

目次

1. 検討会報告書概要資料の検討	4
1. 1 風力発電施設から発生する騒音等への対応について（表紙）	5
1. 2 これまでに得られた知見③	6
1. 2. 1 A特性音圧レベルで 26~50 dB	7
1. 2. 2 石狩湾での計測結果	9
1. 2. 3 計測と風車音の特徴	12
1. 2. 3 スウィッシュ音（振幅変調音）	16
振幅変調音（スウィッシュ音）の原因	20
1. 2. 4 純音性の音	32
1. 2. 5 騒音レベルとアノイアンス（不快感）	40
1. 3 これまでに得られた知見④	44
1. 3. 1 アノイアンス（不快感）と ラウドネス（うるささ）	45
1. 3. 2 風車音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高い	56
1. 3. 3 風車音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は高い	62
1. 3. 4 超低周波音の解析と発生の仕組み	62
1. 3. 5 圧縮と膨張	76
1. 3. 6 音響キャビテーション	80
1. 3. 7 潜水病についての資料	90
1. 3. 8 明らかな関連を示す知見は確認できなかった	95
1. 3. 9 疑似音	95
1. 3. 10 風雑音（その1）	97
1. 3. 11 風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても超低周波音が計測される。	98
1. 3. 12 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。	99
1. 3. 13 景観と経済的利益のアノイアンスへの寄与	101
1. 4 これまでに得られた知見②	103
1. 5 これまでに得られた知見①	119
1. 5. 1 語学力の限界	124
1. 5. 2 マイクの性能	141
1. 5. 3 スピーカの性能	146
1. 5. 4 握入型イヤホン	152
1. 6 経緯	154
1. 6. 1 参照値、指針値、騒音環境基準値	157
1. 7 風力発電施設騒音の評価の考え方①	167
1. 7. 1 “国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。”	169
1. 7. 2 環境大臣の意見（累積的な影響）	174
1. 7. 3 残留騒音の増加	176
1. 8 風力発電施設騒音の評価の考え方②	185

1. 7. 4 指針値の下限を 40 dB に設定している。	188
1. 9 風車騒音の調査・予測・評価	192
1. 10 (参考) 風車騒音に関する諸外国の基準等	200
2. 風車音についての基本事項	203
2. 1 風車音の特徴	203
2. 1. 1 風車音の成分	203
2. 1. 2 全国 164 か所の風車音	204
2. 1. 3 グラフの密度	207
2. 1. 4 周波数スペクトル	208
2. 1. 5 エネルギーの分布	210
2. 1. 6 風車音による圧縮と膨張	211
3. それぞれの立場と見解	221
3. 1 外国での理解	221
3. 1. 1 カナダ政府	221
3. 1. 2 疑似音	225
3. 2 環境省	228
3. 2. 1 環境省の方針の変化	228
3. 2. 2 防風スクリーン	237
3. 2. 3 除外音処理	245
3. 2. 4 風雑音と疑似音は嘘です。	249
3. 2. 5 天罰	271
3. 3 経済産業省	276
3. 4 ある企業の主張	280
3. 5 行政と計測と除外音処理	290
3. 6 被害調査の方法	298
4. 風車騒音・超低周波音の到達範囲 (1 km?)	306
4. 1 山形県	306
4. 2 検討会報告書	307
4. 3 カナダ政府の HP (2.5 km)	309
4. 4 経済産業省 (旧 通産省)	310
5. 各地の被害状況	316
5. 1 被害情報 1	316
5. 2 被害情報 2	329
5. 3 被害情報 3	330
5. 4 被害情報 4	339
5. 5 石竹氏の調査	344
5. 6 国、環境省の被害調査	348
5. 7 講演するペレイラ博士	370
6. 補足	380
6. 1 別紙 (指針値)	380
6. 2 A 特性音圧レベル	381

6. 3	参考値（100 d B）	391
6. 4	聴覚閾値と参照値	394
6. 5	地震と共振	398
6. 6	石竹氏の調査	403
6. 7	アテネ不眠尺度	407

1. 検討会報告書概要資料の検討

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に関する指針について」には、概要資料が付いている。ここでは概要資料について検討します。

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）は、次の①～⑩で構成されています。

①

風力発電施設から発生する騒音等への対応について



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 報告書概要

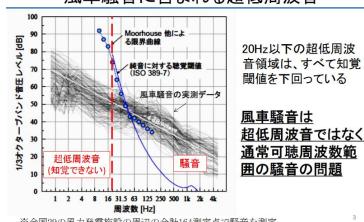
②

経緯

- 再生可能エネルギーである風力発電の導入加速化は我が国的重要なエネルギー政策
- 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
- 環境省では、平成25年から、主として商業用に用いられる一定規模以上の風力発電施設を対象とし、現時点までの知見及び風車騒音の評価方法について検討を実施

③

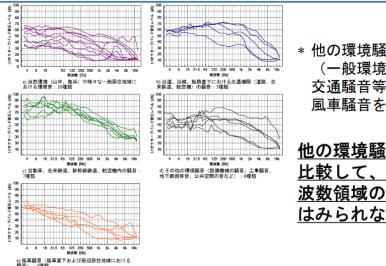
これまでに得られた知見① 風車騒音に含まれる超低周波音



※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

④

これまでに得られた知見② 風車騒音と他の環境騒音の比較



⑤

これまでに得られた知見③ 風車騒音の特徴

- 風車騒音を日本で実測した結果、周辺の住宅等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
- 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（スゥッシュ音）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、わざわしさ（アノイアンス）につながる場合がある

⑥

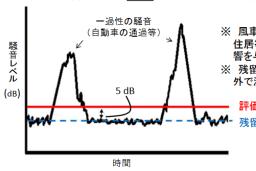
これまでに得られた知見④ 風車騒音の人への影響

- 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かった
- 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

⑦

風力発電施設騒音の評価の考え方①

- 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」（一過性の特定できる騒音を除いた騒音）からの増加量が5dBに収まるように設定する

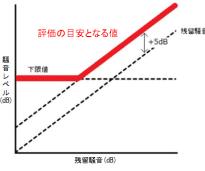


⑧

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。



⑨

風車騒音の調査・予測・評価

- 風車騒音は、騒音レベル（A特性音圧レベル）で測定する
- 測定の際に、一時的に近隣を通過する自動車の音等の一過性の交通騒音や、定常的には発生しない人工音・自然音等の影響は、適切に除外音処理を行なう。
※90%時間率騒音レベル(L_{AA90})に2dB加算することで代替することも可
- 風力発電施設周辺の住宅等、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を対象とする。
※発電所アセス名令では事業実施区域から1kmを環境影響を受ける範囲としている
- 測定は、年間の状況を正確に把握するため、風力発電施設が稼働する代表的な気象条件毎（原則四季毎、ただし気象条件の変動が小さい場合は、調査回数を減らすことができる）に、稼働する風が安定して吹いている状況で行なう
- 残留騒音は、昼間（6:00～22:00）と夜間（22:00～6:00）の時間帯について、それぞれ把握する
- ※ 今後、具体的な測定・評価手法を定めたマニュアルを策定予定

⑩

（参考）風車騒音に関する諸外国の基準等

調査地	騒音指標	地図の割合			
		田舎地域	住宅地域	工業地帯に近い住宅地域	その他の地域
Denmark	$L_{AA} \text{ m/s}$	42 dB(A m/s)	37 dB(A m/s)	—	—
	$L_{AA} \text{ dB/m/s}$	44 dB(B m/s)	39 dB(B m/s)	—	—
Sweden	$L_{AA} \text{ dB/m/s}$	35 dB	40 dB	—	—
Northern/ Western Europe	L_{AA}	45 dB	—	—	—
France	L_{AA}	—	—	—	—
The Netherlands	L_{AA}	—	—	—	—
United Kingdom	$L_{AA,24hr}$	※ 07:00-22:00 残留騒音+5dB ※ 22:00-07:00 残留騒音+5dB ※ 適用範囲は「低騒音地域」または「高騒音地域」	—	—	—
New Zealand	$L_{AA,24hr}$	35 dBまたは低騒音 ※ 5dBまたは高騒音 ※ 静穏を要する地域 40 dBまたは高騒音+5 dBの 高い方の値	—	—	—
Australia/Victoria	$L_{AA,24hr}$	35 dBまたは低騒音 ※ 5dBまたは高騒音 ※ 静穏を要する地域 40 dBまたは高騒音+5 dBの 高い方の値	—	—	—
Canada/Montreal	L_{AA}	—	—	—	—
USA/Maine	L_{AA}	—	—	—	—

世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較（一部抜粋改変）

概要資料は、上の、①～⑩で構成されています。内容を確認しましょう。

風力発電施設から発生する騒音等への対応について



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 報告書概要

表題からして、問題を含んでいる。風車音を騒音として限定する傾向がある。

根本的な欠陥として、次の3点がある。

- ① 風車から、どのような周波数の音が出ているのかを調べようとしていない。
- ② 風車音の持つ指向性についての検討や確認をしない。
- ③ 風車音が発生する原因を調べない。

これが原因となって、

問題を限定し、言葉の誤魔化しや、英語の曲解によって間違って結論を導き出している。

その結果、住民が被害を訴える事さえも抑え込む結果となっている。

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、

議論での“騒音”、“低周波音”が誤解を招きやすい表現になっていて、周波数範囲に十分注意しながら検討します。

これまでに得られた知見③

風車騒音の特徴

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

- 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（スウィッシュ音）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、わざらわしさ（アノイアンス）につながる場合がある

5

確かに、A特性音圧レベルの数値は、それほど高い数値ではありません。

石狩湾での計測結果や、JFEの製鉄所、リオン社前の交通騒音を比較すれば、A特性音圧レベルでの計算対象となる20Hz以上の成分に関しては、風車音の場合には小さな数値になります。

1. 2. 1 A特性音圧レベルで26~50dB

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。

ラウドネス（うるささ）はそれほどではなくても、アノイアンス（不快感）の程度が大きければ、睡眠妨害が起きます。

- 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⁾。

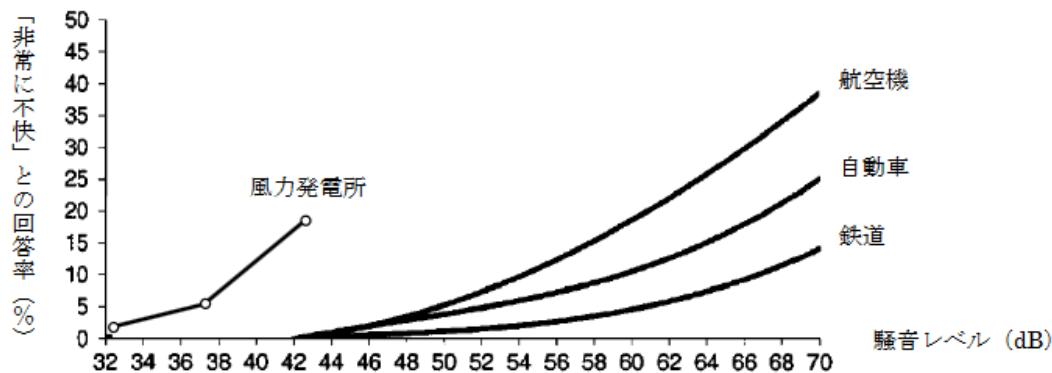


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係

(脚注3及び5の文献より環境省作成)

A特性音圧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。
たしかに、

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、

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

A特性音圧レベルが26~50dBならば、問題が無い数値である様に見えます。

風力発電施設から発生する騒音等への対応について (p 16)

にある次の表で、右端の数値の平均値を比べれば風車騒音が一番小さな数値になります。

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 (コンクリート破碎機)	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。

確かに、A 特性音圧レベルは低いのです。

1. 2. 2 石狩湾での計測結果

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。

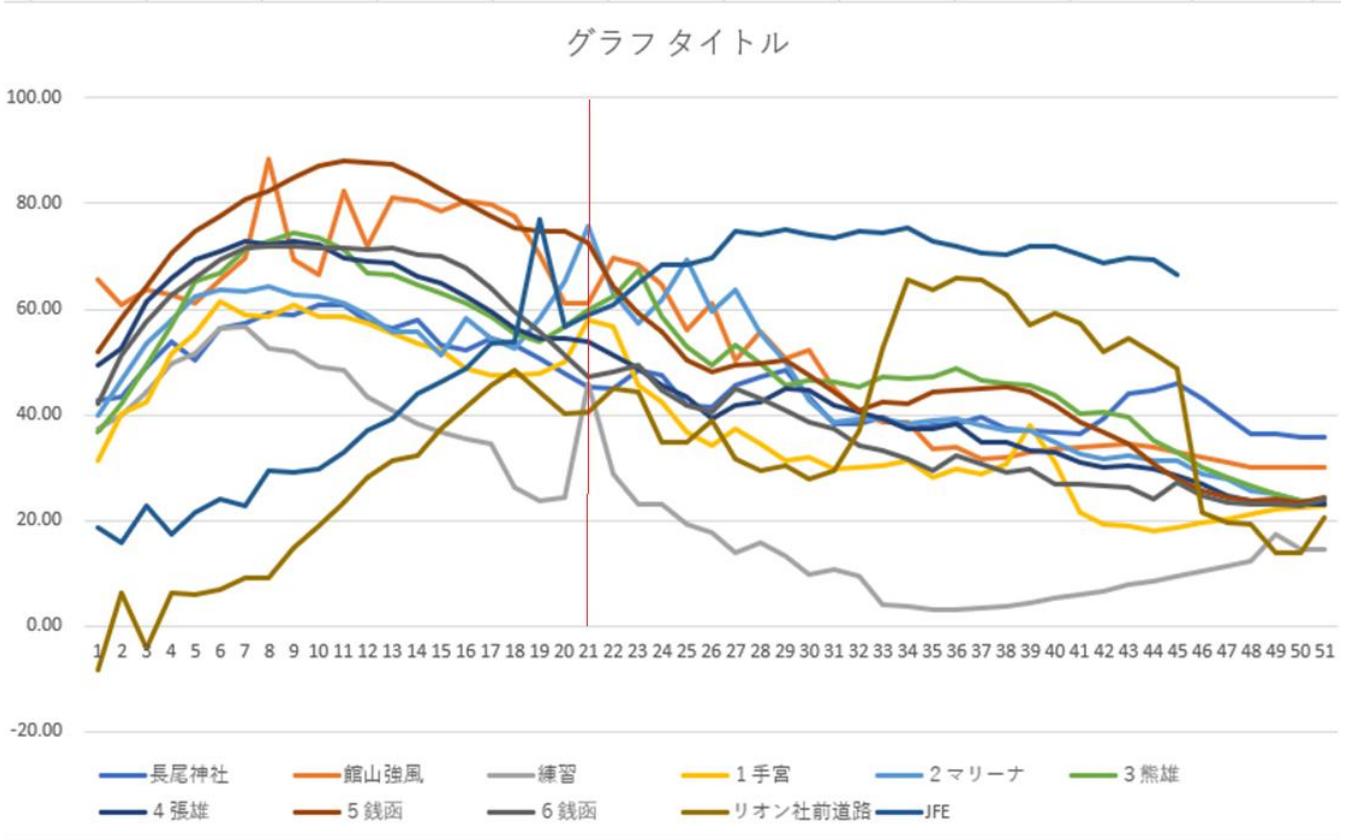
なお、番号と中心周波数（0.19Hz～20000Hz）の関係は次の表です。

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の範囲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、40.500459 dB 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。

以下の地図の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かります。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。J F E 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
熊確3, A=55.07, G=72.34	72.34	55.07	17.27
張確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

A 特性音圧レベルは、43 dB～55 dB で、ほとんどが 50 dB よりも小さな数値です。

1. 2. 3 計測と風車音の特徴

風車騒音の特徴を調べる前に、風車音の特徴を調べる必要があるのです。さらに、そのような風車音が発生する仕組みを調べる必要があるのです。これが無いと、その影響を評価することが出来ないのです。

低周波音の測定方法に関するマニュアルには、

“3) 風雑音と低周波音の見分け方

- ・多くの場合、対象とする低周波音は定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すはずである。
- ・風による音圧レベルは、不規則に変化する。”

とある。

低周波音の基礎および伝搬・影響・評価（落合博明 氏）には、

“低周波音の測定にあたっては G 特性音圧レベルと 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する”
とある。

1/3 オクターブ解析の表示では、中心周波数を使うので、0.692Hz～0.869Hz は全て 0.8Hz として表示され、周波数の微小な変化や周波数の倍音構造が消えてしまうので、風車音の特徴を把握できない。

平成 22 年度 移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書 には、

“風車音の計測に関しては、

- ・統一した方法はない
- ・計測機器が規格化されていない “

と書かれている。

風車音か否かの判断基準となる 0.5～0.8Hz の音の測定に関しては、統一した方法が無く、また JIS 規格も無い。この部分の計測と解析は、G 特性音圧レベルや 1/3 オクターブ解析の技術では出来ないです。

風車音に関する資料を探しても、詳細な周波数スペクトルのグラフは見つかりません。精密騒音計で計測したデジタルデータを公開している方も見当たりません。

風車音の周波数スペクトルを調べて、なぜその周波数の音が出るのかを考えれば、風車の超低周波音が発する理由が明確になります。残念ながら、風車から、緒低周波音が発生する仕組みを解明した論文も見つかりません。

もちろん、無ければ自分で考えて、超低周波音が発生する仕組みを解明して、理論的な周波数と観測結果が一致することを示せば良いだけのことです。

次のグラフは、音の成分を調べたものです。グラフが広がっていれば、低い周波数の成分から高い周波数の成分までいろいろ入っていることを意味しています。

図1. 交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz

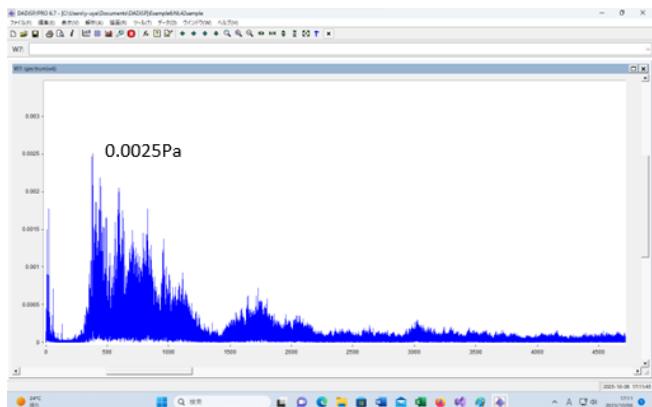


図3. 風車音（館山風の丘） 0～5000Hz

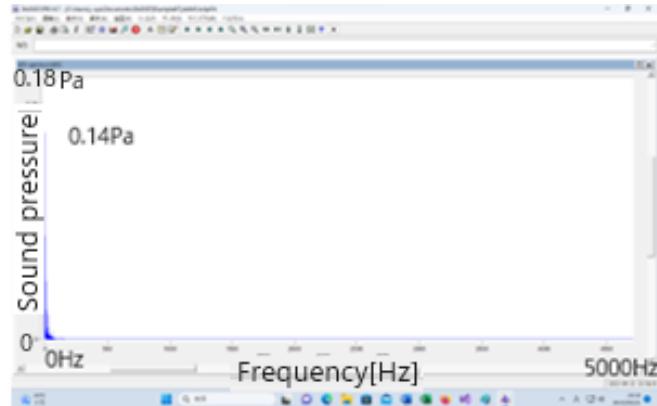


図2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz

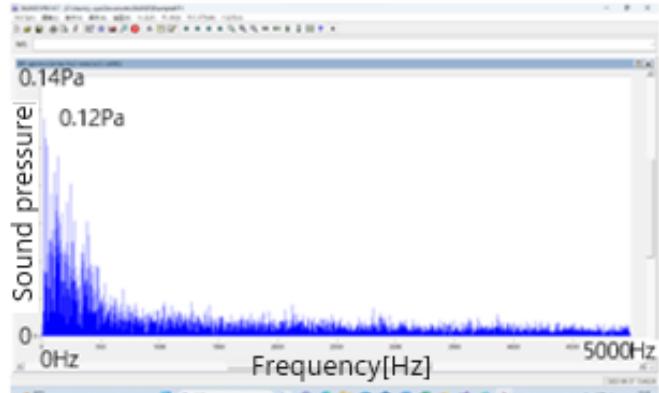


表2. エネルギーの分布

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%

交通騒音や工場での音は、グラフが広がっていることから、いろいろな周波数成分が入っている広帯域の音ですが、風車音は左隅の1か所に集中しています。風車音の成分のほとんどが超低周波音と言われる0～20Hzの範囲に集中しています。これは音のエネルギーの分布を表す表からも分ります。1か所に集中していることが、大きな問題を引き起こします。

上のグラフや表から、20Hz以上の成分は、他の環境成分には多く含まれているが、風車音にはあまり含まれていないことが分ります。エネルギーの7%から、全体の性質を評価するのは、無謀としか言えません。

超低周波音の領域での特徴を比較すれば、次の様になります。

図 4. 交通騒音（リオン社前） 0～24Hz、最大音圧 0.0015[Pa] （9.3Hz）

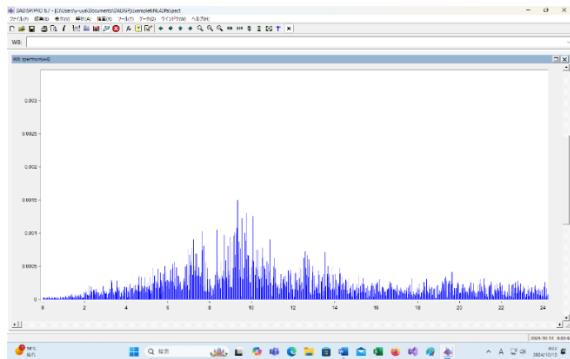


図 5. 工場騒音（製鉄所内の音） 0～25Hz、最大音圧 0.1[Pa] （12.5Hz）

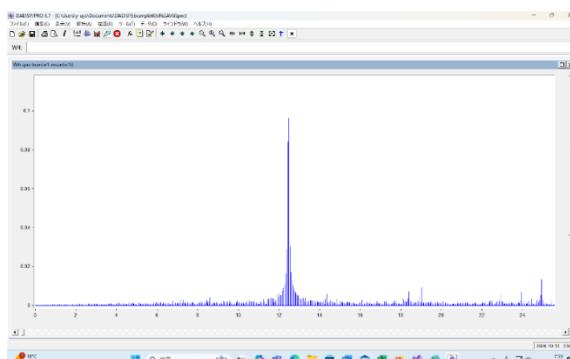
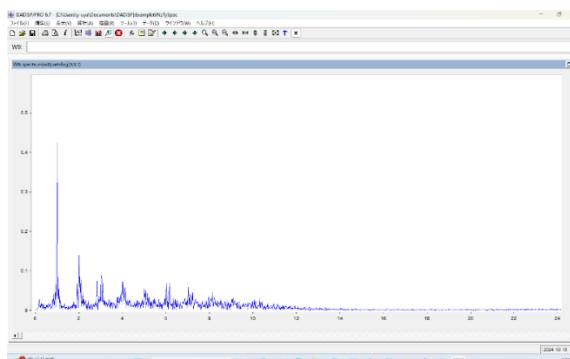


図 6. 風車音（強風） 0～24Hz、最大音圧 0.42[Pa] （1Hz）



風車音には、ピーク値となる周波数が離散的で、音圧変化に規則性があることが分かります。

上記のグラフは、NL-62 に波形収録プログラム NX-42WR を入れて、音圧の変動の様子をサンプリングレート 48 kHz で記録した WAV ファイルを作り、120 秒間のデータを DADISP で解析したものです。

[風車の音の計測結果（WAV ファイルなど）](#) の幾つかを HP に掲載していますので、自分で確認してみて下さい。

例えば、風車音が指向性を持つという論文がすでにあるのです。風車の上にあるナセルの振動や、塔の地上 40mあたりの振動の様子を調べた論文もあるのです。物が振動したときに、音がどのように発生して伝搬するかを説明してある本“空力音響学”もあるのです。流体力学の本を見ればブレードに掛かる揚力の計算も可能です。

- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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

風車音の周波数を詳細に調べ、これらの研究結果と組み合わせれば、風車から超低周波音が発生し、そのエネルギーが大きいことが分ります。

それが分からないのは、過去の知見を、選別して都合の悪いものを無視してきたからです。さらに、低周波音の被害に関する調査や研究を無視してきたからです。“これまでに得られた知見”とあるが、これまでの知見のうちで不都合なものを無視して得られる“知見”というべきです。これでは、“学問を退化させた”結果であるとしか言えません。精密騒音計も性能が上がりました。“SA-A1” や “NL-63” を使って計測し、周波数分解能を 0.01Hz よりも細かくして解析すれば問題点はすぐに分かります。

1. 2. 3 スウィッシュ音(振幅変調音)

- 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(スウィッシュ音)として聞こえる

“風力発電施設のブレード(翼)の回転に伴い発生する音”と言うならば、過去の研究結果をしっかりと調査すべきです。例えば、

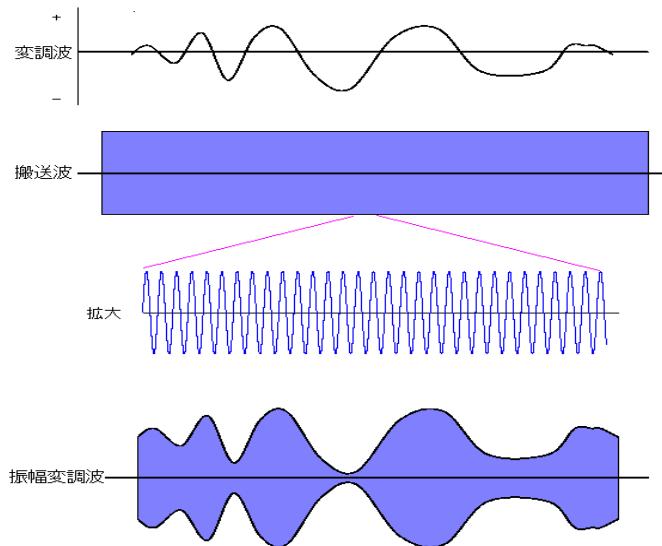
“風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について”

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jweasympo/38/0/38_69/_pdf)

を見れば、風車音が強い指向性を持っていることが分ります。そして、ブレードの枚数、回転数に関連した周波数の音が強い事も分ります。振幅変調を考える前に、風車音を幾つかの周波数領域に分解して特徴を観察しておく必要があります。

ここで、振幅変調と言う言葉の意味を確認します。昔、ラジオを自作して事があるに人にとっては、振幅変調(AM)、周波数変調(FM)と言う言葉は懐かしい言葉です。

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、 $A\sin(\omega t)$ 、高周波音をと $B\sin(200\omega t)$ 書いてみたときに、

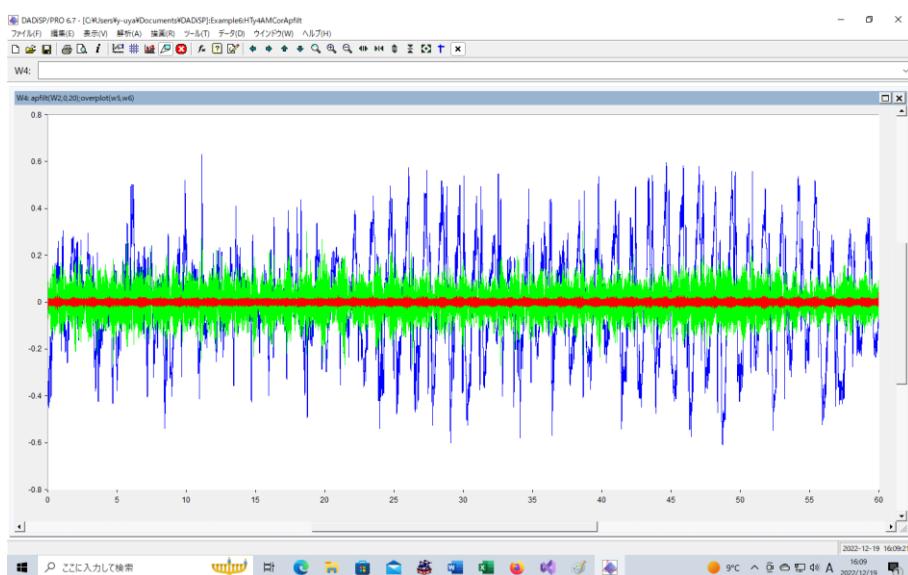
$0, B > 0$ で A, B はほぼ等しいとしておく。)

振幅変調は、 $(B + 0.1A\sin(\omega t)) * \sin(200\omega t)$ のように、振幅 B が変動するべきである。

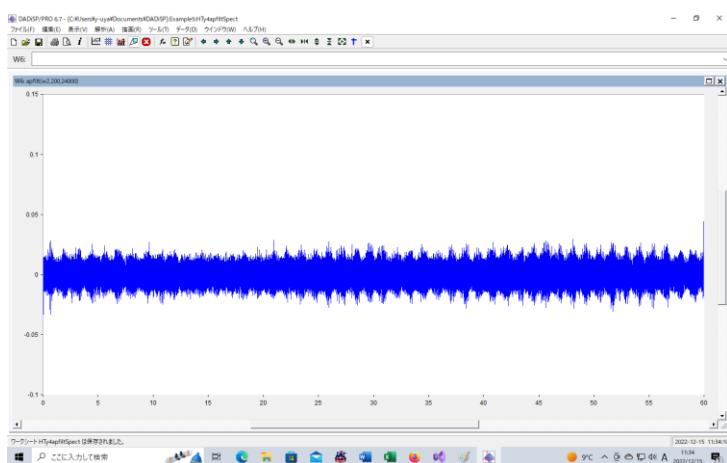
観測された風車音の場合は、 $A\sin(\omega t) + 0.01B\sin(200\omega t)$ のような形であり、強い超低周波音の上に、弱い高周波成分が作用して、小さな波が立っているような状態です。

館山の風車騒音のデータを使って考えます。観測された音を、0~20Hz の成分、20~200Hz の成分、200~24000Hz の成分に分解すると次のグラフになります。

0~20Hz を青、20~200Hz を緑、200~24000Hz を赤として重ねたものが次の図です。

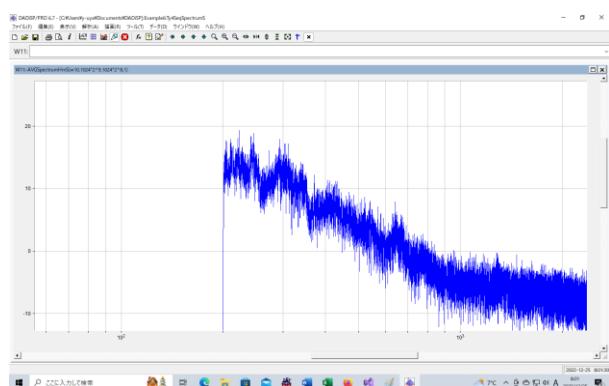


200~24000 Hz の成分だけならば、次の図になります。



ここでは、振幅変調と言える現象がみられる。

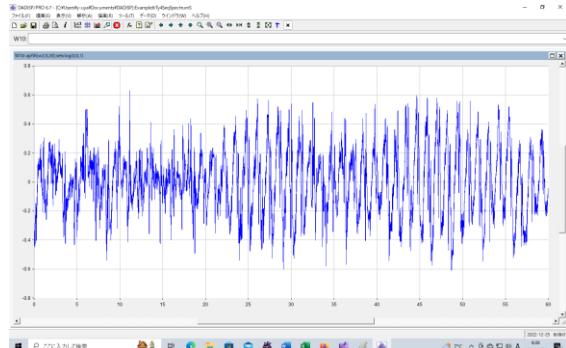
この高周波成分の音圧レベルは、次のグラフのように、15 dB から 18 dB 程度です。



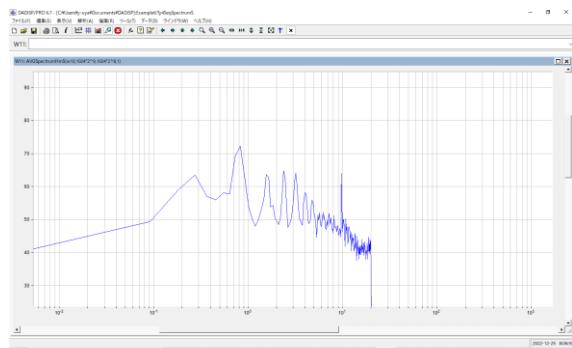
防音窓での減衰を 24 dB とすれば、-11 dB～-6 dB 程度です。この部分の変動を室内で感知するのには困難です。

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

0Hz～20Hz の周波数成分は、次のようにあります。



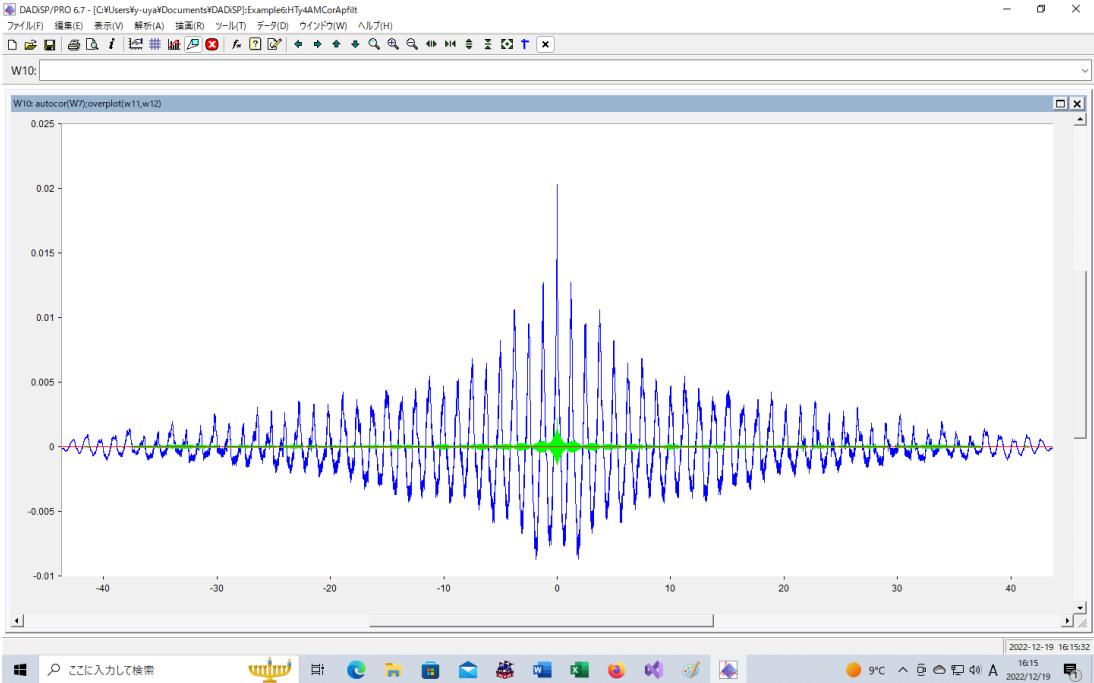
音圧レベルは、50 dB～70 dB 程度です。



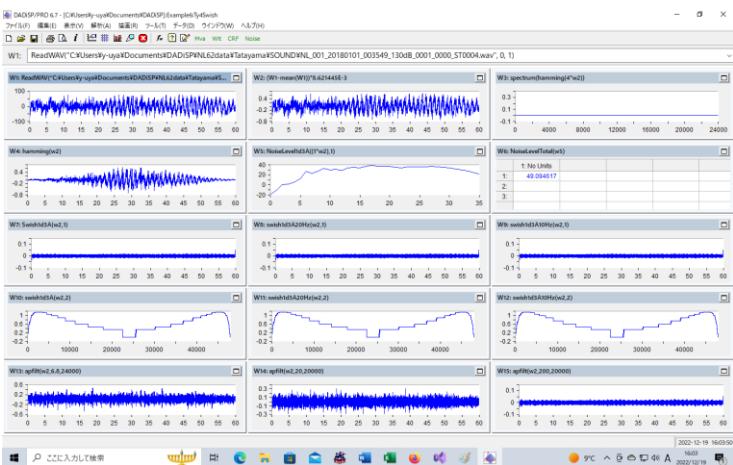
この部分は防音窓での減衰は 7 dB 程度しか期待できません。人間は、聴覚以外の感覚器官も持っていることや、ガタツキ閾値に関連した振動による睡眠妨害を考える必要があるので、室内での被害を考えるとき

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。

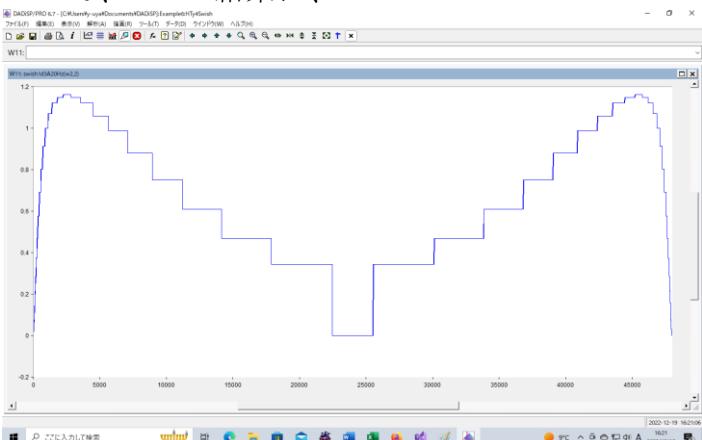
自己相関では、超低周波音成分での周期性が目立ちます。



FFT の結果に、周波数を切り出す窓関数を書いて計算したのですが、窓関数として、A 特性の重み付けを利用すると、次の様になります。



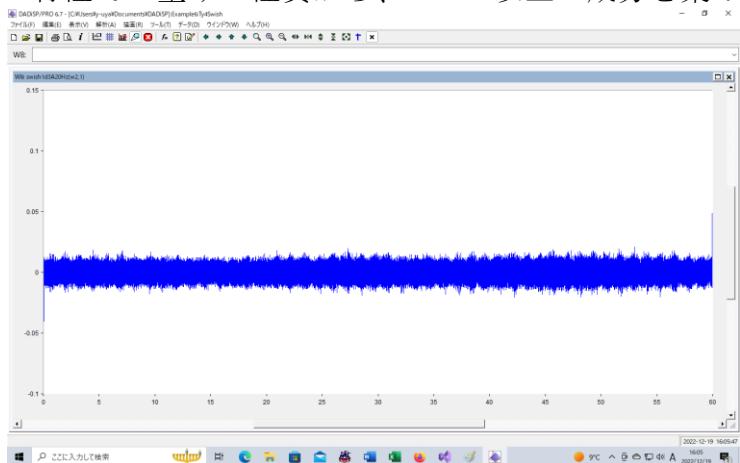
ここで、FFT の結果に、



を掛けて、逆変換すれば、A 特性の重みをつけながら、20~2000H z の周波数成分を集めた波形が得

られます。それが次のグラフです。

A特性での重みの性質から、200Hz以上の成分を集めたグラフと同じようなグラフになります。



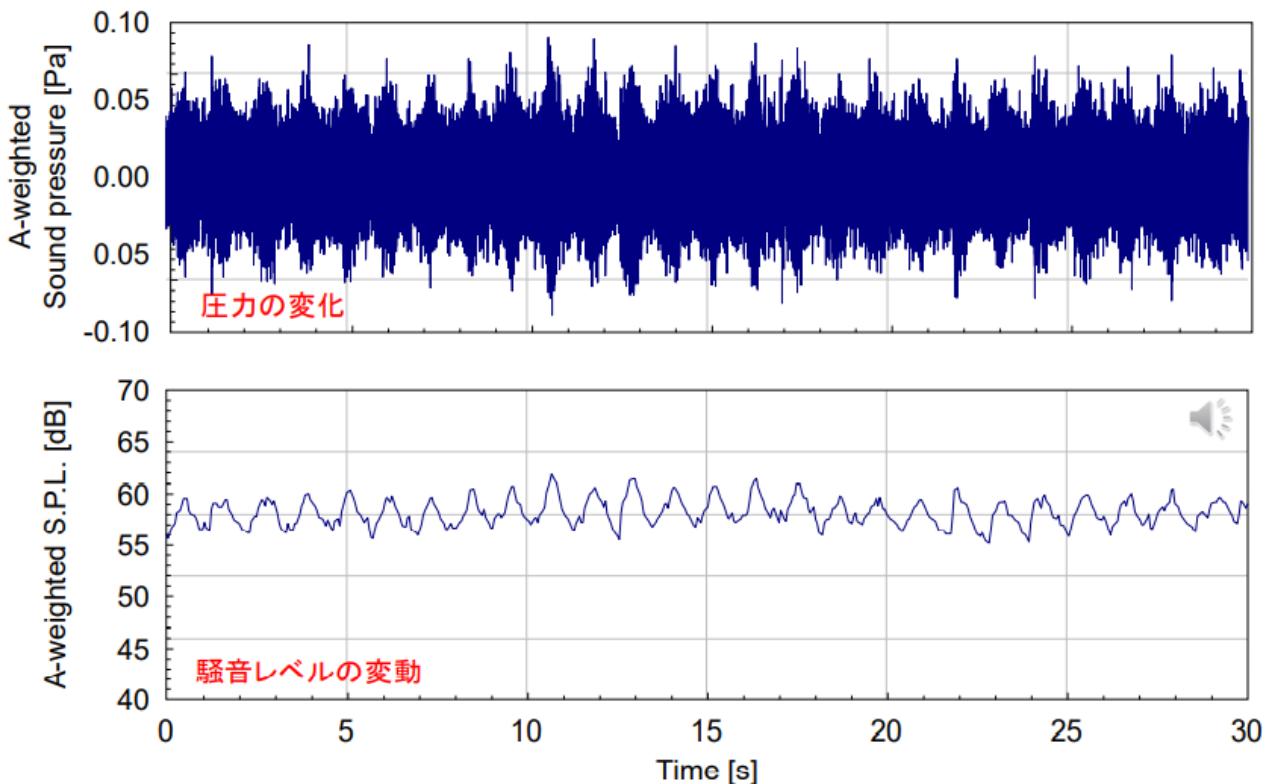
風車騒音のレベルは、通常それほど高いものではないが、振幅変調音（スイッショウ音）が聞こえ、一部の風力発電施設では純音性成分を含むという特殊性があることから、交通騒音等の他の騒音と比較して、より耳につきやすいことが指摘されており、人々静穏な地域に建設されるような場合には、比較的低い騒音レベルであっても苦情等が発生する事例がある。

に関しては、屋外と室内での同時計測の結果が必要です。本当に可聴域での振幅変調が影響しているか否かは室内での計測結果を見なければ判断できません。

振幅変調音(スイッショウ音)の原因

特徴的な風車騒音の紹介

振幅変調音(AM音, スイッショウ音)



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。



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）

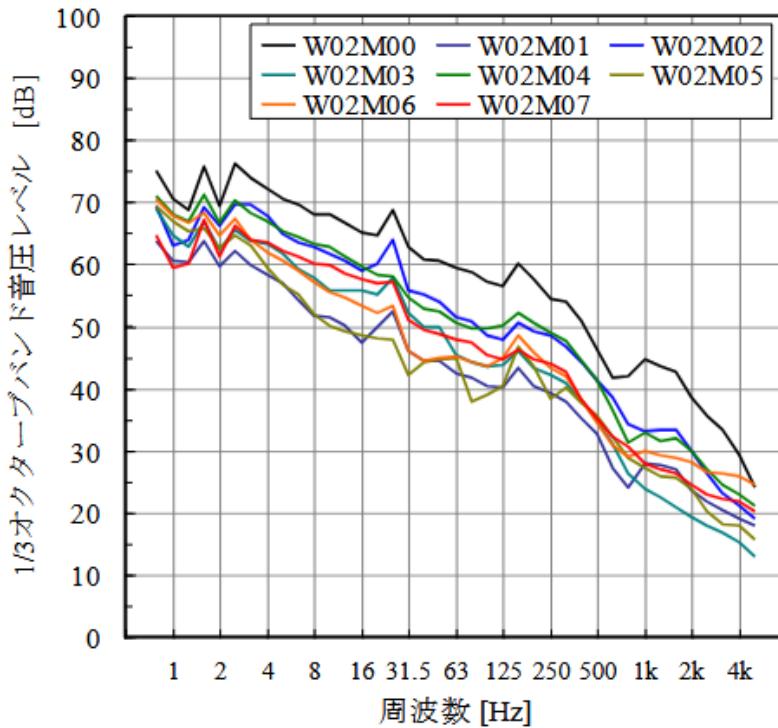


図2-1 各測定点における1/3オクターブバンド音圧レベル

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。

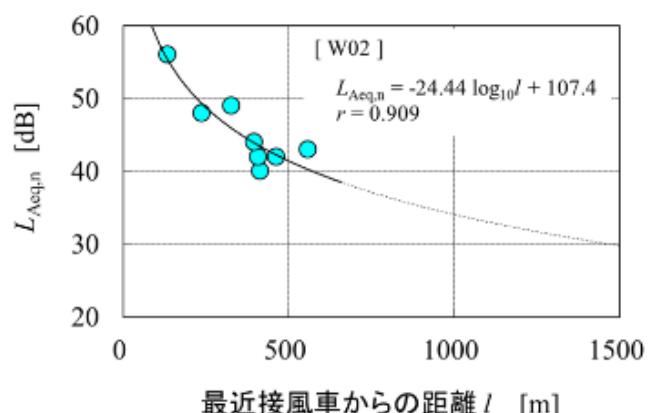


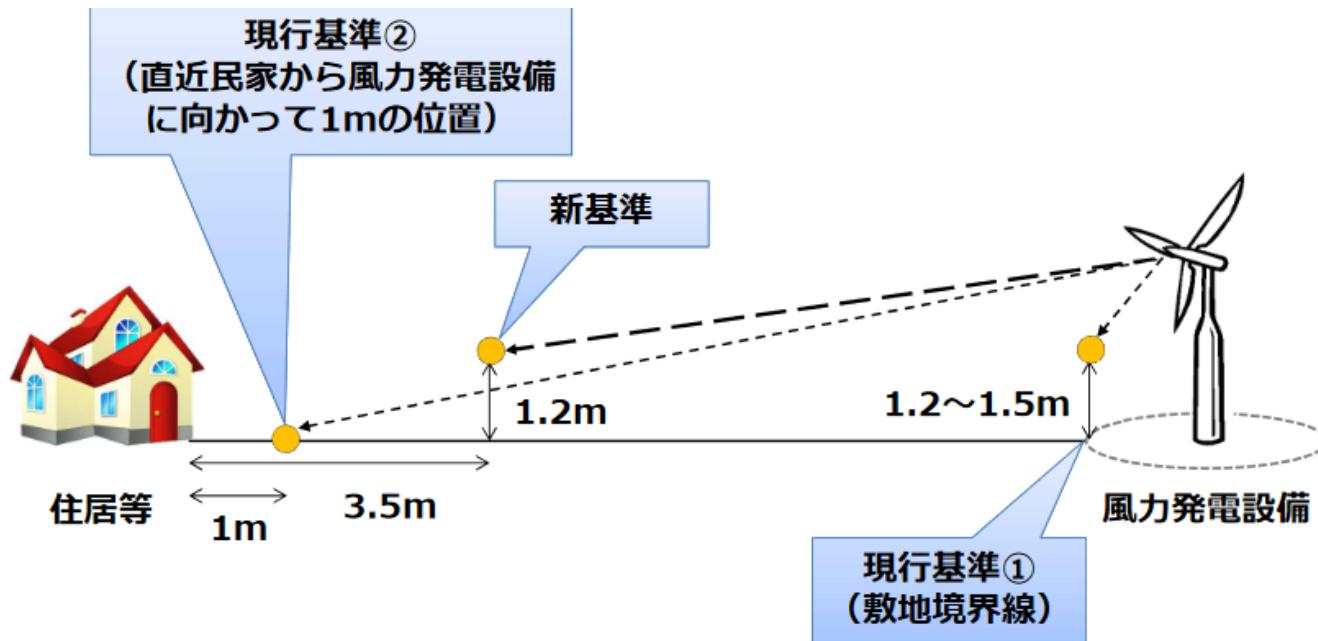
図2-2 等価騒音レベル L_{Aeq} の距離分布

備考：

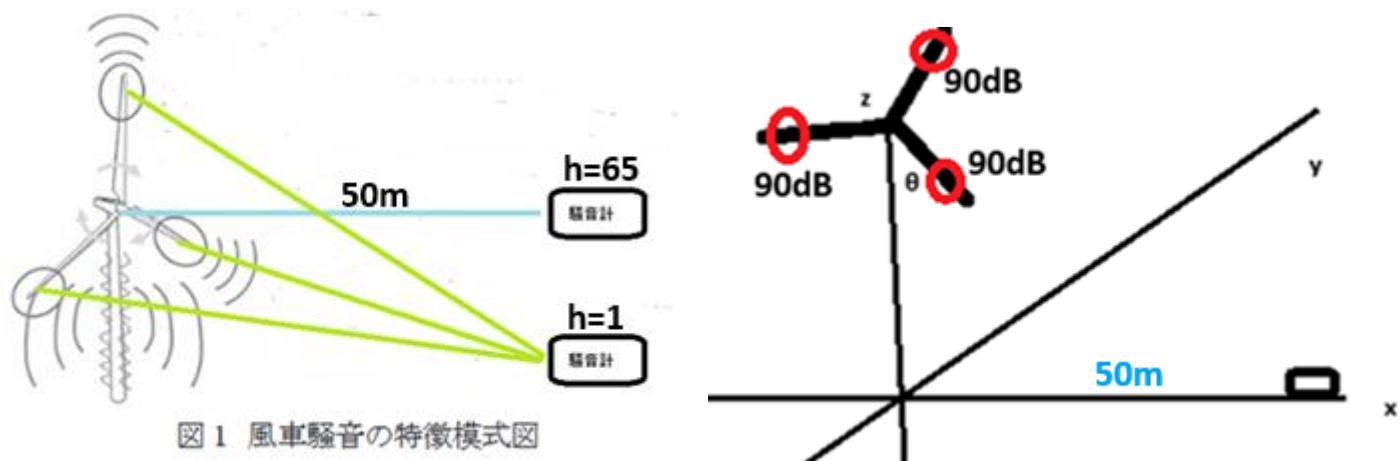
M00～M07の測定値から作成。

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。



「房総かぜの丘」の風車は、タワー高さ 65 m、ブレード直径 70.5 m
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、

$$\begin{aligned}
 L_p &= L_W + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r^2} \\
 &= L_W - 10 \log_{10} 4\pi r^2 \\
 &= L_W - 10 \log_{10} r^2 - 10 \log_{10} 4\pi \\
 &\approx L_W - 20 \log_{10} r - 11
 \end{aligned} \tag{式 1}$$

となるので、

$$L_{pi} = L_{Wi} - 20 \log r - 11$$

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。

$$\Sigma L = 10 \cdot \log_{10}(10^{L1/10} + 10^{L2/10} + \dots + 10^{Ln/10})$$

ここで、

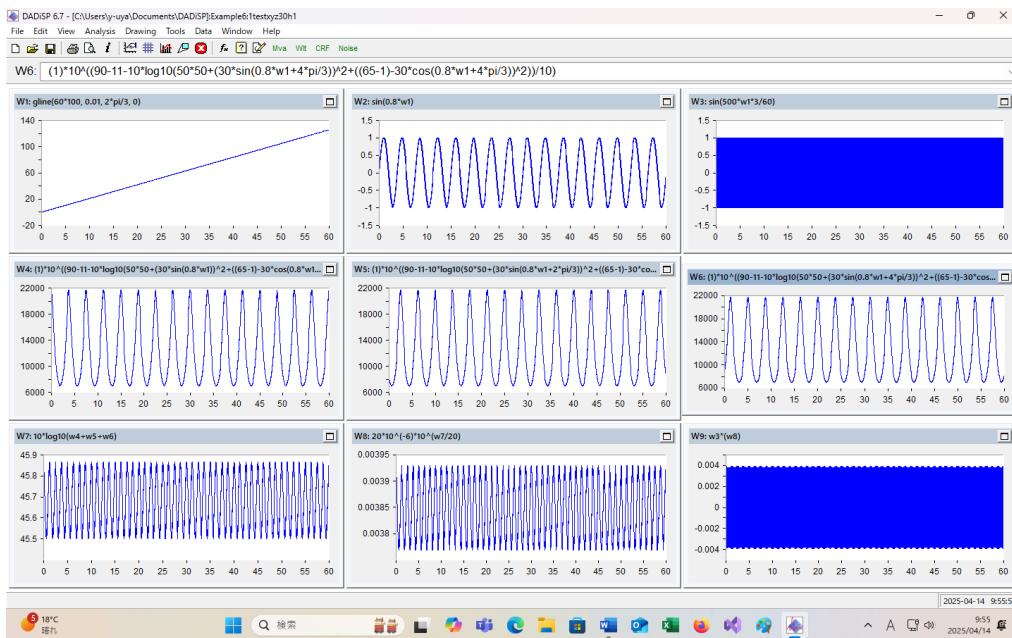
ΣL : 合成された低周波音圧レベル(dB)

L_n : 発生源 n に対する低周波音圧レベル(dB)

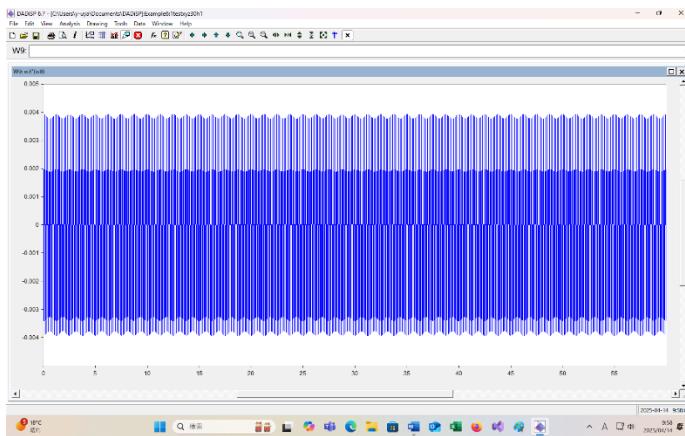
合成された結果、200Hz の音が計測されて、その音圧を p としたとき、

$$\sum L_i = 20 * \log \left(\frac{p}{20 * 10^{-6}} \right)$$

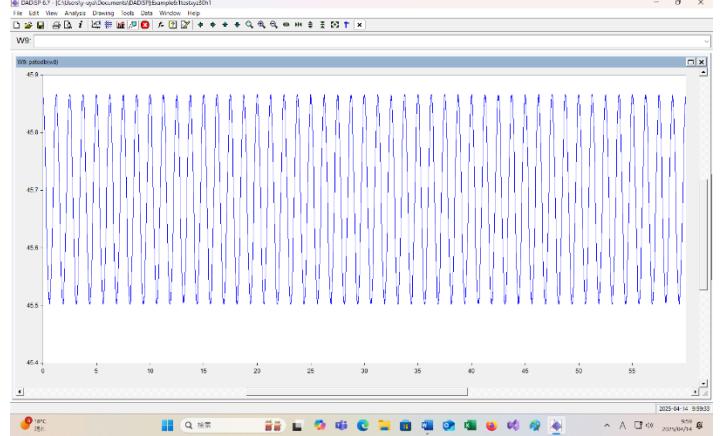
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 1 m で、ブレードの回転面が y z 平面にあるときは、次の様になります。



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、45.5~45.9 dB での変動になります。

計算式は、

W1 : 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)

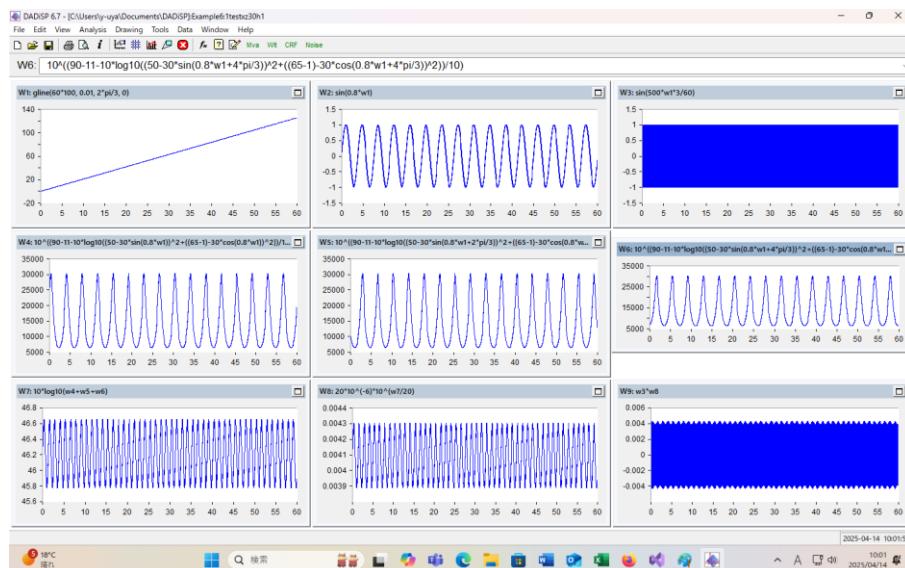
W7 : 10*log10(w4+w5+w6)

W8 : 20*10^(-6)*10^(w7/20)

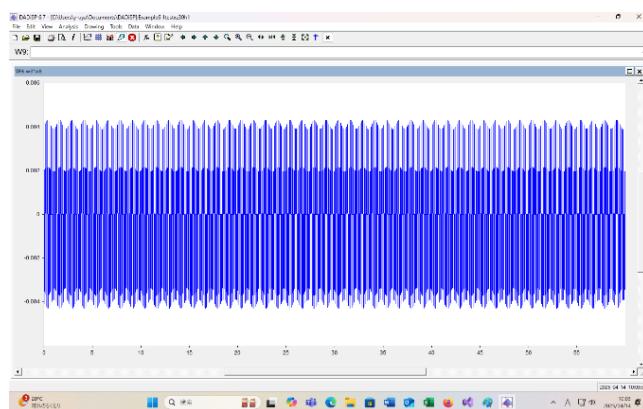
W9 : w3*(w8)

となっていきます。

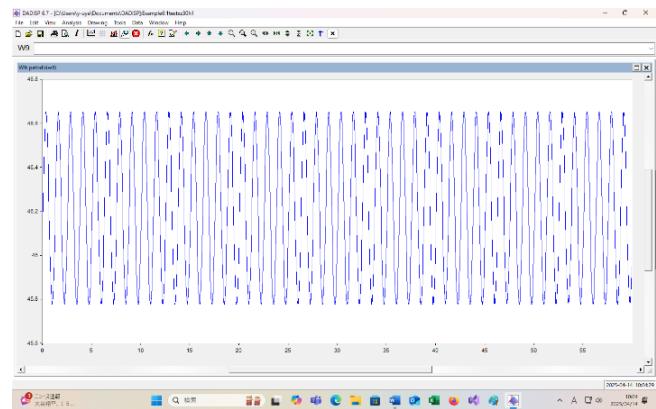
風車と騒音計の水平距離が 50mで、騒音計の場所が高さ 1 mで、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になります。



振幅変調（パスカル値）

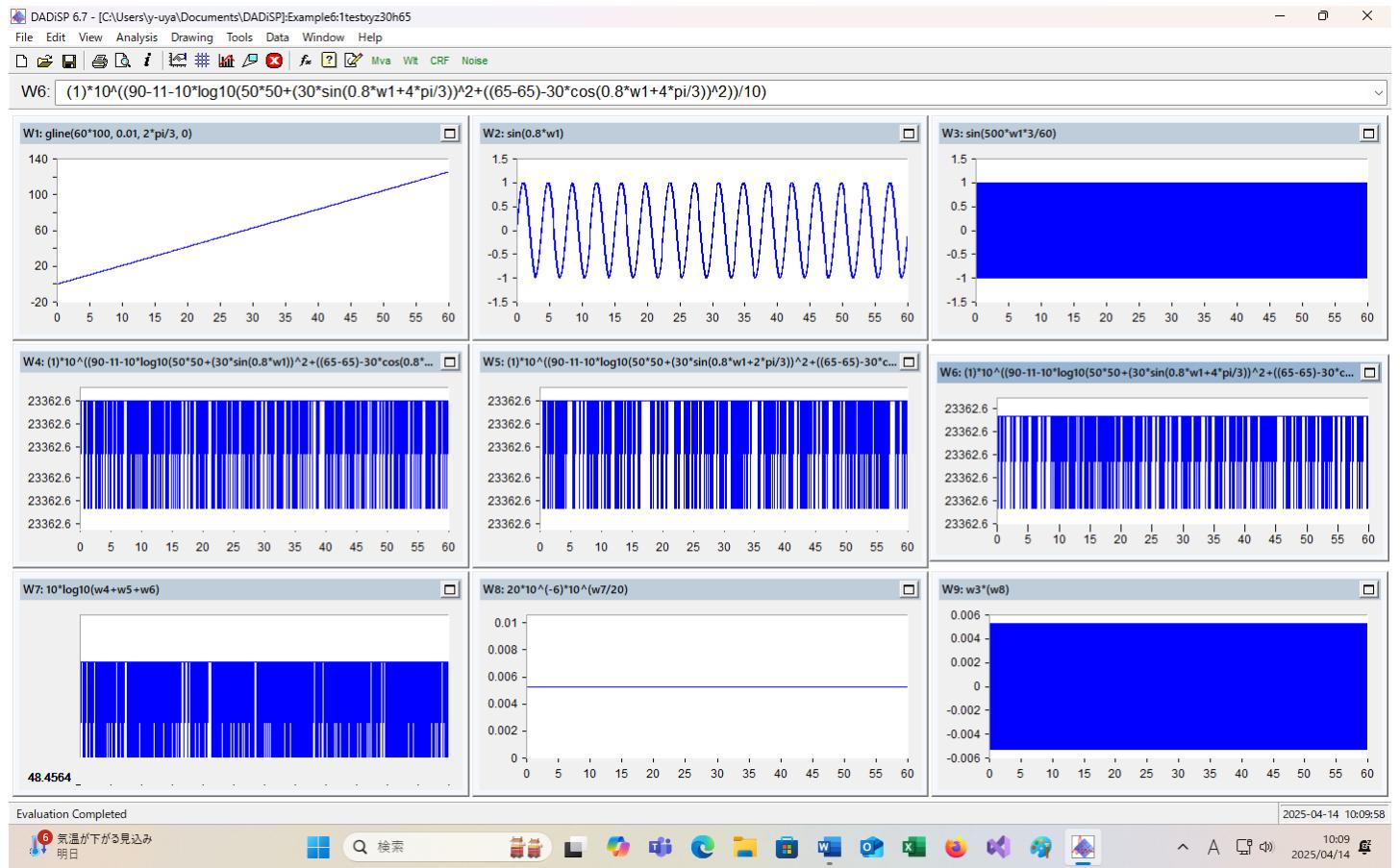


音圧レベルの変動（デシベル値）

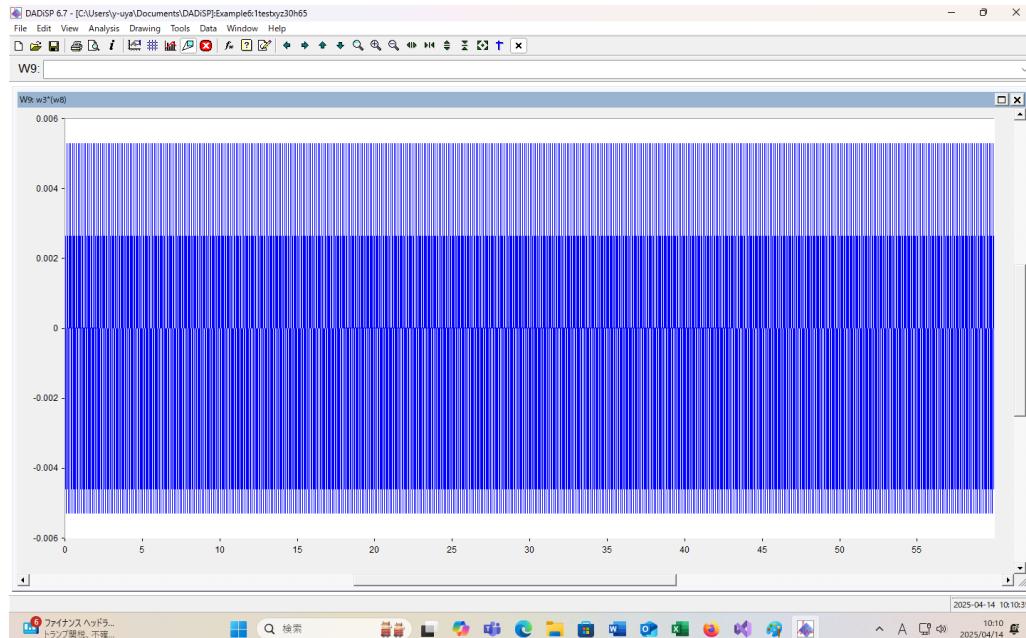


音圧レベルは、45.8~46.7 d B の変動になります。

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 y z 平面にあるときは、次の様になります。

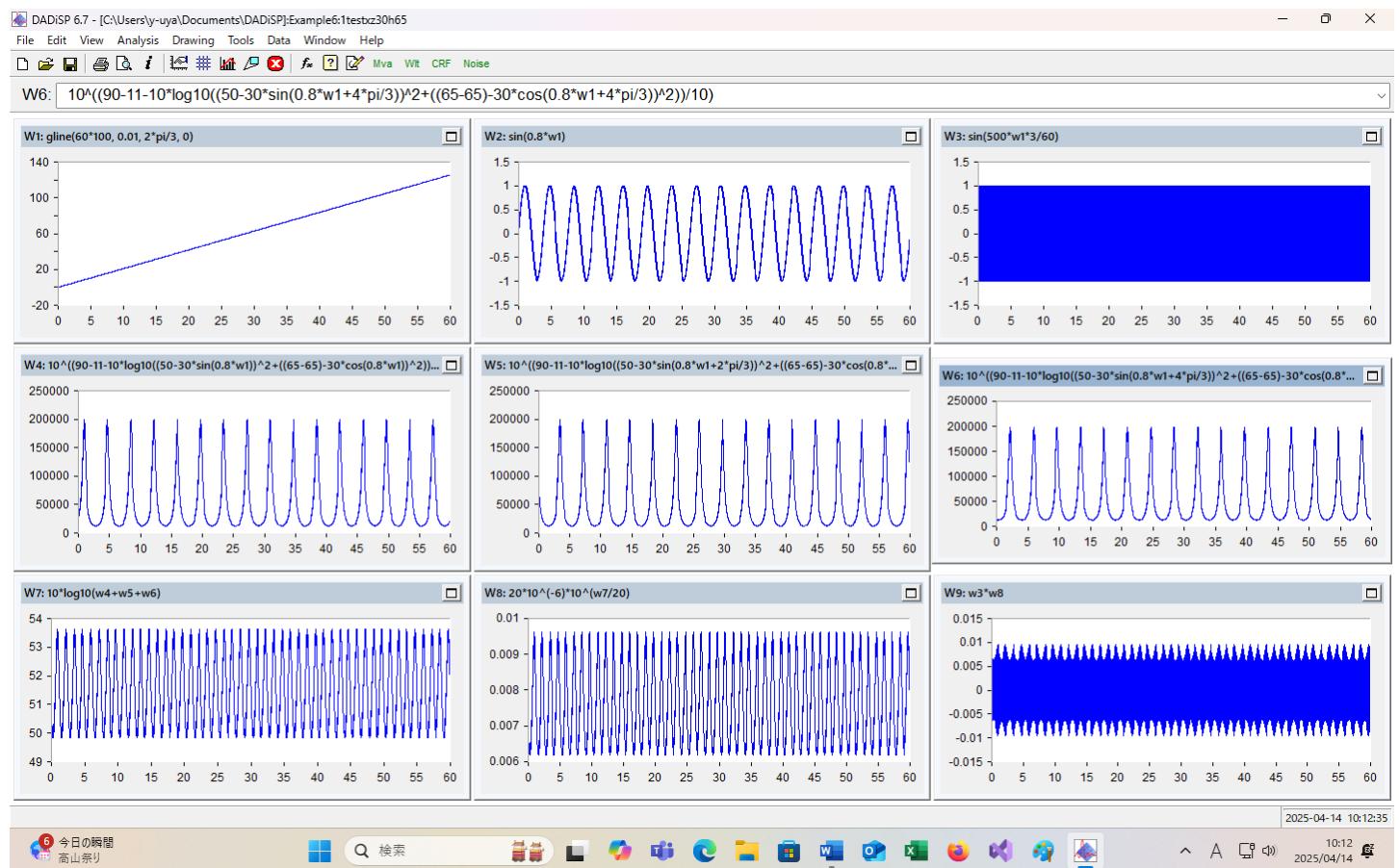


振幅変調（パスカル値）



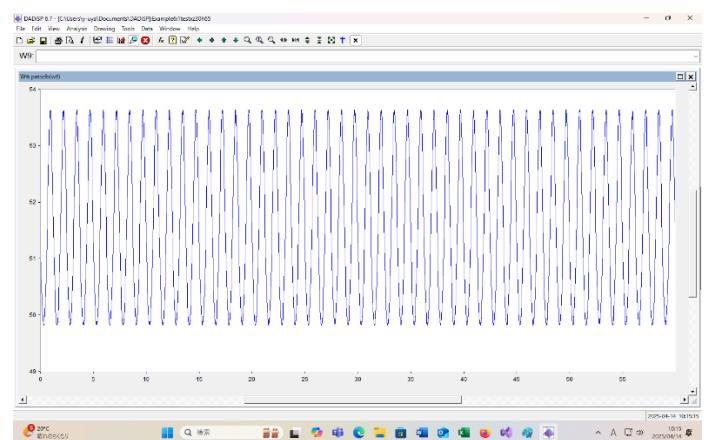
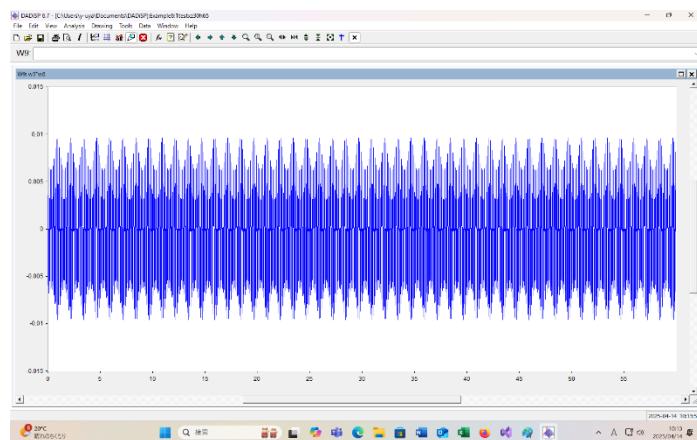
振幅の変動は起きません。

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、次の様になります。



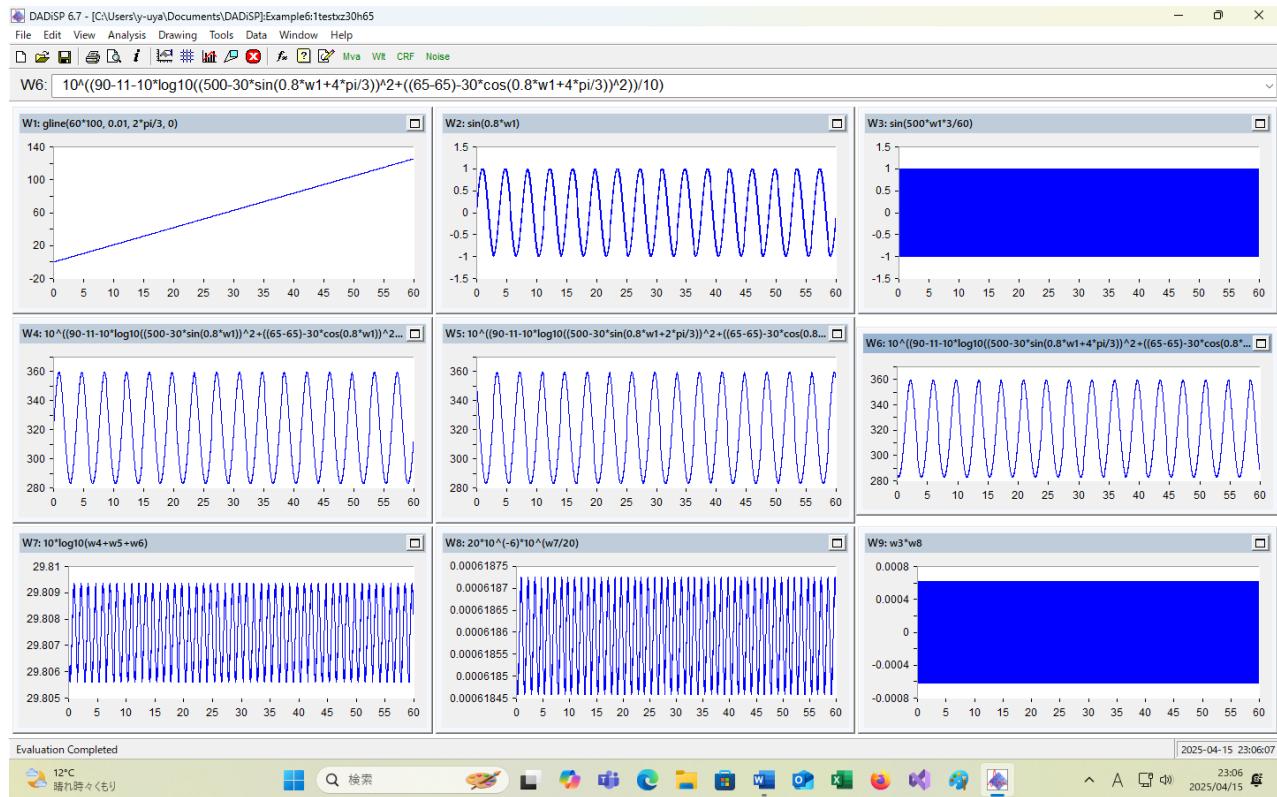
振幅変調（パスカル値）

音圧レベルの変動（デシベル値）

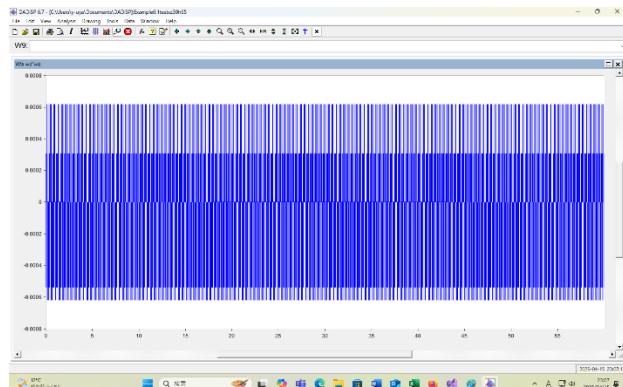


音圧レベルは、50~54 d B の変動となります。

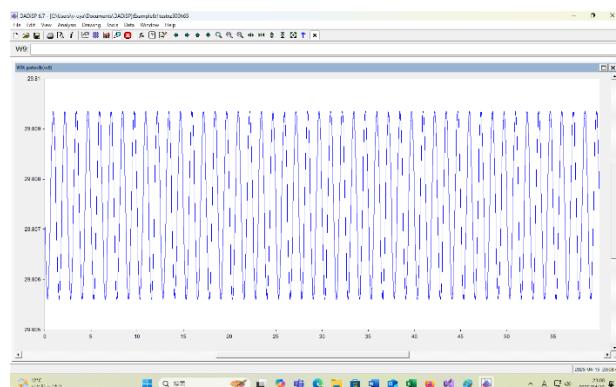
風車と騒音計の水平距離が 500mで、騒音計の場所が高さ 65mで、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になります。



振幅変調（パスカル値）



音圧レベルの変動（デシベル値）

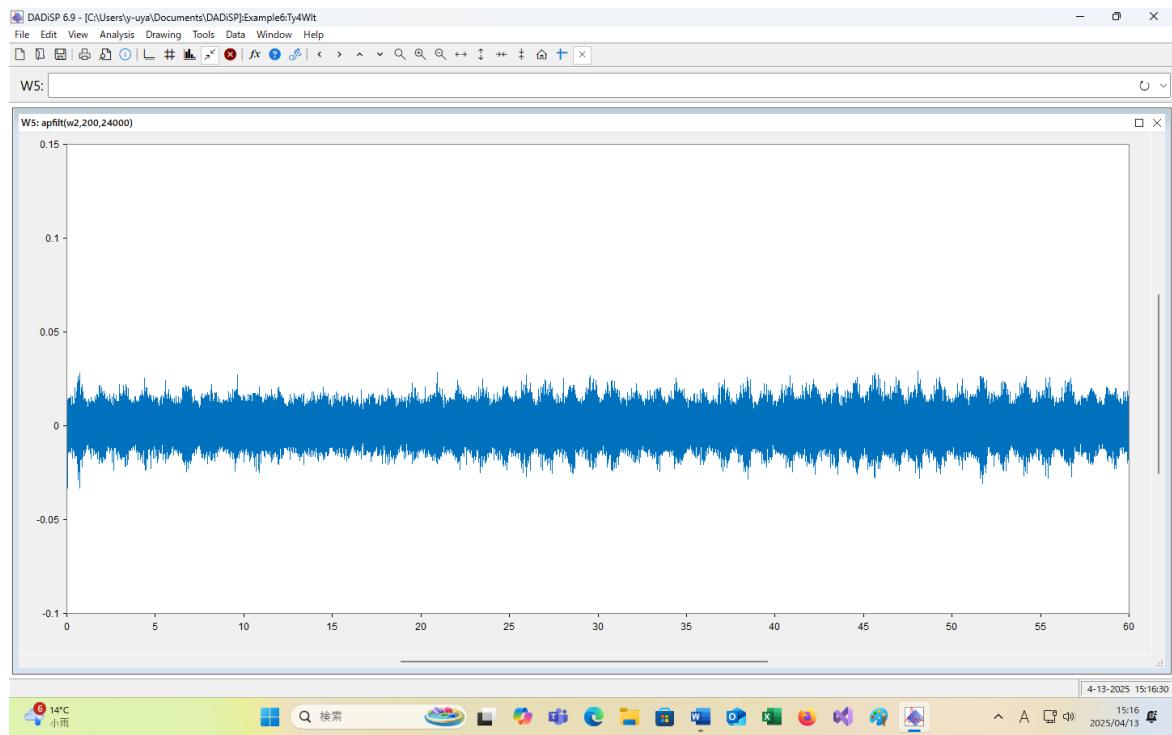
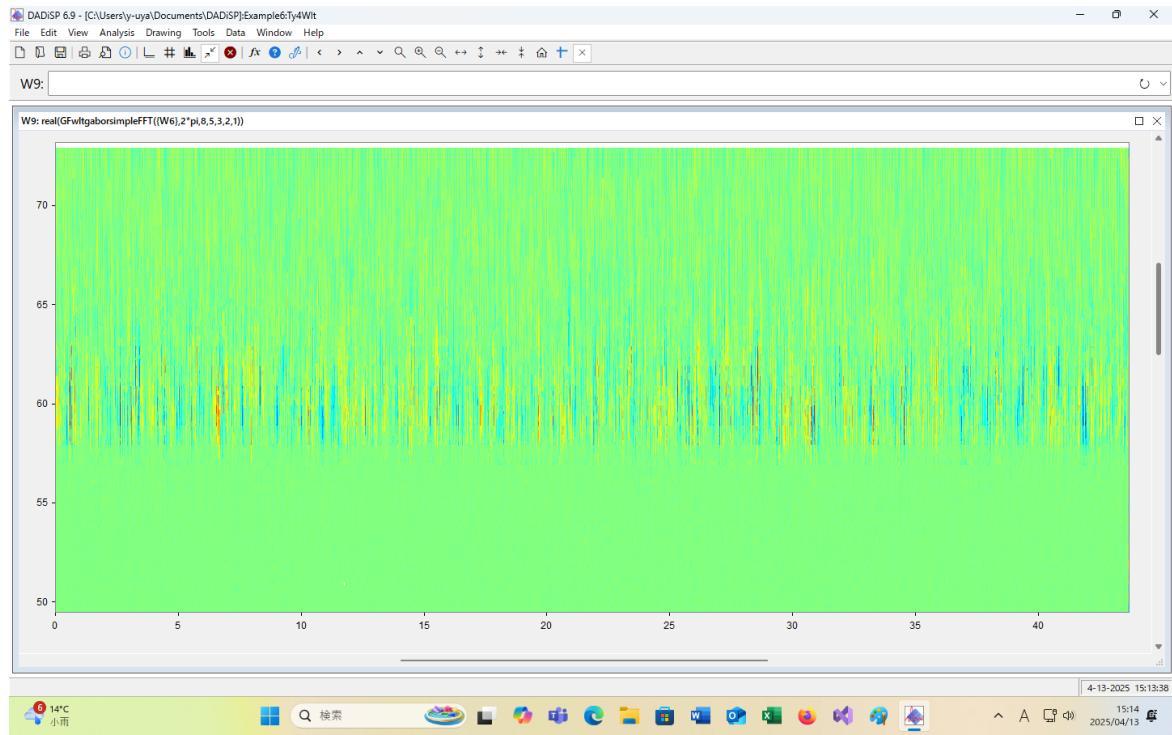


音圧レベルは、29.805~25.809 d B の変動となります。

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

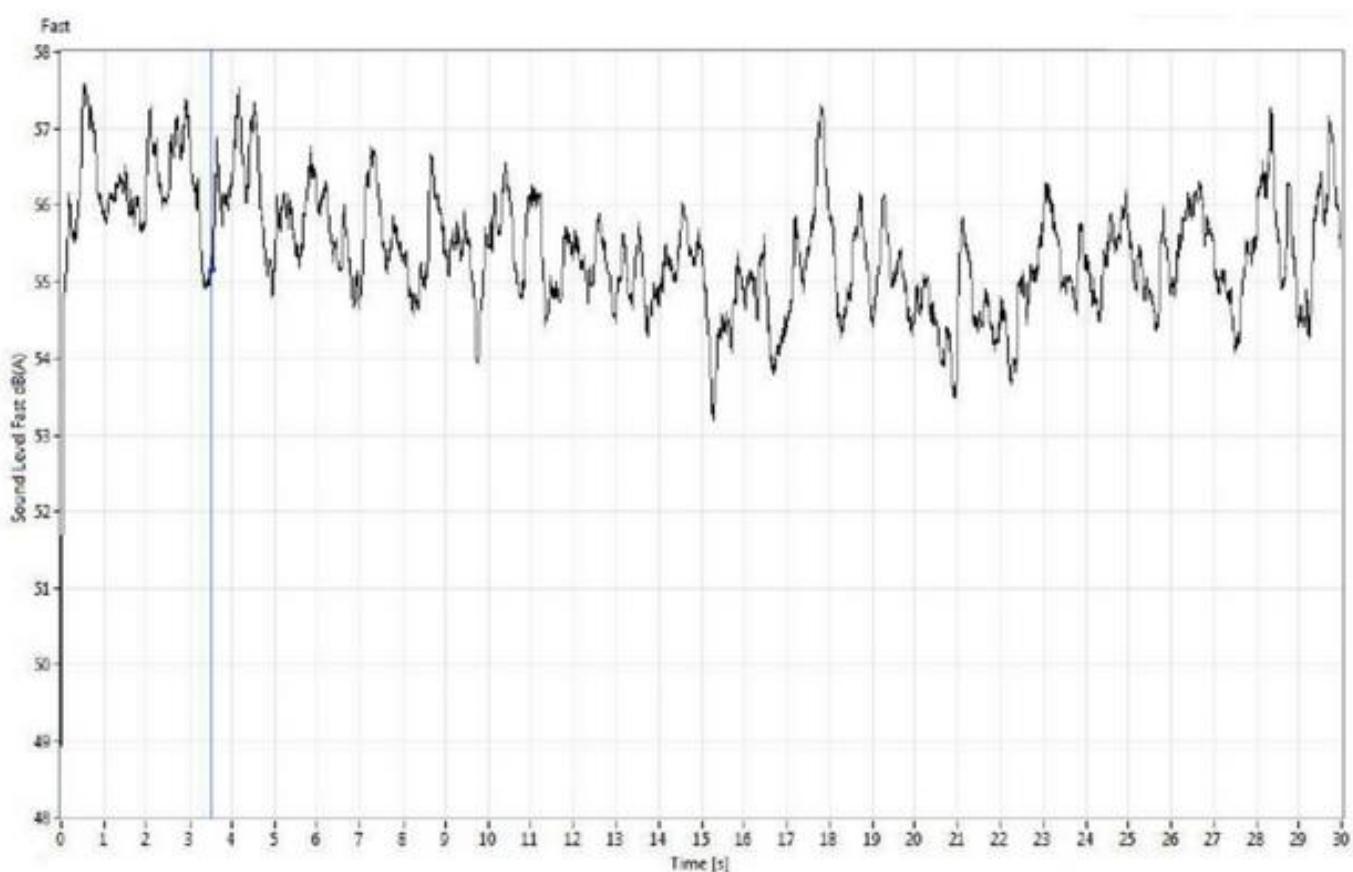
スウィッシュ音に関して、ある風車会社の資料に、次のような記述がありました。

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、54 dB から 57 dB の間で変動すると判断できます。（平均では 55.5 dB 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 $LP(120)=55.5 \text{ dB}$ ならば、音源のパワーレベル L_W は

$$L_{pi} = L_{Wi} - 20\log r - 11$$

より、

$$55.5 = L_{Wi} - 20\log 120 - 11$$

$LW=108.1$ となる。

500m離れた場合は、

$$L_{pi} = 108.1 - 20\log 500 - 11$$

より、 $LP(500) = 43.1 \text{ d B}$ となる。

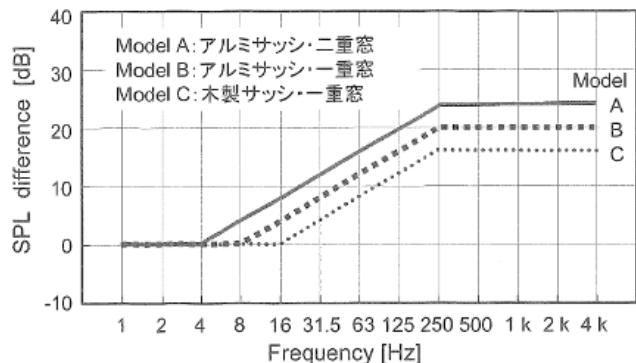


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

200 Hz だと、防音窓での減衰は、25 d B 程度なので、

120m地点で、防音窓のある室内では、29 d B~32 d B となり、

500m地点で、防音窓のある室内では、 $43 - 25 = 18 \text{ d B}$ となり

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	5 0 db	<ul style="list-style-type: none"> 静かな事務所 家庭用クーラー（室外機） 換気扇（1 m）
	聞こえるが、会話には支障なし	4 0 db	<ul style="list-style-type: none"> 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	3 0 db	<ul style="list-style-type: none"> 郊外の深夜 ささやき声
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> 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。

1. 2. 4 純音性の音

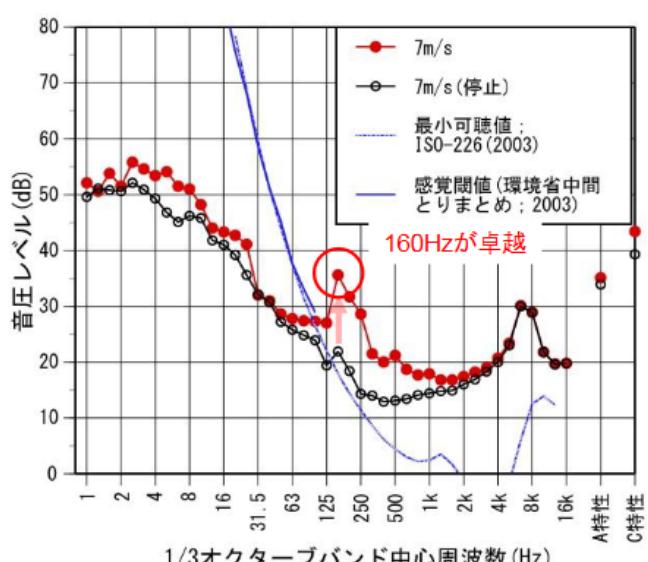
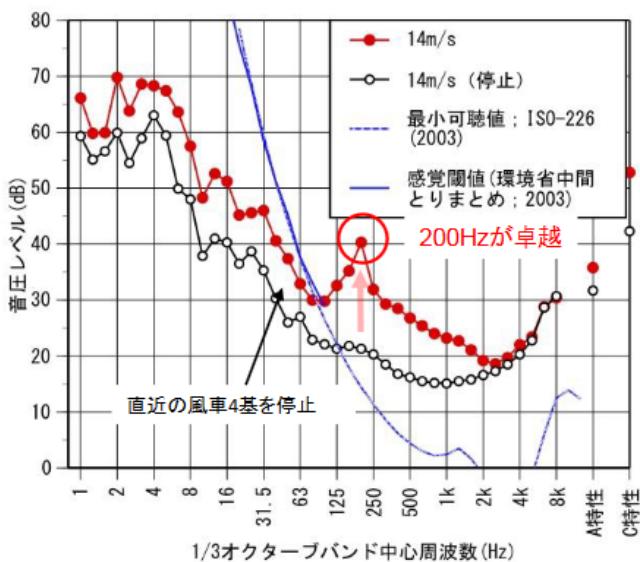
- 機種によっては、内部の増速機や冷却装置等から、
ウーン、あるいはブーンといった純音性の音（純音性成分）が発生

アノイアンスの上昇が純音にあるように書いています。もちろん純音成分があれば、アノイアンスは増加するでしょう。

しかし、

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

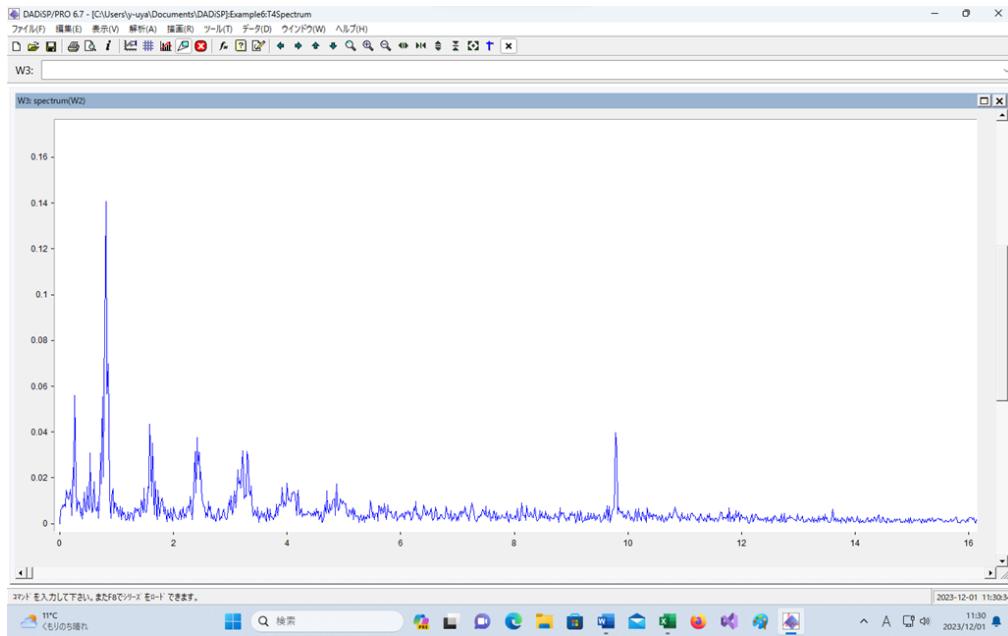
右：風車より350m、木造家屋-屋内

* 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

25

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、35~40 dB の音圧レベルの純音は気にするのに、音圧が 50~70 dB 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。

70 dB - 40 dB = 30 dB です。

音の大きさに〇〇デシベルの差があるとは？	大きさは何倍なのか
60デシベルの差とは→	百万倍の差
50デシベルの差とは→	10万倍の差
40デシベルの差とは→	1万倍の差
30デシベルの差とは→	1千倍の差
20デシベルの差とは→	100倍の差
10デシベルの差とは→	10倍の差

$\Delta \text{dB} = 10 \log(1/A)$

エネルギーでは、1000倍です。

微小な変動に注目するが、巨大な圧力を無視する姿勢は、科学的とは言えません。

周波数の高い音は、マンションのガラス戸を閉めれば聞こえなくなります。

周波数が低い音ほど、エネルギー透過率が高く、遮蔽が困難なのです。さらに、機密性の低い日本家屋では、超低周波音による気圧変動の影響を直接受けます。

家のグラフの左端には、1 Hz から 5 Hz の周波数成分が可聴音とは比べ物にならない強さで存在していることを示しています。1 Hz は日本家屋の固有振動数に近く、5 Hz は障子などの建具の固有振動数に近いのです。残念ながら、このグラフでは正確な周波数は分かりません。

風雑音か否かを判断するには、風車音の発生する仕組みを理解しなくてはなりません。それに踏まえての議論が必要です。

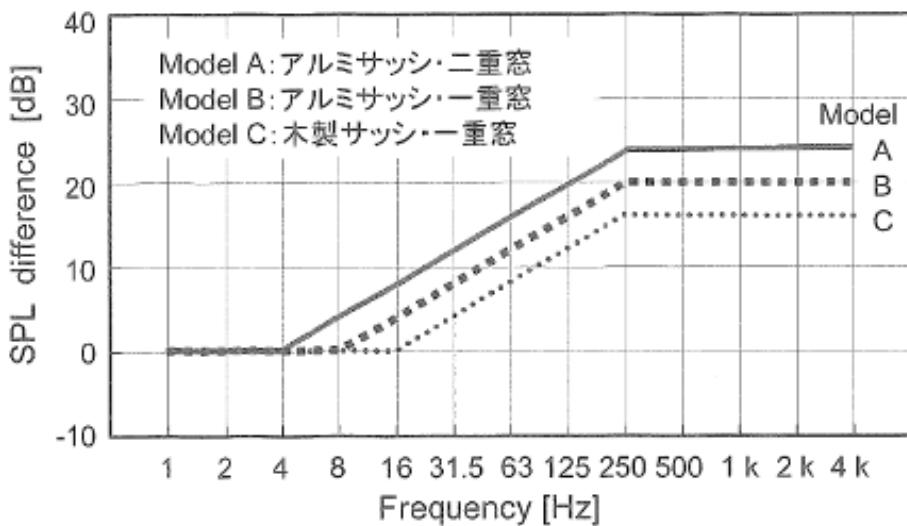


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

160Hz、200Hzならば、防音窓の効果で、 $15-20 = 20$ dB、 $40-20 = 20$ dBとなり、室内では、20 dBの騒音レベルになります。これは、室内で生活する人間にとって問題とはなりません。

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

周波数の高い音は、マンションのガラス戸を閉めれば聞こえなくなります。

周波数が低い音ほど、エネルギー透過率が高く、遮蔽が困難なのです。さらに、機密性の低い日本家屋では、超低周波音による気圧変動の影響を直接受けます。

グラフの左端には、1 Hzから5 Hzの周波数成分が可聴音とは比べ物にならない強さで存在していることを示しています。1 Hzは日本家屋の固有振動数に近く、5 Hzは障子などの建具の固有振動数に近いのです。残念ながら、このグラフでは正確な周波数は分かりません。

この1～5Hzの成分については、“風雑音”だとする見解もありますが、風車音の精密な周波数スペクトルを示した議論は見つかりません。

“風雑音”か否かを判断するには正確な周波数特性と音圧変動の様子が風車音の発生する仕組みに合致していることを理解しなくてはなりません。

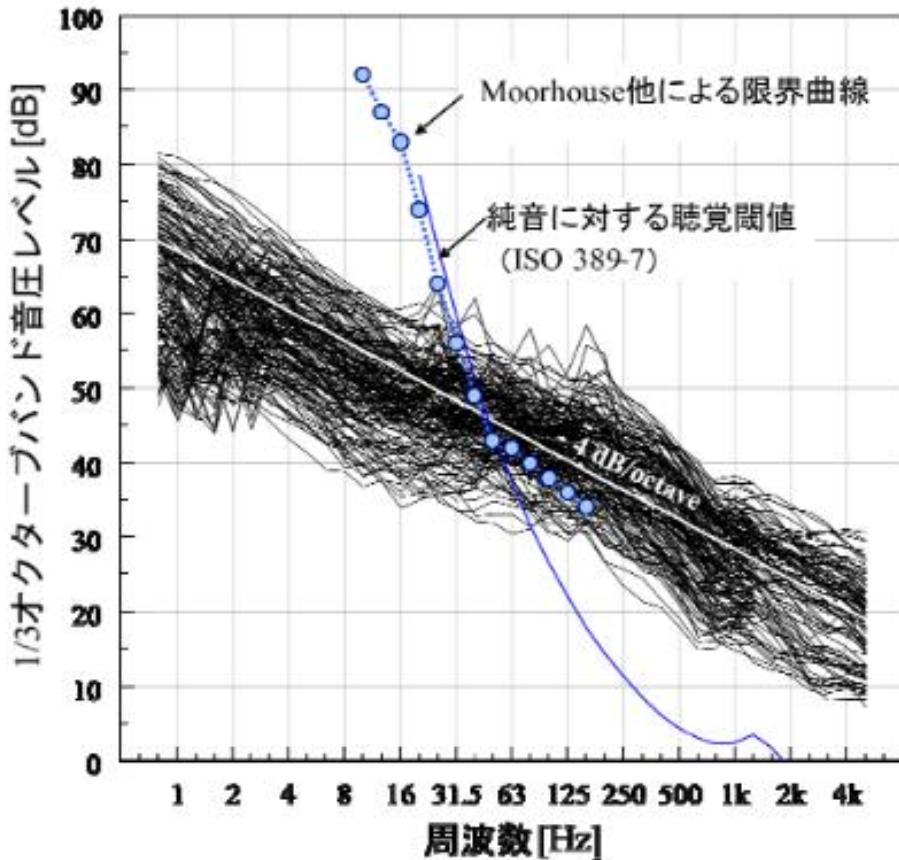
私が計測したデータでは、この成分は“風雑音”ではなく、風車からの超低周波音であることが、その周波数特性が、風車音の発生する仕組みと一致していることが分ります。

風雑音ではないので、騒音計を車に積んで、風が当たらないようにして計測しても、超低周波音が観測されます。

さらに、上のようなグラフを使って、純音成分と言われても、160Hzや200Hzの純音成分が含まれているとは判断できません。それは、1/3オクターブ解析の結果だからです。

全国164か所での実測データの中身

[“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）” 4 p](#)



にある図をよく見ると、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
$\Sigma (\text{Pa}^* \text{Pa})$	0.010048	0.004	0.001592		0.000634				0.000252
$\text{Pa}^* \text{Pa}/\text{Hz}$	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

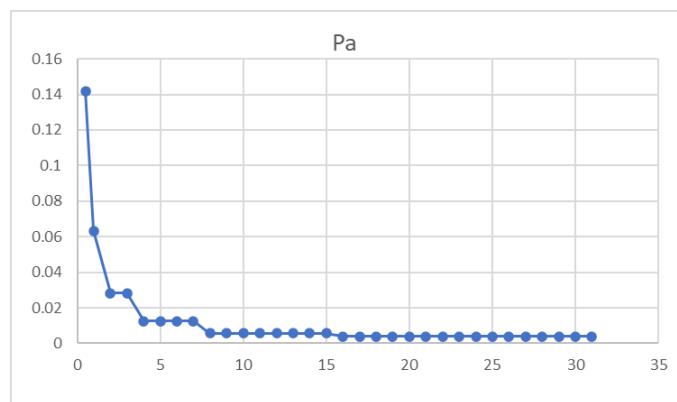
4Hz以上、8Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、62dB

です。

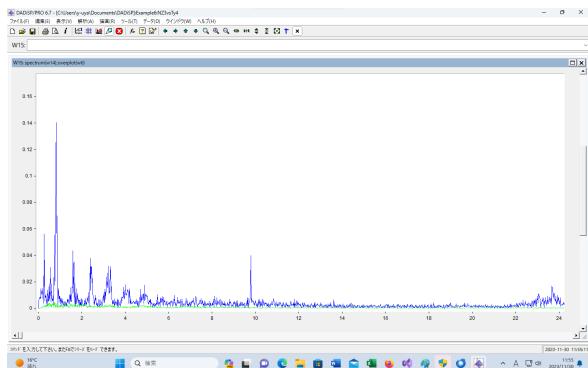
このエネルギーを、線形座標目盛りに従って均等に分配してから、対応するパスカル値に変換すると、上の表の一番下の数値になります。

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	$\Sigma (\text{Pa} \cdot \text{Pa})$	$\text{Pa} \cdot \text{Pa}/\text{Hz}$	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。



1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅						
x	$x/3$	$2^x(x/3)$	厳密中心周波数 $1000*2^x(x/3)$	f 1	f 2	帯域幅
8	-2.66667	0.15749	157.490	140.308	176.777	36.469
7	-2.33333	0.198425	198.425	176.777	222.725	45.948

160Hz での帯域幅は 36.5Hz、200Hz での帯域幅は 45.9 dB です。この帯域の音のエネルギーを集めた結果が、35 dB、40 dB になっているのですから、周波数を特定しないと純音成分の音圧とは言えません。

また、100Hz から 4 k Hz の間では、

Hz	dB	$\Sigma (\text{Pa}^*\text{Pa})$	$\text{Pa}^*\text{Pa}/\text{Hz}$	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、1 k Hz、2 k Hz の辺りで調べると、次の表になります。

Hz	dB	$\Sigma (\text{Pa}^*\text{Pa})$	$\text{Pa}^*\text{Pa}/\text{Hz}$	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

結論は、“計測した全ての風車から、音圧の高い超低周波音が出ている。”となる。環境省にとっては都合が悪いので、“風雑音だから除外しなさいと言うのです。”

低周波音の測定方法に関するマニュアルには、

“(1) 超低周波音

一般に人が聴くことができる音の周波数範囲は 20Hz-20kHz とされており、周波数 20Hz 以下の音波を超低周波音という。ここで取り扱う範囲は 1/3 オクターブバンド中心周波数 1-20Hz (またはオクターブバンド中心周波数 2-16Hz) の音波である。

3) 風雑音と低周波音の見分け方

風による音圧レベルと対象とする音圧レベルの違いを判別するのは簡単ではないが、次のような点に注意するとよい。

- ・多くの場合、対象とする低周波音は定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すはずである。
- ・風による音圧レベルは、不規則に変化する。“

とあります。

正確な周波数を調べれば風雑音なのか、風車からの超低周波音なのかは判断できるのです。

良く使われている、1/3 オクターブ解析では、中心周波数で表示するので、0.692Hz～0.869Hz は全て 0.775Hz (0.8Hz) として表示されるので、正確な周波数が不明となり周波数の微小な変化や周波数の規則性が消えてしまいます。1/3 オクターブ解析では、風車音と風雑音の区別に必要な音圧レベルの規則性を把握できないのです。

計測と解析の方法を工夫することが必要です。

“NL-62、NL-62A,NL-63 と SA-A1 は同じマイクを使ってています。マイクに掛かる音圧の変動を符号付整数として記録する機能を持っています。

音圧を記録するときに、サンプリングレートを 48 k Hz で、数値を 16 ビットの符号付整数として記録した場合は、NL-62 でも、SA-A1 でも同じ数値が WAV ファイルに記録されます。120 秒間の計測結果を FFT 解析すれば、周波数分解能は 0.0083Hz になる。120 秒間のデータで計算すれば、定常的、周期的な性質を持つ風車からの超低周波音と不規則に変化する風による雑音の違いが区別できる。“

二重防風スクリーンや除外音処理で、排除してはいけないです。

風の影響を防ぎたいなら、屋内で計測するか、車の中で計測すればよいのです。この時の減衰は、家屋の窓や壁による減衰と同程度になりますので、補正が必要ならそれも可能です。

1. 2. 5 騒音レベルとアノイアンス(不快感)

⇒ 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

5

アノイアンス（不快感）の主な要因は何か？

景観、塗装的利益、などが言われていましたが、新しい説として、

“風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査 本巣 芽美*1 丸山 康司 *2 “

には、

“同心円”ではないことを持つて、

“距離が健康影響に直接関わりがあるとは言えなかった。”、

“風力発電所に対する賛否や風車音の不快感は、距離ではなく建設過程における住民への配慮といった事業の進め方と関連があると言える。”

“風力発電所による近隣住民の健康影響や賛否は、風力発電所からの近さによって決定づけられるのではなく、事業のやり方や風車音の不快感などその他の要因によって影響を受けると判断できる”

住民説明会の参加者は少ないのです。

1. 2 環境影響評価方法書についての説明会の開催

「環境影響評価法」（平成 9 年法律第 81 号）第 7 条の 2 の規定に基づき、方法書の記載事項を周知するための説明会を開催した。

1. 2. 2 開催場所、開催日時及び来場者数

説明会の開催日時、開催場所、及び来場者数は以下のとおりである。

- ・開催場所：日高川町農村環境改善センター（和歌山県日高郡日高川町小熊 2416）
- ・開催日時：令和 6 年 4 月 17 日（水）19 時 00 分～21 時 00 分
- ・来場者数：19 名
- ・開催場所：広川町役場（和歌山県有田郡広川町大字広 1500 番地）
- ・開催日時：令和 6 年 4 月 18 日（木）19 時 00 分～21 時 00 分
- ・来場者数：12 名
- ・開催場所：御坊市御坊市民文化会館小ホール（和歌山県御坊市菌 258 番地の 2）
- ・開催日時：令和 6 年 4 月 19 日（金）19 時 00 分～21 時 00 分
- ・来場者数：20 名

- ・開催場所：日高町中央公民館大会議室（和歌山県日高郡日高町高家 629 番地）
- ・開催日時：令和 6 年 4 月 20 日（土）19 時 00 分～22 時 15 分
- ・来場者数：33 名

業者の顔も見ていない方でも被害を訴えます。原因は、業者の話を聞かなかつたので、業者の誠意が理解できていなかつた事にあるのでしょうか？

これだと、安眠出来ないのは、説明会を欠席した住民の自己責任という事になる。建設後にでも、業者が再度説明すれば、住民の被害は減るのでしょうか？

はっきりしているのは、説明会を繰り返さなくとも、風車を止めれば被害は激減するという事実です。

“全米の風力発電プロジェクト 近隣住民全体の意識調査（集計結果）”

での調査結果は、

風力発電プロジェクトに対する現在の感情

1,700 人を超える参加者に、「現在、地元の風力発電プロジェクトに対してどう感じるか」と質問した。そのうちの 1,674 名から、「非常に否定的」(4%)、「否定的」(4%)、「どちらでもない」(34%)、「肯定的」(32%)、「非常に肯定的」(25%) という回答を得た（図 2 参照）。

この結果から、平均値は「どちらでもない」と「肯定的」の間に相当し、中央値は「肯定的」となる。この分布は、回答者と最も近い風車との距離によって異なる。例えば、最も近い風車から 0.5 マイル (0.8 キロ) 以内に住んでいる人の回答は、「非常に否定的」(12%)、「否定的」(13%)、「どちらでもない」(23%)、「肯定的」(25%)、「非常に肯定的」(27%) であった（図 3 参照）。他の共変数を調整すると、風車への距離が短いサンプルの方が、距離が長い方よりも統計的にわずかに肯定的であることが判明した。

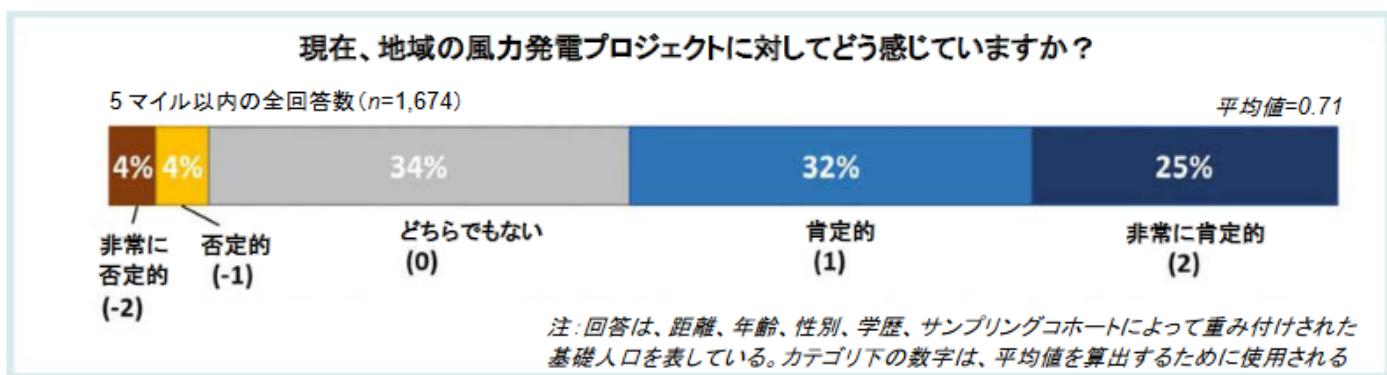


図 2：風力発電プロジェクトに対する、現在の全サンプルの感情の分布

現在、地域の風力発電プロジェクトに対してどう感じていますか？

3–5 マイル(n=258)

平均値=0.52

6% 4%

43%

26%

21%

1–3 マイル(n=311)

平均値=0.74

3% 7%

26%

39%

25%

1/2–1 マイル(n=496)

平均値=0.65

6% 6%

30%

32%

26%

<1/2 マイル(n=609)

平均値=0.43

12%

13%

23%

25%

27%

非常に否定的
(-2)
否定的
(-1)

どちらでもない
(0)

肯定的
(1)

非常に肯定的
(2)

注:回答は、距離、年齢、性別、学歴、サンプリングコホートによって重み付けされた母集団を表している。

図 3: 風力発電プロジェクトに対する現在の感情の分布(最も近いタービンからの距離別)

(4) 調査結果の概要における回答は、全人口に対して重み付けされており、特定の質問に回答した者のみが含まれる。例えば、風力発電所から発する音が聞こえるか否かを質問し、もし聞こえないという回答であれば、音の不快感に関しては質問しなかった。また、ほとんどの質問に回答がない場合もあった。いずれの場合も、回答を得なかつたものは結果に反映されていない。

風力発電プロジェクトに対する現在の感情との相関関係

風力発電プロジェクトに対する感情は、以下の項目と正の相関があることがわかった。

- ・補償を受けている回答者
- ・計画プロセスが公正であったとの認識
- ・風力発電が気候変動対策に有効であるという認識

風力発電プロジェクトに対する感情は、以下の項目と負の相関があることがわかった。

- ・風車音が自宅の敷地内で聞こえる回答者
- ・風車が風景になじんでいないと感じている回答者
- ・発電所周辺の資産価値が低下したと感じている回答者
- ・地域社会に愛着を持つ回答者
- ・風力発電所建設後に現地に転居した人は、建設前から居住していた人に比べて、肯定的である人が有意に多い。

人口統計学的特性と風力発電プロジェクトの特性とは、人々の感情、性別、年齢、収入、人種、または風車の高さなどとほとんど相関していない。回答者の学歴と、感情との相関はあまり見られない。高学歴の回答者の方がわずかに肯定的であるが、大型プロジェクト（風車 10 基以上）に対しては否定的となる傾向があった。

結論

全体的に、サンプルを通じてほぼ中立（どちらでもない？）から非常に肯定的な回答があり、個人が既存の風力発電プロジェクトの近くのコミュニティに自己選択するにつれて、時間経過とともに感情は改善される

傾向にある。しかし、サンプルの違いによって、感情はより否定的または肯定的になる。

風車の音が聞こえる人は、肯定的感情が低下する。よって、政府や風力発電業界が支援する騒音低減の研究開発が、風力発電プロジェクトの社会的成果の向上につながる可能性がある。風車が視界に入ることからは肯定的感情は生じないが、風車が魅力的でない、あるいは景観にそぐわないと感じることは肯定的感情を低下させる。同時に、住民の地元への愛着は、より肯定的な態度と関連している。上記の結果から、風力発電事業者は、風車の視認性だけではなく、現地住民が風車と地域社会をどのように認識しているかを把握することで、より良い結果を得られる可能性がある。

また、風力発電プロジェクトの計画プロセスが公正であると感じることは、より肯定的な感情につながる。これは Firestone ら (2018) の知見から得られる。すなわち、現地住民が、「開発者はオープンで透明性が高く、自分のコミュニティは計画プロセスに『発言権があった』または『結果に影響を与えることができた』と感じている」場合、風力発電プロジェクトを計画する公的なプロセスを「公正である」と認識し、完成したプロジェクトにより肯定的になる可能性が高い。この結果により、開発者は現地の人々との関わりを重視することが有益と考えられる。

いろいろな説がありますが、どれも、アンケートは取るのだが風車音の計測はしていません。

これまでに得られた知見④ 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かった
- 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

1. 3. 1 アノイアンス(不快感) と ラウドネス(うるささ)

次の部分を検討します。

静かな環境では、風車騒音が35~40dBを超過すると、
わざらわしさ(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

風車音の把握の形としては、アノイアンス（不快感）とラウドネス（うるささ）が主に考えられる。
風車音でのアノイアンス（不快感）の内容は

鳥取県における発電用風車の騒音に係る調査報告

Surveillance Study Concerning the Noise of Windmills for Power Generation in Tottori Prefecture
十倉 育・山本 和季・矢野 大地

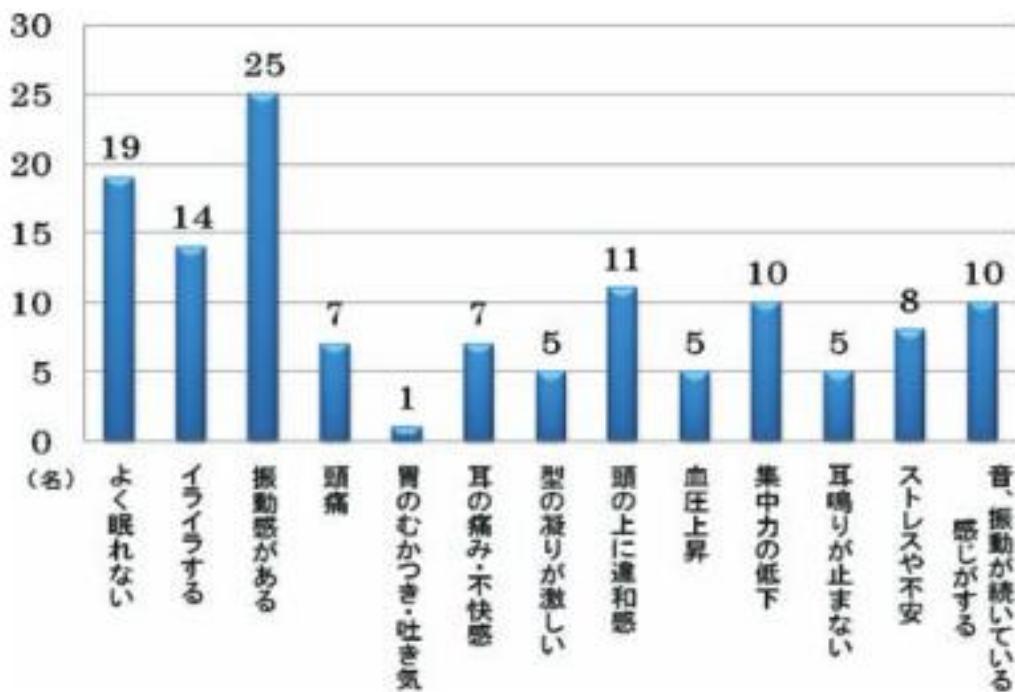


図2 苦情の訴え (「Q5」、複数回答を含む)

風車の音がうるさいという訴えは目立たないです。これらの、どれが起きてもアノイアンス（不快感）が起きるのです。この場合は、ラウドネス（うるささ）よりも、それ以外の要因によるアノイアンス（不快感）によって安眠が妨害されるのです。

この内容は、低周波音の影響として調べられてきた現象とかなり重複しています。

“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）には、

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、耳鳴り、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

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、

“これまでに国内外で得られた研究結果を踏まえると、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考えられる。また、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。

ただし、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。

“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。”

とあるが、

“A 特性音圧レベルが音による不快感（アノイアンス）の評価に適している。”

とは書いてない。

音の影響を捉えるには、アノイアンス（不快感）とラウドネス（うるささ）の 2 つが考えられる。

ラウドネス（うるささ）は聴覚で捉えた音の大きさであり、A 特性音圧レベル（騒音レベル）の数値がその程度を表現するのに適している。交通騒音でもラウドネス（うるささ）としての影響はある。

風車音の場合、睡眠への影響が大きいのはアノイアンス（不快感）であり、ラウドネス（うるささ）ではない。

風車音と交通騒音では、A 特性音圧レベルが同じであっても、アノイアンス（不快感）を生じさせる力は、段違いである。

環境省の HP にある 2 つの資料から、風車音が 40 dB を越えると 10% 以上の人人が“非常に不快”と感じるが、40 dB の交通騒音があっても、“非常に不快”と感じる人はほとんどいない。という事がわかります。

もし、風車音でも交通騒音でも、睡眠への影響が A 特性音圧レベルで評価するのが適当ならば、睡眠への影響が大きいアノイアンス（不快感）の評価にも適していなくてはならない。そうでなければ、睡眠への影

響を評価する数値としては使えない。

したがって、睡眠障害の面から風車音の被害を把握する場合には、A特性音圧レベルは、共通の指標としては役に立たないことが分る。

もちろん、風車音での被害がラウドネス（うるささ）による睡眠障害が主なものならば、A特性音圧レベルが共通の指標になるのだが、風車音の場合では、ラウドネス（うるささ）がラウドネス（不快感）に寄与する程度は、9～13%であることが分っている。

平成22年、環境省の調査

環境省による次の調査結果もあります。

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

1. 国内の風力発電所における騒音・低周波音に係る問題の発生状況

（1）騒音・低周波音に関する苦情等の発生状況

環境省水・大気環境局大気生活環境室では、風力発電所に係る騒音・低周波音に関する苦情の有無等の実態を把握するとともに、上記の研究による実測調査の対象候補を検討するため、風力発電所の設置事業者及び風力発電所が設置されている都道府県を対象にアンケート調査を実施し、その結果を平成22年10月7日に公表した。

①調査方法

【調査対象】

総出力が電気事業法に基づく事業用電気工作物の出力(20kW)以上で、平成22年4月1日時点稼働中(整備に伴う一時停止中を含む)の風力発電所

【アンケートの回収結果】

風力発電事業者のうち186事業者(風力発電所:389か所)及び風力発電所が設置されている40都道府県から回答があった。

②調査結果

【苦情の有無】

- 騒音・低周波音に関する苦情が寄せられたり、要望書等が提出されたりしたことがあるものは64か所(調査時点で苦情等が継続中のものが25か所、終結したものが39か所)であった。

【稼働開始年度ごとの状況】

- 風力発電所の稼働開始年度ごとの苦情等の発生状況をみると、平成18年度以降、苦情等の発生割合が高くなっている。

【定格出力別の状況】

- 風力発電設備の定格出力が大きくなるほど苦情等の発生割合が高くなっている。
- 1,000kW以上では53か所で苦情等が発生しており、そのうち24か所で苦情等が継続している。

【設備設置基数別の状況】

- 風力発電設備の設置基数が多くなるほど苦情等の発生割合が高くなっている。
- 10基以上設置している風力発電所では45%の風力発電所で苦情等が発生している。

【総出力別の状況】

- 総出力が5,000kW以上の風力発電所で苦情等の発生割合が高くなっている。

【直近の住宅等までの距離】

- ・ 風力発電設備から最も近い住宅等までの水平距離は「300m 未満」が 107 か所 (28%) と最も多く、次いで「300m 以上 500m 未満」が 91 か所 (23%)、「500m 以上 1,000m 未満」が 112 か所 (29%)、「1,000m 以上」が 72 か所 (19%) となっている。

【苦情者宅までの距離】

- ・ 苦情等が継続している 25 か所において、苦情等を寄せている者のうち、風力発電設備から最も近い住宅までの距離は「300m 以上 400m 未満」が 8 か所と最も多く、次いで「200m 以上 300m 未満」、「500m 以上 600m 未満」、「700m 以上 800m 未満」がそれぞれ 4 か所となっている。

【苦情等が生じる季節】

- ・ 騒音・低周波音に関する苦情等が生じる季節については、特になし・不明が 21 か所 (33%) と最も多く、年中が 16 か所 (25%)、冬が 13 か所 (20%)、夏が 7 か所 (11%)、春が 3 か所 (5%) となっている。

(2) 苦情が終結した事業における対策の状況

なお、アンケート調査結果の公表後に、苦情が終結した事業において講じた対策を風力発電事業者に確認したところ、苦情が終結した 39 か所では、苦情者宅における騒音対策（二重サッシ等）、故障個所の改善、運転方法の見直し等が行われていた。

(4) 現地調査における騒音・低周波音に関する主な状況

平成 22 年 6 月から 9 月まで、環境影響に係る苦情等が発生している風力発電所のうち 15 か所について、環境省総合環境政策局環境影響評価課・環境影響審査室が事業者・自治体へのヒアリング等の現地調査を行った。このうち、騒音・低周波音に関する調査結果は以下のとおり。

【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】

- ・ 暗騒音は、季節による風向や風速の違いによりその値が異なるが、現況調査は 1 年のある時期のみ行われている事例があった。
- ・ 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。
- ・ 苦情を受けて、苦情者宅で騒音の測定調査を実施し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。
- ・ Eja Pederson らによれば、風力発電所からの騒音についての不快感は、風力発電所による視覚影響に対する否定的な感情との間に相関があるとされている 3。

- 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。

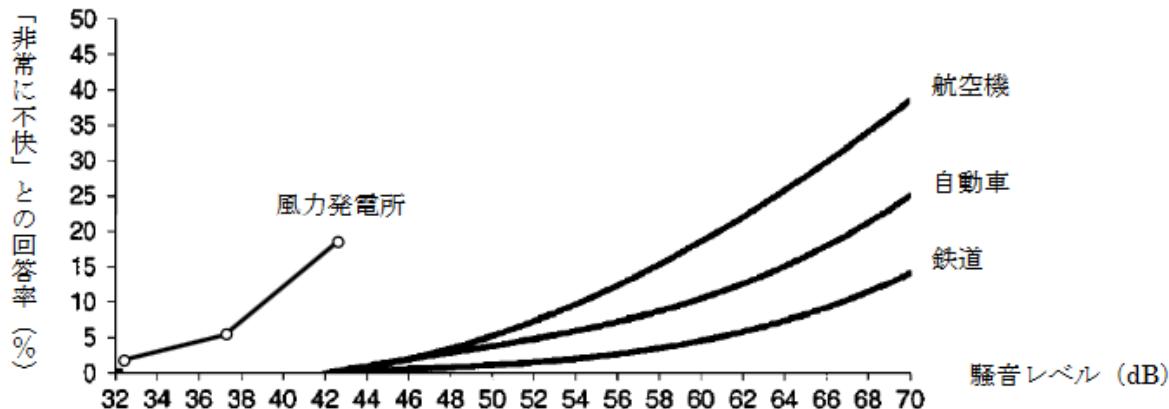


図 8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
(脚注 3 及び 5 の文献より環境省作成)

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。

” 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」“ p 14 には、

“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。

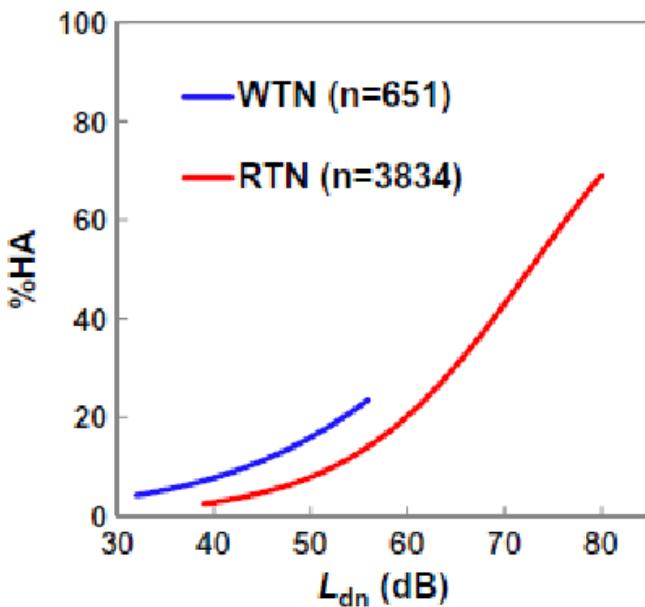


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル (L_{dn}) *と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

* 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。”

グラフでは、青い曲線と赤い曲線の曲がり方はよく似ている。従って、A 特性音圧レベルと不快感の間に関連性がある事は見て取れる。風車音による被害を考える上では、曲線の曲がり方が似ている事よりも、曲線のズレの方が重要である。風車音では、交通騒音に比べて、同じ A 特性音圧レベルでの被害が大きいのです。この原因を考えることが必要なのです。

“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。”

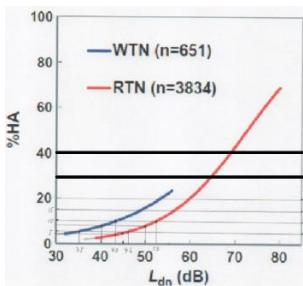
このグラフでは、A 特性音圧レベルが 40 dB のときに、交通騒音では、“非常に不快”（アノイアンス）を感じる人はほとんどいないが、風車音では、8%程度の人が“非常に不快”と感じることが分る。

先ほどの、環境省が作ったグラフでは、A 特性音圧レベルが 42 dB の時に交通騒音では“非常に不快”（アノイアンス）を感じる人はいないが、風車音では 20%程度の人が“非常に不快”と感じることが分る。

もし、A 特性音圧レベルがアノイアンス（不快感）の評価に使えるならば、交通騒音でも風車音でも“非常に不快”と感じる人の割合が同程度になる必要がある。

この事から、A 特性音圧レベルは音の大きさ（ラウドネス）の評価に適しているが、アノイアンス（不快感）の評価には適していないことが分る。

この差を調べると、



%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	10dB
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。

風車音でのアノイアンスの要因は色々あるが、

“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。”

を見れば、アノイアンス（不快感）を決めるための影響力としては、ラウドネス（うるささ）は、9～13%だと考えられる。残り、91%～87%を支配する要因を考える必要がある。

“景観への影響”とあるので、検討してみる

風車が見えていることが、アノイアンス（不快感）の原因か？

に関しては、

南伊豆風車（被害）紀行（2）～承前

“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たなかったのですが、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。”

とあるので、

見えていなくても被害は起きます。

風車を見た記憶がアノイアンス（不快感）の原因か？

に関しては、

長州新聞、

声をあげる秋田の低周波被害者 風力発電に囲まれた住宅地で起きていること 秋田県由利本荘市を訪ねて
社会 2024年10月1日 9月25日付掲載)

“風力だめーじサポートの会をつくった 2022 年の 9 月頃、夜中に目が覚めて血圧が異常に高くなっていたので、内科の医者に行った。睡眠導入剤と血圧を下げる薬を処方され、その 1 ル月後にはもっと強い薬をもらったが、やはり風車の音が気になって目が覚めることが多くあった。睡眠導入剤もだんだん効かなくなってきて、逆にそのせいで具合が悪くなるようにも感じ、それ以来一切のんでいない。

市役所生活環境課が「遮音効果の高い耳栓を試してほしい」というので、それを借りてグゥングゥンという音が聞こえる夜中に試してみた。耳栓をすると低周波音の振動だけが聞こえて、しないときより気になっ

て眠れなくなるようだった。今は、ラジオを聞いているとマスキング効果で寝られるよとアドバイスを受け、そうしている。

そういう症状は、自宅を離れると出なくなる。だからあちこち安い温泉を捜して2、3日泊まりに行ったり、寝袋を持って車で遠くに行き、車中泊をしている。音が気になるのは冬が多く、車中泊は夕方から出掛けるのだが、吹雪の中を出て行くのがいやで、それでも遠くに行くとちゃんと寝られて帰ってこれる。

具合は年々悪くなっている。前は寝ているときが多くたが、ここ1、2年は日中でも、胸が痛いし苦しい。そのとき家から南西側を見ると、風が強くて海岸の風車がぐるぐる回っていた。最近では腸の具合が悪いし、脈が飛ぶことがある。不整脈なのだが、寝て起きてドキドキしたなと思ったら、突然脈がピタッと止まった。びっくりしたが、10秒ぐらいで脈が出始めた。“

とある。

風車から離れても、風車を見た記憶は残っているので、風車を見た記憶が、アノイアンス（不快感）の要因とも思えない。

アノイアンス（不快感）は風車が見えなくても起きることと、圧迫感としての不快感と、各周波数帯でのエネルギーの分布を考えれば、超低周波音の部分の影響だと考えるべきです。

図1. 交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz

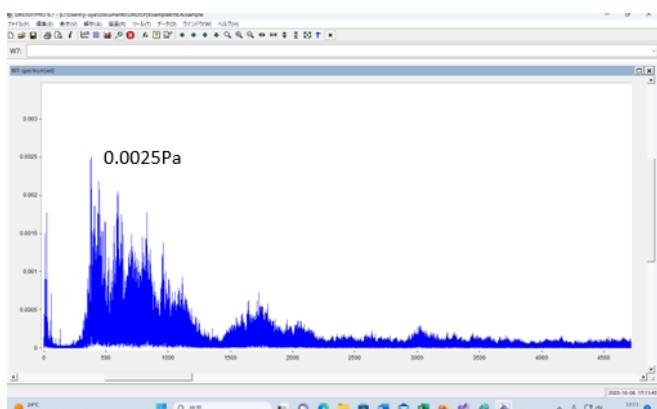


図2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz

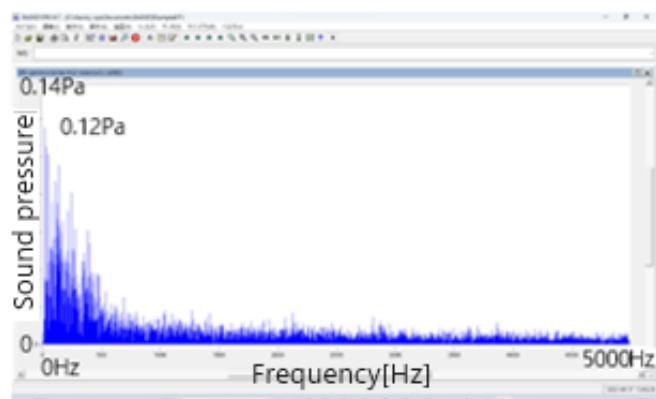


図3. 風車音（館山風の丘） 0～5000Hz

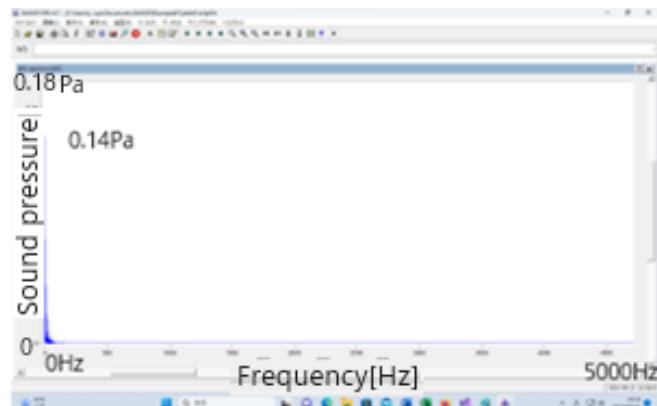


表2. エネルギーの分布

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%

A 特性音圧レベル計算から除外されていた風車音のエネルギーの残りの93%に注目する必要があります。エネルギーに注目して数値を補正すれば、かなり一致します。

風車音でのエネルギー分布は、20Hz以上が7%、0~20Hzが93%になっています。

“風車騒音は9%から13%の範囲の寄与”の部分に注意して、不快感に関する風車音の周波数帯ごとの寄与は、20Hz以上の寄与が9%、0~20Hzの寄与が91%と考えれば、数値的にはそれなりに整合性があります。

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%を占める。この部分が、交通騒音の場合のように、風車音全体のエネルギーの99%まで増加したとすれば、

$$DB7 = 10 * \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} \right)$$

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

となって、増加したエネルギーによって、音圧レベルは**11.5 dB**増加します。

風車音の騒音レベルを**11.5 dB**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%	60 dB	64 dB	4 dB	71.5dB	64 dB	-7.5 dB
20%	53 dB	60 dB	7 dB	64.5dB	60 dB	-4.5 dB
10%	43 dB	53 dB	10 dB	54.5dB	53 dB	-1.5 dB
8%	40 dB	50 dB	10 dB	51.5dB	50 dB	-1.5 dB
5%	35 dB	46 dB	11 dB	46.5dB	46 dB	-0.5 dB
4%	30 dB	43 dB	13 dB	41.5dB	43 dB	1.5 dB

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、かなり一致すると言えます。この場合は、見えない風車の影響が説明できます。記憶が残っていても、遠くは離れれば距離減衰で風車音の影響は減ります。超低周波音の部分を無視すれば、この違いの合理的な説明は出来ません。

従って、アノイアンス（不快感）を決定する主な要因は風車からの超低周波音だと考えるべきです。

統計的な関連を調べるには、 $f=RZ/60$ Hzでの最大音圧を使うべきです

また、アノイアンス（不快感）に関して

“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”
とある。

ここでは、“可能性”と書かれているが、睡眠への影響を軽視しています。そして、単なる可能性ではなく、実際に被害を受けている人がいることを無視しています。

風車騒音の最大の特徴は24時間連続して音が出ることです。新幹線も夜中は止まります。

高速道路も夜間は交通量が減ります。さらに、高速道路には防音壁が付いています。

風車も夜間は停止して、昼間の煩さを減らすために、風車の周りに防音壁を設置すべきです。

煩ければ、安眠できません。これは大きな被害です。子供の成長、学校での居眠り、ストレスの増加、寝不足での交通事故、仕事の効率の低下を招きます。誰が、どのようにしてこの損害を補償するのでしょうか？

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

では、

“2007年末、東伊豆の別荘地では1500基×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	生理的因素
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	心理的因素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的因素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的因素も

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割減らすことーー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。“となっています。

ここでは、不眠が特に目立ちます。

これは、農漁村地区の人にとって重要な問題です。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、アワビを探る人にとっても、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。

安眠できなければ体力は回復しません。仕事のミスが起きます。居眠り運転も起きます。疲れなかった子供は授業中に居眠りします。注意する先生とのトラブルも起きます。学力も落ちます。そんな土地から離れた人は、戻っては来ません。地域社会が崩壊してしまいます。

日本国憲法第 25 条には、

- 1　すべて国民は、健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する。
- 2　国は、すべての生活部面について、社会福祉、社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならぬ

とあります。安眠は健康を維持し、地域社会を維持するための必要事項です。美味しいものを食べていと
いうような贅沢ではありません。

私は、間違った結論を提出した、学者の責任が極めて大きいと考えています。

困ったことに、学者の皆様には、十分な睡眠が確保できないことは重大な問題であるとの認識が無い。
質の良い睡眠を確保することは健康な生活の基盤なのです。

学者の方も、日本国憲法でも読んで欲しいと思います。

1. 3. 2 風車音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高い

-
- 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。”
とあるのだが、

“風車音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高く、超低周波音の部分が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性も高いと考えられる。”
とすべきである。

継続する安眠妨害による健康への影響

風車音は、アノイアンス（不快感）を引き起こし、安眠を妨害します。これは毎日、昼も夜も、20年間継続する事になります。眠れない日が続くと次のような健康被害が発生します。

これから

“風車音が人間の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高いと考えられる”
と言えます。

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～

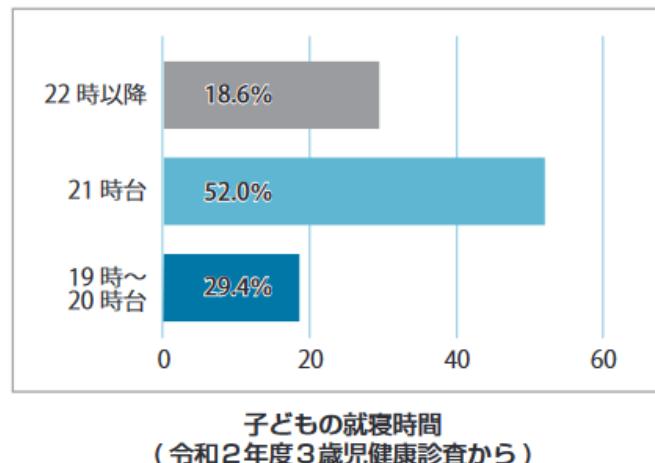
健康だより

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。



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。

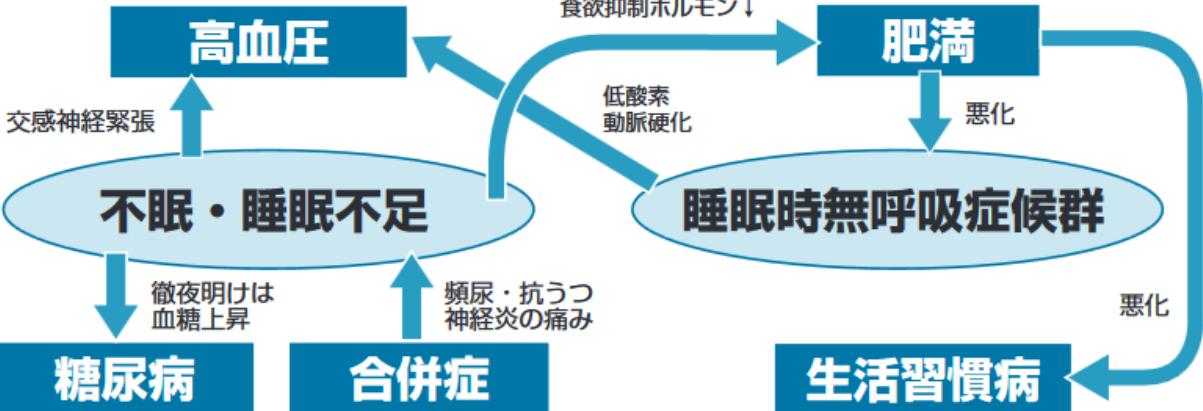
子どもの夜型化には大人の生活習慣が影響を与えています。大人の生活習慣を見直すことが大切です。大人にとっても睡眠は重要です。睡眠不足は糖尿病や心筋梗塞などの生活習慣病や認知症のリスクを高めます。

不眠・睡眠不足と生活習慣病との悪循環

高血圧患者の40%に不眠があります。
また、30%に無呼吸症候群の症状があります。

食欲増進ホルモン↑
食欲抑制ホルモン↓

睡眠時間が短いと
肥満になりやすい



糖尿病の60%に不眠あり。不眠症では糖尿病リスクが1.5倍。

騒音での不眠は、子供の成長や健康を害するだけでなく、学校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が多い。

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あります。

これが被害であることは明白です。

海に潜ってアワビを探る漁師にとっては、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。

健康面に限っても、長期間続く安眠妨害は、“糖尿病”や“高血圧”などの健康被害を引き起します。これは、風車音を聞いたら、直ちに症状が出るとは言えないのですが、“継続する風車音による間接的な健康被害”と言えます。

さらに、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。



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 狸穴醒 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ます、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。

仕事や子供の成長に悪影響がある土地に住みたい人はいません。睡眠の質が確保できないならば。地域社会は崩壊します。

睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なことです。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

自律神経の中核部では、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核も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中核にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中核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」という考え方があるましたが、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ります。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いる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、食事は寝る時間の3時間前に済ませておき、寝る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。

石竹氏らの研究によれば、

環境研究総合推進費 課題成果報告会(2016.3.11)

課題番号:5-1307

【研究課題名】

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

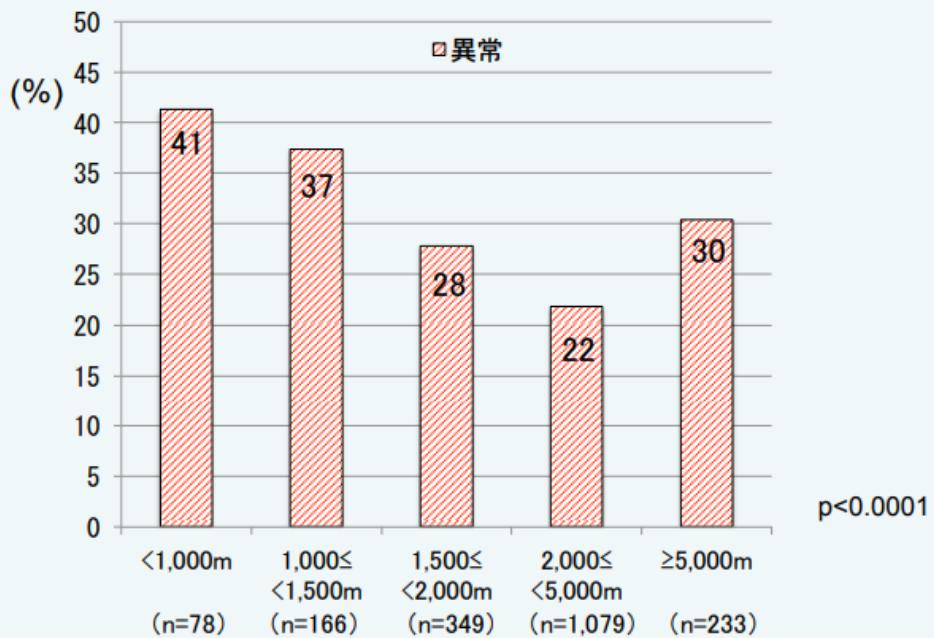
研究代表者:石竹達也(久留米大学医学部)

研究実施期間:平成25~27年度

累積予算額:69,496千円

風車までの距離と睡眠障害

アテネ不眠尺度で異常(≥ 6)の割合



風車から、3 km から 5 km くらい離れた場所でも、睡眠障害が起こる可能性があることが分かります。

住宅から 1 km 離せば影響は軽微だと言われても、“音を聞いたとたんに死亡することは無い。”と言うような意味にしか聞こえません。

半数の住民が、睡眠障害を起こしても、“影響は軽微”だと言う事なのでしょう。

睡眠不足で海に潜ってアワビを採ったら、死亡事故につながる可能性が高くなります。もちろん、その死亡事故が起きても、風車が死亡事故の直接の原因ではないでしょう。責任は、不眠で体力が落ちているのを知っているながら海でアワビを採ろうとした住民の責任でしょう。

居眠り運転で交通事故を起こして死んでも、風車が直接の原因ではありません。眠いのを承知で車を運転した本人の責任です。

学校で居眠りをして、学力が落ちて、生涯賃金が減っても、風車が直接の原因ではありません。眠気に負けない精神力を持っていなかった子供の自己責任です。

お金が無くて、引っ越し出来ないのは、風車が直接の原因ではありません。お金を稼げない本人の能力が原因なのです。

風車が直接の原因だと言えるものはなかなか見つかりません。例えば、プロペラが折れて飛んできてそれにあたって死んでも、風車が直接の原因ではありません。重力と風が直接の原因です。もちろん、飛んできたプロペラの直撃に耐えられないひ弱な体を持っていた本人の問題です。

いくら探しても、風車や風車音が被害の直接の原因だと言うのは見つかりません。うるさいのは空気があるからです。聴覚を刺激しているのは、風車そのものでは無くて、空気なのです。原因は空気の存在です。以上、何が起こっても、風車には罪はありません。

風車音で共振が起こり、家具や床がガタガタして、目が覚めても、風車音が直接の原因ではありません。揺れて眠りを妨害したのは家具や床です。家の中で眠る人が悪いのです。屋外で眠れば共振は起きません。

もちろん、被害の可能性は、各地の被害状況を見れば、単なる可能性ではなく現実であることは、すぐに確認できます。

直接的な原因ではないが、風車が、根本的な原因であり、それによって誘発された被害であることは明白です。

風車音が人間の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は極めて高いのです。そして単なる可能性ではなく、多くの被害が出ているのです。

1. 3. 3 風車音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は高い

については、次の理由から“頭痛”が風車音による直接的な健康被害だと分かります。

1. 3. 4 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、風雜音、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“風雜音”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。

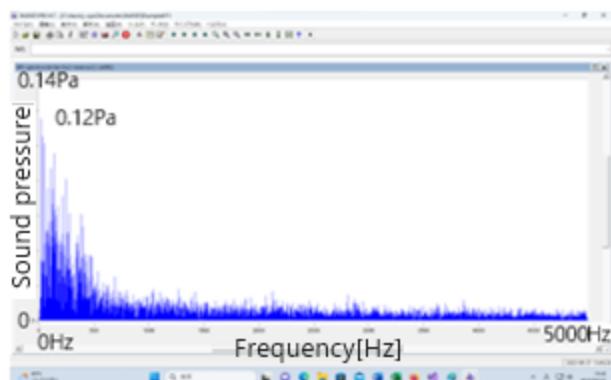


Fig. 1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa] (12Hz)

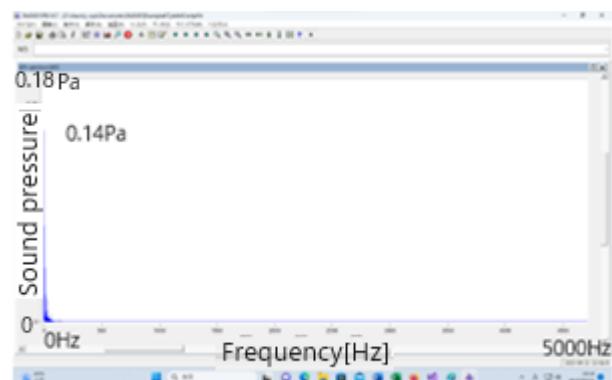


Fig. 2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa] (0.8Hz)

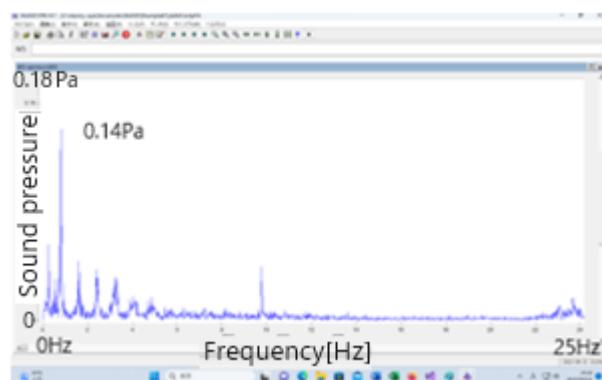


Fig. 3 Wind turbine noise (0~25Hz)

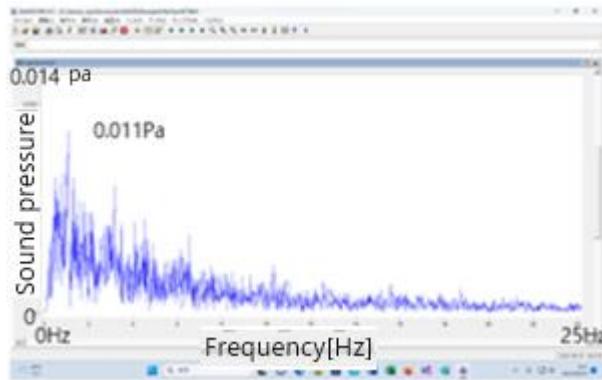


Fig. 4 Nagao shrine (0~25Hz) ; 0.011[Pa] (1.1Hz)

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”的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”的区別が必要である。

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 200~24 kHz 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。

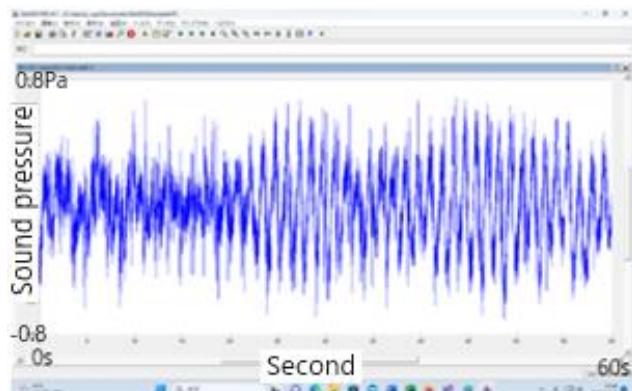


Fig. 5 Wind turbine noise

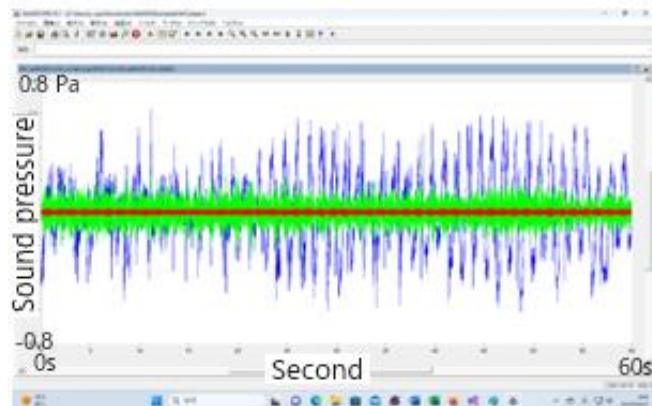


Fig. 6 Separated Wind turbine noise

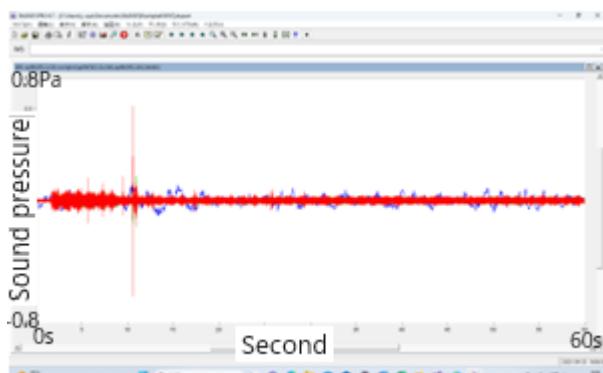


Fig. 7 Separated sound from speaker

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きる原因である。実験をするならトレーラーの荷台に実験室を作つ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 $f = RZ/60[\text{Hz}]$ 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

$f = RZ/60[\text{Hz}]$ 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。

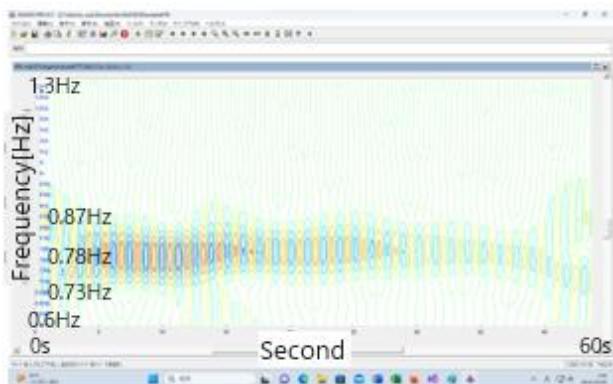


Fig. 8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

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。

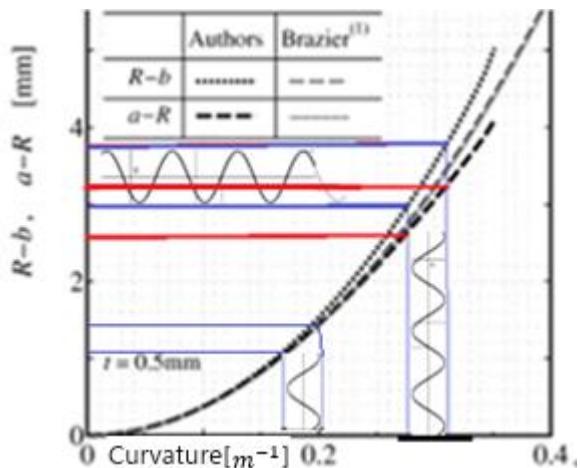


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

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橢円になる。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、断面が円から橢円になれば、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、

$$L = \rho U \Gamma = 4\pi \rho U^2 \lambda \sin(\alpha - \delta) \quad (1)$$

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観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。

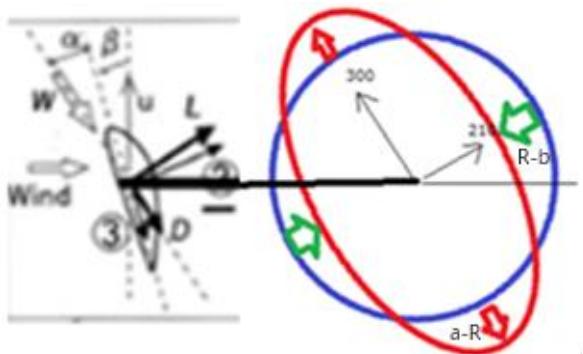


Fig. 10 Lifting vector and modification

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。

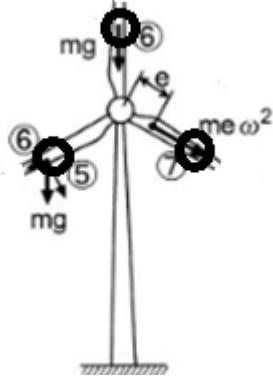


Fig. 11 Wind turbine in balance

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 に応じた幕指数 $\alpha(v)$

としたときに、次の関係式

$$V_{ZG(V)}/V_{Zh1} = (Z_{G(V)}/Z_{h1})^{\alpha(V)} \quad (2)$$

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 $100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$ m での風速は

$$7 * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))/10)^{0.15} \text{ [m/s]} \quad (3)$$

となる。

空気密度を $1.23[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、 風力係数 $C_d = 1.2$ 、 とすると風速 $V[\text{m}/\text{s}]$ のとき、 P :風荷重 [N/m^2] は

$$P = (V^2 / 2) \times 1.23 \times 1.2 \quad [\text{N}/\text{m}^2] \quad (4)$$

となり、標識の面積が $10[\text{m}^2]$ 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、

$$P = \frac{\left(\left(7 * \left(\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10} \right)^{0.15} \right)^2 \right)}{2}$$

$$* 1.23 * 1.2 * 10 \quad [N] \quad (5)$$

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、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} \quad [\text{Nm}] \quad (6)$$

となる ($k = 181.24$)。ここでは

$$(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} \quad (7)$$

の部分に注目して考える。

ブレードのなす角は $2\pi/3$ なので回転モーメント M は、
 $\omega = 2\pi \cdot 0.8/3$ 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、

$$M = k * f(t) = 181.24 * f(t) \quad [\text{Nm}] \quad (9)$$

となる。マクローリン展開

$$(1+x)^\alpha = 1 + \frac{\alpha}{1!}x + \frac{\alpha(\alpha-1)}{2!}x^2 + \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)}{3!}x^3 + \dots \quad (10)$$

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 $(1/2)\sin(\omega t)$ を代入すれば、

$$(100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 398.11 * \{1 + 0.65 \sin(\omega t) + 0.05 \sin^2(\omega t) - 0.006 \sin^3(\omega t) + \dots\} \quad (12)$$

となる。次の関係式に注意して計算する。

$$\sin(x) + \sin(x + 2\pi/3) + \sin(x + 4\pi/3) = 0 \quad (13)$$

$$\sin^2(x) + \sin^2\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin^2\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = \frac{3}{2} \quad (14)$$

$$\sin^3(x) = (3\sin(x) - \sin(3x))/4 \quad (15)$$

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

$$\sin(3x) + \sin\left(3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) = 3 \sin(3x) \quad (16)$$

となるから

$$\sin^3(x) + \sin^3\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin^3\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = -(3/4) \sin(3x) \quad (17)$$

よって、

$$f(t) \approx 1223.43 + 1.70 \sin(3\omega t) \quad (18)$$

となる。

3枚のブレードが、 $\sin(\omega t)$ 、 $\sin(\omega t + 2\pi/3)$ 、 $\sin(\omega t + 4\pi/3)$ 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。

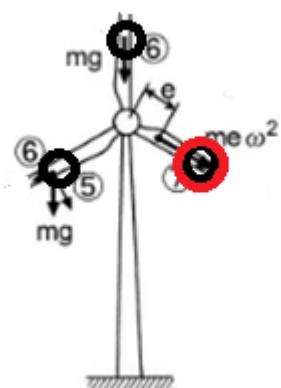


Fig. 12 Wind turbine imbalance

大きな部分の面積が、 $10 * 1.003 = 10.03 \text{ m}^2$ だとすれば、この時、赤い丸の部分が受ける力は、

$$P = \frac{\left(\left(7 * \left(\frac{(100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))}{10} \right)^{0.15} \right)^2 \right)}{2} * 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \quad [N] \quad (20)$$

より、

$$P * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)) = k * ((100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3} + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t + \theta))^{1.3}) \quad (21)$$

となる。 $\theta = 0$ 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。)

$$0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = 0.003 * 398.11 \{ 1 + 0.65 \sin(\omega t) + 0.05 \sin^2(\omega t) - 0.006 \sin^3(\omega t) + \dots \} \quad (23)$$

となり、幂乗の項を倍角で表現して計算すれば、

$$M = k * g(t) = 221955.93 + 139.77 \sin(\omega t) - 5.28 \cos(2\omega t) + 308.08 \sin(3\omega t) + \dots \quad (24)$$

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 ; $(\sin x)^n$ は、定数と $\sin(mx)$ 、 $\cos(mx)$ ($m=1 \sim n$) の一次式で表現できる。(Cos も同様)

$n=1$ の場合は、 $(\sin x)^1 = \sin(1x)$ で正しい。

$n=k$ の時に成立すると仮定すると、

$$(\sin x)^{k+1} = f_k(x) * \sin x , \quad (25)$$

定数 * $\sin x$ は条件を満たし、

$$\sin(mx) * \sin x = -(\cos(mx+x) - \cos(mx-x))/2 \quad (26)$$

$$\cos(mx) * \sin x = (\sin(x+mx) + \sin(x-mx))/2 \quad (27)$$

となるので、(25) 式は、定数と $\sin(mx)$ 、 $\cos(mx)$ ($m=1 \sim k+1$) の一次式で表現できる。

よって、 $(\sin x)^n = f_n(x)$ は次の形で書ける。

$$f_n(x) = c_n + \sum_{m=1}^n a_m \sin(mx) + \sum_{m=1}^n b_m \cos(mx) \quad (28)$$

そこで

$$(\sin x)^n + (\sin \left(x + \frac{2\pi}{3}\right))^n + (\sin \left(x + \frac{4\pi}{3}\right))^n \quad (29)$$

を考えるには、1次式の和

$$\sin(mx) + \sin\left(m\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)\right) + \sin\left(m\left(x + \frac{4\pi}{3}\right)\right) \quad (30)$$

(30)

について調べればよいことになる。

$$m=3k, m=3k+1, m=3k+2 \quad (k=0,1,2,\dots)$$

の場合に分けて考える。

$m=3k$ の場合は、

$$\sin(3kx) + \sin\left(3kx + \frac{6\pi k}{3}\right) + \sin\left(3kx + \frac{12\pi k}{3}\right) = 3 * \sin(3kx) \quad (31)$$

$m=3k+1$ の場合は、

$$\sin((3k+1)x) + \sin\left((3k+1)x + \frac{6\pi k + 2\pi}{3}\right) + \sin\left((3k+1)x + \frac{12\pi k + 4\pi}{3}\right) = 0 \quad (32)$$

となる ($m=3k+2$ の場合も同様)。よって、

$$f_n(x) + f_n(x + 2\pi/3) + f_n(x + 4\pi/3) \quad (33)$$

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、塔自身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、 $3*R/60[\text{Hz}]$ のほかに、 $2*3*R/60[\text{Hz}]$ 、 $3*3*R/60[\text{Hz}]$ 、 $4*3*R/60[\text{Hz}]$ 、…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、 $R/60[\text{Hz}]$ の他に、 $2*R/60[\text{Hz}]$ 、 $3*R/60[\text{Hz}]$ 、の揺れも含まれる。

この力が塔に作用すれば、塔の切り口は橿円となり、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。

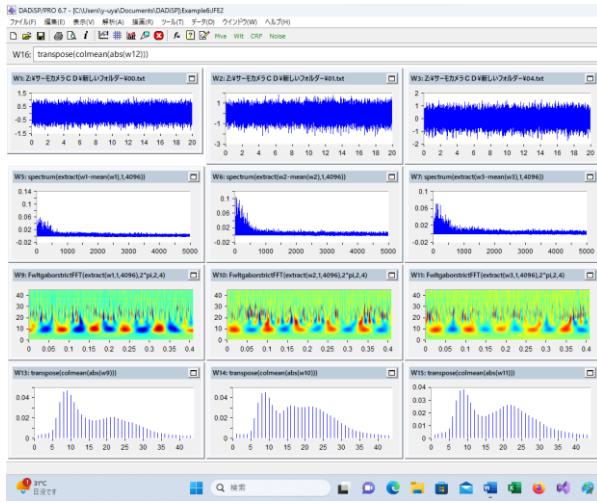


Fig. 14 Effect of Chaos theory

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。

1 1. 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）

1 2.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。）

1 3. 引用文献

- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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マスクのモデル化, 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 Sejdic,

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) 石井倅夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム, 初版, 2005

1. 3. 5 圧縮と膨張

人体を半径 0.5m の球とみる。表面積は $4 \times 3.14 \times 0.5 \times 0.5 = 3.14 \text{ m}^2$

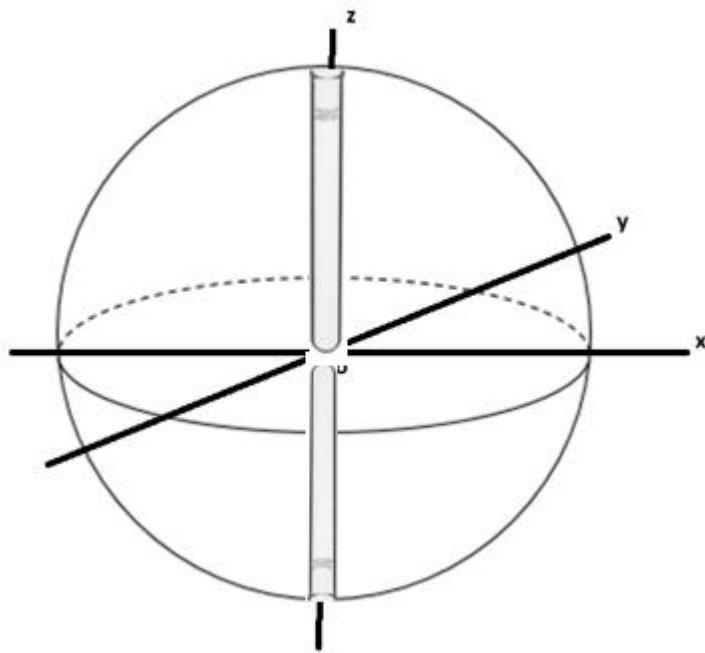
表面の部分は体重 (60 kg) に相当する質量を持ち、面密度は $60 / 3.14 = 19 \text{ kg/m}^2$

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 (m^2) 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/s^2 の加速度を生じさせる力である。



北極と南極に向けた 2 本の試験管のような部分を考える。

試験管の半径を $r = 0.005 \text{ m}$ 、断面積を $ds = \pi * 0.000025 = 0.0000785 [\text{m}^2]$ 、

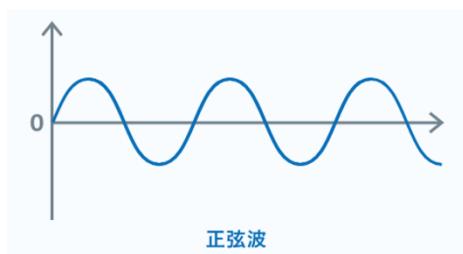
殻の部分の密度を $\rho = 19.1 \text{ kg/m}^2$ とする。

試験管の口の部分の質量は $M = \rho * ds = 19 * \pi * 0.000025 = 0.0015 [\text{kg}]$ 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。

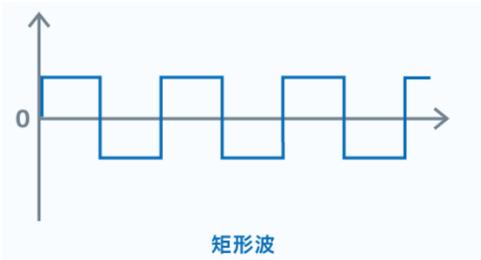
試験管の口の部分での音圧 $P(t)$ が

$$P(t) = A \sin \omega t$$



したいのだが、

計算を簡単にするために、矩形波で考える。



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、 $340/1000 = 0.34\text{m}$

$P_0 + A$ の部分の長さは、 $0.17\text{m} = 170\text{ c m}$

この部分が蓋の部分を通過する時間は、 $0.17/340 = 0.0005\text{ 秒}$

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 ($A * \text{蓋の面積}$) パスカルになる。

この状態が dt 秒間継続したとすれば、 $F = m \alpha$ より、

$$A * ds = M \alpha$$

$$\alpha = A * ds / M$$

となり、 dt 秒後には、測度 $v1 = \alpha dt$ 、移動距離は初速度 $v0=0$ なので、

$$dl = (1/2) \alpha (dt)^2 + v0 * dt$$

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、

$$v1 = \alpha * dt$$

$$dl = (1/2) \alpha (dt)^2$$

$$P_1 = P_0 * L / (L - dl)$$

$$L_1 = (L - dl)$$

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_3 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、 $L=0.5\text{m}$ 、 $M=\rho * ds=0.0015\text{kg}$ 、 $A=1$ 、として上記の計算をすれば、 $dt * k = \text{周期}/2$ 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、 $\text{周期}/2$ 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

200Hz だと、気圧が 1 パスカル増加した時、中の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

100Hz だと、気圧が 1 パスカル増加した時、中の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

10Hz だと、気圧が 1 パスカル増加した時、中の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

1Hz だと、気圧が 1 パスカル増加した時、中の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

0.5Hz だと、気圧が 1 パスカル増加した時、中の圧力は 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。

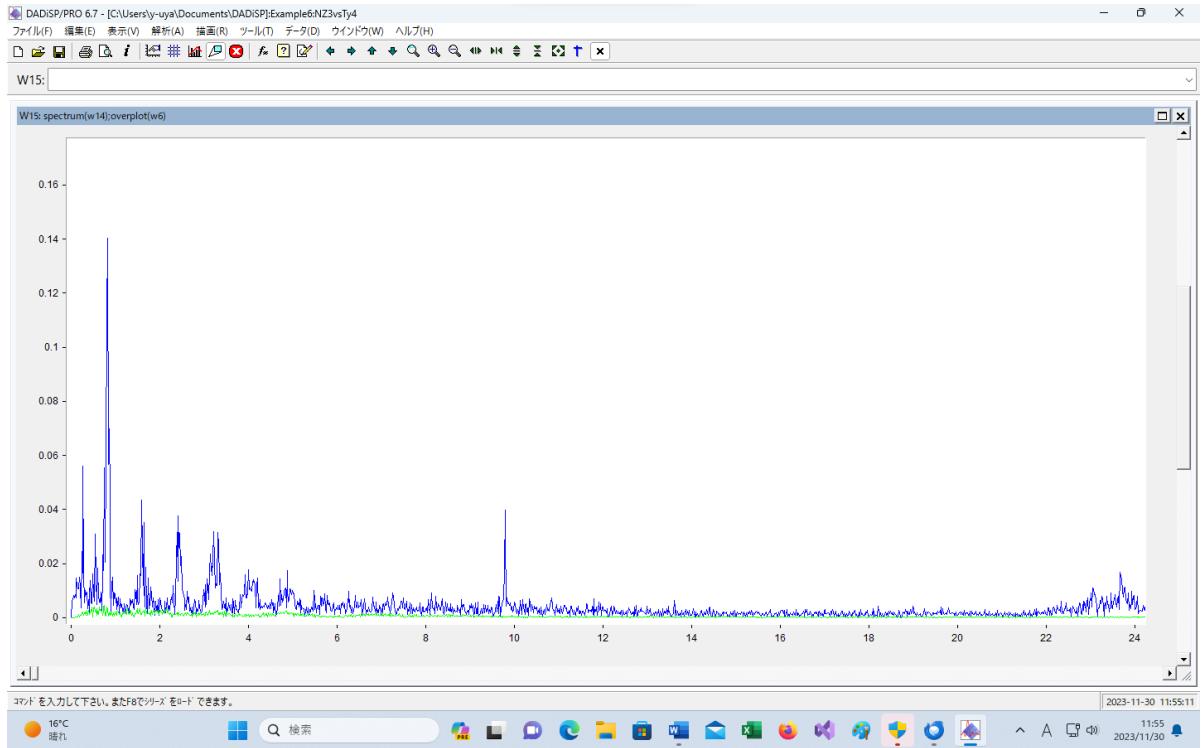
200Hz 以上ならば、体内の圧力はほとんど変化しないが、10Hz 以下では、かなりの圧縮が起きる。

これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。

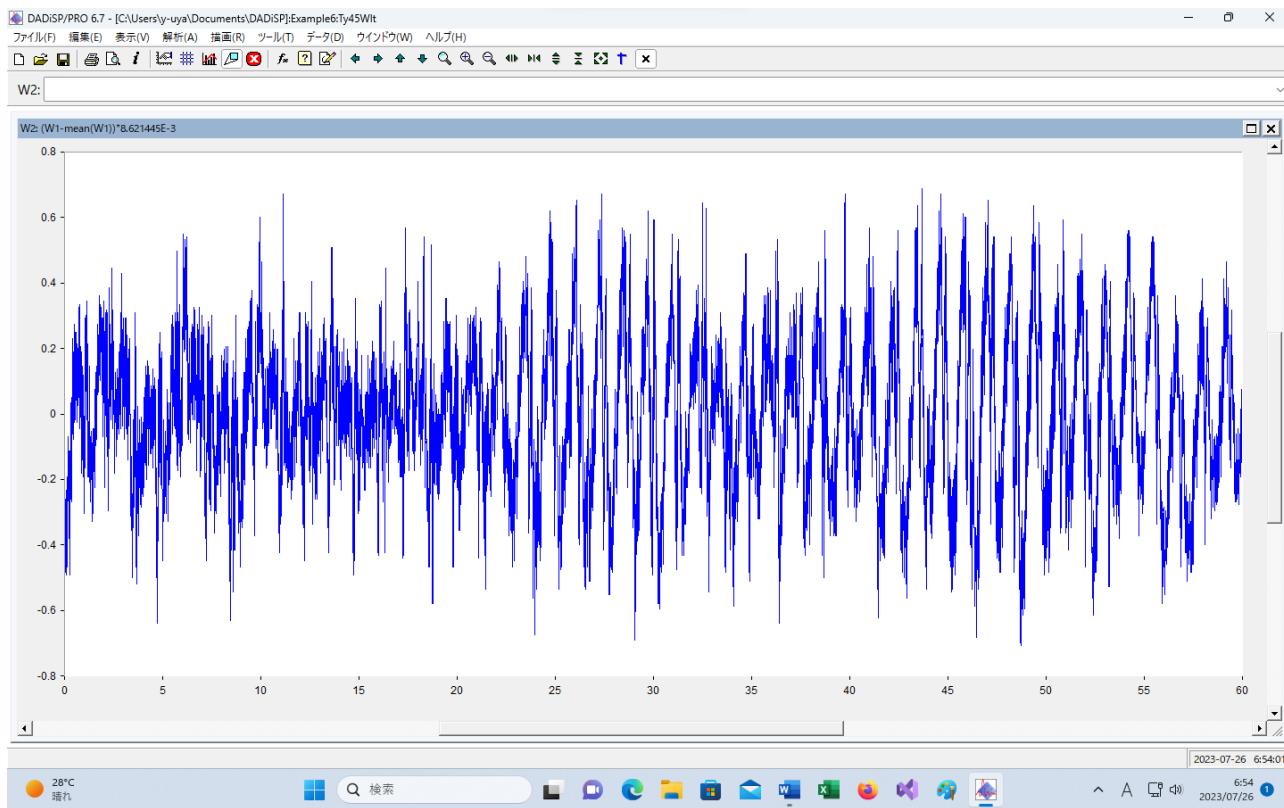
この圧力変動は、体内での気泡の溶解と発生の平衡状態を、発生が多い方に傾かせる。

1. 3. 6 音響キャビテーション

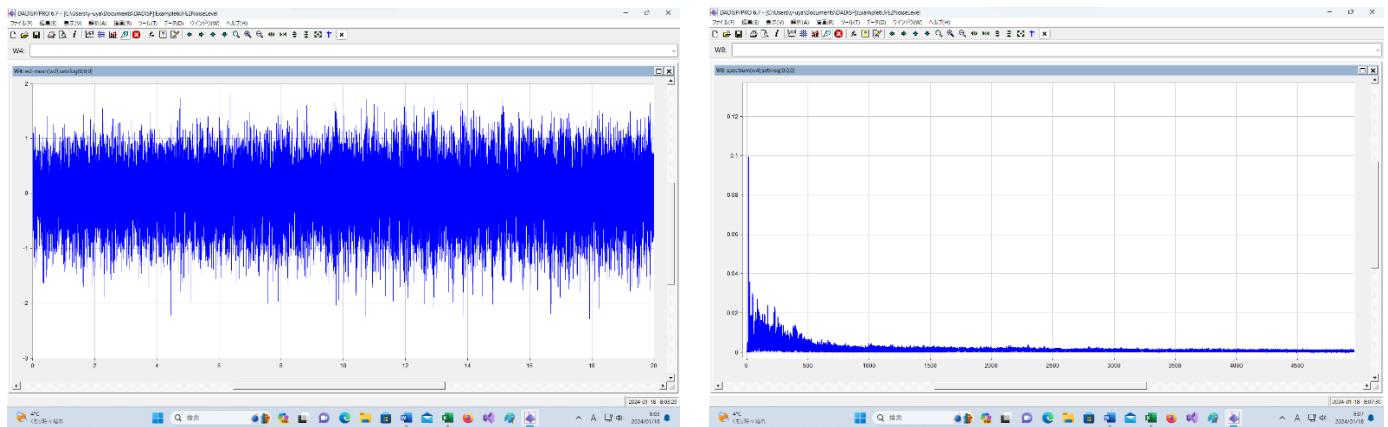
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、 $f=RZ/60=1\text{ Hz}$ の成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。



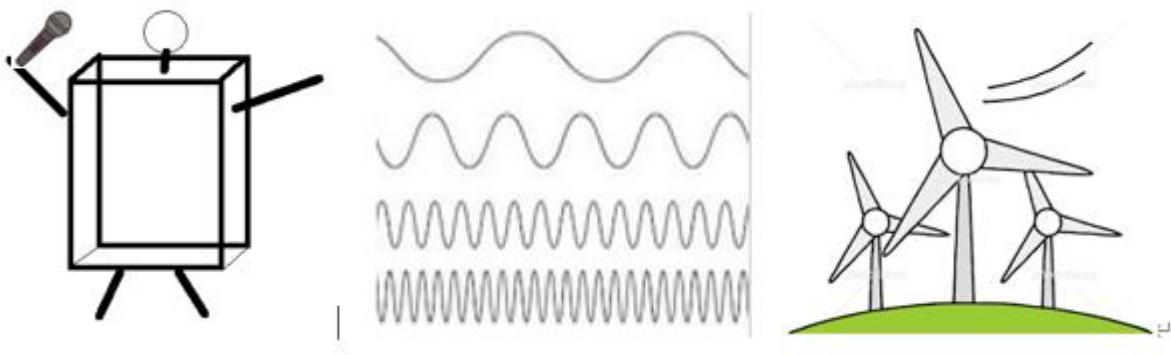
グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。



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。

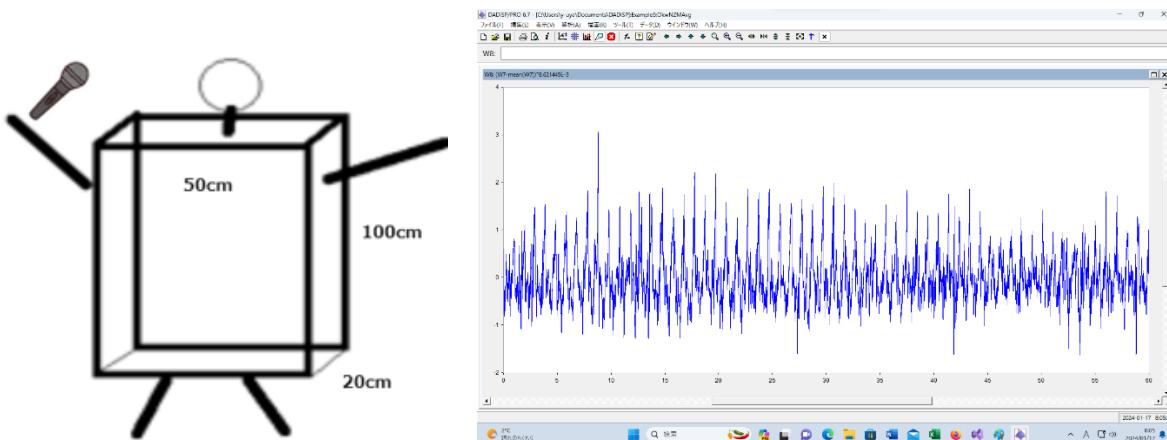


この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



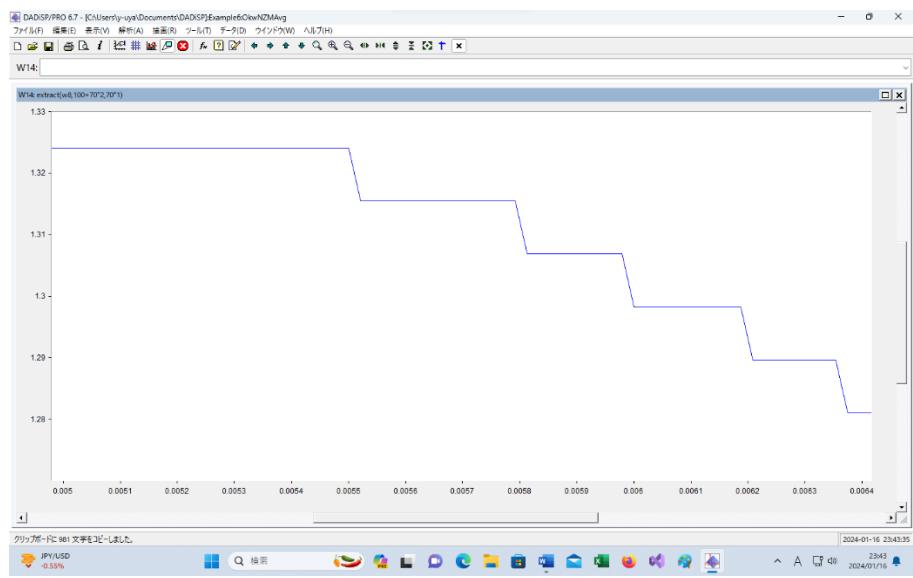
いろいろな波長の音が、秒速 340mで風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50 cm、胴長 100 cm、厚み 20 cmとして、音は平面波とします。

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、 $48000 \times 0.5/340 = 70.6 = 70$ 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。

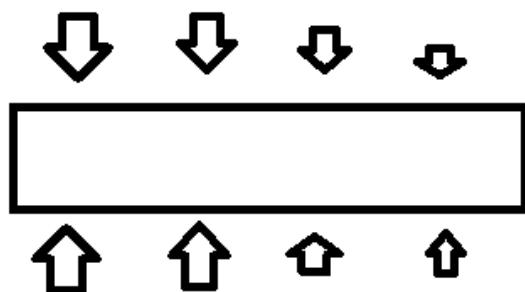
音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



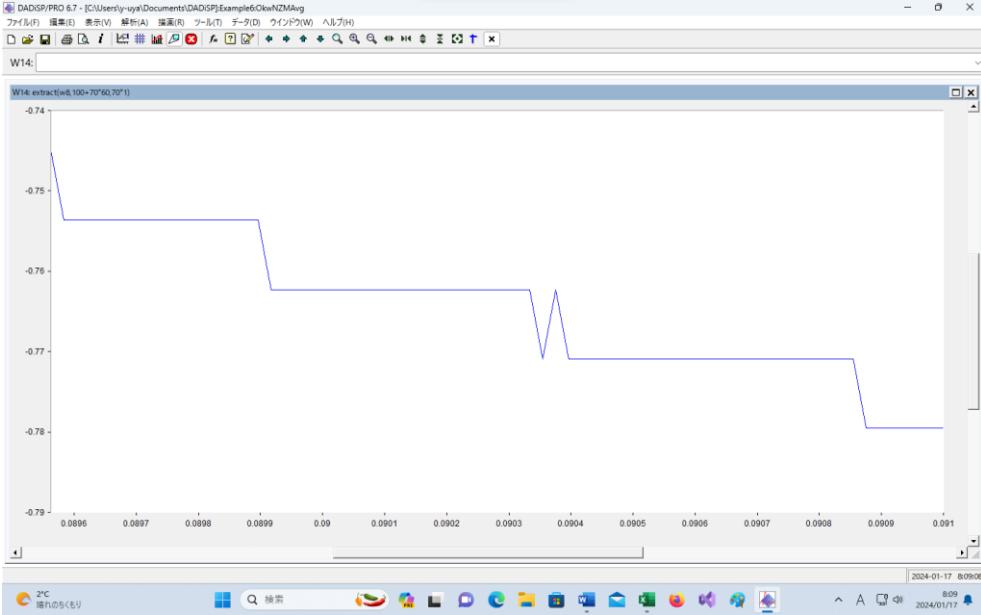
となり、数値は、

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。



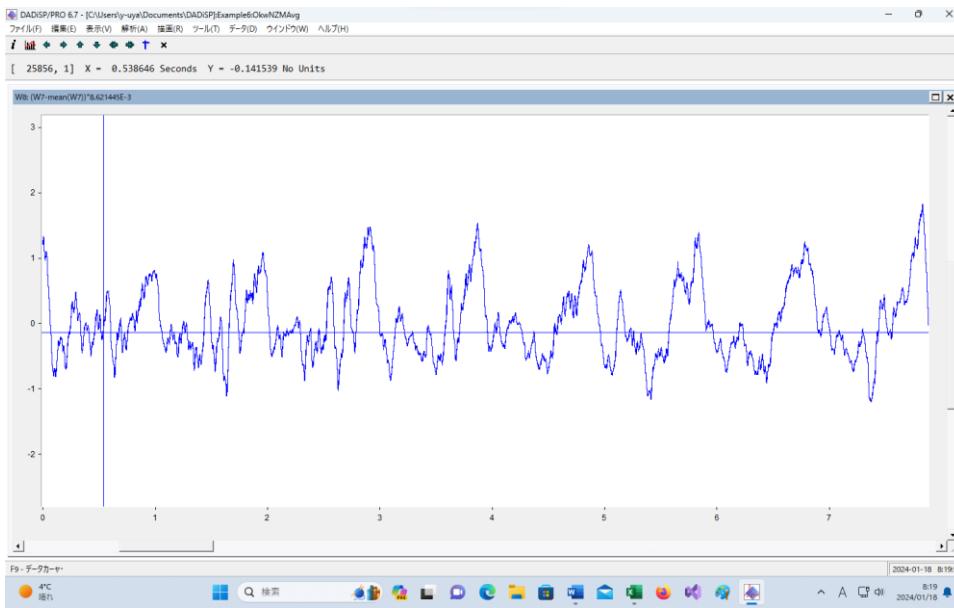
もちろん、



もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。

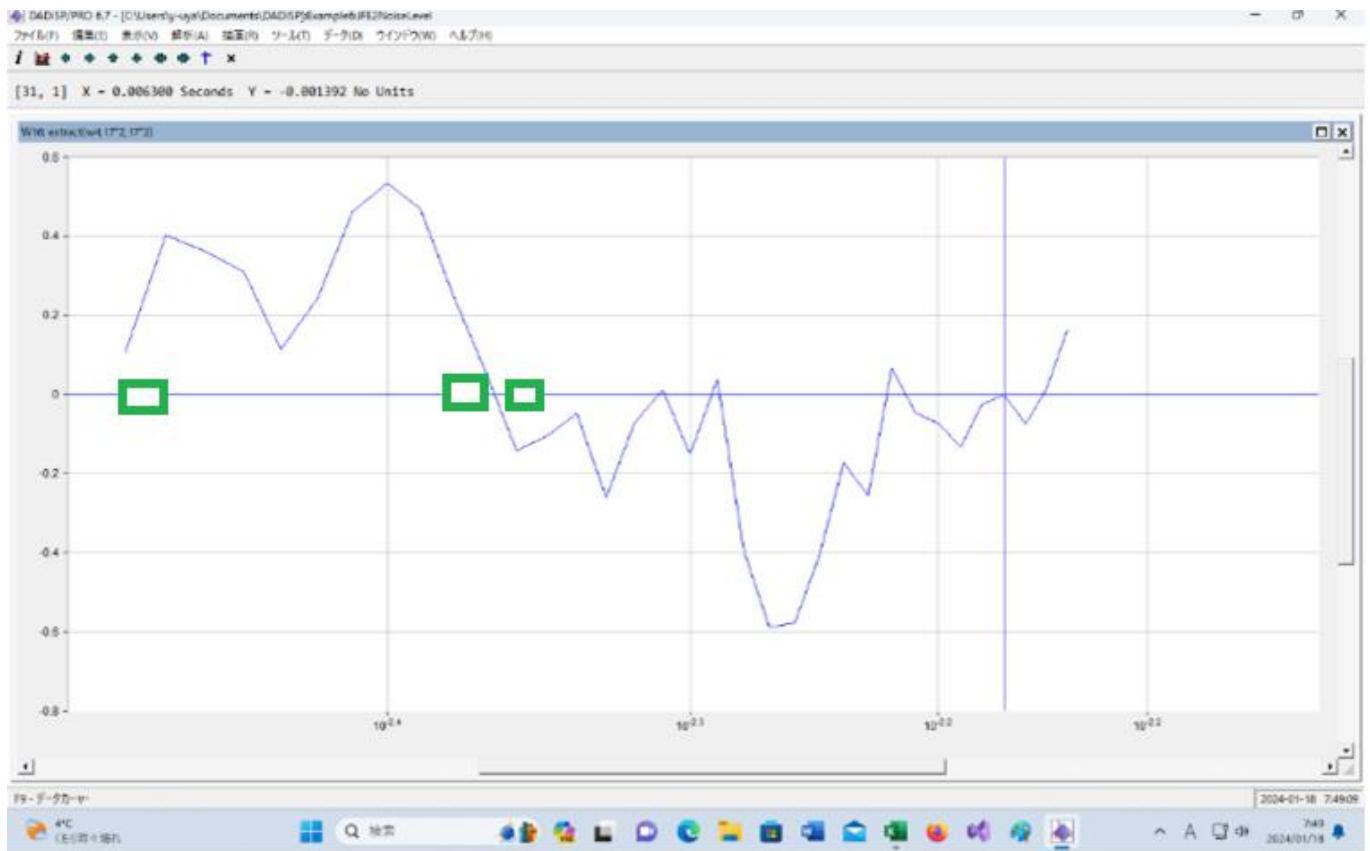
上のグラフの値は、-0.77Pa 程度です。強制的に膨張させられている状態です。

風車音の場合は、50 cm 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。



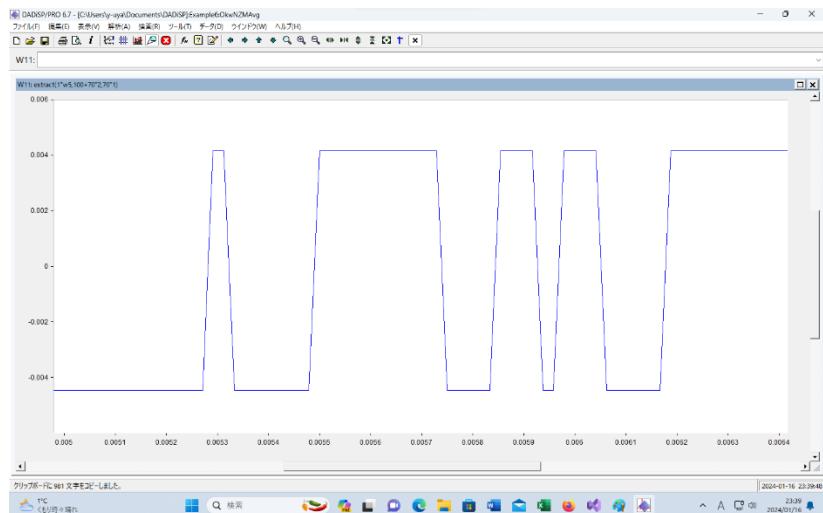
人間の体は、圧迫を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。
物理的には圧力が周期的に変化するのです。

工場音の場合は、秒速 340m の音が 50 cm 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 $0.04 - 2 \times 0.001 = 0.038$ 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、50 cm 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よ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、

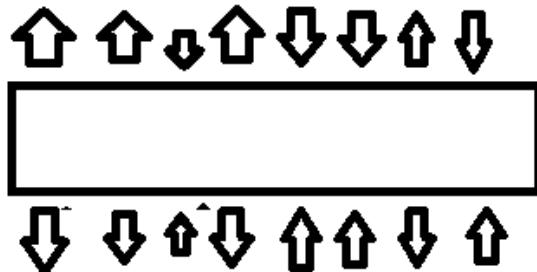


であり、

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	
-0.00446	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す。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、50 cm 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、1 Hz 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、0.5~1 Hz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あります。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、膨張にさらされます。

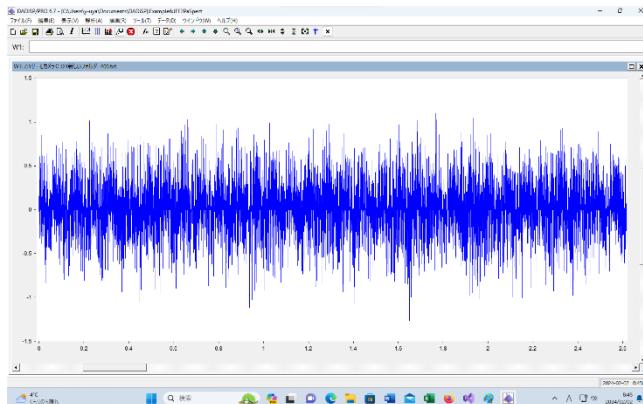
圧縮、膨張についてさらに確認します。

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。

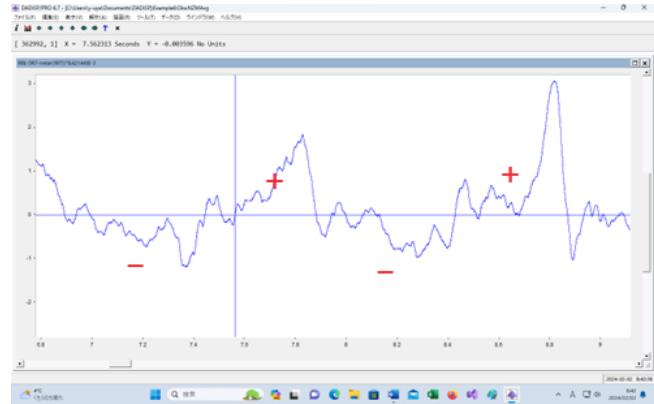
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

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

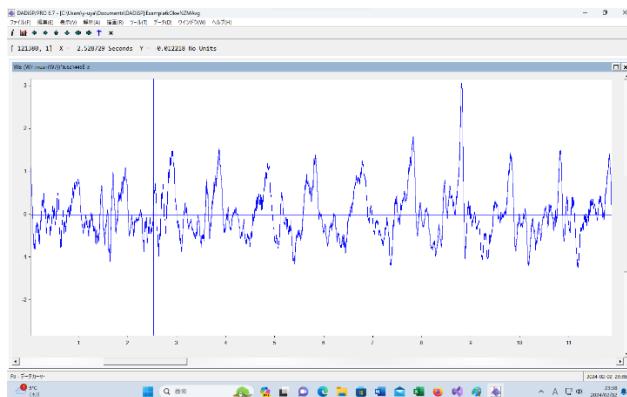


風車音の2.2秒間の波形

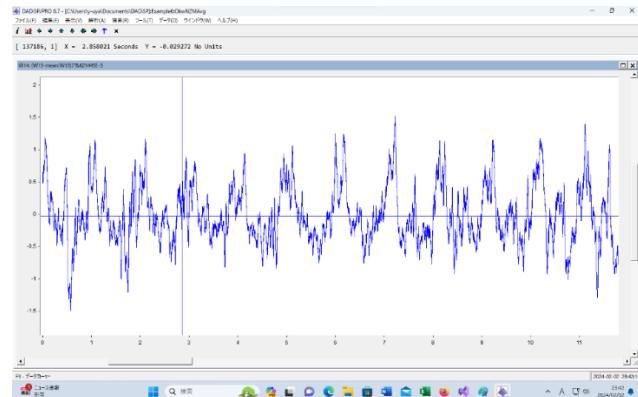


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

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。

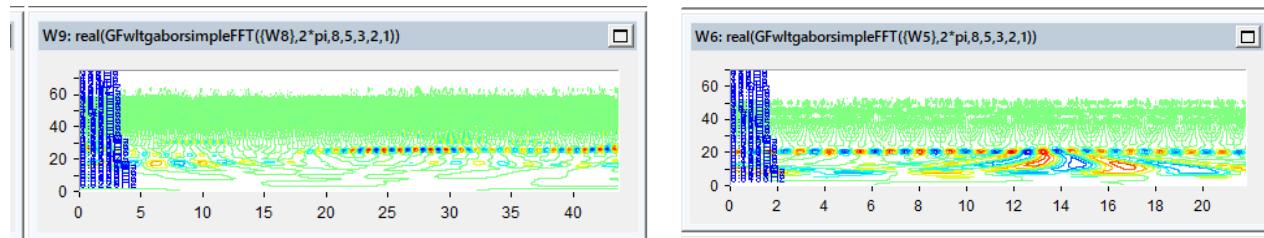
対象	周波数[Hz]	周期[S]	最大音圧	PT
車（強）	1	1	0.42	0.42
箱（中）	1	1	0.33	0.33
外（弱）	1	1	0.23	0.23
穏かな日	0.8	1.25	0.15	0.1875
JFE	12.5	0.08	0.096	0.00768
神社	1	1	0.01	0.01

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、潜水病と同じですから、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、下のようになります。



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れます。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じることになります。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)

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

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

$$\dot{m}_{\varepsilon} \propto R^2 \times (\rho_{\varepsilon i0} - \rho_{\varepsilon iW}) / \delta_D \quad (2.5.61)$$

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

$$p_g > p_{g0}$$

$$p_{g0}$$

$$p_g < p_{g0}$$

$$R < R_0$$

$$R_0$$

$$R > R_0$$

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

$$\delta_{D0}$$

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

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

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

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とすると、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 が小さくなっています。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、1Hz のものが圧倒的に高い圧力をもつていて、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、0.5~1Hz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 2 km の距離に並べることは狂気の沙汰です。

1. 3. 7 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)

スクuba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 メートルでの危険性は誰でも納得します。では、水深何メートル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 メートル(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 メートル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)へ溶け込みます。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 パーセント溶け込んでいます。潜水すると水深10 メートル毎に溶け込む空気が倍増します。例えば水深20 メートル(大気圧の1気圧 + 水深20 メートルでの水圧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 パーセントになります。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 パーセント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つて血管に塞まる。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)が出来易くなつて血管に塞まる。④ 高血糖・ストレスで血液がベトベトになり、血栓が出来易くなつて血管に塞まる。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つて破れる。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なく、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メートルから20メートルへ移動する場合と、水深10メートル

から水面へ浮上する場合とでは、同じ10メートル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メートル附近から水面へ浮上する圧力差は、地上から上空1万8千メートル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メートル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的空洞部分(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れます。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メートル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メートル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メートル)。珊瑚のサンゴ虫と同じように、骨にも骨の細胞があつ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、スキュー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しまいません。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 メートル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 メートルに1時間潜水すると水深9 メートルで10 分停止、6メートルで27 分停止、3メートルで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メートルや3メートル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 キューン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 メートル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り返し、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メートル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 メートル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 メートル迄だと 55 分へと半減し、24 メートル迄では 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 자체が不可能になります。また、浮上速度は毎分 10 メートル以下

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 メートルと誤解されたままです。最近の研究では水深 10 メートルから水面までは毎分 6 メートル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、フイ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つ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 項でのポ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 メートル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 時間掛けでも治療出来ると限らないのに、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、肺囊胞

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、肺囊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囊胞、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。

高压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バ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、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、チャンバ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、海外で再圧チャンバ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。

1. 3. 8 明らかな関連を示す知見は確認できなかった

“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かった”

とあるのだが、額面通りには受け取れない。

もし、風車音の詳細な周波数スペクトルが分っていれば、風車音が発生する仕組み、風車音の物理的な特徴が分り、その特徴から導き出される物理的な反応としての“頭痛”が明らかになる。

エネルギーの分布が分れば、アノイアンス（不快感）に占める超低周波音の役割も判明する。もちろん金属疲労の原因も分かる。

これが分ると困る人が集まって、MITの学者に論文を書いてもらった。

そして、“疑似音”、“風雑音”説をバラまき、計測そのものを妨害した。健康被害との関連は物理と数学の知識が少しあれば、すぐに分かる。だから、計測そのものを妨害したのだと考えられる。

1. 3. 9 疑似音

Wind Turbines and Health

A Critical Review of the Scientific Literature

Robert J. McCunney, MD, MPH, Kenneth A. Mundt, PhD, W. David Colby, MD, Robert Dobie, MD, Kenneth Kaliski, BE, PE, and Mark Blais, 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。

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。貴職におかれでは、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。“

となっている。

環境省は、超低周波音を“風雑音”と決めつけて“二重防風スクリーン”と“除外音処理”で消し去れと言っているのです。

1. 3. 10 風雑音(その1)

超低周波音で 5 Hz 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、風雑音が重畠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。

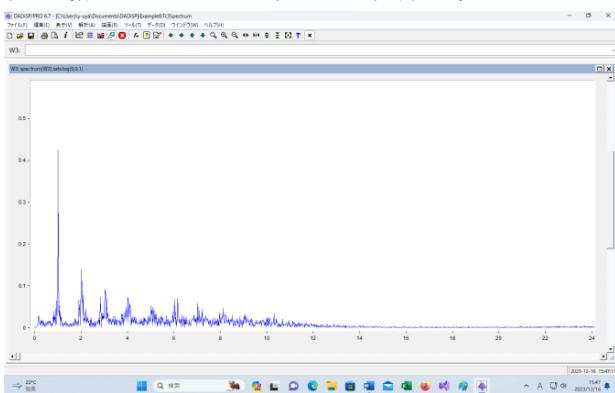
1. 3. 11 風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても超低周波音が計測される。

風車の近くでの計測で、

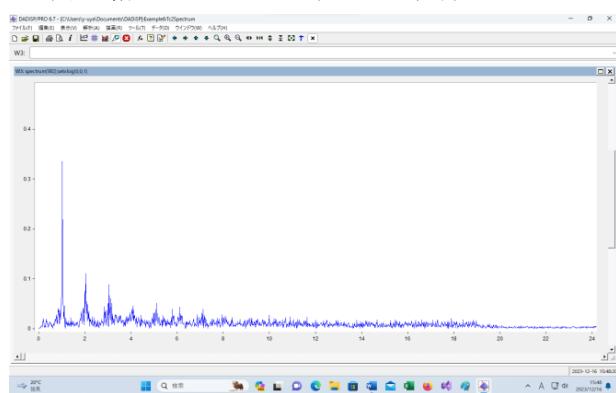
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、



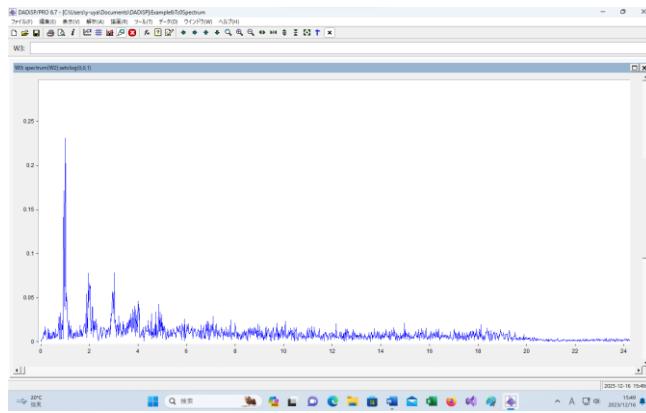
袋と箱に入れドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



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ていた結果は 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くても、マイクに風が当たっても、音圧が高く、規則的な周波数を持った超低周波音は、どちらの場合でも記録されます。

1. 3. 12 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

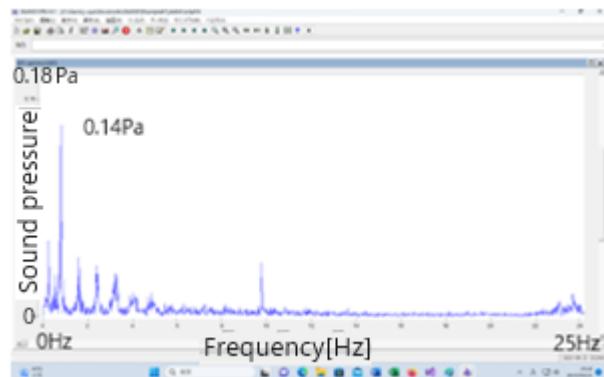
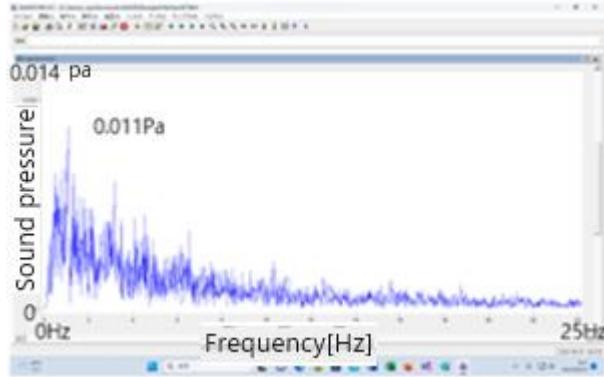


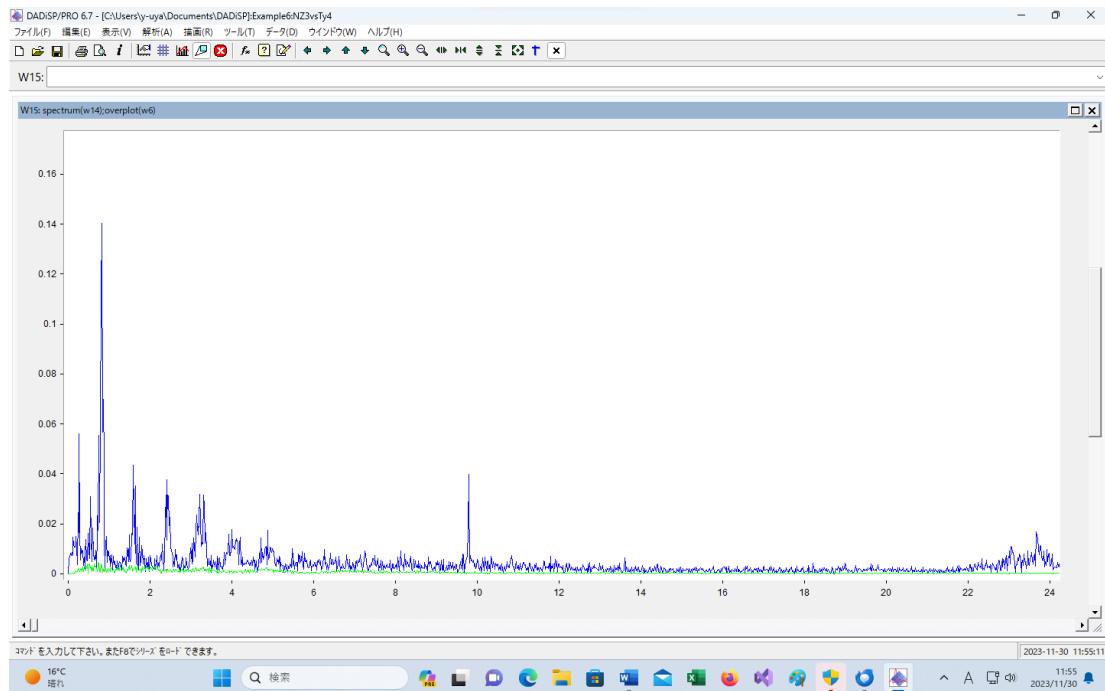
図 6. 長尾神社の音 0 ~ 25Hz



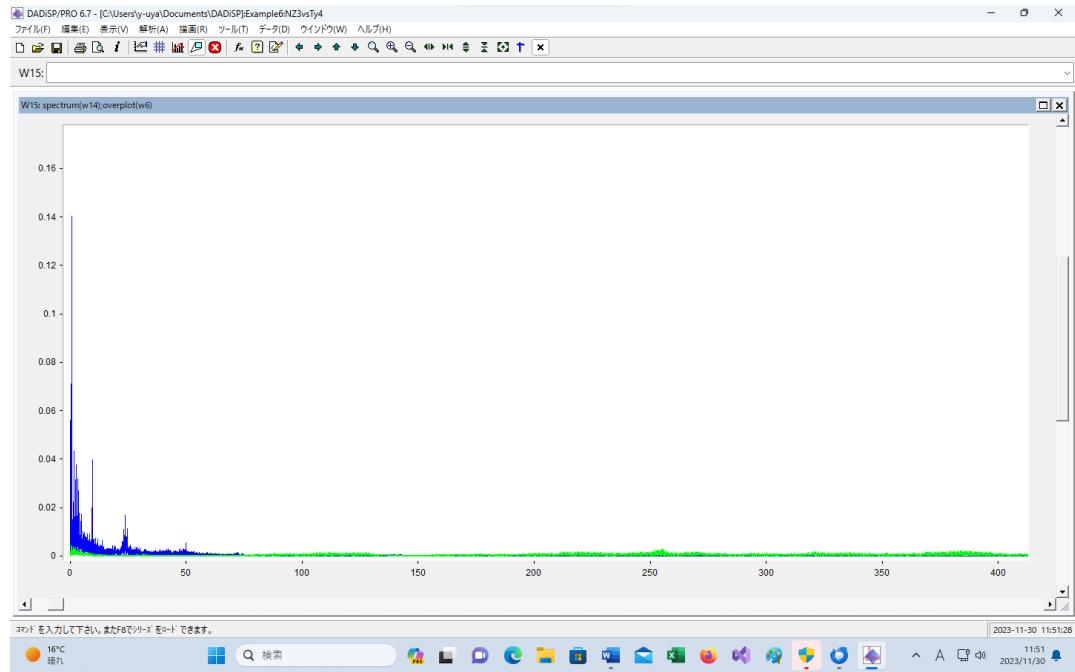
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

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。

1. 3. 13 景観と経済的利益のアノイアンスへの寄与

- 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

6

については、景観や経済的利益もアノイアンス（不快感）の要因の一部ではあるでしょう。

しかし、これらの要因は、風の向きが変わっても、風速が変わっても変化しません。アノイアンス（不快感）の程度は、風の向きや風速で大きく変化しますので、景観や経済的利益の寄与は小さいと考えるべきです。

症状と時間や風速を日記に [\(長周新聞より\)](#)

海岸の風車も三望苑の風車も、どちらも家から約2キロのところにあり、両方にはさまれた真ん中に私の家がある。だから両側から低周波音が来ているのではないかと思う。南西の風が相当強いときには風車が回る騒音が聞こえることもあるが、多くがグウングウンという低周波音だ。ブレード（羽根）と支柱が交叉するときに生まれる衝撃音で、支柱の振動が空気振動で伝わり、頭にグウングウンと響くようだ。

さっき病院の待合室で気分が悪くなつたといつたが、後で調べたらその病院も海岸の風車と三望苑の風車にはさまれており、どちらも病院から2・7キロとまったく同じ距離だった。

道川誠二氏がつけていた日記を表したもの（表1）

風は気象庁のデータより	23時	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	M／秒
2024年1月4日	東	南東	南東	東北東	南東	南東	東北東	南西	南東	風向き
睡眠剤飲まず9時頃寝る 0時頃目覚める 気にならず 2時頃目覚める 気にならず その後眠れず ラジオを聞く 6時～7時ぐらい眠る	1.1	1.7	1.9	1	2	3.1	1.2	0.4	1.4	平均風速
	2.3	2.5	3.9	2.1	3.6	5.2	2.4	1	2.5	瞬間風速
2023年1月12日	東南東	南東	南東	東	北東	南	南南西	南南西	西	風向き
睡眠剤飲まず10時頃寝る 11時頃、1時頃目覚める 気にならず 3時頃目覚める 微かにぐうんぐうん 聴こえる 雨の音も その後ラジオを聞く 4時半過ぎ辺りからドキドキ感じる 左胸の辺り少し痛くなる その後もずっと胸痛く苦しい	3.6	4.2	3.2	2	1.6	7.9	9.3	8.8	5.2	平均風速
	6.8	7.7	6.1	4.1	4.6	11.7	17.5	16	9.3	瞬間風速
2023年1月17日	西北西	西	西	西	西北西	西	西	西	西	風向き
睡眠剤飲まず10時頃寝るが寝付けず(ぐうんぐうん 微かに聴こえる) 0時半頃目覚める 3時過ぎ目覚める ぐうんぐうん聴こえる その後眠れずラジオを聞く 5時半～6時ぐらい眠る ドキドキ感じる 脈が4、5回途切れる 胸が少し苦しい 血圧少し高い	5.2	5.8	5.7	6	5.2	4.8	5	4.9	5.2	平均風速
	11.2	12	11.3	11.6	11.2	10	11	9.3	9.8	瞬間風速

道川氏の体調異常と近くの風力発電の稼働状況の関係（表2）

月	2022年				2023年							
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
該当日数	29	31	30	31	30	14	31	30	31	16	22	31
眠り始めて1時間半以内に目覚めた日数と比率	5 17%	3 10%	1 3%	13 42%	24 80%	7 50%	12 39%	4 13%	4 13%	2 13%	4 18%	7 23%
総睡眠時間が5時間以下の日数と比率	11 38%	4 13%	9 30%	16 52%	23 77%	2 14%	14 45%	9 30%	1 3%	5 31%	8 36%	16 52%
寝ている間に体調異常を感じた日数と比率	11 38%	13 42%	22 73%	19 61%	10 33%	4 29%	3 10%	7 23%	1 3%	1 6%	1 5%	0 0%
風車の15～18回転（1分間）の日数	3 10%	3 10%	8 27%	14 45%	16 53%	4 29%	5 16%	8 27%	3 10%	3 19%	3 14%	2 6%
※												

※回転数は3事業者の風車の平均値

ところが、夏になるとそういう症状は出ない。私は4年あまり前から、風車の低周波音によってあらわれた症状を日記に詳しくつけていた【表1】。そこから「体調異常を感じた日数と比率」の表をつくり、それに私の健康被害を引き起こしていると思われる三事業者の風車の「稼働状況（3社の平均値）」を加えて表にした【表2】。すると、風が強く風車がフル回転している冬場に体調異常を引き起こす日が集中しており、ほとんど風車が回っていないかゆっくり回っている夏場は体調異常がほとんどないことがはっきりした。また、冬場でも風が強く風車がフル回転している日は体調異常になるが、風が弱く風車が回っていない日はそうでもない。

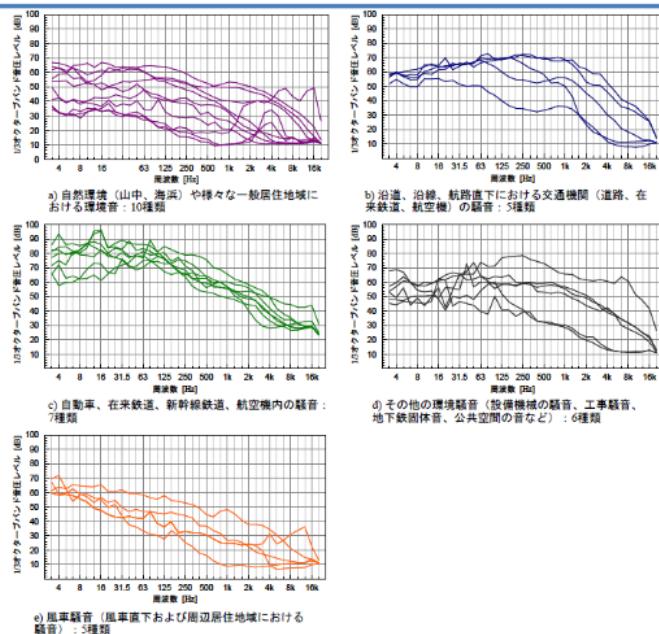
今年1月、このデータをもって市役所生活環境課および三事業者との会合を持ち、「私の体調異常は明らかに風車の低周波音が引き起こしているのだから、夜間だけでも風車を停止してもらいたい」と再度申し入れた。しかしその後、一切音沙汰がない。

との話がある。

被害の状況を見れば、何が主要な要因なのかが分かるのです。現実の被害に目を向けていないと、妄想に取りつかれます。

1. 4 これまでに得られた知見②

これまでに得られた知見② 風車騒音と他の環境騒音の比較



* 他の環境騒音
(一般環境騒音、
交通騒音等) と
風車騒音を比較

他の環境騒音と
比較して、低周
波数領域の卓越
はみられない

“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

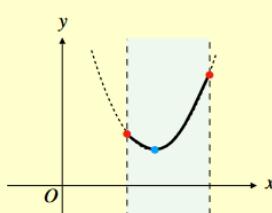
(Step 1) ()をする

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

(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



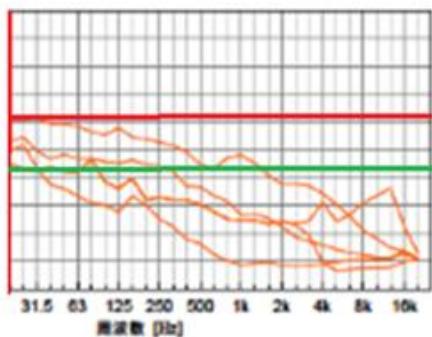
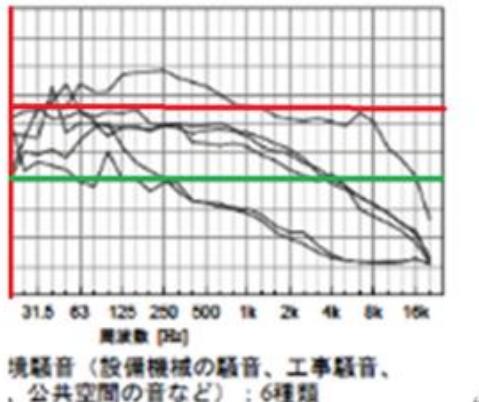
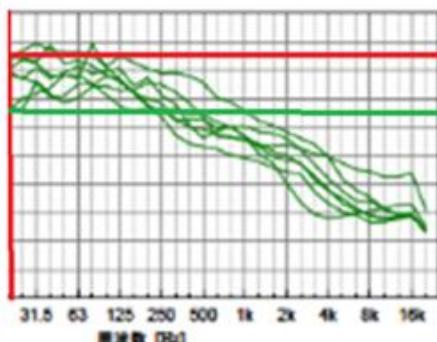
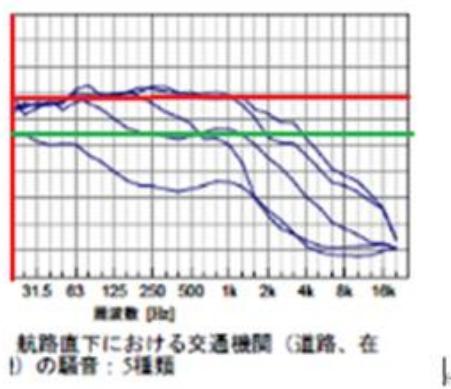
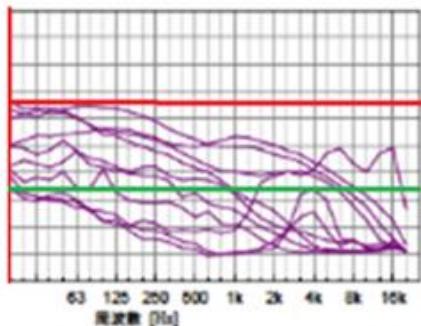
関数 $y = 2x^2 + 4x + c$ ($-2 \leq x \leq 1$) の最大値 7 であるとき、定数 c の値を定めなさい。

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（4Hz 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、次のようにになります。



修正した図 8-4

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（コンクリート破碎機）	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。

この表で、右端の数値の平均値を計算すれば、風車騒音での値が最小値であることが分ります。

確かに、風車音から計算した A 特性音圧レベルの値は、小さいのです。

グラフから見ても、A 特性音圧レベルの値から見ても、定義域を 20Hz 以上に限定して、さらに“低周波数領域” 20～100Hz とする限り、

“他の環境騒音と比較して、低周波数領域の卓越はみられない”

右側の文章では騒音（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。

他の環境騒音と 比較して、低周 波数領域の卓越 はみられない

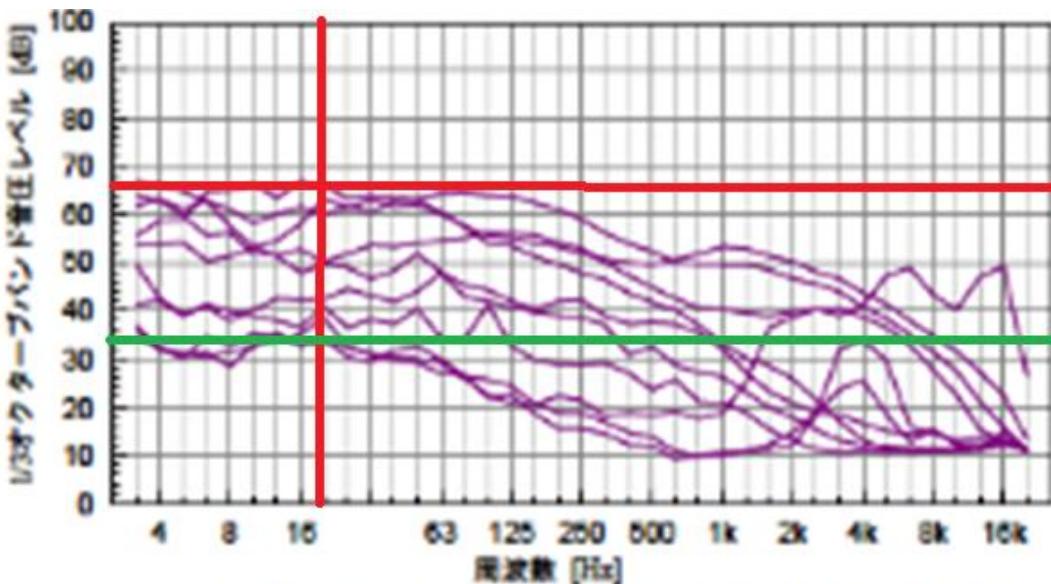
4Hzからのグラフを見ながら、“低周波数領域の卓越は見られない”との文章をみれば、“低周波領域”が4Hzも含むかのように錯覚します。低周波領域は“20～100Hz”であり、“低周波数領域の卓越は見られない”が、4Hzを含む“超低周波音”的な領域まで含めて考えれば、風車音は他の環境騒音に比べて卓越した音圧を持っていることが分ります。

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以下の騒音に関する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。

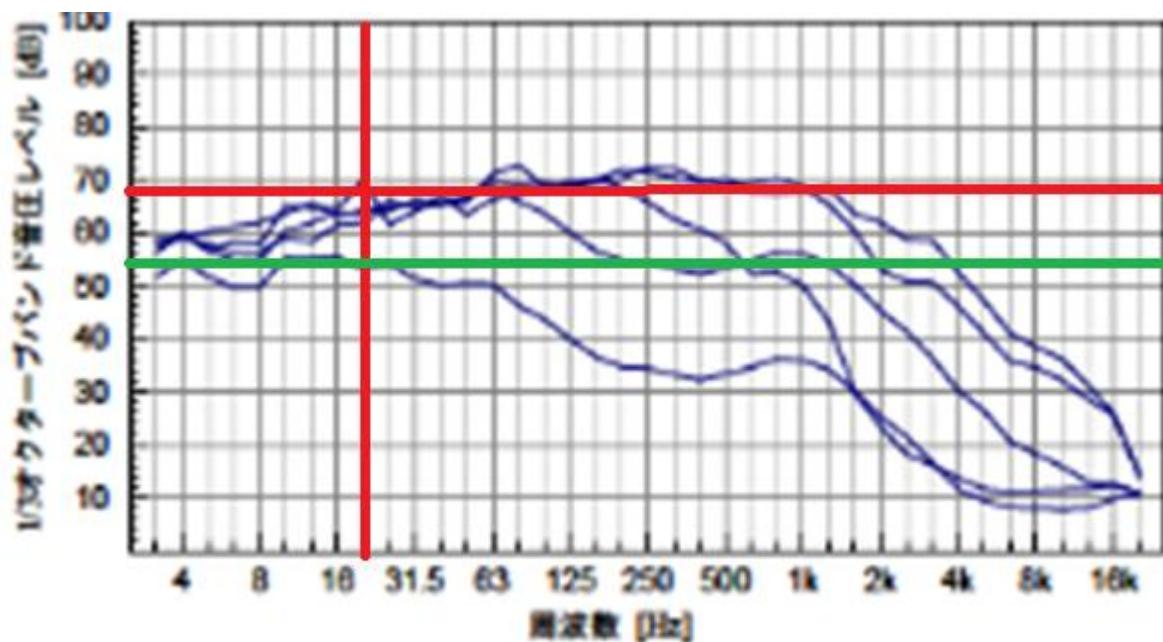
20Hz辺りに縦線、それとグラフとの交点を通る水平線を引けば、低周波領域（4Hz～20Hzを含む）での特徴が分かります。低周波領域（4Hz～20Hzを含む）に着目すれば次の様になります。

4Hzから20Hzではグラフは水平。



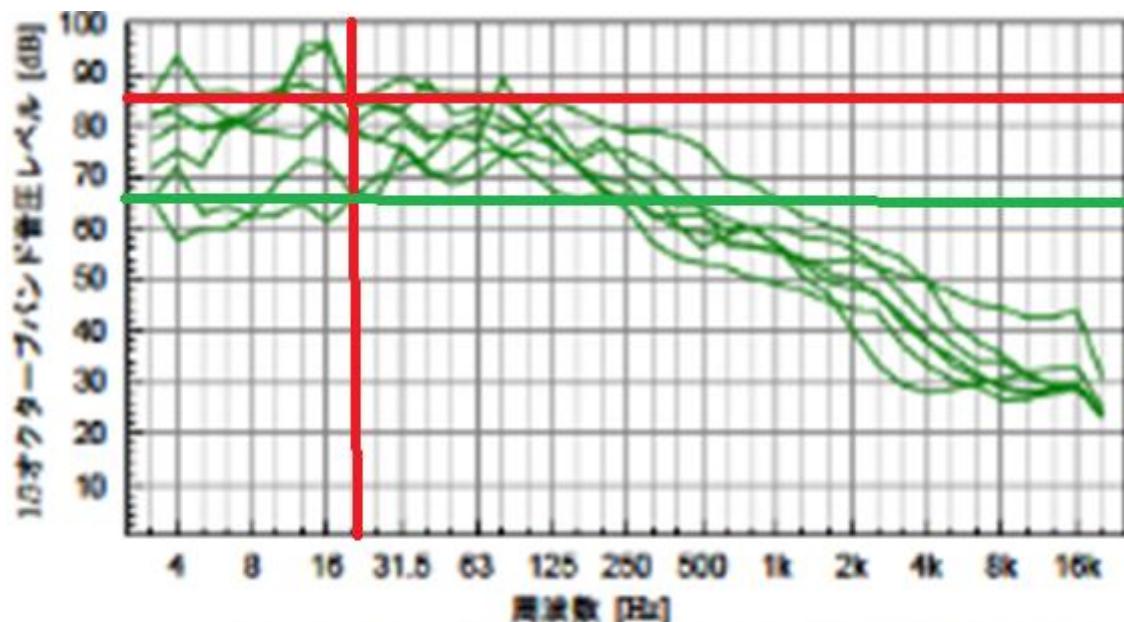
a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類

周波数が低くなるとグラフは下がる。



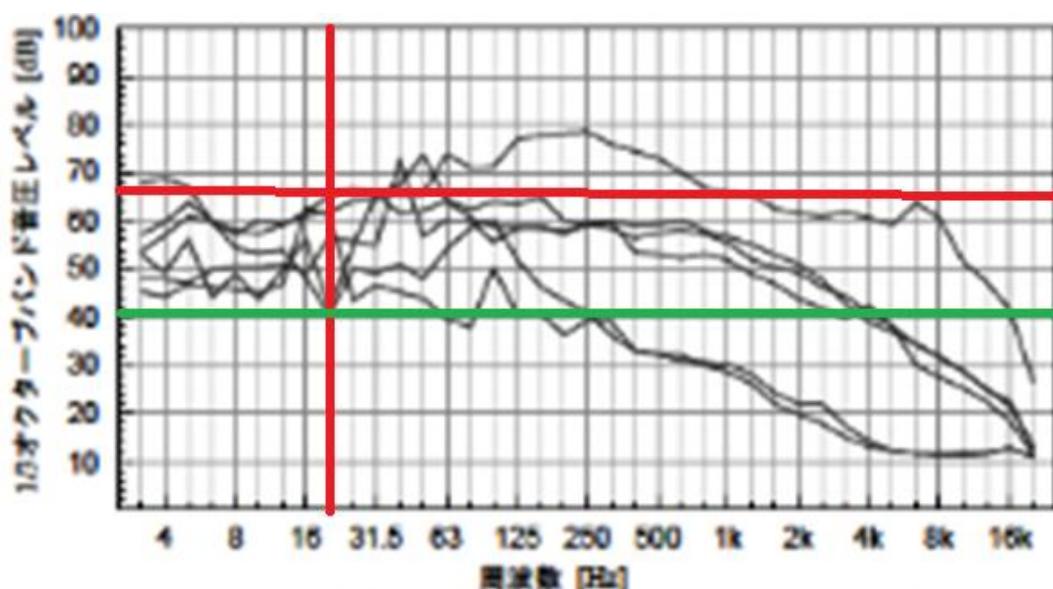
b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類

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。

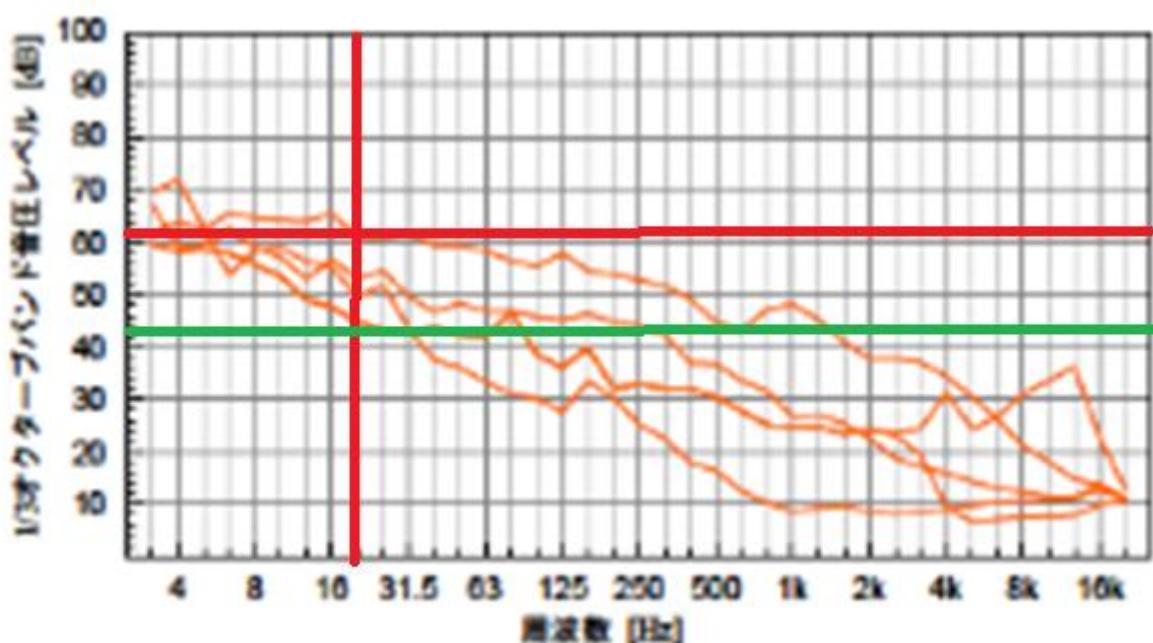


d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

※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

3

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。

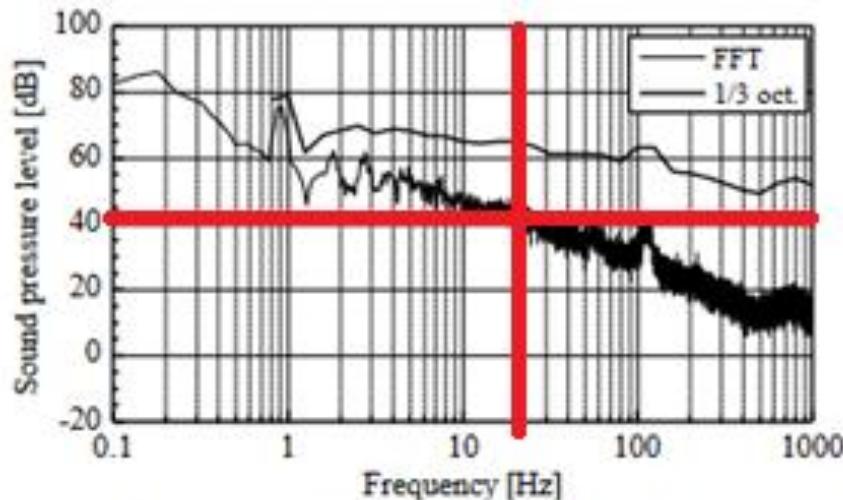


e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類

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。音圧レベルが連続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、全体としての連續性は、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、風車音（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。

交通騒音、風車騒音、環境騒音、低周波数領域、の言葉が出てきますが、全て 20Hz 以上の周波数成分を指します。従って、ここでの考察は、音の成分のうちで 20Hz 以下の超低周波音の成分を無視して考えることになります。その場合、表 2 のエネルギー分布を見れば、風車音のエネルギーの 7 % と工場音のエネルギーの 88%、交通音のエネルギーの 99% を比較することになります。

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%

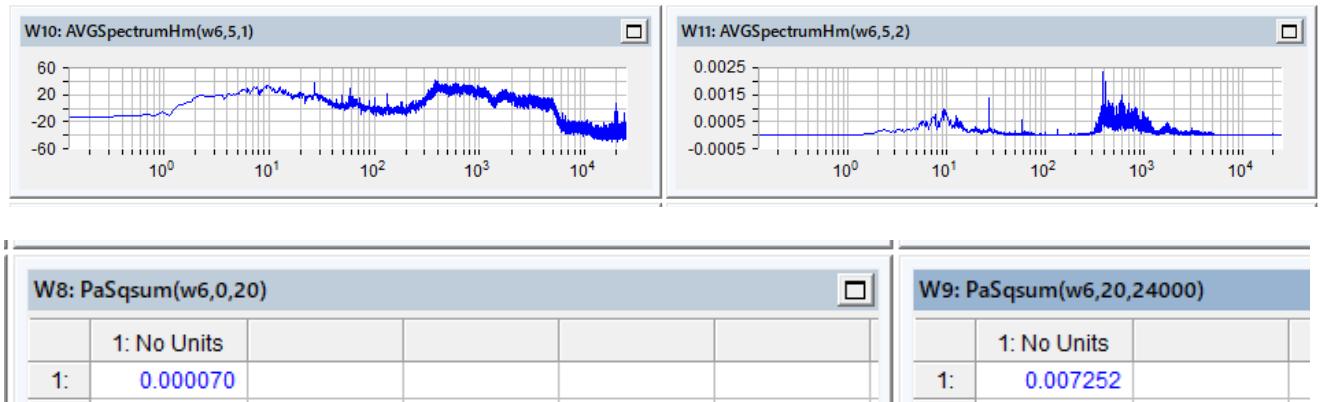
結論は、この 20Hz 以上の部分の比較では、卓越が見られないとの結論ですが、超低周波音を含めて考えれば、風車音が卓越したエネルギーを持っていることは明白です。

風車音のエネルギーの 7 % が交通音のエネルギーの 99% と釣り合うならば、風車音のエネルギーの 1 % は交通音のエネルギーの 14% に相当します。93% のエネルギーは 1315% の交通音に相当します。

その影響は決して無視できません。

ここで、交通騒音（0Hz 以上）、工場騒音（0Hz 以上）、風車音（0Hz 以上）の特徴を確認しておきます。交通騒音（0Hz 以上）、工場騒音（0Hz 以上）、風車音（0Hz 以上）について、これらの音（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 40 dB 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。

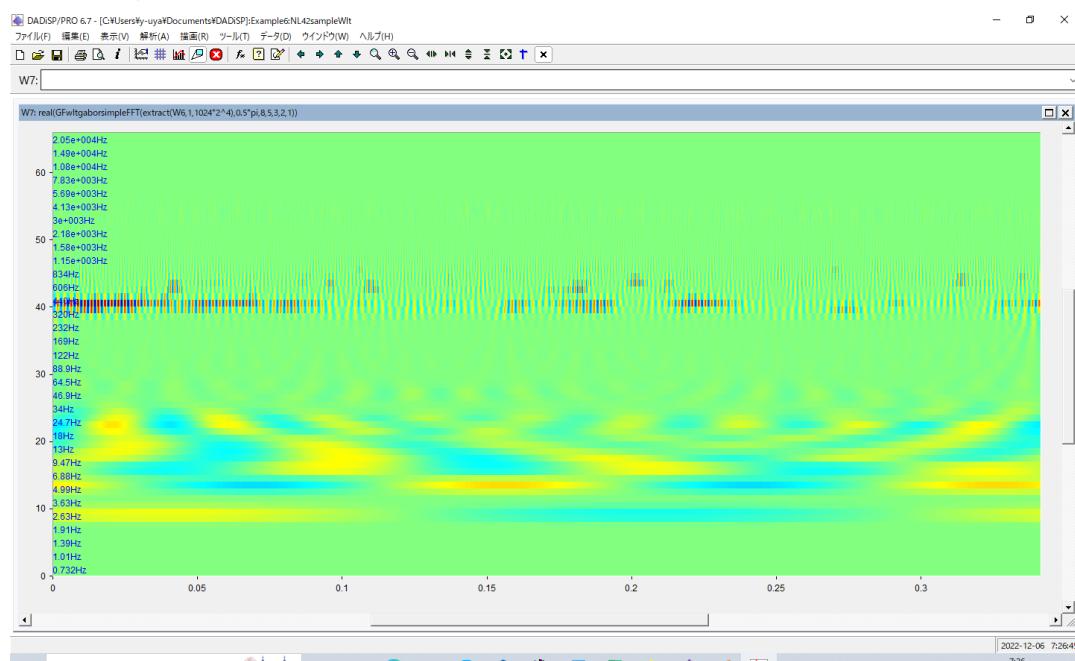
20Hz以下では、0.000070(1%)、20Hz以上では、0.007252(99%)ですから、

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以上での成分のエネルギーの 1/100 以下です。

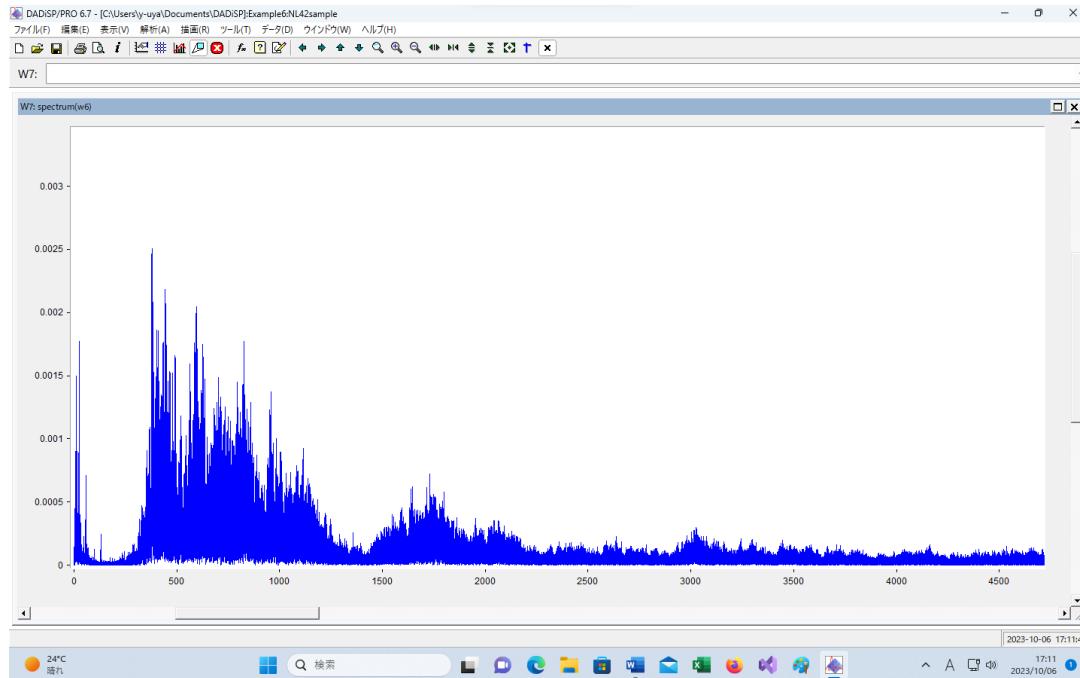
この場合は、20Hz 以下の部分を省略しても問題はない。

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。

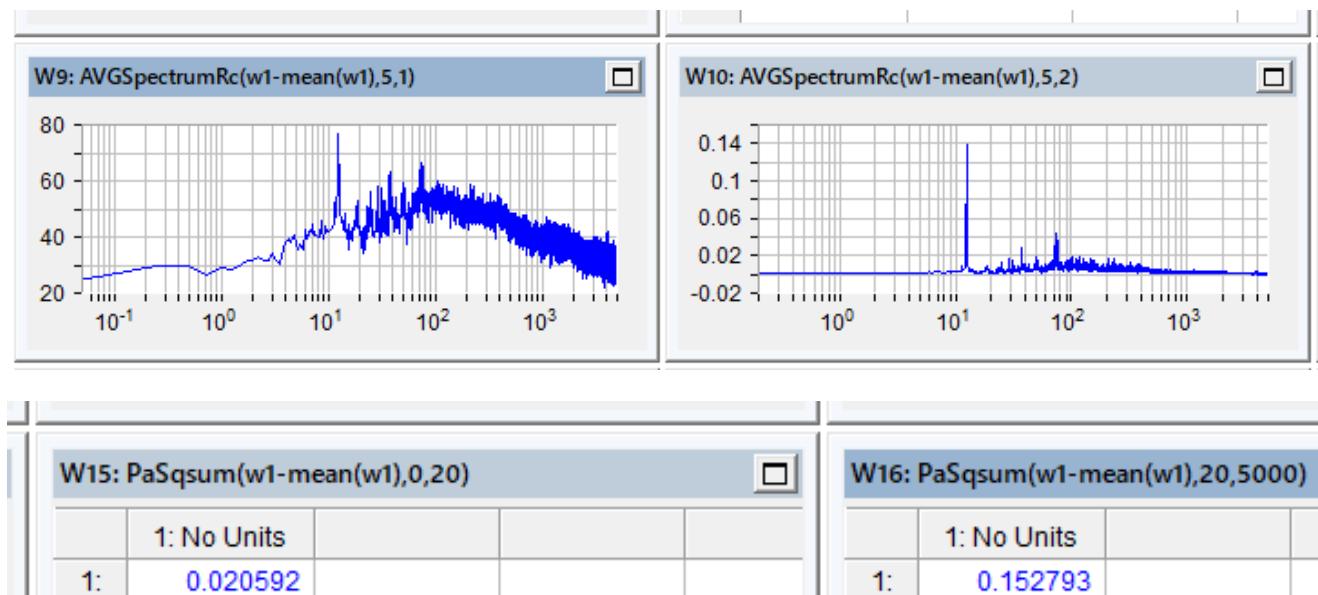
単純に周波数スペクトルを 0~5000Hz の範囲で計算すれば、次のグラフになります。



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。

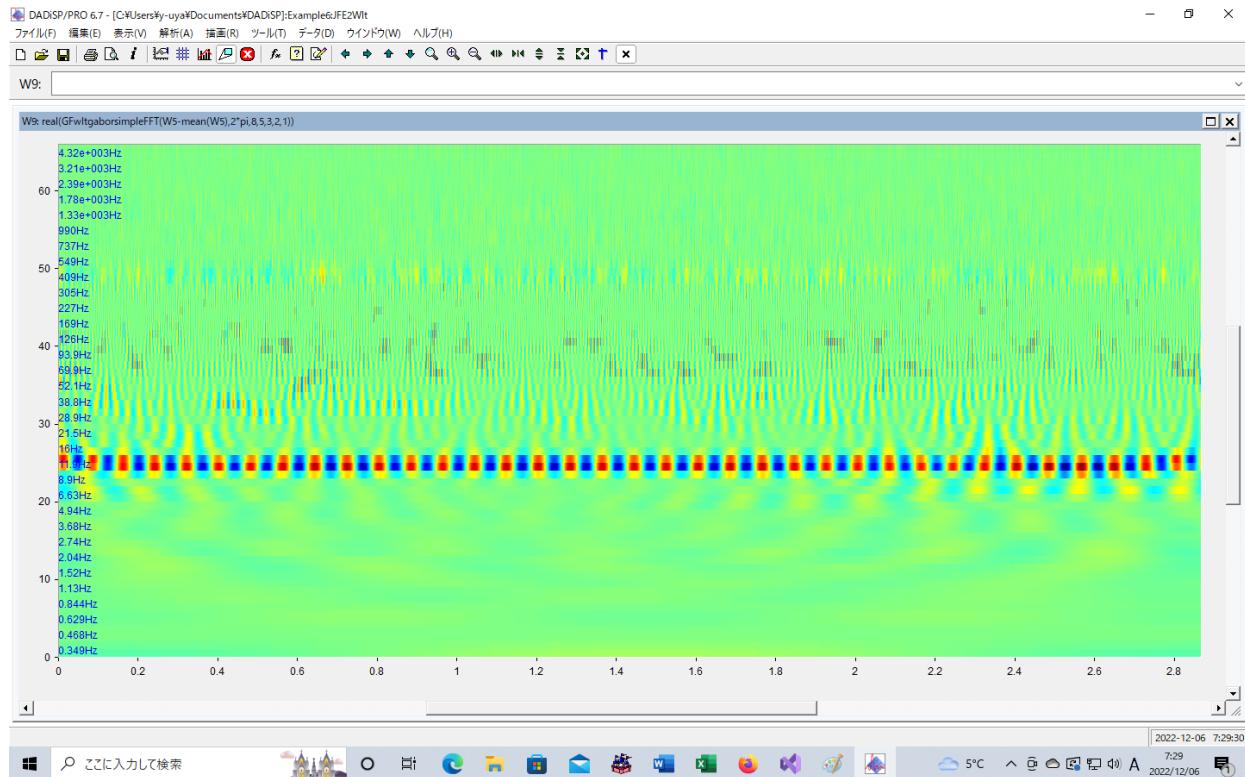
最大の音圧レベルは 78dB 程度であり、かなり煩いことが分かります。

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）

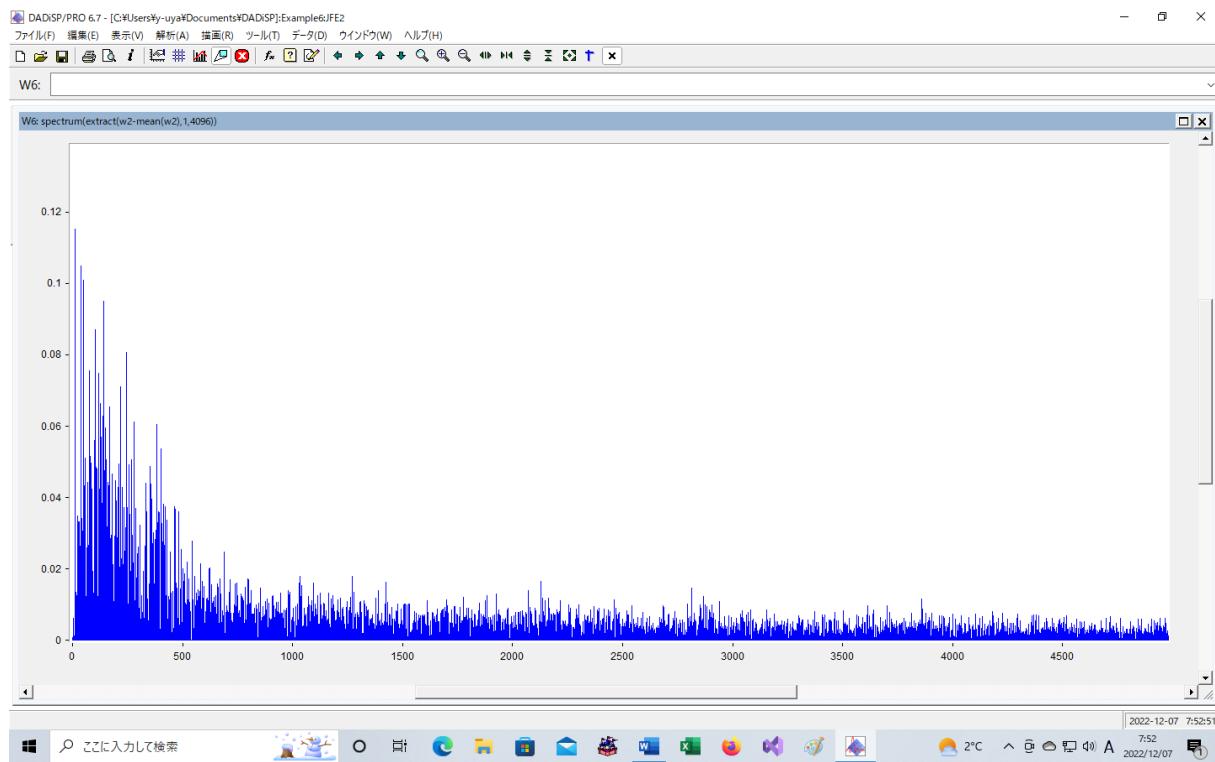
この例でも、音のエネルギーの大半を 20Hz 以上の成分が持っています。

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。

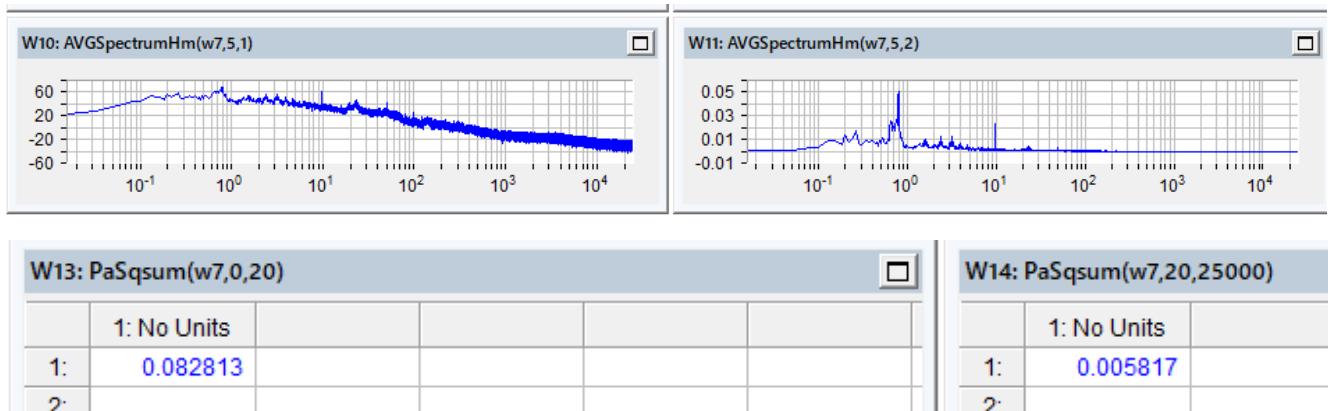
単純に周波数スペクトルを計算すれば、次のグラフになります。



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



これは、千葉県館山市にある風車の騒音(0Hz以上)です。

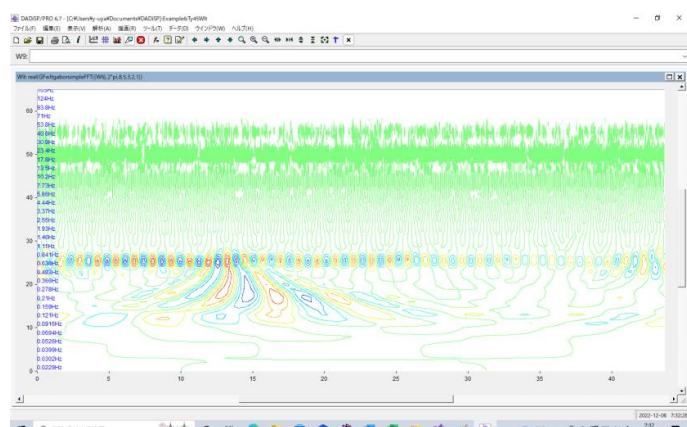
下の2つの数値は、20Hz以下では、0.082813(93%)、20Hz以上では、0.005817(7%)ですから、

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。

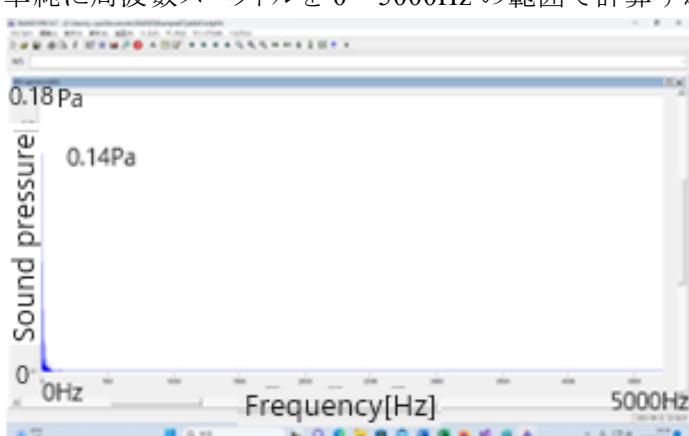
この場合は、超低周波音(0Hz-20Hz)の部分を切り捨てはいけません。

Wavelet解析の結果のグラフです。



0.8Hz辺りの音が強い事が分かります。

単純に周波数スペクトルを0~5000Hzの範囲で計算すれば、次のグラフになります。



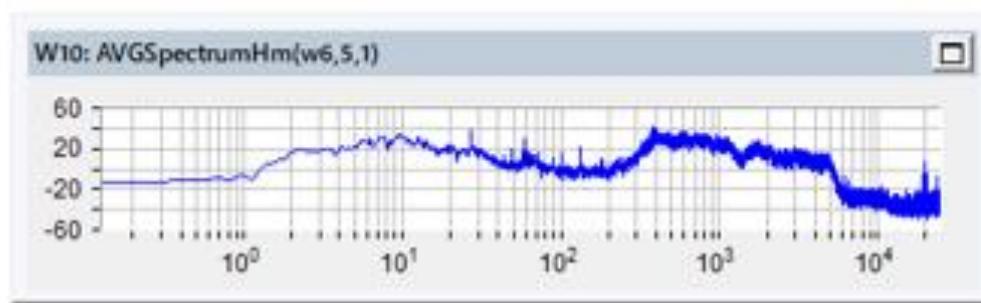
ピーク値は、0.8Hzの時で、0.35 パスカルです。

これを見れば、強い音は超低周波音(0Hz~20Hz)の部分、特に0.8Hzの周辺に集中しているので、風車超低周波音と書くべきだと言えます。

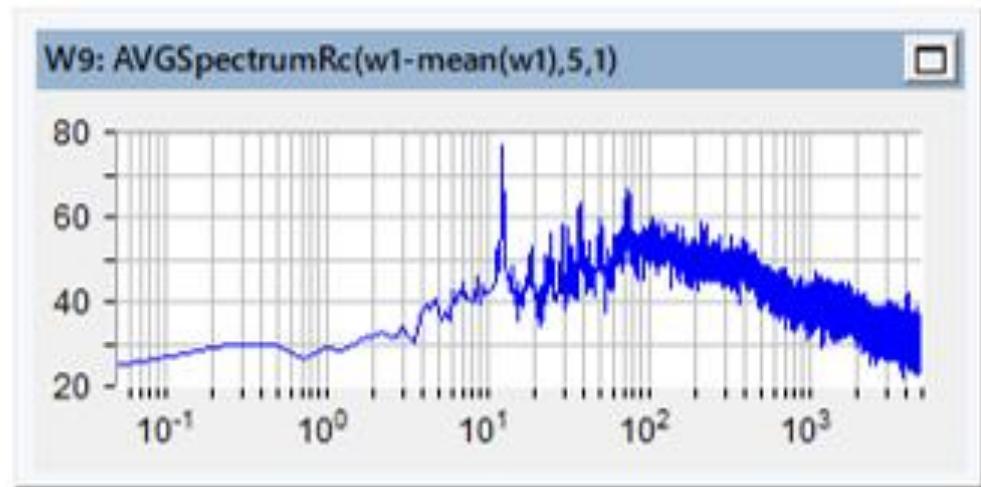
音源から出てくる音の特徴を比較するにはグラフの種類をよく考える必要があります。報告書では、対数軸と音圧レベル（デシベル）のグラフを使っています。

タイプ1：対数軸と音圧レベル（デシベル）

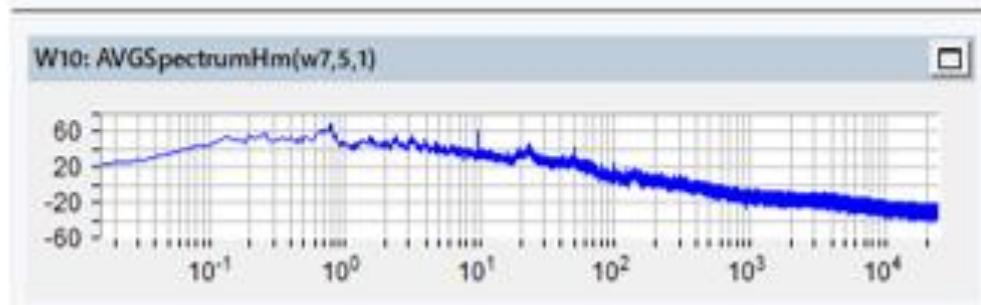
交通騒音（0Hz以上）



工場騒音（0Hz以上）

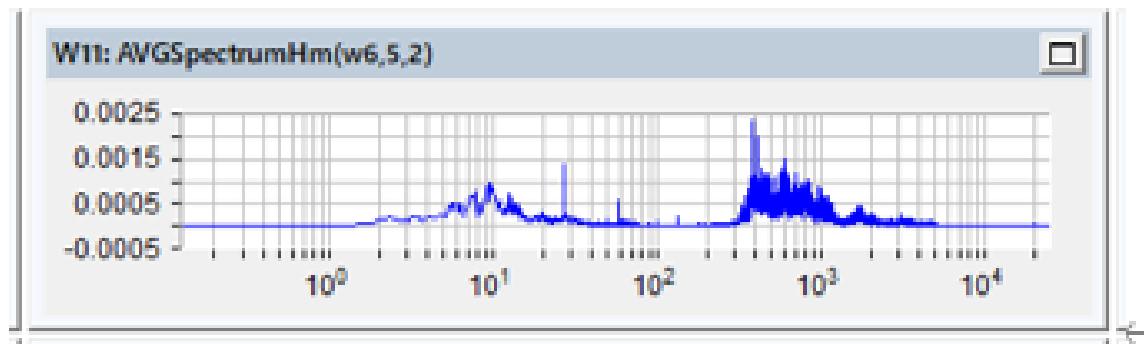


風車騒音（0Hz以上）

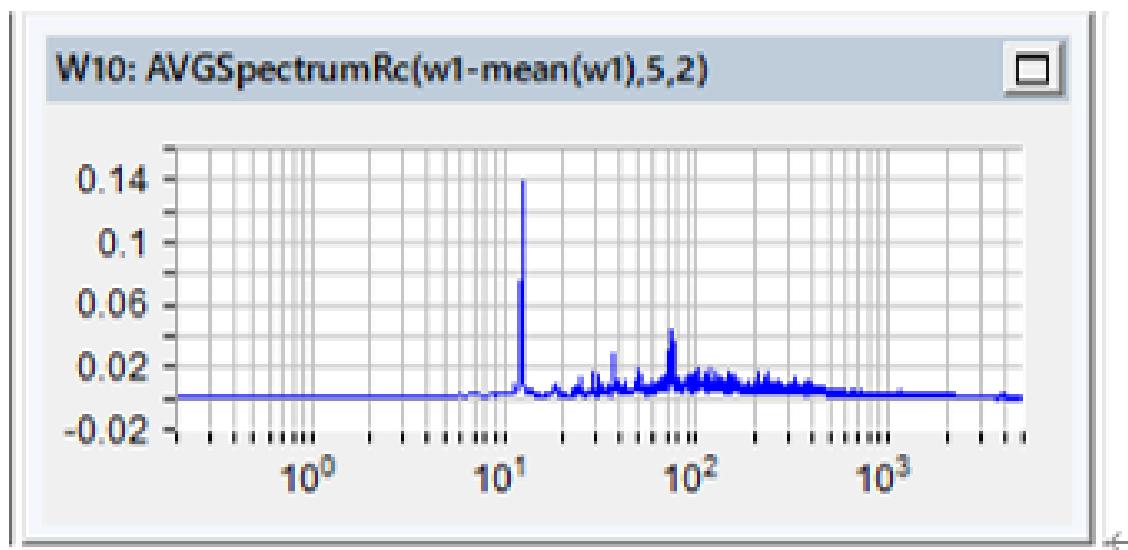


タイプ2：対数軸と音圧（パスカル）

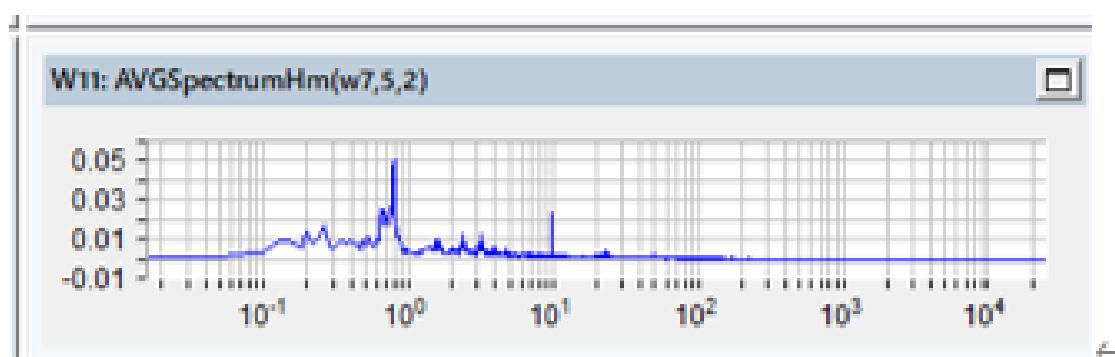
交通騒音（0Hz以上）←



工場騒音（0Hz以上）←

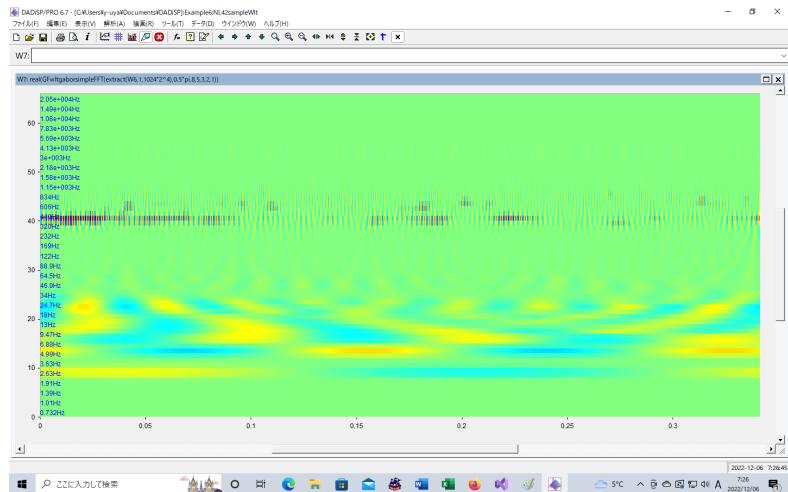


風車騒音（0Hz以上）←

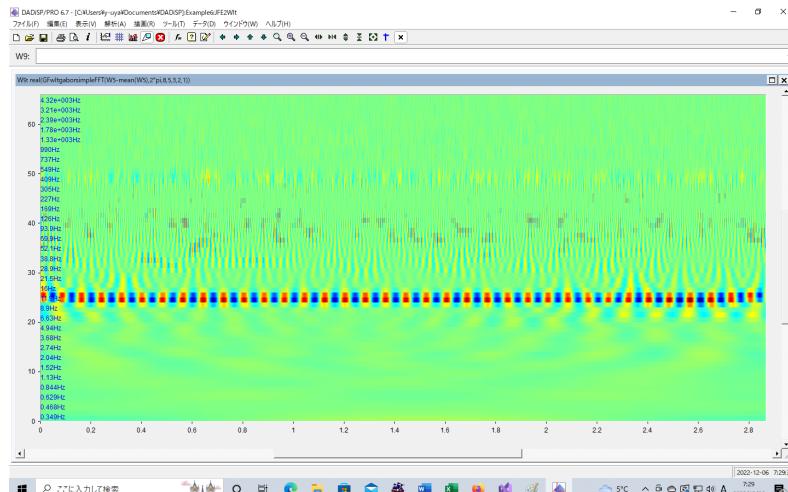


タイプ3: Wavelet 解析

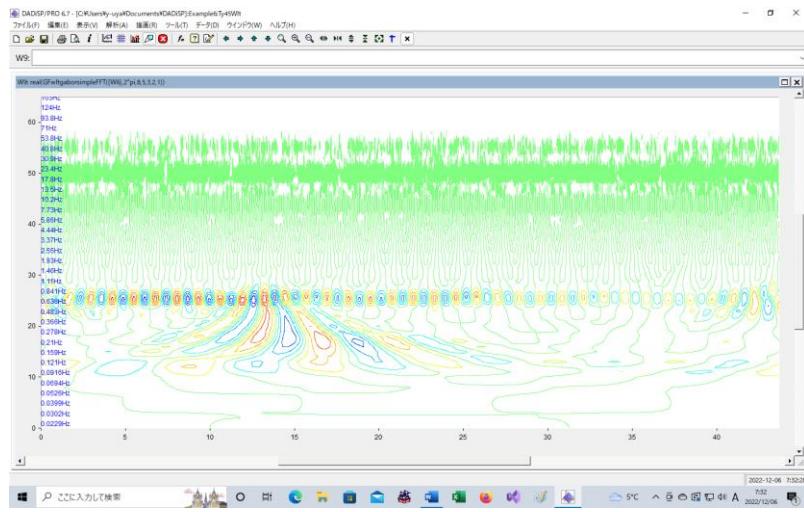
交通騒音 (0Hz 以上)



工場騒音 (0Hz 以上)

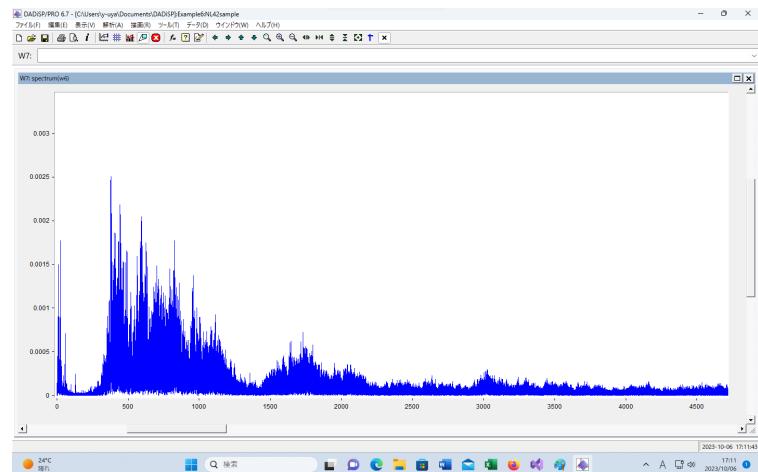


風車騒音 (0Hz 以上)

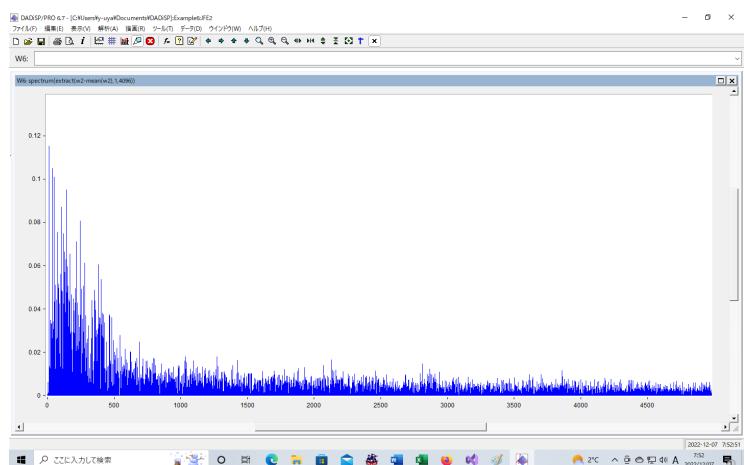


タイプ4:周波数スペクトル

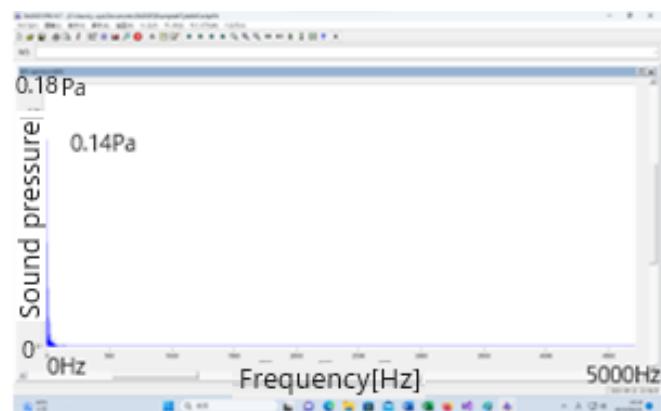
交通騒音 (0~5000Hz)



工場騒音 (0~5000Hz)



風車騒音 (0~5000Hz)



風車音は、左端の細い線で表されています。

違いが良く分かるのは、タイプ2とタイプ4です。

報告書には、

“風車騒音の調査、予測及び評価に関しては、風力発電施設特有の事象があり、これらを十分に考慮した最新の科学的知見等に基づく手法の整備が求められている。”

と書いてあるが、

“風車音の調査、予測及び評価に関しては、風力発電施設特有の事象があり、これらを十分に考慮した最新の科学的知見等に基づく手法の整備が求められている。”

とすべきである。

風車騒音ならば 20Hz 以上に限定なので JIS 規格の機材や方法を使えるが、風車音ならば 0Hz 以上となり、計測の困難さと解析の困難さ増します。JIS 規格では計測さえも出来ません。必要になるのは、デジタル信号処理、Wavelet 解析、カオス理論、量子力学、統計力学、などです。

確かに、“風力発電施設特有の事象”があるのですが、これを隠してしまうのが、騒音（20Hz 以上）との言葉による定義域の設定の仕方と、定義域を無視したグラフです。

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（4Hz 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。

さらに、風車音（0Hz 以上）の特徴が分かるグラフを避けて、最も違いを隠蔽できる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、風車音（0Hz 以上）の特性は理解できません。

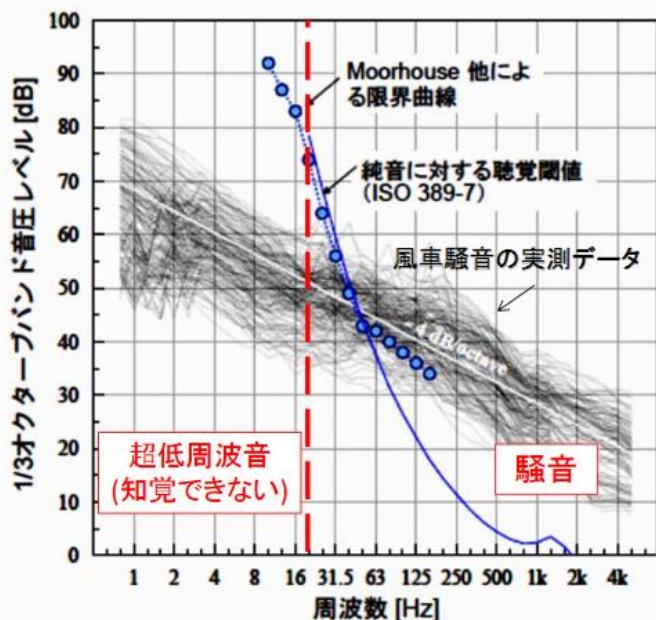
調査研究を、研究者や学者の方々にお願いすることになるかと思いますが、その時は、高校で習う、定義域、値域、グラフについての基礎知識を持っている人にお願いして下さい。

“最新の科学的知見”というのは贅沢すぎます。高卒程度の基礎的な学力を持った人を集めることが必要なのです。

英語に関しては、小学校卒業程度の学力が必要です。国語に関しては中学生程度の学力が要求されます。

この力がある人たちが集まれば、物事を普通に理解し、普通に考えることが出来るので、この報告書のような、ひどい間違いは起こさないと思います。

これまでに得られた知見① 風車騒音に含まれる超低周波音



※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

3

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**

よく見ると、矛盾だらけである。

グラフに対する注釈で、

※全国 29 の風力発電施設周辺の合計 164 測定点で騒音を測定

と書いてあるが、

グラフでは、縦に赤い線があって、右側が騒音、左側が超低周波音になっている。計測したのは超低周波音と騒音の両方である。

グラフと注釈から、風車音が風車超低周波音と風車騒音に分かれる事になる。全体を風車音、風車音のうちで 20Hz 以下が風車超低周波音、20Hz 以上（より大きいとすべきだが面倒なのでこのように表現する。）のものを風車騒音と呼ぶしかない。

しかし、表題は“風車騒音に含まれる超低周波音”と書いてある。騒音が 20Hz 以上の音を意味するので、風車からの騒音には、風車からの超低周波音は含まれない。表題を、“風車音に含まれる超低周波音”と修正する必要がある。

スピーカから 10Hz 以下の音を出して、被験者の全身を包むようない実験はできない。10Hz 以下の実験では、イヤホンから耳に音を伝えて実験している。刺激は聴覚だけに限定される。このような実験の結果の閾値は、聴覚閾値と考えるのが正しい。

環境省は、聴覚閾値と訳すべき、threshold of hearing を感覚閾値と訳す。風車音の被害では、

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。“

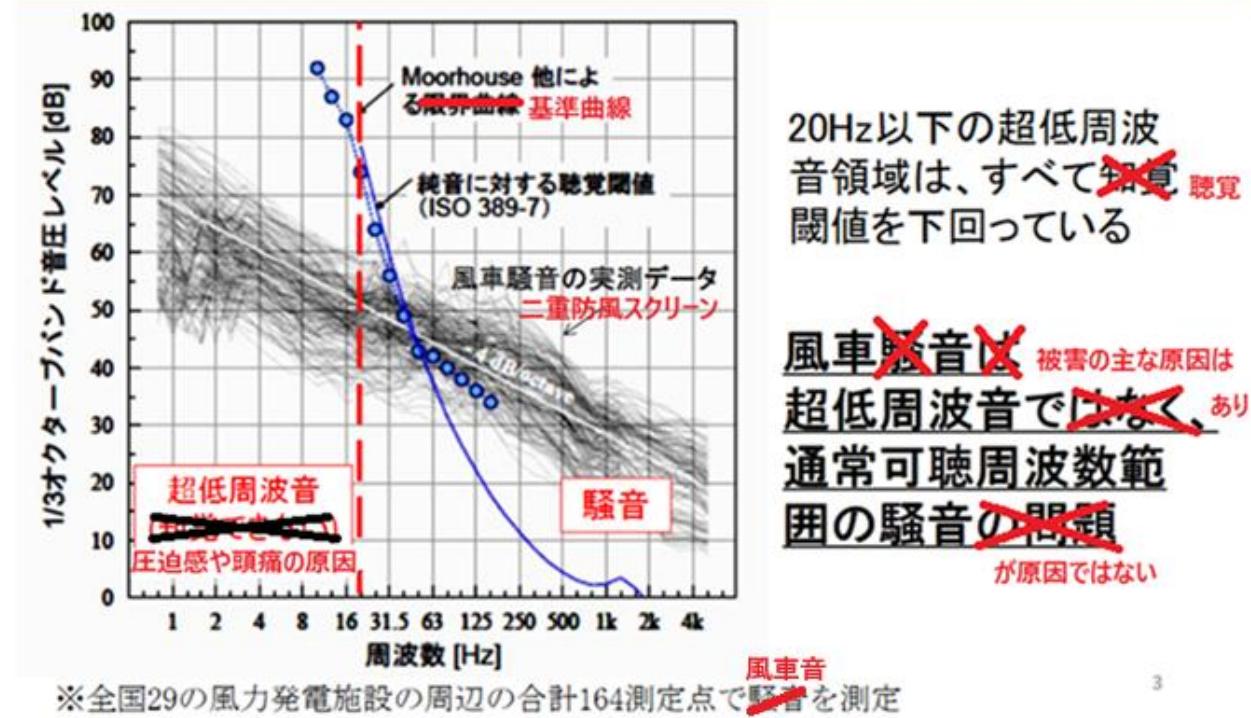
とあり、被害の多くは騒がしくて困るというような内容ではない。

少し計算すれば、同じ音圧でも 1Hz の超低周波音は体内の圧力を変動させる力が強いことが分かる。強制的な圧縮膨張を受ければ、循環器系の障害や頭痛が起きるのは物理的に見て必然的な結果である。

聴覚では知覚できない、1Hz の超低周波音を、圧迫感（実際に圧迫が起きる）として感知することがあるのだから、聴覚閾値と感覚閾値を混同してはいけない。さらに、ガタツキによる睡眠妨害を考えれば、聴覚では感知できない超低周波音が、5Hz で 70 dB もあれば、ガタツキで睡眠を中断されることもある。

また、聴覚で感知できることと、他の感覚器官で感知できることとは別の事柄であるが、睡眠妨害が毎晩毎晩起きて、健康な生活を妨げるという共通点があることに注意する必要がある。

これまでに得られた知見① 風車騒音に含まれる超低周波音



“騒音”的意味は、“騒がしい音、耳にうるさく感じる音”なので、“風車騒音”は風車の音で耳にうるさく感じる部分を指すことになる。耳で聞き取れる音ですから、20Hz~20 kHz の周波数範囲の音が対象となる。

それに対して、“風車超低周波音”は風車音のうちで周波数が 0Hz~20Hz の成分を指し、耳では聞き取れない音を意味することになる。

従って、“風車騒音”が“風車超低周波音”を含むような意味で使うことは、日本語の基礎学力の欠如をいみする。あるいは、数の最少関係が分からぬのかもしれない。

“風車音 (0Hz~24 kHz)”として、聞き取れるか否かには関係のない言葉を使うべきである。

もちろん、“風車騒音”を“風車超低周波音”を含む意味で使っている資料、
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
課題代表者名 橘秀樹（千葉工業大学附属総合研究所教授）S2-11-v
もある。

しかし、

”平成28年11月25日に出た検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“
検討会報告書の記載

“(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。”

とあるのだから、これに従った言葉を選ぶ必要がある。

もし、風車音の中の可聴域成分のエネルギーが、風車音のエネルギーの 99%を占めているならば、風車音を風車騒音と呼ぶのもある程度理解できる。

交通騒音では、全体のエネルギーの 99%以上が可聴域の成分に属しているが、風車音では全体のエネルギーの 7%程度が可聴域の成分に属している。

この様な、エネルギーの観点から見ても、風車音全体を、風車騒音と表現するのは適切ではない。

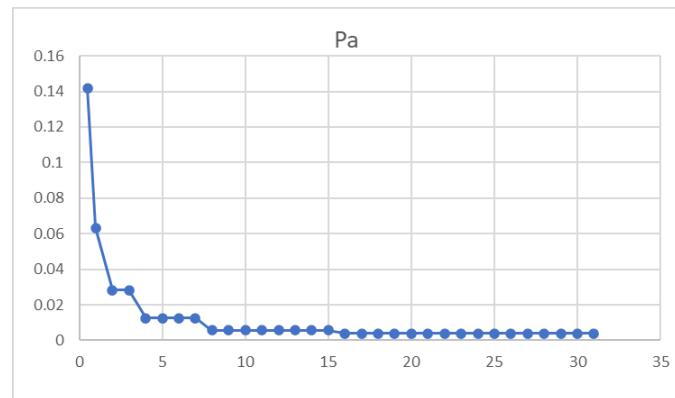
よく見ると、白抜きで、-4dB/octave と書いてある。

「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。

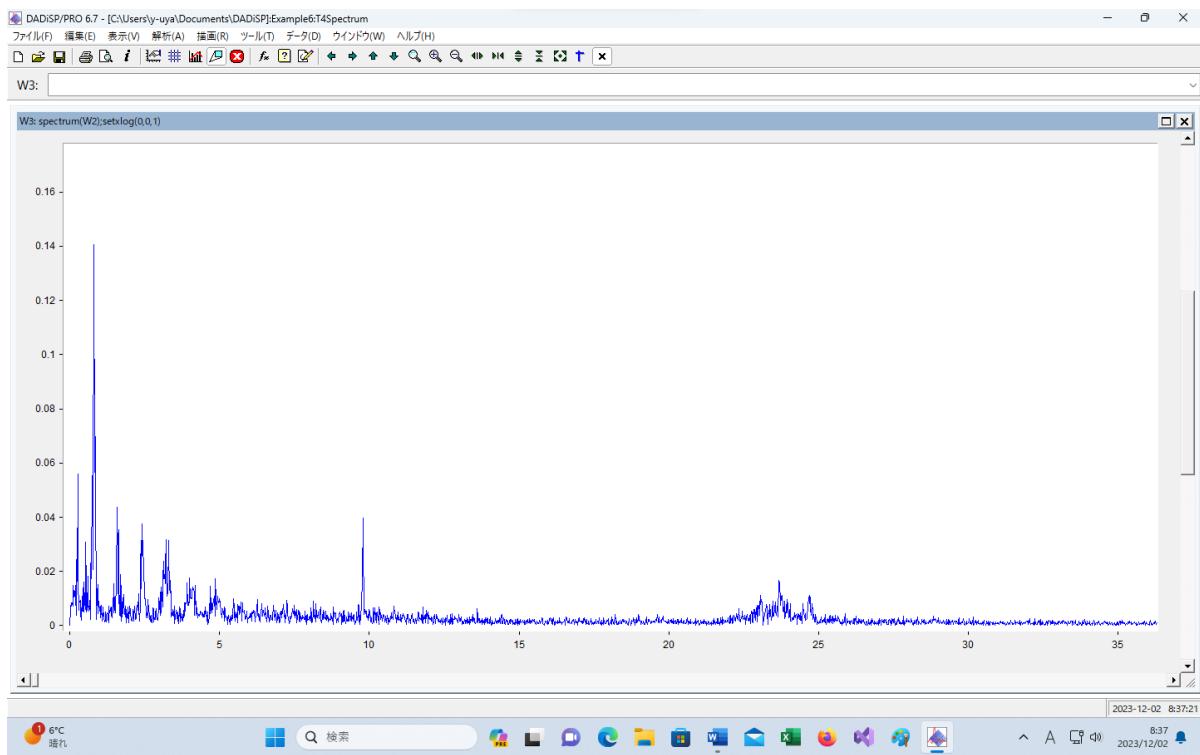
周波数が2倍になると1オクターブ増える。1オクターブ増えると音圧レベルが4dB減る。

表とパスカル値のグラフは次の様になります。

Hz	dB	$\Sigma (Pa*Pa)$	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。

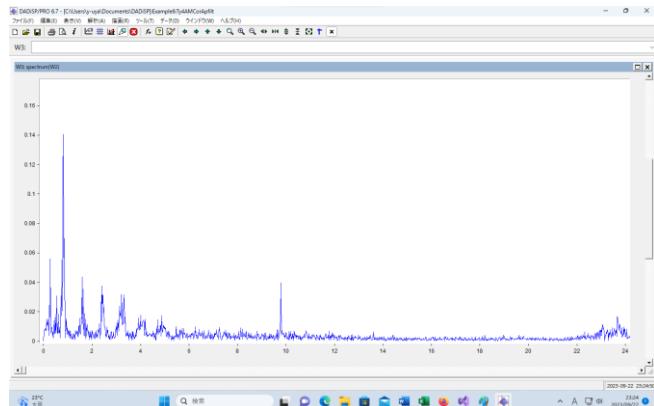


折れ線グラフとよく似た形になっています。

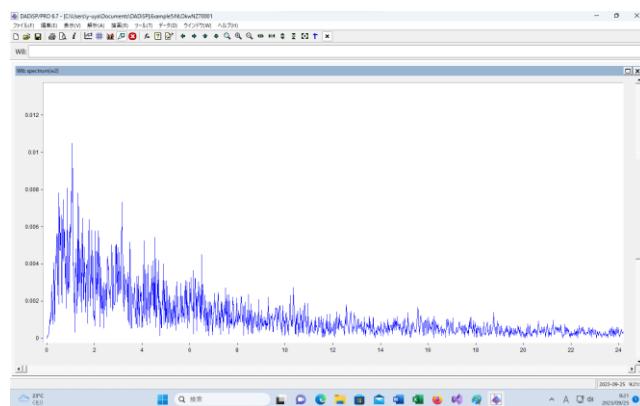
注目すべき点は、ある特別の周波数の音が突出した音圧を持っていることです。

次の2つのグラフで、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)

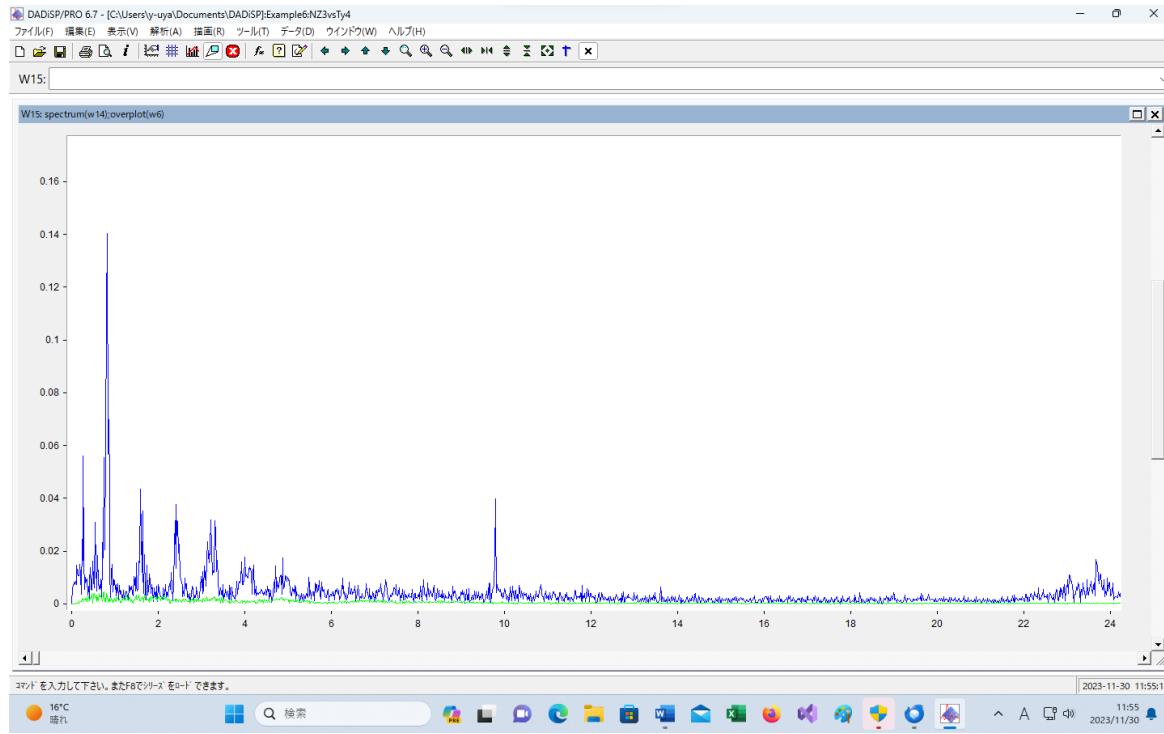


長尾神社(0~25Hz) 最大 0.0105[Pa](1.1Hz)



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。

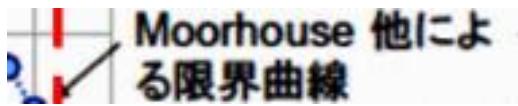
0~24Hzまでの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトルを重ねたもの。



風車が無い場所の“風雑音”は、緑のグラフで微弱ですが、風車の近くの“風雑音”すなわち、超低周波音は強烈です。

1. 5. 1 語学力の限界

小学生でも英語を学習しています。英語が分からない人は小学生に教えてもらうべきです。



グラフの中に、“Moorhouse他による限界曲線”との記述があります。
ネットで探して見つけました。



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

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。と聞こえてしまします。“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。

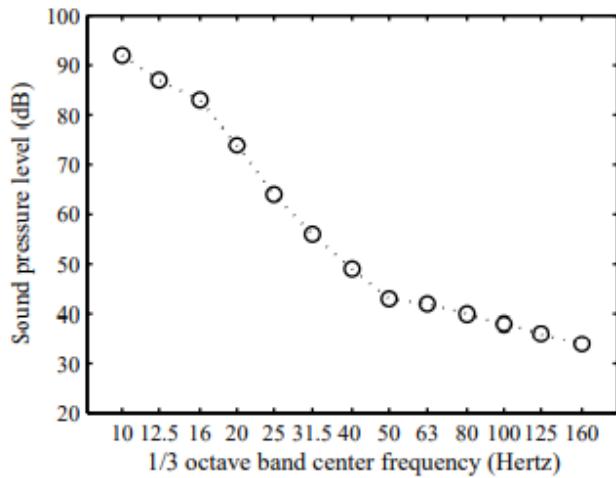
私は英語が嫌いです。英語が分からないときは近所の小学生に教えてもらいます。最近は小学生での英語を勉強しています。私は、この“限界曲線”と“基準曲線”的違いについて、近所の小学生に教えてもらいました。

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0.8Hzの時の値はありません。従って0.2Hz、0.8Hz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。

検討会に参加した委員の方は、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、85dBや77dB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。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参考値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参考値 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
夜間参考曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	

日本語：

純音に対する聴覚閾値 (ISO 389-7)

ここでは、ISO389-7に関して、聴覚閾値と正しく書いています。

では、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の意味は何でしょう。日本語の単語を適切に使用する必要があります。いつの間にか乗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。

感覚閾値について、分かったことがあります。[電力中央研究所報告](#)に、次の記述があります。

超低周波音の平均的な
感覚閾値を G 特性で評価すると図 3-7 に示され
るようほぼ 100dB(G)となる.

さて、図 3-7 における 100 dB (G) であるが、幾つかの問題がある。

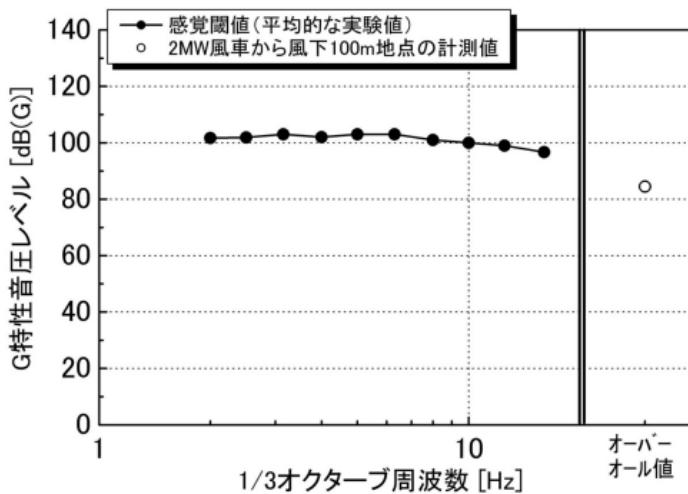


図 3-7 風車からの超低周波音の音圧レベルと感覚閾値との比較

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.

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の項目ですが、

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”となっているが数値は一つしかない。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ふ。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じるので、“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 G 特性での重みを付けただけで、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。

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物的苦情の参考値 (2004)	— — —	— — —	— 70 71	72 73 75
②心身に係る苦情の 参考値 I (2004)	— — —	— — —	— — —	— 92 88
③心身に係る苦情の 参考値 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こ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、建具の搖れ等まで配慮するとすれば①項の値より 10 dB 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項補正值から計算により求めることができる。

風車音は、ラウドネス（うるささ）やアノイアンス（不快感）として人に作用します。アノイアンスの内

容には、圧迫感、頭痛、建具や床の振動による安眠妨害などがあるのです。

聴覚以外で感知する刺激も沢山あるのですから、聴覚閾値を感覚閾値にしてはいけないのです。

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、

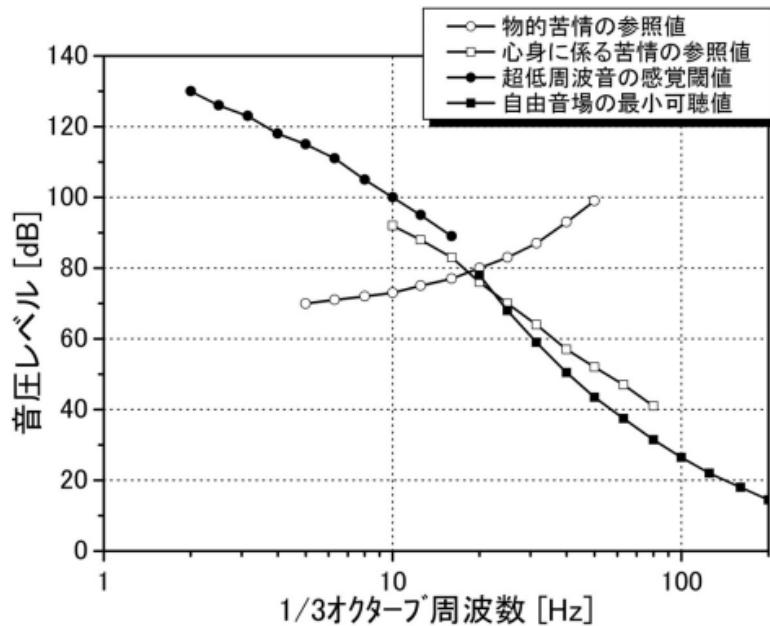


図 2-2 低周波音による苦情の参考値

心身に係る参考値は 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。

(参考値は[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考値^[1-6]

1/3 オクターブバンド 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	オーバーオール値
1/3 オクターブバンド 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41	92dB(G)

参考値に対して、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。

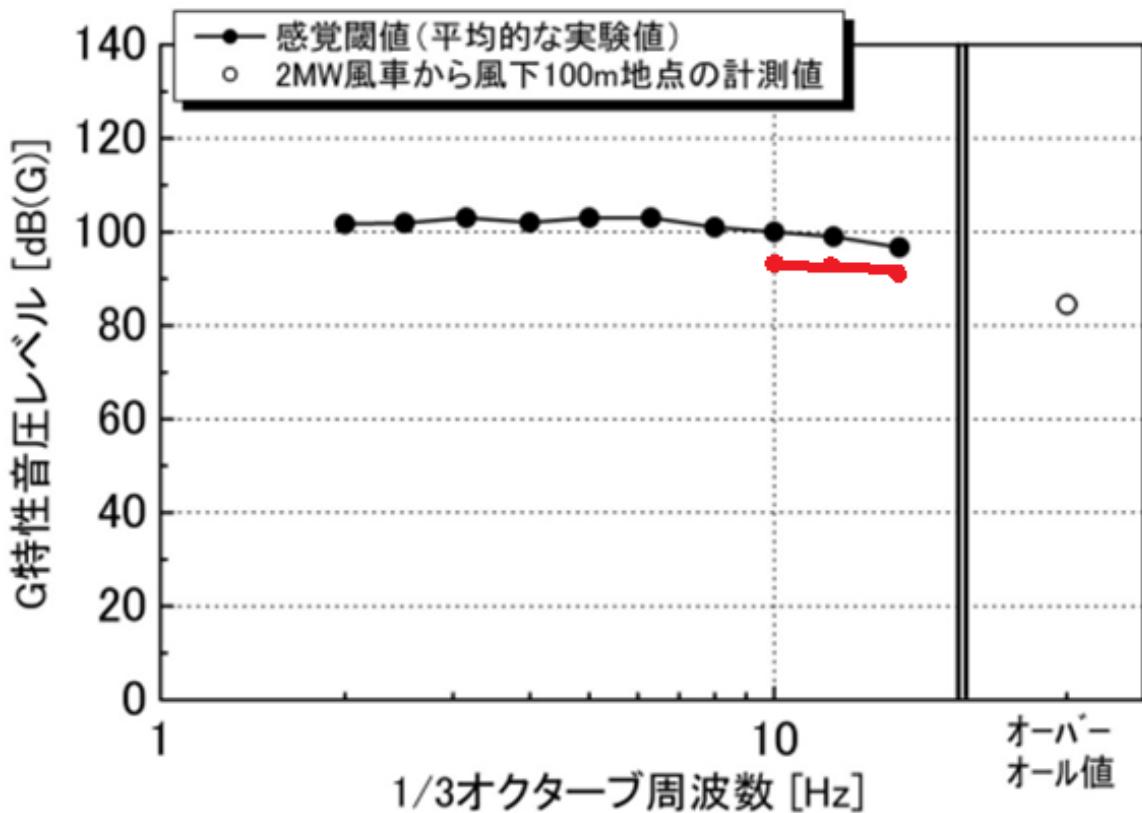


図 3-7 風車からの超低周波音の音圧レベルと感覚閾値との比較

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.

これは、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。

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。

さらに、次のグラフ

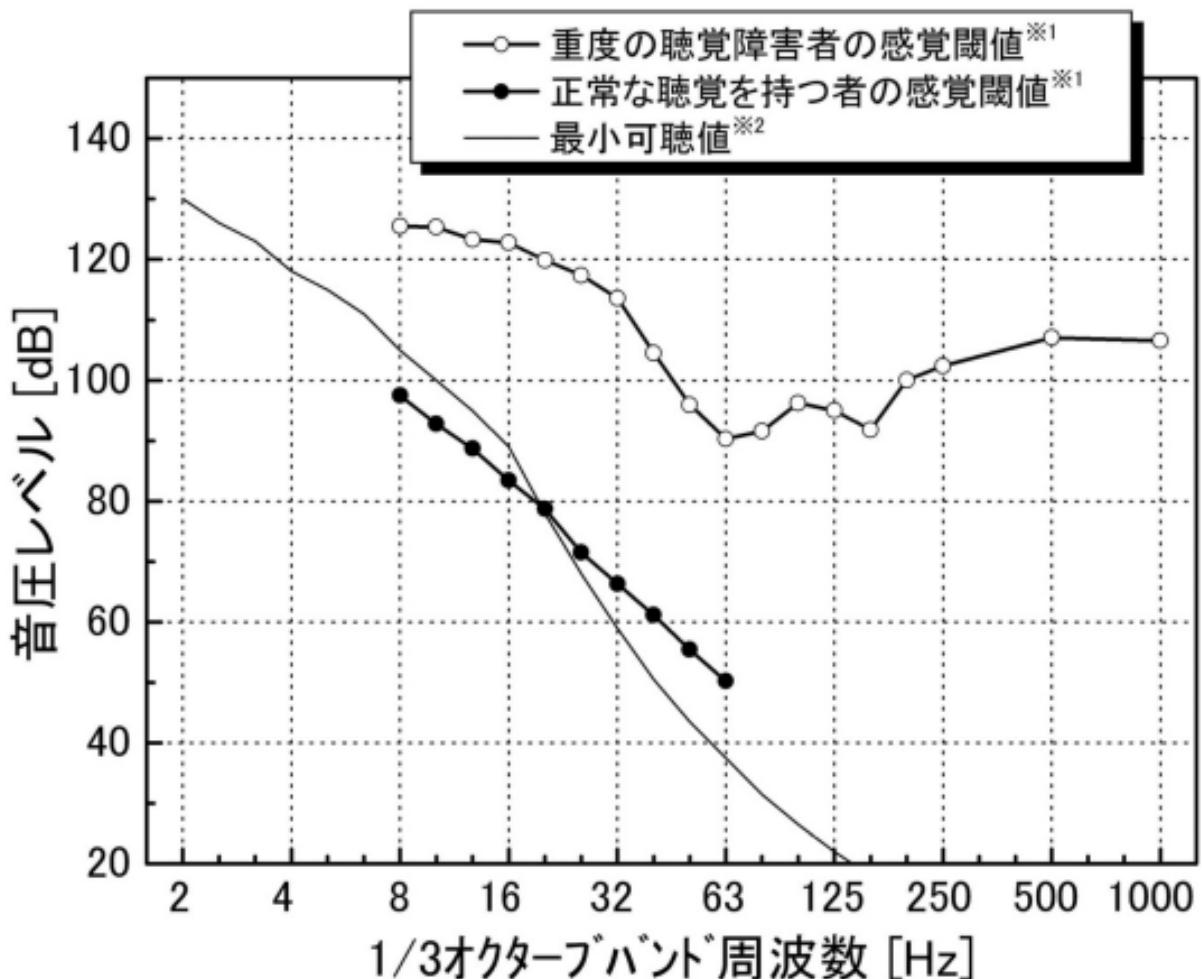


図 2-4 低周波音の聴覚閾値と聴覚以外の感覚閾値

(※1 は[2-23], ※2 は[2-14]の値を参照)

での、細い曲線の説明が、最小可聴値（聴覚閾値）となっていることを忘れてはいけません。

聴覚閾値を感覚閾値に書き換えれば、支離滅裂な議論になるのです。日本語をしっかり勉強しなくてはなりません。

さらに、図 3-7 における“ほぼ 100 dB (G)” に関してですが、
感覚閾値を止めて、聴覚閾値と修正しても、その値が 100 dB に近いことは間違いないありません。
また、参照値の方も、“ほぼ 92 dB”的な赤い線になります。

これは、ISO7196 の記述とも一致します。

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usually understood by hearing. The normal threshold of perception if considerably

higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μ Pa 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20 μ Pa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20dBだけ大きい、120dB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.

での、90dBは参考値に対応すると考えられます。

一番の問題は

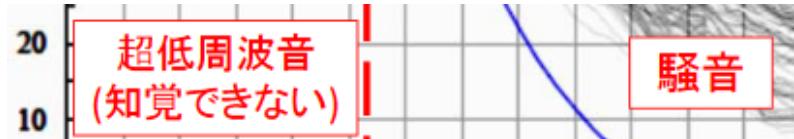
超低周波音の感知は、明らかに聴覚メカニズムによって達成されるが

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism,
です。

10Hz, 12.5Hz, 16Hzは超低周波音の領域です。感覚閾値とされる100dBあたりの音圧よりも低い段階で、不快感を覚えてしまいます。知覚できなくても、人間の感覚は不快感を覚えてしまうのです。

ですから、“超低周波音（知覚できない）”としてはいけないです。

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



では、“超低周波音（知覚できない）”について確認しましょう。

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、外界の対象たる風車騒音による被害なのだと知覚できる。

聴覚閾値は10Hzの音のでき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、感覚器官は色々あるので、それらの感覚器官の閾値を調べるのはとても難しい。その感覚に対してそれぞれ

どのような実験が行われ、その実験の信頼度はどの程度なのかを示す必要がある。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ません。

例えば、0.8Hzの音に対する、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値はそれぞれ、何デシベルでしょうか？

“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”と言っているが、0.8Hzでの知覚閾値が何デシベルかは、どの文献に書いてあるのでしょうか？誰が、どのような方法で計測したのでしょうか？

まさか、0.8Hzでの聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値が書いてある文献が存在しないと言うようなことは無いでしょうね。普通の科学者は存在しないものとの大小比較はしません。

この説が正しいならば、風車音のうちで、20Hz以上の部分だけが人間に影響を与えることになる。

風車の近くに住む人が受けている被害としては次のようなものがあります。同じ強さの交通騒音によってもこのような被害が発生するのでしょうか？

過去の研究結果には、次のものもあります。この知見を無視してはいけません。

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

このような反応は、交通騒音では起きない反応です。風車音から出る音のうちで20Hz以下の超低周波音が、知覚されないから、その影響は全くない。ならば、風車音と交通騒音の影響は同じものになるはずです。よって、同様の反応が、交通騒音によっても起きなくてはなりませんが、そのようなことは起こらないのです。

反応の違いの原因となるものが風車音に含まれているのです。それは、20Hz以下の超低周波音であり、0.8Hzでの極めて高い音圧です。この部分を感知したから反応が起きたと考えるべきです。

知性によって、このように認識できるのですから、超低周波音は聴覚では感知できないが、気圧変動を感じる器官や、揺れを感じる器官によって、超低周波音は感知できるのです。それを知性は風車音が原因となった刺激であると認識できるのです。この事は、風車の低周波音を知覚できたと表現すべきです。

超低周波音の部分が、感知できない、知覚できないならば、交通騒音とは異なる反応が起きる理由を説明しなくてはなりません。

以下のグラフの赤い線と青い線がずれる理由を説明することが必要となります。

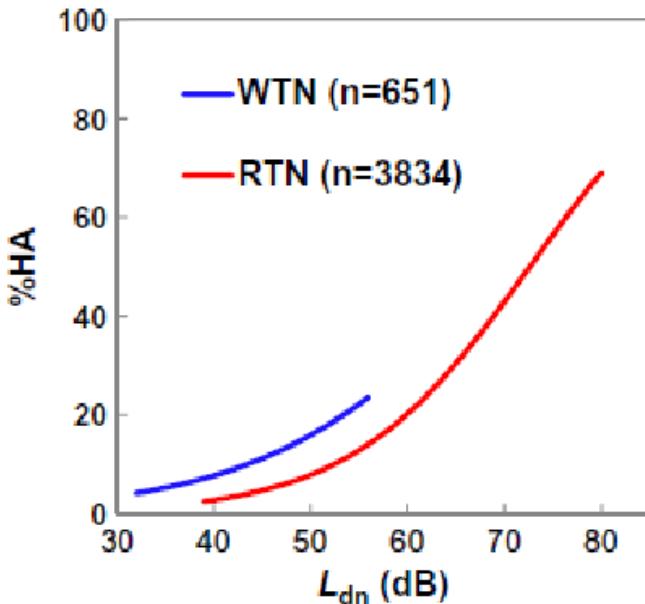


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル (L_{dn}) *と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

風車が稼働してから、1年も経てば、その場所なもはや静穏な場所ではありません。静穏だったころの記憶が消えれば、同じA特性音圧レベルの、交通騒音と同じ生体反応を起こすようになるのでしょうか？

記憶が消えるまでの期間で、被害が決まってくるのでしょうか？記憶が消えて被害を感じなくなる人は住民の何%であり、死ぬまで静穏だったころの記憶が消えなくて苦しむ人は住民の何%でしょうか？

私には、引っ越しすることと、死ぬこと以外の解決策は見つけられません。

また、風車音と交通騒音の被害状況に違いがある理由は、住民の環境のせいだと言って済ませる気なのでしょうか？その解釈が正しいか否かは、都会の人に風車の近くに住んでもらい、風車の近くの人に都会に住んでもらって、不快感に関する共通のアンケートを取ればすぐに分かります。

この概要資料は平成 28 年 11 月（2016 年 11 月）に出たものですが、2019 年 1 月に出た新しい研究に注目すべきです。

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、球形囊）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

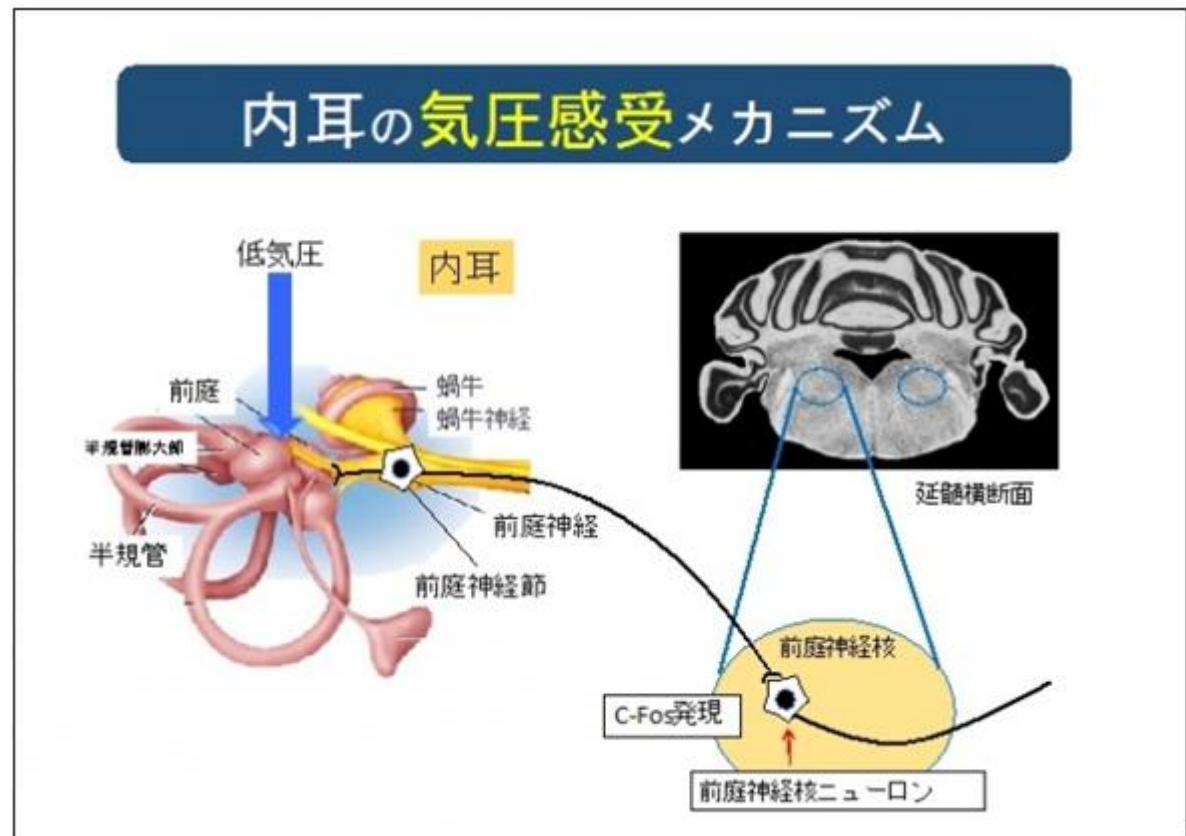
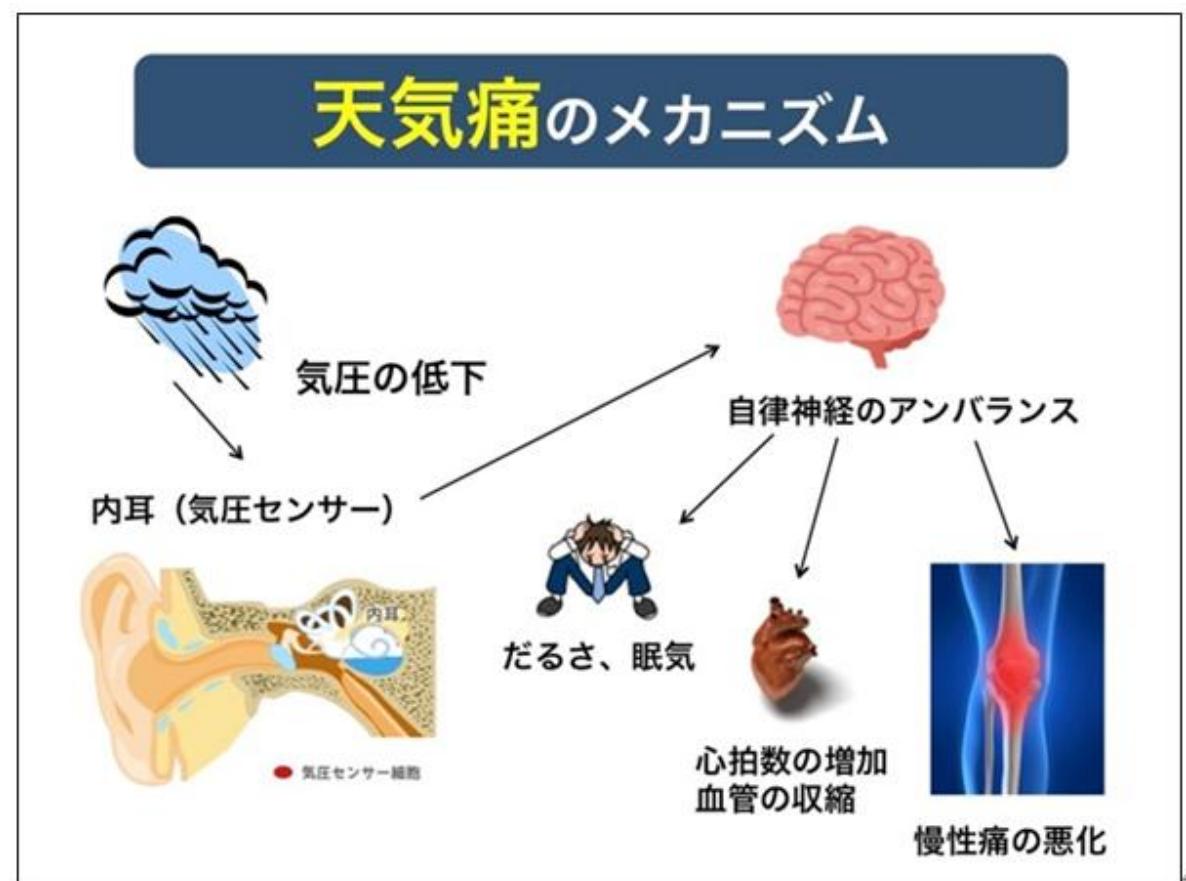


図 2



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。

圧力を感知するときの閾値が、2016年に分かっていたのでしょうか？ そうならば、2019年の研究結果は意味がないことになってしまいます。

聴覚閾値や感覚閾値を決めるのには、実験室で音を出して被験者の反応を見る。

例えば、参照値に関しては、

前川真帆香 氏は論文の中で

“第3節 救済されない低周波音被害者

自己の聴覚閾値を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、実験室に基づくデータにより策定した参照値自体が現実を反映していないと主張する。さらに、彼らはその参照値を使った測定にも問題がある

と指摘する。では、被害者がこの参照値を低周波音の評価方法として用いるのは現実を反映せず、妥当ではないと主張するのは一体どうしてであろうか。”

と述べている。

これに関しては、後ほど録音時におけるマイクの性能や、再生時におけるスピーカーの性能を検討したときに、理由が明らかになる。

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	

ここでは、聴覚閾値と感覚閾値のズレを確認します。聴覚閾値と参照値にはズレがあります。

ISO 389-7:2019 には、threshold of hearing 聽覚（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考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
参考値（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。

（参考値－聴覚閾値）の表を作れば次のようにになります。

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参考値－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、聴覚閾値と参考値（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。

参考値は、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 76 dB の時に、10% の人が不快感を覚える。と言いう事です。

聴覚は、低周波音（0 Hz～100 Hz）に対して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 78.1 dB (78.5 dB) 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 78.1 dB (78.5 dB) 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じしないのだから、76 dB 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 78.1 dB 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 76 dB 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。参考値も 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。

風車音では、0.8Hz の時に最大音圧になっているのですから、実験室でも、0.8Hz の音を被験者が経験しなくてはなりません。残念なことに、この実験は出来ないので。0.8Hz の音を出せる巨大なスピーカは風車そのものしかないので。

次の記述は、トートロジー（同義語反復）であり、論理的な推論ではありません。

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

騒音と言った段階で、周波数が 20Hz 以上に限定されます。単なる誤魔化しでしかありません。
確かに、“風車騒音（20Hz 以上）は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音”です。
しかし、“風車音（0Hz 以上）の問題は、通常可聴周波数範囲の騒音の問題ではなく超低周波音の問題”
なのです。

グラフとエネルギー分布を忘れてはいけません。風車音のエネルギーは超低周波音の部分に集中しているのです。

図 1. 交通騒音（リオン社前） 0 ~ 5000Hz

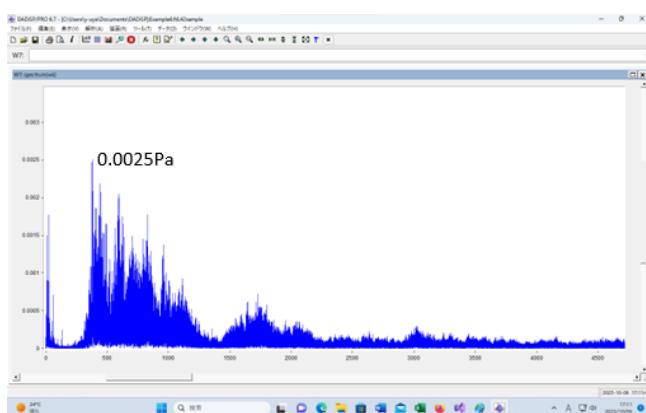


図 2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0 ~ 5000Hz

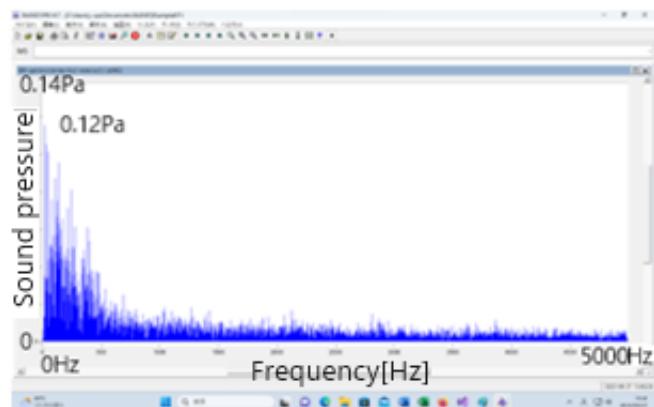


図 3. 風車音（館山風の丘） 0 ~ 5000Hz

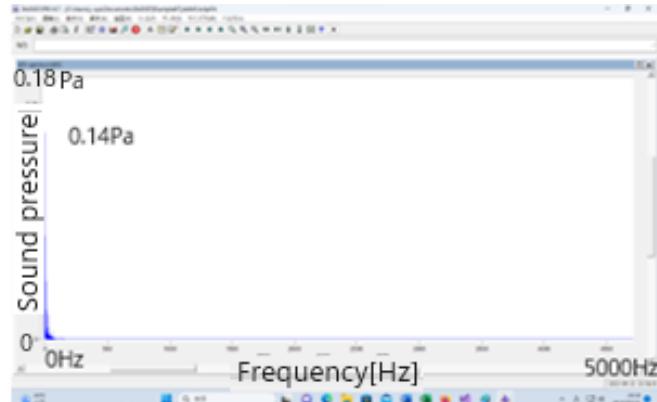


表 2. エネルギーの分布

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%

エネルギー分布や最大音圧を見ても、風車音の問題は、超低周波音の問題であることが明白です。

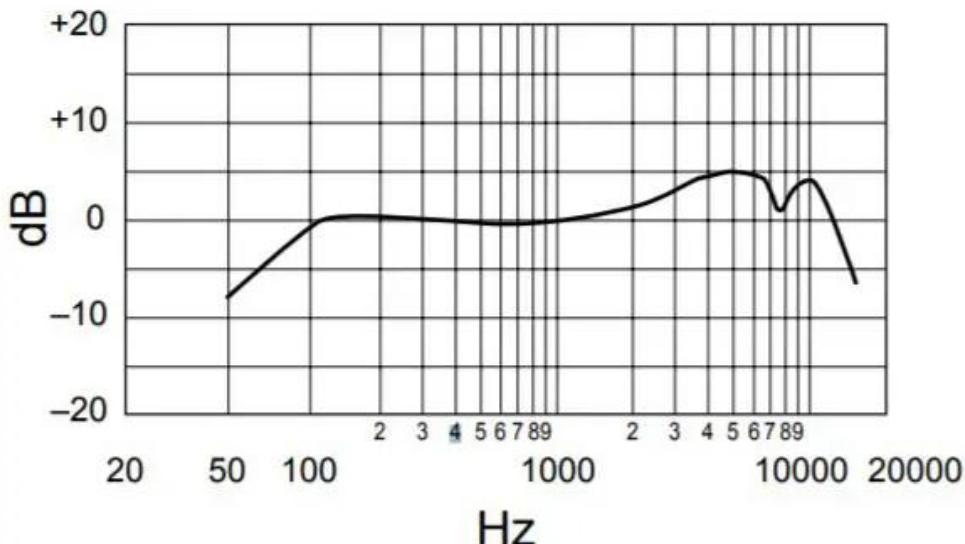
最大音圧では、風車音は交通騒音の 56 倍です。

風車音の最大音圧は強風時には 0.42Pa になります。

1. 5. 2 マイクの性能

信頼と実績を誇る、ボーカルマイクロホンの世界標準。URE SM58-LCE の周波数特性は、次のグラフです。

SM58周波数特性



100Hz～1000Hz までは周波数特性の値が 0 dB であり、実際に与えられた音圧レベルとマイクが捉えた音圧レベルの間には差が無い事を示しています。

50Hz では、-8 dB の減衰となっていて、50Hz の音が与えられた場合には、実際に与えられた音圧レベルよりも、マイクが把握する音圧レベルは、8 dB ほど低くなっている事を意味している。

風車音の特徴を詳細に調べるには録音する必要があります。困ったことに、普通のマイクは低周波音に強いと言つても、対応する周波数が、20Hz～20kHz 程度のものがほとんどです。

スマートフォンのマイク感度は20Hz～

低周波音の計測系は一般に「音をとらえるマイク部」と「捉えた音を補正し解析するためのソフトウェア部（アプリ）」に別れます。低周波音を計測できるかはまず第一にマイク仕様の問題があります。発生している音に対してマイクの感度が対応していなければそもそも音を計測することができません。マイクがどの周波数域に対応したものかを示す仕様に「周波数特性」があります。スマホに内蔵されているマイクの仕様や感度はあまり公開されていませんが、一般的なダイナミックマイクの場合周波数特性は40Hz～16kHz、コンデンサーマイクの場合は周波数特性は20Hz～20kHzとなっています。いずれも人間の可聴域（耳で聞こえる音の範囲）に対応した仕様となっています。

一般的なマイクでは低周波音は適切にとらえられない

一方で低周波音とは一般的に「100Hz以下」の音とされており、環境省が定める参考値のうち「物的苦情に関する参考値」は5~50Hzの範囲で定められています（[低周波音の基準についてはこちらから](#)）（[さらに周波数の低い超低周波音についてはこちらから](#)）。マイクの周波数特性にこの範囲が含まれていない場合適切に発生している低周波音をとらえ、評価することができません。言い換えると測定結果の値が大きかったとしても、小さかったとしても、それをもって大きな低周波音が発生している（していない）と判断することはできません。つまり一般的なマイクでは低周波音を適切にとらえることはできないのです。

もちろん、特別なマイクもあります。リオン社の UC-59L です。



図1 本製品外観
マイクロホンUC-59L とブリアンプXN-3C



周波数範囲	DC~20 kHzまたは0.25 Hz~20 kHz
-------	----------------------------

このマイクと右にある 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。周波数特性は下のグラフの青い線になるようです。

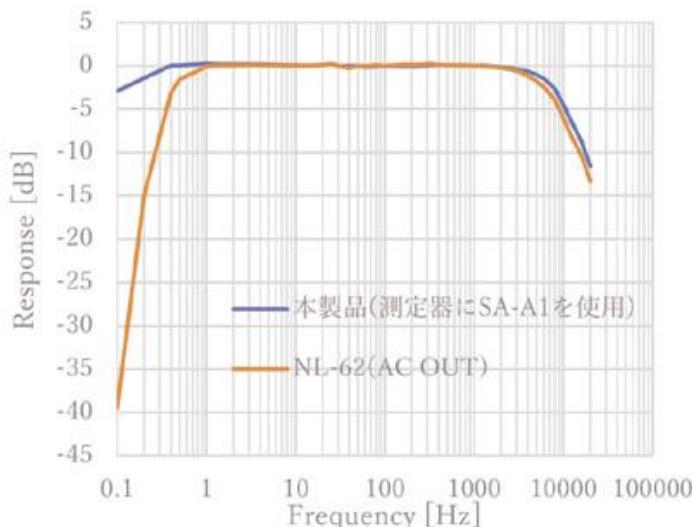


図2 本製品とNL-62 の周波数特性

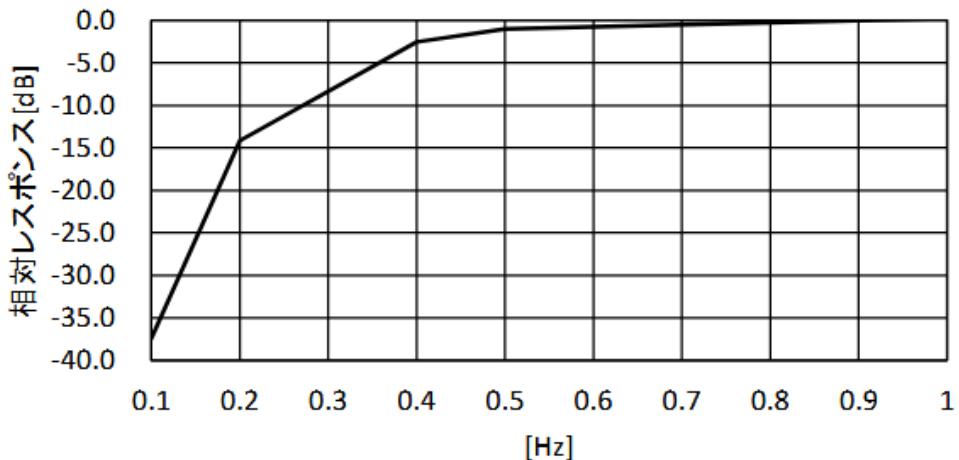
このグラフでは、NL-62 の 0.1Hz での応答が、-38dB となっていますが、リオン社から参考としていただいた資料では、次のようになっていました。

NL-62 低周波数領域 総合周波数特性（本体、プリアンプ、マイクロホン）※代表特性
 周波数重み付け特性 Z 2023年5月
 リオン株式会社 営業技術課

frequency[Hz]	NL-62_responce[dB]	備考
0.1	-37.4	
0.2	-14.1	
0.4	-2.5	
0.5	-1.0	
1	0.3	
31.5	0	基準

NL-62 総合周波数特性(代表値)

NL-62 総合周波数特性(代表値)



※上記に提示する周波数特性は測定範囲外の周波数帯かつ代表値であり、

NL-62の性能として保証するものではございません。

0.1Hz でのレスポンス(dB) は、上のグラフでは、-37.4dB となっています。

かなりの誤差があるとの前提ですが、計算では、0.1Hz で-37.4dB となっている資料の値を使う事にします。

この数値が意味するところは、0.1Hz の音の、音圧レベルを測るときに、計測された音圧レベルの数値は、実際に存在する 0.1Hz の音の音圧レベルよりも、-37.4dB 程度低い音圧レベルになっている。 と言う事です。

リオン社への質問と回答は、

質問 2. NL-62 で使用しているマイクロホンの形式は? このマイクロホンで測定できる周波数範囲は何 Hz ですか。

回答 2. マイクロホンは UC-59L で、周波数特性（測定可能な周波数範囲）は 1 Hz～20000 Hz です。
 となっています。

音圧を正確に把握できるのは、1Hz～20kHz であり、0.5Hz や 0.8Hz に関しては範囲外であり、その値は保証され

ないが、数値が、実際の音圧よりも高い値を取ることは無い。とは言えると思います。

グラフを見ると、0.4Hz 辺りまでの計測値は、ある程度の判断基準にはなる。と考えます。

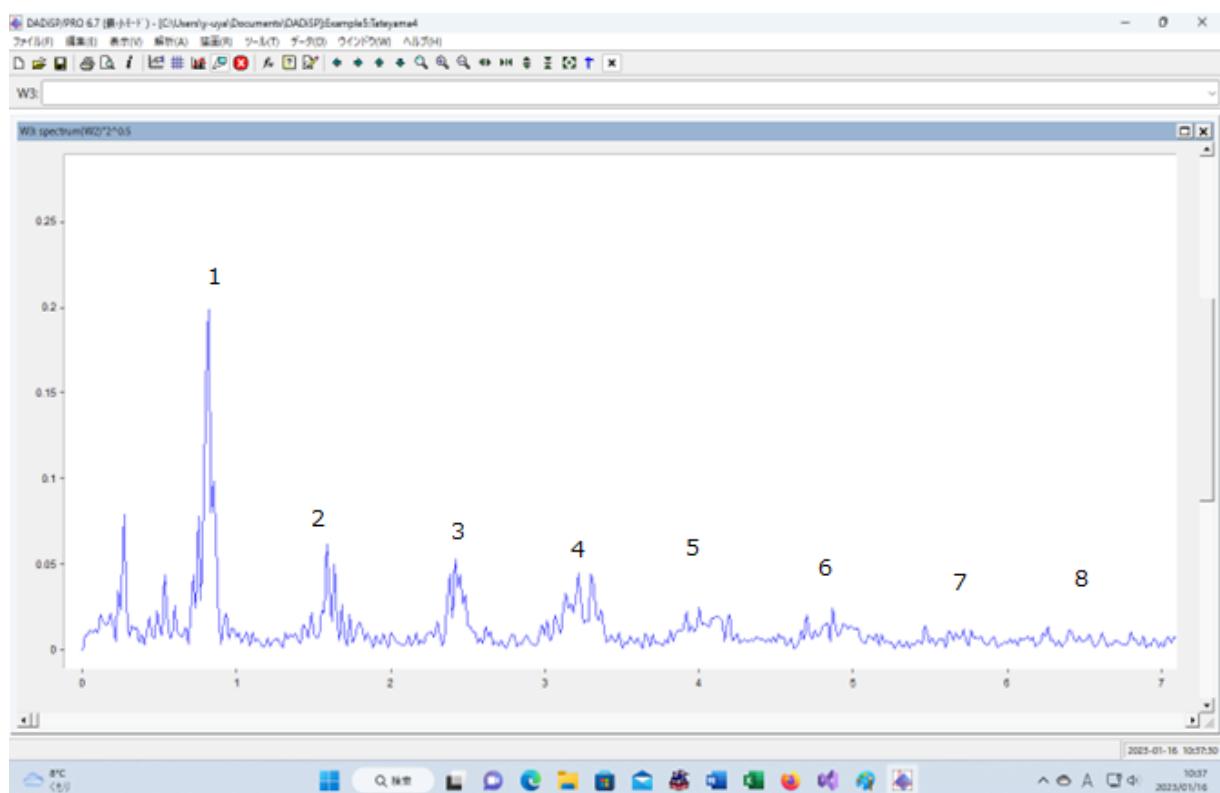
また、同じ精密騒音計で調べた風車音での0.5Hzの音圧と、交通騒音での0.5Hzの音圧を比較して、何倍になっているかを調べる事は意味があると思います。

音圧レベルの推定ですが、

0.1Hzに関して、レスポンスが、-37.4dBの場合は、実際の音圧レベルが80dBだとすると、マイクロホンを通して音圧レベルを検出する場合の数値は、 $80 - 37.4 = 42.6\text{ dB}$ になっていることになります。

実際の風車音で、計測された音圧（パスカル）から、実際の音圧を推定してみます。

周波数の倍音構造



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。

ピーク値の周波数				0.816667の倍数			
	倍率1	倍率2	音圧				
0.266667	1		0.05604				
0.533333	1.999996		0.03093802				
0.816667	3.062497	1	0.1405225	0.816667	1	0.816667	
1.583333	5.937491	1.938774	0.0435531	1.633334	2	1.633334	2
2.416667	9.06249	2.959183	0.02416667	2.450001	3		
3.216667	12.06249	3.938774	0.03173804			3.266668	4
4.000000	14.99998	4.897957	0.01772484	4.083335	5		
4.866667	18.24998	5.959182	0.01728335			4.900002	6
5.466667	20.49998	6.693875	0.01009538	5.716669	7		
6.266667	23.49997	7.673467	0.00978232			6.533336	8
9.783333	36.68745	11.97959	0.03974005				

0.266667Hz では、0.05604 パスカルです。この時の音圧レベルは、 $20 \log_{10}(0.05604/0.00002) = 68.9 \text{dB}$
0.533333 Hz では、0.03093802 パスカルです。この時の音圧レベルは、 $20 \log_{10}(0.03093802/0.00002) = 63.8 \text{dB}$

0.816667 Hz では、0.1405225 パスカルです。この時の音圧レベルは、 $20 \log_{10}(0.1405225/0.00002) = 76.9 \text{dB}$ です。

計測された音は小さな数値として記録されるので、音圧レベルを、もとに戻せば、

0.266667Hz では、68.9dB+3.7 dB = 72.6 dB

0.533333 Hz では、63.8dB+0.6 dB = 64.4 dB

0.816667 Hz では、76.9dB+0.3 dB = 77.2 dB

となるので、

パスカル単位の音圧にすれば、

0.266667Hz では、68.9dB+3.7 dB = 72.6 dB より、 $(10^{(72.6/20)} * 2 * 10^{-5}) = 0.08 \text{ パスカル}$

0.533333 Hz では、63.8dB+0.6 dB = 64.4 dB より、 $(10^{(64.4/20)} * 2 * 10^{-5}) = 0.03 \text{ パスカル}$

0.816667 Hz では、76.9dB+0.3 dB = 77.2 dB より、 $(10^{(77.2/20)} * 2 * 10^{-5}) = 0.14 \text{ パスカル}$ となります。これが音圧の推定値です。

0.1Hz の場合には、計測値と実際の音圧の差が大きく、誤差の範囲も大きいので、0.1Hz の音の音圧そのものを決定するのは困難です。

この数値の使い方としては、同一の精密騒音計で、風車の近くで計測した値と、風車が無い場所で計測した値を比較すれば、音圧が環境によって何倍程度になっているかを見るには、ある程度役立つ。

幸いにも、マイクの補償範囲外であるとはいえ、0.25Hz でのレスポンスは、-3.7 dB 程度だと考えられる。実際の値と、計測された数値は実際の値の、0.65 倍程度となる。この場合も、異なる場所での音圧の比較としてはある程度役に立つ。

広い範囲での比較

ただし、超低周波音 (0Hz ~ 20Hz) の部分のエネルギーと 20Hz 以上の部分のエネルギーの比較では、超低周波音 (0Hz ~ 20Hz) の部分のエネルギーのうちで、1Hz 以下の部分は、実際の値よりも低く扱われているのだが、エネルギーの比率、93 : 7 が計測結果からの数値だった場合には、超低周波音 (0Hz ~ 20Hz) のエネルギーは低く見積もっても 93% 以上であると言える。

狭い範囲での比較

狭い範囲の中だけで比較する場合には、各数値にかかるレスポンスにそれほど差が無ければ、その範囲内での比較は、意味がある。

周波数分解能を上げた計算で、0.01Hz の周波数の音を把握しようとしても、マイクの性能から見て無理がありますが、計測可能な周波数範囲に於いて、音圧が周波数の変化に対応してどのように変化するのかを詳細に調べる事は可能であり、必要なことです。

ビデオでの周波数の変動の測定と、Wavelet 解析での周波数の変動の解析結果が一致していることからも周波数分解能を高めて計算することの有効性がわかる。

また、ナセルの振動の計測結果は、周波数分解能が 0.1Hz なので、ナセルの振動とブレードの回転数の変化、音の周波数の変化、ビデオでの周波数の変化を比べてみれば、正確さと信頼性は保証されると考える。

1. 5. 3 スピーカーの性能

実験室における実験結果から、感覚閾値に関する議論をしているが、風車音の問題では、この実験結果をうのみにすることは出来ない。

理由は以下の通りです。

1. 風車音の録音は難しい。

普通のマイクロホンは、低周波音に対応していると言っても、20Hz 以上の周波数の音にしか対応していない。それ以下の周波数の音は録音できない。

特殊なマイクロホンもあります。

リオン社のマイクロホン UC-59L とプリアンプ XN-3C の説明は、

本製品は 0.4 Hz まで特性はほぼフラットであり、0.1 Hz でも約-3 dB である。1 Hz 以下の超低周波音まで、より平坦で測定したい場合には NL-62 に比べ本製品がより適していることがわかる。
とあるので、0.25Hz までは対応できるようです。

2. 録音できたとしても、風車音をスピーカーで再現できない。

スピーカーの性能がネックになります。

風力発電施設から発生する騒音等への対応について

平成 28 年 1 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
の 3 ページには、次の様に書かれている。

2-1. 風車騒音の実態と環境影響に関するこれまでの研究等の知見

風車騒音に関しては、環境影響に関する様々な研究がなされている。これらの知見について、以下に整理する。

(1) 風車騒音に関する物理的な実態の研究等

＜騒音の実測調査＞

平成 22 年度から平成 24 年度にかけて、環境研究総合推進費の公募型研究「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」(研究代表者：橘秀樹。以下、「推進費研究」とする。)において、我が国の風車騒音の実測調査が全国規模で行われた。この研究で得られた知見(5)を以下に示す。

全国 29 の風力発電施設の周辺の合計 164 の測定点で得られた 1/3 オクターブバンド音圧レベルから、一般に風車騒音はオクターブ当り -4dB の傾きのスペクトル特性を持っていることが分かった。そのうち、すべての超低周波音領域における 1/3 オクターブバンド音圧レベルは、ISO の純音に関する聴覚閾値や Moorhouse 他が提案している低周波音の評価のための限界曲線を下回っており (図 3)、風車騒音の超低周波音領域の成分は、知覚できないレベルであることがわかった。本研究プロジェクトの一部として、暴露側における風車騒音に含まれている低周波数成分の可聴性が実験室実験で調べられているが、その結果でも超低周波数領域の成分は聞こえない／感じないということが確かめられている。これらの結果は、風車騒音は超低周波音による問題ではないということを示している。

20Hz 以上の可聴周波数領域では、およそ 40Hz 以上の周波数域で 1/3 オクターブバンド音圧レベルは上記の限界曲線並びに ISO 389-7 で規定されている聴覚閾値を超えており、これは、風車騒音は通常可聴周波数範囲の騒音として議論すべきであることを意味している。

“暴露側における風車騒音に含まれている低周波数成分の可聴性が実験室実験で調べられているが、その結果でも超低周波数領域の成分は聞こえない／感じないということが確かめられている。これらの結果は、風車騒音は超低周波音による問題ではないということを示している。”

と主張しているが、

実験室での超低周波音を含んだ風車音をスピーカーから出そうとして大型スピーカーを購入したとします。オーディオルームで低周波音を再現するには、普通は、大型のスピーカーを購入します。定価が 2178000 円のスピーカーですが、

● JBL 4350BWX 地を這う超低音 最高峰4wayスピーカー新品さながら	
	型番 43-330
定価 2,178,000円(税込)	販売価格 1,210,000円(税込)
在庫数 在庫 0 ペア 売切れ中 -SOLD OUT-	

30Hz 以上の周波数の音ならば再現できるのですが、超低周波音 (0Hz~20Hz) は再現できません。

周波数特性 ($\pm 3\text{dB}$)	30Hz~20kHz
----------------------------	------------

さらに工夫をしている人がいます。

超低周波音再生用スピーカシステムの開発

小林幸夫，成田一真＊，渡邊康徳＊＊

10~20[Hz]で 80[dB]を超える音圧が得られた (4)のでここに報告する。

一般に低周波音の再生限界は、大面積の振動板を有するスピーカでも 30~50[Hz]である (5)。そこで、人間の聴覚の最低可聴周波数 20[Hz]以下である超低周波音を再生するためには以下の方法が考えられる。

以下省略：

として、研究成果を発表しています。苦労しても、10Hz までです。10Hz 以下は再生できません。

なぜ低音を出すのが難しいのかに関しては、次のような記載がネット上にありました。

スピーカによる低域の増強について

代表的な低音増強の手法は、空気による共鳴を利用する方法である。バスレフ型のスピーカでは、ポート内の空気質量と、エンクロージャ内の空気ばねが機械的に共振する。また、QWT (quarter wave tube, 1/4 波長管) や TQWT は閉管の定在波現象により共鳴を起こさせる。いずれも、振り子のように弾みがつく要素を置き、それをスピーカで加振することによって音圧を増幅する仕組みである。この加振時にはスピーカに

大きな負荷（空気がコーンの動きを妨げる力）がかかり、共振する部分が大きなコーン紙と同じような働きをすることで低音が増強されると言っても良い。ただし、共振現象を利用しているため、どうしても音に弾みがついてしまう。

ホーン型スピーカーではホーン内の空気がコーンと同じ働きをする。そして、振動板からホーン開口部に向けて広がることにより、力と変位の関係が変換され、空気の質量がコーンに影響する度合いを大きくしている。しかし、低域の再生においてホーンの負荷を十分なものにするためには、非現実的な大きさのホーンが必要になってしまいます。

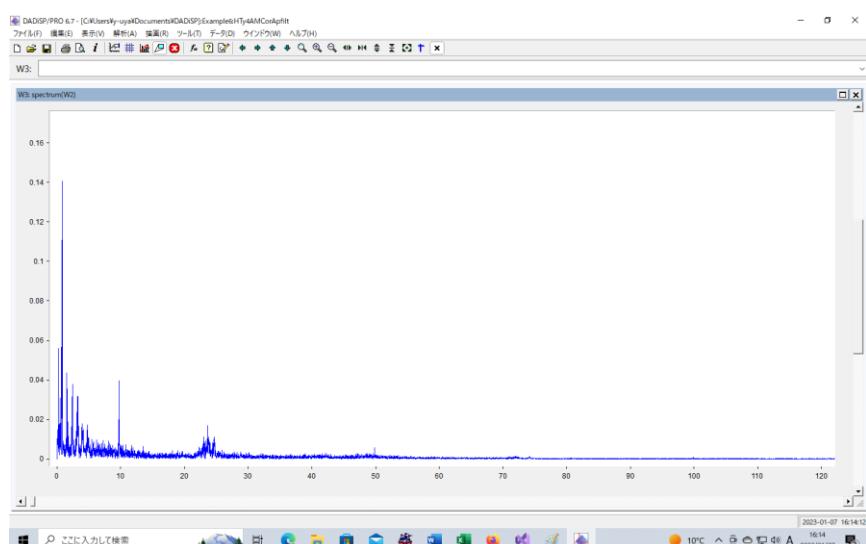
バスレフにしろバックロードホーンにせよ、スピーカの背圧を利用して低音を増強するものでは、いずれ超低域では前後の音圧が相殺しあって音が消えてしまう。

結局のところ、限られた大きさで、共振の力を借りずに、空気の質量等によりスピーカの低域を増強することは難しいと思われる。

とのことです。

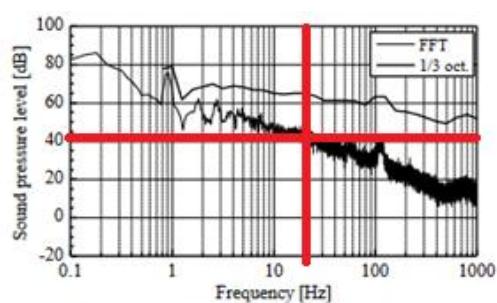
低周波音被害調査で行われた実験では、5Hz辺りの周波数までの音を使っているようですが、スピーカーから流れる音は、実際の風車音とは全く性質が違うのです。録音に成功したとしても、0.2Hzとか、0.8Hzとか2Hzとかの音を出すスピーカーを作って風車音を再現するのは難しいのです。

風車音のグラフから、

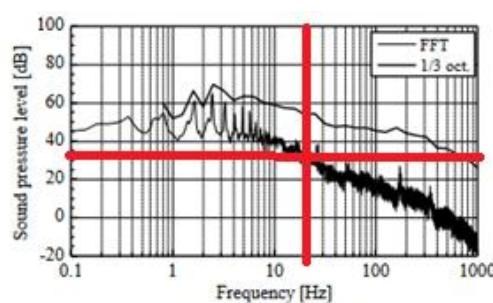


10Hz以下の部分を除いてしまえば、風車音の特徴は無くなってしまいます。

でも、超低周波音（0Hz～20Hz）を手に入れる簡単な方法もあります。環境省のHPにある資料のグラフを見ると、0.2Hzで音圧が85dBの音が観測されている風車が存在することが分かります。



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

この風車のすぐそばに実験室を作れば、超低周波音（0Hz～20Hz）を十分に体験できます。

実験室を、トレーラー式にして、風車の近くに移動して実験をすれば良いのです。

録音の難しさ、スピーカによる再現の難しさを普通の実験室で克服するのは、極めて困難です。移動式実験室で、超低周波音（0 Hz～20 Hz）の大きさを計測しながら実験をすべきです。

何をどこまで計測して、音をどの周波数まで再現しての実験なのかをわきまえた考察をすべきです。

音に対する反応は、“うるさい”と言う反応が基本ですが、低周波音の場合は違います。

“不快感”、“圧迫感”、“振動感”を低周波音の基準としている。この感覚は、聴覚での“うるさい”とは別の感覚である。

低周波騒音の苦情に関する評価手順（Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD）

には、低周波音の被害内容に関しての表がある。

表 II:選択された症状を報告している LFN 苦情申立人の数。

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。

この項目で、“耳や体の圧力や痛み”は聴覚での刺激の把握とは異なると考えられる。

人間には、気圧の変化を感じ取る器官があるとの研究成果も公開されている。

では、何を、どの様に扱ったら、原因と結果の関連が見つかるのでしょうか？

最大音圧とその時の周波数、G 特性音圧レベル、A 特性音圧レベル（20 Hz～）、室内での振動レベル計の値、室内でのカオス理論を使った共鳴の調査、

と

上の項目を含めた、改良型のアンケート（後ほど示します。）における項目の得点の相関関係を多変量解析で調べれば良いのです。

最初から、0.5Hz や 0.8Hz の音を切り捨てて、風車音の特徴を捨て去った数値を使ったのでは、被害の状況、被害内容との関連を見つける事は出来ません。ですから、超低周波音（ISO7196）を超低周波音（1Hz～20Hz）としてはいけないのです。G特性音圧レベルだけではダメな理由は、簡単なモデルによる相関行列の計算ですぐに分かります。

再現音と本物の風車音の違いは、

前川真帆香 氏の論文の記述：

第3節 救済されない低周波音被害者

1.はじめに 岡田が述べているように、低周波音問題は参照値近傍もしくはそれ以下の領域にて起こっている。低周波音の手引書には、参照値未満の場合は騒音領域の問題、地盤振動であるかどうかなど、被害者の訴えを生じさせる他の要因を探るとしている。しかし、現実には、参照値が被害者の訴えを切り捨てる基準として使われている。自己の聴覚閾値を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、実験室に基づくデータにより策定した参考値自体が現実を反映していないと主張する。さらに、彼らはその参考値を使った測定にも問題があると指摘する。では、被害者がこの参考値を低周波音の評価方法として用いるのは現実を反映せず、妥当ではないと主張するのは一体どうしてであろうか。

を見れば分かります。

「実験室で使う純音と実際聞く音は全く異なる」

のです。周波数成分や、最大音圧、音圧の分布などが全く違うのですから、とても雑な実験であり、論理性のかけらもない実験だと思います。

このような実験で風車音の影響が評価できると思う思考回路が、私には全く理解できません。

風車音と被害の関連を調べるならば、

風車の近くで

リオン社の、精密騒音計 NL-62 に、波形収録プログラム NX-42WR を追加して、サンプリング周波数 48 kHz で、音圧の変化を捉え、その値を 16 ビットの符号付整数に変換したものを記録した Wav ファイルを作る。

PC のメモリーや CPU の速度を考えると、1 分ごとに分割して、全体で 10 分くらい録音したデータが扱いやすいです。

この 60 秒分の Wav ファイルを PC に読み込んで、符号付整数を音圧（パスカル値）に直して、FFT を計算すれば、0.016667Hz 刻みで音圧を計算できます。

この時の音のスペクトルを調べる。

そして、

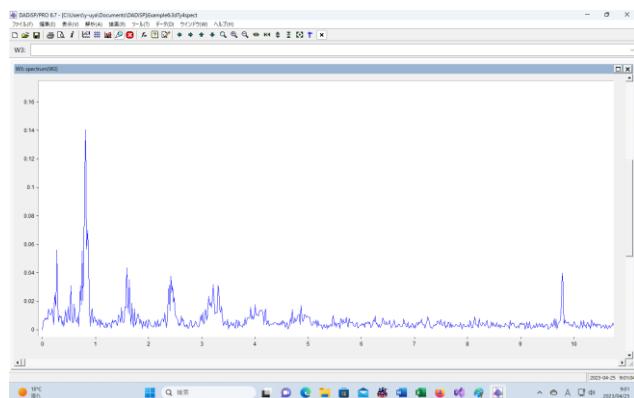
実験室での、同様計測を行った結果の周波数スペクトルを計算し、実験室での音は、風車音の特徴を再現したものなのか、そうでは無いのかを検証する必要があるのです。

私は、次の様にして確認しました。

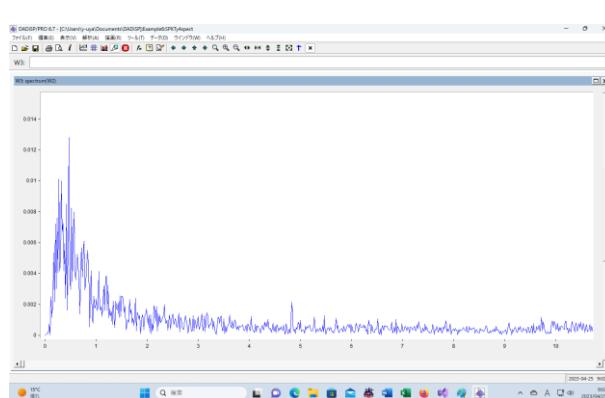
精密騒音計で風車音を測定して WAV ファイルを作る。Wav ファイルを PC に読み込ませて、PC についているスピーカーで音を出す。PC のスピーカーから出てくる音を精密騒音計で再度測定して、新しい WAV ファイルを作る。この 2 つの WAV ファイルの周波数スペクトルを調べて比較してみました。

DADISP と DADISP/WAV の組み合わせで、野外での風車音とそれを再生した物を再度録音した結果を比較してみます。どちらも、耳で聞く限りでは、同じ音のように聞こえます。私の耳では違いは分かりません。が、周波数スペクトル波形は別物です。

風車音の周波数スペクトル



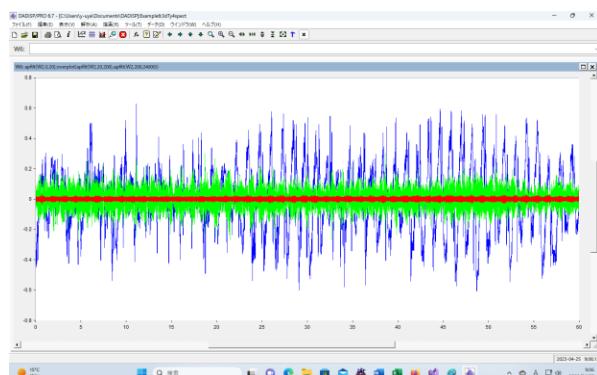
再生音の周波数スペクトル



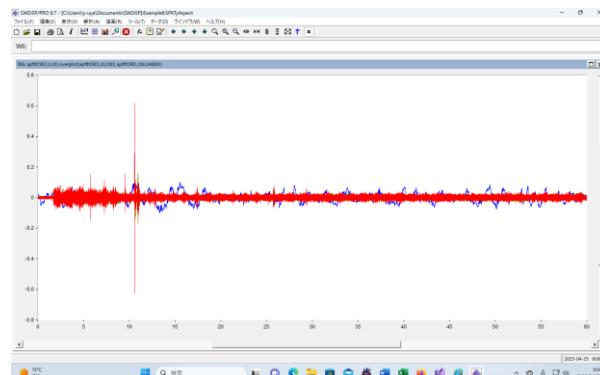
さらに、周波数帯ごとに分割してそれらの強さを比較すると、風車音そのものと、再生音の性質の違いが明確になります。

(0Hz～20Hz 青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤)として分解します。

風車音の周波数帯ごとの比較



再生音の周波数帯ごとの比較



超低周波音（0Hz～20Hz）（青色）が強烈ですが、再生音では、ほとんど消えています。

風車音とその再生音では性質が全く異なるのです。再生音では超低周波音の成分が消え去っているのです。したがって、再生音を使った実験は風車音に関する実験とは言えないのです。実験をしたいのなら、トレーラーの荷台に実験室を作って、風車の近くに行って実験するしかないのです。

1. 5. 4 挿入型イヤホン

欧洲における超低周波音知覚に関する研究動向*

横山 栄*1 小林 知尋*1 山本 貢平

2.2 超低周波音発生装置の開発

EARS プロジェクトでは、MEG や fMRI を利用した脳反応も調査するために、対象周波数範囲における各音響刺激（2.5 Hz～24.2 kHz）について、磁気環境下でも聴覚閾値を十分に上回る音圧レベルで提示できる音源発生装置が新たに開発された [2]。この音源装置では、約 38 cm 径の動電型スピーカから各音源信号を放射し、直径 14 mm、長さ 8 m のチューブを介して挿入型イヤホンに伝送し、各実験協力者の外耳道に提示された。

2.3 純音閾値実験

上述の音源発生装置を用いて、2.5～125 Hz の 14 種類の純音を試験音とし、聴覚閾値実験が行われた。聴力正常な 18 名（18～25 歳）の実験協力者が実験に参加した。なお、2.5～20 Hz の超低周波音領域の 10 種類の試験音についても、実験協力者全員がすべての周波数の試験音が聞こえたと報告した。

Fig. 1 に全実験協力者による聴覚閾値の中央値 [2] を示す。併せて、ISO389-7:2019 (Free-field listening:20 Hz～), ISO389-2:1994 (Insert earphone RETSPL:125 Hz～) による純音聴覚閾値も示した。更に、2010 年～3 年間にわたり環境省が実施し、筆者らも参画した研究プロジェクトにおける純音聴覚閾値の実験結果 [5, 6] (20 歳台の男女 44 名による実験結果の中央値) も併せて示した。EARS プロジェクトによる純音閾値の結果は、20～40 Hz の周波数範囲では ISO 389

欧洲における超低周波音知覚に関する研究動向

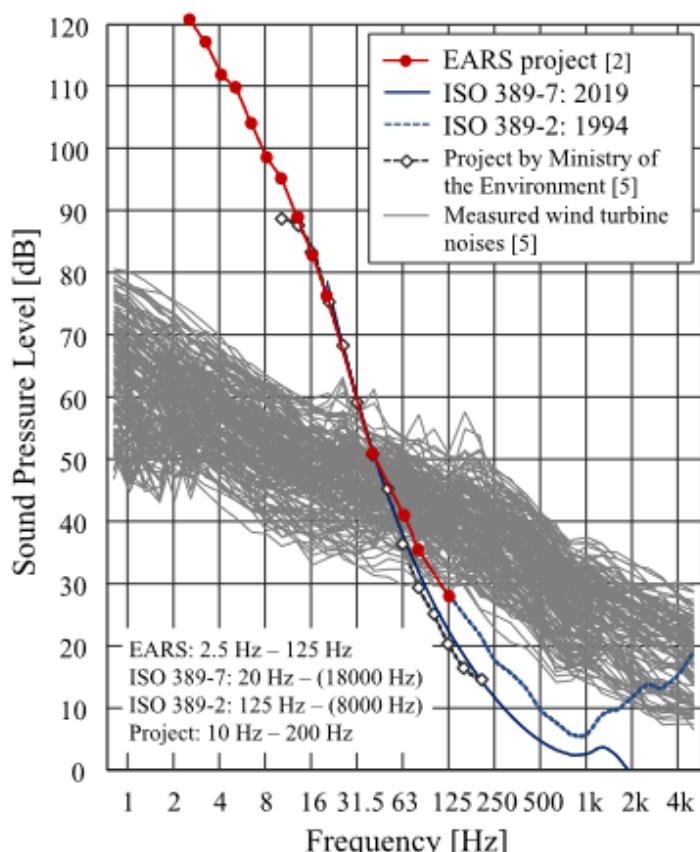


Fig. 1 Hearing thresholds for infrasound and low frequency pure tone stimuli compared with S.P.L.s of measured WTNs.

7:2019 に示される聴覚閾値に近い値となっているが、63～125 Hz の周波数範囲では ISO 389-7:2019 の閾値よりも高く、ISO 389-2:1994 の閾値を低周波音側に拡張したような結果となっている。EARS プロジェクトでは、挿入型イヤホンを用いて試験音を提示しており、妥当な結果と考えられる。また、20 Hz 以下については ISO 389-7:2019 に示される聴覚閾値を超低周波音領域に拡張したような値となっている。環境省のプロジェクトによる閾値実験 [5, 6] では実験室の壁面にウーファ 16 台を設置して試験音を提示しており、概ね ISO 389-7:2019 に沿った値となっている。なお、16～40 Hz の周波数範囲については、EARS プロジェクトによる閾値とも同等の結果となっている。

Fig. 1 に、一般に（超）低周波音が問題とされている風車騒音のスペクトル例（図中、灰色線：国内 164 地点の実測例）[5, 8] も併せて示した。20 Hz を下回る

16 Hz 以下の超低周波音領域の風車騒音の音圧レベルは、純音聴覚閾値（中央値）と比較して 20 dB 以上も低い結果となっている。

経緯

- 再生可能エネルギーである風力発電の導入加速化は我が国的重要なエネルギー政策
- 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
- 環境省では、平成25年から、主として商業用に用いられる一定規模以上の風力発電施設を対象とし、現時点までの知見及び風車騒音の評価方法について検討を実施

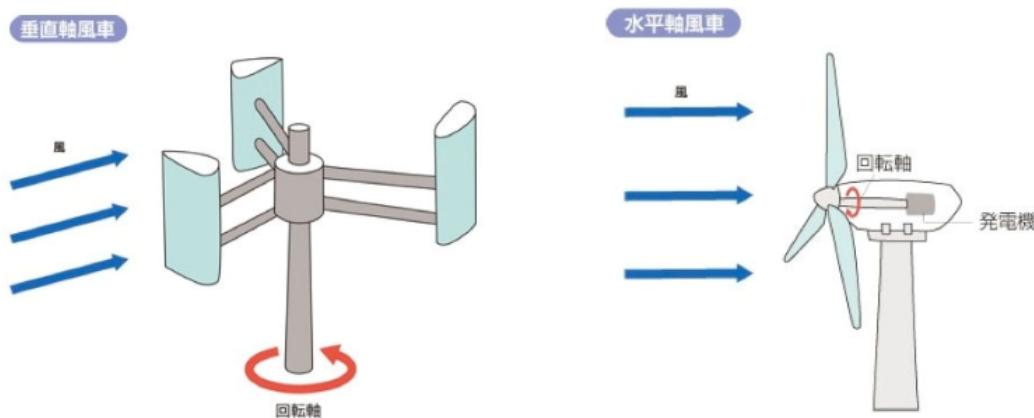
確かに、エネルギー政策は重要な課題です。

- 再生可能エネルギーである風力発電の導入加速化は我が国的重要なエネルギー政策

だからと言って、超低周波音の発生装置である水平軸型の風車を海岸の近くに建設してはいけません。これは、国を亡ぼす行いです。

最低でも、水平軸型の風車と、垂直軸型の風車の音を精密に比較することが必要なのです。その選択や検討は慎重に行う必要があります。

風力発電機の種類



- 垂直軸風車：風向きに左右されず、発生する騒音は小さいが、軌道トルクが小さい。大規模化には向かない。
- 水平軸風車：最も普及している。高速で回転でき発電効率がよいが、方位制御機構が必要。騒音が発生する。
 - ▷ アップウインド型風車：タワーがブレードの風下側にある。
 - ▷ ダウンウインド型風車：タワーがブレードの風上側にある。

大規模発電には向かないとあります。現状はその通りでしょうが、被害を減らすには、発生源対策が必要なのです。検討対象としては、垂直軸の風車と東京タワーのような骨組みだけの風車が適切だと思います。

もちろん、風車を建てれば、風下での風速が減少します。これは人の生活だけでなく、植生にも大きな変化を与えます。もちろん動物の食物にも影響が有るので、多角的な検討が必要です。

風車を建ててしまえば、取り返しがつかない事になります。建てる前の研究が大切です。

もちろん研究に参加する学者の基礎学力も問題になるので、研究の参加者には基礎学力試験を課す必要があります。

エネルギーの確保が非常に重要な問題であることは明らかです。私たちの日常生活は膨大なエネルギーの消費を前提にして成り立っています。

エネルギーの確保の方法は幾つかあるが、それぞれ問題を抱えています。

原子力発電所では、使用済み核燃料の処分が大きな問題である。使用済み核燃料を保管しているプールの水が無くなつて冷却でき無くなれば、非常に多くの人に被害が及ぶ。しかも、それを安全に処分する方法に関しても、地震が多く、活断層が沢山あるこの日本においては、諸外国以上の大問題となっている。そんなわけで長い間プールに保管されている。そのうち、プールを冷却するためだけの原発を作るようになるでしょう。こうなつたら、何のための原子力発電なのかを問われかねません。

問題点から目を背けて開発をおこなえば、積もり積もった問題を次の世代に先送りするだけであり、先送りできる時代はよいが、先送りできない時が必ずくる。

風力発電でも同様だと考えます。都合の悪いことは、見ないこととする、言わないこととする、聞かなかつこととする。ような、傾向があると思っています。これでは、問題点が積み上げられるだけです。

都合の悪いことは、見ないこととする、言わないこととする、聞かなかつたこととする。

との態度はあり得ません。諸問題に対して、目を見開いて正面から向き合うこと。最新の科学技術を使って原因を解明すること。その問題の解決方法について議論すること。が必要だと考えています。

これらの問題点を解決することで、エネルギー確保がより安全に、より犠牲が少ない形で実現できれば、現在、風車騒音で苦しんでいる人への朗報となります。

嘘から始めたのでは、日本の未来は切り開けません。最悪の方針である、“風雜音”、“二重防風スクリーン”、“除外音処理”についてはすぐに撤廃すべきです。

また、今年2022年の夏、冬の電力供給が不足して停電恐れがあると言われています。風力発電、太陽光発電が、気象条件によって発電量を大きく変えることは明らかです。多すぎず、少なすぎない電力供給を考えるとき、不安定な電力供給を何らかの方法で、安定化させなければなりません。

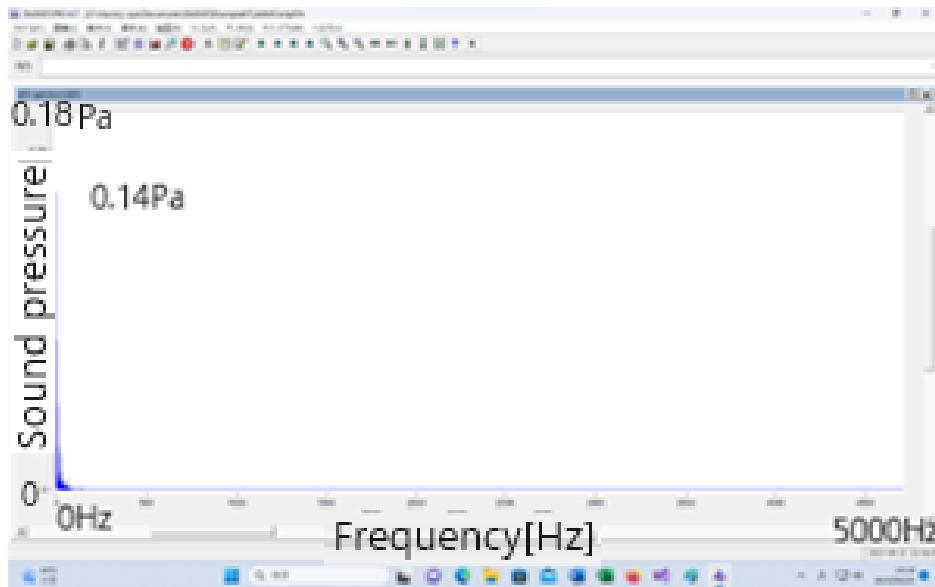
風力発電でも、回転軸が水平なものと、垂直なものがあります。それらは全く異なる音響特性を持っていると考えられます。もちろん精密な測定が必要です。

他にも、太陽光発電、地熱発電、小型水力発電、潮流発電、波力発電、など、いろいろあります。それらの特徴や問題点をしっかりと比較検討しなくてはなりません。

次の記述は無理な言い訳です。

- 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

再度確認します。A特性音圧レベルの計算対象となる周波数領域に関しては、風車からは出る音は小さいのです。風車からは、著しく大きな音圧の超低周波音が出ているのです。



ですから、A特性音圧レベルの値が風車音の影響で増加したと認定できる場合には、風車からの超低周波音はとても増えているのです。

高い音圧は圧迫感の原因であり、頭痛の原因です。A特性音圧レベルの値の増加が少しであっても、被害が発生するのです。

被害を苦情と言い換える立場だから、原因が見えないのです。計測も解析も出来ないです。

風車音のエネルギーの7%を捉えて数値化したものを使って、風車音の被害を評価しようとしても無理なのです。風車が無い場所での超低周波音の音圧は、0.011Pa程度ですが、風車の近くでの音圧は平均で0.14Paです。弱いときは0.104Pa、強いときは0.37Paです。

強いときの音圧は、風車の無い場所での音圧の33.6倍です。これは、“ガタツキ”や“圧迫感”的原因になります。騒音レベル(20Hz以上で計算)が小さくても、圧迫感や頭痛などによる苦情が出るのは当然のことです。

この主張では、“もともと静穏な地域に住んでいる人だから苦情を言うのだ。”というようにも解釈できます。このように書くためには、都会の人と田舎の人を入れ替えて、交通騒音と風車騒音への反応、苦情の調査をする必要があります。入れ替え実験によるデータが無しにこのように言われると、“田舎者だから苦情を言うのだ。”と言われている感じになります。

また、風車が出来てから1年も経てば、住んでいる環境は静穏な環境ではなくなります。1年たっても被害は減りません。伊豆の方では、引っ越しをした人もいます。

1. 6. 1 参照値、指針値、騒音環境基準値

風車に関する数値として参照値、指針値、騒音環境基準値の3つがあります。

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ました。

表1 低周波音による物的苦情に関する参考値

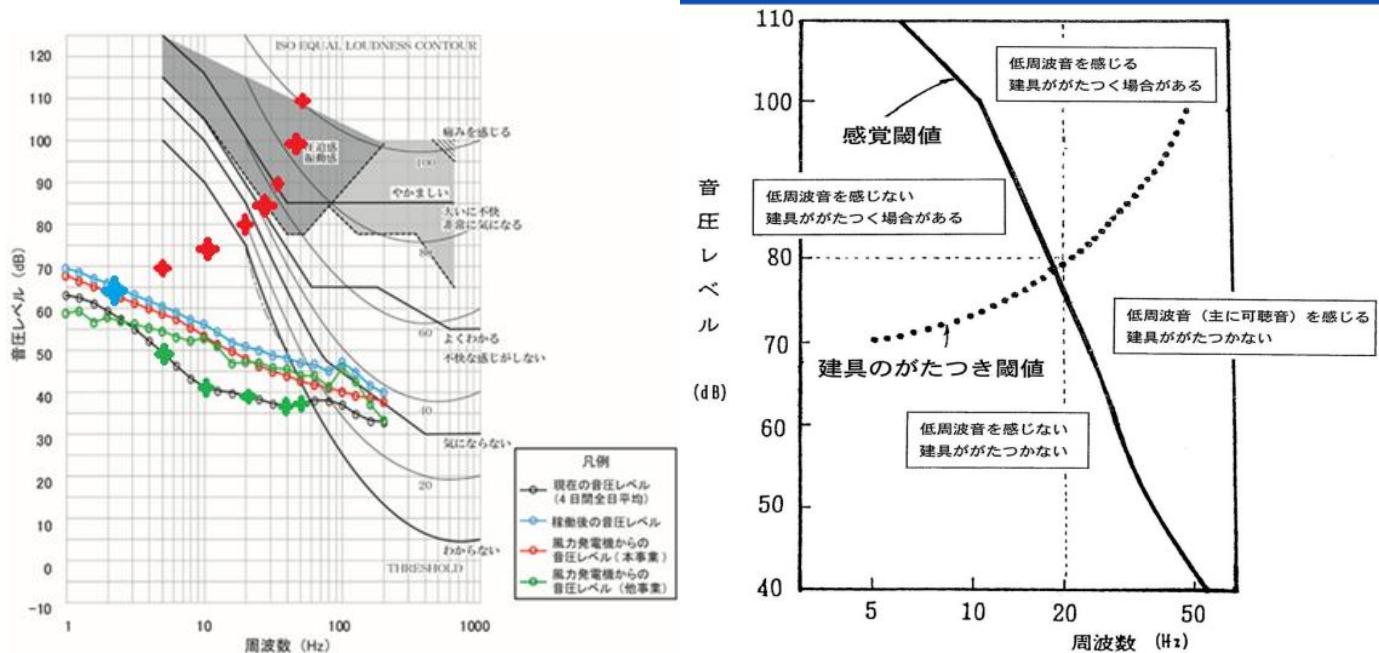
1/3オクターブバンド	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

この表は、5Hzまでしかない。

日本家屋の固有振動数は、1Hz～2Hz程度であることが、地震での被害の様子から分かっています。

5Hz未満でもガタツキは起こります。さらに、周波数が下がれば、音圧レベルも下がることが上の表の特徴です。

ガタツキに関して考えれば、2Hzで65dB程度の音でがたつきが起きる可能性が高いと言えます。



ガタツキによるアノイアンス（不快感）で睡眠妨害を受ける時の音圧レベルは65dB程度です。

目が覚める時には、風車音に起因するガタツキを知覚しています。

ラウドネス（うるささ）に限定した聴覚閾値の観点からは、65dBでの影響を知覚しても、目が覚めるこことは無いかもしれません。風車からの振動は、粗密波として伝播し、建物が共振すれば、ガタツキとして知覚されるのです。この場合は、振動によって睡眠が妨害されるのです。

ですから、超低周波音の知覚閾値は、65dB以下だと考えるべきです。

心身に係る苦情に関する参考値は以下の表です。

表 2-3 低周波音による心身に係る苦情に関する参考値^[1-6]

1/3 オクターブ バンド [*] 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	オーバーオール値
1/3 オクターブ バンド [*] 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41	92dB(G)

この数値の意味は、10%の人が寝室で許容できないと感じる数値です。

“A4 建具類のがたつきや室内での不快感などについて苦情申し立てがあった場合に、低周波音によるもののかどうかを判断する目安となる値です。”

“A6 『参考値』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。”

とあるので、10%の人が許容できない主な内容は“不快感”です。

これと関連するものとして、

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考値との対応表をつければ、

バンド (ヘルツ) ↗	20 ↗	25 ↗	31.5 ↗	40 ↗	50 ↗	63 ↗	80 ↗	↗
参考値 (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。

ほとんどの場合、参考値の方が大きいのですが、参考値と聴覚閾値の差は周波数が下がると小さくなり、20Hzでは、聴覚閾値の方が大きくなります。

また、

1) 発生源側の測定結果と苦情者宅の測定結果の対応関係の有無を確認します。

[1]原因が疑われる低周波音の発生源の施設・機器等を稼働・停止させたときに、苦情者の苦情の状況に変化があるか
ですが、

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基×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に、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	生理的因素
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	心理的因素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的因素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的因素も

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割減らすことーー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。これによつて睡眠障害は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。

風車を止めれば、睡眠障害が7割減るのですから、普通の人は、睡眠障害の原因が風車音だと考えます。裁判では、この常識が通用しないことが多いようです。

因果関係については、

[1]原因が疑われる低周波音の発生源の施設・機器等を稼働・停止させたときに、苦情者の苦情の状況に変化があるか

[2]発生源と苦情者宅での測定結果を比較して、音圧レベルの変化や周波数特性に対応関係があるかどうかとあるのですが、

正確な周波数特性を調べられる記録方法も、計算法も示されていません。

G特性音圧レベルと1/3オクターブ解析しかないので。これでは、被害が起きている場所で測っても、波の音が原因なのか、風車音が原因なのかの判断が出来ません。

風車音か否かを判断するには、超低周波音の領域での特徴を把握することが必要です。

これは、“風雑音”が風車からの超低周波音であることを明らかにしてしまいます。

被害の原因の究明には、室内で二重防風スクリーンを使わないで、波形を収録して、WAVファイルとして保存することが必要です。もちろん、”除外音処理”で大切な部分を消し去ってはいけません。

これが明らかになれば、風車から超低周波音が発生する仕組みも分ります。超低周波音の周波数スペクトルの特徴も分ります。強風の波形から、音圧変動の特徴を調べれば、音響キャビテーションで気泡が発生するときの条件を満たしていることが分ります。従って、風車からの超低周波音が“頭痛”的な原因である事も判明します。

この事を良く知っている環境省は、風雑音説は拡散させ、二重防風スクリーンと除外音処理を強制することで、風車音による直接的な健康被害である、頭痛についての原因究明を妨害してきたのです。

指針値は、残留騒音+5 dB となっている。

許容される到達風車音の騒音レベルを計算すれば次の様になる。

特別な地域は、残留騒音が30 dBならば、指針値が35 dBになるが、

普通の地域では、残留騒音が30 dBならば、指針値は40 dBになる。

残留騒音が35 dBならば、指針値は $35+5=40$ dBになる。

残留騒音が40 dBならば、指針値は $40+5=45$ dB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”的数値が、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	0.000000086	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

30 dBと39.5 dB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、38.5 dB～53.3 dB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

表 10.1.3-21(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（指針値との比較）
(累積的影響：調査期間中の空気吸収による減衰量が最小时)

予測地点	時間区分	現況値 a	騒音レベル					指針値	
			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	

34 dB～43 dBです。

残留騒音43 dB、指針値48 dB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、46.3 dBになります。この数値は、“35~40 dB”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35~40 dB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。

- 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**

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起きることが分ります。

環境省が作成したデータには次のものもある。

- 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。

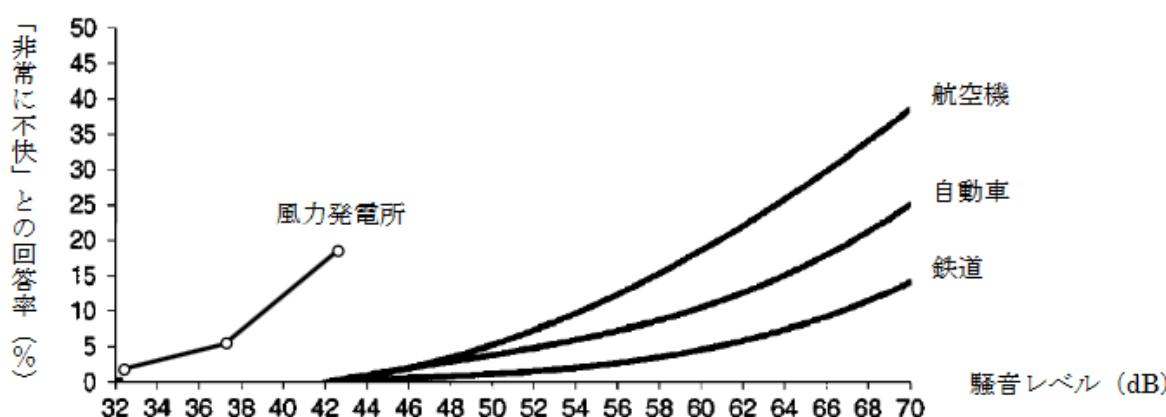


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
(脚注3及び5の文献より環境省作成)

風車音の場合、上のグラフだと、風車音で38 dB~44 dBだと、7~25%程度の人が“非常に不快”を感じることが分ります。

寝ようとするときに、風車音の影響で“非常に不快”と感じる場合は、簡単には寝付けません。仕事があるので、朝は決まった時間に起きなくてはなりません。とうぜん睡眠不足になります。

交通騒音の場合、38dB～44dBでは、“非常に不快”と感じる人は、ほとんどいないことが分ります。

”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」“p14には、

“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。

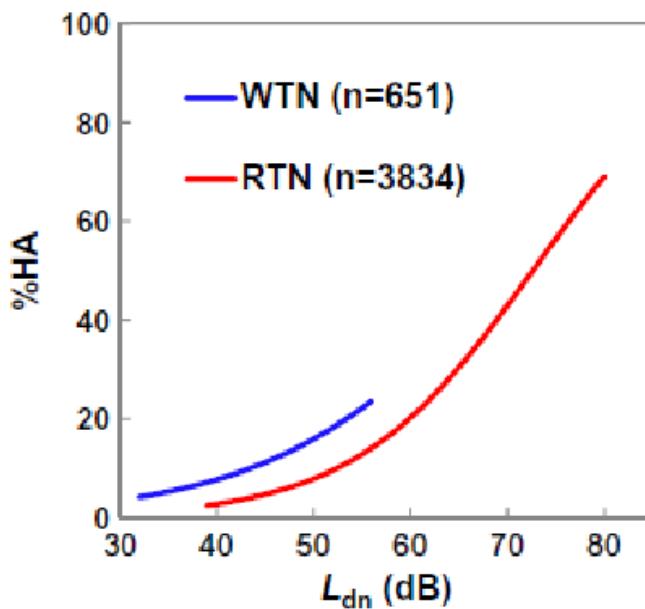


図7 風車騒音(WTN)と道路交通騒音(RTN)の昼夜時間帯補正等価騒音レベル(L_{dn})※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ(%HA)

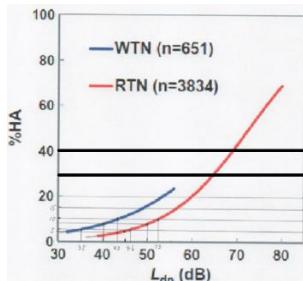
※ 風車騒音については、終日定常的に運転されていると仮定し、LAeqに6dBを加算してLdnを推計している。

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。”

グラフでは、青い曲線と赤い曲線の曲がり方はよく似ている。従って、A特性音圧レベルと不快感の間に関連性がある事は見て取れる。風車音による被害を考える上では、曲線の曲がり方が似ている事よりも、曲線のズレの方が重要である。風車音では、交通騒音に比べて、同じA特性音圧レベルでの被害が大きいのです。この原因を考えることが必要なのです。

“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。”

とあり、この差を調べると、



% 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	10dB
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。

風車音でのアノイアンスの要因は色々あるが、

“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。”

を見れば、

アノイアンス（不快感）を決めるための影響力としては、ラウドネス（うるささ）は、9~13%だと考えられる。

残りを決めるのは主な要因は何か、が問題になる。

アノイアンス（不快感）は風車が見えなくても起きることと、圧迫感としての不快感と、周波数帯でのエネルギーの分布を考えれば、超低周波音の部分の影響だと考えるべきです。

図1. 交通騒音（リオン社前） 0～5000Hz

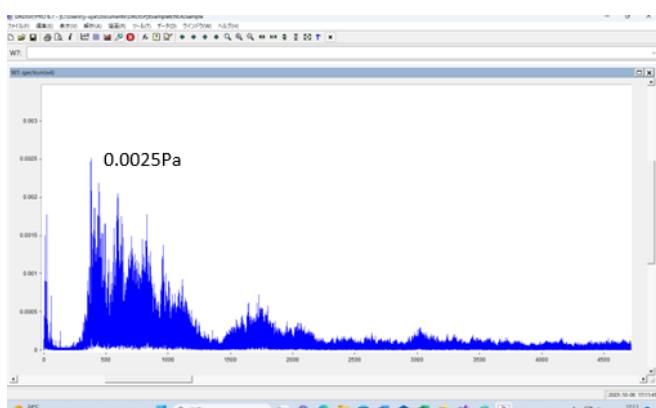


図2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0～5000Hz

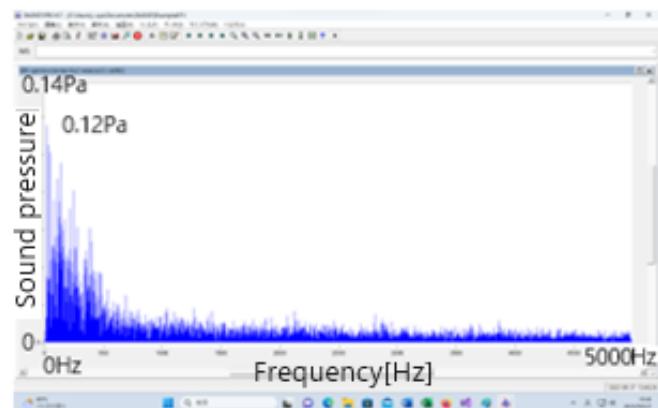


図3. 風車音（館山風の丘） 0～5000Hz

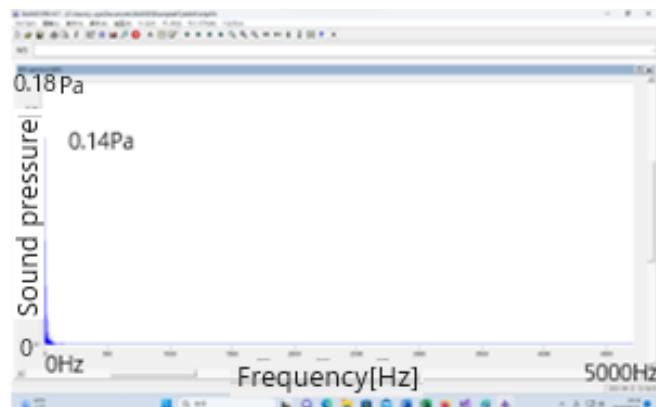


表2. エネルギーの分布

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%

A 特性音圧レベル計算から除外されていた風車音のエネルギーの残りの 93%に注目する必要があります。エネルギーに注目して補正すれば、かなり一致します。

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。

合成音								
残留騒音d	(Pa*Pa)	Pa→	風車音	合成音dB	(Pa*Pa)	Pa→	Δ (Pa*Pa)	Δ (Pa)
33	7.98E-07	0.000893	44.7	45	1.26E-05	0.003557	0.00001185	0.002663
35	1.26E-06	0.001125	44.5	45	1.26E-05	0.003557	0.00001138	0.002432
40	0.000004	0.002000	43.3	45	1.26E-05	0.003557	0.00000865	0.001557
44	1E-05	0.003170	38.1	45	1.26E-05	0.003557	0.00000260	0.000387
50	0.00004	0.006325	53.3	55	0.000126	0.011247	0.00008649	0.004922
55	0.000126	0.011247	58.3	60	0.0004	0.020000	0.00027351	0.008753

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
A A	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

この場合は、35~40 dB の数値と比べれば、アノイアンス（不快感）による安眠妨害が起きる可能性がより高いと言えます。

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、

3-4) 事前調査結果(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)		環境基準 (B類型)
		通常時	強風時	
T1 (350m)	昼間	50dB	55dB	55dB
	夜間	42dB	<u>※59dB</u>	45dB
H1 (400m)	昼間	42dB	<u>※56dB</u>	55dB
	夜間	42dB	<u>※55dB</u>	45dB
M2 (470m)	昼間	39dB	52dB	55dB
	夜間	36dB	<u>※59dB</u>	45dB
N1 (680m)	昼間	45dB	<u>※59dB</u>	55dB
	夜間	42dB	<u>※53dB</u>	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。

となっています。

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。

環境基準値 45 dB なのに、計測値が 53 dB~59 dB という事ではかなり大きな被害が出ると考えられます。

- 環境省では、平成25年から、主として商業用に用いられる一定規模以上の風力発電施設を対象とし、現時点までの知見及び風車騒音の評価方法について検討を実施

とあるが、

方針が間違っています。風車騒音と言ってしまえば、20Hz以下の音を切り捨てる事になるのです。この結果、以前から知られている被害の様子や研究結果が無視されてしまうのです。

そして、風車音の発生する仕組みの研究も放棄されてしまうのです。どんな音が出てくるのか、なぜその音が出るのかを追求しなくてはなりません。被害の根本的な原因を解明することなしに、問題の解決はあり得ないです。

検討すべきは、20Hz以上に限定される“風車騒音”ではなく、0Hz以上“風車音”なのです。風車の大型化に伴い、超低周波音での最大音圧は増加しますが、可聴域（20Hz以上）の音は、減少する傾向にあります。

これは、“うるささ”の面での不快感は減少するが、“圧迫感”や“頭痛”による不快感が増加することを意味しているのです。いくら都合が悪いからと言って、過去の知見のうちで、超低周波音・低周波音による被害の調査結果や研究成果を抹殺してはいけません。

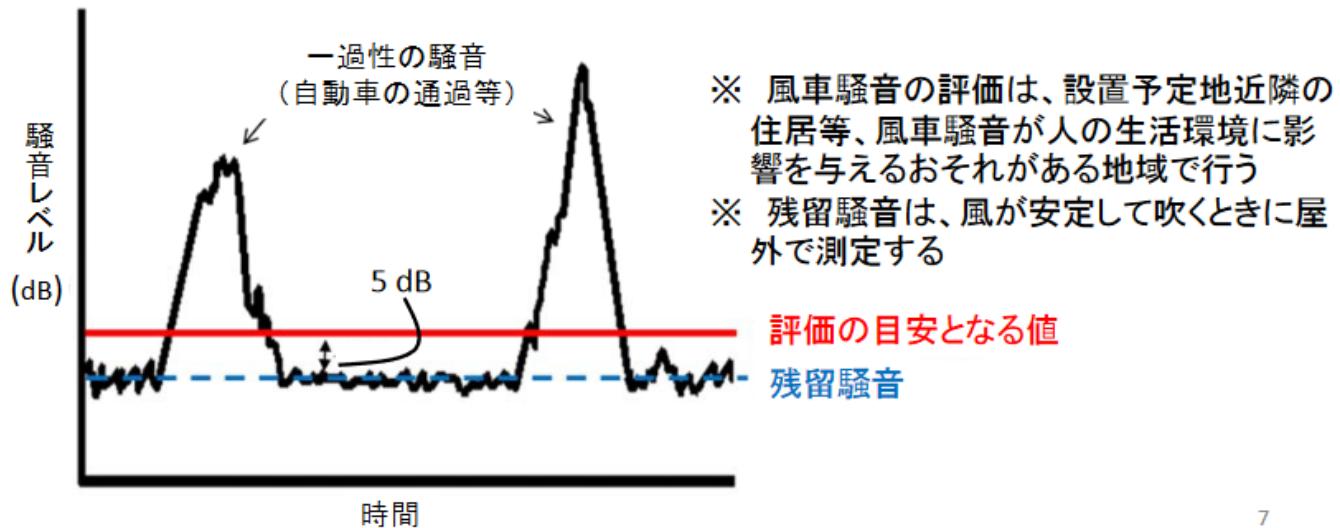
これは、現代版“焚書坑儒”です。

“前213年、秦の始皇帝が行った、主として儒家に対する思想言論弾圧。民間にあった医薬・卜筮・農事などの実用書以外の書物を焼き捨て、翌年、始皇帝に批判的な学者約460人を坑に埋めて殺したといわれる。転じて、学問や思想に対する弾圧をいう。”

決して許されません。

風力発電施設騒音の評価の考え方①

- 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」(一過性の特定できる騒音を除いた騒音)からの増加量が5dBに収まるように設定する



7

まず、

- 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

ですが、

機械は古くなると摩耗します。ガタツキも増えて騒音も増えます。

新設、変更の他に、住民からの確認要求がある場合にも調査することが必要です。

これは、風車が金属疲労で大きく破損する前に、その兆候を把握する事にも役立つので、企業も積極的に行い、その結果をデジタルデータの形でネットに公表すべきです。

次に、

- 屋内の生活環境保全を考慮し、屋外で昼夜毎に評価

※ 残留騒音は、風が安定して吹くときに屋外で測定する

については、

睡眠妨害などの被害は、屋内で起きることが多いですから、屋外での計測の他に、屋内も二重防風スクリーンを外した形での計測をしておくべきである。

さらに、風車からの振動が地中から伝搬することも考えられるので、屋内に振動レベル計を設置して、同時に計測をしておく必要がある。

どちらもサンプリングレートを高くして、10分間程度の観測を行い、波形収録結果をWAVファイルとして保存する。希望する住民がいたら、計測した家の住民にもデータのコピーを残しておく必要がある。風車建設後のデータとの比較対象が、被害の程度を証明する手段となるからです。

“屋内の生活環境を保全” するには、屋内での計測結果が必要なのです。

石狩湾での計測結果や、石竹氏の調査結果を見れば、

※ 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で行う

“風車音が人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域” で行うのはよいが、その範囲が問題であることが分る。かなり広く考える必要がある。

むかし、南房総市に来た業者は、風車から 1 km 以内となる地域でのみ住民説明会を行った。これは、1 km 離れれば、問題が無いかのような誤解を与える。

1. 7. 1 “国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。”

とあるのは、

山形県の職員の発言なのですが、私は環境省の HP や学者の論文を調べたが、この記述は見つけられなかった。

もしこの記述が正しいならば、日本の国家公務員と日本政府には理性を持った人が誰もいないことになる。この記述は、日本の国家や国民に対する侮辱でしかない。

環境大臣の意見の所で計算した累積的影響は、高等学校で数学を勉強した人なら簡単に理解できます。断言できることは、環境大臣は、“風車から 1 km 離れれば問題なし”とは言っていないという事です。

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）（p29）を作った学者の方々は、法律を次のように解釈した。

“（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。”

この意味は、音は“事業実施想定区域及びその周囲 1 km の範囲”よりも遠くまで届き影響を与えるが、その範囲以外では環境影響を受けるとは認められない。

と理解できる。

被害があっても、その原因が発電所による環境影響だととの認定をしない。との主張である。こちらは、その意味は理解可能であるが、この解釈が、（平成 10 年 6 月 12 日 通商産業省令第 54 号）の解釈として妥当か否かに関しては疑問がある。後で法律の文章を確認するが、曲解と評価するのが妥当である。

さて、学者の方々は、

（平成 10 年 6 月 12 日 通商産業省令第 54 号）は、1 km 以上離れた場所での騒音被害は認めない。と主張していると解釈したのだが、これは学者が通産省令を理解する能力が無かったと言うだけの事である。

本当に通産省は、

“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”、のでしょうか？

そんなことはありません。

最初に、

平成十年通商産業省令第五十四号

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を確認します。

第四条 計画段階配慮事項についての検討に当たっては、当該検討を行うに必要と認める範囲内で、当該検討に影響を及ぼす第一種事業の内容（以下「配慮書事業特性」という。）並びに第一種事業実施想定区域及びその周囲の自然的・社会的状況（以下「配慮書地域特性」という。）に関し、次に掲げる情報を把握するものと

する。

一 配慮書事業特性に関する情報

イ 第一条各号に掲げる事項

ロ 第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の原動力の種類

ハ 第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の出力

ニ 第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の設備の配置計画の概要

ホ 第一種事業に係る工事の実施（この条から第九条までにおいて「第一種事業の工事の実施」という。）に
係る期間及び工程計画の概要

ヘ その他第一種事業に関する事項

二 配慮書地域特性に関する情報

イ 自然的状況

（1） 気象、大気質、騒音、振動その他の大気に係る環境（以下「大気環境」という。）の状況（環境基本法（平成五年法律第九十一号）第十六条第一項の規定による環境上の条件についての基準（以下「環境基準」という。）の確保の状況を含む。）

（2） 水象、水質、水底質その他の水に係る環境（以下「水環境」という。）の状況（環境基準の確保の状況を含む。）

（3） 土壌及び地盤の状況（環境基準の確保の状況を含む。）

（4） 地形及び地質の状況

（5） 動植物の生息又は生育、植生及び生態系の状況

（6） 景観及び人と自然との触れ合いの活動の状況

（7） 一般環境中の放射性物質の状況

ロ 社会的状況

（1） 人口及び産業の状況

（2） 土地利用の状況

（3） 河川、湖沼及び海域の利用並びに地下水の利用の状況

（4） 交通の状況

（5） 学校、病院その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設の配置の状況及び住宅の配置の概況

（6） 下水道の整備の状況

（7） 環境の保全を目的として法令等により指定された地域その他の対象及び当該対象に係る規制の内容
その他の環境の保全に関する施策の内容

（8） その他第一種事業に関する事項

2 前項第二号に掲げる情報は、入手可能な最新の文献その他の資料により把握するとともに、当該情報に
係る過去の状況の推移及び将来の状況を把握するものとし、必要に応じ、次の各号のいずれかに該当する地
域の管轄に係る地方公共団体（第七条から第十四条までにおいて「関係地方公共団体」という。）、専門家そ
の他の当該情報に関する知見を有する者から聴取し、又は現地の状況を確認することにより把握するよう努
めるものとする。この場合において、当該資料については、その出典を明らかにできるよう整理するものと
する。

一 第一種事業実施想定区域及びその周囲一キロメートルの範囲内の地域

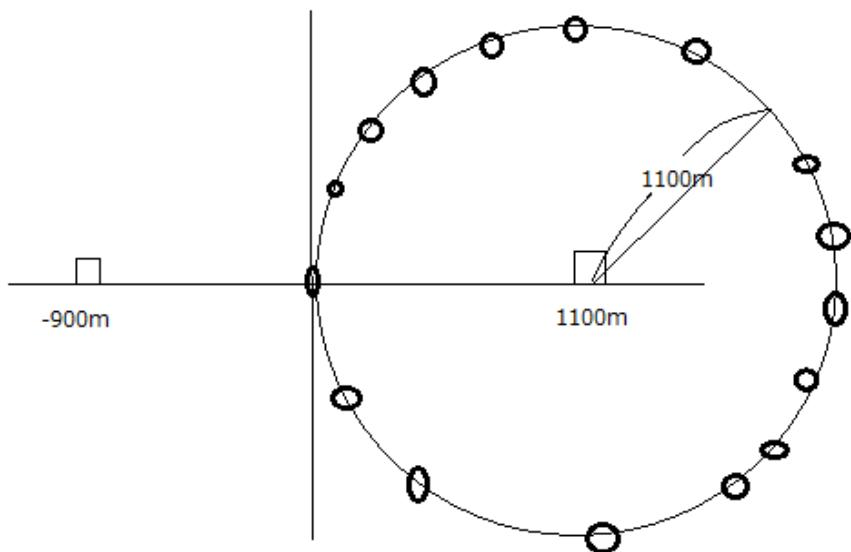
二 既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響
を受けるおそれがあると判断される地域

この、

二 既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

は、一キロ以上離れた場所でも、環境影響を受けるおそれがあると判断される地域は、しっかり調べなさい。との意味です。

(1100, 0)を中心とする半径1100mの円周上に風車が並ぶとします。左の建物は風車群からの距離は900mです。右の建物と風車群の距離は1100mです。



当然、右側の建物の被害についても考慮されます。

“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1kmの範囲内としている”

のではありません。地形や季節風の影響で被害が出ることもあるので、1km以上の場所でも、適切な予測が必要となることがあります。

だから、

二 既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

というおまけが付いているのです。

いくら、日本語の理解力が無いからと言って、省令を勝手に捻じ曲げてはいけません。

もちろん、存在しない規則を主張してもいけないのです。

さて、

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）（p29）

にある次の記述

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1kmの範囲内としている。

について確認したのですが、この文書をまとめる時の会議の記録があります。

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

日時: 平成28年11月11日 10:00~11:55

場所: 三田共用会議所大会議室

出席者

(座長) 町田信夫

(委員) 沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆

(環境省) 高橋水・大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活環境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査

“測定範囲1kmに関しての議論”は次のものです。

【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す。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つたら、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。だから簡単に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、そういう観点のど

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いくということだと思っております。

塩田委員の当然の疑問に対して、橘委員は、範囲を拡大したくないという気持ちで発言したと推測されます。そんな橘委員も、風車音が数キロ先まで届くことはしっかりと認識しているのです。

こんなことがあって、

(座長) 町田信夫

(委員) 沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆

(環境省) 高橋水・大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活環境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査

たちの作った報告書、

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）

の 29 ページの記述となりました。

学者の方々の見解は、経産省の趣旨とは異なる内容だと考えます。

この誤解を更に拡大解釈してはいけないです。

もっと極端に解釈すれば、

“騒音や低周波は健康には関係ないのだから、風車から 1 m 離れれば問題ない。”

とも言える。騒音や低周波音が健康には関係ないとすれば、どんなに煩くても問題は発生しないのだから、風車からの距離を心配する必要は無いと言う結論になってしまいます。

1. 7. 2 環境大臣の意見(累積的な影響)

「(仮称) 男鹿市、潟上市及び秋田市沖洋上風力発電事業に係る計画段階環境配慮書」に対する環境大臣意見

1. 総論 (2) 累積的な影響

想定区域の周辺においては、他の事業者による複数の風力発電所が稼働中であることから、本事業とこれらの風力発電所による累積的な影響が懸念される。このため、既存の風力発電設備等に対するこれまでの調査等から明らかになっている情報の収集、環境影響評価図書等の公開情報の収集、他の事業者との情報交換等に努め、累積的な影響について適切な調査、予測及び評価を行い、その結果を踏まえ、風力発電設備等の配置等を検討すること。

別紙

2. 各論

(1) 騒音に係る影響

想定区域の周辺には、複数の住居及び学校その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設（以下「住居等」という。）が存在しており、沿岸付近の住居等の近隣に風力発電設備等が設置される場合には、工事中及び稼働時における騒音による生活環境への重大な影響が懸念されることから、環境の保全に十全を期することが求められる。このため、風力発電設備等の配置等の検討に当たっては、「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」（平成 27 年 10 月環境省）、「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）その他の最新の知見等に基づき、住居等への影響について適切に調査、予測及び評価を行い、その結果を踏まえ、風力発電設備等を住居等から離隔を取ること等により、騒音による生活環境への影響を回避又は極力低減すること。

累積的な影響について

1 基の風車の音響パワーレベルを PL とし、音源の形は点音源、音は球面状に拡散するとして 1 km 離れた場所での音圧レベル L_1 、2 km 離れた場所での音圧レベル L_2 を計算すれば

$$L_1 = PL - 11 - 20 \log 1000$$

$$L_2 = PL - 11 - 20 \log 2000 = PL - 11 - 20(\log 1000 + \log 2) = L_1 - 20 \log 2 = L_1 - 6.02$$

2km の距離の風車が k 基になったとすると、音圧レベルは

$$L_k = 10 \log \left(k * 10^{\frac{L_2}{10}} \right) = 10 \log k + 10 \log \left(10^{\frac{L_2}{10}} \right) = 10 \log k + L_2 = L_1 - 6.02 + 10 \log k$$

となるので、

$$10 \log k - 6.02 = 0$$

より、

$$k = 3.99$$

となるので、 $L_4 = L_1$ になります。2000m 離れた場所に、4 基建てれば 1 基の風車から 1000m 離れた場所での騒音レベルと同じになるのです。

では、2 km 離れた場所に 40 基建てたらどうなるでしょう。

$$L_{40} = L_1 - 6.02 + 10\log 40 = L_1 + 10.00$$

となります。

1基の風車にどれくらい近づけば、 $L_1 + 10.00$ の音圧レベルになるかを計算します。

距離を（ $1000 * r$ ）mにしたときに、

$$\begin{aligned} L_r &= PL - 11 - 20 \log(1000 * r) = L_1 - 20 \log r = L_1 + 10.00 \\ -20 \log r &= 10.00 \end{aligned}$$

より、

$$\log r = -0.5$$

$$r = 0.316$$

$1000 * 0.316 = 316\text{m}$ となるので、1基の風車から 316m の場所での音圧レベルになります。

もし、風車から 316m 離れた場所での被害を認めるならば、2km 離れた 40 基の風車による被害を認める必要があります。これが累積的な影響と言う言葉の意味です。

ただし、風車は点音源よりも線音源に近い性質を持っている。風車音は指向性を持っている。風速の変化で音圧が平均値の 2 倍程度まで上がる。120秒間のうち 20 秒間程度続くことがある。

被害は上の計算からの推定よりも大きいと考えられる。

1.7.3 残留騒音の増加

- 「残留騒音」(一過性の特定できる騒音を除いた騒音)からの增加量が5dBに収まるように設定する

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、“一過性の特定できる騒音”ではなく、“一過性ではないが特定できる騒音”である風車音のうち、“周辺にある既設風車”的分は除外して考えるのですが、“周辺”的意味が問題になります。

“周辺”が20kmまでを意味するならば、残留騒音の増加は、それほど心配することではないのですが、“周辺”的意味が1km程度だと、残留騒音は増加する事になります。

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。

すでに稼働している風車の音は一過性の音ではありません。この既存の風車音は除去すべき対象なのか、それとも一過性ではないので残留騒音に含めるのか？定義通りならば、当然残留騒音に含めることになります。

極端な話、毎年1基ずつ風車を増やせば、残留騒音がどんどん増えてしまいます。これに+5 dBとして計算した値（指針値）は無限に大きくなります。

従って、毎年風車を増やしてゆくことが出来るのです。残留騒音の値が上昇し、指針値も増加するので、風車はいくらでも増やせるのです。

残留騒音は、“一過性の特定できる騒音を除いた騒音”となっているが、風車が無い場所に最初に風車を建てるという設定ならば、上の図も理解できるが、実際には、すでにいくつかの会社が風車を建設している場合も多い。既存の風車音は、“一過性ではなく、特定が困難な人工音”なのです。しかも風車音は、昼も夜も継続している音なのです。

三重県での事例ですが、C社の風車が20基稼働している状態で、さらにC社が30基、G社が9基建設する計画を立てている。

i) 予測条件

7. 風力発電機の配置及び種類、基数

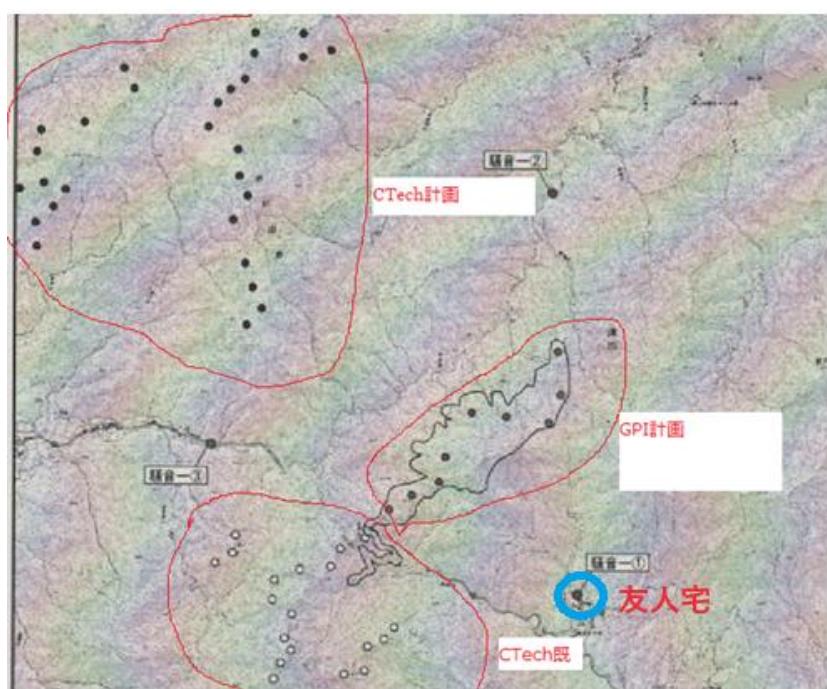
風力発電機の配置を図 10.1.3-10 に、種類及び基数を表 10.1.3-14 に示す。

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
	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。



さらに、風車を増やす場合には、残留騒音は、“一過性の特定できる騒音を除いた騒音”は、どのような数値になるのでしょうか？

すでに稼働している風車の音は一過性の音ではありません。この既存の風車音は除去すべき対象なのか、それとも一過性ではないので、残留騒音に含めるのか？定義通りならば、当然残留騒音に含めることになります。

表 5.1-17 調査結果の概要（騒音）

施設の稼働								
【冬季】		騒音レベル						
予測地点	時間区分	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	単位：dB 指針値
			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（LAeq）とした。
注 3：環境基準は、地域の類型指定が定められていないことから、参考として「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）における「A 類型」の基準値を（ ）で示した。
注 4：指針値との比較の現況値は、現地調査における測定値より算出した残留騒音（LA90+2dB）とした。
注 5：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。

② 国又は地方公共団体による基準又は目標との整合性の検討

環境基準値及びの比較において、予測値が最も大きくなる調査期間中の空気吸収が最も小さくなる場合の昼間が 39～45dB、夜間が 38～42dB であり、参考として設定した環境基準である「A 類型」の基準値（昼間：55dB、夜間：45dB）を下回っている。

また、指針値との比較において、予測値が最も大きくなる調査期間中の空気吸収が最も小さくなる場合の昼間が 34～43dB、夜間が 36～43dB であり、現況調査結果に基づき設定した指針値（昼間：40～48dB、夜間：40～48dB）を下回っている。

以上のことから、環境保全の基準等との整合が図られているものと評価する。

なお、周辺の既存施設及び計画中施設との累積影響についても、予測値が最も大きくなる調査期間中の空気吸収が最も小さくなる場合の昼間が 35～43dB、夜間が 37～43dB であり、累積影響についても現況調査結果に基づき設定した指針値（昼間：40～48dB、夜間：40～48dB）を下回っている。

上の表の左下の現況値 37 dB の所に関しては、将来予測値が、40 dB になっています。全てが完成した状態では、残留騒音は“一過性の特定できる騒音を除いた騒音”ですから、すでに稼働している 3 群の風車からの音は、一過性ではなくて、昼も夜も継続する音ですから、この部分が残留騒音に含まれます。すると、次に建設する会社は、残留騒音+5 dB=45 dB までは可能となります。

第 4 群が完成した段階では、残留騒音は 45 dB になります。

これが、4回、5回と繰り返されれば、残留騒音がどんどん大きくなります。極端な話、毎年1基ずつ風車を増やせば、残留騒音がどんどん増えてしまいます。

これに+5 dBとして計算した指針値は、無限に大きくなります。

従って、

“指針値”は

“この指針は、風力発電施設の設置又は発電施設の新設を伴う変更に際し、風力発電施設から発生する音による生活環境への影響を未然に防止するために定めたものです。”

ではなく。

“企業が何の制限もなく風車を増やせるように設定した値です。”

と理解すべきです。

また、企業が行う風車騒音予測にも別の問題があります。

6) 予測の基本的な手法について

(a) 予測手法

予測計算については、風力発電機を点音源としてモデル化し、風力発電機メーカー等から示されるパワーレベル※1 値を用いて、伝搬過程における幾何学的拡散による距離減衰、空気の吸収等による超過減衰等を考慮した予測計算式 ※2 によって、それぞれの音源による到達騒音レベルを算出する。なお、予測に用いるパワーレベルは、風車型式認証時に採用されている標準化風速 8m/s（地上高さ 10m）時の提示値を用いることを原則とし、併せて現地調査時に確認された風速データを参考に、提示値を採用することへの妥当性の検討を行うものとする。また、増設の場合は既設発電所を含む音源、また、対象事業実施区域内に他の音源がある場合はそれも含めて予測を行う。

なお、既存事例の引用を行う場合は、事業特性や地域特性に配慮することが必要である。

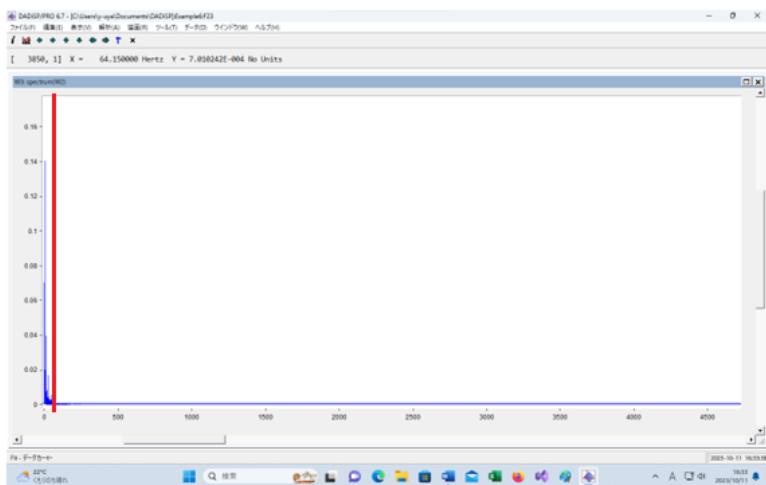
※1 パワーレベル：風力発電機のパワーレベルの提示方法は、国際規格である IEC 61400-11 により規定されている。タワーの高さとロータ径により定められる所定の距離で現地測定されたデータから、強制的に運転を停止させて得られる暗騒音の影響を差し引いて求められる。なお、パワーレベルの提示値は、より影響が大きいと考えられる、風下側における測定値が採用されている

表2. カナダのオンタリオ州のガイドラインにおける、基準との整合性に関する評価方法

項目	具体的な手法
予測対象地点	・ 事業実施区域から 2km 以内のすべての住宅、建物等
予測方法	・ 空気減衰、地表面減衰を考慮した音の伝播理論に基づく予測を行うこと。
予測条件	・ 地上高さ 10m における風速 6~10m/s の条件下で、風力発電所からの騒音 (63Hz~8,000Hz) レベルを予測すること。 ・ 事業実施区域から 5km 以内にある、既に認可されている風力発電所又は計画中の風力発電所からの騒音とあわせた予測を行うこと。

国際的な規約で、63Hz~8000Hz を対象としたのでしょうかが、下の図の赤い線は63Hz を表します。これから風車音の周波数成分は63Hz よりも小さい部分に集中していることが分ります。も

し、可聴域の音の影響を調べる気があるならば、騒音レベルの計算を20Hz以上で行った結果も追加すべきです。



1. 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) ウィ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) (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

さて、予測値は平均的な値を求めるますが、最大値は昼も夜も43 dBと予測されています

また、指針値との比較において、予測値が最も大きくなる調査期間中の空気吸収が最も小さくなる場合の昼間が34~43dB、夜間が36~43dBであり、現況調査結果に基づき設定した指針値（昼間：40~48dB、夜間：40~48dB）を下回っている。

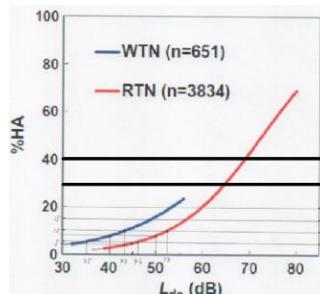
以上のことから、環境保全の基準等との整合が図られているものと評価する。

なお、周辺の既存施設及び計画中施設との累積影響についても、予測値が最も大きくなる調査期間中の空気吸収が最も小さくなる場合の昼間が35~43dB、夜間が37~43dBであり、累積影響についても現況調査結果に基づき設定した指針値（昼間：40~48dB、夜間：40~48dB）を下回っている。

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

確かに、基準値はA類型では昼間55dB、夜間45dBになっている。基準値は昼間の方がかなり高い。これは交通騒音の様に、昼間の人間の活動による音を想定しているからです。このような音は、周波数が高く、20Hz以上の成分がエネルギーの99%を占めています。

風車音と交通騒音では、同じ43dBでも被害状況には違いがあります。



%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	10dB
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

上のグラフから推定すれば、風車音で43dBの時は、10%の人が、“非常に不快である”と感じますが、交通騒音での43dBでは4%の人が非常に不快であると感じます。

また、風車音での43dBは交通騒音での53dBに相当します。これは、AA類型での昼間の基準値50デシベルを超えていました。A類型での昼間の基準値55dBに極めて近い値です。

さらに、この予測では、風車を点音源として扱って計算した値です。しかも計算対象は63Hz以上の部分に限定しています。実際の風車音は指向性があり、向きによって音の強さが違います。さらに、強い風が吹けば、超低周波音の領域では、音圧が平均値の2倍程度になります。

現状では、指向性や風速による音圧変化を組み込んだ予測式が見当たらないので、建設後の計測結果が予測値とどの程度差があるのかを調査して、予測方法を向上させることが必要です。

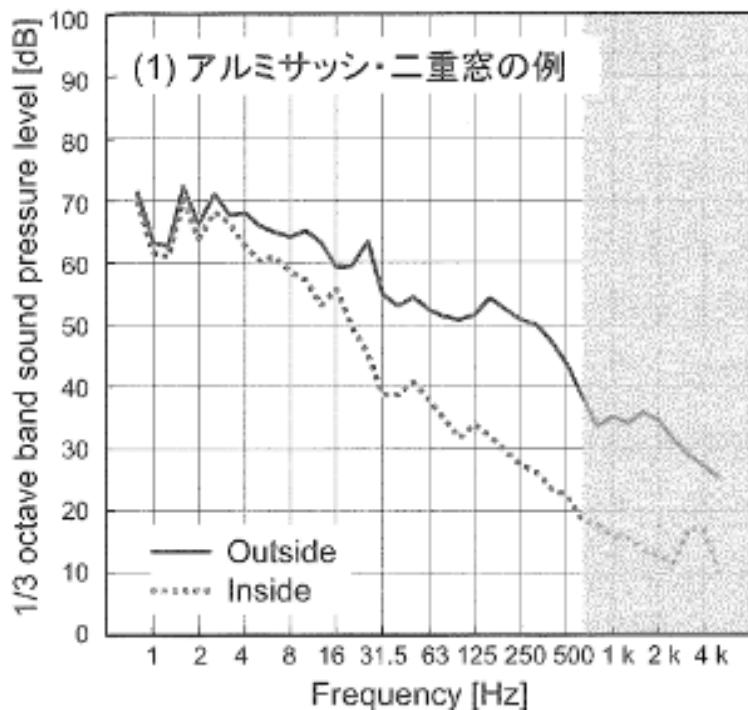
風車騒音での被害は、不眠が目立ちます。これは、被害が室内で起きていることを示します。

防音窓の効果についても、風車音の周波数成分に注目しながら検討しなくてはなりません。もちろん、実際に計測して、計測値と被害の相関性を計算する必要があります。

人間の感覚が聴覚だけならば、交通騒音と風車音の影響の違いは説明できません。

不快感の中には、“うるさい”の他に、低周波音特有の“圧迫感”や“頭痛”なども含まれます。

周波数成分が高い、交通騒音での43dBならば、防音用の窓ガラスを設置すれば効果があります。



250Hzの音ならば、減衰が25dB程度なので、室内では、 $43-25=18$ dB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

全く問題が無い状態になりますが、風車音ではそうは行かないのです。

図1. 交通騒音（リオン社前）0～5000Hz

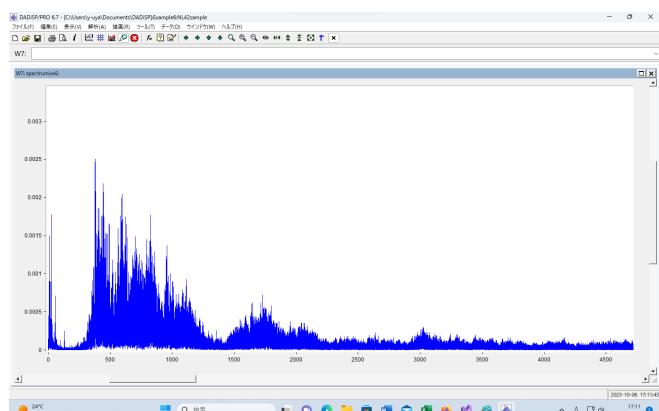
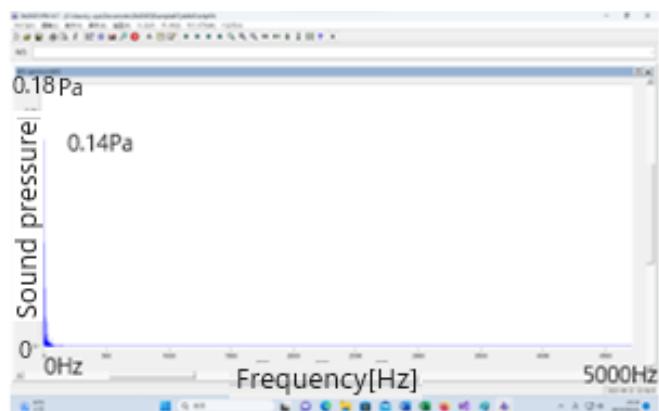


図3. 風車音（館山風の丘）0～5000Hz



低周波領域、超低周波音の領域に関しては、防音窓は効果が無いのです。圧迫感の原因である、0.8Hzでの最大音圧は、防音窓を素通りして、室内の人に影響を及ぼします。また、建具や家の共振を引き起こせ

ば、ガタツキや床の揺れを感じます。

これらは、一度発生した超低周波音は防げないです。

環境省の HP ([よくわかる低周波音](#)) では、

5 低周波音を防止するには

低周波音は発生源対策が効果的

低周波音は、通常の騒音の場合に比べて扉や壁による防音効果はあまり期待できません。

低周波音の対策には、発生源の対策が最も効果的です¹⁵⁾。ただし、低周波音の対策は大掛かりなものになります。

と書かれています。

- ※ 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

影響を与えるおそれがある地域を決めるのは、業者です。説明会を開くのは、風車からの最短距離が1km以内に限定していることが多く、それ以外の地域の人には、1km離れれば影響がないと説明しています。

これでは狭すぎます。風車から3km～5km程度の範囲までは、説明会の対象とすべきです。

さらに、室内での計測も、住民と相談しながら、より広く行うべきです。被害は室内で起きる場合がほとんどなのです。説明会の他に、精密騒音計と振動レベル計での計測も広い範囲で行うべきです。

風車音には、指向性があり、風車の向きによって影響が違うので、そのことも住民に説明して、建設前と建設後に、複数回の計測を行う必要があります。

騒音・低周波音・超低周波音による不眠は経済的損失を伴います。特に海に潜ってアワビを採る人にとっては命に関わる事柄です。

説明内容、説明範囲についても、他の地域での具体例を踏まえて説明することが必要です。もちろん、住民自身による再調査が可能となるように、資料を付けて説明すべきです。

超低周波音の予測値は、1Hz以上になっています。少なくとも、ISO7196に従って、0.25Hzからに変更することが必要です。

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) ウィ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。

企業は超低周波音の予測に上の表を使います。超低周波音の予測は、環境アセスから見れば、企業の住民に対するサービスであり、義務ではありません。親切な企業が、予測をしようとしても、1Hz以下のものは、初めから表には無いのです。

周波数帯ごとのエネルギー分布は、

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%

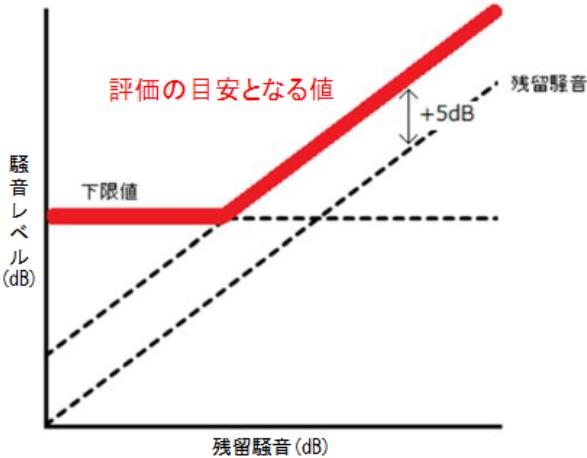
Table 2 Energy distribution (0~20Hz)

上の表のようになっていて、超低周波音を1Hz~20Hzとして計算すると、エネルギーの61.3%を無視して計算することになります。1Hz以上に限定したのでは、その数値は役に立たないのです。

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。



この値が“指針値”です。（5. 1 別紙（指針値）参照）

- 「残留騒音」(一過性の特定できる騒音を除いた騒音)からの增加量が5dBに収まるように設定する

残留騒音は、“一過性の特定できる騒音を除いた騒音”となっているがすでに稼働している風車の音は一過性の音ではありません。この既存の風車音は除去すべき対象なのか、それとも一過性ではないので残留騒音に含めるのか？

定義通りだとしても、“周辺”的意味が、1 kmならば、残留騒音に含めることになります。極端な話、毎年1基ずつ風車を増やせば、残留騒音がどんどん増えてしまいます。これに+5 dBとして計算した値（指針値）も大きくなります。

従って、毎年風車を増やしてゆくことが出来るのです。残留騒音の値が上昇し、指針値も増加するので、風車はいくらでも増やせるのです。

三重県に住んでいる友人は、

2023/2/23 付けのメール

宇山様

お世話になります

音について できる限り情報整理が出来てからお送りします

今 音で気になっているのは

現在稼働中の 株シーテック社のウインドファーム笠取です 年中聞こえますが（離隔が 2 kmです）

特に10月から4月ごろまでが大きいです 音は耳で聴きとるのは異なる状況で難しいです

集落でよく聞こえる日の状況は 曇天 集落では風が弱い（その時は山では吹いているのでしょうか）

2023/1/22 付けのメール

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「ウインドファーム笠取」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 「ウインドパーク布引北」 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イ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。

友人は、平木地区に住んでいます。とても静かな場所でしたが、その周りは、風車だらけになっています。
生活するだけでも大変そうです。

対象事業実施区域及びその周囲の風力発電事業



近隣に既設及び計画中の風力発電所
がありますが、計画している場所は
重複しておりません。



三重県での残留騒音は、

【騒音（施設稼働）】予測及び評価結果



施設の稼働による騒音の影響

▶ いずれの地点においても指針値を下回っております。

【春季】

(単位：デシベル)

【冬季】

(単位：デシベル)

予測地点		現況値	将来予測結果	環境省指針値	予測地点		現況値	将来予測結果	環境省指針値
騒音-① 平木地区	昼間	34	35	40	騒音-① 平木地区	昼間	33	34	40
	夜間	36	37	41		夜間	35	36	40
騒音-② 河内中地区	昼間	43	43	48	騒音-② 河内中地区	昼間	40	40	45
	夜間	43	43	48		夜間	40	40	45
騒音-③ 上阿波地区	昼間	40	41	45	騒音-③ 上阿波地区	昼間	38	39	43
	夜間	39	40	44		夜間	37	38	42

※空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。

※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22～6時）のとおりです。

でした。

現況値が春季34 dB、冬季33 dBでした。（冬季の33 dBの場合について考えます。）

下限値は35 dBまたは40 dBですが、この地域に対しては、40 dBが下限値となります。

残留騒音は33 dBですから、 $33+5=38$ dBが（残留騒音+5 dB）の値が、この地域の下限値である40 dBより低いので、規定により、少し増やして、40 dBがこの地区の指針値となります。

1. 7. 4 指針値の下限を 40dB に設定している。

残留騒音が30 dB未満で特に静謐を要する地域、地域において保存すべき音環境があるときは35 dB

残留騒音が30 dB未満、あるいは30 dBの、普通の地域は、40 dB

残留騒音が35 dBの時、指針値は $35+5=40$ となるのだが、風車音がどの程度の強さで到達したら、総合的な騒音レベルが40 dBになるかを計算すると、38.3 dBであることが分る。

残留騒音が40 dBの時、指針値は $40+5=45$ となるのだが、風車音がどの程度の強さで到達したら、総合的な騒音レベルが45 dBになるかを計算すると、43.3 dBであることが分る。

次の表の“風車音”の数値が、到達した風車音の騒音レベルです。

指針値									
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	
43	7.981E-06	0.002825	46.3	48	2.5238E-05	0.005024	0.00001726	0.002199	
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	
65	0.0012649	0.035566	68.3	70	0.004	0.063246	0.00273509	0.027680	
70	0.004	0.063246	73.3	75	0.01264911	0.112468	0.00864911	0.049223	

指針値が40 dBの場合は風車音による騒音レベルは38.3 dB、外の場合は“40 dB”を越えます。

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35~40 dB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。

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**

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起きることが分ります。

被害を受ける人の割合は、

- 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。

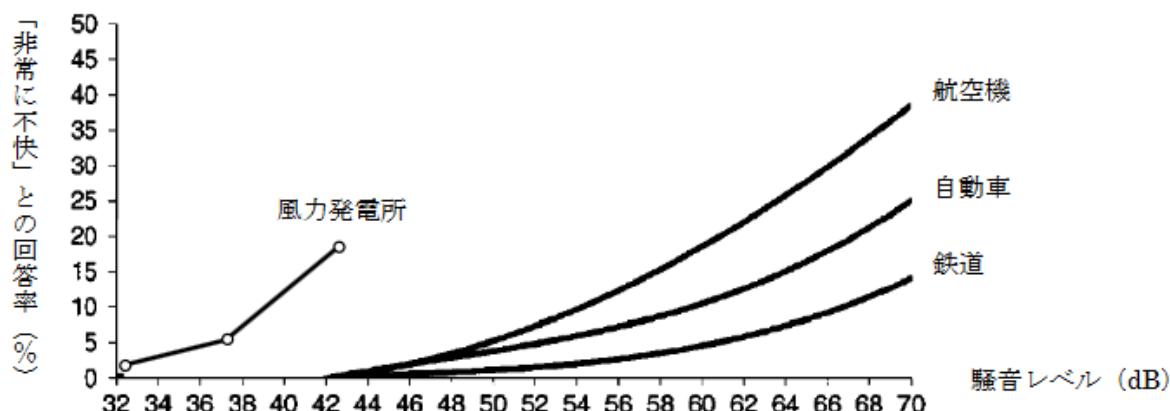


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係

(脚注3及び5の文献より環境省作成)

7～25%程度だと推定できます。

最近は、環境騒音基準値を使うケースも多い。さらに、建設後の計測値はとても大きな数値になっている。原因是、“風雑音”とされている。

以上の観点からすれば、指針値も基準値も住民に限りない苦痛を押し付けるための数値としか見えない。我慢を無限に要求ではなく、風車音の問題を根本から解消する手がかりは垂直軸の風車しかない。

環境省は、さらに次の様に述べています。

“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、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”

5の意味は、

“この数値を超えて罰則はありません。”

“受忍限度ではないのでこれより音が大きくとも我慢しなさい。”

“風車音は超低周波音の塊だから、特別の数値になっている、だから、指針値を他の環境騒音の評価には使えない。(でも、他の環境騒音の値を風車音の評価に使っても構わない。この時は大きな数値が目安になるので風車音が大きくなっても、問題なしと判断されるが、とうぜん実際の被害は大きくなる。)”
です。

6の意味は、“大量の録音結果は廃棄したので、再評価はできない。”です。

7の意味は、“被害は個人差だから責任は取らない。”です。

最近は、経済効率を求めて風車は大型化し、多数の風車をまとめて設置する傾向にあります。大きなブレードの回転数を上げると、ブレードの先端のスピードが大きくなりすぎます。空気の粘性や、音速との関係での問題が生じます。大きなブレードでは、回転数を落として、ブレードの先端スピードを落とします。この結果、最大音圧は上昇して、その周波数は小さくなります。発電機の性能は向上して、可聴域の音は減ってきます。

これが、+5 dB の評価に影響します。大型化によって、風車音のエネルギーは 0.5Hz の辺りに集中してきます。可聴域の部分は機械の改良でそれほど増えません。A 特性音圧レベルでの+5 dB の考えでは、より多くのエネルギーを見逃すことになるので、風車が大きくなる状況にそぐわないのです。

A 特性音圧レベルの値が同じでも、大型化した風車での被害は増加する事になります。

※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。

%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

風車音での40 dBまでは我慢しろと言っています。この数値は、交通騒音の50 dBの場合と同程度の被害を及ぼすと考えられます。8 %程度の人が“非常に不快である”を感じるレベルです。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
A A	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 A A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。

これを見れば、田舎でも夜間の風車音被害だけは、商業地域並みにしてあげます。と言っていることが分ります。住民にとっては、迷惑この上ないことです。

少なくとも、夜間は風車を止めるべきです。

風車騒音の調査・予測・評価

- 風車騒音は、騒音レベル(A特性音圧レベル)で測定する
- 測定の際には、一時的に近隣を通過する自動車の音等の一過性の交通騒音や、定常的には発生しない人工音・自然音等の影響は、適切に除外音処理を行う
※90%時間率騒音レベル(L_{A90})に2dB加算することで代替することも可
- 風力発電施設周辺の住宅等、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を対象とする
※発電所アセス省令では事業実施区域から1kmを環境影響を受ける範囲としている
- 測定は、年間の状況を正確に把握するため、風力発電施設が稼働する代表的な気象条件毎(原則四季毎、ただし気象条件の変動が小さい場合は、調査回数を減らすことができる)に、稼働する風が安定して吹いている状況で行う
- 残留騒音は、昼間(6:00～22:00)と夜間(22:00～6:00)の時間帯について、それぞれ把握する
※ 今後、具体的な測定・評価手法を定めたマニュアルを策定予定

出だしから問題が生じます。風車音の特徴は次のグラフです。

図3. 風車音（館山風の丘）0～5000Hz

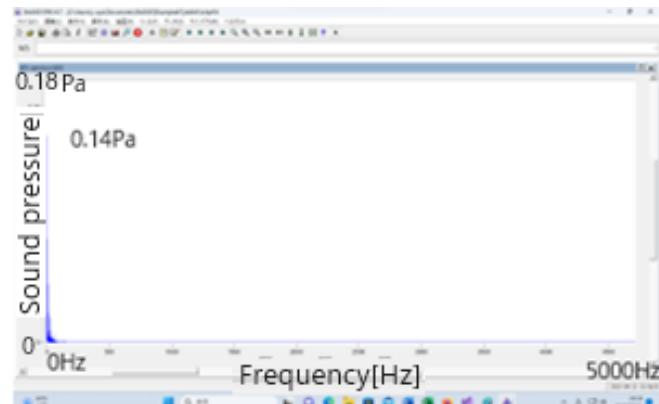


表2. エネルギーの分布

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%

A特性音圧レベルの計算では、超低周波領域に集中している重要な部分が計算から除外されてしまうのです。

- 風車騒音は、騒音レベル(A特性音圧レベル)で測定する

風車騒音(20Hz以上)ならば、A特性音圧レベル(20Hz～)で測定できます。でも、測定できたのは風車音(0Hz以上)のエネルギーの7%の影響だけです。

A特性での重み付けのグラフは、次のものです。

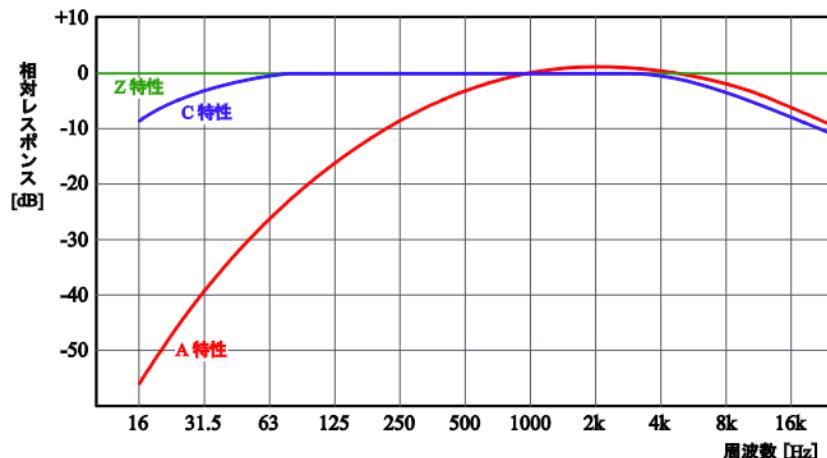


図 2 周波数重み付け特性 A/C/Z

これを見れば、超低周波音の部分がその影響を低く見積もられていることが分ります。0.8Hz は、計算対象にもなっていません。これは A 特性音圧レベルが、聴覚での音の把握状況を基にして考えられているから、当然と言えばその通りです。しかし、風車音の影響は聴覚を通しての影響だけではないのです。

さらに、風車騒音の影響を予測するときは、63Hz～8000Hz の音を対象にして行います。可聴域に含まれる 20Hz～60Hz の成分が無視されています。

測定値と予測値の計算方法が異なるのは、混乱の元です。この違いは、室内での音圧レベルでは大きな違いとなって現れます。63Hz からの計算では、室内での騒音（20Hz 以上）被害を予測できません。

風車音の被害に関する研究では、次の要素にも注意を払っていたことを忘れてはいけません。

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

これらは、可聴域（20Hz 以上の周波数）による聴覚の刺激とは異質のものです。圧迫感と直接関連する最大音圧に関する計測を忘れてはいけないのです。

共鳴や共振には、超低周波音が深くかかわります。理由は、日本家屋の固有振動数が、超低周波音の領域に属するからです。

残念ながら、建具や床が振動すれば、目が覚めます。風車騒音（0Hz 以上）による共鳴や共振の

結果人間を刺激したのは、建具や床です。風車騒音が直接の原因ではないのです。床があるからいけないので、建具があるからいけないので。家の中で寝ようとするのが一番の原因なのです。聞こえない超低周波音が根本的な原因となって、人間の睡眠を妨げるので。これを確認するのは簡単です。部屋の中に、精密騒音計と振動レベル計を置いて計測すれば良いのです。もちろん風車音の周波数スペクトルを調べる事も必要です。

もっと大切なのは、風車が建つ前に同様の計測をしておくことです。150万円を町内会で用意して機材を買えば良いのです。

事業者が自分に不利なデータを隠すことは当然です。もちろん不利になる数値が出てくるような計測機材は使わないでしょう。

影響を適切に評価するためには、県や市による精密騒音計での計測と計測結果の公開を義務付けるべきです。0.25Hzからの計測が可能か機材（SA-A1など）を使うことを義務付けるべきです。

現状では、国も、県も市も精密騒音計での計測はしてくれません。住民は、自分の生活を守るために機材が必要です。計測機材（150万円）、コンピュータと解析ソフト（150万円）です。

これは、“超低周波音は影響が大きいので、計算から除外します。体調不良の原因是この計算で隠蔽するので、いつまで経っても原因不明のままです。”との宣言を許さないためには必要な費用です。

また、

- 測定の際には、一時的に近隣を通過する自動車の音等の一過性の交通騒音や、定常的には発生しない人工音・自然音等の影響は、適切に除外音処理を行う

※90%時間率騒音レベル(L_{A90})に2dB加算することで代替することも可

とあるが、“定常的に発生する人工音”は除外対象にはなっていません。すでに稼働している風車の音は、“定常的に発生する人工音”です。

ある業者の準備書では、騒音の現況値37dBの所に関しては、将来予測値が、40dBになっていきます。全てが完成した風車群から出る音は“定常的に発生する人工音”です。もちろん“一過性”的な音でもありません。したがって除外対象にはならない、昼も夜も継続する音です。

よって、この部分が残留騒音に含まれます。すると、次に建設する会社は、残留騒音（40dB）+5dB=45dBまでは可能となります。

第4群が完成した段階では、残留騒音は45dBになります。これが、4回、5回と繰り返されれば、残留騒音がどんどん大きくなります。極端な話、毎年1基ずつ風車を増やせば、残留騒音がどんどん増えてしまいます。これに+5dBとして計算した値は、無限に大きくなります

風車は無限に増えてしまいます。

また、

- 風力発電施設周辺の住宅等、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を対象とする

※発電所アセス省令では事業実施区域から1kmを環境影響を受ける範囲としている

とあるが、これは、“1 km 以上離れたら被害を認めない。”との環境省による宣言です。さらに、法律の解釈も間違っています。勝手に法律の意味を変えてはいけません。

もっとひどくなると、山形県の様に、“到達範囲が 1 km と規定されており”との理解に至ります。

意見・質問		回答・対応の方向性
騒音	騒音の発生による地域住民への影響が懸念される。	風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は 1km 程度と規定されており、影響は小さい。

山形県の認識は、

“風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は 1 km 程度と規定されており、影響は小さい。”

であるが、どんな法律を見たら、そんな規定が書いてあるのでしょうか？

私は経済産業省に確認したが、到達範囲を規定することは出来ません。との回答をもらいました。きわめて常識的な回答です。音は、音源の強さ、大気の状態、地形の影響など、届く範囲が変わってくるから、騒音の到達範囲を規定することは出来ません。との説明もしてくれた。

そもそも音の到達範囲を規定することは可能であろうか？風車から 1 km の所に立札を建てておけば、騒音がそれを見て引き返してくれると言ふのでしょうか？そんなに賢い騒音には会ったことがありません。

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

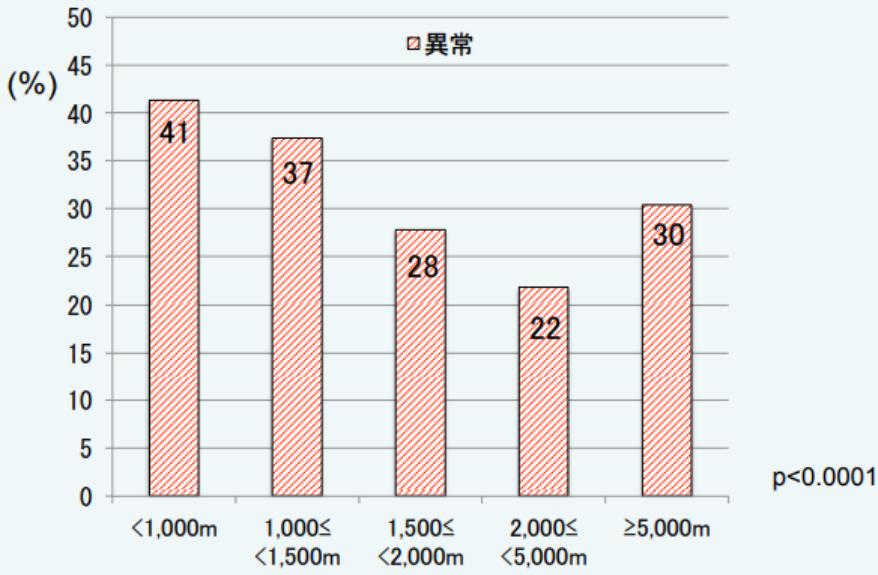
研究代表者：石竹達也（久留米大学医学部）

にあるように、被害はかなりの範囲に及びます。

業者は、1 km 以上離れた地区での説明会をしない方針です。生活に影響があるのは、1 km 以内とは限りません。もっと広い範囲で睡眠所外が起きます。

風車までの距離と睡眠障害

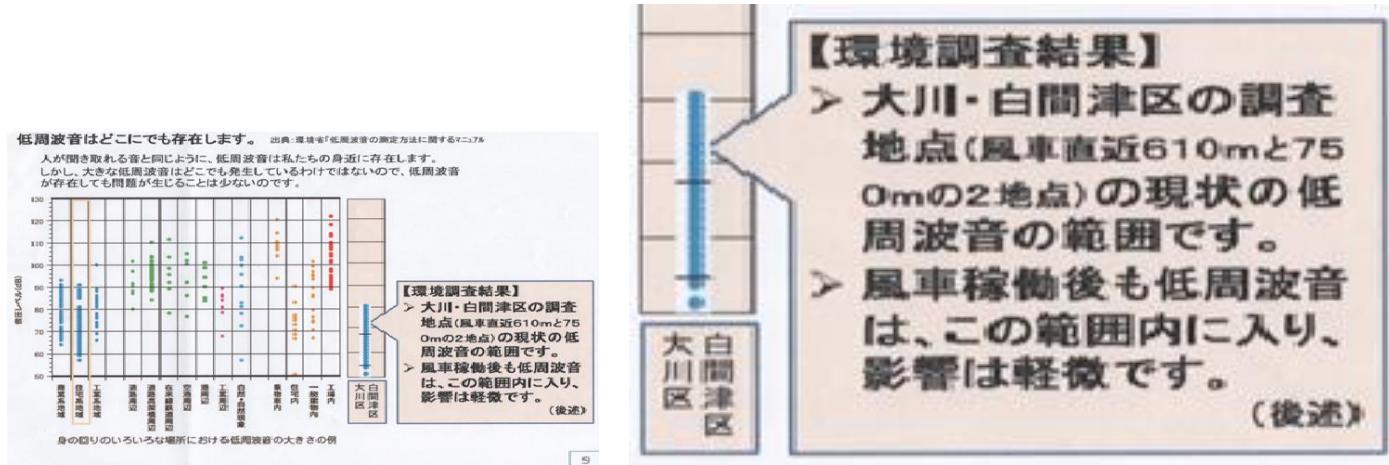
アテネ不眠尺度で異常(≥ 6)の割合



自宅から風車(最近接)までの距離(推定)

この、1kmの話はさらに悪用されます。住宅から610m、750m離せば影響は軽微だとする説明がされることもあります。

次の資料は、風車の会社が住民向けに配布した資料です。



これでは、地域社会が崩壊してしまいます。風車音に悩まされる土地から人々は去ります。たとえ故郷でも帰っては来ません。

理由は、安眠出来ない土地に暮らすことによる損害が大きすぎるからです。

このことは、食料確保、国土保全、レーダー網の無力化、などなど大きな影響となり、日本の国力を弱めることになります。

被害が大きくなるのは、どんな時であり、どんな場所なのでしょうか？

- 測定は、年間の状況を正確に把握するため、風力発電施設が稼働する代表的な気象条件毎（原則四季毎、ただし気象条件の変動が小さい場合は、調査回数を減らすことができる）に、稼働する風が安定して吹いている状況で行う

この調査だが、適切な調査とするためには、音源としての風車の性質と風の性質を理解する必要があります。風速は激しく変化します。調査の方法で、長時間の平均値を取ったのでは、1時間に1回程度の割合で風速が大きくなることによる被害を把握できません。

10分間の計測でも、0.8Hz成分の音圧は平均すると0.175Pa、弱いときは0.104Pa、強いときは0.37Paです。強いときは、平均の2倍程度の音圧になっています。この状態は20秒ほど継続します。

これによる“ガタツキ”や“圧迫感”を感じ目が覚める可能性があります。一度目が覚めると、眠りにつくのに時間がかかります。これが1時間に1回繰り返されたら、眠気が残ったまま朝になってしまいます。

また、風車音には指向性があるので、風車の向きによって、強い音を受ける方向が決まります。風速が同じでも、風向によって被害の状況が異なります。

建設前の測定や建設後の測定では、被害の予測、被害を把握する為には、慎重な計測が必要になります。さらに大切なのは、実際の被害状況の調査を、県や市や第三者が一緒に行えるような法的環境整備です。

伊豆の住民は次の様に被害を訴えています。

“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たなかったのですが、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事が多かったです。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、全機が一齊に動き始めたら一体どういうことになるのでしょうか。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、住民説明もなくにしないまま、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、残った住民たちが締口令を敷き、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。

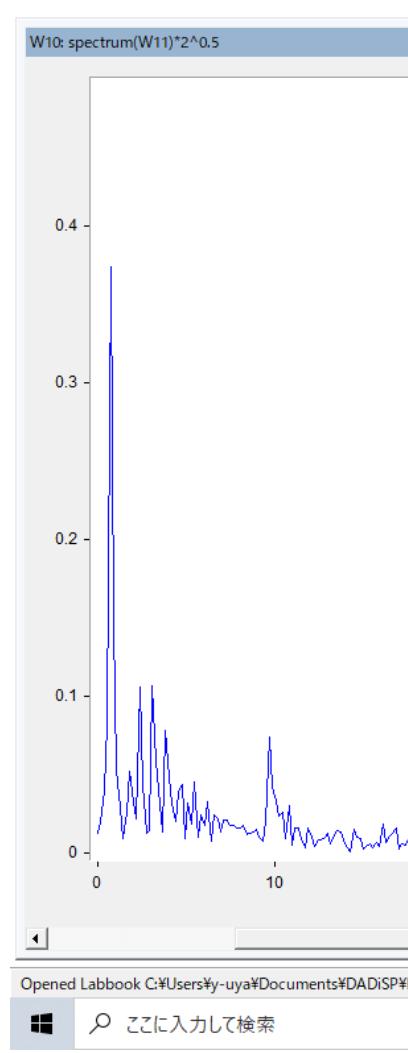
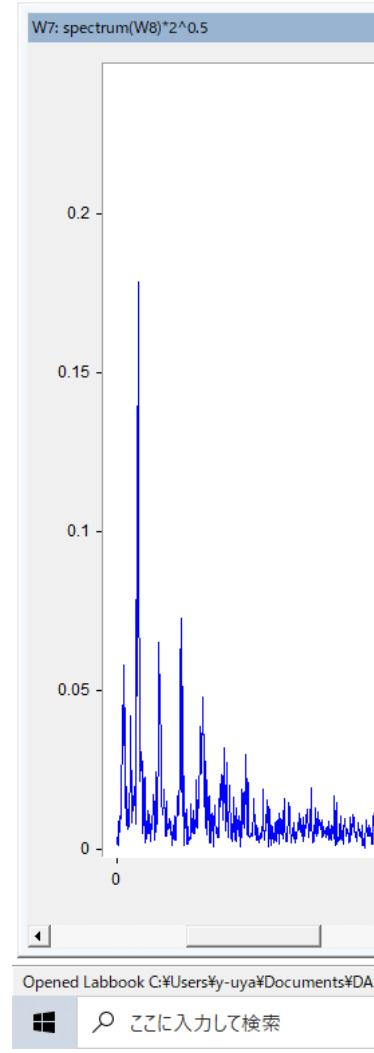
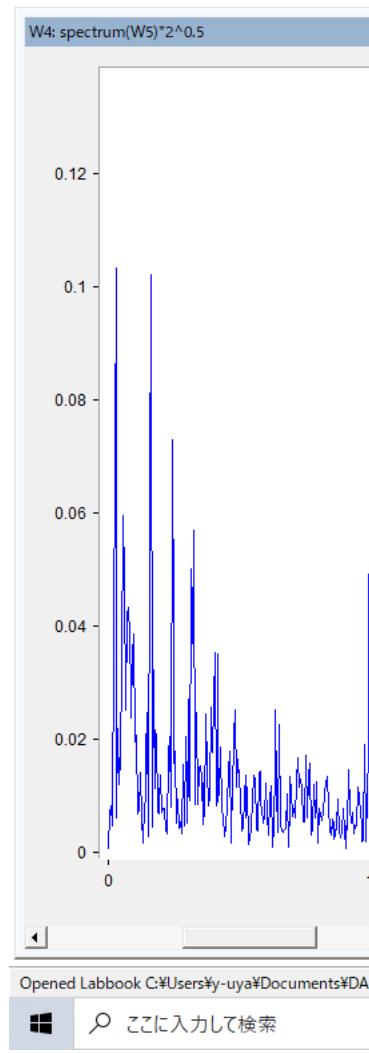
そう、まさにこの感じ、このどんよりした空気が、今、全国の風車現場で広がっているのです。わが村でもまったく同じです。



「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
風下になった時に、大きな被害が出ているのです。”

ここで“風下”に関しては、風車音の持つ指向性を含めて詳しく調査する必要があります。

風速の変化に伴う音圧の変化は、次のグラフです。



0.8Hz 成分の音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pa、強いときは 0.37Pa です。強いときは、平均の 2 倍程度の音圧になっています。“ガタツキ” や “圧迫感” を感じる可能性が高まります。

平均して、0.175 パスカルの音圧で、A 特性音圧レベル (20Hz~) が評価されていて、指針値での限界にかなり近い場合において、1 時間に 1 回くらい、平均値の 2 倍程度の音圧になる状態が起きるのです。

これは、1 時間ごとに目覚まし時計が鳴るような状態に置かれると言う事です。いくら目覚まし時計が鳴っても、起きない人もいますが、普通の人は目が覚めます。

このような被害は、63Hz~8000Hz を対象にして、単純に計算した騒音の予測値からでは分からぬのです。このような中で住民は生活しているのです。実際の被害状況を見ようとした理由が分かりません。

風車の被害や事故は、音だけではありません。金属疲労で風車が折れることもあります。音源としての風車の物理的な特性を調査しておけば、これらの事故の予測につながります。事故を防ぐつもりは無いのでしょうか？

- 残留騒音は、昼間(6:00~22:00)と夜間(22:00~6:00)の時間帯について、それぞれ把握する

現状では、三重県の様に、近い場所に、複数の業者が次々に風車を建設します。

既設の風車からの音は、残留騒音に入るのでしょうか？

入るとすれば、これを取り除く必要があります。近隣の業者が風車をすべて停止しなくてはなりません。経済的な損失が生じます。誰が補填するのでしょうか？

入らないならば、残留騒音が建設するたびに、残留騒音が増加してゆきます。残留騒音 +5 dB の数値は、どんどん増えてゆきます。

そもそも、夜間 (22:00~6:00) の時間帯は風車を止めると言うような考えは無いのでしょうか？睡眠をとれないと、健康で文化的な生活を営むことが出来ません。憲法で保障された基本的な人権です。まるで、憲法なんて関係ない！ と言っているようにしか聞こえません。

※ 今後、具体的な測定・評価手法を定めたマニュアルを策定予定，

マニュアルを定める前に、風車音の性質を調べることが必要です。計測機材としては 0.25Hz までは正確に測れるものも存在します。

風車音を詳しく調べるための理論も進歩しました。FFT の他に、Wavelet 解析、カオス理論があります。新しい計測機器と新しい解析理論を用いて、調査研究をしなくてはなりません。

音が発生する仕組みに関しても、物理学の最新の知識を活用して解明すべきです。

(参考) 風車騒音に関する諸外国の基準等

国/地方	騒音指標	地域の類型			
		田園地域	住宅地域	工業地域に近い 住宅地域	その他の地域
Denmark	$L_r(6 \text{ m/s})$ $L_r(8 \text{ m/s})$	42 dB(6 m/s) 44 dB(8 m/s)	37 dB(6 m/s) 39 dB(8 m/s)	—	—
Sweden	L_{Aeq} @ 8 m/s	35 dB		40 dB	
Belgium/ Wallonia	L_{Aeq}		45 dB		
France	L_{Aeq}	昼(07:00-22:00): 残留騒音レベル+5 dB 夜(22:00-07:00): 残留騒音レベル+3 dB (風車稼働時の騒音が35dBを超える場合)			
Germany	L_r	昼: 60 dB 夜: 45 dB	昼: 50-55 dB 夜: 35-40 dB	昼: 60 dB 夜: 45 dB	昼: 45-70 dB 夜: 35-70 dB
The Netherlands	L_{den} L_{night}		L_{den} : 47 dB L_{night} : 41 dB		
United Kingdom	$L_{A90,10min}$	昼: 残留騒音レベル+5 dB(最低35 dBまたは40 dB) 夜: 残留騒音レベル+5 dB(最低43 dB)			
New Zealand	$L_{A90,10min}$	35 dBまたは残留騒音 +5dBの高い方の値	静穏を要する地域: 40 dBまたは残留騒音+5 dBの 高い方の値		
Australia/ Victoria	$L_{A90,10min}$	35 dBまたは残留騒音 +5dBの高い方の値	静穏を要する地域: 40 dBまたは残留騒音+5 dBの 高い方の値		
Canada/ Manitoba	L_{Aeq}	40 dB(風速4 m/s)から53 dB(11 m/s)まで段階的に設定			
USA/ Maine	L_{Aeq}	静穏を要する地域: 昼: 55 dB, 夜: 45 dB 風力発電施設の敷地境界線上, 終日75 dB			

世界各国における風車騒音の基準・ガイドラインの比較（一部抜粋改変）

10

自分に都合の良いところだけを持ち出してはいけません。企業が自社の利益の為に宣伝のパンフレットを作るのとは違うのです。国民の生活や人生を左右する決定をするのです。慎重に公平に資料を集めで公開する必要があるのです。

第4章 諸外国のガイドライン、基準等に関する情報の収集・整理

https://www.env.go.jp/air/report/h25-01/04_chpt4.pdf

によれば、

4.3.1 デンマーク

(1) 概要

デンマークでは、2006年（平成18年）に風力発電施設から発生する騒音に関する規則が定められた²⁾。

(2) 基準等

この基準では、風車からの音を対象とし、限度値を「農山村部」(rural areas) と「静穏を要する地域」(noise sensitive areas) とに区分して示している。限度値は、風速に応じて規定する方法が採用されており、IEC 61400-11 の方法による 10 m 高さにおける風速 6 m/s と 8 m/s に対して定められている。農山村部では、等価騒音レベル L_{Aeq} で風速 6 m/s の場合 42 dB、風速 8 m/s の場合 44 dB、静穏を要する地域では、6 m/s の場合 37 dB、8 m/s の場合 39 dB となっている。静穏を要する地域は地域開発に関する文書で指定され、これには住居や夏場の別荘、娯楽地域等を含んでいる。

なお、受音点において純音が確認された場合、5 dB のペナルティが課される。

表 4-3 デンマークの限度値

高さ 10m における風速 (m/s)	6	8
農山村部に対する限度値 ($L_{A_{eq}}$) (dB)	42.0	44.0
静穏を要する地域に対する限度値 ($L_{A_{eq}}$) (dB)	37.0	39.0

(3) その他

その他、この基準において以下の記述がある。

- ・測定方法とともに、幾何拡散（距離減衰）とオクターブバンドの空気吸収に基づく予測方法を定める。
- ・風力発電設備の設置のための地域を指定した地域計画案の発行の日付よりも後に建設された住居等については、騒音アセスメントの対象とはしない。

また、2011年（平成23年）11月、デンマーク環境省は、産業界、自治体及び市民からの要請に応じて、風力発電に伴う低周波音（周波数範囲10～160 Hz）に対する限度が明確化される、と声明を出した。

この限度はデンマークでの他の産業に対して定められたものと類似すると考えられる。デンマーク環境省は、「低周波音がそれ以外の騒音よりも有害であるという証拠はなく、今日のデンマーク内にある風力発電施設から放射される低周波音は、ごく近傍であっても可聴閾値より低く、非常にレベルの低い超低周波音を放射するのみである。したがって、超低周波音は最新の風力発電施設について問題ではない。」としている。

最後の結論については疑問があるが、

この基準では、風車からの音を対象とし、限度値を「農山村部」(rural areas) と「静穏を要する地域」(noise sensitive areas) とに区分して示している。限度値は、風速に応じて規定となっている。限度値なので、この数値を超えてはいけない。と理解できる。

日本の指針値は、限度を示す数値ではない。指針値を超えて罰則はないのです。

さらに、

“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”

と書かれたのでは、業者は何処まで下げたら、安全な風車となるのか判断できません。

住民も、業者も困るのが“指針値”なのです。これを提案した責任は、誰がどのようにして取るのでしょうか？無責任の象徴が、“指針値”なのです。

山形県が言うように、日本の風車音は規定に従って1 kmの範囲までしか到達しないかもしれないが、外国の風車音はもっと遠くまで届くようです。

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8～13 kmと規定した。2009年には22.2 km以上に変更した。

ドイツ、オランダも22.2 km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10 km以上となっているが実際は20 km以上離して建設している。

日本では、洋上風力と言っても海岸から1.5km程度の場所に設置します。このような発電設備が並べば、人々は田舎から都会へ移動します。そして過疎化が進みます。生きて行ける場所が狭くなれば人口も減ります。食料の自給率も下がります。

この原因は、被害範囲を1kmに限定するような発言があった検討会に参加していた委員の責任です。もちろん、報告書やそれに関連する規定を許した国民の責任です。

現在の方針は国家として自殺する道を選んだことになるのです。

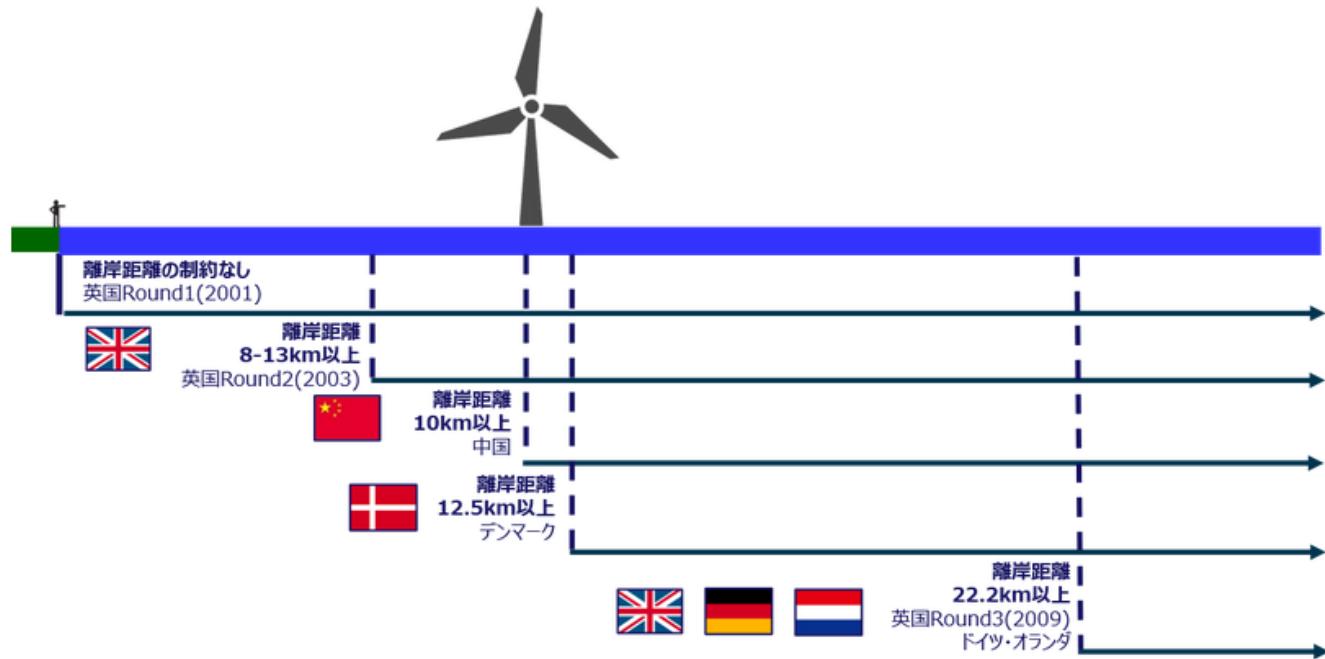


図 諸外国において洋上風力の立地を認める最低離岸距離

参考文献: [BMT Cordah Limited, Everington, BSH, 国家能源局, Danish Energy Agency, Government of the Netherlands](#)

参照値についても批判はあるが、少なくとも被害を受ける人の割合を意識していた。
10%を被害を受ける人と考えていた。

指針値では、被害を受ける人の割合に関する記述は見当たらない。環境省の昔の資料と比べると、7~25%だと推定できる。

大型風車が沢山並べば、20~30%程度の人が“非常に不快”と感じると予測される。多くの人が引っ越しを考える。そして地域社会は崩壊する。

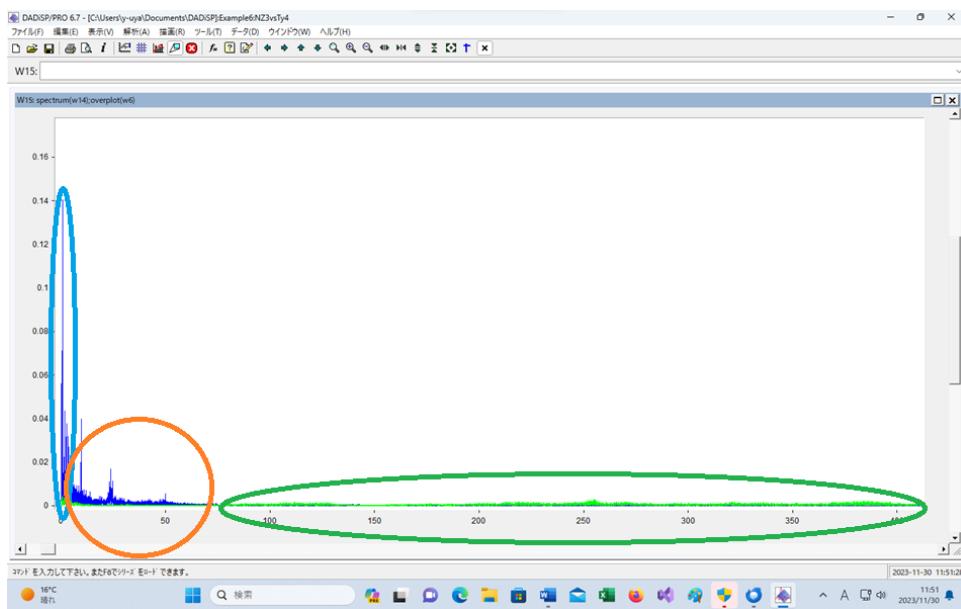
2. 風車音についての基本事項

2. 1 風車音の特徴

2. 1. 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。

0~8Hzでの特徴は、マクローリン展開の係数の大小関係に対応した形での、音圧のピーク値が表れていることです。

10Hz~100Hz辺りは、機械音で、機械の大きさや動き方の特徴に従った音が観測されています。

200Hz~20kHzでは、極めて低い音圧で、周波数が高い音が観測されています。

風車音をめぐって様々な説があるので、それらについては、後ほど、風車音の性質と比べながら、妥当性を確認します。

2. 1. 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。

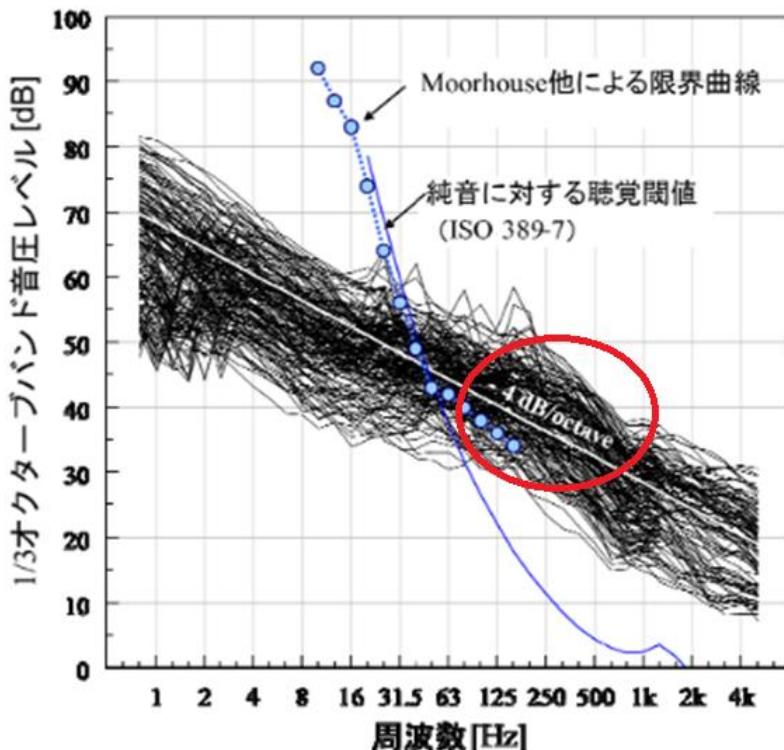


図 3 全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

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 4 dB 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
$\Sigma (\text{Pa}^*\text{Pa})$	0.010048	0.004	0.001592		0.000634				0.000252
$\text{Pa}^*\text{Pa}/\text{Hz}$	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、74 dB

1Hz以上、2Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、70 dB

2Hz以上、4Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、66 dB

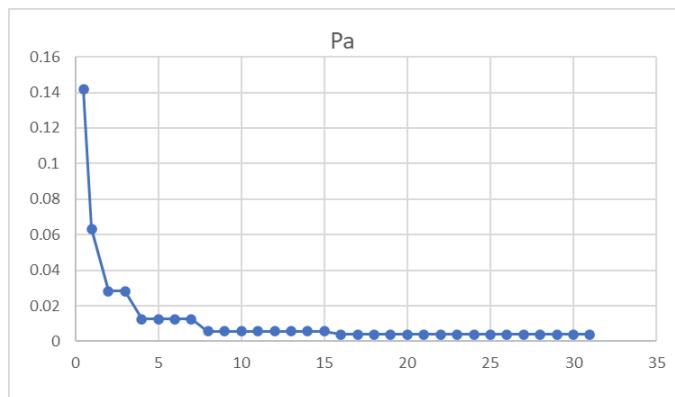
4Hz以上、8Hz未満の周波数帯のエネルギーを変換した値が、62 dB

…です。

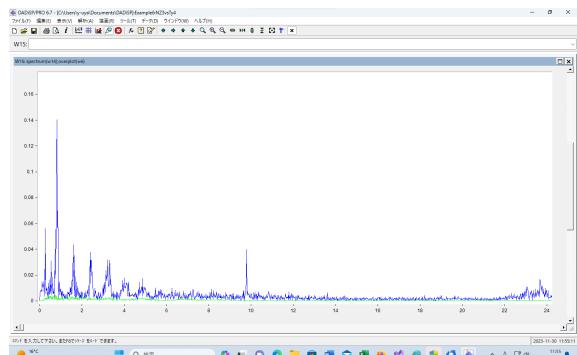
このエネルギーを、線形座標目盛りに従って均等に分配してから、対応するパスカル値に変換すると、表の一番下の数値になります。エネルギーの配分は1Hzあたりのエネルギーとして配分します。

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	$\Sigma (\text{Pa}^*\text{Pa})$	$\text{Pa}^*\text{Pa}/\text{Hz}$	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。



この事は、0.5~7Hz 辺りには、音圧が高くて、音圧の変化が館山の風車によく似ている超低周波音が含まれていることを意味しています。

164 か所の全ての風車の共通の性質です。164 か所全ての風車で、音圧の高い超低周波音が計測されているのです。f=RZ/60 Hz の周波数成分が卓越した音圧を持っているのです。これは、回転軸が水平の風車から出る音の特徴であり、風車の物理的な構造からの必然的な結果なのです。概略については、“6. 8 超低周波音の解析と発生の仕組み”をご覧ください。

また、100Hz から 4k Hz の間では、

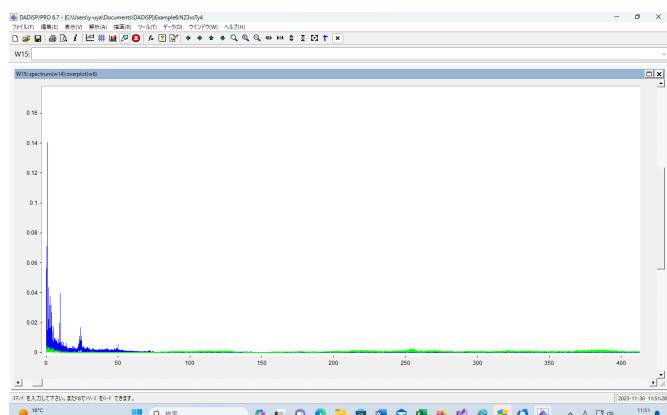
Hz	dB	$\Sigma (\text{Pa} \cdot \text{Pa})$	$\text{Pa} \cdot \text{Pa}/\text{Hz}$	Hz	Pa
128	46	1.592E-05	1.24408E-07	128	0.000353
256	42	6.34E-06	2.4764E-08	256	0.000157
512	38	2.524E-06	4.92935E-09	512	7.02E-05
1024	34	1.005E-06	9.81206E-10	1024	3.13E-05
2048	30	0.0000004	1.95313E-10	2048	1.4E-05
4096	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、1k Hz、2k Hz の辺りで調べると、次の表になります。

Hz	dB	$\Sigma (\text{Pa} \cdot \text{Pa})$	$\text{Pa} \cdot \text{Pa}/\text{Hz}$	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までの拡大図で、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトルの比較では、

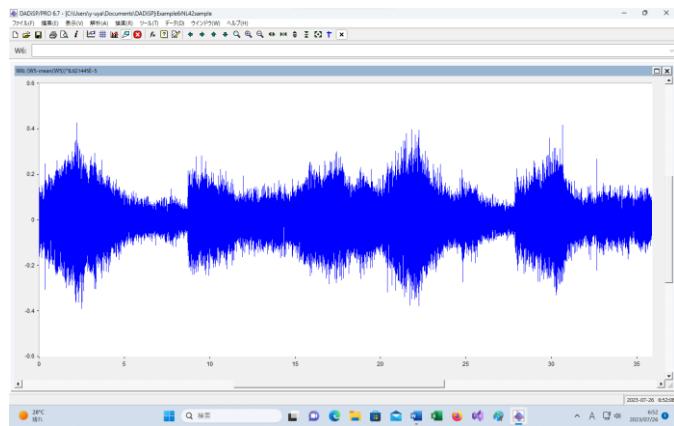


100Hz~300Hz辺りでは、神社での音の音圧のほうが高くなっています。ですから、A特性音圧レベル（騒音レベル）で比較すれば、一般の環境騒音の方が大きな数値となるのです。

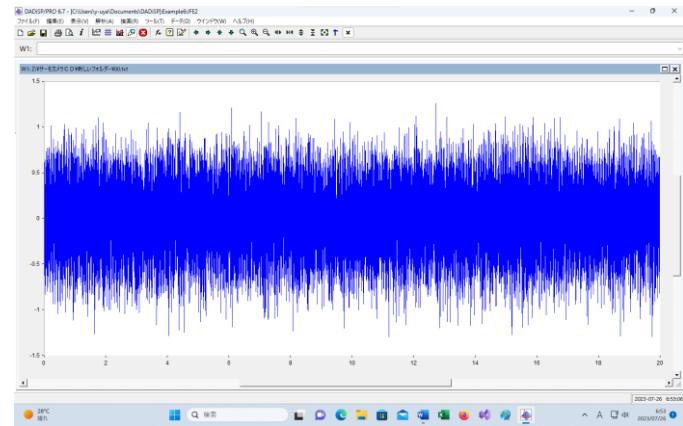
また、200Hz以上ならば、窓を閉めれば、遮音効果が効きますので、それほど問題にはなりません。

2. 1. 3 グラフの密度

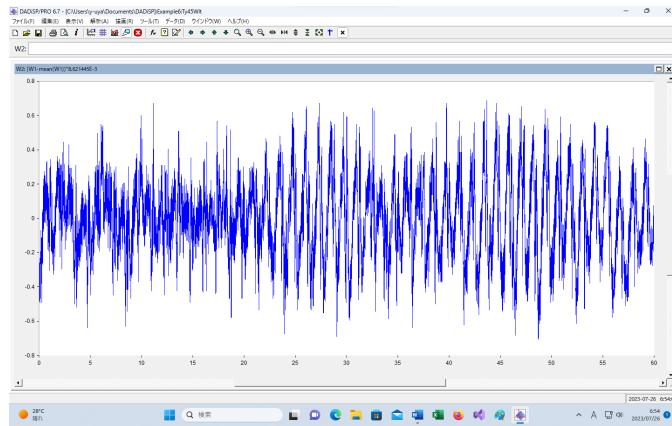
リオン社前の交通騒音



JFE の工場内の音



館山の風車音



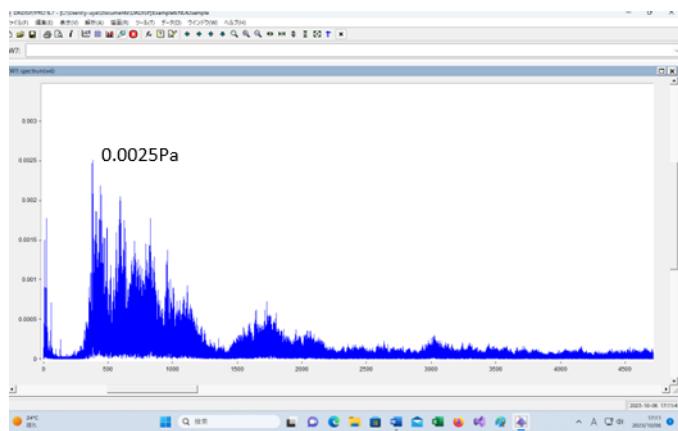
交通騒音では、グラフの密度が高く、ぎっしりと詰まっています。また、車が通ると大きな振幅になります。

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。

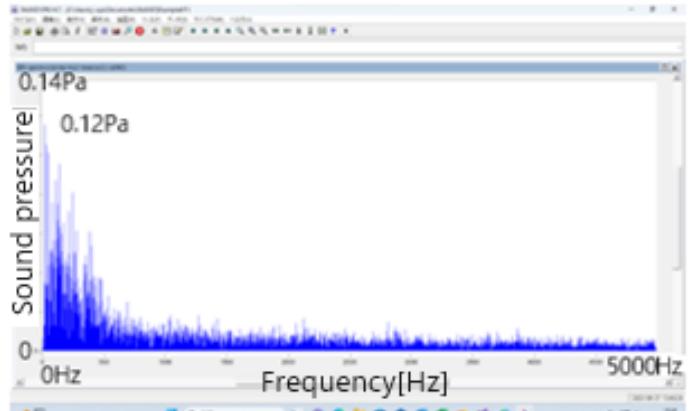
風車音では、グラフがスカスカです。これは高周波成分が微弱であり、超低周波音成分が高い音圧で含まれていることを示します。振幅の変化が大きいのは、風速の変化で音圧も変化することを意味しています。

2. 1. 4 周波数スペクトル

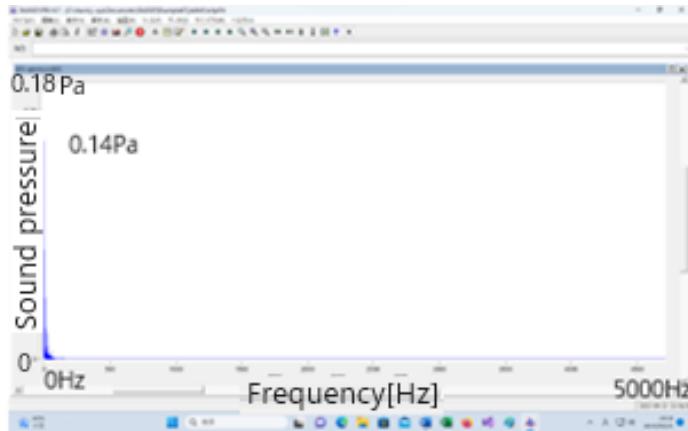
交通騒音(0～5 k Hz)最大音圧 0.0025[Pa](379.4[Hz])



工場騒音(0～5 k Hz)最大音圧 0.12[Pa](12[Hz])



風車騒音(0～5 k Hz)最大音圧 0.14[Pa](0.8[Hz])



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。

最大音圧は、弱風の時は 0.14Pa、強風だと 0.42Pa 程度になります。

風車の 1 分間の回転数を R、ブレード(翼)の枚数を Z としたとき、 $f=RZ/60=0.8$ Hz での音圧が特に高くなっています。

風車音は、周波数に倍音構造が見られます。

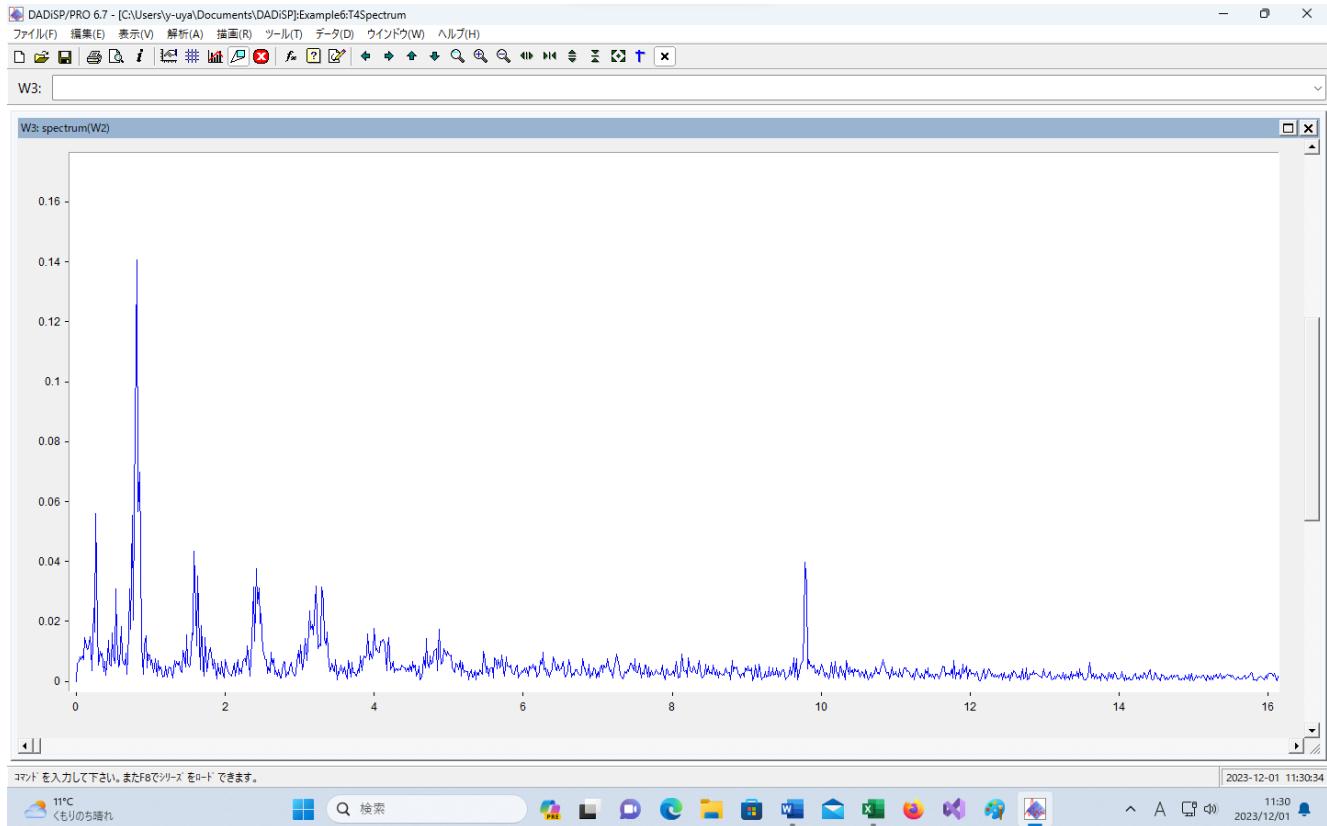


図.3 Wind turbine noise (0~25Hz)

音圧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

風車音の発生する仕組みと上の表を見比べると、風車の超低周波音は、離散的な性質を持っている事と、周波数、 $f=RZ/60=0.8$ Hzで特に高い音圧となることが分ります。これは、“超低周波音の解析と発生の仕組み”でのマクローリン展開の係数の性質と一致しています。

周波数、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、…Hzの時に、音圧はピーク値を取ります。

2. 1. 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 200~24 kHz の成分として風車音を分割した結果です。

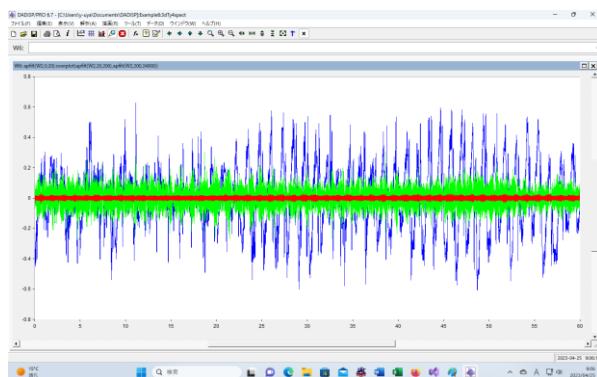


Fig. 5 Separated Wind turbine noise

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%

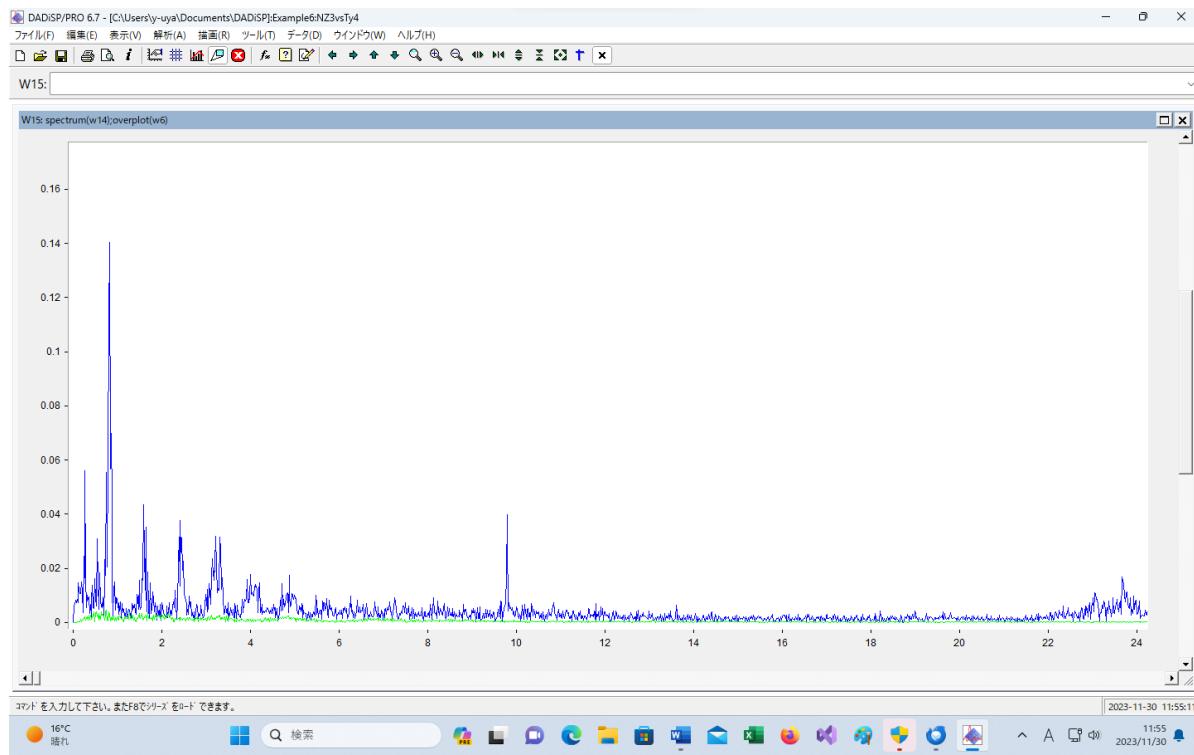
0~20Hz でのエネルギーの分布

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

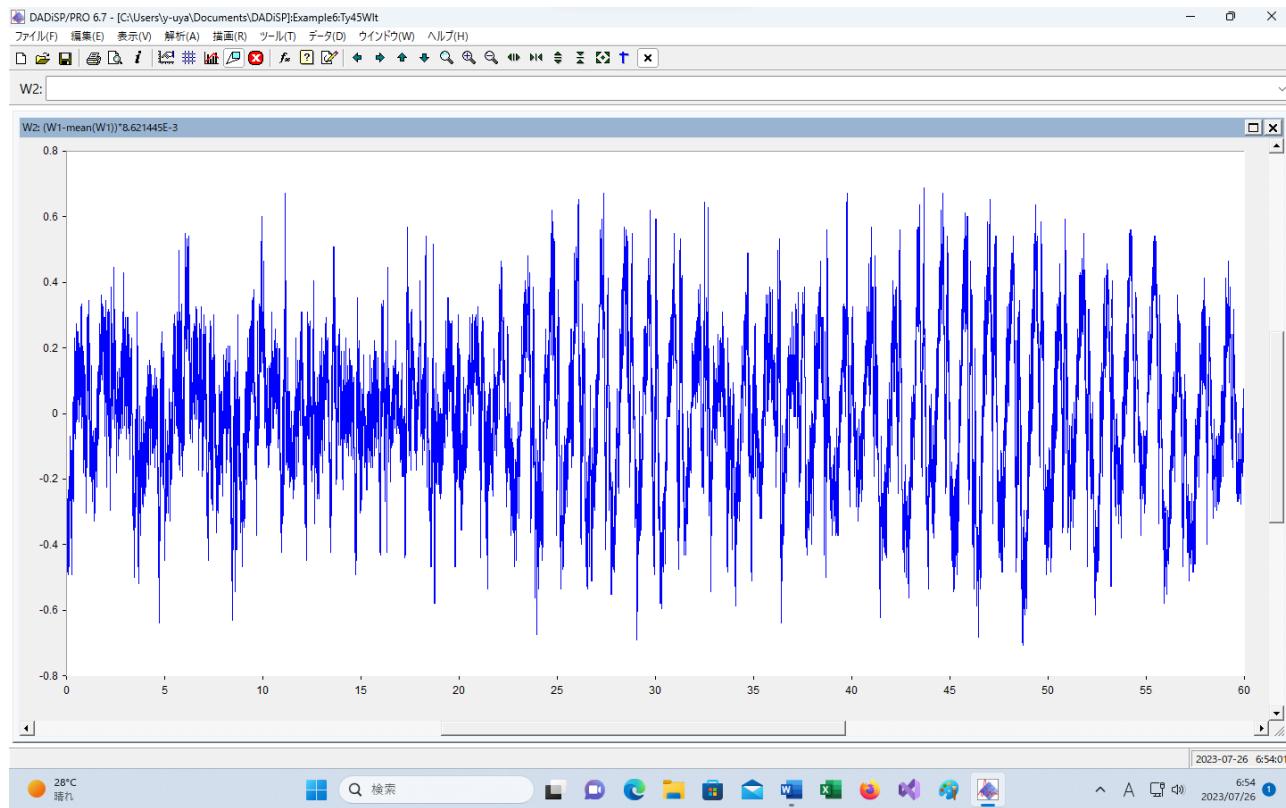
さて、 $93 \times 0.613 = 57\%$ ですから、風車音全体のエネルギーの 57% は 1Hz よりも周波数が低い部分に含まれています。風車音のエネルギー分布は 1 点集中型である、と言えます。これが、人体を強制的に圧縮、膨張させる原因になっています。

2. 1. 6 風車音による圧縮と膨張

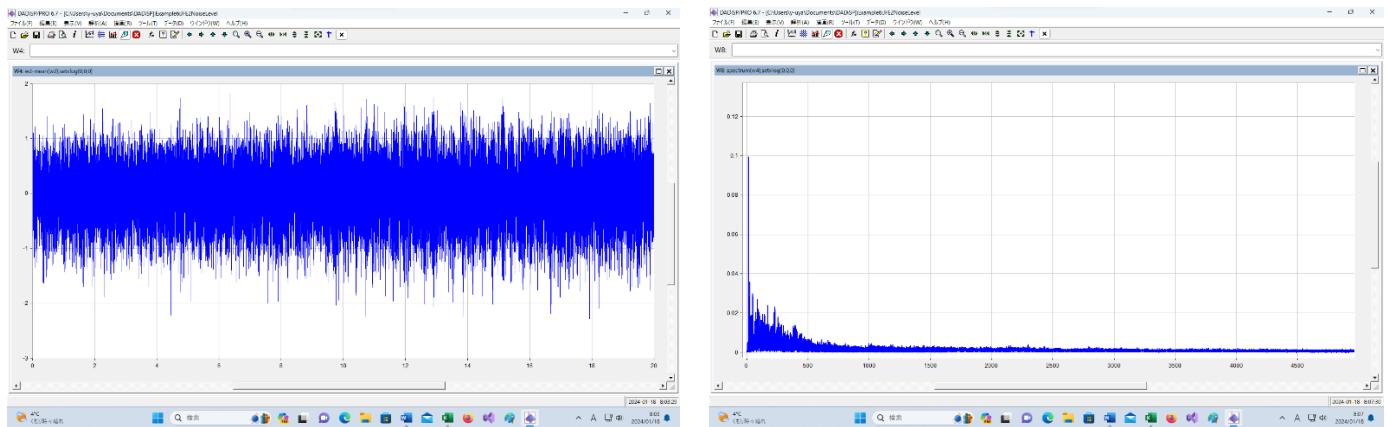
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、 $f=RZ/60=1\text{ Hz}$ の成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。



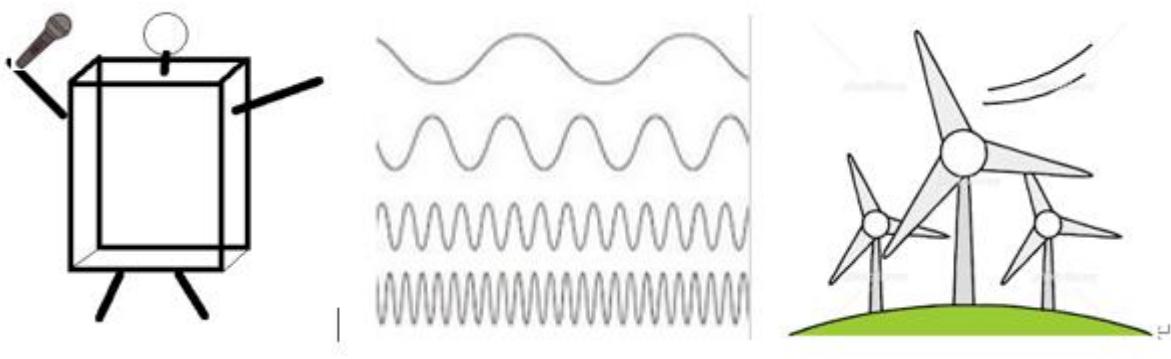
グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。



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。

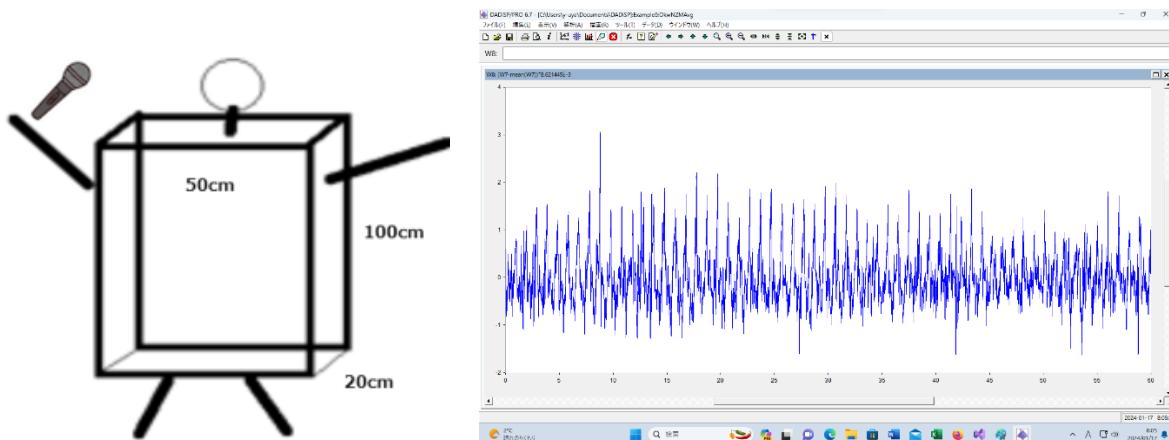


この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



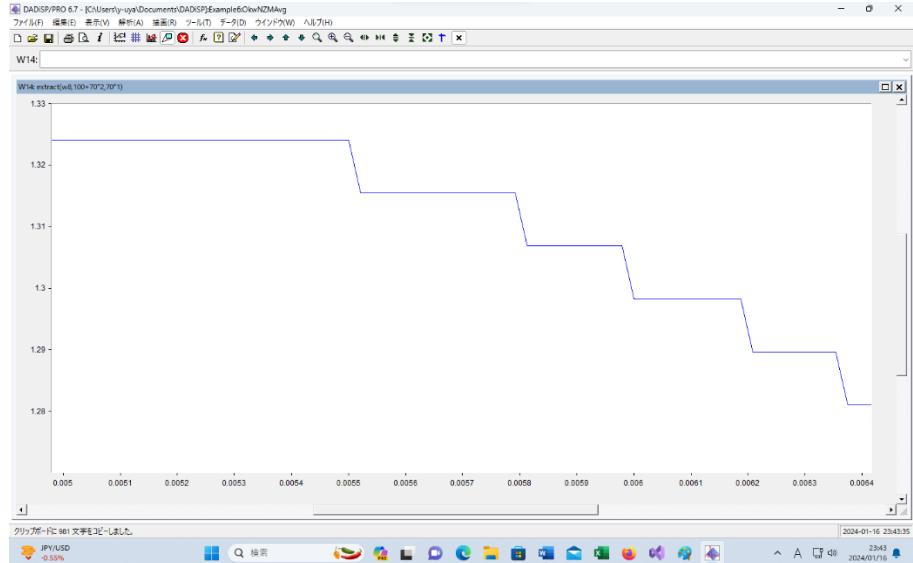
いろいろな波長の音が、秒速 340m で風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50 cm、胴長 100 cm、厚み 20 cm として、音は平面波とします。

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、 $48000 \times 0.5/340 = 70.6 = 70$ 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。

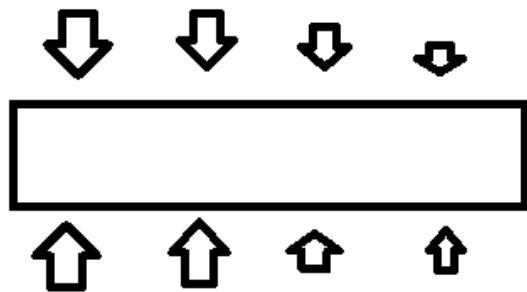
音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



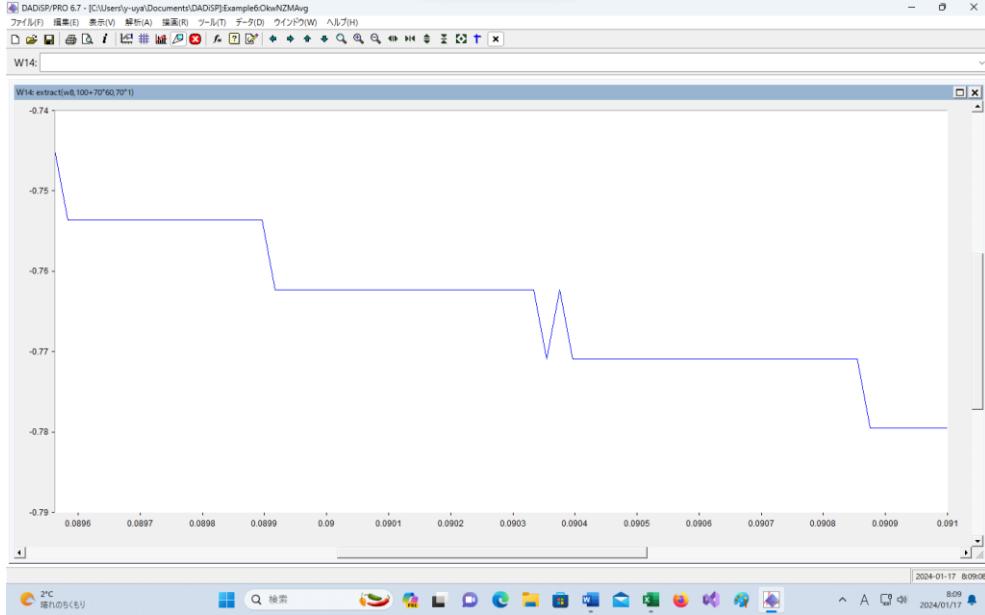
となり、数値は、

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	1.324106	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	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。



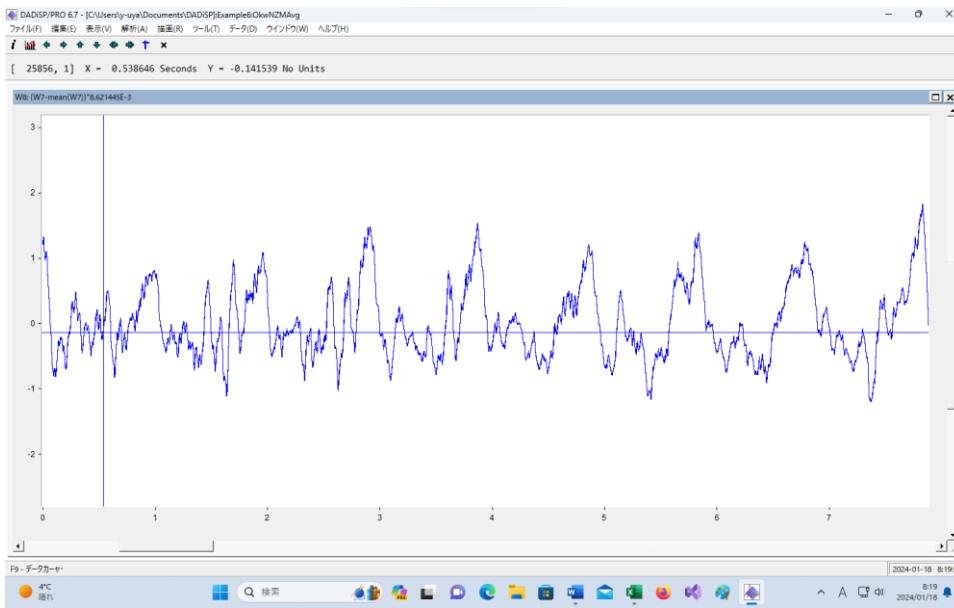
もちろん、



もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。

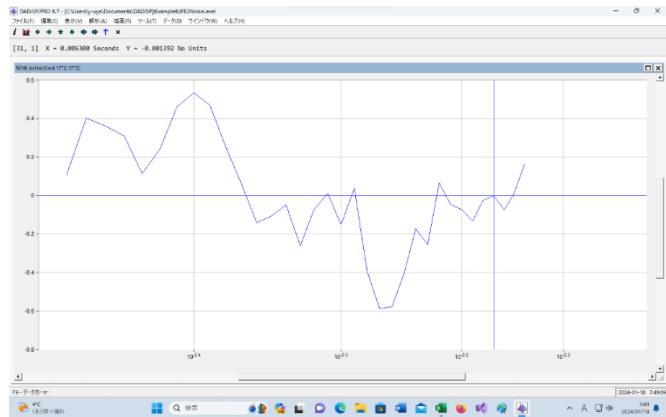
上のグラフの値は、-0.77Pa程度です。強制的に膨張させられている状態です。

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。
物理的には圧力が周期的に変化するのです。

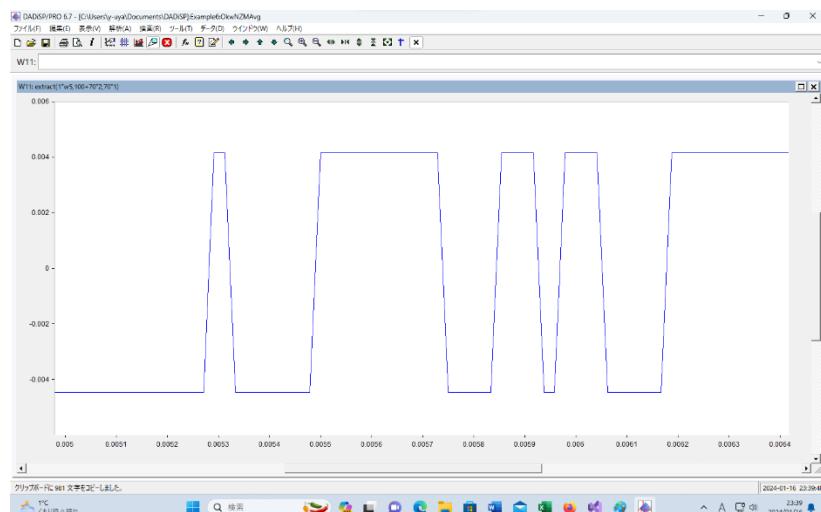
工場音の場合は、秒速 340m の音が 50 cm を通過するのに必要な時間は、0.001 秒です。0.002 秒間の波形を拡大してみれば、次のグラフになります。



圧縮、膨張の継続時間は 0.0005 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、50 cm 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、

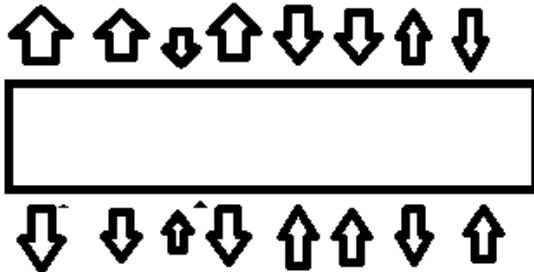


であり、

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	
-0.00446	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、50 cm 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、1 Hz 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、0.5~1 Hz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あります。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、膨張にさらされます。

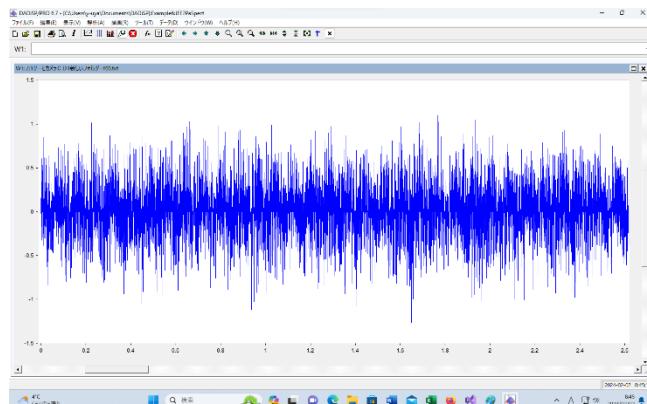
圧縮、膨張についてさらに確認します。

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。

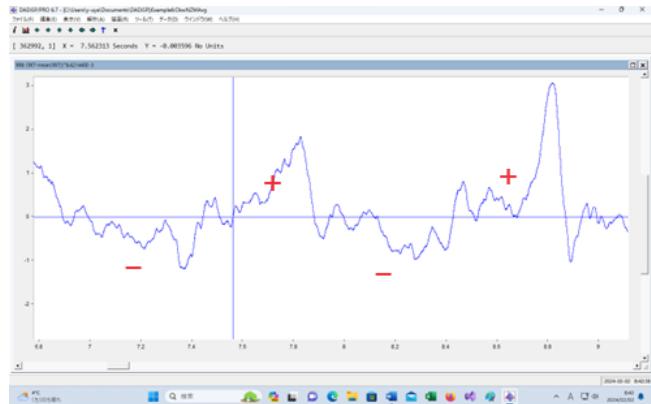
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

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

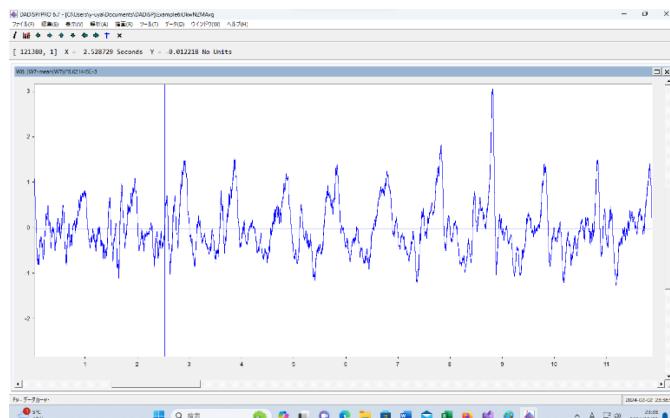


風車音の2.2秒間の波形

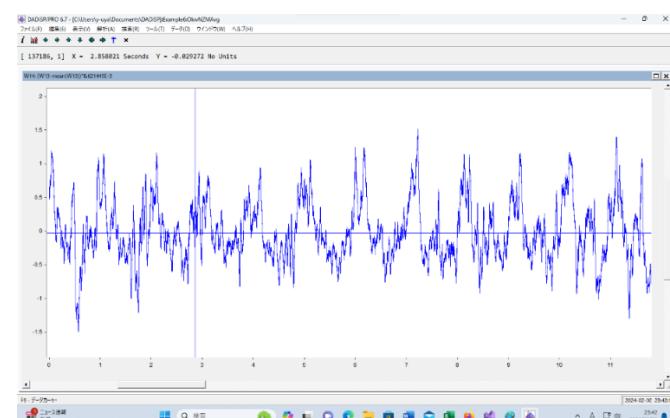


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

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

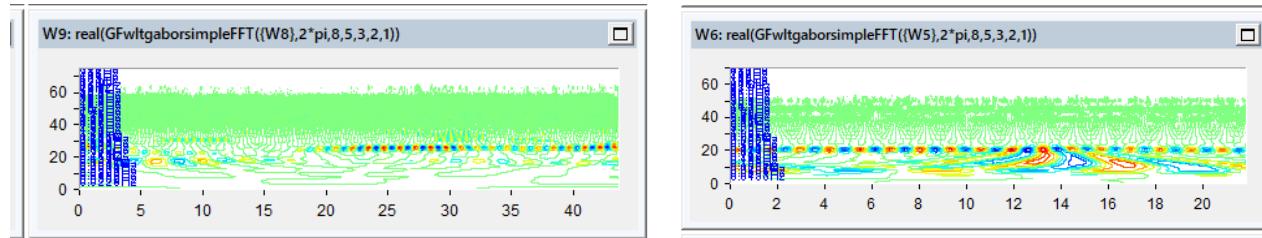
符号決定率=最大音圧/2番目の音圧

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、潜水病と同じですから、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、下のようになります。



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れます。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じることになります。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)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_{\text{g}} \right) = 4 \pi R^2 D_{\text{g}} \frac{\partial \rho_{\text{g}}}{\partial r} |_W \quad (2.5.55)$$

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

$$\dot{m}_{\text{g}} \propto R^2 \times (\rho_{\text{gi0}} - \rho_{\text{giW}}) / \delta_D \quad (2.5.61)$$

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

$$p_g > p_{g0}$$

$$p_g = p_{g0}$$

$$p_g < p_{g0}$$

$$R < R_0$$

$$R = R_0$$

$$R > R_0$$

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

$$\delta_D = \delta_{D0}$$

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

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

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

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とすると、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 が小さくなっています。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、1Hz のものが圧倒的に高い圧力をもつていて、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、このようになります。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もつことは、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、潜水病と同じですから、頭痛の原因になります。

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、 $2*0.4*\sqrt{2}=1.13\text{Pa}$ 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。

風車音の詳細な解析、超低周波音が発生する仕組み、発生する超低周波音の周波数に関しては、“[風車超低周波音 2023](#)”に詳しく書いておきました。

3. それぞれの立場と見解

3. 1 外国での理解

3. 1. 1 カナダ政府

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。

統計的な関連性を調べるときの WTN の数値は、20Hz 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](#)

これについては、次の 1.2.2 疑似音で検討します。

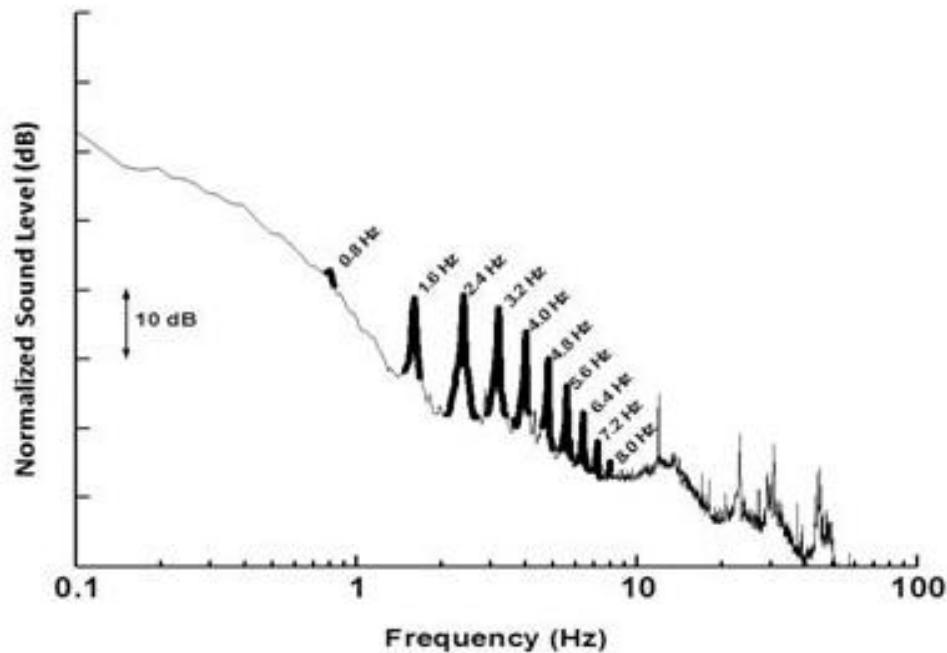
A Primer on Noise には、次の記述もあります。

“音はどうやって作られるのか?

物体が前後に振動すると、空気圧がわずかに増減し、音波として空气中を伝搬します。科学者が音の周波数に言及するとき、彼らは音源が 1 秒間に生成する完全な音波の数、つまりサイクル/秒、またはヘルツ(Hz)を指します。人間の耳は極端に低い周波数や高い周波数にそれほど敏感ではないため、人々が音にどのように反応するかを理解しようとするとき、音の周波数は非常に重要です。固定されていませんが、一般的に、正常な聴覚を持つ若者は、通常、20Hz から 20,000Hz の周波数で通常の日常レベルの音を聞くことができますが、人間の耳は 2000Hz から 5000Hz の間の音に最も敏感です。”

“音源の回転周波数は、音を発している音源を特定するために使用できます。たとえば、毎分 16 回転(RPM)で回転する 3 枚のブレードを備えた風力タービンの基本周波数は、0.8 Hz(つまり、(3 ブレード X 16 RPM)を 60 秒で割った値)に対応します。したがって、この例では、特定の距離で測定された音において、風力タービンによる騒音レベルが、基本周波数と基本周波数の倍数で周波数ピークを示すのに十分なほど高い場合、風力タービン音をバックグラウンドノイズから分離することができます。これらの倍数は高調波と呼ばれ、基本周波数が 0.8Hz のソースの場合、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz、4.8Hz などになります。”

図2風力タービンの超低周波音測定 ←



“20Hz未満の周波数は超低周波音に分類され、上記のように、通常発生する騒音レベルでは一般に人間の可聴範囲外になります。超低周波音は環境中で一般的であり、雷雨、火山、地震などの自然発生現象から発生する場合もあれば、ロケットの打ち上げ、爆発、一部の採掘活動などの人為的な発生源から発生する場合もあります。超低周波音は、大型の風力タービンや大型ボイラーでも発生する可能性があります。低周波ノイズは、20Hzから約200Hzの間の周波数を表すために使用されています。超低周波音や超低周波ノイズ(約30Hz未満)の知覚は、多くの場合、聞こえるものではなく、「感覚」または「圧力」として説明されます。このタイプの騒音は建物の外から建物の内部に簡単に伝わるため、レベルによっては、家の中の軽量構造物が振動したりガタガタしたりして、煩わしさを引き起こす可能性があります。”

と書かれていますが、

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results では、WTN (Wind Turbine Noise) と健康との関連が書かれていて、超低周波音との関連は書かれていません。

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results でのカナダ政府の見解は、

“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。”

“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。”

となっています。

関連性を表にします。×は関連性無し、○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	心拍数	血圧	コルチゾール	不快感	知覚	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、体調の具体的な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。

(多変量解析で(PT=最大音圧*周期)の項目を設ければ、右下の項目との相関性が確認できます。)

この結果は、低周波音被害に関する日本の研究結果とも一致しています。

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。

家の前で測った WTN の数値は、風車音のうちの 20Hz 以上の成分を計測出来ているか否かが分かりません。風車から家までの間や、家の周辺には、様々な音源が存在します。更に、20Hz 以上の周波数に関する A 特性音圧レベルは、風車よりも他の音源の方が高いのです。



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 (コンクリート破碎機)	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。

周りに、同じ周波数の音を出す音源が幾つかあると、それらの寄与分を計算するのは困難ですが、超低周波音で、1Hz以下のものは、風車以外の環境騒音の音源からは出ませんので、これを手掛かりに、WTNの分を推定出来ますが、信頼性はそれほどありません。

3. 1. 2 疑似音

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

Author Information

From the Department of Biological Engineering (Dr McCunney), Massachusetts Institute of Technology, Cambridge; Department of Epidemiology (Dr Mundt), Environ International, Amherst, Mass; Travel Immunization Clinic (Dr Colby), Middlesex-London Health Unit, London, Ontario, Canada; Dobie Associates (Dr Dobie), San Antonio, Tex; Environment, Energy and Acoustics (Mr Kaliski), Resource Systems Group, White River Junction, Vt; and Psychological Evaluation and Research Laboratory (Dr Blais), Massachusetts General Hospital, Boston.

Address correspondence to: Robert J. McCunney, MD, MPH, Department of Biological Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave, 16-771, Cambridge, MA 02139 (mccunney@mit.edu).

The Canadian Wind Energy Association (CanWEA) funded this project through a grant to the Department of Biological Engineering of the Massachusetts Institute of Technology (MIT). In accordance with MIT guidelines, members of the CanWEA did not take part in editorial decisions or reviews of the manuscript. Drs McCunney, Mundt, Colby, and Dobie and Mr Kaliski have provided testimony in environmental tribunal hearings in Canada and the USA. The Massachusetts Institute of Technology conducted an independent review of the final manuscript to ensure academic independence of the commentary and to eliminate any bias in the interpretation of the literature. All six coauthors also reviewed the entire manuscript and provided commentary to the lead author for inclusion in the final version.

The authors declare no conflicts of interest.

Supplemental digital contents are available for this article. Direct URL citation appears in the printed text and is provided in the HTML and PDF versions of this article on the journal's Web site (www.joem.org).

Journal of Occupational and Environmental Medicine

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。
しかし、この主張は誤りです。主張の内容は日本の“風雜音”とほぼ同一の内容です。

風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても、音圧が高く、規則的な周波数を持つ超低周波音が計測されること。

風車が無ければ、マイクに風を当てて計測される超低周波音は、音圧が低くて、周波数に規則性が無いこと。

風車の運動を理解すれば、計測された超低周波音を発生させることができます。

この理由で、風雜音や疑似音は誤った考え方だと判断できます。この理由に関しては、後ほど詳しく説明します。

研究費を出してもらったからでしょうが、忖度しすぎです。

超低周波音を、風雜音、疑似音として否定する見方と、“聞こえなければ影響は無い”との考え方から、風車音の影響を調べるときに、WTN (Wind Turbine Noise) と言われる、A 特性音圧レベルだけを使って判断する傾向が強まります。

これは、カナダ政府の HP にある論文

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results

に対して、大きく影響します。その結果、超低周波音は影を潜めます。

被害は、WTN との統計的な関連が無いから、被害は主観の問題であり、風車音が原因ではない。
と主張されることになります。

この中で、

風車騒音と健康に関する調査:結果概要

背景と理論的根拠

カナダ政府は、カナダ人の健康と福祉の保護に取り組んでいます。騒音規制の管轄権は、カナダの多くのレ

ベルの政府で共有されています。風力発電に関するカナダ保健省の任務には、風力タービンの騒音(WTN)が地域社会の健康と福祉に及ぼす潜在的な影響について、要求に応じて、連邦省庁、州、準州、およびその他の利害関係者に科学的根拠に基づくアドバイスを提供することが含まれます。州と準州は、制定した法律を通じて、風力タービンの設置、配置、騒音レベル、緩和策などの分野に関する決定を下します。

と書かれていますが、

WTN (Wind Turbine Noise) と WTS (Wind Turbine Sound) の区別が出来ない事から、
“風力タービンの騒音(WTN)が地域社会の健康と福祉に及ぼす潜在的な影響について、要求に応じて、連邦省庁、州、準州、およびその他の利害関係者に科学的根拠に基づくアドバイスを提供する”
と言つても、

残念ながら、カナダ政府には、“科学的根拠に基づくアドバイスを提供する”為の能力が無い事が明白です。

日本の環境省の主張では、聴覚閾値と訳すべきところを感覚閾値と書き換えて、
“聞こえなければ何も感じない。”
と言いうような主張になっています。

3. 2. 1 環境省の方針の変化

風車音に関して、少し前までは環境省も、参考値（心身に係る苦情、物的苦情）、G 特性音圧レベル、A 特性音圧レベル、や（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

などについても考慮していたが、最近の環境省は、指針値によってその影響を評価する方針を取っている。

指針値は、A 特性音圧レベルを基にして決める。風車音では 20Hz 以上の周波数成分は少なくて、交通騒音よりも小さくなることが多い。

もし、A 特性音圧レベルを基にした指針値が風車音の被害を正しく評価できる数値ならば、交通騒音での被害状況と比べて、A 特性音圧レベルが同じならば、同じような被害が出るはずです。不思議なことに、A 特性音圧レベルの数値が同じ場合は、風車音の被害の方が大きいのです。

風車の近くでは、風車音を原因とする共振と思われるガタツキが起きますが、交通騒音の場合は起きない。風車音の場合は、頭痛や圧迫感の被害を訴える人がいるが、交通騒音ではそのような訴えは無い。

はっきり言えるのは、A 特性音圧レベルの数値では、風車音の被害を把握することが困難だという事です。これを基にした、指針値は、被害を未然に防ぐことが出来ないです。逆に、被害を訴えることを抑え込む役割を果たしているのです。

なお、風車業者が配布する資料には、参考値という言葉も出てくるので、言葉の意味については、参考値も含めて後ほど確認します。

指針値を主導しているのは、環境省であり、その根拠が、”平成 28 年 11 月 25 日に出た検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“です。

この経過を確認してから、問題点を検討してゆきます。

環境省の HP、低周波音問題に関する Q&A には、

Q11 風車に関する騒音や低周波音に適用できる基準はありますか？

A11 環境省では、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」を発出しました。この指針は、風力発電施設の設置又は発電施設の新設を伴う変更に際し、風力発電施設から発生する音による生活環境への影響を未然に防止するために定めたものです。

との記述がある。

「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」、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。”

“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。

5. 注意事項

○ 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。“

と書いてある。環境省の文書、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」の根拠が、”平成 28 年 11 月 25 日に出た検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“です。

この検討会の座長が町田氏であり、報告書を纏めたメンバーは次の方々です。

(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

橋 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院部教授

(50 音順、敬称略。所属は平成 28 年 11 月現在

“A 特性音圧レベルを用いる”という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ない”との返事でした。環境省も持っていないと言っていました。

橋先生からは、データは破棄したとの連絡をいただきました。

さて、

環水大発第1705261号 平成29年5月26日

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 の【別紙】に

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、許容限度や受容限度とは異なる。
- 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

さて、

○ 本指針は、騒音に関する環境基準、許容限度や受容限度とは異なる。

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、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、

指針値を超えても、罰則は無い。

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。論点を A 特性音圧レベルに限定して、低周波音・超低周波音に課する議論を封じる。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。”

と言つても、法的な規制では無いのです。

“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。”

との報告もあります。

騒音としては問題が無くとも、同じ騒音であるはずの、交通騒音と比べて、わずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことの理由について、

● **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**

と言われることがある。

これでは、風車音のうるささに慣れれば、問題が片付くと言っているようなものです。実際には、伊豆での例に見られるように、諦めて引っ越しする人が出てくるのです。

あるいは、お金と引き換えで風車に賛成し、防音窓を付けてもらったり、道路を直してもらったりしたので、文句を言えなくなってしまうこともあるのです。

○ 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。

本来ならば、

“測定対象が異なる場合、同一の測定方法（A特性音圧レベルの測定）を共通の尺度とすることは出来ない。”と書くべきです。

○ 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。

すぐに疑問がわきます。

カナダなどの文献では、聴覚閾値との比較になっているが、感覚器官は聴覚以外にもある。全ての感覚器官の閾値はそれぞれ何デシベルなのか、最も低い閾値を持つ感覚器官は何か、それはどのようにして決定された値なのか？

カナダでは、聴覚閾値となっていたものを、感覚閾値とするために、日本で行われた追加の実験は、どのような実験だったのか？

それとも、英文からの翻訳で聴覚域とすべきところを、間違えて感覚閾値と訳したのか？

0.8Hz の知覚閾値は何デシベルなのでしょうか？

それが書いてある文献はありますか？

0.8Hz の音を実験室で出すときに使ったスピーカは何処の誰が作ったものですか？

それが無いならば、“すべて知覚閾値を下回っている” と言う根拠は何ですか？

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。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。

あるいは、可聴域の音には 2 種類あって、風車からの可聴域の音と、交通騒音での可聴域の音は全く性質が異なる。と考えるべきなのか？疑問は尽きません。

これらの問題を解明するには、

アンケート結果、精密騒音計と振動レベル計の計測結果の 3 つをセットにしたデータが必要となります。

以前あった、精密騒音計のデータは、破棄されてしまった。残念なことです。それとも、手回しが良いと褒めるべきでしょうか？

風車音の影響の様子は様々です。

耳から聞こえる音として、“うるさい”

気圧変動の結果として、圧迫感がある、頭痛がする

共振、共鳴、地中からの振動伝搬などの、建具や床の振動を感じる
の 3 つについて検討する必要があります。

地中振動に関しては、小野寺英輝 氏による風車の振動が地中を伝搬する事に関する研究（[大型風車による地盤振動伝播](#)）があり、

“(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。”

との報告もあります。

当然のことではあるが、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。被害の判断基準を A 特性音圧レベルに限定することは、過去の研究結果である、物的苦情に関する参照値を捨て去ることである。

ここでは、“A 特性音圧レベル”を用いての評価の意味は簡単に言えば、

20Hz 以下の音は無視する。

20Hz 以上の音については、聴覚での感じ方に対応する重みを付ける。

に従って計算した数値です。

風車音の影響が、聴覚による影響だけならこれでも良いかもしないが、人間の生活に対する影響はこれ以外にもあるのです。圧迫感や頭痛やガタツキは聴覚で感じるものではありません。それも、風車音による被害なのです。無視してはいけません。

指針値の使用は、低周波音に関する、過去の研究結果を捨て去ろうとする計画です。

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

これらの研究結果を忘れてはいけないです。

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 48 kHz 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 0.01667 Hz、120 秒だと 0.00833 Hz となり、最大周波数は 24 kHz 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。0 Hz ~ 24 kHz 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 0.25 Hz ~ 315 Hz での 1/3 オクタープ解析も可能です。

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

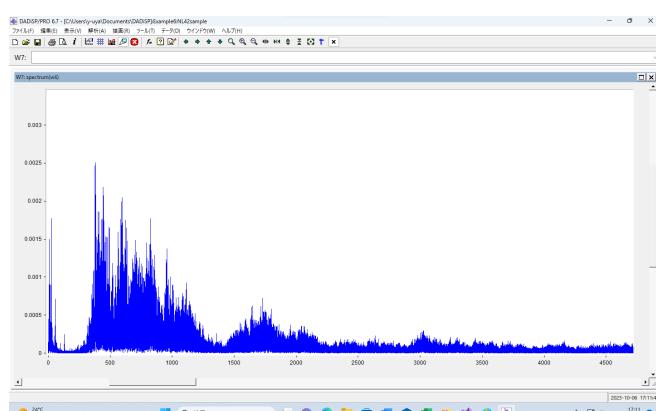


図 2. 工場騒音（製鉄所内の音） 0 ~ 5000Hz

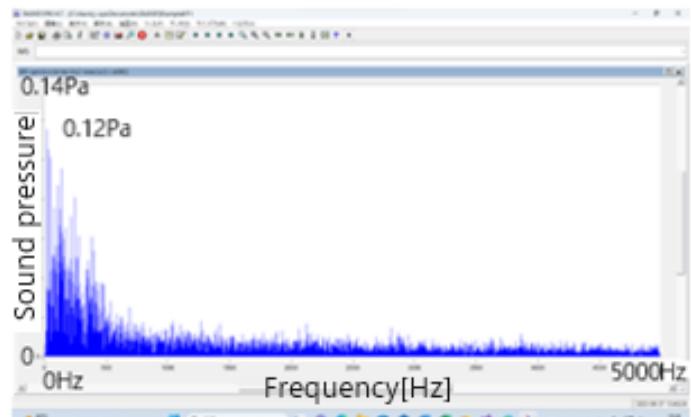


図 3. 風車音（館山風の丘） 0 ~ 5000Hz

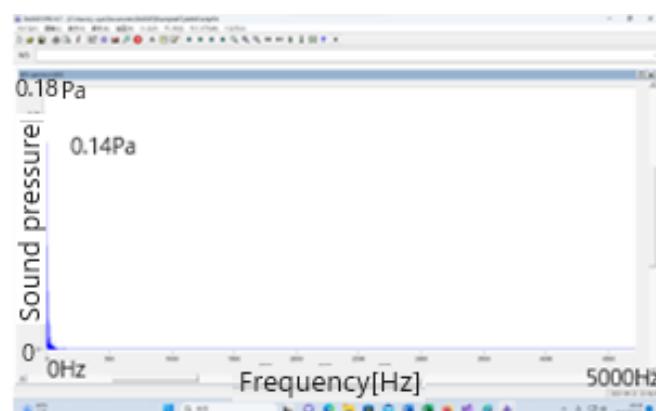


表 2. エネルギーの分布

エネルギー分布	0 ~ 20 Hz	20 Hz 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。これでは、風車音の影響を正しく評価できません。

以上の事柄を纏めれば、

超低周波音を考えると、風車音の被害が“音がうるさい”だけではすまなくなって、“圧迫感や頭痛がする”、“建具がガタツク”というようなことを含めて考える必要が出てくる。共振に関しては、日本家屋の固有振動数が 1Hz 程度なので、超低周波音の領域での音圧を正確に評価する必要があるのです。

このように考えれば、風車音の被害はかなり広がります。これが嫌なので、耳で聴きとれる範囲の周波数（可聴域の音）に限定するようにしたのです。この考えを押し通すのに利用したのが、”平成 28 年 11 月 25 日に出た検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“です。

さらに、指針値なるものを持ってきて、風車音に関する規制を実質的に撤廃したのです。

さらに、聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の 3 つの単語を意識的に混同して使うことで、被害を訴える人が、単なるクレーマーに過ぎないという風評を流し、被害の訴えを抑え込むことにしたのです。

“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。“

となっている。

風車の近くで計測される音圧が高くて、規則的な周波数を持つ超低周波音は、風雑音ではありません。風車が発生する超低周波音です。これを除外してはいけません。

3. 2. 2 防風スクリーン

“風雑音”説を皆が信じてくれれば、超低周波音がいくら大きくなっても問題は無いでのしようが、ダメだったようです。そこで、計測装置を工夫して、超低周波音を計測できないようにしたようです。
それが、二重防風スクリーンです。

風車騒音の測定機器

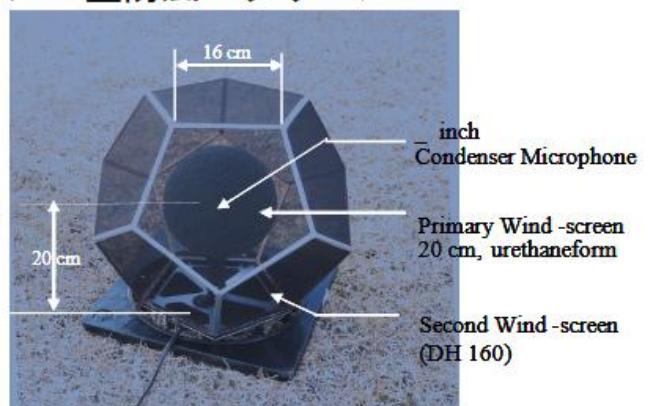
戦略指定研究における騒音測定機器

◆ 騒音計（録音機能付き）

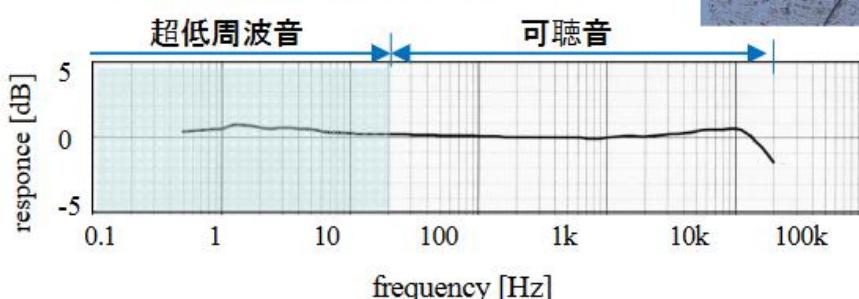


- 測定周波数帯域: 1 Hz ~ 20 kHz
- 録音機能: WAVE-format

◆ 二重防風スクリーン



◆ 騒音計の周波数応答特性



矢野, 太田, 橋: 風車騒音のimmission測定に用いる計測システムの開発, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会 (2011.9)

リオン社の防風スクリーンは次のもので、直径は9 cmです。



(屋外で使用する際の風雑音を減少させることを目的としています。また、マイクロホン部を保護することもできます。(降雨に対する防水効果はありません))

1. 業務概要

1.1 業務の目的

近年、低周波音に係る苦情が増加している。環境省では、低周波音問題に対し、平成 12 年に「低周波音の測定方法に関するマニュアル」を策定するとともに、工場・事業場等の固定発生源から発生する低周波音については平成 16 年に「低周波音問題対応の手引書」を公表し、対応を図ってきたところである。一方、近年設置数が増加している風力発電所については、環境影響評価法の対象とすることが検討されていること、騒音・低周波音（以下「騒音等」という）による苦情が発生していること等から、その実態の把握とともに、騒音等の測定・予測・評価方法についての知見も求められている。

その中で平成 20 年度は、風力発電所から発生する騒音等の実態、諸外国におけるガイドラインの設定状況等について調査し、国際会議等を通じて低周波音の基準や研究成果に関する最新情報を収集した。平成 21 年度は、前年度に引き続き風力発電所から発生する騒音等の実態、諸外国におけるガイドラインの設定状況等について知見を蓄積するとともに、風力発電所からの騒音等の測定方法について検討、及び地方公共団体への低周波音に係る委託業務で得られた測定データの解析を行った。

本業務は、平成 20 年度、21 年度の調査結果を踏まえ、風力発電所からの騒音等を適切に測定、予測、評価する手法について検討すること及び移動発生源の低周波音等の実態を把握し、低周波音問題に対して適切な対応を図るためのガイドラインの策定について検討を行うことを目的としている。

（4）検討会の設置・運営

当該業務の実施にあたり、工学系、医学系及び法学系の学識経験者等からなる「移動発生源の低周波音等に関する検討調査委員会」を設置して検討を行う。

なお、検討会は東京で計 4 回開催し、検討委員の名簿は次の通りである。

氏名 所属 専門

- 1 塩田正純 芝浦工業大学 騒音振動のアセスメント
- 2 井上保雄 (株)アイ・エヌ・シー・エンジニアリング
低周波音の測定、対策
- 3 石橋雅之 千葉県環境研究センター 行政
- 4 今泉博之 (独)産業技術総合研究所 低周波音の伝搬
- 5 魚崎耕平 (財)日本気象協会 風力発電所の調査
- 6 落合博明 (財)小林理学研究所 低周波音の測定、評価
- 7 松島 貢 千葉市環境保全部 行政
- 8 佐藤 洋 (独)産業技術総合研究所 低周波音の影響、評価
- 9 新美育文 明治大学法学部 法律
- 10 佐藤敏彦 北里大学医学部附属臨床研究センター医学（公衆衛生）

ウ) 風自体の特性を明らかにするための検討

高橋ら 17)は、風雑音の発生形態に関する基礎的な検討を目的として、屋外において一定距離離れた低周波音用音圧レベル計と Hot-wire 風速計によって風雑音および風速変動を同時計測し、200Hz 以下の周波数領域に着目して風雑音信号と風速変動とを比較している。計測した 2 点での音圧レベル計の出力信号間で

は、その時の風速に対応する時間遅れを持って相互相関関数の最大点が存在することを見出し、風塊の通過に起因する風雑音を確認した。一方、同距離の 2 点での風速信号間では特定の時間遅れを持った相関関数最大点が認められず、風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギーによってマイクロホン近傍で相互作用的な雑音の発生が起こっていると示唆した。

問題点は、

風塊の通過に起因する風雑音の周波数は何ヘルツなのでしょうか？

なぜその周波数になるのでしょうか？

風塊の性質は、そのような周波数を発生させるようなものなのでしょうか？

風車が無い場所での風塊は、同じような周波数の風雑音を発生させるのでしょうか？

など、沢山あります。

風雑音を風車が無い場所で計測した結果と、風車が有る場所で計測した結果の比較が必要なのです。

風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても、超低周波音は計測されますので、超低周波音で、音圧が高くて規則的な周波数を持っている部分は、風雑音ではありません。

“風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギー”と言った表現は誤りです。“風速自身が”と言うならば、同じ風速の時に、風車が無い場所で計測しても同様の風雑音が計測されるはずです。

風車が無ければ、音圧が低くて、不規則な周波数特性を持った超低周波音しか計測されません。風車が有る場所、164 か所の計測結果のグラフの表示方法を変えて確認すれば、風車が有る、すべての場所で、音圧が高い超低周波音の存在が確認できます。きちんとした検証が無ければ単なる空想です。科学を空想や妄想に変えてはいけません。

風のせいではなく、風車の存在こそが、音圧が高くて、規則的な周波数を持っている超低周波音の原因なのです。ほんの少し物理学を勉強すれば、なぜ超低周波音が発生するのかが分かります。さらに、回転軸が水平の風車は、物理的に考えれば、超低周波音の発生装置そのものである事も簡単に分かります。

これは簡単な計測と解析、初等的な物理学と流体力学、簡単な数学、の知識があればすぐに判明する事柄です。学者や知識人なら分からぬはずはありません。分からないふりをして、住民を惑わせるのは止めて欲しい。

エ) 騒音測定データに含まれる風雑音の補正方法の検討

立石ら 18)は、低周波音の測定と同時に風速を実測し、風速の実測結果を用いて騒音測定データに含まれる風雑音（発表では風ノイズと表現）を補正する方法について検討している。平均風速および乱流強度と風雑音のレベルの関係について、風洞実験結果に基づいて導いた補正式を提案している。その結果、風雑音環境下におけるマイクロホン出力に作用する風雑音が乱流強度、平均風速、周波数で定義できること、防風スクリーンによる風雑音低減効果は、風の乱れが大きく風速が速い場合に小さいことを示した。

問題点：

精密騒音計での計測結果に対する、風の影響と環境騒音の影響を考えるには、10Hz 以下の領域と、20Hz 以上の領域に分けて考えることが必要です。

10Hz 以下の領域に関しては、補正は必要ありません。風がマイクに当たって発生する超低周波音の音圧

は、計算誤差の範囲内です。さらに、風車以外の騒音源で、5Hz 以下の周波数の音を出すものは、ほとんどありません。

20Hz 以上の成分に関しては、風車以外の騒音源からの影響が大きいので、防風スクリーンで低減させれば、可聴域での、すべての音が低減されているので、風雑音の影響を低減させてとは言い切れません。

超低周波音の領域での最大音圧は、他の環境騒音の影響を、ほとんど受けないので、この値から、計測地点での、風車音による、可聴域での影響、WTN を推測できます。

ただし、計算方法には注意が必要です。

ここで、“風雑音のレベルの関係” とあるが、FFT の計算に於いて、平均値を取った結果を使う場合が多いと、リオン社の人から聞いたことがあります。

これでは、周波数特性が把握できません。音圧レベルに変換すると、低周波音の振幅を決めるマクローリン展開の係数との関連が見えなくなります。

さらに、平均風速にしたのでは、風速の変動により、ブレードの回転速度が変化して、超低周波音の周波数が変化するところが消えてしまいます。

平均化してはいけないのです。周波数に関しては Wavelet 解析が必要になるのです。

オ) 風車騒音測定用の小型防風スクリーンの開発

環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cm φ のウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに比べて、12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側に同じネットを貼った立方体 防風スクリーンを付加した場合には 13dB (いずれも 8Hz) の低減効果が得られたと報告している。

最近の研究動向の整理より、風雑音の低減方法に関する研究は必ずしも活発ではないが、様々な角度からの検討が行われており、防風スクリーンの開発を含めた測定方法や風雑音のメカニズムに関する検討が継続されていることが明らかになった。また、風力発電所から発せられる音を対象とした計測方法に関する研究も実施されていることがわかった。

(2) 防風スクリーン商品化の動向

前記のとおり、屋外において低周波音を正確に計測する場合には、風雑音の 70 影響をできるだけ低減する必要がある。その中で最近、2 種類の防風スクリーンが商品化されている。この動向は、低周波音を測定することに対する社会の要請が高まっていることを反映していると考えられる。

そのうちの一つは商品名に風力発電用とあり、もう一方も使用例として風力発電所からの音を示している。2 種類の防風スクリーンの特徴を比較する。両者は、円盤状のアルミニウム製の板の上に騒音計用マイクロホンを設置し、それを半球形に成形した薄いアルミ繊維で覆うことで風雑音（なお、一方は風切音と表記されているが風雑音と同意語と思われる）の低減を図る点で共通している。これらの方法は IEC61400-11 で示された方法に類似しており、発生源側における測定方法として考えられていると推察される。このうち、一方は 90mm 径の球形防風スクリーンを半割したものを主スクリーンとして内装するのに対して、他方はマイクロホンを直接アルミ繊維製の半球形防風スクリーンで覆い使用するように見て取れ、それぞれの構造に僅かな差異が見られる。

問題点：

言葉の定義の問題ですが、風雑音と風切り音は異なる意味で使われることが多いです。

風雑音は、風がマイクに当たることによって計測される騒音計のデータを指すことが多い。

風雑音については、ある方から、次の様に教えていただきました。

“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、風雑音が重畠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すると幸いです。”

この立場は、“風雑音”の意味を 2通りに捉えています。

1, 風がマイクに当たって発生する音。

2, 5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）の超低周波音。

さて、

“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。“

となるのだが、

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)

“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。“

としています。

風車のすぐ近くでは、マイクに風が当たらなくても、音圧が高く、規則的な周波数を持った、超低周波音

が計測されました。

従って、風車の近くで計測される、音圧が高くて、規則的な周波数を持つ超低周波音は、風雑音ではありません。風車から発生する超低周波音なのです。

風切り音は、これとは違った使い方をされることが多いです。

風切り音については、ある方から、次のように教えていただきました。

宇山靖政様

ご質問のメールをありがとうございます。

風車風切り音は、翼の回転数 R (1 分間に何回転 : $R\text{-rpm}$)、翼の枚数 N とすれば、風車からの基本周波数 f は、 $f = N \times R / 60$ で示されます。この式は、支柱で支えられただけで覆いの無い扇風機の回転数と翼の枚数とそこで発生する基本周波数 f になります。

1500 kW 級の風車が山の尾根に並んだ東伊豆では、風が強く吹く時に 1 分間に 20 回転しますが、北海道石狩市の茨戸からの水を流す石狩放水路沿いに立っていた 3 基の風車の内の真ん中の風車もほぼ同様の規格のものでした。

3 枚翼で 20 rpm なので、1 分間に 60 回支柱の傍を通り、1 秒間では 1 回翼が通ることになり、 $f = 3 \times 20 / 60 = 1 \text{ Hz}$ となります。

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。

この状態は、測定器で測って周波数分析(FFT 分析)すると、1 Hz とその倍音から成ることが判ります。

風車からの音は、ナセル内に入っている加速ギア系(数十倍の電源周波数に変えるために動く)の音、風向に合わせて方向を変えるためのモーター音、翼の角度を変えるモーター音、ナセル内の冷却のためのファン音等、色々の音源が重なって風車音となります。

それでも、一番大きいのは、風のエネルギーを電力に変える翼の回転音となります。

実際に風車音を数十メートルほどの距離で測ると、翼が振り下ろされた時に音が聞こえています。

柱時計の 1 秒毎のチクタク音も 1 秒毎に鳴っているのですが、その測定器での分析では、基本の音が現れていません。

チクタク音のパルス状の音の幅が少ないと想われます。

これは、矩形波の信号で、ON と OFF の時間の長さが変わって来ると、基本音とその奇数倍の倍音で構成されていたものが、その構成の大きさが変わってくることから判ります。

あまり参考になりませんが、日本音響学会編音響工学講座 5：騒音・振動(下)の 24 ページに、送風機からの翼通過周波数として、上記の式が書かれています。

とあり、

風がマイクに当たった音ではなく、風車の回転に伴って発生する音として使われるケースが多いと思います。

いずれの商品も通常の測定で用いられる 9cm ϕ のウレタン製球形防風スクリーンとの違いは示されていない。カタログに記載された測定データから、マイクロホンのみの場合と防風スクリーンを装着した場合の音圧レベルを比較することにより、およそその風雑音低減効果を類推した。両者は、「防風スクリーンなし」の条件と比べて、10Hz 以下の周波数範囲で 20dB 以上の音圧レベル差を示しており、周波数が高くなるほどその音圧レベル差は大きくなっている。

ただし、一方が一定風速下における測定結果であるのに対して、他方は複数の風速条件で測定された結果の

平均値であること、測定方法についても一方が扇風機の風によるものであるのに対して、他方は風洞実験によるものであることから、個々の結果を単純に比較することはできない。また、実際の屋外環境下で同等の結果が得られるか否かは明らかでない。

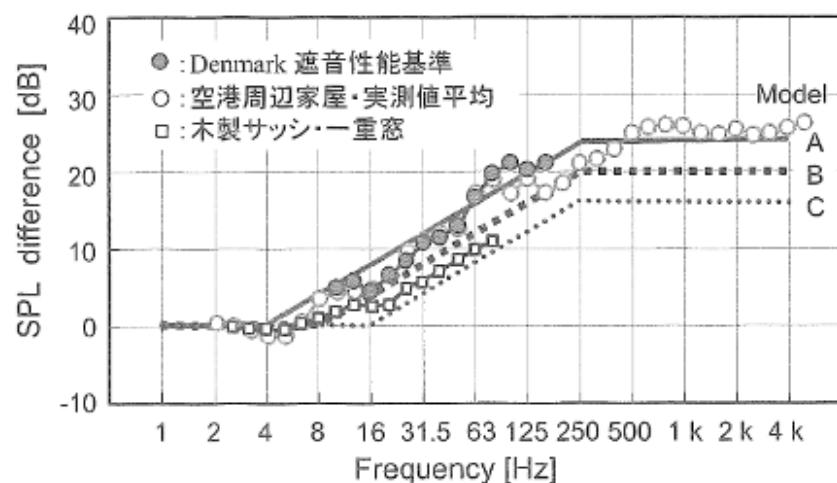
なお、最新の研究では、川上ら 20)が一方の防風スクリーンについて、扇風機の風を用いた実験を行い 100Hz 以下で、「防風スクリーンなし」の条件と比べて約 30dB の風雑音低減効果を確認したとしている。

また、丸山ら 21)は、風洞実験ではいずれの製品も 2 次防風スクリーンによる風雑音低減効果がみられたと報告している。

今後、実際の屋外環境下で同一の条件において、風雑音低減効果の比較測定を実施する必要がある。また、低周波音の測定で通常使用される直径 9cm ϕ のウレタン製球形防風スクリーン、直径 20cm ϕ のウレタン製球形防風スクリーン 71 との性能の違いも明らかにする必要があると考えられる。

問題点：

いろいろ書いてあるが、目的は 10Hz 以下の周波数成分の計測値を小さくすることのように見えてしまいます。そんなことを企むから、室内での計測が出来なくなるのです。屋外で防風スクリーンを付けて計測した数値と、風のない室内で、防風スクリーン無しで計測した数値を比べれば、室内では、20 dB ほど大きな値が計測されます。



これでは、防風スクリーンを付けて、屋外で計測する目的が、被害の原因を隠すためだとバレてしまします。

原因を隠すために、室内での計測はしない。室内での超低周波音の領域での最大音圧が明らかになると、不快感や圧迫感との関連性が高いことが明確になってしまふのです。これを避けるために、計測結果の公表の前に、除外音処理をしなさいと、環境省は言っています。

また、次の記述があります。

“環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cm ϕ のウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに比べて、12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側に同じネットを貼った立方体防風スクリーンを付加した場合には 13dB（いずれも 8Hz）の低減効果が得られたと報告している。”

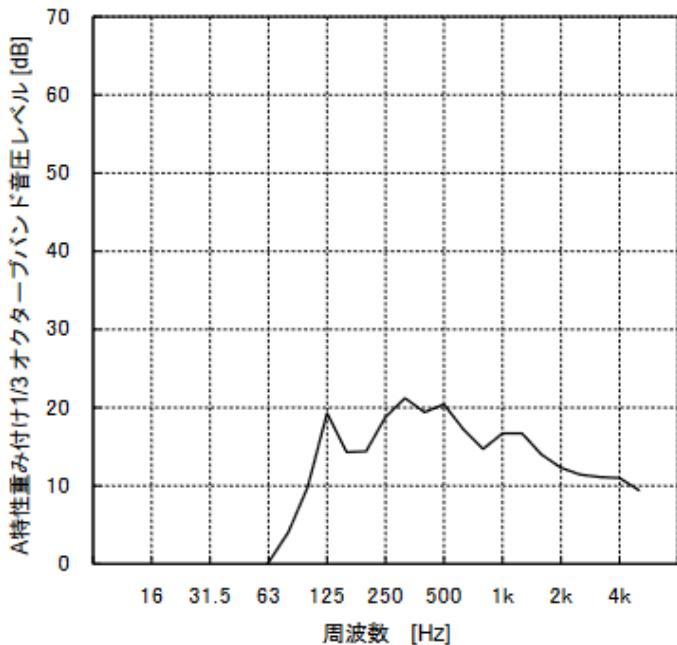
これは、10Hz 以下の成分を風雑音とみなして、計測結果から除去しようとしていることを意味します。

3. 2. 3 除外音処理

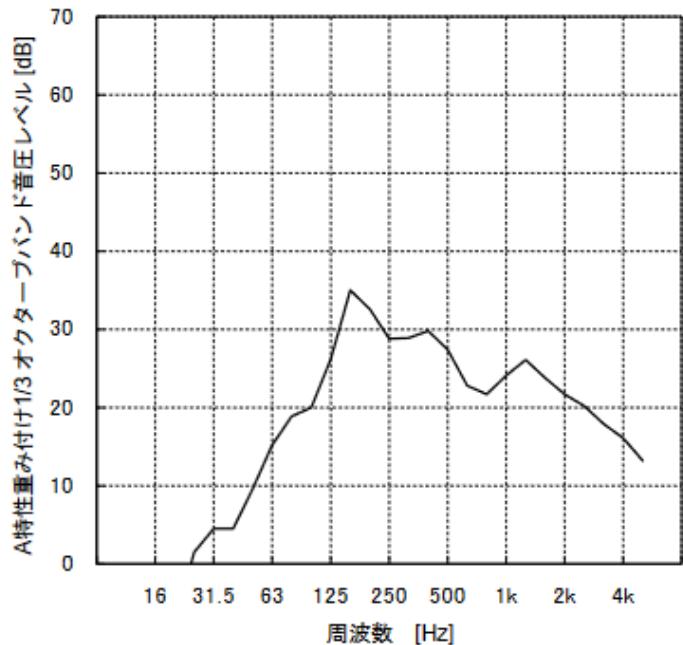
13 dB の減衰では心配なのか、“除外音処理”で消し去る様に指示しています。

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

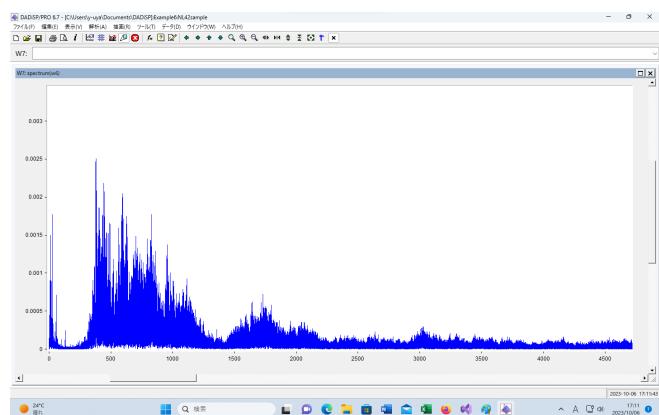
図 B.1 周波数特性の表示例

右側のグラフを見れば、20Hz 以下は 0 として扱われます。

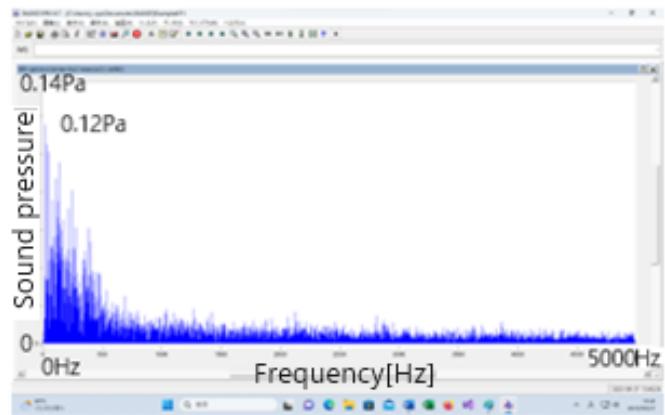
大型風車では、 $f=RZ/60=0.5$ (Hz) 程度ですから、騒音を計算する場合には、完全に無視されます。

周波数スペクトルは、

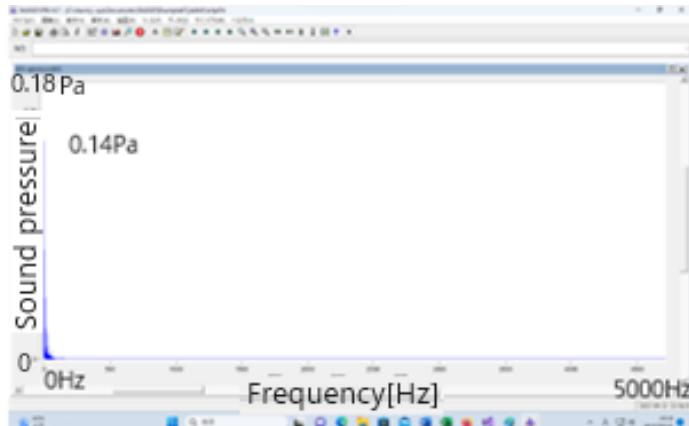
交通騒音 (0 ~ 5000Hz)



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。

“[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10cm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。

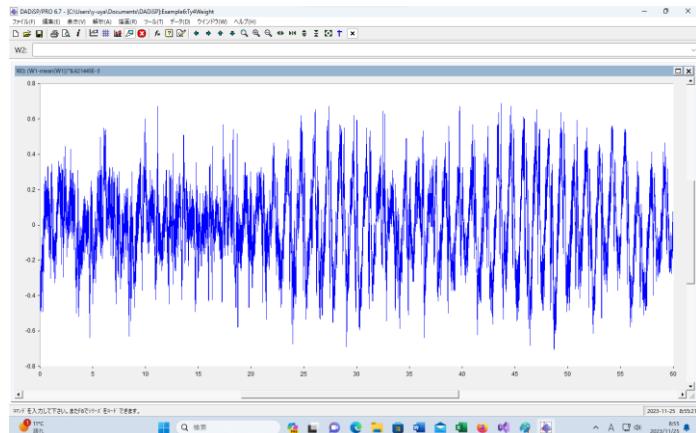
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。

(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。“

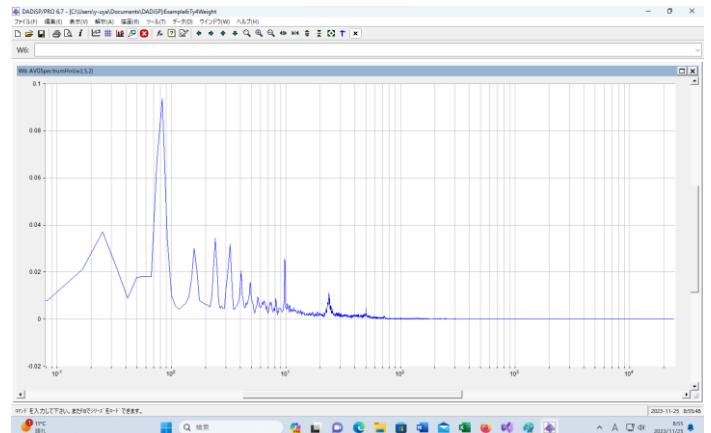
となっている。

“除外音処理”で消し去ることを要求しています。除外音処理は、いろいろ考えられますが、A特性を使った具体例を1つ示します。

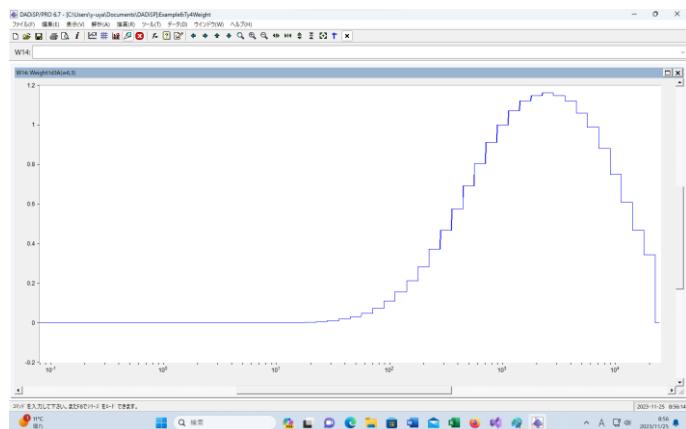
これは、計測された風車音のグラフ



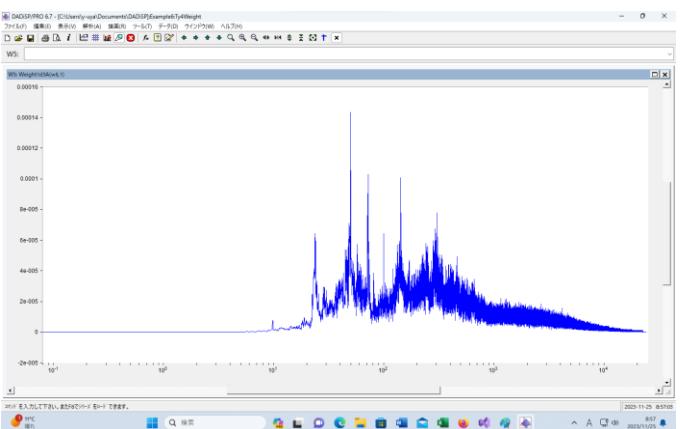
ハミング窓を使った周波数特性 (Pa表示)



A特性による窓関数

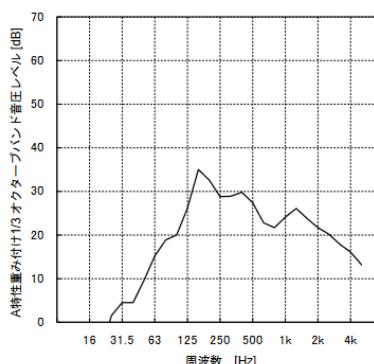
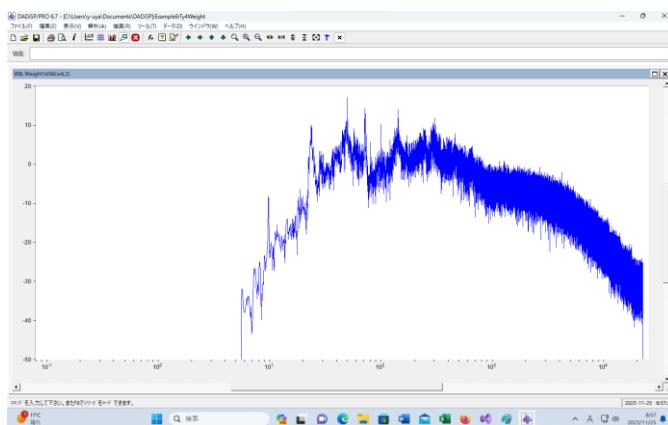


A特性の窓関数を使った周波数特性 (Pa表示)



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の予想図



(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。これに備えでは、“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。

カナダなど、外国の文献では、“聴覚閾値”となっているものを、勝手に“感覚閾値”に変えてはいけません。

3. 2. 4 風雜音と疑似音は嘘です。

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。

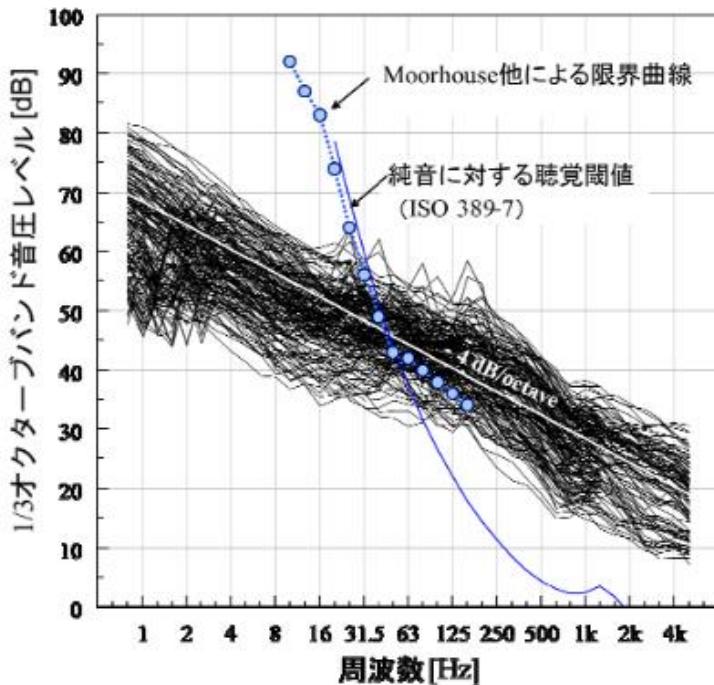


図 3 全国 29 の風力発電施設周辺 164 地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

上のグラフを見れば、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、“風雜音”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雜音”だと主張するのです。

上のグラフをよく見れば、10Hz 以下の“風雜音”は、10Hz 以上の“風車騒音”的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、“風雜音”は建っている風車の音の性質と引き継ぐことになります。

風雜音は、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いい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“風雜音”で、周波数が 20Hz 以下のものが発生するのです。しかも“風雜音”的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。

“風雜音”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雜音は、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 5 Hz (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、風雑音が重畠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。

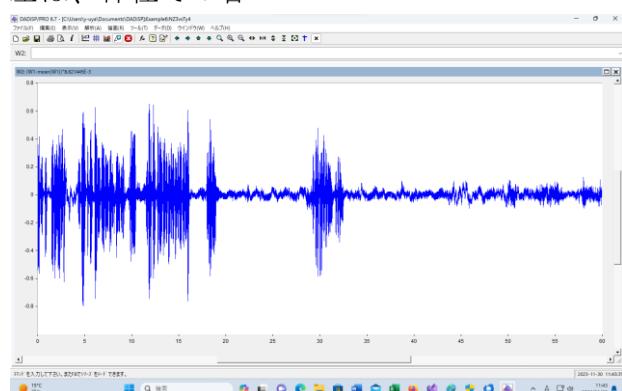
従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除するかも大きな課題の一つです。

研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけすると幸いです。”

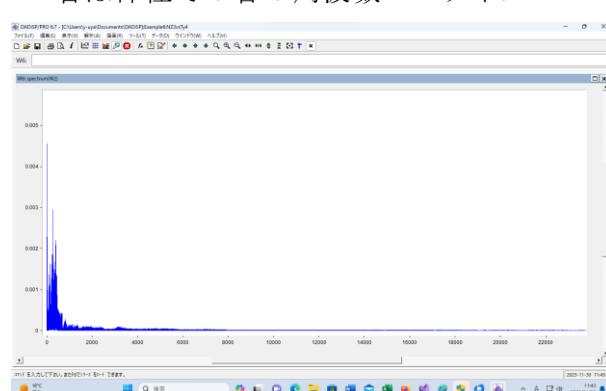
と指導していただきましたが、同意出来ません。

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。

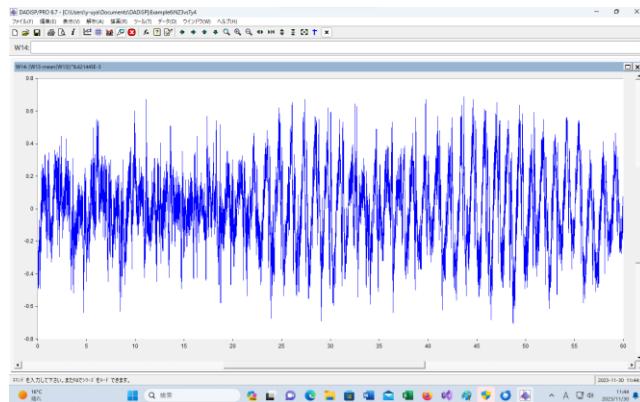
左は、神社での音



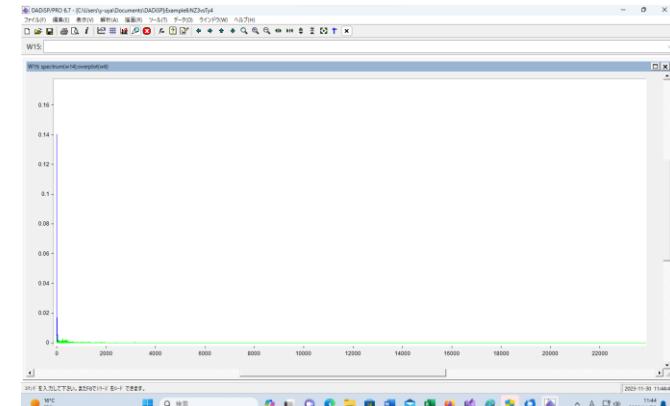
右は神社での音の周波数スペクトル



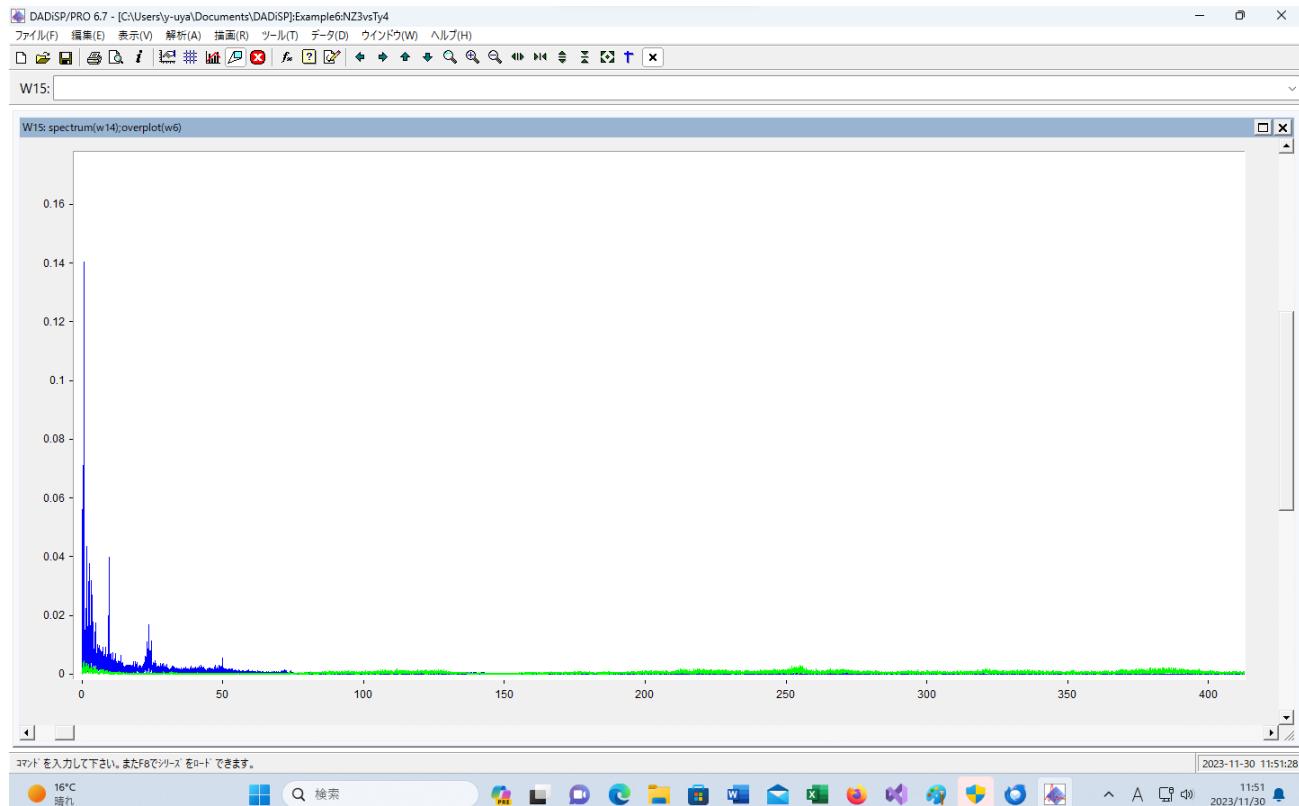
左は、風車音



右は風車音（青）と神社で音（緑）の周波数スペクトル

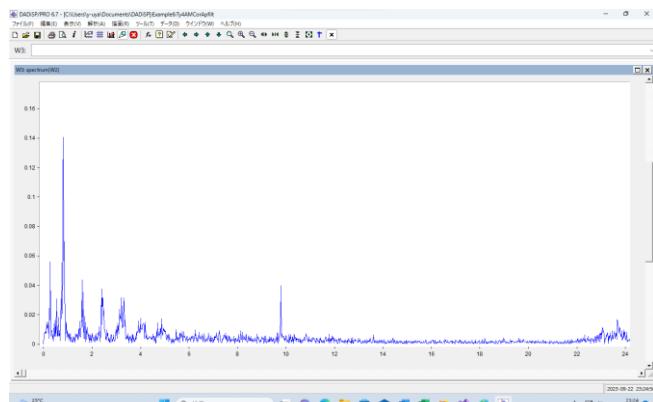


0～400Hzまでの拡大図、風車音（青）と神社で音（緑）の周波数スペクトル

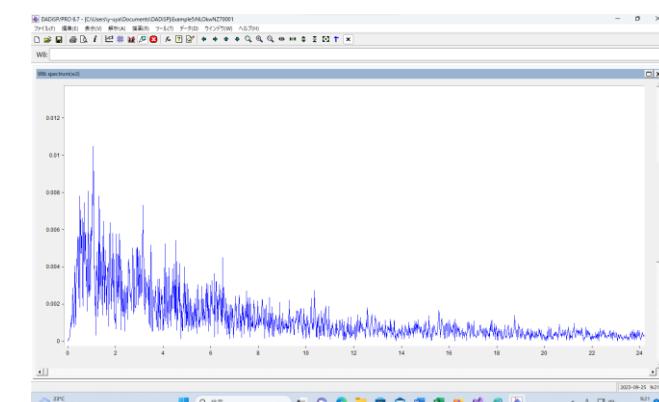


次のグラフで、0～25Hzの範囲で、風車音と近所の長尾神社の境内での音を比較します。

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

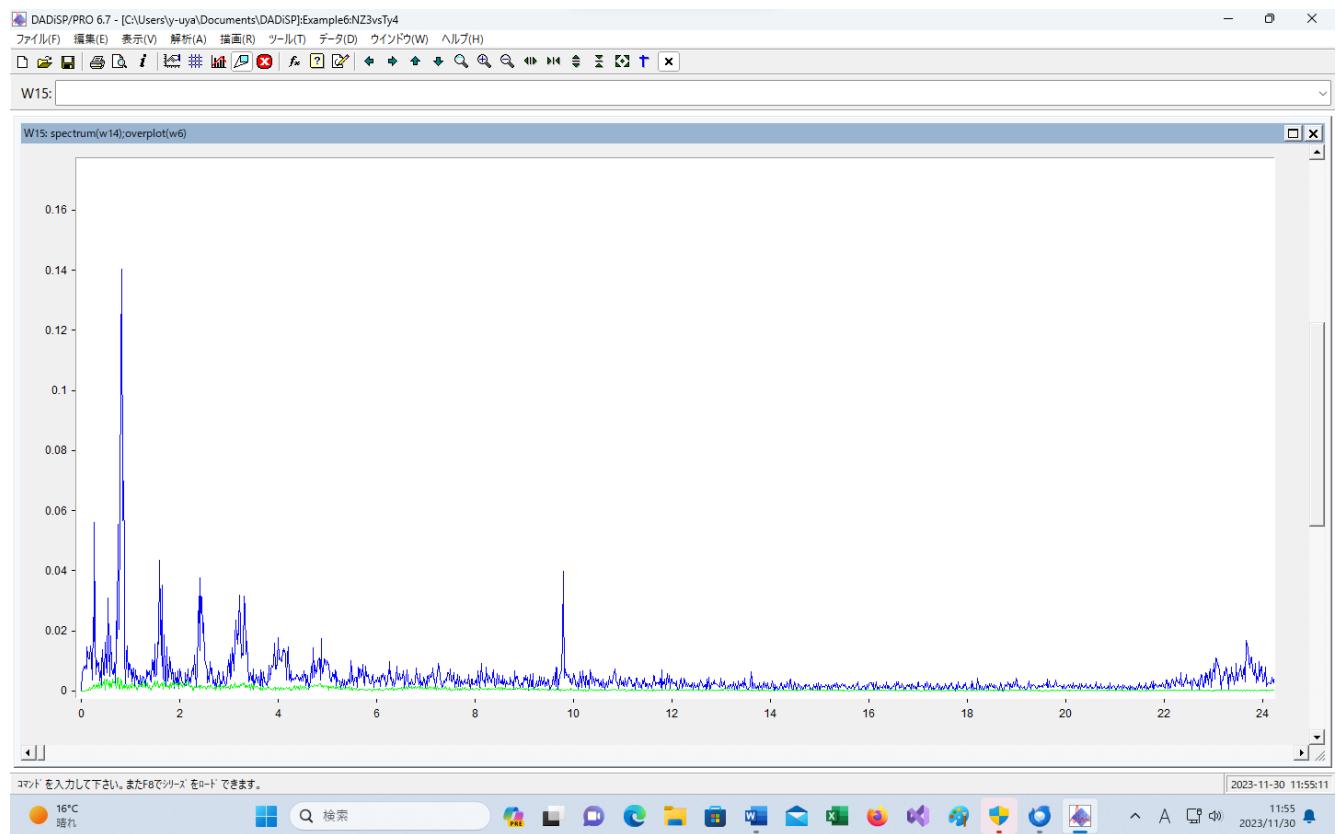
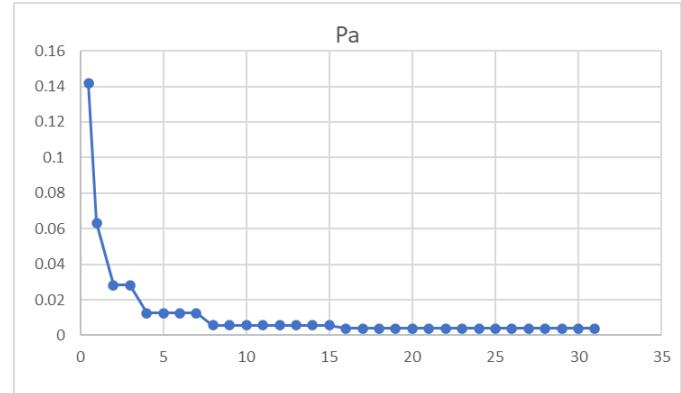


図3をよく見ると、白抜きで、-4dB/octaveと書いてある。

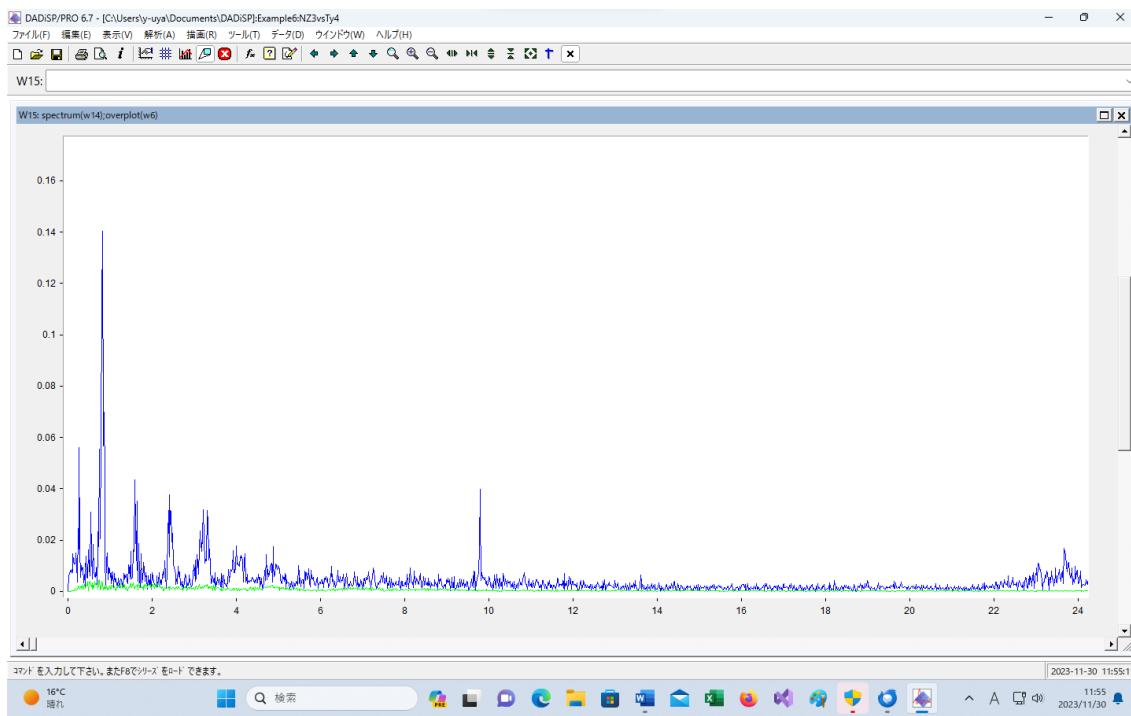
「ある音を基準として、周波数比が2倍になる音」を「1オクターブ上の音」と呼んでいます。周波数が2倍になると1オクターブ増える。1オクターブ増えると音圧レベルが4dB減る。

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	$\Sigma(Pa \cdot Pa)$	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



右側のグラフは、下のグラフの青い線とよく似た形です。



“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”的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”的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) ウィンドスクリーン（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 以下のウィ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、全天候型のウィ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ィンドスクリーン等の、より性能の良いウィンドスクリーンを使用する。

(注) 二重ウィ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。

“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。でも実際の超低周波音を除外する方法は無いのです。

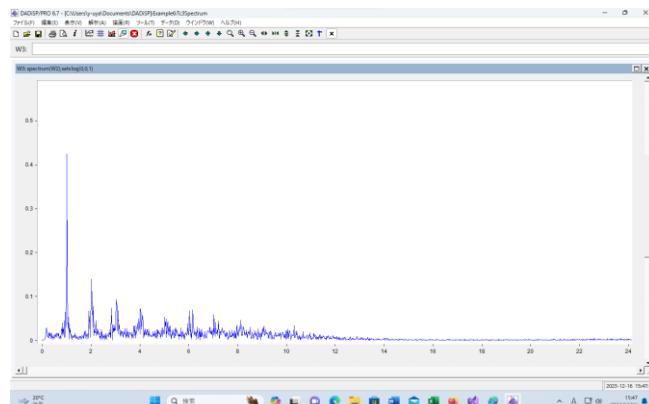
風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても音圧の高い超低周波音が計測される。

風車の近くでの計測で、

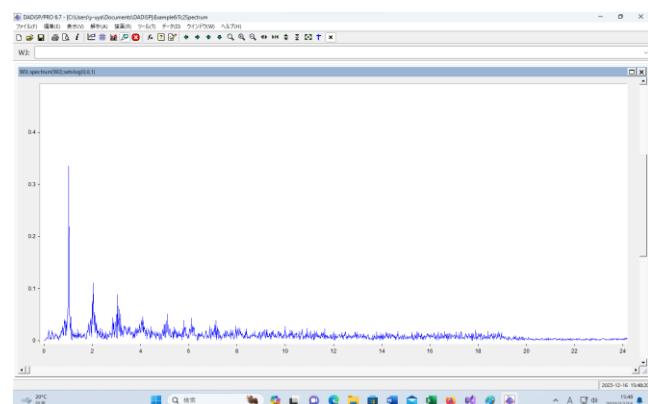
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、



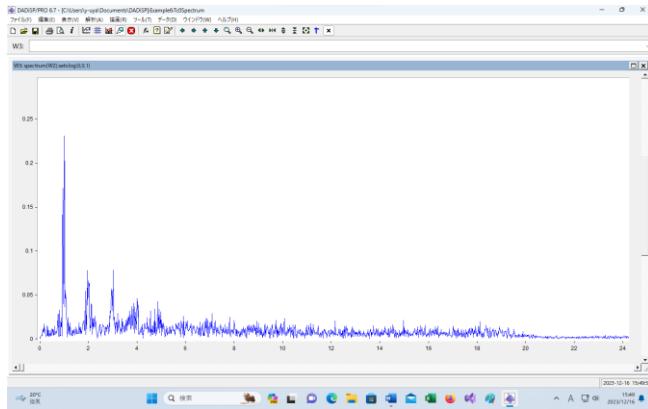
袋と箱に入れ、ドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



袋と箱に入れ、ドアを開けた場合は Max. 0.33Pa



袋から出して、箱の上においてた結果は 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

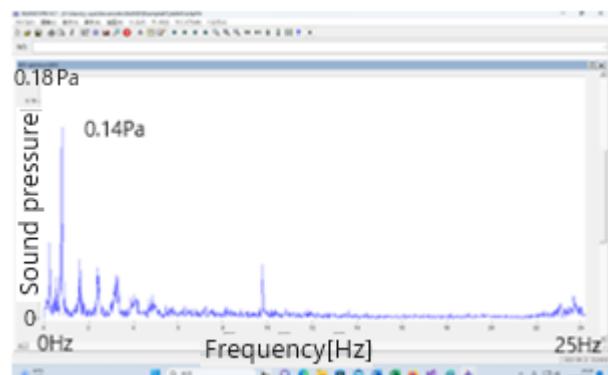
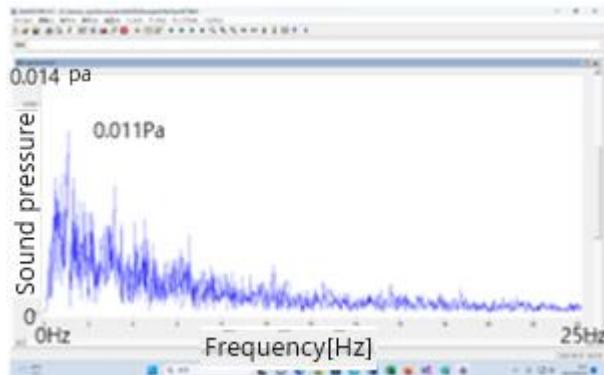


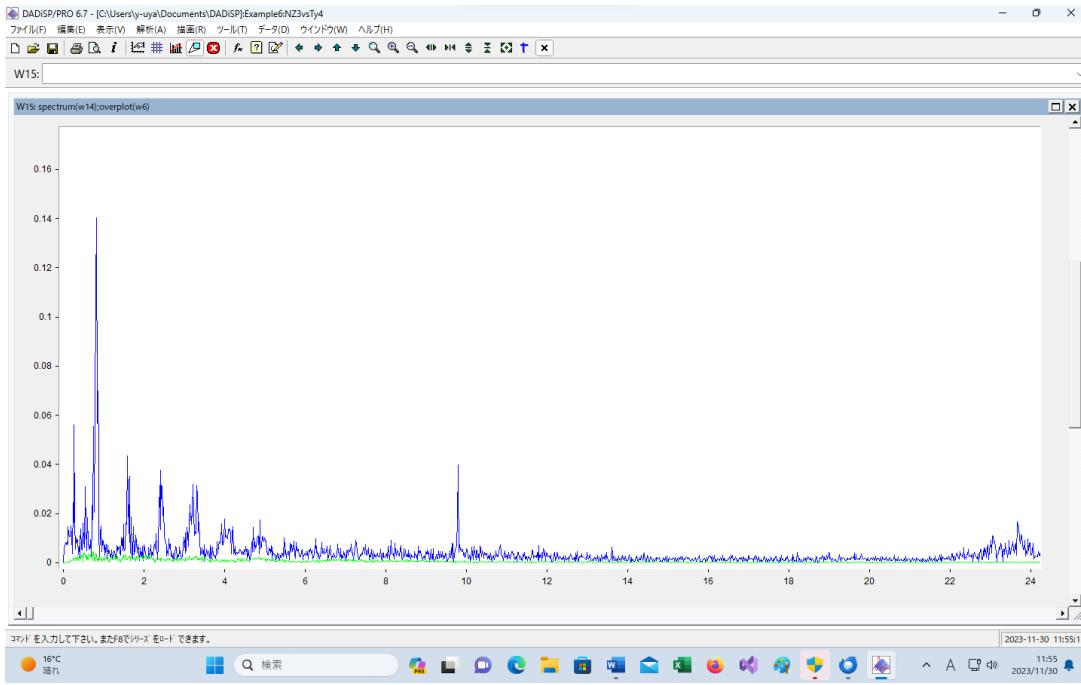
図 6. 長尾神社の音 0～25Hz



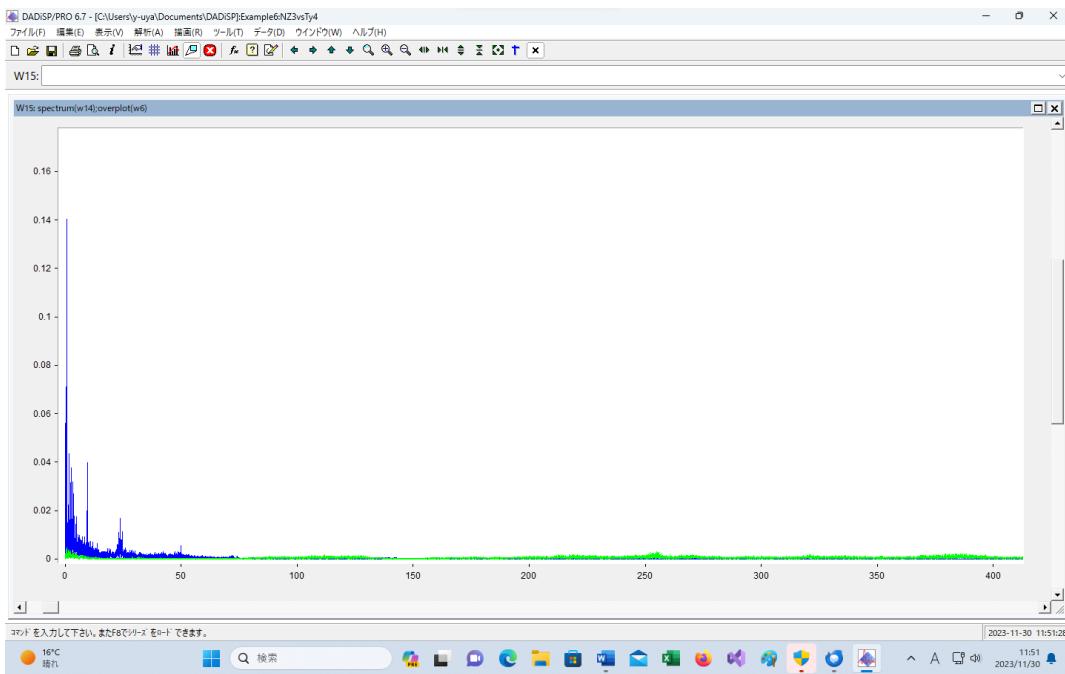
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。

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。

日本の環境省は、

“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。”

と言っていますが、

簡単な実験で、風がマイクロホンにあたらなくとも超低周波音が計測されることが確認できます。

これは、風がマイクに当たっていないのだから、“風雑音”ではありません。

風雑音ではない、超低周波音が計測されてしまったのです。

環境省が除去しなさいと言っているのは、超低周波音の部分のことです。

防風スクリーンの機能の説明では、

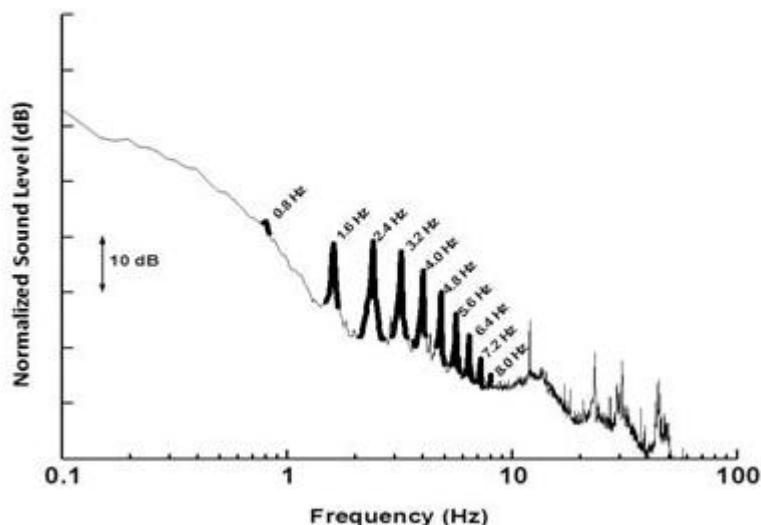
“環境省戦略指定研究（風力発電等による低周波音の人への影響評価による研究）における風車騒音測定のために、20cm ϕ のウレタンフォーム製球形防風スクリーンと 12 面体の金属製枠にネットを貼った二重防風スクリーンが開発されている。太田ら 19)は、屋外で実験を行った結果、直径 20cm 防風スクリーンのみに比べて、12 面体防風スクリーンのみで約 10dB、その外側に同じネットを貼った立方体 防風スクリーンを付加した場合には 13dB (いずれも 8Hz) の低減効果が得られたと報告している。”

と書かれている。

カナダの文献 [A Primer on Noise](#) では、

“音源の回転周波数は、音を発している音源を特定するために使用できます。たとえば、毎分 16 回転(RPM)で回転する 3 枚のブレードを備えた風力タービンの基本周波数は、0.8 Hz(つまり、(3 ブレード X 16 RPM)を 60 秒で割った値)に対応します。したがって、この例では、特定の距離で測定された音において、風力タービンによる騒音レベルが、基本周波数と基本周波数の倍数で周波数ピーカーを示すのに十分なほど高い場合、風力タービン音をバックグラウンドノイズから分離することができます。これらの倍数は高調波と呼ばれ、基本周波数が 0.8Hz のソースの場合、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz、4.8Hz などになります。”

図2風力タービンの超低周波音測定 ↵



とあり、むかし、環境省が風車からの超低周波音の周波数を、 $f=RZ/60[\text{Hz}]$ としていた頃の記述と似ています。

その後、カナダ政府は方針を変えたようです。

カナダ政府の方針を変更させる原因是、

文献

[Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results](#)

です。

そこには、

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。

because air flows over the microphone

での、over の意味ですが、

- 1 [位置が] ~の上 (空) の [に]、~より高い
- 2 [高い場所] を越えて [の上を通って]
- 3 [平らな場所を] 横切って、渡って
- 4 [端を] 越えて落ちて [下へ]
- 5 [場所が] ~の向こう側にある、~を越えた所にある
- 6 ~の表面に、~一面に
- 7 ~の上に触れて [振り下ろして]

- 8 [場所や内容の] 全てにわたり、至る所に
9 [電話やラジオなどを] 通じて、によって
10 [場所を] 覆って、隠して
11 [量・長さ・年齢などを] 超えて、上回って
　・ He weighs over 200 pounds. : 彼の体重は 200 ポンドを超えてる。
12 [期間] を通して [の間中]
13 [時期を] 過ぎて、[時期が] 終わって
14 病気や困難など] に打ち勝って、から回復して
　・ I think I'm over that now. : [葛藤・悩みなどについて] 今は乗り越えられたと思います。
15 [他のものより] 優れて、好んで
　・ I trust him over you. : 私はあなたより彼を信用します。
16 [影響力などを～に] 行使して、発揮して
17 ～について、～に関して
18 ～と比較して
19 《数学》～分の...◆A over B の形で「B 分の A」という分数を表す。副

の中で、

可能性が高いのは、

6 ～の表面に、～一面に

7 ～の上に触れて [振り下ろして]

だと思われます。

この場合は、

because air flows over the microphone

マイクの（振動版の）表面に触れて流れる空気が原因となって、
気圧変動がおこり、それが疑似音として記録される。

となり、

測定マニュアルの“風雑音”とほとんど同じ意味になります。

この場合は、

風車のすぐ近くでは、マイクに風が当たらなくても、音圧が高く、規則的な周波数を持った、超低周波音
が計測されました。

騒音計をポリ袋に入れて、段ボールの箱に入れて、車に積んで、車のドアを閉めた場合は、他の場合と比
べて、周波数は一致するが、より音圧が高くなっていました。

この超低周波音は、風がマイクに当たって発生したものではありません。そもそも、風はマイクに当たっ
ていないのです。

で、終了です。

また、

1 [位置が] ～の上（空）の [に]、～より高い
と解釈すると次のようなことになります。

精密騒音計を使って普通に測定すれば、[A Primer on Noise](#)にある様な、低周波音や超低周波音が記録されます。

この結果について、日本の環境省は、風がマイクロホンに当たったことが原因の風雑音だと言っているのですが、風をマイクに当てなくても、超低周波音が計測されるので、風雑音以外の超低周波音が、すべての風車の周辺では計測されることが分ってしまいます。

この結果は、風がマイクに当たっていないので、風雑音ではないのです。したがって、低減する必要も無いし、除去する必要も無ことになります。

もちろん、風のない室内で、測定すれば、より強烈な超低周波音が計測されます。音の反射が影響していて、高い音圧が計測されます。津波で反射波が合成されて大きな波が来るのと同じです。

被害の原因が明確になるので、室内での防風スクリーンを外しての計測が禁止されるのです。環境省は、屋外で、防風スクリーンを付けて計測しなさいと言うのです。

MIT の論文では、

風がマイクに当たって発生する風雑音とは違って、上空で発生した気圧変動が原因で、その影響が騒音計に記録された。と主張しています。

この立場だと、風がマイクに当たらない状態で超低周波音が計測されたとしても、特に困りません。超低周波音として記録される、疑似音があるからだと言い張れます。

これで、超低周波音の責任から風車を開放し、矛盾や追及を回避できたように見えますが、それほど簡単ではありません。

上空を流れる空気による気圧変動が疑似音が発生する原因ならば、風車のある所と、風車の無い所での疑似音に大きな違いがあるのは何故か。

日本の調査結果では、調査した 164 か所すべてで、超低周波音が記録されている、カナダ流にいえば、風車が存在する 164 か所全てで、疑似音がマイクの上空で発生している。そして、風車が有る場所での疑似音は、音圧が高く、規則的な周波数を持っている。

風が時々刻々変化するが、風車の近くで計測される疑似音の周波数は音圧に比べてかなり安定しているが、風車の無い所で計測される疑似音の音圧はとても低くて、周波数に規則性が無い。これから考えると、疑似音は風車が存在する場所でのみ観測される。と言える。

観測されるのだから、マイクの周辺での周期的な気圧変動が起きているのです。

風車音の指向性を考えれば、風車の周辺では、風車を中心とした指向性を持った音場が形成されている。と考えられる。

物理的な振動をいったん置いておくことにして、風車が有って、稼働すれば、その周辺には、音圧が高くて、規則的な周波数を持った、超低周波音の音場が出来ます。これは、風車を中心として、超低周波音が放出されていることを意味しています。

さらに、考えてみましょう。

では、疑似音の元になる気圧変動が発生する場所は上空のどの位置なのでしょうか？

また、記録された疑似音は規則的な周波数を持っています。これは、気圧変動が規則的な周期性を持っているのが原因です。

気圧変動が発生した元の場所から、騒音計までは、周期的な変動は、何を使って、どのように伝達されたのでしょうか？2つの間には空気が存在します。気体は横波を伝達しません。気体は縦波を伝達します。その縦波は普通は粗密波として、空气中を伝わります。大気の状態は、場所による密度の差はそれほどないで、等質空間と考えられます。

振動源が小さければ、同心球上の粗密波として、周囲の空間に伝わってゆきます。

疑似音の元になる、気圧の変動の領域はどこにあるのでしょうか？

私は、次の理由で、疑似音の発生場所は風車の場所だと考えます。

- ① 風車が無ければ、音圧が高くて、規則的な周波数を持つ疑似音が計測されることはない。
- ② 風車が有れば、音圧が高い疑似音が計測される。(計測した 164 か所の全てで計測されている。)
- ③ 計測された疑似音は、風車を中心とした十字架型の指向性を持っている。

まず、③の性質から、気圧変動の最初の場所は、風車を含む直線の上にあることが分ります。

風車から離れた上空での風の様子は、風車が無い場所での風の様子と同じです。この場所では、騒音計に記録される、音圧が高くて規則的な周波数を持つ変動の原因となるような気体の運動は起きません。

もし、起きるならば、風車の無い場所ででも同様の現象が起きるはずですが、そのような現象は起きません。したがって、気圧変動の最初の発生場所は、ブレードや塔のある位置に限定されるのです。

塔やブレードがあれば、空気の流れは妨げられて、気流に変化が起こります。もちろん、ブレードは回転し、塔も摇れます。

あとは、特別な振動数になる理由を、気流の変化で説明するか、塔の揺れから説明するかのどちらかです。気流の変化から説明できれば、疑似音とも言えますが、風車が無ければ気流の変化が起こらないですから、この疑似音は、風車の存在が根本原因だと言えます。

塔の運動が原因ならば、風車から発生する超低周波音だと言えます。

では、風車が無い場所での、空気の流れによる気圧変動と、風車が有る場所での気圧変動には、どのような違いがあるのでしょうか？

風車が存在しない場所（風車から 5 km 以上離れた場所）でも風は吹いています。地上付近にマイク置けば、マイクの上空を空気が流れます。気圧の変動も起きるとは思います。

結果として騒音計にデータが記録されます。超低周波音の領域（20 Hz 以下の領域）に属する成分も計測されますが、音圧が低くて、周波数に規則性がありません。

風車が有る場所では、空気が流れ、気圧変動が生じるのですが、気圧変動が騒音計に規則されたときには、音圧が高くて、規則的な周波数を持つ気圧変動として記録されます。しかも、指向性を持っている気圧変動なのです。

空気が流れるのは、風車が有っても無くても同じです。違いは風車の存在です。

問題点を確認してゆきます。

記録された気圧変動は特別な周期を持っているのだが、なぜ風車の近くでは規則的な周期を持っているのでしょうか？この周期は、風の速度や方向によって決まるのでしょうか？

風の速度が同じでも、風車の回転数が違えば、気圧変動の周期が変化します。 $f = RZ / 60$ の周波数になる様に、音圧変動の周期が決まります。これは、風の音圧変動が風車の回転によって支配されることになります。

上空で発生した気圧変動の場所と、騒音計は離れています。気圧変動は空気によって伝えられます。

この伝わり方は、粗密波として伝わるのでしょうか？それとも別の形式で伝わるのでしょうか？

もし、粗密波として伝わるならば、音の性質と同じです。

上空の風による気圧変動は、風車が無くても発生するのか、風車が無ければ発生しないのか。の答えは出ています。

なぜ、風車が有れば、必ず、音圧の高い超低周波音が計測されるのに、上空で風が吹いていても、風車が無い場所では、音圧の高い超低周波音が計測されないのでしょうか？

“疑似音”は、風車が存在する 164 か所すべてで音圧が高く、規則的な周波数と指向性を持つ超低周波音として計測されています。風車が無ければ、音圧が低くて、乱雑な周波数の超低周波音が記録されます。

これまでの調査結果から、“音圧が高く、規則的な周波数と指向性を持つ超低周波音”は、回転軸が水平の風車が有れば、必ず計測され、無ければ計測されないのであります。上空を吹く風は同じですから、風車の存在と風車の運動がこの超低周音の発生原因だと考えるべきです。

6. 超低周波音の解析と発生の仕組み

で解明している通り、回転軸が水平の風車は、物理的に見て、超低周波音の発生装置そのものなのです。

地表から離れて、高く上ると風速が大きくなります。風が吹くとブレードに揚力が発生して、風車が回転します。この時、高さによる風速の差で、揚力が原因である、風車の塔に掛かる回転モーメントが回転によって変化します。

振動の周波数と振幅は、マクローリン展開に係数に従ったものになります。

そして、風車全体が振動するときに、風車の地上 40 m から 50 m の高さの辺りでは、風車音の指向性に合致した、側面の振動が起こります。そして、高い音圧で、規則的な周波数と指向性を持った超低周波音が発生することになります。

まさに、[A Primer on Noise](#)

How is sound created?

When an object vibrates back and forth it causes small increases and decreases in air pressure that travel, or propagate, through the air as sound waves.

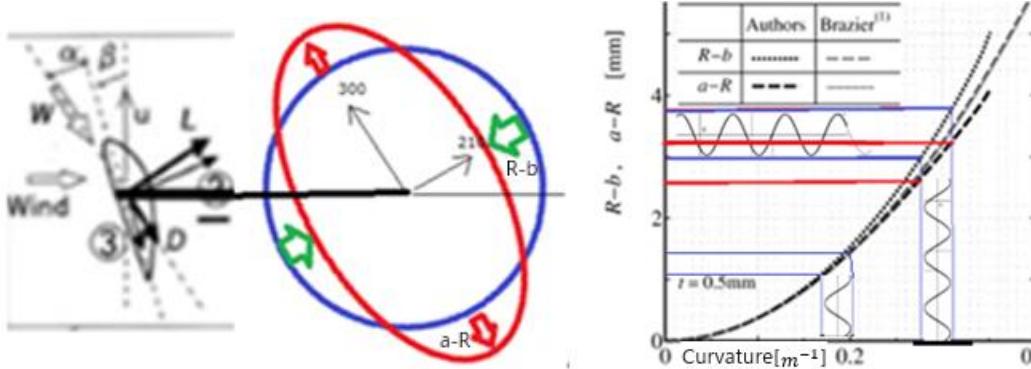
にある通り、

“音はどうやって作られるのか？

物体が前後に振動すると、空気圧がわずかに増減し、音波として空气中を伝搬します。”

と書かれている通りなのです。

指向性と規則的な周波数と高い音圧を持った超低周波音を、塔の中央の大きな面積を持った部分が前後に動くことによって、発生させているのです。



上空の風だけでは、このような超低周波音は発生しません。

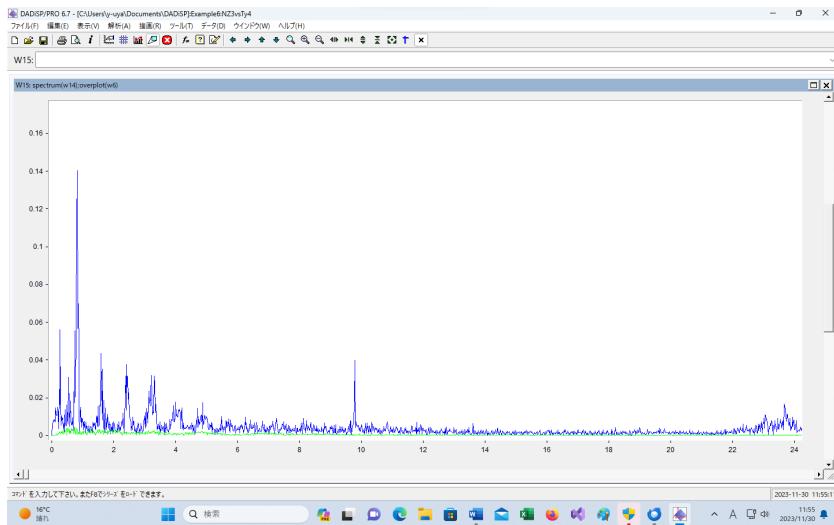
そこに、

風車が有れば、音圧が高くて、規則的な周波数で、指向性を持った超低周波音が計測されるのです。

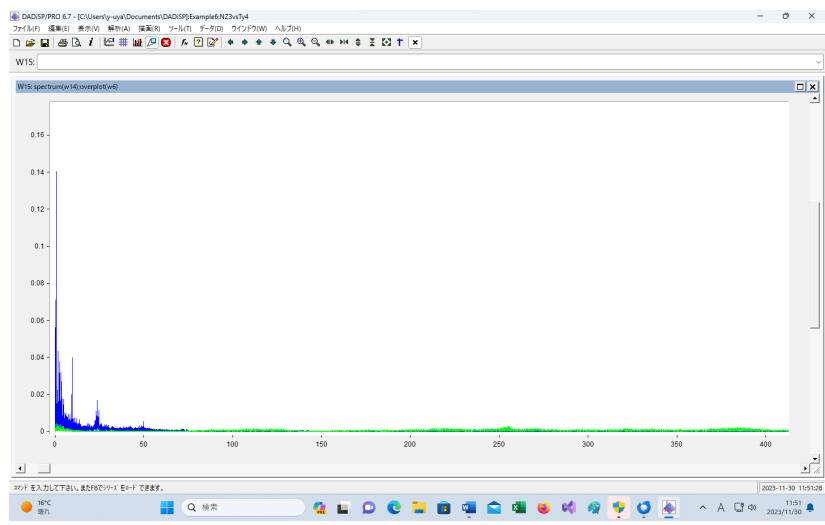
風車がなければ、音圧が低くて、乱雑な周波数の超低周波音が計測されるのです。

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（風車が無い場所）での音（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（風車が無い場所）での音（緑）の周波数スペクトル



不思議な“風雜音”的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。

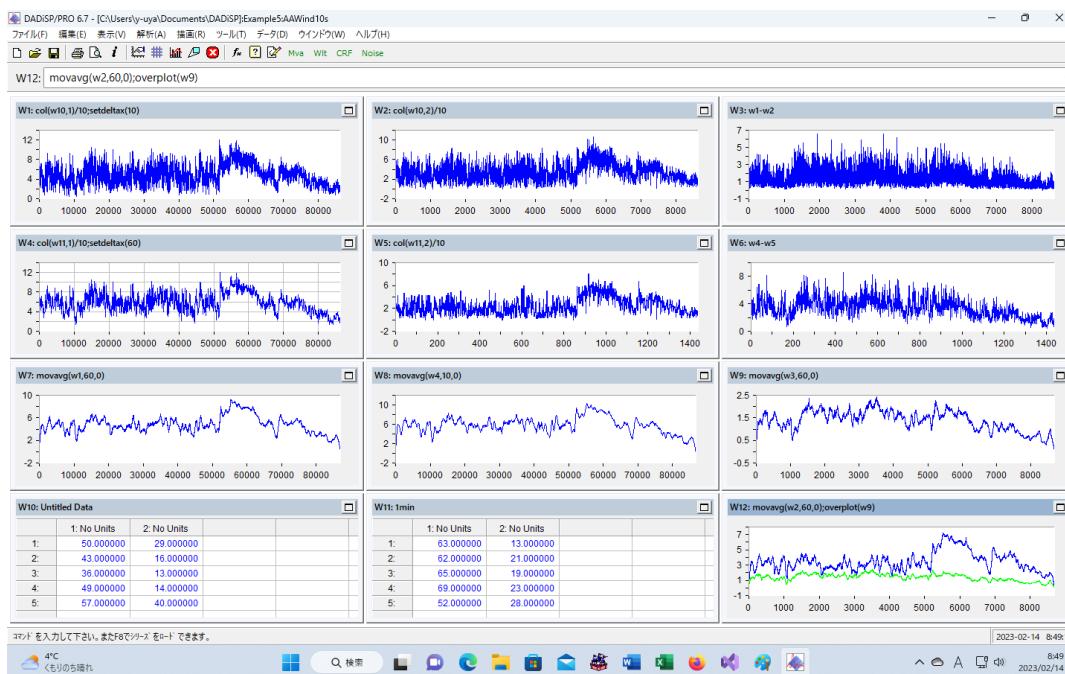
風車音の指向性については、[風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について](#)、に書かれています。これは、風車を中心にして、“風雜音”が特定の方向で強くなるという事です。すなわち、マイクに当たる風は、特定の方向に関して同時に強くなったり弱くなったりしなくてはならないのです。

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：

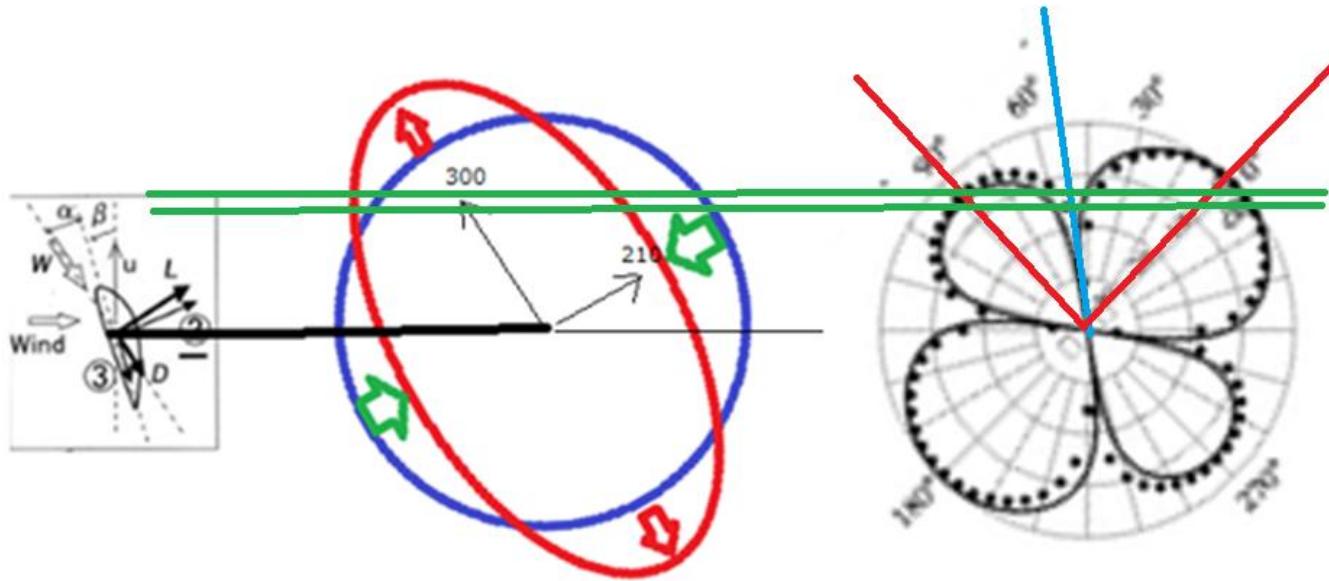


(上のグラフは、2019年1月1日の24時間分の記録です。)

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。

風が強ければ、風雑音が大きいと仮定すると、水平に引いた緑の線が風の向きです。風が緑の線に沿って左から右に流れるとします。

最初に赤い線に当たるときは、音圧が高いので風速も大きい。次に青い線に当たるときは、音圧が低いので風速は小さい。再度赤い線に当たるときは、音圧が高いので風速が大きい。となります。

風速は、赤い線の所では早く、青い線の所では遅いのです。風が、赤い線と青い線を認識して自ら風速を調整してくれなければ、このようなことは起きません。これが起きなければ風車音は指向性を持てないのです。

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。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？

風車音、特に超低周波音が、疑似音説や風雑音説では説明困難な指向性を持っていることは、次の論文に書かれています。

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に 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 L_{eq} 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畠され、 L_{eq} が増大しているものと考える。逆に降り上る方向の L_{eq} 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 L_{eq} よりもブレード後方の L_{eq} 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。

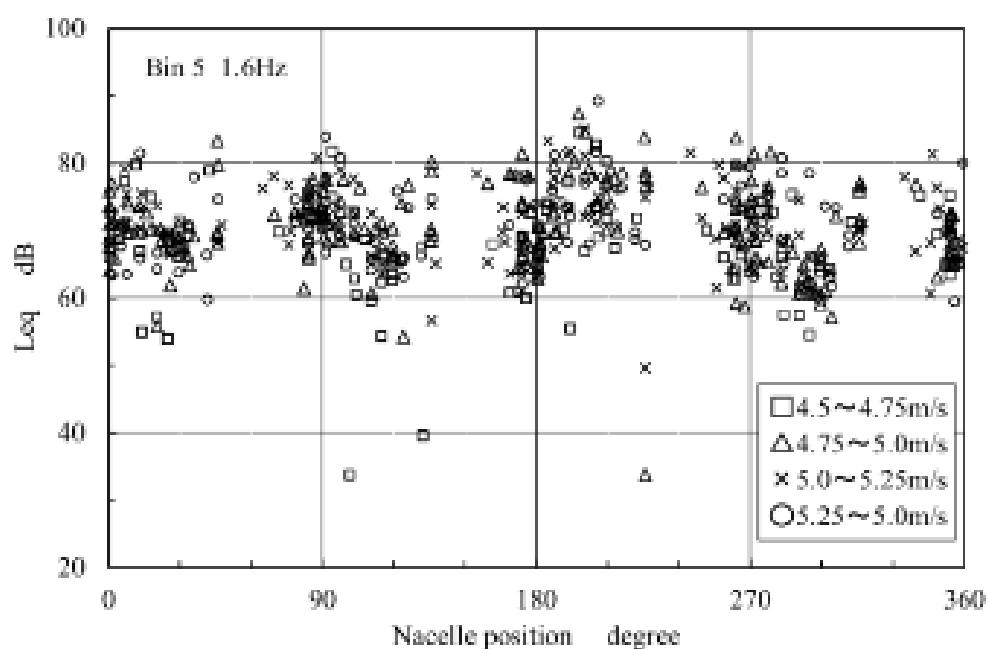


図 6 Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

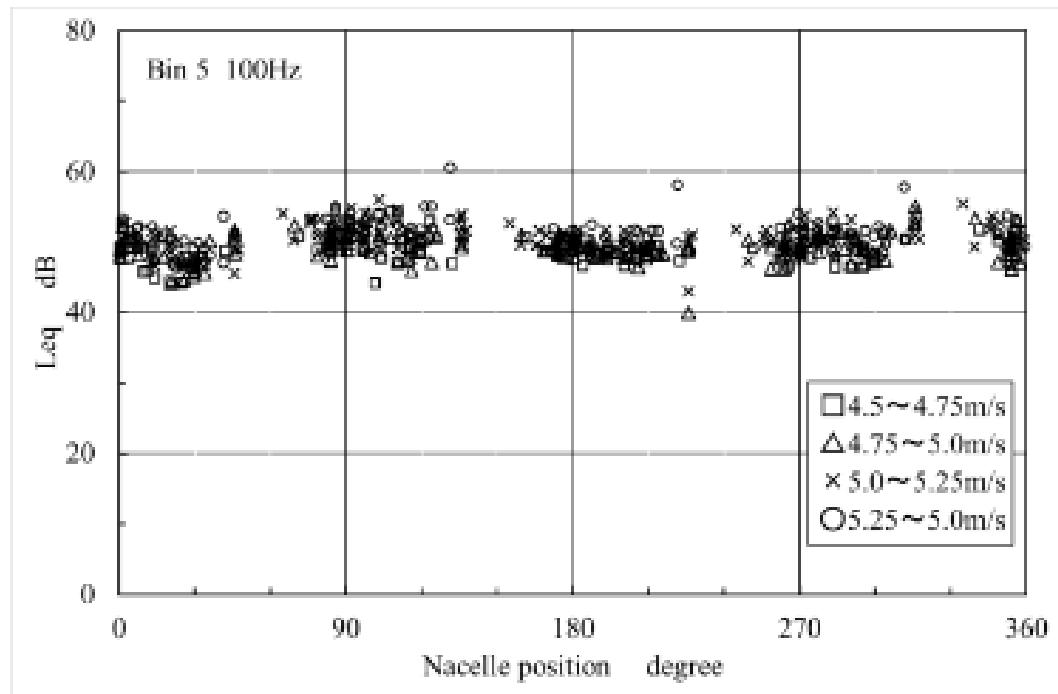


図 7 Bin 5 中心周波数 100Hz の指向性分布

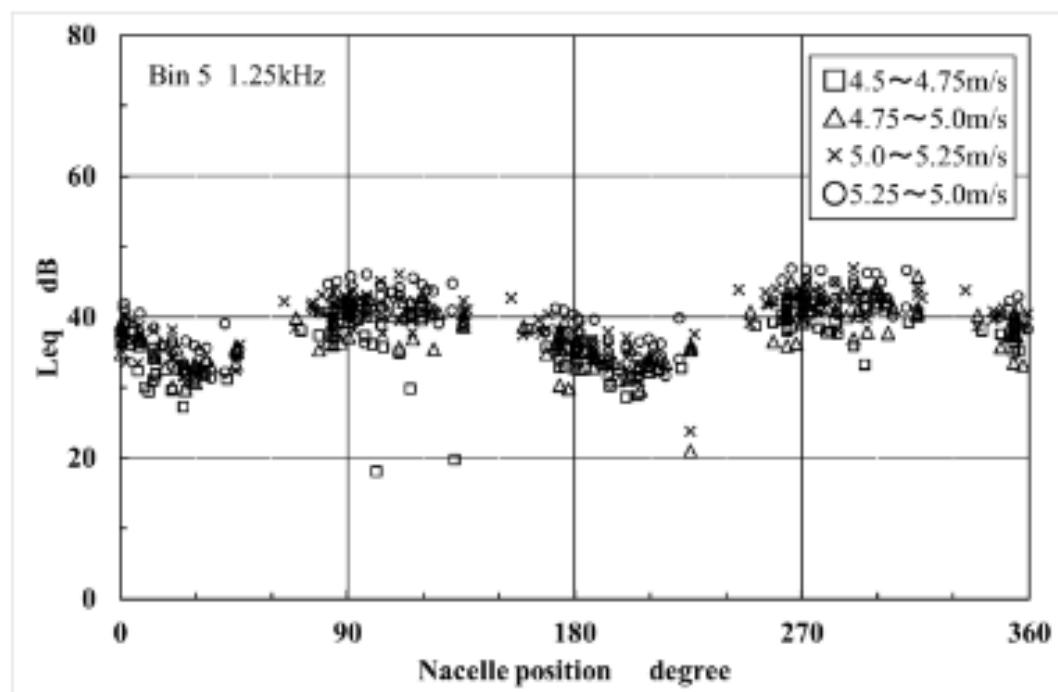


図 8 Bin 5 中心周波数 1.25kHz の指向性分布

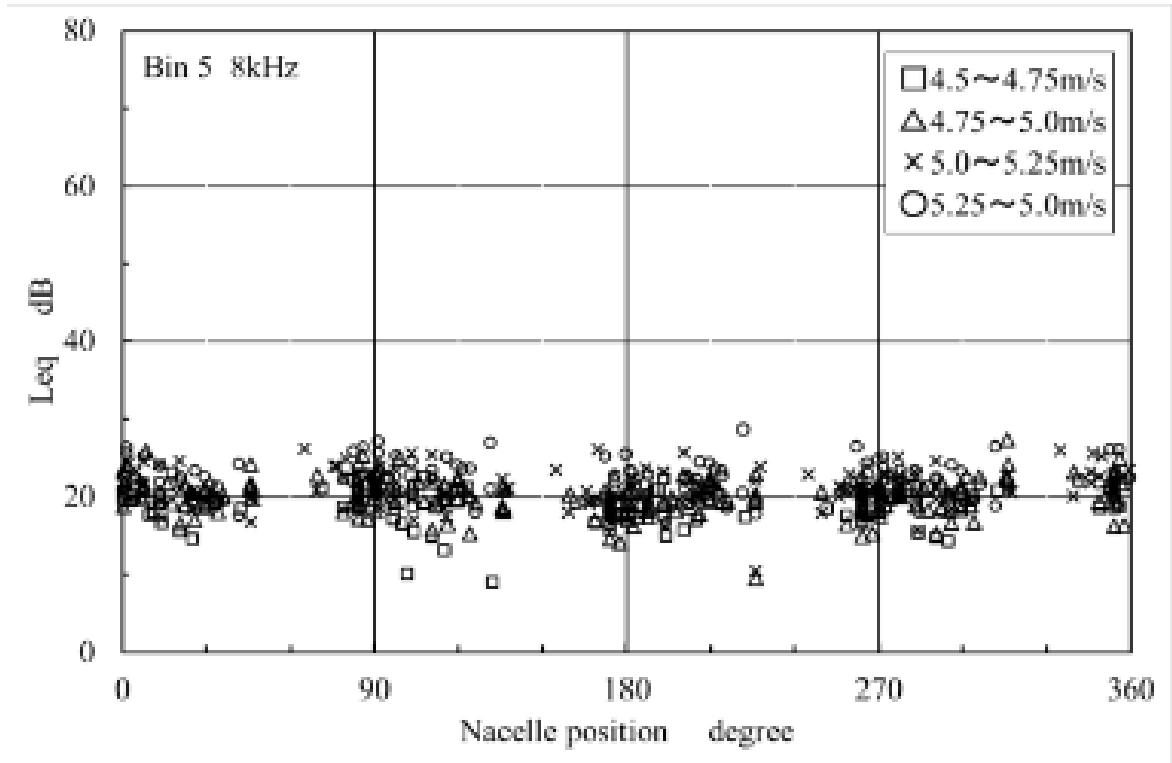


図 9 Bin 5 中心周波数 8kHz の指向性分布

この中で、

“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。”

とあるが、

音源は何か、物体のどの様な動きが音の指向性に対応しているのかを調べれば、予測自体が間違っていることが分ります。

塔の動きを把握することが必要なのです。

- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畠,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
- 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

5.8 超低周波音の解析と発生の仕組み

を確認してください。

風雑音と言われる、音圧が高くて規則的な周波数を持つ超低周波音は、マイクに風が当たっても、当たらなくても、近くで風車が稼働していれば、必ず計測されるのです。全国 164 か所での観測記録を、線形目盛りとパスカル値で書き直せば、すぐに分かります。

3. 2. 5 天罰

“風雜音”といつて、風車の超低周波音を風のせいにしてはいけません。

濡れ衣を着せられれば風神も怒ります。そして、天罰が下ります。風車からの超低周波音を“風雜音”と言つてはなりません。

観測される超低周波音の原因はマイクに風が当たる事ではないのです。もし、マイクに風が当たることが原因ならば、風車が無い場所でも同じようは周波数スペクトルが現れなくてはなりません。

さらに、どこでも風が吹いているですから、どこでも風車のある場所と同程度の被害が出ているはずです。低周波音特有の圧迫感や頭痛の訴えがあるはずですが、そうではありません。

“風雜音”とは、考えることを止めました。計測することを止めました。被害の原因を追究することを止めました。私には研究者の資格はありませんと自ら宣言していることになるのです。

マイナス面だけではありません。風車からの超低周波音だと考えれば、この音は金属疲労による風車の倒壊の予測に役立つのです。

金属疲労

風車は壊れます。風車の事故の記事ですが、

金属疲労についても考慮する必要があります。飛行機の事故では金属疲労の話をよく聞きます。風車でも起ります。

金属疲労で1メートルの亀裂 京都・伊根町の風力発電所事故で専門家会議

2013/8/5 08:53

産経WEST | できごと



広告 エンジニア諸君
+ スキル 偏差値 70へ
+ 重要
挑戦せよ
<GitHub>でスキル偏差値を見る
サクッと50秒でエンジニアスキル偏差値がわかる!
Findy もっと見る

今年3月、太鼓山風力発電所（伊根町）で、風力発電機の鉄製タワーが折れ風車部分が落下した事故をめぐり、事故原因について検証している府の専門家会議が4日、京都市内で開かれ、金属疲労によって長さ約1メートルの亀裂ができ、それが広がったことで破断につながった、とする検証結果をまとめた。

同会議によると、外観調査や金属組織の分析から、3枚の羽根（長さ25メートル）と発電機など計45トンが溶接された鉄製タワー（高さ50メートル）の上端部付近で、金属疲労による亀裂ができていたことを確認した。

ナセル落下を写真1-1にタワーの破断状況を写真1-2に示す。
また、タワートップ及びナセルの断面図を図1-3に示す。



写真1-1 ナセル落下

原因は、特別に大きな力が働いたというわけではなくて、金属疲労とことです。

金属疲労は、比較的小さい応力でも繰返し受けることで、材料に小さな割れが発生し、それが少しづつ進行して、最終的には破壊にいたる現象です。

金属疲労がなぜ問題になるのか？

金属が破壊するのにはいくつかのパターンがあります。

最も単純なケースとして引張試験のように応力をかけ続け破壊するものです。この場合、破壊の前に変形が起こるため、確認は容易です。

しかし、金属疲労の場合、大きな変形は起きずに小さな割れが起こるだけです。そのため、疲労の発生確認と破壊までの予想時間が困難です。

金属材料は自動車や航空機、建築物などに使用されています。これらはほとんど常に応力がかかる状態であるため、金属疲労が起こります。実際の金属材料の不具合や事故の多くはこの金属疲労が原因です。

さて、

“金属疲労の場合、大きな変形は起きずに小さな割れが起こるだけです。そのため、疲労の発生確認と破壊までの予想時間が困難です。”

については、風車の場合は可能なのです。

金属疲労の原因となり繰り返して起きる小さな変動は、風車の超低周波音の観測から、その詳細を把握できるのです。

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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

には、ナセルと塔の側面が大きく揺れることが書かれています。

塔が揺れれば、塔が曲がります。塔の振動の周波数は、1.6Hzです。(比較的小さな風車なので回転数が大きいのでしょうか。) この周波数 1.6Hz は、ブレードの回転数から計算した風車音の超低周波音のうちで、最も音圧が高くなる周波数と一致しています。

従って、風車からの超低周波音の周波数を正確に測ることは、風車に起きる金属疲労の状態を予測する方法の一つと言えるのです。

風車音の超低周波音の部分を解析しない、論文が、熊谷組の名前がついた形で公開されていることは、風車に関して、建設後の金属疲労に関心が無いのが熊谷組なのかと思われてしまいます。

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

には、風車音が指向性を持つことが書かれています。

計測結果では、1.6Hz の成分が目立ちます。

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

には、円筒が曲がる場合の曲面の変形について書かれています。この変形が大きな方向と風車音の持つ指向性とは一致しています。

5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010

を見れば、定常運転の時の、ブレードに掛かる揚力ベクトルの方向が、塔の振動方向であることが分ります。

もしも、金属疲労に関心があるならば、塔の振動を周波数が一致していて、しかも運動方向と指向性が一致している風車音を調べるべきだと考えます。

これによって、金属疲労の蓄積が把握できます。倒壊事故を予測できるのです。

風雑音を風車からの超低周波音だと理解して、それが発生する仕組みを考えることが大切なのです。風車が上げている悲鳴を聞き取ればよいのです。

“風雑音としたのでは、風車の悲鳴を聞き取れません。”

金属疲労は毎日の繰り返しですが、近年は台風が大型化しています。水平軸型の風車の最上部にあるナセルは、トラックのような形状です。横風を受けると、大きな被害が出ます。

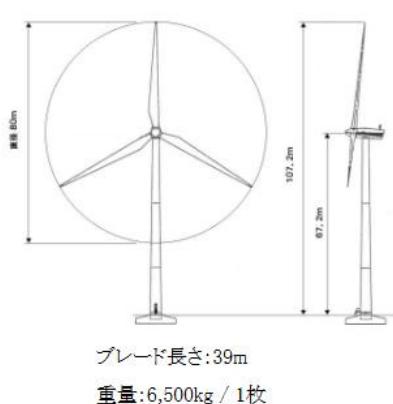
被害を避けるためには、風に対して正面を向けて、風の影響を小さくするのです。これが出来なくなると、次のような事故が起こります。

台風は今後も大型化します。この事故はこれから起こるのです。

的山大島風力発電所：台風 9 号・10 号によるブレード折損事故に関する報告（第 4 報）

風力発電所の概要

事業者名	株式会社的山大島(あづちおおしま)風力発電所
出資比率	ミツウロコグリーンエネルギー:75% 平戸市:25%
発電所名	的山大島風力発電所
所在地	長崎県平戸市大島村前平
定格出力	32,000kW (2,000kW×16基)
運転開始	2007年3月
風車メーカー	Vestas Wind Systems A/S
機種	V80-2.0 定格出力:2,000kW
風車クラス	IECクラス:1A 設計風速50m/s(10min.ave)
ローター直径	80m ナセル本体:地上より67.2m
カットイン	4m/s 定格風速:15m/s カットアウト:25m/s



3

事故の概要

台風9号時

2020年9月2日夕方から9月3日早朝にかけ、台風9号が的山大島の西側を通過した。このとき、発電所の風車全16機のうち8号風車、13号風車、16号風車の3機のブレードが破損した。

風車は台風通過前に風速25m/sのカットアウト風速を超えたため、保安停止中の7号風車を除き、全機自動でPause状態に移行していた。

Pause状態：風車は発電停止し、ブレードピッチはフェザリング状態で、ヨーは自動追従となります



8号風車:ブレード3枚破損



13号風車:ブレード1枚破損

台風10号時

台風9号通過から中2日、2020年9月6日夕方から9月7日早朝にかけ、台風10号が的山大島の西側を通過した。このとき、7号風車のブレードが破損した。

台風9号通過時に発生した故障により、事故機である4機については、ヨーイングに異常が生じており、風向の変化に追従できない状態となっていた。



16号風車:ブレード2枚破損



7号風車:ブレード1枚破損

ヨーイングとは、ナセルの向きを風の方向に向けることです。これが故障すれば、当然事故は起こります。しかし、故障しなくとも、事故が起こる可能性はあるのです。

風が、大きさと方向を激しく変化させることは、気象庁のデータから明らかです。

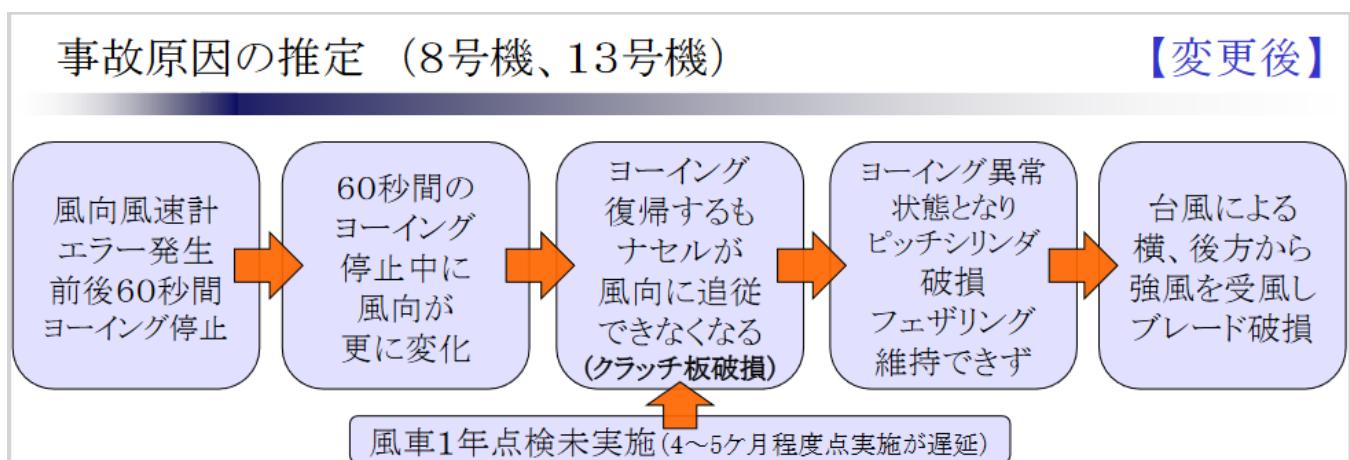
次の表は、気象庁が計測したデータを、気象業務支援センターから入手したものです。

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。

風の急激な変化についてゆくには、風車の向きを高速で変化させなくてはなりません。発電機の部分はとても重いので、激しく向きを変えればそれだけで壊れます。構造から考えて、水平軸型の風車は、根本的な欠陥品なのです。



8号機、13号機の事故原因について

この2機について、ヨーイング機能に異常を生じさせた原因として、計測範囲を超えた風速による、風向風速計のエラー発生が挙げられる。

風向風速計のエラーにより、風向とナセル方向の差異が拡大し、その状態で瞬間に強い力が加わったことでクラッチ板が破損したものと推測する。クラッチ板については、前年度の1年点検実施から1年以上点検が行われておらず、メーカーが指定する1年毎の定期点検が適切に実施されていない状態であった。

ヨーイングに異常を生じさせた原因是、計測範囲を超えた風速によるエラーの発生、点検が適切に行われていないために生じたクラッチ板の破損であったと推測する。

世の中には、音も静かで、風に合わせて向きを変える必要のない風車もあります。パリのエッフェル塔に登ってみてください。

3. 3 経済産業省

経済産業省は（平成十年通商産業省令第五十四号）の別表第十二（第二十三条関係）で次のように書いている。

建設機械の稼働	一 調査すべき情報 イ 騒音の状況 ロ 地表面の状況 二 調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、前号イの情報については騒音規制法第十五条第一項の規定による特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準において定められた騒音についての測定の方法 三 調査地域 音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 四 調査地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点 五 調査期間等 音の伝搬の特性を踏まえ、第三号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯 六 予測の基本的な手法 音の伝搬理論に基づく計算 七 予測地域 第三号の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 八 予測地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点 九 予測対象時期等 建設機械の稼働による騒音に係る環境影響が最大となる時期
---------	--

建設機械の稼働では、三 調査地域、四 調査地点、五 調査期間等、では“音の伝搬の特性を踏まえ”とある。建設機械はそれほど大きくはなし、音の指向性を無視してもそれほど大きな問題ではない。少し離れば点音源とみなしても差し支えない。さらに、建設機械の音では 20Hz 以上の成分が音のエネルギーの 90% 以上を占めている。よって、音の伝搬理論による騒音についての計算結果には、信頼性があると言える。

単純化して、地表に置かれた点音源として扱っても大きな誤差は生じないと思われる。もちろん、精密騒音計での確認は必要です。

しかし、施設が稼働してから発生する音に関しては、簡単ではありません。

施設の稼働	一 調査すべき情報 イ 騒音の状況 ロ 地表面の状況 二 調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、前号イの情報については環境基準において定められた騒音についての測定の方法、測定場所及び測定時刻 三 調査地域 音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 四 調査地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点 五 調査期間等 音の伝搬の特性を踏まえ、第三号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯 六 予測の基本的な手法 音の伝搬理論に基づく計算 七 予測地域 第三号の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域 八 予測地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点 九 予測対象時期等 発電所の運転が定常状態となる時期及び騒音に係る環境影響が最大になる時期（最大になる時期を設定することができる場合に限る。）
-------	--

音源が、点音源か、線音源か、面音源かによって、音の伝搬特性は大きく異なります。音の性質を調べて、音が発生する仕組みを解明しないと、音源としての風車はどのようなものと考えたらよいのか分かりません。

詳細は“風車超低周波音 2023”に書いてありますが、ここでは、簡単に特徴と結論を述べておきます。風車音に含まれる超低周波音に関しては、図 5、図 6 を比べれば特徴が分ります。

図 5. 風車音（館山風の丘） 0 ~ 25Hz

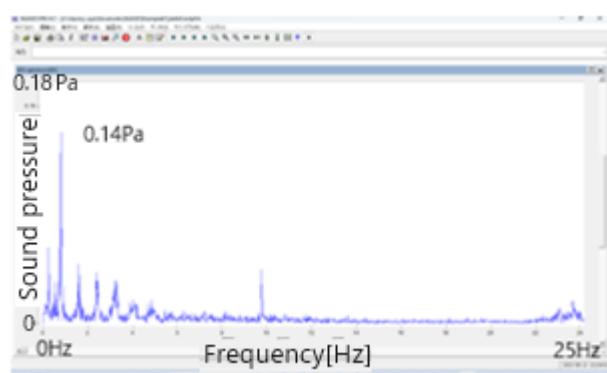


図 6. 長尾神社の音 0 ~ 25Hz

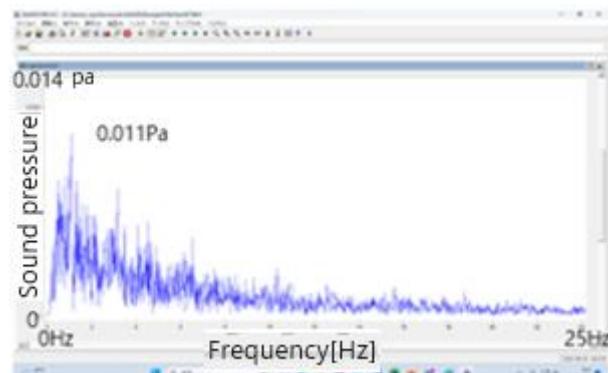


図4は、風車の近くに車を止めて、精密騒音計を車内に置き、風下の窓を開けて計測した音の超低周波音の成分です。図5は、近くの長尾神社の階段にマイクを置いて、マイクに風が当たる状態で録音した音の超低周波音の成分です。

風車音では、音圧が高く、音圧がピーク値となるときの周波数に規則性が見られます。神社の音は、ランダムに吹く風を表していてピーク値の周波数についての規則性が見られません。この違いに注目しながら、その周波数の音が発生する理由を詳しく調べる必要があります。

そのためには、ナセル（風車の上部にある発電機が入っている部分）の振動の様子、塔の地上40mあたりでの側面の振動、塔の曲がり方と側面の変形の様子、風車音の持つ指向性、超低周波音の部分の詳細な周波数の計測などが必要である、さらに、そのような音が出てくる物理的な理由を示す必要があります。

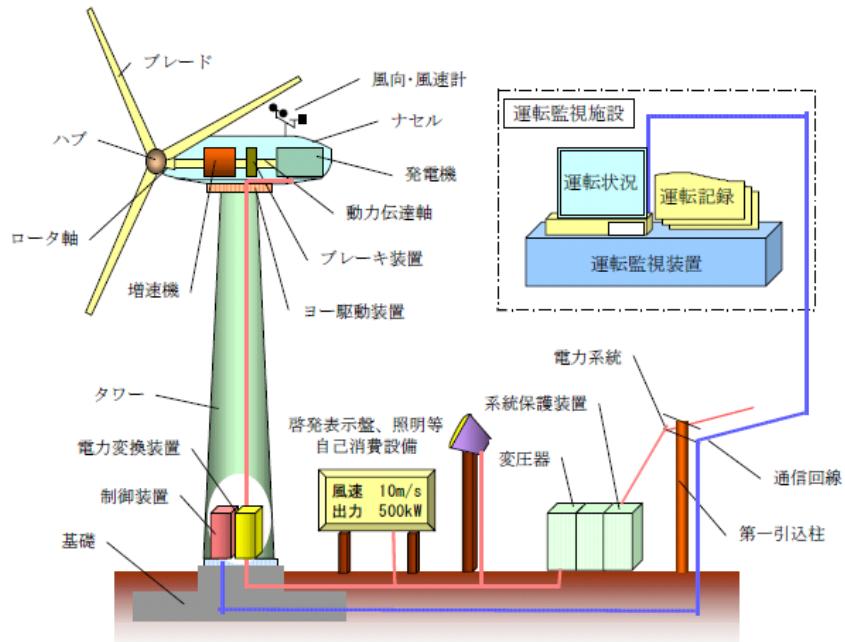


図2.3-2 プロペラ式風力発電システム

さらに、被害の予測では、風速や風向の変化についての評価が必要になります。風車音の音圧は風の変化に応じてかなり変化するからです。

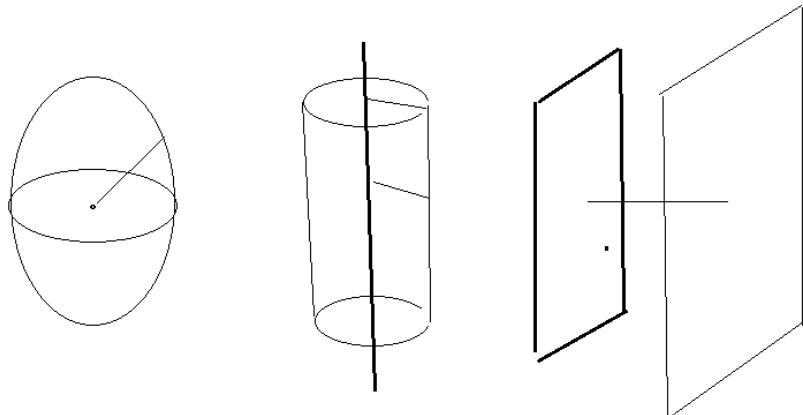
結論を言えば、音源としての風車のイメージは次の図のようになります。それは両面に革が張ってある太鼓2個と笛1個をセットにした楽器のようなものです。



Fig. 13 Image of Wind turbine noise

普通の音は音源から離れれば小さくなります。原因是、音波の面の拡大による幾何学的な減衰と熱エネルギーへの転換による音のエネルギーの減少による空気減衰です。

幾何学的な減衰では、音源の形が問題になります。点音源、線音源、面音源で考えてみれば、



となって、面音源では、幾何学的な距離減衰は期待できません。

点音源から出る球面波音の伝搬の様子と、平面を音源とする平面波音では、伝搬の様子が全く異なる。音源の形が分からなければ、伝搬の様子を把握できないのです。

音源の形を把握するには、風車音の性質を詳しく調べて、風車音が発生する仕組みを解明しなくてはならないのです。また、周波数特性を知らなければ、風車音のエネルギーの減衰の様子も分からぬのです。

少なくとも、風車音の周波数特性、各周波数帯でのエネルギーの分布、風車音の指向性、風車音が発生する仕組み、などが無ければ、音波の拡散に関しての計算は出来ないので。

これには計測が必要です。風車音の詳細な性質を解明できるような計測データを公開してくれる業者はいません。県や市も計測してくれません。最新の精密騒音計を持っている県や市は極めて少ない。まして、最新の解析ソフトを持っている県や市は存在しません。

実際の業者による計算は、点音源と仮定して計算をしています。また、業者の計算では、風車音のエネルギーの7%以下の部分しか評価の対象としていないのです。

業者に測定と予測を任せていては、問題は拡大するばかりです。

また、低周波音や超低周波音を考えると空気減衰しにくいのと、防音窓の効果が無い事も大きな問題となります。

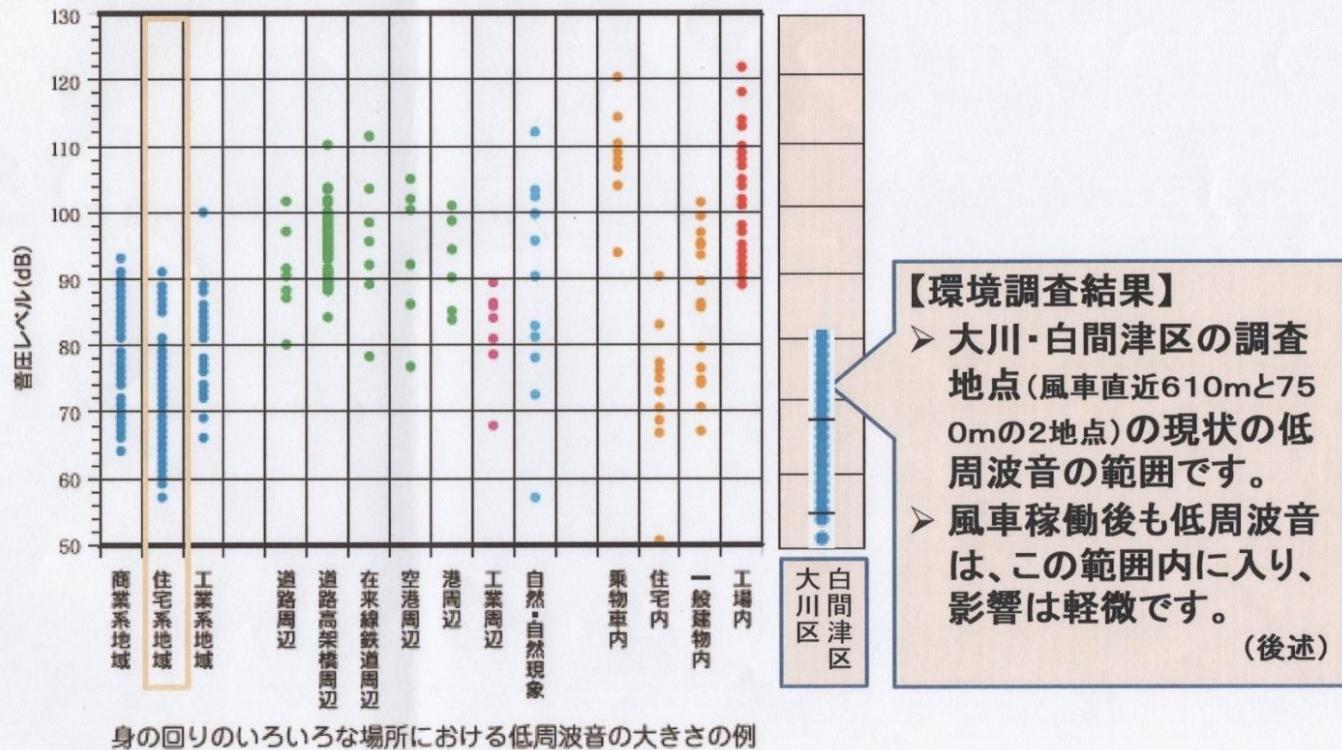
3. 4 ある企業の主張

地元に来た業者は、低周波音の計測結果を示しました、50～80 dB程度だと言っています。

低周波音はどこにでも存在します。 出典：環境省「低周波音の測定方法に関するマニュアル

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。



身の回りのいろいろな場所における低周波音の大きさの例

上の資料は、環境省“低周波音の測定方法に関するマニュアル”からの引用です。

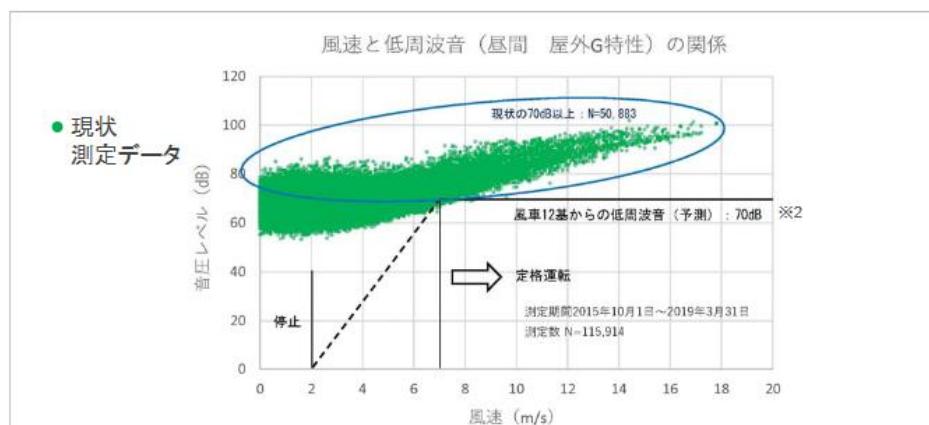
“大きな低周波音が発生すれば問題が生じる。”との記述が欠けています。さらに、風車の近くでの低周波音と風車が無い場所での低周波音の計測データが示されていない事も大きな問題です。右側には、環境調査結果となっています。本当に調査したのでしょうか？山口県の方でも、50～80 dBだったようです。

低周波音 測定結果(安岡本町3丁目)

現状(風車の建っていない状態)

昼間(6:00～22:00)

昼間の低周波音は、70dB^{※1}以上が4割程度ありました。



私が住んでいるのは、海岸の近くです。神社での音の1/1オクターブ解析での音圧レベルは、次の様になりました。

50.884	58.97	63.35	64.79	61.1	58.14	53.2	52.09	48.22	51.52	43.61	42.6	42.845	42.33	49.621	45.219	40.74
0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000

だいぶ小さな数値が並びました。40.74~64.8dBでした。

業者が示す、50~80dBよりはかなり低い数値です。数値があまりにも異なります。これでは、業者の数値を信頼できません。少なくとも、70dBを超えた時間は、1日、24時間のうちで、合計して何時間になるのでしょうか？

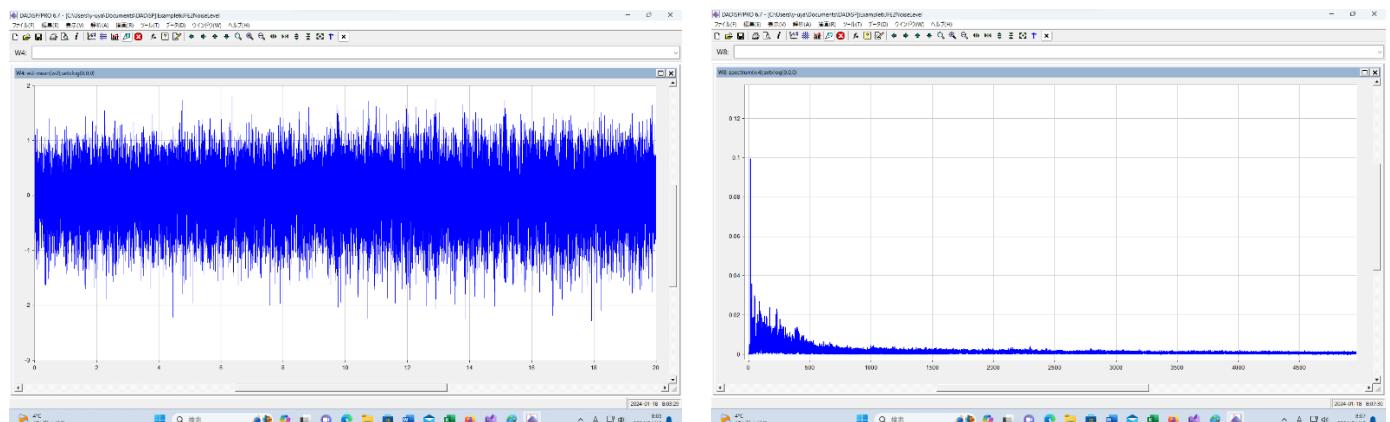
さらに、1/1オクターブ解析での数値が、50~80dBの間にに入るからと言っても、中心周波数によって音圧が全く異なります。音圧が大きければ被害が出ます。

帯域幅と中心周波数を無視して、50~80dBと言って安全だと主張するのは、詐欺のようなものです。

JFEの工場での音は、1/1オクターブ解析での最大音圧レベルは83.57dBで、中心周波数は125Hzです。

33.04	38.93	41.40	44.04	46.65	56.52	76.83	74.63	80.50	83.57	83.40	82.16	78.06	78.34	77.08
0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	31.50	63.00	125.00	250.00	500.00	1000.00	2000.00	4000.00

全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。125Hzの辺りの音圧が特に高いわけではありません。



周波数が高い部分での、音圧レベルの計算は、オクターブバンドの幅が広くなっているので、集計範囲が広くなります。集計結果として大きな値になっています。小さな値をたくさん集めたので、大きな数値になった。という事です。

風車の近くでの値は、

68.5364	68.17	88.449	82.743	84.95	84.24	71.38	72.92	62.43	58.25	47.03	40.67	37.006	38.707	38.465	35.853	34.79
0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000

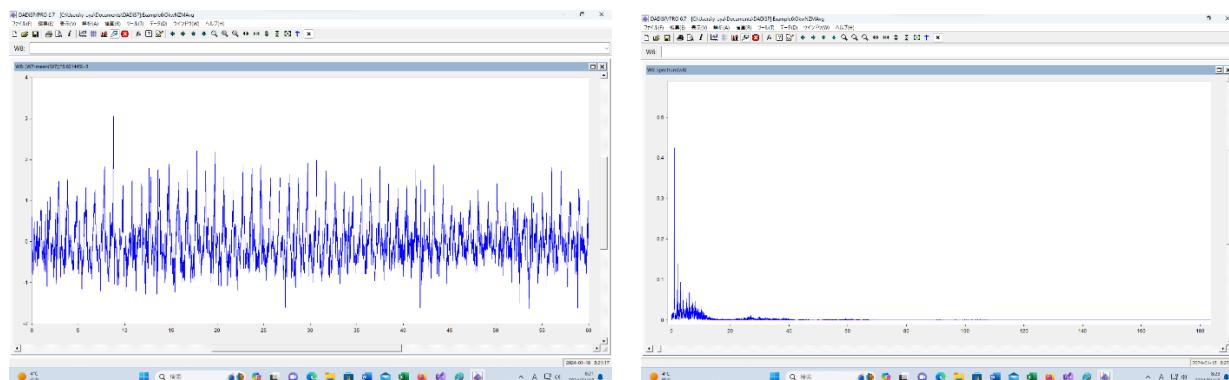
となりました。35.8~88.4dBでした。

$88.4 - 63.4 = 25 = 20 * \log(x)$ より、 $x = 17.8$ 中心周波数1Hzの所では、音圧が17.8倍になっています。

神社での最大音圧は0.01Pa(1.08Hz)、風車での最大音圧は0.42Pa(1.02Hz)なので、最大音圧に関しては42倍です。

風が強い時の風車音のグラフは、次のとおりです。

全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。1Hzの辺りの音圧が高くなっています。



JFE の工場での音は、1/1 オクターブ解析の値は次の表です。

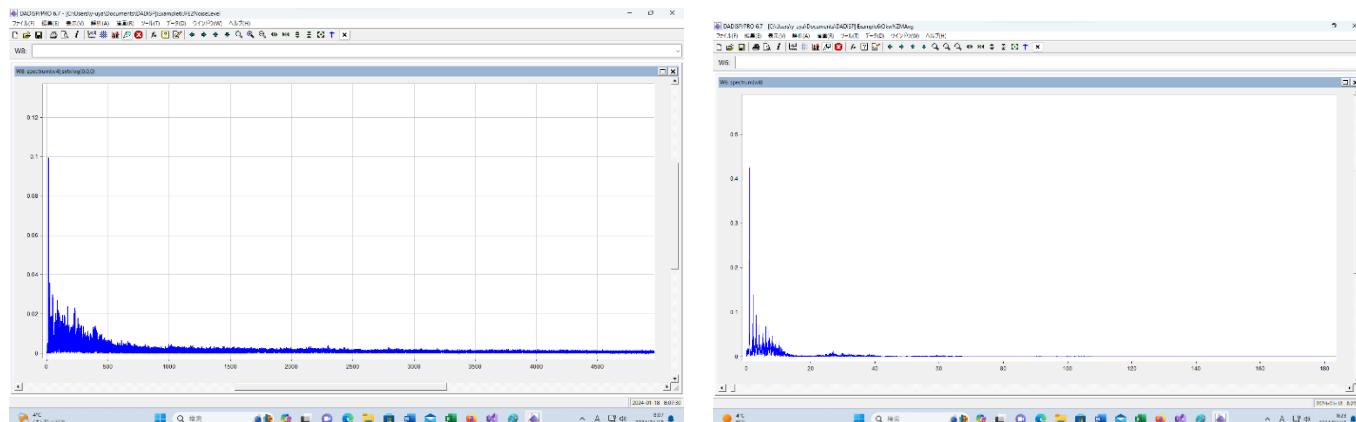
33.04	38.93	41.40	44.04	46.65	56.52	76.83	74.63	80.50	83.57	83.40	82.16	78.06	78.34	77.08
0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	31.50	63.00	125.00	250.00	500.00	1000.00	2000.00	4000.00

風車の近くでの 1/1 オクターブ解析の値は次の表です。

68.5364	68.17	88.449	82.743	84.95	84.24	71.38	72.92	62.43	58.25	47.03	40.67	37.006	38.707	38.465	35.853	34.79
0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000

80 dB 以上の値があるのは、工場音では中心周波数が 63~500Hz です。風車音では 1~8Hz です。この意味を確認します。

右の風車音では、1Hz 近傍の音圧が高いのですが、工場音では、250Hz 近傍の音圧はそれほど高くはないのです。



中心周波数と帯域幅

1/1 オクターブ解析での計算方法と、海岸での音と風車音の性質を確認します。

まず、1/3 オクターブ解析での中心周波数は、次の様になっています。

1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅								
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	
37	-12.3333	0.000194	0.194	0.173	0.218	0.045		
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
4	-1.33333	0.39685	396.850	353.553	445.449	91.896	400.000
3	-1	0.5	500.000	445.449	561.231	115.782	500.000
2	-0.66667	0.629961	629.961	561.231	707.107	145.876	630.000
1	-0.33333	0.793701	793.701	707.107	890.899	183.792	800.000
0	0	1	1000.000	890.899	1122.462	231.563	1000.000
-1	0.333333	1.259921	1259.921	1122.462	1414.214	291.752	1250.000
-2	0.666667	1.587401	1587.401	1414.214	1781.797	367.584	1600.000
-3	1	2	2000.000	1781.797	2244.924	463.127	2000.000
-4	1.333333	2.519842	2519.842	2244.924	2828.427	583.503	2500.000
-5	1.666667	3.174802	3174.802	2828.427	3563.595	735.168	3150.000
-6	2	4	4000.000	3563.595	4489.848	926.253	4000.000
-7	2.333333	5.039684	5039.684	4489.848	5656.854	1167.006	5000.000
-8	2.666667	6.349604	6349.604	5656.854	7127.190	1470.335	6300.000
-9	3	8	8000.000	7127.190	8979.696	1852.507	8000.000
-10	3.333333	10.07937	10079.368	8979.696	11313.708	2334.012	10000.000
-11	3.666667	12.69921	12699.208	11313.708	14254.379	2940.671	12500.000
-12	4	16	16000.000	14254.379	17959.393	3705.013	16000.000
-13	4.333333	20.15874	20158.737	17959.393	22627.417	4668.024	20000.000
-14	4.666667	25.39842	25398.417	22627.417	28508.759	5881.342	

1/1 オクターブ解析で中心周波数が、250Hz の場合は、1/3 オクターブ解析での 200Hz、250Hz、315Hz の帯域を合計したものになります。帯域幅は、 $45.948+57.891+72.938 = 176.777\text{Hz}$

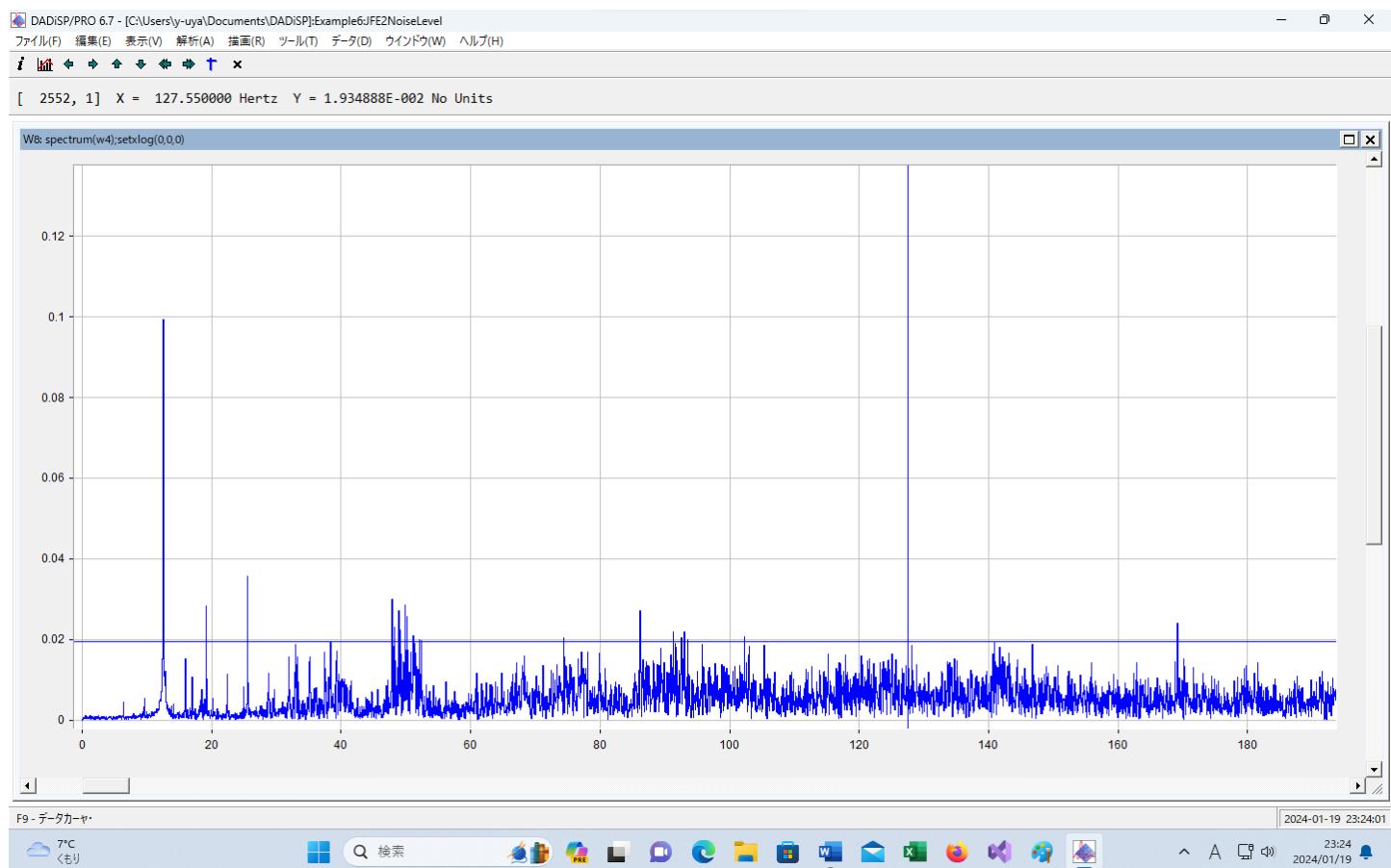
7	-2.33333	0.198425	198.425	176.777	222.725	45.948	200.000
6	-2	0.25	250.000	222.725	280.616	57.891	250.000
5	-1.66667	0.31498	314.980	280.616	353.553	72.938	315.000

となります。

工場の音の、1/1 オクターブ解析の表は次のものですが、

33.04	38.93	41.40	44.04	46.65	56.52	76.83	74.63	80.50	83.57	83.40	82.16	78.06	78.34	77.08
0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	31.50	63.00	125.00	250.00	500.00	1000.00	2000.00	4000.00

周波数が 125 dB の辺りでの音圧は、0.002Pa 程度です。



帯域幅、176.777 の中の音のエネルギーを合計したものから求めた数値が、83.40 dB です。
この辺りでの音圧は、0.002Pa と低いのですが、帯域幅が広いので、小さな数値をたくさん集めて大きな値になっているのです。

では、風車音で 1/1 オクターブ解析での中心周波数 1Hz の場合を確認します。

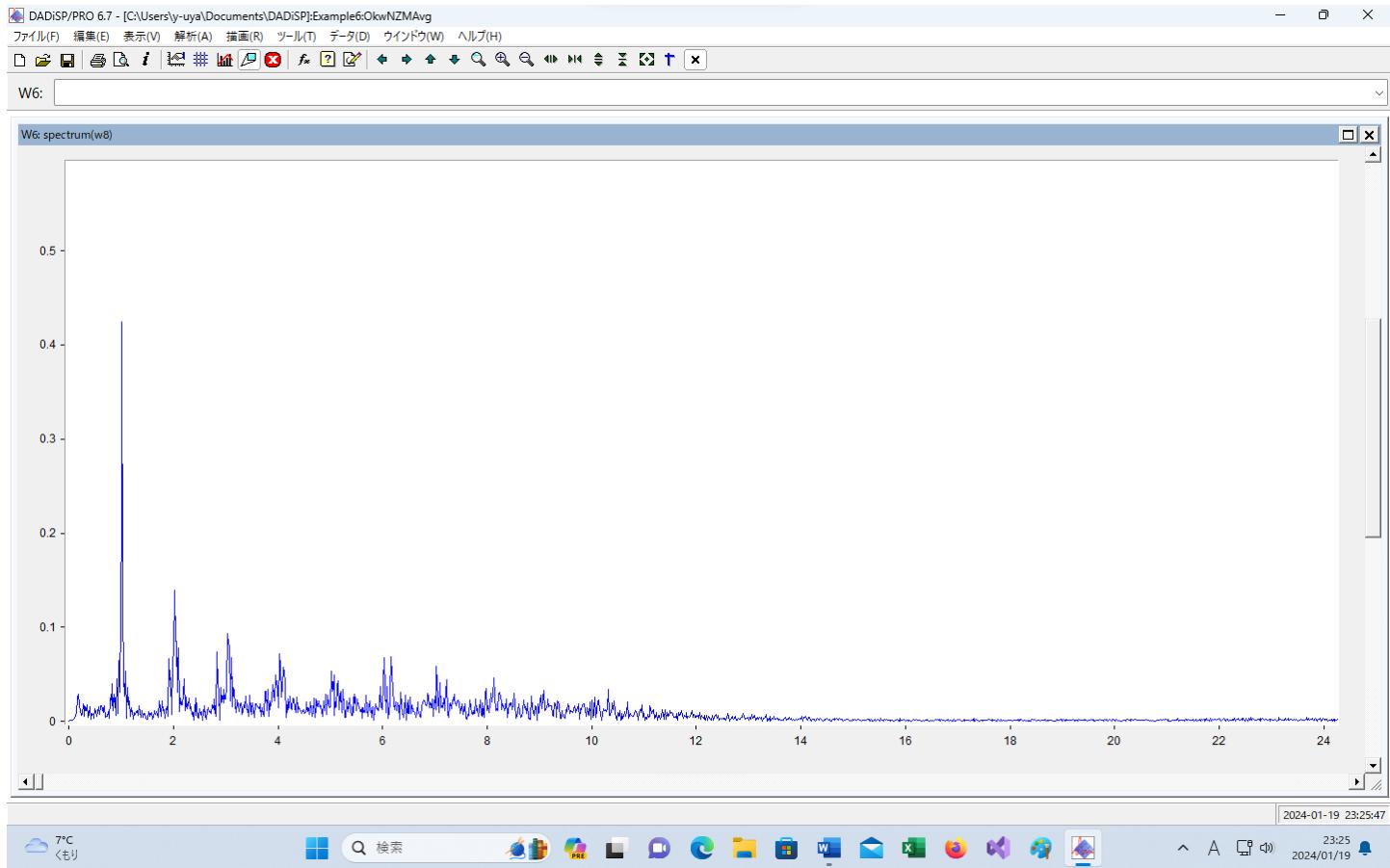
1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅								
x	x/3	2^(x/3)	厳密中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅	公称中心周 波数	
37	-12.3333	0.000194	0.194	0.173	0.218	0.045		
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057	0.250	
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071	0.315	
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090	0.400	
33	-11	0.000488	0.488	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	

0.8Hz、1H z、1.25H z の帯域が合計されます。帯域幅は、 $0.179+0.226+0.285=0.69\text{H z}$ です。

風車の近くでの 1/1 オクターブ解析の値は次の表です。

68.5364	68.17	88.449	82.743	84.95	84.24	71.38	72.92	62.43	58.25	47.03	40.67	37.006	38.707	38.465	35.853	34.79
0.25	0.5	1	2	4	8	16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000

周波数が 1 Hz 付近での最大音圧は 0.42Pa です



幅 0.69H z の幅の中でのエネルギーが 88.449 d B であり、狭い範囲にエネルギーが集中していて音圧も高くなっているのです。

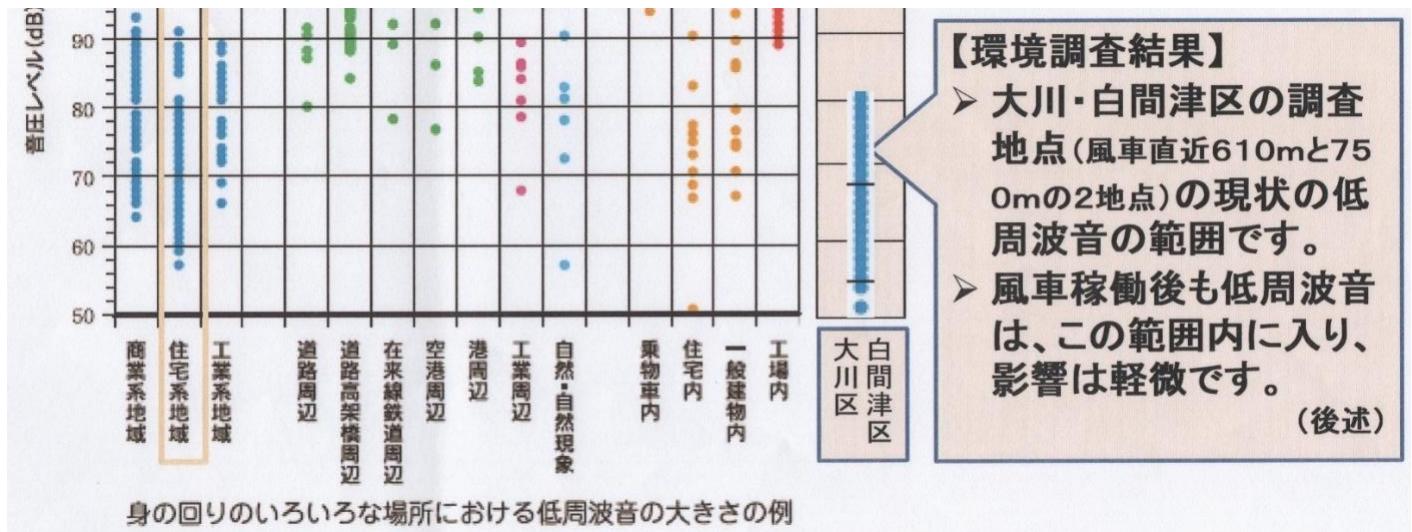
ですから、1/1 オクターブ解析での 80 d B は中心周波数の値によって、その範囲での音圧は全く異なるの

です。1/1オクターブ解析での数値が80dBでも中心周波数によっては被害が大きくなる場合が起きます。

風車が無ければ、中心周波数が高い所で、80dBとなる可能性もありますが、風車が建てば、超低周波音の領域で80dBを超えることになります。音圧レベルでは、全く違うのです。

計算方法から、超低周波音での80dBは極めて高い音圧の成分がある事を意味しています。中心周波数250Hzでの80dBは音圧が低いものが広い範囲で集計された結果なのです。

ですから、



数値が、50~80dBの範囲に入ることと、安全か否かは全く別の問題なのです。

私の地元に来た、この企業は、専門家の素晴らしい理論を引用します。

風車の回転音

- 扇風機の羽根の回転は、早く回るので羽が目には見えませんがブーンという音が聞こえます。これが回転音です。これは羽の回りの空気が逃げるひまがないので圧縮されて音波が発生します。
- この音は「回転数に羽の枚数を掛けた周波数」の回転音になります。
- 風車の場合は羽が見えるくらい回転音が遅い(1分間に16~18回転程度)ため、羽にあたる空気が回りに逃げ空気がかき回されているだけで回転音は発生しません。

風車の渦流音

- 回転する羽の周辺に発生する渦がつぶれる音で、風切り音です。
- 渦流音には広範囲の周波数成分が含まれ、主に耳に聞こえるのは高周波音です。
- 羽が風車の真下にきたときに最も大きく聞こえますが、超低周波音ではありません。
- 耳に聞こえる高周波の変動する風切り音が聞こえることとなります。

風車から原理的に超低周波音は発生しません

- 音は物体の振動によって発生します。「振動する物体の寸法が音の波長」が基本原理です。
- 超低周波音は1Hz~20Hzで波長は340m~17mの大きな波です。この寸法の物体が振動しないと超低周波音は発生しません。
- 風車には増速機、発電機などから構成されていますが超低周波音の波長より十分小さい寸法なので超低周波音を発生することはできません。

風車の騒音

- 風車には増速機、発電機などから構成されています。これらから低周波音を含む機械騒音が発生します。
- 騒音に対しては適切な測定を行い適切な対処を行うことによって解決することが可能です。

⑤ 【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。

風車から原理的に超低周波音は発生しません

- 音は物体の振動によって発生します。「振動する物体の寸法が音の波長」が基本原理です。
- 超低周波音は1Hz~20Hzで波長は340m~17mの大きな波です。この寸法の物体が振動しないと超低周波音は発生しません。
- 風車には増速機、発電機などから構成されていますが超低周波音の波長より十分小さい寸法なので超低周波音を発生することはできません。

素晴らしい理論ですが、ギターの6本の弦の長さは同じなのに、異なる波長の音が出ます。理論と現実が一致しません。たぶん、理論が正しくて、現実が間違っているのでしょう。偉い先生の理論に反論したら怒られそうな気がします。

こんなことを住民説明会で主張して、説明会が質問も反論もなく終わったら、企業は住民が納得してくれたと言い張るのでしょうか。

- 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。緑線の参考値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に対する参考値はありませんが、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。

最後のダメ押しで、“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。”と言っています。

田舎では、すぐに噂が広まります。被害を訴えれば、偉い学者の主張を信じた近所の人からは、“健常者ではない。”と言われてしまいます。被害を受けても、黙っているしかないのです。

今は、健常者ではないとは言いません。知覚閾値よりも小さな値であると言います。

被害を訴えれば、聴覚、感覚、知覚、では捉えられないものに関する主張となってしまうので、幻覚や幻聴、金目当てのクレーマー、あるいは気が狂っている。などと噂が広まってしまいます。

こんな中で、声を上げるのも憚られます。さらに、防音窓の工事や、地域の道路工事などで、お金での縛りが掛かっています。

いくら何でも、次のようなことを言いうべきではありません。

風車から原理的に超低周波音は発生しません

- 音は物体の振動によって発生します。「振動する物体の寸法が音の波長」が基本原理です。
- 超低周波音は1Hz~20Hzで波長は340m~17mの大きな波です。この寸法の物体が振動しないと超低周波音は発生しません。

住民の中には物理の先生もいるのです。学者が根拠の無い妄言を言ってはいけないのです。根拠の無い“原理”を捏造してはいけないのです。

3. 5 行政と計測と除外音処理

業者、国、県、市町村、住民、研究者、のだれが計測するのか？また計測機材は何を使うべきか？

現実には、環境アセスでの騒音の計測や予測は業者が行うことになっています。県や市は計測機材を持っていても、決して測ろうとはしません。もちろん業者も、自分が不利になるような計測を行いません。

予測の数値も、都合が悪くなる部分をカットしてしまいます。これは個々の業者の話ではありません。

例えば、超低周波音による影響の推定では、1Hz以上以上の音についてだけ考えます。風車を製造している企業も1Hz以上に関するデータしか公表していません。風車からは0.5Hzや0.8Hzで最大音圧となる音が出ているのですが、この部分は無視されます。

業者が風車騒音の予測として、可聴域の部分の影響を評価するときは、63Hz～8000Hzを対象として計算します。この部分の風車音のエネルギーは極めて小さいのです。計算した値が被害の実態と乖離するのは当然の結果です。

“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）には、

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

10. おわりに

近年、風車からの騒音・低周波音が問題となっている。しかし、国内に設置されている大型の風車から発生する騒音・低周波音の測定データが公表されていない。これにより、風車から問題となるような大きさの音が発生しているのかどうかもはっきりせず、あらぬ誤解を生じさせていると考えられる。

現状をきっちりと測定し、測定データを公表することにより、問題の有無を明確することが重要である。問題がある場合には、対策を施すことにより、騒音の低減をはかればよいと考える。

なお、低周波音の基礎的な事項については、環境省よりパンフレット⁽²³⁾が公表されているので、そちらも併せて参考頂きたい。

とある。

ガタツキに関しては振動レベル計での計測が必要です。圧迫感に関連しては、最大音圧とその時間的な変動も把握する必要があります。

そして、最も大切なのは、計測データを公開することです。解析技術は日々進歩します。今日は分からぬ事も、明日には分かるのです。世界中の英知を集めることが大切だし、インターネットはそれを可能にしてくれています。

計測結果が必要ですが、風車音の詳細な性質を解明できるような計測データを公開してくれる業者はいません。自分が不利になるようなデータを公開する企業はいないのです。

困ったことに、県や市は、被害が出るまでは動きません。風車建設前の調査や、被害予測は業者がやるという建前になっているからです。

残りは、住民や研究者が自分で計測機材を購入して計測するしかありません。県や市を糾弾しても、決して測ってはくれません。業者が計測するときに同じ場所で同じ時間に計測させてくれるように、お願ひすることが大切です。業者は普通騒音計でのA特性音圧レベルを調べます。同じ場所で高性能の精密騒音計で測れば、業者の数値が、多くの問題を含んだ数値であることが明確になります。

SA-A1のような最高級の精密騒音計（120万円）は無理でも、次の70万円程度の精密騒音計NL-62AやNL-63ならば、PCのプログラムを工夫すれば、0.25Hz程度までは測れます。

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

環境アセスの建前が、風車音の予測や計測は業者がやることになっているので、県や市が計測するのは、住民から被害の訴えがあつてからです。これでは風車建設前のデータが無いので被害の原因を特定することが難しくなります。事前の計測が必要なのです。

超低周波音を直接計測できる機材は高価です。



図1 本製品外観
マイクロホンUC-59Lとブリアンプ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。周波数特性は下のグラフの青い線になるようです。

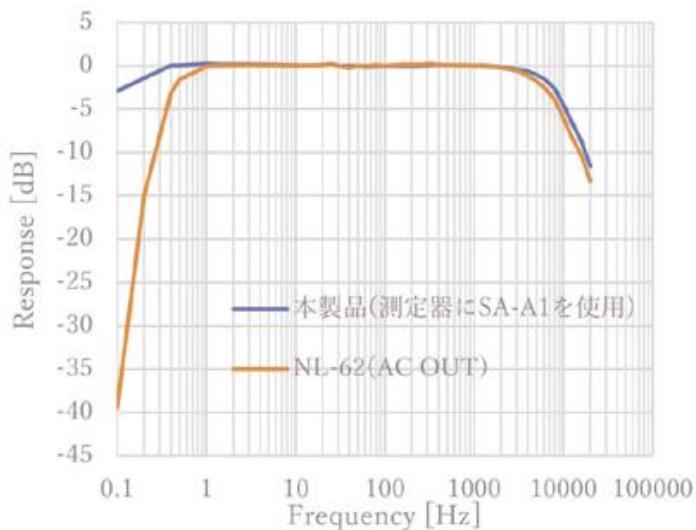


図2 本製品とNL-62の周波数特性

最新の精密騒音計を持っている県や市は極めて少ない。まして、最新の解析ソフトを持っている県や市も極めて少ないので。

自分を守るためにには、あるいは、企業に頼らないで研究を進めるためには、住民や研究者自身が機材を購入する必要があります。そうしなければ、何年たっても裁判で勝てません。研究も進歩しません。

10Hz以下の部分について、風雑音だとの説もありますが、FFTを使って音圧がピーク値となる場合の周波数を調べれば、発生する超低周波音の周波数も計算できるし、最大音圧も予測できます。

そして、乱雑さを特徴とする本来の風雑音と風車の近くでの周波数に規則性がある不思議な風雑音がある事が分ります。周波数が規則性を持つ理由を解明すれば良いのです。

そこまでくれば、後は風車に掛かる回転モーメントをマクローリン展開で計算するだけです。

そして、回軸軸が水平の風車は、物理的に見て、超低周波音の発生装置そのものとの結論に至ります。

”平成28年11月25日に出た検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“の風車音に関しての見解には、根本的な欠陥として、次の3点があります。

- ④ 風車音の詳細な周波数特性を調べようとしない。
- ⑤ 音源としての風車音の特徴（音源としての形、指向性など）についての検討や確認をしない。
- ⑥ 風車音が発生する原因を調べない。

これが原因となって、問題を歪曲し、言葉の誤魔化しや、英語の曲解によって間違った結論に向かって突き進んでしまっているのです。その結果、住民が被害を訴える事さえも抑え込む手助けをすることになっているのです。

県や市に計測のお願いをしたことがあります。(以下、提出した文書です。)

風車建設前と建設後の騒音、振動についての計測のお願い。

伊豆のほうでは風車騒音で困っている人がいると聞いています。

騒音の原因が何なのかをはっきりさせることは、将来風車が建設された後でも住民が安心して暮らせるようにするために必要なことだと考えます。

風車が建設される前と、風車が建設された後の騒音と振動の比較ができれば、騒音問題の解明の手がかりとなります。

公平性と正確性を確保するために、計測は県(または市)、風力発電の事業者、第三者(大学等)で複数の機械で同時にを行い、その結果を公開して、様々な人の力を結集して問題点の解明をすることが必要です。

Wavelet 解析ソフトの開発をされている人に伺ったところ、以下のようにする必要があるとのことでした。

多くの場合騒音の計測は、1/3 オクターブ解析として扱われる場合が多く、このようなデータでは、周波数の正確な分析が不可能であり、問題解明ができません。

計測後に、FFT や Wavelet による解析が可能であり、必要ならば 1/3 オクターブ解析もできるようなデータ形式で計測結果を収録しなくてはなりません。また、データの扱いやすさも考えるならば、16 ビットの符号付整数で記録された WAV ファイルとして、平坦特性で収録する必要があると考えます。

騒音については、

リオン社の精密騒音計 NL-62 で計測され、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された WAV ファイルを作る。収録時の周波数重みづけは Z 特性(平坦特性)とする。サンプリングレートは 48 kHz、連続する収録時間としては 1 分から 10 分程度とする。

振動については、

リオン社の振動レベル計 VM-55 で計測され、波形収録プログラム VX-55WR を使って収録された WAV ファイルを作成する。

ストアモードは Auto、測定チャンネルは XYZ、総測定時間は 1 分から 10 分程度とする。

ビデオカメラでの撮影、

風車が存在して回転している場合は、ビデオカメラで回転の様子を撮影する。

計測場所は、

建設前については、建設計画で風車がほぼ 1 列になっている場合は、風車の列の中央部分。

さらに、風車の列に対して直角方向で民家が存在する方向に向かって、500 m おきに 2 km まで 5 か所での測定をする。測定は、昼間と夜間の 2 回とし、これを春夏秋冬の季節ごとに行う。(季節ごとの風向の影響も考える。) 計測を希望する家があれば、さらに数か所を追加する。家の中での騒音、振動の計測も行う。

風車建設後にも、建設前に測定した場所と同じ場所で計測を行う。建設前と同様に、測定は昼間と夜間の 2 回とし、これを春夏秋冬の季節ごとに行う。これによって、風車建設前と風車建設後での騒音、振動のデータを比較することが可能になる。

計測結果の解析、

騒音の原因が何かを考えるには、音の周波数を計算する必要があります。上記の WAV ファイルがあれば、FFT による解析が可能となります。

風速の変化によって風車の回転数が変化すると、音の周波数は微妙に変化します。この微妙な変化を

とらえるには、FFT 解析ではなくて、Wavelet 解析が必要となります。また低周波の解析では、カオス理論の活用が有効となる場合もあります。

測定結果の解析には、このような機能を持ったソフトウェアを確保する必要があります。

データの交換、

計測は県（または市）、風力発電の事業者、第三者（大学等）で複数の機械で同時にを行い、測定結果のデータを互いにその場で交換して、お互いの測定結果を全員が共有することが必要があります。

さらに、お互いの測定結果がほぼ同じであることを、その場でお互いに確認する必要があります。

データの公開、

低周波音の解析では、高度の機能を備えているソフトウェアを使う必要が出てきます。県や市、業者、大学に、そのような機能を持ったソフトウェアが無い場合も考えられます。

計測したデータを一般に公開すれば、必要なソフトウェアを持っている人からの援助も受けられます。多くの立場の人が、異なるソフトウェアで解析した結果が一致すれば、原因の究明に向けての大きな力となります。

ソフトウェアを揃えると 100 万円くらいします。公開すれば、お金も節約できて、様々な立場からの検討が可能となるので、データの一般公開は必要なことだと考えます。

計測機器について

上記の計測機器を新たに購入すると 150 万円くらいが必要です。計測機器のレンタルもありますが、マニュアルを読む時間として 2か月程度は見ておく必要があります。さらに、記録されている符号付整数の意味についてはリオン社に確認する必要があります。

上のような、Wavelet 解析ソフトの開発者の方の意見を参考にして考えた結論として、この地域の住民として、風車建設前と、建設後の騒音、振動の計測を複数の立場の人で行い、そのデータを FFT や Wavelet 解析が可能な形で公開し、その土地に暮らす人々にとっての環境の変化を明らかにしてゆく方向で、県、業者、大学の方々の協力をお願いします。

県へのお願い：

県として上記の内容をふまえた、騒音、振動の計測計画を立てて、風力発電の事業者、地元の大学に対して参加してくれるようにお願いしてください。

さらに、その計画を全国に知らせ、無料のボランティアで計測に参加してくれる人やデータ解析に参加してくれる人を広く募集してください。

住民が安心して生活できる環境を維持するために、県として支援して下さるようにお願いします。

区長さんへのお願い：

区民の中に風車建設に賛成の意見も反対の意見もある中で、区長として中立的な立場に立とうとされていることは十分理解できます。

この地域での、現在の騒音、振動を前もって測定しておくことで、風車建設後の地域における環境の変化を科学的に把握することが可能となります。もしも、問題が発生した場合にはきちんとしたデータに基づいての議論が可能となります。

風車建設前と風車建設後の、騒音、振動の計測実施にむけて、県や市への働きかけについて、お力添えしていただけるよう、お願ひいたします。

もちろん、県も市も、断ってきました。機材を用意して住民が計測するから立ち合いだけでもして欲しいと言つてもだめでした。

“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10cm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。“

平成29年5月26日の知事あての文書である

「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」<https://www.env.go.jp/content/900400663.pdf>には、

“再生可能エネルギーの導入加速化は我が国の環境政策において極めて重要であり、風力による発電は、大気汚染物質や温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることからエネルギー安全保障にも寄与できる重要なエネルギー源の一つです。風力発電施設は国内外を問わず設置数が大きく増加していますが、一方で、そこから発生する騒音等については、不快感の原因となることや健康影響の懸念等が指摘されています。このため、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。貴職におかれましては、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。

各都道府県におかれましては、この旨、管下町村に対して周知いただきますようお願いいたします。“

とあるので、

マニュアルにある、除外音処理をしてないデータを公開したら、環境省からの指示に背く事になってしまいます。これでは、県や市に期待は出来ません。

除外音処理の影響

このマニュアルに書かれた“除外音処理”は大きな影響を及ぼします。

千葉県には、NL-62 があります。録音データもありました。情報公開で入手して調べてみたら、入っていたのは電車の音でした。

もし、風車音を録音したデータを公開すると、NL-62 は録音時には平坦特性で記録するので、除外音処理としてないデータを公開することになります。

このデータがあれば、除外音処理の中身が明らかになります。例えば、県や市のデータが防風スクリーンによる処理だけで記録されていれば、同じ場所で防風スクリーン無しで計測したデータと比較すれば、防風スクリーン無しで計測すれば、どのような値になるのかを推定して、解析することは簡単なことです。

風車音の計測データを行政が公開すれば、せっかく除外音処理で、被害を隠蔽しようとしたことが明らかになってしまいます。

行政は、そこまでは環境省に逆らえないのです。

さらに、マニュアルには、次の記述もあります。

3.2 騒音の測定機器

(1) 騒音計（サウンドレベルメータ）

本マニュアルにおける風車騒音の測定には、計量法第 71 条の条件を満たし、JIS C 1509-1 の仕様に適合する騒音計（サウンドレベルメータ）で、以下の機能を備えているものを使用する。

JIS C 1509-1 について、小野測器の HP での確認すると。

- 計量法

表 7-1 普通級と精密級との違い(計量法)

	普通騒音計	精密騒音計
器差(dB)	±1.5	±0.7
目盛誤差(dB)↓ (基準レベルに対して ±10 dB の範囲)	±0.3	±0.2
目盛誤差(dB)↓ (上記以外)	±0.6	±0.4
レンジ切替誤差(dB)	0.7	0.5
周波数範囲(Hz)	20 ~ 8 kHz	20 ~ 12.5 kHz

- JIS 規格

表 7-2 クラスによる性能の違い (JIS 規格)

	クラス 2(普通級)	クラス 1(精密級)
レベル直線性誤差(dB)↓ (入力レベルの 10 dB 以内の変化に対して) ↵	±0.5(±0.8) ↵	±0.3(±0.6) ↵
レベル直線性誤差(dB)↓ (上記以外) ↵	±1.1(±1.4) ↵	±0.8(±1.1) ↵
周波数範囲(Hz) ↵	20 ~ 8 kHz ↵	16 ~ 16 kHz ↵

最も広い、周波数範囲で 16Hz～16 kHz となっています。騒音計ですから、可聴域を調べるのは当然ですが、この数値は、風車音の影響を把握できる指標ではありません。

周波数範囲を 0.25Hz～20 kHz まで拡張することが必要です。それが無ければ、風車音のエネルギーのほとんどを無視して考えることになります。

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%

“JIS C 1509-1 の仕様に適合する騒音計（サウンドレベルメータ）で、以下の機能を備えているものを使用する。”

との主張は、周波数範囲を 16Hz～16 kHz 以上に広げてはいけないという命令として機能します。これは、超低周波音の議論を根底から封じるための主張です。

県によっては、NL-62 や SA-A1 を持っています。これで測ると、1Hz～20 kHz、あるいは 0.25Hz～20 kHz まで計測できます。ここには、風雑音と言われる超低周波音が、高い音圧と規則的な周波数を持ったものとして計測されています。

“風雑音”を示すデータを公開すれば“除外音処理”をしてないデータで議論することになるので、学者や県は、きちんとした計測データを示したうえでの議論をしません。

この結果、行政の大切な使命である、“地域住民の生活を守る”ことが、出来なくなっています。研究者の自由な研究が出来なくなっています。

ほんの少しの税金と引き換えに、海岸線から、1～2 km の所に、風車が立ち並びます。そして、地方都市が、風車音の被害を受ける地域になってしまい、人口はどんどん減ってゆきます。地方都市が崩壊します。

やがて、日本の国力が弱まり、アジアの後進国に向かって突き進むことになります。

3. 6 被害調査の方法

カナダの HP には、

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results

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](#)。

1. 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变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。

ここで、

“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。”

とあるので、

被験者は正直であり申告内容は、医学的に確認された体内での変化によって裏付けされているのです。

さらに、

“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”

との記述は、

WTN の数値が、風車音の被害を評価する指針値としては不適当であることを意味しています。

風車音と被害の関連を把握するには、風車音の特徴を表現できる数値と被害状況との関連を求めなくてはならないのです。

被害が、“音がうるさい”と言うものならば、WTN は適切な数値ですが、被害の内容は別のものです。

低周波音の被害と特徴は、“音がうるさい”だけではありません。

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

圧迫感や気分のいらいらです。（ガタツキは後ほど考えます。）

圧迫感は、体に掛かる圧力の変動との関連が深いのです。これと直接対応する数値は、 $f = RZ/60Hz$ での最大音圧です。この最大音圧を、圧力を把握できる基準であるパスカル値のままで計測して、圧迫感などの被害状況との関連を調べれば良いのです。

さらに、20Hz以上の成分は全部合わせても風車音のエネルギーの7%以下ですが、 $f Hz$ の音はそれだけで、全体の50%以上のエネルギーを持っているのですから、不快感との関連を調べるべき数値としては、最適の数値です。

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。

ここまですれば、“WTNの不快感”は、WTNがA特性音圧レベルで決められる騒音レベルとしての意味を持っているので、不適切な表現だと分かります。WTNは超低周波音を除外した議論で使われることばなのです。

“WT Sの不快感”と書き換えて、“風車音による不快感”として、超低周波音まで含めて考える必要があるのです。

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）”

風車騒音のうるさき

風車騒音の社会調査結果

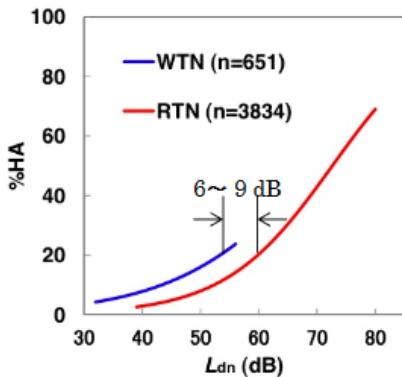


Fig.7 Relationship between L_{dn} and percentage of highly annoyed response of wind turbine noise (WTN) and road traffic noise (RTN)

- 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} を用いた暴露一反応曲線で 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。

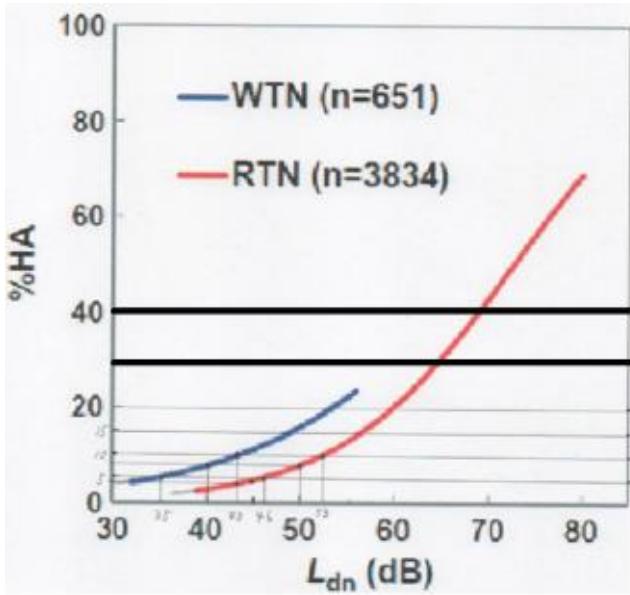
桑野、矢野、影山、末岡、橋;風車騒音に関する社会調査 -アンケート調査手法と調査結果-、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集、pp.1067-1070、2014.9

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 6~9 dB 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。

報告書（p 14）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	10dB
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。

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、

$$DB7 = 10 * \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} \right)$$

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

となって、11.5 dB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11.5 dB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%	60 dB	64 dB	4 dB	71.5 dB	64 dB	-7.5 dB
20%	53 dB	60 dB	7 dB	64.5 dB	60 dB	-4.5 dB
10%	43 dB	53 dB	10 dB	54.5 dB	53 dB	-1.5 dB
8%	40 dB	50 dB	10 dB	51.5 dB	50 dB	-1.5 dB
5%	35 dB	46 dB	11 dB	46.5 dB	46 dB	-0.5 dB
4%	30 dB	43 dB	13 dB	41.5 dB	43 dB	1.5 dB

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。

風車音では、次の表にある様々な騒音よりも不快感による被害が大きいのですが、A特性音圧レベルは、一番小さいのです。

この事からも、風車音の被害の判定に、A特性音圧レベルを使ってはいけないことが分ります。

人間には、気圧変動を感じ取る器官があるのであるのだから、この器官が反応すると思われる、最大音圧を調べるべきなのです。

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 (コンクリート破碎機)	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。

アンケート用紙の案

“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”等にも、風車被害に関するアンケート結果がありますが、風車被害を究明するものにはなっていません。

どこで、どのようなアンケートを行うべきかについては、検討が不十分です。少なくとも、交通騒音の被害を受ける地域と、風車騒音の被害を受ける地域に対して、同一のアンケートでの結果を比較することが必要です。

アンケートとしては、次の2つを組み合わせたものが適当だと考えます。

1つ目は、表II:選択された症状を報告している LFN 苦情申立人の数。

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints

(Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD)

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。

を次のように変形したもの。

健康アンケート（全般）。

健康問題	0	1	2	3
睡眠障害	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
ストレス	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
フラストレーション	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である

眠りにつくのが難しい	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
不安	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
疲労感	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
耳や体の圧力や痛み	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
頭痛	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
身体の振動や痛み	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
頻繁な刺激	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
不眠症	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
うつ病	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
片頭痛	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
腹部症状	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
慢性疲労	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
自殺	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である
耳鳴り	0 無い	1 少しある	2 かなりある	3 深刻である

と、

アテネ不眠尺度を変形したものを使うべきだと考えます。

これならば、過去のアテネ不眠尺度による調査結果との比較も可能です。

精密騒音計を2台、振動レベル計を1台用意して、室内では、精密騒音計と振動レベル計を置き、屋外に精密騒音計を置いて10分程度計測すればよいので、作業は30分程度で終了します。

圧迫感との関連において、最大音圧の測定は重要です。理想的にはSA-A1ですが、NL-62も同じマイクを使っているので、PCでの処理で、超低周波音の音圧を決定できます。

G特性音圧レベル、A特性音圧レベルも、被害との関連性を調査するために必要な数値です。

これらは、録音データがあれば、簡単に計算できます。

被害状況を反映できる数値を決定する必要があるのです。A特性音圧レベルだけではなく、幅広く検討することが必要なのです。

また、音の発生や透過に関しては、物理的により正確な議論が求められます。“空力音響学”などの記述を、超関数論の立場から再考する事も大切だと考えます。これがあれば、偏微分方程式で表現された、音響キャビテーションの記述との統一性が得られます。被害の根本的な原因をしっかりと追究すべきです。

健康アンケート（睡眠）の用紙としては次のものが考えられます。

アテネ不眠尺度(AIS)不眠症の自己評価

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	いつもより非常に時間がかかった、あるいはまったく疲れなかった
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、あるいは全く疲れなかった
3	希望する起床時間より早く目覚めて、それ以降、疲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、あるいは全く疲れなかった
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、あるいは全く疲れなかった
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、あるいは全く疲れなかった
6	日中の気分はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し減入った
		2	かなり減入った
		3	非常に減入った
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	少しあつた
		2	かなりあつた
		3	激しかつた
9	胸や腹への圧迫感はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあつた
		2	かなりあつた
		3	激しかつた
10	頭痛はしました？	0	全くなかった
		1	少しあつた
		2	かなりあつた
		3	激しかつた
風車との距離 m	1から8の 合計点		[1~3点]…睡眠がとれています [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 有・無	9の点数	屋外	ピーク値; Hz Pa A特性音圧レベル; dB G特性音圧レベル; dB
署名・印	10の点数	室内	ピーク値; Hz Pa A特性音圧レベル; dB G特性音圧レベル; dB

この数値と多変量解析が不快感の原因を解き明かす方向を与えてくれます。

国や県がやってくれるのを待っているうちに、被害はどんどん増えてしまします。

4. 風車騒音・超低周波音の到達範囲（1km？）

4. 1 山形県

山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議
の

平成30年度第2回山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議（2019年2月18日開催）

における、

意見と対応の方向性

<https://www.pref.yamagata.jp/050016/kurashi/kankyo/energy/kenkyuu/copy3.html>

では、会議での意見に対して、山形県の職員が、回答・対応の方向性の原案を書いて、関係各所に確認してから公開したことです。

2. 遊佐部会で出された意見と対応の方向性

ア 部会で一定の整理を行った事項

	意見・質問	回答・対応の方向性
騒音	騒音の発生による地域住民への影響が懸念される。	風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は1km程度と規定されており、影響は小さい。
	低周波の影響はあるか。	超低周波及び低周波の健康影響について明らかな関連を示す知見は確認されていない。
地域	風車の耐用年数はどの程度か。財政面のメリットはどうか。	風車の耐用年数は20年程度であり、償却資産として町に固定資産税収がもたらされる。

さて、

	意見・質問	回答・対応の方向性
騒音	騒音の発生による地域住民への影響が懸念される。	風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は1km程度と規定されており、影響は小さい。

この1kmについては、

山形県の認識は、

“風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は1km程度と規定されており、影響は小さい。”
であるが、どんな法律を見たら、そんな規定が書いてあるのでしょうか？

私は経済産業省に確認したが、到達範囲を規定することは出来ません。との回答をもらいました。きわめて常識的な回答です。音は、音源の強さ、大気の状態、地形の影響など、届く範囲が変わってくるから、騒音の到達範囲を規定することは出来ません。との説明もしてくれた。

そもそも音の到達範囲を規定することは可能であろうか？

風車から1kmの所に立札を建てておけば、騒音がそれを見て引き返してくれると言ふのでしょうか？

そんなに賢い騒音には会ったことがありません。

山形県の騒音はとても賢くて法律の規定を理解しそれを守ってくれるようだが、ぜひ、その騒音を捕獲して、新発見の騒音として発表してほしいものである。

そもそも、到達範囲を規定するという発想がばかげた発想である。

4. 2 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”（検討会報告書）（p29）を作った学者の方々は、法律を次のように解釈した。

“（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。”

この意味は、音は“事業実施想定区域及びその周囲 1 km の範囲”よりも遠くまで届くが、その範囲以外では環境影響を受けるとは認められない。

と理解できる。

被害があっても、その原因が発電所による環境影響だと認定をしない。との主張である。こちらは、その意味は理解可能であるが、この解釈が、（平成 10 年 6 月 12 日 通商産業省令第 54 号）の解釈として妥当か否かに関しては疑問がある。後で法律の文章を確認するが、曲解と評価するのが妥当である。

さて、学者の方々は、（平成 10 年 6 月 12 日 通商産業省令第 54 号）は、1 km 以上離れた場所での騒音被害は認めない。と主張していると解釈した。

さて、

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）（p29）にある次の記述

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。

について確認したのですが、この文書をまとめ時の会議の記録があります。

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

日時：平成 28 年 11 月 11 日 10:00～11:55

場所：三田共用会議所大会議室

出席者

（座長） 町田信夫

（委員） 沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆

（環境省） 高橋水・大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活環境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査

“測定範囲 1 km に関する議論”は次のものです。

【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 1 km 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す。マニュアルの作成におきましてご指摘も踏まえて、しっかりと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つたら、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。

塩田委員の当然の疑問に対して、橘委員は、範囲を拡大したくないという気持ちで発言したと推測されます。そんな橘委員も、風車音が数キロ先まで届くことはしっかりと認識しているのです。

こんなことがあって、

(座長) 町田信夫

(委員) 沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆

(環境省) 高橋水・大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活环境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査

たちの作った報告書、

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）

の 29 ページの記述となりました。

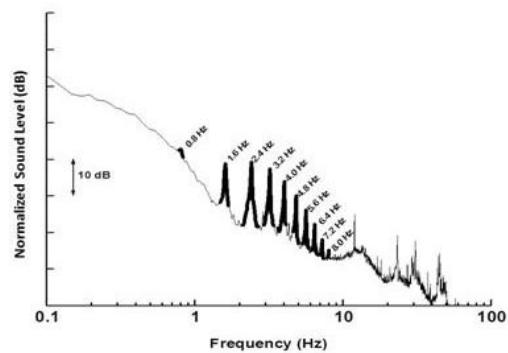
学者の方々の見解は、経産省の趣旨とは異なる内容だと考えます。

4. 3 カナダ政府の HP (2.5 km)

カナダ政府の HP にある、[ノイズ入門](#)には次のグラフがあります。

The X-axis on the graph depicts frequencies from 0.1 Hertz (Hz) to 100 Hz and the Y-axis corresponds to the strength of the measured sound in decibels (dB). The figure is an example of a measurement taken at **2.5KM from four wind turbines** on a clear summer night. The peaks in the figure at 0.8, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0, 4.8, 5.6, 6.4, 7.2 and 8.0 Hz confirm that the measured sound is from the wind turbines because these particular wind turbines are known to produce sound in these specific frequencies.

グラフの X 軸は 0.1 ヘルツ(Hz)から 100Hz までの周波数を表し、Y 軸は測定された音の強さをデシベル(dB)で表します。この図は、夏の晴れた夜に 4 基の風力タービンから **2.5km 離れた場所**で測定した例です。図の 0.8、1.6、2.4、3.2、4.0、4.8、5.6、6.4、7.2、8.0Hz のピークは、これらの特定の風力タービンがこれらの特定の周波数の音を生成しているため、測定された音が風力タービンからのものであることを裏付けています。



昔の環境省は

“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。

2.5 km までは届きます。

4. 4 経済産業省（旧 通産省）

では、本当に通産省は、
“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”、のでしょうか？

そんなことはありません。

最初に、

平成十年通商産業省令第五十四号

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を確認します。

第四条 計画段階配慮事項についての検討に当たっては、当該検討を行うに必要と認める範囲内で、当該検討に影響を及ぼす第一種事業の内容（以下「配慮書事業特性」という。）並びに第一種事業実施想定区域及びその周囲の自然的・社会的情況（以下「配慮書地域特性」という。）に関し、次に掲げる情報を把握するものとする。

一 配慮書事業特性に関する情報

- イ 第一条各号に掲げる事項
 - ロ 第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の原動力の種類
 - ハ 第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の出力
- 二 第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の設備の配置計画の概要
- ホ 第一種事業に係る工事の実施（この条から第九条までにおいて「第一種事業の工事の実施」という。）に係る期間及び工程計画の概要
- ヘ その他第一種事業に関する事項
- 二 配慮書地域特性に関する情報
- イ 自然的状況

（1） 気象、大気質、騒音、振動その他の大気に係る環境（以下「大気環境」という。）の状況（環境基本法（平成五年法律第九十一号）第十六条第一項の規定による環境上の条件についての基準（以下「環境基準」という。）の確保の状況を含む。）

（2） 水象、水質、水底の底質その他の水に係る環境（以下「水環境」という。）の状況（環境基準の確保の状況を含む。）

（3） 土壌及び地盤の状況（環境基準の確保の状況を含む。）

（4） 地形及び地質の状況

（5） 動植物の生息又は生育、植生及び生態系の状況

（6） 景観及び人と自然との触れ合いの活動の状況

（7） 一般環境中の放射性物質の状況

ロ 社会的状況

- (1) 人口及び産業の状況
- (2) 土地利用の状況
- (3) 河川、湖沼及び海域の利用並びに地下水の利用の状況
- (4) 交通の状況
- (5) 学校、病院その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設の配置の状況及び住宅の配置の概況
- (6) 下水道の整備の状況
- (7) 環境の保全を目的として法令等により指定された地域その他の対象及び当該対象に係る規制の内容
その他の環境の保全に関する施策の内容
- (8) その他第一種事業に関する事項

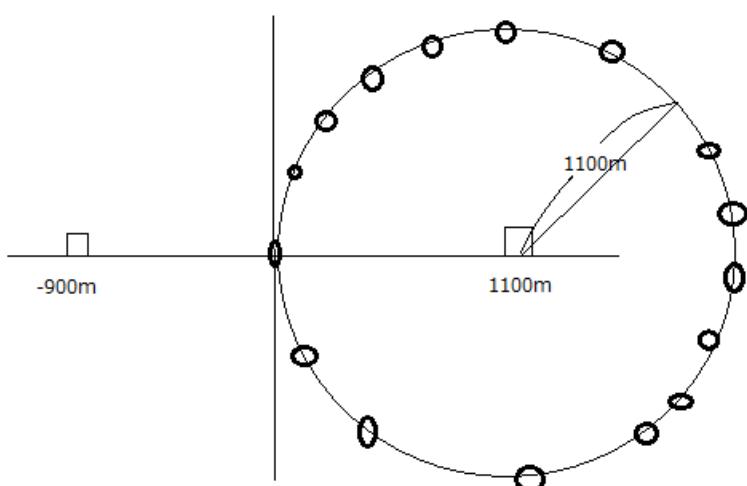
2 前項第二号に掲げる情報は、入手可能な最新の文献その他の資料により把握するとともに、当該情報に係る過去の状況の推移及び将来の状況を把握するものとし、必要に応じ、次の各号のいずれかに該当する地域の管轄に係る地方公共団体（第七条から第十四条までにおいて「関係地方公共団体」という。）、専門家その他の当該情報に関する知見を有する者から聴取し、又は現地の状況を確認することにより把握するよう努めるものとする。この場合において、当該資料については、その出典を明らかにできるよう整理するものとする。

一 第一種事業実施想定区域及びその周囲一キロメートルの範囲内の地域

二 既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

この、
 二 既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域
 は、一キロ以上離れた場所でも、環境影響を受けるおそれがあると判断される地域は、しっかり調べなさい。
 との意味です。

(1100, 0)を中心とする半径 1100mの円周上に風車が並ぶとします。左の建物は風車群からの距離は 900mです。右の建物と風車群の距離は 1100mです。



当然、右側の建物の被害についても考慮されます。

“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”

のではありません。地形や季節風の影響で被害が出ることもあるので、1 km 以上の場所でも、適切な予測が必要となることがあります。

だから、

二 既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

というおまけが付いているのです。

いくら、日本語の理解力が無いからと言って、省令を勝手に捻じ曲げてはいけません。

もちろん、存在しない規則を主張してもいけないです。

経済産業省は

平成十年通商産業省令第五十四号

の

別表第十二（第二十三条関係）

で次のように書いている。

建設機械の稼働	<p>一 調査すべき情報 イ 騒音の状況 ロ 地表面の状況</p> <p>二 調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、前号イの情報については騒音規制法第十五条第一項の規定による特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準において定められた騒音についての測定の方法</p> <p>三 調査地域 音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域</p> <p>四 調査地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点</p> <p>五 調査期間等 音の伝搬の特性を踏まえ、第三号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯</p> <p>六 予測の基本的な手法 音の伝搬理論に基づく計算</p> <p>七 予測地域 第三号の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域</p>
---------	--

	<p>八 予測地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点</p> <p>九 予測対象時期等 建設機械の稼働による騒音に係る環境影響が最大となる時期</p>
施設の稼働	<p>一 調査すべき情報 イ 騒音の状況 ロ 地表面の状況</p> <p>二 調査の基本的な手法 文献その他の資料及び現地調査による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析。この場合において、前号イの情報については環境基準において定められた騒音についての測定の方法、測定場所及び測定時刻</p> <p>三 調査地域 音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域</p> <p>四 調査地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な地点</p> <p>五 調査期間等 音の伝搬の特性を踏まえ、第三号の調査地域における騒音に係る環境影響を予測し、及び評価するために適切かつ効果的な期間、時期及び時間帯</p> <p>六 予測の基本的な手法 音の伝搬理論に基づく計算</p> <p>七 予測地域 第三号の調査地域のうち、音の伝搬の特性を踏まえ、騒音に係る環境影響を受けるおそれがある地域</p> <p>八 予測地点 音の伝搬の特性を踏まえ、前号の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点</p> <p>九 予測対象時期等 発電所の運転が定常状態となる時期及び騒音に係る環境影響が最大になる時期（最大になる時期を設定することができる場合に限る。）</p>

ここには大きな問題がある。

発電所と言っても、タイプによって騒音の特徴は全く異なる。

原子力発電所

火力発電所

水力発電所

地熱発電所

風量発電所

太陽光発電所

一律に 1 km を適用するのは、無謀というものです。

特に、風車音に関しては、音の伝搬特性の前に、風車音の特徴である指向性に注目することが必要です。

- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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

上の文献のうちで、

- 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
- に書いてある指向性について、

- 1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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
- 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
- 6) M.S.Howe, 空力音響学, 共立出版、初版、2015

を参考にして考えれば、

風車の超低周波音は、 $f=RZ/60$ (H) と置いたときに、
 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 f 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、…で高い音圧を持ち、指向性がある超低周波音が、風車音のエネルギーの 90% 程度を占めていることが分ります。

また、計測データを Wavelet 解析で調べれば、風速の変化で、音圧が平均値の 2 倍以上になる事も分ります。

風車を点音源として被害予測をしたのでは、現実の被害とは、かけ離れた数値となってしまうのです。

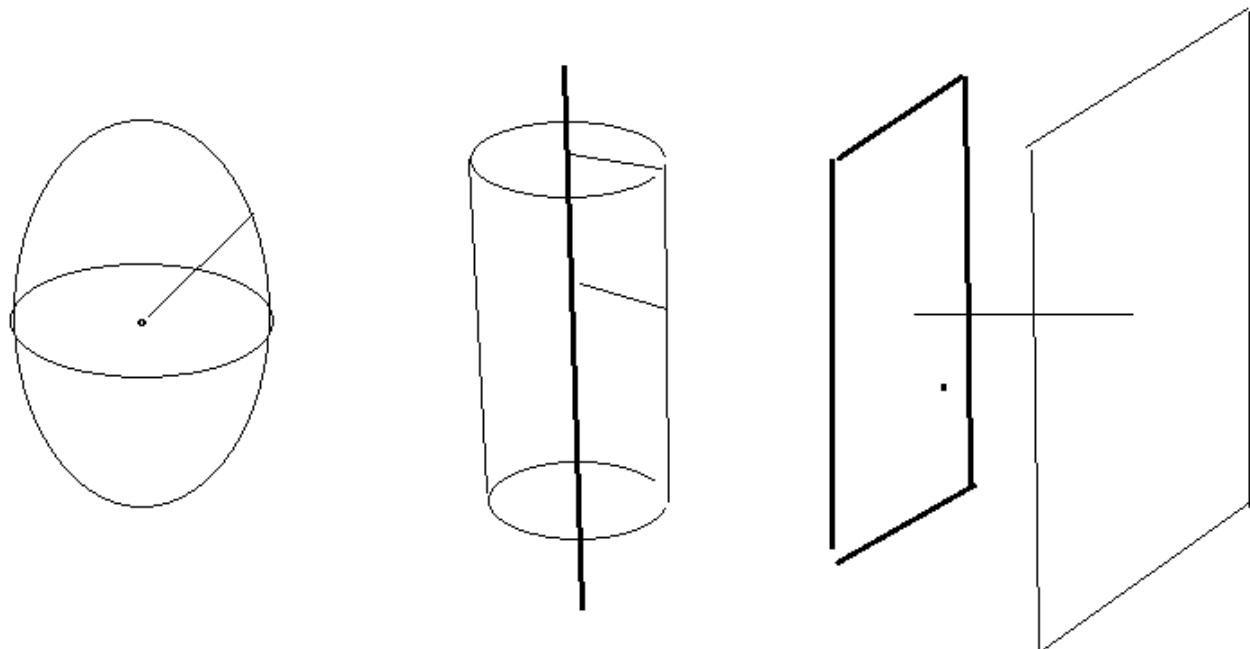
“音の伝搬の特性を踏まえ、前号の予測地域における騒音に係る環境影響を的確に把握できる地点”
という前に、音の発生機構に踏まえて、と考える必要があるのです。

音は音源から離れれば小さくなります。

原因の一つは音波の面の拡大による幾何学的な減衰であり、あるいは熱エネルギーへの転換による音のエネルギーの減少による空気減衰です。地形の影響もあるがここでは省略します。

幾何学的な距離減衰では、音源の形が問題になります。

点音源、線音源、面音源で考えてみれば、



となって、面音源では、幾何学的な距離減衰は期待できません。

点音源から出る球面波音の伝搬の様子と、平面を音源とする平面波音では、伝搬の様子が全く異なる。音源の形が分からなければ、伝搬の様子を把握できないのです。

音源の形を把握するには、風車音の性質を詳しく調べて、風車音が発生する仕組みを解明しなくてはならないのです。また、周波数特性を知らなければ、風車音のエネルギーの減衰の様子も分からぬのです。

少なくとも、風車音の周波数特性、各周波数帯でのエネルギーの分布、風車音の指向性、風車音が発生する仕組み、などが無ければ、音波の拡散に関しての計算は出来ないので。

これには計測が必要です。風車音の詳細な性質を解明できるような計測データを公開してくれる業者はいません。県や市も計測してくれません。最新の精密騒音計を持っている県や市は極めて少ない。まして、最新の解析ソフトを持っている県や市は存在しません。

実際の業者による計算は、点音源と仮定して計算をしています。また、業者の計算では、風車音のエネルギーの7%以下の部分しか評価の対象としていないのです。

業者に測定と予測を任せていては、問題は拡大するばかりです。

5. 各地の被害状況

日本各地に、風車の被害を訴える方々が沢山います。

5. 1 被害情報 1

三重県に住んでいる友人は、

2023/2/23 付けのメール

宇山様

お世話になります

音について できる限り情報整理が出来てからお送りします

今 音で気になっているのは

現在稼働中の 株シーテック社のウインドファーム笠取です 年中聞こえますが（離隔が 2 km です）

特に 10月から 4月ごろまでが大きいです 音は耳で聴きとるのは異なる状況で難しいです

集落でよく聞こえる日の状況は 曇天 集落では風が弱い（その時は山では吹いているのでしょうか）

2023/1/22 付けのメール

宇山様

お世話になり有難うございます

文中の株シーテックの稼働中の 19 基の事業所名は「ウインドファーム笠取」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 4200 KW 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 「ウインドパーク布引北」 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イ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。

近くの山は、風車でいっぱいです。



図3 「青山高原風力発電所」の全景。出典：青山高原ウインドファーム

金属疲労での事故もきました。

平成 25 年 5 月 2 日

株式会社シーテック

ウインドパーク笠取発電所 CK-19 号機風車 ナセル脱落事故について（ご報告）

1. ウインドパーク笠取発電所の設備概要と今回の事故概要

(1) ウインドパーク笠取の概要(図 1)

- ・所 在 地：三重県津市美里町および伊賀市上阿波地内
(CK-19 号機風車は津市美里町)
- ・定 格 出 力：38MW(2,000kW×19 基)
- ・運 転 開 始：第 1 期平成 22 年 2 月 22 日
第 2 期平成 22 年 12 月 15 日 (19 号機風車は第 2 期分)



(2) 風力発電設備の概要(図 2)

- ・風 車：(株)日本製鋼所社製
- ・定 格 出 力：2,000kW
- ・定格回転数：19rpm (毎分回転数)
- ・ロ ー タ：直径 83.3m、ハブ取付高さ 地上 65m

図 1 発電所位置図

(3) 事故の概要（写真 1）

- ・推定発生日時：平成 25 年 4 月 7 日 16 時 37 分～16 時 55 分の間
- ・事故の状況：発電機・ナセル・ブレードが脱落



写真 1 タワー座屈・ブレード・ナセル脱落状況

風車建設で作った道路が崩壊しています。



さらに大規模な崩落もきました。

10月23日伊賀市市道笠取線の株シーテック社ウインドパーク笠取の崩落現場を見てきました、崩落は5年前です、崩落が進むので株シーテック社が橋梁架け替え工事する、伊賀市に確認しました



写真はウインドパーク笠取の伊賀市上阿波地区からです。
崩落現場の上では風車が稼働しています。発電所内には崩落している所、形跡があります。小委員会でも在りましたが地層は花こう岩、
崩落は風車の振動も一要因の説があります。



元の管理道路

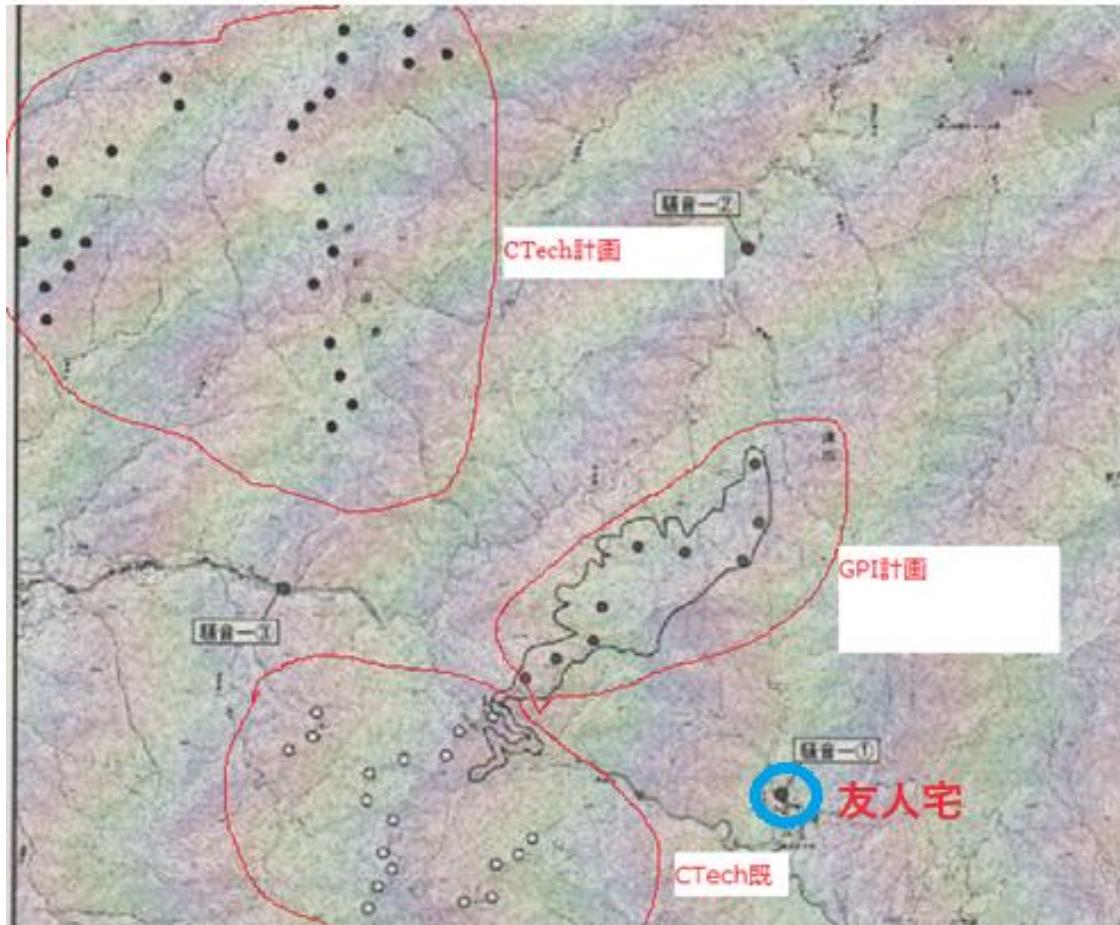
崩落場所

服部川

株シーテック社 (笠取) 管理道路

株シーテック社が自費で建設をした橋梁 (1億円~ 以上)

友人が住んでいるのは、水色の丸印の平木地区です。とても静かな場所です。



騒音は、33～36dBの場所でした。

【騒音（施設稼働）】予測及び評価結果



施設の稼働による騒音の影響

▶ いずれの地点においても指針値を下回っております。

【春季】

(単位：デシベル)

【冬季】

(単位：デシベル)

予測地点		現況値	将来予測結果	環境省指針値
騒音-① 平木地区	昼間	34	35	40
	夜間	36	37	41
騒音-② 河内中地区	昼間	43	43	48
	夜間	43	43	48
騒音-③ 上阿波地区	昼間	40	41	45
	夜間	39	40	44
予測地点		現況値	将来予測結果	環境省指針値
騒音-① 平木地区	昼間	33	34	40
	夜間	35	36	40
騒音-② 河内中地区	昼間	40	40	45
	夜間	40	40	45
騒音-③ 上阿波地区	昼間	38	39	43
	夜間	37	38	42

※空気吸収による騒音減衰が最小の場合の予測。

※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22~6時)のとおりです。

現況値が春季34 dB、冬季33 dBでした。(冬季の33 dBの場合について考えます。)

下限値は35 dBまたは40 dBですが、この地域に対しては、40 dBが下限値となります。

残留騒音は33 dBですから、 $33+5=38$ dBが(残留騒音+5 dB)の値が、この地域の下限値である40 dBより低いので、規定により、少し増やして、40 dBがこの地区の指針値となります。

【騒音(施設稼働)】評価について

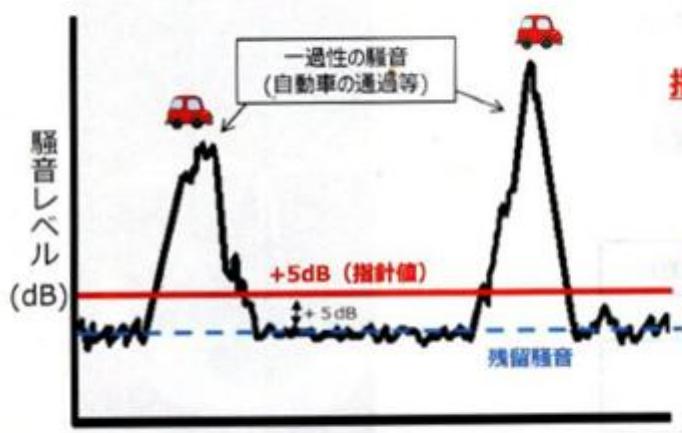


現況値(残留騒音)

自動車の通過等の一過性の音を除外した地域の音環境を表す値です。

指針値

評価の目安となる値です。
現況値(残留騒音)に応じて
下記のとおり、設定されております。



現況値(残留騒音)	環境省の指針値
30dB未満	35 dB
30dB以上 35dB未満	40 dB
35dB以上	現況値(残留騒音)+5dB

出典：風力発電施設から発生する騒音に関する指針について（環境省）

Green Power Investment Corporation 2022 © All Rights Reserved.

41

現況値(残留騒音)は、自動車の通過等の一過性の音を除外した地域の音環境を表す値です。

GPIは指針値を決定するために、残留騒音を求めました。残留騒音の求め方は色々あり、ここでは注2の方法で求めています。風車稼働後の騒音の予測値は残留騒音の大きさにも影響されます。

p816

表 10.1.3-21(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果(指針値との比較)
(累積的影響：調査期間中の空気吸収による減衰量が最小時)

【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		
			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 ($L_{Aeq} + 2\text{dB}$) 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。

冬場の平木地区の昼間は、33,29,28,18 の合計で 35 となっています。

33,29,28,18 での計算は

$$10 * \log_{10} \left(10^{\frac{33}{10}} + 10^{\frac{29}{10}} + 10^{\frac{28}{10}} + 10^{\frac{18}{10}} \right) = 35.4 = 35$$

今度は、騒音の現況値(注2. 実際に計測された値)を用いて将来の騒音の予測値を出しました。

p814

表 10.1.3-20(2) 施設の稼働に伴う騒音の予測結果（環境基準との比較）
(累積的影響：空気吸収による減衰量が最小时)

【春季】

単位 : dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})					環境基準 (参考)	
		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		
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1	(55)
	夜間	37				38	1	(45)
騒音-②	昼間	42	30	17	18	42	0	(55)
	夜間	42				42	0	(45)
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1	(55)
	夜間	40				42	2	(45)

【冬季】

単位：dB

予測地点	時間区分	騒音レベル (L_{Aeq})					環境基準 (参考)	
		現況値 a	風力発電施設寄与値			将来予測値 累積 $e=a+b+c+d$		
			本事業 b	既存 c	計画中 d			
騒音-①	昼間	39	29	28	18	40	1 (55)	
	夜間	37				38	1 (45)	
騒音-②	昼間	40	30	17	18	40	0 (55)	
	夜間	39				40	1 (45)	
騒音-③	昼間	45	31	34	27	46	1 (55)	
	夜間	39				41	2 (45)	

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 (L_{Aeq})とした。

注3：環境基準は、地域の類型指定が定められていないことから、参考として「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)における「A類型」の基準値を()で示した。

冬場の平木地区の昼間は、39,29,28,18 の合計で 35 となっています。

39,29,28,18 での計算は

$$10 * \log_{10} \left(10^{\frac{39}{10}} + 10^{\frac{29}{10}} + 10^{\frac{28}{10}} + 10^{\frac{18}{10}} \right) = 39.7 = 40$$

さらに、将来予測値として、40dB を示しています。この値は、この地域において、昼も夜も 40dB の音が鳴り響くことを意味しています。

この音の中身は、昔からの風の音や川の音に、3群の風車の音が合わさったものです。では、新たに第4群の風車建設設計画が持ち上がった時の、“残留騒音”は何デシベルかと言えば、この 40dB の音の中には、“自動車の通過等の一過性の音”は含まれていないので、40dB が残留騒音となります。

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。

ここでの、“測定地点周辺”については、“周辺”として 1 km、2 km、3 km、5 km、10 km が考えられますが、距離を伸ばしてしまうと、

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”

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、の p 29 に書いてある、

“(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。”

との関係で、困ることが出てくる。(もちろん省令の趣旨は、検討会の解釈とは異なる。)

1 km以上での影響を認めてしまうと、影響がないからと言って、風車から 1 km圏内での説明会しかやってこなかった事に矛盾する。

距離が短ければ、残留騒音が増加してしまう。

この土地に、さらに風車が建設されるときの指針値は、 $40+5=45\text{dB}$ となります。いつの間にか、指針値が 40dB から 45dB に増加しました。第 5 群、第 6 群の風車が出来るときにも、指針値は増えてゆきます。

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+5 dB	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

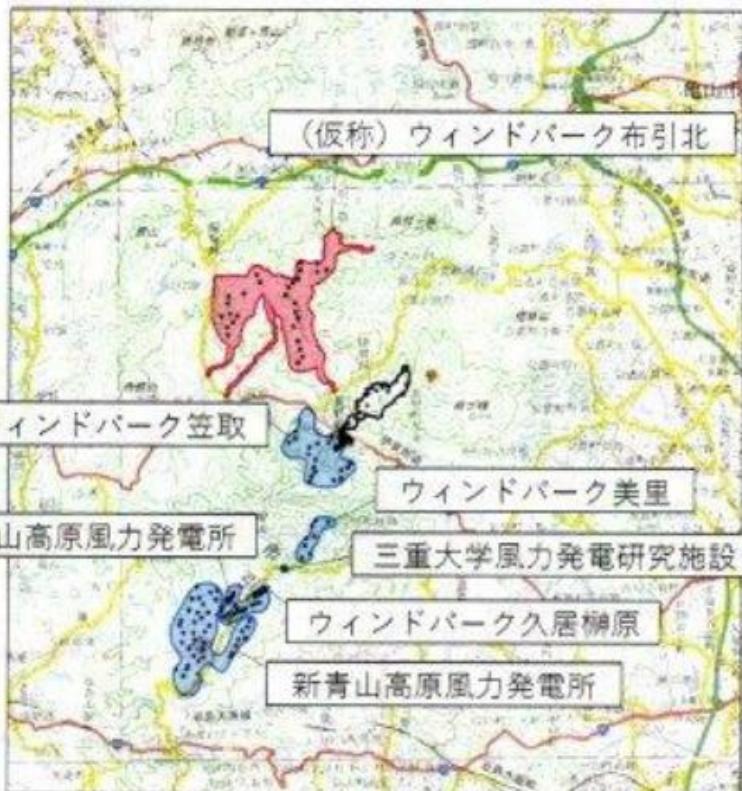
指針値は、どんどん大きくなります。風車は、2年おきに建設すれば、いくらでも作れるのです。

気が付けば、周りは風車だらけです。指針値の効果としか言えません。制限なく建設可能なのです。

対象事業実施区域及びその周囲の風力発電事業

近隣に既設及び計画中の風力発電所がありますが、計画している場所は重複しておりません。

- 対象事業実施区域
- 他事業による風力発電機(稼働中)
- 他事業による風力発電機(計画中)
- 風力発電設備（風車位置）



質問：指針値は、規定通りに適用すれば、いくらでも風車を建設できるような数値として作られていると考えるが、貴社はどのように考えるか？具体的な数値を用いた例を作って指針値に関する貴社の認識を述べてください。

(答え)

さらに、困ったことに、風車騒音を予測するには、下の表にある、音響パワーレベルの表を使います。表にある周波数は、63Hz～8000Hzだけです。(これが国際的な基準のようです。)

4) 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) 平木阿波ウインドファーム事業	出力 : 25,200kW (4,200kW×6基)	112m 117m
	(仮称) 平木阿波第二ウインドファーム事業	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。

4. 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

騒音は20Hz以上だったと思うですが、20Hzから63Hzの部分が計算から除外されています。

千葉県館山市の風車音の周波数スペクトル (0~5000Hz)

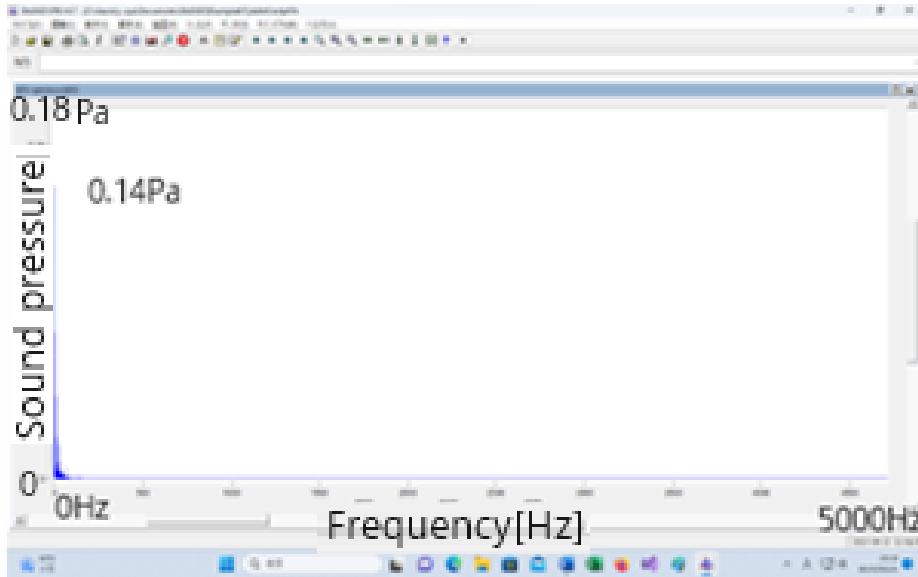
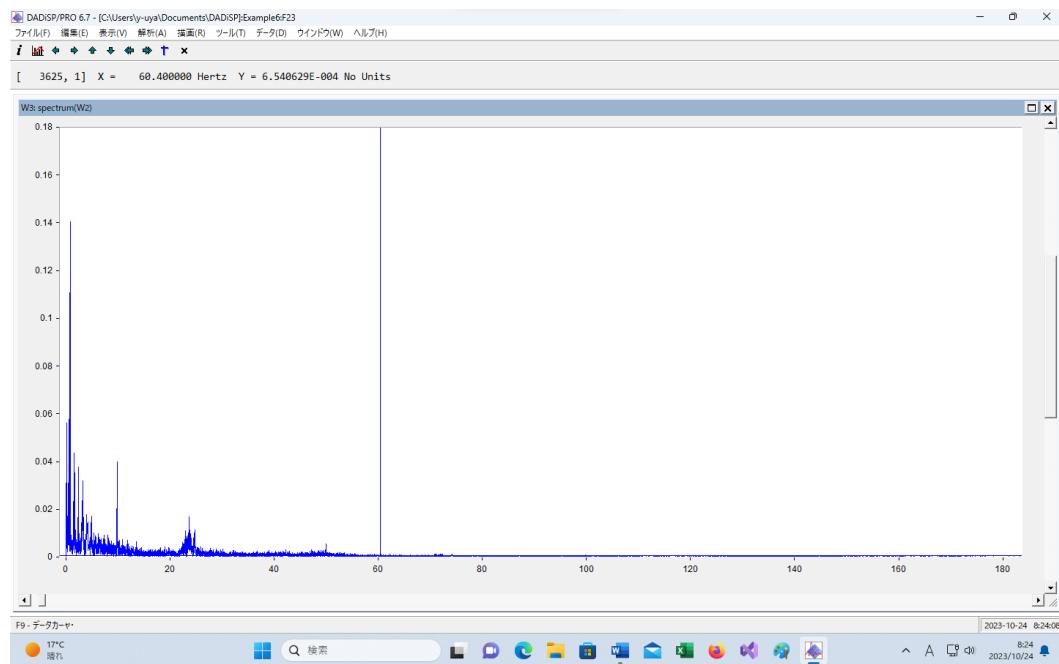


Fig. 2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa] (0.8Hz)

0~190Hzの範囲のグラフ、縦の線は60Hz。



63Hzからの計算では、風車音のエネルギーの大半を無視して計算することになります。

これでは、風車騒音の予測とは言えません。

超低周波音に関する表もあります。

1Hz～200Hzの表です。

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) ウィ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。

大型風車で、強力な音圧を持っている 0.5Hz の部分は無視されているのです。この部分を無視して計算すると、その値は現実の状況を表現できないのです。

表 2. エネルギーの分布

0～20Hz でのエネルギーの分布

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%

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。1/3オクターブ解析は、各帯域のあるエネルギー量と関連しています。

1Hz～20Hzとして、1/3オクターブ解析をすれば、風車音のエネルギーの半分以上を計算対象から除外することになります。

その結果、被害状況とは対応しない数値になってしまいます。多くの場合は、住民が受けている被害を表現できない数値になっているのです。被害を訴える住民に対して、根拠の無い言いがかりをつけてくるクレーマーとの評価を下すことになります。重要な要因を無視して計算した数値を出して、それと被害状況を比べようとするほうが間違っているのです。

質問：風車騒音の予測で、計算対象を63Hz～8000Hzとしたのでは、20～40Hz辺りのある程度強い音を計算対象から外すことになると考えます。

可聴域が20Hzからなので、計算対象を20Hz～20000Hzにして計算すべきです。

これについての、貴社の考え方述べてください。

(答え)

5. 2 被害情報 2

風力発電の被害 新書 – 2016/1/1

由良守生(著)

巨大な風力発電は必ず有害な低周波音(低周波空気振動)を発生させて、周辺の人々に悪影響を与えます。ヨーロッパやアメリカでは、既にたくさんの被害報告や研究論文が公開されています。

日本では水俣病方式で被害が隠ぺいされてきました。日本騒音制御工学会など、環境省の異常な報告書を比較してみると明らかです。被害が明らかであるのに、行政主導で全国に風力発電の建設が進められています。被害を隠蔽するためのいろんなトリックが仕掛けられています。

国策として、地域対策、被害者の弾圧があります。まるで全体主義、ファシズムです。低周波音の被害者となると、耳鳴り、目まい、頭痛などにより生活が一変します。性格の変化、人格の崩壊があります。家族の者でさえ理解できない苦しみに狂います。

被害確率は、重傷者で 100 人に一人か二人です。しかし本人ですら気がつかない脳溢血や心筋梗塞といったリスクを含めると、30 パーセントに及ぶと汐見文隆医師など識者や海外の文献では報告されています。由良町では被害範囲は 2 km ほどです。

体調のよくない人はすぐに亡くなりました。水俣病でもそうですが、被害調査をしないのです。アンケートもしません。

被害者や被害地域は厳重に管理されています。いったん管理されるようになると、囚人のようになります。被害の本質が分からぬようになるようです。人として考えることができなくなり、受け売りの言葉だけで話すようになり、薄っぺらな人になります。ロボットのようになる、と支援者の人たちは言います。

これに対する行政や議会の悪辣さには驚きます。これほどまでに議員の劣化、悪化が見られることもないでしょう。社会がなおざりにしてきたツケが、このありさまなのだと思います。風力発電の被害とは何か、由良町からの報告です。

5. 3 被害情報 3

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をできました。

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ましょう。

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 1 km 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 1 km 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います。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い。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か。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、住民説明もなくにしないまま、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、残った住民たちが締口令を敷き、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
山の中に入していく道を進むと、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。滝根小白井ウインドファームでも、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つた泥水流出公害



「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。

質問：風車音が指向性を持つことについて、貴社はそれを認めますか？

(答え)

質問：次の論文の内容は正しいと認めますか？間違っていると考える場合はその理由を述べてください。

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

(答え)

質問：指向性を持つ音源からの音の影響を評価する場合、音源を点音源として扱えば、指向性を無視してしまうことになります。

住民の生活にとって大きな影響を及ぼす、指向性に関して、貴社の予測方法の中では、どのように扱っていますか？

(答え)

金属疲労

風車は壊れます。風車の事故の記事ですが、

金属疲労についても考慮する必要があります。飛行機の事故では金属疲労の話をよく聞きます。風車でも起こります。

金属疲労で1メートルの亀裂 京都・伊根町の風力発電所事故で専門家会議

2013/8/5 08:53

産経WEST | できごと



広告 エンジニア諸君
スキル 偏差値 70へ
挑戦せよ

<GitHub>でスキル偏差値を見る
サクッと50秒でエンジニアスキル偏差値がわかる！

Findy もっと見る

今年3月、太鼓山風力発電所（伊根町）で、風力発電機の鉄製タワーが折れ風車部分が落下した事故をめぐり、事故原因について検証している府の専門家会議が4日、京都市内で開かれ、金属疲労によって長さ約1メートルの亀裂ができ、それが広がったことで破断につながった、とする検証結果をまとめた。

同会議によると、外観調査や金属組織の分析から、3枚の羽根（長さ2.5メートル）と発電機など計4.5トンが溶接された鉄製タワー（高さ50メートル）の上端部付近で、金属疲労による亀裂ができていたことを確認した。

ナセル落下を写真1-1にタワーの破断状況を写真1-2に示す。
また、ダワートップ及びナセルの断面図を図1-3に示す。



写真1-1 ナセル落下

原因は、特別に大きな力が働いたというわけではなくて、金属疲労とことです。

金属疲労は、比較的小さい応力でも繰返し受けることで、材料に小さな割れが発生し、それが少しづつ進行して、最終的には破壊にいたる現象です。

金属疲労がなぜ問題になるのか？

金属が破壊するのにはいくつかのパターンがあります。

最も単純なケースとして引張試験のように応力をかけ続け破壊するものです。この場合、破壊の前に変形が起こるため、確認は容易です。

しかし、金属疲労の場合、大きな変形は起きずに小さな割れが起こるだけです。そのため、疲労の発生確認と破壊までの予想時間が困難です。

金属材料は自動車や航空機、建築物などに使用されています。これらはほとんど常に応力がかかる状態であるため、金属疲労が起こります。実際の金属材料の不具合や事故の多くはこの金属疲労が原因です。

さて、

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久敏,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

には、ナセルと塔の側面が大きく揺れることが書かれています。

塔が揺れれば、塔が曲がります。塔の振動の周波数は、1.6Hzです。(比較的小さな風車なので回転数が大きいのでしょう。) この周波数 1.6Hz は、ブレードの回転数から計算した風車音の超低周波音のうちで、最も音圧が高くなる周波数と一致しています。

従って、風車からの超低周波音の周波数を正確に測ることは、風車に起きる金属疲労の状態を予測する方法の一つと言えるのです。

風車音の超低周波音の部分を解析しない、論文が、熊谷組の名前がついた形で公開されていることは、風車に関して、建設後の金属疲労に関心が無いのが熊谷組なのかと思われてしまいます。

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

には、風車音が指向性を持つことが書かれています。

計測結果では、1.6Hz の成分が目立ちます。

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

には、円筒が曲がる場合の曲面の変形について書かれています。この変形が大きな方向と風車音の持つ指向性とは一致しています。

5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010

を見れば、定常運転の時の、ブレードに掛かる揚力ベクトルの方向が、塔の振動方向であることが分ります。

もしも、金属疲労に関心があるならば、塔の振動を周波数が一致していて、しかも運動方向と指向性が一致している風車の超低周波音をしっかりと調べるべきだと考えます。

質問：貴社の大切な財産である風車が金属疲労のよって破壊されれば、大きな損失だと考えます。これに関して、風車の塔の振動を継続的に調査すれば、塔の破壊を予測できると考えますが、貴社などのような対策を取っていますか？

(答え)

質問：超低周波音の調査及び結果の公表について、

貴社は所有する風車の安全な管理に努める義務があると考えます。過去の事故を見れば、金属疲労を重視すべきです。これを把握する手掛かりが、風車からの超低周波音です。これをしっかりと計測すれば、事故の可能性を減らせると考えますが、貴社の考え方を述べてください。

また、計測結果を広く、様々な形で公開すべきだと考えるが、貴社はどのように考えるかを述べてください。

(答)

5. 4 被害情報 4

鳥取県における発電用風車の騒音に係る調査報告

Surveillance Study Concerning the Noise of Windmills for
Power Generation in Tottori Prefecture

十倉 毅・山本 和季・矢野 大地

TOKURA Tsuyoshi, YAMAMOTO Kazuki, YANO Daichi

和文要旨：2002年11月、湯梨浜町に本県初の風力発電所（発電量 600kw）が建設された。そして、現在までに合計41基（東部3基、中部23基、西部15基）を数えるが、地域によっては住民から「頭痛がする、窓・障子が震える」など、超低周波音・低周波音によると思われる苦情を生じている。また、苦情の中には、回転するブレードのちらつきもある。本調査研究では、このような苦情をアンケート調査によって把握するとともに、それぞれの発電機からの発生騒音の音響測定をおこない、その実態を明らかにする。

表2 アンケートの設問内容

Q1：あなたの年齢はいくつですか？

- 10代 20代 30代 40代 50代
60代以上

Q2：現在のお住まいを下から選んでください。

- 鳥取市 大山町 旧名和町 北栄町
旧中山町 琴浦町 湯梨浜町

Q3：風力発電について、下の中から選んでください。

- よく思っている あまり関心がない
あまり良く思っていない

Q4：風力発電による騒音被害を受けている。

- はい いいえ

Q5：Q4で「はい」と答えた方のみ、症状であてはまるものに記入してください。（複数回答可）

- よく眠れない 気分がいらいらする
振動間がある 頭痛 胃のむかつき・吐き気など 耳の痛み・不快感 肩のこりが激しい 耳鳴りがやまない 血圧上昇
頭の上に違和感がある 集中力の低下
音、振動が止まっていても続いている感じがする
ガラス、壁、床が振動していて寝ることができない 風車をみるとストレスや不安を感じる
その他()

Q6：風力発電に対するご意見、ご提案等がありますたらお書きください。

()

〈ご協力有難うございました〉

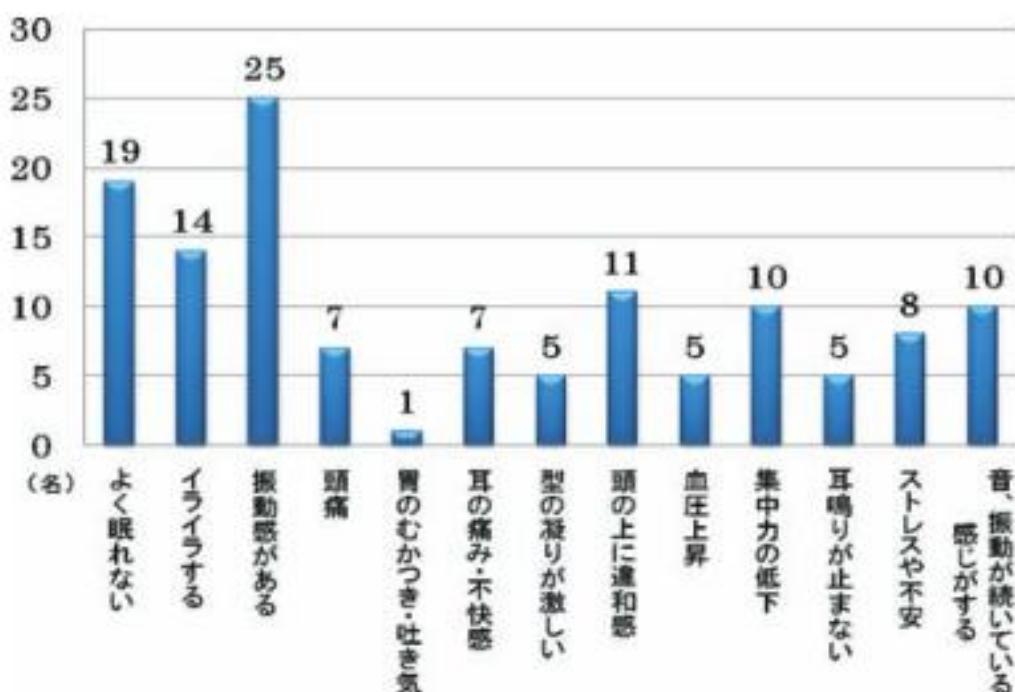


図2 苦情の訴え (「Q5」、複数回答を含む)

表3 アンケート集計結果 (2011.12.15現在)

調査項目 調査地域	配布数 (件)	回答数 (件)	回収率 (%)	苦情数 (件)	苦情率 (%)
大山発電所	70	59	84	16	27
名和発電所	46	34	74	9	26
高田工業団地発電所	60	31	52	1	3
中山発電所	94	58	62	8	14
東伯発電所	46	27	59	12	44
北条砂丘発電所	59	44	75	10	23
湯梨浜町発電所	269	184	68	22	12
鳥取放牧場発電所	1	1	100	0	0
合 計	645	445	69	78	18

大山風力発電所 (No. 1～6)、名和風力発電所 (No. 7～9)

(所在地西伯郡大山町国信・福尾・大塚)

本地区は、近接する風車群の中央を国道9号線が貫通し、騒音環境としては最も不利な状況にあると考えら

れる。とくに風車 6 基（No. 3、4、5、6、7、8）の円に囲まれた地区、あるいは風車 3 基（No. 7、8、9）に囲まれた地区では、騒音が重畠すると考えられる。

たとえば、ある地点から等距離に位置する 3 基の風車が同時に回ったとすれば、その地点における音響エネルギーは 3 倍になる。したがって、その音圧レベル L (dB) は、1 台の場合の音響エネルギーを E (W/m²)、最小可聴音のそれを E_0 (W/m²) として、 $L = 10\log_{10} (3E/E_0) = 10\log 10 (E/E_0) + 10\log 10 3$ すなわち、1 台の場合の音圧レベル $10\log_{10} (E/E_0)$ に比べて、 $10\log 10 3 = 4.8\text{dB} \approx 5\text{dB}$ 上昇する。

また、6 基の場合には、 $10\log 10 6 = 7.8\text{dB}$ 音圧レベルが上昇することになる。なお、上記の計算は、音源を無指向性と仮定している。したがって、風向による指向性の変化、また上空ほどブレードの風切り音が増すこと、などの条件を考慮していないが、複数の風車による音圧レベル上昇については、このような考え方で良いと考えられる。

東伯風力発電所（No. 16～28）

（所在地：東伯郡琴浦町法万・森藤・杉下・金屋・楓下）東西 3 km、南北 5 km の範囲に 13 基の発電機が散在する。

アンケート調査の対象家屋は 46 戸であるが、回答数 27 件のうち、苦情率 44% で今回の調査では最も高い値を示した。その理由として、大山・名和風力発電所（No. 1～9）、中山風力発電所と同様に、半径 500 m の円内に重複する住戸の存在も挙げられるが、当風力発電所の場合には、隣接する北栄町の一部が 500 m 圏内に入っており、風車建設時に事前の説明が無かったことを苦情に挙げる回答者もあった。

3. 風車音の音響調査

3-1 調査対象と測定方法

風車騒音の距離減衰を把握するため、県内 41 基の各風力発電機について、受音点距離が異なる場合の騒音測定を 2011 年 8 月中旬から開始した。受音点は、それぞれの風車から 15m、30m、60m、120m および 240 m 離れた風下の高さ 1.5 m の位置である。

風車騒音の測定方法については、すでに IEC61400-11 およびこれを邦訳した JIS C1400-11 「風力発電システム 第 11 部：騒音測定方法」が存在する。しかし、これらの測定法では、風の影響を避けるため、平板上平面内あるいは地表面にマイクロホンを設置するなど、風車音の厳密な測定に重きが置かれ、実生活の環境測定を目的とした測定方法とは言い難い。また、わが国では現在、測定法に関するさまざまな取組みが環境庁、NEDO の支援のもとに実施されている 6) ～15) のが実情である。そこで今回の測定は、わが国の交通騒音測定などで一般的になっている JIS Z 8731 「騒音レベル測定方法」によることとし、防風スクリーンを装着した低周波精密騒音計 NA-18、およびリアルタイム分析器 SA-30（いずれもリオン社製）を用い、A 特性音圧レベル（騒音レベル）、P 特性音圧レベル（平坦特性）、C 特性音圧レベルを順次測定した。また、同時にそれらの音を周波数分析（1/3 オクターブバンド、1.6Hz～2,500Hz）した。

各受音点から風車までの距離測定には、距離計 LA-SER 550AS（オリンパス社製）を用いた。

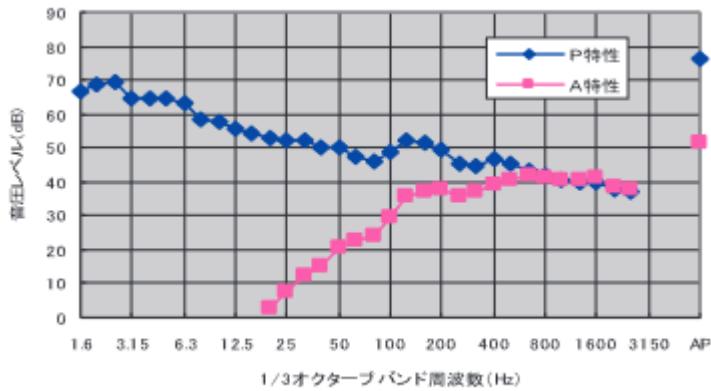


図4 風車騒音の周波数分析結果（A、P特性値）

3-3 考察

① 「騒音に係わる環境基準（平成10年環境庁告示）」では、最寄りの住宅等において、基準値（昼間50～60デシベル、夜間40～50デシベル）を満足することと規定している。単位「デシベル」はdB・A、すなわち騒音計のA特性で測定された値である。しかしながら、図4からも明らかなように、dB・A表示では、風車特有の超・低周波音を最初からカットして評価することになる。

超・低周波音による人体への影響については、「超低周波音12.5Hz、16Hzや可聴音31.5Hz、40Hz成分が卓越すると、腹・胃部等の振動・圧迫感を感じる」の記述¹⁶⁾に見るごとく、聴覚だけではなく、人間の体腔共鳴も関係するようである。近年の論文にも、「心身への生理的影響については、いまだ生理学的にも工学的にも解明されていないので、今後この分野の研究は、聴覚から体性感覚系に着目点を移すことが必要である」¹⁷⁾、との見解がある。

② 図5および図6から、風車騒音の距離減衰の傾向を知ることが出来るが、減衰の勾配はゆるやかで、規則性に乏しいことが判る。今回の測定は風下側で実施したものである。したがって、風車騒音が風に乗って遠くまで伝播する可能性を示すとともに、受音点が遠くなるほど草木のそよぎ、交通騒音、潮騒などの暗騒音が影響すると考えられる。

③ 風車騒音は、主としてブレード先端の風切り音であるが、上空では風速とともに、風切り音も増す。「風速のべき法則」によれば、風車の設置されるような野原、畑地における風速Vは、z(m)を鉛直高さとして、

$$V \propto z^{0.28}$$

で表現される。

たとえば、中山、東伯両発電所に設置された発電機のブレードの上端高さは100m、下端は30mであるから、上端、下端におけるVの比率は、 $(3.63/2.59) = 1.40$ となり、上端の速度は下端より40%増すことになる。したがって、風車騒音の距離減衰は、音を増減しながら回転する3音源をモデルにすればよい、と考えられるが、その予測方法は今後の課題である。

④ 風車騒音の音圧レベルについては、これまで風速との関係に重きが置かれてきたと思われる。しかし、ブレードは風速に応じてピッチ（角度）が変わるため、風速と回転数とは比例しない。したがって、今後はブレードの先端速度と音圧レベルとの関係について着目すべきと考える。

4.まとめ

- 1) 今回の調査研究は、県内全域の風力発電所を対象にした点で、わが国でも初めての試みである。
- 2) 風車から500m圏内でも「苦情」を生じる今回のアンケート調査から考えて、鳥取県風車建設ガイドラインに示された発電機・民家間の最低距離「300m」は、今後、再検討されなければならない課題である。

3) 風車の設置に当たっては、民家までの距離だけではなく、風車群によって囲まれることによる音圧レベルの上昇を考慮しなければならない。

謝辞

本調査研究は、平成23年度鳥取県環境学術研究振興事業の補助を受けたものであり、その開始にあたっては、鳥取県生活環境部景観まちづくり課、および環境立県推進課各位のご指導を得た。また、アンケート調査にご協力頂いた各位に心よりお礼を申し上げたい。

肯定的意見

- ・まちのシンボルになっている。
- ・風車増設を希望する
- ・自然エネルギーとして期待している
- ・漁に出る時、風向きが分かって良い
- ・陸上も良いが、今後は洋上発電に期待する
- ・原発より安全で、環境に優しい、など。

否定的意見

- ・風車への落雷が不安　・回転時の影、光が気なる
- ・回転音がうるさい　・結氷が恐ろしい
- ・風車の撤去を希望する
- ・修理ばかりで電力供給が出来ているのか不明である
- ・隣町住民への事前説明がなかった、など。

5. 5 石竹氏の調査

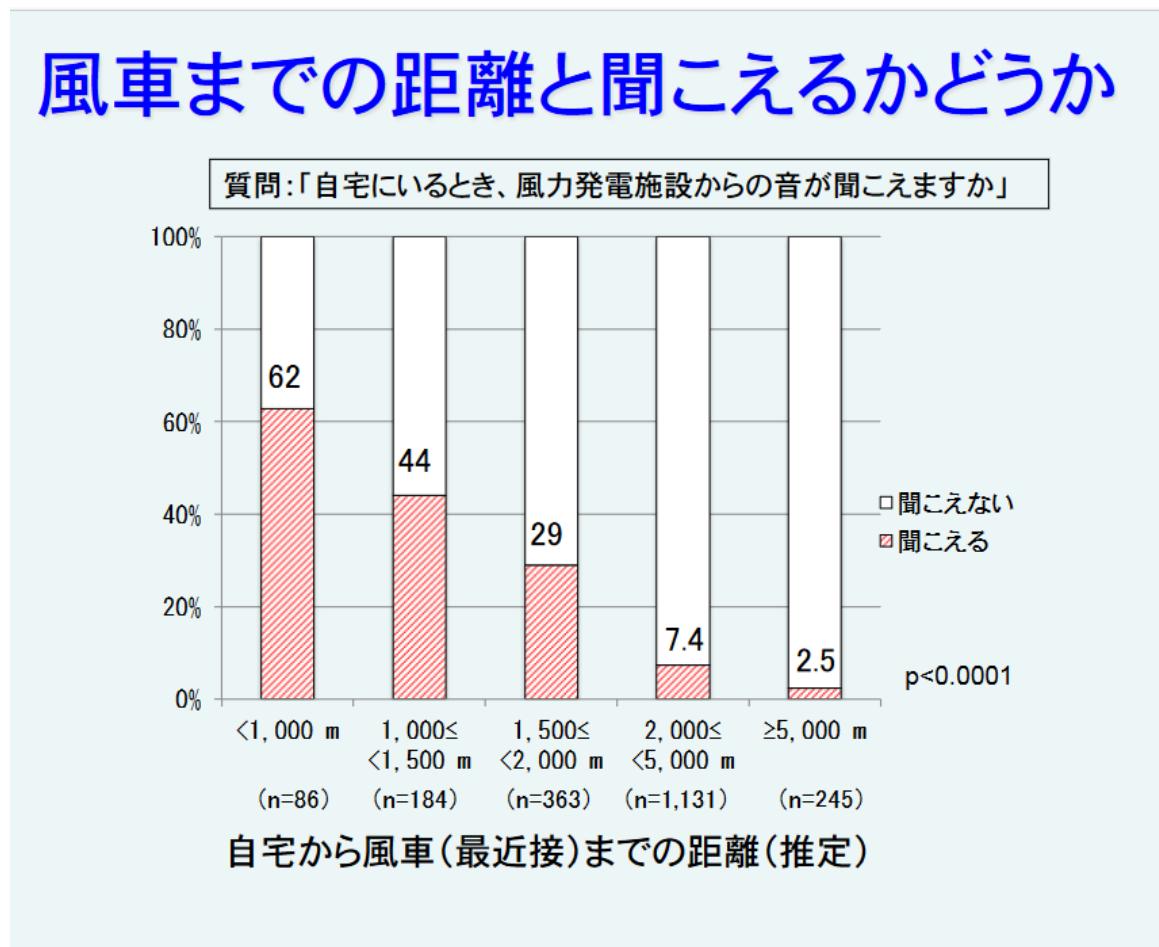
環境研究総合推進費 課題成果報告会（2016.3.11）◆

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

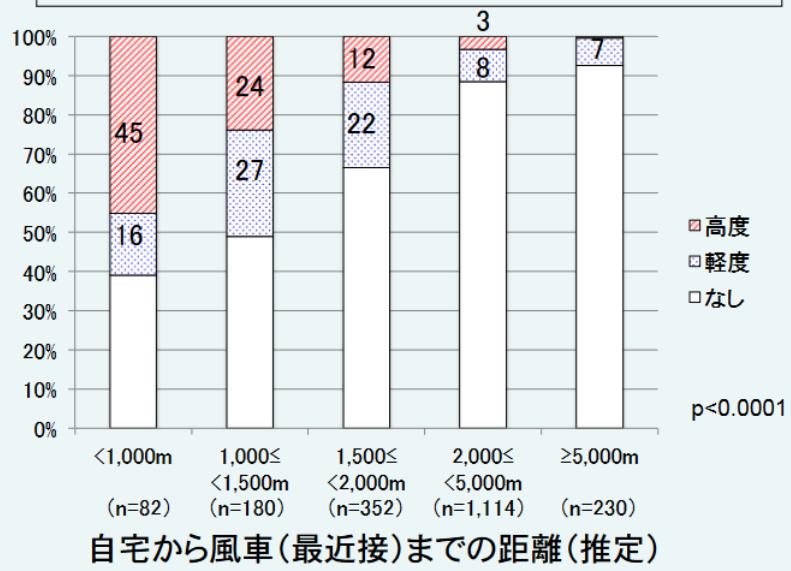


2000m から 5000m の距離でも 7.4% の人には音が聞こえる。

2000m 圏内では、29% の人が騒音を認識する。

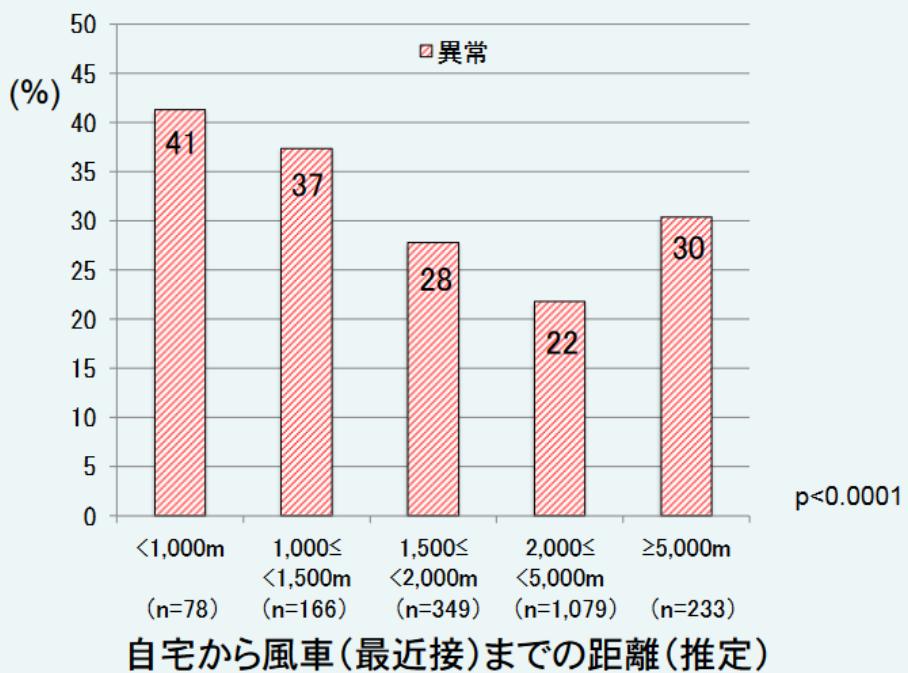
風車までの距離とアノイアンス(風車)

質問：「自宅で、風力発電施設からの音に悩まされたり、うるさく感じることがありますか？」



風車までの距離と睡眠障害

アテネ不眠尺度で異常(≥ 6)の割合



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)しても傾向は不变

多重ロジスティック回帰分析

$$\text{風車騒音の距離減衰式} \\ \text{dB}(L_{\text{Aeq,WTNx}}) = -20.9 \cdot \log_{10}(\text{距離:m}) + 96.7$$

夜間風車騒音(L_{Aeq})と睡眠障害(アテネ不眠尺度≥6点)

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 <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	-						

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)

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。

質問：この結果と、カナダ政府のHPでは、2.5 km離れた場所で計測されたデータが公開されていることを考えれば、

風車音の影響は、少なく見ても、風車から3 km以上の範囲に及ぶと考えます。この範囲で、非常に多くの人（2 km圏内では30 %以上）が睡眠障害に悩まされています。これに踏まえて、説明会の開催場所を風車から5 kmくらいの範囲まで拡大すべきだと思いますが、貴社はどのように考えますか？

(答え)

質問：風車音の影響で睡眠を邪魔される人が現れるのは、風車から何キロ程度の範囲だと考えますか？
その根拠は何ですか？

(答え)

質問：風車音の影響で睡眠を邪魔された人が、眠くて事故を起こしたら、貴社などのような責任を取ってく
れますか。

(答え)

質問：風車音の影響で睡眠を邪魔された子供が、学校の授業中に居眠りして学力が落ちたときに、貴社はど
のようにして責任を取りますか？

(答え)

5. 6 国、環境省の被害調査

環境省も調査をしました。

被害を苦情と表現するなど、極めて問題の多いものですが、その中でも被害があることが把握されています。

調査報告 1.

超低周波音（20 Hz以下）の存在については、

平成21年に環境省は風車騒音に関する調査を行いました。（資料1，2）でも明らかになりました。

資料1

風力発電施設から発生する騒音・低周波音の調査結果(平成21年度)について（お知らせ）

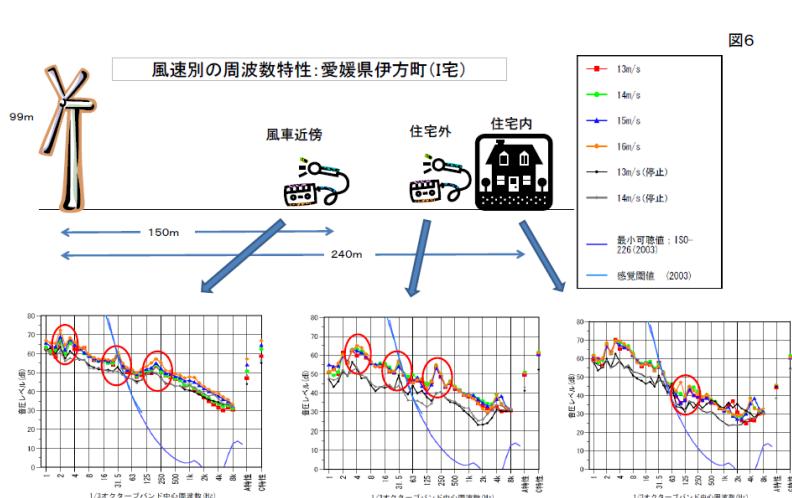
風力発電施設に関して低周波音の苦情が寄せられていることから、環境省は、愛知県豊橋近傍測定点の騒音・低周波音の音圧レベルが低下しました。田原市及び伊方町の苦情者宅内では風力発電設備の稼働・停止により音圧レベルの変化が観測されたが、豊橋市の苦情者宅内では稼働・停止による明確な音圧レベルの変化は確認できませんでした。

（風車音の測定は風の吹いている条件下で行わなければならないため、風雑音の影響を更に除去する方法の検討が必要です。

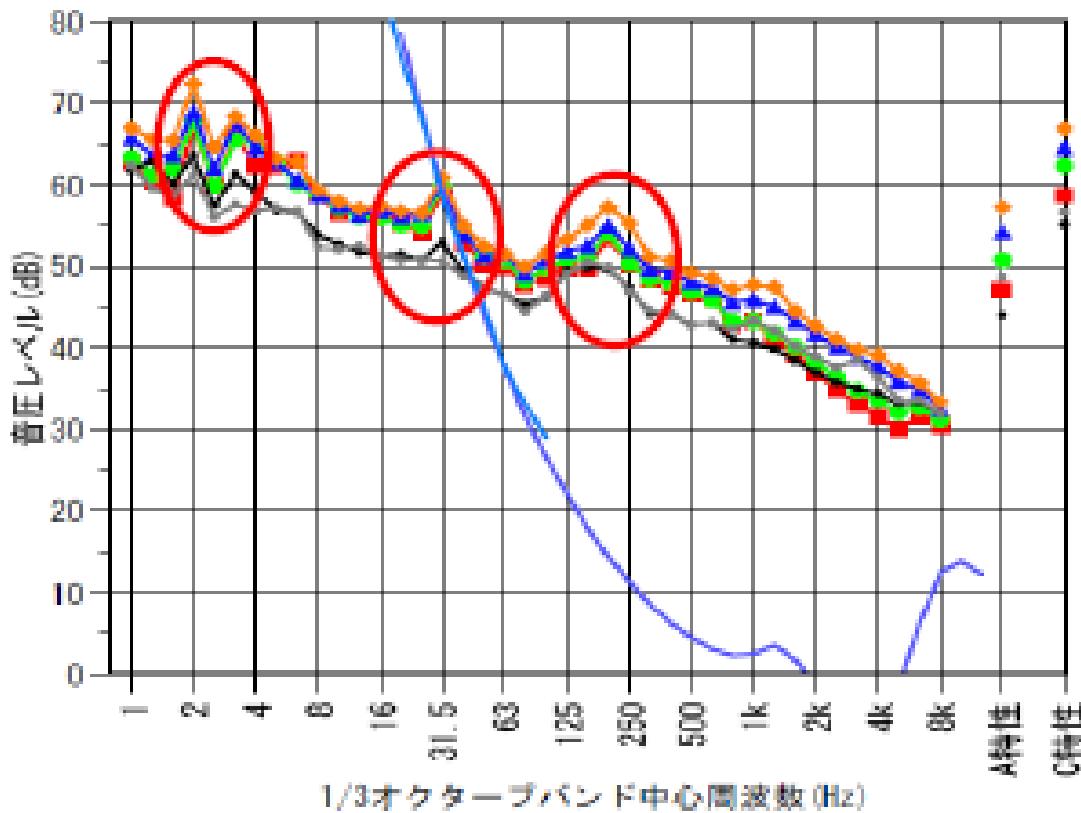
本調査で整理された課題を踏まえ、環境研究総合推進費（旧 環境研究・技術開発推進費）の平成22年度戦略指定研究開発領域公募課題「風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究」により詳細な調査・解析を行い、実態の解明に努めていくこととしています。

さらに、調査結果として

資料2



があり、



その一部を拡大したものが上の図です。

このグラフでは、1 Hz、2 Hz, 31.5 Hz, 200 Hz 付近に山があります。

調査報告 2.

風力発電所に係る環境問題の発生状況「風力発電施設に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会－報告書（資料編）」より抜粋

（平成 23 年 6 月 環境省総合環境政策局）

に、次のような記述がある。

【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（1 km 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。
- ・苦情を受けて、苦情者宅で騒音の測定調査を実施し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。

調査報告3.

2018年に環境省の調査結果では

風力発電施設から発生する騒音等に対する取組について環境省水・大気環境局大気環境課大気生活環境室のなかに、次のような記述も含まれています。

2.風力発電と騒音に関する苦情

風力発電に伴い発生する騒音は、交通騒音等と比べ、著しく大きなものではない。ただ、風力発電施設がもともと静穏な地域に作られることが多いため、騒音に関する苦情が発生する場合がある。

調査報告4.

景観との関連における調査結果では、

平成24年度

風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書（環境省）

報告書の8章には

8.2 今後の課題 今年度の検討調査業務を実施して見出された風力発電施設からの風車騒音に関する今後の課題について、以下に整理した。

8.2.1 今後における新たな知見による目標値の見直しの必要性本業務においては、風車騒音の影響について現時点で得られる研究並びに基準等の情報を収集し、当面の行政的取り組みとして環境影響評価における目標値を設定した。しかし、風車騒音の影響はきわめて複雑であり、今後の医学（疫学、病理学）、聴覚、社会心理学的な研究の進展に期待するところが多い。これらの研究の進展に応じて、また環境影響評価の経緯を慎重に見守りながら、本業務で提案した目標値並びに環境影響評価の進め方について、必要に応じて見直していくことが重要である。

8.2.2 情報収集風車騒音の環境影響評価においては、風車騒音の伝搬に係る予測手法の妥当性の検証とともに、それら手法の相互比較による予測精度の検証を今後実施する必要がある。そのためには、測定条件を明確にすることが必要で、風雑音等も十分に配慮された測定データの拡充と蓄積が不可欠である。それと同時に、騒音源である風車の騒音放射特性のデータの公開性が重要である。現状では、風車の音響パワーレベルや周波数スペクトル等のデータは、顧客からの要請に応じて、個別に開示されるのが通常であり、一般には公開されていない。これらの騒音源に係る基礎データは、当該環境影響評価において最も基本となるもので、情報の公開が強く望まれる。

との記載がある。

環境省の公開している資料

風力発電施設から発生する騒音等に対する取組について

環境省水・大気環境局大気環境課大気生活環境室

には、次のようなグラフと解説がある。

風力発電施設から最も近い苦情者宅までの距離は、図2のとおりである。苦情等が発生したことのある 67 施設において、苦情を寄せている者のうち、風力発電施設から最も近い苦情者宅までの距離は、20mから 3,000m の範囲だった。施設数では、「200m 未満」が 14 箇所と最も多く、次いで「1,000m 以上」が 12 箇所だった。

また、苦情者宅までの距離が「200m 未満」では、14 箇所のうち、12 箇所で苦情が継続している。

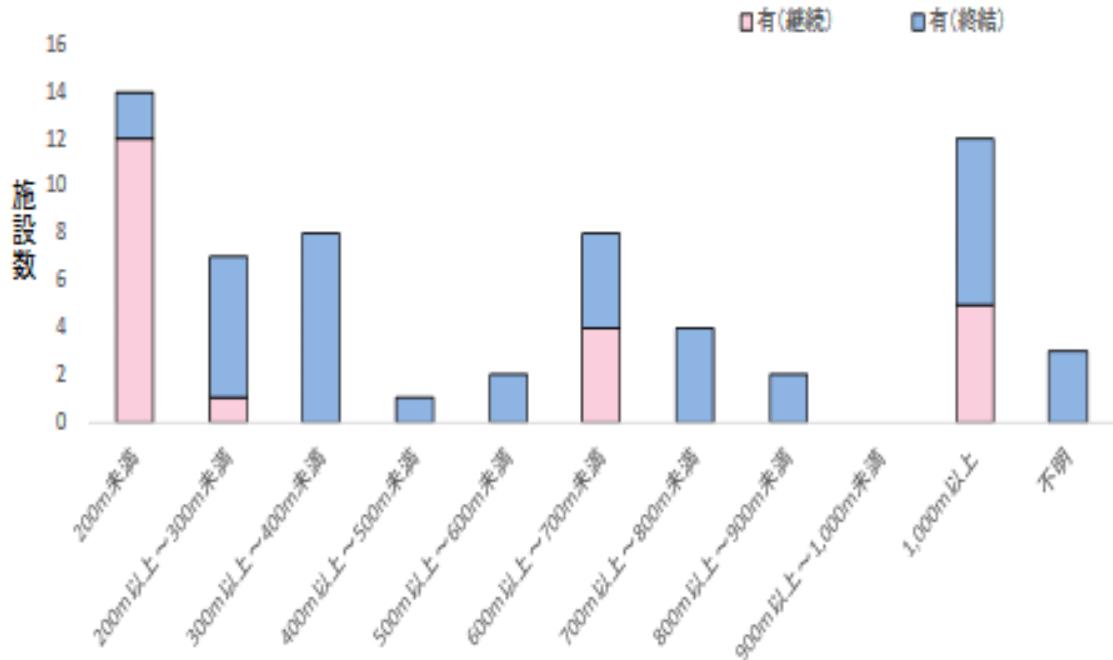


図2 風力発電施設から最も近い苦情者宅までの距離

定格出力と最も近い苦情者宅までの距離を図3に示す。苦情を寄せている者までの最短距離は、定格出力に関係なく1,500m以内(3,000m・2,000kWの苦情原因は景観によるもの)に収まっている。苦情を寄せている数は、20kW未満と2,000kW前後に大別され、20kW未満では200m以内に集中しているが、それ以上大きくなると定格出力の大きさと苦情を寄せている最短距離に比例関係はなく、1,500m以内ではどの距離でも苦情が起こりえる状況という結果になった。

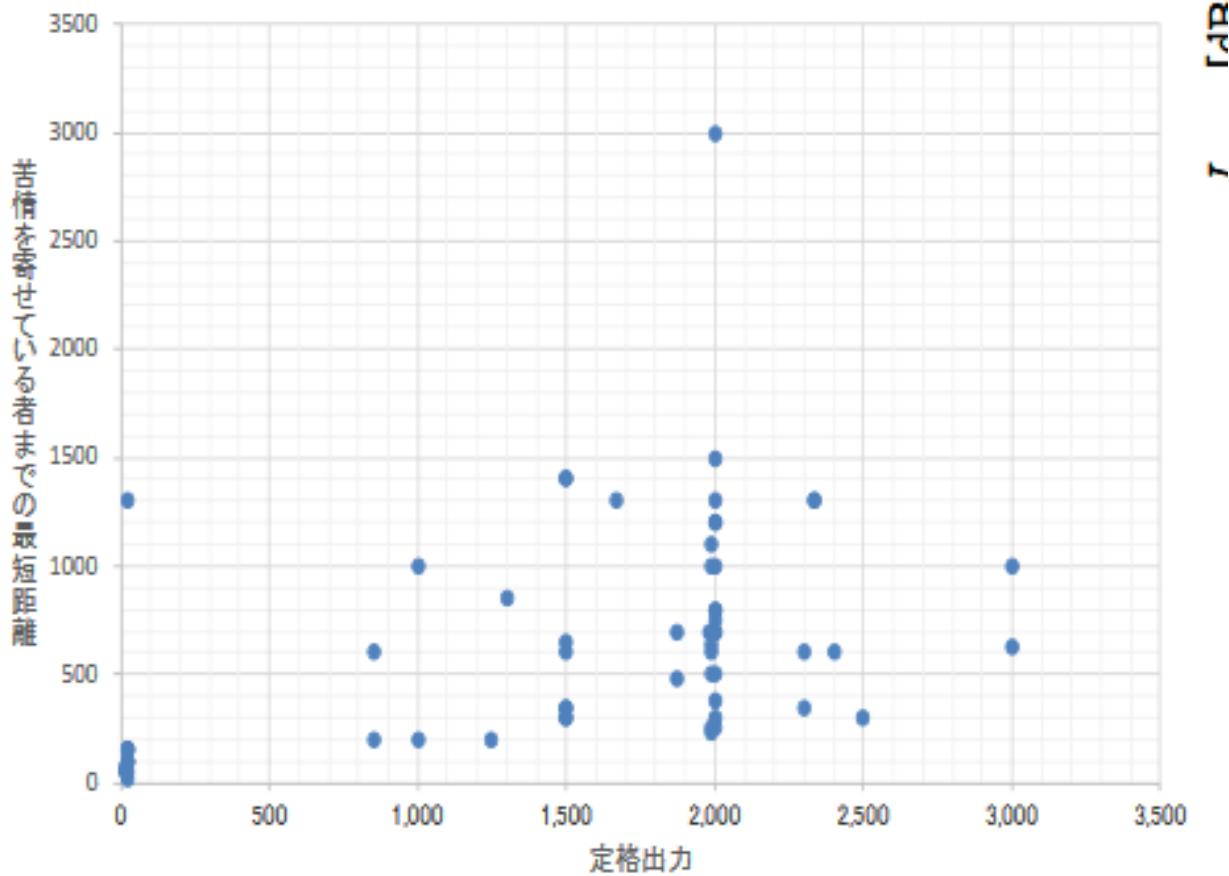


図3 定格出力と最も近い苦情者宅までの距離

ここには、

“苦情者宅までの距離は、20mから300mの範囲だった”

との記述がある。

これは、少なくとも300mの範囲までは健康被害が発生する可能性があることを示しています。

国の調査結果及び問題点

1：問題がどこで起きるのかを認識しない。

“環境省の、参考資料「低周波音の基礎知識」の記述では、

(1) 我が国における低周波音苦情の特徴

低周波音の苦情内容が海外では生理的・心理的苦情が大部分であるのに対して、我が国では物的苦情も相当数ある。苦情が発生する最低音圧レベルが海外より小さいことがあるが、その原因として我が国の家屋構造から低周波数域では人が感ずる音圧レベルよりも小さい音圧レベルで建具が振動する場合があること等が考えられる。“

とあるのだが、建具の共振の記述はあるが、家全体としての共振については記述が無い。家全体としての固有振動数については、熊本地震の被害調査から 0.5Hz から 1Hz であることが判明している。当然、家全体としての共振も考えられる。(私の家では、0.5Hz、0.7Hz、50Hz の振動が計測されました。)

国の記述で、“(風車音の測定は風の吹いている条件下で行わなければならないため、風雑音の影響を更に除去する方法の検討が必要です。”

や、

“環境省、「低周波音の測定方法に関するマニュアル」に、

5.1.5 測定場所および測定点の選定

測定点は、原則として問題となる場所の屋外とするが、必要に応じて屋内にも設ける。“

とある。

苦情や被害は、

【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】

・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。
とあり、“眠れない”という問題は夜間の室内で起こる。だから、測定は夜間室内で長時間行い、室内での現象を解明する必要がある。室内ならば、風雑音の心配は無い。超低周波音の問題は、騒音の問題でもあり、振動の問題もある。

原則を

“測定点は、原則として問題が起きている室内とするが、必要に応じて室外にも設ける。測定は、精密騒音計と振動レベル計を必ず併用し、精密な周波数分析が出来るデータを収録する。”

と変える必要がある。

2：検討範囲を意識的に狭くする。

問題を聴覚で聞き取れる周波数の問題に限定し、共鳴による家全体の振動や、気圧変動の影響、音響キャビテーションの問題などを考察しない。不眠の状況を数値化して調べる方法があるのにその実行を提案しない。

3：交通騒音との明確な違いを無視する。

“2.風力発電と騒音に関する苦情

風力発電に伴い発生する騒音は、交通騒音等と比べ、著しく大きなものではない。ただ、風力発電施設がもともと静穏な地域に作られることが多いため、騒音に関する苦情が発生する場合がある。“

東海道新幹線は東京駅の始発が6時、東京着の最終は23時45分です。新幹線は夜中の走行はしません。閑静な地域では、夜間の交通量はほぼ0である。風車の騒音開始時間と終了時間は無い。24時間連続運転をしているのが風車です。

これは重要な相違点である。

4：聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の意味を曖昧にしている。

“環境省、‘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。

“環境省の、参考資料 一低周波音の基礎知識一 の記述には、

d.1 感覚閾値

低周波音の感覚閾値(低周波音を感じる最小音圧レベル)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・生理的影响の評価特性)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 2)。“

とある。

さて、聴覚は耳で音として認識すると言う意味だろうが、感覚閾値の感覚とは何を意味するか、聴覚、皮膚での触覚、半規管での感じる揺れの感覚、大気圧圧力変動を内耳の前庭器官で感じるときの感覚、より物理的に音響キャビテーションでの影響。さらに、知覚閾値の知覚とはどんな意味で使っているのだろうか、定義を明確にして欲しいところである。

5：問題の解明に向けた具体的指針を提起する気が無い。

“平成 24 年度

風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書 (環境省)

報告書の 8 章には

8.2 今後の課題 今年度の検討調査業務を実施して見出された風力発電施設からの風車騒音に関する今後の課題について、以下に整理した。

8.2.1 今後における新たな知見による目標値の見直しの必要性本業務においては、風車騒音の影響について現時点で得られる研究並びに基準等の情報を収集し、当面の行政的取り組みとして環境影響評価における目標値を設定した。しかし、風車騒音の影響はきわめて複雑であり、今後の医学(疫学、病理学)、聴覚、社会心理学的な研究の進展に期待するところが多い。これらの研究の進展に応じて、また環境影響評価の経緯

を慎重に見守りながら、本業務で提案した目標値並びに環境影響評価の進め方について、必要に応じて見直していくことが重要である。

8.2.2 情報収集風車騒音の環境影響評価においては、風車騒音の伝搬に係る予測手法の妥当性の検証とともに、それら手法の相互比較による予測精度の検証を今後実施する必要がある。そのためには、測定条件を明確にすることが必要で、風雑音等も十分に配慮された測定データの拡充と蓄積が不可欠である。それと同時に、騒音源である風車の騒音放射特性のデータの公開性が重要である。現状では、風車の音響パワーレベルや周波数スペクトル等のデータは、顧客からの要請に応じて、個別に開示されるのが通常であり、一般には公開されていない。これらの騒音源に係る基礎データは、当該環境影響評価において最も基本となるもので、情報の公開が強く望まれる。“

との記載がある。

もし、解決する気があるなら、騒音計測、震動計測を風車建設前と建設後に季節ごとに行いその結果を誰でも分析可能な形態で公開することを義務付けるだろうし、

医学（疫学、病理学）に関しては、風車を中心にして半径3kmの全ての住民に対しての、唾液コルチゾール検査を風車建設会社が費用負担して実施することを義務付けるだろう。「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ）」は、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。このコルチゾールの分泌についての検査は、1回1500円で行えます。

問題があるとの認識があるのならば、原因を究明する具体的な方法があるのだから、それを実施することを提案するべきである。

質問1：観測データの積極的な公開についての貴社の実績と公開についての方針を伺いたい。

“現状では、風車の音響パワーレベルや周波数スペクトル等のデータは、顧客からの要請に応じて、個別に開示されるのが通常であり、一般には公開されていない。これらの騒音源に係る基礎データは、当該環境影響評価において最も基本となるもので、情報の公開が強く望まれる。”

とあり、“音響パワーレベルや周波数スペクトル等”が明確になる形での情報公開は、企業の社会的責任であると考えるか、貴社がどのように考えるか？

(答え)

質問2：“風車騒音の影響はきわめて複雑であり、今後の医学（疫学、病理学）、聴覚、社会心理学的な研究の進展に期待するところが多い。”

とあるなかで、医学（疫学、病理学）に関しては、風車を中心にして半径3kmの全ての住民に対しての、唾液コルチゾール検査を貴社責任で行い、医学的、統計的なデータによって、原因究明をする必要があると考えるが、貴社はどのように考えるか？

(答え)

住宅から 1 km 離せば影響は軽微だと言われても、音を聞いたとたんに死亡することは無い。と言うような意味にしか聞こえません。

半数の住民が、睡眠障害を起こしても、“影響は軽微”だと言う事なのでしょう。

睡眠不足で海に潜ってアワビを探ったら、死亡事故につながる可能性が高くなります。もちろん、その死亡事故が起きても、風車が死亡事故の直接の原因ではないでしょう。責任は、不眠で体力が落ちているのを知っているながら海でアワビを探ろうとした住民の責任でしょう。

居眠り運転で交通事故を起こして死んでも、風車が直接の原因ではありません。眠いのを承知で車を運転した本人の責任です。

学校で居眠りをして、学力が落ちて、生涯賃金が減っても、風車が直接の原因ではありません。眠気に負けない精神力を持っていなかった子供の自己責任です。

お金が無くて、引っ越し出来ないのは、風車が直接の原因ではありません。お金を稼げない本人の能力が原因なのです。

風車が直接の原因だと言えるものはなかなか見つかりません。例えば、プロペラが折れて飛んできてそれにあたって死んでも、風車が直接の原因ではありません。重力と風が直接の原因です。もちろん、飛んできたプロペラの直撃に耐えられないひ弱な体を持っていた本人の問題です。

いくら探しても、風車や風車音が被害の直接の原因だと言うのは見つかりません。うるさいのは空気があるからです。聴覚を刺激しているのは、風車そのものでは無くて、空気なのです。原因は空気の存在です。以上、何が起こっても、風車には罪はありません。

風車音で共振が起こり、家具や床がガタガタして、目が覚めても、風車音が直接の原因ではありません。揺れて眠りを妨害したのは家具や床です。家の中で眠る人が悪いのです。屋外で眠れば共振は起きません。

もちろん、被害の可能性は、各地の被害状況を見れば、単なる可能性ではなく現実であることは、すぐに確認できます。

直接的な原因ではないが、風車が、根本的な原因であり、それによって誘発された被害であることは明白です。

“この指針は、風力発電施設の設置又は発電施設の新設を伴う変更に際し、風力発電施設から発生する音による生活環境への影響を未然に防止するために定めたものです。

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。“

との記述が正しければ、

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問題であり、A 特性音圧レベル (20Hz～) が風車騒音と他の騒音の共通の尺度として機能するはずです。そうでなくては、その数値を生活環境への影響を未然に防止するために役立てる事は出来ません。

A 特性音圧レベル (20Hz～) の値が同じ時に、同程度の騒音被害が発生しなくてはなりません。

しかし、違います。

アノイアンスの要因として、騒音（20Hz以上）が9%から13%だと書いてある。“景観への影響等、他の要因の寄与が大きい”

と書いてある。

アノイアンスを決定する大きな要因が、“個人の風車に対する否定的な態度”だとする考え方もある。

ここまでくれば、要因の10%程度である、騒音（20Hz以上）を省略すれば、アノイアンスの原因、すなわち、“不快感”的な原因是、“個人の風車に対する否定的な態度”で決まる。と言い切る人が出てきても不思議ではない。何しろ、風車騒音（0Hz以上）のエネルギーの93%を切り捨てたのですから今更10%を切りしても、問題は無いでしょう。

唯心論哲学に従えば（？）、風車騒音（0Hz以上）問題の原因是、住民の心が、“風車に対して否定的である”からです。解決するには、住民の心を変えればよいのです。それには、小学生の時から洗脳すれば良いのです。

これは、原因と結果を逆に考えたもので、科学ではありません。風車の騒音（0Hz以上）で悩まされるから風車が嫌いになるのです。そして、被害の実態を知った人は、風車が近くに建設されれば、自分たちにも害が生じると考えます。風車好きにはなれません。

これを実験的に確認するには、トレーラーに実験室を積んで、被験者が外を見られない状態にして、風車からの距離をランダムにとっての、目隠し実験をすれば、すぐに分かります。

風車からは、超低周波音（ISO7196）は原理的に出でこない。と言っていた学者もいました。

中野環境クリニック所長 中野 有朋氏は、“低周波音トラブルの多くは誤解トラブル”的ななかで、次のように述べています。

6. 風力発電機から低周波、超低周波の回転音など発生しない

全国各地に風力発電用の風車が多数設置されている。その中で、風車から低周波音がでる、また超低周波音が出るので人体に悪影響があるなどというトラブルが起こっているところがある。そしてこれがテレビなどでまことしやかに報道されるので、本当であると思われてしまう。

しかしこれは音波の発生に関する最も基本的事項の誤解によるもので、全くの誤りである。

風車からは、問題になるような超低周波数及び低周波数の回転音は発生しない。問題になることがあるのは通常の騒音の問題である。

【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。

この結言によれば、

この地区で風車騒音（0Hz以上）を感じて、その被害を受けたと訴える人は、健常者ではない。と言う

事になる。地域の住民説明会でこのような説明をされたら、身体的に健康な人で、被害を受けている人は、その被害を訴えづらくなる。何しろ、被害を受けたと言ったら、健常者ではなくなる。身体的には健康だが、健常者ではないと言う事になってしまう。被害を訴えると、精神の部分が健常ではないことになってしまう。これでは、被害を口に出せない。

企業は、説明会を使って、地域社会に対して強烈な圧力をかけたのです。

中野氏は、超低周波音（0Hz～20Hz）は発生しないと言いました。その後、超低周波音（ISO7196）が計測されたので、世の中の風向きが変わりました。

超低周波音（ISO7196）は、知覚閾値以下であり、感知できないから影響は無い。

このように言う人は、耳に聞こえない音は人体に影響を及ぼさない。とでも考えているのでしょうか？

風車は、海洋風力発電と言う事で、ますます大型化します。しっかり計測すれば、強烈な超低周波音が出ていることが明らかになります。

そこで、環境省は、超低周波音（ISO7196）を計測しないことにしたのです。

A特性音圧レベル（20Hz～）で、風車騒音（0Hz以上）を測定し、その影響を評価すると言う事は、風車音のエネルギーの93%以上を計算から除外して、7%以下のエネルギーを持つ部分だけを使って、その影響を評価するとしたのです。

その結果、同じ騒音（20Hz以上）レベルでの、風車騒音（0Hz以上）による被害と交通騒音（0Hz以上）による被害の発生率に大きな差が出ました。

そして、

“評価の目安となる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、風車騒音の影響が小さくなるよう、事業者は合理的な範囲で対策を講ずるよう努めることが必要である。”

となって、指針値が、被害を評価する目安とはならないことを、自ら表明することになってしまったのです。

もし、指針値が被害の目安として役に立つならば、

“評価の目安となる値を超えない場合には、被害は発生しませんので、地域の音環境の保全に配慮し、風車騒音が指針値を超えないように、事業者は対策を講ずるよう努めることが必要である。”

と書くはずです。

騒音（20Hz以上）に対しての適切な測定を主張します。

普通騒音計は、計測範囲が20Hz以上になっているものが多いので、普通騒音計では超低周波音（ISO7196）は計測できません。

精密騒音計でも、普通に使えば、1Hz以上の音しか計測できません。大型化した風車からは0.5Hzとか0.8Hzの音が出てきます。そして、その周波数の音の音圧が最大になっているのです。

これを確認するには、精密騒音計に録音用のプログラムを追加する必要があります。さらに、測定されたデジタルデータを解析するには、コンピュータと風車音の解析用に作られた、特別な解析プログラムが必要です。仕事が忙しい住民にとっては、この企業の主張に反論するのは困難なことなのです。お金も時間も必要です。裁判で勝つためのデータの収集は、自分でやるしかありません。県や市は協力してくれません。

“関係機関と協力して、超低周波音等の適切な説明を案件ごとに繰り返し実施する”

に関しては、

“超低周波音等の適切な説明”の中身が問題です。“耳に聞こえないから問題は無い。聴覚閾値以下である。そして、感覚閾値以下である。知覚閾値以下である。”と言いたい換える。

いつの間にか、参考値でのガタツキ閾値を忘れている。感覚には、聴覚以外にも、圧を感じる感覚、振動を感じる感覚などもあることを忘れている。そして、風車騒音（0Hz以上）の被害の原因が、被害者本人の主観の問題であるかのように主張する。

Moorhouse の論文は、物的苦情に関する参考値（ガタツキ閾値）の話が書いてあった。

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints

Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD

に書かれている。

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 complaints¹⁷.

であるが、このような世界が認めた研究結果を無視しようとする態度は、都合の悪い研究結果は、見つからなかったことにする。と考えているとしか思えません。都合の悪い現実をしっかり見つめれば、新しい道を開けると思うのが普通の科学者だと思います。

業者の“適切な説明”で、“20Hz以下の超低周波音は知覚閾値以下なので影響がない。”と繰り返しても無駄です。圧迫感や頭痛や建具の振動は、風車からの低周波音が主な原因で発生します。

適切な計測を行いその結果を公開して世界の研究者の協力を求める事が必要です。住民に対して、世界中から解析結果を集めて知らせることが必要です。

環境アセスの建前は、計測は事業者が行って、県や市、住民に対して説明する。ように出来ています。企業が自分に都合の悪い情報を公表しないのは当然です。この建前があるので、県や市は計測機材を持っていても、計測してくれません。県や市によっては、安い普通騒音計しか持っていないケースが多いです。

精密騒音計を持っていても、デジタルデータとして録音するソフトを組み込んでいないのが普通です。さらに、風車騒音（0Hz以上）を解析するプログラムを持っていないケースも多いのです。

さて、たとえ聴覚では認識できなくても、気圧の変化を他の感覚器官で感知できるし、また、超低周波音での共鳴や共振で建具がガタガタすれば、寝ている人は睡眠を妨げられます。これは、住民に大きな被害をもたらします。当然、耳に聞こえない音、超低周波音の部分での被害があると考えなくてはなりません。

解決方法は2つあります。

風車に対する嫌悪感があるから、風車音の影響で建具がガタつくと思うことになる。嫌悪感を捨てれば、ガタツキは無くなる。と言う方法です。

もちろん、振動レベル計で計測すれば、住民の主観の問題ではないことが明確になります。

もう一つは、音の周波数と建具の固有振動数を詳細に調べて、どちらかの物理的な特性を変化させて、共鳴や共振を防ぐ方法です。

少し前は参照値についても書かれていました。企業の住民向けパンフレットには参考値（100 dB）に関して書いてあるものもあります。そして、指針値が示されました、この指針値は基準値では無いようです。

古い知見を確認する意味で、参照値、参考値、指針値、「騒音に係る環境基準」における基準値の違いを調べてみましょう。

参照値には2種類あります。

表1 低周波音による物的苦情に関する参考値

1/3オクターブバンド											
中心周波数(Hz)	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
1/3オクターブバンド											
音圧レベル(dB)	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99

と、

2.2 心身に係る苦情に関する参考値

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

表2 低周波音による心身に係る苦情に関する参考値

1/3オクターブバンド											
中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	
1/3オクターブバンド											
音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41	

です。

表1では、5Hzの音で70dBの音圧レベル（重み付け無し）の時には、建具が共振でガタガタする可能性があると言う意味です。

館山の風車騒音(0Hz以上)の1/3オクターブ解析を、ISO7196に従って行ってみ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:							

表1では、周波数が低くなると、物的苦情に関する参考値（ガタツキ閾値）が小さくなります。

0.8Hzでは、70dBよりも低いだろうと予想できますが、でも0.8Hzでのガタツキ閾値は存在しません。

ですから、0.8Hzの時の77.287dBと言う音圧レベルは、ガタツキ閾値を超えていとは言えません。存在

しないものとの比較はできませんが、ガタついているかどうかは、振動レベル計を使って室内での計測を行えば簡単に分かります。

当然ですが、5Hzの音は、超低周波音（0Hz～20Hz）です。音圧レベルが70dB以上になれば、建具がガタついて、住民の睡眠を妨害する可能性が高まります。

もちろん家の構造にもよります。マンションと木造家屋では別の値となるでしょう。また、家全体の固有振動数が1Hz程度であることも知られています。室内では、共振の他に共鳴も起きます。共鳴現象が起きれば、室内での音圧は極めて高くなります。

これらに関しては、室内に、精密騒音計と振動レベル計を設置して確認することが必要です。

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。後で音圧補正をすれば、NL-62でも、0.8Hz辺りまでは計測できます。（下の右のグラフ）

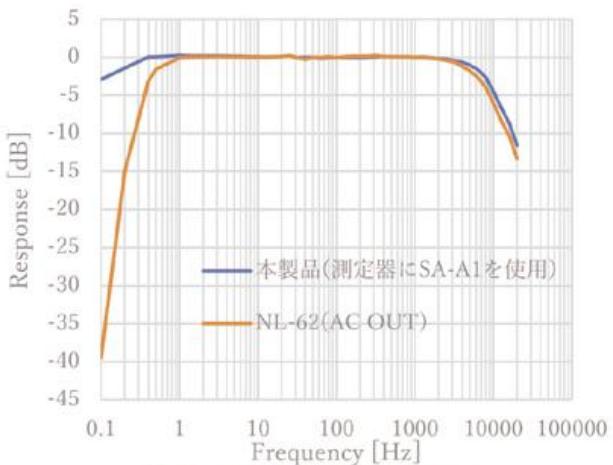
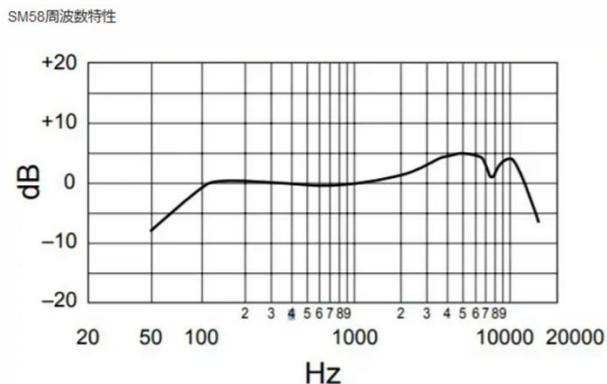


図2 本製品とNL-62の周波数特性

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 48 kHz 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 $h \text{ Hz}$ とすれば、 $h * 48000 * 60 = 48000$ となるので、 $h = 0.01667 \text{ Hz}$ 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 $h = 0.01667 \text{ Hz}$ です。
0Hz から 24000Hz まで、刻み幅 0.01667 Hz 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 $h \text{ Hz}$ とすれば、 $h * 48000 * 10 = 48000$ となるので、 $h = 0.1 \text{ Hz}$ 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 $h = 0.1 \text{ Hz}$ です。
0Hz から 24000Hz まで、刻み幅 0.1 Hz 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。

$$f = 1000 \times 10^{0.1 \times (n-30)} \text{ [Hz]} \quad \dots \quad (1)$$

(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)	中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226
29	-9.66667	0.00123	1.230	1.096	1.381	0.285
28	-9.33333	0.00155	1.550	1.381	1.740	0.359

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、0.5Hz 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。

表 2 では、音を人間がどの様に感じるかについての問題も起こってきます。

超低周波音（ISO7196）は微小な気圧変動としての影響を与えます。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。

ISO 389-7:2019 には、threshold of hearing 聽覚（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考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
参考値（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

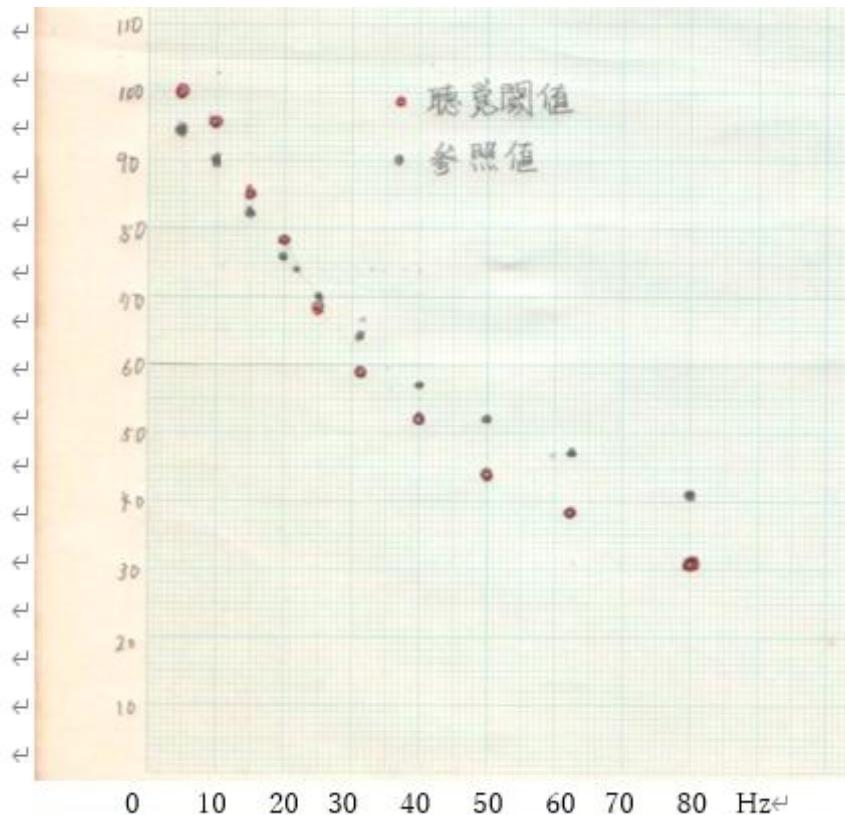
となります。

（参考値－聴覚閾値）の表を作れば次のようにになります。

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参考値－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、聴覚閾値と参考値（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（参考値の予測もしてみました。）次のようになります。



参考値は、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 76 dB 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、低周波音（0 Hz～100 Hz）に対して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 78.1 dB (78.5 dB) 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じて不快感を覚えてしまうと言う事です。

もし、この 78.1 dB (78.5 dB) 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じしないのだから、76 dB 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 78.1 dB 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 76 dB 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。

聴覚閾値は、聞こえた否かを判断すれば良いのですが、参照値はそれとは違います。圧力の感知まで含めた値に近いものが参照値です。その理由は、

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。骨伝導かどうかは別にして、

“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”

と言う部分が大切です。残念ながら、被験者のいる部屋の、周波数ごとの音圧レベルを計測したデータが無いのが残念です。

もちろん実験室での音ですから、実際の風車音とは違います。その違いに関しては、

以下、前川真帆香 氏の論文から抜粋：

4.2 参照値の策定方法

では、参照値はどの様にして決められたのか。

参照値を決めるにあたって、実験が行われた。「物的苦情に関する参考値」と「心身に係る苦情に関する参考値」は異なる実験に基づき策定された。これは、環境省の委託を受け、日本騒音制御工学会が実施した「平成 15 年度低周波音対策検討調査」の一環として、産業総合研究所が実施したものである。

物的苦情の参考値は障子、鉄サッシ、木製引き戸などががたつき始める最低音圧レベルを求めた実験データに基づいている(環境庁 1977)。被害者の訴えは家具のがたつきよりも心身に関するものが増え、かつその影響が明確には感知できにくいため、

心身に関する参考値の策定方法についてより詳しく述べる。心身に係る苦情に関する参考値を得るために以下の実験が行われた。一般成人そして苦情者が許容できる低周波音の異なる生活場面を想定して、「居間における許容値」、「寝室

における許容値」、「気になるレベル」の音圧レベルを測定した⁶。これらと共に、聴覚閾値も測定された。そして、実験室にて一般成人と苦情者に低周波音を長時間暴露し続け、「一般成人と同時に苦情者の大多数にも当てはまる」と判断された、寝室の許容レベルの10%値に基づいている(日本機械学会 2005:55)。

5. 低周波音に関する学術的見解⁷

では、この参照値を策定する実験を行った学者は不眠、頭痛など被害者が訴える生理的被害を及ぼす問題やその原因についてどのように考えているのか。そして、それに対して批判的な考え方を示す人もいるのか。ここでは、参照値の実験を行った音響専門家山田伸治・犬飼幸男と低周波音に関する国際会議、国内の論文にて彼らの見解に反対する工学博士岡田健の見解を紹介する。なお、岡田は低周波音問題が起きている現場調査を行い、被害者の依頼で、メーカーとの交渉を行っている。そして、その活動が被害者にとって功を奏し、解決にも繋がっている。彼の低周波音の取り組みは後述したい。

⁵聴覚閾値、許容値、気になるレベルの測定方法について述べる。聴覚閾値の測定には、低周波音実験室において、10～100Hzの純音11種を刺激音として提示された。許容値そして気になるレベルは、低周波音実験室にて、10～200Hzの純音14種の刺激音が使用されたが、被験者が自身でボリュームを調整し、許容値と気になるレベルを設定する。このとき、状況設定は事前に伝えられており、「居間の許容値」は「居間で静かに新聞を読んでいるとき」、

「寝室の許容値」は「寝室で床に就いて寝ようとするとき」、「気になるレベル」は特定の場面は想定しないことが条件としてあった。¹¹

5.1 音響専門家山田伸治・犬飼幸男の見解

参照値は聴覚閾値をベースに、音響専門家山田伸治・犬飼幸男の研究に基づいて発表された。低周波音の感知には個人差があり、低周波音被害者は音に対して鋭敏であるため、被害が生じていると言われている。しかし、彼らは低周波音苦情者と一般人の平均最小可聴値の差は僅かであると述べ、低周波音被害者の症状は、低周波音を感知することで不快感を覚える心理的な過程から発生すると考えている。低周波音被害者は、低周波音に関して鋭敏なのではなく、音に関するアノイアンスに対して鋭敏であると考えている。そして、聴覚閾値以下の範囲では問題にならないとしている。これは、彼らが聾者を用いた実験では、聾者の閾値は健聴者の閾値が約30dBほど大きいという結果が得られ、低周波音は聴覚により感知していると考えているからである。

5.2 工学博士岡田健の見解工学専門家の岡田健は、参照値、そして山田、犬飼の見解について批判的な見解を発表している。岡田は、閾値をベースにしたこれらの研究は、心身が生理的症状を発症させるメカニズムとは全く関係ないと(2009:43)指摘するのである。

⁶実験に参加した被験者の選出方法について述べる。被験者は一般成人と「苦情者」の許容値が測定されたのだが、一般成人は20歳～65歳が対象者とされ、応募者166人の内、各年代から女性を3人、男性1人、そして40歳代の女性1人を加え、21人をランダムに抽出した。苦情者は、NPO法人「住環境の騒音・振動・低周波音を考える会」の会報を通して募った、女性7人、男性3人の合計10人である。この点、苦情者の被験者は女性が多かったため、一般成人の被験者も女性が多くなるように設定された。

⁷海外でも議論がなされており、ポルトガルのアルベスペレイラ、カステロブランコの実験・見解について紹介する。マウスを使った実験では超低周波音・低周波音をマウスに連続暴露したところ、細胞・呼吸器官の纖毛が溶け、短くなり、不揃いになるという結果が出た。また、血管壁、胞膜、胃壁、腎臓においてコラーゲンの増殖が確認され、肺胞・心膜の壁が厚くなっていた。そして暴露していない3世代目に催奇性の奇形が見られたことから、妊娠時から低周波音を暴露されることの危険性を示唆するとしている。彼らは、超低周波音と低周波音は細胞の癌化を誘発する遺伝子毒性因子であると仮説的に結

論づけている。「振動音響病(VAD)」という病名が定められている。ただ、マウスの実験は高い音圧レベルに暴露されたことに起因すると反論が出されている(Leventhal 2008:3)。12

参照値はスピーカーから放射される純音を用いて得た聴覚閾値をベースにしている。聴覚閾値は、蝸牛が可聴音の物理的刺激(信号)に対し反応する場合の最低反応準位に示すものである。その聴覚前庭神経は直接脳幹に投射され、蝸牛神経背側核、蝸牛神経腹側核、上オリーブ核、下丘、内側膝状態を通り聴覚皮質へ導かれている。本神経路は音の認識を司る部位を伝搬しており、被害者の心身に発症している自律神経系並びに筋肉、特に顔面神経系や三叉神経系に関連した生理的症状を引き起こす部位には関与していない。すなわち、聴覚閾値と生理的症状の発症の間には直接的関連は認められない。同様に超・低周波数の波動についても可聴音と同様の経路をたどることは推測されるが、この経路を伝搬する超・低周波音は生理的症状を引き起こす原因とならないだろうことが推測される。もし、生理的症状を引き起こすならば、蝸牛内のどの部位でセンシングし、その判断をどの部位で行い、その信号をどの経路で自律神経系に投射するのかを解明しなければならない。しかし、蝸牛以外のその他の神経系へのつながりがあれば、生理的症状の発症につながる因果関係にたどり着けるだろう。その一つが、鼓膜張筋であり、アブミ骨筋の超低周波音に対する挙動が興味深い。この様に、参照値で生理的症状の発生を説明するには無理があると思われる。(岡田 2009: 42)

そして、低周波音・超低周波音を感知するメカニズムについての見解を発表している。前庭神経は、平衡感覚・眼球運動が正常に機能しているかどうか司る器官であるが、これが超低周波音を異物として感知し、警告を発するために健康障害が生じていると述べている(2008年低周波音国際会議発表より)。なお、岡田は、被害が発生している6.3~63Hzを超低周波音と定義している。

第3節 救済されない低周波音被害者

1.はじめに 岡田が述べているように、低周波音問題は参照値近傍もしくはそれ以下の領域にて起こっている。低周波音の手引書には、参照値未満の場合は騒音領域の問題、地盤振動であるかどうかなど、被害者の訴えを生じさせる他の要因を探るとしている。しかし、現実には、参照値が被害者の訴えを切り捨てる基準として使われている。自己の聴覚閾値を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、実験室に基づくデータにより策定した参照値自体が現実を反映していないと主張する。さらに、彼らはその参照値を使った測定にも問題があると指摘する。では、被害者がこの参照値を低周波音の評価方法として用いるのは現実を反映せず、妥当ではないと主張するのは一体どうしてであろうか。

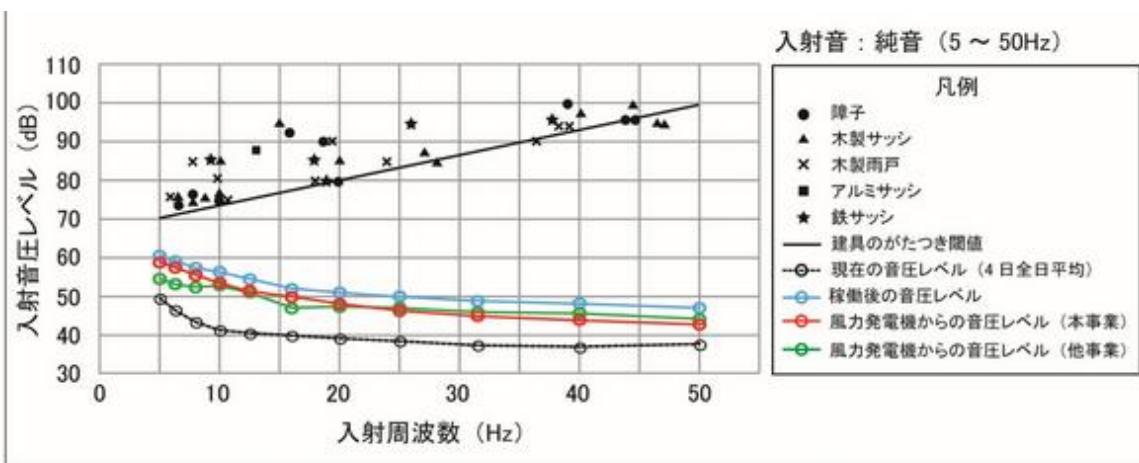
たとえ、実際の風車音を正確に録音できても、超低周波音の部分を正確に再現できるスピーカーが存在しないのです。実験室では風車音を再現できないのです。

だから、被験者は、「**実験室で使う純音と実際聞く音は全く異なる**」と言うのです。

実験は、慎重に、正確に行う必要があるのです。

ガタツキ閾値についても、困ったことがあります。

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。

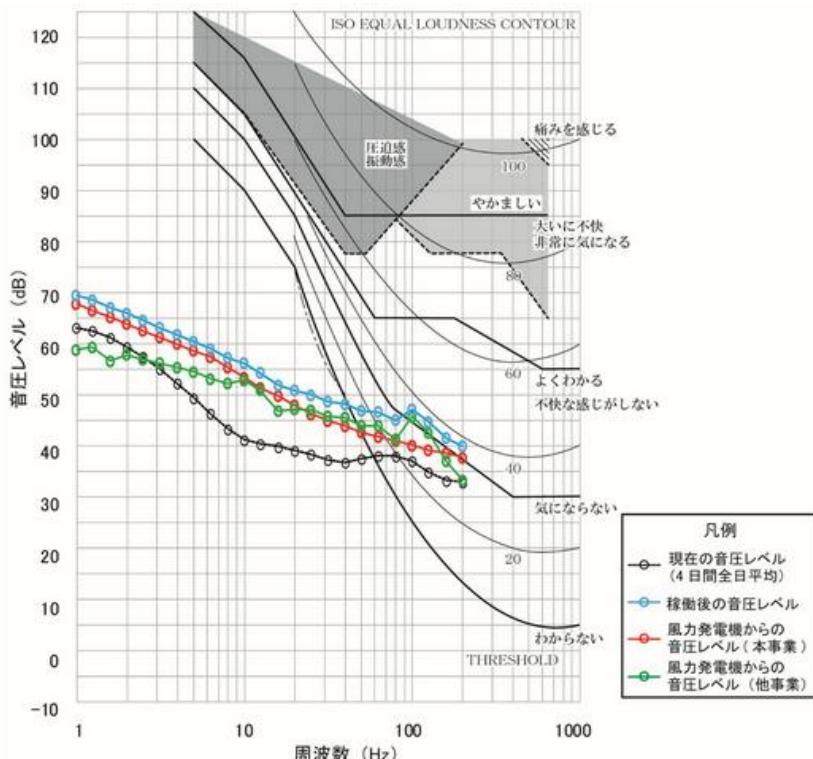


出典：「低周波音の測定方法に関するマニュアル」（環境庁大気保全局、平成12年）より作成

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。

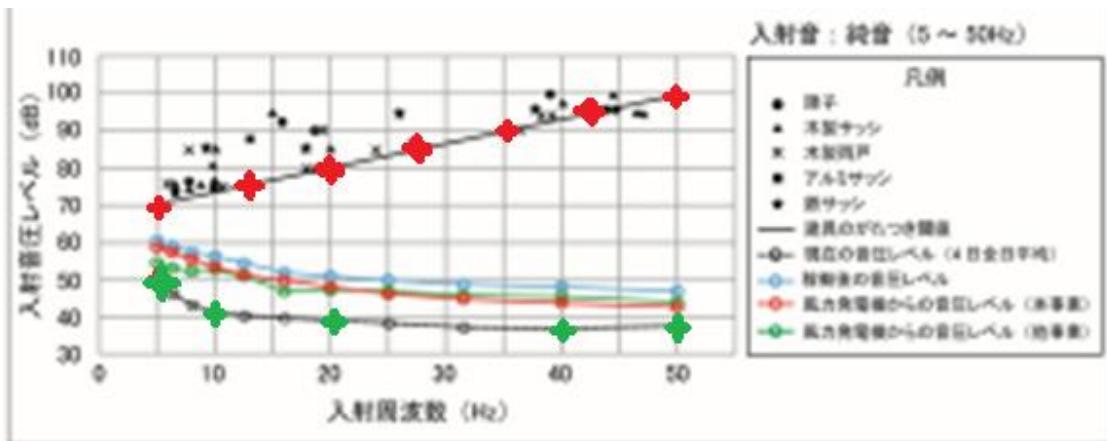
そして、次のグラフとともに、圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較を行いました。
そして、圧迫感や振動を感じることは無い。と説明しました。



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

2つのグラフの対応する点に印をつけました。直線上の赤い点と、曲線上の緑の点です。



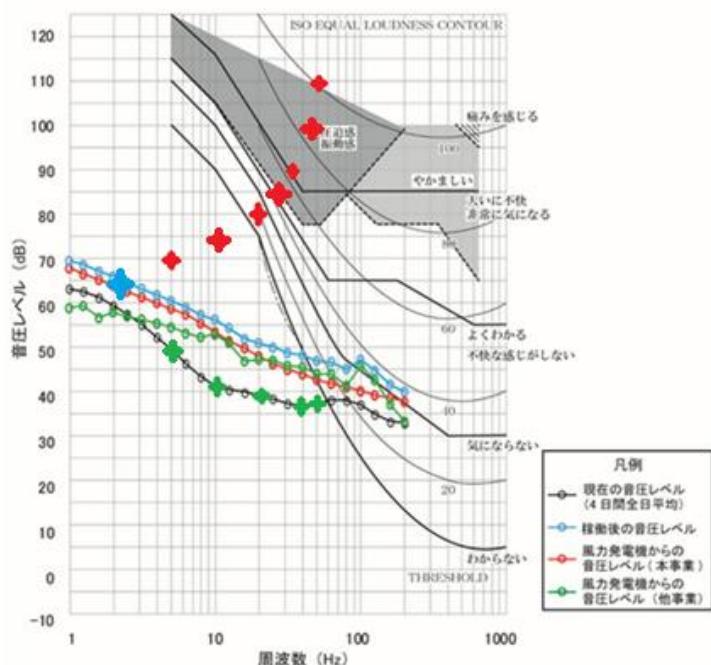
出典：『低周波音の測定方法に関するマニュアル』（環境省大気保全局、平成12年）より作成

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1Hz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Ⅰ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

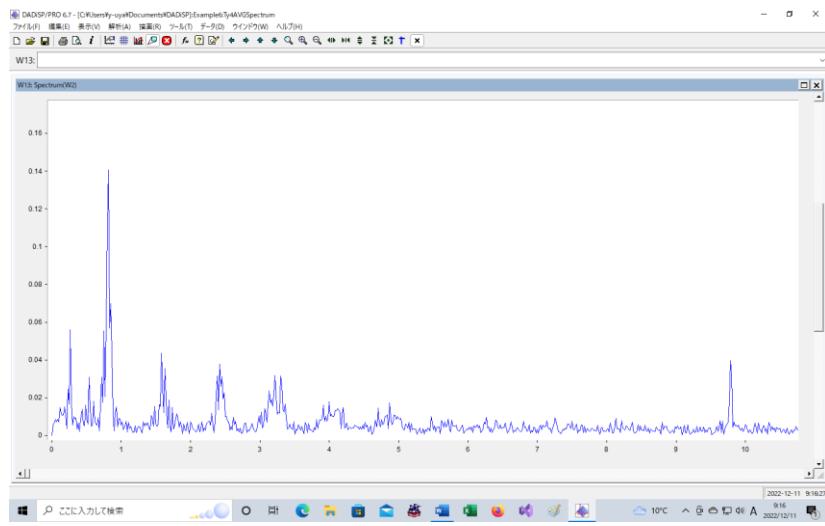
図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動を感じる音圧レベルとの比較結果

(環境-①：春季全日平均)

2Hz辺りで、がたつきが起きると考えられます。そうすれば、人間は聴覚以外の感覚も含めて、振動そのものを感じます。2Hzは超低周波音 (0Hz~20Hz)です。(2Hzで65dBの辺りで線がぶつかります。)

“苦情者宅の測定結果を『参考値』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考値が存在しなければ比較ができません。ですから、室内での計測を行って、共鳴や共振に関して精密に解析する必要があるのです。精密騒音計と振動レベル計を使えば、簡単です。

さらに、超低周波音(0Hz～20Hz)の部分を詳細に検討できる形でのグラフが必要です。



上のグラフは、風車騒音(0Hz以上)の中で特に高いエネルギーを持っている部分に関しては、ある周波数の音と、その倍音によって構成されていることを意味しています。これがあれば、共鳴、共振についての予測や計算が可能となります。

また、被害の詳細を調べて、風車音の直接的な被害の可能性を追求した研究もあります。

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。ユーチュープ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。

5. 7 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rexel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センチだ。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17cm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、17cm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、343cm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がある。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。

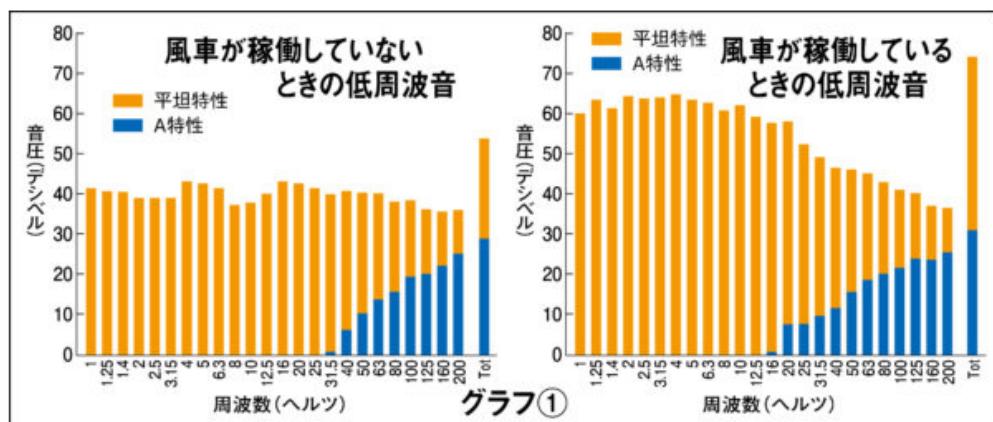
だが、実際には人体に害が出ている。この実際の音の方は世界中、どこの国も法律でも考慮されていない。ただロシアには、都市部に限って超低周波音に関する法律がある。

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、このパルスが重要なことを発見した。

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つた腫瘍だった。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つた。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つたのではなく、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すよ。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纖毛と刷毛細胞があるが、騒音に暴露したラットは纖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、それにつれて纖毛が振動して、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、それは纖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。纖毛と蓋膜が結 合してしまっている【写真②参照】。纖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。纖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。纖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、キヨロキヨロと警戒する。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々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。

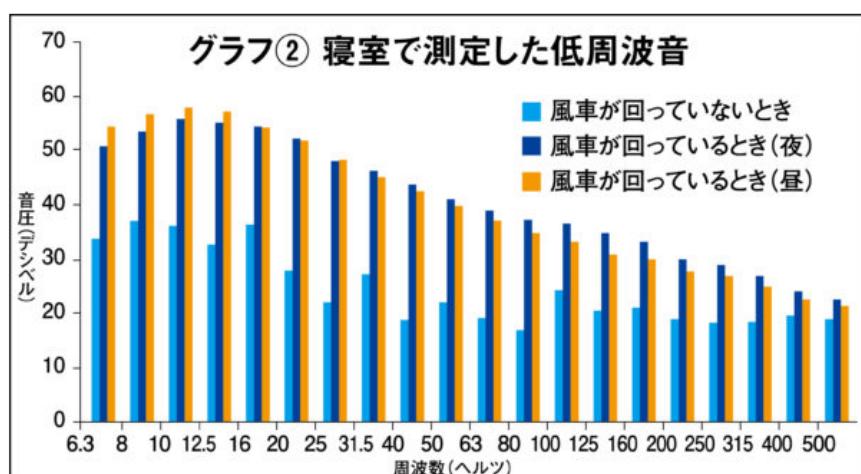
ところが2000年、電話をかけてくる人が何人かいた。「家の中の騒音で体調を崩した。どうしても来てください」。行ってみるとその家に住む人々は航空技術者と同じ騒音にさらされていた。場所はポルトガルのリスボン、テージョ川の近くだ。家のベランダから見ると、巨大な穀物倉庫が川の向こうに建っていた。アームが伸びてきて横付けされた船から穀物を吸い上げてサイロに保管したり、反対にアームが穀物を吐き出して船に積んだりしていた。家の中で測定してみると、騒音レベルはとても低かった。しかし医学的な診断テストをやってみると、航空技術者と同じ症状だとわかった。

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時から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ヶ月、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。四基は停止になつたのだが、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、馬の世話をために通わなければならなくなつた。

すると、置き去りになつたすべての馬がボクシーフット（屈曲肢変形）になつた。風車が稼働するまではなんともなかつたのに。子馬のときに連れてこられた馬もなつていて。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には科学者なので、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つたのだ。

次はドイツの話だが、被害者宅から2キロメートル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メートルの小さい風車が2基だけだった。今稼働しているのは2300キロワットなので、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19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。

さて、

● 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かった

と書いてあるのだが、

“超低周波音・低周波音と健康影響については、関連を示す知見は色々あるが、明らかなという限定を付けることで、それらを無視することにした。”と書くべきです。

数学の本に、“明らかに成立する。”を書いてあることがよくある。学力が十分あれば“明らか”なのだが、学力が無い人にとっては、“明らかではない”のです。

明らかか否かは、判断する人の学力に左右されるのです。自分の学力を過信しないで、少しでも可能性があるならば、

“私たちの学力では理解できない研究成果であるが、超低周波音・低周波音と健康影響の関連性を示す論文や研究成果は沢山ある。”

と正直に書くべきです。

● **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、
わざらわしさ(アノイアンス)の度合いを左右する**

この主張を意地悪く解釈すれば、お金をばらまけば、アノイアンスを訴える人は減ると理解できます。

6. 補足

6. 1 別紙（指針値）

環 水 大 大 発 第 1705261 号

都道府県知事 市長・特別区長 殿

平 成 29 年 5 月 26 日

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

の別紙の記載は次のようになっている。

(別紙)

風力発電施設から発生する騒音に関する指針

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とも、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。このような知見を踏まえ、風力発電施設の設置又は発電施設の新設を伴う変更に際し、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。

1. 対象

主として商業用に用いられる一定規模以上の風力発電施設の稼働に伴い発生する騒音を対象とする。

2. 用語

本指針における用語の意味は以下のとおりである。

○残留騒音：一過性の特定できる騒音を除いた騒音

○風車騒音：地域の残留騒音に風力発電施設から発生する騒音が加わったもの

3. 風車騒音に関する指針値

風力発電施設は山間部等の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、その地域の騒音のレベルは大きく変化する。また、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。

これらの特徴を踏まえ、風車騒音に関する指針値は、全国一律の値ではなく、地域の状況に応じたものとし、**残留騒音に 5 dB を加えた値**とする（図 1 及び図 2）。ただし、地域によっては、残留騒音が 30dB を下回るような著しく静穏な環境である場合がある。そのような場合、残留騒音からの増加量のみで評価すると、生活環境保全上必要なレベル以上に騒音低減を求めるこになり得る。そのため、地域の状況に応じて、生活環境に支障が生じないレベルを考慮して、指針値における下限値を設定する（図 2）。具体的には、残留騒音が 30dB を下回る場合、学校や病院等の施設があり特に静穏を要する場合、又は地域において保存すべき音環境がある場合（生活環境の保全が求められることに加えて、環境省の「残したい日本の音風景 100 選」等の、国や自治体により指定された地域の音環境（サウンドスケープ）を保全するために、特に静穏を要する場合等）においては下限値を 35dB とし、それ以外の地域においては 40dB とする。

6. 2 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 L_p と同じでも、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、 L_p 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。

人間にとつ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。

$$f = 1000 \times 10^{0.1 \times (n-30)} \quad [\text{Hz}] \quad \dots \quad (1)$$

(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。

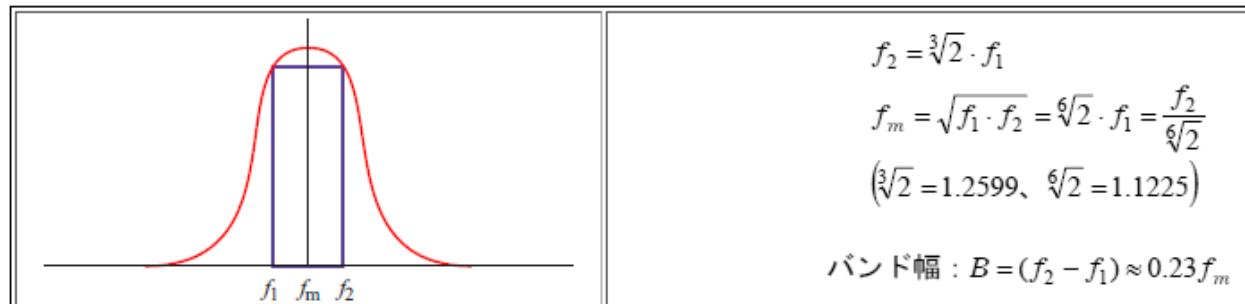


図 11-2 1/3 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

その周辺での減衰は

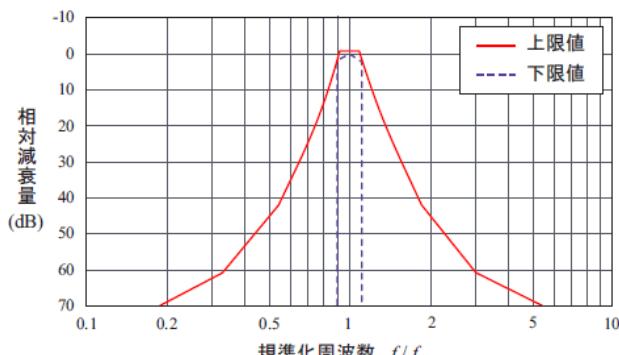


図 11-5 1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

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。

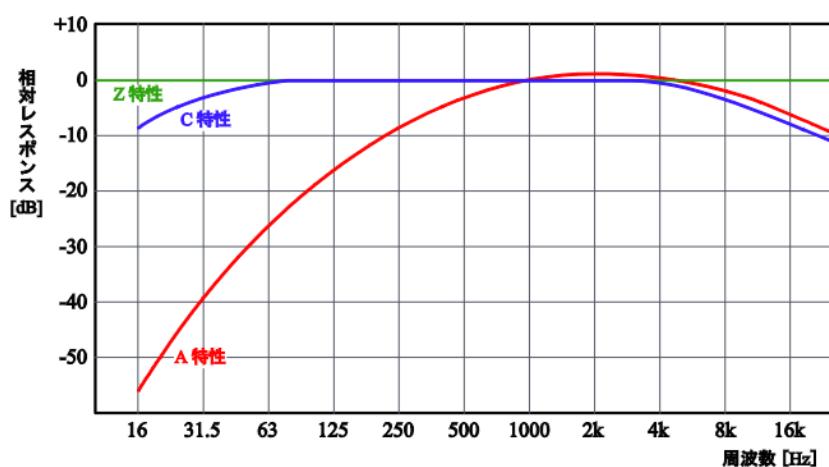


図 2 周波数重み付け特性 A/C/Z

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]						

$$L_A = 10 \log_{10} (10^{LA_{63}/10} + 10^{LA_{125}/10} + 10^{LA_{250}/10} + 10^{LA_{500}/10} + 10^{LA_{1k}/10} + 10^{LA_{2k}/10} + 10^{LA_{4k}/10})$$

ここで、 L_A : 騒音レベル(dB)、 $L_{A63} \sim L_{A4k}$: 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 μPa)(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1000Hz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。

$$10 \log_{10} \left(10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}} \right) = 80 \text{ (dB)} \quad \text{式 11-7}$$

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、($J = (p * p) / (\rho c)$ 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、 $(P_{800}/P_0)^2 = 10^{L_{800}/10}$

となり、

$$\begin{aligned} L_{1/1} &= 10 * \log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2 \\ &= 10 * \log_{10}((P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2)/P_0^2 \\ &= 10 * \log_{10}(10^{L_{800}/10} + 10^{L_{1000}/10} + 10^{L_{1250}/10}) \end{aligned}$$

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います。)

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)、 $L_{A63} \sim L_{A4k}$: 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、

$$\begin{aligned} &10 * \log_{10}(10^{L_{63}/10} + 10^{L_{125}/10} + 10^{L_{250}/10} + 10^{L_{500}/10} + 10^{L_{1000}/10} + 10^{L_{2000}/10} + 10^{L_{4000}/10}) \\ &10 * \log_{10}(10^{44.6/10} + 10^{52.9/10} + 10^{60.1/10} + 10^{62.5} + 10^{63.5/10} + 10^{60.4/10} + 10^{54.3/10}) \end{aligned}$$

= 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。

リオン社の NL-62 のマニュアルには、

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

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 $P_A(i)$ ($i=1,..,N$) が得られる事を意味しています。

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 48 kHz、連続する収録時間として 1 分程度記録すれば、0.01667Hz から、24 kHz 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 $-128 \sim 127$ 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 $-2^{15} \sim 2^{15}-1$ の範囲の値が、32 ビットの符号付きの整数では $-2^{31} \sim 2^{31}-1$ 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+13dB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、 $2 \times 10^{-5} \times 10^{(143/20)} = 282.51$ [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>

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

音響出力は音圧の
二乗に比例する

L_p ：音圧レベル(dB) dB値(参考): 0.002Pa=40dB,

p ：音圧実効値(Pa) $0.00002(2 \times 10^{-5})$ Pa=0dB

p_0 ：基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

* 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、

$$143 = 20 * \log_{10}(p / (2 \times 10^{-5}))$$

$$p / (2 \times 10^{-5}) = 10^{(143 / 20)}$$

$$p = (2 \times 10^{-5}) * 10^{(143 / 20)} = 10^{(143 / 20)} = 282.5\text{Pa} \quad (\text{実効値})$$

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。

$$(282.5\text{Pa} / \{+2^{15}-1\}) = 8.621479 * 10^{-3}$$

となるので、整数値kは、

$$k * (282.5\text{Pa} (143\text{dB}) / \{+2^{15}-1\})$$

$$= k * 8.621479 * 10^{-3} \text{ Pa} \quad (\text{実効値})$$

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。

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、 $2 \times 10^{-5} \times 10^{(103/20)} = 2.825$ [Pa] となる。

$$(2.825\text{Pa} / \{+(2^{15}) - 1\}) = 8.621479 \times 10^{-5}$$

となるので、整数値 k は、 $k \times 8.621479 \times 10^{-5}$ 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。

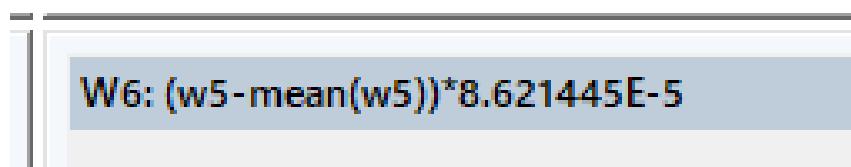
計算が面倒な場合は、AS-70 (試用版は無料です。) にデータを読み込ませて、次の操作をすればよい。

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 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、 $*8.621445E-5$ としました。この値 (8.621445E-5) は、AS-70 を使って確認しました。

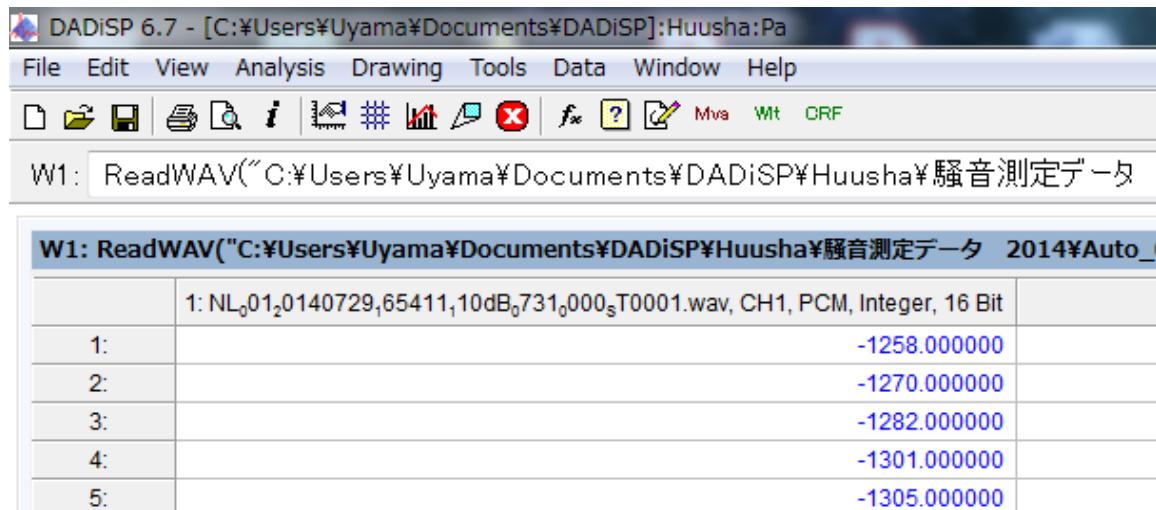
整数値からパスカル値への変換はファイル名をよく見るか、AS-70 を使う必要があります。

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、このパスカル値は、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(123/20)} = 28.25$ [Pa] となる。 $(28.25\text{Pa} / \{+2^{(15)} - 1\}) = 8.621479 \times 10^{-4}$

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、



DADISP 6.7 - [C:\Users\Uyama\Documents\DA�ISP]:Huusha:Pa

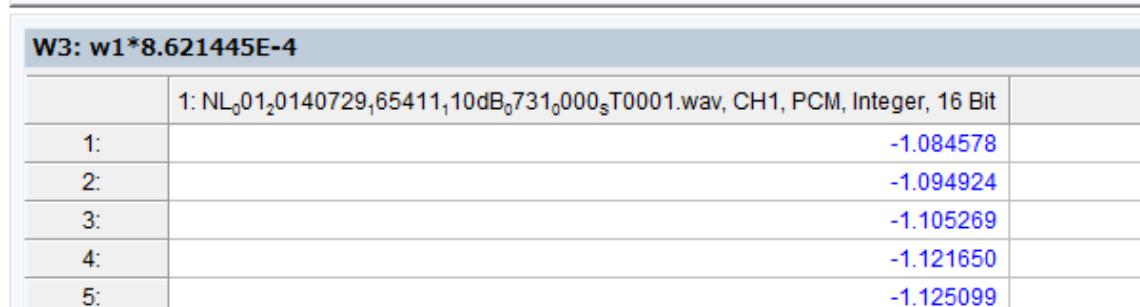
File Edit View Analysis Drawing Tools Data Window Help

W1: ReadWAV("C:\Users\Uyama\Documents\DA�ISP\Huusha\騒音測定データ 2014\Auto_01.wav")

	1: NL_01_20140729,65411,10dB_0731_0000sT0001.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 8.621445×10^{-4} を掛けると、

次の数値が得られます。



W3: w1*8.621445E-4

	1: NL_01_20140729,65411,10dB_0731_0000sT0001.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つております。

拡大率によって間引き率が変わるために、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。

となつてるので、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。

6. 3 参考値 (100 dB)

町田氏の講演会資料に、100 dB という数値が書いてありました。

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 100 dB と、下の 92 dB 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考値

低周波音による心身に係る苦情に関する参考値は、表 2 及び G 特性音圧レベル $L_g=92(\text{dB})$ とする。

表 2 低周波音による心身に係る苦情に関する参考値

1/3 ウエーブバンド	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
中心周波数 (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 ウエーブバンド	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41
音圧レベル (dB)										

100 dB は聴覚閾値、92 dB は感覚閾値だと考えるべきです。

92 dB の段階で不快感を覚えるのです。100 dB よりはかなり低い値です。

100 dB 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 usually understood by hearing. The normal threshold of perception is considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μPa at 10 Hz), whilst tolerance 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.

だと考えます。出だしの。

The perception of infrasound, although apparently achieved through the auditory mechanism, differs in some respects from that usually understood by hearing. The normal threshold of perception is considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μPa at 10 Hz), whilst tolerance 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.

では、

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,

超低周波音が聴覚機構によって把握されることを前提にして、可聴域の音での感受性と許容性と超低周波音に対する感受性と許容性が議論されている。

超低周波音を聴覚機構によって感知する場合の数値として 100 dB の数値が記載されていると考えるべきである。もちろん、圧迫感を感じるか否かの観点での記述はなされていない。

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、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。

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**（低周波音を感じる最小音圧レベル）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、100 dB 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 usually understood by hearing. The normal threshold of perception is considerably higher than at audio frequencies (about 100 dB relative to 20 μ Pa at 10 Hz), whilst tolerance 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 100 dB 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 usually 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.

(1 Hz 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 100 dB 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 90 dB 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。

100 dB を聴覚閾値、参照値 92 dB 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、論理的にもはつきりして、混乱を防ぐことができます。

6. 4 聽覚閾値と参照値

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（低周波音を感じる最小音圧レベル）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考値

2.2 心身に係る苦情に関する参考値

低周波音による心身に係る苦情に関する参考値は、表 2 及び G 特性音圧レベル $L_g=92\text{dB}$ とする。

表 2 低周波音による心身に係る苦情に関する参考値

1/3 オクターフバンド 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3 オクターフバンド 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
参考値 (デシベル)	76	70	64	57	52	47	41
聴覚閾値 (デシベル)	78.1	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5
感覚閾値 (デシベル)							

(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『参考値』」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、25 Hz 以上の周波数成分については、正しい表現だが、20 Hz の所は、参考値が 76、感覚閾値が 78.1 となっていて、参考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、20 Hz での参考値と聴覚閾値（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、判断が出来ないかもしれません。

25 Hz 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、20 Hz 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。

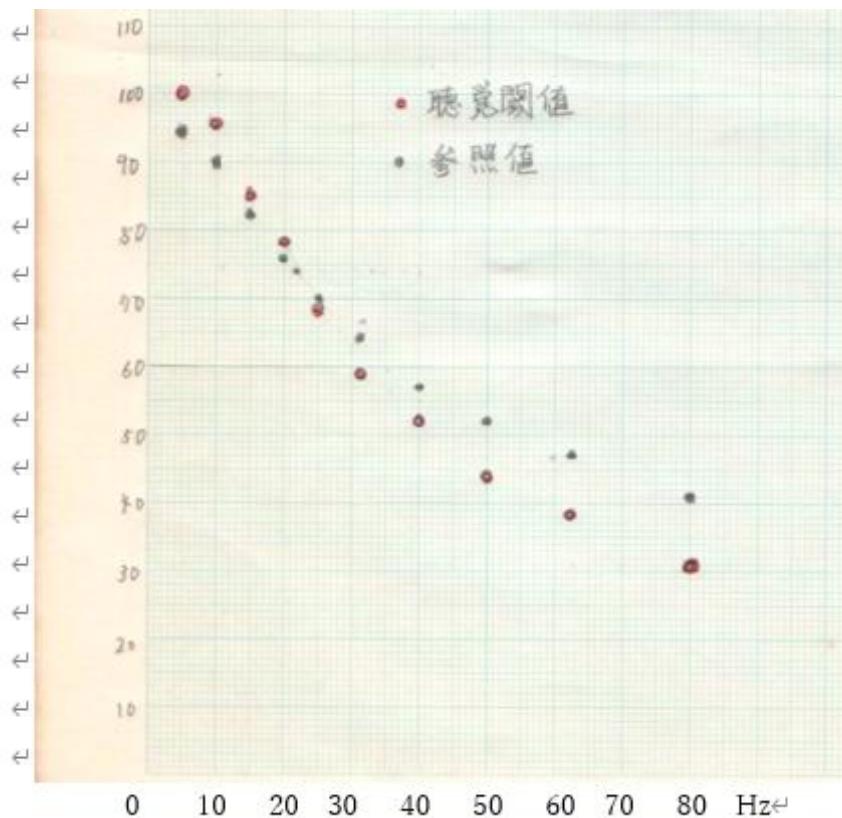
参照値 - 聴覚閾値 の表を作れば次のようにになります。

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 76 dB 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 78.1 dB (78.5 dB) 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 76 dB 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 78.1 dB 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 76 dB 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。

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。

6. 5 地震と共振

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 からの参考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、

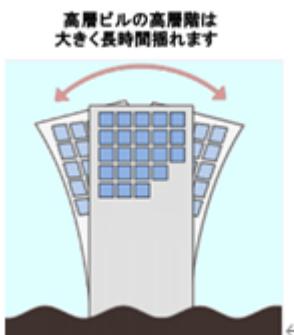
長周期地震動って何？

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。

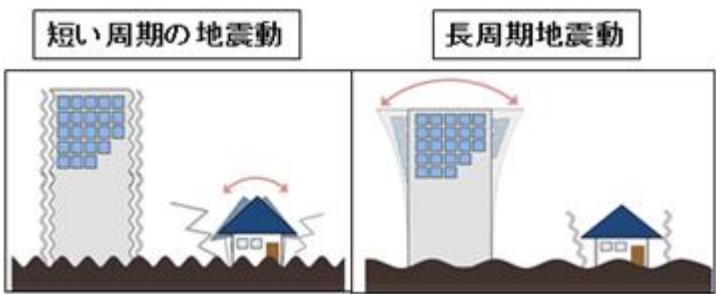
長周期地震動により高層ビルが大きく長く揺れることで、室内の家具や什器が転倒・移動したり、エレベーターが故障することがあります。



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、“5 Hz で 70 dB、20 Hz で 80 dB” で建具がゆれやすいことですが、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、

次の、秋山英樹による研究報告があります。

熊本地震はなぜ被害が大きかったのか
グリーンレポート

2016年6月29日

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。

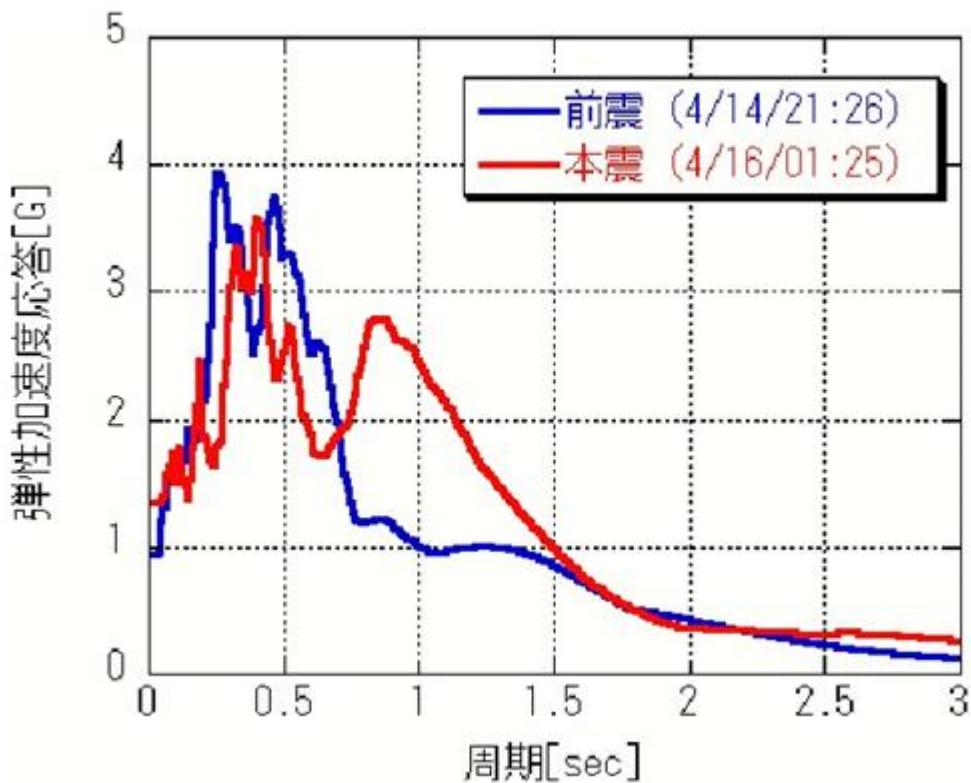
最初の地震は前震ということでしたが、最大震度が7、マグニチュード6.5と地震の大きさを示すマグニチュードの割には震度が7と大きかったのは震源が浅かったためです。揺れが大きかった割には朝になって全貌がテレビで確認できたときも被害は思っていたほどではありませんでした。

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。

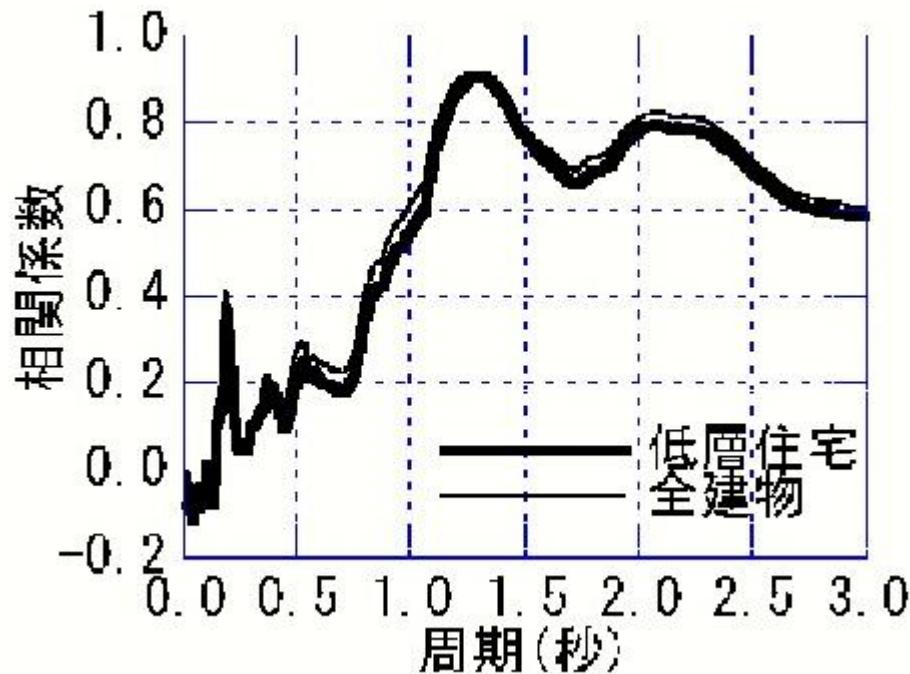


益城における前震と本震の地震の性格をみると下図のようになります。



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。

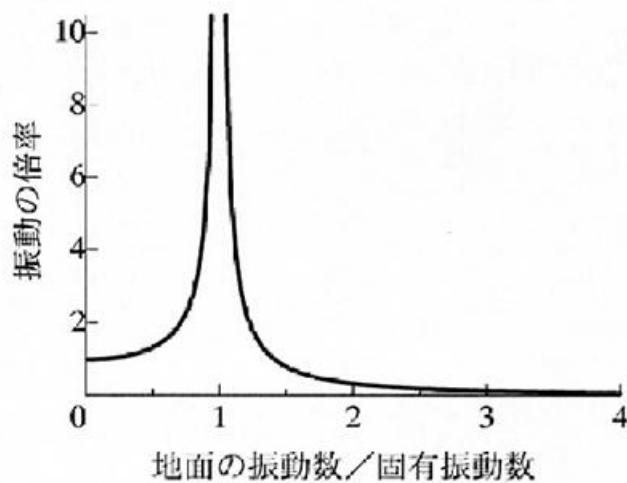
下記の図は日本で起きた様々な地震について何秒の揺れの強さが実際の建物被害と対応しているかを示したものです。縦軸の相関係数が大きな値の周期が建物被害と対応していると言えます。



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。

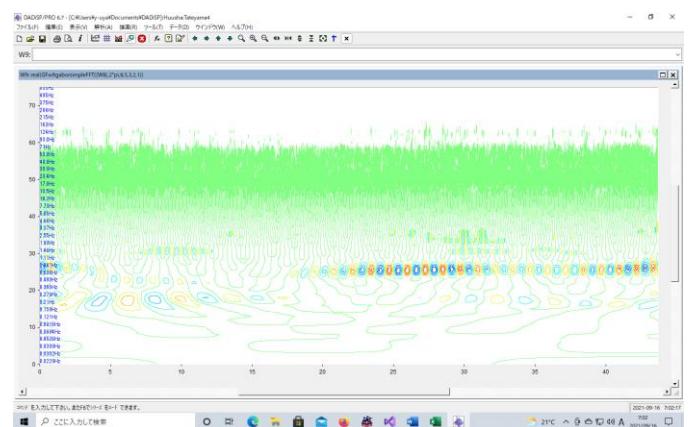
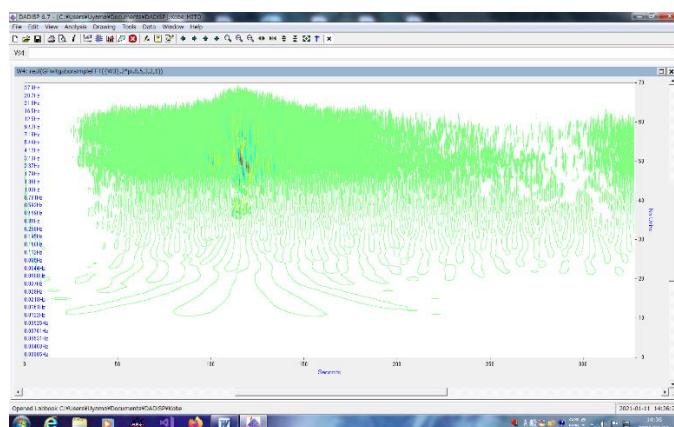


地震は、単に強い弱いだけでなく、ガタガタという揺れ（1秒以下の短周期地震動）、ユサユサという揺れ（1~2秒のやや中周期地震動）、ユラユラという揺れ（2~5秒の長周期地震動）が複雑に混ざり合っているのです。このどの周期の地震動が卓越しているのかにより地震の被害状況が変わるので、ユサユサという揺れがキラーパルスといわれ建物に大きな被害を及ぼすのです。

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、今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。

結論は、振動レベル計で、振動そのもの計測して、地震の時の振動を感じる場合との比較をするのが早道だと言う事です。

6. 6 石竹氏の調査

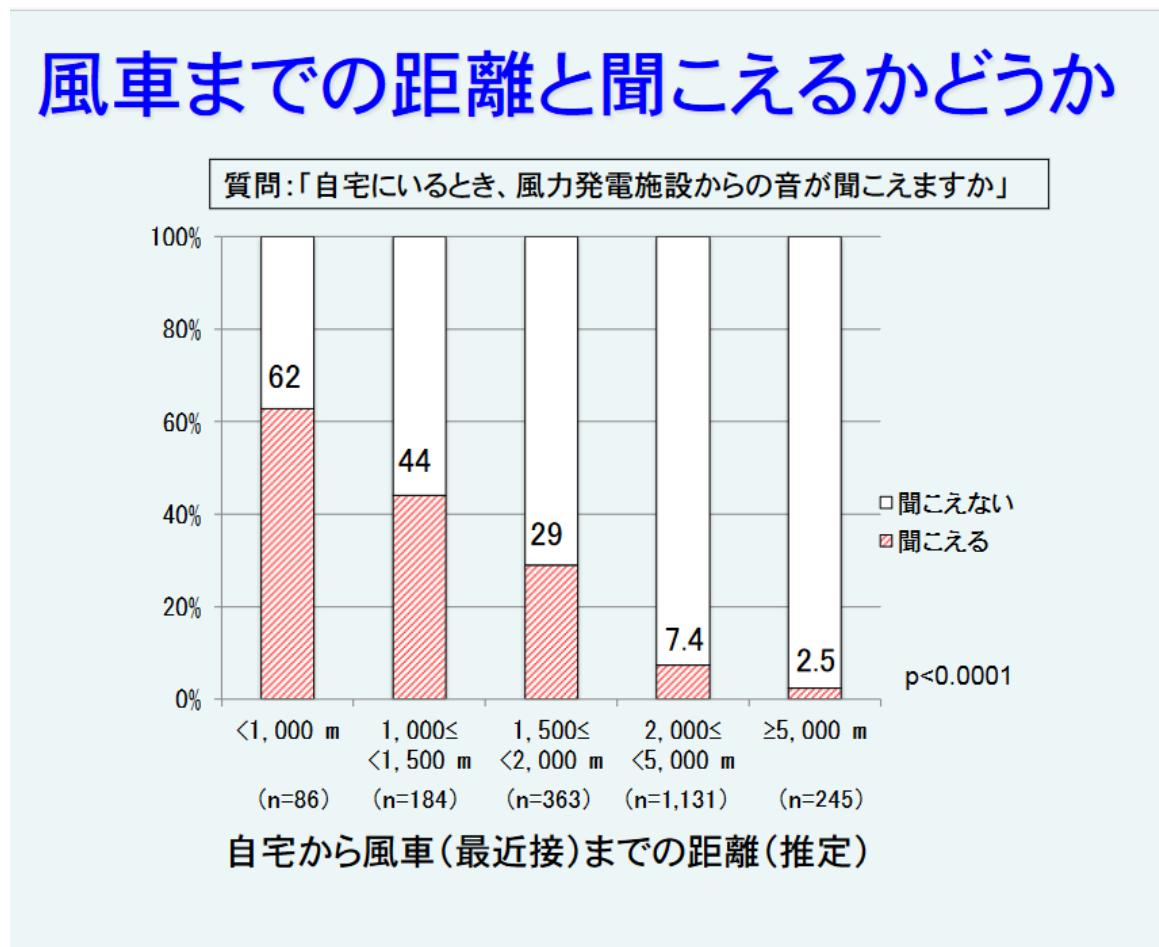
環境研究総合推進費 課題成果報告会（2016.3.11）◆

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

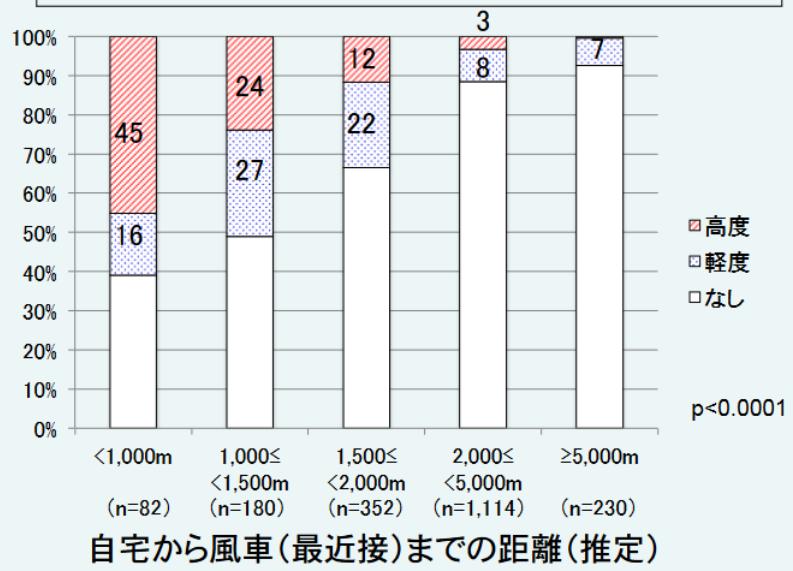


2000m から 5000m の距離でも 7.4% の人には音が聞こえる。

2000m 圏内では、29% の人が騒音を認識する。

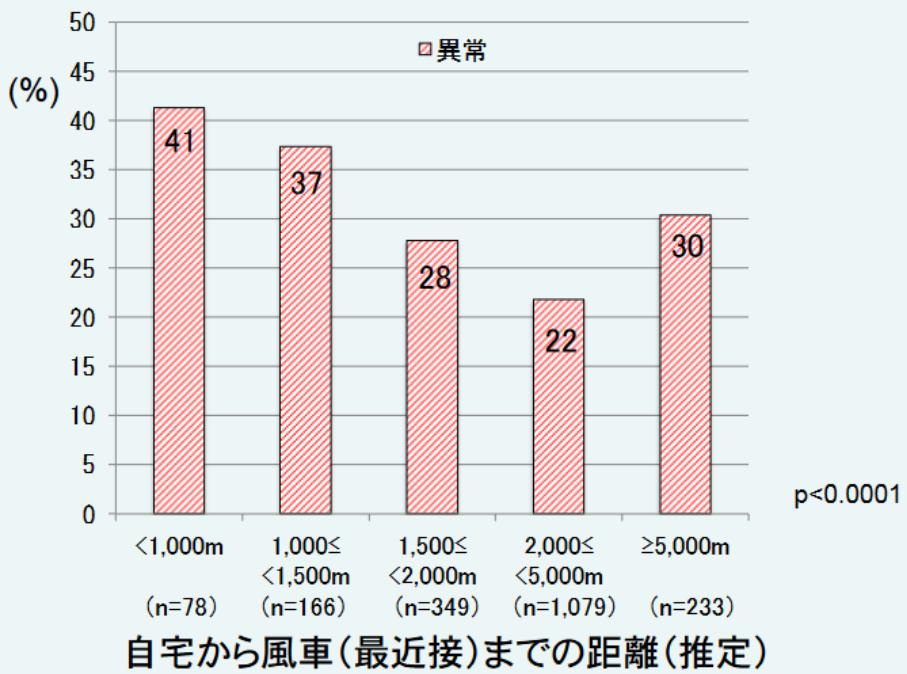
風車までの距離とアノイアンス(風車)

質問:「自宅で、風力発電施設からの音に悩まされたり、うるさく感じることがありますか」



風車までの距離と睡眠障害

アテネ不眠尺度で異常(≥ 6)の割合



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)しても傾向は不变

多重ロジスティック回帰分析

風車騒音の距離減衰式

$$dB(L_{Aeq,WTN}) = -20.9 \cdot \log_{10}(\text{距離}:m) + 96.7$$

夜間風車騒音(L_{Aeq})と睡眠障害(アネ不眠尺度≥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 <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)	0.0027	1.56 (1.00-2.38)	0.0489	1.34 (0.85-2.08)	0.2094
⑥ >40	0	-						

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)

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。

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。

オッズ比：症例対照研究

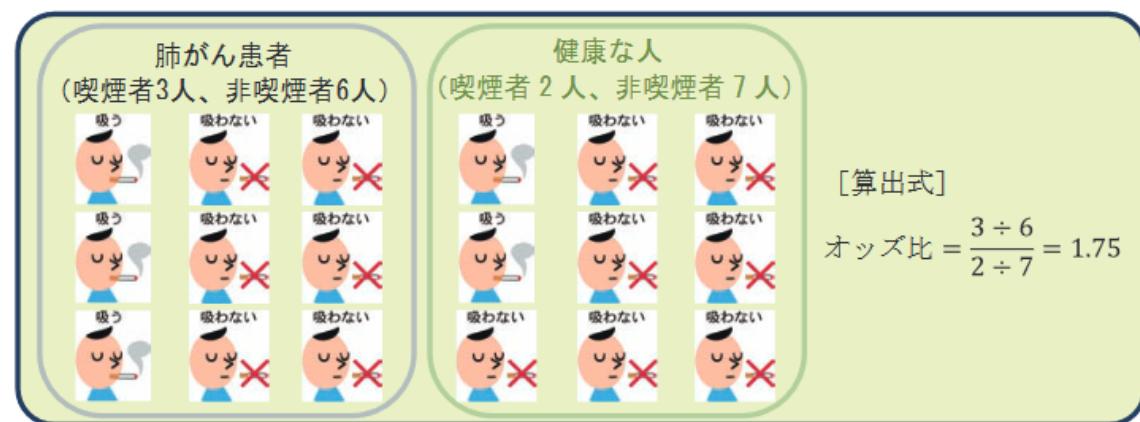
オッズ比 (Odds Ratio : ORと略します) とは、相対危険度と同じように、ある要因がある事象に対して関連性があるか否かを示す指標のひとつです。

喫煙と肺がんの症例対照研究で下表のようなデータがえられた場合、オッズ比の算出式は以下のようにになります。

	喫煙者	非喫煙者	合計
肺がん患者	A人	B人	(A+B) 人
健康な人	C人	D人	(C+D) 人

$$\text{オッズ比} = \frac{\text{肺がん患者のうち、喫煙者と非喫煙者の比}}{\text{健康人のうち、喫煙者と非喫煙者の比}} = \frac{|A \div (A+B)| \div |B \div (A+B)|}{|C \div (C+D)| \div |D \div (C+D)|} = \frac{A \div B}{C \div D}$$

オッズ比が「1」以上になると、“喫煙”は“肺がん”に正の相関があることを意味しており、値が大きくなるとその統計学的関連は強くなります。



アンケート表の拡張、圧迫感、質問票に次の項目を追加する事が必要です。

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。

6. 7 アテネ不眠尺度

アテネ不眠尺度とは、世界保健機関（WHO）が中心になって設立した、「睡眠と健康に関する世界プロジェクト」が作成した世界共通の不眠症の判定方法です。8つの質問に対する回答を最大24点で数値化し、不眠度を測定します。

アテネ不眠尺度(AIS) 不眠症の自己評価

過去1カ月間に、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	いつもより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	少し減入った
		2	かなり減入った
		3	非常に減入った
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	少しあつた
		2	かなりあつた
		3	激しかつた
	合計		[1~3点]…睡眠がとれています [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

測定方法：

上記の 8 つの質問に答えてください。過去 1 カ月間に、少なくとも週 3 回以上経験したものにチェックしてください。各質問の 4 つの選択肢の中から一つを選び、点数の合計で結果が診断されます。

結果の評価方法：

合計得点	結果
4 点未満	睡眠障害の心配はありません。
4 ~ 5 点	不眠症の疑いが少しあります。できれば医師に相談してください。
6 点以上	不眠症の疑いがあります。医師に相談することをお勧めします。

※ 日中の眠気についても調査項目に入っています。

アテネ不眠尺度の 6 点は、

6 点以上	不眠症の疑いがあります。医師に相談することをお勧めします。
-------	-------------------------------

と言うレベルです。