

内容

風力発電施設における騒音および超低周波音	3
風車音の特徴	10
他の騒音と風車音の比較	10
波の形	10
周波数スペクトル	12
風車音の周波数成分	13
風車のブレードの破損と超低周波音	14
5. 1. 3 エネルギー分布	15
超低周波音には 0.5Hz のものもある	17
水平軸型風車の宿命	18
ガタツキによる睡眠妨害	23
10. 2. 4 不眠による被害	25
嘘の始まり	34
環境省の助言	36
遊佐町での住民説明会（R5.3.11）環境省の嘘	36
論点を 20Hz 以上の騒音に限定する場合	38
風車音の計測と二重防風スクリーン	38
閾値	46
“Moorhouse 他による限界曲線”	50
平成 22 年、環境省の調査	53
風車騒音と他の環境騒音の比較	56
騒音レベル（A 特性音圧レベル）での比較	56
可聴低周波領域（20～100Hz）での比較	57
1/3 オクターブ解析のグラフの意味	59
環境省の軍門に下り、“知覚閾値”を追加した経産省	65
実験内容	67
イヤホン	71
収録波形（供給信号）とスピーカでの再生音	71
振幅変調音（スイッチュ音）の原因	73
純音成分	82
指針値と被害	86
10. 健康被害と原因	97
10. 1 アノイアンスとラウドネス	97
10. 1. 1 唾液コルチゾール検査	107
10. 1. 2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査	108
10. 1. 3 風車音の影響	112

10.2 間接的な健康影響（安眠妨害）	127
10.2.1 風車による睡眠へ影響.....	127
10.2.3 圧力変動の感知.....	129
10.2.4 不眠による被害.....	133
南房総市の健康だより	137
10.3 直接的な健康被害（循環器障害と頭痛）	143
10.3.1 超低周波音の解析と発生の仕組み	143
10.3.2 圧縮と膨張.....	157
10.3.3 長期曝露による循環器障害	163
10.3.4 音響キャビテーションと頭痛.....	167
10.3.5 潜水病についての資料.....	177
風車音の計測方法と解析方法	182
・石狩湾での計測結果	186

風力発電施設における騒音および超低周波音

川俣町（福島県）の HP に、特集記事が載っていました。“[風力発電に関わる講演会 in 川俣](#)”です。内容は、“風力発電施設における騒音および超低周波音について”でした。



川俣町

2020/12/13 · 🌐

[タイムラインの写真](#)

【風力発電に係る講演会を開催いたします】

今回のテーマ：風力発電施設における騒音及び超低周波音について

現在、川俣町では民間事業者による風力発電事業（麓山風力発電事業、笹峠風力発電事業）の検討が進められております。これまで風力発電への理解を深めていただくために講演会や発電施設見学会を実施してきました。

今回は第3弾として、風力発電がもたらす騒音等の生活環境への影響について講演していただきます。

講演会は、下記の日程で2回開催いたします。

風力発電事業について理解を深める機会として是非、ご参加ください！

行われたのは、2020年12月です。

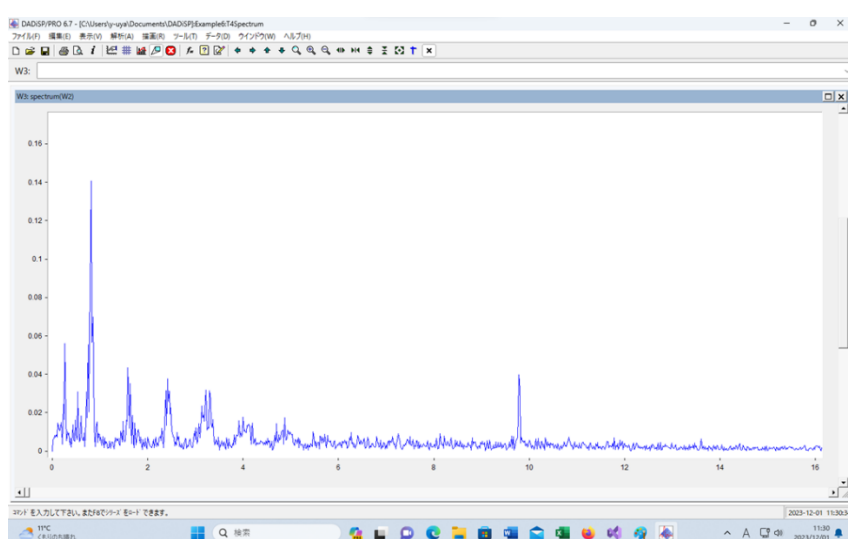
この講演で、とても不思議な事があります。それは、風車音の具体的な計測データや解析結果が書かれていないことです。

昔の環境省は

“その基本周波数 f (Hz) は、翼の回転数を R (rpm)、翼枚数を Z (枚) とすると $f = RZ/60$ (Hz) で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は1～3枚（3枚が主）、回転数は30～60 (rpm) 程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。”

とっていました。これに従って、今の大型風車で計算すると、0.5Hz とその倍音という事になります。0.5Hz で最大音圧となります。

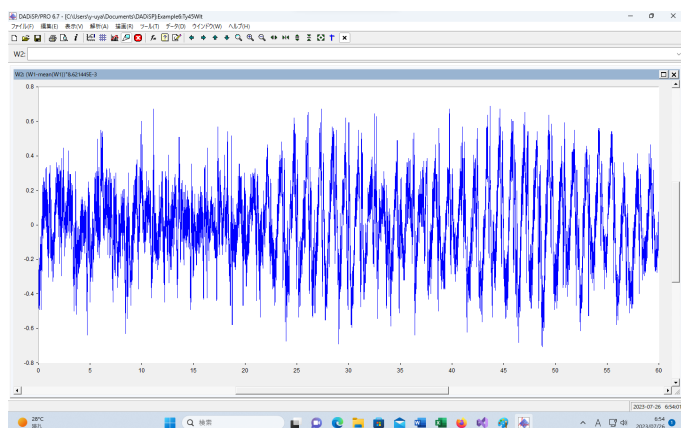
館山の風車では、基本周波数と倍音の音圧は次のようになっています。



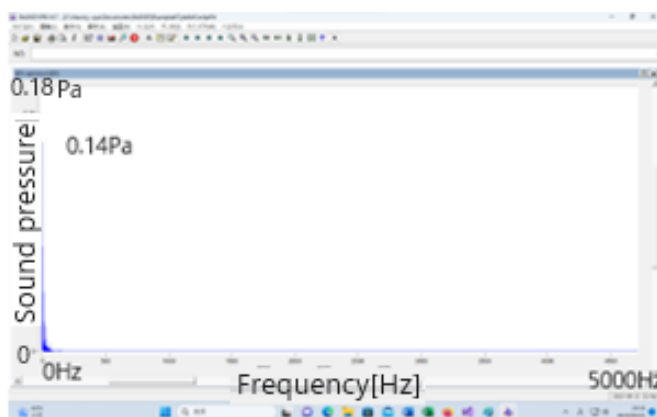
周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

基本周波数を f Hz とすれば、 $f/3$ 、 $2f/3$ 、 f 、 $2f$ 、 $3f$ Hz で音圧がピーク値となります。

風車音の波形



0～5000Hz までの周波数スペクトル



これを見れば、風車音は基本周波数のあたりに集中していることが分かります。町田先生の講演会では、この部分が説明されていません。

被害を考えるには、風車からこのような性質を持った音が発生する仕組み、風車音の物理的な性質、人体への物理的な影響を考えなくてはなりません。

周波数スペクトルを見れば、風車音から超低周波音の部分を除外すると残りがほとんど無いことが分かります。



△2日間にわたり開催された講演会には町内外から計 65 名が参加しました。

12月18日と20日の2日間、風力発電に係る講演会「風力発電施設における騒音及び超低周波音について」（講師：日本大学町田信夫名誉教授）が開催されました。今回の特集では、開催された講演会から騒音及び超低周波音についての基礎的な知識を皆さんにお知らせします。

音は**主観的なもの**であり**大きさや高さ、音色**などで捉えられ、私たちが感じ取るのは**感覚としての音**です

講演は、日大の町田先生の講演でした。

次の文章は、町田先生の主張なのか、川俣町の職員の主張なのかは分かりませんが、

音は主観的なものであり大きさや高さ、音色などで捉えられ、私たちが感じ取るのは感覚としての音です

音は、空気中を振動が粗密波として伝搬する物理的な現象だと考えるべきです。音は、私たちの聴覚でも感知できますが、精密騒音計でも計測できます。

20Hz～20 kHz の可聴域の音に関しては、音の振幅や振動数や波形の違いによって、聴覚での感知の場合では、音の大きさや、音の高さや、音色を感知します。

周波数によっては、聴覚による把握以外の形で把握される事もあります。超低周波音の場合は、圧迫感や頭痛、アノイアンス（不快感）、がたつきや振動による睡眠妨害などの形で知覚されます。超音波（非常に周波数が高い音）の場合には、皮膚のやけどによる痛みとして知覚されます。人間は音圧の変化を圧迫感や不快感として感じ取る事もあるのです。

[“低周波音の測定方法に関するマニュアル”](#) 平成 12 年 10 月 環境庁大気保全局

“2. 2 低周波音の苦情

低周波音による苦情は物的苦情と心理的苦情、生理的苦情に大別される。苦情の内容を以下に示す。

（1）物的苦情

物的苦情は、**音を感じないのに戸や窓がガタガタする**、置物が移動するといった苦情である

物的苦情が発生する場合は、低周波音では、20Hz 以下に卓越周波数成分をもつ超低周波音による可能性が高い。なお、物的苦情は低周波音だけでなく地面振動によっても発生する場合があるので、低周波音と地面振動の両方の可能性を考えておく必要がある。

（2）心理的苦情、生理的苦情

心理的苦情は、**低周波音が知覚されてよく眠れない、気分がいらいらする、胸や腹を圧迫されるような感じがする**といった苦情である。生理的苦情は、**頭痛・耳鳴りがする、吐き気がする**といった苦情である。

心理的苦情、生理的苦情は、低周波音が原因である場合と低周波音以外の原因による場合が考えられる。低周波音が原因であるか否かは、苦情者の反応と物理量の対応関係により判定する。

4.2.1 苦情の内容

低周波音による苦情は物的苦情と心理的苦情、生理的苦情に大別される。物的苦情は、音を感じないのに戸や窓がガタガタする、置物が移動するといった苦情である。心理的苦情は、低い音が気になる、気分がいらいらする、胸や腹を圧迫されるような感じがするといった苦情で、生理的苦情は、頭痛・耳なりがする、吐き気がするといった苦情である。

苦情者とのやりとりから、苦情内容がこのいずれかにあてはまるか、それ以外かに分類する。物的苦情か心理的苦情、生理的苦情の場合、以下のような場合が推測される。

（1）物的苦情

物的苦情が発生する場合は、低周波音では、20Hz 以下に卓越周波数成分をもつ超低周波音による可能性が高い。なお、物的苦情は低周波音だけでなく地面振動によっても発生する場合があるので、低周波音と地面振動の両方の可能性を考えておく必要がある。

（2）心理的苦情、生理的苦情

心理的苦情、生理的苦情の場合は、20Hz 以下の超低周波音による可能性と、20Hz 以上の可聴域の低周波音に

よる可能性が考えられる。このうち、超低周波音の場合は物的苦情も併発していることが多く、建具等の振動によって二次的に発生する騒音に悩まされている場合もある。可聴域の低周波音の場合は非常に低い音によって上記のような苦情が発生していることが多い。“

苦情と書いてあるが、内容としては、音がうるさいとの表現だけではない。
“低い音が気になる、気分がいらいらする、胸や腹を圧迫されるような感じがするといった苦情で、生理的苦情は、頭痛・耳なりがする、吐き気がするといった苦情である。”
という訴えである。交通騒音では、このような訴えは見られない。低周波音の特徴的な訴えである。

周波数が極めて高い“超音波”の場合は、別の形で反応します。もちろん、超音波も聴覚では感知できません。美顔器は、周波数が高すぎて聞こえない音である超音波を使っています。強すぎれば、顔に火傷ができます。“実際、消費者庁の「事故情報データベース」には2015年1月から21年6月まで、ハイフによる事故報告が計77件寄せられている。

内訳は「顔面の一部にまひが残った」といった神経や感覚の障害が10件、「あごに赤茶色のシミのような痕ができた」というような皮膚障害が14件、やけどが33件など。美容外科などの医療機関でも17件の事故が起きていたが、エステ店での事故はその3倍超の53件に上った。「セルフハイフ」での事故も7件あった。“
音を感知する仕方は周波数によって違っているのです。

▼
そもそも音って何？

音は、空气中を伝わる波の一種であると考えられており、音の大きさはdB（デシベル…音のエネルギー）、音の高低はHz（ヘルツ…音の周波数）、音色は波のかたちで表現されています。私たちが生活する中で、身の回りの音は、聞こえる音（可聴音／低周波音の一部）と聞こえない音（超音波／超低周波音）に分類されます。音の大きさは周波数によって変わり、人が聞き取れる音の周波数は、普通の音圧で20〜20,000Hz程度で加齢によって高い周波数から聴力が落ちていきます（生理的現象）。聞こえる音のなかでも望ましくない音は騒音とされます。

騒音の大きさ	具体的な事例	聴覚的な目安
120 デシベル	飛行機のエンジンの近く	聴覚機能に異常をきたす恐れがある
110 デシベル	ヘリコプターの近く／自動車のクラクション（直近）	
100 デシベル	電車が通るときのガード下／自動車のクラクション	
90 デシベル	大声／犬の鳴き声／騒々しい工場内	きわめてうるさい
80 デシベル	地下鉄の車内（窓を開けたとき）／ピアノの音	うるさい
70 デシベル	掃除機／騒々しい街頭／キータイプの音	
60 デシベル	普通の会話／チャイム／静かな乗用車内	ややうるさい
50 デシベル	エアコンの室外機／静かな事務所	普通（日常生活で望ましい範囲）
40 デシベル	静かな住宅地／深夜の市内／図書館内	
30 デシベル	ささやく声／深夜の郊外	静か
20 デシベル	ささやき／木の葉のふれあう音	きわめて静か

上の表の“騒音の大きさ”は、A 特性音圧レベルとして計算される数値です。右端では、聴覚的な表現として“うるさい”のか“静か”なのかが書かれています。

風車の音を、計測して交通騒音と比較するときは、表の右端のような表現はしません。
“非常に不快”と表現します。

”検討会報告書「[風力発電施設から発生する騒音等への対応について](#)」“p 14 には、
“風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすいことが示唆されている。

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

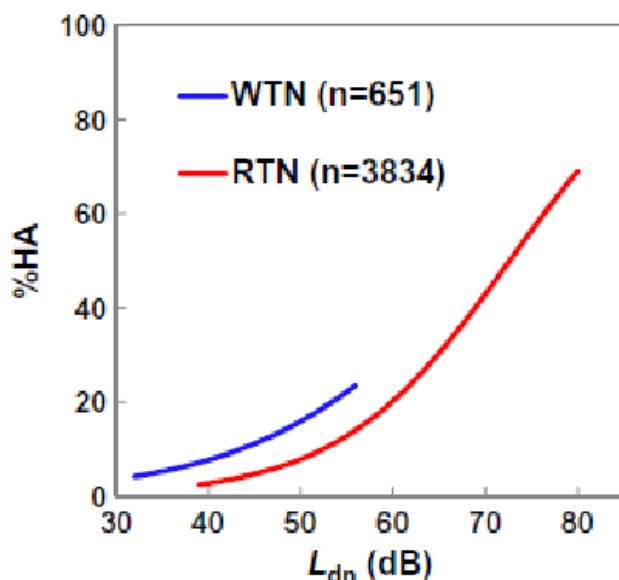


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（ L_{dn} ）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

※ 風車騒音については、終日定常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。”

したがって、A 特性音圧レベルで把握されるラウドネス（うるささ）以外の要因から、寄与率の高いものを見つけるべきです。

これは、風車音では、うるささを表す指標としての A 特性音圧レベル（騒音レベル）が指標としては機能しな

い事を意味しています。

音が原因となっている場合に、ラウドネス（うるささ）として感知される場合と、アノイアンス（不快感）として感知される場合があります。

後ほど詳しく示しますが、圧迫感に関しては、風車音の波形を精密に測定すればすぐに分かることですが、風車の超低周波音は、人体を物理的に圧縮膨張させます。単なる圧迫感ではなく、物理的な圧迫そのもののものです。

音圧が高くても、周波数が高ければこの方が起きないこともすぐに分かります。

平成28年11月

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 [報告書概要](#)

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

風車が見えていても、風車を止めれば被害は激減する。風車は立っているのだから、景観には大きな違いはない。アノイアンスを低減するには、風車を解体する必要はなく、停止すれば十分な効果が得られる。

伊豆の場合、

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

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（％）

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

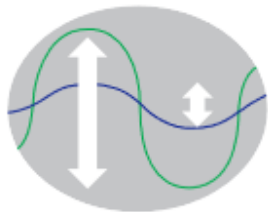
注：事故停止中、住民121人中の77人が回答した。改善63人(改善率82％)。調査結果に転居(10戸)避難者は含まない。出典：三井大林熱川自治会（2009）。

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車3基を停止すること、次に近い風車2基の回転数を4割減らすこと―という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによって睡眠障害は7割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。“

風車を止めれば症状は改善する。改善しないものとしては、血管が“不可逆性変化”を起こしてしまった人たちの被害もある。

風車音の特徴

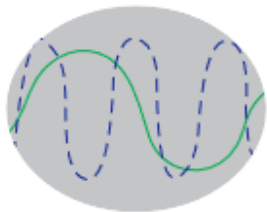
【音のすがた】



音の大きさは

dB (デシベル)

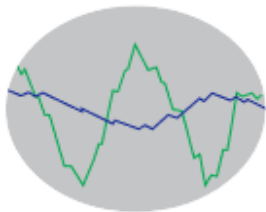
波の上下幅が長いと大きく短いと小さくなる。大きい音はエネルギーが大きいいため騒音となる場合が多い。



音の高低は

Hz (ヘルツ)

高い音は、波の上下回数が多く、低い音は回数が少なくなる。



音色は

波のかたち

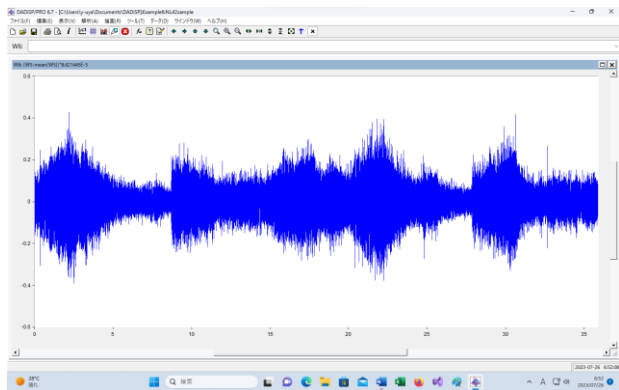
フルートの音やピアノの音、美しい声やダミ声など、音色の違いは波のかたちによって決まる。

他の騒音と風車音の比較

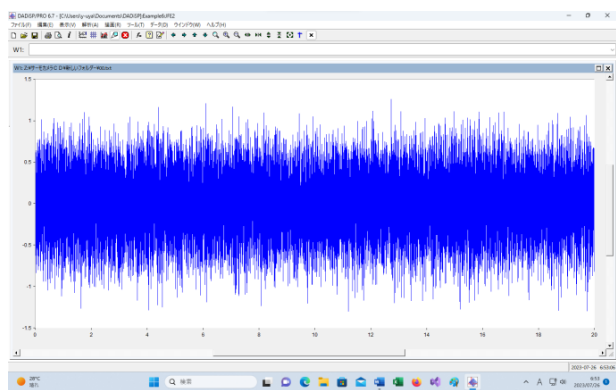
波の形

波の形について調べてみました。交通騒音、製鉄所での騒音、風車音には大きな違いがあるのです。

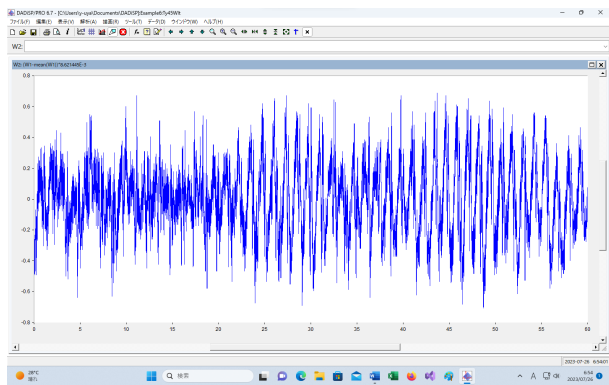
リオン社前の交通騒音



JFE の製鉄所内の音



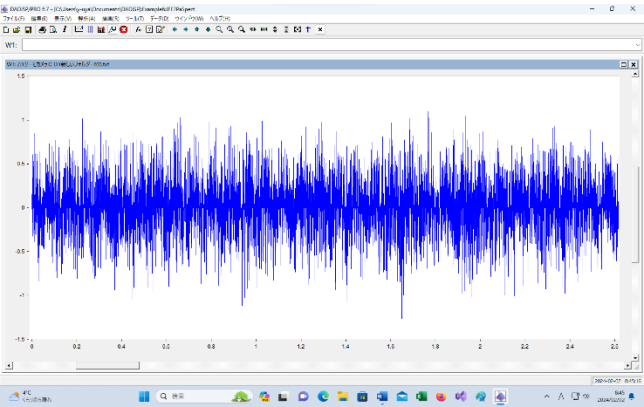
館山の風車音



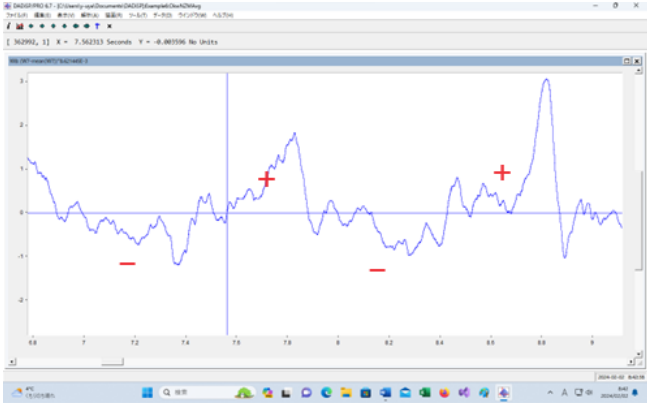
見てすぐわかるのは、風車音のグラフはスカスカです。他のグラフはぎっしり詰まっているという違いがあります。

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。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

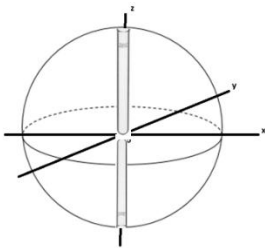
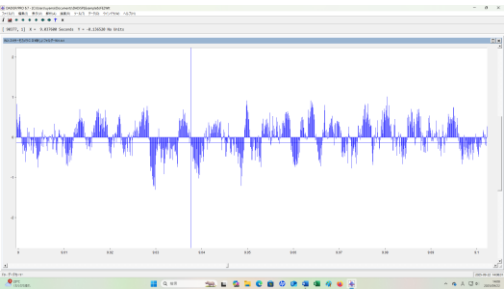


風車音の 2.2 秒間の波形



館山の風車音での基本周波数は 1 Hz 程度なので、人間の体にかかる圧力の正負は 0.5 秒ごとに変化します。このようにゆっくり変化する場合には、体内の圧力も大きく変化します。

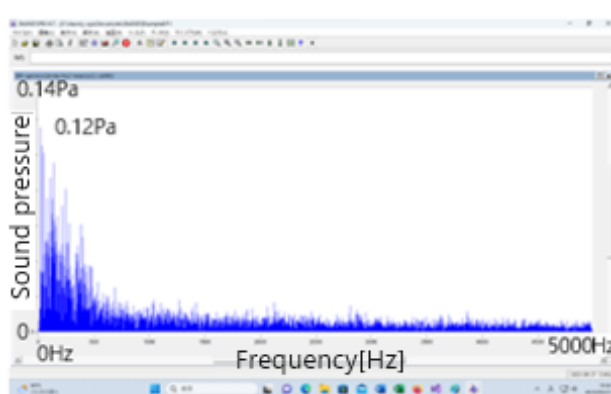
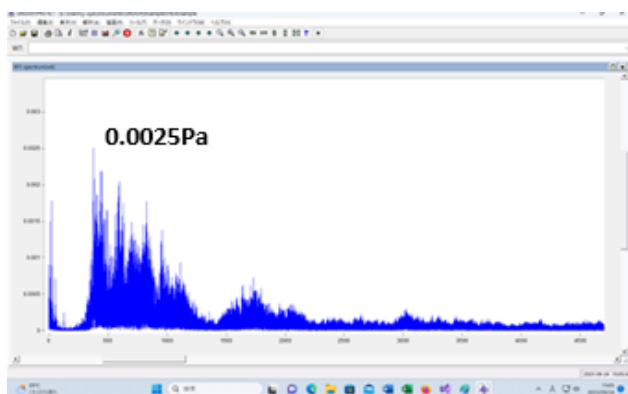
工場音では、0.0033 秒～0.0064 毎に人間の体にかかる圧力の正負が変化しますので、体内の圧力はほとんど変化しません。押されたと思ったらすぐに引っ張られるのです。時間が短すぎるので体の表面部分が移動する距離がほとんどゼロに等しいのです。



回数	外気圧	外力	気柱長さ	気柱体積	内気圧	終了秒
0	102401	8.0384785	0.5000000000	0.00003925	102400	0.00125
1	102401	8.0384785	0.4999999591	3.925E-05	102400.0084	0.0025
2	102401	8.0384785	0.4999998368	3.925E-05	102400.0334	0.00375
3	102401	8.0384785	0.4999996344	3.925E-05	102400.0749	0.005
4	102401	8.0384785	0.4999993547	3.92499E-05	102400.1322	0.00625

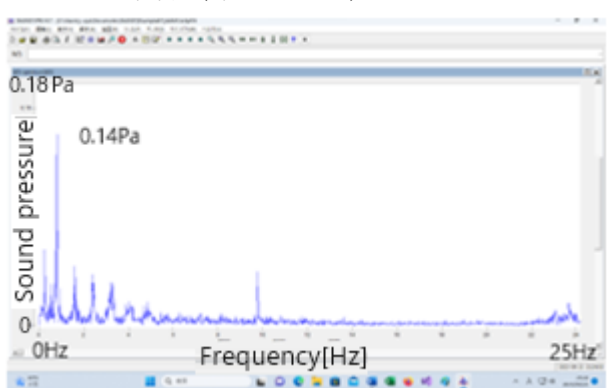
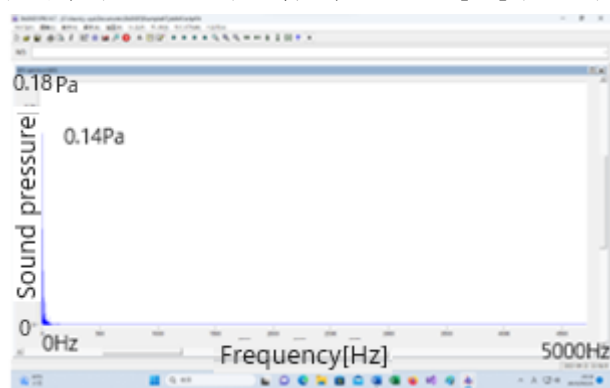
周波数スペクトル

交通騒音(0～5 kHz)：最大 0.0025[Pa] (379.4[Hz]) 製鉄所(0～5 kHz)：最大 0.12[Pa] (12Hz)



風車音(0～5000Hz)：最大音圧 0.14[Pa] (0.8Hz)

図5. 風車音（館山風の丘）0～25Hz



風車音は、左端の細い線で表されています。

周波数スペクトルは離散的です。

交通騒音は、音の周波数範囲はある程度広いが、工場騒音に比べるとそれほどでもない。工場騒音は広帯域の音です。

風車音は特殊で、左端の線にエネルギーが集中しているのです。さらに風車音の周波数スペクトルは離散的という特徴は、音響キャビテーションで気泡が発生するときの条件に合致しています。体内の圧力を大きく変化させるという性質も持ちます。

0.14Pa は、昔の環境省が言っていた基本周波数での音圧です。館山の風車は小さいので基本周波数は 1 Hz 程度です。

“4. [低周波音防止技術の概要](#)

4.1.5 風車

風車の超低周波音の発生原理は基本的には送風機のいわゆる回転音と呼ばれるものと似ている。大型発電用風車の場合、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。

その基本周波数 f (Hz) は、翼の回転数を R (rpm)、翼枚数を Z (枚) とすると

$$f = RZ/60 \text{ (Hz)}$$

で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。

大型発電用風車の場合、一般に翼枚数は 1～3 枚 (3 枚が主)、回転数は 30～60 (rpm) 程度であり、基本周

波数は数 Hz 以下になる。“

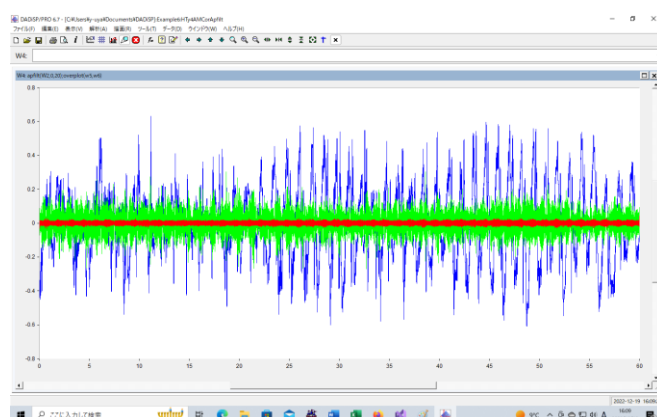
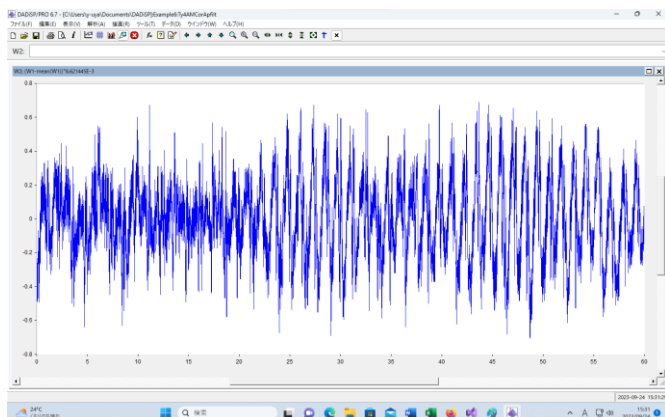
と言っていました。

これで計算すると、大きくなった風車では、 $f = RZ/60 = 0.5$ (Hz) となります。

0.5Ha の周辺のエネルギーは風車音のエネルギーの 50%以上を占めます。周波数範囲を、1~20Hz にしたのは、風車音被害の原因の半分以上を無視しているので、被害の原因が分らなくなります。

風車音の周波数成分

風車音のグラフは、次のものです。(パスカル値)



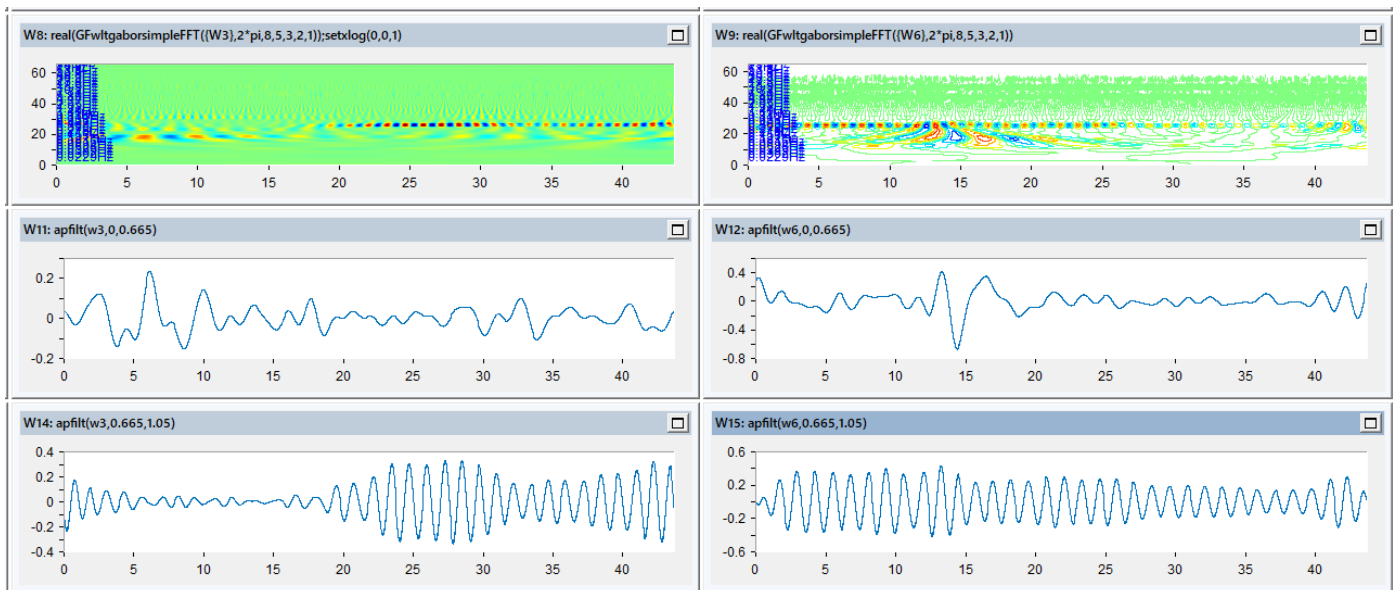
FFT を使えば、風車音を各周波数帯に分割できます。

0~20Hz を青、20~200Hz を緑、200~24000Hz を赤

として重ねたものが右の図です。超低周波音の音圧がとても大きいのです。

赤い部分は、200Hz 以上の成分で、振幅は変化していて、振幅変調の傾向が見られますが、振幅自体が小さく、変調の度合いも小さい。

風車のブレードの破損と超低周波音



上のグラフは合計 2 分間の風車音の解析結果です。

一番上は、Wavelet 解析の結果です、色の濃い帯は基本周波数の部分を表します。

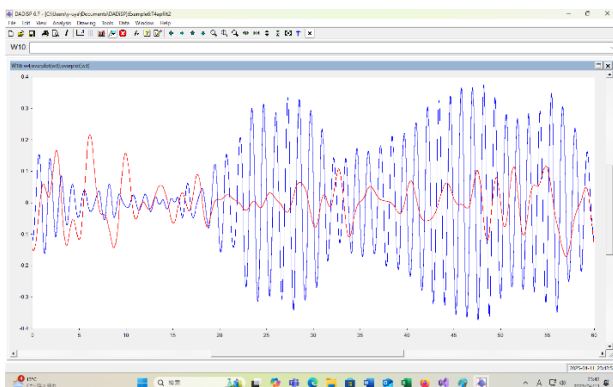
中央は、 $f/3$, $2f/3$ Hz の成分です。この部分はブレードの物理的なバランスが崩れていることを意味する音です。

基本周波数の振幅が小さくなる時（風が弱くなって振幅が小さくなり、風車を回転させる力が弱くなった時に大きくなる。（洗濯機の回転が弱くなった時に、洗濯物のアンバランスで洗濯機がガタガタする現象と同じです。）

これは、ブレードの大きな力が加わっていることを意味します。1 分間に 1 回程度尾ガタつくことが分かります。これが継続するので、ブレードがよく折れるのは当然の結果です。水平軸型の風車の物理的な欠陥なのです。

一番下は、基本周波数の音です。多くの説がありますが、この基本周波数の音が強くなったり弱くなったりする理由が説明されているものは、見たことがありません。（私は説明しています。）

f Hz 成分と (0~0.665Hz) 成分の比較



5. 1. 3 エネルギー分布

NL-62 には、波形収録機能があります。これは、

“● 概要

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

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

“
というものです。

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 m²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/m²)

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

ここで、p (Pa) は音圧、 ρ は空気の密度 (kg/m³)、c は音の速度 (m/s)

となっているので、音圧の 2 乗を比較すれば、音のエネルギーを比較することが出来ます。

風車騒音(0Hz 以上)のエネルギーの 93%程度を、超低周波音(0Hz-20Hz)の部分を持っているのです。

この場合は、超低周波音(0Hz-20Hz)の部分を切り捨てはいけません。

表にすれば。

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%

となります。

現在の環境省は、20Hz 以上の部分だけ、すなわち、風車音のエネルギーの 7 %以下の部分を計測して、その数値を被害の目安にしようと決めたのです。

さらに、0～20Hz ないでのエネルギーの分布は。

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)

となっています。

纏めれば、次の表になります。

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/m ²
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m ²
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m ²
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m ²
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m ²

大型化する風車では、ブレードの回転がゆっくりとなり、最大音圧を持つ周波数がさらに低くなります。超低周波音の高い音圧で、圧迫感や不快感を覚える人が増えてますが、A 特性音圧レベルの数値は変わりません。A 特性音圧レベルの数値からでは原因が分からない訴えが増えるのです。

もともと、風車音での A 特性音圧レベルの数値は他の環境騒音よりも低いことが多いのですから、風車音の特徴を見ないで判断すれば、“クレーマーが増えた”というような結論になってしまいます。

なお、風車から発生する超低周波音と他の環境騒音・交通騒音との比較ですが、風車音の超低周波音の領域で超低周波音の最大音圧を比較すれば、風車音は、交通騒音の 100 倍程度、JFE の製鉄所内の最大音圧と比較して、風車音は、同程度～3 倍程度、ですから、大きな違いがあると言えるのです。

超低周波音には 0.5Hz のものもある

【音の種別】



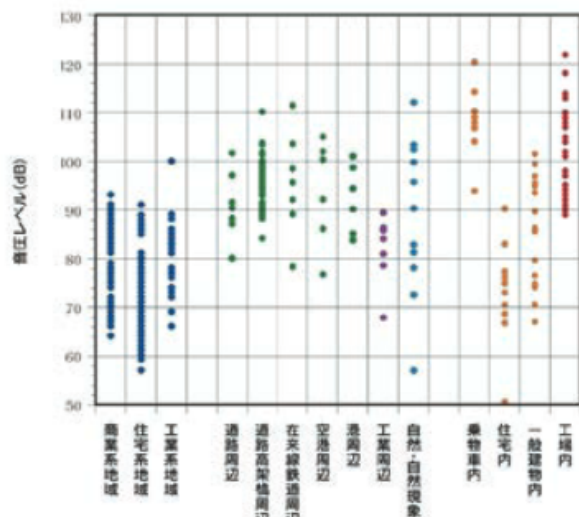
この“音の種別”の図をよく見ると、超低周波音、低周波音共に、1Hz 以上になっています。

昔の環境省は

“その基本周波数 f (Hz) は、翼の回転数を R (rpm)、翼枚数を Z (枚) とすると $f = RZ/60$ (Hz) で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚 (3 枚が主)、回転数は 30～60 (rpm) 程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。”

と言っていました。

これに従って、今の大型風車で計算すると、0.5Hz とその倍音という事になります。0.5Hz で最大音圧となります。上の表は、最大音圧については、無視して考えようとする立場を意味しています。都合が悪いからと言って、計算から除外してはいけません。



※縦軸は、低周波音の物理的大きさを表す音圧レベル

低周波音は**どこにでも存在し、**
人ともものでは**感度に違いがあります**

低周波音は私たちが生活する身近な場所にも存在しており、その発生源の特徴や音源の種類は様々です。

発生源の特徴としては、ボイラーや送風機などの音の変動が比較的小さいもののほか、音の変動が大きい道路高架橋、また、音の変動が衝撃的・間欠的なヘリコプターや機械プレスなどが挙げられます。

音源の種類としては、固定音源と移動音源があり、私たちの身の

▼低周波音ってどんなもの？

定常的に発生する低周波音の苦情

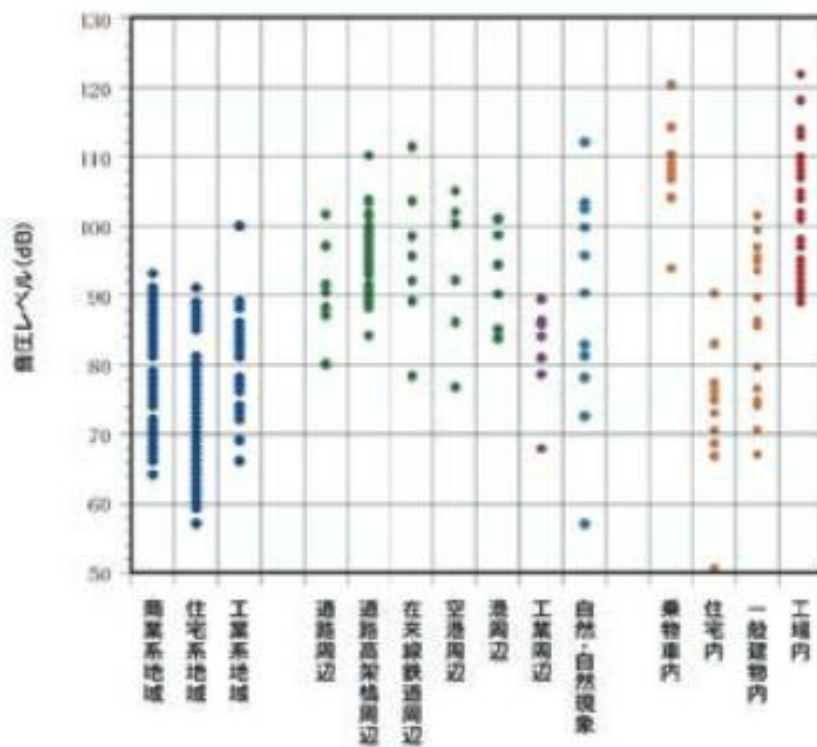
心理的苦情	うるさい、気分のいらいら 等 G 特性音圧レベルで約 100 dB を超えると超低周波音を感じ始め、120 dB を超えると強く感じる。
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感 等 超低周波音による直接的な人体影響を明確に証明できるデータは得られていないが圧迫感・振動感は 40 Hz 付近で強く感じる。
睡眠影響	入眠妨害、睡眠深度の浅度化、覚醒促進 浅い眠りの場合 10 Hz で 100 dB、20 Hz で 95 dB あたりから影響が現れるというデータもある。
物的苦情	建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物、家具の移動、ガタツキによる二次的騒音 目安になる音圧レベルは、5 Hz: 70 dB、10 Hz: 73 dB、20 Hz: 80 dB 程度。建具の固有振動数（5-20 Hz 位）で発生することが多い。



人とももの違いは **(感覚) 閾値** にあった！

回りの様々な場所に低周波音が存在しています。一般的には、これらの多くには対策が施されており、必ずしも問題となる低周波音が発生するわけではありません。

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



※縦軸は、低周波音の物理的大きさを表す音圧レベル

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

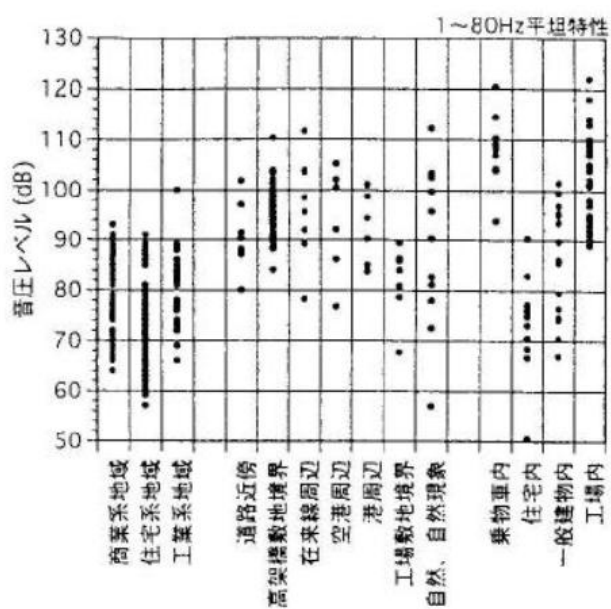


図-e.1 発生源周辺を含めた一般住宅空間における
1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）
1-80Hz 平坦特性の音圧分布（分析区間の最大値）

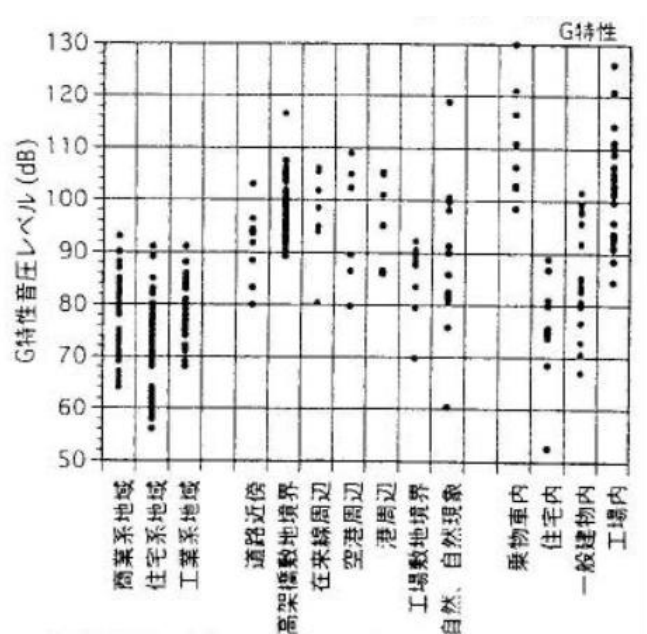


図-e.2 発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G 特性音圧レベル分布（分析区間の最大値）

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

右は 1-80Hz での G 特性での音圧分布を、1/3 オクターブ解析を基にして作ります。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

この方法では、工場内の音の数値としては、74.11 d B (80Hz)、風車音では 88.34 d B (2Hz) が大きな数値になっています。

人体に対する圧力変動との観点で見れば、工場音での 74.11 d B の影響はほとんど無いが、風車音での 88.34 d B は、圧迫の大きな原因になります。

このように、影響力の違う数値を区別しないで扱う方法がここでの表なのです。

風車音の物理的性質と工場音の物理的な性質を考えれば、数値としては大差がなくても、人体に対する影響力は全く異なるのです。周波数の違いを無視してごまかそうとする方法に過ぎないのです。

低周波音問題対応の手引書 には、

“[巻末資料 1] 生活環境中における低周波音発生実態 1)

(1) 生活環境中で観測される超低周波音

の音圧レベル

生活環境中で観測される超低周波音の音圧レベルを図 1 に示す。

これによると、屋外で観測される超低周波音の音圧レベルは、G 特性音圧レベルで最大でも 130dB 程度である。通常の市街地屋外では G 特性音圧レベルで 55～95dB 程度、住宅内では G 特性音圧レベルで 50～90dB 程度、一般建物内では 65 ～ 100dB 程度の音圧レベルが観測されている。また、道路・鉄道・空港・港周辺では 80～115dB 程度、乗り物内では 100～130dB 程度、波・滝・雷等の自然現象では 60～120dB 程度の音圧レベルが

観測されている。乗り物内では比較的高い音圧レ

ベルが観測されているが、このうち、最も G 特性音圧レベルが高かったのは、後部窓を少し開けて高速走行した場合の乗用車で、室内の共鳴により 130dB が観測された。

(2) 生活環境中で観測される低周波音の周波数特性 2), 3)

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

との解説もありました。

元の資料は次のものでした。

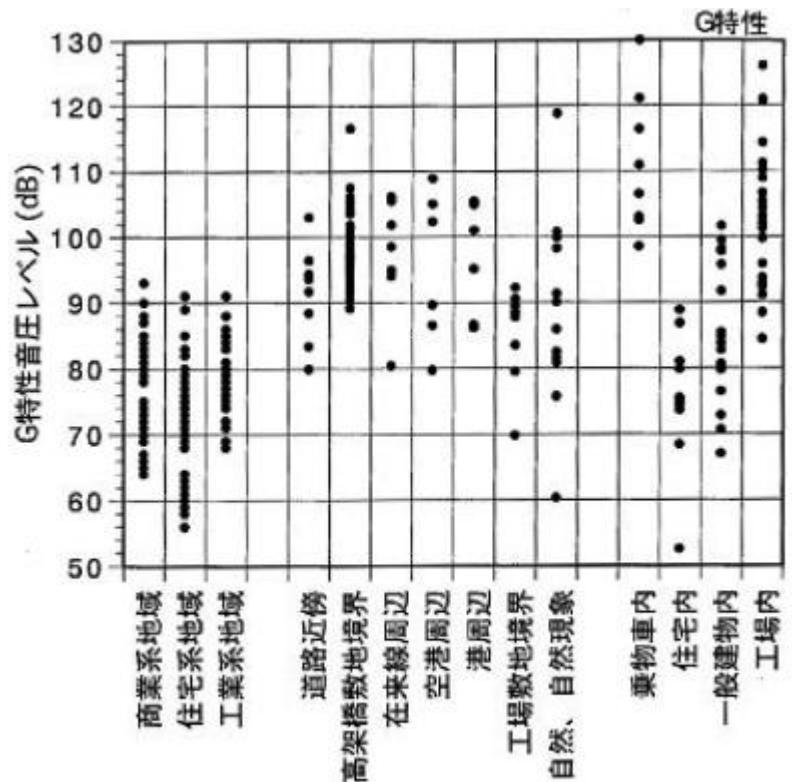


図1 生活環境中で観測された超低周波音のG特性音圧レベル

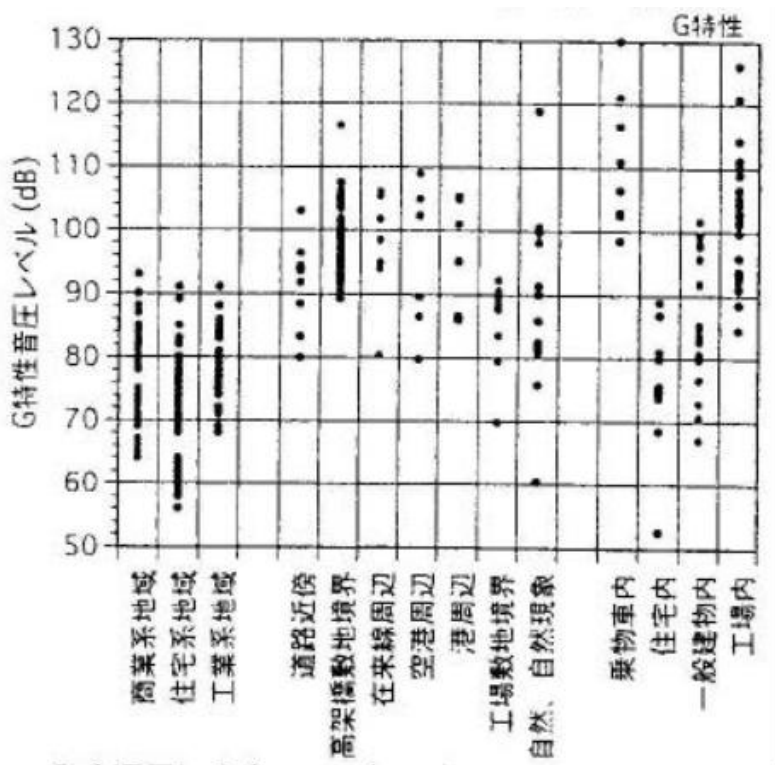


図-e.2 発生源周辺を含めた一般住宅空間における
G特性音圧レベル分布（分析区間の最大値）

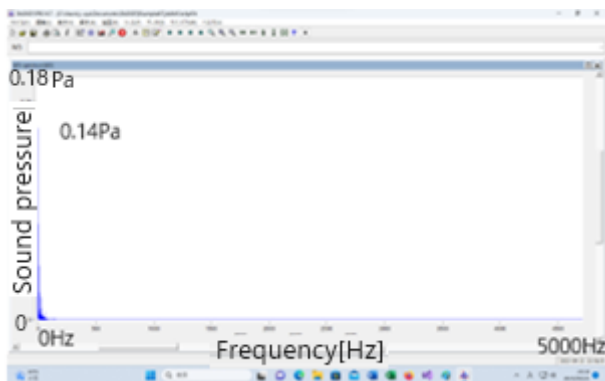
よく見ると、（分析区間の最大値）が削除されています。この分析区間は 1Hz～80Hz ですから、超低周波音の範囲、0Hz～20Hz とは異なるのです。

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

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

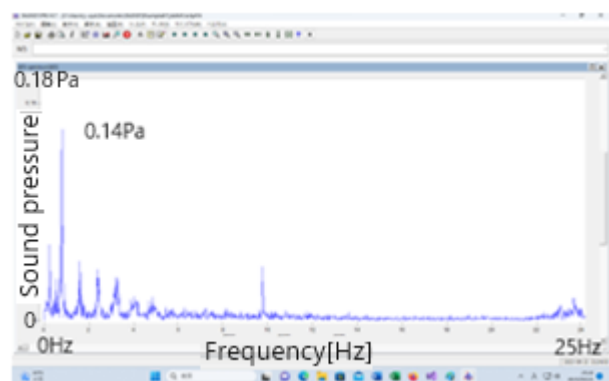
確かに、低周波音はどこにでも存在するが、基本周波数部にエネルギーの 50%以上が集中して、離散的な周波数スペクトルを持っている音は、風車の近くにしか存在しないのです。

風車音(0～5000Hz)；最大音圧 0.14 [Pa] (0.8Hz)



風車音は、左端の細い線で表されています。

図5. 風車音（館山風の丘）0～25Hz



周波数スペクトルは離散的です。

ガタツキによる睡眠妨害

定常的に発生する低周波音の苦情	
心理的苦情	うるさい、気分のいらいら 等 G 特性音圧レベルで約 100 dBを超えると超低周波音を感じ始め、120 dBを超えると強く感じる。
生理的苦情	頭痛、耳なり、吐き気、胸や腹の圧迫感 等 超低周波音による直接的な人体影響を明確に証明できるデータは得られていないが圧迫感・振動感は 40 Hz付近で強く感じる。
睡眠影響	入眠妨害、睡眠深度の浅度化、覚醒促進 浅い眠りの場合 10 Hzで 100 dB、20 Hzで 95 dBあたりから影響が現れるというデータもある。
物的苦情	建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物、家具の移動、ガタツキによる二次的騒音 目安になる音圧レベルは、5 Hz:70 dB、10 Hz:73 dB、20 Hz:80 dB程度。建具の固有振動数（5-20 Hz位）で発生することが多い。

多くの日本人は家の中で眠ります。建具がガタつけば、睡眠を妨げられます。

風車の超低周波音による影響は、聴覚の刺激だけではありません。がたつきの振動で風車音の影響を感知して、安眠できなくなることがあるのですから、風車音の音圧レベルががたつき閾値よりも高ければ、風車音でのガタツキによる睡眠妨害閾値を超えていると考えるべきです。

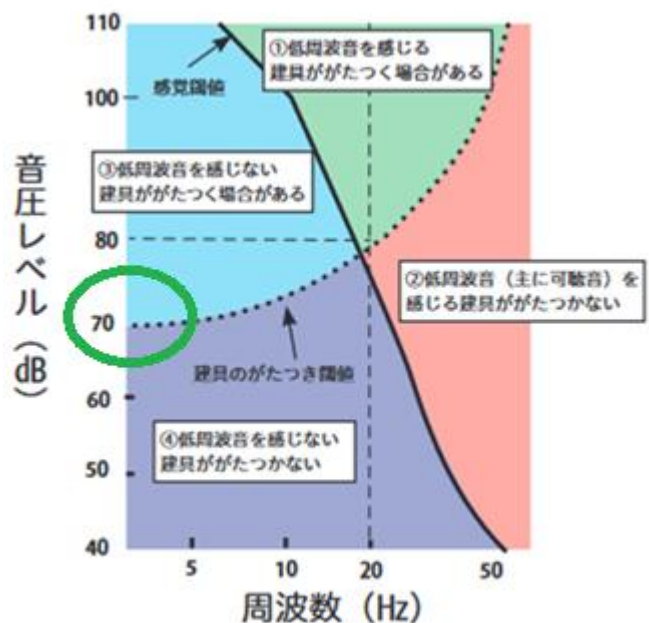
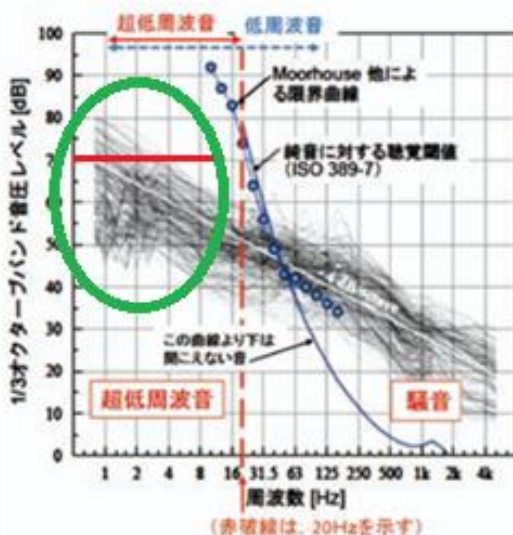
聴覚閾値よりも低いからと言って安心はできません。風車音が振動を起こし、その振動を通じて安眠を妨害するのですから、風車音の影響は振動による睡眠妨害という形で知覚されるのですから、知覚閾値は 2 Hz では 70 dB だと考えるべきです。

この他に、圧迫感や頭痛もあるので、知覚閾値はさらに低くなるのです。

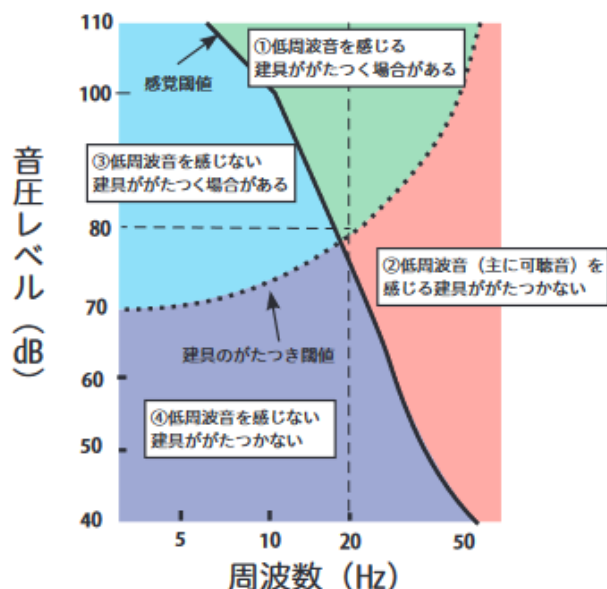
2 Hz で 70 dB となる風車は一体の割合で存在します。風車からの超低周波音は聴覚閾値以下ではあるが、ガタツキによる睡眠妨害閾値（5 Hz で 70 dB）よりは大きい場合が起きているのです。

被害（ガタツキによる睡眠妨害）

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく
通常可聴周波数範囲内の騒音問題



（建具の応答解析（共振現象）によると高い周波数ほどがたつき現象が起きにくくなるという特性があり、それはがたつき閾値によって決まっています。右図の中では①低周波音を感じて建具ががたつく場合②低周波音を感じて建具ががたつかない場合③低周波音を感じない建具ががたつく場合④低周波音を感じない建具ががたつかない場合の4パターンに分かれ、人と建具の閾値の違いを読み取ることができます。



ガタツキの原因は風車音です。

このガタツキで睡眠が妨害されれば、大きな被害が出ます。睡眠不足で運転すれば居眠り運転で交通事故を起こしやすくなります。

夜眠れない子供は、授業中に眠ります。学力が落ちます。安心して子育てができない土地になってしまいます。土地を売って引っ越しするにしても、うるさくて眠らない土地を買ってくれる人は少なく、地価も下がります。一度離れてしまった人は、帰っては来ません。地域社会が崩壊するのです。

聴覚では感知できなくても、ガタツキとして知覚で来るので、被害が起きてしまうのです。二次的な振動だから、風車を建てた業者には責任が無いのでしょうか？

そんな事ならば、家の周囲に空気が無ければ音は伝わりません。風車を家の間に空気があるのが原因だから、風車は原因ではないとも言えます。

しかし、建てる前から空気があることは分かっているのです。振動が伝わればガタツキが起きて睡眠を妨害することも分かっているのです。

被害が出るのを知っていて、風車を建てるのだから責任があるのです。

しかも、風車には2種類あって、超低周波音の発生装置そのものである水平軸型の風車を建てることは犯罪に等しいのです。選択肢としては垂直軸型の風車もあったのに、被害が出ることが分かっている水平軸型の風車を選んだことの罪は非常に重いのです。

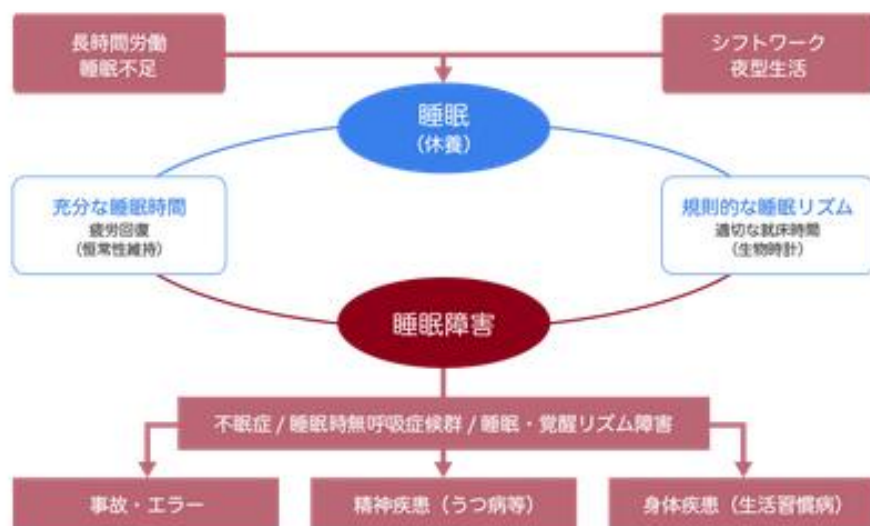
10. 2. 4 不眠による被害

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



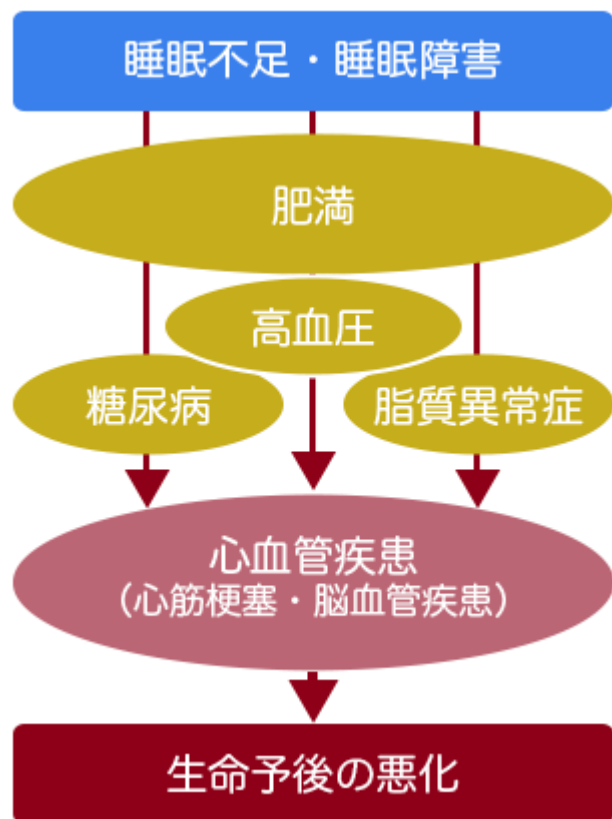
日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図 2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いかわかりいただけると思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。

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

また日本人の約 2 割は交代勤務に従事しています。夜勤に入ることによって、体内時計と生活時間との間にずれが生じやすくなります。体内時計にとって不適切な時間帯に食事を取ることで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。

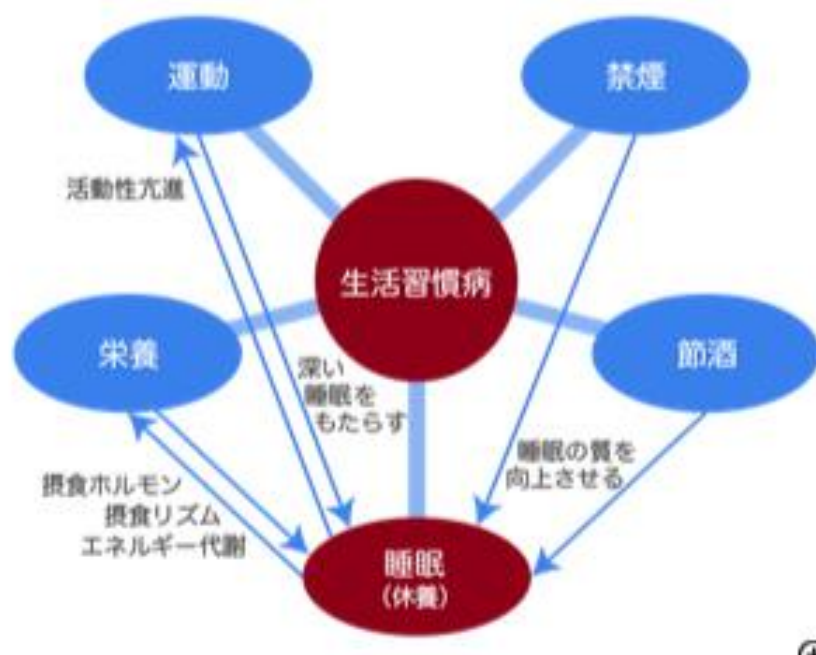
例えば睡眠時無呼吸症候群の患者さんでは、夜間の頻回の呼吸停止によって「低酸素血症と交感神経の緊張（血管収縮）」「酸化ストレスや炎症」「代謝異常（レフチン抵抗性・インスリン抵抗性）」などの生活習慣病の準備状態が進み、その結果として5～10年後には高血圧・心不全・虚血性心疾患・脳血管障害などに罹りやすくなります。

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。

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 10k 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 時までに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。

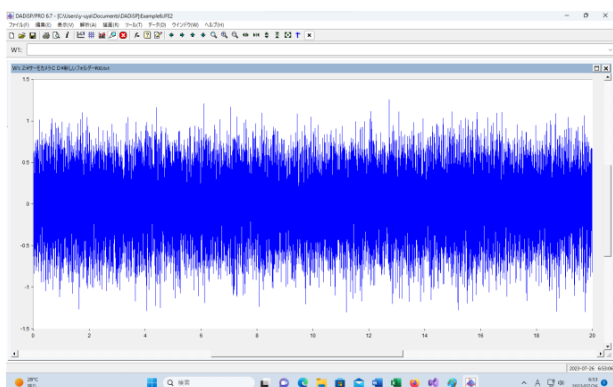
そして、

人間の健康に直接的に影響を及ぼすの意味も問題です。

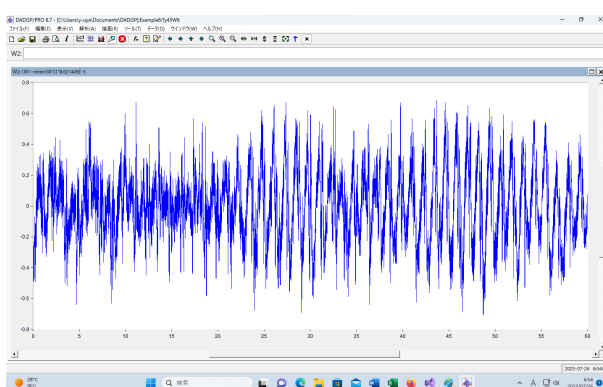
単に、安眠妨害での間接的な健康影響だけでなく、圧迫感というよりは、人体を物理的に圧縮膨張させることが、簡単な計算で判明します。

さらに、この結果として、循環器系の障害や頭痛が起きる理由が、物理的に判明します。

JFE の製鉄所内の音



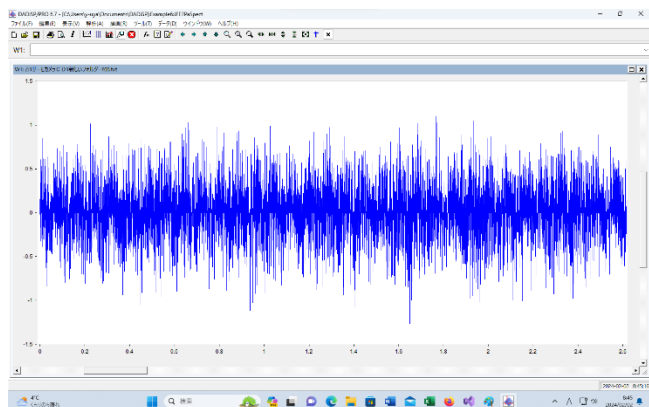
館山の風車音



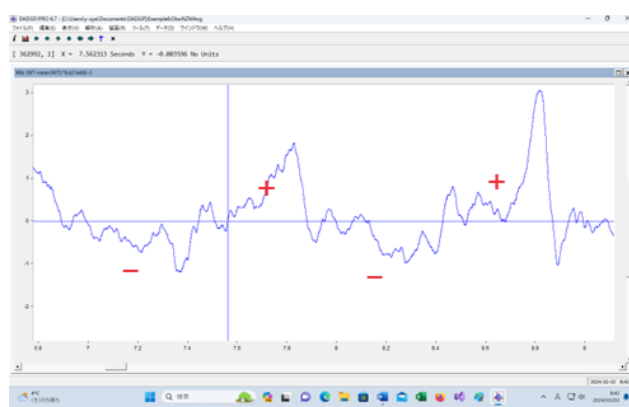
見てすぐわかるのは、風車音のグラフはスカスカです。他のグラフはぎっしり詰まっているという違いがあります。

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。

工場騒音の、2.6 秒間の波形



風車音の 2.2 秒間の波形

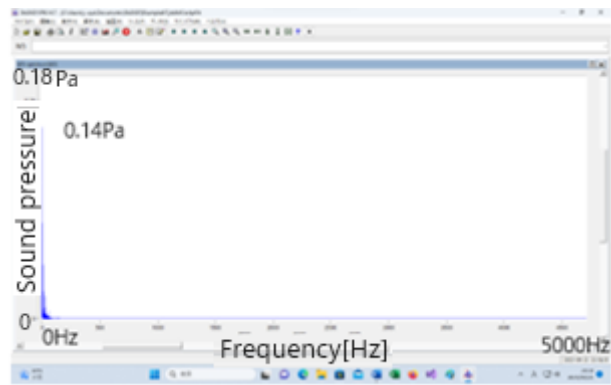
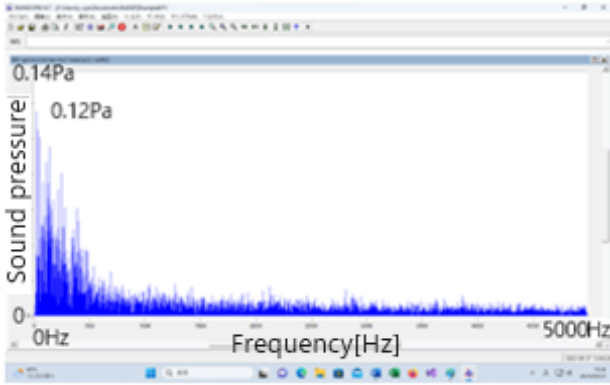


館山の風車音での基本周波数は 1 Hz 程度なので、人間の体にかかる圧力の正負は 0.5 秒ごとに変化します。このようにゆっくり変化する場合には、体内の圧力も大きく変化します。

確かに、低周波音も超低周波音も身近な場所に存在しています。しかし、その音圧や周波数特性が大きな問題になるのです。他の環境騒音と比べると、風車音は特殊な形です。

工場騒音（0～5000Hz）

風車騒音（0～5000Hz）（風が弱い日）



さらに詳しく見れば、次のことが分ります。そして、風車音がどのようにして発生するかを考えるには、**風車音の細かな特徴に注意することが大切です。**

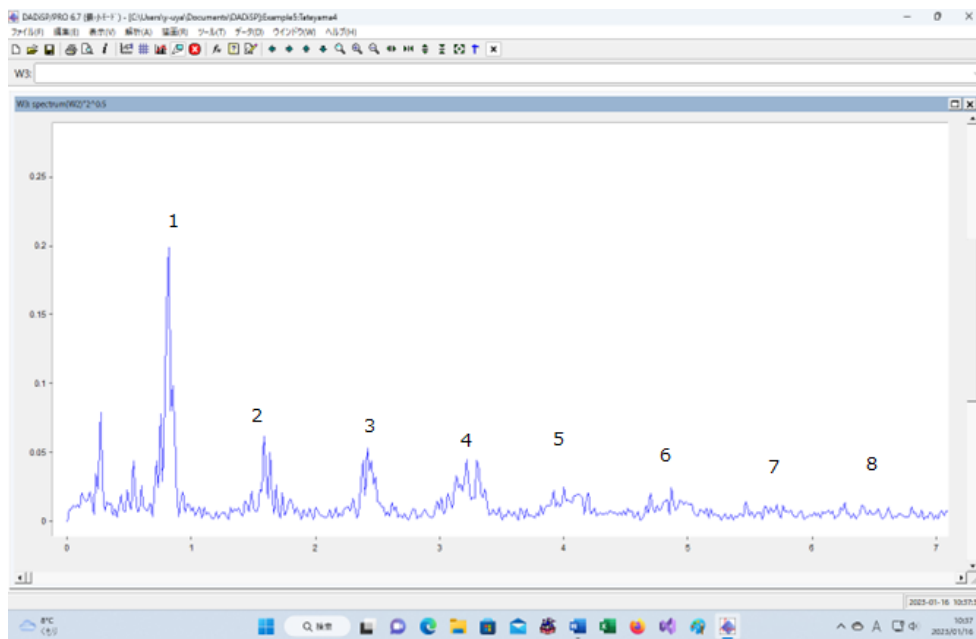
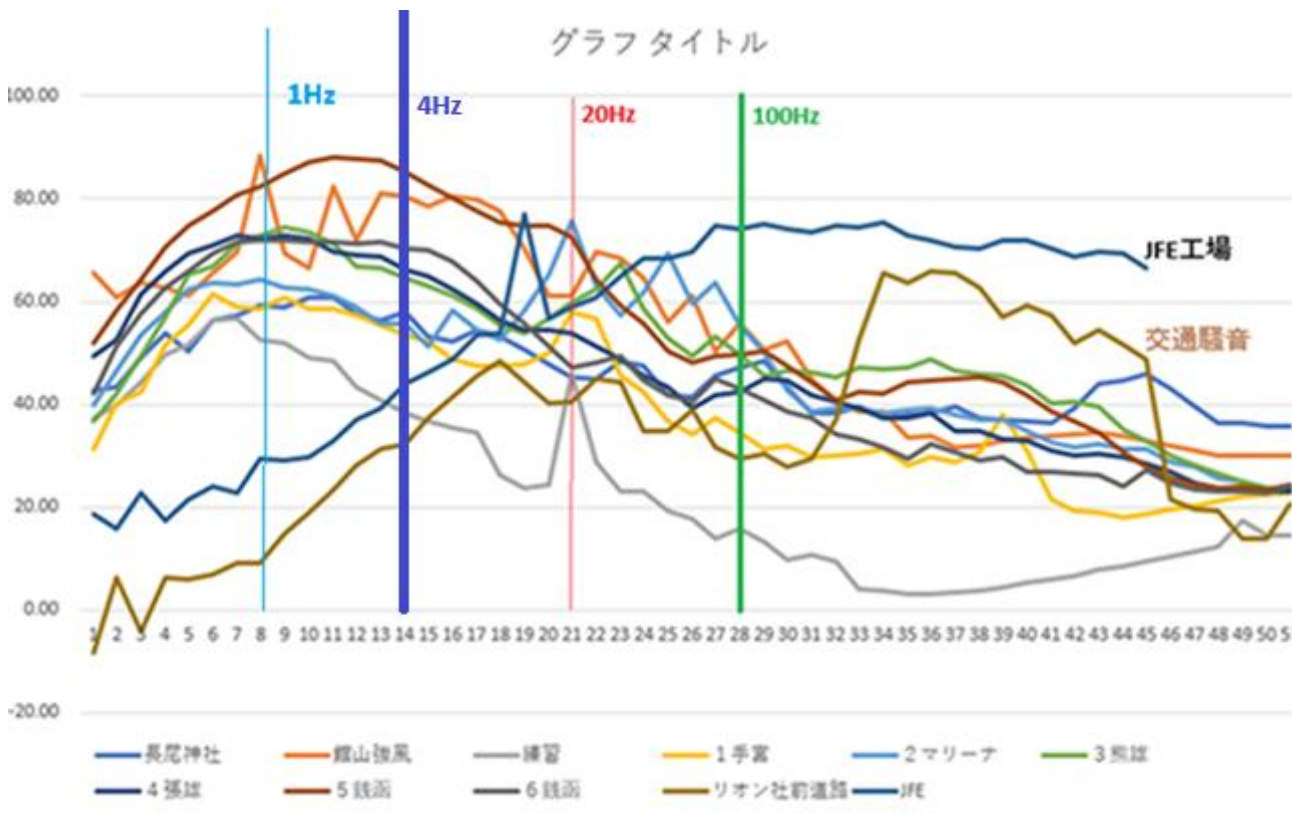


表 3 は、音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものです。

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

Table 3 Frequencies of the peak values

なお、風車から発生する超低周波音と他の環境騒音・交通騒音との比較ですが、
風車音の超低周波音の領域での音圧との比較ですが、
超低周波音の最大音圧を比較すれば、風車音は、交通騒音の100倍程度、
JFEの製鉄所内の最大音圧と比較して、風車音は、同程度～3倍程度、
ですから、大きな違いがあると言えるのです。



ぜひ、川俣町でも精密騒音計を購入して、計測してみたいと思います。

多くの場合は、音圧が極めて低いので、超低周波音が問題になることはありませんが、風車音は、極めて音圧の高い、超低周波音の塊のようなものですから、影響があるのです。

人間の生活に必要なことは、質の高い睡眠です。安眠出来ない場所に住みたいと思う人は少ないです。音がうるさくても目が覚めます。圧迫感や不快感があっても安眠できません。建具がガタついていても目が覚めます。風車は、空気中を伝わる音としても、いろいろな形で安眠を妨害します。

さらに、風車の振動は地中伝搬としても伝わります。場合によっては相乗効果で振動を感知して目が覚めることもあります。

安眠妨害の観点からは、2Hz で 65 dB 程度の音で、安眠が妨害される可能性が高いと言えます。（ガタついても目が覚めるのです。原因は風車です。）

地震の被害状況から、日本家屋の固有振動数が 1Hz 程度であることが分っています。

残念ながら、風車騒音や、ガタツキで目が覚めれば、安眠は出来ないのです。山形県の県民のアンケート結果に、

“今陸上風車から約 2 キロのところに住んでいますが、騒音で眠れない、起こされる日が年に何十日もあります。中心市街地から近い場所に建てることは公害となる可能性があり問題です。

大型の風車の音はどこまで聞こえますか。聞こえないくらい離すべきです。騒音規制ギリギリでは被害が出ているので、聞こえない位置まで離さなければなりません。促進区域の時点で遠くへ設定しなければ、事業者公募で否定できませんよね。事業者は何かと理由をつけて対応しません。結局市役所にクレームが行くのではないですか。一度決めたことは後戻りできないのでしょうかから、今遠くへ設定すべきと考えます。もちろん地球温暖化対策は大切ですが、普通の住宅街に住んでいる人に健康への影響を出してまで推し進めるものではないのではないのでしょうか。苦しんでいる人を切り捨てないよう、切にお願いします。”

とありました。

川俣町も、被害調査や、精密騒音計での計測や振動レベル計での計測結果をしっかりと公表して、問題の解決に努力すべきだと考えます。

宮本しずえのかけ歩き

2025-04-14

14 日、川俣町と飯舘村の境の風力発電設備の被害者から実情を聴く。

14 日、川俣町と飯舘村の境に作られたまていな再エネ発電所の風車による低周波被害を訴えている方から話を聴きました。石川ルイ川俣町議、地元の党支部長の渋谷さんに同行案内していただきました。この発電所は、ソーラーと風力を一体化した発電設備で、昼は太陽光発電、夜は風力発電を行います。送電容量が少ないために同時に動かすことができないとのこと。風力発電は 3.2 メガワットを 2 基、ソーラーは 10 メガワットの発電設備です。

この風車は 2020 年から稼働、風車と自宅の距離は 1.5K 程度離れているが、開始時期から洗濯機が回るような音がするようになり、特に夜に音が気になると。おばあちゃんは、吐き気やめまいがして、夜もよく眠れず薬を貰っていると言います。

家族が事業者に改善を求める交渉を行い、二重窓やサッシにする工事が行われたが、顕著な改善は見られないということで、まだ工事完了を了承していないが、業者は来なくなったため、話し合いもできないと言います。できればここから転居したいと希望したが、話し合いがつかず、当面の対策でお茶を濁されたと憤ります。

この集落は 10 世帯あるが、被害があるのはこのお宅 1 戸だけとのこと、個人的に事業者と交渉するしかないのだと。飯舘村の二枚橋のほうから風車からは 600 m 程度で近いが、今のところ被害の訴えはないとのことですが、本当にはないのかは丁寧な調査が必要だと思いました。

風車は家の真ん前に見える位置にあります、この日は丁度雨で霧がかかり全く見えなかったのは残念です。

低周波被害を訴える事例は全国的に起きていますが、国はこの対策に何も手が打たれないため、低周波被害を救済するための規制措置が現在は何もありません。全国の事例では、被害者が事業者と直接交渉し、上手くいけば夜間だけ運転を停止させるなどの成果を勝ち取っています。再エネの推進は人類的課題であり、低周波被害を防止する対策は不可欠の課題です。国がもっと本腰を入れて対策すべきです。

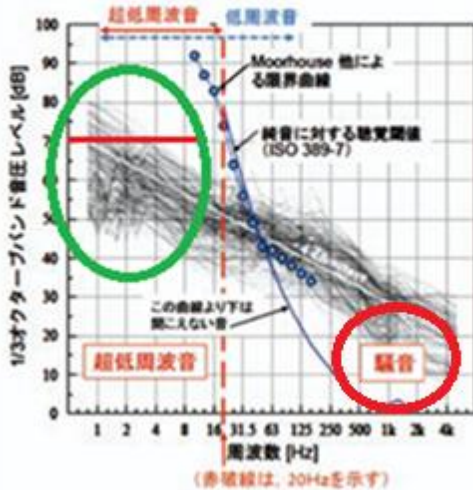
との調査結果もあります。

嘘の始まり

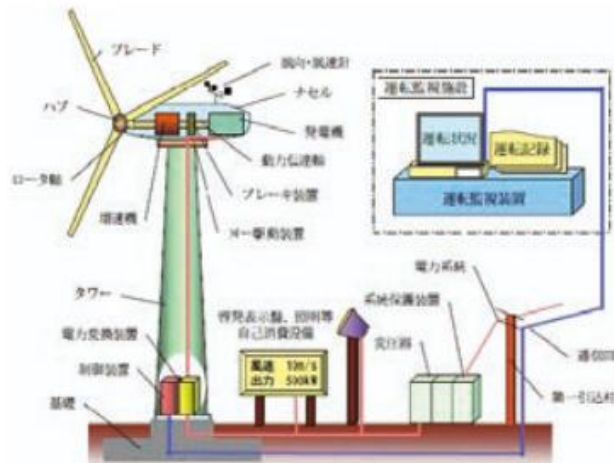
左側の図では、風車音が超低周波音と風車騒音に分かれることが示されています。

超低周波音が聴覚閾値以下（耳で聞こうとしても感知できない。）ことが知られています。しかし、圧迫感や頭痛、ガタツキによる睡眠妨害などの不快感（アノイアンス）として知覚され、人間の健康に影響を及ぼします。

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく
通常可聴周波数範囲内の騒音問題



風車から発生する風車騒音は
スイッチュ音と純音性の音の2つ



風車音に関する被害が、ラウドネス（うるささ）に関するものだけなら、風車音の影響を考えるとときに 20Hz 以上の騒音部分だけを考えるのも納得できるが、風車音の被害ではアノイアンス（不快感）を中心に次のような被害が出ています。

この風車は 2020 年から稼働、風車と自宅の距離は 1.5K 程度離れているが、開始時期から洗濯機が回るような音がするようになり、特に夜に音が気になると。おばあちゃんは、吐き気やめまいがして、夜もよく眠れず薬を貰っていると言います。

家族が事業者改善を求める交渉を行い、二重窓やサッシにする工事が行われたが、顕著な改善は見られない

初めはあまり気にしていなかったが、年が開けて 2020 年 2 月 17 日、夜中 2 時頃に目が覚めたら、突然グウングウンという音が聞こえてきて、急にドキドキした感じになり、血液が頭にドクドク流れ、血管が破れるんじゃないかというような感じがしばらく続いた。少しして収まったが、朝まで眠れなかった。次の日も夜中に目が覚めたら同じような音が聞こえ、ドキドキ感があった。それから気になって夜寝られないし、寝ても 1 時間か 1 時間半で目が覚めるようになった。

その年の 6 月、南西の風が強かったときだが、そのときも音が聞こえて 2 日間ほとんど寝られなかった。そこで由利本荘市長に手紙を書き、「事業者は風車を夜間だけでも止めるようにいってくれないか」と訴えた。その後、市職員と事業者が来たが、低周波音による健康被害についてはわかってもらえなかった。

しかし、その後も音を強く感じる日は眠れない。9 月末、2 回目の受診で病院に行ったときのことだ。待合室に

いと急にドキドキし始め、調べてもらったら血圧がかなり高くなっており、内科に行って心電図を調べてもらうようにいわれた。内科では上室性期外収縮（不整脈）と診断された。血液検査をしてみると、ドーパミンやアドレナリンの数値が異常に高くなっていて、ストレスによる緊張が原因といわれた。

その後も睡眠不足は続いており、寝ているときグングウンと低周波音が強く感じられるとドキドキすることが多くなった。胸のあたりがぐうっと押された感じがして少し痛んだり、頭がズーンズーンと痛むこともある。また、頻繁に肩がこるようになった。

交通騒音のように、20Hz 以上の部分のエネルギーが全体の 99%を占めているならば、風車音のうちの、騒音部分だけを議論することにもある程度は納得できるのですが、風車音では 20Hz 以上の成分の持っているエネルギーは全体の 7%以下です。超低周波音の部分の物理的な影響を考えれば、全体のエネルギーの 93%を占めている超低周波音の部分を重視する必要があるのです。

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%

したがって、次のように、騒音部分に関してのみ考えることが、間違いなのです。



回りの様々な場所に低周波音が存在しています。一般的には、これらの多くには対策が施されており、必ずしも問題となる低周波音が発生するわけではありません。建具の低周波音に対する反応は、低い周波数（20 Hz 以下程度）では人の感度より良く、揺れやすい窓や戸では、低周波音の主要な周波数と窓の揺れやすい周波数が一致（共振）すると、人が感じるより低い音圧レベルでがたつく場合があります。

普通は、透過性の強い低周波音に対しては、発生源対策をとるのですが、水平軸型の風車は、物理的な構造そのものが、超低周波音の発生装置としての性質を持っていて、揚力ベクトルが風速によって変化する以上、発電している限り、超低周波音を止めることはできないのです。

可能性は2つしかありません。

夜間は風車を停止する。

水平軸型の風車を撤去して垂直軸型の風車に変える。

これを認めたくない人は、いろいろな嘘をつくことになります。

例えば、聴覚閾値より低いとの理由で、議論から超低周波音を除外して 20Hz 以上の“風車騒音”についてだけ議

論する。

あるいは、最近の環境省のように、

環境省の助言

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”

“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。

これまで国内で得られた研究結果を踏まえると、風力発電施設から発生する騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。また、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない。

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

とあり、

“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。”

とも書かれている。

遊佐町での住民説明会（R5.3.11）環境省の嘘

令和 5 年 3 月 11 日開催 遊佐町沖における洋上風力発電に関する住民説明会 質疑応答では、

意見・質問

（更問 2）

○先ほど因果関係の検証という言葉が非常にたくさん出てきたが、水俣病は会社が流した有機水銀によって起こった病気だということは、疑われてから確実になるまでどれだけかかり、その間にどれだけの人が死んだのか。風車病はまだ無いと言うが、予防原則や人権等からすると、離岸距離を長くして建てることや時期を遅らせる等の道はないのか。

回答

【環境省】

○風車騒音に関する科学的な知見について紹介させていただきます。まずは**超低周波音**についてです。風車騒音指針を取りまとめるにあたって調査した結果、風車から発生する**聞こえない音の成分（超低周波音）**は、自動車や航空機などと**比べて小さく**、風車だけが特別に超低周波音を発していて風車病が起こるというのは誤解です。また、2019 年に世界中の風車騒音に関わっている学者や関係者が集まった会議が開催され、その際にも風車からの音の問題は、超低周波音の問題ではないということで合意されています。なお、風車騒音指針を策定する際に参考としたデータは、検討当時に国内で稼働していた風車で測定しているため、今後、当時より大型の風車が稼働した際には、必要に応じて改めて科学的に測定していくことも検討したいと思います。

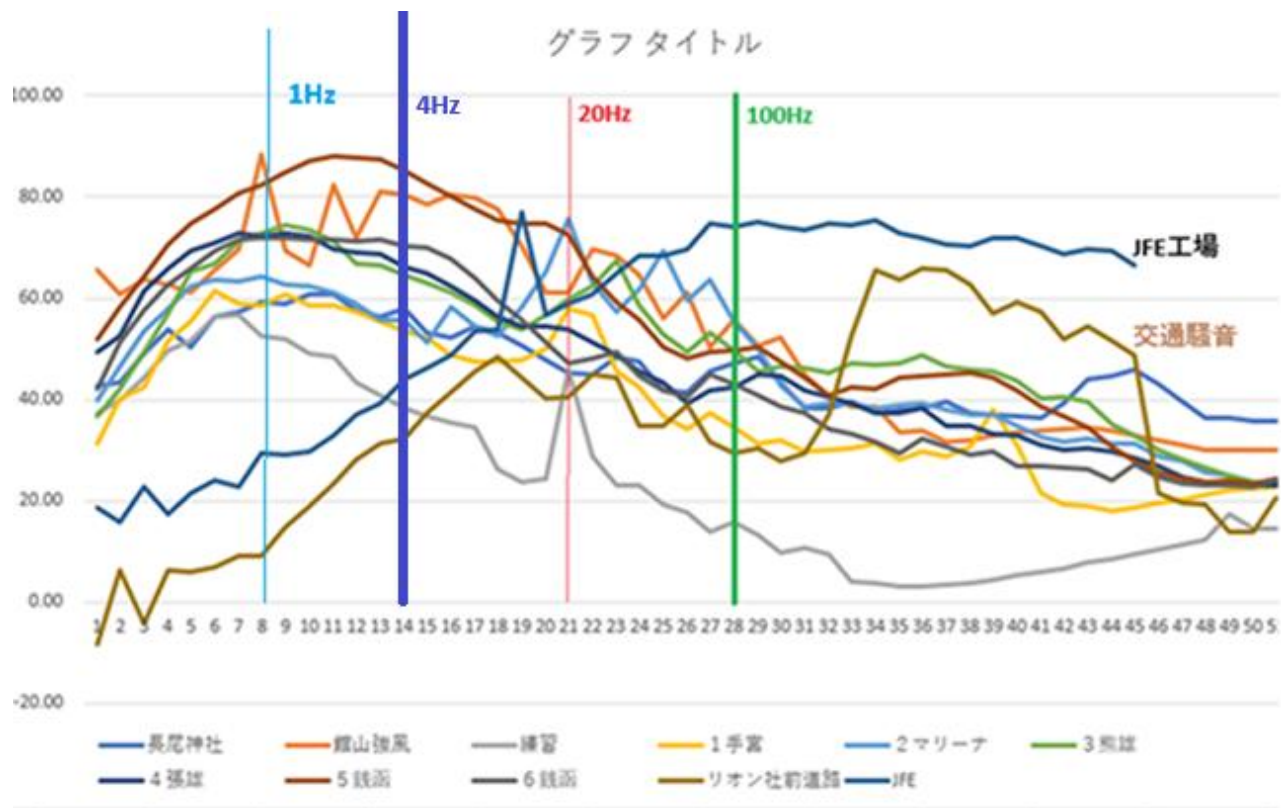
【資源エネルギー庁】

○学術的な検証は引き続き進められていくことになると思いますが、影響が無いことを示さなければ進められないという話になると、洋上風力に限らず様々な取組が進められません。地域の漁業者の方々を含め、こういった場所であれば洋上風力の議論ができるのかという話を考えた結果、現在の区域が候補として挙がってきているという状態です。環境や人の健康に対する影響という点について、引き続き様々な声があると思いますので、**住民から不安の声が示される場合には、選定事業者はその声を聞いて丁寧な説明を行うことについて、とりまとめの中に入れていくことを検討しています。**

と言い出す。

これらの嘘は、風車音と自動車の音を精密騒音計 NL-63 で計測して比較すればすぐにバレてしまう。このような嘘に加担している自治体（千葉県など）は、計測機材を持っても、決して風車音を計測しない。

計測結果は次のようになっている、



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

論点を 20Hz 以上の騒音に限定する場合

風車騒音ってどんなもの？

風車から発生する騒音（風車騒音）は大きく2つに分けられ、風力発電施設のブレード（翼）の回転に伴い発生するシューシューといった振幅変調音（スウィッチシュ音）と内部の増速機や電力変換装置から発生するブーンといった純音性の音（純音性成分）があります。

風車から発生するこれらの音は騒音レベルは低いがより耳につきやすく、わずらわしさ（アノイアンス）につながる場合があります。

風車騒音は、風車が静穏な地域に設置されることが多いことを踏まえ、一過性の特定できる交通騒音や人工音、自然音を除外して測定されます。左図は全国29か所の風力発電施設の周辺合計164箇所での測定結果（平成22年から平成24年、対象風車400〜3,000kW）です。20Hz以下の超低周波音領域はすべて閾値を下回っていることが分かります。つまり、風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題ということになります。

風車音の計測と二重防風スクリーン

また、低周波数成分を含む音圧を屋外で測定する場合、計測用マイクロホンに自然風が当たることによって発生する風雑音を防ぐ必要がある。そのための防風スクリーンとして、簡便なものは市販されているが、超低周波音領域まで効果が確認されているものはない。そこで、市販の全天候型防風スクリーン（直径20cm、ウレタンフォーム製）の性能をさらに高めるために、写真(1)-1に示す二次防風スクリーンを試作した。これを付加した受音系全体の防風性能については国内及び国際学会で発表を行った。本研究における風力発電施設周辺地域及び対照地域における騒音の測定では、常にこの受音系を使用し、内部の計測用マイクロホン（1/2 inch コンデンサーマイクロホン）の振動膜が地上20cmになるように設置した。これは、風の影響をなるべく避けるためと、長時間（原則5日間）にわたる測定期間中の転倒防止を考慮したためである。



試作・2次Wind Screen
(DH -160)

20cmφ全天候型Wind Screen
(RION WS-03)

計測用1/2 in. マイクロホン

写真(1)-1 本研究で試作した二次防風スクリーン

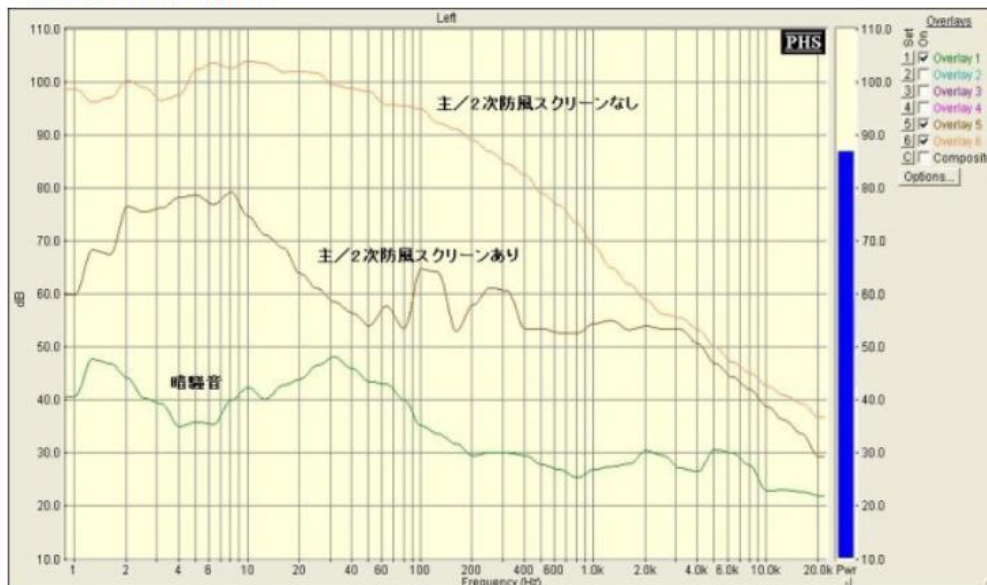
二重防風スクリーンや除外音処理で、一律に排除してはいけないのです。

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】



60デシベルの差とは→	百万倍の差
50デシベルの差とは→	10万倍の差
40デシベルの差とは→	1万倍の差
30デシベルの差とは→	1千倍の差
20デシベルの差とは→	100倍の差
10デシベルの差とは→	10倍の差

二重防風スクリーンを付けて計測した結果は、1Hz では、38 d B 程度の減衰となるので、実際の音のエネルギーの 1/6310 程度の数値として観測されます。グラフを見れば 1 Hz での音圧レベルは 50～80 d B ですが、実際の数値は、88～118 d B であることが分かります。これでは、被害の原因が不明となるのは当然の結果です。

被害は室内で起きます。二重防風スクリーンを外して室内で計測すべきです。風車振動の地中伝搬も考えられますので、室内での振動レベル計による計測も必要です。

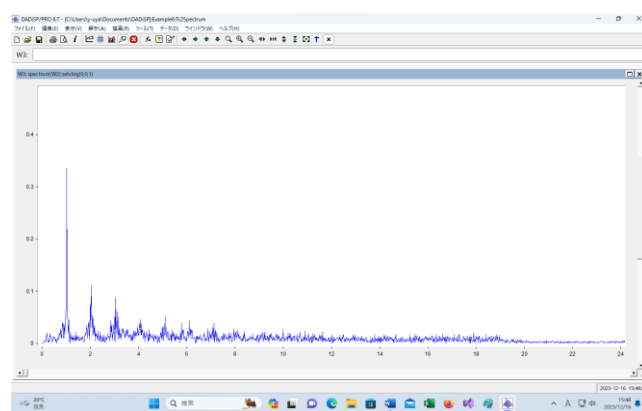
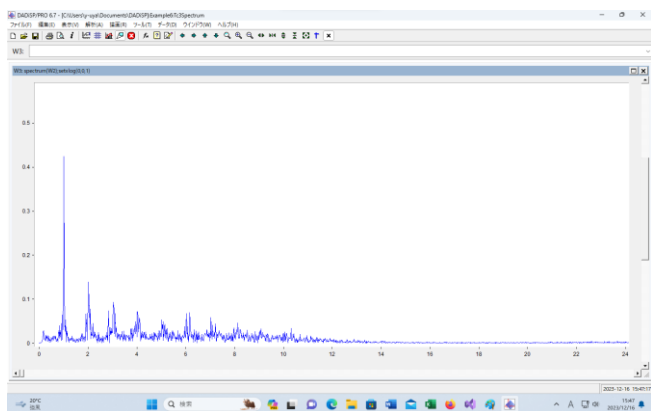
“風雑音”を防ぐと言う名目ですが、

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、

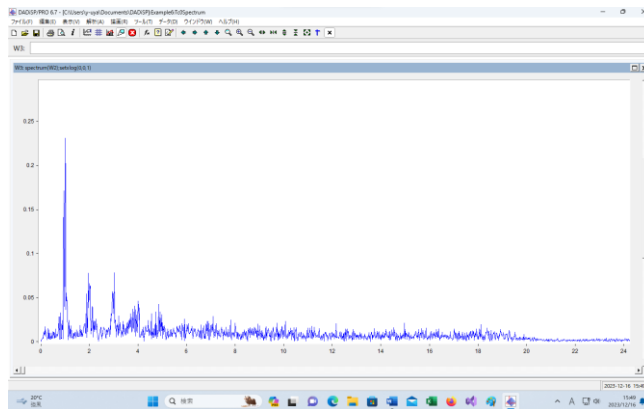


袋と箱に入れ、ドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa

袋と箱に入れ、ドアを開けた場合は Max. 0.33Pa

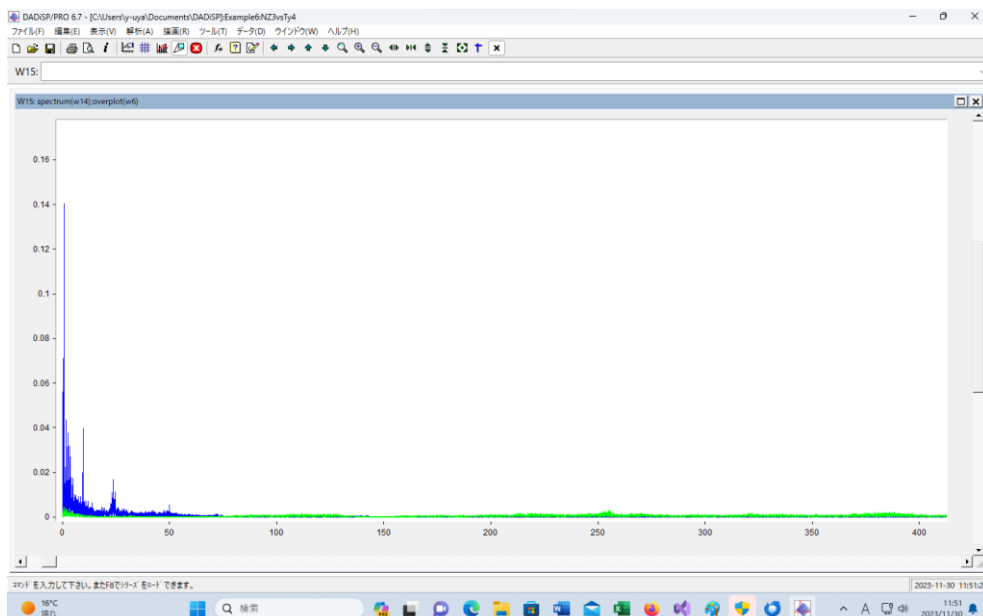


袋から出して、箱の上においた結果は Max. 0.23Pa



とした計測結果と風車から 10 k mはなれた場所でマイクに風を当てながら測った音を風車音と比べると、

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



となるので、**20Hz** 以下では風雑音は計算誤差の範囲です。除くなら **200Hz** 以上の範囲にするべきです。

中には、風雑音説を拡大して考えてしまう人もいます。**10 Hz** 以下の部分を風雑音と考える人も出てきます。

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

“宇山さんは、風車からの低周波音の測定について検討されていたと思います。

風車の回転に伴い、1 分間の回転数×羽枚数÷60 を基本周波数とする成分と倍音成分（例えば、回転数 **20rpm**、3 枚羽の風車では、**1Hz** とその倍々の周波数）が発生することについては、以前お話ししたように思います。

しかし、現場で観測される低周波音は風車からの音に、風雑音が重畳されたものとなります。

低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。

この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。

通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。

しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。

風による影響を受けにくい山間地や尾根で風が遮られる地域では、風車の回転に伴う成分が周波数分析結果で卓越成分として観測されます。

一方、平地などのように風による影響を受けやすい場所における測定結果では、低周波数域の周波数特性はこんもりと盛り上がったような特性となっていて卓越成分が観測されないことが多いと思います。これは、風車音よりも風雑音が優勢であると考えられます。

通常の防風スクリーンより大きい直径 **20cm** 程度の防風スクリーンをマイクロホンに装着しても風が強いときは風雑音を十分に除去できません。

風雑音の低減に関しては、これまで色々と研究されてきていますが、およそ **5Hz** 以下の周波数域（場合によってはおよそ **10Hz** 以下）については、風雑音の除去が難しいのが現状です。

従って、風車からの低周波音を正確に測定するにあたっては、風雑音による影響をいかに排除するかも大きな課題の一つです。

研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけると幸いです。”
と指導していただきましたが、同意出来ません。

環境省の委託業務

平成22年度

移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書

ウ) 風自体の特性を明らかにするための検討

高橋ら 17)は、**風雑音の発生形態に関する基礎的な検討を目的として**、屋外において一定距離離れた低周波音用音圧レベル計と Hot-wire 風速計によって風雑音および風速変動を同時計測し、200Hz 以下の周波数領域に着目し 69 で風雑音信号と風速変動とを比較している。計測した 2 点での音圧レベル計の出力信号間では、その時の風速に対応する時間遅れを持って相互相関関数の最大点が存在することを見出し、風塊の通過に起因する風雑音を確認した。一方、同距離の 2 点での風速信号間では特定の時間遅れを持った相関関数最大点が認められず、**風速自身が有する極めて低い周波数成分の支配的なエネルギーによってマイクロホン近傍で相互作用的な雑音の発生が起こっている**と示唆した。

日本だけではなく、外国の学者 (MIT) も同様です。

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

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

策ではありません。特に超低周波音では、風速が 1m/s 以下の場合でも、風による疑似音が測定に影響を与える可能性があります。12 実際、多くの騒音計は超低周波周波数を測定していません。”

と書いてあります。

風雑音を名目にして 38 d B 小さく測定させ、さらに除外音処理で消しなさい。と言っていた環境省ですが、ついに、

“超低周波音についてです。風車騒音指針を取りまとめるにあたって調査した結果、風車から発生する聞こえない音の成分（超低周波音）は、自動車や航空機などと比べて小さく”
と言い出しました。

ここまでくると、中野氏の主張

中野環境クリニック所長 中野 有朋氏は、“低周波音トラブルの多くは誤解トラブル”、のなかで、次のように述べています。

6. 風力発電機から低周波、超低周波の回転音など発生しない

全国各地に風力発電用の風車が多数設置されている。その中で、風車から低周波音がでる、また超低周波音が出るので人体に悪影響があるなどというトラブルが起こっているところがある。そしてこれがテレビなどでまことしやかに報道されるので、本当であると思われる。

しかしこれは音波の発生に関する最も基本的事項の誤解によるもので、全くの誤りである。

風車からは、問題になるような超低周波数及び低周波数の回転音は発生しない。問題になることがあるのは通常の騒音の問題である。

超低周波音も低周波音も、基をただせばいずれも音波である。すなわち空気中を伝わる波動である。従って音波の発生及び性状は波動方程式によって規定される。

音波は空気の直接的圧力変化及び物体の振動によって発生するが、これらの現象のうちで、波動方程式が成り立つ条件を満足する場合にのみ、音波が発生、従って音が存在することになる。

単に空気中に直接的圧力変化が起こり、また物体が振動しても音波が発生するとは限らない。

波動方程式は空気の運動方程式と空気の弾性的性質から導かれる。

運動方程式については、音波の音圧により、空気の微小部分に力が加わり方向に加速度が生じたとするとニュートンの運動法則より空気の微小部分の運動方程式は(1)式となる。

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \rho \frac{\partial u}{\partial t} \quad (1)$$

ここで p : 音圧、 ρ : 空気の密度、 u : 空気の振動速度（粒子速度）、 t : 時間である。

空気の弾性的性質については、音圧のように加わる圧力の変化が速い場合には、空気が圧縮されて温度が上がった部分と、膨張して温度が下がった部分の温度の相違を平均化する十分な時間的余裕がないので、空気中の変化

$$p = -K \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (2)$$

は断熱変化になり、音圧は(2)式で表される。

ここで ξ : 空気の変位、 K : 空気の体積弾性係数である。波動方程式はこの両式から導かれ、

$$-\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{K}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad \text{となる。}$$

しかし空気中に直接的圧力変化が起こっても、その変化が遅く、また物体が振動しても空気が圧縮されず、断熱変化が起こらない場合には、(2)式は成り立たない。従って波動方程式は成り立たず、音波は存在しないことになる。

以上を風力発電風車等の事例について具体的にみると次のようになる。

風車に限らず、送風機やプロペラ機などのように、羽根が回転するものから発生する音波は二つある。一つは羽根の回転音、もう一つは渦流音である。

*回転音

これは、回転する羽根が空気を圧縮することによって発生する音である。

例えば家庭にもある扇風機についてみると、扇風機の電源を入れると回りだし、羽根一枚一枚は見えず一定の回転数で回る。このとき羽根近くに耳を寄せると、ブーンという音が聞こえる。これが回転音である。

これは羽根の回転が速いため、羽根にあたる空気がまわりに逃げるひまがなく圧縮され、音波が発生するからである。この音は回転数に羽根の枚数を掛けた周波数の回転音になる。

しかし電源を抜くと、回転は遅くなり、羽根一枚一枚が見える位になると、ブーンという音はしない。

回転が遅いため羽根にあたる空気がまわりに逃げ圧縮されず、音波にならないからである。空気がただかき回されているだけである。

プロペラ機の場合は通常回転が速いので、ブルブルンという強い回転音が発生する。

しかし風車の場合は羽根一枚一枚が見えるくらい回転が遅いので、回転音は発生しない。周囲の空気がかき回されるだけである。

室内天井に取付け、室内空気の攪拌に用いる最近よく見られる市販のプロペラファンと同じである。

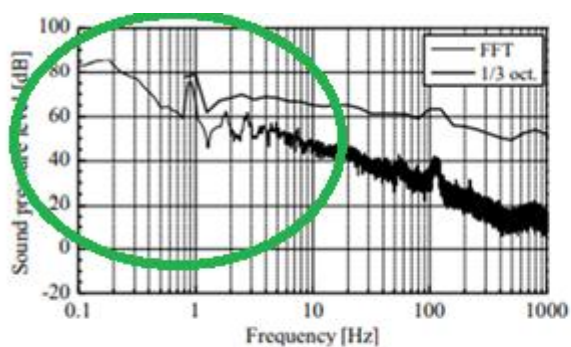
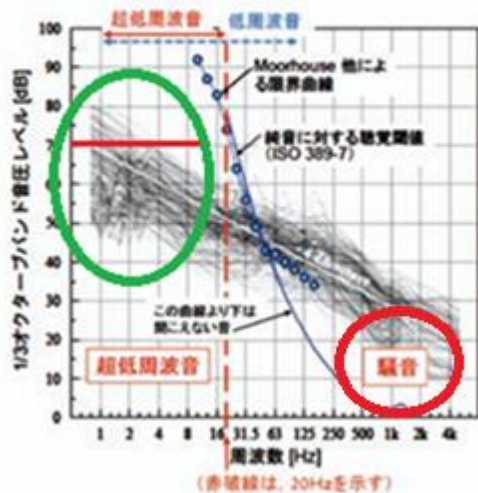
従って羽根が回っても回転音は発生せず、**回転数に羽根の枚数を掛けた超低周波音や低周波音が発生するなどというのは全くの誤りである。**

と紙一重です。でも、計測すれば超低周波音の存在は明らかだし、超低周波音を発生させる物理的な仕組みも明らかなのです。

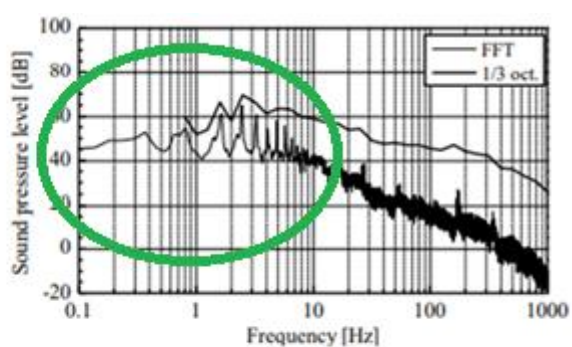
困りました。[“課題名 S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究”](#) では、超低周波音が観測されています。

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく

通常可聴周波数範囲内の騒音問題



図(2)-11 図(2)-9の音圧のスペクトル



図(2)-12 図(2)-10の音圧のスペクトル

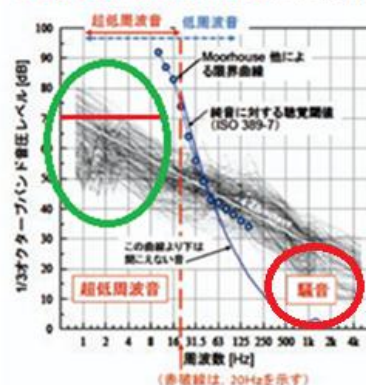
20Hz よりも周波数の低い音が、高いエネルギーを持った形で、風車騒音に含まれています。

風雑音だとの言い訳も通用しません。

閾値

風車騒音は、風車が静穏な地域に設置されることが多いことを踏まえ、一過性の特定できる交通騒音や人工音、自然音を除外して測定されます。左図は全国29か所の風力発電施設の周辺合計164箇所での測定結果（平成22年から平成24年、対象風車400〜3,000kW）です。20Hz以下の超低周波音領域はすべて閾値を下回っていることが分かります。つまり、風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題ということになります。

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく
通常可聴周波数範囲内の騒音問題



[電力中央研究所報告](#)にある、

“音圧レベルとアノイアンス(※12) (不快さ) について調べた Møller の実験[2-18]によると、周波数が低い方が音圧レベルの上昇に対してアノイアンスが増加する割合が大きくなっている。

なお、Møller の実験では 18 人の正常な聴覚を持った被験者に対して行っている。各被験者は周波数・音圧レベルの異なるいくつかの純音を聞いたとき、不快さの割合を示す棒線上（両端に「全く不快に感じない (not at all annoying)」, 「非常に不快 (very annoying)」と記載されている）に印をつけることで主観的な不快さを回答している。

さらに、Subedi らの実験結果[2-19]によると、低周波音における音圧レベルと不快さの関係は音の周波数が固定した条件において、ほぼ比例関係を示すが、その比例定数は音の周波数によって変わっており、周波数が低いほど不快さは音圧レベルに対しても強く現れることが示されている。また、Subedi らは不快さと A 特性音圧レベルとの相関についても調べており、彼らの実験範囲において、不快さと A 特性音圧レベルは周波数に依存せず、ほぼ一定の相関を持つことが示されている。“

に対応する事柄です。

この事は、20Hz に於いては、感覚閾値のうちの不快感に関する閾値が、聴覚閾値よりも低いことを示しています。20Hz の超低周波音が、聴覚では感知できなくても、“不快感”として別の感覚器官で把握されることを意味しています。

風車の影響を知覚するのは、耳で聞いて“うるさい”とを感じる場合だけではありません。

風車音の被害を把握するには、9つの観点が必要です。

音がうるさい

0.5Hz～2Hz 辺りの音による人体に対する強制的な圧縮膨張

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、風車音の指向性
です。

どれが起きても、睡眠を妨げられます。

風車での被害としては、安眠妨害が重要です。安眠出来ない日が続けば、健康被害が生じます。

この場合は、(風車音→安眠妨害→健康被害)となるので、“間接的な健康被害”と表現することにします。

特徴は、風車の影響が、時間的な継続性を持っている形で影響していることです。

頭痛は健康被害です。一定の条件が整えば、風車音の性質による物理的な現象として、直接的に発生します。
“頭痛は直接的な健康被害”と言えます。

風車と安眠妨害の関係を詳しく考えます。

風車音発生→粗密波として聴覚に作用→ラウドネス(うるささ)として知覚→覚醒

風車音発生→ゆっくりした圧力変動として作用→アノイアンス(圧迫感が中心)として知覚→覚醒

風車音発生→建具や床の振動として作用→2 次的な音によるラウドネス(うるささ)として知覚→覚醒

風車音発生→建具や床の振動として作用→振動そのものをアノイアンスとして知覚→覚醒

風車の振動→振動の地中伝搬→建具や床の振動→振動そのものをアノイアンスとして知覚→覚醒

のケースは、聴覚閾値以下であれば起こらないと考えられます。

のケースは、圧迫感等の不快感として、風車音の影響が知覚されますので、参照値と指針値の関係を見れば、超低周波音の領域では、圧迫感の閾値は、聴覚閾値よりも小さいのです。

のケースは、2 Hz では 65 d B もあれば、ガタツキによる安眠妨害が起きる事から、超低周波音の領域にある音については、ガタツキとして風車の影響を知覚して、覚醒する場合の閾値は 65 d B 以下であると言えます。グラフを見れば、全国 164 か所の風車の半数がこの条件を満たしていることが分ります。

のケースは、③のケースと同様です。

のケースは、(大型風車による地盤振動伝播 小野寺 英輝)を見れば、

“大型風車の運転に起因する低周波音(空気振動；周波数 20～100Hz 程度)に関する問題も認識されてきた。ただし、この空気振動は、距離により指数関数的に減少するので、大型風車による騒音はアノイアンス(不快感)はあるにせよ、受忍限度内とした判決がある(1)。

しかし、健康被害の訴えが存在すること自体は否定できない(2)。この事実は、減衰率の大きい空気振動(空振)だけではなく、距離による減衰が空気中に比して少ない、地盤内の振動伝播も検討すべきではないかということを示唆する。“

“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“

“計測データを見ると、Ⅲでは、Ⅳ・Ⅴと比較して 0.1～2Hz の範囲の振幅値も大きくなっている。この領域の振動は、俗にいう船酔いの原因となる振動(揺動)周波数(8)に近接している。風車から直線距離で 950m 離れた

VIに関しても距離減衰に伴い値は非常に僅かであるが、振動特性は類似しており、これも、およそ 1Hz 以下で上昇がみられる。VIIIに関しては、0.08Hz 程度以下での上昇があるが、他の 2 つに比してその傾きは小さい。“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。”として、詳細な研究結果が示されています。

これは、超低周波音の知覚ではありませんが、風車の影響であり、アノイアンス（不快感）と関連が深く、睡眠を妨害すると言えます。

超低周波音（知覚できない）は、
超低周波音（聴覚での感知は困難だが、圧迫感や振動の形で知覚されて、安眠妨害による間接的な健康被害の原因となる）
と書き換える必要があります。

今度は、右側です。

20Hz以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は超低周波音ではなく、通常可聴周波数範囲の騒音の問題

“20Hz 以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている”
は、超低周波音の影響が聴覚以外の器官でも把握できることを無視しており、完全な誤りです。

もし、“20Hz 以下の超低周波音領域は、すべて知覚閾値を下回っている”というなら、
下の表の空欄を埋めて下さい。

周波数Hz	0.5	1	2	3	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20
聴覚閾値												78.1
感覚閾値												
知覚閾値												
圧迫感の閾値												
振動感の閾値												
不快感の閾値												
頭痛の閾値												
ガタツキ閾値												
物的参照値 dB						70	71	72	73	75	77	80
心身参照値 dB									92	88	83	76
聴覚閾値												78.1
聴覚閾値(旧)												78.5
夜間参照曲線									92	87	83	74

聴覚閾値を下回っていても、感覚域値を下回っているわけではないのです。

超低周波音による刺激を、聴覚に対する刺激だけに限定してはいけないのです。ガタツキによる睡眠妨害や循環器系への影響や頭痛などの形での知覚の仕方や被害があるのです。

超低周波音の影響が、ガタツキとして感知され、睡眠が妨害される音圧レベルは 65 d B (2 Hz) 程度であり、グラフから、多くの風車において、風車からの超低周波音が安眠妨害の原因となっていることが分かります。よって、

“20Hz 以下の超低周波音領域は、聴覚閾値を下回っているが、超低周波音は、圧迫感や振動としても知覚される。振動に関しては 2H z では 65 d B 程度が閾値となり、全国 164 か所の風車の半数以上で、この閾値を上回っている”

と書き換えるべきです。



University of
Salford
MANCHESTER

A procedure for the assessment of low frequency noise complaints

Moorhouse, AT, Waddington, DC and Adams, MD

<http://dx.doi.org/10.1121/1.3180695>

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

には、次のように書かれています。

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

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

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

Criterion の意味は、

1. (判断・評価などの) 基準、規範、尺度、よりどころ
2. 特徴

語源は、ギリシャ語の基準（分ける、決めるより）

であり、これは、基準曲線と訳すべきです。基準は聴覚に関連する基準です。

ですから、基準曲線または参照曲線と訳すべきであり、“限界曲線” と言えば、その限界よりも低ければ問題なし。と聞こえてしまいます。

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

けないのです。

もとの論文の中では、“Moorhouse 他による限界曲線”の具体的な数値は次のものです。

表 V: 提案された夜間参照曲線

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

ISO 389-7:2019 にある聴覚閾値の表の数値と、2つの参照値などを纏めれば、次の表になります。

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

100Hz の所の、聴覚閾値は 26.5 d B、“Moorhouse 他による限界曲線”（夜間参照曲線）での数値は 38 d B です。

限界曲線での数値が 38 d B ですから、この数値になるまでは知覚できないはずですが、26.5 d B の段階で聴覚は音を知覚します。

これは、“限界曲線”としたから矛盾する数値となるのです。本来の“参照曲線”または“基準曲線”と訳せば、100Hz の音は、26.5 d B になれば聴覚で知覚できるが、低周波音としての影響で苦情が出るほどの大きさではなく、38 d B 程度になっていたら、うるさくて苦情が出て当然なので、計測値が 38 d B に近かったら、低周波音に起因する問題と考えて、音の発生源についての調査をやってみましょう。と言うような数値であり、調査開始の目役となる数値だという事なのです。

10Hz での 92 d B は、心身での参照値と同じ数値になっています。参照値で、10Hz での 92 d B では、10%程度の人が許容できないとする音圧レベルです。10%程度の人が被害を受ける数値ですから、10Hz で 92 d B の数値が観測されたら、低周波音の問題として捉えて、調査を開始すべきです。これが、参照曲線の意味なのです。

せこい事に、英語版では“Limitation curve”ではなく、“Criterion curve”となっている。

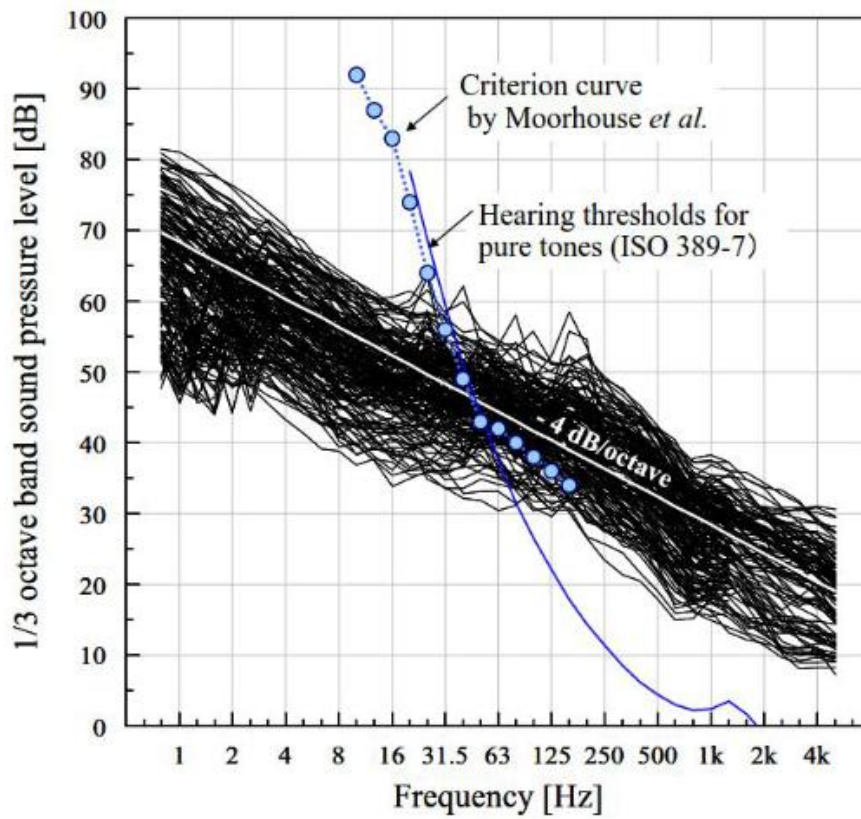


Figure 2. Measurement results at 164 points around 29 wind farms in Japan. (Assessment of wind turbine noise in immission areas, H. Tachibana et al, 2013)

この図からは、“聴覚閾値を下回っている。”との結論になる。市民は英語が分からないだろう。とでも思っているようです。

アノイアンスと A 特製音圧レベル

平成 22 年、環境省の調査

環境省による次の調査結果もあります。

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

1. 国内の風力発電所における騒音・低周波音に係る問題の発生状況

(1) 騒音・低周波音に関する苦情等の発生状況

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

①調査方法

【調査対象】

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

【アンケートの回収結果】

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

②調査結果

【苦情の有無】

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

【稼働開始年度ごとの状況】

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

【定格出力別の状況】

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

【設備設置基数別の状況】

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

【総出力別の状況】

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

【直近の住宅等までの距離】

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

【苦情者宅までの距離】

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

苦情等が生じる季節】

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

（２）苦情が終結した事業における対策の状況

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

（４）現地調査における騒音・低周波音に関する主な状況

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

【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】

・ 暗騒音は、季節による風向や風速の違いによりその値が異なるが、現況調査は 1 年のある時期のみ行われている事例があった。

・ 建設前に実施した環境影響評価における予測結果よりも、実際の騒音レベルの方が大きい事例があった。

・ 風車から離れている住民（1km 程度）から、眠れない等の苦情が寄せられている事例があった。

・ 騒音の環境基準を満たしている地点からも苦情が生じている事例があった。

・ 苦情を受けて、苦情者宅で騒音の測定調査を実施している事例があった。

・ 騒音対策として、風車の夜間停止や出力抑制、苦情者宅での騒音対策工事（二重サッシ、エアコンの設置）の実施や、風車に高油膜性ギアオイルを取り付けた事例があった。

2. 諸外国の風力発電所における騒音・低周波音に係る訴えの発生状況

風力発電所からの騒音・低周波音に関する苦情や訴え等について、諸外国の調査研究の事例等を整理すると以下のとおり。

①住民意識（不快感）の調査結果

□ Eja Pederson らは、オランダの風車近傍に住んでいる住民を対象に、風力発電所からの騒音についての意識調査を行っている 3（7 万人から抽出した 1,948 名に対してアンケートを実施。回答者 725 名）。それによれば、風力発電所からの騒音レベル 35～40dB では、「非常に不快（very annoyed）」との回答率（うるささに関する 5 段階評価のうち最もうるさい方の 1 段階を回答した人の比率）が約 5%、40～45dB では約 18%となっている 4。

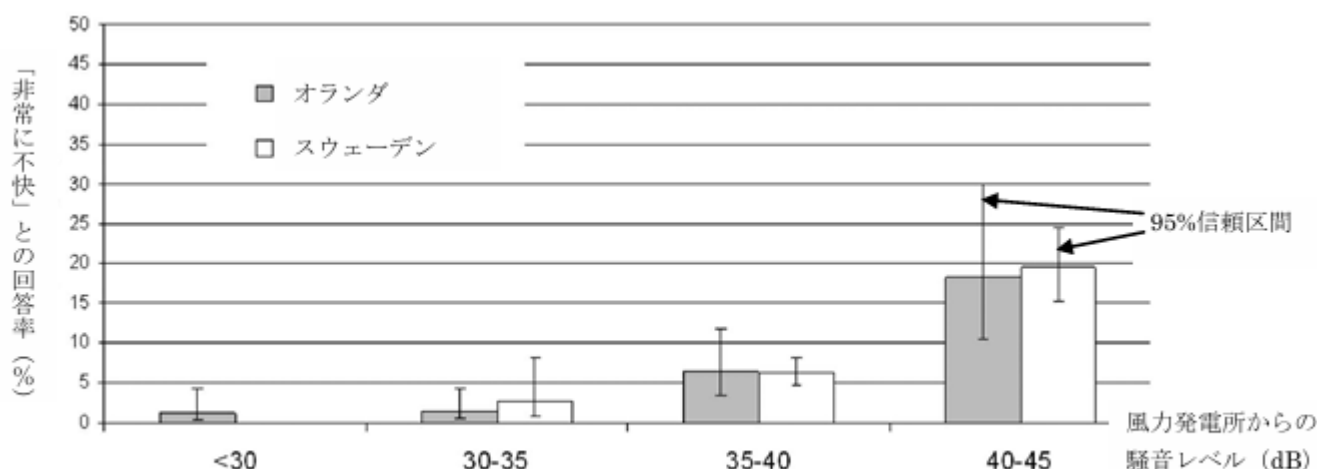


図 7. 「非常に不快」との回答率と風力発電所からの騒音レベルの関係

□ Eja Pederson らによれば、風力発電所からの騒音についての不快感は、風力発電所による視覚影響に対する否定的な感情との間に相関があるとされている³。

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

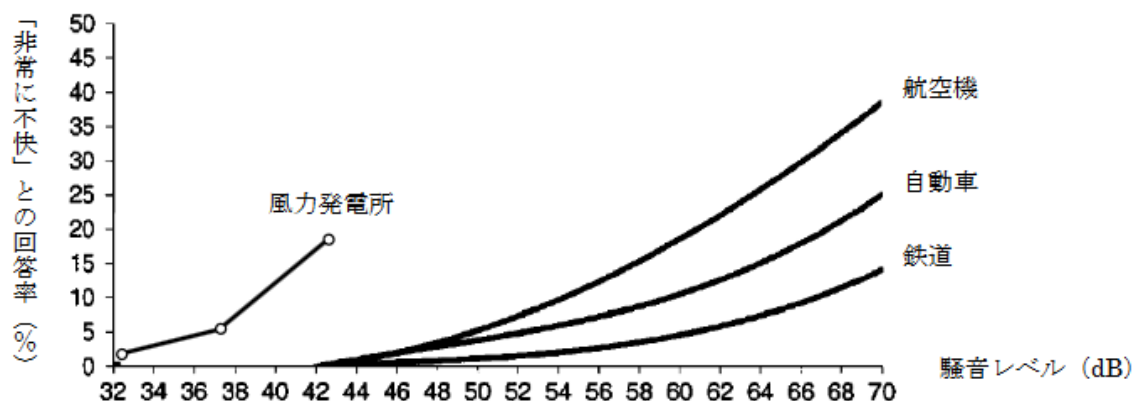


図8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
(脚注3及び5の文献より環境省作成)

②風力発電所からの騒音・低周波音に関する訴え

・ Nina Pierpont は、風力発電所の近くに住む 10 家族（38 名）に対する症例調査を行っている⁶。それによれば、風力発電所から発生する低周波音により、内耳の器官が影響を受けて、様々な健康被害（睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等）が生じているとされている。

とあり、42 dB の交通騒音では“非常に不快”を感じる人は 0%だが、風車音では 20%もいる。

- 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

風車騒音と他の環境騒音の比較

騒音レベル（A 特性音圧レベル）での比較

カナダでの大規模調査では、風車症候群と A 特性音圧レベルの間の統計的な関連性は薄いことが分かっている。これは当然の結果である。他の環境騒音と比べて風車音の方が低いのであり、これが原因ならば、他の環境騒音でも風車症候群と言われる被害が出たはずだ。（右側の数値で、それぞれの平均値を取る。）

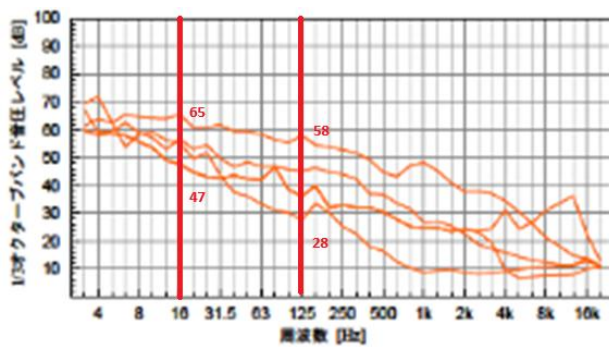
表 2 様々な騒音の種類と騒音レベル

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

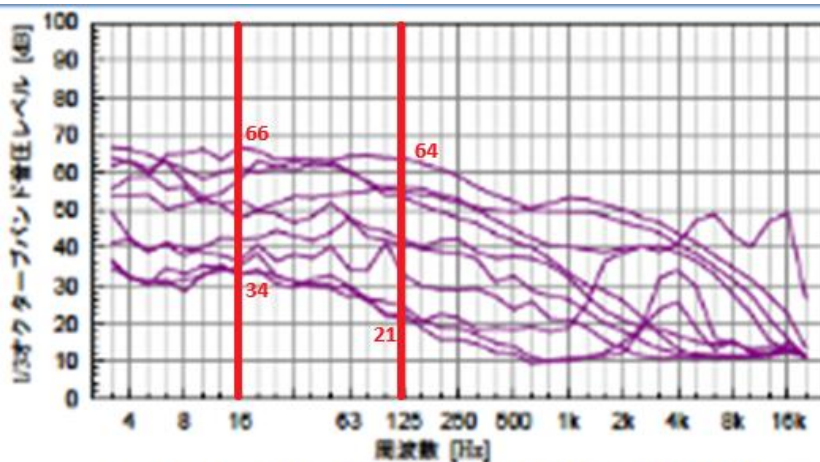
※表 2 中の No. は、図 8 中の騒音の種類を示す番号に対応する。

また、可聴低周波音（20Hz～100Hz）での比較に関しては次の資料がある。

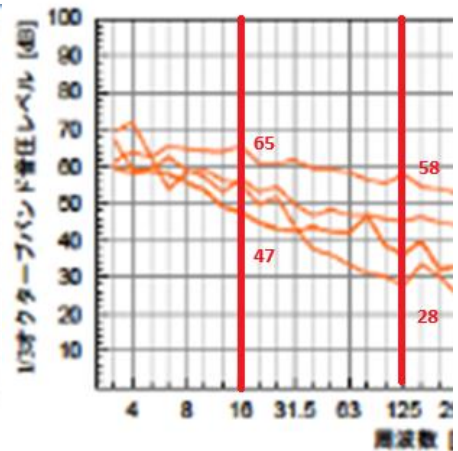
可聴低周波領域（20～100Hz）での比較



e) 風車騒音（風車直下および周辺居住地域における騒音）：5種類

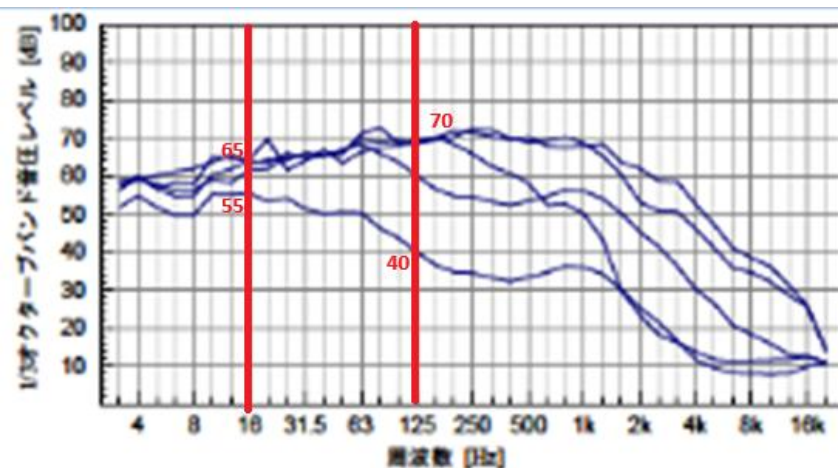


a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類

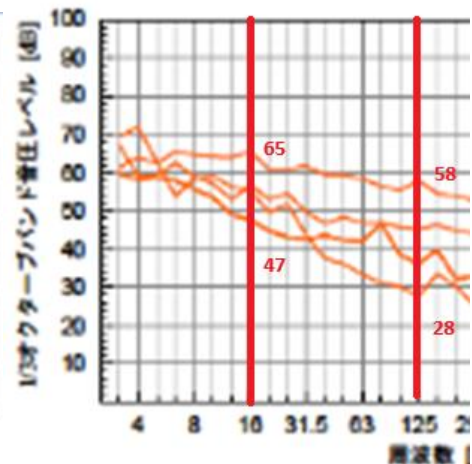


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

自然環境（山中、海浜）の中では、風車音は中間程度の音圧レベルだと言える。

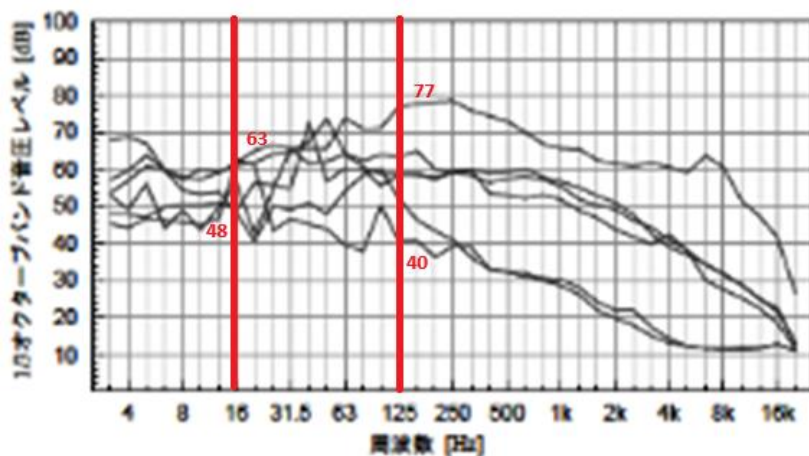


b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類

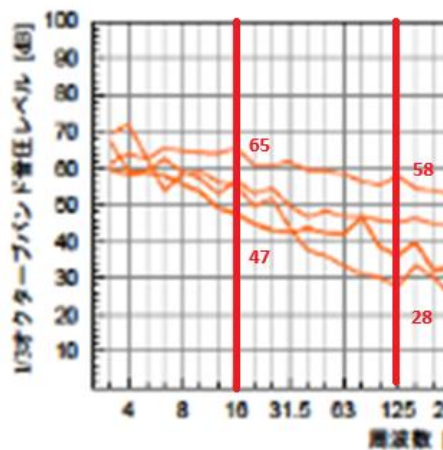


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

沿道、沿線での音の中では、低い方だと言える。

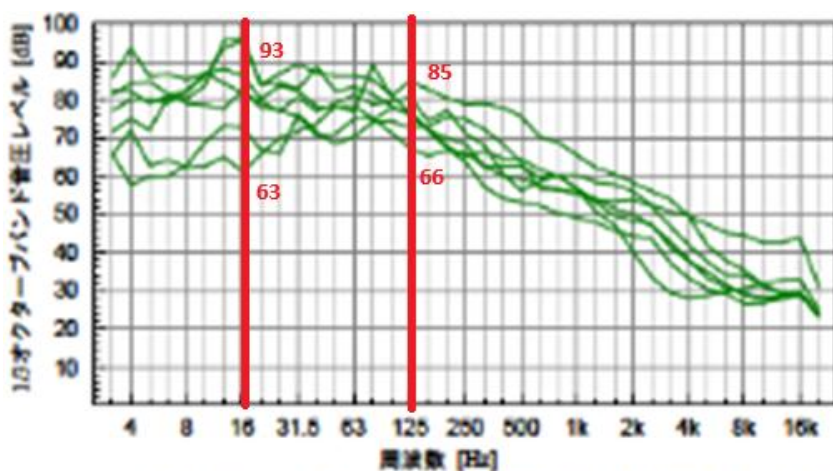


d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

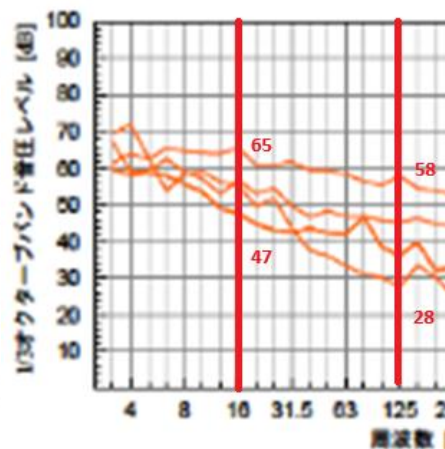


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

その他補環境騒音（工場音など）の中では低い方だと言える。



c) 自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音：7種類



e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内の騒音よりも低いと言える。

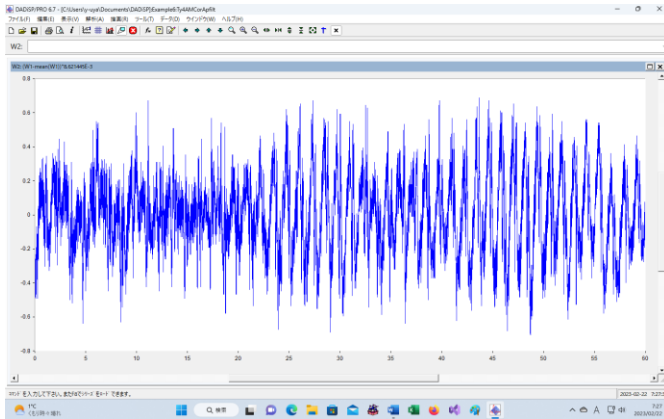
自動車、在来鉄道、新幹線鉄道、航空機内で、居眠りする人も多いが、うるさくて眠れない、極めて不快、と言う人はほとんどいない。なぜ、風車音の場合は睡眠を妨害されたと訴える人が多いのかを解明する必要がある。

風車音を超低周波音（0～20Hz）と騒音（20Hz～20 kHz）に分けて、さらに、騒音を2通りに評価する可聴低周波音（20～100Hz）での評価と、A特性での評価（これは1000Hz～4000Hzの部分樹脂下評価）立場がある。

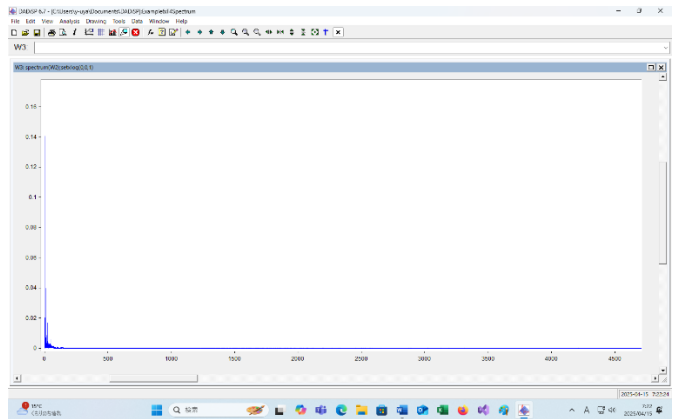
1/3 オクターブ解析のグラフの意味

風車音が広帯域の音であるという説もある。

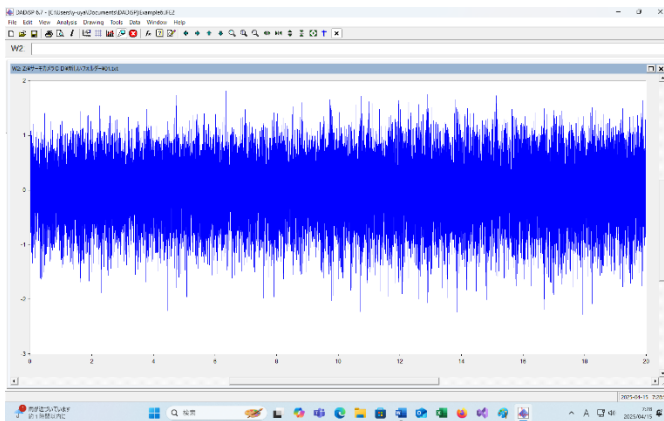
波形（風車）



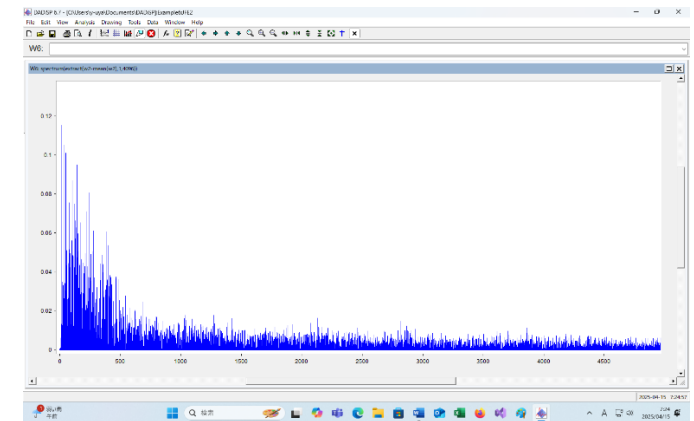
周波数スペクトル（0～4000Hz）（風車）



波形（JFE 工場）



周波数スペクトル（0～4000Hz）（JFE 工場）



“広帯域”とは、周波数の広い範囲にわたって、ある程度の強さを持った周波数成分が分布していることを意味する。JFE の工場での音は、この条件を満たすが、風車音の成分は、超低周波音（0～20Hz）の帯域に集中している。まさに、ISO7196 で定義された Infrasound なのです。

これは、左のグラフで、JFE 工場音のグラフはざっくり詰まっているが、風車音はスカスカだと言う形で表現されている。

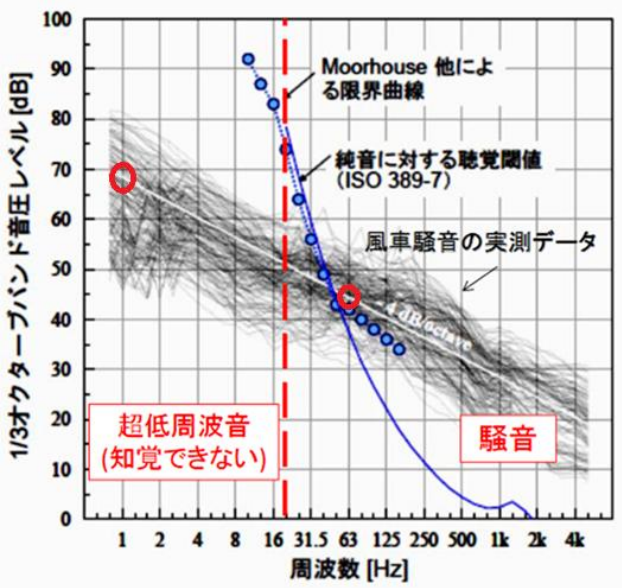
ブレードからの音を、“広帯域”の音と表現するのは、不適切です。

また、“風車の大型化に伴い大きくなる（ブレード速度のべき乗に比例）”とあるが、音速との関係や、空気の粘性との関係もあるので、ブレードの先端での速度には制限が付きまします。

また、ブレード表面を改良して、ブレード表面からの音（空力音）を小さくする研究も進んでいます。

風車音全体のエネルギーの周波数帯への分布を見れば、ごく小さな影響しか与えないことが分ります。可聴域（20Hz 以上）に限定すれば、他の環境騒音よりも、風車音の方が小さいのです。

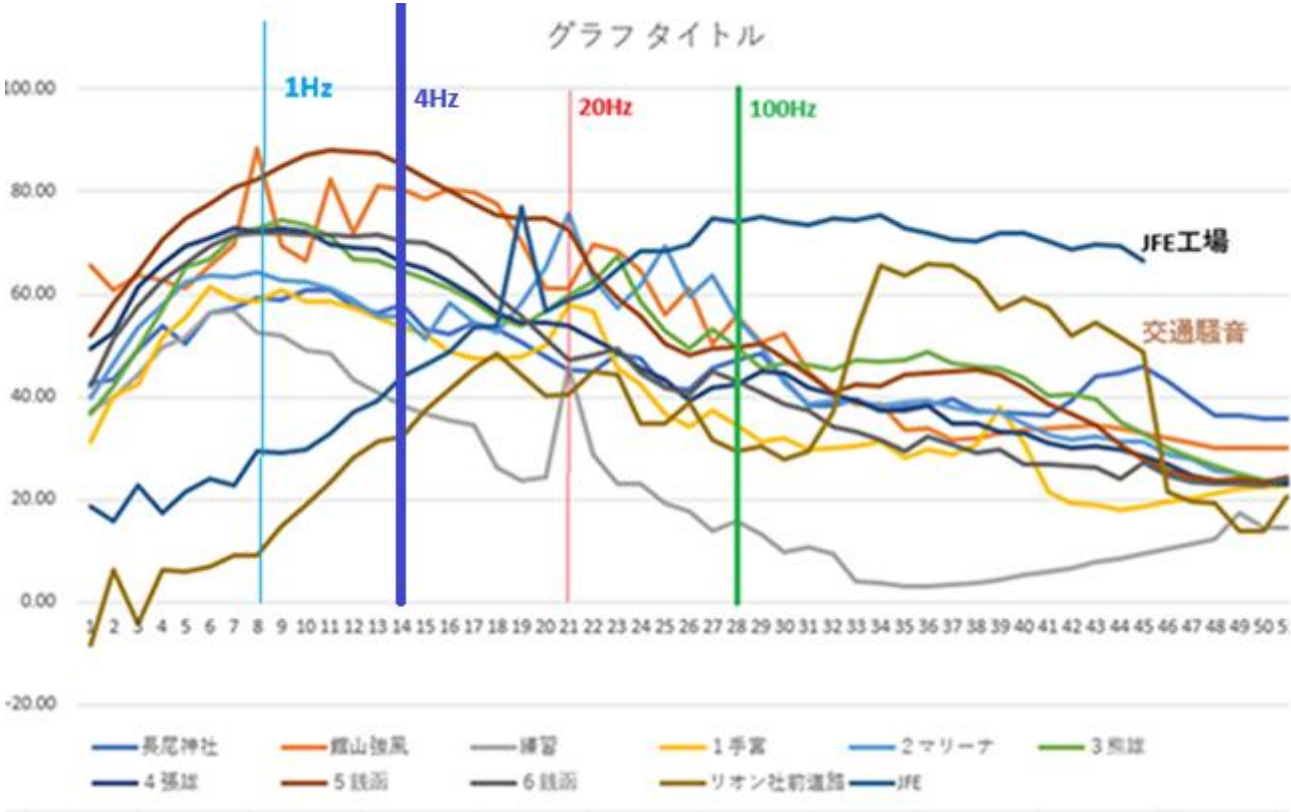
1/3 オクターブ解析でのグラフは、-4dB/cot となっていて、1 オクターブごとに 4 d B 減少します。



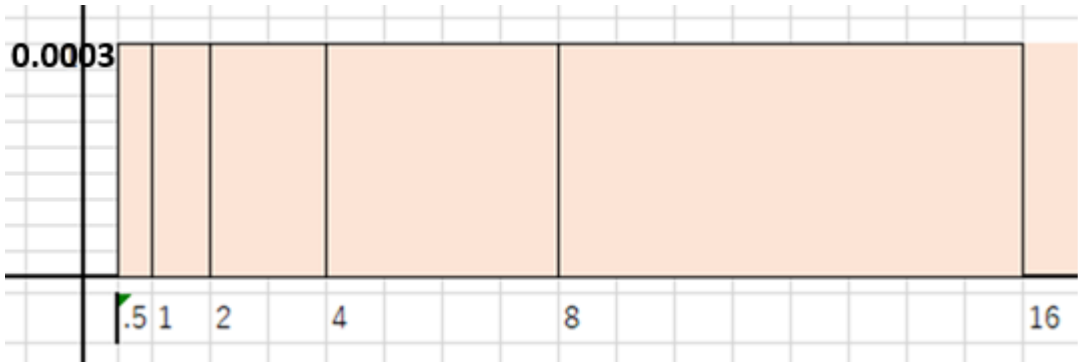
1/3 オクターブバンドでの帯域幅

1/3オクターブバンド 中心周波数と 帯域幅							
x	x/3	2 ^(x/3)	厳密中心周波数 1000*2 ^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅	公称中心周波数
12	-4	0.0625	62.500	55.681	70.154	14.473	63.000
11	-3.66667	0.078745	78.745	70.154	88.388	18.234	80.000
10	-3.33333	0.099213	99.213	88.388	111.362	22.974	100.000
9	-3	0.125	125.000	111.362	140.308	28.945	125.000
8	-2.66667	0.15749	157.490	140.308	176.777	36.469	160.000
7	-2.33333	0.198425	198.425	176.777	222.725	45.948	200.000
6	-2	0.25	250.000	222.725	280.616	57.891	250.000
5	-1.66667	0.31498	314.980	280.616	353.553	72.938	315.000
4	-1.33333	0.39685	396.850	353.553	445.449	91.896	400.000
3	-1	0.5	500.000	445.449	561.231	115.782	500.000
2	-0.66667	0.629961	629.961	561.231	707.107	145.876	630.000
1	-0.33333	0.793701	793.701	707.107	890.899	183.792	800.000
0	0	1	1000.000	890.899	1122.462	231.563	1000.000
-1	0.333333	1.259921	1259.921	1122.462	1414.214	291.752	1250.000
-2	0.666667	1.587401	1587.401	1414.214	1781.797	367.584	1600.000
-3	1	2	2000.000	1781.797	2244.924	463.127	2000.000
-4	1.333333	2.519842	2519.842	2244.924	2828.427	583.503	2500.000
-5	1.666667	3.174802	3174.802	2828.427	3563.595	735.168	3150.000
-6	2	4	4000.000	3563.595	4489.848	926.253	4000.000

0.25Hz からの 1/3 オクターブ解析のグラフでは、交通騒音と JFE の工場音は、右上がりのグラフになっている。理由は、これらの音が広帯域の音であり、1/3 オクターブ解析のグラフの作り方そのものにある。

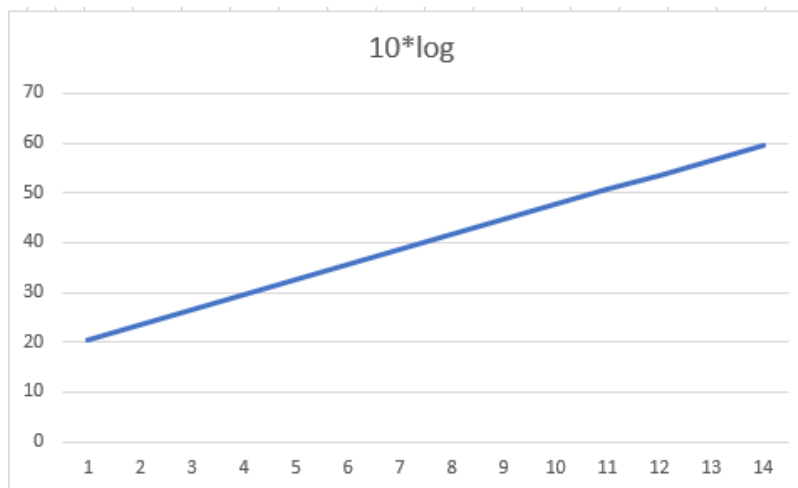


JFE 工場の場合を簡単にして、



横目盛	0.5	1	2	4	8	16
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧*音圧	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅 * 音圧^2	0	9E-08	2E-07	4E-07	7E-07	1.4E-06
10*log	20.5	23.52	26.53	29.54	32.553	35.563

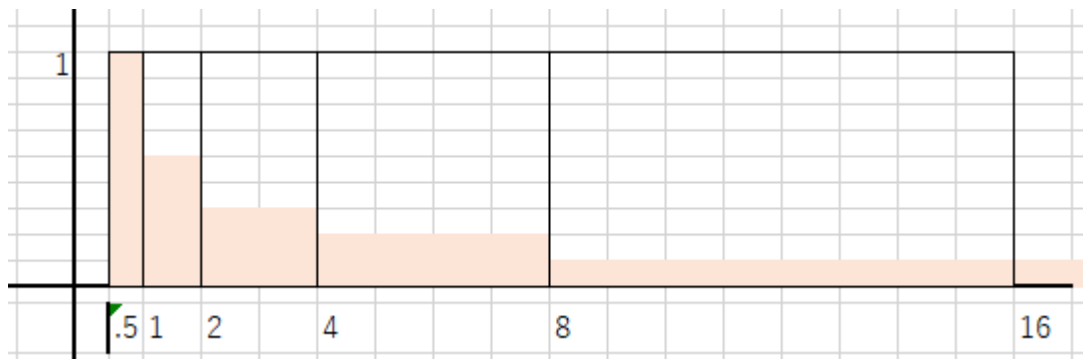
横目盛	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧*音圧	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅*音圧^2	0	9E-08	2E-07	4E-07	7E-07	1.4E-06	2.9E-06	6E-06	1.2E-05	2.3E-05	5E-05	9E-05	0.000184	0.0004
10*log	20.5	23.52	26.53	29.54	32.553	35.563	38.5733	41.584	44.5939	47.6042	50.615	53.62	56.63512	59.645



広帯域なら右上がりになり、中心周波数の増大につれて大きくなる。

風車音の場合のモデルを考える。

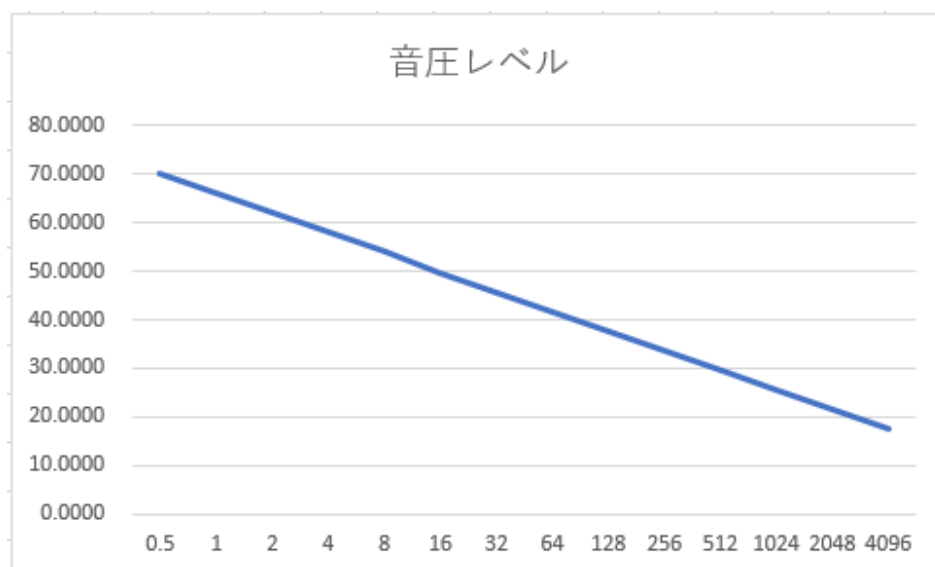
傾きが-4 になるのは、



横目盛	0.5	1	2	4	8	16
音圧	1	1/2.25	1/(2.25)^2	1/(2.25)^3	1/(2.25)^4	1/(2.25)^5
音圧	1.0000	0.4444	0.1975	0.0878	0.0390	0.0173
音圧*音圧	1.0000	0.1975	0.0390	0.0077	0.0015	0.0003
幅*音圧^2	0.5	0.198	0.078	0.031	0.0122	0.00481
10*log	-3	-7.04	-11.08	-15.1	-19.14	-23.177
68+10log	70	65.96	61.92	57.89	53.856	49.8229

横目盛	64	128	256	512	1024	2048	4096
音圧	$1/(2.25)^7$	$1/(2.25)^8$	$1/(2.25)^9$	$1/(2.25)^{10}$	$1/(2.25)^{11}$	$1/(2.25)^{12}$	$1/(2.25)^{13}$
音圧	0.0034	0.0015	0.0007	0.0003	0.0001	0.0001	0.00003
音圧*音圧	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅*音圧^2	0.0008	0.0003	0.00012	5E-05	2E-05	7.23E-06	3E-06
10*log	-31.24	-35.277	-39.31	-43.344	-47.4	-51.4105	-55.44
68+10log	41.756	37.7229	33.6895	29.656	25.62	21.5895	17.556

横目盛	0.5	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096
音圧	1	$1/2.25$	$1/(2.25)^2$	$1/(2.25)^3$	$1/(2.25)^4$	$1/(2.25)^5$	$1/(2.25)^6$	$1/(2.25)^7$	$1/(2.25)^8$	$1/(2.25)^9$	$1/(2.25)^{10}$	$1/(2.25)^{11}$	$1/(2.25)^{12}$	$1/(2.25)^{13}$
音圧	1.0000	0.4444	0.1975	0.0878	0.0390	0.0173	0.0077	0.0034	0.0015	0.0007	0.0003	0.0001	0.0001	0.00003
音圧*音圧	1.0000	0.1975	0.0390	0.0077	0.0015	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅*音圧^2	0.5	0.198	0.078	0.031	0.0122	0.00481	0.0019	0.0008	0.0003	0.00012	5E-05	2E-05	7.23E-06	3E-06
10*log	-3	-7.04	-11.08	-15.1	-19.14	-23.177	-27.21	-31.24	-35.277	-39.31	-43.344	-47.4	-51.4105	-55.44
68+10log	70	65.96	61.92	57.89	53.856	49.8229	45.7896	41.756	37.7229	33.6895	29.656	25.62	21.5895	17.556

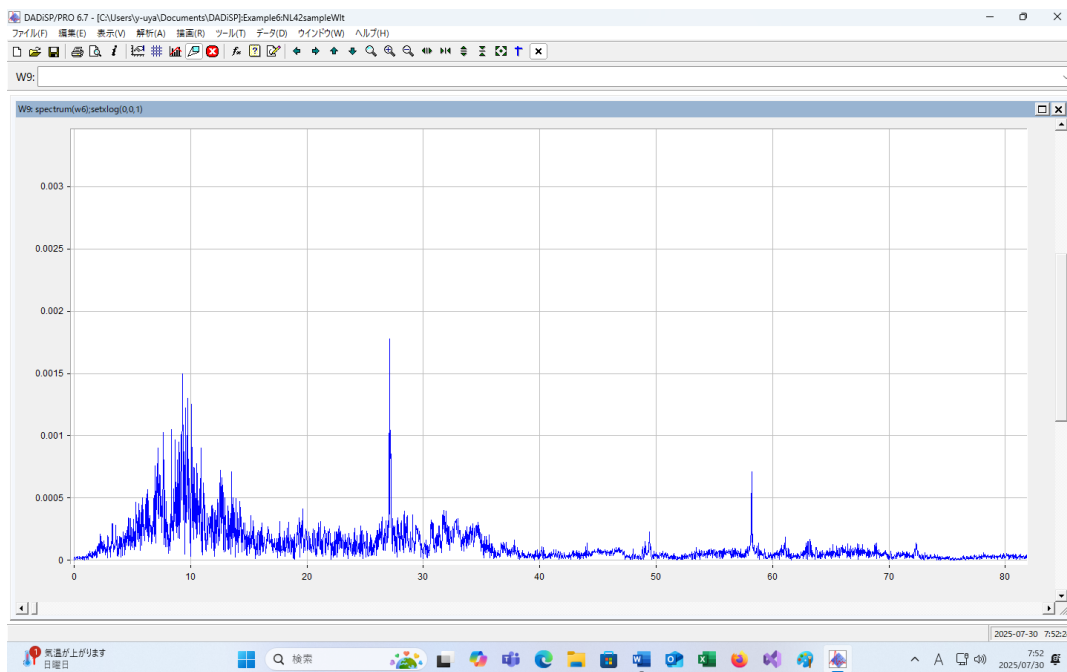


1/3 オクターブ解析のグラフが右下がりという事は、音圧が急激に減少していることを意味している。これは、音のエネルギーが超低周波音の領域に集中していて、周波数が高くなるに従って急激に音圧が減少することを意味している。

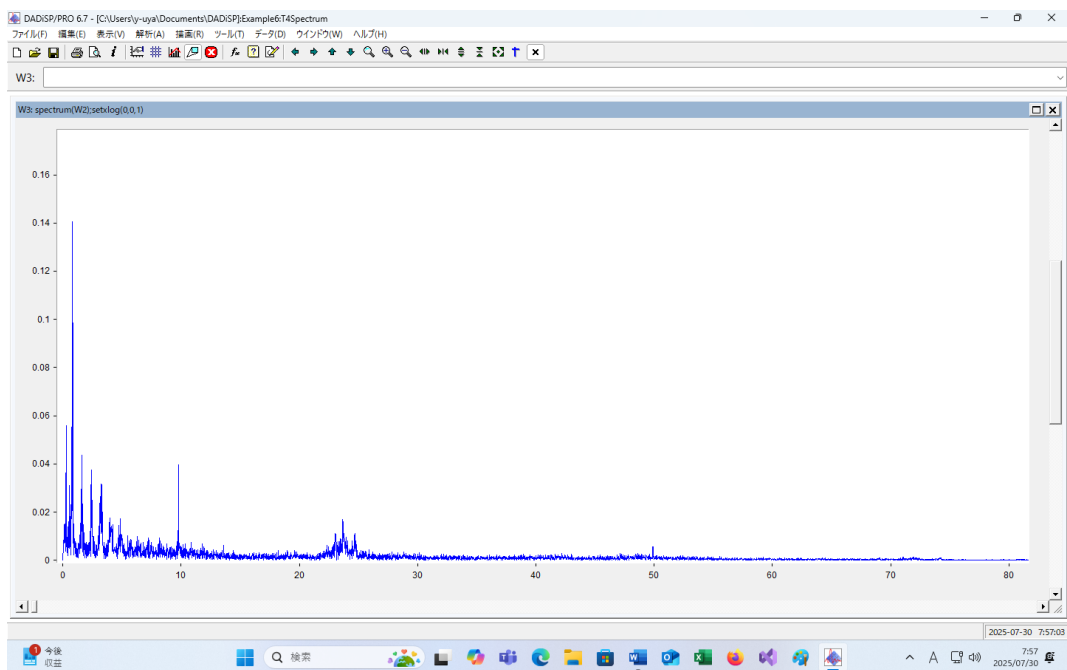
1/3 オクターブ解析でのグラフは広帯域の音ならば右上がり、狭帯域の音ならば、右下がりになっているのです。

佐藤先生は表題を“風力発電から発生する音圧レベル（周波数毎）はどのくらいでしょうか”とした。
超低周波音・低周波音 領域での答えは、次のようになります。

車の場合は、0～80Hz での音圧（パスカル値）のグラフは次のものであり、
0～20Hz での最大値は 0.0015Pa です。



風車の場合は、0～80Hz での音圧（パスカル値）のグラフは次のものであり、
0～20Hz での最大値は 0.14Pa です。



環境省の軍門に下り、“知覚閾値”を追加した経産省

少し前までは、聴覚閾値を下回る。可聴性を実験室実験で調べたと言っていたではないのですか？

(参考) 風車騒音に係る実測調査結果①

第21回WG資料

- 「風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究」(環境省、平成22～24年度)では、風力発電所から発生する**超低周波音領域(～20Hz)**における音圧レベルは、**聴覚閾値を下回っている**ことが現地調査及び聴覚実験で明らかにされた。

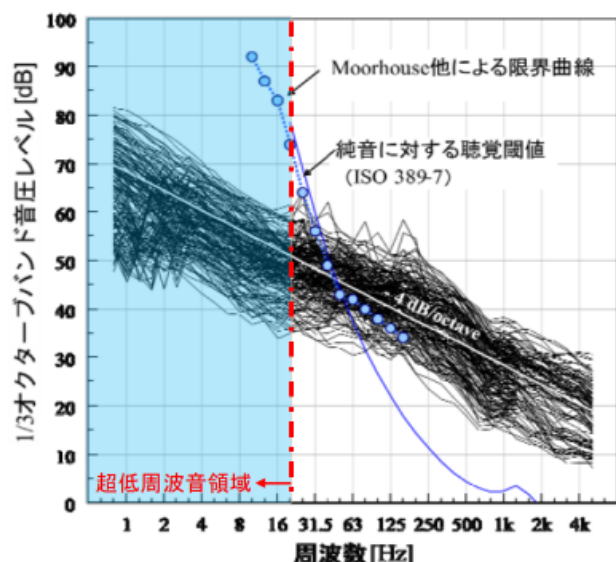


図 全国29の風力発電施設周辺164地点における風車騒音の周波数特性の分析結果

・全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、**全ての結果において超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っている**ことが明らかになった(左図)。

・また、暴露側における風車騒音に含まれている低周波数成分の可聴性を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じない**ことが確認された。

・**全国29の風力発電所周辺の計164地点において、風車騒音を測定した。その結果、全ての結果において超低周波音領域(～20Hz)における音圧レベルが、聴覚閾値を下回っている**ことが明らかになった(左図)。

・また、暴露側における風車騒音に含まれている低周波数成分の可聴性を**実験室実験**で調べたところ、**超低周波数領域の成分は聞こえない/感じない**ことが確認された。

どんな実験的な根拠で、**知覚閾値**が追加されたのですか？聴覚閾値、感覚閾値、知覚閾値の意味は理解していますか？人間には、耳以外にも感覚器官があることは理解できますか？

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

聴覚閾値は、耳で聞いて、聞こえるか聞こえないかの境目と理解できるが、

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

知覚閾値にいたっては、知覚とは、感覚器官への物理化学刺激を通じてもたらされた情報をもとに、外界の対象の性質、形態、関係および身体内部の状態を把握するはたらきのこと。感覚と知覚の概念に含意されている意味は、それらの概念の研究史と密接な関係を持っている。

“健康影響との明らかな関係はない”事と、“健康影響との明らかな関係を見つけれられない”という事は全く別の事柄です。

人間には聴覚以外の感覚器官があり、圧迫感や振動として風車音の影響を感知します。それらを治世によって総合帝にとらえて風車の被害を知覚するのです。

ガタツキでの被害を考えれば、超低周波音の影響を知覚するときの音圧は、5H zで70 d Bです。
聴覚閾値より低い数値でも、睡眠妨害と言う形で風車の影響は知覚されるのです。

物理学や数学を少し勉強すれば、

風車の超低周波音が健康被害の原因となっていて、循環器系の障害や頭痛を物理的に引き起こすことが分かります。健康影響との物理的な関連があるのです

風車騒音は、20H z以上の音を指し、超低周波音（0～20H z）はそこには含まれないので、風車騒音の問題は超低周波音によるものではないのです。

ラウドネス（うるささ）に関する問題は風車騒音（20H z以上）の問題ですが、アノイアンス（不快感）に関する問題は風車の超低周波音の問題と考えるべきです。

＜今後必要な対応＞

○理解促進等のための取組

－事業者や業界団体における丁寧な理解促進活動

－住民等の不安や懸念に丁寧に対応

残念ながら、県の職員や環境省の職員の学力はあまりにも低いので、市民は基本的な数学や物理やデジタル信号処理に関して教育してやる必要があります。

県の職員は、自分では使いこなせない精密騒音計を市民に貸与すべきです。計測方法や分析方法を市民から教えてもらうべきです。そのための、職員研修会を開催すべきです。

低周波音に関する最新の知見の紹介

The Health Effects of 72 Hours of Simulated Wind Turbine Infrasound: A Double Blind Randomized Crossover Study in Noise-Sensitive, Healthy Adult

Marshall NS et al. *Environmental Health Perspectives* 131(3) March 2023

The simulated wind turbine infrasound was generated by a Teensy microprocessor fitted with an SGTL5000 audio processor and the signal fed to a purpose-built Direct Current (DC)-coupled class D amplifier and four 18-in JBL subwoofer loudspeakers in four fully sealed timber enclosures faced with heavy protective mesh so that the participants could not observe the speakers in operation.

シミュレートされた風力タービンの超低周波音は、SGTL5000 オーディオプロセッサを搭載した Teensy マイクロプロセッサによって生成され、**信号は専用の直流(DC)結合クラス D アンプと 4 つの 18 インチ JBL サブウーファースピーカーに供給されました。**

です。

電気信号をスピーカに与えたとしても、1.6Hz の超低周波音がスピーカから出るか否かは別の問題です。
“4 つの 18 インチ JBL サブウーファースピーカー”ですが、



JBL サブウーファー
VTX-F18S

JBL

JBL 18インチ サブウーファー VTX-F18S

★ 0件のレビュー

お取り寄せ

価格

572,880円 送料無料 (全国一律)

商品情報

18 インチの低域ドライバーを搭載。 VTX-F18S

- ・ディファレンシャル・ドライブ技術を採用した 18 インチの低域ドライバーを搭載。
- ・カーディオイド型の指向性を持ち、逆向きに設置する際の配線に便利なフロント面の入力端子も装備。
- ・サブウーファーの高さや幅にフルレンジシステムのサイズを合わせているので、フライトケースへの収納や運搬トラックへの積み込みを、スペース効率よく収納可能。

◆形式 : サブウーファー

◆周波数レンジ (−10dB) : 24.3Hz~300Hz

◆最大音圧レベル : 136dB SPL (ピーク)

◆感度 (1W、1m) : 92dB SPL

◆公称インピーダンス : 8Ω

◆許容入力※ : 2,000W (連続)、8,000W (ピーク)

※AES ピンクノイズ、クレストファクター6dB、2 時間

◆ドライバー構成 : 2269H (18 インチ (457mm))

◆入力端子 : 4P スピコン×2、8P スピコン×2、 4P スピコン×1 (フロント面に装備)

◆エンクロージャー : 18mm カバ合板、黒、DuraFlex 仕上げ

◆寸法 (W×H×D) : 548×640×714mm (除突起部)

◆質量 : 47kg

であり、周波数レンジ (−10dB) : **24.3Hz~300Hz** の 18 インチ JBL サブウーファースピーカーで 1.6Hz の音を出せるとは思えない。

実験室での超低周波音を含んだ風車音をスピーカーから出そうとして大型スピーカーを購入したとします。

オーディオルームで低周波音を再現するには、普通は、大型のスピーカーを購入します。

定価が 2 1 7 8 0 0 0 円のスピーカーですが、

● JBL 4350BWX 地を這う超低音 最高峰4wayスピーカー新品さながら



型番	43-330
定価	2,178,000円(税込)
販売価格	1,210,000円(税込)
在庫数	在庫 0 べア 売切れ中 -SOLD OUT-

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

周波数特性 (±3dB)	30Hz~ 20kHz
--------------	--------------------

さらに工夫をしている人がいます。

超低周波音再生用スピーカシステムの開発

小林 幸 夫 , 成 田 一 真 * , 渡 邊 康 徳 * *

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

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

以下省略 :

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

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

“スピーカによる低域の増強について

代表的な低音増強の手法は、空気による共鳴を利用する方法である。バスレフ型のスピーカでは、ポート内の空気質量と、エンクロージャ内の空気ばねが機械的に共振する。また、QWT (quarter wave tube, 1/4 波長管) や TQWT は閉管の定在波現象により共鳴を起こさせる。いずれも、振り子のように弾みがつく要素を置き、それをスピーカで加振することによって音圧を増幅する仕組みである。この加振時にはスピーカに大きな負荷（空気がコーンの動きを妨げる力）がかかり、共振する部分が大きなコーン紙と同じような働きをすることで低音が増強されると言っても良い。ただし、共振現象を利用しているため、どうしても音に弾みがついてしまう。

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

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

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

とのことです。

普通の実験では、

The loudspeaker is driven by a DC amplifier connected to a Sinus Soundbook running SAMURAI 2.0 software which generates the electrical waveform previously described. A 200 Hz low pass filter with DC offset adjustment and a dB attenuator are connected between the Soundbook and the amplifier.

The pressure signal from the speaker is transmitted via a 1.7 m length of 6 mm inner diameter clear vinyl/polyurethane tubing incorporating a brass splitter to connect to each cup of a set of Uvex-X earmuffs as shown in [Figure 3](#). One of the cups was modified to house a G.R.A.S. 40AZ ½” Pre-polarised Free-Field Microphone connected to a G.R.A.S. Type 26CG ¼” Low Frequency CCP Preamplifier. The G.R.A.S. 40AZ microphone has a frequency response of 0.5 Hz to 20 kHz (± 2 dB) which encompasses the range of the study.

スピーカーは、前述の電気波形を生成する SAMURAI 2.0 ソフトウェアを実行している Sinus Soundbook に接続された DC アンプによって駆動されます。DC オフセット調整付きの 200Hz ローパスフィルターと dB アッテネーターが Soundbook とアンプの間に接続されています。

スピーカーからの圧力信号は、**図 3 に示すように**、長さ 1.7 m、内径 6 mm の透明なビニール/ポリウレタンチューブを介して送信され、Uvex-X イヤーマフのセットの**各カップに接続**するための真鍮スプリッターが組み込まれています。カップの 1 つは、G.R.A.S. Type 26CG 1/4" Low Frequency CCP Preamplifier に接続された G.R.A.S. 40AZ 1/2" Pre-polarised Free-Field Microphone を収納するように改造されました。G.R.A.S. 40AZ マイクロフォンの周波数応答は 0.5 Hz~20 kHz(± 2 dB)で、これは研究の範囲を網羅しています。



Figure 3. Complete acoustic headphones including twin 6 mm nozzles with attached tubing, microphone and occlusion ports (located on the cup either side of the head strap).

イヤホン

スピーカでは 10Hz 以下の音を出せないが、イヤホンならば 2.5Hz 程度まで可能である。ただし、風車音は体全体に対して作用する。0.5Hz、1Hz の音は、体内の圧力を変化させる。体全体が強制的に圧縮膨張させられる。

圧迫感や不快感が風車音被害の大きな特徴だが、イヤホンからの音は体全体を圧迫するようなことは無い。聴覚だけに絞った実験結果であり、風車音の影響を評価できるようなものではない。

風車音被害の原因を見つけることはできないし、その結果を“知覚閾値”だと言われても、日本語が分かっているとは思えない。

風車が大型化した状況では、0.5Hz や 1Hz での、圧力変動の感知を重視すべきである。圧力変動の影響に限定した実験は可能である。潜水艦内のような密閉空間を作り、大きな注射器のようなもので、気圧を変化させればよい。

実験の例（挿入型イヤホン）

[欧州における超低周波音知覚に関する研究動向*](#)

横山 栄*1 小林 知尋*1 山本 貢平

2.2 超低周波音発生装置の開発

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

イヤホンから出た音は、体全体を圧迫することは無いので、風車音の人体に対する影響とは全く違うものです。**体全体を包みこむ音が必要**なのです。

実験内容を検証するには、スピーカから出た音について再度精密騒音計で波形を収録して、それを解析する必要があります。

私の見落としかもしれないが、生成音の波形収録とその解析結果についての記述が見当たらない。それが実際の風車音の性質を持っているかの記述も見当たらない。

収録波形（供給信号）とスピーカでの再生音

スピーカに電気信号を与えても、超低周波音がスピーカから出るとは言えないのです。計測した風車音のデータを PC に読ませて、PC のスピーカから音を出すとしてみます。

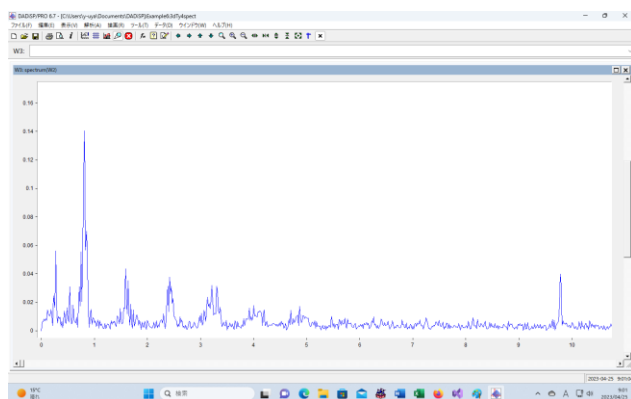
精密騒音計で風車音を測定して WAV ファイルを作る。Wav ファイルを PC に読み込ませて、PC についているスピーカで音を出す。PC のスピーカから出てくる音を精密騒音計で再度測定して、新しい WAV ファイルを作る。

この 2 つの WAV ファイルの周波数スペクトルを調べて比較してみました。

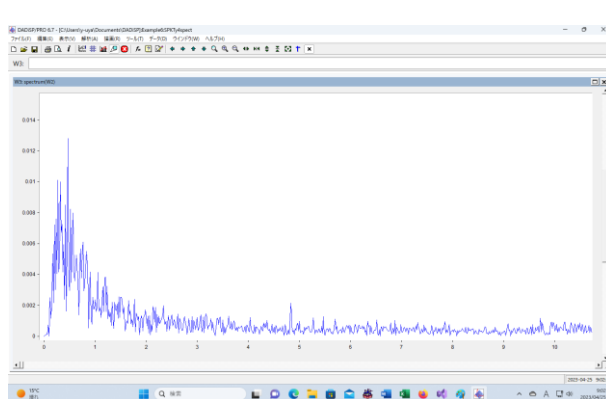
DADISP と DADISP/WAV の組み合わせで、野外での風車音とそれを再生した物を再度録音した結果を比較し

てみます。どちらも、耳で聞く限りでは、同じ音のように聞こえます。私の耳では違いは分かりません。が、周波数スペクトル波形は別物です。

風車音の周波数スペクトル

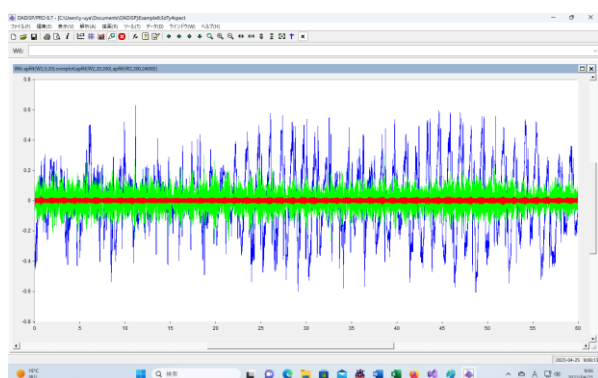


再生音の周波数スペクトル

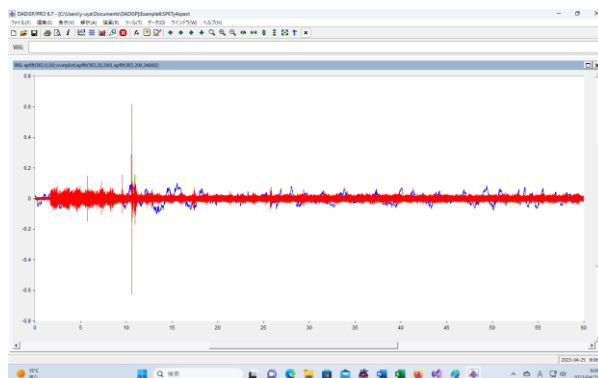


さらに、周波数帯ごとに分割してそれらの強さを比較すると、風車音そのものと、再生音の性質の違いが明確になります。(0Hz～20Hz 青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤) として分解します。

風車音の周波数帯ごとの比較



再生音の周波数帯ごとの比較



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

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

幾つか検討したが、被験者が浴びた音を精密騒音計で波形を収録して公開すること、風車音の波形を公開する事が必要である。

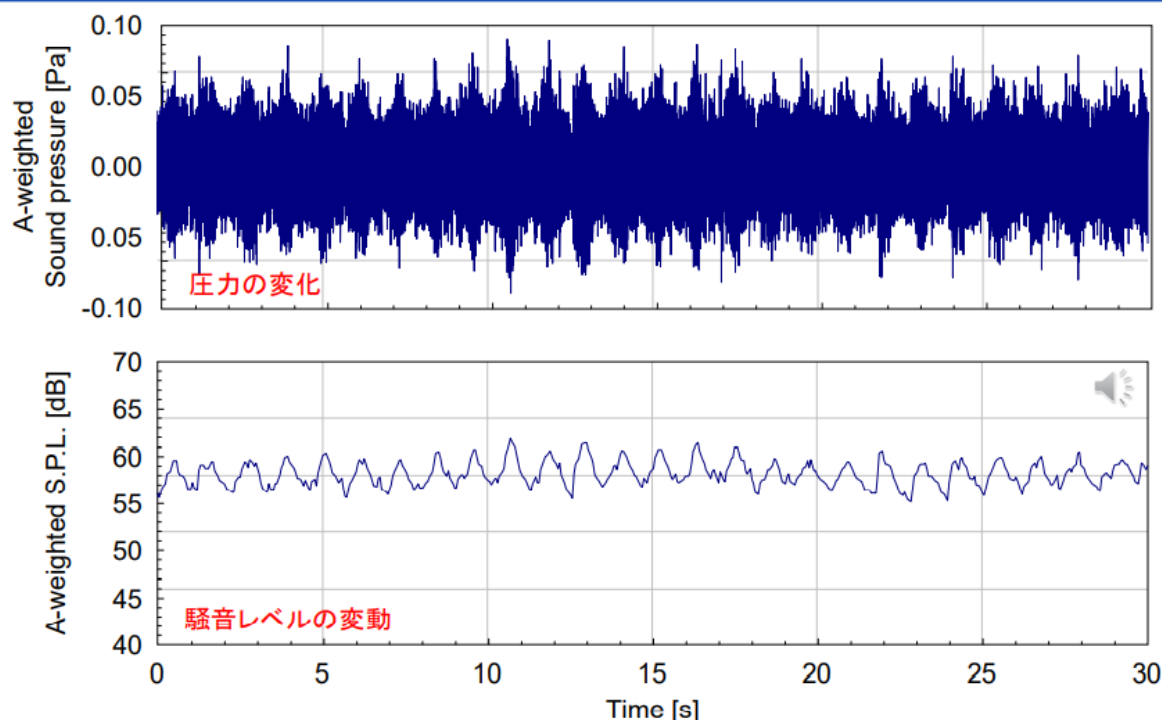
1.6Hz の超低周波音を、18 インチ JBL サブウーファースピーカーから放出して、それを被験者が全身に浴びる事が出来たとすれば、音響学の奇跡と言えるが、それは不可能なのです。

振幅変調音（スイッチュ音）の原因

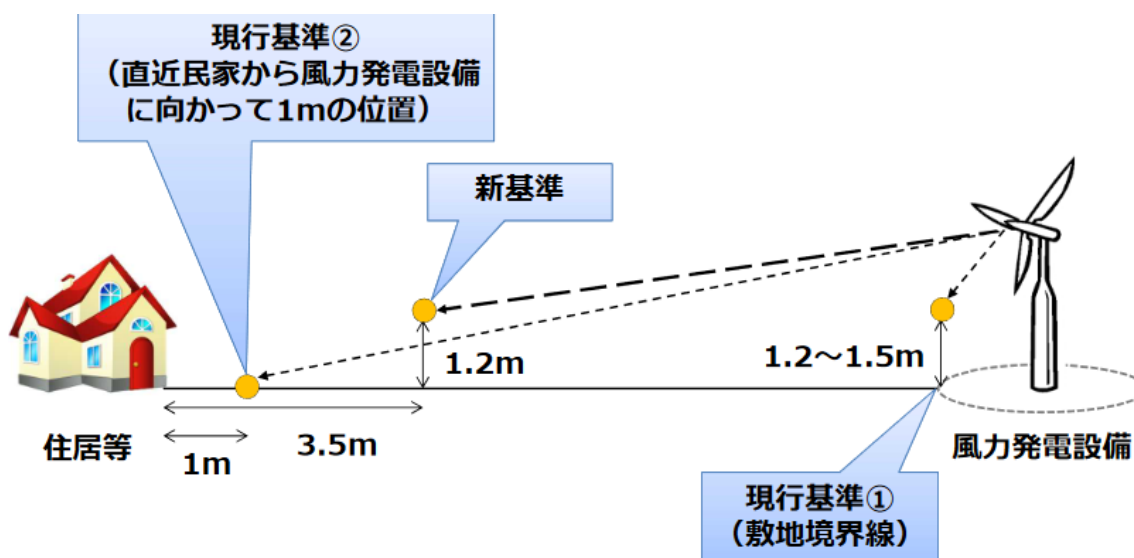
普通の科学者は、不思議な現象がなぜ起きるかを考える。普通なら振幅変調が観測される理由を考える。しかし、風車音の世界では理由を考えない。とりあえず、理由を説明しておきます。

特徴的な風車騒音の紹介

振幅変調音 (AM音, スwitchュ音)



このグラフには、計測方法の問題があります。



Swish 音の原因としては精密騒音計の置き場所が問題になります。

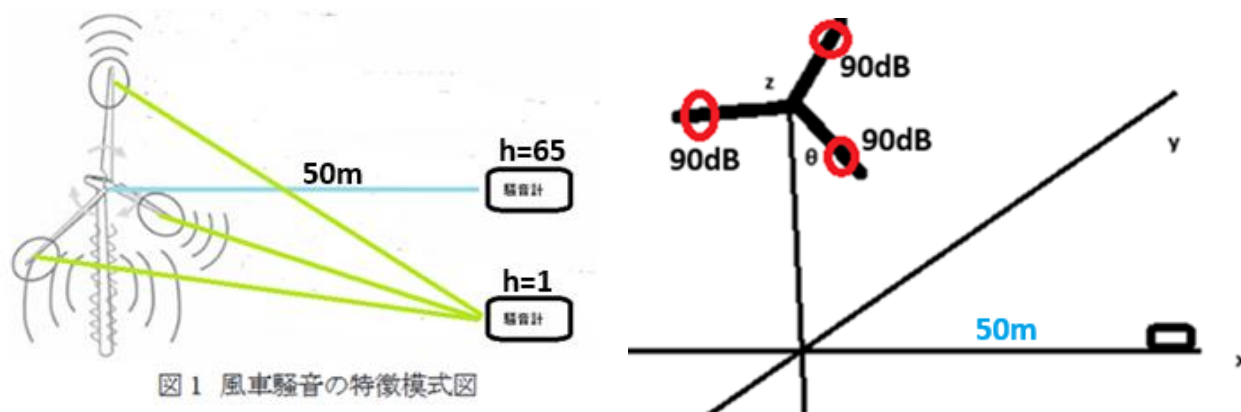


図 1 風車騒音の特徴模式図

「房総かぜの丘」の風車は、タワー高さ 65 m、ブレード直径 70.5 m
これを参考にして、音源は、ブレード上で回転軸から 30m離れた場所にあるとする。
どのブレードからも、500Hz で音響パワーレベル LW=90dB の音が出るとする。
騒音計は、風車から水平距離で 50mの場所に置くとする。

音圧レベル LP と音響パワーレベル LW の関係は、点音源で同心球状に波面が広がるとして、

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

となるので、

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

として計算する。

いくつかの音源が有るとき、それらの音圧レベルの音を合成した音の音圧レベルは次の式で計算できる。

$$\Sigma L = 10 \cdot \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

ここで、

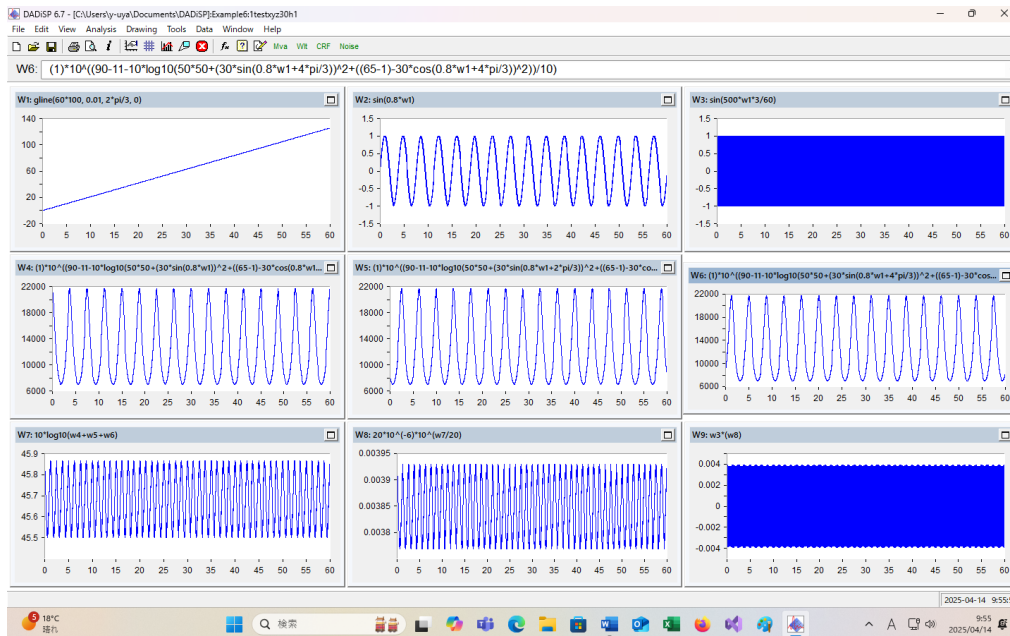
ΣL : 合成された低周波音圧レベル (dB)

L_n : 発生源 n に対する低周波音圧レベル (dB)

合成された結果、200Hz の音が計測されて、その音圧を p としたとき、

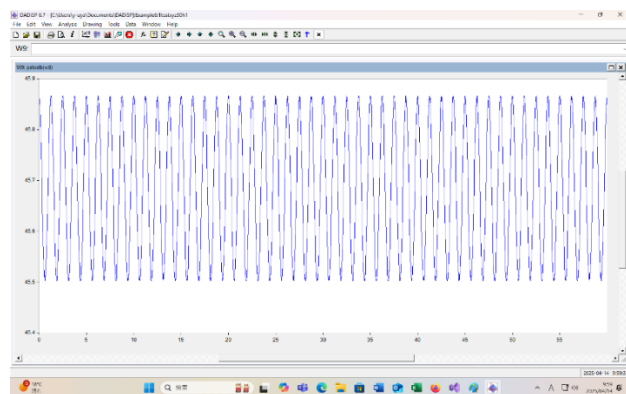
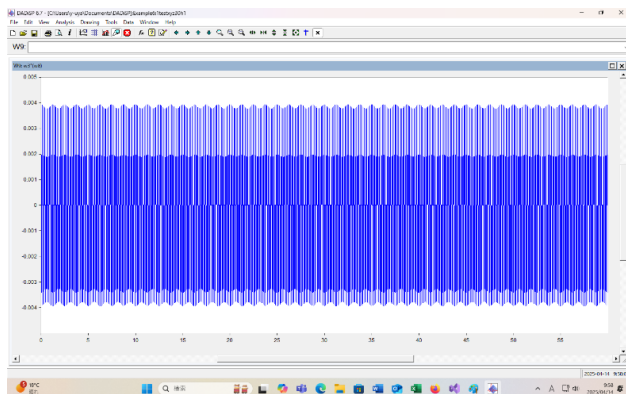
$$\Sigma L_i = 20 * \log \left(\frac{p}{20 * 10^{-6}} \right)$$

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



振幅変調（パスカル値）

音圧レベルの変動（デシベル値）



音圧レベルは、45.5～45.9 d B での変動になります。

計算式は、

W1 : gline(60*100, 0.01, 2*pi/3, 0)

W2 : sin(0.8*w1)

W3 : sin(500*w1*3/60)

W4 : (1)*10^((90-11-10*log10(50*50+(30*sin(0.8*w1))^2+((65-1)-30*cos(0.8*w1))^2))/10)

W5 : (1)*10^((90-11-10*log10(50*50+(30*sin(0.8*w1+2*pi/3))^2+((65-1)-30*cos(0.8*w1+2*pi/3))^2))/10)

W6 : (1)*10^((90-11-10*log10(50*50+(30*sin(0.8*w1+4*pi/3))^2+((65-1)-30*cos(0.8*w1+4*pi/3))^2))/10)

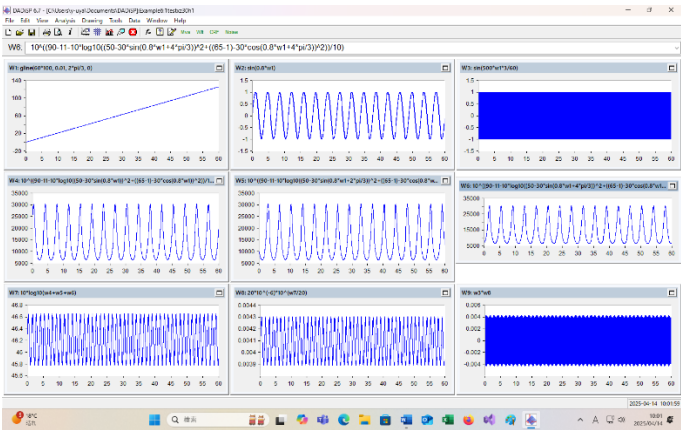
W7 : 10*log10(w4+w5+w6)

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

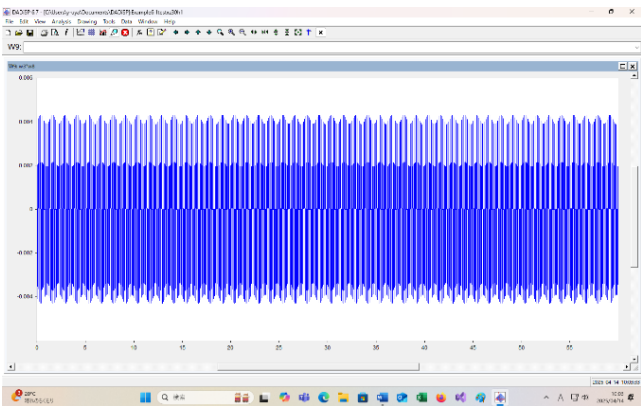
W9 : w3*(w8)

となっています。

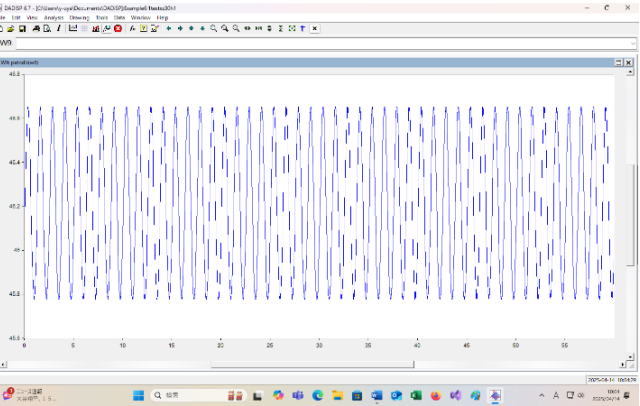
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 1 m で、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

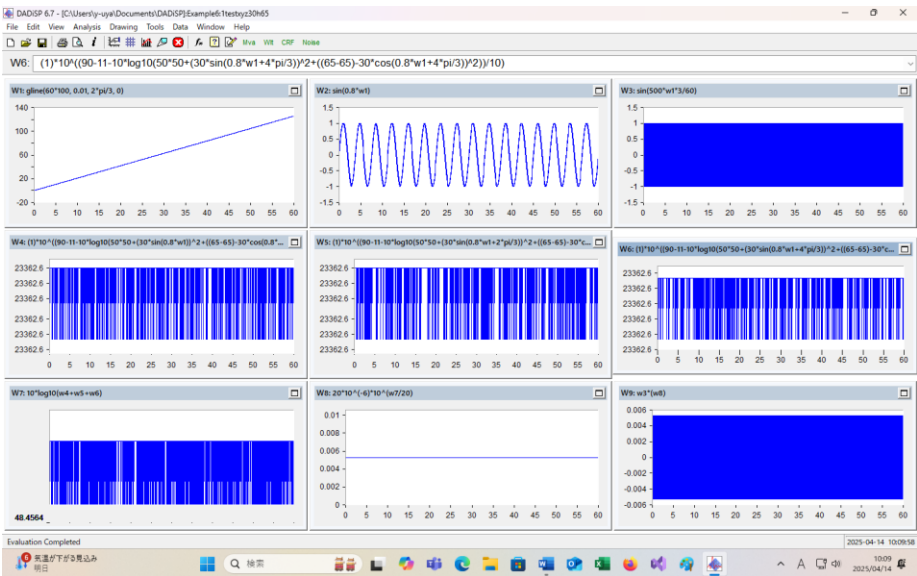


音圧レベルの変動（デシベル値）

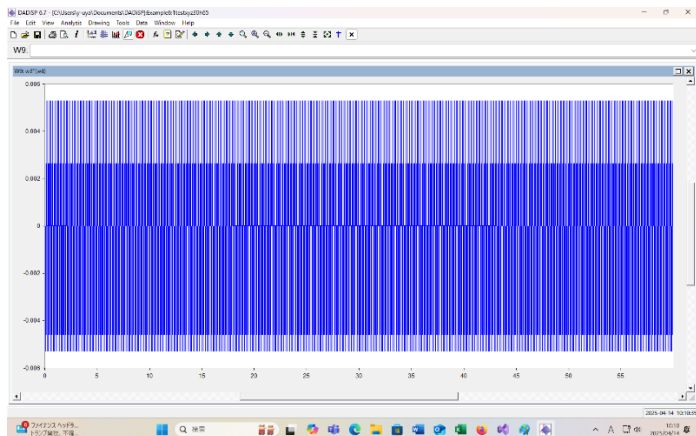


音圧レベルは、45.8～46.7 d B の変動になります。

風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 65m で、ブレードの回転面が y z 平面にあるときは、次の様になり、

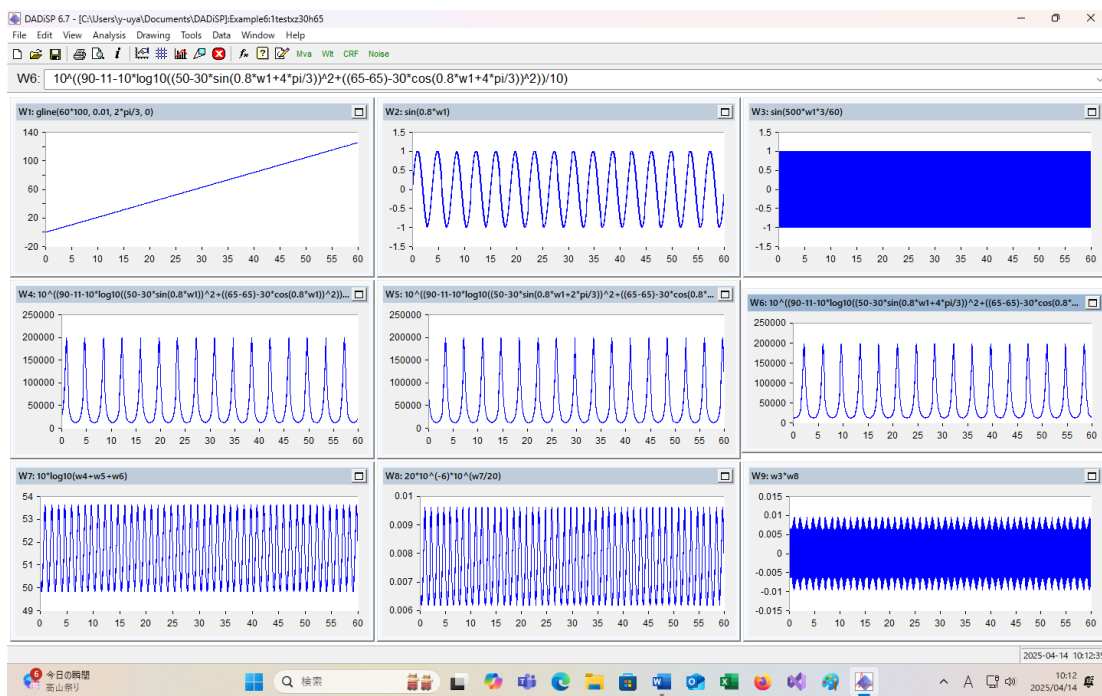


振幅変調（パスカル値）

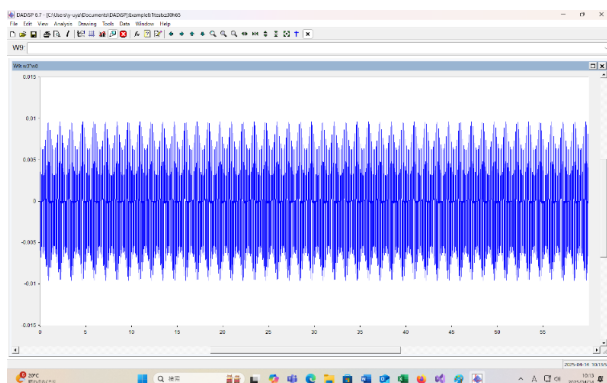


振幅の変動は起きません。

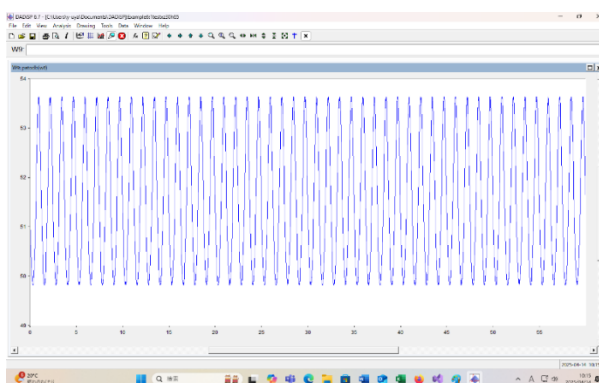
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 65m で、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

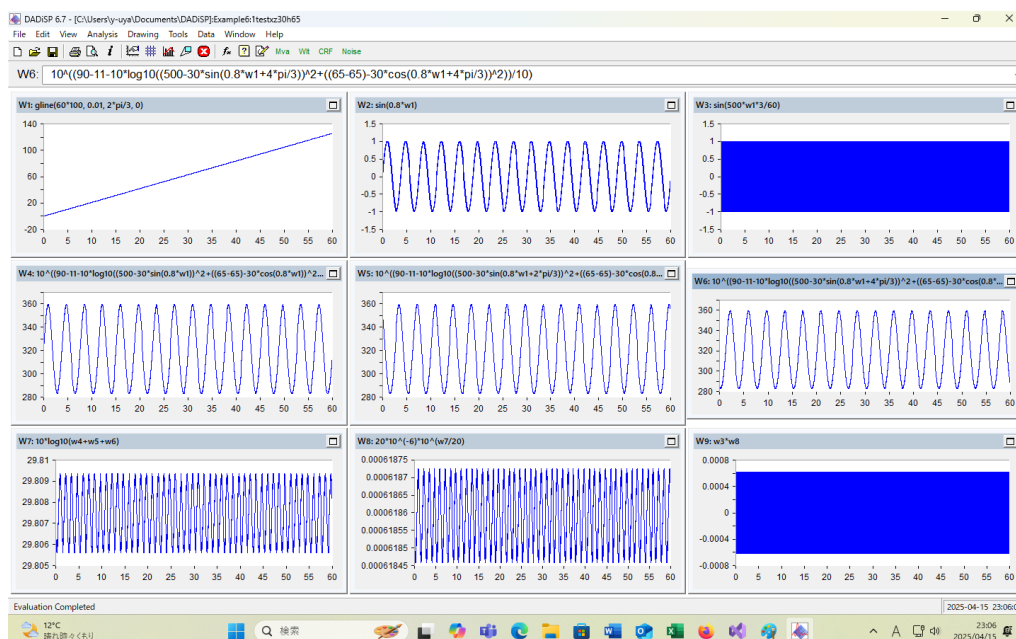


音圧レベルの変動（デシベル値）



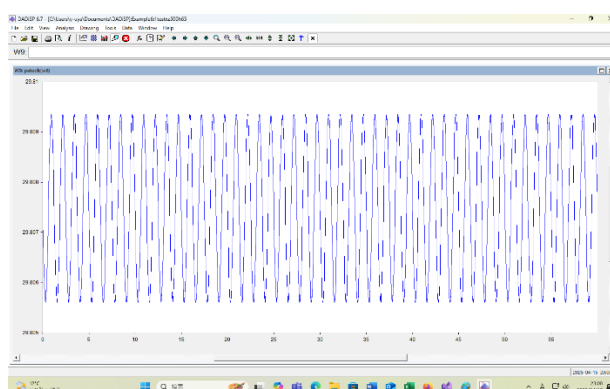
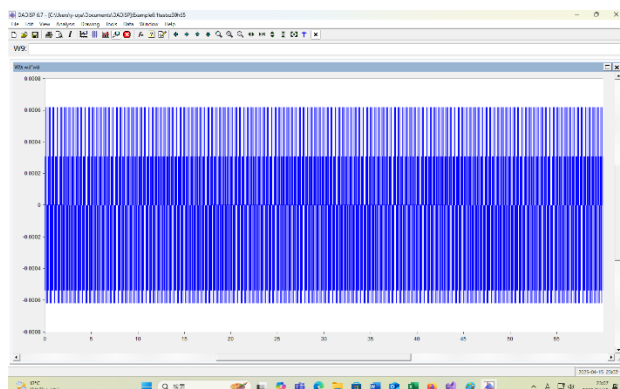
音圧レベルは、50～54 d B の変動となります。

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



振幅変調（パスカル値）

音圧レベルの変動（デシベル値）

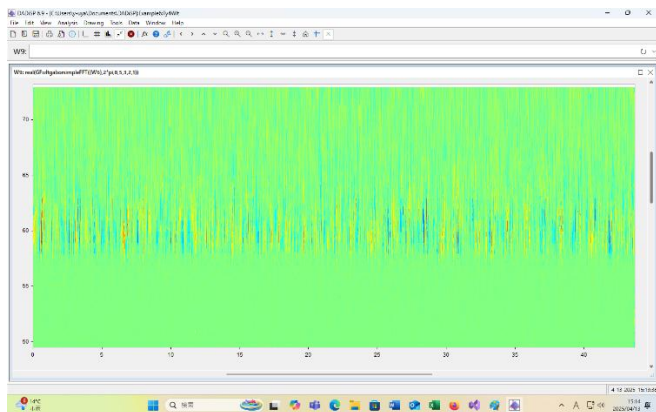


音圧レベルは、29.805～25.809 d B の変動となります。

Swish 音について考える時に、騒音計に音源が近づいたから振幅の大きな音が記録されたのか、ブレードが塔の前を通過することが原因で音が特別に大きくなるのかを判定することが必要です。

騒音計を回転軸の高さまで上げて、回転軸の延長上に置いて計測した結果に、振幅変調が現れれば、ブレードが塔の前を通過するのが原因と言えるが、振幅変調が見られなければ、単なる音源との距離の変化で、音が大きくなったり小さくなったりしているだけだと判断できます。

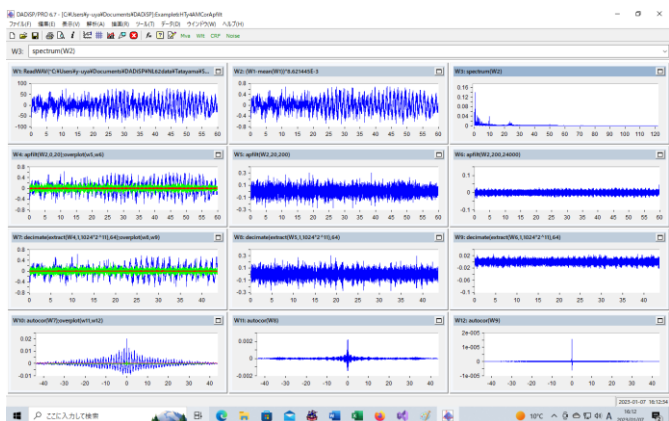
音源と騒音計の距離の変化による、ドップラー効果らしき、周波数の変化も見られますが、それほど明確ではありません。



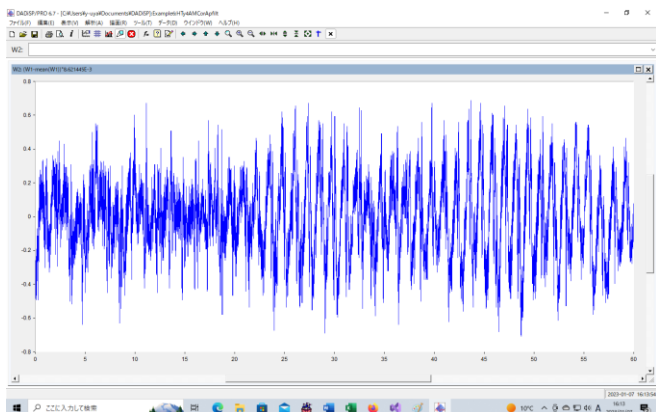
その影響を考えるには、振幅変調をする成分の音圧レベルを考えます。さらに、防音窓での効果によって室内での影響を考えます。

館山の風車騒音のデータを使って考えます。
風車音そのものを全体としてみた場合には、振幅は変動しています。しかし、搬送波に当たるものがあって、その振幅が変化しているとは言えないのです。

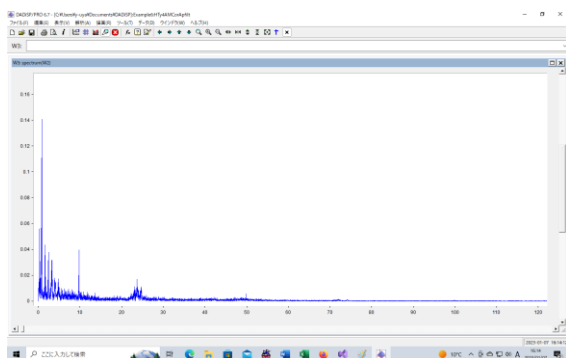
風車音の特徴を、次の DADISP ワークシートで調べてみました。



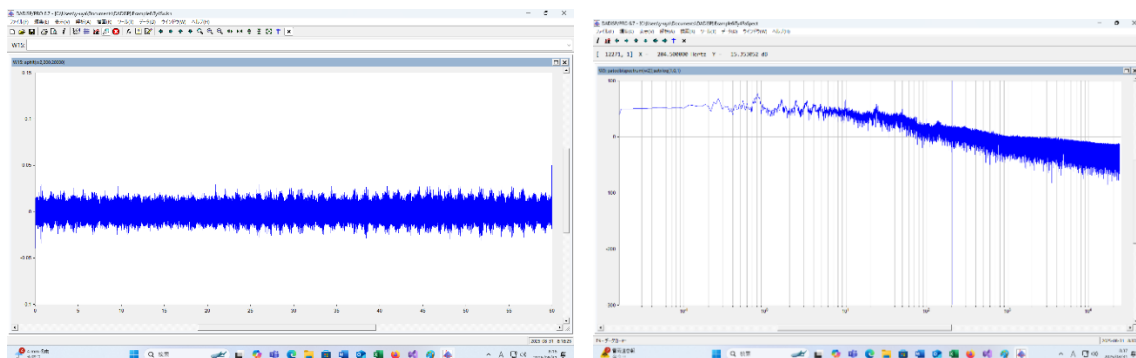
風車音を60秒計測したデータを表すグラフは次のものです。(これが風車音そのものです。)



低周波部分を拡大した、周波数スペクトルは次のグラフです。50Hz 以下の成分が大半を占めています。このグラフからも、200Hz 以上の成分は、微弱なものであることが分かります。



FFT は逆変換が出来るので、元の波形から、200Hz～20000Hz の成分を取り出しました。確かに、振幅が変動しています。



200Hz 以上での音圧レベルは 20dB 以下です。

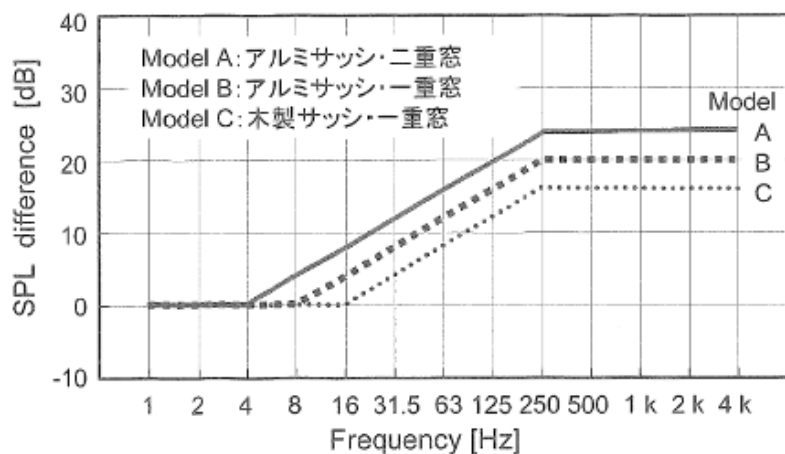


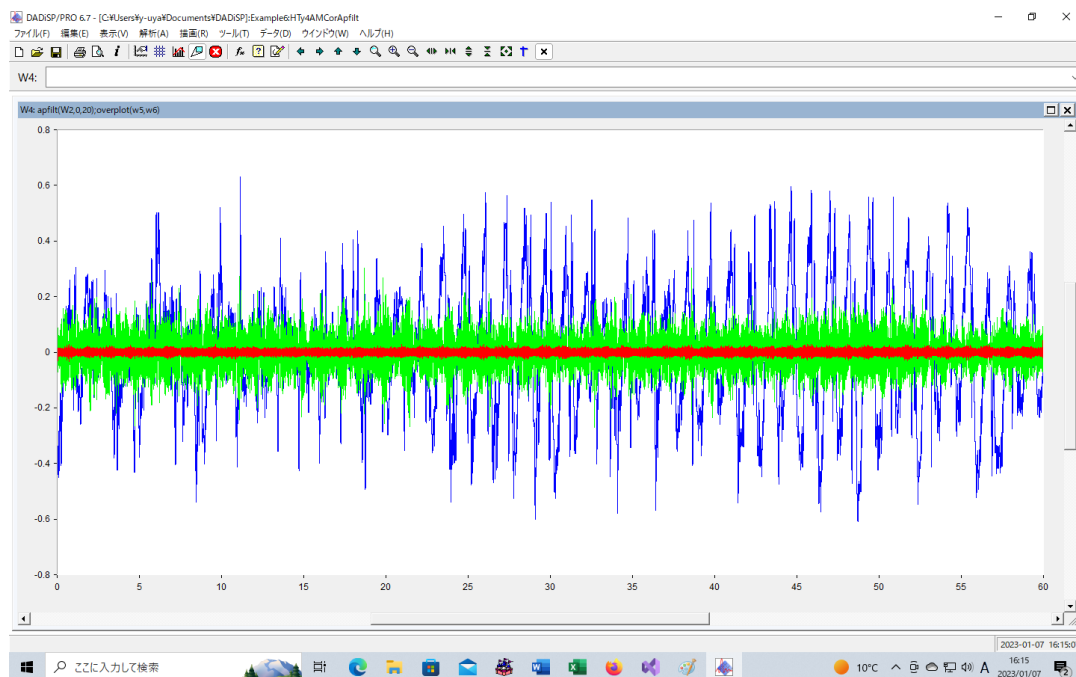
図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

250Hz だと、防音窓での減衰は、25dB 程度なので、200Hz 以上での音圧レベルは 20dB 以下の音ならば、全く問題ないという事になります。

同様に取り出した、0Hz～20Hzの超低周波音成分を青で、20Hz～200Hz の成分を緑で、200Hz～24000Hz の成分を

赤で、重ね書きしてみました。高い音圧を持っているのは、超低周波音の成分であることが分かります。

赤い部分の 200Hz 以上の成分は、他の成分に比べて、極めて弱い音であることが見て取れます。



赤の部分は、微弱で周波数が高いのですから、部屋の中で防音窓を閉めれば 24dB 程度の減衰があることを考えれば、室内での被害の原因とはなりません。超低周波音 (0Hz~20Hz) の部分は、エネルギー透過率が高いので窓を閉めても、7dB 程度の減衰しか期待できませんので、室内での被害に関しては、この影響は無視できません。

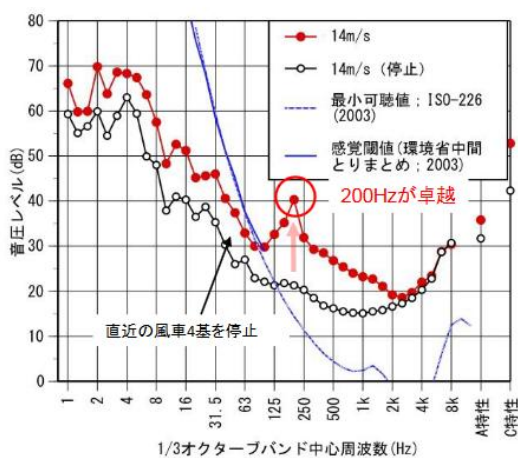
日本家屋は、固有振動数が 1Hz 程度であり、大型化する風車から出てくる音の音圧が最大となるのは、1Hz よりも低い周波数となっているのです。しかも、風車音のエネルギーの 93% 以上を超低周波音が持っているのです。

純音成分

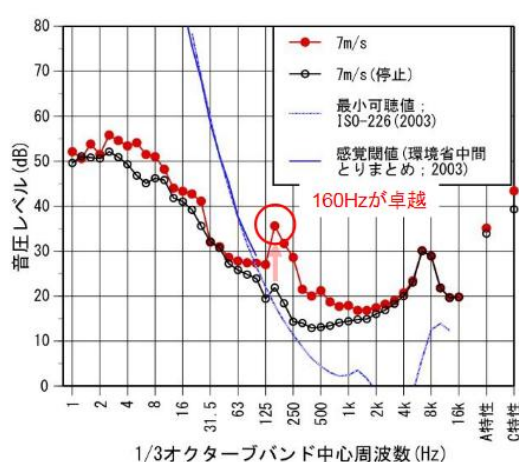
本当に純音成分としての性質を持っているかは、1/3 オクターブ解析のグラフからは判断できません。その周波数と音圧を詳細に決定する必要があります。更に、その音が観測される理由もきちんと調べるべきです。そのためには、周波数分解能を高くして、周波数スペクトルを調べなくてはなりません。G 特性音圧レベル、1/3 オクターブ解析、A 特性音圧レベルを調べても解決できません。研究としては杜撰すぎるのです。

特徴的な風車騒音の紹介

純音性成分が含まれる風車騒音の例



左; 風車より240m, 木造家屋-屋内



右; 風車より350m, 木造家屋-屋内

* 純音性成分は、増速機などの機械駆動部の振動に起因していることが考えられる

環境省H21年度調査結果より抽出; <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12319> 参照

23

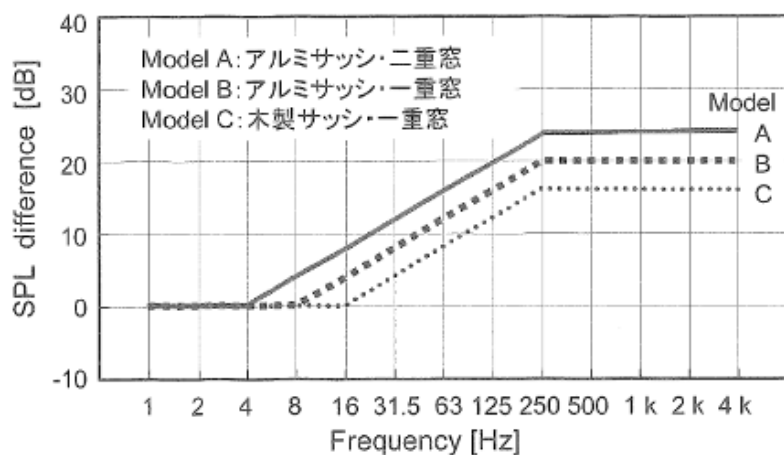
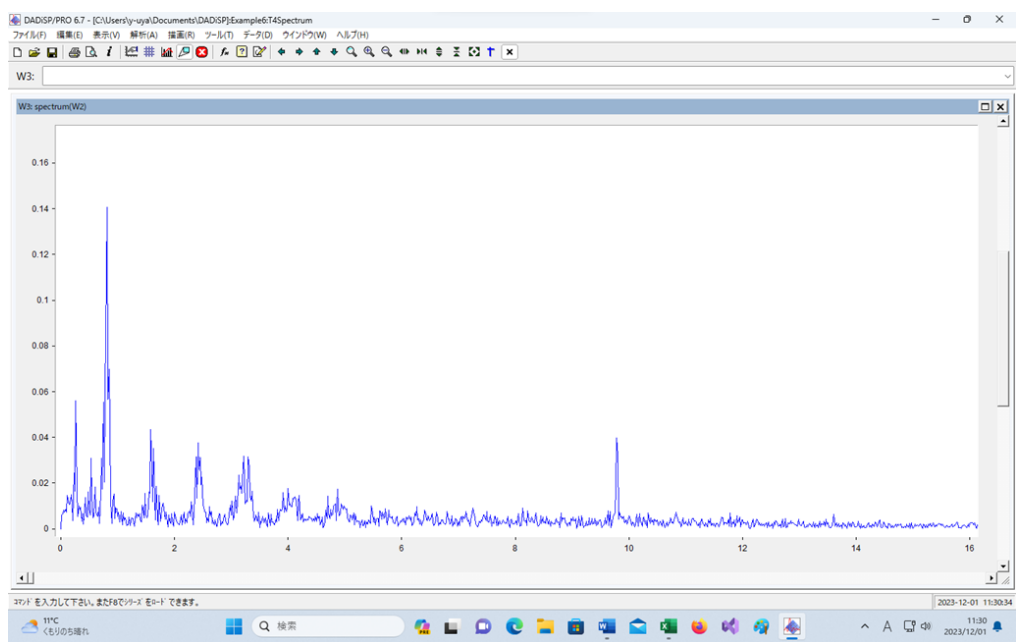


図4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

160Hz で 35 dB、200Hz で 40 dB の音ならば、防音窓があれば、それぞれ 18 dB、19 dB 程度の減衰があるので、室内では 17 dB、21 dB の強さとなり、睡眠を妨害するようなことはありません。

純音成分が含まれる音源のほうが、不快感を与えるとの実験結果があることは承知しています。
 実際の風車音で計測された音圧（パスカル）には、周波数の倍音構造があります。



音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

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

上のグラフの一番音圧が高い周波数 0.816Hz が、 $RZ/60$ に対応します。（ R は 1 分間の回転数、 Z は翼の枚数）。
 他のピーク値の発生も必然的であり、明確な理由があります。

グラフから、超低周波音は、強烈な純音であることが明確です。
 不思議なのは、35～40 d B の音圧レベルの純音は気にするのに、音圧が 50～80 d B の超低周波音を気にしないことです。

そもそも、1/3 オクターブ解析では、中心周波数 160Hz での帯域幅は 36.469Hz、中心周波数 200Hz では帯域幅な 45.948Hz と広いので、正確な周波数が不明確です。従って本当に純音なのか否かは、1/3 オクターブ解析のグラフからでは分かりません。

超低周波音のグラフは、周波数分解能が高いため、純音であることが明確です。更に、風車での超低周波音の発生する仕組みと、マクローリン展開の係数から考えても、純音であることは明確です。

しかも、周波数が 0.8Hz ですから、計測された音圧の変動に対応した、体内での圧力変動を強制的に起こす力があります。人体は強制的に圧縮膨張させられるのです。これは循環器系の障害を引き起こします。

70 dB - 40 dB = 30 dB です。

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

dBの差 = $10 \log(1/A)$

エネルギーでは、1000 倍です。

微小な変動に注目するが、巨大な圧力を無視する姿勢は、科学的とは言えません。

周波数の高い音は、マンションのガラス戸を閉めれば聞こえなくなります。

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

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

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

▼ 風車騒音の人体影響と指針値

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ています。

ただし、風車騒音に含まれる振幅変調音や純性性の音等は、わずらわしさを増加させる傾向があり、静かな環境では、風車騒音が35〜40 dBを超過すると、わずらわしさの程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されています。

平成29年5月には環境省から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に、風力発電施設騒音の指針値が評価の目安値として示されています。

この指針値は、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活用するとともに、地方公共団体による関係する事業者や住民等への対応の際の参考とするもの（一定規模以上）です。

指針値と被害

[東北電力の白石越河風力発電事業について](#) には、

騒音(秋季) ▶ 環境省の風車騒音の指針値を下回る

(デシベル)

項目 予測地点	時間 区分	騒音レベル			指針値	評価
		現況の騒音 (残留騒音)	予測値	増加分		
騒音1	昼間	38	38	0(0)	43	○
	夜間	38	38	0(0)	43	○
騒音2	昼間	37	38	1(1)	42	○
	夜間	37	38	1(1)	42	○
騒音3	昼間	38	39	1(1)	43	○
	夜間	36	37	1(1)	41	○
騒音4	昼間	41	41	0(0)	46	○
	夜間	40	40	0(0)	45	○
騒音5	昼間	42	43	1(1)	47	○
	夜間	40	41	1(1)	45	○
騒音6	昼間	39	41	2(2)	44	○
	夜間	38	41	3(2)	43	○
騒音7	昼間	39	39	0(0)	44	○
	夜間	38	38	0(0)	43	○

と書いてはある。確かに、環境省の指針値を下回っている。

残念ながら、“指針値を下回れば安全である”との保障は全くない。

計測方法は、

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

となっていて、強風時の計測値は除外されます。

風車からの距離ですが、

騒音④と風車の最短距離は 1.2 k m

騒音⑤と風車の最短距離は 1.1 k m

騒音⑥と風車の最短距離は 1.1 k m だが、1.3 k m の所にもう一つある。

この表だけを見れば、問題が無いようにも見えるが、それほど簡単ではない。

平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「[風力発電施設から発生する騒音に関する指針について](#)」には、[概要資料](#)が付いている。ここでは[概要資料](#)について検討します。

[風力発電施設から発生する騒音等への対応について（概要資料）](#)は、次の記述がある。

経緯

- 再生可能エネルギーである風力発電の導入加速化は我が国の重要なエネルギー政策
- 風力発電施設から発生する音は、通常著しく大きいものではないが、もともと静穏な地域に建設されることが多いため、比較的小さな騒音レベル（A特性音圧レベル）であっても苦情等の発生事例あり
- 環境省では、平成25年から、主として商業用に用いられる一定規模以上の風力発電施設を対象とし、現時点までの知見及び風車騒音の評価方法について検討を実施

騒音レベル（A 特性音圧レベル）の数値が小さくても、苦情（被害）が発生することがあるのです。その目安ですが、

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

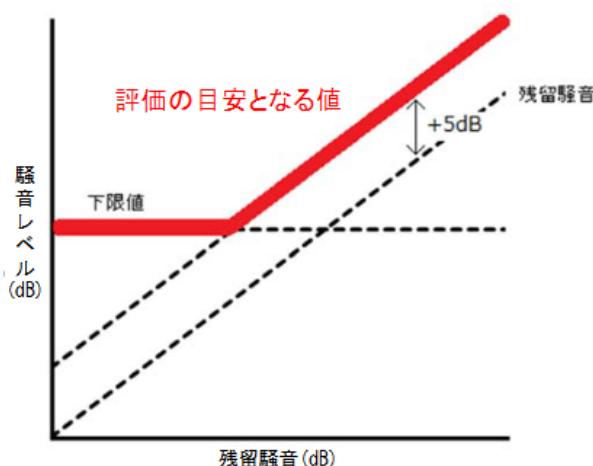
風車騒音の部分が 35～40 dB を超過すれば、アノイアンス（不快感）の程度が上がり、睡眠を妨害するので

“風車騒音が 35～40 dB を超過”することと、“指針値を超えない”事との関係を調べる必要があります。

風力発電施設騒音の評価の考え方②

評価の目安となる値：残留騒音＋5dB

※ただし、残留騒音が著しく低く（30dBを下回る場合）特に静穏を要する地域や、地域において保存すべき音環境がある場合においては35dB、それ以外の地域においては40dBを下限値として設定する。



残留騒音+5 dB となる場合の風車騒音は何デシベルなのでしょうか？

計算方法については、

環境省の平成22年度 移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書の付録に、次のように書かれている。

（解説）パワーレベル

風力発電機のパワーレベルの提示方法は、国際規格である IEC 61400-11 により規定されている。タワーの高さとローター径により定められる所定の距離で現地測定されたデータから、強制的に運転を停止させて得られる暗騒音の影響を差し引いて求められる。

（解説）予測計算式

すべての風力発電機が同時に稼働するものとし、(3.1)式に示す騒音のエネルギー伝搬予測方法にしたがって計算した（出典：「風力発電導入ガイドブック」、新エネルギー・産業技術総合開発機構，平成17年5月）。

$$Ln = Lw - 10 \log(r^2 + h^2) - 8 - \Delta L_{AIR} \quad (3.1)$$

ここで、

L_n : n 番目の風力発電機から水平距離 r (m) 離れた地点での騒音レベル(dB)

L_w : 風力発電機のパワーレベル(dB)

r : 風力発電機から騒音予測地点までの水平距離(m)

h : 風力発電機のブレード中心までの高さ(m)

ΔL_{AIR} : 空気減衰(dB)

$$\Delta L_{AIR} = \alpha(r^2 + h^2)^{1/2} \quad (3.2)$$

α : 定数 (=0.005 dB/m)

予測地点における騒音レベルは、それぞれの風力発電機から発生する騒音レベルを(3.1)式によって計算し、これらを(3.3)式によって重合することで求められる。

$$L_p = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \quad (3.3)$$

ここで、

L_p : 予測地点における騒音レベル(dB)

L_n : n 番目の風力発電機による騒音レベル(dB)

(3.3) 式を使うことにすれば、計算で使用する数値は観測地点での残留騒音と風車から到達した風車騒音の2つです。

予測値 L_p は、常用対数を使って次の様に計算します。

$$L_p(\text{予測値}) = 10 \log \left(10^{\frac{\text{残留騒音}}{10}} + 10^{\frac{\text{風車騒音}}{10}} \right)$$

単純に考えれば、下の表の①②③になりますが、これらの数値は四捨五入の結果なので、⑥⑦⑧のようにして計算する必要があります。

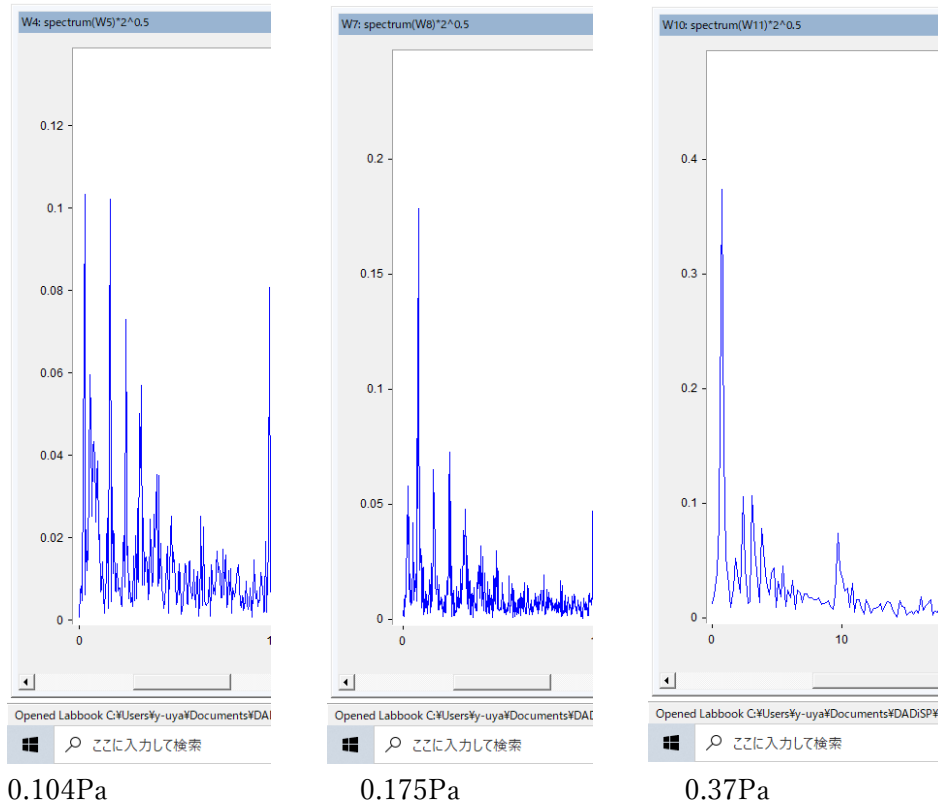
指針値マジック				単位は dB					
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
残留騒音	予測値	増減	到達風車音	指針値dB	残留騒音-0.5	予測値+0.49	増減	到達風車音	到達風車音+6
38	38	0	#NUM!	43	37.50	38.49	0.99	31.6	37.6
37	38	1	31.1	42	36.50	38.49	1.99	34.1	40.1
38	39	1	32.1	43	37.50	39.49	1.99	35.1	41.1
36	37	1	30.1	41	35.50	37.49	1.99	33.1	39.1
41	41	0	#NUM!	46	40.50	41.49	0.99	34.6	40.6
40	40	0	#NUM!	45	39.50	40.49	0.99	33.6	39.6
42	43	1	36.1	47	41.50	43.49	1.99	39.1	45.1
40	41	1	34.1	45	39.50	41.49	1.99	37.1	43.1
39	41	2	36.7	44	38.50	41.49	2.99	38.5	44.5
38	41	3	38.0	43	37.50	41.49	3.99	39.3	45.3
39	39	0	#NUM!	44	38.50	39.49	0.99	32.6	38.6

残留騒音と予測値から計算される風車騒音は、③と⑨です。

⑨での数値で、35dB を越えているのは、5つです。40dB を越えているものはありません。

しかし、風車音は風速の変化で音圧レベルが変化します。風速は1時間に1回程度ですが、かなり大きくなるので、1時間に1回程度の割合で、大きな音圧が観測されます。

さて、館山で計測した風車音の、音圧の変化は次の様になっています。



周波数スペクトルでの、0.8Hz 成分の音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pa、強いときは 0.37 Pa です。強いときは、平均の 2 倍程度の音圧になっています。

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

0.104Pa は 74.32 dB、0.175Pa は 78.84 dB、0.37Pa は 85.34 dB

音圧が 2 倍になるとエネルギーは 4 倍になり、音圧レベルは 6 dB 増加します。

⑩の値は、ほとんどが 35～40dB を越えています。

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

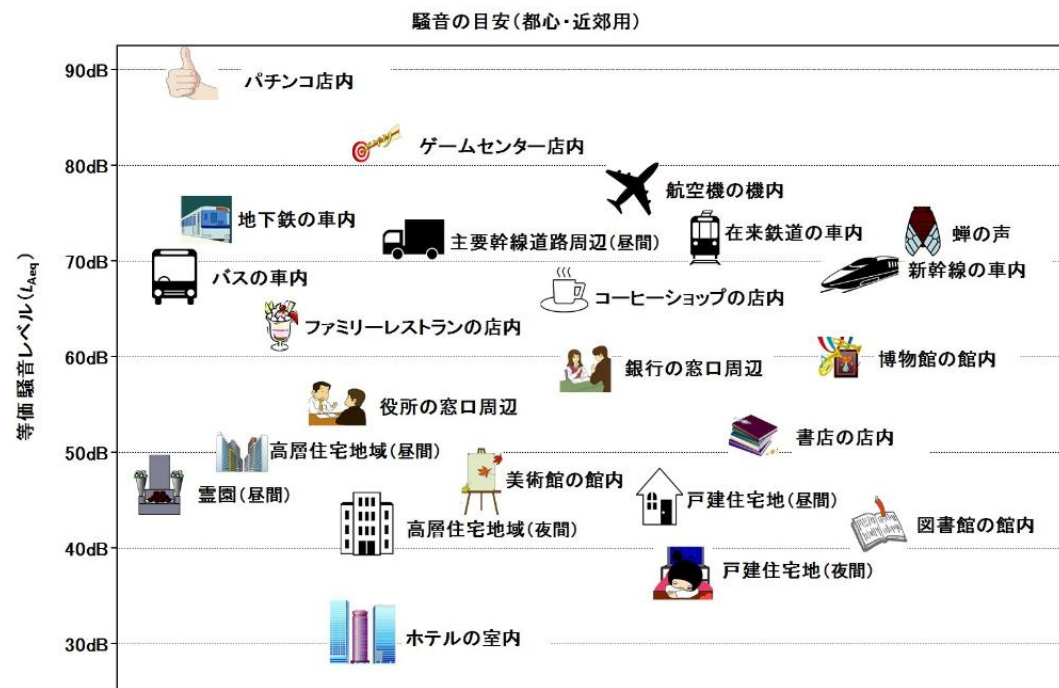
さらに、

現況調査結果 37～42 デシベル

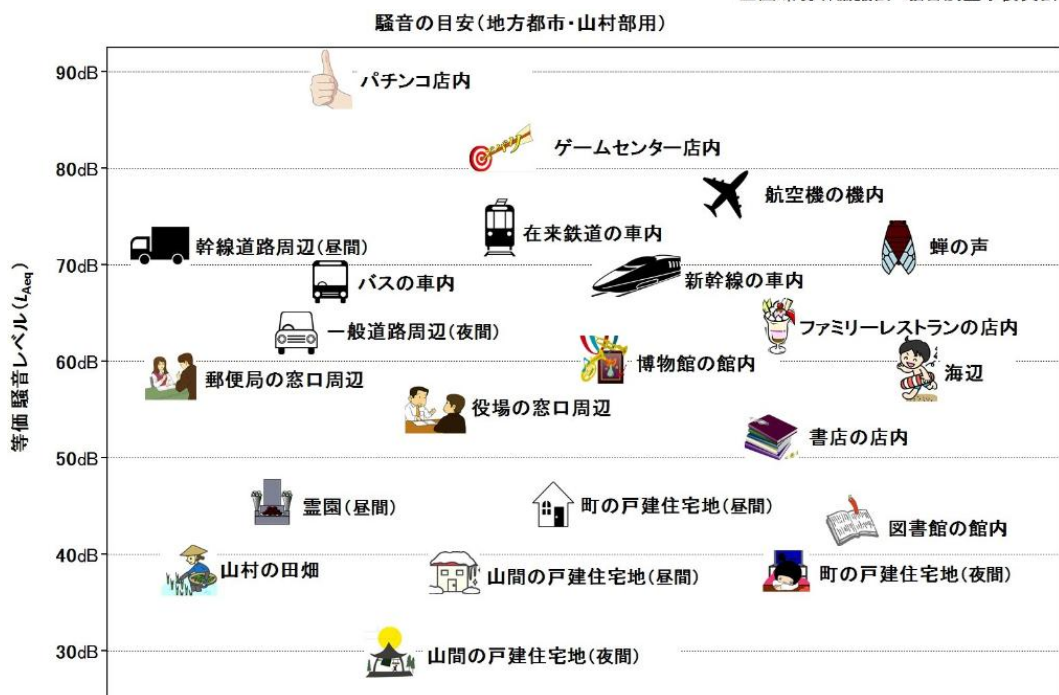
予測結果 37～43 デシベル

として、

[全国環境研究協議会 騒音小委員会](#)



全国環境研協議会 騒音調査小委員会



全国環境研協議会 騒音調査小委員会

の図を使って、問題が無いと主張します。

環境省が昔作ったグラフですが、

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

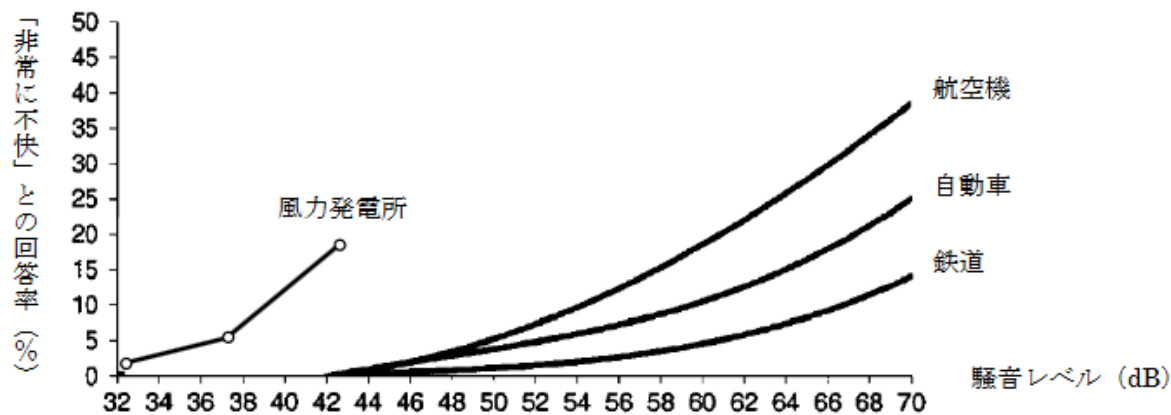


図 8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
(脚注 3 及び 5 の文献より環境省作成)

交通騒音では、42 dB の時に “非常に不快” と訴える人は 0% ですが、風車音では騒音レベル（A 特性音圧レベル）が 42 dB の時には、20% 程度の人が “非常に不快” と訴えています。

同じ騒音レベルでも、風車音と他の環境騒音では被害状況が全く異なるのです。ですから、[全国環境研究協議会 騒音小委員会](#)の資料を、風車音を含む状態の音の評価に使ってはいけません。

それを承知して使っているならば、“安心安全詐欺” としか言えません。

⑨	⑩
到達風車音	到達風車音+6
31.6	37.6
34.1	40.1
35.1	41.1
33.1	39.1
34.6	40.6
33.6	39.6
39.1	45.1
37.1	43.1
38.5	44.5
39.3	45.3
32.6	38.6

の数値を使って、被害の程度を確認する必要があります。

次の資料もあります。

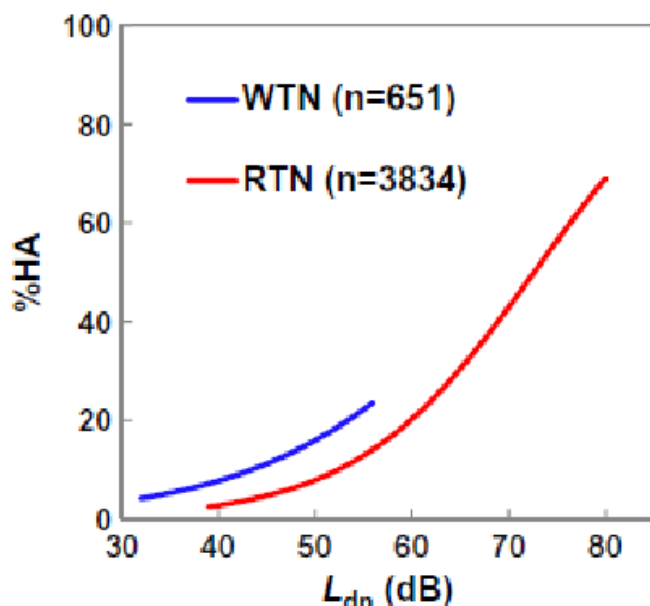


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル (L_{dn}) ※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

※ 風車騒音については、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。”

被害範囲については、

- 風力発電施設周辺の住宅等、風車騒音が人の生活環境に影響を与えるおそれがある地域を対象とする

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

と言う立場をとる企業がほとんどである。

発電所アセス省令に書かれていることは、少し違う。(これについてはここでは省略)

この記述が正しいならば、1 km を越えたら、環境影響が生じないことを証明する必要がある。

例えば、1 km の壁があって、風車音は風車から 1 km よりも遠方まで到達することが無い。ことを物理的に証明する必要がある。

あるいは 999m の場所と、1001m の場所で、前者で被害が起きても、後者では起きないことを証明する必要がある。書いてあるという事は、正しいということを意味する訳ではない。

先ほどの計算では、風車から 1 km 以上離れているにもかかわらず、ある地区では 30% 程度の人が“非常に不快”を感じる状態になります。

1.1 km も離れているのに、風車騒音の影響で騒音レベルが 3 dB も上がるのはなぜなのでしょう？

騒音レベルの3 d Bの上昇は、その場所での音のエネルギーが、20H z以上の可聴域に限定して計測した場合に、2倍になっていることを意味しています。この数値には、到達する超低周波音エネルギーの部分は入っていません。

風車は、昼も夜も回り続けるのですから、その状態が、昼夜問わず、20年間継続することになる。経済的に余裕がある人はその地域から逃げ出します。

風車騒音のこれからの課題

- ◎既に設置されている風力発電施設の現地における事後調査の分析結果を踏まえた風車騒音の伝搬等に関する検討
- ◎純音性成分の評価等、現時点で知見が不足している風車騒音の人への影響に関する検討
- ◎既に風力発電施設が設置されている地域に、たに別の風力発電施設を建設する場合において、騒音の累積的な影響に関する検討
- ◎今後、風力発電施設が超大型化した場合の騒音等の影響に関する検討

川俣町も、被害調査や、精密騒音計での計測や振動レベル計での計測結果をしっかりと公表して、問題の解決に努力すべきだと考えます。

[宮本しずえのかけ歩き](#)

[2025-04-14](#)

[14 日、川俣町と飯館村の境の風力発電設備の被害者から実情を聴く。](#)

14 日、川俣町と[飯館村](#)の境に作られたまていな再エネ[発電所](#)の風車による[低周波](#)被害を訴えている方から話を聴きました。石川ルイ川俣町議、地元の党[支部](#)長の渋谷さんに同行案内していただきました。この[発電所](#)は、ソーラーと風力を一体化した発電設備で、昼は[太陽光発電](#)、夜は[風力発電](#)を行います。送電容量が少ないために同時に動かすことができないとのこと。[風力発電](#)は 3.2 メガワットを 2 基、ソーラーは 10 メガワットの発電設備です。

この風車は 2020 年から稼働、風車と自宅の距離は 1.5K 程度離れているが、開始時期から洗濯機が回るような音がするようになり、特に夜に音が気になると。おばあちゃんは、吐き気やめまいがして、夜もよく眠れず薬を貰っていると言います。

家族が事業者改善を求める交渉を行い、二重窓やサッシにする工事が行われたが、顕著な改善は見られないということで、まだ工事完了を了承していないが、業者は来なくなったため、話し合いもできないと言います。できればここから転居したいと希望したが、話し合いがつかず、当面の対策でお茶を濁されたと憤ります。

この集落は 10 世帯あるが、被害があるのはこのお宅 1 戸だけとのこと、個人的に事業者と交渉するしかないのだと。[飯館村](#)の二枚橋のほう風車からは 600m 程度で近いが、今のところ被害の訴えはないとのことですが、本当はないのかは丁寧な調査が必要だと思いました。

風車は家の真ん前に見える位置にありますが、この日は丁度雨で霧がかかり全く見えなかったのは残念です。[低周波](#)被害を訴える事例は全国的に起きていますが、国はこの対策に何も手が打たれないため、[低周波](#)被害を救済するための規制措置が現在は何もありません。全国の実例では、被害者が事業者と直接交渉し、上手くいけば夜間だけ運転を停止させるなどの成果を勝ち取っています。再エネの推進は人類的課題であり、[低周波](#)被害を防止する対策は不可欠の課題です。国がもっと本腰を入れて対策すべきです。

との調査結果もあります。

市としては、単なる聞き取り調査ではなく、客観的な根拠を得るために、NL-63 で波形収録をすべきです。収録時間は10分間で十分です。聞き取り調査の声が入っても構いません。

聞き取り調査をしながら、精密騒音計を作動させ WAV ファイルの形で録音すればよいのです。結果を解析する方法は、“洋上風力の留意点 2025”に示してあります。

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

「私たちが目指しているのは、風車で苦しんでいる市民の相談窓口になることだ。苦しんでいても原因がなにかわからない人がいるので、“その体調不良はもしかして風力発電の低周波音かも知れないよ”と知らせながら、いつでも相談にのる。声をあげられない被害者をつなぎ、これ以上新たな被害者が出ないようにするのが私たちの目的だ」

市民の相談役になるのは、行政であるべきです。県に要請して、NL-63 を借りてください。市民の悩みは単なる苦情では無いのです。

物理的な原因がある被害なのです。計測して、住民の了解が得られたデータをネットに公開して世界中の研究者に助けを求めて下さい。それが市民の立場に立つ市役所職員の仕事だと考えます。

【第3回風力発電に係る講演会】

『風力発電事業による地域振興の先進事例について』

日程
及び
場所

2月19日（金） 18：30～20：00 まで

山木屋、飯坂、小綱木地区の各公民館

2月23日（火・祝） 10：00～11：30 まで

川俣町保健センター

講師

株式会社 柳山ウィンドファーム 代表取締役社長 永田善三氏

その他

講師と会場をオンラインで中継します。
マスク着用等の感染症対策にご協力ください。

川俣町では、現在、民間事業者による風力発電事業（（仮称）麓山風力発電事業、（仮称）笹峠風力発電事業）の検討が進められております。そのため、町では、住民の皆さんに風力発電の基礎的な知識や問題などを知っていただくために講演会や発電施設見学会を実施してきたところです。

今回は、第四弾として、発電事業者を講師にお招きし、風力発電を地域振興に活かしている先進事例について、詳しく学べる講演会を開催します。

地域にとっての風力発電のあるべき姿を考える機会として、皆さん、是非ご参加ください。

10. 健康被害と原因

10.1 アノイアンスとラウドネス

都道府県知事 市長・特別区長 殿 環境省水・大気環境局長

“風力発電施設から発生する騒音に関する指針について”

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

とある。

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

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

鳥取県における発電用風車の騒音に係る調査報告（十倉 毅・山本 和季・矢野 大地）

での、聴覚での“うるささ”以外の被害は次のものである。

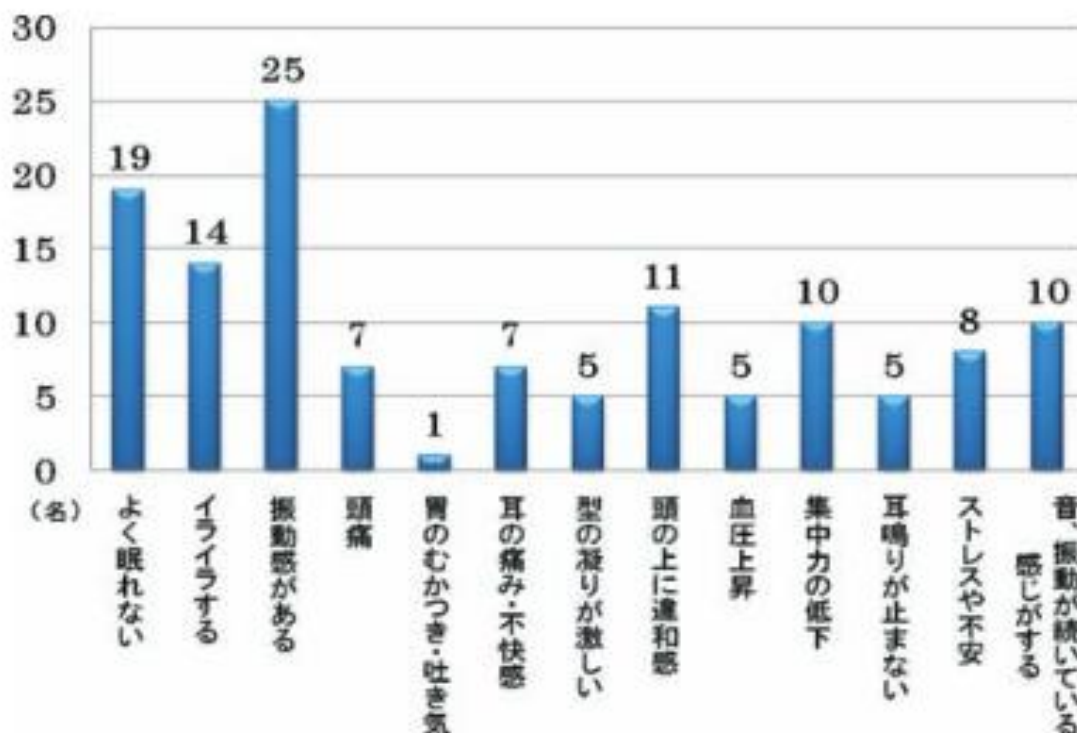


図2 苦情の訴え（「Q5」、複数回答を含む）

石狩風車の低周波音測定結果と健康被害 元札幌医科大学講師・山田大邦氏の論文より 2018年2月8日

には、

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

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（％）

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

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

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車3基を停止すること、次に近い風車2基の回転数を4割減らすこと—という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによって睡眠障害は7割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。”とあります。

・平成22年、環境省の調査

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

には、

“【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】

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

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

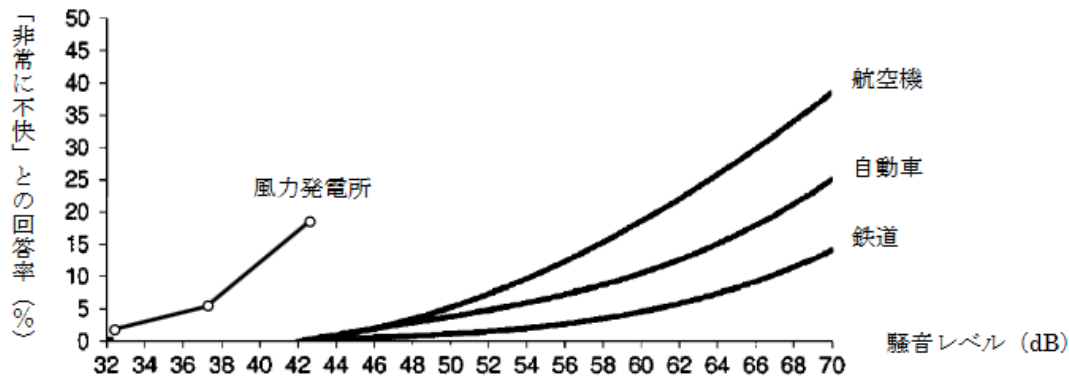


図 8. 「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
(脚注 3 及び 5 の文献より環境省作成)

②風力発電所からの騒音・低周波音に関する訴え

・ Nina Pierpont は、風力発電所の近くに住む 10 家族 (38 名) に対する症例調査を行っている⁶⁾。それによれば、風力発電所から発生する低周波音により、内耳の器官が影響を受けて、様々な健康被害 (睡眠障害、頭痛、耳鳴り、めまい、吐き気、頻脈、集中力低下、記憶障害、倦怠感、パニック症状等) が生じているとされている。

“

とあります。

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

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

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会 の報告書 (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。

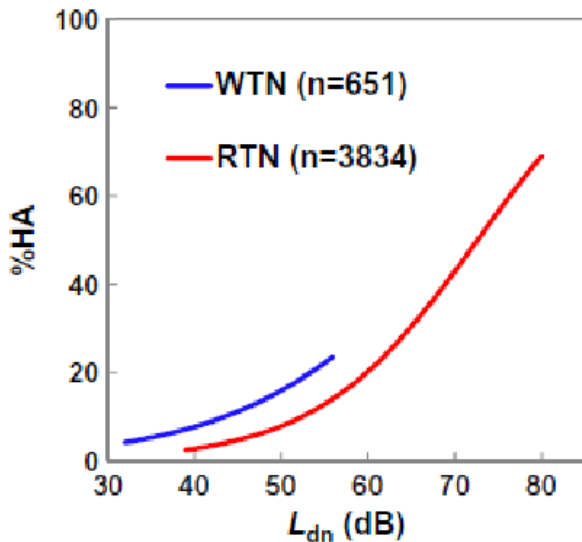


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル (L_{dn}) ※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

※ 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、それぞれの計測箇所までの距離は、表 1 に示した通り一定ではない。これらのうち、最大のピーク値を示す V の場合の振動加速度は 8.9×10^{-2} (Gal) , アノイアンスの申告があった VI の場合、 6.7×10^{-6} (Gal) で、数値的には非常に小さくなっている。なお補足であるが、震度 1 の最小値は 0.6 (Gal) である。

次に、これまでの計測結果とヒアリング内容を対照してみたい。ヒアリングによると、風車の稼働に伴う体調へ

の影響は、ある限定された状況で、強度が増すという申告を得た。今般のヒアリングにおいては、具体的には以下の 3 項目が挙げられた。

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

今回の計測時は、数日前に降雨があったものの、地表は完全に乾燥していた。従って、上記申告に基づくと、やや症状が軽い状況になる。なお、伝播途中の土質の変化、ある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。

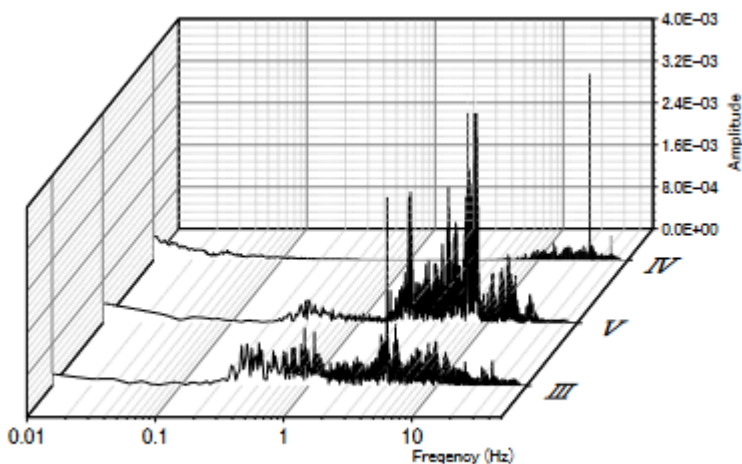
計測データを見ると、IIIでは、IV、Vと比較して 0.1~2Hz の範囲の振幅値も大きくなっている。この領域の振動は、俗にいう船酔いの原因となる振動(揺動)周波数(8)に近接している。風車から直線距離で 950m 離れたVIに関しても距離減衰に伴い値は非常に僅かであるが、振動特性は類似しており、これも、およそ 1Hz 以下で上昇がみられる。VIIIに関しては、0.08Hz 程度以下での上昇があるが、他の 2 つに比してその傾きは小さい。

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

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

4. まとめ

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



(a) Referring places

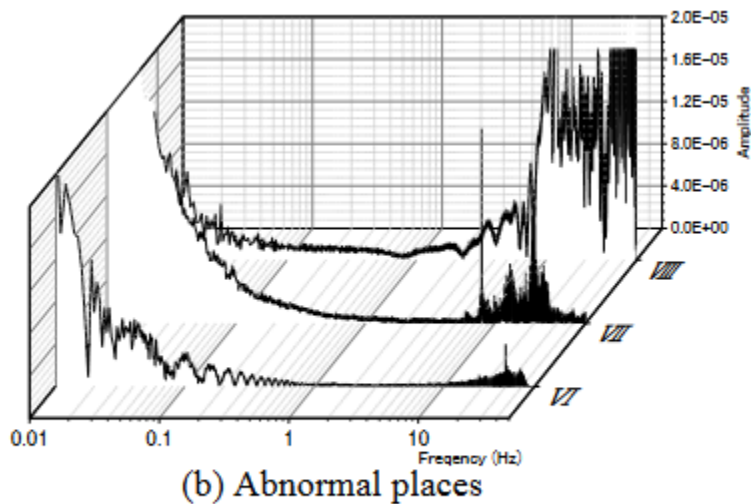


Fig.5 Frequency profiles of measured points

質問

建設後に、事前予測と異なって室内でのガタツキが起きることもあります。

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

現実が予測と違っていて、被害が出たら、どのよう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)

周辺の家の振動（野中 氏）

ここでは、音だけではなく地盤振動に関する記述があります。

風車周辺の家屋の振動

- 環境省の調査では、「振動による物的な被害感を生じない限界」は、振動レベル70dB程度とされています。
- 「健常者の振動を感じるレベル」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振動レベルは計量器下限値30dB以下でした。
- 30dBであったとしても振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。

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

しかし、その基準に該当するものが特定の機械設備であることや、該当しないものが振動源とされる場合がある

等様々な事例があり、この問題をより難しくさせています。

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

記述は、振動に関しての上記のような情報を基にしているのだろうが、“住宅屋外地面で測定した振動レベルは計測器下限界値 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	δ	μ 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 ² gal G	物体が振動する時の速度の変化量。地震動など多くの振動はこの加速度で管理される場合が多いです。変位を時間で 2 回微分したものが加速度です。cm/sec ² =gal、重力加速度 1G=980 gal 変位と速度とは(1)式の関係となります。
加速度実効値	a_{rms}	cm/sec ² gal	振動の多くは異なる周波数成分を含む複合振動ですので、波形のピーク値のみでは、その振動の仕事量は計れません。(2)式により求められる“振動の仕事量”(力積)に相当する値です。
振動加速度レベル	LVA	dB	人の感覚が対数尺度に近いため、(3)式により加速度実効値を対数尺度で表す値。帯域の広い振動量を示すのに都合が良いです。
振動レベル	LV	dB	振動加速度レベルに感覚補正(周波数重付補正)された値で、この振動レベルのみ物理的な量でなく“感覚量”です。

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

加速度 (m/s²)・振動加速度レベル(dB)の相互変換

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

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

参 考 資 料—低周波音の基礎知識—

の-参考2-のページには、

・低周波音の苦情と実態

c.1 低周波音苦情の分類

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

(1) 心理的苦情 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感

(2) 生理的苦情 頭痛、耳なり、吐き気、

(3) 睡眠影響

(4) 物的苦情 家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動

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

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

住民と風車の距離にあまり影響されないグループ。

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

住民と風車の距離に影響されるグループ。

風車が見えるという景観上の問題、家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動、瓦のずれ、風車による振動の問題（地中伝搬、共振、強制振動）、風車からの強い光“航空障害灯”の問題、風車の回転でのフリッカーの問題、近づくと気分が悪くなる、低周波音を感知、風車の騒音がうるさい、風車からの音による不快感、不眠、睡眠障害、なかなか寝付けられない、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、

安眠妨害を引き起こしそうな不快感を集めてみると、

ラウドネス（うるささ）関連の刺激や状態

風車の騒音がうるさい

アノイアンス（不快感）関連の刺激や状態（ラウドネス以外のもの）

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

評価の指標となる数値

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

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

10. 1. 1 唾液コルチゾール検査

唾液コルチゾール検査 「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ）」という言葉をご存じでしょうか？

近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たちの心身を守ってくれています。しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。

以下の症状に覚えはありませんか？ 朝、起きるのがつらい ぐっすり眠っても、まだ疲労感がある 塩辛い食べ物が無性に欲しくなる 以前楽しんでいたこともすべて億劫に感じる 日常的なことがとても疲れる 性欲の低下 ストレスに対処出来ない、イライラしやすい 病気や怪我、外傷から回復するのに時間がかかる ベッドや椅子から立ち上がるとき、クラクラする 軽度のうつ（人生に何の意味も感じられない） 人生の全てがむなしい PMS（月経前症候群）の悪化（手足のむくみ、頭痛、乳房の張り、下腹部の痛み、ふさぎ、不安、怒り、イライラがひどくなる） カフェインがないと仕事ができない 思考がまとまらず、ボーっとする 記憶があやふや 午前10時まで目覚めない 午後3時から4時の間はぼんやりしている 夕食後、やっと元気になる 仕事ははかどらない（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。

15

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。

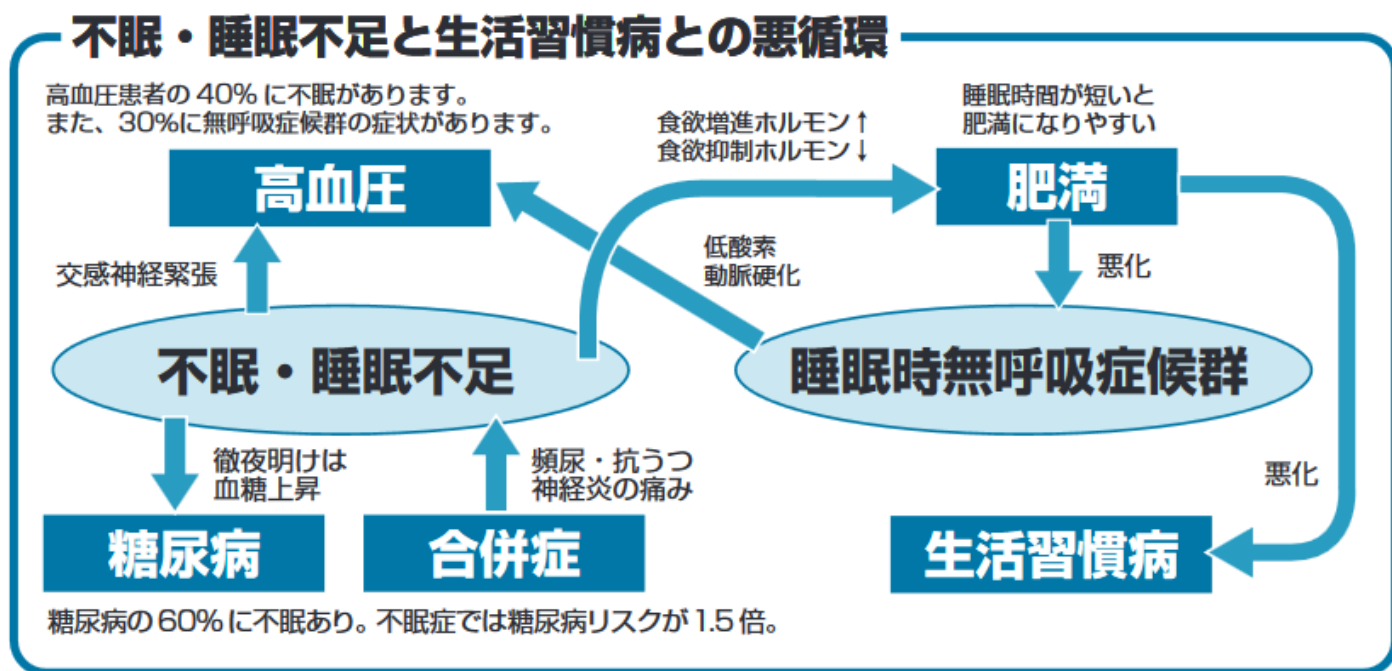
これらの被害は不快感となり（アノイアンスによる）睡眠妨害を引き起こします。

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、

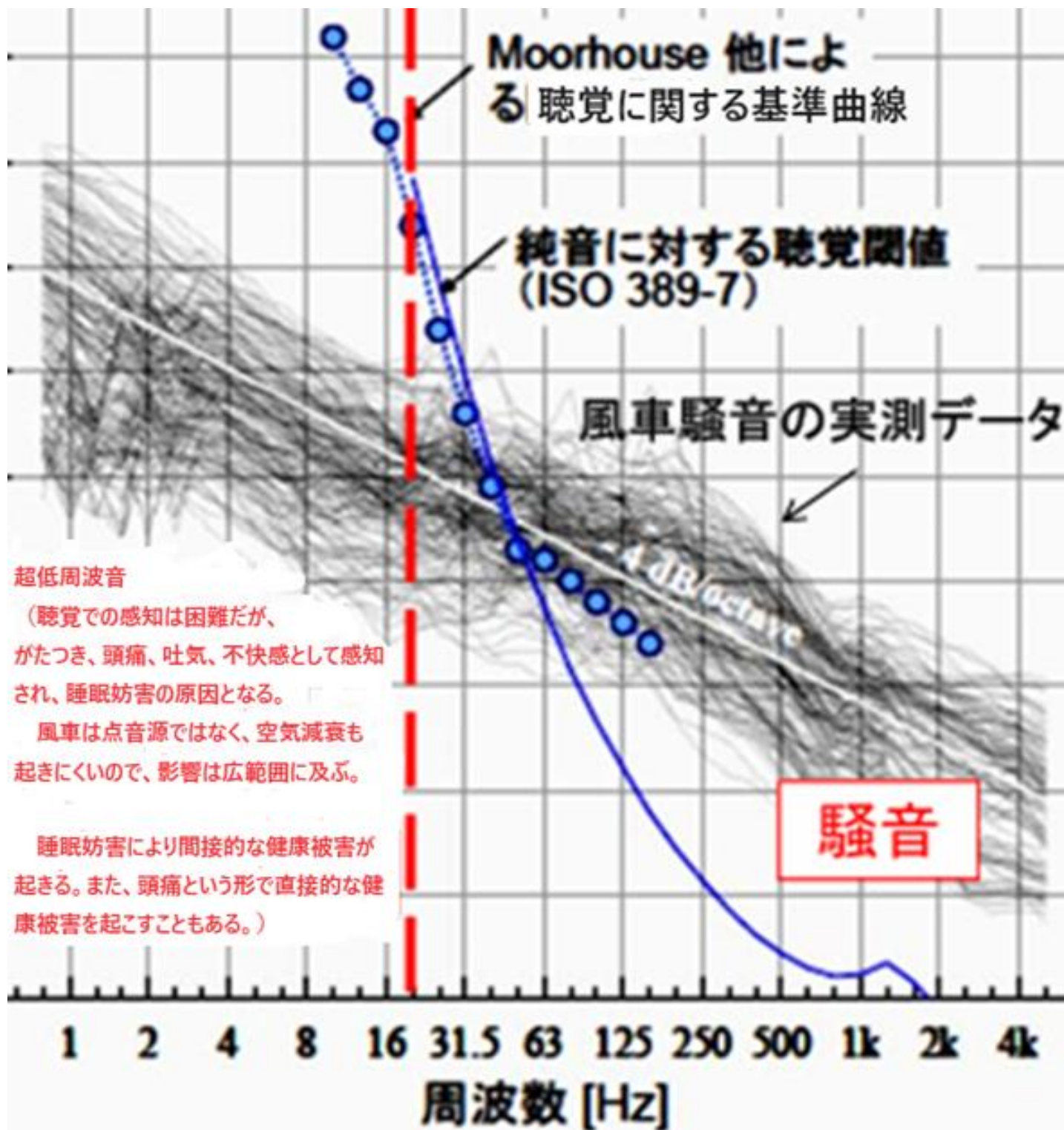
“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”かもしれないが、

“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？

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

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

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

では、風車音が原因で、体内に小さな気泡が発生することを、物理的、数学的に、解明して、コンピュータシミュレーションで示したら、関連が“明らか”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で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 (p 14) 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。

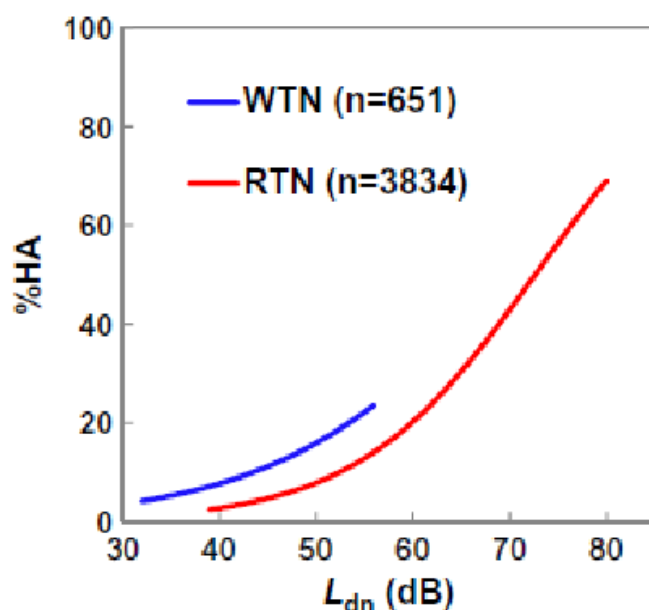


図 7 風車騒音 (WTN) と道路交通騒音 (RTN) の昼夜時間帯補正等価騒音レベル (L_{dn}) ※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ (%HA)

※ 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 ～20 H z	20 H z 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ョー) の資料によれば、

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	70 db	<ul style="list-style-type: none"> ・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（2 m） ・やかんの沸騰音（1 m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	60 db	<ul style="list-style-type: none"> ・洗濯機（1 m） ・掃除機（1 m） ・テレビ（1 m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（2 m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	50 db	<ul style="list-style-type: none"> ・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（1 m）
	聞こえるが、会話には支障なし	40 db	<ul style="list-style-type: none"> ・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	30 db	<ul style="list-style-type: none"> ・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	20 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ささやき ・木の葉のふれあう音

であることが分かります。

交通騒音での基準値の表と比較してみます。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
AA	50 デシベル以下	40 デシベル以下
A及びB	55 デシベル以下	45 デシベル以下
C	60 デシベル以下	50 デシベル以下

（注）

- 1 時間の区分は、昼間を午前6時から午後10時までの間とし、夜間を午後10時から翌日の午前6時までの間とする。
- 2 AAを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
- 3 Aを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
- 4 Bを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
- 5 Cを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

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

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

WTNは不快感の指標にはなりません。指標として役立つためには、同じWTNの値の時に、不快感を覚える人の割合が同じになる必要があります。

WTNは、交通騒音の場合は、そのエネルギーの 99%以上から計算された数値だが、風車音の場合には、そのエネルギーの 7%以下の部分から計算された数値なのです。したがって、風車音と交通騒音の共通の物差しにはなりません。

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。

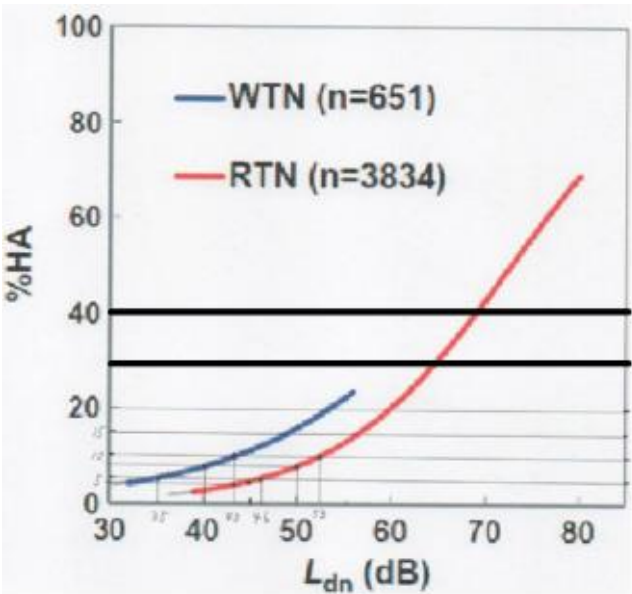
ズレの理由を次の様に考えました。

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、ほぼ一致可以说ます。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。

（防音効果は無視して考えれば、）

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」+「だいぶある」の反応の割合は、等価騒音レベルが高くなるほど大きくなる傾向が見られた。これらの傾向は、アンケート調査の結果を多重 ロジスティック解析の手法を用いて分析した結果でも確認された。

残念ながら、このアンケートと分析では、10～13 dB 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 dB 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 μ Pa) (Pa はパスカルという圧力単位)

乱暴な考察だが、100/7=14（全体のエネルギーは、20 Hz 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>

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

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 : 基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20 μ Pa)

* OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

音響出力は音圧の
二乗に比例する

dB値(参考): 0.002Pa=40dB,

0.00002(2×10^{-5}) Pa=0dB

を参考にして計算すれば、A 特性音圧レベル (20Hz~) が 40 dB 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 dB 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 dB の場合に、全体のエネルギーを評価した値が 51 dB 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 (0Hz 以上) では、高い音圧を持っているのは 400Hz 程度の周波数成分なので、これに対しては防音窓の設置でかなり防げるが、風車騒音 (0Hz 以上) では、高い音圧を持っているのは 0.5Hz とか 0.8 Hz の周波数成分であり、風車騒音 (0Hz 以上) のエネルギーの 93% が超低周波音 (0Hz-20Hz) の部分であるので、この周波数の音はエネルギー透過率が高いので防音窓では防げないのです。

これらの数値は、屋外での計測値です。

このエネルギー分布と音の透過率を考えながら、室内の状況を考えます。

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（0Hz～20Hz）、7%が騒音（20Hz 以上）のエネルギーだとします。

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

そこで、次のように考えてみます。

交通騒音（20Hz 以上）で 50 dB 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 dB、超低周波音（0Hz～20Hz）の部分を加えた合計が 50 dB 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。

$$10 \log_{10} \left(10^{\frac{73}{10}} + 10^{\frac{77}{10}} + 10^{\frac{75}{10}} \right) = 80 \text{ (dB)} \quad \text{式 11-7}$$

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。

音圧の 2 乗が音の強さ（エネルギー）に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを $P_{1/1}^2$ とすれば、エネルギーの和を考えると、（ $J = (p * p) / (\rho c)$ ）を考え、適当な定数を掛けて考える。）

$$(P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2 = P_{1/1}^2$$

が成立する。

$$L_{800} = 10 * \log_{10}(P_{800}/P_0)^2$$

より $L_{800}/10 = \log_{10}(P_{800}/P_0)^2$ 、よって、 $(P_{800}/P_0)^2 = 10^{L_{800}/10}$

となり、

$$L_{1/1} = 10 * \log_{10}(P_{1/1}/P_0)^2$$

$$= 10 * \log_{10}(((P_{800})^2 + (P_{1000})^2 + (P_{1250})^2)/P_0^2)$$

$$= 10 * \log_{10}(10^{L_{800}/10} + 10^{L_{1000}/10} + 10^{L_{1250}/10})$$

となります。

そこで、

$$(P_L)^2 + (P_H)^2 = P_T^2$$

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

$$50 = 10 * \log_{10}(P_T/P_0)^2$$

とすれば、

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

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

この部分が、7 dB 減衰すれば、42.5 dB

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

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

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（20 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 dBですから、100 dB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	

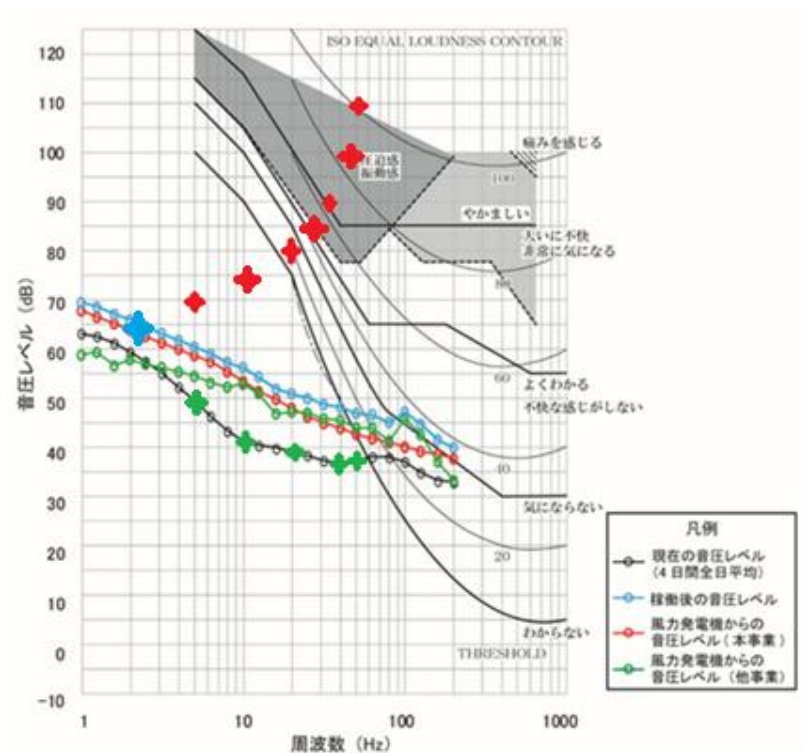
5Hzでは69.88≒70 dB、1.25Hzでは71.97 dBです。ガタツキ閾値の数値、5Hzで70 dBになっています。

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。

風車の影響で、5Hz で 70 d B、2Hz で 65 d B 程度の音圧が有れば、ガタツキによって睡眠妨害が起きる可能性が高くなります。

聴覚閾値よりもかなり低いのですが、風車の影響を感知する形は色々あり、ガタツキによって感知する場合があるので、聴覚閾値よりも低くても健康な生活が脅かされるのです。

だから、風車の被害を考える時に、

聴覚閾値＝感覚閾値＝知覚閾値

としてはいけないのです。

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ると脳に伝え、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

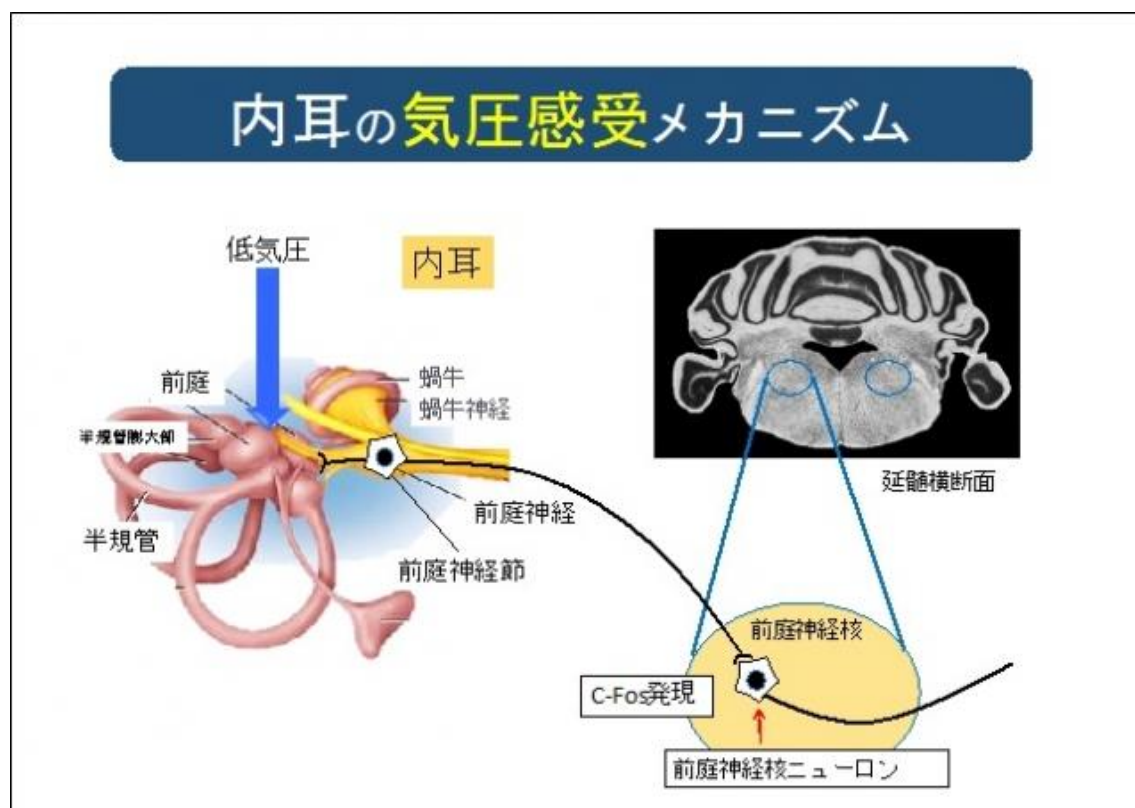
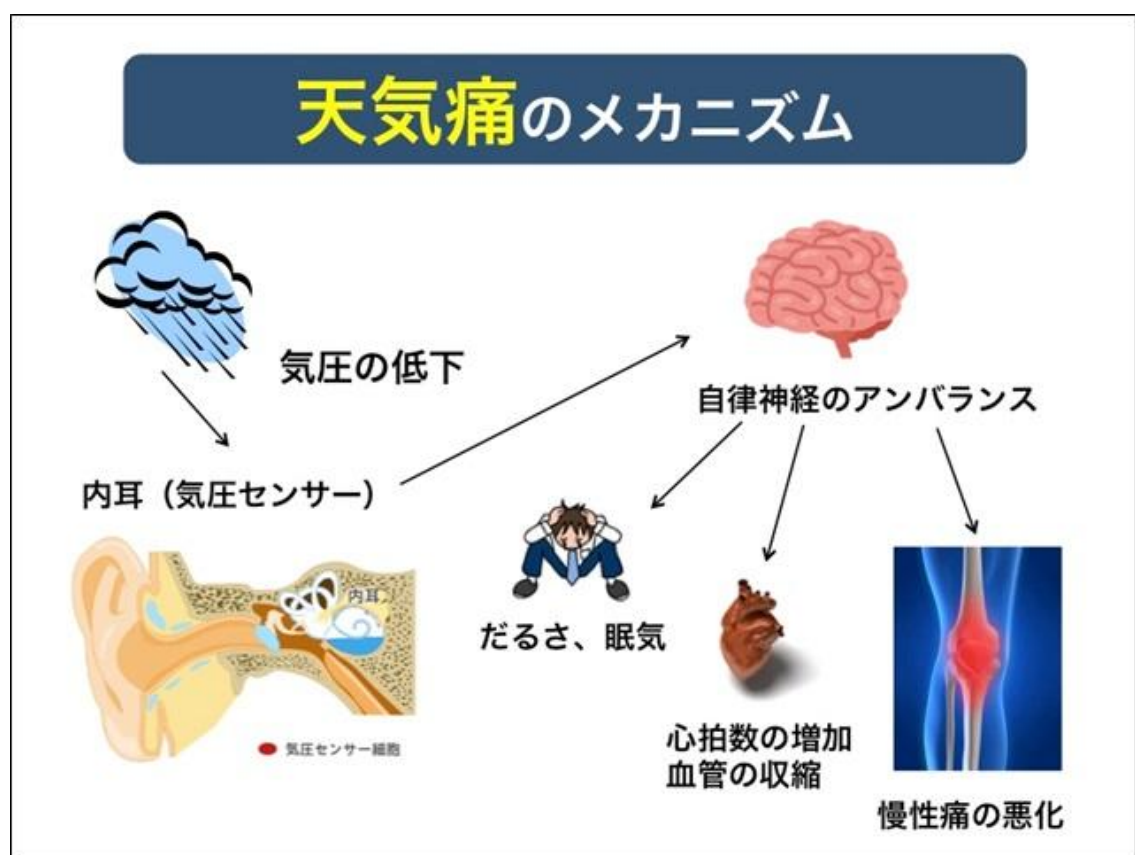


図 2



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変化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。

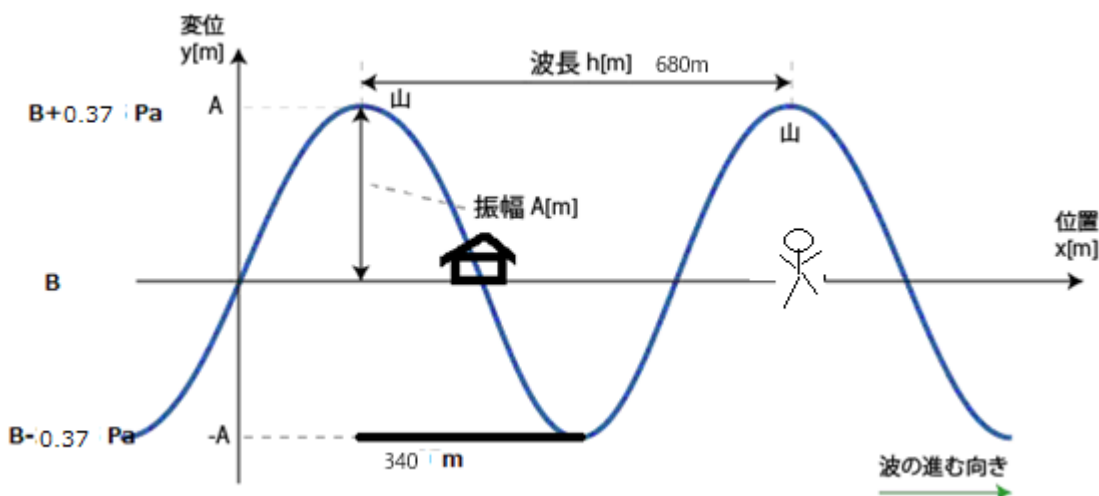
音圧を0.37 (Pa) として、ある時刻 t を固定すれば、下の図のようになる。

右の人物（風船のように反応すると考える）は、

気圧が高くなった中にいるので、押しつぶされている。

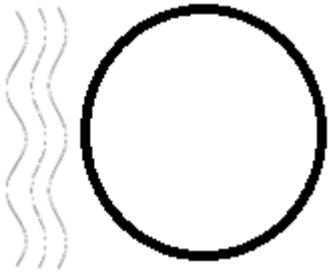
1秒後には波が右に340m進むので、気圧が低くなり、膨張する。

2秒後には、波は680m進むので、気圧が高くなり、押しつぶされる。



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

周波数が高ければ、風船の表面は振動するでしょう。これは、鼓膜が振動するのと同じですから、この場合は、音を聴覚で感知したと言えます。



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

音に対して、聴覚での“うるささ”としての感知と、体に対する圧力変動を“圧迫感”として感知する場合の2種類があると考えべきです。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。

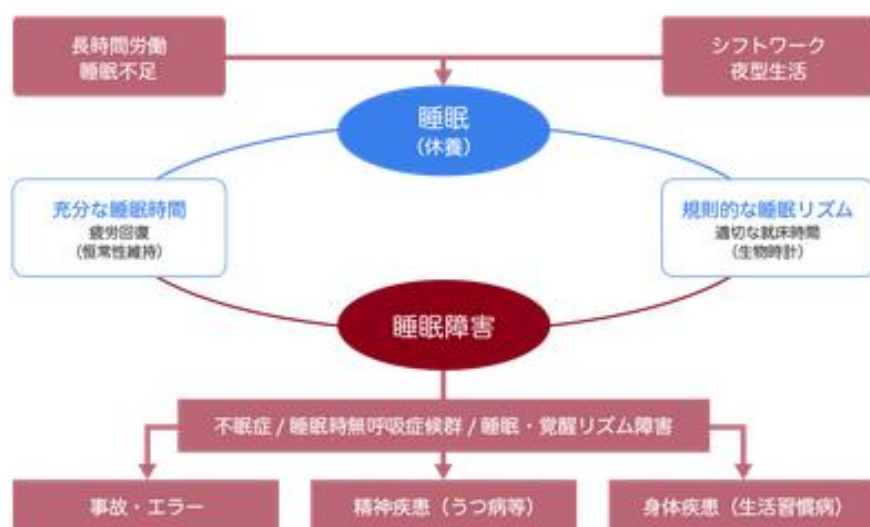
10. 2. 4 不眠による被害

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



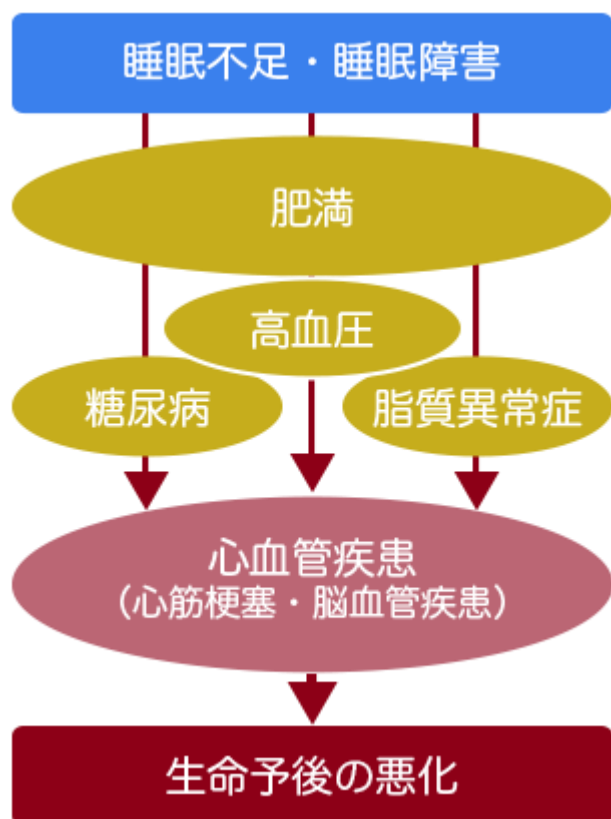
日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いお分かりいただけると思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。

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

また日本人の約2割は交代勤務に従事しています。夜勤に入ることによって、体内時計と生活時間との間にずれが生じやすくなります。体内時計にとって不適切な時間帯に食事を取ることで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



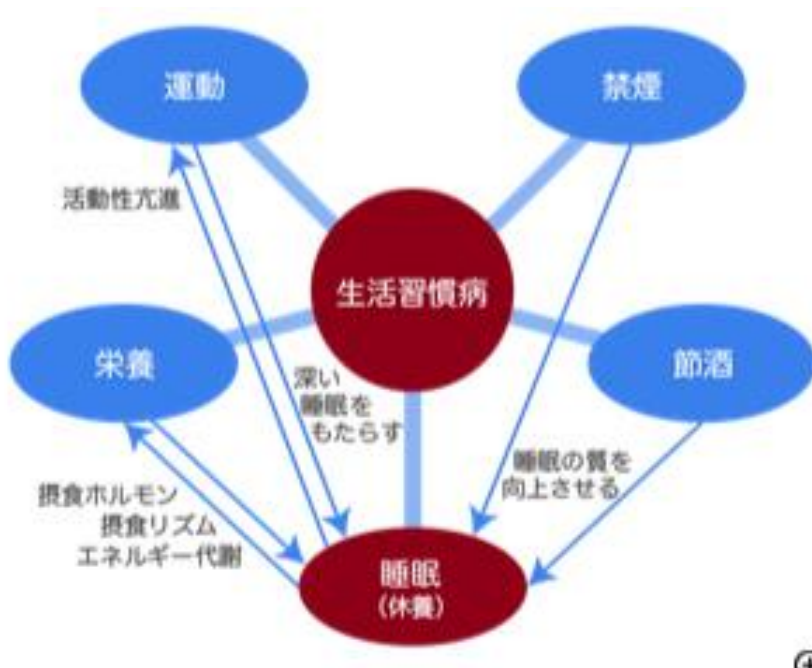
睡眠障害もまた生活習慣病の発症に関わっています。以前から生活習慣病患者さんでは睡眠時無呼吸症候群や不眠症の方が多くことが知られていました。その後の多くの研究によって、睡眠障害が生活習慣病の罹患リスクを高め症状を悪化させることや、その発症メカニズムが明らかになりつつあります。

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、身体へかかる負荷に合わせて生体機能のコントロールを行う自律神経の中枢も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中枢にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中枢がある脳がダメージを受けることで疲労が起こるとされています。

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

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

乳酸は疲労物質か？

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

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

疲労と病気

疲労によって身体の機能を一定に保つ恒常性が乱れると自律神経失調症の症状がみられるようになります。疲

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

疲労の回復方法

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

との記事も公開されています。

南房総市の健康だより

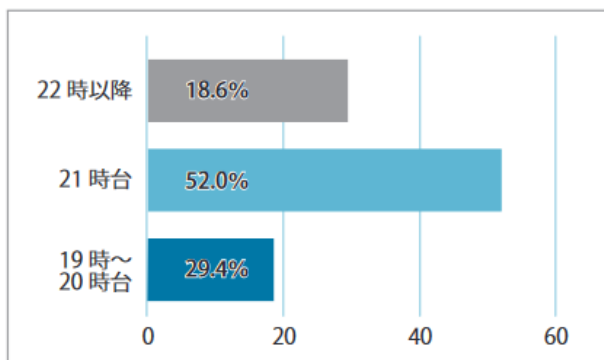
子どもの睡眠と成長ホルモン ～夜9時までに眠り、朝7時までに起きる～

健康だより

問 保健予防室 ☎ 36-1154

睡眠は子どもの成長に大きくかかわっています。3歳児健康診査状況からみると、南房総市では夜型の傾向が進んでいることが伺えます。子どもの成長には、食事や運動だけではなく、睡眠を意識した生活リズムを整えることが大切です。夜9時までに眠り、朝7時までに起きることが理想です。

身体の成長や健康の維持には、『成長ホルモン』と呼ばれるホルモンの働きが関与しています。『成長ホルモン』は①免疫力の増強、②筋肉の発達、③骨を伸ばす役割を担っています。睡眠時、とくに入眠直後の深い眠り(ノンレム睡眠)の間に多く分泌されます。



子どもの就寝時間
(令和2年度3歳児健康診査から)

睡眠の質を高めるために

◇朝起きたら太陽の光で体内時計をリセット

朝強い光を浴びることで、体内時計をリセットしてくれ、脳と体を目覚めさせます。まずは、朝早く起きることからはじめ、日中天気の良い日は外でたくさん遊ばせましょう。

◇ブルーライトを遮断し、灯りは暗く

遅くまで、テレビ、ゲーム、スマホなどをしていると夜はなかなか眠れません。寝る前のテレビやスマホは避け、部屋の明かりを消して静かな環境を整えましょう。

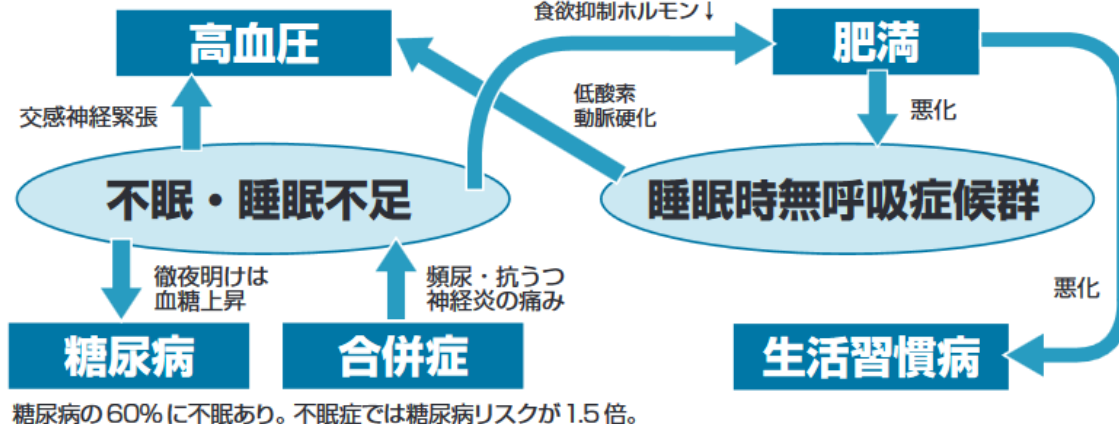
◇休日でもいつもと同じ時間に起床する

休み前の夜更かし、眠れなかった分を補おうと休日に多く睡眠時間を確保すると、より生活リズムが崩れてしまいます。休日でも平日と同じ時間に就寝・起床し、眠気がある場合は短時間の午睡を取り入れましょう。

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

不眠・睡眠不足と生活習慣病との悪循環

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



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

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

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

これが被害であることは明白です。

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

この常識を無視して、

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

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

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

“直接的”と“明らかな”と言う言葉で騙そうとしてはいけません。

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

風車騒音は、

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

に関しては、

風車騒音の意味が問題になる。

そして、

人間の健康に直接的に影響を及ぼすの意味も問題です。

風車音を浴びて、数日後に死亡したと言ったような事態は聞いたことが無い。

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

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

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

“超音波使った美容施術” 規制が必要か検討へ 消費者事故調

2022年7月27日 7時07分

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

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

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

それによりますと、2015年11月からことし5月末までの間に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性成分等は、わずらわしさ(アノイアンス)を増加させる傾向がある。静かな環境では、風車騒音が35～40dBを超過すると、わずらわしさ(アノイアンス)の程度が上がり、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている
- 風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できなかった
- 景観のような視覚的な要素や経済的利益に関する事項等も、わずらわしさ(アノイアンス)の度合いを左右する

6

“静かな環境では、風車騒音が 35～40 dB 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しょうか？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 直接的な健康被害（循環器障害と頭痛）

10.3.1 超低周波音の解析と発生の仕組み

超低周波音の解析と発生の仕組み

Analysis of Infrasound and Generation Mechanism

宇山 靖政

Yasumasa UYAMA

Personal member of Japan Wind Energy Association.

Abstract

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

The part of the infrasound near the wind turbine is described as wind noise and the frequency is not examined in detail. However, when this feature is investigated, it becomes clear that the directivity of the wind turbine sound, the shaking of the top of the tower, and the vibration around 40 m above the ground of the tower are related, and it is found that the wind turbine generates directional infrasound.

For wind noise, "Low-frequency wind noise is caused by wind hitting the microphone. This noise has a louder component as the frequency decreases. In the frequency range of about 5 Hz or less (in some cases about 10 Hz or less), it is difficult to eliminate wind noise." It is said,

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

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

キーワード：超低周波音、風雑音、揚力ベクトル、回転モーメント、塔の振動

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

1. はじめに

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

2. 計測機材と解析対象

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

3. 騒音の比較

特徴を示す為に周波数スペクトルを比較する。

(横軸は周波数ヘルツ[Hz]、縦軸は音圧パスカル[Pa])

Fig.1：JFE の製鉄所内の音(0～5000Hz)

Fig.2：風車の近くで計測した音(0～5000Hz)

Fig.3：風車の近くで計測した音(0～25Hz)

Fig.4：長尾神社境内の音(0～25Hz)

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

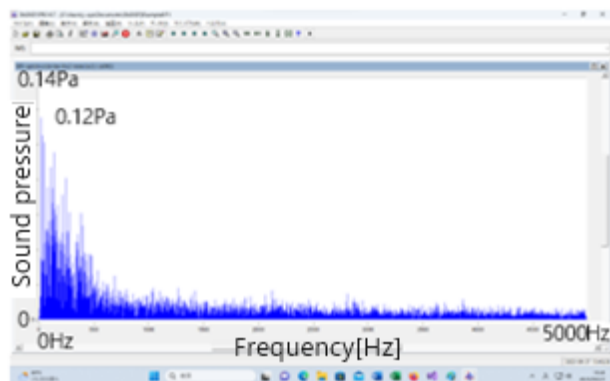


Fig.1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa](12Hz)

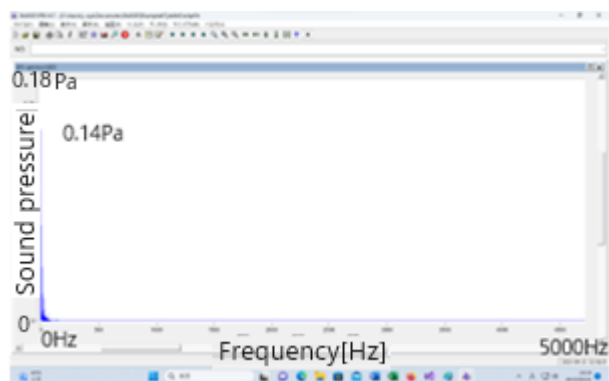


Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

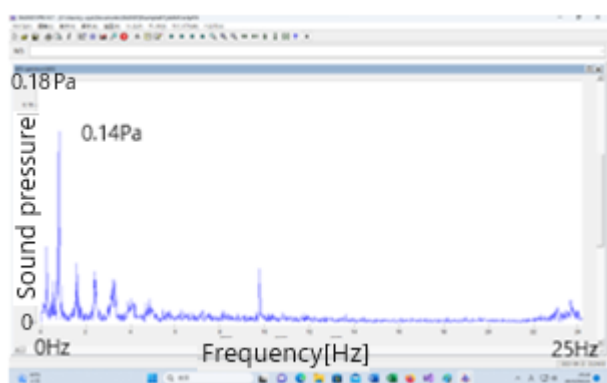


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

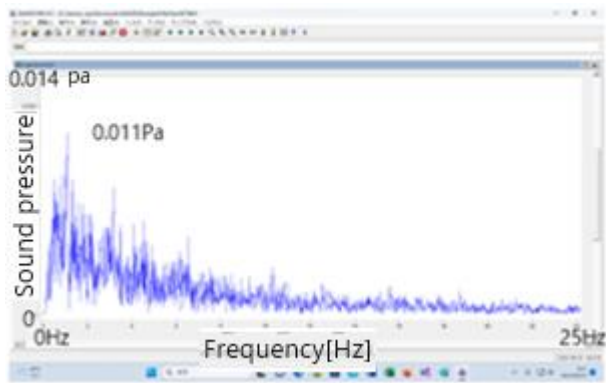


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz); 0.011[Pa](1.1Hz)

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

表1表2は周波数帯ごとのエネルギー分布である。

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

Table 1 Energy distribution (0～5000Hz)

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

Table 2 Energy distribution (0～20Hz)

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

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

4. 風車音と再生音

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

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

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

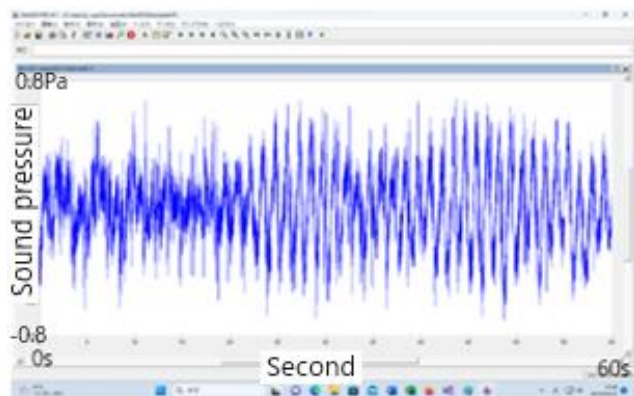


Fig.5 Wind turbine noise

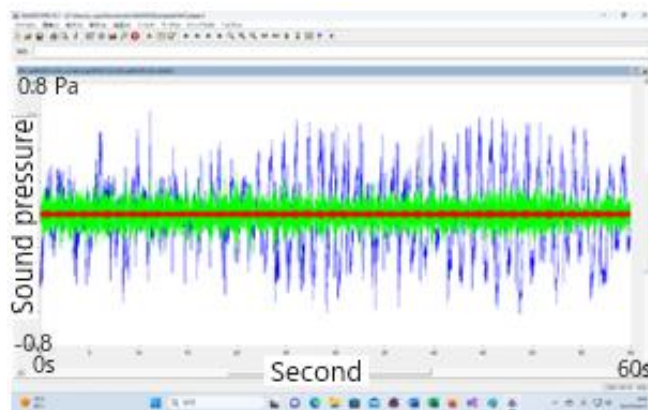


Fig.6 Separated Wind turbine noise

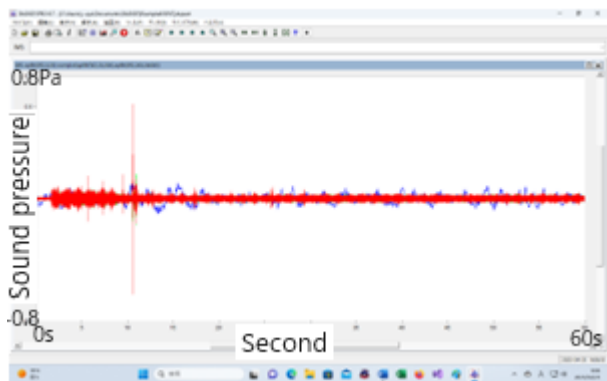


Fig.7 Separated sound from speaker

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

5. 風車音の細かな特徴

表3は、図3に於ける音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものである。

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

Table 3 Frequencies of the peak values

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

6. 周波数の細かな変動

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

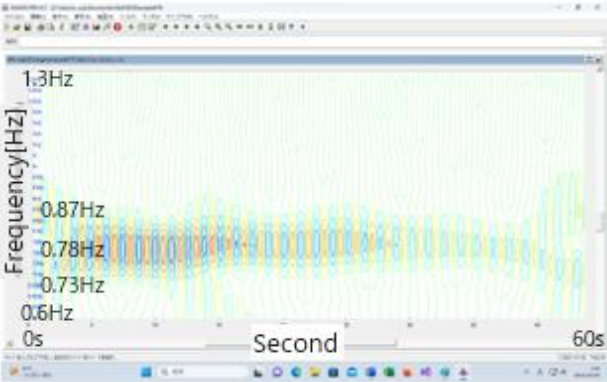


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

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

Table 4 Fine fluctuation from video

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

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

7. 塔の振動方向と風車音の指向性

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

“風車ナセル・タワーの振動解析”1)

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

“風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について” 2)

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

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

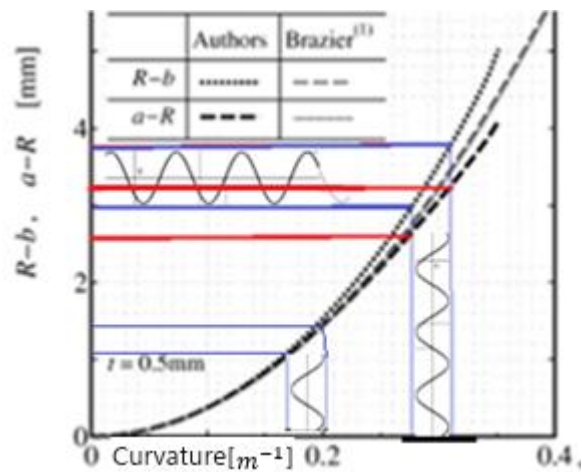


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

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

8. 風車にかかる力とその影響

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

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

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でも可能だが、側面の揺れは、切り口の変形を伴う。

風車は揚力によって回転し、ブレードの角度を変えて回転速度を調節する。回転開始時は回転方向の成分が大きくなるようにブレードの向きを調整し、定格出力運転時には揚力ベクトルの方向を $200 \sim 210$ 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。

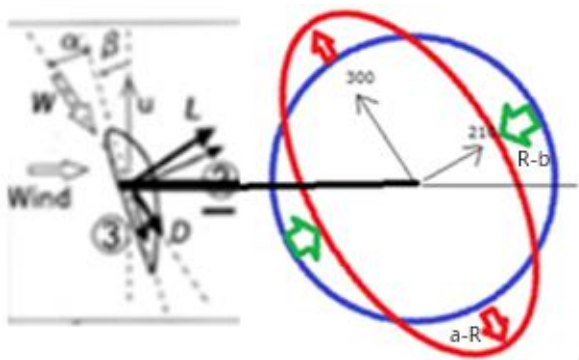


Fig.10 Lifting vector and modification

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

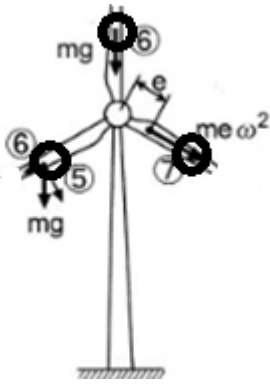


Fig.11 Wind turbine in balance

円盤の地上からの高さは $100 + 50 \cdot \sin(\omega t + \theta)$ 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 $100 + 50 \cdot \sin(\omega t + \theta)$ m での風速は

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

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

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

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、

$$P = \frac{\left(\left(7 \cdot \left(\frac{(100 + 50 \cdot \sin(\omega t + \theta))}{10} \right)^{0.15} \right)^2 \right)}{2} \cdot 1.23 \cdot 1.2 \cdot 10 \quad [\text{N}] \quad (5)$$

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。

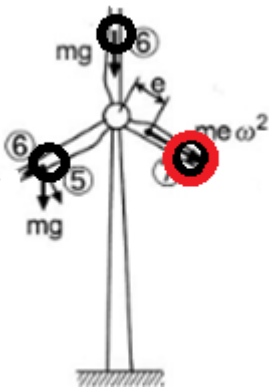


Fig.12 Wind turbine imbalance

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

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

$* 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \text{ [N]}$

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、

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

には、 $\sin(3mx)$, $\cos(3mx)$ のような形の項と定数だけが残る。これが、0.8Hz より大きな周波数、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz でピーク値となる理由である。

(8)(9) 式には、(10) の展開式を長くしても、定数項と、 $\sin(3m\omega t)$, $\cos(3m\omega t)$ の項しか残らない。

塔には、ブレードの揚力による力のほかに、塔自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、 $3R/60[\text{Hz}]$ のほかに、 $2R/60[\text{Hz}]$ 、 $3R/60[\text{Hz}]$ 、 $4R/60[\text{Hz}]$ 、…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、 $2R/60[\text{Hz}]$ 、 $3R/60[\text{Hz}]$ 、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”7) には、“室内の音場は特に低周波数領域では複雑で、物理的にも難しい問題を多く含んでいる。”と書かれている。

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

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



Fig.14 Effect of Chaos theory

4 段目はラクダが座っているようなグラフで、コブが 1 つなら固有振動数が 1 つ、コブが 2 つなら固有振動数が 2 つの物の振動を表す。中央のグラフは固有振動数を 2 つ持つ四角い篩が原因であることを示している。

1 1. 風車音で留意すべき事項

音圧と圧迫感の関連を調べるには、最大音圧をパスカル値のままで扱う必要がある。また、音圧の変動に関しては、音響キャビテーションによる気泡発生の可能性も検討する必要がある。体内に小さな気泡が発生すれば、潜水病と同じ状態になり頭痛が起きる。ほんの少しの可能性でも詳細に検討すべきである。（“泡のエンジニアリング”9）

1 2. まとめ

水平軸型の風車が超低周波音の発生装置そのものであることが示されたが、パリのエッフェル塔には、希望の灯が残っている。そこでは音も静かで振動も少ない垂直軸の風車が発電をしている。垂直軸型の風車から超低周波音が発生する要因は見あたらない。

（2015 年 2 月、エッフェル塔に 2 機の風力発電機が地上約 120 メートルの部分に設置された。）

1 3. 参考文献

- 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, 長嶋久敏, 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 $4 \times 3.14 \times 0.5 \times 0.5 = 3.14 \text{ m}^2$

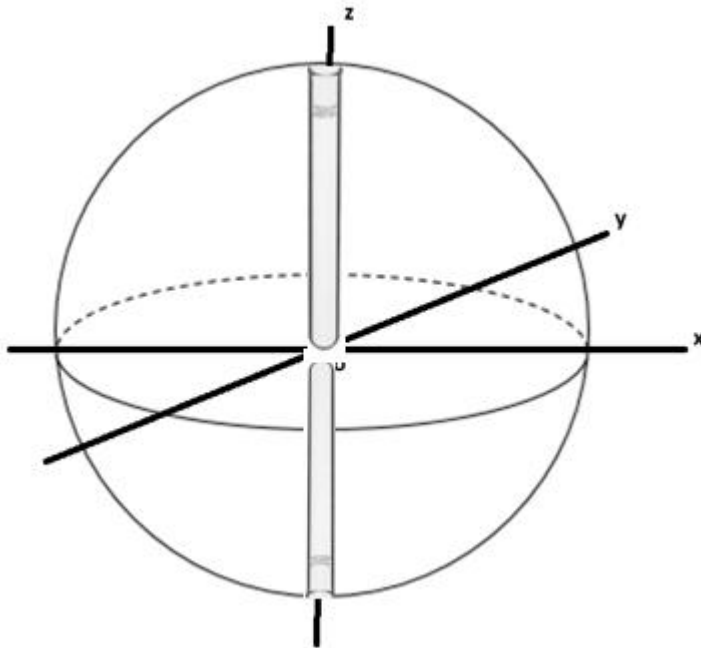
表面の部分は体重 (60 kg) に相当する質量を持ち、面密度は $60/3.14 = 19 \text{ kg/m}^2$

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 (m^2) の面積につき 1 ニュートン (N) の力が作用する圧力または応力と定義されている[1]。

ニュートンについては、1 ニュートンは、1 kg の質量を持つ物体に 1 m/s^2 の加速度を生じさせる力である。



北極と南極に向けた 2 本の試験管のような部分を考える。

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

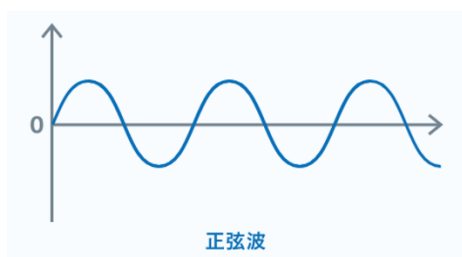
殻の部分の密度を $\rho = 19.1 \text{ kg/m}^2$ とする。

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。

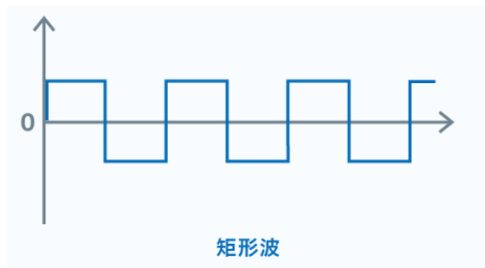
試験管の口の部分での音圧 $P(t)$ が

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



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、 $0.17\text{m}=17\text{cm}$

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（ $A \times$ 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、 $F = m a$ より、

$$A \cdot ds = M a$$

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

となり、 dt 秒後には、速度 $v_1 = a dt$ 、移動距離は初速度 $v_0 = 0$ なので、

$$dl = (1/2) a (dt)^2 + v_0 dt$$

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、

$$v_1 = a \cdot dt$$

$$dl = (1/2) a (dt)^2$$

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

$$L_1 = (L - dl)$$

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 v_1 、

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。

$$\text{加速度 } a_1 \text{ として、} (P_0 + A - P_1) \cdot ds = M \cdot a_1$$

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

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

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

蓋が移動したので試験管内の容積は、 $ds * (L - dl - dl_1)$ に変わる。

試験管内の圧力 P_2 は、 $P_2 * ds * (L - dl - dl_1) = P_1 * ds * (L - dl) = P_0 * ds * L$ より、

$$P_2 = P_1 * (L - dl) / (L - dl - dl_1) = P_0 * L / (L - dl - dl_1)$$

$$L_2 = (L - dl - dl_1)$$

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は $P_2 = P_0 * L / (L - dl - dl_1)$ として考える。

蓋に掛かる圧力差は $P_0 + A - P_2$ 、これが蓋 ds の部分を押す。

加速度 α_2 として、 $(P_0 + A - P_2) * ds = M * \alpha_2$

初速度は $v2$

$$\alpha_2 = \frac{(P_0 + A - P_2) * ds}{M}$$

$$dl_2 = v2 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_2 * dt^2$$

$$v3 = v2 + \alpha_2 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、 $ds * (L - dl - dl_1 - dl_2)$ に変わる。

試験管内の圧力 P_3 は、 $P_3 * ds * (L - dl - dl_1 - dl_2) = P_0 * ds * L$ より、

$$P_3 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2)$$

$$L_3 = (L - dl - dl_1 - dl_2)$$

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は $P_3 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2)$ として考える。

蓋に掛かる圧力差は $P_0 + A - P_3$ 、これが蓋 ds の部分を押す。

加速度 α_3 として、 $(P_0 + A - P_3) * ds = M * \alpha_3$

初速度は $v3$

$$\alpha_3 = \frac{(P_0 + A - P_3) * ds}{M}$$

$$dl_3 = v3 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_3 * dt^2$$

$$v4 = v3 + \alpha_3 * dt$$

蓋が移動したので試験管内の容積は、 $ds * (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$ に変わる。

試験管内の圧力 P_4 は、 $P_4 * ds * (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3) = P_0 * ds * L$ より、

$$P_4 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$

$$L_4 = (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$

次は、外圧は $P_0 + A$ 、内圧は $P_4 = P_0 * L / (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$ として考える。

蓋に掛かる圧力差は $P_0 + A - P_4$ 、これが蓋 ds の部分を押す力になる。

加速度 α_1 として、 $(P_0 + A - P_4) * ds = M * \alpha_4$

初速度は $v4$

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

$$dl_4 = v4 * dt + \left(\frac{1}{2}\right) \alpha_4 * dt^2$$

$$v5 = v4 + \alpha_4 * dt$$

以下、同様。

となる。

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

最初の圧縮過程が終了する時点での試験管内の圧力は次の表のようになる。

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

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

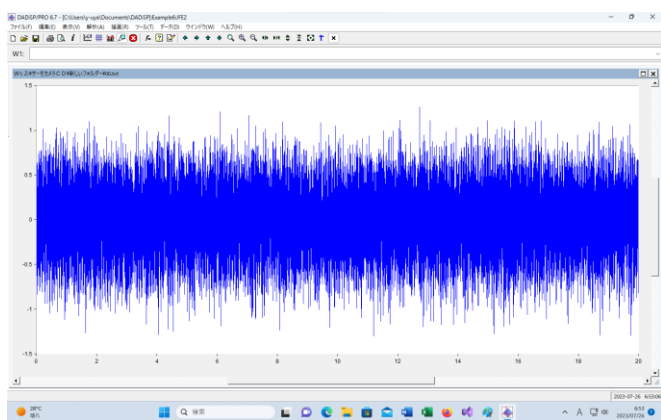
気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、
200Hz だと、体内の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
100Hz だと、体内の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
10Hz だと、体内の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
1Hz だと、体内の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。
0.5Hz だと、体内の圧力は 0.999 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

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

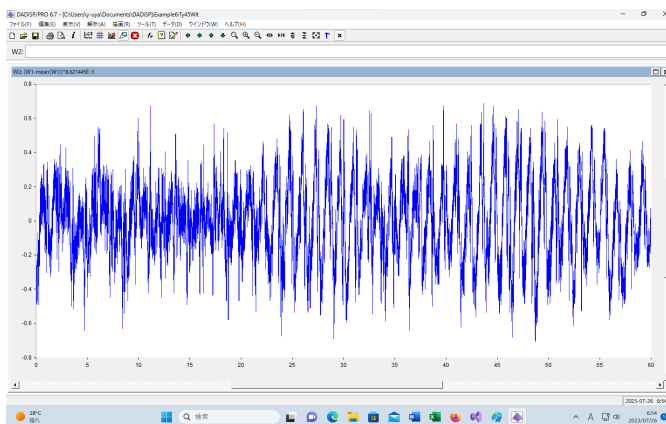
この圧力変動は、体内での気泡の溶解と発生の平衡状態を、発生が多い方に傾かせる。

ここでの計算は、波形が矩形波に近い場合でないと適用できない。

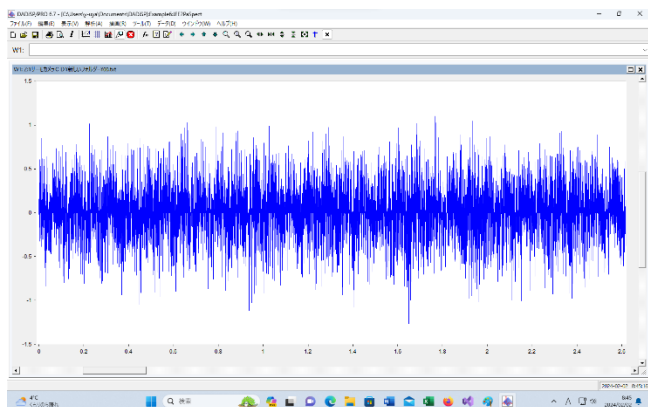
JFE の製鉄所内の音



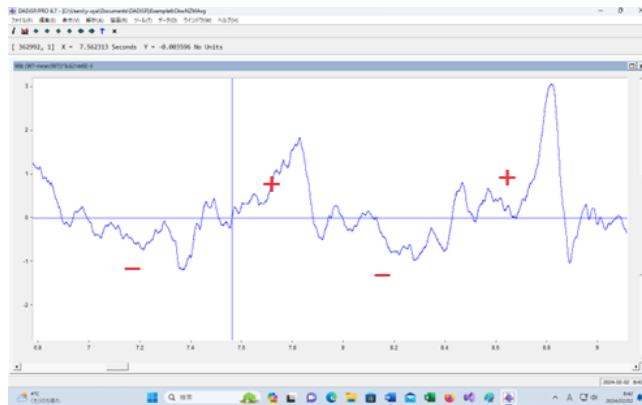
館山の風車音



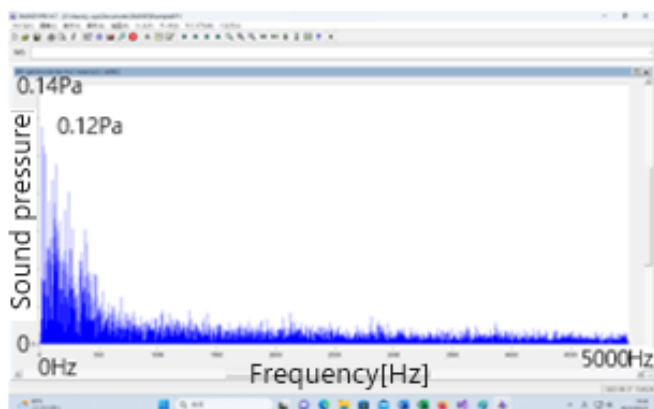
工場騒音の、2.6 秒間の波形



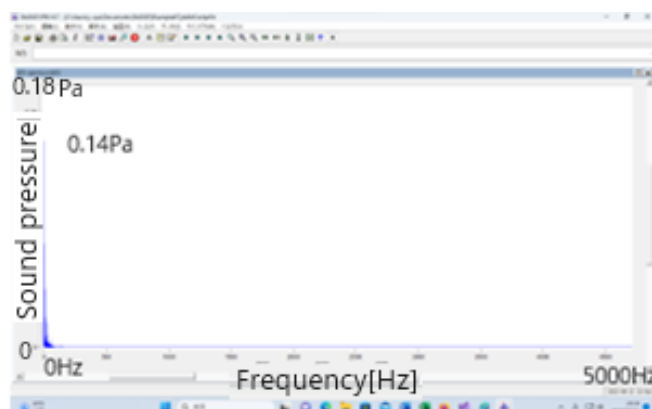
風車音の 2.2 秒間の波形



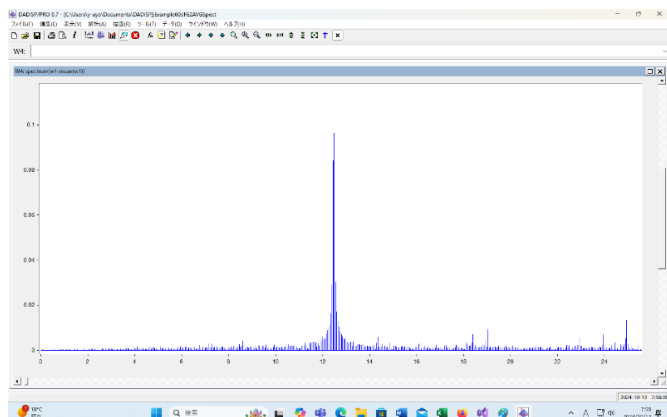
製鉄所(0~5 k Hz) ; 最大 0.12[Pa](12Hz)



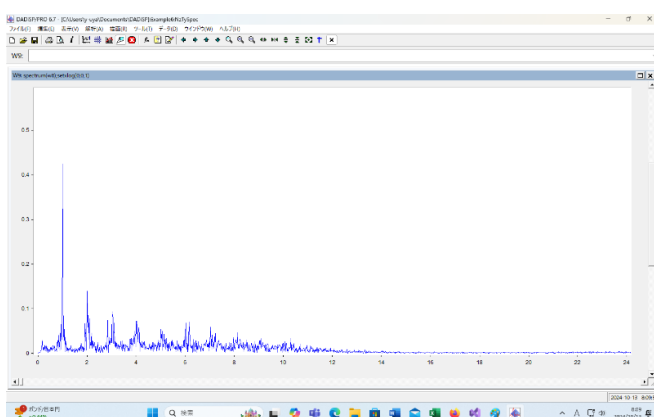
風車音(0~5000Hz); 最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)



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/m ²
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m ²
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m ²
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m ²
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m ²

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

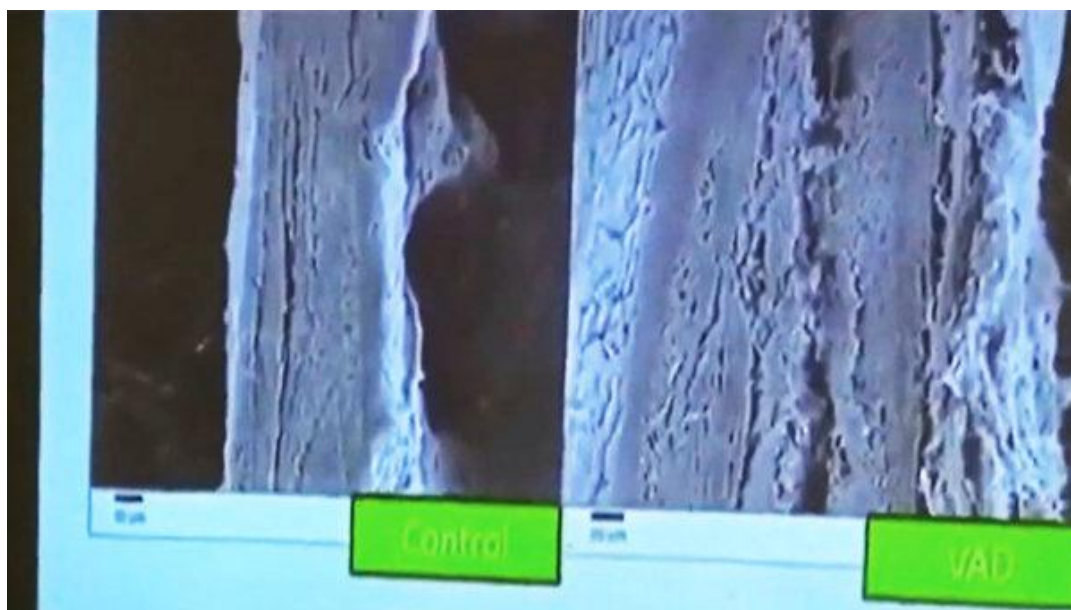
長周新聞の記事に次ものがある。

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

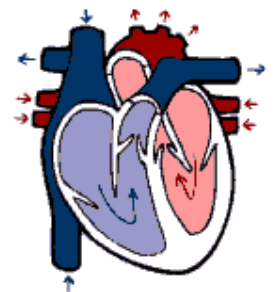
高血圧との関連で言えば、体全体が圧縮されている場合は、末梢血管の直径も小さくなり、末梢血管の抵抗が増し、血流が流れづらくなる。この時には血圧が上昇する。

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、血液の量が増えても血管壁が膨らんで血圧が急に高くなることを防ぎます。逆に血管に弾力性がないと血管の内圧が高まり血圧が上昇します。これを**血管の抵抗**と言います。実際には太い血管から枝分かれした**抹消血管**が硬くなり内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



この数値と、眠る人の近くに精密騒音計を置いて6時間の連続測定を置きながら結果を 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。

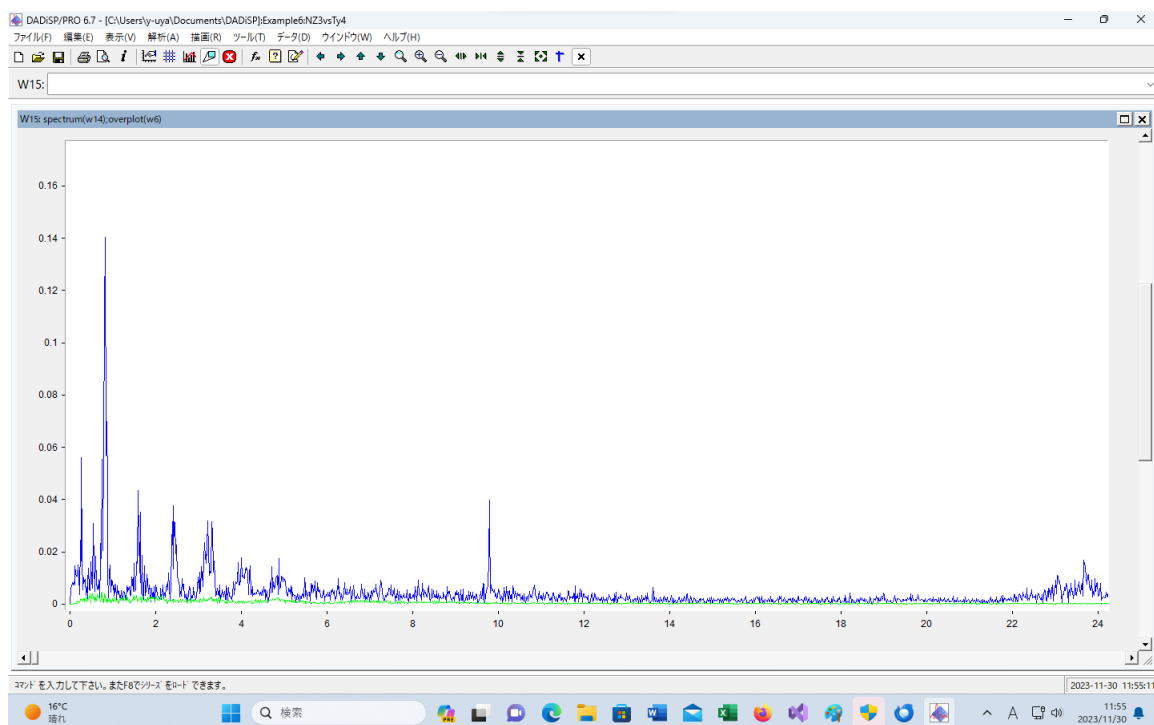
衝撃問題における応力波の伝播と反射・透過について

いろいろな弾性波（その1）

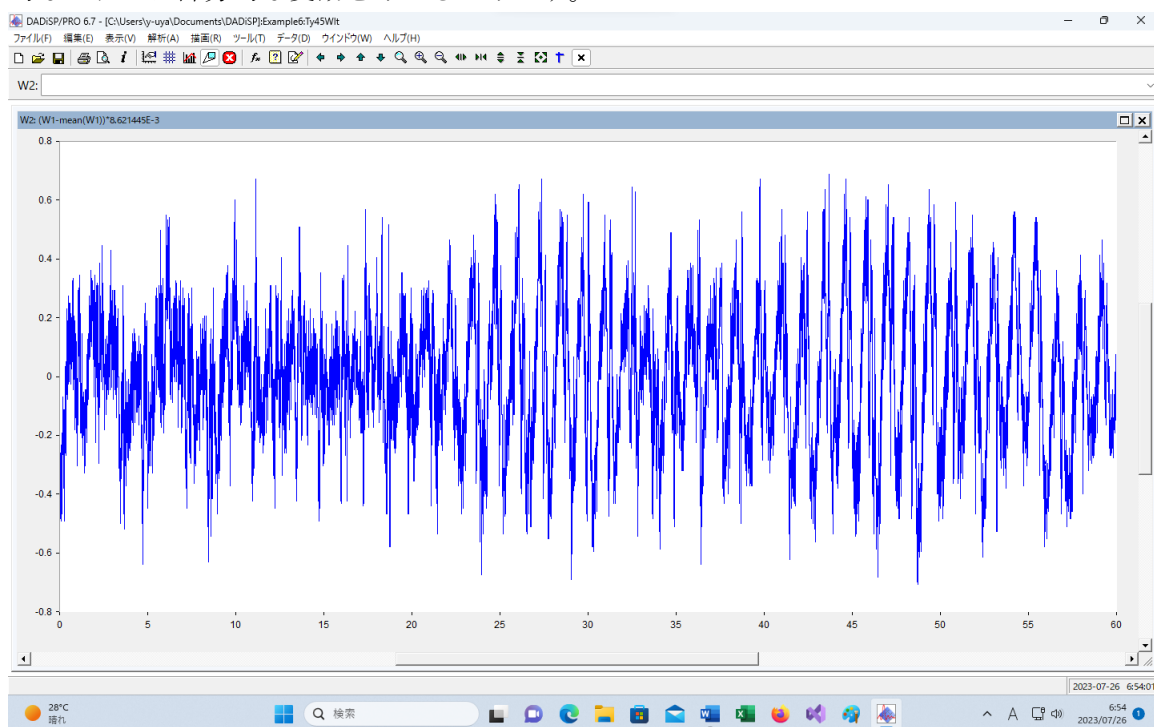
金属中の応力波伝播(高速変形の力学の基礎)

10.3.4 音響キャビテーションと頭痛

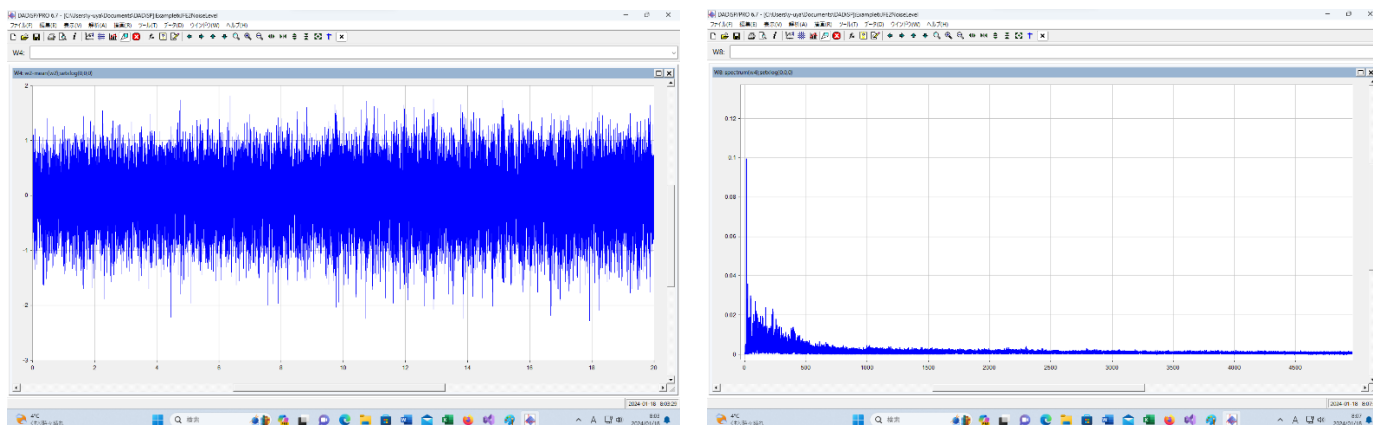
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、 $f=RZ/60=1\text{ Hz}$ の成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。



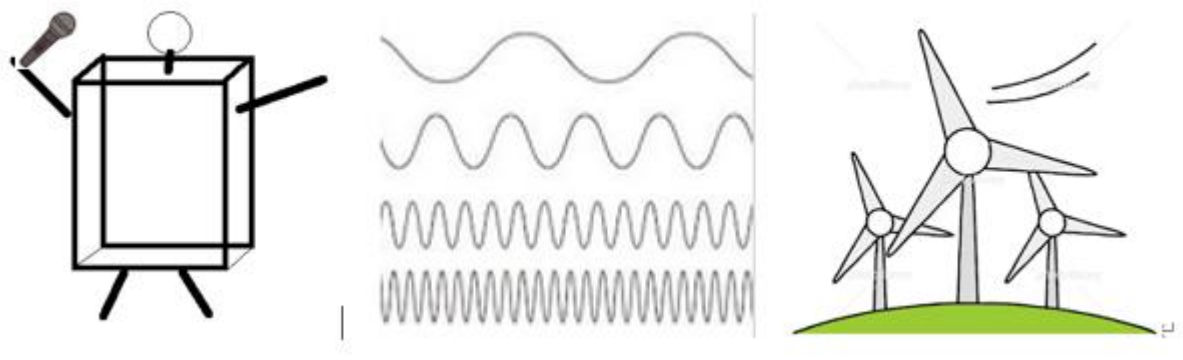
グラフは、 1 Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。



JFE の工場での音の全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。

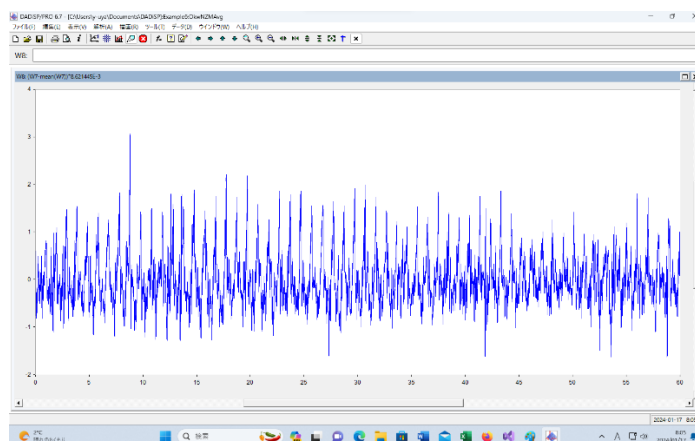
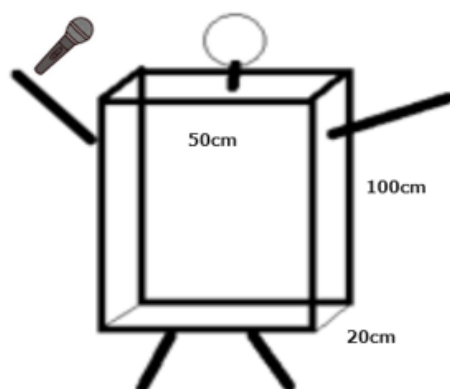


この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



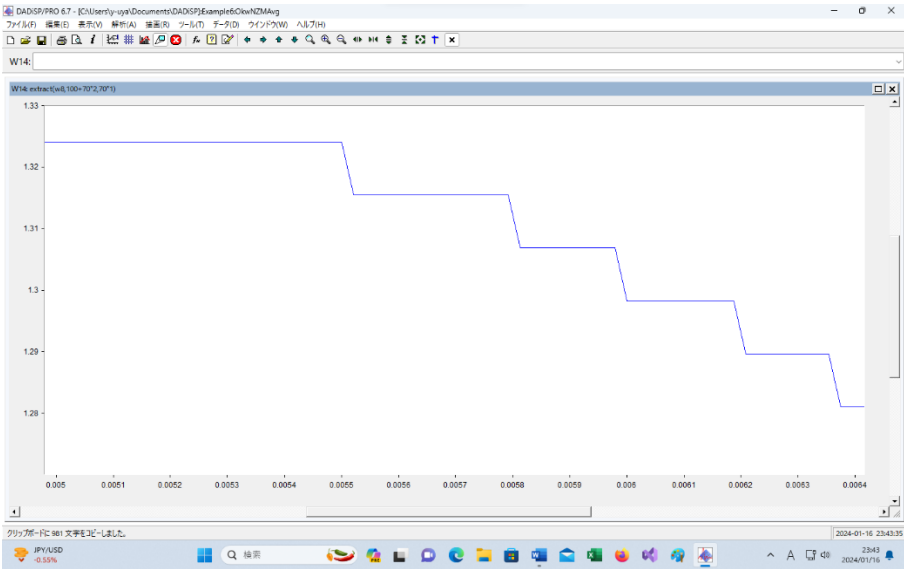
いろいろな波長の音が、秒速 340m で風車から人間まで届くとします。人間の横幅 50 c m、胴長 100 c m、厚み 20 c m として、音は平面波とします。

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



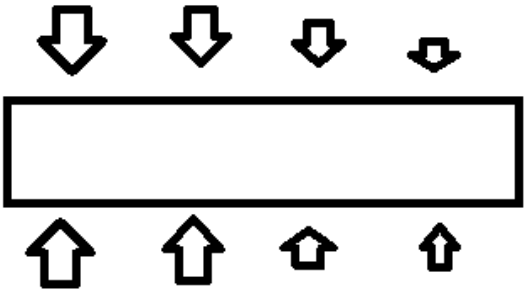
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



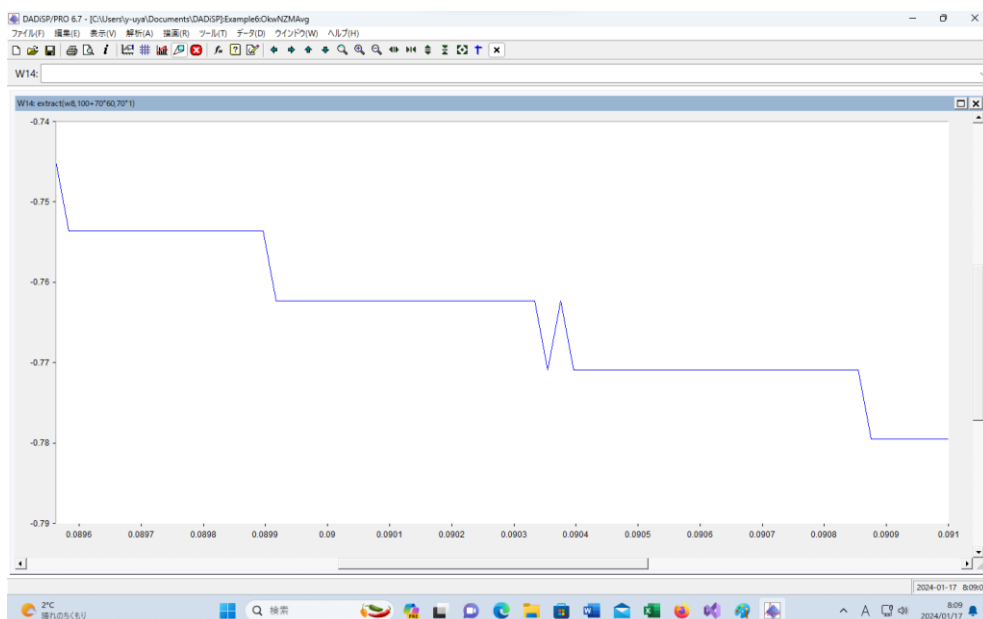
となり、数値は、

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



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

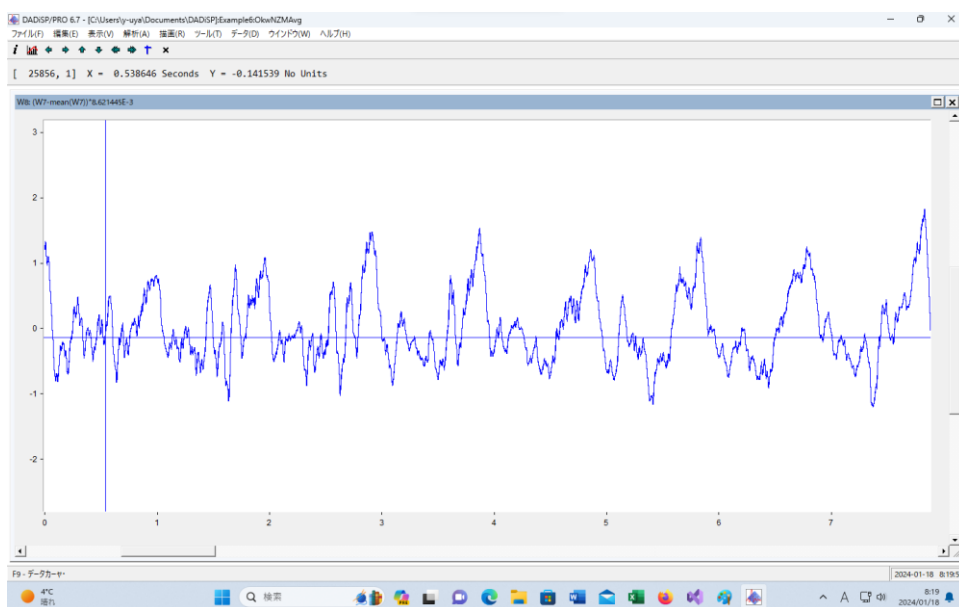
もちろん、



もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。

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

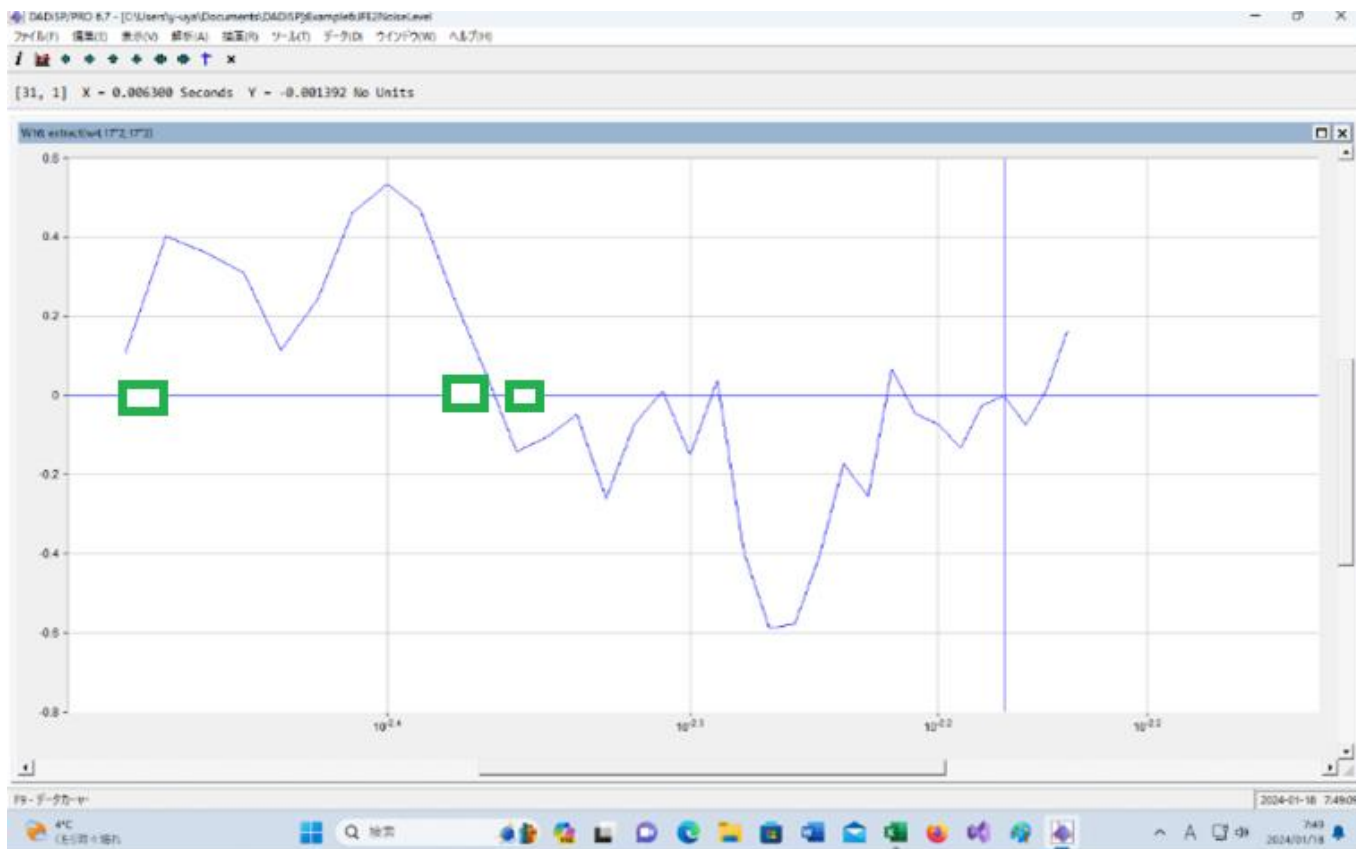
風車音の場合は、50 c mの全体が圧縮される時間が 0.5 秒、膨張させられる時間が 0.5 秒であることが次のグラフから分かります。



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。

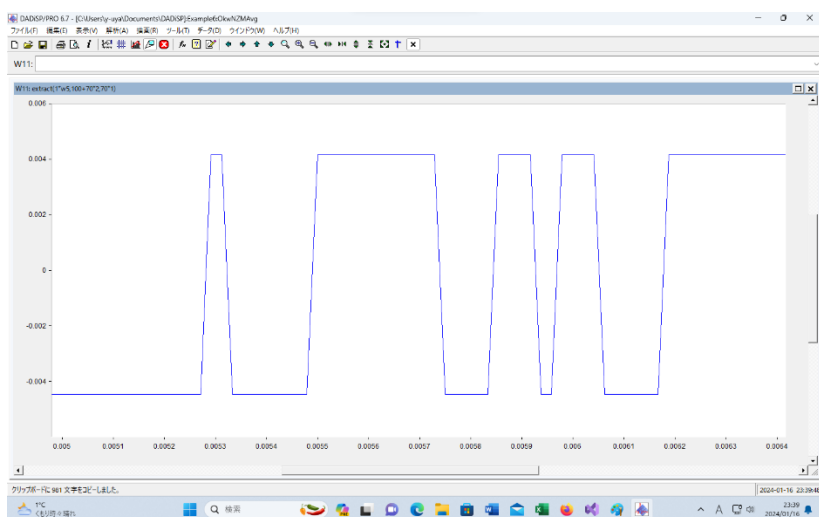
物理的には圧力が周期的に変化するのです。

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、

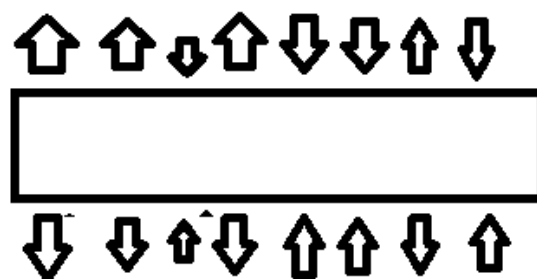


であり、

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

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

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。

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

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

圧縮、膨張についてさらに確認します。

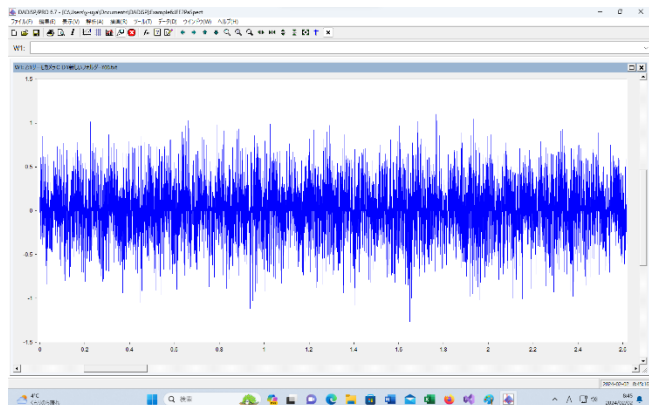
風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力の大きさは風速の2乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増

加します。音圧も変化します。

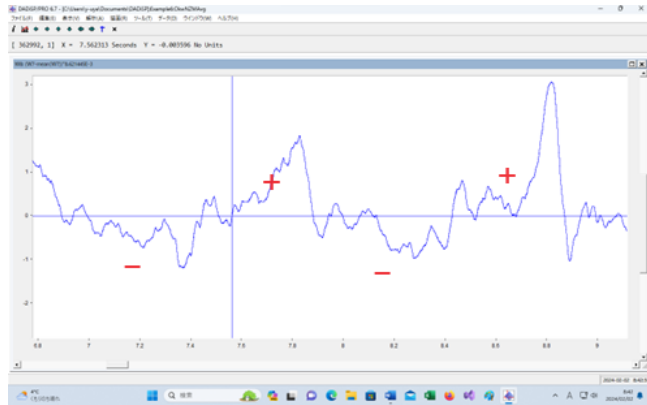
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

音圧の変動は大きいですが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

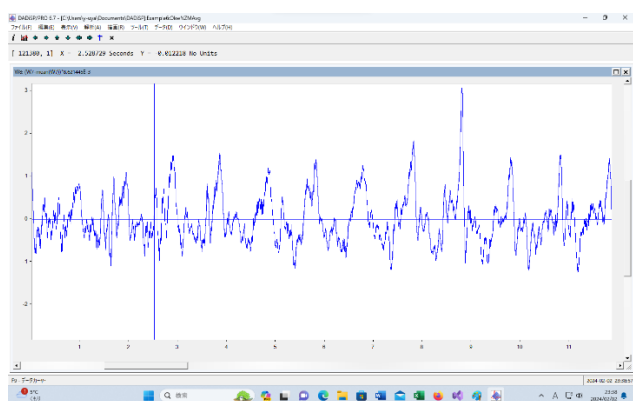


風車音の 2.2 秒間の波形

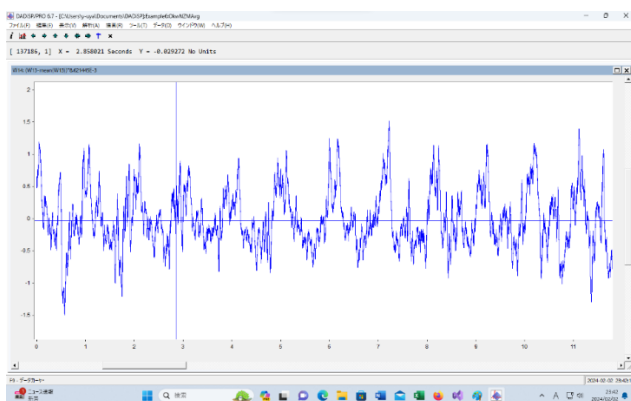


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

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

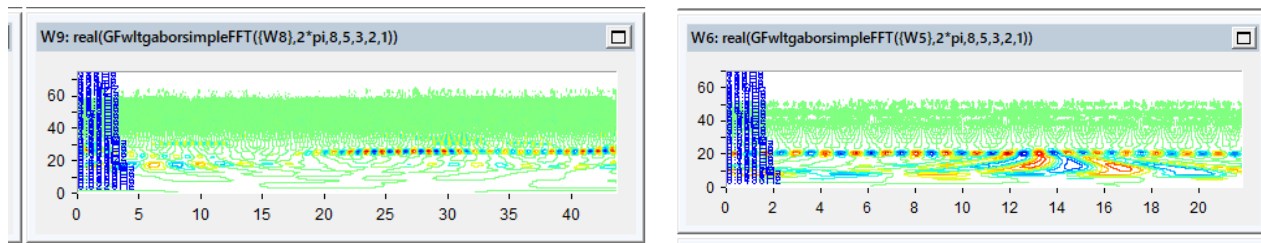
符号決定率＝最大音圧/2 番目の音圧

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)

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

による。

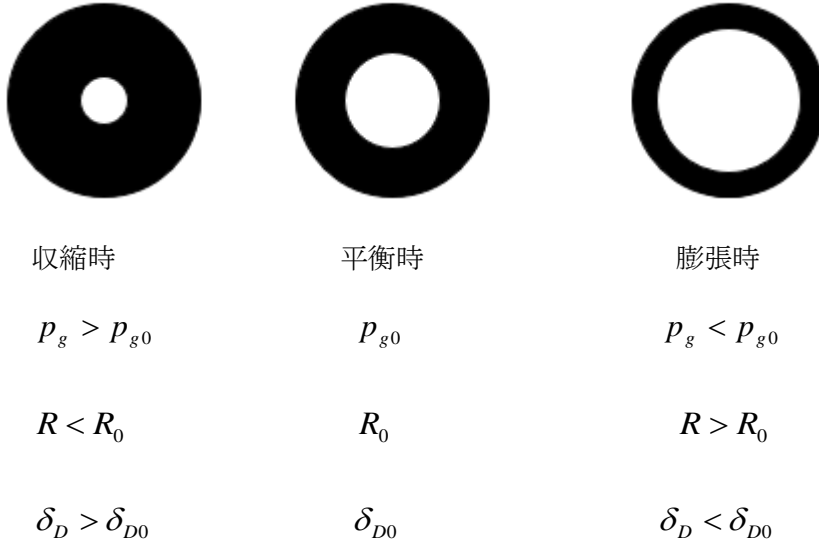
液体中の濃度境界層厚さを δ_D とすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

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

となる。

これに踏まえて、図 2.5.6 に示す現象のメカニズムを説明する。

図 2.5.6



まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度 $\rho_{g^{LW}}$ はヘンリーの法則

$$\rho_{g^{LW}} = \alpha p_g \quad (2.5.58)$$

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、 0.5Hz 辺りでの音圧が最大となります。微小な気泡による頭痛や圧迫感などによる体調不良が増加すると予測されます。

超低周波音の中でも、 1Hz のものが圧倒的に高い圧力を持っているので、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 km 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压下と言う、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.水压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. 水压による影響

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、水压による影響である「潜水障害(潜水病)」の主な項目を説明しておきましょう。

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

炭酸飲料の泡から理解できる様に、圧力が高いと気体は液体(体内)へ溶け込みます。陸上の 1 気圧(大気圧)下でも体内には空気中の窒素が約 1 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 ㍎での水压 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。この様な窒素過剰状態のまま水面へ浮上して圧力が下がりますと、余分な 2 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まる。② 不整脈(潜水徐脈)により血流がヨドんで血液が固まり易くなって血管に塞まる。③ 高脂血症(乾燥空気の呼吸による脱水)により血液がドロドロとなり、血栓(と気泡)が出来易くなって血管に塞まる。④ 高血糖・ストレスで血液がベトベトになり、血栓が出来易くなって血管に塞まる。⑤ 高血圧(浮上と潜降による急激な圧変化)により血管に負担が掛かり脆くなって破れる。⑥ 肥満・喫煙・運動不足等により血管の弾力性がなくなる。等だからです。脳梗塞や心筋梗塞は発作から 3 時間以内に治療しないとひどい後遺症を残しますが、減圧症も速やかに治療を受けないとめまいや慢性関節痛、半身不随等の症状が一生続く事になります。また、潜水直後は症状の有無に関係無く、必ず体内に気泡ができてい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、空気の大ささには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っていると自覚できない点です。潜水慣れしていない方の単独潜水は危険です。水深30メートルを越えると窒素酔いになるとされていますが、酒の強さと同じで窒素圧に敏感な方もいますので、初心者では限界水深を18メートル以内にする必要があります(プロでも空気潜水の限界は40メートル)。珊瑚のサンゴ虫と同じように、骨にも骨の細胞があ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う、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土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

潜水土テキストは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。潜水土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。沖縄県の水安全条例ではレジャーダイビング従事者に潜水土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土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ありません。この様に潜水業務は法律的にも行政的にも曖昧なまま放置されているので、世間一般に限らず潜水従事者自身も業務に伴う危険性と教育訓練の必要性を再認識する機会がありません。そこで、潜水業務従事者として継続的な教育訓練を受けるべき項目を幾つか挙げておきます。

限界潜水深度及び時間の算出：高圧則では水深 10 メートル以上へ潜水する場合、潜水障害を防止する必要上、潜水する前に潜れる限界水深と時間を計算するように義務付けています(第 27 条)。事業主がこの限界時間を超えた業務命令を行うと労働安全衛生法違反です。しかし、この法律での計算表を使う人、更には使える人は皆無と言っても過言ではありません。従来から、スキューバダイビングでは「タンク一本分の空気量」であれば減圧症にはならないとの認識が定着しています。しかし、この考え方には時代変化による錯覚があります。以前のタンクへの空気充填圧は 150 気圧でしたが、現在は 200 気圧と増えています。当然潜水可能時間も延長しますから潜水障害の危険性も高まるのですが、こう言った意識改革が来ていません。

潜水現場に緊急再圧チャンバーと厳密な減圧停止の設備と人材が完備されていない限り、減圧潜水は極めて危険です。例えば、水深 34 メートルに 1 時間潜水すると水深 9 メートルで 10 分停止、6 メートルで 27 分停止、3 メートルで 34 分停止の合計 1 時間 11 分掛けて水面へ上がってこないで減圧症になります。漠然と 6 メートルや 3 メートル付近で適当に停止していれば減圧できる訳ではありません。所定の水深から 10 メートル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」と思い込まれています。40 メートルを越える大深度潜水の場合、母船上の加压室で呼吸抵抗、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压室ごと潜降し、潜水業務中は加压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压室内で加压されたまま母船へと引き上げた後に厳密な減圧手順を行います。ここまでやっても大深度での安全は保障できません。アメリカ海軍の特殊部隊(Navy Seals)ダイバーでさえ基本的に減圧潜水も反復潜水(48 時間以内に 2 回以上潜ること)も禁止されています。スペースシャトルから宇宙服へ着替えて船外へ出る場合には、1 気圧の居住区からエアロックへと移り 0.3 気圧まで(水深換算すると水深 7 メートルから水面への浮上に相当)12 時間掛けて減圧しないと宇宙空間へは出られません。宇宙も水中も圧力変化と装備以外には呼吸する空気が無い、と言う意味で同じような安全管理が必要な事を忘れないで下さい。

高圧則での水深 12 メートル迄の無減圧潜水限界時間(減圧停止をせずに浮上できる限界時間)は 120 分です。これが 18 メートル迄だと 55 分へと半減し、24 メートル迄では 37 分しかありません。この値はヘルメット式潜水の様に一定の水深に留まる場合の限界なので、自由に水深を変えるスキューバはもっと長く潜れるとの勝手な解釈があります。理論的には逆で、浮いたり潜ったりの水圧変化が大きいと潜水障害の危険性が高まりますし、限界時間の計算自体が不可能になります。また、浮上速度は毎分 10 メートル以下

4 と定められています(第 31 条)が、レジャーダイビング業界では毎分 18 メートルと誤解されたままです。最近の研究では水深 10 メートルから水面までは毎分 6 メートル以下が推奨されています。

最後に水中活動への順応性を維持する上で不可欠な継続的訓練です。二足歩行で陸上生活をする人間は、水中でも無意識に立ち姿勢を取りますから、移動の際には体全体で水の抵抗を受けてしまいます。海中では海底に手足を付いて支える事はありません。つまり、日常使わない筋肉を駆使して海底に対して水平方向に、フィンによりバ

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すすし、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10m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、長くても1時間程度の「吹かし」で治療できる筈がありません。長期的にみても「吹かし」は骨壊死や関節痛、めまい等の慢性減圧症を必ず悪化させます。

Ⅲ. 潜水適性

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

脳血管障害（一過性脳虚血発作、脳出血、くも膜下出血、脳梗塞

痙攣性疾患（てんかん、電解質異常による筋肉痙攣

心血管障害（心筋梗塞、狭心症、不整脈、先天性心奇形、自律神経障害

呼吸器疾患（喘息、自然気胸、肺嚢胞

耳（耳管機能異常、中耳炎、内耳炎、平衡感覚機能障害

代謝疾患（糖尿病、肝機能障害、腎機能障害

骨障害（慢性減圧症としての骨壊死、副鼻腔の炎症

その他（妊娠による胎児への影響

陸上生活では何ら問題とならない疾患も潜水業務では絶対禁止となります。例えば、肺嚢胞は全く

自覚症状がありませんが、潜水による圧力変化によって破裂する危険性があります。自然気胸を

起こす肺嚢胞、喫煙や大気汚染、無症状の結核等の感染症による肺気腫・無気肺については、少なくとも就業前と半年毎の胸部レントゲン検査及び 疑わしい場合の胸部 CT 検査が不可欠です。更に、生活習慣病を発症させる生活様式を続けている場合は脳卒中と心臓発作の危険性を確認する脳 MRI 検査と負荷心電図検査等も必要です。水中での発作は死に直結します。

高圧則では就業前と半年毎の「専門医」による検診を義務付けています(第 38 条)が、日本の

医学教育では潜水業務に関する授業が有りません。再圧チャンバーのある病院であっても潜水障

害を診断そして治療できる医師は極めて少数です。蛇足になりますが、日本では減圧症の診察で

CT や MRI を撮って再圧チャン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。

風車音の計測方法と解析方法

精密騒音計だけでは計測が出来ない。リオン社の機材の場合、
UC-59L と SA-A1 では、

周波数範囲 DC～20 k Hz または 0.25Hz～20 k Hz

NL-62A 測定範囲 1Hz～20000Hz

NL-52A 測定範囲 10Hz～20000Hz

NL-42A 測定範囲 20Hz～8000Hz

NL-27 測定範囲 20Hz～8000Hz

NA-28 測定範囲 12.5Hz～20000Hz

となっていて、一番低い周波数まで測れるのは、SA-A1 で 0.25Hz である。

一見すると、0.5～0.8 Hz の音の計測や解析が不可能であるように見えるが、そうではない。

NL-62 と SA-A1 は同じマイクを使っている。波形収録ソフトを組み込めばマイクに掛かる音圧の変動を符号付整数として記録することが出来る。

音圧変動を記録するときに、サンプリングレートを 48 k Hz とし、数値を 16 ビットの符号付整数として記録した場合は、NL-62 でも、SA-A1 でも同じ数値が WAV ファイルに記録される。

測定範囲に差があるのは、計算量を多くして周波数分解能を上げているからである。周波数成分を調べるには FFT の計算が必要となる。

騒音計はスイッチを入れた直後に画面に計測結果が表示されなくてはならない。計測で 60 秒かかれば 60 秒間は、画面が停止したままとなる。

48000*1 個 (1 秒間) のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られ、周波数の刻み幅を h Hz とすれば、 $h * 48000 * 1 = 48000$ となるので、 $h = 1 \text{ Hz}$ となり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、刻み幅 1 Hz で表示されることになる。

48000*60 個 (1 分間) のデータに対しての周波数スペクトルは、0Hz～24000Hz までの範囲を、刻み幅 $h = 0.01667 \text{ Hz}$ で表示する。

120 秒間の計測結果を解析すれば、周波数分解能は 0.0083Hz になるので、120 秒間のデータで計算すれば、

定常的、周期的な性質を持つ風車からの超低周波音と不規則に変化する風雑音の違いが区別できる。

処理時間、周波数分解能、Wavelet 解析の必要性から、NL-62 (+NX-42WR) だけの WAV ファイルの解析は不可能なのです。

符号付の整数で表現できる範囲は、負の数に 2 の補数を使うとき、16 ビットの符号付きの整数では $-2^{15} \sim 2^{15} - 1$ の範囲の値が使用される。負の数の個数が 1 つ多い。

騒音計で計測できる音圧の範囲については、精密騒音計 (低周波音測定機能付) NL-62 取扱説明書に最大で 148dB だと記載されている。

表示・出力フルスケール の項に、出力電圧のフルスケールで、設定できる範囲は 70dB～130dB までで、10dB 刻みだと書かれている。

ここで、130dB を選んだときは、WAV ファイル名は

NL_001_20220503_111400_130dB_0008_0000_ST0001

となり、名前の中央部分から、出力電圧のフルスケールを 130 dB に設定したことが分かります。

WAV ファイルへ記録するデータは、もう少し大きな音圧にも対応できるようになっていて、(表示出力フルスケール値+13) dBが WAV ファイルのフルスケール値となる。

設定で 130 dB とすれば、WAV ファイルでのフルスケール値は 143 [dB] であり、これは、 $2 \times 10^{(-5)} \times 10^{(143/20)} = 282.5075088$ [Pa]に相当する。

実効値で 282.5075088Pa (143dB) となる値を、WAV ファイルにどのような数値として記載するかについては、ファイルによって異なる。

16 ビットの符号付整数は $\{+2^{(15)}-1\} \sim (-2^{(15)})$ の範囲であり、音圧が -282.5075088 Pa となる場合に対して、負の整数 $-2^{(15)} = -32768$ を対応させる。

この時、整数値 1 は、 $-282.5075088\text{Pa} / (-2^{(15)}) = 8.62144497 \times 10^{(-3)}$ Pa (実効値) を意味する。整数値 k は、 $k \times 8.62144497 \times 10^{(-3)}$ Pa (実効値) を意味する

計算が面倒な場合は、AS-70 (試用版は無料です。) にデータを読み込ませて、次の操作をすればよい。

表示 — ファイル情報 として、Value/Bit の値 (8.621445E-5) を使えばよい。

PC での周波数スペクトルの計算では、読み込んだ符号付き整数のデータに対して、平均値を引いてから、パスカル値にするために、 8.621445×10^{-5} を掛ける。

この周波数スペクトルがあれば、表 1 の様に風車音の特徴が判明する。

4. 騒音の特徴比較

工場騒音、風車音、風雑音の特徴を示す為に周波数分解能を高くして周波数スペクトルを比較する。

Fig. 2 : JFE の製鉄所内の音 (0~5000Hz)

Fig. 3 : 風車から 100m で計測した音 (0~5000Hz)

Fig. 4 : 風車から 100m で計測した音 (0~25Hz)

Fig. 5 : 神社境内の音 (0~25Hz) (風雑音)

Fig. 6 : 風車音と神社境内の音 (風雑音) を重ねたもの (0~400Hz)

図 2 図 3 は 0~5000Hz 範囲での比較であり、JFE の製鉄所の音は広帯域だが、風車音は左隅の 0.8Hz の近くに集中していて広帯域の音ではないことが分る。

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))、図 5 は、近所の神社の階段にマイクを置き、マイクに風が当たる状態で計測した音 (最大音圧 0.011[Pa] (1.1Hz)) である。

表 1 で示されたように、風車の近くの“風雑音”は周波数に規則性がある。

風車の近くでの“風雑音”は規則性があるが、図 5 の結果は、風車の無い場所 (風車から 20 k m) の“風雑音”は音圧が低く周波数に規則性が無い事が分る。

“風雑音”には、風車の近くでの規則的な周波数特性を持つものと、風車が無い場所での不規則ものがあり、これらの区別が必要である。

風車の近くで、マイクに風を当てないで計測した結果を見れば分かるが、

周波数分解能を上げて計測すれば、風車の近くでは強い超低周波音が計測され、風雑音の影響は無視できる程度であることが分る。(図 6)

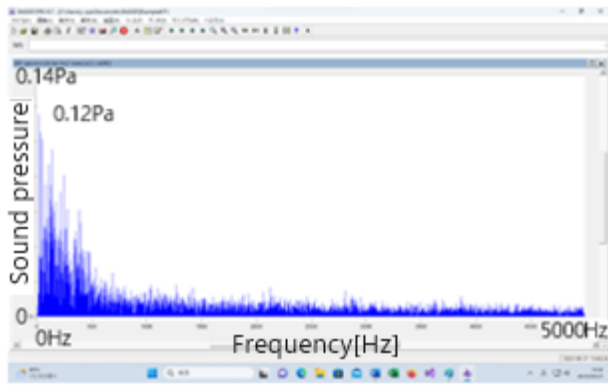


Fig.2 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa] (12Hz)

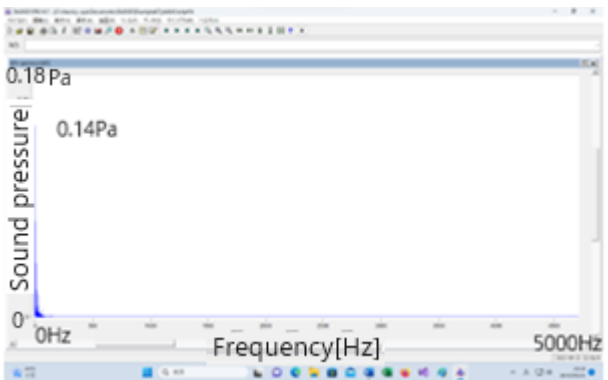


Fig.3 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa] (0.8Hz)

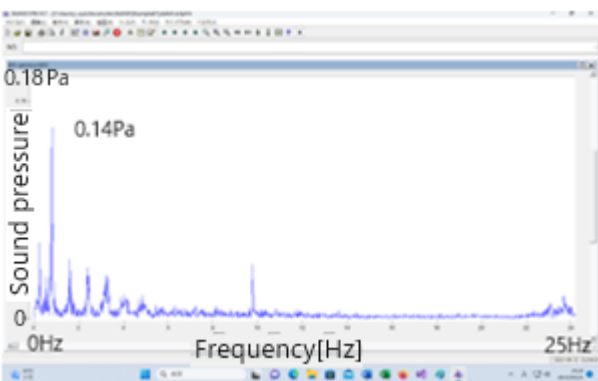


Fig.4 Wind turbine noise (0~25Hz)

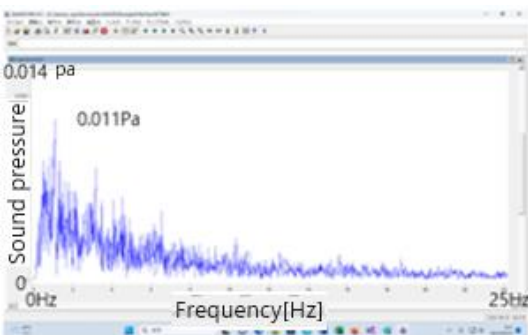


Fig.5 Nagao shrine (0~25Hz) ; 0.011[Pa] (1.1Hz)

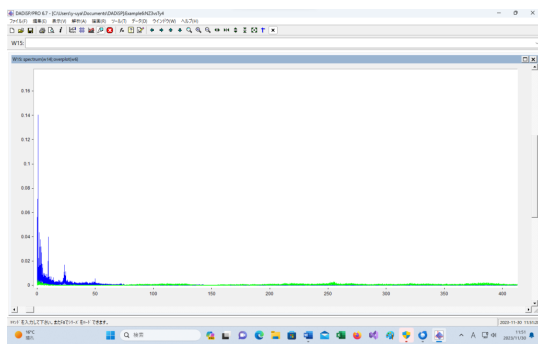


Fig.6 Wind turbine sound and Wind noise

・石狩湾での計測結果

さらに、1/3 オクターブ解析で、リオン社前の道路の音、JFE の製鉄所内の音、千葉県館山市の風車音（強風時）、マイクに風を当てて測った神社での音、石狩湾近くの数か所で、風車群の音から計算した平坦特性での音圧レベルを比べてみると次の様になります。

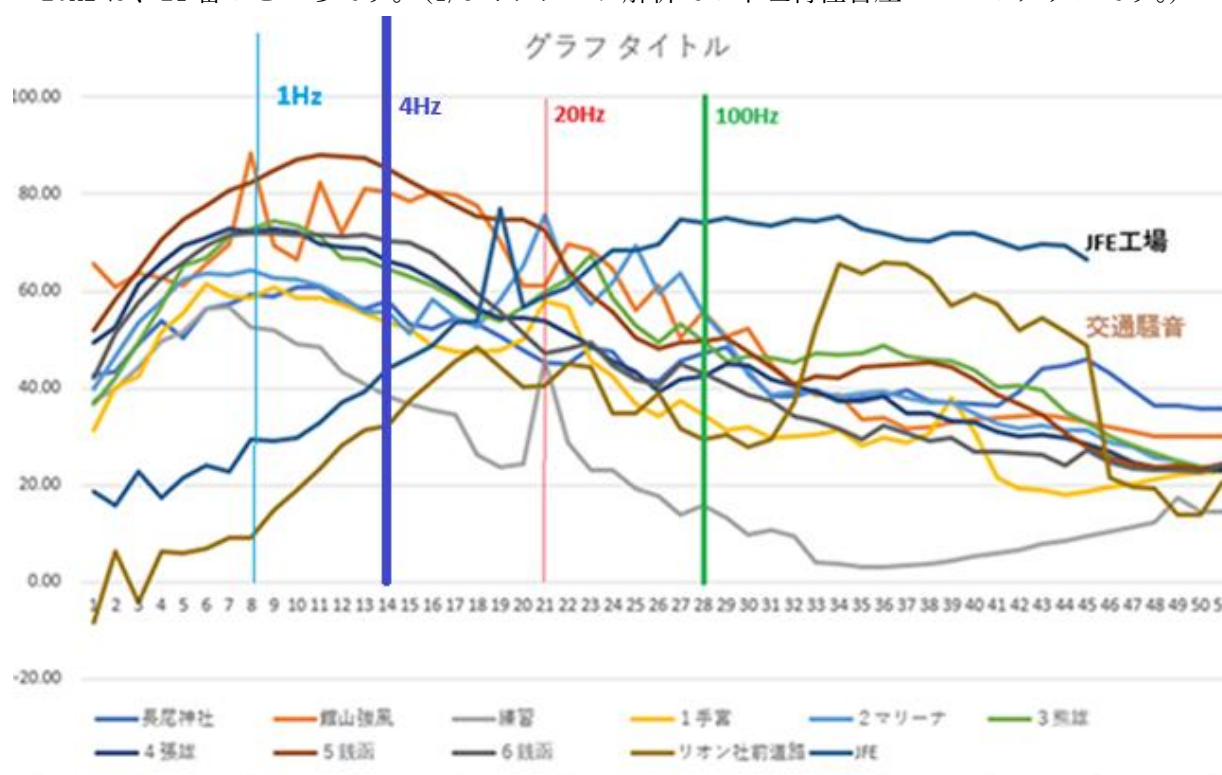
なお、番号と中心周波数（0.19Hz～20000Hz）の関係は次の表です。

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
中心周波数	0.19	0.25	0.32	0.40	0.50	0.63	0.80	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00

番号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
中心周波数	10.00	12.50	16.00	20.00	25.00	31.50	40.00	50.00	63.00	80.00	100.00	125.00	160.00	200.00	250.00	315.00	400.00

番号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
中心周波数	500.00	630.00	800.00	1000.00	1250.00	1600.00	2000.00	2500.00	3150.00	4000.00	5000.00	6300.00	8000.00	10000.00	12500.00	16000.00	20000.00

20Hz は、21 番のところ。（1/3 オクターブ解析での平坦特性音圧レベルのグラフです。）



グラフの中央部分（8 番～33 番、1Hz～315Hz）の辺りでは、風車音は、全体として周波数が大きくなると音圧レベルが減少するが、交通騒音などは周波数が高くなると音圧レベルが上昇する。

8 番（1Hz）から 15 番（5Hz）辺りでの違いが大きい。これを風車からの超低周波音だと認めたくない人はこの部分を“風雑音”というのですが、風車音が発生する仕組みを考えて、詳細な周波数を確認すれば、離散的な特徴から風車の超低周波音だと分かるのです。

石狩湾の風車群の中心から 10km、最も近い風車まで 5km の銭函での数値を検討してみます。

銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）は、40.500459dB です。

20Hz 以下では、風車音の音圧が高いのですが、20Hz 以上では、神社での音や JFE の工場音の音圧が高いのです。

次の表の騒音の種類ごとに、右端の数値の平均値を取れば、風車騒音が一番低くなっています。

表 2 様々な騒音の種類と騒音レベル

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

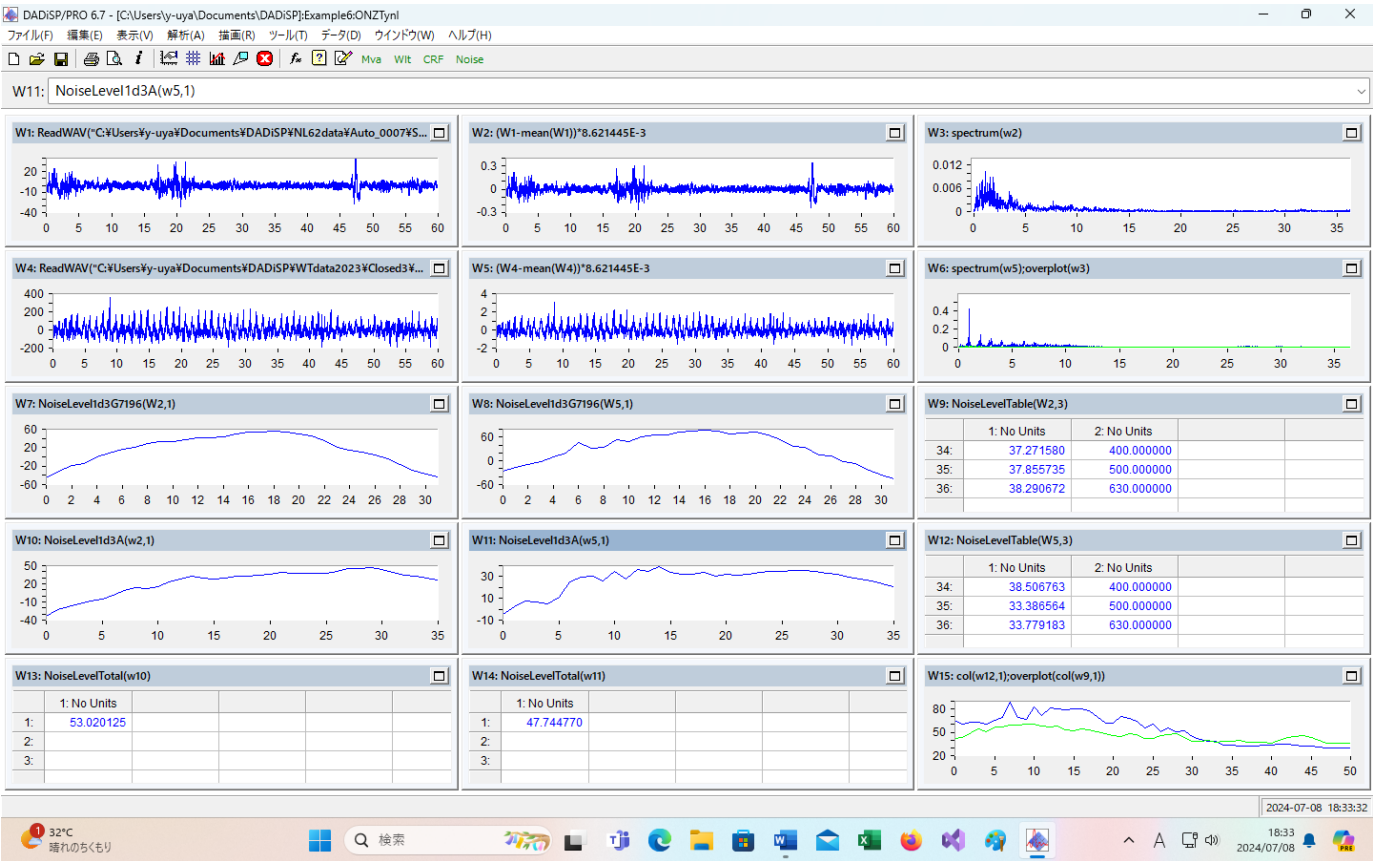
※表 2 中の No. は、図 8 中の騒音の種類を示す番号に対応する。

騒音として、20Hz 以上の成分だけを考えれば、一般騒音の方が A 特性音圧レベル (A) が高いのです。G 特性音圧レベル (G) (0.25~315Hz) を計算すれば、(距離にもよりますが) 風車音の方が大きくなります。

結果として、一般騒音は G が小さく A が大きいので G-A は小さい数値になります。

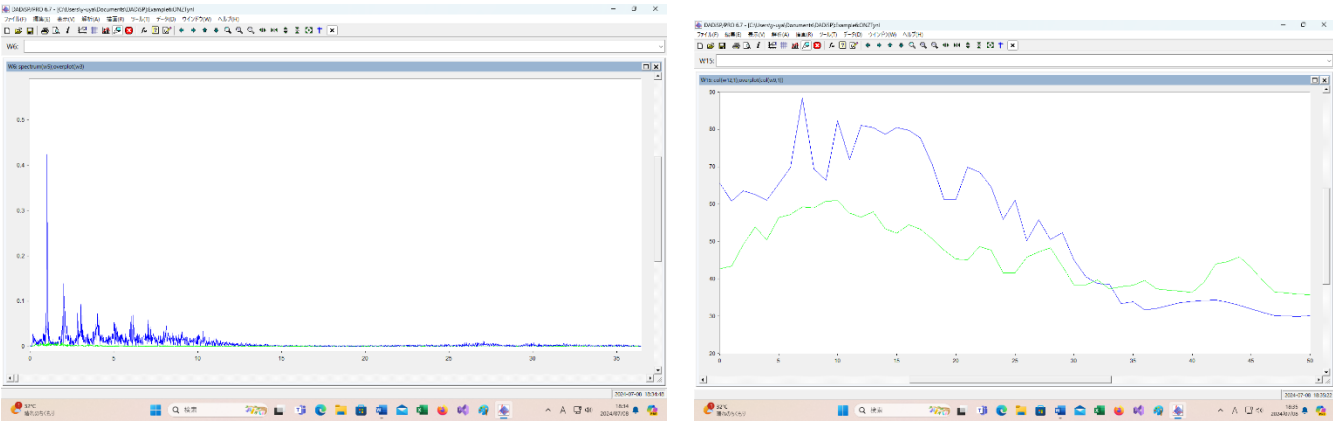
風車音では、G が大きく A が小さいので、G-A は大きな値になります。

長尾神社と館山の風車の例からも分ります。



周波数スペクトル

1/3 オクターブ解析での音圧レベル、平坦特性



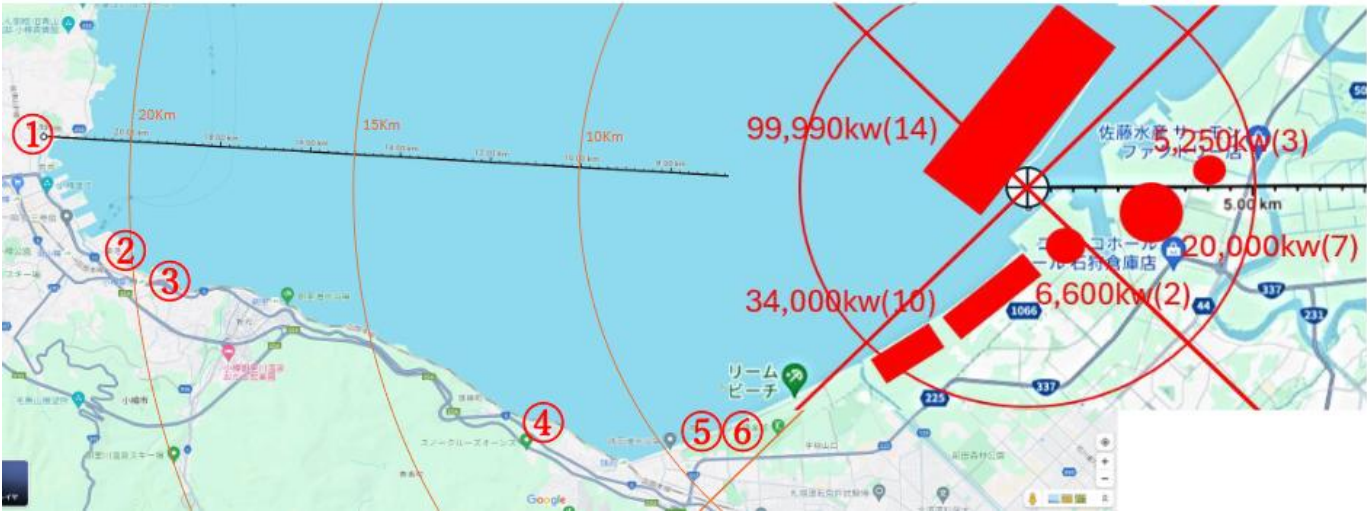
石狩湾では、海上で 14 基の風車が動いています。（さらに陸上に 22 基で合計 36 基）

海の上に立つ、風車！その数 14 基！国内 2 例目の「大規模洋上風力発電所」です。東京の再生可能エネルギー会社と火力発電大手が工事を進め、1 月から運転を始めました。政府は再生可能エネルギーを 2030 年度には総発電量の 4 割近くまで増やす計画で、風力発電所の建設もすすんでいます。

風力発電は、風の力で風車を回して発電するクリーンエネルギーシステム。陸に比べて、海の上では安定して風が吹くため、洋上風車が注目されています。

14 基合わせた発電量は、8 万 3 千世帯分。大型の蓄電池に蓄えて、一般家庭や、企業が利用するデータセンターに安定供給しています。

下の地図の①～⑥での計測結果です。（鈴木氏の「低周波音を測ってみた」小樽から銭函まで 2024/3/21）



	場所	開始時刻	測定時間	備考
①	手宮公園	16:17	10分	車通行1～2台、カラス
②	マリーナ	16:50	6分26秒	小型船のエンジンの音、監視船のアナウンス、海猫の鳴声
③	熊碓	17:09	10分	波の音、海猫の鳴声、交通量の多い道路近い
④	張碓	17:44	10分	車の通行 3 ～4台
⑤	銭函	18:14	10分	強風、マイクに直接風が当たらないように車の向きを調整
⑥	銭函	18:25	10分	⑤と同じ場所でドアを閉めて測定

銭函での計測



マリーナと熊碓を別とすれば、風車音の影響で、G-A が 20～30 程度になっていることが分ります。神社では、G-A=8.43 となっていて、風車音の影響が無いと判断できます。J F E の製鉄所では-0.46、リオン社前の道路では、-15.20 になっています。熊碓では、交通量が多い関係で 17.27 になっています。

G-A>15 の場合は、風車音の影響が大きい
G-A<10 の場合は、風車音の影響は小さい
と判断できます。

	G	A	G-A
手宮1、A=43.69, G=68.92	68.92	43.69	25.23
マリーナ2、A=48.93, G=85.08	85.08	48.93	36.15
熊確3、A=55.07, G=72.34	72.34	55.07	17.27
張確4、A=43.31, G=67.85	67.85	43.31	24.54
銭函5、A=52.62, G=87.06	87.06	52.62	34.44
銭函6、A=40.5, G=67.95	67.95	40.5	27.45
館山弱風、A=49.09、G=79.06	79.06	49.09	29.97
館山強風、A=47.74、G=82.92	82.92	47.74	35.18
神社、A=53.02、G=61.45	61.45	53.02	8.43
JFE製鉄所	81.42	81.88	-0.46
道路(リオン社前)	55.92	71.12	-15.20

石狩湾にある 36 基の風車音の予測計算（点音源と仮定したもの）で、

$$L_n = L_W - 20 * \log R - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使った場合は、

風車36基	2000	3000	5000	7000	10000	15000	20000	25000
A	43.35	41.48	39.12	37.68	36.48	35.7	35.47	35.4
G	70	66.49	62.09	59.23	56.25	53	50.86	49.34

となるが、実測値よりはかなり小さい。

[線音源の場合（日本環境アメニティ株式会社）](#)の式（線音源と仮定したもの）、

$$L_n = L_W - 10 * \log R - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと大きすぎる数値となる。

風車音の指向性と振動面の大きさを考えて、



点音源と線音源の中間の式

$$L_n = L_W - 15 * \log R - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと実測値に近い数値、

風車36基	2000	3000	5000	7000	10000	15000	20000	25000
A	53.61	50.6	46.59	43.84	40.99	38.25	36.9	36.24
G	86.5	83.86	80.53	78.34	76.01	73.38	71.5	70.05

となる。

式、

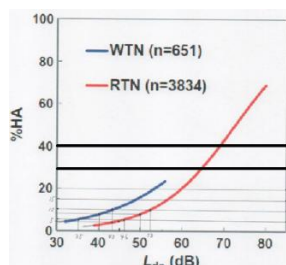
$$L_n = L_W - 20 * \log R - 8 - \Delta L_{AIR}$$

で予測した風車が1基の場合の数値と比較すれば、被害の様子も推測できます。

風車1基	45m	50m	80m	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	900m	1000m
A特性音圧レベル	55.34	54.43	50.44	48.59	43.26	40.69	39.24	38.35	37.77	37.36	37.07	36.85	36.68
G特性音圧レベル	87.39	86.47	82.39	80.45	74.43	70.91	68.42	66.49	64.92	63.59	62.44	61.43	60.53
G-A	32.05	32.04	31.95	31.86	31.17	30.22	29.18	28.14	27.15	26.23	25.37	24.58	23.85

例えば、手宮は、G=68.92 d B、A=43.69 d Bなので、風車から200m～400m程度の場所の被害と同程度だと言えます。

A=43.96 d Bの風車騒音は、53 d B程度の交通騒音に相当します。



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

“非常に不快である”と感じる人の割合が10%程度になります。単に“不快である”と感じる人を考えれば、20%～30%程度の人が不快感を覚えます。

風車は夜も音を出します。交通騒音で53 d Bの音は、基準値と比べても大きい数値です。

地域の類型	基準値	
	昼間	夜間
AA	50デシベル以下	40デシベル以下
A及びB	55デシベル以下	45デシベル以下
C	60デシベル以下	50デシベル以下

(注)

- 1 時間の区分は、昼間を午前6時から午後10時までの間とし、夜間を午後10時から翌日の午前6時までの間とする。
- 2 AAを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。
- 3 Aを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。
- 4 Bを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。
- 5 Cを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

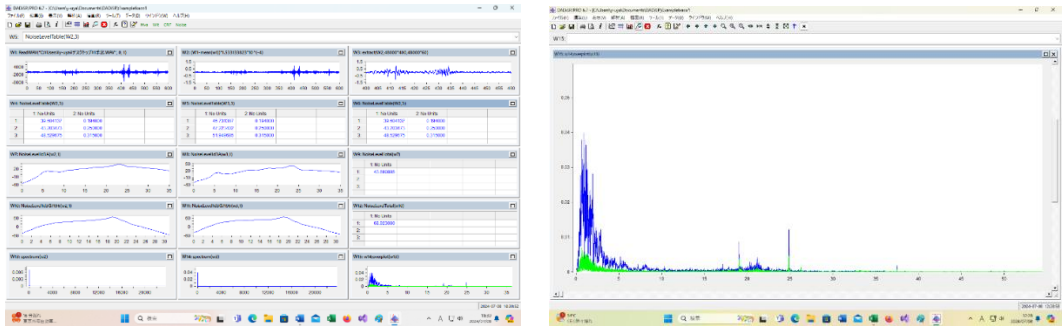
この数値の意味は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチャー）の資料によれば、

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"> ・ 騒々しい事務所の中 ・ 騒々しい街頭 ・ セミの鳴き声（2 m） ・ やかんの沸騰音（1 m）
	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"> ・ 洗濯機（1 m） ・ 掃除機（1 m） ・ テレビ（1 m） ・ トイレ（洗浄音） ・ アイドリング（2 m） ・ 乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	5 0 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ 静かな事務所 ・ 家庭用クーラー（室外機） ・ 換気扇（1 m）
	聞こえるが、会話には支障なし	4 0 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ 市内の深夜 ・ 図書館 ・ 静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	3 0 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ 郊外の深夜 ・ ささやき声
	ほとんど聞こえない	2 0 db	<ul style="list-style-type: none"> ・ ささやき ・ 木の葉のふれあう音

さらに、問題が残ります。風速の変化で時々音が大きくなります。

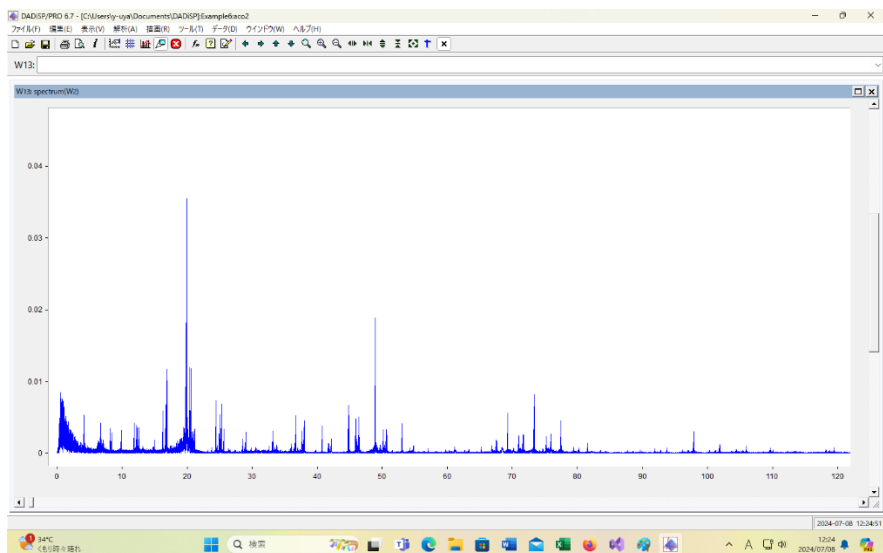
風車群から 20 k m離れた手宮では、強風時に G=70.12、A=45.80 となる時間が 60 秒程度続きます。交通騒音に変換して、45+10=55 d B です。時々目覚まし時計が鳴る状態です。これでは、夜中に何度も目が覚めます。

手宮①



緑の線は平均値、青い線は強風時の音圧です。

マリーナ



では、船からの音（15～100H z）がかなり影響しています。

石狩湾の近く、手稲山口（風車群の中心から 10 k m、一番近い風車から 5 k m）の団地では、ヘリコプターが近くに着陸するかのような音が響いています。



風車からの距離は、銭函とほぼ同じです。

睡眠障害 の閾値

40db/航空機夜間の騒音レベルLnight

- ・ 約11%の対象者が反応
- ・ WHOの環境騒音ガイドライン

35db/屋内最大騒音レベル

- ・ 覚醒閾値
- ・ 欧州夜間騒音ガイドライン

30db 睡眠に影響を与えないのされるレベル

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、

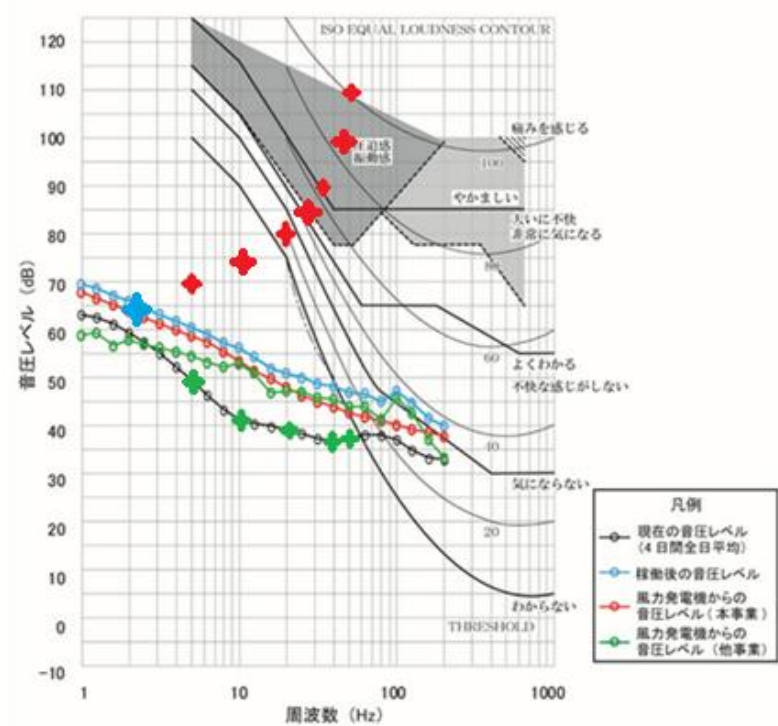
中心周波数 (Hz)	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
銭函 (平坦特性 d B)	51.39	57.76	62.60	65.99	69.41	71.60	71.82	71.97	71.45	71.53	71.33
中心周波数 (Hz)	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
銭函 (平坦特性 d B)	71.54	70.30	69.88	67.92	63.91	59.42	55.67	51.17	47.02	48.24	49.40
中心周波数 (Hz)	40	50	63	80	100	125	160	200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



出典：「文部省科学研究費『環境科学』特別研究：超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班『昭和 55 年度報告書 1 低周波音に対する感覚と評価に関する基礎研究』より作成
図 10.1.4-8(1) 圧迫感・振動感を感じる音圧レベルとの比較結果
(環境①：春季全日平均)

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。上のグラフは、ある風力発電の会社が作った 2 つの資料を合成したものです。

錢函では、2Hz の時は、71.53 d B ですので、ガタツキでの安眠妨害も心配になります。。