（C）宇山靖政

目次

１．準備 4
１．０　風車音の特徴 4
１．０．１　風車音の成分 4
１．０．２　全国 164 か所の風車音 12
１．０．３　グラフの密度 16
１．０．４　周波数スペクトル 17
１．０．５　エネルギーの分布 18
１．０．６　風車音による圧縮と膨張 21
１．１　環境省との関連 29
１．２　一般的な環境騒音と風車音の違い 37
１．３　用語の確認 39
１．４　発生する音の特徴・性質 43
１．５　風雑音、疑似音と風車音 52
１．６　聴覚閾値と感覚閾値 66
２　講演会資料の確認 102
２．１　風力発電施設における騒音及び超低周波音について 102
２．２　話題 103
２．３　音波 105
２．４　音の種別 105
２．５　低周波音はどこにでも存在する 108
A 特性、G 特性での重みづけ 120
２．６　新聞報道にみる低周波音の取り上げ方 126
２．７　人と物では、低周波音に対する感度に違いがある。 132
２．８　騒音の人体影響について 142
２．９　人体反応（影響）発生機構 143
２．１０　低周波音の苦情について（定常的低周波音） 149
２．１１　騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方 153
２．１２　超・低周波音及び可聴音（～1000Hz）の周波数重みづけ特性 171
２，１３　低周波音の閾値（最少可聴値） 173
２，１４　建具のがたつき閾値 179
２．１５　低周波音に対する人の感覚閾値・建具のがたつき閾値と影響評価の考え方 185
２．１６　風車音問題の捉え方 192
２．１７　風力発電施設（風車）の構造 195
２．１８　風車騒音の測定結果 197
２．１９　受音点（地域）の風車騒音の測定について 216
２．２０　（参考）暗騒音と残留騒音 221
２．２１　風車騒音の特徴 224

２．２２　振幅変調音（AM 音、スウィッシュ音）.....226
振幅変調音（スウィッシュ音）の原因.....226
２．２３　純音性成分が含まれる風車騒音の例.....245
２．２４　風車から測定点までの水平距離と風車騒音の関係.....248
２．２５　風車騒音の人体影響（調査）.....256
２．２６　風車騒音の人体影響について（その１）.....265
２．２７　風車騒音の人体影響について（その２）.....273
２．２８　風車騒音の評価（指針値）について.....278
２．２９　風力発電施設騒音の評価（指針値）の算定.....288
２．３０　指針値（評価の目安となる値）策定の趣旨（検討会*）.....294
２．３１　「指針値」と「騒音に関わる環境基準」との関係.....296
２．３１．１　法的な側面.....297
２．３１．２　被害の予測と指針値、環境基準値.....302
・寿都町における風力発電.....309
２．３２　指針値に関する留意点.....312
２．３３　参考資料（抄）.....314
２．３４　ご清聴ありがとうございました.....315
聴覚閾値と感覚閾値.....316
調査とアンケート.....321
アンケート用紙（調査と自由意見）.....322
アンケート用紙（不眠）.....323
アンケート用紙（不快感）.....324
3.3 A 特性音圧レベル.....326
3.4 G 特性音圧レベル.....337
3.5 計測結果の数値の評価.....341
3.6 風車の巨大化による新たな問題.....345
A 特性、G 特性での重みづけとアノイアンス曲線.....353
5.3 “FFT 分析”の意味.....357
１０．健康被害と原因.....365
１０．１　アノイアンスとラウドネス.....365
大型風車による地盤振動伝播*.....368
周辺の家の振動（野中　氏）.....370
参 考 資 料―低周波音の基礎知識―.....372
10．1．1 唾液コルチゾール検査.....375
10．1．2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査.....376
10．1．3 風車音の影響.....380
直接的影響と間接的影響.....380
１０．２　間接的な健康影響（安眠妨害）.....394
10．2．1 風車による睡眠へ影響.....394
10．2．2 ガタツキ閾値.....394
10．2．3 圧力変動の感知.....396

１０．２．４ 不眠による被害 400
安眠妨害は拷問の手法 402
睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。 403
南房総市の健康だより 404
１０．３　直接的な健康被害（循環器障害と頭痛） 410
１０．３．１ 超低周波音の解析と発生の仕組み 410
１０．３．２ 圧縮と膨張 424
１０．３．３ 長期曝露による循環器障害 430
１０．３．４ 音響キャビテーションと頭痛 434
１０．３．５ 潜水病についての資料 444
石狩湾での計測結果 449

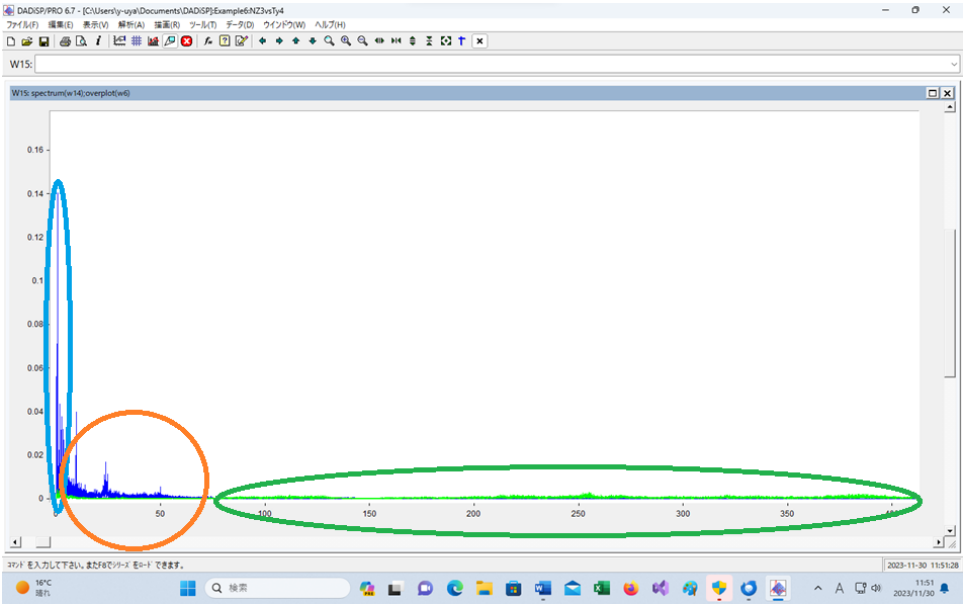
１．準備

１．０　風車音の特徴

１．０．１　風車音の成分

風車音の特徴は、下のグラフの楕円に注目すれば分かります。

0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



上の図で、濃い緑色の楕円は 100Hz～400Hz 辺りの音をします。

上の計測結果を参考にして、風車音をグループ分けすると、

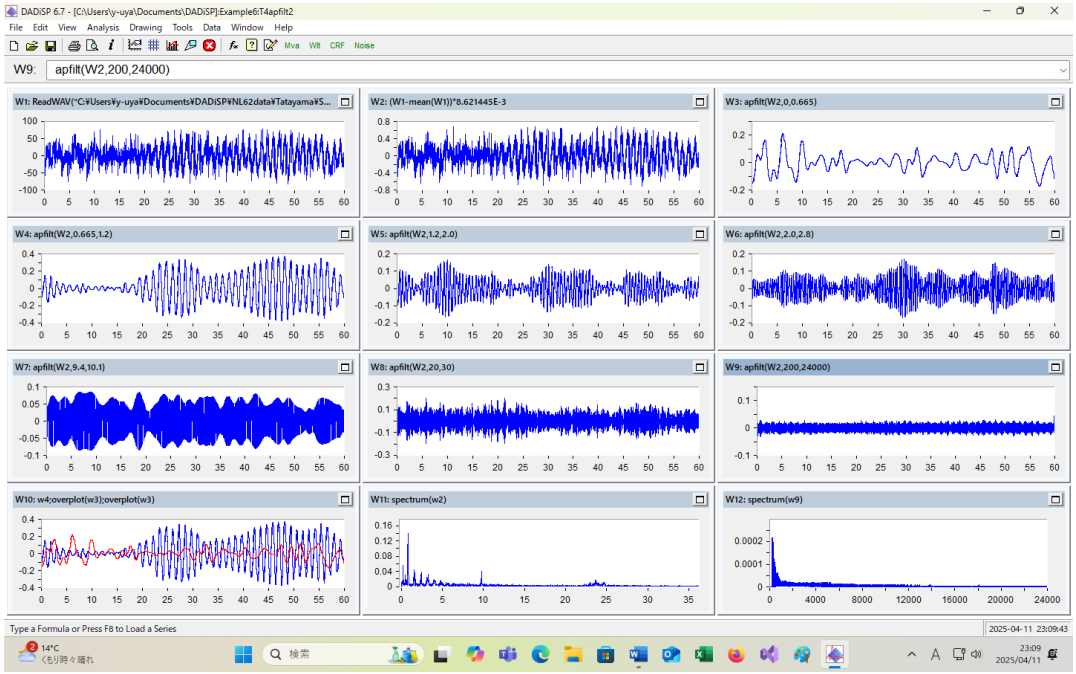
① 0～8Hz　は、塔の側面の振動を主な要因とする超低周波音。

② 10Hz～100Hz　は、発電機などの機械音。

③ 200Hz～20ｋHz　は、ブレード面での乱流による高周波音。

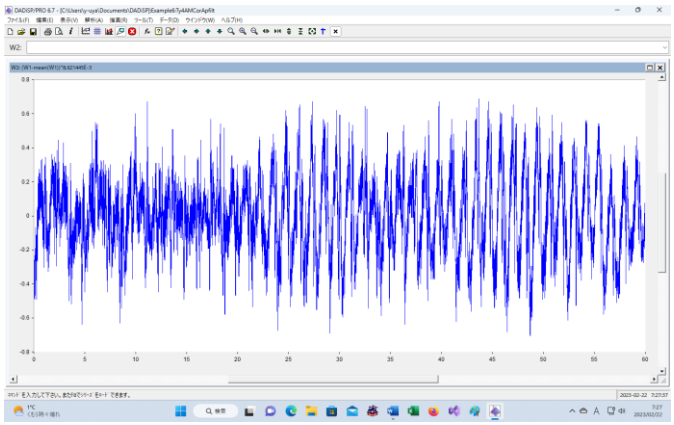
となります。

実際の風車音を調べてみると次の様になっています。

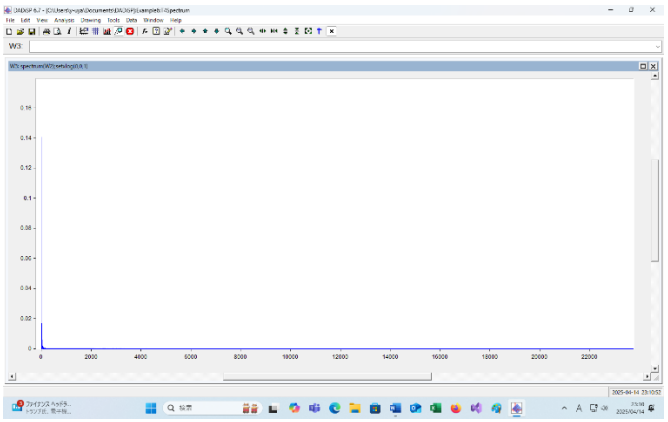


W2 は、1 秒間に 48000 回の割合で、風車音による音圧変動を記録した結果、すなわち風車音の波形データである。平均した場合、f=RZ/60Hz＝0.8Hz となっています。

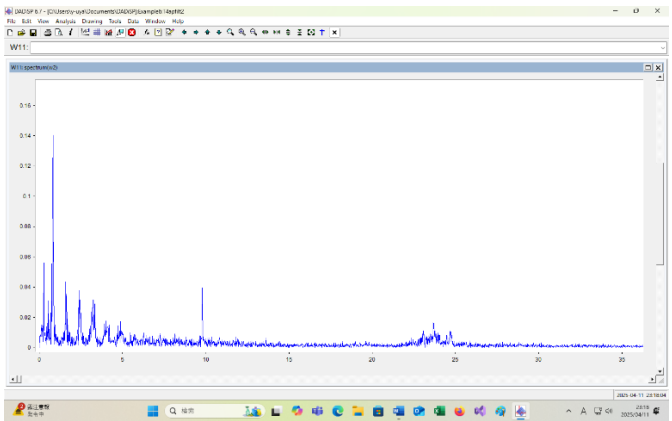
波形



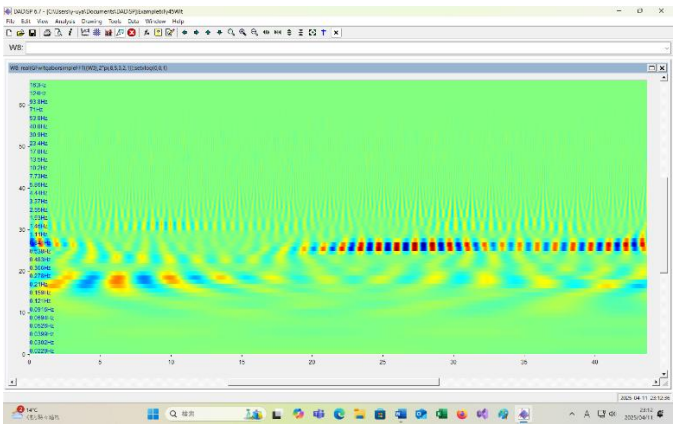
周波数スペクトル（0～24000Hz）



周波数スペクトル（0～50Hz）



Wavelet 解析の結果は次のグラフです。



上の周波数スペクトルをグループに分けて成分を取り出します。

A：f/3、2f/3

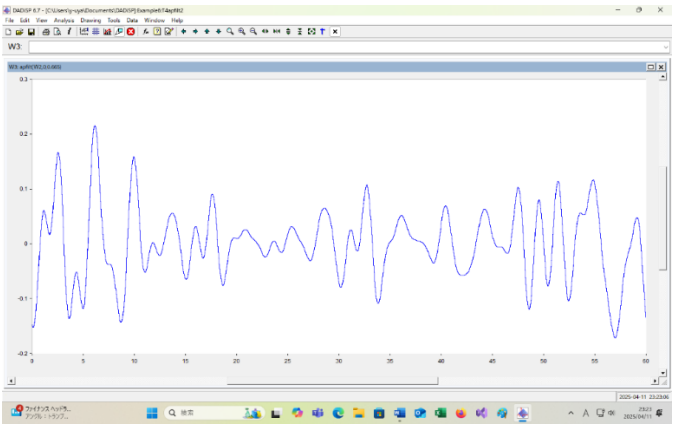
B：f、2f、3f、4f、5f、6f

C：10Hz の近く

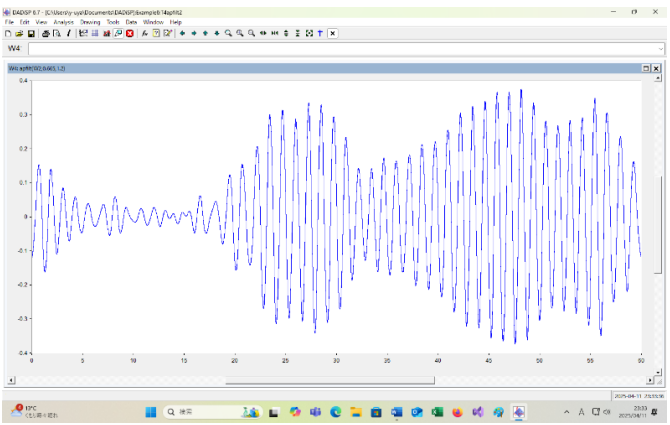
D：20～30Hz

E：200～24000Hz

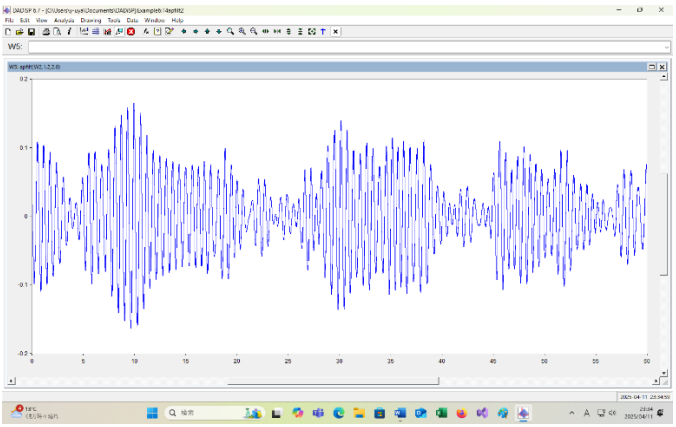
A：0～2f/3 Hz の成分（0～0.665Hz）



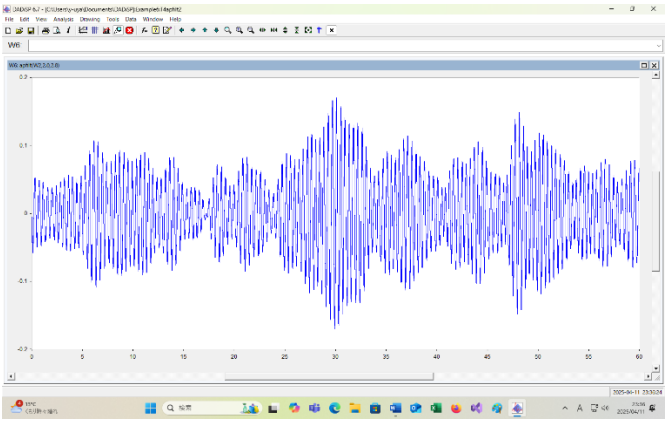
B： f ＝0.8H z 成分（Max0.37Pa）



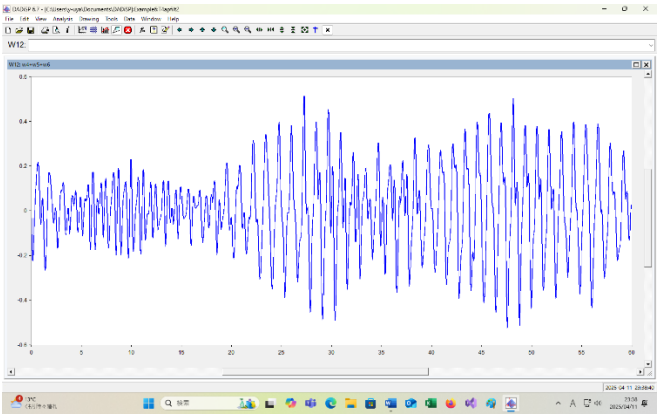
2 f ＝1.6H z 成分



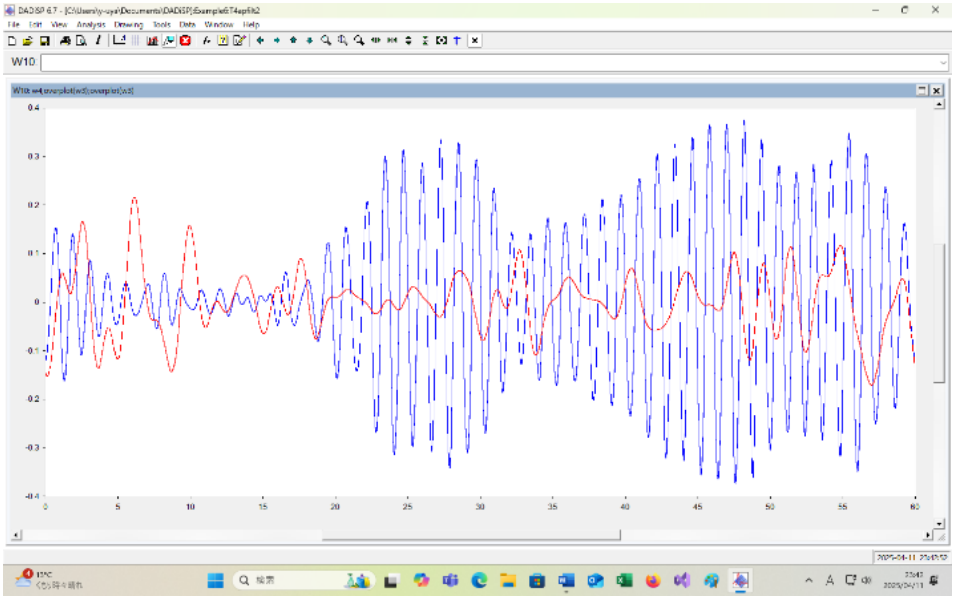
3 f ＝2.4Hz 成分



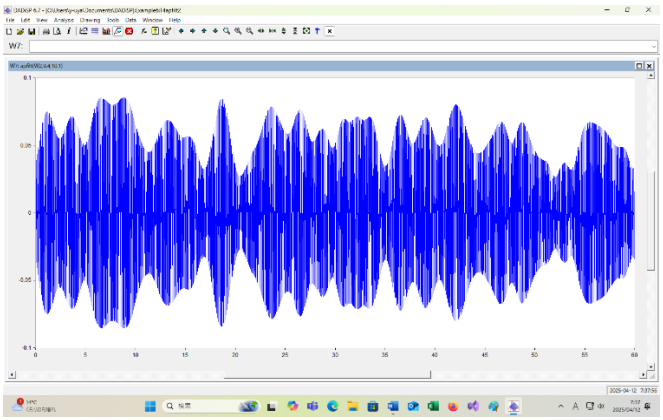
f H z 成分+2 f H z 成分+3 f H z 成分



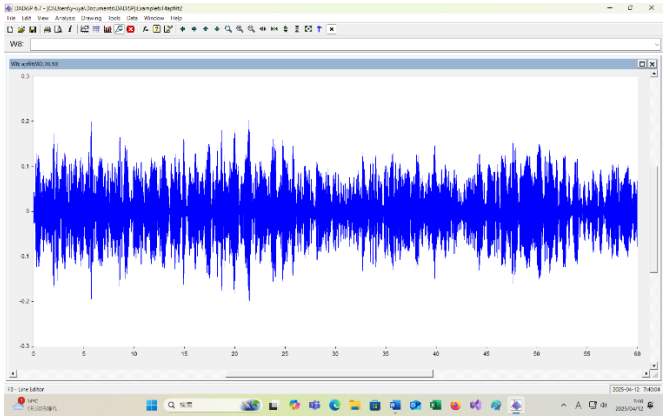
f Hz 成分と（0～0.665Hz）成分の比較



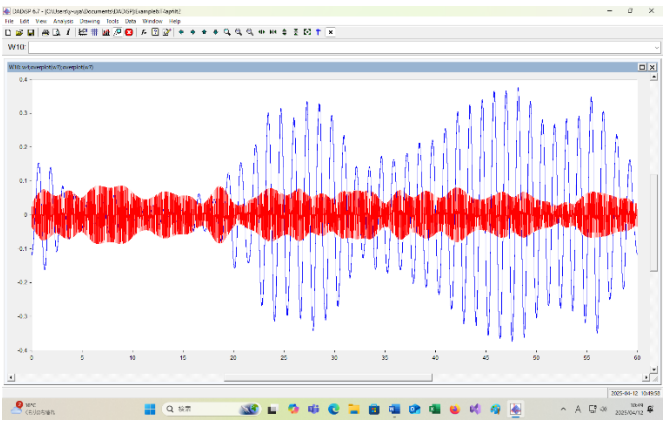
C：9.4～10.1Hz 成分



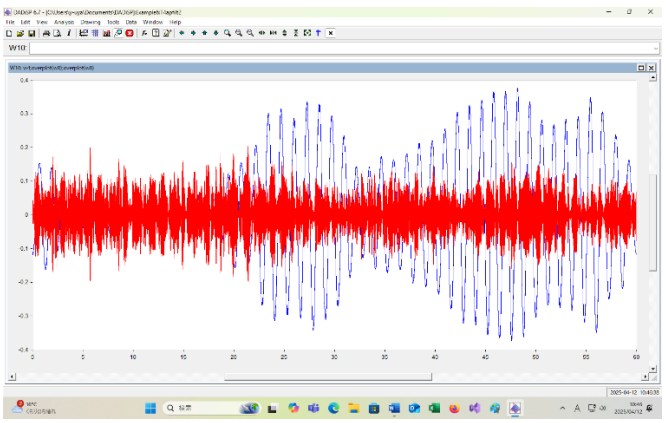
D：20～30Hz



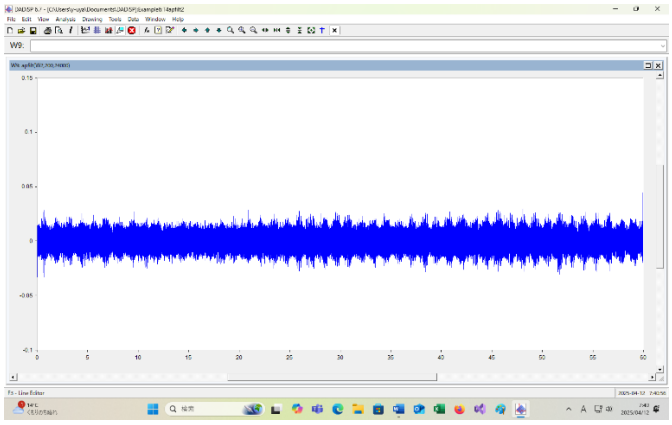
f ＝0.8H z 成分（Max0.37Pa）と C の比較



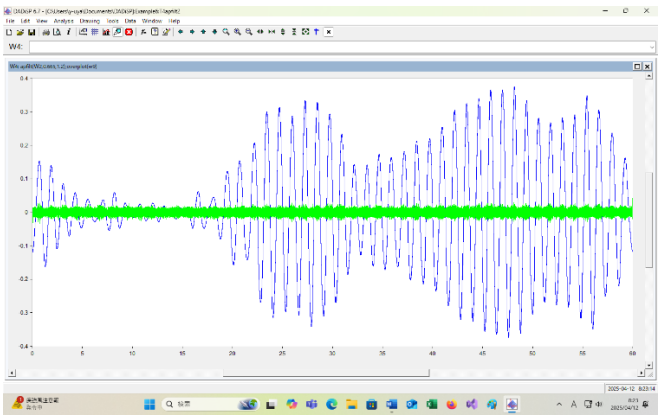
f ＝0.8H z 成分（Max0.37Pa）と D の比較



E：200～24000Hz 成分（振幅 0.008～0.02Pa）



f ＝0.8H z 成分（Max0.37Pa）と E の比較



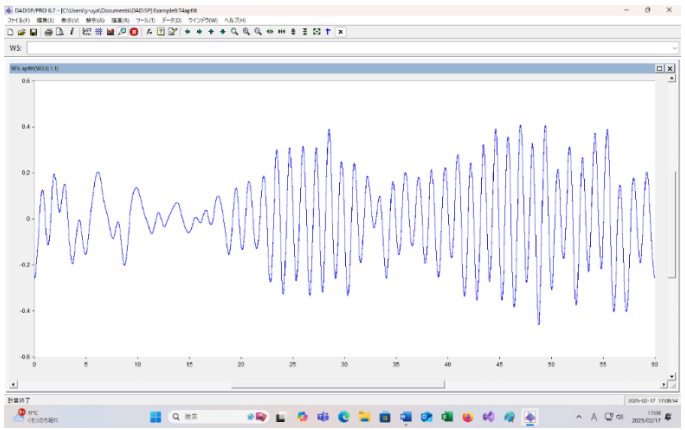
エネルギーの分布（0～20Hz、20～200Hz、200～24000Hz、0～24000Hz）

W3: EngDistributionWm2(w2,0,20,200,24000)

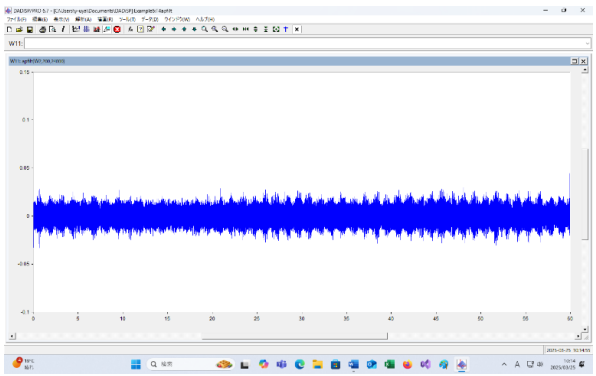
	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	2.432890E-004	2.138726E-005	1.627290E-007	2.648317E-004

f=RZ/60=0.8Hz のデータでは、0～1.1Hz の部分は、音圧が大きく変化するが、200～24000H z の部分の音圧は安定している。

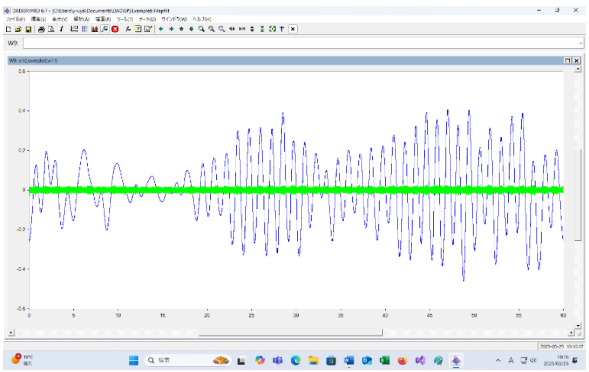
0Hz～1.1Hz の成分を抽出すれば、次のグラフになる。



音圧変動（200～24000Hz の成分の変動は小さい）



振幅の変動（青 0～1.1Hz、緑 200～24000Hz）比較



10 秒～20 秒の間は、音圧が極端に低くなっています。

風切り音で言えば、R＝16、Z＝３の場合に相当します。この 0.8H z の音の音圧はどのように決まるのでしょうか。上のグラフでは、風が弱まった時には、音圧が 0 に近い値になっています。

風切り音（一部の空力音説を含む）では、周波数をブレードが塔の前を通過する回数と関連付けます。それだけではなく、音圧を決める要因は何かが問題になります。

“翼が回転する時に、支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる時に、時間巾を持った大きなパルス状の音圧変動を起こします。”

“支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる”あるいは、“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”ことが音の大きさ（音圧）を決める要因だと考えたときには、

ブレードの質量が大きいので、風速が小さくなっても、回転数はあまり減少しません。それなのに音圧がほぼ 0 になっているのです。

7回転		
21回通過	秒	周波数
21	28	0.75
21	22	0.95
21	23	0.91
21	23	0.91
21	24	0.88
21	27	0.78
21	30	0.70
21	24	0.88
21	26	0.81
21	25	0.84
21	26	0.81
21	26	0.81
21	26	0.81
21	26	0.81
21	27	0.78
21	31	0.68
21	31	0.68
21	27	0.78
21	26	0.81
21	25	0.84
21	26	0.81
21	28	0.75
21	28	0.75
	平均	0.80

ブレードの回転速度はあまり落ちないのですから、“**支柱との間で空気の流れ(風)を引きちぎる**”力が小さくなったとは思えません。“ブレードに纏わりついている空気が、塔によって切断される”もあまり変化しないと思います。“風切り音”説が正しいならば、ｆ＝RZ/60Hz の音の音圧が極端に変化することは無いはずです。

風が急に強くなった時は、ブレードの回転数はそれほど変化しませんが、音圧は２倍程度になります。音圧変動は、回転数の変化との整合性が無いのです。

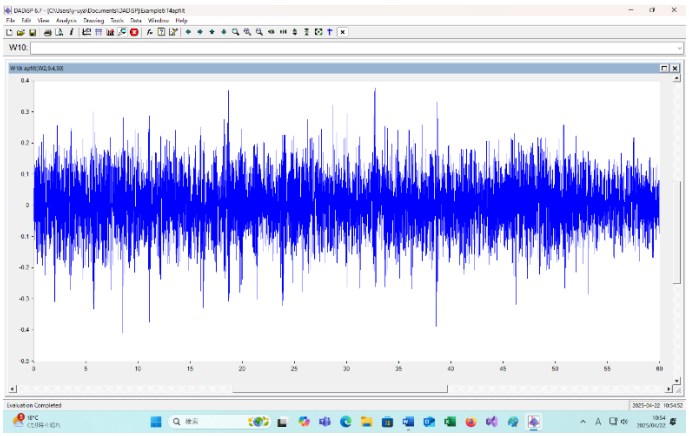
風切り音説（一部の空力音説を含む）では、このｆ＝RZ/60H z の音の音圧変動を説明できません。

200Hz～24000Hz の音は、主に、ブレードの表面と空気の衝突や乱流によって発生するとみられますので、ブレードの回転数があまり変わらなければ、ブレードの回転速度も安定しているので、音圧（音の大きさ）はあまり変化しない。と考えられます。

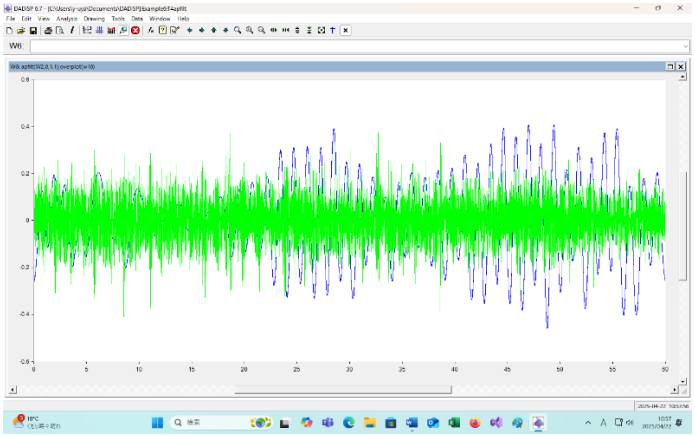
もちろん、揚力ベクトルによる塔の腹の部分の振幅の変化を考えれば、0Hz～1.1Hz の成分の音圧変動に関する明確な説明が得られます。

9.4Hz～50Hz の音に関しては、

9.4～50Hz の音

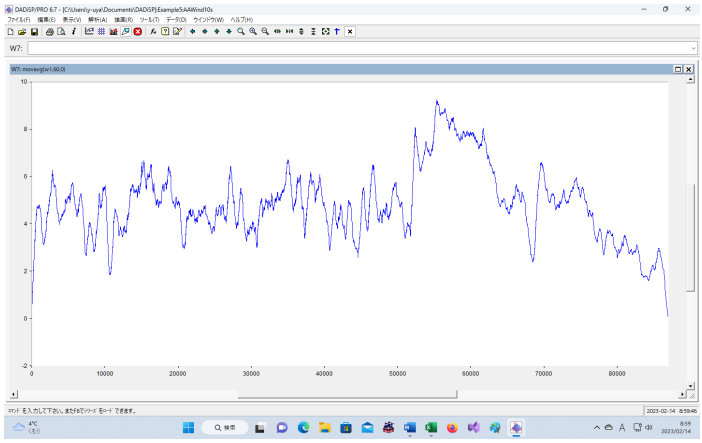


0～1.1Hz 成分と 9.4～50Hz 成分の比較



機械音とみられる。変化が大きい原因は、発電機と回転させようとする力が細かく変化していることが原因だとみられる。

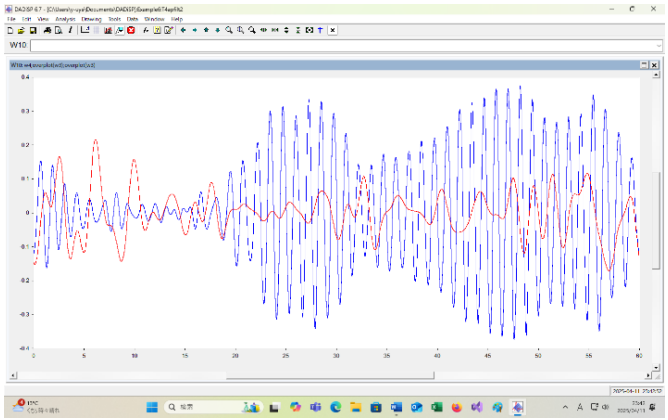
風速の移動平均をとると、次のグラフになります。



風速は細かく変化するので、それに対応して揚力ベクトルも細かく変動して、発電機に掛かる力が細かく変化した結果だと考えられる。

次のグラフについては、f Hz 成分が洗濯機のモーターが勢いよく回っている状態(大きな揚力ベクトル)。（0～0.665Hz）成分は洗濯機の中身の偏り（ブレードの重さ、形、重心などの誤差）による振動が、モーターの力が弱まった時（風が弱まって揚力ベクトルが 0 になる）に起きるガタツキに対応すると考えられる。

f Hz 成分と（0～0.665Hz）成分の比較



１．０．２　全国 164 か所の風車音

横軸の目盛りを線形目盛り、縦軸の目盛りをパスカル値にすれば、むかし調査された全国 164 か所の風車に於いて、よく似た性質を持っている風車音が計測されていたことが分ります。

次のグラフは、「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」にあるものです。

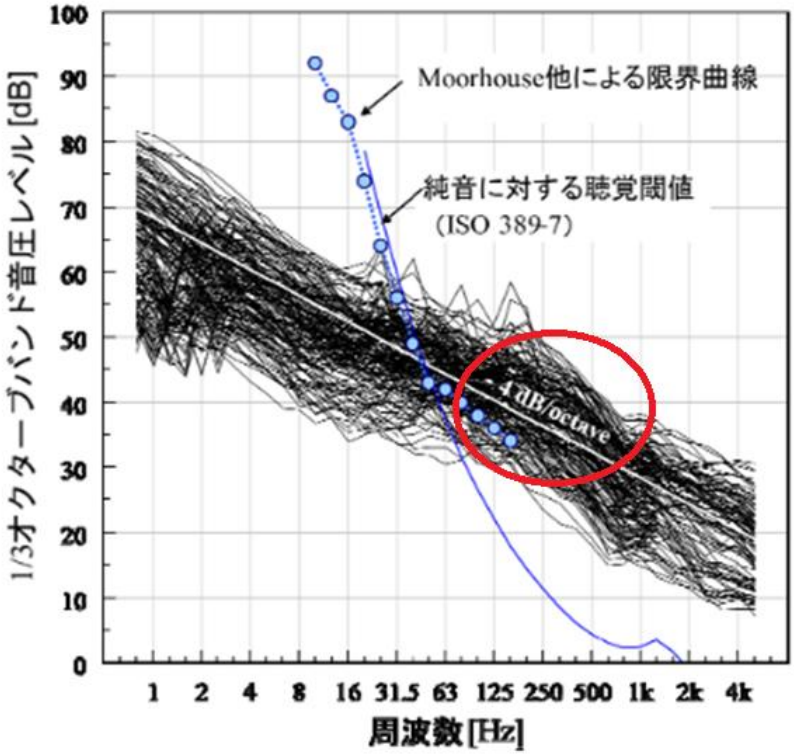


図 3　全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

図３をよく見ると、白抜きで、-4dB/octave と書いてあります。

「**ある音を基準として、周波数比が2倍になる音**」を「1オクターブ上の音」と呼んでいます。

周波数が２倍になると１オクターブ増える。１オクターブ増えると音圧レベルが４ｄＢ減る。

周波数が２倍になる系列として、

0.5Hz、1Hz、2Hz、4Ｈｚ、8Ｈｚ、16Ｈｚ、…

上のグラフでは、1/3オクターブバンド音圧レベル　の値を使っています。計算を簡単にするために、1/1オクターブバンドに変換して考えます。

音圧レベルは、各周波数帯に属する音のエネルギーの合計で決ります。

0.5～１Ｈｚ、１～2Ｈｚ、2～4Ｈｚ、４～8Ｈｚ、8～16Ｈｚ、…でのエネルギーをｄＢ表示した値を使って、164本の曲線が描かれています。

それらの中間をとった、白い斜めの線で言えば、下のような表になります。

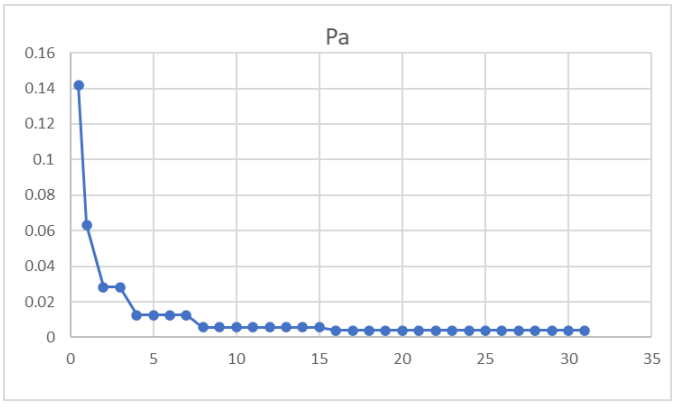
Hz	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
dB	74	70	66		62				58
Σ(Pa*Pa)	0.010048	0.004	0.001592		0.000634				0.000252
Pa*Pa/Hz	0.020095	0.004	0.000796	0.000796	0.000158	0.000158	0.000158	0.000158	3.15E-05
Hz	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
Pa	0.141757	0.063246	0.028217	0.028217	0.012589	0.012589	0.012589	0.012589	0.005617

0.5Hz以上、1Ｈｚ未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、74ｄＢ
1Ｈｚ以上、2Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、70ｄＢ
２Ｈｚ以上、4Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、66ｄＢ
４Ｈｚ以上、8Ｈｚ未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、62ｄＢ
…
です。

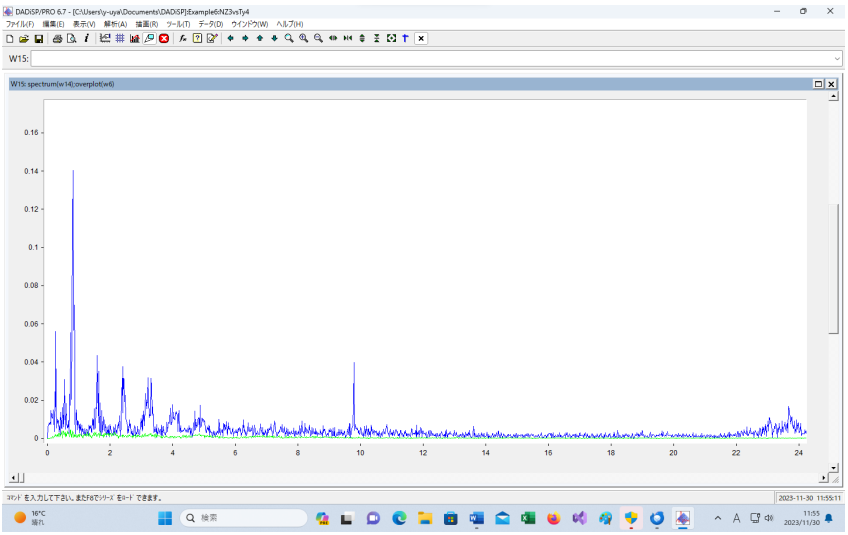
このエネルギーを、線形座標目盛りに従って均等に分配してから、対応するパスカル値に変換すると、表の一番下の数値になります。

図３のグラフを表にして、値をパスカル値に変換すればグラフは次の様になります。

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa/Hz	Hz	Pa
0.5	74	0.0100475	0.020095091	0.5	0.141757
1	70	0.004	0.004	1	0.063246
2	66	0.0015924	0.000796214	2	0.028217
3			0.000796214	3	0.028217
4	62	0.000634	0.000158489	4	0.012589
5			0.000158489	5	0.012589
6			0.000158489	6	0.012589
7			0.000158489	7	0.012589
8	58	0.0002524	3.15479E-05	8	0.005617
9			3.15479E-05	9	0.005617
10			3.15479E-05	10	0.005617
11			3.15479E-05	11	0.005617
12			3.15479E-05	12	0.005617
13			3.15479E-05	13	0.005617
14			3.15479E-05	14	0.005617
15			3.15479E-05	15	0.005617
16	58	0.0002524	1.57739E-05	16	0.003972
17			1.57739E-05	17	0.003972



右側のグラフは、下のグラフの青い線とよく似た形です。



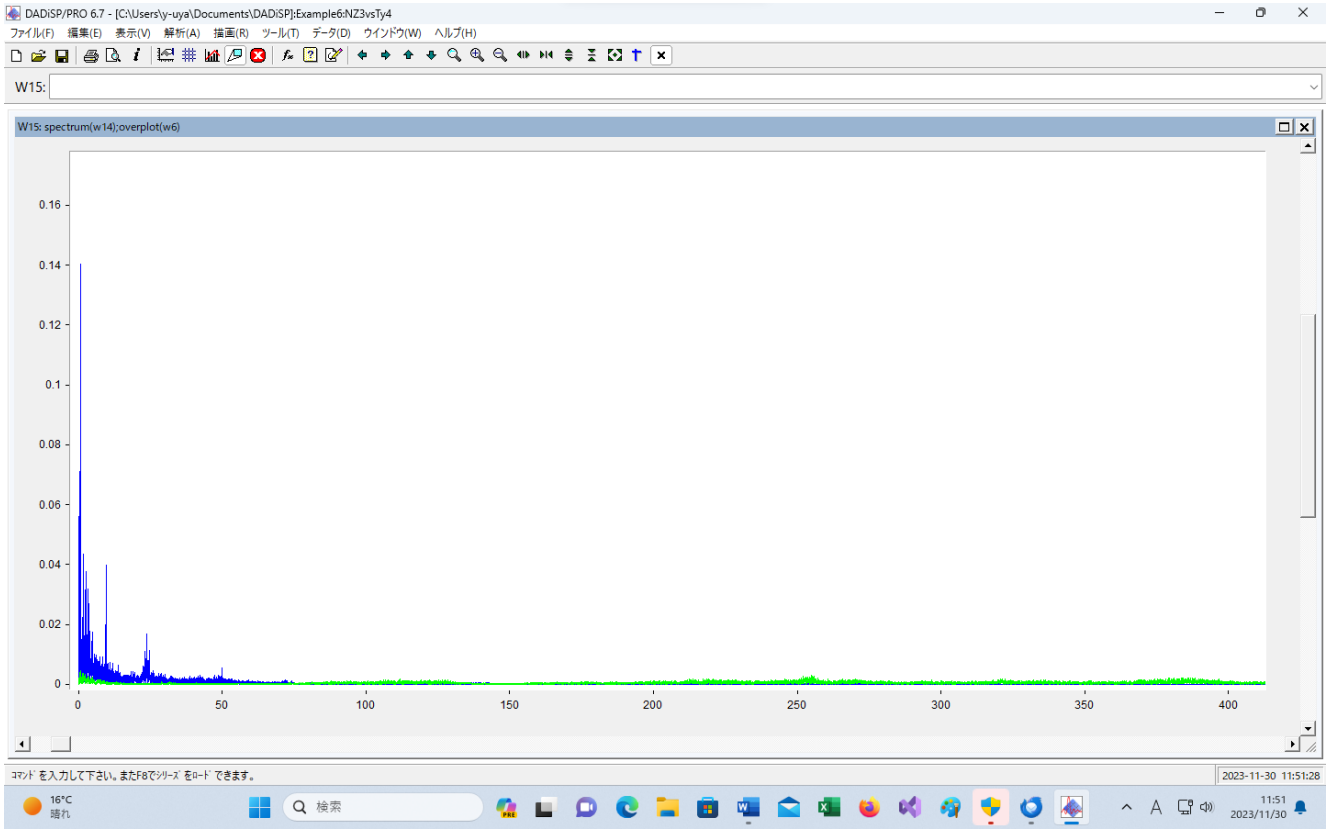
また、100Hz から 4ｋHz の間では、

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa/Hz	Hz	Pa
128	46	1.592E-05	1.24408E-07	128	0.000353
256	42	6.34E-06	2.4764E-08	256	0.000157
512	38	2.524E-06	4.92935E-09	512	7.02E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
4096	26	1.592E-07	3.88777E-11	4096	6.24E-06

図３での数値は風車によって違います。
音圧が高いもの、低いものを、1ｋHz、2ｋHz の辺りで調べると、次の表になります。

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa/Hz	Hz	Pa
1024	38	2.524E-06	2.46468E-09	1024	4.96E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
1024	15	1.265E-08	1.23526E-11	1024	3.51E-06
2048	35	1.265E-06	6.17632E-10	2048	2.49E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
2048	12	6.34E-09	3.09549E-12	2048	1.76E-06

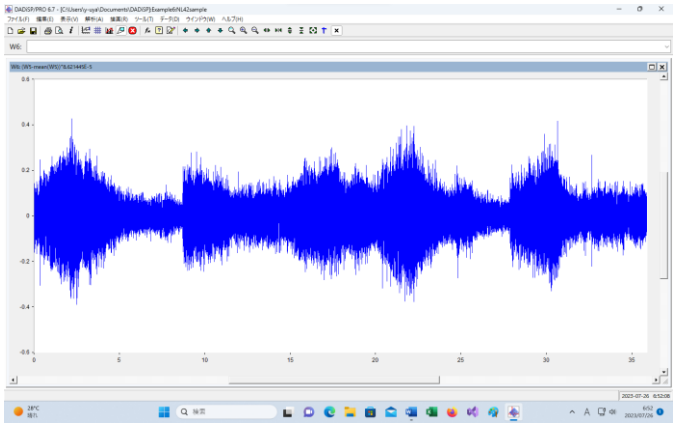
0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



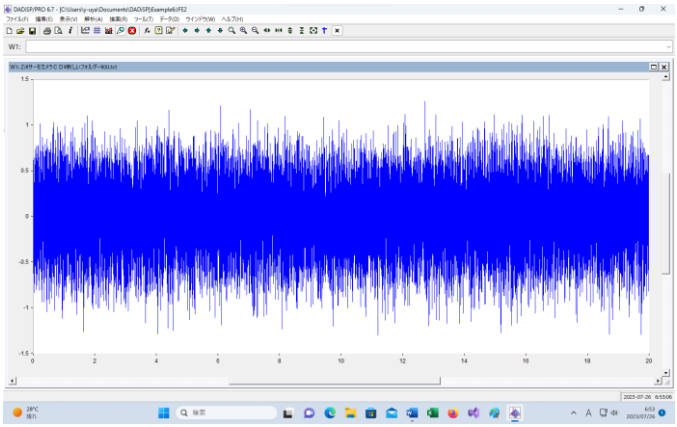
上の図をよく見れば、100Hz～300Hz 辺りでは、神社での音の方が音圧が高くなっています。
200Hz 以上ならば、窓を閉めれば、遮音効果が効きますので、それほど問題にはなりません。

１．０．３　グラフの密度

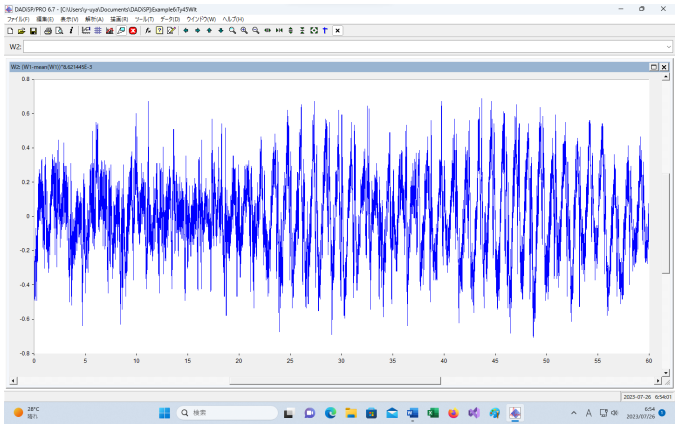
リオン社前の交通騒音



JFE の工場内の音



館山の風車音



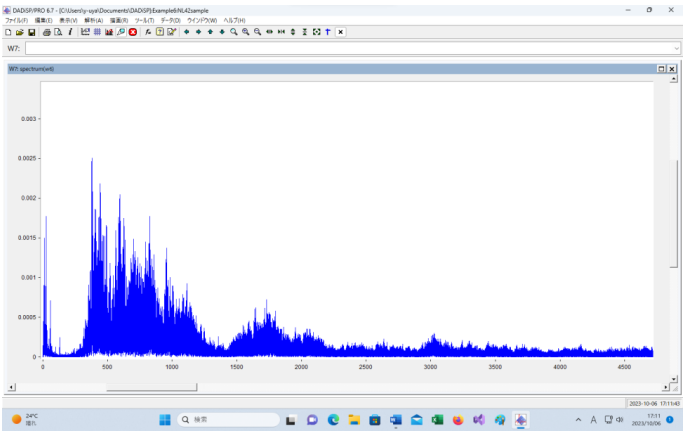
交通騒音では、グラフの密度が高く、ぎっしりと詰まっています。また、車が通ると大きな振幅になります。

工場騒音では、グラフの密度が高く、ぎっしりと詰まっています。音の大きさが安定しています。

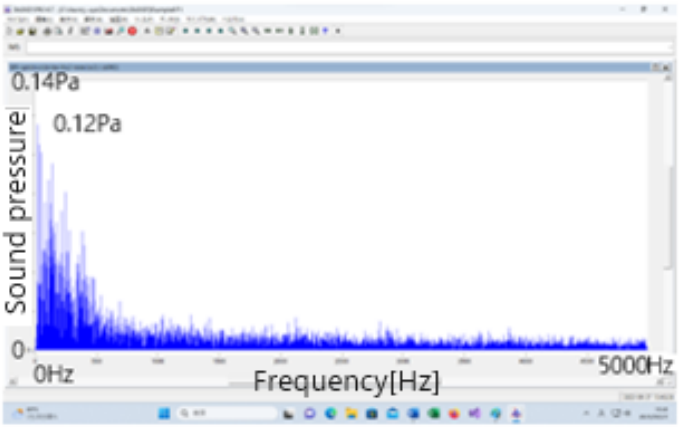
風車音では、グラフがスカスカです。これは高周波成分が微弱であり、超低周波音成分が高い音圧で含まれていることを示します。振幅の変化が大きいのは、風速の変化で音圧も変化することを意味しています。

１．０．４　周波数スペクトル

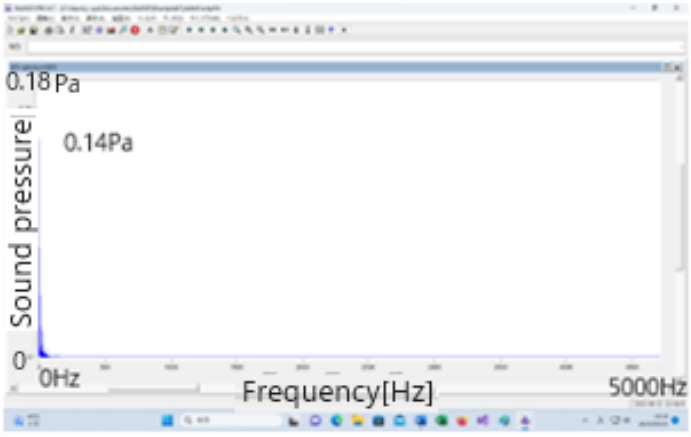
交通騒音（０～5000Hz）



工場騒音（０～5000Hz）



風車騒音（０～5000Hz）



交通騒音は、広帯域の音ですが、20Hz 以上の成分の振幅が大きいことが分ります。

工場音は、広帯域の音ですが、低周波音の成分も強いことが分ります。

風車音は、0.8Hz 辺りに集中していて、左端の細い線で表されています。

１．０．５　エネルギーの分布

FFT を使えば、風車音を各周波数帯に分割できます。

FIG. 5 は、青を 0～20Hz、緑を 20～200Hz、赤を 200～24ｋHz の成分として風車音を分割した結果です。

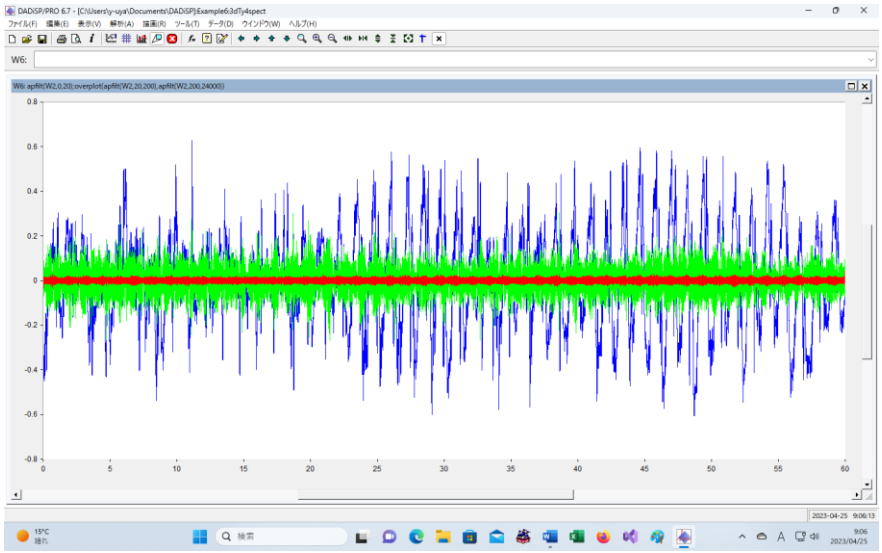


Fig. 5 Separated Wind turbine noise

200Hz～24kHz の成分(赤)に振幅変調が見られるが、音圧が極めて低く、空気減衰やエネルギー透過率を考えれば、室内での影響は弱く、逆に低周波音や超低周波音のエネルギーが高く、この部分の影響が大きい。

表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

0～20Hz でのエネルギーの分布

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

さて、93*0.613＝57%ですから、風車音全体のエネルギーの 57%は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。

音の強さ

音場内の 1 点において、単位面積を単位時間に通過する音響エネルギーを音の強さ（I または J と書く）と言います。単位は、(W/㎡)

J＝（ｐ*ｐ）/（ρ ｃ）　　(W/㎡)

に注意して、音がマイクを通過するときの音の強さ(W/m2)を計算したものが次の表です。

JFE の製鉄所内では、全体のエネルギーは 10^(-4) (W/m2)程度

W16: EngDistributionWm2(w1,0,20,200,5000)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	0.000051	0.000150	0.000232	0.000433
2:				

0～20Hz　　0.000051 (W/m2)

20～200Hz　　0.000150 (W/m2)

200～5000Hz　　0.000232 (W/m2)

0～5000Hz　　4.3E-004(W/m2)

リオン社前での交通騒音では 全体のエネルギーは 10^(-5) (W/m2)程度

W15: EngDistributionWm2(w6,0,20,200,24000)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	1.757791E-007	8.079829E-008	1.805011E-005	1.830650E-005
2:				

0～20Hz　　1.757791E-007 (W/m2)

20～200Hz　　8.079829E-008 (W/m2)

200～24000Hz　　1.805011E-005 (W/m2)

0～24000Hz　　1.8E-005 (W/m2)

風が弱いときの風車の近くでは、全体のエネルギーは 10^(-4) (W/m2)程度

W15: EngDistributionWm2(w2,0,20,200,24000)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	2.432890E-004	2.138726E-005	1.627290E-007	2.648317E-004
2:				

0～20Hz　　2.432890E-004 (W/m2)

20～200Hz　　2.138726E-005 (W/m2)

200～24000Hz　　1.627290E-007 (W/m2)

0～24000Hz　　2.6E-004 (W/m2)

風が強いときの風車の近くでは、全体のエネルギーは 10^(-3) (W/m2)程度

W9: EngDistributionWm2(w8,0,20,200,24000)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	1.492656E-003	2.285370E-005	6.942087E-008	1.515570E-003
2:				

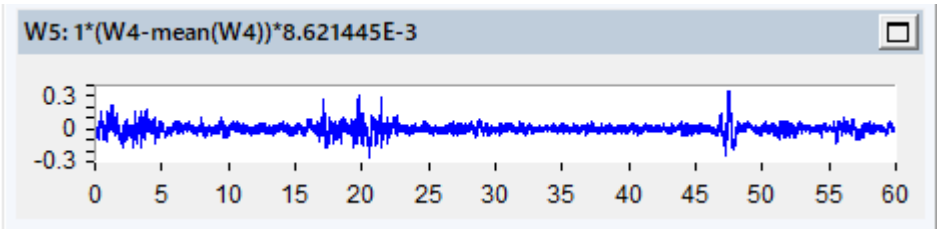
0～20Hz　　1.492656E-003 (W/m2)

20～200Hz　　2.285370E-005 (W/m2)

200～24000Hz　　6.942087E-008 (W/m2)

0～24000Hz　　1.5E-003 （W/m2）

近くの神社でマイクに風を当てて測った音



でも計算してみた。

W6: EngDistributionWm2(w5,0,20,200,24000)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	8.227718E-006	3.912201E-007	2.117793E-007	8.829495E-006
2:				

0～20Hz　　8.227718E-006 （W/m2）

20～200Hz　　3.912201E-007 （W/m2）

200～24000Hz　　2.117793E-007 （W/m2）

0～24000Hz　　8.8E-006 （W/m2）

となりました。

纏めた表です。

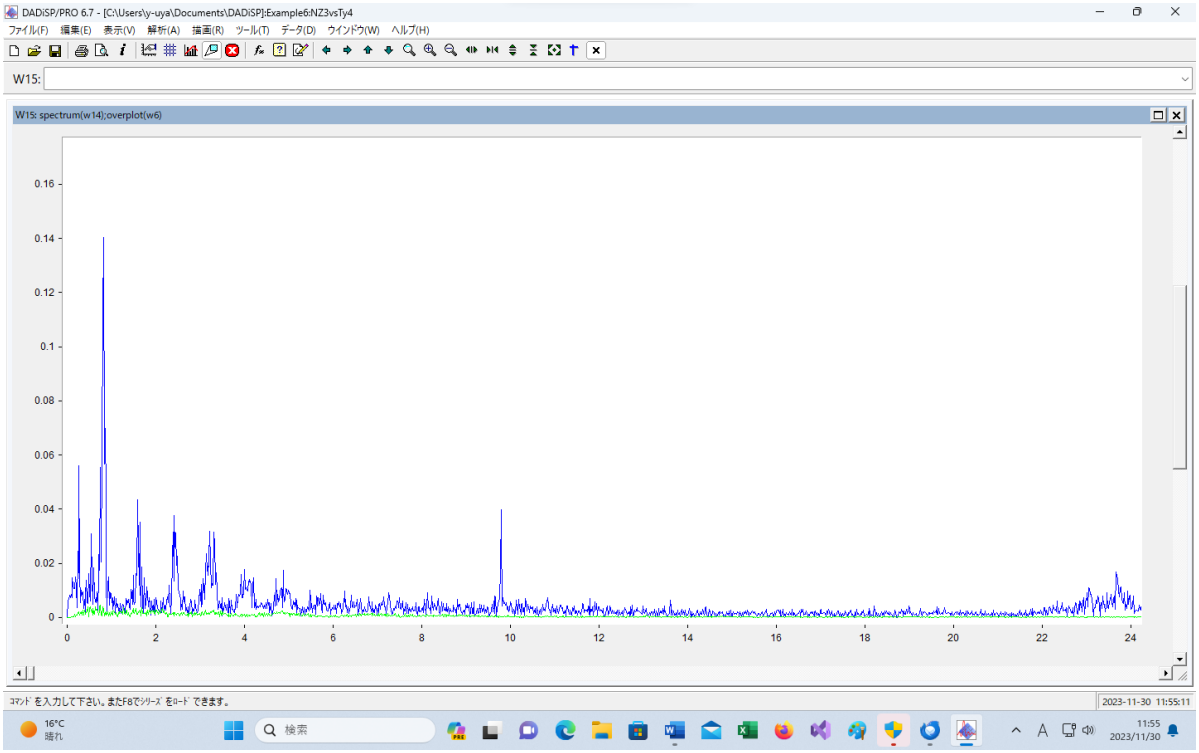
周波数帯	0 ～20Hz	20～200Hz	200～24ｋHz	0～24ｋHz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m2
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m2
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m2
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m2
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m2

リオン社のNL-62Aには、音圧そのものを、サンプリングレート48ｋＨｚで計測して、16ビットの符号付整数として並べたＷＡＶファイルを作る機能があります。

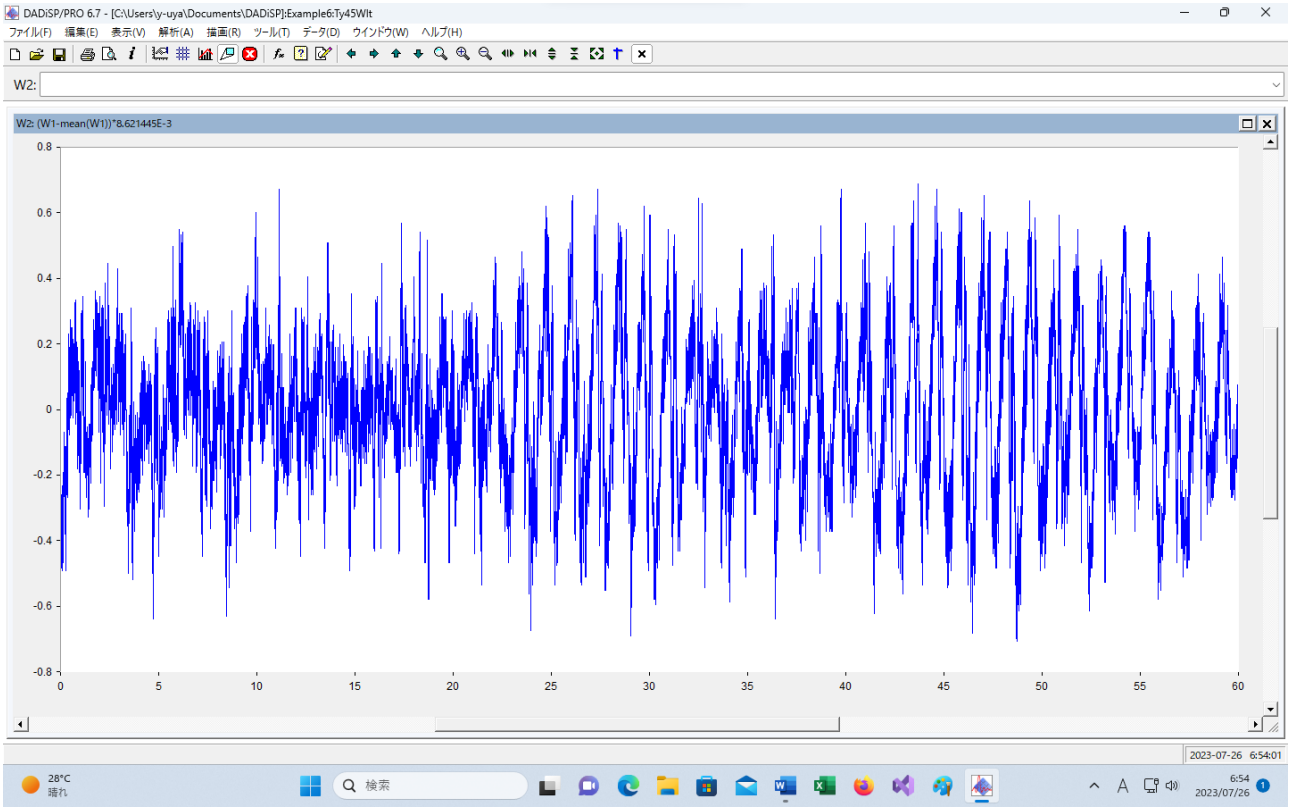
これだけの精度があれば、このデータに対して、デジタル信号処理の技術を使って解析すれば、風車音の性質が判明します。

１．０．６　風車音による圧縮と膨張

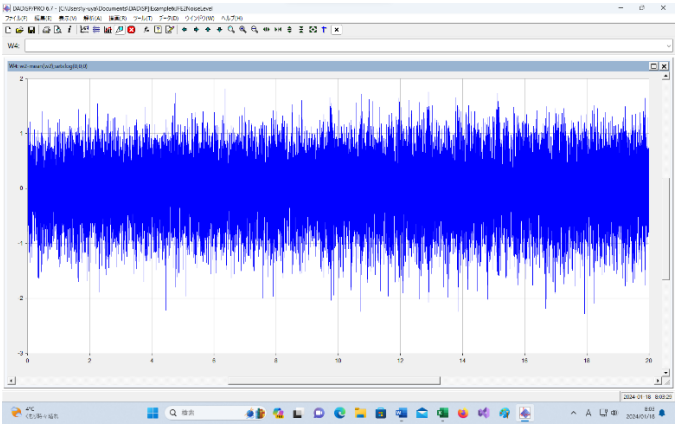
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、f=RZ/60＝１Ｈｚの成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。

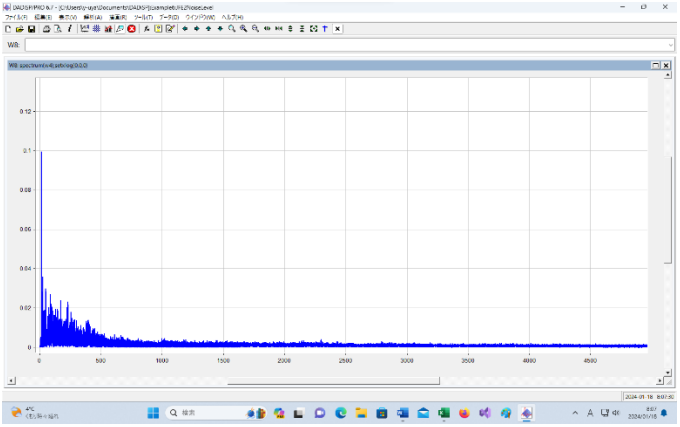


グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。

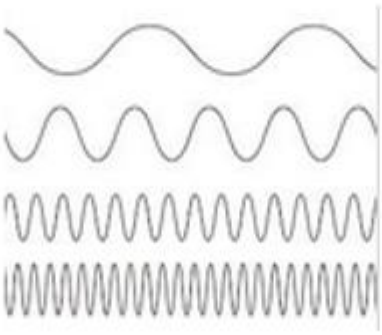


JFE の工場での音の全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。



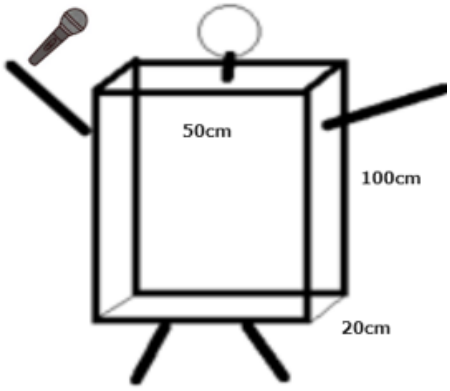


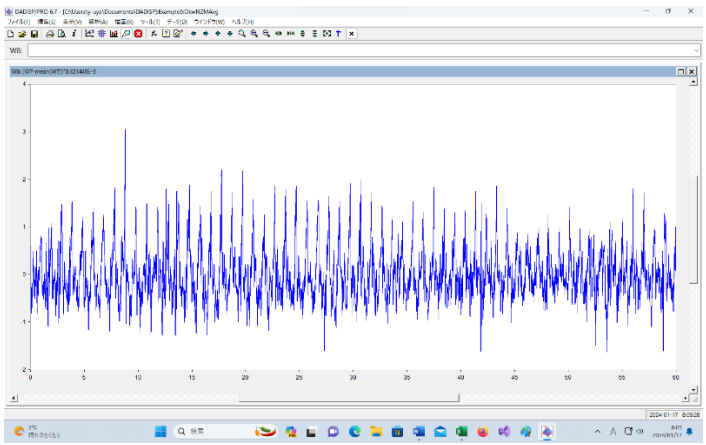
この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



いろいろな波長の音が、秒速 340ｍで風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50ｃｍ、胴長 100ｃｍ、厚み 20ｃｍとして、音は平面波とします。

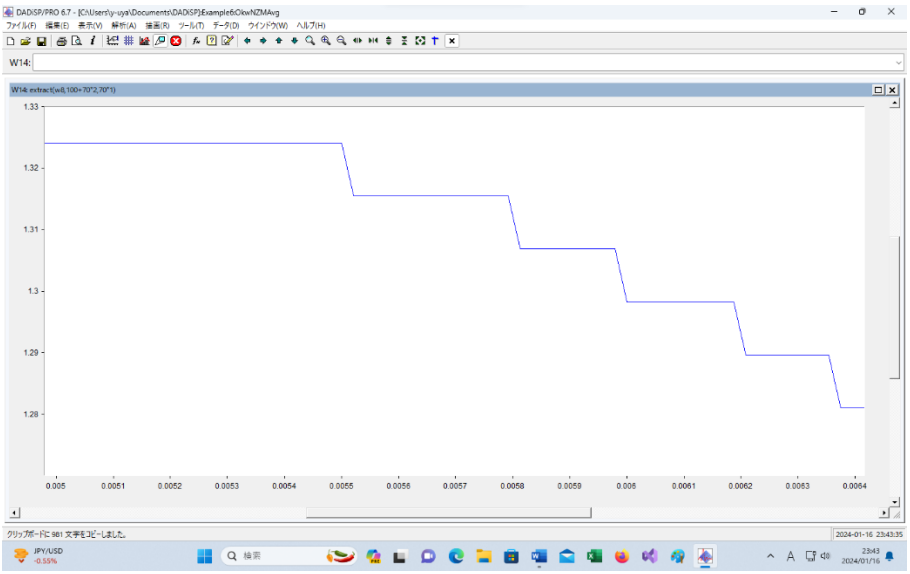
音速が 340ｍですから、体の右側から、マイクのある体の左側までは、0.5/340 秒です。マイクが音圧を計測する回数が 1 秒間に 48000 回だとすれば、0.5/340 秒では、48000*0.5/340＝70.6＝70 回です。





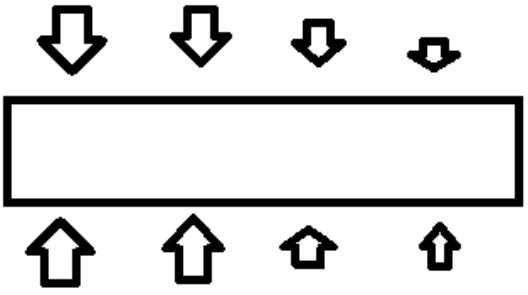
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



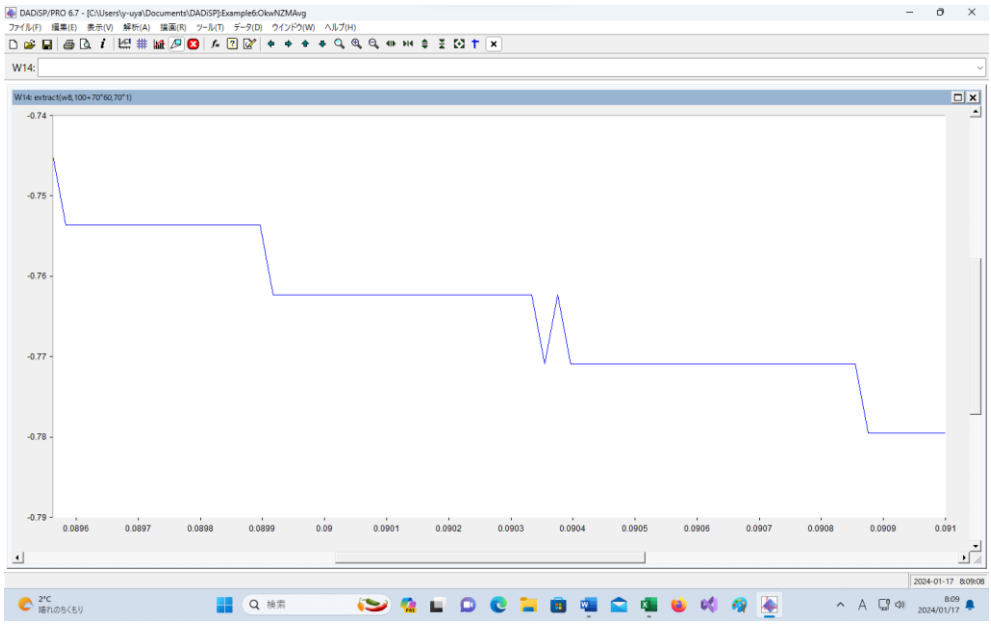
となり、数値は、

1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.324106	1.306864	1.289621
1.324106	1.315485	1.306864	1.289621
1.324106	1.315485	1.306864	1.280999
1.324106	1.315485	1.306864	1.280999
1.324106	1.315485	1.298242	1.280999
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	合計
1.324106	1.315485	1.298242	91.74771
1.324106	1.315485	1.298242	
1.324106	1.315485	1.298242	平均
1.324106	1.315485	1.289621	1.310682



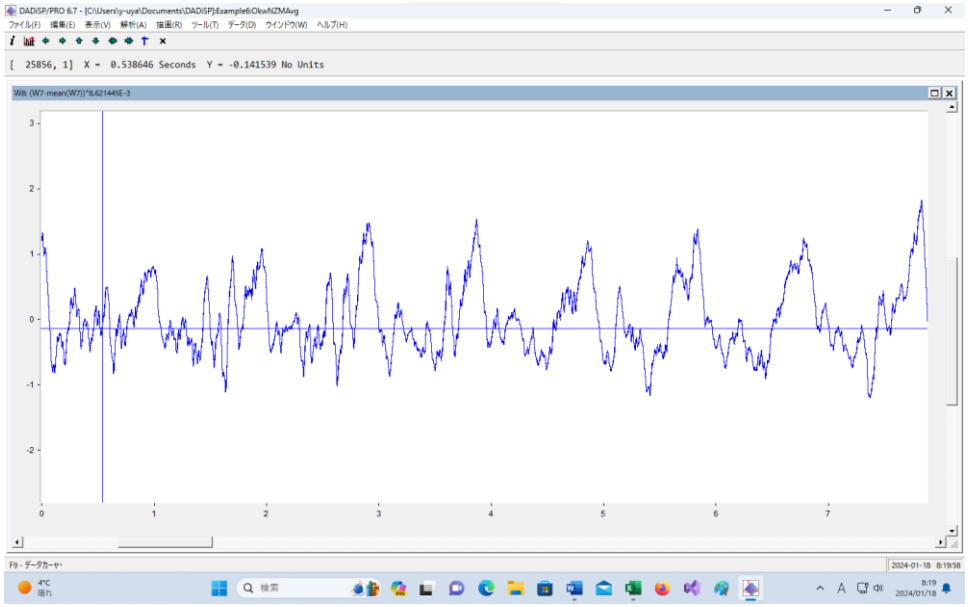
合計：91Pa、平均：1.3Pa です。この時は、体全体が押しつぶされる状態です。

もちろん、



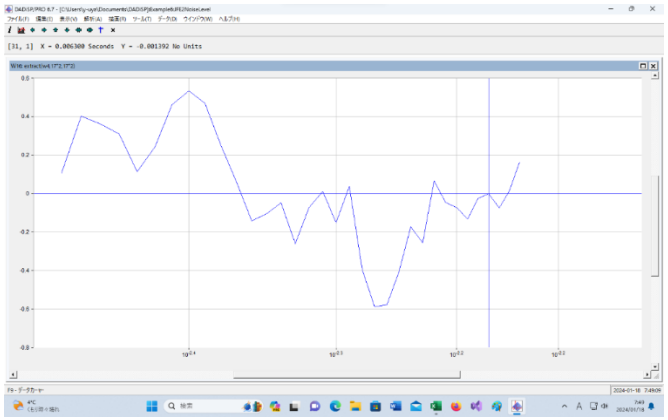
もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。
上のグラフの値は、-0.77Pa 程度です。強制的に膨張させられている状態です。

風車音の場合は、50ｃｍの全体が圧縮される時間が 0.5 秒、膨張させられる時間が 0.5 秒であることが次のグラフから分かります。



人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。
物理的は圧力が周期的に変化するのです。

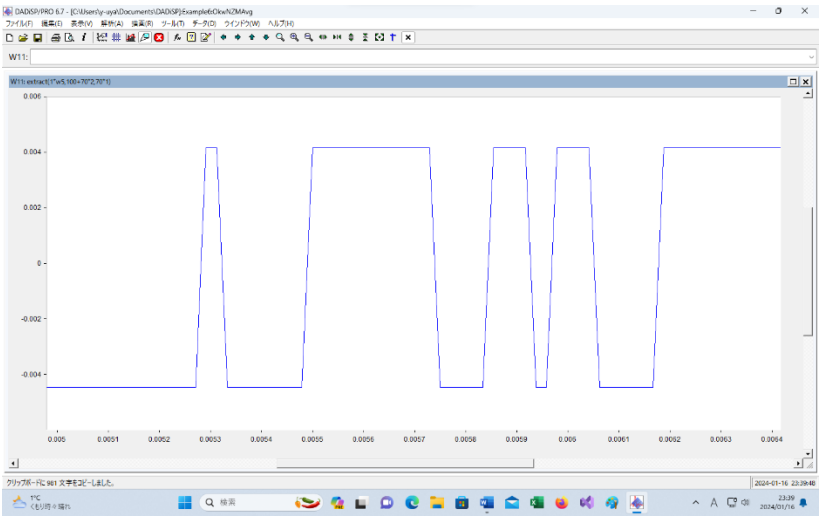
工場音の場合は、秒速 340ｍの音が 50ｃｍを通過するのに必要な時間は、0.001 秒です。0.002 秒間の波形を拡大してみれば、次のグラフになります。



圧縮、膨張の継続時間は 0.001 秒程度です。時間が短いので、皮膚が圧縮での運動を開始したとたんに膨張の動きを開始します。他は、50ｃｍの範囲内に圧縮と膨張が混在します。

体内への圧力変動に要る影響は軽微だと考えられます。

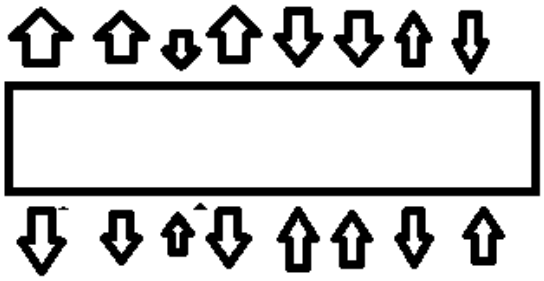
神社での音の音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



であり、

数値は、

-0.00446		-0.00446		-0.00446		0.00416
-0.00446		-0.00446		-0.00446		0.00416
-0.00446		-0.00446		0.00416		0.00416
-0.00446		-0.00446		0.00416		0.00416
-0.00446		-0.00446		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		-0.00446		0.00416
-0.00446		0.00416		-0.00446		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		
-0.00446		0.00416		0.00416		
-0.00446		0.00416		-0.00446		
-0.00446		0.00416		-0.00446		
-0.00446		0.00416		-0.00446		
0.00416		0.00416		-0.00446		合計
0.00416		0.00416		-0.00446		-0.01919
-0.00446		-0.00446		-0.00446		
-0.00446		-0.00446		0.00416		平均
-0.00446		-0.00446		0.00416		-0.00027



合計：－0.01919Pa、平均：－0.00027Pa です。

押される場所と、引っ張られる場所が混在しているので、一方的に押しつぶされることはありません。時間がたっても、プラスマイナスが混在する状況は、あまり変化しません。

風車は、50ｃｍの幅全体が押されるのですが、神社の音では、各部分ごとに押したり引いたりすることになるので、全体としての影響は 1/100 程度になってしまいます。

風車の場合（特別な周波数の音が極端に強い）は圧迫感を感じても、神社の音のような性質を持っている（沢山の周波数成分を持っている）場合には、圧迫感は感じないのです。

風車音の下では、人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。人体に掛かる、物理的な圧力が周期的に変化するのです。

超低周波音の中でも、1Ｈｚのものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまいます。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音の最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、0.5～1Ｈｚあたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことも分ります。164 か所の計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。

これは、音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性がある事を意味しているのです。体内の気泡は、潜水病を同じですから、頭痛の原因になります。

“泡のエンジニアリング”　テクノシステム　を参考にすれば、

１１．音場中の気泡の成長

圧力一定のもとでは、不凝縮ガスが過飽和でない限り、気泡は消滅する。これに対して、音響場の中に置かれた気泡では不足飽和状態でも、不凝縮ガスの析出による気泡の成長が見られる。この現象が音響キャビテーション発生の原因となり、また、液体中の溶存ガス除去促進にも利用される。

気泡への不凝縮ガス析出量は式(5.5.55)

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_g\right) = 4\pi R^2 D_{gL} \frac{\partial \rho_{gL}}{\partial r}\Big|_W \qquad (2.5.55)$$

による。

液体中の濃度境界層厚さをδ_Dとすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

$$\dot{m}_g \propto R^2 \times (\rho_{gi0} - \rho_{giW}) / \delta_D \qquad (2.5.61)$$

となる。

これに踏まえて、図 2.5.6 に示す現象のメカニズムを説明する。

図　2.5.6

収縮時	平衡時	膨張時
$p_g > p_{g0}$	p_{g0}	$p_g < p_{g0}$
$R < R_0$	R_0	$R > R_0$
$\delta_D > \delta_{D0}$	δ_{D0}	$\delta_D < \delta_{D0}$

まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度ρ_{gLW}はヘンリーの法則

$$\rho_{gLW} = \alpha p_g \qquad (2.5.58)$$

にしたがって、収縮・膨張する圧力変動とともに、上昇・低下する。濃度が上昇する凝縮時には気泡内の不凝縮ガスが液体に溶解し、濃度が低下する膨張時にはガスは気泡へ析出する。

この際、気泡表面積は膨張時のほうが大きいため、**膨張・収縮の１サイクルで見るとわずかながら析出量**

が勝ると考えられる。

音波の振動数が大きな場合には、液体内に溶けているガスの拡散が起こらないので、気泡の成長は鈍る。

振動数が小さい場合は、膨張したときは、液体内のガスが気泡内に析出し、気泡の周囲のガスの濃度が減少する。収縮が始まる前に液体内に溶け込んでいるガスの拡散によって濃度が元に戻る。

収縮によって、気泡内のガスが周囲の溶液に溶け込む。周囲の液体内に溶けているガスの濃度があまり下がっていないので溶け込む量は少なくなる。

この過程を繰り返して、**低周波の場合のほうが気泡は成長する**と考えられる。

次に、表面近傍液体中の不凝縮ガス濃度境界層は、膨張時には薄く、収縮時には厚くなる。境界層の厚さが薄くなるにつれて、拡散による物質輸送が顕著になることを考えると、やはり、膨張による析出量が収縮による溶解量を上回ることになる。

となっています。

大型風車では、風車の回転数 R が小さくなって。0.5Hz 辺りでの音圧が最大となります。微小な気泡による頭痛や圧迫感などによる体調不良が増加すると予測されます。

超低周波音の中でも、1H z のものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまいます。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音の最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、0.5～1H z あたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことは、すでに確認しました。計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。

これは、音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性がある事を意味しているのです。体内の気泡は、潜水病を同じですから、頭痛の原因になります。

音響キャビテーション、潜水病については、要点を引用しておきました。

館山の風車での気圧変動について：

風車の近くでは0.4Pa、風車が無い場所では0.01Paの音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が40倍です。だから問題が起きるのです。

音圧は、風速で変化します。風車の近くで0.14Paの時もあります。

この部分は、音圧は高いのですが、ゆっくり変化するので、鼓膜を振動させて聴覚を刺激すると考えるよりは、体全体に掛かる圧力を変動させると考えるべきです。

音圧は実効値で0.4Pa、周波数が１Hzですから、0.5秒間に、2*0.4*√2＝1.13Paの変動となり、１秒当たり2.26Paの割合で変化します。

体に対する圧力変動の影響は、聴覚器官に対する影響とは性質が違うものです。

１．１　環境省との関連

町田氏は、秋田県で、講演をされました。その内容は、環境省の主張に沿ったものです。

風力発電施設における騒音及び超低周波音について

出典：ttps://www.nedo.go.jp/fuusha/haikei.html

日本大学　町田 信夫

令和元年12月26日（木）

秋田県 再エネ海域利用法に基づく協議会

・能代市，三種町，男鹿市沖
・由利本荘市沖

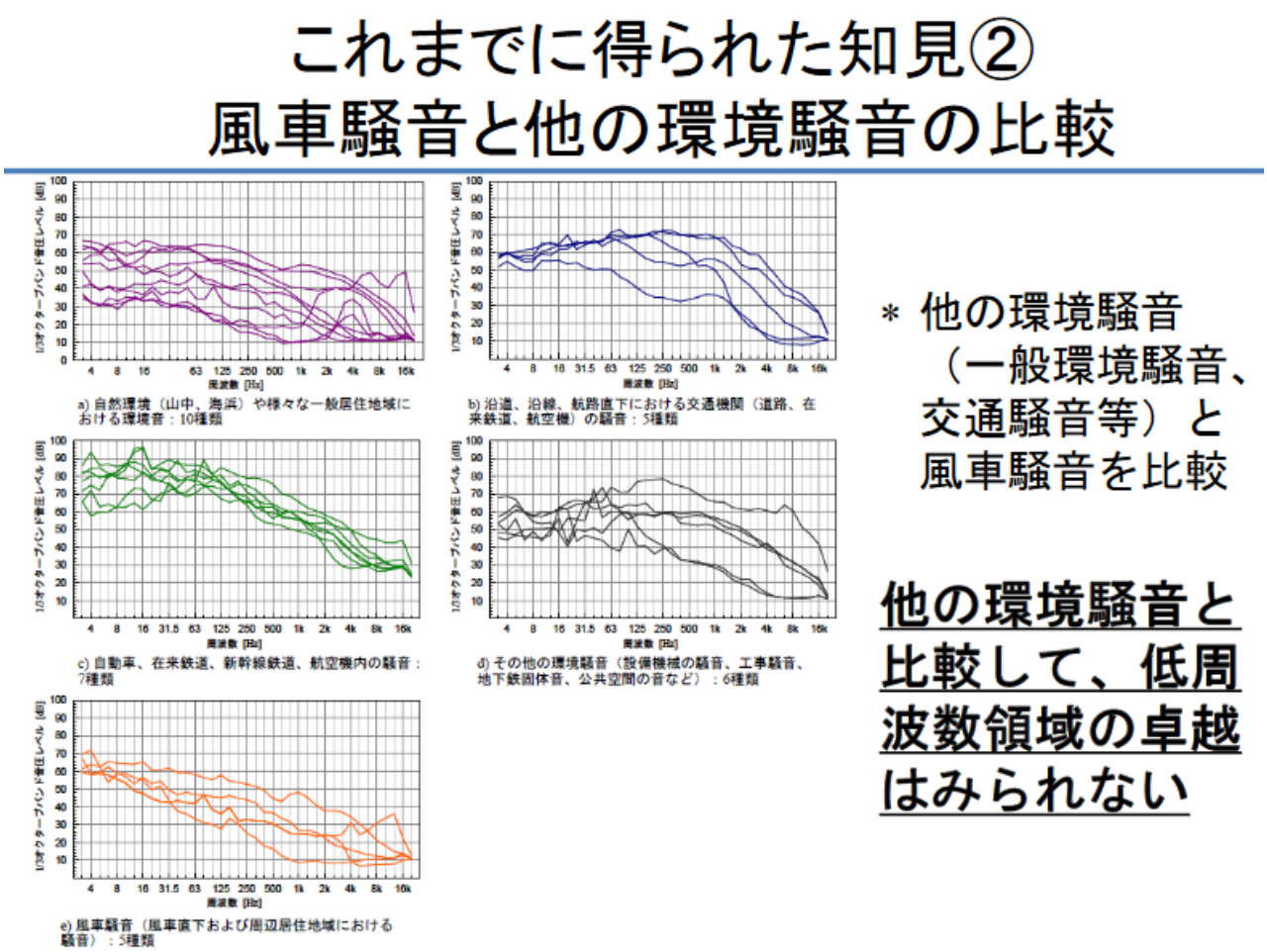
環境省は、”平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を取りまとめました。今般、同報告書を踏まえ、風力発電施設から発生する騒音等について、当面の指針を別紙のとおり定めた“　と言っています。

この検討会の座長が町田氏であり、報告書を纏めた町田氏自身の考えが環境省の判断となったので、この講演会では、（環境省の主張＝町田氏自身の主張）が述べられていると考えるべきでしょう。

検討会で利用された資料で検討会の結論に大きな影響を与えたのは、
“課題名 S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”の S2-11-99 ページ、にあるグラフですが、不思議なことにこのグラフには番号が無い。

検討会の結果の概要である、
風力発電施設から発生する騒音等への対応について（概要資料）
では、この番号の無いものを使って、右側に
“他の環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない”
とのコメントを付けています。

風力発電施設から発生する騒音等への対応について（概要資料）のグラフは下のものです。



（この図８が次の主張の根拠です。）
検討会報告書の 15 ページには、次のように記載されています。

２）発生する音の特徴・性質
風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、２－１．で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は**図 8** に示すとおりであり、**他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。**

と書いてあります。

“20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、**20～100Hz を「低周波音」**（low frequency noise）”
“20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」” という言葉の使い方に注意しながら、確認しましょう。

高校 1 年で習うグラフに関する基礎知識として、定義域、最大値、最小値、増加、減少などがあります。〈数 I〉の教材に次のものがあります。

数 I ＞ 第 2 章 2 次関数 ＞ 第 2 節 2 次関数の値と変化 ＞ 第 1 講：2 次関数の最大・最小

3　2 次関数の定義域と最大・最小（関数に変数を含む）　日付（　　月　　日　　曜日）
名前（　　）

定義域があるときの最大値・最小値

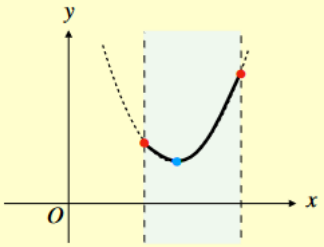
（Step 1）（　　）をする

$y = ax^2 + bx + c \Rightarrow y = a(x-p)^2 + q$

（Step 2）グラフをかく

（Step 3）（　　）と（　　）の端を確認する

【$y = a(x-p)^2 + q$ の最大・最小】



例題

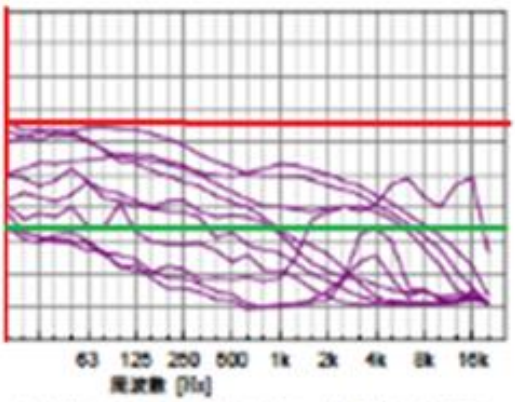
関数 $y = 2x^2 + 4x + c$ $(-2 \leqq x \leqq 1)$ の最大値 7 であるとき，定数 c の値を定めなさい。

解

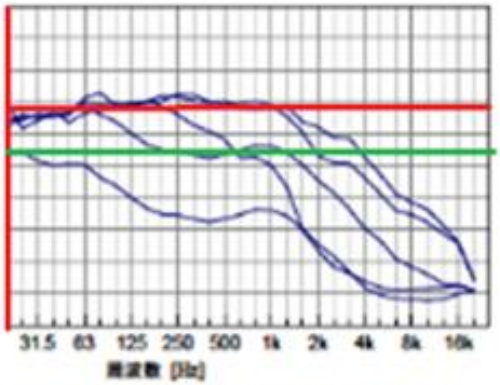
検討会の参加者は、このような高等学校＜数学 I ＞の知識を持っていて、グラフの形式に関する検討をすれば、良かったのです。騒音（20Hz 以上）との言葉による定義域と、提示されたグラフの定義域（4H z 以上）の違いは、グラフの基礎を全く理解していないことを意味しています。

騒音が 20Hz 以下の超低周波音（0Hz～20Hz）を含まないことに注意すれば、扱うグラフは騒音（20Hz 以上）の定義に従って、グラフの定義域を 20Hz 以上に限定する必要があります。

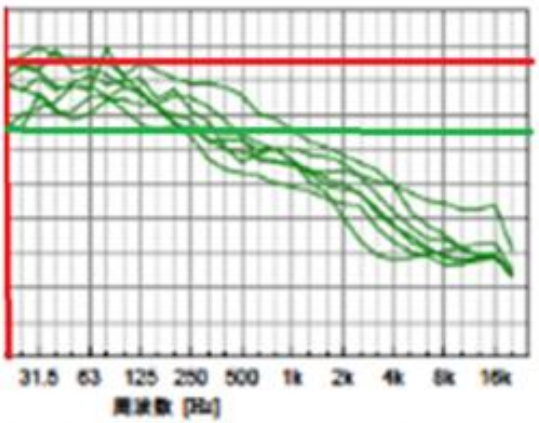
この定義域内で風車騒音（20Hz 以上）、環境騒音（20Hz 以上）グラフを比べれば、次のようになります。



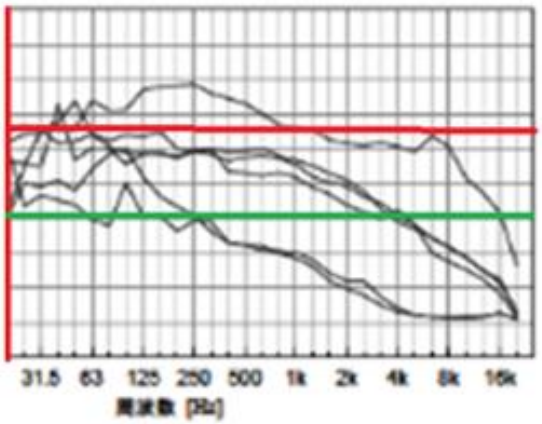
（山中、海浜）や様々な一般居住地域に
音：10種類



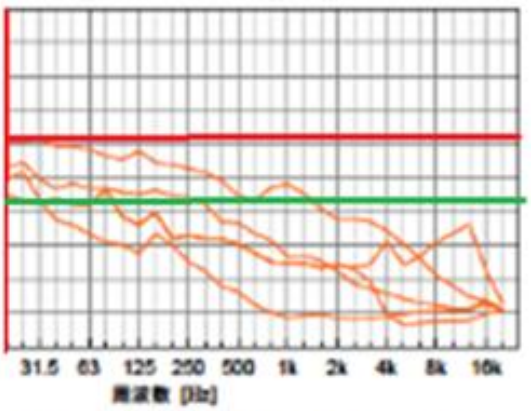
航路直下における交通機関（道路、在
）の騒音：5種類



在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：



境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、
、公共空間の音など）：6種類



風車直下および周辺居住地域における

修正した図 8

風車騒音（20Hz 以上）と一般騒音（20Hz 以上）の違いは見つかりません。

また、次の表から、A特性音圧レベル（20Hz～）の平均を計算すれば風車の場合が最も小さな値となっている。事が分かります。

表 2　様々な騒音の種類と騒音レベル

騒音の種類	No.	内容	$L_{Aeq,10s}$ [dB]
(a) 一般環境騒音	1	静かな森林の中の環境音	31
	2	松林の中の風の音	61
	3	海岸部の環境音（1）	61
	4	海岸部の環境音（2）	54
	5	都市部の住宅地域の環境音	43
	6	郊外の住宅地域の環境音（1）	32
	7	郊外の住宅地の環境音（2）	38
	8	工業地帯の環境音	49
	9	夏のセミの鳴声	54
	10	秋の虫の鳴声	38
(b) 交通騒音	11	在来鉄道騒音	76
	12	道路交通騒音（距離：22 m）	76
	13	道路交通騒音（距離：85 m）	63
	14	道路交通騒音（距離：85 m，建物内部）	43
	15	航空機騒音	65
(c) 乗物の中の騒音	16	ジェット旅客機客席（1）	73
	17	ジェット旅客機客席（2）	81
	18	新幹線車内	68
	19	新幹線車内（トンネル通過時）	71
	20	在来鉄道車内	70
	21	在来鉄道車内（鉄橋通過時）	70
	22	乗用車室内（高速道路走行中）	72
(d) 種々の騒音	23	空調騒音（1）	40
	24	空調騒音（2）	61
	25	空調騒音（3）	66
	26	地下鉄からの固体伝搬音	45
	27	鉄道駅のコンコース	64
	28	建設工事騒音（コンクリート破砕機）	79
(e) 風車騒音	29	風車騒音（風車近傍）	56
	30	風車騒音（住宅地域：屋外）	43
	31	風車騒音（住宅地域：室内）	27
	32	風車騒音（虫の鳴声が混入）	41
	33	風車騒音（虫の鳴声をカット）	37

※表 2 中の No. は、図 8 中の騒音の種類を示す番号に対応する。

騒音（20Hz 以上）について議論しているのに、掲載されているグラフの定義域は 4Hz からになっています。

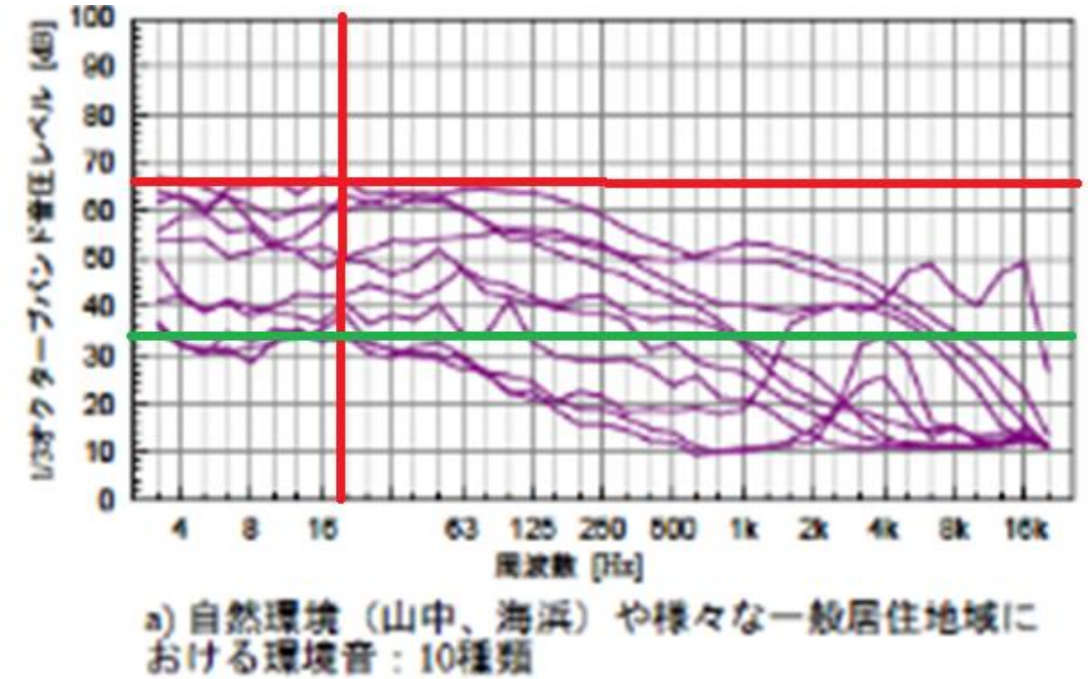
“他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。”

4Hz からのグラフを見ながら、“**低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない**”との文章をみれば、“**低い周波数成分の騒音**”が 4Hz も含むかのように錯覚します。低周波領域は“20～100Hz”であり、“**低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない**”が、4Hz を含む“超低周波音”の領域まで含めて考えれば、風車音は他の環境騒音に比べて卓越した音圧を持っていることが分ります。

定義域を変更すれば、グラフも違ってくるし、上の表の値もグラフの定義域に合わせて変更する必要があります。4Hz からのグラフでは、20Hz 以下の騒音に関しても検討しているかのような誤解を生みます。

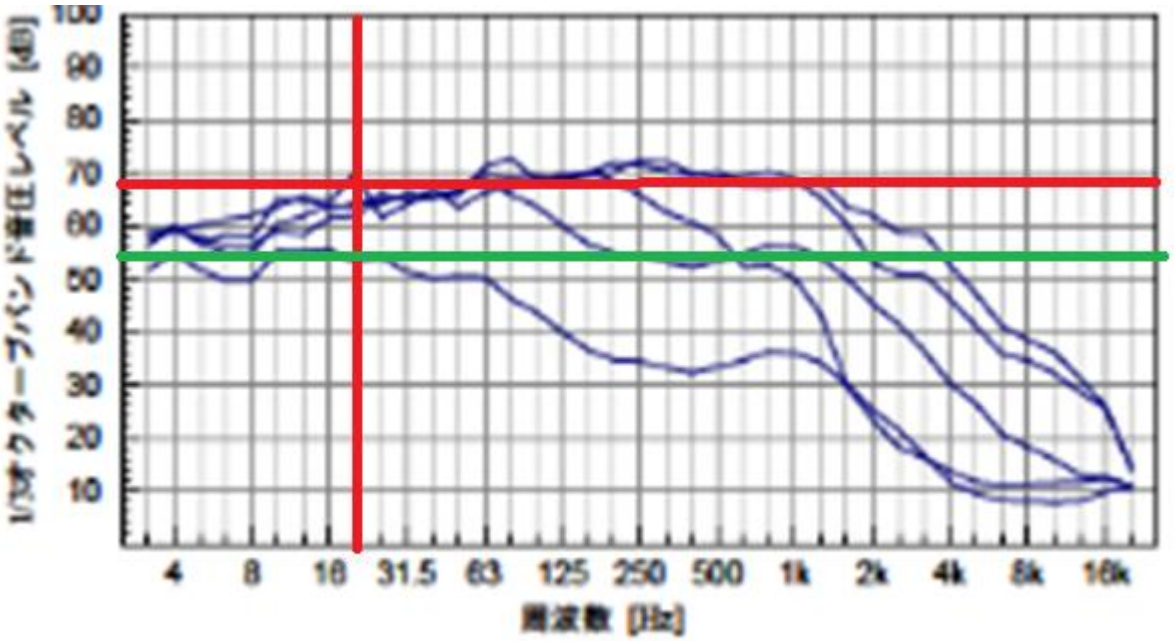
定義域を 4Hz からにして議論すれば次の様になります。
20Hz 辺りに縦線、それとグラフとの交点を通る水平線を引けば、低周波領域（4Hz～20Hz を含む）での特徴が分かります。低周波領域（4Hz～20Hz を含む）に着目すれば次の様になります。

4Hz から 20Hz ではグラフは水平。



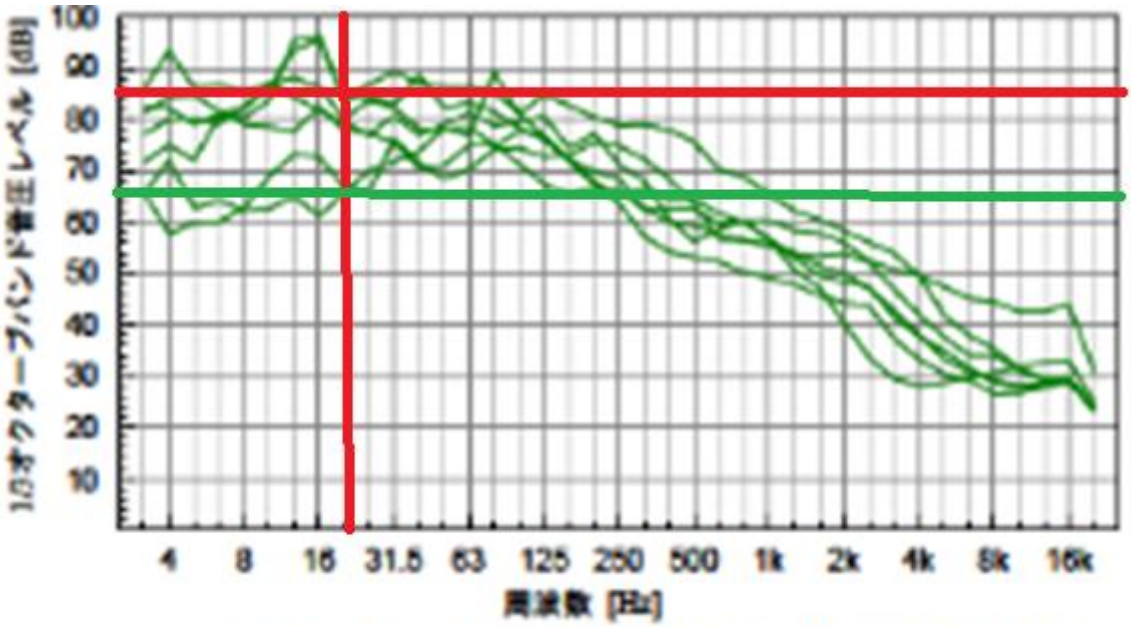
a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類

周波数が低くなるとグラフは下がる。



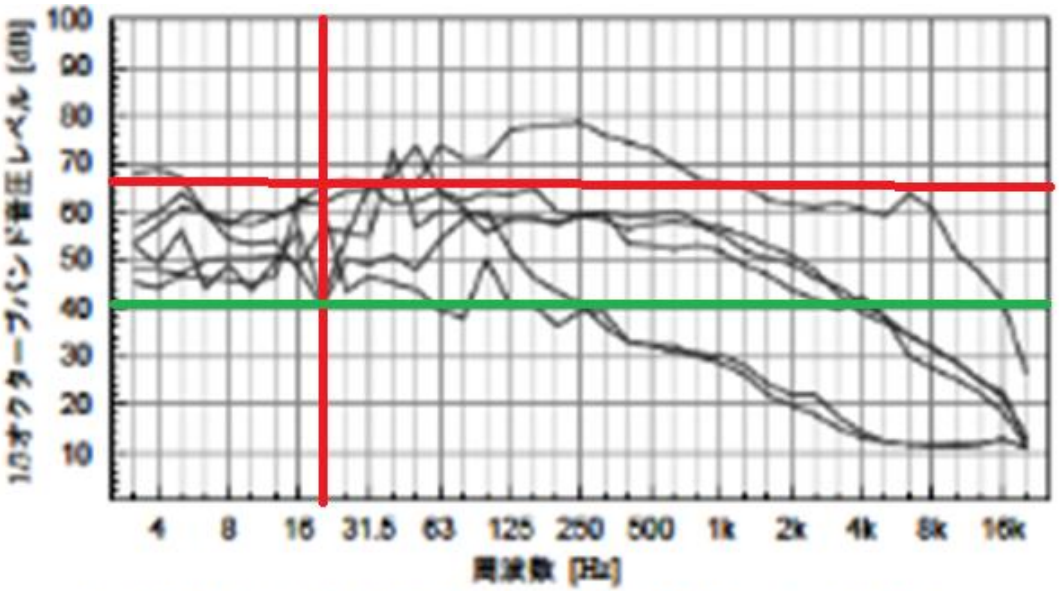
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類

水平に近いが、周波数が低くなるとグラフはやや下がる。



c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類

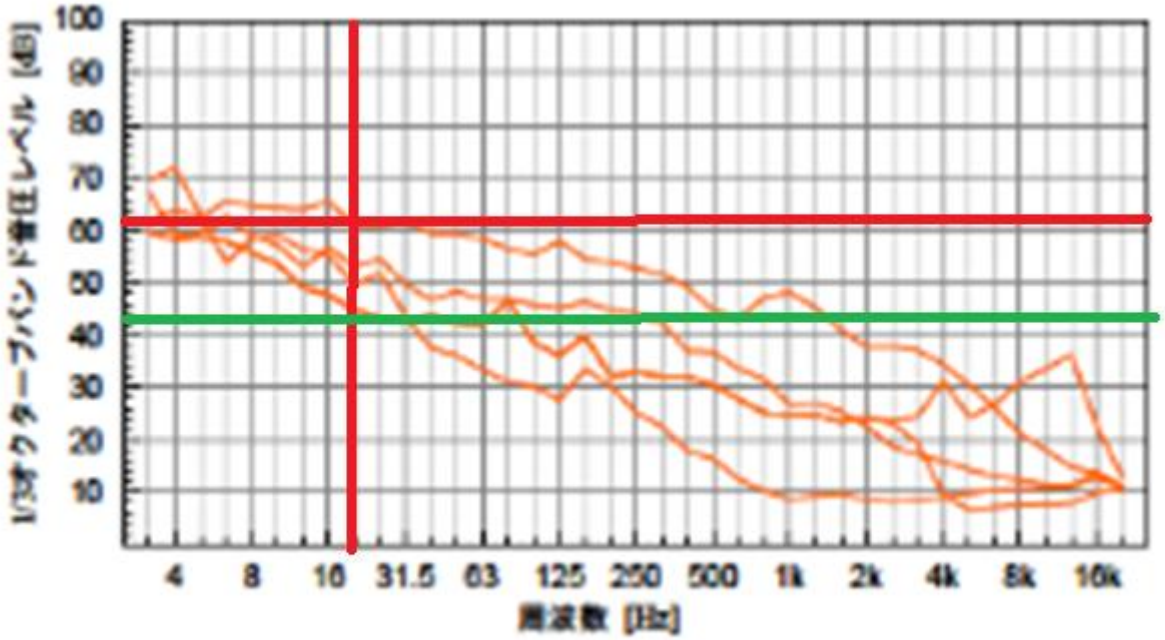
4Hz から 20Hz ではほぼ水平。



d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

さて、風車騒音のグラフは、異質です。　風車騒音のグラフでは、周波数が下がるにつれて音圧が上昇しているのです。

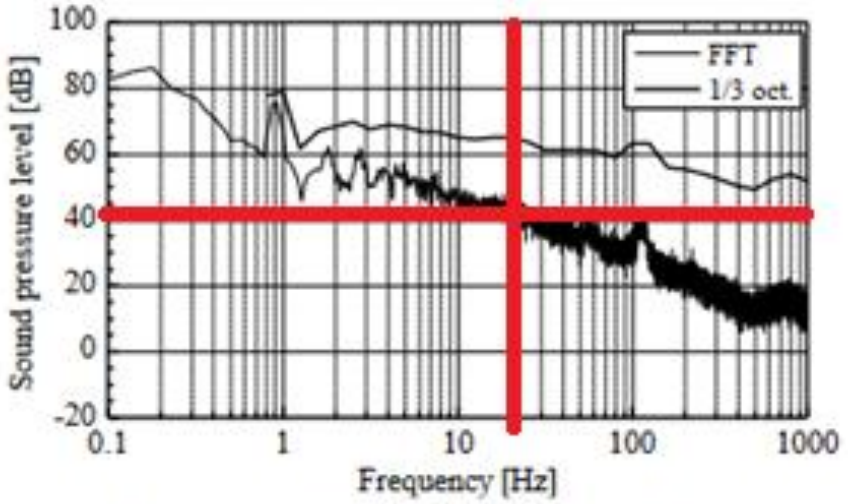


e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類

これらの比較から、他の騒音と異なり、風車騒音は、4Hz から 20Hz の間で、周波数が低くなると音圧レベルが上昇する、特徴を持っていることが分かります。この傾向は、10Hz 前後で同じ傾向を持っているので、10Ｈｚ以下を風雑音だとするのには無理があります。

風の様子は、激しく変化します。音圧レベルが連速的に変化している事と、風の激しい変化との釣り合いが取れません。したがって、10Hｚ以下も風車音だと考えるべきです。

前に示したグラフでも、全体としての連続性は、風雑音説とは折り合いが付きません。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル

さらに、騒音（0Hz 以上）の特徴が分かるグラフを避けて、最も違いを隠蔽しやすいグラフを選んだようにも見えます。

超低周波音領域と可聴音の領域でのエネルギーの分布や、音圧が最大となる周波数などの点に注目すれば、風車騒音（0Hz以上）が異質のものであり、A特性音圧レベル（20Hz～）で評価すると、エネルギーの93%を見失う事になることが分かります。A特性音圧レベル（20Hz～）では、風車騒音（0Hz以上）の特性は理解できません。

１．２　一般的な環境騒音と風車音の違い

NL-62 には、波形収録機能があります。これは、

“● 概要

本器に、波形収録プログラム NX-42WR をインストールすると、音圧波形を PCM 形式の WAVE ファイルとしてストアデータと共に SD カードに記録 (録音)することができます。

記録した WAVE ファイルは、PC 上でストア時の音圧波形を再生、確認することや再分析することが可能となります。“

というものです。

サンプリングレートを 48ｋHz として、60 秒あるいは 120 秒の計測データを作り、これを使って、FFT の計算をすれば、フーリエ級数で、音圧の変化を表現できます。周波数分解能は 60 秒だと 0.01667Hｚ、120 秒だと 0.00833Hｚとなり、最大周波数は 24ｋHｚです。これを使って、交通騒音、工場騒音、風車騒音の特徴を比較する事が可能になります。0Hｚ～24ｋHｚの範囲でのエネルギー分布もすぐに分かります。勿論、ISO7196 に従って、中心周波数 0.25Hｚ～315Hｚでの 1/3 オクターブ解析も可能です。

風車音の特徴を、他の環境騒音と比べてみます。

交通騒音や工場の騒音と、風車音ではその性格が全く異なります。次の図１，２，３を見れば、風車音は0.8Hzの辺りに集中している音であり、工場音や風車音のような広帯域の音ではないのです。

図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

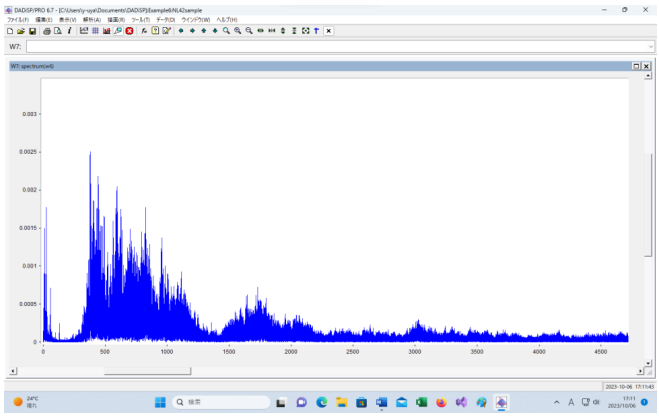


図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz

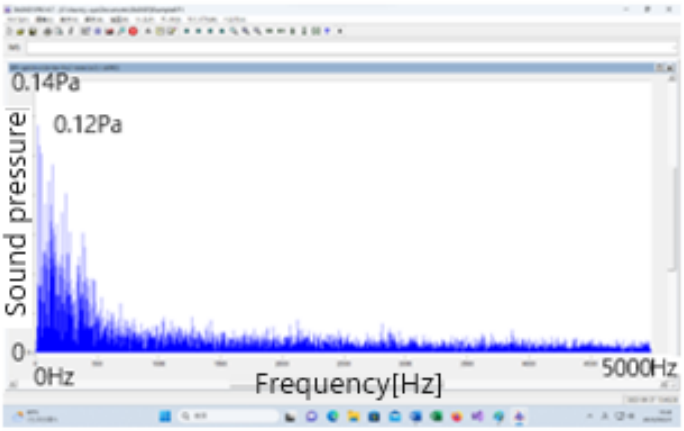


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

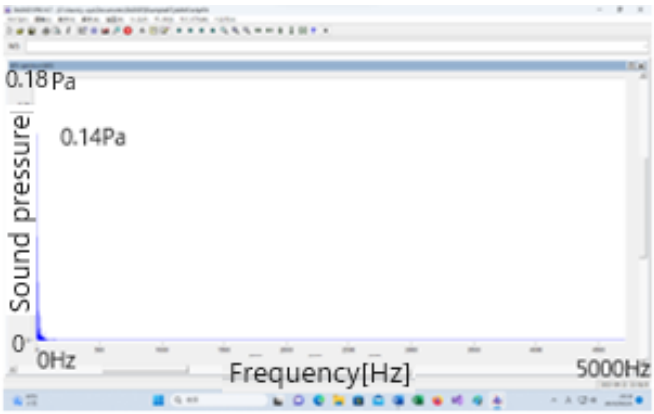


表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

表２を見れば分かりますが．A特性音圧レベル（20Hz以上）での評価は、風車音のエネルギーの93%を無視して、他の環境騒音と比べることになるのです。

エネルギー（W/m2）の比較です。

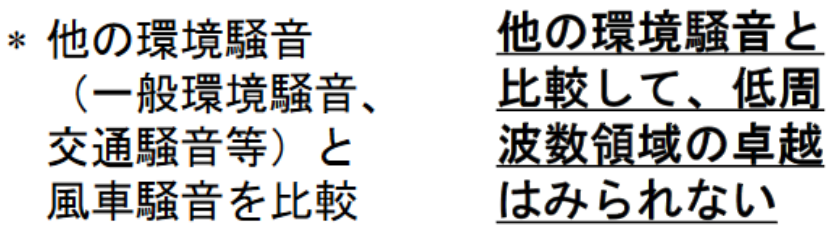
周波数帯	0～20Hz	20～200Hz	200～24ｋHz	0～24ｋHz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m2
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m2
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m2
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m2
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m2

１．３　用語の確認

風車関連の住民説明会では、風車から出る音に関して、超低周波音、低周波音、騒音、音圧、音圧レベルなどの言葉が出てきます。

言葉の意味が、日頃の常識とは異なりますので、それらの意味を確認します。

例えば、次の“低周波数領域”ですが。



周波数が 5Hz とか 10Hz は周波数が 100Hz よりも低いので、“低周波数領域”に、5Hz とか 10Hz の音が含まれるように考えてしまいますが、そうではないのです。これらは、“低周波数領域”には含まれないのです。

その理由は、報告書の記載

“(注)「超低周波音」についての補足

我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議）規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」(infrasound)、20～100Hz を「低周波音」(low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第 0 部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む)」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音)」と規定しており、「低周波音」という用語を用いないこととされた。

これらの状況を踏まえ、本報告書では、20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」と表記する。”

とあります。

20Hz 以下を「超低周波音」(infrasound)、20～100Hz を「低周波音」としているのですから、“低周波数領域”（20～100Hz）には、5Hz とか 10Hz の音が含まれないのです。これらは、“超低周波音”の領域に入るのです。

このような表現が、１時間や２時間ほど住民説明会で業者の話を聞いても、話の内容を住民が理解できない事の最大の要因です。

低周波音を 20Hz～100H z の範囲の音として使えば、低周波音の領域では、風車音のエネルギーは極めて低く、他の環境騒音の方が、A 特性音圧レベルの値が高くなるのです。

もちろん、超低周波音の領域では逆になります。この事は、G 特性音圧レベルの値が大きくなることとは少し意味が違います。

“他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。”

を見ると、“低い低周波成分”の意味が、0～20Hz の超低周波音を含んでいるかのように誤解しますが、“低周波音”とか、“騒音”と言った場合は、“20Hz 以上の周波数”という条件が付くのです。

“他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではないが、0～20Hz の超低周波音の領域では風車音の成分は卓越している。”

と書き直す必要があります。

さらに、次のことも確認しておきます。(検討会の議事録の記載)

“それから、同じページの 5 番目でございますが、「低周波音」を「騒音」、「被害」を「苦情」というのは、問題の過小評価ではないのか。こちらも 13 件のご意見をいただいております。考え方のほうですが、「低周波音」という用語自体は、概ね 100 ヘルツ以下の音として定義されて用いられておりますけれども、国際的には定まった定義はないと。一方で、IEC や JIS においては、20 ヘルツ以下を「超低周波音」、それから 20～100 ヘルツを「低周波音」というふうにしております。それから、環境影響評価法においては、主務省令において 20 ヘルツ以上の音、20～100 ヘルツまでの音を含む領域を「騒音」、それから 20 ヘルツ以下の音を「超低周波音」というふうに規定をしているという状況を踏まえまして、今回の本報告書（案）におきましては、20 ヘルツ以下の音を「超低周波音」、それ以外の音を「騒音」としているところでございます。後段の「被害」を「苦情」というのは問題の過小評価ではないのかというご意見に関しましては、環境省で把握をしているものについては、地方公共団体が受理をした苦情の状況であって、全てほかに被害等を訴えられている状況を把握しているというものではないので「苦情」という言葉を使用しているというご説明をさせていただいています。”

さらに、“超低周波音”に関しては、超低周波音（0Hz～20Hz)、超低周波音（1Hz～20Hz)、超低周波音（0.25～315Hz）の意味を区別しなくてはなりません。

報告書の中で、“20Hz 以下を「超低周波音」(infrasound)”と書いてあるが、これは誤解を生みます。

電力中央研究所から、電力中央研究所報告が出ています。

このなかに、“超低周波音とは ISO7196 の中で定義されている 1～20Hz の音波”と書かれている部分がある。

ISO7196 の原文を確認してみた。

3 Definitions

For the purpose of this International Standard. The following definitions apply.

3.1 infrasound: Sound of noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz.

となっている。

“infrasound”は、“1～20Hz の音波”ではなくて、“周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域に入っている音”と定義されています。

この定義では、1Hz から 20Hz の帯域には収まらない周波数成分があっても超低周波音なのです。

ISO7196 では、1Hz から 20Hz の帯域からはみ出す場合についての準備もしてある。ISO7196 では、1/3 オクターブ解析での中心周波数は、0.25Hz から 315Hz になっている。

風車の大型化によって、風車音の音圧がピークとなる周波数が 0.8Hz や 0.54Hz になる状況においては、誤訳と言わなくてはなりません。

この定義での infrasound を、超低周波音（0.25～315Hz）と表記します。エネルギーの分布を考えれば、風車騒音（20Hz 以上）と言う表記よりは、風車超低周波音（0Hz～20Hz）と書く方が実態を表します。

超低周波音（0Hz～20Hz)、超低周波音（1Hz～20Hz）のように、周波範囲を示す表現にしてあります。

超低周波音（0Hz～20Hz)、超低周波音（1Hz～20Hz)、超低周波音（0.25～315Hz）として区別する必要性は、次の理由です。

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

上の表は、超低周波音の中でのエネルギー分布を表します。工場内の音では、0～1Hz の成分は、超低周波音のエネルギーの 0.04%を占めていますが、風車音では、0～1Hz の成分は、超低周波音のエネルギーの 61.3%を占めています。

エネルギー分布	0～20Hz	20Hz以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

93*0.613＝57 ですから、風車音のエネルギーの 57%は 0～1Hz の辺りに集まっているのです。

風車が大型化すると、0.5Hz 辺りにエネルギーが集中します。超低周波音（1Hz～20Hz）としたのでは、風車音の影響を正しく評価することは出来ないのです。

次に、騒音についてですが、

“本報告書では、20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」と表記する。”

とあるので、騒音と書いたら、騒音（20Hz～100Hz）または、騒音（20Hz 以上）を意味することになります。(騒音を 20Hz 以上の周波数と持つ音の集合として定義すればその集合は 20Hz から 100Hz までの周波数の音を含むことになります。)

風車から出る音の全体を含めて風車騒音と言う言葉を使う事もあるので、その場合は、風車騒音（0Hz 以上）と表記することにします。

“風車音”と書いた場合は、風車から出るすべての周波数の音を意味します。

低周波音については、

低周波音（0 Hz～100 Hz)、低周波音（1Hz～80Hz)、低周波音（20Hz～100Hz）の 3 種類の表現で区別することにします。

この用語を使って、

“他の環境騒音と比較して、低周波領域の卓越はみられない”
“風力発電施設から発生する音には低周波音も含まれますが、他の環境騒音（交通騒音等）と比べて特に大きいわけではありません。”

との主張を考えてみれば、

“他の環境騒音（20Hz 以上）と比較して、（20Hz～100Hz に限定した場合の）低周波領域の卓越はみられない”

“風力発電施設から発生する音には、（20Hz～100Hz に限定した場合の）低周波音や超低周波音（0Hz～20Hz）を含めた意味での低周波音（0 Hz～100 Hz）も含まれますが、他の環境騒音（20Hz 以上）（交通騒音（20Hz 以上）等）と比べて 20Hz 以上の周波数の領域で比較する限りに於いては、特に大きいわけではありません。”

となります。

詳しく書けば、

“風力発電施設から発生する音には、低周波騒音（20Hz 以上）の他に超低周波音（0Hz～20Hz）が含まれます。20Hz 以上の周波数に限定して考えると、他の環境騒音（20Hz 以上）（交通騒音（20Hz 以上）等）と比べて、特に大きいわけではありません。
風車騒音（0Hz 以上）の場合は、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分がエネルギーの 93%を占めています。残り 7%が 20Hz 以上の周波数成分のエネルギーです。
交通騒音（0Hz 以上）の場合は、超低周波音（0Hz～20Hz）の占めるエネルギーは 1%程度です。残り 99%のエネルギーは 20Hz 以上の周波数領域に含まれます。
風車音のエネルギーの 7%と交通騒音のエネルギーの 99%を比較した時に、ほぼ同じような状態でと言えますが、残りのエネルギーを考慮した場合には、日本家屋の固有振動数である 1Hz の辺りでは、風車音の音圧は、交通騒音の音圧の 10 倍～100 倍程度であり、エネルギーとしては 100 倍～10000 倍程度になっています。従って、全体のエネルギーや、音圧の変動、家屋の共振、建具の共振や、防音対策を考えたときには、極めて大きな違いがあるのです。”

となります。

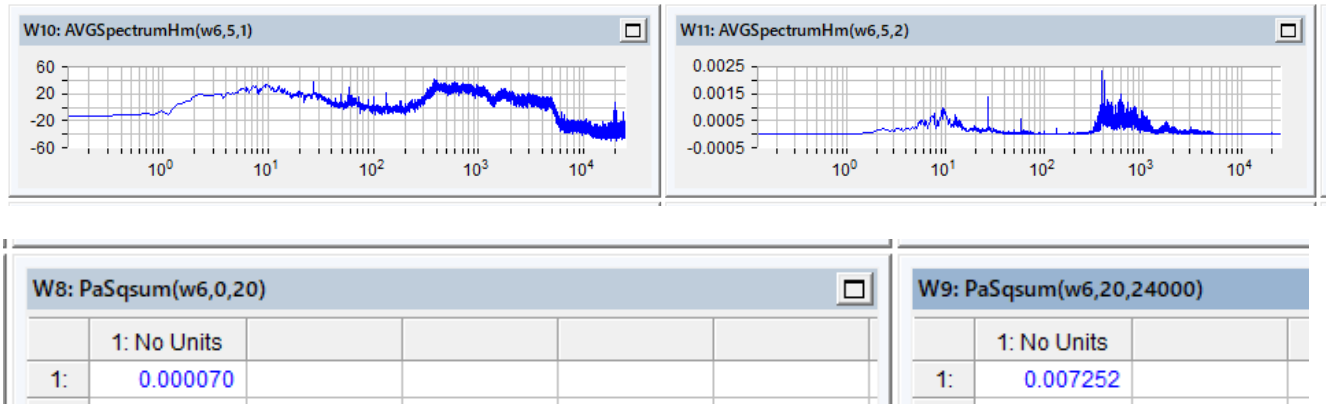
音源から出る音の性質を調べるときに、グラフの定義域を制限することは可能ですが、私たちは、音源から出てくる音を 20Hz 以上の周波数の物だけに限定することは出来ません。
実際には、強烈な超低周波音（0Hz～20Hz）が出てくるのだから、実際に出てくる音の全体を考慮しなくてはなりません。

１．４　発生する音の特徴・性質

発生する音の特徴と言う題名です。超低周波音（0Hz-20Hz）も発生するのですから、その部分を除外してはいけません。騒音（0Hz 以上）との観点で記述します。

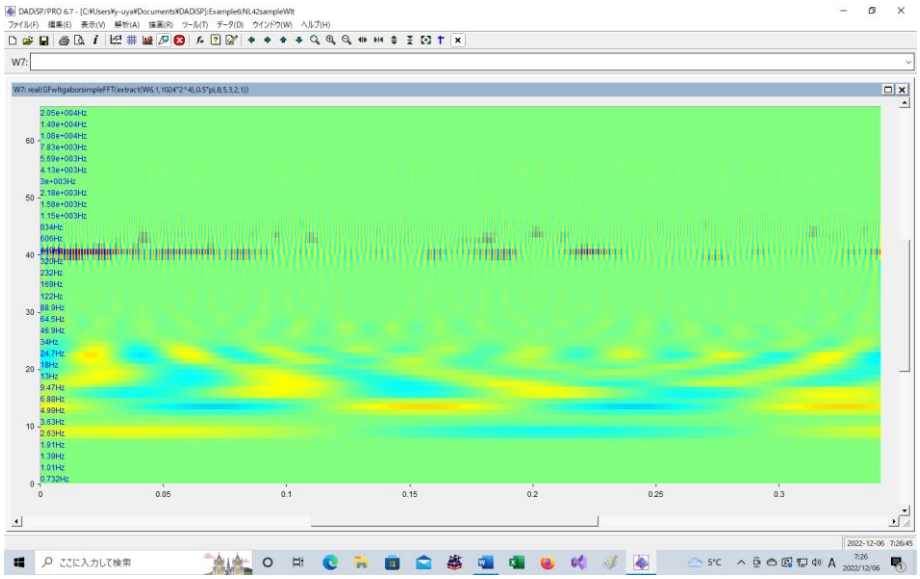
交通騒音（0Hz 以上）、工場騒音（0Hz 以上）、風車騒音（0Hz 以上）について、これらの騒音（0Hz 以上）の特徴を 0Hz からの周波数範囲で比較すれば、次のようになります。

自動車の騒音（0Hz 以上）では（20Hz 以下の成分は弱く、300Hz～1000Hz 辺りの成分が強い。）
最大の音圧レベルは 40ｄB 程度



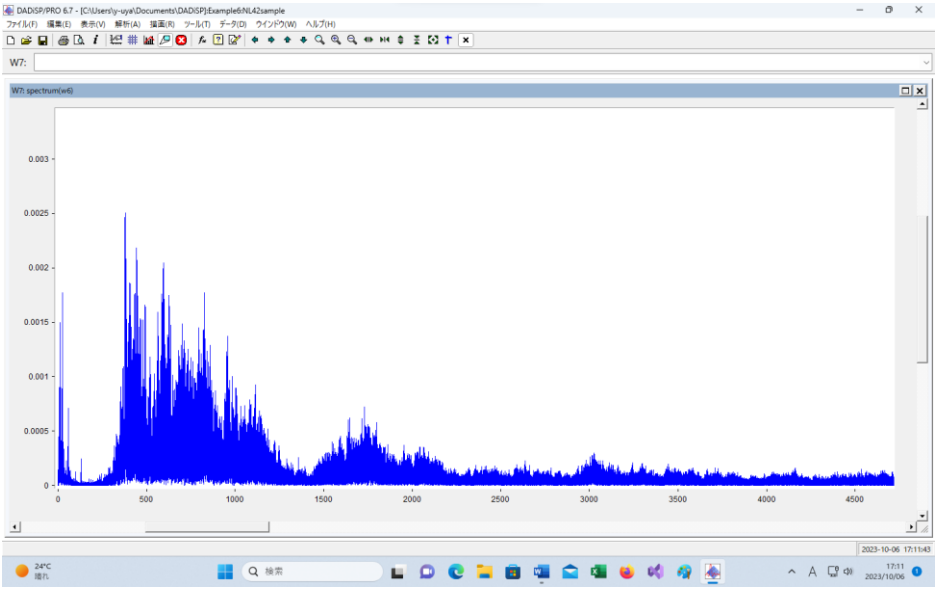
このデータは、リオン社前の道路騒音を計測したものです。
上の左のグラフはデシベル値での表示、上の右側は、パスカル値での表示です。
下の 2 つの数値は、エネルギーの比率を計算するための数値です。
20Hz以下では、0.000070（1%）、20Hz以上では、0.007252（99%）ですから、
道路での交通騒音（0Hz 以上）では、
超低周波部分のエネルギーは、20Hz以上の成分のエネルギーの 1/100 以下です。
この場合は、20Hz 以下の部分を省略しても問題はない。

Wavelet 解析の結果は次のグラフです。



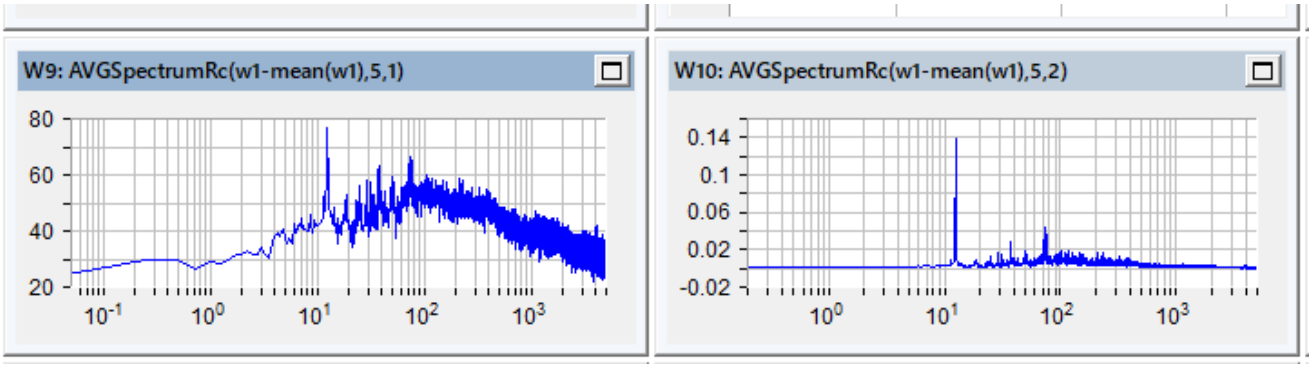
これを見ると、車の通る様子（440Hz 辺りの音）も分かります。

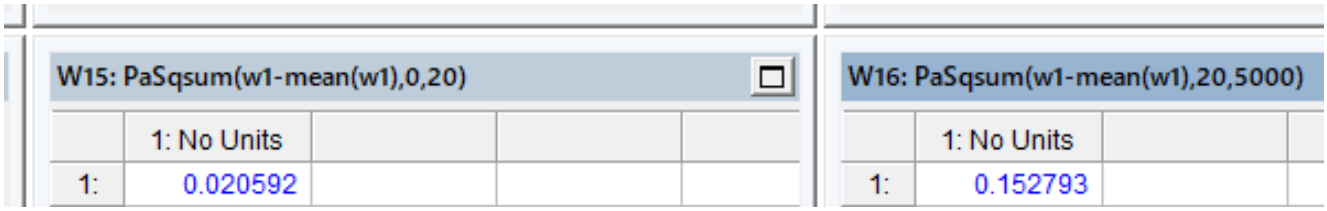
単純に周波数スペクトルを計算すれば、次のグラフになります。



ピーク値は、382.3Hz の時の値で、0.0025 パスカルです。
主に、500Hz 以下の音が出ている事が分かります。これだけ周波数が高ければ、防音窓で防げます。

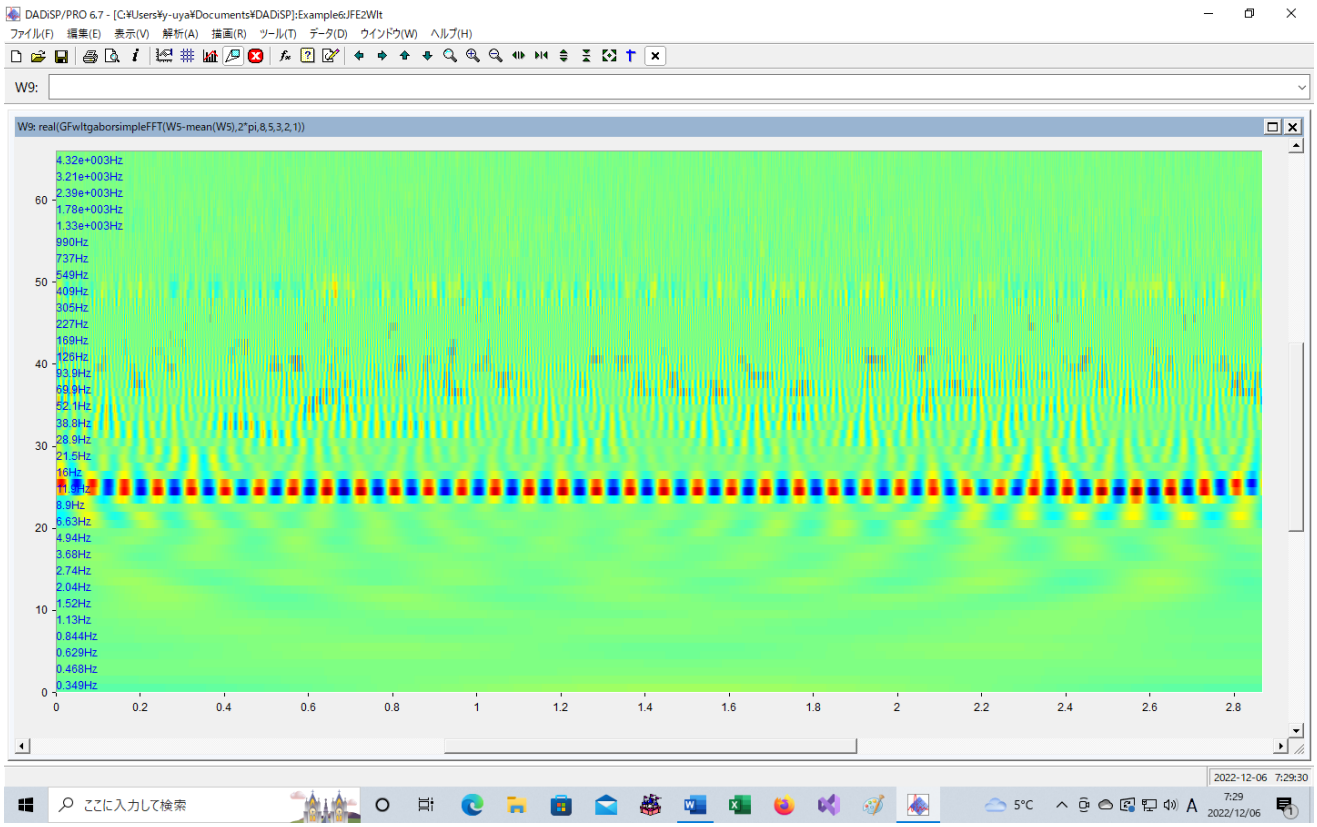
工場の騒音（10Hz のあたりに極めて強い成分があり、50Hz から 500Hz 辺の成分も目立つ。）





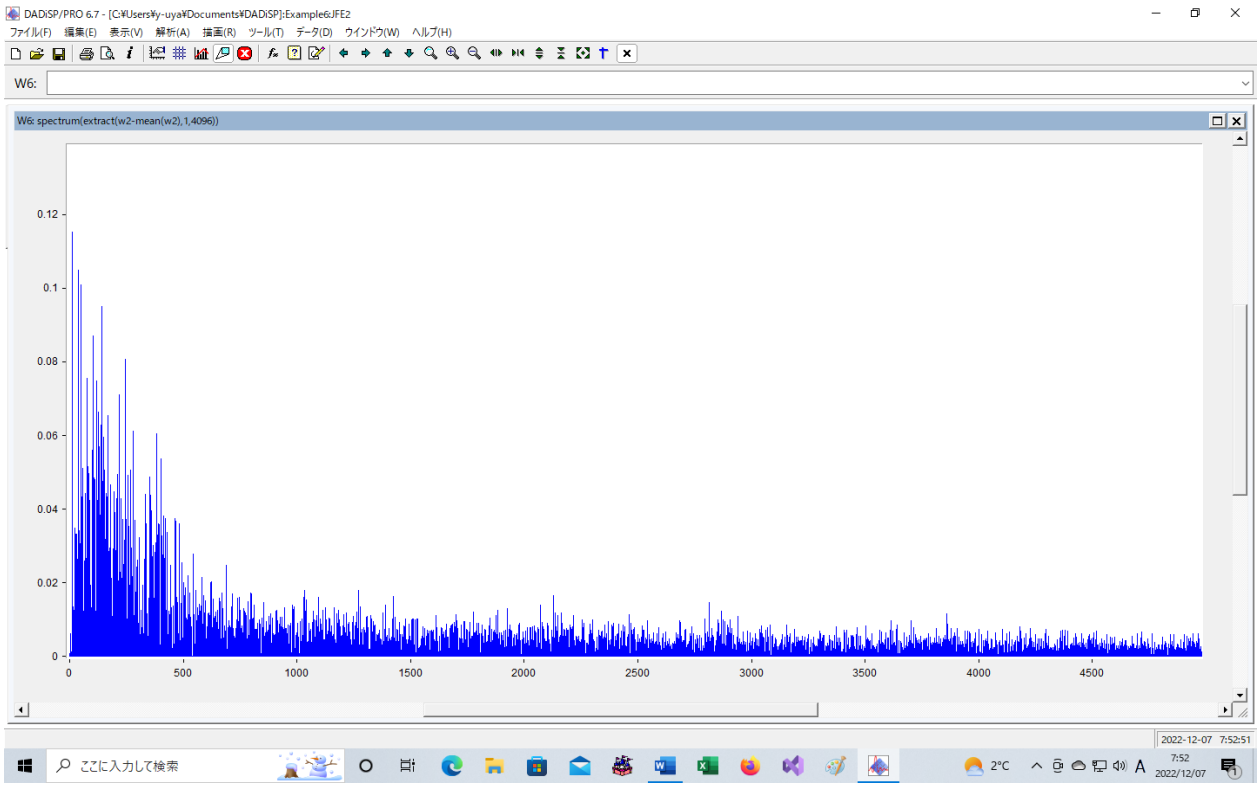
これは、JFEの工場での騒音です。鉄鉱石を篩にかけて大きさを揃える工程での騒音です。
最大の音圧レベルは 78dB 程度であり、かなり煩いことが分かります。
下の 2 つの数値は、20Hz以下では、0.020592(12%)、20Hz以上では、0.152793(88%)ですから、
超低周波部分のエネルギーは、20Hz以上の成分のエネルギーの 0.135 倍です。（14/100 くらい）
この例でも、音のエネルギーの大半を 20Hz 以上の成分が持っています。

Wavelet 解析のグラフは次の図です。



周波数 11Hzの強い音が出ている事が分かります。

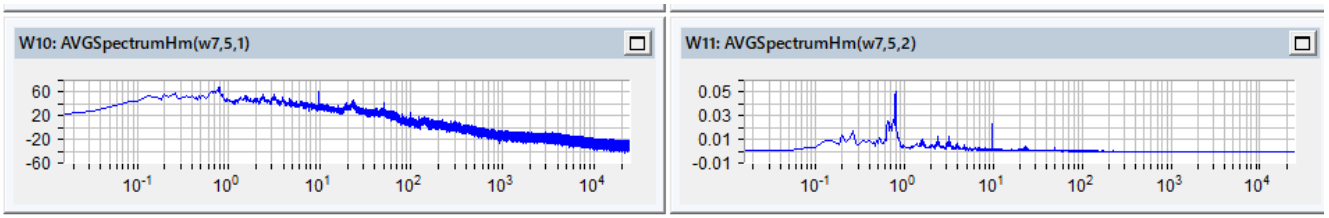
単純に周波数スペクトルを計算すれば、次のグラフになります。



ピーク値は、12.2Hz の時です。

様々な周波数の音が発生している事が見て取れます。広帯域の音です。

風車の騒音（20Hz 以下の成分が強く、100Hz 以上の成分は弱い。）70dB 程度



W13: PaSqsum(w7,0,20)

	1: No Units
1:	0.082813
2:	

W14: PaSqsum(w7,20,25000)

	1: No Units
1:	0.005817
2:	

これは、千葉県館山市にある風車の騒音（0Hz 以上）です。

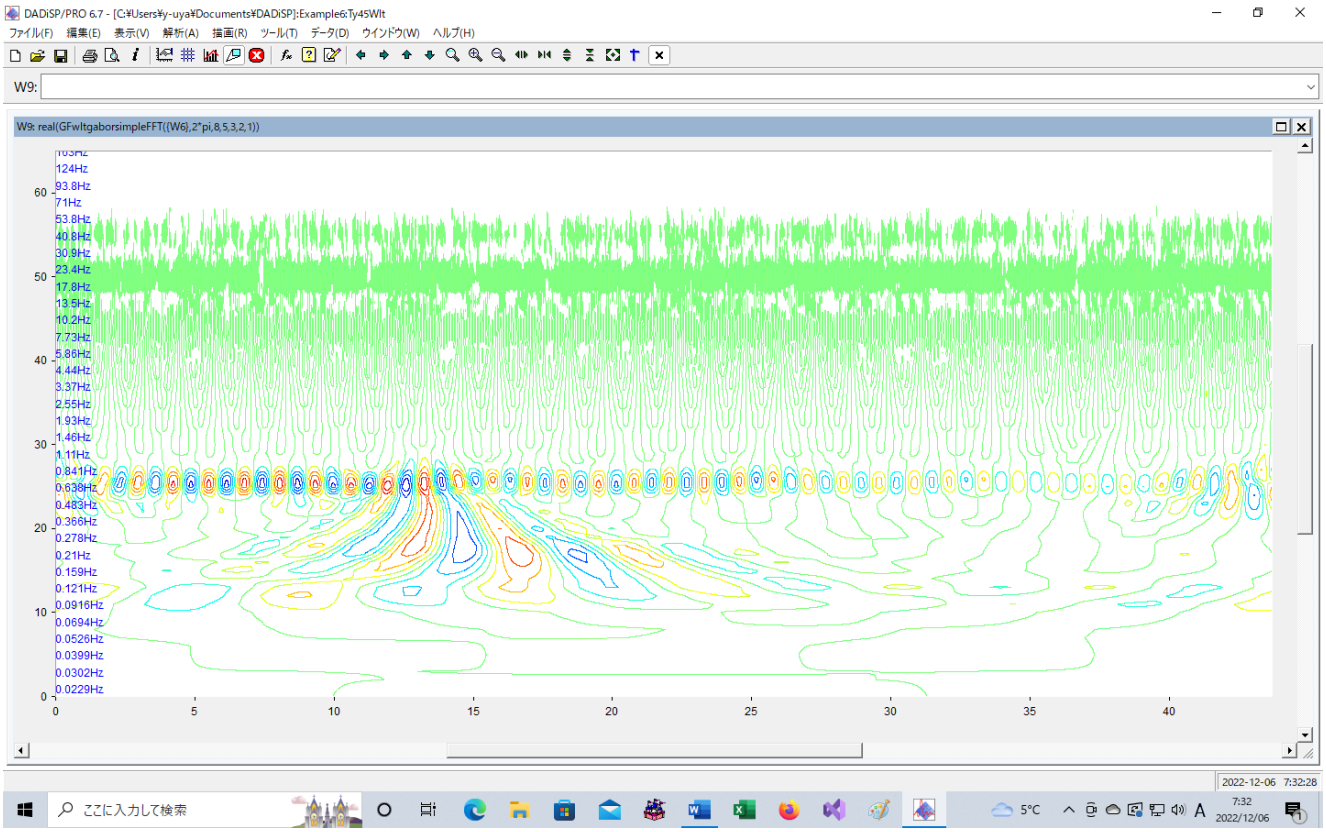
下の 2 つの数値は、20Hz以下では、0.082813(93%)、20Hz以上では、0.005817(7%)ですから、

超低周波部分のエネルギーは、20Hz以上の成分のエネルギーの 14.2 倍です。

風車騒音（0Hz 以上）のエネルギーの 97％程度を、超低周波音（0Hz-20Hz）の部分が持っているのです。

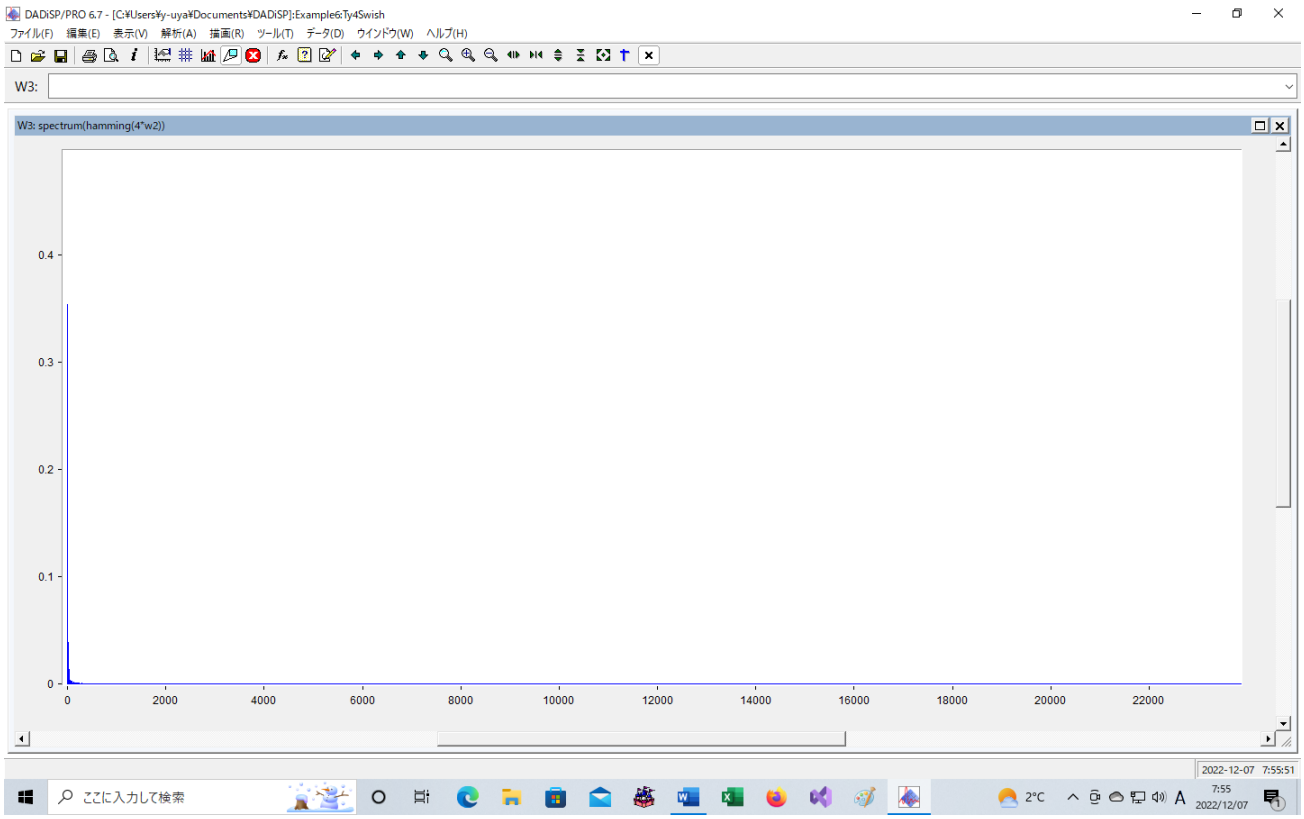
この場合は、超低周波音（0Hz-20Hz）の部分を切り捨てはいけません。

Wavelet解析の結果のグラフです。



0.8Hzの音が安定した周波数で出ている事が分かります。

単純に周波数スペクトルを計算すれば、次のグラフになります。

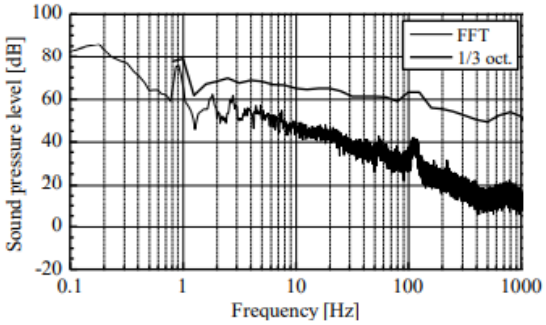


ピーク値は、0.8Hz の時で、0.35 パスカルです。

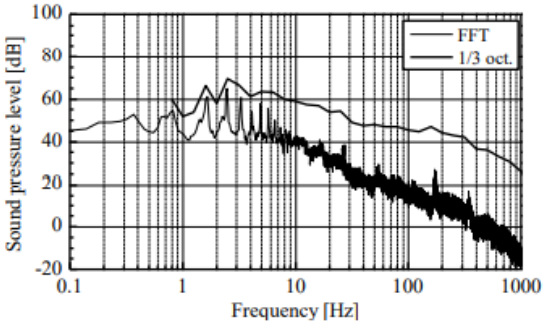
これを見れば、強い音は超低周波音（0Hz～20Hz）の部分に集中しているので、風車超低周波音（ISO7196）と書くべきだと言えます。

風車騒音（0Hz 以上）の解析データで、館山での風車騒音（0Hz 以上）データに似たものが、

“課題名　S2-11　風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”　にもあります。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

この図は、20Hz よりも周波数の低い音が、非常に高いエネルギーを持った形で、風車騒音（0Hz 以上）に含まれていることを示しています。左の図では、0.2Hz で 85dB くらいになっています。

風力発電施設は、他の施設から発生する騒音（0Hz 以上）と比較して、より低い周波数の騒音（0Hz 以上）が発生している。聴覚閾値は、ISO389-7 で、20Hz 以上の周波数に関して定義されている。（聴覚閾値ですから、聞こえる音である 20Hz 以上の音に対して定義するのは当然です。）

２－１．で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、ISO389-7 で規定された値が存在しないので、音圧レベルが聴覚閾値を超えるか否かの判定は出来ません。また、他に 5Hz 程度の音に関す

る聴覚による感知に関する実験も行われていますが、0.8Hz での実験結果はありません。無いものとの比較は不可能ですから、0.8Hz での音圧が聴覚閾値を超えたとは言えません。もちろん超えていないとも言えません。正確には、比較対象が無いので比較できません。

風車からは、他の環境音とは異なり、20Hz 以下の音（超低周波音）が、非常に強い成分として含まれている。この超低周波音に関しては、他の環境音と比べてみると、音圧で 100 倍、エネルギーとしては 10000 倍程度のものが風車からは出ています。

音源から発生する音のうち、周波数成分が 20Hz 以上の部分に限定して考えることにすれば、
また、風車騒音（20Hz 以上）と他の様々な騒音（20Hz 以上）（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は修正した図 8 に示すとおりであり、他の様々な騒音（20 以上）の実測値と比較しても、風車騒音（20Hz 以上）で特に低い周波数成分の騒音（20Hz 以上）の卓越が見られるわけではない。これは、風車からの音のエネルギーの 93%を無視して残り 7%程度のものと、一般騒音のエネルギーの 99%程度を占める部分を比較した時の結果です。

風車からの音にも、他の騒音（道路での交通騒音、工場での騒音）にも、超低周波音（0Hz～20Hz）が含まれています。風車からの音が、人間に対して影響を与えるときに、聴覚だけを媒介として影響するのであり、さらに聴覚閾値が、0.1Hz ごとに、0Hz から 20Hz までの周波数においても測定されている状態であり、さらに、“20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが聴覚閾値を超えるものは確認されていない。”
との条件があれば少しは安心できるのだが、そう簡単ではない。

聴覚閾値は、20H z 以上の周波数については、ISO389-7 に書かれています。他の実験を参考にしても 5H z 程度の周波数以上のものしか見つかりません。
1H z とか 2H z の音についての聴覚閾値を測定した文献は見当たりません。音圧が最大となる周波数成分に関する聴覚閾値が無いのですから、確かに超えたとの確認できません。超えたか否かの基準となる値が存在しないのですから。

風車音による被害は、聴覚を介してのものだけではありません。最近の研究によれば、人間には気圧変動を感知する器官あります。この器官により 0.8Hz の超低周波音による気圧変動を感知することも考えられます。これは聴覚によるものではありません。

家の中で眠る人にとっては、床や建具の振動も気になります。これに関連する値は、がたつき閾値と言われます。このがたつき閾値が、0.1Hz ごとに、0Hz から 20Hz まで測定されていて、各周波数に関して、がたつき閾値を超えるものは存在しないと言う状況ならばもう少し安心できます。
残念ながら、5H z 未満の周波数につてのがたつき閾値（低周波音による物的苦情に関する参照値）を書いた文献は見つかりません。

館山の風車騒音の解析では、1/3 オクターブ解析を、ISO7196 に従って調べると次の表になります。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

でも、

表 1　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数 (Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル (dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

0.8Hz では、77.287140（ｄB）ですが、参照値がありません。

“ある周波数の低周波音が、その値以上であれば、その周波数の低周波音が苦情の原因である可能性が高い”と書いてあるのだが､5Hz よりも低い周波数についての値が無いのです｡参照値以下か否か判断できません。

しかし、日本の家屋の固有振動数が 1Hz 程度であることや、低周波音による物的苦情に関する参照値については、周波数が低くなると参照値も小さくなる傾向ははっきりと認められます。このことから、0.8Hz で 77.28714 デシベルと言う値は、将来、がたつき閾値が 0.8Hz の周波数に対しても決定されたならば、がたつき閾値をはるかに超えていると結論できる、との推測ができます。

聴覚以外の感覚器官による超低周波音（0Hz～20Hz）の感知や、風車音の影響を受けた家屋や建具から発生する音による 2 次的な影響を受けて､睡眠を妨げられることもあります｡もちろん､これを確認するには､屋内での振動レベル計による計測や屋内での精密騒音計による計測の裏付けが必要です。

室内での、音の共鳴現象についての検討も必要となります。

室内での音の解析には工夫が必要になります。

下のグラフは､JFE の工場内での音の収録結果です｡収録は 3 回行われました。W1,W2,W3 のグラフがその結果です。その下の段はそれぞれの周波数スペクトルです。

ここまでのグラフで、3 回の計測結果の関連を見つけるのは困難ですが、一番下の段のようにすればそれらが判別できます。

ラクダが座っていると考えれば、W13、W15 はヒトコブラクダ、W14 はフタコブラクダです。

コブの大きさから判断すれば、W13 は子供のヒトコブラクダ、W14 は成長したヒトコブラクダです。

工場内の情況としては､固有振動数が 1 種類の物(棒状の物)が少し揺れて小さな音を出しているのが W13, そのもののがたつきが増加して大きな音になっているのが W15 です。固有振動数が 2 つのも（長方形の物）がガタついて音を出しているのが、W14 です。実際には、鉄鉱石の大きさを揃えるための篩がガタついていたのが W14 の原因だった。この JFE の工場内での音の分析には、カオス理論を使いました。

解析が困難でも、室内での計測は大切なのです。理由は明確です。室内こそ住民が被害を受ける場所なのですから。

音は、微小な気圧変動として伝わります。研究によれば、人間には気圧の変化を感じ取る器官があるとの事です。この気圧変動の感知は聴覚による感知ではありません。これの閾値に関しての考察も必要です。

この気圧変動まで含めたときの閾値に近いものとして、参照値があります。この数値は、周波数が高ければ、聴覚閾値よりも少し大きいのですが、周波数が低くなると、聴覚閾値よりも小さくなります。聴覚閾値

までいかない、低い音圧レベルでも、周波数が低ければ、10%程度の人間が不快感を覚えます。

環境省：低周波音問題に関する Q&A
Q６　『参照値』に科学的な根拠はありますか？
A６　『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一般被験者の 90%の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然に含まれ、総合的に把握されていると考えられます。

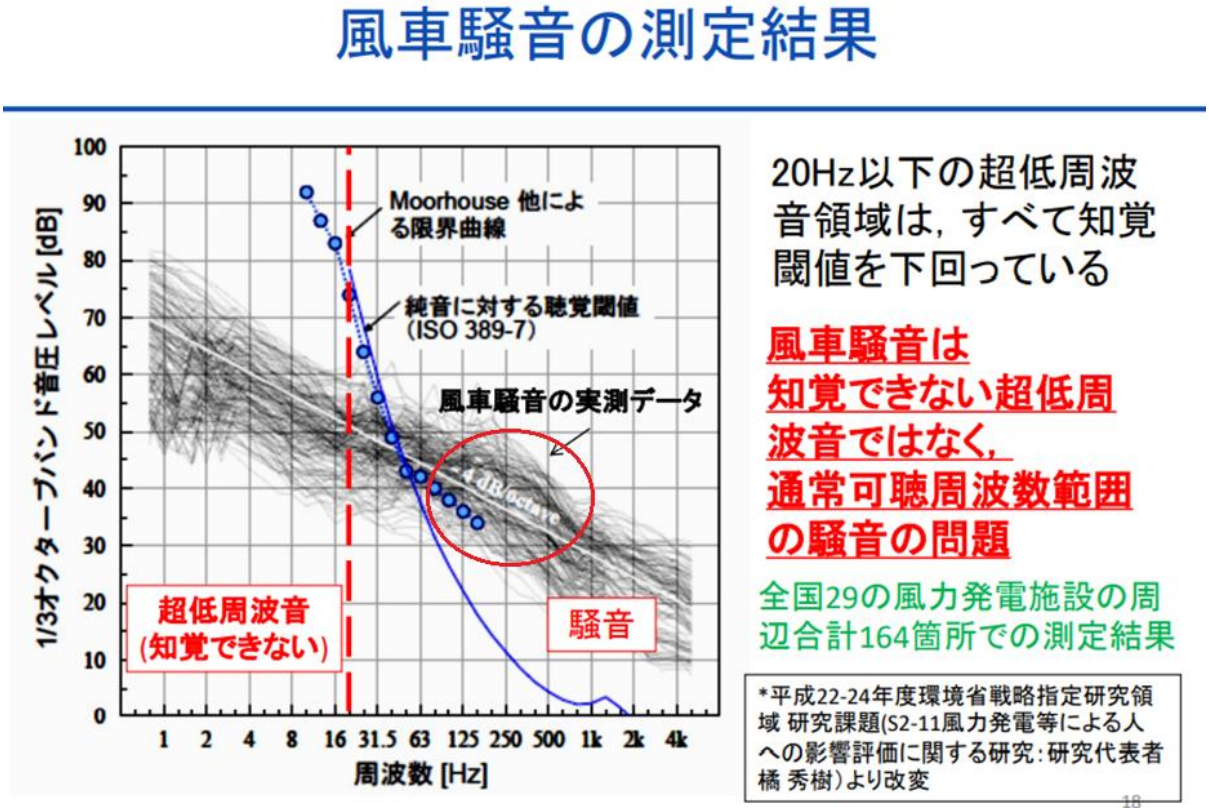
の記述を参考にすれば、聴覚以外の感覚器官による刺激を含めて反応を調査したものが参照値だと理解できます。聴覚だけを対象とした聴覚閾値と、それ以外の感覚を含めた参照値が一致しないのは当然です。

聴覚閾値と感覚閾値を混同してはいけません。もちろん、知覚閾値を同じ意味で使ってはいけません。環境省の HP に見られるような、支離滅裂な論理展開となってしまいます。

さらに、極端な考察をすれば、音響キャビテーションによって体内に気泡が発生する可能性もあります。体内に気泡が発生すれば、潜水病と同じ症状になります。
ですから、
“20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない”
と断言するのは、0.8Hz や 1ｈｚの周波数での聴覚閾値の値を計測してからにすべきです。存在しないものとの比較をしてはいけません。存在しないから比較が出来ない。比較できなければ超えたとの確認は出来ない。
町田氏の表現では、1Hz の周波数の聴覚閾値を書いた文献が存在して、その数値よりも計測結果が小さいように聞こえます。これでは、誤解を与えることが目的なのかと疑われます。

１．５　風雑音、疑似音と風車音

町田氏の講演会資料の中には、次のものがある。



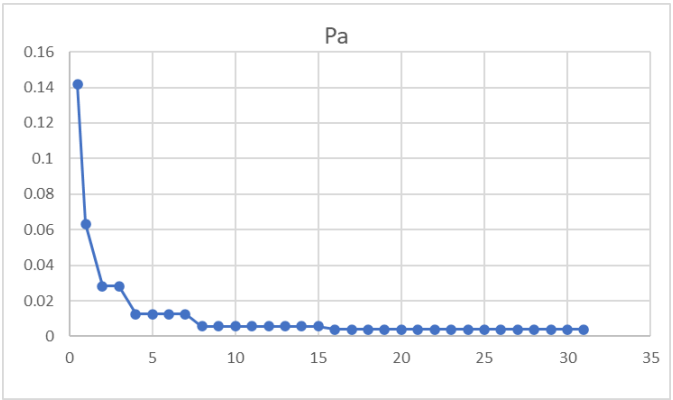
よく見ると、白抜きで、-4dB/octave と書いてある。

「**ある音を基準として、周波数比が2倍になる音**」を「1オクターブ上の音」と呼んでいます。

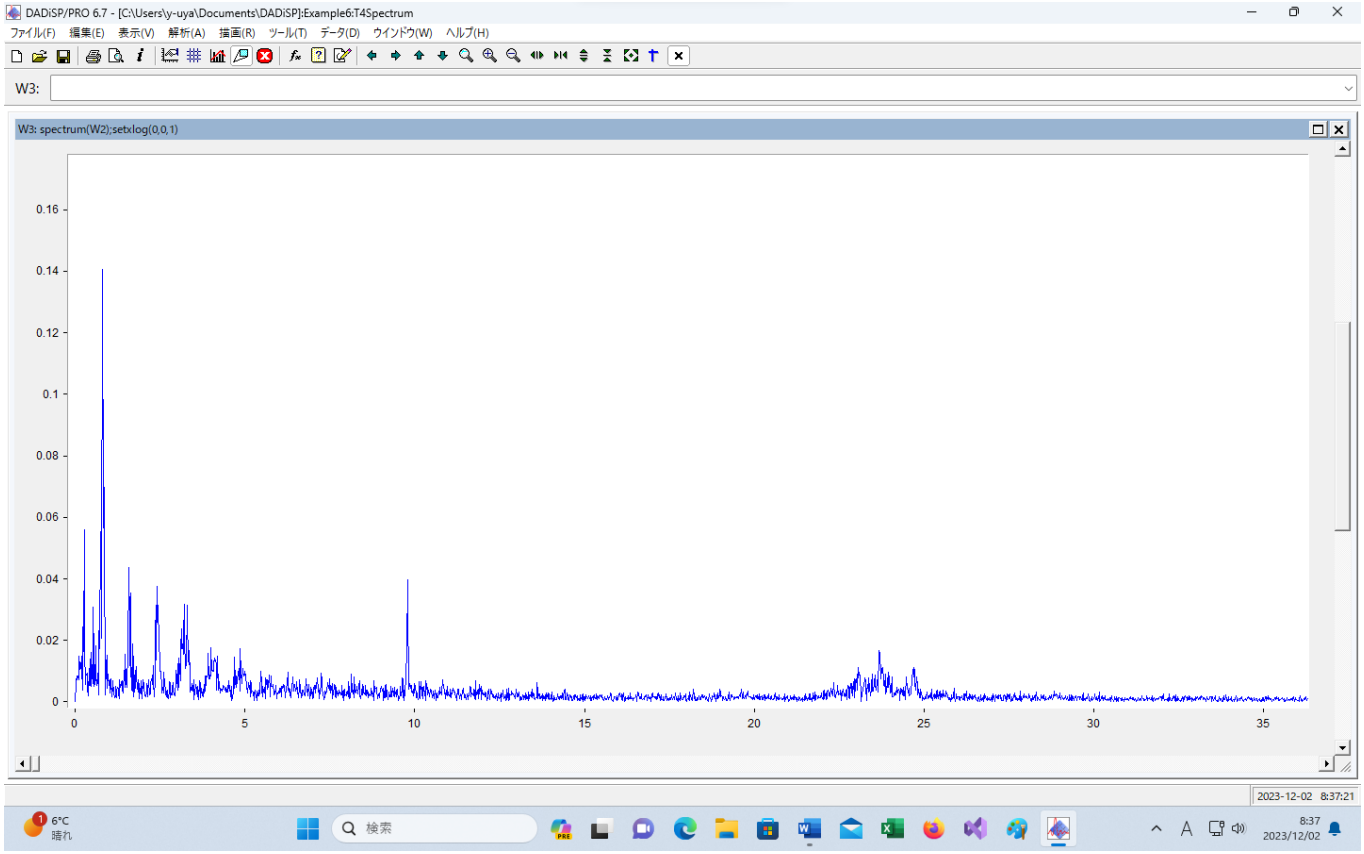
周波数が２倍になると１オクターブ増える。１オクターブ増えると音圧レベルが４ｄＢ減る。

表とパスカル値のグラフは次の様になります。

Hz	dB	Σ(Pa*Pa)	Pa*Pa	Hz	Pa
0.5	74	0.0100475	0.020095091	0.5	0.141757
1	70	0.004	0.004	1	0.063246
2	66	0.0015924	0.000796214	2	0.028217
3			0.000796214	3	0.028217
4	62	0.000634	0.000158489	4	0.012589
5			0.000158489	5	0.012589
6			0.000158489	6	0.012589
7			0.000158489	7	0.012589
8	58	0.0002524	3.15479E-05	8	0.005617
9			3.15479E-05	9	0.005617
10			3.15479E-05	10	0.005617
11			3.15479E-05	11	0.005617
12			3.15479E-05	12	0.005617
13			3.15479E-05	13	0.005617
14			3.15479E-05	14	0.005617
15			3.15479E-05	15	0.005617
16	58	0.0002524	1.57739E-05	16	0.003972
17			1.57739E-05	17	0.003972



館山の風車音の周波数スペクトル[Pa], 0～35Hzまでの範囲で表したグラフは下のものです。



折れ線グラフとよく似た形になっています。

「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」にあるグラフを見れば、20Hz 以下の部分の音圧が極めて高いことが見て取れます。これは、超低周波音が高い音圧で存在することを意味しています。

そこで、考え出されたのが、“風雑音”です。グラフの 5Hz 以下、あるいは 10Hz 以下の部分を、風車音から分離して、“マイクに風が当たったことによる風雑音”だと主張するのです。

上のグラフをよく見れば、10Hz 以下の“風雑音”は、10Hz 以上の“風車騒音”の性質をしっかりと継承しています。

それぞれの線は、ほぼ直線状に繋がっています。これは、“風雑音”は建っている風車の音の性質と引き継ぐと言うことになります。

風雑音は、マイクに風が当たることによって発生すると言うのですから、マイクにどのような風がどのように当たるかは、建っている風車によって決まることになります。

風車が無い場所では、風はこのような制限は受けないで、風速も風向も激しく変化します。風車は、風の風速や風向を制御する力があると考えるべきなのでしょうか？

164 か所の全ての地点で、風車が建ったことによって、極端に高い音圧を持っている“風雑音”で、周波数が 20Hz 以下のものが発生するのです。しかも“風雑音”の周波数成分のうちで最大音圧となるときの周波数は f=RZ/60（Hz）になるのです。しかも、この周波数は、風車の回転速度によって変化するのです。

“風雑音”が“風がマイクに当たることで発生する”ならば、このような周波数になる理由の説明が困難です。さらに、風車の無い場所でマイクに風を当てて測った風雑音は、音圧が低くて、周波数がランダムです。

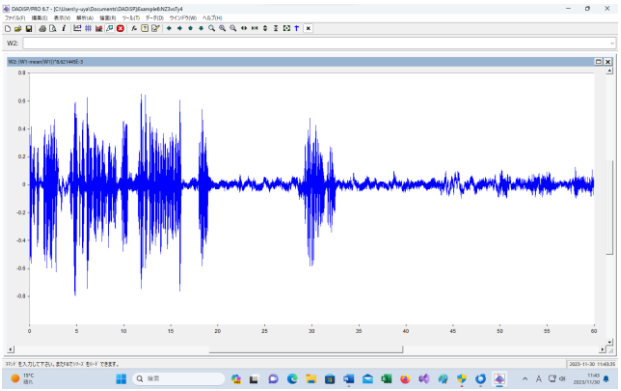
風車音の超低周波音成分は、風がマイクに当たって発生する雑音ではありません。マイクは、風車からの超低周波音を捉えているのです。

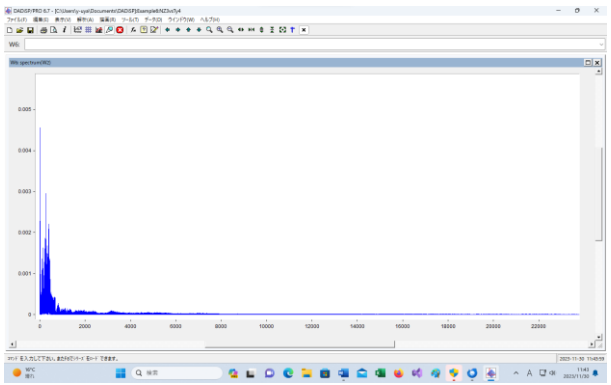
超低周波音で５Hz（10Hz）以下の部分について、“風雑音”と考えている人もいるようです。そう考えれば、超低周波音の領域での音圧が高くなっている原因を風のせいに出来ます。

“宇山さんは、風車からの低周波音の測定について検討されていたと思います。
風車の回転に伴い、1 分間の回転数×羽枚数÷60 を基本周波数とする成分と倍音成分（例えば、
回転数 20rpm、3 枚羽の風車では、1Hz とその倍々の周波数）が発生することについては、
以前お話ししたように思います。
しかし、現場で観測される低周波音は風車からの音に、風雑音が重畳されたものとなります。
低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。
この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。
通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。
しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。
風による影響を受けにくい山間地や尾根で風が遮られる地域では、風車の回転に伴う成分が
周波数分析結果で卓越成分として観測されます。
一方、平地などのように風による影響を受けやすい場所における測定結果では、低周波数域の
周波数特性はこんもりと盛り上がったような特性となっていて卓越成分が観測されないことが
多いと思います。これは、風車音よりも風雑音が優勢であると考えられます。
通常の防風スクリーンより大きい直径 20cm 程度の防風スクリーンをマイクロホンに装着しても
風が強いときは風雑音を十分に除去できません。
風雑音の低減に関しては、これまで色々と研究されてきていますが、およそ 5Hz 以下の周波数域
（場合によってはおよそ 10Hz 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。
従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除する
かも大きな課題の一つです。
研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけると幸いです。”
と指導していただきましたが、同意出来ません。

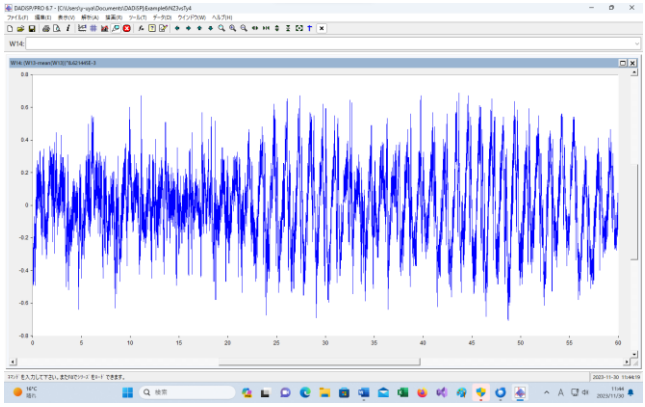
正直に言えば、悪い冗談かと思いましたが、そのようなことをいう人ではないので、本当にそう思っているようです。

左は、神社での音　　右は神社での音の周波数スペクトル

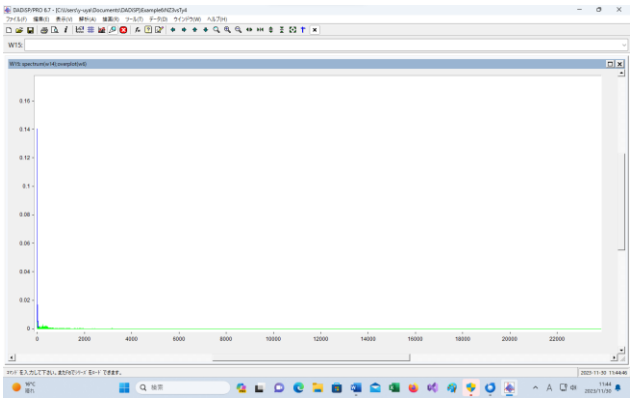




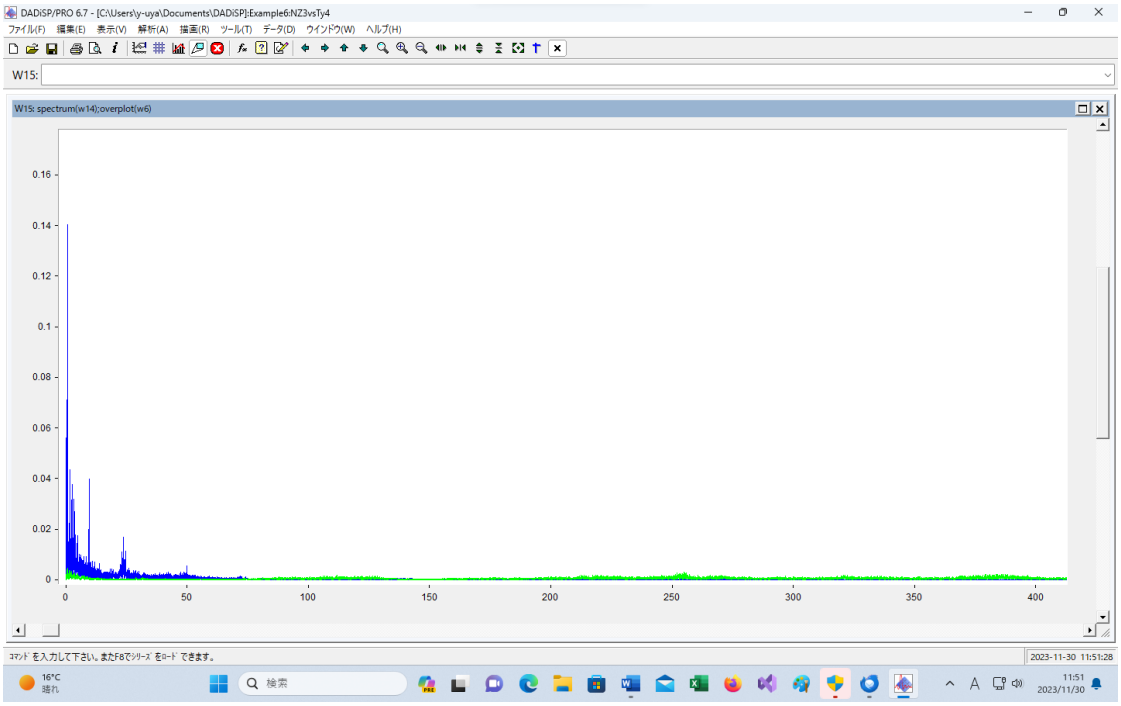
左は、風車音



右は風車音（青）と神社で音（緑）の周波数スペクトル

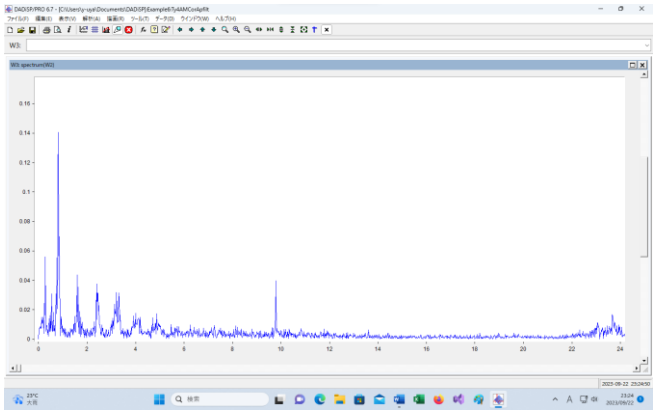


0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社で音（緑）の周波数スペクトル

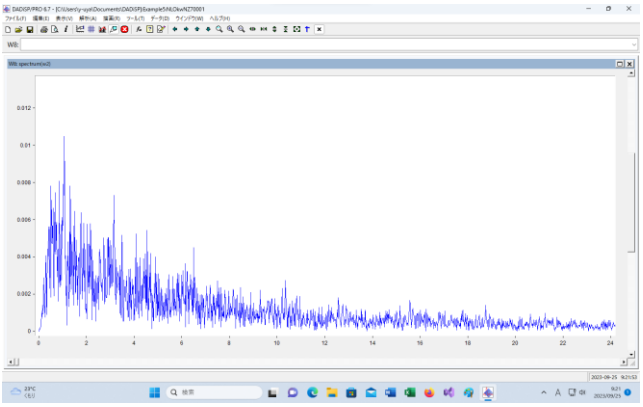


次のグラフで、0～25Hz の範囲で、風車音と近所の長尾神社の境内での音を比較します。

風車の近くの音(0～25Hz) 最大 0.14[Pa](0.8Hz)

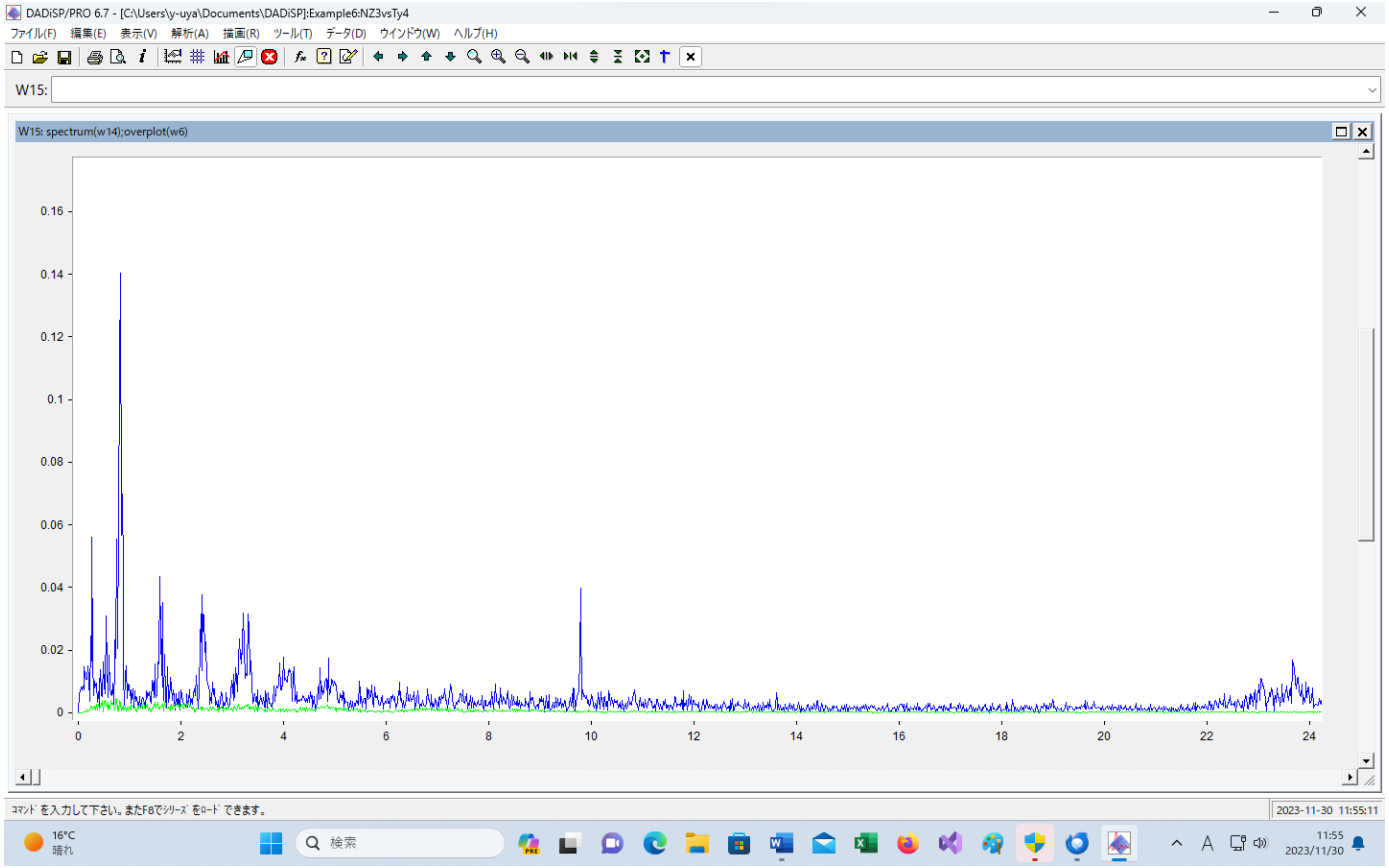


長尾神社(0～25Hz) 最大 0.0105[Pa](1.1Hz)



0～25Hz 範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音、最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)と、マイクを神社の階段に置き、風が当たる状態で計測した音、最大音圧 0.0105[Pa] (1.1Hz)との比較です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



“風雑音”には、風車の近くでの音圧が高く規則的な周波数を持つものと、風車の無い場所での音圧が低く周波数に規則性が無いものがあり、この２種類の“風雑音”の区別することが必要になります。

周波数に明確な規則性がある音を“風雑音”の一言で片づけてはいけません。規則性を持つ理由を明確にしなくてはなりません。風車から、このような規則性を持つ音が発生する理由を調べれば、“風雑音”という用語が不適切であることが明確になります。発生する仕組みが明確になれば、この音は“風車からの超低周波音”というべきであることが分ります。

“風車の近くでの風雑音”は、その周波数が特別な構造を持っていて、風車の回転と深くかかわっています。これは、風車からの超低周波音というべきものです。

もし、風雑音というならば、風車の近くと風車の無い場所での風雑音の性質が違う理由を説明しなくてはなりません。10Ｈｚ以下を風雑音だとするのには無理があります。

“風雑音”について他の研究者の方は、

ご存知のように　超低周波音の測定は風の影響を受けやすくその影響を除去することが難しいのが現状です。環境省の

・低周波音問題対応の手引書（H16.6）
・低周波音の測定方法に関するマニュアル（H12.10）
にもその旨記載があります。
また、当時計測に使用した低周波音レベル計（リオン NA-18A）の測定周波数範囲は 1Hz 以上となっております。
これらを踏まえて、ご指摘いただいた論文では 1/3 オクターブバンド 1Hz 以上を対象周波数として発表いたしました。
以上のことからデータの信頼性等を考慮して周波数範囲は 1Hz 以上としております。

と言っていました。

風車の近くで計測される超低周波音は、決して除去できないのです。風の影響ではなくて、それが風車からの超低周波音なのです。
風の影響を避けるだけならば、計測機材を車の中に置いて、風下の窓を開けて測れば、風の影響は除去できます。もちろん、超低周波音は、きちんと記録されます。

環境省は、
風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル、（３ページの説明）に於いて、

“風雑音
風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。“
“3.2 騒音の測定機器
（７ページの説明）
(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には**二重のウインドスクリーン**等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には**除外音処理**を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“

と言っています。

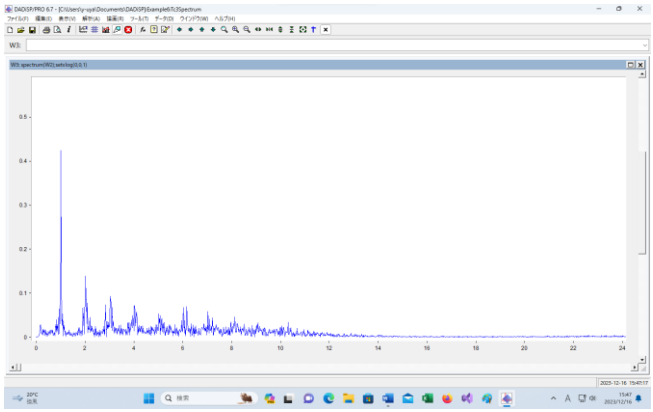
では、
“風雑音　　風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音“
は、マイクに風が当たらなければ、発生しないのでしょうか？

風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても音圧の高い超低周波音が計測される。

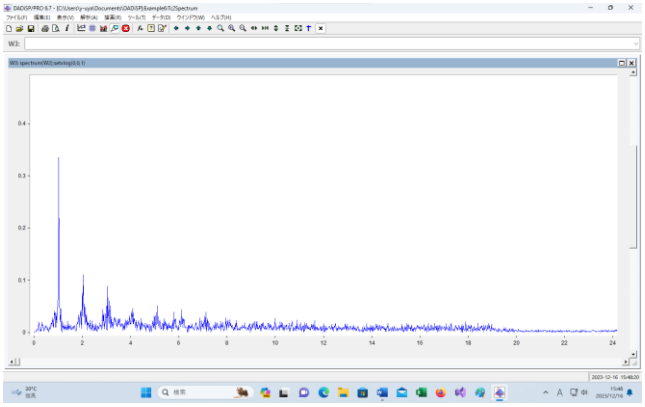
風車の近くでの計測で、

騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、

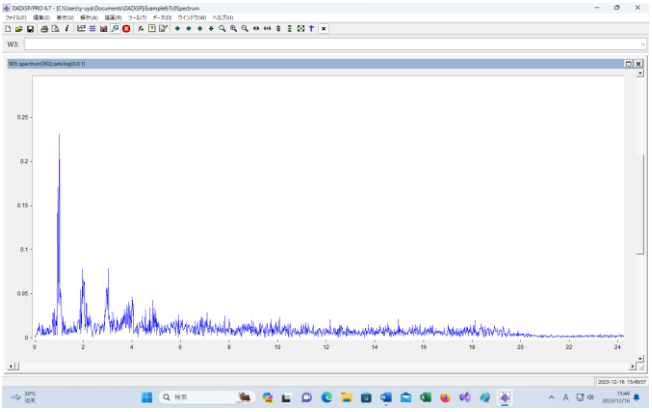
袋と箱に入れドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



袋と箱に入れドアを開けた場合は Max. 0.33Pa



袋から出して、箱の上においた結果は　Max. 0.23Pa



音圧の違いに関しては、音の反射を考慮する必要があります。

風車が近くにあれば、マイクに風が当たらないときと、マイクに風を当てたときを比べると、音圧が高く、規則的な周波数を持った超低周波音は、どちらの場合でも観測されます。

風車が無ければ、マイクに風を当てても音圧の高い超低周波音は発生しない。

風車が無い場所で、マイクに風を当てて計測すれば、音圧が低くて、周波数に規則性が無い、超低周波音

が計測されます。風車が有る場所では、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音が計測されます。

左が風車の近くの音、右は風車がない場所でマイクに風を当てて収録した音の超低周波音の部分です。

図５．風車音（館山風の丘）０～25Hz

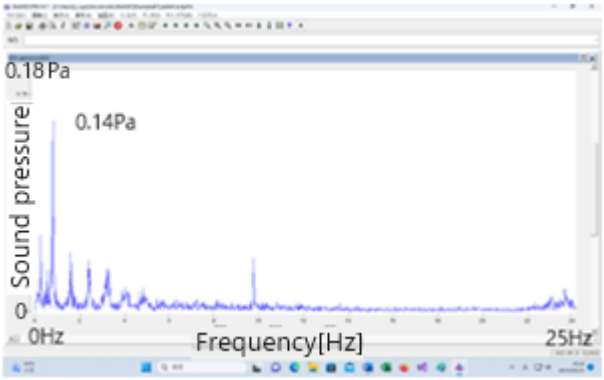
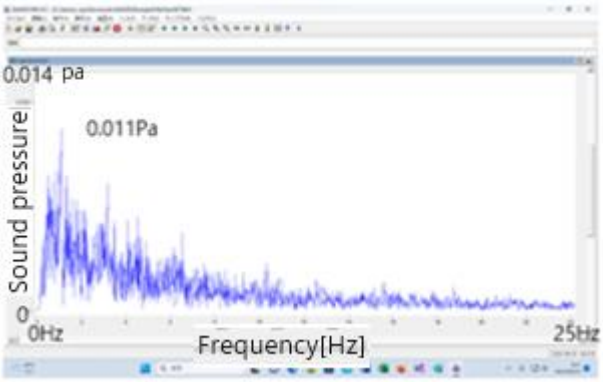


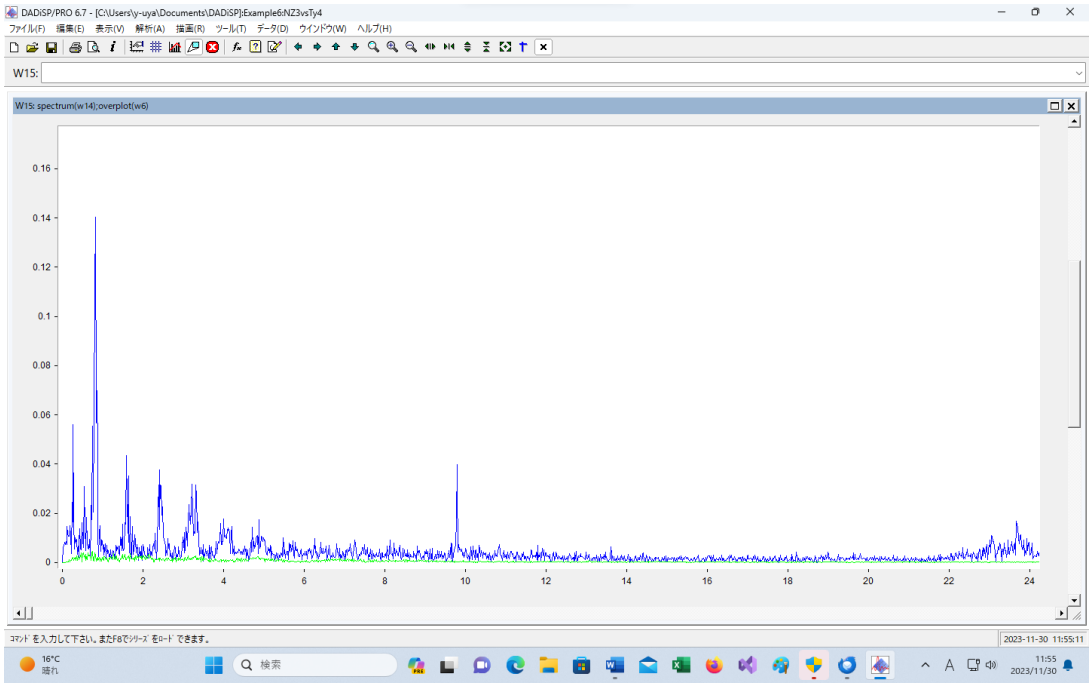
図６．長尾神社の音　０～25Hz



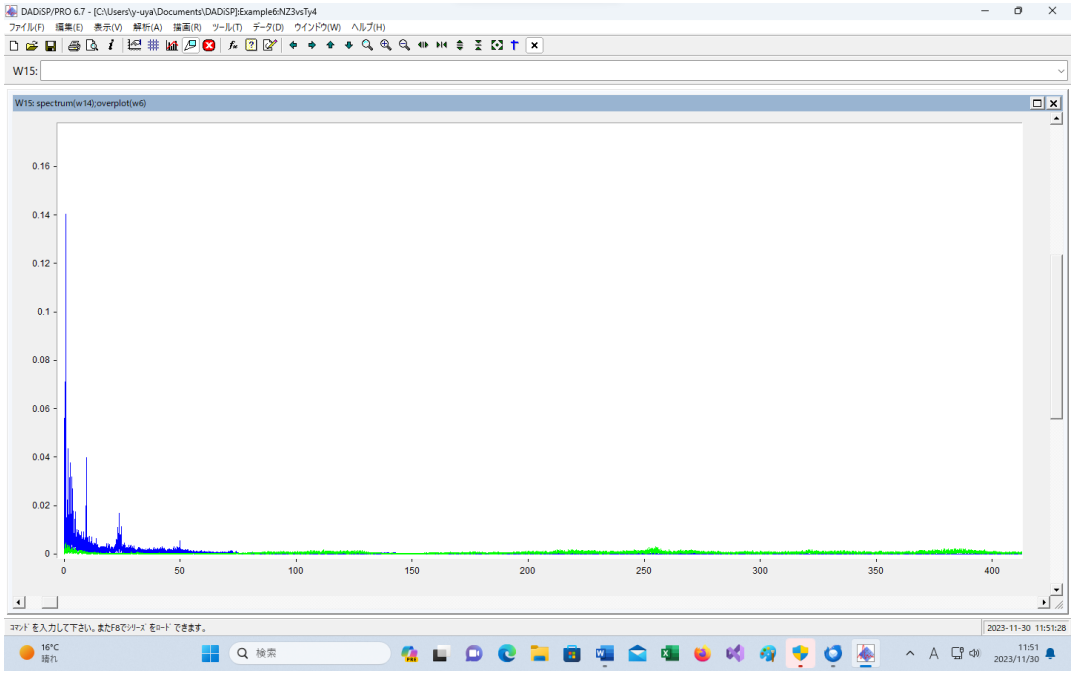
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



風車が無い場所では、マイクに風が当たることが原因の“風雑音”は、音圧が低くて、超低周波音の領域での周波数に規則性がありません。

”マイクに風が当たって発生する風雑音”について計測しましたが、マイクに風が当たらなくても、しっかり計測出来ました。

カナダの研究者は、マイクに風が当たらなくても、超低周波音が計測されることを知っているので、カナダでは、上空の気圧変動による”疑似音”だと言っています。

Wind Turbines and Health

The main problem with measuring low-frequency sound and infrasound in environmental conditions is wind-caused pseudosound due to air pressure fluctuation, because air flows over the microphone. With conventional sound-level monitoring, this effect is minimized with a wind screen and/or elimination of data measured during windy periods (less than 5 m/s [11 mph] at a 2-m [6.5 feet] height).36 In the case of wind turbines, where maximum sound levels may be coinci-dent with ground wind speeds greater than 5 m/s (11 mph), this is not the best solution. With infrasound in particular, wind-caused pseu-dosound can influence measurements, even at wind speeds down to 1 m/s.12 In fact, many sound-level meters do not measure infrasonic frequencies.

“環境条件下での低周波音と超低周波音の測定における主な問題は、マイクロホンの上を空気が流れるため、気圧の変動による風による疑似音です。従来の騒音レベルモニタリングでは、風の強い期間(2m(6.5 フィート)の高さで 5m/s(11mph)未満)に測定されたデータを排除することで、この影響を最小限に抑えます。36 風力タービンの場合、最大騒音レベルが 5 m / s(11 mph)を超える地上風速と一致する可能性があるため、これは最善の解決策ではありません。特に超低周波音では、風速が 1m/s 以下の場合でも、風による疑似音が測定に影響を与える可能性があります。12 実際、多くの騒音計は超低周波周波数を測定していません。”

環境省は“除外音処理”をしなさいと言っています。

計算から除外する方法は沢山あります。でも超低周波音を除外する方法は無いのです。

不思議な“風雑音”の性質についてさらに考えます。

風車音の被害者は、自分の家から見て、風車が特定の方向を向いているときに大きな被害が出ると訴えています。これは、風車音に指向性があるからです。

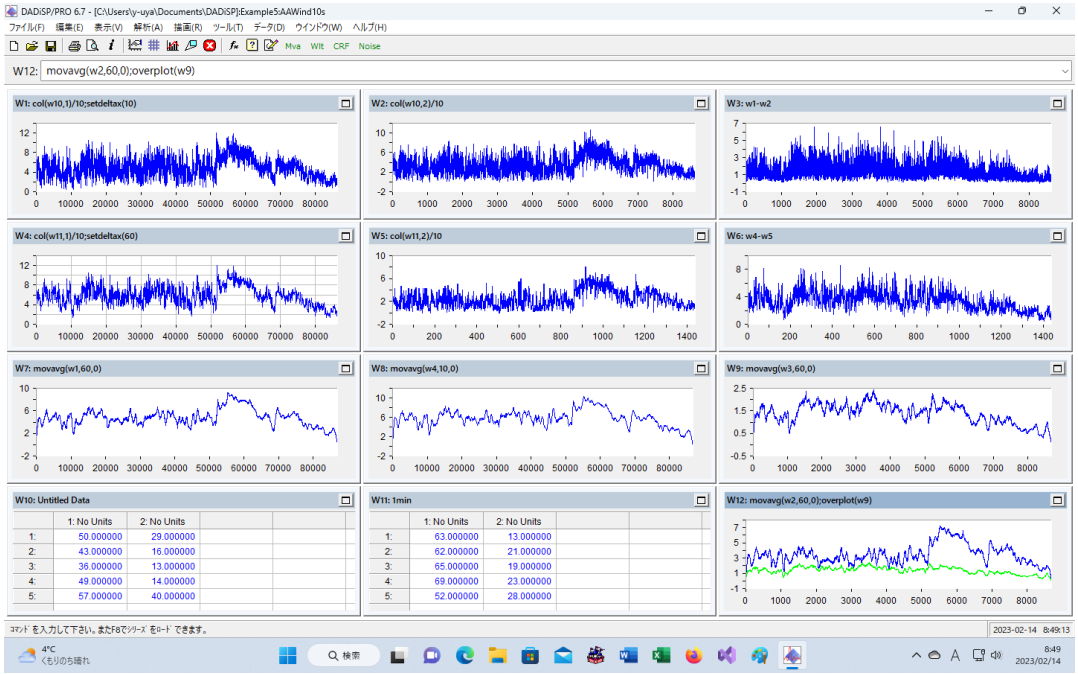
風車音の指向性については、風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について、に書かれています。これは、風車を中心にして、“風雑音”が特定の方向で強くなるという事です。すなわち、マイクに当たる風は、特定の方向に関して同時に強くなったり弱くなったりしなくてはならないのです。

次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2mの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。

風の強さの変動：

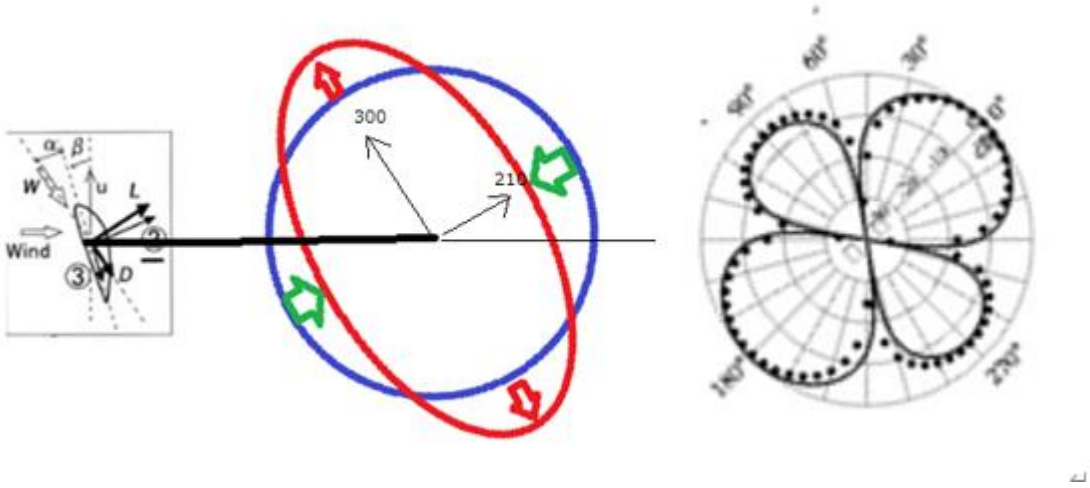


（上のグラフは、2019 年1月1日の24時間分の記録です。）

W1（上段左）は、前 10 秒間最大瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w2（上段中央）は、前 10 秒間最小瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w4（2段目左）は、最大瞬間風速（3秒間移動平均）の値（1分ごと）、
w5（2段目中央）は、最小瞬間風速(3 秒間移動平均) の値（1分ごと）、

です。

このように、不安定な風が、マイクに当たるときには、



上の図のような指向性を実現するように動く必要があるのです。

離れた場所の風が、同じような動きをしなくてはなりません。音が微弱な方向では風の当たり方も微弱です。これは風の速度が遅いという事です。 空気の粒子は、これほど統制された動きをするのでしょうか？

さらに、風がどのようにマイクに当たれば、1Hz で 70ｄB となるような数値が、精密騒音計に記録されるのでしょうか？マイクの振動版の運動を考えると、風ではなく、空気密度の変動が必要なことが分ります。風は、どのようにして、空気密度の変動を引き起こすのでしょうか？

風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について

（菊島 義弘,長島久敏,橋本 晶太,鯨岡 政斗,濱田幸雄,川端 浩和,小垣 哲也）によれば、

RION 製 NL62 を風力発電システム周りに 4 台、JIS4)音響パワー計測用として 1 台使用している。風力発電システム周りを計測する騒音計マイクロホンは、卓越風向(北を 0 度とした 300 度方向)から 90 度ごととし、配置場所は図 1 に示すように 300 度、30 度、120 度および 210 度、タワー中心から 22m の位置に配置している。4 台の騒音計マイクロホンは固定とし、他の角度はナセルが回転することで角度が変化することを利用している。

オーバーオール値は客観的に約 200 度の位置のレベルが高くなっている。この位置はキャンセレーションメカニズムが働きレベルが低下する位置であり指向性の予測とは逆の現象が現れている。

予測と反する結果を調べるため 1/3 オクターブバンド分析結果を調査した。図 6 にはブレード数×回転数 (Bin 5 の場合 1.6Hz) の分布図を示す。図中の凡例は風速差を表している。ブレードの回転騒音が主音源である 1.6Hz では、オーバーオール値と同じような傾向を示しており、約 200 度の位置で Leq が最大となっている。回転騒音はブレードが振り下ろされる位置が最大値となっており、マイクロホンに対し旋回流からの騒音、回転方向に流れる騒音が重畳され、Leq が増大しているものと考える。逆に降り上る方向の Leq は最小となっている。

5. 結 言

風速の影響による指向性特性調査を行い、1/3 オクターブバンド分析することで以下の知見を得た。

1) 低周波数では旋回流の影響と思われる騒音によりブレード振り下ろし面の騒音が増大することを示した。

2) 中型風力発電システムではブレードのキャンセレーションメカニズムは 1kHz 周辺にだけに発生していることが確認でき、正面、側面のレベル差は約 20dB、音響パワーとして 1/100 まで減少していることを示した。

3) 指向性特性は、風速の影響を受け、ブレード前方の Leq よりもブレード後方の Leq レベルが下がることを示した。上述の結果から風力発電システムの音響放射特性は全方向に対して一様ではないことが分かった。

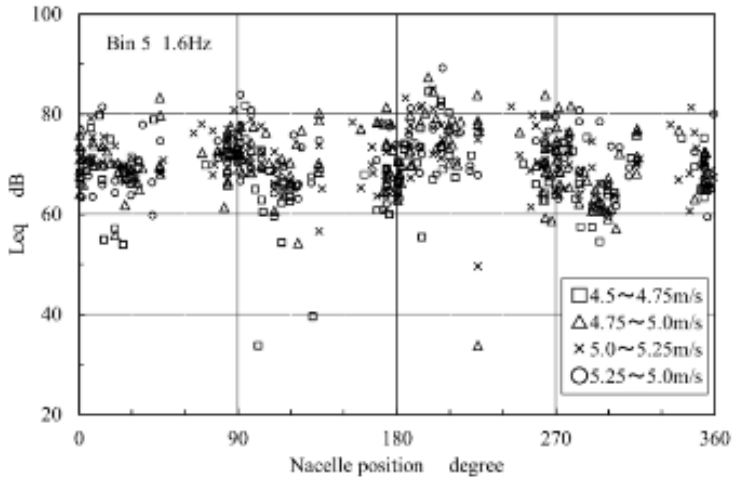


図 6 Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

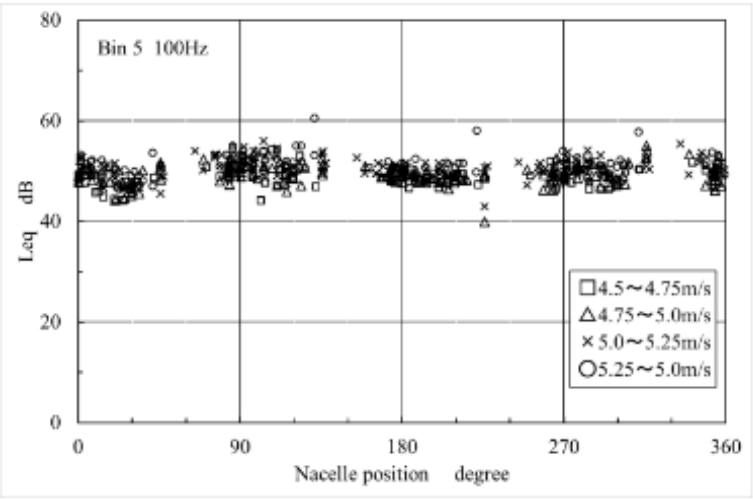


図 7 Bin 5 中心周波数 100Hz の指向性分布

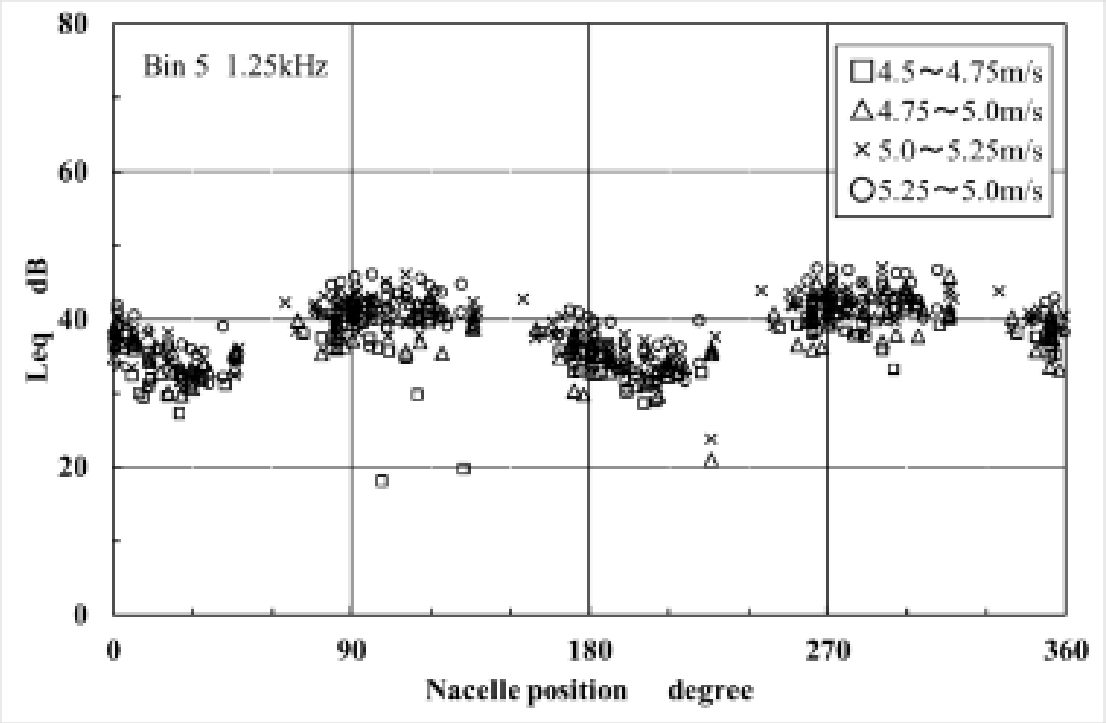


図 8　Bin 5 中心周波数 1.25kHz の指向性分布

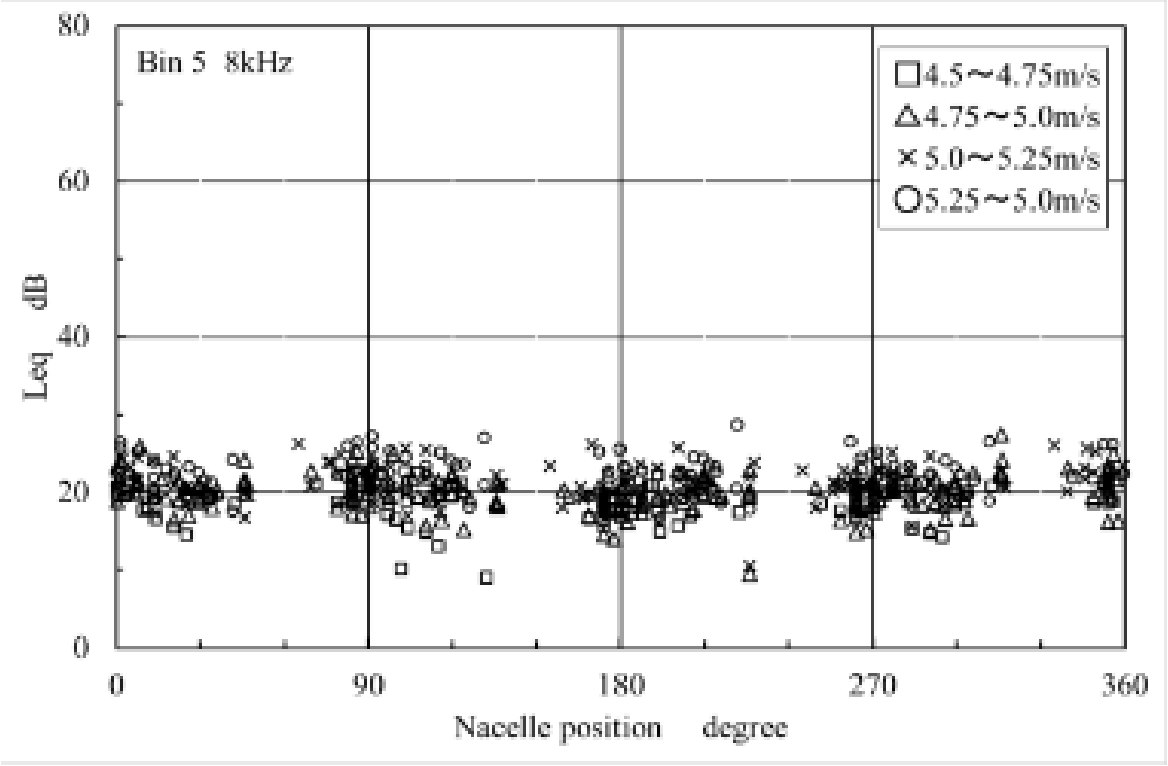


図 9　Bin 5 中心周波数 8kHz の指向性分布

風車の近くで計測される超低周波音は、決して除去できないのです。風の影響ではなくて、それが風車からの超低周波音なのです。

“風雑音”には、風車の近くでの音圧が高く規則的な周波数を持つものと、風車の無い場所での音圧が低く周波数に規則性が無いものがあり、この２種類の“風雑音”の区別することが必要になります。

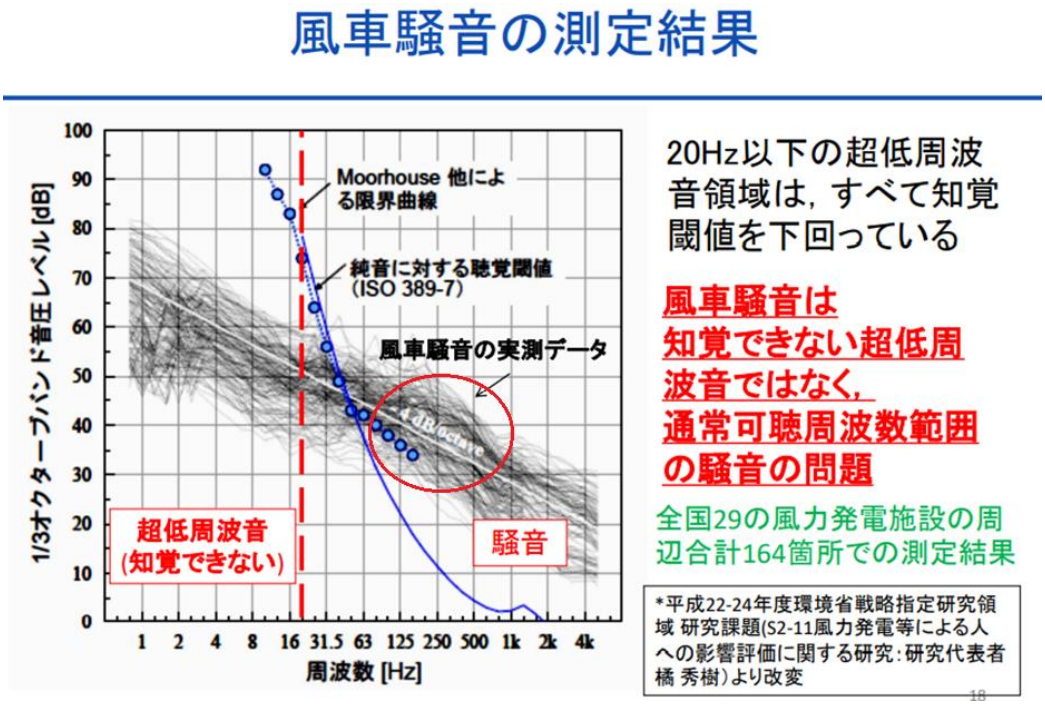
周波数に明確な規則性がある音を“風雑音”の一言で片づけてはいけません。規則性を持つ理由を明確にしなくてはなりません。風車から、このような規則性を持つ音が発生する理由を調べれば、“風雑音”という用語が不適切であることが明確になります。後ほど、発生する仕組みが明確になれば、この音は“風車からの超低周波音”というべきであることが分ります。

“風車の近くでの風雑音”は、その周波数が特別な構造を持っていて、風車の回転と深くかかわっています。これは、風車からの超低周波音というべきものです。

もし、風雑音というならば、風車の近くと風車の無い場所での風雑音の性質が違う理由を説明しなくてはなりません。

１．６　聴覚閾値と感覚閾値

町田氏の講演会資料の中には、次のものがある。



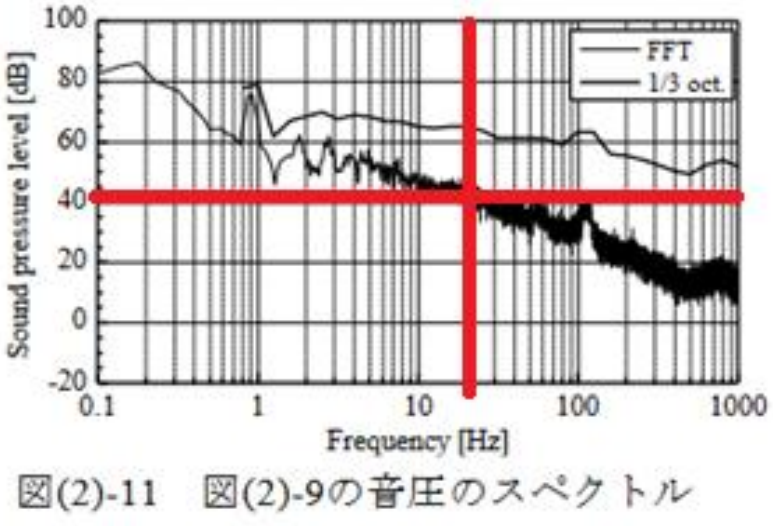
“20Hz 以下の超低周波音領域は、全て知覚閾値を下回っている”と書いてあります。

ISO7196 では、聴覚閾値だったものが、感覚閾値、知覚閾値にすり替えられています。

さらに、がたつき閾値（20Hz 以下の領域で共振や強制振動が起こり、人間はその影響を受ける。）のことを完全に忘れています。

それでは、0.2Hz、1Hz、2Hz での知覚閾値は何デシベルなのでしょうか？下回っていると言えるからには、2つの数値が存在してその比較が出来なくてはなりません。

“課題名　S2-11　風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”にあるグラフを見ると、この上昇は、0.2Hz くらいまで続くことが分かります。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル

0.2Hz で 85dB 程度、20Hz で 45dB 程度です。40dB の差ですから、**0.2Hz の音の音圧は 20Hz の音の音圧の 100**

倍です。100 倍の音圧なので、普通の日本語では、卓越した低周波音が存在すると言います。

では、0.2Hz での、知覚閾値は 85dB よりも大きいのでしょうか？

その根拠となる実験は、誰が何時行ったのかを示すべきです。それが出来ないのに、

“20Hz 以下の超低周波音領域は、全て知覚閾値を下回っている”

と断言してはいないでしょうね。証拠も無しに断言すれは、詐欺と捉えられてしまいます。町田先生の名誉がかかっていますので、0.2Hz での知覚閾値が書いてある文献を示して下さい。

感覚閾値、知覚閾値について調べてみたら、電力中央研究所報告が見つかりました。

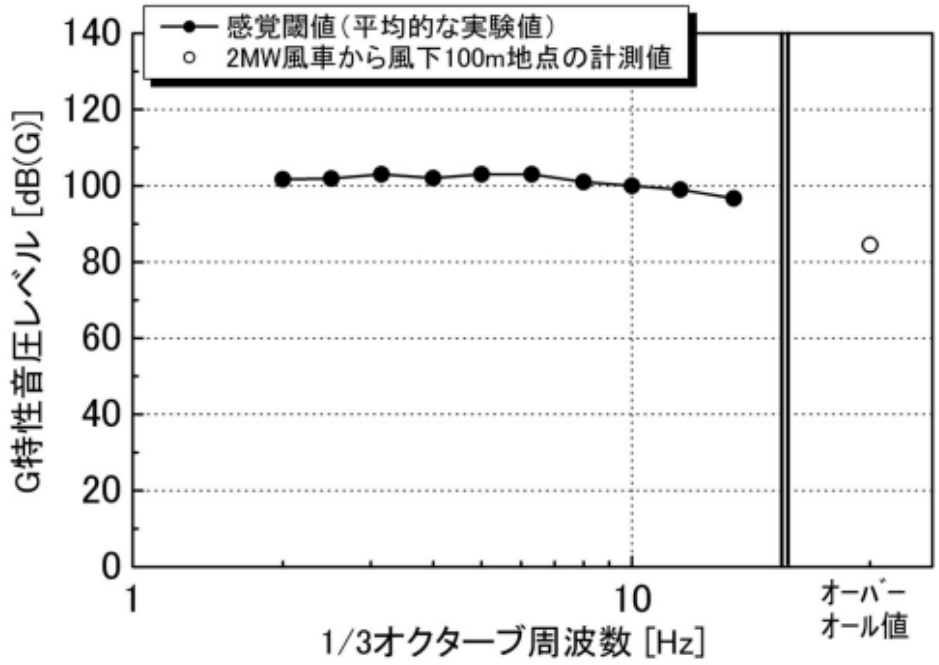


図 3-7　風車からの超低周波音の音圧レベルと感覚閾値との比較

感覚閾値[2-13]の値を元に G 特性音圧レベルに換算.
風車音（超低周波音）の計測値は[4-2]の値を示す.

感覚閾値[2-13]

[2-13] 井上保雄，低周波音の調査方法，騒音制御 Vol. 30, No. 1, pp. 17-24, 2006.

を確認したが、理解に苦しむ内容です。

次の表の④の項目でが、

④超低周波音の感覚閾値と最小可聴値	—	—	—	130	126	123	118	115	111	105	100	95

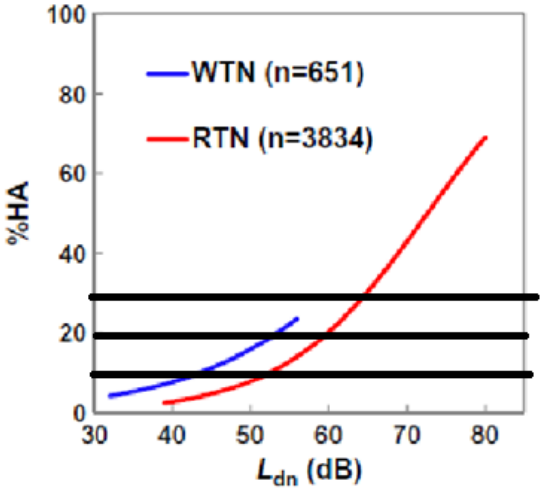
“④超低周波音の感覚閾値と最少可聴値”となっている。これでは、感覚閾値と最少可聴値が同じものになってしまう。最少可聴値は聴覚閾値と同じ内容です。人間の音に関する感覚器官が、聴覚しかいないならば、“感覚閾値＝最少可聴値＝聴覚閾値”となります。

130+（-28.3）＝101.7　に直したとたんに、聴覚閾値が感覚閾値に昇格してしまいます。将棋ではないので、勝手に“と金”を作ってはいけません。

人間が聴覚以外の感覚器官で、風車音を感知するから、様々な問題が起きるのです。

左側のグラフは、不快感については、交通騒音と風車音では、同じ A 特性音圧レベルでも被害には大きな

違いがある事を示します。右は、聴覚以外の感覚器官で風車音を感知していることを示します。



6. 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。低周波音苦情の分類を表-3に示す。

表-3 低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

感覚閾値＝最少可聴値としてはいけないのです。最少可聴値以下の風車音を他の器官が感知するのです。

表－2 低周波音

1/3オクターブバンド中心周波数（Hz）	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
①物的苦情の参照値（2004）	—	—	—	—	—	—	—	70	71	72	73	75
②心身に係る苦情の参照値Ⅰ（2004）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92	88
③心身に係る苦情の参照値Ⅱ（2004）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
④超低周波音の感覚閾値と最小可聴値	—	—	—	130	126	123	118	115	111	105	100	95
⑤スウェーデン住宅内（1996）	—	—	—	(130)	(126)	(122)	(118)	(114)	(110)	(106)	(102)	(98)
⑥ドイツ住宅内（夜間，1997）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(103)	95	86.5
⑦デンマーク住宅内（夕方・夜間，1997）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90.4	83.4
⑧オランダ住宅内（1999）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92	88
⑨ポーランド住宅内（2000）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80.4	73.4
⑩G特性基準レスポンス	−43	−37.5	−32.5	−28.3	−24.1	−20	−16	−12	−8	−4	0	4

注記 1）①項は低周波音による建具のがたつき開始閾値の実験値（昭和52年度環境庁委託報告書）による。なお，実験は純音を用いている。この値が環境省「低周波音問題対応の手引き」の評価指針になっている。

注記 2）①項の値は連続的な低周波音の場合であり，衝撃性の場合は10dBくらい大きい値でないとがたつきは発生しないといわれている。

注記 3）実際には①項の値以下でも苦情があることもあり，建具の揺れ等まで配慮するとすれば①項の値より10dB程度小さいレベルに対策の目標値を設定することが望ましい（(社)日本騒音制御工学会技術レポート，6号，1986）。

注記 4）②項，③項は環境省「低周波音問題対応の手引き」の評価指針。一般成人の「寝室の許容値」の10パーセンタイル値を基に決められている。

注記 5）③項のG特性音圧レベルについては低周波音音圧レベル計にG特性周波数補正回路が内蔵していない場合は1/3オクターブバンド周波数分析値と⑩項補正値から計算により求めることができる。

G 特性での感覚閾値は、次の図 2-2 における、超低周波音の感覚閾値とされる折れ線の値に、

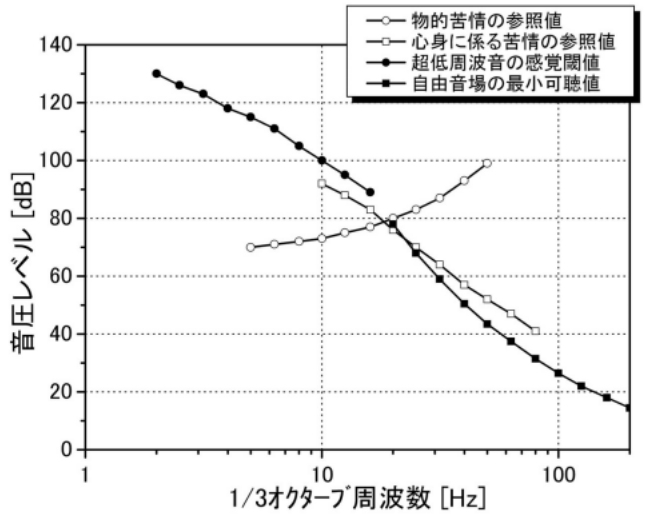


図 2-2　低周波音による苦情の参照値

心身に係る参照値は 20Hz 以上では平均的な人の最小可聴値よりも高いが，
20Hz 以下では平均的な人の感覚閾値よりも小さい．
〔参照値は[1-6]，超低周波音の感覚閾値は[2-13]，自由音場の最小可聴値は[2-14]をそれぞれ参照〕

次の表にある、G 特性での重み付けをした結果です。

表-1.1　基準周波数レスポンス及び許容差

中心周波数(Hz)	平坦特性		G 特性	
	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)
1	0	±3	− 43	±3
1.25	0	±3	− 37.5	±3
1.6	0	±3	− 32.5	±3
2	0	±2	− 28.3	±2
2.5	0	±2	− 24.1	±2
3.15	0	±1.5	− 20	±1.5
4	0	±1	− 16	±1
5	0	±1	− 12	±1
6.3	0	±1	− 8	±1
8	0	±1	− 4	±1
10	0	±1	− 0	±1
12.5	0	±1	4	±1
16	0	±1	7.7	±1
20	0	±1	9	±1
25	0	±1	3.7	±1
31.5	0	±1	− 4	±1
40	0	±1	− 12	±1
50	0	±1	− 20	±1
63	0	±1	− 28	±1
80	0	±1.5	− 36	±1.5

図 2-2 には、参照値のグラフもあります。

表 2-3　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値[1-6]

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	ｵｰﾊﾞｰｵｰﾙ値
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41	92dB(G)

参照値に対して、G特性での重み付けをしたものを、書き込めば

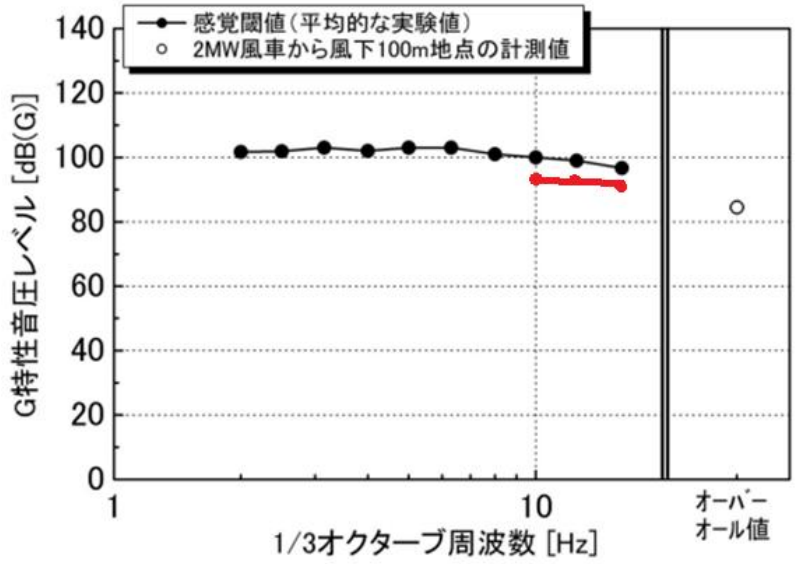


図 3-7　風車からの超低周波音の音圧レベルと感覚閾値との比較
感覚閾値[2-13]の値を元に G 特性音圧レベルに換算.
風車音（超低周波音）の計測値は[4-2]の値を示す.

となって、感覚閾値よりも小さな値でも人間の感覚は不快感を覚えると言う論理的な矛盾が生じます。

もちろん、論理学もいろいろです。古典的な 2 値の論理の他に、多値論理学や量子論理学もあるのですから、一概に矛盾、矛盾と言う事も無いのでしょうが、赤い線を忘れてはいけません。

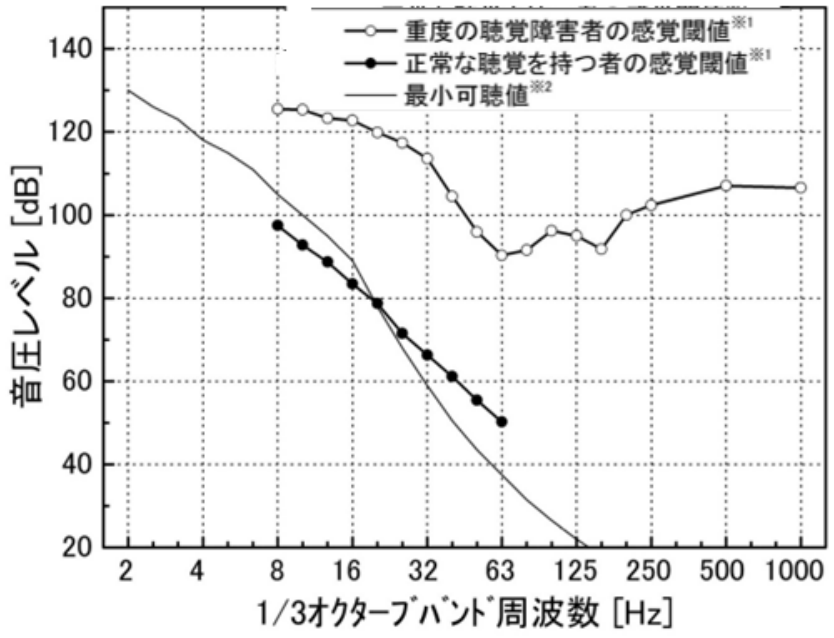


図 2-4　低周波音の聴覚閾値と聴覚以外の感覚閾値

少し前までは、最少可聴値と書いていたことを忘れてはいけないのです。

日本語の単語を適切に使用する必要があります。**いつの間にか摩り替えられる言葉として、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の３つがある。**

聴覚閾値は、耳で聞いて、聞こえるか聞こえないかの境目と理解できるが、

感覚閾値の感覚は、聴覚による音の感知、指先の皮膚などでの触覚、半規管、耳石器での揺れや加速度の感知、内耳の前庭器官による気圧の変化の感知能力、などが考えられるが、それらの全てを意味しているのか、他の感覚をも意味しているのかが不明である。多様な感覚の閾値を決定できるような実験は誰がどのように行ってどのような評価を受けているのかを明確にする必要がある。

知覚閾値にいたっては、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。

感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

聴覚閾値に至らない粗密波による刺激でも、別の感覚で捕らえられる。さらに、様々な刺激をきちんと把握すれば、風車騒音による被害なのだと知覚できる。
聴覚閾値は 10Hz の音のでるスピーカーと実験室で調べられても、感覚閾値を調べるのはかなり難しい。知覚閾値については何をどのように調べたら決定できると言うのだろうか？
この３種の閾値を混同してはいけない。

聴覚閾値を感覚閾値に昇格させたものは、次のものでした。

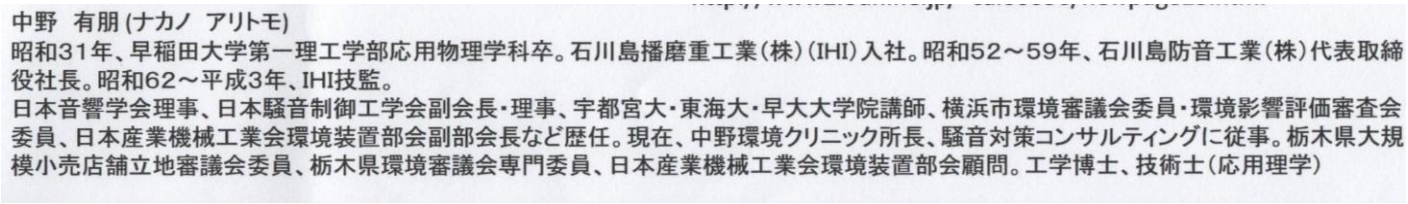
④超低周波音の感覚閾値と最小可聴値	—	—	—	130	126	123	118	115	111	105	100	95

最少可聴値は聴覚閾値を同じ意味です。でも、最少可聴値と感覚閾値は全く別物です。人間には聴覚以外の感覚器官があるのです。混乱を作り出してはいけません。
聴覚閾値を最少可聴値と言い換えて。最少可聴値を G 特性で表したものを感覚閾値と言い換えた。そして、根拠も無しに、感覚閾値を、知覚閾値と言い換えるのです。だから、知覚閾値の中身は、聴覚閾値と同じなのです。

これらを混同すると、超低周波音（0Hz～20Hz）の被害を訴える人は、
“知覚できないはずの超低周波音を感知して被害を受けたと主張している、クレーマーである。”
かのように見られてしまいます。

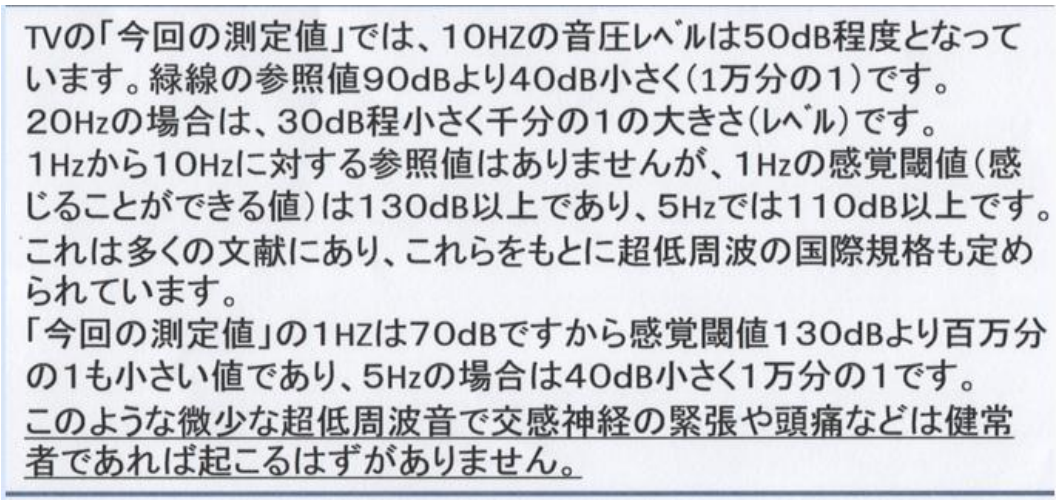
科学者は、詐欺師やマジシャンではないのです。科学者としての自覚があるなら、言葉の定義と意味を明確にして議論するべきです。人間には、聴覚以外の感覚器官のあり、最少可聴値（聴覚閾値）より低い音圧でも、不快感を覚えるのです。その結果、様々な被害が起きている現実を忘れてはいけないのです。

むかし、南房総に来た風力発電の業者が配布した資料には、専門家、中野有朋氏の経歴と意見が乗せられていた。


中野　有朋 (ナカノ　アリトモ)
昭和31年、早稲田大学第一理工学部応用物理学科卒。石川島播磨重工業(株)(IHI)入社。昭和52～59年、石川島防音工業(株)代表取締役社長。昭和62～平成3年、IHI技監。
日本音響学会理事、日本騒音制御工学会副会長・理事、宇都宮大・東海大・早大大学院講師、横浜市環境審議会委員・環境影響評価審査会委員、日本産業機械工業会環境装置部会副部会長など歴任。現在、中野環境クリニック所長、騒音対策コンサルティングに従事。栃木県大規模小売店舗立地審議会委員、栃木県環境審議会専門委員、日本産業機械工業会環境装置部会顧問。工学博士、技術士(応用理学)

中野氏は、日本音響学会理事、日本騒音制御工学会副会長・理事、だそうです。

資料の中には、中野氏の見解が、


TVの「今回の測定値」では、10HZの音圧レベルは50dB程度となっています。緑線の参照値90dBより40dB小さく(1万分の1)です。
20Hzの場合は、30dB程小さく千分の1の大きさ(レベル)です。
1Hzから10Hzに対する参照値はありませんが、1Hzの感覚閾値(感じることができる値)は130dB以上であり、5Hzでは110dB以上です。
これは多くの文献にあり、これらをもとに超低周波の国際規格も定められています。
「今回の測定値」の1HZは70dBですから感覚閾値130dBより百万分の1も小さい値であり、5Hzの場合は40dB小さく1万分の1です。
このような微少な超低周波音で交感神経の緊張や頭痛などは健常者であれば起こるはずがありません。

として、示されていた。

最後の部分

"このような微小な超低周波音で交感神経の緊張や頭痛などは健常者であれば起こるはずがありません。“

を見れば、

被害を訴える人は、健常者から除外されることになる。もし、身体的には健常者である人が、苦情を言ったら、身体以外の面で、健常者ではないことになる。

これでは、被害を訴えることが出来なくなります。

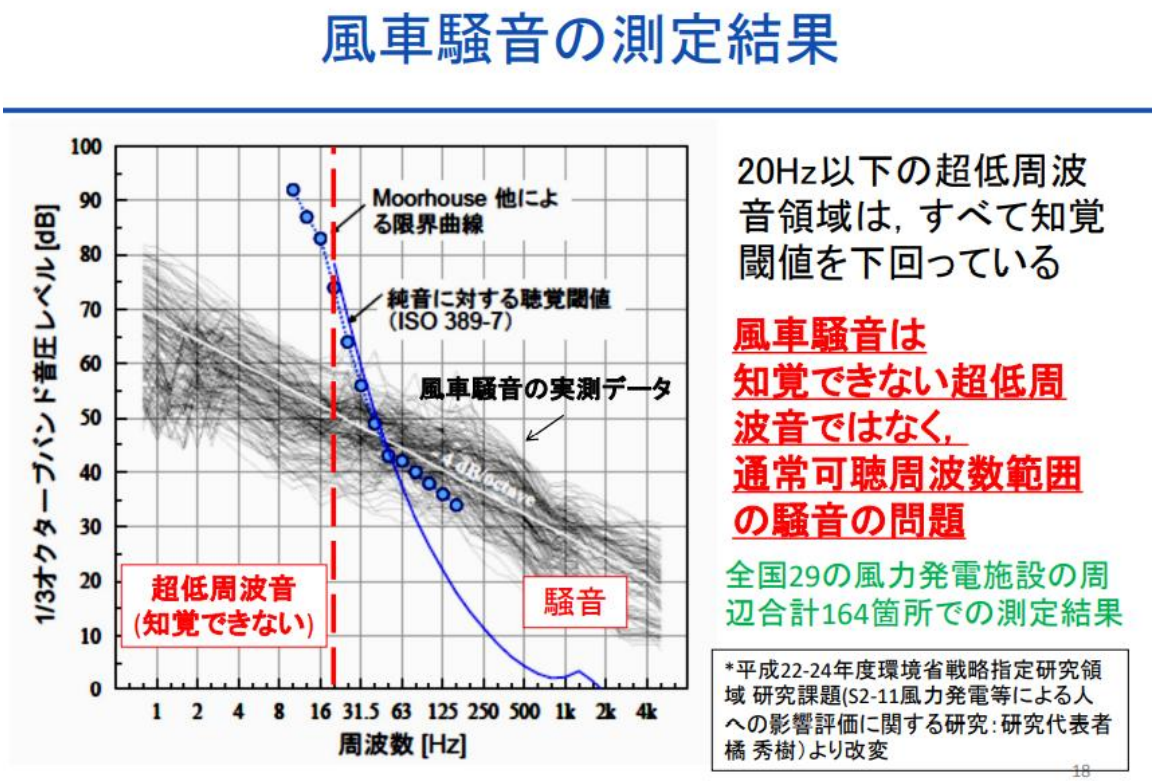
この中野氏の主張と同様に、超低周波音(0Hz～20Hz)の被害を訴える人は、

“知覚できないはずの原因を感知して被害を受けたと主張している。”

特別な人である、かのように見られてしまいます。

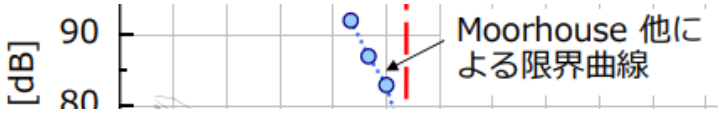
この主張も、被害を受けていることを主張することを抑圧するものとして機能します。

次のグラフの中に、”Moorhouse 他による限界曲線“と書いてあるので、



限界曲線に関しては 2 つの問題がある。

この資料の左下には、知覚できない領域として 0Hz～20Hz（超低周波音）の範囲が示されている。
上の方をみると、



Moorhouse 他による限界曲線が、この領域にはみだしている。
知覚できない領域にはみだしている曲線は、何を測った結果なのでしょうか？

知覚できない領域ならば、限界曲線がこの領域まではみだすことはあり得ない。日本語としての表現を正しいものにするには、知覚できない領域をもう少し狭くしておく必要がある。

ここで数値を確認すれば、

表 V: 提案された夜間基準曲線

Hz	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
dB	92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34

10Hz で 92ｄＢとなっている。
10Ｈｚは井上氏が感知できないとする超低周波音（0Ｈｚ～20Ｈｚ）である。では、10Ｈｚで 93ｄＢの音が与えられたら、基準曲線以上ですから、ある程度の人が、音を感知して不快感を覚えたりするはずです。でも、超低周波音（0Ｈｚ～20Ｈｚ）は知覚できない領域ですから、10Ｈｚの音がどんなに大きくても知覚できないはずです。町田先生は、この論理的な矛盾をどのように克服したのでしょうか？

Criterion　の意味は、
１．（判断・評価などの）基準、規範、尺度、よりどころ
２．特徴
語源は、ギリシャ語の基準（分ける、決めるより）
であり、これは、基準曲線と訳すべきです。基準は聴覚に関連する基準です。

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
（Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD）
には、次のように書かれています。

The proposed criteria curve is provided as guidance for environmental health officers in their evaluation of an LFN complaint, and **not as an absolute limit**.

This means that tonal sounds at, or just below, the threshold of the hearing should be considered as environmental sources potentially responsible for the complaint.

提案された基準曲線は、環境衛生担当者のためのガイダンスとして提供されています、LFN 苦情の評価であり、**絶対的な制限としての評価ではありません**。これは、騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は、環境音源として考慮されるべきであることを意味します。

と書いてあるのですら、基準曲線または参照曲線と訳すべきであり、限界曲線としたのでは、“騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は”との記述を無視することになります。

“限界曲線”と言えば、その限界よりも低ければ問題なし。と聞こえてしまいます。“騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は”との記述があるのですから、この日本語は不適当です。

“not as an absolute limit”と書いてあるのに、まるで、“absolute limit.”と書いてあるかのように訳してはいけないのです。

また、この論文には、日本での物的苦情に関する参照値の事も書いてあります。

A. The criterion curve

The criterion curve is given in Table V and FIG 13. If the noise occurs only during the day then 5dB relaxation may be applied to all third octave bands. Note that the criterion curve sound levels given in Table V for 25 Hz and below can cause the vibration of windows, walls and even floors in residential housing structures with the accompanying rattling of dishes and bric-a-brac. This induced vibration and the accompanying secondary noises will be noticed by residents, with annoyance the likely result. Some account of vibration-induced noise is made in the Japanese method for the assessment of low-frequency noise complaints[17].

A. 基準曲線
基準曲線を表 V および図 13 に示します。騒音が日中だけ発生する場合は、5dB の緩和は、すべての 1/3 オ

クターブバンドに適用することができます。
基準曲線の音圧レベルで、表 V に示されている 25Hz 以下の音圧レベルについては、窓、壁、さらに床などの振動を引き起こす可能性があります。食器によって、ガタガタという音が伴います。
この誘導された振動と、それに伴う二次騒音は、住民によって気づかれ、不快感を与えるでしょう。
振動誘発騒音についての、いくつかの記述は、日本での低周波騒音苦情の評価方法に書かれている。

もう少し、もとの論文を調べてみました。

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints

Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD
http://dx.doi.org/10.1121/1.3180695

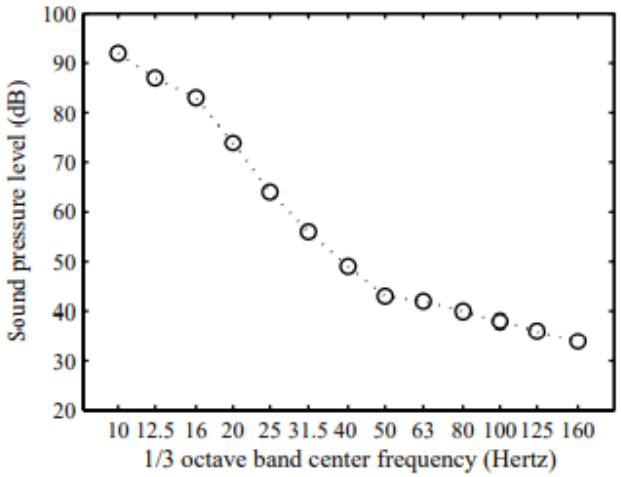
Title	A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
Authors	Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD
Publication title	The Journal of the Acoustical Society of America (JASA)
Publisher	Acoustical Society of America
Type	Article
USIR URL	This version is available at: http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/18459/
Published Date	2009

低周波騒音の苦情に関する評価手順
Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD
について確認しておきます。

この論文には、次の表があります。
表 V: 提案された夜間参照曲線

Hz	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
dB	92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34

また、次の図 13 もあります。



グラフの特徴を調べると、”Moorhouse 他による限界曲線“と書いてあるものと同一です。
　でも、名前が少し違います。

FIG. 13 Criterion curve from the Procedure for the assessment of low frequency noise

図 13 低周波ノイズの評価手順からの基準曲線

Criterion の意味は基準、判断基準です。

論文の中で、この Criterion curve（基準曲線）はどのように使われるのかを確認しましょう。

III. LFN 評価手順

LFN 評価手順は、“LFN 苦情についての評価手順”に詳述されています。

ガイダンスノートと体系的な指示を含む規格文書も与えられています。

“LFN 苦情の評価のための手順”についての評価には、苦情申立人による記録と組み合わせた 3~5 日間の音響監視結果の詳細を必要とします。

評価手順には 2 つの側面があります。

1. 録音された音のレベルと 1/3 オクターブバンド基準曲線との比較
2. 録音された音と苦情申立人の記載した記録との相関関係の評価

A. 基準曲線

基準曲線を表 V および図 13 に示します。

騒音が日中だけ発生する場合は、5dB の緩和は、すべての 1/3 オクターブバンドに適用することができます。

基準曲線の音圧レベルで、表 V に示されている 25Hz 以下の音圧レベルについては、窓、壁、などの振動を引き起こす可能性があります。住宅の床や、食器によって、ガタガタという音が伴います。

この誘導された振動と、それに伴う二次騒音は、住民によって気づかれ、不快感を与えるでしょう。

振動誘発騒音についての、いくつかの記述は、日本での低周波騒音苦情の評価方法に書かれている。

B. 録音結果及び苦情申立人の記載した記録の評価

以下に、ステップバイステップで、分析ガイドを示します。

1. 苦情申立人の記録を参照して、音が最も障害となった時間を見つける

2. 可能であれば、これらの時の音の特徴をオーディオ再生で確認してください。
3. 音が主に交通や建物内の動きによるものである場合は、このサンプルは棄却します。
4. 選択した時間について、$L_{eq,T}$サンプルの 1/3 オクターブバンドスペクトルを取得します。
5. $L_{eq,T}$ スペクトルを基準曲線と比較して、1/3 オクターブのバンドで、基準曲線を超えているものを見つけます。
6. 1/3 クターブバンドで、最大マージンで曲線を超えるような帯域に対して、イベントが発生した日の、24 時間での $L_{eq,T}$ の時間的な変動をプロットする
7. 苦情申立人の記録と時間履歴を比較して、2 つの間に相関関係があるかどうかを確認します。

III. LFN ASSESSMENT PROCEDURE

The LFN assessment procedure is detailed in the Procedure for the Assessment of LFN Complaints5 , together with guidance notes and a pro-forma report with systematic instructions. Measurements for the Procedure for the Assessment of LFN Complaints require detailed acoustical monitoring over a period of three to five days combined with a synchronized log completed by the complainant. There are then two aspects to the assessment procedure:

1. Comparison of the level of recorded sound with a third octave band criterion curve
2. Evaluation of the correlation between the recorded sound and the complainant's log.

A. The criterion curve

The criterion curve is given in Table V and FIG 13. If the noise occurs only during the day then 5dB relaxation may be applied to all third octave bands. Note that the criterion curve sound levels given in Table V for 25 Hz and below can cause the vibration of windows, walls and even floors in residential housing structures with the accompanying rattling of dishes and bric-a-brac. This induced vibration and the accompanying secondary noises will be noticed by residents, with annoyance the likely result. So me account of vibration-induced noise is made in the Japanese method for the assessment of low-frequency noise complaints17.

B. Evaluation of the recordings and complainant's log

The following provides a step-by-step guide to analysis.

1. Consult the complainant's log to find times when the sound was considered most disturbing.
2. If possible, check the character of the sound at these times by audio playback.
3. If the sound is predominantly due to traffic or movement within the building then reject this sample.
4. For the chosen time obtain the third octave band spectrum of $L_{eq,T}$samples
5. Compare the $L_{eq,T}$ spectrum to the criterion curve to find any third octave bands for which the criterion curve is exceeded.
6. For the third octave band which exceeds the curve by the greatest margin plot the time variation of the $L_{eq,T}$ for the 24 hour period in which the event occurred.
7. Compare the complainant's log with the time history to see whether there is correlation between the two.

聴覚閾値
町田氏の書かれた、検討会報告書の 15 ページのように**聴覚閾値**と訳すべきです。

２）発生する音の特徴・性質
風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、２－１．で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は図 8 に示すとおりであり、**他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。**

これを、無理やり**感覚閾値**にしようとする人もいます。こんな文章もあります。
環境省の HP にある、参 考 資 料―低周波音の基礎知識―の、- 参考 5 –　のページには、

d.1 感覚閾値
低周波音の**感覚閾値**（低周波音を感ずる最小音圧レベル）については多くの研究者によって検討がなされている。図-d.1 は様々な研究者によって得られた感覚閾値である 1)。これらの閾値は実験方法や実験施設の違いによって 5～10dB 程度の違いがある。大部分の結果は可聴音の閾値（ISO-226**（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている）**）の延長線上にあり、周波数が低くなるに従い閾値は上昇している。数 Hz～50Hz 位を代表する傾斜はほぼ -12dB/oct.となっており、この傾斜が ISO-7196（超低周波音の心理的・生理的影響の評価特性）においても採用されている。通常、音としては知覚されないとされる超低周波音については、ISO-7196 によると、平均的には、G特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、概ね 90dB 以下では人間の知覚としては認識されないと記されている。G特性の基になった超低周波音の感覚閾値は欧米の実験結果に基づいている。
これらの値は平均値であり、例えば中村らの実験結果によれば閾値には±5～10dB 程度の幅があり、山田らによれば、標準偏差の 2 倍である±10dB の範囲に大部分の人が入るとされている

この中の、
（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている）
についてだが、この規格の名前は、ISO 389-7:2019
Acoustics -- Reference zero for the calibration of audiometric equipment -- Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions
であり、threshold of hearing　なのだから、**最小聴覚閾値**と訳すべきです。

聴覚閾値と感覚閾値を混同してはいけません。もちろん、知覚閾値を同じ意味で使ってはいけません。環境省の HP に見られるような、支離滅裂な論理展開となってしまいます。

ISO 389-7:2019 にある、聴覚閾値の表の数値と、心身に係る苦情に関する参照値

2.2　心身に係る苦情に関する参照値

低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

表 2　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ音圧ﾚﾍﾞﾙ(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

との対応表をつくれば、（10Ｈｚで 92ｄＢは、Moorhouse の数値と一致する。）

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値（デシベル）	76	70	64	57	52	47	41
聴覚閾値（デシベル） 感覚閾値（デシベル）	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5

（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing　だから、聴覚（聴力）閾値です。）

となります。

もう少し正確な表を作れば、

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値（デシベル）	76	70	64	57	52	47	41
感覚閾値（デシベル） （2005年）	78.1 (78.5)	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
聴覚閾値（デシベル） （2005年）	78.1 (78.5)	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値－聴覚閾値	**-2.1**	**1.3**	**4.5**	**5.9**	**8**	**9.5**	**9.5**

となります。ISO での聴覚閾値の 20Hz での値は 78.5 から 78.1 に改訂されました。

数値を纏めると、次の表になります。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

100Hz での数値を見れば、”Moorhouse 他による限界曲線“出ない事は明白です。

環境省は、低周波音問題に関する Q&A の中で次のように言っています。
“大小関係で言うと、実際には、「心身に係る苦情の『参照値』」は「感覚閾値」より少し大きな値となっています。”
この表現は、２５Hz 以上の周波数成分については、正しい表現だが、２０Hz の所は、参照値が 76、感覚閾値が 78.1 となっていて、参照値よりも感覚閾値のほうが大きい。
これは、上記の表は、聴覚で音としてとらえる場合の限界、聴覚閾値 78.1 にならなくても、それより低い 76 の値の時に、音としてではなく、例えば圧迫感とかの他の感覚で音圧の変化をとらえて、不快感を覚えるという事を示していると考えます。
環境省は、２０Hz での参照値と聴覚閾値（感覚閾値）の数値の逆転について、どう考えているのだろう？
環境省の職員は、76 と 78.1 のどちらが大きな数値なのか、判断が出来ないのかもしれません。

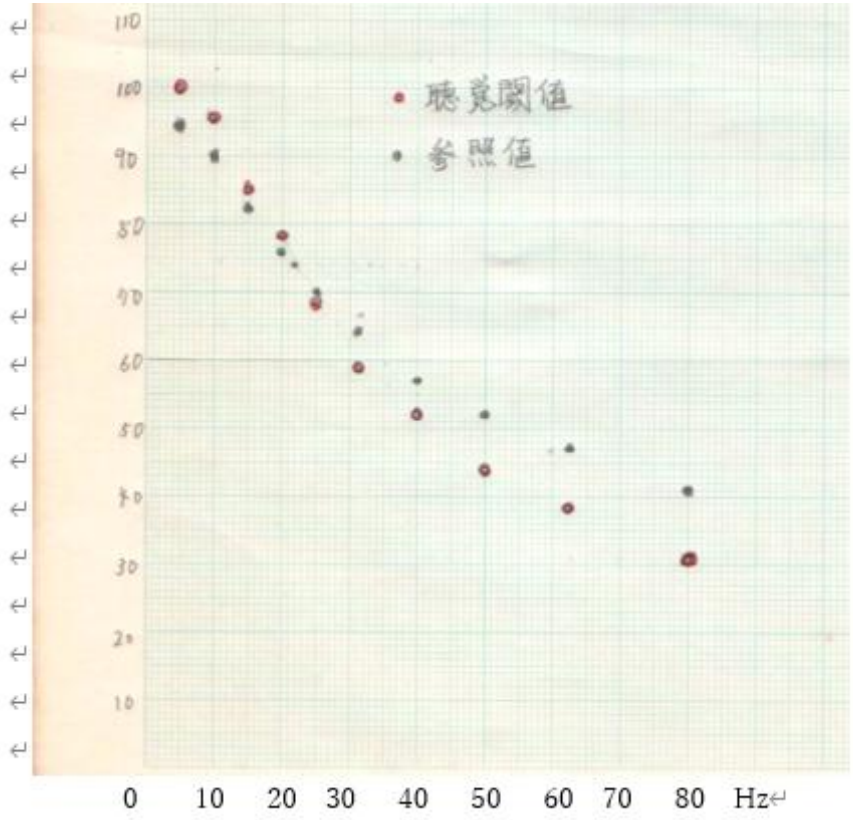
２５Hz より周波数が高い部分に関しては、ISO389-7 に記載されている値のほうが小さい。よって、この部分だけならば、環境省の言い分は、感覚閾値と言いう語訳の問題を除けば正しい。しかし、２０Hz の所は、ISO389-7 の値の方が大きいのです。
これは、偶然ではありません。
参照値　－　聴覚閾値　の表を作れば次のようになります。

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値－聴覚閾値	-2.1	1.3	4.5	5.9	8	9.5	9.5

この表は、周波数が低くなればなるほど、聴覚閾値と参照値（不快感を感じ始める値）の差が小さくなってきていて、20Hz では逆転することを示します。
10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz と低くなればなるほどこの傾向は続くと考えます。

これは、電力中央研究所報告にある、
“音圧レベルとアノイアンス(※12)（不快さ）について調べた Møller の実験[2-18]によると，周波数が低い方が音圧レベルの上昇に対してアノイアンスが増加する割合が大きくなっている．
なお，Møller の実験では 18 人の正常な聴覚を持った被験者に対して行っている．各被験者は周波数・音圧レベルの異なるいくつかの純音を聞いたとき，不快さの割合を示す棒線上（両端に「全く不快に感じない（not at all annoying)」,「非常に不快（very annoying)」と記載されている）に印をつけることで主観的な不快さを回答している．
さらに，**Subedi らの実験結果[2-19]によると，低周波音における音圧レベルと不快さの関係は音の周波数が固定した条件において，ほぼ比例関係を示すが，その比例定数は音の周波数によって変わっており，周波数が低いほど不快さは音圧レベルに対しても強く現れることが示されている．また，Subedi らは不快さと A 特性音圧レベルとの相関についても調べており，彼らの実験範囲において，不快さと A 特性音圧レベルは周波数に依存せず，ほぼ一定の相関を持つことが示されている．“**
に対応する事柄であり、

グラフにすれば（参照値の予測もしてみました。）次のようになります。



参照値は、被験者の１０％が不快だと感じる値です。

これは、20Hz の音が 76ｄＢの時に、人間が不快感を覚えたと言いう事です。もし、ISO389-7 の値が感覚閾値ならば、人間は 20Hz の音の音圧が 78.1ｄＢ（78.5ｄＢ）になるまで、人間は不快感を覚えないはずなのに、それよりも小さな値 76ｄＢで不快感を覚えてしまうという矛盾が生じます。

聴覚閾値と正しく訳しておけば、20Hz の音に対して、人間の聴覚は 78.1ｄＢになるまでは認識しないが、それ以外の感覚（圧迫感、頭痛、など）で 76ｄＢの段階でも不快感を覚えると理解できるので、矛盾は生じません。

さて、あくまで感覚閾値だと主張すると、次の矛盾に耐えきれなくなります。

感覚閾値ならば、78.1 デシベルよりも低い音圧レベルの音は、人間の感覚では感知できないはずです。でも、76 デシベルの音圧レベルで、不快感を覚えてしまいます。不快感の内容は人によるかもしれませんが、音、圧力、振動などを感じ取って不快だと思うのです。感覚閾値は、78.1 ではなくて、76 だとしなくてはなりません。

聴覚閾値としておけば、耳では音を感じなくても、76 デシベルの段階で、圧力や振動を体で感じ取り、不快感を覚える。のですから、全く矛盾は生じません。

環境省：低周波音問題に関する Q&A

Ｑ６　『参照値』に科学的な根拠はありますか？

Ａ６　『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一般被験者の 90％の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然に含まれ、総合的に把握されていると考えられます。

の記述を参考にすれば、聴覚以外の感覚器官による刺激を含めて反応を調査したものが参照値だと理解できます。

聴覚だけの聴覚閾値とそれ以外の感覚を含めた参照値が一致しないのは当然です。

このずれを検討しないで、聴覚閾値を単純に感覚閾値と言い換えたり、知覚閾値を言い換えたりしてはいけません。

さて、風車音の被害は、超低周波音（0Hz-20Hz）を除外して考えることが適切なのでしょうか？

この点に関して、少し考えてみます。

報告書（p 14）

風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

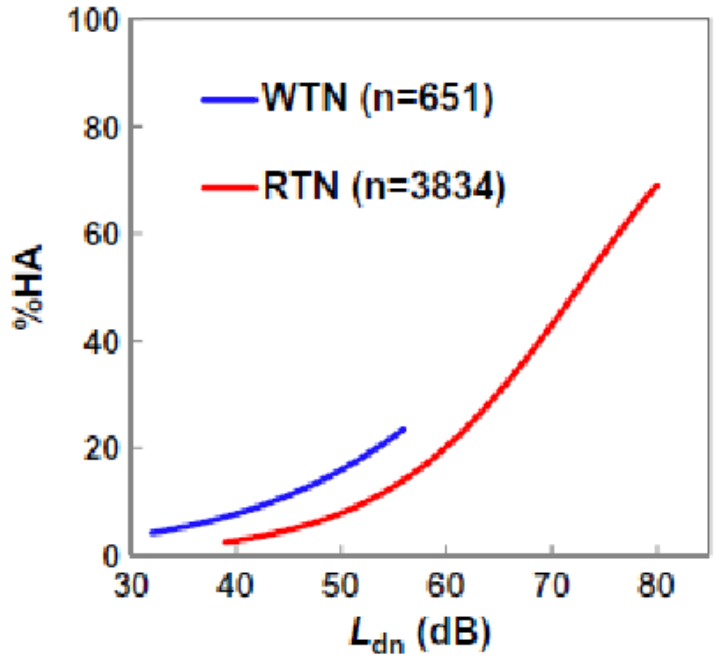


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn ）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報

告している。

報告書（ｐ14）の記述は周波数に注意して書き直すと、

風車騒音（20Hz 以上）とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音（20Hz 以上）は他の交通騒音（20Hz 以上）よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音（20Hz 以上）と道路交通騒音（20Hz 以上）を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

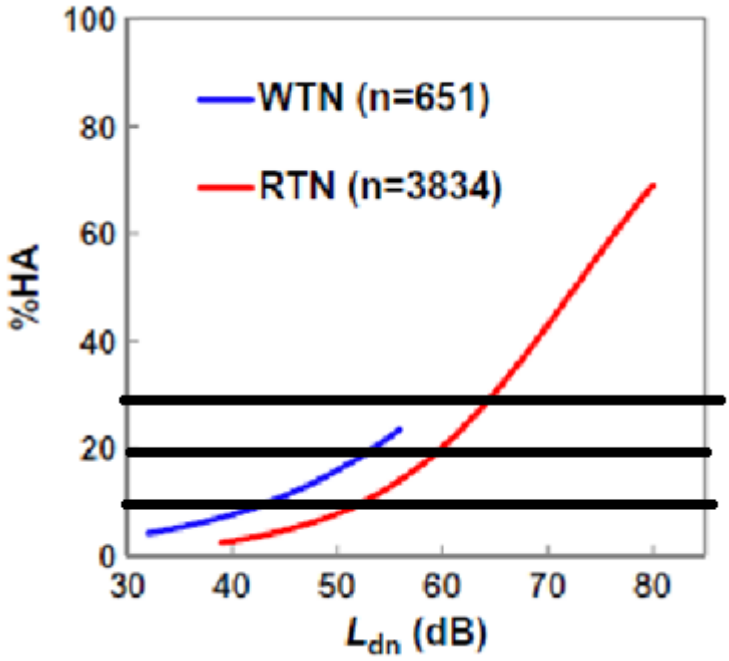


図 7 風車騒音（20Hz 以上）（WTN）と道路交通騒音（20Hz 以上）（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn ）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音（20Hz 以上）については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音（20Hz 以上）と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音（20Hz 以上）は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。

非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

交通騒音の方では、それぞれ 64ｄB、60ｄB、53dB 程度です。

10%の場合は 10ｄB、20%では 7ｄB、30%では 4ｄMB の差が出ています。他のアンケート結果を見る

と、
“非常に不快である”に対して、“不快である”の割合は、2倍程度あることが多いので、風車音で43ｄB、交通騒音で53ｄBの場合は、“不快、または非常に不快である”と感じる人の割合は30%程度だと推測できます。

風車騒音（20Hz以上）とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音（20Hz以上）は他の交通騒音（20Hz以上）よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

そもそも、
２）発生する音の特徴・性質
風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、２－１．で示したとおり、20Hz以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の1/3オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は**図 8** に示すとおりであり、**他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。**

報告書（風力発電施設から発生する騒音等への対応について）の22ページには、次の記載がある。
３．風車騒音の評価の考え方、調査・予測、対応策等
２．で示した知見を踏まえると、風車騒音は、20Hz以下の超低周波音（注）の問題ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題としてとらえるべきものであり、**A特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。**このようなことを前提とした上で、ここでは、風車騒音の評価の考え方を示すとともに、主に風力発電施設の設置事業者を想定し、風力発電施設の設置前・後に行うべき調査・予測の考え方を整理した。なお、今後本報告書の考え方に基づき、より具体的な測定・評価手法を定めたマニュアル等を策定することが適当である。

交通騒音と風車騒音の質的な違いが無く、双方に対して、“A特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。”と言えるためには、評価値としてのA特性音圧レベルが同じ値ならば、同程度の被害が出なくてはなりません。尺度を共通にしたときに、同じ値に対しての被害状況が異なるならば、その尺度は共通の尺度としては使えないのです。

不快になる割合が30%になるときの、A特性音圧レベルが、風車音で43ｄB、交通騒音で52ｄBと考えられるのです。9ｄBの差が出ています。
この差の原因を考えれば、問題解明の手掛かりが見つかります。

S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究（S2-11-vii ページ）
２）社会反応調査
社会反応調査としては、風力発電施設周辺地域について騒音の実測調査と同時に実施した。また、対照地域を平成23年度、平成24年度にそれぞれ9箇所選び、騒音の実測調査と社会反応調査を実施した。
風力発電施設周辺地域（風車地域 ）では、訪問住戸数 1,539に対して回答数は747で、回収率は49%であった。

また、対照地域では、訪問住戸数 828 に対して回答数は 373 で、回収率は 45%であった。
調査を実施した地域と回答者の属性 について、風車地域と対照地域を比較した結果 、両地域できわめて類似した特性となっていた。
つぎに、風車地域におけるアンケート調査の結果を分析した結果 、以下のことが分かった。
a. 何らかの音を「最も悩 まされている音 」として挙げた回答は、全回答数 747 のうち 197 件 であった。その内訳を見ると、60%（119 件 ）が風力発電施設の音を挙 げている。
b. 上記の回答のうち、風力発電施設の音以外の音を挙げた回答（78 件 、以下 、「風車騒音以外グループ」と呼ぶ）と風力発電施設の音を挙げた回答 （119 件 、以下 、「風車騒音グループ」と呼ぶ）の別 に、検討を行った。
まず、生活環境の満足度に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」の回答で「静けさ」に対する不満の程度が「風車騒音以外グループ」よりも大きくなっている。その他の項目については、両グループ間で大きな差は見られない。
c. 「悩まされたりうるさいと感じとことがある音 」に対する回答では、「風車騒音グループ」で風力発電施設の音に対して「非常にある」という強 い反 応 が見 られる。
d. 騒音によって迷惑を受ける時間帯については、「風車騒音以外グループ」では特に指摘が多 い時間帯はないが、「風車騒音グループ」では夜間 、深夜 を指摘する割合が大 きい。
e. 睡眠影響の原因に関する質問に対する回答では、「最も悩まされている音 」として挙 げた騒音によると思うと答えた割合は、「風車騒音以外グループ」では 59%であるが、「風車騒音グループ」では 87%となっている。
f. 「自然エネルギーを利用する風力発電は、よい方法か」という質問に対する回答では、「風車騒音以外グループ」では 85%が「よい方法と思う」と答えているのに対して、「風車騒音グループ」では若干その割合が小さくなっている。それでも、「よい方法と思う」との回答は 66%となっている。
g. 「風力発電施設の音が聞こえるか」という 質問に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」では「聞こえる」という回答が 100%となっているが、「風車騒音以外グループ」でも「聞こえる」という回答は 68%になっている。
h. 「風力発電施設が見えるか」という質問 に対する回答では、両グループともに 90%以上 が「見える」と答えている。
i. 「風力発電施設の景観上の問題 」に関する質問に対する回答 を見ると、「風車騒音グループ」では 39%が「景観の邪魔になる」と答えているのに対 して、「風車騒音以外グループ」ではその割合は 8%と小さくなっている。
j. 「風力発電施設 があることによって、よいことがあるか」という 質問に対する回答では、両グループともに「ない」という回答が圧倒的に多い。

つぎに「最も悩まされている音 」に関する質問に対して「風力発電施設の音」を挙げた 119 件の回答について、物理量として風車からの距離 と風車の稼働時の騒音レベルとの関係を調べてみた。その結果 、「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」の反応の割合は、最近接風車からの距離 が近いほど大きくなっている。また、風車稼働時の等価騒音レベルで整理した結果 、「非常にある」及び「非常にある」＋「だいぶある」の反応の割合は、等価騒音レベルが高くなるほど大きくなる傾向が見られた。これらの傾向は、アンケート調 査の結果を多重 ロジスティック解析の手法を用いて分析した結果でも確認された 。

残念ながら、このアンケートでは、９ｄＢの差を説明できません。
わずらわしさ（アノイアンス）に関してのこの差の原因を“景観への影響等、他の要因の寄与が大きい”として処理するのは乱暴すぎます。

風車が見える場合と見えない場合では、不快感に違いがあるというアンケート結果もありますが、私が見たアンケート結果には、アンケートに答えた人が住んでいる場所での、A 特性音圧レベルの計測結果、G 特性音圧レベルの計測結果、最大音圧の値（パスカル値）とその時の周波数、に関する数値とアンケート結果との相関関係を調べてなかった。

これでは研究とは言えません。風車が見えない場所では風車音は小さいのです。これは、風車音の影響を予測するときの項目に入っています。

風車が見える場所での音圧と、風車が見えない場所での音圧が比較されないと、見えるから不快なのか、音圧が大きいから不快なのかの判断ができないのです。

1. 障壁等の回折による減衰の算出

回折による減衰（A_T）の算定は以下のとおりとした。

$$A_T = D - A_G$$

$$D = 10\log_{10}\left[3 + (C_2/\lambda)C_3 z K_W\right]$$

［記号］

D ：地表面による減衰も含めた障壁の遮蔽効果（dB）
A_G ：障壁がない場合の地表面による減衰量（dB）
C_2 ：＝ 20
C_3 ：＝ 1（単一障壁）
C_3 ：＝ $\left[1+(5\lambda/e)^2\right]\left[(1/3)+(5\lambda/e)^2\right]$ （複数の障壁の障壁間距離）
λ ：オクターブバンド中心周波数の波長（m）
z ：直接音と回折音の経路差（m）
K_W ：気象条件による補正項

$K_W = exp\left[-(1/2{,}000) \times \sqrt{(d_{ss} \times d_{sr} \times d)/2z}\right]$ $z > 0$の場合
$K_W = 1$ $z \leq 0$の場合

防音壁を介した伝搬音を求める場合、防音壁を透過してくる音が十分小さい条件であれば、音源近傍の音圧レベルから、防音壁を考慮しない直線距離での距離減衰量を減じ、さらに計算図等から求めた回折減衰量を差し引くことで、受音点の音圧レベルを計算できる。図２の条件において、防音壁を介した伝搬音を計算した例を図３に示す。

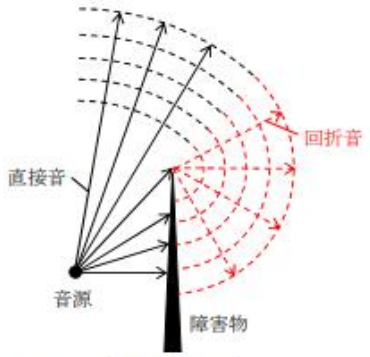


図１　音の回折現象

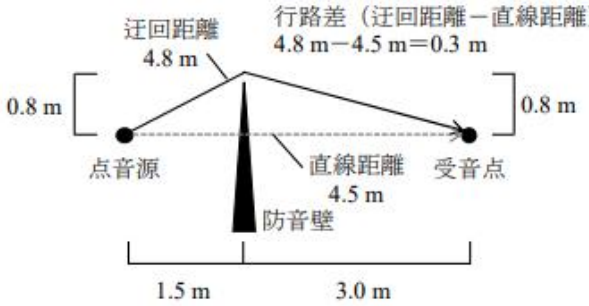
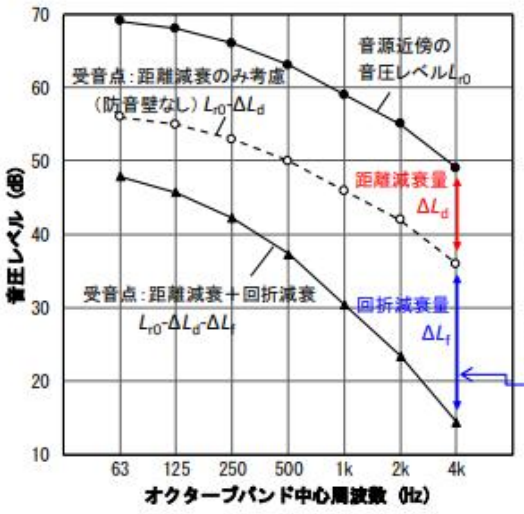


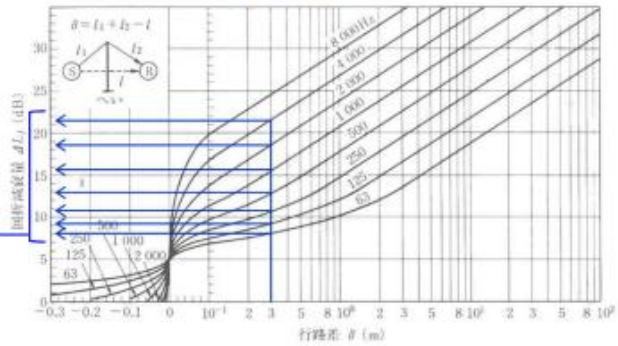
図２　防音壁を介した伝搬音の計算条件



音圧レベル計算結果

計算式：$L_r = L_{r0} - \Delta L_d - \Delta L_f$

L_r:受音点の音圧レベル（dB）
L_{r0}:音源近傍の音圧レベル（dB）
ΔL_d:距離減衰量（dB）
ΔL_f:回折減衰量（dB）



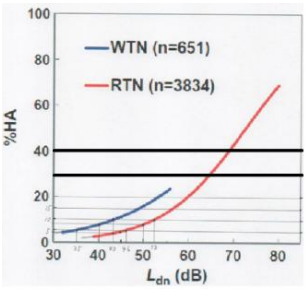
出典：日本建築学会編：実務的騒音対策指針　応用編（一部加筆）

計算図による回折減衰量の評価

風車が見えない場所では、風車からの距離が同じでも、音圧は低くなるのです。当然、見えない場所での被害は小さいのです。

アンケートと一緒に音圧を計測する必要があるのです。

報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

音の持つエネルギーの全体量に注目すれば、この差10ｄＢ（10%の被害率）に関する手掛かりが見つかります。

聴覚に対応した周波数重みである A 特性で重み付けした音圧 P_A から騒音レベル L_A（A 特性音圧レベル）(dB)を求める式は次のようになります。

$$L_A = 10\log_{10}\frac{p_A^2}{p_0^2} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

p_A：測定された周波数重み A 付きの（瞬時）音圧の実効値

p_0：基準となる音圧の実効値（20 μ Pa）（Pa はパスカルという圧力単位）

乱暴な考察だが、100/7＝14（全体のエネルギーは、20Ｈｚ以上の成分の持つエネルギーの 14 倍）に注目して、考えると、

騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル＜物理的な大きさ＞

音響出力は音圧の二乗に比例する

$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2)$

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 :基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

dB値(参考):0.002Pa=40dB,

0.00002(2×10^{-5}) Pa=0dB

＊ OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

を参考にして計算すれば、

$$40 = 10 * log_{10}(((P \quad /P_0)^2)$$

のときには、

$$10 * log_{10}(((P \quad /P_0)^2 * 14)) = 40 + 10 * log_{10}14 = 40 + 10 * 1.1 = 51$$

となる。

音のエネルギーが 14 倍になった時には、40ｄＢと言う数値が 51ｄＢになる。

これは、計測音のエネルギーの全体を横軸にして測れば、青いグラフは、11 デシベル分右に動くと言う事になる。赤いグラフは、20Ｈｚ以上の音が全体のネルギーの 99%を占めるので動かない。

全体のエネルギーを横軸に取った形で比較すれば、風車音と交通音の差はほとんどないことになる。
これならば、測定と数値化が難しい“アノイアンス”を持ち込まなくても、グラフのズレが説明できる。
もちろん、10ｄＢと 11ｄＢの違いがあるのだから、より精密な考察が必要となるが、少なくとも手がかりは得られたと考えます。

とりあえず、この誤差を補正する値として、変換補正項（－1）を加えて 51+（－１）＝50
としておきます。

騒音レベル（WTN）の値が同じでも、不快感を覚える人の比率は、交通騒音と風車音では差があります。この差について、“風車騒音の特徴と指針・測定マニュアルについて、　落合博明（小林理学研究所）”

風車騒音のうるささ

風車騒音の社会調査結果

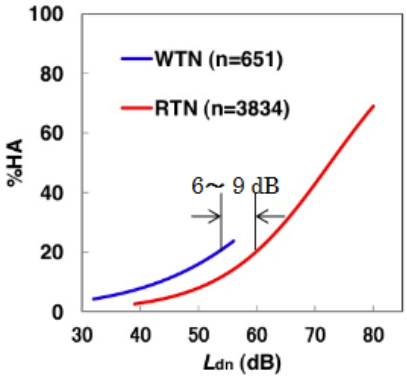


Fig.7 Relationship between Ldn and percentage of highly annoyed response of wind turbine noise (WTN) and road traffic noise (RTN)

- 全国の風車騒音が聞こえる地区34箇所と風車騒音の影響のない地区 16箇所（いずれも静かな田園地域あるいは山岳地域）において実施した社会調査結果
- 風車騒音と自動車騒音の量反応関係の比較；
- 風車騒音は自動車交通騒音よりうるさく、両者の差はL_{dn}を用いた暴露－反応曲線で 6～ 9 dB 。

⇒ 風車騒音は音圧レベルが小さくても耳につくことがわかった。

桑野、矢野、影山、末岡、橘；風車騒音に関する社会調査 －アンケート調査手法と調査結果－、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集、pp.1067-1070、2014.9

ＷＴＮは不快感の指標にはなりえないのです。指標として役立つためには、同じＷＴＮの値の時に、不快感を覚える人の割合が同じになる必要があります。
ＷＴＮは、交通騒音の場合は、そのエネルギーの 99%以上から計算された数値だが、風車音の場合には、そのエネルギーの 7%以下の部分から計算された数値なのです。したがって、風車音と交通騒音の共通の物差しにはなりえないのです。

グラフのズレについて６～９ｄＢとありますが、グラフを拡大して、水平線を引いて、交点の間隔を調べてみたら、次の様になりました。
誤差はあるでしょうが、ズレの理由を次の様に考えました。
Ａ特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音

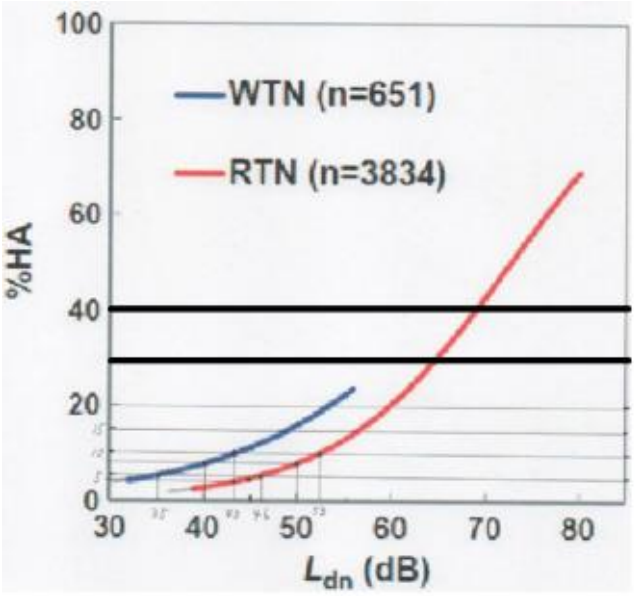
全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

$$DB7 = 10 * log10(\frac{p_1^2}{p_0^2})$$

$$DB99 = 10 * log10\left(\frac{99}{7} * \frac{p_1^2}{p_0^2}\right) = DB7 + 11.5$$

となって、11.5ｄＢ増加します。

報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

風車音の騒音レベルを 11.5ｄＢだけ補正すれば、数値としては、ほぼ一致します。表を作れば、

%HA	風車騒音	交通騒音	差	補正風車音	交通騒音	差
30%	60ｄB	64ｄB	4 ｄB	7 1 .5dB	64ｄB	-7.5ｄB
20%	53ｄB	60ｄB	7ｄB	64.5dB	60ｄB	-4.5ｄB
10%	43ｄB	53ｄB	10ｄB	54.5dB	53ｄB	-1.5ｄB
8%	40ｄB	50ｄB	10ｄB	51.5dB	50ｄB	-1.5ｄB
5%	35ｄB	46ｄB	11ｄB	46.5dB	46ｄB	-0.5ｄB
4%	30ｄB	43ｄB	13ｄB	41.5dB	43ｄB	1.5ｄB

エネルギーの面から風車騒音の値を補正した数値を使えば、不快感を覚える人の割合が、ほぼ一致すると言えます。超低周波音を無視すれば、この違いの合理的な説明は出来ません。

より詳細に考えるには、

風車騒音（20Hz 以上）（WTN）

の方を、風車が見えるところに住む人のグループと、風車が見えないところ住む人のグループの 2 つに分け、さらに、それぞれのグループを風車で儲かる人と儲からない人のグループに細分する必要があります。

次に、

わずらわしさ（アノイアンス）

の内容を、

音がうるさいの他に、

健康問題	回答者数	回答者の割合
睡眠障害	11	92%
ストレス	10	83%
フラストレーション	9	75%
眠りにつくのが難しい	8	67%
不安	8	67%
疲労感	7	58%
耳や体の圧力や痛み	7	58%
頭痛	7	58%
身体の振動や痛み	6	50%
頻繁な刺激	5	42%
不眠症	5	42%
うつ病	4	33%
片頭痛	3	25%
腹部症状	3	25%
慢性疲労	2	17%
自殺	2	17%
耳鳴り	1a	8%

a） 回答者は、耳鳴りではなく副鼻腔炎が耳鳴りに起因すると回答した。

低周波音が知覚されてよく眠れない、
気分がいらいらする、
胸や腹を圧迫されるような感じがする
頭痛
耳鳴り
吐き気がする
建具等の振動による音がうるさい。
床さうなっているような気がする。

などに分解して調査する必要があります。

もちろん、音や振動の計測も必要です。計測結果の数値では、
A 特性音圧レベル（20Hz～）
G 特性音圧レベル（ISO7196）
1/3 オクターブ解析での各中心周波数での平坦特性音圧レベル（0.25Hz-315Hz）、
音圧の最大値、
音圧の最大値÷その時の周波数、
超低周波音（0Hz-20Hz）のエネルギーと 20Hz 以上の音のエネルギーに比率

コレチゾール検査の結果

などを使って、
これらの数値とアンケート結果を数値化したものとの相関行列を計算する必要があります。

従って、
20Hz 以下の音（超低周波音）に関しても、その影響を慎重に検討しなくてはならないのです。

と変更すべきです。

問題を 20H z 以上の可聴域音に限定したいのでしょうが、低周波音（0-100）被害の内容を検討する場合には、不快感/わずらわしさ（アノイアンス）の内容を次の項目をなどに細分化することによって。不快感の原因をより明確に出来ます

風車音に対する聴覚以外の反応について

低周波騒音の苦情に関する評価手順
Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD
http://dx.doi.org/10.1121/1.3180695
タイトル　低周波騒音の苦情に関する評価手順
著者　ムーアハウス、AT、ワディントン、DC およびアダムズ、メリーランド州
出版名　The Journal of the Acoustical Society of America (JASA)
出版社　アメリカ音響学会
タイプ　記事
USIR URL このバージョンは http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/18459/で入手可能です:
公開日　2009
次の表は上記の論文にあるものです。聴覚によるとは思えない被害が書かれています。
表 II:選択された症状を報告している LFN 苦情申立人の数。 を変更する

健康問題 ↵	回答者数↵	回答者の割合↵
睡眠障害↵	11↵	92%↵
ストレス ↵	10 ↵	83%↵
フラストレーション↵	9 ↵	75% ↵
眠りにつくのが難しい ↵	8 ↵	67%↵
不安 ↵	8↵	67%↵
疲労感 ↵	7 ↵	58%↵
耳や体の圧力や痛み ↵	7 ↵	58%↵
頭痛 ↵	7 ↵	58%↵
身体の振動や痛み ↵	6 ↵	50%↵
頻繁な刺激 ↵	5 ↵	42%↵
不眠症↵	5 ↵	42%↵
うつ病 ↵	4 ↵	33%↵
片頭痛↵	3 ↵	25%↵
腹部症状 ↵	3 ↵	25%↵
慢性疲労 ↵	2 ↵	17%↵
自殺 ↵	2↵	17%↵
耳鳴り ↵	1a ↵	8%↵

a) 回答者は、耳鳴りではなく副鼻腔炎が耳鳴りに起因すると回答した。 ↵

また、
低周波音の測定方法に関するマニュアル（ｐ5）にも、
聴覚以外の感覚器官による風車音の感知についての記述があります。

２．２ 低周波音の苦情
低周波音による苦情は物的苦情と心理的苦情、生理的苦情に大別される。苦情の内容を以下に示す。
（１）物的苦情
物的苦情は、音を感じないのに戸や窓がガタガタする、置物が移動するといった苦情である
物的苦情が発生する場合は、低周波音では、20Hz 以下に卓越周波数成分をもつ超低周波音による可能性が高い。なお、物的苦情は低周波音だけでなく地面振動によっても発生する場合があるので、低周波音と地面振動の両方の可能性を考えておく必要がある。
（２）心理的苦情、生理的苦情
心理的苦情は、低周波音が知覚されてよく眠れない、気分がいらいらする、胸や腹を圧迫されるような感じがするといった苦情である。生理的苦情は、頭痛・耳鳴りがする、吐き気がするといった苦情である。
心理的苦情、生理的苦情は、低周波音が原因である場合と低周波音以外の原因による場合が考えられる。低周波音が原因であるか否かは、苦情者の反応と物理量の対応関係により判定する。
低周波音が原因である場合は、20Hz 以下の超低周波音による可能性と、20Hz 以上の可聴域の低周波音による可能性が考えられる。このうち、超低周波音によって心理的苦情、生理的苦情が発生している場合には物的苦情も併発していることが多く、建具等の振動によって二次的に発生する騒音に悩まされている場合もある。可聴域の低周波音の場合は非常に低い音が聞こえる（感じられる）ことによって上記のような苦情が発生することが多い。
２．３ 低周波音の卓越周波数と苦情内容
これまでの研究結果によれば、揺れやすい建具の場合、20Hz 以下では人が感ずるよりも低い音圧レベルでがたつくことがわかっている。実際の苦情についても同様な傾向があるかどうかを調べるため、既存の文献に掲載された事例の中から、苦情内容と低周波音の周波数特性が記載されているものについて、低周波音の卓越周波数と苦情内容を整理した（表-2.1 参照）
文献にとりあげられた低周波音の苦情は物的苦情が多数を占めている。苦情発生時の低周波音の卓越周波数はおおよそ 3～50Hz の範囲に分布している。苦情内容別にみると、物的苦情のほとんどは「建具のがたつき」によるものである。物的苦情は、20Hz 以上の可聴域でがたつきが発生している例もみられるが、ほとんどの場合可聴域以下の周波数域で発生している。心理的・生理的苦情は「気分が悪い」、「発生音がうるさい」といったものであるが、苦情発生時の低周波音はいずれも可聴域の低周波音成分が卓越している

とあります。

低周波音の測定方法に関するマニュアル（ｐ5）の最後の部分

“苦情発生時の低周波音はいずれも可聴域の低周波音成分が卓越している”

との記述に関しては、計測方法と計算方法に関しての疑問が残りますが、

被害内容には多様性があり、聴覚による影響よりは圧力による影響と考えるべき項目があります。音圧が特に高い部分は超低周波音の部分に集中しています。

これは、20Ｈｚ以下の超低周波音を無視してはいけないことを示しています。これを無視すると、風車から出る音のエネルギーの 93%程度を無視して、風車音を評価することになってしまいます。

とにかく、観測したデータをネット上に公開しながら議論することが必要です。

５． 低周波音の測定方法

５．１ 測定計画

5.1.1 測定量

（1） 低周波音の感覚及び睡眠への影響に関する評価に用いる測定量

超低周波音の感覚及び睡眠への影響に関しては、G 特性音圧レベルを測定する。

G 特性を持たない低周波音圧レベル計を用いる場合には、実時間周波数分析器等を用いて 1/3 オクターブバンドで周波数分析を行い、周波数分析結果に G 特性補正値（表-1.1 参照）を加えた後、エネルギー加算して G 特性音圧レベルを計算で求めてもよい。なお、衝撃性の超低周波音の場合は、オクターブバンド音圧レベルから G 特性音圧レベルを求めるのが望ましい。 G 特性音圧レベルの計算例を表-5.1 に示す。

また、必要に応じて低周波音の周波数分析を行い、1/3 オクターブバンド音圧レベル（衝撃性の超低周波音の場合は、オクターブバンド音圧レベル）を測定する。

（2） 低周波音の建具等のがたつきに関する評価に用いる測定量

低周波音の建具等のがたつきに関する評価に関連する測定は、実時間周波数分析器等を用いて低周波音の周波数分析を行い、1/3 オクターブバンド中心周波数 1～50Hz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。

（3） 低周波音の圧迫感・振動感に関する評価に用いる測定量

低周波音の圧迫感・振動感に関する評価に関連する測定は、実時間周波数分析器等を用いて、1/3 オクターブバンド中心周波数 1～80Hz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。

最後の

“苦情発生時の低周波音はいずれも可聴域の低周波音成分が卓越している”

との記述に関しては､計測方法と計算方法に関しての疑問が残りますが､被害内容の多様性に着目すれば、20Ｈｚ以下の超低周波音を無視してはいけないことを示しています。これを無視すると、風車から出る音のエネルギーの 95%程度を無視して、風車音を評価することになってしまいます。

これらの検討の結果として、

２）発生する音の特徴・性質

風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、２－１．で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は**図 8** に示すとおりであり、**他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。**

この表題は“発生する音の特徴・性質”なのですから、風車から発生している音の特徴を考えて評価しなくてはなりません。

“他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。”

との表現は、

“他の様々な騒音（20Hz 以上）の実測値と比較しても、風車騒音（20Hz 以上）で特に低い周波数成分（低周波音（20Hz-100Hz)）の騒音（20Hz 以上）の卓越が見られるわけではない。”

と書くべきだし、

風車音の特徴に踏まえて表現するならば、

“他の様々な騒音（0Hz 以上）の実測値と比較すると、風車騒音（0Hz 以上）では、特に低い周波数成分の騒音（0Hz 以上）の中での、超低周波音（0Hz-20Hz）の部分に極めて高い卓越が見られる。エネルギーとしては、風車音のエネルギーの 93%は超低周波音の部分に集中している。

高いエネルギーを持っている超低周波音（0Hz-20Hz）の部分を無視して考えれば、他の様々な騒音（20Hz 以上）の実測値と比較しても、風車騒音（20Hz 以上）で特に低い周波数成分（低周波音（20Hz-100Hz)）の騒音（20Hz 以上）の卓越が見られるわけではない。

風車音のエネルギーの７％程度の部分と交通騒音のエネルギーの 99%を占める部分を比較すれば大きな違いは見られなくなる。“

と書かなくてはなりません。

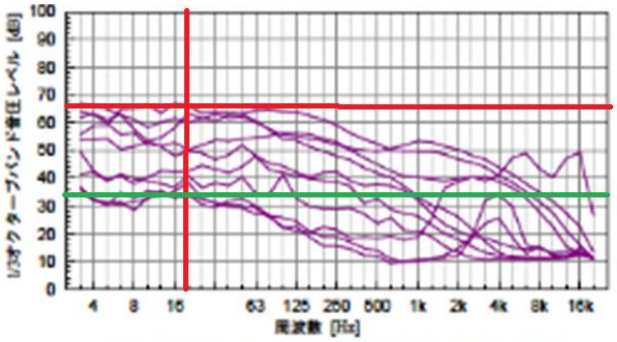
風車音の特徴と他の環境音の特徴を理解して、問題の解明をするには、超低周波音（0Hz-20Hz）の部分も含めて議論しなくてはなりません。

その意味では、町田氏の結論は、騒音（20Hz 以上）に限定することによって、強烈なエネルギーを持っている超低周波音（0Hz-20Hz）の部分を隠して議論することになり、被害の状況を風車に対する単なる反感や、経済的な不満にすり替えてしまう事になると言う、大きな誤りを含んでいます。

エネルギーの 93%についてしっかり考察するために、低周波領域の言葉を、0Hz から 100Hz の領域と考えて議論しなくてはなりません。

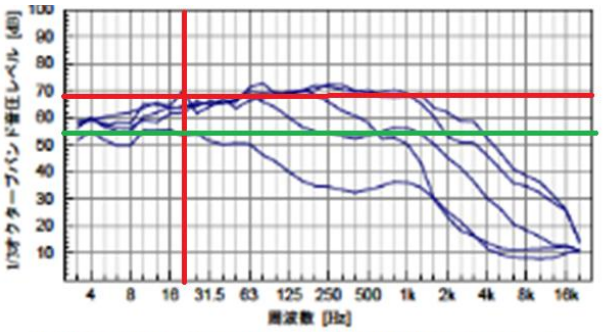
報告書にあるグラフからでも、風車音と交通音（風車騒音（0Hz 以上）と交通騒音（0Hz 以上）の意味です）の特徴に大きな違いがあることは次のように考えれば分かります。
20Hz 辺りに縦線、それとグラフとの交点を通る水平線を引けば、低周波領域での特徴が分かります。

4Hz から 20Hz ではグラフは水平。



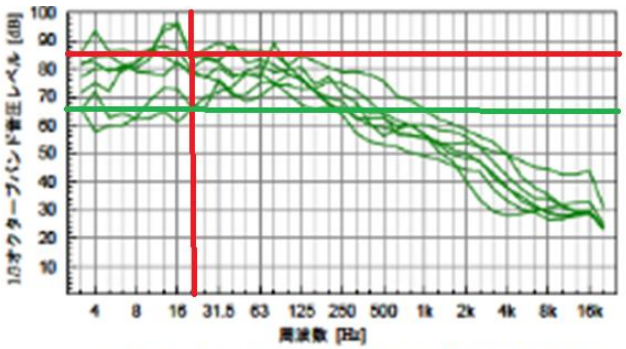
a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類

周波数が低くなるとグラフは下がる。



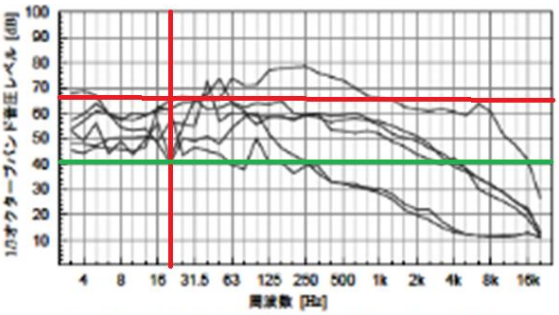
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類

水平に近いが周波数が低くなるとやや下がる。



c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類

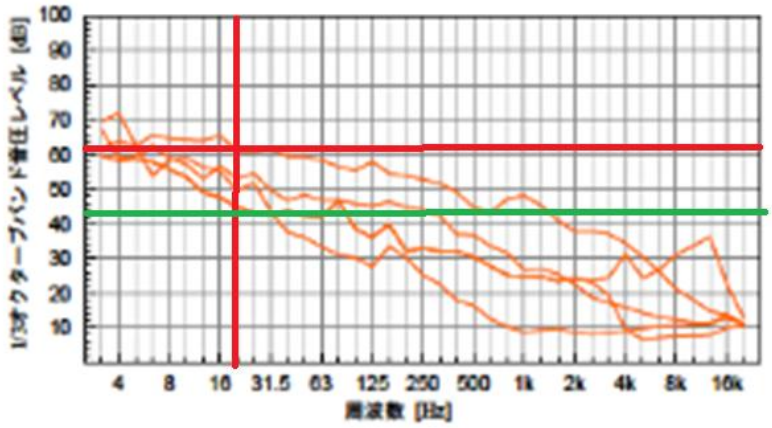
4Hz から 20Hz ではほぼ水平。



d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

※全国29の風力発電施設の周辺の合計164測定点で騒音を測定

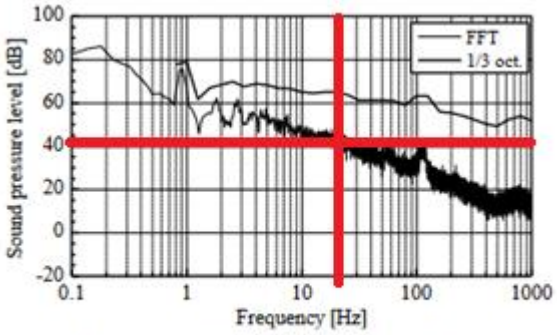
風車騒音では、周波数が下がるにつれて音圧が上昇。



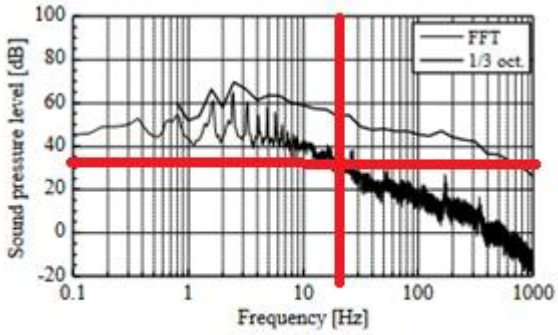
e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類

これらの比較から、風車騒音は、4Hz から 20Hz の間で、周波数が低くなると音圧レベルが上昇する、特徴を持っていることが分かります。どこまで上昇するかについては、

“課題名 S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”にあるグラフを見ると、この上昇は、0.2Hz くらいまで続くことが分かります。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

左のグラフでは、0.2Hz で 85dB 程度、20Hz で 45dB 程度です。40dB の差ですから、**0.2Hz の音の音圧は 20Hz の音の音圧の 100 倍**です。**100 倍の音圧なので、普通の日本語では、卓越した低周波音が存在すると言います。**

4Hz でカットしておけば、4Hz の所で 55dB くらいなので、10dB の差となり、音圧は3倍くらいだと言う話でごまかせたのですが、誰かが間違えて 0.1Hz からのグラフをそのまま掲載してしまったようです。

もし、

“他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。”

と言いたいならば、もう少し丁寧に、

“他の様々な騒音の実測値を 20Hz 以上の成分に限定に限定したものと比較しても、風車からの音の 20Hz 以上の主波数成分に限定して風車騒音を考える限り、20Hz 以上の周波数成分だけを考える限りにおいては、特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。

考察する範囲を、超低周波音（0-20）の範囲まで含めて考えると、風車音には、他の環境音よりも、音圧で 100 倍、エネルギーで 10000 倍程度となっている卓越した低周波成分が含まれていることが分かります。”

と書くべきです。

報告書（風力発電施設から発生する騒音等への対応について）の 22 ページには、次の記載がある。

３．風車騒音の評価の考え方、調査・予測、対応策等

２．で示した知見を踏まえると、風車騒音は、20Hz 以下の超低周波音（注）の問題ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題としてとらえるべきものであり、**A 特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。**このようなことを前提とした上で、ここでは、風車騒音の評価の考え方を示すとともに、主に風力発電施設の設置事業者を想定し、風力発電施設の設置前・後に行うべき調査・予測の考え方を整理した。なお、今後本報告書の考え方に基づき、より具体的な測定・評価手法を定めたマニュアル等を策定することが適当である。

（注）「超低周波音」についての補足
我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議）規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第 0 部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という用語を用いないこととされた。
これらの状況を踏まえ、本報告書では、20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」と表記する。

３－１．風車騒音の評価の考え方

風車騒音のレベルは、通常それほど高いものではないが、振幅変調音（スウィッシュ音）が聞こえ、一部の風力発電施設では純音性成分を含むという特殊性があることから、交通騒音等の他の騒音と比較して、より耳につきやすいことが指摘されており、元々静穏な地域に建設されるような場合には、比較的低い騒音レベルであっても苦情等が発生する事例がある。
そのため、風力発電施設の設置又は発電設備の新設を伴う変更（以下、「風力発電施設の設置等」とする。）に当たり、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ、生活環境を保全する上での参考となるよう、風車騒音の評価の目安を定めることが適当である。
ただし、風車騒音は風力発電施設の規模、設置される場所の風況等でも異なり、さらに騒音の聞こえ方は、風力発電施設からの距離や、その地域の地形や被覆状況、土地利用の状況等により影響される。これらの特性を踏まえ、評価の考え方としては、全国一律の値とするのではなく、地域の状況に応じて、必要な対策等を講じ生活環境を保全するための目安と位置付けることが適当である。
２．で述べたとおり、風車騒音による影響については多くの研究が国内外において進められてきており、風車騒音のレベルとわずらわしさ（アノイアンス）を感じる程度の間には統計的に有意な関連が複数の論文で報告されている。また、睡眠影響については、限定的ではあるが、風車騒音が直接あるいは間接的に関係する可能性を示唆する知見が見られた。一方で、頭痛、耳鳴り等の健康影響については、風車騒音との統計的に有意な関係を示す知見は確認できなかった。評価の目安においては、これらの知見を踏まえ、わずらわしさ（アノイアンス）と睡眠影響に注目し、風車騒音により、人の生活環境に影響を及ぼすおそれがある地域において、屋内の生活環境が保全されるように、屋外において昼間と夜間の風車騒音をそれぞれ評価することが適当である。
（注）「騒音に係る環境基準」では、昼間を午前 6 時から午後 10 時までの間、夜間を午後 10 時から翌日の午前 6 時までの間としており、風車騒音の評価についても同様とする。
評価の目安となる値は、地域の音環境の差異を考慮し、その地域における騒音の状況を基に、風車騒音により生ずる残留騒音からの増加量が一定のレベルに収まるように設定することが考えられる。その際、Kono ら（1982）(54)による、日常の平均的な騒音レベルよりも平均して 4～5 dB 騒音レベルが高くなると人はわずらわしさ（アノイアンス）を訴えるとする報告等を参考とし、評価の目安となる値を「残留騒音に 5 dB を加算した値」とすることが適当である（図 9）。

このようか報告内容が原因で、環境省は、

“風力発電施設から発生する音には低周波音も含まれますが、他の環境騒音（交通騒音等）と比べて特に大きいわけではありません。”

と主張し、A 特性に移行しました。

しかし、

２．で示した知見を踏まえると、風車騒音は、20Hz 以下の超低周波音（注）の問題ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題としてとらえるべきものであり、**A 特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。**

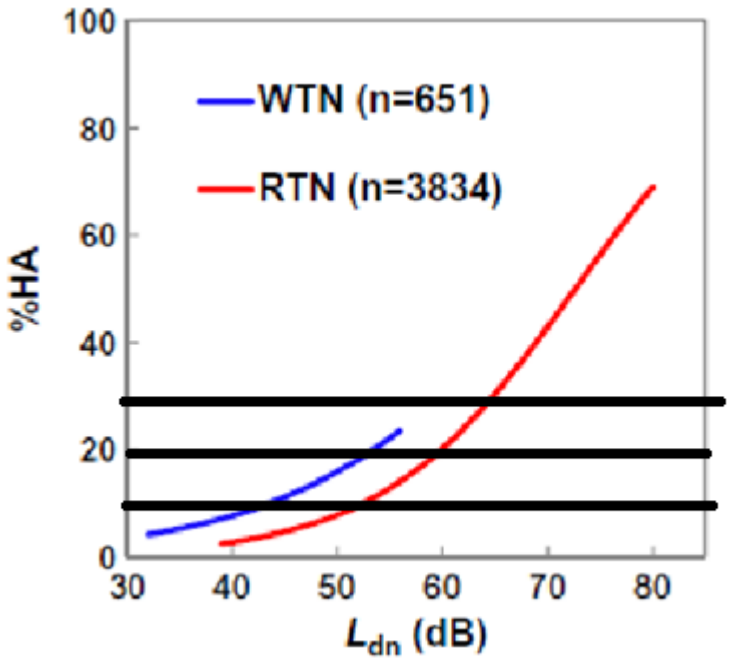
との結論には、全く同意できない。

2 で示された「知見」の内容は、人間の感覚器官が聴覚以外にはないとの前提での議論であり、日本人の多くが家の中で眠る習慣があると言う事実を無視した議論である。家の中では共振現象や共鳴現象が起きる。がたつき閾値の研究や、日本の家屋の固有振動数が 1 Hz 程度であり、大型風車の音は 0.5Hz～1Hz 辺りの周波数で最大の音圧となると言う事実を無視した議論になっている。

また、解析方法も極めて雑であり、音の特徴を様々な角度から把握していないばかりでなく、不快感の特徴を細分化して、音の特徴との関連を調べようとする意志が全く見られない。このようなものを研究とか知見とは呼んではいけません。

騒音の意味を騒音（20Hz 以上）に制限してしまう事によって考察の対象から超低周波音（0Hz-20Hz）を除外して結論を出しただけのことです。そして、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値を区別して使う事が出来ないと言う言語能力の低さを示しただけのことです。

A 特性音圧レベル（20Hz～）を基本とすると、風車音による被害とは大きなずれが出ます。



このずれは、A 特性音圧レベル（20Hz～）が被害を判断する指標としては不適切であることを意味してい

ます。もし、A 特性音圧レベル（20Hz～）が適切ならば、A 特性音圧レベル（20Hz～）の値が同一ならば、不快感を覚える人の割合も同一にならなくてはいけません。

他の環境音と風車音に差が無いならば、グラフの青い線と赤い線が一致しなくてはなりません。一致しない限り、騒音を統一的に評価する指針とはならないのです。

従って、A 特性音圧レベルでの評価を基本とすることは全く不適当なのです。

このような判断では、超低周波音（0Hz-20Hz）のエネルギー透過率の高さを考えてみればすぐに分かるように、役に立たない防音工事でお金を無駄遣いする結果になります。

さて、検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を作る検討会は
平成２８年１１月風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会
ですが、メンバーは次の方々です。（座長は町田先生です。）
（参考１）風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 名簿
沖山 文敏 環境アセスメント学会理事
落合 博明 一般財団法人小林理学研究所協力研究員
桑野 園子 大阪大学名誉教授
佐藤 敏彦 青山学院大学大学院社会情報学研究科特任教授
塩田 正純 元工学院大学工学部教授
橘 秀樹 東京大学名誉教授
田中 充 法政大学社会学部教授
新美 育文 明治大学法学部専任教授
船場 ひさお 岩手大学 COC 推進室特任准教授
（座長） 町田 信夫 日本大学理工学部特任教授
矢野 隆 熊本大学大学院先端科学研究部教授
（50 音順、敬称略。所属は平成 28 年 11 月現在

判断の根拠となったグラフのデジタルデータを探して、検討会のメンバーの方々にメールをしてみたが、“デジタルデータは持っていません。”との返事でした。もちろん町田先生も持っていないと言っていました。
また、
“私は検討会には参加していましたが、報告書の測定データも録音データも持ち合わせておりません。
平成 28 年 11 月 25 日付「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」の測定データは、
平成 22-24 年度 環境省 環境研究総合推進費(戦略指定研究領域)研究課題「S2-11 風力発電等による
低周波音の人への影響評価に関する研究」において測定されたものです。
そちらにお問合せいただければと思います。“
とのお返事もありました。

環境省にも電話してみましたが、“環境省には無い。” との返事でした。重要な資料ですので、正式に文書開示の請求書を出してみます。平成 24 年に元のグラフが作られて、平成２８年の検討会の報告書の番号が入ったグラフがあるのだから、平成２８年にはデータがどこかにあったはずです。

２　講演会資料の確認

長らく脱線しましたが、本題である、講演会での資料に沿って検討しましょう。

２．１　風力発電施設における騒音及び超低周波音について

風力発電施設における騒音及び超低周波音について

出典：ttps://www.nedo.go.jp/fuusha/haikei.html

日本大学　町田 信夫

令和元年12月26日（木）

秋田県 再エネ海域利用法に基づく協議会

- **能代市，三種町，男鹿市沖**
- **由利本荘市沖**

素晴らしい、超低周波音についても解説してくれるようです。

超低周波音では、風車がある場所と、風車が無い場所での音圧の違い、周波数成分の特徴の把握が大切です。

これらの調査は、デジタル信号処理の常識があれば簡単ですが、詳細を知りたくない人は“風雑音”と言って済ませることが多いです。

次のような助言を受けたことがあります。

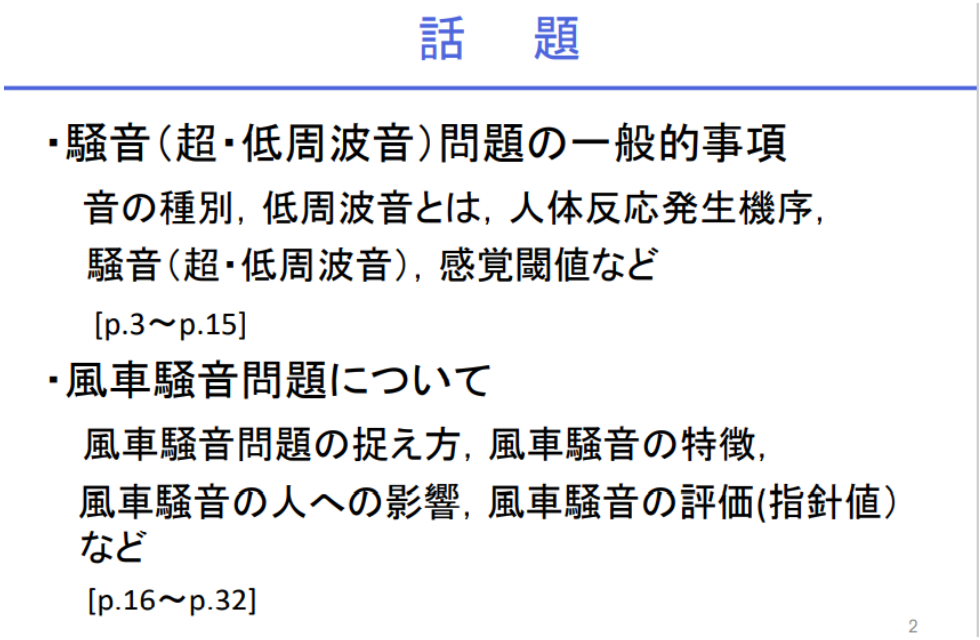
“宇山さんは、風車からの低周波音の測定について検討されていたと思います。
風車の回転に伴い、1 分間の回転数×羽枚数÷60 を基本周波数とする成分と倍音成分（例えば、
回転数 20rpm、3 枚羽の風車では、1Hz とその倍々の周波数）が発生することについては、
以前お話ししたように思います。
しかし、現場で観測される低周波音は風車からの音に、風雑音が重畳されたものとなります。
低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。
この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。
通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。
しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。
風による影響を受けにくい山間地や尾根で風が遮られる地域では、風車の回転に伴う成分が
周波数分析結果で卓越成分として観測されます。
一方、平地などのように風による影響を受けやすい場所における測定結果では、低周波数域の
周波数特性はこんもりと盛り上がったような特性となっていて卓越成分が観測されないことが

多いと思います。これは、風車音よりも風雑音が優勢であると考えられます。
通常の防風スクリーンより大きい直径 20cm 程度の防風スクリーンをマイクロホンに装着しても
風が強いときは風雑音を十分に除去できません。
風雑音の低減に関しては、これまで色々と研究されてきていますが、およそ 5Hz 以下の周波数域
（場合によってはおよそ 10Hz 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。
従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除する
かも大きな課題の一つです。
研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけると幸いです。“

これは、親切心から言って頂いたものですが、残念ながら内容には同意できません。この文面から、本当に“風雑音”だと思っていることは、分かります。風雑音ではなく、風車からの超低周波音であることが後ほど判明します。

２．２　話題

講演会の話題は、次の資料にあるように、



風車の振動を人が感知するケースとしては、

風車に触れている場合
人が風車に手で触れて、風車の振動を手のひらに対する圧力の変動として感知する場合。

風車から離れている場合
風車の振動が、空気分子の運動に変換されて、空気分子が鼓膜を刺激して、音として聴覚器官で感知する場合。
0.5Hz の周波数だと、周期が２秒です。音圧の高い状態が１秒、音圧の低い状態が１秒、となり、これが繰り返されます。人には大気圧を感知する器官があるので、圧迫感して、この変化を感知できます。

伝わってきた空気分子の振動が家や建具の振動に変換されて、三半規管で振動を感知する場合。
床の振動によっては、背中に対する圧力の変化として、押されるような刺激を感知する場合。
建具か新たな音を発生させて、この新たな音を聴覚で感知する場合。
などが考えられます。

音は、風車の運動そのものではありません。うるさいと感じるのは、風車の振動が、媒介物である空気分子の運動として、人間の聴覚を刺激するからです。
人を刺激するまでの媒介物として、空気分子の他に、建具の震度を考えたりする必要もあり、風車の影響を、うるささに限定することは出来ないのです。

町田氏の資料を見るときには、単語の意味を理解する必要があります。

検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」には
“(注)「超低周波音」についての補足
我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC(国際電気標準会議) 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」(infrasound)、20～100Hz を「低周波音」(low frequency noise) と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005(風車発電システム-第 0 部：風力発電用語) で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音 (周波数が 20～100Hz までの音を含む)」とした上で、「超低周波音 (周波数が 20Hz 以下の音)」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、**20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音 (周波数が 20～100Hz までの音を含む) を「騒音」**と表記する”

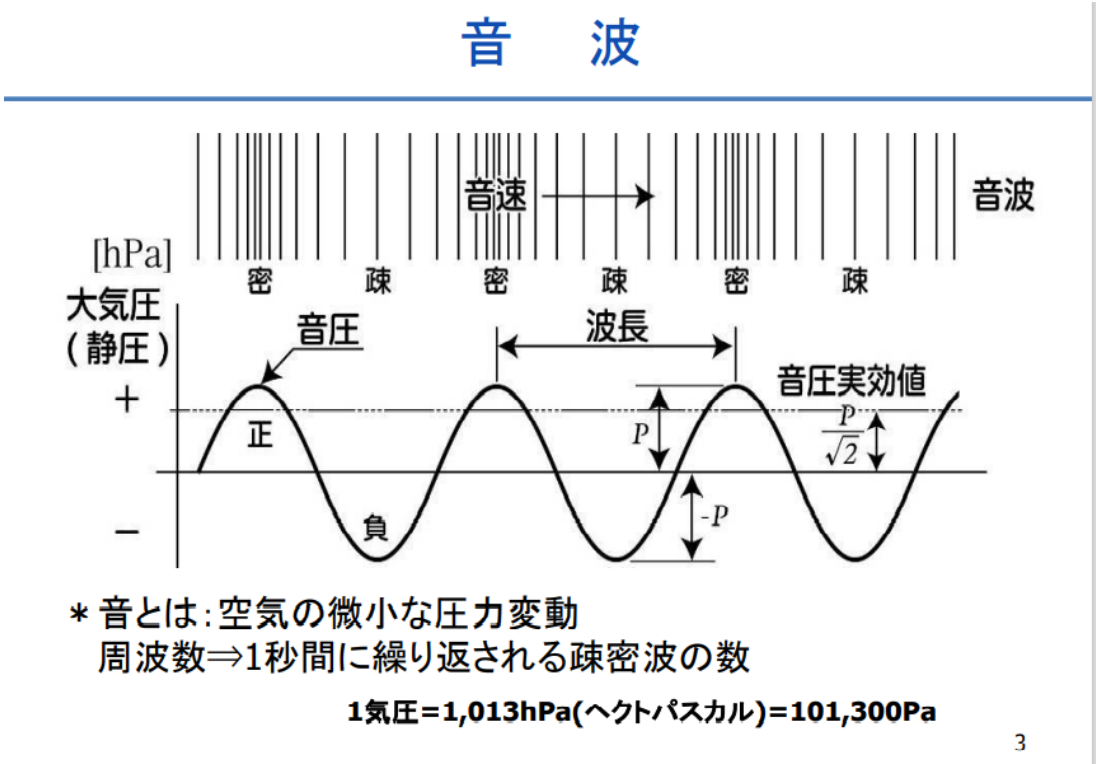
とあり、
“騒音”、“低周波音”が、20Hz以上の周波数の音を意味することに注意しなくてはなりません。
特に、“低周波音”が20Hz以下の音も含めているかのような誤解をしてはいけません。

感覚閾値ですが、
聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の違いを理解することが必要です。
聴覚閾値：耳で聞こえるか聞こえないかの境界。
感覚閾値：うるささの感知、圧迫感の感知、振動の感知などの全ての感覚器官を総動員したときに、その数値より大きければ、複数の感覚器官のどれか一つは、変動を感知できすが、その数値より低ければ、どの感覚器官も変動を感知できない、状態となる数値。
知覚閾値：これは、後ほど検討。

講演は、主に風車騒音に関連するものでした。超低周波音に関しては、一般的事項として扱われています。“騒音”と付いているので、20Hz 以上の成分の考察が中心となっています。

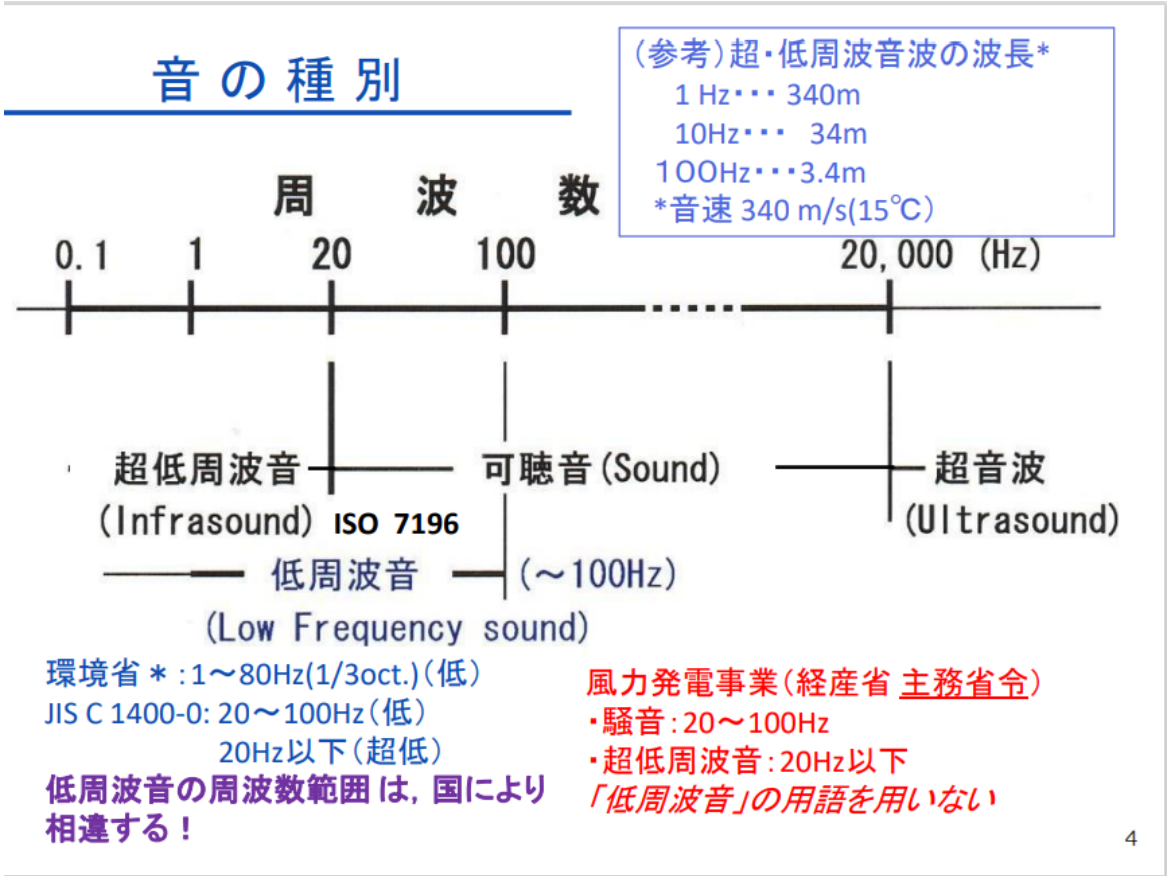
２．３　音波

町井先生の説明は音波に関する基本事項から始まります。



音波に関する明快な説明です。おっしゃる通りです。

２．４　音の種別



音の種別に関しては、
低周波音では、
環境省＊：1～80Hz（1/3oct）(低)
JIS C 1400-0:20～100Hz(低)
騒音：20～100Ｈｚ
低周波音（20～100Ｈｚ）
低周波音（100Ｈｚ以下）
があり、
超低周波音には、
超低周波音（20Ｈｚ以下）
超低周波音（1～20Ｈｚ）
超低周波音 ISO7196(中心周波数 0.25Ｈｚ～315Ｈｚ）
と定義も様々です。
20Hz 以下（超低）；　超低周波音：20Hz 以下　となっているので、一見すると、0.5Hz　も含まれるように見えるのですが、それほど簡単ではありません。計測機材の機能、使い方、分析方法にも問題があり、詳細な検討が必要です。

ここでは、風車音（0Ｈｚ以上)、低周波音（20～100Ｈｚ)、騒音（20～100Ｈｚ)、超低周波音（0.25～315Ｈｚ)、超低周波音（1～20Ｈｚ)、超低周波音（0～20Ｈｚ）のような言葉を使うことにしますが、必要が無ければ後ろの周波数を省略します。

少し古い精密騒音計では、1Hz～20ｋHz が、計測範囲となっています。

番号	種類	測定範囲
NL-62A	精密騒音計	1Hz～20000Hz
NL-52A	精密騒音計	10Hz～20000Hz
NL-42A	普通騒音計	20Hz～8000Hz
NL-27	普通騒音計	20Hz～8000Hz
NA-28	精密騒音計	12.5Hz～20000Hz

0.25Hz～20ｋＨｚの計測ができる、機材は高価です。(120万円程度)

図1　本製品外観
マイクロホンUC-59L とプリアンプXN-3C

周波数範囲	DC～20 kHzまたは0.25 Hz～20 kHz

リオン社のマイク UC-59L と右の SA-A1 を組み合わせると、0.25Hz からの計測が可能となります。

精密騒音計でのメモリーと計算速度の関係で、超低周波音（1～20Ｈｚ）とする場合が多いのですが、

今の大型風車は、風車から出る音で音圧が最大になる周波数が、0.5Hz や 0.8Hz のものであり、1～80Hz の範囲には入りません。

低周波音の計測方法も大きな問題です。

現在の大型風車から発生する低周波音の成分で最高の音圧を持つときの周波数は、0.5Hz から 0.8Hz 程度です。

ISO7196 では、中心周波数 0.25Hz から 315Hz までの中心周波数が設定されています。中心周波数 0.25Hz の時の帯域幅が 0.0575Hz なので、少なくとも 20 秒間のデータを使って計算する必要があります。安全性を考えれば、60 秒間のデータで計算すべきですが、これだと、スイッチを入れてから 60 秒間は測定結果が表示されないことになってしまいます。

計算量も増えるし、メモリーも多く使いますので、風車音の特徴を調べるには、PC を使って、平坦特性（Z 特性）で記録したデータを解析する必要があります。この平坦特性で記録された音圧データを基に計算すれば、風車の周波数スペクトルが得られます。

リオン社の精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加すると、１６ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作れます。

収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とし、サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間として 1 分程度記録すれば、0.01667Hz から、24ｋHz まで計測できます。

リオン社の NL-62 のマニュアルには、

$$L_{Aeq} = 20log_{10}\left\{\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_A^2(i)\right)^{\frac{1}{2}} / P_0\right\}$$

と言う式が書いてあります。

これは、物理的な回路網で G 特性を近似して$P_A(i)$ (i=1,..,N)が得られることを意味しています。

ISO7196 の記述“備考：G 特性は、誘導子/抵抗器/コンデンサからなる簡単な回路網によって物理的に近似することができる。”に従って、直接的に計測時間ごとの A 特性音圧レベルを求め、その結果を使って全体の A 特性音圧レベルを上の式で求めていることになります。

リオン社に確認したところ、サンプリング周波数 48kHz の場合は、$P_A(i)$の値が、1 秒間に 48000 個得られるとの事でしたが、どのようにして、$P_A(i)$を決定しているかは公開していないとの事でした。

マニュアルから推測すると、0.25 秒間に計測される音圧データ、または、1 秒間に計測された音圧データをもとにして、$P_A(i)$を計算していると思われます。

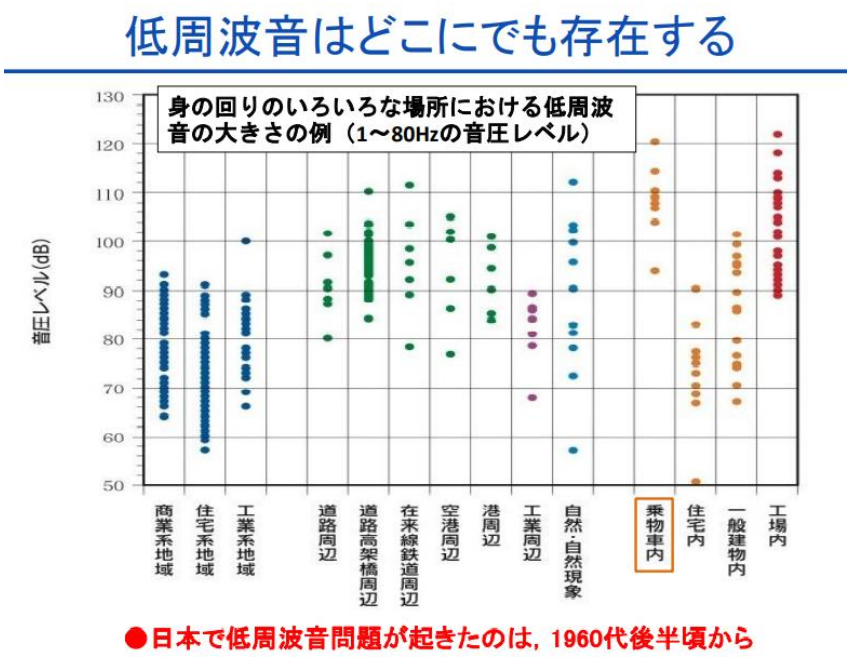
サンプリング周波数 48kHz の場合は、0.25 秒間の場合では、12000 個のデータから計算するので最低の周波数は 4Hz となり、1 秒間の場合は 48000 個のデータから計算するので最低周波数は 1Hz となります。

この結果、精密騒音計単体では、1～20Hz を超低周波音として扱う事になってしまいます。

A 特性の計算では、1Hz 以上でも、なんとかなりますが、ISO7196 に従っての超低周波音の G 特性の計算では、いろいろ困ります。

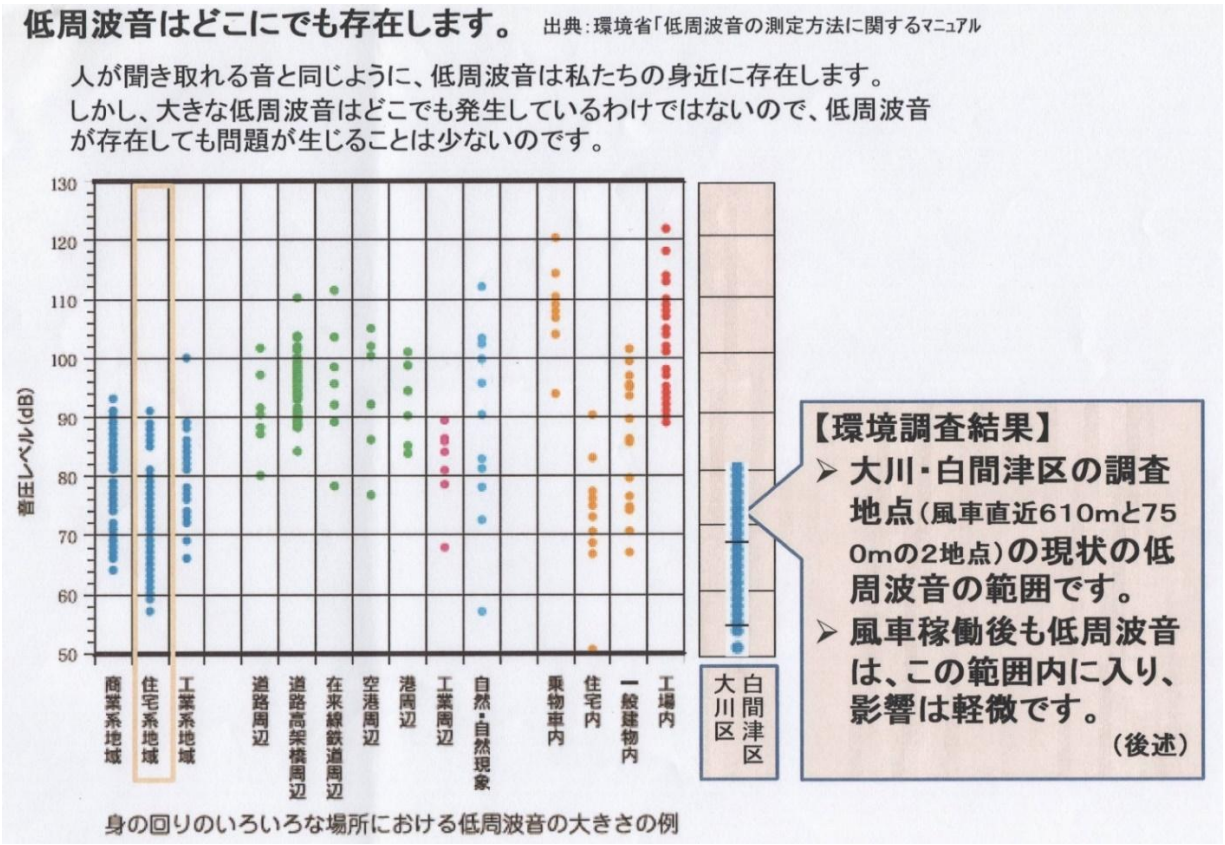
２．５　低周波音はどこにでも存在する

確かに、低周波音はどこにでも存在します。町田先生のおっしゃる通りです。



上の小さな文字を見ると、ここでは低周波音を 1～80Ｈｚとして考えていることが分ります。この記述では環境省の超低周波音（1～20Ｈｚ）と環境省の低周波音（20Ｈｚ～100Ｈｚ）の一部を含んだものとして使っていることが分ります。

私が住んでいるのは、海岸の近くです。地元に来た業者も同じデータに、地元での調査結果、50～80ｄＢ程度を追加した図を、住民説明会で使っていました。



環境省の“よく分かる低周波音”には、

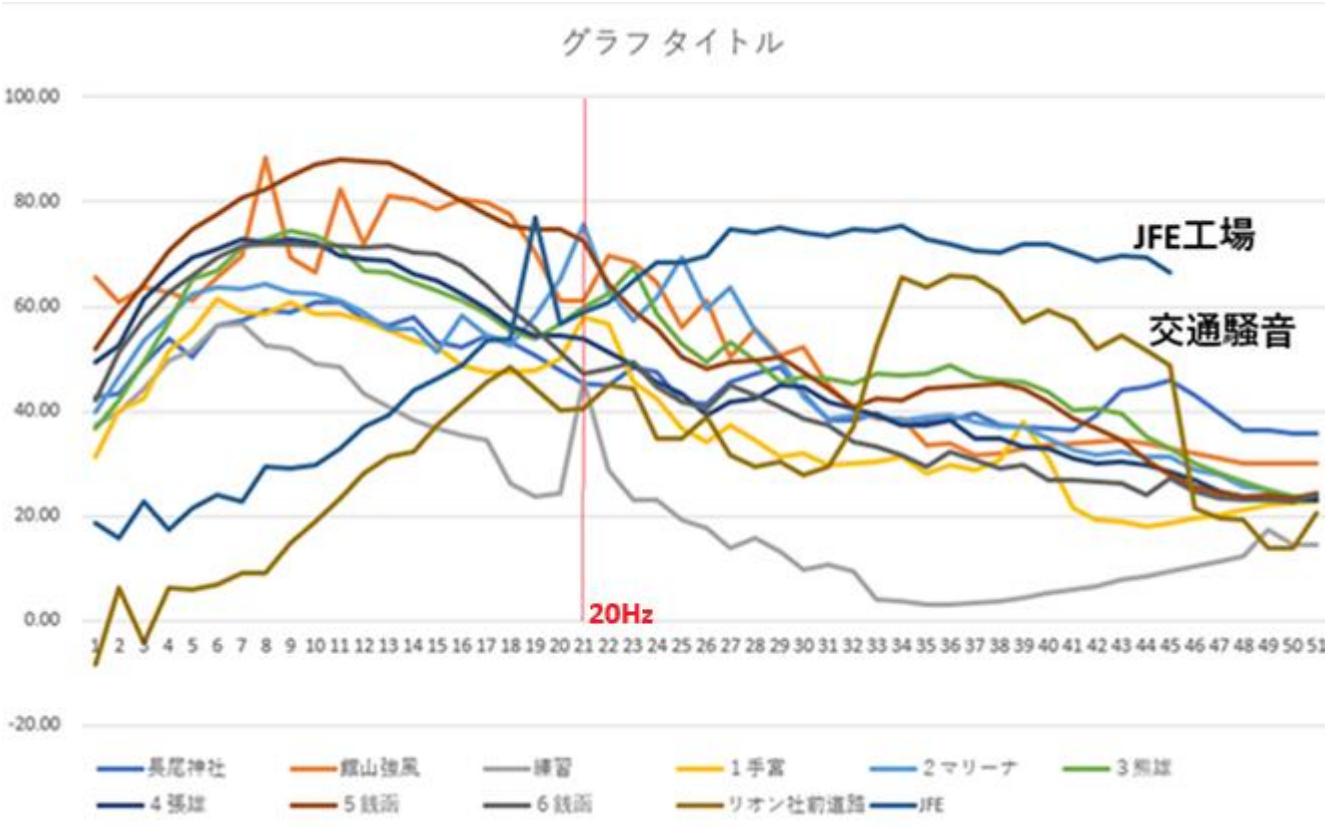
低周波音ってどんな影響があるの？

低周波音の影響は、大きく分けて二種類あります。一つは、不快感や圧迫感などの人への影響（心身に係る影響）で、もう一つは窓や戸の揺れ・がたつきなどの建具などへの影響（物的影響）です。
低周波音による不快感や圧迫感は、人が低い音を聞く（あるいは感じる）ことにより発生します[4]。
窓や戸の揺れ・がたつきは、低周波音が窓や戸を振動させることにより発生します。
いずれも、低周波音がある大きさ以上になると発生します。

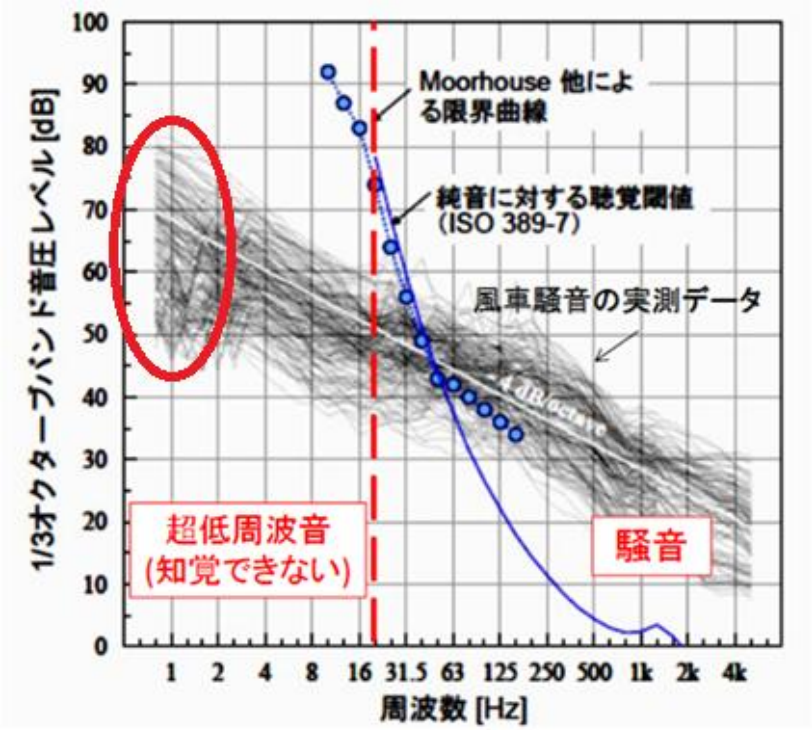
とあります。

低周波音（0～100Hz）がある大きさ以上になると、不快感、圧迫感、窓や戸のガタツキが発生するとあるのですが、

風車から出る音と JFE 工場音、交通騒音を比べてみると。



となっていて、1～2Hz の辺りでは、風車音には音圧レベルの高い超低周波音が含まれるが、JFE 工場音や交通騒音には音圧レベルが低い超低周波音しか含まれないことが分ります。



超低周波音は、聴覚での感知は困難だが、不快感や圧迫感、建具や床のガタツキとして感知され、睡眠を妨害するとの被害が報告されている。

風車の近くでは、1Hz の時に 50ｄB～80ｄB の音圧レベルだが、工場音や交通騒音では、10～30ｄB 程度です。

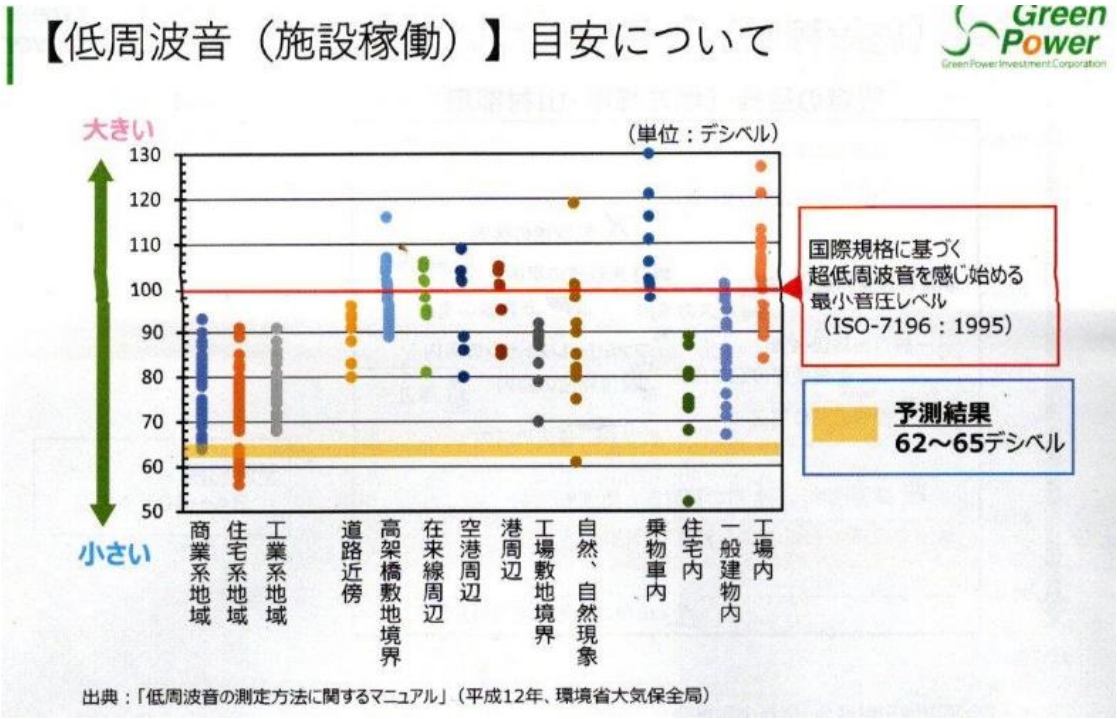
次の表は各帯域のエネルギーを計算したものです。

周波数帯	0 ～20Hz	20～200Hz	200～24ｋHz	0～24ｋHz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m2
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m2
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m2
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m2
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m2

超低周波音（0～20Hz）のエネルギーを交通騒音と風車音で比較すれば、10000 倍程度の違いになります。

これほどの強烈な超低周波音が出るので、風車の近くでは不快感、圧迫感、窓や戸のガタツキが発生します。また超低周波音の物理的な作用を考えれば、循環器系の障害や頭痛が起きる事が分ります。

次のグラフを使う業者もいます。



よく似ていますが、右上の点の位置が違います。

最初の図は、下の左側の図であり、２番目は右側の図です。

この図の元になっているのは、
[低周波音の測定方法に関するマニュアル]
にある図です。

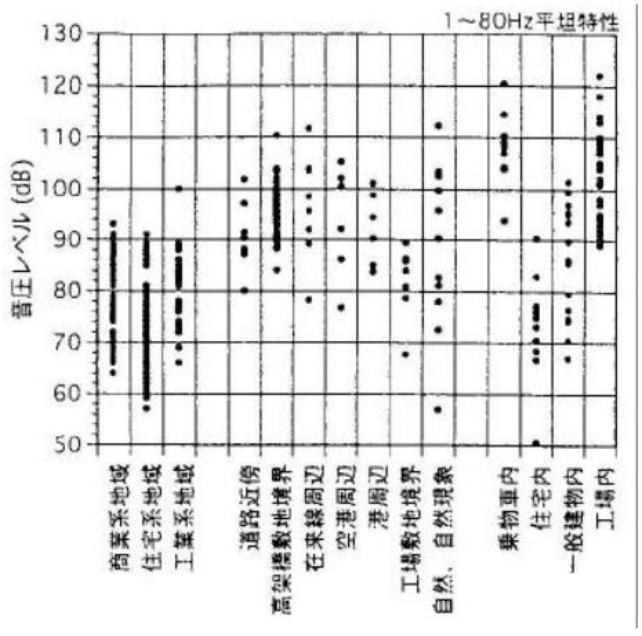


図-e.1　発生源周辺を含めた一般住宅空間における
1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）

1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）

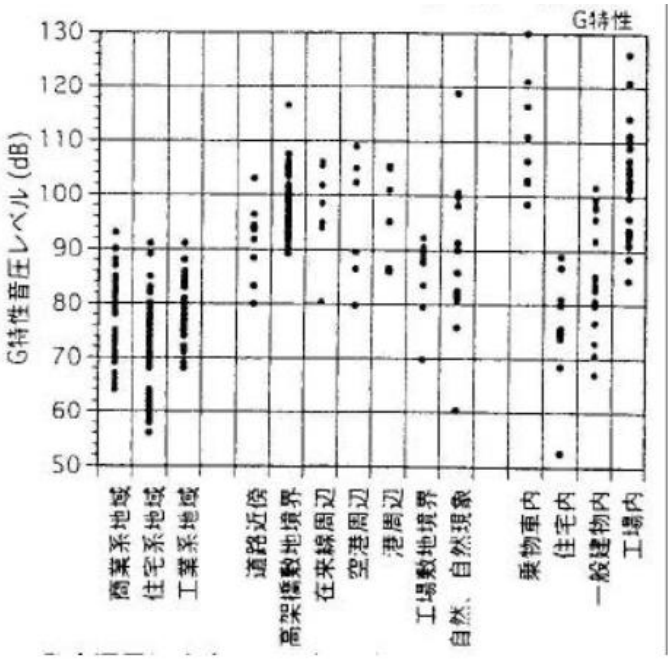


図-e.2　発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G 特性音圧レベル分布（分析区間の最大値）

左側のグラフの作り方は、1-80Hz での平坦特性の音圧分布を、1/3 オクターブ解析を基にして作ります。
右は 1-80Hz での G 特性での音圧分布を、1/3 オクターブ解析を基にして作ります。

神社での、平坦特性での最大値は 60.92ｄB（２Hz)、G 特性での最大値は、55.42ｄB（16Hz)。

No-W	59.27	58.97	60.82	60.92	57.58	56.47	57.98	53.35	52.15	54.43	53.22	50.67	47.72	45.22	45.05	48.57	47.63	41.64	41.55	45.86	max	60.92
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		
G-W	16.27	21.47	28.22	32.62	33.48	36.47	41.98	41.35	44.15	50.43	53.22	54.67	55.42	54.22	48.75	44.57	35.63	21.64	13.55	9.86	max	55.42
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

左のグラフで 60.92ｄB の所に点を打ちます。右のグラフでは 55.42ｄB の所に点を打ちます。

風車では、平坦特性での最大値は 88.34ｄB（1Hz)、G 特性では 77.75ｄB（10Hz)。

No-W	88.34	69.43	66.39	82.26	71.87	81.04	80.49	78.65	80.46	79.77	77.75	70.44	61.24	61.25	69.84	68.51	64.56	55.92	60.98	50.36	max	88.34
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		
G-W	45.34	31.93	33.79	53.96	47.77	61.04	64.49	66.65	72.46	75.77	77.75	74.44	68.94	70.25	73.54	64.51	52.56	35.92	32.98	14.36	max	77.75
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

左のグラフで 88.34ｄB の所に点を打ちます。右のグラフでは 77.75ｄB の所に点を打ちます。

JFE の工場では、平坦特性では 74.11ｄB（80Hz)、G 特性では 77.66ｄB（12.5Hz）

No-W	32.68	34.65	34.56	44.81	48.62	51.44	53.24	54.06	59.37	56.97	60.42	73.66	60.6	58.07	63.2	66.76	69.26	70.66	72.43	74.11	max	74.11
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		
G-W	-10.3	-2.85	1.964	16.51	24.52	31.44	37.24	42.06	51.37	52.97	60.42	77.66	68.3	67.07	66.9	62.76	57.26	50.66	44.43	38.11	max	77.66
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

左のグラフで 74.11ｄB の所に点を打ちます。右のグラフでは 77.66ｄB の所に点を打ちます。

リオン社前の道路では、平坦特性では 48.58ｄB（10Hz)、G 特性では 49.54ｄB（20Hz）

No-W	10.27	14.98	18.93	23.52	28.25	31.26	32.24	37.39	41.56	45.56	48.58	44.3	40.24	40.54	44.82	44.34	34.82	34.89	38.84	31.64	max	48.58
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		
G-W	-32.7	-22.5	-13.7	-4.78	4.148	11.26	16.24	25.39	33.56	41.56	48.58	48.3	47.94	49.54	48.52	40.34	22.82	14.89	10.84	-4.36	max	49.54
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

左のグラフで 48.58ｄB の所に点を打ちます。右のグラフでは 49.54ｄB の所に点を打ちます。

低 周 波 音 問 題 対 応 の 手 引 書　には、

“[巻末資料 1] 生活環境中における低周波音発生実態 1)

(1) 生活環境中で観測される超低周波音の音圧レベル

生活環境中で観測される超低周波音の音圧レベルを図 1 に示す。

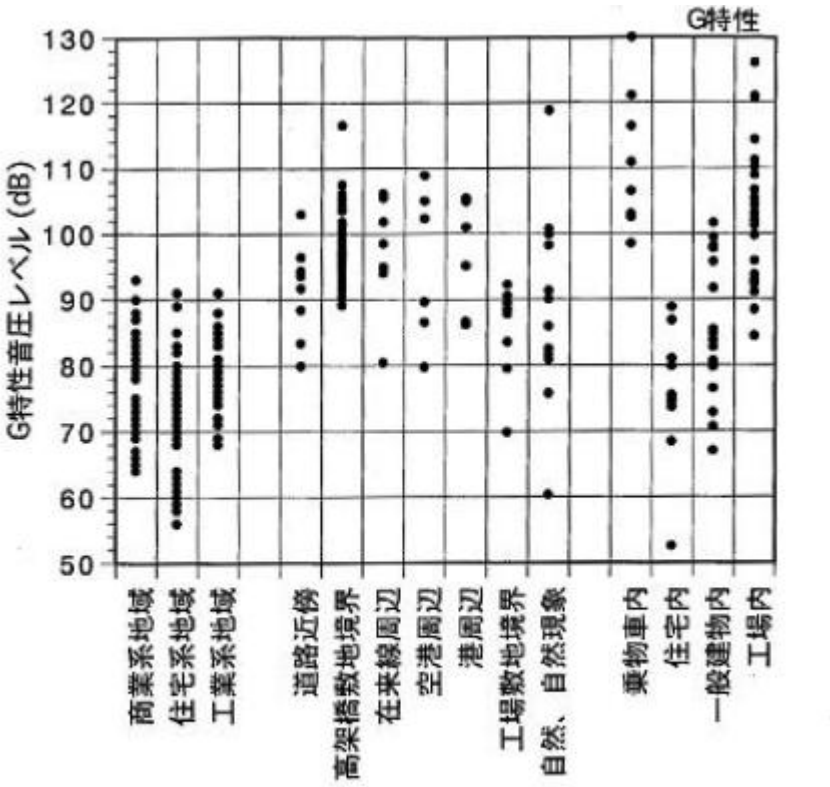


図1　生活環境中で観測された超低周波音のG特性音圧レベル

これによると、屋外で観測される超低周波音の音圧レベルは、G 特性音圧レベルで最大でも 130dB 程度である。通常の市街地屋外では G 特性音圧レベルで 55～95dB 程度、住宅内では G 特性音圧レベルで 50～90dB 程度 、 一般建物内では 65 ～ 100dB 程度の音圧レベルが観測されている。また、道路・鉄道・空港・港周辺では 80～115dB 程度、乗り物内では 100～130dB 程度、波・滝・雷等の自然現象では 60～120dB 程度の音圧レベルが観測されている。乗り物内では比較的高い音圧レベルが観測されているが、このうち、最も G 特性音圧レベルが高かったのは、後部窓を少し開けて高速走行した場合の乗用車内で、室内の共鳴により 130dB が観測された。

(2) 生活環境中で観測される低周波音の周波数特性 2), 3)

生活環境中で観測される低周波音の周波数特性の測定例を図 2～図 9 に示す。**市街地で観測される低周波音は 40～80Hz 付近に主要成分がある。**これらは道路交通等の背景騒音によると考えられる。道路・鉄道周辺で観測される低周波音は 20Hz 以上に主要成分がある。乗り物車内では、バス走行時のディーゼルエンジンによる 16Hz の帯域に卓越成分をもつ低周波音が、乗用車窓開け高速走行では室内の共鳴により発生する 16,20Hz の帯域に卓越成分をもつ低周波音が観測されている。雷の測定例では、可聴域に主要周波数成分がある。また、一般建物内で観測される低周波音のなかには、20Hz 以下に主要成分があるものもみられるが、これは換気用の大型空調機や送風機によるものと考えられる。“

との解説もありました。

元の資料は次のものでした。

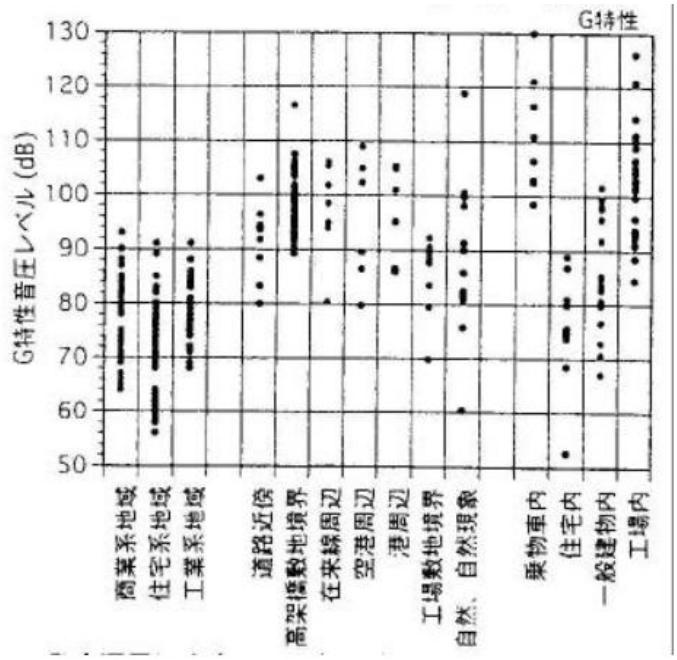


図-e.2　発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G 特性音圧レベル分布（分析区間の最大値）

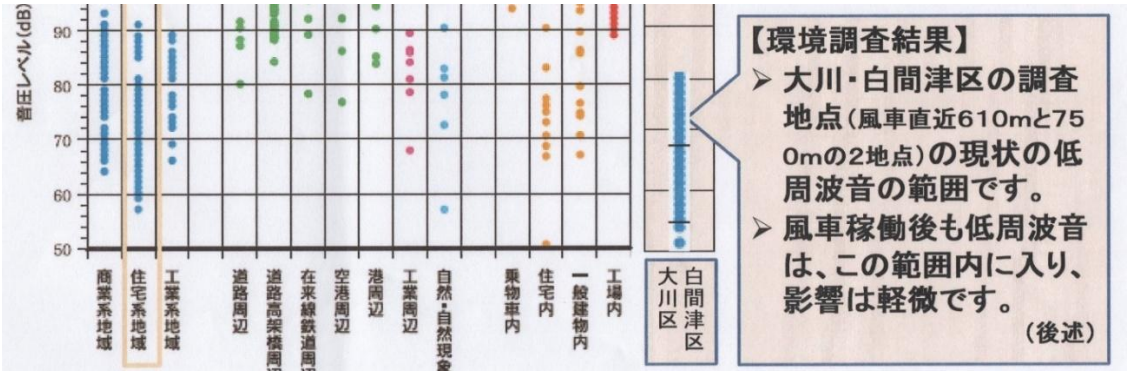
よく見ると、（分析区間の最大値）が削除されています。この区間は 1Hz～80Hz ですから、超低周波音の範囲、0Hz～20Hz とは異なるのです。

音圧レベルが同じでも、周波数が高ければ体内の圧力を変化させる力は無いのですが、周波数が低い（0.5～1Hz）音は体内の圧力を大きく変化さます。周波数と音圧レベルをセットにして考えないと、健康被害の原因を特定できないのです。

風車からの超低周波音は音圧レベルが高く、さらに離散的な周波数特性を持つことにより循環器系の障害と頭痛を引き起こします。

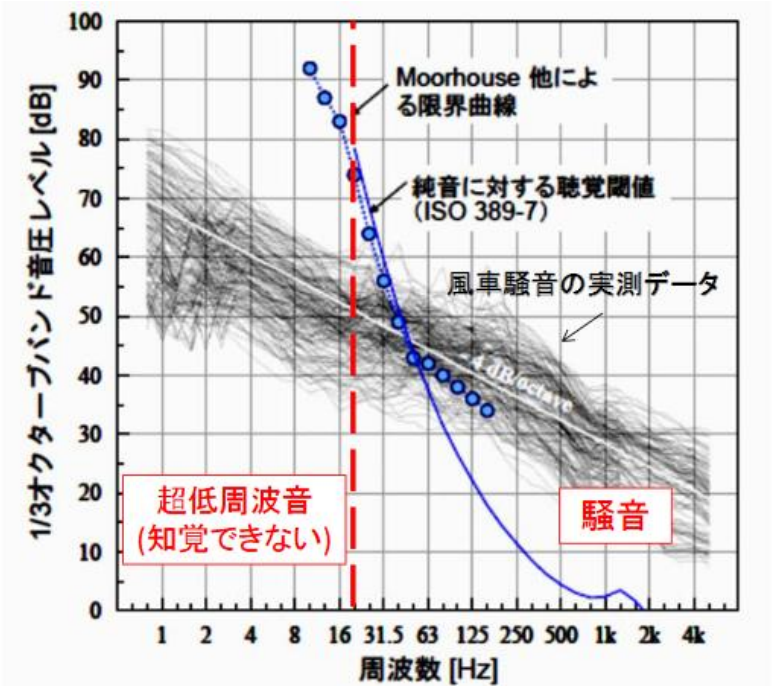
音圧レベルの範囲の他に、その周波数が大きな問題になるのです。

下の図の右端の水色の線は 50～80ｄB の範囲に対応しています。



この数値は、

下のグラフでの、１Hz での音圧レベル 50～80ｓB と同じ数値になります。



20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題

同じ、50～80ｓＢでも、周波数が違えば物理的な作用は全く異なるのです。

風車では、平坦特性での最大値は 88.34ｄＢ（**1Hz**）、G 特性では 77.75ｄＢ（10Hz）。

No-W	88.34	69.43	66.39	82.26	71.87	81.04	80.49	78.65	80.46	79.77	77.75	70.44	61.24	61.25	69.84	68.51	64.56	55.92	60.98	50.36	max	88.34
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		
G-W	45.34	31.93	33.79	53.96	47.77	61.04	64.49	66.65	72.46	75.77	77.75	74.44	68.94	70.25	73.54	64.51	52.56	35.92	32.98	14.36	max	77.75
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

JFE の工場では、平坦特性では 74.11ｄＢ（**80Hz**）、G 特性では 77.66ｄＢ（12.5Hz）

No-W	32.68	34.65	34.56	44.81	48.62	51.44	53.24	54.06	59.37	56.97	60.42	73.66	60.6	58.07	63.2	66.76	69.26	70.66	72.43	74.11	max	74.11
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		
G-W	-10.3	-2.85	1.964	16.51	24.52	31.44	37.24	42.06	51.37	52.97	60.42	77.66	68.3	67.07	66.9	62.76	57.26	50.66	44.43	38.11	max	77.66
Hz	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80		

平坦特性での最大値は、

風車は、1Hz で 88.34ｄＢ、JFE は 12Hz で 77.66ｄＢです。

この意味は、1/3 オクターブ解析での、各帯域でのエネルギーを全て集めた数値ですから、

風車：帯域幅*エネルギー密度＝88.34

JFE：帯域幅*エネルギー密度＝77.66

中心周波数 1 Hz での帯域幅は、0.226

中心周波数 12Hz での帯域幅は、2.873

です。

風車：0.226*エネルギー密度＝88.34

JFE：2.873*エネルギー密度＝77.66

となり、

エネルギー密度は

風車：エネルギー密度＝88.34/0.226＝391

JFE：エネルギー密度＝77.66/2.873＝27

となります。

この数値 391 と 27 は、音が人間の体内の圧力を強制的に変化させ、人体を強制的に圧縮膨張させる観点から見ると、重要な数値になります。

風車音は人間の体を強制的に圧縮膨張させる力が強い（391）が、JFE の工場での音は、人間の体内の圧力を変化させる力はない（27）という事を意味する数値になります。

この数値は末梢血管での血流に対する影響を示す数値になっています。当然、心臓に対する負荷を示す数値でもあります。

ISO7196 での中心周波数

	1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅（ISO7196）0.25～315Hz						
x	x/3	2^(x/3)	厳密中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅	公称中心周波数
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057	0.250
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071	0.315
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090	0.400
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113	0.500
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142	0.630
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179	0.800
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226	1.000
29	-9.66667	0.00123	1.230	1.096	1.381	0.285	1.250
28	-9.33333	0.00155	1.550	1.381	1.740	0.359	1.600
27	-9	0.001953	1.953	1.740	2.192	0.452	2.000
26	-8.66667	0.002461	2.461	2.192	2.762	0.570	2.500
25	-8.33333	0.0031	3.100	2.762	3.480	0.718	3.150
24	-8	0.003906	3.906	3.480	4.385	0.905	4.000
23	-7.66667	0.004922	4.922	4.385	5.524	1.140	5.000
22	-7.33333	0.006201	6.201	5.524	6.960	1.436	6.300
21	-7	0.007813	7.813	6.960	8.769	1.809	8.000
20	-6.66667	0.009843	9.843	8.769	11.049	2.279	10.000
19	-6.33333	0.012402	12.402	11.049	13.920	2.872	12.500
18	-6	0.015625	15.625	13.920	17.538	3.618	16.000
17	-5.66667	0.019686	19.686	17.538	22.097	4.559	20.000
16	-5.33333	0.024803	24.803	22.097	27.841	5.743	25.000
15	-5	0.03125	31.250	27.841	35.077	7.236	31.500
14	-4.66667	0.039373	39.373	35.077	44.194	9.117	40.000
13	-4.33333	0.049606	49.606	44.194	55.681	11.487	50.000
12	-4	0.0625	62.500	55.681	70.154	14.473	63.000
11	-3.66667	0.078745	78.745	70.154	88.388	18.234	80.000
10	-3.33333	0.099213	99.213	88.388	111.362	22.974	100.000
9	-3	0.125	125.000	111.362	140.308	28.945	125.000
8	-2.66667	0.15749	157.490	140.308	176.777	36.469	160.000
7	-2.33333	0.198425	198.425	176.777	222.725	45.948	200.000
6	-2	0.25	250.000	222.725	280.616	57.891	250.000
5	-1.66667	0.31498	314.980	280.616	353.553	72.938	315.000

G 特性での重みづけをした数値では、この違いがもっと隠れてしまいます。

G 特性音圧（騒音）レベルを調べてみたら、

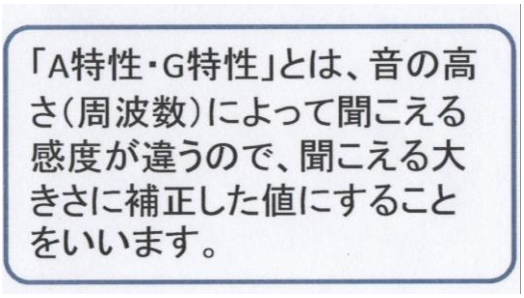
低周波音の騒音レベルの指標についての問題（住宅設備から生じる低周波音の問題）

“２　G特性騒音レベル

G特性とは、人における超低周波音（２０Hz以下の低周波音）の知覚特性に基づいて、超低周波音を評価するために、物理的な音圧レベルの値に対して周波数補正を施した騒音評価指標です。ｄＢ（G）と表記されます。

可聴音全体に対して聴覚補正を施した騒音評価指標であるＡ特性騒音レベルに対応するものです。こちらは超低周波音を評価するためのものであり、超低周波音を測定する場合以外は用いられることは通常はありません。“

とありました。また、次の様に説明する企業もあります。



ここで、“人における超低周波音（２０Hz以下の低周波音）の知覚特性”とありますので、この方は、超低周波音が知覚できると考えているのでしょう。知覚できなければ、“知覚特性”自体が存在しません。

G 特性での重み付けは

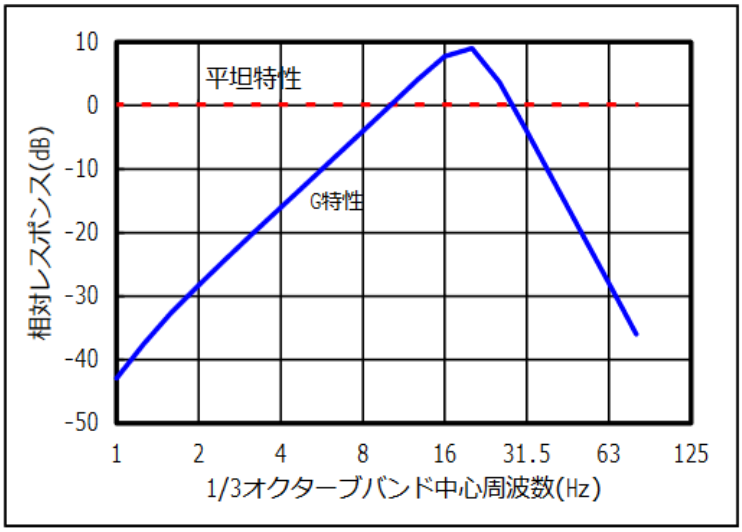


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

ISO7196 での G 特性での重みは次のものです。（ネット情報）

中心周波数Hz	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
G特性での重み	-88.00	-80.00	-72.10	-64.30	-56.60	-49.50	-43.00	-37.50	-32.60	-28.30	-24.10

中心周波数Hz	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
G特性での重み	-20.00	-16.00	-12.00	-8.00	-4.00	0.00	4.00	7.70	9.00	3.70	-4.00

中心周波数Hz	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
G特性での重み	-12.00	-20.00	-28.00	-36.00	-44.00	-52.00	-60.00	-68.00	-76.00	-84.00	

です。

1/3 オクターブ解析での G 特性音圧レベルの数値は、風車の超低周波音の人体に対する影響の大きさを隠蔽する役割を持っているのです。

風車の超低周波音は、f=RZ/60Hz、0.5～1Hz 辺りにエネルギーが集中しています。この辺りでの重みを -88～-43 としてあることと、帯域幅の話に触れない事で、他の環境騒音との違いを見えなくするのです。

環境省の資料には、おまけが付いています。

人が聞き取れる音と同じように、低周波音は私たちの身近に存在します。しかし、大きな低周波音はどこでも発生しているわけではないので、低周波音が存在しても問題が生じることは少ないのです。

残念なことですが、

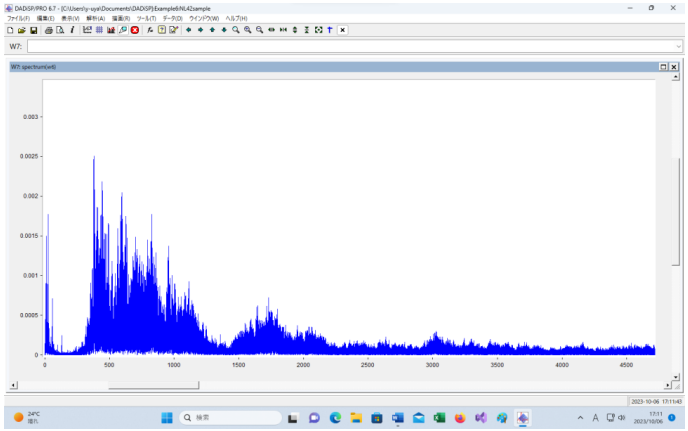
“風車が存在する場所では、大きな低周波音（0 Hz～100 Hz）が、日ごろ生活している環境での音（0Hz 以上）に比べて、音圧で 10 倍～100 倍、エネルギー（音圧の 2 乗に比例する）では、100 倍～10000 倍のエネルギーを持っているものが存在する。ので、風車の近くでは低周波（0 Hz～100 Hz）による被害が生じます。”

との一言が足りません。

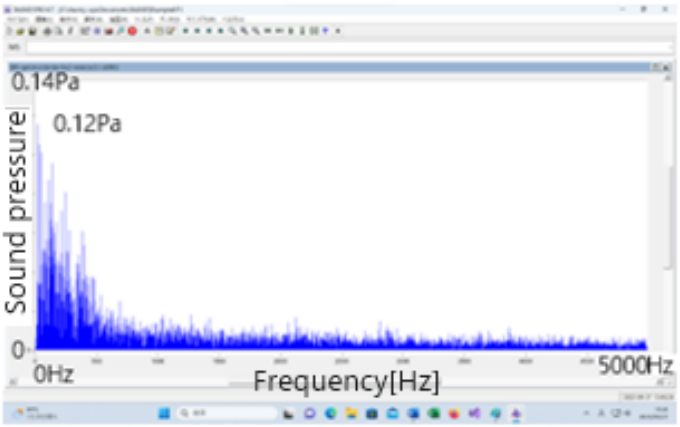
留意点は、超低周波音を 20Hz 以下とするか、1～20Hz とするかです。

後者は、風車音で最大音圧となる周波数 0.5Hz や 0.8Hz は無視します。との立場です。風車音のエネルギーは、0.5Hz や 0.8Hz のごく近くに 60%程度が集中しているのです。

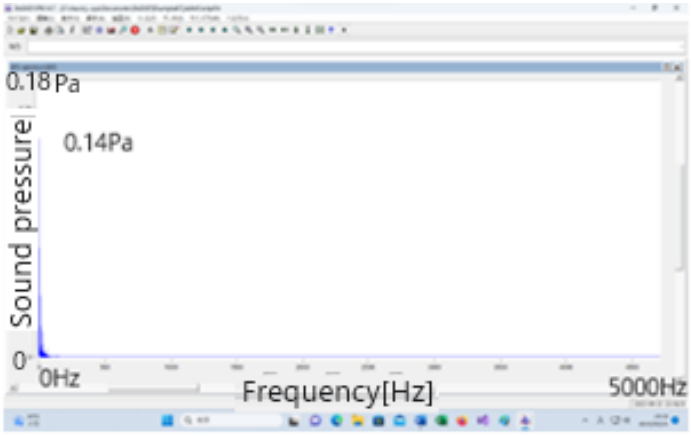
交通騒音（０～5000Hz）



工場騒音（０～5000Hz）



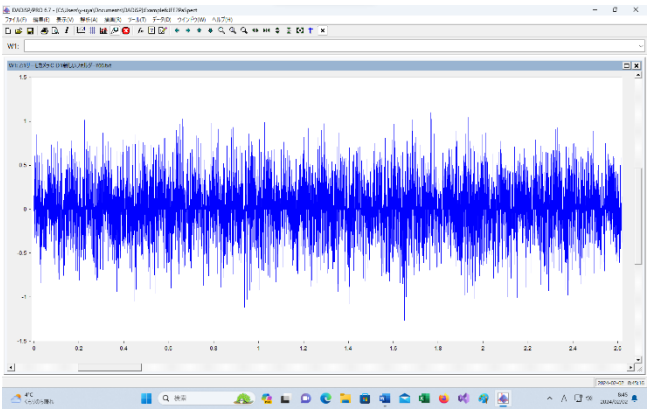
風車騒音（０～5000Hz）



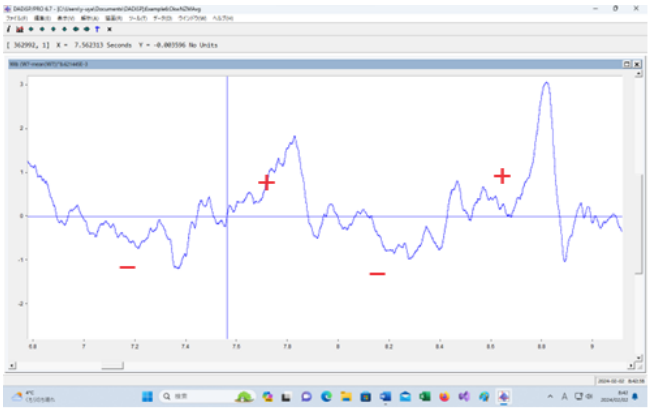
風車音は、0.8Hz 辺りに集中していて、左端の細い線で表されています。

風車音は、超低周波音（20Hz 以下）の塊です。

工場騒音の、2.6 秒間の波形



風車音の 2.2 秒間の波形



圧迫感に関して述べれば、風車の超低周波音は、周波数特性が特殊であり、物理的に人体に対して、強制的に圧縮膨張させる力があります。これは波形によっても大きく左右されます。JFE の工場騒音には超低周波音（10Hz 程度）がかなり高い音圧で含まれていますが、波形の特徴から、体内での圧力を変化させる力は小さい。更に可聴域での大きな音は、周波数が高いので体内の圧力を変化させる作用は小さい。

JFE 工場音の周波数スペクトルは、離散的な特徴を持っていないのです。

風車の超低周波音は、単に“圧迫感”を与えるのではなく、実際に人体を圧迫するのです。

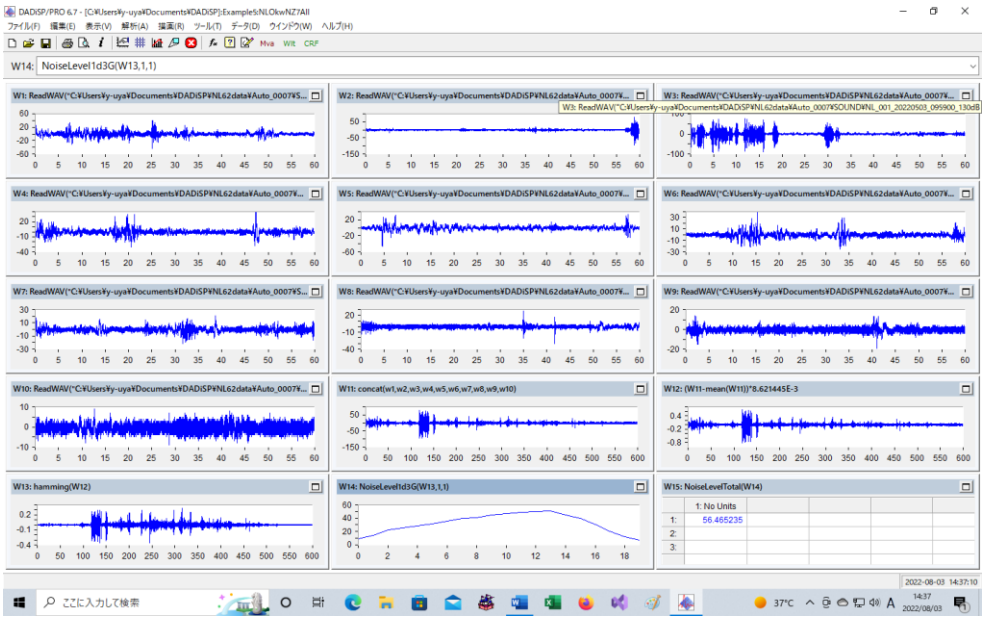
結果として末梢血管が収縮し、血圧が上がり、動脈壁が肥大化し、心筋への負担が増し、循環器系の障害が起きます。もちろん、音響キャビテーションの条件にも適合するので、頭痛も起きます。

これらは、物理現象であり、風車の超低周波音と健康被害の間の、物理的で直接的な因果関係を示しているのです。

A 特性、G 特性での重みづけ

A 特性では、超低周波音を 0 として扱い、また、G 特性では極端な重み付けが行われます。その様子を確認しておきます。

神社の境内で測った騒音で、誰かが、近くで草刈り機を使っていた時のデータは、
1/3 オクターブバンド中心周波数 1-80Hz で計算した G 特性音圧レベルは 56.465235 でした。
NLOkwNZ7All （Auto__0007.mh にある WAV ファイルを番号順に読み込んだもの）



この値は、三重県で風車の会社が配布した資料の騒音―③のケースとほぼ同じです。

予測地点	時間区分	G特性音圧レベル（L_{Geq}） 現況値 a	風力発電施設寄与値 本事業	将来予測値 b	増加分 b-a	超低周波音を感じる最小音圧レベル（ISO-7196:1995）
騒音―③	昼間	59	61	63	4	
	夜間	54		62	8	
	全日	58		63	5	

G 特性での、バンドパスフィルタの影響と、G 特性重み付けの影響について付け足しておきます。

G 特性で中心周波数 1 Hz の場合を確認しましょう。
周波数 0.5Hz の場合
中心周波数 1Hz の場合は 0.5Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.5/1＝0.5 であり、フィルタによる相対減衰量はクラス１では、45ｄＢくらいになっている。
これは、0.５Hz の波、$Asin(0.5 * 2\pi\ t)$ がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.5 * 2\pi\ t)$だったとすると、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 45$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 45$よって、A/B＝10 ^ 2.25＝178　となるので、B＝A/178。
したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.5Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では振幅が元の大き

さの 1/178 の大きさしかないものとして扱われる。

G 特性による補正

中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、振幅の評価はさらに下がり、その大きさが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので
最終的な振幅の評価は元の振幅の、0.0056*0.0056＝0.0000316 倍となるので
まるで、

$$Asin(0.5 * 2\pi t)$$

の波が

$$0.0000316 * Asin(0.5 * 2\pi t)$$

であったかのような扱いを受ける。

周波数 0.2Hz の場合

中心周波数 1Hz の場合は 0.2Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.2/1＝0.2 であり、相対減衰量はクラス 1 では、70ｄB 程度になっている。
これは、0.2Hz の波、$Asin(0.2 * 2\pi t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.2 * 2\pi t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 70$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 70$よって、A/B＝10 ^ 3.5＝3162
となるので、B＝A/3162。
したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.2Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/3162＝0.000316 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正

G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので
全体の騒音の強さの計算では、0.0056*0.000316＝0.00000177 となるので
まるで、

$$Asin(0.2 * 2\pi t)$$

の波が

$$0.00000177 * Asin(0.2 * 2\pi t)$$

であったかのような扱いを受ける。

計測で確認された、0.8Ｈｚ成分に関しても計算しておきましょう。

周波数 0.8Hz の場合

中心周波数 1Hz の場合は 0.8Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.8/1＝0.8 であり、相対減衰量はクラス 1 では、15ｄB、くらいになっている。
これは、0.8Hz の波、$Asin(0.8 * 2\pi t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.8 * 2\pi t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 15$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 15$よって、A/B＝10 ^ 0.75＝5.6
となるので、B＝A/5.6。
したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.8Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/5.6＝0.179 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正

G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10＾（-45/20）＝0.0056 となるので
全体の騒音の強さの計算では、0.179*0.0056＝0.001 となるので

$$0.001 * Asin(0.8 * 2\pi\ t)$$

であったかのような扱いを受ける。

以上のことから、G特性での計算では、１Ｈｚよりも低い周波数成分に関しては、中心周波数１Ｈｚのバンドパスフィルタの影響とG特性の補正値によって、1/1000（８Ｈｚ）から 1/30000（0.5Ｈｚ）から 1/565000（0.2Ｈｚ）の強さしかなかったかのように計算されます。

G 特性の補正値では、10Hz から 30Hz の間の周波数帯の部分はプラスの評価を受けるので、この部分が計測結果に大きく寄与します。

これまでの計算から、風車から出てくる１Hz 以下の超低周波音の影響が G 特性での測定結果の計算に、ほとんど寄与しないのは明らかです。

G 特性での低周波音の評価だけでは、風車が建つ前と建った後で大きく変化する１Hz 以下の超低周波音の引き起こす諸問題が解明できません。フィルタで影響を小さく評価し、さらに G 特性での補正でさらに小さく評価するのです。

例えば、0.2Hz で強さが 1000 パスカルの超低周波音があったとしても、G 特性での計算では、1000/565000＝0.00177 パスカル程度の振幅の波として扱われる。

１パスカルは１㎡の面積に対して１N の圧力を加えるような気圧であるので、１㎡に対して 1000N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、1000/9.8＝102 となり、水平な面の１㎡あたりに１０２ｋｇの重しを追加して乗せることに相当する。

これが、G 特性による計算では、0.00177/9.8＝0.00018 であり、0.00018ｋｇ＝0.18ｇの重しを追加して乗せているような扱いをされることになっている。

エクセルを使って、簡単なモデルを作り、音圧レベルの数値について再度確認しましょう。

ISO7196 の重み付けを使うことにして、単純化したモデルを作れば、次のようになります。

各周波数の音圧を調整して、全体の G 特性音圧レベルが　56.46126558　ｄB になるようにしました。

次に、周波数成分の音圧を変更して、全体の G 特性音圧レベルが、ほぼ 61ｄB になるようにしました。

結果を音圧の比で評価すれば、

20Hz 成分が、0.0041　(Pa)　から、0.008（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

0.008/0.0041＝1.95　倍

2Hz 成分が、0.0005　(Pa)　から、0.5（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

0.5/0.0005＝1000　倍

0.5Hz 成分が、0.0002　(Pa)　から、31.5（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

31.5/0.0002＝157500　倍

0.25Hz 成分が、0.00024　(Pa)　から、482（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

482/0.00024＝2008333　倍

です。

計算結果は、次の表です

	G特性音圧レベルの試算		ISO7196の重み付け					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.46126558						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.008	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	52.0411998	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	61.0411998	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.39824356						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.5	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	87.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	59.6588002	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.35819084						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	31.5	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	123.945611	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	59.6456112	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.34928006						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	482	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	147.640341	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	59.6403409	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.3457206						

1Hz 以下の重みを、全て 1Hz の時の重み（-43ｄB）に変えて、G 特性音圧レベルを計算すると、次の表になります。

	G特性音圧レベルの試算		1Hzはローパスフィルタ（その①）					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.4612657						

一部省略

	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	31.5	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	123.945611	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	80.9456112	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	80.96104869						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	482	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	147.640341	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	104.640341	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	104.6404069						

聴覚での把握ではなく、共振などの物理的な影響を考えるときの目安としては、このようにして計算した数値の方が、有効だと考えます。

このように、中心周波数 1HZ の部分を 0Hz までのローパスフィルタに変更して、61（ｄB）になる音圧を計算すると次の表になります。

	G特性音圧レベルの試算		1Hzはローパスフィルタ（その②）					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.4612657						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.008	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	52.0411998	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	61.0411998	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.3982436						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.5	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	87.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	59.6588002	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.35819088						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	3	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	103.521825	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	60.5218252	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.96007148						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	3	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	103.521825	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	60.5218252	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.96007147						

物的振動が起こる目安、または聴覚以外の感覚で不快感を認識する音圧の目安として、上の表のような数値を採ると役に立つと思います。

２．６　新聞報道にみる低周波音の取り上げ方

講演会資料では、共振の話題も取り上げられています。

新聞報道にみる低周波音の取りあげ方

1998(平10)年12月
6日 読売新聞

雨降ると戸障子ガタガタ１年余

“怪現象”に揺れた山里

秋田・太田町

現場発

6世帯住民「何か わからね」

霊魂説まで飛び出し…

▼でも発生の条件はナゾのまま

▲この女人の超低周波が犯人

見えない超低周波で大騒ぎになった秋田県太田町の真木地区

音なし騒音公害「犯人は低周波空気振動」朝日新聞
1975(昭50)10. 3

共振や共鳴を考える場合は、固有振動数と音源の周波数特性の調べる必要があります。家屋の固有振動数は、地震の時の被害から解明されています。

強制振動の可能性もあります。精密騒音計の結果と、室内での振動レベル計の結果を比較しながら、よく考える必要があります。

共振については、ビルや建物、家具などの固有振動数が重要なポイントとなります。

地震の時、高層ビルがゆっくり揺れると言うニュースを聞いたことがあると思います。固有振動数が小さいのでゆっくり揺れます。では、日本家屋の固有振動数はどの程度なのでしょうか？

気象庁の HP の解説では、

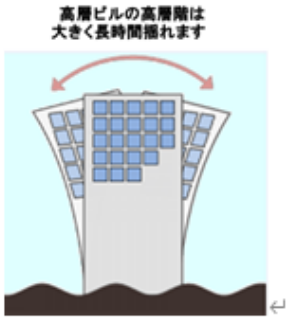
長周期地震動って何？

地震が起きると様々な周期を持つ揺れ（地震動）が発生します。ここでいう「周期」とは、揺れが１往復するのにかかる時間のことです。南海トラフ地震のような規模の大きい地震が発生すると、周期の長いゆっくりとした大きな揺れ（地震動）が生じます。　このような地震動のことを長周期地震動といいます。

建物には固有の揺れやすい周期（固有周期）があります。地震波の周期と建物の固有周期が一致すると共振して、建物が大きく揺れます。

高層ビルの固有周期は低い建物の周期に比べると長いため、長周期の波と「共振」しやすく、共振すると高層ビルは長時間にわたり大きく揺れます。また、高層階の方がより大きく揺れる傾向があります。

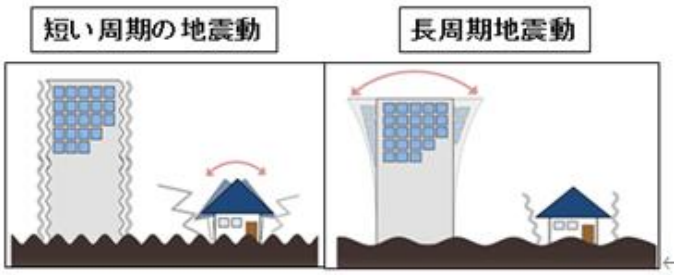
長周期地震動により高層ビルが大きく長く揺れることで、室内の家具や什器が転倒・移動したり、エレベーターが故障することがあります。



長周期地震動による高層ビルの揺れ方

長周期地震動により高層ビルがどのように揺れるかを分かりやすく解説したアニメです。

短い周期の地震動と長周期地震動による揺れとの違い



高層ビルは、短い周期の揺れは、「柳に風」のように、揺れを逃がすよう柔らかくできていますが、長い周期の揺れがあると共振してしまい、大きく・長く揺れることがあります。

ビルの高さによる揺れの違い

建物の揺れやすい周期（固有周期）は、高さによって異なり、一般的に高いビルほど長い固有周期をもちます。

同じ地面の揺れでも、建物の高さによって揺れ方は異なります。また、地面の揺れの周期と建物の固有周期が一致すると、その建物は大きく揺れます。

となっています。

ダイワハウスの PH　の解説では、

建物の固有周期はどのように決まるのでしょうか。

「“建物の固有周期”とは、その建物が 1 回揺れる時間の長さで、建物の高さや固さによって決まります。一般に、建物が高いほど長く、低いほど短くなります。30 階程度の超高層建物では 4～7 秒程度で、10 階程度だと 0.5～1 秒程度と言われています。

通常の地震は揺れの周期が短いため、固有周期の短い低いビルや戸建て住宅は共振しやすく、超高層ビルは共振しにくいとされています。逆に、4～7 秒の長周期地震では、超高層ビルや石油タンクも影響を受けます。2003 年の十勝沖地震では、長周期地震で石油タンク内の液体が共振して激しく揺れ、タンクの浮屋根を動かして火花が発生、あふれた石油に引火して火災が発生したことで、長周期地震が注目されました」と、近藤

は語ります。

となっています。

たとえば、4～7 秒の長周期地震だと、１秒あたりの揺れの回数は、０．２５回から０．１４回となります振動数は 0.25Hz から 0.14Hz ということになります。

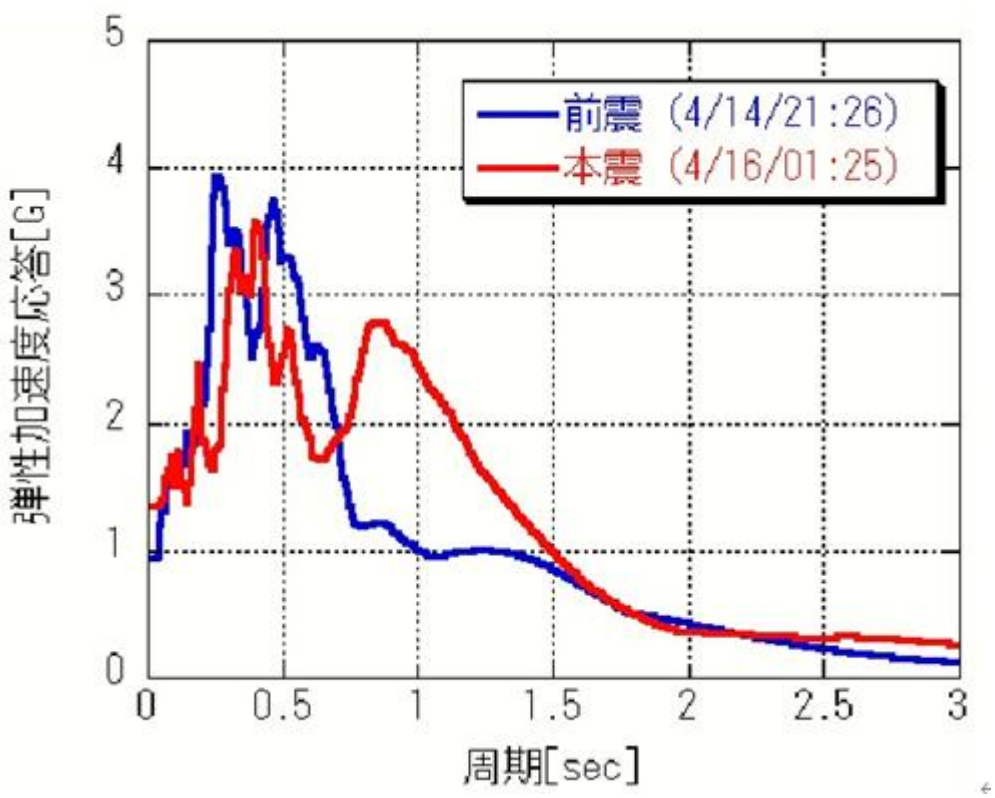
さて、“５Hz で７０ｄB、２０Hz で８０ｄB”で建具がゆれやすいと言うことですが、
普通の住宅はどの程度の周期的な刺激があれば揺れ易くなるのでしょうか？

熊本地震で倒壊した建物の調査から、それは、0.5Hz から 1Hz だと分かります。
もちろん、家は建具より大きく、高層ビルよりは小さいので、5Hz から 0.25Hz の間であることは明白です。
熊本地震の被害に関しては、秋山英樹氏による研究報告があります。

熊本地震はナゼ被害が大きかったのか　　2016 年 6 月 29 日
グリーンレポート

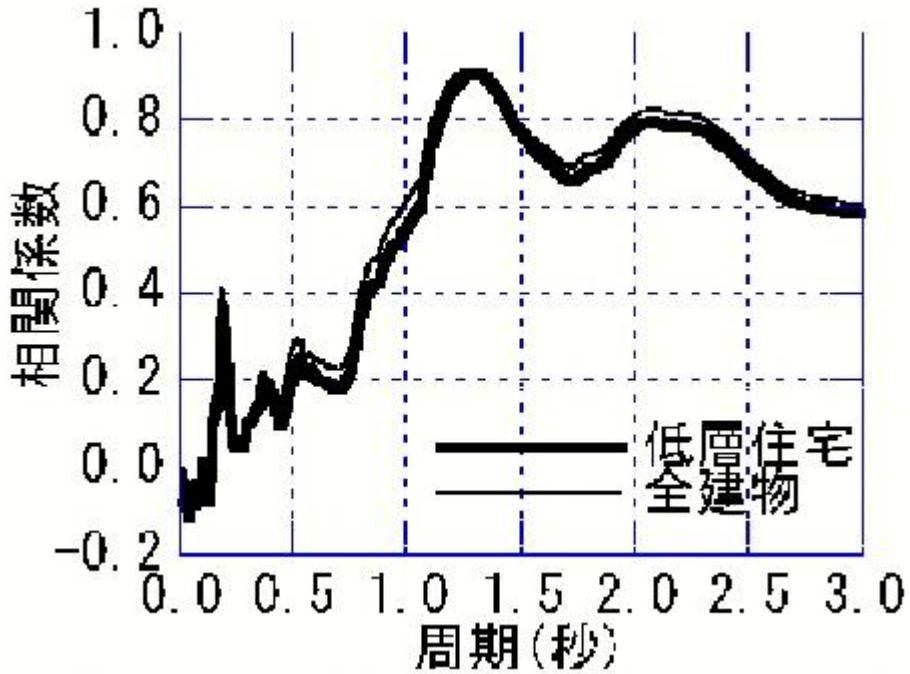
4 月 14 日の熊本大地震について、地震の専門家ではありませんが、テレビなどマスコミでは分かりにくいことについて解説してみます。
最初の地震は前震ということでしたが、最大震度が 7、マグニチュード 6.5 と地震の大きさを示すマグニチュードの割には震度が 7 と大きかったのは震源が浅かったためです。揺れが大きかった割には朝になって全貌がテレビで確認できたときも被害は思っていたほどではありませんでした。
そして深夜に起きた本震が最大震度 7、マグニチュード 7.3、一夜明けた全貌は前の日とは大違いで多くの建物が崩壊した悲惨な状況でした。
マグニチュード 7.3 は阪神大震災に匹敵する地震で、前震の 6.5 の 16 倍にも達するということです。今回の地震は、阪神大震災と同様活断層の横滑りという現象で長さ 50ｋｍの断層が水平方向に最大 1.8m、垂直方向に最大 70ｃｍずれたということでした。航空写真でよく分かります。

益城における前震と本震の地震の性格をみると下図のようになります。

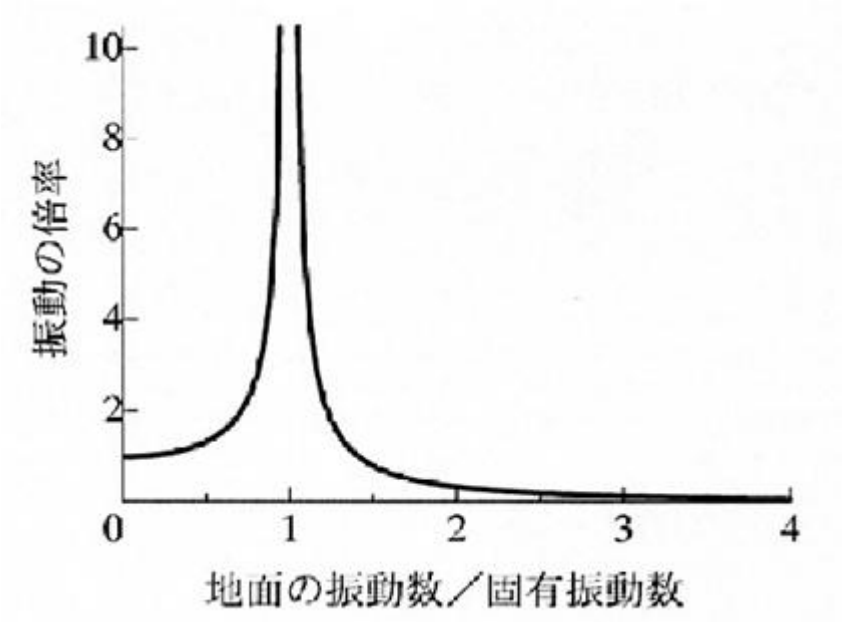


この揺れ方の違いが建物の崩壊率を高めている原因の一つなのです。

下記の図は日本で起こった様々な地震について何秒の揺れの強さが実際の建物被害と対応しているかを示したものです。縦軸の相関係数が大きな値の周期が建物被害と対応していると言えます。



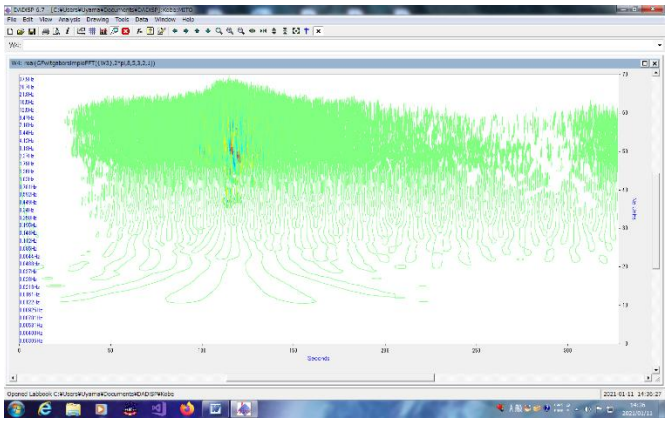
これを見ると大ざっぱに言って、1-2 秒という 0.1-1 秒より長い周期の揺れの強さが実際の建物被害と対応していることがわかります。
熊本地震では揺れの大きな前震で、建物の固有周期が短い低層の木造建物（ユラユラと動かない堅い建物：固有周期が 0.2～0.5 秒）の柱や梁との結合が緩み固有振動が 1 秒ほどに長くなるのです。そこに、1 秒ほどの周期の本震に見舞われ、共振現象により地震エネルギーは倍増し崩壊につながってしまったと考えられます。

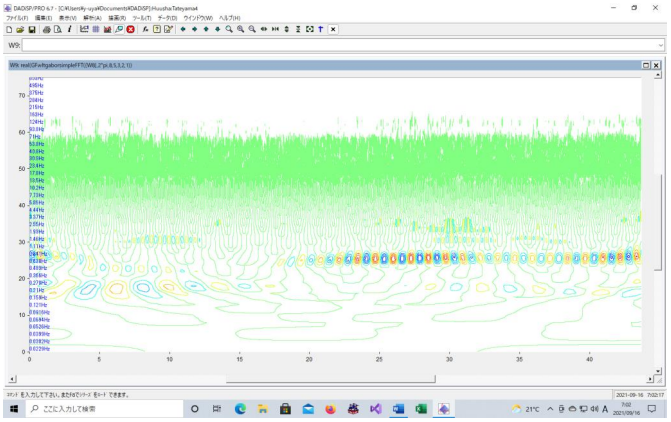


地震は、単に強い弱いだけでなく、ガタガタという揺れ（1 秒以下の短周期地震動)、ユサユサという揺れ（1 ～ 2 秒のやや中周期地震動)、ユラユラという揺れ（2 ～ 5 秒の長周期地震動）が複雑に混ざり合っているのです。このどの周期の地震動が卓越しているのかにより地震の被害状況が変わるのです。ユサユサという揺れがキラーパルスといわれ建物に大きな被害を及ぼすのです。
地震は日本ではいつ発生するかわかりません。熊本では今月の 4 日に約 8m のザトウクジラ、8 日には長崎で約 7m のザトウクジラが定置網にかかり海岸に打ち上げられていたそうです。地元漁業の話によると、クジラが定置網にかかったり、打ち上げられるようなことは、いままで無かったといいます。いつものことですが、大地震の前には何かしらの前触れがあるようですから、日ごろから非日常的なニュースには注意しましょう。

とのことです。

地震の揺れと、風車の音を比較してみます、上が東北大地震の揺れを、茨城県水戸市で計測したデータを表示したもの、下は館山の風車の騒音のデータです。





地震でも、風車の超低周波音でも、家全体が共振するような周波数成分が含まれています。
振動数の安定性からみれば、風車の方が共鳴現象を起こしやすいと言えます。

風車音の 1 Hz 辺りの周波数と音圧は、

図３でのピーク値となる周波数

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

Table 2 Energy distribution （0～20Hz）

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

となっていて、民家の固有振動数である 1Hz に近い周波数で、高い音圧になっています。
この音圧は、風速が増大すれば大きくなります。もちろん周波数のある程度変化します。風車音には指向性があるので、音圧は風車の向きによっても大幅に変化します。
従って、事前の予測は難しくなります。振動レベル計で、振動そのもの計測する必要があるのです。同時に、室内での精密騒音計による計測も必要です。これらの計測された振動数を比較する必要があります。

２．７　人と物では、低周波音に対する感度に違いがある。

人と物では，低周波音に対する感度に違いがある

建具の低周波音に対する反応は，低い周波数（20Hz以下程度）では人の感度より良く，揺れやすい窓や戸では，低周波音の主要な周波数と窓の揺れやすい周波数が一致（共振）すると，人が感じるより低い音圧レベルでがたつく場合がある。

7

環境省は、“参照値”として、低周波音の被害の目安となる数値も示していた。

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

表 2-3　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値[1-6]

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	ｵｰﾊﾞｰｵｰﾙ値
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41	92dB(G)

10Hz では、心身に関する参照値は 92ｄB、物的苦情に関する参照値は 73ｄB です。

もしも日本人が、イノシシの様に野外で眠っているのなら、10Hz で 73ｄB の音による影響は少ないでしょうが、残念ながら家の中で眠ります。10Hz で 73ｄB の音の人間の聴覚に対する影響は無視できたとしても、建具のガタツキや床の振動が有れば、寝ている人間は目を覚まます。人間には聴覚以外の感覚器官もあるので、振動や圧力の変動を感知してしまいます。

安眠妨害の観点から風車音の影響を評価すれば、安眠妨害の被害を受ける閾値は、10Hz で 73ｄB、5Hz で 70ｄB 以下だと考えるべきです。聴覚閾値と関柿閾値は違うのです。

ですから、超低周波音・低周波音の影響に敏感なのは、建具だけではありません。

風車音に対しては、交通騒音に対してよりも、敏感に反応します。

”**検討会報告書**「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“には、

報告書（ｐ14）に、

“風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、**同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすい**ことが示唆されている。

表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

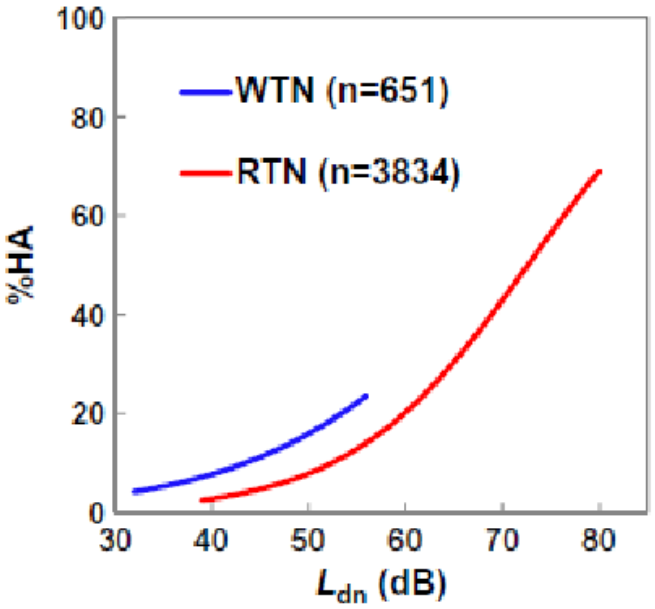


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報

告している。”
と書かれている。
下の表は、風車音のうちで、“風車騒音（20Hz 以上)”として扱われるものは、７％であることを示す。

エネルギー分布	0～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

風車音のアノイアンスへの寄与を考えるとき、“風車騒音（20Hz 以上)”の寄与は７％、超低周波音の寄与が 93%と考えることもできる。これに関しては、多変量解析を使えばより明確となる。

A特性音圧レベルでの数値は低いのだが、交通騒音の場合に比べて、同一のA特性音圧レベルであっても、より大きな被害が出ています。レベルがそれほどではなくても被害が出る原因を見つける必要があります。

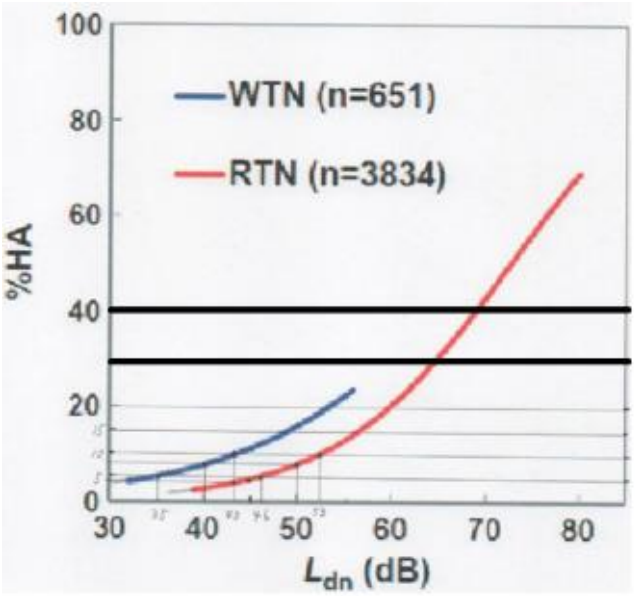
風車騒音を日本で実測した結果、周辺の住宅等音の影響を受け得る場所では、時間平均A特性音圧レベルで26～50dB（書店や美術館の中程度）であり、それほど高いレベルではなかった

これらの音の影響は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチョー）の資料によれば、

うるさい	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１ｍ） ・掃除機（１ｍ） ・テレビ（１ｍ） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２ｍ） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１ｍ）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

であることが分かります。

報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

グラフのズレについて６～９ｄＢとありますが、グラフを拡大して、水平線を引いて、交点の間隔を調べてみたら、次の様になりました。

誤差はあるでしょうが、ズレの理由を次の様に考えました。

Ａ特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

$$DB7 = 10 * log10(\frac{p_1^2}{p_0^2})$$

$$DB99 = 10 * log10\left(\frac{99}{7} * \frac{p_1^2}{p_0^2}\right) = DB7 + 11.5$$

となって、11.5ｄＢ増加します。

10%以下の人が非常に不快であると感じる交通騒音での騒音レベルと、風車音の騒音レベルを 11.5ｄＢだけ補正すれば、数値としては、ほぼ一致します。

表を作れば、

%HA	風車騒音	交通騒音	差	補正風車音	交通騒音	差
30%	60ｄＢ	64ｄＢ	4 ｄＢ	7１.5dB	64ｄＢ	-7.5ｄＢ
20%	53ｄＢ	60ｄＢ	7ｄＢ	64.5dB	60ｄＢ	-4.5ｄＢ
10%	43ｄＢ	53ｄＢ	10ｄＢ	54.5dB	53ｄＢ	-1.5ｄＢ
8%	40ｄＢ	50ｄＢ	10ｄＢ	51.5dB	50ｄＢ	-1.5ｄＢ
5%	35ｄＢ	46ｄＢ	11ｄＢ	46.5dB	46ｄＢ	-0.5ｄＢ
4%	30ｄＢ	43ｄＢ	13ｄＢ	41.5dB	43ｄＢ	1.5ｄＢ

エネルギーの面から補正した数値を使えば、不快感を覚える人の割合が、ほぼ一致すると言えます。

交通騒音の場合は、53ｄＢの場合は、10%の人が非常に不快であると感じ、風車音の場合は、20%の人が

非常に不快であると感じます。過去の研究結果から考えれば、不快感の内容に大きな違いがあるのです。

表-3　低周波音苦情の分類

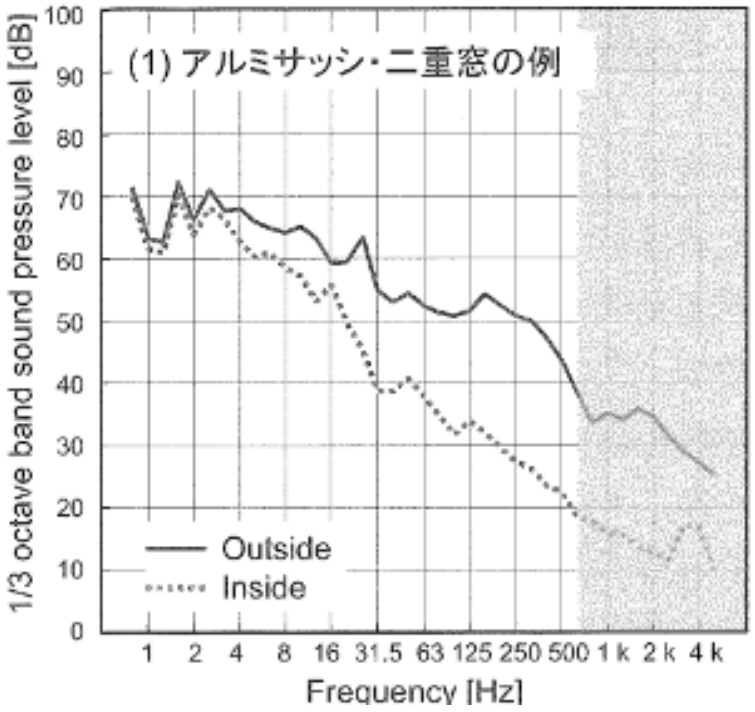
心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具(戸、障子、窓ガラス等)の振動、置物の移動、瓦のずれ

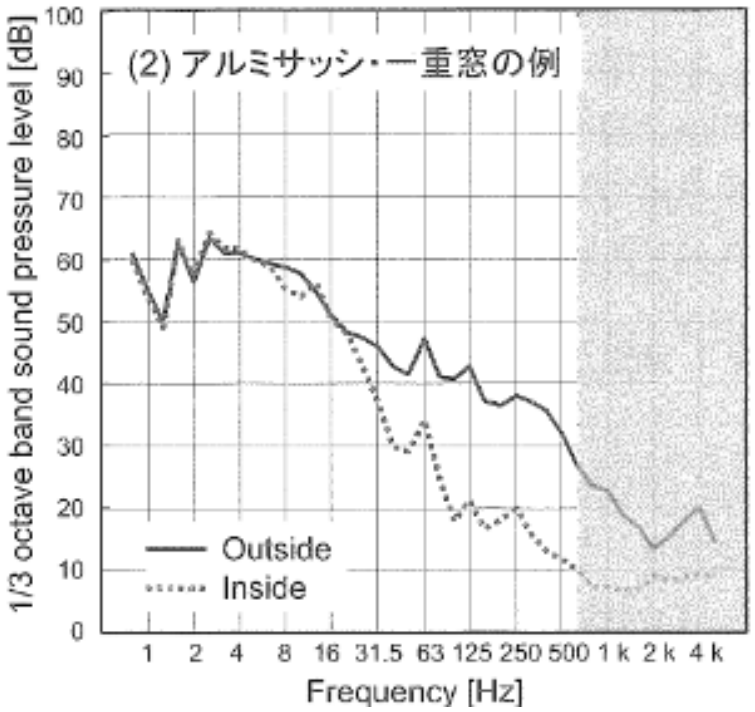
なお、このｐ14の記述は、**“特定の周波数が卓越した音（純音性成分)”**についての分析ではなく、風車騒音の一般的な性質を、交通騒音との比較において述べている事に注意する必要がある。

風車騒音で35ｄＢは、交通騒音で46ｄＢの場合と同じ被害が出ます。5%の人が、“非常に不快である”と思う数値です。単純に“不快である”と思う人をその２倍と仮定すれば、合計で15%の人が不快感を覚える数値です。普通は、風車は夜間も停止しません。AA地区で、夜間で46ｄＢの騒音がある場合の被害が想定されます。言葉で言えば、“やや大きく聞こえるが、通常の会話は可能”のレベルです。これでは病人は安眠できません。眠れなければ、体力も落ちます。病気が治るとは思えません。対策が必要です。

このような性質を持っている風車音に対して、防音窓の効果を調べた論文があります。

低周波数性騒音に対するハウスフィルターのモデル化
https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201702283160419756
著者 (3 件)： 橘秀樹 , 福島昭則 (ニューズ環境設計) , 落合博明 (小林理学研)
資料名： 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集 (日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集)
巻： 2017 号： 春季 ページ： 13-16 発行年： 2017 年 04 月 21 日





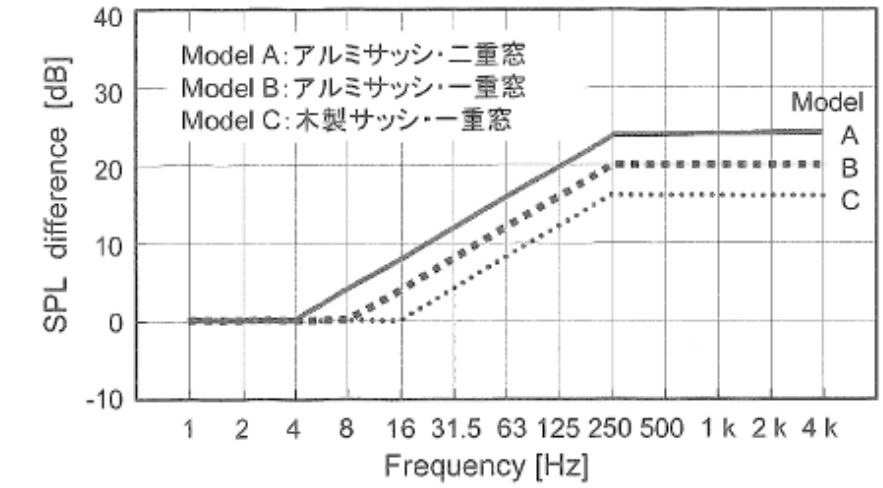


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

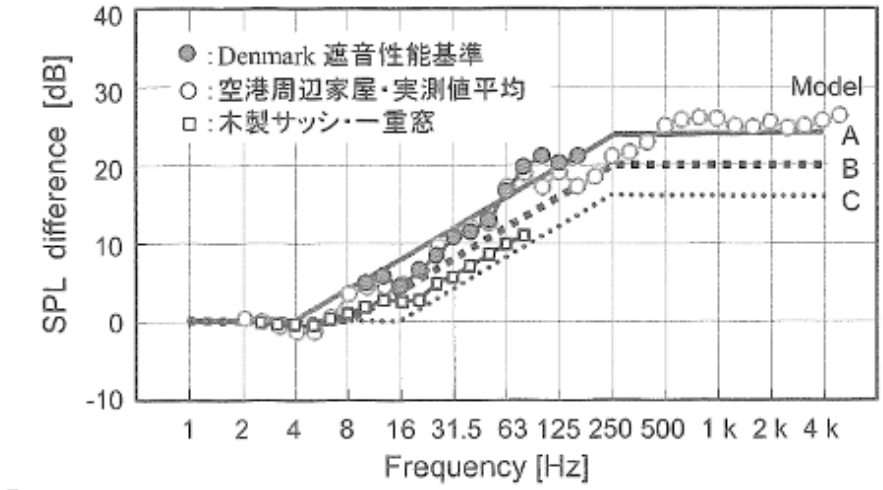


図 5　ハウスフィルター・モデルと 3 種類の参照データの比較

これを見ると、低周波音に対して、防音窓の効果が少ないことが分かります。4 Hz 以下は素通りです。30Hz 以下の周波数に関しては、あまり効果がありません。200Hz 程度のものに対しては効果があります。250Hz だと 1/10 程度にまで減衰するが、30Hz だと 1/3 程度にまで減衰します。20Hz だと 1/2 程度にまで減衰します。外での音の強さが 100 なら、室内では、250Ｈｚだと 10，30Ｈｚだと 33，20Ｈｚだと 50 程度の強さになっていると言いうことです。

アルミサッシの二重窓では、250Hz 以上の周波数の音に対する遮音効果が、25ｄＢ程度です。家の外の音が 50ｄＢの時、家の中では、25ｄＢとなります。その結果、室内環境はとても静かになるので、被害は生じないように見えます。

静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

しかし、4Hz 以下の音に対しては、遮蔽効果が無いので、室内への影響は大きくなります。また、共鳴や共振を考えながら、影響を正しく評価しなくてはなりません。

この音が“知覚できないから問題は無い”という人は、0.8Hz の音を圧迫感として感知するときの閾値で

ある音圧を示す事が必要となります。圧迫感についての知覚閾値を決める実験ではどのようなスピーカを使ったのかを示す必要があります。

実験を再現するためには、スピーカを販売している会社名を示す事も必要です。

もちろん、議論の前提として、立場の異なる複数の人によって、屋外と室内で同時に計測された精密騒音計での結果を、デジタルデータのままで、ネットに公開することも必要です。

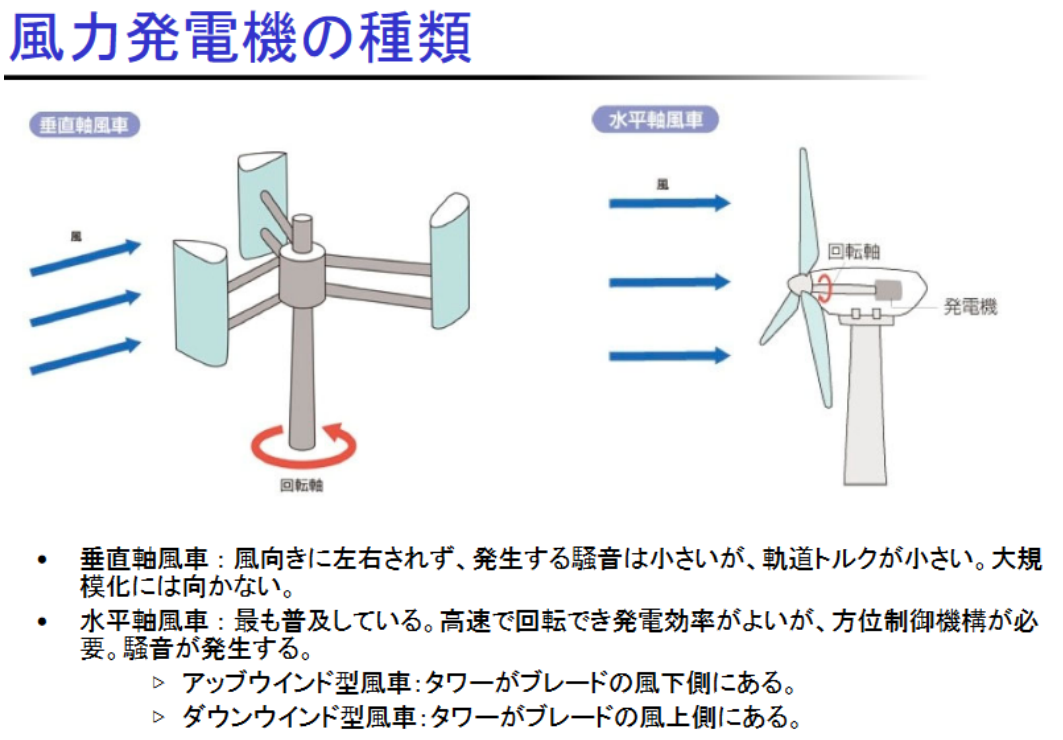
残念ながら、この実験で必要な、5Hz 以下の音を再現できるスピーカは、存在しないのです。

風車音で目立つのは、30Hz 以下の部分がほとんどです。交通騒音に対して効果のある防音窓も風車音に対しては、お手上げなのです。

発生源対策しかないのです。日本では、発生源対策として、超低周波音を無視して計算して風車音の影響を評価する。そして、実際に発生する被害は、個人差や田舎が静かすぎるのが原因だと言い張るのです。

フランスでは、素晴らしい発生源対策をしました、対策済みの風車は、パリのエッフェル塔に設置しても苦情が出ないのです。この違いの原因は、学者の学力の違いだと思います。

風車騒音の特徴と指針・測定マニュアルについて、落合博明（小林理学研究所）には、下の説明がある。

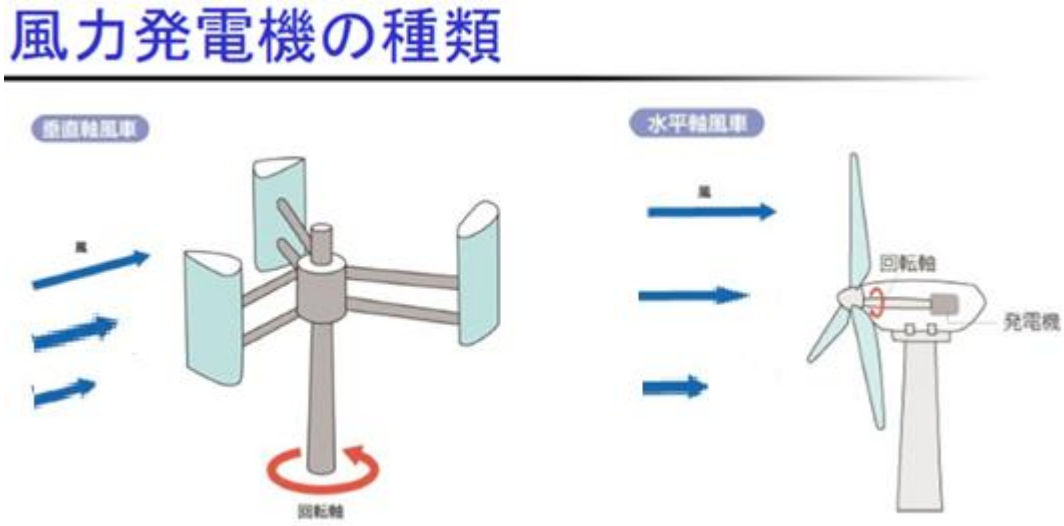


垂直軸のものは、“発生する騒音は小さい”とあるが、残念ながら誤りがある。上の図の様に風が上空でも地上付近でも風速が同じならば、どちらの風車からも超低周波音が発生しない事が分かる。

確認するには、“超低周波音の解析と発生の仕組み”の計算に於いて、高さと風速の関係式を少し変えて計算すればすぐに分かる。

さらに、超低周波音が発生するか否かが、健康被害との関連では重要であり、20H z 以上の可聴域成分である“騒音”は、水平軸型の風車でも音圧が小さいことが調査結果から判明している。

上の図では風速の矢印が同じ長さですが、正しく書けば、次の様になります。

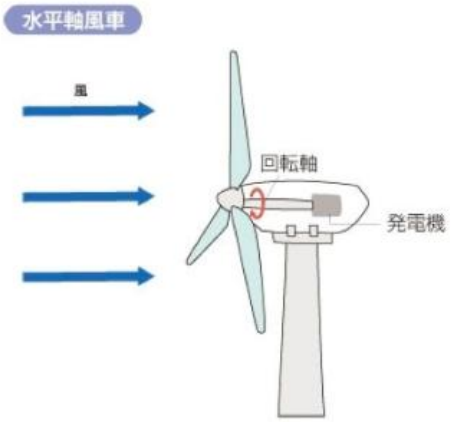


上空の風の速度が速いので、ブレードに掛かる揚力ベクトルが、水平軸型の場合には、ブレードの回転に従って周期的に変化します。これよって、塔が曲がり、塔の側面の振動が起きて、強い指向性を持った超低周波音が発生することになります。風速の特徴を詳しく調べると、マクローリン展開の係数に従って、超低周波音の周波数スペクトルが離散的となることや、音圧の特徴についても、計算結果と計測結果が一致することが分ります。

回転軸が垂直の場合にはこのような現象は起きないので静かなのです。

簡単に言えば、水平軸型の風車は超低周波音の発生装置そのものなのです。

ただし、風速に高度差による違いが無い



として計算すれば、超低周波音は発生しないと言う結論になってしまいます。

パリのエッフェル塔に風力発電設置　地上 120m の風を利用。太陽光設備も併設。年末の COP21 に向けて「再エネのシンボル」に（FGW）2015-02-26 15:10:23

フランスの名所、エッフェル塔が再生可能エネルギー発電のシンボルとして脚光を浴びている。塔の改修工事に伴って、地上 120 メートルのところに風力発電所が、また太陽光発電パネルも設置されたためだ。

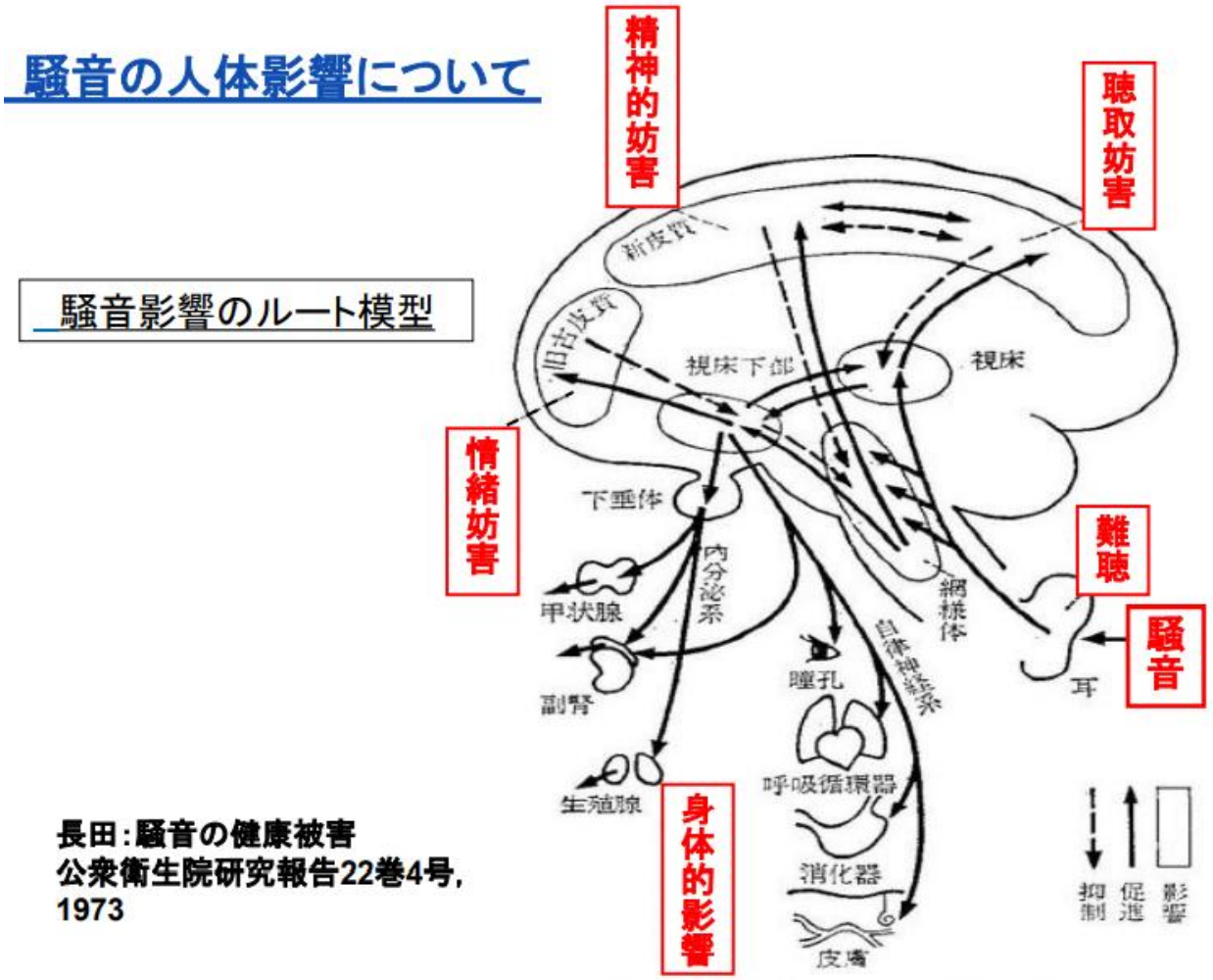
設置された風力発電は垂直軸方式のもので、風力発電特有のタービン音がほとんどないという。発電事業を担当する Urban Green Energy International（UGE）によると、発電量は年間 10,000kWh で、エッフェル塔の観光客向け電力をほとんど賄うことができるという。

また風力発電の設備のデザインも、歴史あるエッフェル塔にマッチしたデザインとし、色も塔の色に溶け込むように工夫されている。事業者の UGE は、「塔全体のエネルギー効率化も進める。エッフェル塔はパリの気候変動計画のシンボルとなる」と自賛している。

２．８　騒音の人体影響について

人体への影響に関しての解説があります。下の図で、外部からの刺激要因を探してみると、騒音しかありません。これでは、“聴覚閾値＝感覚閾値”になってしまいます。

刺激要因としての騒音から耳に向かっての→があります。これは、聴覚に対する刺激を意味していると理解できます。



聴覚以外にも、感覚器官があり、風車音に起因する刺激に対して、いろいろな形の反応を示す事を忘れてはなりません。

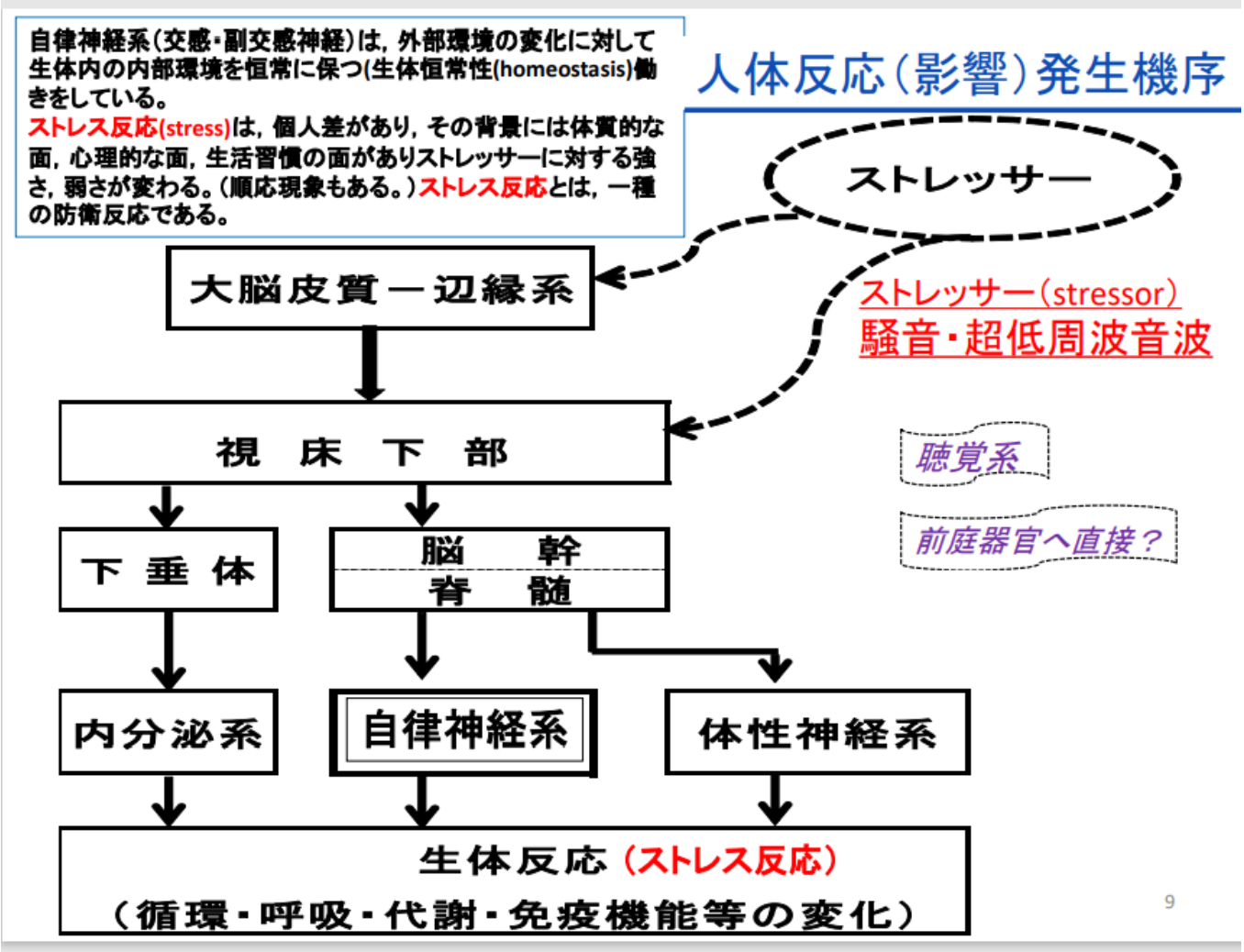
うるさい、圧迫感がある、揺れている、についての刺激と反応について別々に考慮する必要があります。それが無いと、聴覚閾値＝感覚閾値になってしまいます。

風車音でのアノイアンス（不快感）に対するラウドネス（うるささ）の寄与率は小さいのです。

“McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。”

２．９　人体反応（影響）発生機構

次の図では、ストレスを引き起こす要因として、騒音（20Hz 以上）の他に、超低周波音（1Hz～20Hz）も書かれています。



聴覚を中心に書かれているが、超低周波音は人の体内の圧力を大きく変動させる。
音圧が同じ場合、周波数が高ければそのようなことは起こらない。

【2019 年 1 月 29 日】付けの、圧迫感についての新しい研究にも注目すべきです。

気圧の変化を感じる場所が内耳にあった ―気象病や天気痛の治療法応用に期待―

（佐藤純教授らの共同研究グループ）　【2019 年 1 月 29 日】

プレスリリース

鳥類には気圧を感じる器官が耳に存在することが分かっています。彼らはこの能力を使って、自分の飛んでいる高度を知り、雨が降るかどうかなどの気象変化を予見し行動していると考えられています。一方、ほ乳類に気圧を感じる能力があるかどうか明らかになっていませんが、「猫が顔を洗うと雨が降る」などの言い伝えもあり、わたしたち人間においても、「天気が崩れると頭痛がする、ぜん息がでる」、「古傷が痛むので、明日雨が降るのが予知できる」など、臨床家の間ではよく知られた事実があることから、他の動物と同じように気圧の変化を感じている可能性があると言われてきました。この問題を慢性痛の治療の面から長年取り組んできた中部大学・生命健康科学部理学療法学科の佐藤純教授（愛知医科大学医学部客員教授）のグループは、愛知医科大学・医学部と日本獣医生命科学大学・獣医学部との共同研究により、マウスにも内耳の前庭器官に気圧の変化を感じる場所があることを、世界で初めて突き止めました。

研究成果のポイント

マウスの内耳の前庭器官に気圧の変化を感じる場所と能力があることを突き止めました。

このメカニズムを明らかにすることで、気象病や天気痛の有効な治療法の確立に繋がります。

研究の背景、概要と成果

「雨が降ると古傷が痛む」「頭痛がする」「気分が落ち込む」など、天気の崩れが体調に影響したり病気を悪化させたりすることは「気象病や天気痛」と呼ばれ、古くから知られていますが、そのメカニズムははっきりとは分かっていません。佐藤教授らは、以前より、天気の崩れにより気圧が変化すると内耳がその変化を感じとって脳に伝え、その結果、さまざまな疾患が発症したり悪化したりするという仮説（図 1）を提唱してきましたが、今回の研究成果により、本来は平衡感覚を司る前庭器官に、気圧を感じる部位と機能もあることが確かめられました。

実験の内容は次のとおりです。

マウスを人工的に気圧が変えられる装置にいれて、天気の変化に相当する微小な低気圧に一定時間暴露します。その後、脳を取り出し、内耳の前庭器官からの感覚情報を中継する延髄の前庭神経核細胞の活動を観察しました。すると、前庭神経核のうち、おもに半規管（一部、球形嚢）からの情報が集まる上前庭神経核細胞において、神経細胞が興奮すると増える特殊な蛋白質（c-Fos タンパク質）が細胞内に増加していることを発見しました。一方、他の部位からの感覚情報が集まる神経核細胞に変化はなく、気圧の変化を与えていないマウスでも変化はみられませんでした（図 2）。

図 1

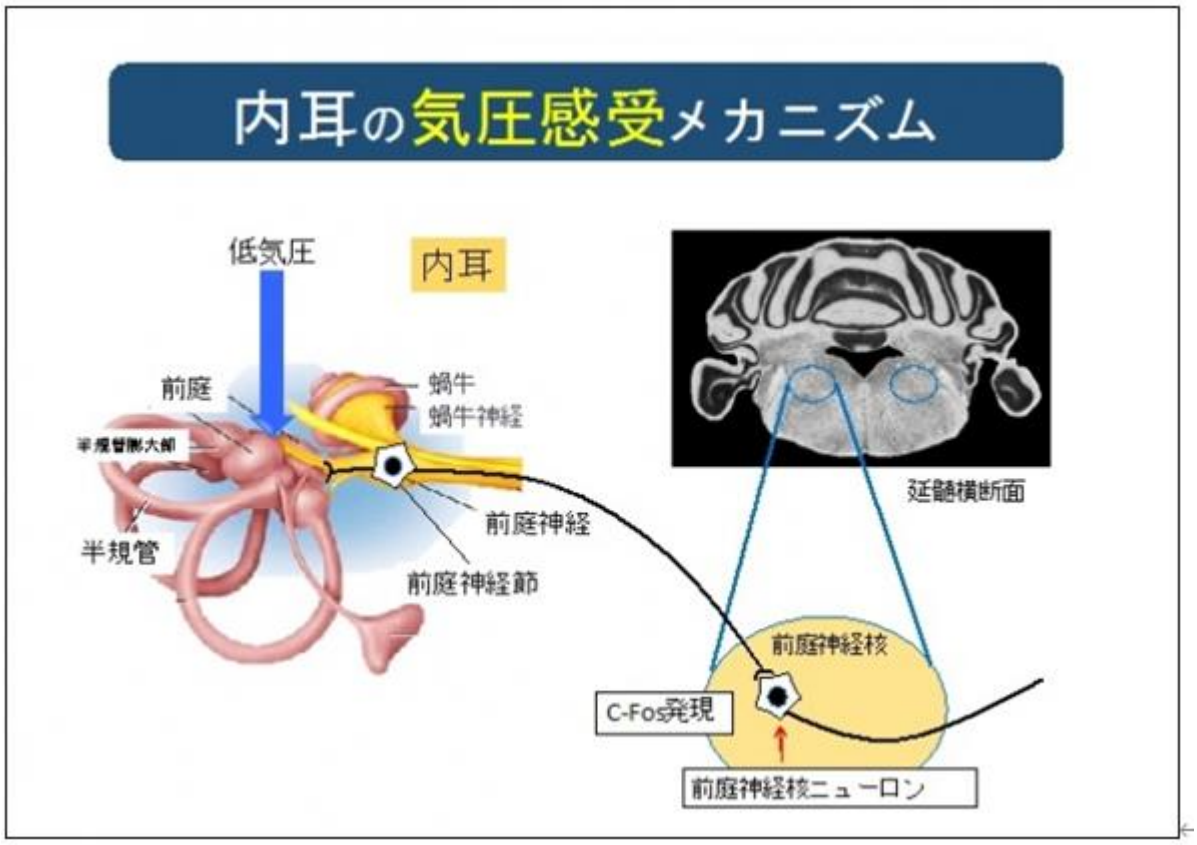
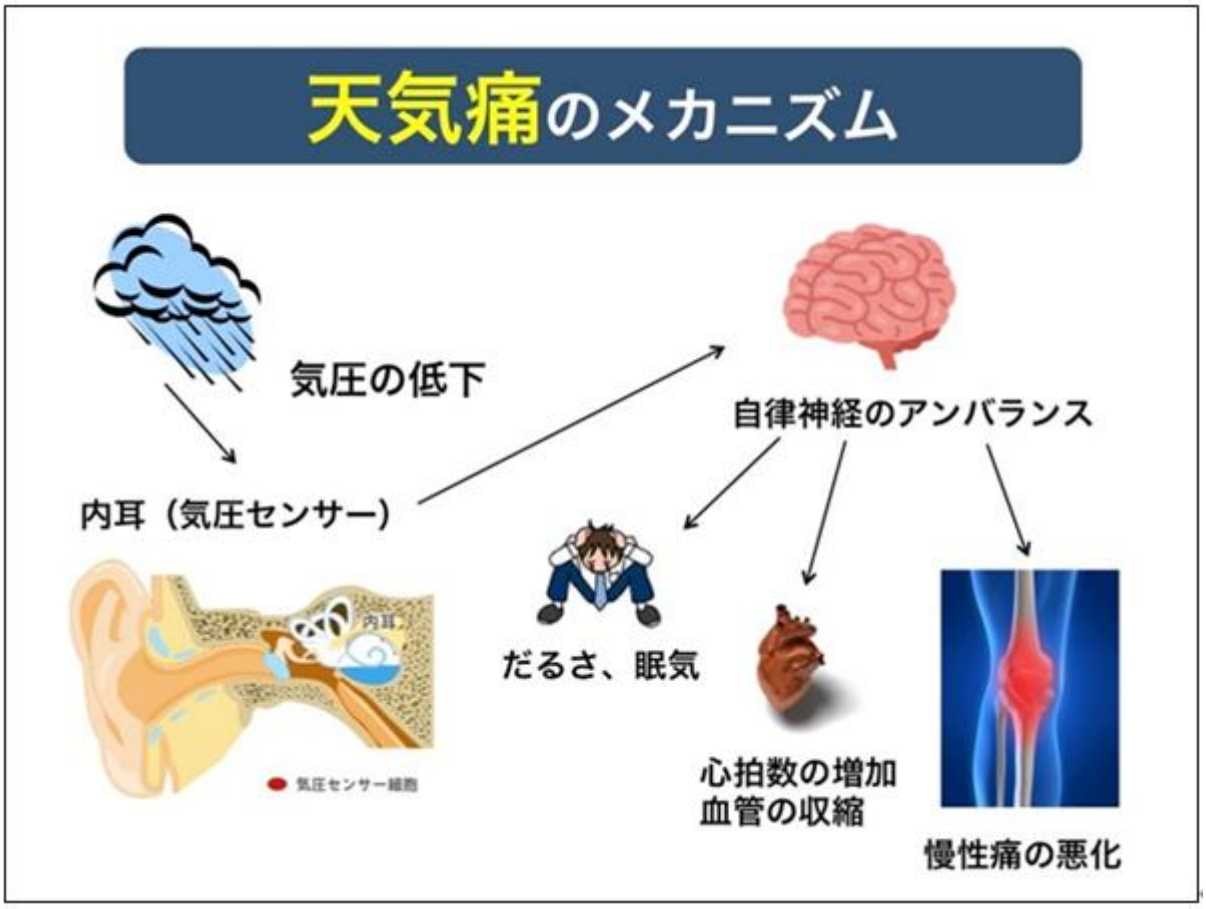

内耳の気圧感受メカニズム
低気圧
内耳
前庭
蝸牛
蝸牛神経
半規管
前庭神経
前庭神経節
延髄横断面
前庭神経核
C-Fos発現
前庭神経核ニューロン

図 2



今後の展開

今回の研究成果から、私たち人間においても天気の崩れによって前庭器官が気圧の微妙な変化を感じとり、脳にその情報が伝わり、結果として古傷や持病の痛みを呼び覚ましたり、めまいや気分の落ち込みといった不調を起こすものと考えられます。これまで、平衡感覚のみを感じていると考えられてきた内耳の半規管に気圧の変化を感じる能力があることが分かりました。今後も研究を続け、どのようなメカニズムで前庭器官が気圧の変化を感じ取るのかを明らかにしていきます。また、このメカニズムを明らかにすることで、気象病や天気痛の有効な治療法の確立に繋げていきます。

研究成果の公表

本研究成果は、2019 年 1 月 25 日午後 2 時（米国東海岸時間）、PLOS ONE 誌オンライン版として掲載されました。

論文題名：

Lowering barometric pressure induces neuronal activation in the superior vestibular nucleus in mice
（低気圧はマウスの上前庭神経核ニューロンを興奮させる）

問い合わせ先

佐藤純　（中部大学　生命健康科学部　理学療法学科教授）

E-mail：jsato[at]isc.chubu.ac.jp　※アドレスの[at]は@に変更してください。

これは、粗密波としての超低周波音を気圧変動として感知できる可能性がある、ことを意味しています。もちろん、これは聴覚による感知ではありません。

従って、参照値において人々が感じた不快感には、音響関連の、耳からの音、骨伝導での音の認識の他に、圧力変動を感じて、

（5）胸や腹を圧迫されるような感じがするか

低周波音に特有な感覚として圧迫感・振動感がある。**大きな音圧レベルの超低周波音**が発生している場合や可聴域の低周波音が発生している場合には、胸や腹を圧迫されるような感じがすることがある。

と言う現象は、圧力を感じる器官を持っているのですから、生理的反応と考えるべきです。

室内で暮らす人が多いのですから、共鳴での音圧の強さを考えれば、粗密波としての超低周波音を気圧変動として感知できる可能性についても深く研究すべきだと考えます。

当然のことですが、これは聴覚による感知ではありません。

また、心配しすぎのような気もしますが、幅広く調査、研究をする意味で、

参考文献“泡のエンジニアリング”（株式会社テクノシステム　発行）にあるような、音響キャビテーションに関しても、そこで示されている偏微分方程式を使って、コンピュータによるシミュレーションをしたほうが良いと思っています。

“泡のエンジニアリング”　（テクノシステム）　を参考にすれば、

１１．音場中の気泡の成長

圧力一定のもとでは、不凝縮ガスが過飽和でない限り、気泡は消滅する。これに対して、音響場の中に置かれた気泡では不足飽和状態でも、不凝縮ガスの析出による気泡の成長が見られる。この現象が音響キャビテーション発生の原因となり、また、液体中の溶存ガス除去促進にも利用される。

気泡への不凝縮ガス析出量は式(5.5.55)

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{4}{3}\pi R^3\rho_g\right)=4\pi R^2 D_{gL}\frac{\partial\rho_{gL}}{\partial r}\Big|_W \qquad (2.5.55)$$

による。

液体中の濃度境界層厚さをδ_Dとすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

$$\dot{m}_g \propto R^2\times(\rho_{gi0}-\rho_{giW})/\delta_D \qquad (2.5.61)$$

となる。

これに踏まえて、図 2.5.6 に示す現象のメカニズムを説明する。

図　2.5.6

収縮時　　平衡時　　膨張時

$p_g > p_{g0}$　　p_{g0}　　$p_g < p_{g0}$

$R < R_0$　　R_0　　$R > R_0$

$\delta_D > \delta_{D0}$　　δ_{D0}　　$\delta_D < \delta_{D0}$

まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度 ρ_{gLW} はヘンリーの法則

$$\rho_{gLW} = \alpha p_g \qquad (2.5.58)$$

にしたがって、収縮・膨張する圧力変動とともに、上昇・低下する。濃度が上昇する凝縮時には気泡内の不凝縮ガスが液体に溶解し、濃度が低下する膨張時にはガスは気泡へ析出する。

この際、気泡表面積は膨張時のほうが大きいため、膨張・収縮の 1 サイクルで見るとわずかながら析出量が勝ると考えられる。

音波の振動数が大きな場合には、液体内に溶けているガスの拡散が起こらないので、気泡の成長は鈍る。

振動数が小さい場合は、膨張したときは、液体内のガスが気泡内に析出し、気泡の周囲のガスの濃度が減少する。収縮が始まる前に液体内に溶け込んでいるガスの拡散によって濃度が元に戻る。

収縮によって、気泡内のガスが周囲の溶液に溶け込む。周囲の液体内に溶けているガスの濃度があまり下がっていないので溶け込む量は少なくなる。

この過程を繰り返して、**低周波の場合のほうが気泡は成長すると考えられる**。

次に、表面近傍液体中の不凝縮ガス濃度境界層は、膨張時には薄く、収縮時には厚くなる。境界層の厚さが薄くなるにつれて、拡散による物質輸送が顕著になることを考えると、やはり、膨張による析出量が収縮による溶解量を上回ることになる。

となっています。体の中に気泡が発生すれば、潜水病と同じ状態となります。とても危険です。

小林理学研究所　落合博明氏の論文から引用

6. 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。低周波音苦情の分類を表-3に示す。

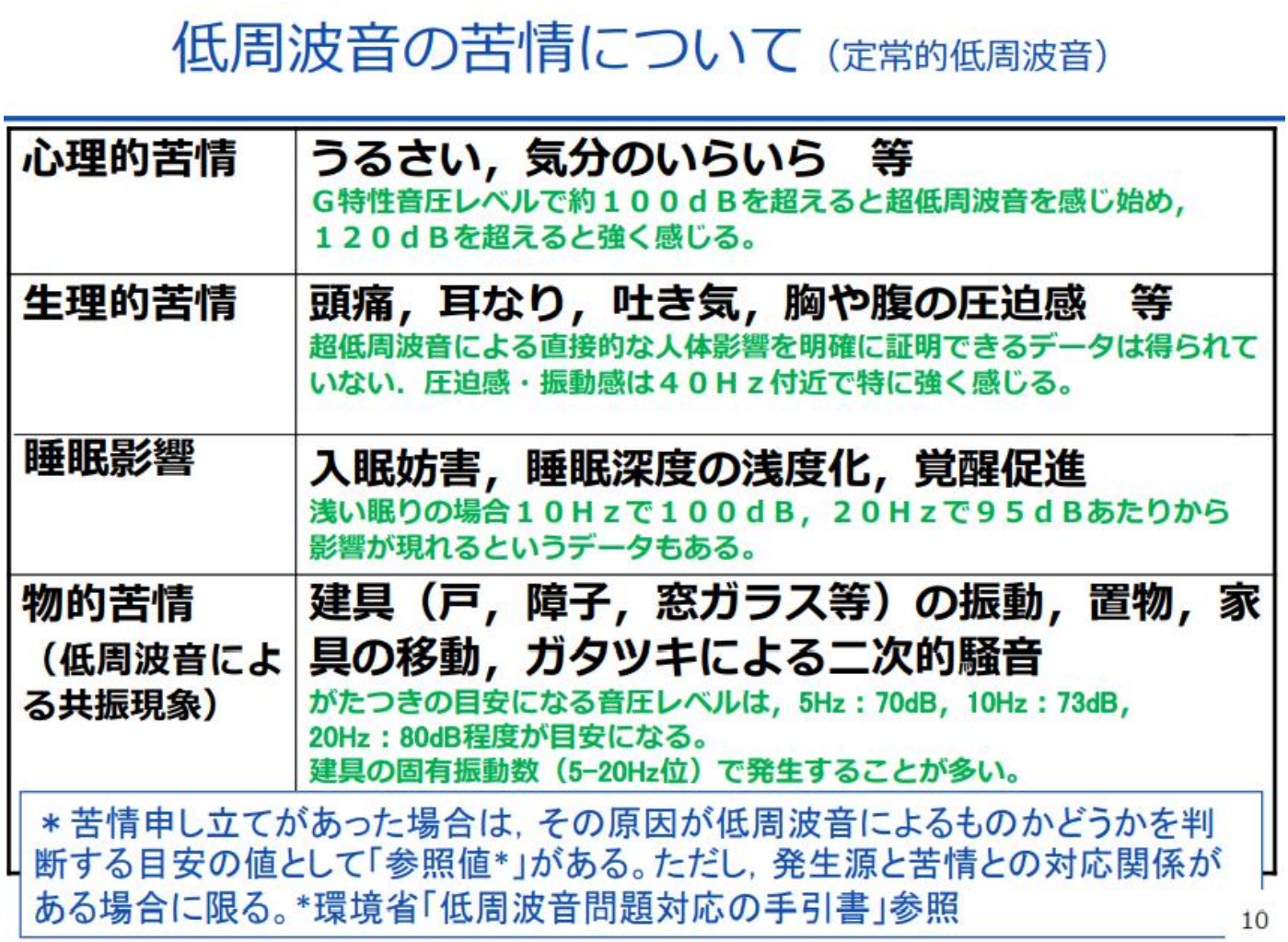
表-3　低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

との研究結果があるのですから、これらの被害の内容に対応する原因について、幅広い調査や研究を行うべきなのです。調査では、アンケートと一緒に、NL-62、NL-63,SA-A1 での録音結果も公開する必要があります。

２．１０　低周波音の苦情について（定常的低周波音）

町田氏は、風車音の苦情（被害）についての分類表を載せています。



ここで、100ｄB と言う数値が出てきます。この数値の根拠は、前に電力中央研究所報告から確認しておいたものです。聴覚閾値と感覚閾値を混同して使う原因になったものです。

この記述では、G 特性音圧レベルのことに触れているので、低周波音の意味は、低周波音（20Hz-100Hz）ではなくて、低周波音（1Hz～80Hz）または低周波音（0 Hz～100 Hz）の何方かであり、超低周波音（1Hz～20Hz）の部分を含んでいると考えられます。

“ただし、発生源と苦情との対応関係がある場合に限る。”となっているので、関係性を調べる必要があります。音の周波数、音圧と振動の周波数を測る必要があります。風車からの音で最も高い音圧を持っているのは、0.5Hz とか 0.8Hz の音なので、この部分が明確になるように計測しなくてはなりません。

計測機材（精密騒音計、振動レベル計、録音用のソフト、ビデオカメラ）で 150 万円、PC とソフト（DADISP、DADISP/WAV、Wavelet、WVA、Noise-Vibration）で 150 万円、とさらに、参考文献の購入費が必要となります。

計測すると環境省の主張を覆すことになるので、県は協力してくれません。市は 0.5Hz の音を測りその音圧を表示できるような計測機材を持っていません。

住民がクラウドファンディングなどでお金を 150 万円集めて計測機材を買いましょう。計測したデータは、ネットに公開して、解析は世界中の人に協力してもらいましょう。

このようにすれば、お金の方は何とかなりますが、困ったことが残っています。

> ＊苦情申し立てがあった場合は，その原因が低周波音によるものかどうかを判断する目安の値として「参照値*」がある。ただし，発生源と苦情との対応関係がある場合に限る。*環境省「低周波音問題対応の手引書」参照

の部分に関しても困ったことが起こります。

物的苦情（低周波音による共振現象）	**建具（戸，障子，窓ガラス等）の振動，置物，家具の移動，ガタツキによる二次的騒音** がたつきの目安になる音圧レベルは，5Hz：70dB，10Hz：73dB，20Hz：80dB程度が目安になる。 建具の固有振動数（5-20Hz位）で発生することが多い。

物的苦情に関する参照値について、環境省の HP で調べると、

“ある周波数の低周波音が、その値以上であれば、その周波数の低周波音が苦情の原因である可能性が高い”

と書いてあるのだが、

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

にあるように、5Hz よりも低い周波数についての値が無いのです。

風車音を調べて、1Hz や 2Hz の周波数成分が見つかった場合は、どうしたらよいのでしょうか？

もしかしたら、人間は知覚できないから、問題ないのかもしれません。

聴覚についてはそうなのかもしれませんが、

建具の低周波音に対する反応は，低い周波数（20Hz以下程度）では人の感度より良く，揺れやすい窓や戸では，低周波音の主要な周波数と窓の揺れやすい周波数が一致（共振）すると，人が感じるより低い音圧レベルでがたつく場合がある。

建具や床が振動すれば、音ではなく、振動そのものを感知する三半規管があります。聴覚では感知できなくても、振動を感じて、目が覚めることもあります。うるさくて目が覚めるのと、床の振動で目が覚めるのとの違いは、睡眠妨害の観点から見れば、同じなのです。

風車の大型化を考えれば、0.25Hz 辺りからの参照値が必要だと思います。

勿論、表は改訂されることは無いでしょうから、振動レベル計を用意して計測する必要があります。

また、100ｄＢという数値も問題です。

心理的苦情	**うるさい，気分のいらいら　等** **G特性音圧レベルで約１００ｄＢを超えると超低周波音を感じ始め，** **１２０ｄＢを超えると強く感じる。**

上の 100ｄＢと、下の 92ｄＢでは、かなり開きがあります。

2.2　心身に係る苦情に関する参照値

低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

表 2　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

G 特性音圧レベルが、92ｄＢの段階で 10%程度の人が不快感を覚えるのです。92ｄＢは 100ｄＢよりはかなり低い値です。

100ｄＢの根拠は、ISO7196 の記述

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usuary understood by hearing. The normal threshold of perception if considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μPa at 10 Hz), whilst toleration for high levels is not raised correspondingly, that is, the dynamic range is smaller and the rate of growth of sensation with sound pressure level is much more rapid. In the frequency range 1Hz to 20Hz, sounds that are just perceptible to an average listener will yield weighted sound pressure levels close to 100dB when measured in accordance with this International Standard. A very loud noise will yield a weighted level in the order of 120 dB, only 20 dB above. Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.

超低周波音の感知は、明らかに聴覚メカニズムによって達成されるが、通常、聴覚として理解されるものとは、いくつかの点で異なる。 通常の感知の閾値は、可聴周波数よりもかなり高い(10Hz で 20μPa に対して約 100dB)。一方、高いレベルに対する許容度はそれに応じて上昇しない、すなわち、ダイナミックレンジは小さく、音圧レベルでの感覚の成長速度ははるかに速い。1Hz～20Hz の周波数範囲では、平均的なリスナーに感知できる音は、この国際規格に従って測定すると、加重音圧レベルで 100dB に近い値となる。 非常に大きな騒音は、加重音圧レベルで、わずか 20 dB だけ大きい、120 dB の程度となる。加重音圧レベルが、約 90dB を下回れば、通常、人間の感知にとって重要ではありません。

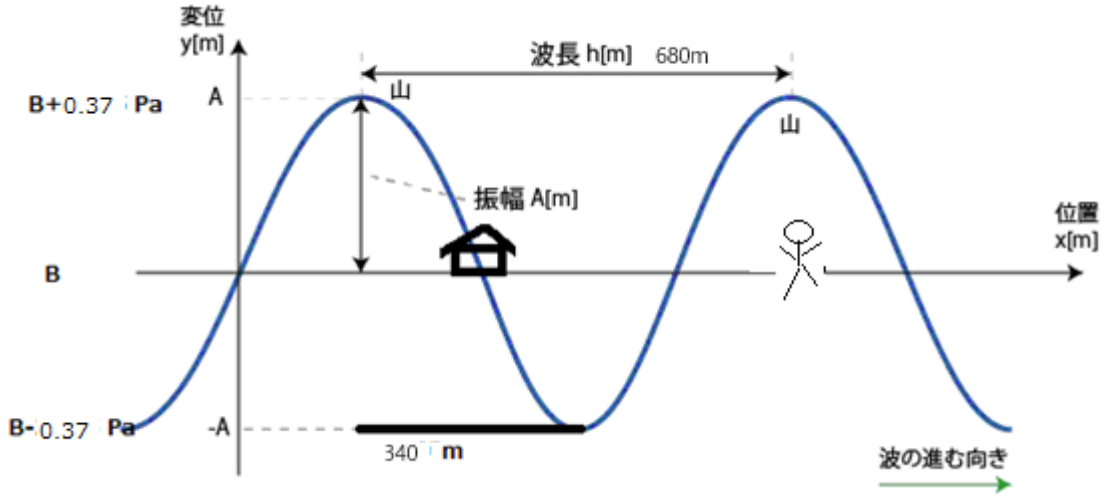
と書かれている。最後の

Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.

は参照値に対応すると考えられます。

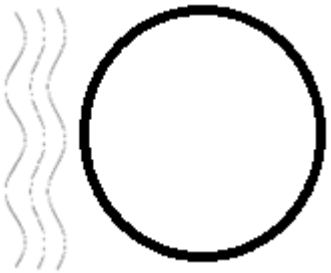
一番の問題は
超低周波音の感知は、明らかに聴覚メカニズムによって達成されるが
The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism,
です。
これは、“音＝聴覚”との固定観念にとらわれたもので、間違った考え方だと思います。

周波数が 0.5 (Hz)の音を考えると、
波長は、340/0.5＝680m、波は、１秒間に 0.5 回、したがって、2 秒に１回の割合で繰り返す。
音圧を 0.37（Pa）として、ある時刻 t を固定すれば、下の図のようになる。
右の人物（風船のように反応すると考える）は、気圧が高くなった中にいるので、押しつぶされている。
１秒後には波が右に 340m進むので、気圧が低くなり、膨張する。
２秒後には、波は 680m進むので、気圧が高くなり、押しつぶされる。



押しつぶされたり、膨張したりすれば、圧迫感を覚えるのは当然です。これは、聴覚での把握とは言えません。

周波数が高ければ、風船の表面は振動するでしょう。これは、鼓膜が振動するのと同じですから、
この場合は、音を聴覚で感知したと言えます。



ですから、表面が振動する反応と、表面が振動しないで押しつぶされたり膨張したりする反応の２種類があると考えられます。

音に対して、聴覚での“うるささ”としての感知と、体に対する圧力変動を“圧迫感”として感知する場合の２種類があると考えるべきです。圧迫感の方は頭痛などとの関連が深いと考えられます。従って、超低周波音の感知には、聴覚メカニズムによらないものがある。と考えるべきです。

２．１１　騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

町田氏は、音圧と音圧レベルの違いを説明されています。

音圧は圧力で単位はパスカル。音圧レベルは基準となる音圧との比較による音圧の表現方法で単位はデシベルです。

騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル＜物理的な大きさ＞

音響出力は音圧の二乗に比例する

$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p^2_0)$

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

dB値(参考) : 0.002Pa=40dB,
$0.00002(2 \times 10^{-5})$ Pa=0dB

＊ OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

G特性音圧レベル(ISO 7196)＜感覚的な大きさ＞

$L_G = 10 \cdot \log_{10}(p^2_G / p^2_0)$

L_G : G特性音圧レベル(dB)

p_G : G特性音圧実効値(Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

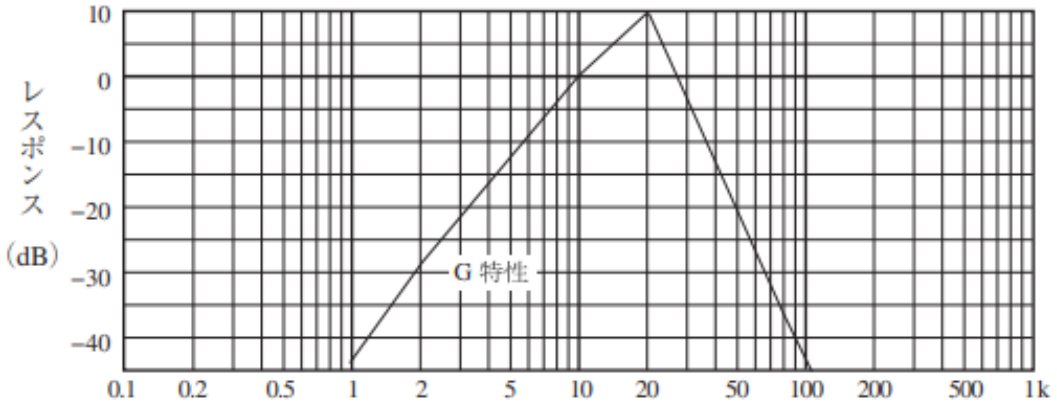
超低周波音の大きさを評価する測定量で，可聴騒音を評価する場合の　A特性音圧レベル（騒音レベル）に相当する

11

この G 特性の計算方法と重み付けは、あまりにも A 特性に似せて作ったために、物理的に考える影響力と大きな違いを生じています。

風車の大型化によって、超低周波音の周波数が 0.5Hz とか 0.8Hz になってきています。その強さは、物理的な振動を考えるときの影響力と、G 特性で計算した値とのズレが大きくなっています。

G 特性による補正値



周波数重み付け回路の特性（G特性）

を使って、

リオン社の低周波騒音計での G 特性での値は、１Hz から 100Hz の周波数について計算されます。
先の計算例の上の行に「オクターブバンド中心周波数」と書かれています。**リオン社の HP に、中心周波数の値の表があります。JIS の規格では、0.8Hz からのものがあるので、表は 0.8Hz からになっています。**

表 11-2 1/1 オクターブと 1/3 オクターブバンドパスフィルタの中心周波数

中心周波数 (Hz)	1/1 オクターブ	1/3 オクターブ	中心周波数 (Hz)	1/1 オクターブ	1/3 オクターブ	中心周波数 (Hz)	1/1 オクターブ	1/3 オクターブ
0.8		○	25		○	800		○
1	○	○	31.5	○	○	1000	○	○
1.25		○	40		○	1250		○
1.6		○	50		○	1600		○
2	○	○	63	○	○	2000	○	○
2.5		○	80		○	2500		○
3.15		○	100		○	3150		○
4	○	○	125	○	○	4000	○	○
5		○	160		○	5000		○
6.3		○	200		○	6300		○
8	○	○	250	○	○	8000	○	○
10		○	315		○	10000		○
12.5		○	400		○	12500		○
16	○	○	500	○	○	16000	○	○
20		○	630		○	20000		○

エクセルを使って計算した中心周波数の表も後ほど示します。

中心周波数ごとに騒音レベルを調べるには、音を周波数帯ごとに分離しなくてはなりません。このためには、バンドパスフィルタを通す必要があります。

手順は次のようになります。

G 特性での騒音レベルを連続的に計算し記録するには、
時刻 t での騒音レベルを G 特性に従って求める必要がる。
まず、時刻 t から、 t + δ t の間で音圧の変化を記録する。
記録された波形を、中心周波数１Hz のバンドパスフィルタから、中心周波数 100Hz のバンドパスフィルタにそれぞれ通す。
それぞれの周波数帯で騒音レベルを計算する。
それぞれの周波数帯で、G 特性の重みづけをする。
重みづけされた値を、計算例の方式で計算する。
これが時刻 t での騒音レベル L_G となる。
これを繰り返して、L_G を次々に求めるのだから、δ t があまり大きいと問題が起きる。

さらに、バンドパスフィルタの特性についても検討しなくてはなりません。

さて、1/3 オクターブ解析の中心周波数の正式な決め方はリオン社の資料を見ると、次のようになっている。

以下、簡単に中心周波数 f_m の決定方法について説明します（JIS C 1514 より引用）。
JIS 規格によると、厳密な中心周波数は、下記の式で計算できます。

N が奇数の時（例えば、1、3）

$$f_m = (G^{x/N}) f_r$$

N が偶数の時（例えば、6、12、24）

$$f_m = (G^{(2x+1)/(2N)}) f_r$$

ここで、

f_x ：基準周波数（1000 Hz）

x ：正、負又はゼロの任意の整数

N ：1/N オクターブバンドフィルタの分母の数値
（例）オクターブでは N = 1、1/3 オクターブでは N = 3、1/6 オクターブでは N = 6 など

G ：オクターブ比（2：1 の公称周波数比）を表す数値

G の値の決定方法は、以下の 2 種類を認めています。

(1) 10 のべき乗による： $G_{10} = 10^{3/10}$ 式 11-5

(2) 2 のべき乗による系： $G_2 = 2$ 式 11-6

(2) は定義より当然ですが、(1) は、10 オクターブが 3 デケードに約等しい（$2^{10} \fallingdotseq 10^3$）事実から、式 11-5 の G_{10} は約 2（1.9953）となり採用されています。(1) の 10 のべき乗の系が 10 の倍数で繰り返す数値となり、10 進数とも相性が良いため、規格では推奨の系列となっています。

（注意）
式 11-1 や式 11-2 に表現されている“2”も分かりやすいように 2 としましたが、厳密な値では、上記の G となります。
1/N オクターブフィルタで N が偶数の場合は、式 11-4 から理解できるように、その中心周波数系列には、基準周波数である 1 kHz は存在しないことになります。

1/3 オクターブ解析の中心周波数は $f_m = 2^{x/3} f_I = 2^{x/3} \times 100$ ですが、

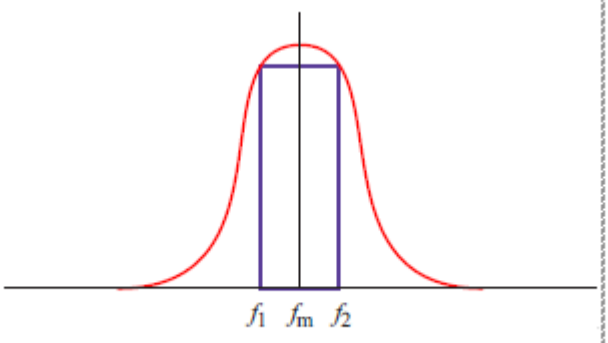
各周波数帯のバンド幅とフィルタ特性を確認する必要があります。

11-3 オクターブフィルタのバンド幅と中心周波数 （リオン社 HP の資料より）
1/1・1/3 オクターブは、ある周波数帯域幅を持った複数のバンドから構成されています。
今、次のように規定すると：
f1：下限遮断周波数

f2：上限遮断周波数
fm：中心周波数

各オクターブバンドに対して、次の関係式が成立します。

● 1/3 オクターブバンドフィルタ



$$f_2 = \sqrt[3]{2} \cdot f_1$$

$$f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt[6]{2} \cdot f_1 = \frac{f_2}{\sqrt[6]{2}}$$

$$\left(\sqrt[3]{2} = 1.2599、\sqrt[6]{2} = 1.1225\right)$$

バンド幅：$B = (f_2 - f_1) \approx 0.23 f_m$

式 11-2

図 11-2 1/3 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

$$f_{m(-30)} = 2^{-30/3} f_I = 2^{-30/3} \times 1000 = 0.976562001$$

に対するバンド幅は

$$f_{m(-30)} = 2^{-30/3} f_I = 2^{-30/3} \times 1000 = 0.976562001$$

に対しては、

$$f_1 = \frac{f_m}{\sqrt[6]{2}} = 0.87001178351$$

$$f_2 = f_m \times \sqrt[6]{2} = 1.096153783$$

となります。

エクセルを使って計算した中心周波数とバンド幅は次のようになります。

ISO7196 での公称中心周波数は 0.25Hz～315Hz、厳密中心周波数は、0.244Hz～314.98Hz です。

公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。

厳密周波数は規定の計算式で求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です。

	1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅（ISO7196）0.25～315Hz						
x	x/3	2^(x/3)	厳密中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅	公称中心 周波数
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057	0.250
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071	0.315
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090	0.400
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113	0.500
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142	0.630
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179	0.800
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226	1.000
29	-9.66667	0.00123	1.230	1.096	1.381	0.285	1.250
28	-9.33333	0.00155	1.550	1.381	1.740	0.359	1.600
27	-9	0.001953	1.953	1.740	2.192	0.452	2.000
26	-8.66667	0.002461	2.461	2.192	2.762	0.570	2.500
25	-8.33333	0.0031	3.100	2.762	3.480	0.718	3.150
24	-8	0.003906	3.906	3.480	4.385	0.905	4.000
23	-7.66667	0.004922	4.922	4.385	5.524	1.140	5.000
22	-7.33333	0.006201	6.201	5.524	6.960	1.436	6.300
21	-7	0.007813	7.813	6.960	8.769	1.809	8.000
20	-6.66667	0.009843	9.843	8.769	11.049	2.279	10.000
19	-6.33333	0.012402	12.402	11.049	13.920	2.872	12.500
18	-6	0.015625	15.625	13.920	17.538	3.618	16.000
17	-5.66667	0.019686	19.686	17.538	22.097	4.559	20.000
16	-5.33333	0.024803	24.803	22.097	27.841	5.743	25.000
15	-5	0.03125	31.250	27.841	35.077	7.236	31.500
14	-4.66667	0.039373	39.373	35.077	44.194	9.117	40.000
13	-4.33333	0.049606	49.606	44.194	55.681	11.487	50.000
12	-4	0.0625	62.500	55.681	70.154	14.473	63.000
11	-3.66667	0.078745	78.745	70.154	88.388	18.234	80.000
10	-3.33333	0.099213	99.213	88.388	111.362	22.974	100.000
9	-3	0.125	125.000	111.362	140.308	28.945	125.000
8	-2.66667	0.15749	157.490	140.308	176.777	36.469	160.000
7	-2.33333	0.198425	198.425	176.777	222.725	45.948	200.000
6	-2	0.25	250.000	222.725	280.616	57.891	250.000
5	-1.66667	0.31498	314.980	280.616	353.553	72.938	315.000

1/3 オクターブ解析を使うと考えて、フィルタ特性を確認します。

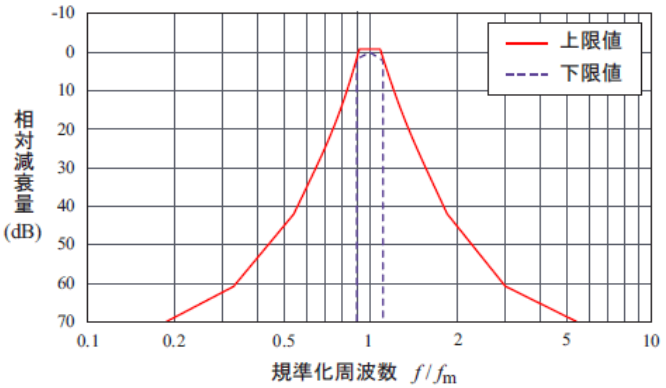


図 11-5　1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

バンドパスフィルタの特性が上の図です。ここでは、クラス 1 の場合を考えます。

G 特性で中心周波数 1 Hz の場合を確認しましょう。

周波数 0.5Hz の場合
中心周波数 1Hz の場合は 0.5Hz の波に対しては、 f / f m＝0.5/1＝0.5 であり、フィルタによる相対減衰量はクラス 1 では、45 d B くらいになっている。
これは、0. 5 Hz の波、$Asin(0.5 * 2\pi\ t)$ がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.5 * 2\pi\ t)$だったとすると、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 45$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 45$よって、A/B＝10 ^ 2.25＝178　となるので、B＝A/178。

したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.5Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では振幅が元の大きさの 1/178 の大きさしかないものとして扱われる。

G 特性による補正
中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45 d B の補正がかかるので、振幅の評価はさらに下がり、その大きさが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ （-45/20）＝0.0056 となるので
最終的な振幅の評価は元の振幅の、0.0056*0.0056＝0.0000316 倍となるので
まるで、

$$Asin(0.5 * 2\pi\ t)$$

の波が

$$0.0000316 * Asin(0.5 * 2\pi\ t)$$

であったかのような扱いを受ける。

周波数 0.2Hz の場合
中心周波数 1Hz の場合は 0.2Hz の波に対しては、 f / f m＝0.2/1＝0.2 であり、相対減衰量はクラス 1 では、70 d B 程度になっている。
これは、0.2Hz の波、$Asin(0.2 * 2\pi\ t)$ がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.2 * 2\pi\ t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 70$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 70$よって、A/B＝10 ^ 3.5＝3162
となるので、B＝A/3162。
したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.2Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/3162＝0.000316 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正
G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので
全体の騒音の強さの計算では、0.0056*0.000316＝0.00000177 となるので
まるで、

$$Asin(0.2 * 2\pi t)$$

の波が

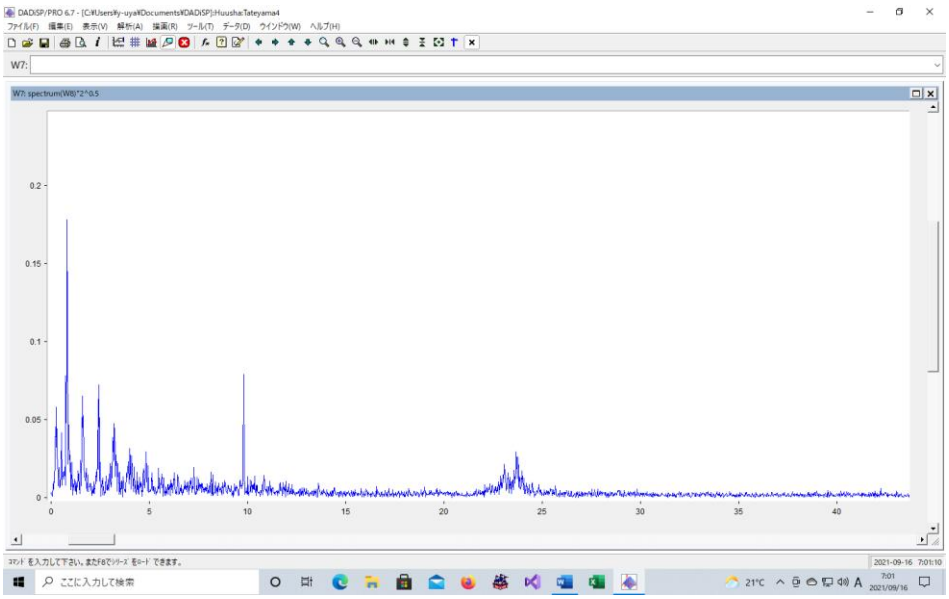
$$0.00000177 * Asin(0.2 * 2\pi t)$$

であったかのような扱いを受ける。

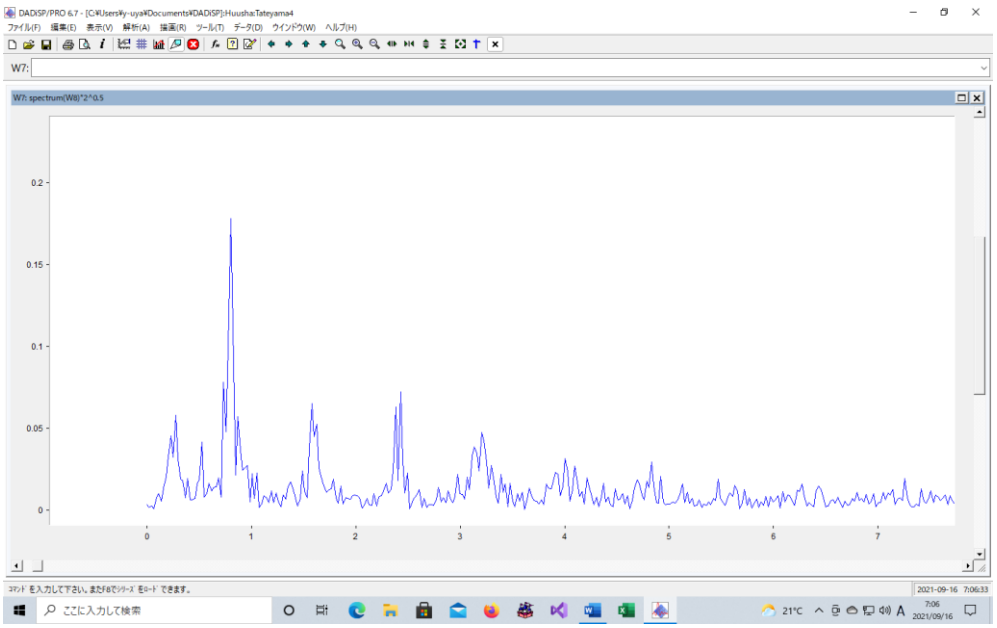
実際の風車の低周波音の測定結果と比較してみます。

千葉県の「館山市環境センター」の近くに、風力発電の風車がある。名称「房総かぜの丘」、出力　１５００ＫＷ、タワー高さ　６５ｍ、ブレード直径　７０．５ｍ、ナセル重量　５２トン。

ここでの計測結果について、Spectrum()を計算して、低周波部分を拡大したものが次のグラフです。

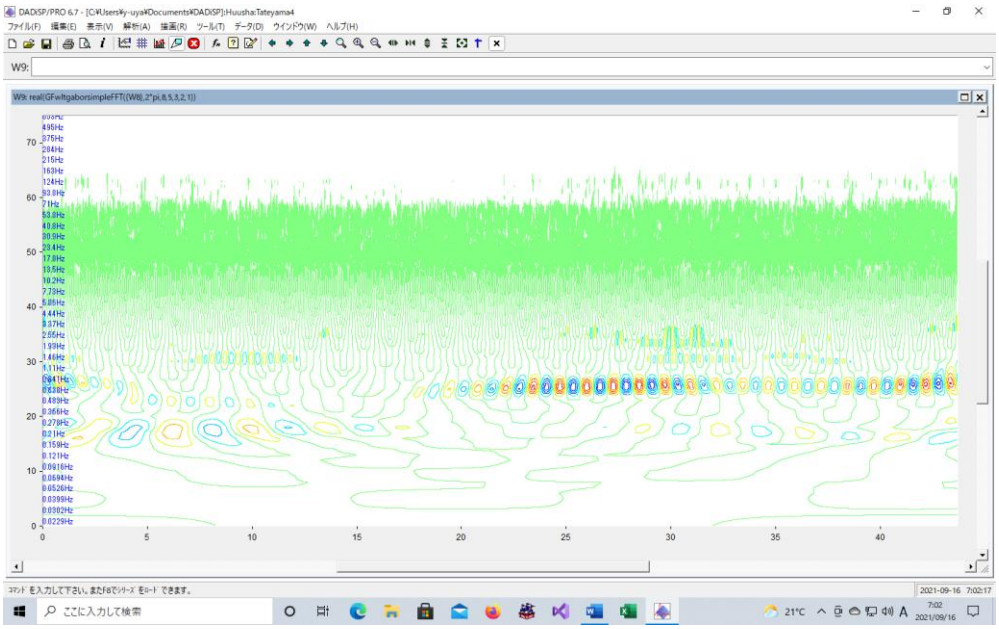


特徴は、２３Hz くらいのところにある低い山と５Hz よりも低いところにある高い山です。
人間の耳で聴きとれる周波数が２０Hz 以上とのことですから、計測中に感じたグォーン、グォーンという音は、この２３Hz 付近の音でしょう。このグラフから、２０Hz 以上の可聴音の強さよりもはるかに強力な超低周波音が出ていることは明らかです。
低周波部分をさらに拡大すると、0.8Hz のあたりに、特に大きな山が見えます。



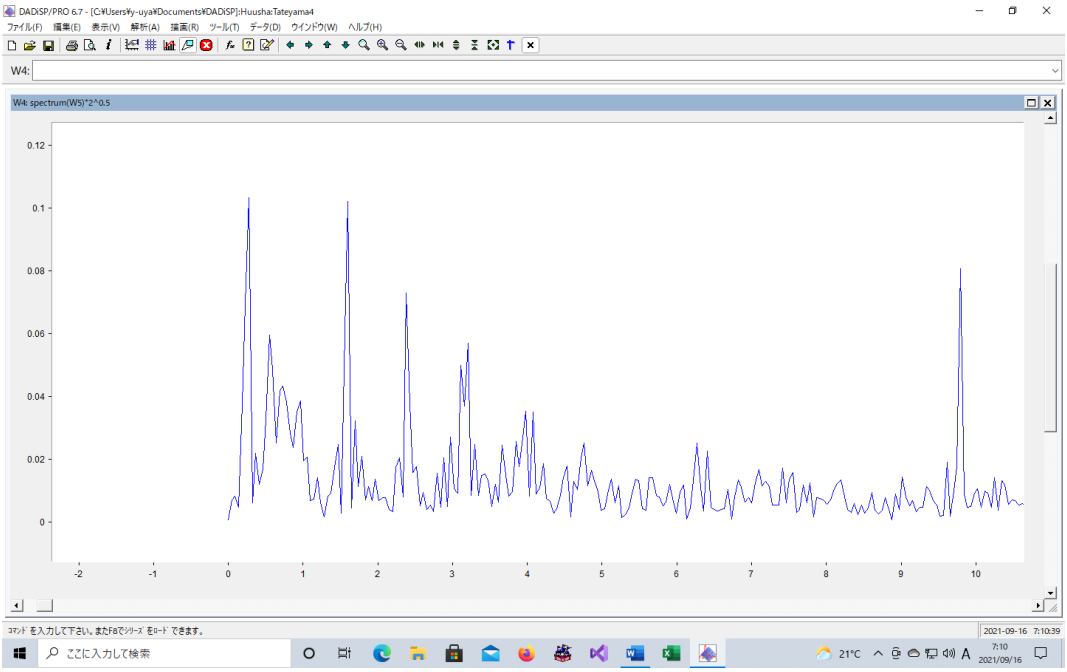
次のグラフは、上のグラフを Wavelet 解析で表示したものです。
0.8Hz に対応するのは、右半分にある色の濃くなっている帯の部分です。

このグラフの左半分では、色が濃くなっている部分は３層に分かれています。



上のデータの左半分だけを取り出して、Spectrum()を調べたものが次のグラフです。

0.2、0.4，0.8，1.6，2.3Hz あたりにピークがあることが分かります。



計測で確認された、0.8H z 成分に関しても計算しておきましょう。

周波数 0.8Hz の場合

中心周波数 1Hz の場合は 0.8Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.8/1＝0.8 であり、相対減衰量はクラス１では、15ｄB、くらいになっている。

これは、0.8Hz の波、$Asin(0.8 * 2\pi\ t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.8 * 2\pi\ t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 15$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 15$よって、A/B＝10＾0.75＝5.6

となるので、B＝A/5.6。

したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.8Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/5.6

＝0.179 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正
G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ （-45/20）＝0.0056 となるので
全体の騒音の強さの計算では、0.179*0.0056＝0.001 となるので

$$0.001 * Asin(0.8 * 2\pi\ t)$$

であったかのような扱いを受ける。

以上のことから、G特性での計算では、１Ｈｚよりも低い周波数成分に関しては、中心周波数１Ｈｚのバンドパスフィルタの影響とG特性の補正値によって、1/1000（８Ｈｚ）から 1/30000（0.5Ｈｚ）から 1/565000（0.2Ｈｚ）の強さしかなかったかのように計算されます。

G 特性の補正値では、10Hz から 30Hz の間の周波数帯の部分はプラスの評価を受けるので、可聴域のうちの低周波部分に相当する部分が計測結果に大きく寄与する。

これまでの計算から、風車から出てくる１Hz 以下の超低周波音の影響が G 特性での測定結果の計算に、ほとんど寄与しないのは明らかです。
　G 特性での低周波音の計測では、風車が立つ前と立った後で大きく変化する１Hz 以下の超低周波音の引き起こす諸問題が解明できません。フィルタで影響を小さく評価し、さらに G 特性での補正でさらに小さく評価するのだから。

例えば､0.2Hz で強さが 1000 パスカルの超低周波音があったとしても､G 特性での計算では､1000/565000＝0.00177 パスカル程度の振幅の波として扱われる。

１パスカルは１㎡の面積に対して１N の圧力を加えるような気圧であるので、１㎡に対して 1000N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、1000/9.8＝102 となり、水平な面の１㎡あたりに１０２ｋｇの重しを追加して乗せることに相当する。
これが､G 特性による計算では､0.00177/9.8＝0.00018 であり､0.00018ｋｇ＝0.18ｇの重しを追加して乗せているような扱いをされることになっている。

　いくら計算上の数値を小さくしても、その物理的な影響は極めて重大です。

上記の方法で要約書 10 ページのケースについてモデルを作って計算してみます。

予測地点	現況値	予測値	建設の影響による増分	参考値
一般①	68	68	0	100
一般②	60	61	1	100
一般③	58	64	6	100
一般④	54	63	9	100

現況値が予測値に変わる可能性を 0.2Hz 成分の強さの変化を中心に考えてみます。

計算式が入ったエクセルファイルを作れば計算は簡単です。

0.2Hz 成分だけを変化させて、現況値が予測値に変化する様子が次の表です。

0.2Hz成分だけ変化させた場合				一般①	一般②	一般③	一般④
	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベル d B	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	0.003			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ前騒音レベル d B	43.52182518	5		58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	9.48767E-07			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ後騒音レベル d B	-26.4774121	5	5.003089503	58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			-39.9969105	68.00734257	60.00747429	57.99347443	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.00734257	60.00747429	57.99347443	54.00058533

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベル d B	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	5750			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ前騒音レベル d B	169.172757	5		58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	1.818469323			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ後騒音レベル d B	99.17351967	5	99.17351967	58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			54.17351967	68.00734257	60.00747429	57.99347443	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.18336626	61.01455071	59.50091104	57.09821317

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベル d B	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	9500			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ前騒音レベル d B	173.5338722	5		58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	3.004427577			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ後騒音レベル d B	103.5346349	5	103.5346349	58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			58.53463488	68.00734257	60.00747429	57.99347443	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.4719398	62.34349382	61.2827782	59.84453818

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベル d B	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	15500			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ前騒音レベル d B	177.7860341	5		58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	4.901960784			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ後騒音レベル d B	107.7867967	5	107.7867967	58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			62.78679674	68.00734257	60.00747429	57.99347443	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			69.1486794	64.62607472	64.03066721	63.32620038

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベル d B	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	16500			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ前騒音レベル d B	178.329079	5		58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	5.218216319			0.0159	0.00633	0.00502	0.00317
フィルタ後騒音レベル d B	108.3298417	5	108.3298417	58.00734257	50.00747429	47.99347443	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			63.32984166	68.00734257	60.00747429	57.99347443	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			69.2803481	64.98920309	64.44468456	63.80921049

一般①とされる地域での変化の可能性です。

一般①、68dBから68dBに増加

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	0.003			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ前騒音レベルdB	43.52182518	5		58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
フィルタ後音圧Pa	9.48767E-07			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ後騒音レベルdB	-26.4774121	5	5.003089503	58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			-39.9969105	68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	5000			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ前騒音レベルdB	167.9588002	5		58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
フィルタ後音圧Pa	1.581277672			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ後騒音レベルdB	97.95956286	5	97.95956286	58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			52.95956286	68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.60558217	68.40211333	68.24641672	68.08796643

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	8000			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ前騒音レベルdB	172.0411998	5		58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
フィルタ後音圧Pa	2.530044276			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ後騒音レベルdB	102.0419625	5	102.0419625	58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			57.04196252	68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.78639733	68.59141498	68.44247435	68.2911414

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	10000			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ前騒音レベルdB	173.9794001	5		58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
フィルタ後音圧Pa	3.162555345			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ後騒音レベルdB	103.9801628	5	103.9801628	58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			58.98016278	68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.94687506	68.75912125	68.61591652	68.47060844

一般②とされる地域での変化の可能性です。

一般②、60dBから61dBに増加

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	0.003			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ前騒音レベルｄＢ	43.52182518	5		51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
フィルタ後音圧Pa	9.48767E-07			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ後騒音レベルｄＢ	-26.4774121	5	5.003089503	51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			-39.9969105	61.00456706	60.50089614	60.23766722	60.03487459
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			61.00456706	60.50089614	60.23766722	60.03487459

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	4500			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ前騒音レベルｄＢ	167.0436504	5		51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
フィルタ後音圧Pa	1.423149905			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ後騒音レベルｄＢ	97.04441305	5	97.04441305	51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			52.04441305	61.00456706	60.50089614	60.23766722	60.03487459
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			61.52401009	61.08012816	60.85065137	60.6751011

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	5100			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ前騒音レベルｄＢ	168.1308036	5		51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
フィルタ後音圧Pa	1.612903226			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ後騒音レベルｄＢ	98.1315663	5	98.1315663	51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			53.1315663	61.00456706	60.50089614	60.23766722	60.03487459
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			61.66108261	61.23169694	61.0102949	60.84120555

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	5800			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ前騒音レベルｄＢ	169.24796	5		51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
フィルタ後音圧Pa	1.8342821			0.0071	0.0067	0.0065	0.00635
フィルタ後騒音レベルｄＢ	99.24872265	5	99.24872265	51.00456706	50.50089614	50.23766722	50.03487459
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			54.24872265	61.00456706	60.50089614	60.23766722	60.03487459
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			61.83624044	61.42465886	61.2131169	61.05188776

一般③とされる地域での変化の可能性です。

一般③、58dBから64dBに増加

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	0.003			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ前騒音レベルｄＢ	43.52182518	5		53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
フィルタ後音圧Pa	9.48767E-07			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ後騒音レベルｄＢ	-26.4774121	5	5.003089503	53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			-39.9969105	63.97940009	62.04119983	59.54242509	57.95880017
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			63.97940009	62.04119983	59.54242509	57.95880017

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	11000			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ前騒音レベルｄＢ	174.8072538	5		53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
フィルタ後音圧Pa	3.478810879			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ後騒音レベルｄＢ	104.8080165	5	104.8080165	53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			59.80801648	63.97940009	62.04119983	59.54242509	57.95880017
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			65.38668851	64.07689453	62.6875507	61.99139765

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	14500			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ前騒音レベルｄＢ	177.2067601	5		53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
フィルタ後音圧Pa	4.58570525			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ後騒音レベルｄＢ	107.2075228	5	107.2075228	53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			62.20752282	63.97940009	62.04119983	59.54242509	57.95880017
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			66.19350503	65.13545745	64.08657794	63.59354291

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベルｄＢ	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	15500			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ前騒音レベルｄＢ	177.7860341	5		53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
フィルタ後音圧Pa	4.901960784			0.01	0.008	0.006	0.005
フィルタ後騒音レベルｄＢ	107.7867967	5	107.7867967	53.97940009	52.04119983	49.54242509	47.95880017
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			62.78679674	63.97940009	62.04119983	59.54242509	57.95880017
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			66.43420755	65.44027914	64.47107868	64.02205755

一般④とされる地域での変化の可能性です。

一般④、54dBから63dBに増加

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	0.003			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ前騒音レベルdB	43.52182518	5		53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	9.48767E-07			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ後騒音レベルdB	-26.4774121	5	5.003089503	53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			-39.9969105	63.06425028	60.88136089	57.95880017	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			63.06425028	60.88136089	57.95880017	54.00058533

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	10000			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ前騒音レベルdB	173.9794001	5		53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	3.162555345			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ後騒音レベルdB	103.9801628	5	103.9801628	53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			58.98016278	63.06425028	60.88136089	57.95880017	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			64.49587655	63.04427676	61.50973767	60.17838861

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	13200			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ前騒音レベルdB	176.3908787	5		53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	4.174573055			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ後騒音レベルdB	106.3916414	5	106.3916414	53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			61.3916414	63.06425028	60.88136089	57.95880017	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			65.318275	64.15429131	63.0162242	62.11908441

	0.2Hz成分	1Hz成分	1Hz帯域騒音レベルdB	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	15000			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ前騒音レベルdB	177.5012253	5		53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
フィルタ後音圧Pa	4.743833017			0.009	0.007	0.005	0.00317
フィルタ後騒音レベルdB	107.501988	5	107.501988	53.06425028	50.88136089	47.95880017	44.00058533
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			62.50198796	63.06425028	60.88136089	57.95880017	54.00058533
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			65.80251193	64.77713459	63.80951371	63.07563657

簡単のため、音源は 0.2Hz、1Hz、20Hz のみとしました。

計算結果は、G 特性音圧レベルの計算では 1 Hz 以下の超低周波音の影響を正しく評価できない。
という事を意味しています。

特に、一般①の場合については

一般①、68dBから68dBに増加

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベル d B	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	0.003			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ前騒音レベル d B	43.52182518	5		58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
フィルタ後音圧Pa	9.48767E-07			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ後騒音レベル d B	-26.4774121	5	5.003089503	58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			-39.9969105	68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183

と

	0.2 Hz成分	1 Hz成分	1 Hz帯域騒音レベル d B	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa	20Hz音源音圧Pa
フィルタ前音圧Pa	10000			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ前騒音レベル d B	173.9794001	5		58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
フィルタ後音圧Pa	3.162555345			0.0168	0.0164	0.0161	0.0158
フィルタ後騒音レベル d B	103.9801628	5	103.9801628	58.48558572	58.27627705	58.11591761	57.95254183
G特性重み付け			-45	10	10	10	10
G特性重み付け後			58.98016278	68.48558572	68.27627705	68.11591761	67.95254183
全体騒音レベル	LA=10*log10(10^(L1/10)+10^(L20/10))			68.94687506	68.75912125	68.61591652	68.47060844

より、四捨五入して値を求めたとすると、

0.2Hz 成分が 0.003 パスカルで、20Hz 成分が 0.0158 パスカルから 0.0168 パスカルの間であれば、全て６８デシベルとして扱われる。

20Hz 成分が 0.015 パスカルの一定の値であれば、0.2Hz 成分の強さは 0.003 パスカルから 10000 パスカルの間で強さが変化しても、すべて G 特性音圧レベルは 68 パスカルとなるのです。
強さの比は、10000/0.003＝3333333（３３３万倍です。）

１パスカルは１㎡の面積に対して１N の圧力を加えるような気圧であるので、0.003 パスカルでは、１㎡に対して 0.003N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、0.003/9.8＝0.000306 となり、水平な面の１㎡あたりに 0.3ｇの重しを乗せることに相当する。掌サイズ（10ｃｍ*10ｃｍ）で考えれば、掌に 0.003ｇの重しを乗せることに相当します。

１パスカルは１㎡の面積に対して１N の圧力を加えるような気圧であるので、１㎡に対して 10000N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、10000/9.8＝1020 となり、水平な面の１㎡あたりに 1020ｋｇの重しを追加して乗せることに相当する。掌サイズ（10ｃｍ

*10ｃｍ）で考えれば、掌に 10ｋｇの重しを乗せることに相当します。

このような違いは、G 特性による計算ではほとんど無視されてしまいます。
音圧 0.003Pa と 10000Pa では私たちが受ける気圧変動としては桁違いですので物理的な影響は極めて大きいと考えます。にもかかわらず、G 特性で表現した数値の変化は、本当に小さな変化です。この場合は、四捨五入で同じ 68 デシベルになってしまいます。
G 特性で騒音を評価しても超低周波音の影響を正しく評価することはできません。１Hz 以下の超低周波音を G 特性では正しく評価できないことは上記の計算モデルからも明らかです。

もちろん、簡単なモデルでの計算なので、予測値やその影響をより正確に理解するには、実在する風車群についての計測や、風車建設前の騒音状態を１Hz 以下の超低周波音の強さが明確になる方法で計測する必要があります。
私（宇山靖政）が実際に計測した結果では、風車の近くには風車が無い地域に比べて、100 倍くらいの強さの１Hz 以下の超低周波音が存在しました。

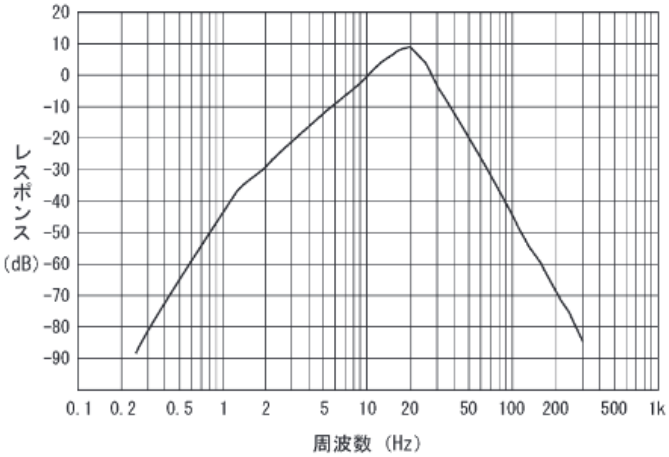
館山の風車騒音を計測した結果では、0.2Hz、0.4Hz，0.8Hz，等の超低周波成分は確かに存在する。
質問状で引用した多くの論文の資料でも、このような周波数の超低周波数成分が存在することは明らかです。

１Hz 以下の超低周波成分は確かに存在するが、それは 0.002 から 0.004 パスカル程度の強さだと分かります。館山の風車の近くでは、0.1～0.3 パスカル程度になることもありました。１００倍程度の強さです。
館山の風車は１基だけです。風車が沢山並ぶと別の問題も起きます。

このような困った状況を生み出した背景を考えてみます。
まず、ISO　7196　ですが、国立環境研究所の HP にある資料

資料-6.　ISO 7196 に規定された G 特性低周波音圧レベル

ISO 7196 では、1～20Hz の低周波範囲において、平均的な被験者が知覚できる低周波音を G 特性加重音圧レベルで概ね 100dB としている。
G 特性の周波数レスポンスは、図 6-1 に示すとおりである。



資料：「ISO 7196：Acoustics-Frequency weighting characteristic for infrasound measurements, 1995」

図 6-1　ISO 7196 に規定された G 特性低周波音圧レベル

の下のほうをよく見ると、

'requency weighting characteristic for infrasound measurements, 1995」

となっていて、1995 年に発表されたものだと分かります。

風車の大きさは 1995 年以降、急激に大きくなっています。
三菱重工業株式会社 勝呂 幸男の論文にある図

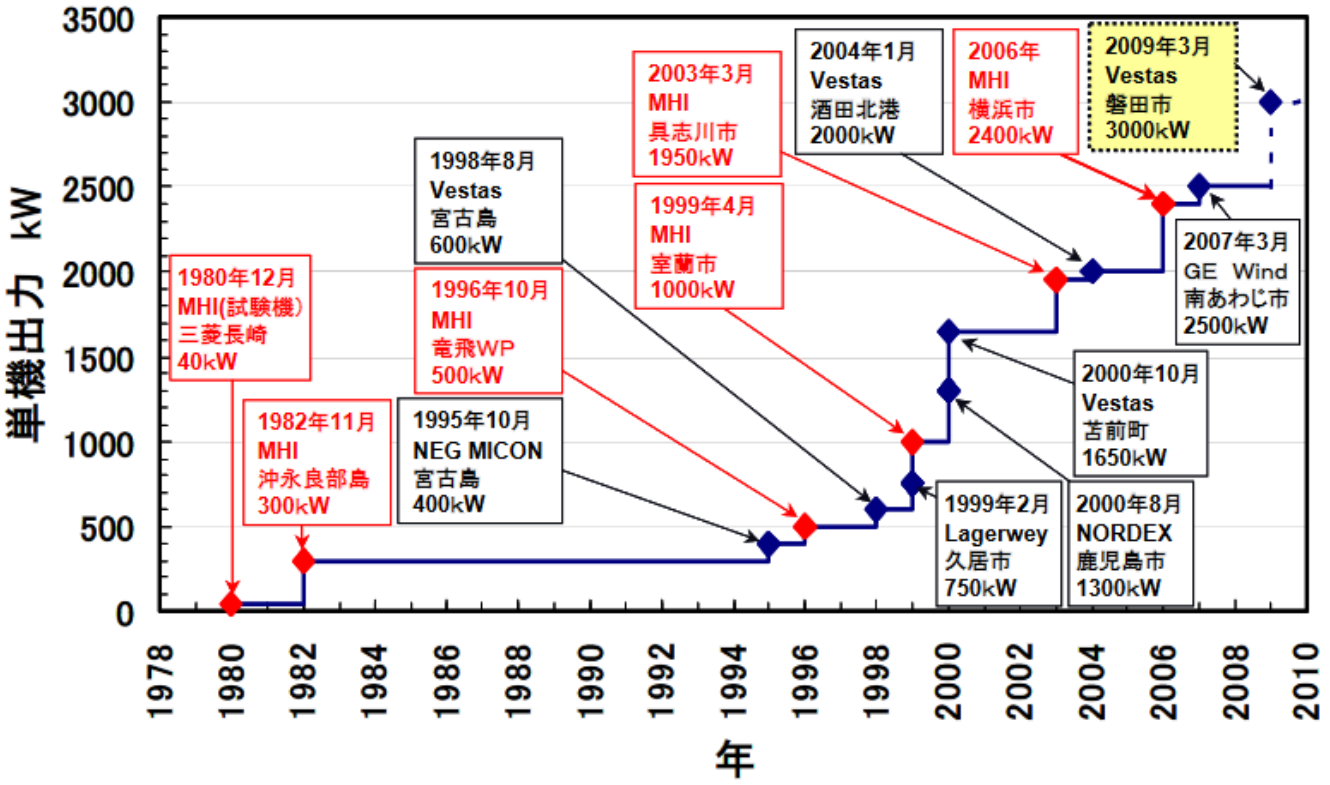


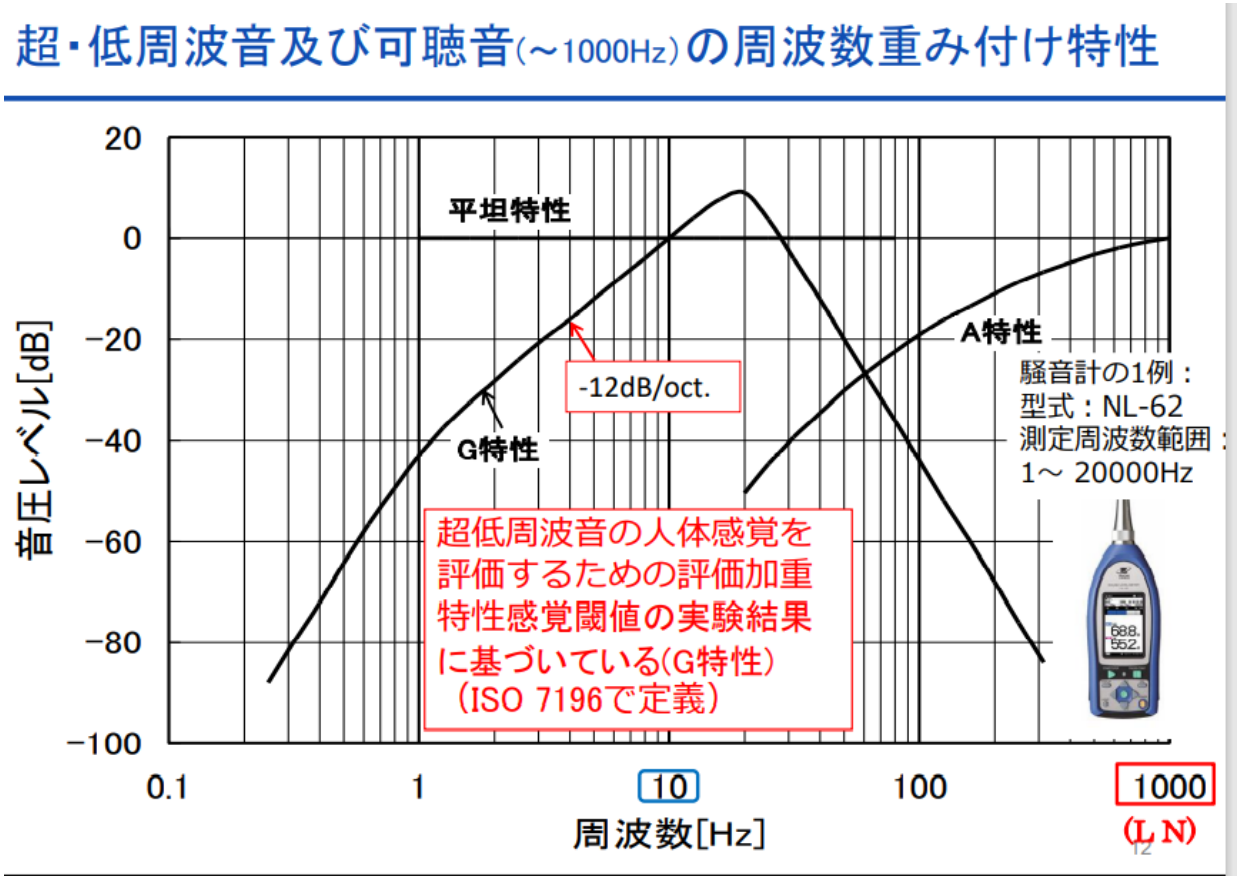
図 1 わが国の風車導入実績

によれば、風車の発電量は 1995 年以降急激に増加しています。
１９９５年１０月宮古島 400ｋW
２０００年３月鹿児島市 1300ｋW
２０００年１０月苫前町 1650ｋW
２００９年３月磐田市 3000ｋW
となっています。
千葉県の「館山市環境センター」近くの風車は、**出力　１５００KW、タワー高さ　６５m、ブレード直径　７０．５m、ナセル重量　５２トン**　です。
出力から考えると、２０００年３月鹿児島市 1300ｋW、２０００年１０月苫前町 1650ｋW、に近いものです。１Hz 以下の超低周波音がかなりの強さで出ていることは計測結果からみて取れます。

布引北でのシーテックの計画は、**出力 2300ｋW、タワーの高さ 78.3m、ブレード直径 82m**。
千葉県館山の風車よりも、より低い音が、より強烈に出ることが予想されます。１Hz よりも低い周波数の強さを計測して正しく評価なくてはなりません。風車が大きくなれば、風車から出る１Hz よりも低い超低周波音の影響も強大になります。

残念ながら、日本では、G 特性音圧レベルの値を中心に議論しています。この議論では１Hz 以下の超低周波音の影響を正しく評価できないことは、今まで見てきた通りです。
巨大化する風車からでる１Hz 以下の超低周波音を無視するような G 特性での騒音評価は時代遅れの評価方法です。

２．１２　超・低周波音及び可聴音（～1000Hz）の周波数重みづけ特性



グラフだけを見ると、ISO7196 の中心周波数 0.25Hz から 315Hz の範囲で G 特性を考えているように見えるが、騒音計の NL-62 の測定周波数範囲が、1～20000Hz になっている。

実際の精密騒音計の場合、１Ｈｚ以下の部分をどのように扱うかの記述が無い。
音圧のピーク値が数Ｈｚと言えるような古い風車なら問題は無いが、大型の風車の超低周波音は 0.54Ｈｚや 0.8Ｈｚあたりにピーク値がある。1～20000Hz の範囲を扱うのでは、急激に大型化する風車による被害を隠蔽してしまうことになる。

	1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅（ISO7196）0.25～315Hz						
x	x/3	2^(x/3)	厳密中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅	公称中心周波数
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057	0.250
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071	0.315
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090	0.400
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113	0.500
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142	0.630
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179	0.800
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226	1.000

と言っても、中心周波数が 0.5Hz の時の帯域幅は 0.057Hz しかない。この幅の中での各周波数成分の音圧を把握するのは難しいです。いろいろな工夫と検証が必要になります。

超低周波音の領域では、共振や共鳴が問題になる。共振では正確な周波数の計測が必要であり、物理的な計算では、音圧をパスカル値で表現したほうが扱いやすい。

また、1/3 オクターブ解析の結果では、最大音圧とその時の周波数が分からなくなるので、共振を調べるには不向きである。

超低周波音は、聴覚では捉えられないのだし、“うるささ”よりも、“圧迫感”での被害が多いのだから、圧迫感に関連の深い、音圧そのものを、パスカル値で把握するほうが、被害の正確な予測に繋がる。

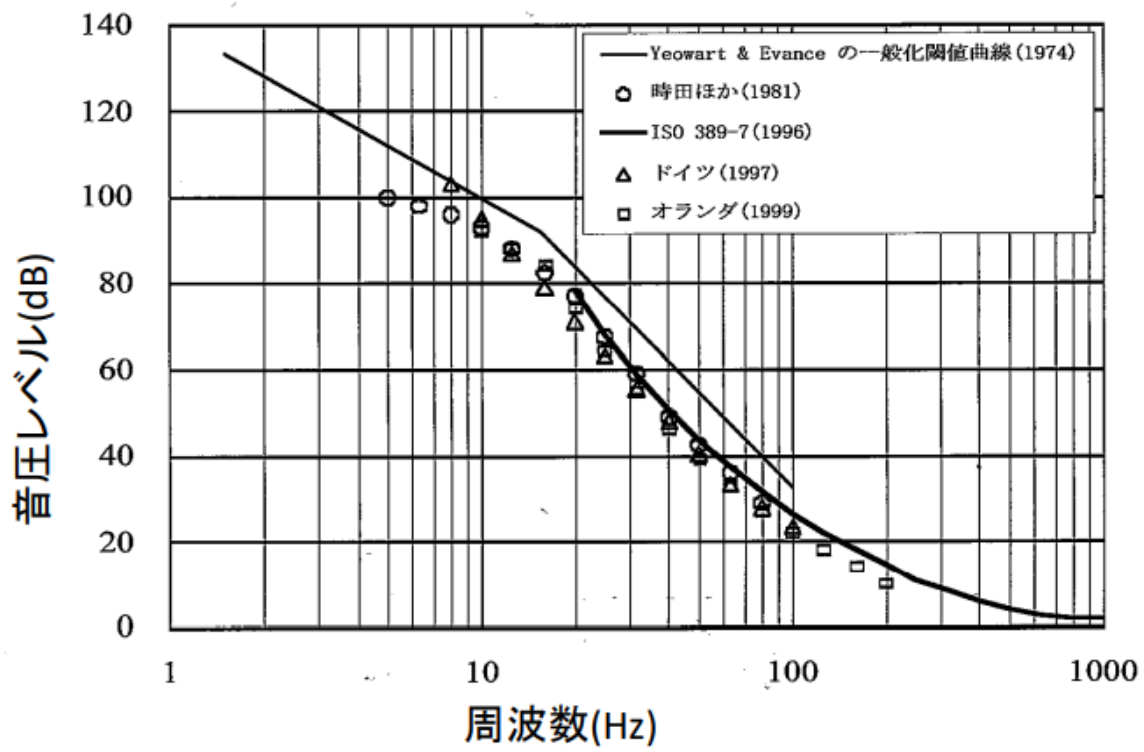
また、G 特性での重みづけは、結果的に原因を隠蔽してしまうような仕組みになっている。1Hz 以下の部分の重みづけが厳しすぎるのです。

私には、因果関係を隠すために工夫した数値が、G 特性音圧レベル、である様に思えるのです。

２，１３　低周波音の閾値（最少可聴値）

町田氏の講演会資料の 13 ページは、

低周波音の閾値(最小可聴値)



＊これまでの研究によると，閾値以下では不快感等は生じないと考えられている

13

とある。　表題は、最少可聴値（聴覚閾値）と書いてあるが、下の方では、単なる閾値となっています。閾値が、聴覚閾値の意味だとすれば、この記述は誤りです。その理由をしましょう。

下の方の“閾値”が聴覚閾値なのか、感覚閾値なのかを胡麻化してはいけないのです。

町田氏は、参照値の話を忘れたようです。

2.2　心身に係る苦情に関する参照値

低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

表 2　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

“低周波音の基礎および伝搬・影響・評価”（小林理学研究所　落合博明）に

6.　低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。低周波音苦情の分類を表-3に示す。

表-3　低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

電力中央研究所報告には、次のグラフがある。

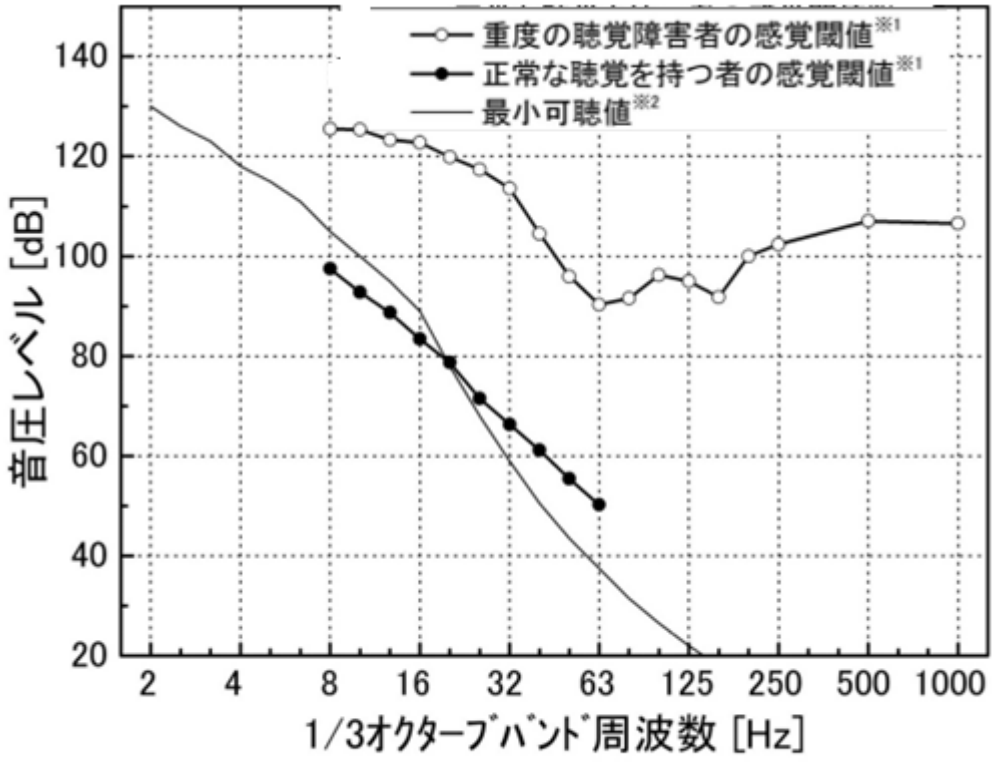


図 2-4　低周波音の聴覚閾値と聴覚以外の感覚閾値

このグラフは、8～20Hz の辺りでは、閾値（最少可聴値）よりも、参照値の方が小さな値となります。確かに、20Hz よりも、高い周波数では、閾値（最少可聴値）よりも、参照値の方が大きいのです。

低周波音を 20Hz～100Hz にしてあれば、低周波音で 20Hz の近傍を除外すれば、おおむね閾値よりも参照値の方が大きいので、“低周波音の範囲では、閾値以下では不快感は生じない”と言えますが、

２０Hz 以下の超低周波音の領域では、閾値（最少可聴値）よりも小さな音圧レベルでも、不快感生じます。との補足が必要です。

図 2-4 での、“正常な聴覚を持つ者の感覚閾値”は“聴覚以外の感覚閾値”となっている。16Hz での値が 83ｄB 程度、10Hz で 90ｄB 程度なので、ここでの値は“心身に関わる苦情に関する参照値”を使っていると思われる。このグラフから“聴覚以外の感覚閾値”と聴覚閾値の大小関係が 20Hz の辺りで逆転する様子がはっきり分かります。超低周波音の領域では、聴覚以外の感覚が聴覚よりも鋭敏なのです。

聴覚以外の感覚としては、気圧変動による圧迫を感知する。体内での気泡の発生による異常を痛みとして感知する。床などの振動を感知する。場合の感覚器官がありますが、数値から判断して、ここでの聴覚以外の感覚閾値での感覚としては、“気圧変動による圧迫を感知する”、“体内での気泡の発生による異常を痛みとして感知する”などを指していて、“床などの振動を感知する”は含まれないと見られます。

これに対応する被害は、

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感

の様なものとなります。

実験室での音ですが、４Hz 程度までは可能なようですが、1Ｈｚ、2Hz の音をスピーカを使って作るのは極めて難しい。たとえ、実際の風車音を録音して、実験室での再生音の G 特性音圧レベルが一致するように調整しても、風車音で最大音圧となる 1Hz 前後の成分はスピーカからは出ていないのです。

（風車音と再生音の関係については“風車超低周波音 2023”（第一部）に詳しく書いてあります。）

実際に、上の表にあるような被害が出ている事と、参照値の実験での被験者の発言
「実験室で使う純音と実際聞く音は全く異なる」
から考えると、圧迫感に関する感覚閾値は 100ｄＢよりはかなり低いと考えられます。
（企業の住民向けパンフレットには参考値（100ｄB）に関して書いてあるものもあります。）

この確認は、風車音を再現できるスピーカが無いのですから実験室ではできません。しかし、トレーラに実験室を作って、風車の近くに移動して実験を行えば、少なくとも、最大音圧と被害内容の関連性は調査できます。

計測値と感覚閾値の比較によって被害は出ないと予想したのに、実際に被害が出る理由としては、計測方法が間違っている、計測結果の扱いが間違っている、被害者が嘘を言っている、などが考えられますが、やるべきことは、実際の被害を確認する事。実験の内容が適切か否かを確認する事。統計処理が適切か否かを確認する事。などが考えられます。

最新の精密騒音計 SA-A1 を使えば、0.25Ｈｚからの計測が可能です。実測値（ＷＡＶファイルにした計測結果）をネットに公開しておけば様々な情報が得られます。どんどん公開しましょう。

参照値と聴覚閾値について確認しておきます。

環境省の低周波音問題に関する Q&A の A6 です。そこには、
Q６　『参照値』に科学的な根拠はありますか？
A６　『参照値』は平成 15 年に独立行政法人産業総合研究所において実施した聴感実験データから、一般被験者の 90%の人が寝室で許容できるレベルとして設定したものです。**この聴感実験では、低周波音を発生させた実験室に被験者を部屋に入れて、被験者の反応を調査することで行いました。なお、被験者は、実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴しており、**いわゆる骨導音の影響も実験の中で自然に含まれ、総合的に把握されていると考えられます。

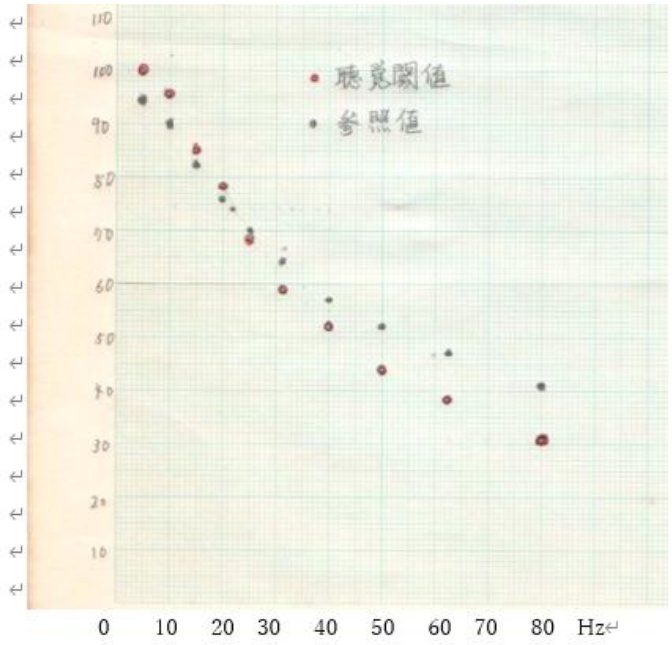
と書かれています。ここでは、90%の人が許容出来て、10%の人が許容できない値と考えることにします。
音圧を感じる器官が人間に備わっているとの研究成果があります。普通は、音を耳による聴覚で感じるのですが、圧力変動としても感知できるのです。
したがって、“実験室の中で、耳だけでなく全身が低周波音に浴して”いる参照値と、聴覚閾値では差が出ます。
ISO 389-7:2019 には、threshold of hearing 聴覚（聴力）閾値の値が書かれています。
この、聴覚閾値の表の数値と、心身に係る苦情に関する参照値との対応表をつくれば、

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値（デシベル）	76	70	64	57	52	47	41
聴覚閾値（デシベル） （改訂前の値）	78.1 (78.5)	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5

となります。
（参照値－聴覚閾値）の表を作れば次のようになります。

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値－聴覚閾値	-2.1	1.3	4.5	5.9	8	9.5	9.5

この表は、周波数が低くなればなるほど、聴覚閾値と参照値（不快感を感じ始める値）の差が小さくなってきていて、20Hz 手前で逆転することを示します。10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz と低くなればなるほどこの傾向は続くと考えられます。
グラフにすれば（参照値の予測もしてみました。）次のようになります。



参照値は、被験者の１０％が不快だと感じる値です。これは、20Hz の音圧レベルが 76ｄB の時に、10%の人間が不快感を覚える。と言いう事です。

聴覚は、周波数が下がると鈍くなります。ISO389-7 の値での、聴覚閾値は、20Hz の音の音圧が 78.1ｄB（78.5ｄB）になると、音として認識できるようになる。ことを示しています。

重要なのは、音として聴覚で認識する前に、別の感覚器官を含めた形で音を感知して不快感を覚えてしまうと言う事です。

もし、この 78.1ｄB（78.5ｄB）が、感覚閾値ならば、その音圧レベルまでは、人間は音の影響を感知しないのだから、76ｄB で不快感を覚えることは無いはずです。

聴覚閾値と正しく訳しておけば、20Hz の音に対して、人間の聴覚は 78.1ｄB になるまでは認識しないが、それ以外の感覚（圧迫感、頭痛、など）で 76ｄB の段階でも不快感を覚えると理解できるので、矛盾は生じません。耳が悪くなっても圧力は感知で来ると言う事です。

困ったことに、ISO389-7 には、20Hz 未満の聴覚閾値は書かれていません。参照値も 10Hz までしかありません。5Hz 程度までは、他の実験も行われているようです。

風車はどんどん大型化します。その影響も被害も大きくなります。規制値を設けると、風車の設置に請願がかかるので、参照値は規制値ではないとしました。もちろん指針値も規制値ではありません。日本には、風車音に対する規制値は無いのです。環境省の HP には、次の様に書いてあります。

Q８　『参照値』はいわゆる基準値ではないのですか？

A８　いわゆる基準値は、「この値以下に保つことが望ましい目標（すなわち目標値）」や「超えてはならない値（規制値）」ととらえられますが、『参照値』はこのようなどちらの意味での基準値ではありません。上で説明してきたように、苦情申し立てがあった場合に、低周波音によるものかどうかを判断するための目安です。

手引書にも、『「環境アセスメントの環境保全目標値」、「作業環境のガイドライン」として作成したものではない」』と明記しています。

「『参照値』以下であるからよい」「『参照値』を超えているから改善が必要」と単純に判断するのではなく、実際の影響に注目して判断することが重要です。

＜参考＞ 低周波音問題対応の手引書における参照値の取扱について(都道府県等宛通知 平成 20 年 4 月) [PDF 75KB]

ページ先頭へ↑

Q９　『参照値』は風車（風力発電）には適用できないのですか？

A９　『参照値』は、ある程度の時間連続して低周波音を発生する固定された音源からの音圧レベル変動の小さい低周波音を対象として設定したものです。【風車からの騒音・低周波音は、風速によってローターの回転や出力が変わるため音圧レベルや周波数特性が変化する、風向によって音が拡散する方向が変化するという特徴があります】。

このため、『参照値』を風車の低周波音に適用することはできません。

＜参考＞ 低周波音問題対応の手引書における参照値の取扱について(都道府県等宛通知 平成 20 年 4 月) [PDF 75KB]

ページ先頭へ↑

Q10　風力発電から、低周波音が出て健康や生活環境に影響があると聞きましたが本当ですか？

A10　風力発電施設から発生する音には低周波音も含まれますが、他の環境騒音（交通騒音等）と比べて特に大きいわけではありません。風力発電施設から発生する音と健康影響の関係については、国内外で様々な研究が進められていますが、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音（※）と健康影響について、現段階において、明らかな関連を示す知見は確認できませんでした。

環境省では、平成 25 年度から「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、平成 28 年 11 月に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」が取りまとめられました。

検討会報告書では、これまでの国内外で得られた研究結果を整理しています（詳細は検討会報告書を参照ください。）。

まず、日本の風力発電施設から発生する音の実測調査の結果、風力発電施設から発生する超低周波音は、音圧レベルがそれほど高くなく、人間の知覚閾値以下であることがわかりました。また、他の環境騒音を比較した結果、風力発電施設から発生する音は、低周波数領域で卓越があるわけではありませんでした。

また、国内外の風車騒音と人への健康影響について、過去の研究を広く整理し専門家による審査を経て医学会誌等に掲載されたレビュー論文や、各国政府による報告書等を整理したところ、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できませんでした。

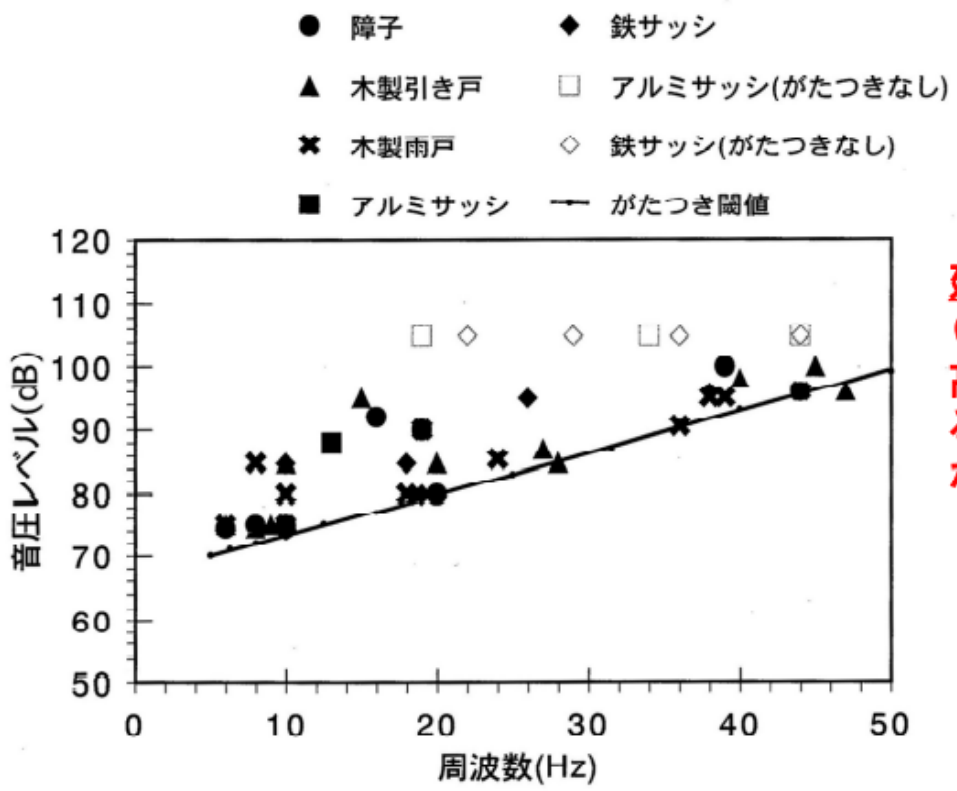
ただし、検討会報告書では、一般的な騒音の問題として、生活環境を保全する観点から騒音の評価の目安を定めるべきとされ、その後環境省により指針が定められています（Q11 を参照ください）。

※　低周波音というのは、一般に１００Hz 以下の周波数の音を指します。その中でも２０Hz を下回るものは、超低周波音と呼ばれ、通常人間には聞こえません。超低周波音は音圧レベルが高くなると、圧迫感等を感じさせる場合があることが知られています。

（参考）風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会

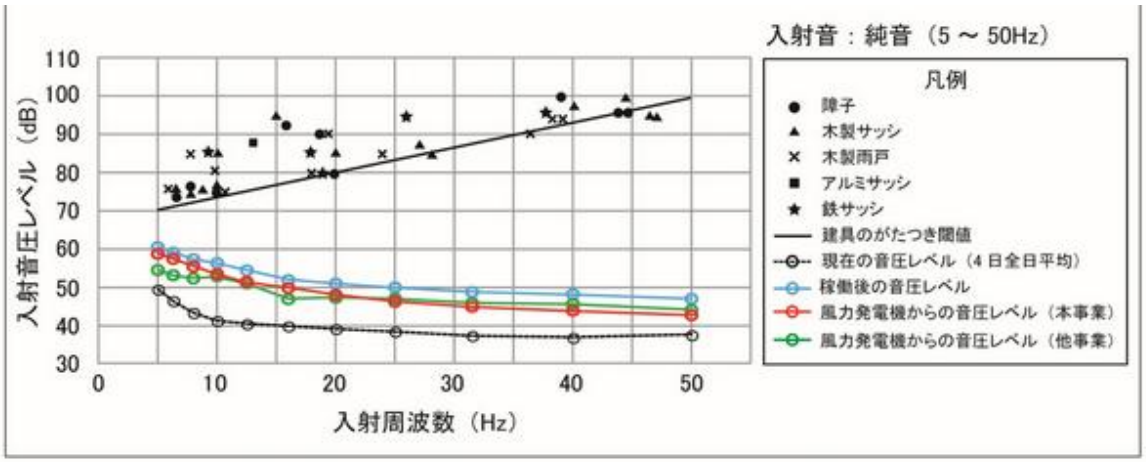
ページ先頭へ↑

建具のがたつき閾値



建具の応答解析
（共振現象）
高い周波数になるとがたつき現象が起きにくくなる。

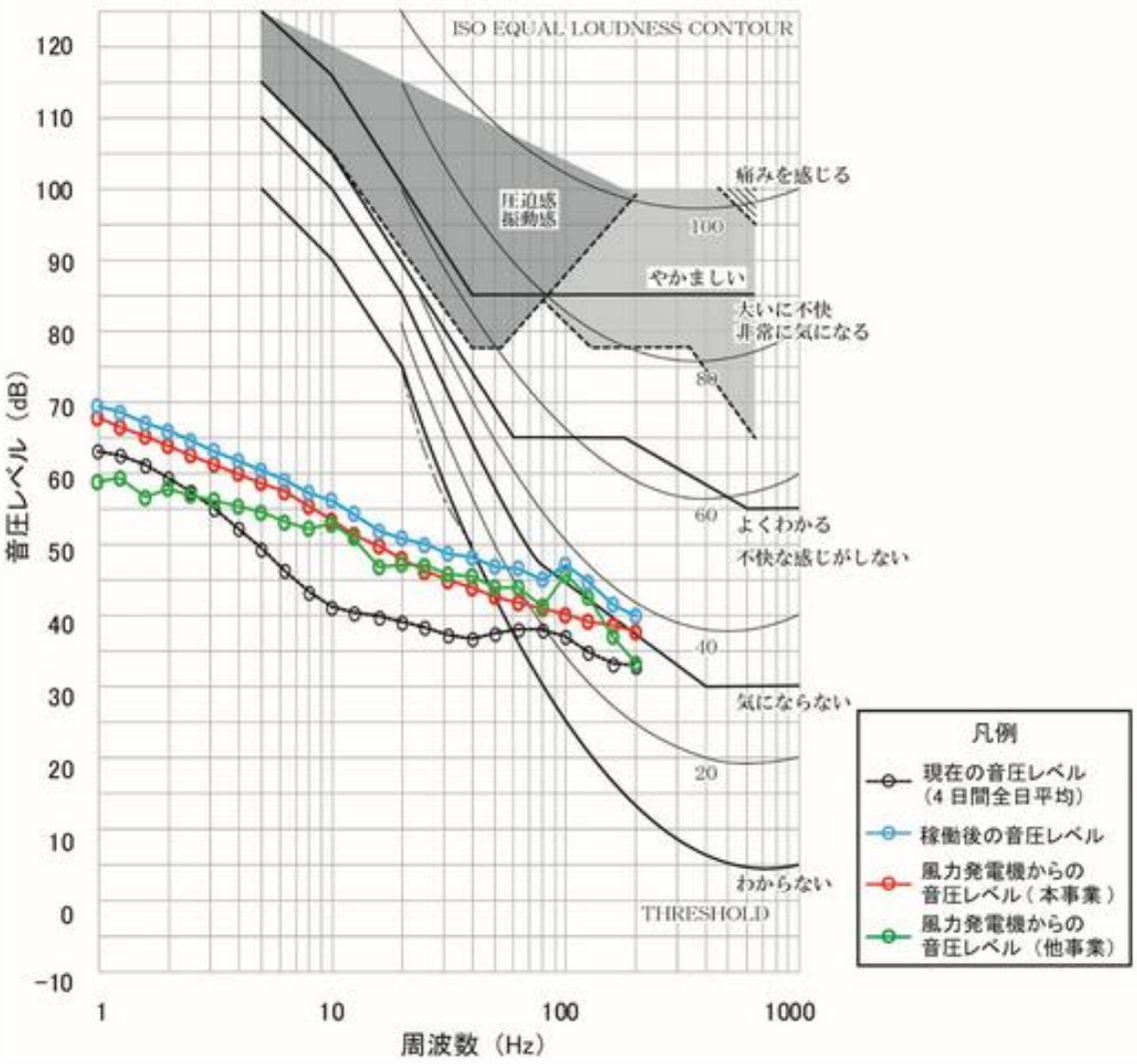
ある風力発電の会社が作った資料には、２つのグラフがありました。



出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成 12 年）より作成

図 10.1.4-7(1)　建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果

このグラフを根拠に、がたつきは生じませんと言いました。

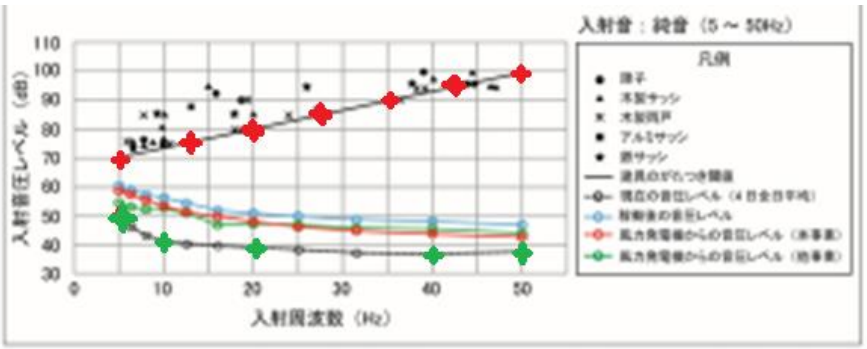


出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班『昭和55年度報告書1低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成

図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果

このグラフをもとに、**圧迫感・振動感を感じる音圧レベル**との比較を行っています。

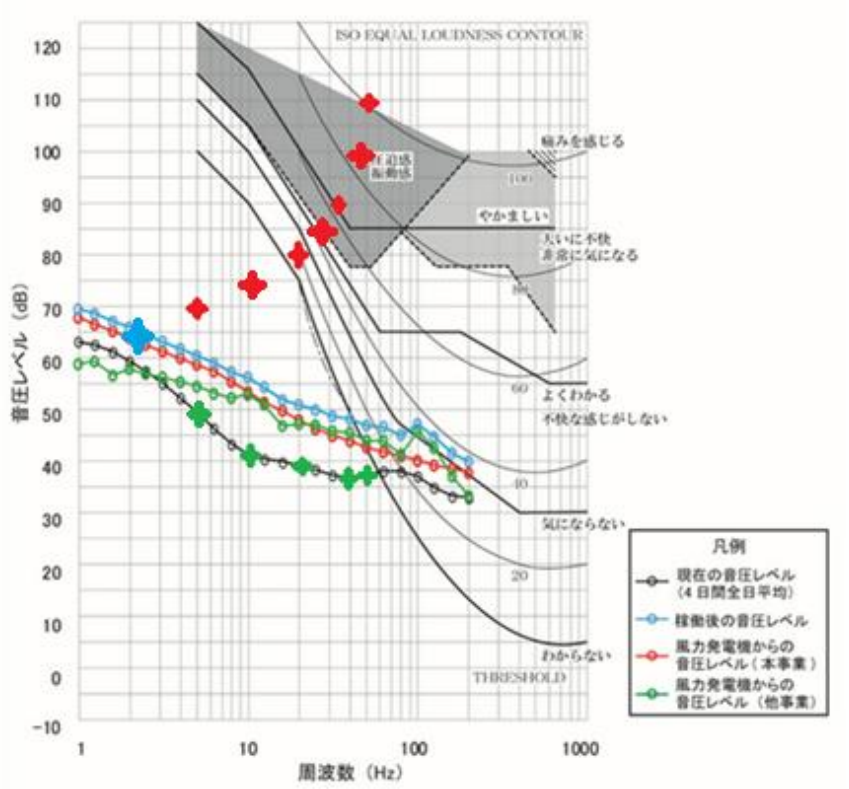
２つのグラフの対応する点に印をつけました。上のグラフの直線状の赤い点と、下の曲線状の緑の点です。



出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成12年）より作成

図 10.1.4-7(1) 建具のがたつきが始まるレベルとの比較結果
（環境－①：春季全日平均）

さて、上のグラフでは、5Hz までしかなかった曲線が、下のグラフでは 1 Hz まで伸びています。
でも、上の図の直線に当たるものが消えていますので、赤い印を追加しました。
赤い印は、がたつき閾値の直線に対応します。



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班『昭和 55 年度報告書 1 低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』」より作成

図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果
（環境－①：春季全日平均）

これを見れば、2Hz 辺りで、がたつきが起きると考えられます。がたつきが起きれば、人間は振動そのものを感じます。また、建具などから出る 2 次的な振動音も感じます。

この資料は、住民説明会で、住民に対してがたつきに関する心配は無いと思わせるためのものでした。少なくとも、ISO7196 に従って、0.25Hz から 315Hz までのがたつき閾値の表が必要です。

“苦情者宅の測定結果を『参照値』などと照らし合わせて、苦情の原因が低周波音である可能性について検討します。”と言っても、照らし合わせるべき参照値が存在しなければ比較ができません。

館山の風車騒音の解析では、1/3 オクターブ解析を、ISO7196 に従って調べると次の表になります。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

でも、

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

0.8Hz では、77.287140（ｄB）ですが、参照値がありません。
参照値以下かどうかは、どのようにして判断するのでしょうか？

地震の揺れを感じるか否かのデータがあるので、これと比較すれば、参考になるデータが得られますが、それには、振動レベル計が必要となります。

現状では、環境省が 0.25Hz からの参照値表を作ってくれるとは期待できないので、
住民は、精密騒音計の他に、振動レベル計を購入して計測して、地震の時のデータと比較することが必要となります。もしかしたら、県や市が購入して貸し出してくれるかもしれませんので、要望してみましょう。

共振は、固有振動数に近い範囲での現象ですから、周波数の詳細なデータが必要です。

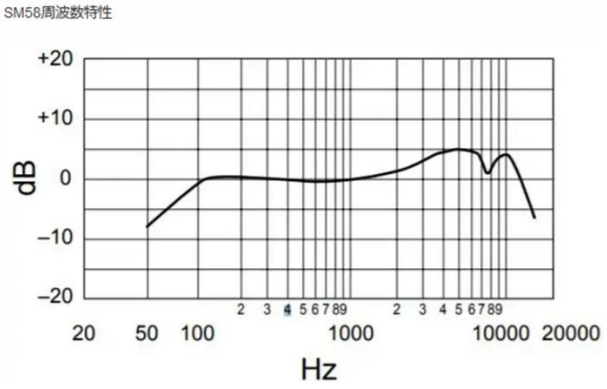
環境省は

“その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm）、翼枚数を Z（枚）とすると　f ＝RZ/60　（Hz）　で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“
と言っていました。

困ったことに、大型化して翼の回転数が下がってきたので、基本周波数が、0.5Hz や 0.8Hz になってしまいました。

カラオケで使うマイクは、100Hz 以下の音に対しては、与えられた音圧レベルを正確に把握することは出来ない。（下の左のグラフ）

超低周波音用の特別なマイクは、1Hz あるいは 0.5Hz 辺りまでは、正確に測定できる。後で音圧補正を知れば、NL-62 でも、0.8Hz 辺りまでは計測できます。（下の右のグラフ）



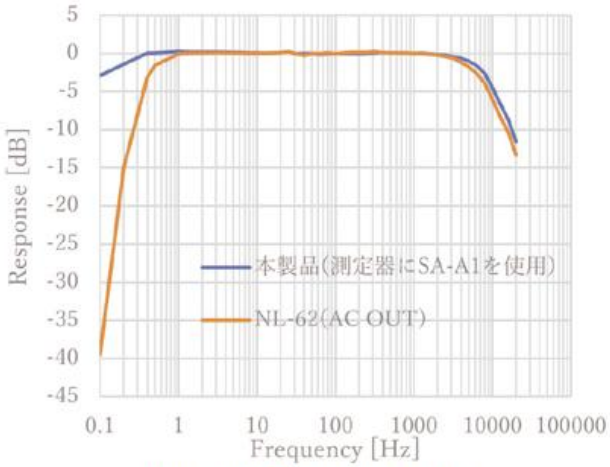


図2　本製品とNL-62 の周波数特性

UC-59L と SA-A1（120 万円程度）では、

周波数範囲	DC~20 kHzまたは0.25 Hz~20 kHz

他は、

番号	種類	測定範囲
NL-62A	精密騒音計	1Hz～20000Hz
NL-52A	精密騒音計	10Hz～20000Hz
NL-42A	普通騒音計	20Hz～8000Hz
NL-27	普通騒音計	20Hz～8000Hz
NA-28	精密騒音計	12.5Hz～20000Hz

測定範囲ですが、一番低いものは SA-A1 で 0.25Hz からです。

NL-62、NL-62A,NL-63 と SA-A1 は同じマイクを使っています。しかし測定範囲に差があります。

周波数を決定するには、ただマイクで音圧を測っただけでは出来ません。FFT での計算が必要になります。
細かな周波数で詳しく調べるには 60 秒間のデータが必要です。
困ったことが起きます。計測で 60 秒、FFT の計算で 6 秒かかるとすると、スイッチを入れてから 66 秒間は、画面が停止したままです。さらに、1 秒間に 48ｋHz のサンプリングレートなら、48000*60＝2880000 個のデータをメモリーに保管することになります。FFT はアルゴリズムとしては高速ですが、精密騒音計の CPU では高速演算は出来ません。
そこで、10 秒間の計測データで計算することにすると、データ数は 1/6 になり、メモリー量も計算量も減ります。
48000*60 個のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をｈＨｚとすれば、ｈ*48000*60＝48000 となるので、ｈ＝0.01667Ｈｚとなり
周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はｈ＝0.01667Hz です。
0Ｈｚから 24000Ｈｚまで、刻み幅 0.01667Ｈｚで計算されることになります。

48000*10 個のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をｈＨｚとすれば、ｈ*48000*10＝48000 となるので、ｈ＝0.1Ｈｚとなり
周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はｈ＝0.1Hz です。
0Ｈｚから 24000Ｈｚまで、刻み幅 0.1Ｈｚで計算されることになります。

この結果を使って、1/3 オクターブ解析をするとしましょう。

下の段が中心周波数、上の段が音圧レベルです。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

中心周波数について
公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。
厳密周波数はバンド番号ｎを 10～33 の整数として式（１）により求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です。

$$f = 1000 \times 10^{0.1\times(n-30)} \quad [\mathrm{Hz}] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

(n=10,f=10,　n=13,f= 19.95262315, ,　n=33,f= 1995.262315)

	1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅（ISO7196）0.25～315Hz						
x	x/3	2^(x/3)	厳密中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅	公称中心周波数
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057	0.250
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071	0.315
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090	0.400
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113	0.500
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142	0.630
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179	0.800
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226	1.000
29	-9.66667	0.00123	1.230	1.096	1.381	0.285	1.250
28	-9.33333	0.00155	1.550	1.381	1.740	0.359	1.600

中心周波数 0.25Hz と 0.315Hz の帯域幅は、0.057Hz と 0.071Hz です。
周波数分解能が 0.1Hz なら、データが 0.1Hz 刻みで与えられるので、0.25Hz の次は 0.35Hz になる。これでは、２つの周波数帯域を区別して扱うことが出来ません。これは、ISO7196 に対応した 1/3 オクターブ解析ができないことを意味しています。

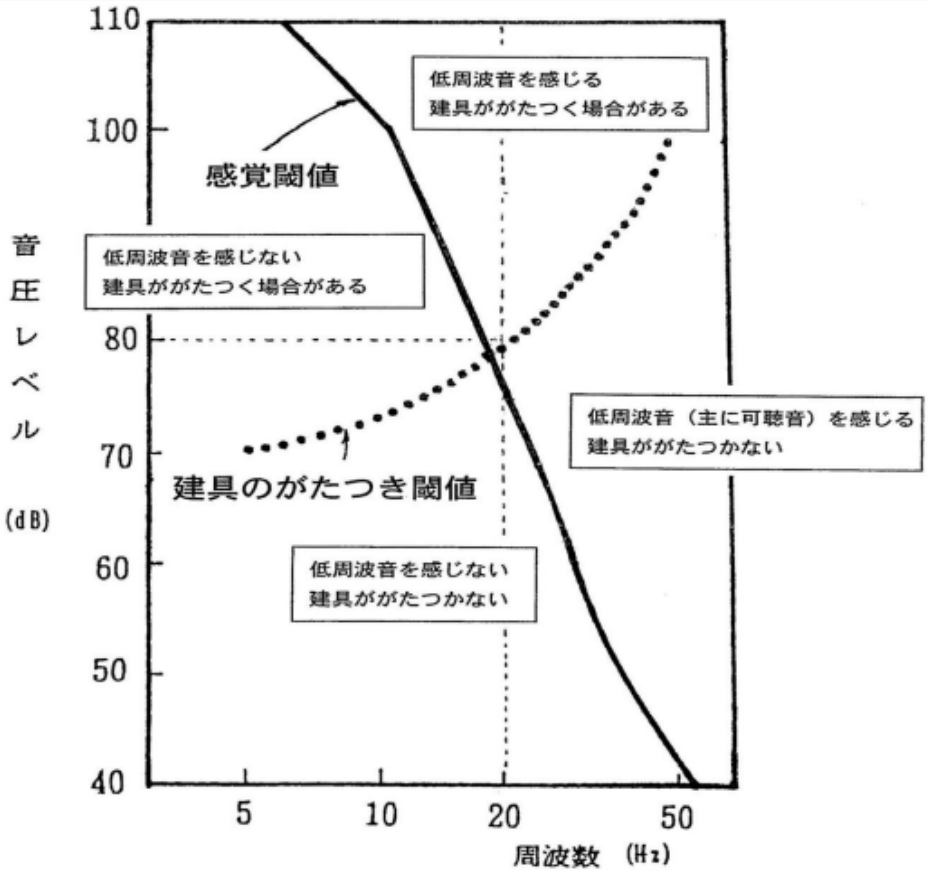
中心周波数が 1Hz を超えれば、帯域が広がるので、分解能が 0.1Hz でもそれなりに計算できます。
1/3 オクターブ解析のできる精密騒音計で、計測範囲が 1Hz～になっている理由です。

60 秒間のデータを計算して、周波数分解を 0.0166Hz にしておけば、ISO7196 に対応した計算もできます。

測定範囲ですが、一番低いものは SA-A1 で 0.25Hz からです。

周波数特性のグラフを見ると、NL-62 でも、0.5H z 程度までは測れそうですが、１Ｈｚからになっているのは、計算に使うデータの量と表示までの時間の影響が大きいと考えます。計算に、1 分間の計測データを使ったのでは、スイッチを入れてから１分間は計測結果が表示されないことになります。これでは商品として売れないので１秒程度の計測データに対する結果を使って表示します。この結果１Hz 以下のものが把握できない状態になっていると考えます。PC にデータを移して計算する場合には、１分から１０分程度の時間での観測データを計算の対象に出来ますので、0.5Hz 辺りからの音圧は、高い信頼性を持っていると言えます。

低周波音に対する人の感覚閾値･建具のがたつき閾値と影響評価の考え方



15

このグラフでは、“感覚閾値”が出てきます。参照値のグラフはありません。

感覚閾値の線は、次の２つのグラフの最少可聴値のグラフとほとんど同じです。

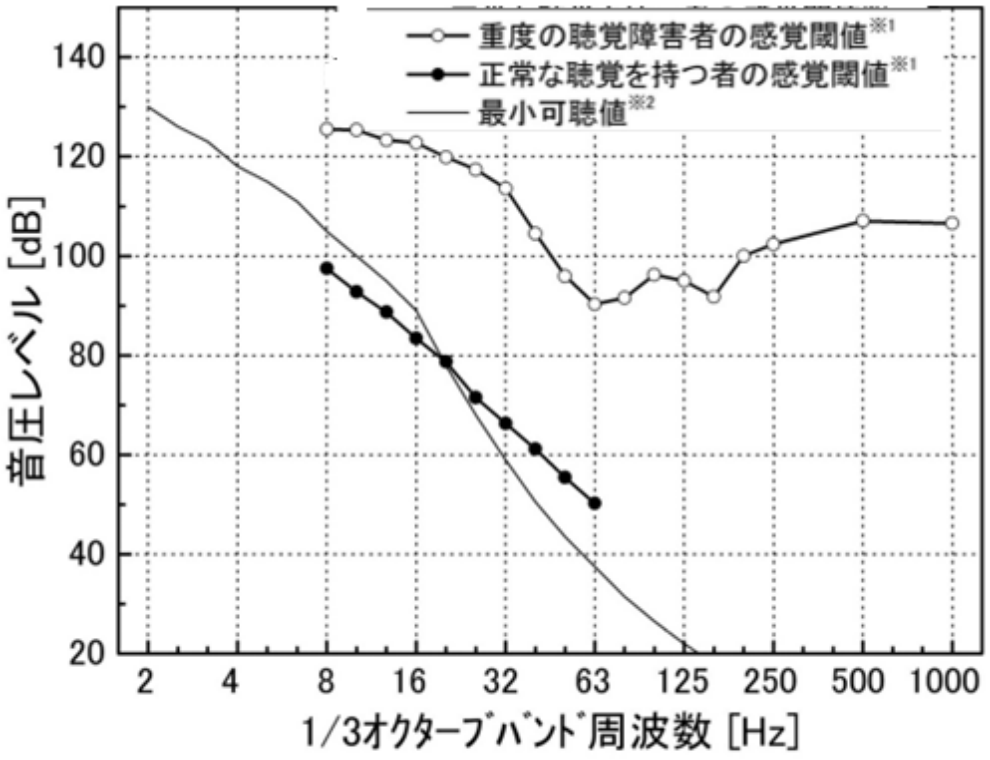
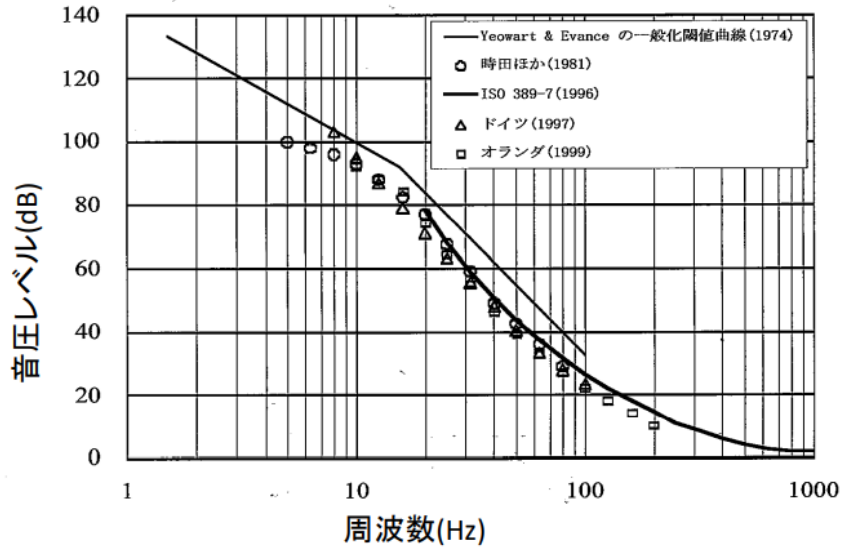


図 2-4　低周波音の聴覚閾値と聴覚以外の感覚閾値

低周波音の閾値(最小可聴値)



＊これまでの研究によると，**閾値以下では不快感等は生じない**と考えられている

日本語を論理的に把握すれば、“閾値（最少可聴値）＝聴覚閾値”です。

感覚閾値に関しては、別の表現もあるので、確認しておきます。

図 3-7 では、100ｄＢ（G）の辺りに感覚閾値の折線がある。

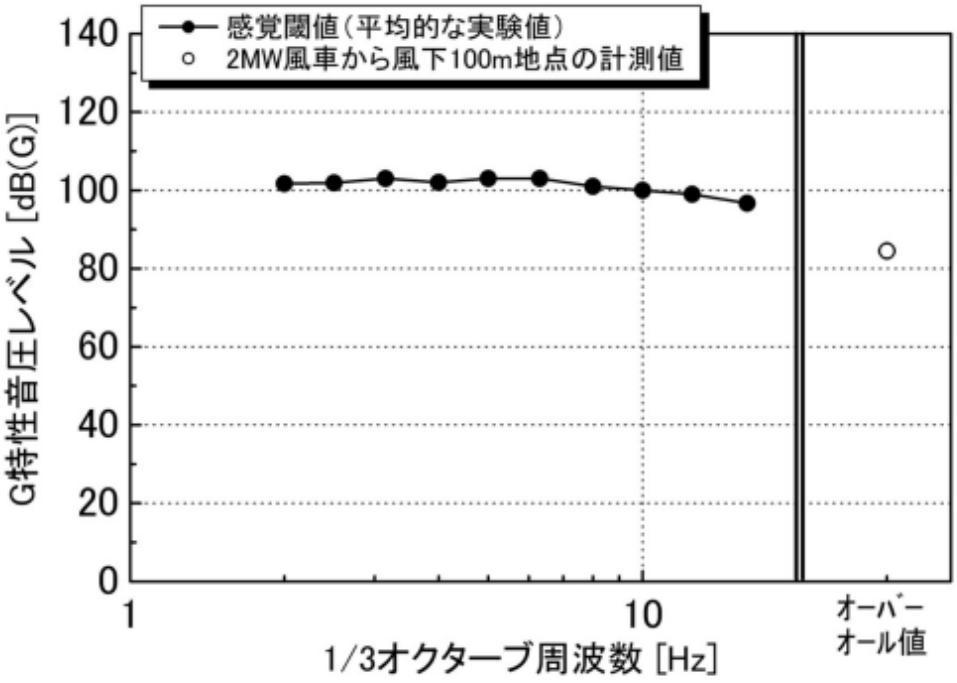


図 3-7　風車からの超低周波音の音圧レベルと感覚閾値との比較

感覚閾値[2-13]の値を元に G 特性音圧レベルに換算.
風車音（超低周波音）の計測値は[4-2]の値を示す.

下の部分に

感覚閾値[2-13]

とあるので、中身を確認しました。

[2-13] 井上保雄，低周波音の調査方法，騒音制御 Vol. 30, No. 1, pp. 17-24, 2006.

を確認したが、理解に苦しむ内容です。

次の表の④の項目でが、

④超低周波音の感覚閾値と最小可聴値	—	—	—	130	126	123	118	115	111	105	100	95

“④超低周波音の感覚閾値と最少可聴値”となっている。

これでは、感覚閾値と最少可聴値が同じものになってしまう。

最少可聴値は聴覚閾値と同じ内容です。人間の音に関する感覚器官が、聴覚しかいないならば、“感覚閾値＝最少可聴値＝聴覚閾値”となります。人間は聴覚以外の感覚器官でも風車音を感知するので、“感覚閾値≠最少可聴値＝聴覚閾値”となるのです。

130+（-28.3）＝101.7　に直して、聴覚閾値を感覚閾値に昇格させてはいけません。

将棋ではないのです。勝手に“と金”を作ってはいけません。もちろん、将棋でも敵陣に入っていないのに“と金”にすれば反則です。

表－2　低周波音

1/3オクターブバンド中心周波数（Hz）	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
①物的苦情の参照値（2004）	—	—	—	—	—	—	—	70	71	72	73	75
②心身に係る苦情の参照値Ⅰ（2004）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92	88
③心身に係る苦情の参照値Ⅱ（2004）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
④超低周波音の感覚閾値と最小可聴値	—	—	—	130	126	123	118	115	111	105	100	95
⑤スウェーデン住宅内（1996）	—	—	—	(130)	(126)	(122)	(118)	(114)	(110)	(106)	(102)	(98)
⑥ドイツ住宅内（夜間，1997）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(103)	95	86.5
⑦デンマーク住宅内（夕方・夜間，1997）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90.4	83.4
⑧オランダ住宅内（1999）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	92	88
⑨ポーランド住宅内（2000）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80.4	73.4
⑩G特性基準レスポンス	−43	−37.5	−32.5	−28.3	−24.1	−20	−16	−12	−8	−4	0	4

注記 1）①項は低周波音による建具のがたつき開始閾値の実験値（昭和52年度環境庁委託報告書）による。なお，実験は純音を用いている。この値が環境省「低周波音問題対応の手引き」の評価指針になっている。

注記 2）①項の値は連続的な低周波音の場合であり，衝撃性の場合は10dBくらい大きい値でないとがたつきは発生しないといわれている。

注記 3）実際には①項の値以下でも苦情があることもあり，建具の揺れ等まで配慮するとすれば①項の値より10dB程度小さいレベルに対策の目標値を設定することが望ましい（(社)日本騒音制御工学会技術レポート，6号，1986）。

注記 4）②項，③項は環境省「低周波音問題対応の手引き」の評価指針。一般成人の「寝室の許容値」の10パーセンタイル値を基に決められている。

注記 5）③項のG特性音圧レベルについては低周波音音圧レベル計にG特性周波数補正回路が内蔵していない場合は1/3オクターブバンド周波数分析値と⑩項補正値から計算により求めることができる。

G 特性での感覚閾値は、次の図 2-2 における、超低周波音の感覚閾値とされる折れ線の値に、

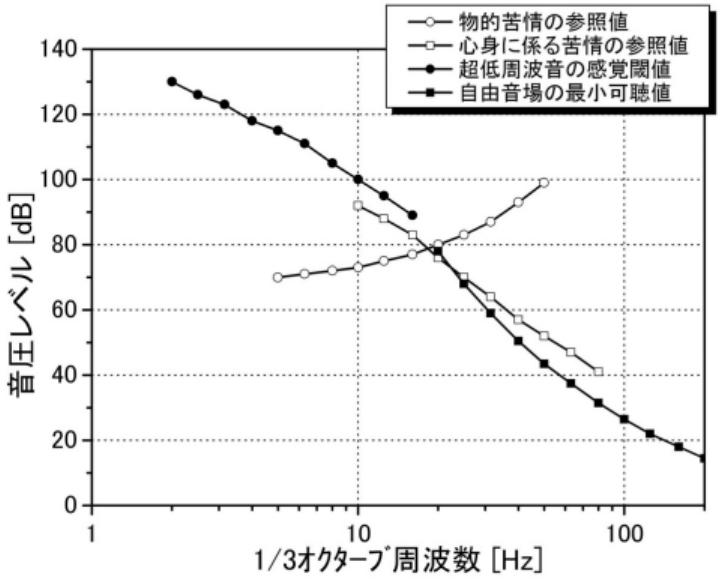


図 2-2　低周波音による苦情の参照値

心身に係る参照値は 20Hz 以上では平均的な人の最小可聴値よりも高いが，
20Hz 以下では平均的な人の感覚閾値よりも小さい．
〔参照値は[1-6]，超低周波音の感覚閾値は[2-13]，自由音場の最小可聴値は[2-14]をそれぞれ参照〕

次の表にある、G 特性での重み付けをした結果です。

表-1.1　基準周波数レスポンス及び許容差

中心周波数(Hz)	平坦特性		G 特性	
	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)
1	0	±3	− 43	±3
1.25	0	±3	− 37.5	±3
1.6	0	±3	− 32.5	±3
2	0	±2	− 28.3	±2
2.5	0	±2	− 24.1	±2
3.15	0	±1.5	− 20	±1.5
4	0	±1	− 16	±1
5	0	±1	− 12	±1
6.3	0	±1	− 8	±1
8	0	±1	− 4	±1
10	0	±1	− 0	±1
12.5	0	±1	4	±1
16	0	±1	7.7	±1
20	0	±1	9	±1
25	0	±1	3.7	±1
31.5	0	±1	− 4	±1
40	0	±1	− 12	±1
50	0	±1	− 20	±1
63	0	±1	− 28	±1
80	0	±1.5	− 36	±1.5

図 2-2 には、参照値のグラフもあります。

表 2-3　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値[1-6]

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	ｵｰﾊﾞｰｵｰﾙ値
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41	92dB(G)

参照値に対して、G特性での重み付けをしたものを、書き込めば赤い折線になります。

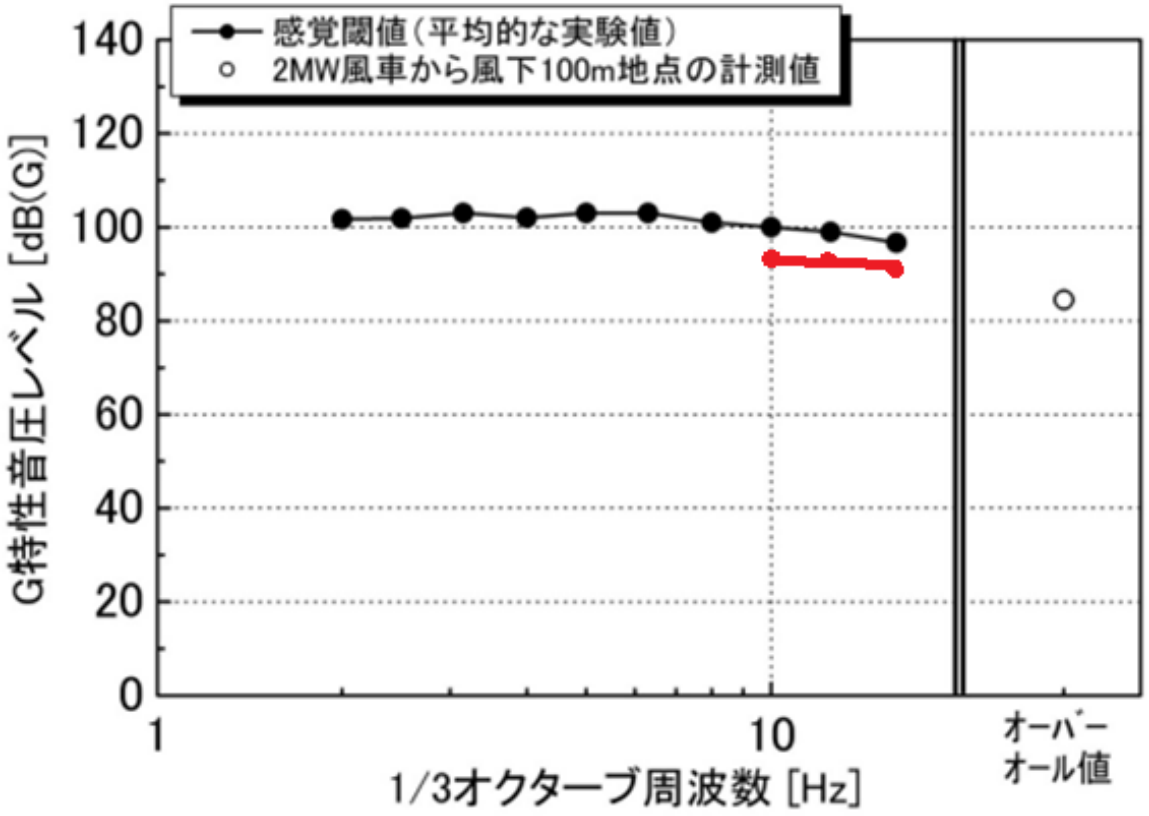


図 3-7　風車からの超低周波音の音圧レベルと感覚閾値との比較

感覚閾値[2-13]の値を元に G 特性音圧レベルに換算.
風車音（超低周波音）の計測値は[4-2]の値を示す.

となりますが、これでは、感覚閾値よりも小さな値でも人間の感覚は不快感を覚えると言う論理的な矛盾が生じます。

“低周波音”と限定して、20Hz 以上の話にしているから、矛盾しないと言うのでしょうが、風車からの強烈な超低周波音によって被害が発生している現実をごまかすようなことをしてはいけません。

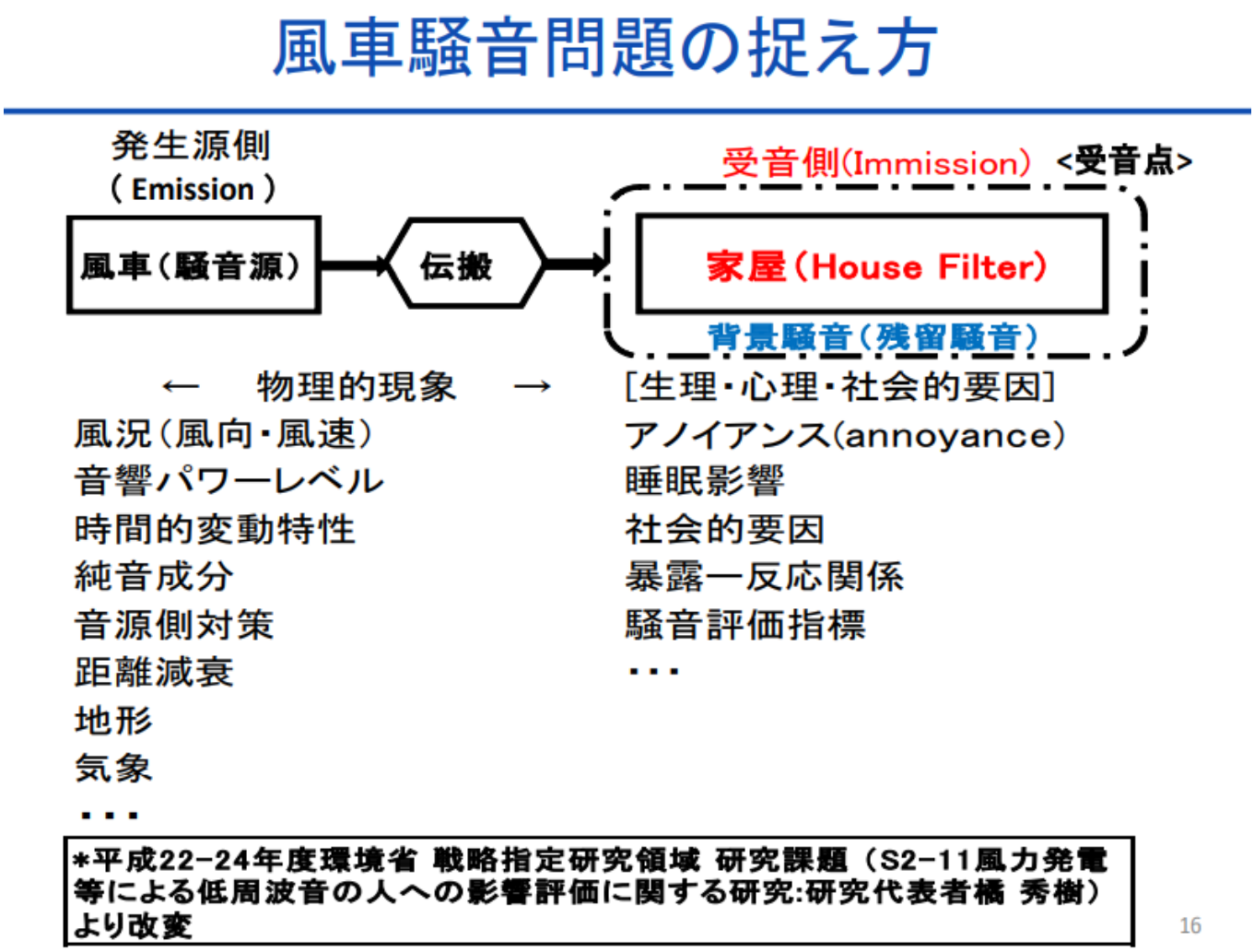
もちろん、論理学もいろいろです。古典的な 2 値の論理の他に、多値論理学や量子論理学もあるのですから、一概に矛盾、矛盾と言う事も無いのでしょうが、赤い線を忘れてはいけません。

風車の超低周波音の周波数の低下に合わせて、もっと低い周波数まで実験結果を拡張すべきです。

上のグラフの中の“感覚閾値”は、建具がガタつく中で眠る人にとっては意味を持ちません。

1Hz の音で建具がガタガタすれば、聴覚や体で感じます。感覚閾値までは感じないはずなのにがたつきを感じて眠れなくなります。感覚閾値とするには、聴覚の他に、圧迫感に関する測定や実験も必要です。

２．１６　風車音問題の捉え方



そもそも、“風車騒音問題”としたことが間違いです。これでは“騒音”との限定により、20Hz 以上の可聴域の成分だけが検討の対象になります。

風車音の問題では、次の８つの観点から総合的に考えることが必要です。
音がうるさい
圧迫感や吐き気などによる不快感
直接的な健康被害としての頭痛
音が原因の建具や床のガタツキを感じる
夜間の光（航空障害灯）による安眠妨害
風車の陰によるイライラ
風車振動の地中伝搬　（大型風車による地盤振動伝播　小野寺 英輝）
音源としての風車の形と距離減衰
です。
どれが起きても、風車の影響が知覚されることにより睡眠を妨げられます。

ガタツキ閾値は、かなり低い音圧レベルです。聴覚閾値のレベルでなくても、被害が起きるのです。

館山の風車騒音の解析では、1/3 オクターブ解析を、ISO7196 に従って調べると次の表になります。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

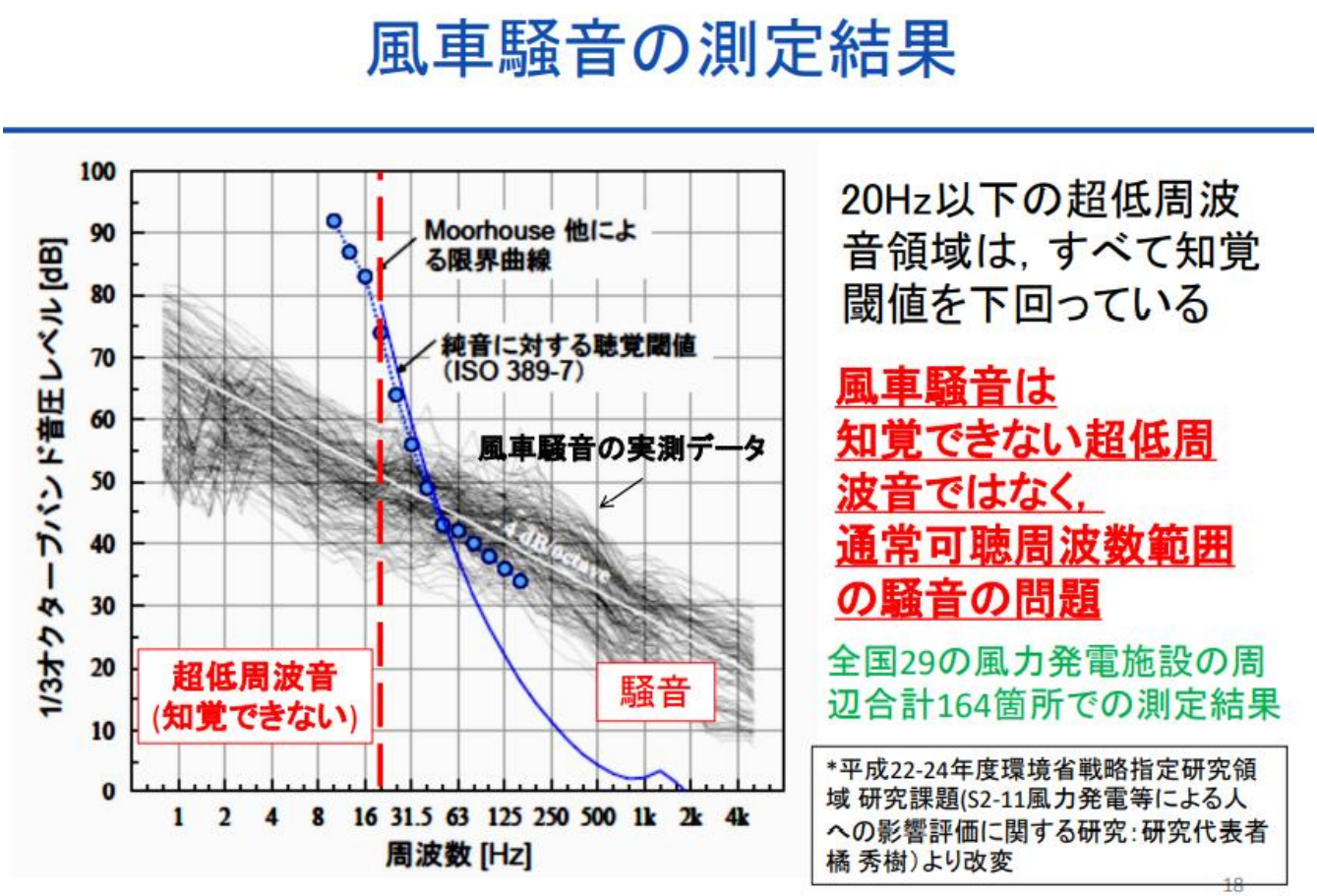
でも、

表 1　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数 (Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル (dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

0.8Hz では、77.287140（ｄB）ですが、参照値がありません。

次のグラフから、聴覚閾値は、8Hz では、92ｄB 程度だと思われますが、



ガタツキ閾値は、8Hz では 72ｄB、２Hz では 65ｄB です。

ガタツキが起きれば人間は建具や床の振動を感知します。そして、超低周波音に知識があれば、それが超低周波音による睡眠妨害であると、知覚します。

聴覚では、超低周波音の影響を感知できなくても、三半規管では、超低周波音の影響を感知できるのです。

92－72＝20ｄＢです。聴覚閾値を下回る超低周波音でも、他の感覚器官での感知は可能であり、はるかいい低い音圧の超低周波音が、ガタツキとして知覚されるのです。

うるさくても、ガタついても、睡眠妨害による被害は発生するのです。

いろいろな感覚器官による刺激の感知結果を知識と総合して、超低周波音による被害と認識できれば、知覚したことになるのです。

圧迫との関連では、もっと物理的な反応が直接起きる可能性が高いです。

風車音を考えるには、

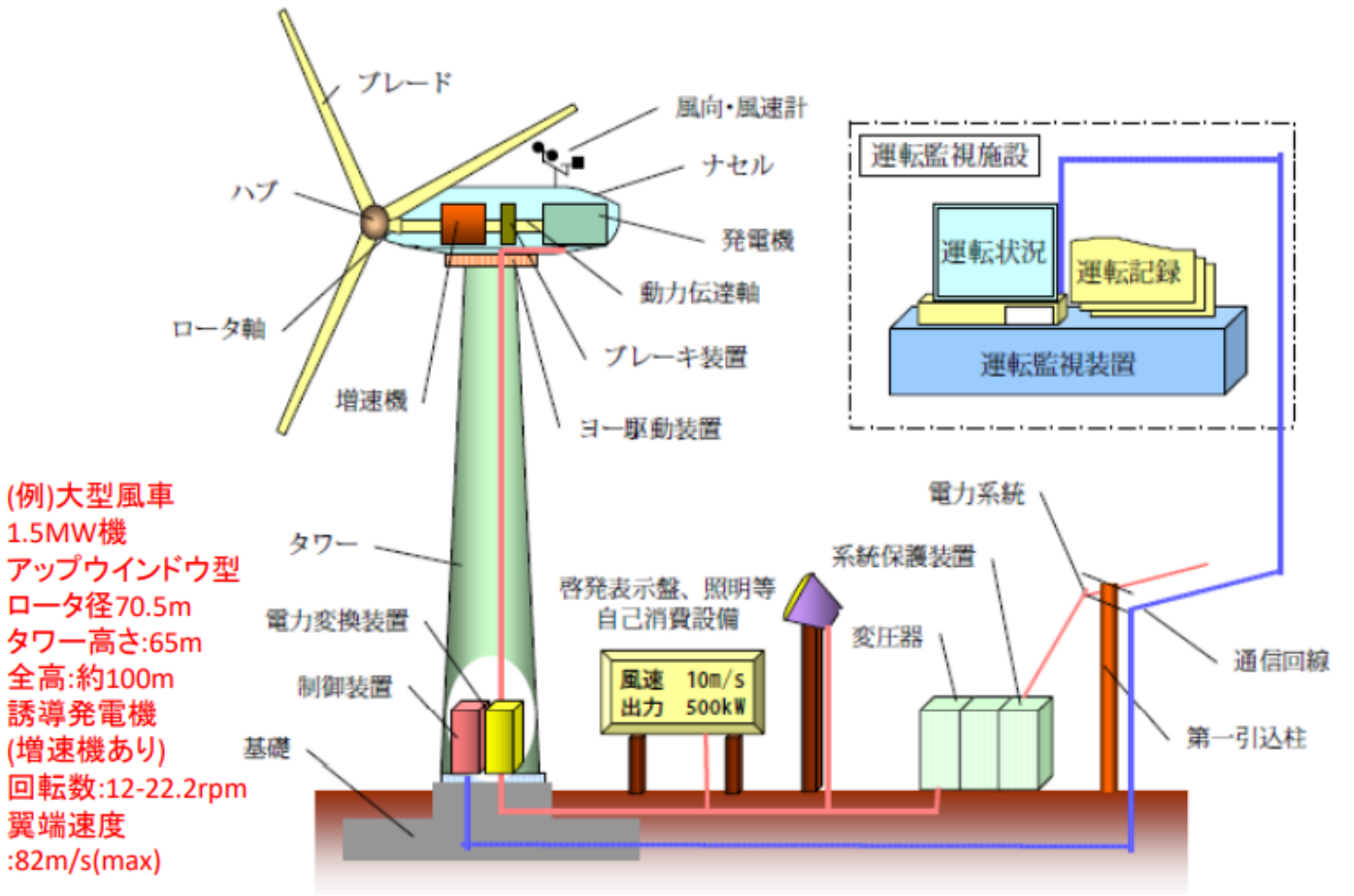
１，　他の環境騒音と比べて、どのような違いがあるかを調べる。
２，　風車音の指向性や周波数特性を調べる。
３，　風車音が発生する仕組みを解明する。
４，　風車から発生する音の周波数を理論的に決定し、観測結果との比較を行う。
５，　風車音の性質を根拠にして、被害防止の可能性について調べる。
６，　風車音による被害状況と関連の深い調査項目を決定する。
７，　アンケートと風車音の計測を同時に行って、被害の原因を多変量解析で調べる。
８，　計測データと解析結果を公開する。
９，　解析技術は、FFTの他に、Wavelet解析や、カオス理論を活用する。
１０，　音響キャビテーションに関しても慎重に調べる。
１１，　研究者の、日本語、英語、数学の基礎学力を向上させる。
１２，　人間の感覚器官についての新しい研究結果を調査する。

などが考えられます。

風車音に関する、物理的な理解を深める必要があります。

町田氏も、日大構内での音の計測結果と、風車の近くでの音の計測結果を比べてみることが必要だったのです。

これらに関しては“風車超低周波音2023”に書いておきました・



風車音と風車の振動の関係を調べる必要があります。
すでにある観測結果と検討すべき文献を上げておきます。

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018
2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016
3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008
4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990
5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010
6) M.S.Howe, 空力音響学, 共立出版、初版、2015
7) 橘秀樹, 福島昭則, 落合博明,低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化,日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, Vol. 2017:春季 p.13-16, 2017
8) Vesna Rubežić, Igor Djurović, Ervin Sejdić,

Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits,
COMPEL The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering 36(1):188-201, January 2017
9) 石井俶夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム，初版, 2005

町田氏は、せっかく風車の構造を説明したのですから、風車音と風車運動を詳しく調べて、風車から超低周波音が発生する仕組みを書くべきだったのです。

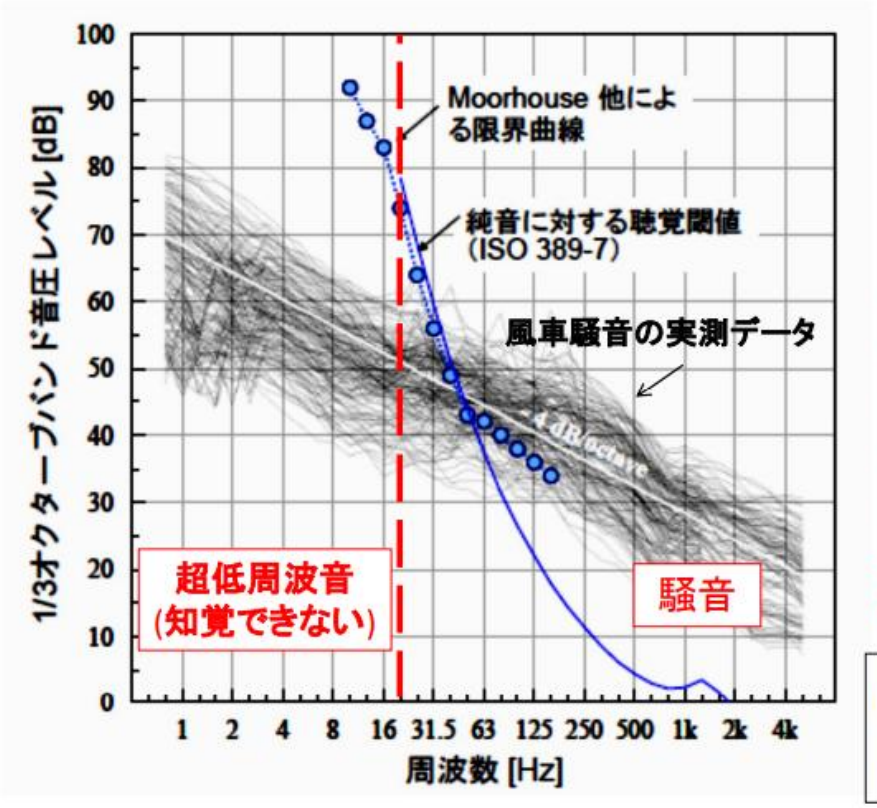
結論を言えば、回転軸が水平の風車は、超低周波音の発生装置そのものなのです。

それほど難しい知識は必要ありません。数学と物理と音に関する基本的な知識と、過去の論文を偏見無しに評価するだけで、超低周波音が発生する仕組みが分かるのです。

詳細は、“風車超低周波音 2023”をご覧ください。

２．１８　風車騒音の測定結果

風車騒音の測定結果



20Hz以下の超低周波音領域は，すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく，通常可聴周波数範囲の騒音の問題

全国29の風力発電施設の周辺合計164箇所での測定結果

*平成22-24年度環境省戦略指定研究領域 研究課題(S2-11風力発電等による人への影響評価に関する研究：研究代表者 橘 秀樹）より改変

18

University of Salford MANCHESTER

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints

Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD

http://dx.doi.org/10.1121/1.3180695

Title	A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
Authors	Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD
Publication title	The Journal of the Acoustical Society of America (JASA)
Publisher	Acoustical Society of America
Type	Article
USIR URL	This version is available at: http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/18459/
Published Date	2009

グラフの中に、“Moorhouse他による限界曲線”との記述があります。
ネットで探して、上の右側のものを見つけました。

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints
（Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD）
ここには、

The proposed criteria curve is provided as guidance for environmental health officers in their evaluation of an LFN complaint, and **not as an absolute limit**.

This means that tonal sounds at, or just below, the threshold of the hearing should be considered as

environmental sources potentially responsible for the complaint.

提案された基準曲線は、環境衛生担当者のためのガイダンスとして提供されています、LFN 苦情の評価であり、**絶対的な制限としての評価ではありません**。これは、騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は、環境音源として考慮されるべきであることを意味します。

と書いてあるのですら、基準曲線または参照曲線と訳すべきであり、限界曲線としたのでは、“騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は”との記述を無視することになります。

“限界曲線”と言えば、その限界よりも低ければ問題なし。と聞こえてしまいます。“騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は”との記述があるのですから、この日本語は不適当です。

“not as an absolute limit”と書いてあるのに、まるで、“absolute limit.”と書いてあるかのように訳してはいけないのです。

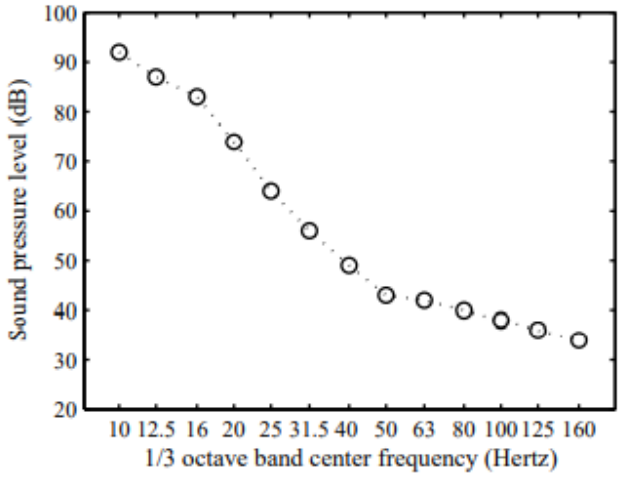
私は英語が嫌いです。英語が分からないときは近所の小学生に教えてもらいます。最近は小学生での英語を勉強しています。私は、この“限界曲線”と“基準曲線”の違いについて、近所の小学生に教えてもらいました。

さて、数値ですが、次の表とグラフを見れば、10Hz から 160Hz の間で定められている数値です。0.2Hz や 0.8H z の時の値はありません。従って 0.2Hz、0.8H z に関しては比較できません。

表 V: 提案された夜間参照曲線

Hz	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
dB	92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34

図 13 低周波ノイズの評価手順からの基準曲線



従って、“Moorhouse 他による限界曲線”との表現は不適当であり、さらに、関連する周波数領域が、10Hz から 160Hz であることに注意しなくてはなりません。英語が分からないときは近所の小学生に教えてもらいましょう。

町田先生は、どこで Moorhouse の論文を入手されたのでしょうか？そこには、0.5Hz や 0.8Hz の基準値は何デシベルと記載されているのでしょうか？まさか、存在しない値と、85 d B や 77 d B を比較して、下回っていると書いたのではないでしょうね。

町田氏の資料の右側に、“知覚閾値を下回っている”とあるが、町田先生が座長として取りまとめた、検討会報告書の 15 ページには、次のように記載されています。（**聴覚閾値**と正しく書かれています。）

２）発生する音の特徴・性質
風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、２－１．で示したとおり、**20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが聴覚閾値を超えるものは確認されていない。**また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は図 8 に示すとおりであり、**他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。**

ただし、論理的な説明としては、下手な説明です。

“風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の**騒音**が発生していると一般に思われている。”

と書いて、“**騒音**”と付けることで周波数を 20H z 以上に限定して問題点を隠蔽しようとしているが、もっと正直に書くべきです。
“騒音と言う言葉を入れて議論の対象を 20H z 以上の成分の話にすれば、風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われているが、風車音はそのエネルギーのほとんどが 0.8H z 辺りに集中していて、騒音と呼べる 20H z 以上の成分は、風車音の中には少ないのです。エネルギーの比率でいえば、全体の 93%が超低周波音の領域にあり、20H z 以上の成分の持っているエネルギーは７％程度です。ですから、**風力発電施設からは、他の施設から発生する音と比較して、より低い周波数の超低周波音が発生しているのです。**”
とすれば、気持ちも楽になります。

そうすれば、次のような周波数スペクトルの説明も楽にできます。

図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

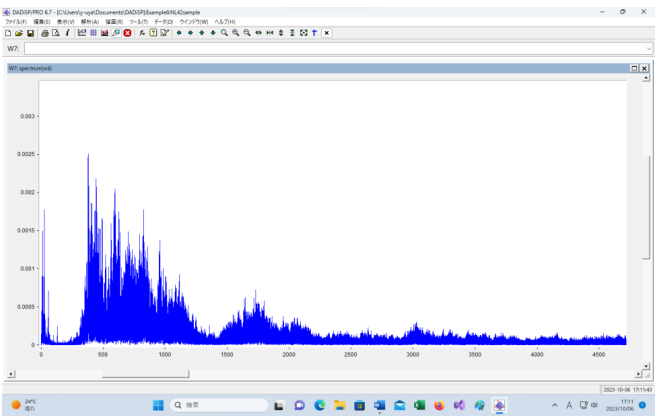


図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz

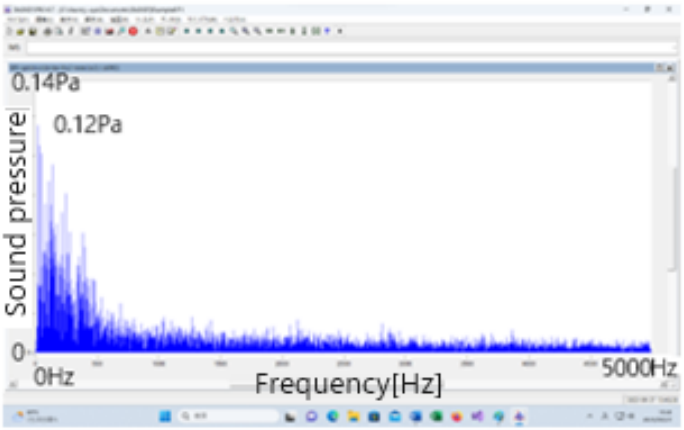


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

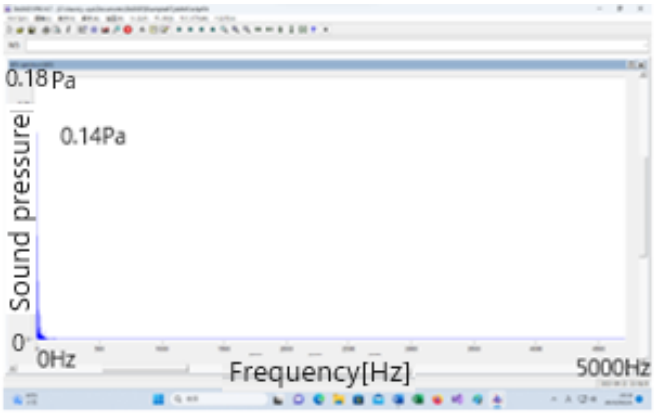


表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

ここでは、**聴覚閾値と正しく記載されていました**が、忘れてしまったのでしょうか？
私も、最近はよく忘れます。自分が書いたことや、ご飯を食べたことを忘れたりします。

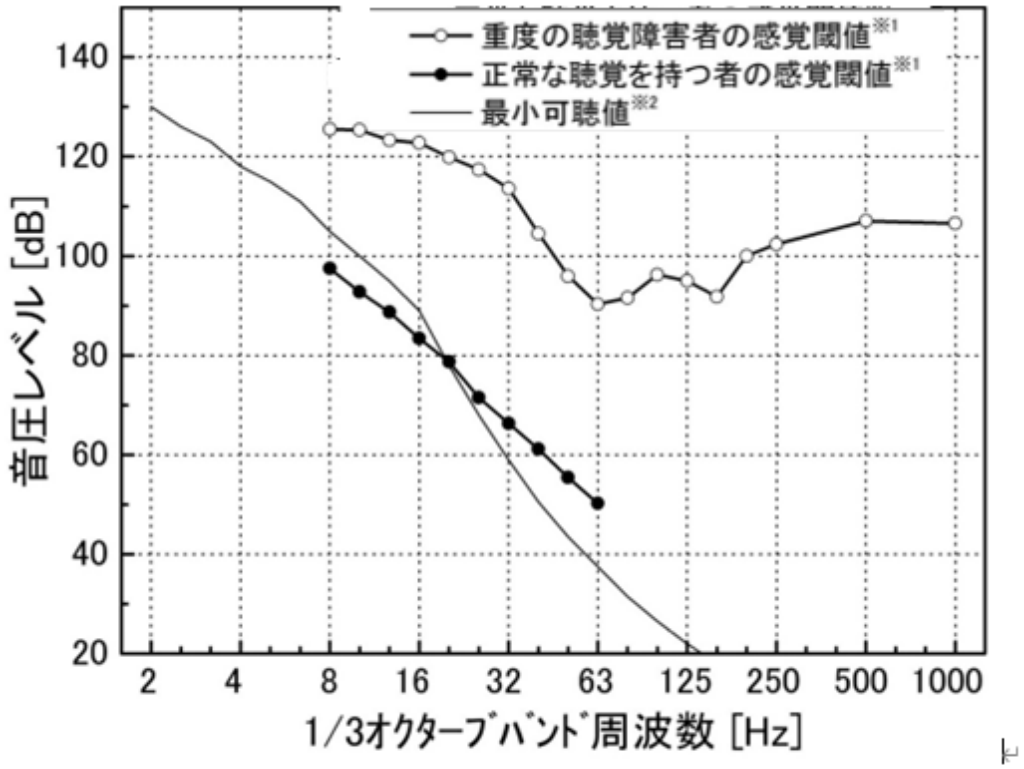


図 2-4　低周波音の聴覚閾値と聴覚以外の感覚閾値

最少可聴値と感覚閾値を同じ数値とする方法で、最少可聴値を“と金”の感覚閾値に変えました。

④超低周波音の感覚閾値と最小可聴値	—	—	—	130	126	123	118	115	111	105	100	95

最少可聴値と聴覚閾値は同じ意味ですから、感覚閾値は聴覚閾値と同じものになってしまいます。
人間は聴覚以外の感覚器官持っているのですから、感覚閾値と聴覚閾値を同じ意味の言葉には出来ないのです。これは、日本語での常識です。

日本語の単語を適切に使用する必要があります。

いつの間にか摩り替えられる言葉として、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の３つがある。

聴覚閾値は、耳で聞いて、聞こえるか聞こえないかの境目と理解できるが、

感覚閾値の感覚は、聴覚による音の感知、指先の皮膚などでの触覚、半規管、耳石器での揺れや加速度の感知、内耳の前庭器官による気圧の変化の感知能力、などが考えられるが、それらの全てを意味しているのか、他の感覚をも意味しているのかが不明である。多様な感覚の閾値を決定できるような実験は誰がどのように行ってどのような評価を受けているのかを明確にする必要がある。

知覚閾値にいたっては、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

聴覚閾値に至らない粗密波による刺激でも、別の感覚で捕らえられる。さらに、様々な刺激をきちんと把握すれば、風車騒音による被害なのだと知覚できる。

聴覚閾値は 10Hz の音のでるスピーカーと実験室で調べられても、様々な感覚の閾値を調べるのはかなり難しい。それぞれの感覚ごとに適切な計測方法を提案し、実験をする必要があります。

さらに、実験では、1Hz の音が必要になるが、1Hz の音を出せるスピーカが存在しないのです。１Hz は超低周波音です。１Hz の聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値は何デシベルなのでしょうか？

１Hz の知覚閾値が分からなければ、風車音から出ている 1Hz の成分が、知覚閾値よりも大きいか小さいかが分からない。

そんな中で、知覚閾値については何をどのように調べたら決定できると言うのだろうか？

知覚閾値にいたっては、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

この定義に沿って考えてみます。

外界の対象の性質、形態、関係及び身体内部の状態を把握する。

この前提として、風車音を浴びる人が、風車音について十分な知識と、過去の計測による指標を覚えているとします。風車の振動形態や、振動の理由を把握していて、風車音は指向性を持っている事も理解しているとします。

物理学の知識も十分で、共振、共鳴についても詳しいとします。さらに、ガタツキ閾値に関しても十分な予備知識があるとします。

寝ているときに、床が突き上げてくるような感覚や、床が揺れるような感覚を覚えたとします。風速、風向の気象情報を確認すれば、風車音が原因で、共振が起こり、その揺れや振動が、皮膚に対する刺激や三半規管に対する刺激となり、聴覚以外の感覚器官が、風車音を原因とする刺激を感知したことになります。

これを予備知識と総合して、風車音が原因の、感覚器官に対する刺激であると、知覚することになります。

このときの、音圧は何デシベル程度でしょうか？

ガタツキ閾値の表は、

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

5Ｈｚで、70ｄＢです。周波数が下がると音圧も下がります。

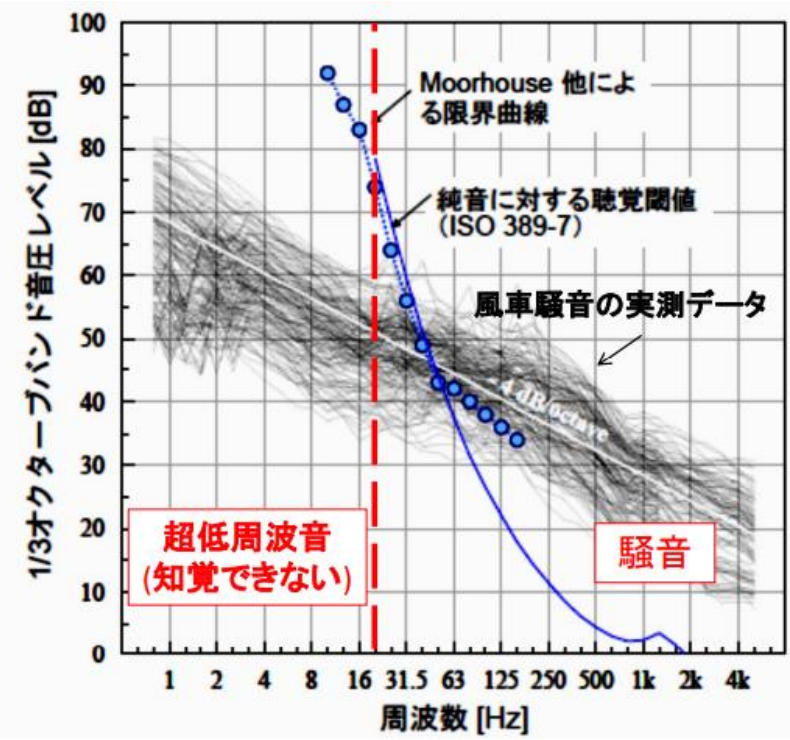
では、1Ｈｚ辺りでのガタツキ閾値は、何デシベルと考えれば良いのでしょうか、70ｄＢより小さいのは確実です。

家屋の固有振動数が 1Ｈｚ辺りなので、65ｄＢ程度でも、ガタツキが起こり、それを知覚する場合もあり得ます。当然、1Ｈｚでの知覚閾値は、65ｄＢ以下と評価されることになります。

場合によっては、1Ｈｚ辺りでの音圧がもっと低くても、圧迫感を覚えるかもしれません。

前川真帆香　氏の論文には、**“実験室にて経験した被害者は「実験室で使う純音と実際聞く音は全く異なる」”** と被験者が言っていると言う記述があります。

最悪、1Hz 辺りでは 70ｄＢ程度になるかもしれませんが、町田氏のグラフからも



1Ｈｚ辺りで、70ｄＢを超えるケースは沢山ある事が分ります。

館山の風車騒音の解析では、1/3 オクターブ解析を、ISO7196 に従って調べると次の表になります。

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units	5: No Units	6: No Units	7: No Units
1:	54.727250	62.381626	54.976763	56.733648	58.610999	77.287140	64.371465
2:	0.250000	0.315000	0.400000	0.500000	0.630000	0.800000	1.000000
3:							

0.8Ｈｚで、77.3ｄＢ程度でした。知覚閾値を超えていると考えます。

もちろん、知覚閾値の意味によって、この解釈が正しいか否かが決まってきます。結論は、振動レベル計で室内の振動を調査すれば明確になります。

いくら、

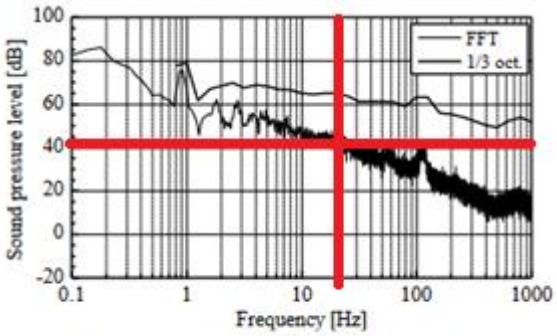
“風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題”

と主張しても細工が雑で下手すぎます。

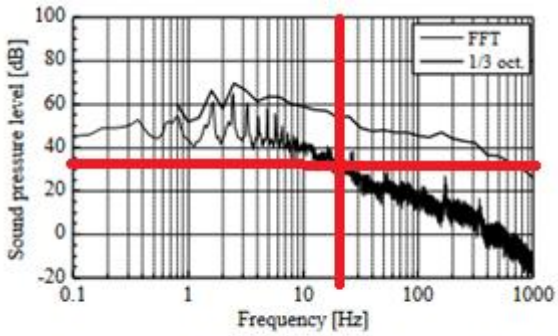
“風車騒音”として、20Hz 以上に限定しているので、この限定の下での議論は、20Hz 以上を前提とするのですから、通常可聴周波数範囲の騒音の問題となるということなのです。しかし、“風車音”として超低周波音を含めて考える場合は、風車音の問題は、エネルギーの分布を考慮すれば、超低周波音の問題そのものとなるのです。“

と正直に言うべきです・

“課題名 S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”でのグラフの左側の場合は、0.2Hz 辺りまで周波数が下がると音圧が上昇する傾向が続く。



図(2)-11　図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12　図(2)-10の音圧のスペクトル

このことから、少なくとも ISO7196 にある 0.25Hz 辺りまではグラフを書くべきです。

エネルギーの分布の観点から、風車騒音の特徴を考えれば、その特徴は明確になります。
風車騒音の測定結果において、1H z 以下の部分を省略してはいけません。特徴が失われてしまいます。

行政への圧力

偉い学者の意見

風車騒音は
知覚できない超低周
波音ではなく,
通常可聴周波数範囲
の騒音の問題

を使って、環境省は、県や市に対して、超低周波音を計測しないように圧力をかけます。

環境省水・大気環境局長　からのお知らせ、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」、の（別紙）、風力発電施設から発生する騒音に関する指針、には、

“環境省では、平成 25 年度から水・大気環境局長委嘱による「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、風力発電施設から発生する騒音等を適切に評価するための考え方について検討を進め、平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を取りまとめました。今般、同報告書を踏まえ、風力発電施設から発生する騒音等について、当面の指針を別紙のとおり定めたので通知します。貴職におかれては、下記に示した本指針策定の趣旨等及び別紙の指針、並びに風力発電施設から発生する騒音等の測定方法について別途通知する**「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」を、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ生活環境を保全する上での参考としていただく**とともに、関係の事業者等へ周知いただくなど格段の御配意をお願いいたします。”

と書かれている。

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”の３ページには、

“2.3.5　風雑音

風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン(防風スクリーン)を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照)。

風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。”

とあり、７ページでは、

“(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）

風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。

風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。

（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“

とある。

このような圧力は、外国でも起きています。

カナダ政府の HP には、

A Primer on Noise（Date modified:2014-10-2）と、Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results（Date modified:2014-10-30）があります。

A Primer on Noise もでは、超低周波音に記述もあったのですが、その部分は、Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results では、影を潜めています。

“風車騒音と健康に関する調査:結果概要”（ Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results）の問題点は、WTN（Wind Turbine Noise）と健康の関連を調査する。との方針にあります。

本来ならば、超低周波音での最大音圧との関連を調べるべきなのに、20Hz 以上を対象とする WTN との関連を調べても、上手くは行かないのです・

調査結果は、次の様になりました。

	WTN	睡眠障	心拍数	血圧	コルチ	不快感	知覚ス	片頭痛	耳鳴り	めまい
WTN		○	×	×						
睡眠障害	○									
心拍数	×									
血圧	×				△	○	△	△	△	△
コルチゾール				△		○	○	△	△	△
不快感				○	○		○	○	○	○
知覚ストレス				△	○	○		△	△	△
片頭痛				△	△	○	△		△	△
耳鳴り				△	△	○	△	△		△
めまい				△	△	○	△	△	△	

低周波音被害に関する日本の研究結果の項目は相互に関連しているが、ＷＴＮとの関連は薄いのです。

表-3　低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

問題として残るのは、“**屋外の WTN レベル**”です。

風車と計測地点の間には、様々な騒音源があります。これらの音が混在したものが録音されます。

風車からの成分を取り出すのは、極めて困難です。

統計的な関連性を調べるときの WTN の数値は、20H z 以上の聴覚で感知される部分を A 特性音圧レベルとして計算した数値です。残念ながら、この数値は、風車音のエネルギーの 7%以下の部分を表す数値であり、風車音の影響を示す指標にはなりえないのです。

超低周波音を無視して、WTN だけになった原因は、“疑似音”として、超低周波音を否定する論文の影響だと思われます。

Wind Turbines and Health

A Critical Review of the Scientific Literature

November 2014 - Volume 56 - Issue 11

McCunney, Robert J. MD, MPH; Mundt, Kenneth A. PhD; Colby, W. David MD; Dobie, Robert MD; Kaliski, Kenneth BE, PE; Blais, Mark PsyD

には、

The main problem with measuring low-frequency sound and infrasound in environmental conditions is wind-caused pseudosound due to air pressure fluctuation, because air flows over the microphone. With conventional sound-level monitoring, this effect is minimized with a wind screen and/or elimination of data measured during windy periods (less than 5 m/s [11 mph] at a 2-m [6.5 feet] height).36 In the case of wind turbines, where maximum sound levels may be coincident with ground wind speeds greater than 5 m/s (11 mph), this is not the best solution. With infrasound in particular, wind-caused pseudosound can influence measurements, even at wind speeds down to 1 m/s.12 In fact, many sound-level meters do not measure infrasonic frequencies.

“環境条件下での低周波音と超低周波音の測定における主な問題は、**マイクロホンの上を空気が流れるため、気圧の変動による風による疑似音です。**従来の騒音レベルモニタリングでは、風の強い期間(2m(6.5 フィート)の高さで 5m/s(11mph)未満)に測定されたデータを排除することで、この影響を最小限に抑えます。36 風力タービンの場合、最大騒音レベルが 5 m / s(11 mph)を超える地上風速と一致する可能性があるため、これは最善の解決策ではありません。特に超低周波音では、風速が 1m/s 以下の場合でも、風による疑似音が測定に影響を与える可能性があります。12 実際、**多くの騒音計は超低周波周波数を測定していません。**”

と書いてあります。

これは、計測された超低周波音が、誤って計測された疑似音だと主張しているのです。主張の内容は日本の“風雑音”とほぼ同一の内容です。

しかし、超低周波音は、マイクに風が当たらなくても録音されるのですから、風雑音でも、疑似音でもないのです。

取り除いてはいけない音なのです。

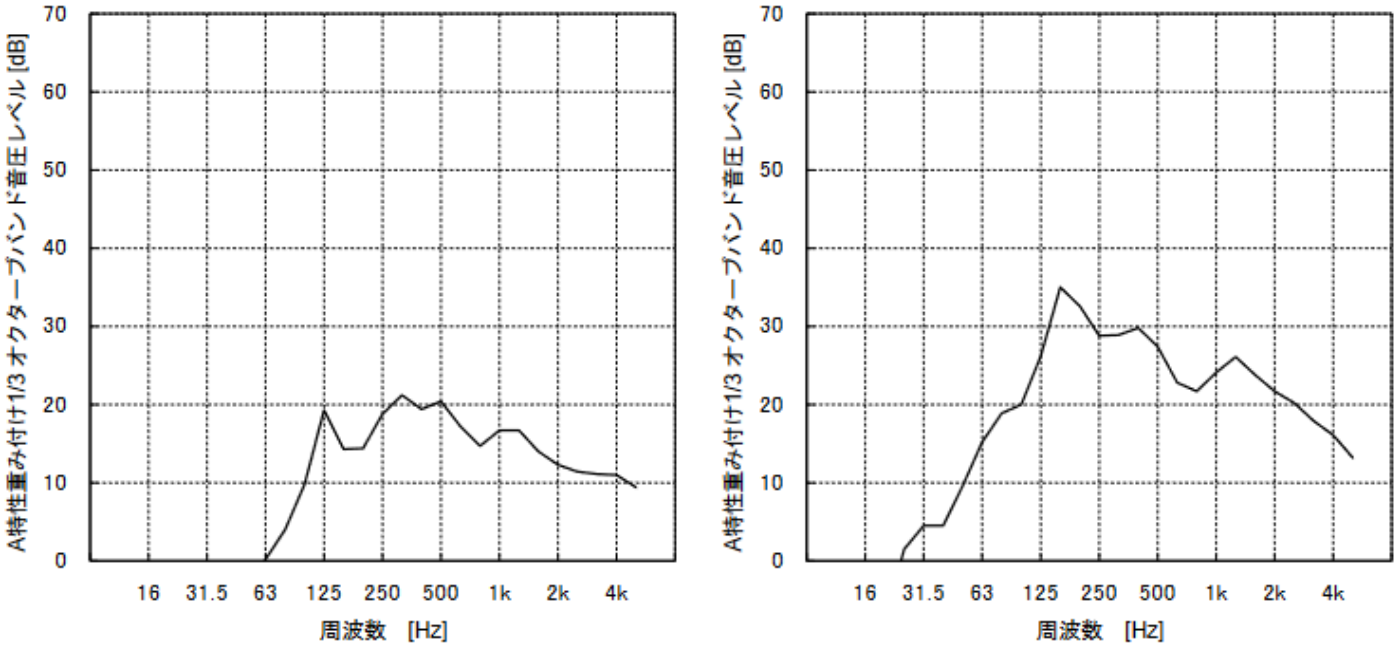
風雑音と除外音処理（A 特性）

環境省は、“風雑音”（超低周波音）が計測されてしまったら、“除外音処理”をしなさいと言っている。

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”の 33 ページでは、

B.4 周波数特性

残留騒音および風車騒音の周波数特性は、実測時間の 1/3 オクターブバンド音圧レベル
の周波数特性として作成する。測定例を図 B.1 に示す。



(a). 残留騒音の周波数特性　　(b). 風車騒音の周波数特性

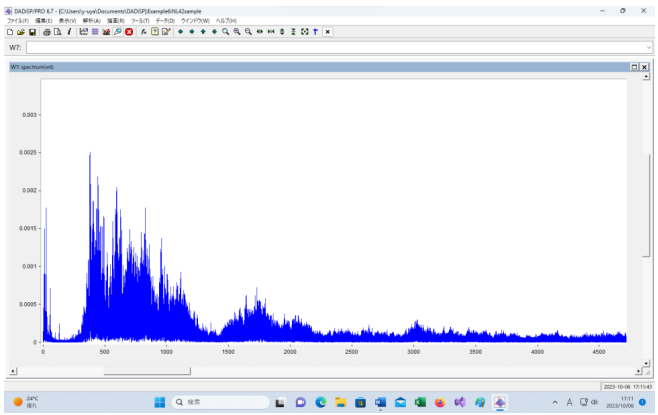
図 B.1 周波数特性の表示例

右側のグラフを見れば、20Hz 以下は 0 として扱われていることが分ります。

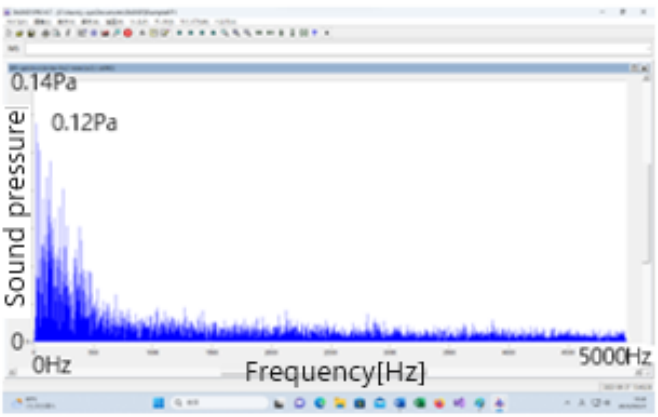
大型風車では、f=RZ/60＝0.5（Hz）程度ですから、上の方法で周波数特性を計算する場合には、完全に無視されます。

幾つかの騒音の周波数スペクトルは、

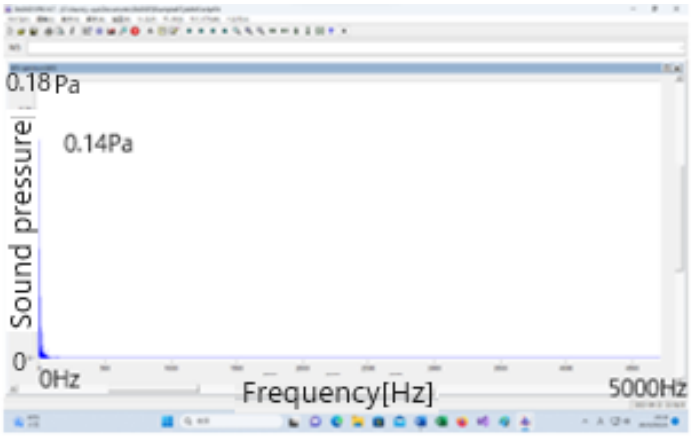
交通騒音（０～5000Hz）



工場騒音（０～5000Hz）



風車騒音（０～5000Hz）



風車音は、左端の細い線で表されています。

エネルギーの分布

表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

0～20Hz でのエネルギーの分布

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

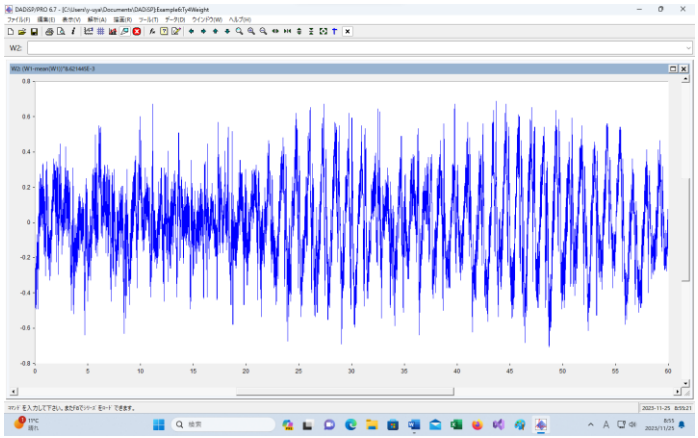
ですから、A 特性音圧レベルが低くても、原因不明の圧迫感や頭痛が起きるのです。

もちろん、風車を停止させれば解消します。これを、普通は風車音に原因がある。と判断するのですが、A 特性音圧レベルの数値で原因か否かを判断すれば、A 特性音圧レベルの数値は、あまりにも小さい値になっているので、原因不明となるのです。

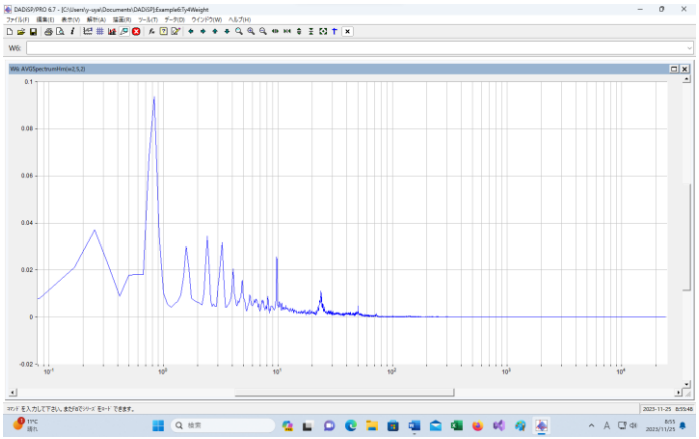
性能の良い精密騒音計を使う場合は、超低周波音が計測されてしまうので、防風スクリーンを付けて、10～13ｄＢくらい低い値になる様にする。
それでも、計測出来たときは“除外音処理”で消し去れと言っています。

除外音処理は、いろいろ考えられますが、具体例を１つ示します。

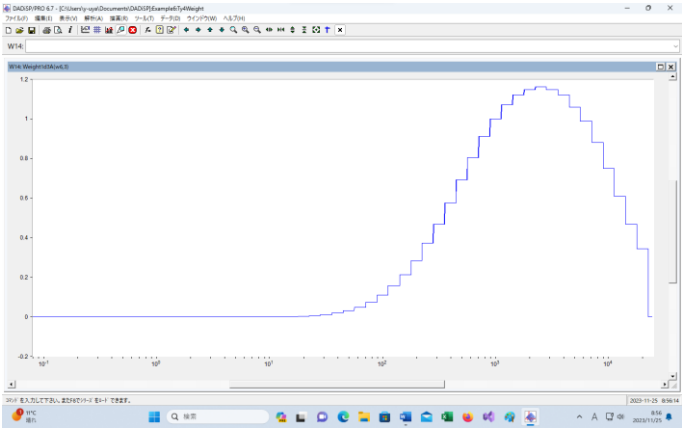
これは、計測された風車音のグラフ



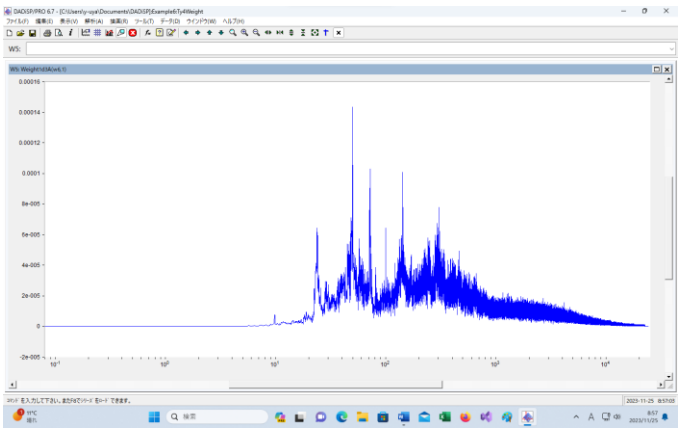
ハミング窓を使った周波数特性（Pa 表示）



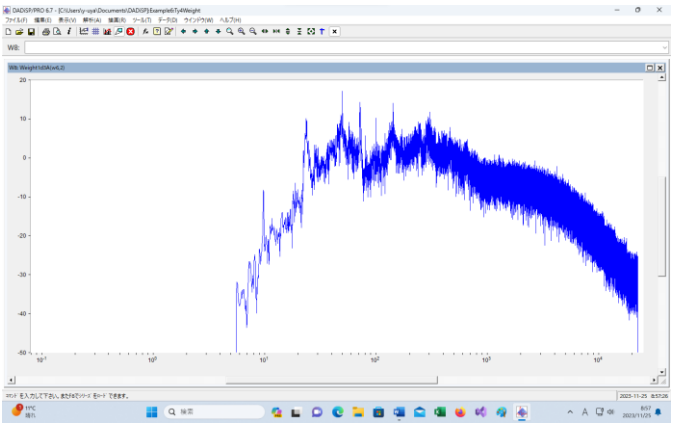
A 特性による窓関数



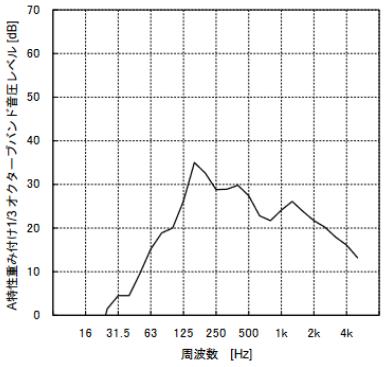
A 特性の窓関数を使った周波数特性（Pa 表示）



A 特性の窓関数を使った周波数特性（ｄB 表示）



左のグラフを周波数帯ごとに纏めたもの。



(b). 風車騒音の周波数特性

グラフから、超低周波音を消すのは簡単ですが、風車からの超低周波音そのものは消せません。“除外音処理”をした結果のグラフを見ながら、風車被害を考えれば、原因が不明になるのです。

はっきり言えば、原因不明になる様に、問題点を消し去ったグラフを作ったという事です。これが、環境省の指示する、“除外音処理”なのです。

大型化する風車の超低周波音は 0.5Hz の辺りで、最大音圧となる。音圧が高ければ圧迫感を覚え、不快になる。これに備えては、“超低周波音はすべて知覚閾値以下である。”と言って、超低周波音に関する訴えを門前払いする。

ここまで来ると、
“風車音には超低周波音の成分は存在しない。それは、除去すべき風雑音である。”
とはっきり言ってしまえば、楽になります。

風雑音を調べて、これは“風車からの超低周波音であり、除外できないものです。”と言ったら、環境省に怒られそうです。

防風スクリーンで 10ｄB～13ｄB くらい減らして測りなさいと言っています。室内では風が吹かないので、防風スクリーンは要りません。もし、屋外で防風スクリーンを付けて測った結果と、室内で防風スクリーン

を付けないで測った結果比較すれば、8H z 以下の超低周波音に関しては、室内での計測結果の方が大きな値となります。室内に於いて、風車の超低周波音による被害が判明してしまいます。

1/3 オクターブ解析ではなく、普通のデジタル信号処理の教科書にある方法で、周波数スペクトルを計算すれば、風車音と特徴が判明して、“風雑音”ではないことが明確になります。

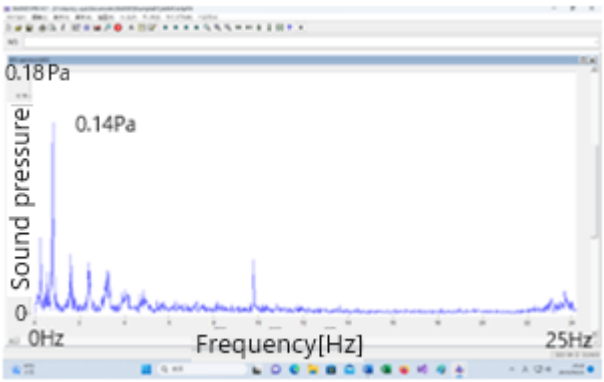


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

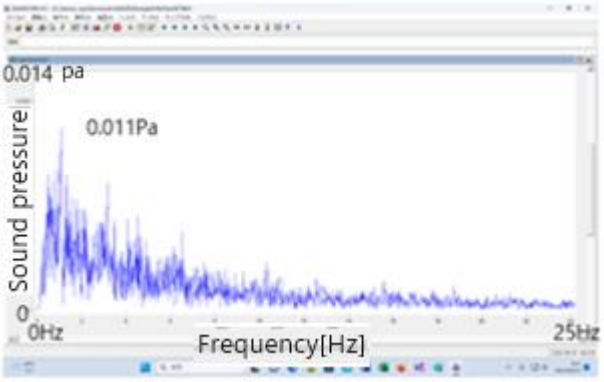


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz)；0.011[Pa](1.1Hz)

図３図４は 0～25Hz 範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音（最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)）と、近所の長尾神社の階段にマイクを置き風が当たる状態で計測した音（最大音圧 0.011[Pa] (1.1Hz)）との比較です。

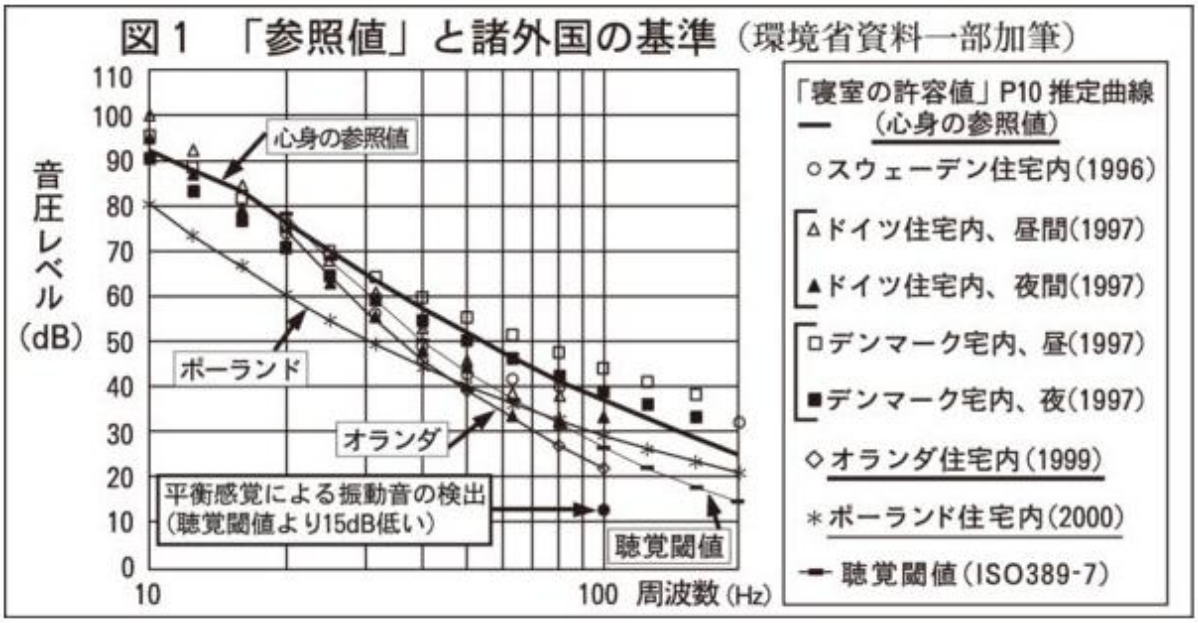
次の表３は風車の近くの“風雑音”の持つ規則性を示しています。図４から風車の無い場所では音圧が低く周波数に規則性が無い事が分ります。これらの“風雑音”の区別が必要になります。

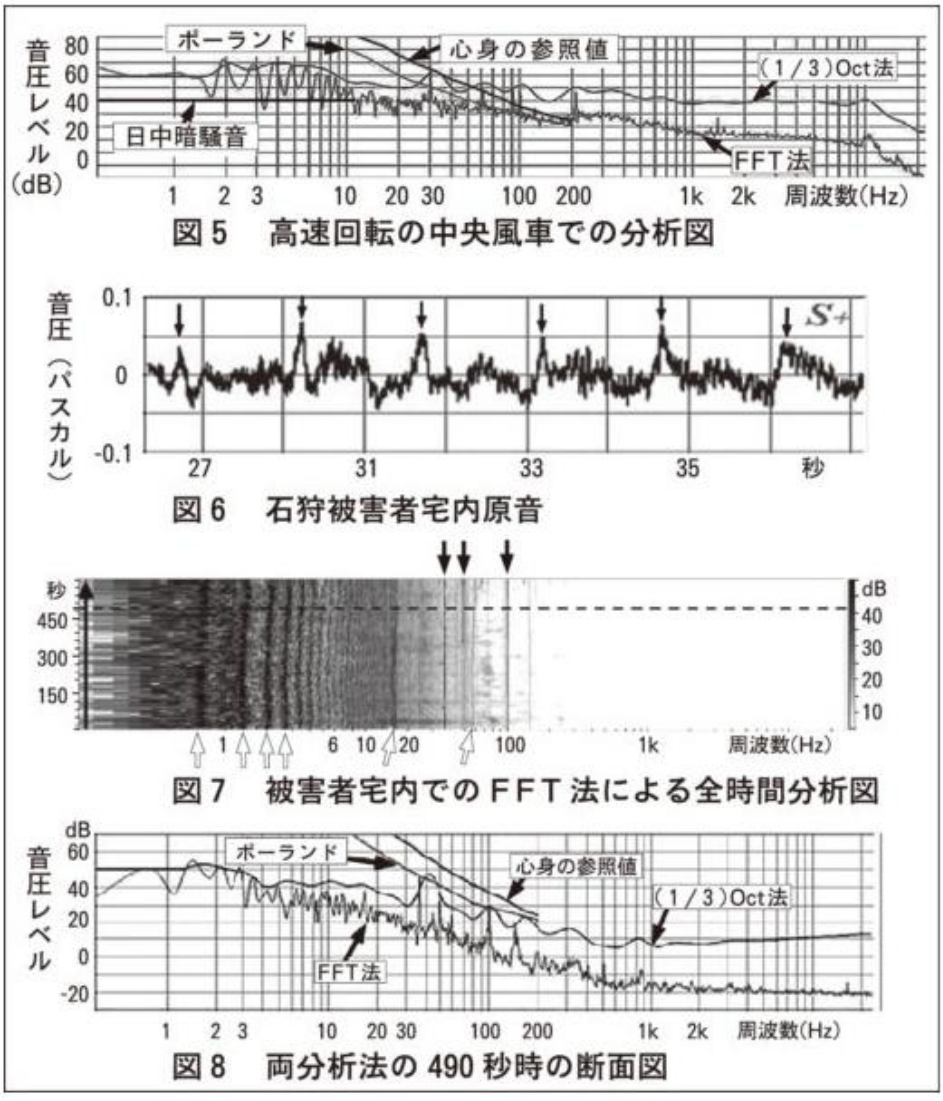
表３

Frequency at peak[Hz]	Rate(1)	Rate(2)	Sound pressure[Pa]
0.2667	1.0000		0.0560
0.5333	2.0000		0.0309
0.8167	3.0625	1.0000	0.1405
1.5833	5.9375	1.9388	0.0436
2.4167	9.0625	2.9592	0.0242
3.2167	12.0625	3.9388	0.0317
4.0000	15.0000	4.8980	0.0177
4.8667	18.2500	5.9592	0.0173
5.4667	20.5000	6.6939	0.0101
6.2667	23.5000	7.6735	0.0098

風車の振動が、この特別は周波数の音を出すことが説明で来ます。“風車超低周波音 2023”書いておきました、

長州新聞の記事：石狩風車の低周波音測定結果と健康被害　元札幌医科大学講師・山田大邦氏の論文より
2018 年 2 月 8 日：にあるように、





では、実際に健康被害を発症している人と低周波音との関係はどうだろうか。

石狩の既設風車のそばに住むある住民は、２００５年に風車が稼働し始めてから頭痛や耳鳴りで苦しみ、家を離れるとその症状が消えて眠れることから、全国の風車病の被害者の症状に似ていると訴えていた。そこでこの住民が頭痛や耳鳴りで目覚め、眠れなくなったときに、その場で音を測定した。

それが図６である。測定開始後３０秒前後の、原音の音圧を示している。風車の３枚の羽が回転する１・５４秒ごとに突発変動音があらわれている（折れ線グラフ上の矢印)。

図７は被害者宅内の音をＦＦＴ法で分析したものである。超低周波音領域で０・６５ヘルツを基本とした風車特有の倍音構造があらわれている（白抜き矢印)。倍音構造とは、風車の風切り音がもっとも音圧の強い周波数を基本としつつ、さらに大きな周波数でも連動して強い音圧があらわれることをいう。

図８は測定開始後４９０秒の時点での周波数特性をあらわしたものである。3分の１オクターブバンド法では、４０ヘルツのところに「参照値」に近い山があり、被害の原因になっている可能性がある。位置を正確に示すＦＦＴ法ではそれは３６ヘルツの音として検出されており、音圧は周辺周波数よりも３０デシベルも突出している。これは図７上端の黒矢印３個の中の左の矢印で示されている、風車特有の回転に連動しない純音の一つである。

３分の１オクターブバンド法で示されるポーランド基準と比較すると、この４０ヘルツの純音がオーバーしている。１００ヘルツの純音も危険領域となっており、ペナルティ５デシベルを加えると基準を超過するため、回転数の減少か停止が必要になる。

さらに超低周波音領域の一部では、静かな状態の「日中暗騒音」より１０デシベルも高く、静まりかえった夜間では大きな刺激になっている可能性がある。調査では、石狩既設風車の音は深夜、２㌔離れた場所にも届いていることがわかっており、敏感な人は風車病を発症する可能性がある。

分析結果から、風車の低周波音が健康被害を発生させていることは明らかである。しかもこの測定結果は、定格回転（１分当たり１４・３回転）よりも遅い１３回転であり、工場や車などの環境騒音の少ないはずの深夜の測定値である。なお、住宅だけでなく、風車から６５０㍍離れた工場の従業員の中にも同じような健康被害で退職している人が複数おり、退職すると症状が消えたそうだ。

風車停止で被害が改善

２００７年末、東伊豆の別荘地では１５００㌔㍗×１０基の風力発電が運転を始めた直後から、住民のなかで健康被害が続出した。この因果関係を調べるため、事故で風車が停止しているとき、団地自治会が独自に疫学調査を実施した【表１】。不眠、血圧、胸・腹・歯・鼻・耳痛などの症状が、風車が停止することで大きく改善したことがわかる。

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

風車からの距離（m）	500m未満	500～700m未満	700～900m未満	900m以上	生理的要素
不　眠	71	27	13	0	距離が離れると改善
血　圧	18	15	0	0	距離が離れると改善
リンパ腺の腫れ	6	2	0	0	距離が離れると改善
胸腹歯耳鼻痛	41	39	25	0	距離が離れると改善
煩い・イライラ	59	61	75	0	心理的要素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的要素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的要素も

注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人（改善率82%）。調査結果に転居（10戸）避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009）。

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車３基を停止すること、次に近い風車２基の回転数を４割減らすこと－－という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによって睡眠障害は７割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。

由利本荘市やにかほ市周辺には現在、200～300 基の陸上風車が稼働している。さらに国内最大級の洋上風力発電建設が国策として進行中で、事業者は三菱商事エナジーソリューションズに決定、1 万 4000 ｷﾛﾜｯﾄの風車を 65 基建てる工事は 2026 年 4 月に着工予定だ。秋田県沖には他にも洋上風力計画が目白押しで、さらに健康被害が広がるとの不安が広がっている。

そのなかでおこなってきた健康被害の調査だが、昨年 7 月までに 21 人（由利本荘市 17 人、にかほ市 4 人）の聞きとり調査をおこなった。その結果を表にまとめた【表参照】。

秋田県由利本荘・にかほ市の低周波音被害調査

	発電規模(kW)	基数	自宅までのおよその距離		主な症状
1	19.8	3	70ｍ	70代 男	小型風車騒音がうるさい
2	1,250 600	2	400ｍ	60代 男	耳鳴り、平衡感覚
3	19.2	6	110ｍ	70代 男	小型風車騒音がうるさい
	1,990	3	1ｋｍ		
4	3,200	13	2ｋｍ	30代 女	睡眠障害
5	19.5 ～19.8	3	75.105.250ｍ	30代 男	小型風車騒音がうるさい
6	1,990	3	1ｋｍ	60代 女	頭の中で太鼓がなっているようだ
7	3,000	17	2ｋｍ	50代 女	耳鳴り、頭痛
8	1,990	1	300ｍ	50代 男	シャドウーフリッカー
9	19.5	3	500ｍ	30代 女	小型風車騒音、耳鳴り
10	1,250 600	2	900ｍ	70代 男	近付くと頭痛
11	2,300	7	2.1ｋｍ	70代 女	睡眠障害
12	1,990	1	700ｍ	80代 女	睡眠障害
13	19.5	3	70ｍ	70代 女	小型風車による頭痛
14	1,250 600	2	550ｍ	80代 女	シャドウーフリッカー
15	1,990	1	1.7ｋｍ	70代 男	耳鳴りがひどい
16	1,990	1	2.5ｋｍ	60代 男	低周波音を感知
	2,300	7	3.5ｋｍ		
17	1,990	1	1.8ｋｍ	60代 女	シャドウーフリッカー
18	1,990	2	2.0ｋｍ	60代 男	睡眠障害、低周波音感知
	2,300	7	2.3ｋｍ		
19	特定できない			60代 男	近付くと気分が悪くなる
20	特定できない			60代 女	エコキュート、騒音
21	19.6	3	60.80.120ｍ	40代 女	耳鳴り、鼻血

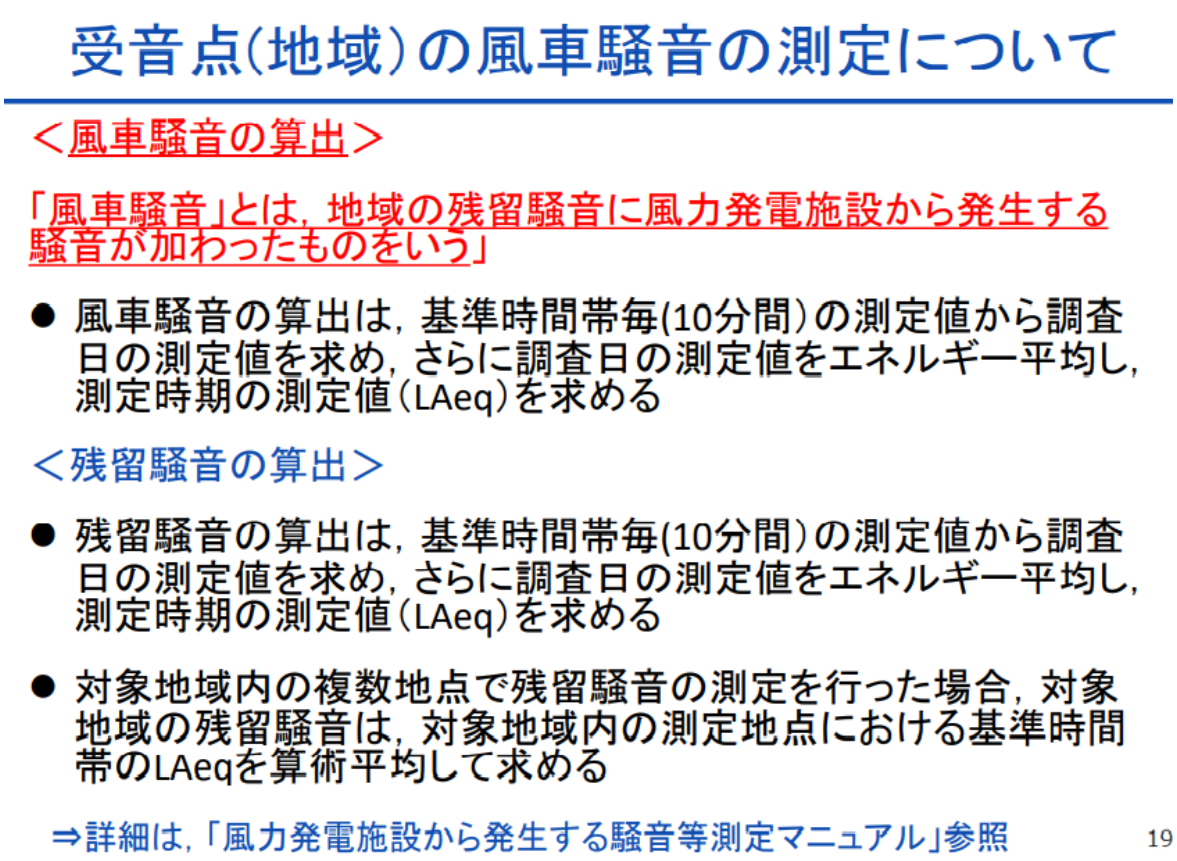
調査結果に見る問題点として、すべて風力発電建設後に、主に自宅内であらわれた症状であり、とくに低周波音を含む騒音によると思われる耳鳴り、頭痛、睡眠障害などが多い。シャドーフリッカーの訴えや、なかには子どもが鼻血を出した（風車が止まると鼻血も止まった）例もある。

自宅で症状が出る場合と、風力発電に近づく（概ね 3 ㌔以内）と症状が出る場合がある。
行政や事業者に訴えたり、医師の診断を受けたりしているが、個人の問題として扱われたり、診断書も書いてもらえない状況がある。全員が現在も症状を訴えている。

このような被害が出ている中で、必要なことは、アンケート調査の恣意的な解釈を止めることです。
様々な被害の原因を多変量解析で解明することです。計測機材も PC もソフトも、十分な準備が出来ています。
聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値をすり替える必要はないのです。英語を曲解する必要も無いのです。
圧迫感の要因として、最大音圧を考えることは適切なのか、風車が見えるから被害が大きいと考えるのか、風車が見えない場所では遮蔽効果で音圧は下がります。この数値を計測して、不快感の原因を突き止めることが出来る時代なのです。
困難だった室内での測定と解析も、カオス理論があるから大丈夫なのです。
時代は変わったのです。水平軸型の風車から、超低周波音が発生する理由も明確になったのです。先へ進むべきなのです。

感覚閾値と言うからには、音を感じる感覚器官による刺激の感知の他に、音の圧力を感じる器官による刺激の感知、音に関しての直接の反応ではないが、揺れを感じる器官での振動の感知も起こるので、住宅を介しての間接的に振動と言う形で風車音の影響を感知する。
これらを含めて、風車の影響の知覚として考えれば、超低周波音（0Hz～20Hz）の範囲に、住宅の固有振動数が含まれているので、家に住んでいる日本人は、風車音の影響を知覚して、大きな影響を受ける。
例えば、不眠となれば、車を運転するときの交通事故も起こります。睡眠が不足の学生は、授業中に居眠りします。学力が落ちれば、生涯賃金が減ります。
“20Hz 以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている”というのは、知覚閾値の値をその根拠と共に明示してから言うべき言葉です。もちろん、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の意味を定義してからにしなくてはなりません。

２．１９　受音点（地域）の風車騒音の測定について



被害を把握する気持ちや、風車音の影響を把握するつもりがまったく見られません。

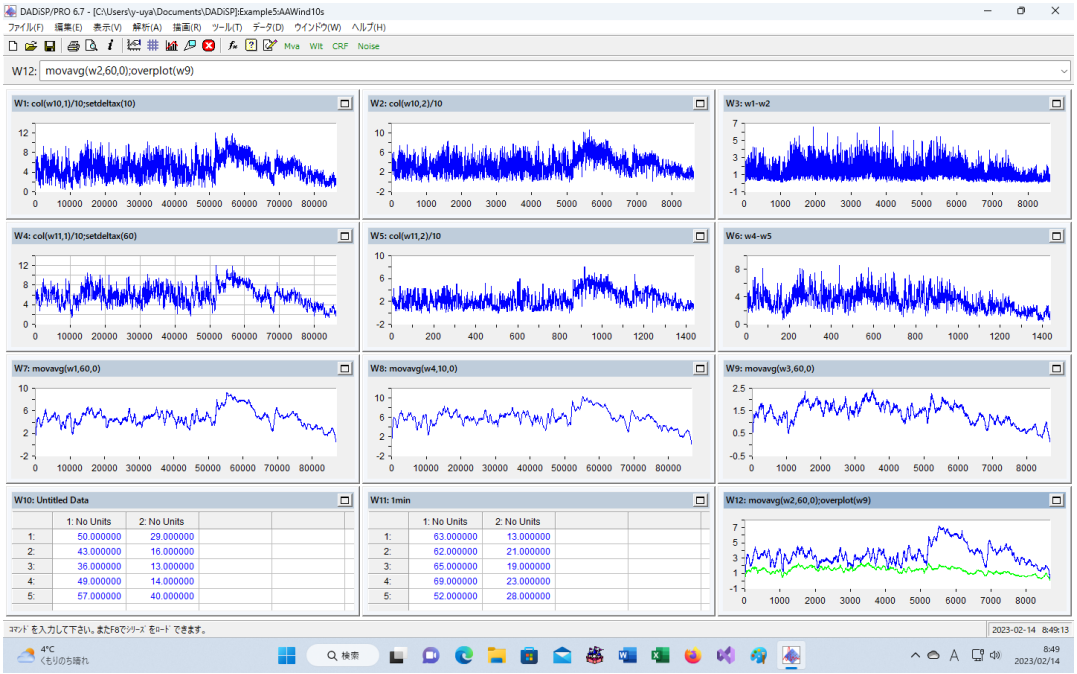
風車音は風の影響を受けるのです。風車音は指向性があり、音が大きくなる方向は風の向きで決ってきます。

次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2ｍの風速です。）
風速も風向も不安定なのです。

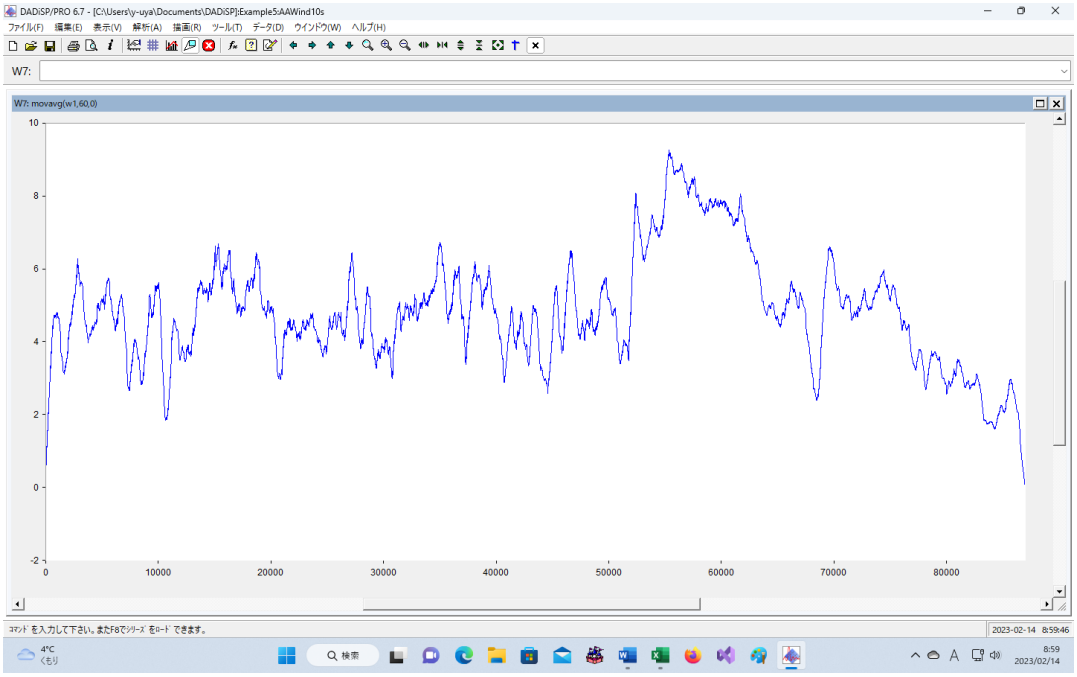
風の強さの変動：



（上のグラフは、2019 年1月１日の24時間分の記録です。）

W1（上段左）は、前 10 秒間最大瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w2（上段中央）は、前 10 秒間最小瞬間風速の値（10 秒ごと）、
w4（2段目左）は、最大瞬間風速（3秒間移動平均）の値（1分ごと）、
w5（2段目中央）は、最小瞬間風速(3 秒間移動平均) の値（1分ごと）、
です。

w1の移動平均をとると、



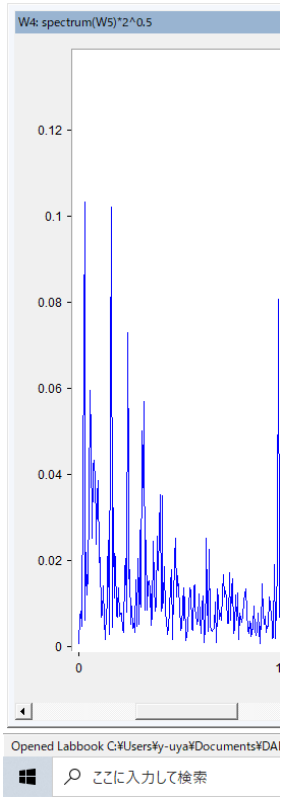
となります。

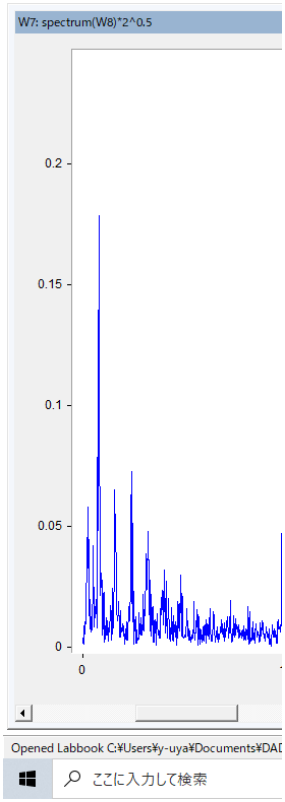
ピーク値は、2820，5640，6780，10070、15030、16310、18720、、、秒の辺りです。

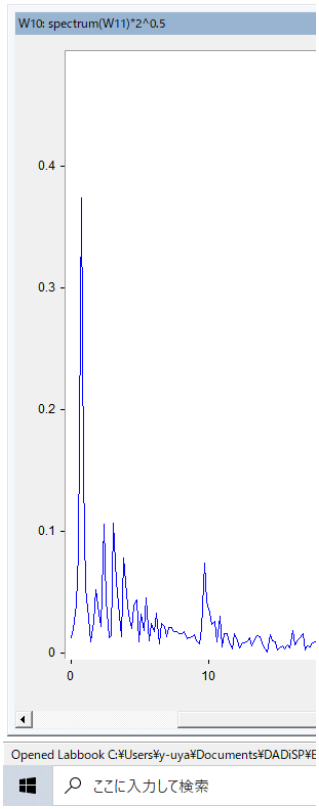
秒	分	経過（分）
2820	47	
5640	94	47
6780	113	19
10070	168	55
15030	251	83
16310	272	21
18720	312	40

上の表を見れば、1時間に1回くらい風車に強い風が当たることが分かります。

強い風が当たれば、揚力ベクトルが大きくなり、風車の振動も大きくなります。その結果風車から発生する音も大きくなります。千葉県館山市の観測結果では、風速や風向が激しく変化しているので、0.8Hz 辺りの周波数は微妙に変化しますが、音圧は大きく変動します。







0.104Pa　　0.175Pa　　0.37Pa

音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pz、強いときは 0.37Pa です。強いときは、平均の2倍程度の音圧になり、激しく変動します。

“風車騒音の測定”をすれば、被害の原因が判明するかのように見えますが、これでは、風車音の性質を20Hz以上の成分だけで評価し、その20Hz以上の周波数を持つ成分の中に、被害の原因を探すことになります。

これでは、“風車病”が原因不明の謎の病気である。との結論しか導けません。もちろん、謎の病気なら、原因が不明なのだから、誰がどのように責任を取るべきかの議論が出来なくなります。

“風車騒音（20Hz以上）”の測定を主張し、“風車音（0Hz以上）”の測定を無視することは、“風車病”の原因を特定したくない。あるいは、誰に責任があるのかを、明確にしたくない。と考えているように見えてしまいます。

図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

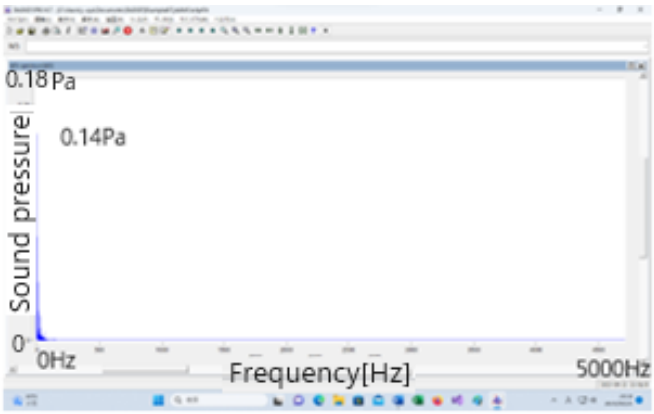


表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

図５．風車音（館山風の丘）０～25Hz

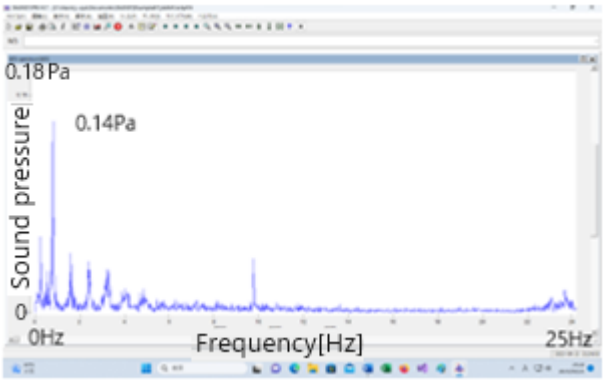
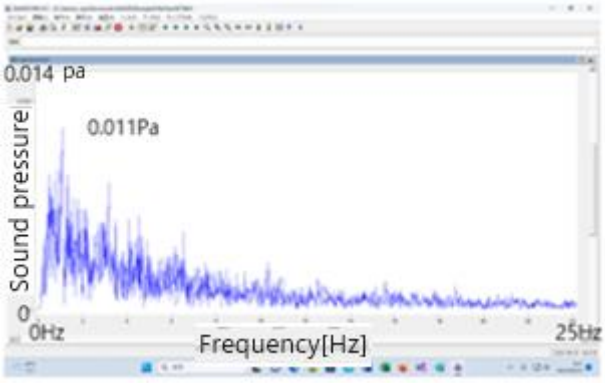


図６．長尾神社の音　０～25Hz



実際に、問題が起きているのです。原因を解明し、解決策を見つける為に、科学的知識を使うべきです。

被害は室内で起きる場合がほとんどです。計測は、風車音が原因かどうかの決定と、被害状況の裏付けとなる数値を得るためには、精密騒音計２台と振動レベル計１台が必要です。

屋外と室内に精密騒音計を設置し、さらに室内には振動レベル計も置いて、同時計測をする必要があります。計測結果は最も詳細なデジタルデータの形で記録されなくてはなりません。もちろん、使用するマイクと精密騒音計は最も低い周波数まで計測できる物を使う必要があります。

高精度の計測結果がデジタルデータとして残っていれば、コンピュータを使えば、町田氏の説明している数値を計算するのは、簡単なことです。

私が計測した風車はそれほど大きくはない。昔、日本でも風車を開発していた頃に、東京で Wavelet 解析について話をしたことがありました。

日本で風車を開発していた技術者の方は、“ドイツの風車は音が静かだ。”と言っていました。発電機作り方やブレードの作り方が良くなれば、可聴域の音はそれほど増えません。

ブレードに掛かる揚力は増加します。大型化した風車は大きな電力を生み出せるように、発電機に大きな力を伝える必要があります。

ブレードが長いと、先端スピードを上げすぎると、空気の性質を粘性流体として扱う必要が出てきます。一般的に回転数は落ちてきます。揚力は増加します。

塔に掛かる回転モーメントは増加します。結果として、風車音はより低い周波数に於いて、最大音圧となるのです。そして、エネルギーの分布は、より低周波音の方に集中します。

風車騒音として、A 特性音圧レベルの計算をしても、風車音の問題から離れてゆくだけです。

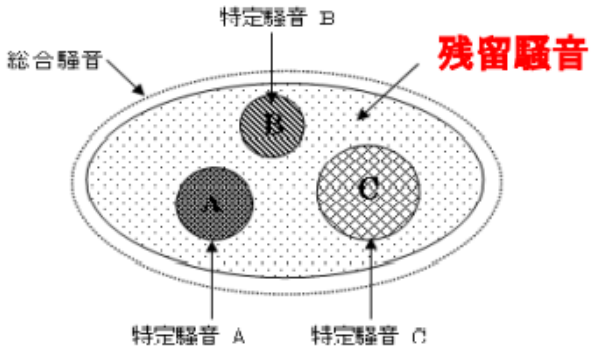
町田氏が示している算出方法の欠点は、

風速によって音圧が変化することを考慮していない事と風車音の指向性を考えていないことです。ある地点での被害は、その地点から見て風車がどちらを向いているかによって変わってくるのです。

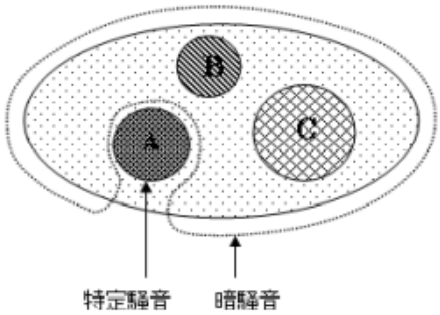
被害を防ぐ気があるなら、風車音の性質や、風車音が発生する仕組みを理論的に解明し、その理論が計測結果と一致しているか否かの検証が必要です。これが無いと、何をどのように計測すれば、被害の程度を判断できる数値が得られるかが分りません。

(参考)暗騒音と残留騒音

- 一般に，騒音の評価においては，評価すべき音のすべての騒音である「暗騒音」を基に比較等を行う
- 風車においては，静穏な地域に設置されることが多く，まれに通過する自動車等の一過性の騒音により，暗騒音のレベルが大きく変化することから，評価にあたっては，これらの一過性の特定できる騒音全てを除いた「残留騒音residual noise」を基に評価を行う



残留騒音



暗騒音

20

Q. 暗騒音という言葉を聞きましたがどういう意味でしょうか？

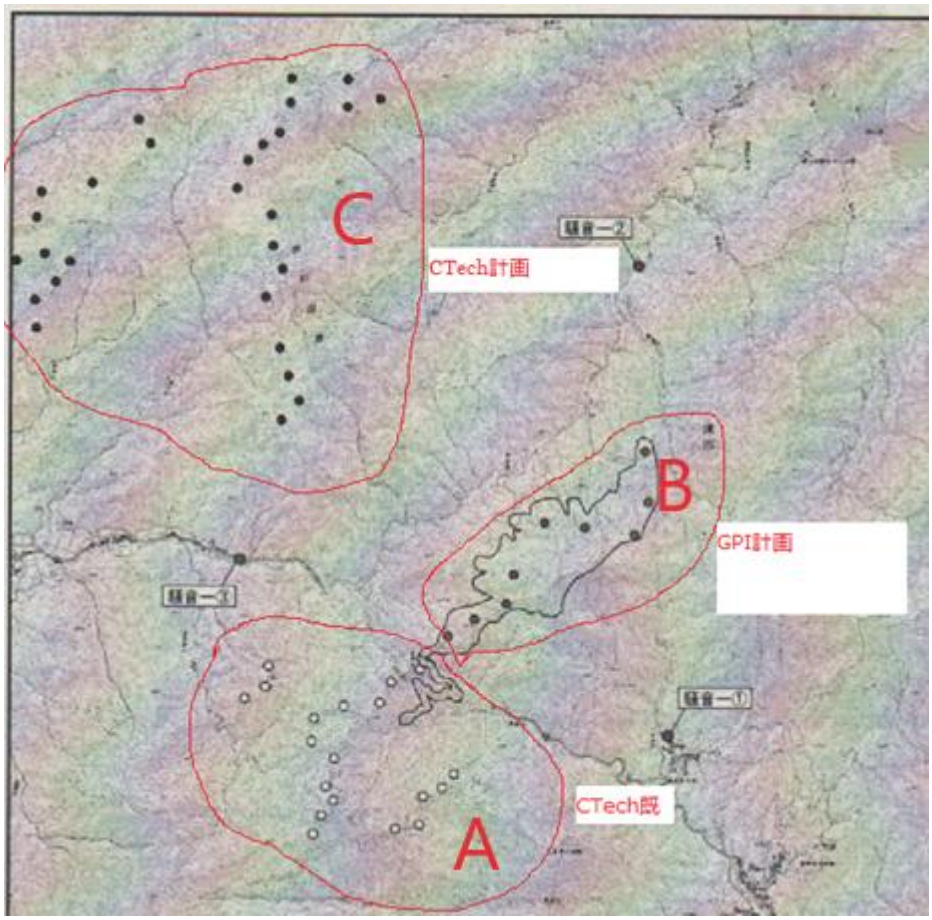
A. 「暗騒音」とは、特定の発生源からの騒音を計測する際に、発生源以外から発生している騒音すべてのことを意味します。
計測しようとする騒音以外の音が全く発生していない環境は、通常あり得ません。そのため特定の騒音を測定する際には、「測定対象の騒音」と合わせて、同じ環境で測定対象の騒音が発生していない状態の「暗騒音」を測定する必要があります。

複数の騒音は互いに干渉しあうため、特定の発生源からの純粋な騒音の値を正確に導くには、それぞれの値を用いて補正を行う必要があります。
単純に「測定対象の騒音」－「暗騒音」とはならないため注意が必要です。

町田先生も、少し間違えたようです。
“一般に、騒音の評価においては、評価すべき音のすべての騒音である「暗騒音」を基に比較等を行う”と書いているが、
“一般に、騒音の評価においては、評価すべき音**以外の**すべての騒音である「暗騒音」を基に比較等を行う”
と書くべきでした。(間違いはだれにでもあります。)

問題は、そこではありません。
暗騒音から、“一過性の特定できる騒音”を除いた“残留騒音”となっているところです。
“一過性ではないが特定できる人工音”(他の会社の既設風車の音)は、“残留騒音”に含めるのか、それとも、既設の風車音を暗騒音から除いたものを残留騒音とするのかが、問題になります。

この文面通りならば、他の会社の既設風車の音は、特定はできるが、一過性ではない。ので、除去する対象とはならない。と理解できます。これは、とても困った事態を引き起こします。



三重県の例ですが、A 群の風車はすでに建設されています。A 群の風車を建てるときは、町田氏の定義通りの暗騒音と残留騒音で問題はない。では、その後 B 群の風車を建てるときには、暗騒音には、A 群以外の騒音に加えて、A 群の風車からの音も届きます。

指針値の増加に関しては、
“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”で、
③ 残留騒音（residual noise） ： ある場所におけるある時刻の総合騒音のうち、すべての特定騒音を除いた残りの騒音。本マニュアルでは、地域の静けさを表わす騒音

レベルのベースに含まれる準定常的な暗騒音は残留騒音に含める。したがって、残留騒音でも音源が識別できる場合がある（遠方の、波音、川音、道路交通騒音等)。なお、測定地点周辺に既設の風力発電施設がある場合は、これらの施設から発生する騒音を除いた騒音を残留騒音とする。

となっていたので、後ほど修正します。

A群の風車は、昼も夜も稼働しているので、一過性の音ではないのです。特定はできるが、一過性ではないので、取り除く対象ではありません。この部分は、残留騒音に加算されます。

その後、C群の風車を建設するときは、特定はできるが、一過性ではない音として、A群とB群の風車音が、残留騒音に加算されます。さらにD群の風車を建てるときも同様です、残留騒音がどんどん大きくなります。

指針値は、残留騒音+5ｄBですが、残留騒音がどんどん大きくなれば、指針値もどんどん大きくなります。

一度、風車群が出来れば、無制限に増えてゆくのです。極端に言えば、毎日1基ずつ増やせば、指針値である、残留騒音+5ｄBは絶対に超えないのです。被害もどんどん増えます。

指針値の変化を示すために、単純化したモデルを作ると、次の様になります。

年		残留騒音	残留騒音+5ｄB	指針値
2020	風車無し	33	38	40
2021	A群建設開始時	33		40
2022	風車A群19基稼働後	39	44	44
2023	B群建設開始時	39		44
2024	風車A群19基+B群9基稼働後	43	48	48
2025	C群建設開始時	43		48
2026	風車A群19基+B群9基+C群30基稼働	47	52	52
2027	D群建設開始時	47		52
2028	風車A群19基+B群9基+C群30基+D群20基稼働後	50	55	55

指針値は、どんどん大きくなります。風車は、2年おきに建設すれば、いくらでも作れるのです。

諸外国では、絶対的な基準値が設定されている事も多く、その値を超えることは許されないので、上の例でいえば、C群の建設が許されないこともあるし、場合によってはB群の建設が許されない場合も考えられます。日本には、絶対的な規制値は無いのです。

風車騒音の特徴

＜立地環境と周辺環境＞

- 静穏な地域に設置されることが多いため，風車騒音レベルは比較的低くても，気になりやすい特徴がある

＜発生する音の特徴・性質＞

- 風力発電施設のブレード（翼）の回転に伴い発生する音は，場所や風向等によっては，シュー，シューといった振幅変調音（AM音，スウィッシュ音（Swish））として聞こえる
- 機種によっては，内部の増速機や冷却装置等から，ウィーン，あるいはブーンといった純音性の音（純音性成分）が発生

⇒ **騒音レベルは低いが，より耳につきやすく，わずらわしさ（アノイアンス）につながる場合がある**

21

ここでは、“静穏な地域に設置されることが多いため、風車騒音レベルは比較的低くても、気になりやすい特徴がある”の部分に関して考えます。

風車が稼働してから、一か月も経てば、その地域は、“静穏な地域”ではなくなります。

そんな地域に、都会から引っ越してきた人は、風車音が気にならないのでしょうか？

伊豆の別荘地の話を再確認します。

２００７年末、東伊豆の別荘地では１５００ｷﾛﾜｯﾄ×１０基の風力発電が運転を始めた直後から、住民のなかで健康被害が続出した。この因果関係を調べるため、事故で風車が停止しているとき、団地自治会が独自に疫学調査を実施した【表１】。不眠、血圧、胸・腹・歯・鼻・耳痛などの症状が、風車が停止することで大きく改善したことがわかる。

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

風車からの距離（m）	500m未満	500～700m未満	700～900m未満	900m以上	生理的要素
不　眠	71	27	13	0	距離が離れると改善
血　圧	18	15	0	0	距離が離れると改善
リンパ腺の腫れ	6	2	0	0	距離が離れると改善
胸腹歯耳鼻痛	41	39	25	0	距離が離れると改善
煩い・イライラ	59	61	75	0	心理的要素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的要素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的要素も

注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人（改善率82%）。調査結果に転居（10戸）避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009）。

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車３基を停止すること、次に近い風車２基の回転数を４割減らすこと――という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによって睡眠障害は７割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。

別荘ですから、普通に考えれば、都会に住んでいる人の別荘です。都会の喧騒の中で暮らしてきた人が、被害を訴えます。風車稼働後には、“静穏”ではなくなっている地域です。昼も夜も風車音がします。静穏ではない場所に住んでいるのです。その人たちが、悲鳴を上げているのです。

風車を建設する前に、“静穏であった”という事は、どんな人間に対して、何時まで影響を及ぼすのでしょうか？風車稼働後に引っ越してきた人に対しては、その地域が過去に“静穏”であったことが影響するのでしょうか？

普通に考えれば、“風車騒音レベル”が風車音による被害を評価できる数値ではない。という事になります。風車音の特徴を考えれば、当たり前です。再度、周波数スペクトルを確認しましょう。

図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

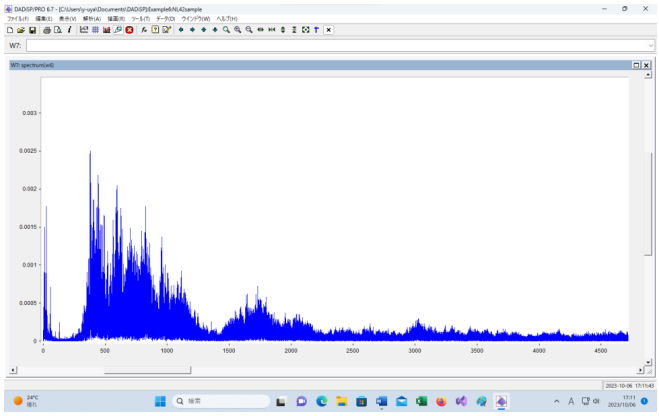


図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz

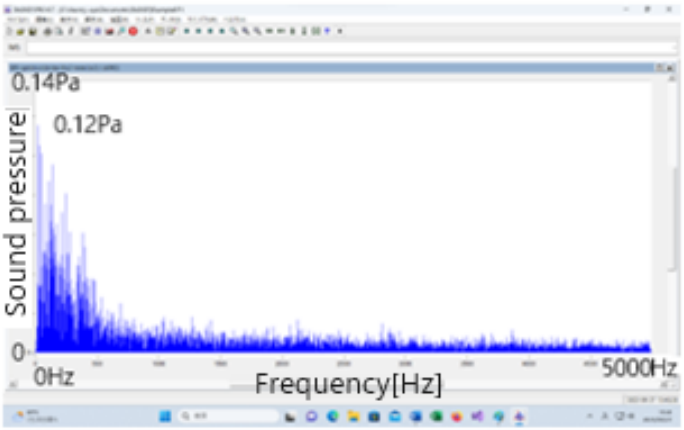


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

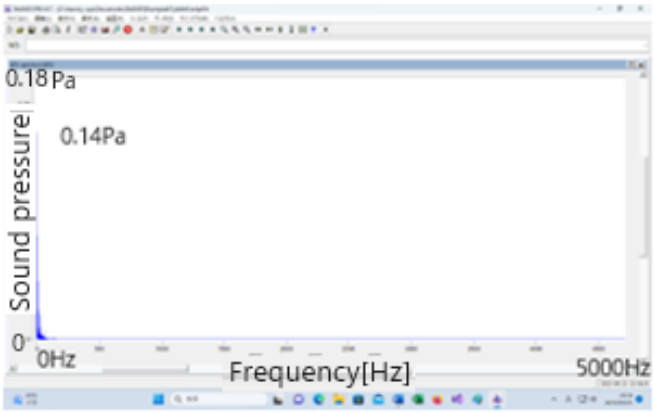
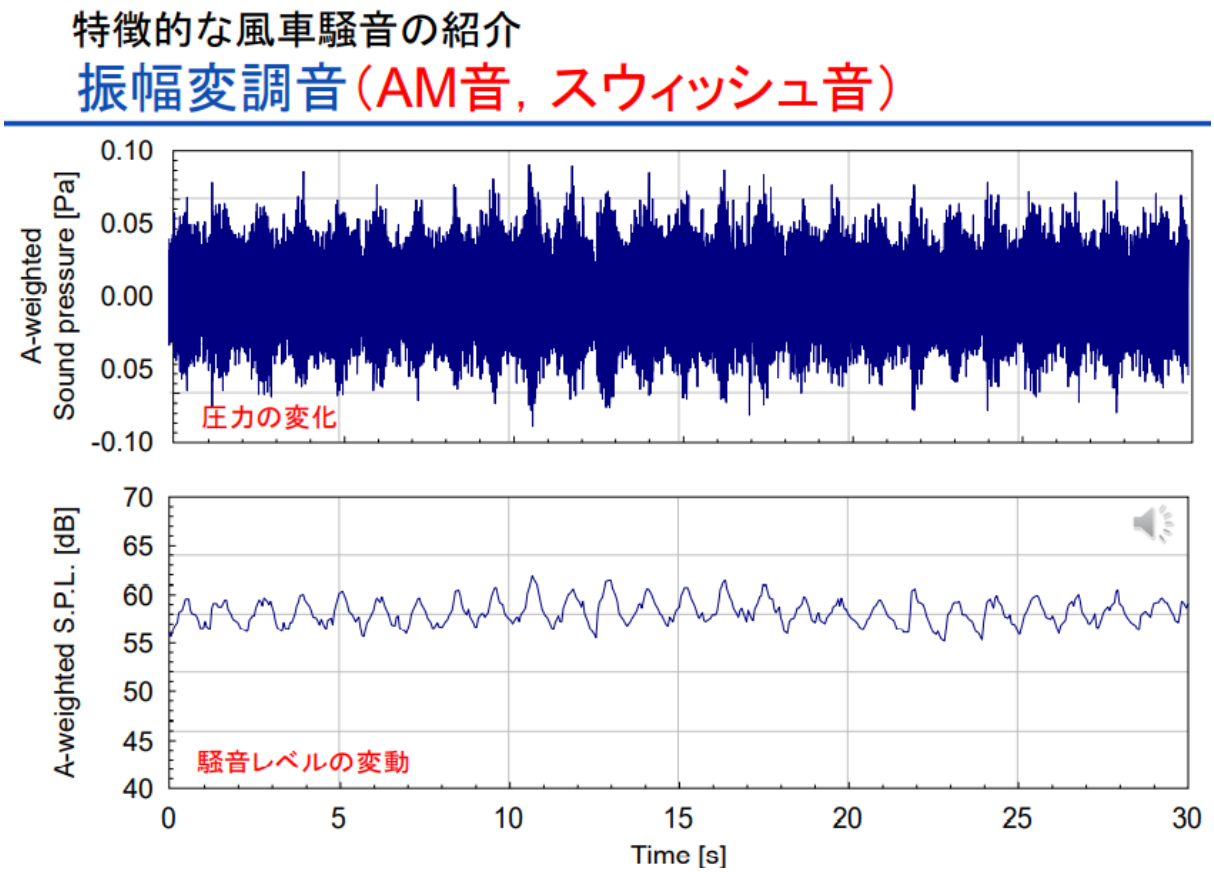


表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

風車音には、風車騒音レベルの対象となる音は、ほとんど含まれていないのです。風車音のほとんどは、超低周波音なのです。ですから、“風車騒音レベル”が小さくても、風車音による被害が発生するのは当然のことです。

振幅変調音（スウィッシュ音）の原因



このグラフには、計測方法の問題があります。

2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究では、地上に於いて計測しています。

写真3　広帯域音圧レベル計を使用した風車騒音の測定の例

計測例としては、

風力発電施設：**W02**　分析時間帯：2011年1月11日22:00～1月12日06:00（8時間）

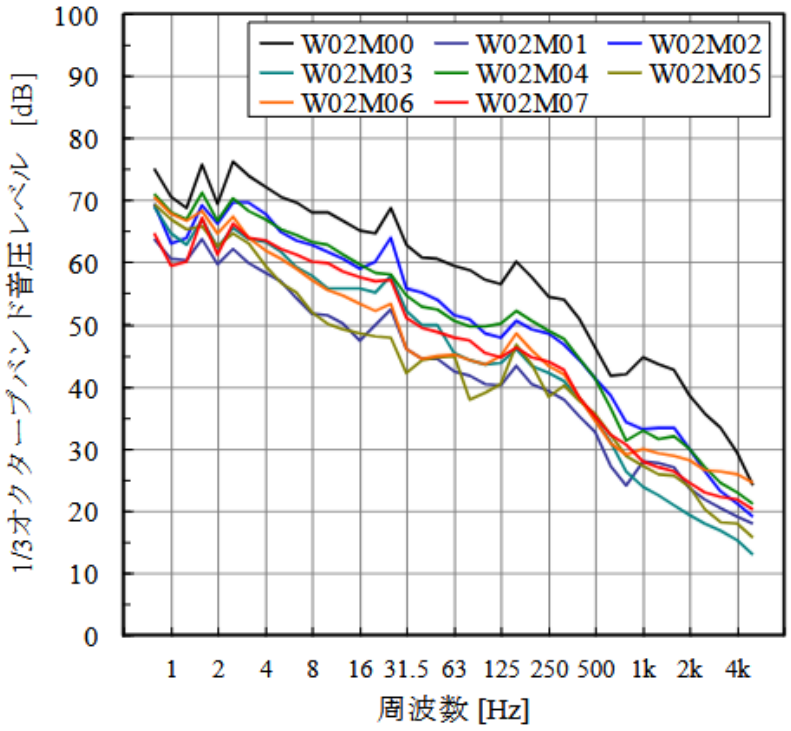


図2-1　各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

表2　**W02**周辺における等価音圧レベル

測定点	距離 [m]	等価音圧レベル [dB]		
		L_{Aeq}	L_{Ceq}	L_{Geq}
M00	136	56	71	80
M01	416	40	54	64
M02	240	48	64	75
M03	409	42	59	69
M04	328	49	63	72
M05	464	42	54	61
M06	397	44	57	66
M07	561	43	60	70

備考：
距離は最近接風車までの距離。
M00は参考としての基準点。

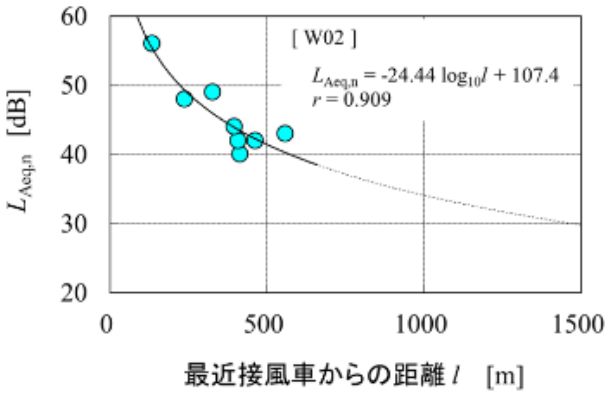
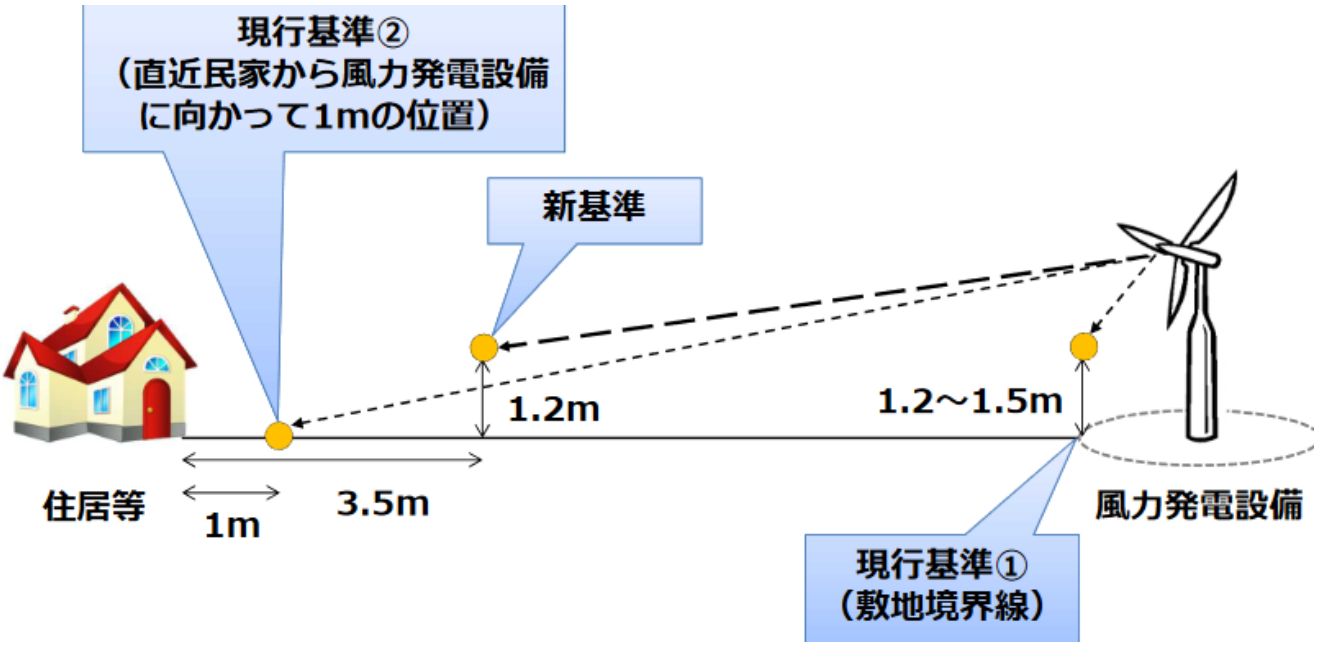


図2-2　等価騒音レベルL_{Aeq}の距離分布

備考：
M00～M07の測定値から作成。

風車からの距離は、136～561mになっています。

最近は、家から少し離して、地上 1.2mの場所に精密騒音計を置いて測る場合が多い。



Swish 音の原因としては精密騒音計の置き場所が問題になります。

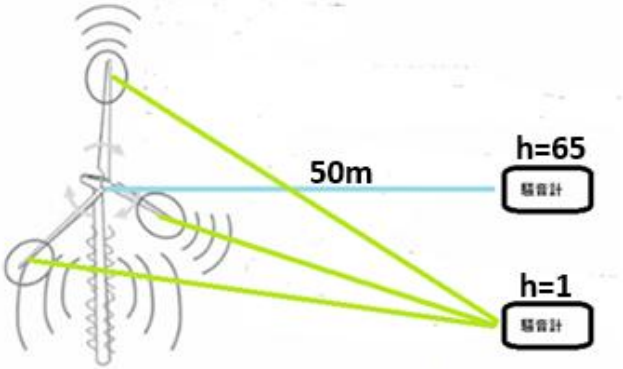
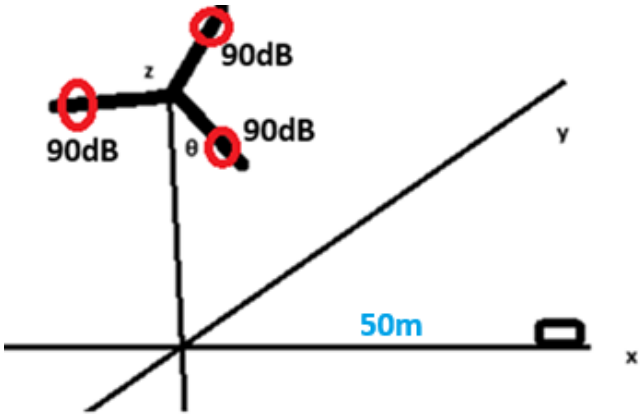


図 1 風車騒音の特徴模式図



「房総かぜの丘」の風車は、タワー高さ　６５m、ブレード直径　７０．５m
これを参考にして、音源は、ブレード上で回転軸から 30m離れた場所にあるとする。
どのブレードからも、500Hz で音響パワーレベル LW=90dB の音が出るとする。
騒音計は、風車から水平距離で 50mの場所に置くとする。

音圧レベル LP と音響パワーレベル LW の関係は、点音源で同心球状に波面が広がるとして、

$$L_p = L_W + 10\log_{10}\frac{1}{4\pi r^2}$$
$$= L_W - 10\log_{10} 4\pi r^2$$
$$= L_W - 10\log_{10} r^2 - 10\log_{10} 4\pi$$
$$\approx L_W - 20\log_{10} r - 11 \qquad \text{(式 1)}$$

となるので、

$$L_{pi} = L_{Wi} - 20logr - 11$$

として計算する。

いくつかの音源が有るとき、それらの音圧レベルの音を合成した音の音圧レベルは次の式で計算できる。

$$\Sigma L = 10 \cdot \log_{10}(10^{L1/10} + 10^{L2/10} + \cdots\cdots + 10^{Ln/10})$$

ここで、

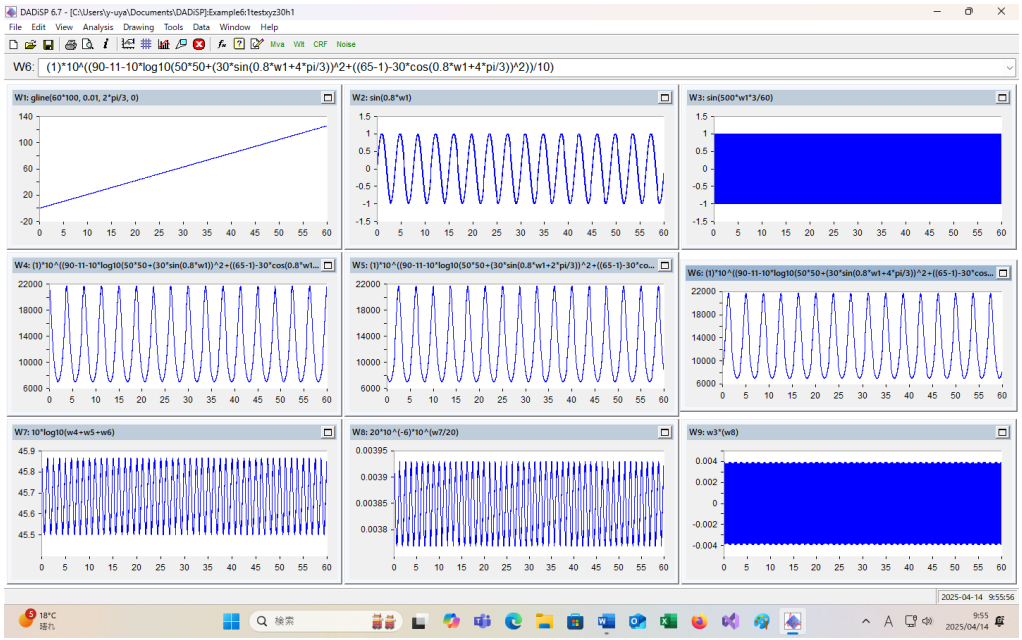
ΣL　：合成された低周波音圧レベル(dB)

Ln　：発生源 n に対する低周波音圧レベル(dB)

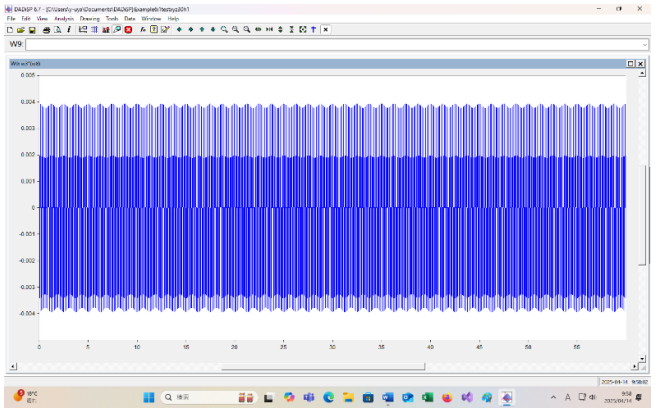
合成された結果、200Hz の音が計測されて、その音圧を p としたとき、

$$\sum L_i = 20 * \log\left(\frac{p}{20 * 10^{-6}}\right)$$

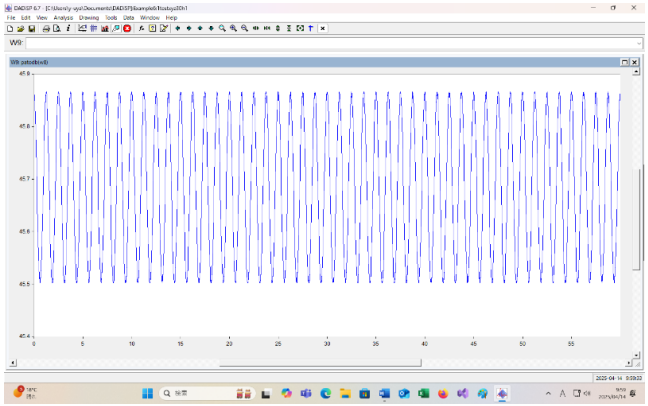
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 1 m で、ブレードの回転面が y z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）



音圧レベルの変動（デシベル値）



音圧レベルは、45.5～45.9ｄＢでの変動になります。

計算式は、

W!：gline(60*100, 0.01, 2*pi/3, 0)

W2：sin(0.8*w1)

W3：sin(500*w1*3/60)

W4：(1)*10^((90-11-10*log10(50*50+(30*sin(0.8*w1))^2+((65-1)-30*cos(0.8*w1))^2))/10)

W5：(1)*10^((90-11-10*log10(50*50+(30*sin(0.8*w1+2*pi/3))^2+((65-1)-30*cos(0.8*w1+2*pi/3))^2))/10)

W6：(1)*10^((90-11-10*log10(50*50+(30*sin(0.8*w1+4*pi/3))^2+((65-1)-30*cos(0.8*w1+4*pi/3))^2))/10)

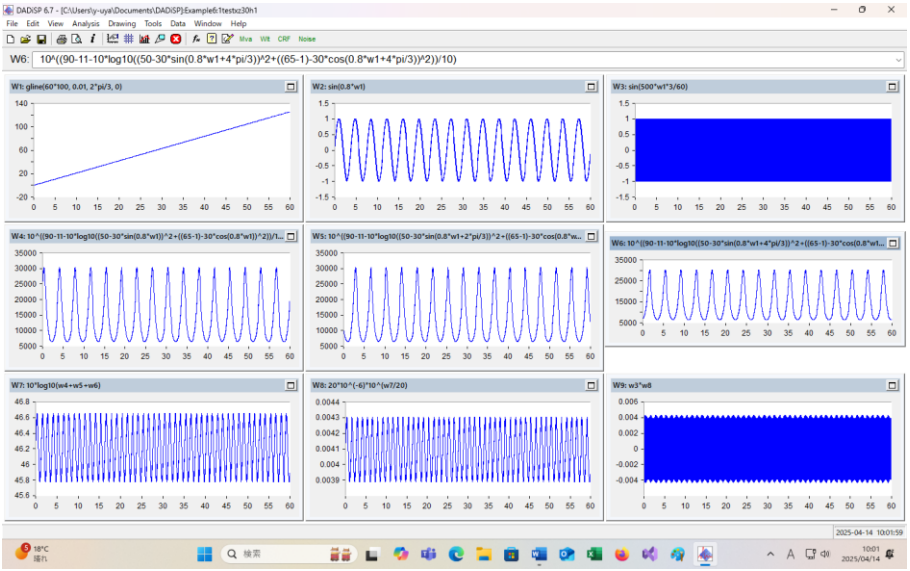
W7：10*log10(w4+w5+w6)

W8：20*10^(-6)*10^(w7/20)

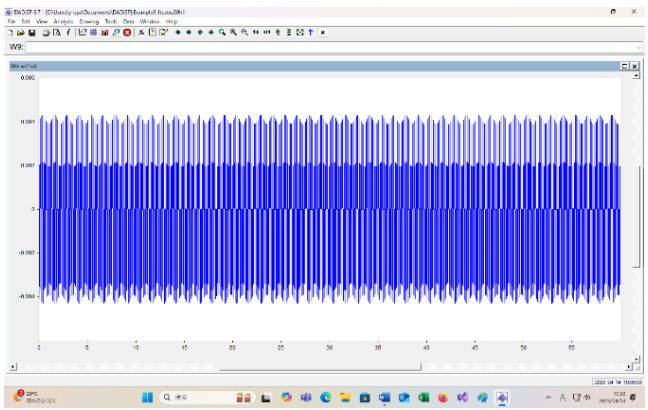
W9：w3*(w8)

となっています。

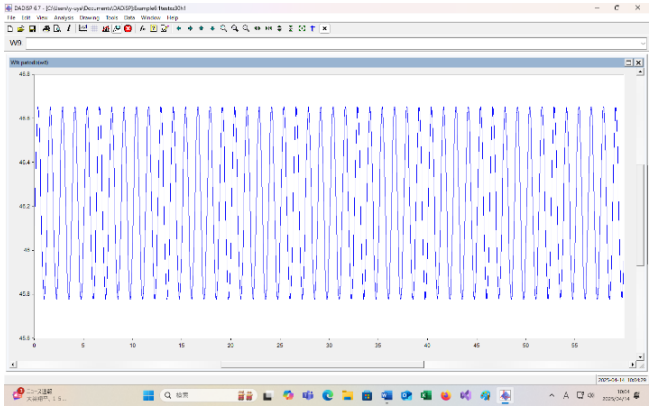
風車と騒音計の水平距離が 50ｍで、騒音計の場所が高さ１ｍで、ブレードの回転面がｘ ｚ平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

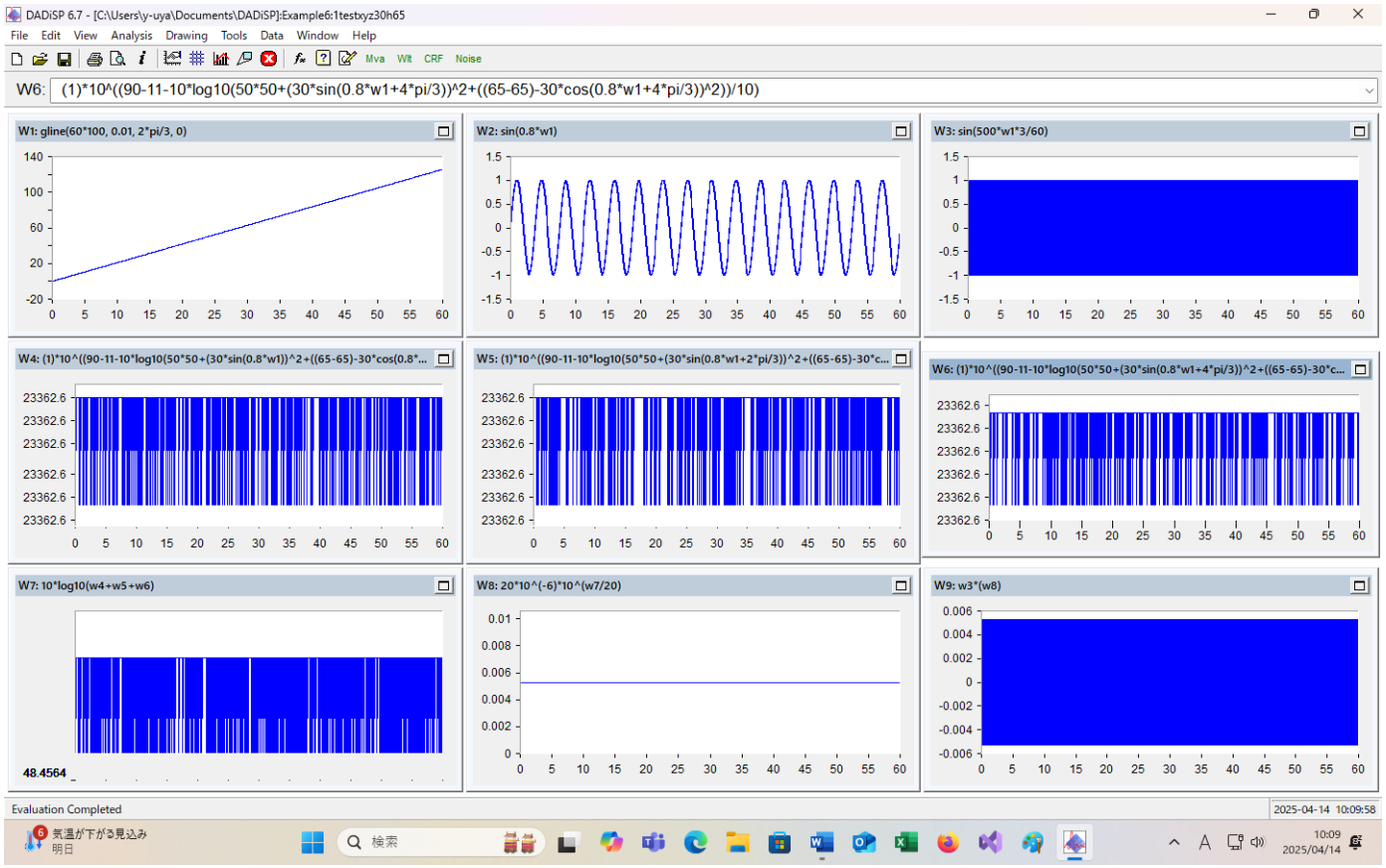


音圧レベルの変動（デシベル値）

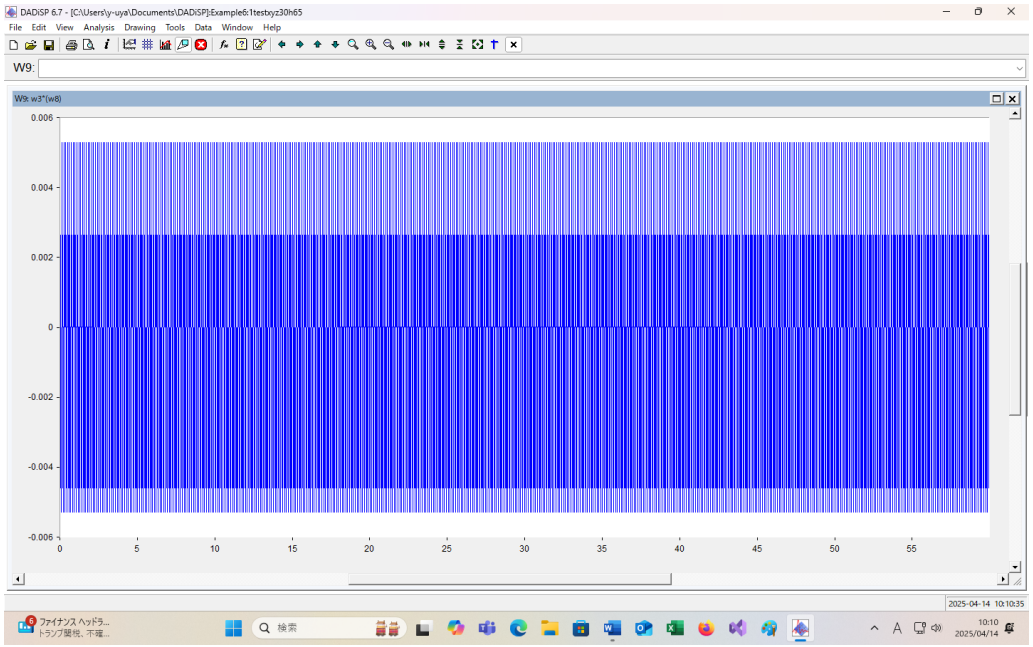


音圧レベルは、45.8～46.7ｄＢの変動になります。

風車と騒音計の水平距離が 50mで、騒音計の場所が高さ 65mで、ブレードの回転面がｙｚ平面にあるときは、次の様になり、

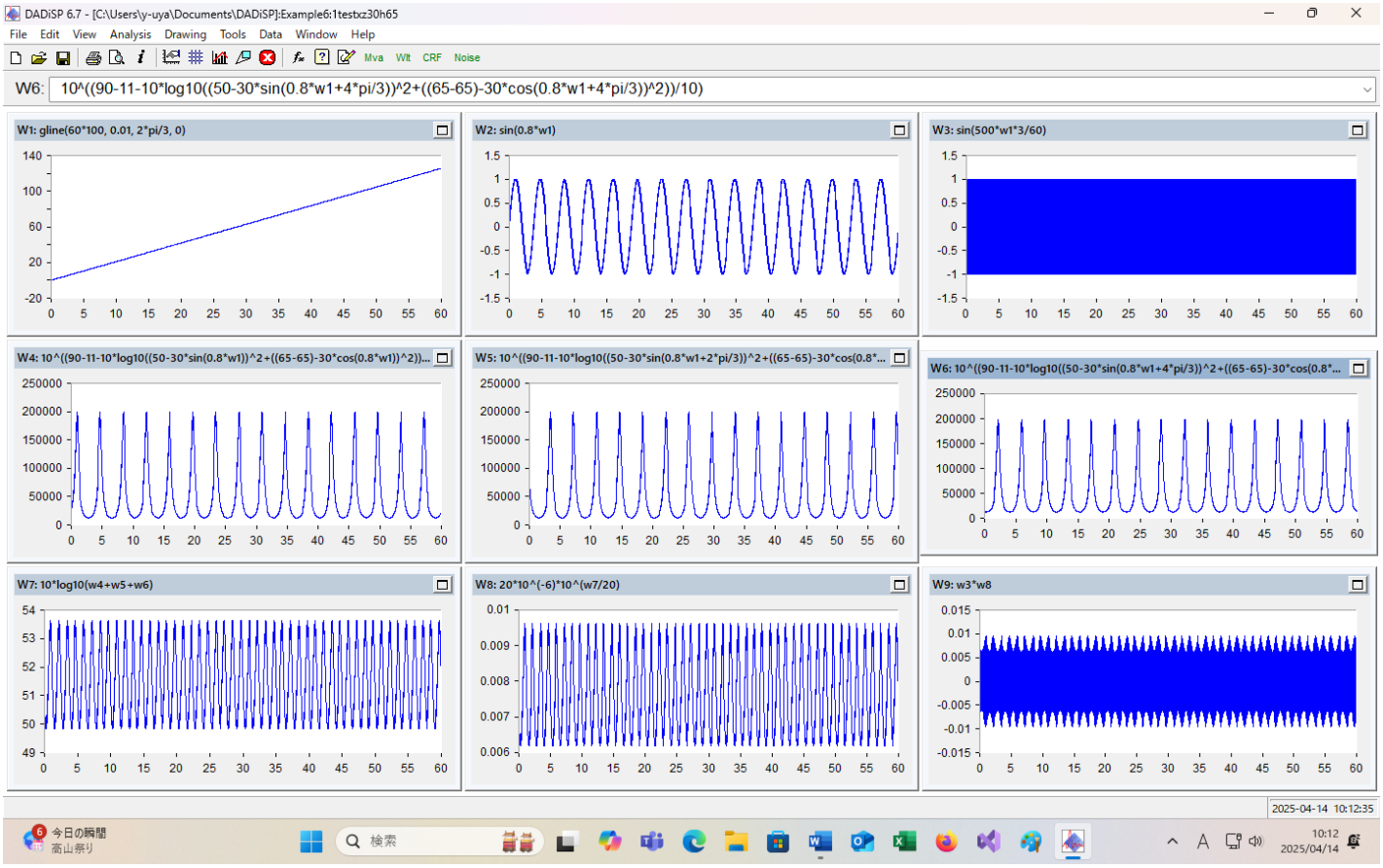


振幅変調（パスカル値）

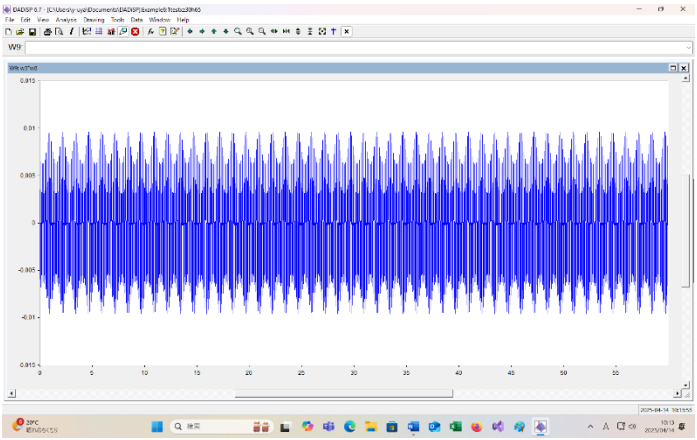


振幅の変動は起きません。

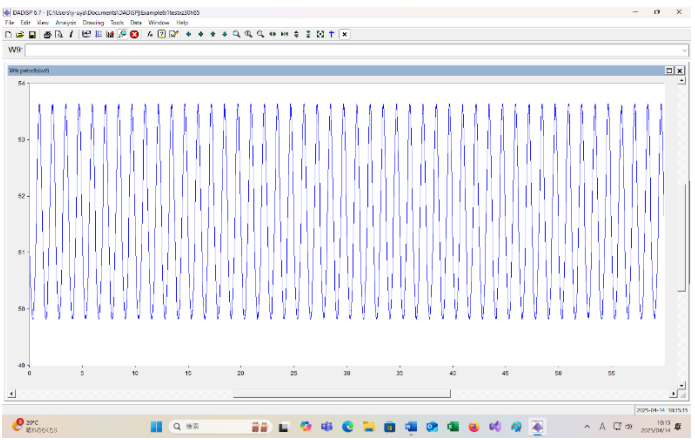
風車と騒音計の水平距離が 50ｍで、騒音計の場所が高さ 65ｍで、ブレードの回転面がｘ ｚ平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

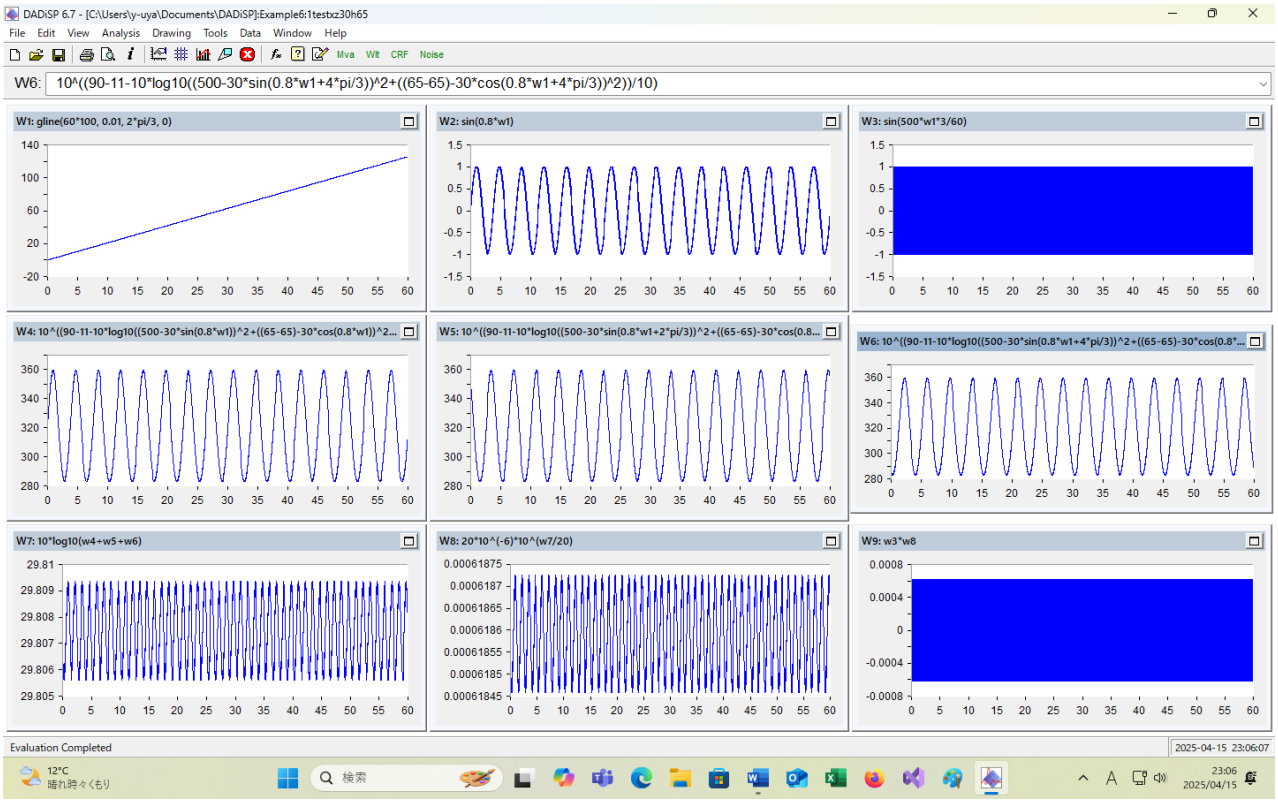


音圧レベルの変動（デシベル値）



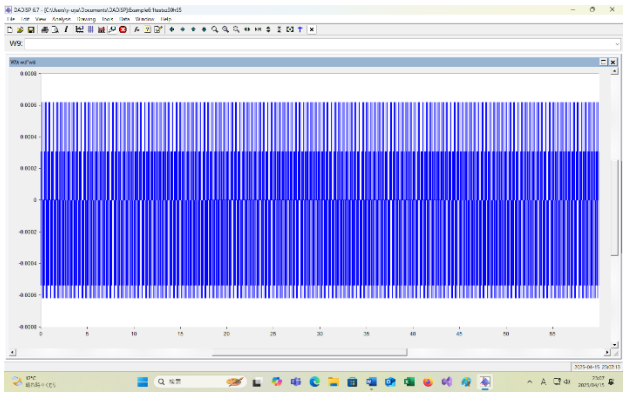
音圧レベルは、50～54ｄＢの変動となります。

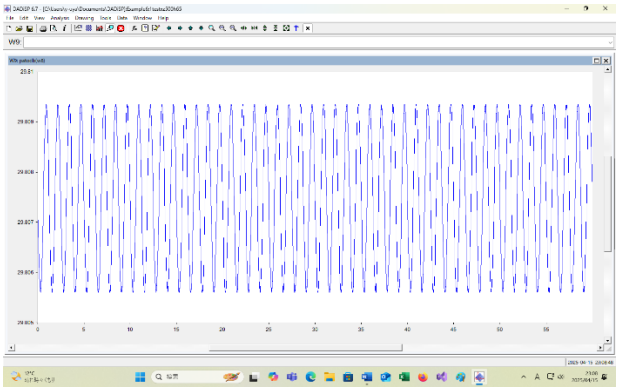
風車と騒音計の水平距離が 500ｍで、騒音計の場所が高さ 65ｍで、ブレードの回転面が ｘ ｚ 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

音圧レベルの変動（デシベル値）



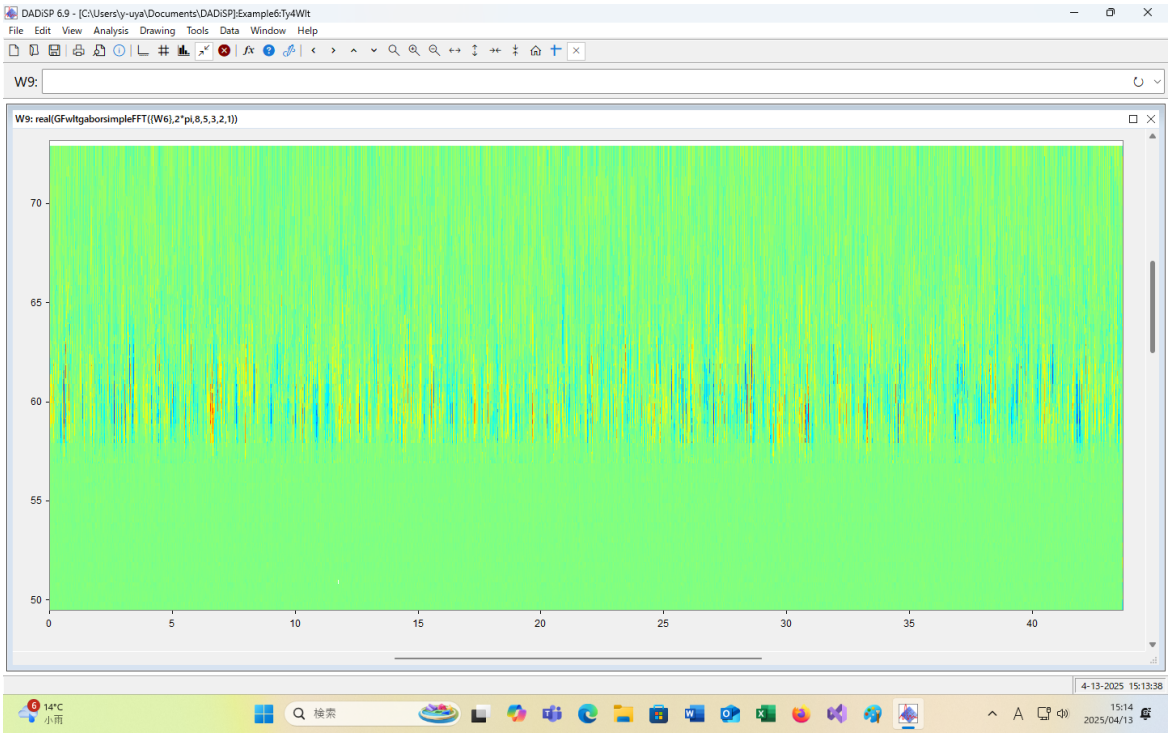


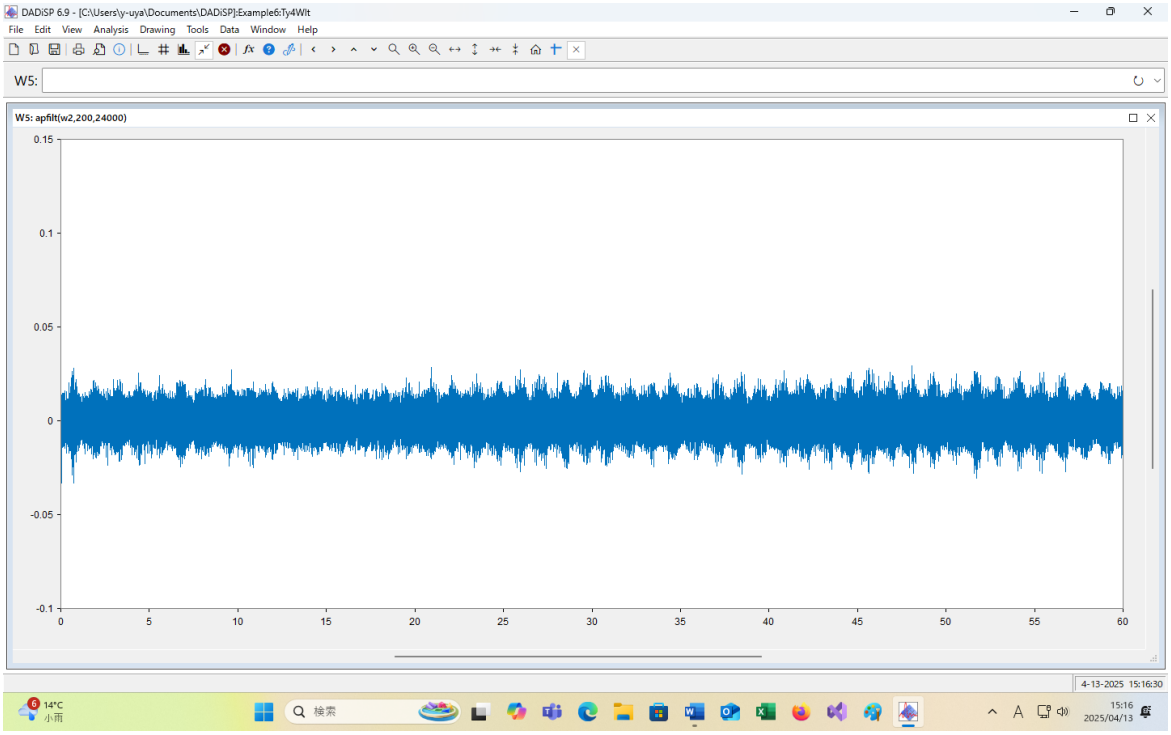
音圧レベルは、29.805～25.809ｄＢの変動となります。

Swish 音について考える時に、騒音計に音源が近づいたから振幅の大きな音が記録されたのか、ブレードが塔の前を通過することが原因で音が特別に大きくなるのかを判定することが必要です。

騒音計を回転軸の高さまで上げて、回転軸の延長上に置いて計測した結果に、振幅変調が現れれば、ブレードが塔の前を通過するのが原因と言えるが、振幅変調が見られなければ、単なる音源との距離の変化で、音が大きくなったり小さくなったりしているだけだと判断できます。

音源と騒音計の距離の変化による、ドップラー効果らしき、周波数の変化も見られますが、それほど明確ではありません。





スウィッシュ音

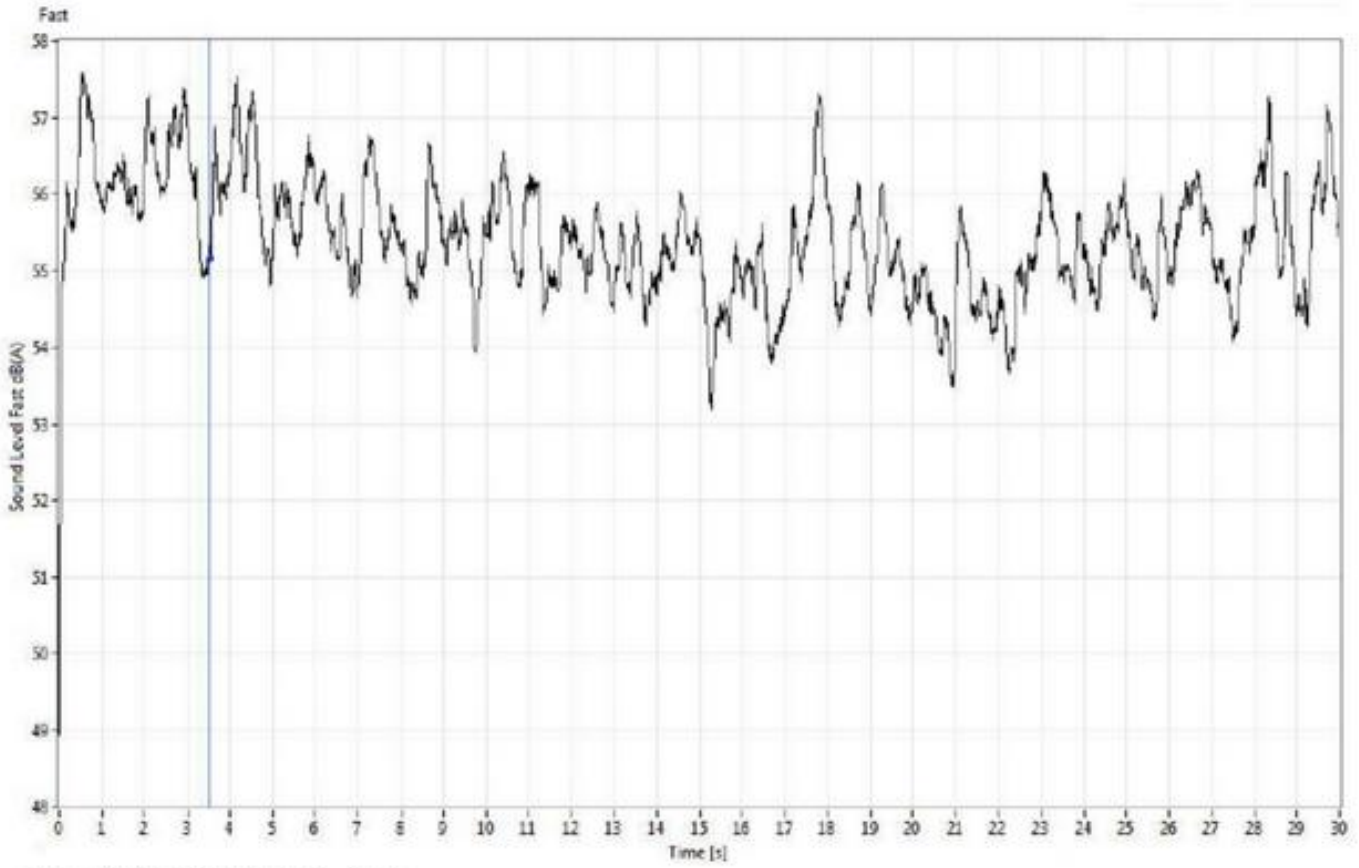
スウィッシュ音に関して、ある風車会社の資料に、次のような記述がありました。

② 機側的な音の変動（スウィッシュ音）について

風力発電機の回転に伴い発生する騒音は、周期的な変動がみられる。この音は、スウィッシュ音と呼ばれる。

風力発電機メーカーより入手した騒音の測定結果（時間変動）を、図 2.2-10 に示す。

ブレードの回転に伴い約 1.5 秒ごとに音圧レベルの変動がみられ、変動幅は 1～3dB 程度となっている。



注）調査時の風速は 8.9m/s
測定位置はロータ中心から 120m の地点

図 2.2-10　風力発電機から発生する騒音レベルの時間変動

目盛り軸の所に、Sound Level Fast dB(A) とあるので A 特性音圧レベル（騒音レベル）の値です。

主に、54ｄＢから 57ｄＢの間で変動すると判断できます。（平均では 55.5ｄＢとする。）

計測位置がローター中心から 120ｍの場所なので、地上では、風車の根元から 100ｍの地点になります。

120ｍ離れて、音圧レベルが LP(120)=55.5ｄＢならば、音源のパワーレベルＬＷは

$$L_{pi} = L_{Wi} - 20logr - 11$$

より、

$$55.5 = L_{Wi} - 20log120 - 11$$

LW=108.1 となる。

500m離れた場合は、

$$L_{pi} = 108.1 \quad -20log500 - 11$$

より、LP(500)＝43.1ｄB　となる。

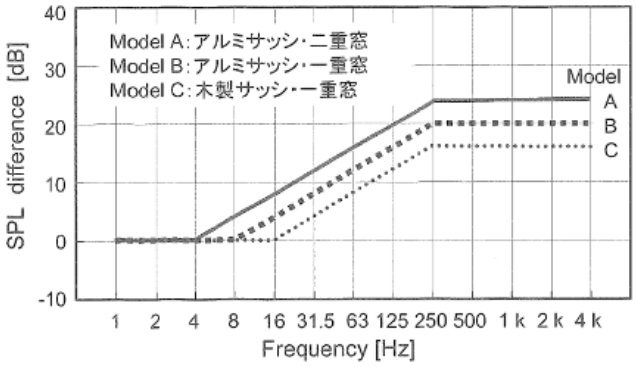


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

200Ｈｚだと、防音窓での減衰は、25ｄB程度なので、

120m地点で、防音窓のある室内では、29ｄB～32ｄB となり、

500m地点で、防音窓のある室内では、43-25＝18ｄB となり

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

室内での影響は無いと判断します。他の周波数成分については慎重な計測と計算が必要です。

環境省は、振幅変調音と言っています。

（４）風力発電設備から発生する騒音の特徴

○風力発電施設は、静穏な地域に設置されることが多いため、そこから発生する騒音等のレベルは比較的低くても、周辺地域に聞こえやすいことがある。

○また、風力発電施設からは、ブレード（翼）の回転によって振幅変調音（スウィッシュ音）が、また、一部の施設では内部の増速機や冷却装置等から純音性成分が発生することがあり、これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。

○一方で、風力発電施設から発生する20Hz以下の超低周波音については、人間の知覚閾値を下回ること、他の騒音源と比べても低周波数領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかった。

（出典）風力発電施設から発生する騒音に関する指針（平成29年５月26日環境省）

振幅変調の前に、誤魔化しを暴いておきます。

（４）風力発電設備から発生する超低周波音と騒音の特徴

○風力発電施設からは、超低周波音（0～20Hz）と騒音（20Hz 以上）が発生します。騒音（20Hz 以上）のレベル（A 特性音圧レベル）は、他の交通騒音や工場騒音と比べれば比較的低いのですが、超低周波音の部分は卓越したエネルギーを持っています。エネルギー比率は超低周波音が 93%、騒音が 7%です。

○風力発電施設からは、ブレード（翼）の回転によって振幅変調音（スウィッシュ音）が計測されることがあるが、これは、回転する３つの音源と騒音計の距離の変化によって大きな音が記録されたり、小さな音が記録されたりすると言うことです。一部の施設では内部の増速機や冷却装置から純音成分（特別な周波数を持った、音圧の高い音）が発生することがあり、これらの音によりアノイアンス（不快感）が増加させて、睡眠妨害が起きることが報告されています。

風車音の純音成分で最も音圧が高いのは、f=RZ/60Ｈｚ（大型風車では 0.5Ｈｚ程度）の成分です。これは水平軸型の風車からは必ず放出され、体内の圧力を変動させ、人体が強制的に圧縮膨張させられます。物理的な圧縮膨張が起きるので圧迫感を感じます。循環器系の障害や頭痛が起こります。ラウドネス（うるささ）での睡眠妨害も継続するので、いろいろな健康被害も発生します。

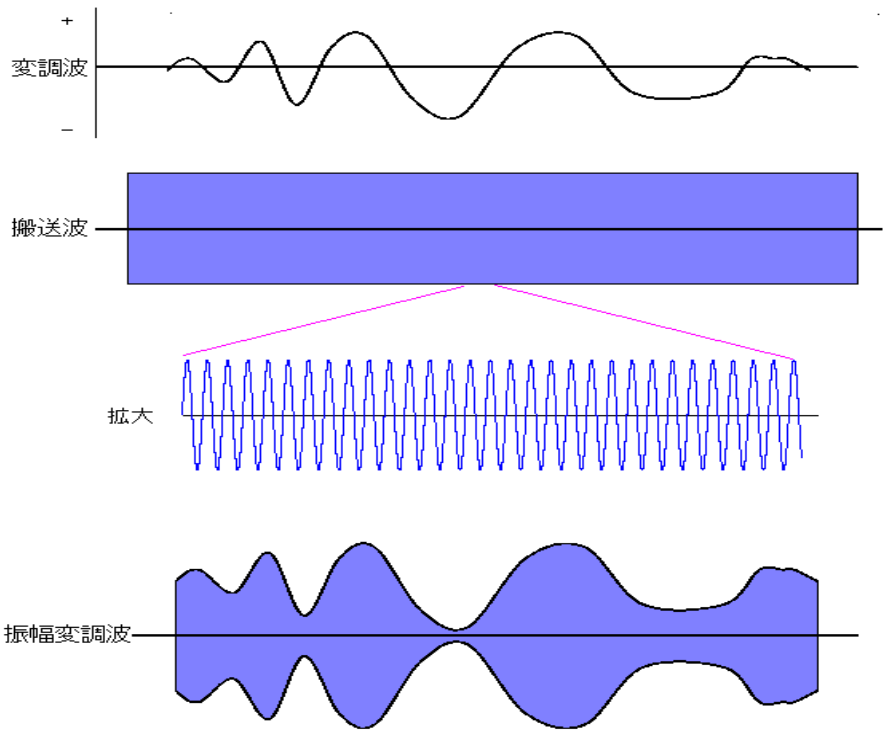
○20Ｈｚ以下の超低周波音については、人間の聴覚閾値を下回るのですが、２Ｈｚでは 65ｄＢ程度で建具や床のガタツキが起きて睡眠が妨害されます。体内の圧力はｆＨｚの超低周波音に従って変動し、人体の圧縮が体表面から内部に伝搬するので末梢血管の収縮により血圧が上がり、動脈壁の肥大化と心筋へのダメージが蓄積されます。体内の圧力変動は音響キャビテーションによる気泡発生を引き起こし頭痛が起きます。

低周波音（20～100Ｈｚ）に関しては、他の騒音と比べても卓越は見られません。風車音での不眠、血圧上昇、イライラ、頭痛などは超低周波音との関係が深く、20Ｈｚ～100Ｈｚの音である低周波音との関連性は低いのです。最大音圧と被害の関連性を調べることが必要です。

振幅変調の概念を確認します。
つぎに、
計測された風車騒音の音圧は回転に伴って変動するが、この変動は単なる計測の問題であり、音源そのものの観点からは、振幅変調とは言えないことを確認します。

振幅変調について

振幅変調とは、通信変調方式の一つで、主として音声信号からなる情報を、電波や光の波の振幅を変化させることで伝達する。以下の図では、振幅変調により変調された変調波を、縦軸を電圧値[V]、横軸を時間[Sec.]として、時間の関数として説明する。



上図では、音声信号等の変調周波数帯に対し、それを伝送するための搬送波（キャリア、英語: carrier wave）の周波数として、変調周波数帯（20Hz～20kHz）より相対的にかなり高い周波数帯（中波放送で 500～1300kHz）を使用するため、搬送波の波形の一部を拡大して表現した。変調波は、電圧振幅値が正の最大値になると振幅変調波の振幅電圧値が最大になり、逆に、同変調波が負の最大値になると振幅電圧値が最小になる。詳細は理論の項を参照。ここでは、変調波を信号波（送信しようとしている原信号（音声や音楽等））と読み替えてよい。

あくまでも、搬送波のような高い周波数の波があり、その振幅が比較的周波数の低い波によって変調されるという概念であって、振幅が変調される搬送波部分が無ければ、無意味な概念となる。
風車騒音の場合は、振幅が変調されるのは、何ヘルツの波なのか？そもそも変調の対象となる波が存在しないのである。

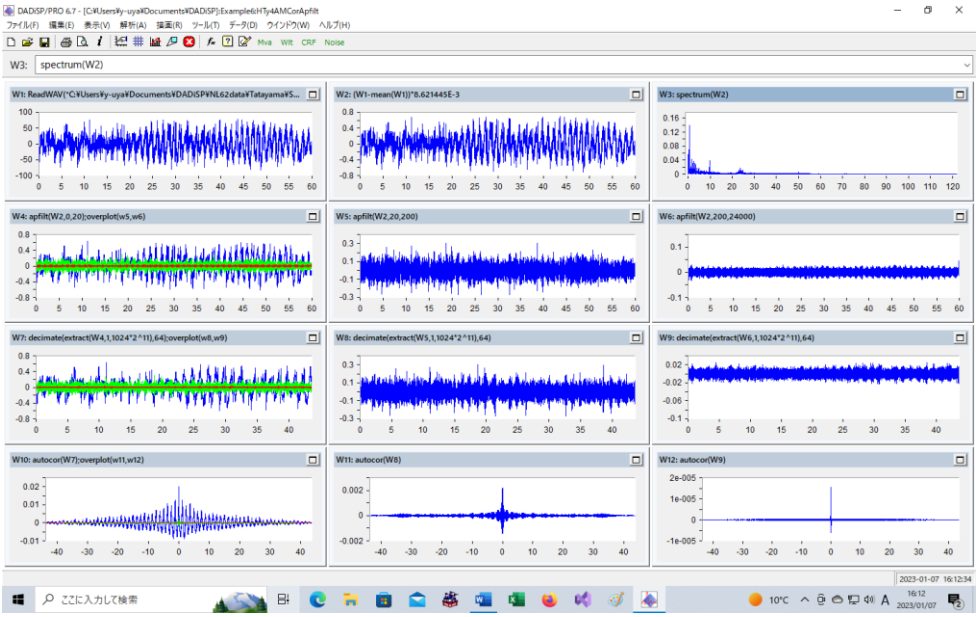
振幅が変動する波と言う意味ならば、振幅変動波と呼ぶべきであり、すでに概念の確立している振幅変調波の用語を使うべきではない。

低周波音波を、$Asin(\omega t)$ 、高周波音をと$Bsin(200\omega t)$書いてみたときに、

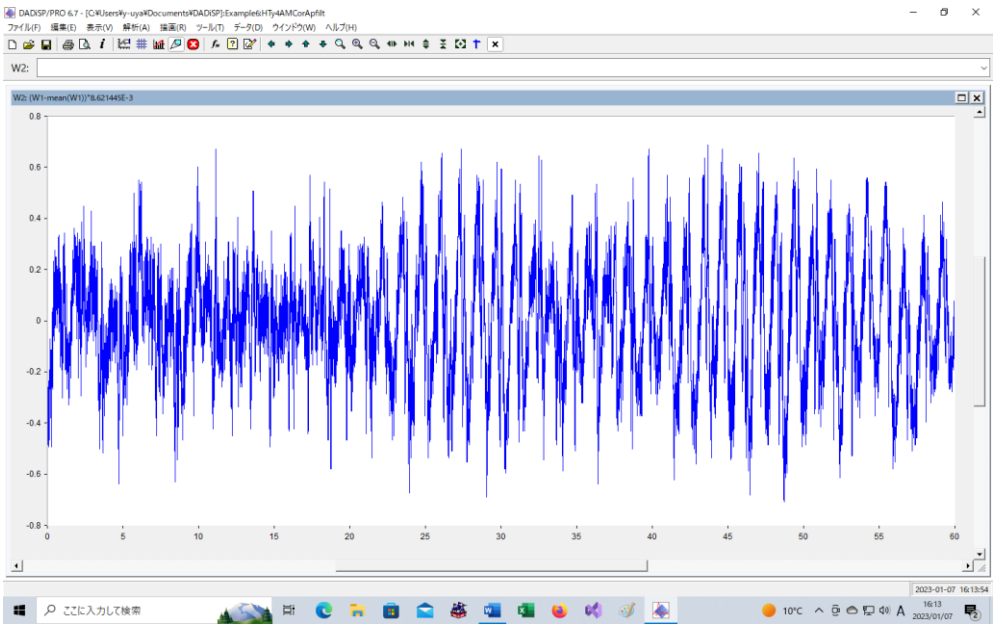
０,B＞０で A,B はほぼ等しいとしておく。）
振幅変調は、$(B+0.1Asin(\omega t))*sin(200\omega t)$ のように、振幅 B が変動するべきである。
観測された風車音の場合は、$Asin(\omega t)+00.1Bsin(200\omega t)$のような形であり、強い超低周波音の上に、弱い高周波成分が作用して、小さな波が立っているような状態である。

館山の風車騒音のデータを使って考えます。
風車音そのものを全体としてみた場合には、振幅は変動しています。しかし、搬送波に当たるものがあって、その振幅が変化しているとは言えないのです。

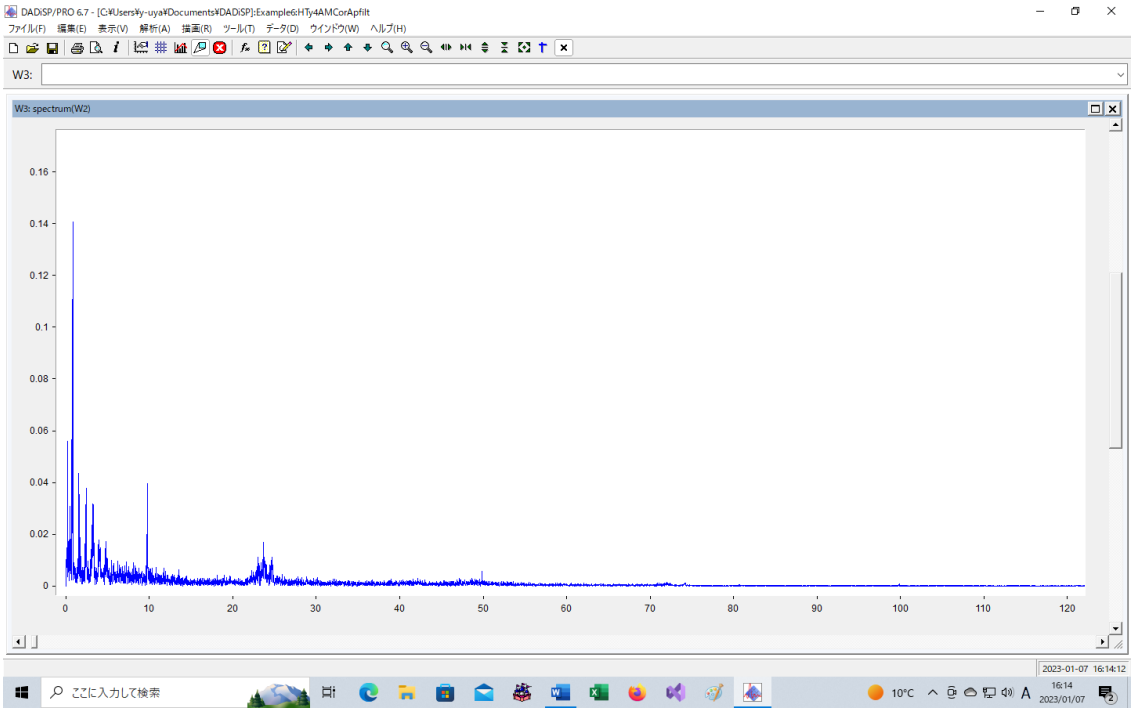
風車音の特徴を、次の DADISP ワークシートで調べてみました。



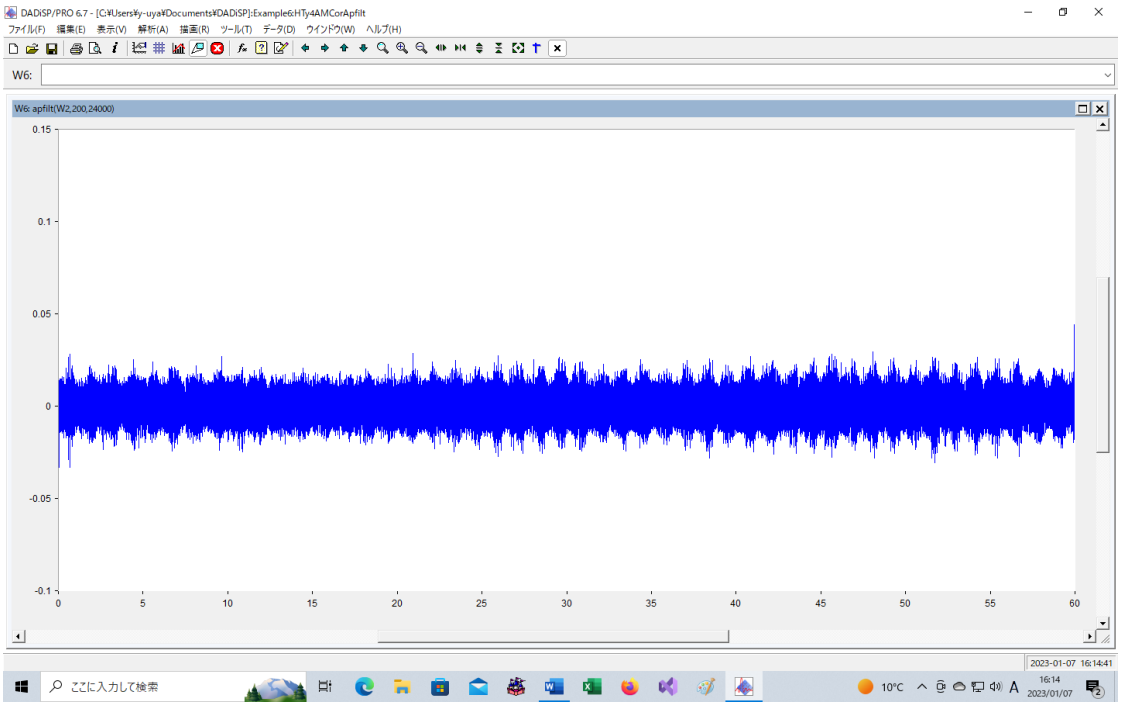
風車音を60秒計測したデータを表すグラフは次のものです。(これが風車音そのものです。)



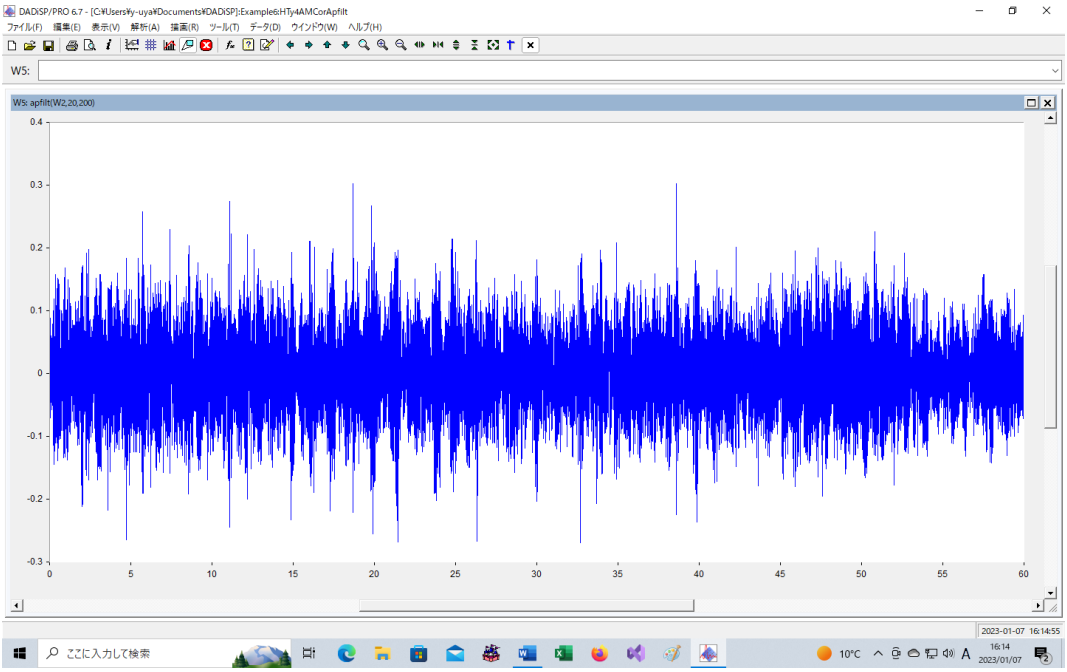
低周波部分を拡大した、周波数スペクトルは次のグラフです。50Hz 以下の成分が大半を占めています。このグラフからも、200Hz 以上の成分は、微弱なものであることが分かります。



FFT は逆変換が出来るので、元の波形から、200Hz～24000Hz の成分を取り出しました。確かに、振幅が変動しています。

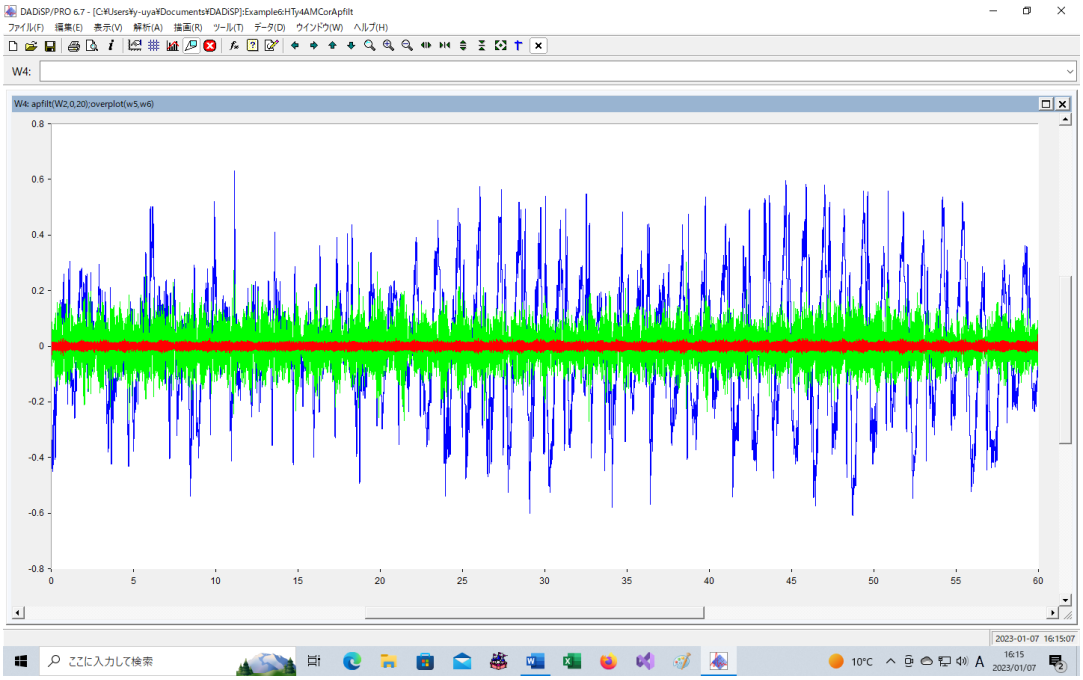


同様に、20Hz～200Hzの成分を取り出しました。



同様に取り出した、0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hz の成分を緑で、200Hz～24000Hz の成分を赤で、重ね書きしてみました。高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。

赤い部分の 200Hz 以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。

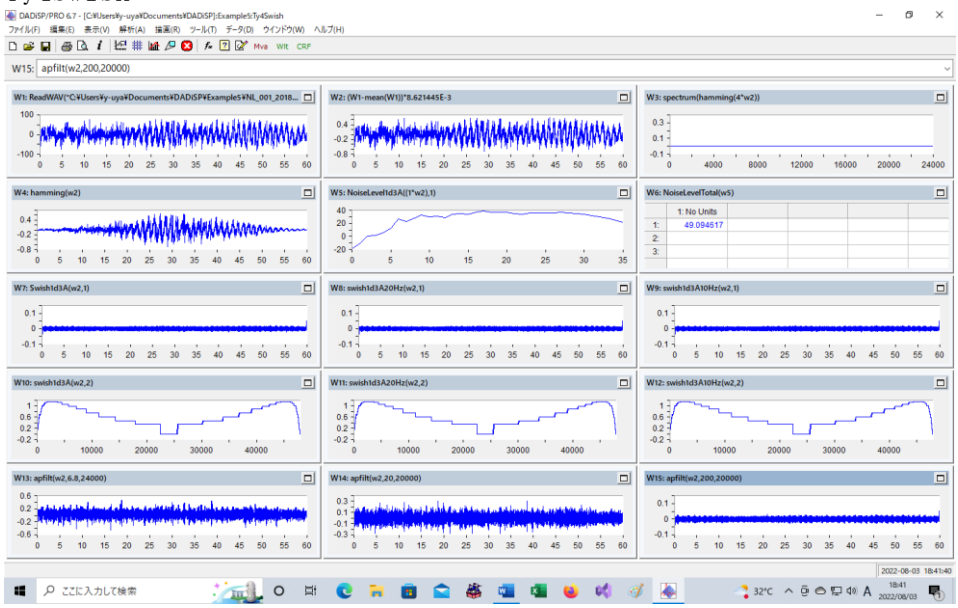


赤の部分は、微弱で周波数が高いのですから、部屋の中で防音窓を閉めれば 24dB 程度の減衰があることを考えれば、室内での被害の原因とはなりません。超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は、エネルギー透過率が高いので窓を閉めても、7dB 程度の減衰しか期待できませんので、室内での被害に関しては、この影響は無視できません。

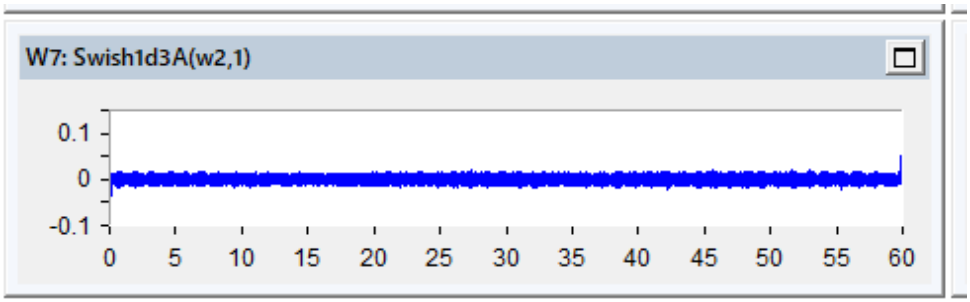
日本家屋は、固有振動数が 1Hz 程度であり、大型化する風車から出てくる音の音圧が最大となるのは、1Hz よりも低い周波数となっているのです。しかも、風車音のエネルギーの 93%以上を超低周波音が持っているのです。

振幅変調と言える現象については、A 特性での重み付けを使っても把握できます。

Ty4Swish

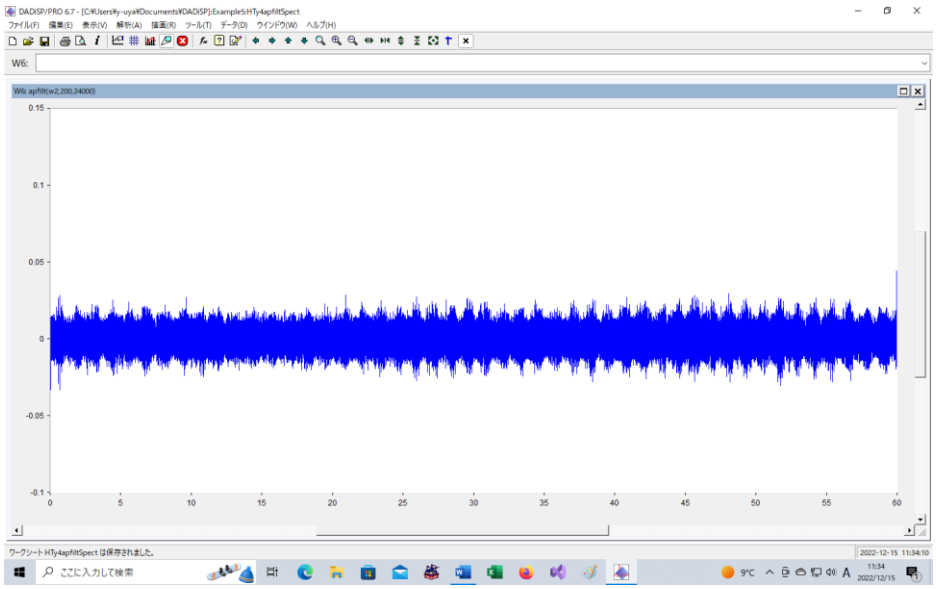


さらに、A 特性を考慮して、可聴域の部分を取り出せば、



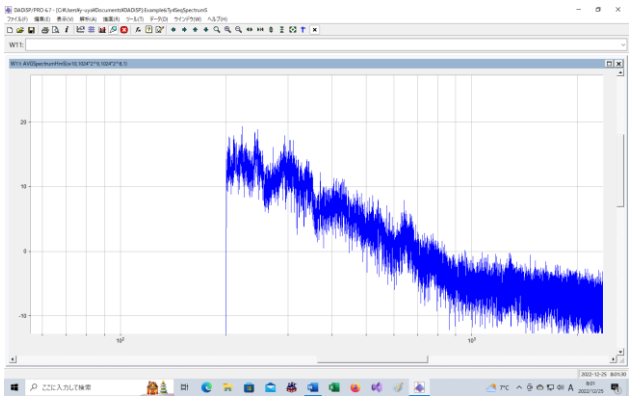
上の図が得られます。この意味では、可聴域の音は振幅変調音として人間の聴覚を刺激すると言えます。

200～24000Ｈｚの成分だけならば、次の図になります。



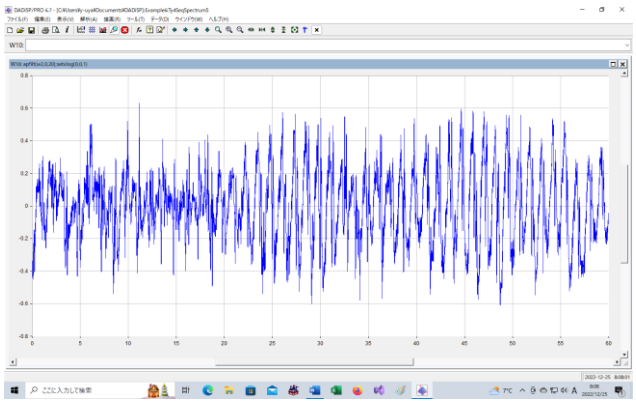
ここでも、振幅変調と言える現象がみられる。

この高周波成分の音圧レベルは、次のグラフのように、15ｄＢから18ｄＢ程度です。

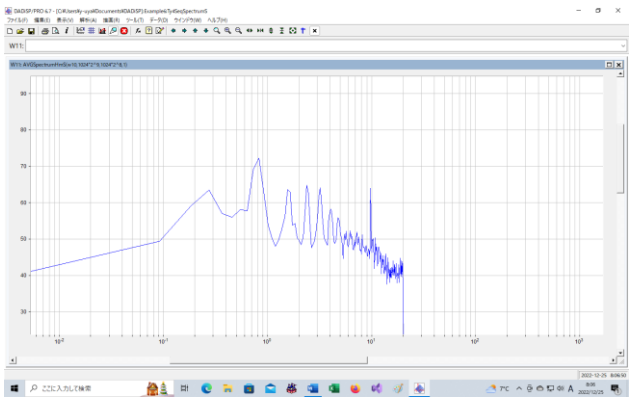


防音窓での減衰を 24ｄＢ とすれば、－11ｄＢ～―6ｄＢ 程度です。室内での音圧が低すぎるので、防音窓がある室内では、この部分の変動を感知するのは困難です。

これに対して、0Hz～20Hz の周波数成分は、次のようであり、



音圧レベルは、50ｄＢ～70ｄＢ程度です。



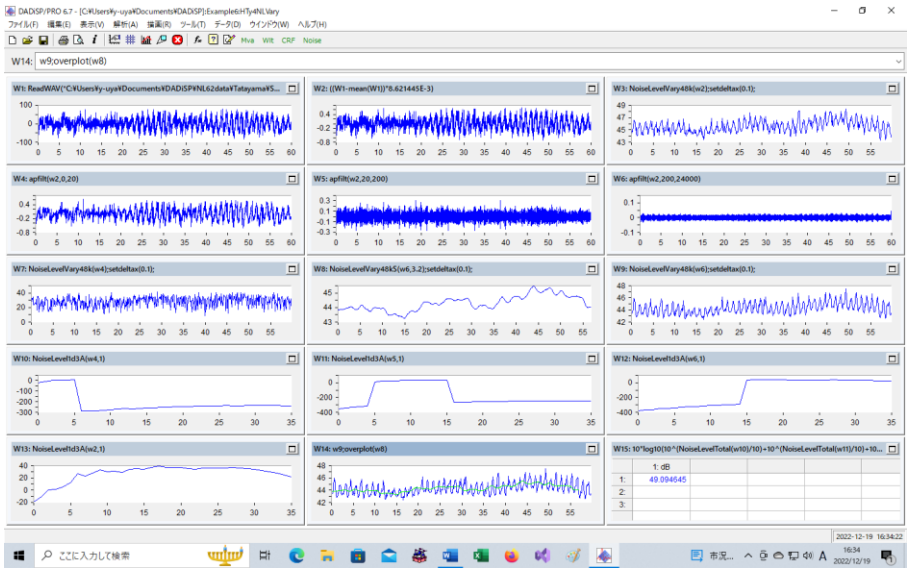
この部分に関しては、防音窓での減衰は最大でも 7ｄＢ程度しか期待できません。
室内では、43ｄＢ～63ｄＢ程度になるので、その影響は大きいと考えます。

人間は、聴覚以外の感覚器官も持っていることや、ガタツキ閾値に関連した振動による睡眠妨害を考える必要があるので、室内での被害を考えるときは、高周波域での振幅変調よりも、この部分を重視すべきです。

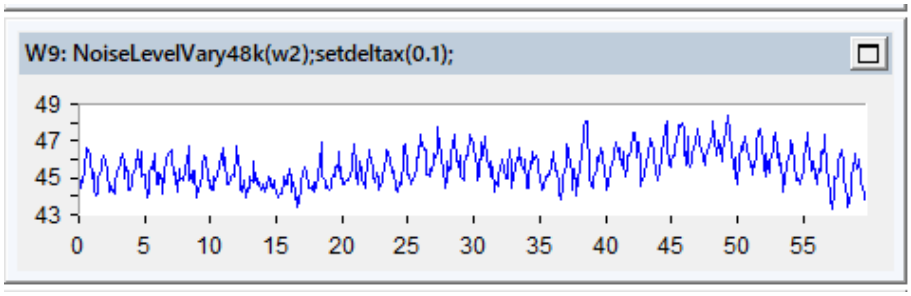
A 特性音圧レベル（20Hz～）の変動に関しても補足しておきます。

5.2　A 特性音圧レベルの変動

Ty4NLVary

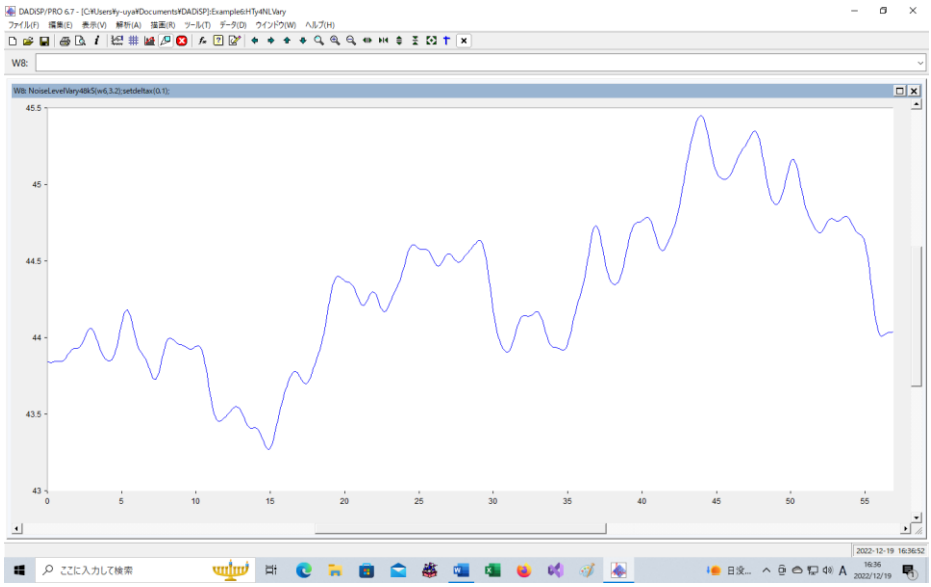


A 特性での音圧レベルの変動は次のグラフとなります。



これは、0.1 秒ごとに、0.25 秒間のデータを使って A 特性音圧レベルを計算した結果です。

0.1 秒ごとに、3 秒間のデータを使って A 特性音圧レベルを計算すると次のグラフになります。

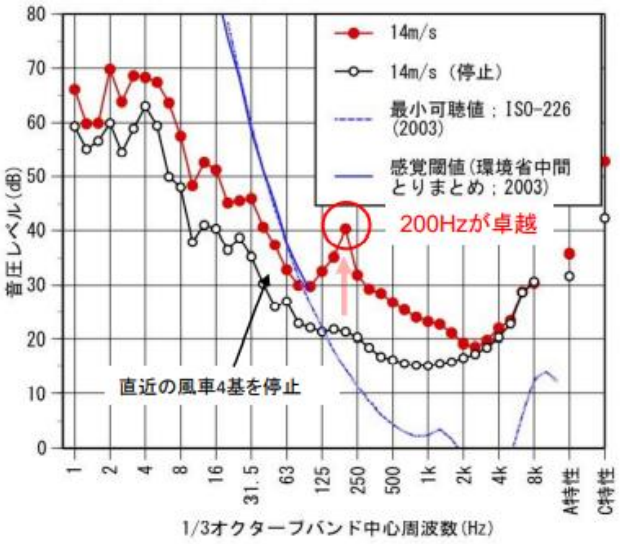


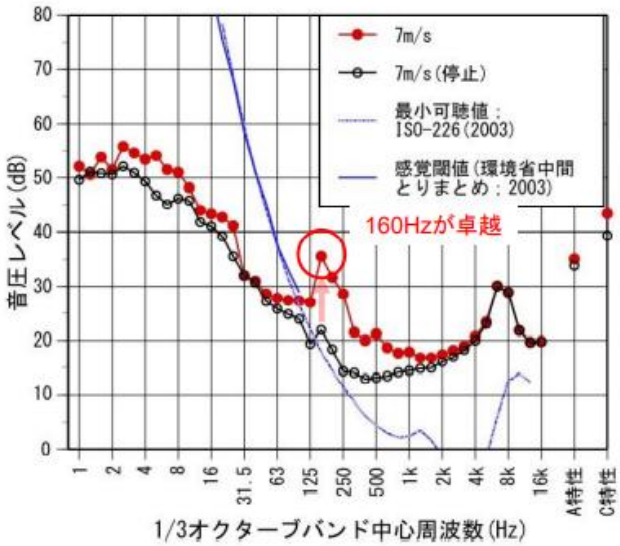
なお、騒音計の位置を回転軸の延長線上に置いて再計測する必要がある。

２．２３　純音性成分が含まれる風車騒音の例

特徴的な風車騒音の紹介

純音性成分が含まれる風車騒音の例





左；風車より240m，木造家屋-屋内　　右；風車より350m，木造家屋-屋内

＊純音性成分は，増速機などの機械駆動部の振動に起因していることが考えられる

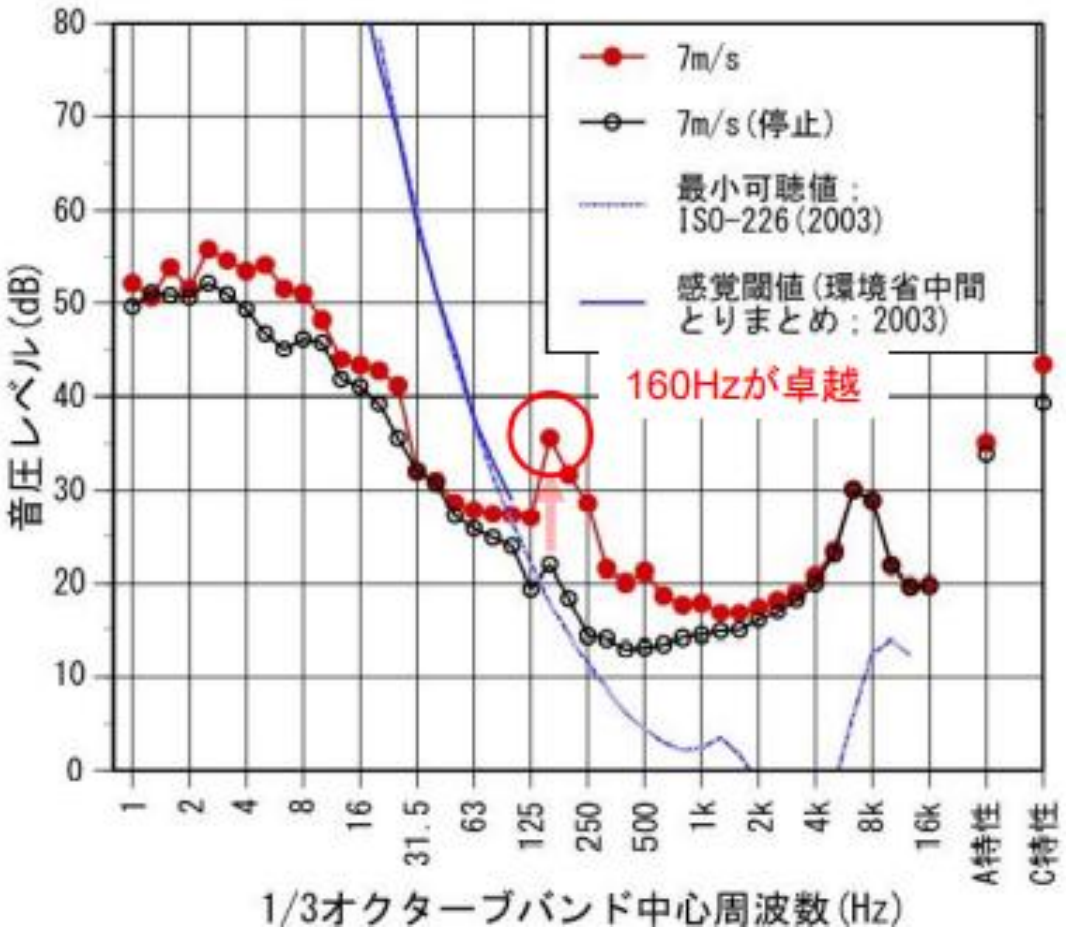
環境省H21年度調査結果より抽出；http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12319参照

23

機械駆動部の上に、振動レベル計を置いてその振動を調べ、外での音の計測と比較すれば、“考えられる”ではなくて、事実として述べることが出来るのですから、振動レベル計を使って調べるべきです。

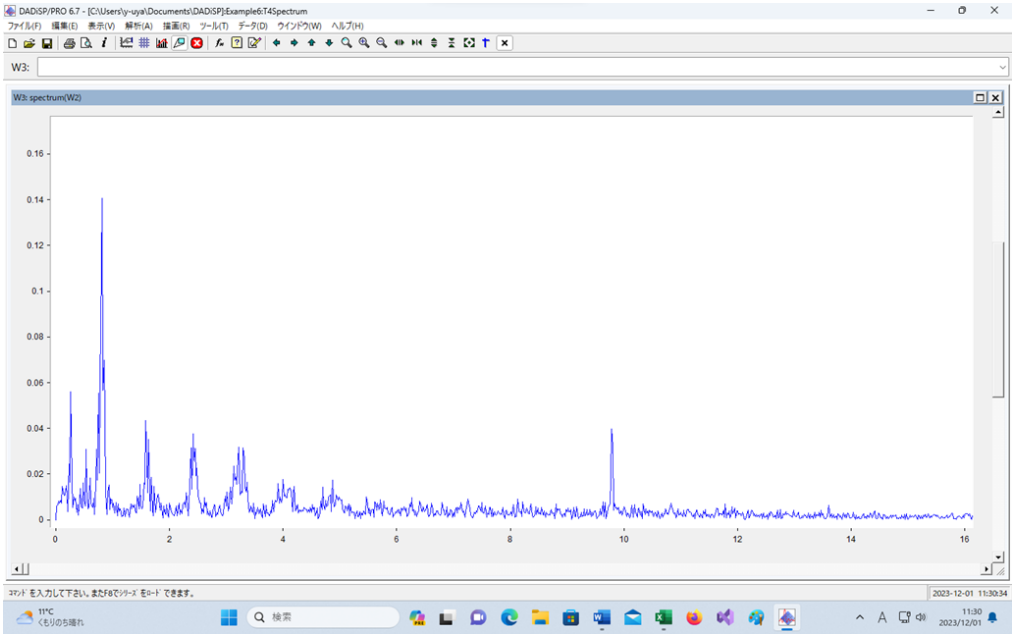
1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018
2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

など、協力してくれる企業もありそうです。



また、この資料から、感覚閾値と聴覚閾値の曲線が、ほとんど重なっていることが分るが、ここでの“感覚閾値”がどのような感覚器官を対象として、それぞれの感覚器官に対しての閾値をどのように決定したのかが不明です。

純音成分が含まれる音源のほうが、不快感を与えるとの実験結果があることは承知しています。
実際の風車音で計測された音圧（パスカル）には、周波数の倍音構造があります。



音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

上のグラフの一番音圧が高い周波数 0.816Hz が、RZ/60 に対応します。（R は 1 分間の回転数、Z は翼の枚数）。他のピーク値の発生も必然的であり、明確な理由があります。

グラフから、超低周波音は、強烈な純音であることが明確です。
不思議なのは、35～40ｄＢ の音圧レベルの純音は気にするのに、音圧が 50～70ｄＢ の超低周波音を気にしないことです。

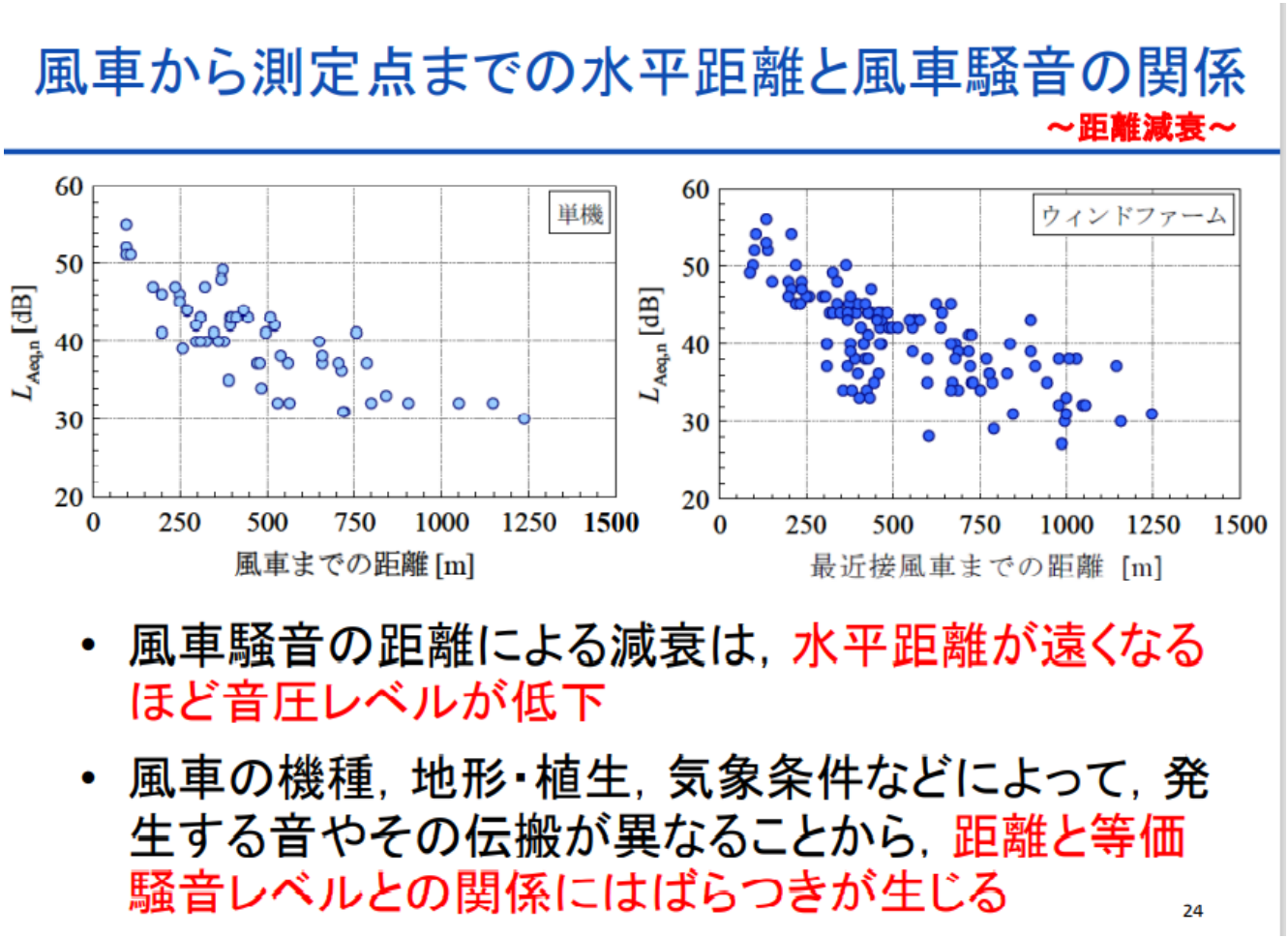
そもそも、1/3 オクターブ解析では、中心周波数 160Hz での帯域幅は 36.469Hz、中心周波数 200Hz では帯域幅な 45.948Hz と広いので、正確な周波数が不明確です。従って本当に純音なのか否かは、1/3 オクターブ解析のグラフからでは分かりません。

超低周波音のグラフは、周波数分解能が高いので、純音であることが明確です。更に、風車での超低周波音の発生する仕組みと、マクローリン展開の係数から考えても、純音であることは明確です。

しかも、周波数が 0.8Ｈｚですから、計測された音圧の変動に対応した、体内での圧力変動を強制的に起こす力があります。人体は強制的に圧縮膨張させられるのです。これは循環器系の障害を引き起こします。

グラフから、0.816Hz 成分こそ強烈な純音として考えるべきです。

２．２４　風車から測定点までの水平距離と風車騒音の関係



音の幾何学的な減衰や、空気減衰と考えれば、遠くなるほど音圧レベルが減衰することは当然のことです。

しかし、距離と等価騒音レベルの関係にはばらつきが生じる要因では、風車音の持つ指向性に関する指摘が抜けています。

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

を確認してください。

風車音被害の状況を見ながら､何をどのように調べれば良いのかについて事前に議論する必要があります。実際の被害は複雑です。

三重県に住んでいる友人のメールでは、

宇山様

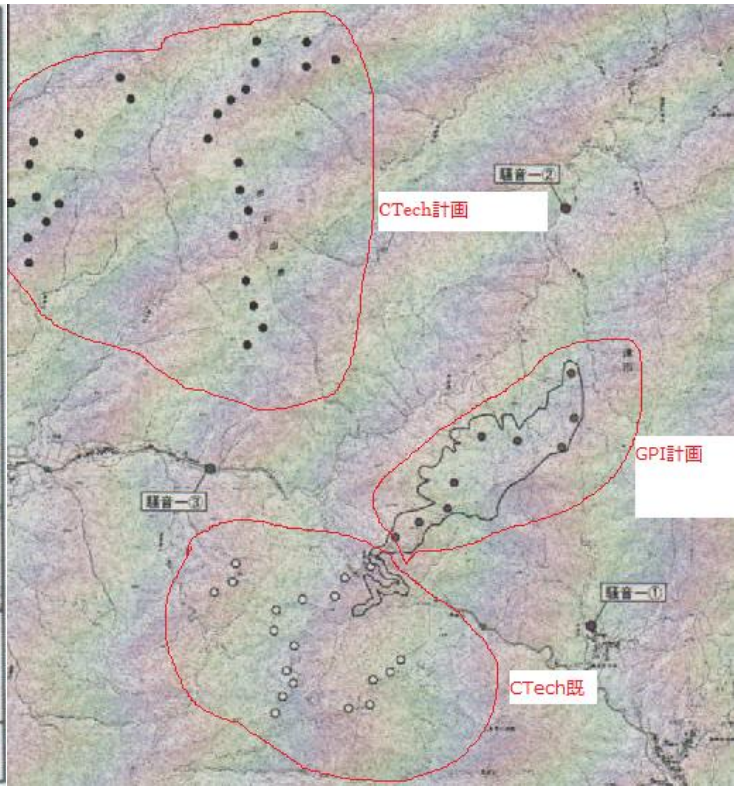
お世話になり有難うございます

文中の㈱シーテックの稼働中の１９基の事業所名は「ウィンドファーム笠取」です

騒音は現在大きなスイング音が平木集落に届いています
よく聞こえるときは　ジェット機音のように聞こえます
シーテックを基準にすると、ＧＰＩの計画は離隔が近い　４２００KWとシーテックの２．１倍大きいです
ので建設は危険と考えます
シーテック 28 基の事業名は　「ウィンドパーク布引北」　さるびの温泉から名阪道の加太町にかけて
評価書に進んでいるようです
私は準備書に自分の地域の事業のようにウィンドパーク布引北の関係地区と共に参加しました
行政に一緒に出向きました
まずはお礼まで

と言っています。

下の図の右下が、平木地区、左上を上阿波地区として計算していました。



右の図の、地点一が平木地区です。(Ctech 既設と GPI 計画の間です。)
Ctech 既設が、稼働中の１９基の事業所名は「ウィンドファーム笠取」です

GPI 社の風車のデータと CTech 社の既設分についての、A 特性パワーレベルの表がありました。

表の中の、本事業が GPI のもの、既設はシーテックの 2000ｋｗのもの、計画中施設はシーテックの 2300ｋｗの風車のデータです。

ｲ) 予測条件

7. 風力発電機の配置及び種類、基数

風力発電機の配置を図 10.1.3-10 に、種類及び基数を表 10.1.3-14 に示す。

なお、予測に当たっては、全ての風力発電機が同時に稼働しているものとした。

表 10.1.3-14 風力発電機の種類及び基数

項目		施設規模	風力発電機の仕様	
			ハブ高さ	ローター直径
本事業	(仮称) 平木阿波ウィンドファーム事業	出力：25,200kW (4,200kW×6 基)	112m	117m
	(仮称) 平木阿波第二ウィンドファーム事業	出力：12,600kW (4,200kW×3 基)	112m	117m
既存施設 ウインドパーク笠取風力発電所		出力：38,000kW (2,000kW×19 基)	65m	83.3m
計画中施設 (仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業		出力：64,000kW (2,300kW×28 基)	78m	82m

注 1：既存事業については環境影響評価書を、計画中施設については環境影響評価準備書を参考とした。

ｲ. 風力発電機のパワーレベルと周波数特性

本事業及び既存施設、計画中施設の既設風力発電機のパワーレベル及び周波数特性を表 10.1.3-15 に、本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性を表 10.1.3-16 に示す。

表 10.1.3-15 風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)：A特性パワーレベル								A特性 (dB)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
本事業	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0
既存施設	89.2	91.0	88.5	97.2	102.5	98.3	97.8	87.3	105.9
計画中施設	87.2	94.8	93.9	96.7	98.5	94.2	82.7	75.4	103.1

注 1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020 年 4 月　株式会社シーテック) を参考とした。

表 10.1.3-16 本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性

単位：dB

ハブ高さ風速 (m)	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)								A特性
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3	70.3	78.8	84.3	87.1	86.9	83.8	77.9	69.0	92.2
4	70.8	79.4	85.0	87.7	87.5	84.3	78.2	69.1	92.8
6	75.7	83.9	89.3	91.9	91.6	88.5	82.5	73.7	97.0
8	82.7	90.1	95.1	97.5	97.3	94.5	89.2	81.2	102.8
9	85.3	92.6	97.4	99.7	99.5	96.8	91.7	84.0	105.1
10	86.3	93.5	98.3	100.6	100.4	97.7	92.5	84.8	106.0
12	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0

被害情報２.

南伊豆風車（被害）紀行（２）～承前
によれば、

風車を眼前に、「子供たちのことをなぜ考えないのか」と嘆く住民

この集落に住むひとりは、かつて産廃処分場問題で苦労されたそうで、ここに引っ越してきたとき「これだけ道が細ければトラックも通れない。ここなら産廃もゴルフ場も来ないだろう」と考えたそうです。
ところが、山の反対側から風車が……。なんとも悲しい話です。

集落の一番奥に住むかたとお話ができました。
この家からいちばん近い風車までは 540m。その風車も含め、家の背後に風車群が迫っています。
ところが、このかたのお話は驚くべきものでした。
試験運転が始まるなり、奥様がたちまち胸の圧迫感や頭痛、吐き気など、典型的な風車病（超低周波振動によると思われる健康被害）の症状に襲われたのですが、それがひどいのは、目の前の近い風車ではなく、北東方向にある 1km 離れた風車が回っているときだというのです。
試験運転中は、すべての風車を稼働させているわけではなく、何基かは止めて、何基かを動かすということを繰り返しやっています。
止めた風車の羽根（ブレード）は、羽根の付け根を回転させて、風を羽根に受けないようにします。
風が、　↓↓　こう吹いてくるとすると……、
羽根を風に向かって（つまり風車の正面に対して）　／　ではなく、｜　のように傾けて、風をそのまま素通りさせるわけです。
分かりますかね。風車を真上から見たとして、

↓↓↓　　……風がこう吹いているとき、
／　　……ブレードの角度がこうなっていると回るわけですが、

↓↓↓　　……風に対して、
｜　　……このように羽根をまっすぐにしてしまえば、

風は通り抜けてしまい、ブレードはほとんど回らない、というわけです。
ですから、止まっている風車は、回転していないだけではなく、正面から見たとき、羽根が細くなっているので分かります。
いちばん近い風車（家から 540m）がぶんぶん回っているときは、音はすごいものの、身体が受けるダメージはそれほどでもなく、それが止まっていて、北東方向の１km 離れた風車が回っているときのほうがダメージがはるかに大きいというのです。
これは予想もしていなかった話でした。
風車の低周波被害は、単純に近ければ近いほどひどいだろうと思っていましたが、そう単純なものではないということなのです。
問題の１km 離れた風車というのは、そのお宅からはある場所に立つと、山と山の間に姿が半分くらい見えてきます。おそらく、そこから家までのびる谷戸が、バックロードホーンのような働きをして、低周波の通り道になり、あるいは増幅させるような効果を持っているのかもしれません。

似たような証言は他の家でもあり、風車が山陰に隠れて見えない、1.5km くらい離れた家では、その見えない風車からの音は聞こえないのですが、回っているとき、ぴったり連動して住民が吐き気や胸の圧迫感、頭痛、耳鳴りなどに襲われていることが分かったそうです。
そのかたは、当初、見えない風車のことなど気にしていなかったのですが、昨年暮れから急に、そして、あまりに頻繁に気持ちが悪くなるので、体調がおかしくなる時間帯を記録していたところ、それが風車の稼働している時間とぴったり重なったのです。

今、風車の周辺の住民たちの間では、様々な疑心暗鬼が渦巻き始めています。
はっきり聞こえない音で体調がおかしくなることなどあるのだろうか……。しかし、風車が稼働してから、突然、身体がだるくなったり、音もしないのに圧迫感に襲われて眠れなくなったり、吐き気や頭痛に襲われることが多くなった。これはやはり風車のせいではないのか……。しかし、風車が目の前にある××さんの家などと違って、我が家は風車が見えない、少し離れた場所にある。うちでクレームなど言いだしたら、まるで補償目当てのように、変に思われるのではないか。村八分にされるのではないか……。いやいや、△△さんの家は、黙っているけれど、業者とこっそり示談金交渉をしているらしい。うちも黙っていたらバカみたいだ……。

静かに仲よく暮らしていた住民たちの間に、こうした、声にならない声が溜まっていっているというのです。
風車はまだ試験運転の段階で、本格稼働はこれからです。一部をこわごわ（？）動かしている今でさえこれだけの被害が出ているのですから、全機が一斉に動き始めたら一体どういうことになるのでしょう。想像を絶する地獄になることは間違いないでしょう。
町はすでに、苦情や相談は事業者との個別交渉へと導き、諸手を挙げて誘致した自分たちの責任から逃げる

ことで精一杯のようです。
隣の下田市は、市長が風車を拒否する姿勢を貫いていて、住民説明もろくにしないまま、早い段階で誘致した南伊豆町とは対照的です。行政の責任者がどれだけまともな感性、判断力を持っているかで、住民の運命はこうも違ってくるのだと、痛感させられます。

お話を伺った住民（70 代くらい？男性）は、繰り返し繰り返し言っていました。
「建てられてしまったらおしまいです。何を言っても、何をやってもだめ。とにかく、絶対に建てさせないこと。建てられたらもう遅いんです」

このかたは、ご自分は今のところ目立った体調異変はないそうですが、奥様がたちまち体調を崩し、今は半別居状態になってしまいました。
彼はまた、こうもおっしゃっていました。
「ぼくは今のところ元気だし、ひとりでもここに住んでいこうと思っているけれど、小さいお子さんやお孫さんがいらっしゃるかたたちがしっかり声を上げないのが不思議でしょうがない。孫子の時代のことを真剣に考えていないんじゃないですか。子供たちが住めないような土地にして、どうするんですか」

この町はどうなっていくのでしょうか。ゴーストタウンになるのか。それとも、風車病の町として有名になるのを恐れ、残った住民たちが箝口令を敷き、どんどん閉鎖的になっていくのか……。
町の中を見ていくうちに、見たくないものを見てしまった、知りたくないことを知ってしまったという、何とも言えない重たい気分に襲われていきました。
そう、まさにこの感じ、このどんよりした空気が、今、全国の風車現場で広がっているのです。わが村でもまったく同じです。

目の前のこれらの風車が回っているときより……

右端の山と山の間に見えている遠くの風車が回ったときのほうがダメージが大きいという
山の中に入っていく道を進むと、風車の建設現場の爪痕も見ることができます。
この沈砂池は、工事のとき、大量の泥水が海や住宅地に流れ込んだため、対策として作られたものですが、大雨の後はこれがあふれてしまい、さらにもう一つ作ったそうです。
これも全国の風車建設現場で起きている典型的な公害。滝根小白井ウィンドファームでも、建設中から降雨後の泥水流出がひどく、下流の夏井川では岩魚や山女が産卵できなくなり、夏井川漁協が事業者に補償を求めました。

沈砂池ひとつではとても間に合わなかった泥水流出公害

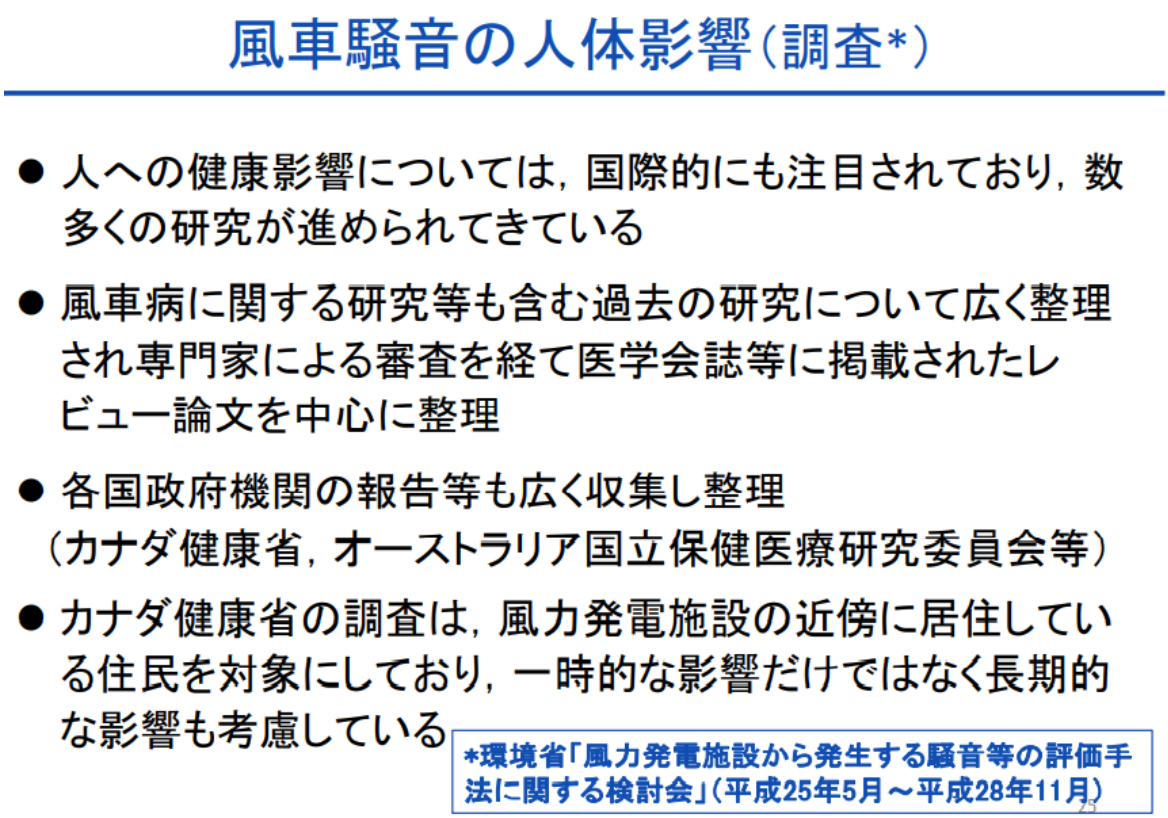
「お尻（ナセル）がこっちを向いたときが怖い」と住民は言う。風下になったときという意味だ

風車と風車の間隔が狭すぎて、相互干渉は避けられないだろう

まさに「建ててしまえばなんでもいい」という姿勢が見え見え

間近に風車を見ているうちに、だんだん気持ちが悪くなってきてしまいました。見ているだけで気分が悪くなるのですから、ぶんぶん回っているときはどういうことになるのか……。車で通過する人は、「下田を過ぎたあたりで気分が回復した」という人もいるとか。なるほど、よく分かります。

　この例は、風車音の指向性や風向に関する要素も騒音の予測に含める必要がある事を示しています。風車を点音源として扱ったのでは、被害予測はできないのです。



これは、世界中で被害が発生していることを意味しています。被害が無いならば、調査の必要は無いでしょう。世界では“風車病”として認められているようです。

風車病に関する研究として、次のものがあります。

由利本荘・にかほ市の風力発電を考える会とＡＫＩＴＡあきた風力発電に反対する県民の会は、秋田県沖が再エネ海域利用法の促進区域に指定され、洋　上風力建設のターゲットになっていることから、この間、学習会や署名運動、県や市に対する陳情にとりくむとともに、すでに稼働している風車の健康被害についての聞きとり調査をおこなってきた。

そのなかで開かれた「ふるさとの自然と風車写真展」には、２３、２４の二日間で２００人以上が参加。同じ会場で映像による学習会もおこなわれた。

解説を担当したのはサイエンスライターの山下友宏氏で、ペレイラ博士と連絡をとって講演会の映像を使用することの承諾を得た。講演会はスロベニア　で、科学者を対象におこなわれたもの。ユーチューブでも見ることができる。https://youtu.be/txUVdMkVsew 以下、その要旨を紹介する。

講演するペレイラ博士

講演するペレイラ博士

私はニューヨーク州立大学で物理学士、フィラデルフィアのドレクセル大学で医用生体工学修士、そして新リスボン大学で環境科学博士の学位を取得した。騒音から細胞、健康までカバーする学問を学んできた。

まずはじめに、病気の原因となる低周波音・超低周波音（以下、低周波音と略）についてお話しする。低周波音は空気を通して伝わる圧力波だ。その周波数は常に一定のものではなく、時間の経過で変化する。振幅も変化する。

音圧は、単位面積当たりの力であらわされる。ＷＨＯ（世界保健機関）は「生物によらない機械的な力」と呼んでいる。耳に聞こえようが聞こえまいが関係ない。ここが低周波音の難しいところだ。耳に聞こえる騒音と低周波音はどこが違うのだろうか。

基本的には、波のピークとピークの間の長さが違う。低周波音はピークとピークの間がとても長い。一方、耳に聞こえる周波数の音（可聴音）は、それが短い。

たとえば耳によく聞こえる３０００ヘルツの音の場合、ピークとピークの間の長さは数㌢㍍だ。人間の聴覚で聞こえる一番低い２０ヘルツを見てみると、ピーク間の距離は１７㍍だ。

騒音を防ぐために壁を作ろうとすると、その騒音の波長と同じ厚さが必要になる。２０ヘルツの騒音を防ごうと思ったら、１７㍍の厚さの壁が必要になる。さらに騒音が１ヘルツだった場合、３４３㍍の厚さが必要だ。低周波音の問題はここにある。低周波音は壁を突き抜け、地面も突き抜ける。だから人間の健 康にとって問題となるのだ。

私たちの目に見える光についてはよく知られており、とても細かく分類されている。紫外線、エックス線、ガンマ線といった目に見えないものもある。目に見えなくても、私たちの健康には影響する。

音も同じことだ。音の場合、可聴音、低周波音、超音波がある。私たちの研究チームは、耳によく聞こえない低周波音を研究している。低周波音研究の 難しさは、音の場合、聞こえる音と聞こえない音がいっしょくたにされていることにある。音の場合、可聴音と低周波音があっても、光線のように細かく区別されているわけではない。身体の組織によって、影響を受ける周波数が違う。低周波音の人体への影響を研究するうえで、ここが大きな問題だ。

古代ギリシャの時代から、大きな音が聴覚にダメージを与えることはよく知られている。これまで人類は可聴音から身を守ることに一生懸命になってき た。人間の話し声は、だいたい５００ヘルツから１万ヘルツの間だ。このあたりの周波数の騒音から耳を守ることだけを考えてきたわけだ。

そして騒音から守ろうとしてきたのは、聴覚だけだった。身体そのものを守ろうとはしてこなかった。ま

た、これまでずっと、耳に聞こえない音は身体 に害を与えないと考えられてきた。だが、エックス線は目に見えないが、人体に害をおよぼす。そもそも五感で認識できるものだけが身体に害を与えるという考え方は間違いだ。ウイルスは目に見えない。目に見えなくても人体に有害な物質はたくさんある。騒音に関してだけ、耳に聞こえる音だけが有害というのはおかしな理屈だ。

騒音を測定するときに使うＡ特性は、騒音から聴覚を守るために考え出されたものだ。Ａ特性で測定した場合、１０００ヘルツから１万ヘルツでは、測定値と実際の大きさとの差はゼロだ。目的が騒音から聴覚を守ることなら、Ａ特性になんの問題もない。

しかし１０ヘルツまで下がってみると、測定値は実際の音の大きさより７０デシベル少ない。１００ヘルツ以下（低周波音の領域）では、Ａ特性はまったく不正確だ。こうしたやり方で「聞こえないんだから害はないですよ」といって正当化している。

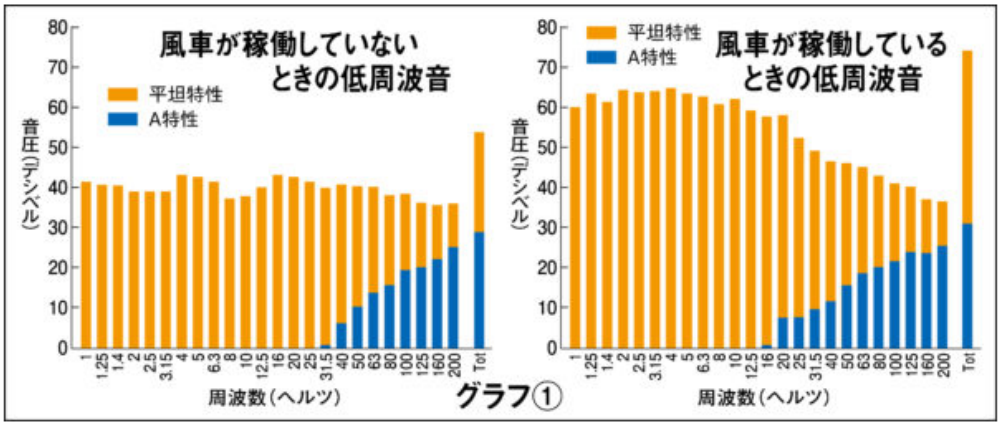
だが、実際には人体に害が出ている。この実際の音の方は世界中、どこの国の法律でも考慮されていない。ただロシアには、都市部に限って超低周波音に関する法律がある。

最近、私たちのチームは新しい測定機器を使い始めた。今はこの機器を使って平坦特性で測定している。これを使うと低周波音領域でも測定値と実際の 音のレベルの差はゼロだ。これが病気の原因を突き止めるための科学的な手法だ。これで測定すると、耳に聞こえる騒音は同じでも、人体はもっと大きな音響エ ネルギーにさらされていることがわかる。

風車によってミンク大量死　デンマークの農家

次にデンマークのミンク農家について話す。高級なコートにする、あのミンクだ。その農家が風車の低周波音にさらされた。もはや住居には誰も住んでいない。所有者はミンクの世話をするためにここに通っている。

私たちは二カ所で騒音測定をおこなった。古いタイプと新しいタイプのミンク小屋の２カ所だ。グラフは、右が風車が回っているときで、左が回っていないときだ【グラフ①参照】。



法律が定めている測定方法（Ａ特性）で計ると、黒い部分だけが測定された。普通、騒音測定といえばこ

れしか使わない。風車が回っていてもいなくて も、A特性ならたいした違いはない。回っているときの方が大きな音響エネルギーにさらされているわけだが、これではそれはわからない。平坦特性で測定した のが灰色の部分で、これが実際に存在する音響エネルギーを示している。

さらに私たちが使っている新しい測定機器は、０～６００秒まで、つまり１０分間の時間の経過をあらわすことができる。風車が回っているときと回っていないときの１０分間の音響環境の変化をあらわす図を見ると、風車が回っている方の図は黄色から赤になっている（赤になるほど音が大きいことを示す)。

そして、黄色い部分は「フーッフーッフーッ」と断続的な線になっている。私たちは、生物の反応を見るうえで、このパルスが重要だということを発見した。

風車騒音は周期的だ。これは数学でいうとハーモニックシリーズ（調和級数）に当てはまる。そして、自然界にある音がハーモニックシリーズになることはない。

空軍基地で振動音響病多発　ポルトガル

次に振動音響病について話す。私は振動音響病にかかわって３０年になる。この研究はどうやって始まったか。

１９８０年にカステロ･ブランコ博士がポルトガル空軍基地の主席医務官に就任した。博士は基地内の様々な場所に行って、そこで働いている人の健康状態を調べた。

飛行機はメンテナンスが終わると試運転をしなければならない。飛行機が動かないように固定して、エンジンのテストをする。その最中、たくさんのスタッフが飛行機の周りでチェックリストを手に観察する。

ある日、博士はこの試運転の様子を見ていた。すると突然、一人のスタッフがフラフラと飛行機のエンジンに向かって歩き出した。その人は他のスタッ フにとり押さえられた。試運転が終わると、博士はスタッフに「さっきはなにが起こったのか？」と尋ねた。するとスタッフは「ああ、よくあることなんです。 なぜかはわかりませんが。１９６０年代にはとり押さえそこねて死んだスタッフがいましたよ」と答えた。博士は驚いていった。「そんな病気を持ったスタッフ が働いているんですか」

ポルトガル空軍基地は１９１８年に作られた。１９５０年以降に勤務したすべての人の病歴は、基地の医療センターに保管されていた。博士はその資料 に目を通し、そこで働く人の１０％が遅発性てんかん（大人になってから発症する）と診断されていたことがわかった。全人口に占めるてんかんの割合は０・ ２％だ。

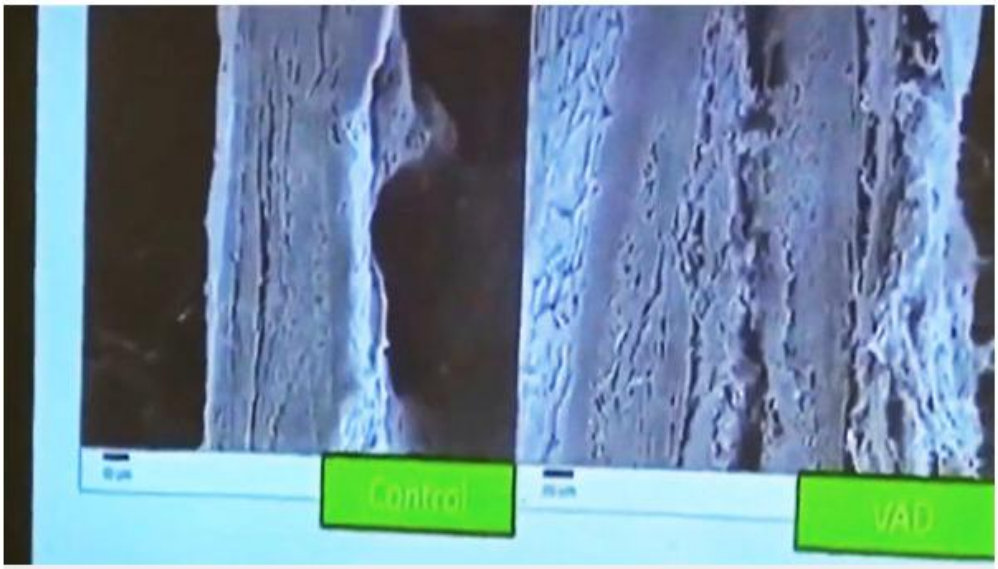
飛行機のような巨大な機械の仕事をする人が、てんかん発作を起こすようでは困る。そこで１９８０～１９８６年に調査がおこなわれた。ブランコ博士 は病理学者で、解剖して組織を顕微鏡で調べるのが仕事だ。彼は死因を解明するために遺体を解剖したいと考えた。解剖の重要性をよく理解しているスタッフが いて、解剖に同意すると遺書に書いた。１９８７年、そのスタッフが死に、ブランコ博士は解剖をおこなった。

その結果、腎臓と脳に腫瘍が見つかった。それまでの検診では見つけることができなかった腫瘍だった。

もっとも驚いたのは、梗塞で心臓発作を起こし た傷跡が１１もあったことだ。そして１２回目の発作で亡くなった。１２番目の傷跡は２ミリメートル以下で、通常は梗塞の傷跡と見なさない小さなサイズだった。さら に通常では考えられないことだが、心臓血管構造の異常な肥厚が見つかった。

そして心膜と呼ばれる部分も肥厚していた。心臓の膜である心膜はとても薄く、正常な心膜の厚さは０・５ミリメートル未満だ。ところが低周波音に暴露した患者は、心膜が２・３ミリメートルにもなる。

これは心臓手術を受けた患者の心膜の写真だ【写真①参照】。２人とも心臓血管に異常があった。左の人は騒音が原因ではなく、右の人は騒音が原因だった。心膜が異常に肥厚していることがわかる。



写真①心臓手術を受けた患者の心膜の写真。右が騒音が原因の患者。肥厚している（倍率は同じ）

写真①心臓手術を受けた患者の心膜の写真。右が騒音が原因の患者。肥厚している（倍率は同じ）

心臓血管構造の肥厚は、心膜だけに起こることではない。血管でも起こる。血管の壁で起こる。血液が流れる血管の壁は本来は薄いものだが、それが肥厚する。動脈の壁がどんどん厚くなると、動脈は閉じてしまう。低周波音に暴露した患者は、血管の中にコレステロールがたまったのではなく、壁が肥厚した結 果、閉じてしまうのだ。たとえば冠状静脈はとても小さくて、すぐに詰まってしまう。だから、このスタッフの場合、１１もの梗塞の跡があったのだ。そうなる ともう血液が流れないから、問題が起こるわけだ。

この肥厚はコラーゲンとエラスチンが異常に増えたために起こると私たちは考えている。専門用語で形態形成という。そこにあるはずのない組織の発達 という意味だ。これが低周波音のせいで起きているとは、最初は思いもよらなかった。身体全体が「生物によらない機械的な力」にさらされたために、身体がそ の力に対抗しようとして起こったのだ。

１９９９年、この病気の進行の仕方について研究することになった。３０６人の航空技術者のグループを基本に、心臓血管病、糖尿病、連鎖球菌感染症 がある人、精神安定剤を服用している人は除外し、残った１４０人の男性が研究対象になった。その１４０人が４年間、エンジンテストで低周波音に暴露され続 けると、７０人以上（５０％以上）が気管支炎を発症した。１０年の暴露で、７０人以上が血尿を発症した。

もう一つ重要なことは、症状が蓄積していくということだった。気管支炎にかかっている状態で、さらに鼻からの出血やひどい筋肉痛が加わるのだ。血尿も止まらない。

患者がもし女性なら、なにが起こるか？　「ああ、お子さんが巣立ってヒマなんでしょ。ネットで調べて、病気だと思い込んでいるだけですよ」。

これはアイルランドのダブリンの法廷で、振動音響病を発症していた５２歳の女性が実際にいわれたセリフだ。

呼吸器の病理学について。これまでにのべたのは、航空技術者に起きたことだった。つまり職場での騒音暴露だ。そして喫煙者も非喫煙者も同様に呼吸 器の病気になった。それを解明するためにラットによる実験をおこなった。人と同じ条件にし、１日８時間、週５日間暴露し、週末は暴露しないようにした。

ここでもまた、肥厚が起きていた。今回は肺の壁の肺胞だった。酸素と二酸化炭素を交換するところだ。ラットはタバコを吸わない。これは騒音のせい で起きたことだ。また、気管の空気が通るところには繊毛と刷毛細胞があるが、騒音に暴露したラットは繊毛がなくなっていた。騒音に暴露されると、刷毛細胞 は徐々にくっついて結合し始め、さらに結合してついには死んでしまった。

ラットの耳の中も調べてみた。音が聞こえると、基底膜が動き、それにつれて繊毛が振動して、その上の蓋膜に触れるために、聴覚神経に情報が伝わ る。これは正常な耳の機能だ。人もラットも歳をとると耳が遠くなるが、それは繊毛がなくなるからだ。では、騒音に暴露されるとどうなるか。繊毛と蓋膜が結 合してしまっている【写真②参照】。繊毛同士も結合している。

写真②　騒音・低周波音に暴露したラットの耳の中。繊毛と蓋膜が結合してしまっている

写真②　騒音・低周波音に暴露したラットの耳の中。繊毛と蓋膜が結合してしまっている

この状態で音が聞こえれば、基底膜が動くが、引っ張られて自由に動くことはできない。そこで私たちは、低周波音に暴露した人が騒音に大変敏感になるのはこのためではないかと考えた。心因性のものではなく、器質的基盤がある（器官が損傷して病気になっている）ということだ。

低周波音に暴露した人は聴覚に影響を受ける。この聴覚の異常は、大きな音を聞いて難聴になる異常とはまったく異なる。難聴の人はテレビのボリュームを上げるが、低周波音暴露の人はボリュームを下げる。少しの音も我慢ならないからだ。

正常なラットの場合、「チュッ」という音を嫌がり、キョロキョロと警戒する。ところが低周波音に暴露されたラットは、「チュッ」という音に震え上がり、後ろ足で立ってひっくり返った。低周波音暴露の場合、てんかんの発作とよく似た反応を示す。

低周波音暴露の患者は、「朝、起きたとき疲れている」とか「騒音が我慢できない」とよくいう。音楽もだ。騒音が耐えられない人たちは社会から孤立する。スーパーでは冷蔵庫や冷凍庫の音が耐えられない。

「家の中で体調を崩した」　穀物倉庫の低周波音

さて、住居内の暴露ではなにが起こるだろうか。当初私たちは、低周波音に住居内で暴露したと訴える患者に対し、非常に懐疑的だった。私たちは航空産業について研究していたので、家の中なんてそんなすごい騒音が聞こえるわけないじゃないと思っていた。

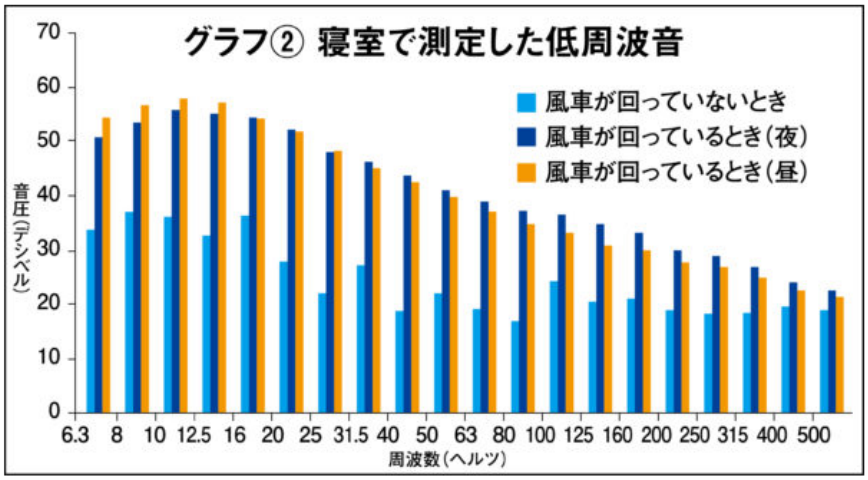
ところが２０００年、電話をかけてくる人が何人かいた。「家の中の騒音で体調を崩した。どうしても来てください」。行ってみるとその家に住む人たちは航空技術者と同じ騒音にさらされていた。場所はポルトガルのリスボン、テージョ川の近くだ。家のベランダから見ると、巨大な穀物倉庫が川の向こうに 建っていた。アームが伸びてきて横付けされた船から穀物を吸い上げてサイロに保管したり、反対にアームが穀物を吐き出して船に積んだりしていた。家の中で 測定してみると、騒音レベルはとても低かった。しかし医学的な診断テストをやってみると、航空技術者と同じ症状だとわかった。

この家に住む女性は妊娠していた。工場や飛行機に対し、夜１０時か１１時以降は稼働を禁止せよというＥＵ指令があるが、この女性が妊娠したのは、 このＥＵ指令ができる前だった。穀物倉庫は１日中稼働していた。調べてみると、仕事中の暴露に比べて家の中での暴露は、振動音響病の臨床ステージの上がり 方が速いことがわかった。時間経過による重症化が速いのだ。家の中では睡眠をとるし、滞在時間も長いので、暴露する時間が長いからだ。家の中では逃げ場が ない。

次は風力発電の低周波音被害の話だ。これは私たちが２００７年にはじめて発表した風車騒音のケースだ。

被害者の自宅から８００㍍のところに風車が４基建っている。４基は２００６年１１月に稼働開始した。２００７年３月、両親は息子の学校の教師から 手紙を受けとった。「お子さんになにかあったのですか？　優秀だったのに、成績がどんどん落ちています。やる気がなく、体育の時間も元気がありません。 ちゃんと睡眠をとっていますか？」。風車の稼働から６カ月、両親も体調を崩していた。

そこで私たちが呼ばれ、低周波音の測定をした【グラフ②参照】。測定場所は寝室だ。こういう場合、普通は家の外で測定する。でも外で寝る人はいない。食べたり生活したりするのは家の中だ。人体への影響を知ろうと思えば、家の中を測定すべきだ。



被害者は風力発電の会社を相手に裁判を起こした（２００７年)。２０１３年、ポルトガル最高裁判所は４基すべての稼働停止を命じた。四基は停止に なったのだが、事業者はそれまでに新しい風車を建てていた。被害者はそれ以上の裁判をするお金がなくなった。デンマークのミンク農家と同じように、被害者 もこの家を出たが、馬の世話のために通わなければならなくなった。

すると、置き去りになったすべての馬がボクシーフット（屈曲肢変形）になった。風車が稼働するまではなんともなかったのに。子馬のときに連れてこられた馬もなっていた。先天性ではないのだ。

最後にお見せする写真はショッキングなので、あまり講演会ではお見せしないものだ。きょうお越しの皆さんは科学者なので、情報提供のために見せる。

これは妊娠中に低周波音に暴露したラットの、奇形の胎児だ。これはミンク農場で、死亡したミンクの胎児を詰め込んだ冷蔵庫だ。弁護士が、低周波音 被害の証拠として保存するようにいったそうだ。通常、ミンクがこんなに大量に死亡することはない。被害者の男性は、３０年間ミンクの飼育をしてきてはじめてだそうだ。

これは風車が原因ではないが、母親が低周波音に暴露したひよこの胎児だ。生育不能卵だった。低周波音のためにそうなったのだ。

次はドイツの話だが、被害者宅から２㌔㍍の範囲にたくさんの風車が建っている。被害者がここに来たときは、高さ７０㍍の小さい風車が２基だけだった。今稼働しているのは２３００㌔㍗なので、それよりずっと高い。眺めのいい寝室は使っておらず、今は地下の倉庫を寝室にしている。低周波音が耐えられな くて、倉庫を寝室に作り替えたのだ。

最後はアイルランド。この家にはもう誰も住んでいない。風車の低周波音のせいだ。ここで暮らしていた９歳の息子がてんかんと診断された。さらに１ ９歳の息子はＰＴＳＤ（心的外傷後ストレス障害）と診断された。先に紹介したデンマークのミンク農家の主人もＰＴＳＤと診断されている。

以上、気の滅入るような内容だったが、３０年以上の研究の結果得られた科学的事実である。

日本では、指針値にみられるように、絶対的な限界を定めていないので、新しく風車を建てる前の状態が煩ければ、+5ｄＢという事で、風車の追加が認められています。

外国では、基準値があるので、大きな風車群を民家の近くに作ることは難しいのですが、日本では、洋上風力と言いながら、海岸から２ｋｍ程度の所に、沢山風車を並べています。

文献での調査ではなくて、風車が沢山ある場所での被害調査と風車音の計測と振動の計測が必要なのです。

風車騒音の人体影響について(その1)

- 風車騒音による影響については，風車騒音のレベルとわずらわしさ(アノイアンス:annoyance)を感じる程度の間には統計的に有意であることが複数の論文で報告
- 睡眠影響については，風車騒音レベルとの直接的な関係性，又は，わずらわしさ(アノイアンス)の程度が上がる結果としての間接的な関係性がある可能性を示唆する知見が報告されているが，睡眠影響との関連の科学的根拠は限定的
- 聴力影響，頭痛，耳鳴り，糖尿病，高血圧，循環器疾病等の健康影響については，統計的に有意な知見は認められていない

アノイアンスと風車騒音の統計的関連だが、

報告書（ｐ14）

風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

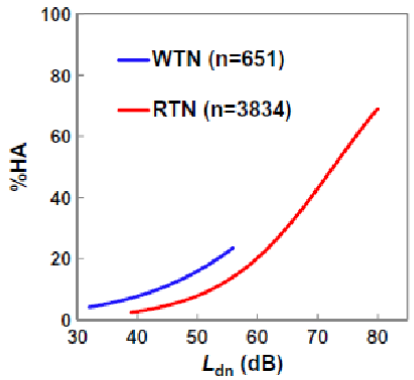


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn ）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計し

ている。

なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。

最後の部分であるが、風車音のエネルギー分布から見て、“９％が風車騒音（20Hz 以上の成分）の影響で、91%が超低周波音の影響であると解釈すべきだと考えます。”

図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

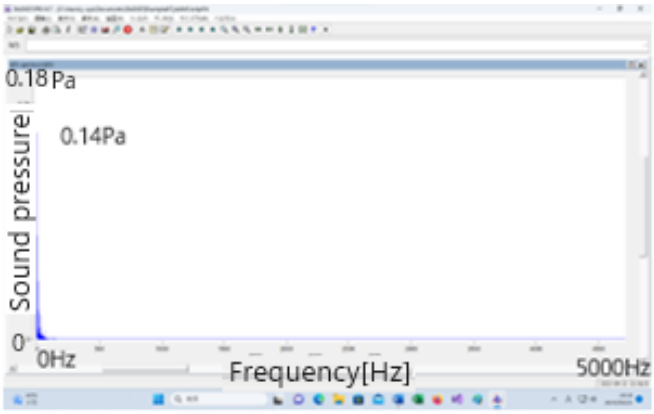


表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

風車騒音レベルの増加と、アノイアンスの増加が比例するときに、風車騒音レベルの増加が風速の増加に起因するならば、この時は、超低周波音の音圧も増加します。従って、91%寄与の要因が、超低周波音と考えることは解釈としてあり得ると考えます。

環境省の HP から公開されている資料の中に
“甲２９号証、風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究 S2-11”
課題代表者名 橘 秀樹 （千葉工業大学附属総合研究所 教授）
研究実施期間 平成 22～24 年度
累計予算額 130,112 千円（うち 24 年度 42,623 千円）
予算額は、間接経費を含む。

があり、そのなかで、次の調査結果が示されている。

１） 社会反応調査

社会反応調査としては、風力発電施設周辺地域について騒音の実測調査と同時に実施した。また、対照地域を平成 23 年度、平成 24 年度にそれぞれ 9 箇所選び、騒音の実測調査と社会反応調査を実施した。

風力発電施設周辺地域（風車地域）では、訪問住戸数 1,539 に対して回答数は 747 で、回収率は 49%であった。 また、対照地域では、訪問住戸数 828 に対して回答数は 373 で、回収率は 45%であった。

調査を実施した地域と回答者の属性について、風車地域と対照地域を比較した結果、両地域できわめて類似した特性となっていた。

つぎに、風車地域におけるアンケート調査の結果を分析した結果、以下のことが分かった。

a. 何らかの音を「**最も悩まされている音**」として挙げた回答は、全回答数 747 のうち 197 件であった。その内訳を見ると、**60%（119 件）が風力発電施設の音を挙げている**。

b. 上記の回答のうち、風力発電施設の音以外の音を挙げた回答（78 件、以下、「風車騒音以外グループ」と呼ぶ）と風力発電施設の音を挙げた回答（119 件、以下、「風車騒音グループ」と呼ぶ）の別に、検討を行った。 まず、生活環境の満足度に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」の回答で「静けさ」に対する不満の程度が「風車騒音以外グループ」よりも大きくなっている。その他の項目については、両グループ間で大きな差は見られない。

c. 「悩まされたりうるさいと感じとことがある音」に対する回答では、「風車騒音グループ」で風力発電施設の音に対して「非常にある」という強い反応が見られる。

d. 騒音によって**迷惑を受ける時間帯**については、「風車騒音以外グループ」では特に指摘が多い時間帯はないが、「風車騒音グループ」では**夜間、深夜を指摘する割合が大きい**。

e. 睡眠影響の原因に関する質問に対する回答では、「最も悩まされている音」として挙げた騒音によると思うと答えた割合は、「風車騒音以外グループ」では 59%であるが、「風車騒音グループ」では 87%となっている。

f. 「自然エネルギーを利用する風力発電は、よい方法か」という質問に対する回答では、「風車騒音以外グループ」では 85%が「よい方法と思う」と答えているのに対して、「風車騒音グループ」では若干その割合が小さくなっている。それでも、「よい方法と思う」との回答は 66%となっている。

g. 「風力発電施設の音が聞こえるか」という質問に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」では「聞こえる」という回答が 100%となっているが、「風車騒音以外グループ」でも「聞こえる」という回答は 68%になってい る。

h. 「風力発電施設が見えるか」という質問に対する回答では、両グループともに 90%以上が「見える」と答えている。

i. 「風力発電施設の景観上の問題」に関する質問に対する回答を見ると、「風車騒音グループ」では 39%が 「景観の邪魔になる」と答えているのに対して、「風車騒音以外グループ」ではその割合は 8%と小さくなっている。

j. 「**風力発電施設があることによって、よいことがあるか**」という質問に対する回答では、両グループともに**「ない」という回答が圧倒的に多い**。

このようなアンケートでは、関連性を数値として評価することは出来ません。関連性が隠されてしまいます。

注目すべきは、

j. 「**風力発電施設があることによって、よいことがあるか**」という質問に対する回答では、両グループともに**「ない」という回答が圧倒的に多い**。

です。

関連の何がどのように解明されれば、科学的根拠が明確になった。と言えるのかについての条件が不明だが、

● **睡眠影響については，風車騒音レベルとの直接的な関係性，又は，わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がる結果としての間接的な関係性がある可能性を示唆する知見が報告されているが，睡眠影響との関連の科学的根拠は限定的**

上記のアンケート結果でも、

> a. 何らかの音を「**最も悩まされている音**」として挙げた回答は、全回答数 747 のうち 197 件であった。その内訳を見ると、**60%（119 件）が風力発電施設の音を挙げている**。
> d. 騒音によって**迷惑を受ける時間帯**については、「風車騒音以外グループ」では特に指摘が多い時間帯はないが、「風車騒音グループ」では**夜間、深夜を指摘する割合が大きい**。

との答えが目立ちます。深夜の時間帯で、騒音の迷惑を受けているという事は、目が覚めて、騒音を感知していることになります。これを、“風車騒音が睡眠に影響して睡眠を妨げている。”と理解するのは当然です。

“関連の科学的根拠”とは、“音が耳に達してから、それを脳で認識して目が覚めるまでの過程を明確に示せ。”と言いう事なのでしょうか？

これに答えられる人間は、今のところ存在しないと思います。

音の振動が電気的な信号に変換されて脳まで届く、辺りまでは示せるでしょうが、その結果として、音を脳が認識して、目が覚めるまでの過程を詳細に示す事はとても難しいと思います。

もちろん、どのようにして電気的な信号に変換されるかの量子力学的な説明や、目が覚めた時の意識とは何かについても解明する必要があるでしょう。

これが出来たら、神様です。

“睡眠影響と騒音レベルの関連性”ですが、
何がどのように示されたら、科学的な根拠が示された。と考えるべきか？

① 風車を止めて、風車騒音レベルが 0 になった時に、睡眠影響が無くなった。
② 風車騒音レベルを徐々に上げて、睡眠影響が大きくなることを確認した。
③ 睡眠している人に、大きさの違う風車騒音を与えて、目が覚めるときの騒音レベルを調べた。
④ 推認している人に対する、風車騒音が、耳の鼓膜をどのように振動させるかを調べる。その振動がどのような信号に変換されて神経系統を伝わっていくかを調べる。脳のどの部分にどのような刺激が与えられたら、目が覚めるのかを調べる。
⑤ ④での信号の伝達、脳内での変化について、量子力学のレベルで理論的に解明する。

など、いろいろあるが、何を持って、“睡眠影響の科学的根拠”と言うかについて事前に確認しておかないと、議論にならない。
私は、①でも、科学的な根拠になると考えます。

アンケート結果でも不眠が特に目立ちます。

これは、農漁村地区の人にとっては重要な問題です。安眠できなければ、朝早く起きたときに眠気が残ります。良く眠れなければ体力も落ちます。

夏に、朝早く起きて海老網の手伝いをしている方の睡眠時間は極端に短くなってしまいます。眠くてぼんやりした頭で、バイクに乗って港に向かう。とても危険なことです。

車を運転するときに、居眠り運転をする可能性も高くなります。人身事故も十分予想されます。

夏に、草刈や草取りの農作業をする人も多いです。体力が落ちている人が、炎天下で農作業をしたら、熱中症になってしまいます。熱中症で畑に倒れているところを、他の人に見つけてもらって、病院に行った方もいるとの話も聞いています。

海に潜って、アワビを採る人にとっても、睡眠不足は大変危険です。体調不良で潜っていて気分が悪くなるのは、良くあることです。眠れなくて体力が落ちれば、漁獲高にも影響します。

良く眠れない原因となる風力発電施設を作ることは、私たちの命を縮めることであり、漁業による収入の減少を招くことです。

騒音での不眠は、学生の成績にも大きく影響します。睡眠不足の生徒は授業中に居眠りします。それを教員に注意され､教員とのトラブルとなることも多い｡体力低下で体育の授業中の事故も増えると考えられる。

風車の近くに住む生徒の成績の分布、風車から１０ｋｍ以上はなれたところに住む生徒の成績の分布を調査する。学校には、風車建設前の生徒の成績データが残っている。各家庭にも成績通知表が残っている。これを持ち寄れば、風車建設前と建設後の成績の変化が数値化できる。これらの値を、風車建設前と建設後で比較する。などすれば、被害はより明確になります。

睡眠不足の問題は、生徒の学力が低下となり、生涯賃金にも大きく影響する。先生に居眠りを注意されてトラブルを起こし、不登校になることも考えられます。これが被害であることは明白です。

● 聴力影響，頭痛，耳鳴り，糖尿病，高血圧，循環器疾病等の健康影響については，統計的に有意な知見は認められていない

“統計的に有意な知見は認められていない。”と言いますが、これは当然の結果です。そもそも、“風車騒音のレベル”と言った段階で、風車音のエネルギーの７％だけを検討の対象にすると決めたことになるのです。このような姿勢では、統計的に有意な関連性を見つけることはできません。

少なくとも、風車音の周波数スペクトルの詳細な確認、風車音の発生する仕組みの解明、指向性を含めた風車音の性質の理解、などの基本的な理解が無ければ、統計で何を計測項目として選び、それらをどのようにして計測するかの議論が出来ません。

統計的な関連を示すつもりなら、風車音の性質の解明と、発生する仕組みの検証から開始してください。そして、計測項目と計測方法を決めて、調べればよいのです。

この調査の時に、NL-62 での計測をしたのですが、残念なことに、データは破棄されてしまいました。もし残っていれば、超低周波領域での最大音圧が分り、その値と被害の関連を計算出来たのですが、今は不可能です。

いろいろあるのですが、睡眠の大切さについて確認しておきましょう。

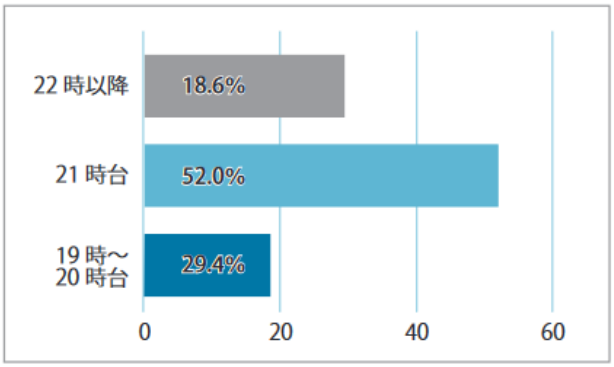
南房総市が 2021 年２月１１日に発行した、広報みなみぼうそう２月号には、次のように書かれている。

子どもの睡眠と成長ホルモン
～夜9時までに眠り、朝7時までに起きる～

健康だより
問 保健予防室 ☎ 36−1154

睡眠は子どもの成長に大きくかかわっています。３歳児健康診査状況からみると、南房総市では夜型の傾向が進んでいることが伺えます。子どもの成長には、食事や運動だけではなく、睡眠を意識した生活リズムを整えることが大切です。夜９時までに眠り、朝7時までに起きることが理想です。

身体の成長や健康の維持には、『成長ホルモン』と呼ばれるホルモンの働きが関与しています。『成長ホルモン』は①免疫力の増強、②筋肉の発達、③骨を伸ばす役割を担っています。睡眠時、とくに入眠直後の深い眠り（ノンレム睡眠）の間に多く分泌されます。



子どもの就寝時間
（令和２年度３歳児健康診査から）

睡眠の質を高めるために

◇朝起きたら太陽の光で体内時計をリセット

朝強い光を浴びることで、体内時計をリセットしてくれ、脳と体を目覚めさせます。まずは、朝早く起きることからはじめ、日中天気の良い日は外でたくさん遊ばせましょう。

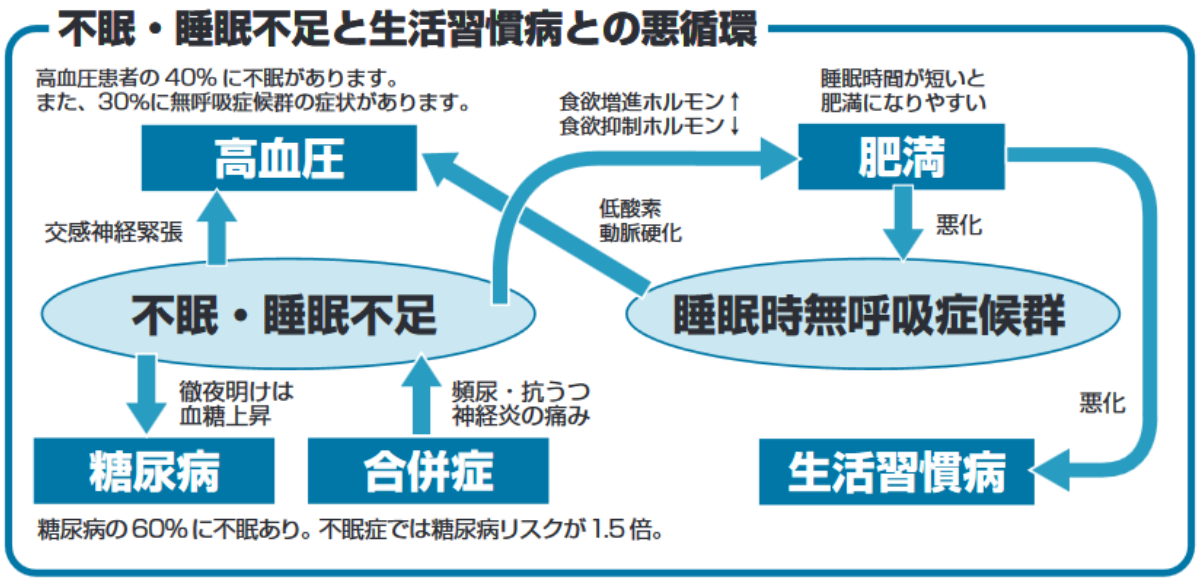
◇ブルーライトを遮断し、灯りは暗く

遅くまで、テレビ、ゲーム、スマホなどをしていると夜はなかなか眠れません。寝る前のテレビやスマホは避け、部屋の明かりを消して静かな環境を整えましょう。

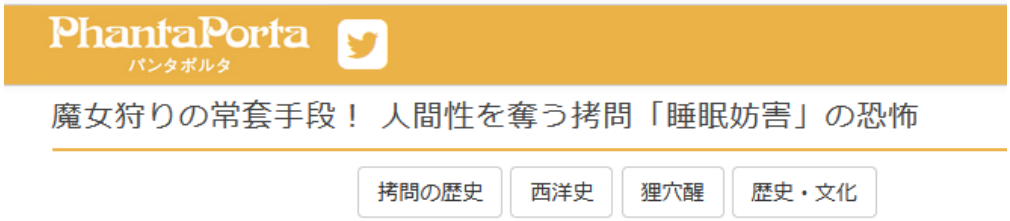
◇休日でもいつもと同じ時間に起床する

休み前の夜更かし、眠れなかった分を補おうと休日に多く睡眠時間を確保すると、より生活リズムが崩れてしまいます。休日も平日と同じ時間に就寝・起床し、眠気がある場合は短時間の午睡を取り入れましょう。

子どもの夜型化には大人の生活習慣が影響を与えています。大人の生活習慣を見直すことが大切です。大人にとっても睡眠は重要です。睡眠不足は糖尿病や心筋梗塞などの生活習慣病や認知症のリスクを高めます。



睡眠妨害が拷問の技法であることは、昔から知られています。



今回は道具を使わず、眠りを妨げることで犠牲者を従わせる「睡眠妨害」の拷問を紹介します。

嘘の自白、精神異常、果ては死……睡眠妨害の末路

眠りによる休息は、あらゆる生物にとって必要不可欠なものです。それだけに、睡眠の妨害は非常に効果の高い拷問となりえます。

睡眠妨害の拷問は古くから行われていましたが、古代や中世では拷問に残酷さが求められたためあまり目立っていませんでした。しかし、近世以降になると盛んに用いられるようになります。

睡眠妨害のうちもっとも原始的な拷問はなんでしょう？

それは、24 時間体制で見張りをつけて眠らせないようにしておくというものです。犠牲者は監房に閉じ込められ、居眠りをすれば執行人に棒でこづかれます。その状態で歩き続けなければならないこともありました。もちろん飲食は最低限だけ、または禁止です。

こうして長時間眠れずにいると、犠牲者の精神は追い詰められ、誘導尋問に乗りやすくなりますし、無実であっても言われた通りのことを自白してしまいます。

また限界に達すれば精神に異常をきたすこともあり、方法によっては死んでしまうことすらありました。

こうした睡眠妨害は、犠牲者の身体に傷が残りにくいことから、現代でも密かに行われ続けているといいます。

睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。ネット上では、

疲労物質と睡眠
疲労とは？疲労の原因と回復方法
公開日：2016 年 7 月 25 日 12 時 00 分
更新日：2019 年 8 月 5 日 15 時 59 分
疲労とは

疲労は「疲れ」とも表現され、痛みや発熱と同様に「これ以上、運動や仕事などの作業を続けると体に害が及びますよ」という人間の生体における警報のひとつです。疲労は、人間が生命を維持するために身体の状態や機能を一定に保とうとする恒常性（ホメオスタシス）のひとつとして、痛みや発熱などと並んでそれ以上の活動を制限するサインとして働いています。

疲労の定義

日本疲労学会では、「疲労とは過度の肉体的および精神的活動、または疾病によって生じた独特の不快感と休養の願望を伴う身体の活動能力の減退状態である」1)と定義されています。疲労は、心身への過負荷により生じた活動能力の低下のことを言い、思考能力の低下や、刺激に対する反応の低下、注意力の低下、注意散漫、動作緩慢、行動量の低下、眼のかすみ、頭痛、肩こり、腰痛などがみられます。

疲労の原因

自律神経の中枢部では、身体の器官や組織の調節を行い、絶えず生命維持のための身体機能を一定に保っ

ています。運動時には、運動強度や体調に応じて呼吸や心拍、体温などの機能の調節を行っており、身体へかかる負荷に合わせて生体機能のコントロールを行う自律神経の中枢も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中枢にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中枢がある脳がダメージを受けることで疲労が起こるとされています。

疲労を起こすのは活性酸素による酸化ストレスで､神経細胞が破壊されるからであると考えられています。運動などのエネルギーをたくさん使う活動では、酸素が多く消費されるとともに活性酸素も多量に発生します｡活性酸素が発生すると､活性酸素を分解して体内から除去する抗酸化酵素が働くようになっていますが、発生する活性酸素の量が抗酸化酵素の働きを上回ると自律神経の細胞や筋肉が活性酸素によって攻撃されて疲労へとつながります。

加齢や紫外線を浴びることは活性酸素の影響を受けやすくなるため、疲労が起こりやすくなります。睡眠障害や睡眠時無呼吸症候群も疲労を蓄積させる原因となることが言われています。

乳酸は疲労物質か？

「乳酸は疲労物質」という考え方がされていましたが、現在では乳酸が疲労を起こす物質であるという考えは間違いであるとされています。疲労した筋肉では乳酸の濃度が高くなり、筋肉のパフォーマンス低下がみられるけれども、乳酸がパフォーマンスの低下をもたらすのではないとされています 2)3)。

最新の研究では、高負荷の運動時に、糖質がエネルギーとして使われる際に乳酸が産生され、筋肉の細胞のエネルギー源として再利用されることがわかっています。運動中の脳内でも神経細胞のエネルギー源として乳酸が働くことも確認されています 2)。

疲労と病気

疲労によって身体の機能を一定に保つ恒常性が乱れると自律神経失調症の症状がみられるようになります。疲れが蓄積すると防衛反応としてステロイドホルモンが分泌されます。ステロイドホルモンが多量に分泌されると､血管の老化による動脈硬化やインスリン抵抗性による高血糖･肥満などのリスクが高まり､高血圧、糖尿病、脂質異常症などの生活習慣病、メタボリックシンドロームにかかりやすくなって心筋梗塞や脳梗塞などの原因となります。ステロイドホルモンは免疫を下げる作用もあり、さらに疲労が蓄積することで免疫系が働きにくくなり、がんの進行から身体を守る防衛機能も低下します。

疲労の回復方法

良質な睡眠をとることが疲労回復に最も効果的であるとされています。1 日 3 食のバランスのとれた食事を摂り、生活リズムを整えること、食事は眠る時間の 3 時間前に済ませておき、眠る 1～2 時間前に 8 分程度、38～40 度のぬるま湯にみぞおちの辺りまでつかることが質のよい睡眠を招きます。

との記事も公開されています。

この常識を無視して、

“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。

朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。

命に係わる事柄です。もちろん、騒音が１日だけとか、夕方６時から朝６時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、１年中、２４時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

風車騒音の人体影響について（その2）

- これまでに国内外で得られた科学的知見を踏まえると，風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。ただし，風車騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は，わずらわしさ（アノイアンス）を増加させる傾向がある。特に，静かな環境では，風車騒音が35～40dBを超過すると，わずらわしさの程度が上がり，睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている
- 風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については，明らかな関連を示す知見は確認できない
- 景観のような視覚的な要素や経済的利益に関する事項等も，わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する

“直接的”の意味があやふやだが、
“風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。”
との表現は正しいかもしれませんが。“直接的”を除いた、次の表現も正しいのです。
“風車音が人の健康に影響を及ぼす可能性は高いと考えられる。”
“風車音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は極めて高いと考えられる。”

一般的な環境騒音に比べて、風車騒音の音圧レベルはそれほど高くないのです。風車騒音は 20Hz 以上成分を対象にして計算する数値です。この小さな数値だけで判断すれば、他の環境騒音では現れない被害がなぜ風車音では現れるのかが理解できないのですが、風車音の特徴を見れば納得できます。

図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

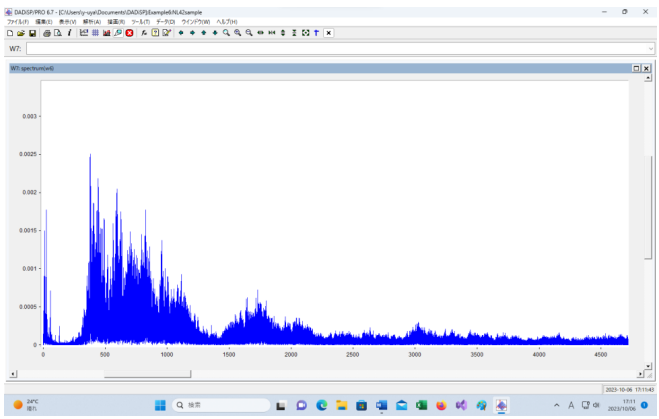


図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz

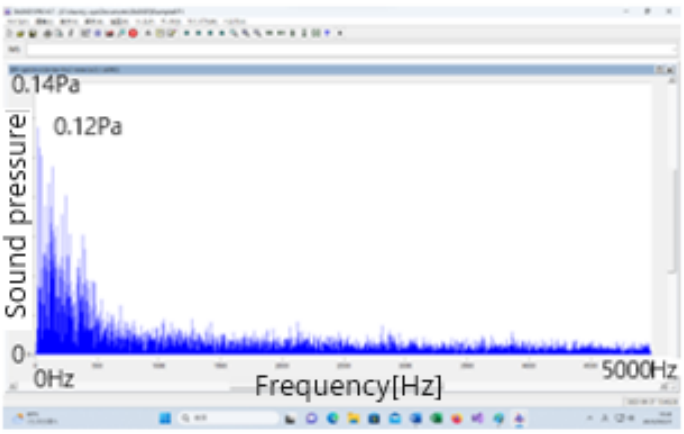


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

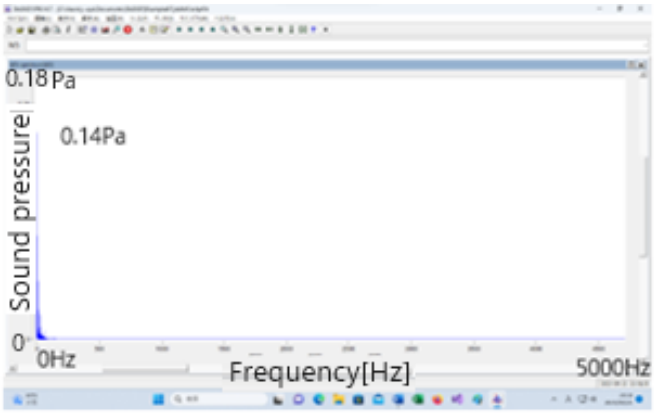


表２．エネルギーの分布

エネルギー分布	０～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

風車騒音（20～100Hz）の成分は風車音には、ほとんど含まれていないのです。

ですから、風車音（0Hz 以上）のうちの“風車騒音（20～100Ｈｚ）”が人間に影響を与える可能性は、直接的にしても、間接的にしても、低いのです。もともと少ないのです。他の環境騒音と比べても小さいのですから、

“風車騒音（20～100Hz）が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。”

となるのです。

風車音には、残りの 93%のエネルギーを持っている超低周波音が含まれるので、

“風車音（0Hz 以上）が人の健康に影響を及ぼす可能性は高いと考えられる。”

“風車音（0Hz 以上）が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は極めて高いと考えられる。”

となるのです。

“静かな環境では、風車音が 35～40ｄＢを超過すると、わずらわしさの程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”

この原因を“静かな環境”しているが、風車が運転を開始すれば、環境は変化し、“静かな環境”ではなくなります

２００７年末、東伊豆の別荘地では１５００ｷﾛﾜｯﾄ×１０基の風力発電が運転を始めた直後から、住民のなかで健康被害が続出した。この因果関係を調べるため、事故で風車が停止しているとき、団地自治会が独自に疫学調査を実施した【表１】。不眠、血圧、胸・腹・歯・鼻・耳痛などの症状が、風車が停止することで大きく改善したことがわかる。

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

風車からの距離（m）	500m未満	500～700m未満	700～900m未満	900m以上	生理的要素
不　眠	71	27	13	0	距離が離れると改善
血　圧	18	15	0	0	距離が離れると改善
リンパ腺の腫れ	6	2	0	0	距離が離れると改善
胸腹歯耳鼻痛	41	39	25	0	距離が離れると改善
煩い・イライラ	59	61	75	0	心理的要素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的要素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的要素も

注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人（改善率82%）。調査結果に転居（10戸）避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009）。

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車３基を停止すること、次に近い風車２基の回

転数を４割減らすこと－－という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによって睡眠障害は７割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。

明確なのは、風車を止めれば、“静かな環境”に戻り、風車を動かせば“静かな環境”ではなくなるという事です。

原因を、静かな環境や、景観への影響、経済的要因、など、計測しがたいものにする人が多いのです。これでは、これらが原因としての条件、すなわち、強い相関性を持っているかどうかを相関係数で判断することは出来ません。したがって、被害の“科学的根拠”はいつまでたっても見つかりません。

根拠を隠すための議論をしているとしか見えません。

“超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない”
については、

風車音の FFT 解析で風車音でのエネルギー分布は簡単に分かります。

風車音での最大音圧は、録音データをコンピュータで解析すれば分かります。

“風騒音”と言われる、５Hz 以下の成分の周波数の規則性も、コンピュータ解析で分かります。

塔の部分の運動を調べれば、風車から超低周波音が出てくる仕組みも分ります。

これらの基礎的な事項の確認が無いと、多変量解析の技術が宝の持ち腐れになります。関連を示す知見が見つからないのは、これに係る人たちの基礎学力が足りないからです。

国語（閾値の混同)、英語（曲解)、数学（フーリエ変換と関数区間、カオス理論)、物理（塔の側面の運動と音の関連の理解）などでの、常識的な学力が不足しているんです。

もし､本当は十分な学力があるのに､関連を示す知見が確認できなかったと言うならば､研究者失格です。過去の知見が無ければ、自分で問題点を解明して、新たな知見を提起すれば良いのです。それが、研究者の責任です。

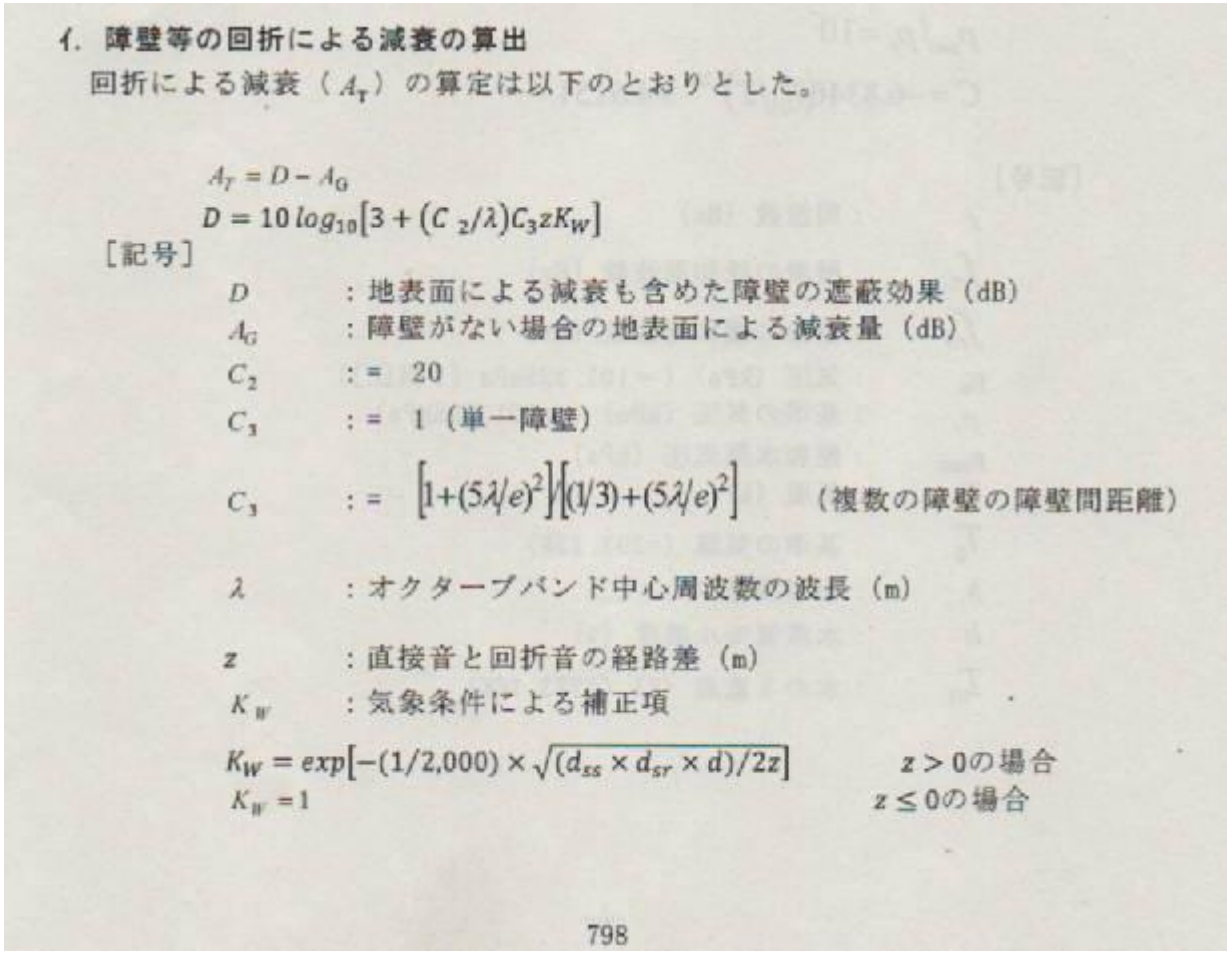
“景観のような視覚的は要素や経済的利益に関する事柄なども、わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する”

経済的な利益に関しては、他人に被害を押し付けて自分が風車で儲けようとする人はいます。
自分が儲ける為ならば人間は嘘をつきます。

儲ける人は、決して“不快感”を訴えないと思います。それを口にしたとたん、近隣住民からの避難や攻撃を受けるからです。

この項目に関しては、検討すべき点があります。

GPI が公開した準備書ですが、



ｲ. 障壁等の回折による減衰の算出

回折による減衰（A_T）の算定は以下のとおりとした。

$$A_T = D - A_G$$

$$D = 10\log_{10}\left[3 + (C_2/\lambda)C_3 z K_W\right]$$

［記号］

D ：地表面による減衰も含めた障壁の遮蔽効果（dB）

A_G ：障壁がない場合の地表面による減衰量（dB）

C_2 ：= 20

C_3 ：= 1（単一障壁）

C_3 ：= $\left[1+(5\lambda/e)^2\right]\left[(1/3)+(5\lambda/e)^2\right]$ （複数の障壁の障壁間距離）

λ ：オクターブバンド中心周波数の波長（m）

z ：直接音と回折音の経路差（m）

K_W ：気象条件による補正項

$K_W = exp\left[-(1/2{,}000)\times\sqrt{(d_{ss}\times d_{sr}\times d)/2z}\right]$ $z>0$の場合

$K_W = 1$ $z\le 0$の場合

798

平木地区と上阿波地区を比較してみると、

$$L_i = PWL_i - 11 - 20\cdot\log_{10} r - A_E - A_T - A_G$$

距離減衰は、上阿波地区の方が遠いので大きい。

空気減衰の値は、距離が大きくなると大きくなる。

AG（地表面の性質による影響）に関しては、どちらも地表面は山林の樹木で覆われているので、どちらも同じ。

AT は、回折による減衰です。これは、山によって風車が見えなくなった時は影響が大きい。

防音壁を介した伝搬音を求める場合、防音壁を透過してくる音が十分小さい条件であれば、音源近傍の音圧レベルから、防音壁を考慮しない直線距離での距離減衰量を減じ、さらに計算図等から求めた回折減衰量を差し引くことで、受音点の音圧レベルを計算できる。図２の条件において、防音壁を介した伝搬音を計算した例を図３に示す。

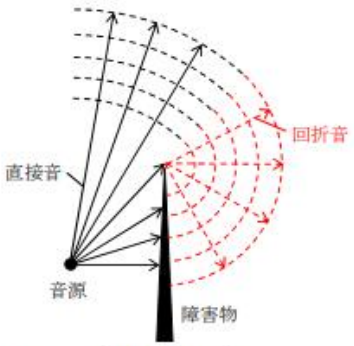


図１　音の回折現象

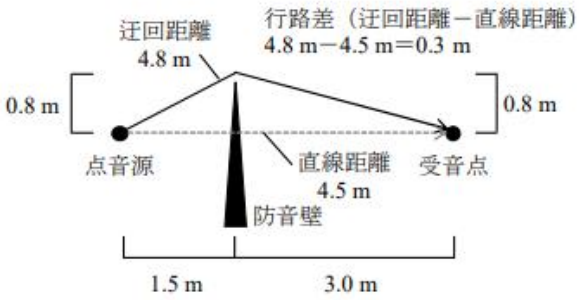
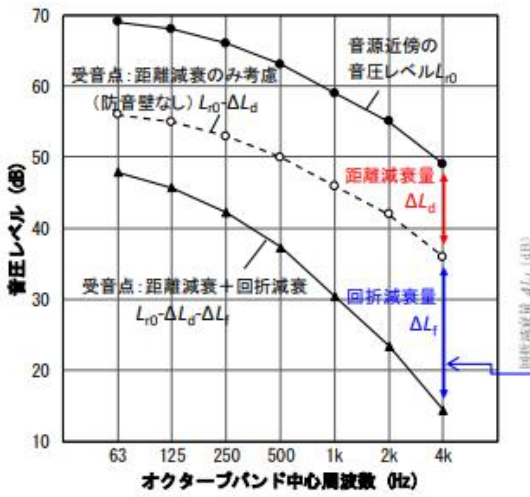


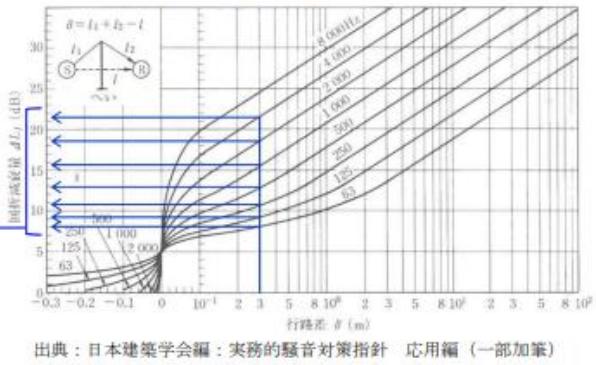
図２　防音壁を介した伝搬音の計算条件



音圧レベル計算結果

計算式：$L_r = L_{r0} - \Delta L_d - \Delta L_f$

L_r:受音点の音圧レベル（dB）
L_{r0}:音源近傍の音圧レベル（dB）
ΔL_d:距離減衰量（dB）
ΔL_f:回折減衰量（dB）



出典：日本建築学会編：実務的騒音対策指針　応用編（一部加筆）

計算図による回折減衰量の評価

要するに、距離が同じでも、見えない風車からの風車騒音の影響は小さくなる。と言う事です。

“景観”と言ってしまうのではなく、その場所での音圧を計測してアンケート結果と比べる必要があるのです。

“景観”や“利益”に関しては、トレーラーの荷台に実験室を作って、被験者を目隠し状態にしたままで風車に近づいたり、町中を走ったりして、風車音や交通騒音を聞かせて反応を確認する必要があります。

２．２８　風車騒音の評価（指針値）について

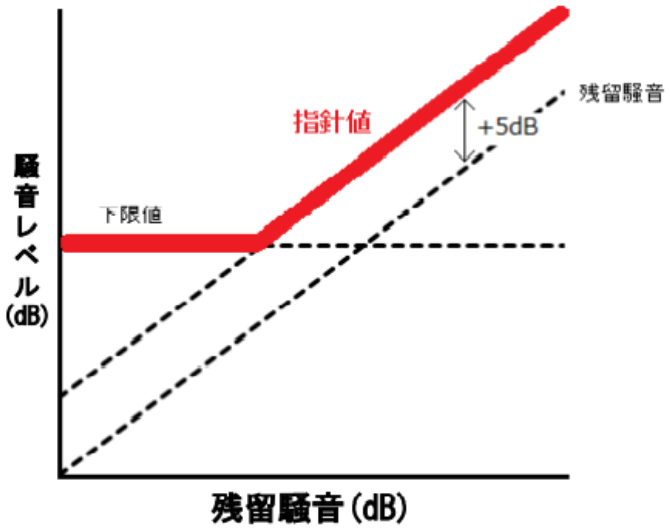
風車騒音の評価（指針値）について

風力発電施設から発生する騒音に関する指針値：

残留騒音＋5dB

下限値の設定*

*残留騒音が著しく低く（30dBを下回る場合）特に静穏を要する地域や，地域において保存すべき音環境がある場合においては35dB，それ以外の地域においては40dBを下限値として設定する



平成29年5月26日 環境省水・大気環境局長通知「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」環水大大第1705261号
(検討会報告書：平成28年11月「評価の目安となる値」)

28

諸外国では、上限値を設定するのが普通です。下限値を設定することは、本末転倒です。
都会の喧騒を逃れて、静穏な田舎暮らしをする権利を奪われたのです。うるさくても我慢しなさいと言うのが、下限値の設定です。

下限値は、35ｄＢか40ｄＢになっています。一見すると問題が無いように見えますが、そうではありません。少し前のページに、

特に，静かな環境では，風車騒音が35～40dBを超過すると，わずらわしさの程度が上がり，睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている

と書いてありました。
これは、
風車音の被害は睡眠影響として確実に表れるが反論は許しません。
としか聞こえません。

この 35ｄB、40ｄB の数値は風車騒音での値です。交通騒音での 35ｄＢと 4.0ｄＢではありません。被害の様子が違います。

”**検討会報告書**「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“には、

報告書（ｐ14）に、

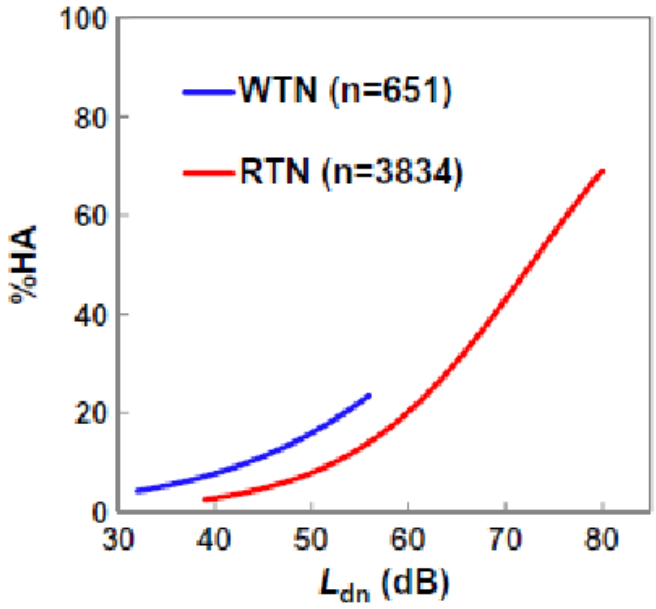
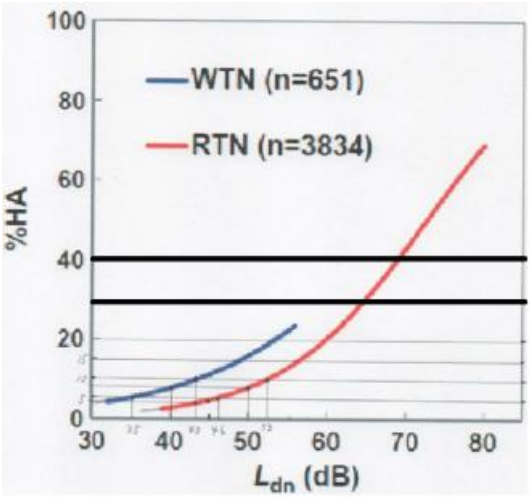


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

と言うグラフがあります。青が風車音での被害、赤が交通通騒音での被害を表します。

同じ音圧レベルでも、“非常に不快である”と感じる人の割合が違います。

報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

風車音では、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

風車騒音（20Hz 以上）で 40ｄＢだと、8%ほどの人が、“非常に不快であると感じる”レベルであることが分かります。これは、交通騒音（20Hz 以上）が 50ｄＢであるときの被害発生率です。
風車騒音（20Hz 以上）での 40ｄＢは、交通騒音（20Hz 以上）での 50ｄＢに相当します。

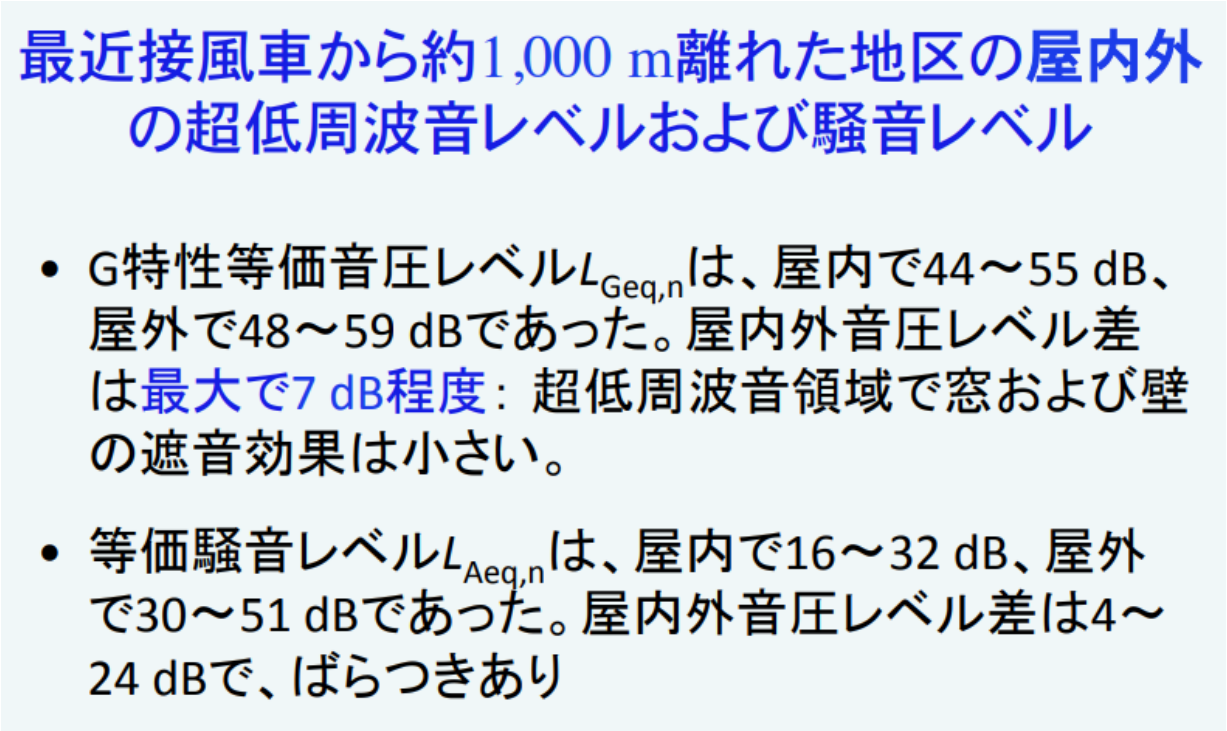
風車は夜間も停止しません。風車騒音（20Hz 以上）の場合に、夜間 40ｄＢまで我慢しなさいと言う事は、交通騒音（20Hz 以上）の場合に変換すると、夜間 50ｄＢまでは我慢しなさい。と言っている事に相当します。
“不快であると感じる”と回答する人は、“非常に不快であると感じる”人の 2 倍と考えると、30%程度の人に不快感を与える数値が、屋外で風車音を計測し、その値を A 特性音圧レベル（20Hz～）として評価した数値が、40ｄＢなのです。
夜間における風車騒音 40ｄＢは、交通騒音（20Hz 以上）に変換した場合で 50ｄＢ程度の音が出ている状態でも、我慢しなさいと言われているのです。
交通騒音（20Hz 以上）では、A 及び B の地域での基準値が夜間 45ｄＢです。風車騒音での 40ｄＢは、交通騒音（20Hz 以上）に変換して音の影響を考えたときには、これよりも 5ｄＢ高いのです。この数値は、商業、工業地域の夜間の基準値です。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
Ａ及びＢ	５５デシベル以下	４５デシベル以下
Ｃ	６０デシベル以下	５０デシベル以下

（注）
1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。
2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

交通騒音（0Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 400Hz 程度の周波数成分なので、これに対しては防音窓の設置でかなり防げるが、風車音（0Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 0.5Hz とか 0.8Ｈｚの周波数成分であり、風車音（0Hz 以上）のエネルギーの 93%が超低周波音（0Hz-20Hz）の部分であるので、この周波数の音はエネルギー透過率が高いので防音窓では防げないのです。

石竹達也　氏の研究内容に、



と書かれている。

これを使って考えてみます。

音の全体のエネルギーを 100%とします。93%が超低周波音（0Hz～20Hz）、7%が騒音（20Hz 以上）のエネルギーだとします。

A 特性音圧レベル（20Hz～）で 40ｄB の風車騒音では、7%に対する評価値が 40ｄB となっています。

この部分に対しては、防音窓によって 24ｄB の減衰が得られます。従って、16ｄB となって、

静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

ほとんど聞こえないレベルとなるのですが、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は 7 ｄB しか減衰しません。

そこで、次のように考えてみます。

交通騒音（20Hz 以上）で 50ｄB に相当する風車騒音（0Hz 以上）について、

騒音（20Hz 以上）の部分が 40ｄB

超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を加えると 50ｄB

だとします。

さて、騒音レベルの計算ですが、次の資料を確認します。

【参考】：1/3 オクターブのデータより 1/1 オクターブのデータへの変換

既知の 1/3 オクターブデータの dB 値より対応する 1/1 オクターブバンドデータの dB 値へ変換するには、求めたい 1/1 オクターブバンドに対応する 1/3 オクターブバンドデータの dB 値の和を計算します。 例えば、1/1 オクターブの中心周波数 1000 Hz のバンドデータ値を求める場合、対応する 1/3 オクターブのバンドデータが次のような dB 値であるとき；

800 Hz	73 dB
1000 Hz	77 dB
1250 Hz	75 dB

；中心周波数 1000Hz の 1/1 オクターブバンド値は次の式から求められます。

$$10\log_{10}\left(10^{\frac{73}{10}}+10^{\frac{77}{10}}+10^{\frac{75}{10}}\right)=80\ (\mathrm{dB}) \qquad \text{式 11-7}$$

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。

音圧の**2乗が音の強さ(エネルギー)に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを** $P_{1/1}{}^2$ **とすれば、エネルギーの和を考えると、**（　J＝（ｐ*ｐ）/（ρ ｃ）を考え、適当な定数を掛けて考える。）

$$(P_{800})^2+(P_{1000})^2+(P_{1250})^2=P_{1/1}{}^2$$

が成立する。

$$L_{800}=10*log_{10}(P_{800}/P_0)^2$$

より$L_{800}/10=log_{10}(P_{800}/P_0)^2$、よって、$(P_{800}/P_0)^2=10^{L800/10}$

となり、

$$L_{1/1}=10*log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2$$
$$=10*log_{10}(((P_{800})^2+(P_{1000})^2+(P_{1250})^2)/P_0{}^2)$$
$$=10*log_{10}\left(10^{L800/10}+10^{L1000/10}+10^{L1250/10}\right)$$

となります。

そこで、

$$(P_L)^2+(P_H)^2=P_T{}^2$$
$$40=10*log_{10}(P_H/P_0)^2$$
$$50=10*log_{10}(P_T/P_0)^2$$

とすれば、

$$(P_L/P_0)^2=(P_T/P_0)^2-(P_H/P_0)^2$$
$$=10^5-10^4$$
$$10*log_{10}(P_L/P_0)^2=10*log_{10}(10^5-10^4)=10*(4+log_{10}9)=49.5$$

この部分が、７ｄＢ減衰すれば、42.５ｄＢ

$$10*log_{10}(P_{L425}/P_0)^2=42.5$$

とおくと、

$$(P_{L425}/P_0)^2=10^{4.25}$$

さらに、

$$40=10*log_{10}(P_H/P_0)^2$$

での減衰が 24ｄＢなので、

$$40-24=16=10*log_{10}(P_{H16}/P_0)^2$$

とおいて、

$$(P_{H16}/P_0)^2=10^{1.6}$$

$$(P_{L425}/P_0)^2 + (\frac{P_{H16}}{P_0)^2} = 10^{4.25} + 10^{1.6}$$

このとき、

$$10 * log_{10}((P_{L425}/P_0)^2 + \left(\frac{P_{H16}}{P_0)^2}\right) = 10 * log_{10}(10^{4.25} + 10^{1.6}) = 42.5$$

となります。

エネルギーの全体を考えると、室内での風車騒音（0Hz 以上）は、交通騒音（20Hz 以上）に変換して考えた場合の 42.5ｄB に相当すると言えます。

交通騒音（20Hz 以上）で 45ｄB だった場合はどうなるかと考えると、これは、24ｄB の減衰がそのまま使えて、室内では 21ｄB になると言えます。

交通騒音（20Hz～100Hz）で 40ｄB だった場合は、24ｄB の減衰があれば、16ｄB になります。

交通騒音に対しては、家は防音窓を付ければ、安眠を保証してくれます。

周波数が高ければ、防音窓は私たちの生活を守ってくれますが、周波数が低い風車超低周波音（ISO7196）の場合には、守ってはくれないのです。

屋外で測った時の、風車騒音（0Hz 以上）での 40ｄB は、室内での交通騒音（20Hz 以上）の 42.5ｄB に相当します。

風車騒音（0Hz 以上）に対する遮音効果で、G 特性音圧レベル（1Hz～20Hz）では 7 ｄB の減衰、A 特性音圧レベル（20Hz～）では、24ｄＢの減衰となっている。エネルギーの減衰に注目して考えると、7.5ｄＢ程度の減衰だと考えます。

交通騒音（20Hz 以上）での、42.5ｄB は、4%程度の人が、“非常に不快である”と感じる値だと言う事がグラフから分かります。

この２倍程度の人が“不快である”と感じると推測すれば、“不快”または“非常に不快”であると感じる人は、12%程度になると思われます。

もちろん、調査が必要だし、不快感の表現として、“不快”または“非常に不快”に関する個人差があることは当然です。

はっきりしていることは、A 特性音圧レベル（２０Hz～）の数値をもとに考えると、風車騒音（０Hz 以上）と交通騒音（0Hz 以上）には、10ｄB 程度の隔たりがあると言う事です。

ここでは、次の資料を使いました。

騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチョー）の資料によれば、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

眠るときの、42.5ｄＢと 21ｄＢでは、大きな違いがある。

もちろん、眠りが浅くなっても、翌日死亡することはほとんどありません。そんな日が毎日続けば、車を運転中に居眠りします。子供は、学校の授業中に居眠りします。

死亡事故や、生涯賃金の減少が予測できます。もちろん、これは風車騒音（0Hz 以上）による直接の影響ではありません。

風車騒音（0Hz 以上）は、毎日毎日ほんの少しだけ、安眠を妨げただけです。風車には責任はありません。眠い時に運転した人が悪いのです。眠いからと言って授業中に居眠りした生徒が悪いのです。

このような被害が発生することを予測しなかった人が悪いのです。

なぜなら、環境省の資料には、

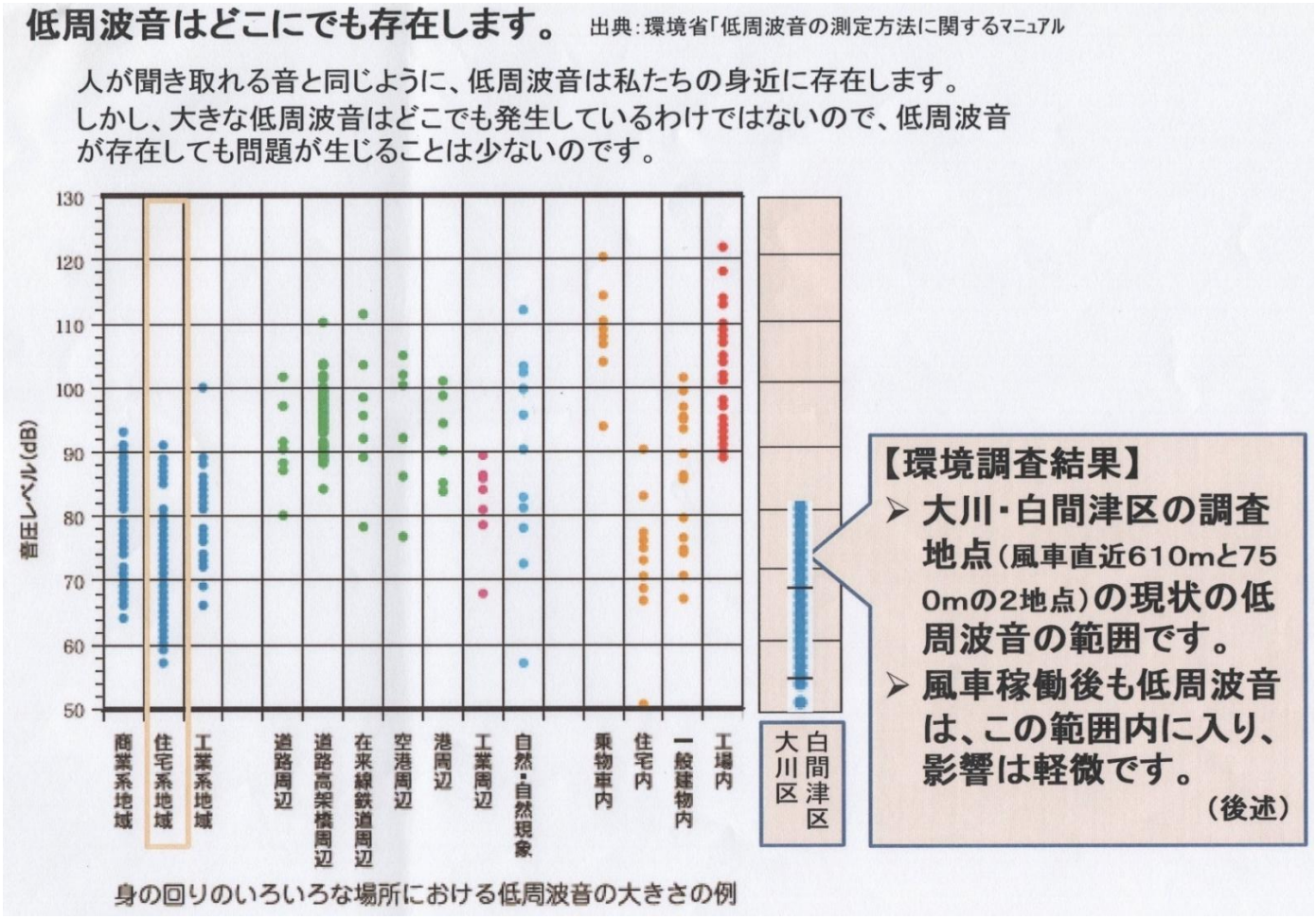
“風車騒音は、わずらわしさ（アノイアンス）に伴う睡眠影響を生じる可能性はあるものの、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。”

と書いてあり、“睡眠影響を生じる可能性がある”ことが明記されているのです。

少し調べれば、伊豆での被害や、各地の住民が睡眠の被害を訴えていることは直ぐに分かります。

睡眠影響は、風車か３ｋｍ、場合によっては 5ｋｍの範囲にも影響を及ぼすことが、国のお金を使った研究成果として発表されています。

企業は、風車から 610m、750m　離れれば影響は軽微であると説明しました。



自己責任の時代です。ネット情報を確認しなかった住民が悪いのです。企業に責任はありません。

でも、ネットの資料を調べたり、音を計測したり、解析したりするのは大変なのです。時間もお金もかかります。まして、立派な会社が、立派なパンフレットに嘘を書くとは思いません。低周波音（20Hz～100Hz）を勝手に、低周波音（0 Hz～100 Hz）と誤解した住民が悪いと言われても、悲しくなるだけです。さらに、県や市は、計測機材を持っていても計測してくれないのです。

自己責任の時代だと言いうのですから、何とか 70 万円（150 万円、300 万円）をかき集めて、自分たちの生活を守るための機材を購入しましょう。

屋外と屋内での計測が必要です。精密騒音計の他に、振動レベル計での計測も必要です。これが無いと、企業を相手に裁判するときの証拠を集められません。

もちろん、企業に計測結果を示せと言っても、示してくれるとは思えない。たとえ出したとしても、信頼できるデータなのかは分かりません。少なくとの、企業と住民がそれぞれの機材を用意して、同じ場所で同時に計測して、その結果をお互いに交換し、ネットに公開しておくことが必要です。

さて、残留騒音は次のものです。

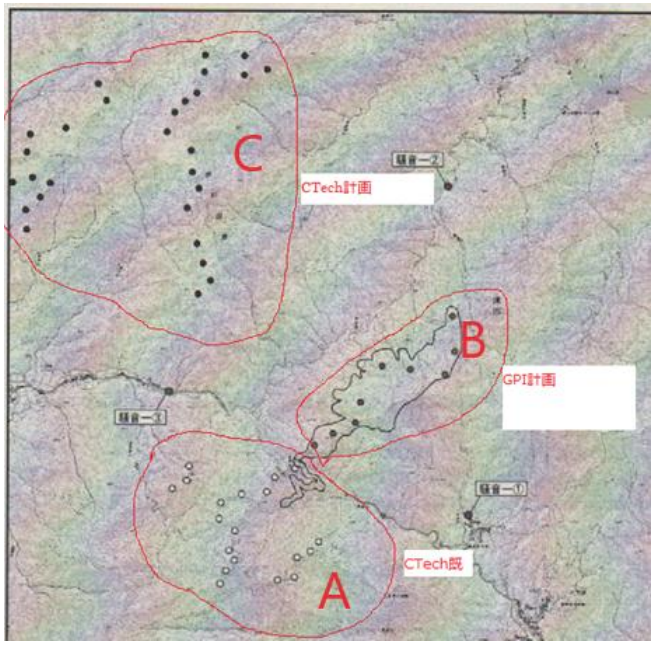
- **風車においては，静穏な地域に設置されることが多く，まれに通過する自動車等の一過性の騒音により，暗騒音のレベルが大きく変化することから，評価にあたっては，これらの一過性の特定できる騒音全てを除いた「残留騒音residual noise」を基に評価を行う**

“一般に、騒音の評価においては、評価すべき音**以外の**すべての騒音である「暗騒音」を基に比較等を行う”

暗騒音から、“一過性の特定できる騒音”を除いた“残留騒音”となっています。

“一過性ではないが特定できる人工音”（他の会社の既設風車の音）は、“残留騒音”に含めるのか、それとも、既設の風車音を暗騒音から除いたものを残留騒音とするのかが、問題になります。

この文面通りならば、他の会社の既設風車の音は、特定はできるが、一過性ではない。ので、除去する対象とはならない。と理解できます。これは、とても困った事態を引き起こします。



三重県の例ですが、A 群の風車はすでに建設されています。A 群の風車を建てるときは、町田氏の定義通りの暗騒音と残留騒音で問題はない。

では、その後 B 群の風車を建てるときには、暗騒音には、A 群の風車以外の騒音に加えて、A 群の風車からの音も届きます。

A 群の風車は、昼も夜も稼働しているので、一過性の音ではないのです。特定はできるが、一過性ではないので、取り除く対象ではありません。この部分は、残留騒音に加算されます。

その後、C 群の風車を建設するときは、特定はできるが、一過性ではない音として、A 群と B 群の風車音が、残留騒音に加算されます。さらに D 群の風車を建てるときも同様です、残留騒音がどんどん大きくなります。

指針値は、残留騒音+5ｄＢですが、残留騒音がどんどん大きくなれば、指針値もどんどん大きくなります。

一度、風車群が出来れば、無制限に増えてゆくのです。極端に言えば、毎日１基ずつ増やせば、指針値である、残留騒音+5ｄＢは絶対に超えないのです。被害もどんどん増えます。

上限を規定する基準値があれば、それを超えるような風車の増設は出来ないのです。しかも、指針値を超えても罰則はありません。

工事前の、企業による予測の問題点

騒音に関しては、次のような値を使って予測します。この表は風車自体を作っている企業が公開するものです。騒音（20Hz～100Hz）との規定とは異なります。

周波数は、1/1 オクターブバンドでの中心周波数で、63Ｈｚ～8000Ｈｚです。

表 10.1.3-16　本事業の風力発電機の風速別パワーレベル及び周波数特性

単位：dB

ハブ高さ風速（m）	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)								A特性
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
3	70.3	78.8	84.3	87.1	86.9	83.8	77.9	69.0	92.2
4	70.8	79.4	85.0	87.7	87.5	84.3	78.2	69.1	92.8
6	75.7	83.9	89.3	91.9	91.6	88.5	82.5	73.7	97.0
8	82.7	90.1	95.1	97.5	97.3	94.5	89.2	81.2	102.8
9	85.3	92.6	97.4	99.7	99.5	96.8	91.7	84.0	105.1
10	86.3	93.5	98.3	100.6	100.4	97.7	92.5	84.8	106.0
12	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0

この計算結果を指針値と比較します。国際規格ですが、“風車騒音レベル”の予測とは認めがたい。

低周波音・超低周波音に関しては、次の表を使います。

表 10.1.4-4　風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル											
	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
本事業	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7
既存施設	121.0	121.9	118.2	118.1	117.4	116.1	113.4	112.1	110.6	109.1	107.8	106.6
計画中施設	119.2	117.5	118.9	122.4	121.2	121.2	121.4	120.7	119.4	118.8	119.8	117.8

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル												G特性
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	
本事業	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0	128.4
既存施設	103.9	102.1	101.1	101.3	101.7	97.4	102.6	99.8	108.0	100.5	96.8	93.8	117.5
計画中施設	113.3	114.2	114.1	112.7	112.3	111.2	109.8	107.2	105.6	108.7	102.1	97.5	128.5

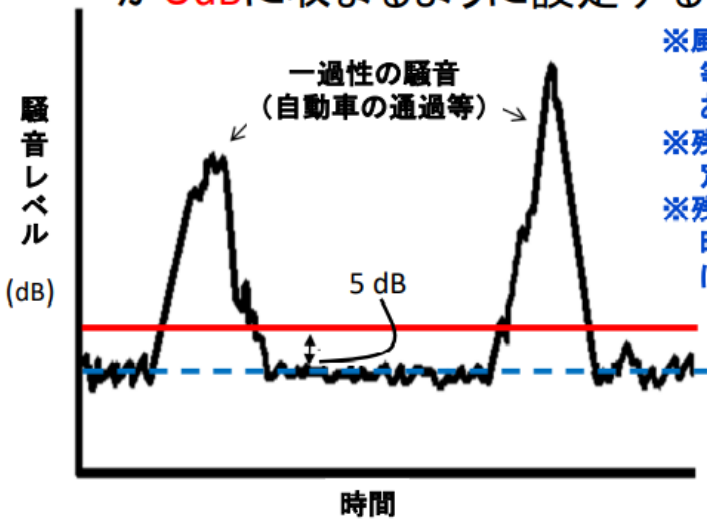
注１：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020 年４月　株式会社シーテック)を参考とした。

この表は、1/3 オクターブバンドでの中心周波数で、1Ｈｚ～200Ｈｚです。

２．２９　風力発電施設騒音の評価（指針値）の算定

風力発電施設騒音の評価（指針値）の算定

- 風力発電施設の設置又は発電設備の新設を伴う変更が行われる場合が対象
- 屋内の生活環境保全を考慮し，屋外で昼夜毎に評価
- 「残留騒音」（一過性の騒音を除いた騒音）からの増加量が5dBに収まるように設定する



※風車騒音の評価は，設置予定地近隣の住居等，風車騒音が人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域の屋外で行う
※残留騒音は，風が安定して吹くときに屋外で測定する
※残留騒音の測定，風車騒音の評価は，昼間(6時～22時)，夜間(22時～翌6時)のそれぞれについて行う

29

何度見ても、“一過性の騒音を除いた騒音”と書いてある。すでに稼働している風車群の音は、すべて残留騒音として扱いなさい。といっています。風車騒音に慣れただろうから、次のステップで“+5ｄB”に挑戦しなさいと言われています。走り高跳びではないのです。

指針値の変化を示すために、単純化したモデルを作ると、次の様になります。

年		残留騒音	残留騒音+5ｄB	指針値
2020	風車無し	33	38	40
2021	A群建設開始時	33		40
2022	風車A群19基稼働後	39	44	44
2023	B群建設開始時	39		44
2024	風車A群19基+B群9基稼働後	43	48	48
2025	C群建設開始時	43		48
2026	風車A群19基+B群9基+C群30基稼働	47	52	52
2027	D群建設開始時	47		52
2028	風車A群19基+B群9基+C群30基+D群20基稼働後	50	55	55

指針値は、どんどん大きくなります。風車は、2年おきに建設すれば、いくらでも作れるのです。

“屋内での瀬克環境保全を考慮し、屋外で昼夜ごとに評価”
とあるが、いくら評価しても、その数値を超えたときは直ちに風車を停止させる。と言うわけでは②のですから、無駄以外の何者でもありません。

さらに、小さな文字の部分をよく見たら、
“設置予定地近隣の住居等、風車騒音が人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域の屋外で行う”

※風車騒音の評価は，設置予定地近隣の住居等，風車騒音が人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域の屋外で行う
※残留騒音は，風が安定して吹くときに屋外で測定する

と書いてありました。

被害が起きているのは、ほとんどが室内です。被害を把握するには室内での計測が必要です。
精密騒音計と振動レベル計で測定しなくてはなりません。

被害範囲に関して、**１ｋｍ**の話が頭をよぎったのは、私だけでしょうか？
影響を与えるおそれがあると認めるのは誰なのか、その地域以外での被害の訴えがあったら計測するのか、結果は公表するのでしょうか、

被害範囲に関連して、報告書（ｐ29）には、
ウ．調査地域・地点
風車騒音の伝搬特性を踏まえ、風力発電施設周辺における住宅等、風車騒音により人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域　（注）　を対象とする必要がある。この中には、病院等特に静穏な環境を保全すべき地域が含まれる場合もある。調査地域のうち具体的な調査地点の選定に当たっては、風力発電施設の事業実施想定区域周辺の住宅など、特定の音源の局所的な影響を受けず地域における平均的な騒音レベルを評価できると考えられる地点を選定する必要がある。測定は、建物外部で地面を除く反射物から 3.5m 以上離れた場所で行う。

（注）発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲 **1 km** の範囲内としている。

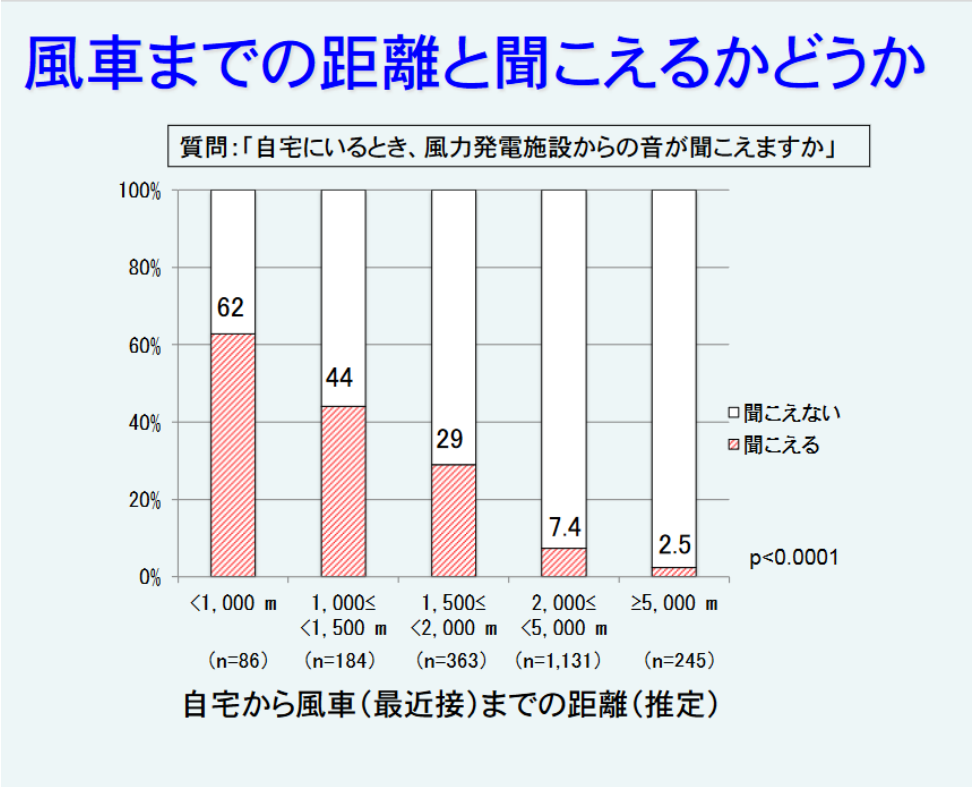
平成 28 年度第 3 回（第 9 回）風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会議事録
には、次のような記載がある。
塩田委員、どうぞ。
【塩田委員】　塩田です。25 ページの 80 番に、調査を行う範囲の距離についての意見があります。その範囲の距離に対する考え方をもう少し親切に答えてあげたほうがよいのではないかと思います。これだと１ｋｍでいいよと解釈されそうです。
【町田座長】　事務局どうぞ。
【行木大気生活環境室長】　ありがとうございます。ご指摘、そのとおりと思います。この点につきましては、測定方法に関するマニュアルのところでも、非常に大事なこととして整理が重要な点と考えておりまして、マニュアルの作成におきましてご指摘も踏まえて、しっかりやっていきたいと思います。その旨、この考え方のこの部分の記載におきましても明記をするよう修正をしたいと思います。ありがとうございます。
【町田座長】　橘委員、どうぞ。
【橘委員】　ここで言う、推進費と書いてありますけど、いわゆる戦略指定研究でやった全国調査では、一応 1 キロメートルを 100 メートルぐらいから 1 キロメートルぐらいを目安にしています。それでも、それ以上数キロメートルなんていったら、実質上とても無理です。そんなに測定点は選べません。1 点か 2 点増やすだけならできるでしょう。
　それから、1 キロでもちろん音は風車、聞こえるところは聞こえます。だから、聞こえなくなるまではかれといったら、もう数十キロにわたって、あ、数十キロって、数キロにわたって測定しなきゃならなくなるという、実際マニュアルでそんなことを書いたら、実行不可能なマニュアルになってしまいます。だから安易に 1 キロ、それをもっと数キロにしますとか言われると困るなという。
【行木大気生活環境室長】　橘先生、説明が足りず、大変失礼いたしました。ご指摘のとおりでして、何よりもその調査におきましては、その対象となる施設とその周辺の地形の状況ですとか、土地利用の状況に応じて影響がありそうなところを選定して調査をしていくというところが大事と思っておりまして、日本はいろいろ、日本だけじゃないと思いますけれども、いろいろと個別の場所で状況も違いますから、単純に距離を指定するということは適切ではないと思っております。マニュアルにおきましては、そういった観点のどういったところが、最も影響が大きくなりそうなのか、どういったところで、その調査を行うのがいいという辺りを整理して書いていくということだと思っております。
　ついでに、すみません。今の話と全く関係ないことなんでございますが、資料 1 の恐らく一番最後のページに、また、表紙がついてしまっていると思います。大変申し訳ありません。これ、落丁でございまして、資料といたしましては、34 ページまででございます。大変失礼いたしました。

これを見ると、
風車から１ｋｍくらいまで制限したい人が、委員の中には多かったと言う事が分かります。
でも、風車騒音（0Hz 以上）の被害は広範囲に及びます。
　通産省の省令の意味は、
“発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲 1 km の範囲内としている。”とは異なりますが、ここでは省略します。

風力発電等による低周波音・騒音の長期健康影響に関する疫学研究

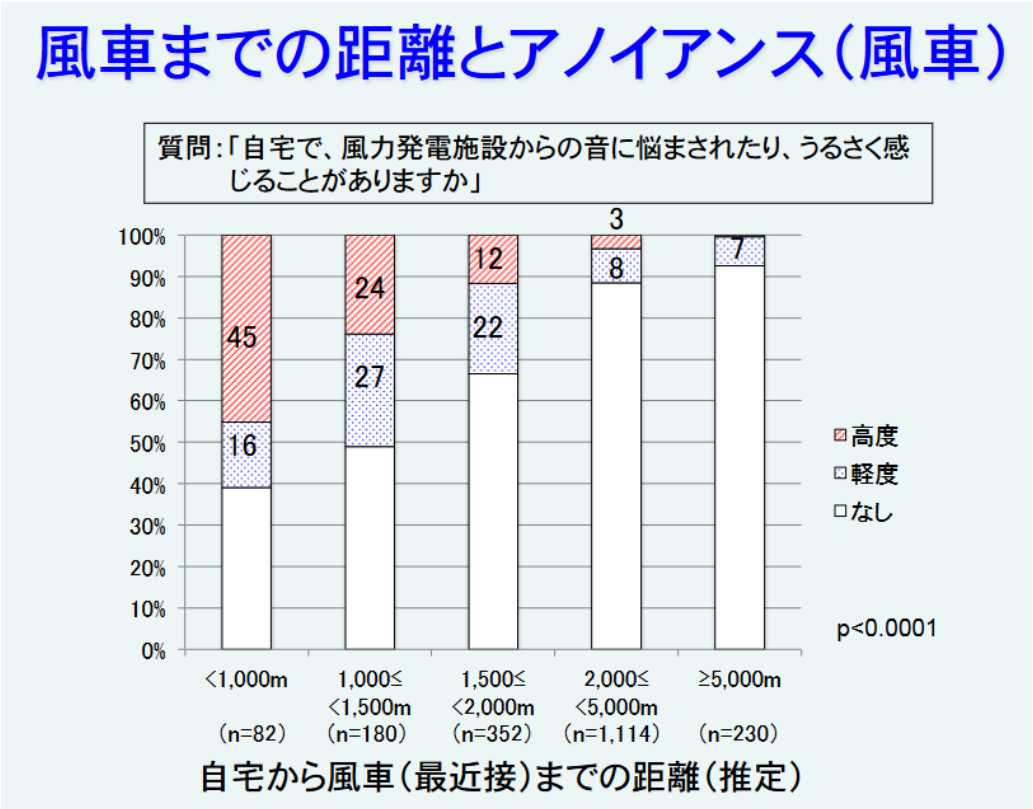
研究代表者：石竹達也（久留米大学医学部）研究実施期間：平成 25～27 年度

石竹達也氏（久留米大学医学部）の調査結果は

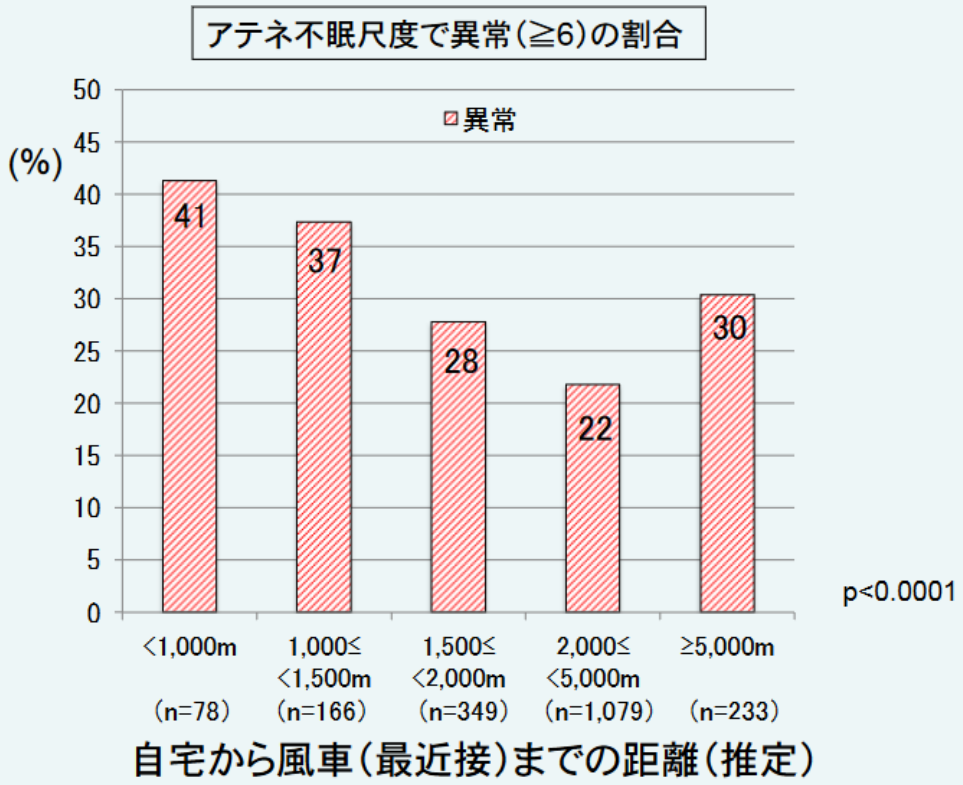


2000ｍから 5000ｍの距離でも 7.4%の人には音が聞こえる。

2000ｍ圏内では、29%の人が騒音を認識する。



風車までの距離と睡眠障害



多重ロジスティック回帰分析

風車からの距離(公民館)と睡眠障害(アテネ不眠尺度≥6点)

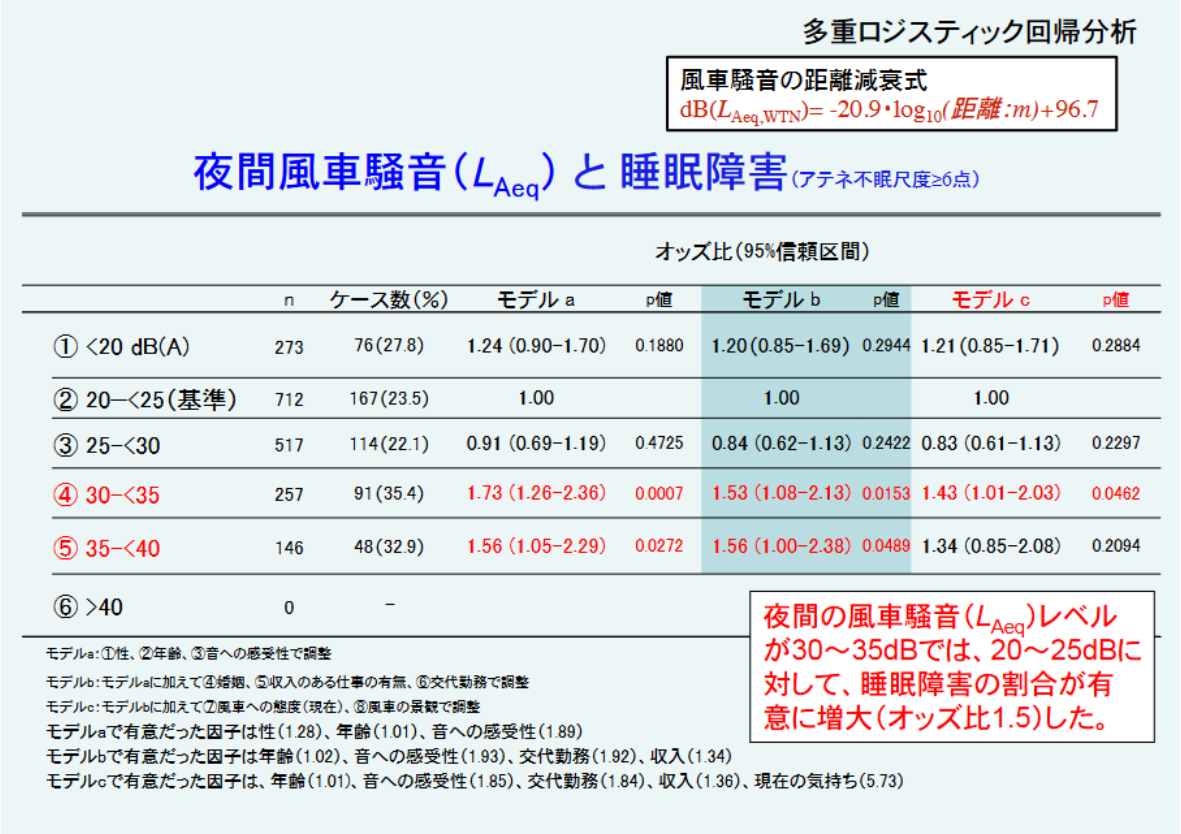
			オッズ比(95%信頼区間)					
	n	ケース数(%)	モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
1,000 m未満	78	32(41.3)	2.43(1.50-3.89)	0.0004	2.36(1.35-4.04)	0.0028	1.93(1.08-3.38)	0.0280
1,000 m～1,500 m	166	62(37.4)	2.11(1.49-2.98)	<0.0001	2.06(1.41-3.00)	0.0003	1.91(1.29-2.83)	0.0018
1,500 m～2,000 m	349	97(27.8)	1.35(1.02-1.79)	0.0336	1.32(0.97-1.79)	0.0820	1.32(0.96-1.80)	0.0859
2,000 m～5,000 m (基準)	1,079	235(21.8)	1.00		1.00		1.00	
5,000 m～	293	80(27.3)	1.38(1.02-1.85)	0.0377	1.25(0.90-1.74)	0.1827	1.24(0.88-1.73)	0.2134

モデルa:①性、②年齢、③音への感受性で調整
モデルb:モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整
モデルc:モデルbに加えて⑦風車への態度(現在)、⑧風車の景観で調整

モデルaで有意だった因子は性(1.36)、年齢(1.01)、音の感受性(1.79)
モデルbで有意だった因子は性(1.28)、年齢(1.02)、音の感受性(1.78)、交代勤務(1.93)
モデルcで有意だった因子は性(1.30)、年齢(1.02)、音の感受性(1.79)、交代勤務(1.94)、現在の気持ち(5.46)

風車からの距離が1,500m未満に居住している人は、2,000m以上離れた距離に居住する人に対して、睡眠障害の割合が有意に増大(オッズ比:約2倍)した。

注)・モデルaに港の有無で調整すると、5,000m以上の有意なオッズ比が消失
・対象者よりうつ病除外(n=82)しても傾向は不変



多重ロジスティック回帰分析

風車騒音の距離減衰式
$dB(L_{Aeq,WTN}) = -20.9 \cdot \log_{10}(距離:m) + 96.7$

夜間風車騒音（L_{Aeq}）と睡眠障害（アテネ不眠尺度≥6点）

	n	ケース数（%）	オッズ比（95%信頼区間） モデル a	p値	モデル b	p値	モデル c	p値
① <20 dB(A)	273	76 (27.8)	1.24 (0.90–1.70)	0.1880	1.20 (0.85–1.69)	0.2944	1.21 (0.85–1.71)	0.2884
② 20–<25（基準）	712	167 (23.5)	1.00		1.00		1.00	
③ 25–<30	517	114 (22.1)	0.91 (0.69–1.19)	0.4725	0.84 (0.62–1.13)	0.2422	0.83 (0.61–1.13)	0.2297
④ 30–<35	257	91 (35.4)	1.73 (1.26–2.36)	0.0007	1.53 (1.08–2.13)	0.0153	1.43 (1.01–2.03)	0.0462
⑤ 35–<40	146	48 (32.9)	1.56 (1.05–2.29)	0.0272	1.56 (1.00–2.38)	0.0489	1.34 (0.85–2.08)	0.2094
⑥ >40	0	–						

夜間の風車騒音（L_{Aeq}）レベルが30～35dBでは、20～25dBに対して、睡眠障害の割合が有意に増大（オッズ比1.5）した。

モデルa：①性、②年齢、③音への感受性で調整
モデルb：モデルaに加えて④婚姻、⑤収入のある仕事の有無、⑥交代勤務で調整
モデルc：モデルbに加えて⑦風車への態度（現在）、⑧風車の景観で調整
モデルaで有意だった因子は性（1.28）、年齢（1.01）、音への感受性（1.89）
モデルbで有意だった因子は年齢（1.02）、音への感受性（1.93）、交代勤務（1.92）、収入（1.34）
モデルcで有意だった因子は、年齢（1.01）、音への感受性（1.85）、交代勤務（1.84）、収入（1.36）、現在の気持ち（5.73）

これから、非常に多くの人（２ｋｍ圏内では３０％以上）が睡眠障害に悩まされていることが分かります。

指針値（評価の目安となる値）策定の趣旨（検討会*）

- 風力発電施設から発生する騒音による生活環境への影響を未然に防止するためのもの
- 風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による具体的な対策実施等に活用するとともに，地方公共団体による関係する事業者や住民等への対応の際の参考とするもの(一定規模以上）
- これまでの知見から，風車騒音は風力発電施設の規模，設置される場所の風況でも異なる
- 風車騒音の聞こえ方は，風力発電施設からの距離や，その地域の地形や被覆状況，土地利用の状況等により影響される

「これらの特性を踏まえ，全国一律の値ではなく，地域の状況に応じたものを定める必要がある」とした。

*環境省「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」
（平成25年5月～平成28年11月）

30

１ｋｍの理由、残留騒音の計算方法、風車音（0Ｈｚ以上）の性質や発生の仕組みを無視したままでの議論、業者の説明内容、実際に起こっている被害の状況、を考えると、

“生活への影響を未然に防止するためのもの”
ではなく、
“風車建設への反対運動を未然に防止するためのもの”
になっています。

昔の業者は、被害を訴える人を健常者ではないと評価しようとしました。

【結言】
三崎地区風力は、風車周辺および住宅内では「健常者の人体に感知される超低周波音」は存在せず、建具をがたつかせる超低周波音も存在しないことから、周辺の生活環境を保全する上において支障はないものと考えられます。

指針値が提唱されてからは、超低周波音を知覚したという事さえも禁止されているような状態です。

20Hz以下の超低周波音領域は，すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく，通常可聴周波数範囲の騒音の問題

もし、超低周波音を知覚したとか感知したと話せば“人間ではない”と言われそうな気がします。
被害の原因が、景観の問題や風車に対する気持ちの問題にすり替えられることで、被害を訴えたら、“非国民”と言われてしまいそうな気がするのは、私だけでしょうか？

さらに、

「これらの特性を踏まえ，全国一律の値ではなく，地域の状況に応じたものを定める必要がある」とした。

については、

その地域に住む人のうちで、風車音に敏感で被害を受けやすい人が多い場合は、その地域に住む人の特徴に合わせて風車音を厳しく制限できる。と理解する事も可能です。
“全国一律の値ではなく、地域の情況に応じたものを定める”とあるので、反対運動が強ければ低い値になり、反対運動が無ければ、大きな値となる。と言う事でしょう。住民の自己責任と言う事なのです。

下の文章では、環境基準ならば、住民の反対とは関係なく行政の目標になるが、指針値は行政が目標としなくても良いのです。要するに、国も県も市も助けてくれないと言いう事になるのです。
県や市は、たとえ精密騒音計を持っていたとしても、計測はしてくれません。もちろん、国がA特性音圧レベル（20Hz～）で計測しなさいと言っているときに、G特性音圧レベル（1Hz～20Hz）やG特性音圧レベル（0.25Hz～315Hz）で計測しようとはしません。
助けを求めても無駄です。でも方法はあります。自分たちでお金を集めれば良いのです。機材を住民が購入して、住民が計測して、結果をどんどん公開すれば良いのです。
この結果と、工夫したアンケートを行って、体調不良や不眠に関連する要素を決定する必要があります。これには、近所の人で、理科系の勉強をしたことのある人に頼めば何とかなります。

２．３１　「指針値」と「騒音に関わる環境基準」との関係

「指針値」と「騒音に関わる環境基準」との関係

●「指針値」
風車騒音は他の環境騒音と比べ特徴的な音であることを勘案し，風力発電施設の設置等に当たり，風力発電施設から発生する騒音による生活環境への影響を未然に防止するためのもの

●「騒音に係る環境基準」
行政の政策上の目標として一般的な騒音を対象として，生活環境を保全し，人の健康を保護する上で維持されることが望ましいもの

@両者では性格や位置づけが異なる

騒音に係わる環境基準の類型指定がなされており，風力発電施設が設置されている地域において，一般的な騒音に対しては引き続き当該環境基準に基づき生活環境を保全する。風力発電施設から発生する騒音については，本指針に基づき未然防止の観点から，当該地域の状況に応じた具体的な対策等を講じる。 その他，騒音についての環境基準を満たしている場所においても，健康被害の苦情等の発生事例があることに留意する。

31

ここでは、“風車騒音は他の環境騒音と比べ特徴的な音である”と書いてあるのだが、
今まで見てきた中での特徴は、スウィッシュ音と純音の２点くらいです。
指針値と基準値の違いは、
指針値は、超えても罰則はない。残留騒音が増えるので風車建設を制限する数値とはならない。
基準値は、行政が目標としている数値なので、超えれば行政から企業への指導や禁止命令が出る。
下の方に、

その他，騒音についての環境基準を満たしている場所においても，健康被害の苦情等の発生事例があることに留意する。

31

と書いてある。騒音が環境基準を満たしていても、健康被害の苦情が発生する事もあるでしょうが、
風力発電施設から発生する騒音等への対応について（概要資料）

●風力発電施設から発生する音は、通常著しく大きいものではないが、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的小さな騒音レベル（A特性音圧レベル）であっても苦情等の発生事例あり

では、風車音の特徴として、A 特性音圧レベルが小さくても被害が出ると言っているのであって、
一般的な騒音と環境基準の話ではない。町田氏の書き方では、問題点がすり替わってしまいます。
指針値は、行政が動いてくれるような、環境基準値では無いのです。　住民の団結力、経済力、学力が問われるのです。

２．３１．１ 法的な側面

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”
の問題点に関して検討します。

”平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“
“風力発電施設から発生する騒音等への対応について（概要資料）”
“平成 29 年 5 月 26 日に「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」”
が出された。
「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」、の 3 ページには
４．残留騒音及び風車騒音の測定方法とそれらの騒音と指針値との比較の考え方
騒音の評価尺度はいずれも A 特性音圧レベルを用いるものとする。
と書いてある。
風力発電施設から発生する騒音に関する指針について　の【別紙】に
“風力発電施設から発生する騒音等に関して、騒音問題を未然に防止するための参考となる
指針を次のとおり定める。”
“５．注意事項
本指針の適用に当たっては、以下の点に注意すること。
○ 本指針は、騒音に関する環境基準、許容限度や受忍限度とは異なる。
○ 測定方法が異なる場合、測定結果を単純に比較することは出来ない。
○ 本指針は、風力発電施設から発生する騒音等に関する検討を踏まえて設定したもので
あるため、その他の騒音の評価指標として使用することはできない。
６．指針の見直し
本指針については、設定に際しての基礎資料を適宜再評価することにより、必要に応じ
て改定する。
７．その他
騒音については聞こえ方に個人差があり、また地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、指針値を超えない場合であっても、可能な限り風車騒音の影響を小さくするなど、地域の音環境の保全に配慮することが望ましい。“
と書いてある。

しかし、その内実は全く逆である。
“風力発電施設から発生する騒音等に関して、騒音問題を未然に防止するための参考となる指針を次のとおり定める。”
とあるが、この言葉には注意が必要である。“騒音”は 20Hz 以上の周波数の部分を指すのであり、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は除外されている。
そう解釈する根拠は、
検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」には
（注）「超低周波音」についての補足

我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第０部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、**20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」**と表記する
と書いてある。
よって、環境省の今の文書では、騒音は 20Hz 以上の周波数成分。低周波音は（20Hz～100Hz）の周波数成分を指すことになる。
風車からの音を全体として考える場合は、風車騒音（0Hz 以上）の様に周波数範囲を追加しておくことにします。

さらに、困ることがあります。

○ 本指針は、騒音に関する環境基準、許容限度や受忍限度とは異なる。
とあるが、

環境基準ならば、
１　環境基準は、次に定める達成期間でその達成又は維持を図るものとする。
（１）道路に面する地域以外の地域については、環境基準の施行後直ちに達成され、又は維持されるよう努めるものとする。
（２）既設の道路に面する地域については、関係行政機関及び関係地方公共団体の協力の下に自動車単体対策、道路構造対策、交通流対策、沿道対策等を総合的に実施することにより、環境基準の施行後１０年以内を目途として達成され、又は維持されるよう努めるものとする。
ただし、幹線交通を担う道路に面する地域であって、道路交通量が多くその達成が著しく困難な地域については、対策技術の大幅な進歩、都市構造の変革等とあいまって、１０年を超える期間で可及的速やかに達成されるよう努めるものとする。
その実現の為に、誰がどの様に努力すべきかが示されている。行政機関もその責任の一端を負っている。

許容限度ならば、
自動車騒音の大きさの許容限度　【英】Permissible Limit of Automobile Noise
解説
自動車による騒音を低減するために、環境大臣が騒音規制法（1968）に基づき定める規制値。1971 年に設定された。
車種毎に、定常走行騒音、近接排気騒音及び加速走行騒音について、それぞれ規制値が定められている。自動車騒音の規制は、環境大臣がこの許容限度を定め、国土交通大臣がこの許容限度が確保されるよう考慮して道路運送車両法（1951）に基づく保安基準で必要な事項を定めることにより行われている。
現在定められている許容限度は世界的に見ても最も厳しい数値と言われている。

この数値を超える音を出す車は道路を走行できない。

受忍限度ならば、
騒音に関する代表的な法律には下記のようなものがあります。いずれの法律を適応するにしても、対象の騒音が受忍限度を超えているか（耐え難いものであるかどうか)、また客観的な騒音値としての証拠があるかが争点となります。
軽犯罪法（刑法）
軽犯罪法とは軽微な秩序違反行為に対して刑を定める法律です。軽犯罪法には具体的に３３の行為が罪として定められており、そのうちの一つに以下のように「騒音」に対して定めたものがあります。
十四（静穏妨害の罪）公務員の制止をきかずに、人声、楽器、ラジオなどの音を異常に大きく出して静穏を害し近隣に迷惑をかけた者
区分所有法（民事法：通称マンション法）
マンションなどの集合住宅における共同生活のための権利関係について定めた法律です。同法律は簡単に言えば集合住宅に居住する人は他の居住者（区分所有者全体）の「共同の利益」に反する行為をすることを禁止しています。
（区分所有者の権利義務等）
第６条　区分所有者は、建物の保存に有害な行為その他建物の管理又は使用に関し区分所有者の共同の利益に反する行為をしてはならない。
共同の利益に反する行為とは下記のようなものを言います
（１）建物の不当な毀損行為
（２）建物の不当な使用行為
（３）建物の不当な外観変更行為
（４）居住者のプライバシー侵害やニューサンス（騒音・振動・悪臭など）に該当する行為
各地方自治体による条例
各地方自治体では「生活環境保全に関する条例」を定めています。これらの条例では生活環境に関する規則、指針や基準を定めています。例えば横浜市の「生活環境の保全などに関する条例」の別表１３では下記のように騒音の規制基準が定められています。
これを超えている場合には、きちんと計測して裁判をすれば勝てます。

指針値はどうか、
指針値が、どんどん大きくなることは別としても、次のような問題がある。
指針値を超えても、行政からの指導は無い。
指針値では、風車騒音と交通騒音との被害状況に関しての比較が困難。
業者は、風車騒音をどこまで下げたら、住民に被害が出ないかが分からない。
参照値での物的苦情や不快感に関する議論を抑え込む。
この値を決めた検討会の内容に問題が多い。
この数値が役に立つのは、住民からの被害の訴えを抑え込む時だけです。
“風力発電施設から発生する騒音等に関して、騒音問題を未然に防止するための参考となる指針を次のとおり定める。”と言っても、法的な規制では無いのです。

○ 測定方法が異なる場合、測定結果を単純に比較することは出来ない。

とある。
被害状況とその根拠を解明するには、指針値とは異なる数値が必要となる。測定方法も解析方法も全く異なる。新しい技術や理論が必要ですが、それを認めたくないとの意思表示である。それが、当然のことを、わざわざ書いた理由です。

○ 本指針は、風力発電施設から発生する騒音等に関する検討を踏まえて設定したものであるため、その他の騒音の評価指標として使用することはできない。
とあるが、
検討会の報告書概要資料では
“20Hz 以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている。”
“風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題”
と書かれている。
もし、風車騒音が 20Hz 以上の可聴周波数範囲の騒音の問題ならば、交通騒音と同じであり、指針値も交通騒音に適用できるはずである。
適用できない理由があるならば、風車騒音と交通騒音は異質のものであり、A 特性音圧レベル（20Hz～）をそれらの共通の指針とは出来ないことになる。この場合は、風車騒音は通常可聴周波数の騒音ではないことになる。
当然のことではあるが、圧迫に起因する不快感や、物的苦情に関する参照値の問題を考えると、20Hz 以上の通常可聴周波数の騒音の問題とは言えない。

指針値がその他の騒音の評価指標として使いえないのならば、なぜ使えないのかの究明が必要となる。
指針値の決め方をよく見ると、ある場所の全ての騒音から、“一過性の騒音”を除外したものを残留騒音と呼び、
残留騒音+5ｄＢ＝指針値、
とする。
ただし、残留騒音＝max｛40,実際の残留騒音｝あるいは　残留騒音＝max｛35,実際の残留騒音｝
風車の第１群が建つと、その風車からの音は、“一過性”の音ではないので、残留騒音が大きくなる。
第２群の風車を追加するときには、この新しい残留騒音に対して、
新しい残留騒音+5ｄＢ＝新しい指針値、
を計算する。これが繰り返されて、指針値は無限に大きくなる。
（一部誤解があるので、後ほど修正します。）
たしかに、騒音に関する環境基準、許容限度や受忍限度とは異なるのです。どんどん大きくなる基準値は無いのです。

風車音の影響範囲を１ｋｍとしているならば、指針値がかなり上昇することが分ります。
従って、指針値は、評価指標としては不適格です。

６．指針の見直し
本指針については、設定に際しての基礎資料を適宜再評価することにより、必要に応じて改定する。

とあるが、
　再検討に必要な、調査結果が廃棄されてしまった。

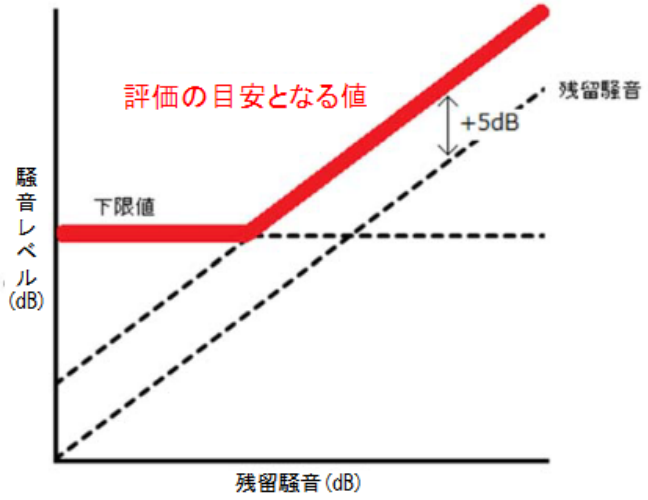
７．その他
騒音については聞こえ方に個人差があり、また地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、指針値を超えない場合であっても、可能な限り風車騒音の影響を小さくするなど、地域の音環境の保全に配慮することが望ましい。“
とあるが、
　出だしの、“個人差があり”の記述は、指針値以下でも被害が出ると言っているのですが、指針値はどんどん大きくなるのですから、指針値を超えなくても被害は出るのです。
　もし、数値が役に立つのは、騒音レベルがこの数値以下なら被害は起きません。と言える場合だけです。指針値を超えなくても被害が出るならば、この数値は業者にとっても役には立ちません。
　可能な限り風車騒音の影響を小さくする。と言われても、どこまで小さくすれば住民への被害が無くなるのかが不明なので住民からの損害賠償請求についての予算が組めません。
　被害が出ない目安となる数値を示すべきである。ただ、小さくしなさいと言われても困るだけです。

２．３１．２　被害の予測と指針値、環境基準値

風力発電施設騒音の評価の考え方②

評価の目安となる値：残留騒音＋5dB

※ただし、残留騒音が著しく低く（30dBを下回る場合）特に静穏を要する地域や、地域において保存すべき音環境がある場合においては35dB、それ以外の地域においては40dBを下限値として設定する。



指針値は、残留騒音+5ｄＢとなっている。到達する風車音の騒音レベルを計算すれば次の様になる。

残留騒音が30ｄB未満の特別な地域ならば、指針値が35ｄBになるが、
普通の地域では、残留騒音が30ｄBならば、指針値は40ｄBになる。（下限値）
残留騒音が35ｄBならば、指針値は35+5＝40ｄBになる。
残留騒音が40ｄBならば、指針値は40+5＝45ｄBになる。
残留騒音に対して、どの程度の風車騒音が到達したら指針値になるかを確認したものが次の表です。
表の“風車音”の数値が、到達した風車騒音の騒音レベルです。

残留騒音dB	(Pa*Pa)	Pa→	風車音	指針値dB	(Pa*Pa)	Pa→	Δ(Pa*Pa)	Δ(Pa)
30	0.0000004	0.000632	33.3	35	1.2649E-06	0.001125	0.00000086	0.000492
30	0.0000004	0.000632	39.5	40	0.000004	0.002000	0.00000360	0.001368
35	1.265E-06	0.001125	38.3	40	0.000004	0.002000	0.00000274	0.000875
40	0.000004	0.002000	43.3	45	1.2649E-05	0.003557	0.00000865	0.001557
45	1.265E-05	0.003557	48.3	50	0.00004	0.006325	0.00002735	0.002768
50	0.00004	0.006325	53.3	55	0.00012649	0.011247	0.00008649	0.004922
55	0.0001265	0.011247	58.3	60	0.0004	0.020000	0.00027351	0.008753
60	0.0004	0.020000	63.3	65	0.00126491	0.035566	0.00086491	0.015566

30ｄBと39.5ｄBの合成した音圧レベルの計算は、10*LOG(10^(30/10)+10^(39.5/10))＝39.96（＝40）です。

計測した数値が指針値の大きさだったら、普通の地域での風車騒音の騒音レベルは、38.5ｄB～53.3ｄBです。　残留騒音が大きな地域ほど風車音の影響が大きくても許される事になります。

三重県での残留騒音の具体的な数値は

【春季】　単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル						指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音－①	昼間	34	29	28	18	36	2	40
	夜間	36				37	1	41
騒音－②	昼間	43	30	17	18	43	0	48
	夜間	43				43	0	48
騒音－③	昼間	40	31	34	27	42	2	45
	夜間	39				41	2	44

【冬季】　単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル						指針値
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値累積 e=a+b+c+d	増加分 e-a	
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音－①	昼間	33	29	28	18	35	2	40
	夜間	35				37	2	40
騒音－②	昼間	40	30	17	18	40	0	45
	夜間	40				40	0	45
騒音－③	昼間	38	31	34	27	40	2	43
	夜間	37				40	3	42

注1：時間区分は、「騒音に係る環境基準について」（平成10年環境庁告示第64号）に基づく区分（昼間：6～22時、夜間：22時～6時）
注2：現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（L_{A90}＋2dB）とした。
注3：指針値は、残留騒音＋5dBとした。なお、「残留騒音＋5dB」が40dB未満の場合は40dBとした。

33ｄB～43ｄBです。

残留騒音43ｄB、指針値48ｄBの場合では、風車騒音と残留騒音の合成が指針値になっていた場合は、風車騒音の騒音レベルは、46.3ｄBになります。この数値は、“35～40ｄB”の値を大きく越えています。

風車騒音の人への影響

● これまでに国内外で得られた科学的知見を踏まえると、風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。ただし、風車騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は、わずらわしさ（アノイアンス）を増加させる傾向がある。静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている

従って、“風車騒音が35～40ｄBを超過する”ので、指針値を目安にする限り、“わずらわしさ（アノイア

ンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる”のです。

- また、風車音と他の騒音源からの同等レベルの騒音を比較した場合、不快に感じる人の割合は風車音の方が高い[5]。

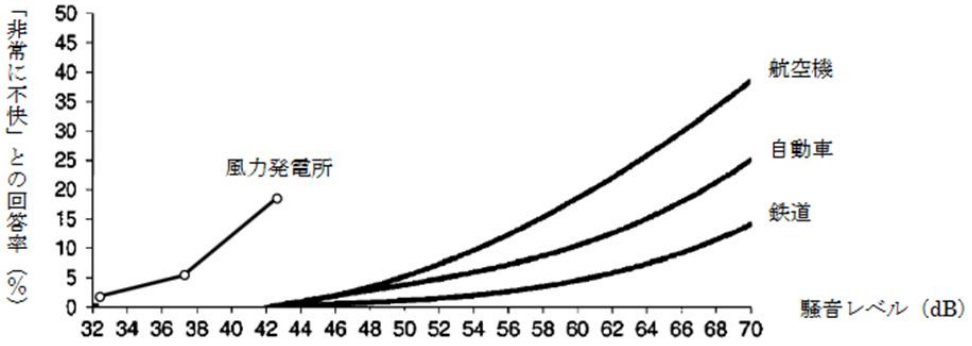


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

グラフを参考にして、

到達風車音	50.0	49.7	49.3	48.0	47.7	46.7	45.5	43.8	43.7	43.3	42.0	40.8	36.7	36.1
非常に不快（%）	40	39	37	35	32	30	25	22	22	20	16	14	5	5

と言う表を作りました。

指針値での被害				
夜間残留騒音dB	到達風車音ｄB	指針値dB	区分	非常に不快（%）
30.0	33.349	35.0	AA	2.5
30.0	39.542	40.0	A又はB	12.0
32.5	39.150	40.0	A又はB	11.0
35.0	38.349	40.0	A又はB	9.0
37.5	40.849	42.5	A又はB	14.0
40.0	43.349	45.0	A又はB	20.0
42.5	45.849	47.5	A又はB	26.0
45.0	48.349	50.0	A又はB	36.0
47.5	50.849	52.5	C	41.0
50.0	53.349	55.0	C	50.0

- **騒音については，感じ方に個人差があること，地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式，住居環境等が異なることから，指針値を超えない場合であっても，地域の音環境の保全に配慮し，可能な限り風車騒音の影響が少なくなるように，事業者は対策を講ずるよう努めることが必要**

三重県では、残留騒音が 40ｄＢ程度の場所が多いので、指針値を超えない場合でも、**20%程度**の人が、夜間“非常に不快”と感じるだろうと推定できます。

到達する風車音の騒音レベルを考えれば、“指針値を超えない場合であっても”風車音の影響で、アノイアンス（不快感）の増加による安眠妨害が、20%程度の人に起きることが分ります。

環境基準値を使う場合では、到達する風車音の騒音レベルは次の値になります。

環境基準値は、次の数値です。Ａ及びＢの所が、普通の住宅街です。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
Ａ及びＢ	５５デシベル以下	４５デシベル以下
Ｃ	６０デシベル以下	５０デシベル以下

こちらの場合は、特に残留騒音が小さな地域の於いて、アノイアンス（不快感）による安眠妨害が起きる可能性が高くなります。

基準値での被害				
夜間残留騒音dB	到達風車音ｄＢ	夜間基準値	区分	非常に不快（%）
30.0	39.542	40.00	AA	13.0
30.0	44.860	45.00	A又はB	25.0
32.5	44.749	45.00	A又はB	25.0
35.0	44.542	45.00	A又はB	23.0
37.5	44.150	45.00	A又はB	23.0
40.0	43.349	45.00	A又はB	20.0
42.5	41.411	45.00	A又はB	15.0
44.0	38.132	45.00	A又はB	9.0
47.5	46.411	50.00	C	30.0
49.0	43.132	50.00	C	20.0

この場合は、残留騒音が低い地域では、**23%～25%程度**の人が、“非常に不快”としてのアノイアンスで、安眠を妨害されることが分ります。

参照値だと被害者が住民の 10%程度になった時に問題視されるので、それを撤廃して、被害者が 20%～30%になっても言い逃れが出来るようにした数値が、指針値である。

建設後の結果は

風力発電サイトにおける事後調査報告　- 騒音・低周波音・電磁波 -

第 9 回風力エネルギー利用総合セミナー　2009 年 6 月 19 日　クリーンエナジーファクトリー株式会社によれば、

建設前（騒音）

調査地点（風車までの距離）	時間区分	風車設置前の調査結果（平成17年） 通常時	風車設置前の調査結果（平成17年） 強風時	環境基準（B類型）
T1（350m）	昼間	50dB	55dB	55dB
	夜間	42dB	※59dB	45dB
H1（400m）	昼間	42dB	※56dB	55dB
	夜間	42dB	※55dB	45dB
M2（470m）	昼間	39dB	52dB	55dB
	夜間	36dB	※59dB	45dB
N1（680m）	昼間	45dB	※59dB	55dB
	夜間	42dB	※53dB	45dB

（※）を付した箇所は環境基準を超過。風雑音や波音の影響あり。

建設後（騒音；アセス地点）

調査地点（風車までの距離）	時間区分	調査結果 1日目	調査結果 2日目	調査結果 3日目	環境基準（B類型）	直近風車における平均風速 1日目	直近風車における平均風速 2日目	直近風車における平均風速 3日目
T 1（350m）	昼間	53dB	52dB	50dB	55dB	6.4m/s	1.2m/s	3.6m/s
	夜間	45dB	39dB	43dB	45dB	7.4m/s	1.2m/s	7.5m/s
H 1（400m）	昼間	49dB	50dB	—	55dB	4.9m/s	3.8m/s	—
	夜間	※46dB	41dB	—	45dB	5.5m/s	5.3m/s	—
M 2（470m）	昼間	45dB	41dB	43dB	55dB	6.2m/s	1.2m/s	3.5m/s
	夜間	※46dB	36dB	44dB	45dB	7.7m/s	0.6m/s	5.2m/s
N 1（680m）	昼間	43dB	51dB	45dB	55dB	4.0m/s	4.3m/s	3.4m/s
	夜間	※48dB	41dB	34dB	45dB	6.2m/s	7.7m/s	5.3m/s

・調査員を配置して、音源識別を実施
・（※）を付した箇所は環境基準を超過。
風雑音、波音、犬の鳴き声等の影響あり。

となっています。
建設前の通常値と建設後の観測値を比較すれば、次の様になります。

建設前後の比較		建設前	建設後の観測値			基準値
		通常	1日目	2日目	3日目	B類型
T1	昼間	50	53	52	50	55
350m	夜間	42	45	39	43	45
H1	昼間	42	49	50		55
400m	夜間	42	46	41		45
M2	昼間	39	45	41	43	55
470m	夜間	36	46	36	44	45
N1	昼間	45	43	51	45	55
680m	夜間	42	48	41	34	45

増加分を、到達風車音による騒音と考えて計算します。

到達風車騒音		前	建設後の到達風車音			基準値
		通常	1日目	2日目	3日目	B類型
T1	昼間	50	50.0	47.7		55
350m	夜間	42	42.0		36.1	45
H1	昼間	42	48.0	49.3		55
400m	夜間	42	43.8			45
M2	昼間	39	43.7	36.7	40.8	55
470m	夜間	36	45.5		43.3	45
N1	昼間	45		49.7		55
680m	夜間	42	46.7			45

- また、風車音と他の騒音源からの同等レベルの騒音を比較した場合、不快に感じる人の割合は風車音の方が高い[5]。

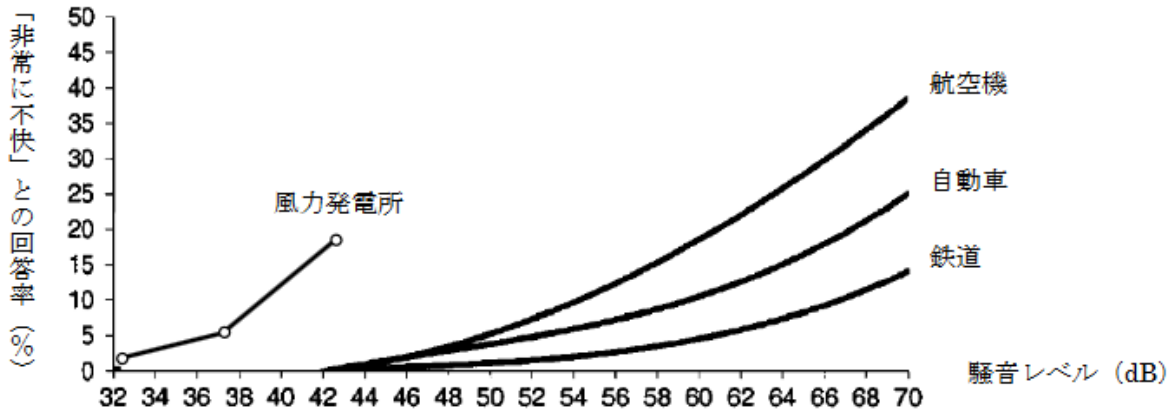


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

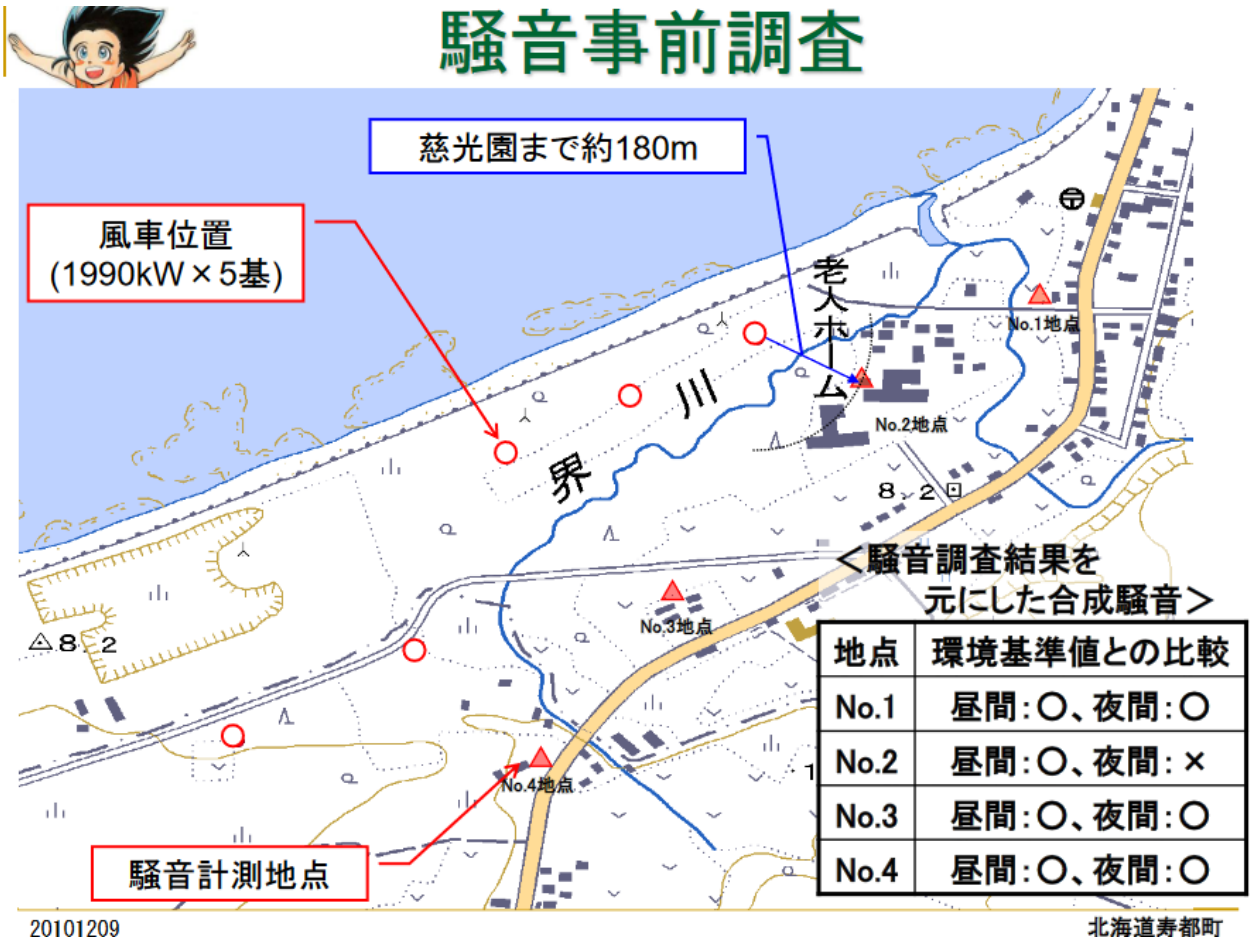
到達風車音から、被害を推定します。

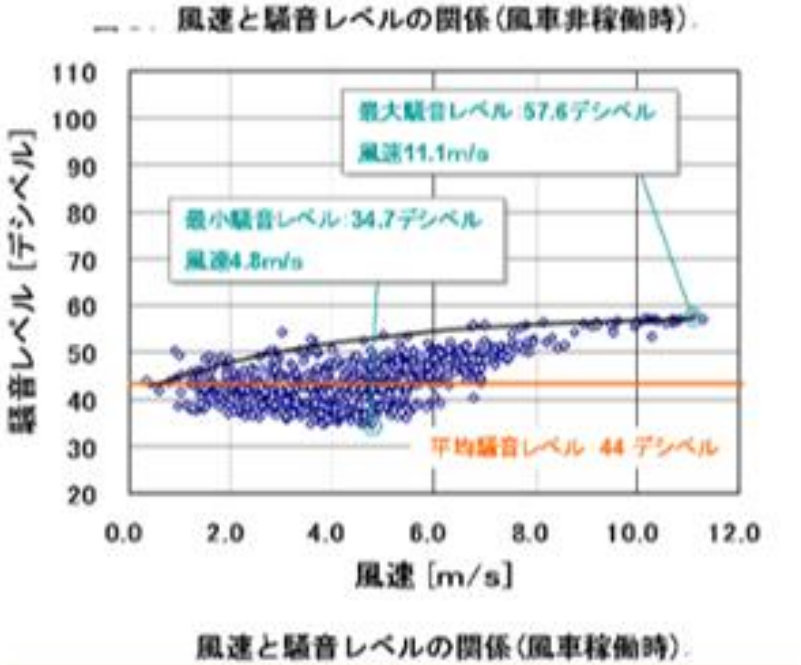
到達風車騒音		前	被害予測（%）			基準値
		通常	1日目	2日目	3日目	B類型
T1	昼間	50	40.0	32.0		55
350m	夜間	42	16.0		5.0	45
H1	昼間	42	35.0	37.0		55
400m	夜間	42	22.0			45
M2	昼間	39	22.0	5.0	14.0	55
470m	夜間	36	25.0		20.0	45
N1	昼間	45		39.0		55
680m	夜間	42	30.0			45

１日目では、**20～30%程度**の人が“非常に不快”と感じていると推定できます。もちろん、強風時の音圧レベルから、風車音の部分を取り出す工夫が必要になりますが、何とかなるでしょう。

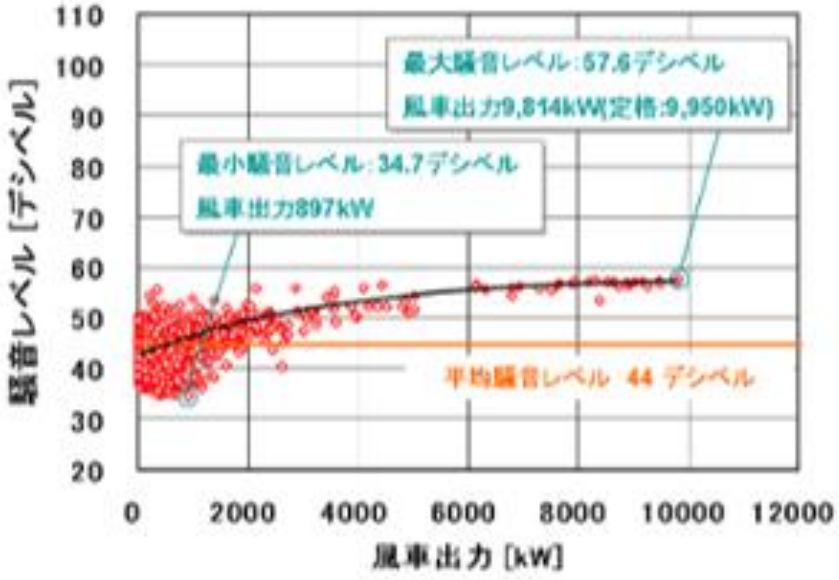
・寿都町における風力発電

寿都町における風力発電への取組み





風速と騒音レベルの関係(風車稼働時)



風車出力と騒音レベルの関係

風速が 8m/ｓ以上で風車が 6000ｋW以上の出力で動いているときは、騒音レベルは 55ｄＢ～57ｆ Ｂ程度になっています。

仮に、残留騒音が 40ｄＢ～45ｄＢだとして、到達風車音との合計が、55～57ｄＢだとすると
到達風車音と“非常に不快”と感じる人の割合は、

寿都町				
夜間残留騒音dB	到達風車音ｄＢ	計測騒音	区分	非常に不快（%）
40.0	54.860	55.00	AA	50.0
40.0	55.890	56.00	A又はB	60.0
40.0	56.912	57.00	A又はB	70.0

寿都町				
夜間残留騒音dB	到達風車音ｄＢ	計測騒音	区分	非常に不快（%）
45.0	54.542	55.00	AA	50.0
45.0	55.641	56.00	A又はB	60.0
45.0	56.717	57.00	A又はB	70.0

50%～70%程度となります。

町は次の様に言っています。

風車状態	平均騒音	最大/最小
停止	45dB	40.3－48.6dB
運転	44dB	34.7－57.6dB

騒音レベルは最大でも58dB程度であり、『静かな住宅地の昼』に相当する環境であることが確認された。

ラウドネス（うるささ）の観点からは静かな住宅街の昼だと言えても、アノイアンス（不快感）被害の程度
で考えれば全く異なります。

- また、風車音と他の騒音源からの同等レベルの騒音を比較した場合、不快に感じる人の割合は風車音の方が高い[5]。

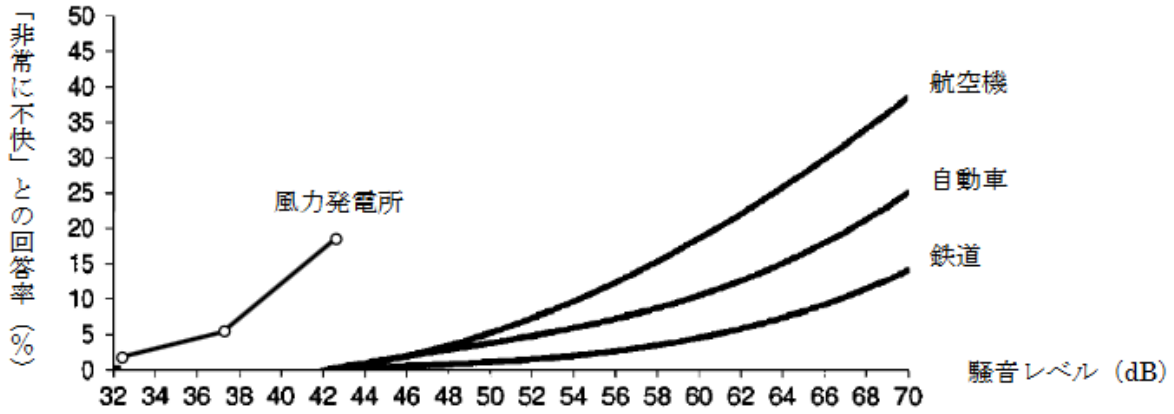


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

これでは、天国に一番近い老人ホームとしか言えません。

２．３２　指針値に関する留意点

指針値に関する留意点

- 騒音については，感じ方に個人差があること，地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式，住居環境等が異なることから，指針値を超えない場合であっても，地域の音環境の保全に配慮し，可能な限り風車騒音の影響が少なくなるように，事業者は対策を講ずるよう努めることが必要
- 本指針は，風力発電施設から発生する騒音等に関する検討を踏まえて設定したものであるため，その他の騒音の評価指標として使用することはできない

考え方が、根本的に間違っています。

風車音を精密に測定すれば、超低周波音の領域での周波数特性が離散的で特殊な周波数特性を持っていることが分ります。

過去の論文を調べれば、風車の運動や振動の特性が判明します。また、風車音が指向性を持っているとの調査結果もあります。風車はブレードに掛かる揚力で回転することも知られています。また、風速は地上の近くでは遅く、上空では早い事も知られています。風速の近似式も知られています。

これらのことから、回転軸が水平の風車の運動と塔に掛かる力が周期的に変動することも判明します。さらに、塔の腹の部分がどのような周期で振動するかも判明します。振動の結果として、指向性を持った音が放出されることも分ります。周波数も計算出来て、計測結果と一致することも判明します。

その結果、回転軸が水平の風車は、超低周波音の発生装置その物であることが判明します。回転軸が垂直の風車の物理的な特性は、全く異なるものだと考えます。

町田氏に欠けているのは、“自分で風車音を計測して、解析してみる。”ことなのです。

“可能な限り風車騒音の影響が少なくなるように、事業者は対策を講ずるよう努めることが必要”については、不可能でしたと言えば、業者はそれで済むのです。

“影響を少なく”との書き方は、風車音の影響があることは最初から認めている文章です。影響があるから少なくなるようにと言えるのです。影響がないなら、無い物を少なくは出来ません。

せっかくの講演会です。どんな影響が出ているのかを明確に述べ、その影響のどの部分を、どのような方

法で少なくできるのかを示す事が必要なのです。

指針は規定通りに解釈すれば、どんどん大きくなる数値です。
三重県では、風車群が集中して沢山建設されています。
第一群が完成して稼働すれば、その地域の残留騒音は大きくなるのです。規定では、この大きくなった（残留騒音+５ｄB）が、新たな指針値になります。
第二群は、新たな指針値を基準にして、建設されます。そして、残留騒音はさらに増加します。
結果として、指針値も増えます。この中で、第三群が計画されます。

指針値の変化を示すために、単純化したモデルを作ると、次の様になります。

年		残留騒音	残留騒音+5ｄB	指針値
2020	風車無し	33	38	40
2021	A群建設開始時	33		40
2022	風車A群19基稼働後	39	44	44
2023	B群建設開始時	39		44
2024	風車A群19基+B群9基稼働後	43	48	48
2025	C群建設開始時	43		48
2026	風車A群19基+B群9基+C群30基稼働	47	52	52
2027	D群建設開始時	47		52
2028	風車A群19基+B群9基+C群30基+D群20基稼働後	50	55	55

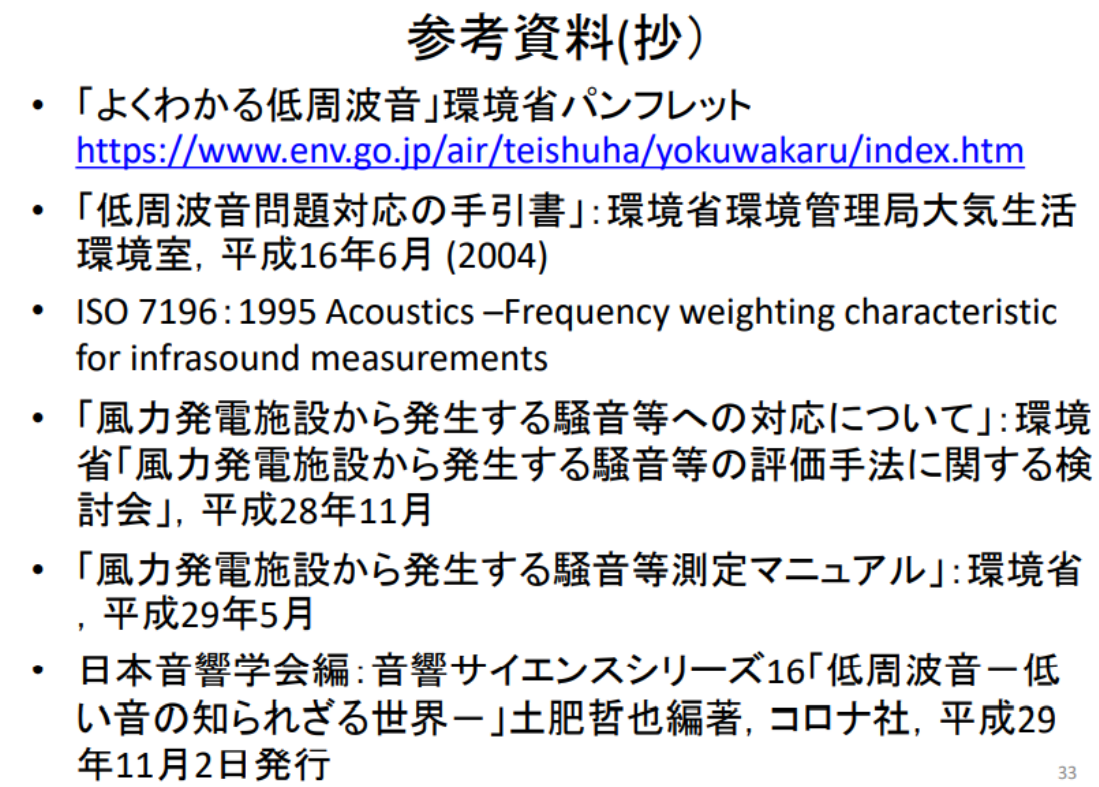
指針値は、どんどん大きくなります。風車は、2年おきに建設すれば、いくらでも作れるのです。

この最後の部分は、不思議な文章です。
検討会報告書の 22 ページには、次の記載がある。

“風車騒音は、20Hz 以下の超低周波音（注）の問題ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題としてとらえるべきものであり、A 特性音圧レベルでの評価を基本とすることが適当である。”

通常可聴域の問題ならば、他の騒音の評価指針と出来ないのはなぜなのか？
他の騒音は通常可聴周波数範囲の音ではないのか？
区別しなくてはならない物理的な要因はあるのか？
もしあるならば、風車音を通常可聴周波数範囲の問題として考えることが出来ないことになる。
風車の音を検討した結果、風車騒音は、通常可聴周波数範囲の騒音の問題として捉えるべきもの、だとした結論は誤りだと自ら認めているのでしょうか？

２．３３　参考資料（抄）



私も参考資料を示しておきます。

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究,日本機械学会論文集 A 編, Vol.74,No.740, p. 520-527, 2008

4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990

5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4,2010

6) M.S.Howe,空力音響学, 共立出版、初版、2015

7) 橘秀樹, 福島昭則, 落合博明,低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化,日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, Vol. 2017:春季 p.13-16, 2017

8) Vesna Rubežić, Igor Djurović, Ervin Sejdić,
Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in
Oscillatory Circuits,
COMPEL The International Journal for Computation and
Mathematics in Electrical and Electronic Engineering 36(1):188-
201, January 2017

9) 石井俶夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム, 初版, 2005

２．３４　ご清聴ありがとうございました

お疲れ様でした。

聴覚閾値と感覚閾値

超低周波音は、聴覚による認識や、気圧変動による圧迫感としての認識もある中で、圧迫感に関する実験結果の記述に欠けているので、主に聴覚に関する閾値について述べているのが、ここでの記述である。
よって、町田氏の書かれた、検討会報告書の 15 ページのように**聴覚閾値**と書くべきです。

２）発生する音の特徴・性質
風力発電施設は、他の施設から発生する騒音と比較して、より低い周波数の騒音が発生していると一般に思われている。しかし、２－１．で示したとおり、20Hz 以下の音（超低周波音）に関しては、音圧レベルが**聴覚閾値**を超えるものは確認されていない。また、風車騒音と他の様々な騒音（表 2）の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを比較した結果は図 8 に示すとおりであり、**他の様々な騒音の実測値と比較しても、風車騒音で特に低い周波数成分の騒音の卓越が見られるわけではない。**

これを、無理やり**感覚閾値**にしようとする人もいます。こんな文章もあります。
環境省の HP にある、参 考 資 料―低周波音の基礎知識―の、- 参考 5 –　のページには、

d.1 感覚閾値
低周波音の**感覚閾値**（低周波音を感ずる最小音圧レベル）については多くの研究者によって検討がなされている。図-d.1 は様々な研究者によって得られた感覚閾値である 1)。これらの閾値は実験方法や実験施設の違いによって 5～10dB 程度の違いがある。大部分の結果は可聴音の閾値（ISO-226**（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている）**）の延長線上にあり、周波数が低くなるに従い閾値は上昇している。数 Hz～50Hz 位を代表する傾斜はほぼ -12dB/oct.となっており、この傾斜が ISO-7196（超低周波音の心理的・生理的影響の評価特性）においても採用されている。通常、音としては知覚されないとされる超低周波音については、ISO-7196 によると、平均的には、G特性音圧レベルで 100dB を超えると超低周波音を感じ、概ね 90dB 以下では人間の知覚としては認識されないと記されている。G特性の基になった超低周波音の感覚閾値は欧米の実験結果に基づいている。
これらの値は平均値であり、例えば中村らの実験結果によれば閾値には±5～10dB 程度の幅があり、山田らによれば、標準偏差の 2 倍である±10dB の範囲に大部分の人が入るとされている

この中の、
（最小感覚閾値の部分については 1996 年に ISO389-7 に改訂されている）
についてだが、この規格の名前は、ISO 389-7:2019
Acoustics -- Reference zero for the calibration of audiometric equipment -- Part 7: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions
であり、threshold of hearing　なのだから、**最小聴覚閾値**と訳すべきです。

つぎは、100ｄB の問題について詳しく考えます。。

> 全て ISO-7196：1995 に示される超低周波音を感じる最小音圧レベルである 100dB を下回っている。

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usuary understood by hearing. The normal threshold of perception if considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μPa at 10 Hz), whilst toleration for high levels is not raised correspondingly, that is, the dynamic range is smaller and the rate of growth of sensation with sound pressure level is much more rapid. In the frequency range 1Hz to 20Hz, sounds that are just perceptible to an average listener will yield weighted sound pressure levels close to 100dB when measured in accordance with this International Standard. A very loud noise will yield a weighted level in the order of 120 dB, only 20 dB above. Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.

Perception の日本語訳ですが。
１（五感・知性による）知覚（作用）認知（力）理解；(道徳的・美的特質の）直覚、直観、鑑識力、眼力
２近くによる認識結果、感知されたもの

知覚
１（仏）知り覚ること、分別すること
２（心）(perception)感覚器官への刺激を通じてもたらされた情報をもとに、対称の性質・形態・関係などを把握するはたらき。

感覚
１光・音や、機械的な刺激などを、それぞれに対応する受容器が受けたときに経験する心的現象。視覚・聴覚・味覚・臭覚・皮膚感覚・平衡感覚・内臓感覚などがある。
２物事を感じとらえること。また、その具合

感知
気配や様子から感じ取って知ること。

さて、ISO 7196:1995　のⅲページの記述で 100ｄＢの話が出てくる段落は、
The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usuary understood by hearing.
（超低周波音の感知については、一見すると音を認識する仕組みを通してなされるように思えるにもかかわらず、幾つかの観点で、聴覚として通常理解されているものとは異なっている。）
から始まっている。
100dB については、
In the frequency range 1Hz to 20Hz, sounds that are just perceptible to an average listener will yield weighted sound pressure levels close to 100dB when measured in accordance with this International Standard.
（１Hz から 20Hz の周波数帯について、平均的な聞き手がちょうど感知できる音は、この国際規格に従って計測した時の、重み付き音圧レベルで 100ｄＢに近い値となるであろう。）

となっている。
この段落の最後は、
“Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.”
「(周波数) 重み付け音圧レベルで約 90ｄＢ未満は、人間の認知機能にとって一般的に有意にはならない（または、認識されない)。」
と書かれている。

100ｄＢを聴覚閾値、参照値 92ｄＢを全身で音圧を受けるような状態での不快感の感知についての実験なので感覚閾値と考えると、論理的にもはっきりして、混乱を防ぐことができます。

聴覚閾値と感覚閾値を混同すると、参照値との関係で混乱が生じます。

ISO 389-7:2019 にある、聴覚閾値の表の数値と、心身に係る苦情に関する参照値

2.2　心身に係る苦情に関する参照値

低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

表 2　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

との対応表をつくれば、

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値（デシベル）	76	70	64	57	52	47	41
聴覚閾値（デシベル） 感覚閾値（デシベル）	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5

（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing　だから、聴覚（聴力）閾値です。）

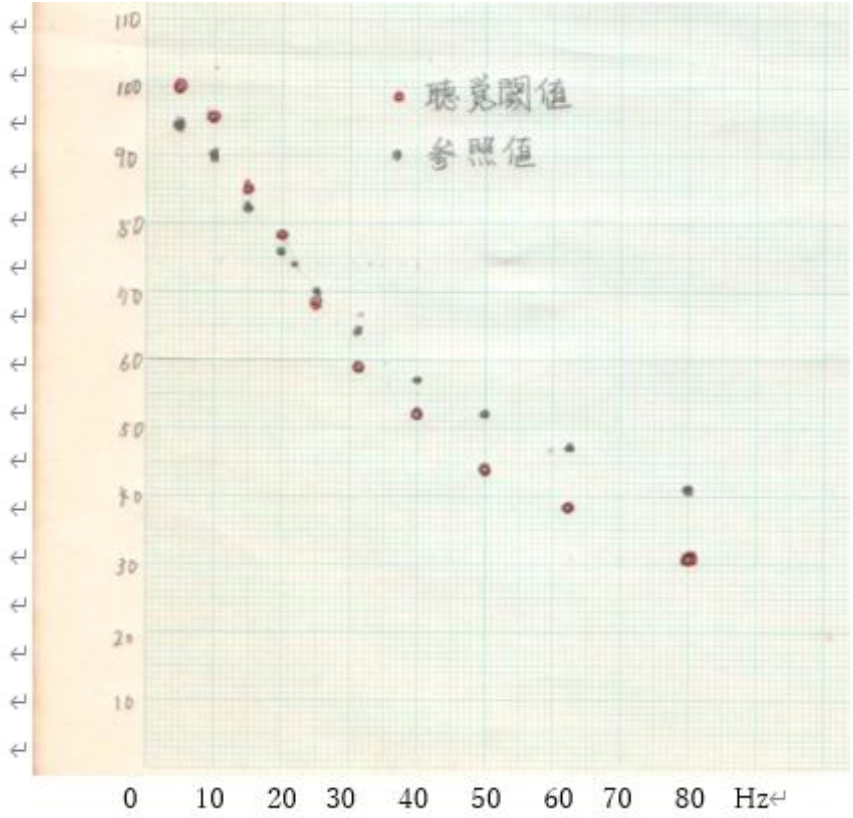
環境省は、低周波音問題に関する Q&A の中で次のように言っています。
“大小関係で言うと、実際には、「心身に係る苦情の**『参照値』」は「感覚閾値」より少し大きな値**となっています。”
この表現は、２５Hz 以上の周波数成分については、正しい表現だが、２０Hz の所は、参照値が 76、感覚閾値が 78.1 となっていて、参照値よりも感覚閾値のほうが大きい。
これは、上記の表は、聴覚で音としてとらえる場合の限界、聴覚閾値 78.1 にならなくても、それより低い 76 の値の時に、音としてではなく、例えば圧迫感とかの他の感覚で音圧の変化をとらえて、不快感を覚えるという事を示していると考えます。
環境省は、２０Hz での参照値と聴覚閾値（感覚閾値）の数値の逆転について、どう考えているのだろう？環境省の職員は、76 と 78.1 のどちらが大きな数値なのか、判断が出来ないのかもしれません。

２５Hz より周波数が高い部分に関しては、ISO389-7 に記載されている値のほうが小さい。よって、この部分だけならば、環境省の言い分は、感覚閾値と言いう語訳の問題を除けば正しい。しかし、２０Hz の所は、ISO389-7 の値の方が大きいのです。

これは、偶然ではありません。
参照値　－　聴覚閾値　の表を作れば次のようになります。

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値－聴覚閾値	-2.1	1.3	4.5	5.9	8	9.5	9.5

この表は、周波数が低くなればなるほど、聴覚閾値と参照値（不快感を感じ始める値）の差が小さくなってきていて、20Hz では逆転することを示します。
10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz と低くなればなるほどこの傾向は続くと考えます。
グラフにすれば（参照値の予測もしてみました。）次のようになります。



参照値は、被験者の１０％が不快だと感じる値です。

これは、20Hz の音が 76ｄＢの時に、人間が不快感を覚えたと言いう事です。もし、ISO389-7 の値が感覚閾値ならば、人間は 20Hz の音の音圧が 78.1ｄＢ（78.5ｄＢ）になるまで、人間は不快感を覚えないはずなのに、それよりも小さな値 76ｄＢで不快感を覚えてしまうという矛盾が生じます。
聴覚閾値と正しく訳しておけば、20Hz の音に対して、人間の聴覚は 78.1ｄＢになるまでは認識しないが、それ以外の感覚（圧迫感、頭痛、など）で 76ｄＢの段階でも不快感を覚えると理解できるので、矛盾は生じません。

さて、あくまで感覚閾値だと主張すると、次の矛盾に耐えきれなくなります。

感覚閾値ならば、78.1 デシベルよりも低い音圧レベルの音は、人間の感覚では感知できないはずです。でも、76 デシベルの音圧レベルで、不快感を覚えてしまいます。不快感の内容は人によるかもしれませんが、音、圧力、振動などを感じ取って不快だと思うのです。感覚閾値は、78.1 ではなくて、76 だとしなくてはなりません。

聴覚閾値としておけば、耳では音を感じなくても、76 デシベルの段階で、圧力や振動を体で感じ取り、不快感を覚える。のですから、全く矛盾は生じません。

すべての学者や研究者が、感覚閾値と訳しているわけではありません。

平成 21 年度移動発生源等の低周波音に関する検討調査等業務　報 告 書
平成 22 年 3 月　社団法人 日本騒音制御工学会
では、

また、中心周波数 10～200 Hz の 1/3 オクターブバンドの暗騒音レベルは、すべてのバンドで ISO 389-7（文献 5）に示される聴覚閾値を少なくとも 14 dB 下回っており、聴覚閾値の測定に影響の無いことを確認した。

とあり、聴覚閾値と正しく訳している。

環境省のいう“感覚閾値”は ISO 389-7:2019 との関連で使用すれば、常識を疑われると考えます。
日本語としては、“聴覚閾値”とすべきです。

調査とアンケート

アンケートなどを工夫して相関行列の計算をするべきである。
生理的な現象を数値化しやすいように唾液コルチゾール検査を含めるべきである。

数値化して、多変量解析にかけることのできるデータが必要です。健康調査に、“唾液コルチゾール検査”も含めるべきです。

唾液コルチゾール検査とは、

唾液コルチゾール検査 「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ)」という言葉をご存じでしょうか？
近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日 常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たち の心身を守ってくれています。 しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。
以下の症状に覚えはありませんか？ 朝、起きるのがつらい ぐっすり眠っても、まだ疲労感がある 塩辛い食べ物が無性に欲しくなる 以前楽しんでいたこともすべて億劫に感じる 日常的なことがとても疲れる 性欲の低下 ストレスに対処出来ない、イライラしやすい 病気や怪我、外傷から回復するのに時間がかかる ベッドや椅子から立ち上がるとき、クラクラする 軽度のうつ（人生に何の意味も感じられない） 人生の全てがむなしい PMS（月経前症候群）の悪化（手足のむくみ、頭痛、乳房の張り、下腹部の痛み、ふさぎ、不安、怒り、イ ライラがひどくなる） カフェインがないと仕事ができない 思考がまとまらず、ボーっとする 記憶があやふや 午前１０時まで目覚めない 午後３時から４時の間はぼんやりしている 夕食後、やっと元気になる 仕事がはかどらない （医者も知らないアドレナル・ファティーグ ジェームズ・L・ウィルソン著 中央アート出版社より引用） 146 146 上記の症状に １つでも当てはまれば、副腎疲労の可能性が考えられます。もし、4 つ以上当てはまる場合に は、「唾液コルチゾール検査」で十分に副腎が働いているかどうか調べてみることをお勧めします。副腎疲労 の治療は、原因となるストレスの同定・除去や、生活習慣の改善、サプリメントを用いた栄養療法などが中 心となります。 唾液コルチゾール検査の方法 一日 4 回（8 時、12 時、16 時、24 時）唾液の採取をします。唾液中に含まれるコルチゾールの日内変動を 調べます。 正常な場合：朝の値が最も高く、時間が経つにつれて下がります。 副腎機能が低下している場合：朝の値が低くなるなど、分泌パターンに変化が見られます。 こういった値の変化によって副腎疲労の度合いが分かります。（唾液の接種だけの検査ですので、身体への負 担はほとんどありません。） 検査費用：15,000 円（税別）
※自費診療 この検査を含めた場合、診断書の発行費用は、１回あたり２万円程度です。

カナダ政府の HP には、
Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results（Date modified:2014-10-30）があります。
この中では、コルチゾール検査の意義について詳しく説明されています

アンケート用紙（調査と自由意見）

番号：			記入：　　年　　月　　日			
氏名			連絡先			
検査希望：　　あり　　なし						
コルチゾール検査						
室内	精密騒音計				計測時間	
	振動レベル計				計測時間	
	スマートウォッチ				計測時間	
屋外	精密騒音計（二重防風スクリーンあり）				計測時間	
	精密騒音計（二重防風スクリーン無し）				計測時間	
	精密騒音計（車、ドア閉め＋箱の中）				計測時間	
	精密騒音計（車、ドア開け+箱の上）				計測時間	
	ビデオ撮影				計測時間	
自由意見（被害状況など）						

アンケート用紙（不眠）

アテネ不眠尺度(AIS)不眠症の自己評価			記入日： 年 月 日
	過去一ヶ月間に、少なくとも週３回以上経験したものを選んでください。		
1	寝床についてから実際に寝るまで、時間がかかりましたか？	0	いつもより寝つきは良い
		1	いつもより少し時間がかかった
		2	いつもよりかなり時間がかかった
		3	非常に時間がかかった、あるいは全く眠れなかった
2	夜間、睡眠の途中で目が覚めましたか？	0	問題になるほどのことはなかった
		1	少し困ることがある
		2	かなり困っている
		3	深刻な状態、あるいは全く眠れなかった
3	希望する起床時間より早く目覚めて、それ以降、眠れないことはありましたか？	0	そのようなことはなかった
		1	少し早かった
		2	かなり早かった
		3	非常に早かった、あるいは全く眠れなかった
4	夜の眠りや昼寝も合わせて、睡眠時間は足りてましたか？	0	十分である
		1	少し足りない
		2	かなり足りない
		3	全く足りない、あるいは全く眠れなかった
5	全体的な睡眠の質について、どう感じていますか？	0	満足している
		1	少し不満である
		2	かなり不満である
		3	非常に不満である、あるいは全く眠れなかった
6	日中の気分はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し滅入った
		2	かなり滅入った
		3	非常に滅入った
7	日中の身体的および精神的な活動の状態はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し低下した
		2	かなり低下した
		3	非常に低下した
8	日中の眠気はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった

風車との距離	1から8の合計			[1～3点]・・睡眠がとれています
m				[4～5点]・・不眠症の疑いが少しあります
				[6点以上]・・不眠症の可能性が高いです

計測希望			屋外	最大音圧； Hz Pa
有 ・ 無				A特性音圧レベル； dB
希望者氏名				G特性音圧レベル； dB
			屋内	最大音圧； Hz Pa
				A特性音圧レベル； dB
				G特性音圧レベル； dB

アンケート用紙（不快感）

アノイアンス尺度　不快感の自己評価（1）　番号：

1	風車建設の前後で、床や壁の振動が気になって眠るまで時間がかかることが増えましたか？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
2	風車建設の前後で、夜寝られず仕事に集中できない回数は増えましたが？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
3	風車建設後に、身体のふらつきに悩まされることは増えましたか？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
4	風車建設の前後での血圧について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し高くなった
		2	建設後にかなり高くなった
		3	建設後の高血圧は深刻である
5	風車建設の前後での頭痛が起きる回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
6	風車建設の前後での耳鳴りがする回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
7	風車建設の前後での目まいを感じる回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
8	風車建設の前後での不快感を覚える回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
9	風車建設の前後での胸や腹への圧迫感について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である

合計		[1～3点]‥アノイアンスの影響は見られません
		[4～5点]‥アノイアンスの影響が少しあります
		[6点以上]‥アノイアンスの影響は深刻です

心拍	血圧	コルチゾール検査

アノイアンス尺度　不快感の自己評価（2）　記入日：　　年　　月　　日

1	風車建設の前後で、動悸を感じることが増えましたか？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
2	風車建設の前後で、腹痛になる回数は増えましたが？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
3	風車建設後に、肩こりに悩まされることは増えましたか？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
4	風車建設の前後での手足のしびれを感じることは増えましたか？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し高くなった
		2	建設後にかなり高くなった
		3	建設後の高血圧は深刻である
5	風車建設の前後での吐き気を感じる回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
6	風車建設の前後でのイライラする回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
7	風車建設の前後での脱力感を感じる回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
8	風車建設の前後での不安を覚える回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
9	風車建設の前後での疲れやすくなる回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
10	風車建設の前後での気持ちが悪くなる回数について？	0	建設前と建設後での変化は無い
		1	建設後に少し増えた
		2	建設後にかなり増えた
		3	建設後の状況は深刻である
	合計		[1～3点]‥アノイアンスの影響は見られません
			[4～5点]‥アノイアンスの影響が少しあります
			[6点以上]‥アノイアンスの影響は深刻です

3.3 A 特性音圧レベル

騒音は、人間が耳で感じる煩さです。

$$L_p = 10 * \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right)$$

上の式での Lp が同じでも、周波数が高い音だと煩く感じても、周波数が低い音ではそれほど煩く感じないので、人間が感じる騒音の煩さを示す数値を得るには、Lp に対する周波数ごとの補正が必要となります。それが、A 特性による重み付けです。

人間にとっての騒音の煩さを表す数値が A 特性音圧レベル（単位はデシベルdB）です。この計算には、人間の聴覚での可聴域が 20Hz から 20000Hz であることと、周波数によって人間の感じる煩さ（聴覚で感じる騒音の大きさ）が異なることを考慮して、周波数帯ごとに重み付けをして全体としての騒音レベル（dB）計算します。

計算対象となる周波数帯の中心周波数（1/3 オクターブ解析の場合についてのみ考えます）は、A 特性（1/3 オクターブバンド重み付け特性）と言っても、重み付けの規格はいろいろあります。

6.3hzから 20kHzの規格

（IEC61672:2014 規格）は、（関数 Weight1d3A(ww,w)）と NoiseLevel1d3A(ww,w)はこの規格）

Frequency [Hz]	A-Weighting	C-Weighting	Z-Weighting
6.3	-85.4	-21.3	0.0
8	-77.8	-17.7	0.0
16000	-6.6	-8.5	0.0
20000	-9.3	-11.2	0.0

10Hzから 20kHzの規格

JIS C 1509 では、（関数 Weight1d3A10Hz(ww,w) と NoiseLevel1d3A10Hz(ww,w)はこの規格）

●周波数重み付け特性 A/C/Z の値

JIS C1509 に規定された周波数重み付け特性 A/C/Z の値とそのグラフを表 1、図 2 に示します。

表 1 周波数重み付け特性 A/C/Z （1/3 オクターブバンド）

No	公称周波数 (Hz)	厳密周波数 (Hz)	A 特性 (dB)	C 特性 (dB)	Z 特性 (dB)
10	10	10.00	-70.4	-14.3	0.0
11	12.5	12.59	-63.4	-11.2	0.0
42	16000	15848.93	-6.6	-8.5	0.0
43	20000	19952.62	-9.3	-11.2	0.0

20Hzから 20kHzの規格

小野測器の HP では、（関数 Weight1d3A20Hz(ww,w) と NoiseLevel1d3A20Hz(ww,w)はこの規格）

A

A特性の補正値を列記します。補正値は「JIS C 1509」に記載されています。フラットの値（dB）に下記の値を加算してください。

周波数（Hz）	補正値（dB）
20	-50.5
25	-44.7
16000	-6.6
20000	-9.3

中心周波数について

公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。

厳密周波数はバンド番号nを 10～33 の整数として式（1）により求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です。

$$f = 1000 \times 10^{0.1\times(n-30)} \quad [\mathrm{Hz}] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

(n=10,f=10,　n=13,f= 19.95262315, ,　n=33,f= 1995.262315)

※　このプログラムでは、公称周波数を使っています。

バンドパスフィルタの特性

上記の中心周波数に対するバンドパスフィルタの特性は次のようになっています。

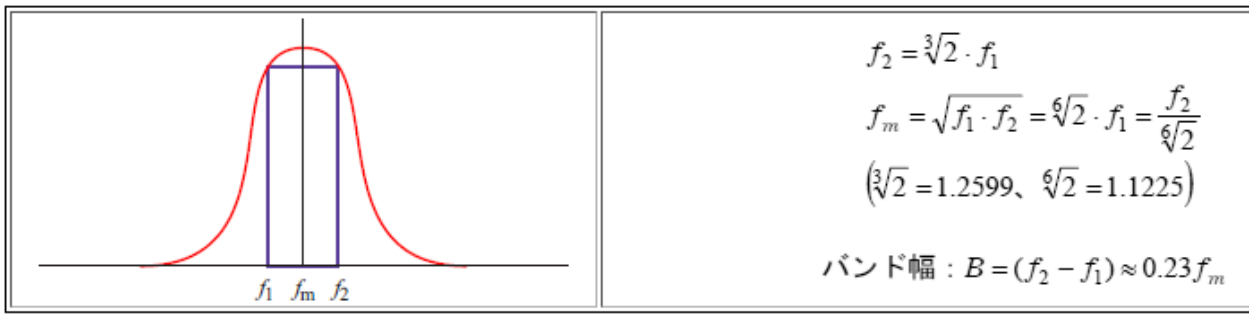


図 11-2　1/3 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

その周辺での減衰は

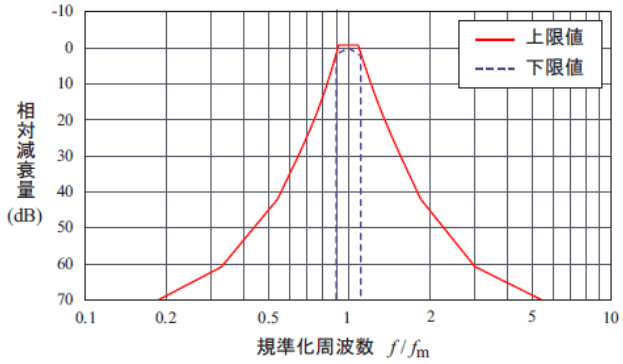


図 11-5　1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

となっています。

A 特性での重み付けのグラフは、次のものです。

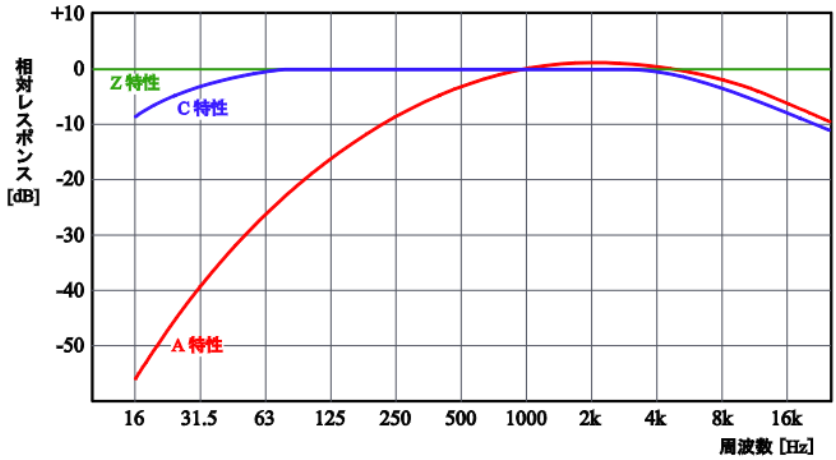


図 2　周波数重み付け特性 A/C/Z

重み付けの意味が良く分かる、計算例は、日本建設連合会　技術研究部会音響専門部会の資料です。

		オクターブバンド中心周波数（Hz）						
		63	125	250	500	1k	2k	4k
①	● 道路騒音の例	70.8	69.0	68.7	65.8	63.8	59.2	53.3
②	A特性の重み付け	−26.2	−16.1	−8.6	−3.2	0.0	1.2	1.0
③	○ A特性重み付け後(①＋②)	44.6	52.9	60.1	62.6	63.8	60.4	54.3
	騒音レベル(下式参考)	68.3						

[dB]

$$L_A = 10\log_{10}(10^{L_{A63}/10} + 10^{L_{A125}/10} + 10^{L_{A250}/10} + 10^{L_{A500}/10} + 10^{L_{A1k}/10} + 10^{L_{A2k}/10} + 10^{L_{A4k}/10})$$

ここで、L_A：騒音レベル(dB)、L_{A63}～L_{A4k}：63 Hz～4 kHz 帯域の A 特性の重み付け後の音圧レベル(dB)

上の計算例と、A 特性での重みづけのグラフを比較してみると、

計算例の表では

1kHz での道路騒音の例の値は 63.8（dB）、A 特性重み付けは 0.0 となっています。A 特性での重みづけのグラフにおいて、A 特性を表す曲線が1kHz の所でレスポンス（dB）0の横線と交わっていることに対応します。

63Hz での道路騒音の例の値はL_P =70.8（dB）、A 特性重み付けは -26.2 となっています。A 特性での重みづけのグラフにおいて、A 特性を表す曲線が 63Hz の所でレスポンス（dB）-26.2 の横線と交わっていることに対応します。

従って、63Hz の音は、音の煩さの評価としてはL_P =70.8（dB）であるにも関わらず、L_A =44.6（dB）の値のものとして扱われることを意味します。

聴覚に対応した周波数重みである A 特性で重み付けした音圧 P_A から騒音レベル L_A（A 特性音圧レベル）（dB）を求める式は次のようになります。

$$L_A = 10\log_{10}\frac{p_A^2}{p_0^2} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

p_A：測定された周波数重み A 付きの（瞬時）音圧の実効値

p_0：基準となる音圧の実効値（20 μ Pa）（Pa はパスカルという圧力単位）

$$L_p = 10 * log_{10}(P/P_0)^2$$

で、$P_0 = 2 \times 10^{-5}$、L_P =70.8、L_A =44.6

$$L_p = 70.8 = 10 * log_{10}(P_{70.8}/P_0)^2$$

より、63Hz で 70.8（dB）の音の音圧は、10^(70.8/20)=3467.37=$P_{70.8}/P_0$

$P_{70.8} = 3467.37 * (2 * 10^{-5}) = 0.06935$

$$L_A = 44.6 = 10 * log_{10}(P_{44.6}/P_0)^2$$

より、63Hz で 44.6（dB）の音の音圧は、10^(44.6/20)=169.8=$P_{70.8}/P_0$

$P_{44.6} = 169.8 * (2 * 10^{-5}) = 0.003396$

ここで、

$$-26.2 = 10 * log_{10}(P_{44.6}/P_{70.8})^2$$

が成立する。これは、A 特性による補正値です。

$$\frac{P_{44.6}}{P_{70.8}} = 10^{\left(\frac{-26.2}{20}\right)} = 0.0489$$

となるので、音圧は 0.0489 倍になったものとして扱われます。

さて、全体の騒音レベルの計算ですが、次の資料を確認します。

【参考】：1/3 オクターブのデータより 1/1 オクターブのデータへの変換

既知の 1/3 オクターブデータの dB 値より対応する 1/1 オクターブバンドデータの dB 値へ変換するには、求めたい 1/1 オクターブバンドに対応する 1/3 オクターブバンドデータの dB 値の和を計算します。 例えば、1/1 オクターブの中心周波数 1000 Hz のバンドデータ値を求める場合、対応する 1/3 オクターブのバンドデータが次のような dB 値であるとき；

800 Hz	73 dB
1000 Hz	77 dB
1250 Hz	75 dB

；中心周波数 1000Hz の 1/1 オクターブバンド値は次の式から求められます。

$$10\log_{10}\left(10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}}\right) = 80\ (\mathrm{dB}) \qquad \text{式 11-7}$$

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。

音圧の**2乗が音の強さ（エネルギー）に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを $P_{1/1}{}^2$ とすれば、エネルギーの和を考えると、**（　J＝（ｐ*ｐ）／（ρ ｃ）を考え、適当な定数を掛けて考える。）

$$(P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2 = P_{1/1}{}^2$$

が成立する。

$$L_{800} = 10 * log_{10}(P_{800}/P_0)^2$$

より $L_{800}/10 = log_{10}(P_{800}/P_0)^2$、よって、$(P_{800}/P_0)^2 = 10^{L800/10}$

となり、

$$L_{1/1} = 10 * log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2$$
$$= 10 * log_{10}(((P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2)/P_0{}^2)$$
$$= 10 * log_{10}\left(10^{L800/10} + 10^{L1000/10} + 10^{L1250/10}\right)$$

となります。

（作成した関数では、各中心周波数に対して、帯域幅を決めて、その中の成分に関して、音圧を２乗してから、和をとって、その値を、中心周波数の音圧の２乗として扱って計算してあります。）

従って、

$$L_A = 10\log_{10}(10^{L_{A63}/10} + 10^{L_{A125}/10} + 10^{L_{A250}/10} + 10^{L_{A500}/10} + 10^{L_{A1k}/10} + 10^{L_{A2k}/10} + 10^{L_{A4k}/10})$$

ここで、L_A：騒音レベル(dB)、L_{A63}～L_{A4k}：63 Hz～4 kHz 帯域の A 特性の重み付け後の音圧レベル(dB)

は、A 特性で重みづけをした後の各周波数帯での騒音レベルを使って全体の騒音レベルと計算していることになります。あるいは、エネルギーの和を考えてから騒音レベルを計算しているとも言えます。

数値は、

$$10 * log_{10}\left(10^{L63/10} + 10^{L125/10} + 10^{L250/10} + 10^{L500/10} + 10^{L1000/10} + 10^{L2000/10} + 10^{L4000/10}\right)$$
$$10 * log_{10}\left(10^{44.6/10} + 10^{52.9/10} + 10^{60.1/10} + 10^{62.5} + 10^{63.5/10} + 10^{60.4/10} + 10^{54.3/10}\right)$$

＝68.34502291

となり、これが計算例の騒音レベル 68.3 です。

上の計算例に従えば計算手順は、

1．周波数帯ごとに音圧(パスカル単位)を計算する。

2．基準音圧と比較して、その周波数帯での音圧レベル(dB 単位)を求める。

3．周波数帯域ごとに A 特性での重み付けをする。

4．重み付けした値を基に、全体のエネルギーと計算して、全体としての音圧レベル(dB 単位)を求める。

となりますが、

リオン社の NL-62 のマニュアルには、

$$L_{Aeq} = 20log_{10}\left\{\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_A^2(i)\right)^{\frac{1}{2}} / P_0\right\}$$

と言う式が書いてあります。

これは、物理的な回路網で G 特性を近似して$P_A(i)$ (i=1,..,N)が得られることを意味しています。

ISO7196 の記述“備考:G 特性は、誘導子/抵抗器/コンデンサからなる簡単な回路網によって物理的に近似することができる。”に従って、直接的に計測時間ごとの A 特性音圧レベルを求め、その結果を使って全体の A 特性音圧レベルを上の式で求めていることになります。

リオン社に確認したところ、サンプリング周波数 48kHz の場合は、$P_A(i)$の値が、1 秒間に 48000 個得られるとの事でしたが、どのようにして、$P_A(i)$を決定しているかは公開していないとの事でした。

マニュアルから推測すると、0.25 秒間に計測される音圧データか、1 秒間に計測された音圧データをもとにして、$P_A(i)$を計算していると思われます。サンプリング周波数 48kHz の場合は、0.25 秒間の場合では、12000 個のデータから計算するので最低の周波数は 4Hz となり、1 秒間の場合は 48000 個のデータから計算するので最低周波数は 1Hz となります。

A 特性の計算では、1Hz 以上でも、なんとかなりますが、超低周波音を扱う G 特性では困ります。

現在の大型風車から発生する低周波音の周波数は、0.5Hz から 0.8Hz 程度です。

ISO7196 では、中心周波数 0.25Hz から 315Hz までの中心周波数が設定されています。0.25Hz の時の帯域幅が 0.0575Hz なので少なくとも 20 秒間のデータを使って計算する必要があります。

計算量も増えるし、メモリーも多く使いまので、風車の音の特徴を調べるには、PC を使って、平坦特性(Z 特性)で記録したデータを解析する必要があります。この平坦特性で記録された音圧データを基に計算すれば、風車の指紋に当たる周波数スペクトルが得られます。

リオン社の精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加すると、１６ビットの符号付整数を使って収録された WAV ファイルを作れます。

収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性）とし、サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間として１分程度記録すれば、0.01667Hz から、24ｋHz まで計測できます。

リオン社の波形収録プログラム NX-42WR では、ファイルに記録するときに１つの整数値に対して使用するビット数には、２４ビットの符号付整数と１６ビットの符号付整数の２種類が可能です。

ここでは、16 ビットの場合を扱います。

まず、符号付の整数については、次のような解説があります。

符号付の整数で表現できる範囲

負の数に 2 の補数を使うとき，8 ビットの符号付きの整数では －128 ～ 127 の範囲の値が使用できる。同様に，16 ビットの符号付きの整数では －2^15 ～ 2^15 -1 の範囲の値が，32 ビットの符号付きの整数では －2^31 ～ 2^31 -1 の範囲の値が使用できる。
いずれも負の数の個数が 1 つ多くなる。

さて、計測された値の整数による表現ですが、
１６ビットの場合で考えると、
計測値が、－282.51　の場合を、整数値　{－2^(15)}　で表現すると
+282.51　を表現するには　整数値　{+2^(15)}　が必要となります。
でも、正の整数の最大値は　{+2^(15)－1}　なので、対応できません。
そこで、
計測値、+282.51　と　－282.51　に対しては、
整数値　　{+2^(15)－1}と {－2^(15)+1}　を対応させる。

騒音計で計測できる音圧の範囲については、精密騒音計（低周波音測定機能付）NL-62　取扱説明書に最大で 148dB　だと記載されている。

表示・出力フルスケール　の項に、出力電圧のフルスケールで、設定できる範囲は 70dB～130dB までで、10dB 刻みだと書かれている。

ここで、130dB を選んだときは、WAV ファイルの名前は
NL_001_20220503_111400_130dB_0008_0000_ST0001
となり、名前の中央部分から、出力電圧のフルスケールを 130ｄB に設定したことが分かります。

wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるようになっていて、表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。

そこで、設定で 130ｄB としたとしても、WAVE ファイルでの実際のフルスケール値：143 [dB] であり、これは、 2×10^(-5)×10^(143/20) = 282.51 [Pa]に相当する。

理由は

騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル＜物理的な大きさ＞　*音響出力は音圧の二乗に比例する*

$L_p = 10 \cdot \log_{10}(p^2 / p_0^2)$

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 :基準音圧　2×10^{-5} (Pa)　(=20μPa)

dB値(参考):0.002Pa=40dB,
0.00002(2×10^{-5})Pa=0dB

＊　OA音圧レベル (dB),　1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

より、$L_p = 10 * \log_{10}(p^2 / p_0^2) = 20 * \log_{10}(p / p_0)$

であり、

$143 = 20 * \log_{10}(p/(2*10^{-5}))$

$p/(2*10^{-5}) = 10\text{^}(143/20)$

$p = (2*10^{-5}) * 10\text{^}(143/20) = 10\text{^}(143/20)$ ＝282.5Pa　（実効値）

となるからです。

実効値で 282.5Pa（143dB）となる値を、wav ファイルにどの様な数値として記載するかについては、ファイルによって異なる。

16 ビットの場合は、整数値　{+2^(15)－1}　を対応させる。従って、

16 ビットの場合は、整数値 1 は 282.5Pa（143dB）/ {+2^(15)－1} の音圧（実効値）を意味する。

（　282.5Pa　/　{+2^(15)－1}　）＝8.621479*10^(-3)

となるので、整数値 k は、

k *（282.5Pa（143dB）/ {+2^(15)－1}）

＝ k *8.621479*10^(-3)　Pa（実効値）

を意味する

リオン社のサンプルデータファイルは、NL_001_20100101_000146_090dB_0001_0000_SL0001　であり、

16 ビット符号付整数のデータで、表示出力フルスケール値、90dB を選んで計測していることが分かります。また、wav ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるように、なっていて、（表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。）

そこで、WAVE ファイルのフルスケール値 : 103 [dB] となり、これのパスカル値は、2×10^(-5)×10^(103/20) = 2.825 [Pa]　となる。

（　2.825Pa　/　{+(2^(15))－1}　）＝8.621479*10^(-5)

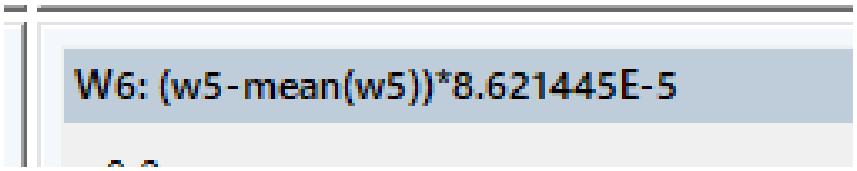
となるので、整数値 k は、k *8.621479*10^(-5)　Pa（実効値）を意味する

この数値、8.621479*10^(-5)　は、符号付整数のビット数や表示出力フルスケール値の設定によって決まる。

計算が面倒な場合は、AS-70（試用版は無料です。）にデータを読み込ませて、次の操作をすればよい。

表示　―　ファイル情報　　として、Value/Bit　の値（8.621445E-5）を使えばよい。

を表示させて、ここでの Value/Bit　の値を使って変換すればパスカル値（実効値）となる。
なお、入力レンジの項目が 90dB となっていることを確認して下さい。



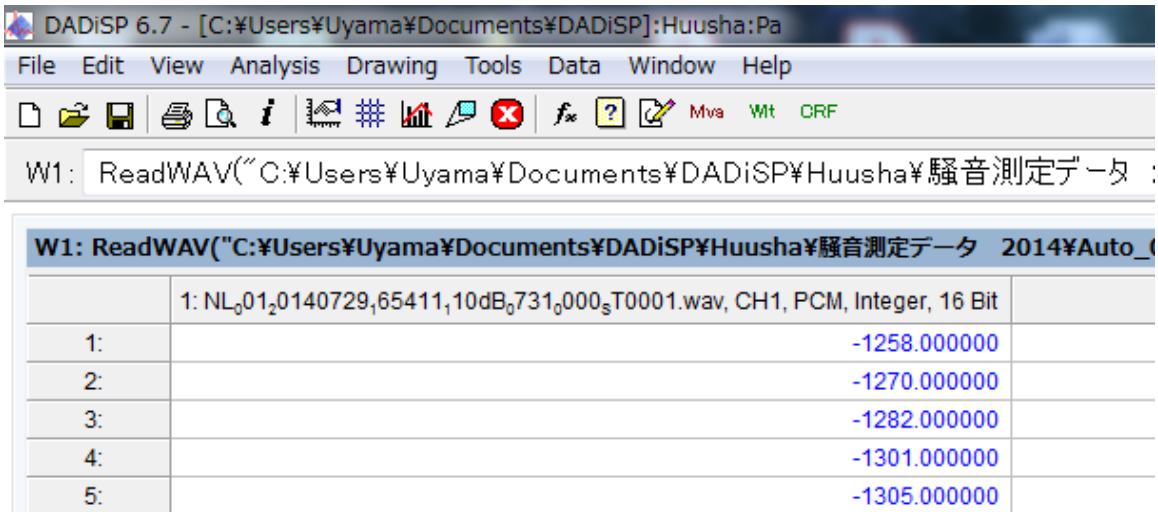
Wavelet の計算をする都合もあるので、W2 では、平均値を引いておきました。パスカル値に調整するために、*8.621445E-5　としました。この値（8.621445E-5）は、AS-70 を使って確認しました。
整数値からパスカル値への変換はファイル名をよく見るか、AS-70 を使う必要があります。

注意：

表示出力フルスケール値、110dB を選んだ場合、表示出力フルスケール値の+13 dBが WAVE ファイルのフルスケール値になります。

そこで、WAVE ファイルのフルスケール値：123 [dB] となり、これのパスカル値は、 2×10^(-5)×10^(123/20) = 28.25 [Pa] となる。(28.25Pa / {+2^(15)－1}) ＝8.621479*10^(-4)

このとき、wav ファイルを DADISP で表示させた場合、16 ビットでの整数値が次のような値だとして、



W1: ReadWAV("C:¥Users¥Uyama¥Documents¥DADiSP¥Huusha¥騒音測定データ 2014¥Auto_(

	1: NL$_0$01$_2$0140729$_1$65411$_1$10dB$_0$731$_0$000$_s$T0001.wav, CH1, PCM, Integer, 16 Bit
1:	-1258.000000
2:	-1270.000000
3:	-1282.000000
4:	-1301.000000
5:	-1305.000000

Value/Bit の値 8.621445E-4 を掛けると、
次の数値が得られます。

W3: w1*8.621445E-4

	1: NL$_0$01$_2$0140729$_1$65411$_1$10dB$_0$731$_0$000$_s$T0001.wav, CH1, PCM, Integer, 16 Bit
1:	-1.084578
2:	-1.094924
3:	-1.105269
4:	-1.121650
5:	-1.125099

この値が、パスカル値（実効値）となります。

この数値と、リオン社のソフト AS-70 でのグラフ表示では、違いが出ます。リオン社に確認したところ、

弊社で WAVE ファイルを確認致しましたところ、一番上から 5 行目まではこちらの数値となり、
単位は Pa（実効値）になります。

-1.084578
-1.094924
-1.105269
-1.12165
-1.125099

ご質問 1「AS-70 でのパスカル値確認」について。
AS-70 にて WAVE 波形をグラフ化してご確認を頂いているかと思いますが、
AS-70 のソフト上では、波形の拡大率によって、特徴的な数値（最大値、最小値）を選択して間引きを行っており、
拡大率によって間引き率が変わるため、何番目の数値か一概に申し上げることが出来ません。
間引きがされていない数値をご確認頂く際は、WAVE ファイルを CSV として出力したデータをご確認頂ければと思います。
となっているので、他の波形解析ソフトのグラフ表示とは一致しない場合がある。

との事でした。

ついでに、G 特性に関しても確認しておきます。

3.4 G 特性音圧レベル

G 特性に関して、**低周波音の測定方法に関するマニュアル　平成 12 年 10 月　環境庁大気保全局**の資料には、

1～20 Hz の傾斜は，超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。

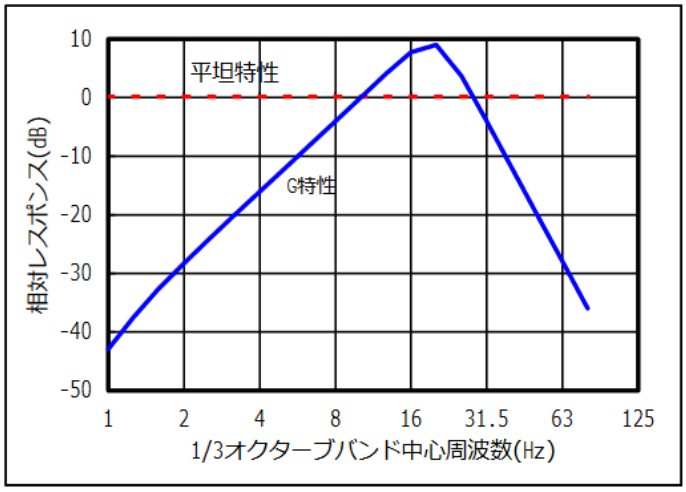


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

表-1.1　基準周波数レスポンス及び許容差

中心周波数(Hz)	平坦特性		G 特性	
	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)	基準レスポンス(dB)	許容差(dB)
1	0	±3	－ 43	±3
1.25	0	±3	－ 37.5	±3
1.6	0	±3	－ 32.5	±3
2	0	±2	－ 28.3	±2
2.5	0	±2	－ 24.1	±2
3.15	0	±1.5	－ 20	±1.5
4	0	±1	－ 16	±1
5	0	±1	－ 12	±1
6.3	0	±1	－ 8	±1
8	0	±1	－ 4	±1
10	0	±1	－ 0	±1
12.5	0	±1	4	±1
16	0	±1	7.7	±1
20	0	±1	9	±1
25	0	±1	3.7	±1
31.5	0	±1	－ 4	±1
40	0	±1	－ 12	±1
50	0	±1	－ 20	±1
63	0	±1	－ 28	±1
80	0	±1.5	－ 36	±1.5

となっていて、

中心周波数が、1Hz から 80Hz となっています。

（関数 Weight1d3G(ww,h,w) と NoiseLevel1d3G(ww,h,w)はこの規格）

ISO7196：1995 では、中心周波数として 0.25 から 315Hz までが採用されています。

（関数 Weight1d3G7196(ww,w) や NoiseLevel1d3G7196(ww,w) のように 7196 となっているのは、この規格です。）

詳細は、ISO 7196:1995

Acoustics — Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements （日本規格協会）

を確認して下さい。

(5) G特性音圧レベル

ISO 7196 に定められた周波数補正特性 G 特性で重み付けられた音圧レベル。基準音圧は 2×10^{-5} Pa，単位は dB。

$$L_G = 10\log_{10}\frac{p_G^2}{p_0^2}$$

L_p：G 特性音圧レベル (dB)

p_G：G 特性音圧の実効値 (Pa)

p_0：基準音圧 2×10^{-5} (Pa)

G 特性の対象となる超低周波音に関しては、バンドパスフィルタ特性は、

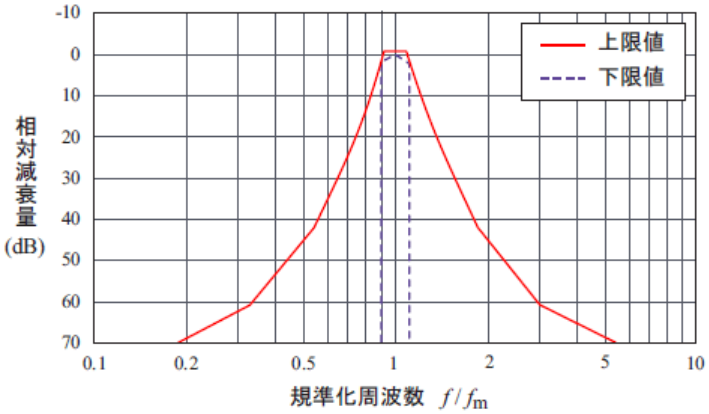


図 11-5 1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

となっています。

A 特性での計算例に従えば計算手順は、

1 波数帯ごとの音圧（パスカル単位）を計算する。

2 基準音圧と比較して、その周波数帯での音圧レベル（dB 単位）を求める。

3 周波数帯域ごとに G 特性での重み付けをする。

4 重み付けした値を基に、全体のエネルギーと計算して、全体としての音圧レベル（dB 単位）を求める。

となりますが、

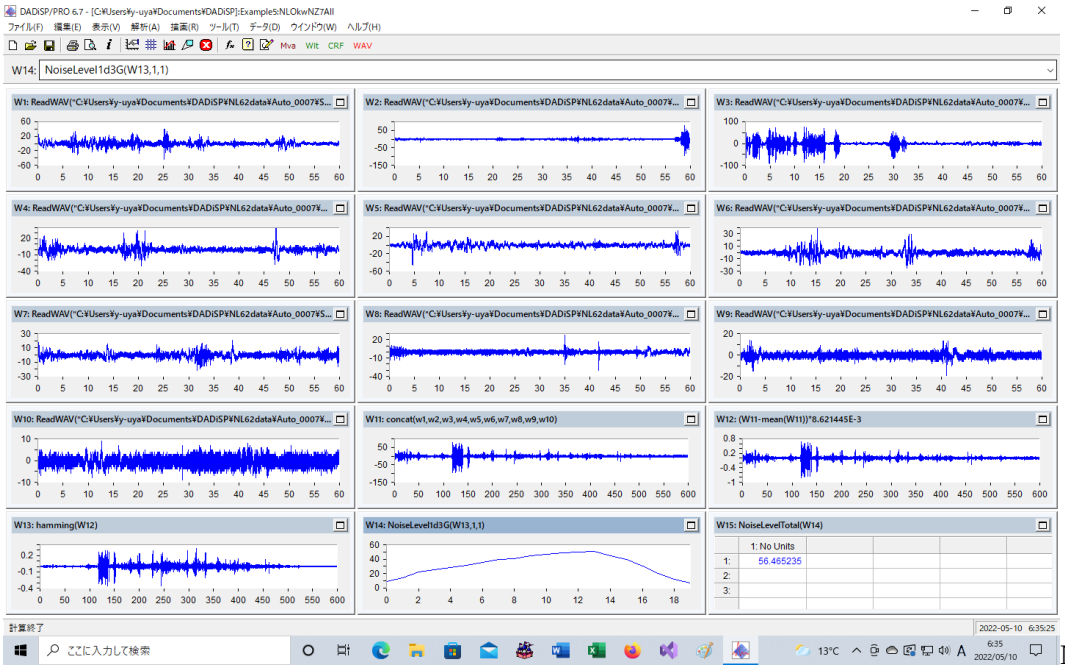
実際のデータ(Auto__0007.mhを AS-60 から開きます。)で計算してみます。(データは風車が無い場所のものです。)このデータは、DADISP—NL62data—Auto_007—SOUND　の中にある WAV ファイルです。

(リオン社のソフトとは2dB 程度の差が出ますが、リオン社のソフトの計算方法が非公開なので原因は不明です。)

AS-60　では、LGeq=58.7

DADISP で同じデータを計算すれば、(ワークシート　NLOkwNZ7All)

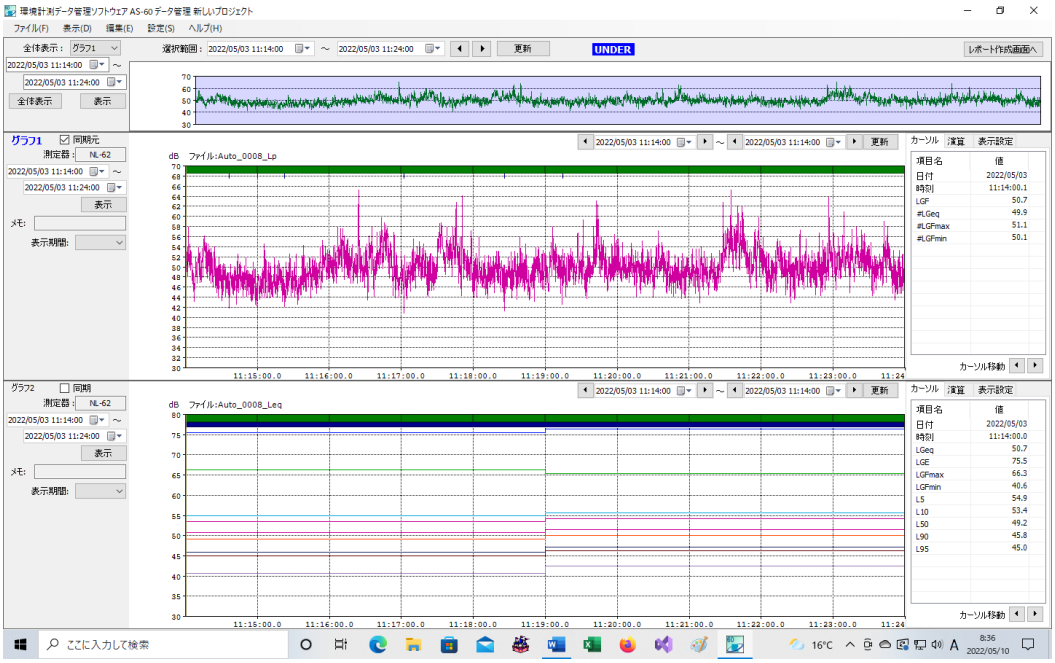
NLOkwNZ7All　（DADISP—NL62data—Auto_007—SOUND　の中にある WAV ファイルを番号順に読み込んだものです。ファイルサイズが大きすぎるので削除しました。)



NoiseLevel1d3G(W13,1,1)で、 56.465235

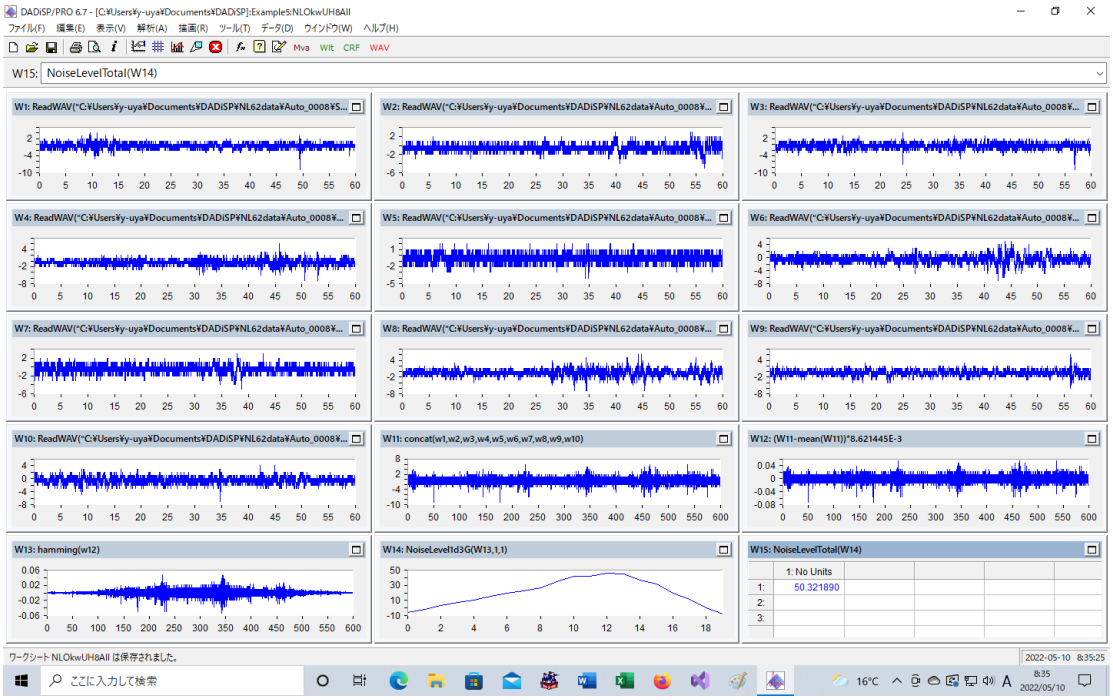
具体例をもう一つ確認します。

Auto_0008.mh　を　AS-60　で開くと、LGeq = 50.7



ワークシート　NLOkwUHAll　　では、50.321890　となります。

　NLOkwUHAll　　（DADISP—NL62data—Auto_008—SOUND　の中にある WAV ファイルを番号順に読み込んだものです。ファイルサイズが大きすぎるので削除しました。）



　この場合は、数値は、ほぼ一致しています。

3.5 計測結果の数値の評価

低周波音に関する評価方法として、環境省から次のようなものが公開されています。

ここでの数値は、
心身に係る苦情に関しては、
測定量は G 特性音圧レベルL_G(dB)及び 1/3 オクターブバンド音圧レベル $L_{p,1/3oct}$(dB)とする。
物的苦情に関しては
低周波音の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを表 1 と比較し、参照値以上であれば低周波音による苦情の可能性が考えられる。
測定周波数範囲は、原則として 1/3 オクターブバンド中心周波数 1Hz～80Hz とする。
とあり、
表の中の値は、平坦特性（A 特性や G 特性での重みを付けていない）での値であることが分かります。
L_G =92dB は、G 特性でのオーバーオール値です。

2.1 物的苦情に関する参照値
低周波音による物的苦情に関する参照値は、表 1 とする。

表 1 低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

2.2 心身に係る苦情に関する参照値
低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

表 2 低周波音による心身に係る苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

ここに、

2.2 心身に係る苦情に関する参照値
低周波音による心身に係る苦情に関する参照値は、表 2 及び G 特性音圧レベル L_G=92(dB)とする。

“G 特性音圧レベル LG＝92（ｄB）とする。”とあるのですが、この値の計算方法は基準値と言われる 100ｄB と同じです。この 92ｄB という数値と、ISO7196 の記述、“Weighted sound pressure levels which fall below about 90 dB will not normally be significant for human perception.”「(周波数）重み付け音圧レベルで約 90ｄB 未満は、人間の認知機能にとって一般的に有意にはならない（または、認識されない)。」

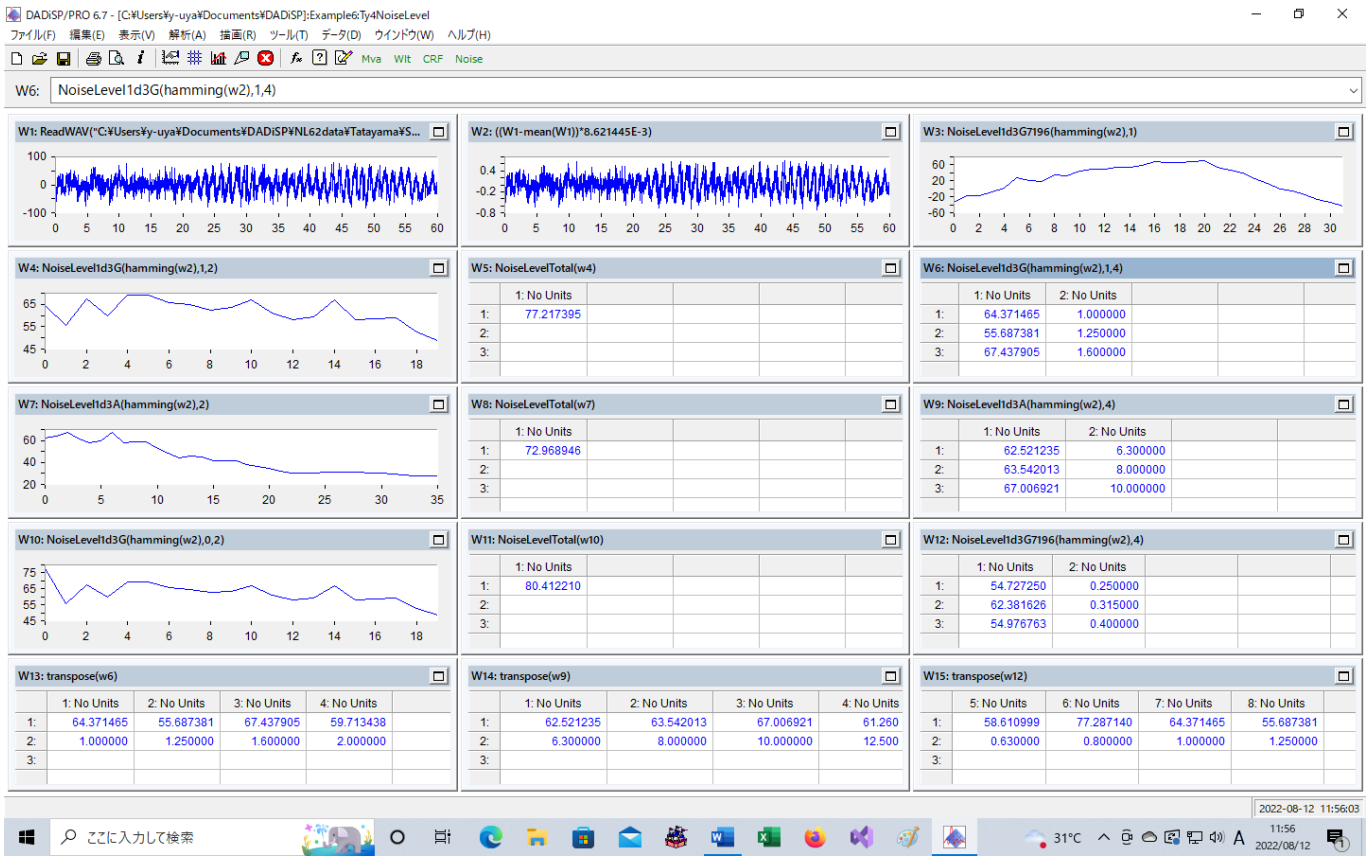
には、整合性があります。

参照値は、聴覚以外の感覚をも含めて、不快感を覚えるときの閾値（境目の値）を示しています。超低周波音に関しては、聴覚は鈍いが、人間の他の感覚は聴覚よりも先に超低周波音の影響を把握します。

参照値は、10%の人が不快と感じる音圧レベルです。それよりも低い 90ｄＢ に関して、ISO7196 は上のように書いているのです。

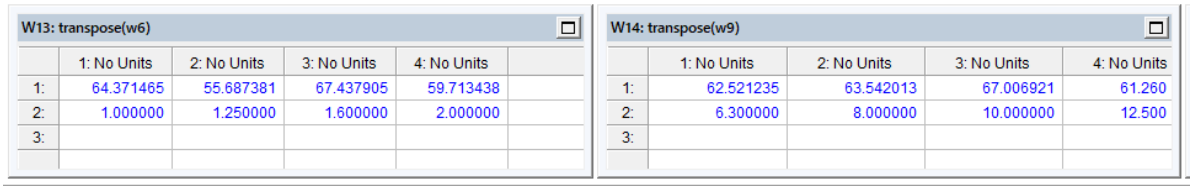
数値の計算は

Ty4NoiseLevel



において、最後の引数を4とすれば、中心周波数の左側に、平坦特性での音圧レベルが表示されます。

重み付け前ですから、G 特性でも A 特性でも同じ値です。



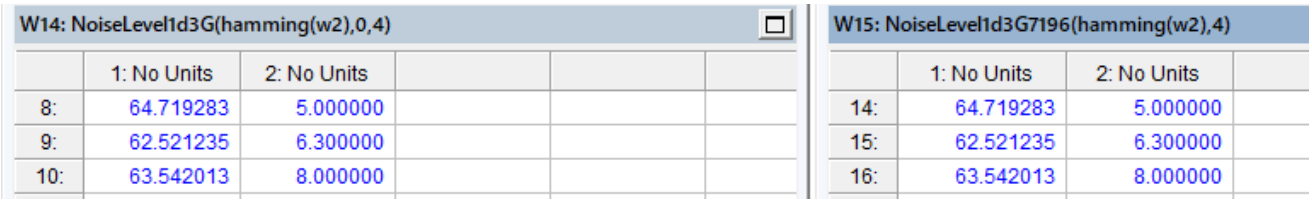
W13: transpose(w6)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	64.371465	55.687381	67.437905	59.713438
2:	1.000000	1.250000	1.600000	2.000000
3:				

W14: transpose(w9)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	62.521235	63.542013	67.006921	61.260
2:	6.300000	8.000000	10.000000	12.500
3:				

A 特性では、中心周波数が 6.8Hz、10Hz、20Hz 以上ですから、5Hz の中心周波数についての平坦特性での値を得るには、G 特性の関数を使います。



W14: NoiseLevel1d3G(hamming(w2),0,4)

	1: No Units	2: No Units
8:	64.719283	5.000000
9:	62.521235	6.300000
10:	63.542013	8.000000

W15: NoiseLevel1d3G7196(hamming(w2),4)

	1: No Units	2: No Units
14:	64.719283	5.000000
15:	62.521235	6.300000
16:	63.542013	8.000000

これによって、参照値の表の中の値に対応するものが得られます。
次の表を見ると、平坦特性での音圧レベルが最大値 77.287146 となるのは、中心周波数 0.8Hz の時であることも分かります。

W15: transpose(w12)

	5: No Units	6: No Units	7: No Units	8: No Units
1:	58.610999	77.287140	64.371465	55.687381
2:	0.630000	0.800000	1.000000	1.250000
3:				

日本の家屋の固有振動数が 1Hz 程度であることと、風車の大型化によって 0.5Hz 程度の周波数の成分が大きいエネルギーを持つようになったので、物的苦情に関する参照値の範囲を ISO-7196 に従って、0.25Hz から 315Hz の範囲へと拡張することが必要です。
環境省が、“大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、**基本周波数は数 Hz** 以下になる。“と言っていた時代は終わりました。
最近の風車は、定格出力：42000ｋｗ、定格稼働時の回転数：10.8rpm、となっていて、環境省の計算方法で周波数を求めると、10.8*3/60＝**0.54Hz**　となります。
“測定周波数範囲は、原則として 1/3 オクターブバンド中心周波数 1Hz～80Hz とする。”
としたのでは、現状に合いません。

今までの数値と比較しやすくするには、中心周波数 1 Hz のバンドパスフィルタの下限周波数を適当に変更しながら計算してみれば良いと考えます。
元の下限周波数での数値　　下限周波数を 0Hz とした数値

W13: transpose(w6)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units
1:	64.371465	55.687381	67.437905
2:	1.000000	1.250000	1.600000
3:			

W15: transpose(w12)

	1: No Units	2: No Units	3: No Units
1:	77.781611	55.687381	67.437905
2:	1.000000	1.250000	1.600000
3:			

物的苦情に関する参照値場合は、室内で騒音計と振動レベル計を併用して計測した結果を、地震の時の揺れを人間が感知するときのデータと比較すれば良いと考えます。

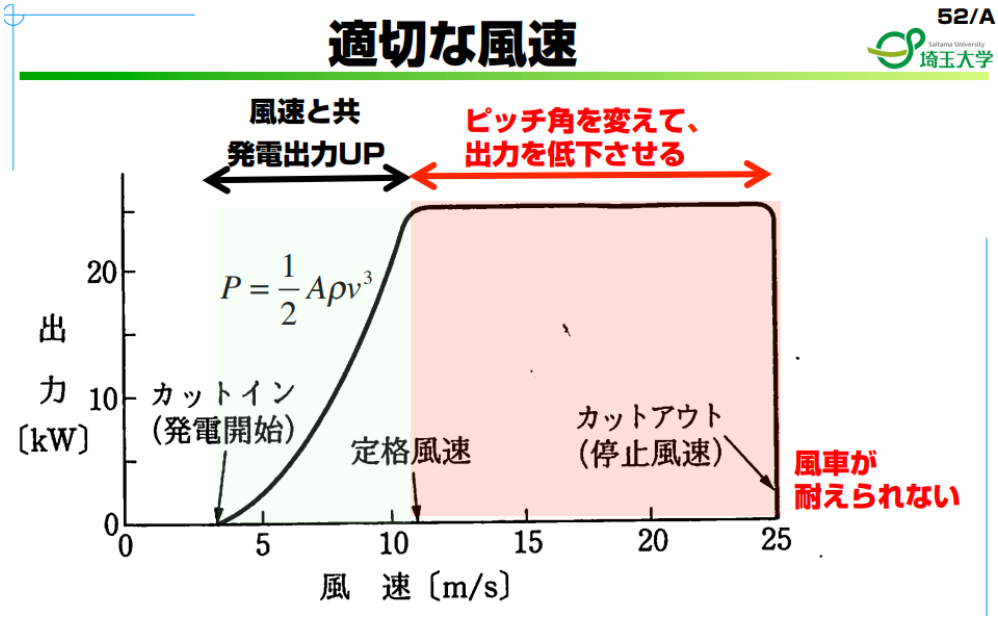
環境省の HP には、
Q９　『参照値』は風車（風力発電）には適用できないのですか？
A９　『参照値』は、ある程度の時間連続して低周波音を発生する固定された音源からの音圧レベル変動の小さい低周波音を対象として設定したものです。【風車からの騒音・低周波音は、風速によってローターの回転や出力が変わるため音圧レベルや周波数特性が変化する、風向によって音が拡散する方向が変化するという特徴があります】。
このため、**『参照値』を風車の低周波音に適用することはできません。**

＜参考＞ 低周波音問題対応の手引書における参照値の取扱について(都道府県等宛通知 平成 20 年 4 月) [PDF 75KB]

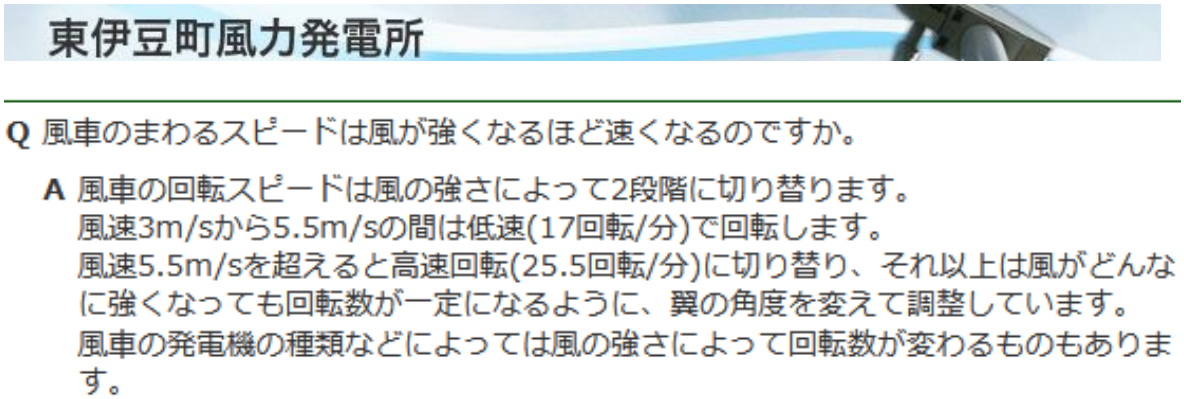
との記述もありますが、

最近の風車は、風速が変化してもローターの回転数や出力が変化しないように、ピッチ角を変えるようにしているものが多いのです。

エネルギー変換工学 風力発電（Yasuhiro Hasegawa Saitama Univ., Japan）



や、



から分かるように、風車の回転数と出力は安定しているのです。回転数や出力が変化する風車は少数派です。HP の内容も時代に合わせて変更しなくてはなりません。

3.6 風車の巨大化による新たな問題

以前、環境省は
“風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。
その基本周波数 f(Hz)は、翼の回転数を R(rpm)、翼枚数を Z(枚)とすると
f＝RZ/60 (Hz)
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。
大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚(3 枚が主)、回転数は 30～60(rpm)程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“
と言っていました。

最近の大型風車は、

表 2.2-10 風力発電機の概要

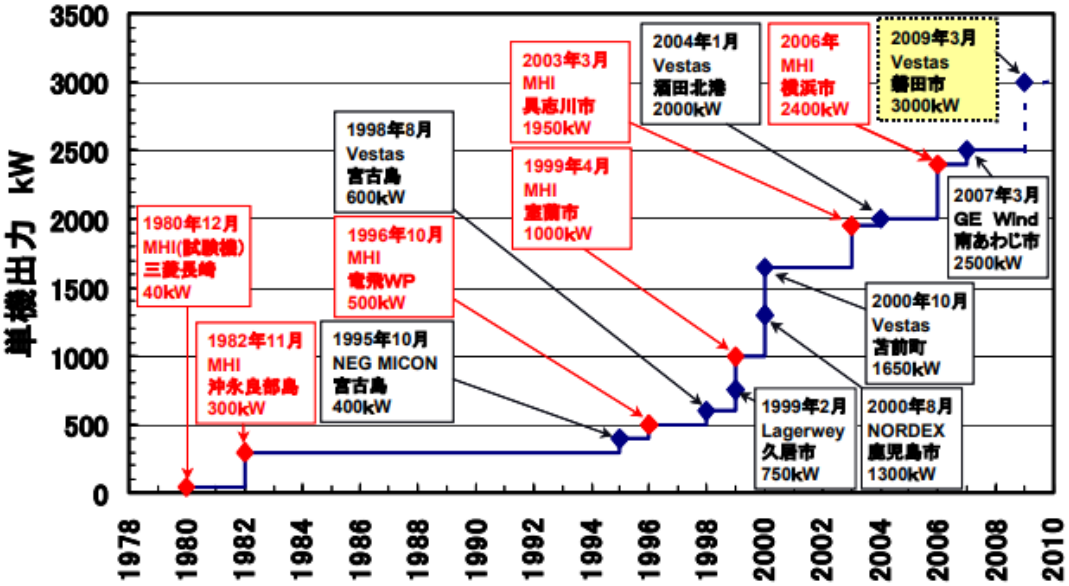
項　　目	諸　　元
定格出力（定格運転時の出力）	4,200kW
設置基数	最大 13 基
ブレード枚数	3 枚
ローター直径（ブレードの回転直径）	約 136m
ハブ高さ（ブレードの中心の高さ）	約 104m
風力発電機の高さ	約 172m
カットイン風速	3m/s
定格稼働となる風速	11m/s
カットアウト風速	32m/s
定格稼働時の回転数	10.8rpm
耐用年数	20 年

定格出力：42000ｋｗ、定格稼働時の回転数：10.8rpm、となっていて、環境省の周波数の計算方法で周波数を求めると、**10.8*3/60＝0.54Hz** となり、精密騒音計だけを使ったのでは計測不能です。
この周波数の音は、いくら強くなっても、A特性であれ、G特性であれ、音圧レベルの計算結果の数値には、ほとんど影響を与えません。(後ほどモデルで確認します。)

20Hz よりも低い周波数の音のうちで特に強い成分の周波数は、0.54Hz に近いと考えられます。音圧は風のエネルギーの一定割合が超低周波音として拡散されると考えると、館山の風車は、出力 1500ｋW、ブレードの長さは 35.25m、回転面の面積は、3904 平方メートルこちらは、出力 4200ｋW、ブレードの長さは、68m、回転面の面積は、14527 平方メートル、風のエネルギーを回転面で比較すれば、3.7 倍、出力で比較すれば 2.8 倍です。

館山の風車で 0.8Ｈｚの音圧は 0.3 パスカル。（84ｄＢ程度）エネルギーは音圧の２乗に比例することを考えて大きな風車の音圧をｐとして、(ｐ^2)/(0.3)^2=3.7 ならば、ｐ＝0.58（Pa)、(ｐ^2)/(0.3)^2=2.8 ならば、ｐ＝0.5（Pa)、音圧レベルとしては、87.96(dB)から 89.25(dB)程度だと予測できます。

1995 年に ISO 7196:1995　、1996 年に 改訂された ISO389-7 の発表以降、風車は、大きさも出力も急激に増大しています。このことが新たな問題を発生させました。



大型化によって、風車のからの音で、強大なエネルギーを持つものの周波数が急激に下がり、G 特性音圧レベルの計算では、ほぼ 0 として扱われます。計算結果が、風車から放射される音のエネルギーの状態とかけ離れたものになっています。

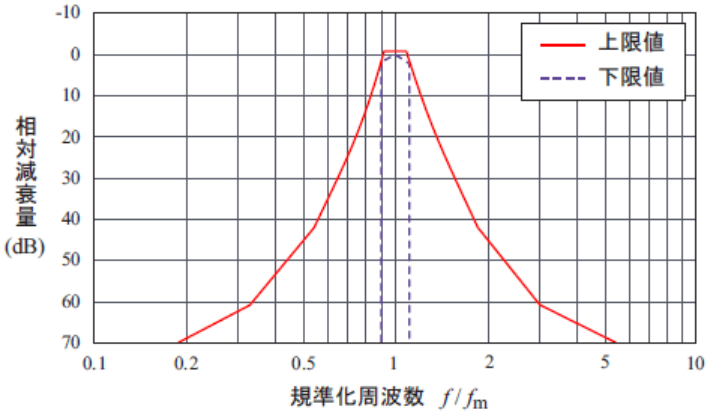
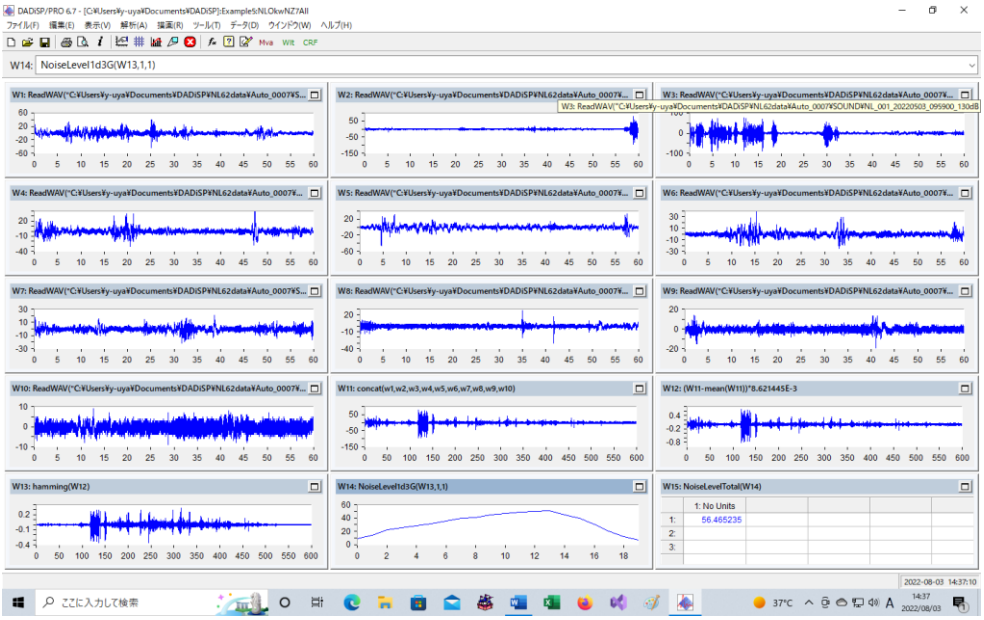


図 11-5　1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

中心周波数 1 Hz（0.9765625Hz）の場合は、下限周波数 0.870018Hz、上限周波数 1.096154Hz なので、0.54Hz 成分は、バンドパスフィルタのスロープ部分で引っかかるとしても、計算上はほぼ 0 として扱われます。

神社の境内で測った騒音で、誰かが、近くで草刈り機を使っていた時のデータは、
1/3 オクターブバンド中心周波数 1-80Hz で計算した G 特性音圧レベルは 56.465235 でした。

NLOkwNZ7All　　（Auto__0007.mh にある WAV ファイルを番号順に読み込んだもの）



この値は、騒音―③のケースとほぼ同じです。

予測地点	時間区分	G特性音圧レベル（L_{Geq}） 現況値 a	風力発電施設寄与値 本事業	将来予測値 b	増加分 b-a	超低周波音を感じる最小音圧レベル（ISO-7196:1995）
騒音－③	昼間	59	61	63	4	
	夜間	54		62	8	
	全日	58		63	5	

G 特性での、バンドパスフィルタの影響と、G 特性重み付けの影響について付け足しておきます。

G 特性で中心周波数 1 Hz の場合を確認しましょう。

周波数 0.5Hz の場合
中心周波数 1Hz の場合は 0.5Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.5/1＝0.5 であり、フィルタによる相対減衰量はクラス１では、45ｄＢくらいになっている。
これは、0.５Hz の波、$Asin(0.5 * 2\pi\ t)$ がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.5 * 2\pi\ t)$だったとすると、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 45$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 45$よって、A/B＝10＾2.25＝178　となるので、B＝A/178。

したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.5Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では振幅が元の大きさの 1/178 の大きさしかないものとして扱われる。

G 特性による補正
中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、振幅の評価はさらに下がり、その大きさが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので
最終的な振幅の評価は元の振幅の、0.0056*0.0056＝0.0000316 倍となるので
まるで、

$$Asin(0.5 * 2\pi t)$$

の波が

$$0.0000316 * Asin(0.5 * 2\pi t)$$

であったかのような扱いを受ける。

周波数 0.2Hz の場合
中心周波数 1Hz の場合は 0.2Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.2/1＝0.2 であり、相対減衰量はクラス１では、70ｄB 程度になっている。
これは、0.2Hz の波、$Asin(0.2 * 2\pi t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.2 * 2\pi t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 70$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 70$よって、A/B＝10 ^ 3.5＝3162
となるので、B＝A/3162。
したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.2Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/3162＝0.000316 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正
G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので
全体の騒音の強さの計算では、0.0056*0.000316＝0.00000177 となるので
まるで、

$$Asin(0.2 * 2\pi t)$$

の波が

$$0.00000177 * Asin(0.2 * 2\pi t)$$

であったかのような扱いを受ける。

計測で確認された、0.8Ｈｚ成分に関しても計算しておきましょう。
周波数 0.8Hz の場合
中心周波数 1Hz の場合は 0.8Hz の波に対しては、ｆ／ｆｍ＝0.8/1＝0.8 であり、相対減衰量はクラス１では、15ｄB、くらいになっている。
これは、0.8Hz の波、$Asin(0.8 * 2\pi t)$がこのフィルタに入って、出てきたときは$Bsin(0.8 * 2\pi t)$だったとするときに、

$$10 * log_{10}\left(\frac{A^2}{P_0^2}\right) - 10 * log_{10}\left(\frac{B^2}{P_0^2}\right) = 15$$

$20 * log_{10}\left(\frac{A}{B}\right) = 15$よって、A/B＝10 ^ 0.75＝5.6
となるので、B＝A/5.6。
したがって、フィルタ通過後の波の中の 0.8Hz の成分は、この帯域での騒音の計算では元の振幅の 1/5.6＝0.179 の振幅しかないものとして扱われる。

G 特性による補正
G 特性の場合は、中心周波数 1Hz の帯域の関しては、-45ｄB の補正がかかるので、全体の騒音レベルに対しては、その強さが、$20 * log_{10}\left(\frac{C}{B}\right) = -45$から、C/B＝10 ^ (-45/20) ＝0.0056 となるので

全体の騒音の強さの計算では、0.179*0.0056＝0.001 となるので

$$0.001 * Asin(0.8 * 2\pi\ t)$$

であったかのような扱いを受ける。

以上のことから、G特性での計算では、１Ｈｚよりも低い周波数成分に関しては、中心周波数１Ｈｚのバンドパスフィルタの影響とG特性の補正値によって、1/1000（８Ｈｚ）から 1/30000（0.5Ｈｚ）から 1/565000（0.2Ｈｚ）の強さしかなかったかのように計算されます。

G 特性の補正値では、10Hz から 30Hz の間の周波数帯の部分はプラスの評価を受けるので、この部分が計測結果に大きく寄与します。

これまでの計算から、風車から出てくる１Hz 以下の超低周波音の影響が G 特性での測定結果の計算に、ほとんど寄与しないのは明らかです。

G 特性での低周波音の評価だけでは、風車が建つ前と建った後で大きく変化する１Hz 以下の超低周波音の引き起こす諸問題が解明できません。フィルタで影響を小さく評価し、さらに G 特性での補正でさらに小さく評価するのです。

例えば、0.2Hz で強さが 1000 パスカルの超低周波音があったとしても、G 特性での計算では、1000/565000＝0.00177 パスカル程度の振幅の波として扱われる。

１パスカルは１㎡の面積に対して１N の圧力を加えるような気圧であるので、１㎡に対して 1000N の力が加わる。地球上では質量１ｋｇの物質に対して 9.8Nの力（引力）が働くのだから、1000/9.8＝102 となり、水平な面の１㎡あたりに１０２ｋｇの重しを追加して乗せることに相当する。

これが、G 特性による計算では、0.00177/9.8＝0.00018 であり、0.00018ｋｇ＝0.18ｇの重しを追加して乗せているような扱いをされることになっている。

エクセルを使って、簡単なモデルを作り、再度確認します。

ISO7196 の重み付けを使うことにして、単純化したモデルを作れば、次のようになります。

各周波数の音圧を調整して、全体の G 特性音圧レベルが　56.46126558　ｄB になるようにしました。

次に、周波数成分の音圧を変更して、全体の G 特性音圧レベルが、ほぼ 61ｄB になるようにしました。

結果を音圧の比で評価すれば、

20Hz 成分が、0.0041　(Pa)　から、0.008（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

0.008/0.0041＝1.95　倍

2Hz 成分が、0.0005　(Pa)　から、0.5（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

0.5/0.0005＝1000　倍

0.5Hz 成分が、0.0002　(Pa)　から、31.5（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

31.5/0.0002＝157500　倍

0.25Hz 成分が、0.00024　(Pa)　から、482（Pa）に変化したら、61（ｄB）になりました。

482/0.00024＝2008333　倍

です。

計算結果は、次の表です

	G特性音圧レベルの試算		ISO7196の重み付け					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.46126558						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.008	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	52.0411998	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	61.0411998	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.39824356						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.5	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	87.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	-44.3	-29.0206	59.6588002	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.35819084						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	31.5	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	123.945611	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-66.416375	59.6456112	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.34928006						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	482	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	147.640341	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-88	-64.3	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	59.6403409	-44.3	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.3457206						

1Hz 以下の重み付けを、全て 1Hz の時の重み（-43）に変えて、G 特性音圧レベルを計算すると、次の表になります。

	G特性音圧レベルの試算		1Hzはローパスフィルタ（その①）					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.4612657						

一部省略

	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	31.5	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	123.945611	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	80.9456112	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	80.96104869						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	482	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	147.640341	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	104.640341	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	104.6404069						

聴覚での把握ではなく、共振などの物理的な影響を考えるときの目安としては、このようにして計算した数値の方が、有効だと考えます。

このように、中心周波数 1HZ の部分を 0Hz までのローパスフィルタに変更して、61（ｄB）になる音圧を計算すると次の表になります。

	G特性音圧レベルの試算		1Hzはローパスフィルタ（その②）					
	基準音圧（Pa）	0.00002						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	56.4612657						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.008	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	52.0411998	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	61.0411998	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.3982436						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	0.0002	0.0001	0.5	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	20	13.9794001	87.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	-23	-29.0206	59.6588002	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.35819088						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	0.00024	3	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	21.5836249	103.521825	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	-21.416375	60.5218252	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.96007148						
	周波数（Hz）	0.25	0.5	1	2	10	20	50
	音圧（Pa）	3	0.0002	0.0001	0.0005	0.0066	0.0041	0.0000007
①	騒音レベル（ｄB）（平坦特性）	103.521825	20	13.9794001	27.9588002	50.3702788	46.2350772	-29.118639
②	G特性の重み付け	-43	-43	-43	-28.3	0	9	-20
①+②	G特性重み付け後	60.5218252	-23	-29.0206	-0.3411998	50.3702788	55.2350772	-49.118639
	G特性音圧レベル（ｄB）	61.96007147						

物的振動が起こる目安、または聴覚以外の感覚で不快感を認識する音圧の目安として、上の表のような数値を採ると役に立つと思います。

実験室で、0.5Hz や 1Hz、2Hz の音を作り出すのは困難です。多くの実験結果は、5Hz の所までです。

A 特性、G 特性での重みづけとアノイアンス曲線

A 特性と G 特性の重み付けは、下のグラフです。

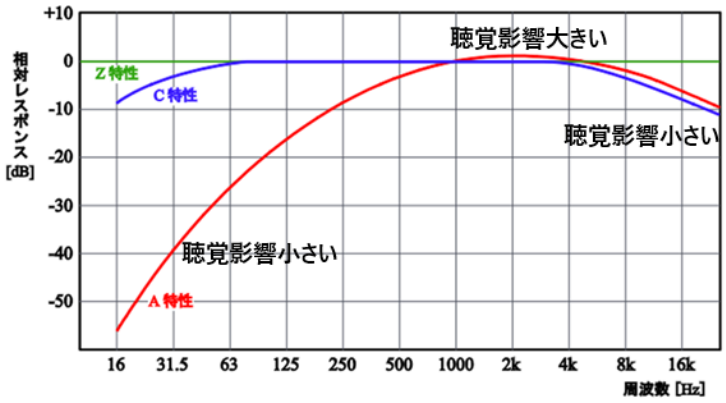


図 2　周波数重み付け特性 A/C/Z

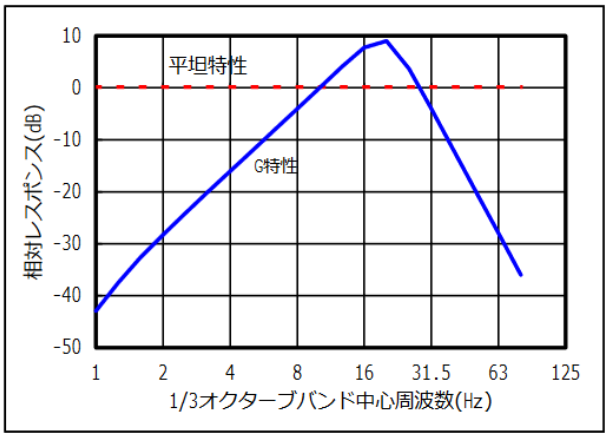
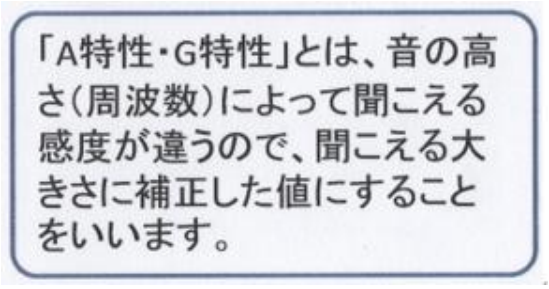


図-1.1　低周波音の周波数補正特性



そもそも、聞こえない音を“聞こえる大きさに補正した値にする“こと自体が意味を持たないのであるが、もう少し確認します。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	
G特性の重み	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68
A特性の重み				-70	-63	-57	-51	-45	-39	-35	-30	-26	-23	-19	-16	-13	-11

A 特性の重みを 20Hz～200Hz で確認すれば。-51～-11 まで、単調に増加している。
これは、20Hz～200Hz の範囲では、周波数が高くなると聞こえる感度が良くなることを意味している。
G 特性の数値が、“聞こえる感度”で補正した数値ならば、20Hz～80Hz の間では単調増加になるはずなのに、9～-36 まで単調に減少している。

G 特性での、20Hz～80Hz での重みは、聞こえる感度とは逆の重み付けになっている。
20Hz 以下では、聞こえにくいからマイナスの重みを付けるが、
20Hz 以上では、聞こえやすいからマイナスの重みを付ける。
という事になる。

これでは理屈が通らない。G 特性の真の目的は別の所にある。

周波数Hz	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
聴覚閾値											78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5
心身参照値 dB								92	88	83	76	70	64	57	52	47	41
G特性の重み	-28	-24	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36

心身に関する参照値を見れば、10Hz～80Hz までは、参照値が下がっている。これは音が聞こえて、不快に思う時の音圧レベル小さくなっていることを意味している。

聞こえる感度は、20Hz よりも 80Hz の方が良好であることを意味している。聞こえ方が良好になるにも拘らず、G 特性での重み付けは、20Hz～80Hz ではどんどん小さな数値になっている。聞こえやすくなる周波数なのに、あたかも聞こえにくいかのような重みを与えている。

A 特性での重み付けの根拠は、

人間にとっての騒音の煩さを表す数値が A 特性音圧レベル（単位はデシベル d B）です。この計算には、人間の聴覚での可聴域が 20Hz から 20000Hz であることと、周波数によって人間の感じる煩さ（聴覚で感じる騒音の大きさ）が異なることを考慮して、周波数帯ごとに重み付けをして全体としての騒音レベル（d B）計算します。

“聴覚で感じる騒音の大きさ”が大きい場合は、プラスの重みを付ける。小さい場合はマイナスの重みを付ける。聞こえやすい場合はプラス、聞こえにくい周波数にはマイナスの重みを付けている。
G 特性での重みを、20Hz～80Hz で見れば、聞こえやすい音にマイナスの重みを付けている。

“低周波音の測定方法に関するマニュアル”には、

（3）G 特性

1-20Hz の超低周波音の人体感覚を評価するための周波数補正特性で、ISO-7196 で規定された。可聴音における聴感補正特性である A 特性に相当するものである。この周波数特性は、10Hz を 0dB として 1-20Hz は 12dB/oct.の傾斜を持ち、評価範囲外である 1Hz 以下および 20Hz 以上は 24dB/oct.の急激な傾斜を持つ（図-1.1、表-1.1 参照）。

1-20Hz の傾斜は超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。

とある。

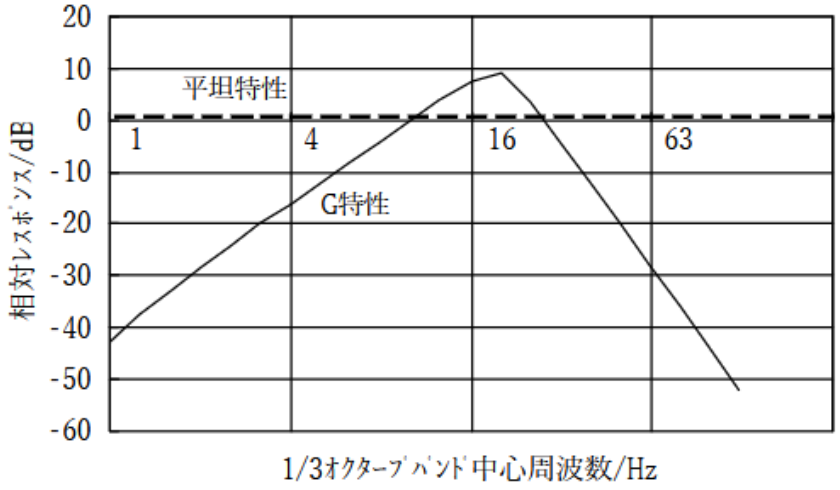


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

とあるが、ISO7196 での G 特性の重みの範囲は、1～20Hz ではなく、0.25Hz～315Hz である。

20Hz 以下の部分は、聞こえにくい音にはマイナスの重みを付けるとの言い訳もできるが、20Hｚ～80Hｚの部分に関しては、どの様に説明するのでしょうか。20Hz～80Hz では聞きやすい音にマイナスの重みを付けています。この様な説明を、普通の日本語では、“支離滅裂”という。

これを不快感について真似る。不快感に関しては、10Hz 以上に関しては聴覚での不快感を採用する。10Hz 以下については、圧迫感を中心とした不快感を採用する。

参照値を 10Hz 以上に関して確認すれば、

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

10～80Hz については、92～41ｄB と減少している。

これは、音圧レベルが同じならば、周波数が上がるにつれて、音による不快感が増大することを意味している。

不快感に関する影響が大きいものに、プラスの重みを付けると考えれば、10Hz を越えた場合の重みは、周波数の増大に伴って、プラスで増大する。

ガタツキによる不快感での睡眠妨害を考えてみます。ガタツキ閾値の表は、

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						

となっている。5Hz～20Hz の範囲で考えれば、ガタツキ閾値は周波数の増加につれて大きくなる。

感覚閾値の感覚について、ガタツキを感知する三半規管や、床による振動を皮膚への圧力変動として感知することを考えるならば、ガタツキまで含めた感覚閾値は周波数の減少につれて小さくなる。同じ音圧ならば、周波数が下がるほどガタツキを敏感に感知するようになる。同じ音圧ならば、周波数が低いほどガタツキでの不快感が増し、睡眠を妨害される。

A 特性での重み付けは、感覚で把握しやすい部分はプラスの重みを付けて、感覚で把握しづらい場合はマイナスの重みを付ける。

G 特性でもこれを真似て、風車での睡眠妨害の観点から 5Hz～20Hz の部分に対する重み付けをするならば、低い周波数（5Hz）は睡眠妨害の力が強いのでプラスの大きな値の重みを付ける。高い周波数（20Hz）はガタツキでの睡眠妨害を起こす力が弱いので、ゼロあるいはマイナスの重みを付けるのが合理的である。

もちろん、感覚を聴覚だけに限定すれば逆になる。聴覚への刺激は、音圧が同じならば、周波数が高いほど敏感に感知されるので、重みは大きくなる。ただし、聴覚は超低周波音の評価には向いていない。そもそも、超低周波音の領域では、聴覚の感度は鈍いのです。

圧迫感による不快感に関しては、同じ音圧での音が、周波数の減少との関係の様子を確認すれば、

圧縮過程が終了する時点での試験管内の圧力は次の表のようになる。

周波数	0.5	1	2	10	20	50	100	200
周期/2	1	0.5	0.25	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025
内気圧	102400.9991	102400.9742	102400.861	102400.467	102400.369	102400.303	102400.132	102400.033

気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、

200Hz だと、体内の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

100Hz だと、体内の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

10Hz だと、体内の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

1Hz だと、体内の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

0.5Hz だと、体内の圧力は 0.999 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

周波数が低いほど、体内の圧力変動が大きくなる。

200Hz 以上ならば、体内の圧力はほとんど変化しないが、10Hz 以下では、かなりの圧縮が起きる。

これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。したがって、周波数が低くなるほど圧迫感による不快感は増加する。

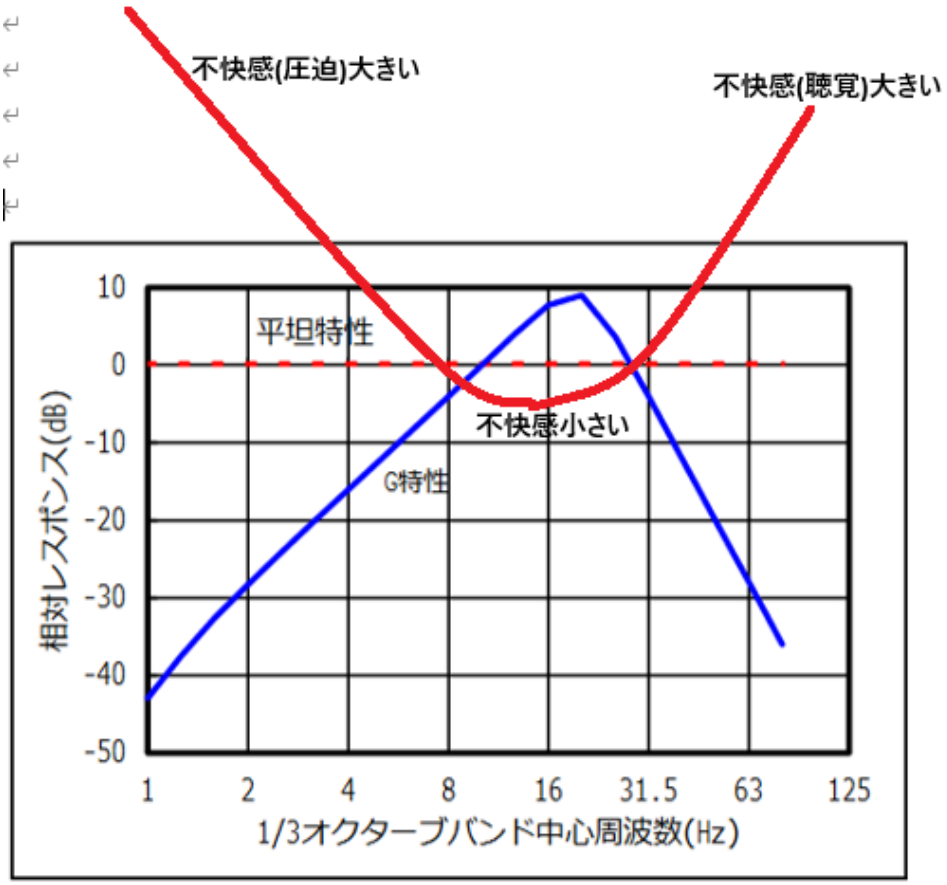


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

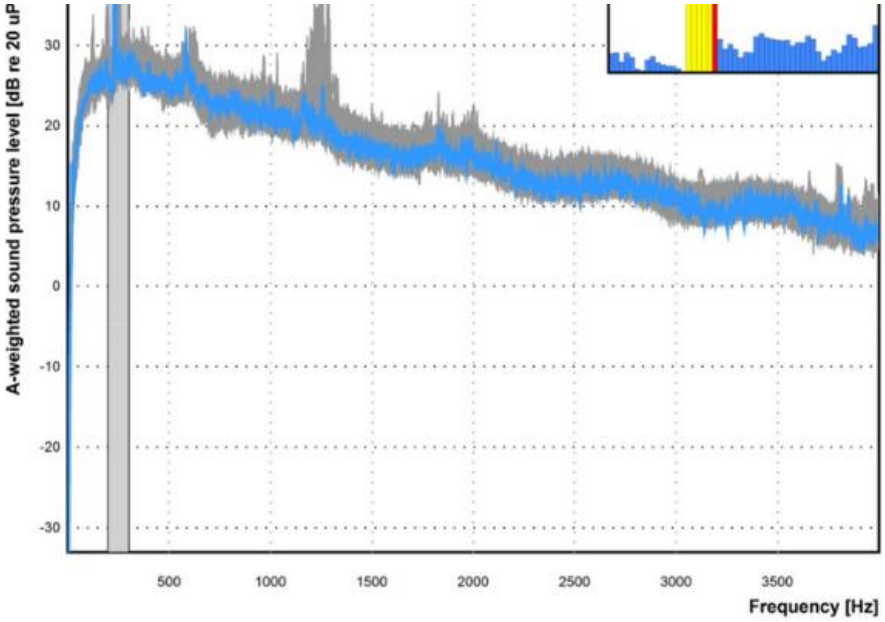
不快感の観点からは、U 字型の重み曲線を考えるべきである。これを“アノイアンス曲線”と呼ぶことにする。

アノイアンス曲線で数値を決めれば、風車音でのアノイアンスに合った数値となるが、G 特性音圧レベルは、アノイアンスの程度とは逆の数値になる。

これは、風車の超低周波音による被害を隠蔽する目的で、G 特性音圧レベルでの重み付けがなされていることを意味する。

5.3 “FFT 分析”の意味

“FFT 分析結果”として、次のグラフが示されることがあります。

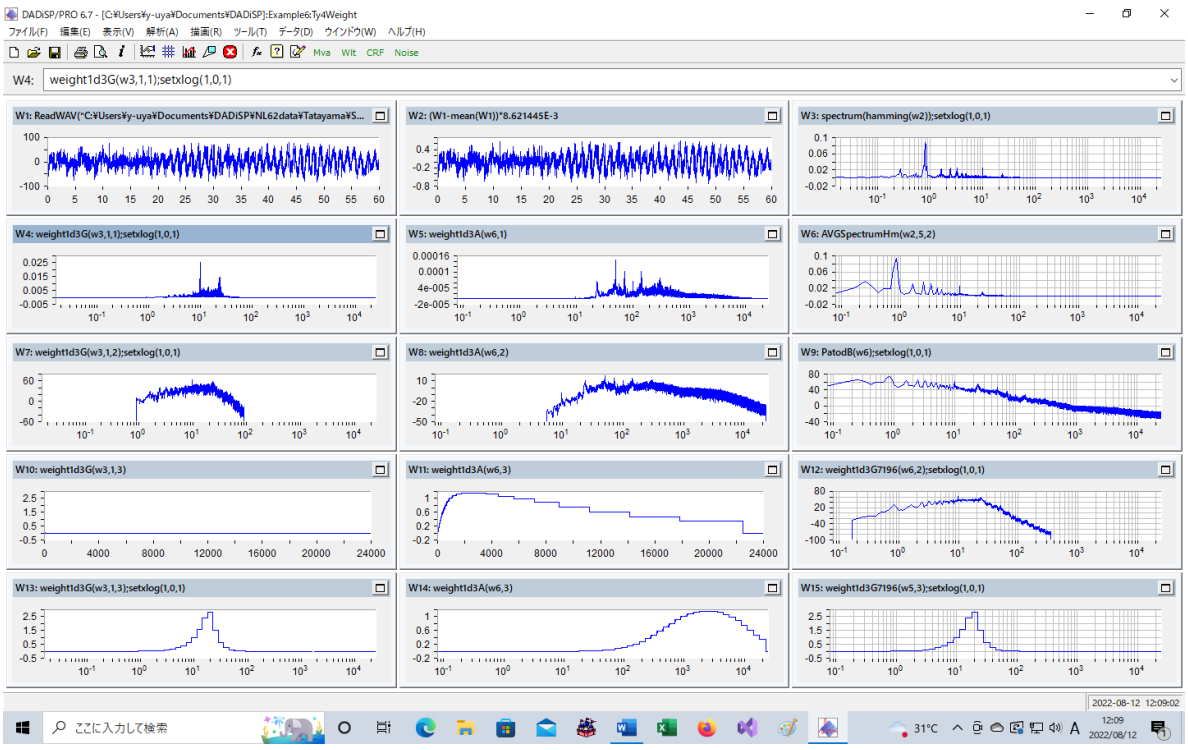


注）グラフ中の灰色の帯で示す箇所（臨界帯域）の詳細を右上に示す。

図 2.2-11(1)　風力発電機から発生する騒音の周波数特性（FFT 分析結果：8m/s）

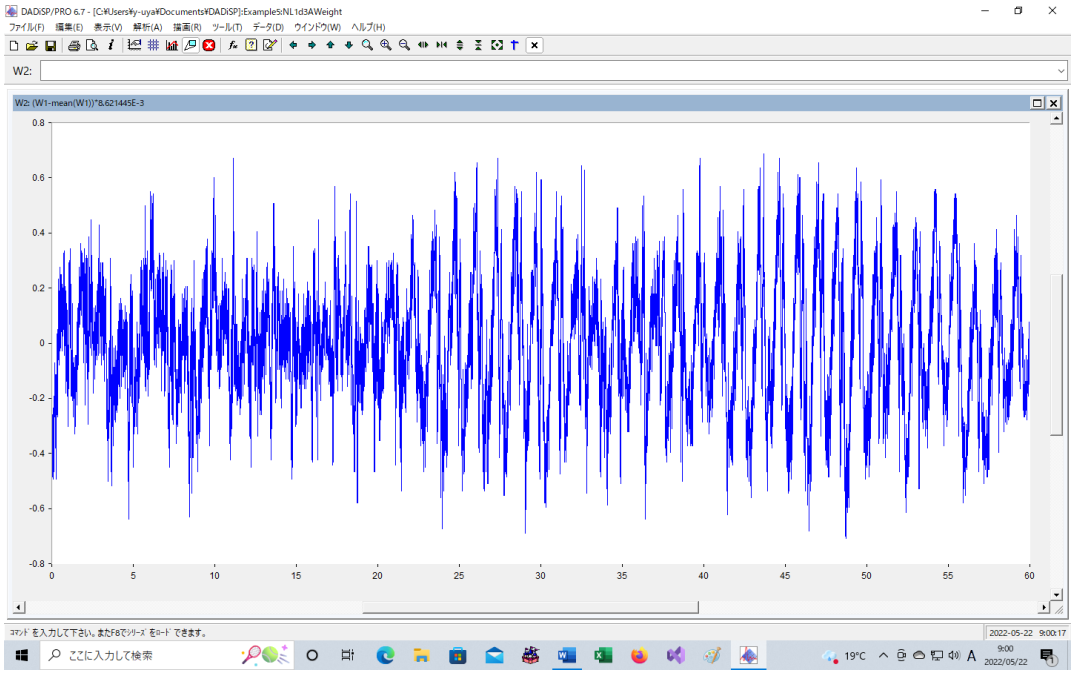
このグラフは、次のようにすると得られます。

Ty4Weight

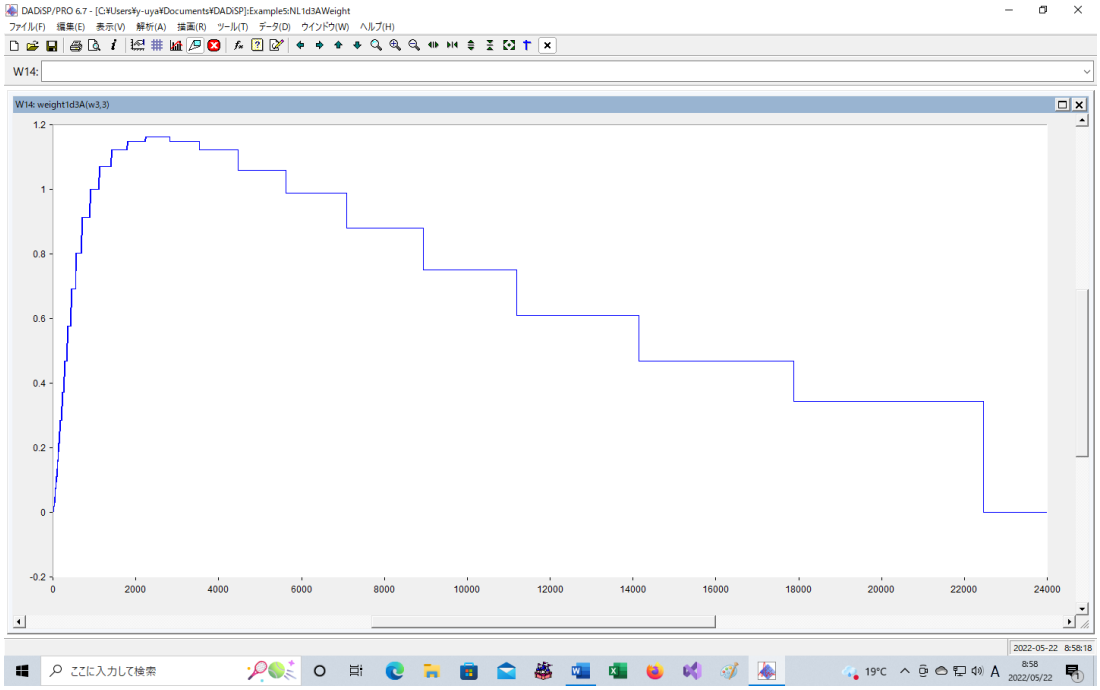


計算は次の手順です。

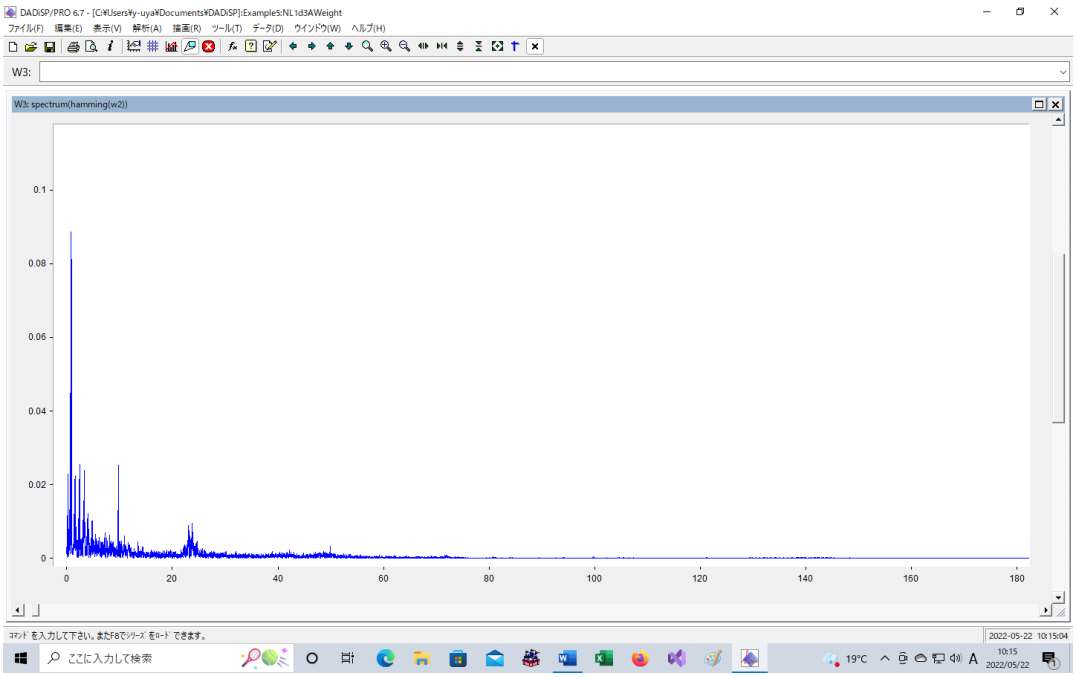
観測された音圧の変化は次のグラフです。



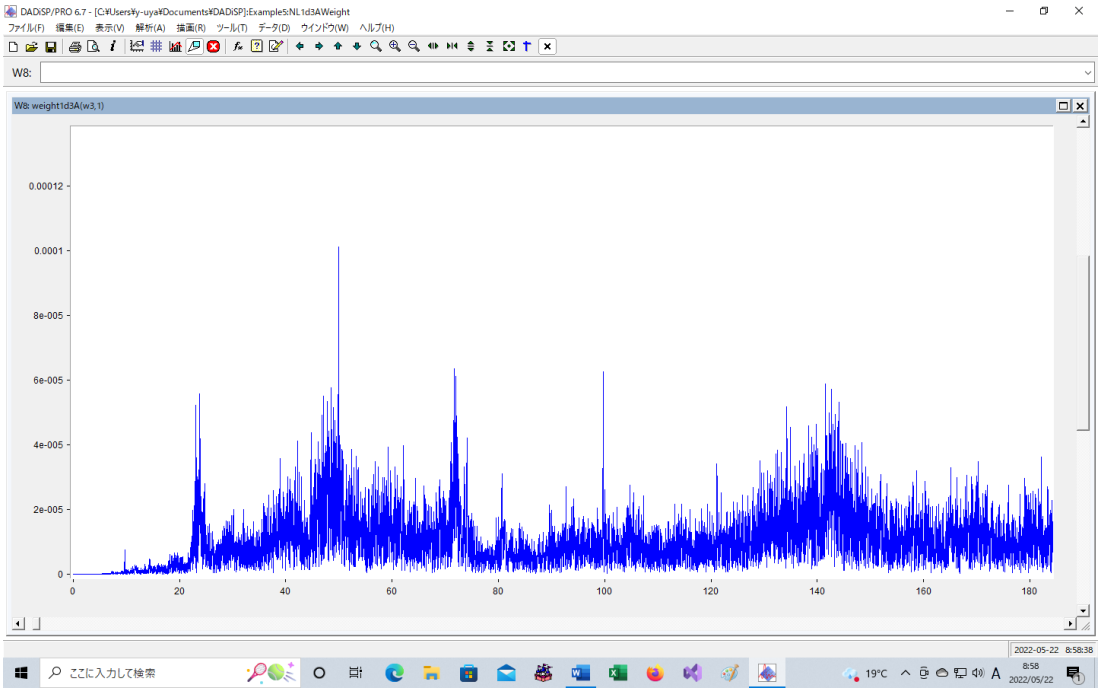
A 特性での重み付けを、各周波数帯に属する周波数成分の個数に合わせて、再構成したものが次のグラフです。



周波数スペクトルの各成分は次のグラフで、超低周波数音の成分が極めて強いことが分かります。

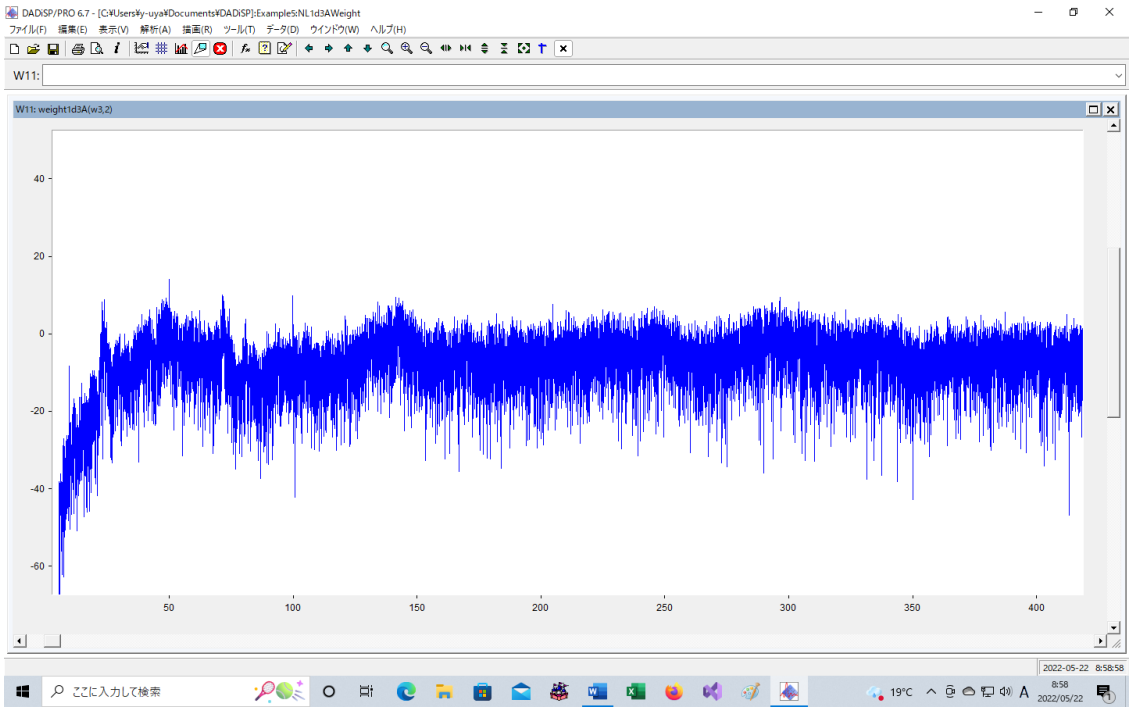


この周波数成分に対して、A 特性の重み付けを適用すると次のグラフになります。



このグラフから、低周波成分は極めて低く評価され、その一部はバンドパスフィルタの性質から、0 として扱われてしまう事が分かります。

ここではパスカル表示ですが、対数を取って、デシベル表示にすれば、次のグラフになります。



A 特性の重み付けで、超低周波成分のほとんどの部分は計算から除外されます。

この計算が全く無意味だとは言わないが、少なくとも、FFT 解析の結果とは言わないで欲しい。理由は、周波数成分の強さが、不明となり、せっかく周波数成分ごとの強さ測ろうという FFT の趣旨に反するからです。

4200ｋｗの風車からは、0.54Ｈｚの超低周波が高い音圧で拡散されるのだが、この計算では、その影響が完全に隠蔽されてしまいます。

風車の大型化によって、G 特性での数値や A 特性での数値では、風車騒音の特徴を捉えらません。多くの関係者が、風車騒音の観測データをネット上に公開して、誰でも解析できる状態にすることが必要です。

参考値、

C・Tech
（仮称）ウインドパーク布引北風力発電事業
環境影響評価書、[要約書]
要約書 10 ページに次の記載があります

予測地点	現況値	予測値	建設の影響による増分	参考値
一般①	68	68	0	100
一般②	60	61	1	100
一般③	58	64	6	100
一般④	54	63	9	100

注：1　現況値は、バックグラウンド低周波音（現況の超低周波音から、既設の風力発電所から発生する超
　　低周波音を除いてもの）です。
　2　予測値は、将来の超低周波音（G特性音圧レベル）です。
　3　**参考値**は、ISO 7196 に示されている「超低周波音の知覚の閾値」を示します。

おまけ②

千葉県館山市にある風車の音を、リオン社の精密騒音計 NL-62 で計測し、波形収録プログラム NX-42WR によって１６ビットの符号付整数を使って収録しました。計測結果の WAV ファイルを作りました。収録時の周波数重みづけは Z 特性（平坦特性)。サンプリングレートは４８ｋHz、連続する収録時間としては 10 分でした。

この方法で収録した WAV ファイルを解析すれば、0.5Hz の音も把握できます。このファイルには、１秒間に４８０００回計測した音圧の変化が記録されていますので、それを解析すれば 1Hz よりも低い周波数の成分を解明できます。

こうして得られた騒音に関する測定結果を波形解析ソフト DADISP と Wavelet モジュールを使って調べました。FFT と Wavelet 解析で、計算したところ、風車の近くでは 0.5Hz や 0.8Hz の超低周波成分が 0.3Pa 程度の強さで観測されました。風車の無い所では、0.5Hz や 0.8Hz の超低周波成分の強さは、0.003Pa 程度でした。

房総かぜの丘　　風力発電用の風車。

名称「房総かぜの丘」

出力　１５００ＫW

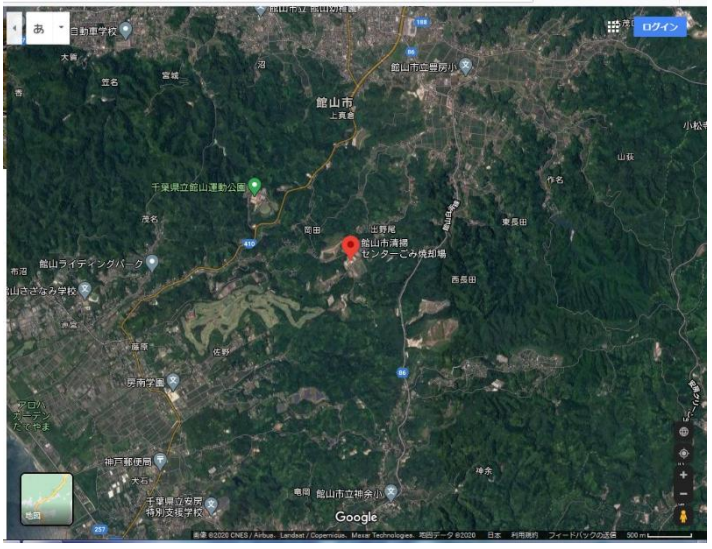
タワー高さ　６５ｍ

ブレード直径　７０．５ｍ

ナセル重量　５２トン･･･（改めて見ると、すごい数字だ）

最大高さ　１００ｍ

館山風力開発株式会社



精密騒音計と振動レベル計で計測してみました。

騒音計の計測結果を報告します。

２０２１年の春、風車の下では桜が咲いていました。風車の下に立つと、グォーン、グォーン、といった感じの音がしていました。

おまけ④

次の記述は大きな問題があります。

②風力発電のための環境影響評価マニュアル(第２版)

・ 国立研究開発法人新エネルギー･産業技術総合開発機構が平成 15 年７月に作成(平成 18 年２月、第２版に改訂)した「風力発電のための環境影響評価マニュアル」に記載された予測手法は、風力発電施設を点音源としてモデル化し、風力発電機の製造事業者等から示される音響パワーレベルを用いるものである。

・ この手法では、伝搬過程における音の拡散による距離減衰や、空気吸収による減衰を考慮している。風力発電施設が複数基設置される場合は、音響パワーレベルを用いて算出した風車騒音のレベル（A 特性音圧レベル）を合成することによって予測地点における騒音レベルを求めている。

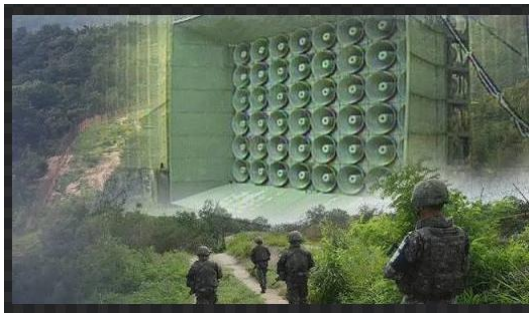
点音源と A 特性、、、もはや、次の言葉しか思いつきません。“お代官様、勘弁してください。”と言っても、許してはくれないようですので、もう少し考えておきます。

点音源としての扱いは、風車が一つだけなら、ある程度理解できます。
普通は、風車が沢山立ちます。

南房総市で計画された、風力発電の風車建設予定地は下の地図の赤い丸の所です。
風車建設用の道路づくりの費用、送電設備を作る経費を考えたら、1 基だけ風車を立てたのでは、儲かりません。10 基から 20 基くらい立てるのが普通です。

まず、風車の並び方が問題です。韓国が北朝鮮向けに作っていたスピーカーの巨大な壁を連想させる形で

す。スピーカーを積み上げて壁を作って音を出すと、平面のような性質を持つ音波となって、遠くまで良く響くのです。もちろん、その規模は風車の方がはるかに強大であることは、下の写真と上の地図を比べれば明らかです。



高さ１００ｍの風車が、３ｋｍにわたって、１０基並んだ姿は、上の北朝鮮向けのスピーカー壁とは比べ物にならないくらい大きな物です。風車の並び方を見れば、巨大な壁状のスピーカーによる攻撃を受けている北朝鮮よりも、はるかに大きな被害を受けます。大川、白間津の方へは、平面波の性質を持った音波がやってくることになります。

物理の本を見れば、風車の並び方と平面波の減衰については、

音の減衰については、音源が直線状の音源ならば、波面は円柱状であり円柱の側面の表面積は半径の１乗に比例する。ここでは、円柱が長いとして円柱の底面と上部の面積は無視する。側面積は高さをｈとすれば、$2\pi rh$ となり、よって音の強さは、音源としての直線からの距離に反比例する。
80ｍの音源は直線状の音源であり、音波の強さは距離の１乗に反比例する。と思われる。

ただし、直線状の音源(風車)が １ 列に並ぶと、風車が巨大なことから、平面波となり、距離によって面積が増えることもなくなるので、距離による減衰も余り期待できない。空気の分子の運動エネルギーに変化する部分の波長が長いので、ほとんど無い。
音源の性質を決定するには、超低周波の計測機器を直線状に並べて同時に計測すればよい。３ｋｍ先まで被害が出るようなら平面波としての特徴を持っているかもしれない。調査が必要です。300ｍごとに 10 台並べればよいと思います。

１０．健康被害と原因

１０．１　アノイアンスとラウドネス

都道府県知事　市長・ 特別区長 殿　　環境省水・ 大気環境局長
“風力発電施設から発生する騒音に関する指針について”
“風力発電施設から発生する騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は､わずらわしさ(アノ イアンス)を増加させる傾向がある。静かな環境では、風力発電施設から発生する騒音が 35～40dB を超過すると、 わずらわしさ（ アノ イアンス） の程度が上がり、 睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。また、超低周波数領域の成分の音も含めた実験の結果、 周波数重み付け特性として A 特性音圧レベルが音の大きさ（ ラウド ネス） の評価に適している。”
とある。

ラウドネス（うるささ）の評価に、A 特性音圧レベル（騒音レベル）の数値が適しているのだが、アノイアンス（不快感）の評価には適していない。
　騒音レベルの数値が同じでも、風車音でのアノイアンスと交通騒音でのアノイアンスには、大きな違いがある。

鳥取県における発電用風車の騒音に係る調査報告（十倉 毅・山本 和季・矢野 大地）
での、聴覚での“うるささ”以外の被害は次のものである。

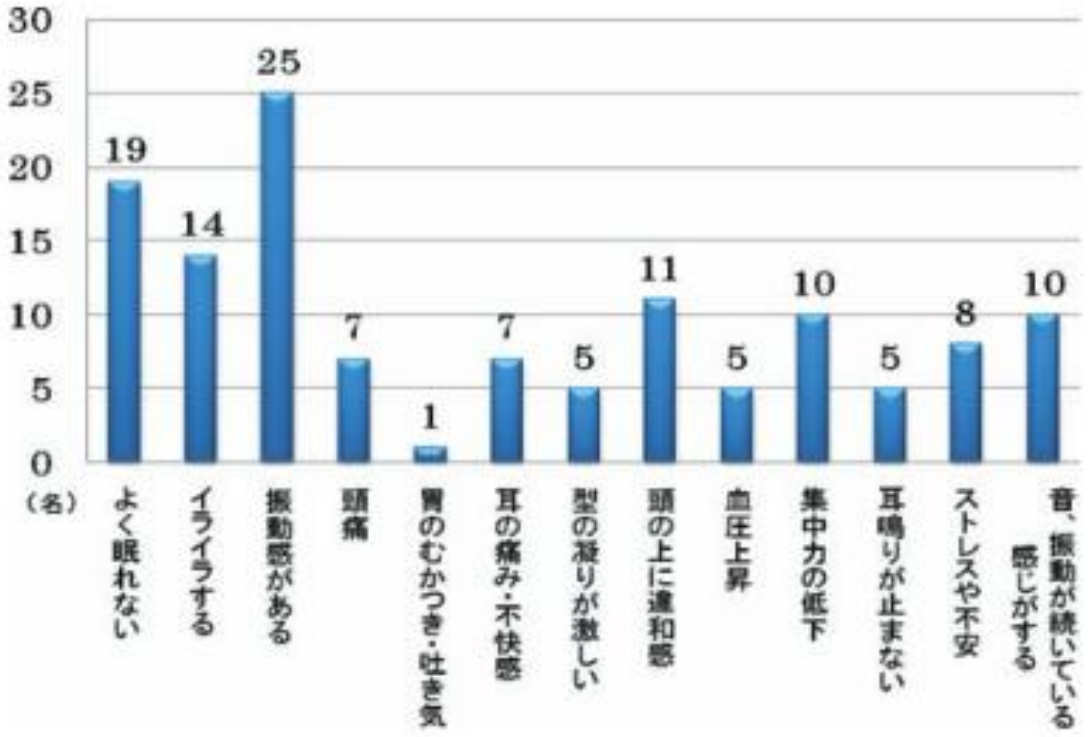


図２　苦情の訴え（「Ｑ５」、複数回答を含む）

石狩風車の低周波音測定結果と健康被害　元札幌医科大学講師・山田大邦氏の論文より 2018 年 2 月 8 日

には、

“２００７年末、東伊豆の別荘地では１５００ｷﾛﾜｯﾄ×１０基の風力発電が運転を始めた直後から、住民のなかで健康被害が続出した。この因果関係を調べるため、事故で風車が停止しているとき、団地自治会が独自に疫学調査を実施した【表１】。不眠、血圧、胸・腹・歯・鼻・耳痛などの症状が、風車が停止することで大きく改善したことがわかる。

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

風車からの距離(m)	500m未満	500～700m未満	700～900m未満	900m以上	生理的要素
不　眠	71	27	13	0	距離が離れると改善
血　圧	18	15	0	0	距離が離れると改善
リンパ腺の腫れ	6	2	0	0	距離が離れると改善
胸腹歯耳鼻痛	41	39	25	0	距離が離れると改善
煩い・イライラ	59	61	75	0	心理的要素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的要素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的要素も

注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人(改善率82%)。調査結果に転居(10戸)避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009）。

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車３基を停止すること、次に近い風車２基の回転数を４割減らすこと－－という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによって睡眠障害は７割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。“

とあります。

・平成２２年、環境省の調査

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

には、

“【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】

□ 建設前に実施した環境影響評価における予測結果よりも、実際の騒音レベルの方が大きい事例があった。

□ 風車から離れている住民（1km 程度）から、眠れない等の苦情が寄せられている事例があった。

□ 騒音の環境基準を満たしている地点からも苦情が生じている事例があった。

□ 騒音対策として、風車の夜間停止や出力抑制、苦情者宅での騒音対策工事（二重サッシ、エアコンの設置）の実施や、風車に高油膜性ギアオイルを取り付けた事例があった。

- また、風車音と他の騒音源からの同等レベルの騒音を比較した場合、不快に感じる人の割合は風車音の方が高い[5]。

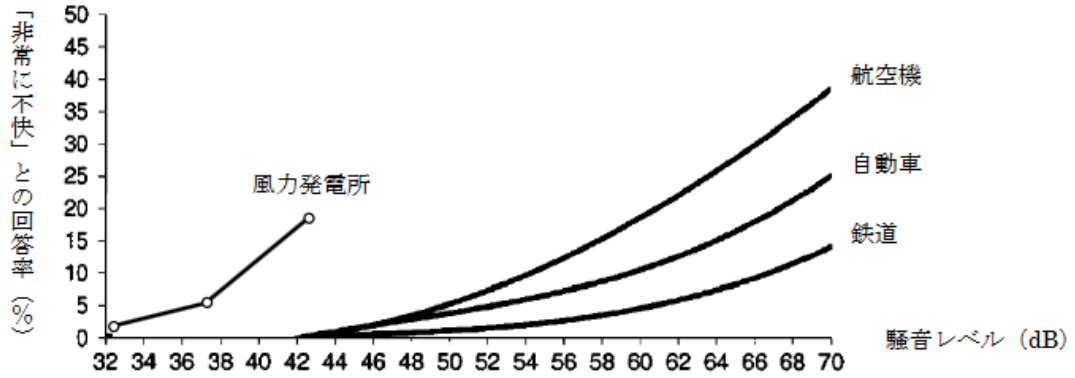


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

②風力発電所からの騒音・低周波音に関する訴え

□ Nina Pierpont は、風力発電所の近くに住む 10 家族（38 名）に対する症例調査を行っている 6。それによれば、風力発電所から発生する低周波音により、内耳の器官が影響を受けて、様々な健康被害（睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等）が生じているとされている。“

とあります。

環境省が作った上のグラフは、“不快感”と言う観点で風車音と他の環境騒音を比較すれば、A 特性音圧レベル（騒音レベル）が 42ｄB のとき、風車音では 20%程度の人が“非常に不快”と感じるが、一般の環境騒音では、“非常に不快”と感じる人はいないことが分ります。

アノイアンス（不快感）の内容は様々です。ラウドネス（うるささ）もその一部です。

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会　の報告書（ｐ14）には、不快感と A 特性音圧レベル（20Hz～）の関連を示す記述がある。（これは、統計的な分析結果です。）

“風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

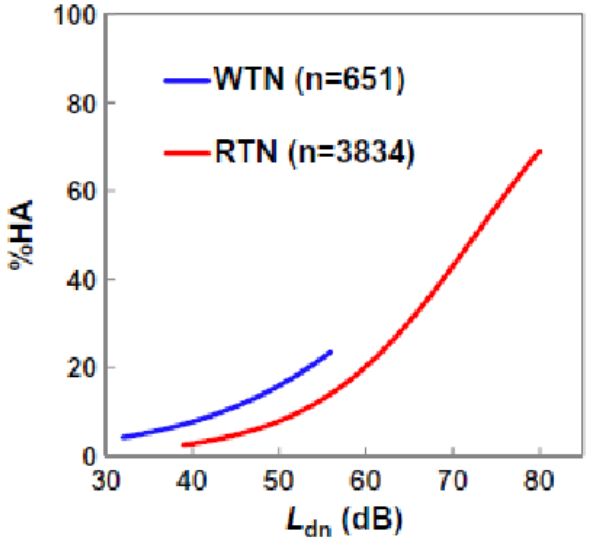


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn ）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。“

次の論文から、不快感に関してはより小さな数値でも安心できないことが分ります、

大型風車による地盤振動伝播*

―立地環境による差異―

Ground vibration originated from large-scale wind turbines

― difference by the foundation situation ―

小野寺 英輝

3-2. アノイアンス問題発生地域での計測

風車近隣(それでも数百 m 離れている)住民が申告する被害と地盤振動の伝播との関連に関して具体的な状況を知るため，当該地域へ赴き，ヒアリングと地盤振動の計測を行った．計測結果の一例を図 5 に示す．(a)は，これまでに計測を実施した第 1，第 2 地域における計測結果の代表例，(b)が今回計測したアノイアンス問題申告のある地域での結果を示す．

(b)では，微細な変化の観察を容易とすることを目的に縦軸を(a)の 200 倍としてある．ただし，(b)を(a)と同じスケールの縦軸にすると振幅データは，およそ 10Hz 以上の領域を除けば，値の上下はほとんど観察されない．なお，図中のギリシャ数字は前記の表 1 にある風車の略号を示す．ただし，それぞれの計測個所までの距離は，表 1 に示した通り一定ではない．これらのうち，**最大のピーク値を示すⅤの場合の振動加速度は 8.9×10-2(Gal) ，アノイアンスの申告があったⅥの場合，6.7×10-6(Gal)で，数値的には非常に小さくなっている．なお補足であるが，震度 1 の最小値は 0.6(Gal)である．**

次に，これまでの計測結果とヒアリング内容を対照してみたい．ヒアリングによると，風車の稼働に伴う体調への影響は，ある限定された状況で，強度が増すという申告を得た．今般のヒアリングにおいては，具体的には以下の 3 項目が挙げられた．

１． 雨の日には 24 時間強い不快感を感じる

２． 水田にいると楽になる

３． 冬がひどく，夏はいくらかよい

今回の計測時は，数日前に降雨があったものの，地表は完全に乾燥していた．従って，上記申告に基づくと，やや症状が軽い状況になる．なお，伝播途中の土質の変化，あるは振動の面的分散によるものかは不明であるが，Ⅵの場合に，x 方向の振動振幅が他と比して若干大きくなっていたので，他のデータについても，x 方向の計測結果を用いている．

計測データを見ると，Ⅲでは，Ⅳ．Ⅴと比較して 0.1～2Hz の範囲の振幅値も大きくなっている．この領域の振動は，俗にいう船酔いの原因となる振動(揺動)周波数(8)に近接している．風車から直線距離で 950m 離れたⅥに関しても距離減衰に伴い値は非常に僅かであるが，振動特性は類似しており，これも，およそ 1Hz 以下で上昇がみられる．Ⅷに関しては，0.08Hz 程度以下での上昇があるが，他の 2 つに比してその傾きは小さい．

周波数が大きい側の領域をみると，Ⅲ,Ⅴでは 0.3～20Hz の範囲で値の上昇がみられるのに対し，Ⅳでは 8～40Hz,Ⅵでは 10～40Hz,Ⅶでは 7～50Hz,風車近傍のⅧでは 0.9Hz～となっている．

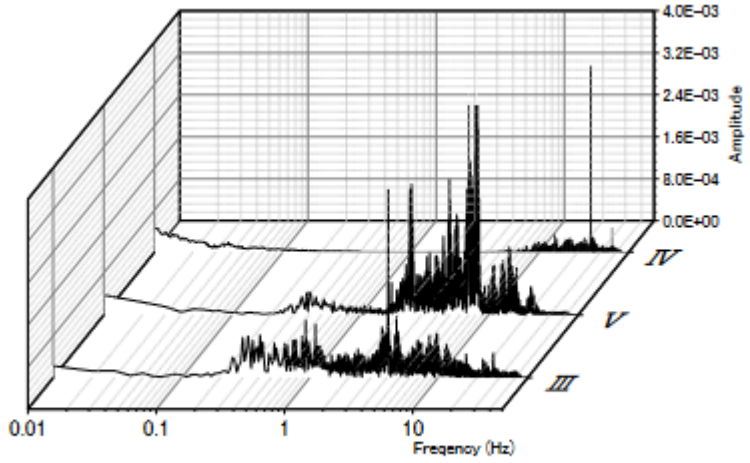
これらのうち，アノイアンス申告が顕著であったのがⅥ関係地域であり，次いでⅧ地（民間の作業所）であるが，後者は風車に近接していることから，一般の空力騒音によるものではないかと考えられる．

4．まとめ

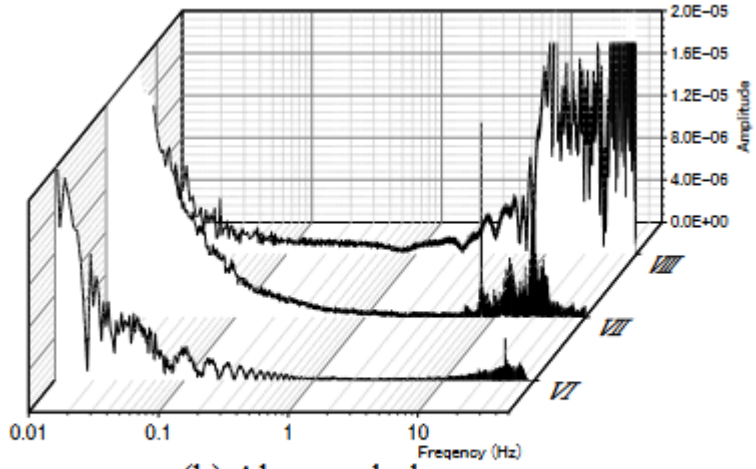
(1)本報の範囲では減衰割合は，砂地では z 方向が，土質地盤では y 方向が他に比して大きい．

(2)風車の立地条件によると思われる極低周波数側の振幅増加が他と比して大きい周波数から発生する場合がある．

(3)1Hz 以下で，波状の周波数分布を示す風車があり，本調査の範囲では，アノイアンス申告のある地域と一致している．



(a) Referring places



(b) Abnormal places

Fig.5　Frequency profiles of measured points

質問

建設後に、事前予測と異なって室内でのガタツキが起きることもあります。

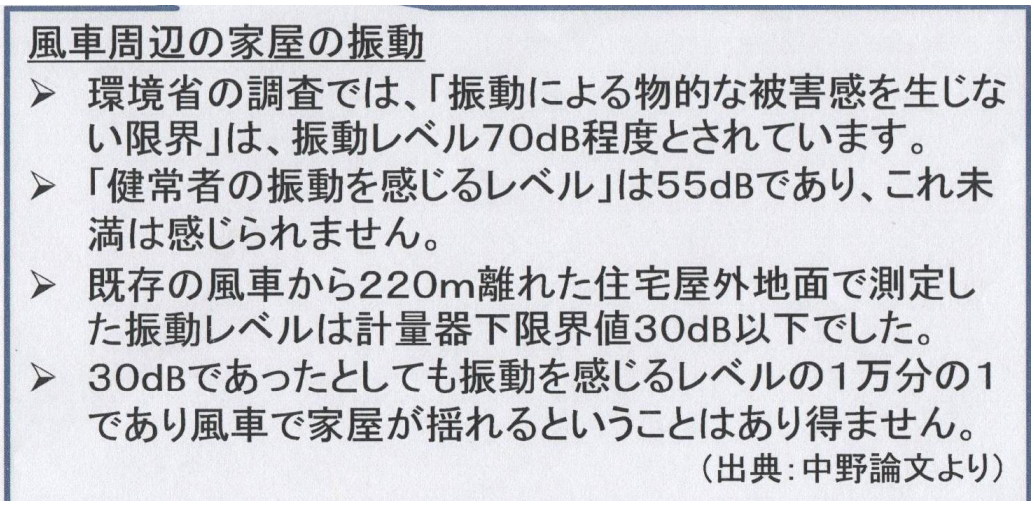
計測が必要である。そのような機材を使って、どのように計測し、どのように解析すべきかを詳しく述べて下さい。

現実が予測と違っていて、被害が出たら、どのようン責任を取るのかを、例えば“夜間は風車を停止する。”などの様に具体的に述べて下さい

（答え）

周辺の家の振動（野中　氏）

ここでは、音だけではなく地盤振動に関しての記述があります。



です。

振動の影響は、国より公害の１つと定義されています。その種類には、産業機械作業振動、工事・建設作業振動、道路交通振動、鉄道振動等があり、法により基準が定められています。

しかし、その基準に該当するものが特定の機械設備であることや、該当しないものが振動源とされる場合がある等様々な事例があり、この問題をより難しくさせています。

2	65～75	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。 眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。
1	55～65	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。	コップ等の水がわずかに揺れる。
0	55 以下	人は揺れを感じない。	

記述は、振動に関しての上記のような情報を基にしているのだろうが、“住宅屋外地面で測定した振動レベルは計測器下限界値 30ｄＢ以下でした。”との事記述は、不良品の計測器を使ったとしか思えない。

【振 動 の単 位 】

振動量を表す単位には以下の単位がありますが、「振動レベル」以外は物理量です。

名　称	記号	単位	解　説
変　位	δ	μ ㎜	物体が振動した時、図-1 のおもりが変位した量です。単に「振幅」と標記される場合は、変位量を示します。
速　度	v	cm/sec kine	物体が振動して変位する時の速度。振動による構造物の被害は加速度よりも速度との相関が強いとも言われ、速度で管理する場合もあります。単位を見て分かる通り速度は変位を時間で 1 回微分したものです。kine は発破振動で良く用いられる単位で kine= cm/sec です。
加 速 度	a	cm /sec^2 gal G	物体が振動する時の速度の変化量。地震動など多くの振動はこの加速度で管理される場合が多いです。変位を時間で 2 回微分したものが加速度です。cm /sec^2＝gal、重力加速度 1G=980 gal 変位と速度とは(1)式の関係となります。
加速度実効値	a_{rms}	cm /sec^2 gal	振動の多くは異なる周波数成分を含む複合振動ですので、波形のピーク値のみでは、その振動の仕事量は計れません。(2)式により求められる“振動の仕事量”(力積)に相当する値です。
振動加速度レベル	LVA	dB	人の感覚が対数尺度に近いため、(3)式により加速度実効値を対数尺度で表す値。帯域の広い振動量を示すのに都合が良いです。
振動レベル	LV	dB	振動加速度レベルに感覚補正(周波数重付補正)された値で、この振動レベルのみ物理的な量でなく“感覚量”です。

震度階級	地震加速度(gal)参考	振動加速度レベル(dB)	振動レベル(dB)	人間	屋内の状況	屋外の状況
0	0.8 以下	55 以下	49 以下	人は揺れを感じない.		
1	0.8～2.5	55～65	49～58	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる.		
2	2.5～8	65～75	58～67	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる. 眠っている人の一部が目を覚ます(睡眠への影響レベル).	電灯などのつり下げ物がわずかに揺れる.戸，障子が僅かに動く(苦情の発生レベル).	
3	8～25	75～85	67～77	屋内にいる人の殆どが揺れを感じる.	棚にある食器類が音を立てることがある.	電線が少し揺れる.

加速度（m/s^2）・振動加速度レベル(dB)の相互変換

$AdB=10\log(a1/a0)^2=20\log(a1/a0)$, $a0=10^{-5}m/s^2$ で換算してます。

$1G=9.807m/s^2$　$1gal=1cm/s^2$ で換算してます。

参 考 資 料—低周波音の基礎知識—

の-参考２-のページには、

. 低周波音の苦情と実態

c.1 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。それぞれの苦情内容は以下に示すとおりである。

（1）心理的苦情 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感

（2）生理的苦情 頭痛、耳なり、吐き気、

（3）睡眠影響

（4）物的苦情 家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動

このうち、人体に関する苦情は、低周波音との因果関係がはっきりしない場合も少なくない。物的苦情では、振動が原因であると思われていたものが、実は低周波音が原因であったという場合もある。

住民が風車建設に反対する理由や、風車による不快感、わずらわしさ（アノイアンス）、うるさい、健康影響、健康被害　の内容ですが、

住民と風車の距離にあまり影響されないグループ。
業者の説明や事業の進め方に対する不快感、風車建設時の騒音や振動、建設後の道路、山の斜面の崩落、河川にたまる土砂の撤去（農業用水の確保に手間がかかる)、建設後の緑化の為に蒔いた外来種の種で在来種が消えてしまう、植相の変化による影響、動物の行動変化による被害の増加（食物となる植物が減る)、外来種によって増えてしまう草刈りの回数（人件費やガソリン代などの増加)、希少種のバードストライクによる、食物連鎖の崩壊と害獣（ネズミ）の増加

住民と風車の距離に影響されるグループ。
風車が見えるという景観上の問題、家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ、風車による振動の問題（地中伝搬、共振、強制振動)、風車からの強い光“航空障害灯”の問題、風車の回転でのフリッカーの問題、近づくと気分が悪くなる、低周波音を感知、風車の騒音がうるさい、風車からの音による不快感、不眠、睡眠障害、なかなか寝付けない、よく眠れない、何度も目が覚める、うるさい、胸や腹の圧迫感、頭痛がする、吐き気がする、耳鳴り、めまいがする、鼻血、血圧、リンパ腺の腫れ、
胸腹歯耳鼻痛、肩こり、平衡感覚、頭の中で太鼓がなっているようだ、憂鬱になる、怒る、集中できない、神経質になる、緊張する、不安になる、気分のいらいら、コルチゾール検査の数値

住民の社会活動や経済活動に影響を与えるグループ。
眠くて仕事でミスをする、眠くて授業中に寝て、学力が落ちる、居眠り運転で交通事故を起こす、体力が落ちて潜水時間が減る（収入の減少)、安眠妨害での体調不良や体力低下、体調不良者の増加による医療費の増加、転出者が増えて税収が減る、人が減り、地域の行事に支障がでる、漁場が狭くなり収入が減る、魚種の変化で収入が減る、風力発電に対する賛否、業者からの保証金や地域への金銭の支払い

などが考えられます。

このうちで、
安眠妨害を引き起こしそうな不快感を集めてみると、

ラウドネス（うるささ）関連の刺激や状態
風車の騒音がうるさい

アノイアンス（不快感）関連の刺激や状態（ラウドネス以外のもの）
風車が見えるという景観上の問題、家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、風車による振動の問題（地中伝搬、共振、強制振動)、風車からの強い光“航空障害灯”の問題、風車の回転でのフリッカーの問題、近づくと気分が悪くなる、低周波音を感知、風車からの音による不快感、不眠、なかなか寝付けない、よく眠れない、何度も目が覚める、うるさい、胸や腹の圧迫感、頭痛がする、吐き気がする、耳鳴り、めまいがする、鼻血、血圧、リンパ腺の腫れ、胸腹歯耳鼻痛、肩こり、平衡感覚、頭の中で太鼓がなっているようだ、憂鬱になる、怒る、集中できない、神経質になる、緊張する、不安になる、気分のいらいら、

評価の指標となる数値

コルチゾール検査の数値、A 特性音圧レベル（騒音レベル）、G 特性音圧レベル、1/3 オクターブ解析での数値、最大音圧と周波数、振動レベル計での計測値

不快感が継続すれば、ストレスが溜まります。その程度を評価するものとして、コルチゾール検査があります。

10．1．1 唾液コルチゾール検査

唾液コルチゾール検査 「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ)」という言葉をご存じでしょうか？
近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たちの心身を守ってくれています。 しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。
以下の症状に覚えはありませんか？ 朝、起きるのがつらい ぐっすり眠っても、まだ疲労感がある 塩辛い食べ物が無性に欲しくなる 以前楽しんでいたこともすべて億劫に感じる 日常的なことがとても疲れる 性欲の低下 ストレスに対処出来ない、イライラしやすい 病気や怪我、外傷から回復するのに時間がかかる ベッドや椅子から立ち上がるとき、クラクラする 軽度のうつ（人生に何の意味も感じられない） 人生の全てがむなしい PMS（月経前症候群）の悪化（手足のむくみ、頭痛、乳房の張り、下腹部の痛み、ふさぎ、不安、怒り、イ ライラがひどくなる） カフェインがないと仕事ができない 思考がまとまらず、ボーっとする 記憶があやふや 午前１０時まで目覚めない 午後３時から４時の間はぼんやりしている 夕食後、やっと元気になる 仕事がはかどらない （医者も知らないアドレナル・ファティーグ ジェームズ・L・ウィルソン著 中央アート出版社より引用） 146 146 上記の症状に １つでも当てはまれば、副腎疲労の可能性が考えられます。もし、4 つ以上当てはまる場合に は、「唾液コルチゾール検査」で十分に副腎が働いているかどうか調べてみることをお勧めします。副腎疲労 の治療は、原因となるストレスの同定・除去や、生活習慣の改善、サプリメントを用いた栄養療法などが中 心となります。 唾液コルチゾール検査の方法 一日 4 回（8 時、12 時、16 時、24 時）唾液の採取をします。唾液中に含まれるコルチゾールの日内変動を 調べます。 正常な場合：朝の値が最も高く、時間が経つにつれて下がります。 副腎機能が低下している場合：朝の値が低くなるなど、分泌パターンに変化が見られます。 こういった値の変化によって副腎疲労の度合いが分かります。(唾液の接種だけの検査ですので、身体への負 担はほとんどありません。) 検査費用：15,000 円（税別）
※自費診療 この検査を含めた場合、診断書の発行費用は、１回あたり２万円程度です。

10．1．2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results
“風車騒音と健康に関する調査:結果の概要”には、

“コルチゾールはストレスのバイオマーカーとして確立されており、伝統的に血液や唾液から測定されます。しかし、血液や唾液からの測定値は、コルチゾールの短期的な変動を反映しており、時間帯、食物摂取量、体位、短時間のストレスなど、疫学研究で制御することが非常に困難な多くの変数の影響を受けます。コルチゾールは成長するにつれて髪に取り込まれるため、毛髪サンプル中のコルチゾールを測定することで、このような懸念は大幅に解消されます。1ヶ月あたり 1cm の予測可能な平均成長率で、髪のコルチゾールを測定することで、ストレッサーへの曝露の月を遡及的に調べることができます。したがって、コルチゾールは、WTN への長期曝露がストレスに関連する主要なバイオマーカーの 1 つに及ぼす潜在的な影響を評価するのに特に有用です。”

“重回帰分析の結果から、毛髪コルチゾール濃度と知覚ストレス尺度のスコアとの間に一貫性が見られた(すなわち、この尺度のスコアが高いほど毛髪コルチゾールの濃度が高い)が、どちらの指標も WTN への曝露によって有意な影響を受けないことがわかった。同様に、自己申告による高血圧(高血圧)は測定された血圧の上昇と関連していたが、測定された血圧または安静時心拍数と WTN 曝露との間に統計的に有意な関連は観察されなかった。“

“多くの変数が測定された睡眠に有意な影響を与えたことがわかりますが、参加者の自宅の近くで計算された屋外の WTN レベルは、睡眠効率、覚醒速度、覚醒時間、総睡眠時間、または眠りにつくのにかかった時間と関連していることがわかりました。”

“ストレス対策
毛髪コルチゾール、血圧、安静時心拍数の測定値を知覚ストレス尺度に加えて適用し、WTN への曝露がストレスに関連していることが知られている生理学的変化と関連している可能性をより完全に評価しました。
コルチゾールはストレスのバイオマーカーとして確立されており、伝統的に血液や唾液から測定されます。しかし、血液や唾液からの測定値は、コルチゾールの短期的な変動を反映しており、時間帯、食物摂取量、体位、短時間のストレスなど、疫学研究で制御することが非常に困難な多くの変数の影響を受けます。コルチゾールは成長するにつれて髪に取り込まれるため、毛髪サンプル中のコルチゾールを測定することで、このような懸念は大幅に解消されます。1ヶ月あたり 1cm の予測可能な平均成長率で、髪のコルチゾールを測定することで、ストレッサーへの曝露の月を遡及的に調べることができます。したがって、コルチゾールは、WTN への長期曝露がストレスに関連する主要なバイオマーカーの 1 つに及ぼす潜在的な影響を評価するのに特に有用です。
重回帰分析の結果から、毛髪コルチゾール濃度と知覚ストレス尺度のスコアとの間に一貫性が見られた(すなわち、この尺度のスコアが高いほど毛髪コルチゾールの濃度が高い)が、どちらの指標も WTN への曝露によって有意な影響を受けないことがわかった。同様に、自己申告による高血圧(高血圧)は測定された血圧の上昇と関連していたが、測定された血圧または安静時心拍数と WTN 曝露との間に統計的に有意な関連は観察されなかった。“

“5.3 煩わしさと健康
WTN の不快感は、血圧、片頭痛、耳鳴り、めまい、PSQI のスコア、知覚ストレスなど、いくつかの自己申告による健康への影響と統計的に関連していることがわかった。
WTN の不快感は、測定された毛髪コルチゾール、収縮期血圧、拡張期血圧と統計的に関連していることがわかりました。
自己報告および測定された健康エンドポイントに関する上記の関連は、特定の騒音レベルまたはタービンからの特定の距離に依存せず、多くの場合、道路交通騒音の不快感についても観察されました。
カナダ保健省は、これらの症状が風力タービンへの曝露よりも前からあったのか、あるいは風力タービンへの曝露によって悪化した可能性があるのかを知る方法がないが、この調査結果は、長期にわたる高い不快感と健康との潜在的な関連性を裏付けている。
調査結果は、健康と福祉への影響が、風力タービンへの曝露以上に、コミュニティの不快感に影響を与える活動に部分的に関連している可能性があることを示唆しています。
ウ. 客観的に測定された結果
客観的に測定された健康アウトカムは一貫しており、対応する自己申告の結果と統計的に関連していることがわかった。WTN は、多重回帰モデルの適用後、毛髪コルチゾール濃度、血圧、安静時心拍数、または測定された睡眠(睡眠潜時、覚醒、睡眠効率など)に関連していることは観察されませんでした脚注 6。“

とありますが、

不快感の原因を 20Hz 以上の成分に限定してはなりません。
ですから、
WTN（Wind Turbine Noise）ではなく WTS（Wind Turbine sound）とする必要があるのです。

とある内容を表にすれば次の様になります。

特徴は、コルチゾール検査の結果と、被害者の訴えには相関性があるが、WTN の数値との相関性は薄いという事です。関連性を表にすれば、次の様になります。

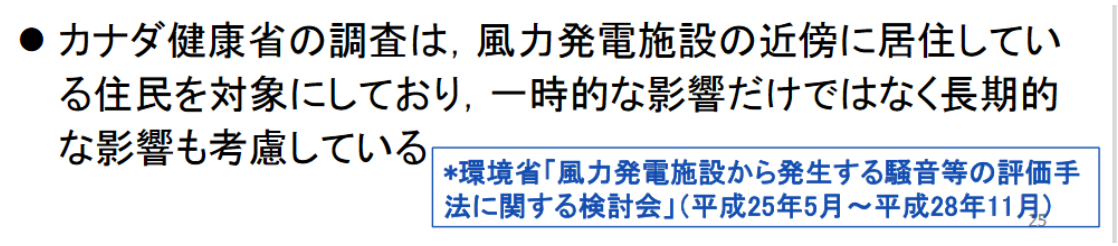
（×は関連性無し、〇は関連性あり、△は三段論法で関連性ありと判断できるものを表します。）

	WTN	睡眠障	心拍数	血圧	コルチ	不快感	知覚ス	片頭痛	耳鳴り	めまい
WTN		○	×	×						
睡眠障害	○									
心拍数	×									
血圧	×				△	○	△	△	△	△
コルチゾール				△		○	○	△	△	△
不快感				○	○		○	○	○	○
知覚ストレス				△	○	○		△	△	△
片頭痛				△	△	○	△		△	△
耳鳴り				△	△	○	△	△		△
めまい				△	△	○	△	△	△	

被害者の知覚ストレス、高血圧などの訴えが、体調の具体的は変化を伴っていることが、コルチゾール検査で証明されていることを示しています。被害者は、正直であり嘘ではないのです。

　追加すべき項目は、最大音圧と、その周波数です。
音響キャビテーションでの、気泡発生の条件、周波数が低くて音圧が高い。に関連するからです。

カナダ健康省の調査



について確認しました。
カナダ政府の HP にある、
Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results
には、
となっています。
“風車騒音と健康に関する調査:結果概要”（ Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results）の問題点は、WTN（Wind Turbine Noise）と健康の関連を調査する。との方針にあります。
　本来ならば、超低周波音での最大音圧との関連を調べるべきなのに、20Hz 以上を対象とする WTN との関連を調べても、上手くは行かないのです。
　調査結果は、次の様になりました。

	WTNレベル	睡眠障害	心拍数	WTN不快感	血圧	コルチゾール	知覚ストレス	片頭痛	耳鳴り	めまい
WTNレベル		○	×		×					
睡眠障害	○									
心拍数	×									
WTN不快感					○	○	○	○	○	○
血圧	×			○		△	△	△	△	△
コルチゾール				○	△		○	△	△	△
知覚ストレス				○	△	○		△	△	△
片頭痛				○	△	△	△		△	△
耳鳴り				○	△	△	△	△		△
めまい				○	△	△	△	△	△	

低周波音被害に関する日本の研究結果の項目は相互に関連しているが、ＷＴＮとの関連は薄いのです。

表-3　低周波音苦情の分類

心理的苦情	睡眠妨害、気分のいらいら
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感
物的苦情	家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ

● 聴力影響，頭痛，耳鳴り，糖尿病，高血圧，循環器疾病等の健康影響については，統計的に有意な知見は認められていない

従って、ここでの“統計的に有意な知見”とは、WTN（Ａ特性音圧レベル、騒音レベル）と“低周波音苦情”の項目との統計的に、深い関連性は認められなかったという意味です。
風車音の特徴をＷＴＮで表現できると考えてことが間違いの原因です。ＷＴＮは 20Ｈｚ以上の周波数から計算されます。風車音では、20Hz 以上の周波数を持っている成分のエネルギーは全体の 7%です。
WTN の数値は、可聴域での被害“うるさい”との関係は深いのですが、圧迫感や頭痛などの不快感との関連は薄いのです。このような低周波音による被害との関連を求めるには、圧迫感に注目すれば、圧迫の原因そのものである最大音圧を多変量解析での項目にしなくてはならないのです。

安眠妨害に関係が深いのは、ラウドネス（うるささ）ではなく、アノイアンス（不快感）なのです。
風車音による被害としての安眠妨害を評価する数値は、圧迫感に注目して考えれば、最大音圧をパスカル値で表現した数値なのです。
アノイアンス（不快感）は、風車音の大きな特徴であり、1 日中続く風車音は、長期間にわたり継続的に安眠妨害を引き起こす。
その結果、風車音→安眠妨害→健康被害の形で、風車音は間接的に健康被害を引き起こす。
風車から出る超低周波音は、離散的な周波数構造を持っていて、強風時の波形を見れば、音響キャビテーシ

ョンにおける気泡発生の条件を満たす。体内に発生する微小な気泡によって、潜水病の状態と同じ状態になるので、頭痛が起きる。これは風車音による直接的な健康被害である。

10．1．3　風車音の影響

風車騒音の人への影響

- これまでに国内外で得られた科学的知見を踏まえると、風車騒音が人の健康に**直接的**に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる．ただし、風車騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は、**わずらわしさ**（アノイアンス）を増加させる傾向がある．静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、**睡眠**への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている．
- 風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は**確認できない**．
- 景観のような視覚的な要素や**経済的利益**に関する事項等も、わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する．

周辺環境に対する影響の懸念が国内外で顕在化

騒音・低周波音については、**騒音についての環境基準を満たしている場所においても、健康被害に係る苦情等の発生事例**あり

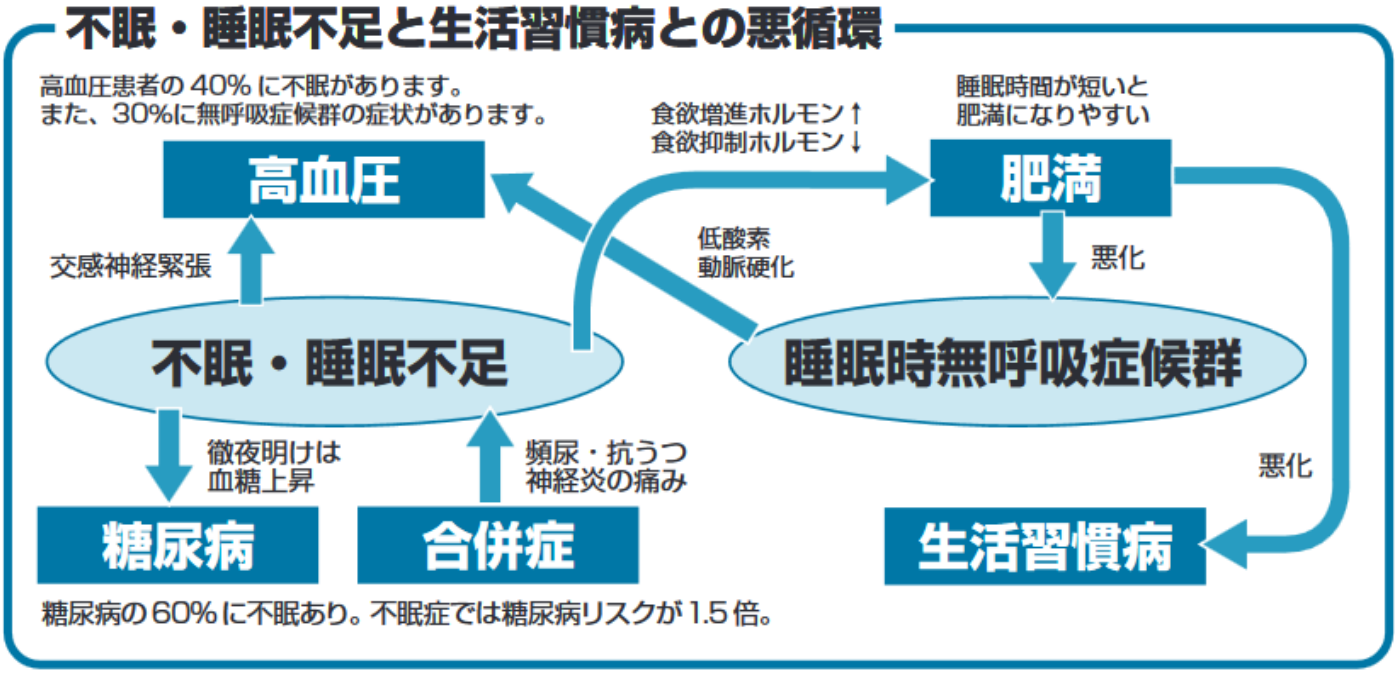
注釈．風力発電施設から発生する音は、通常、著しく大きいものではないが、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的小さな騒音レベル（A特性音圧レベル）であっても苦情等の発生事例がある．

直接的影響と間接的影響

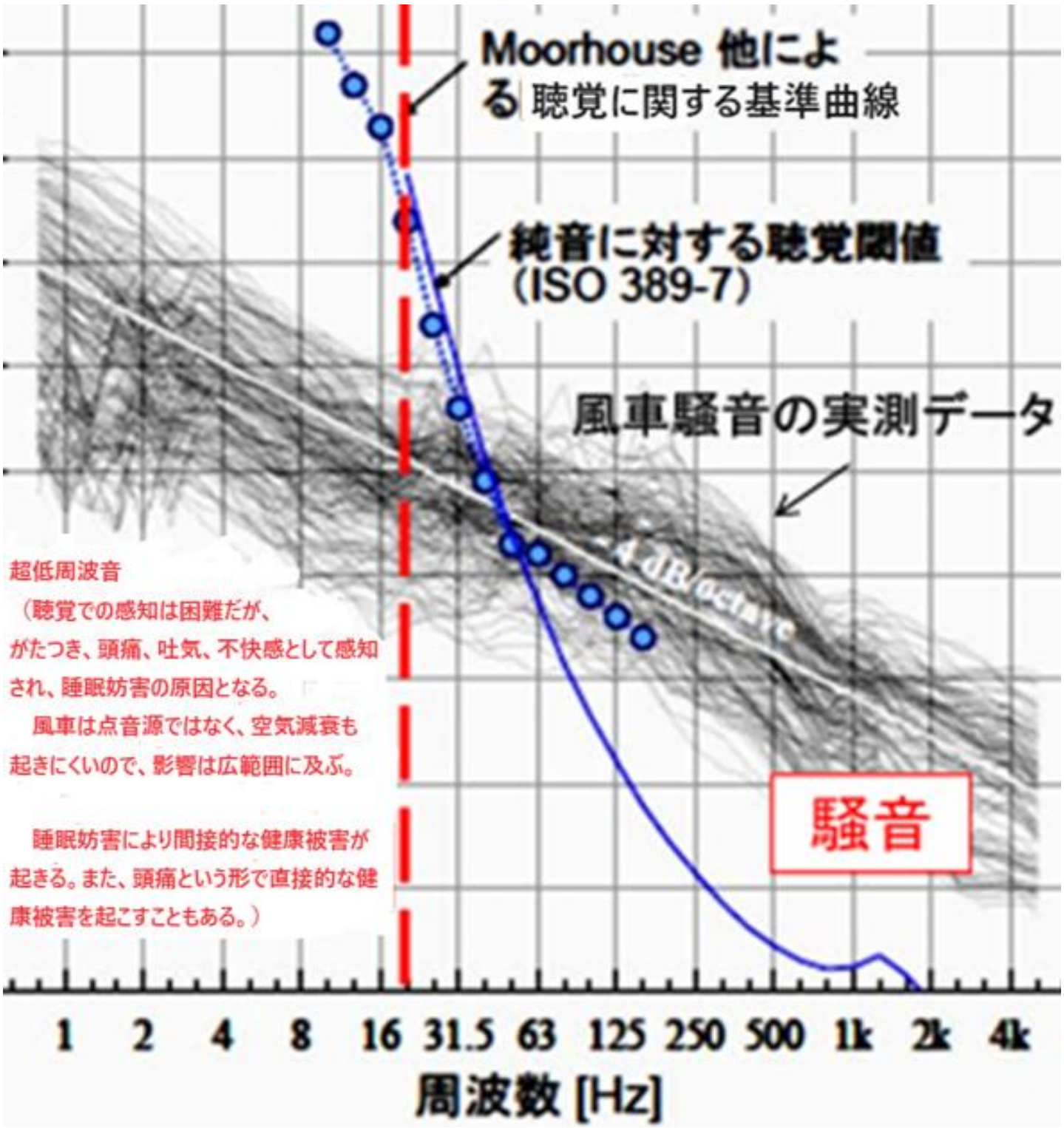
“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”
との主張について確認すべき事項があります。
“騒音”とは、20Hz 以上の周波数成分であり、20Hz 以上の成分は風車音にはあまり含まれていないのです。ですから、騒音の部分を A 特性音圧レベルとして数値化したものと、被害の関連を調べれば、その関連性は低いのです。これは被害の中身を見ればはっきりします。音が聞こえてうるさいという（ラウドネスに関連する）訴えは少ないのです。
　うるさくて眠れない場合もあるでしょう。鉄道も夜は走りません。車の交通量も夜は減ります。風車音は

夜も止まりません。このことによる影響については、
“風車騒音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高い”と言うべきです。
なぜなら、風車騒音は、“睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”からです。
風車音による被害の形は、“うるささ”だけではありません。
睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等が訴えの内容の訴えがあります。
これらの被害は不快感となり（アノイアンスによる）睡眠妨害を引き起こします。
これが可聴域の音が原因で起きるならば、交通騒音でもこのような訴えが多発するはずですが、そうではありません。
風車音が、うるさい（ラウドネス）から眠れない、不快感（アノイアンス）で眠れないのかは別にしても、
風車被害の調査結果では最も多いのが、風車音による睡眠妨害の訴えです。
この調査結果を踏まえれば、風車騒音は睡眠を妨げることによって、健康に大きな影響を与えるのです。長期にわたる睡眠不足は、糖尿病や心筋梗塞の要因となります。更に、子供の健やかな成長を妨げるのです。

子どもの夜型化には大人の生活習慣が影響を与えています。大人の生活習慣を見直すことが大切です。大人にとっても睡眠は重要です。睡眠不足は糖尿病や心筋梗塞などの生活習慣病や認知症のリスクを高めます。



さらに、
“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”かもしれないが、
“風力発電施設から発生する超低周波音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は高い”
のです。
健康被害のうちで“頭痛”は、風車の超低周波音との密接な関係を持っているのです。“頭痛は、風車の超低周波音が原因で起きる直接的な健康被害である。”と言えます。風車音の性質、音響キャビテーション、潜水病の検討の後で詳しく述べます。
ですから、図は次の様に修正されるべきです。


Moorhouse 他による聴覚に関する基準曲線
純音に対する聴覚閾値
(ISO 389-7)
風車騒音の実測データ
超低周波音
（聴覚での感知は困難だが、
がたつき、頭痛、吐気、不快感として感知
され、睡眠妨害の原因となる。
風車は点音源ではなく、空気減衰も
起きにくいので、影響は広範囲に及ぶ。
睡眠妨害により間接的な健康被害が
起きる。また、頭痛という形で直接的な健
康被害を起こすこともある。）
騒音
1 2 4 8 16 31.5 63 125 250 500 1k 2k 4k
周波数 [Hz]

質問：“明らかな関連”ですが、何がどのように示されたときに、貴社は“明らかな関連”があると認めますか？
（答え）

明らかな関連に関して
“明らか”の意味は色々である。数学の命題で、証明を省いて“明らか”と書いてある事も多いが、初学者にとっては決して明らかではない。
　例えば、“2+3”を計算せよと言われたら、“2+3＝5”と答える人がほとんどだと思います。
では、
“2+3＝5　を証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？
“√2　が無理数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？
“π　が超越数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

　“超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない”ですが、
“風車の運転を止めれば不眠や体調不良が無くなり、運転すれば不眠や体調不良が起きる。”から、関連は明らかである。
と主張したら、関連を認めるのでしょうか？たぶん、企業は認めないのだと思います。
　では、風車音が原因で、体内に小さな気泡が発生することを、物理的、数学的に、解明して、コンピュータシミュレーションで示したら、関連が“明らか”なったと認めるのでしょうか？
9) 石井俶夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム，初版, 2005
この本の、音響キャビテーションに関する内容をさらに研究すれば、現在の物理と数学から見て、関連が明らかになったと言える。と考えます。

　実際に被害を受けて苦しんでいる人がいても､その原因を究明し､問題を解決することが出来ないならば、科学の価値は無い。
1/3 オクターブ解析を使い周波数の特定さえもしようとしない。家の中で振動レベル計を使う提案もしない。これでは、問題は決して解決しない。

もちろん調査は必要だが、調査の前に、“健常者の人体に感知される超低周波音は存在せず、建具をがたつかせる超低周波音も存在しない”と言うような考えを流布し、被害を訴えさせなくする風潮を改める必要がある。
また、被害を苦情と言い換え、単なる主観や経済的利益の問題に摩り替えてはいけない。

風車建設前の広域的な健康調査とその数値化、風車建設後の広域的な健康調査とその結果の比較。
風車を中心に３ｋｍ圏内の広域的な健康調査と、１０Km 以内に風車が無くて住民構成が似ている地域でのある点を中心とした半径３ｋｍの地域の健康調査との統計的な比較など、できることは沢山ある。

用語の確認：

検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」には
（注）「超低周波音」についての補足
我が国では、苦情の発生状況を踏まえ「低周波音」という用語が「おおむね 100Hz 以下の音」として定義され用いられてきたが、国際的には、「低周波音」の周波数範 囲は国によりまちまちで定まったものではない。一方、IEC（国際電気標準会議） 規格 61400 シリーズにより、20Hz 以下を「超低周波音」（infrasound）、20～100Hz を「低周波音」（low frequency noise）と定義しており、国内ではこれを受けた JIS C 1400-0:2005（風車発電システム-第 0 部：風力発電用語）で同様に定義されている。これを踏まえ、環境影響評価法において個別事業種ごとの技術的な指針として 定められた主務省令では、「騒音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）」とした上で、「超低周波音（周波数が 20Hz 以下の音）」と規定しており、「低周波音」という 用語を用いないこととされた。 これらの状況を踏まえ、本報告書では、20Hz 以下の音を「超低周波音」とし、 それ以外の音（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」と表記する
と書いてある。

“騒音”と付けば、“（周波数が 20～100Hz までの音を含む）を「騒音」”になってしまう事を考えれば、騒音レベル（20Hz 以上の成分から計算する数値である、A 特性音圧レベル）について、交通騒音と風車音の計測結果が同じ値だったときには、風車音の 99%のエネルギーから求められた数値と、風車音のエネルギーの 7%から求められた数値が同じであることを意味しています。
風車音で最大音圧となるのは 0.8Hz 辺りであり、超低周波音の領域です。圧迫による不快感はこの最大音圧と深い関連を持つので、聴覚で聞こえない音ではあるが、圧迫による不快感、わずらわしさ、アノイアンスとして、影響を及ぼすのだから、交通騒音と風車音では、A 特性音圧レベルが同一でも、アノイアンスに関しては差が出るのです。
風車騒音が

■ 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音（＝聞こえる音）の問題。

可聴域範囲の騒音の問題ならば、アノイアンスに差が出てはいけないのです。なぜなら、可聴域の音の強さ（A 特性音圧レベル）が同一なのですから、同一の結果が生じなくてはならないのです。
景観に原因があるのならば、トレーラーに実験室を載せて、風車に近づきながらの目隠し実験をして、因果関係を明確にする必要があるのです。この目隠し実験をすれば、風車に対する賛否との関連も明確になります。

”検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“には、
報告書（ｐ14）に、
“風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。
表 1 の Kuwano らの研究により得られた、日本を対象とした、風車騒音と道路交通騒音を非常に不快であると感じた者の割合（%HA）を図 7 に示す。この図によれば、非常に不快であるとの回答確率が 30%程度となる騒音レベルは昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn）で 60dB 程度、20%程度は 53dB 程度、10%程度は 43dB 程度となる。

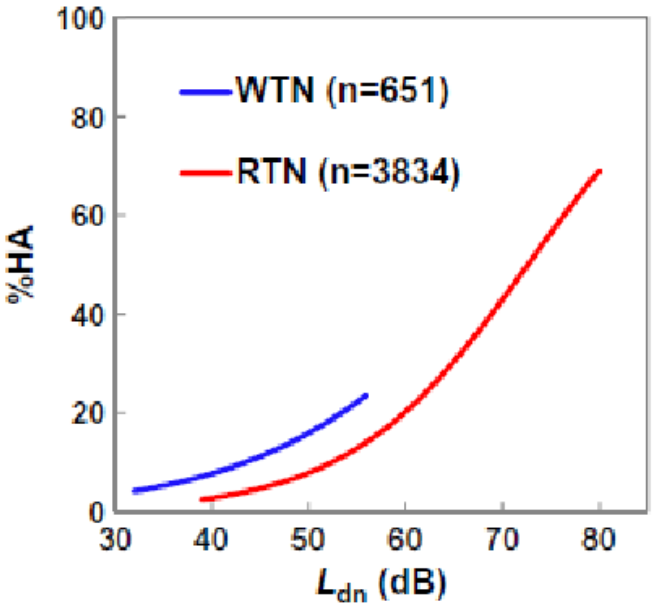


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeq に 6dB を加算して Ldn を推計している。

なお、McCunney らは、多くの研究成果より、風車騒音と関連付けられるわずらわしさ（アノイアンス）との間は線形の関係が見られる傾向にあるが、わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり、景観への影響等、他の要因の寄与が大きいと考えられると報告している。”

と書かれている。

下の表は、風車音のうちで、“風車騒音（20Hz 以上）”として扱われるものは、７％であることを示す。

エネルギー分布	0～20Hz	20Hz以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

風車音のアノイアンスへの寄与を考えるとき、“風車騒音（20Hz 以上）”の寄与は７％、超低周波音の寄与が 93%と考えることもできる。これに関しては、多変量解析を使えばより明確となる。

A 特性音圧レベルでの数値は低いのだが、交通騒音の場合に比べて、同一の A 特性音圧レベルであっても、より大きな被害が出ています。レベルがそれほどではなくても被害が出る原因を見つける必要があります。

風車騒音を日本で実測した結果、周辺の住宅等音の影響を受け得る場所では、時間平均A特性音圧レベルで26～50dB（書店や美術館の中程度）であり、それほど高いレベルではなかった

これらの音の影響は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチョー）の資料によれば、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

であることが分かります。
交通騒音での基準値の表と比較してみます。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
ＡＡ	５０デシベル以下	４０デシベル以下
Ａ及びＢ	５５デシベル以下	４５デシベル以下
Ｃ	６０デシベル以下	５０デシベル以下

（注）
1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。
2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

住宅街での交通騒音での基準値は昼間で 55ｄＢ、夜間で 45ｄＢ です。

騒音レベル（WTN）の値が同じでも、不快感を覚える人の比率は、交通騒音と風車音では差があります。

ＷＴＮは不快感の指標にはなりえないのです。指標として役立つためには、同じＷＴＮの値の時に、不快感を覚える人の割合が同じになる必要があります。

ＷＴＮは、交通騒音の場合は、そのエネルギーの 99%以上から計算された数値だが、風車音の場合には、そのエネルギーの 7%以下の部分から計算された数値なのです。したがって、風車音と交通騒音の共通の物差しにはなりえないのです。

グラフのズレについて６～９ｄＢとの解説もありますが、グラフを拡大して、水平線を引いて、交点の間隔を調べてみたら、次の様に 4～13ｄＢなりました。

ズレの理由を次の様に考えました。

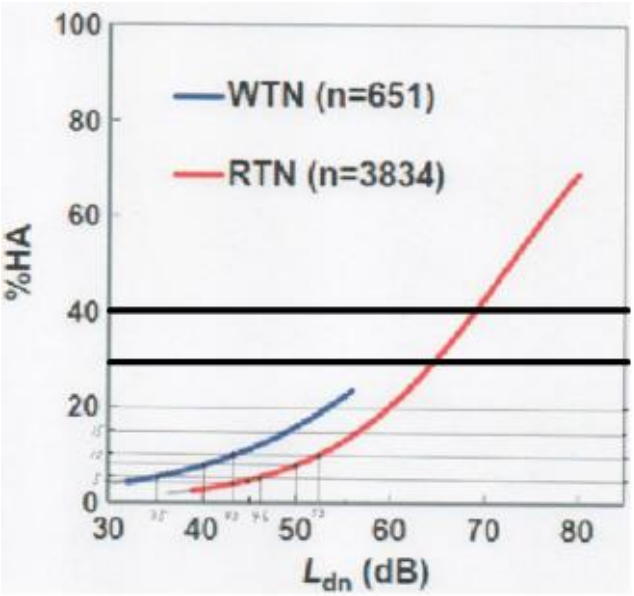
Ａ特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

$$DB7 = 10 * log10(\frac{p_1^2}{p_0^2})$$

$$DB99 = 10 * log10\left(\frac{99}{7} * \frac{p_1^2}{p_0^2}\right) = DB7 + 11.5$$

となって、11.5ｄＢ増加します。

報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



%HA	風車騒音	交通騒音	差
30%	60dB	64dB	4dB
20%	53dB	60dB	7dB
10%	43dB	53dB	10dB
8%	40dB	50dB	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

風車音の騒音レベルを 11.5ｄＢだけ補正すれば、数値としては、ほぼ一致します。表を作れば、

%HA	風車騒音	交通騒音	差	補正風車音	交通騒音	差
30%	60ｄＢ	64ｄＢ	4 ｄＢ	7１.5dB	64ｄＢ	-7.5ｄＢ
20%	53ｄＢ	60ｄＢ	7ｄＢ	64.5dB	60ｄＢ	-4.5ｄＢ
10%	43ｄＢ	53ｄＢ	10ｄＢ	54.5dB	53ｄＢ	-1.5ｄＢ
8%	40ｄＢ	50ｄＢ	10ｄＢ	51.5dB	50ｄＢ	-1.5ｄＢ
5%	35ｄＢ	46ｄＢ	11ｄＢ	46.5dB	46ｄＢ	-0.5ｄＢ
4%	30ｄＢ	43ｄＢ	13ｄＢ	41.5dB	43ｄＢ	1.5ｄＢ

エネルギーの面から風車騒音の値を補正した数値を使えば、不快感を覚える人の割合が、ほぼ一致すると言えます。超低周波音を無視すれば、この違いの合理的な説明は出来ません。

交通騒音の場合は、53ｄＢの場合は、10%の人が非常に不快であると感じ、風車音の場合は、20%の人が非常に不快であると感じます。過去の研究結果から考えれば、不快感の内容に大きな違いがあるのです。

なお、このｐ14の記述は、“特定の周波数が卓越した音（純音性成分)”についての分析ではなく、
風車騒音の一般的な性質を、交通騒音との比較において述べている事に注意する必要がある。
風車騒音で35ｄＢは、交通騒音で46ｄＢの場合と同じ被害が出ます。5%の人が、“非常に不快である”と思う数値です。単純に“不快である”と思う人をその２倍と仮定すれば、合計で15%の人が不快感を覚える数値です。普通は、風車は夜間も停止しません。AA地区で、夜間で46ｄＢの騒音がある場合の被害が想定されます。言葉で言えば、“やや大きく聞こえるが、通常の会話は可能”のレベルです。これでは病人は安眠できません。眠れなければ、体力も落ちます。病気が治るとは思えません。対策が必要です。
　もちろん、健康な人でも安眠できる状態ではありません。

（防音効果を無視して考えれば､）
　風車騒音は屋外で計測したＡ特性音圧レベル（２０Hz～）を使って評価します。
住宅地域での指針値の下限として40ｄＢが示されています。風車騒音での40ｄＢは、被害状況を比べながら交通騒音に対応させると、交通騒音での50ｄＢに相当します。
　風車は夜間も停止しません。もし、風車音で40ｄＢの音が夜間放出されると、被害は、夜間に於いて交通騒音50ｄＢが発生している状況と同程度の被害が出ます。
交通騒音で50ｄＢだと、8%の人が“非常に不快である”と感じます。他の統計結果と比較すれば、“不快である”と感じる人の割合は、その２倍で、16%程度だと推測できます。
合計は、24%になります。上の表では“大きく聞こえる、通常の会話は可能”ですから、24%程度の人が、“睡眠の妨げとなる”と考えるのは当然の結果だと判断できます。
もちろん、眠りが浅くなっても、翌日死亡することはほとんどありません。そんな日が毎日続けば、車を運転中に居眠りします。子供は、学校の授業中に居眠りします。
死亡事故や、生涯賃金の減少が予測できます。もちろん、これは風車騒音（0Hz以上）による直接の影響ではありません。風車騒音（0Hz以上）は、毎日毎日ほんの少しだけ、安眠を妨げただけです。風車には責任はありません｡眠い時に運転した人が悪いのです｡眠いからと言って授業中に居眠りした生徒が悪いのです。
（となりますが、室内での影響を考えると、もう少し複雑になります｡）

これだけでも、大きな問題ですが、風車騒音（0Hz以上）のエネルギーを考えるともっと大きな問題があることが分かります。
　これを検討するには、風車騒音でのグラフと、交通騒音でのグラフがずれている理由を考えなくてはなりません。

その理由については、次の事項を手掛かりにして考えてみます。

つぎに「最も悩まされている音 」に関する質問に対して「風力発電施設の音」を挙げた119件の回答につい

て、物理量として風車からの距離 と風車の稼働時の騒音レベルとの関係を調べてみた。その結果 、「悩まされたりうるさいと感じたことがある」に対する回答が「非常にある」の反応の割合は、最近接風車からの距離 が近いほど大きくなっている。また、風車稼働時の等価騒音レベルで整理した結果 、「非常にある」及び「非常にある」＋「だいぶある」の反応の割合は、等価騒音レベルが高くなるほど大きくなる傾向が見られた。これらの傾向は、アンケート調 査の結果を多重 ロジスティック解析の手法を用いて分析した結果でも確認された 。

残念ながら、このアンケートと分析では、10～13ｄＢの差を説明できません。

“わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり”とあり、アノイアンスの他の原因で 91%から 87%の影響力を与えるものとして、“景観への影響”を与えるのは、乱暴すぎます。
わずらわしさ（アノイアンス）に関してのこの差の原因を“景観への影響”としても数値的な誤差の説明とはなりません。影響力が 9%～13%しかないものに責任を負わせてはいけません。“他の要因”について考える必要があります。

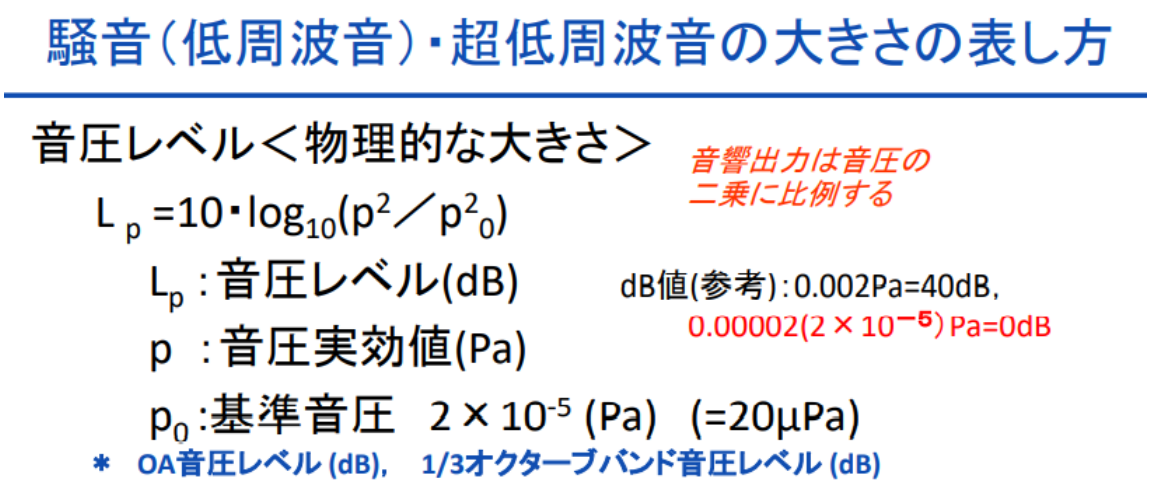
音の持つエネルギーの全体量に注目すれば、この差 10～13ｄＢの原因に関する手掛かりが見つかります。

聴覚に対応した周波数重みである A 特性で重み付けした音圧 P_A から騒音レベル L_A（A 特性音圧レベル）（dB）を求める式は次のようになります。

$$L_A = 10\log_{10}\frac{p_A^2}{p_0^2} = 20\log\frac{p_A}{p_0}$$

p_A：測定された周波数重み A 付きの（瞬時）音圧の実効値
p_0：基準となる音圧の実効値（20μPa）（Pa はパスカルという圧力単位）

乱暴な考察だが、100/7＝14（全体のエネルギーは、20Ｈｚ以上の成分の持つエネルギーの 14 倍）に注目して、考えると、



を参考にして計算すれば、A 特性音圧レベル（20Hz～）が 40ｄＢすなわち、

$$40 = 10 * log_{10}(((P\ \ /P_0)^2)$$

のときに、全体のエネルギー（14 倍）を含めた評価は、

$$10 * log_{10}(((P\ \ /P_0)^2 * 14)) = 40 + 10 * log_{10}14 = 40 + 10 * 1.1 = 51$$

となる。（１ｄＢの誤差が出るが、近似値としては良い値だと考えます。）

音のエネルギーが 14 倍になった時には、可聴域のエネルギーを評価して 40ｄＢの場合に、全体のエネルギーを評価した値が 51ｄＢになると考えます。

これは、計測音のエネルギーの全体を横軸にして測れば、青いグラフは、11 デシベル分だけ、右に動くと言う事になる。赤いグラフは、20Ｈｚ以上の音が全体のネルギーの 99%を占めるので動かない。

全体のエネルギーを横軸に取った形で比較すれば、風車音と交通音の差はほとんどないことになる。

これならば、測定と数値化が難しい“アノイアンス”を持ち込まなくても、グラフのズレが説明できる。

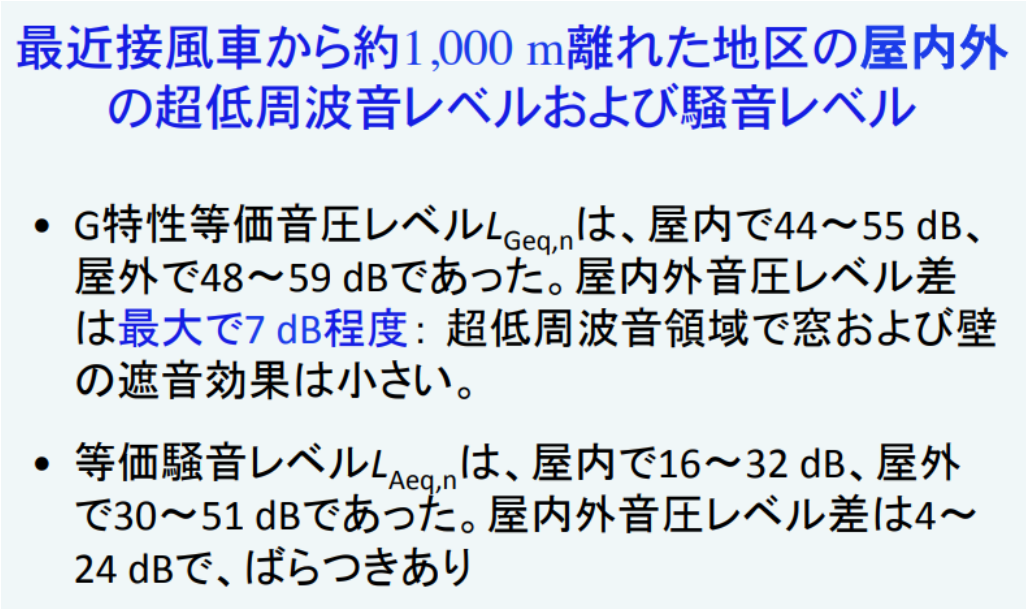
もちろん、より精密な考察が必要となるが、少なくとも手がかりは得られたと考えます。

交通騒音（0Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 400Hz 程度の周波数成分なので、これに対しては防音窓の設置でかなり防げるが、風車騒音（0Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 0.5Hz とか 0.8Ｈｚの周波数成分であり、風車騒音（0Hz 以上）のエネルギーの 93%が超低周波音（0Hz-20Hz）の部分であるので、この周波数の音はエネルギー透過率が高いので防音窓では防げないのです。

これらの数値は、屋外での計測値です。

このエネルギー分布と音の透過率を考えながら、室内の情況を考えます。

石竹達也　氏の研究内容に、



と書かれている。

これを使って考えてみます。

音の全体のエネルギーを 100%とします。93%が超低周波音（0Hz～20Hz）、7%が騒音（20Hz 以上）のエネルギーだとします。

A 特性音圧レベル（20Hz～）で 40ｄＢの風車騒音では、エネルギーの 7%に対する評価値が 40ｄＢとなっています。この部分に対しては、防音窓によって 24ｄＢの減衰が得られます。従って、16ｄＢとなって、次

の表から

静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

ほとんど聞こえないレベルとなる。

超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は７ｄＢしか減衰しません。
そこで、次のように考えてみます。
交通騒音（20Hz 以上）で 50ｄＢに相当する風車騒音（0Hz 以上）について、
騒音（20Hz 以上）の部分が 40ｄＢ、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を加えた合計が 50ｄＢ
だとします。

さて、騒音レベルの計算ですが、次の資料を確認します。

【参考】：1/3 オクターブのデータより 1/1 オクターブのデータへの変換

既知の 1/3 オクターブデータの dB 値より対応する 1/1 オクターブバンドデータの dB 値へ変換するには、求めたい 1/1 オクターブバンドに対応する 1/3 オクターブバンドデータの dB 値の和を計算します。 例えば、1/1 オクターブの中心周波数 1000 Hz のバンドデータ値を求める場合、対応する 1/3 オクターブのバンドデータが次のような dB 値であるとき；

800 Hz	73 dB
1000 Hz	77 dB
1250 Hz	75 dB

；中心周波数 1000Hz の 1/1 オクターブバンド値は次の式から求められます。

$$10\log_{10}\left(10^{\frac{73}{10}}+10^{\frac{77}{10}}+10^{\frac{75}{10}}\right)=80\ (\mathrm{dB}) \qquad \text{式 11-7}$$

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。
音圧の２乗が音の強さ（エネルギー）に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを　$P_{1/1}{}^2$　とすれば、エネルギーの和を考えると、（　J＝（ｐ＊ｐ）/（ρ ｃ）を考え、適当な定数を掛けて考える。）

$$(P_{800})^2+(P_{1000})^2+(P_{1250})^2=P_{1/1}{}^2$$

が成立する。

$$L_{800}=10*log_{10}(P_{800}/P_0)^2$$

より$L_{800}/10=log_{10}(P_{800}/P_0)^2$、よって、$(P_{800}/P_0)^2=10^{L800/10}$

となり、

$$L_{1/1}=10*log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2$$

$$=10*log_{10}(((P_{800})^2+(P_{1000})^2+(P_{1250})^2)/P_0{}^2)$$

$$=10*log_{10}\left(10^{L800/10}+10^{L1000/10}+10^{L1250/10}\right)$$

となります。

そこで、

$$(P_L)^2 + (P_H)^2 = {P_T}^2$$
$$40 = 10 * log_{10}(P_H/P_0)^2$$
$$50 = 10 * log_{10}(P_T/P_0)^2$$

とすれば、

$$(P_L/P_0)^2 = (P_T/P_0)^2 - (P_H/P_0)^2$$
$$= 10^5 - 10^4$$
$$10 * log_{10}(P_L/P_0)^2 = 10 * log_{10}(10^5 - 10^4) = 10 * (4 + log_{10}9) = 49.5$$

この部分が、7ｄＢ減衰すれば、42.5ｄＢ

$$10 * log_{10}(P_{L425}/P_0)^2 = 42.5$$

とおくと、

$$(P_{L425}/P_0)^2 = 10^{4.25}$$

さらに、

$$40 = 10 * log_{10}(P_H/P_0)^2$$

での減衰が 24ｄＢなので、

$$40 - 24 = 16 = 10 * log_{10}(P_{H16}/P_0)^2$$

とおいて、

$$(P_{H16}/P_0)^2 = 10^{1.6}$$

$$(P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2 = 10^{4.25} + 10^{1.6}$$

このとき、

$$10 * log_{10}((P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2) = 10 * log_{10}(10^{4.25} + 10^{1.6}) = 42.5$$

となります。

エネルギーの全体を考えると、室内での風車騒音（0Hz 以上）は、交通騒音（20Hz 以上）に変換して考えた場合の 42.5ｄＢに相当すると言えます。

交通騒音（20Hz 以上）で 45ｄＢだった場合はどうなるかと考えると、これは、24ｄＢの減衰がそのまま使えて、室内では 21ｄＢになると言えます。
交通騒音（20Hz～100Hz）で 40ｄＢだった場合は、24ｄＢの減衰があれば、16ｄＢになります。
交通騒音に対しては、家は防音窓を付ければ、安眠を保証してくれます。
周波数が高ければ、防音窓は私たちの生活を守ってくれますが、周波数が低い風車超低周波音（ISO7196）の場合には、守ってはくれないのです。

屋外で測った時の、風車騒音（0Hz 以上）での 40ｄＢは、室内での交通騒音（20Hz 以上）の 42.5ｄＢに相当します。防音対策をした後の室内での、16ｄＢと 42.5ｄＢでは、大きな違いがあります。

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

風車が大型化すると、この傾向はさらに顕著になります。従って、

“これらの結果は、風車騒音は超低周波音（ISO7196）による問題であるということを示している。”

“風車騒音（0Hz 以上）は通常可聴周波数範囲の騒音（20Hz 以上）としてではなく、超低周波音（ISO7196）の問題として議論すべきであることを意味している。”

のです。

ここでは、聴覚を中心に考えたが、圧力の感知や、共振による揺れの感知、共振による２次的な騒音の発生も検討が必要です。A 特性音圧レベル（２０Hz～）はこれを表現できません。

１０．２．１ 風車による睡眠へ影響

風車音の影響は聴覚に対してだけではありません。風車音の被害を把握するには８つの観点が必要です。
音がうるさい
圧迫感や吐き気などによる不快感
直接的な健康被害としての頭痛
音が原因の建具や床のガタツキを感じる
夜間の光（航空障害灯）による安眠妨害
風車の陰によるイライラ
風車振動の地中伝搬　（大型風車による地盤振動伝播　小野寺 英輝）
音源としての風車の形と距離減衰
です。
どれが起きても、睡眠を妨げられます。

１０．２．２ ガタツキ閾値

銭函での G 特性音圧レベルは 67.950932ｄB ですから、100ｄB よりは低い数値です。
ISO7196 の中心周波数での、平坦特性での音圧レベルは、

中心周波数（Hz）	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
銭函（平坦特性ｄB）	51.39	57.76	62.60	65.99	69.41	71.60	71.82	71.97	71.45	71.53	71.33

中心周波数（Hz）	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
銭函（平坦特性ｄB）	71.54	70.30	69.88	67.92	63.91	59.42	55.67	51.17	47.02	48.24	49.40

中心周波数（Hz）	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
銭函（平坦特性ｄB）	44.68	41.86	40.38	44.90	42.97	40.98	38.58	37.28	34.08	33.15	

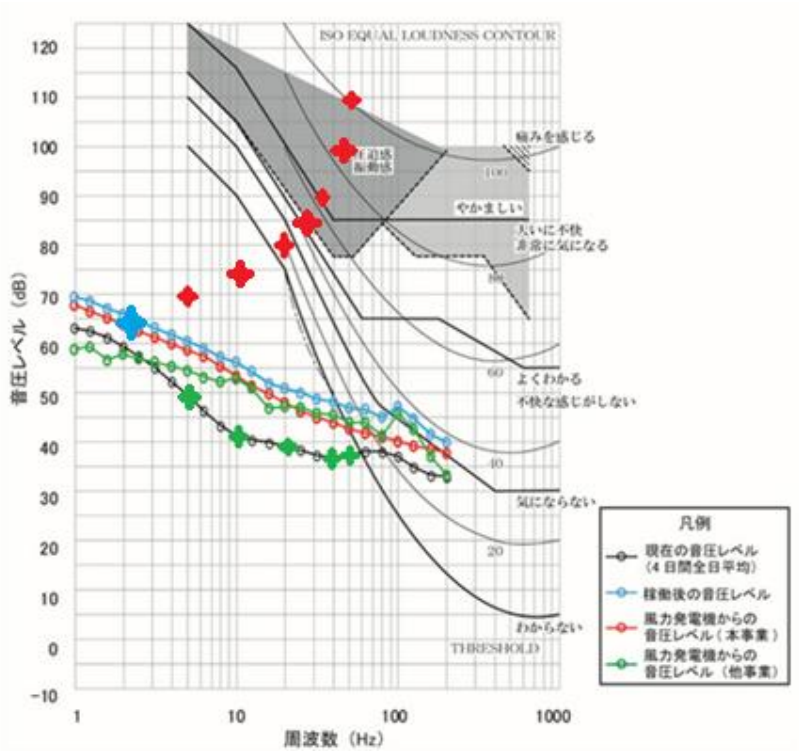
5Hz では 69.88≒70ｄB、1.25Hz では 71.97ｄB　です。ガタツキ閾値の数値、5Hz で 70ｄB になっています。

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3 ｵｸﾀｰﾌﾞﾊﾞﾝﾄﾞ 音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

ガタツキが起きて、夜中に目が覚めても不思議ではありません。

上の表では、周波数が下がればガタツキ閾値も小さくなります。



上の図から、2Hz で 65ｄB 程度で、ガタツキが起きると考えられます。

10．2．3 圧力変動の感知

音は粗密波であり、密になった場合は人体に掛かる大気圧は増加し、疎になった場合には大気圧は減少する。次の研究報告によれば、この気圧の変化を感知できると考えられる。

これは、1 Hz の粗密波を、音として感知するのではなく、大気圧の変動として感知できるという意味です。根拠は、次の論文です。

気圧の変化を感じる場所が内耳にあった ―気象病や天気痛の治療法応用に期待― （佐藤純教授らの共同研究グループ）

【2019 年 1 月 29 日】

プレスリリース

鳥類には気圧を感じる器官が耳に存在することが分かっています。彼らはこの能力を使って、自分の飛んでいる高度を知り、雨が降るかどうかなどの気象変化を予見し行動していると考えられています。一方、ほ乳類に気圧を感じる能力があるかどうか明らかになっていませんが、「猫が顔を洗うと雨が降る」などの言い伝えもあり、わたしたち人間においても、「天気が崩れると頭痛がする、ぜん息がでる」、「古傷が痛むので、明日雨が降るのが予知できる」など、臨床家の間ではよく知られた事実があることから、他の動物と同じように気圧の変化を感じている可能性があると言われてきました。この問題を慢性痛の治療の面から長年取り組んできた中部大学・生命健康科学部理学療法学科の佐藤純教授（愛知医科大学医学部客員教授）のグループは、愛知医科大学・医学部と日本獣医生命科学大学・獣医学部との共同研究により、マウスにも内耳の前庭器官に気圧の変化を感じる場所があることを、世界で初めて突き止めました。

研究成果のポイント

マウスの内耳の前庭器官に気圧の変化を感じる場所と能力があることを突き止めました。

このメカニズムを明らかにすることで、気象病や天気痛の有効な治療法の確立に繋がります。

研究の背景、概要と成果

「雨が降ると古傷が痛む」「頭痛がする」「気分が落ち込む」など、天気の崩れが体調に影響したり病気を悪化させたりすることは「気象病や天気痛」と呼ばれ、古くから知られていますが、そのメカニズムははっきりとは分かっていません。佐藤教授らは、以前より、天気の崩れにより気圧が変化すると内耳がその変化を感じとって脳に伝え、その結果、さまざまな疾患が発症したり悪化したりするという仮説（図 1）を提唱してきましたが、今回の研究成果により、本来は平衡感覚を司る前庭器官に、気圧を感じる部位と機能もあることが確かめられました。

実験の内容は次のとおりです。

マウスを人工的に気圧が変えられる装置にいれて、天気の変化に相当する微小な低気圧に一定時間暴露します。その後、脳を取り出し、内耳の前庭器官からの感覚情報を中継する延髄の前庭神経核細胞の活動を観察しました。すると、前庭神経核のうち、おもに半規管（一部、球形嚢）からの情報が集まる上前庭神経核細胞において、神経細胞が興奮すると増える特殊な蛋白質（c-Fos タンパク質）が細胞内に増加していることを発見しました。一方、他の部位からの感覚情報が集まる神経核細胞に変化はなく、気圧の変化を与えていないマウスでも変化はみられませんでした（図 2）。

図 1

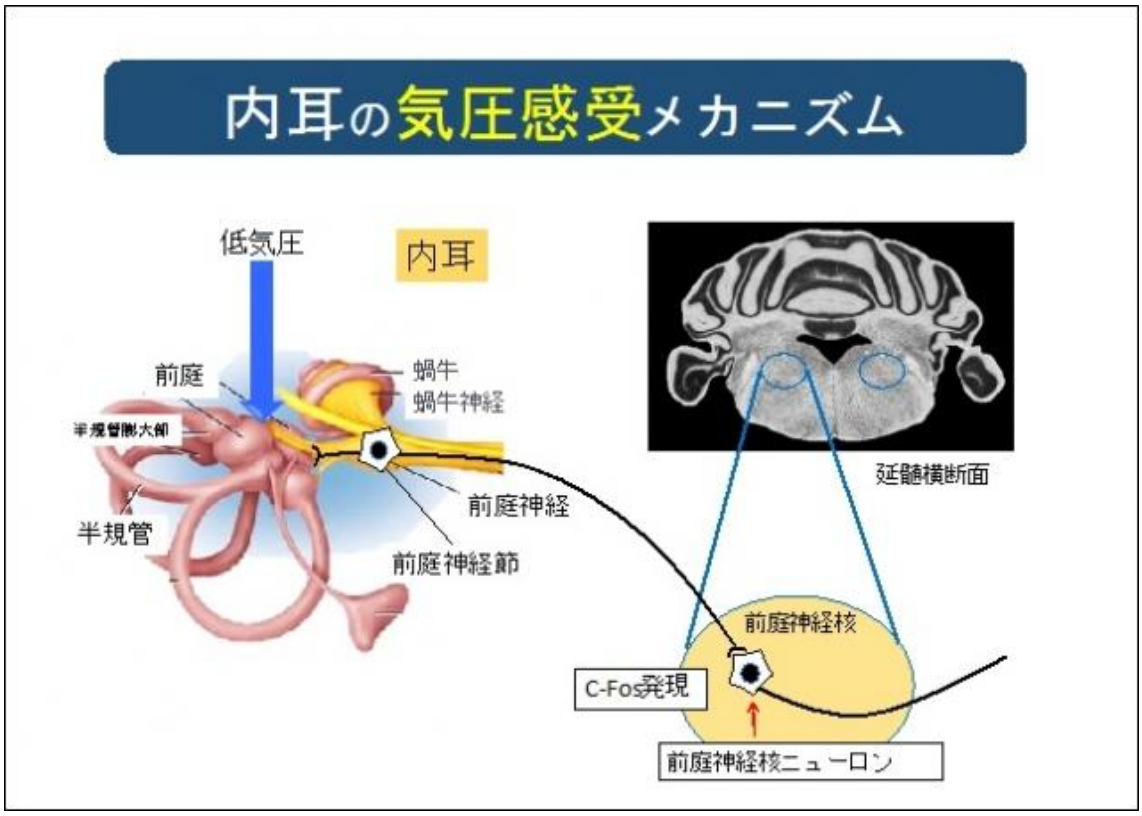
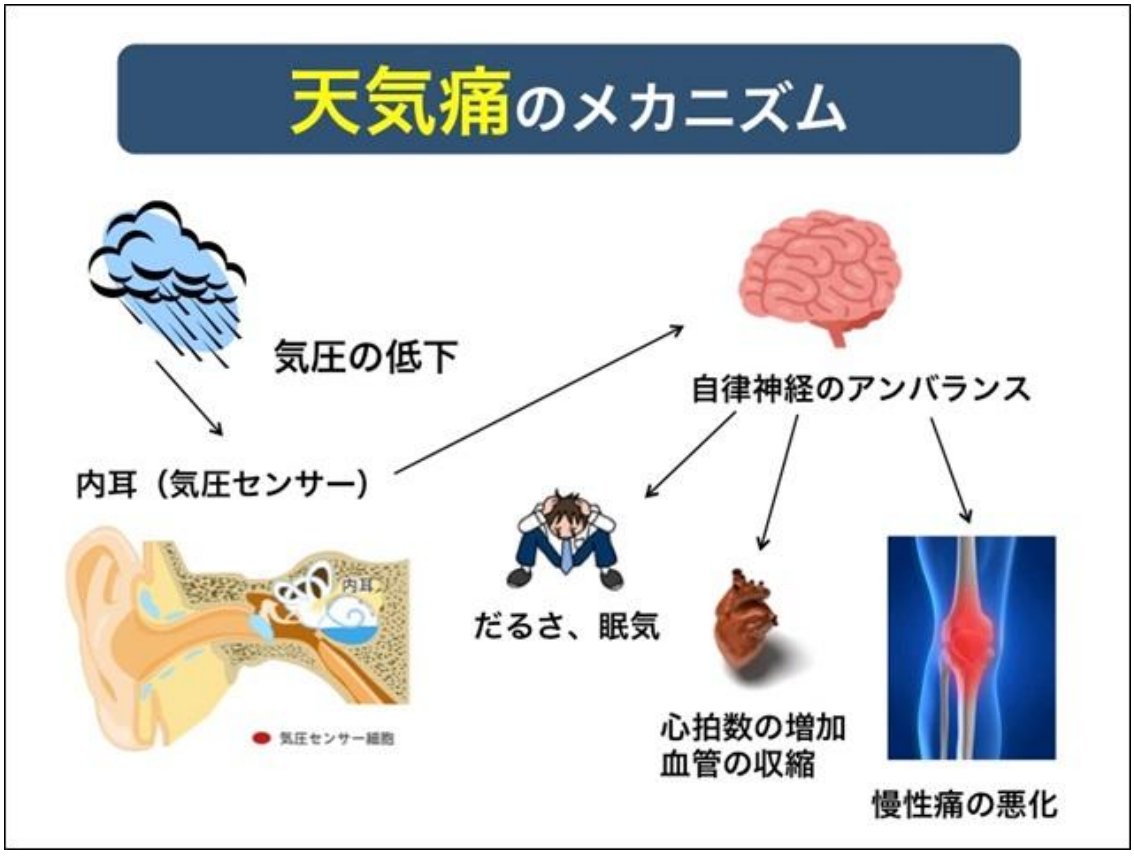

内耳の気圧感受メカニズム
低気圧
内耳
前庭
蝸牛
蝸牛神経
半規管膨大部
前庭神経
半規管
前庭神経節
延髄横断面
前庭神経核
C-Fos発現
前庭神経核ニューロン

図 2


天気痛のメカニズム
気圧の低下
自律神経のアンバランス
内耳（気圧センサー）
内耳
気圧センサー細胞
だるさ、眠気
心拍数の増加
血管の収縮
慢性痛の悪化

今後の展開

今回の研究成果から、私たち人間においても天気の崩れによって前庭器官が気圧の微妙な変化を感じとり、脳にその情報が伝わり、結果として古傷や持病の痛みを呼び覚ましたり、めまいや気分の落ち込みといった不調を起こすものと考えられます。これまで、平衡感覚のみを感じていると考えられてきた内耳の半規管に気圧の変化を感じる能力があることが分かりました。今後も研究を続け、どのようなメカニズムで前庭器官が気圧の変化を感じ取るのかを明らかにしていきます。また、このメカニズムを明らかにすることで、気象病や天気痛の有効な治療法の確立に繋げていきます。

研究成果の公表

本研究成果は、2019 年 1 月 25 日午後 2 時（米国東海岸時間）、PLOS ONE 誌オンライン版として掲載されました。

論文題名：

Lowering barometric pressure induces neuronal activation in the superior vestibular nucleus in mice

（低気圧はマウスの上前庭神経核ニューロンを興奮させる）

問い合わせ先

佐藤純　（中部大学　生命健康科学部　理学療法学科教授）

E-mail：jsato[at]isc.chubu.ac.jp　※アドレスの[at]は@に変更してください。

これは、粗密波としての超低周波音を気圧変動として感知できる可能性を意味しています。もちろん、これは聴覚による感知ではありません。

周波数が 0.5 (Hz)の音を考える。

波長は、340/0.5＝680m、波は、１秒間に 0.5 回、したがって、2 秒に 1 回の割合で繰り返す。

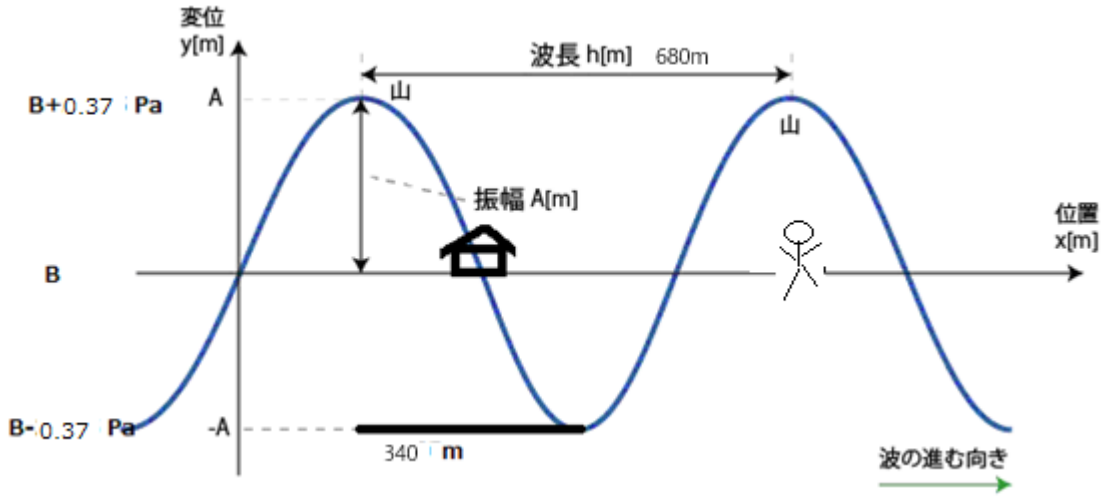
音圧を 0.37（Pa）として、ある時刻 t を固定すれば、下の図のようになる。

右の人物（風船のように反応すると考える）は、

気圧が高くなった中にいるので、押しつぶされている。

１秒後には波が右に 340m進むので、気圧が低くなり、膨張する。

２秒後には、波は 680m進むので、気圧が高くなり、押しつぶされる。



押しつぶされたり、膨張したりすれば、圧迫感を覚えるのは当然です。これは、聴覚での把握とは言えません。

　周波数が高ければ、風船の表面は振動するでしょう。これは、鼓膜が振動するのと同じですから、

この場合は、音を聴覚で感知したと言えます。

ですから、表面が振動する反応と、表面が振動しないで押しつぶされたり膨張したりする反応の２種類があると考えられます。

　音に対して、聴覚での“うるささ”としての感知と、体に対する圧力変動を“圧迫感”として感知する場合の２種類があると考えるべきです。こちらは、頭痛などとの関連が考えられます。

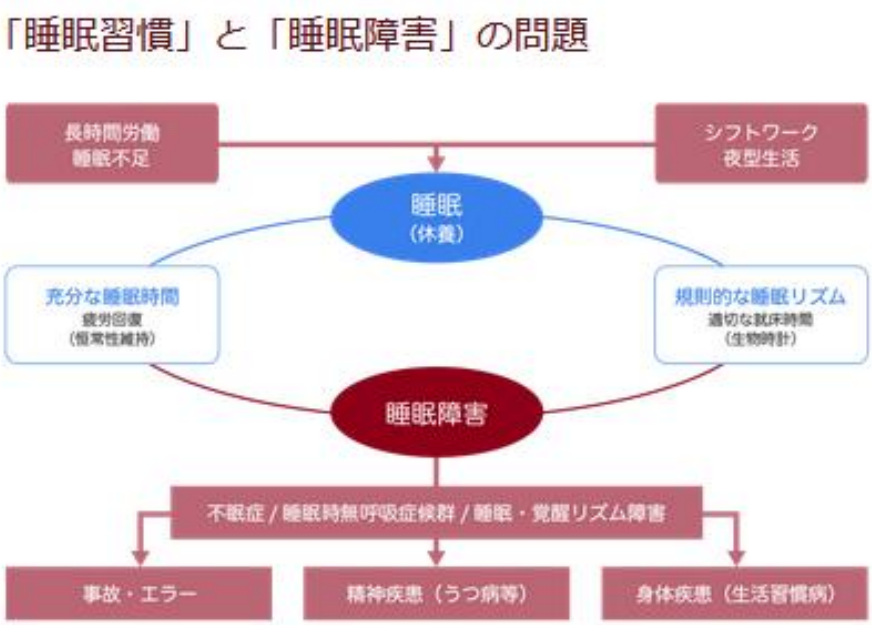
従って、超低周波音の感知には、聴覚メカニズムによらないものがある。と考えるべきです。

人間の体は、人体に加わる圧力の変化に敏感に反応することは、七浦地区に住み海に潜ってアワビを採っている人ならば皆が知っています。深く潜ったり、浮き上がったりする動作を繰り返すと、頭痛がしたり、鼻血が出たり、耳が痛くなったりします。人体に加わる圧力変動の観点からの議論する必要があります。
　私も海に潜って漁をします。潜り始めて１週間くらいは頭痛がします。圧力変化に体が直接反応して、鼻血が出たり、耳が痛くなったりします。

10．2．4　不眠による被害

安眠が妨害される要因としては、“音がうるさい”、“圧迫感や不快感がする”、“頭痛がする”、“振動を感じる”などがあります。

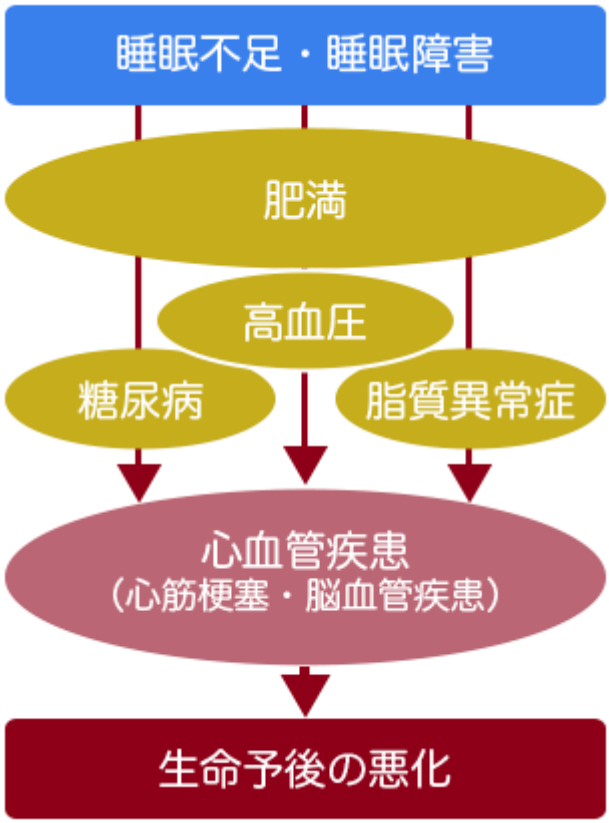
睡眠と生活習慣病との深い関係（厚生労働省）
質の悪い睡眠は生活習慣病の罹患リスクを高め、かつ症状を悪化させることが分かっています。睡眠問題は「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題に分けられます。睡眠習慣については睡眠不足やシフトワークなどによる体内時計の問題、睡眠障害については睡眠時無呼吸と不眠症の問題を取り上げ、それぞれ生活習慣病との関係を明らかにします。



日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図 2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いかお分かりいただけると思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。
慢性的な睡眠不足は日中の眠気や意欲低下・記憶力減退など精神機能の低下を引き起こすだけではなく、体内のホルモン分泌や自律神経機能にも大きな影響を及ぼすことが知られています。一例を挙げれば、健康な人でも一日 10 時間たっぷりと眠った日に比較して、寝不足（4 時間睡眠）をたった二日間続けただけで食欲を抑えるホルモンであるレプチン分泌は減少し、逆に食欲を高めるホルモンであるグレリン分泌が亢進するため、食欲が増大することが分かっています。ごくわずかの寝不足によって私たちの食行動までも影響を受けるのです。実際に慢性的な寝不足状態にある人は糖尿病や心筋梗塞や狭心症などの冠動脈疾患といった生活習慣病に罹りやすいことが明らかになっています。
また日本人の約 2 割は交代勤務に従事しています。夜勤に入ることによって、体内時計と生活時間との間にずれが生じやすくなります。体内時計にとって不適切な時間帯に食事を取ることでも生活習慣病の原因のひとつになると推測されています。夜間には体内時計を調節する時計遺伝子の一つである BMAL1 遺伝子とそ

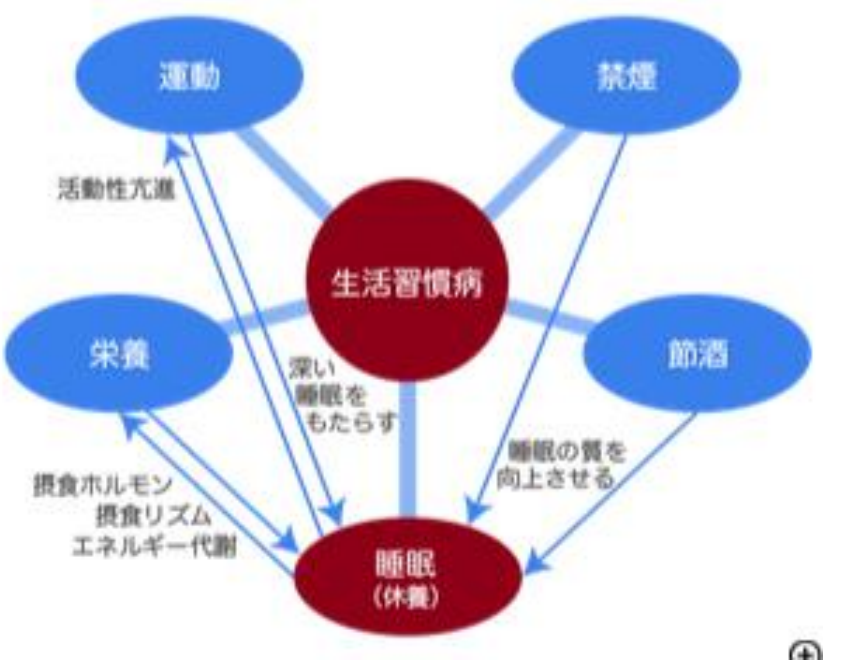
の蛋白質が活性化しますが、この蛋白質は脂肪を蓄積し分解を抑える作用を持っています。すなわち「夜食べると太る」という我々の経験は科学的にも正しかったわけです。夜勤中についつい間食をしている方にとっては耳の痛い話ではないでしょうか。

睡眠障害と生活習慣病



睡眠障害もまた生活習慣病の発症に関わっています。以前から生活習慣病患者さんでは睡眠時無呼吸症候群や不眠症の方が多いことが知られていました。その後の多くの研究によって、睡眠障害が生活習慣病の罹患リスクを高め症状を悪化させることや、その発症メカニズムが明らかになりつつあります。
例えば睡眠時無呼吸症候群の患者さんでは、夜間の頻回の呼吸停止によって「低酸素血症と交感神経の緊張（血管収縮）」「酸化ストレスや炎症」「代謝異常（レフチン抵抗性・インスリン抵抗性）」などの生活習慣病の準備状態が進み、その結果として 5～10 年後には高血圧・心不全・虚血性心疾患・脳血管障害などに罹りやすくなります。
また慢性不眠症の患者さんもまた、「交感神経の緊張」「糖質コルチコイド（血糖を上昇させる）の過剰分泌」「睡眠時間の短縮」「うつ状態による活動性の低下」など多くの生活習慣病リスクを抱えています。入眠困難や中途覚醒・早朝覚醒など不眠症状のある人では良眠している人に比較して糖尿病になるリスクが 1.5～2 倍になることが知られています。

睡眠障害もまた生活習慣病のひとつ
21 世紀における国民健康づくり運動（健康日本 21）では「栄養・食生活の管理」「身体活動・運動」「禁煙・節酒」などと並んで「十分な睡眠の確保」に取り組んできました。不規則な食事・運動不足・ニコチン・アルコール過飲によって睡眠状態は悪化しますので、これら生活習慣を改善することは良質な睡眠を保つことにもつながります。逆に言えば睡眠障害もまた生活習慣病のひとつと考えるべきでしょう。



日々の生活の中で睡眠時間はともすれば犠牲になりがちです。ただし今回ご紹介したように長期にわたり睡眠不足を続けたり、睡眠障害を放置したりするとは私たちの健康を大きく害します。睡眠問題は静かにしかし着実に心身の健康を蝕みます。睡眠習慣の問題や睡眠障害を放置せず、ご自分の睡眠状態に疑問を感じたら、かかりつけ医もしくは睡眠専門医に相談をしてみましょう。

安眠妨害は拷問の手法

安眠妨害は、拷問の手段なのです。睡眠妨害が拷問の技法であることは、昔から知られています。

PhantaPorta
パンタポルタ

魔女狩りの常套手段！ 人間性を奪う拷問「睡眠妨害」の恐怖

拷問の歴史　西洋史　狸穴醍　歴史・文化

今回は道具を使わず、眠りを妨げることで犠牲者を従わせる「睡眠妨害」の拷問を紹介します。
嘘の自白、精神異常、果ては死……睡眠妨害の末路
眠りによる休息は、あらゆる生物にとって必要不可欠なものです。それだけに、睡眠の妨害は非常に効果の高い拷問となりえます。

睡眠妨害の拷問は古くから行われていましたが、古代や中世では拷問に残酷さが求められたためあまり目立っていませんでした。しかし、近世以降になると盛んに用いられるようになります。

睡眠妨害のうちもっとも原始的な拷問はなんでしょう？

それは、24 時間体制で見張りをつけて眠らせないようにしておくというものです。犠牲者は監房に閉じ込められ、居眠りをすれば執行人に棒でこづかれます。その状態で歩き続けなければならないこともありました。もちろん飲食は最低限だけ、または禁止です。

こうして長時間眠れずにいると、犠牲者の精神は追い詰められ、誘導尋問に乗りやすくなりますし、無実であっても言われた通りのことを自白してしまいます。

また限界に達すれば精神に異常をきたすこともあり、方法によっては死んでしまうことすらありました。

こうした睡眠妨害は、犠牲者の身体に傷が残りにくいことから、現代でも密かに行われ続けているといいます。

睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。

疲労物質と睡眠
疲労とは？疲労の原因と回復方法
公開日：2016 年 7 月 25 日 12 時 00 分
更新日：2019 年 8 月 5 日 15 時 59 分
疲労とは
疲労は「疲れ」とも表現され、痛みや発熱と同様に「これ以上、運動や仕事などの作業を続けると体に害が及びますよ」という人間の生体における警報のひとつです。疲労は、人間が生命を維持するために身体の状態や機能を一定に保とうとする恒常性（ホメオスタシス）のひとつとして、痛みや発熱などと並んでそれ以上の活動を制限するサインとして働いています。
疲労の定義
日本疲労学会では、「疲労とは過度の肉体的および精神的活動、または疾病によって生じた独特の不快感と休養の願望を伴う身体の活動能力の減退状態である」1)と定義されています。疲労は、心身への過負荷により生じた活動能力の低下のことを言い、思考能力の低下や、刺激に対する反応の低下、注意力の低下、注意散漫、動作緩慢、行動量の低下、眼のかすみ、頭痛、肩こり、腰痛などがみられます。
疲労の原因
自律神経の中枢部では、身体の器官や組織の調節を行い、絶えず生命維持のための身体機能を一定に保っています。運動時には、運動強度や体調に応じて呼吸や心拍、体温などの機能の調節を行っており、身体へかかる負荷に合わせて生体機能のコントロールを行う自律神経の中枢も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中枢にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中枢がある脳がダメージを受けることで疲労が起こるとされています。
疲労を起こすのは活性酸素による酸化ストレスで、神経細胞が破壊されるからであると考えられています。運動などのエネルギーをたくさん使う活動では、酸素が多く消費されるとともに活性酸素も多量に発生します。活性酸素が発生すると、活性酸素を分解して体内から除去する抗酸化酵素が働くようになっていますが、発生する活性酸素の量が抗酸化酵素の働きを上回ると自律神経の細胞や筋肉が活性酸素によって攻撃されて疲労へとつながります。
加齢や紫外線を浴びることは活性酸素の影響を受けやすくなるため、疲労が起こりやすくなります。睡眠障害や睡眠時無呼吸症候群も疲労を蓄積させる原因となることが言われています。
乳酸は疲労物質か？
「乳酸は疲労物質」という考え方がされていましたが、現在では乳酸が疲労を起こす物質であるという考えは間違いであるとされています。疲労した筋肉では乳酸の濃度が高くなり、筋肉のパフォーマンス低下がみられるけれども、乳酸がパフォーマンスの低下をもたらすのではないとされています 2)3)。
最新の研究では、高負荷の運動時に、糖質がエネルギーとして使われる際に乳酸が産生され、筋肉の細胞のエネルギー源として再利用されることがわかっています。運動中の脳内でも神経細胞のエネルギー源として乳酸が働くことも確認されています 2)。
疲労と病気

疲労によって身体の機能を一定に保つ恒常性が乱れると自律神経失調症の症状がみられるようになります。疲れが蓄積すると防衛反応としてステロイドホルモンが分泌されます。ステロイドホルモンが多量に分泌されると、血管の老化による動脈硬化やインスリン抵抗性による高血糖・肥満などのリスクが高まり、高血圧、糖尿病、脂質異常症などの生活習慣病、メタボリックシンドロームにかかりやすくなって心筋梗塞や脳梗塞などの原因となります。ステロイドホルモンは免疫を下げる作用もあり、さらに疲労が蓄積することで免疫系が働きにくくなり、がんの進行から身体を守る防衛機能も低下します。

疲労の回復方法

良質な睡眠をとることが疲労回復に最も効果的であるとされています。1 日 3 食のバランスのとれた食事を摂り、生活リズムを整えること、食事は眠る時間の 3 時間前に済ませておき、眠る 1～2 時間前に 8 分程度、38～40 度のぬるま湯にみぞおちの辺りまでつかることが質のよい睡眠を招きます。

との記事も公開されています。

南房総市の健康だより

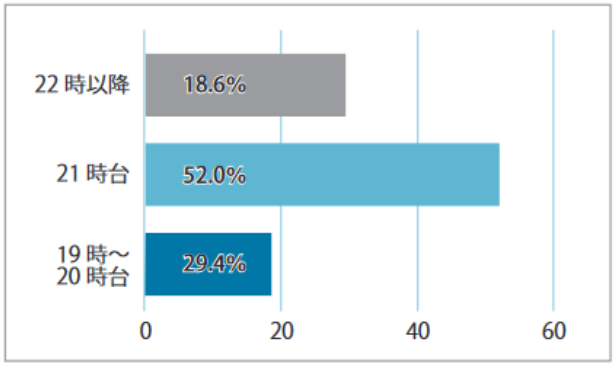
南房総市が 2021 年２月１１日に発行した、広報みなみぼうそう２月号には、次のように書かれている。

子どもの睡眠と成長ホルモン
～夜9時までに眠り、朝7時までに起きる～

健康だより
問 保健予防室 ☎ 36−1154

睡眠は子どもの成長に大きくかかわっています。３歳児健康診査状況からみると、南房総市では夜型の傾向が進んでいることが伺えます。子どもの成長には、食事や運動だけではなく、睡眠を意識した生活リズムを整えることが大切です。夜９時までに眠り、朝7時までに起きることが理想です。

身体の成長や健康の維持には、『成長ホルモン』と呼ばれるホルモンの働きが関与しています。『成長ホルモン』は①免疫力の増強、②筋肉の発達、③骨を伸ばす役割を担っています。睡眠時、とくに入眠直後の深い眠り（ノンレム睡眠）の間に多く分泌されます。



子どもの就寝時間
（令和２年度３歳児健康診査から）

睡眠の質を高めるために

◇朝起きたら太陽の光で体内時計をリセット

朝強い光を浴びることで、体内時計をリセットしてくれ、脳と体を目覚めさせます。まずは、朝早く起きることからはじめ、日中天気の良い日は外でたくさん遊ばせましょう。

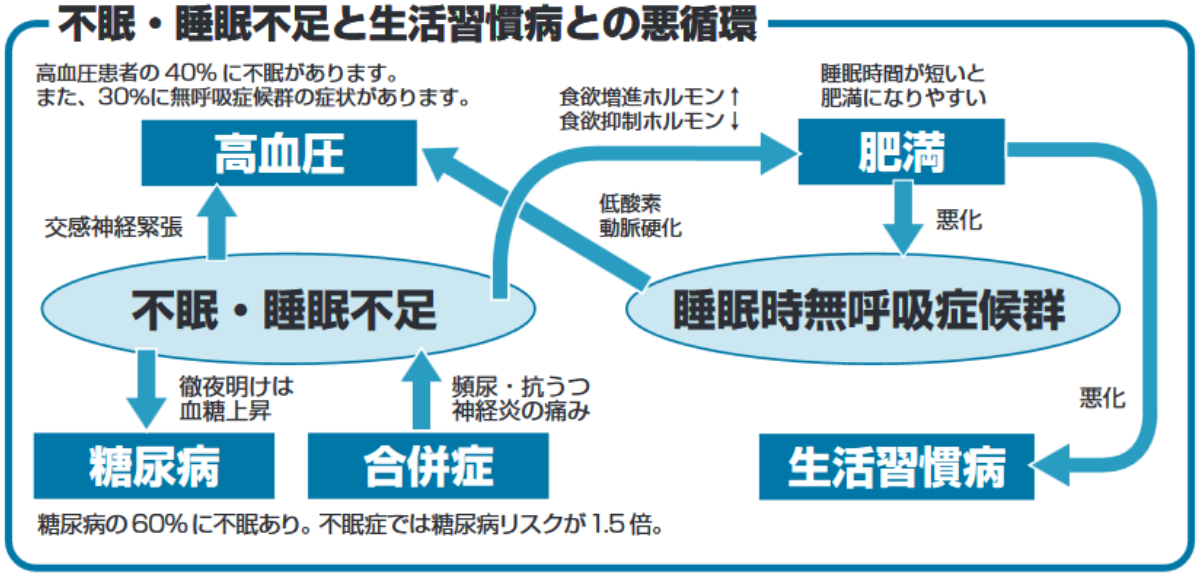
◇ブルーライトを遮断し、灯りは暗く

遅くまで、テレビ、ゲーム、スマホなどをしていると夜はなかなか眠れません。寝る前のテレビやスマホは避け、部屋の明かりを消して静かな環境を整えましょう。

◇休日でもいつもと同じ時間に起床する

休み前の夜更かし、眠れなかった分を補おうと休日に多く睡眠時間を確保すると、より生活リズムが崩れてしまいます。休日も平日と同じ時間に就寝・起床し、眠気がある場合は短時間の午睡を取り入れましょう。

子どもの夜型化には大人の生活習慣が影響を与えています。大人の生活習慣を見直すことが大切です。大人にとっても睡眠は重要です。睡眠不足は糖尿病や心筋梗塞などの生活習慣病や認知症のリスクを高めます。



騒音での不眠は、学生の成績にも大きく影響します。睡眠不足の生徒は授業中に居眠りします。それを教員に注意され、教員とのトラブルとなることも多い。体力低下で体育の授業中の事故も増えると考えられる。この件数についての実態調査をする。
風車の近くに住む生徒の成績の分布、風車から10ｋｍ以上はなれたところに住む生徒の成績の分布を調査する。学校には、風車建設前の生徒の成績データが残っている。各家庭にも成績通知表が残っている。これを持ち寄れば、風車建設前と建設後の成績の変化が数値化できる。これらの値を、風車建設前と建設後で比較する。
　睡眠不足の問題は、生徒の学力が低下となり、生涯賃金にも大きく影響する。先生に居眠りを注意されてトラブルを起こし、不登校になることも考えられます。
これが被害であることは明白です。
　海に潜ってアワビを採る漁師にとっては、睡眠不足は命に関わる大問題です。夏の暑いときに畑で草取りをする人にとっても、体力不足での熱中症は命に関わる事柄です。トラックで荷物を運ぶ人にとっても、睡眠不足は交通事故に直結する重大問題です。
この常識を無視して、
“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。
　朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。
　命に係わる事柄です。もちろん、騒音が１日だけとか、夕方６時から朝６時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、１年中、２４時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

“直接的”と“明らかな”と言う言葉で騙そうとしてはいけません。
“風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”との表現は、“風車騒音が人の健康や労働に対して間接的に影響を及ぼし、地域社会を崩壊させる可能性は極めて高い”と言い換えるべきです。

風車騒音は、
わずらわしさ（アノイアンス）に伴う睡眠影響を生じる可能性はあるものの、
人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。
に関しては、
風車騒音の意味が問題になる。
そして、
人間の健康に直接的に影響を及ぼす
の意味も問題です。

風車音を浴びて、数日後に死亡したと言うような事態は聞いたことが無い。
強烈な放射線を浴びて、数日後に死亡した人はいる。放射線と風車からの音はだいぶ違います。

極めて周波数が高い、超音波では、直接的と言える被害も出ています。もちろん、超音波を聴覚で捉えることは出来ません。聴覚閾値以下の音です。しかし、この聴覚閾値以下の超音波に人間の体は直接反応します。
超音波を使った美顔器でも、使い方によっては事故が起きます。
この場合は、超音波を感知したと言うよりは、超音波に直接反応したと言うべきでしょうが、聴覚閾値に至らない音が、人体に直接作用して被害を生む事もあることが分かります。

“超音波使った美容施術” 規制が必要か検討へ 消費者事故調
2022 年 7 月 27 日 7 時 07 分
エステサロンなどで超音波の技術を使った美容施術を受けた結果、やけどやシミができるといった事故が相次いでいるとして、消費者庁の安全調査委員会が調査の中間結果を報告し、機器の使用などに関して法令による規制が必要かを検討していくことを明らかにしました。
事故が相次いでいるのは、エステティックサロンなどで行われている、肌のたるみを取ったり痩身（そうしん）効果を得たりするために「HIFU」と呼ばれる機器で超音波を照射する施術です。
去年から調査を進めている消費者庁の安全調査委員会、いわゆる消費者事故調が 26 日に調査の中間結果を報告しました。
それによりますと、2015 年 11 月からことし 5 月末での間に 110 件の事故の情報が寄せられ、このうち 76 件はエステサロンで起きていて、
内訳は
▽やけどが 45 件、
▽皮膚が赤く腫れる、シミができたなどの「皮膚障害」が 23 件、
▽マヒが残ったといった「神経・感覚の障害」が 13 件などとなっています。
これまでの調査では、施術者が施術の内容や注意事項などを十分に説明しておらず、利用者がリスクを理解していないケースも多いことや、非常に強い照射能力があり、やけどなどを引き起こすおそれがある機器がエステ店で広く使われていることが分かったということです。
事故調は今後、機器の使用などに関して法令による規制が必要かどうかなどをまとめ、今年度内に再発防止への提言を示したいとしています。

超低周波音（ISO7196）のケースは、超音波とは違いますが、可能性に関しては慎重に確認することが必要です。
“音波が、人間の健康に直接的に影響を及ぼす” 可能性があるような現象としては、強烈な超低周波音による音響キャビテーションや、強烈な超音波による障害の 2 つが考えられる。
風車音で、音響キャビテーションが起こるかどうかについては、シミュレーションのプログラムが必要です。

確かに、“人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い” と言えるでしょうが、
“人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は極めて高い” とも言えます。

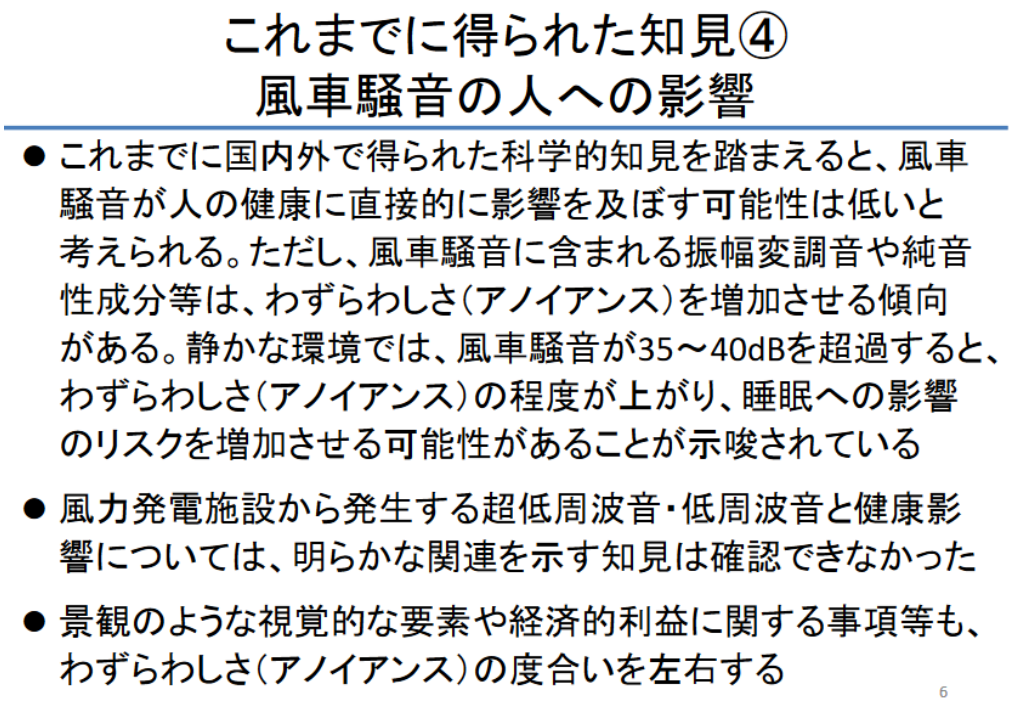
一度建設された風車は、約 20 年間、昼も夜も住人に対して、超低周波音（ISO7196）を浴びせます。

不眠を訴える人が多く出ます。不眠が継続すると、問題が起きるのです。
　これは、農漁村地区の人にとっては重要な問題です。安眠できなければ、朝早く起きたときに眠気が残ります。良く眠れなければ体力も落ちます。
　夏に、朝早く起きて海老網の手伝いをしている方の睡眠時間は極端に短くなってしまいます。眠くてぼんやりした頭で、バイクに乗って港に向かう。とても危険なことです。
　車を運転するときに、居眠り運転をする可能性も高くなります。人身事故も十分予想されます。
　夏に、草刈や草取りの農作業をする人も多いです。体力が落ちている人が、炎天下で農作業をしたら、熱中症になってしまいます。
　熱中症で畑に倒れているところを、他の人に見つけてもらって、病院に行った方もいるとの話も聞いています。
　海に潜って、アワビを採る人にとっても、睡眠不足は大変危険です。体調不良で潜っていて気分が悪くなるのは、良くあることです。眠れなくて体力が落ちれば、漁獲高にも影響します。
良く眠れない原因となる風力発電施設を作ることは、私たちの命を縮めることであり、漁業による収入の減少を招くことです。

　不眠は被害なのです。苦情ではありません。

環境省の HP の資料には、　“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”
と書かれている。

この常識を無視して、



“静かな環境では、風車騒音が 35～40ｄB を超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”

と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、大学の先生や、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。

朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。

命に係わる事柄です。もちろん、騒音が１日だけとか、夕方６時から朝６時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、１年中、２４時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

ある．静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、**睡眠**への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている．

- 景観のような視覚的な要素や**経済的利益**に関する事項等も、わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する．

が正しいとすれば、

被害を防ぐには、被害者全員が経済的利益を受ければ良いことになります。そうすれば睡眠への影響のリスクを減らせるのです。

正しい見解です。

被害者全員に十分な補償金を支払い、被害が風車の無い地域へ移住できるだけの経済的な補償をすれば良いのです。被害者に対して、風車が無い地域に新しい家と土地と仕事を提供すれば良いのです。

さらに、

- 風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は**確認できない**．

では、A 特性音圧レベルによる基準値と、健康被害との明らかな関連を示す知見は確認できたのであろうか？

確認できたのならその根拠を示して欲しい。

明らかな関連が確認できないにも関わらず、A 特性音圧レベルによる、基準値を使うならば、その合理的な理由を示して欲しい。

関連性に関しては、風車音や騒音の影響による諸症状のアンケートと、その地域での環境騒音、風車音の計測を、道路での騒音による被害地域、工場騒音による被害地域、鉄道騒音による被害地域、風車音の被害地域でも、全く同様に行って、結果を比較すれば、関連を示す知見は得られる。

まさか、A 特性音圧レベルによる基準値と、風車被害との明らかな関連性が無いのに、基準値を指標として使う事を提唱しているのでは無いでしょうね。

人間にとって、睡眠は極めて重要である。睡眠を妨害されたら、“健康で文化的な生活”を送ることは出来ない。

憲法で保障された、基本的人権を侵害されているのである。

１０．３．１ 超低周波音の解析と発生の仕組み

超低周波音の解析と発生の仕組み
Analysis of Infrasound and Generation Mechanism
宇山　靖政
Yasumasa UYAMA
Personal member of Japan Wind Energy Association.

Abstract
This document provides the results of analysis of the sound from wind turbine, and the mechanism of infrasound generation.
The part of the infrasound near the wind turbine is described as wind noise and the frequency is not examined in detail. However, when this feature is investigated, it becomes clear that the directivity of the wind turbine sound, the shaking of the top of the tower, and the vibration around 40 m above the ground of the tower are related, and it is found that the wind turbine generates directional infrasound.
For wind noise, "Low-frequency wind noise is caused by wind hitting the microphone. This noise has a louder component as the frequency decreases. In the frequency range of about 5 Hz or less (in some cases about 10 Hz or less), it is difficult to eliminate wind noise." It is said,
Even if the wind is strong, the component of 10 Hz or less in a place where there is no wind turbine has an extremely low sound pressure and no regular wind noise. Even if the wind is not so strong, near the wind turbine, the sound pressure of the component below 10 Hz is high, and wind noise with regularity appears.
This is either to think that there are two types of wind noise: "wind noise in places where there are no wind turbine" and "wind noise in places where there are wind turbines", or to think that infrasound with high sound pressure is generated from wind turbine.

キーワード：超低周波音、風雑音、揚力ベクトル、回転モーメント、塔の振動
Key Words : Infrasound, wind noise, lift vector, moment of rotation, vibration of tower

１．はじめに
風車音の 5Hz 以下の成分を“風雑音”と考え“これを除去すれば本来の風車音が得られる。”との主張もあるが、周波数の分析と風車の振動原因の解明により、この音が“風車による超低周波音”であることを示す。

２．計測機材と解析対象
計測機材：NL-62、NX-42WR、解析対象：千葉県館山市風の丘にある回転軸が水平の風車*1

３．騒音の比較
特徴を示す為に周波数スペクトルを比較する。

(横軸は周波数ヘルツ[Hz]、縦軸は音圧パスカル[Pa])

Fig.1：JFE の製鉄所内の音(0～5000Hz)

Fig.2：風車の近くで計測した音(0～5000Hz)

Fig.3：風車の近くで計測した音(0～25Hz)

Fig.4：長尾神社境内の音(0～25Hz)

図 1 図 2 は 0～5000Hz 範囲での比較であり、製鉄所内の音は広帯域だが、風車音は左隅の 0.8Hz の近くに集中しており広帯域の音ではない。

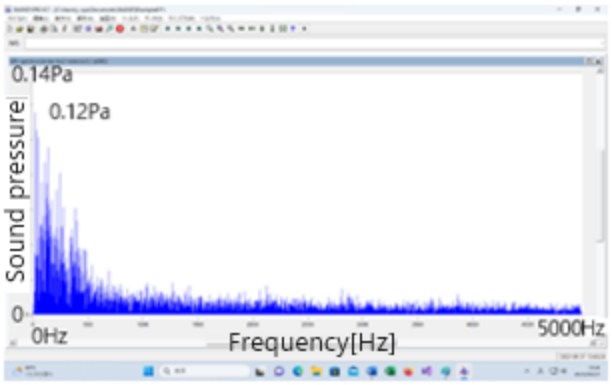


Fig.1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa](12Hz)

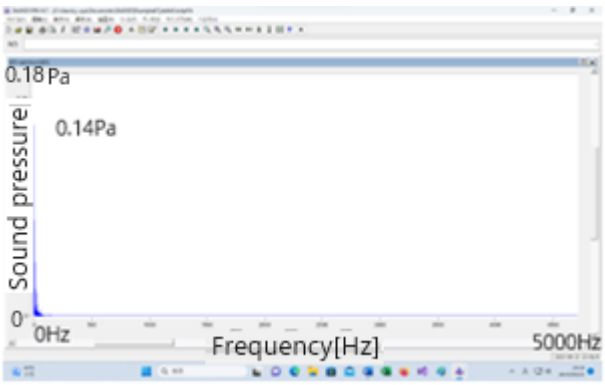


Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

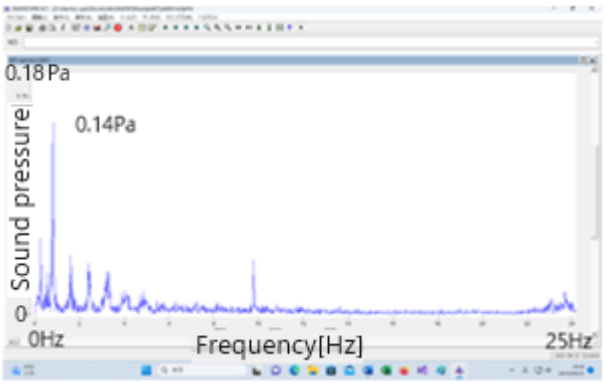


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

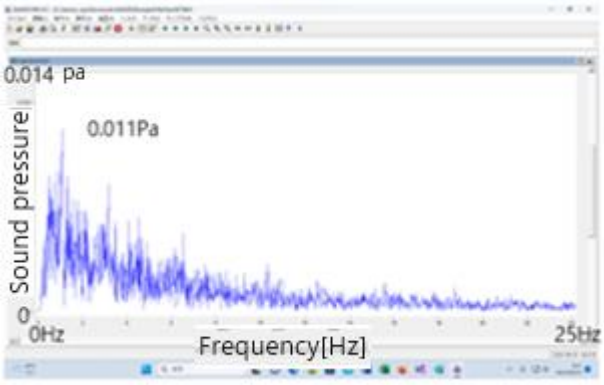


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz); 0.011[Pa](1.1Hz)

図 3 図 4 は 0～25Hz 範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音（最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)）と、近所の長尾神社の階段にマイクを置き風が当たる状態で計測した音（最大音圧 0.011[Pa] (1.1Hz)）との比較である。表 3 で風車の近くの“風雑音”の持つ規則性を詳しく記す。図 4 から風車の無い場所では音圧が低く周波数に規則性が無い事が分る。これらの“風雑音”の区別が必要である。

表 1 表 2 は周波数帯ごとのエネルギー分布である。

Energy distribution	0～20Hz	20～5kHz
Wind turbine	93%	7%
Iron mill	12%	88%

Table 1 Energy distribution (0～5000Hz)

Energy distribution	0～1Hz	1～20Hz	0～20Hz
Wind turbine	61.3%	38.7%	100.0%
Iron mill	0.04%	99.96%	100.0%

Table 2 Energy distribution (0～20Hz)

表１より、風車音を騒音（周波数 20Hz 以上）として考えると、音のエネルギーの 93%を無視することになる。その結果、圧迫感などの不快感の原因となる部分を除外した数値と不快感を訴える人の割合を比較することになり、交通騒音の場合に比べると大きな誤差が出る。
表２より、0.8Hz の部分が、0～20Hz の音のエネルギーの 61%を占めていることが分る。よって、超低周波音を１～20Hz に限定してはならない。

４．風車音と再生音
図５は NL-62 で記録した 60 秒間の風車音。図６は FFT を使って音を分割し、青を 0～20Hz、緑を 20～200Hz、赤を 200～24ｋHz の成分として表したもの。図７は図５の音を PC のスピーカで再生し、再度 NL-62 で収録した音を図６と同様に分割したもの。
図６では 200Hz～24kHz の成分に振幅変調が見られるが、音圧が極めて低く空気減衰やエネルギー透過率を考えれば室内への影響は弱い。逆に、超低周波音のエネルギーは大きく、その影響を慎重に調査すべきである。
なお、圧迫感を除けば、風車の近くで聞いた音とスピーカからの音の違いを聴覚では判別できなかった。

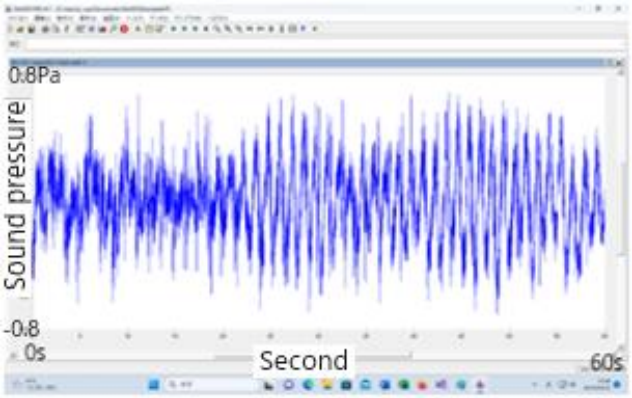


Fig.5 Wind turbine noise

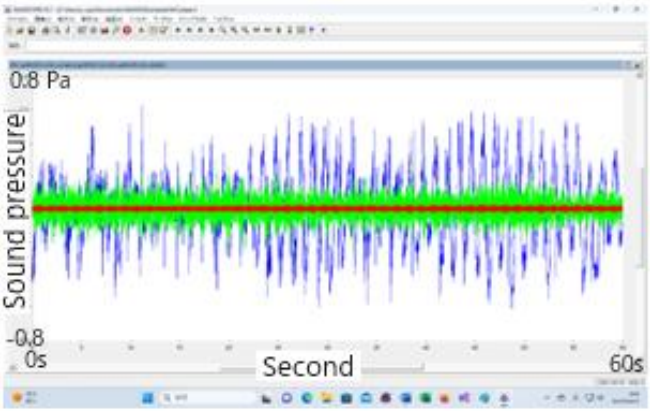


Fig.6 Separated Wind turbine noise

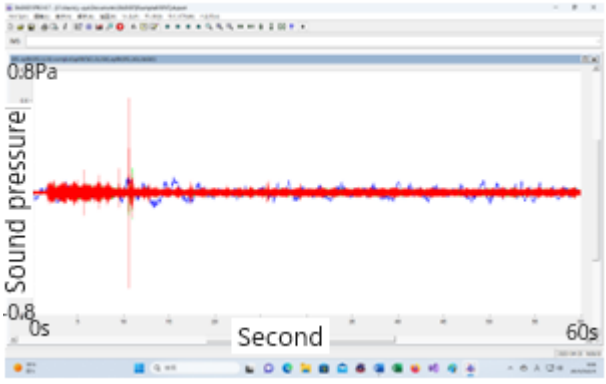


Fig.7 Separated sound from speaker

図７からスピーカ音には超低周波音が含まれない事が分る。大型のスピーカでも 1Hz 以下の音の再生は出来ない。これが風車音と実験室の再生音では圧迫感に差がでる原因である。実験をするならトレーラーの荷台に実験室を作って風車の近くに行くしかない。

５．風車音の細かな特徴

表３は、図３に於ける音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものである。

Frequency at peak[Hz]	Rate(1)	Rate(2)	Sound pressure[Pa]
0.2667	1.0000		0.0560
0.5333	2.0000		0.0309
0.8167	3.0625	1.0000	0.1405
1.5833	5.9375	1.9388	0.0436
2.4167	9.0625	2.9592	0.0242
3.2167	12.0625	3.9388	0.0317
4.0000	15.0000	4.8980	0.0177
4.8667	18.2500	5.9592	0.0173
5.4667	20.5000	6.6939	0.0101
6.2667	23.5000	7.6735	0.0098

Table 3 Frequencies of the peak values

最大音圧となるときの周波数 0.8Hz,は、翼の回転数を R(rpm)、翼枚数を Z(枚)とするときの f ＝RZ/60[Hz]に合致する。他の周波数も含めて音が出る仕組みを解明すれば超低周波音が発生する理由が分る。

６．周波数の細かな変動

f ＝RZ/60[Hz]より、周波数は回転数によって変化する。図８の Wavelet のグラフから、0.73Hz から 0.87Hz の間で周波数が変化することが分る。

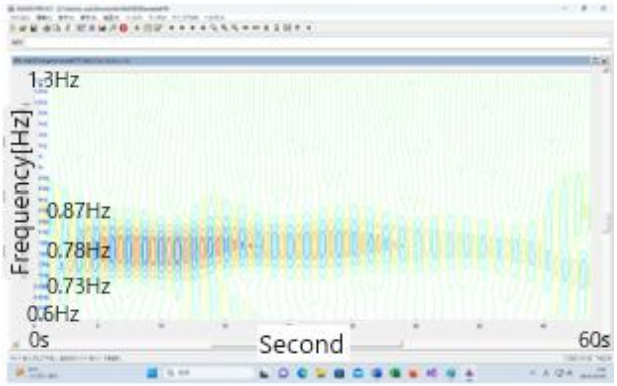


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

Rotation (7times), a part of large table		
Brade pass	Time(second)	Frequency[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	22[s]	0.95[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
Average		0.8 [Hz]

Table 4 Fine fluctuation from video

表４はビデオ撮影した回転の様子から周波数を計算したものの一部である。周波数は風速の変化に対応して細かく変化し、図８の変化と一致する。

図８で色の濃い部分は音圧が高いことを示し、図８は 60 秒間の計測結果なので、音圧が高い状態が 20 秒程度継続することが分る。10 分間の計測結果から、0.8Hz に近い周波数成分の音圧は、風が弱いときは 0.10[Pa]、風が強いときは 0.37[Pa]、平均で 0.18[Pa]程度であることが分る。

７．塔の振動方向と風車音の指向性

ナセルや、塔の地上 40mの側面の振動の方向や大きさ、音の指向性を揚力ベクトルの方向に注目しながら考える。(1.6Hz は小型風車で回転数が高いため。)

“風車ナセル・タワーの振動解析”1)
では、ナセル部分について、“図 3 のローリング方向では 0.8Hz、1.6Hz、2.7Hz にゲインの増大が確認でき、ロータの偏芯が顕著には現れておらず、代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が表れている。これは、上下左右の風速さと羽根数によるブレード変形振動が起因している”“図 4,5 はナセル振動の 210 度方向、300 度方向スペクトルを示す。”“210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ、羽枚数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている”、さらに、1)の図 6, 7 からタワー内 40mの振動にも、210 度方向、300 度方向に 1.6Hz の成分が表れていることが分る。

“風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について〃2)
では、“200 度の位置のレベルが高くなっている。この位置はキャンセレーションメカニズムが働きレベルが低下する位置であり指向性の予測とは逆の現象が現れている。”とあり、20 度、110 度、200 度、290 度の方向で音圧が高いことが、2)の図 6 から分る。

“円筒の弾塑性純曲げ崩壊に関する研究”3)を参考にすれば、塔の側面の変動は図 9 図 10 となる。

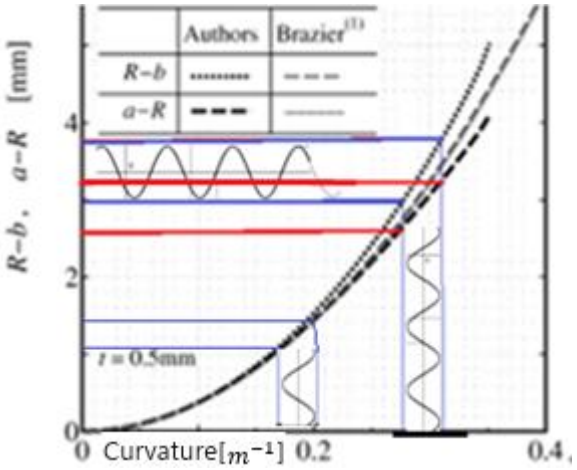


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

図 9 は塔の側面が塔に掛かる力の変化に応じて振動することを示す。右の方が側面の振動幅が大きい。
塔の断面は、図 10 の右側の様に円筒が曲がるときに楕円になる。加えられた力の方向の側面の振動と、それに直交する方向の側面の振動が発生する。その結果、風車音は指向性を持ち、周波数は塔に掛かる力の周波数と一致する。さらに、断面が円から楕円になれば、面積が減少するので塔内の容積が減少する。逆に断面が円に近づけば容積は増加する。塔の変形は塔内の気圧変動も引き起こす。

８．風車にかかる力とその影響
“流体力学(前編)”4)によれば、
翼に働く揚力 L は、Kutta-Jopukowski の定理より、

$$L = \rho U \Gamma = 4\pi\rho U^2 \lambda \sin(\alpha - \delta) \qquad (1)$$

で与えられ、揚力は、一様流の速度 U の２乗に比例する。
ブレードと塔の距離が近いことを考え、揚力 L の大きさや塔に対する回転モーメントが周期的に変化することを調べれば、塔の変形の様子と風車音の発生原因が分り、風車音の周波数と音圧の程度も分る。

“風車の振動解析” 5)では、揚力Ｌについて述べた後で、風車に掛かる力について考察がされている。
“風速は高さにより変化するので、ブレードが回転すると、これらの力は周期的に変化する。その結果、ブレードとタワーに周期的励振力が加わる。”
“ブレードからタワーに加わる力の各振動数成分は、枚数倍となる。以上のように、回転速度のｎ倍の振動数ｎＰをもつ多くの励振力が加わる。”と述べている。
“回転速度のｎ倍の振動数ｎＰをもつ多くの励振力”としたのでは、風車音の指向性の考察が欠けていて、塔がどのように変形して音が出るのかという事に繋がらない。

“空力音響学” 6)には、振動する物体からどのように音が発生するかが書かれている。

風車の側面の振動を考えるには、塔に掛かる力の観点から、塔に掛かる回転モーメントに視点を移して計算する必要がある。塔の変形は、釣り竿が曲がる場合と似ている。釣り竿の変形は、釣り竿に対する回転モーメントで決る。上部の揺れは円形のままでも可能だが、側面の揺れは、切り口の変形を伴う。
風車は揚力によって回転し、ブレードの角度を変えて回転速度を調節する。回転開始時は回転方向の成分が大きくなるようにブレードの向きを調整し、定格出力運転時には揚力ベクトルの方向を 200～210 度の向きにして、ブレードの回転を抑える。この結果、揚力の回転軸方向の成分が大きくなる。

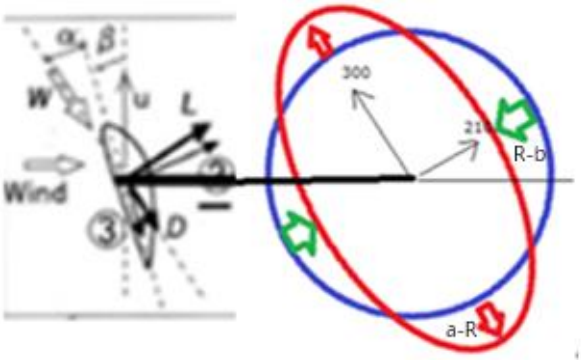


Fig.10　Lifting vector and modification

９．塔に掛かる力と回転モーメント
（９桁の数値で計算し、最後に四捨五入した。）
ナセルや塔の揺れに関してはブレードが真上に来た時の揚力ベクトルの方向を重視すべきだが、ここでは、揚力ベクトルの回転軸方向への成分を考える。
単純化して、塔の高さは 100m、ブレードの代りに、丸い標識のような形の板が中心から 50mの所に付いているとして、周波数を計算する。

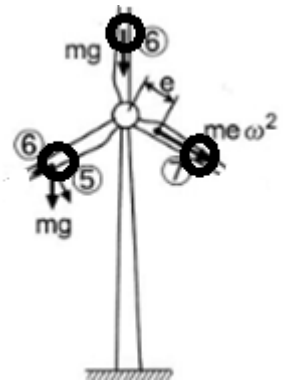


Fig.11 Wind turbine in balance

円盤の地上からの高さは$100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$ m
となる。
上空では地表近くよりも強い風が吹く。上空での風速の予測式はいくつかあるが、ここでは次の予測式を使う。
高さZ_{h1}での風速V_{Zh1}
高さ$Z_{G(V)}$での風速の予測値$V_{ZG(V)}$
地表面粗度区分Ⅴに応じた冪指数 α(v)
としたときに、次の関係式

$$V_{ZG(V)}/V_{Zh1} = (Z_{G(V)}/Z_{h1})^{\alpha(V)} \qquad (2)$$

が成立し、田園地帯では、$\alpha(V) = 0.15$である。
田園地域で、地上 10ｍの時の風速が 7[m/s]のときは、
地上 100+50*sin(ω t+ θ) m での風速は

$7 * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))/10)\text{^}0.15$ [m/s]（3）

となる。

空気密度を 1.23[kg/m ^3]、 風力係数Ｃ ｄ＝1.2、とすると風速 V[m/s]のとき、Ｐ:風荷重[N/㎡]は

Ｐ＝（Ｖ^2／２）×1.23×1.2 [N/㎡] （4）

となり、標識の面積が 10[㎡]のとき、地上 10ｍで 7[m/s]の風が吹くときに、風車に取り付けてある丸い板にかかる力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * \left(\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10}\right)^{0.15}\right)^{2}\right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 \qquad [N] \qquad (5)$$

となる。この力は風速の２乗に比例する。
この力によって引き起こされる風車を倒そうとする力は、回転軸を地表とブレードの回転面の共有する直線としたときの回転モーメントであり、

$$P*(100+50*\sin(\omega t+\theta))=k*(100+50*\sin(\omega t+\theta))\text{^}1.3 \quad [\mathrm{Nm}] \quad (6)$$

となる（k =181.24）。ここでは

$$(100+50*\sin(\omega t+\theta))\text{^}1.3 \quad (7)$$

の部分に注目して考える。
ブレードのなす角は 2π/3 なので回転モーメント M は、
ω=2π・0.8/3　と置いたときに、

$$f(t)=(100+50*\sin(\omega t))^{1.3}+(100+50*\sin(\omega t+2\pi/3))^{1.3}+(100+50*\sin(\omega t+4\pi/3))^{1.3} \quad (8)$$

とすれば、

$$M=k*f(t)=181.24*f(t) \quad [\mathrm{Nm}] \quad (9)$$

となる。マクローリン展開

$$(1+x)^{\alpha}=1+\frac{\alpha}{1!}x+\frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^2+\frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!}x^3+\cdots \quad (10)$$

を使って計算する。（Sin での計算を示すが、cos でも同様となる。）

電卓での近似計算（0.8Hz の根拠）

$$(100+50*\sin(\omega t))^{1.3}=(100^{1.3})(1+(1/2)*\sin(\omega t))^{1.3} \quad (11)$$

に注意して展開式に(1/2)sin(ω t)を代入すれば、

$$(100+50*\sin(\omega t))^{1.3}=398.11*\{1+0.65\sin(\omega t)+0.05sin^2(\omega t)-0.006sin^3(\omega t)+\cdots\} \quad (12)$$

となる。次の関係式に注意して計算する。

$$\sin(x)+\sin(x+2\pi/3)+\sin(x+4\pi/3)=0 \quad (13)$$

$$sin^2(x)+sin^2\left(x+\frac{2\pi}{3}\right)+sin^2\left(x+\frac{4\pi}{3}\right)=\frac{3}{2} \quad (14)$$

$$sin^3(x) = (3\sin(x) - \sin(3x))/4 \qquad (15)$$

なので、sin の 3 乗の和のうち、sin(x)の和は 0 となり、sin(3x)の和は

$$\sin(3x) + \sin\left(3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) = 3\sin(3x) \qquad (16)$$

となるから

$$sin^3(x) + sin^3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + sin^3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = -(3/4)\sin(3x) \qquad (17)$$

よって、

$$f(t) \approx 1223.43 + 1.70\sin(3\omega t) \qquad (18)$$

となる。
３枚のブレードが、sin(ω t)、sin(ω t+2π/3)、sin(ω t+4π/3)に従って回転している場合には、
塔にかかる回転モーメントは

$$M = k * f(t) \approx 221734.19 + 307.78\sin(3\omega t) \quad (19)$$

となり、ブレードの回転周波数が、0.26666Hz ならば、塔にかかるモーメントは 0.8Hz の周波数で変化する。
ブレードの回転周期の 1/3 の周期で回転モーメントが変化することが分る。

（２）不均等な場合（0.27Hz, 0.53Hz の根拠）
次に、ブレードの１枚だけが他の２枚よりも少し大きい場合を考える。

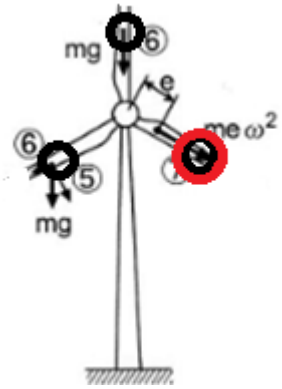


Fig.12 Wind turbine imbalance

大きな部分の面積が、10*1.003＝10.03 ㎡　だとすれば、この時、赤い丸の部分が受ける力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * \left(\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10}\right)^{0.15}\right)^{2}\right)}{2}$$

$$* 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \quad [N] \qquad (20)$$

より、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3}) \qquad (21)$$

となる。θ ＝0 のものが大きいとして、

$$g(t) = f(t) + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} \quad (22)$$

を考える。（（８）式を使った。）

$$0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 0.003 * 398.11\{1 + 0.65\sin(\omega t) + 0.05sin^2(\omega t) - 0.006sin^3(\omega t) + \cdots\} \quad (23)$$

となり、冪乗の項を倍角で表現して計算すれば、

$$M = k * g(t) = 221955.93 + 139.77\sin(\omega t) - 5.28\cos(2\omega t) + 308.08\sin(3\omega t) + \cdots \quad (24)$$

を得る。これが、超低周波音での、0.27Hz、0.53Hz 成分が出現する根拠である。

（３）0.8Hz、1.6Hz、2.4Hz、…が出現する根拠
　次の命題に注目する。

命題；$(sinx)^n$は、定数と$\sin(mx)$、$\cos(mx)$（m＝1～n）の一次式で表現できる。（Cos も同様）

n＝１の場合は、$(sinx)^1 = \sin(1x)$　で正しい。
n＝k の時に成立すると仮定すると、

$$(sinx)^{k+1} = f_k(x) * sinx \quad , \qquad (25)$$

定数*sinx　は条件を満たし、

$$\sin(mx) * sinx = -(\cos(mx + x) - \cos(mx - x))/2 \quad (26)$$

$$\cos(mx) * sinx = (\sin(x + mx) + sin(x - mx))/2 \quad (27)$$

となるので、（25）式は、定数と$\sin(mx)$、$\cos(mx)$（m＝1～k+1）の一次式で表現できる。

よって、$(sinx)^n = f_n(x)$は次の形で書ける。

$$f_n(x) = c_n + \sum_{m=1}^{n} a_m \sin(mx) + \sum_{m=1}^{n} b_m \cos(mx)$$

（28）

そこで

$$(sinx)^n + (\sin\left(x + \frac{2\pi}{3}\right))^n + (\sin(x + \frac{4\pi}{3}))^n$$

（29）

を考えるには、１次式の和

$$\sin(mx) + \sin\left(m(x + \frac{2\pi}{3})\right) + \sin(m\left(x + \frac{4\pi}{3}\right))$$

（30）

について調べればよいことになる。
m＝3k、m＝3k+1，m＝3k+2　　（k＝0,1,2,…）
の場合に分けて考える。
m=3k の場合は、

$$\sin(3kx) + \sin\left(3kx + \frac{6\pi k}{3}\right) + \sin\left(3kx + \frac{12\pi k}{3}\right) = 3 * \sin(3kx)$$　　（31）

m=3k+1 の場合は、

$$\sin((3k+1)\,x) + \sin\left((3k+1)x + \frac{6\pi k + 2\pi}{3}\right) + \sin\left((3k+1)x + \frac{12\pi k + 4\pi}{3}\right) = 0$$

（32）

となる（m=3k+2 の場合も同様）。よって、

$$f_n(x) + f_n(x + 2\pi/3) + f_n(x + 4\pi/3)$$　　（33）

には、$\sin(3mx)$，$\cos(3mx)$ のような形の項と定数だけが残る。これが、0.8Hz より大きな周波数、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz でピーク値となる理由である。
（８）（９）式には、（10）の展開式を長くしても、
定数項と、$\sin(3m\omega t)$，$\cos(3m\omega t)$の項しか残らない。
塔には､ブレードの揚力による力のほかに､塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がる。

高さによって風速が異なるので、ブレードの揚力は塔にかかる力を周期的に変化させる。３枚のブレードが完全に均等で風が安定していても、3*R/60[Hz]のほかに、2*3*R/60[Hz]、 3*3*R/60[Hz]、4*3*R/60[Hz]、...の揺れが発生する。
さらに、１枚のブレードが少しだけ大きい場合や、風に対する角度が他の２枚と少しだけ異なる場合には、風車の変動に、R/60[Hz]の他に、2*R/60[Hz]、 3*R/60 [Hz]、の揺れも含まれる。
この力が塔に作用すれば、塔の切り口は楕円となり、塔の側面での振動が起きる。この結果、側面が大きく振動する方向への指向性を持った超低周波音が発生する。
規則的な周波数を持ち、ブレードの回転に起因する塔の振動で発生する音を“風雑音”と言ってはならない。“風車から超低周波音が発生する”のである。
図４は“風雑音”を表すが、図３は風車からの超低周波音を表す。音の持つ指向性と周波数の規則性がその特徴である。
胴の部分に２つの太鼓、上部に笛を付けた楽器のようなイメージを図１３に示す。これは、塔内の気圧変動も含めて、風車音の特徴を考えた上での、風車から音が発生する仕組みを表す模式図である。

Fig.13 Image of Wind turbine noise

１０．室内での計測とカオス理論
“低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化”7) には、“室内の音場は特に低周波数領域では複雑で、物理的にも難しい問題を多く含んでいる。”と書かれている。
室内の音の解析は難しいが、カオス理論を使えば困難を克服できる。図 14 は、製鉄所内の騒音から故障している機械を見つける為の解析である。
１段目は騒音のグラフ、２段目は周波数スペクトル、３段目は Wavelet 解析。 ここまでの解析では特徴が不明だが、“Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits”8)を使えば４段目のグラフとなる。

Fig.14 Effect of Chaos theory

４段目はラクダが座っているようなグラフで、コブが１つなら固有振動数が１つ、コブが２つなら固有振動数が２つの物の振動を表す。中央のグラフは固有振動数を２つ持つ四角い篩が原因であることを示している。

１１．風車音で留意すべき事項

音圧と圧迫感の関連を調べるには、最大音圧をパスカル値のままで扱う必要がある。また、音圧の変動に関しては、音響キャビテーションによる気泡発生の可能性も検討する必要がある。体内に小さな気泡が発生すれば、潜水病と同じ状態になり頭痛が起きる。ほんの少しの可能性でも詳細に検討すべきである。(“泡のエンジニアリング” 9))

１２．まとめ

水平軸型の風車が超低周波音の発生装置そのものであることが示されたが、パリのエッフェル塔には、希望の灯が残っている。そこでは音も静かで振動も少ない垂直軸の風車が発電をしている。垂直軸型の風車から超低周波音が発生する要因は見あたらない。

（2015 年 2 月、エッフェル塔に 2 機の風力発電機が地上約 120 メートルの部分に設置された。）

１３．引用文献

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008

4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990

5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010

6) M.S.Howe, 空力音響学, 共立出版、初版、2015

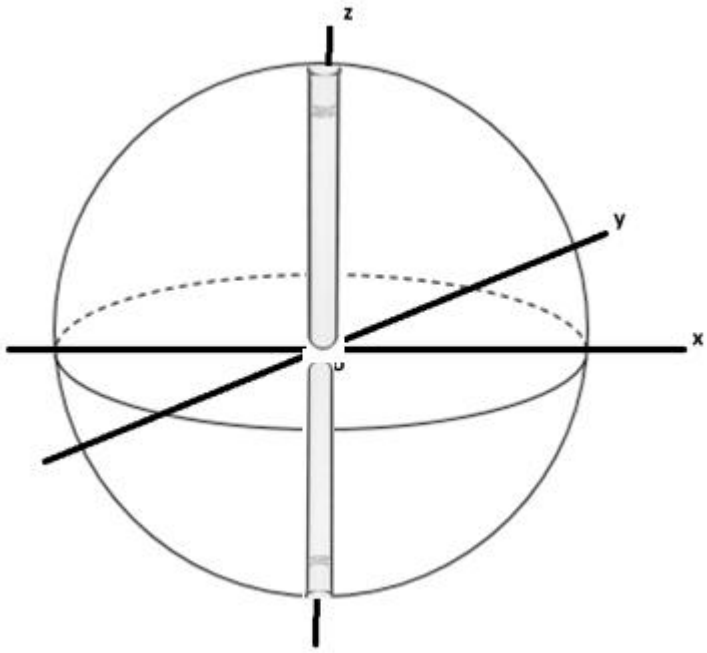
7) 橘秀樹, 福島昭則, 落合博明,低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化,日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, Vol. 2017:春季 p.13-16, 2017

8) Vesna Rubežić, Igor Djurović, Ervin Sejdić,

Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits,
COMPEL The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering 36(1):188-201, January 2017
9) 石井俶夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム，初版, 2005

１０．３．２　圧縮と膨張

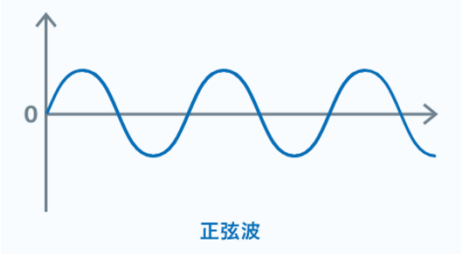
人体を半径 0.5ｍの球とみる。表面積は 4*3.14*0.5*0.5＝3.14 ㎡
表面の部分は体重（60ｋ ｇ）に相当する質量を持ち、面密度は 60/3.14＝19kg/m^2
音（平面波）の波面に対して、ｘ軸が垂直になっているとする。
音速は 340m/秒とする。
パスカル値については、1 パスカルは、1 平方メートル（m2）の面積につき 1 ニュートン（N）の力が作用する圧力または応力と定義されている[1]。
ニュートンについては、1 ニュートンは、1 kg の質量を持つ物体に 1 m/s2 の加速度を生じさせる力である。



北極と南極に向けた２本の試験官のような部分を考える。
試験管の半径をｒ＝0.005ｍ、断面積を ds＝π*0.000025＝0.0000785 [m^2]、
殻の部分の密度をρ＝19.1kg/m^2 とする。
試験管の口の部分の質量は M=ρ*ds＝19*π*0.000025＝0.0015 [kg]となる。

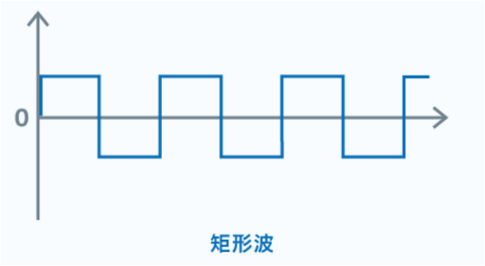
この部分を、ｙ ｚ平面に平行な平面波が通過すると考える。
試験管の口の部分での音圧 P(t)が

$$P(t) = A\sin\omega t$$



としたいのだが、

計算を簡単にするために、矩形波で考える。



矩形波

音が来る前の大気圧をP_0と置く。試験管の中の圧力も同じだったとする。
試験管の蓋に掛かる圧力は$P_0 + A$と$P_0 - A$の繰り返しとなる。

1000Hz の音波が通過する場合を考える。
音速は 340m/秒なので、波長は、340/1000＝0.34m
$P_0 + A$の部分の長さは、0.17m＝170ｃｍ
この部分が蓋の部分を通過する時間は、0.17/340＝0.0005 秒
よって、0.0005 秒ごとに、蓋に掛かる圧力が変化することになる。

内圧がP_0で外圧が$P_0 + A$になったとすれば、蓋に掛かる力は（A*蓋の面積）パスカルになる。
この状態が dt 秒間継続したとすれば、Ｆ＝ｍαより、
A*ds=Mα
α＝A*ds/M
となり、dt 秒後には、測度 v1=αdt、移動距離は初速度 v0=0 なので、
dl=(1/2)α(dt)^2+v0*dt
となる。
試験管の長さを、L とすれば試験管の容積は L*ds となる。dt 秒後の状態は、蓋が移動したので試験管内の容積は、ds*(L-dl)に変わる。
容積が減ったので、管内の気圧が上がりP_1となる。
とりあえず、管内の気体の温度は同じと仮定する。（あとで修正する）
$P_1 * ds * (L - dl) = P_0 * ds * L$
よって、dt 秒後の状態は、
v1＝α*dt
dl=(1/2)α(dt)^2

$$P_1 = P_0 * L/(L - dl)$$
$$L_1 = (L - dl)$$

となる。

次は、外圧は$P_0 + A$、内圧は　$P_1 = P_0 * L/(L - dl)$として考える。この時の初速度は v1、
蓋に掛かる圧力差は$P_0 + A - P_1$、これが蓋 ds の部分を押す。
加速度α_1として、$(P_0 + A - P_1) * ds = M * \alpha_1$

$$\alpha_1 = \frac{(P_0 + A - P_1) * ds}{M}$$

$$dl_1 = v1 * dt + \left(\frac{1}{2}\right)\alpha_1 * dt^2$$

$$v2 = v1 + \alpha_1 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、$ds * (L - dl - dl_1)$に変わる。
試験管内の圧力P_2は、$P_2 * ds * (L - dl - dl_1) = P_1 * ds * (L - dl) = P_0 * ds * L$より、

$$P_2 = P_1 * (L - dl)/(L - dl - dl_1) = P_0 * L/(L - dl - dl_1)$$

$$L_2 = (L - dl - dl_1)$$

次は、外圧は$P_0 + A$、内圧は　$P_2 = P_0 * L/(L - dl - dl_1)$として考える。
蓋に掛かる圧力差は$P_0 + A - P_2$、これが蓋 ds の部分を押す。
加速度α_2として、$(P_0 + A - P_2) * ds = M * \alpha_2$
初速度は v2

$$\alpha_2 = \frac{(P_0 + A - P_2) * ds}{M}$$

$$dl_2 = v2 * dt + \left(\frac{1}{2}\right)\alpha_2 * dt^2$$

$$v3 = v2 + \alpha_2 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、$ds * (L - dl - dl_1 - dl_2)$に変わる。
試験管内の圧力P_3は、$P_3 * ds * (L - dl - dl_1 - dl_2) = P_0 * ds * L$より、

$$P_3 = P_0 * L/(L - dl - dl_1 - dl_2)$$

$$L_3 = (L - dl - dl_1 - dl_2)$$

次は、外圧は$P_0 + A$、内圧は$P_3 = P_0 * L/(L - dl - dl_1 - dl_2)$として考える。
蓋に掛かる圧力差は$P_0 + A - P_3$、これが蓋 ds の部分を押す。
加速度α_1として、$(P_0 + A - P_3) * ds = M * \alpha_3$
初速度は v3

$$\alpha_3 = \frac{(P_0 + A - P_3) * ds}{M}$$

$$dl_3 = v3 * dt + \left(\frac{1}{2}\right)\alpha_3 * dt^2$$

$$v4 = v3 + \alpha_3 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、$ds * (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$に変わる。
試験管内の圧力P_4は、$P_4 * ds * (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3) = P_0 * ds * L$より、

$$P_4 = P_0 * L/(L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$

$$L_4 = (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$

次は、外圧は$P_0 + A$、内圧は$P_4 = P_0 * L/(L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$として考える。
蓋に掛かる圧力差は$P_0 + A - P_4$、これが蓋 ds の部分を押す力になる。

加速度α_1として、$(P_0 + A - P_4) * ds = M * \alpha_4$
初速度は v4

$$\alpha_4 = \frac{(P_0 + A - P_4) * ds}{M}$$

$$dl_4 = v4 * dt + \left(\frac{1}{2}\right)\alpha_4 * dt^2$$

$$v5 = v4 + \alpha_4 * dt$$

以下、同様。

となる。

dt=0.00125 秒、L＝0.5m、M=ρ*ds＝0.0015kg、A＝1、として上記の計算をすれば、
dt* k ＝周期/2　となるまでは内部の圧力が上昇するが、その後は、外の気圧が、外圧は$P_0 - A$となるので、試験管内の空気は膨張を開始する。この膨張は、周期/2 の間だけ継続する。その後、外圧は$P_0 + A$となり、また、圧縮過程に入る。

最初の圧縮過程が終了する時点での試験管内の圧力は次の表のようになる。

周波数	0.5	1	2	10	20	50	100	200
周期/2	1	0.5	0.25	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025
内気圧	102400.9991	102400.9742	102400.861	102400.467	102400.369	102400.303	102400.132	102400.033

回数	外気圧	外力	気柱長さ	気柱体積	内気圧	内力	気圧差	外力－内力	初速度	加速度	終速度	移動距離 dl	開始秒	終了秒
0	102401	8.0384785	0.5000000000	0.00003925	102400	8.0384	1	7.85E-05	0	0.05233333	6.5417E-05	4.08854E-08	0	0.00125
1	102401	8.0384785	0.4999999591	3.925E-05	102400.0084	8.03840066	0.99162667	7.7843E-05	6.5417E-05	0.05189513	0.00013029	1.22314E-07	0.00125	0.0025
2	102401	8.0384785	0.4999998368	3.925E-05	102400.0334	8.03840262	0.96657677	7.5876E-05	0.00013029	0.05058418	0.00019352	2.02376E-07	0.0025	0.00375
3	102401	8.0384785	0.4999996344	3.925E-05	102400.0749	8.03840588	0.92513015	7.2623E-05	0.00019352	0.04841514	0.00025403	2.79719E-07	0.00375	0.005
4	102401	8.0384785	0.4999993547	3.92499E-05	102400.1322	8.03841037	0.86784356	6.8126E-05	0.00025403	0.04541715	0.00031081	3.53026E-07	0.005	0.00625
5	102401	8.0384785	0.4999990017	3.92499E-05	102400.2045	8.03841605	0.79554369	6.245E-05	0.00031081	0.04163345	0.00036285	4.21034E-07	0.00625	0.0075
6	102401	8.0384785	0.4999985806	3.92499E-05	102400.2907	8.03842282	0.70931554	5.5681E-05	0.00036285	0.03712085	0.00040925	2.90007E-08	0.0075	0.00875
7	102401	8.0384785	0.4999985516	3.92499E-05	102400.2966	8.03842328	0.70337617	5.5215E-05	0.00040925	0.03681002	0.00045526	2.87578E-08	0.00875	0.01
8	102401	8.0384785	0.4999985229	3.92499E-05	102400.3025	8.03842375	0.69748653	5.4753E-05	0.00045526	0.0365018	0.00050089	2.8517E-08	0.01	0.01125

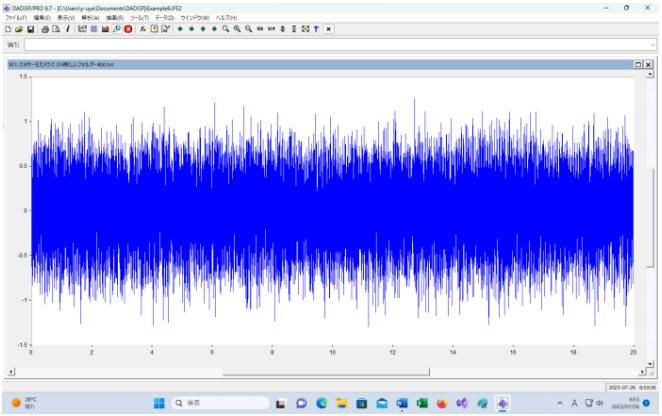
気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、
200Hz だと、体内の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
100Hz だと、体内の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
10Hz だと、体内の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
1Hz だと、体内の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
0.5Hz だと、体内の圧力は 0.999 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

周波数が低いほど、体内の圧力変動が大きくなる。
200Hz 以上ならば、体内の圧力はほとんど変化しないが、10Hz 以下では、かなりの圧縮が起きる。
これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。

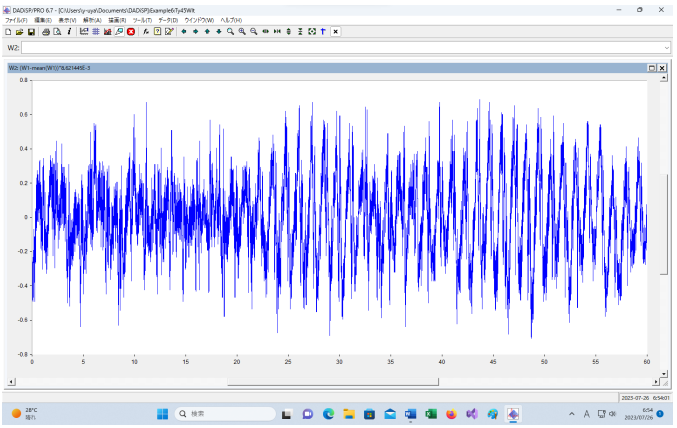
この圧力変動は、体内での気泡の溶解と発生の平衡状態を、発生が多い方に傾かせる。

ここでの計算は、波形が矩形波に近い場合でないと適用できない。

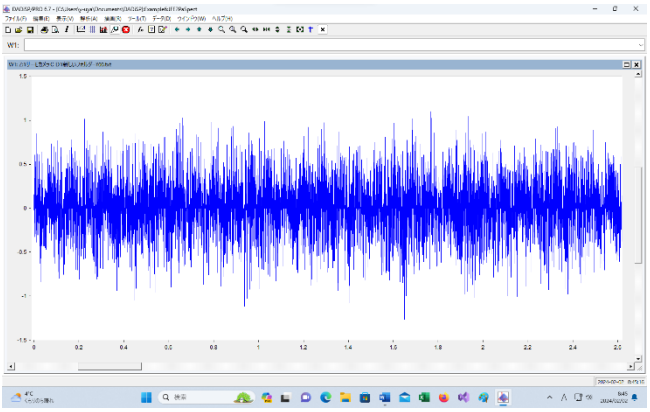
JFE の製鉄所内の音



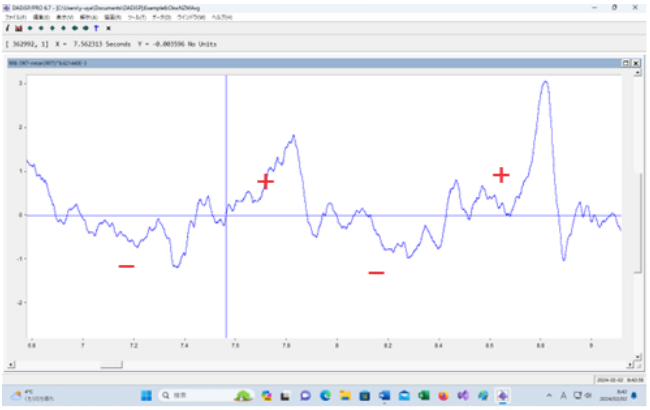
館山の風車音



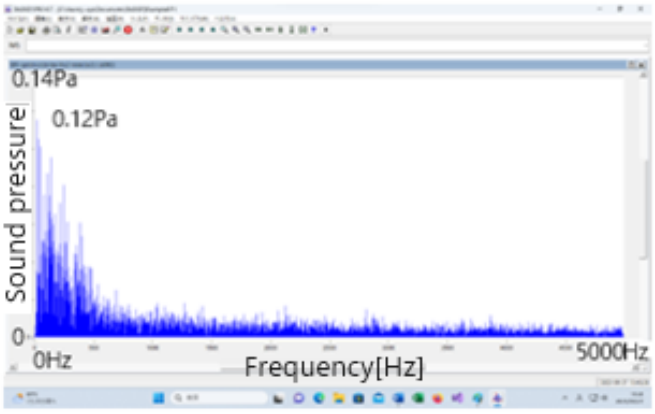
工場騒音の、2.6 秒間の波形



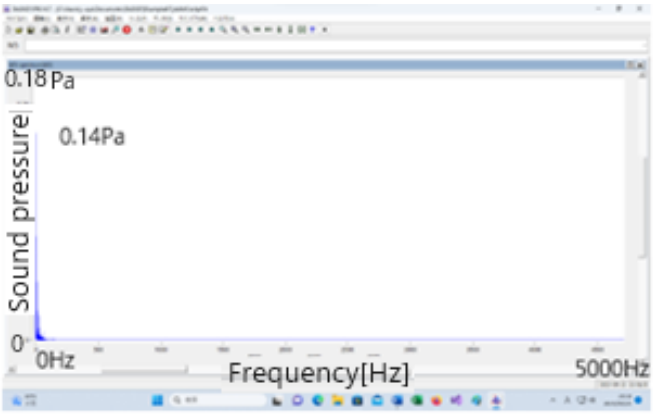
風車音の 2.2 秒間の波形



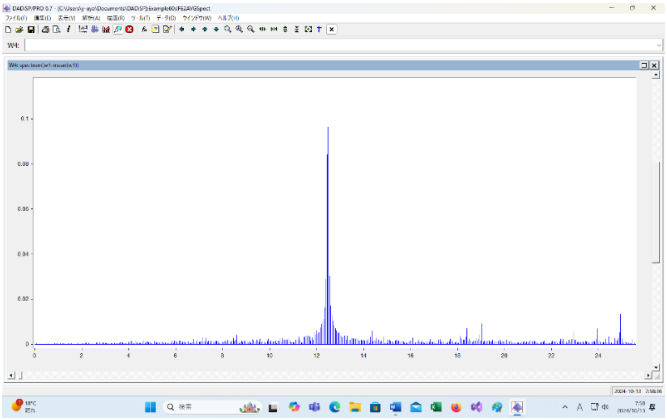
製鉄所(0～5ｋHz)；最大 0.12[Pa](12Hz)



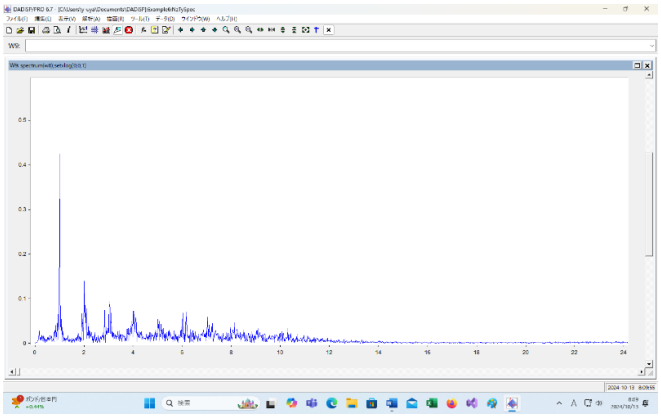
風車音(0～5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)



工場騒音 0 ～25Hz、最大音圧 0.1[Pa] （12.5Hz）



風車音（強風）0 ～24Hz、最大音圧 0.42[Pa]（1Hz）



エネルギーの分布

周波数帯	0 ～20Hz	20～200Hz	200～24 k Hz	0～24 k Hz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m2
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m2
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m2
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m2
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m2

工場での音は、12.5Hz での音圧が 0.1 パスカルであるが、波形を決定するのは、エネルギーからみても、収録した波形から見ても 20～24 k Hz の部分であると言える。音圧の変動が激しいので、圧縮過程や膨張過程が継続できないので、体内の圧力を大きく変化させる力はない。

風車音では、エネルギーの分布を見れば、0～20Hz の成分が圧倒的に強く、この部分が波形を決める。強風時には、f=RZ/60Hz の波による音圧変動に近い形での圧縮と膨張が起こる。

ｆ＝0.5Ｈｚ、ｆ＝1Ｈｚでは、音の音圧変動と体内での音圧変動の大きさは同程度になる。
結果として、工場音では体内での音響キャビテーションは起きないが、風車音では起きると考えられる。

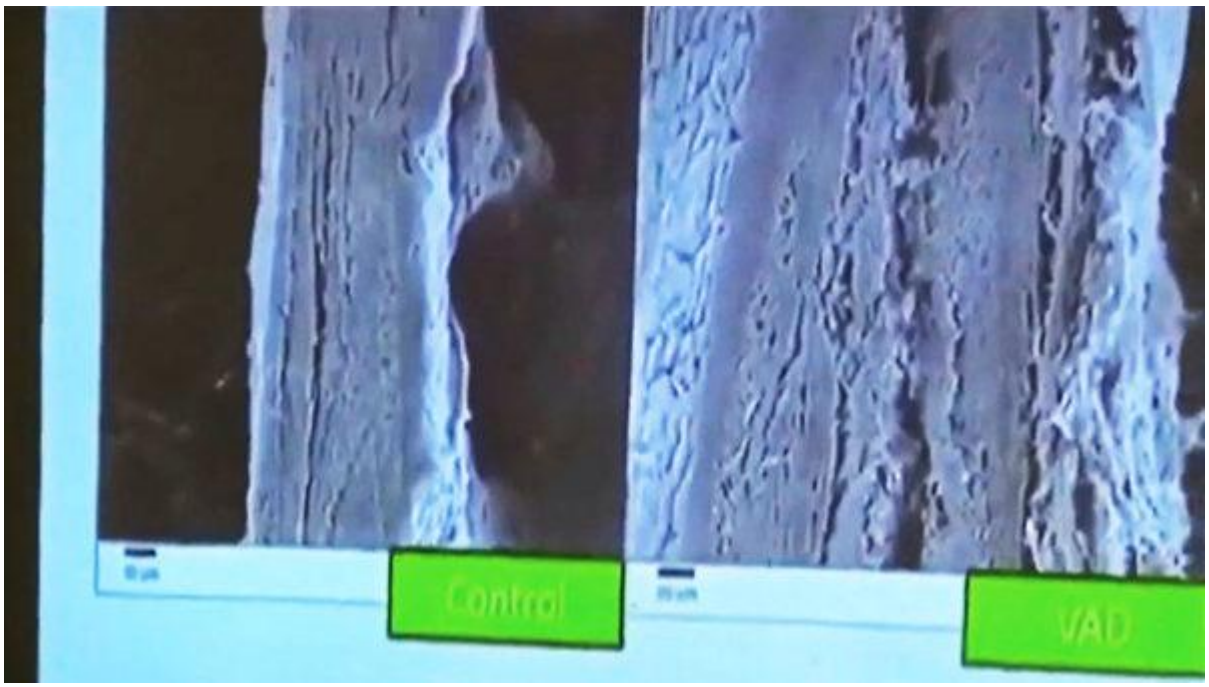
１０．３．３　長期曝露による循環器障害

長周新聞の記事に次ものがある。
低周波音の人体への影響を解明　　マリアナ・アルヴェス・ペレイラ博士の報告から
博士は、

“その結果、腎臓と脳に腫瘍が見つかった。それまでの検診では見つけることができなかった腫瘍だった。もっとも驚いたのは、梗塞で心臓発作を起こした傷跡が１１もあったことだ。そして１２回目の発作で亡くなった。１２番目の傷跡は２㍉以下で、通常は梗塞の傷跡と見なさない小さなサイズだった。さらに通常では考えられないことだが、心臓血管構造の異常な肥厚が見つかった。

そして心膜と呼ばれる部分も肥厚していた。心臓の膜である心膜はとても薄く、正常な心膜の厚さは０・５㍉未満だ。ところが低周波音に暴露した患者は、心膜が２・３㍉にもなる。

これは心臓手術を受けた患者の心膜の写真だ【写真①参照】。２人とも心臓血管に異常があった。左の人は騒音が原因ではなく、右の人は騒音が原因だった。心膜が異常に肥厚していることがわかる。



写真①心臓手術を受けた患者の心膜の写真。右が騒音が原因の患者。肥厚している（倍率は同じ）

心臓血管構造の肥厚は、心膜だけに起こることではない。血管でも起こる。血管の壁で起こる。血液が流れる血管の壁は本来は薄いものだが、それが肥厚する。動脈の壁がどんどん厚くなると、動脈は閉じてしまう。低周波音に暴露した患者は、血管の中にコレステロールがたまったのではなく、壁が肥厚した結果、閉じてしまうのだ。たとえば冠状静脈はとても小さくて、すぐに詰まってしまう。だから、このスタッフの場合、１１もの梗塞の跡があったのだ。そうなるともう血液が流れないから、問題が起こるわけだ。

この肥厚はコラーゲンとエラスチンが異常に増えたために起こると私たちは考えている。専門用語で形態形成という。そこにあるはずのない組織の発達という意味だ。これが低周波音のせいで起きているとは、最初は思いもよらなかった。身体全体が「生物によらない機械的な力」にさらされたために、身体がその力に対抗しようとして起こったのだ。

１９９９年、この病気の進行の仕方について研究することになった。３０６人の航空技術者のグループを基本に、心臓血管病、糖尿病、連鎖球菌感染症がある人、精神安定剤を服用している人は除外し、残った１４０人の男性が研究対象になった。その１４０人が４年間、エンジンテストで低周波音に暴露され続けると、７０人以上（５０％以上）が気管支炎を発症した。１０年の暴露で、７０人以上が血尿を発症した。

もう一つ重要なことは、症状が蓄積していくということだった。気管支炎にかかっている状態で、さらに鼻からの出血やひどい筋肉痛が加わるのだ。血尿も止まらない。“
と述べている。

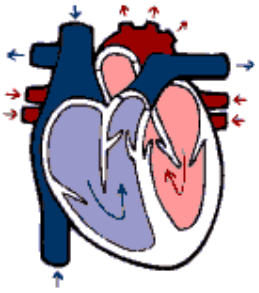
風車音の影響による体内の圧力変動は、航空機での音よりも大きいと考えられる。理由はその周波数特性にある。周波数が低いほど、体内の圧力変動に大きく影響するからである。

博士がこれに気が付かなかった理由は、
風車音の発生する物理的な仕組みを解明しなかった。
オクターブ解析に拘り過ぎたので、正確な周波数（f=RZ/60Hz）と音圧を把握できなかった。
ことにある。

高血圧症のはなし

高血圧との関連で言えば、体全体が圧縮されている場合は、末梢血管の直径も小さくなり、末梢血管の抵抗が増し、血流が流れづらくなる。この時には血圧が上昇する。

高血圧とは



血液は全身に張り巡らされた血管を流れて、身体の各部分に養分と酸素を供給し老廃物を回収しています。この血液は心臓が収縮することで、動脈に押し出され、心臓が拡張するときに静脈から心臓に戻ります。

心臓が収縮するときに動脈の血管にかかる圧力を収縮期血圧と言い、心臓が拡張してもなお血管内に残っている圧力を拡張期血圧と言います。

この血圧は体内を循環している血液の量と心臓の収縮で送り出される血液量とで決まりますが、どちらの量も増加することで血圧が上昇します。

また、同時に血管壁の弾力性も血圧を決定する要因の一つで、血管がしなやかだと、血液の量が増えても血管壁が膨らんで血圧が急に高くなることを防ぎます。逆に血管に弾力性がないと血管の内圧が高まり血圧が上昇します。これを血管の抵抗と言います。実際には太い血管から枝分かれした抹消血管が硬くなり内空が狭くなって血流が流れづらくなって抹消血管の抵抗が増加した場合に血圧が上昇するようです。

高血圧は痛みやめまいなどの自覚症状に乏しく、そのため軽く見てしまいがちです。しかし、それをほうっておくと動脈硬化が進行し、脳卒中や心臓病などの命にかかわる合併症を引き起こします。

さらに、

4. 高血圧で起きる病気

高血圧を放置しておくと体中の血管の壁に強い負担がかかります。すると、その刺激で血管は収縮し、さらに血管の内腔は狭くなります。また、血管壁には強い圧力がかかるため血管壁自体も補強され厚くなり、その結果さらに内腔は狭くなって、動脈硬化が促進されます。

動脈硬化による血管の内腔の狭窄が進めば血液の流れは悪くなり、やがて血流は完全に途絶えてしまいます。 血液は全身に酸素や養分を運んでいるので、その血流が悪くなると全身にさまざまな支障を与える重大な病気を引き起こしてしまいます。

次に、高血圧によって引き起こされる代表的な病気について考えてみましょう。

1) 動脈硬化症	血管の壁が厚くなって弾力性が失われるなどして、もろくなり、内腔が狭くなった状態を言います。
2) 脳卒中	脳の血管がもろくなって破れ、脳出血が起こります。また動脈硬化で脳の血管が詰まれば脳梗塞が引き起こされます。
3) 心臓病	心臓の筋肉を養っている冠状動脈が動脈硬化で狭くなると狭心症を引き起こします。狭くなった血管が血栓で詰まると心筋梗塞となり命にかかわる大事になります。

となるので、
血管壁は厚くなるようです。
動脈硬化、脳卒中、心臓病、が起きる可能性が高まります。

知り合いの医師に教えていただいたのですが、

“大動脈のような、大きな血管壁は、mri や CT などで評価可能です。また、最近の血管の超音波検査（エコー）はかなり進んでいて、最新型のものであれば、かなり評価できます。一方、静脈壁の評価はかなり困難で、静脈内の血栓などの評価のみになります。また、毛細血管が、一番外因を受けやすいと思いますが、現在のところ、画像での評価は困難です。”

とのことでした。
超低周波音の曝露と動脈の血管壁の厚さについては、どちらも客観的に計測できるので、統計的な因果関係の証拠になる。

被験者の体調の把握にはスマートウォッチも使えます。

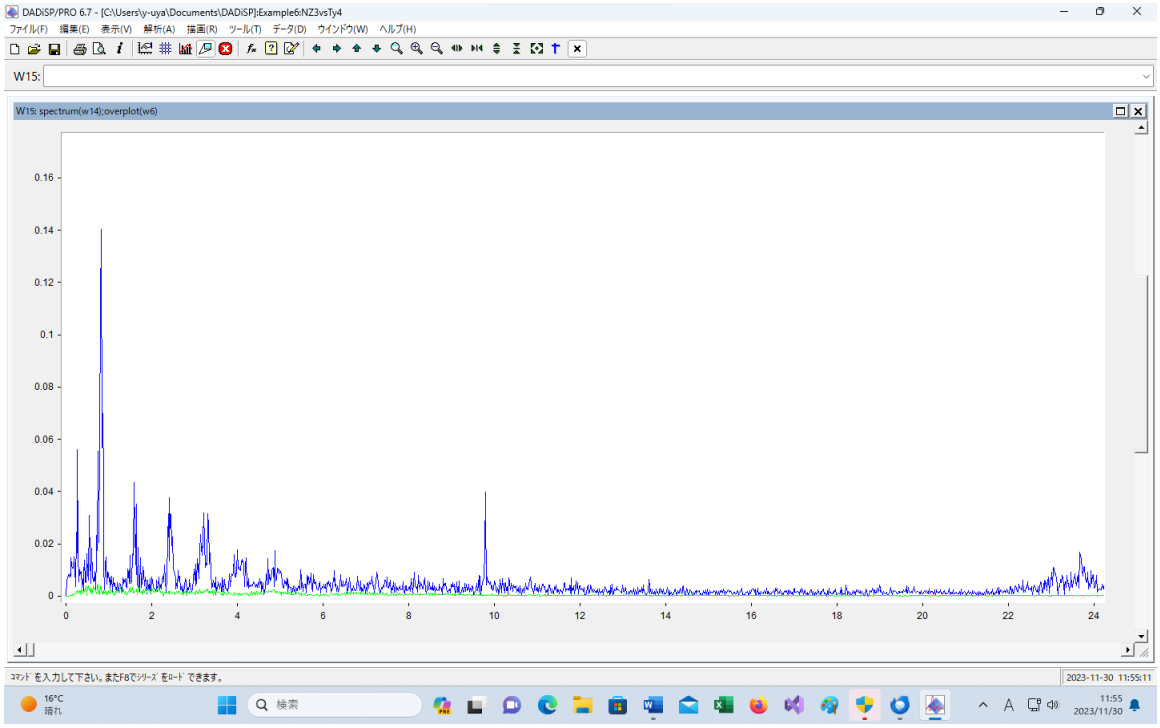
この数値と、眠る人の近くに精密騒音計を置いて 6 時間の連速測定を置きなった結果を Wavelet 解析すれば関連性についての証拠の一つが得られます。

末梢血管での流量の変化と血圧の変化については、次の資料を参考にしてより詳細に記述する予定である。

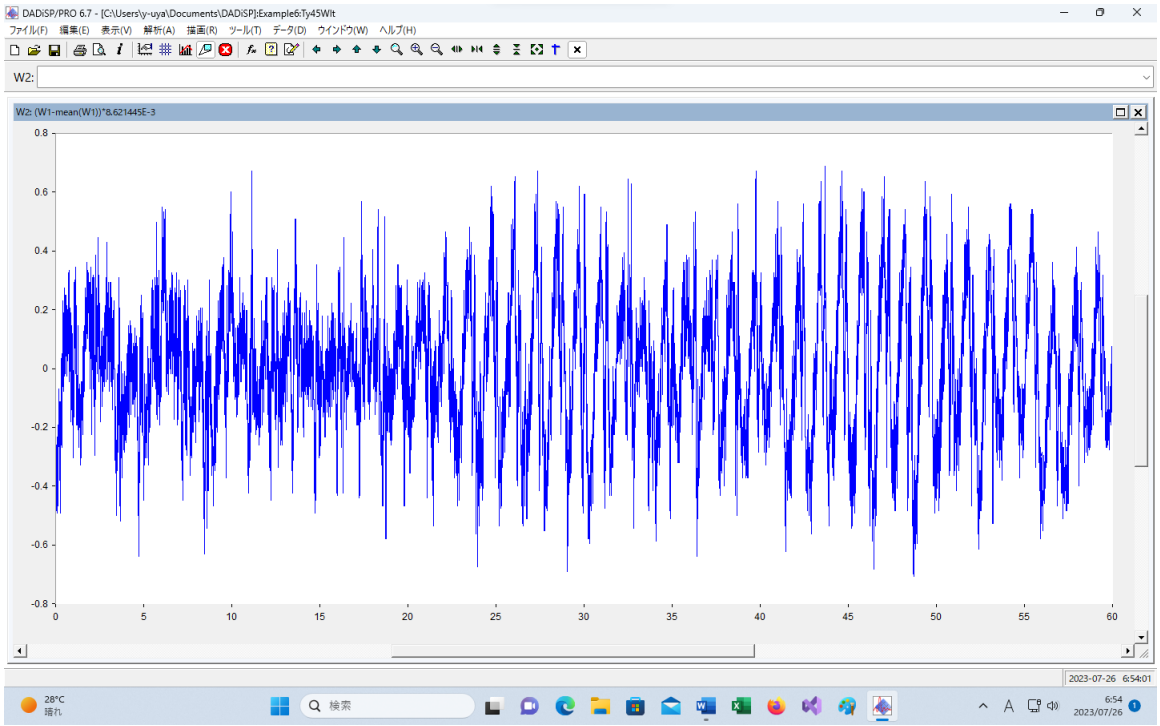
[衝撃問題における応力波の伝播と反射・透過について]
[いろいろな弾性波（その 1）]
[金属中の応力波伝播(高速変形の力学の基礎)]

１０．３．４　音響キャビテーションと頭痛

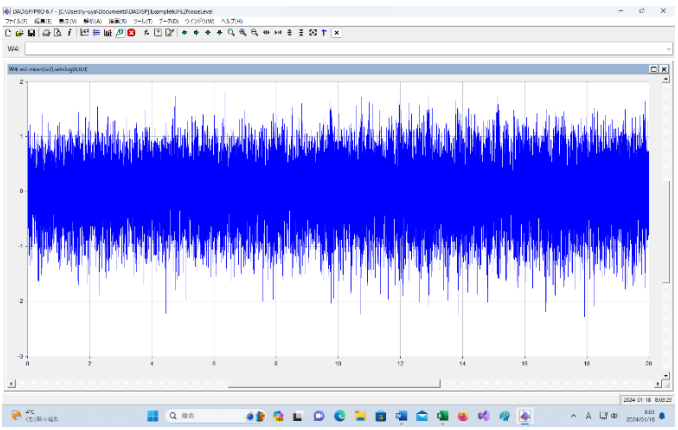
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、f=RZ/60＝１Ｈｚの成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。

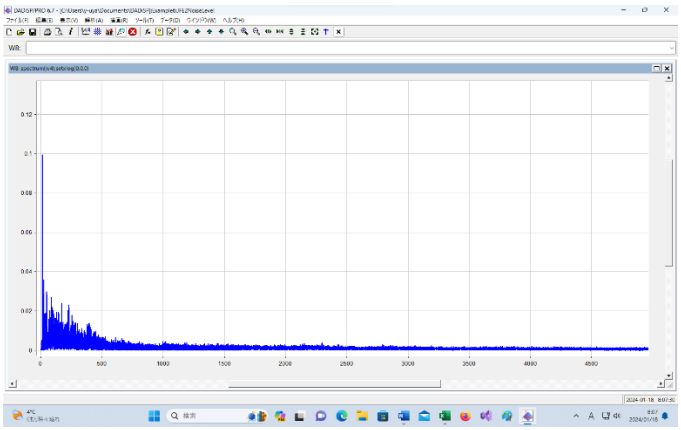


グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。

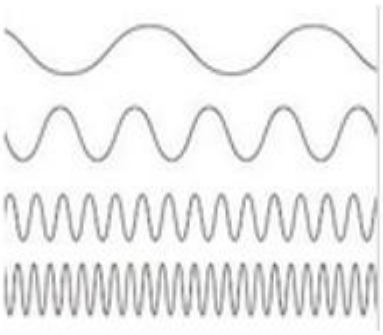


JFE の工場での音の全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。



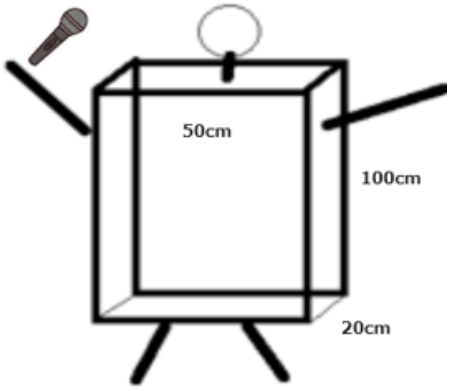


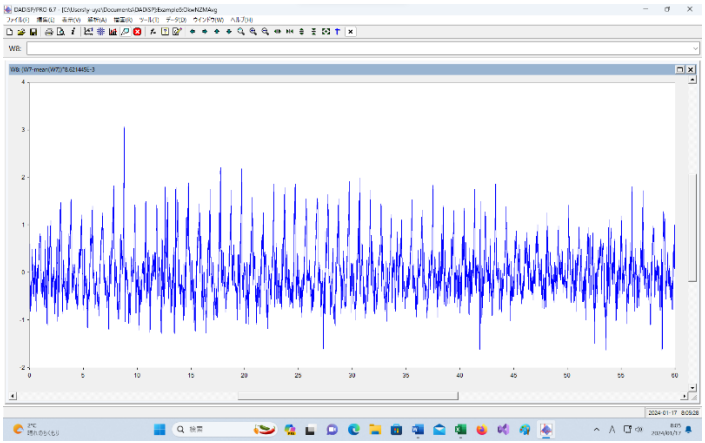
この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



いろいろな波長の音が、秒速 340ｍで風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50ｃｍ、胴長 100ｃｍ、厚み 20ｃｍとして、音は平面波とします。

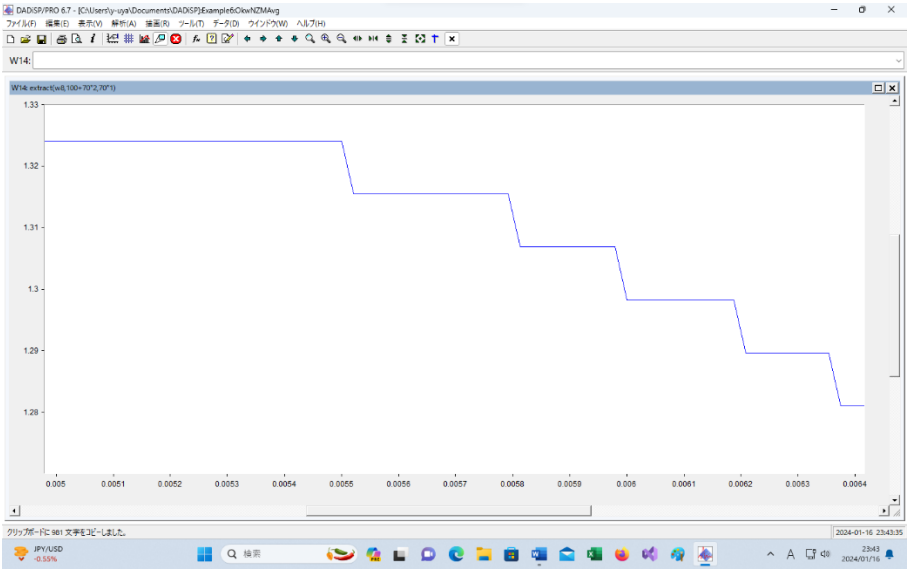
音速が 340ｍですから、体の右側から、マイクのある体の左側までは、0.5/340 秒です。マイクが音圧を計測する回数が 1 秒間に 48000 回だとすれば、0.5/340 秒では、48000*0.5/340＝70.6＝70 回です。





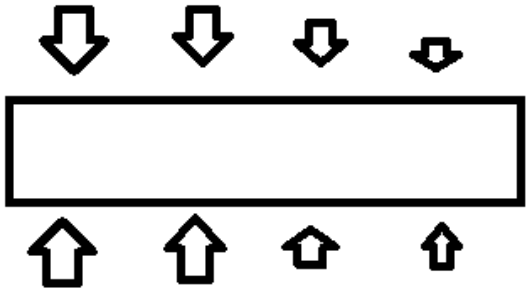
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



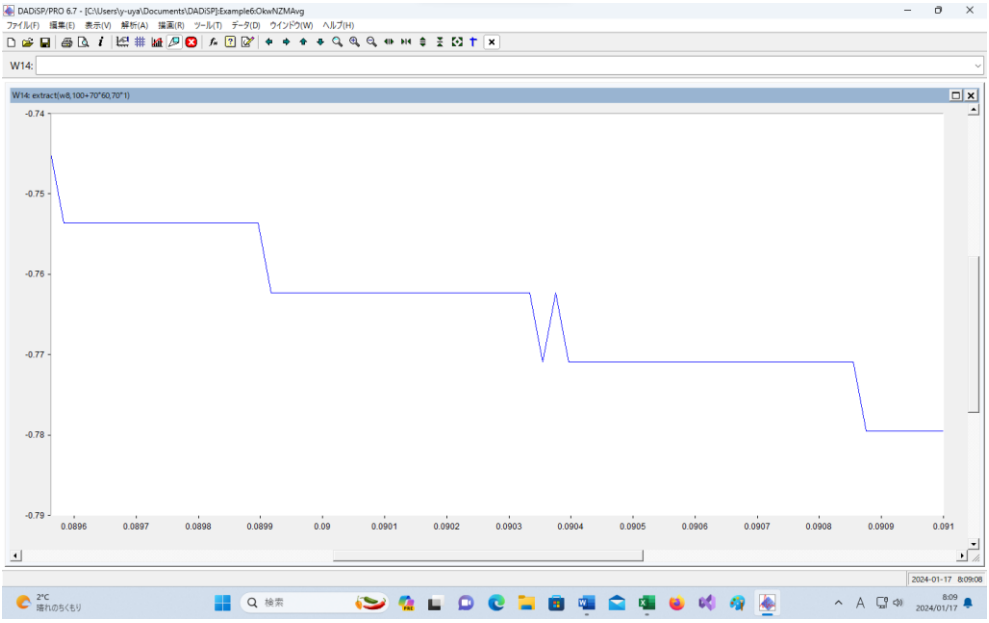
となり、数値は、

1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.324106		1.306864		1.289621
1.324106		1.315485		1.306864		1.289621
1.324106		1.315485		1.306864		1.280999
1.324106		1.315485		1.306864		1.280999
1.324106		1.315485		1.298242		1.280999
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		合計
1.324106		1.315485		1.298242		91.74771
1.324106		1.315485		1.298242		
1.324106		1.315485		1.298242		平均
1.324106		1.315485		1.289621		1.310682



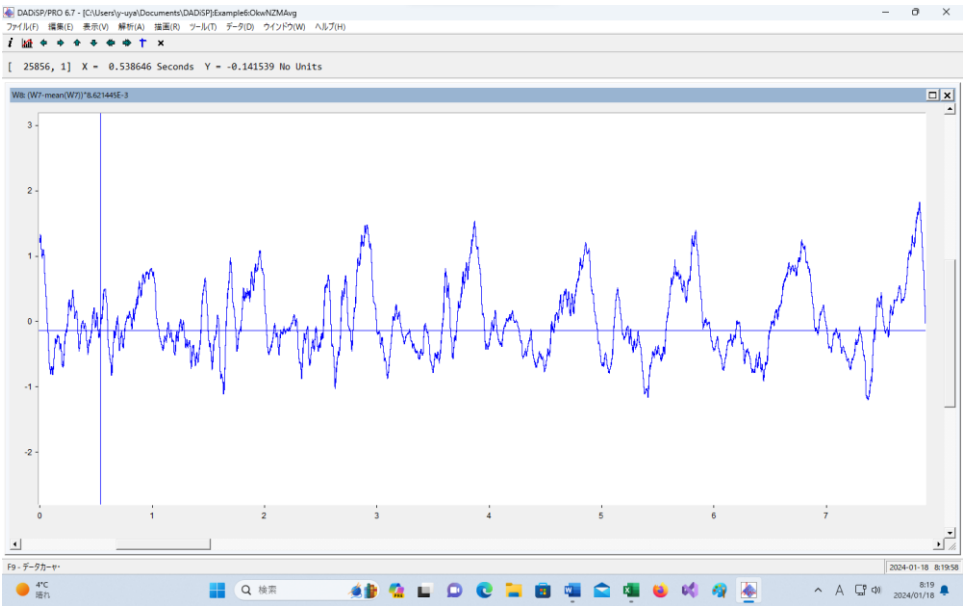
合計：91Pa、平均：1.3Pa です。この時は、体全体が押しつぶされる状態です。

もちろん、



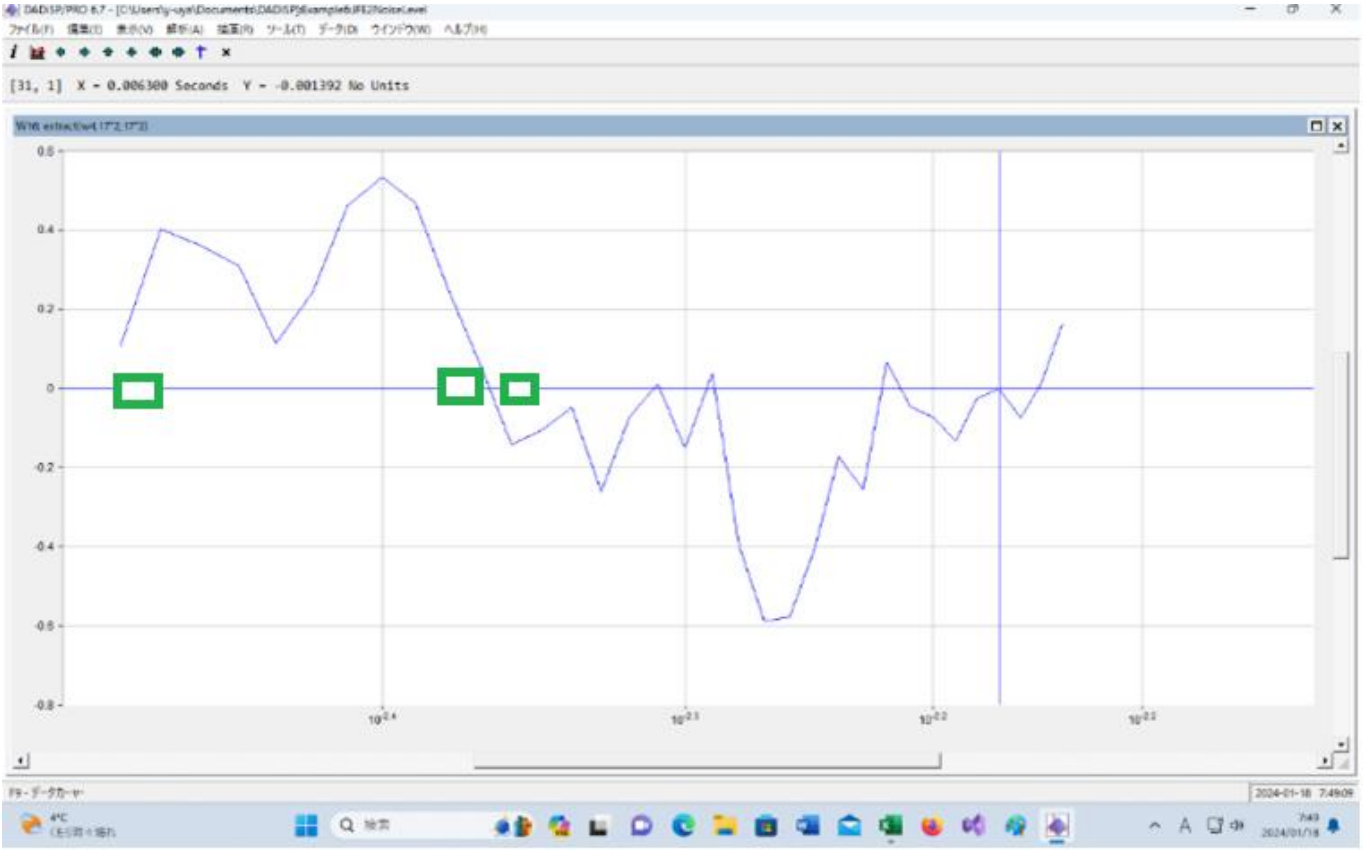
もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。
上のグラフの値は、-0.77Pa 程度です。強制的に膨張させられている状態です。

風車音の場合は、50ｃｍの全体が圧縮される時間が 0.5 秒、膨張させられる時間が 0.5 秒であることが次のグラフから分かります。



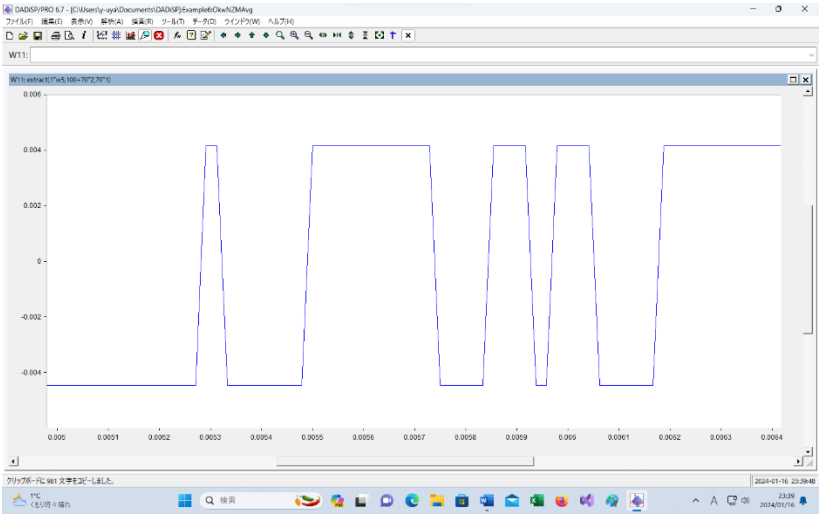
人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。
　物理的は圧力が周期的に変化するのです。

工場音の場合は、秒速 340ｍの音が 50ｃｍを通過するのに必要な時間は、0.001 秒です。0.002 秒間の波形を拡大してみれば、次のグラフになります。



圧縮、膨張の継続時間は 0.04-2*0.001＝0.038 秒程度です。時間が短いので、皮膚が圧縮での運動を開始したとたんに膨張の動きを開始します。他は、50ｃｍの範囲内に圧縮と膨張が混在します。
体内への圧力変動に要る影響は軽微だと考えられます。

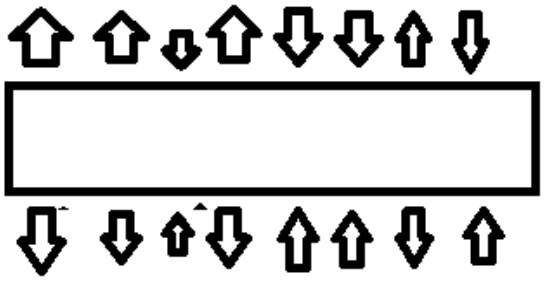
神社での音の音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



であり、

数値は、

-0.00446		-0.00446		-0.00446		0.00416
-0.00446		-0.00446		-0.00446		0.00416
-0.00446		-0.00446		0.00416		0.00416
-0.00446		-0.00446		0.00416		0.00416
-0.00446		-0.00446		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		-0.00446		0.00416
-0.00446		0.00416		-0.00446		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		0.00416
-0.00446		0.00416		0.00416		
-0.00446		0.00416		0.00416		
-0.00446		0.00416		-0.00446		
-0.00446		0.00416		-0.00446		
-0.00446		0.00416		-0.00446		
0.00416		0.00416		-0.00446		合計
0.00416		0.00416		-0.00446		-0.01919
-0.00446		-0.00446		-0.00446		
-0.00446		-0.00446		0.00416		平均
-0.00446		-0.00446		0.00416		-0.00027



合計：－0.01919Pa、平均：－0.00027Pa です。

押される場所と、引っ張られる場所が混在しているので、一方的に押しつぶされることはありません。
時間がたっても、プラスマイナスが混在する状況は、あまり変化しません。
風車は、50ｃｍの幅全体が押されるのですが、神社の音では、各部分ごとに押したり引いたりすることになるので、全体としての影響は 1/100 程度になってしまいます。

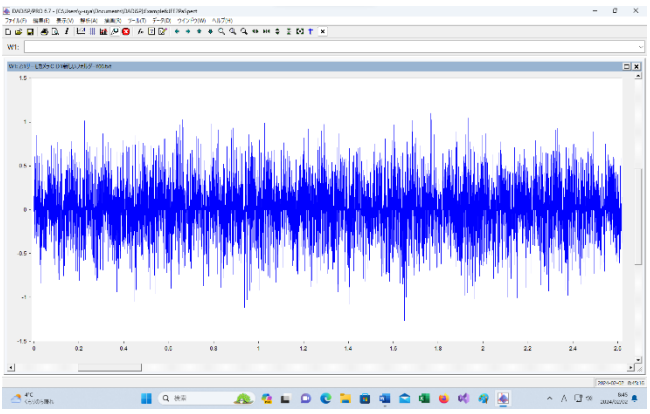
風車の場合（特別な周波数の音が極端に強い）は圧迫感を感じても、神社の音のような性質を持っている（沢山の周波数成分を持っている）場合には、圧迫感は感じないのです。

風車音の下では、人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。人体に掛かる、物理的な圧力が周期的に変化するのです。
超低周波音の中でも、1Ｈｚのものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまいます。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音の最も大きな違いです。
計測された 164 か所の風車音も、0.5～1Ｈｚあたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことも分ります。164 か所の計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。
圧縮、膨張についてさらに確認します。
風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力の大きさは風速の２乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増加します。音圧も変化します。

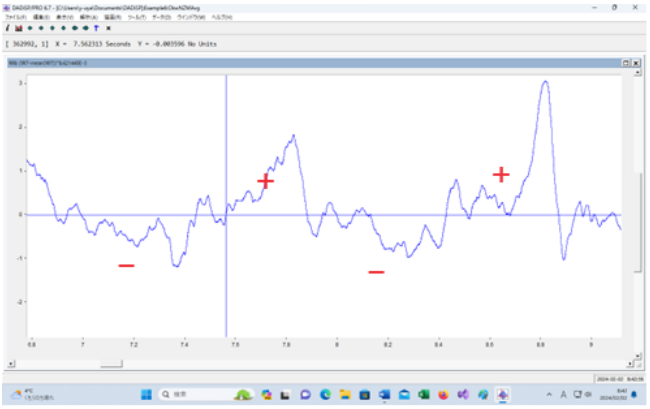
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

音圧の変動は大きいが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

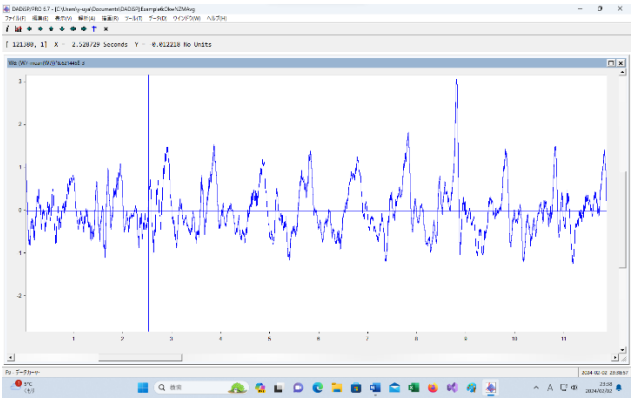


風車音の 2.2 秒間の波形

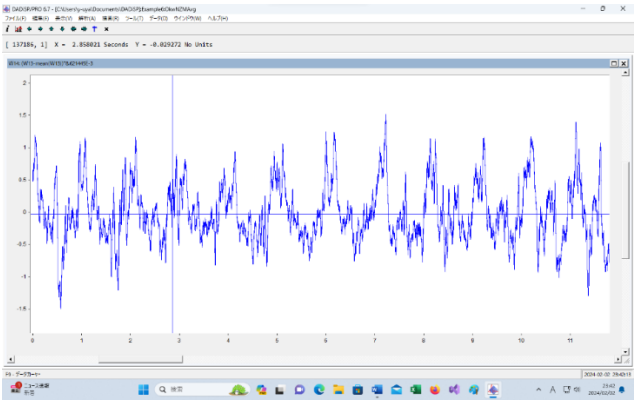


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

音圧が高い（風が強い）ときの 12 秒間



音圧が低い（風が弱い）ときの 12 秒間



風が強い時の方が、音圧のプラス、マイナスがはっきりします。より強い形で、圧縮と膨張の過程が継続することになります。指向性も同様の効果を及ぼすと考えます。

風が強い時は、0.42Pa で 1Hz でした。風が弱い時は 0.15Pa で 0.8Hz でした。周波数の変化は小さいのですが、音圧の変化は大きいです。

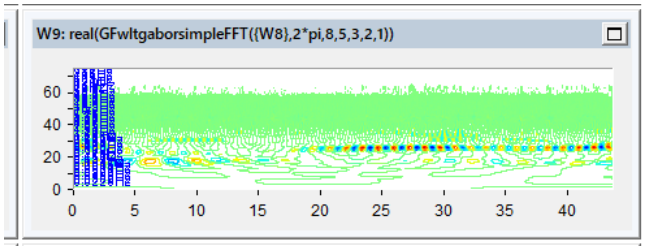
これから、多変量解析では、（PT＝最大音圧*周期）の項目を設ければ良いことが分ります。

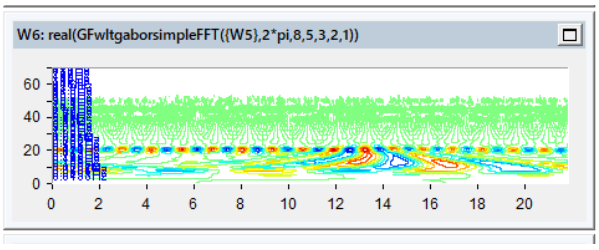
対象	周波数[Ｈｚ]	周期[S]	最大音圧	PT
車（強）	1	1	0.42	0.42
箱（中）	1	1	0.33	0.33
外（弱）	1	1	0.23	0.23
穏かな日	0.8	1.25	0.15	0.1875
JFE	12.5	0.08	0.096	0.00768
神社	1	1	0.01	0.01

符号決定率＝最大音圧/２番目の音圧
をかけた方がよさそうですが、ここでは保留しておきます。

さらに音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性が高くなるのは、風が強い時だという事になります。体内の気泡は、潜水病を同じですから、頭痛の原因になります。

風車音の指向性や風速の変化が激しい事から、条件を満たす時間は、普通は 20 秒程度ですが、風速、風向が安定している場合は、被害が大きくなると考えられます。
風車音の２分間の結果を並べて表示すれば、下のようになり、





0.8Hz 程度の周波数成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かります。共鳴や共振現象などを発生させ、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。
さらに、色が特に濃い部分は 20 秒程度継続します。この部分が継続すれば、高い音圧での影響を感知することになります。目が覚めるだけの影響ならば良いのですが、継続時間が長いと気泡発生の可能性が高くなります。

“泡のエンジニアリング”　テクノシステム　を参考にすれば、

１１．音場中の気泡の成長

圧力一定のもとでは、不凝縮ガスが過飽和でない限り、気泡は消滅する。これに対して、音響場の中に置かれた気泡では不足飽和状態でも、不凝縮ガスの析出による気泡の成長が見られる。この現象が音響キャビテーション発生の原因となり、また、液体中の溶存ガス除去促進にも利用される。

気泡への不凝縮ガス析出量は式(5.5.55)

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_g\right) = 4\pi R^2 D_{gL} \frac{\partial \rho_{gL}}{\partial r}\Big|_W \qquad (2.5.55)$$

による。

液体中の濃度境界層厚さを δ_D とすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

$$\dot{m}_g \propto R^2 \times (\rho_{gi0} - \rho_{giW}) / \delta_D \qquad (2.5.61)$$

となる。

これに踏まえて、図 2.5.6 に示す現象のメカニズムを説明する。

図　2.5.6

収縮時	平衡時	膨張時
$p_g > p_{g0}$	p_{g0}	$p_g < p_{g0}$
$R < R_0$	R_0	$R > R_0$
$\delta_D > \delta_{D0}$	δ_{D0}	$\delta_D < \delta_{D0}$

まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度 ρ_{gLW} はヘンリーの法則

$$\rho_{gLW} = \alpha p_g \qquad (2.5.58)$$

にしたがって、収縮・膨張する圧力変動とともに、上昇・低下する。濃度が上昇する凝縮時には気泡内の不凝縮ガスが液体に溶解し、濃度が低下する膨張時にはガスは気泡へ析出する。

この際、気泡表面積は膨張時のほうが大きいため、膨張・収縮の 1 サイクルで見るとわずかながら析出量が勝ると考えられる。

音波の振動数が大きな場合には、液体内に溶けているガスの拡散が起こらないので、気泡の成長は鈍る。

振動数が小さい場合は、膨張したときは、液体内のガスが気泡内に析出し、気泡の周囲のガスの濃度が減少する。収縮が始まる前に液体内に溶け込んでいるガスの拡散によって濃度が元に戻る。

収縮によって、気泡内のガスが周囲の溶液に溶け込む。周囲の液体内に溶けているガスの濃度があまり下がっていないので溶け込む量は少なくなる。

この過程を繰り返して、低周波の場合のほうが気泡は成長すると考えられる。

次に、表面近傍液体中の不凝縮ガス濃度境界層は、膨張時には薄く、収縮時には厚くなる。境界層の厚さが薄くなるにつれて、拡散による物質輸送が顕著になることを考えると、やはり、膨張による析出量が収縮による溶解量を上回ることになる。

となっています。

大型風車では、風車の回転数 R が小さくなって。0.5Hz 辺りでの音圧が最大となります。微小な気泡による頭痛や圧迫感などによる体調不良が増加すると予測されます。

超低周波音の中でも、1H z のものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまいます。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。この点が、風車音と他の環境騒音との最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、0.5～1H z あたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い

圧力を持つことは、すでに確認しました。計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。
これは、音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性がある事を意味しているのです。体内の気泡は潜水病を同じで頭痛の原因になります。
これは、風車音による直接的な健康への影響なのです。これは、極めて物理的な原因であり、風車音の周波数特性から引き起こされます。そして、回転軸が水平の風車が、上空と地上付近での風速差がある中で、ブレードに掛かる揚力によって回転することからの必然的な帰結です。

風車の物理的な構造が、健康障害を引き起こす根本的な原因なのです。
従って、水平軸型の風車は、最大の欠陥商品なのです。
それを陸地から２ｋｍの距離に並べることは狂気の沙汰です。

１０．３．５ 潜水病についての資料

沖縄南部徳洲会病院総合健診センター
相 馬 康 男

潜 水 業 務 の 特 殊 性
(潜水業務関係者の方々へ)

スキューバダイビングは人気の高いマリンスポーツです。日本では老若男女を問わず誰でも気軽に参加できる安全なスポーツ、と思い込まされています。しかし、「潮流や濁りや有毒生物も存在する自然界の海と高水圧下と言う、陸上とは違う環境での活動」による、陸上生活では理解出来ない多くの問題があります。安全な潜水を行うにはⅠ.水圧の影響についての理解、Ⅱ.水中活動に適応する適切に管理された訓練そして、Ⅲ.潜水適性を確認する定期的な医学検診が不可欠です。

Ⅰ. 水圧による影響

ロシアの原潜クルスクや東シナ海での不審船引き上げの様に、水深 100 ㍍での危険性は誰でも納得します。では、水深何㍍から危険なのでしょうか。潜水業務に関する唯一の法律「高気圧作業安全衛生規則(以下、高圧則と略します)」の第 1 条 1 項 2,3 号の定義は「潜水器を用いて圧縮空気の供給を受ける水中」または「大気圧を越える気圧下(海底トンネル内工事等の潜函工法)」となっていて、大気圧(１気圧)よりも高い空気圧を呼吸する業務が対象になります。第 27 条は「(水中)作業時間の規定は水深 10 ㍍(2 気圧)を越える業務に限る」との但し書きもあります。実際問題として、モズク養殖漁師の最大水深は 8 ㍍を越えませんが重症な潜水障害が発生しています。法律論はさて置き、水圧による影響である「潜水障害(潜水病)」の主な項目を説明しておきましょう。

減圧症 動脈ガス塞栓症 窒素酔い 骨壊死酸素中毒 浅海失神 圧平衡不良 その他

炭酸飲料の泡から理解できる様に、圧力が高いと気体は液体(体内)へ溶け込めます。陸上の１気圧(大気圧)下でも体内には空気中の窒素が約 1 ㍑溶け込んでいます。潜水すると水深 10 ㍍毎に溶け込む空気が倍増します。例えば水深 20 ㍍(大気圧の１気圧 + 水深 20 ㍍での水圧２気圧 = ３気圧)の深さに潜水すると、時間経過と共に体内窒素は陸上の 3 倍の 3 ㍑になります。この様な窒素過剰状態のまま水面へ浮上して圧力が下がりますと、余分な 2 ㍑の窒素ガスが溢れ出し、泡となって血管を塞いだり色々な細胞や組織を圧迫して様々な障害が現れます。これを「減圧症(DCI)」と言い、僅かな気泡または気泡により生じた血栓でも脳脊髄や肺や心臓への血管が塞がれれば即死します。更に、人体の 60%が水分で 20%以上は脂肪です。脂肪組織には水分の５.3 倍の窒素が溶け込みますが、最も脂肪分と血流量が豊富な組織は脳脊髄神経系です。潜水病では血液中の気泡や血栓ばかりを考え勝ちですが、特に脳や脊髄の神経細胞内にできた気泡によって神経細胞が損傷を受ける事も忘れないで下さい。考え方として減圧症と脳梗塞や心筋梗塞は同じ病気です。つまり、その主な原因は① コレステロールや血栓(気泡)により組織に酸素と栄養を送る血管が塞まる。② 不整脈(潜水徐脈)により血流がヨドんで血液が固まり易くなって血管に塞まる。③ 高脂血症(乾燥空気の呼吸による脱水)により血液がドロドロとなり、血栓(と気泡)が出来易くなって血管に塞まる。④ 高血糖・ストレスで血液がベトベトになり、血栓が出来易くなって血管に塞まる。⑤ 高血圧(浮上と潜降による急激な圧変化)により血管に負担が掛かり脆くなって破れる。⑥ 肥満・喫煙・運動不足等により血管の弾力性がなくなる。等だからです。脳梗塞や心筋梗塞は発作から３時間以内に治療しないとひどい後遺症を残しますが、減圧症も速やかに治療を受けないとめまいや慢性関節痛、半身不随等の症状が一生続く事になります。また、

潜水直後は症状の有無に関係無く、必ず体内に気泡ができていると言う事も常に意識して下さい。気泡が障害を起こすか起こさないかの差は紙一重です。更に、潜水後の飲酒は 2 脱水状態を引き起こします。特に水分補給のつもりでビールを飲む方が多いのですが、アルコールが体内に入ると、アルコールを排出させる為に水分も一緒に過剰に排出されて脱水状態(血液ドロドロ)を引き起こします。ダイビング前後のビールやお酒類は非常に危険です。

常識とは逆に、気体の大きさは水深が浅くなる程大きく膨張します。つまり、水面に近い程、

体内気泡の膨張による危険性が高まります。水深３０㍍から２０㍍へ移動する場合と、水深１０㍍から水面へ浮上する場合とでは、同じ１０㍍の水深変化なのですが、空気の大きさには 6 倍の差があります。水面に近い程、肺や副鼻腔等の体内空間にある空気容積が大きく変化して身体に影響を及ぼします。水面近くでの急激な潜降や浮上は非常に危険です。例えば、水中で高圧空気を呼吸している時に、パニックや器材操作ミス等により安定した呼吸が出来ないまま急浮上してしまうと、水面近くで肺内の空気が大きく膨張して肺をパンクさせます。肺が破れると破れた肺血管に空気が吸い込まれて、特に脳への血管を塞いで意識を失って溺れます。これを「動脈ガス塞栓症(AGE) 旧称 エアエンボリズム)」と呼びます。考え方として、1 分間で水深 10 ㍍付近から水面へ浮上する圧力差は、地上から上空 1 万 8 千㍍以上へ急上昇する気圧変化に相当します。この上昇能力はジェット戦闘機でも無理なのでミサイルやロケットが必要です。高々度へ急上昇するジェット戦闘機パイロットは、与圧服を着て体への圧力を上げて置かないと脳への血流が不足して失神します。ダイバーは全身で水圧を受けているので失神はしませんが、ジェット戦闘機以上の圧変化を体に受けています。陸上と違い、海水の密度は空気の 800 倍ありますから、少しの動きでも大きな水の抵抗を受けて体力を消耗します。生活習慣病対策としてプールでのエクササイズが有効なのはこの水の抵抗と浮力のお陰ですが、ダイバーにとっては大きな負担です。また、水深 10 ㍍を越えて呼吸する空気は軽自動車のタイヤ圧に匹敵します。空気密度が高いと粘張度が上がって吸い難い吐き難い状態になり、少しでも動き過ぎると酸素不足や炭酸ガス過剰となります。更に、些細な衝撃でも体内の空洞部分(肺や副鼻腔、中耳、胃腸)にある高圧空気によって強烈な衝撃力が加わり損傷させます。しかし、実際に呼吸しているダイバーがこの「硬い空気」を認識する事はできないので、危機意識が持てません。

最近の研究では、潜水病にはなりそうもない軽度の潜水後に減圧治療を必要とした事例が数多く報告されています。これは肺に高圧空気が入っている為に、タバコや汚染空気、感染症等によって弱くなった肺や気管の一部分が破れて動脈ガス塞栓と同じ状況が発生していると考えられています。つまり、浅く短い潜水であっても必ず潜水障害の危険性がある事を忘れないで下さい。

高圧空気を呼吸すると、酒に酔ったのと同じように適切な判断が出来なくなります。これを「窒素酔い」と言います。極端な場合、水中で呼吸装置を口から外して笑い続けて溺れます。厄介なのは窒素酔いになっていると自覚できない点です。潜水慣れしていない方の単独潜水は危険です。水深 30 ㍍を越えると窒素酔いになるとされていますが、酒の強さと同じで窒素圧に敏感な方もいますので、初心者では限界水深を 18 ㍍以内にする必要があります(プロでも空気潜水の限界は 40 ㍍)。珊瑚のサンゴ虫と同じように、骨にも骨の細胞があって常に新しい骨へと置き換えています。潜水を行うと骨細胞に栄養を送っている血管が塞がったり骨細胞自体への圧迫等によって骨の再生が止まってしまい、気付かない内に骨がボロボロになります。これを「減圧症性骨壊死」と言い、痛み等の症状が出た時点では殆ど手遅れで、人工関節埋め込み手術等が必要になります。

これら以外の潜水障害についてもダイビングスクールや潜水士講習で教わっている筈なのですが、忘れてしまったか、インストラクター自身が潜水障害を全く理解していないのが現状です。

Ⅱ.適切な訓練

潜水士テキストは 1998 年に大幅に改定されましたが、基本となる高圧則は 1972 年 9 月 30 日以来殆ど改

定されていません。潜水士免許は筆記試験だけで交付されますから、泳げなくて水が怖い方でも一生資格を失う事はありません。また、この法律での潜水事業は海底油田や海中トンネル等の大規模工事で、浮上する前に体内の余分な窒素を抜く為の減圧停止を行うヘルメット式減圧潜水を前提としています。ですから、水面からホースを使ってダイバーに空気を送る方法と、減圧停止を無視した場合の緊急再圧の教育(送気員、再圧員)だけを義務付けてはいますが、スキュバ関係の教育規定が一切ありません。更に、保護されるべきダイバーは被雇用者に限られているので、「個人事業主」である孫受け作業ダイバーやガイドダイバーそして漁師はこの法律の適用を全く受けません。沖縄県の水上安全条例ではレジャーダイビング従事者に潜水士免許取得を義務付けていますが、認可制では無く届出制ですので徹底されてはいません。ダイビングショップのインストラクターは潜水士免許が無くても業務に従事しますし、所属営利団体に年会費と保険料さえ払い続ければ、一切の追加教育や更新訓練を受けなくてもインストラクター資格を失う事もありません。この様に潜水業務は法律的にも行政的にも曖昧なまま放置されているので、世間一般に限らず潜水従事者自身も業務に伴う危険性と教育訓練の必要性を再認識する機会がありません。そこで、潜水業務従事者として継続的な教育訓練を受けるべき項目を幾つか挙げておきます。

限界潜水深度及び時間の算出 ： 高圧則では水深 10 ㍍以上へ潜水する場合、潜水障害を防止する必要上、潜水する前に潜れる限界水深と時間を計算するように義務付けています(第 27 条)。事業主がこの限界時間を超えた業務命令を行うと労働安全衛生法違反です。しかし、この法律での計算表を使う人、更には使える人は皆無と言っても過言ではありません。従来から、スキューバダイビングでは「タンク一本分の空気量」であれば減圧症にはならないとの認識が定着しています。しかし、この考え方には時代変化による錯覚があります。以前のタンクへの空気充填圧は 150 気圧でしたが、現在は 200 気圧と増えています。当然潜水可能時間も延長しますから潜水障害の危険性も高まるのですが、こう言った意識改革が出来ていません。

潜水現場に緊急再圧チャンバーと厳密な減圧停止の設備と人材が完備されていない限り、減圧潜水は極めて危険です。例えば、水深 34 ㍍に 1 時間潜水すると水深 9 ㍍で 10 分停止、6 ㍍で 27 分停止、3 ㍍で 34 分停止の合計 1 時間 11 分掛けて水面へ上がってこないと減圧症になります。漠然と 6 ㍍や 3 ㍍付近で適当に停止していれば減圧できる訳ではありません。所定の水深から 10 ㌢浅過ぎても深過ぎても正確な減圧は出来ません。浅過ぎれば窒素が抜け切れませんし深過ぎれば窒素が貯まって増えてしまいます。この厳密な減圧手順の認識が日本には完全に欠落していて、「取り敢えず減圧停止しておけば大丈夫」と思い込まされています。40 ㍍_____を越える大深度潜水の場合、母船上の加圧室で呼吸抵抗、酸素中毒、窒素酔いを防止する為のヘリウムを使った特殊ガスと圧力に慣れさせた後に目的の水深へと加圧室ごと潜降し、潜水業務中は加圧室を居住区域とする飽和潜水を繰返し、水中業務が終了したら加圧室内で加圧されたまま母船へと引き上げた後に厳密な減圧手順を行います。ここまでやっても大深度での安全は保障できません。アメリカ海軍の特殊部隊 (Navy Seals)ダイバーでさえ基本的に減圧潜水も反復潜水 (４８時間以内に２回以上潜ること)も禁止されています。スペースシャトルから宇宙服へ着替えて船外へ出る場合には、1 気圧の居住区からエアロックへと移り０.3 気圧まで(水深換算すると水深 7 ㍍から水面への浮上に相当)12 時間掛けて減圧しないと宇宙空間へは出られません。宇宙も水中も圧力変化と装備以外には呼吸する空気が無い、と言う意味で同じような安全管理が必要な事を忘れないで下さい。

高圧則での水深 12 ㍍迄の無減圧潜水限界時間(減圧停止をせずに浮上できる限界時間)は 120 分です。これが 18 ㍍迄だと 55 分へと半減し、24 ㍍迄では 37 分しかありません。この値はヘルメット式潜水の様に一定の水深に留まる場合の限界なので、自由に水深を変えるスキューバはもっと長く潜れるとの勝手な解釈があります。理論的には逆で、浮いたり潜ったりの水圧変化が大きいと潜水障害の危険性が高まりますし、限界時間の計算自体が不可能になります。また、浮上速度は毎分 10 ㍍以下
4 と定められています(第 31 条)が、レジャーダイビング業界では毎分 18 ㍍と誤解されたままです。最近の

研究では水深 10 ㍍から水面までは毎分 6 ㍍以下が推奨されています。
最後に水中活動への順応性を維持する上で不可欠な継続的訓練です。二足歩行で陸上生活をする人間は、水中でも無意識に立ち姿勢を取りますから、移動の際には体全体で水の抵抗を受けてしまいます。海中では海底に手足を付いて支える事はありません。つまり、日常使わない筋肉を駆使して海底に対して水平方向に、フィンによりバランスを保たなければなりません。透明度が悪いまたは極端に透明度が良い場合、水底と水面の上下関係が判断できなくなってパニックを起こす危険性はベテランダイバーにもあります。タンクからの乾燥した空気を吸いますし、レギュレーターによる口だけからの呼吸となり、普段の鼻からの呼吸が出来ない違和感を伴います。更に、潜降すると保温スーツの生地が水圧で潰されて沈み気味となり、浮上すると逆に浮き気味になります。それぞれの水深での適正な中性浮力を保つ為には、精神的に安定した意識的な呼吸によって「肺の浮き袋機能」を活用しなければなりません。この様に、潜水業務では陸上とは全く違う状態でのバランス感覚を維持しておく必要があります。陸上の自転車でのバランス感覚等とは異なり、水中のバランス感覚はかなり継続的に訓練しておかなければ維持できません。また、安全索やホースで母船と結ばれているヘルメットダイバーと違い、スキューバダイバーは水面へ浮上した場合の潮流と風向のベクトルを、体感と視覚とコンパスによって浮上前に計算する訓練を積んでいないと、目標水面へ到達できずに漂流してしまいます。更に、人間は呼吸ができない状態になると 1 分程度で意識を失い溺れます。潜水訓練は厳重な安全管理と体系的プログラムに基づいて、教育能力と救難実績が豊富な指導者により実施されなければ効果は上がらず評価も出来ませんし危険です。
器材管理 ：潜水器材は各メーカーから様々な型式のものが販売され、毎年モデルチェンジが繰り返されます。ここ 10 数年の製品はファッション性に重点が置かれ、信頼性に欠ける器材が殆どです。特に、水面での浮力確保と水中での浮力調節を行う BC(Buoyancy Compensator 浮力調整具)は、タンクからの給気と排気のボタンの位置が機種によりかなり異なり、使い慣れないと押し間違いを起こし、先に述べた急浮上や潜水墜落を招く危険性があります。また、タンクからの呼吸空気量を調整するレギュレーターも管理を怠ると吸い難いとか吐き難い等の呼吸困難、更には浸水する等の事態を招きます。高圧則第 34 条 2 項には潜水器材についての点検修理の規定もありますが、BC やレギュレーターに関する記述は一切有りません。ここでは法律上の勘違いが多い項目を幾つか挙げておきます。高圧則第 37 条 2 項でのボンベによる潜水時の携行物として時計、水深計、刃物そして救命胴衣が義務付けられています。つまり BC ではなくてタンクハーネスだけでの潜水は違法です。
高圧則第 42 条 1 項では、水深 10 ㍍以上での業務には再圧室を設置または利用できるような措置を講じる必要があります。現実的には医療用酸素の準備及び外洋からの航空機搬送体制の整備ですが法律的な問題が解決されていません。
最後に「吹かし」についてお話します。そもそも「吹かし」は減圧停止が必要だったヘルメットダイバーが送気停止等により緊急浮上した際に、何かの理由で再圧室による緊急再圧が出来なくなったので、仕方なく 3 分以内に再度潜降して減圧停止手順を繰り返した事が始まりだと思われます。現場設置型の再圧チャンバーによる緊急再圧であっても何らかの症状が発現した場合は、緊急再圧を中止して、医師による治療へと変更します。しかし、この緊急再圧に関する理解が全く無いままに、ノウハウだけが漁師や作業ダイバーの世界へ間違って伝わって「ベンズ」の治療方法として普及してしまったようです「吹かし」は治療方法では無く、異常が全く無い場合に限った減圧停止の緊急避難方法です。医療機関での高圧酸素を使って、3.8 気圧 6 時間掛けても治療出来るとは限らないのに、長くても 1 時間程度の「吹かし」で治療できる筈がありません。長期的にみても「吹かし」は骨壊死や関節痛、めまい等の慢性減圧症を必ず悪化させます。

Ⅲ. 潜水適性

陸棲動物の人間にとって、空気の無い深く冷たい水中への漠然とした恐怖心を持つのは当然です。
高所恐怖症と同じで、潜って遠い水面を実感しないと「深所恐怖症」なのかどうかは分かりません。
この様に、潜水にも精神的・肉体的な適性があります。今まで述べてきました様に「ダイビングは誰でも参加できるレジャー」では無いのです。適性を欠いた状況でのダイビングは事故に直結します。
医学的に潜水に適さない身体的疾患には以下の様な項目があります。
脳血管障害（ 一過性脳虚血発作、脳出血、くも膜下出血、脳梗塞
痙攣性疾患（ てんかん、電解質異常による筋肉痙攣
心血管障害（ 心筋梗塞、狭心症、不整脈、先天性心奇形、自律神経障害
呼吸器疾患（ 喘息、自然気胸、肺嚢胞
耳（ 耳管機能異常、中耳炎、内耳炎、平衡感覚機能障害
代謝疾患（ 糖尿病、肝機能障害、腎機能障害
骨障害（ 慢性減圧症としての骨壊死、副鼻腔の炎症
その他（ 妊娠による胎児への影響
陸上生活では何ら問題とならない疾患も潜水業務では絶対禁止となります。例えば、肺嚢胞は全く自覚症状がありませんが、潜水による圧力変化によって破裂する危険性があります。自然気胸を起こす肺嚢胞、喫煙や大気汚染、無症状の結核等の感染症による肺気腫・無気肺については、少なくとも就業前と半年毎の胸部レントゲン検査及び 疑わしい場合の胸部 CT 検査が不可欠です。更に、生活習慣病を発症させる生活様式を続けている場合は脳卒中と心臓発作の危険性を確認する脳 MRI 検査と負荷心電図検査等も必要です。水中での発作は死に直結します。
高圧則では就業前と半年毎の「専門医」による検診を義務付けています(第 38 条)が、日本の医学教育では潜水業務に関する授業が有りません。再圧チャンバーのある病院であっても潜水障害を診断そして治療できる医師は極めて少数です。蛇足になりますが、日本では減圧症の診察で CT や MRI を撮って再圧ﾁｬﾝﾊﾞｰ治療を行うと最高で 15 万円程度かかります。しかし、本人支払額は保険が使えますからその三割負担となり、業務の場合は全額労災保険なので個人負担はありません。治療費としてはかなり高額と思われるかもしれませんが、再圧治療には最低でも医師 1 名、心肺停止等の緊急事態に対応できるチャンバー内外の看護婦２名、ﾁｬﾝﾊﾞｰを操作する臨床工学技師１名の４名が、治療時間の６時間プラス診察と検査の時間で 8 時間以上掛かり切りになります。しかも患者到着は殆ど夜ですので徹夜での治療となります。更に、翌日は慢性患者の高気圧治療がありますから休めません。即ち、病院経営の面から考えると、減圧症治療は金額的にも時間的にもメリットは全く無いのでやらない方が得策です。ちなみに、海外で再圧ﾁｬﾝﾊﾞｰによる減圧症治療を受けようとすると、最低でも$4,000-(¥45 万円～¥60 万円)以上請求されますし、日本の健康保険も使えません。この様に、日本の潜水医療は制度的医療技術的に世界基準から大きく遅れているのです。

石狩湾での計測結果

さらに、1/3 オクターブ解析で、リオン社前の道路の音、JFE の製鉄所内の音、千葉県館山市の風車音（強風時)、マイクに風を当てて測った神社での音、石狩湾近くの数か所で、風車群の音から計算した平坦特性での音圧レベルを比べてみると次の様になります。

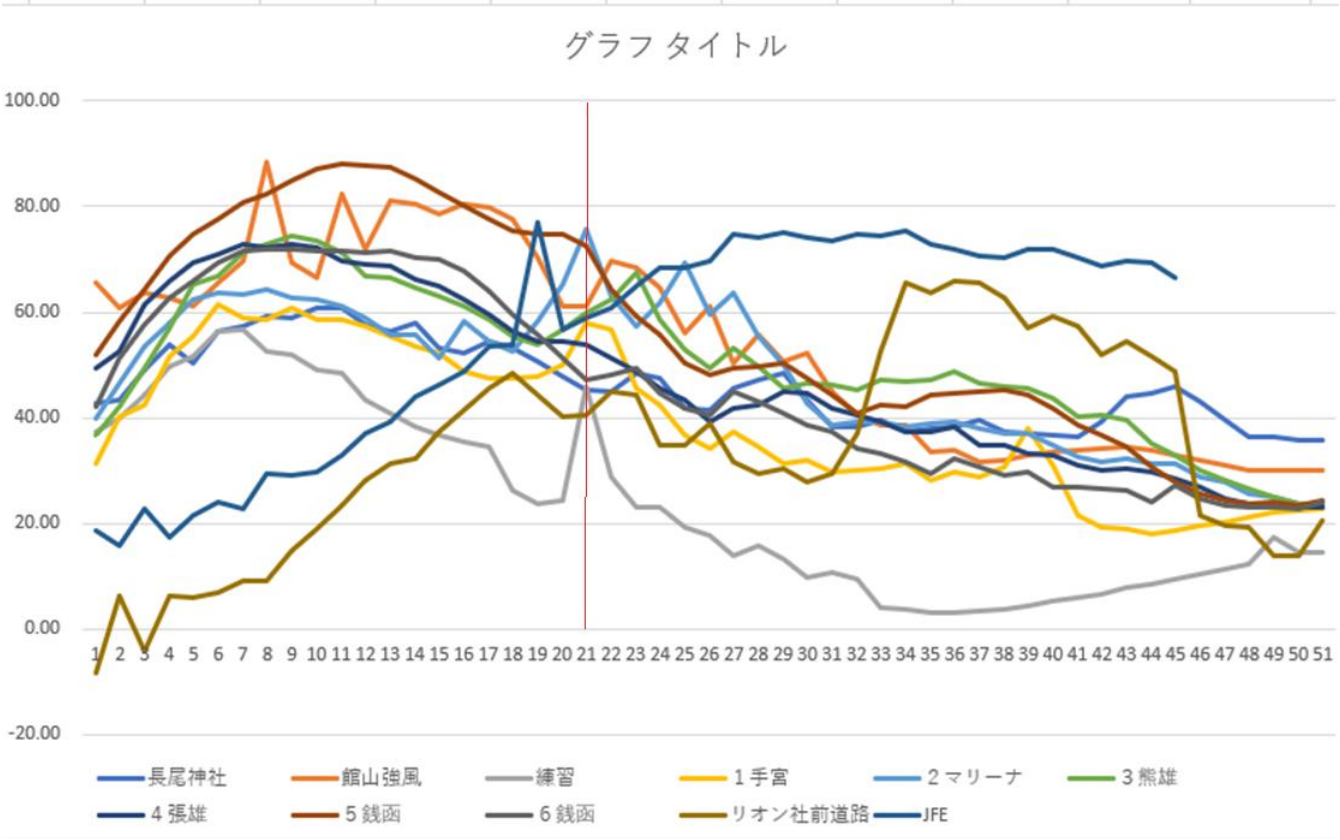
なお、番号と中心周波数（0.19Hz～20000Hz）の関係は次の表です。

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
中心周波数	0.19	0.25	0.32	0.40	0.50	0.63	0.80	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00

番号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
中心周波数	10.00	12.50	16.00	20.00	25.00	31.50	40.00	50.00	63.00	80.00	100.00	125.00	160.00	200.00	250.00	315.00	400.00

番号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
中心周波数	500.00	630.00	800.00	1000.00	1250.00	1600.00	2000.00	2500.00	3150.00	4000.00	5000.00	6300.00	8000.00	10000.00	12500.00	16000.00	20000.00

20Hz は、21 番のところです。（1/3 オクターブ解析での平坦特性音圧レベルのグラフです。）



グラフの中央部分（8 番～33 番、1Ｈｚ～315Ｈｚ）の辺りでは、風車音は、全体として周波数が大きくなると音圧レベルが減少するが、交通騒音などは周波数が高くなると音圧レベルが上昇する。

8 番（1Hz）から 15 番（5Ｈｚ）辺りでの違いが大きい。これを風車からの超低周波音だと認めたくない人はこの部分を“風雑音”というのですが、風車音が発生する仕組みを考えて、詳細な周波数を確認すれば、離散的な特徴から風車の超低周波音だと分かるのです。

石狩湾の風車群の中心から 10ｋｍ、最も近い風車まで 5ｋｍの銭函での数値を検討してみます。

銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）は、40.500459ｄＢです。

20Hz 以下では、風車音の音圧が高いのですが、20Hz 以上では、神社での音や JFE の工場音の音圧が高い

のです。

騒音として、20Hz 以上の成分だけを考えれば、一般騒音の方が A 特性音圧レベル（A）が高いのです。

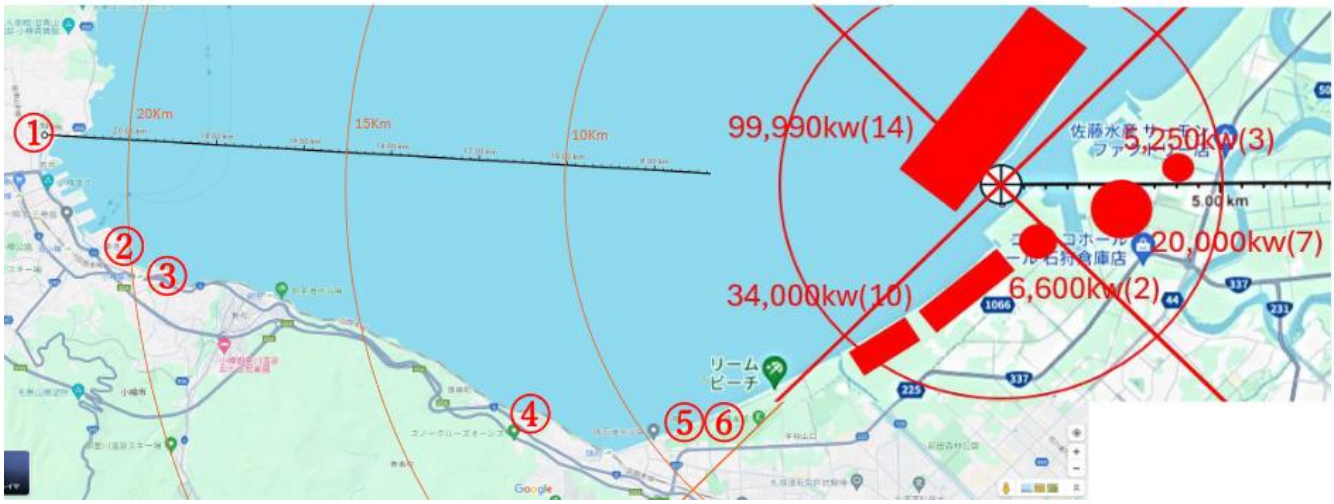
G 特性音圧レベル（G）（0.25～315Hz）を計算すれば、（距離にもよりますが）風車音の方が大きくなります。

結果として、一般騒音は G が小さく A が大きいので G-A は小さい数値になります。

風車音では、G が大きく A が小さいので、G-A は大きな値になります。

石狩湾では、海上で 14 基の風車が動いています。（さらに陸上に 22 基で合計 36 基）海の上に立つ、風車！その数１４基！国内２例目の「大規模洋上風力発電所」です。

下の地図の①～⑥での計測結果です。（鈴木氏の「低周波音を測ってみた」小樽から銭函まで 2024/3/21）



	場所	開始時刻	測定時間	備考
①	手宮公園	16:17	10分	車通行1～2台、カラス
②	マリーナ	16:50	6分26秒	小型船のエンジンの音、監視船のアナウンス、海猫の鳴声
③	熊碓	17:09	10分	波の音、海猫の鳴声、交通量の多い道路近い
④	張碓	17:44	10分	車の通行３～4台
⑤	銭函	18:14	10分	強風、マイクに直接風が当たらないように車の向きを調整
⑥	銭函	18:25	10分	⑤と同じ場所でドアを閉めて測定

マリーナと熊碓を別とすれば、風車音の影響で、G-A が 20～30 程度になっていることが分ります。神社では、G-A＝8.43 となっていて、風車音の影響が無いと判断できます。ＪＦＥの製鉄所では-0.46、リオン社前の道路では、-15.20 になっています。熊碓(くまうす)では、交通量が多い関係で 17.27 になっています。

G-A＞15 の場合は、風車音の影響が大きい

G-A＜10 の場合は、風車音の影響は小さい

と判断できます。

	G	A	G―A
手宮1、A＝43.69, G＝68.92	68.92	43.69	25.23
マリーナ2, A＝48.93, G＝85.08	85.08	48.93	36.15
熊碓3, A＝55.07, G＝72.34	72.34	55.07	17.27
張碓4, A＝43.31, G＝67.85	67.85	43.31	24.54
銭函5, A＝52.62, G＝87.06	87.06	52.62	34.44
銭函6, A＝40.5, G＝67.95	67.95	40.5	27.45
館山弱風、A＝49.09、G＝79.06	79.06	49.09	29.97
館山強風、A＝47.74、G＝82.92	82.92	47.74	35.18
神社、A=53.02、G=61.45	61.45	53.02	8.43
JFE製鉄所	81.42	81.88	−0.46
道路(リオン社前)	55.92	71.12	−15.20

・騒音の計測値と予測値の誤差

準備書などでは、風車を点音源として扱って、風車音の累積的な影響を予測します。しかし、風車音が指向性を持っている事実は、風車が点音源ではないことを示しています。

石狩湾にある 36 基の風車音の予測計算（点音源と仮定したもの）で、

$$L_n = L_W - 20 * logR - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使った場合は、

風車36基	2000	3000	5000	7000	10000	15000	20000	25000
A	43.35	41.48	39.12	37.68	36.48	35.7	35.47	35.4
G	70	66.49	62.09	59.23	56.25	53	50.86	49.34

となるが、実測値よりはかなり小さい。

線音源の場合（日本環境アメニティ株式会社）の式（線音源と仮定したもの)、

$$L_n = L_W - 10 * logR - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと大きすぎる数値となる。

風車音の指向性と振動面の大きさを考えて、

点音源と線音源の中間の式

$$L_n = L_W - 15 * logR - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと実測値に近い数値、

風車36基	2000	3000	5000	7000	10000	15000	20000	25000
A	53.61	50.6	46.59	43.84	40.99	38.25	36.9	36.24
G	86.5	83.86	80.53	78.34	76.01	73.38	71.5	70.05

となる。

累積的な影響は大きく、石狩湾の近く、手稲山口（風車群の中心から 10ｋｍ、一番近い風車から 5ｋｍ）の団地では、ヘリコプターが近くに着陸するかのような音が響いています。

風車からの距離は、銭函とほぼ同じです。

洋上風力発電では、イギリスは2001年には離岸距離の規制は無かったが、2003年には８～13ｋｍと規定した。２００９年には22.2ｋｍ以上に変更した。

ドイツ、オランダも22.2ｋｍ以上の離岸距離をとるようにしている。中国では離岸距離が10ｋｍ以上となっているが実際は20ｋｍ以上離して建設している。

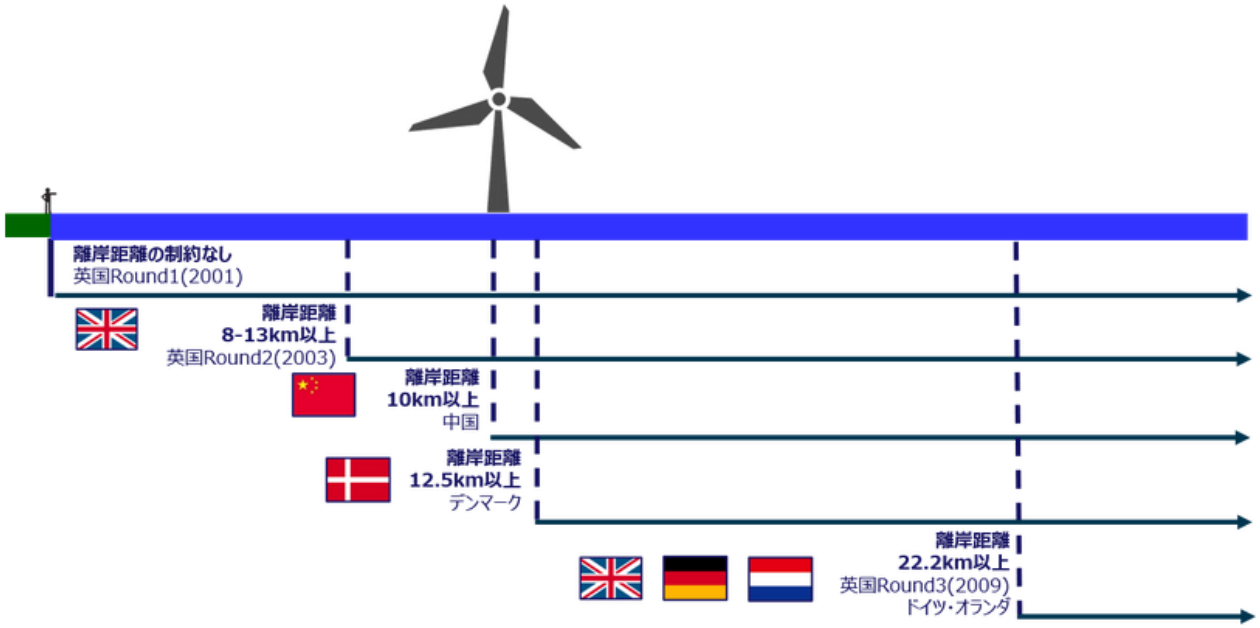


図　諸外国において洋上風力の立地を認める最低離岸距離

参考文献: BMT Cordah Limited, Everington, BSH, 国家能源局, Danish Energy Agency, Gorvernment of the Nethrlands

超低周波音の部分を詳しく調べれば、計測音の中での風車音の成分の大きさが推定できます。
風車音が発生するときの仕組みを考えた予測式を作れば被害の程度が推測できます。
遠方の音源の影響を把握する必要があります。