

## 内容

・ 風力発電施設から発生する騒音に関する指針について（2017 年） .....	2
・ 風力発電施設から発生する超低周波音・騒音に関する指針について（2025 年） ..	6
風車音の性質 .....	15
10. 健康被害と原因 .....	31
10. 1 アノイアンスとラウドネス .....	31
大型風車による地盤振動伝播* .....	34
周辺の家振動（野中 氏） .....	36
参 考 資 料—低周波音の基礎知識— .....	38
10. 1. 1 唾液コルチゾール検査 .....	41
10. 1. 2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査 .....	42
10. 1. 3 風車音の影響 .....	46
直接的影響と間接的影響 .....	46
10. 2 間接的な健康影響（安眠妨害） .....	60
10. 2. 1 風車による睡眠へ影響 .....	60
10. 2. 2 ガタツキ閾値 .....	60
10. 2. 3 圧力変動の感知 .....	62
10. 2. 4 不眠による被害 .....	66
安眠妨害は拷問の手法 .....	68
睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。 .....	69
南房総市の健康だより .....	70
10. 3 直接的な健康被害（循環器障害と頭痛） .....	76
10. 3. 1 超低周波音の解析と発生の仕組み .....	76
10. 3. 2 圧縮と膨張 .....	90
10. 3. 3 長期曝露による循環器障害 .....	96
10. 3. 4 音響キャビテーションと頭痛 .....	100
10. 3. 5 潜水病についての資料 .....	110
12. 鹿島沖、銚子沖での洋上風力の被害予測 .....	115

## ・風力発電施設から発生する騒音に関する指針について（2017 年）

環水大大第 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

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慮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。

なお、本通知は地方自治法第 245 条の 4 第 1 項に基づく技術的な助言であることを申し添えます。

記

#### 第 1. 検討会において整理された主な知見及び指針策定の趣旨

##### （1）検討会において整理された主な知見

風力発電施設は、風向風速等の気象条件が適した地域を選択する必要性から、もともと静穏な地域に設置されることが多い。そのため、風力発電施設から発生する騒音のレベルは、施設周辺住宅等では道路交通騒音等と比較して通常著しく高いものではないが、バックグラウンドの騒音レベルが低いために聞こえやすいことがある。また、風力発電施設のブレード（翼）の回転に伴い発生する音は、騒音レベルが周期的に変動する振幅変調音（スウィッシュ音）として聞こえることに加え、一部の風力発電施設では内部の増速機や冷却装置等から特定の周波数が卓越した音（純音性成分）が発生することもあり、騒音レベルは低いものの、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。

全国の風力発電施設周辺で騒音を測定した結果からは、20Hz 以下の超低周波音については人間の知覚閾値を下回り、また、他の環境騒音と比べても、特に低い周波数成分の騒音の卓越は見られない。

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。**

なお、諸外国における騒音の指標を調べたところ、多くの国が A 特性音圧レベルを用いている。また、周囲

の背景的な騒音レベルから一定の値を加えた値を風力発電施設から発生する騒音の限度としている国が複数みられる。

## （２）指針策定の趣旨

（１）に示した知見を基に、検討会では、風力発電施設からの騒音については、通常可聴周波数範囲の騒音として取り扱い、**わずらわしさ（アノイアンス）と睡眠影響に着目して**、屋内の生活環境が保全されるよう屋外において昼夜の騒音をそれぞれ**評価することが適当**であると整理され、風力発電施設から発生する騒音の評価の目安が提案されたところである。これを踏まえ、環境省では、風力発電施設から発生する騒音による生活環境への影響を未然に防止するための指針を別紙のとおり策定した。

また、風力発電施設から発生する騒音は、当該施設が稼働する風が吹く際に発生するため、上記指針に係る測定については、雑音を抑制するため強い風を避ける通常的环境騒音の測定とは異なる測定手法が必要であるため、別途通知する測定に関するマニュアルを作成した。

本指針及び測定に関するマニュアルは、風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による具体的な対策実施等に資するとともに、地方公共団体による関係する事業者や住民等への対応の際の参考となることを期待し、定めるものである。風力発電施設から発生する騒音による影響を未然に防止するため、本指針及び測定に関するマニュアルの活用に努められたい。

## 第２．騒音に関する環境基準との関係

風力発電施設から発生する騒音は、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、植生や舗装等の地表の被覆状況、土地利用の状況等により影響される。本指針における指針値はこのような風力発電施設から発生する騒音の特性を踏まえ、全国一律の値とするのではなく、風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による地域の状況に応じた具体的な対策の実施等に資するために策定したものであり、行政の政策上の目標として一般的な騒音を対象とし、生活環境を保全し、人の健康を保護する上で維持されることが望ましいものとして定められている騒音に係る環境基準（平成 10 年 9 月 30 日環境庁告示第 64 号、最終改正平成 24 年 3 月 30 日環境省告示第 54 号）とは性格及び位置付けが異なる。従って、騒音に係る環境基準の類型指定がなされており、風力発電施設が設置されている地域においては、一般的な騒音に対しては引き続き当該環境基準に基づき生活環境を保全し、人の健康を保護するための施策を講じるとともに、風力発電施設から発生する騒音については、本指針に基づき、未然防止の観点から、当該地域の状況に応じた具体的な対策等が講じられるよう努められたい。

以上

## （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ても、周辺地域に聞こえやすいことがある。また、風力発電施設からは、ブレード（翼）の回転によって振幅変調音（スウィッシュ音）が、また、一部の施設では内部の増速機や冷却装置等から純音性成分が発生することがあり、これらの音により**わずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性がある**ことが示唆されている。一方で、風力発電施設から発生する 20Hz 以下の超低周波音については、人間の知覚閾値を下回ること、他の騒音源と比べても低周波数領域の卓越は見られず、健康影響との明らかな関連を示す知見は確認されなかった。

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を加わったもの

## 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とになり得る。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音を要する場合、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。

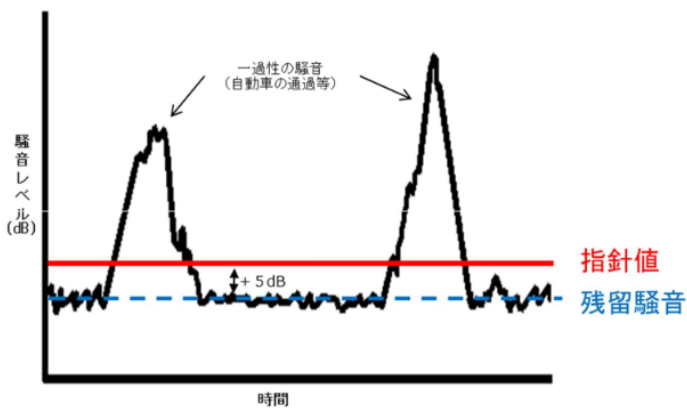


図 1 指針値と残留騒音のイメージ

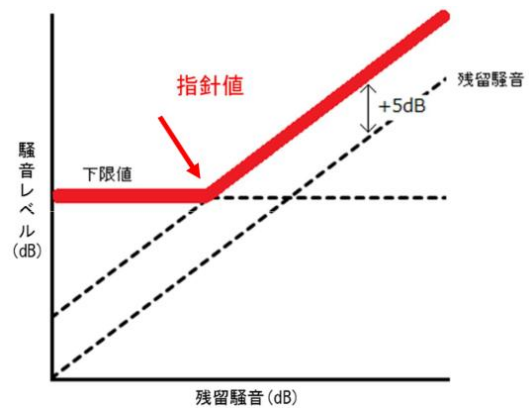


図 2 指針値のイメージ

## 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。通常的环境騒音の測定においては雑音を抑制するため強い風を避けることとされているが、本指針における残留騒音及び風車騒音は風力発電施設が稼働する風のある条件で測定する必要があることから、原則として、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」に定める方法により、地域の風況等の実態を踏まえ適切に行うこととする。残留騒音及び風車騒音は、人の生活環境を保全すべき地域において、屋内の生活環境が保全されるように、屋外において風車が稼働する代表的な風況下において、昼間（午前 6 時から午後 10 時まで）と夜間（午後 10 時から翌日の午前 6 時）の値をそれぞれ求める。

得られた残留騒音の値に 5 dB を加えた値を指針値とする。ただし、残留騒音が 30dB を下回る場合等（前



述の「3.風車騒音に関する指針値」を参照)は、下限値(地域によって 35dB 又は 40dB)を指針値とする。  
その上で、得られた風車騒音を指針値と比較するものとする。

#### 5. 注意事項

本指針の適用に当たっては、以下の点に注意すること。

- 本指針は、騒音に関する環境基準、許容限度や受忍限度とは異なる。
- 測定方法が異なる場合、測定結果を単純に比較することは出来ない。
- 本指針は、風力発電施設から発生する騒音等に関する検討を踏まえて設定したものであるため、その他の騒音の評価指標として使用することはできない。

#### 6. 指針の見直し

本指針については、設定に際しての基礎資料を適宜再評価することにより、必要に応じて改定する。

#### 7. その他

騒音については聞こえ方に個人差があり、また地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、指針値を超えない場合であっても、可能な限り風車騒音の影響を小さくするなど、地域の音環境の保全に配慮することが望ましい。

## ・風力発電施設から発生する超低周波音・騒音に関する指針について（2025 年）

2025 年 5 月 5 日

環境省水・大気環境局長 殿

宇山靖政

### 風力発電施設から発生する超低周波音・騒音に関する指針について

再生可能エネルギーの導入加速化は我が国の環境破壊を引き起こしている。さらに、風力発電の風車には水平軸型の風車と垂直軸型の風車がある。水平軸型の風車にはその物理的な宿命として、超低周波音と金属疲労がセットで付いてくる。水平軸型の大型風車が設置され超低周波音による住民の被害は拡大し、金属疲労による破損で死者も出た。

風力発電では、建設過程で大規模な自然破壊が起きている。耐用年数経過後の撤去と原状回復は極めて困難である。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との見方もあるが、ブレードや塔を国内で生産することは困難である。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る。多くの風車が並べば風のエネルギーが減少し風車群の風下の地域の植相が変化することで農業や住環境に大きな影響を与える可能性が高い。更に、そこから発生する超低周波音は、不快感の原因となるばかりではなく循環器系の障害や頭痛など形で直接的な健康影響を及ぼす事が判明している。

これを隠すために、環境省は、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音の問題を単なる騒音問題にすり替えるための画策を進め、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。その報告書を利用して、風力発電施設から発生する音を騒音に限定させるための指針を定めて地方自治体に通知した。これは県や市が独自に超低周波音を調査するのを防ぐために、測定方法や評価方法を限定することであり、指針策定の趣旨は、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の通知である「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」を、風車の超低周波音の計測をさせないために利用した。これによって住民の生活環境は犠牲にされ風車建設を進める上で都合が良いようにしてきた。県や市に対して、“関係の事業者等へ周知いただくなど格段の御配慮をお願いいたします。”として、超低周波音を計測からも除外することを要求してきた。

“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。なお、本通知は地方自治法第 245 条の 4 第 1 項に基づく技術的な助言であることを申し添えます。”と言っている。その結果、県や市は計測機材を持っても風車音の計測をしない。市民が計測する時の立会さえも拒否するようになっている。“技術的な助言”の名目で、最新の計測方法、解析方法を使うことを妨害する事にした。

### 記

検討会において整理された主な知見及び指針策定の趣旨

#### （1）検討会において整理された主な知見

風力発電施設は、風向風速等の気象条件が適した地域を選択する必要性から、山頂や海上に設置されることが多い。風力発電施設から発生する音の騒音のレベルは、A 特性音圧レベルとして求められるので、超低周波音（0～20Hz）は計算から除外される。計算対象となるエネルギーは風車音では 7 %、交通騒音では 99 %なので、風車音の騒音レベルは交通騒音での騒音レベルと比較して通常著しく高いものではないが、風車音では超低周波音である、 $f=RZ/60\text{Hz}$  での音圧が極めて高く、それは圧迫感や体内の圧力変動を引き起こすだ

けではなく、循環器系の障害や頭痛などの健康被害を引き起こす物理的な原因になっている。また、風力発電施設のブレード（翼）の回転に伴い発生する音は、騒音レベルが周期的に変動する振幅変調音（スイッチ音）として計測されるが音圧は極めて低い。音圧変動が計測される原因は騒音計と 3 つのブレードでの音源部分との距離が変化している事で計測される音圧変動である。一部の風力発電施設では内部の増速機や冷却装置等から特定の周波数が卓越した音（純音性成分）が発生することもあるが騒音レベルは低い。超低周波音での基本周波数の音は最も強力な純音成分であり、圧迫感やわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こす。風速が強い場合は、血圧上昇などの循環器系の障害や頭痛が起きる。全国の風力発電施設周辺での風車音の測定では、二重防風スクリーンを使用して、20Hz 以下の超低周波音の音圧レベルを故意に小さくしている。計測結果の数値は人間の聴覚閾値を下回ることを示しているが、ガタツキ閾値が 5Hz で 70 d B である事や、参照値から求められる不快感の閾値は 10Hz で 92 d B 程度であり、周波数が下がれば体内の圧力を変動させる力が大きくなることを考えれば、聴覚閾値より小さいことが、感覚閾値や知覚閾値を下回ることを意味するわけではない。また、他の環境騒音と比べて風車音での超低周波音成分の音圧は卓越している。これまでに国内外で作られた論文には、超低周波音の影響を隠蔽するために、“風雑音”、“疑似音”、“空力音”などの説が書かれている。

例えば、

### Wind Turbines and Health

#### A Critical Review of the Scientific Literature

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

には、

The 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.

“カナダ風力エネルギー協会(CanWEA)は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の生物工学科への助成金を通じてこのプロジェクトに資金を提供しました。MIT のガイドラインに従い、CanWEA のメンバーは原稿の編集上の決定やレビューに参加しませんでした。McCunney 博士、Mundt 博士、Colby 博士、Dobie 博士、Kaliski 氏は、カナダと米国の環境法廷の公聴会で証言を行いました。マサチューセッツ工科大学は、解説の学術的独立性を確保し、文献の解釈における偏りを排除するために、最終原稿の独立したレビューを実施しました。また、6 人の共著者全員が原稿全体をレビューし、最終版に含めるためのコメントを筆頭著者に提供しました。”

とあり、さらに

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).<sup>36</sup> 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.<sup>12</sup> 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。 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。誰でも、お金には弱いのです。

日本の学者も、風雑音、風切り音、空力音、空力変調音、カルマン渦説などの学説を作り出しました。誰も、風車音の精密な測定と解析を行いません。風車音被害の原因特定を妨害しているだけなのです。

環境省の指導に従って、風車からの超低周波音の影響を除外して騒音レベルを計算すれば、風力発電施設から発生する騒音（20Hz～20 k Hz）が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いとの結論になるのだが、超低周波音（0Hz～20Hz）を考えれば、風力発電施設から発生する超低周波音が直接的な健康影響を与えることは明らかである。

風力発電施設から発生する音に含まれる超低周波音は人体を圧迫し、 $f=RZ/60\text{Hz}$  の純音性成分は、わずらわしさ（アノイアンス）を増加させる。風力発電施設から発生する音の騒音レベルが 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。交通騒音などの騒音では、35～40 d B の音圧レベルは、“市内の深夜、図書館、郊外の深夜、ささやき声” の程度であり、アノイアンス（不快感）の程度を上げるレベルのものではない。交通騒音での騒音レベルが 42 d B の時には“極めて不快”と感じる人は 0%だが、風車音の騒音レベルが 42 d B の時は 20%の人が“極めて不快”と感じる。

超低周波数領域の実験では 10Hz 以下の周波数の音を出せるスピーカは無い。風車音での基本周波数は 0.5～1Hz となるが、この周波数の音による圧迫感に関する実験は出来ない。圧迫感やガタツキでのアノイアンスの評価には、基本周波数での音圧の大きさが適している。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が風車音での被害を考える場合は、アノイアンス（不快感）に対応する指標が必要なのです。それは A 特性音圧レベルではない。

なお、諸外国における騒音の指標を調べたところ、多くの国が A 特性音圧レベルを用いている。また、周囲の背景的な騒音レベルから一定の値を加えた値を風力発電施設から発生する騒音の限度としている国が複数みられる。その結果、諸外国でも多くの被害が発生している。

風車音では、超低周波音の部分のエネルギーが 93%、騒音部分（20Hz～20 k Hz）のエネルギーが 7%程度である事と、被害では“音がうるさい”と言うものよりは、圧迫感、頭痛、血圧上昇などが多いことから、風車音での被害の予測や評価には、アノイアンス（不快感）に直接関連する数値である、基本周波数での音圧を使うべきである。A 特性音圧レベル（騒音レベル）は風車音の健康影響に関する評価には適さない。

## （２）指針策定の趣旨

[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（１）で示された知見では、他の環境騒音とは異なり、風車音ではアノイアンス（不快感）による睡眠妨害を上げているにも構わず、アノイアンスに対する寄与率が 9%～13%しかないラウドネスを使うことを提唱している。圧迫感の原因や、風車音での超低周波音と可聴音でのエネルギー比率や、循環器系の障害や頭痛を考えれば、風車音の評価には、基本周波数での最大音圧を使うべきだと言える。検討会は、聴覚閾値＝感覚閾値＝知覚閾値の様に日本語を理解し、基準

曲線、あるいは参照曲線と訳すべき、**criteria curve** を限界曲線と訳すなどの基礎学力欠如した学者の報告書になっている。その結果として検討会は誤った結論を提出した。風力発電施設からの騒音（20Hz～20 k Hz）については、通常可聴周波数範囲の騒音であるが、風車音には超低周波音が含まれていて、アノイアンスの決定に大きく影響する。よって、わずらわしさ（アノイアンス）と睡眠影響に着目して、屋内の生活環境が保全されるよう屋内において昼夜の基本周波数  $f = RZ/60\text{Hz}$  の音圧を、それぞれ評価することが適当であるが、環境省は超低周波音による被害を隠蔽するために、計測を屋外で二重防風スクリーンを付けて行うことを要求した。さらに、風力発電施設から発生する音の 7% のエネルギーしかない風車騒音（20Hz～20 k Hz）の計測値を評価の目安として使う事を提案した。これによって、環境省は、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過小評価し、被害を受ける住民の目安を参照値での 10% 程度から、指針値での 20%～30% に引き上げた。住民の被害を無視して、風車建設を促進するための指針を策定し、県、市、業者が超低周波音を計測することを妨害した。

超低周波音の計測は、風車で金属疲労の予測にも役立つのだが、それを妨げてきたことで、ブレードの落下による死亡事故も起きた。環境省も経済産業省も水平軸型の風車は、超低周波音の発生装置であり、金属疲労の実験装置であることを知っていたにもかかわらず、環境アセスから超低周波音の項目を除外するなどの暴挙を行ってきた。その責任は重大である。

また、

“風力発電施設から発生する音は、当該施設が稼働する風が吹く際に発生するため、上記指針に係る測定については、雑音を抑制するため強い風を避ける通常的环境騒音の測定とは異なる測定手法が必要であるため、別途通知する測定に関するマニュアルを作成した。”

との名目で、二重防風スクリーンの使用と屋外での計測、除外音処理を強要した。この結果、室内での音圧の 1/100 程度の音圧が観測されることになり、超低周波音の室内への影響が小さいと誤解させるようにした。

“本指針及び測定に関するマニュアルは、風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による具体的な対策実施等に資するとともに、地方公共団体による関係する事業者や住民等への対応の際の参考となることを期待し、定めるものである。風力発電施設から発生する騒音による影響を未然に防止するため、本指針及び測定に関するマニュアルの活用に努められたい。”

と言って、計測方法自体を制限し、超低周波音を計測できない方法を強要している。県や市は国の指導に従い住民の味方はしない。住民が反論するには計測機材と解析機材を自分で用意する必要があるが、費用（300 万円）と文献調査、解析プログラムの作成などの関係もあり、非常に困難である。

## 第 2. 騒音に関する環境基準との関係

風力発電施設から発生する音の発生状況は、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、さらに風車音の影響は、発生する音の周波数成分の状態、風力発電施設からの距離や方向、その地域の地形、植生や舗装等の地表の被覆状況、土地利用の状況等により影響される。

指針値は風力発電施設から発生する音のうち、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を見逃した数値なので、風車音の騒音部分（20Hz～20 k Hz）の音圧が小さいという特性を悪用して、風車建設での被害拡大を隠蔽する目的で作られている。

低周波音に関しては参照値もあった。参照値は住民の 10% 程度が被害を訴える時の数値であり、これを基準にすると風車が動かさなくなるので、住民の 20%～30% 程度が被害を訴えても無視できるようにするために、参照値をやめて、新たに指針値を作った。

指針値は、全国一律の値ではなく、風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等による地域の状況に応じ



た説明がしやすいような数値であり、風車音による被害対策と実施しなくても済むようにするために策定したものである。

“行政の政策上の目標として一般的な騒音を対象とし、生活環境を保全し、人の健康を保護する上で維持されることが望ましいものとして定められている騒音に係る環境基準（平成 10 年 9 月 30 日環境庁告示第 64 号、最終改正平成 24 年 3 月 30 日環境省告示第 54 号）とは性格及び位置付けが異なる。

従って、騒音に係る環境基準の類型指定がなされており、風力発電施設が設置されている地域においては、一般的な騒音に対しては引き続き当該環境基準に基づき生活環境を保全し、人の健康を保護するための施策を講じるとともに、風力発電施設から発生する騒音については、本指針に基づき、未然防止の観点から、当該地域の状況に応じた具体的な対策等が講じられるよう努められたい。”とある。

これは行政が環境基準値で風車音に対応した結果として被害を拡大させる要因となっている。

北海道の寿都庁では、風車から 180mにある慈光園での騒音レベル 45 d B（最少 40.3 d B、最大 48.6 d B）を環境基準値と比較して、“静かな住宅地の昼”に相当する音だと判断している。しかし、環境省の資料を見れば、交通騒音では 45 d B の時に“非常に不快”と感じる人は 2%程度だが、風車音の 45 d B だと“非常に不快”と感じる人は、25～30%程度になる。

- 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<sup>5</sup>。

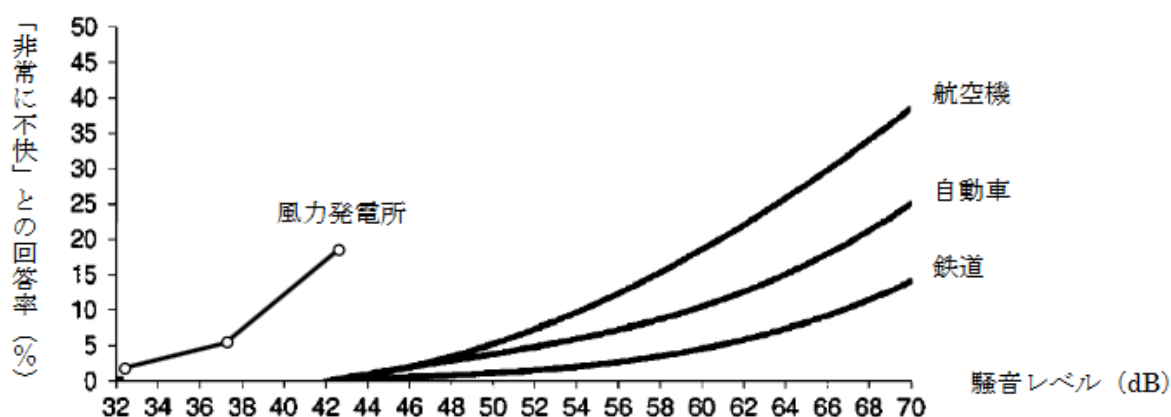


図 8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係  
(脚注 3 及び 5 の文献より環境省作成)

これは交通騒音での 64 d B 程度に相当するので、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	7 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 騒々しい事務所の中</li> <li>・ 騒々しい街頭</li> <li>・ セミの鳴き声（2 m）</li> <li>・ やかんの沸騰音（1 m）</li> </ul>
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	6 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 洗濯機（1 m）</li> <li>・ 掃除機（1 m）</li> <li>・ テレビ（1 m）</li> <li>・ トイレ（洗浄音）</li> <li>・ アイドリング（2 m）</li> <li>・ 乗用車の車内</li> </ul>
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"> <li>・ 静かな事務所</li> <li>・ 家庭用クーラー（室外機）</li> <li>・ 換気扇（1 m）</li> </ul>
	聞こえるが、会話には支障なし	4 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 市内の深夜</li> <li>・ 図書館</li> <li>・ 静かな住宅地の昼</li> </ul>
静か	非常に小さく聞こえる	3 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 郊外の深夜</li> <li>・ ささやき声</li> </ul>
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ささやき</li> <li>・ 木の葉のふれあう音</li> </ul>

指針値は風力発電施設から発生する音のうち、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を見逃した数値なので、風車音の騒音部分（20Hz～20 k Hz）の音圧が小さいという特性を悪用して、風力発電施設の設置事業者及び運用事業者等が風車音の被害に対して責任を取れなくても済むように工夫して策定したものである。

基準値ではないので、これを越えても罰則規定は無く、風車の停止命令などは出ない。さらに、風車音が高い音圧になった時は“風雑音”だとして責任を風に押し付けることにしている。

行政が、騒音に係る環境基準の類型指定がなされており、風力発電施設が設置されている地域においては、一般的な騒音に対しては引き続き当該環境基準に基づき生活環境を保全し、人の健康を保護するための施策を講じる必要があるが、計測した騒音レベルのうち、風車音の寄与率を決定して風車音による被害を推定するのは簡単ではない。風車の近くでも、計測した音を環境基準値と比較する事になるので、被害が拡大する。

指針値の大きさと、被害発生程度の関連性を示す資料は示されていない。風力発電施設から発生する騒音について環境省の指針に従った場合は、参照値で問題としていた 10%程度の人が被害を受ける音の大きさを大きく超えて、20%～30%の人が被害を受けても、業者が責任を逃れやすいようにしてある。

これでは当該地域から住民がいなくなる。被害実態の調査で因果関係を調べる為には、超低周波音の精密な計測が必要なのだが、環境省は“除外音処理”で隠蔽することを強要している。住民の安全と地域の繁栄を考える自治体ならば、風車音の具体的な計測と被害の関連に関する調査を行い地域社会を維持するための対策を講じるべきである。

以上

(別紙)

## 風力発電施設から発生する音に関する指針

風力発電施設が水平軸型の場合は、ブレードの回転による揚力ベクトルの変動によって塔が運動し、超低周波音が発生します。発電機による騒音等のレベルは比較的低くても、超低周波音の音圧は極めて高く、不快感や循環器系の障害や頭痛の原因となります。風力発電施設からは、ブレード（翼）の回転によって振幅変調音（スウィッシュ音）（100Hz～7k Hz）が騒音計と音源であるブレードの先端部との距離が変化することが原因で計測されます。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る。より明確な純音成分としては、基本周波数  $f = RZ/60\text{Hz}$  の音がある。周波数スペクトルを見れば孤立した音であり、風車音のエネルギーの 60%程度を占めていることが分ります。これらの音がわずらわしさ（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ます。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、人間の聴覚閾値を下回るが、ガタツキ閾値（5Hz で 70 d B）や圧迫感や不快感の閾値を超えている場合が多い。風車音は、他の騒音源と比べても低周波数領域（20Hz～100Hz）や可聴音の領域（20Hz 以上）での卓越は見られないが、超低周波音（0～20Hz）の領域では他の環境騒音よりもはるかに音圧が高く、健康影響の物理的な原因になっているという知見があり、環境省や経済産業省はそれを確認している。

環境省はこのような知見を無視して、風力発電施設の設置又は発電施設の新設を伴う変更の際し、風力発電施設から発生する音の影響を、騒音（20Hz～20 k Hz）だけに限定して評価することにした。風車音（0Hz～24 k Hz）の問題を騒音問題（20Hz～20 k Hz）にすり替えるための指針を定めた。

### 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（20Hz～20 k Hz）を対象とするのではなく、超低周波音（0Hz～20Hz）も含めた風車音全体を評価すべきである。

### 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（20Hz 以上の可聴音）

○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（20Hz 以上の可聴音）が加わったもの

### 3. 風車騒音（20Hz 以上の可聴音）に関する指針値

風車音（0Hz～20Hz の超低周波音と 20Hz 以上の風車騒音の全体）

風車超低周波音（0～20Hz）

風力発電施設は山間部や海岸から 2 k m 程度の位置に設置されることが多い、騒音レベルは通過する自動車等の一過性の騒音により大きく変化する。また、風車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、さらに風車音の影響は、風力発電施設からの距離や風速や風向、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。アノイアンスを決定する重要な要因は、ブレードの回転数で決まる基本周波数を持った超低周波音である。

環境省は、風車音では風車騒音の音圧が低く、超低周波音の基本周波数での音圧が高いという特徴を踏まえ、風車音に関する評価を、風車騒音（20 H z ～20 k H z）に限定した成分から計算される指針値を使うことにした。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 d B 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 30d B 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とになり得る。との言い訳をして、拡大する被害を容認する事を強要している。

企業の風車設置を促進するために、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無視して、

指針値における下限値を設定した（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音を要する場合、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。

風車音での騒音レベルが 40 dB だと 12%程度の人が“非常に不快”を感じるレベルだが、風車音は風速の変動で音圧が平均値の 2 倍程度になることがある。音圧が 2 倍になれば、音圧レベルは 6 dB 増加するので、1 時間に 1 回程度の割合で、風車音での音圧レベルが 46 dB 程度になる。これは 30～35%程度の人が“不況に不快”と感じるレベルであり、就寝中の人々が夜中に何度も起こされるような状態になるので、交通騒音での被害の状況等は大きく異なる。交通騒音では夜中の交通量がいきなり 2 倍になることは無いが、風車音では音圧が急に 2 倍になり、音のエネルギーは 4 倍になる。これが毎晩、1 時間間隔で起きる状態で、安眠できる人はいない。

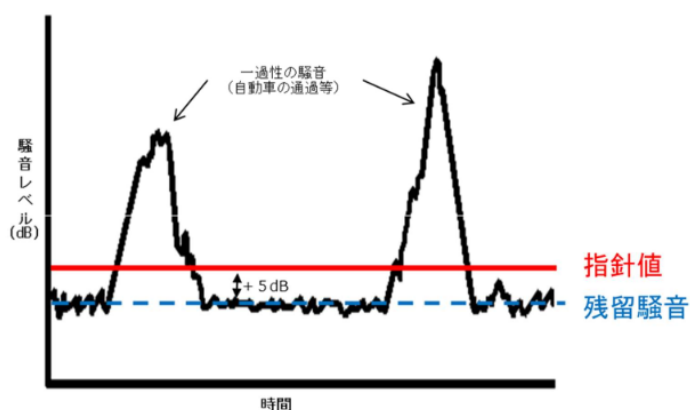


図1 指針値と残留騒音のイメージ

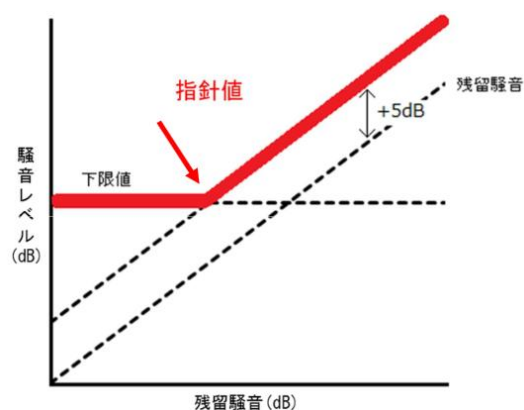


図2 指針値のイメージ

#### 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

交通騒音等では、20Hz以上の可聴域にそのエネルギーの99%が含まれるので、評価尺度としてA特性音圧レベルを用いることは適切であるが、風車音では20Hz以上の可聴域に含まれるエネルギーは7%以下であり、圧迫感等のアノイアンス（不快感）による睡眠影響の評価としては不適切である。風車音での睡眠妨害の要因であるアノイアンス（不快感）の評価としては基本周波数での音圧が適している。

“通常的环境騒音の測定においては雑音を抑制するため強い風を避けることとされているが、本指針における残留騒音及び風車騒音は風力発電施設が稼働する風のある条件で測定する必要があることから、原則として、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」に定める方法により、地域の風況等の実態を踏まえ適切に行うこととする。”

として、二重防風スクリーンと除外音処理を押し付けるのだが、車や住宅の中での計測結果と屋外でマイクに風を当てた場合の計測結果を比較すれば、超低周波音の領域では“風雑音”の影響は計算誤差の範囲内であり、風の影響が現れるのは100Hz以上領域であることが、実際に計測結果を比べれば明らかになる。

残留騒音及び風車騒音では、人の生活環境を保全すべき地域において、屋内の生活環境が保全されるように、屋内において風車が稼働する代表的な風況下において、昼間（午前6時から午後10時まで）と夜間（午後10時から翌日の午前6時）の値をそれぞれ求めて評価する必要がある。屋外で二重防風スクリーンを付けての計測では適切な評価は出来ない。なお、室内での計測では、振動レベル計での計測も同時に行うこと

が必要である。

“残留騒音の値に 5 dB を加えた値を指針値とする。ただし、残留騒音が 30dB を下回る場合等（前述の「3.風車騒音に関する指針値」を参照）は、下限値（地域によって 35dB 又は 40dB）を指針値とする。”

その上で、得られた風車騒音を指針値と比較するものであるが、指針値を目安にすれば、20%～30%以上の住民が被害を受けることを容認することになる。これが参照値を止めて指針値に切り替えた成果である。

## 5. 注意事項

本指針の適用に当たっては、以下の点に注意すること。

○ 本指針は、騒音に関する環境基準、許容限度や受忍限度とは異なる。基準値ではないので、これを越えても罰則を受けることは無い。

○ 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。としておけば、超低周波音を含めた詳細な測定や分析結果との比較を妨げることが出来る。

○ 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。また、風車音による健康被害と風車音の超低周波音での最大音圧には物理的な因果関係があるので、調査と計測を妨害する必要がある。

## 6. 指針の見直し

本指針については、設定に際しての基礎資料を適宜再評価することにより、必要に応じて改定する。

としているが、再検証を防ぐために、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](#)」での調査内容に関する計測データは破棄した。更に、風車音の計測と解析は“風雑音”と“除外音処理”で妨害してあるが、更に、原因解明を妨害するために、風車音に関する学説を沢山作らせている。（疑似音、風雑音、空力音、空力変調音などなど。）

## 7. その他

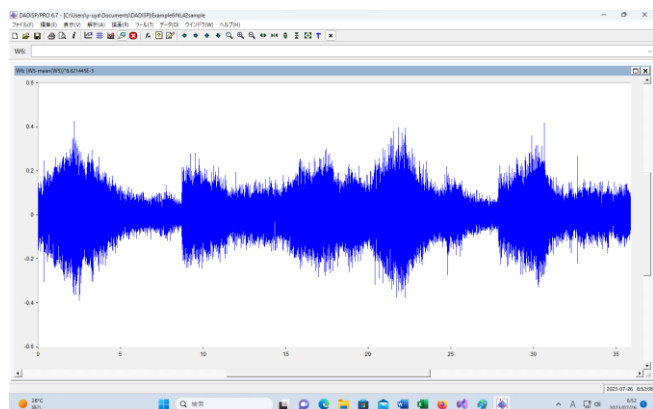
“騒音については聞こえ方に個人差があり、また地域によって風力発電施設の立地環境や生活様式、住居環境等が異なることから、指針値を超えない場合であっても、可能な限り風車騒音の影響を小さくするなど、地域の音環境の保全に配慮することが望ましい。”

として、指針値を越えなくても被害が出る現実を、個人差の問題にすり替えるなど、20%～30%の住民が被害を受けることを容認する方針になっている。

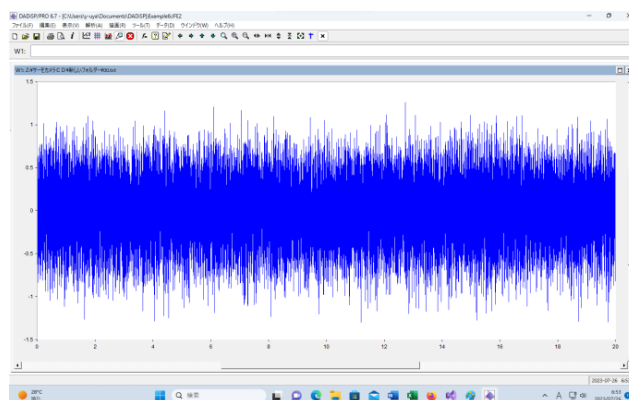


## 風車音の性質

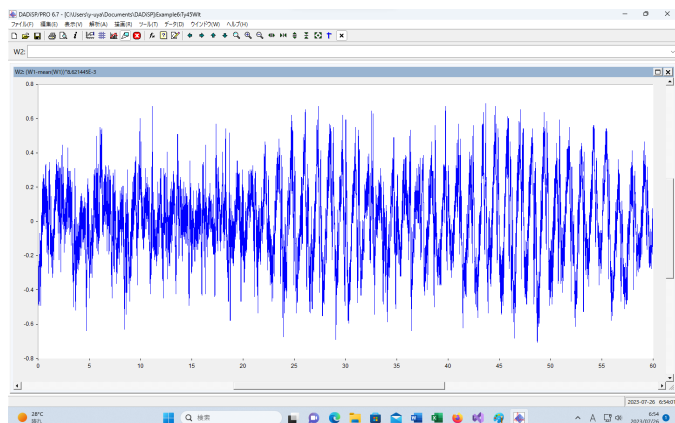
### リオン社前の交通騒音



### JFE の製鉄所内の音



### 館山の風車音



見てすぐわかるのは、風車音のグラフはスカスカです。他のグラフはぎっしり詰まっているという違いがあります。原因は、風車音では高周波成分が微弱だからです。ほとんどが超低周波音なのです。高周波成分が強ければぎっしり詰まったグラフになります。

図 1．交通騒音（リオン社前） 0 ～ 5000Hz

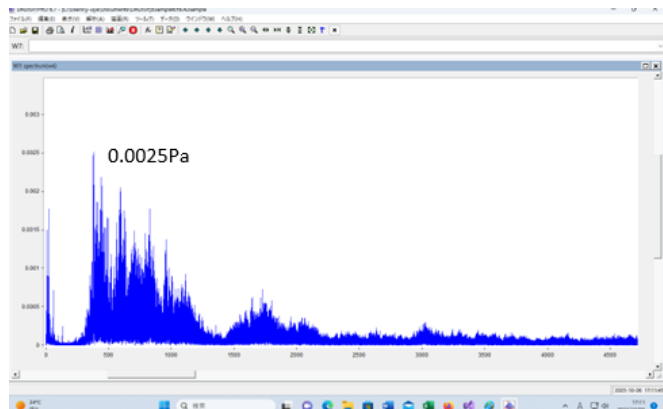


図 2．工場騒音（製鉄所内の音） 0 ～ 5000Hz

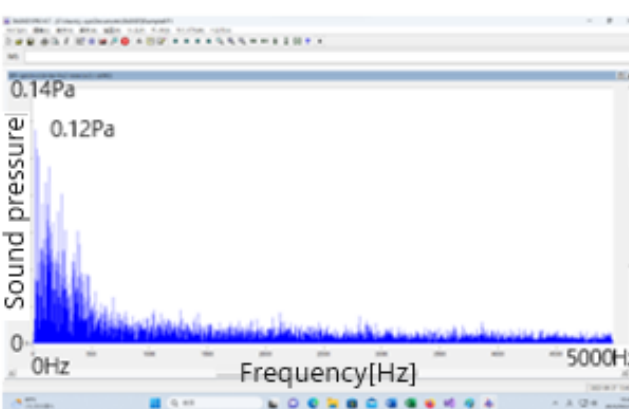
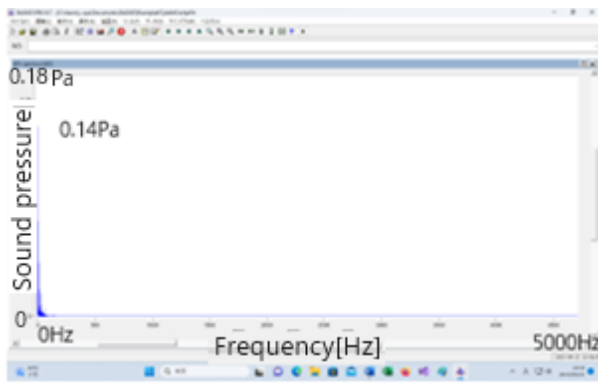


図 3．風車音（館山風の丘） 0 ～ 5000Hz

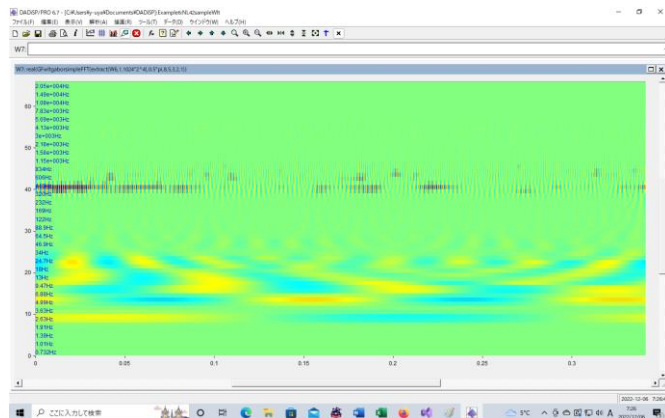
表 2．エネルギーの分布



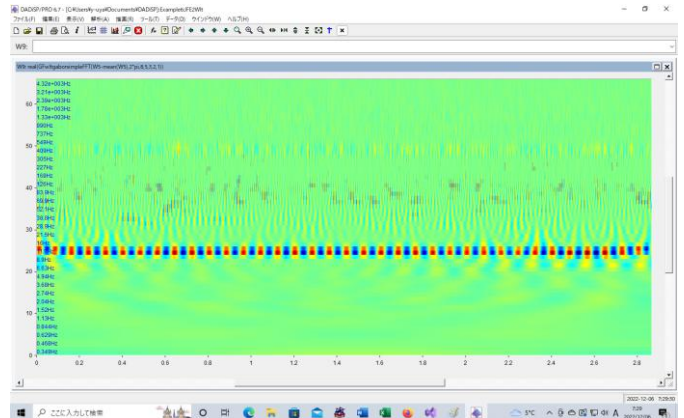
エネルギー分布	0 ～ 20 H z	20 H z 以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

## Wavelet 解析

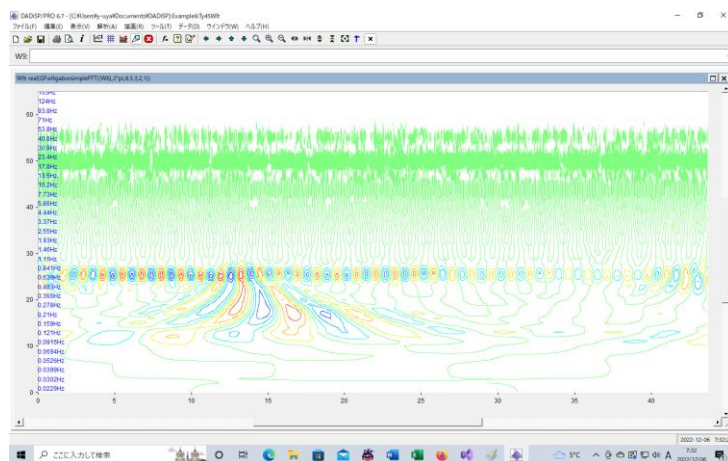
交通騒音 (0Hz 以上)



工場騒音 (0Hz 以上)



風車騒音 (0Hz 以上)



グラフの下は低い周波数、上は高い周波数成分を表します。色の濃い場所の周波数成分の振幅が大きいことを意味しています。

## 音圧

音は空気中を粗密波として伝わります。音がないときの空気の圧力（静圧）に対して、音があるときはこの静圧に比べて、空気の圧力が変化します。

この静圧からの圧力の変化分が音圧です。単位はパスカル（Pa）です。1 m<sup>2</sup>あたり、1 ニュートンの力が加わ

るときの気体の圧力が1パスカルです。

## 音の強さ

音場内の 1 点において、単位面積を単位時間に通過する音響エネルギーを音の強さ（I または J と書く）と言います。単位は、(W/m<sup>2</sup>)

$$J = (p \cdot p) / (\rho \cdot c) \quad (\text{W/m}^2)$$

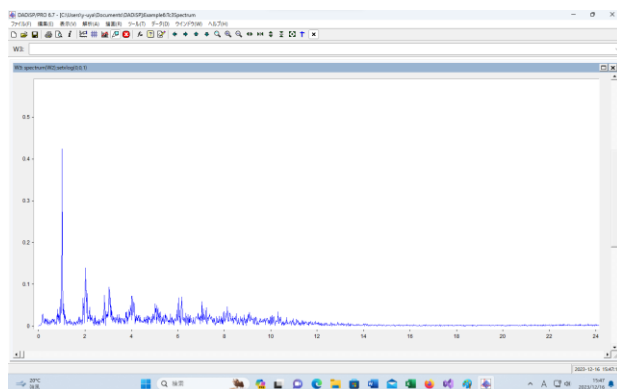
ここで、p (Pa) は音圧、 $\rho$  は空気の密度 (kg/m<sup>3</sup>)、c は音の速度 (m/s)

周波数帯	0～20Hz	20～200Hz	200～24 kHz	0～24 kHz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m <sup>2</sup>
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m <sup>2</sup>
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m <sup>2</sup>
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m <sup>2</sup>
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m <sup>2</sup>

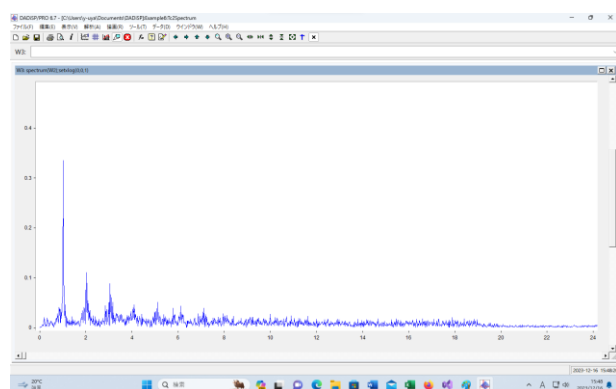
騒音計をビニール袋に入れて、それを段ボール箱に入れて、ビニールをかぶせて、



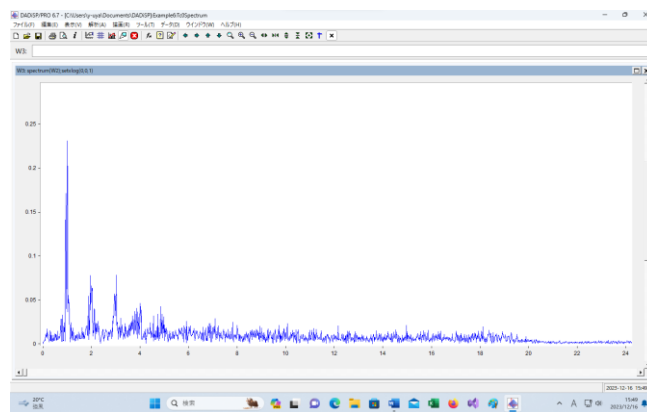
袋と箱に入れドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



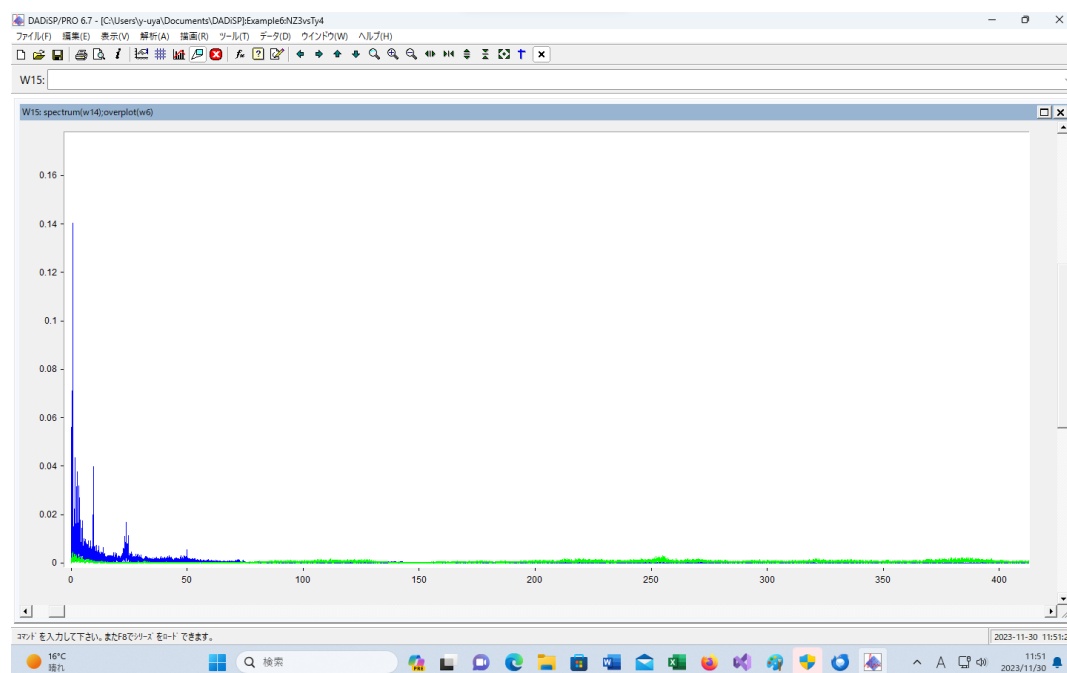
袋と箱に入れドアを開けた場合は Max. 0.33Pa



袋から出して箱の上においた結果は Max. 0.23Pa

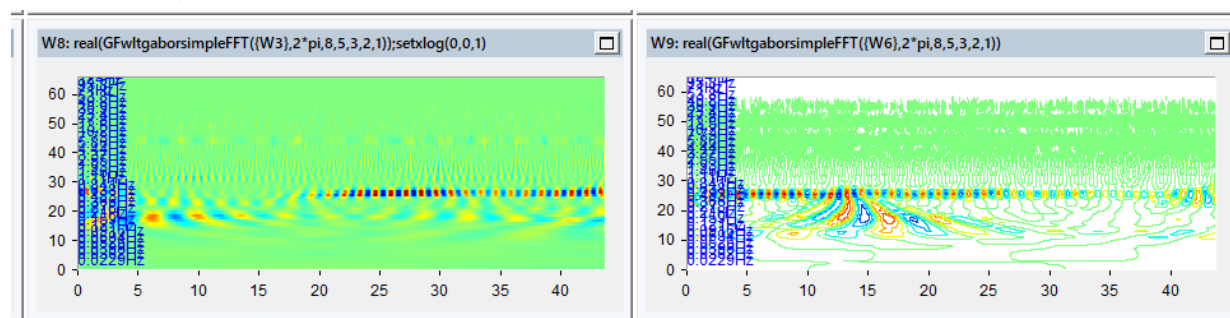


0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



100Hz を超えたあたりから、風車からの音の音圧よりも神社での計測音の方の音圧が高くなっている。  
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はありません。

Wavelet 解析の結果として、0.8Hz の成分の周波数が時間的に安定していることも分かります。

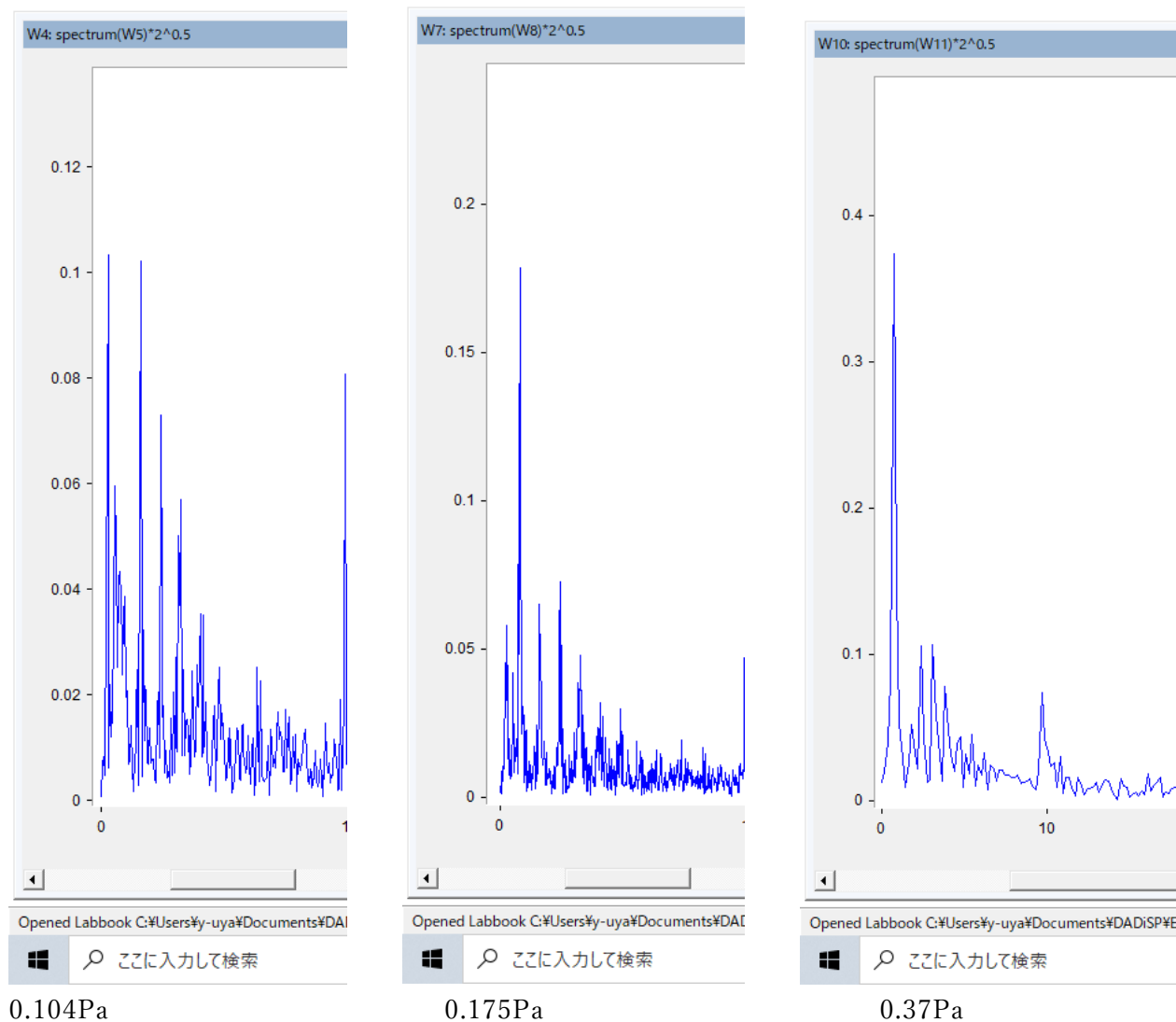


色の濃い部分は音圧が高く色が薄い部分は音圧が低いことを意味しています。0.8Hz を示す色の濃い帯があ

るが、風速の変化で色の濃さが変わります。色の濃い部分は 30 秒くらい継続します。

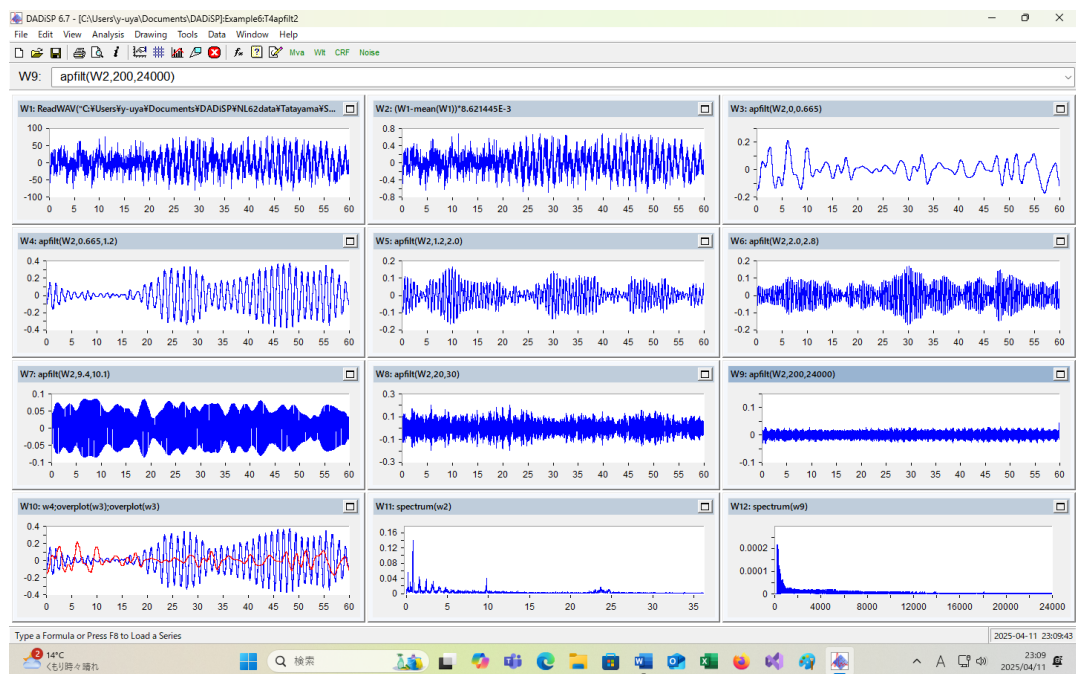
周波数は 0.7Hz~0.9Hz の辺りで、かなり安定しているのですが、音圧はかなり変化します。周波数が変化が小さいという事は、ブレードの回転数が安定していることを意味します。

さて、音圧の変化は、次の様になっています。



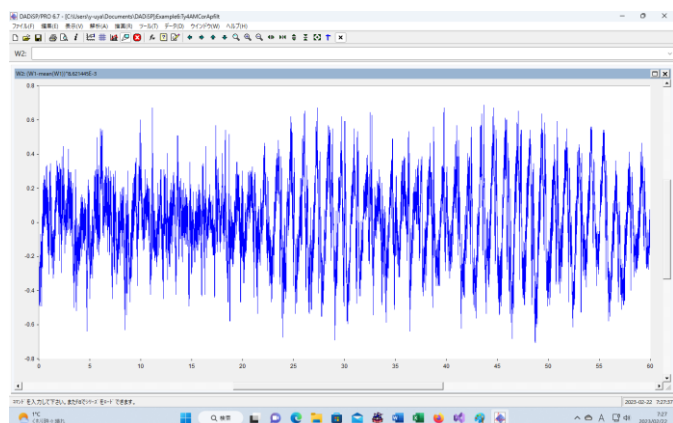
実際の風車音を調べてみると次の様になっています。



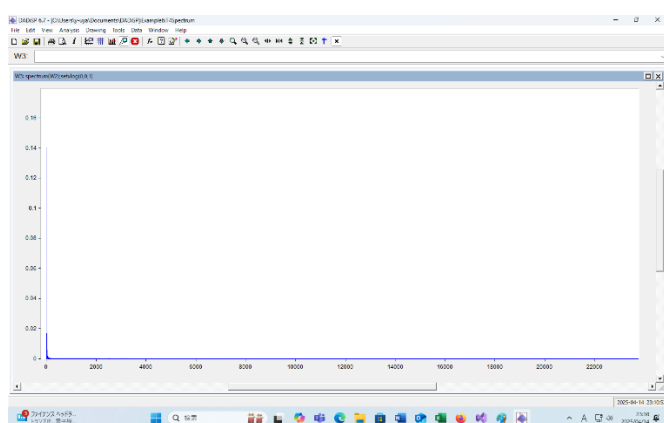


W2 は、1 秒間に 48000 回の割合で、風車音による音圧変動を記録した結果、すなわち風車音の波形データである。平均した場合、 $f=RZ/60\text{Hz}=0.8\text{Hz}$  となっています。

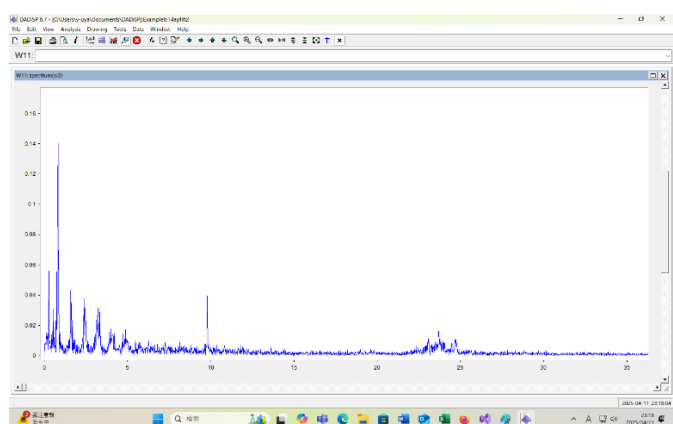
## 波形



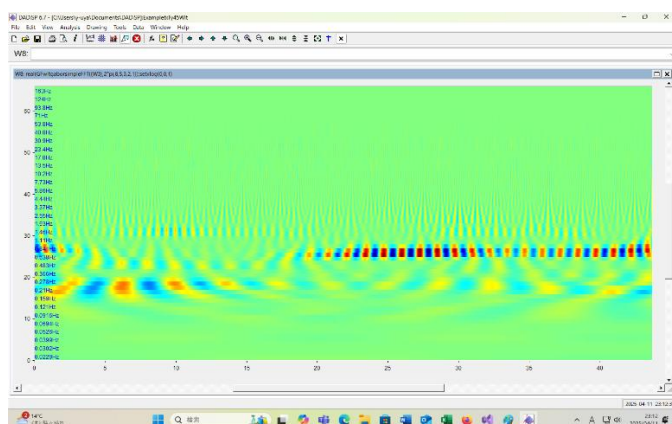
## 周波数スペクトル (0～24000Hz)



## 周波数スペクトル (0～50Hz)



## Wavelet 解析の結果は次のグラフです。



上の周波数スペクトルをグループに分けて成分を取り出します。

A :  $f/3$ 、 $2f/3$

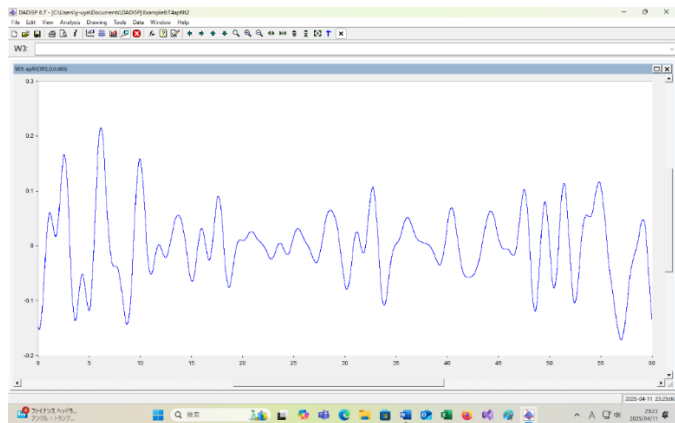
B :  $f$ 、 $2f$ 、 $3f$ 、 $4f$ 、 $5f$ 、 $6f$

C :  $10\text{Hz}$  の近く

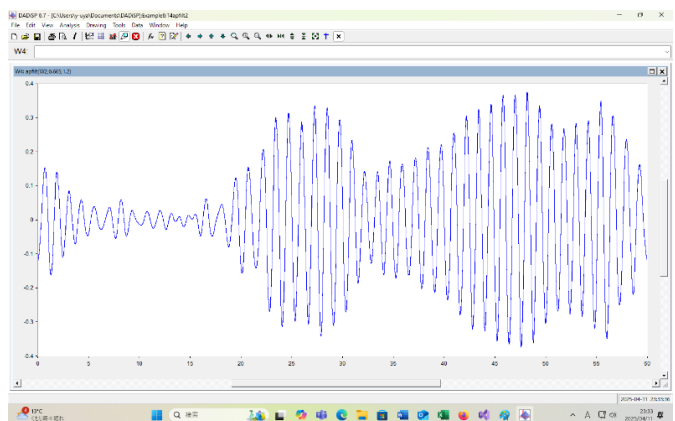
D :  $20\sim 30\text{Hz}$

E :  $200\sim 24000\text{Hz}$

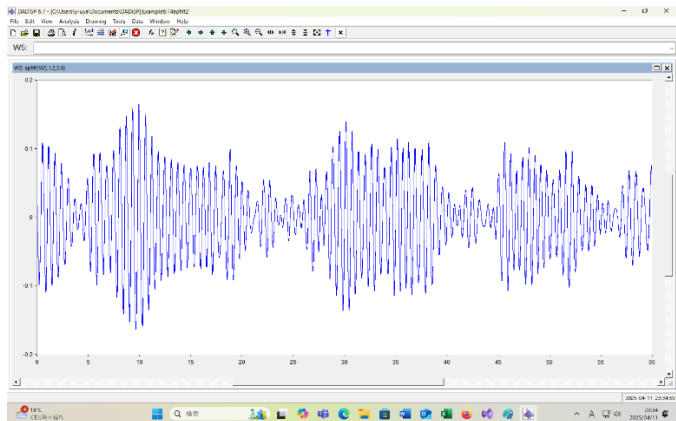
A :  $0\sim 2f/3\text{ Hz}$  の成分 ( $0\sim 0.665\text{Hz}$ )



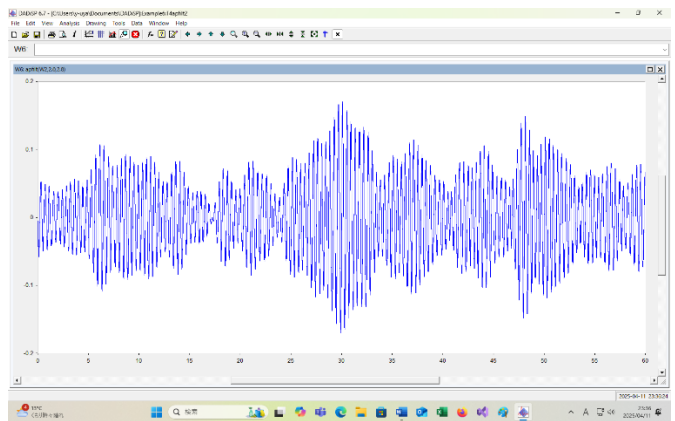
B :  $f = 0.8\text{Hz}$  成分 (Max0.37Pa)



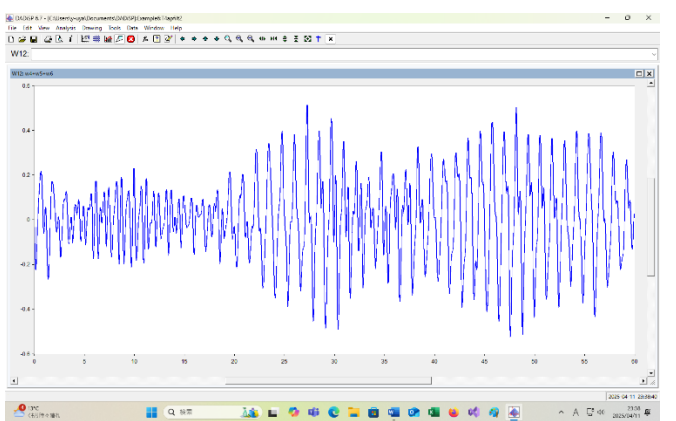
$2f = 1.6\text{Hz}$  成分



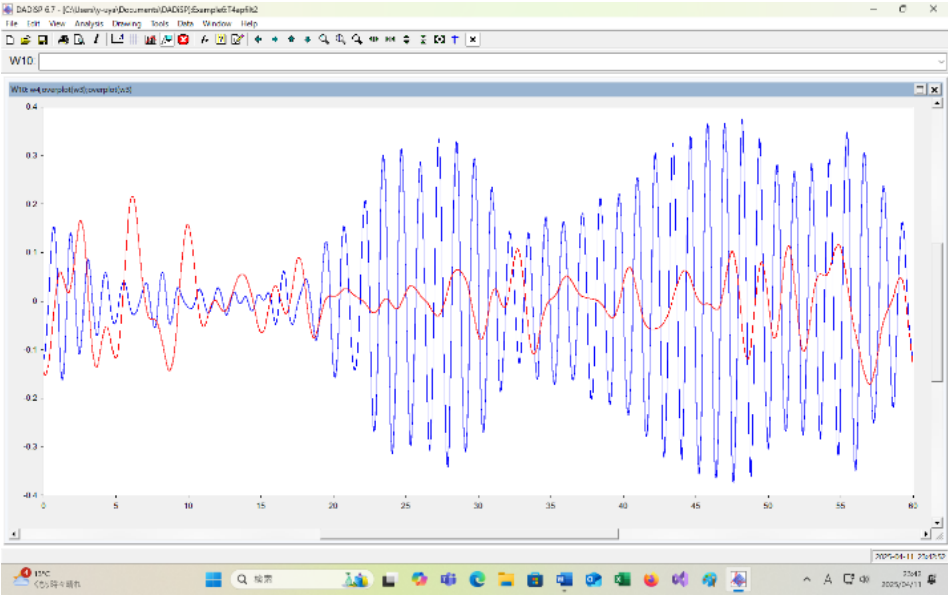
$3f = 2.4\text{Hz}$  成分



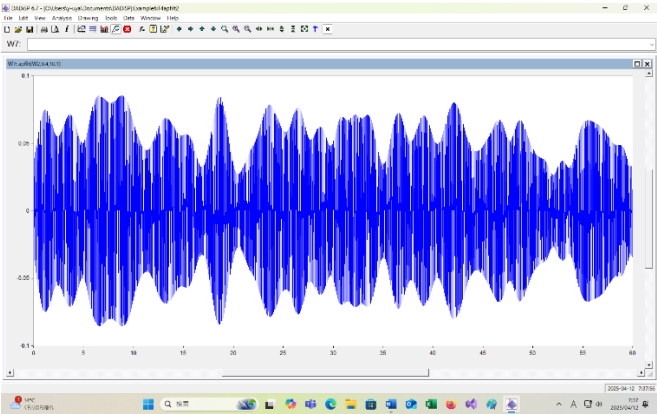
$f\text{ Hz}$  成分+ $2f\text{ Hz}$  成分+ $3f\text{ Hz}$  成分



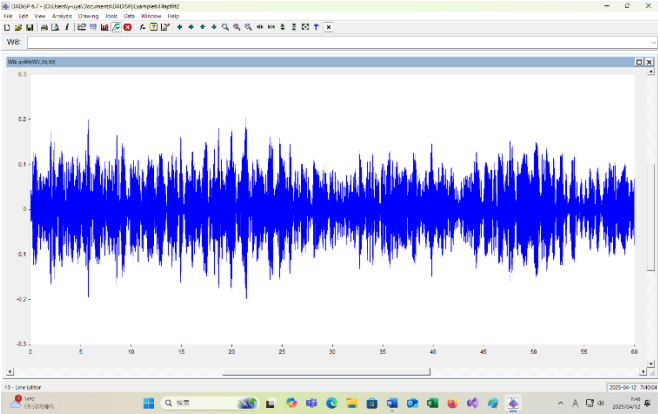
f Hz 成分と（0～0.665Hz）成分の比較



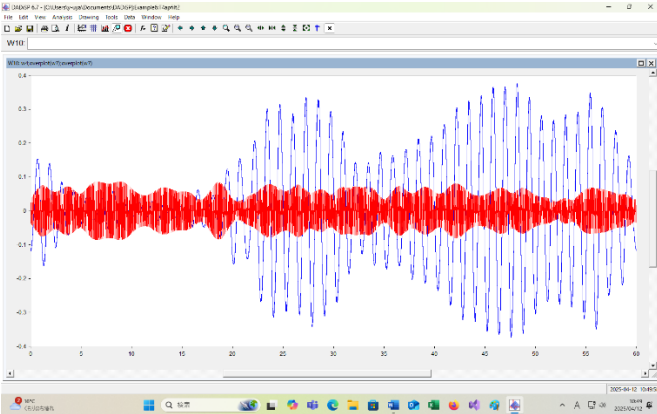
C : 9.4～10.1Hz 成分



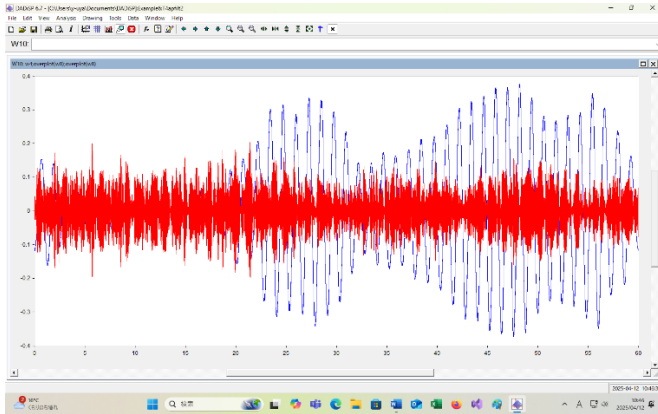
D : 20～30Hz



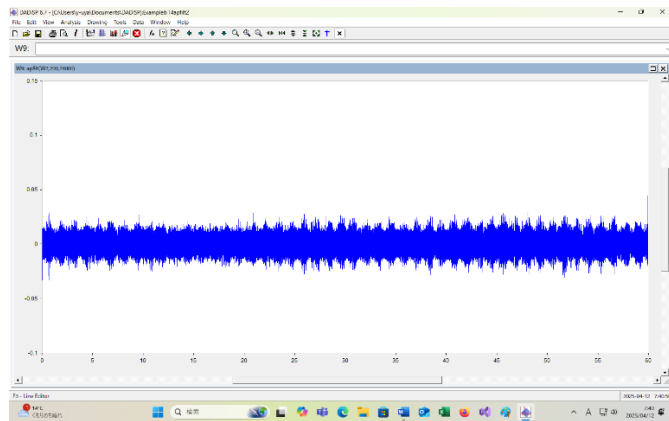
f = 0.8H z 成分（Max0.37Pa）と C の比較



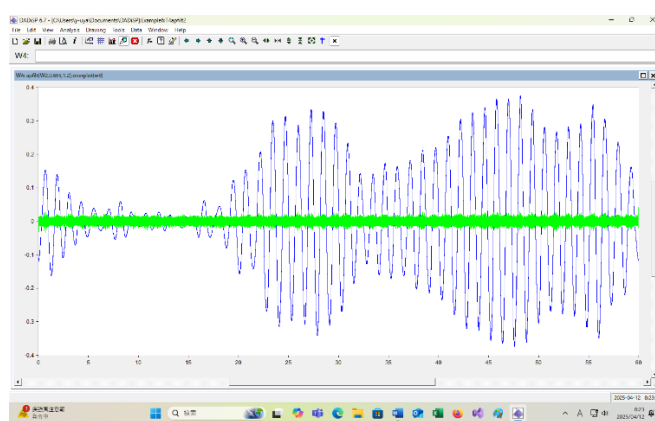
f = 0.8H z 成分（Max0.37Pa）と D の比較



E : 200～24000Hz 成分（振幅 0.008～0.02Pa）



f = 0.8Hz 成分（Max0.37Pa）と E の比較

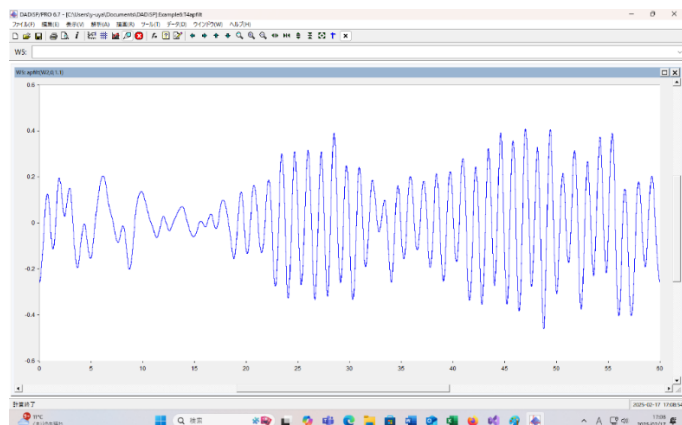


エネルギーの分布（0～20Hz、20～200Hz、200～24000Hz、0～24000Hz）

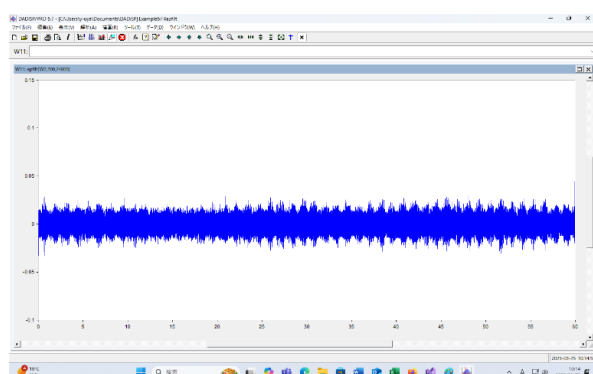
W3: EngDistributionWm2(w2,0,20,200,24000)				
	1: No Units	2: No Units	3: No Units	4: No Units
1:	2.432890E-004	2.138726E-005	1.627290E-007	2.648317E-004

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

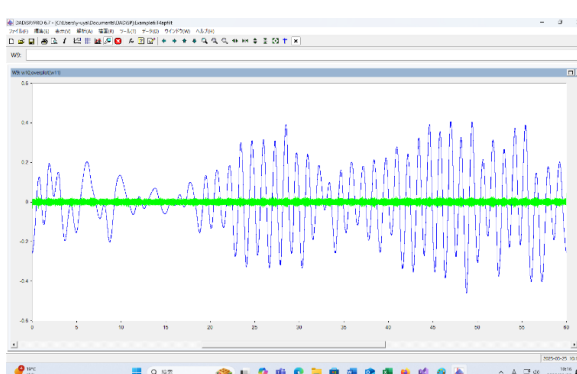
0Hz～1.1Hz の成分を抽出すれば、次のグラフになる。



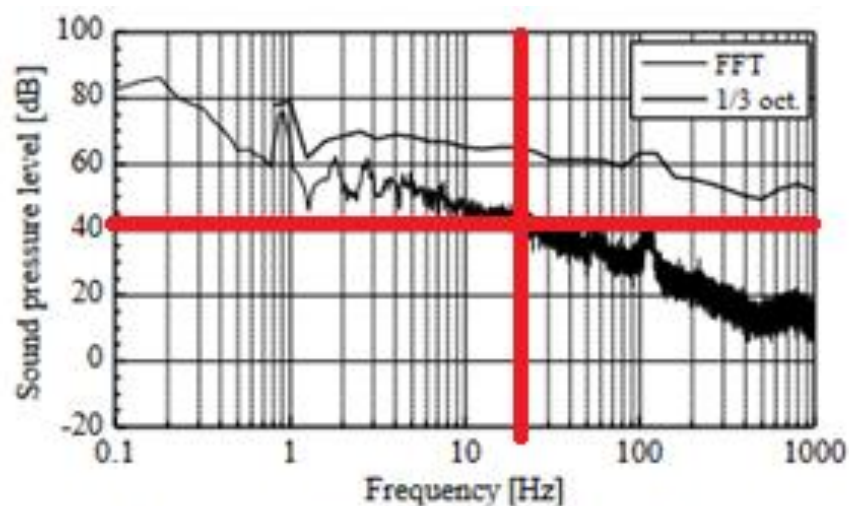
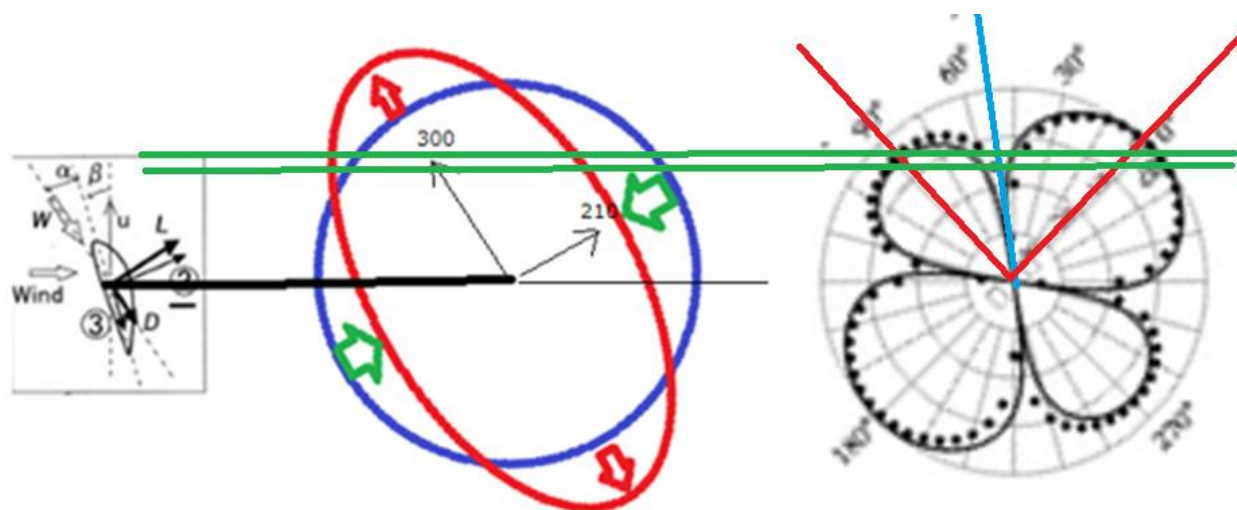
音圧変動（200～24000Hz の成分の変動は小さい）



振幅の変動（青 0～1.1Hz、緑 200～24000Hz）比較



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	



図(2)-11 図(2)-9の音圧のスペクトル

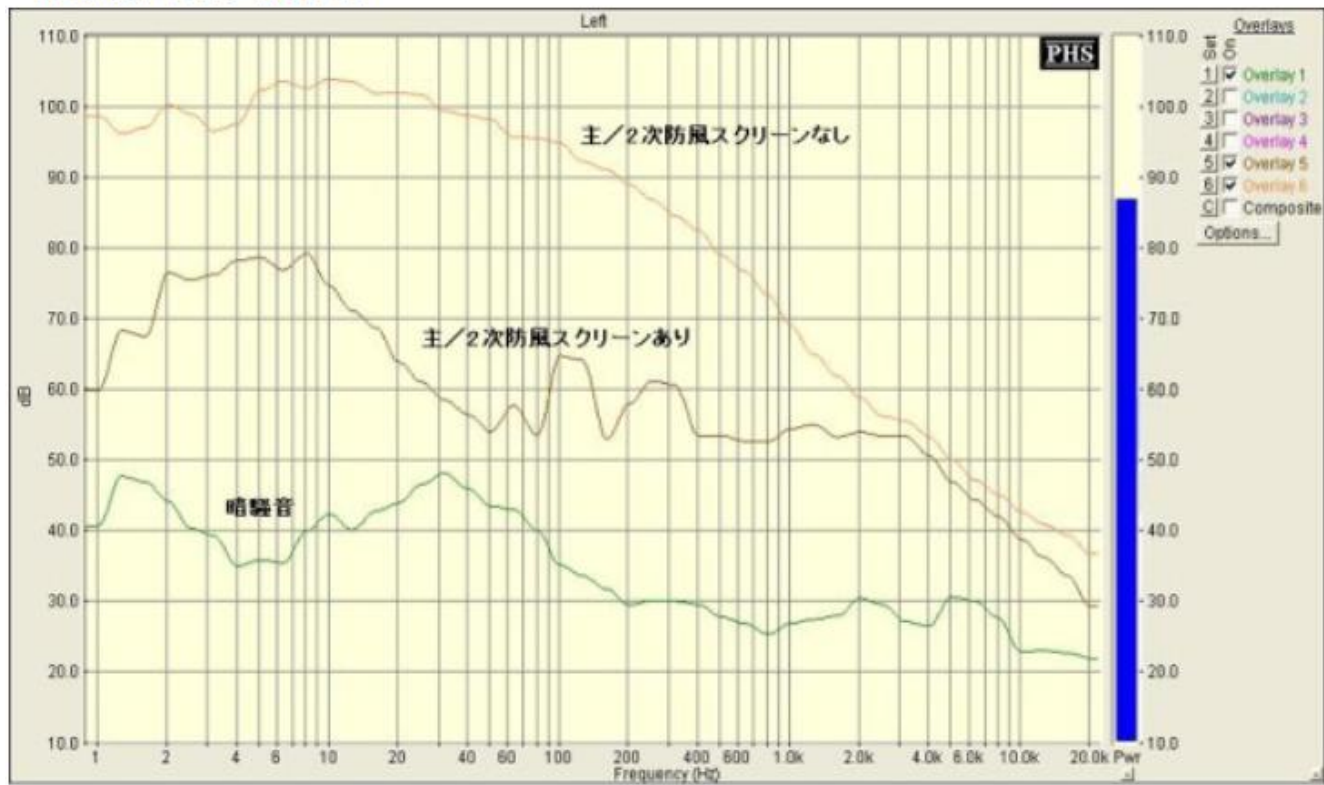


2次防風スクリーン Φ460×230(H)

主防風スクリーン Φ90半割内蔵

組立 : 簡易取り付け方式 (約10分)

## 【風切音減少効果】



兵庫県の新しい考え方は、

“風車到達騒音を、「環境基準値から 10 dB を減じた値」とする必要がある。” というものである。

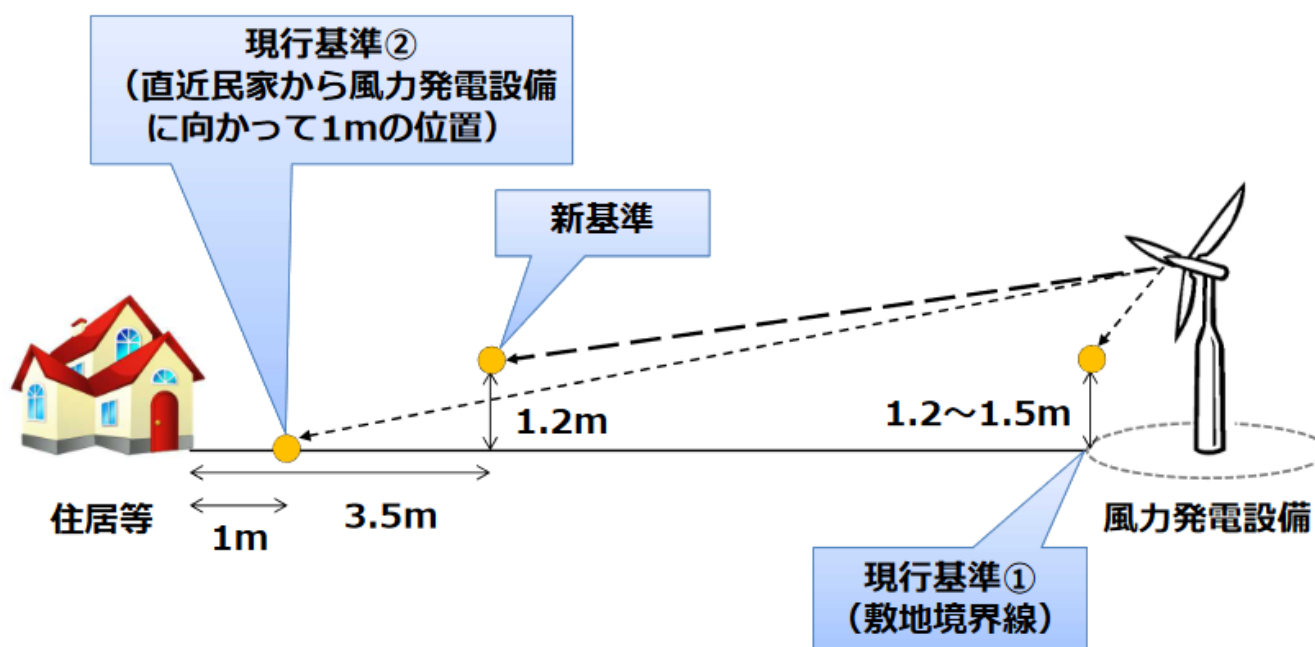
環境省の圧力がある中で、住民の生活に配慮するという地方自治体の基本的な姿勢をしたものであり、この結論を得るのに、大変な苦労をされた事と思われる。

残念ながら、問題点が幾つか残っている。最も残念なのは、風車音の正確な測定と解析がなされていない事と、水平軸型の風車と垂直軸型の風車の比較検討がなされていないことです。

平成 31 年 3 月 4 日(平成 30 年度第 2 回)

[【資料 1】](#) 風力発電設備に関する騒音規制のあり方（案）(PDF ファイル：783KB)

## 【参考】基準適用地点のイメージ



## 6 規制対象騒音・規制基準値の考え方

- 1) 2つの騒音がある場合、それらの合成音は大きい方の騒音に小さい方の騒音の影響が加わる。
- 2) 騒音 (dB) の和は、下表のとおり、“2つの騒音の差”ごとに“増加する騒音”の値が大きい方の騒音に加わる。

2つの騒音の差 (dB)	0～1	2～4	5～9	10以上
増加する騒音 (dB)	3	2	1	0

(例) 45dBと45dBの合成音は48dB、45dBと40dBの合成音は46dB、45dBと35dBの合成音は45dB

- 3) “2つの騒音の差”が10dB以上の場合、合成音は大きい方の騒音と同値となる。(小さい方の騒音の影響がなくなる。)

以上から、風力発電設備の影響により環境基準値を超過しないためには、**風車到達騒音※を「環境基準値から10dBを減じた値」とする必要がある。**

11

※ 風車到達騒音：風力発電設備から発生し、基準適用地点に到達する騒音

**【参考】風車到達騒音が「環境基準値から10dBを減じた値」となるために必要な水平距離**

風力発電設備 の音響パワー レベル	環境基準の地域の類型					
	A A		A及びB		C	
			環境基準値－10dB			
	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間
	40dB	30dB	45dB	35dB	50dB	40dB
90dB	80m	306m	0m	175m	0m	80m
95dB	175m	496m	80m	306m	0m	175m
100dB	306m	768m	175m	496m	80m	306m
105dB	496m	1,152m	306m	768m	175m	496m
110dB	768m	1,683m	496m	1,152m	306m	768m

※   ：風力発電設備を設置する地域に多い類型

※ 風力発電設備の基礎と受音点の標高が同一とし、ロータ中心から受音点までの間に障害物がない場合の値（ハブ高さを85mと仮定）

## 参考】環境基本法（抜粋）

### 第2章 環境の保全に関する基本的施策

#### 第3節 環境基準

第16条 政府は、大気の汚染、水質の汚濁、土壌の汚染及び騒音に係る環境上の条件について、それぞれ、人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準を定めるものとする。

4 政府は、この章に定める施策であって公害の防止に関係するものを総合的かつ有効適切に講ずることにより、第1項の基準が確保されるように努めなければならない。

#### 第5節 国が講ずる環境の保全のための施策等

第21条 国は、環境の保全上の支障を防止するため、次に掲げる規制の措置を講じなければならない。

一 大気の汚染、水質の汚濁、土壌の汚染又は悪臭の原因となる物質の排出、騒音又は振動の発生、地盤の沈下の原因となる地下水の採取その他の行為に関し、事業者等の遵守すべき基準を定めること等により行う公害を防止するために必要な規制の措置

#### 第7節 地方公共団体の施策

第36条 地方公共団体は、第5節に定める国の施策に準じた施策及びその他のその地方公共団体の区域の自然的社会的条件に応じた環境の保全のために必要な施策を、これらの総合的かつ計画的な推進を図りつつ実施するものとする。この場合において、都道府県は、主として、広域にわたる施策の実施及び市町村が行う施策の総合調整を行うものとする。

16

配慮の内容は県民にもよく理解され、好意的な意見が寄せられた。

令和元年 12 月 26 日(令和元年度第 2 回)

【資料 5】「風力発電設備に関する騒音規制のあり方について(骨子案)」の県民意見提出(パブリック・コメント)手続きの結果(PDF ファイル:87KB)

県民からの意見

“風力発電建設で静かな環境が騒音で満たされることを心配しています。低周波音や超低周波音による健康への被害も心配されます。”

に対する回答は、

〔今後の施策の課題とします〕

“低周波音のうち、可聴音については、これまでも一般的な騒音として規制の対象に含まれており、今回定めようとする新基準（案）においても同様の扱いとなります。

なお、平成 29 年 5 月に環境省が発表した「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」では、他の環境騒音と比べても、特に低い周波数成分の騒音の卓越は見られなかったことや、風力発電施設から発生する低周波音及び超低周波音と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とが報告されています。

引き続き国等の動向を注視しつつ知見の収集に努めます。”

の部分は非常に残念な見解です。

“特に低い周波数成分の騒音の卓越は見られなかった”の意味を理解できていない。この中で“騒音”と書いてあるので、考察の対象は 20Hz 以上の成分に限定されます。20Hz 以上の成分に関しては、風車音の影響は小さいのです。卓越が無いというよりは、他の環境騒音よりも低いと言っても間違いではありません。

では、“騒音”を取り除いて、

“特に低い周波数成分の卓越は見られなかった”としたらどうでしょうか？この場合は超低周波音（20Hz 以下）の部分も考察の対象になります。これについて議論するには、風車音の精密な測定と、周波数分解能を 0.01Hz 以上とした解析が必要になります。

## 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
- 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**

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。

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results

には、WTN（A 特性音圧レベル、騒音レベル）と、風車音での被害の症状との関連が記載されています。

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	知覚	片頭痛	耳鳴	めまい
WTN		○	×	×						
睡眠障害	○									
心拍数	×									
血圧	×				△	○	△	△	△	△
コルチゾール				△		○	○	△	△	△
不快感				○	○		○	○	○	○
知覚ストレス				△	○	○		△	△	△
片頭痛				△	△	○	△		△	△
耳鳴り				△	△	○	△	△		△
めまい				△	△	○	△	△	△	

被害者の知覚ストレス、高血圧などの訴えが、体調の具体的は変化を伴っていることが、コルチゾール検査で証明されていることを示しています。被害者は、正直であり嘘ではないのです。

コルチゾール検査と関連の深い被害は、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

カナダ政府の報告によれば、コルチゾール検査に関連する症状と、**WTN レベル**との相関性がみとめられないのです。これは当然の結果です。WTN は、風車音の影響を表現できない数値なのです。

## 10. 健康被害と原因

### 10.1 アノイアンスとラウドネス

都道府県知事 市長・特別区長 殿 環境省水・大気環境局長

“風力発電施設から発生する騒音に関する指針について”

“風力発電施設から発生する騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は、わずらわしさ（アノイアンス）を増加させる傾向がある。静かな環境では、風力発電施設から発生する騒音が 35～40dB を超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。また、超低周波数領域の成分の音も含めた実験の結果、周波数重み付け特性として A 特性音圧レベルが音の大きさ（ラウドネス）の評価に適している。”とある。

ラウドネス（うるささ）の評価に、A 特性音圧レベル（騒音レベル）の数値が適しているのだが、アノイアンス（不快感）の評価には適していない。

騒音レベルの数値が同じでも、風車音でのアノイアンスと交通騒音でのアノイアンスには、大きな違いがある。

鳥取県における発電用風車の騒音に係る調査報告（十倉 毅・山本 和季・矢野 大地）での、聴覚での“うるささ”以外の被害は次のものである。

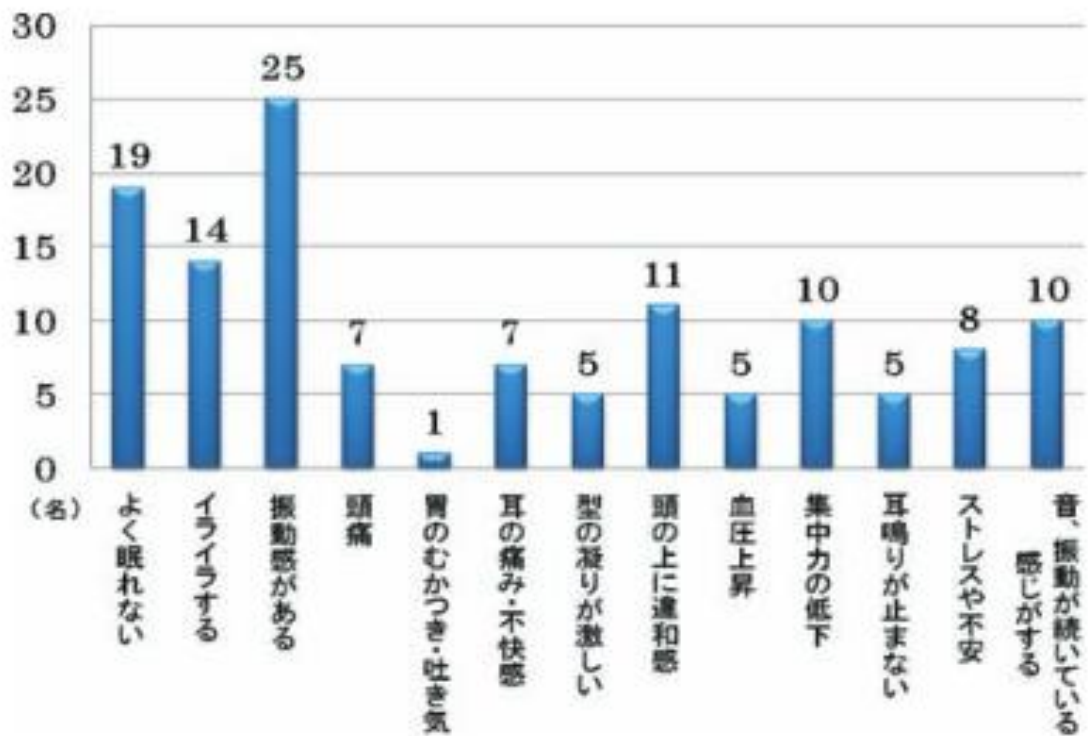


図2 苦情の訴え（「Q5」、複数回答を含む）

には、

“2007年末、東伊豆の別荘地では1500基<sup>キョトツ</sup>×10基の風力発電が運転を始めた直後から、住民のなかで健康被害が続出した。この因果関係を調べるため、事故で風車が停止しているとき、団地自治会が独自に疫学調査を実施した【表1】。不眠、血圧、胸・腹・歯・鼻・耳痛などの症状が、風車が停止することで大きく改善したことがわかる。

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（％）

風車からの距離(m)	500m未満	500～700m未満	700～900m未満	900m以上	生理的要素
不 眠	71	27	13	0	距離が離れると改善
血 圧	18	15	0	0	距離が離れると改善
リンパ腺の腫れ	6	2	0	0	距離が離れると改善
胸腹歯耳鼻痛	41	39	25	0	距離が離れると改善
煩い・イライラ	59	61	75	0	心理的要素も
頭痛・肩こり	41	39	81	33	心理的要素も
全体で改善	94	76	94	33	心理的要素も

注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人(改善率82%)。調査結果に転居(10戸)避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009）。

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車3基を停止すること、次に近い風車2基の回転数を4割減らすこと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。”

とあります。

・平成22年、環境省の調査

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

には、

“【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】

- 建設前に実施した環境影響評価における予測結果よりも、実際の騒音レベルの方が大きい事例があった。
- 風車から離れている住民（1km 程度）から、眠れない等の苦情が寄せられている事例があった。
- 騒音の環境基準を満たしている地点からも苦情が生じている事例があった。
- 騒音対策として、風車の夜間停止や出力抑制、苦情者宅での騒音対策工事（二重サッシ、エアコンの設置）の実施や、風車に高油膜性ギアオイルを取り付けた事例があった。

- また、風車音と他の騒音源からの同等レベルの騒音を比較した場合、不快に感じる人の割合は風車音の方が高い<sup>5)</sup>。

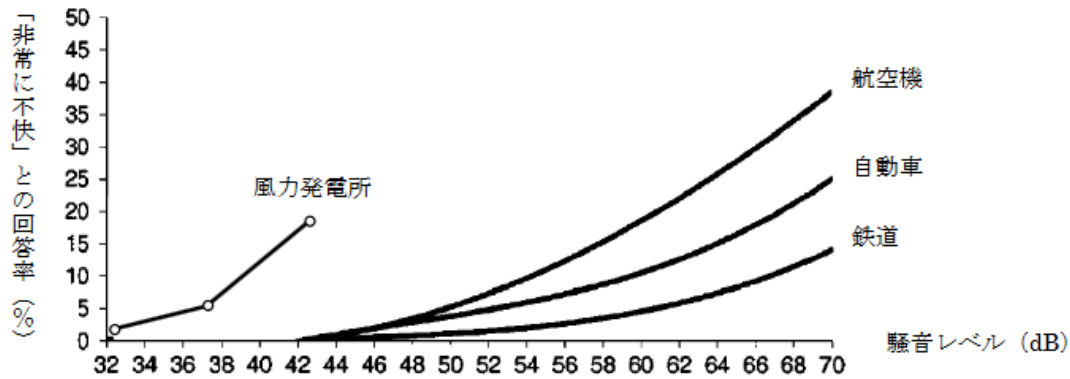


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係  
(脚注3及び5の文献より環境省作成)

## 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<sup>6)</sup>。それによれば、風力発電所から発生する低周波音により、内耳の器官が影響を受けて、様々な健康被害（睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等）が生じているとされている。“

とあります。

環境省が作った上のグラフは、“不快感”という観点で風車音と他の環境騒音を比較すれば、A 特性音圧レベル（騒音レベル）が 42 dB のとき、風車音では 20% 程度の人が“非常に不快”とを感じるが、一般の環境騒音では、“非常に不快”とを感じる人はいないことが分ります。

アノイアンス（不快感）の内容は様々です。ラウドネス（うるささ）もその一部です。

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 の報告書（p 14）には、不快感と A 特性音圧レベル（20Hz～）の関連を示す記述がある。（これは、統計的な分析結果です。）

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

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

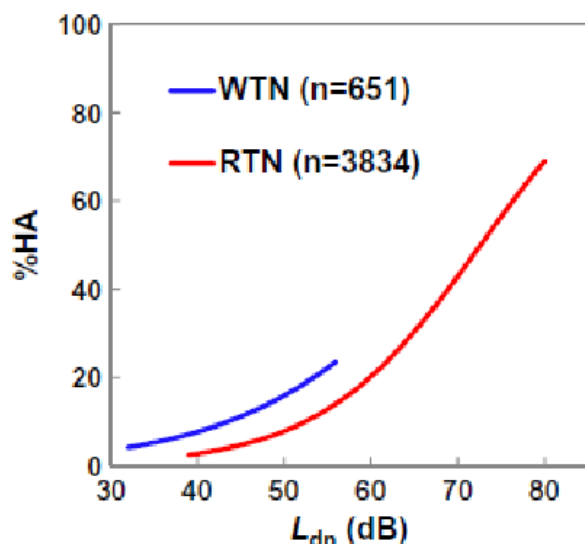


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（ $L_{dn}$ ）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 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、 $L_{Aeq}$  に 6dB を加算して  $L_{dn}$  を推計している。

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

次の論文から、不快感に関してはより小さな数値でも安心できないことが分ります、

## 大型風車による地盤振動伝播\*

— 立地環境による差異 —

Ground vibration originated from large-scale wind turbines

— difference by the foundation situation —

小野寺 英輝

### 3-2. アノイアンス問題発生地域での計測

風車近隣(それでも数百 m 離れている)住民が申告する被害と地盤振動の伝播との関連に関して具体的な状況を知るため、当該地域へ赴き、ヒアリングと地盤振動の計測を行った。計測結果の一例を図 5 に示す。(a)は、これまでに計測を実施した第 1, 第 2 地域における計測結果の代表例、(b)が今回計測したアノイアンス問題申告のある地域での結果を示す。

(b)では、微細な変化の観察を容易とすることを目的に縦軸を(a)の 200 倍としてある。ただし、(b)を(a)と同じスケールの縦軸にすると振幅データは、およそ 10Hz 以上の領域を除けば、値の上下はほとんど観察されない。なお、図中のギリシャ数字は前記の表 1 にある風車の略号を示す。ただし、それぞれの計測個所までの距離は、表 1 に示した通り一定ではない。これらのうち、最大のピーク値を示すVの場合の振動加速度は  $8.9 \times 10^{-2}(\text{Gal})$  , アノイアンスの申告があったVIの場合、  $6.7 \times 10^{-6}(\text{Gal})$  で、数値的には非常に小さくなっている。なお補足であるが、震度 1 の最小値は  $0.6(\text{Gal})$  である。



次に、これまでの計測結果とヒアリング内容を対照してみたい。ヒアリングによると、風車の稼働に伴う体調への影響は、ある限定された状況で、強度が増すという申告を得た。今般のヒアリングにおいては、具体的には以下の 3 項目が挙げられた。

1. 雨の日には 24 時間強い不快感を感じる
2. 水田にいと楽になる
3. 冬がひどく、夏はいくらかよい

今回の計測時は、数日前に降雨があったものの、地表は完全に乾燥していた。従って、上記申告に基づく、やや症状が軽い状況になる。なお、伝播途中の土質の変化、あるいは振動の面的分散によるものかは不明であるが、Ⅵの場合に、 $x$  方向の振動振幅が他と比して若干大きくなっていたので、他のデータについても、 $x$  方向の計測結果を用いている。

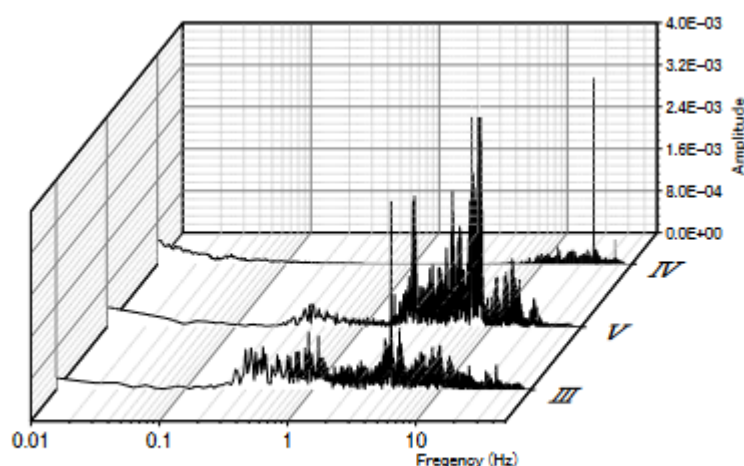
計測データを見ると、Ⅲでは、Ⅳ・Ⅴと比較して  $0.1\sim 2\text{Hz}$  の範囲の振幅値も大きくなっている。この領域の振動は、俗にいう船酔いの原因となる振動(揺動)周波数(8)に近接している。風車から直線距離で 950m 離れたⅥに関しても距離減衰に伴い値は非常に僅かであるが、振動特性は類似しており、これも、およそ  $1\text{Hz}$  以下で上昇がみられる。Ⅷに関しては、 $0.08\text{Hz}$  程度以下での上昇があるが、他の 2 つに比してその傾きは小さい。

周波数が大きい側の領域をみると、Ⅲ、Ⅴでは  $0.3\sim 20\text{Hz}$  の範囲で値の上昇がみられるのに対し、Ⅳでは  $8\sim 40\text{Hz}$ 、Ⅵでは  $10\sim 40\text{Hz}$ 、Ⅶでは  $7\sim 50\text{Hz}$ 、風車近傍のⅧでは  $0.9\text{Hz}\sim$  となっている。

これらのうち、アノイアンス申告が顕著であったのがⅥ関係地域であり、次いでⅧ地（民間の作業所）であるが、後者は風車に近接していることから、一般の空力騒音によるものではないかと考えられる。

#### 4. まとめ

- (1)本報の範囲では減衰割合は、砂地では  $z$  方向が、土質地盤では  $y$  方向が他に比して大きい。
- (2)風車の立地条件によると思われる極低周波数側の振幅増加が他と比して大きい周波数から発生する場合がある。
- (3) $1\text{Hz}$  以下で、波状の周波数分布を示す風車があり、本調査の範囲では、アノイアンス申告のある地域と一致している。



(a) Referring places

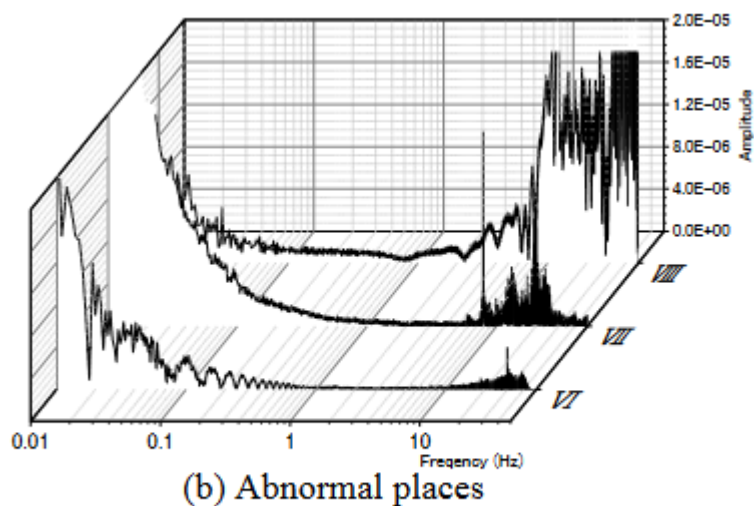


Fig.5 Frequency profiles of measured points

#### 質問

建設後に、事前予測と異なって室内でのガタツキが起きることもあります。

計測が必要である。そのような機材を使って、どのように計測し、どのように解析すべきかを詳しく述べて下さい。

現実が予測と違って、被害が出たら、どのような責任を取るのかを、例えば“夜間は風車を停止する。”などの様に具体的に述べて下さい

(答え)

### 周辺の家の変動(野中 氏)

ここでは、音だけではなく地盤変動に關しての記述があります。

#### 風車周辺の家屋の変動

- 環境省の調査では、「変動による物的な被害感を生じない限界」は、変動レベル70dB程度とされています。
- 「健常者の変動を感じるレベル」は55dBであり、これ未満は感じられません。
- 既存の風車から220m離れた住宅屋外地面で測定した変動レベルは計量器下限界値30dB以下でした。
- 30dBであったとしても変動を感じるレベルの1万分の1であり風車で家屋が揺れるということはありません。

(出典:中野論文より)

です。

変動の影響は、国より公害の1つと定義されています。その種類には、産業機械作業変動、工事・建設作業変動、道路交通変動、鉄道変動等があり、法により基準が定められています。

しかし、その基準に該当するものが特定の機械設備であることや、該当しないものが変動源とされる場合がある等様々な事例があり、この問題をより難しくさせています。

2	65～75	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。↓ 眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。
1	55～65	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。	コップ等の水がわずかに揺れる。
0	55 以下	人は揺れを感じない。	

記述は、振動に関しての上記のような情報を基にしているのだろうが、“住宅屋外地面で測定した振動レベルは計測器下限界値 30 d B 以下でした。”との事記述は、不良品の計測器を使ったとしか思えない。

### 【振 動 の 単 位】

振動量を表す単位には以下の単位がありますが、「振動レベル」以外は物理量です。

名 称	記号	単位	解 説
変 位	$\delta$	$\mu$ mm	物体が振動した時、図-1 のおもりが変位した量です。単に「振幅」と標記される場合は、変位量を示します。
速 度	v	cm/sec kine	物体が振動して変位する時の速度。振動による構造物の被害は加速度よりも速度との相関が強いとも言われ、速度で管理する場合があります。単位を見て分かる通り速度は変位を時間で 1 回微分したものです。kine は発破振動で良く用いられる単位で kine= cm/sec です。
加 速 度	a	cm/sec <sup>2</sup> gal G	物体が振動する時の速度の変化量。地震動など多くの振動はこの加速度で管理される場合が多いです。変位を時間で 2 回微分したものが加速度です。cm/sec <sup>2</sup> =gal、重力加速度 1G=980 gal 変位と速度とは(1)式の関係となります。
加速度実効値	a <sub>rms</sub>	cm/sec <sup>2</sup> gal	振動の多くは異なる周波数成分を含む複合振動ですので、波形のピーク値のみでは、その振動の仕事量は計れません。(2)式により求められる“振動の仕事量”(力積)に相当する値です。
振動加速度レベル	LVA	dB	人の感覚が対数尺度に近いため、(3)式により加速度実効値を対数尺度で表す値。帯域の広い振動量を示すのに都合が良いです。
振動レベル	LV	dB	振動加速度レベルに感覚補正(周波数重付補正)された値で、この振動レベルのみ物理的な量でなく“感覚量”です。

震度 階級	地震加速度 (gal)参考	振動加速 度レベル (dB)	振動レ ベル (dB)	人間	屋内の状況	屋外の状況
0	0.8 以下	55 以下	49 以下	人は揺れを感じない。		
1	0.8～2.5	55～65	49～58	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる。		
2	2.5～8	65～75	58～67	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が目覚めます(睡眠への影響レベル)。	電灯などのつり下げ物がわずかに揺れる。戸、障子が僅かに動く(苦情の発生レベル)。	
3	8～25	75～85	67～77	屋内にいる人の殆どが揺れを感じる。	棚にある食器類が音を立てることがある。	電線が少し揺れる。

加速度 (m/s<sup>2</sup>) ・ 振動加速度レベル(dB)の相互変換

$AdB=10\log(a1/a0)^2=20\log(a1/a0)$  ,  $a0=10^{-5}m/s^2$  で換算してます。

$1G=9.807m/s^2$   $1gal=1cm/s^2$  で換算してます。

## 参 考 資 料—低周波音の基礎知識—

の・参考 2・のページには、

・低周波音の苦情と実態

### c.1 低周波音苦情の分類

低周波音の苦情は人に関する苦情（心理的苦情、生理的苦情）と建物等に対する苦情（物的苦情）に大きく分けられる。それぞれの苦情内容は以下に示すとおりである。

(1) 心理的苦情 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感

(2) 生理的苦情 頭痛、耳なり、吐き気、

(3) 睡眠影響

(4) 物的苦情 家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動

このうち、人体に関する苦情は、低周波音との因果関係がはっきりしない場合も少なくない。物的苦情では、振動が原因であると思われていたものが、実は低周波音が原因であったという場合もある。

住民が風車建設に反対する理由や、風車による不快感、わずらわしさ(アノイアンス)、うるさい、健康影響、健康被害 の内容ですが、

住民と風車の距離にあまり影響されないグループ。

業者の説明や事業の進め方に対する不快感、風車建設時の騒音や振動、建設後の道路、山の斜面の崩落、河川にたまる土砂の撤去（農業用水の確保に手間がかかる）、建設後の緑化の為に蒔いた外来種の種で在来種が消えてしまう、植相の変化による影響、動物の行動変化による被害の増加（食物となる植物が減る）、外来種によって増えてしまう草刈りの回数（人件費やガソリン代などの増加）、希少種のバードストライクによる、食物連鎖の崩壊と害獣（ネズミ）の増加

住民と風車の距離に影響されるグループ。

風車が見えるという景観上の問題、家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ、風車による振動の問題（地中伝搬、共振、強制振動）、風車からの強い光“航空障害灯”の問題、風車の回転でのフリッカーの問題、近づくとも気分が悪くなる、低周波音を感知、風車の騒音がうるさい、風車からの音による不快感、不眠、睡眠障害、なかなか寝付けない、よく眠れない、何度も目が覚める、うるさい、胸や腹の圧迫感、頭痛がする、吐き気がする、耳鳴り、めまいがする、鼻血、血圧、リンパ腺の腫れ、胸腹歯耳鼻痛、肩こり、平衡感覚、頭の中で太鼓がなっているようだ、憂鬱になる、怒る、集中できない、神経質になる、緊張する、不安になる、気分のいらいら、コルチゾール検査の数値

住民の社会活動や経済活動に影響を与えるグループ。

眠くて仕事でミスをする、眠くて授業中に寝て、学力が落ちる、居眠り運転で交通事故を起こす、体力が落ちて潜水時間が減る（収入の減少）、安眠妨害での体調不良や体力低下、体調不良者の増加による医療費の増加、転出者が増えて税収が減る、人が減り、地域の行事に支障がでる、漁場が狭くなり収入が減る、魚種の変化で収入が減る、風力発電に対する賛否、業者からの保証金や地域への金銭の支払い

などが考えられます。

このうちで、

安眠妨害を引き起こしそうな不快感を集めてみると、

ラウドネス（うるささ）関連の刺激や状態

風車の騒音がうるさい

アノイアンス（不快感）関連の刺激や状態（ラウドネス以外のもの）

風車が見えるという景観上の問題、家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、風車による振動の問題（地中伝搬、共振、強制振動）、風車からの強い光“航空障害灯”の問題、風車の回転でのフリッカーの問題、近づくとも気分が悪くなる、低周波音を感知、風車からの音による不快感、不眠、なかなか寝付けない、よく眠れない、何度も目が覚める、うるさい、胸や腹の圧迫感、頭痛がする、吐き気がする、耳鳴り、めまいがする、鼻血、血圧、リンパ腺の腫れ、胸腹歯耳鼻痛、肩こり、平衡感覚、頭の中で太鼓がなっているようだ、憂鬱になる、怒る、集中できない、神経質になる、緊張する、不安になる、気分のいらいら、

評価の指標となる数値

コルチゾール検査の数値、A 特性音圧レベル（騒音レベル）、G 特性音圧レベル、1/3 オクターブ解析での数値、最大音圧と周波数、振動レベル計での計測値



不快感が継続すれば、ストレスが溜まります。その程度を評価するものとして、コルチゾール検査があります。

### 10. 1. 1 唾液コルチゾール検査

唾液コルチゾール検査 「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ）」という言葉をご存じでしょうか？近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たちの心身を守ってくれています。しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。

以下の症状に覚えはありませんか？ 朝、起きるのがつらい ぐっすり眠っても、まだ疲労感がある 塩辛い食べ物が無性に欲しくなる 以前楽しんでいたこともすべて億劫に感じる 日常的なことがとても疲れる 性欲の低下 ストレスに対処出来ない、イライラしやすい 病気や怪我、外傷から回復するのに時間がかかる ベッドや椅子から立ち上がる時、クラクラする 軽度のうつ（人生に何の意味も感じられない） 人生の全てがむなしい PMS（月経前症候群）の悪化（手足のむくみ、頭痛、乳房の張り、下腹部の痛み、ふさぎ、不安、怒り、イライラがひどくなる） カフェインがないと仕事ができない 思考がまとまらず、ボーっとする 記憶があやふや 午前10時まで目覚めない 午後3時から4時の間はぼんやりしている 夕食後、やっと元気になる 仕事ははかどらない（医者も知らないアドレナル・ファティーグ ジェームズ・L・ウィルソン著 中央アート出版社より引用） 146 146 上記の症状に 1 つでも当てはまれば、副腎疲労の可能性が考えられます。もし、4 つ以上当てはまる場合には、「唾液コルチゾール検査」で十分に副腎が働いているかどうか調べてみることをお勧めします。副腎疲労 の治療は、原因となるストレスの同定・除去や、生活習慣の改善、サプリメントを用いた栄養療法などが中心となります。唾液コルチゾール検査の方法 一日 4 回（8 時、12 時、16 時、24 時）唾液の採取をします。唾液中に含まれるコルチゾールの日内変動を調べます。 正常な場合：朝の値が最も高く、時間が経つにつれて下がります。 副腎機能が低下している場合：朝の値が低くなるなど、分泌パターンに変化が見られます。こういった値の変化によって副腎疲労の度合いが分かります。（唾液の接種だけの検査ですので、身体への負担はほとんどありません。） 検査費用：15,000 円（税別）

※自費診療 この検査を含めた場合、診断書の発行費用は、1 回あたり 2 万円程度です。

## 10. 1. 2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査

### Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results

“風車騒音と健康に関する調査:結果の概要” には、

“コルチゾールはストレスのバイオマーカーとして確立されており、伝統的に血液や唾液から測定されます。しかし、血液や唾液からの測定値は、コルチゾールの短期的な変動を反映しており、時間帯、食物摂取量、体位、短時間のストレスなど、疫学研究で制御することが非常に困難な多くの変数の影響を受けます。コルチゾールは成長するにつれて髪に取り込まれるため、毛髪サンプル中のコルチゾールを測定することで、このような懸念は大幅に解消されます。1ヶ月あたり 1cm の予測可能な平均成長率で、髪のコルチゾールを測定することで、ストレスへの曝露の月を遡及的に調べることができます。したがって、コルチゾールは、WTN への長期曝露がストレスに関連する主要なバイオマーカーの 1 つに及ぼす潜在的な影響を評価するのに特に有用です。”

“重回帰分析の結果から、毛髪コルチゾール濃度と知覚ストレス尺度のスコアとの間に一貫性が見られた(すなわち、この尺度のスコアが高いほど毛髪コルチゾールの濃度が高い)が、どちらの指標も WTN への曝露によって有意な影響を受けないことがわかった。同様に、自己申告による高血圧(高血圧)は測定された血圧の上昇と関連していたが、測定された血圧または安静時心拍数と WTN 曝露との間に統計的に有意な関連は観察されなかった。”

“多くの変数が測定された睡眠に有意な影響を与えたことがわかりますが、参加者の自宅の近くで計算された屋外の WTN レベルは、睡眠効率、覚醒速度、覚醒時間、総睡眠時間、または眠りにつくのにかった時間と関連していることがわかりました。”

#### “ストレス対策

毛髪コルチゾール、血圧、安静時心拍数の測定値を知覚ストレス尺度に加えて適用し、WTN への曝露がストレスに関連していることが知られている生理学的変化と関連している可能性をより完全に評価しました。コルチゾールはストレスのバイオマーカーとして確立されており、伝統的に血液や唾液から測定されます。しかし、血液や唾液からの測定値は、コルチゾールの短期的な変動を反映しており、時間帯、食物摂取量、体位、短時間のストレスなど、疫学研究で制御することが非常に困難な多くの変数の影響を受けます。コルチゾールは成長するにつれて髪に取り込まれるため、毛髪サンプル中のコルチゾールを測定することで、このような懸念は大幅に解消されます。1ヶ月あたり 1cm の予測可能な平均成長率で、髪のコルチゾールを測定することで、ストレスへの曝露の月を遡及的に調べることができます。したがって、コルチゾールは、WTN への長期曝露がストレスに関連する主要なバイオマーカーの 1 つに及ぼす潜在的な影響を評価するのに特に有用です。

重回帰分析の結果から、毛髪コルチゾール濃度と知覚ストレス尺度のスコアとの間に一貫性が見られた(すなわち、この尺度のスコアが高いほど毛髪コルチゾールの濃度が高い)が、どちらの指標も WTN への曝露によって有意な影響を受けないことがわかった。同様に、自己申告による高血圧(高血圧)は測定された血圧の上昇と関連していたが、測定された血圧または安静時心拍数と WTN 曝露との間に統計的に有意な関連は観察されなかった。”

### “5.3 煩わしさと健康

WTN の不快感は、血圧、片頭痛、耳鳴り、めまい、PSQI のスコア、知覚ストレスなど、いくつかの自己申告による健康への影響と統計的に関連していることがわかった。

WTN の不快感は、測定された毛髪コルチゾール、収縮期血圧、拡張期血圧と統計的に関連していることがわかりました。

自己報告および測定された健康エンドポイントに関する上記の関連は、特定の騒音レベルまたはタービンからの特定の距離に依存せず、多くの場合、道路交通騒音の不快感についても観察されました。

カナダ保健省は、これらの症状が風力タービンへの曝露よりも前からあったのか、あるいは風力タービンへの曝露によって悪化した可能性があるのかを知る方法がないが、この調査結果は、長期にわたる高い不快感と健康との潜在的な関連性を裏付けている。

調査結果は、健康と福祉への影響が、風力タービンへの曝露以上に、コミュニティの不快感に影響を与える活動に部分的に関連している可能性があることを示唆しています。

#### ウ. 客観的に測定された結果

客観的に測定された健康アウトカムは一貫しており、対応する自己申告の結果と統計的に関連していることがわかった。WTN は、多重回帰モデルの適用後、毛髪コルチゾール濃度、血圧、安静時心拍数、または測定された睡眠(睡眠潜時、覚醒、睡眠効率など)に関連していることは観察されませんでした脚注 6。 “

とありますが、

不快感の原因を 20Hz 以上の成分に限定してはなりません。

ですから、

WTN (Wind Turbine Noise) ではなく WTS (Wind Turbine sound) とする必要があるのです。

とある内容を表にすれば次の様になります。

特徴は、コルチゾール検査の結果と、被害者の訴えには相関性があるが、WTN の数値との相関性は薄いという事です。関連性を表にすれば、次の様になります。

(×は関連性無し、○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	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、体調の具体的変化を伴っていることが、コルチゾール検査で証明されていることを示しています。被害者は、正直であり嘘ではないのです。

追加すべき項目は、最大音圧と、その周波数です。

音響キャビテーションでの、気泡発生条件、周波数が低くて音圧が高い。に関連するからです。

カナダ健康省の調査

- カナダ健康省の調査は、風力発電施設の近傍に居住している住民を対象にしており、一時的な影響だけではなく長期的な影響も考慮している

\*環境省「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」(平成25年5月～平成28年11月)

について確認しました。

カナダ政府の HP にある、

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results

には、

となっています。

“風車騒音と健康に関する調査:結果概要”( Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results)の問題点は、WTN (Wind Turbine Noise) と健康の関連を調査する。との方針にあります。

本来ならば、超低周波音での最大音圧との関連を調べるべきなのに、20Hz 以上を対象とする WTN との関連を調べても、上手くは行かないのです。

調査結果は、次の様になりました。

	WTNレベル	睡眠障害	心拍数	WTN不快感	血圧	コルチゾール	知覚ストレス	片頭痛	耳鳴り	めまい
WTNレベル		○	×		×					
睡眠障害	○									
心拍数	×									
WTN不快感					○	○	○	○	○	○
血圧	×			○		△	△	△	△	△
コルチゾール				○	△		○	△	△	△
知覚ストレス				○	△	○		△	△	△
片頭痛				○	△	△	△		△	△
耳鳴り				○	△	△	△	△		△
めまい				○	△	△	△	△	△	

低周波音被害に関する日本の研究結果の項目は相互に関連しているが、WTNとの関連は薄いのです。

表-3 低周波音苦情の分類

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

● 聴力影響, 頭痛, 耳鳴り, 糖尿病, 高血圧, 循環器疾病等の健康影響については, 統計的に有意な知見は認められていない

従って、ここでの“統計的に有意な知見”とは、WTN（A特性音圧レベル、騒音レベル）と“低周波音苦情”の項目との統計的に、深い関連性は認められなかったという意味です。

風車音の特徴をWTNで表現できると考えてことが間違いの原因です。WTNは20Hz以上の周波数から計算されます。風車音では、20Hz以上の周波数を持っている成分のエネルギーは全体の7%です。

WTNの数値は、可聴域での被害“うるさい”との関係は深いのですが、圧迫感や頭痛などの不快感との関連は薄いのです。このような低周波音による被害との関連を求めるには、圧迫感に注目すれば、圧迫の原因そのものである最大音圧を多変量解析での項目にしなくてはならないのです。

安眠妨害に関係が深いのは、ラウドネス（うるささ）ではなく、アノイアンス（不快感）なのです。風車音による被害としての安眠妨害を評価する数値は、圧迫感に注目して考えれば、最大音圧をパスカル値で表現した数値なのです。

アノイアンス（不快感）は、風車音の大きな特徴であり、1日中続く風車音は、長期間にわたり継続的に安眠妨害を引き起こす。

その結果、風車音→安眠妨害→健康被害の形で、風車音は間接的に健康被害を引き起こす。

風車から出る超低周波音は、離散的な周波数構造を持っていて、強風時の波形を見れば、音響キャビテーション

ョンにおける気泡発生条件を満たす。体内に発生する微小な気泡によって、潜水病の状態と同じ状態になるので、頭痛が起きる。これは風車音による直接的な健康被害である。

### 10. 1. 3 風車音の影響

#### 風車騒音の人への影響

- これまでに国内外で得られた科学的知見を踏まえると、風車騒音が人の健康に**直接的**に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。ただし、**風車騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は、わずらわしさ（アノイアンス）を増加させる傾向がある**。静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、**わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている**。
- 風力発電施設から発生する**超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない**。
- 景観のような視覚的な要素や**経済的利益**に関する事項等も、**わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する**。

周辺環境に対する影響の懸念が国内外で顕在化

騒音・低周波音については、**騒音についての環境基準を満たしている場所においても、健康被害に係る苦情等の発生事例あり**

注釈。風力発電施設から発生する音は、通常、著しく大きいものではないが、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的小さな騒音レベル（A特性音圧レベル）であっても苦情等の発生事例がある。

#### 直接的影響と間接的影響

“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”  
との主張について確認すべき事項があります。

“騒音”とは、20Hz 以上の周波数成分であり、20Hz 以上の成分は風車音にはあまり含まれていないのです。ですから、騒音の部分を A 特性音圧レベルとして数値化したものと、被害の関連を調べれば、その関連性は低いのです。これは被害の中身を見ればはっきりします。音が聞こえてうるさいという（ラウドネスに関連する）訴えは少ないのです。

うるさくて眠れない場合もあるでしょう。鉄道も夜は走りません。車の交通量も夜は減ります。風車音は



夜も止まりません。このことによる影響については、

“風車騒音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高い” と言うべきです。

なぜなら、風車騒音は、“睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている” からです。

風車音による被害の形は、“うるささ” だけではありません。

睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等が訴えの内容の訴えがあります。

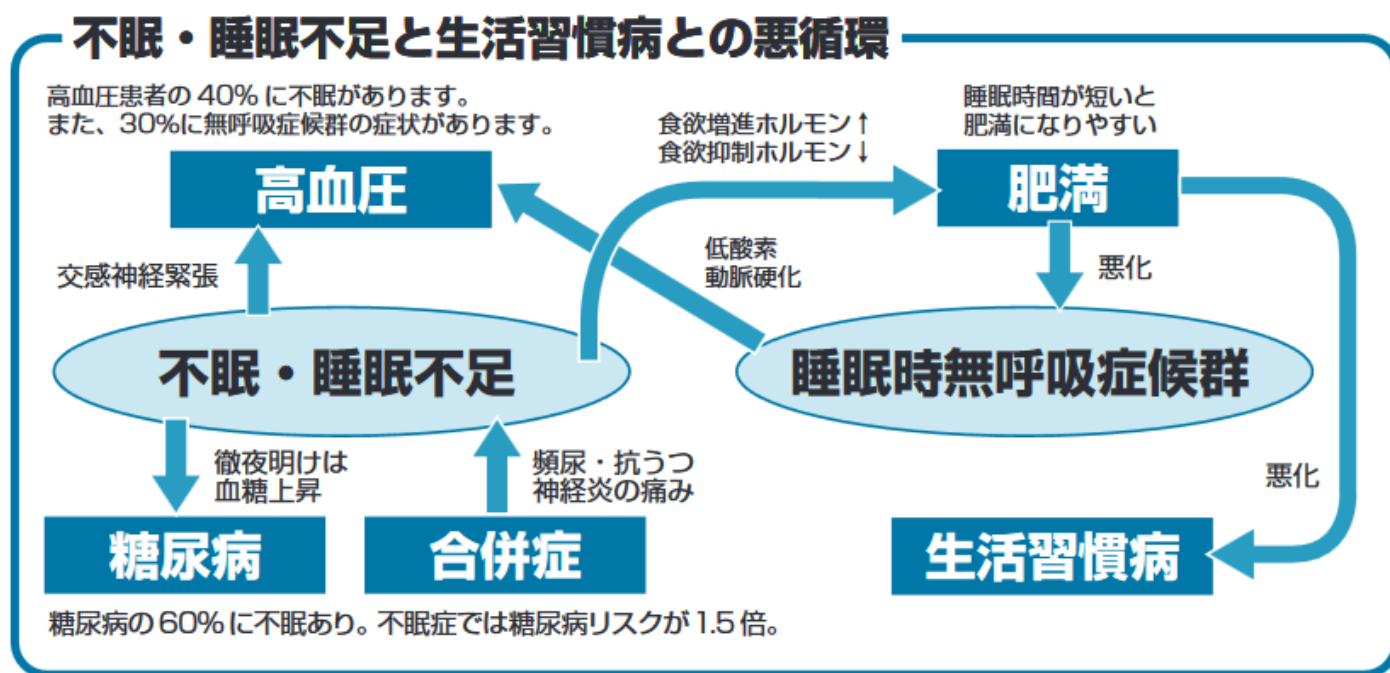
これらの被害は不快感となり（アノイアンスによる）睡眠妨害を引き起こします。

これが可聴域の音が原因で起きるならば、交通騒音でもこのような訴えが多発するはずですが、そうではありません。

風車音が、うるさい（ラウドネス）から眠れない、不快感（アノイアンス）で眠れないのかは別にしても、風車被害の調査結果では最も多いのが、風車音による睡眠妨害の訴えです。

この調査結果を踏まえれば、風車騒音は睡眠を妨げることによって、健康に大きな影響を与えるのです。長期にわたる睡眠不足は、糖尿病や心筋梗塞の要因となります。更に、子供の健やかな成長を妨げるのです。

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



さらに、

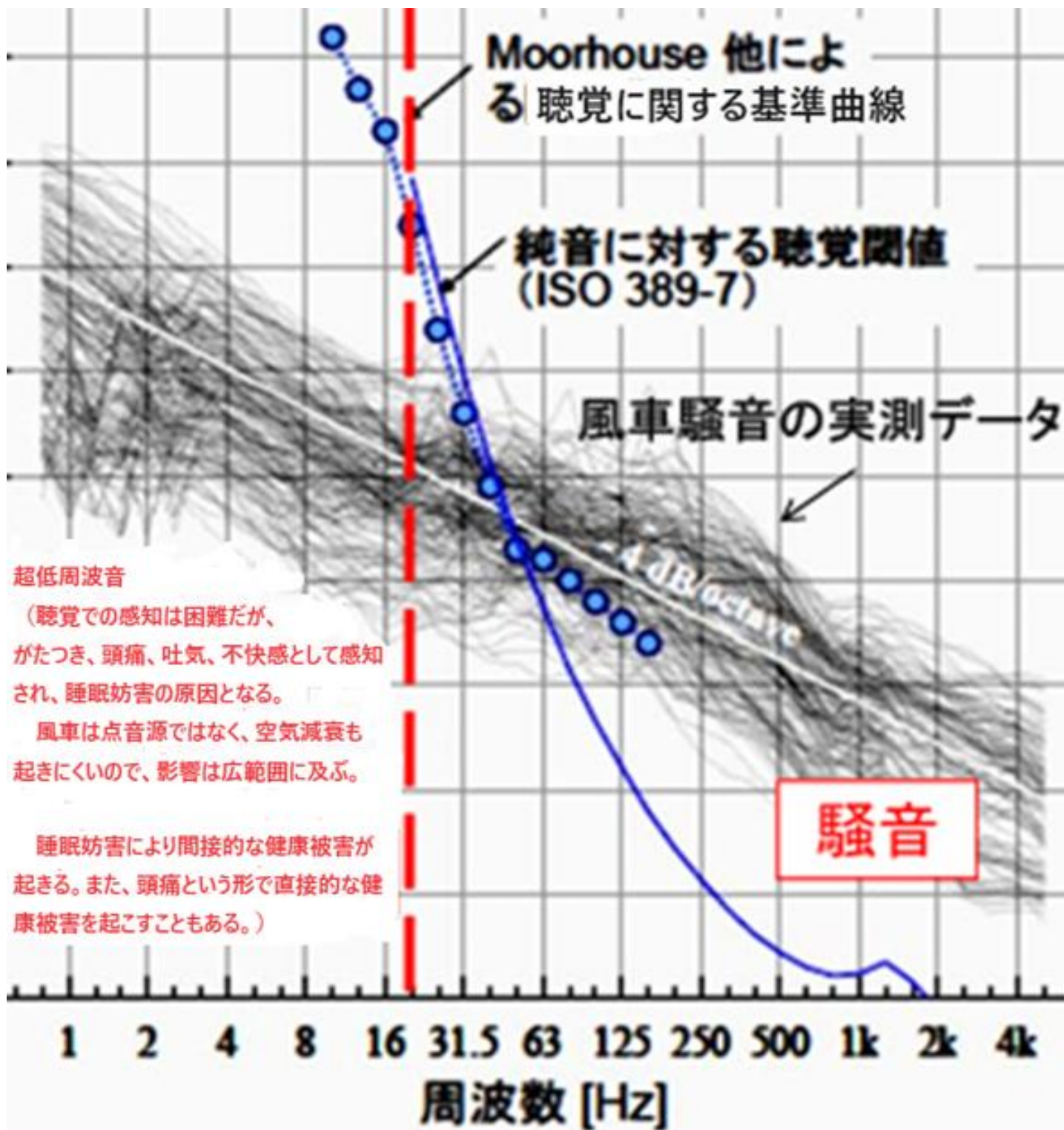
“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”かもしれないが、

“風力発電施設から発生する超低周波音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は高い”

のです。

健康被害のうちで“頭痛”は、風車の超低周波音との密接な関係を持っているのです。“頭痛は、風車の超低周波音が原因で起きる直接的な健康被害である。”と言えます。風車音の性質、音響キャビテーション、潜水病の検討の後で詳しく述べます。

ですから、図は次の様に修正されるべきです。



質問：“明らかな関連”ですが、何がどのように示されたときに、貴社は“明らかな関連”があると認めますか？

(答え)

明らかな関連に関して

“明らか”の意味は色々である。数学の命題で、証明を省いて“明らか”と書いてある事も多いが、初学者にとっては決して明らかではない。

例えば、“ $2+3$ ”を計算せよと言われたら、“ $2+3=5$ ”と答える人がほとんどだと思います。  
では、

“ $2+3=5$  を証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

“ $\sqrt{2}$  が無理数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

“ $\pi$  が超越数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

“超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない”ですが、“風車の運転を止めれば不眠や体調不良が無くなり、運転すれば不眠や体調不良が起きる。”から、関連は明らかである。

と主張したら、関連を認めるのでしょうか？たぶん、企業は認めないのだと思います。

では、風車音が原因で、体内に小さな気泡が発生することを、物理的、数学的に、解明して、コンピュータシミュレーションで示したら、関連が“明らか”になったと認めるのでしょうか？

9) 石井俣夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム, 初版, 2005

この本の、音響キャビテーションに関する内容をさらに研究すれば、現在の物理と数学から見て、関連が明らかになったと言える。と考えます。

実際に被害を受けて苦しんでいる人がいても、その原因を究明し、問題を解決することが出来ないならば、科学の価値は無い。

1/3 オクターブ解析を使い周波数の特定さえもしようとしない。家の中で振動レベル計を使う提案もしない。これでは、問題は決して解決しない。

もちろん調査は必要だが、調査の前に、“健常者の人体に感知される超低周波音は存在せず、建具をがたつかせる超低周波音も存在しない”と言うような考えを流布し、被害を訴えさせなくする風潮を改める必要がある。

また、被害を苦情と言い換え、単なる主観や経済的利益の問題にすり替えてはいけない。

風車建設前の広域的な健康調査とその数値化、風車建設後の広域的な健康調査とその結果の比較。

風車を中心に 3 km 圏内の広域的な健康調査と、10 Km 以内に風車が無くて住民構成が似ている地域のある点を中心とした半径 3 km の地域の健康調査との統計的な比較など、できることは沢山ある。

用語の確認：

検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」には

(注)「超低周波音」についての補足

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

“騒音”と付けば、“(周波数が 20~100Hz までの音を含む)を「騒音」”になってしまう事を考えれば、騒音レベル(20Hz 以上の成分から計算する数値である、A 特性音圧レベル)について、交通騒音と風車音の計測結果が同じ値だったときには、風車音の 99%のエネルギーから求められた数値と、風車音のエネルギーの 7%から求められた数値が同じであることを意味しています。

風車音で最大音圧となるのは 0.8Hz 辺りであり、超低周波音の領域です。圧迫による不快感はこの最大音圧と深い関連を持つので、聴覚で聞こえない音ではあるが、圧迫による不快感、わずらわしさ、アノイアンスとして、影響を及ぼすのだから、交通騒音と風車音では、A 特性音圧レベルが同一でも、アノイアンスに関しては差が出るのです。

風車騒音が

#### ■ 風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音(=聞こえる音)の問題。

可聴域範囲の騒音の問題ならば、アノイアンスに差が出てはいけないのです。なぜなら、可聴域の音の強さ(A 特性音圧レベル)が同一なのですから、同一の結果が生じなくてはならないのです。

景観に原因があるのならば、トレーラーに実験室を載せて、風車に近づきながらの目隠し実験をして、因果関係を明確にする必要があるのです。この目隠し実験をすれば、風車に対する賛否との関連も明確になります。

”検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“には、報告書(p14)に、

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

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



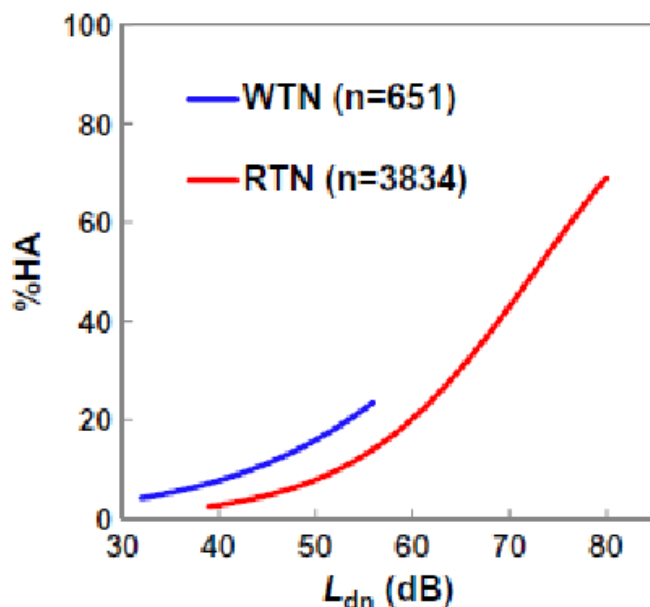


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル ( $L_{dn}$ ) ※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

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

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

と書かれている。

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

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

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

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

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

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

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	7 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・騒々しい事務所の中</li> <li>・騒々しい街頭</li> <li>・セミの鳴き声（2 m）</li> <li>・やかんの沸騰音（1 m）</li> </ul>
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	6 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洗濯機（1 m）</li> <li>・掃除機（1 m）</li> <li>・テレビ（1 m）</li> <li>・トイレ（洗浄音）</li> <li>・アイドリング（2 m）</li> <li>・乗用車の車内</li> </ul>

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"> <li>・静かな事務所</li> <li>・家庭用クーラー（室外機）</li> <li>・換気扇（1 m）</li> </ul>
	聞こえるが、会話には支障なし	4 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市内の深夜</li> <li>・図書館</li> <li>・静かな住宅地の昼</li> </ul>

静か	非常に小さく聞こえる	3 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・郊外の深夜</li> <li>・ささやき声</li> </ul>
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ささやき</li> <li>・木の葉のふれあう音</li> </ul>

であることが分かります。

交通騒音での基準値の表と比較してみます。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
A A	5 0 デシベル以下	4 0 デシベル以下
A 及び B	5 5 デシベル以下	4 5 デシベル以下
C	6 0 デシベル以下	5 0 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。

住宅街での交通騒音での基準値は昼間で 55 d B、夜間で 45 d B です。



騒音レベル（WTN）の値が同じでも、不快感を感じる人の比率は、交通騒音と風車音では差があります。

WTNは不快感の指標にはなりえないのです。指標として役立つためには、同じWTNの値の時に、不快感を感じ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 d B との解説もありますが、グラフを拡大して、水平線を引いて、交点の間隔を調べてみたら、次の様に 4～13 d B になりました。

ズレの理由を次の様に考えました。

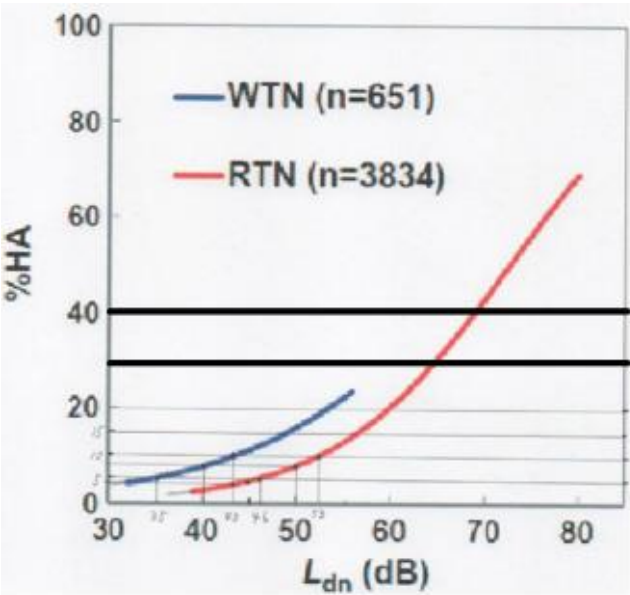
A 特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

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

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

となって、11.5 d B 増加します。

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。

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

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

交通騒音の場合は、53 d B の場合は、10%の人が非常に不快であると感じ、風車音の場合は、20%の人が非常に不快であると感じます。過去の研究結果から考えれば、不快感の内容に大きな違いがあるのです。

なお、この p 14 の記述は、“特定の周波数が卓越した音（純音性成分）”についての分析ではなく、風車騒音の一般的な性質を、交通騒音との比較において述べている事に注意する必要があります。

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

もちろん、健康な人でも安眠できる状態ではありません。

（防音効果を無視して考えれば、）

風車騒音は屋外で計測した A 特性音圧レベル（20 Hz～）を使って評価します。

住宅地域での指針値の下限として 40 d B が示されています。風車騒音での 40 d B は、被害状況を比べながら交通騒音に対応させると、交通騒音での 50 d B に相当します。

風車は夜間も停止しません。もし、風車音で 40 d B の音が夜間放出されると、被害は、夜間に於いて交通騒音 50 d B が発生している状況と同程度の被害が出ます。

交通騒音で 50 d B だと、8%の人が“非常に不快である”と感じます。他の統計結果と比較すれば、“不快である”と感じる人の割合は、その2倍で、16%程度だと推測できます。

合計は、24%になります。上の表では“大きく聞こえる、通常の会話は可能”ですから、24%程度の人が、“睡眠の妨げとなる”と考えるのは当然の結果だと判断できます。

もちろん、眠りが浅くなっても、翌日死亡することはほとんどありません。そんな日が毎日続けば、車を運転中に居眠りします。子供は、学校の授業中に居眠りします。

死亡事故や、生涯賃金の減少が予測できます。もちろん、これは風車騒音（0Hz 以上）による直接の影響ではありません。風車騒音（0Hz 以上）は、毎日毎日ほんの少しだけ、安眠を妨げただけです。風車には責任はありません。眠い時に運転した人が悪いのです。眠いからと言って授業中に居眠りした生徒が悪いのです。

（となりますが、室内での影響を考えると、もう少し複雑になります。）

これだけでも、大きな問題ですが、風車騒音（0Hz 以上）のエネルギーを考えるともっと大きな問題があることが分かります。

これを検討するには、風車騒音でのグラフと、交通騒音でのグラフがずれている理由を考えなくてはなりません。

その理由については、次の事項を手掛かりにして考えてみます。

つぎに「最も悩まされている音」に関する質問に対して「風力発電施設の音」を挙げた 119 件の回答につい

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

残念ながら、このアンケートと分析では、10～13 d B の差を説明できません。

“わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり”とあり、アノイアンスの他の原因で 91%から 87%の影響力を与えるものとして、“景観への影響”を与えるのは、乱暴すぎます。

わずらわしさ（アノイアンス）に関してのこの差の原因を“景観への影響”としても数値的な誤差の説明とはなりません。影響力が 9%～13%しかないものに責任を負わせてはいけません。“他の要因”について考える必要があります。

音の持つエネルギーの全体量に注目すれば、この差 10～13 d B の原因に関する手掛かりが見つかります。

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

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

$p_A$ ：測定された周波数重み A 付きの（瞬時）音圧の実効値  
 $p_0$ ：基準となる音圧の実効値（20  $\mu$  Pa）（Pa はパスカルという圧力単位）

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

## 騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

### 音圧レベル＜物理的な大きさ＞

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

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 × 10<sup>-5</sup>) Pa=0dB

$p_0$ :基準音圧 2 × 10<sup>-5</sup> (Pa) (=20 $\mu$ Pa)

\* OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

を参考にして計算すれば、A 特性音圧レベル（20Hz～）が 40 d B すなわち、

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

のときに、全体のエネルギー（14 倍）を含めた評価は、

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

となる。（1 d B の誤差が出るが、近似値としては良い値だと考えます。）

音のエネルギーが 14 倍になった時には、可聴域のエネルギーを評価して 40 d B の場合に、全体のエネルギーを評価した値が 51 d B になると考えます。

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

全体のエネルギーを横軸に取った形で比較すれば、風車音と交通音の差はほとんどないことになる。

これならば、測定と数値化が難しい“アノイアンス”を持ち込まなくても、グラフのズレが説明できる。

もちろん、より精密な考察が必要となるが、少なくとも手がかりは得られたと考えます。

交通騒音（0 Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 400 Hz 程度の周波数成分なので、これに対しては防音窓の設置でかなり防げるが、風車騒音（0 Hz 以上）では、高い音圧を持っているのは 0.5 Hz とか 0.8 Hz の周波数成分であり、風車騒音（0 Hz 以上）のエネルギーの 93% が超低周波音（0 Hz・20 Hz）の部分であるので、この周波数の音はエネルギー透過率が高いので防音窓では防げないのです。

これらの数値は、屋外での計測値です。

このエネルギー分布と音の透過率を考えながら、室内の状況を考えます。

石竹達也 氏の研究内容に、

## 最近接風車から約1,000 m離れた地区の屋内外の超低周波音レベルおよび騒音レベル

- G特性等価音圧レベル $L_{\text{Geq},n}$ は、屋内で44～55 dB、屋外で48～59 dBであった。屋内外音圧レベル差は最大で7 dB程度：超低周波音領域で窓および壁の遮音効果は小さい。
- 等価騒音レベル $L_{\text{Aeq},n}$ は、屋内で16～32 dB、屋外で30～51 dBであった。屋内外音圧レベル差は4～24 dBで、ばらつきあり

と書かれている。

これを使って考えてみます。

音の全体のエネルギーを 100% とします。93% が超低周波音（0 Hz～20 Hz）、7% が騒音（20 Hz 以上）のエネルギーだとします。

A 特性音圧レベル（20 Hz～）で 40 d B の風車騒音では、エネルギーの 7% に対する評価値が 40 d B となっています。この部分に対しては、防音窓によって 24 d B の減衰が得られます。従って、16 d B となって、次

の表から

静か	非常に小さく聞こえる	3 0 db	・ 郊外の深夜 ・ ささやき声
	ほとんど聞こえない	2 0 db	・ ささやき ・ 木の葉のふれあう音

ほとんど聞こえないレベルとなる。

超低周波音（0Hz～20Hz）の部分は 7 d B しか減衰しません。  
そこで、次のように考えてみます。  
交通騒音（20Hz 以上）で 50 d B に相当する風車騒音（0Hz 以上）について、  
騒音（20Hz 以上）の部分が 40 d B、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を加えた合計が 50 d B  
だとします。

さて、騒音レベルの計算ですが、次の資料を確認します。

【参考】：1/3 オクターブのデータより 1/1 オクターブのデータへの変換

既知の 1/3 オクターブデータの dB 値より対応する 1/1 オクターブバンドデータの dB 値へ変換するには、求めたい 1/1 オクターブバンドに対応する 1/3 オクターブバンドデータの dB 値の和を計算します。例えば、1/1 オクターブの中心周波数 1000 Hz のバンドデータ値を求める場合、対応する 1/3 オクターブのバンドデータが次のような dB 値であるとき；

800 Hz	73 dB
1000 Hz	77 dB
1250 Hz	75 dB

；中心周波数 1000Hz の 1/1 オクターブバンド値は次の式から求められます。

$$10 \log_{10} \left( 10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}} \right) = 80 \text{ (dB)}$$

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。

そこで、

$$\begin{aligned}(P_L)^2 + (P_H)^2 &= P_T^2 \\ 40 &= 10 * \log_{10}(P_H/P_0)^2 \\ 50 &= 10 * \log_{10}(P_T/P_0)^2\end{aligned}$$

とすれば、

$$\begin{aligned}(P_L/P_0)^2 &= (P_T/P_0)^2 - (P_H/P_0)^2 \\ &= 10^5 - 10^4\end{aligned}$$

$$10 * \log_{10}(P_L/P_0)^2 = 10 * \log_{10}(10^5 - 10^4) = 10 * (4 + \log_{10}9) = 49.5$$

この部分が、7 d B 減衰すれば、42.5 d B

$$10 * \log_{10}(P_{L425}/P_0)^2 = 42.5$$

とおくと、

$$(P_{L425}/P_0)^2 = 10^{4.25}$$

さらに、

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

での減衰が 24 d B なので、

$$40 - 24 = 16 = 10 * \log_{10}(P_{H16}/P_0)^2$$

とにおいて、

$$(P_{H16}/P_0)^2 = 10^{1.6}$$

$$(P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2 = 10^{4.25} + 10^{1.6}$$

このとき、

$$10 * \log_{10}((P_{L425}/P_0)^2 + (P_{H16}/P_0)^2) = 10 * \log_{10}(10^{4.25} + 10^{1.6}) = 42.5$$

となります。

エネルギーの全体を考えると、室内での風車騒音（0Hz 以上）は、交通騒音（20Hz 以上）に変換して考えた場合の 42.5 d B に相当すると言えます。

交通騒音（20Hz 以上）で 45 d B だった場合はどうなるかと考えると、これは、24 d B の減衰がそのまま使えて、室内では 21 d B になると言えます。

交通騒音（20Hz～100Hz）で 40 d B だった場合は、24 d B の減衰があれば、16 d B になります。

交通騒音に対しては、家は防音窓を付ければ、安眠を保証してくれます。

周波数が高ければ、防音窓は私たちの生活を守ってくれますが、周波数が低い風車超低周波音（ISO7196）の場合には、守ってはくれないのです。

屋外で測った時の、風車騒音（0Hz 以上）での 40 d B は、室内での交通騒音（20Hz 以上）の 42.5 d B に相当します。防音対策をした後の室内での、16 d B と 42.5 d B では、大きな違いがあります。



普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	5 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 静かな事務所</li> <li>・ 家庭用クーラー（室外機）</li> <li>・ 換気扇（1 m）</li> </ul>
	聞こえるが、会話には支障なし	4 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 市内の深夜</li> <li>・ 図書館</li> <li>・ 静かな住宅地の昼</li> </ul>
静か	非常に小さく聞こえる	3 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 郊外の深夜</li> <li>・ ささやき声</li> </ul>
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ささやき</li> <li>・ 木の葉のふれあう音</li> </ul>

風車が大型化すると、この傾向はさらに顕著になります。従って、

“これらの結果は、風車騒音は超低周波音（ISO7196）による問題であるということを示している。”

“風車騒音（0Hz 以上）は通常可聴周波数範囲の騒音（20Hz 以上）としてではなく、超低周波音（ISO7196）の問題として議論すべきであることを意味している。”

のです。

ここでは、聴覚を中心に考えたが、圧力の感知や、共振による揺れの感知、共振による 2 次的な騒音の発生も検討が必要です。A 特性音圧レベル（2 0 Hz～）はこれを表現できません。

10.2 間接的な健康影響（安眠妨害）

10.2.1 風車による睡眠へ影響

風車音の影響は聴覚に対してだけではなく、風車音の被害を把握するには8つの観点が必要です。

音がうるさい

圧迫感や吐き気などによる不快感

直接的な健康被害としての頭痛

音が原因の建具や床のガタツキを感じる

夜間の光（航空障害灯）による安眠妨害

風車の陰によるイライラ

風車振動の地中伝搬（大型風車による地盤振動伝播 小野寺 英輝）

音源としての風車の形と距離減衰

です。

どれが起きても、睡眠を妨げられます。

10.2.2 ガタツキ閾値

銭函での G 特性音圧レベルは 67.950932 d B ですから、100 d B よりは低い数値です。

ISO7196 の中心周波数での、平坦特性での音圧レベルは、

中心周波数（Hz）	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
銭函（平坦特性 d B）	51.39	57.76	62.60	65.99	69.41	71.60	71.82	71.97	71.45	71.53	71.33
中心周波数（Hz）	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
銭函（平坦特性 d B）	71.54	70.30	69.88	67.92	63.91	59.42	55.67	51.17	47.02	48.24	49.40
中心周波数（Hz）	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
銭函（平坦特性 d B）	44.68	41.86	40.38	44.90	42.97	40.98	38.58	37.28	34.08	33.15	

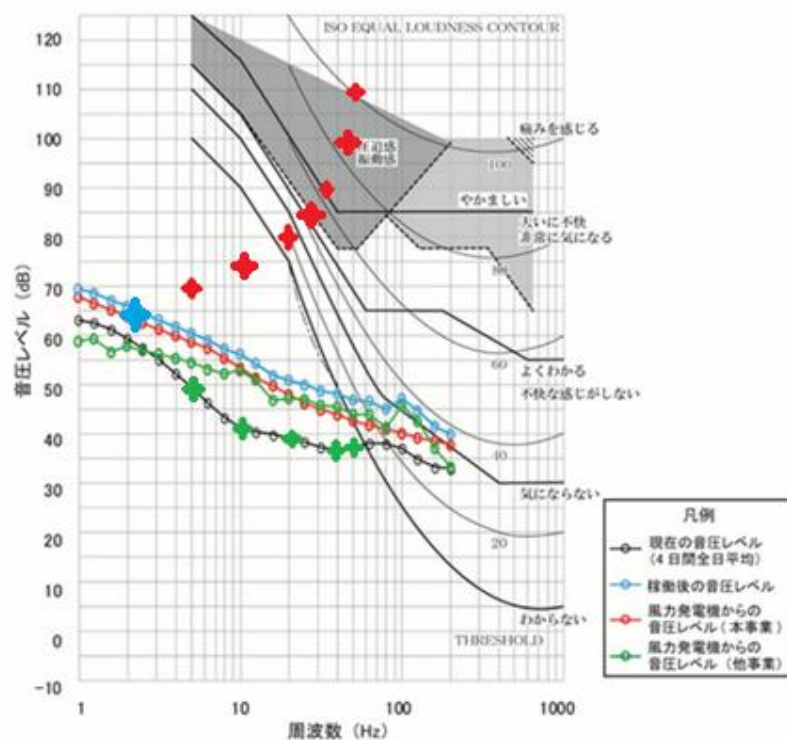
5Hz では 69.88≒70 d B、1.25Hz では 71.97 d B です。ガタツキ閾値の数値、5Hz で 70 d B になっています。

表1 低周波音による物的苦情に関する参照値

1/3 オクターブバンド 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

ガタツキが起きて、夜中に目が覚めても不思議ではありません。

上の表では、周波数が下がればガタツキ閾値も小さくなります。



上の図から、2Hz で 65 d B 程度で、ガタツキが起きると考えられます。

### 10. 2. 3 圧力変動の感知

音は粗密波であり、密になった場合は人体に掛かる大気圧は増加し、疎になった場合には大気圧は減少する。次の研究報告によれば、この気圧の変化を感知できると考えられる。

これは、1 Hz の粗密波を、音として感知するのではなく、大気圧の変動として感知できるという意味です。根拠は、次の論文です。

気圧の変化を感じる場所が内耳にあった —気象病や天気痛の治療法応用に期待— （佐藤純教授らの共同研究グループ）

【2019 年 1 月 29 日】

プレスリリース

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

研究成果のポイント

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

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

研究の背景、概要と成果

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

実験の内容は次のとおりです。

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

図 1

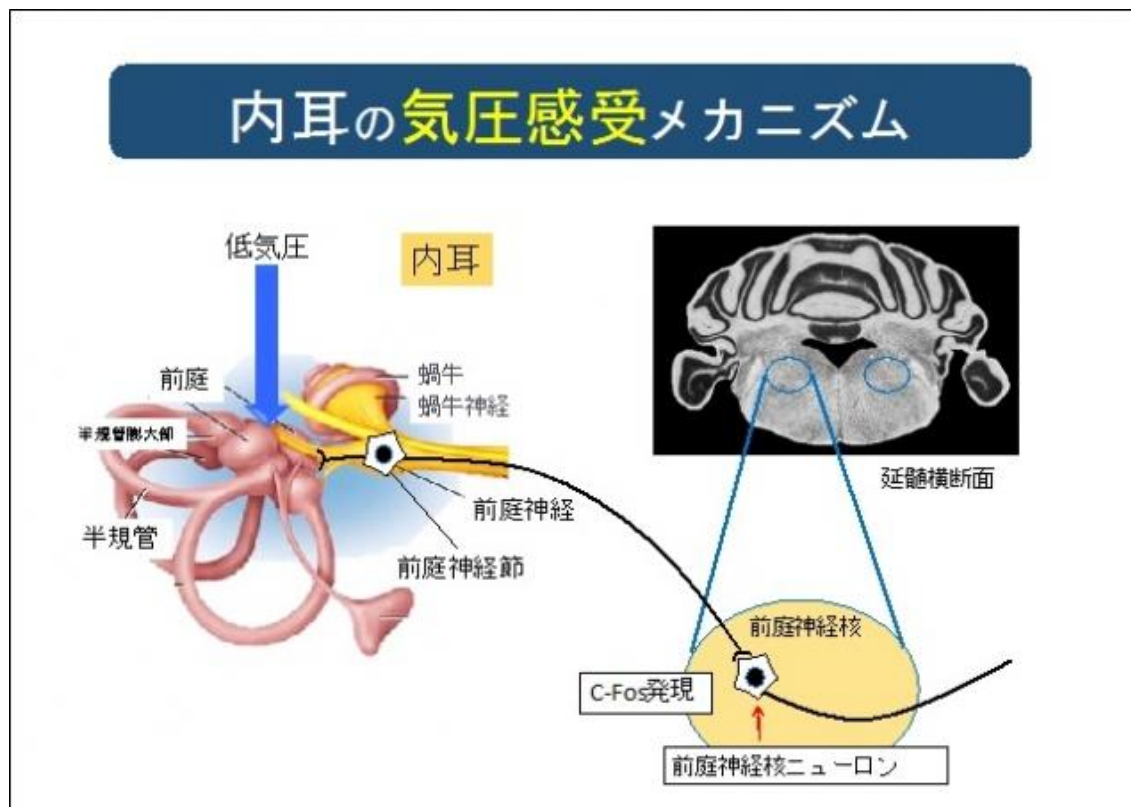
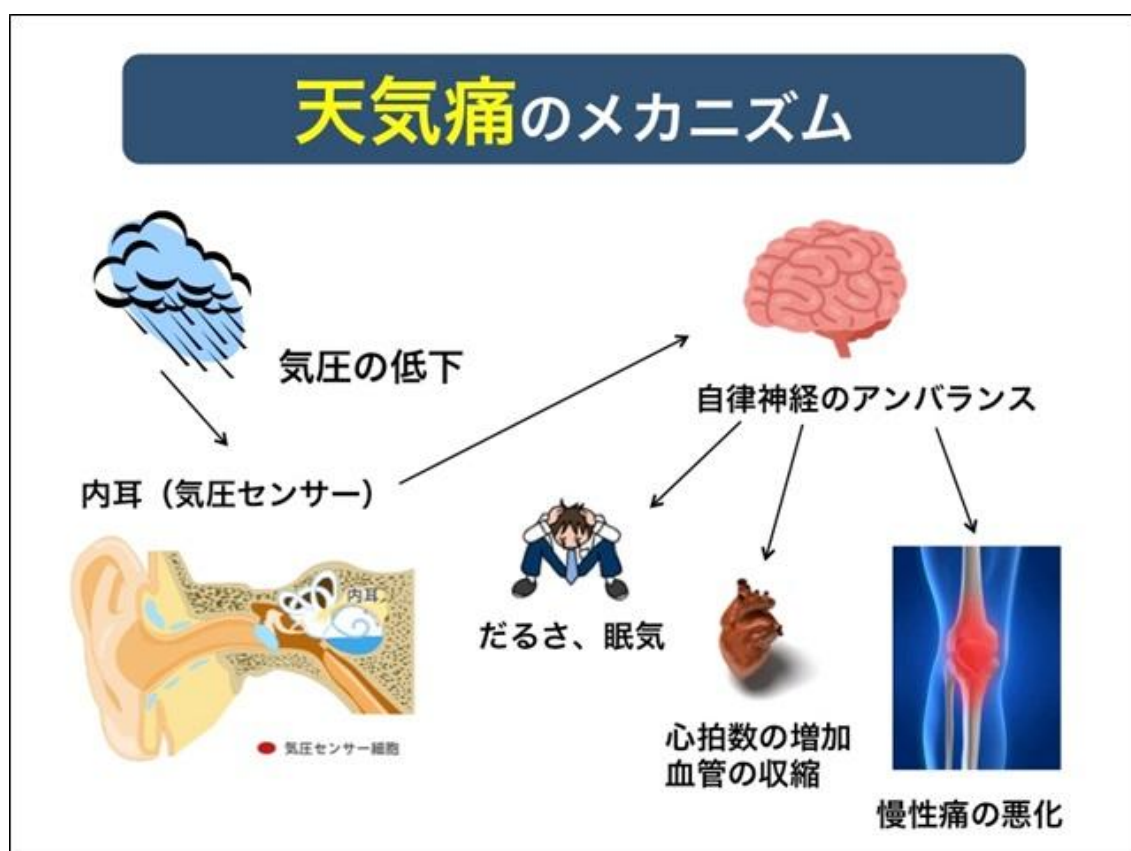


図 2



今後の展開

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

#### 研究成果の公表

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

#### 論文題名：

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

#### 問い合わせ先

佐藤純（中部大学 生命健康科学部 理学療法学科教授）

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

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

周波数が 0.5 (Hz) の音を考える。

波長は、 $340/0.5=680\text{m}$ 、波は、1秒間に 0.5 回、したがって、2秒に1回の割合で繰り返す。

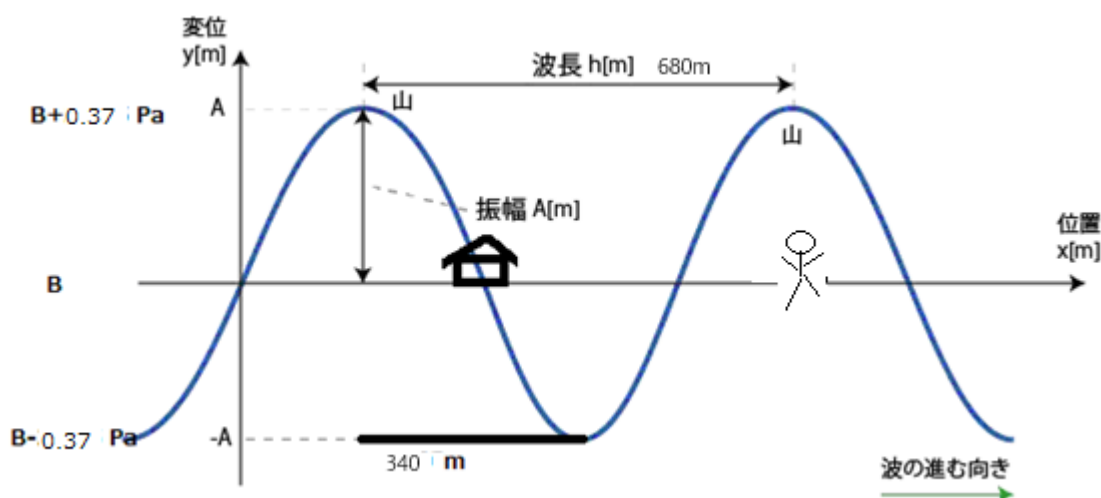
音圧を 0.37 (Pa) とし、ある時刻  $t$  を固定すれば、下の図のようになる。

右の人物（風船のように反応すると考える）は、

気圧が高くなった中にいるので、押しつぶされている。

1秒後には波が右に 340m 進むので、気圧が低くなり、膨張する。

2秒後には、波は 680m 進むので、気圧が高くなり、押しつぶされる。

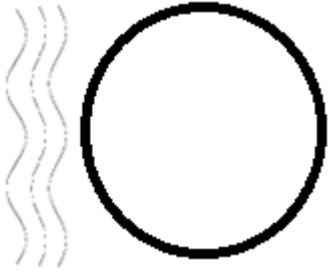


押しつぶされたり、膨張したりすれば、圧迫感を覚えるのは当然です。これは、聴覚での把握とは言えません。

周波数が高ければ、風船の表面は振動するでしょう。これは、鼓膜が振動するのと同じですから、



この場合は、音を聴覚で感知したと言えます。



ですから、表面が振動する反応と、表面が振動しないで押しつぶされたり膨張したりする反応の2種類があると考えられます。

音に対して、聴覚での“うるささ”としての感知と、体に対する圧力変動を“圧迫感”として感知する場合の2種類があると考えerべきです。こちらは、頭痛などとの関連が考えられます。

従って、超低周波音の感知には、聴覚メカニズムによらないものがある。と考えるべきです。

人間の体は、人体に加わる圧力の変化に敏感に反応することは、七浦地区に住み海に潜ってアワビを採っている人ならば皆が知っています。深く潜ったり、浮き上がったりする動作を繰り返すと、頭痛がしたり、鼻血が出たり、耳が痛くなったりします。人体に加わる圧力変動の観点からの議論する必要があります。

私も海に潜って漁をします。潜り始めて1週間くらいは頭痛がします。圧力変化に体が直接反応して、鼻血が出たり、耳が痛くなったりします。

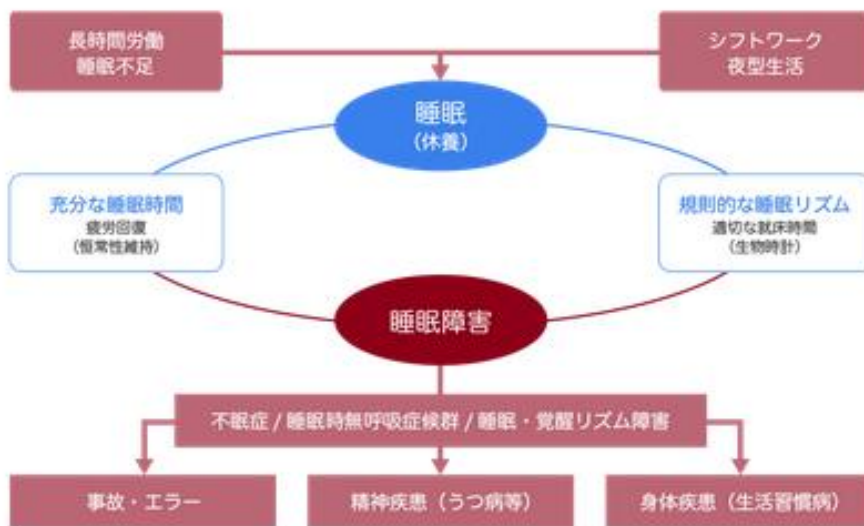
## 10. 2. 4 不眠による被害

安眠が妨害される要因としては、“音がうるさい”、“圧迫感や不快感がする”、“頭痛がする”、“振動を感じる”などがあります。

睡眠と生活習慣病との深い関係（厚生労働省）

質の悪い睡眠は生活習慣病の罹患リスクを高め、かつ症状を悪化させることが分かっています。睡眠問題は「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題に分けられます。睡眠習慣については睡眠不足やシフトワークなどによる体内時計の問題、睡眠障害については睡眠時無呼吸と不眠症の問題を取り上げ、それぞれ生活習慣病との関係を明らかにします。

### 「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題



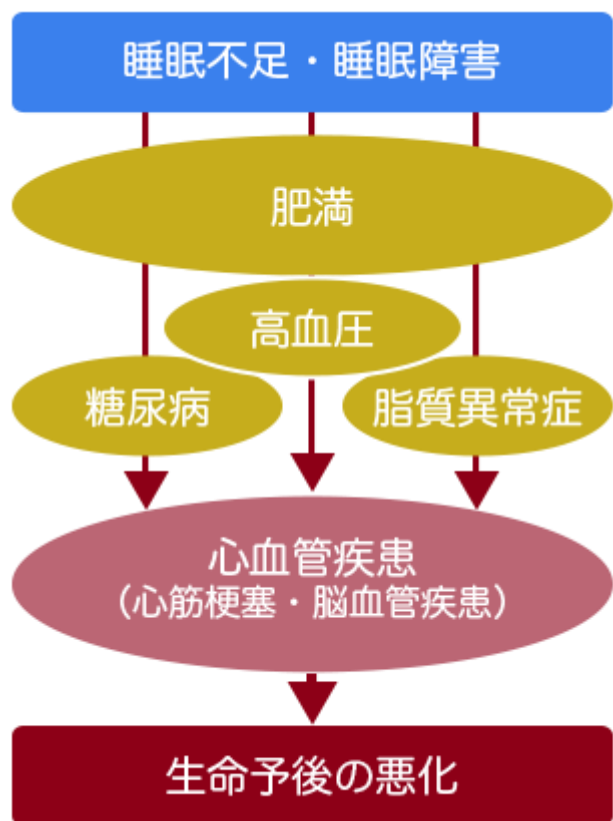
日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図 2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いかわかりいただけたと思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。

慢性的な睡眠不足は日中の眠気や意欲低下・記憶力減退など精神機能の低下を引き起こすだけではなく、体内のホルモン分泌や自律神経機能にも大きな影響を及ぼすことが知られています。一例を挙げれば、健康な人でも一日 10 時間たつぷりと眠った日に比較して、寝不足（4 時間睡眠）をたった二日間続けただけで食欲を抑えるホルモンであるレプチン分泌は減少し、逆に食欲を高めるホルモンであるグレリン分泌が亢進するため、食欲が増大することが分かっています。ごくわずかの寝不足によって私たちの食行動までも影響を受けるのです。実際に慢性的な寝不足状態にある人は糖尿病や心筋梗塞や狭心症などの冠動脈疾患といった生活習慣病に罹りやすいことが明らかになっています。

また日本人の約 2 割は交代勤務に従事しています。夜勤に入ることによって、体内時計と生活時間との間にずれが生じやすくなります。体内時計にとって不適切な時間帯に食事を取ることで生活習慣病の原因のひとつになると推測されています。夜間には体内時計を調節する時計遺伝子の一つである BMAL1 遺伝子とそ

の蛋白質が活性化しますが、この蛋白質は脂肪を蓄積し分解を抑える作用を持っています。すなわち「夜食べると太る」という我々の経験は科学的にも正しかったわけです。夜勤中についつい間食をしている方にとっては耳の痛い話ではないでしょうか。

#### 睡眠障害と生活習慣病



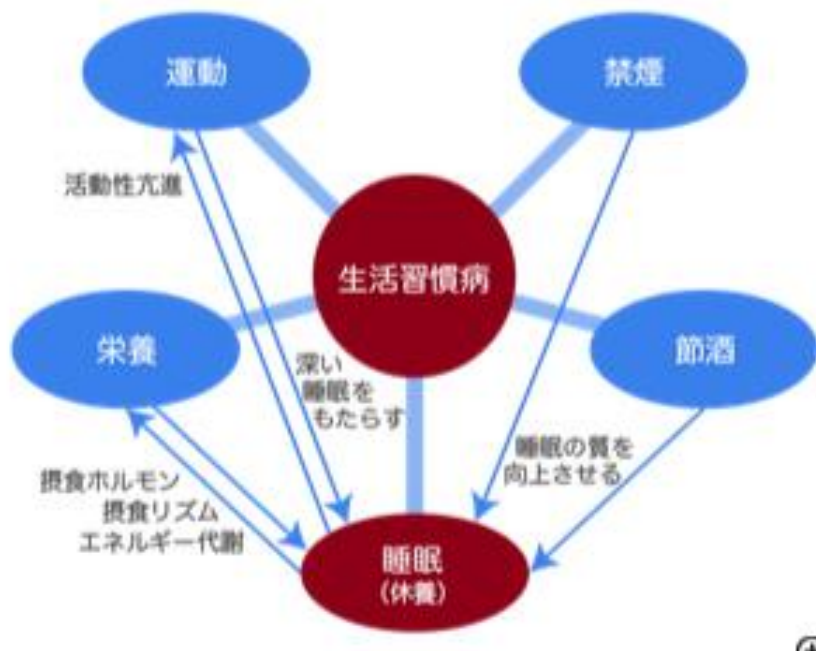
睡眠障害もまた生活習慣病の発症に関わっています。以前から生活習慣病患者さんでは睡眠時無呼吸症候群や不眠症の方が多くことが知られていました。その後の多くの研究によって、睡眠障害が生活習慣病の罹患リスクを高め症状を悪化させることや、その発症メカニズムが明らかになりつつあります。

例えば睡眠時無呼吸症候群の患者さんでは、夜間の頻回の呼吸停止によって「低酸素血症と交感神経の緊張（血管収縮）」「酸化ストレスや炎症」「代謝異常（レフチン抵抗性・インスリン抵抗性）」などの生活習慣病の準備状態が進み、その結果として5～10年後には高血圧・心不全・虚血性心疾患・脳血管障害などに罹りやすくなります。

また慢性不眠症の患者さんもまた、「交感神経の緊張」「糖質コルチコイド（血糖を上昇させる）の過剰分泌」「睡眠時間の短縮」「うつ状態による活動性の低下」など多くの生活習慣病リスクを抱えています。入眠困難や中途覚醒・早朝覚醒など不眠症状のある人では良眠している人に比較して糖尿病になるリスクが1.5～2倍になることが知られています。

#### 睡眠障害もまた生活習慣病のひとつ

21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）では「栄養・食生活の管理」「身体活動・運動」「禁煙・節酒」などと並んで「十分な睡眠の確保」に取り組んできました。不規則な食事・運動不足・ニコチン・アルコール過飲によって睡眠状態は悪化しますので、これら生活習慣を改善することは良質な睡眠を保つことにもつながります。逆に言えば睡眠障害もまた生活習慣病のひとつと考えるべきでしょう。



日々の生活の中で睡眠時間はともすれば犠牲になりがちです。ただし今回ご紹介したように長期にわたり睡眠不足を続けたり、睡眠障害を放置したりするとは私たちの健康を大きく害します。睡眠問題は静かにしかし着実に心身の健康を蝕みます。睡眠習慣の問題や睡眠障害を放置せず、ご自分の睡眠状態に疑問を感じたら、かかりつけ医もしくは睡眠専門医に相談をしてみましょう。

## 安眠妨害は拷問の手法

安眠妨害は、拷問の手段なのです。睡眠妨害が拷問の技法であることは、昔から知られています。

PhantaPorta  
パンタポルタ



魔女狩りの常套手段！ 人間性を奪う拷問「睡眠妨害」の恐怖

拷問の歴史

西洋史

狸穴醒

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、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えます。

## 睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。

### 疲労物質と睡眠

#### 疲労とは？疲労の原因と回復方法

公開日：2016年7月25日 12時00分

更新日：2019年8月5日 15時59分

#### 疲労とは

疲労は「疲れ」とも表現され、痛みや発熱と同様に「これ以上、運動や仕事などの作業を続けると体に害が及びますよ」という人間の生体における警報のひとつです。疲労は、人間が生命を維持するために身体の状態や機能を一定に保とうとする恒常性（ホメオスタシス）のひとつとして、痛みや発熱などと並んでそれ以上の活動を制限するサインとして働いています。

#### 疲労の定義

日本疲労学会では、「疲労とは過度の肉体的および精神的活動、または疾病によって生じた独特の不快感と休養の願望を伴う身体の活動能力の減退状態である」1)と定義されています。疲労は、心身への過負荷により生じた活動能力の低下のことを言い、思考能力の低下や、刺激に対する反応の低下、注意力の低下、注意散漫、動作緩慢、行動量の低下、眼のかすみ、頭痛、肩こり、腰痛などがみられます。

#### 疲労の原因

自律神経の中枢部では、身体の器官や組織の調節を行い、絶えず生命維持のための身体機能を一定に保っています。運動時には、運動強度や体調に応じて呼吸や心拍、体温などの機能の調節を行っており、身体にかかる負荷に合わせて生体機能のコントロールを行う自律神経の中枢も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中枢にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中枢がある脳がダメージを受けることで疲労が起こるとされています。

疲労を起こすのは活性酸素による酸化ストレスで、神経細胞が破壊されるからであると考えられています。運動などのエネルギーをたくさん使う活動では、酸素が多く消費されるとともに活性酸素も多量に発生します。活性酸素が発生すると、活性酸素を分解して体内から除去する抗酸化酵素が働くようになっていますが、発生する活性酸素の量が抗酸化酵素の働きを上回ると自律神経の細胞や筋肉が活性酸素によって攻撃されて疲労へとつながります。

加齢や紫外線を浴びることは活性酸素の影響を受けやすくなるため、疲労が起こりやすくなります。睡眠障害や睡眠時無呼吸症候群も疲労を蓄積させる原因となることが言われています。

#### 乳酸は疲労物質か？

「乳酸は疲労物質」という考え方がされていましたが、現在では乳酸が疲労を起こす物質であるという考えは間違いであるとされています。疲労した筋肉では乳酸の濃度が高くなり、筋肉のパフォーマンス低下がみられるけれども、乳酸がパフォーマンスの低下をもたらすのではないとされています2)3)。

最新の研究では、高負荷の運動時に、糖質がエネルギーとして使われる際に乳酸が産生され、筋肉の細胞のエネルギー源として再利用されることがわかっています。運動中の脳内でも神経細胞のエネルギー源として乳酸が働くことも確認されています2)。

#### 疲労と病気

疲労によって身体の機能を一定に保つ恒常性が乱れると自律神経失調症の症状がみられるようになります。疲れが蓄積すると防衛反応としてステロイドホルモンが分泌されます。ステロイドホルモンが多量に分泌されると、血管の老化による動脈硬化やインスリン抵抗性による高血糖・肥満などのリスクが高まり、高血圧、糖尿病、脂質異常症などの生活習慣病、メタボリックシンドロームにかかりやすくなって心筋梗塞や脳梗塞などの原因となります。ステロイドホルモンは免疫を下げる作用もあり、さらに疲労が蓄積することで免疫系が働きにくくなり、がんの進行から身体を守る防衛機能も低下します。

#### 疲労の回復方法

良質な睡眠をとることが疲労回復に最も効果的であるとされています。1日3食のバランスのとれた食事を摂り、生活リズムを整えること、食事は眠る時間の3時間前に済ませておき、眠る1～2時間前に8分程度、38～40度のぬるま湯にみぞおちの辺りまでつかることが質のよい睡眠を招きます。

との記事も公開されています。





騒音での不眠は、学生の成績にも大きく影響します。睡眠不足の生徒は授業中に居眠りします。それを教員に注意され、教員とのトラブルとなることも多い。体力低下で体育の授業中の事故も増えると考えられる。この件数についての実態調査をする。

風車の近くに住む生徒の成績の分布、風車から 10 k m 以上はなれたところに住む生徒の成績の分布を調査する。学校には、風車建設前の生徒の成績データが残っている。各家庭にも成績通知表が残っている。これを持ち寄れば、風車建設前と建設後の成績の変化が数値化できる。これらの値を、風車建設前と建設後で比較する。

睡眠不足の問題は、生徒の学力が低下となり、生涯賃金にも大きく影響する。先生に居眠りを注意されてトラブルを起こし、不登校になることも考えられます。

これが被害であることは明白です。

海に潜ってアワビを採る漁師にとっては、睡眠不足は命に関わる大問題です。夏の暑いときに畑で草取りをする人にとっても、体力不足での熱中症は命に関わる事柄です。トラックで荷物を運ぶ人にとっても、睡眠不足は交通事故に直結する重大問題です。

この常識を無視して、

“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。

朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。

命に係わる事柄です。もちろん、騒音が 1 日だけとか、夕方 6 時から朝 6 時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、1 年中、24 時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

“直接的”と“明らかな”という言葉で騙そうとしてはいけません。

“風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”との表現は、“風車騒音が人の健康や労働に対して間接的に影響を及ぼし、地域社会を崩壊させる可能性は極めて高い”と言い換えるべきです。

風車騒音は、

わずらわしさ（アノイアンス）に伴う睡眠影響を生じる可能性はあるものの、人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。

に関しては、

風車騒音の意味が問題になる。

そして、

人間の健康に直接的に影響を及ぼすの意味も問題です。

風車音を浴びて、数日後に死亡したと言うような事態は聞いたことが無い。

強烈な放射線を浴びて、数日後に死亡した人はいる。放射線と風車からの音はだいぶ違います。

極めて周波数が高い、超音波では、直接的と言える被害も出ています。もちろん、超音波を聴覚で捉えることは出来ません。聴覚閾値以下の音です。しかし、この聴覚閾値以下の超音波に人間の体は直接反応します。超音波を使った美顔器でも、使い方によっては事故が起きます。

この場合は、超音波を感知したと言うよりは、超音波に直接反応したと言うべきでしょうが、聴覚閾値に至らない音が、人体に直接作用して被害を生む事もあることが分かります。

“超音波を使った美容施術” 規制が必要か検討へ 消費者事故調

2022 年 7 月 27 日 7 時 07 分

エステサロンなどで超音波の技術を使った美容施術を受けた結果、やけどやシミができるといった事故が相次いでいるとして、消費者庁の安全調査委員会が調査の中間結果を報告し、機器の使用などに関して法令による規制が必要かを検討していくことを明らかにしました。

事故が相次いでいるのは、エステティックサロンなどで行われている、肌のたるみを取ったり痩身（そうしん）効果を得たりするために「HIFU」と呼ばれる機器で超音波を照射する施術です。

去年から調査を進めている消費者庁の安全調査委員会、いわゆる消費者事故調が 26 日に調査の中間結果を報告しました。

それによりますと、2015 年 11 月からことし 5 月末までの間に 110 件の事故の情報が寄せられ、このうち 76 件はエステサロンで起きていて、

内訳は

▽やけどが 45 件、

▽皮膚が赤く腫れる、シミができたなどの「皮膚障害」が 23 件、

▽マヒが残ったといった「神経・感覚の障害」が 13 件などとなっています。

これまでの調査では、施術者が施術の内容や注意事項などを十分に説明しておらず、利用者がリスクを理解していないケースも多いことや、非常に強い照射能力があり、やけどなどを引き起こすおそれがある機器がエステ店で広く使われていることが分かったということです。

事故調は今後、機器の使用などに関して法令による規制が必要かどうかなどをまとめ、今年度内に再発防止への提言を示したいとしています。

超低周波音（ISO7196）のケースは、超音波とは違いますが、可能性に関しては慎重に確認することが必要です。

“音波が、人間の健康に直接的に影響を及ぼす” 可能性があるような現象としては、強烈な超低周波音による音響キャビテーションや、強烈な超音波による障害の 2 つが考えられる。

風車音で、音響キャビテーションが起こるかどうかについては、シミュレーションのプログラムが必要です。

確かに、“人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い” と言えるでしょうが、  
“人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は極めて高い” とも言えます。

一度建設された風車は、約 20 年間、昼も夜も住人に対して、超低周波音（ISO7196）を浴びせます。

不眠を訴える人が多く出ます。不眠が継続すると、問題が起きるのです。

これは、農漁村地区の人にとっては重要な問題です。安眠できなければ、朝早く起きたときに眠気が残ります。良く眠れなければ体力も落ちます。

夏に、朝早く起きて海老網の手伝いをしている方の睡眠時間は極端に短くなってしまいます。眠くてぼんやりした頭で、バイクに乗って港に向かう。とても危険なことです。

車を運転するときに、居眠り運転をする可能性も高くなります。人身事故も十分予想されます。

夏に、草刈や草取りの農作業をする人も多いです。体力が落ちている人が、炎天下で農作業をしたら、熱中症になってしまいます。

熱中症で畑に倒れているところを、他の人に見つけてもらって、病院に行った方もいるとの話も聞いています。

海に潜って、アワビを採る人にとっても、睡眠不足は大変危険です。体調不良で潜っていて気分が悪くなるのは、良くあることです。眠れなくて体力が落ちれば、漁獲高にも影響します。

良く眠れない原因となる風力発電施設を作ることは、私たちの命を縮めることであり、漁業による収入の減少を招くことです。

不眠は被害なのです。苦情ではありません。

環境省の HP の資料には、“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”と書かれている。

この常識を無視して、

## 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

6

“静かな環境では、風車騒音が 35～40 d B を超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている”

と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。いくら、大学の先生や、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。

朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。

命に係わる事柄です。もちろん、騒音が1日だけとか、夕方6時から朝6時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、1年中、24時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

**ある。静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、わずらわしさ（アノイアンス）の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。**

- **景観のような視覚的な要素や経済的利益に関する事項等も、わずらわしさ（アノイアンス）の度合いを左右する。**

が正しいとすれば、

被害を防ぐには、被害者全員が経済的利益を受ければ良いことになります。そうすれば睡眠への影響のリスクを減らせるのです。

正しい見解です。

被害者全員に十分な補償金を支払い、被害が風車の無い地域へ移住できるだけの経済的な補償をすれば良いのです。被害者に対して、風車が無い地域に新しい家と土地と仕事を提供すれば良いのです。

さらに、

- **風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない。**

では、A 特性音圧レベルによる基準値と、健康被害との明らかな関連を示す知見は確認できたのであろうか？

確認できたのならその根拠を示して欲しい。

明らかな関連が確認できないにも関わらず、A 特性音圧レベルによる、基準値を使うならば、その合理的な理由を示して欲しい。

関連性に関しては、風車音や騒音の影響による諸症状のアンケートと、その地域での環境騒音、風車音の計測を、道路での騒音による被害地域、工場騒音による被害地域、鉄道騒音による被害地域、風車音の被害地域でも、全く同様に行って、結果を比較すれば、関連を示す知見は得られる。

まさか、A 特性音圧レベルによる基準値と、風車被害との明らかな関連性が無いのに、基準値を指標として使う事を提唱しているのでは無いでしょうね。

人間にとって、睡眠は極めて重要である。睡眠を妨害されたら、“健康で文化的な生活”を送ることは出来ない。

憲法で保障された、基本的人権を侵害されているのである。

### 10.3.1 超低周波音の解析と発生の仕組み

超低周波音の解析と発生の仕組み

Analysis of Infrasound and Generation Mechanism

宇山 靖政

Yasumasa UYAMA

Personal member of Japan Wind Energy Association.

#### Abstract

This document provides the results of analysis of the sound from wind turbine, and the mechanism of infrasound generation.

The part of the infrasound near the wind turbine is described as wind noise and the frequency is not examined in detail. However, when this feature is investigated, it becomes clear that the directivity of the wind turbine sound, the shaking of the top of the tower, and the vibration around 40 m above the ground of the tower are related, and it is found that the wind turbine generates directional infrasound. For wind noise, "Low-frequency wind noise is caused by wind hitting the microphone. This noise has a louder component as the frequency decreases. In the frequency range of about 5 Hz or less (in some cases about 10 Hz or less), it is difficult to eliminate wind noise." It is said,

Even if the wind is strong, the component of 10 Hz or less in a place where there is no wind turbine has an extremely low sound pressure and no regular wind noise. Even if the wind is not so strong, near the wind turbine, the sound pressure of the component below 10 Hz is high, and wind noise with regularity appears.

This is either to think that there are two types of wind noise: "wind noise in places where there are no wind turbine" and "wind noise in places where there are wind turbines", or to think that infrasound with high sound pressure is generated from wind turbine.

キーワード：超低周波音、風雑音、揚力ベクトル、回転モーメント、塔の振動

Key Words : Infrasound, wind noise, lift vector, moment of rotation, vibration of tower

#### 1. はじめに

風車音の 5Hz 以下の成分を“風雑音”と考え“これを除去すれば本来の風車音が得られる。”との主張もあるが、周波数の分析と風車の振動原因の解明により、この音が“風車による超低周波音”であることを示す。

#### 2. 計測機材と解析対象

計測機材：NL-62、NX-42WR、解析対象：千葉県館山市風の丘にある回転軸が水平の風車\*1

#### 3. 騒音の比較

特徴を示す為に周波数スペクトルを比較する。



(横軸は周波数ヘルツ[Hz]、縦軸は音圧パスカル[Pa])

Fig.1：JFE の製鉄所内の音(0～5000Hz)

Fig.2：風車の近くで計測した音(0～5000Hz)

Fig.3：風車の近くで計測した音(0～25Hz)

Fig.4：長尾神社境内の音(0～25Hz)

図 1 図 2 は 0～5000Hz 範囲での比較であり、製鉄所内の音は広帯域だが、風車音は左隅の 0.8Hz の近くに集中しており広帯域の音ではない。

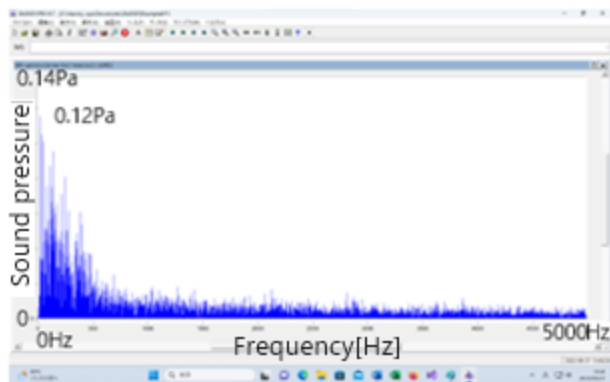


Fig.1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa](12Hz)

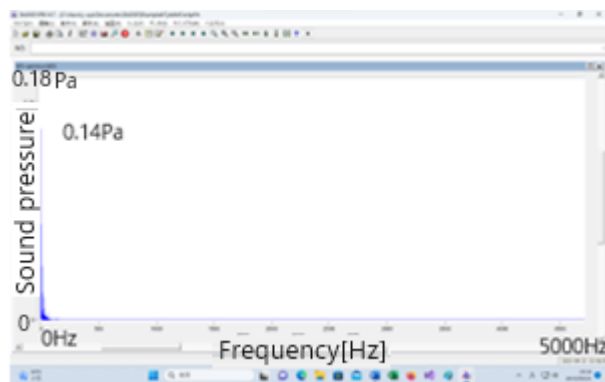


Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

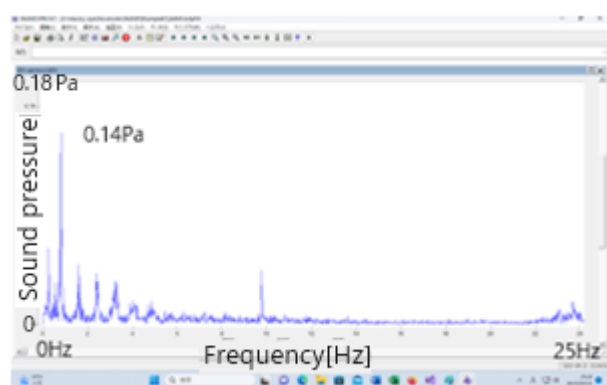


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

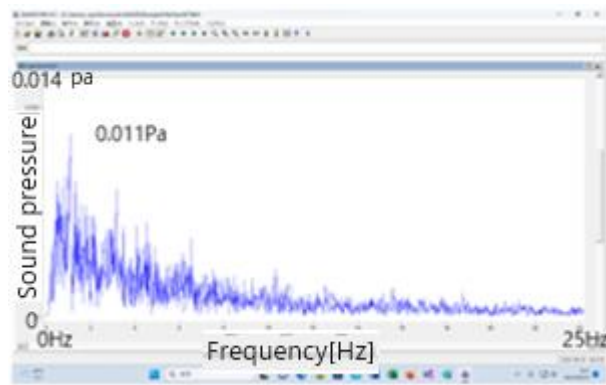


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz); 0.011[Pa](1.1Hz)

図 3 図 4 は 0～25Hz 範囲での、風車の近くで車内に機材を置き風下の窓を開けて計測した音（最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)）と、近所の長尾神社の階段にマイクを置き風が当たる状態で計測した音（最大音圧 0.011[Pa] (1.1Hz)）との比較である。表 3 で風車の近くの“風雑音”の持つ規則性を詳しく記す。図 4 から風車の無い場所では音圧が低く周波数に規則性が無い事が分る。これらの“風雑音”の区別が必要である。

表 1 表 2 は周波数帯ごとのエネルギー分布である。

Energy distribution	0～20Hz	20～5kHz
Wind turbine	93%	7%
Iron mill	12%	88%

Table 1 Energy distribution (0～5000Hz)

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

Table 2 Energy distribution (0～20Hz)

表 1 より、風車音を騒音（周波数 20Hz 以上）として考えると、音のエネルギーの 93%を無視することになる。その結果、圧迫感などの不快感の原因となる部分を除外した数値と不快感を訴える人の割合を比較することになり、交通騒音の場合に比べると大きな誤差が出る。

表 2 より、0.8Hz の部分が、0～20Hz の音のエネルギーの 61%を占めていることが分る。よって、超低周波音を 1～20Hz に限定してはならない。

#### 4. 風車音と再生音

図 5 は NL-62 で記録した 60 秒間の風車音。図 6 は FFT を使って音を分割し、青を 0～20Hz、緑を 20～200Hz、赤を 200～24k Hz の成分として表したもの。図 7 は図 5 の音を PC のスピーカで再生し、再度 NL-62 で収録した音を図 6 と同様に分割したもの。

図 6 では 200Hz～24kHz の成分に振幅変調が見られるが、音圧が極めて低く空気減衰やエネルギー透過率を考えれば室内への影響は弱い。逆に、超低周波音のエネルギーは大きく、その影響を慎重に調査すべきである。

なお、圧迫感を除けば、風車の近くで聞いた音とスピーカからの音の違いを聴覚では判別できなかった。

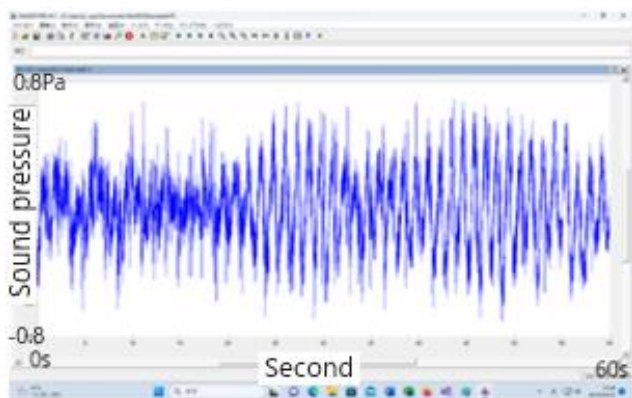


Fig.5 Wind turbine noise

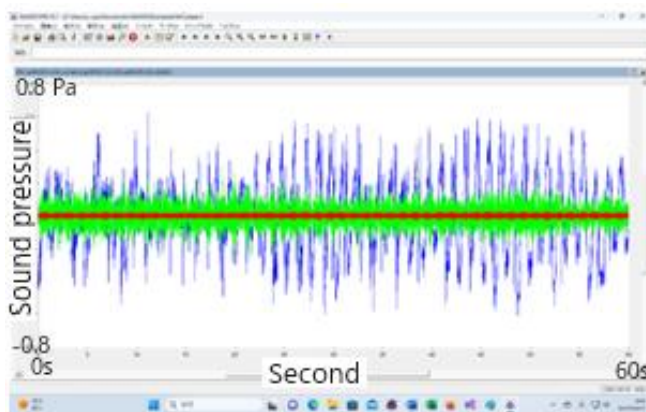


Fig.6 Separated Wind turbine noise

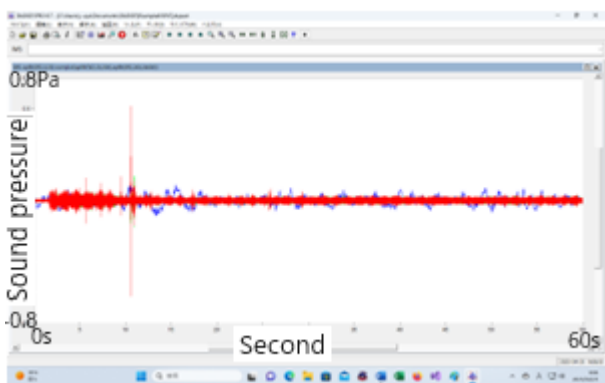


Fig.7 Separated sound from speaker

図 7 からスピーカ音には超低周波音が含まれない事が分る。大型のスピーカでも 1Hz 以下の音の再生は出来ない。これが風車音と実験室の再生音では圧迫感に差がでる原因である。実験をするならトレーラーの荷台に実験室を作って風車の近くに行くしかない。

5. 風車音の細かな特徴

表 3 は、図 3 に於ける音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものである。

Frequency at peak[Hz]	Rate(1)	Rate(2)	Sound pressure[Pa]
0.2667	1.0000		0.0560
0.5333	2.0000		0.0309
0.8167	3.0625	1.0000	0.1405
1.5833	5.9375	1.9388	0.0436
2.4167	9.0625	2.9592	0.0242
3.2167	12.0625	3.9388	0.0317
4.0000	15.0000	4.8980	0.0177
4.8667	18.2500	5.9592	0.0173
5.4667	20.5000	6.6939	0.0101
6.2667	23.5000	7.6735	0.0098

Table 3 Frequencies of the peak values

最大音圧となるときの周波数 0.8Hz,は、翼の回転数を R(rpm)、翼枚数を Z(枚)とするときの  $f = RZ/60$ [Hz] に合致する。他の周波数も含めて音が出る仕組みを解明すれば超低周波音が発生する理由が分る。

6. 周波数の細かな変動

$f = RZ/60$ [Hz] より、周波数は回転数によって変化する。図 8 の Wavelet のグラフから、0.73Hz から 0.87Hz の間で周波数が変化することが分る。

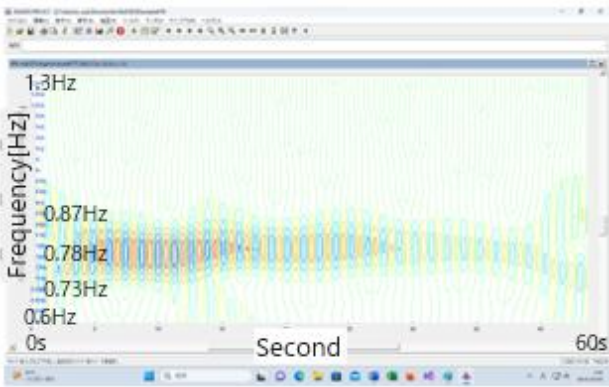


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

Rotation (7times), a part of large table		
Brade pass	Time(second)	Frequency[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	22[s]	0.95[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
21	28[s]	0.75[Hz]
Average		0.8 [Hz]

Table 4 Fine fluctuation from video

表 4 はビデオ撮影した回転の様子から周波数を計算したものの一部である。周波数は風速の変化に対応して細かく変化し、図 8 の変化と一致する。

図 8 で色の濃い部分は音圧が高いことを示し、図 8 は 60 秒間の計測結果なので、音圧が高い状態が 20 秒程度継続することが分る。10 分間の計測結果から、0.8Hz に近い周波数成分の音圧は、風が弱いときは 0.10[Pa]、風が強いときは 0.37[Pa]、平均で 0.18[Pa]程度であることが分る。

7. 塔の振動方向と風車音の指向性

ナセルや、塔の地上 40m の側面の振動の方向や大きさ、音の指向性を揚力ベクトルの方向に注目しながら考える。(1.6Hz は小型風車で回転数が高いため。)

#### “風車ナセル・タワーの振動解析” 1)

では、ナセル部分について、“図 3 のローリング方向では 0.8Hz、1.6Hz、2.7Hz にゲインの増大が確認でき、ロータの偏芯が顕著には現れておらず、代わりに 1.6Hz に羽根数×回転数の振動が表れている。これは、上下左右の風速さと羽根数によるブレード変形振動が起因している” “図 4,5 はナセル振動の 210 度方向、300 度方向スペクトルを示す。” “210 度方向ではロータ回転周波数 0.5Hz が若干表れ、羽枚数×回転数 1.6Hz が顕著に表れている”、さらに、1) の図 6, 7 からタワー内 40m の振動にも、210 度方向、300 度方向に 1.6Hz の成分が表れていることが分る。

#### “風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について” 2)

では、“200 度の位置のレベルが高くなっている。この位置はキャンセレーションメカニズムが働きレベルが低下する位置であり指向性の予測とは逆の現象が現れている。” とあり、20 度、110 度、200 度、290 度の方向で音圧が高いことが、2) の図 6 から分る。

“円筒の弾塑性純曲げ崩壊に関する研究” 3) を参考にすれば、塔の側面の変動は図 9 図 10 となる。

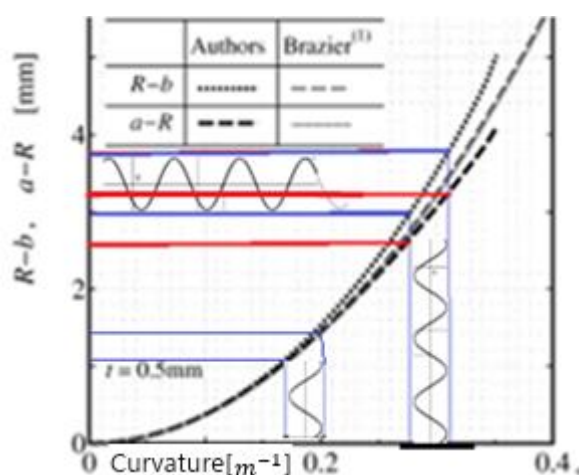


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

図 9 は塔の側面が塔に掛かる力の変化に応じて振動することを示す。右の方が側面の振動幅が大きい。塔の断面は、図 10 の右側の様に円筒が曲がる時に楕円になる。加えられた力の方向の側面の振動と、それに直交する方向の側面の振動が発生する。その結果、風車音は指向性を持ち、周波数は塔に掛かる力の周波数と一致する。さらに、断面が円から楕円になれば、面積が減少するので塔内の容積が減少する。逆に断面が円に近づけば容積は増加する。塔の変形は塔内の気圧変動も引き起こす。

## 8. 風車にかかる力とその影響

“流体力学(前編)” 4)によれば、翼に働く揚力  $L$  は、Kutta-Jopukowski の定理より、

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

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  $n P$  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  $n P$  をもつ多くの励振力”としたのでは、風車音の指向性の考察が欠けていて、塔がどのように変形して音が出るのかという事に繋がらない。

“空力音響学” 6)には、振動する物体からどのように音が発生するかが書かれている。

風車の側面の振動を考えるには、塔に掛かる力の観点から、塔に掛かる回転モーメントに視点を移して計算する必要がある。塔の変形は、釣り竿が曲がる場合と似ている。釣り竿の変形は、釣り竿に対する回転モーメントで決る。上部の揺れは円形のままだも可能だが、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  $200 \sim 210$  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。

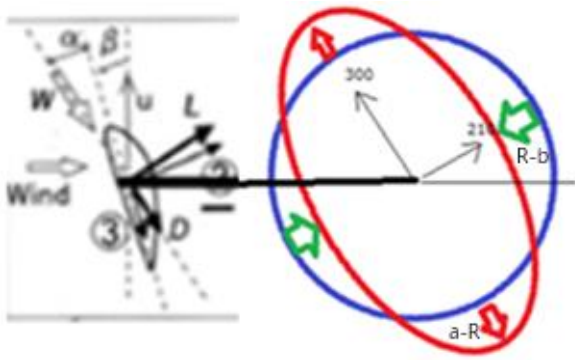


Fig.10 Lifting vector and modification

## 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  $100\text{m}$ 、ブレードの代りに、丸い標識のような形の板が中心から  $50\text{m}$ の所に付いているとして、周波数を計算する。

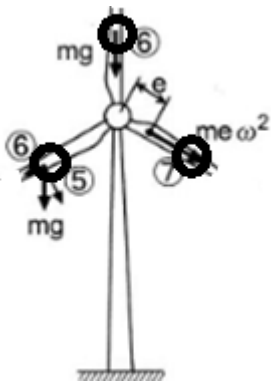


Fig.11 Wind turbine in balance

円盤の地上からの高さは  $100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$  m となる。

上空では地表近くよりも強い風が吹く。上空での風速の予測式はいくつかあるが、ここでは次の予測式を使う。

高さ  $Z_{h1}$  での風速  $V_{zh1}$

高さ  $Z_G(V)$  での風速の予測値  $V_{zG(V)}$

地表面粗度区分  $V$  に応じた冪指数  $\alpha(V)$

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

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

となる。

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

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

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。

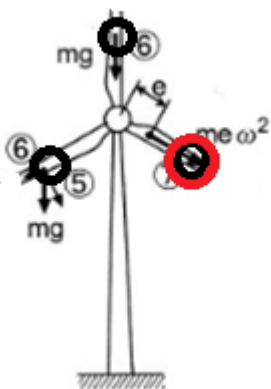


Fig.12 Wind turbine imbalance

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、

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

\* 1.23 \* 1.2 \* 10 \* 1.003 [N]

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、冪乗の項を倍角で表現して計算すれば、

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

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

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

を考えるには、1 次式の和

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

について調べればよいことになる。

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

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、

$$f_n(x) + f_n\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + f_n\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) \quad (33)$$

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、塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がる。

高さによって風速が異なるので、ブレードの揚力は塔にかかる力を周期的に変化させる。3枚のブレードが完全に均等で風が安定していても、 $3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ のほかに、 $2 \cdot 3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、 $3 \cdot 3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、 $4 \cdot 3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、...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、 $2 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、 $3 \cdot R/60[\text{Hz}]$ 、の揺れも含まれる。

この力が塔に作用すれば、塔の切り口は楕円となり、塔の側面での振動が起きる。この結果、側面が大きく振動する方向への指向性を持った超低周波音が発生する。

規則的な周波数を持ち、ブレードの回転に起因する塔の振動で発生する音を“風雑音”と言ってはならない。

“風車から超低周波音が発生する”のである。

図4は“風雑音”を表すが、図3は風車からの超低周波音を表す。音の持つ指向性と周波数の規則性がその特徴である。

胴の部分に2つの太鼓、上部に笛を付けた楽器のようなイメージを図13に示す。これは、塔内の気圧変動も含めて、風車音の特徴を考えた上での、風車から音が発生する仕組みを表す模式図である。



Fig.13 Image of Wind turbine noise

## 10. 室内での計測とカオス理論

“低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化”<sup>7)</sup>には、“室内の音場は特に低周波数領域では複雑で、物理的にも難しい問題を多く含んでいる。”と書かれている。

室内の音の解析は難しいが、カオス理論を使えば困難を克服できる。図14は、製鉄所内の騒音から故障している機械を見つける為の解析である。

1段目は騒音のグラフ、2段目は周波数スペクトル、3段目はWavelet解析。ここまでの解析では特徴が不明だが、“Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits”<sup>8)</sup>を使えば4段目のグラフとなる。

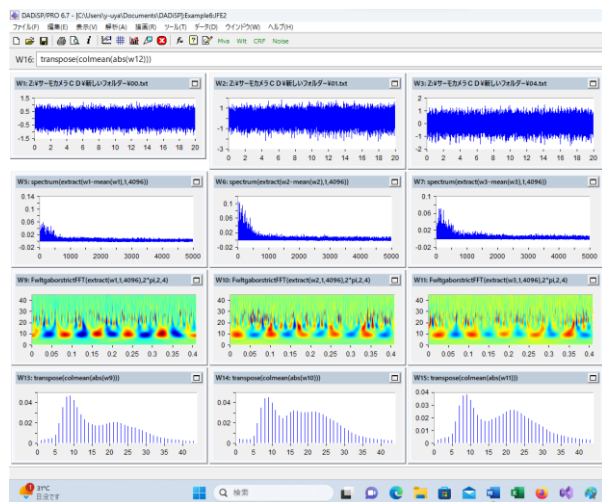


Fig.14 Effect of Chaos theory

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フィルタのモデル化, 日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, Vol. 2017: 春季 p.13-16, 2017
- 8) Vesna Rubežić, Igor Djurović, Ervin Sejdić,



Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits,  
COMPEL The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic  
Engineering 36(1):188-201, January 2017

9) 石井俣夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム, 初版, 2005

### 10. 3. 2 圧縮と膨張

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

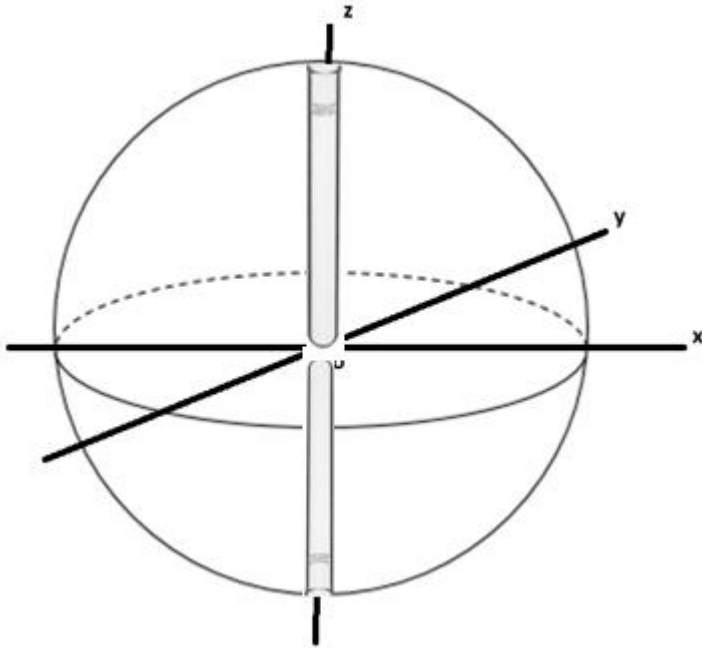
表面の部分は体重 (60 kg) に相当する質量を持ち、面密度は  $60/3.14 = 19 \text{ kg/m}^2$

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 ( $\text{m}^2$ ) 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  $1 \text{ m/s}^2$  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  $ds = \pi \times 0.000025 = 0.0000785 \text{ [m}^2\text{]}$ 、

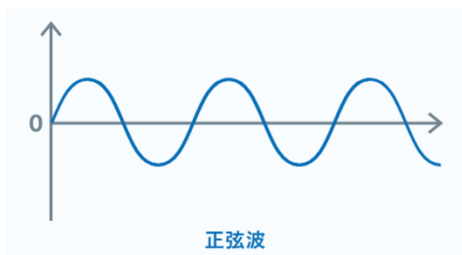
殻の部分の密度を  $\rho = 19.1 \text{ kg/m}^2$  とする。

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

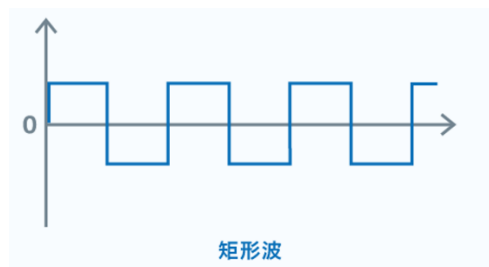
試験管の口の部分での音圧  $P(t)$  が

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



としたいのだが、

計算を簡単にするために、矩形波で考える。



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、 $0.17\text{m} = 170\text{ cm}$

この部分が蓋の部分を通る時間は、 $0.17/340 = 0.0005$  秒

よって、0.0005 秒ごとに、蓋に掛かる圧力が変化することになる。

内圧が $P_0$ で外圧が $P_0 + A$ になったとすれば、蓋に掛かる力は（ $A \cdot \text{蓋の面積}$ ）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、

$$A \cdot ds = M \alpha$$

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

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、

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

となる。

試験管の長さを、 $L$  とすれば試験管の容積は  $L \cdot ds$  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、 $ds \cdot (L - dl)$  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）

$$P_1 \cdot ds \cdot (L - dl) = P_0 \cdot ds \cdot L$$

よって、 $dt$  秒後の状態は、

$$v1 = \alpha \cdot dt$$

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

$$P_1 = P_0 \cdot L / (L - dl)$$

$$L_1 = (L - dl)$$

となる。

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は  $P_1 = P_0 \cdot L / (L - dl)$  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 $\alpha_1$ として、 $(P_0 + A - P_1) \cdot ds = M \cdot \alpha_1$

$$\alpha_1 = \frac{(P_0 + A - P_1) \cdot ds}{M}$$

$$dl_1 = v1 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_1 * dt^2$$

$$v2 = v1 + \alpha_1 * dt$$

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 $\alpha_2$ 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 $\alpha_3$ 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 $\alpha_1$ として、 $(P_0 + A - P_4) * ds = M * \alpha_4$   
 初速度は  $v_4$

$$\alpha_4 = \frac{(P_0 + A - P_4) * ds}{M}$$

$$dl_4 = v_4 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_4 * dt^2$$

$$v_5 = v_4 + \alpha_4 * dt$$

以下、同様。

となる。

dt=0.00125 秒、L=0.5m、M=  $\rho * ds=0.0015\text{kg}$ 、A=1、として上記の計算をすれば、  
 dt\* k = 周期/2 となるまでは内部の圧力が上昇するが、その後は、外の気圧が、外圧は $P_0 - A$ となるので、  
 試験管内の空気は膨張を開始する。この膨張は、周期/2 の間だけ継続する。その後、外圧は $P_0 + A$ となり、また、  
 圧縮過程に入る。

最初の圧縮過程が終了する時点での試験管内の圧力は次の表のようになる。

周波数	0.5	1	2	10	20	50	100	200
周期/2	1	0.5	0.25	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025
内気圧	102400.9991	102400.9742	102400.861	102400.467	102400.369	102400.303	102400.132	102400.033

回数	外気圧	外力	気柱長さ	気柱体積	内気圧	内力	気圧差	外力－内力	初速度	加速度	終速度	移動距離 dl	開始秒	終了秒
0	102401	8.0384785	0.5000000000	0.00003925	102400	8.0384	1	7.85E-05	0	0.05233333	6.5417E-05	4.08854E-08	0	0.00125
1	102401	8.0384785	0.4999999591	3.925E-05	102400.0084	8.03840066	0.99162667	7.7843E-05	6.5417E-05	0.05189513	0.00013029	1.22314E-07	0.00125	0.0025
2	102401	8.0384785	0.4999998368	3.925E-05	102400.0334	8.03840262	0.96657677	7.5876E-05	0.00013029	0.05058418	0.00019352	2.02376E-07	0.0025	0.00375
3	102401	8.0384785	0.4999996344	3.925E-05	102400.0749	8.03840588	0.92513015	7.2623E-05	0.00019352	0.04841514	0.00025403	2.79719E-07	0.00375	0.005
4	102401	8.0384785	0.4999993547	3.92499E-05	102400.1322	8.03841037	0.86784356	6.8126E-05	0.00025403	0.04541715	0.00031081	3.53026E-07	0.005	0.00625
5	102401	8.0384785	0.4999990017	3.92499E-05	102400.2045	8.03841605	0.79554369	6.245E-05	0.00031081	0.04163345	0.00036285	4.21034E-07	0.00625	0.0075
6	102401	8.0384785	0.4999985806	3.92499E-05	102400.2907	8.03842282	0.70931554	5.5681E-05	0.00036285	0.03712085	0.00040925	2.90007E-08	0.0075	0.00875
7	102401	8.0384785	0.4999985516	3.92499E-05	102400.2966	8.03842328	0.70337617	5.5215E-05	0.00040925	0.03681002	0.00045526	2.87578E-08	0.00875	0.01
8	102401	8.0384785	0.4999985229	3.92499E-05	102400.3025	8.03842375	0.69748653	5.4753E-05	0.00045526	0.0365018	0.00050089	2.8517E-08	0.01	0.01125

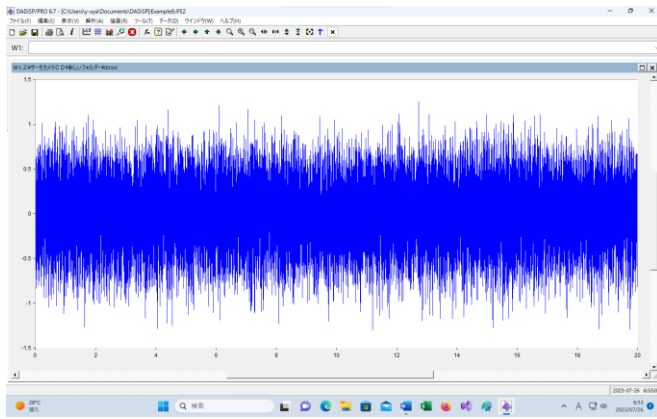
気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、  
 200Hz だと、体内の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
 100Hz だと、体内の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
 10Hz だと、体内の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
 1Hz だと、体内の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。  
 0.5Hz だと、体内の圧力は 0.999 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

周波数が低いほど、体内の圧力変動が大きくなる。  
 200Hz 以上ならば、体内の圧力はほとんど変化しないが、10Hz 以下では、かなりの圧縮が起きる。  
 これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。

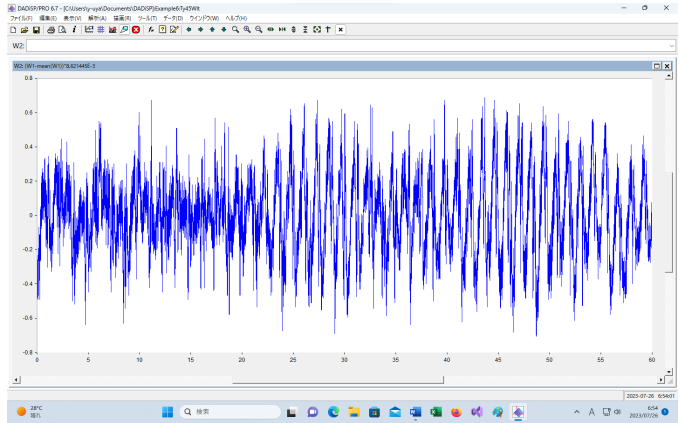
この圧力変動は、体内での気泡の溶解と発生の平衡状態を、発生が多い方に傾かせる。

ここでの計算は、波形が矩形波に近い場合でないと適用できない。

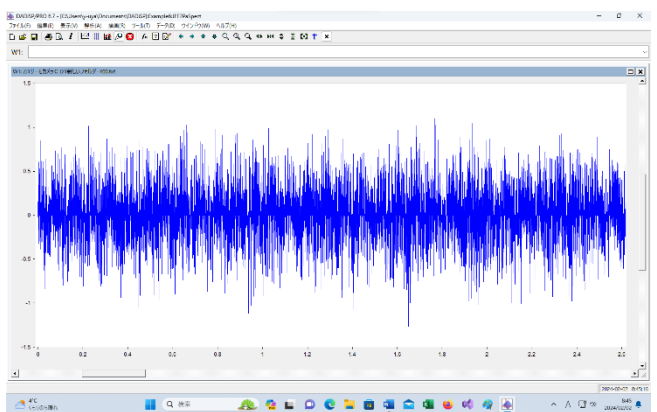
## JFE の製鉄所内の音



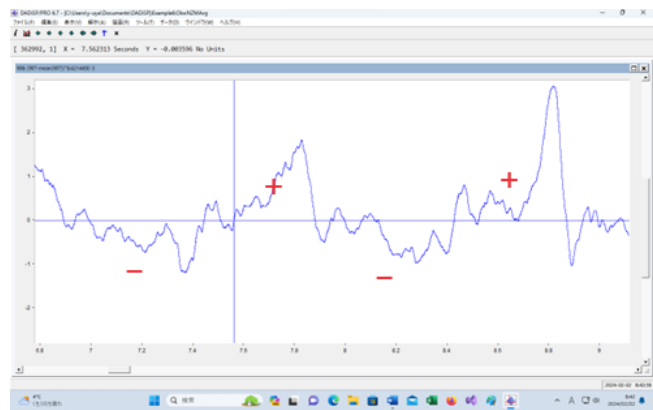
## 館山の風車音



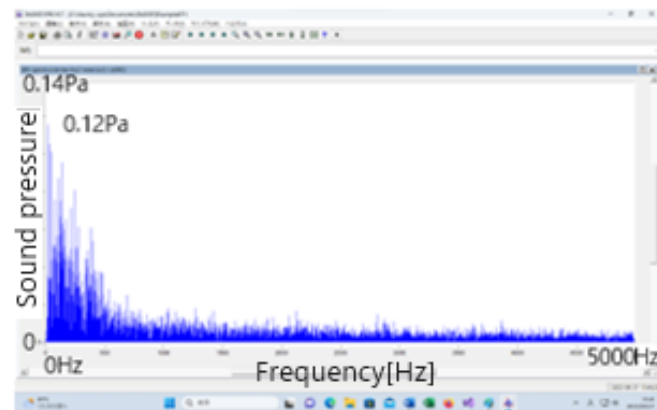
## 工場騒音の、2.6 秒間の波形



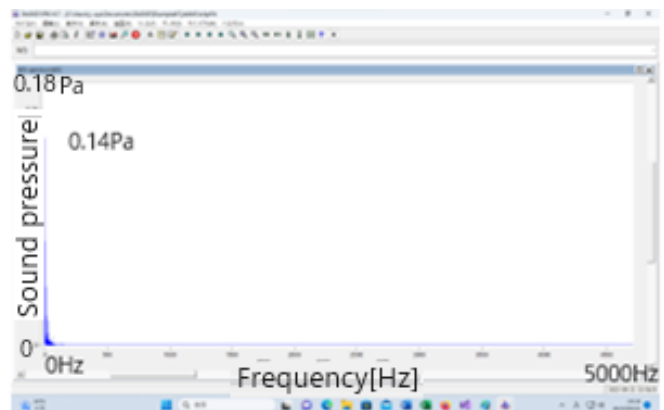
## 風車音の 2.2 秒間の波形



## 製鉄所(0～5 k Hz)；最大 0.12[Pa](12Hz)

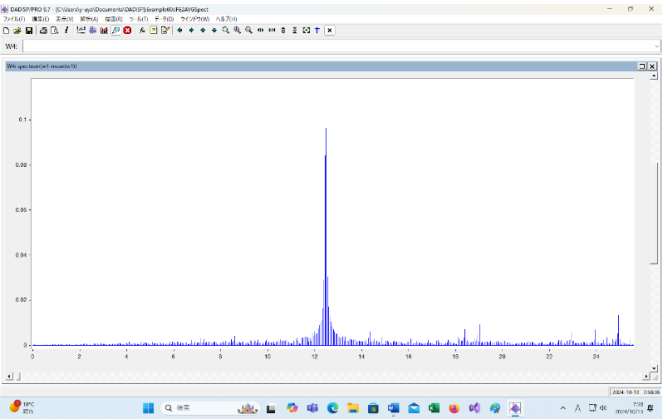


## 風車音(0～5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)

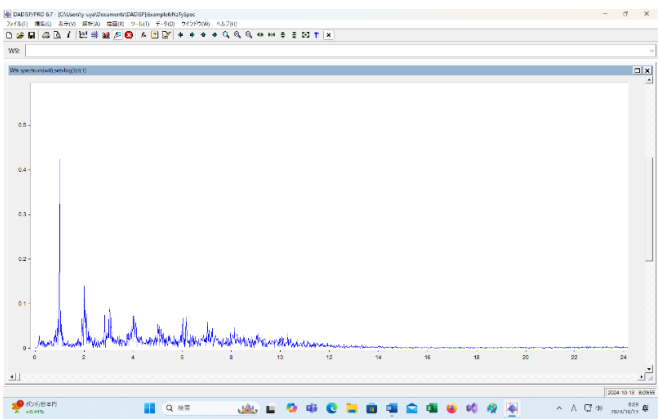




工場騒音 0 ～25Hz、最大音圧 0.1[Pa]（12.5Hz）



風車音（強風） 0 ～24Hz、最大音圧 0.42[Pa]（1Hz）



エネルギーの分布

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

工場での音は、12.5Hz での音圧が 0.1 パスカルであるが、波形を決定するのは、エネルギーからみても、収録した波形から見ても 20～24 k Hz の部分であると言える。音圧の変動が激しいので、圧縮過程や膨張過程が継続できないので、体内の圧力を大きく変化させる力はない。

風車音では、エネルギーの分布を見れば、0～20Hz の成分が圧倒的に強く、この部分が波形を決める。強風時には、 $f=RZ/60\text{Hz}$  の波による音圧変動に近い形での圧縮と膨張が起こる。

$f = 0.5\text{Hz}$ 、 $f = 1\text{Hz}$  では、音の音圧変動と体内での音圧変動の大きさは同程度になる。結果として、工場音では体内での音響キャビテーションは起きないが、風車音では起きると考えられる。

### 10.3.3 長期曝露による循環器障害

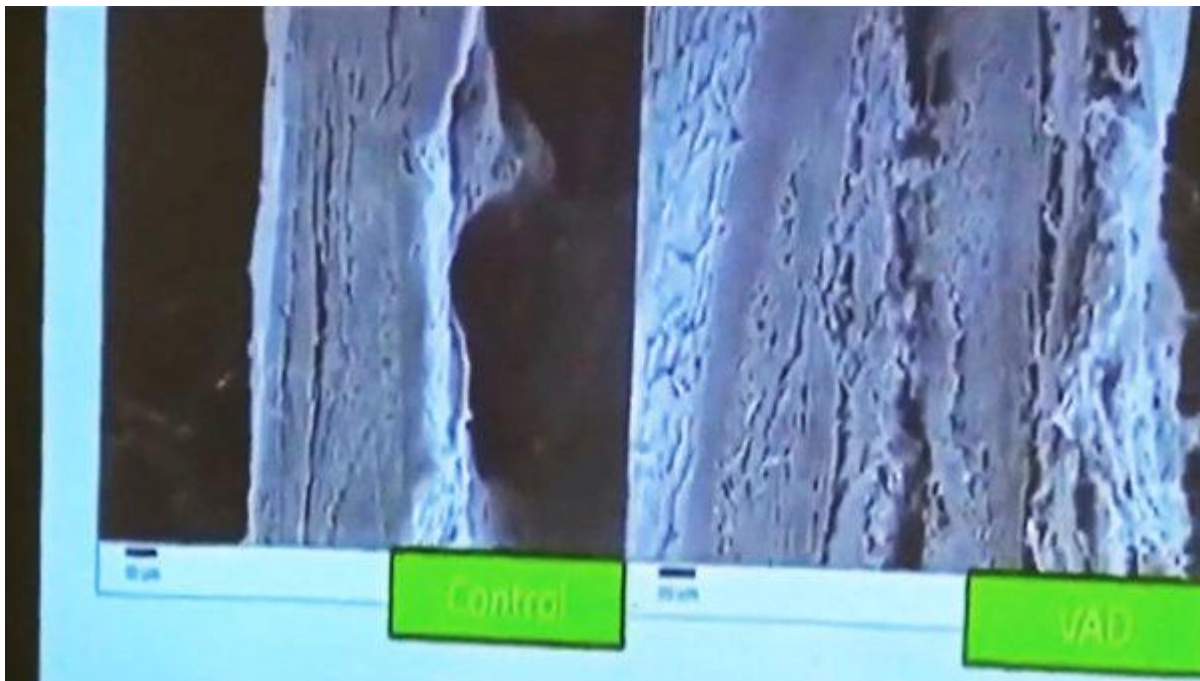
[長周新聞の記事](#)に次ものがある。

低周波音の人体への影響を解明 マリアナ・アルヴェス・ペレイラ博士の報告から  
博士は、

“その結果、腎臓と脳に腫瘍が見つかった。それまでの検診では見つけることができなかった腫瘍だった。もっとも驚いたのは、梗塞で心臓発作を起こした傷跡が11もあったことだ。そして12回目の発作で亡くなった。12番目の傷跡は2ミリ以下で、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ミリにもなる。

これは心臓手術を受けた患者の心膜の写真だ【写真①参照】。2人とも心臓血管に異常があった。左の人は騒音が原因ではなく、右の人は騒音が原因だった。心膜が異常に肥厚していることがわかる。



写真①心臓手術を受けた患者の心膜の写真。右が騒音が原因の患者。肥厚している（倍率は同じ）

心臓血管構造の肥厚は、心膜だけに起こることではない。血管でも起こる。血管の壁で起こる。血液が流れる血管の壁は本来は薄いものだが、それが肥厚する。動脈の壁がどんどん厚くなると、動脈は閉じてしまう。低周波音に暴露した患者は、血管の中にコレステロールがたまっただけではなく、壁が肥厚した結果、閉じてしまうのだ。たとえば冠状静脈はとても小さくて、すぐに詰まってしまう。だから、このスタッフの場合、11もの梗塞の跡があったのだ。そうなるともう血液が流れないから、問題が起こるわけだ。

この肥厚はコラーゲンとエラスチンが異常に増えたために起こると私たちは考えている。専門用語で形態形成という。そこにあるはずのない組織の発達という意味だ。これが低周波音のせいで起きているとは、最初は思いもよらなかった。身体全体が「生物によらない機械的な力」にさらされたために、身体がその力に対抗しようとして起こったのだ。

1999年、この病気の進行の仕方について研究することになった。306人の航空技術者のグループを基本に、心臓血管病、糖尿病、連鎖球菌感染症がある人、精神安定剤を服用している人は除外し、残った140人の男性が研究対象になった。その140人が4年間、エンジンテストで低周波音に暴露され続けると、70人以上（50%以上）が気管支炎を発症した。10年の暴露で、70人以上が血尿を発症した。

もう一つ重要なことは、症状が蓄積していくということだった。気管支炎にかかっている状態で、さらに鼻からの出血やひどい筋肉痛が加わるのだ。血尿も止まらない。“と述べている。

風車音の影響による体内の圧力変動は、航空機での音よりも大きいと考えられる。理由はその周波数特性にある。周波数が低いほど、体内の圧力変動に大きく影響するからである。

博士がこれに気が付かなかった理由は、風車音の発生する物理的な仕組みを解明しなかった。オクターブ解析に拘り過ぎたので、正確な周波数（ $f=RZ/60\text{Hz}$ ）と音圧を把握できなかった。ことにある。

### 高血圧症のはなし

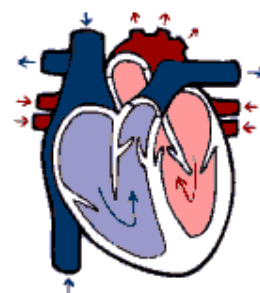
高血圧との関連で言えば、体全体が圧縮されている場合は、末梢血管の直径も小さくなり、末梢血管の抵抗が増し、血流が流れづらくなる。この時には血圧が上昇する。

#### 高血圧とは

↓  
血液は全身に張り巡らされた血管を流れて、身体の各部分に養分と酸素を供給し老廃物を回収しています。この血液は心臓が収縮することで、動脈に押し出され、心臓が拡張するときに静脈から心臓に戻ります。↓

心臓が収縮するときに動脈の血管にかかる圧力を**収縮期血圧**と言い、心臓が拡張してもなお血管内に残っている圧力を**拡張期血圧**と言います。↓

この血圧は**体内を循環している血液の量**と**心臓の収縮で送り出される血液量**とで決まりますが、どちらの量も増加することで血圧が上昇します。↵



また、同時に**血管壁の弾力性**も血圧を決定する要因の一つで、血管がしなやかだと、血液の量が増えでも血管壁が膨らんで血圧が急に高くなることを防ぎます。逆に血管に弾力性がないと血管の内圧が高まり血圧が上昇します。これを**血管の抵抗**と言います。実際には太い血管から枝分かれした**抹消血管**が硬くなり内腔が狭くなって血流が流れづらくなって抹消血管の抵抗が増加した場合に血圧が上昇するようです。↵

高血圧は痛みやめまいなどの自覚症状に乏しく、そのため軽く見てしまいがちです。しかし、それをほうっておくと**動脈硬化**が進行し、**脳卒中**や**心臓病**などの命にかかわる合併症を引き起こします。↵

さらに、

4. 高血圧で起きる病気

↓  
高血圧を放置しておくと体中の血管の壁に強い負担がかかります。すると、その刺激で血管は収縮し、さらに血管の内腔は狭くなります。また、血管壁には強い圧力がかかるため血管壁自体も補強され厚くなり、その結果さらに内腔は狭くなって、動脈硬化が促進されます。↓  
動脈硬化による血管の内腔の狭窄が進めば血液の流れは悪くなり、やがて血流は完全に途絶えてしまいます。血液は全身に酸素や養分を運んでいるので、その血流が悪くなると全身にさまざまな支障を与える重大な病気を引き起こしてしまいます。↓  
次に、高血圧によって引き起こされる代表的な病気について考えてみましょう。

1) 動脈硬化症	血管の壁が厚くなって弾力性が失われるなどして、もろくなり、内腔が狭くなった状態を言います。
2) 脳卒中	脳の血管がもろくなって破れ、脳出血が起こります。また動脈硬化で脳の血管が詰まれば脳梗塞が引き起こされます。
3) 心臓病	心臓の筋肉を養っている冠状動脈が動脈硬化で狭くなると狭心症を引き起こします。狭くなった血管が血栓で詰まると心筋梗塞となり命にかかわる大事になります。

となるので、  
血管壁は厚くなるようです。  
動脈硬化、脳卒中、心臓病、が起きる可能性が高まります。

知り合いの医師に教えていただいたのですが、  
“大動脈のような、大きな血管壁は、mri や CT などでは評価可能です。また、最近の血管の超音波検査（エコー）はかなり進んでいて、最新型のものであれば、かなり評価できます。一方、静脈壁の評価はかなり困難で、静脈内の血栓などの評価のみになります。また、毛細血管が、一番外因を受けやすいと思いますが、現在のところ、画像での評価は困難です。”

とのことでした。  
超低周波音の曝露と動脈の血管壁の厚さについては、どちらも客観的に計測できるので、統計的な因果関係の証拠になる。

被験者の体調の把握にはスマートウォッチも使えます。

## 睡眠中自動血圧測定可能



Management  
System  
EN ISO  
13485:2016  
www.tuv.com  
ID: 9002034379

CE 0197  
Medizinisch zertifiziert

日本と欧州連合の医療機器認証取得

### 自動血圧モニタリングトレンド

血圧 (mmHg)



この数値と、眠る人の近くに精密騒音計を置いて 6 時間の連速測定を置きなつた結果を Wavelet 解析すれば 関連性についての証拠の一つが得られます。

末梢血管での流量の変化と血圧の変化については、次の資料を参考にしてより詳細に記述する予定である。

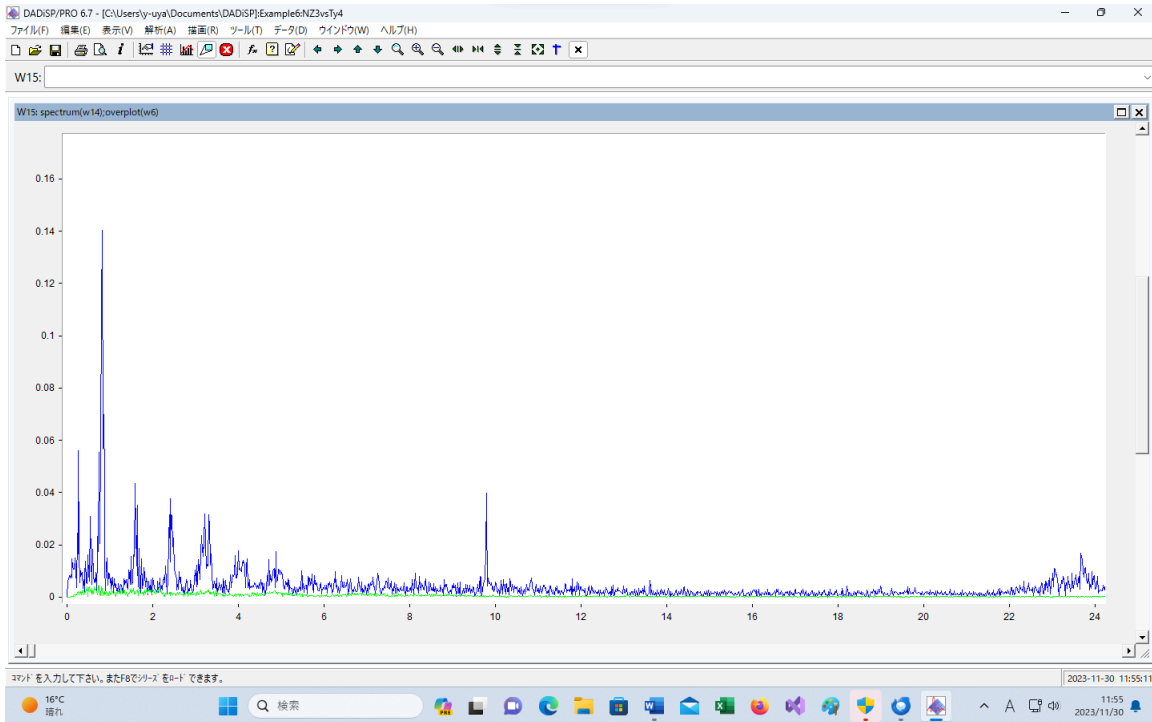
[衝撃問題における応力波の伝播と反射・透過について](#)

[いろいろな弾性波 \(その 1\)](#)

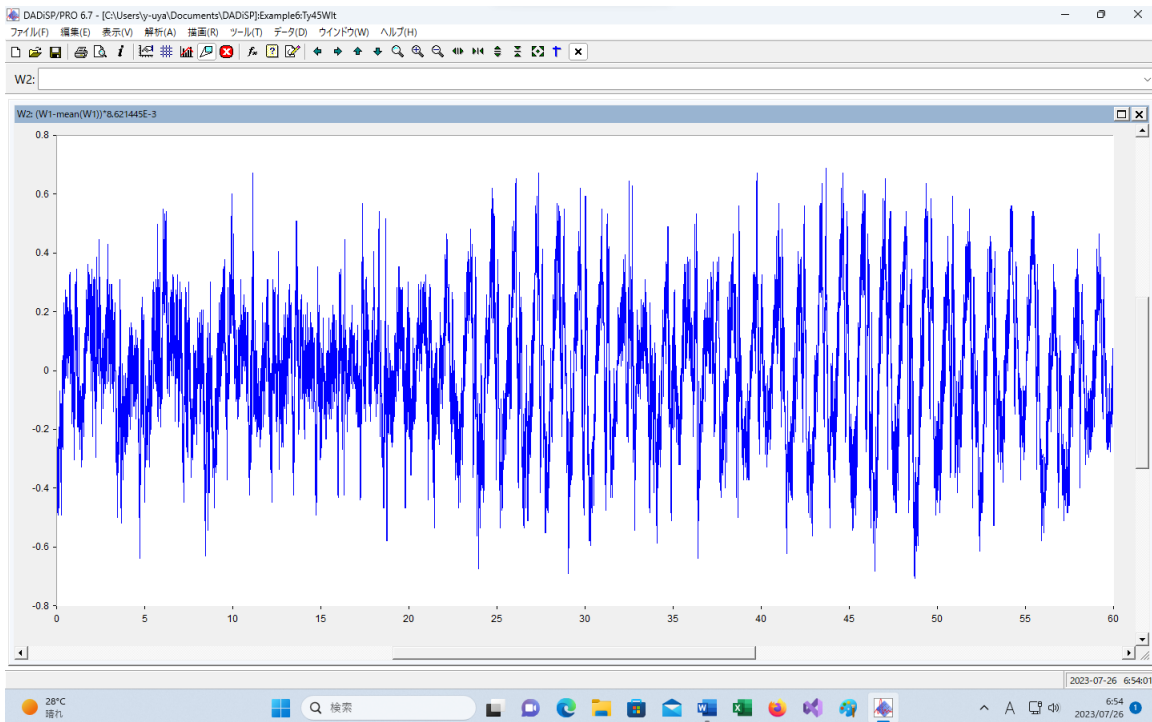
[金属中の応力波伝播\(高速変形の力学の基礎\)](#)

## 10. 3. 4 音響キャビテーションと頭痛

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

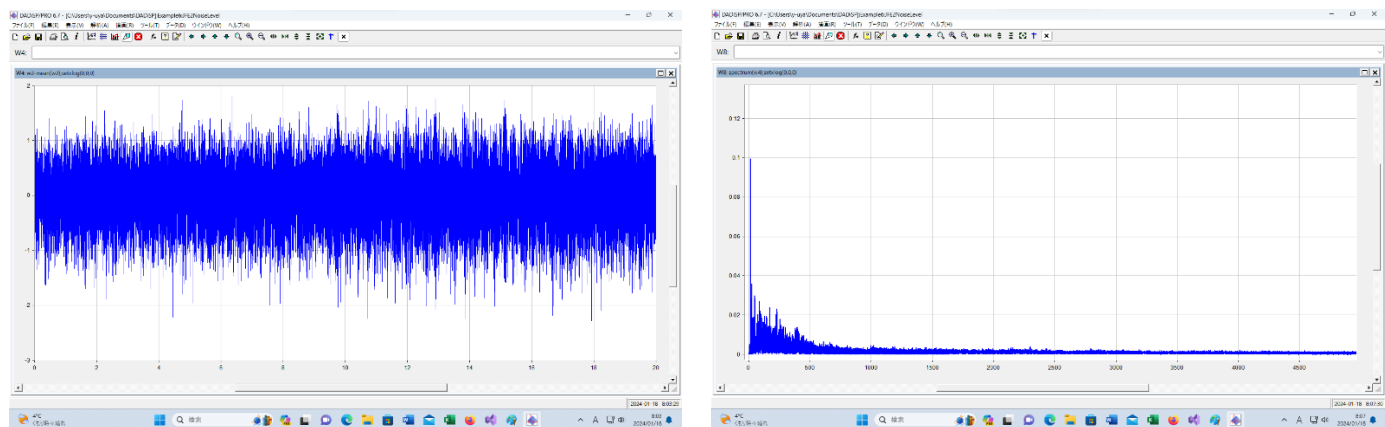


グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。

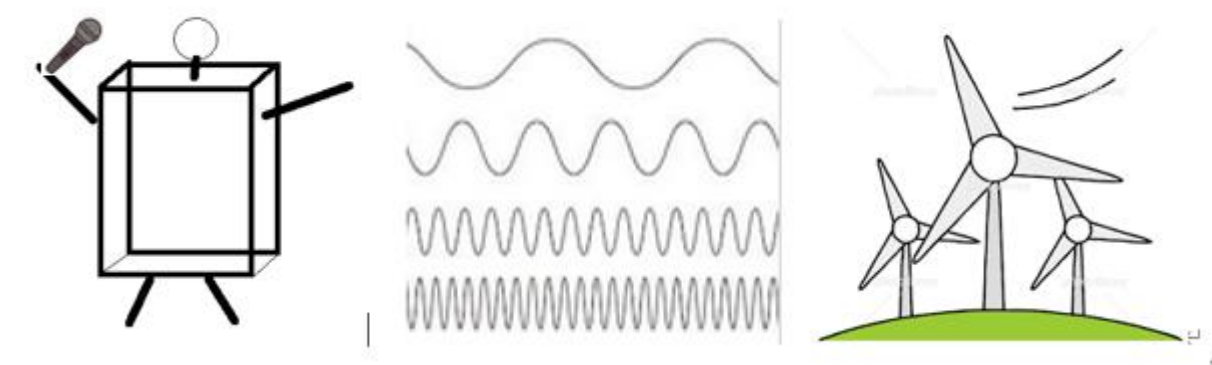




JFE の工場での音の全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。

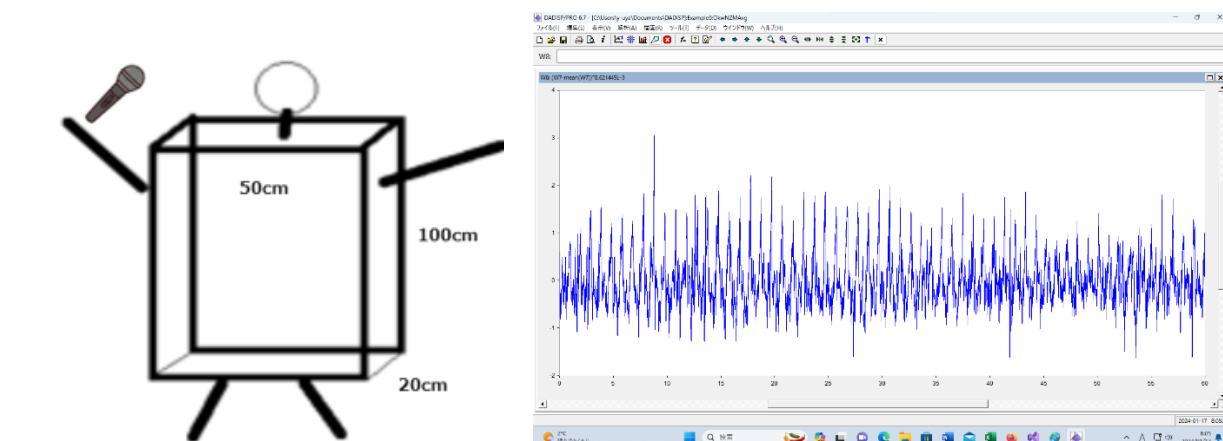


この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



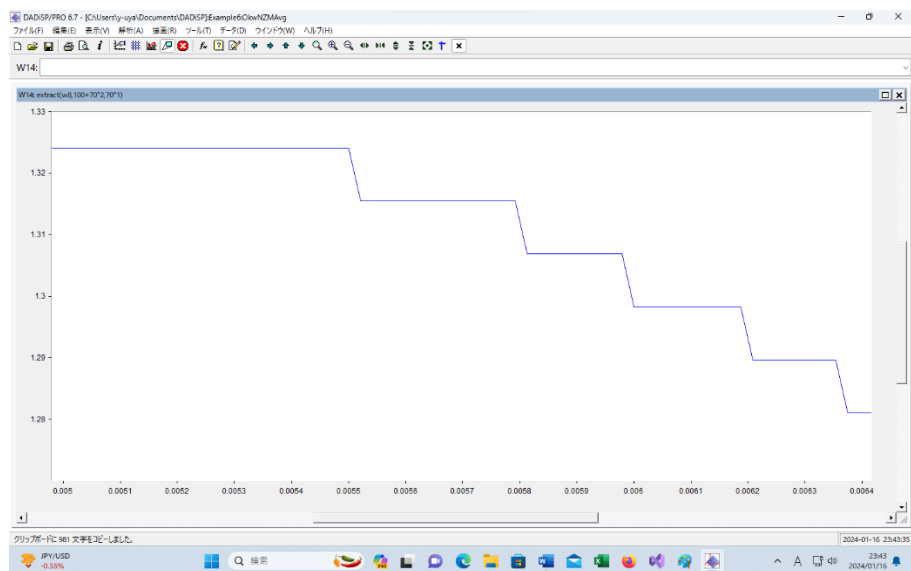
いろいろな波長の音が、秒速 340m で風車から人間まで届くとしします。人間の横幅 50 c m、胴長 100 c m、厚み 20 c m として、音は平面波としします。

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。



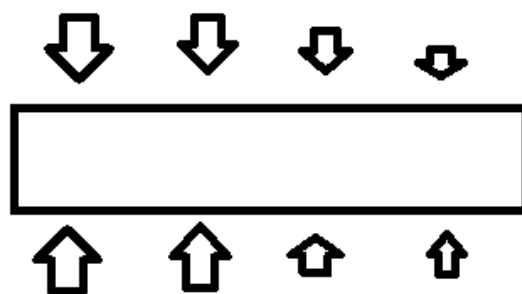
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



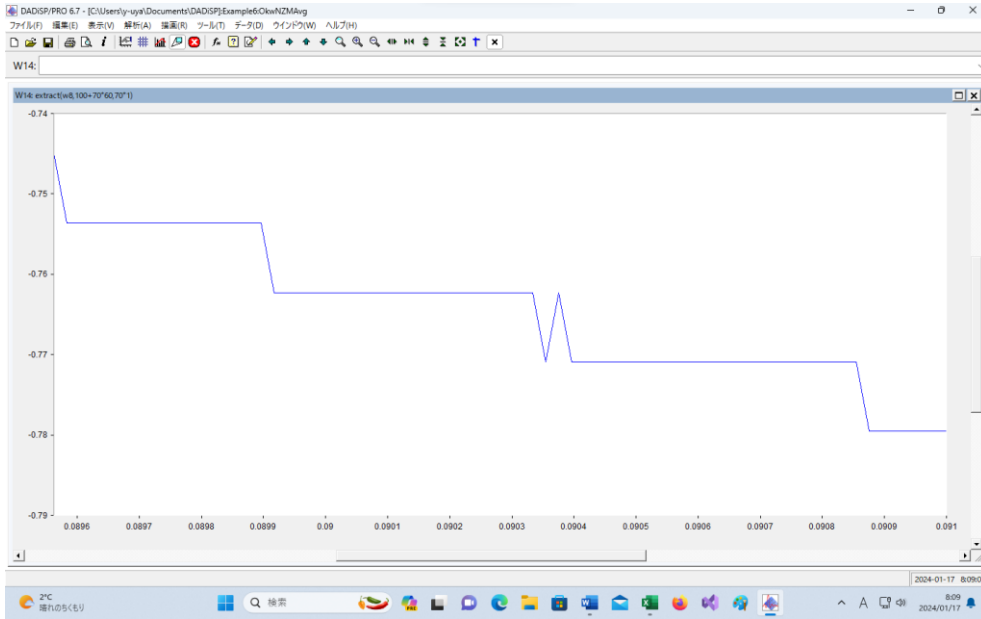
となり、数値は、

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	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。

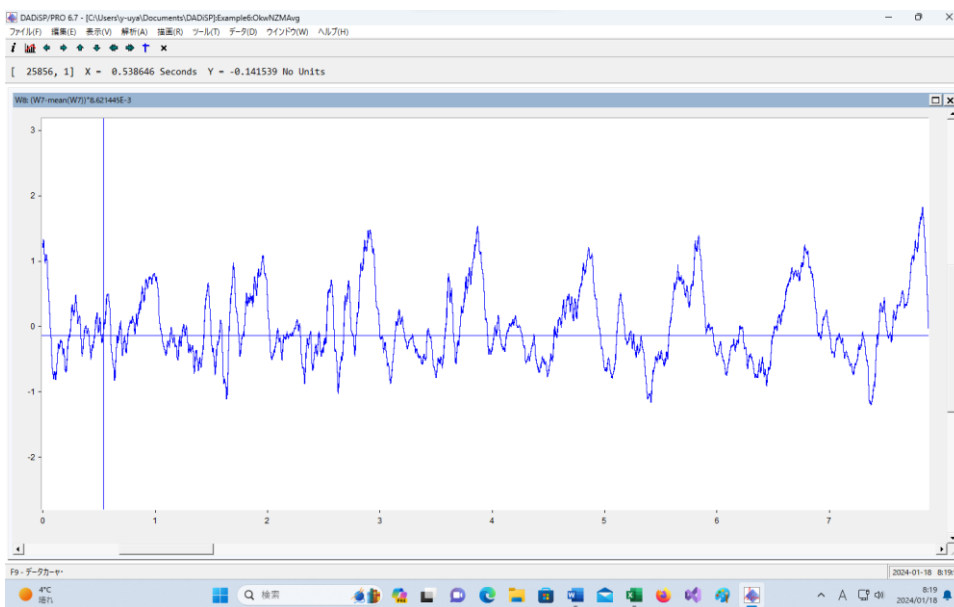
もちろん、



もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。

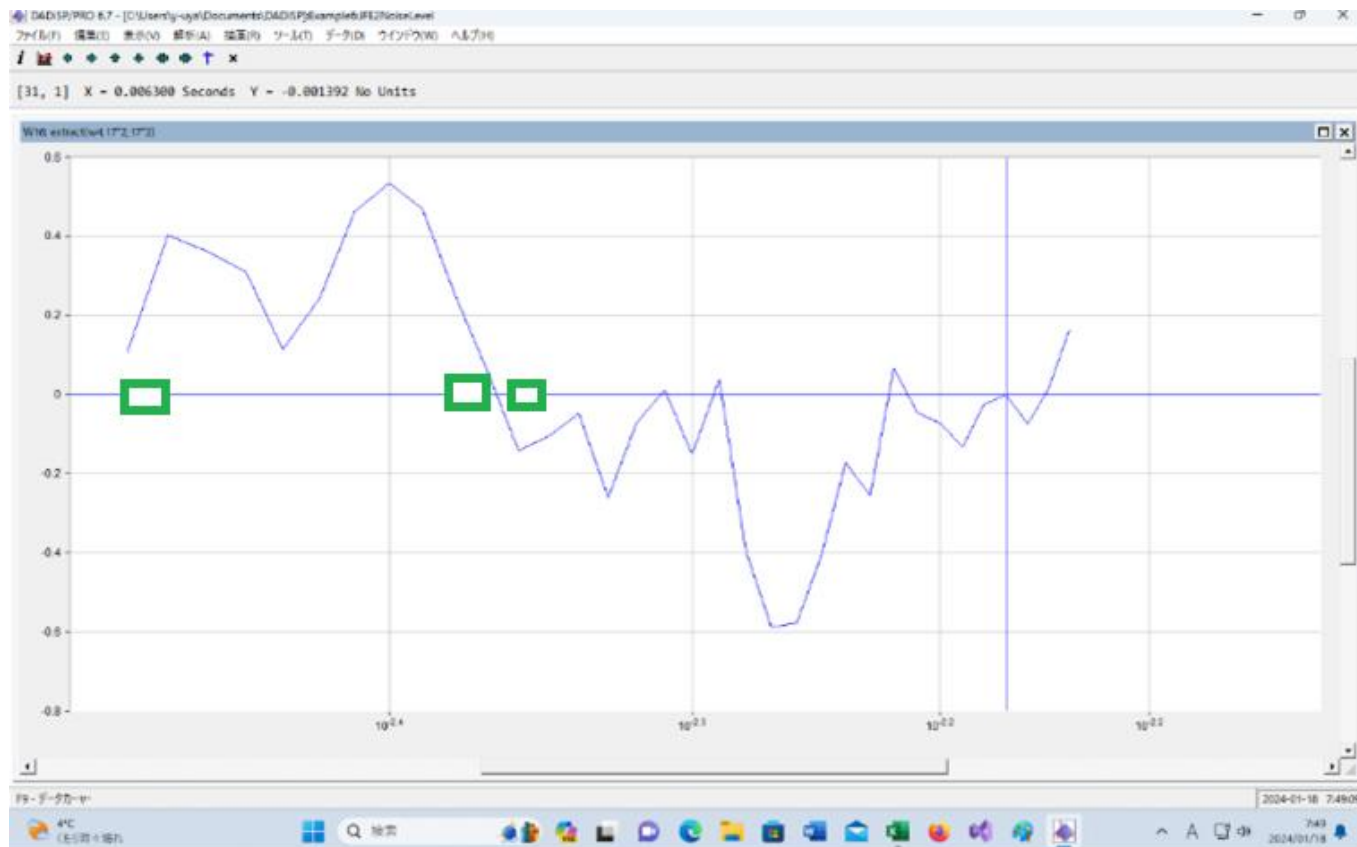
上のグラフの値は、 $-0.77\text{Pa}$  程度です。強制的に膨張させられている状態です。

風車音の場合は、 $50\text{cm}$ 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。



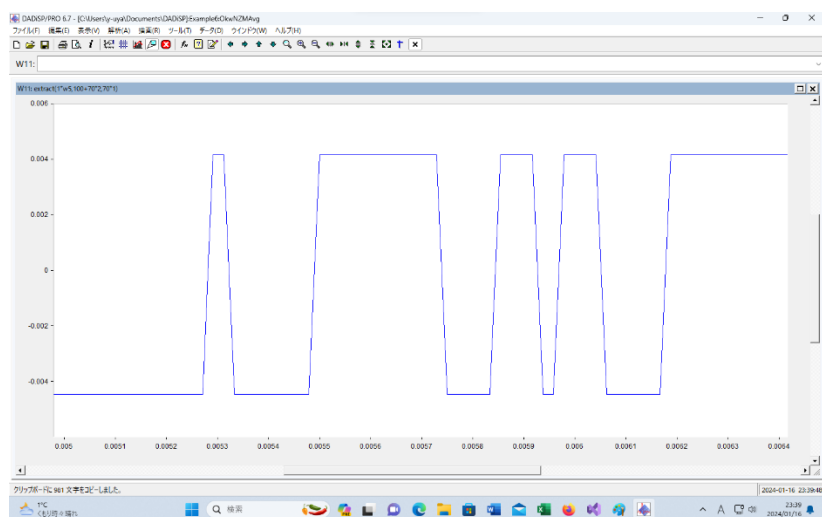
人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、 $0.5$  秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。  
物理的には圧力が周期的に変化するのです。

工場音の場合は、秒速 340m の音が 50 c m 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  $0.04 \cdot 2 \cdot 0.001 = 0.038$  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 c m の範囲内に圧縮と膨張が混在します。体内への圧力変動に要る影響は軽微だと考えられます。

神社での音の音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、

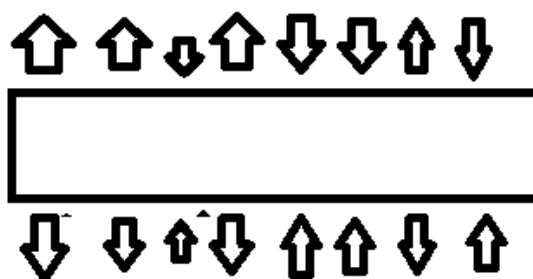


であり、

数値は、

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

合計：－0.01919Pa、平均：－0.00027Pa です。



押される場所と、引っ張られる場所が混在しているので、一方的に押しつぶされることはありません。

時間がたっても、プラスマイナスが混在する状況は、あまり変化しません。

風車は、50 c m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、圧迫感を感じないのです。

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

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

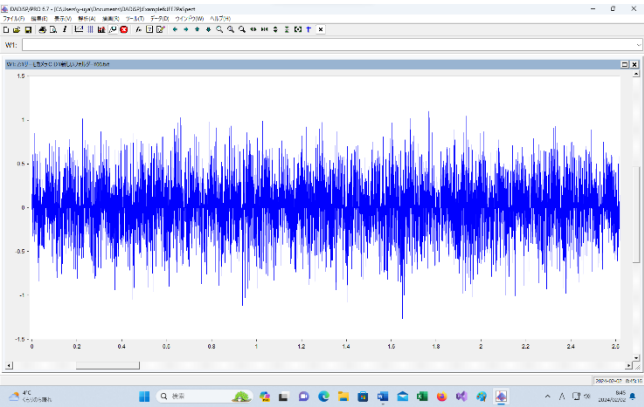
圧縮、膨張についてさらに確認します。

風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力の大きさは風速の 2 乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増加します。音圧も変化します。

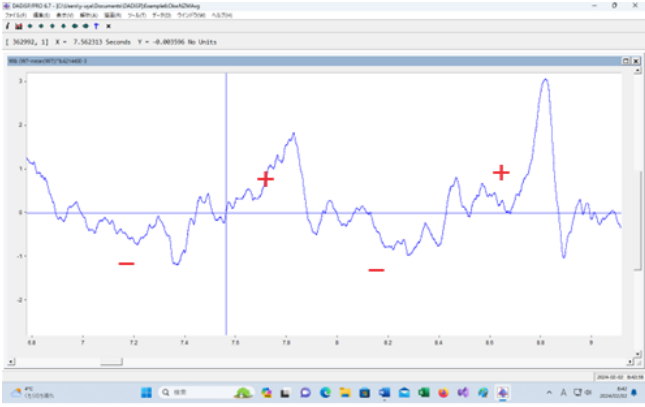
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

音圧の変動は大きいですが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

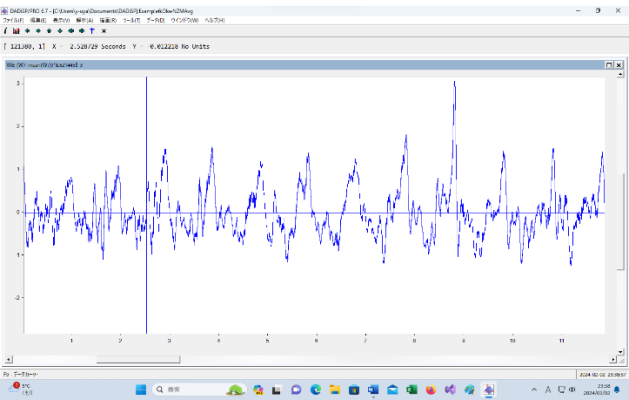


風車音の 2.2 秒間の波形

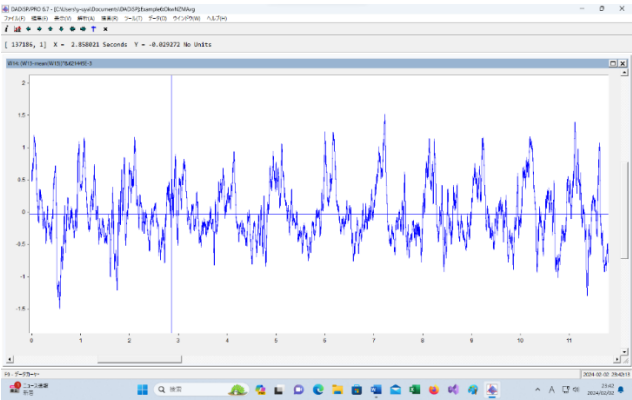


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

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。

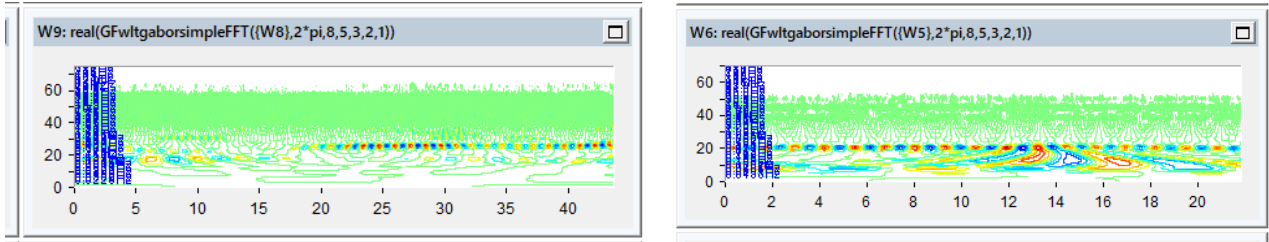
対象	周波数[Hz]	周期[S]	最大音圧	PT
車（強）	1	1	0.42	0.42
箱（中）	1	1	0.33	0.33
外（弱）	1	1	0.23	0.23
穏かな日	0.8	1.25	0.15	0.1875
JFE	12.5	0.08	0.096	0.00768
神社	1	1	0.01	0.01



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、



0.8Hz 程度の周波数成分が、0.3 パスカル程度の強さで放出される状態が 100 秒程度継続することが分かります。共鳴や共振現象などを発生させ、寝ている人間を起こすには十分な継続時間です。  
 さらに、色が特に濃い部分は 20 秒程度継続します。この部分が継続すれば、高い音圧での影響を感知することになります。目が覚めるだけの影響ならば良いのですが、継続時間が長いと気泡発生の可能性が高くなります。

“泡のエンジニアリング”    テクノシステム    を参考にすれば、

### 1 1．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)

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

による。

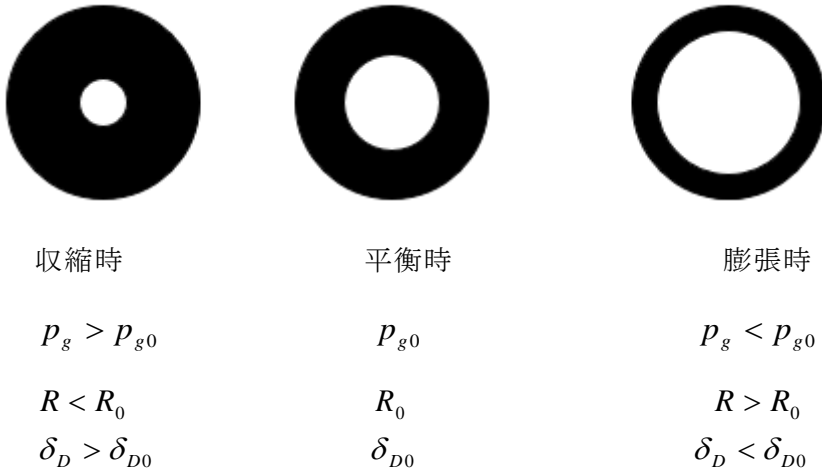
液体中の濃度境界層厚さを  $\delta_D$  とすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

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

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



まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度  $\rho_{gLW}$  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ことを考えると、やはり、膨張による析出量が収縮による溶解量を上回ることになる。

となっています。

大型風車では、風車の回転数  $R$  が小さくなって、 $0.5\text{Hz}$  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、 $1\text{Hz}$  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う。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、 $0.5 \sim 1\text{Hz}$  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 k m の距離に並べることは狂気の沙汰です。

## 10. 3. 5 潜水病についての資料

沖縄南部徳洲会病院総合健診センター

相馬 康 男

潜水業務の特殊性

(潜水業務関係者の方々へ)

スキューバダイビングは人気の高いマリンスポーツです。日本では老若男女を問わず誰でも気軽に参加できる安全なスポーツ、と思い込まされています。しかし、「潮流や濁りや有毒生物も存在する自然界の海と高水圧下と言う、陸上とは違う環境での活動」による、陸上生活では理解出来ない多くの問題があります。安全な潜水を行うにはⅠ.水圧の影響についての理解、Ⅱ.水中活動に適応する適切に管理された訓練そして、Ⅲ.潜水適性を確認する定期的な医学検診が不可欠です。

### Ⅰ. 水圧による影響

ロシアの原潜クルスクや東シナ海での不審船引き上げの様に、水深 100 ㍎での危険性は誰でも納得します。では、水深何㍎から危険なのでしょう。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 ㍎(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 ㍎を越えませんが重症な潜水障害が発生しています。法律論はさて置き、水圧による影響である「潜水障害(潜水病)」の主な項目を説明しておきましょう。

減圧症 動脈ガス塞栓症 窒素酔い 骨壊死酸素中毒 浅海失神 圧平衡不良 その他

炭酸飲料の泡から理解できる様に、圧力が高いと気体は液体(体内)へ溶け込めます。陸上の 1 気圧(大気圧)下でも体内には空気中の窒素が約 1 ㍎溶け込んでいます。潜水すると水深 10 ㍎毎に溶け込む空気が倍増します。例えば水深 20 ㍎(大気圧の 1 気圧 + 水深 20 ㍎での水圧 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 ㍎になります。このよう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 ㍎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がる。② 不整脈(潜水徐脈)により血流がヨドんで血液が固まり易くなって血管に塞がる。③ 高脂血症(乾燥空気の呼吸による脱水)により血液がドロドロとなり、血栓(と気泡)が出来易くなって血管に塞がる。④ 高血糖・ストレスで血液がベトベトになり、血栓が出来易くなって血管に塞がる。⑤ 高血圧(浮上と潜降による急激な圧変化)により血管に負担が掛かり脆くなって破れる。⑥ 肥満・喫煙・運動不足等により血管の弾力性がなくなる。等だからです。脳梗塞や心筋梗塞は発作から 3 時間以内に治療しないとひどい後遺症を残しますが、減圧症も速やかに治療を受けないとめまいや慢性関節痛、半身不随等の症状が一生続く事になります。また、

潜水直後は症状の有無に関係無く、必ず体内に気泡ができていたと言う事も常に意識して下さい。気泡が障害を起こすか起こさないかの差は紙一重です。更に、潜水後の飲酒は2脱水状態を引き起こします。特に水分補給のつもりでビールを飲む方が多いのですが、アルコールが体内に入ると、アルコールを排出させる為に水分も一緒に過剰に排出されて脱水状態(血液ドロドロ)を引き起こします。ダイビング前後のビールやお酒類は非常に危険です。

常識とは逆に、気体の大きさは水深が浅くなる程大きく膨張します。つまり、水面に近い程、体内気泡の膨張による危険性が高まります。水深30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メートル付近から水面へ浮上する圧力差は、地上から上空1万8千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を受けています。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の空洞部分(肺や副鼻腔、中耳、胃腸)にある高圧空気によって強烈な衝撃力が加わり損傷させます。しかし、実際に呼吸しているダイバーがこの「硬い空気」を認識する事はできないので、危機意識が持てません。

最近の研究では、潜水病にはなりそうもない軽度の潜水後に減圧治療を必要とした事例が数多く報告されています。これは肺に高圧空気が入っている為に、タバコや汚染空気、感染症等によって弱くなった肺や気管の一部分が破れて動脈ガス塞栓と同じ状況が発生していると考えられています。つまり、浅く短い潜水であっても必ず潜水障害の危険性がある事を忘れないで下さい。

高圧空気を呼吸すると、酒に酔ったのと同じように適切な判断が出来なくなります。これを「窒素酔い」と言います。極端な場合、水中で呼吸装置を口から外して笑い続けて溺れます。厄介なのは窒素酔いにな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って常に新しい骨へと置き換えています。潜水を行うと骨細胞に栄養を送っている血管が塞がったり骨細胞自体への圧迫等によって骨の再生が止まってしまい、気付かない内に骨がボロボロになります。これを「減圧症性骨壊死」と言い、痛み等の症状が出た時点では殆ど手遅れで、人工関節埋め込み手術等が必要になります。

これら以外の潜水障害についてもダイビングスクールや潜水士講習で教わっている筈なのですが、忘れてしまったか、インストラクター自身が潜水障害を全く理解していないのが現状です。

## II.適切な訓練

潜水士テキストは1998年に大幅に改定されましたが、基本となる高圧則は1972年9月30日以来殆ど改

定されていません。潜水士免許は筆記試験だけで交付されますから、泳げなくて水が怖い方でも一生資格を失う事はありません。また、この法律での潜水事業は海底油田や海中トンネル等の大規模工事で、浮上する前に体内の余分な窒素を抜く為の減圧停止を行うヘルメット式減圧潜水を前提としています。ですから、水面からホースを使ってダイバーに空気を送る方法と、減圧停止を無視した場合の緊急再圧の教育(送気員、再圧員)だけを義務付けてはいますが、スキュ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。沖縄県の水上新規条例ではレジャーダイビング従事者に潜水士免許取得を義務付けていますが、認可制では無く届出制ですので徹底されてはいません。ダイビングショップのインストラクターは潜水士免許が無くても業務に従事しますし、所属営利団体に年会費と保険料さえ払い続ければ、一切の追加教育や更新訓練を受けなくてもインストラクター資格を失う事もあります。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 ㍎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 ㍎に 1 時間潜水すると水深 9 ㍎で 10 分停止、6 ㍎で 27 分停止、3 ㍎で 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で減圧症になります。漠然と 6 ㍎や 3 ㍎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。所定的水深から 10 ㍎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 ㍎を越える大深度潜水の場合、母船上の加圧室で呼吸抵抗、酸素中毒、窒素酔いを防止する為のヘリウムを使った特殊ガスと圧力に慣れさせた後に目的の水深へと加圧室ごと潜降し、潜水業務中は加圧室を居住区域とする飽和潜水を繰返し、水中業務が終了したら加圧室内で加圧されたまま母船へと引き上げた後に厳密な減圧手順を行います。ここまでやっても大深度での安全は保障できません。アメリカ海軍の特殊部隊 (Navy Seals) ダイバーでさえ基本的に減圧潜水も反復潜水 (48 時間以内に 2 回以上潜ること) も禁止されています。スペースシャトルから宇宙服へ着替えて船外へ出る場合には、1 気圧の居住区からエアロックへと移り 0.3 気圧まで(水深換算すると水深 7 ㍎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 ㍎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 ㍎迄だと 55 分へと半減し、24 ㍎迄では 37 分しかありません。この値はヘルメット式潜水の様に一定の水深に留まる場合の限界なので、自由に水深を変えるスキューバはもっと長く潜れるとの勝手な解釈があります。理論的には逆で、浮いたり潜ったりの水圧変化が大きいと潜水障害の危険性が高まりますし、限界時間の計算自体が不可能になります。また、浮上速度は毎分 10 ㍎以下

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 ㍎と誤解されたままです。最近の



研究では水深 10 ㍓から水面までは毎分 6 ㍓以下が推奨されています。

最後に水中活動への順応性を維持する上で不可欠な継続的訓練です。二足歩行で陸上生活をする人間は、水中でも無意識に立ち姿勢を取りますから、移動の際には体全体で水の抵抗を受けてしまいます。海中では海底に手足を付いて支える事はありません。つまり、日常使わない筋肉を駆使して海底に対して水平方向に、フィンによりバランスを保たなければなりません。透明度が悪いまたは極端に透明度が良い場合、水底と水面の上下関係が判断できなくなってパニックを起こす危険性はベテランダイバーにもあります。タンクからの乾燥した空気を吸いますし、レギュレーターによる口だけからの呼吸となり、普段の鼻からの呼吸が出来ない違和感を伴います。更に、潜降すると保温スーツの生地が水圧で潰されて沈み気味となり、浮上すると逆に浮き気味になります。それぞれの水深での適正な中性浮力を保つ為には、精神的に安定した意識的な呼吸によって「肺の浮き袋機能」を活用しなければなりません。この様に、潜水業務では陸上とは全く違う状態でのバランス感覚を維持しておく必要があります。陸上の自転車でのバランス感覚等とは異なり、水中のバランス感覚はかなり継続的に訓練しておかなければ維持できません。また、安全索やホースで母船と結ばれているヘルメットダイバーと違い、スキューバダイバーは水面へ浮上した場合の潮流と風向のベクトルを、体感と視覚とコンパスによって浮上前に計算する訓練を積んでいないと、目標水面へ到達できずに漂流してしまいます。更に、人間は呼吸ができない状態になると 1 分程度で意識を失い溺れます。潜水訓練は厳重な安全管理と体系的プログラムに基づいて、教育能力と救難実績が豊富な指導者により実施されなければ効果は上らず評価も出来ませんし危険です。

器材管理：潜水器材は各メーカーから様々な型式のものが販売され、毎年モデルチェンジが繰り返されます。ここ 10 数年の製品はファッション性に重点が置かれ、信頼性に欠ける器材が殆どです。特に、水面での浮力確保と水中での浮力調節を行う BC( Buoyancy Compensator 浮力調整具)は、タンクからの給気と排気のボタンの位置が機種によりかなり異なり、使い慣れないと押し間違いを起こし、先に述べた急浮上や潜水墜落を招く危険性があります。また、タンクからの呼吸空気量を調整するレギュレーターも管理を怠ると吸い難いとか吐き難い等の呼吸困難、更には浸水する等の事態を招きます。高圧則第 34 条 2 項には潜水器材についての点検修理の規定もありますが、BC やレギュレーターに関する記述は一切有りません。ここでは法律上の勘違いが多い項目を幾つか挙げておきます。高圧則第 37 条 2 項でのボンベによる潜水時の携行物として時計、水深計、刃物そして救命胴衣が義務付けられています。つまり BC ではなくてタンクハーネスだけでの潜水は違法です。

高圧則第 42 条 1 項では、水深 10 ㍓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」は治療方法ではなく、異常が全く無い場合に限った減圧停止の緊急避難方法です。医療機関での高圧酸素を使って、3.8 気圧 6 時間掛けても治療出来るとは限らないのに、長くて 1 時間程度の「吹かし」で治療できる筈がありません。長期的にみても「吹かし」は骨壊死や関節痛、めまい等の慢性減圧症を必ず悪化させます。

### Ⅲ. 潜水適性

陸棲動物の人間にとって、空気の無い深く冷たい水中への漠然とした恐怖心を持つのは当然です。高所恐怖症と同じで、潜って遠い水面を実感しないと「深所恐怖症」なのかどうかは分かりません。この様に、潜水にも精神的・肉体的な適性があります。今まで述べてきました様に「ダイビングは誰でも参加できるレジャー」では無いのです。適性を欠いた状況でのダイビングは事故に直結します。医学的に潜水に適さない身体的疾患には以下の様な項目があります。

脳血管障害（一過性脳虚血発作、脳出血、くも膜下出血、脳梗塞）

痙攣性疾患（てんかん、電解質異常による筋肉痙攣）

心血管障害（心筋梗塞、狭心症、不整脈、先天性心奇形、自律神経障害）

呼吸器疾患（喘息、自然気胸、肺嚢胞）

耳（耳管機能異常、中耳炎、内耳炎、平衡感覚機能障害）

代謝疾患（糖尿病、肝機能障害、腎機能障害）

骨障害（慢性減圧症としての骨壊死、副鼻腔の炎症）

その他（妊娠による胎児への影響）

陸上生活では何ら問題とならない疾患も潜水業務では絶対禁止となります。例えば、肺嚢胞は全く自覚症状がありませんが、潜水による圧力変化によって破裂する危険性があります。自然気胸を起こす肺嚢胞、喫煙や大気汚染、無症状の結核等の感染症による肺気腫・無気肺については、少なくとも就業前と半年毎の胸部レントゲン検査及び疑わしい場合の胸部 CT 検査が不可欠です。更に、生活習慣病を発症させる生活様式を続けている場合は脳卒中と心臓発作の危険性を確認する脳 MRI 検査と負荷心電図検査等も必要です。水中での発作は死に直結します。

高圧則では就業前と半年毎の「専門医」による検診を義務付けています(第 38 条)が、日本の医学教育では潜水業務に関する授業が有りません。再圧チャンバーのある病院であっても潜水障害を診断そして治療できる医師は極めて少数です。蛇足になりますが、日本では減圧症の診察で CT や MRI を撮って再圧チャン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が、再圧治療には最低でも医師 1 名、心肺停止等の緊急事態に対応できるチャンバー内外の看護婦 2 名、チャン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、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。

## 12. 鹿島沖、銚子沖での洋上風力の被害予測

鹿島沖の洋上風力発電に関して、茨城県の情報公開で次の資料を得た。

風速帯 (m/s)	予測地点	時間 区分	残留 騒音 [a]	寄与騒音 レベル [b]	将来騒音 レベル [c:aとbの 合成]	指針値 [d]	評価 [c vs d]	増加分 [c-a]
7	KN-1	昼間	43	30	43	48	○	0
		夜間	45	30	45	50	○	0
	KN-2	昼間	41	31	41	46	○	0
		夜間	41	31	41	46	○	0
	KN-3	昼間	47	36	47	52	○	0
		夜間	46	36	46	51	○	0
14	KN-1	昼間	43	38	44	48	○	1
		夜間	45	38	46	50	○	1
	KN-2	昼間	41	39	43	46	○	2
		夜間	41	39	43	46	○	2
	KN-3	昼間	47	44	49	52	○	2
		夜間	46	44	48	51	○	2

### 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。

・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

【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。
- ・ 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<sup>5</sup>。

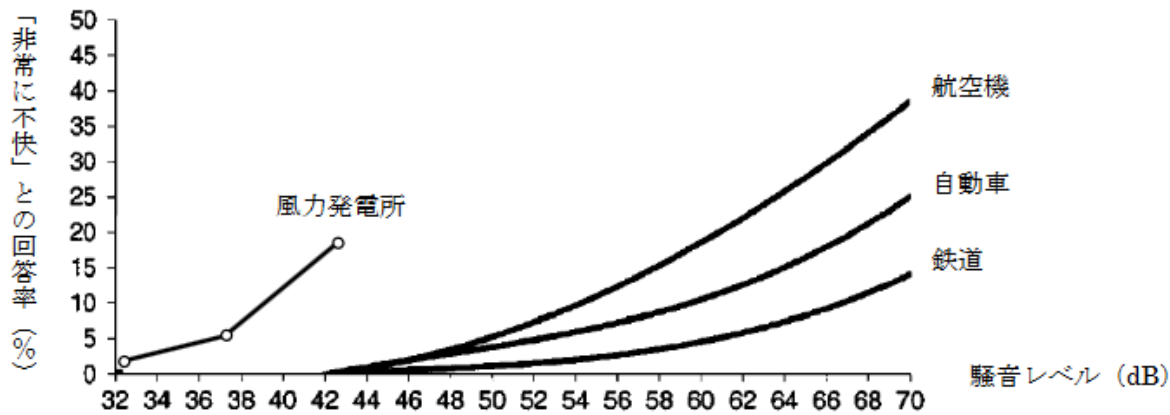


図 8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係  
(脚注 3 及び 5 の文献より環境省作成)

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。

グラフを参考にして、

到達風車音	50.0	49.7	49.3	48.0	47.7	46.7	45.5	43.8	43.7	43.3	42.0	40.8	36.7	36.1
非常に不快（％）	40	39	37	35	32	30	25	22	22	20	16	14	5	5

と言う表を作りました。

風速帯 (m/s)	予測地点	時間 区分	残留 騒音 [a]	寄与騒音 レベル [b]	非常に 不快	将来騒音 レベル [c:aとbの 合成]	指針値 [d]	評価 [c vs d]	増加分 [c-a]
7	KN-1	昼間	43	30		43	48	○	0
		夜間	45	30		45	50	○	0
	KN-2	昼間	41	31		41	46	○	0
		夜間	41	31		41	46	○	0
	KN-3	昼間	47	36	5%	47	52	○	0
		夜間	46	36	5%	46	51	○	0
14	KN-1	昼間	43	38	7%	44	48	○	1
		夜間	45	38	7%	46	50	○	1
	KN-2	昼間	41	39	12%	43	46	○	2
		夜間	41	39	12%	43	46	○	2
	KN-3	昼間	47	44	22%	49	52	○	2
		夜間	46	44	22%	48	51	○	2

おまけ：

（参考）国家公務員法

信用失墜行為の禁止（国公法第 99 条）

- 職員は、官職の信用を傷つけ、又は官職全体の不名誉となるような行為をしてはならない。
- 国民全体の奉仕者として公共の利益のために勤務する公務員が非行を行うことは、公務に対する信頼を損ね、公務全体への信用をも失うことになることから、公務員が官職の信用を損ね、公務員全体が批判を受けるような行為を行うことは公私を問わず禁止されている。
- 信用失墜行為には、職務遂行行為として行われるものに限らず、職務に必ずしも直接関係しない行為や勤務時間外の私的な行為も含まれる。（例 職務と関係・関連のある行為：収賄、業務上横領、職権の濫用、職務遂行中の暴言など、職務と関連しない行為：勤務時間外での飲酒運転、暴行など）