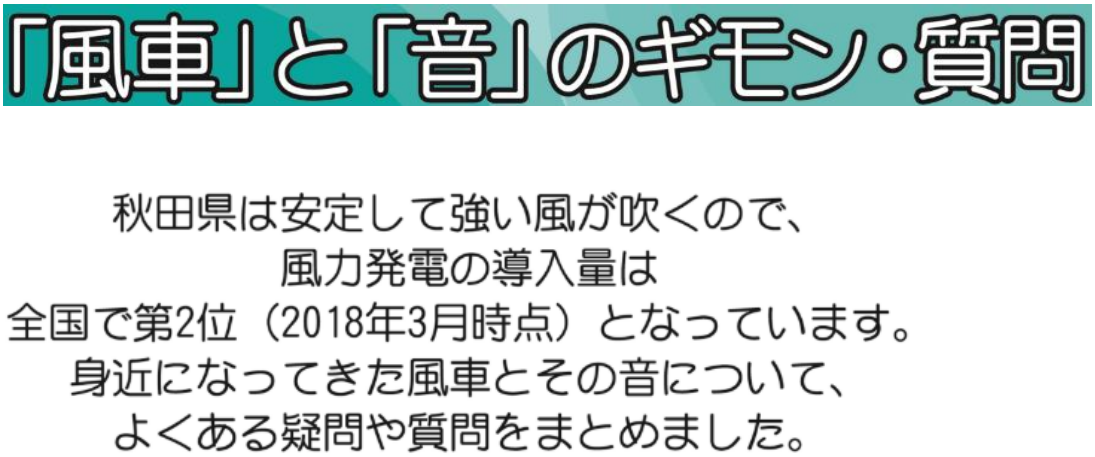
宇山靖政

内容

風車と音のギモン質問-秋田県

秋田県は、風車建設を推進する目的で、上記のパンフレットを作成しました。



風車とその音について、具体的な計測と解析結果を示さないままで、勝手な主張をしている。

由利本荘市民は風車の被害を受けています。

秋田県由利本荘市の道川さんは次の様に言っている。（2024 年 10 月 1 日の長周新聞）

低周波が引き起こす動悸や胸部痛がいまだに続く

由利本荘市　道川 誠二（71 歳）

私は、由利本荘市内の日本海に近い団地に住んでいる【地図参照】。2012 年に子吉川河口の本荘マリーナに本荘風力発電所（1990 ｷﾛﾜｯﾄ、1 基）ができた。私の家から 1・9 ｷﾛのところだ。そして 2017 年、その南側に電源開発の由利本荘海岸風力発電所（2300 ｷﾛﾜｯﾄ、7 基）ができた。これは私の家から 2・4 ｷﾛだ。

加えて 2019 年の秋頃に、今度は自宅から北東方向約 2 ｷﾛの三望苑で、由利本荘第三風力発電所（1990 ｷﾛﾜｯﾄ、1 基）と由利本荘第二風力発電所（1990 ｷﾛﾜｯﾄ、1 基）が稼働し始めた。

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、**「事業者に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。**

同年9月初め、耳鼻咽喉科の病院で聴力検査をしてもらった。私は若い頃、突発性難聴になって左耳はまったく聞こえない。聞こえる右耳は、高い周波数は歳相応に聴力が落ちているが、低い周波数はそれほど落ちていない、との検査結果だった。睡眠導入剤と精神安定剤を処方された。

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。待合室にいる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、寝ているときグウ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。

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

市役所生活環境課が「遮音効果の高い耳栓を試してほしい」というので、それを借りてグウングウンという音が聞こえる夜中に試してみた。耳栓をすると低周波音の振動だけが聞こえて、しないときより気になって眠れなくなるようだった。今は、ラジオを聞いているとマスキング効果で寝られるよとアドバイスを受け、そうしている。

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

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

症状と時間や風速を日記に

海岸の風車も三望苑の風車も、どちらも家から約2㌔のところにあり、両方にはさまれた真ん中に私の家があ

る。だから両側から低周波音が来ているのではないかと思う。南西の風が相当強いときには風車が回る騒音が聞こえることもあるが、多くがグウングウンという低周波音だ。ブレード（羽根）と支柱が交叉するときに生まれる衝撃音で、支柱の振動が空気振動で伝わり、頭にグウングウンと響くようだ。

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

道川誠二氏がつけている日記を表にしたものの一部（表１）

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

道川氏の体調異常と近くの風力発電の稼働状況の関係（表２）

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

※回転数は３事業者の風車の平均値

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

今年 1 月、このデータをもって市役所生活環境課および三事業者との会合を持ち、「私の体調異常は明らかに

風車の低周波音が引き起こしているのだから、夜間だけでも風車を停止してもらいたい」と再度申し入れた。しかしその後、一切音沙汰がない。

道川氏の家の中で低周波音を測定した。右のＺ特性の測定器は 83・6 デシベルを表示したが、左のスマホ（Ａ特性）は 34・5 デシベルを表示した

低周波音の測定器を借りて枕元に置き、体調異常をきたしたときの音の大きさを測ってみた。スマホのアプリはＡ特性（人間の耳にどう聞こえるかに配慮されたもので、耳に聞こえない低周波音はカットされる）に設定されているが、この測定器はＺ特性で、補正をかけない自然の音が測定できる。

この写真は、西北西の風 19・8㍍という強風が吹き、ナセルが 1 分間に 18 回転したときに撮ったものだ。2023 年 1 月 25 日午後 9 時 30 分頃だ。測定器は 83・6 デシベルと極めて高い値を示した。とくに 1～4 ヘルツという低周波領域で高い数値を示している。一方、スマホは 34・5 デシベルを表示した【写真参照】。実際にはこうした強い低周波音が出ているのに、耳に聞こえないのだから身体に害を及ぼすことはないと主張しているのが環境省だ。

この様な訴えが、実名で提起されているが、秋田県由利本荘市は、
“これまで、匿名を除き、風車による健康被害の相談は無いものの、そうした相談があれば、他の騒音相談、騒音苦情と同じように、その内容をお聞きし、音の発生源となる原因者へお伝えし、対応を求めることになります。”

と言う。

市民は、更なる被害の拡大を心配しています。

因果関係に関しては、山形県遊佐町での説明会の記録ですが、
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
〇遊佐町は洋上風力発電を、沿岸から１km～５km 先に洋上風力発電を作ろうとしているが、欧米諸国は沿岸から 22.2km 以上、中国でさえ 10km 以上離さなければ、建設許可がおりないと聞いた。それは洋上風力発電から出る害があるからではないか。一番心配しているのは超低周波による風車病の被害である。遊佐町、酒田市、鶴岡市に洋上風力発電が 100 基以上できるとすれば、自然豊かな庄内地方一帯が、人の住めない場所になると思う。風車病の症状は、めまい、吐き気、頭痛、鼻血、不眠など。再生可能エネルギーの洋上風力発電に反対しているのではないが、岸からの距離に不安を感じている。もし風車病が出た場合、直ちに洋上風力発電を止めるという誓約書を国や県は出してくれるのか。

回答
【資源エネルギー庁】
〇風車病と言われている話が、どこまで**科学的に検証**されたものかということを考える必要があります。海外の公的機関では風車病と呼ばれるものの**因果関係**を否定している話も存在します。風車以外の要因もある中で、本当に風車によって生じた影響であることが確認されなければ、一方的な主張で風車を止めることは困難です。ご意見にあるような影響が風車によるものか検証されることが必要ですが、一方で、影響が無いことを事前に証明することは不可能だと思います。**因果関係を検証した上で、仮に影響が確かめられたのであれば、必要な措置を取ることが必要だと考えています。**
とあった。

上記の資源エネルギー庁の主張は、業者の主張と一致します。
業者は、三重県で次の様に言っていました。
風車との因果関係が証明されない限り、風力発電は稼働し続ける

シーテック駒田課長／間違っているかはわかりませんが、「停止をしない」といった記憶は私にはありませんでした。間違っていたらごめんなさい。

小川／「できません」とおっしゃったんです。

シーテック駒田課長／「できません」といったことはないです。確認しましたけど、「できません」は。もし説明していたら訂正させていただきます。

小川／私の質問は、建てられて、ひとりでも健康被害が出たら、停止撤去をしていただけるんですか？って聞いたんですよ。つまりそれに対して、「できませんは間違いです」ということは…答えは？

シーテック駒田課長／停止はしますけど、撤去はお約束できませんといったんですよ。

シーテック伊藤部長／因果関係が分かれば…

小川／ですよね。因果関係ですよね。つまり因果関係が証明されないから、世界中で泣き寝入りして、どうしようもなくて困っているということで、その回答には何にも安心できない。

シーテック駒田課長／笠取では健康被害を、ということではなくて、動悸とかめまいとか耳鳴りを訴えられた方がいました。地区を含めて４件。全体で、まずどの時間帯で、どの季節でどんな音がなっているか、調査をさせていただきました。その調査結果において、まず、あそこの地区の環境騒音はオーバーはしていませんでした。それで調査した結果、この風向、この季節、この時間帯で、睡眠障害とかめまいとかを訴えられているということがわかった。それで地区の皆さん全体で、何度も会合を開いて、原因、風車の音が、当時の風車はやはりうるさかった。車でいうラジエーターのファンの音。いろいろな風車の音自体がうるさかったので、まず風車のメーカーと協議して軽騒音化をはかりました。これ事実です。何ｄＢから何ｄＢに下がったというので、風車を停止して、オンオフして、どの風車が影響しているかを調査をして、地区全員の皆さんに説明をしております。３回位。風車メーカーで低騒音化対策しました。調査結果で、この風車がやはり健康被害の要因のひとつですねという確認をして、地区の皆さん全体に説明をしています。それで、地区の皆さまは当時の…

小川／あのね、長すぎて…シンプルに答えてくださる方！

シーテック駒田課長／それは御存じでよろしいですか。そういう経緯は。

小川／知らないけど、その調子で言ってたら、これからの答え、大変なことになりますけど。
もしそういうことが起こった場合にどうされるんですか？と言っているわけですから。

シーテック駒田課長／原因を調査して、風車が原因っていうことが明らかだった場合は停止いたします。

小川／それが証明できなかった場合は？

シーテック駒田課長／その場合は、専門家の先生に聞かなければならないと思います。あとは法律に基づく対応になってくるかと思います。

小川／それがあったことで、今までそんなんじゃなかった人がなっているのに、関連性が証明できないから自分たちのせいじゃない、っていうような対応をするということでよろしいですか。関連性が認められない場合に、そういう対応をしてきたし、これからもさせていただく予定です、ということでよろしいですか。

シーテック駒田課長／関連性が証明できないっていうのは、私らはどう解釈したらいいか…

小川／今までそんなことになっていないのに、それが建ったことで、その付近の人たちが何件も被害を訴えてき

たときに、関連性が証明できないから自分たちの責任じゃない、という対応をする、ということでよろしいですか。

シーテック駒田課長／関連性が証明できれば、やるんですけど…車の騒音でもなんでもそうですよね。

小川／ごめんなさい。日本語が成り立ってないので、他の方答えていただけますか。

シーテック駒田課長／責任がないので、なぜやるのかがわからない。

小川／世界中その風車が立っているところで、同じことが起こっているということは、まさかご存じないわけないですよね。その専門の会社の方が。皆さん泣き寝入りを強いられているんです。同じ理由で。だから建つことに不安を覚えて嫌だと言うんです。それに対して関連性が認められない場合には責任を取る必要がないんですよね、って今、答えられたっていうことでよろしいですか。

シーテック駒田課長／世界中の健康被害の条件はわからないです。過去には 300m、500ｍで建てている風車はいっぱいあるんです。

小川／えっと、お名前はなんておっしゃるんですか。

シーテック駒田課長／駒田です。

小川／じゃあ、駒田さん、引越してきて下さい。空き家いっぱいありますから。それで健康被害あっても証明できないということで。お孫さんもいらっしゃるんだったら、皆連れて引っ越してきてくれます？住んでくれます？ぜひとも。

シーテック駒田課長／一人しかいない。

小川／関係ないです。その一人の人（孫）を人柱にできますか？皆が嫌と思っているのはそういうことですなんですよ。誠意のある対応をしていただける方に答えていただきたいです。誠意のある対応が全員できないんだったら、誠意のある対応できない会社です、といってこの場をお開きにしていただいてもかまいません。

シーテック今井／さきほど駒田がいいましたのは、風の向きだとか、気温だとか、いろんな気象条件によって与える影響を分析して因果関係をはっきりわからせてから。当然ながら影響がでれば…そういうことを理解していだたきたいんです。

小川／さっきから何べんも繰り返しますが、世界中で同じようなことが起こっていて、シーテックさんが建てられたやつでも、健康被害がおこっているところで、今だにそんなことを言われているということは…人変わっても同じようなこといわれるんですけど…

シーテック今井／ただ事業者として原因追及っていうのはしないとやっぱり止められないです。

小川／原因は建って回っていることです。それを止めたらそのような症状がでなくなるんだから、それが原因だったということに普通なるんじゃないですか。

シーテック今井／それはだから原因を追究して止めるっていうこという行為に…

小川／じゃあ生ごみのバケツ開けます、くさいです、閉めます。一日たったら匂いません。だけど、なんかいろいろ測って数字ではでないから、原因は生ごみのバケツではないということで、あなたは生ゴミのバケツを開けたまま、暮らしますかっていうことですよ。閉めませんか。

シーティック今井／生ごみのバケツと、自然界に建っている風車と、やっぱり気象条件が影響するのがいろいろ変わってくる。

小川／他の方に答えていただきませんか。

シーテック今井／そういうことを、でも、小川さん、理解していだだけますよね。

小川／お名前なんておっしゃるんですか。

シーテック今井／今井ですけども。

小川／今井さん、私のいうこと、さっき言ってたこと、理解されましたか。

シーテック今井／はい、理解しているつもりですけど。

小川／皆がそれで不安に思っているということを理解されましたか。自分たちで同じ立場だったら不安に思いませんか。みんなもそういうのであっちこっちで、すぐそばでも被害にあっていたら、建つことをウェルカムですか。自分の暮らしとして答えていだだけませんか。

シーテック今井／自分の暮らしとして、因果関係が立証されれば止めるということで、約束さえしてもらえれば。

小川／因果関係が立証されなかったら止めないということで、よろしいですか。
因果関係が立証できない限り、うちはどんな被害の人が訴えても、今までみんな健康やったのが、めまいするって、吐き気するって、寝られないということで、ここでは引っ越したいけど引っ越し先がない、家を捨てなあかん、となっても、それはうちは関係ないということで、言いますってことで、立証されない限りはそういうふうに答えますということでよろしいですか。

シーテック今井／因果関係があるんであれば…

小川／今質問したのは、「ですか？」と聞いているので、「はい」か「いいえ」で答えて下さい。

シーテック今井／因果関係が立証されれば、風車を止めます。されなければ稼働します。

小川／どんなにたくさんの人が訴えたとしても稼働しますか。

シーテック今井／はい。稼働します。ポイントは因果関係が立証されるかどうかです。

小川／で、今世界中で立証ができないから泣き寝入りしているという事実の上で、うちも同じように立証できない可能性があるから、そういうふうに答えるということでよろしいですか。他の世界中のよその業者と同じように、どんなに被害があって皆が苦しんでいても止めないと今おっしゃいましたが、それでよろしいですか。

シーテック今井／ですから、因果関係が立証されるかどうかがポイント。

小川／だから立証されなかったら、世界中の人たちと同じように私たちは泣き寝入りをしないといけないということで理解していいですか。

シーテック今井／ことばの言い方がね…。要はシンプルに答えろっていうことですので、因果関係が立証されれば止めます。されなければ稼働します。

住民（男性）／自然を元に戻すっていう約束やんね。だから２０年後に撤退して、全部コンクリートも取って、道もみんな直して、やっとそこであなたたちの責任は終わるんですよ。自然は戻らなあかんのですよ。草木は戻さないとあかんのですよ。戻すっていう約束ですよね、これは。

小川／土地を現状に戻すっているのは、見た目じゃないんですよ。そこには、微生物からいろいろ何から住んでいるんですよ。で、人が体を壊したり、精神を壊したり、毎日毎日めまいが起こったり、自律神経失調になったり、睡眠障害になっている人って、まずストレスで脳がやられるんです。それで身体もやられるんです。

それに対してどう補償するんですか。一人の人の補償にすごいことになるんですよ。水俣病でどうなりましたか。公害ってそういうことなんですよ。それほんとに社会問題になったときに、今の時期でこんなことして、こんな答えられていないってことが公になったらそれでも建てて、それに対応できひんってなったら、もう、ひとりひとりに補償していったらそれで倒産ですわ。そんなことしてるんですよ、やめた方がいいと思います。そこまでしてやる価値がないです、得がないですよ、シーテックさんに。ほんとに危ないですよ、これ。

今ここにきているのは大人ですけど、子どもたちもですよ。小さい子いっぱいいるんですよ。阿波祭り行ったら、すごく可愛いんですよ。その子らが皆しんどくなるんですよ。子どもたちってものすごく敏感なんですよ。こういうことが起こるかもしれないけれども、起こった時には誠意をもって止めて撤去しますという約束をとってくれない限り。しかもその説明をしてもらって、約束をしたうえでアンケートを取ってもらえますか。子どもも住民ですから。５人家族は５票。それで取ってもらえますか。

シーテック駒田／本日は、撤去という約束はできません。

小川／でもそのような要望があったので。社長と相談して下さい。この約束がされないのに、つくられることを決定されたら、それ、ものすごくまずいですよ。それわかります？

シーテック駒田／ご意見として伺います、本日は。

2.2 健康被害

2.2.1 症状と病名

風力発電機（以下「風車」と呼ぶ）から発生する低周波音 Low frequencynoise（100Hz 以下または 200Hz 以下の人間に聞こえにくい音）・超低周波音 Infrasound noise（低周波音のうち 20Hz 以下の人間に聞こえない音）などによる健康被害について，国内外に多数の研究報告がある。

症状は，風車から一定の距離範囲において生じ，国内外でほとんど共通している。アメリカのニーナ・ピアポント医師（Pierpont,2009；鶴田日本語訳）によると，風車に起因する症状として，睡眠障害・頭痛・耳鳴り・耳閉感・めまい（頭のふらつき，ほとんど気絶しそうな感覚風力発電事業に関する環境保全上の諸問題などを含む）・回転性めまい（回転しているような感覚や部屋が動いているような感覚）・吐き気・かすみ目・頻拍（心拍が早くなること）・イライラ・集中力や記憶力の異常・パルセーション（体の中が脈打つ感じ）や振動している感覚に伴うパニック発作の 12 項目が挙げられている。

国外の研究報告では，上記の他に，睡眠遮断・偏頭痛・極度の疲労感・不安感・怒気・短気・鬱ぎ込み・高血圧・心臓血管・ガンなどの症状が報告されている（WHO,1999;Pierpont,2006;
Harry, 2007;Gohlke, et al. 2008;Nissenbaum, 2010;Salt & Hullar, 2010;Shepherd, et al.
2011;Krogh,et al.2011;Nissenbaum,et al.2012）。国内の健康被害例は，岡田（2000a，2000b,
2013），汐見（2006，2009a，2009b），鶴田（2009，2010a，2010b，2011，2012，2013），および
武田（2011，2012，2013，2013-2014）に詳しい。

上記の症状に対して，ニーナ・ピアポント（Pierpont,2006,2008,2009）は「風車症候群 Wind turbine syndrome」，ポルトガルのマリアナ・アルヴェス-ペレイラとヌノ・カステロ-ブランコ（Alves-Pereira & Castero-Branco, 2006, 2007a, 2007b）は「振動音響病 Vibroacoustic dis-eases（VAD）」，汐見（2006）は「低周波音症候群＝外因性自律神経失調」や「超低周波空気振動健康障害」の病名をそれぞれ与えている。

他方，WHO のガイドライン（WHO,1999）やイギリスのアマンダ・ハリー医師（Harry,2007）は「健康被害 Health effects」，イギリスのバーバラ・フレイとピーター・ハッデン（Frey &Hadden,2007）は「健康問題 Health problems」，カナダのカーメン・グログとブレッド・ホーナー（Krogh & Horner,2011）は「健康被害 Adverse health effects」として特定の病名を付けずに多数の健康被害例を報告している。

以上の健康被害は，**一定の距離範囲に生じるが，その中で症状を訴える人とそうではない人がおり，風車建設後に発症する時間に個人差があり，さらに被害者の症状が長期間の低周波音・超低周波音の曝露によって鋭敏または重篤になっていく事実が知られている。しかし，このように個人差が認められることによって，風車による健康被害がないと言うことができない。それは，風車から一定の距離範囲で同様な症状が世界共通で生じている**からである。

2.2.2 健康被害が生じる原因

上記症状が生じる原因として，アルヴェス-ペレイラとカステロ-ブランコ（Alves-Pereira &Castero-Branco,2006,2007a,2007b）は，低周波音・超低周波音が体の様々な器官を振動させることから症状が生じることを指摘している。また，**ニーナ・ピアポント**（Pierpont,2009）は**「低周波音・超低周波音などによる内耳の前庭への刺激と内臓器官の振動がそれぞれ脳に誤った情報を与えるために症状が発生する」と分析**している。ピアポントは，低周波音・超低周波音だけではなく，騒音（可聴音），振動，共鳴，ストロボ効果 Strobe effects・シャ

ドーフリッカーShadow flicker が総合的に作用することを指摘している。さらに，アメリカのアレック・ソルト医師ら（Salt & Hullar,2010）は，耳の蝸牛管も超低周波音に敏感に反応していることを指摘している。
上記のストロボ効果は，ブレードの回転に伴って，ブレードの影が高速で次々と通過して行き，その下にいるとストロボを浴び続けているようになる影響であり（武田，2011），シャドーフリッカー（影のゆらぎ）とほぼ同義的に使用されている。バーバラ・フレイとピーター・ハッデン（Frey & Hadden,2007）は，シャドーフリッカーが日中だけではなく夜間の月光によっても生じる研究結果を紹介している。
岡田（2013）は，医学的所見ではなく，被害者をいかに救済できるかを考える工学技術者の立場から現場の問診及び現象の観察に基づいて考察した結果と断りながら，「超低周波音や可聴音が引き起こす心身への生理的症状は，大きく分けて，聴覚系を通してストレスが関与して発症させる場合と，前庭に直接音圧波が影響して前庭神経系を経由して生理的症状を発生させている場合があるのではないか」との考えを示している。
武田（2013）は，国内外における健康被害の実態に関して，症状が既述の内容からほとんど逸脱しないこと，風車からの距離が 200m～３km の範囲でほとんど同じ症状が生じること，そして，風車が止まると症状が収まり風車から十分に離れると症状がなくなることが世界に共通していることから，風車が健康被害を引き起こす因果関係は明らかであると明言している。

他方，**風車の出す低周波音・超低周波音と医学的・生理学的状況の間の因果関係が十分に証明されてはいないとする推進側の反論**がある。バーバラ・フレイとピーター・ハッデン（Frey& Hadden,2007）は，音響工学の研究を論拠とした主張と健康被害の実態について多数の文献を比較検討している。そこには，欧米においても超低周波音（０～20Hz）という**「聞こえない音が人体に影響するとの信頼できる証拠がない」とする音響工学に基づいた研究報告があり，それを根拠にして事業者が「健康被害がない」と主張する**ことを述べ，一方で，人体が超低周波音に反応する医学的な研究成果を示して，事業者の主張が間違いであると記している。
以上の対立した意見のうち，**我が国では，前者だけが持ち込まれ，音響工学的な測定値とその重み付けデータに基づき健康被害に風車との因果関係が認められないことを理由にして，いまだに国の規制基準が策定されていない。環境省は，風力発電による健康被害を単に「苦情」と言い，深刻な被害者を救う規制基準を用意していない。**
環境省における第３回風力発電施設に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会（2010 年 12 月９日）において，一般社団法人日本風力発電協会からのヒアリング資料が示されている。同資料では，アメリカ風力協会 AWEA とカナダ風力協会 CanWEA(2009)による「風車が発生する音は人体の健康への影響を引き起こさない」こと，オーストラリア国立保険医療研究評議会 NHMRC（2010）による「風車には直接の病理学的影響はなく，人体に影響を及ぼす可能性があるとしても，既存の設置ガイドラインに従うことによって最小化することができる，**現代の風車からの低周波音・超低周波音は問題にならないレベルであり，健康影響を及ぼすという証拠は存在しない，風車に否定的な意見を持っているとその影響を受けやすくなる，**
ニーナ・ピアポント医師が主張する「風車病」は査読論文がなく，音響学者から厳しく批判されている」ことなど，風力発電事業の推進に都合が良い報告内容が引用されている。他方，㈱中電技術コンサルタント（2013）による『環境省請負業務平成 24 年度風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書』では，「これまで発表されている関連学術論文等を収集し評価した結果，風車騒音と健康影響との因果関係を示す科学的根拠はなかった」との結論を示している。
しかし，アメリカ風力協会とカナダ風力協会の結論に関するコルビィらの報告（Colby,et al.,2009）を読むと，風車から発生する低周波音・超低周波音が不快感 Annoyance，ストレスおよび睡眠障害を引き起こし，結果として人々が生理的および心理的症状を経験する可能性を記し，オーストラリア国立保険医療研究評議会 NHMRC（2010）に引用されたカナダにおける設置ガイドラインにおいても，不快感，睡眠障害，高血圧，心臓血管への

風車の影響を記しており，いずれでも風力発電事業推進の立場から因果関係を否定しているが，風車の周辺に世界共通の症状が生じていることは否定していない。
したがって，因果関係が認められないから実際に生じた健康被害があるはずがないとの全否定は不可能である。筆者は，風力発電事業推進者による講演会や事業者による住民説明会において「風力発電事業による健康被害がなく，気の病である」との発言を幾度となく聞いた経験がある。以上のように風力発電事業推進の立場からの強い働きかけがあるため，我が国では規制基準が決められないまま，健康被害者は切り捨てられ，今後，多数の被害者を生み出す危険性が高い状況にある。
以上の状況について，ニーナ・ピアポント（Pierpont,2009；鶴田日本語訳）は「音響学者が騒音を測定し，重大な騒音でないと言えば，その状況で人々が経験している症状がないものとされる」と述べ，症状が二の次にされている状況を問題視している。さらに,「症状が第一に重要であり，因果関係証明のための測定が重要なのではない」と問題点を指摘している。そこには，なによりも症状を訴える患者を救おうとする医者の立場が鮮明に認められる。医者の立場は，原因が証明されない症状を訴える患者に対して，難病とは言うが，因果関係が証明されないことを理由に患者を見捨てることはせず，症状改善のため可能な限りの対応を講じる。
日本弁護士会連合（2013）は，25 頁に及ぶ「低周波音被害について医学的な調査・研究と十分な規制基準を求める意見書」を環境大臣と経済産業大臣宛に提出している。被害者を救済し将来に新たな被害者を生み出さないため，環境省と経済産業省はこの意見を重視し，早急に，国としての対策を講じるべきである。

すれ違う意見（因果関係の意味）
風車が原因だとする側の因果関係は
“一定の距離範囲に生じるが，その中で症状を訴える人とそうではない人がおり，風車建設後に発症する時間に個人差があり，さらに被害者の症状が長期間の低周波音・超低周波音の曝露によって鋭敏または重篤になっていく事実が知られている。しかし，このように個人差が認められることによって，風車による健康被害がないと言うことができない。それは，風車から一定の距離範囲で同様な症状が世界共通で生じている”
や
“ニーナ・ピアポント（Pierpont,2009）は**「低周波音・超低周波音などによる内耳の前庭への刺“激と内臓器官の振動がそれぞれ脳に誤った情報を与えるために症状が発生する」と分析”**
が主流である。
（**ニーナ・ピアポント**の分析は、風車音の精密な解析を遅らせ、結果として風車音で被害が発生する仕組みを隠蔽してしまった。
　超音波での火傷は脳へ音の情報が伝達されてから火傷するのではなく、皮膚が火傷してから痛みとして脳へ伝わる。内耳の前庭への超音波による刺激の伝達が無くても火傷するのです。
　超低周波音も超音波も聞こえない音です。聴覚に拘るよりは、体に対しての物理的な作用に着目して考えるべきです。）

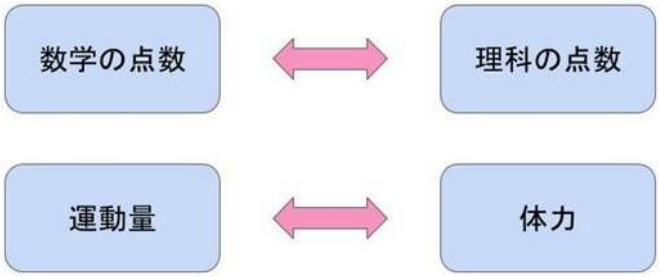
　それに対して、風車が原因だと認めない方の言い分は
“「聞こえない音が人体に影響するとの信頼できる証拠がない」とする音響工学に基づいた研究報告があり，それを根拠にして事業者が「健康被害がない」と主張する”
や

“現代の風車からの低周波音・超低周波音は問題にならないレベルであり，健康影響を及ぼすという証拠は存在しない，風車に否定的な意見を持っているとその影響を受けやすくなる，”
であり、
　結果として、
“我が国では，前者だけが持ち込まれ，音響工学的な測定値とその重み付けデータに基づき健康被害に風車との因果関係が認められないことを理由にして，いまだに国の規制基準が策定されていない。環境省は，風力発電による健康被害を単に「苦情」と言い，深刻な被害者を救う規制基準を用意していない。”
の様になっている。

「風車騒音・低周波音による健康被害」０８年８月８日「風車問題伊豆ネットワーク」事務局
Ⅰ　健康被害について
２、症状　「夜眠れない、眠っていても起こされてしまう」など不眠症状を中心に、血圧上昇、めまい、動悸、頭痛、腹痛、耳鳴り、肩こり、手足のしびれ、吐き気、脱毛、顎の痛み、腹・胸の圧迫感、幻覚、癲癇、イライラ感、脱力感、不安、集中できない、疲れやすい、気持ちが悪くなる、など多様な自律神経失調症状が訴えられる。（癲癇はイライラ感が昂じて怒りやすくなること思われる。イギリスに多いようである。）
前記臨床上の症状は低周波音との因果関係が病理学的に証明されていない。日本では、不定愁訴、自律神経失調と診断される。ポルトガルでは VAD（振動音響病）と診断されることが多くなってきているとのことだが、公的には認定されていない。
しかし**疫学的には、外形的に証明される。風車（音源）が停止すれば症状は消失する。また他地域に移動するなど風車（音源）から離れれば、同様に症状は消失する。このことは風車騒音・低周波音と健康障害との因果関係を外形的に明快に証明するものである。**

の表現を借りれば、
裁判で勝つには、因果関係の外形的な証明を、病理学的な証明に変えることが必要である。
これは、超低周波音の影響を内耳でとらえたのでは不可能だが、全身に対する物理的な影響を考えればそれほど困難ではない。

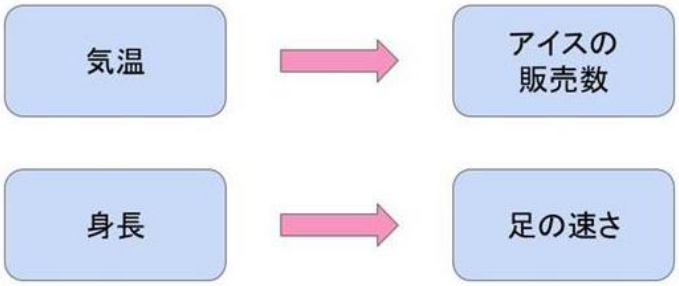
相関関係と因果関係
１．相関関係と因果関係の違い
相関関係とは
相関関係とは、ある要素とある要素が互いに関係し合っていることを指します。
以下が相関関係している要素の代表例です。
・子供の「数学の点数」と「理科の点数」
→数学の点数が高い子は理科の点数も高い傾向があり、反対に理科の点数が低い子は数学の点数も低い傾向がある。
・高齢者の「運動量」と「体力」
→運動量が増えると体力も増えるが、体力が減ると運動量も減る傾向がある。
画像①



相関関係

これらはいずれも片方が増えるともう片方も増える相関関係を表しており、このような相関関係を”ある要素とある要素が正の相関関係を示す”と表現します。
また以下のように片方が増えた際にもう片方が減る場合も相関関係があります。
・高齢者の「自宅の滞在時間」と「体力」
→自宅の滞在時間が増えると体力が減り、体力が増えれば自宅の滞在時間が減る傾向がある(外出の機会が増えるため)。
この場合は”ある要素とある要素が負の相関関係を示す”表現します。
ちなみに「数学の点数」と「食事量」のような片方の要素にもう片方の要素が関係しないものは相関関係がないと言います。

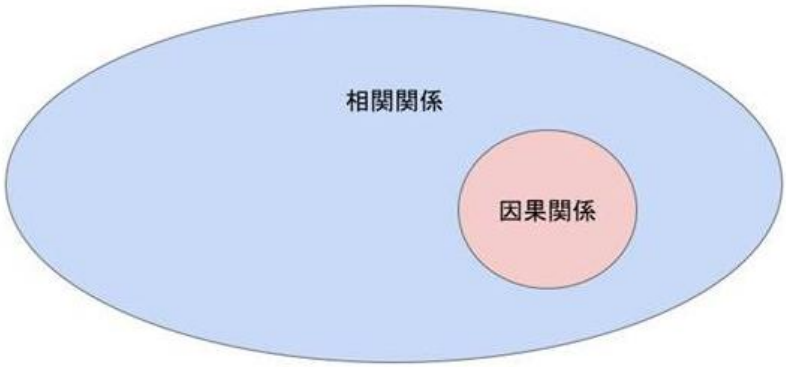
因果関係とは
因果関係とは要素同士が原因と結果の関係にあり、ある要素が原因である要素に影響を与えていることを指します。
相関関係との違いは、関係性を示す矢印が双方向ではなく片方向だけであることです。
そのため要素 A と要素 B が因果関係にある場合、要素 A が変化したときに要素 B が変化することはあっても、要素 B が変化したときに要素 A が変化することはありません。
以下が因果関係している要素の代表例です。
・「気温」と「アイスクリームの販売数」
→気温が高くなればアイスクリームの販売数も増えるが、アイスクリームの販売数を増やしたところで気温が高くなることはない。
・子供の「身長」と「足の速さ」
→身長が高い子ほど足が速い傾向があるが、足が速くなれば身長が高くなるわけではない。



因果関係

相関関係の例で示した子供の「数学の点数」と「理科の点数」はどちらかの点数が原因でどちらかの点数が変わ

るわけではありませんので、これらは相関関係ではあっても因果関係ではないと解釈することができます。
このように相関関係と因果関係は同じではなく、因果関係の方がより要素間の関係性に厳しい制約があります。



因果関係は相関関係の一部

さらに、統計的な相関関係に関しても、A 特性音圧レベルよりは、基本周波数での最大音圧とコルチゾール検査の結果と、被害の症状の関連を調べれば、ラウドネスからアノイアンスに切り替えた形の相関性が解明できる。
G 特性音圧レベルとから 1～80Hz の 1/3 オクターブ解析ではなくて、アノイアンス指数と 0.25H から 315Hz での 1/3 オクターブ解析、基本周波数での最大音圧を採用すれば関連性は統計的にも明確になる。
もちろん、A 特性音圧レベルの数値やコルチゾール検査の結果の数値も含めて相関行列を計算することは、簡単な事である。

そのためには、精密騒音計 NL-62 又は NL-63 で収録した波形データが必要になる。

不思議な事に、どちらも風車音の精密な測定と解析をしない。“空想の超低周波音”に関しての議論になっている。これでは結論は出ない。
日本弁護士会連合（2013）は，25 頁に及ぶ「低周波音被害について医学的な調査・研究と十分な規制基準を求める意見書」
もあるが、日弁連にとって、医学的な調査・研究は困難でも、風車音の精密な測定は、精密騒音計を買って計測結果を公開する事くらいは出来たと思う。でも、意見書を書くだけで、全て他人任せである。
環境省や県や市は、持っていても決して風車音の計測はしない。普通騒音計で騒音レベルを測れば、“問題はありません。”となる。
そんな中で、被害を受けている人は、誰に計測や研究を頼めばよいのでしょうか？

日本国憲法第 25 条

風車からは音が出ます。この音は、聴覚によって感知される事もあるが、周波数によっては、圧迫感として感知される事もあります。また、頭痛として感知される事もあります。建具や床のガタツキも起きます。ガタつけば目が覚めます。風車音はいろいろな形で安眠を妨害します。

また、風車の振動は地中伝搬として周辺の住宅まで届きます。そして振動や皮膚への圧力の変化として感知される事もあります。(大型風車による地盤振動伝播)

住民が被害として訴えている中では、安眠妨害が目立ちます。風車は夜も回転していて指向性の強い超低周波音を放出します。

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

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

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

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

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

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

日本国憲法第 25 条には、

1　すべて国民は，健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する。

2　国は，すべての生活部面について，社会福祉，社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならない

とあります。

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

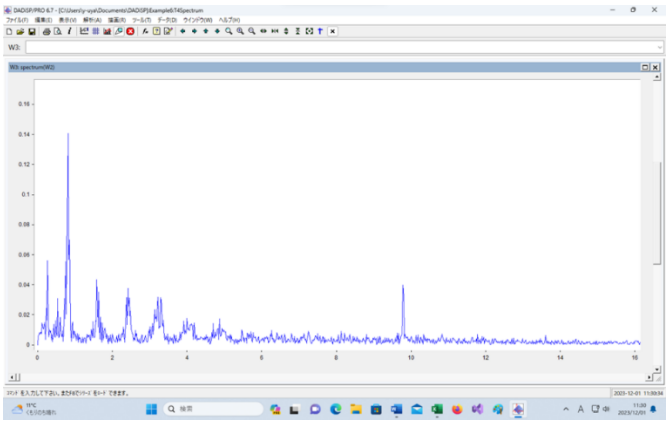
公衆衛生と言う言葉は、環境が生活を脅かさないようにする。と言う意味もあります。騒音を防ぎ、安心して眠れる環境を作ることは、国の責任です。それは、日本の繁栄の基礎なのです。

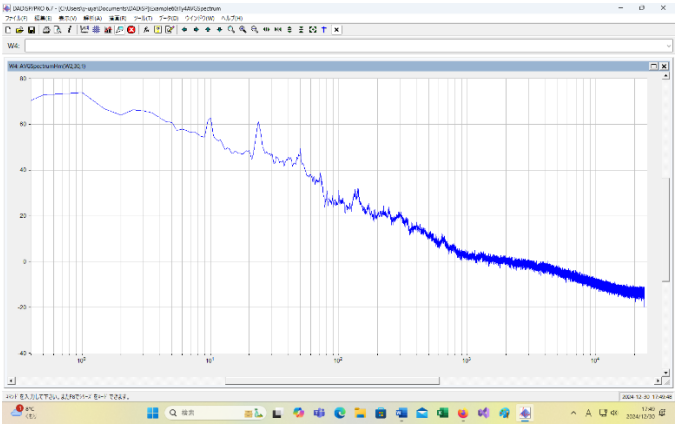
普通の公務員は、日本の憲法についても勉強しています。山形県でも職員の採用試験に憲法の項目を加えるべきです。

風車からは、実際に強烈な超低周波音が出ているのです。その特徴と物理的な影響を考えれば、循環器系の障害や頭痛が起きることには密接な関連があることが分ります。

実際に計測と解析をやらないで、市民の思い込みであるかのような表現は、風車音に関する認識の欠如を意味するものであり、科学とは無縁の発言である。普通の科学者は、風車からどの様な音が出ているかを自分で調べてから発言する。数学と物理の知識があれば、その音が循環器系の障害や頭痛を引き起こす事はすぐ分かる。

たまに、精密騒音計での計測結果を示す研究者もいますが、ほとんどが次の右側のグラフになっています。





風車音での被害の究明では、左を選べば、f/3、2f/3、f、2f、3f、、Hz で音圧がピークとなることが分り、その事から風車音が発生する仕組みや頭痛が起きる理由を解明できるが、右のグラフを選べば風車音被害の原因は究明できなくなります。

ただし、左のグラフは JIS 規格に従った計測では得られません。環境省の指導に従った計測では得られないものです。しかしこれが無いと、風車音での被害の原因が解明できないのです。

これを計測すると、

“今回の投稿原稿は、騒音計で風車近傍での騒音測定を行っているが、その解析方法ならびに解釈には不適切な箇所が多い。また、風車騒音の発生原因のひとつとしてタワー断面の振動を挙げているが、その固有周波数についても検討されておらず、騒音周波数と関連づけるには無理が多いと考えられる。総じて、学術論文として期待される最低限のレベルを満足しておらず、掲載否と判断する。“

別の方から、

“音の計測については、私は専門ではないですが、論文レベルにするには、少なくとも、JIS 規格などで計測方法などが規定されていますので、それに従う計測などをすることが要求されると思います。”

とのアドバイスをいただきましたが、

0.8Hz～2 k Hz の範囲に入っていない、0.5Hz の音に対して、JIS 規格をどのように適用すべきなのかが、私の学力では理解できませんでした。

0.5Hz や 0.5/3Hz、2*0.5/3Hz の音を計測して、風車音の影響を調べると、JIS 規格からはみ出しますので、その結果は、学会で認知される論文にはなりません。

低周波音に関する論文が日本で学術論文と認められるには、低周波音に関しては、G 特性音圧レベルと 1～80Hz での 1/3 オクターブ解析に限定して調べる必要があります。これでは被害と風車音の因果関係は分かりません。

“学術的論文”の意味は、“風車音と被害の関係を解明しない論文”と言う意味になる。

音響工学（風車に否定的な意見を持っているとその影響を受けやすくなる）

音響工学の研究を論拠とした主張と健康被害の実態について多数の文献を比較検討している。そこには，欧米においても超低周波音（０～20Hz）という**「聞こえない音が人体に影響するとの信頼できる証拠がない」とする音響工学に基づいた研究報告があり，それを根拠にして事業者が「健康被害がない」と主張する**ことを述べ，一方で，人体が超低周波音に反応する医学的な研究成果を示して，事業者の主張が間違いであると記している。
以上の対立した意見のうち，**我が国では，**前者だけが持ち込まれ，**音響工学的な測定値とその重み付けデータに基づき健康被害に風車との因果関係が認められない**ことを理由にして，いまだに国の規制基準が策定されていない。環境省は，風力発電による健康被害を単に「苦情」と言い，深刻な被害者を救う規制基準を用意していない。
環境省における第３回風力発電施設に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会（2010 年 12 月９日）において，一般社団法人日本風力発電協会からのヒアリング資料が示されている。同資料では，アメリカ風力協会 AWEA とカナダ風力協会 CanWEA(2009)による「風車が発生する音は人体の健康への影響を引き起こさない」こと，**オーストラリア国立保険医療研究評議会** NHMRC（2010）による「風車には直接の病理学的影響はなく，人体に影響を及ぼす可能性があるとしても，既存の設置ガイドラインに従うことによって最小化することができる，**現代の風車からの低周波音・超低周波音は問題にならないレベルであり，健康影響を及ぼすという証拠は存在しない，風車に否定的な意見を持っているとその影響を受けやすくなる，**

鶏と卵
“風車に否定的な意見を持っているから、風車の影響を受けやすくなる”
それとも、
“風車の影響を受けたから、風車に否定的な意見を持つようになった”
のでしょうか？

2 つのアンケート結果があります。

S2-11 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究　平成 22～24 年度
におけるアンケート結果では、
“つぎに、風車地域におけるアンケート調査の結果を詳細に分析した結果について述べる。
a. 問 4 で何らかの音を「最も悩まされている音」として挙げた回答は、全回答数 747 のうち 197 件であった。その内訳（図(2)-37）を見ると、60%（119 件）が風力発電施設の音を挙げている。
それに次いで、22%が道路の自動車の音となっている。
b. 問 4 に対する回答のうち、風力発電施設の音以外の音を挙げた回答（ 78 件、以下、「風車騒音以外グループ」と呼ぶ）と風力発電施設の音を挙げた回答（ 119 件、以下、「風車騒音グループ」と呼ぶ）の別に、検討を行った。まず、生活環境の満足度（問 2）に対する回答（図(2)-38）を見ると、「風車騒音グループ」の回答で「静けさ」に対する不満の程度が「風車騒音以外グループ」よりも大きくなっている。その他の項目については、両グループ間で大きな差は見られない。
p. 「**風力発電施設があることによって、よいことがあるか**」という問 10(14)に対する回答（図

(2)-57）では、両グループともに「ない」という回答が圧倒的に多い。“
となっている。

“風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査　本巣 芽美*1 丸山 康司 *2“の
評価できる点は、
新しい観点でのアンケート項目がある。
既存の風力発電所と新規計画を想定した風力発電所の賛否について尋ねた
ところです。
残念な点は、
アンケート項目が足りない。
既存の風力発電所の撤去の賛否について尋ねていない
ところです。
　実際に風車音の影響を経験した人は、さらに新しく風車を建設する事に対して、どのように考えるかという観点からの資料が次のものです。

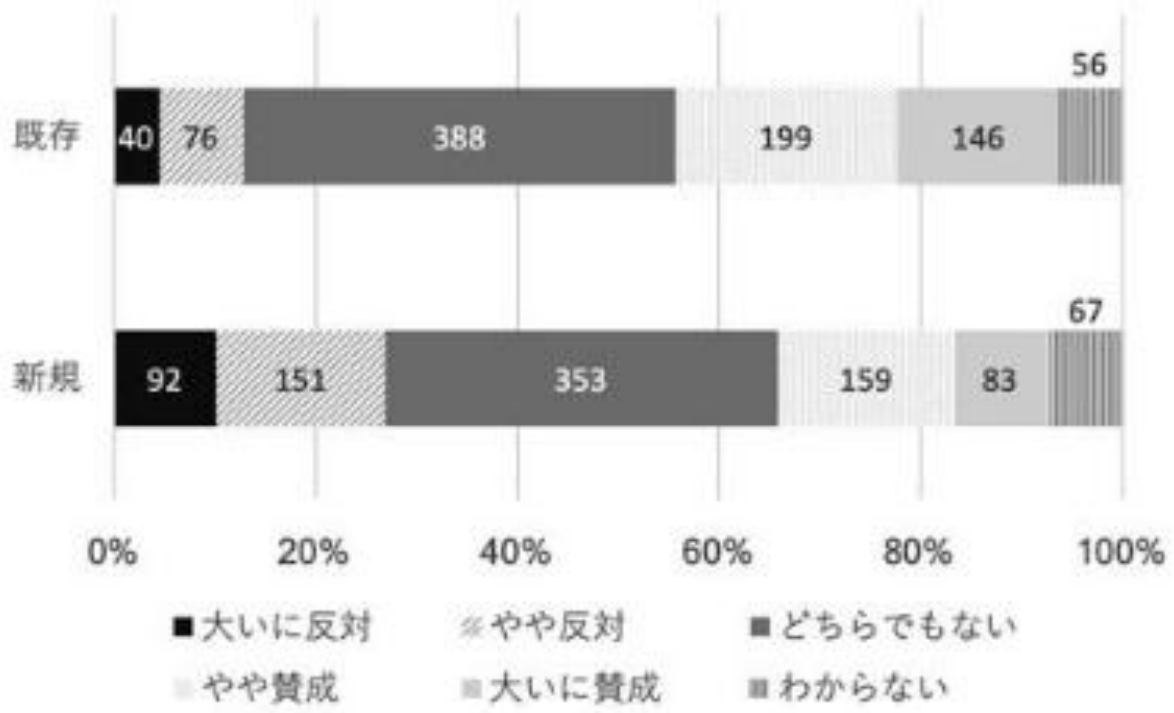


図５ 風力発電所に対する地域住民の賛否

反対する人は２倍になり、賛成する人は、３割程度減少しています。
過去の建設時における業者の対応は、過去の出来事であり変化しないのですから、何が原因で賛成や反対の割合が変化したのかを調べる必要があります。
　これは、苦情や被害を表立って訴えなくても、実際に風車が建設されている場所で暮らす人の風車に関する認識が否定的なものになることを明確に示している資料です。
　地球温暖化、SDGｓとか言われて、反対できなかった住民が新たな建設にＮＯと言っているのです。

風車の影響を実際に経験すれば、既設建設に対する（大いに反対、やや反対）（40，76）から新規建設に対する（大いに反対、やや反対）（92，151）に変わるのです。
この結果を見れば、“既存風車を撤去する”事に関する賛否を尋ねれば、賛成が多くなるような気もします。
“しかし,「風車音による不快感」と「風力発電所に対する賛否」は有効回答数が少ないが相関関係が認められた（Pearson の相関係数 r=-0.830，有意確率（両側）p=0.001）.”

はっきりしているのは、
“p. 「**風力発電施設があることによって、よいことがあるか**」という問 10(14)に対する回答（図(2)-57）では、両グループともに**「ない」という回答が圧倒的に多い**。“
と
“風車の影響を経験すると、新しい風車の建設に関する反対者が増える。”
という事です。

これは、
“風車に否定的な意見を持っているから、風車の影響を受けやすくなる”
のではなく、
“（風車について肯定的な考えを持っていた人が）風車の影響を受けたから、風車に否定的な意見を持つようになった”
と考えるのが正しいという証拠です。

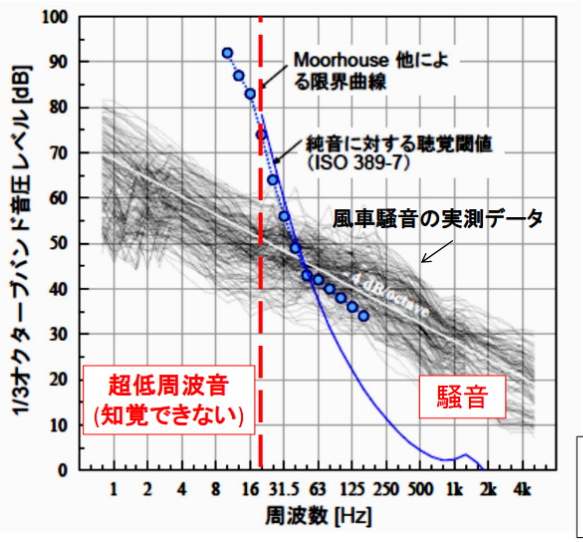
音響工学的な測定値

風車音の計測はどのように行われたか？

次のグラフは、

S2-11 風 力 発 電 等 による低 周 波 音 の人 への影 響 評 価 に関 する 研 究

での計測結果をまとめたものである。



20Hz以下の超低周波音領域は，すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく，通常可聴周波数範囲の騒音の問題

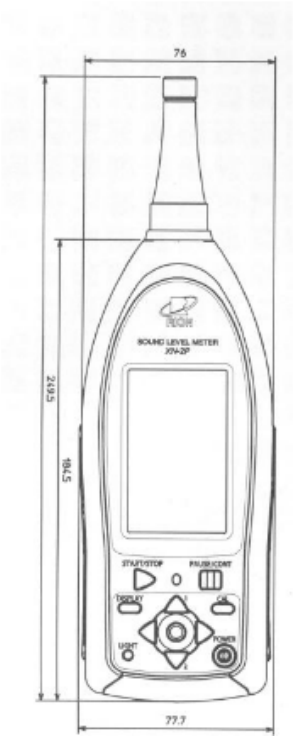
全国29の風力発電施設の周辺合計164箇所での測定結果

*平成22-24年度環境省戦略指定研究領域 研究課題(S2-11風力発電等による人への影響評価に関する研究：研究代表者 橘 秀樹)より改変

これは、測定値を 1/3 オクターブ解析で表現したものである。使用した機材は次のものである。

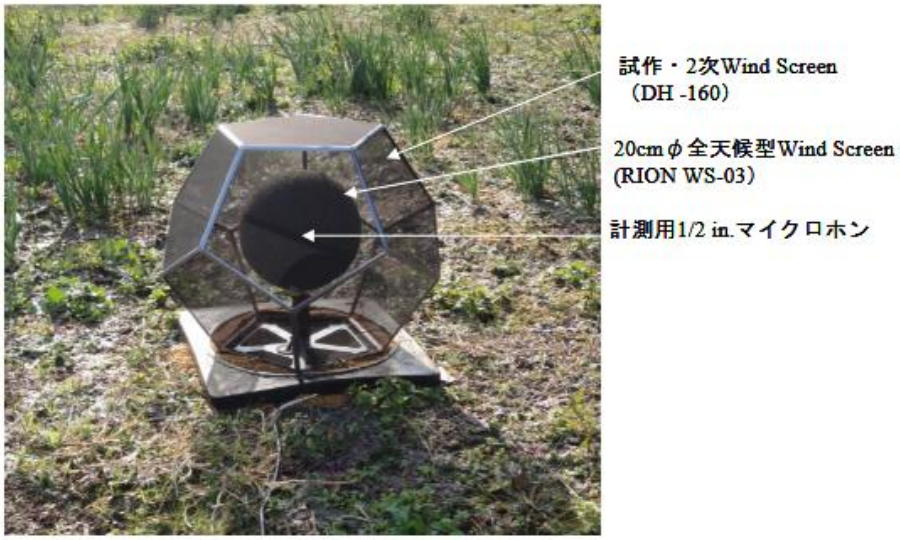
表(1)-2　広帯域音圧レベル計の仕様（概略）

測定周波数範囲	1Hz～20kHz（平坦特性）
周波数重み付け特性	A, C, G, Z（平坦）特性
時間重み付け特性	FAST特性及びSLOW特性
測定レベル範囲	A特性 25dB～138dB C特性 33dB～138dB G特性 43dB～138dB Z特性 50dB～13dB (1Hz～20kHz)
録音機能	SDカードへ直接記録 サンプリング周波数：48kHz ビット長：16bit データフォーマット：WAV
電源	単3型乾電池4本または外部電源 ニッケル水素2次電池　約13時間（23℃通常動作時） 外部電源電圧：5～6V（定格電圧：6V）
使用温湿度	-10℃～+50℃、10%RH～80%RH
規格	JIS C 1509-1:2005 クラス1, IEC 61672-1:2002 Class 1, ISO 7196 :1995



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 20 cm、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 20 cm 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。



写真(1)-1　本研究で試作した二次防風スクリーン

上記の風力発電施設周辺及び対照地域における騒音の分析方法及び分析の結果は以下に示すとおりである。

１）風力発電施設周辺地域における風車騒音の分析

風車が定格稼働あるいはそれに近い状態でよく回転している時間帯（夜間あるいは夕方）の録音記録について、A 特性音圧レベル（LA)、C 特性音圧レベル（LC)、G特性音圧レベル（LG）および中心周波数 0.8 Hz～5 kHz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを **50 ms ごとに記録した。**その中から原則として毎正時 10 分間の記録について暗騒音の影響の有無を目視によって調べ、**暗騒音が影響している恐れがある場合には録音記録を再生して耳で確認する方法**によって調べ た。その結果、明確な暗騒音が認められた場合にはその区間のレベル記録を削除した。このような区間が長い場合には、対象とした 10 分以外の部分で暗騒音の影響を受けていない部分を加えて合計で約 10 分になるように調整し、その間の時間平均レベルを求めて当該 1 時間の代表値とした。それらの値を対象としている時間帯（たとえば夜間）全体にわたってエネルギー平均し、その時間帯の等価音圧レベルとした。

なお、夏季から秋季にかけて実施した実測調査では、セミ などの虫の鳴き声が録音に含まれており、約 2 kHz 以上でその影響が大きい。これを避けるために、1/3 オクターブバンド周波数分析結果にこれらの音（暗騒音）が明確に見られる場合には、カットオフ周波数 1.25 kHz のローパスフィルタリング処理を行った上で上記のレベル分析を行った。

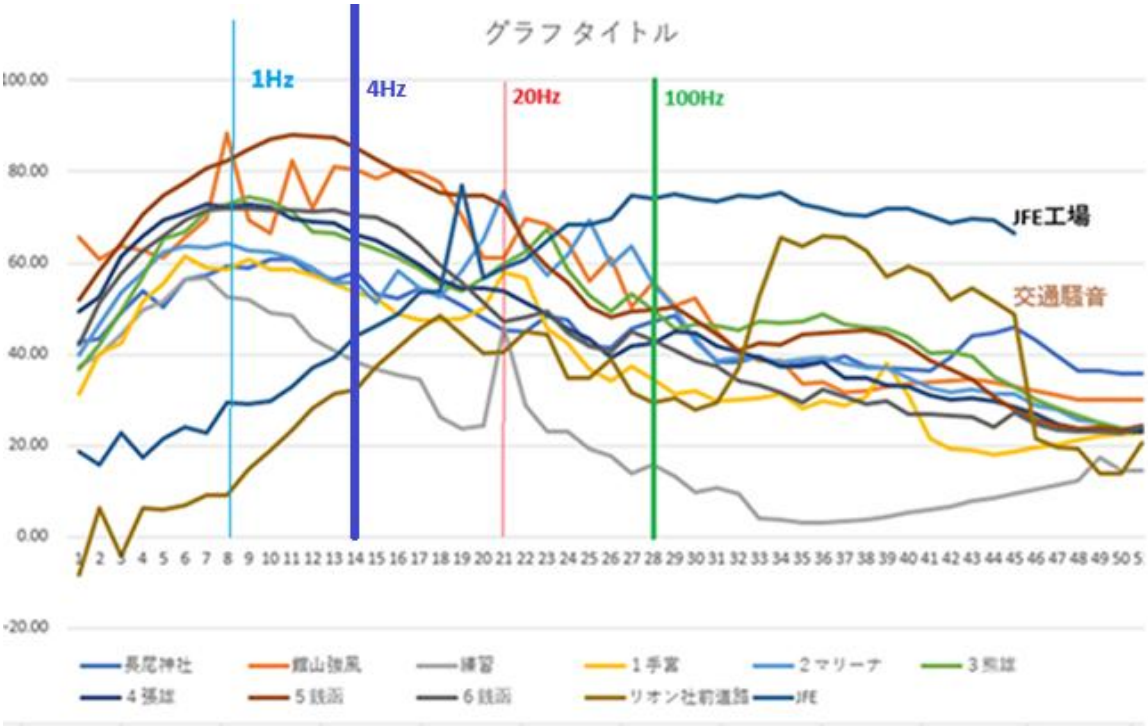
本研究で対象とした 34 の風力発電施設の周辺地域 36 箇所（W01～W36）において広帯域音圧レベル計によって録音された音圧記録について、 上記の方法で分析を行った結果として、 各測定点における対象とした時間の

等価音圧レベル（ A 特性：LAeq、C 特性：LCeq、G 特性：LGeq）と 1/3 オクターブバンド音圧レベルの分析結果を まとめて添付資料の図 1-1～図 36-2 及び表 1～表 36 に示す。
なお、これらの各風力発電施設周辺地域における風車騒音の実測データのうち、A 特性等価音圧レベルについて風車からの距離による減衰特性を調べてみた。その方法としては、 最近接風車からの距離の関数として式(1)によって距離減衰特性に関する回帰式を求めた。その場合、暗騒音の影響が大きいデータ、風車からの距離が 100m 未満の測定点のデータ、影となる場所に測定点があるため他の測定点と比べ騒音レベルが小さいデータ（ W05 M05)、ウインドファームの中にある家屋の測定点（W08 M02）のデータは除外した。

$$L = A\log_{10}\ell + B \qquad (1)$$

ここに、L：騒音レベル［dB]、・ ：最近接風車からの距離［m]、A, B：係数

ここで、
“風車が定格稼働あるいはそれに近い状態でよく回転している時間帯（夜間あるいは夕方）の**録音記録**について、A 特性音圧レベル（LA)、C 特性音圧レベル（LC)、G特性音圧レベル（LG）および中心周波数 0.8 Hz～5 kHz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを **50 ms ごとに記録した。**”
を見ると、
計測値が聴覚寄りになっている。これでは、風車音の詳細な周波数構造や基本周波数での音圧は分からない。上記の機材での録音記録があれば、風車音の健康影響の物理的な仕組みが分かるのだが、橘先生は録音記録を破棄してしまった。
風車音の性質を他の音と比べてみると、その性質が良く分かる。風車音と JFE 製鉄所での騒音、リオン社前の交通騒音を比べてみると。1Hz の近くでは、風車音の音圧レベルが圧倒的に大きい。
200Hz 以上では、工場騒音や交通騒音の方が大きい事が分ります。



低周波音の測定方法に関するマニュアル　平成 12（2000）年 10 月
には、
“5.1.1 測定量
（1）　低周波音の感覚及び睡眠への影響に関する評価に用いる測定量
超低周波音の感覚及び睡眠への影響に関しては、G 特性音圧レベルを測定する。
G 特性を持たない低周波音圧レベル計を用いる場合には、実時間周波数分析器等を用いて 1/3 オクターブバンドで周波数分析を行い、周波数分析結果に G 特性補正値（表-1.1 参照）を加えた後、エネルギー加算して G 特性音圧レベルを計算で求めてもよい。なお、衝撃性の超低周波音の場合は、オクターブバンド音圧レベルから G 特性音圧レベルを求めるのが望ましい。 G 特性音圧レベルの計算例を表-5.1 に示す。
また、必要に応じて低周波音の周波数分析を行い、1/3 オクターブバンド音圧レベル（衝撃性の超低周波音の場合は、オクターブバンド音圧レベル）を測定する。
（2）　低周波音の建具等のがたつきに関する評価に用いる測定量
低周波音の建具等のがたつきに関する評価に関連する測定は、実時間周波数分析器等を用いて低周波音の周波数分析を行い、1/3 オクターブバンド**中心周波数 1～50Hz** の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。
（3）　低周波音の圧迫感・振動感に関する評価に用いる測定量
低周波音の圧迫感・振動感に関する評価に関連する測定は、実時間周波数分析器等を用いて、1/3 オクターブバンド**中心周波数 1～80Hz** の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。“

（5）データレコーダ等
低周波音の録音にあたっては、オーディオ範囲の録音装置は適さない。低周波という特殊な周波数の録音になるので、対象とする **20Hz 以下の信号を歪みなく正確に録音再生することができなければならない**。測定する周波数範囲や測定可能な音圧レベル幅（ダイナミックレンジ）を十分に確認した上で機種を選定する。通常、低周波音の録音には計測用の録音装置（データレコーダやディジタルオーディオテープレコーダ；DAT）を使用する。特に、変動の大きい低周波音や衝撃性の低周波音を測定する場合には、ダイナミックレンジが十分な録音装置を使用する。

実時間周波数分析器
騒音レベル・振動レベルなど感覚量の評価や対策の評価にオクターブバンド、1/3 オクターブバンド分析が主に使用されます。
騒音計、振動レベル計と同じ感覚補正特性（周波数重み特性、時間重み特性、周波数の対数表示）を使用して平均化を行えますので、感覚量を評価する測定に適しています。
建築音響関係の遮音性能、室内騒音評価、音響パワーレベル、建築材料評価、音質評価、伝搬系の特性などの測定に使用されます。

問題点１：
（2）　低周波音の建具等のがたつきに関する評価に用いる測定量
ですが、

大型風車では、最大音圧となる周波数は 0.5Hz～0.8Hz です。ISO7196 に従って、1/3 オクターブバンド中心周波数を 0.25Hz～315Hz とする必要があります。1/3 オクターブバンド中心周波数 1～50Hz では、風車音のエネルギーの 50%以上が計算対象から抜けてしまいます。

問題点２：

5）データレコーダ等

では、“20Hz 以下の信号を歪みなく正確に録音再生することができなければならない”とあるが、

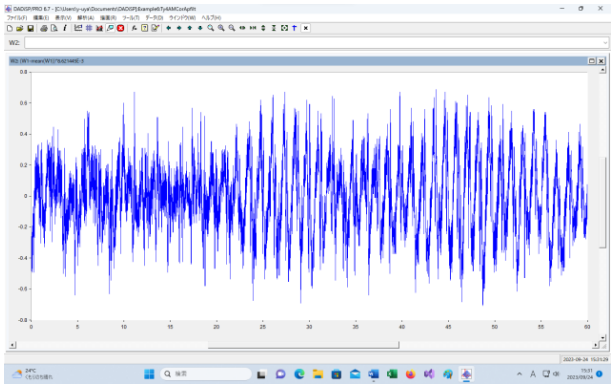
マイクは、SA-A1 のマイクを使えば、0.25Hz までは平坦な特性を持ちますが、他のマイクでは困難です。

さらに、収録した音を 0.5H z ～1H z の成分まで含めて再生できるスピーカは存在しません。

録音よりも、再生は、はるかに困難なのです。

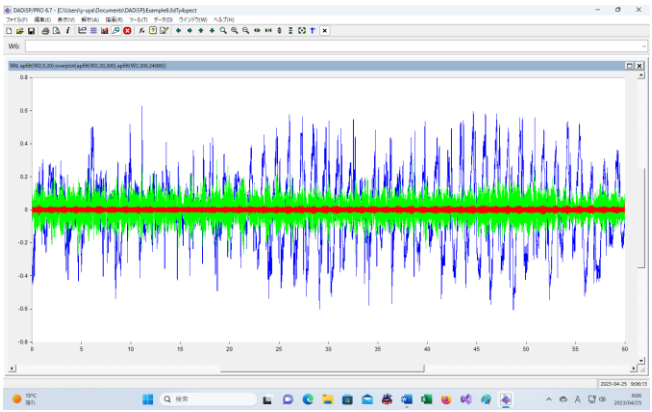
この事は、実験室での、スピーカーを使っての風車音の再現ができない事を意味しています。

風車音のグラフは、次のものです。



FFT を使って、風車音を周波数帯ごとに分割したものが次のグラフです。

（0Hz～20Hz青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤）

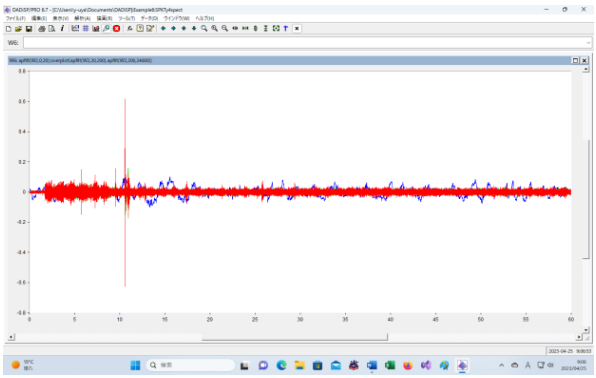


超低周波音（0Hz～20Hz）の部分（青色）が強烈です。

PC のスピーカーから、NL-62 で録音した音を流して、それを再度 NL-62 で録音したものを、

周波数帯ごとに比較すると

（0Hz～20Hz青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤）



となって、スピーカによる再生音では、超低周波音の部分（青色）は、消えてしまうのです。

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から、再生音を使った実験は風車音に関する実験とは認められません。

とあるが、

圧迫感に関しては、f=RZ/60Ｈｚでの音圧を調べる必要がある。音圧が高く、周波数が低く、波形の符号を決定するものなので、体内の圧力変動がこの成分で決る。これは圧迫感と言うよりは、圧迫そのものであり、人体を強制的に圧縮膨張させる力を持っている特殊な成分なのです。

この値は、1/3 オクターブ解析では計測できない。計算対象となるデータ量が 120 秒程度必要であり、周波数スペックトルの他に、Wavelet 解析も併用する必要があるので、波形をＷＡＶファイルとして１分＊１０個程度記録しておいて、後ほど解析する。

風車音測定の妨害

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”

の３ページには、

“2.3.5　風雑音

風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。

風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。”

とあり、７ページでは、

“(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）

風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。

風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。

（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“

となっている。

さらに、

“風力発電施設から発生する騒音等の測定は、これらの特性を踏まえた方法により実施する必要がある。

本マニュアルは、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体）、**地域住民等の関係者等が、風力発電施設から発生する騒音に関する測定を行う場合の標準的な方法を示すもの**であり、風車騒音、残留騒音の測定方法の他、測定手順や留意点等も併せて記載したものである。“

となっていて、“除外音処理”で消し去ることを要求しています。

風車騒音に関しては、

少し前は、

超低周波音は G 特性音圧レベルと 1/3 オクターブ解析で測れ。

だったが、最近は、

風車音は A 特性音圧レベルで評価しなさい。

計測には、風雑音を理由にして二重防風スクリーンを付けて計測値を低くしなさい。

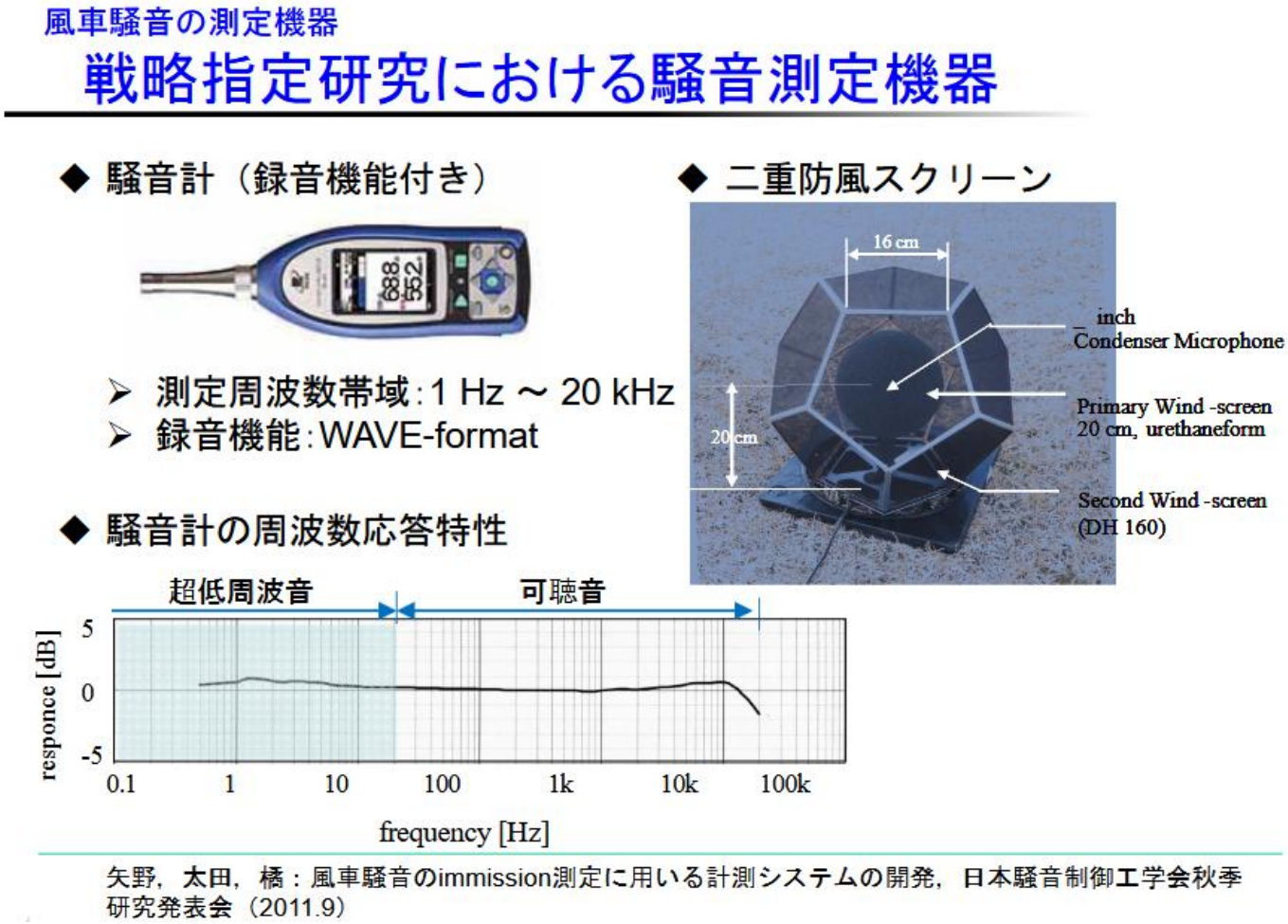
もし大きい数値が残ったら除外音処理で消しなさい。

になった。

二重防風スクリーンと除外音処理

二重防風スクリーン

次の図は、風車騒音の特徴と指針・測定マニュアルについて、落合博明（小林理学研究所）にあるもの。

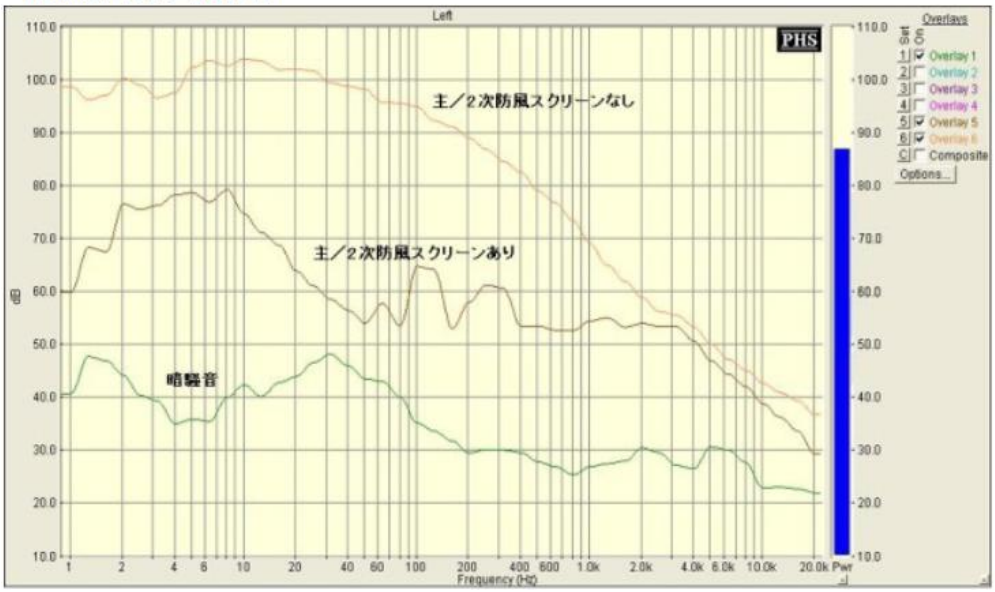


矢野，太田，橘：風車騒音のimmission測定に用いる計測システムの開発，日本騒音制御工学会秋季研究発表会（2011.9）

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、1～500Hz の間では、20ｄB～40ｄB 程度の減衰となるので、実際の音圧の 1/5000 程度の数値として観測されます。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。

計測は、NL-62 以上の性能を持つ精密騒音計で行い、音圧変動そのものを記録した WAV ファイルの公開を義務付ける必要があります。もちろん、第三者による同じ場所での同時計測も推奨する必要があります。

風車音の性質そのものを隠蔽して、誤魔化しの安全安心を主張することを許してはいけないのです。

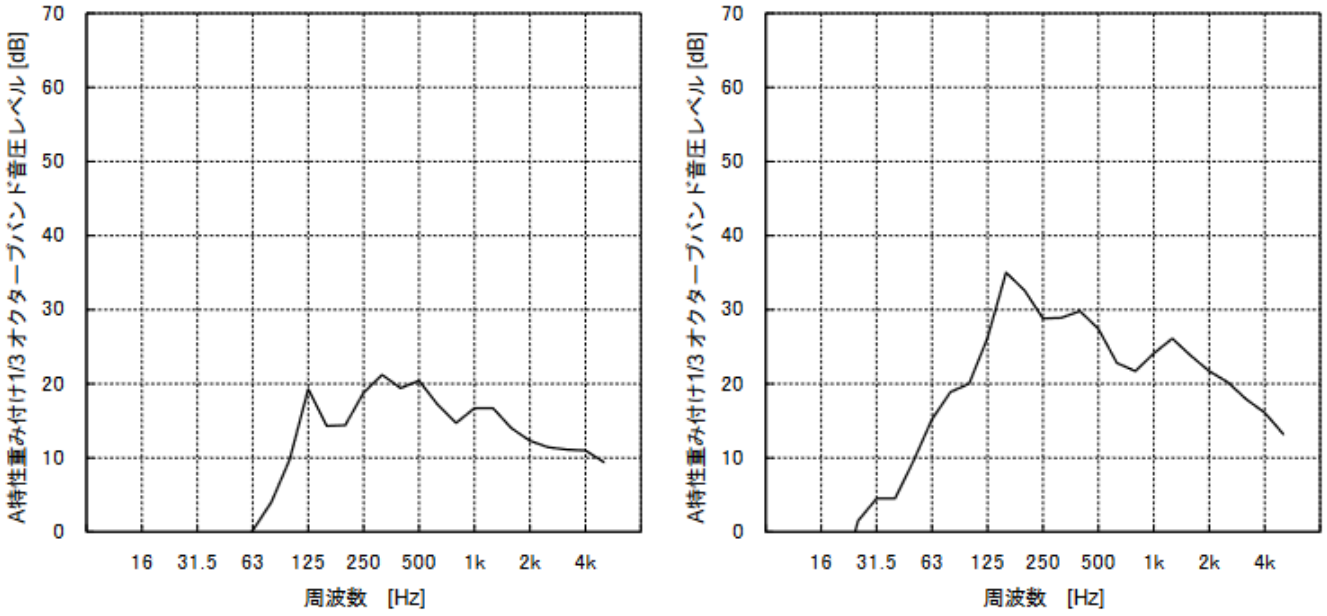
除外音処理

（A 特性の重みでの）除外音処理

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”の 33 ページでは、

B.4 周波数特性

残留騒音および風車騒音の周波数特性は、実測時間の 1/3 オクターブバンド音圧レベルの周波数特性として作成する。測定例を図 B.1 に示す。



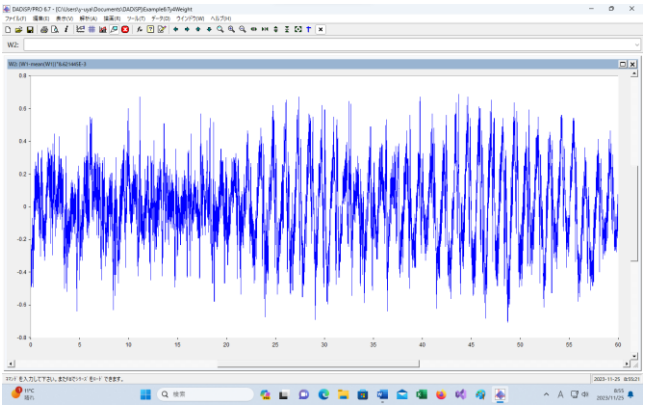
(a). 残留騒音の周波数特性　　(b). 風車騒音の周波数特性

図 B.1 周波数特性の表示例

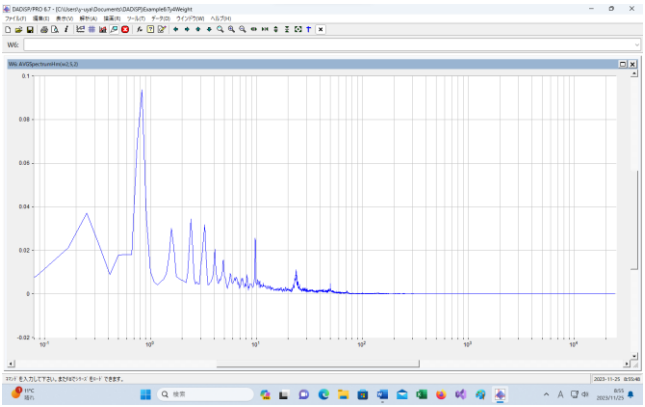
右側のグラフを見れば、20Hz 以下は 0 として扱われます。

環境省は、超低周波音を“風雑音”と決めつけて“除外音処理”で消し去れと言っているのです。
除外音処理は、いろいろ考えられますが、具体例を 1 つ示します。

これは、計測された風車音のグラフ

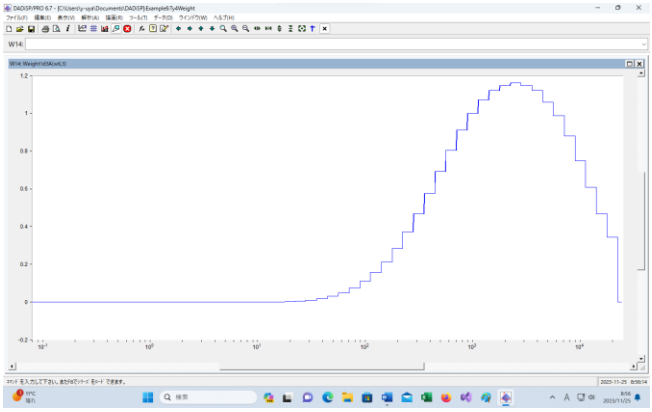


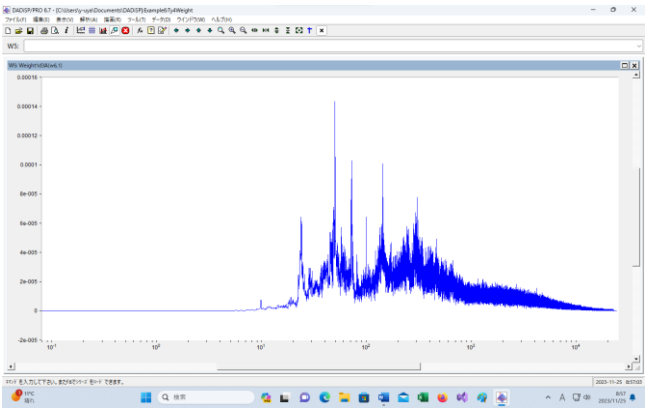
ハミング窓を使った周波数特性（Pa 表示）



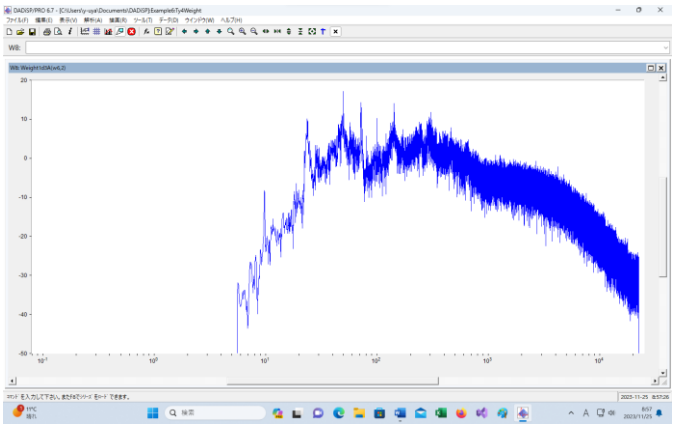
A 特性による窓関数

A 特性の窓関数を使った周波数特性（Pa 表示）

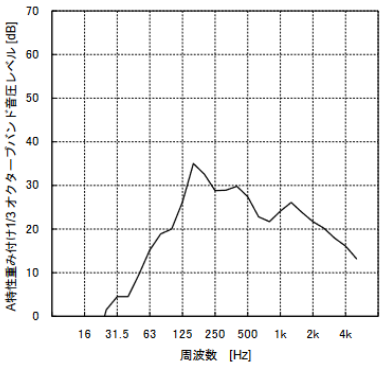




A 特性の窓関数を使った周波数特性（ｄＢ表示）



左のグラフを周波数帯ごとに纏めたもの。



(b). 風車騒音の周波数特性

風雑音

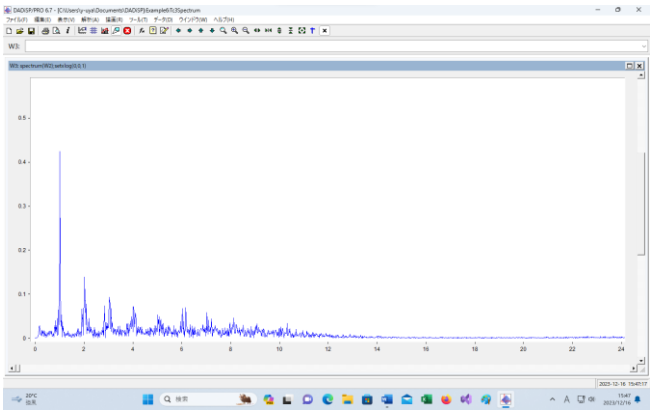
風雑音に関して、ある方から、次の様に教えていただきました。

“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。“

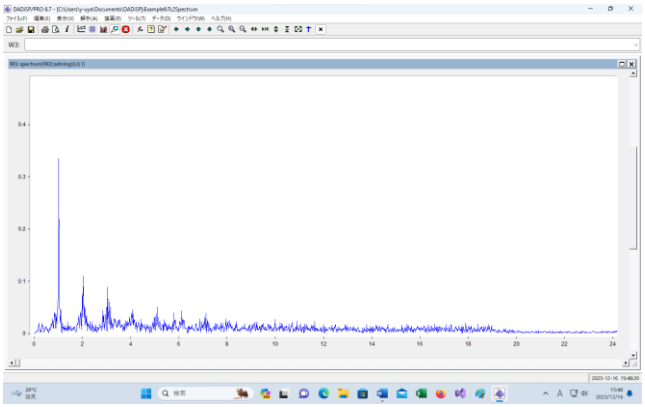
風が当たらなくても観測される風雑音

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、

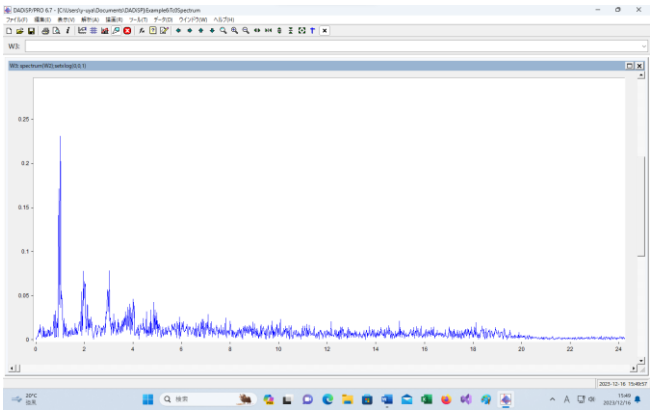
袋と箱に入れ、ドアを閉めた場合は、Max. 0.42Pa



袋と箱に入れ、ドアを開けた場合は Max. 0.33Pa

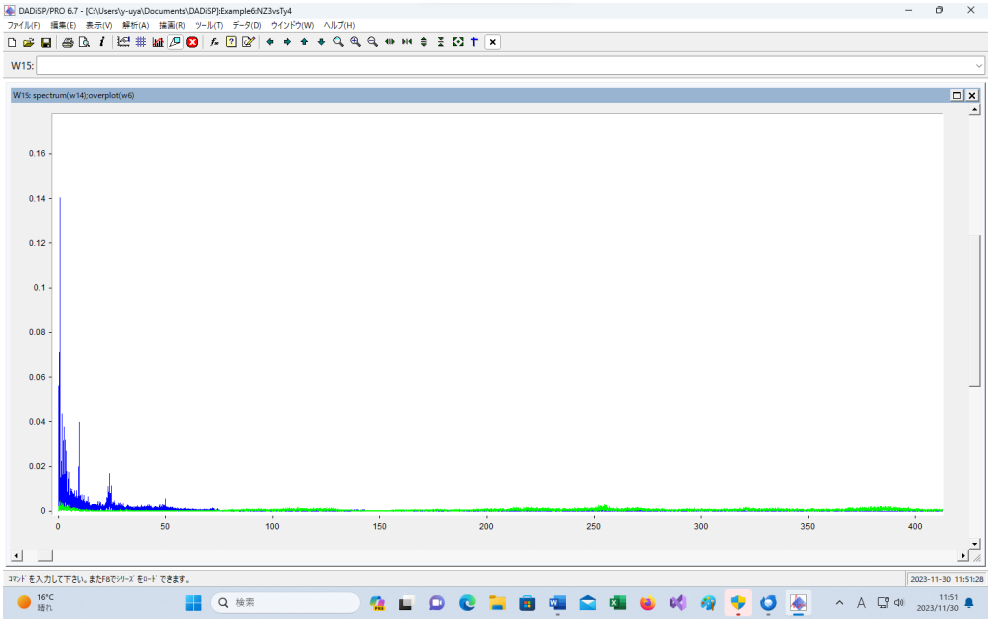


袋から出して、箱の上においた結果は　Max. 0.23Pa



とした計測結果と風車から 10ｋｍ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。

賛同する学者の常識

（風力発電についての意見聴取会（三重県松坂市、平成 21 年）において、　落合博明氏の発言）

落合博明氏

・風車から出る音として、羽の先端のシュッシュッという風切音、羽の回転に起因する低周波音、特にダウンウインドの風車になりますが、タワーの周りに渦ができてそれを羽がバサバサッと切る音、それからナセルから出る機械音などがある。

・風車には風上側に羽があるアップウインド、風下側に羽があるダウンウインドの 2 種類があり、特にダウンウインド型の風車は 1980 年代にアメリカで問題になった。ダウンウインド型であることと、羽とタワーの距離が近いこと、回転速度が速いことによってある

特定の周波数が卓越した。それを受け、最近ではメーカーもアップウインド型の風車にするように工夫することが多くなり、ダウンウインドであってもタワーと羽の距離を広く取ることによって渦を小さくするような工夫をしている。

・最近の風車で問題になっているのは 100 ヘルツから 250 ヘルツ以下の騒音で特定の周波数が飛び出ていることによって問題になる場合がある。

・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度であり、**聞こえなければ不快感などの影響はない**ということは専門家の一般的な意見である。

・騒音の動植物への影響について研究している専門家はあまりいないのでデータはほとんどない。低周波音については鶏や牛が室内にいる時に低周波音、超低周波音による建具のがたつきでびっくりしてしまったという例がある。室外にいて影響があったという話は知りうる中では聞いていない。

と考えるようですが、聞こえない音である超音波での火傷は、聞こえなくても火傷の痛みによる不快感を与えます。普通の人は、目覚まし時計が 30 秒も鳴れば目が覚めます。風車の超低周波音による刺激が 30 秒程度継続すれば目が覚めます。

ガタツキでは、5Hz で 70ｄB の音が、圧迫感なの不快感に関しては、10Hz で 92ｄB 程度の音が 30 秒間程度継続すれば、目が覚めるのです。

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	

聞こえない超音波の被害

“超音波使った美容施術” 規制が必要か検討へ 消費者事故調

2022 年 7 月 27 日 7 時 07 分

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

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

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

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

内訳は

▽やけどが 45 件、

▽皮膚が赤く腫れる、シミができたなどの「皮膚障害」が 23 件、

▽マヒが残ったといった「神経・感覚の障害」が 13 件などとなっています。

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

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

これは超音波を人間の皮膚が直接感知したという事です。皮膚も超音波に関しては、受音器官として働き、人間は超音波を皮膚の痛みとして知覚できるのです。“聞こえない＝影響が無い” と考えるのは単純すぎます。

“聞こえない音波と見えない電磁波”の危険性

音波

	超低周波音	可聴音	超音波
重視する周波数	0.3～1Hz	20Hz～20 k Hz	20 k Hz 以上
物理作用	人体を圧縮膨張させる	鼓膜を振動させる	皮膚に直接作用する
健康影響	頭痛、循環器系の障害	大きければ睡眠を妨害	皮膚が火傷する

電磁波

	マイクロ波	可視光線	X 線γ線
重視する周波数	2.45GHz ＝2.45*10^9Hz	405THz～790THz 405*10^12～790*10^12Hz	10^17Hz～10^22Hz
物理作用	水分子を振動させる	視覚に対して刺激を与える	人体を透過する
健康影響	体温上昇で死亡	体内時計の調整、健康増進	遺伝子を傷つける

聴覚器官（内耳）での影響評価

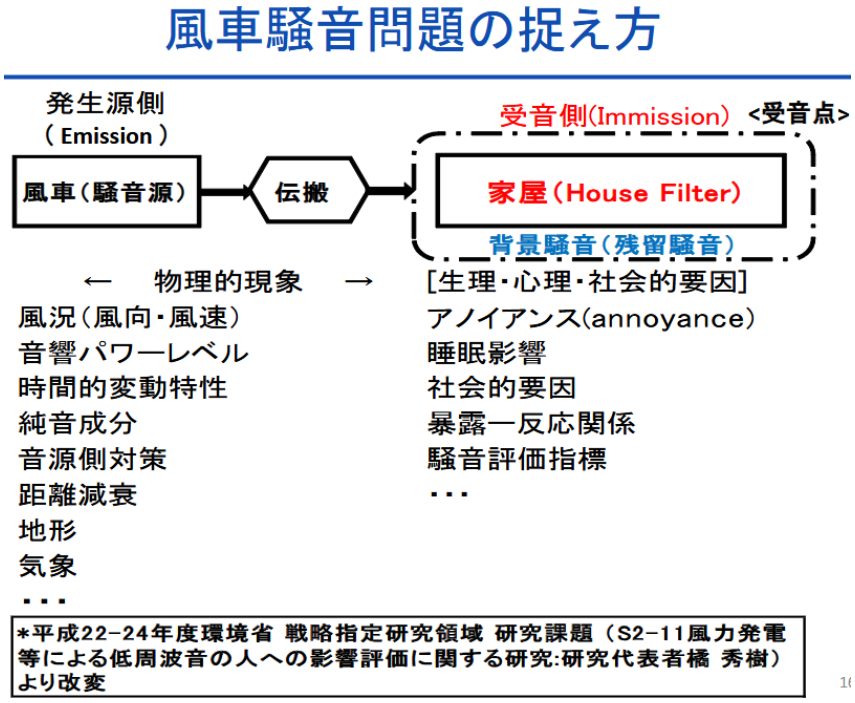
ニーナ・ピアポント氏の影響

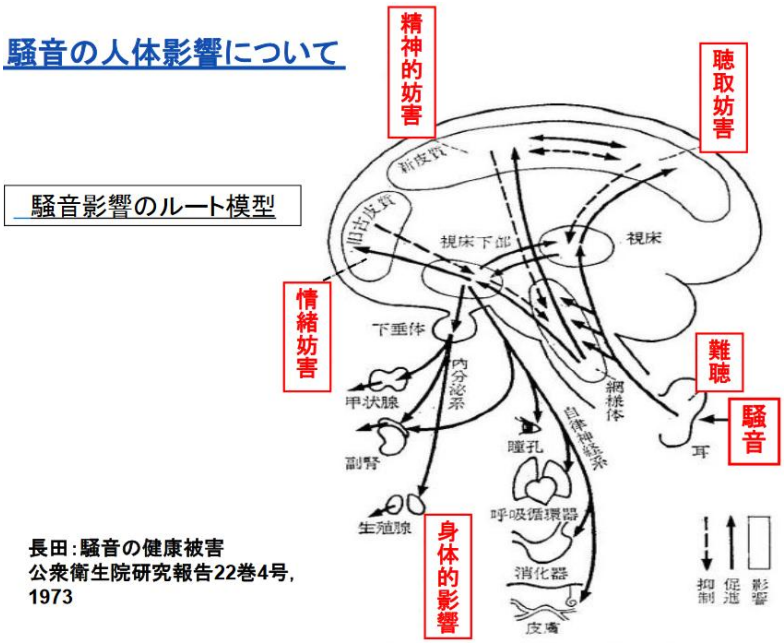
“ニーナ・ピアポント（Pierpont,2009）は**「低周波音・超低周波音などによる内耳の前庭への刺“激と内臓器官の振動がそれぞれ脳に誤った情報を与えるために症状が発生する」と分析”**

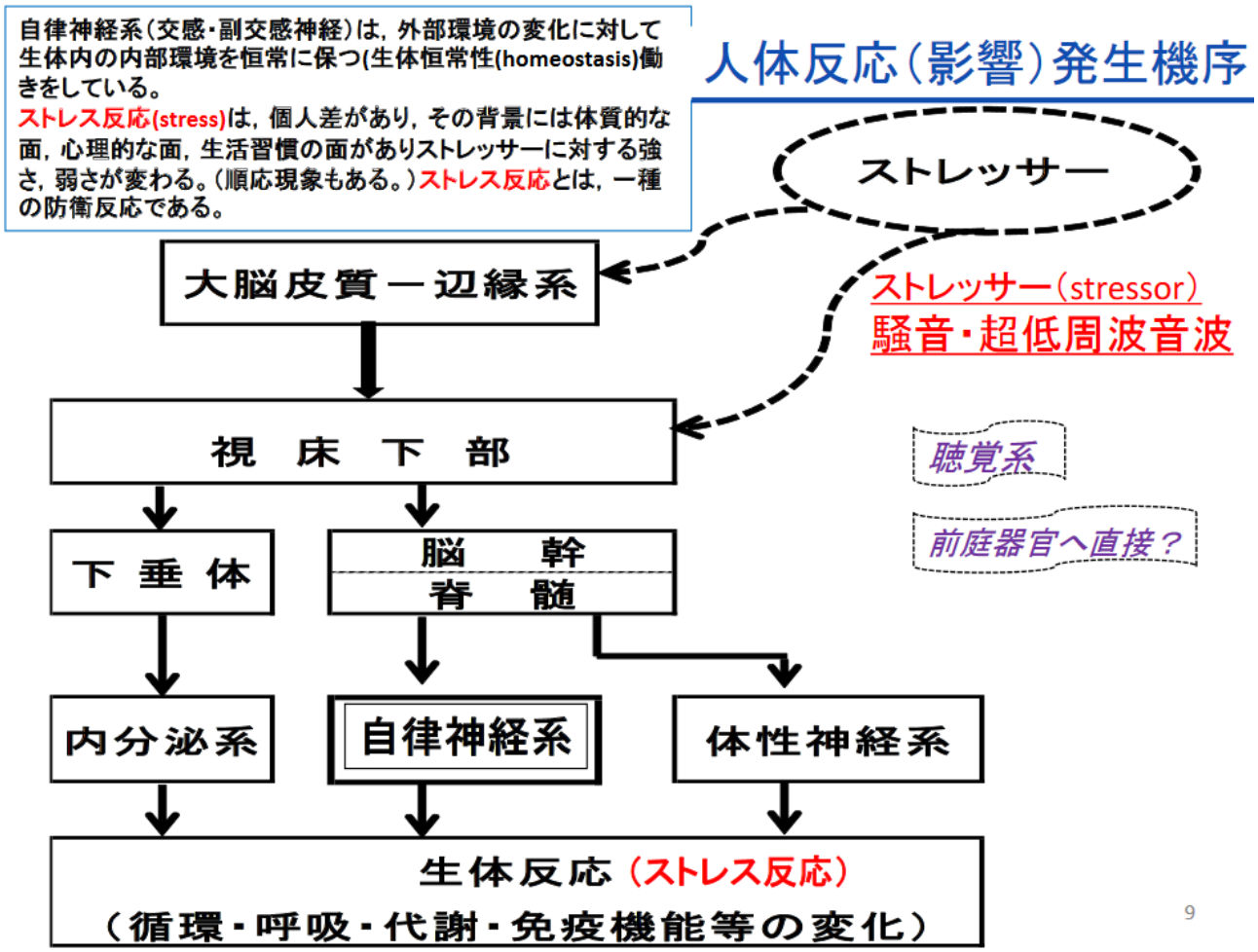
での、内耳の前庭への影響を重視する人は多い。

人体への影響（町田氏）

町田氏は人体への影響を考察しているが、聴覚を中心に書かれています。



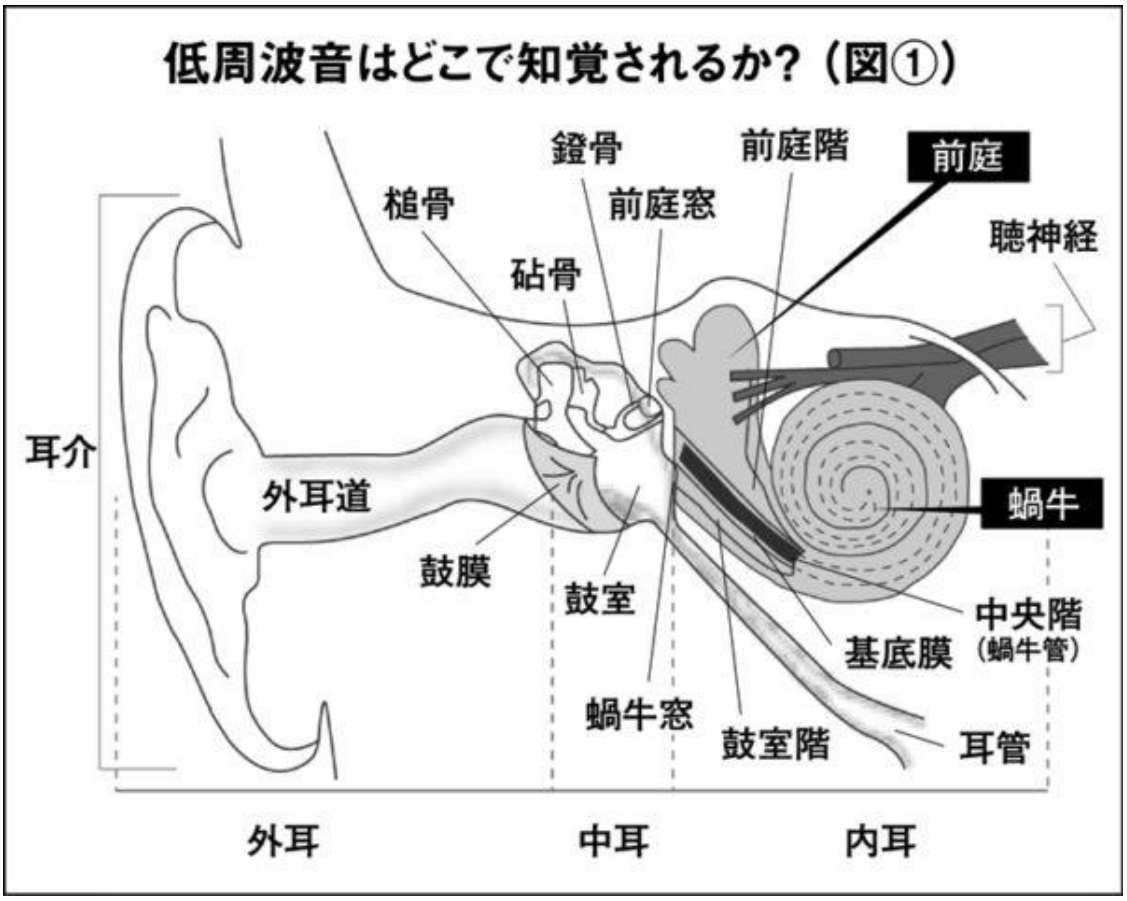




残念なのは、これらのストレスを数値化して統計的に解析するための具体案が示されていないことです。
因果関係を明確にし、責任の所在を明らかにするには、数値化して多変量解析的に分析する必要があります。
数値化する方法としては、唾液コルチゾール検査などの方法があります。
また、音＝聴覚との考え方に捕らわれ過ぎです。気圧変動の感知の面や人体の中での圧力変動の影響面からの検討も必要です

町田氏の例では、
騒音→耳→脳→身体
　　→情緒
騒音・超低周波音→聴覚系・前庭器官→脳→生体反応（循環・呼吸・代謝免疫）

巨大風車による健康影響の実態について　北海道大学工学研究院助教・田鎖順太
“また、低周波音を原因とする過去の公害事件では、睡眠障害に加えて頭痛やめまいが生じていたことがわかっている。1977 年、西名阪自動車道の奈良県北葛城郡香芝町（現・大和高田市）にある高架橋周辺で、かなりの数の住民が頭痛や不眠を訴えて裁判になった。そのときの調査結果だが、道路に近ければ近いほど、頭痛や不眠、いらいらする、肩こり・痛み、めまいなどの症状発生率が高くなっていた。頭痛やめまいなどの健康影響は通常の騒音ではなかなかあらわれない。低周波音でそうした症状が起こっているのではないかと予測される。”



“それでは、**低周波音でなぜ頭痛やめまいが起こるのか？　耳の中の構造に目を向ける**と【図①参照】、鼓膜があり、その先に槌骨（つちこつ）・砧（きぬた）骨・鐙（あぶみ）骨と骨が三つつながって、それに続く内耳は骨に覆われ、中は水で満たされている。音の振動で鼓膜が震えると骨三つで振動が増幅され、内耳の中の水を揺らし、渦巻き状になっている蝸牛の中の細胞がそれに反応して音を感じる。また、振動や頭の動きを感じる前庭器官や、頭の傾きを感じる半規管も内耳で、水でつながっている。つまり低周波音による振動は、蝸牛だけでなく、頭の動きや傾きを感じる**前庭や半規管も刺激**し、**頭痛やめまい**が起こるのではないかと推測される。**周波数が低いほどこれらの器官に振動が伝わりやすい**という研究もある。

低周波音による健康影響は、次のように分類できるのではないか。まず、「音が気になる」という心理的な要因で睡眠障害が起こる。これもそのまま放置できない。次に、物理的に圧迫感や振動感を感じることによって起こる睡眠障害がある。さらには内耳の前庭や半規管が刺激されることによる頭痛やめまいなどの健康影響（風車病）があると考えられる。

そのほか、内耳の中の一部の骨が欠損している高感受性群（上半規管裂隙症候群）という障害のある人が全人口の数パーセントおり、低周波音で健康障害が起こりやすいと推測される。“

さらに、田鎖氏は、

風車音による健康影響の原因となる「振動感」に関する研究

“2. 風車騒音による影響のメカニズム（仮説）

著者は、低周波音による特異的な知覚である「振動感」が、通常の知覚とは異なる生理学的経路を辿って音が受容されることによって生じるのではないかと考えた。図１に、風車騒音（低周波音）の受容・影響メカニズムに

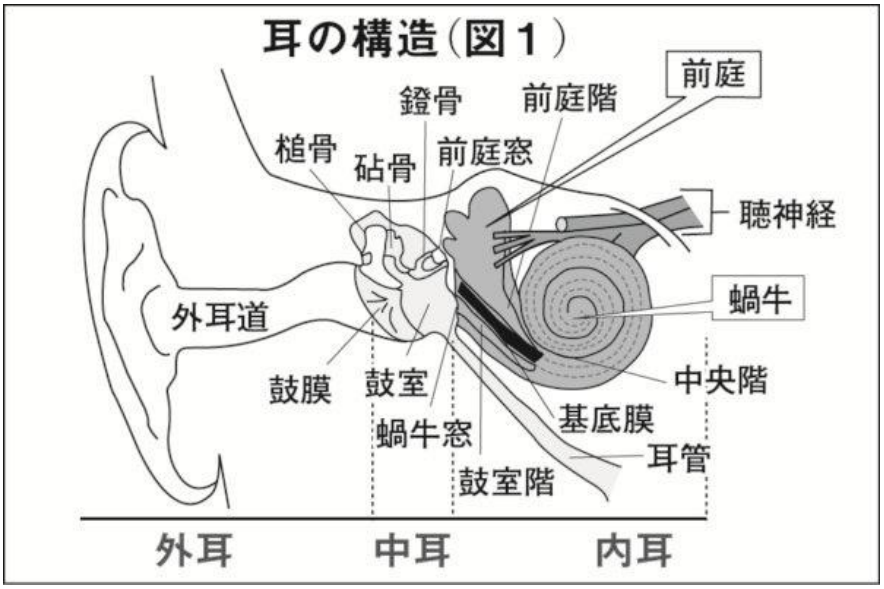
関する仮説の模式図を示す。蝸牛だけではなく前庭器官・半規管を通して低周波音が感覚・知覚されることによって「振動感」が生じているのではないかと考えた。
前庭器官・半規管は平行機能を司っているため、音刺激が「振動」として感じられることは自然と考えられる。また、低周波音がこれらの器官への刺激であるとするならば、頭痛・めまい・吐き気等の健康影響は平衡機能障害として説明できる。さらに、比較的低い曝露レベルで睡眠障害リスクが増大することに関しても、風車騒音の受容経路がそのほかの環境騒音とは異なるとすれば不合理ではないと考えられる。“

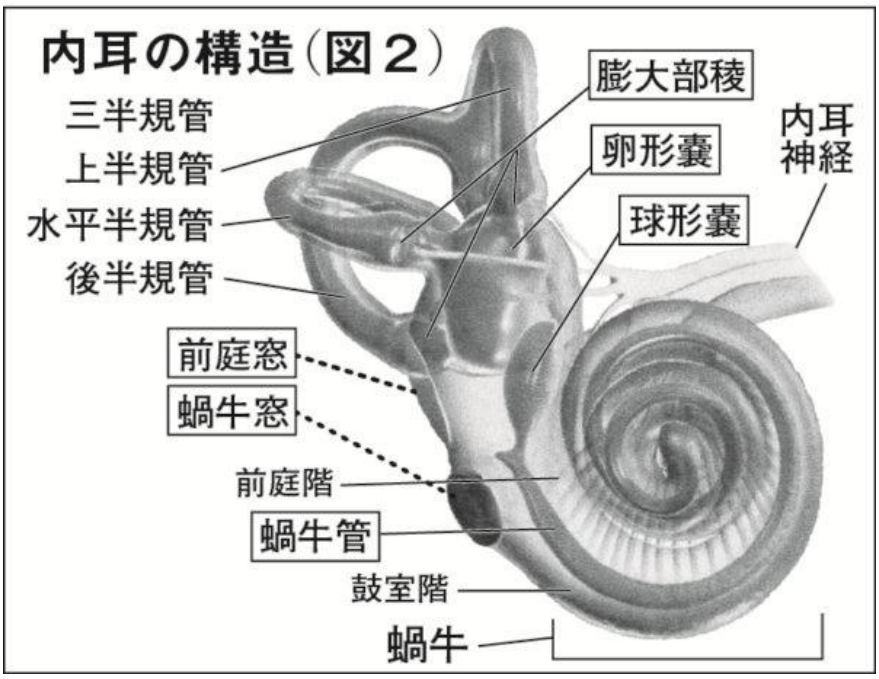
田鎖氏の場合は、
音→耳→蝸牛・前庭や半規管→頭痛・めまい

健康被害が起る仕組み（松井利仁）

長周新聞　いかなる権威にも屈することのない人民の言論機関
風車騒音の健康影響　　北海道大学大学院　工学研究院教授　松井利仁
社会 2017 年 7 月 28 日

人間の耳は、鼓膜があって中耳があって、蝸牛というところで音を分析して脳に伝える（図１）。そこには前庭という機関があって、頭の傾き、頭の振動を検知して体の平衡機能を保っている。音は鼓膜から入ってきて、まず前庭窓を刺激し、中のリンパ液を振動させて、一部は蝸牛に伝わって音として感じる。前庭窓から蝸牛の間に卵形嚢（のう）、球形嚢という二つの器官があり、ここが振動を感じる感覚器官だ（図２）。入ってきた振動はまずこの二つを振動させてから蝸牛に入る。卵形嚢･球形嚢は低周波音でしか反応しない。





低周波音による「公害病」はいくつかに分類できる。一つは低周波音が聞こえることによって「小さい音」でも気になって眠れない環境性睡眠障害。中・高周波音では小さい音は気にならない。「小さな音」が気になるかどうかは個人差があり、騒音計で評価することは困難だ。もう一つは今紹介した**前庭への刺激**で、耳に聞こえる音としてではなく**圧迫感・振動感を感じることによって眠れなくなる**のと、振動によってめまい、頭痛、肩こりを起こしていわゆる風車病となる。「音が気になる」かどうかより、物理刺激との関係が強い。さらにもう一つ、上半規管裂隙症候群（ＳＣＤＳ）という障害を持っている方がいる。１９９８年に発見されたもので、有病率は１～５％。その方は低周波音、とくに超低周波音の感受性が極めて高い。この三つが発症機序である。

風車騒音と風車病・睡眠障害との因果関係について。風車病（風車症候群）と名前をつけたのはヨーロッパの研究者ニーナ・ピアポントだが、彼女が風車の近くに住んでいる人を調査して「転居したら治る」ということを調べた。それはきわめて強い因果関係を証明している。関連の可逆性という。２０００年代のことだが、この時点で疫学関係者は風車病というのは低周波音で起こると確信していたはずだ。ところがいまだにそう思わない人がいる。耳鼻科ではもっと前から、音が前庭を刺激して「めまい」が起こるというのはチュリオ現象として教科書に書いてある。実はチュリオ現象は前庭器官の診断に使われている。

もう一つ、低周波音による「環境性睡眠障害」については、すでに複数の疫学調査結果（環境省を含む）で風車騒音と「睡眠障害」との関係は明らかにされている。にもかかわらず環境省は「睡眠障害」という言葉を使わない。家庭用ヒートポンプ（エコキュート）による「睡眠障害」に関しては、２年前の２０１５年に、参照値以下のレベルでも睡眠障害が起こるということを消費者庁が認めている。低周波音で睡眠障害が起こることは明らかで、これを否定する人は科学者ではない。

環境省の対応と問題点

環境省は実に非科学的なことをやっている。WHOは１９９９年に低周波音についての知見を出した。「A特性騒音レベルによる評価は不適切である」「低周波音が多く含まれる騒音に対しては、より低いガイドライン値が推奨される」「低周波音は低い音圧レベルでも休息や睡眠を妨害する可能性がある」ということをいっていた。

低周波音について環境省は、寄せられた苦情に対して２００４年に参照値という目安をつくった。参照値というのは、１０人に１人が寝室で「気になるレベル」を調べたものだ。そして環境省は参照値を目標値にしないよ

う通達した。住民の１割に影響が出るような値では住民を保護できないからだ。また、参照値は室外機など定常的な低周波音を対象としており、風車の風切り音のような規則的な変動がある場合はもっと「気になる」からだ。ところが事業者は通達を意図的にねじ曲げて、「環境省は参照値を使うなといった」といって、もっと緩い「環境基準値」や「気になる—気にならない曲線」、５割の人に影響が出るような数値を目標値にした。これは倫理観のある人間の行為ではない。利益追求しか考えない事業者やコンサルタント会社による公害犯罪だと思う。

先にのべたように環境省は今年５月、「風力発電から発生する騒音に関する指針」を出した。環境省が選んだ専門家は「風車騒音の影響は“聞こえる音”による生活妨害や不快感である」「“聞こえる音”なら騒音レベルで評価できる」「“聞こえる音”なら風車以外の騒音のある地域では基準値を緩めるべき」というものだ。なぜこういう論理を環境省が採用したのか、信じられない。これに対して選ばれなかった専門家、私だが、「環境省の研究でもすでに睡眠障害との因果関係が示されている。それを生活妨害とか不快感という言葉で矮小化するな」「ＷＨＯは２０年前に騒音レベルでの評価を否定している」「**前庭への影響**は低周波音だけであり、**人間は低周波音を聞き分けて**“気になる”のだ」と反論している。

松井氏の場合は、
音→鼓膜（耳）→前庭窓→蝸牛→音として感じる。
低周波音→耳→前庭→圧迫感・振動感→眠れない

見解の特徴と計測の必要性

普通は、何かの影響を調べるには、そのものの特徴を調べる。
『孫子』は、
「彼を知り、己を知れば、百戦して危うからず」
つまり、「情報を集めろ」という事・・・敵の情報も、そして自分自身の事も、調べつくした上で、「勝てる相手とだけ戦え」と言っています。

風車音の性質を調べるには、精密騒音計での計測と解析が必要です。振動感について語る前に、振動レベル計での計測と解析が必要です。

ただし、騒音計が示してくれる、G 特性音圧レベルの数値や、1/3 オクターブ解析の結果だけでは、風車音の特徴は理解できないのです。精密騒音計を精密な録音装置として使い、WAV ファイルとして記録された音圧変動を、専用の解析ソフトで調べる必要があります。

風車の超低周波音が非常に特殊な性質を持っていて、それが、聴覚よりも体全体に対する物理的な影響を重視することが必要であることの根本的な理由です。この特殊性の把握が最低限の条件です。

最低限の準備もしないで、“音＝耳” と考えてしまえば、その影響を一面的に把握してしまい、体全体に対する物理的な影響の考察が欠けてしまいます。

町田氏の例では、
騒音→耳→脳→身体
　　→情緒
騒音・超低周波音→聴覚系・前庭器官→脳→生体反応（循環・呼吸・代謝免疫）

田鎖氏の場合は、
音→耳→蝸牛・前庭や半規管→頭痛・めまい

松井氏の場合は、
音→鼓膜（耳）→前庭窓→蝸牛→音として感じる。
低周波音→耳→前庭→圧迫感・振動感→眠れない

これらの主張に共通な特徴としては、耳や聴覚に重点を置き過ぎている事です。そうなった理由は、“風車音の計測と解析をしていない。”からです。
風車音と頭痛の因果関係、風車音と血圧の因果関係、を示すために、風車音と人体の反応の間に、耳を入れれば、風車音の影響力の 93%を無視して、考察することになります。これでは風車音と健康被害の因果関係を見つけることは出来ません。
そして、実際の被害者は、裁判で因果関係を証明できなくて、敗訴し、泣き寝入りをするのです。

さらに、風車音の影響に関する“学説”が増えると、裁判での手間が増えるだけなのです。計測も解析もしないで、妄想を振りまく“学者”は、被害者にとっては、風車音の次に、迷惑な存在なのです。
学説があれば、それが間違っていることを論証する必要が出てきます。妄想を批判するのは、少し面倒なのです。物理的な根拠と論理性が少しでもあれば、批判しやすいのですが、妄想を批判するのは、面倒なのです。実際の計測値が共通基盤とはならないからです。すくなくとも、裁判の邪魔はしないでほしい。

自分の力量が足りなくて、
騒音計が示してくれる、G 特性音圧レベルの数値や、1/3 オクターブ解析の結果だけしか兵器が無いならば、戦いを仕掛けるべきではないのです。
無謀な戦いの結果を見れば、風車音による聴覚に対する影響だけに限定することになり、聞こえない部分の検討がおろそかになっています。
敵は、“聞こえなければ問題ない”と言っている。これは、聞こえない部分に焦点を当てて議論することを嫌がっている証拠です。ここが敵の弱点なのです。

勝負の鉄則は、敵の弱点を突くことです。ただし、武器を揃える必要があります。
精密騒音計の使い方を変える。解析ソフトを自分で作る。Wavelet 解析やカオス理論を使う。量子力学も使う。有限要素法も使う。
これらの武器を揃えて、敵の弱点を攻撃するべきです。

しかし、“学者”の方々は、
風車音の特徴を、計測と解析の結果を使って、根底から理解しようとしない。
振動を実際に計測して仮説の正しさを検証しない。
因果関係を更に論証するには、揚力ベクトルと流体力学、風車の運動に関する有限要素法による解析、粗密波に関する量子力学に踏まえた解説、などが必要になりが、これらの準備をしないのですから、
勝てるはずは有りません。

音と健康被害の因果関係を示すには、

被害者が風車音を暴露している証拠を示す。このためには、被害者がいる場所に風車音が届いていることを示す。被害者宅の近くには様々な音源がある。風車音と近くの環境騒音が一緒に計測されるので、計測された音を、近くの環境騒音と遠方の風車音を分離する必要がある。A 特性音圧レベルの数値への寄与率は、住宅の近くでの環境騒音の方が高い。20Hz 以上の可聴音で比べれば、風車音よりも他の環境騒音の方が音圧レベルが高い。

被害者宅での A 特性音圧レベルが高くても、その原因が風車音だとは言い切れない。それが出来なければ、計測された音を騒音に関する環境基準値と比べることになる。指針値と比較すべきか否かの判断が難しくなる。もちろん指針値を比較しても、被害が出ないか否かの判断基準にはならない。

被害者の家で計測した音のうちで、風車音による影響がどの程度かを示す事が必要です。それには、超低周波音の部分の正確な音圧（パスカル単位）を知る必要がある。

業者の責任の程度を評価する為には必要な事だと考えます。これは、G 特性音圧レベル、1/3 オクターブ解析、A 特性音圧レベルの数値からは判断できないのです。

風車音の影響の程度を評価するだけでも難しいことがあるのです。

また、特殊な周波数特性を持っている音が観測されても、それが風車音であることを証明する必要もあります。それには、風車からは特別な性質を持つ超低周波音が出る必然性を示さなくてはなりません。

風車の運動の詳細と、特別な粗密波が発生する仕組みを詳細に記述することが必要です。そして、その風車音が到達していることを示す。

その特殊な音の物理的な性質が、頭痛や血圧上昇などの循環器系の障害を引き起こすことを、物理的に証明する。

計測もしない、聴覚に拘るあまり超低周波音の部分の影響を軽視する、粗密波が発生する仕組みや、風車音の指向性などを考えないで、風車騒音（20Ｈｚ以上）の影響として、風車音の被害を捉えようとする。

これでは、聞こえない音だから、超低周波音は人体への影響は無いとする、環境省の主張とほとんど同じです。残念な、“学者”の方々、としか言えない。

風車音は特殊であり、その特殊性が健康被害を引き起こす原因になっていることを示さなければ、住民は裁判で勝てないのです。

特殊な風車音が健康被害の原因である事を示す事が必要なのです。特殊な性質を持つ音がどの様にして水平軸型の風車から発生するかを示す必要があるのです。

そして、業者に健康被害の責任を取らせることが必要なのです。

計測対象と新しい計測方法

過去の測定や考え方

低周波音の基礎および伝搬・影響・評価（落合博明　氏）には、
“低周波音の測定にあたってはG特性音圧レベルと1/3オクターブバンド音圧レベルを測定する”

低周波音の測定方法に関するマニュアルには、（平成１２ 年１０ 月　環境庁大気保全局）
“3）風雑音と低周波音の見分け方
風による音圧レベルと対象とする音圧レベルの違いを判別するのは簡単ではないが、次のような点に注意するとよい。
・多くの場合、対象とする低周波音は定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すはずである。
・風による音圧レベルは，不規則に変化する。“

平成２２年度　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書　には、
“風車音の計測に関しては、
・統一した方法はない
・計測機器が規格化されていない“
“表 2.1 は、従来の騒音発生と風車騒音発生とはどのような違いがあるのかを幾つかの観点で比較・整理したものである。本表で使用する記号のうち、風力発電所から発生する騒音等について記載している“△”は、「従来の低周波音」である程度「明確さ」になっていると判断したものである。また、“●”は不確実さを示したもので、“○”は明確さを示したものである。“

表 2.1　風車騒音等と従来の騒音との比較

	風車騒音等			従来の騒音（工場・事業場、建設作業、道路交通、新幹線、航空機、近隣騒音、深夜営業騒音）		
	概　要	明確さ	不確実さ	概　要	明確さ	不確実さ
現象	・ 波動：疎密波 ・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折 ・ 衝突・衝撃・摩擦 ・ 回転・乱れ・脈動 ・ 渦・共鳴／共振 ・ 磁界・電磁気	○		・ 波動：疎密波 ・ 入射、反射、吸収、透過、共鳴、回折、干渉、屈折 ・ 衝突・衝撃・摩擦 ・ 回転・乱れ・脈動 ・ 渦・共鳴／共振 ・ 磁界・電磁気 ・ 爆発・燃焼・圧縮・膨張	○	

妨害	・ 心理的・生理的・身体的 ・ 精神的・生活・物的	△	●	・ 聴力低下・聴力妨害 ・ 心理的・生理的・身体的 ・ 精神的・生活・物的	○	
計測	・ 統一した方法はない ・ 計測機器が規格化されていない ・ 実験施設・実験方法も規格化されていない		●	・ 騒音規制法によるもの ・ 日本工業規格で統一 ・ 計測機器は規格化 ・ 実験施設も充実 ・ 実験方法も規格化	○	
予測	・ ISO9613-2 ・ NEDO 式 ・ Nord2000 モデル 等があるが、未完成部分あり		●	・ 騒音発生源毎に予測手法が整備され、実用化	○	
評価	・ 物的影響は一般化 ・ 心身的影響、最小可聴値、アノイアンスは未解明	△	●	・ 騒音規制法、都道府県条例にて、規制基準値を設定 ・ 環境基準を設定	○	
法律	・ 国では未規制 ・ 一部、条例で規制	△	●	・ 環境影響評価法、騒音規制法、都道府県条例が整備	○	
国際	・ 論文発表件数が少ない ・ 特に、発生源、計測方法、評価に集中 ・ 各国の評価法がまちまち	△	●	・ 論文発表は充実している ・ 各国へ法規制・評価法を発信	○	
医学	・ 医学的な見地からの公的な見解が無い		●	・ ある一定以上の騒音暴露による影響についての公的見解はある	○	

風車騒音等の計測に関しては、

・統一した方法はない

・計測機器が規格化されていない

・実験施設・実験方法も規格化されていない

と書かれている。

評価に関しては

・物的影響は一般化

・心身的影響、最少可聴値、アノイアンスは未解明

法律に関しては

・国では未規制

・一部、条例で規制

とある。

新しい測定方法

統一した方法が無いならば、自分で最適な方法を考えて実行してみれば良いのです。新しい方方法を提起すれば良いのです。

計測結果から得るべきものは、

・“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。”について、正しいか否かを判断すること、卓越の程度を明らかにすること。

・ISO7196 にある、1/3 オクターブ解析での中心周波数 0.25Hz の帯域のエネルギーを計算できるだけの周波数分解能を得ること。

の２点です。もちろん、1Hz 以下の領域でも計測可能なマイクを使う事が必要です。

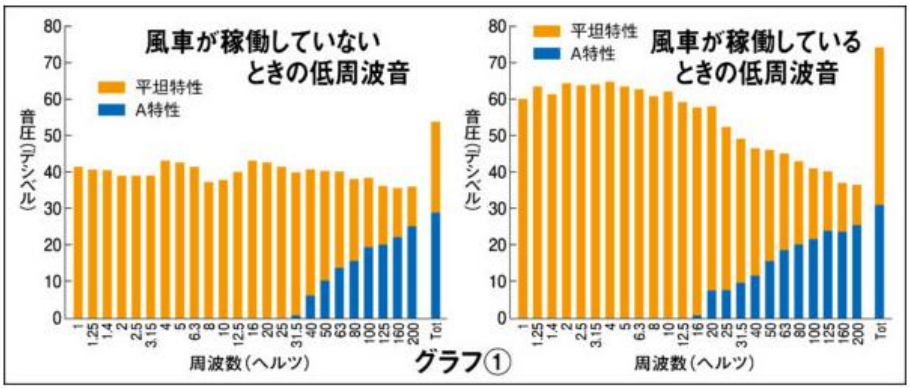
リオン社と相談した結果、サンプリングレートが 48ｋHz で音圧の変動を WAV ファイルとして記録したものを解析すれば良いとの事でした。

60 秒間の計測データだと、48000*60 個のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をhHzとすれば、h*48000*60＝48000 となるので、h＝0.01667Hzとなり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はh＝0.01667Hz です。0Hzから 24000Hzまで、刻み幅 0.01667Hzで計算されることになります。120 秒間の計測データを使えば、周波数分解能が 0.0083Hz となる。

0.25/0.01667＝14.99、 0.25/0.0083＝30.12 なので、メモリーと計算速度に余裕があれば、120 秒間のデータで計算すべきです。これがあれば中心周波数 0.25Hz～315Hz の 1/3 オクターブ解析が可能です。最大音圧や周波数特性も明確になります。

解析方法の変更

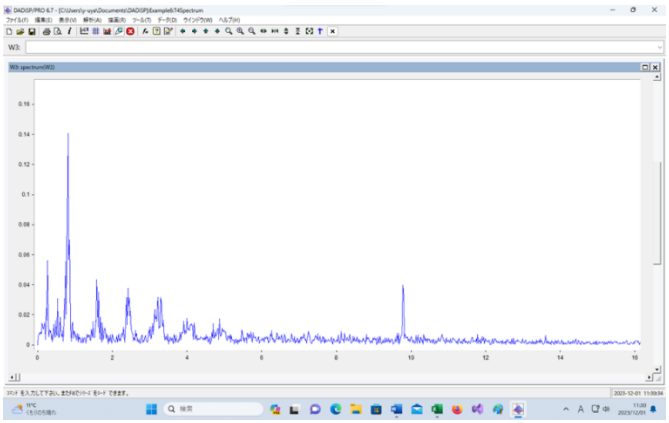
マリアナ・アルヴェス-ペレイラ氏の計測は、不十分であり、音響学者に勝てそうもありません。
低周波音の人体への影響を解明　マリアナ・アルヴェス・ペレイラ博士の報告から

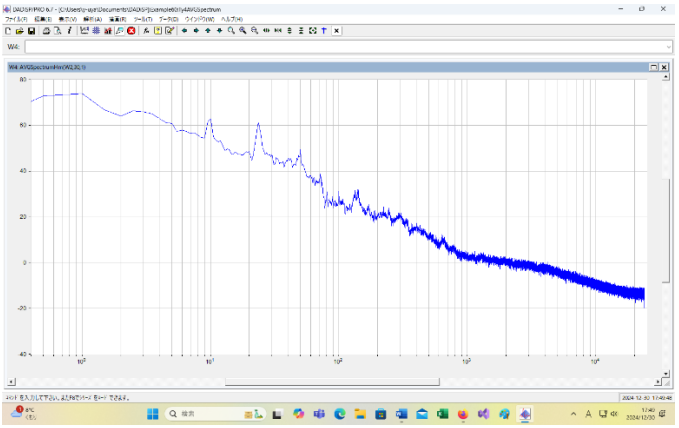


オクターブ解析でしかも、1Hz からになっています。このグラフでは風車音の性質が判明しないので、発生メカニズムを解明出来ません。

昔の環境省が言っていた
“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は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。
その基本周波数 f（Hz）は、翼の回転数を R（rpm）、翼枚数を Z（枚）とすると
f ＝ RZ/60（Hz）
で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。
大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

を考える必要があります。
4200ｋW 級の風車では、翼の先端部分のスピードは空気の粘性や音速との関係であまり大きくは出来ない、よって１分間の回転数はより小さくなる。 f ＝0.5Ｈｚ程度になる。
さらに、ピーク値とピーク値の間の音圧を調べる必要があるので、周波数分解能を高くすることも必要ですが、周波数スペクトルの音圧が、ピーク値での周波数が変動する事によって小さな数値になることも考える必要があります。





風車音での被害の究明では、左を選べば、f/3、2f/3、f、2f、3f、、Hz で音圧がピークとなることが分り、その事から風車音が発生する仕組みや頭痛が起きる理由を解明できるが、右のグラフを選べば風車音被害の原因は究明できなくなります。

課題は、風車音の発生メカニズムを解明する事なのです。これによって風車音の物理的な性質が判明します。そして風車音の物理的な影響も明確になります。当然、健康被害が発生する物理的な仕組みも判明します。

音響学と言いながら、風車音の波形を示す論文は見当たりません。もちろん、計測したデータを WAV ファイルの形で公開する学者も見当たりません。

G 特性音圧レベルの問題点（アノイアンス曲線）

A 特性、G 特性での重みづけとアノイアンス曲線

A 特性と G 特性の重み付けは、下のグラフです。

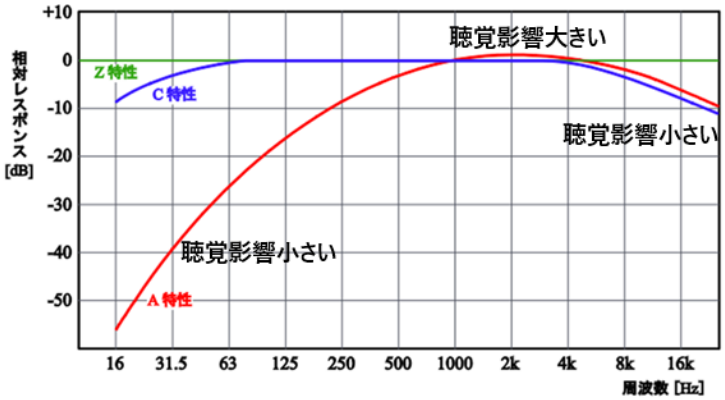


図 2　周波数重み付け特性 A/C/Z

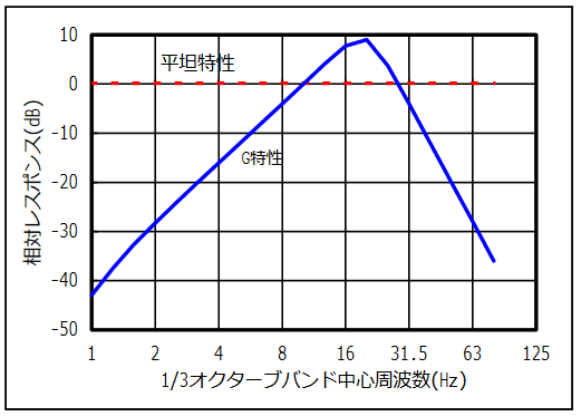


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

「A特性・G特性」とは、音の高さ(周波数)によって聞こえる感度が違うので、聞こえる大きさに補正した値にすることをいいます。

そもそも、聞こえない音を“聞こえる大きさに補正した値にする“こと自体が意味を持たないのであるが、もう少し確認します。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	
G特性の重み	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68
A特性の重み				-70	-63	-57	-51	-45	-39	-35	-30	-26	-23	-19	-16	-13	-11

A 特性の重みを 20Hz～200Hz で確認すれば。-51～-11 まで、単調に増加している。

これは、20Hz～200Hz の範囲では、周波数が高くなると聞こえる感度が良くなることを意味している。

G 特性の数値が、“聞こえる感度”で補正した数値ならば、20Hz～80Hz の間では単調増加になるはずなのに、9～-36 まで単調に減少している。

G 特性での、20Hz～80Hz での重みは、聞こえる感度とは逆の重み付けになっている。

20Hz 以下では、聞こえにくいからマイナスの重みを付けるが、

20Hz 以上では、聞こえやすいからマイナスの重みを付ける。

という事になる。
　これでは理屈が通らない。

G 特性の真の目的は別の所にある。

周波数Hz	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
聴覚閾値											78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5
心身参照値 dB								92	88	83	76	70	64	57	52	47	41
G特性の重み	-28	-24	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36

　心身に関する参照値を見れば、10Hz～80Hz までは、参照値が下がっている。これは音が聞こえて、不快に思う時の音圧レベル小さくなっていることを意味している。
　聞こえる感度は、20Hz よりも 80Hz の方が良好であることを意味している。聞こえ方が良好になるにも拘らず、G 特性での重み付けは、20Hz～80Hz ではどんどん小さな数値になっている。聞こえやすくなる周波数なのに、あたかも聞こえにくいかのような重みを与えている。

　A 特性での重み付けの根拠は、
　人間にとっての騒音の煩さを表す数値が A 特性音圧レベル（単位はデシベル d B）です。この計算には、人間の聴覚での可聴域が 20Hz から 20000Hz であることと、周波数によって人間の感じる煩さ（聴覚で感じる騒音の大きさ）が異なることを考慮して、周波数帯ごとに重み付けをして全体としての騒音レベル（ d B）計算します。

　同じ音圧レベルでも、“聴覚で感じる騒音の大きさ” が大きい場合は、プラスの重みを付ける。小さい場合はマイナスの重みを付ける。聞こえやすい場合はプラス、聞こえにくい周波数にはマイナスの重みを付けている。
G 特性での重みを、20Hz～80Hz で見れば、聞こえやすい音にマイナスの重みを付けている。

“低周波音の測定方法に関するマニュアル” には、
（3）G 特性
1-20Hz の超低周波音の人体感覚を評価するための周波数補正特性で、ISO-7196 で規定された。可聴音における聴感補正特性である A 特性に相当するものである。この周波数特性は、10Hz を 0dB として 1-20Hz は 12dB/oct.の傾斜を持ち、評価範囲外である 1Hz 以下および 20Hz 以上は 24dB/oct.の急激な傾斜を持つ（図-1.1、表-1.1 参照）。
1-20Hz の傾斜は超低周波音領域における感覚閾値の実験結果に基づいている。
とある。

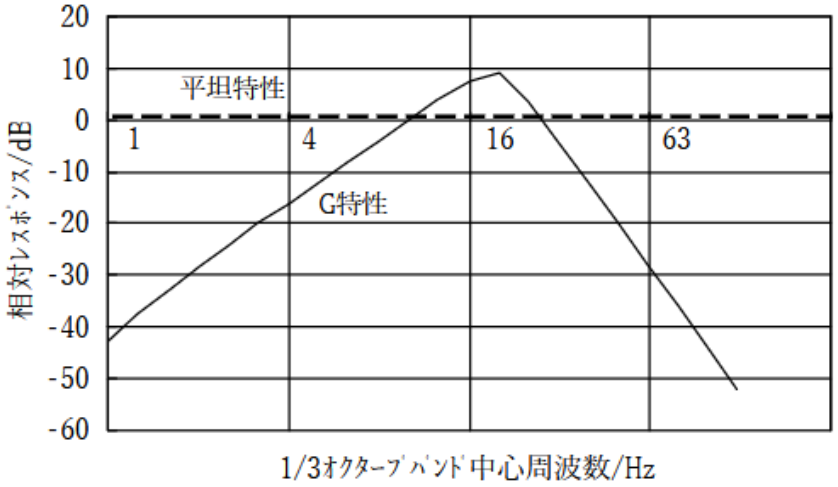


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

とあるが、ISO7196 での G 特性の重みの範囲は、1～20Hz ではなく、0.25Hz～315Hz である。

20Hz 以下の部分は、聞こえにくい音にはマイナスの重みを付けるとの言い訳もできるが、20Hｚ～80Hｚの部分に関しては、どの様に説明するのでしょうか。20Hz～80Hz では聞きやすい音にマイナスの重みを付けています。この様な説明を、普通の日本語では、“支離滅裂”という。

これを不快感について真似る。不快感に関しては、10Hz 以上に関しては聴覚での不快感を採用する。10Hz 以下については、圧迫感を中心とした不快感を採用する。

参照値を 10Hz 以上に関して確認すれば、

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

10～80Hz については、92～41ｄB と減少している。
これは、音圧レベルが同じならば、周波数が上がるにつれて、音による不快感が増大することを意味している。

不快感に関する影響が大きいものに、プラスの重みを付けると考えれば、10Hz を越えた場合の重みは、周波数の増大に伴って、プラスで増大する。

ガタツキによる不快感での睡眠妨害を考えてみます。ガタツキ閾値の表は、

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						

となっている。5Hz～20Hz の範囲で考えれば、ガタツキ閾値は周波数の増加につれて大きくなる。

感覚閾値の感覚について、ガタツキを感知する三半規管や、床による振動を皮膚への圧力変動として感知する

ことを考えるならば、ガタツキまで含めた感覚閾値は周波数の減少につれて小さくなる。同じ音圧ならば、周波数が下がるほどガタツキを敏感に感知するようになる。同じ音圧ならば、周波数が低いほどガタツキでの不快感が増し、睡眠を妨害される。

A 特性での重み付けは、感覚で把握しやすい部分はプラスの重みを付けて、感覚で把握しづらい場合はマイナスの重みを付ける。

G 特性でもこれを真似て、風車での睡眠妨害の観点から 5Hz～20Hz の部分に対する重み付けをするならば、低い周波数（5Hz）は睡眠妨害の力が強いのでプラスの大きな値の重みを付ける。高い周波数（20Hz）はガタツキでの睡眠妨害を起こす力が弱いので、ゼロあるいはマイナスの重みを付けるのが合理的である。

もちろん、感覚を聴覚だけに限定すれば逆になる。聴覚への刺激は、音圧が同じならば、周波数が高いほど敏感に感知されるので、重みは大きくなる。ただし、聴覚は超低周波音の評価には向いていない。そもそも、超低周波音の領域では、聴覚の感度は鈍いのです。

圧迫感による不快感に関しては、同じ音圧での音が、周波数の減少との関係の様子を確認すれば、

圧縮過程が終了する時点での試験管内の圧力は次の表のようになる。

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

気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、

200Hz だと、体内の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

100Hz だと、体内の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

10Hz だと、体内の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

1Hz だと、体内の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

0.5Hz だと、体内の圧力は 0.999 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

周波数が低いほど、体内の圧力変動が大きくなる。

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

これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。したがって、周波数が低くなるほど圧迫感による不快感は増加する。

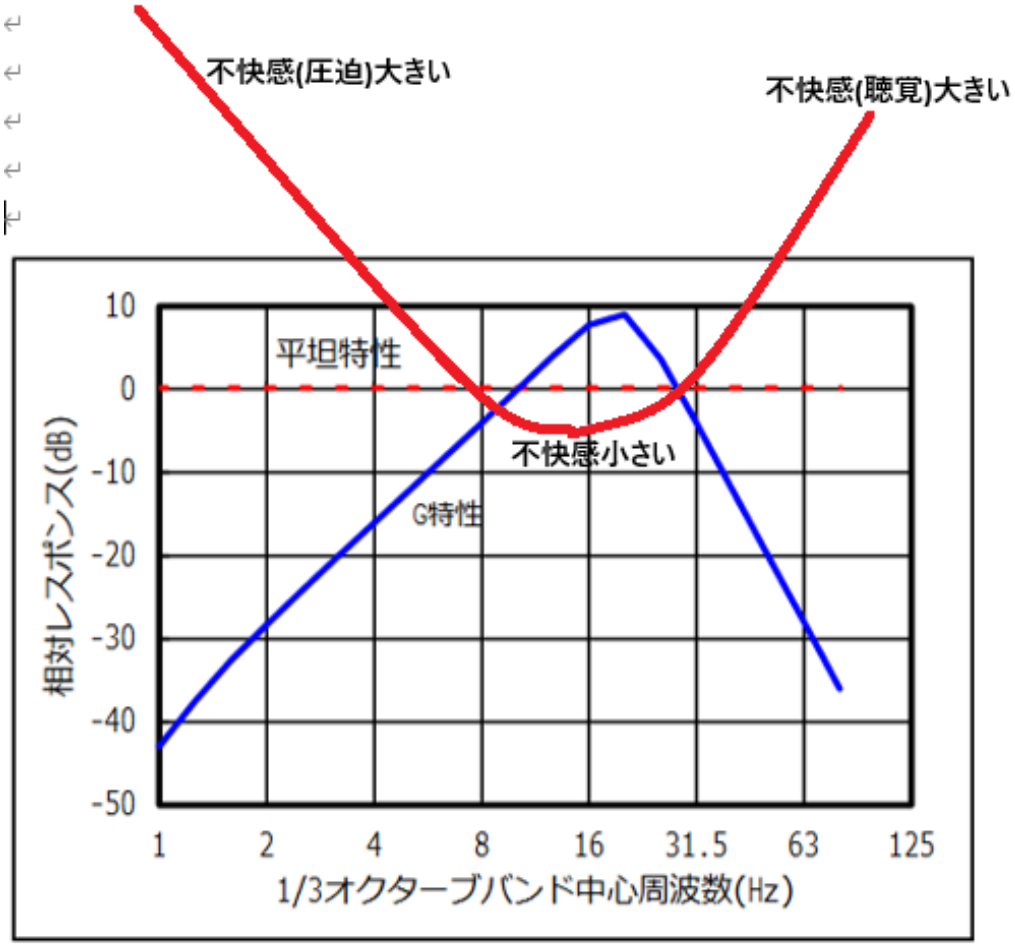


図-1.1　低周波音の周波数補正特性

不快感の観点からは、U 字型の重み曲線を考えるべきである。これを“アノイアンス曲線”と呼ぶことにする。

アノイアンス曲線で数値を決めれば、風車音でのアノイアンスに合った数値となるが、G 特性音圧レベルは、アノイアンスの程度とは逆の数値になる。

これは、風車の超低周波音による被害を隠蔽する目的で、G 特性音圧レベルでの重み付けがなされていることを意味する。

１．風車ってなあに？

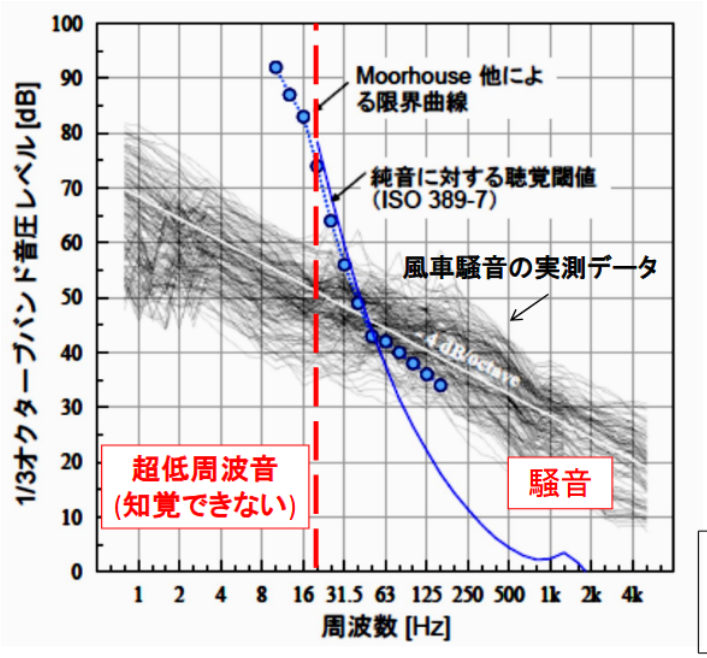
1．風車ってなあに？

私たちの周りには、テレビや電話、電灯など、電気を使うものがたくさんあります。
風車は風の力で発電機を回し、電気を作り出しています（風力発電）。

風は季節や日によって、弱くなったり強くなったりしますが、尽きることはないので、
再生可能エネルギーと呼ばれます。

風車がたくさんできると、風車を建てる仕事、ちゃんと動くように点検する仕事など、
様々な仕事が生まれ、秋田県に人が増えることが期待されています。

風車には２種類あります。
水平軸型の風車からは、強烈な超低周波音が出ます。



20Hz以下の超低周波音領域は，すべて知覚閾値を下回っている

風車騒音は知覚できない超低周波音ではなく，通常可聴周波数範囲の騒音の問題

全国29の風力発電施設の周辺合計164箇所での測定結果

*平成22-24年度環境省戦略指定研究領域 研究課題(S2-11風力発電等による人への影響評価に関する研究：研究代表者 橘 秀樹)より改変

１Ｈｚでの数値は、２重防風スクリーンで 38ｄＢ程度低く見えるようにしてあるので、本来は、88ｄＢ～118ｄＢ程度の音圧レベルになります。

１Ｈｚの場合は、聴覚に対する刺激は、非常にゆっくりした刺激なので、鼓膜で音として感じるのは困難ですが、周波数が低くて、音圧が高いので、人の体内に圧力変動として作用し、体内の圧力を変動させます。圧力による変化は外側から開始されるので、末梢血管が収縮して動脈内の圧力が高くなります。この状態が毎日計継続するので、動脈壁の肥大化と心筋の疲労の蓄積が起きます。結果として循環器系の障害がおきます。

もちろん、体内の圧力が変化することで、音響キャビテーションでの気泡発生条件が満たされて、微小な気泡による頭痛が起きます。これは、風車音による直接的な健康被害です。

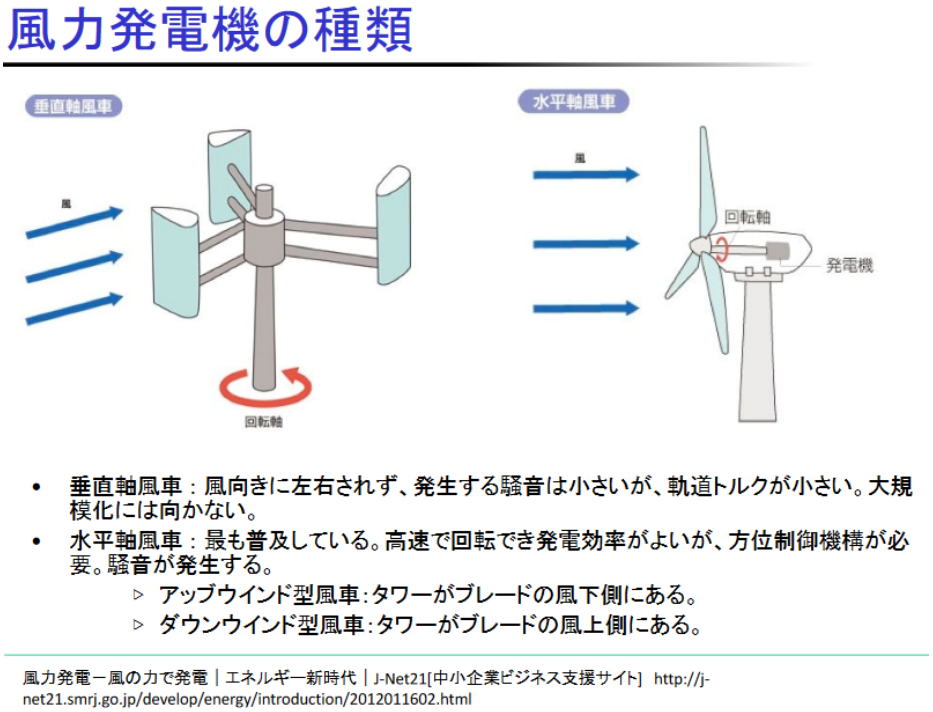
物理学に関する常識と、風車音の精密な計測結果が有れば、誰でも理解できる事柄です。

垂直軸型の風車

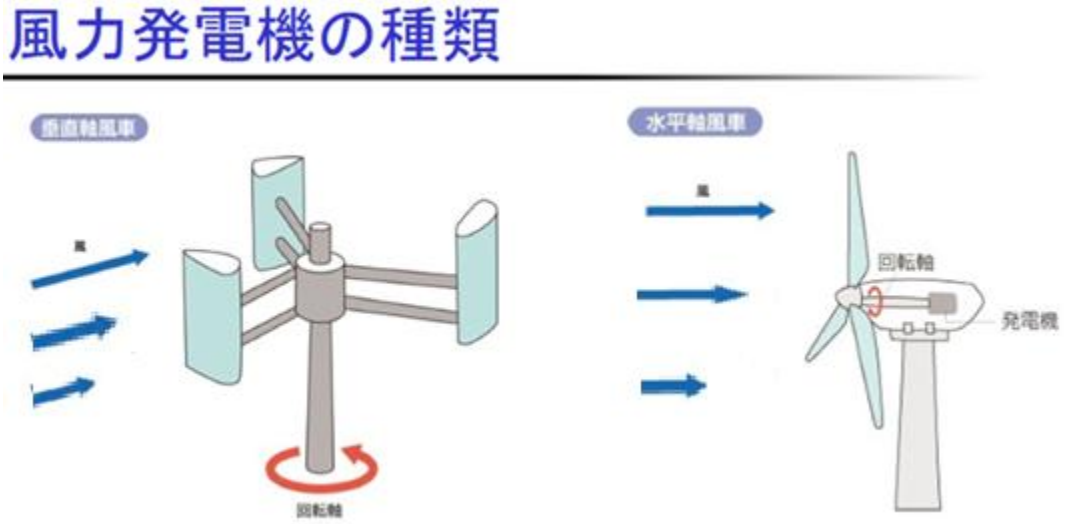
　可能性は一つだけ残っています。

山形県や秋田県の多くの市民は、垂直軸と水平軸の違いについて理解しています。

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



上の図では風速の矢印が同じ長さですが、正しく書けば、次の様になります。

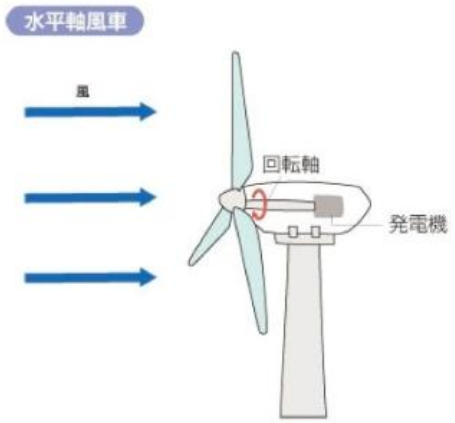


　上空の風の速度が速いので、ブレードに掛かる揚力ベクトルが、水平軸型の場合には、ブレードの回転に従って周期的に変化します。これよって、塔が曲がり、塔の側面の振動が起きて、強い指向性を持った超低周波音が発生することになります。風速の特徴を詳しく調べると、マクローリン展開の係数に従って、超低周波音の周波数スペクトルが離散的となることや、音圧の特徴についても、計算結果と計測結果が一致することが分ります。

回転軸が垂直の場合にはこのような現象は起きません。

簡単に言えば、水平軸型の風車は超低周波音の発生装置そのものなのです。

ただし、風速に高度差による違いが無い



として計算すれば、超低周波音は発生しないと言う結論になってしまいます。

フランスのエッフェル塔には、優れた風車があります。（少なくともこの風車に関する研究をする価値はあります。）

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

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

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

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

日本では、被害の原因を計測から除外して、被害を本人の気のせいだ、としているが、フランスでは、静かな風車をパリの中心部に建てているのです。

２．風車から音が出るの？

2．風車から音がでるの？

バットを力強く振ると「ブン」と音がします。

同じように、風車も翼（ブレード）が回るときに、
風を切る音がします。

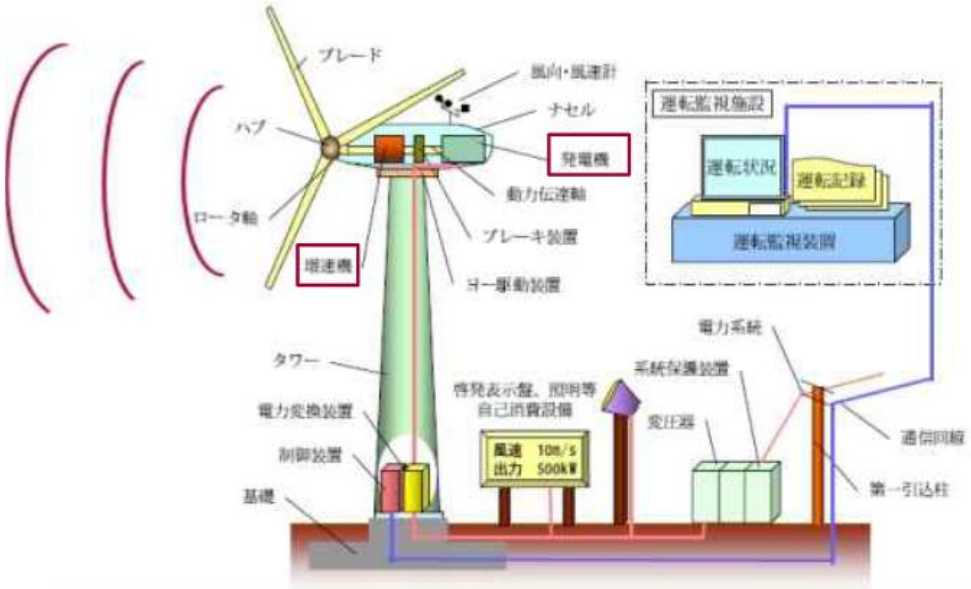
風を切る音のほかに、風車の中で動いている機械や部品からも、
音が出ています。

風の強さや周りの音の大きさにもよりますが、
風車の真下や近くに行くと、これらの音を聞くことができます。

５．８　空力音（支配的）と機械音　説　（井上保雄　INC エンジニアリング）

風力発電施設から発生する騒音についてと題する井上氏の講演では、

風力発電施設（風車）の構造と騒音

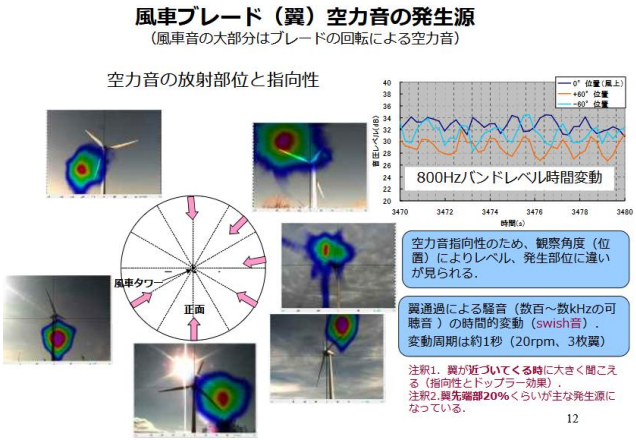


風車から発生する騒音はブレード（翼）が風を切ることによる空力音（支配的）と、増速機・発電機等に起因する機械音（換気扇等のナセル発生音と増速機等の振動伝搬に起因するタワーからの個体伝搬音、これは純音性の音で、わずらわしさにつながることがある）である.

8

風車から発生する騒音は、空力音と機械音だと説明して、

音響カメラで空力音を測って見せる。



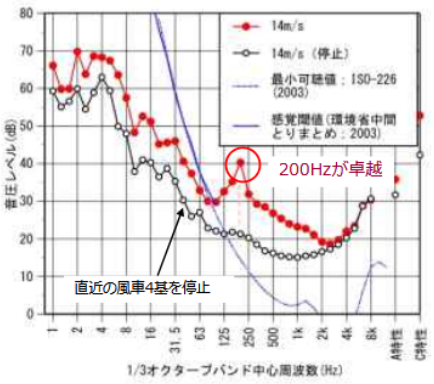
- 音響カメラは音響ビームフォーミング法という手法を用いている.
- これは騒音発生源から十分に離れた位置から音の発生源を可視化するものである.
- 多数のマイクロホン（カメラは48個）を用いて鋭い指向性 （方向性）を持たせることにより、どの方向のどの部位から どのくらいの大きさの音が発生しているかを可視化することができる.

- 仕様 ： マイクロホンアレイ
- 型番 ： GFai Star48 Array
- 寸法 ： 最大スパン3.4m
- マイクロホン ： 1/4インチ48ch
- 適合測定距離 ： 3m-300m
- 適合周波数範囲 ： 100Hz-7kHz
- 画像処理 ： アレイ中心のカメラを用いて音響イメージと実画像の重ね合わせが可能

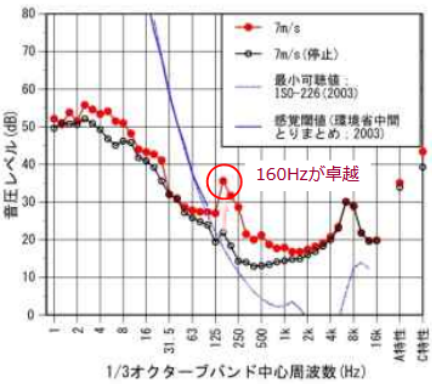
音響カメラの適合周波数範囲は 100Hz～7ｋHz になっています。従って、空力音もは、100Hz～7ｋHz の範囲の音です。

次に純音成分について述べている。160Hz と 200H の所です。

純音性成分が含まれる風車騒音



左；風車より240m、木造家屋-屋内



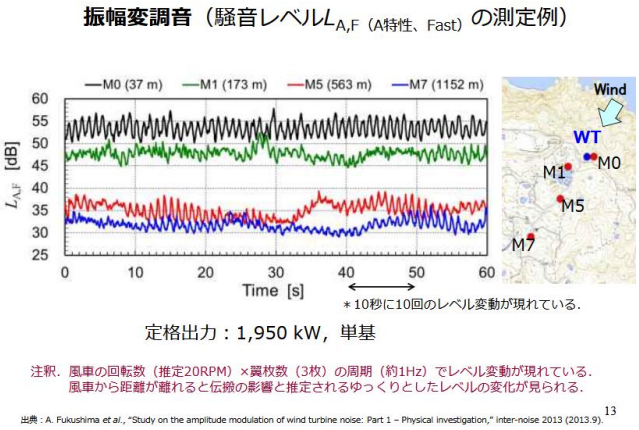
右；風車より350m、木造家屋-屋内

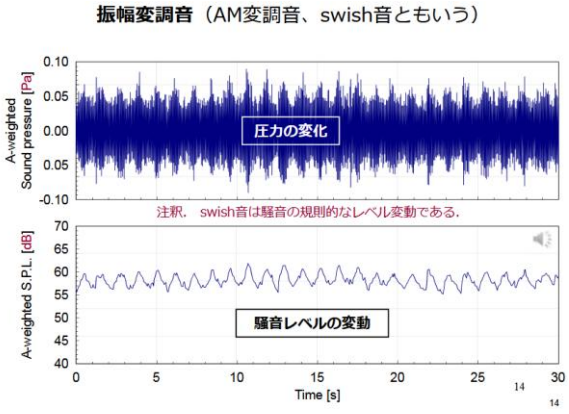
注釈. 純音性成分は機械（増速機など）の振動に起因しているケースが多い. 但し、翼に窪みや傷がある場合に空力騒音が発生することもある.

出典. 環境省H21年度調査結果、http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12319　　9

注釈．純音性成分は機械（増速機など）の振動に起因しているケースが多い．但し、翼に窪みや傷がある場合に空力騒音が発生することもある．

の部分から、純音成分 160Hz、200Hz が機械音と関連が深いと理解できます。





つぎに、“振幅変調（AM 変調音）”と言って、A 特性音圧レベルの変動に関して調べている。
但し、振幅変調を受けている高周波音の周波数については述べていない。

風車音の発生メカニズムと低減策
について述べますが、
空力騒音：100Hz～7ｋHz
機械音：20Hz～200Hz
については、発生する仕組みを示しているが、

超低周波音：0Hz～20Hｚ
の部分については、発生する仕組みを示していない。
“知覚できない”（正しくは、聴覚では感知しがたい）ことと“存在しない”ことは全く意味が違います。しかも超低周波音の部分のエネルギーは全体の 93%以上を占めています。

アノイアンス（不快感）が睡眠を妨げる事や、アノイアンス（不快感）へのラウドネス（うるささ）の寄与率は 9%～13%程度であることは知っているはずです。

音の人体への影響は、火傷、うるささ、振動、圧迫、頭痛などいろいろです。聴覚閾値以下でも、いろいろな形で影響を及ぼし、健康被害を引き起こすだけでなく、地域社会に大きな影響を与えます。

超低周波音が発生する仕組みは、塔やブレードが振動する仕組みと同じです。これは金属疲労が発生して風車が壊れる原因と同じです。

水平軸型の風車は、超低周波音の発生装置であり、金属疲労の実験装置なのです。その下は、危険な領域になるのです。

この事を明らかにしたくないから、説明から省いたのでしょう。早くから説明しておけば、秋田県でのブレード破損による死亡事故も起きなかったと思います。

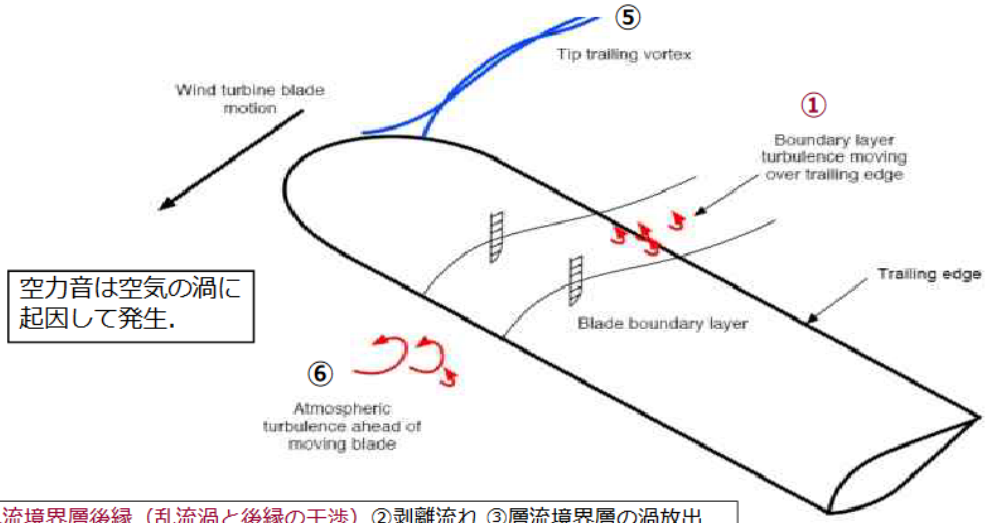
また、低減策としては、水平軸型から垂直軸型に変えるという対策もあるのですが、井上氏の低減策の中には

含まれていません。

Ⅱ. 風車音の発生メカニズムと低減策

1. 空力騒音
2. 機械音（増速機、発電機、換気ファンなど）
3. 固体伝搬音
4. 低減策

風車ロータ翼周りの主な空力音源



空力音は空気の渦に起因して発生.

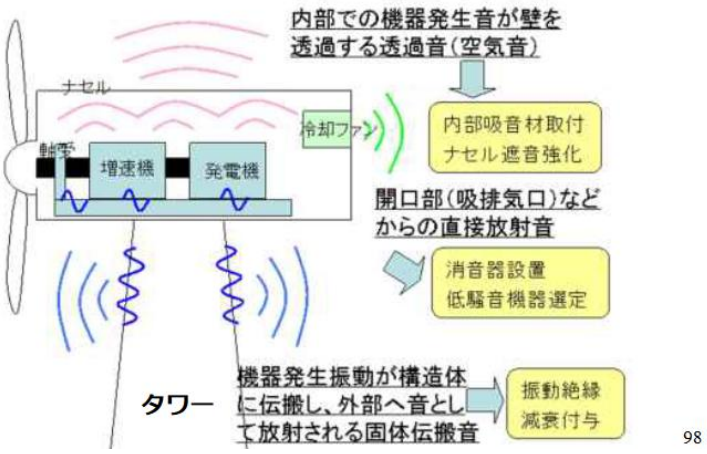
①乱流境界層後縁（乱流渦と後縁の干渉）②剥離流れ ③層流境界層の渦放出
④後縁厚み渦放出 ⑤翼端渦 ⑥乱流流入風（乱流渦と前縁・翼全体の干渉）

注釈. 空力音の低減はＣＦＤ（流体解析）と風洞模型試験で見当をつけ、実機実証試験で低減効果を確認した.

出典. P. Moriarty and P. Migliore, Semi-Empirical Aeroacoustic Noise Prediction Code for Wind Turbines,NREL/TP-500-34478, 2003.

機械音の発生メカニズム

・増速機歯車の噛合い等に起因する振動がナセルカバー、タワー等に伝搬、騒音を放射する.
・音の放射面積を勘案するとナセルよりもタワーの方が影響が大きい.



98

とあるが、周波数は、機械音の成分としては、160Hz、200Hz、空力音は 100Hz～7ｋHz になるので、超低周

波音に関しては考えていない。

風車の運転音は、超低周波音ではなく、可聴周波数範囲の騒音.

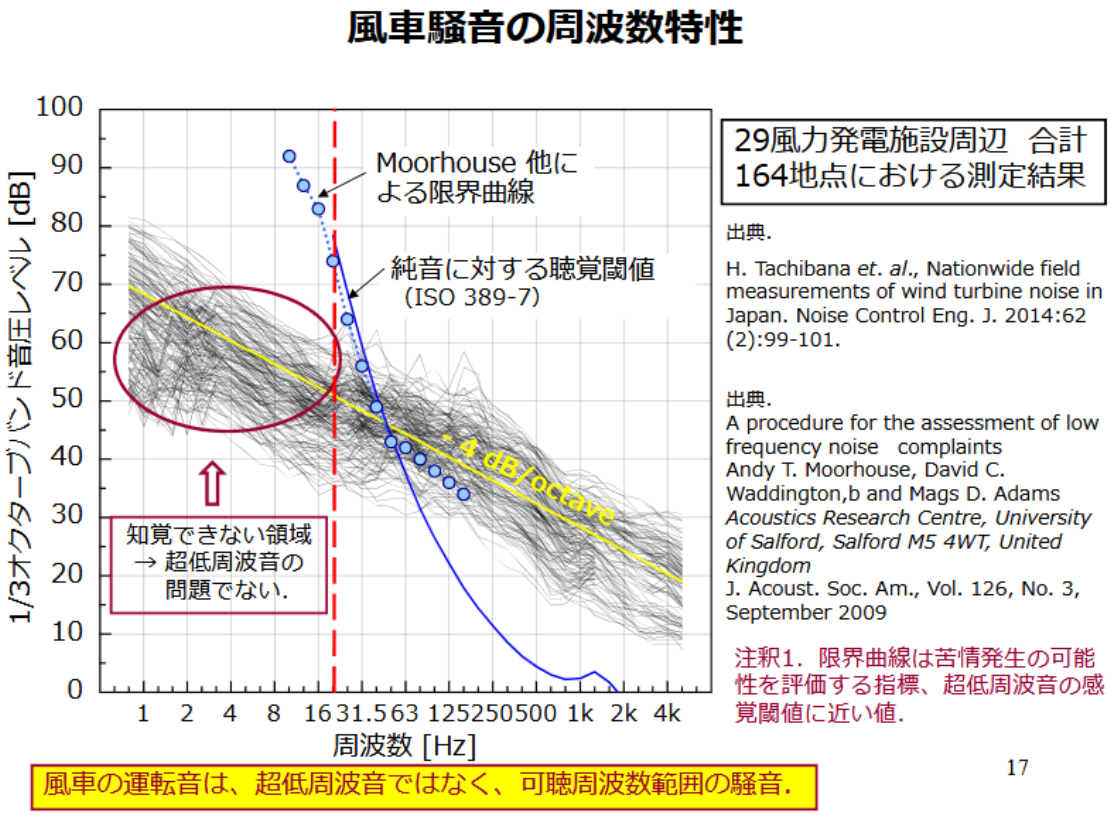
だと主張するが、

“風車の運転音”の意味があやふやです。

“風車の運転中に出る音のうち、可聴音の部分”なのか、“風車の運転中に出る音の全体”なのかがあやふやです。

前者ならば、単なる同義反復です。後者なら完全な間違いです。

井上氏は、



“風車の運転音は、超低周波音ではなく、可聴周波数範囲の騒音”だと主張します・

聴覚で知覚できるか否かは別にして、1Ｈｚで 50～80ｄＢの超低周波音が観測されていて、その強さが支配的であることは上のグラフから明らかです。

“風車音の発生メカニズム”を説明するならば、1Ｈｚで 50～80ｄＢの音圧を持っている超低周波音が発生するメカニズムも説明すべきですが、井上氏はこの部分を無視します。

井上氏が“知覚できない”と言うのは、グラフの超低周波音の部分が見えなくなると言う現象も含んでいるのでしょうか？私の眼には、超低周波音の部分に伸びているグラフが良く見えます。

井上氏の示すグラフを見れば、風車音は

聴覚では感知できないが、圧迫感や不快感としては知覚できる超低周波音（1Hz で 50～80ｄＢ）

と、100Hz～7000Hz の空力音、100Hz～200Hz 辺りの機械音の３種類からなることが分かります。

“風車から発生する騒音”は、騒音が 20Hz 以上の意味なので、超低周波音を除外することになるのですが、“風車の運転音”では、周波数の限定が無いので、超低周波音を除外してはいけないのです。

知覚できないという理由で、超低周波音を存在しないことにするのが、科学者の思考方法なのでしょうか？不思議な思考方法です。科学とは無縁の思考方法です。

簡単な計算で、風車音でのエネルギー分布が分ります。

20Hz 以上の成分だけでは、風車音の適切な評価は出来ないのです。

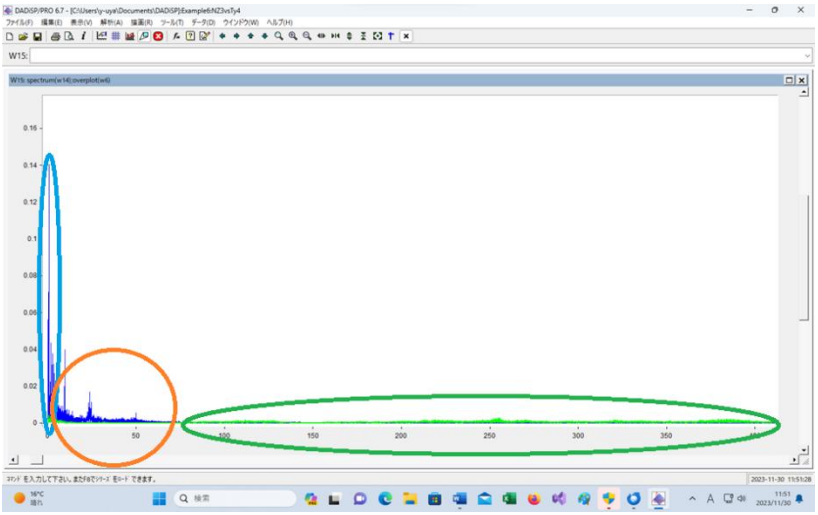
エネルギー分布	0～20Ｈｚ	20Ｈｚ以上
風車音	93%	7%
工場音	12%	88%
交通音	1%	99%

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

風車からは、指向性を持った超低周波音が発生しています。その周波数特性は発生メカニズムによって規定されています。

風車音の特徴は、下のグラフの楕円に注目すれば分かります。

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



上の図で、濃い緑色の楕円は 100Hz～400Hz 辺りの音をします。

上の計測結果を参考にして、風車音をグループ分けすると、

① 0～8Hz　は、塔の側面の振動を主な要因とする超低周波音。

② 10Hz～100Hz　は、発電機などの機械音。

③ 200Hz～20ｋHz　は、ブレード面での乱流による高周波音。

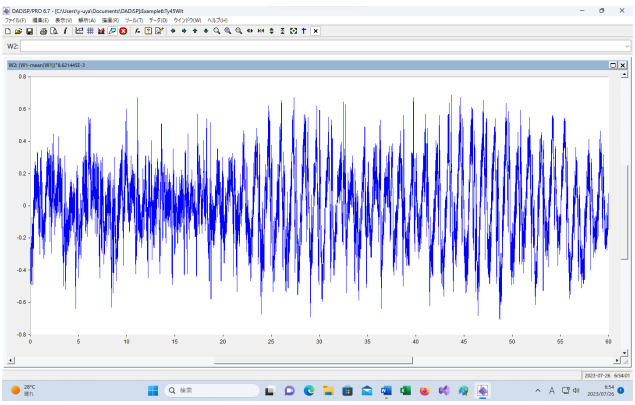
となります。

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

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

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

館山の風車音の波形は次の様になっています。



2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

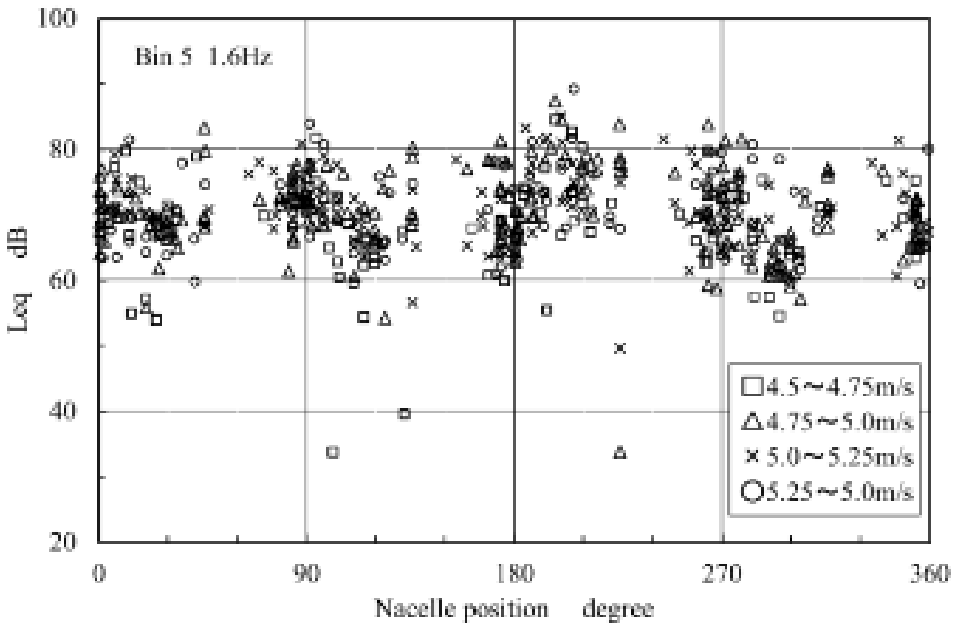


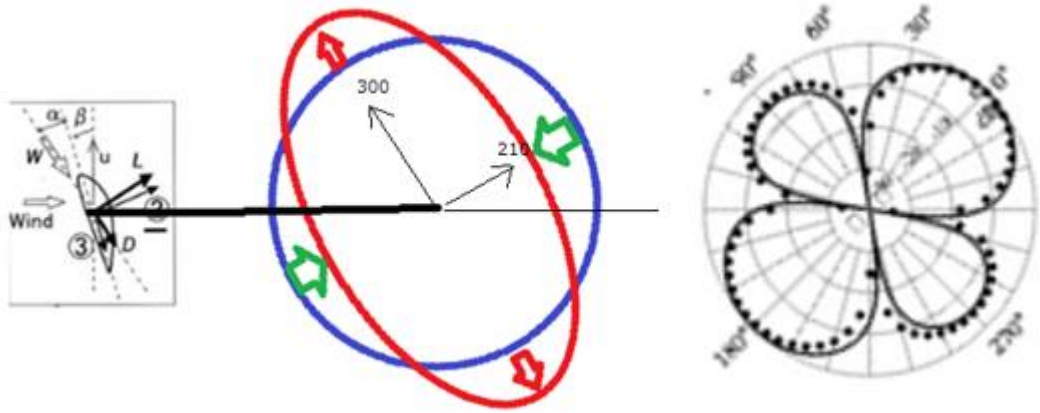
図 6　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

ここで、音が強くなる方向は、

3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008

における、円柱部分の変位が大きくなる方向と一致しています。

その方向は、ブレードに掛かる揚力ベクトルの方向によって決まります。



ブレードに掛かる揚力ベクトルの性質は

4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990

を見れば分かります。

９．塔に掛かる力と回転モーメント

（９桁の数値で計算し、最後に四捨五入した。）

ナセルや塔の揺れに関してはブレードが真上に来た時の揚力ベクトルの方向を重視すべきだが、ここでは、揚力ベクトルの回転軸方向への成分を考える。
単純化して、塔の高さは 100m、ブレードの代りに、丸い標識のような形の板が中心から 50mの所に付いているとして、周波数を計算する。

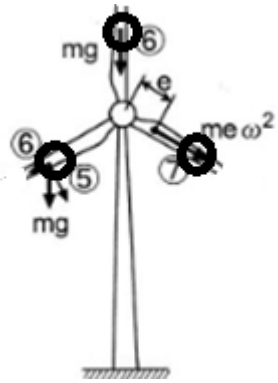


Fig.11 Wind turbine in balance

円盤の地上からの高さは$100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$ m
となる。
上空では地表近くよりも強い風が吹く。上空での風速の予測式はいくつかあるが、ここでは次の予測式を使う。
高さZ_{h1}での風速V_{Zh1}
高さ$Z_{G(V)}$での風速の予測値$V_{ZG(V)}$
地表面粗度区分Ｖに応じた冪指数 α(v)
としたときに、次の関係式

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

が成立し、田園地帯では、$\alpha(V) = 0.15$である。
田園地域で、地上 10mの時の風速が 7[m/s]のときは、
地上 100+50*sin(ωt+θ) m での風速は

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

となる。

空気密度を 1.23[kg/m^3]、 風力係数Ｃｄ＝1.2、とすると風速 V[m/s]のとき、Ｐ:風荷重[N/㎡]は

Ｐ＝（Ｖ^2／２）×1.23×1.2　　[N/㎡]　(4)

となり、標識の面積が 10[㎡]のとき、地上 10mで 7[m/s]の風が吹くときに、風車に取り付けてある丸い板にかかる力は、

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

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

となる。この力は風速の２乗に比例する。
この力によって引き起こされる風車を倒そうとする力は、回転軸を地表とブレードの回転面の共有する直線としたときの回転モーメントであり、

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

となる（k=181.24）。ここでは

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

の部分に注目して考える。
ブレードのなす角は２π/3 なので回転モーメント M は、
ω=2π・0.8/3　と置いたときに、

$$f(t) = (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} + (100 + 50 * \sin(\omega t + 2\pi/3))^{1.3} + (100 + 50 * \sin(\omega t + 4\pi/3))^{1.3} \qquad (8)$$

とすれば、

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

となる。マクローリン展開

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

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）

$$(100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = (100^{1.3})(1 + (1/2) * \sin(\omega t))^{1.3} \qquad (11)$$

に注意して展開式に(1/2)sin(ωt)を代入すれば、

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

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(ωt)、sin(ωt+2π/3)、sin(ωt+4π/3)に従って回転している場合には、
塔にかかる回転モーメントは

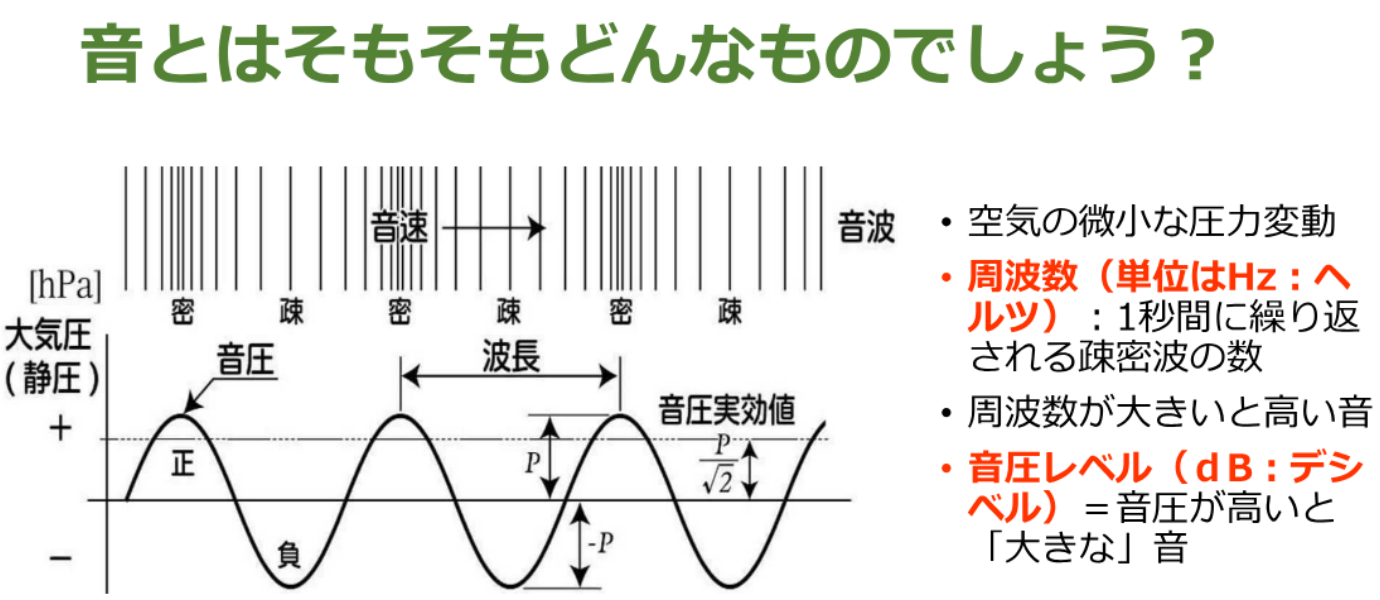
$$M = k * f(t) \approx 221734.19 + 307.78\sin(3\omega t) \quad (19)$$

となり、ブレードの回転周波数が、0.26666Hz ならば、塔にかかるモーメントは 0.8Hz の周波数で変化する。
ブレードの回転周期の 1/3 の周期で回転モーメントが変化することが分る。

塔全体の振動は
1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,
風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018
5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010
に書かれている。

３．「周波数（周波数）」ってなあに？

青山学院大学　佐藤 敏彦氏の資料のある様に



空気の振動と言うよりは、圧力変動と考えた方が、問題点が明確になります。

空気は、窒素（N2）78.1%、酸素が 20.9%、アルゴン（Ar）が 0.93%、二酸化炭素が 0.03%、水蒸気その他が約 1%という組成です。

これらの分子が１か所に沢山集まれば圧力が高くなり、あまり集まらなければ圧力は低くなります。圧力が高ければ、体全体を外から押します。もちろん鼓膜も押します。圧力が低くなれば、外へと引っ張ります。

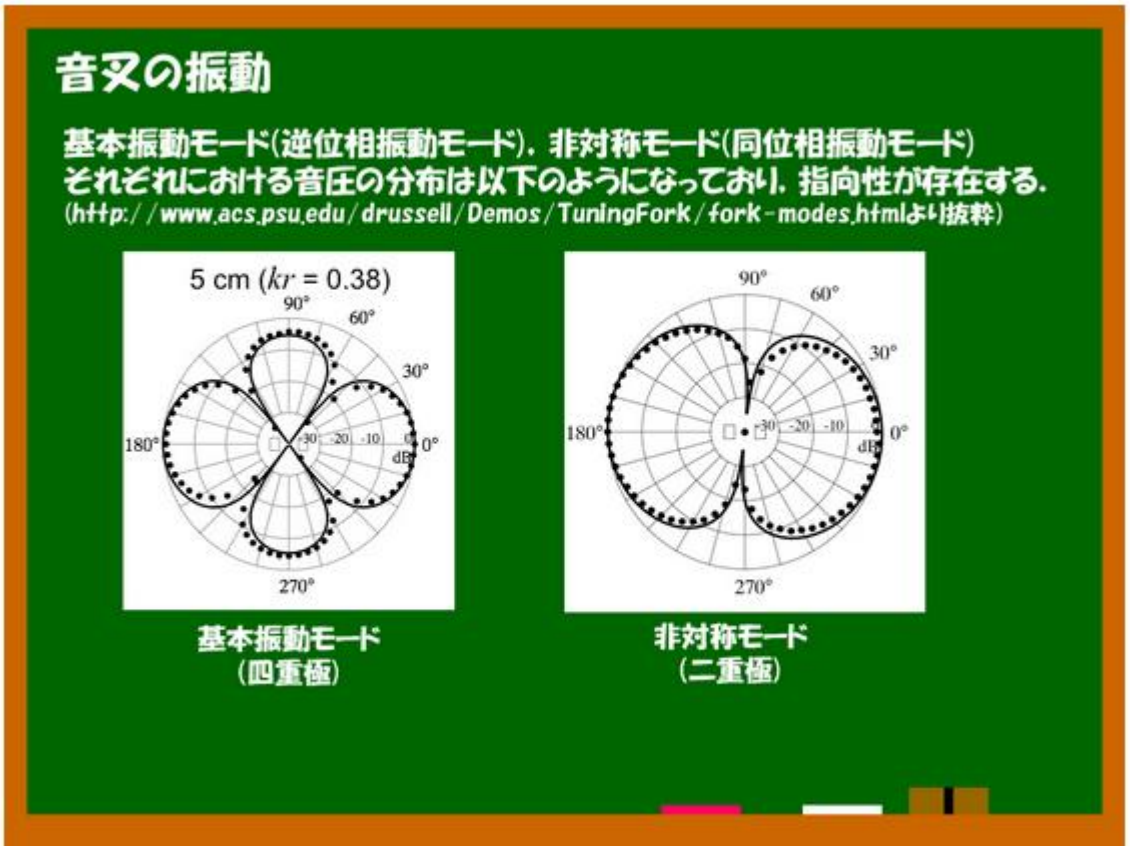
周波数が高ければ、体全体としては、体内での圧力は殆ど変化しませんが、0.5Hz や 1Hz では気圧変動と同程度に、体内の圧力も変動します。

気圧がゆっくり変化する場合は、聴覚での感知は困難です。水泳帽を被って海に潜れば体に掛かる圧力が変化します。もちろん耳の中の鼓膜に掛かる圧力も変化しますが、気圧の変化がゆっくりなので、音としての“うるささ”を感じることはありません。１秒間に１回の気圧変動が起きるのが１Hz の音です。

音の性質には、周波数（Hz)、音圧（Pa)、音圧レベル（ｄB)、指向性などがあります。

ある周波数の音が出るためには、何らかの物体が空気を周波数に合った周期で圧縮したり膨張させたりするような運動をする必要があります。

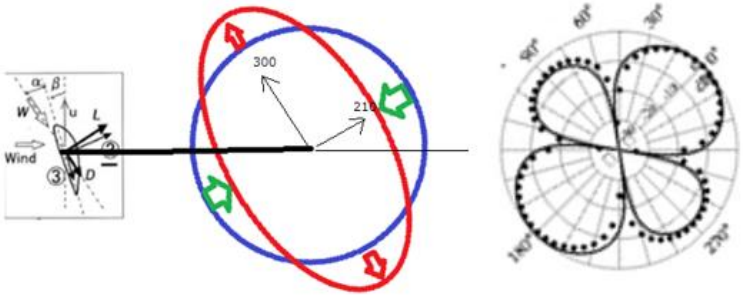
音叉の場合は、



指向性があって、音が強くなっている方角と弱くなっている方角がある。

風車の場合でも指向性が見られる。

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016



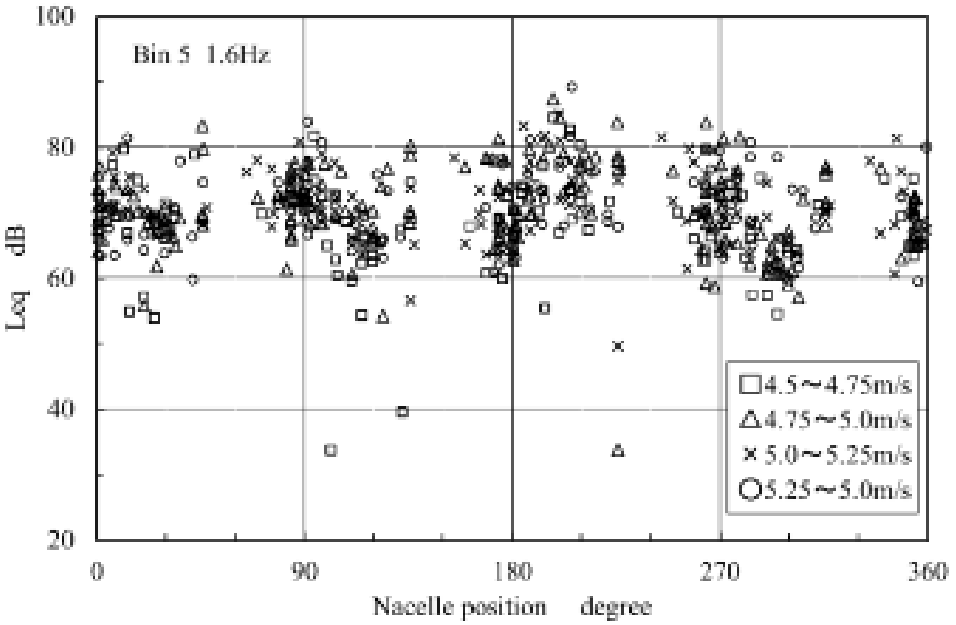


図 6　Bin 5 中心周波数 1.6Hz の指向性分布

質問

塔の運動、音の指向性、を見れば、音源としての風車を点音源として考えることは間違いだと思うが、貴社は、風車音の計算で点音源として扱うことが正しいと考えますか。

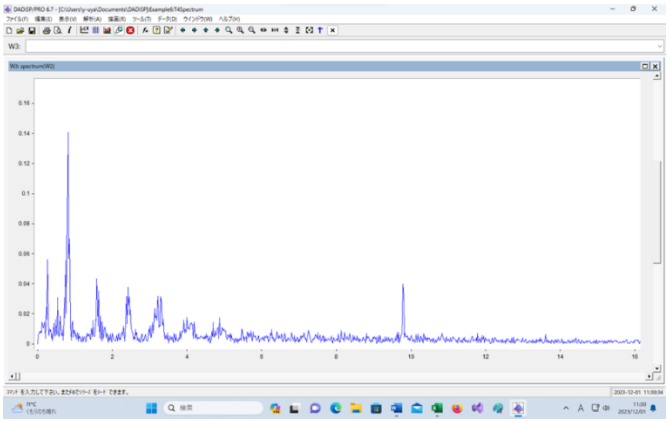
点音源だとする場合、なぜ指向性が現れるのかを説明してください。

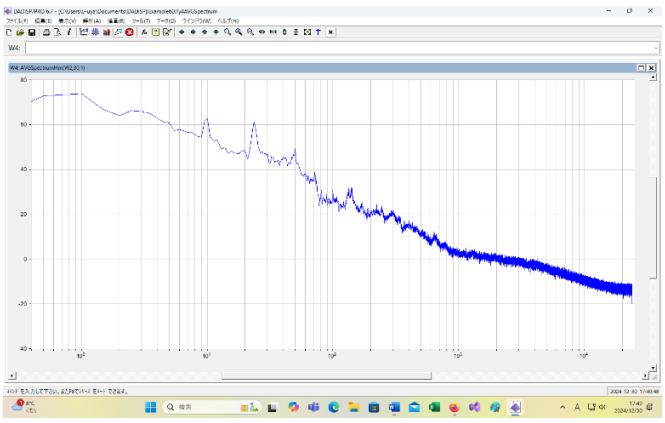
ナセルの部分は、

1）高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

にあるように、点音源になるような運動はしていません。

風車音を左の形のグラフにすれば、定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すことがすぐに判明するが、右側のグラフ（平均化した 1/3 オクターブ解析でのグラフ）にすれば風車音の性質は不明となる。





左を選べば、f/3、2f/3、f、2f、3f、、Hz で音圧がピークとなることが分り、その事から風車音が発生する仕組みや頭痛が起きる理由を解明できるが、右のグラフを選べば風車音被害の原因は究明できなくなります。

左のグラフからは、基本周波数の近くでは音圧が低く、音圧がピークとなる周波数は離散的だと分かります。

風車からの超低周波音では、この離散的な周波数以外の音は基本的以外には存在しないのです。音が発生しないので、ｆと２ｆの間では音圧が０なのです。これはグラフがスカスカになる理由です。

この形の音波なので、体内の圧力を変化させることができるのです。

質問

貴社の風車音の特性を上の両方のグラフで示してください。

周波数が低くて、特別に音圧が高い成分があれば、体内の圧力を大きく変化させます。貴社の風車音は、基本周波数において音圧は何パスカル程度になりますか。

指向性を持てば、ある風向の時に特別の地域の人に大きな被害が出ます。貴社の風車音は、指向性を持ちますか。その指向性を持つ理由を説明してください。

４．電波と音は違うものなの？

4．「電波（でんぱ）」と「音」はちがうものなの？

電波も音も波の様な性質を持っていますが、電波は空気がなくても伝わります。

電波と音はお互いに影響し合わないので、
電波と音が重なって大きくなるようなことは起こりません。

	音（波）	電波
伝わり方	空気などが振動して伝わる	真空でも伝わる
使われ方	声、楽器など	携帯電話の通信など
お互いの影響	影響しない（強めあったりしない）	
1秒で進む距離	約340m	地球を7周半

電磁波はマクスウェルの方程式に従って伝搬する波動である・、

マクスウェルの式は E を電場の強度、B を磁束密度、D を電束密度、H を磁場の強度、ρ を電荷密度、j を電流密度として、作用素 ∇ を用いて

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{B}(t,\mathbf{x}) & = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E}(t,\mathbf{x}) + \dfrac{\partial \mathbf{B}(t,\mathbf{x})}{\partial t} & = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{D}(t,\mathbf{x}) & = \rho(t,\mathbf{x}) \\ \nabla \times \mathbf{H}(t,\mathbf{x}) - \dfrac{\partial \mathbf{D}(t,\mathbf{x})}{\partial t} & = \mathbf{j}(t,\mathbf{x}) \end{cases}$$

と表記されるが、真空中では E-B 対応と E-H 対応により、電束密度 D と電場 E 及び磁場の強度 H と磁束密度 B がそれぞれ

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E}$$
$$\mathbf{H} = \frac{1}{\mu_0}\mathbf{B}$$

と言う関係にあるため、ベクトル解析の回転（「∇×」）と勾配（「∇」）及び発散（「∇·」）とラプラシアン（「∇^2」）の演算子をそれぞれ

rot ,　grad ,　div ,　Δ

と定義すると

$$\begin{cases} \mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0 & \cdots (1) \\ \mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\dfrac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} & \cdots (2) \\ \mathrm{div}\,\mathbf{E} = \dfrac{\rho}{\varepsilon_0} & \cdots (3) \\ \mathrm{rot}\,\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} & \cdots (4) \end{cases}$$

と表わせる。

電波と音は全く性質が異なるので、それらが重なって大きくなることは無いのですが、
音と音が重なって大きくなることはあります。

住宅から２ｋｍの所に、40 基の風車が出来たら音はどの程度大きく感じられるかを計算してみます。

音響パワーレベルと音圧レベル

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）。

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

ここで、

Ｌｎ：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)

Ｌｗ：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)

$$\Delta L_{\mathrm{AIR}} = \alpha\left(r^2 + h^2\right)^{1/2} \qquad (3.2)$$

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。

$$Lp = 10\log\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots + 10^{L_n/10}\right) \qquad (3.3)$$

ここで、

Ｌｐ：予測地点における騒音レベル(dB)

Ｌｎ：ｎ番目の風力発電機による騒音レベル(dB)

（-8　と　-11　のちがいの説明は省略します。）

環境大臣の意見（累積的な影響）

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

１．総論（２）累積的な影響

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

別紙

２．各論

（１）騒音に係る影響

想定区域の周辺には、複数の住居及び学校その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設（以下「住居等」という。）が存在しており、沿岸付近の住居等の近隣に風力発電設備等が設置される場合には、工事中及び稼働時における騒音による生活環境への重大な影響が懸念されることから、環境の保全に十全を期することが求められる。このため、風力発電設備等の配置等の検討に当たっては、「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」（平成 27 年 10 月環境省）、「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」（平成 29 年５月環境省）その他の最新の知見等に基づき、住居等への影響について適切に調査、予測及び評価を行い、その結果を踏まえ、風力発電設備等を住居等から離隔を取ること等により、騒音による生活環境への影響を回避又は極力低減すること。

累積的な影響について

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

$$L_1 = PL - 11 - 20log1000$$

$$L_2 = PL - 11 - 20log2000 = PL - 11 - 20(log1000 + log2) = L_1 - 20log2 = L_1 - 6.02$$

2km の距離の風車がｋ基になったとすると、音圧レベルは

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

となるので、

$$10logk - 6.02 = 0$$

より、

$$k = 3.99$$

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

では、２ｋｍ離れた場所に 40 基建てたらどうなるでしょう。

$$L_{40} = L_1 - 6.02 + 10log40 = L_1 + 10.00$$

となります。

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

距離を（1000*ｒ）ｍにしたときに、

$$L_r = PL - 11 - 20\log(1000 * r) = L_1 - 20logr = L_1 + 10.00$$

$$-20logr = 10.00$$

より、

$$logr = -0.5$$

$$r = 0.316$$

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

２ｋｍ離れた場所に 40 基建てたら、316ｍの所に１基建てたのと同程度の音が来るという事になります。

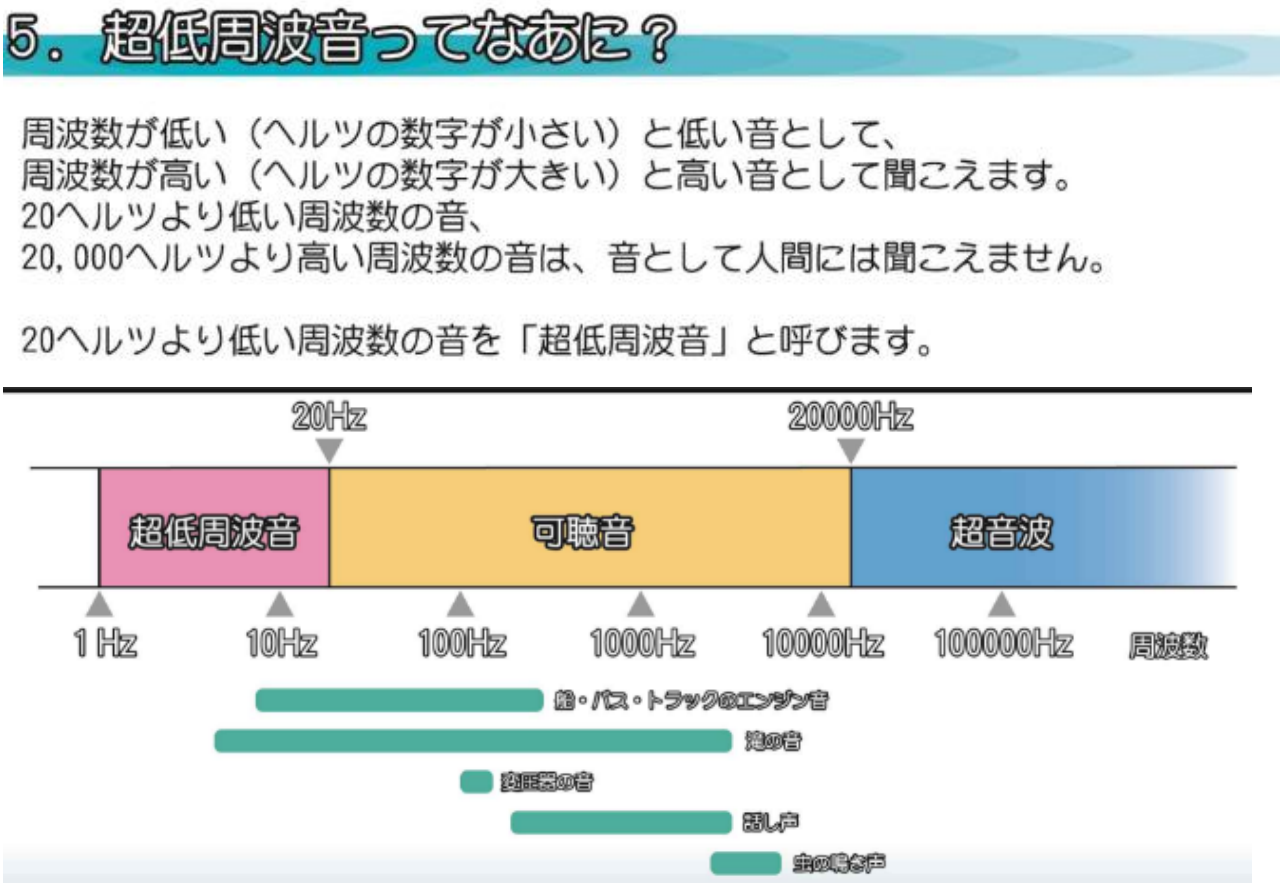
もし、風車から 316ｍ離れた場所での被害を認めるならば、2ｋｍ離れた 40 基の風車による被害を認める必要があります。これが累積的な影響と言う言葉の意味です。

風車から、400ｍ離れた場所での騒音被害で、引っ越しを考えている人もいます。FB での友人は、

“こんばんは。
500 メートル近すぎます。更に近い 400 メートル離れた我が家の今夜の音です。
夜 11 時に一旦眠りに就きましたが、午前 1 時 20 分この音で目が覚めました。
佐々木さん、バードストライクに遭う鳥たちは間違って風車にぶつかったのかな？
わたしは今夜初めて、人間ストライクしたいと発作的に思いましたよ。気が狂いそうなほどの音です😱
鳥たちは気がおかしくなって、自らぶつかって行ったのではないだろうか？？
今夜はもう眠れそうにありません。頭も肩も首も背中も、身体中が自分じゃないみたいです
ヒーリング音楽を流し横になっていますが、ここから逃げ出したい“
“コメントをありがとうございます。わたしは移住三年目で、住民説明会などの資料は持っていません。
騒音計測についてのお話しはありますが、まだそれに至ってはおりません。
わたしは引っ越ししか方法がないと考えていますが、わたしの故郷に近い松前町や江差町の人々に、風車の影響を知って欲しいと思い、こちらにコメントを置かせていただきました。
今ある風車については、正直無駄なエネルギーを使い疲弊するだけなので、自分が離れるしか手立てはないと思います。“

と言っています。

ただし、風車は点音源よりも線音源に近い性質を持っている。風車音は指向性を持っている。風速の変化で音圧が平均値の２倍程度まで上がる。１２０秒間のうち２０秒間程度続くことがある。
　被害は上の計算からの推定よりも大きいと考えられる。

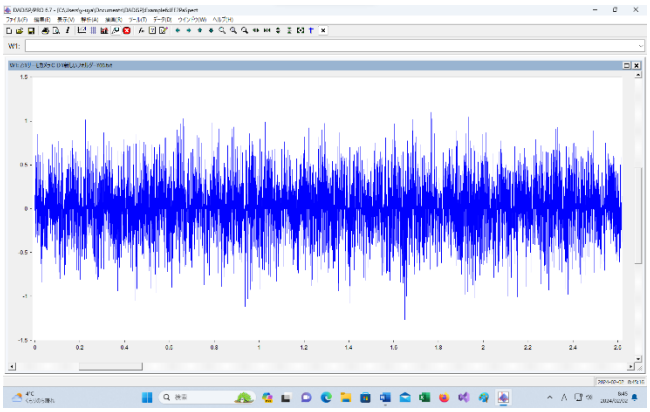


上の図を見ると、超低周波音は、1～20Hz の音になっている。文章では、“20 ヘルツより低い周波数の音”となっているので、どちらかを修正する必要がある。

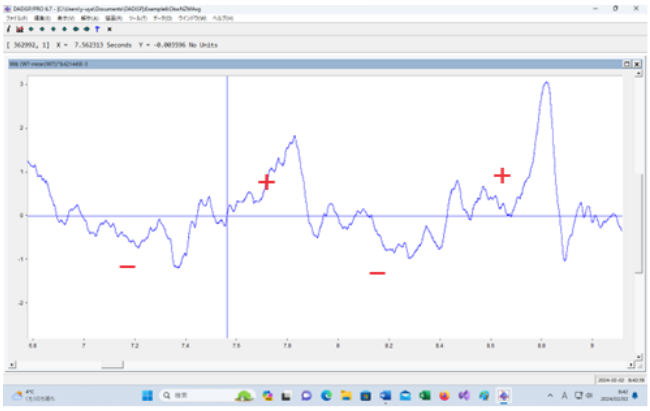
超低周波音は聴覚での感知が困難な音ですが、精密騒音計を使えば計測できます。

風車からの超低周波音は、基本周波数での音圧が極めて高い特殊な音です。物理的に作用して体内の圧力を変動させる力を持っています。その結果、圧迫感（圧迫そのもの）、不快感、頭痛、循環器系の障害を引き起こします。製鉄所の音にも超低周波音は含まれますが、音の性質が違うので、風車音の様な影響とは違う影響が出ます。

工場騒音の、2.6 秒間の波形



風車音の 2.2 秒間の波形



風車音の影響を評価するには、単に周波数に拘るのではなく、周波数スペクトルの性質を考える事が必要です。超低周波音（20H z 以下）と考えるよりは、ISO7196 での infrasound と考えた方が分かりやすくなります。

ISO7196

ISO7196 での infrasound（超低周波音）の定義は、次のものです。

ISO	Infrasound	Sound or noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz	ISO 7196:1995 Acoustics—Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements

ISO7196 での公称中心周波数は 0.25Hz～315Hz、厳密中心周波数は、0.244Hz～314.98Hz です。
公称周波数は各 1/3 オクターブバンドの中心周波数をきりのよい周波数であらわしたものです。
厳密周波数は規定の計算式で求めた各バンドの厳密な中心周波数の値です。

なお、ISO7196 では、中心周波数は 0.25～315H z になっているので、1/3 オクターブ解析は少し役に立つのですが、G 特性音圧レベルの値は、それほど役には立ちません。

（3）G 特性

0-315Hz の超低周波音に対して A 特性での重みづけを真似た周波数補正特性で、重みについては ISO7196-1995 で 0.25～315Hz の範囲に対して規定されている。

Table 2 — Nominal frequency response

Nominal one-third-octave frequency Hz	Relative response dB
0,25	– 88,0
0,315	– 80,0
0,4	– 72,1
0,5	– 64,3
0,63	– 56,6
0,8	– 49,5
1,00	– 43,0
1,25	– 37,5
1,6	– 32,6
2,0	– 28,3
2,5	– 24,1
3,15	– 20,0
4,0	– 16,0
5,0	– 12,0
6,3	– 8,0
8,0	– 4,0
10,0	0,0
12,5	4,0
16,0	7,7
20,0	9,0
25,0	3,7
31,5	– 4,0
40	– 12,0
50	– 20,0
63	– 28,0
80	– 36,0
100	– 44,0
125	– 52,0
160	– 60,0
200	– 68,0
250	– 76,0
315	– 84,0

ISO7196 に従って、1/3 オクターブ解析をするには、中心周波数 0.25Hz からの帯域幅の情報が必要です。それは、次の表の様になっています。

実際に、G 特性音圧レベルを計算してみると、中心周波数が 0.25Hz からでも 1Hz からでも数値は殆ど同じです。原因は、重みが、－88.0～－49.5 になっているからです。

	1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅						
x	x/3	2^(x/3)	厳密中心周波数 1000*2^(x/3)	f 1	f 2	帯域幅	公称中心周波数
37	-12.3333	0.000194	0.194	0.173	0.218	0.045	
36	-12	0.000244	0.244	0.218	0.274	0.057	0.250
35	-11.6667	0.000308	0.308	0.274	0.345	0.071	0.315
34	-11.3333	0.000388	0.388	0.345	0.435	0.090	0.400
33	-11	0.000488	0.488	0.435	0.548	0.113	0.500
32	-10.6667	0.000615	0.615	0.548	0.691	0.142	0.630
31	-10.3333	0.000775	0.775	0.691	0.870	0.179	0.800
30	-10	0.000977	0.977	0.870	1.096	0.226	1.000
29	-9.66667	0.00123	1.230	1.096	1.381	0.285	1.250
28	-9.33333	0.00155	1.550	1.381	1.740	0.359	1.600
27	-9	0.001953	1.953	1.740	2.192	0.452	2.000
26	-8.66667	0.002461	2.461	2.192	2.762	0.570	2.500
25	-8.33333	0.0031	3.100	2.762	3.480	0.718	3.150
24	-8	0.003906	3.906	3.480	4.385	0.905	4.000
23	-7.66667	0.004922	4.922	4.385	5.524	1.140	5.000
22	-7.33333	0.006201	6.201	5.524	6.960	1.436	6.300
21	-7	0.007813	7.813	6.960	8.769	1.809	8.000
20	-6.66667	0.009843	9.843	8.769	11.049	2.279	10.000

各帯域での音圧レベルを計算するには、計算対象となる音圧の値が、その帯域に存在しなくてはなりません。

中心周波数 0.25Hz での帯域幅は 0.057Hz です。大まかな計算ですが、この中に 10 個の数値が入っているようにするには、0.057/10＝0.0057Hz の細かさで計算された音圧の数値が必要です。周波数分解能が 0.0057Hz となります。先ほどの 0.00833Hz 刻みよりも細かいのです。

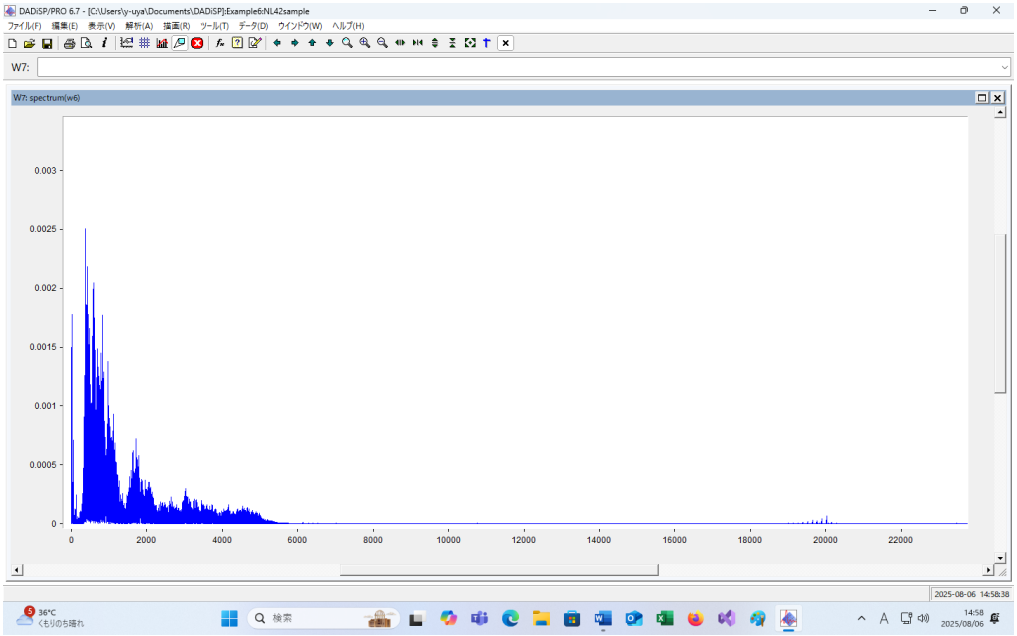
計算量も多くなるので、５個で我慢することにしておくと、0.057/5＝0.0114Hz の刻み幅となります。

刻み目を、0.016667Hz だと、３個から４個くらいは入っていると思うので、何とか計算できる。0.00833 刻みだと平均で 6.8 個になる。

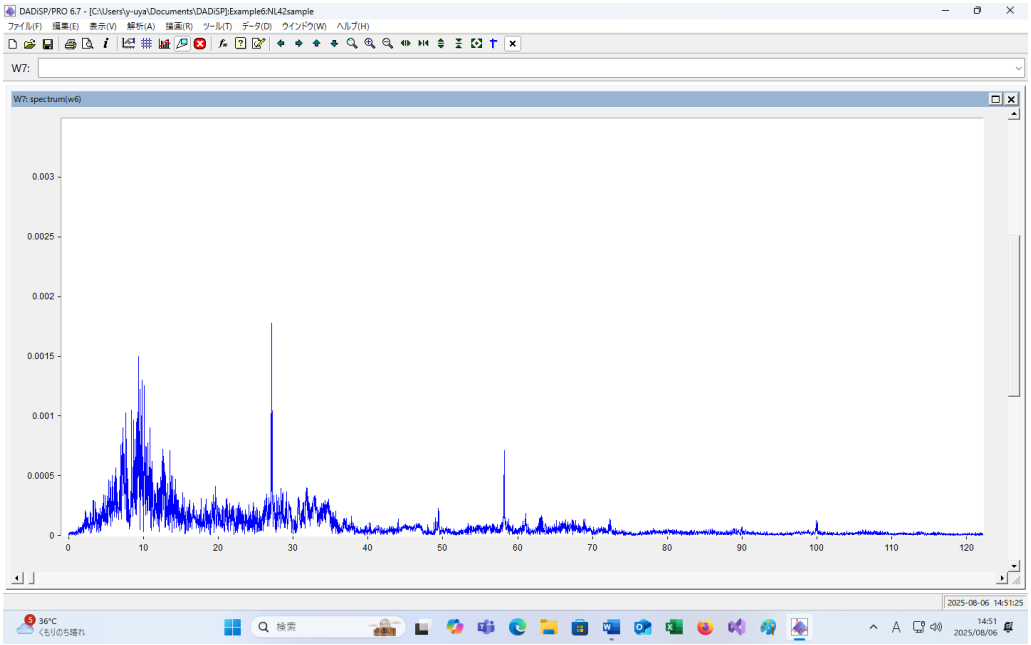
周波数分解能が、0.00833Hz 程度にしておけば、ISO7196 に従った 0.25Hz からの 1/3 オクターブ解析も可能だと考えます。この条件なら、グラフもかなり滑らかです。

結論としては、周波数分解能は、0.016667Hz または 0.00833Hz にすれば何とかなる。60 秒間のデータか、120 秒間のデータを扱えばよいと言う事です。

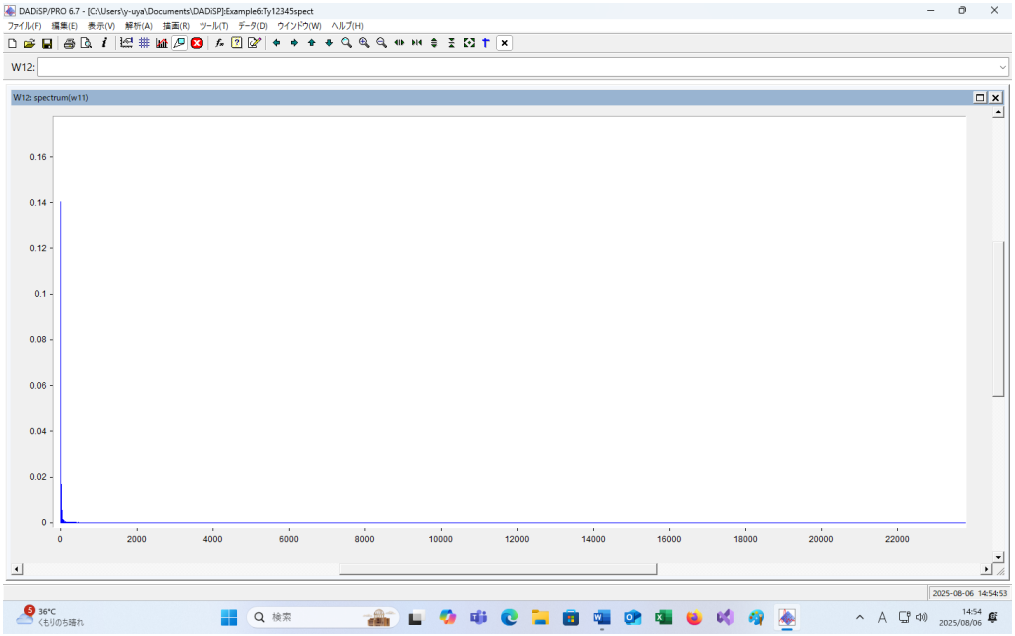
交通騒音　　0～24000Hz



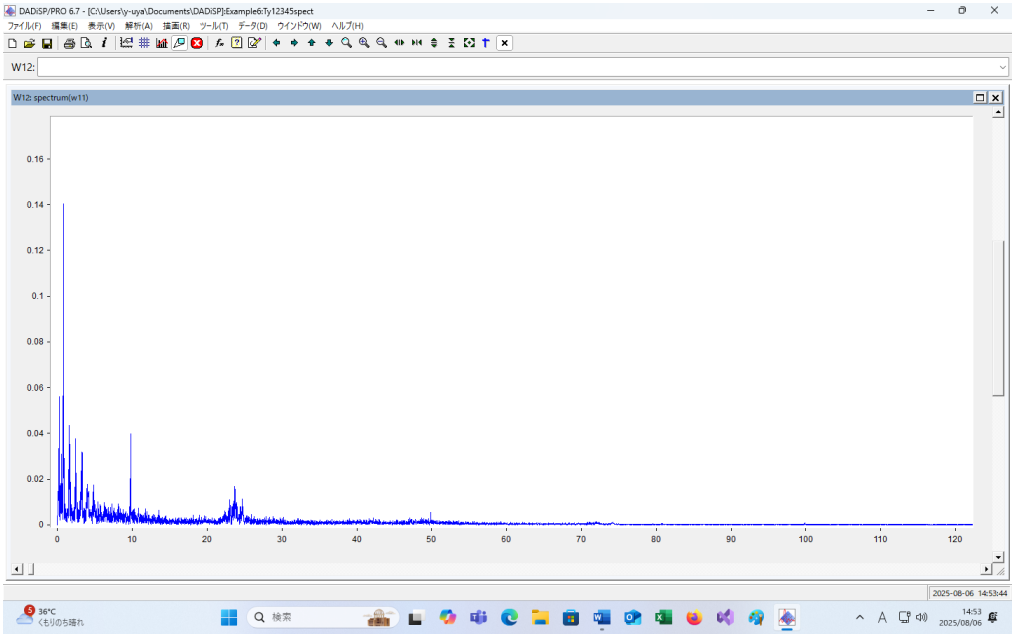
交通騒音　0～120Hz　（最大音圧　0.0025Pa）



風車音　0～24000Hz



風車音　0～120Hz　（最大音圧 0.14Pa）



6．超低周波音は特別なものなの？

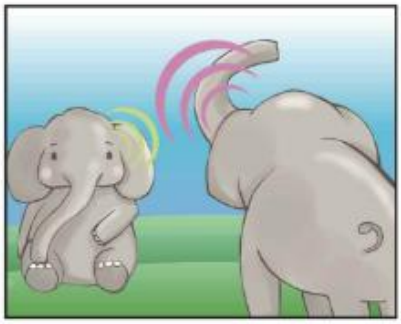
6．超低周波音は特別なものなの？

超低周波音は、車や波の音など、ふだん聞いている音の中にもふくまれており、
人や生き物にとって特別なものではありません。

中にはゾウなど、超低周波音を利用してコミュニケーションをとっている動物もいます。

※自動車の音

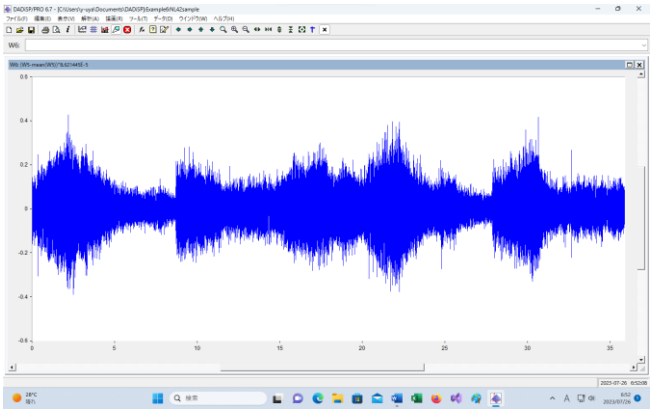
※波の音



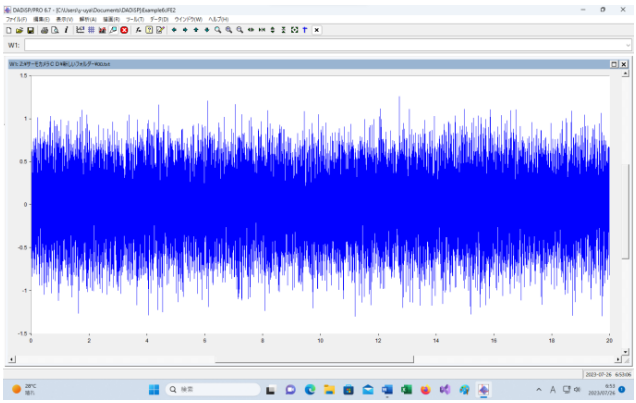
※象のコミュニケーション

風車音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。

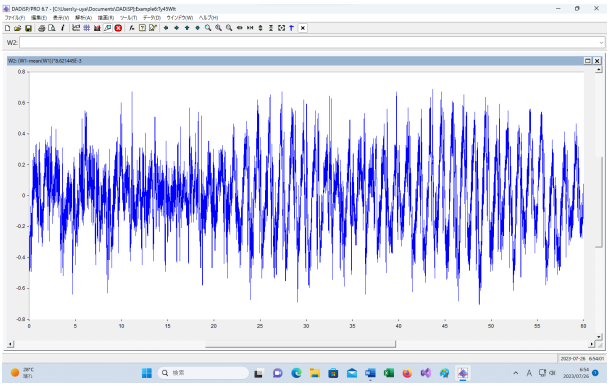
リオン社前の交通騒音



JFE の製鉄所内の音



館山の風車音

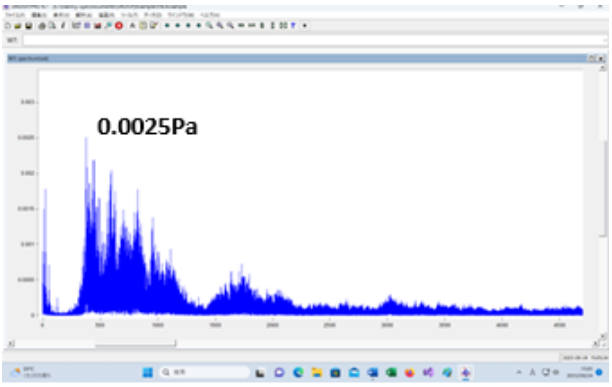


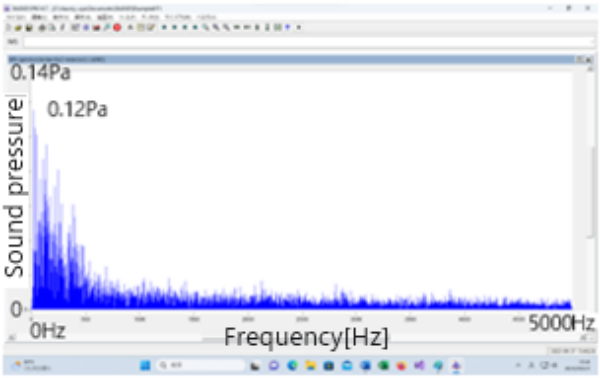
見てすぐわかるのは、風車音のグラフはスカスカです。他のグラフはぎっしり詰まっているという違いがあります。

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。

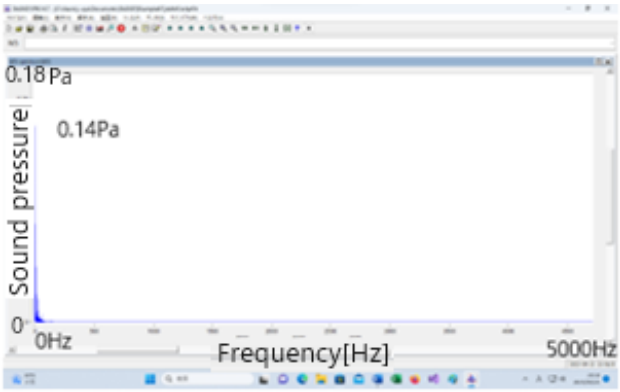
タイプ4：周波数スペクトル

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





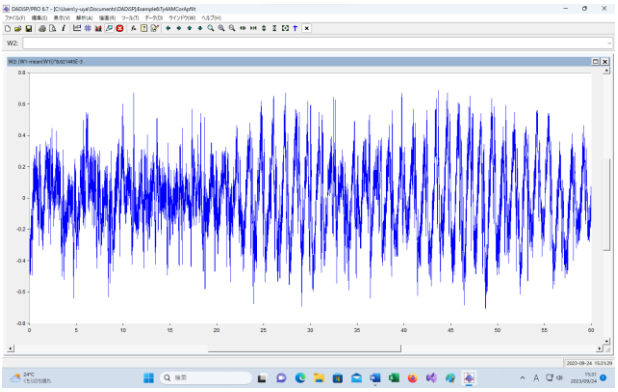
風車音（0～5000Hz）；最大音圧 0.14[Pa]（0.8Hz）

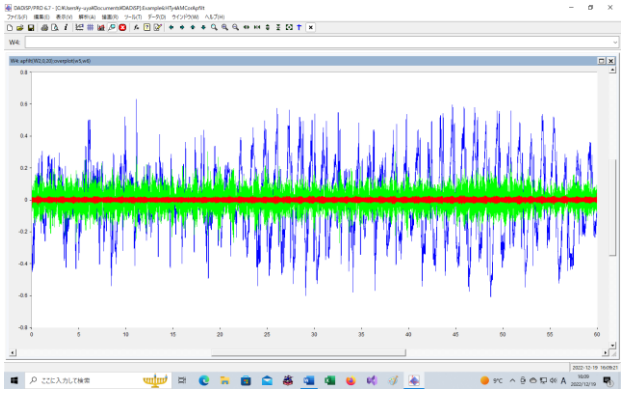


風車音は、左端の細い線で表されています。

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。風車音のこの特徴は、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。

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。

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

図５．風車音（館山風の丘）０～25Hz

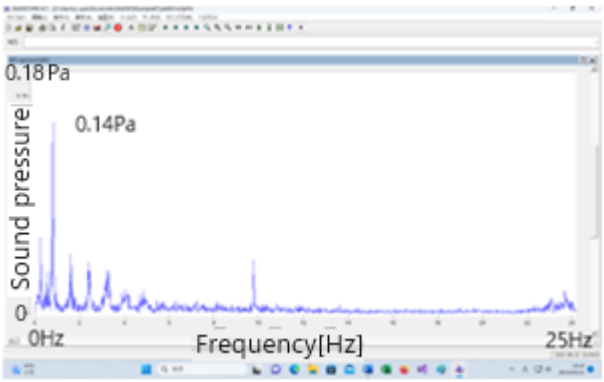
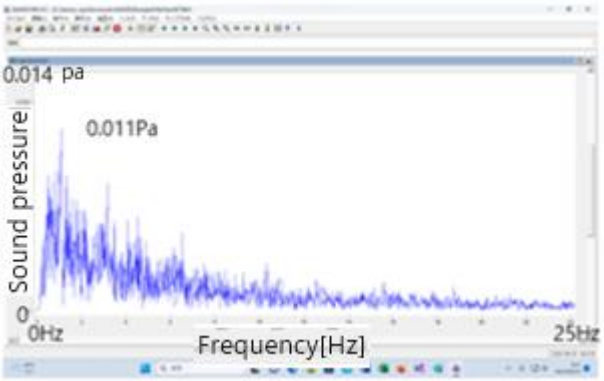
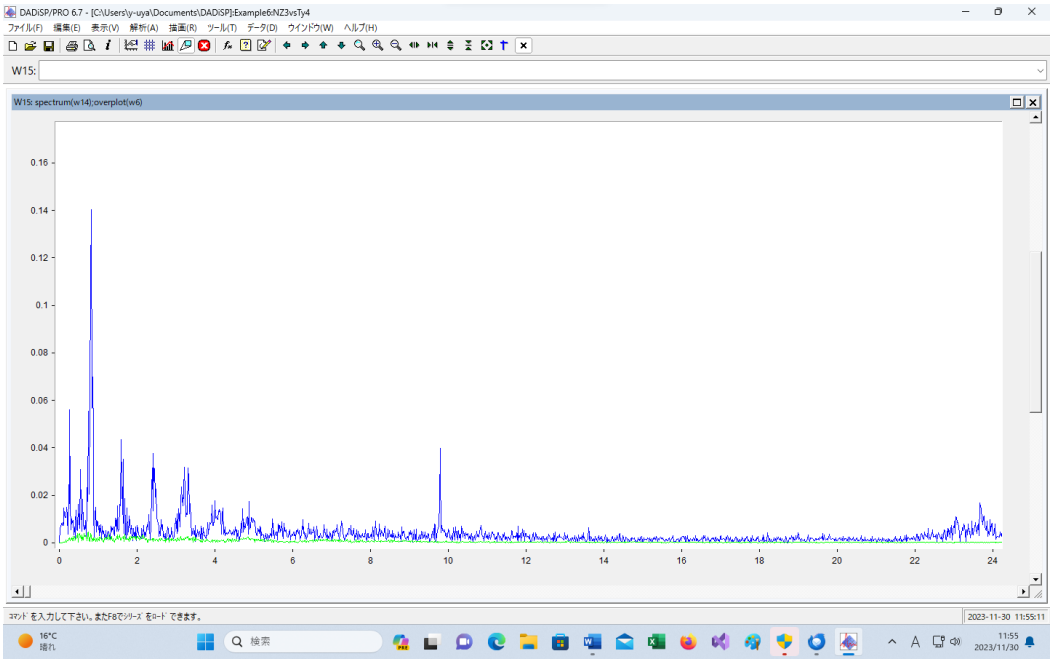


図６．長尾神社の音　０～25Hz



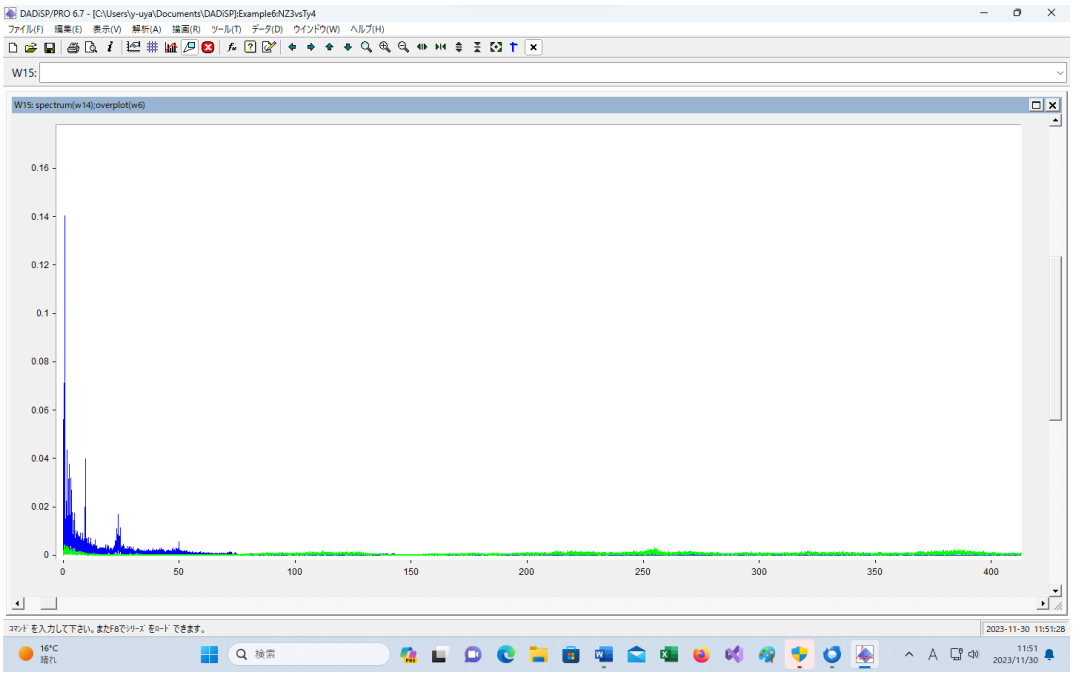
風車の近くでは 0.14Pa、風車が無い場所では 0.01Pa の音圧を持っている超低周波音が存在します。だから、風車の近くでは音圧が 10 倍です。音圧は、風速で変化します。風車の近くで 0.37Pa、風車が無い所で 0.003Pa の時もあります。これだと音圧は 100 倍です。
次のグラフは、青い線が風車の近くの超低周波音、緑の線が風車が無い場所での超低周波音です。

0～24Hz までの拡大図、風車音（青）と神社の音（緑）の周波数スペクトル



この範囲では、風車音の方が、音圧が高い。

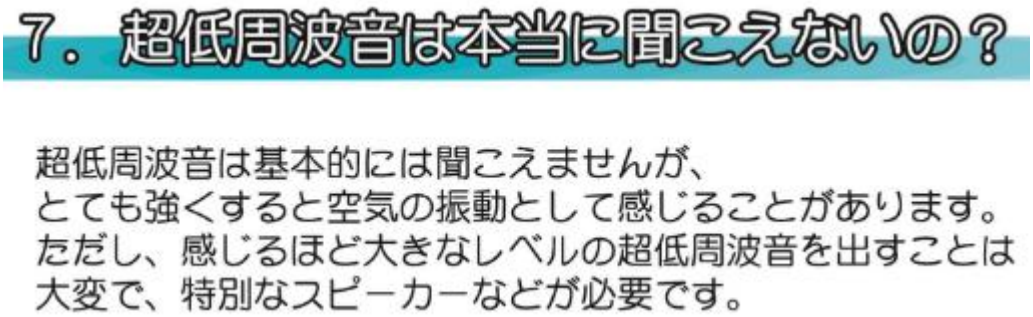
0～400Hz までの拡大図、風車音（青）と神社での音（緑）の周波数スペクトル



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

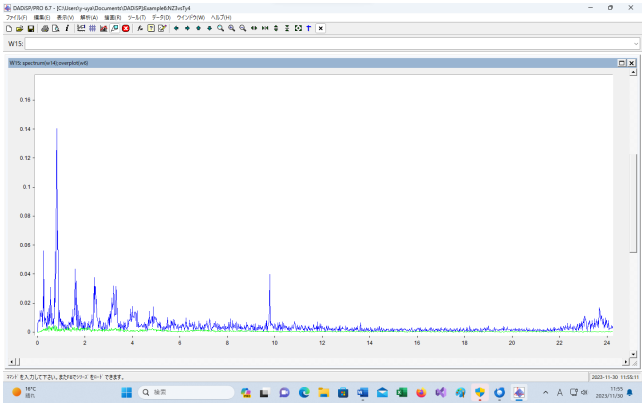
風車が無い場所では、マイクに風が当たることが原因の“風雑音”は、音圧が低くて、超低周波音の領域での周波数に規則性がありません。

７．超低周波音は本当に聞こえないの？



0.5Hz や 1Hz の音を再生できるスピーカは存在しません。それは、スピーカの振動面が動いて空気の粒子の密度が高まると、スピーカの振動面の脇の方へ逃げてしまうからです。

空気の粒子を逃がさないためには、大きな振動面が必要です。風車のサイズのスピーカが必要です。



周波数が高ければ、音が体内の圧力を変化させることは起きないのですが、0.5Hz や 1Hz の音ならば、体内の圧力を、気圧変動の範囲と同じ程度に変化させます。

鼓膜が振動するのではなく、鼓膜も含めて体全体が、圧縮膨張を繰り返す事になります。このとき、圧縮は体の表面から始まるので、最初に末梢血管が収縮します。これによって動脈内の圧力が上がります。これが繰り返されると、動脈壁に負荷か掛かるので、動脈が破れないように動脈壁が肥大化します。もちろん心臓にも負担がかかります。これが続けば、循環器系の障害が起きます。

圧力変動と、音響キャビテーションでの気泡発生条件を比べれば、体内に微小な気泡が発生して、体内が潜水病と同じ状態になり、頭痛が起きる事も分ります。

音での実験は困難ですが、密閉した場所を作って、気圧を変化させる実験は出来ます。

超低周波音や超音波は聞こえなくても、人体に物理的に作用し、火傷や頭痛などの健康被害を起こすのです。聞こえない音が安全だとは言えないのです。

８．風車から発生する超低周波音は大きいの？

8．風車から発生する超低周波音は大きいの？

環境省が調べたところ、風車から発生する
超低周波音は、人間が感じられるレベルの大きさではなく、
ほかの環境騒音・交通騒音等とくらべて
特別に大きなものではありませんでした。
また、日本よりもたくさん風車が建設されている
外国の調査結果を調べても、超低周波音による
健康影響について、明らかな関連を示す知見は
見つかりませんでした。

超低周波音は、聴覚での“うるささ”として感じることは少ないのですが、人間には聴覚以外の感覚器官があるので、圧迫感や不快感、頭痛、循環器系の障害として感知されます。

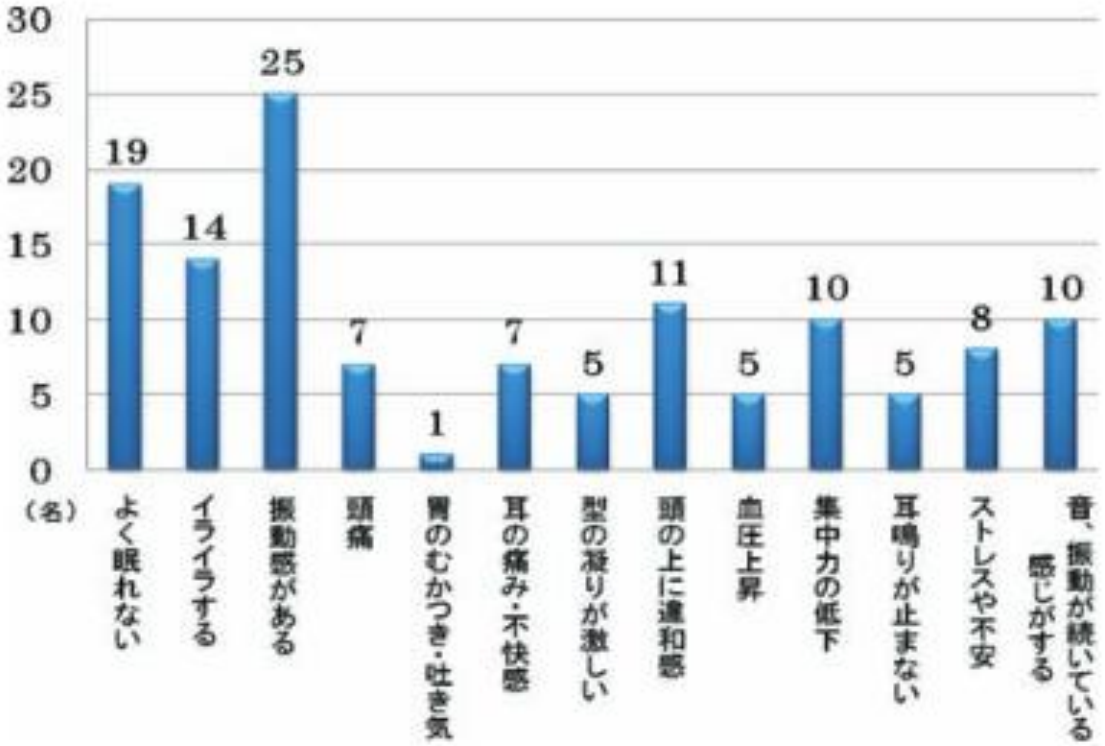


図２　苦情の訴え（「Ｑ５」、複数回答を含む）

そして上の様な被害が起きます。

20Hz 以下の成分では、風車音は交通騒音の 10000 倍のエネルギーを持っています。

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

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

外国では、せっかく計測した超低周波音を、疑似音だと主張する学者がいます。
風車の超低周波音と健康影響の関連性を否定する論文を書くと研究費が出ます。

Wind Turbines and Health
A Critical Review of the Scientific Literature

November 2014 – Volume 56 – Issue 11

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

Author Information

From the Department of Biological Engineering (Dr McCunney), Massachusetts Institute of Technology, Cambridge; Department of Epidemiology (Dr Mundt), Environ International, Amherst, Mass; Travel Immunization Clinic (Dr Colby), Middlesex-London Health Unit, London, Ontario, Canada; Dobie Associates (Dr Dobie), San Antonio, Tex; Environment, Energy and Acoustics (Mr Kaliski), Resource Systems Group, White River Junction, Vt; and Psychological Evaluation and Research Laboratory (Dr Blais), Massachusetts General Hospital, Boston.

Address correspondence to: Robert J. McCunney, MD, MPH, Department of Biological Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave, 16-771, Cambridge, MA 02139 (mccunney@mit.edu).

The Canadian Wind Energy Association (CanWEA) funded this project through a grant to the Department of Biological Engineering of the Massachusetts Institute of Technology (MIT). In accordance with MIT guidelines, members of the CanWEA did not take part in editorial decisions or reviews of the manuscript. Drs McCunney, Mundt, Colby, and Dobie and Mr Kaliski have provided testimony in environmental tribunal hearings in Canada and the USA. The Massachusetts Institute of Technology conducted an independent review of the final manuscript to ensure academic independence of the commentary and to eliminate any bias in the interpretation of the literature. All six coauthors also reviewed the entire manuscript and provided commentary to the lead author for inclusion in the final version.

The authors declare no conflicts of interest.

Supplemental digital contents are available for this article. Direct URL citation appears in the printed text and is provided in the HTML and PDF versions of this article on the journal's Web site (www.joem.org).
Journal of Occupational and Environmental Medicine

には、

The main problem with measuring low-frequency sound and infrasound in environmental conditions is wind-caused pseudosound due to air pressure fluctuation, because air flows over the microphone.
With conventional sound-level monitoring, this effect is minimized with a wind screen and/or elimination of data measured during windy periods (less than 5 m/s [11 mph] at a 2-m [6.5 feet] height).36 In the case of wind turbines, where maximum sound levels may be coincident with ground wind speeds greater than 5 m/s (11 mph), this is not the best solution. With infrasound in particular, wind-caused pseudosound can influence measurements, even at wind speeds down to 1 m/s.12 In fact, many sound-level meters do not measure infrasonic frequencies.
“環境条件下での低周波音と超低周波音の測定における主な問題は、**マイクロホンの上を空気が流れるため、気圧の変動による風による疑似音です。**従来の騒音レベルモニタリングでは、風の強い期間(2m(6.5 フィート)の高さで 5m/s(11mph)未満)に測定されたデータを排除することで、この影響を最小限に抑えます。36 風力タービンの場合、最大騒音レベルが 5 m / s(11 mph)を超える地上風速と一致する可能性があるため、これは最善の解決策ではありません。特に超低周波音では、風速が 1m/s 以下の場合でも、風による疑似音が測定に影響を与える可能性があります。12 実際、**多くの騒音計は超低周波周波数を測定していません。**”

と書いてあります。
計測された超低周波音は、風がマイクの上を通過したことによる、疑似音だと言っているのです。
これに沿った主張を、多くの学者も、日本の環境省も一斉に開始します。
嘘はやがてバレます。

被害の拡大

風車をつくるときは、風車から出る音（騒音）が、人の迷惑にならないよう、国が示す騒音の基準や指針に注意することが必要です。

発行／秋田県産業労働部　資源エネルギー産業課
〒010-8572 秋田市山王3-1-1　TEL：018-860-2281

“国が示す騒音の基準”を風車音に適用すれば、必ず大きな被害が起きます。

超低周波音を聴覚で感知することは困難でも、風車の影響は様々な形で人間に影響して、被害をもたらします。圧迫感や不快感として感知する時の風車音のＡ特性音圧レベルは 40ｄＢ程度で 10%の人が“非常に不快”と感じます。

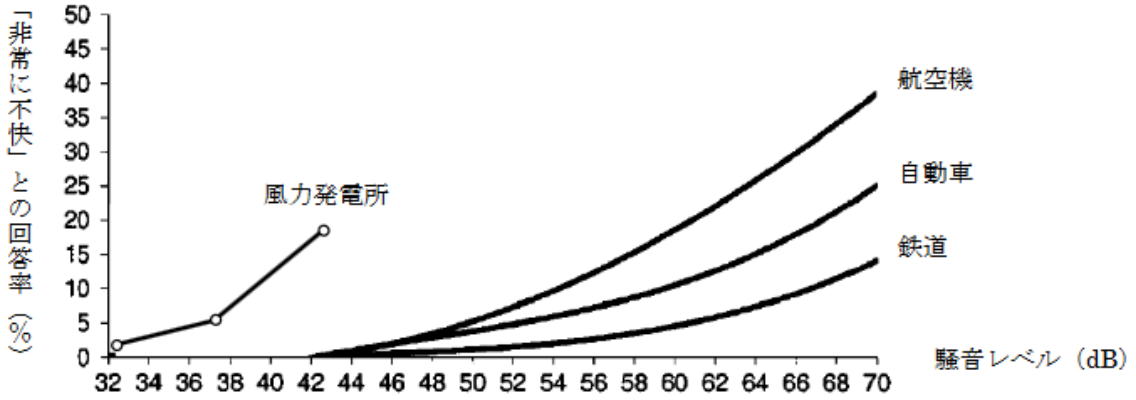


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

交通騒音での基準値の表と比較してみます。

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

（注）

1　時間の区分は、昼間を午前６時から午後１０時までの間とし、夜間を午後１０時から翌日の午前６時までの間とする。

2　ＡＡを当てはめる地域は、療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域とする。

3　Ａを当てはめる地域は、専ら住居の用に供される地域とする。

4　Ｂを当てはめる地域は、主として住居の用に供される地域とする。

5　Ｃを当てはめる地域は、相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域とする。

住宅街での交通騒音での基準値は昼間で 55ｄB、夜間で 45ｄB です。
30%～50%程度の人が“非常に不快”と感じる音が、毎日風車から出るのです。引っ越せる人は、すぐに転居してしまいます。

さらに、指針値以内ならば安全だという科学的な根拠は示されていません。

秋田県環境影響評価審査会議事録

１．書 面 に よ る 照 会 期 間
令和２年３月１８日（水）から５月２９日（金）まで
２．書 面 開 催 と し た 理 由
新型コロナウイルス感染拡大により、秋田県環境影響評価審査会の開催が困難であると判断したため。
３．委 員 氏 名
及川洋委員（会長）、菊地英治委員、曽根千晴委員、髙根昭一委員、高橋一郎委員、土田鐘子委員、成田憲二委員、増田周平委員、渋谷和治専門委員
４．議 事
諮問第８号
（仮称）秋田県由利本荘市沖洋上風力発電事業 環境影響評価準備書について
５．議 事 の 概 要
知事より諮問された案件について書面により審議し、その結果を知事に答申することとした。
の質疑の一部です。

委 員
風力発電機の騒音に関する事項で、「純音性成分は、風速 11m/s 以下では確認されず」と記載されているが、回転している物体が出す騒音は、特定の周波数成分が優勢になると推測される。他事業で採用された風車の周波数スペクトルを見てもそのようなものが認められるものの、ISO などの基準に基づいて「純音性が低い」と説明されるものが多い。
そのようなことから、記述だけではなく、評価書では具体的に周波数スペクトルを示し、読者が評価できる形にするよう強く要望する。

事業者
風車メーカーによる FFT 分析結果を含む騒音の実測データは、メーカーとの守秘義務契約締結の事情により、公開可能なデータが極めて限られている。
このため、具体的な周波数スペクトルを評価書にそのまま掲載することはできないが、純音性成分に関するデータを可能な限り定量的に示すよう努める。

委 員
「純音性成分は、風速 11m/s 以下では確認されず」と記載されているが、風速 11m/s 以上では確認できるとも解釈できるため、その点について確認したい。仮に「確認できるかどうかわからない」のであれば、事業開始後に純音性成分が原因と考えられる問題が発生した場合の対応について、事業者の見解を御教示いただきたい。

事業者 （非公開情報）

委 員
「振幅変調音（スウィッシュ音）については、メーカーがデータを取得していない。」と記載されているが、レ

ベルの高低はあるにせよ、風車がスウィッシュ音を出すのは確実である。仮に事業開始後にスウィッシュ音が原因と考えられる問題が発生した場合の対応について、事業者の見解を御教示いただきたい。

事業者
本アセスにて騒音の評価指標とした「風力発電施設から発生する騒音に関する指針」は、振幅変調音等の音がわずらわしさ（アノイアンス）を増加させる可能性のあることなどの状況を踏まえて検討会にて策定されたものである。本事業では、可能な限り住居から離隔して騒音の影響の低減を図るため、風車から海岸線まで 1.7km 以上の離隔距離を確保する配置計画とし、その結果、準備書に示すとおり将来騒音レベルが風車音指針に適合するとの予測結果が得られている。したがって、この配置計画自体が振幅変調音を含む騒音に対する環境保全措置の講じられたものであり、現時点で特段の対策を追加で講じる必要は無いと考えている。
万が一、住居区域において、明らかに本事業の風車からの振幅変調音が確認され、苦情が出るほどの影響が認められる場合は、必要に応じて現地調査等を行い、適切に対応する。

とありました。

FFT での解析結果や風車音の精密なグラフは、風車音の影響を調べる上での必須資料です。
企業秘密という事なので、メールを出して質問してみた。
“第三者が貴社の風車の近くで計測した音について、
計測結果や解析結果を公表することは、なにか問題がありますか？
私は、計測と解析結果の公開を考えています。“
返事が楽しみです。

風車による環境影響を評価するには、風車からどのような音がでるのか、風車の振動がどの様に地中を伝搬するか、風車からどのような光がでるのか（航空障害灯）、風車の影はどこまで届くか、などを考える必要があります。
風車の影響を知覚するのは、耳で聞いて“うるさい”と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。

審議会の委員は、審議するための情報を得られないのです。風車の影響を判断する材料を得るには、業者が情

報を提供するか、秋田県が情報を計測するか、委員が計測するか、市民が計測するか、いずれにせよ、必要な情報が無ければ審議できないのです。

その情報は、市民にも提供されなくてはなりません。風車に賛成するにせよ、反対するにせよ、企業秘密と言って情報が提供されないならば、何を根拠に市民は賛否を判断すれば良いのでしょうか？

純音成分に関しても、同様です。

委 員

「純音性成分は、風速 11m/s 以下では確認されず」と記載されているが、風速 11m/s 以上では確認できるとも解釈できるため、その点について確認したい。仮に「確認できるかどうかわからない」のであれば、事業開始後に純音性成分が原因と考えられる問題が発生した場合の対応について、事業者の見解を御教示いただきたい。

事業者 （非公開情報）

純音成分に関しては、1/3 オクターブ解析のグラフを使って議論されることが多いのですが、純音か否かは 1/3 オクターブ解析のグラフからは判断できません。1/3 での周波数はそれぞれの帯域の中心周波数にすぎないことと、帯域がどんどん広くなるからです。純音か否かの判断には、詳細な周波数スペクトルが必要なのです。

純音成分は、アノイアンス（不快感）が増加して、睡眠を妨害される要因なのです。これが大きければ、睡眠がとれない地域になってしまいます。純音成分の程度も、賛否の決定に必要な情報です。

それが、（非公開情報）になっています。

令和４年度
再生可能エネルギーの適正な導入に向けた
環境影響評価のあり方に関する検討会
報告書
には、

風力発電の円滑な導入のためには地域における合意形成が図られた上で、適正な環境配慮を確保することが必要不可欠だが、昨今の風力発電事業においては、地域とのコミュニケーションや環境配慮が不十分なまま開発が進められているとして、地域から懸念の声が寄せられているものがある。また、令和４年 12 月に開催された国連生物多様性条約の第 15 回締約国会議（カナダ・モントリオール）において、新たな世界目標として「昆明･モントリオール生物多様性枠組」が採択された。その中で、生物多様性の損失を止め、反転させる「2030 年ネイチャーポジティブ」が目標として掲げられており、風力発電等の再生可能エネルギーの導入に当たり、生物の行動、生息地や保全上重要な地域への悪影響を回避するための調整などが課題となっている。

ついては、今後、風力発電の更なる導入を図るためには、地域共生型の風力発電を支援するとともに、そうではないものに対しては厳しく対応していく必要がある。このため、政府は個別法による立地規制や、事業法による事業規律の確保、地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年法律第 117 号）に基づく地域脱炭素化促進事業制度の活用による地域共生型の再生可能エネルギーの導入を図っていく他、環境アセスメント制度を適切に施行し、適正な環境配慮を確保するとともに地域とのコミュニケーションを促進することにより、地域共生型の事業計画の立案が図られることを目指している。

とあるが、

企業秘密、非公開情報として、住環境が保全されるか否かに関する情報を提供しない態度なので、

“地域とのコミュニケーションや環境配慮が不十分なまま開発が進められているとして、地域から懸念の声が寄せられているものがある。“

の具体例がこの企業である。

風力発電所の環境影響について

には、

“環境アセスメントとは、開発事業の内容を決めるに当たって、それが環境に及ぼす影響について、事業者自らが調査・予測・評価を行い、**その結果を**地域への説明やアセス図書の縦覧により**公表して広く意見を聞き**、それらを踏まえて環境の保全の観点からよりよい事業計画を作り上げていく制度。“

とある。

事業者が、調査、予測、評価を行い、その結果を公表して広く意見を聞き、、、

と言っているのですが、

意見を言うには、被害の原因となる事柄について企業が持っている情報が必要なのです。それらを提供する責任があるのは企業です。

アセスは建設が完了するまでの手続きです。建設後に、県や市民が計測し、データをネットに公開して解析した結果から、業者が建設前に言っていたこととは全く異なる状況になっていることが判明する可能性が十分に有ります。その場合は、誰がどの様にして、責任を取るのでしょうか？

秋田県は計測しないかもしれないが、市民がお金を集めて計測機材を購入または借りて、あるいは計測の会社に頼んで、屋外で二重防風スクリーンを付けての計測、室内で二重防風スクリーンを付けない計測、車を使った計測（3 種類）をお願いすることは可能です。一般的な波形解析ソフトを持っている企業や大学は世界中に沢山あります。

風車音は、敷地の外への出てくるのです。周波数スペクトルを秘密には出来ないのです。もちろん、純音成分に関しても、敷地の外での計測が可能ですから、秘密には出来ないのです。

もし、敷地の外での計測が、企業秘密を盗む行為だと考えるならば、敷地の外まで風車音が出てくる理由や、他人を敷地内や他人の家の室内まで入り込むことの責任を取って、風車音が敷地から全くでないようにする必要があります。室内に不法侵入する音の責任を取ることが必要です。

風車建設後に起きる、被害の原因が風車なのかを判断するには、被害現場での計測値と風車の音の特徴を比較することが必要です。企業秘密だと言って、周波数スペクトルを公開しないのは、被害の原因が風車だとは絶対に認めない。という態度の表明でしかありません。

さて、秋田県知事はこのような業者に対してどのような知事意見を述べるのでしょうか？

科学的な情報と非科学的な情報

秋田県は、風力発電所から発生する超低周波音等についての“科学的な”情報を発信するとして、イベントを行った。秋田県は、“風車と音に関する理解を深めた。”と言っているが、内容は科学的とは言えない内容である。

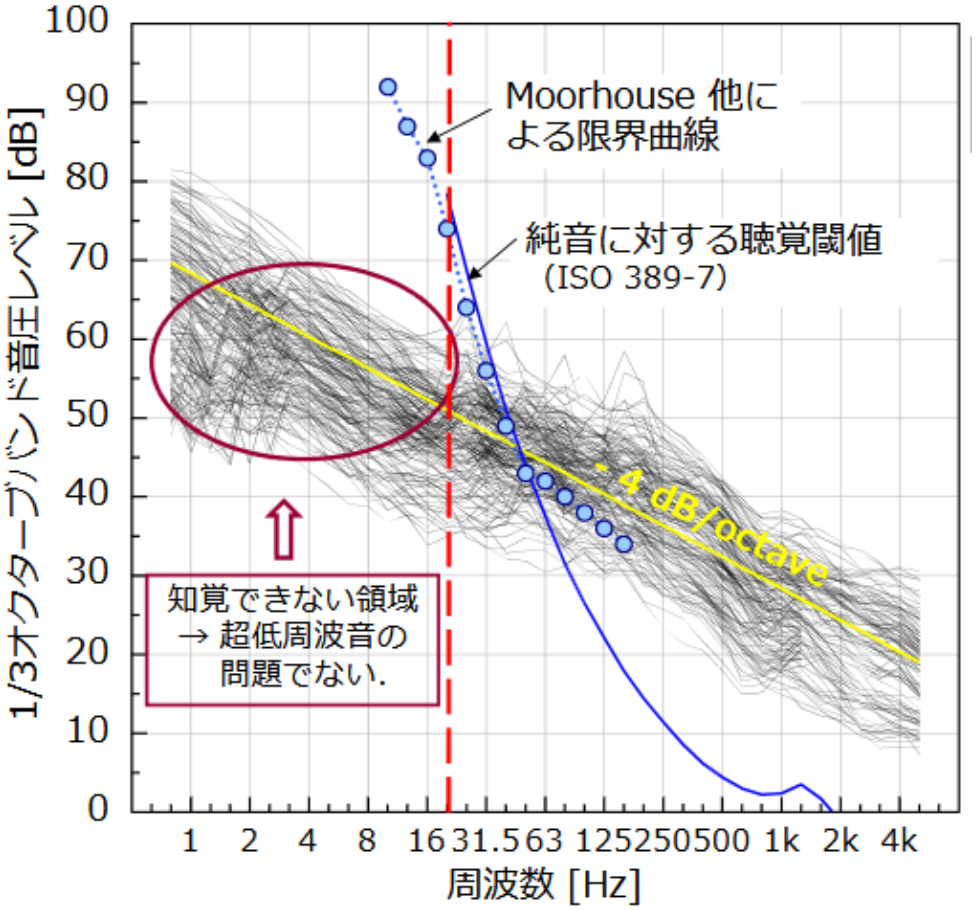
風車と音の理解促進イベント

- 風力発電から発生する超低周波音等について、様々な心配をする声がある。
- **インターネット上などの非科学的な情報に基づく不正確な知識が喧伝されている。**
- 「グローバルウインドデイ in 能代」に、「風車」と「音」について理解を深める体験コーナーを出展。
- 音響工学で有名な「小林理学研究所」から研究員を招聘し、様々な周波数の音を発生させる特設装置を使用した全国初の体験イベントを開催し、風車と音に関する理解を深めた。

◆体験できる音の一覧

	騒音レベル（A 特性）	音圧レベル（1/3 オクターブバンド）
1．可聴音（高い音 10000Hz、低い音 40Hz） ※正弦波。録音ではない。	―	約 70dB
2．可聴音（風車の音） ※２MWクラスの風車から１５０mの距離で録音	約 50dB	60dB （20Hz でのレベル）
3．超低周波音（感じられる強さ） ※正弦波。録音ではない。	―	100dB （20Hz でのレベル）
4．超低周波音（風車からでる 20Hz の音） ※２MWクラスの風車から１５０mの距離で録音	―	60dB （20Hz でのレベル）
5．可聴音（乗用車運転中の音） ※５人乗りミニバン（1600CC）車内で、時速 50km 程度の時に録音	約 60dB	90dB （20Hz でのレベル）

◆周波数と呼び方



20Hz で 60 d B の音だと、4 オクターブ違いとして計算すると、1Hz では、4*4＝16 d B の増加になるので、1Hz では 76 d B になる。二重防風スクリーンでの減衰 38 d B を加えると、114 d B となる。

聴覚では知覚できなくても、圧迫感や不快感として十分感知できる音圧レベルだと言える。

ここでの間違いを指摘するのに、2 段階の方法をとる。

１．過去の研究資料を基に批判する。

２．新しい計測結果を基に批判する。

普通ならば、秋田県と私が同じ場所で同時に風車音を計測して、それについて議論すれば良いのだが、
秋田県は、絶対に計測はしないので、２の方法だけでは、
“それはあなたの計測結果だ”と言われて終わるからです。

ここでは、
“インターネット上などの非科学的な情報に基づく不正確な知識が喧伝されている。”
と主張する秋田県だが、電話で確認したところ、
“アセスでは、業者が計測することになっている。県としての計測はやらない。“
と言っていた。

宮城県へも質問してみた。

項目：タイトル
内容：宮城県環境影響評価技術審議会
項目：お問い合わせ内容
内容：宇山靖政と言うものです。
風車音に関心を持って、計測と解析をしています。
令和３年５月２８日　付けの答申
を見ました。
質問
１．NL-62 でサンプリングレートを 48 k Hz にして、120 秒間計測したものに対して、平均値を取らないで周波数スペクトルを計算すれば、f=RZ/60 Hz に於いて最大音圧となる超低周波音が計測できます。が、審議会の皆様の答申では、具体的な計測と解析に基づいての記述が見られません。
宮城県には、精密騒音計と解析ソフトは無いのでしょうか？
持っているが、風車音は計測しない事にしているのでしょうか？
（千葉県では、持っているが計測はしない。との事でした。）
２．審議会の皆様で、風車音の計測と解析をしている方はいないのでしょうか？
３．県として計測した風車音の波形データを公開していますか？
４．私は、HP で公開していますが、使いますか？

に対する回答は、

宇山靖政 様

お世話になっております。
宮城県環境対策課の佐々木と申します。
標記の Web からのお問い合わせにつきまして、
以下のとおり回答いたします。
「令和３年５月２８日付けの答申を見ました。」とのことですが、風車音に関心をお持ちのようですので、風力発電事業に対する環境影響評価技術審査会からの答申をご覧になったと推察いたします。
環境影響評価は事業者が自ら実施するものであり、環境影響評価技術審査会や県では計測等は行っておりません。
当県では、環境影響評価に関する技術的な事項について調査・審議するための機関として、「環境影響評価技術審査会」を設置しており、事業者から提出された環境影響評価の方法や調査結果を記した図書に対し、委員の方々に環境保全の見地から意見をいただき、それを基に知事意見を発出しております。
環境影響評価技術審査会の委員につきましては以下のホームページに記載しております。
https://www.pref.miyagi.jp/site/assesu/sinsakaimeibo.html
現在のところ、風車音の計測と解析のみをご専門分野としている委員はおりません。
との回答が来た。

　風車音の計測に関しては、千葉県も同様で、風車音の計測はしない。と言っていた。千葉県知事と委員会の方には情報提供をした。

宮城県は、委員の名簿を送ってくれたのだから、情報は委員に対して直接提供して下さいという事なのでしょう。委員の方へは、計測結果と解析結果の連絡をしておきました。

今まで調べた中では、住民に対して悪質な情報を与えているとの観点では、秋田県と山形県が双璧をなしている。

風車音の被害で困っている住民にとって役に立つ計測を、業者が提供すると思っているのでしょうか？
騒音計で使われるマイクにもいろいろある。騒音計にもいろいろある。
結果の評価方法もいろいろある。

住民が欲しい計測方法と解析結果は、被害の原因が風車音であることを示す結果である。
業者が欲しいのは、風車音での被害は発生しない。被害の訴えは根拠の無い単なるクレームであるとの結論である。

業者は自分にとって都合の良い計測方法と解析方法を選ぶ。
そして、秋田県はアセスを根拠にして、業者を応援し、業者以上に住民を騙そうとしている。
計測機材も、計測方法も、評価方法もいろいろです。私が業者なら、自分にとって都合の良い結果しか見せません。秋田県は業者の計測結果を完全に信じてくれるので、業者にとっては天国です。

秋田県の審議会での業者の発言は
事業者
風車メーカーによる FFT 分析結果を含む騒音の実測データは、メーカーとの守秘義務契約締結の事情により、公開可能なデータが極めて限られている。
このため、具体的な周波数スペクトルを評価書にそのまま掲載することはできないが、純音性成分に関するデータを可能な限り定量的に示すよう努める。
でした。

FFT 分析の結果を公開できない理由は、住民への健康被害を及ぼす証拠が明確になるからでしょう。

ここは、
- インターネット上などの非科学的な情報に基づく不正確な知識が喧伝されている。

と主張する、秋田県の出番です。

周波数スペクトルに関する正確な知識が必要なのです。それが無ければ審議できません。住民の被害の原因も解明出来ません。最低でも、風車からどのような音が出るのかを正確に理解しなくてはなりません。
風車建設前の音環境と、風車稼働後の音環境を比較できるように、積極的に計測を行い、結果をネット上に公開すべきです。
超低周波音の解析と評価は難しいのです。昔からある、G 特性音圧レベルと 1/3 オクターブ解析だけでは正しい評価は出来ないのです。
風雑音や疑似音の関係で計測機材や計測方法も問題になります。最大音圧の計算、Wavelet 解析、カオス理論、

ソリトンの理論などの新しい解析方法が必要になるのです。解析ソフトも不十分ですので、世界中の研究者の協力を求める必要があるのです。
　秋田県がほんの少し頑張って、計測結果をネット上に公開すれば、風車音に関する正確な情報を、秋田県から世界に発信することができるのです。インターネット上のデマ情報を一掃できるのです。
　科学と正確な情報に拘る秋田県ならば、インターネット上に、正確な計測に基づく正確な知識を広めてゆくべきだと思います。（秋田県は計測しないようですが、秋田市民は機材を購入して計測してくれるでしょう。）

　科学では、理論と実験が必要です。そして共通認識となるには、実験の再現性が要求されます。
追試　replication
追試（replication）は、新しいサンプルや新しい被験者を使用して先行研究の方法を正確に再現すること。繰り返し同じ知見が得られると、元の仮説の支持を強め、そしてその仮説をつくり出した理論がより確からしくなる。
では、風車音の場合はいかがでしょうか？

　風車病と言われる被害の原因が、風車からの音や振動であることを証明するには、

風車音の性質を調べる
そのような性質が、人間に、どの様な影響を及ぼすかを調べる
被害を受けている場所での音や振動を調べて、それが風車からのものであることを示す
風車からは、健康被害を引き起こす、特別な性質を持っている音や振動が放出される理由を示す

ことが必要です。

　これらは、それほど難しいことではありません。困難なのは、追試をしてもらうことです。
　風車音の性質を調べるには、科学的な計測とデータの正確な解析が必要です。
　企業だけが計測し、企業だけが解析したのでは、風車音の性質さえも調べられないのです。
　企業の主張が正しいか否かは、第三者や、県、市民の計測や解析の追試によって検証される必要があります。

　“スタップ細胞はあります。”と言う言葉を思い出します。追試で検証できない主張は妄想なのです。
“聞こえなければ問題ありません。”と言う主張が正しいか否かは、追試が必要なのです。

　風車音の計測に関する追試をするには、業者、学者、市民が独自の立場で計測し、その結果を沢山の人が自由に解析して、共通の認識を得ることが必要です。
　計測機材は、騒音計と振動レベル計が必要です。騒音計ではその機械に使われているマイクの性能が大きな問題になります。マイクの性能を考えると、リオン社の製品では、NL-62、NL-63、SA-A1 の 3 機種だけが候補となります。価格は 70 万円から 150 万円程度です。
　これを使って波形を収録して、データをネットに掲載して解析をお願いすれば、周波数スペクトルを計算してくれる人が見つかります。

　この為の最初の一歩が、計測なのです。科学的な追試では、様々な立場の人が行ってこそ意味がある。対立する考えの人が別々に行って結論が一致することが必要なのです。

　では、科学と正確な知識を提供すると言っている、秋田県が、アセスを理由にして計測を拒むのは何故か？答えは、ただ一つです。秋田県の嘘がバレるからです。秋田県の嘘は、環境省の嘘の拡大版です。
　風車音の計測に関しては、環境省の圧力が掛かり、環境省や御用学者によって、沢山のデマ情報が流されています。風雑音、疑似音、空力音、風切り音、カルマン渦、、などの説が、検証を妨害する為に流されます。

ここで、誤魔化し方と見破り方の具体例を見ておきましょう。

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。**
これまでに国内外で得られた研究結果を踏まえると、 風力発電施設から発生する騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。また、**風力発電施設から発生する超低周波音・ 低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない。**
ただし、風力発電施設から発生する騒音に含まれる振幅変調音や純音性成分等は、わずらわしさ（ アノ イアンス） を増加させる傾向がある。静かな環境では、風力発電施設から発生する騒音が 35～40dB を超過すると、わずらわしさ（ アノ イアンス） の程度が上がり、 睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。また、**超低周波数領域の成分の音も含めた実験の結果、 周波数重み付け特性として A 特性音圧レベルが音の大きさ（ ラウド ネス） の評価に適している。”**
であるが、

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

“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。”
となっていると、

“低い周波数成分”の意味を、0～100Hz の成分のように誤解します。
しかし、
“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。”
とあるので、比較対象は、20Hz 以上に限定されます。
風車音のエネルギーの分布は、0～20Hz の範囲に 93%、20Hz 以上の成分のエネルギーは 7%となっています。交通騒音では、エネルギーの分布は、0～20Hz の範囲に 1%、20Hz 以上の成分のエネルギーは 99%となっています。
従って、20Hz 以上の領域に限定すれば、風車音の影響は小さいのです。しかし、0～20Hz の成分も含めて比較すれば、風車音は、全体のエネルギーから見ても、最大音圧の点から見ても、圧倒的に大きいのです。

風車被害では、安眠妨害が大きな問題になります。この要因としてのアノイアンス（不快感）を調べることが重要なのです。　ラウドネス（うるささ）も不快感の一部でが、アノイアンスへの寄与率が低すぎます。
”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」“、
報告書（ｐ14）に、
“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。“

人間には、聴覚以外の感覚器官もあるし、人間の体の中の圧力を変動させ、物理的に圧迫するとの観点で見れば、超低周波音の音圧レベルが、聴覚閾値よりも低い場合でも、知覚閾値を超えている場合があると考えるべきです。
人体を圧迫するとの観点で見れば、音圧が 1 Pa の場合に、周波数が 0.5Hz なら 0.999Pa、1Hz の場合には 0.974Pa、まで上昇しますが、周波数が 100Hz なら 0.132Pa、200Hz なら 0.033Pa までしか上昇しません。
音による圧迫感は、超低周波音の影響が大きいが、200Hz 以上の場合は圧迫感が生じることは無いのです。原因は、超低周波音の場合は実際に圧迫されるが、周波数が高い場合には人体の中の圧力は変化しないのです。
圧迫感によるアノイアンス（不快感）の評価には、f=RZ/60Hz での最大音圧が適しているのです。

睡眠妨害が長期間継続すれば、健康への大きな被害が発生します。風車の影響、睡眠妨害の観点から評価する時には、
睡眠妨害に注目して、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、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。
ガタツキに関しては、2Ｈｚで 65ｄＢ程度が、風車音の影響に関する、知覚閾値になるのです。

従って、
“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。”
の部分を、

“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聴覚閾値を下回り、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（20Hz 以上）に限定して比較すれば、卓越は見られない。

人間には、聴覚以外の感覚器官があり、圧迫や振動を感知できるので、20Hz 以下の超低周波音については、建具や床の振動を引き起こし、睡眠妨害の要因となる。建具のがたつき閾値は、2Hz で 65ｄＢ程度であり、全国の風車の半数程度では睡眠妨害が起きていると考えられる。

また、他の環境騒音と比べると、風車音ではエネルギーの 93%が超低周波音の領域に属し 20Ｈｚ以上の領域のエネルギーは 7%以下となるが、交通騒音では、超低周波音の領域のエネルギーは 1%程度であり、20Ｈｚ以上の領域にエネルギーの 99%が含まれるので、20Hz 以上の領域に限定して比較すれば、風車音の騒音レベル（Ａ特性音圧レベル）は他の環境騒音よりも低くなる。

ただし、超低周波音の領域まで含めて比較すれば、風車音は他の環境騒音に対して卓越した音圧とエネルギーを持っている。

特に、f=RZ/60Ｈｚの値は、大きな風車では 0.5Ｈｚ～0.8Ｈｚ程度であり、周波数スペクトルを見れば、この部分だけが特に大きな音圧を持っているのが風車音の特徴です。これは、周波数が高ければ、同じ音圧を持っていても体内の圧力を大きく変動させることは無いのですが、0.5Ｈｚ～0.8Ｈｚの場合には、体内の圧力が音圧の変動と同程度に変動してしまうのです。これは、高周波音の場合（200Ｈｚ以上）は問題にならないが、超低周波音の場合は、体内の圧力変動の結果を注意深く検討する必要があることを意味しているのです。

ラウドネス（うるささ）の評価には、A 特性音圧レベルが適しているが、アノイアンス（不快感）の評価には最大音圧が適しているのです。これは f=RZ/60Ｈｚでの音圧です。

安眠妨害が継続すると健康に大きな影響が出るのですから、アノイアンス（不快感）を重視すべきです。不快感の要因として、圧迫感があるのですから、指標としては、圧迫そのものの原因である、超低周波音での最大音圧を計測して、因果関係を証明する為に、多変量解析を行うべきです。

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/㎡)

J＝（ｐ*ｐ）/（ρｃ）　　(W/㎡)

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

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

比率に関しては

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%

である。
なお体内の圧力の変動に関しては後で確認します。“
と変える必要が出てくる。

　では、秋田県の主張が、科学的な情報に基づいた正確な知識と言えるか、に関して考えましょう。

“風車と音の理解促進”
と言っているのだから、風車音や風車音に近い音が体験できると考えるのが普通です。
　この様に言っておきながら、風車音とはかけ離れた音を聞かせたのでは、風車音に関する科学的な情報を得ることも、風車音に関しての正確な知識を与えることも出来ません。悪質な詐欺です。

　秋田県は
“• 音響工学で有名な「小林理学研究所」から研究員を招聘し、様々な周波数の音を発生させる特設装置を使用した全国初の体験イベントを開催し、風車と音に関する理解を深めた。”
　と言っているが、デマを広めただけです。

　市民が体験した音のうちで、風車音、超低周波音に関するものは次のものです。

2．可聴音（風車の音） ※２MWクラスの風車から１５０ｍの距離で録音	約 50dB	60dB (20Hz でのレベル)
3．超低周波音（感じられる強さ） ※正弦波。録音ではない。	—	100dB (20Hz でのレベル)
4．超低周波音（風車からでる 20Hz の音） ※２MWクラスの風車から１５０ｍの距離で録音	—	60dB (20Hz でのレベル)

　２と４に関しては、どのような機材で録音し、どのような機材で再生したかが問題になります。
どれも、20Hz 以上の周波数の音なのです。

　普通の機材では、風車音のごく一部しか録音できないのです。また、大型のスピーカでの 10Hz 以下の周波数の音は出せないのです。
　しかし、風車音の特徴は、1Hz 以下の部分が全体のエネルギーの 57%、20Hz 以下の部分が全体のエネルギーの 93%を占め、20Hz 以上の部分のエネルギーが全体の 7%を占める事です。

この体験は、風車音の 7%の部分を見せて、風車音全体を体験したかのような誤解を生ませることになります。普通の言葉では、詐欺と言います。

計測をして、風車音の性質が判明すれば、風車音とは全く異なる音を聞かされて、風車音に関する体験をした。と誤解した人々が、怒ります。

計測や追試をやりたくないのは理解できますが、嘘は 10000 回言っても嘘なのです。国や行政が率先して国民を騙してはいけないのです。

では、建設後の影響が、環境影響評価での予測と違っていたら誰が責任を取るのでしょうか？
建設後の計測は、環境アセスの要件には含まれない。

環境アセスメントの手続きは、大きく以下の 5 段階になります。
配慮書の手続き
方法書の手続き
準備書の手続き
評価書の手続き
報告書の手続き
それぞれの段階で、説明会を行ったり、住民の方々や、地方公共団体などの意見を取り入れたりといった手続きが定められています。

従って、建設後に秋田県が計測することは問題が無いと考えます。

企業秘密を敷地の外に撒き散らす企業は無いと思うので、敷地の外で計測した波形は、著作権の発生しないデータであり、誰でも再配布できるものです。

建設後には、NL-62、NL-63、SA-A1 などで収録した波形データを、ネット上に公開してくれたら良いのですが、秋田県に期待してはいけないようです。

お金はかかりますが、地域の人が相談して、お祭りの寄付金と一緒に、お金を集めて、精密騒音計を購入して、データをネット上に公開し、機材を持っていても測ろうとしない秋田県にも提供してあげる事が必要です。

山形県での市民学習会

「酒田市洋上風力発電事業」住民学習会　（山形県・酒田市　共催）

日時：６月２９日（日）13:30～16:00　　場所：酒田市公益研修センターホール

羊頭狗肉

青山学院大学　特任教授　佐藤敏彦氏

・風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とは言えない。

・低周波領域の音が「特異的な」影響を示す可能性については低いと考えられている。

・低周波領域の音も含め、感覚閾値には個人差がある。

・知覚することによる反応についても個人差がある。

・正しい情報の周知により住民に安心感を与えることが重要。

があった。

酒田市の HP には、

講演（1）：洋上風力発電施設から発生する音の健康影響について

午後1時50分～

講演内容

1. 洋上風力発電施設から発生する音の種類、特徴及び発生メカニズム
2. 健康影響のリスク評価の方法
3. 騒音による健康影響の課題と最新の知見
4. 騒音対策・規制の動向

講師

青山学院大学　特任教授　佐藤敏彦氏

講師紹介

慶應義塾大学医学部卒業。同大学院医学研究科博士課程修了（医学博士）。米国ピッツバーグ大学公衆衛生大学院修了。世界保健機関サイエンティスト、北里大学医学部教授を経て、2013年より青山学院大学特任教授。平成28年度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委員。専門は公衆衛生学（特に疫学）、健康情報学、リスク評価学。

とあり、発生メカニズムも講演内容として予告されていたが、その話は無かった。

発生メカニズムの解明は、風車音の物理的な影響の解明の大きな手掛かりになるので期待したが、話はなかった。

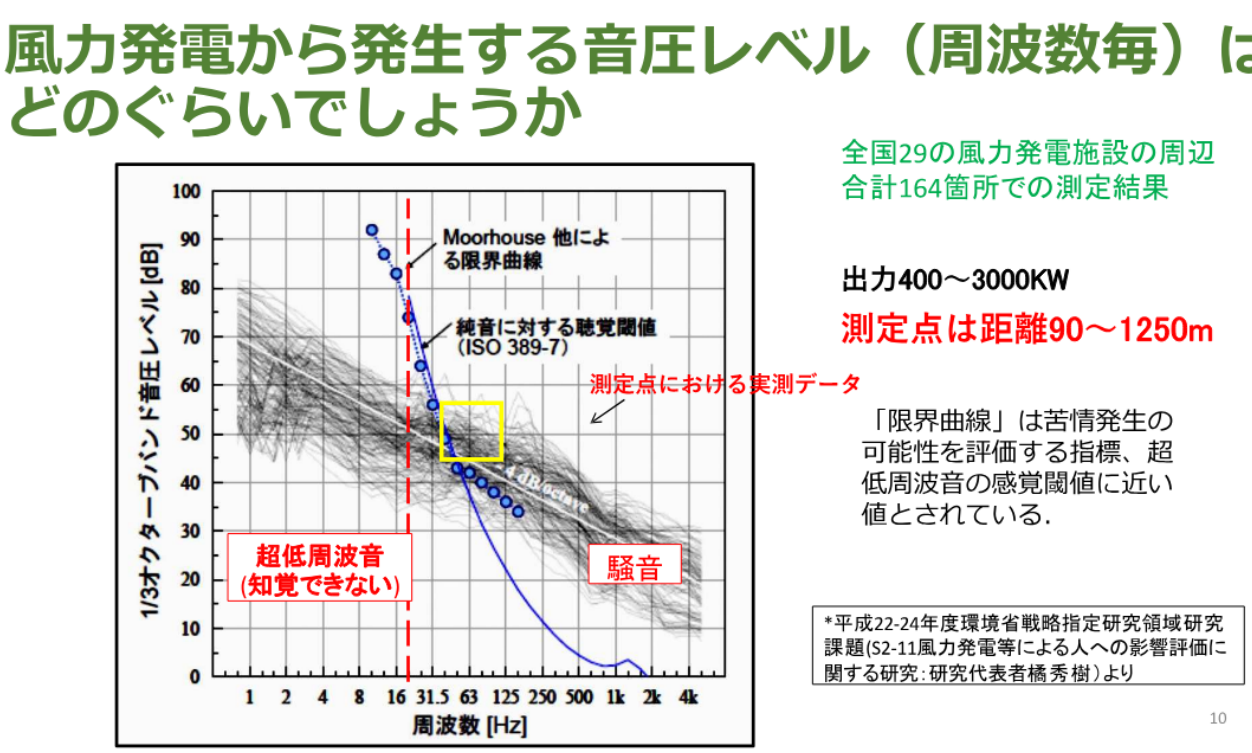
風車音の発生メカニズムと健康被害の関連については

10.健康被害と原因

に書いておいた。

音圧レベル（周波数毎と帯域毎）

普通の学者は、論拠を示して議論する。佐藤氏は論拠を明示しない。

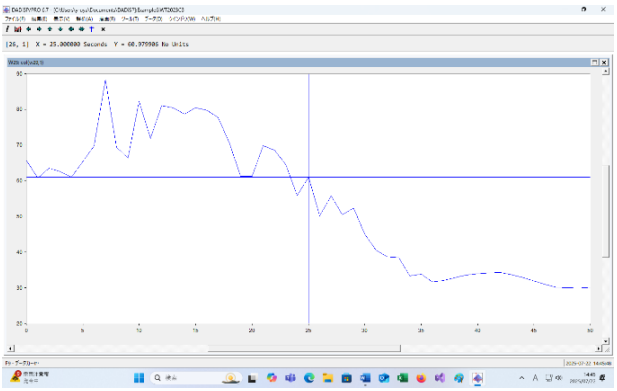


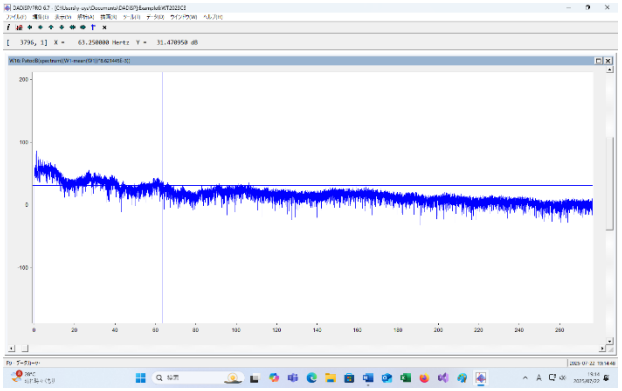
佐藤先生は表題を“風力発電から発生する音圧レベル（周波数毎）はどのぐらいでしょうか”とした。

館山市での計測結果では、1/3 オクターブ解析で、中心周波数 63Hz での音圧レベルは平坦特性（重み無し）で 60.979ｄB である（下の左のグラフ）が、63.07Hz での音圧は 1.195*10 ^ (-3)Pa であり、音圧レベルは、35.35ｄB である（下の右のグラフ）。

表題は変えたが、グラフは 1/3 オクターブ解析での帯域ごとの音圧レベルのままです。周波数ごとのグラフではありません。周波数毎の音圧レベルを示すグラフは右側のグラフなのです。

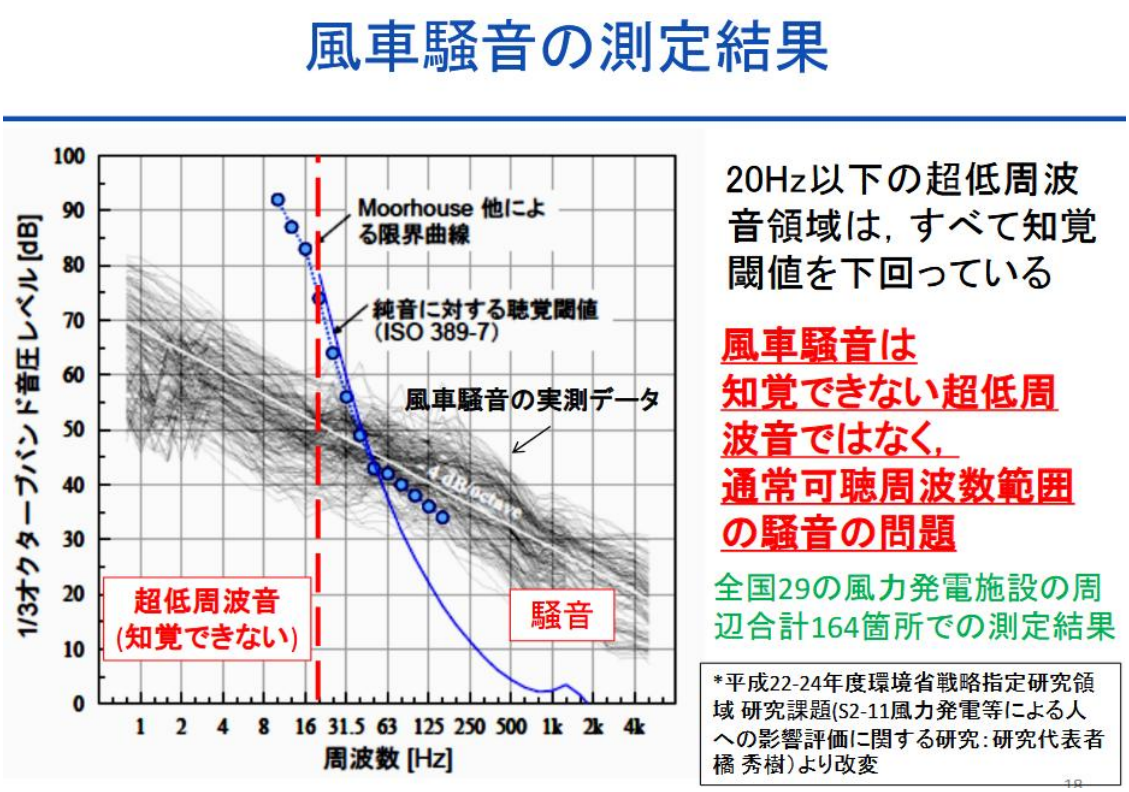
周波数ごとの計算と、1/3 オクターブ解析での周波数帯ごとにエネルギー加算した結果の数値ではまるで違うのです。風車音の問題に関する委員になるには基礎知識が足りません。



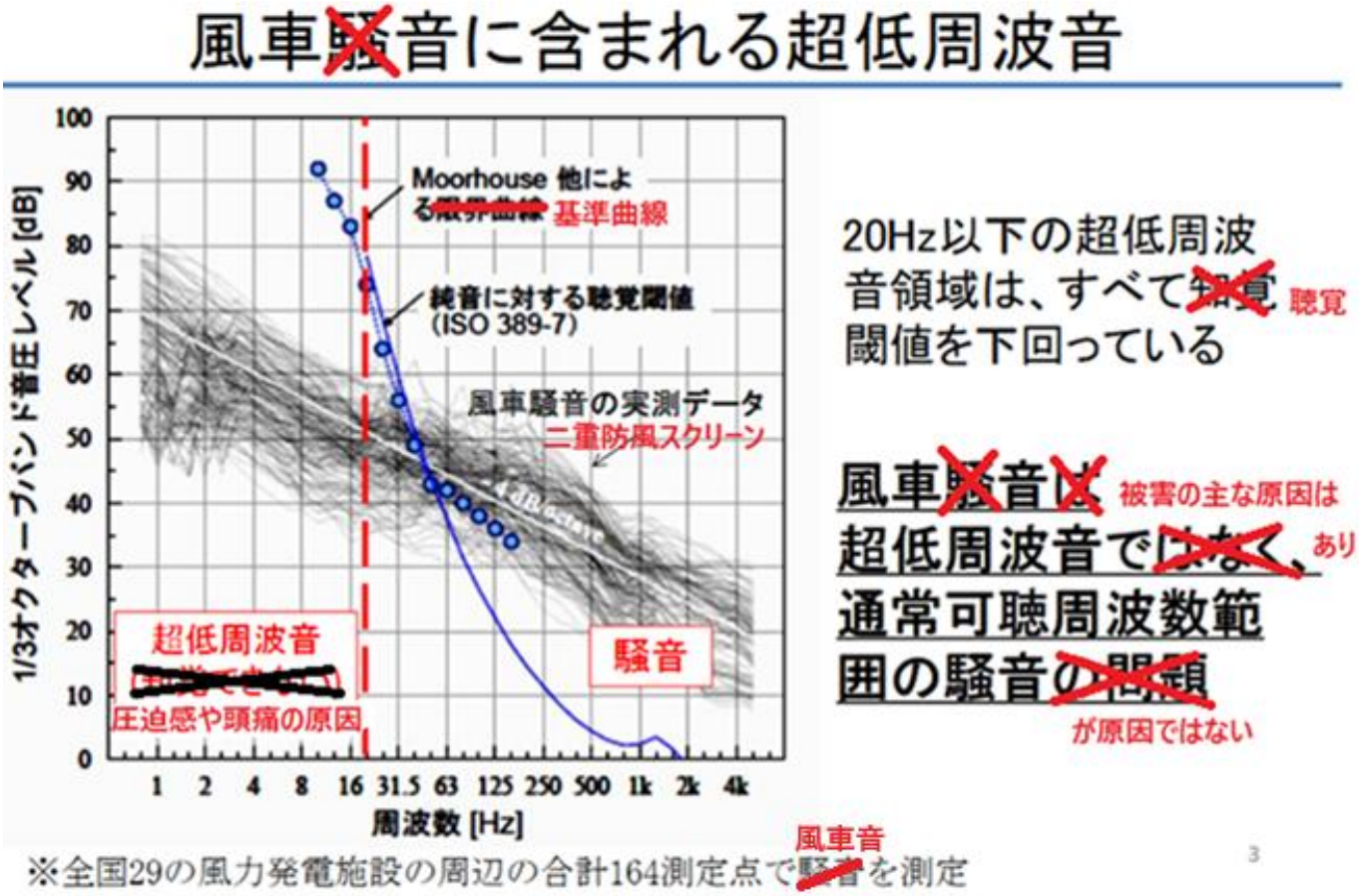


これでは、議論の対象となる資料の意味が分からないでしょう。それでも委員を務める度胸には感心しますが、普通の人は、“風車音に関する知識が無い”と言って辞退するでしょう。周波数ごとの音圧レベルを示したグラフは、環境省の HP や町田氏の資料にはありません。

もとの資料は次のものです。



騒音が可聴音を表す事を考えれば、上の資料は次の様に修正する必要があります。



佐藤先生は、“限界曲線”について触れている。
“「限界曲線」は苦情発生の可能性を評価する指標、超低周波音の感覚閾値に近い値とされている．”
と言っているが根拠を示さない。
普通の学者は、元の論文を調べる。環境省の資料には、
“Moorhouse 他が提案している低周波音の評価のための限界曲線”
とあるが、“限界曲線”としてはいけないのです。“基準曲線”または“参照曲線”とすべきなのです。理由は、論文を書いた本人の主張を見れば明らかです。

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

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。**
“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。**絶対的な制限としての評価ではありません**。とあるのだから、“限界曲線”という日本語は不適当です。
“not as an absolute limit”と書いてあるのに、まるで、“absolute limit.”と書いてあるかのように訳してはいけないのです。最近は小学生での英語を学習します。有識者の英語力は小学生以下です。
“基準曲線”、“参照曲線”と訳すべきです。そして、その意味は、
“LFN 苦情の評価であり、絶対的な制限としての評価ではありません。これは、騒音が聴覚閾値より大きい、または少しだけ小さい場合は、環境音源として考慮されるべきであることを意味します。”
とあるので、聴覚に関する閾値の一つであり、その音を環境騒音として扱うべきか否かの基準値なのです。
従って、**criteria** curve を“限界曲線”と訳すことは、論文を書いた本人の意向を完全に否定する訳し方になります。

風車の影響は、音として聴覚で感知される以外に、床や建具の振動として感知される事もあります。風車の影が不快感を与える事もあります。圧迫感や頭痛として感知される事もあります。航空障害灯の灯として睡眠を妨害する事もあります。これらは睡眠妨害や不快感として住民の生活を蝕みます。

関連する数値は次の様に纏められます。

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	
振動感（頭）						92	87	81	74	70	68	62	57				
高橋:聴覚閾値						86	81	75	66	60	56	47	41				
G特性の重み	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68
A特性の重み				-70	-63	-57	-51	-45	-39	-35	-30	-26	-23	-19	-16	-13	-11

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

周波数Hz	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
井上:聴覚閾値	130	126	123	118	115	111	105	100	95		78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5
G特性の重み	-28	-24	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36
合計	102	102	103	102	103	103	101	100	99		87.1	72.4	55.5	39.5	24	9.5	-4.5

佐藤先生が、“限界曲線”が元の論文の歪曲である事を明言しないのは残念である。

ここで、
“風力発電から発生する音圧レベル（周波数毎）はどのぐらいでしょうか”
に答えておきます。

音圧

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

この静圧からの圧力の変化分が音圧です。単位はパスカル（Pa）です。1 ㎡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/㎡)

J＝（p*p）/（ρ c）　　(W/㎡)

ここで、p（Pa）は音圧、ρは空気の密度（kg/㎥）、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。

（町田氏の資料より）

音圧レベル＜物理的な大きさ＞

音響出力は音圧の二乗に比例する

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

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 :基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

dB値(参考) : 0.002Pa=40dB,
0.00002(2×10^{-5}) Pa=0dB

＊ OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

ある周波数での音圧が p パスカルの時に、そのエネルギーは k * p ^2 になります。これを基準音圧 p0=20μパスカルのエネルギー k*(p0)^2 と比較して、倍率を計算します。

(k * p ^2)/(k*(p0)^2)= (p ^2)/((p0)^2)

可聴音の範囲では、0.00002Pa（基準音圧）～20Pa の音圧範囲で感知できるので、

20*20/(0.00002*0.00002)=1*10^12 となり、1 から 10^12 の範囲になってしまうので、常用対数を取ってその値を 10 倍した数値を使うことにします。

騒音は、人間が耳で感じる煩さです。

$$L_p = 10 * \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right)$$

上の式での Lp が同じでも、周波数が高い音だと煩く感じても、周波数が低い音ではそれほど煩く感じないので、人間が感じる騒音の煩さを示す数値を得るには、Lp に対する周波数ごとの補正が必要となります。それが、A 特性による重み付けです。

人間にとっての騒音の煩さを表す数値が A 特性音圧レベル（単位はデシベルdB）です。この計算には、人間の聴覚での可聴域が 20Hz から 20000Hz であることと、周波数によって人間の感じる煩さ（聴覚で感じる騒音の大きさ）が異なることを考慮して、周波数帯ごとに重み付けをして全体としての騒音レベル（dB）計算します。

計算対象となる周波数帯の中心周波数（1/3 オクターブ解析の場合についてのみ考えます）は、A 特性（1/3 オクターブバンド重み付け特性）と言っても、重み付けの規格はいろいろあります。

これで周波数毎の音圧レベルは計算できますが、風車音の場合は、周波数が大きくなった時の音圧レベルが極端に小さくなります。

そこで、周波数が 2 倍になる毎に区切って、帯域ごとのエネルギーを加算してその帯域の中心周波数の持つエネルギーと見なして扱うのが 1/1 オクターブ解析です。区切り方を細かくして 1/3 オクターブごとに区切った場合が 1/3 オクターブ解析になります。

周波数毎の音圧が分かれば合計して 1/3 オクターブ解析のグラフを作れますが、それを分解することはできないのです。ですから、1/3 オクターブ解析のグラフを示しながら、周波数毎の音圧レベルの話はできないのです。

エネルギー加算

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

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

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

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

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

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、

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

が成立する。

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

より　$L_{800}/10=log_{10}(P_{800}/P_0)^2$、よって、$({}^{P_{800}}/_{P_0})^2=10^{L800/10}$

となり、

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

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

$$=10*log_{10}\left(10^{L800/10}+10^{L1000/10}+10^{L1250/10}\right)$$

となりますので、

各周波数に対して音圧を２乗してから、和をとって、その値を中心周波数の音圧の２乗として扱って計算すれば、帯域ごとの音圧レベルが計算できます。

これが、周波数ごとの音圧レベルとオクターブ解析での各帯域の音圧レベルの関係です。

“風力発電から発生する音圧レベル（周波数毎）はどのぐらいでしょうか”

ですが、これを調べるには、十分なサンプリングレートで計測された音圧のデータが必要です。オクターブごとに合計してしまった数値を、周波数ごとの数値に分解することは出来ないのです。

もし佐藤先生がこれに関心があるならば、自分で計測するしかありません。橘先生に伺ったところ、

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について　　平成２８年１１月

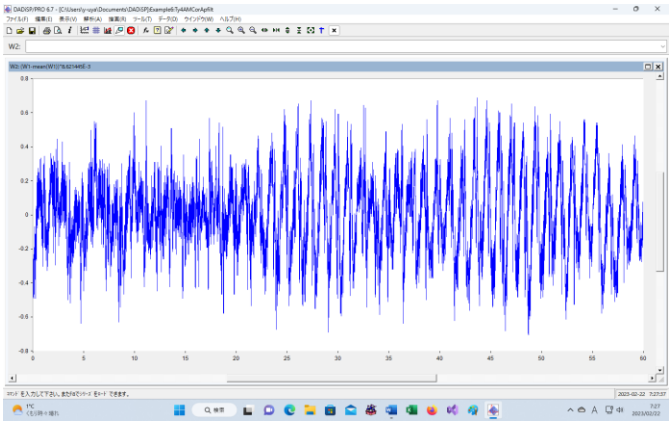
風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会“

での計測データは、全て廃棄したとの事でした。環境省にも残っていないとの事です。

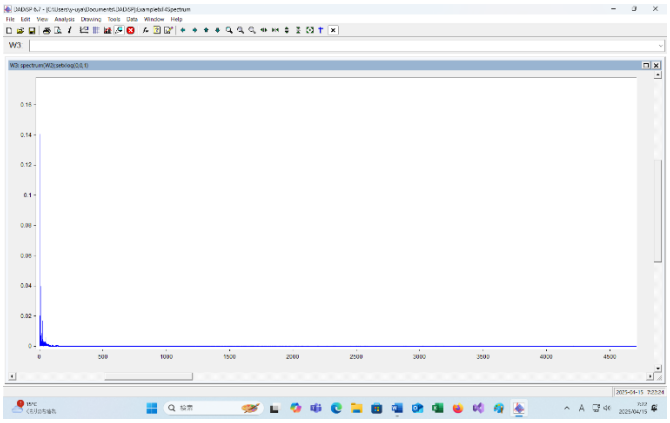
1/3 オクターブ解析のグラフの意味

風車音が広帯域の音であるという説もある。

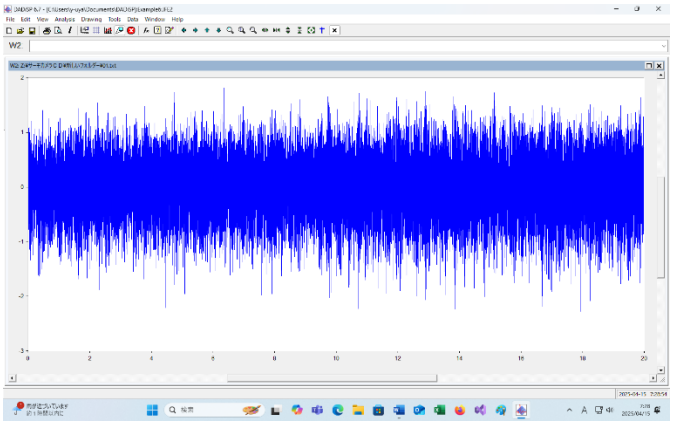
波形（風車）



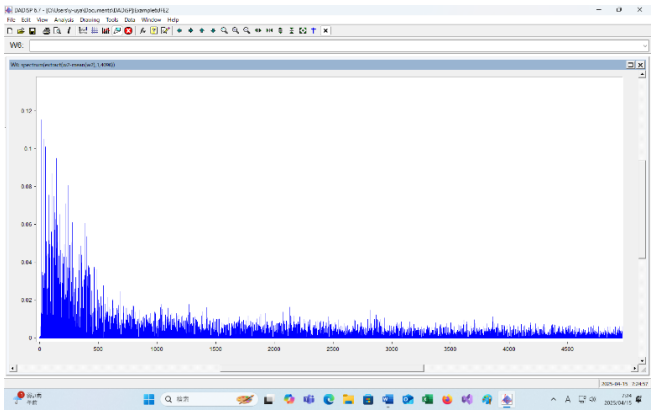
周波数スペクトル（0～4000Hz）（風車）



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 工場音のグラフはぎっしり詰まっているが、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。

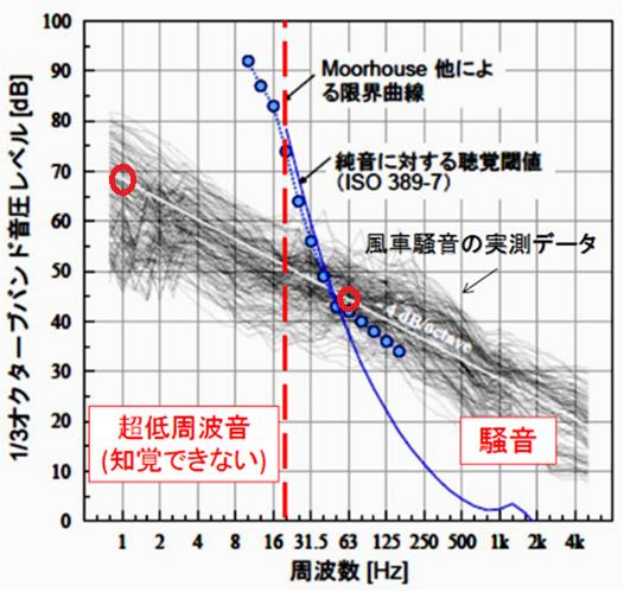
また、“風車の大型化に伴い大きくなる（ブレード速度のべき乗に比例）”とあるが、音速との関係や、空気の粘性との関係もあるので、ブレードの先端での速度には制限が付きます。

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。

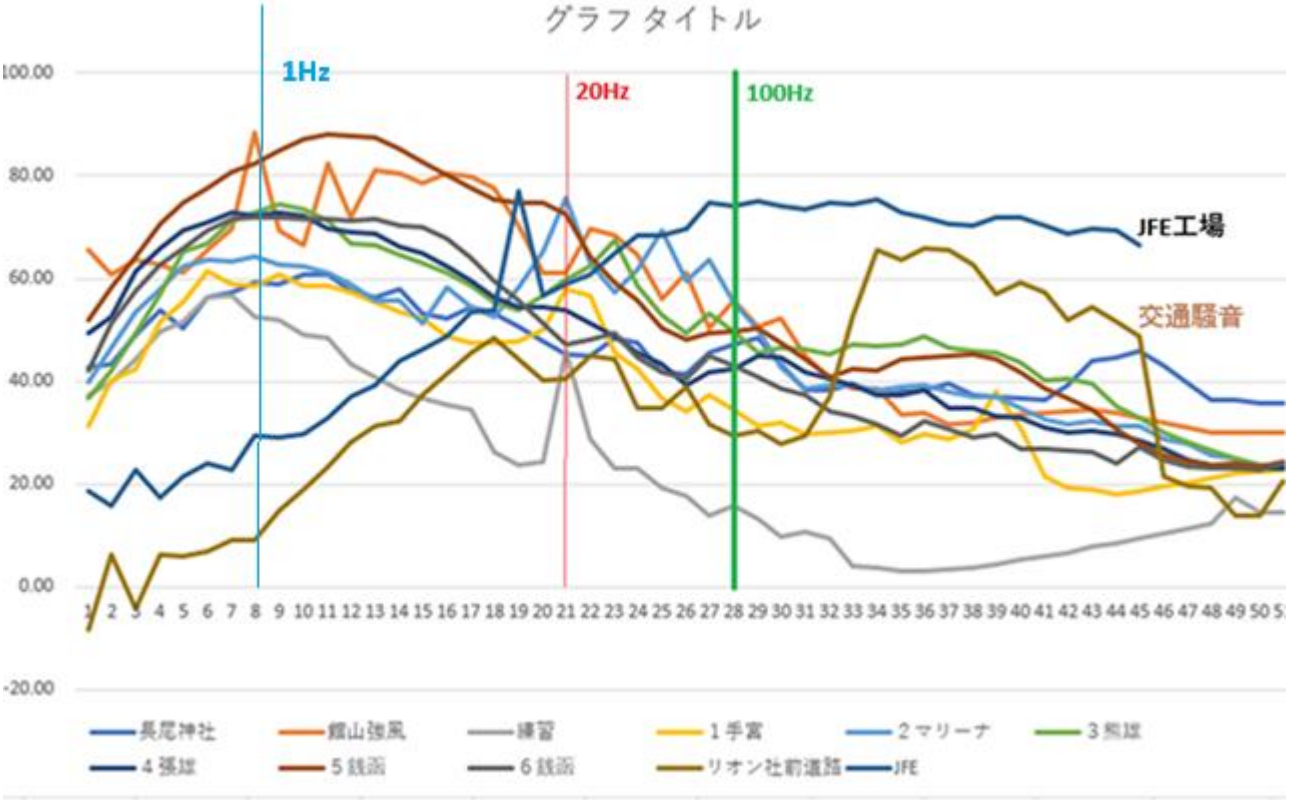
1/3 オクターブ解析でのグラフは、-4dB/cot　となっていて、1 オクターブごとに 4 d B 減少します。



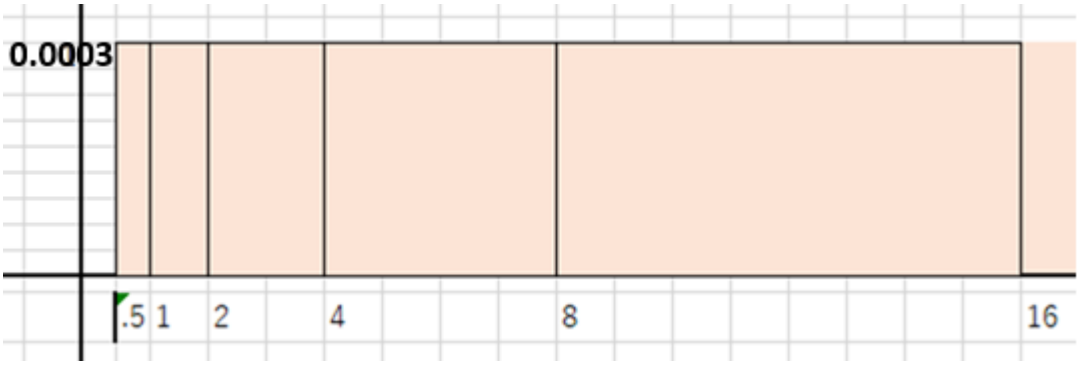
1/3 オクターブバンドでの帯域幅

	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。

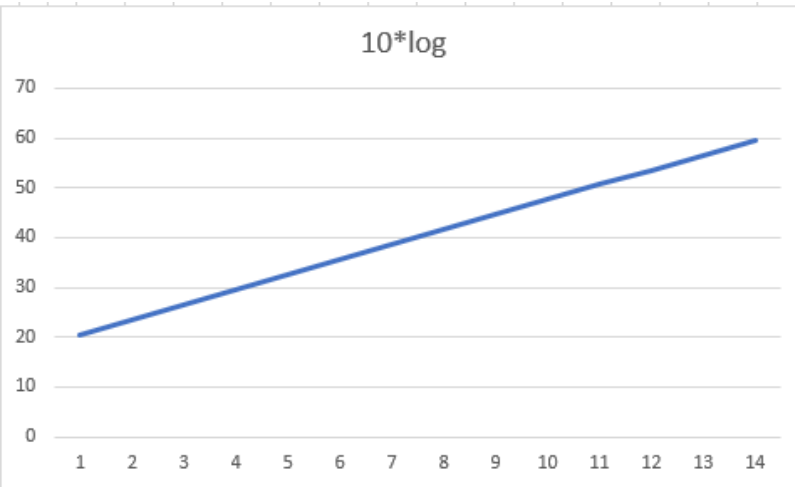


JFE 工場の場合を簡単にして、



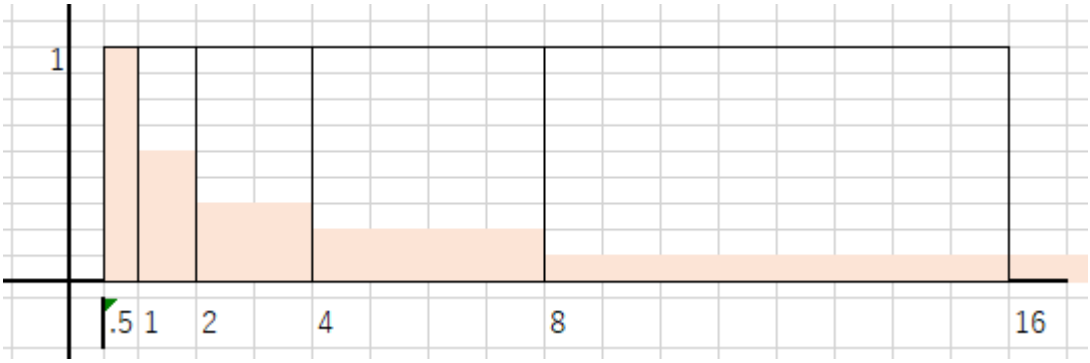
横目盛	0.5	1	2	4	8	16
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
音圧*音圧	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
幅＊音圧^2	0	9E-08	2E-07	4E-07	7E-07	1.4E-06
10*log	20.5	23.52	26.53	29.54	32.553	35.563

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。

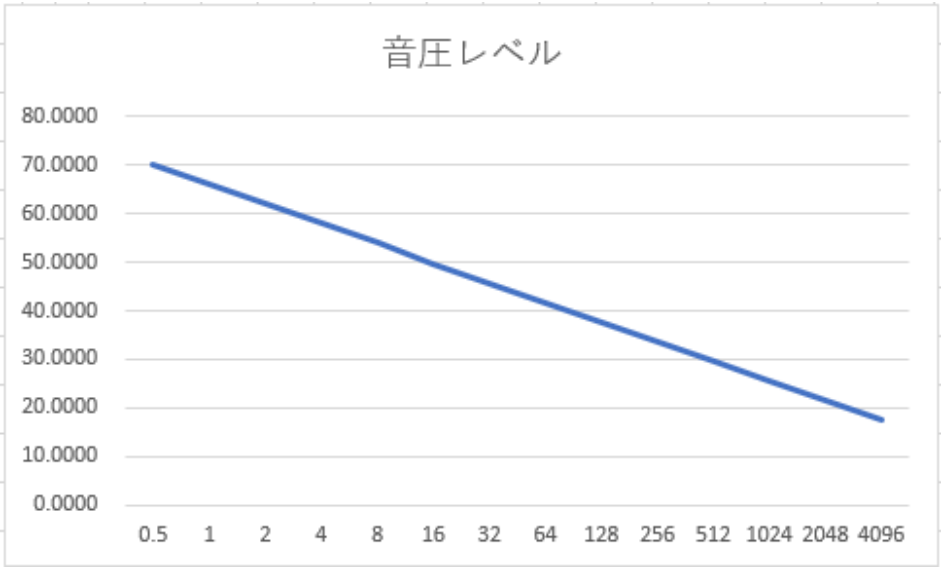
風車音の場合のモデルを考える。
傾きが－4 になるのは、



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

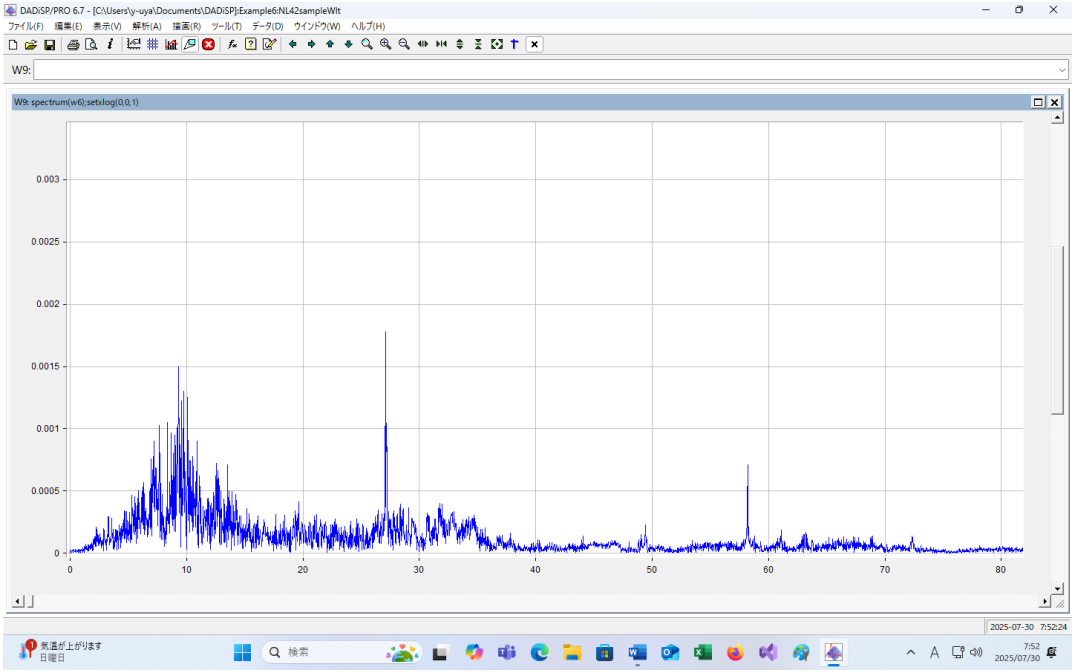


1/3 オクターブ解析のグラフが右下がりという事は、音圧が急激に減少していることを意味している。これは、音のエネルギーが超低周波音の領域に集中していて、周波数が高くなるに従って急激に音圧が減少することを意味している。

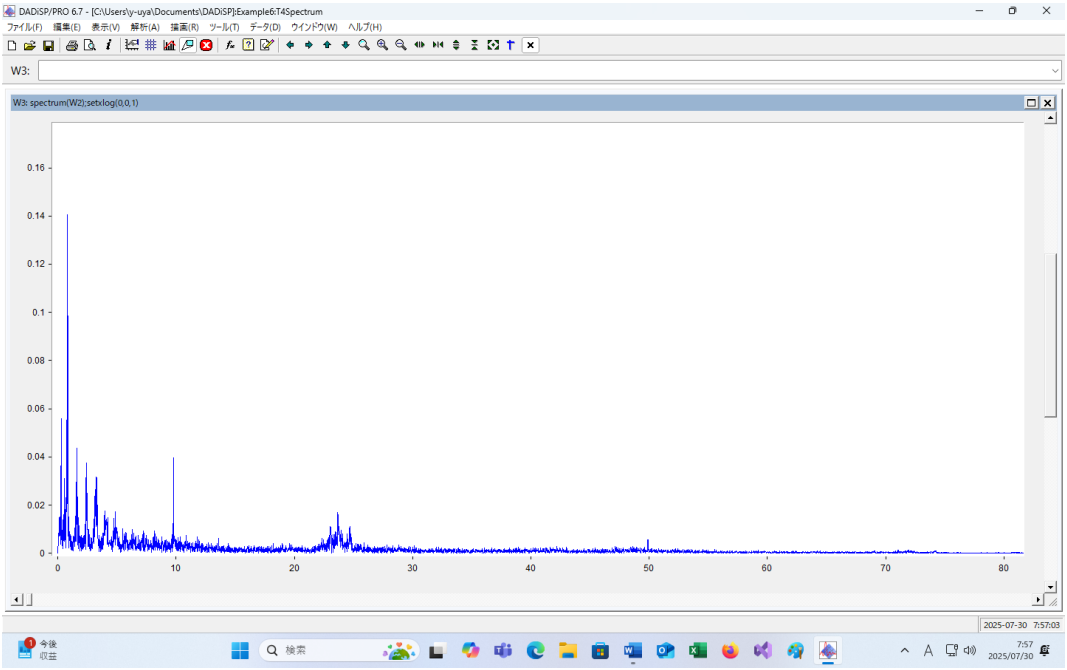
1/3 オクターブ解析でのグラフは広帯域の音ならば右上がり、狭帯域の音ならば、右下がりになっているのです。

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）はどのぐらいでしょうか”とした。
超低周波音・低周波音　領域での答えは、次の様になります。

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。

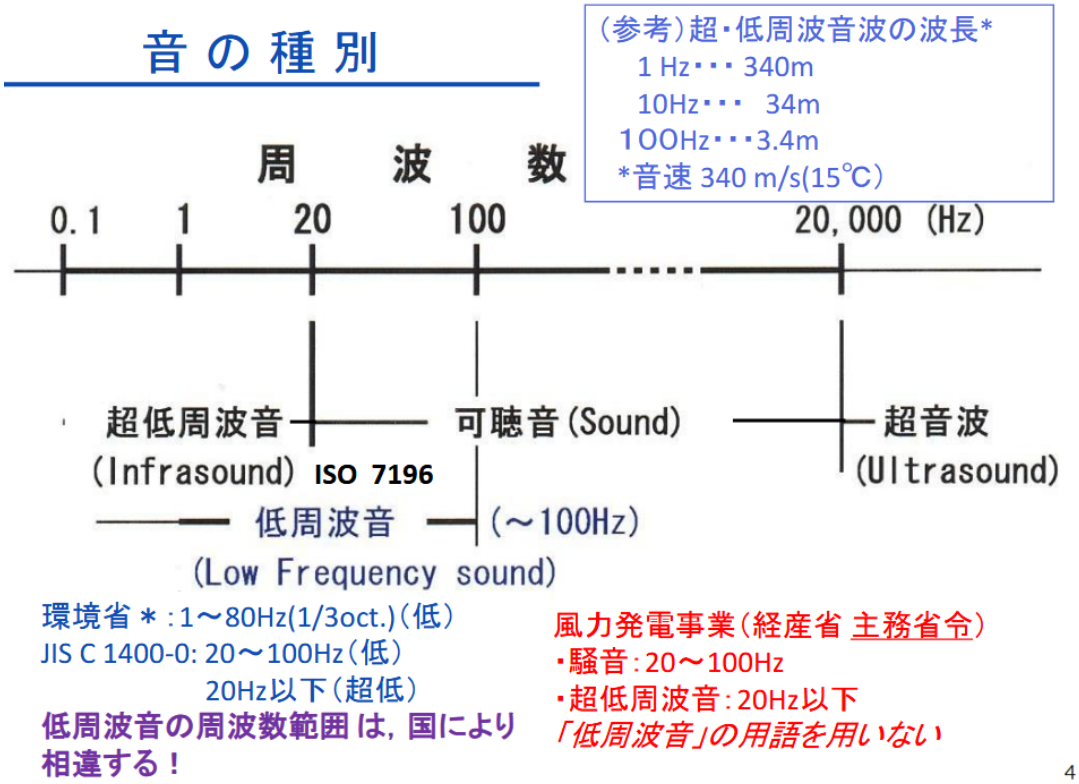


風車の場合は、0～80Hz での音圧（パスカル値）のグラフは次のものであり、
0 ～20Hz での最大値は 0.14Pa です。

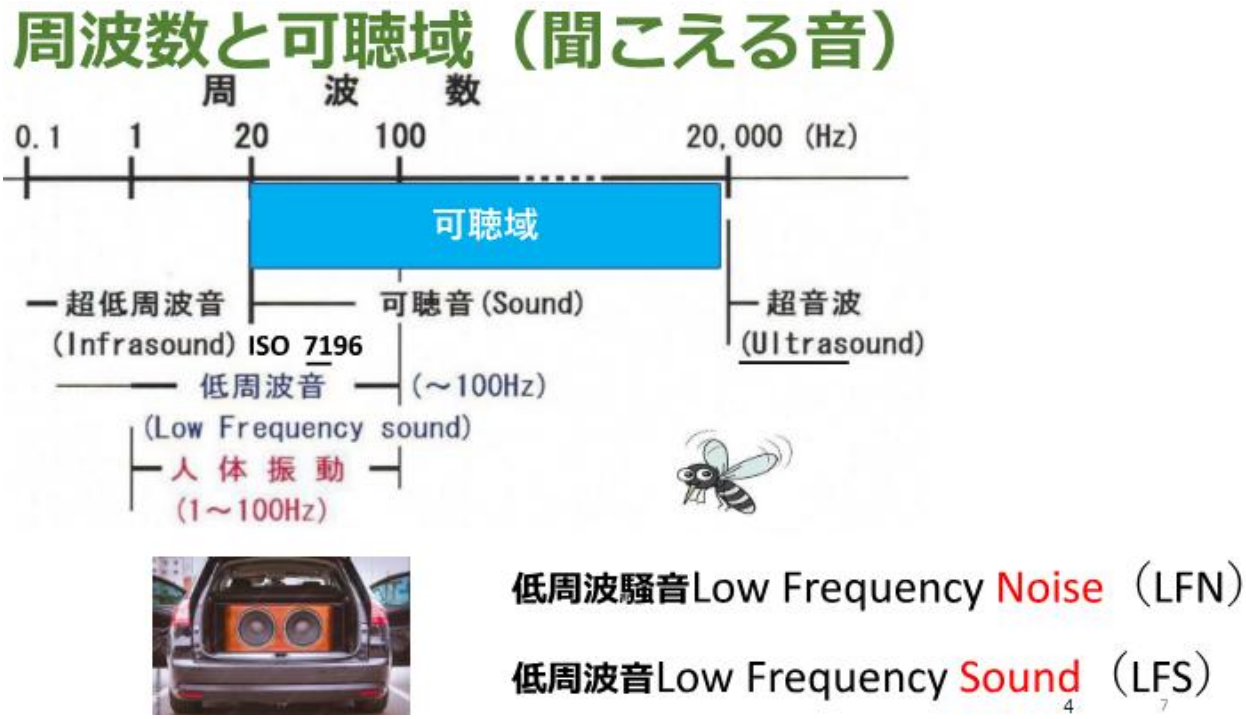


超低周波音と infrasound ISO 7196

町田氏の資料



を使って、



を作った。

佐藤先生は ISO7196 を確認しなかったようです。

ISO7196 での超低周波音の定義は、次のものです。

ISO	Infrasound	Sound or noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz	ISO 7196:1995 Acoustics—Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements

ISO7196 での公称中心周波数は 0.25Hz～315Hz です。

ISO7196 には、
3 Definitions
For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.
3.1 infrasound: Sound or noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 1 Hz to 20 Hz.
3.2 audio-frequency Sound: Sound or noise whose frequency spectrum lies mainly in the band from 20 Hz to 20 000 Hz.
3 定義
この国際規格の目的上、次の定義が適用されます。
3.1 超低周波音:周波数スペクトルが主に 1Hz から 20Hz の帯域にある音または騒音。
3.2 可聴周波数音: 周波数スペクトルが主に 20 Hz から 20,000 Hz の帯域にある音または騒音。
とある。
　従って、超低周波音（20Hz 以下）と infrasound は意味が違うのです。
超低周波音を（20Ｈｚ以下）とする場合や（１～20Ｈｚ）とする場合がある。Infrasound（ISO7196）と書きながら（１～20Ｈｚ）とする場合もあるが、正確に区別することが必要です。

　学者なら用語の意味を正確にすべきだが、周波数範囲の規定がない言葉を使っている。
低周波騒音 Low Frequency Noise（LFN）
低周波音 Low Frequency Sound（LFS）
　言葉は、物の様子を正確に表現する為に注意して選ぶ必要がある。
　風車音の性質を知らなければ、それに適した言葉は選べない。風車音の計測と解析をしたことが無い佐藤先生には無理な事です。

佐藤先生は、風車音の計測をしたことは無い。学会で認知されている文献を調べた。と言っていた。
先生は、その知識を活用して環境省関連の仕事をしている。

低周波音、騒音に関わる委員等

■環境省関連

・低周波音対策検討委員会委員（2004）
・風力発電施設の騒音・低周波音に関する 検討調査業務委員 （2012）
・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委員
（2013－2016）
・我が国の環境騒音に係るあり方に関する検討会委員（2023－2024）

■消費者庁関連

・家庭用ヒートポンプ給湯機から生じる運転音・振動等により不眠等の
健康上の症状が発生したとされる事案に係る事故等原因調査　専門委員
（2013）

私は、風車音の影響を議論する時に、風車音の性質を理解していなければ議論が出来ないと思うのだが、風車音に関して調査をしないで議論が出来る学者がいることが不思議でならない。

風車音による被害者がいる現状で、被害の原因を追究することが課題だと思う。因果関係を調べるには、風車音の性質を詳しく知ることが必要だと思うのだが、国も県も学者も風車音の問題を考える人でも、決して風車音を精密に調べようとはしない。被害者を見殺しにするような協定でもあるのでしょうか？
佐藤氏の低周波音は 100Hz 以下となっているのですが、これを 20Hz 以下の超低周波音と 20Hz～100Hz の可聴低周波音に分けて考える必要がある。そして、風車音の性質が他の環境騒音とは違うことを理解する必要がある。これには、風車音が発生するメカニズムの解明が不可欠なのです。

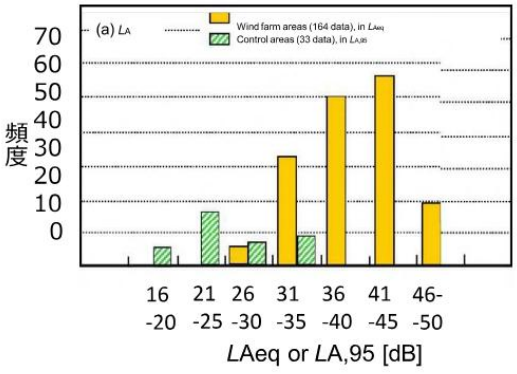
少し前は、環境省も風車からの超低周波音を調べていたが、その方法は、G 特性音圧レベルと 1～80Hz の 1/3 オクターブ解析であった。これが JIS 規格での評価方法だが、この数値では風車音の性質は不明のままである。
最近は、風車音の評価では A 特性音圧レベルを使う事になっていて、風車音の被害と他の環境騒音の被害を同一基準で評価するという傾向がみられる。これは超低周波音を完全に無視するという考え方である。

佐藤氏は、風車音被害を考える講演なのに、次の資料を提示している。
これでは、風車音を他の環境騒音と一緒にして評価するという考え方になってしまう。評価基準としては A 特性音圧レベルを使うという事になる。
もしこれが許されるならば、普通騒音計で騒音レベル（A 特性音圧レベル）を測って、“問題ありません。あなたの気のせいです。”として片づけられることになってしまいます。

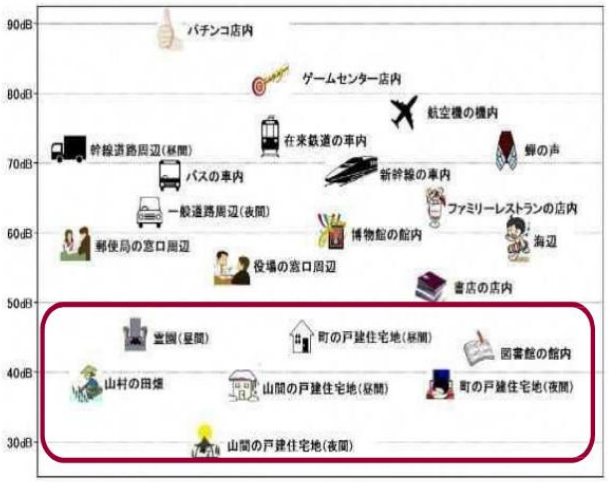
学者の皆様が、ほんの少し、数学と物理学を勉強してくれれば、この様な悲惨な状態にはならなかったのです。

誰も批判しなければ、間違ったことを言っても、それが正しいかの様に思い込んでしまいます。
学者を勉強させるには、市民からの厳しい批判が必要なのです。

風車の騒音レベル（A特性による）はどのぐらいでしょう



環境省「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（戦略指定研究）」2010－2013



騒音の目安

出典　全国環境研協議会　騒音小委員会

交通騒音などの環境騒音では、A 特性音圧レベル（騒音レベル）が 40～50ｄB 程度では被害は起きない。

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

もし、風車音の超低周波音が全く被害を与えないと仮定するならば、健康被害が起きる要因は消えてしまう。

そして、被害の原因を捏造する事になる。
業者の説明が悪いから被害が出る。
風車が見得るから被害が出る。
経済的な事が影響する。
静かな環境に風車が建ったから被害が出る。
被害者の単なる思い込みである。

風車から出ている超低周波音を隠すために、
風雑音、二重防風スクリーンを除外音処理、疑似音、風車から超低周波音は出ない。
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。
などの妄想がバラ撒かれる。

妄想が湧いて出るのが風車に係る学者の頭脳です。原因は風車音の計測と解析を自分でやらないからです。

平成２２年、環境省の調査

環境省による次の調査結果もあります。

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

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に確認したところ、苦情が終結した 39 か所では、苦情者宅における騒音対策（二重サッシ等）、故障個所の改善、運転方法の見直し等が行われていた。

（4）現地調査における騒音・低周波音に関する主な状況

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

【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】

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

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

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

・ 騒音の環境基準を満たしている地点からも苦情が生じている事例があった。

・ 苦情を受けて、苦情者宅で騒音の測定調査を実施している事例があった。

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

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。

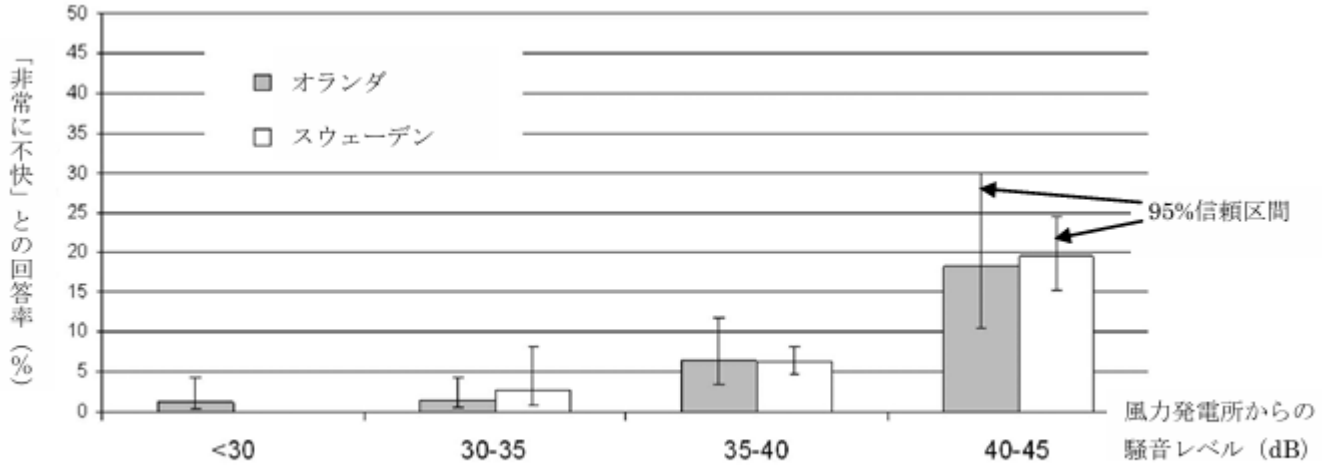


図 7．「非常に不快」との回答率と風力発電所からの騒音レベルの関係

 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。

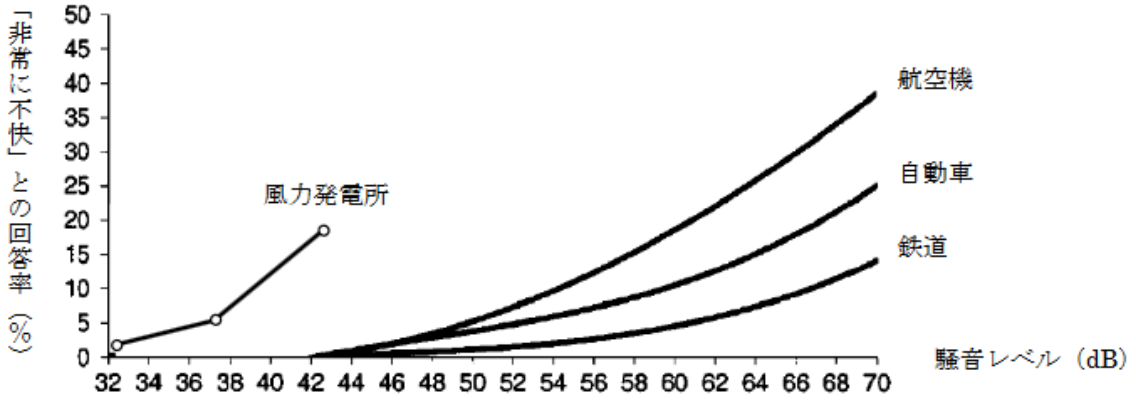


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

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、42ｄＢ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。

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です。（右側の数値で、それぞれの平均値を取る。）

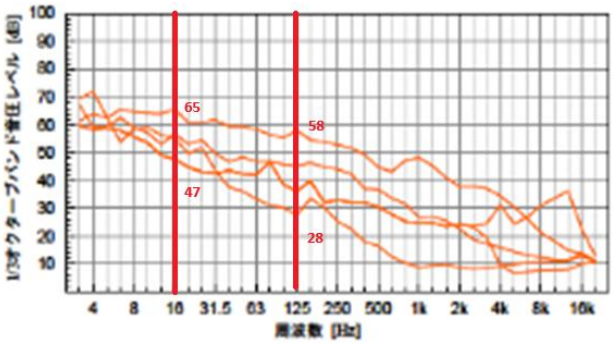
表 2　様々な騒音の種類と騒音レベル

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

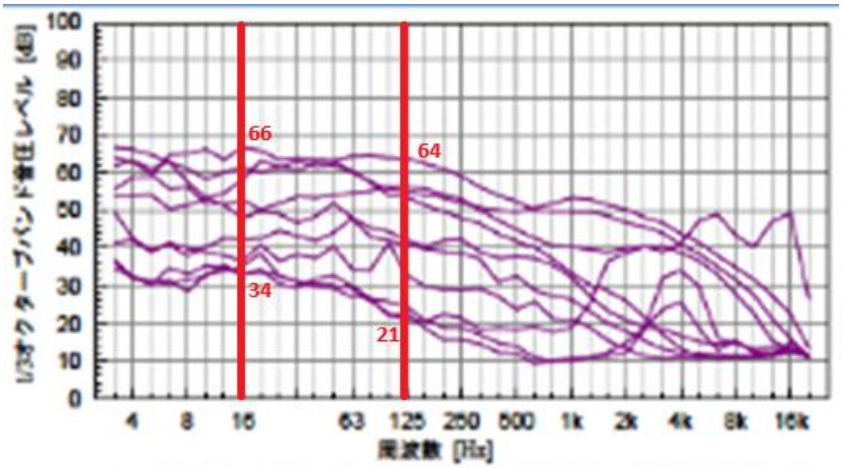
※表 2 中の No. は、図 8 中の騒音の種類を示す番号に対応する。

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。

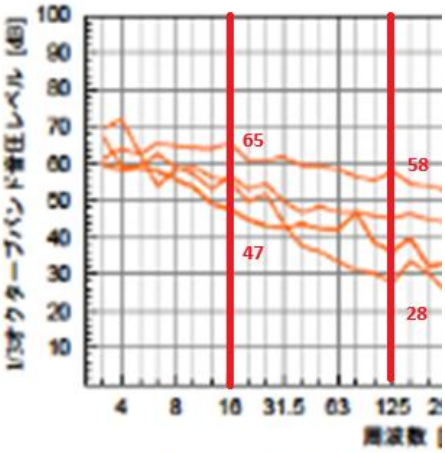
可聴低周波領域（20～100Hz）での比較



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

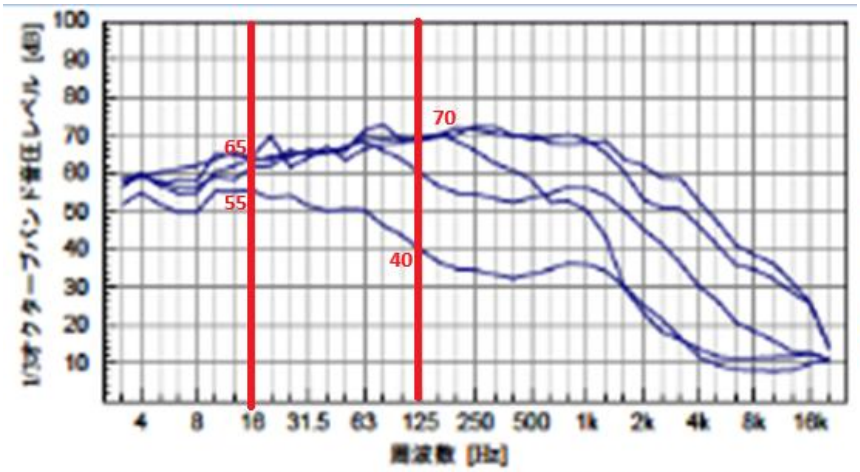


a) 自然環境（山中、海浜）や様々な一般居住地域における環境音：10種類

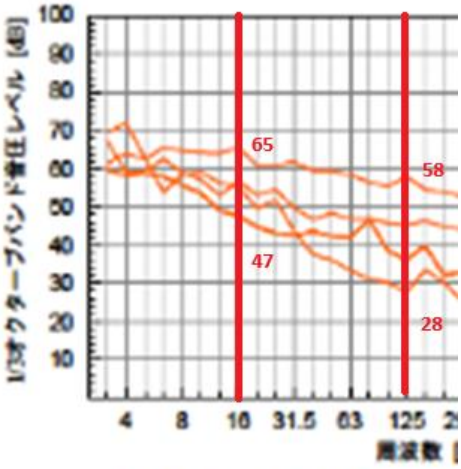


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

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。

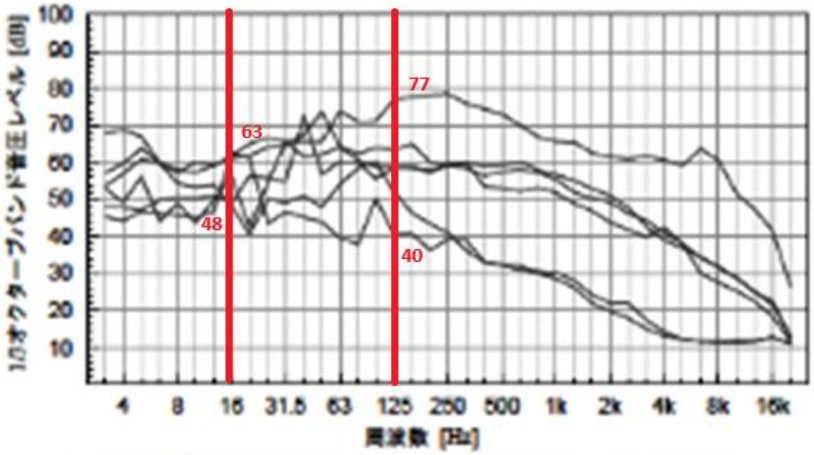


b) 沿道、沿線、航路直下における交通機関（道路、在来鉄道、航空機）の騒音：5種類

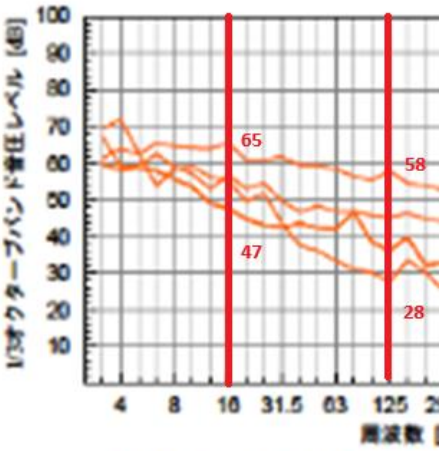


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

沿道、沿線での音の中では、低い方だと言える。

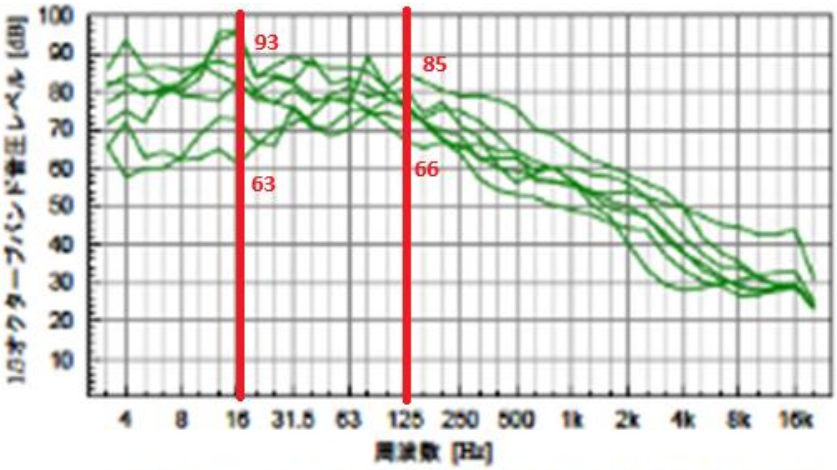


d) その他の環境騒音（設備機械の騒音、工事騒音、地下鉄固体音、公共空間の音など）：6種類

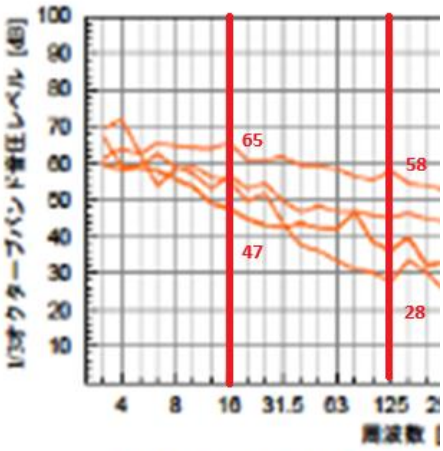


e) 風車騒音（風車直下および騒音）：5種類

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～20ｋHz）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 の部分を樹脂下評価）立場がある。

これは、聞こえなければ問題はないという考え方を受け入れる立場です。これでは風車音が発生する仕組みやその性質（指向性）を理解することが出来ません。これでは風車音被害の原因は分からない。風車音との因果関係は不明のままになります。

環境省が隠したがること、調べられたら困るので調査を妨害するところが、原因だと考えるのが普通の考え方です。

問題解明の手掛かり

超低周波音と風車症候群との因果関係を調べるには、超低周波音の持つ物理的な性質を確認し、風車症候群の症状との関係性を調べる必要がある。残念ながら、環境省の助言や JIS 規格に従うと、超低周波音で重要になる基本周波数 f=RZ/60Hz 成分の計測や解析が出来ないのです。環境省が助言をする前の古い資料には、少しだけ手掛かりが残っています。

昔の環境省が言っていた

“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は、羽根の枚数が少なく、回転数も小さいために正常運転でも超低周波音を発生することがある。

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

f ＝ RZ/60（Hz）

で与えられ、この基本周波数とその高次の周波数が卓越する。

大型発電用風車の場合は、一般に翼枚数は 1～3 枚（3 枚が主）、回転数は 30～60（rpm）程度であり、基本周波数は数 Hz 以下になる。“

4200ｋW 級の風車では、翼の先端部分のスピードは空気の粘性や音速との関係であまり大きくは出来ない、よって１分間の回転数はより小さくなる。ｆ＝0.5Ｈｚ程度になる。

低周波音の基礎および伝搬・影響・評価（落合博明　氏）には、

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

低周波音の測定方法に関するマニュアルには、（平成１２ 年１０ 月　環境庁大気保全局）

“3）風雑音と低周波音の見分け方

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

・多くの場合、対象とする低周波音は定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すはずである。

・風による音圧レベルは，不規則に変化する。“

平成２２年度　移動発生源の低周波音等に関する検討調査等業務報告書　には、

“風車音の計測に関しては、

・統一した方法はない

・計測機器が規格化されていない “

とあるが、具体的な計測と解析結果は示されていない。

統一した方法が無いならば、自分で最適な方法を考えて実行してみれば良いのです。新しい方方法を提起すれば良いのです。

計測結果から得るべきものは、

・“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。”について、正しいか否かを判断すること、卓越の程度を明らかにすること。

・ISO7196 にある、1/3 オクターブ解析での中心周波数 0.25Hz の帯域のエネルギーを計算できるだけの周波数分解能を得ること。

の２点です。もちろん、1Hz 以下の領域でも計測可能なマイクを使う事が必要です。

リオン社と相談した結果、サンプリングレートが 48ｋHz で音圧の変動を WAV ファイルとして記録したものを解析すれば良いとの事でした。

60 秒間の計測データだと、48000*60 個のデータに対して、FFT を計算すれば、同じ個数の数値が得られて、周波数の刻み幅をhHzとすれば、h*48000*60＝48000 となるので、h＝0.01667Hzとなり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、周波数分解能はh＝0.01667Hz です。0Hzから 24000Hzまで、刻み幅 0.01667Hzで計算されることになります。120 秒間の計測データを使えば、周波数分解能が 0.0083Hz となる。

0.25/0.01667＝14.99、 0.25/0.0083＝30.12 なので、メモリーと計算速度に余裕があれば、120 秒間のデータで計算すべきです。これがあれば中心周波数 0.25Hz～315Hz の 1/3 オクターブ解析が可能です。最大音圧や周波数特性も明確になります。

次の機材を使って具体的な計測を行い、さらに風車音が発生する仕組みに注目しながら考えてみました。

計測機材は、

リオン社の精密騒音計 NL-62 と、波形収録プログラム NX-42WR

リオン社の振動レベル計 VM-55 と、波形収録プログラム VX-55WR。

ビデオカメラ

データの解析は、

PC：Win11 の OS が載っている PC でメモリーは 32GB。

解析ソフト：DADISP、DADISP/WAV、Unit/Wavelet、Unit/MVA、Unit/Noise&Infrasound

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。

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

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

とあり、

“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。

“環境省では、平成 25 年度から水・大気環境局長委嘱による「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、風力発電施設から発生する騒音等を適切に評価するための考え方について検討を進め、平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を取りまとめました。今般、同報告書を踏まえ、風力発電施設から発生する騒音等について、当面の指針を別紙のとおり定めたので通知します。”

“下記に示した本指針策定の趣旨等及び別紙の指針、並びに風力発電施設から発生する騒音等の測定方法について別途通知する「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」を、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ生活環境を保全する上での参考としていただくとともに、関係の事業者等へ周知いただくなど格段の御配意をお願いいたします。

各都道府県におかれましては、この旨、管下町村に対して周知いただきますようお願いいたします。“

とある。

“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル”（平成２９年５月 環境省）

には、

“風力発電施設から発生する騒音等の測定は、これらの特性を踏まえた方法により実施する必要がある。

本マニュアルは、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体）、地域住民等の関係者等が、風力発電施設から発生する騒音に関する測定を行う場合の標準的な方法を示すものであり、風車騒音、残留騒音の測定方法の他、測定手順や留意点等も併せて記載したものである。“

との事であるが、

その３ページには、

“2.3.5　風雑音

風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を

装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1⑵参照）。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。”
とあり、７ページでは、
“⑵ ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“
となっていて、
“除外音処理”で観測された超低周波音を、消し去るように要求しています。

しかし、

- 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

睡眠妨害の観点から要求されるのは、アノイアンス（不快感）の評価に適した数値なのです。
A 特性音圧レベルはラウドネス（うるささ）の評価には適しているが、アノイアンス（不快感）の評価には適さないのです。

風車音と風車騒音の特徴

風車音に関する計測と解析をしない佐藤先生は、次の様に言っている。

風車騒音の特徴

＜立地環境と周辺環境＞

- 静穏な地域に設置されることが多いため，風車騒音レベルは比較的低くても，気になりやすい特徴がある

＜発生する音の特徴・性質＞

- 風力発電施設のブレード（翼）の回転に伴い発生する音は，場所や風向等によっては，シュー，シューといった振幅変調音（AM音，スウィッシュ音（Swish））として聞こえる
- 機種によっては，内部の増速機や冷却装置等から，ウィーン，あるいはブーンといった純音性の音（純音性成分）が発生

⇒ **騒音レベルは低いが，より耳につきやすく，わずらわしさ（アノイアンス）につながる場合がある**

21

風車音が聞こえない事と、健康被害が起きない事とは全く別の事柄である。

風車音を超低周波音、可聴低周波音、100Ｈｚ以上の成分に分けて考えれば、風車音が他の環境騒音に対して卓越しているのは超低周波音、中でも基本周波数(f=RZ/60Ｈｚ)の音圧である。

騒音は騒がしい音なので聴覚で把握できる音の事である。従って 20Ｈｚ～20000Ｈｚの音である。佐藤先生も、超低周波音まで含めた風車音の特徴を調べようとはしない。議論を聴覚に限定して進める。

風車音の被害の有り方は、聴覚由来のものだけではない。

“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。”**

これらに関係が深い、物理的な影響は、風車音を詳細に調べればすぐに判明する。

しかし、日本ではなかなか難しい。（世界でも学会や大学への研究支援金の件があるので難しい。）

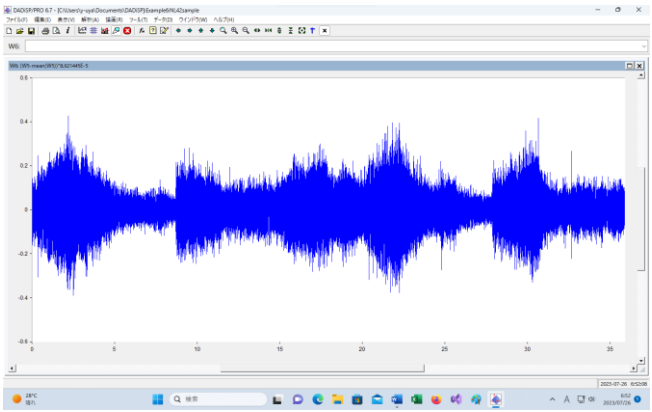
日本では、JIS 規格に従った計測でないと、学術論文としては認められない事が多い。ＪＩＳ規格では、G 特性音圧レベルと 1～80Hz での 1/3 オクターブ解析を使う事になる。

また、環境省は風車音の計測方法に関して“助言”と言う形で厳しい制限をしている。　環境省の助言（二重防風スクリーンと除外音処理）に従って計測したのでは、風車からの超低周波音は計測できないし、除外音処理で削除されてしまいます。最近は、環境アセスの項目から超低周波音が除外され、A 特性音圧レベルで風車音を評価することになっている。

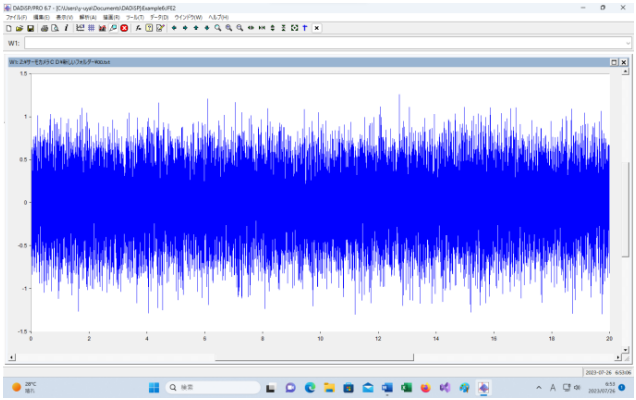
風車音の特徴

風車音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。

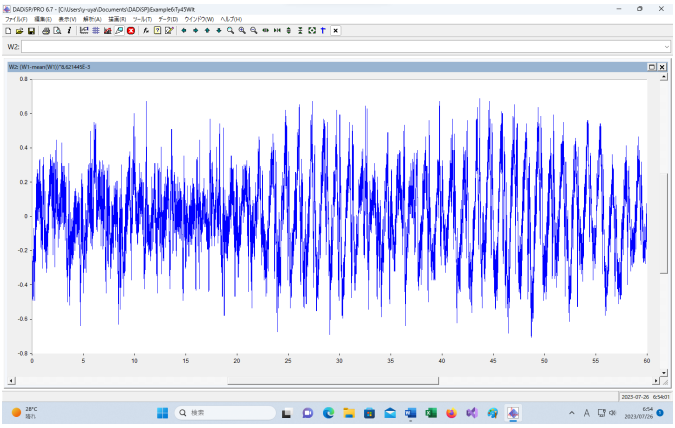
リオン社前の交通騒音



JFE の製鉄所内の音



館山の風車音

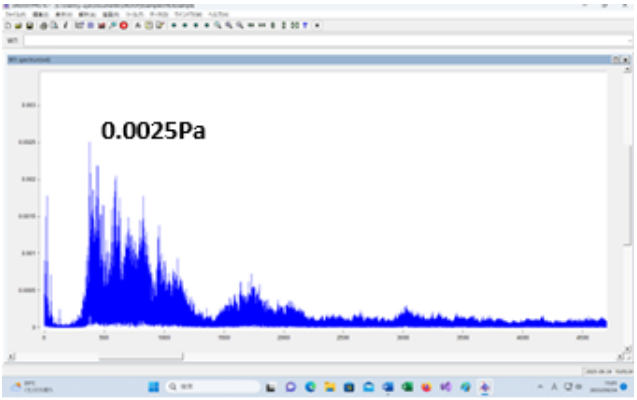


見てすぐわかるのは、風車音のグラフはスカスカです。他のグラフはぎっしり詰まっているという違いがあります。

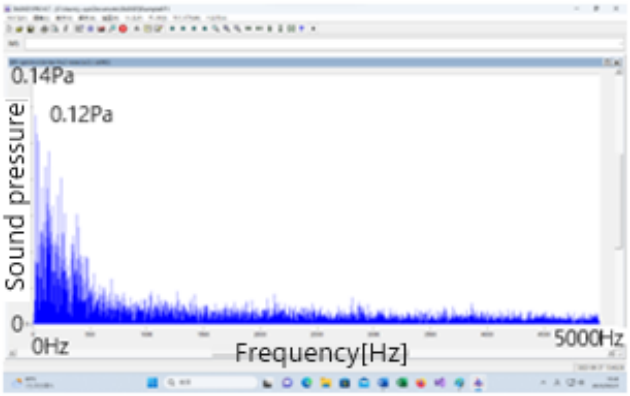
原因は、風車音では高周波成分が微弱だからです。ほとんどが超低周波音なのです。高周波成分が強ければぎっしり詰まったグラフになります。

タイプ4：周波数スペクトル

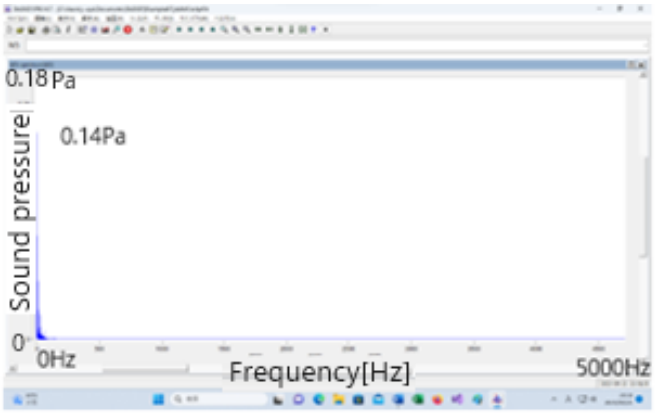
交通騒音（0～5ｋHz）：最大 0.0025[Pa]（379.4[Hz]）



製鉄所（0～5ｋHz）；最大 0.12[Pa]（12Hz）



風車音(0～5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)



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

風車音は、左端の細い線で表されています。

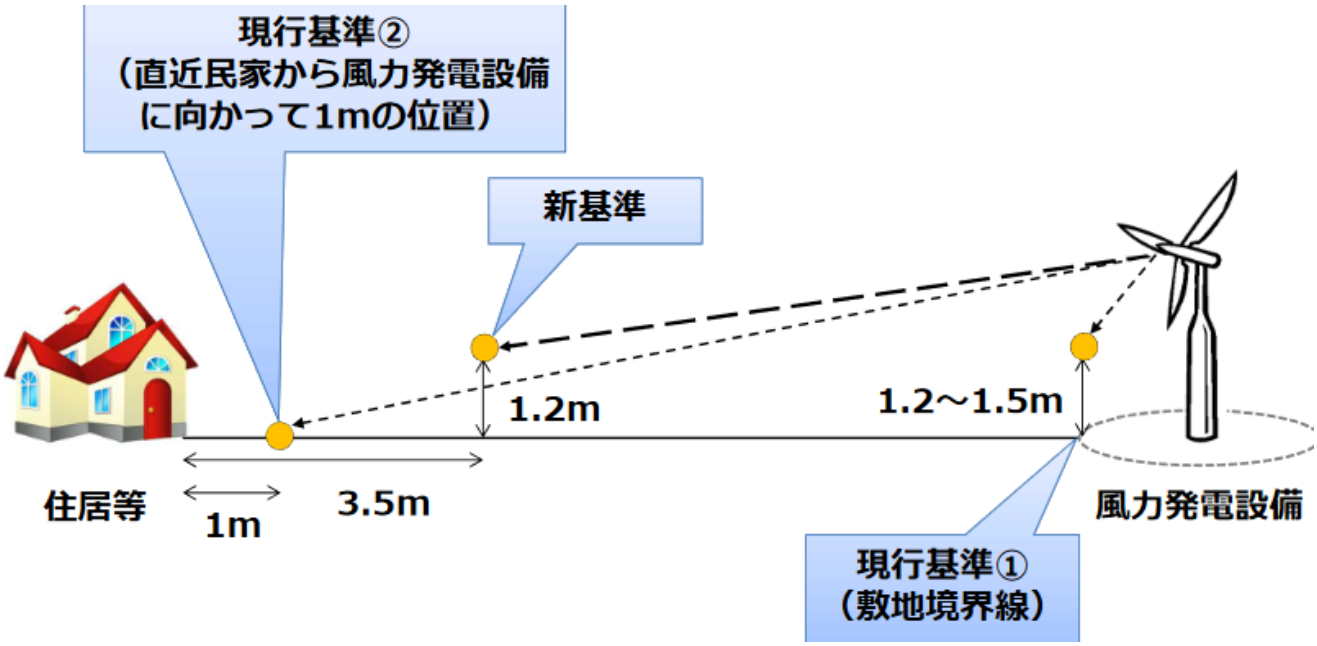
交通騒音は、音の周波数範囲はある程度広いが、工場騒音に比べるとそれほどでもない。工場騒音は広帯域の音です。

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。風車音のこの特徴は、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。

風車騒音の特徴と考えれば、20Hz 以上の可聴域だけを考える事になり、風車音のエネルギーの 93%の部分を無視して考える事になります。これでは物理的な影響を把握できません。音の性質に合わせた考察が必要なのです。

振幅変調音

最近は、家から少し離して、地上 1.2mの場所に精密騒音計を置いて測る場合が多い。



Swish 音の原因としては精密騒音計の置き場所が問題になります。

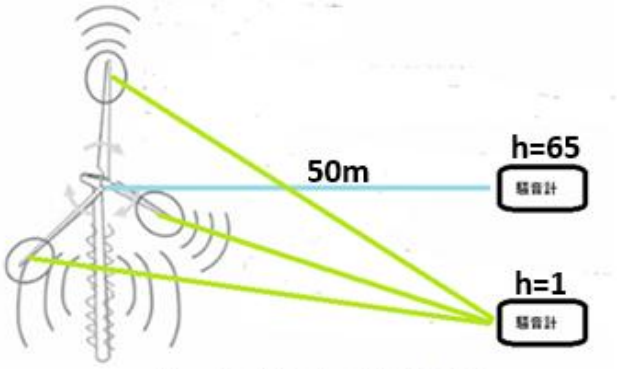
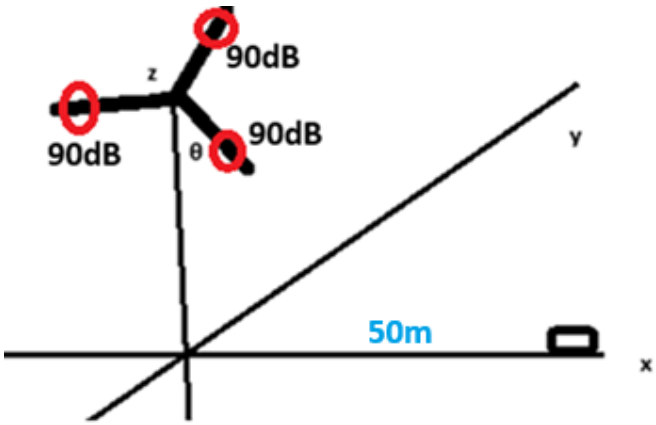


図 1　風車騒音の特徴模式図



「房総かぜの丘」の風車は、タワー高さ　６５ｍ、ブレード直径　７０．５ｍ

これを参考にして、音源は、ブレード上で回転軸から 30m離れた場所にあるとする。

どのブレードからも、500Hz で音響パワーレベル LW=90dB の音が出るとする。

騒音計は、風車から水平距離で 50mの場所に置くとする。

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

$$
\begin{aligned}
L_{\mathrm{p}} &= L_{\mathrm{W}} + 10\log_{10}\frac{1}{4\pi r^2} \\
&= L_{\mathrm{W}} - 10\log_{10} 4\pi r^2 \\
&= L_{\mathrm{W}} - 10\log_{10} r^2 - 10\log_{10} 4\pi \\
&\approx L_{\mathrm{W}} - 20\log_{10} r - 11 \qquad \text{（式 1）}
\end{aligned}
$$

となるので、

$$L_{pi} = L_{Wi} - 20logr - 11$$

として計算する。

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

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

ここで、

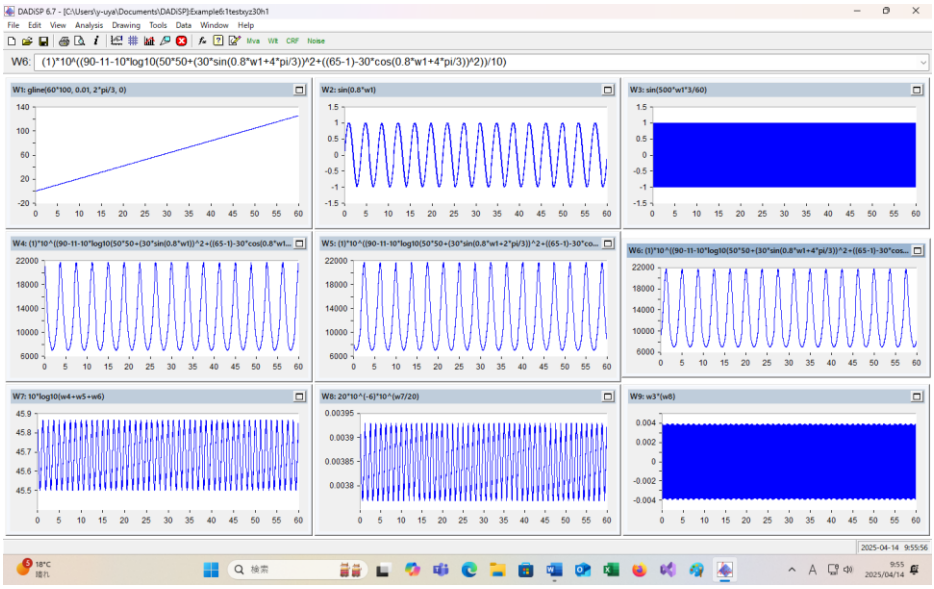
ΣL　：合成された低周波音圧レベル(dB)

Ln　：発生源nに対する低周波音圧レベル(dB)

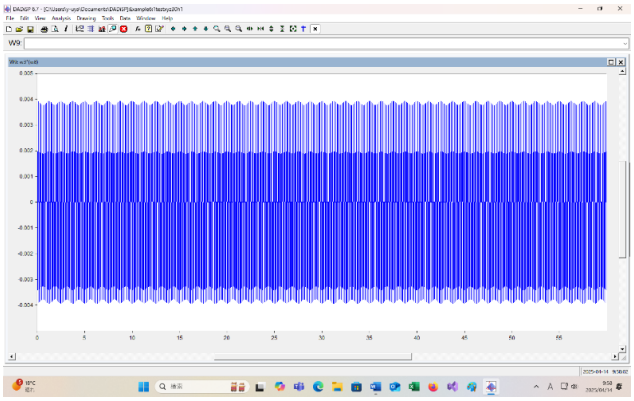
合成された結果、200Hz の音が計測されて、その音圧を p としたとき、

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

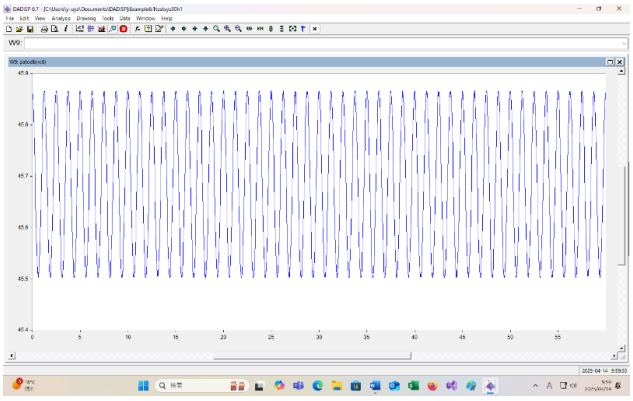
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 1 m で、ブレードの回転面が y z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）



音圧レベルの変動（デシベル値）



音圧レベルは、45.5～45.9 d B での変動になります。

計算式は、

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

W2 : sin(0.8*w1)

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

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

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

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

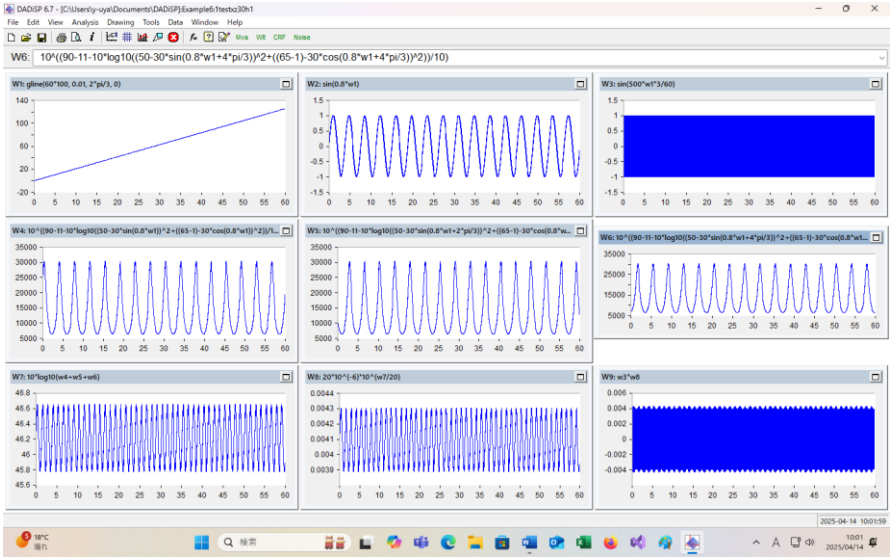
W7 : 10*log10(w4+w5+w6)

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

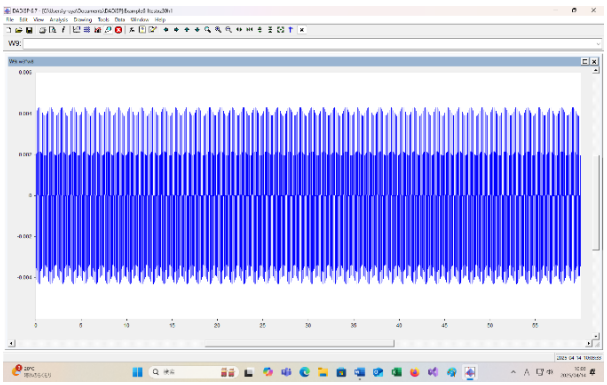
W9 : w3*(w8)

となっています。

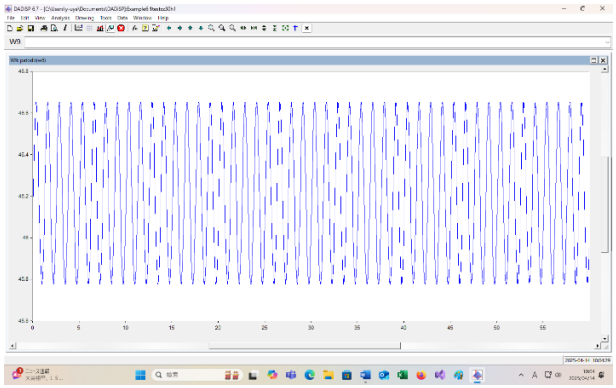
風車と騒音計の水平距離が 50m で、騒音計の場所が高さ 1 m で、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

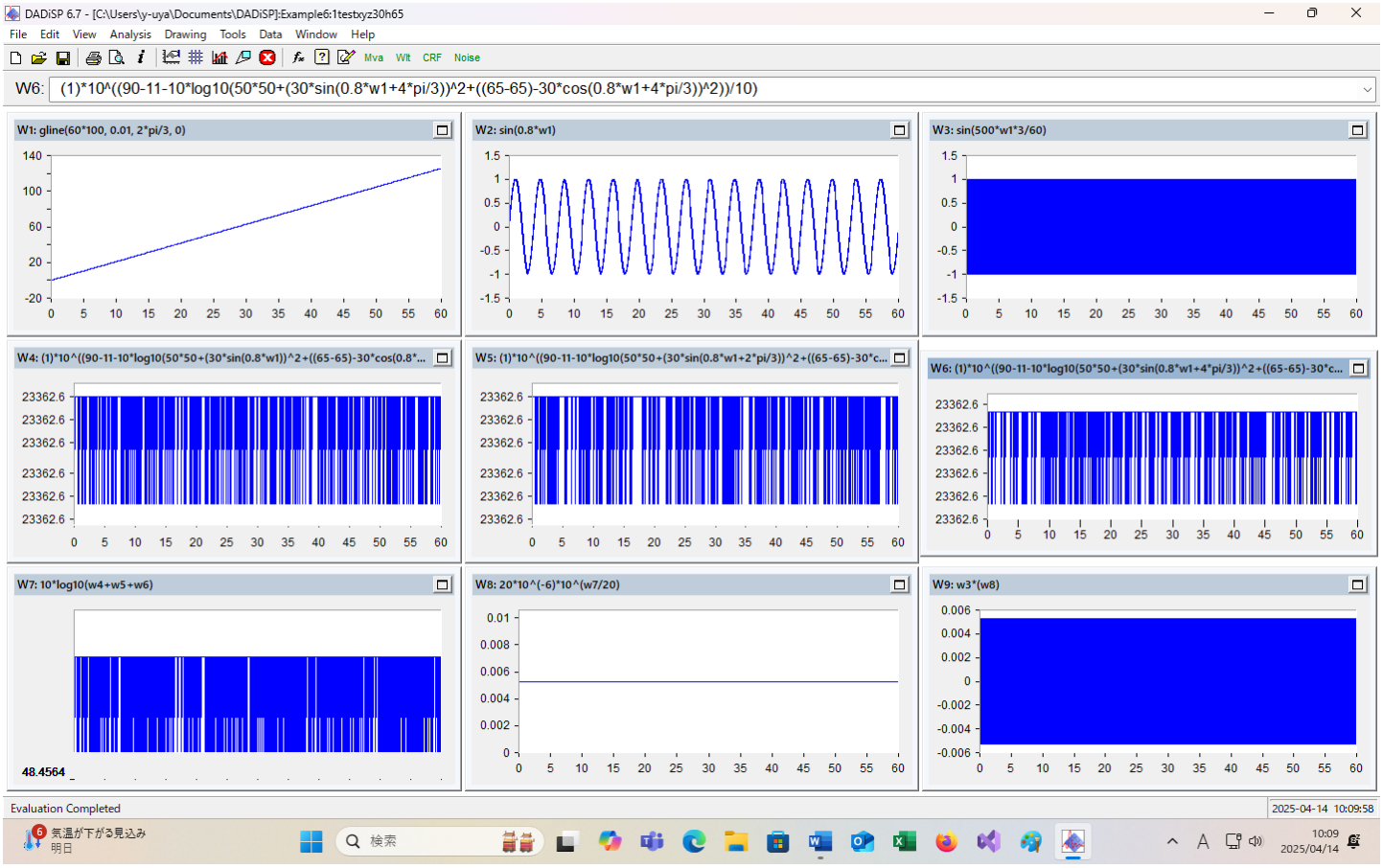


音圧レベルの変動（デシベル値）

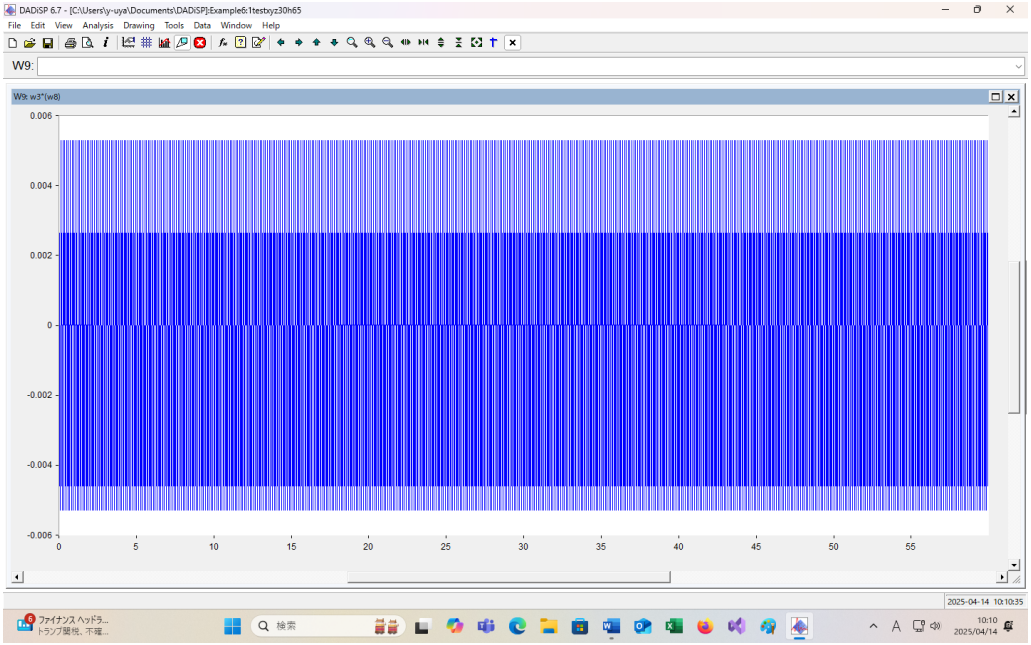


音圧レベルは、45.8～46.7 d B の変動になります。

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ｙｚ平面にあるときは、次の様になり、

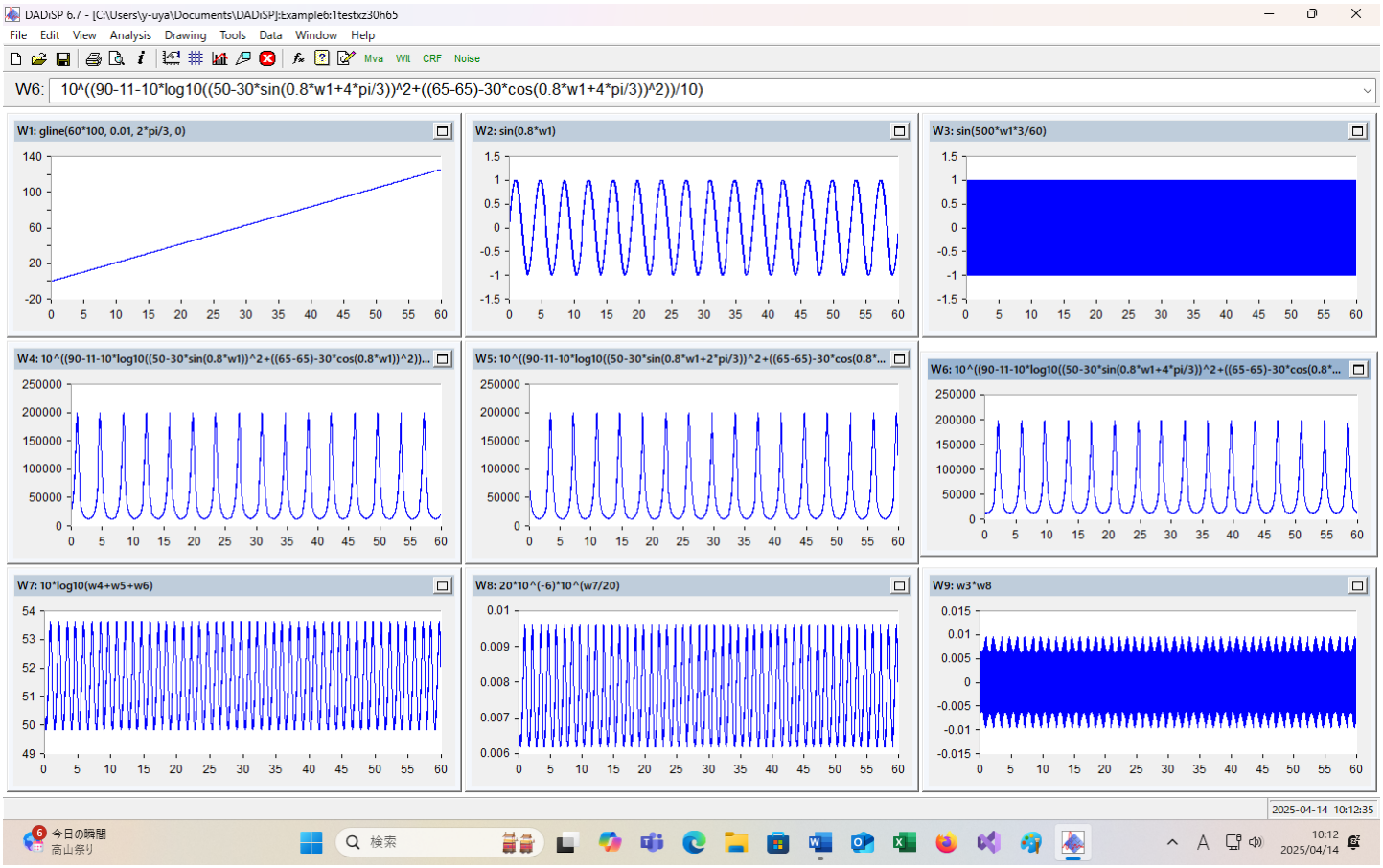


振幅変調（パスカル値）

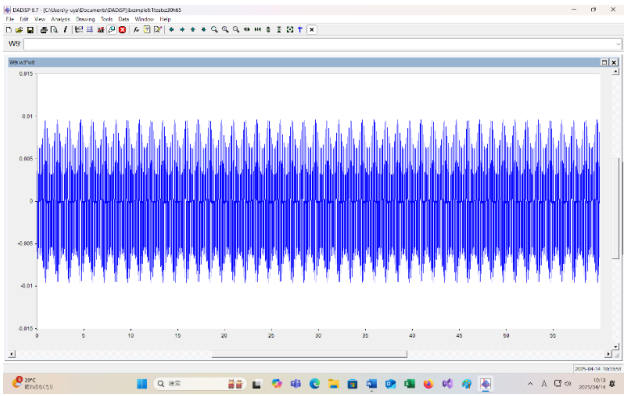


振幅の変動は起きません。

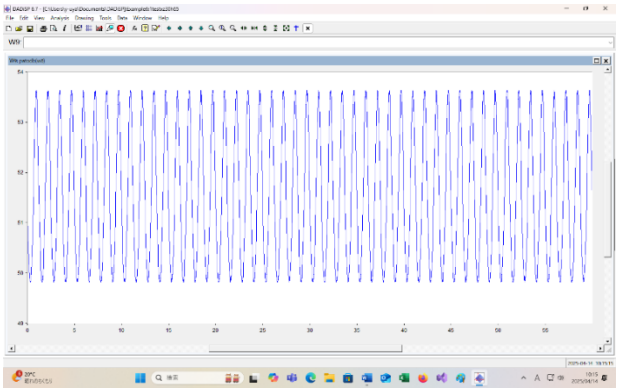
風車と騒音計の水平距離が 50mで、騒音計の場所が高さ 65mで、ブレードの回転面がｘｚ平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）

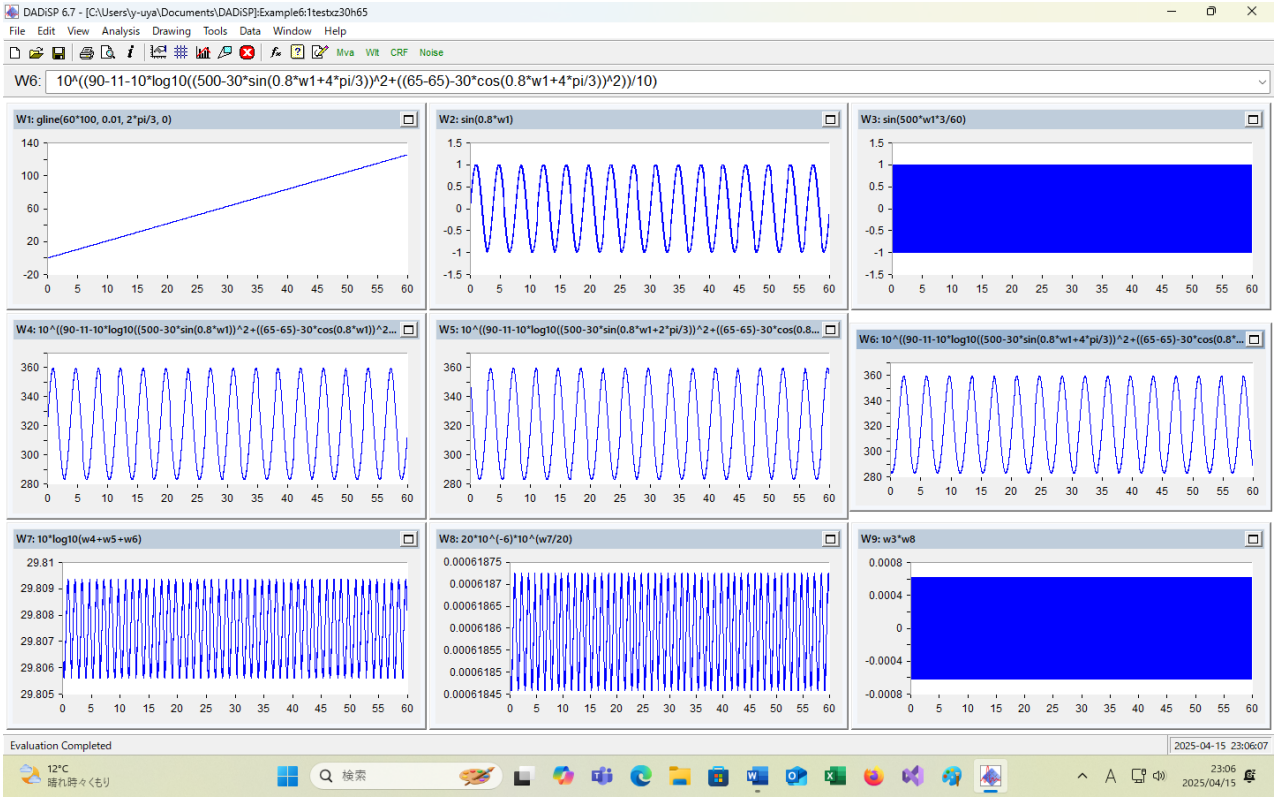


音圧レベルの変動（デシベル値）

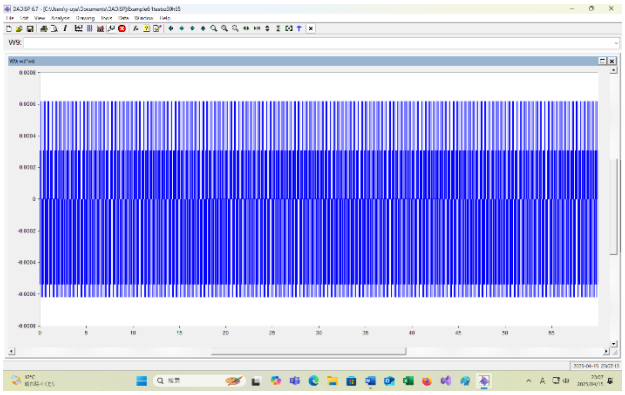


音圧レベルは、50～54ｄＢの変動となります。

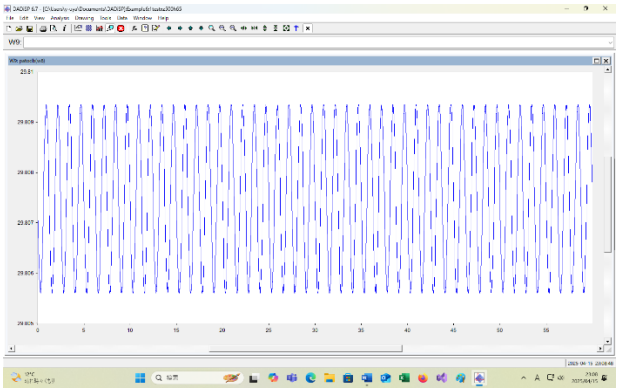
風車と騒音計の水平距離が 500mで、騒音計の場所が高さ 65mで、ブレードの回転面が x z 平面にあるときは、次の様になり、



振幅変調（パスカル値）



音圧レベルの変動（デシベル値）

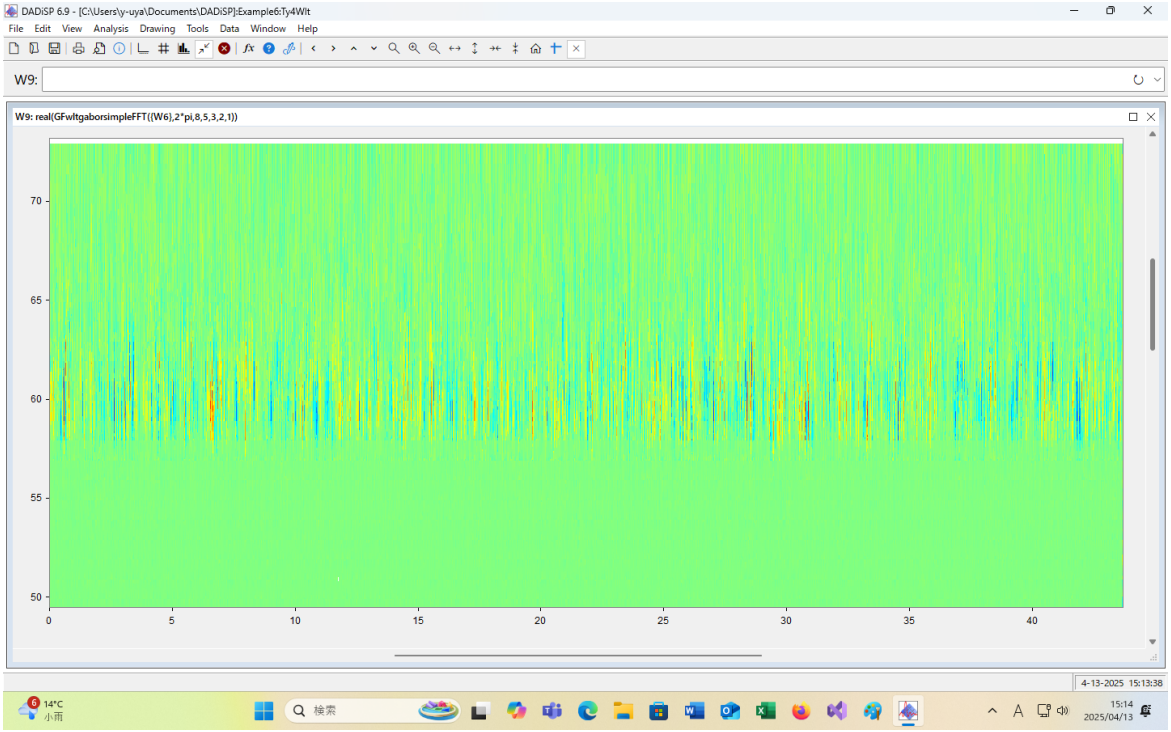


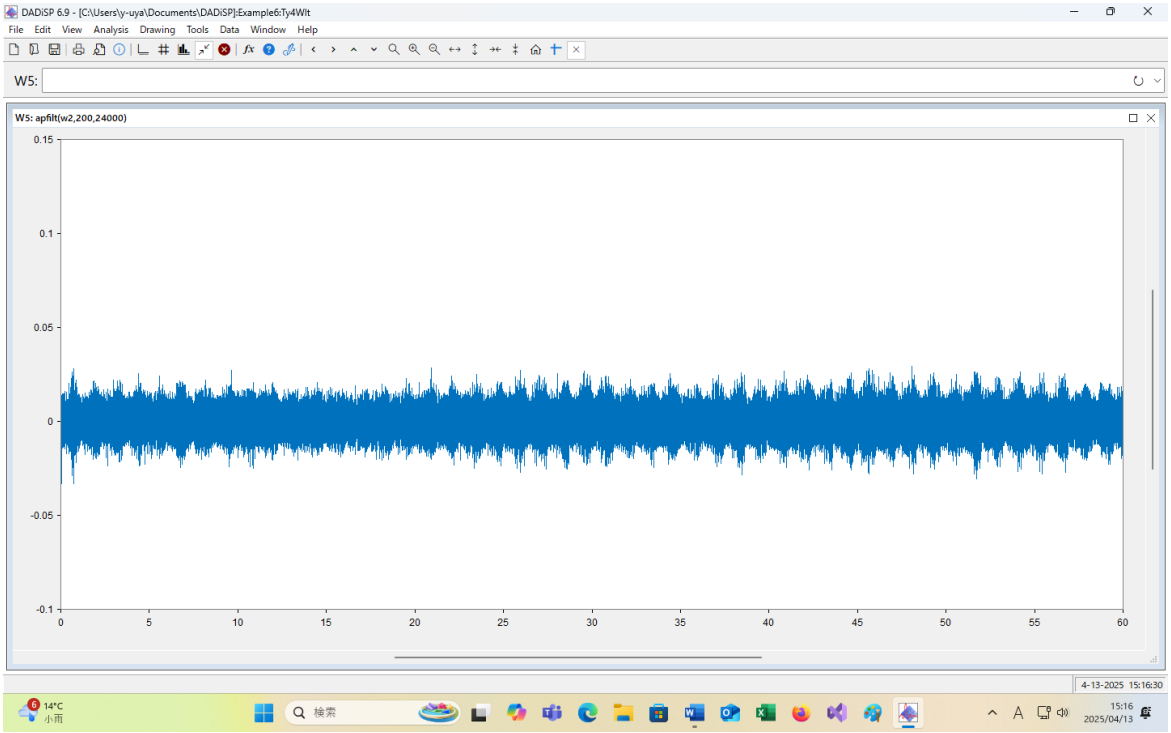
音圧レベルは、29.805～25.809ｄB の変動となります。

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

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

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





スウィッシュ音

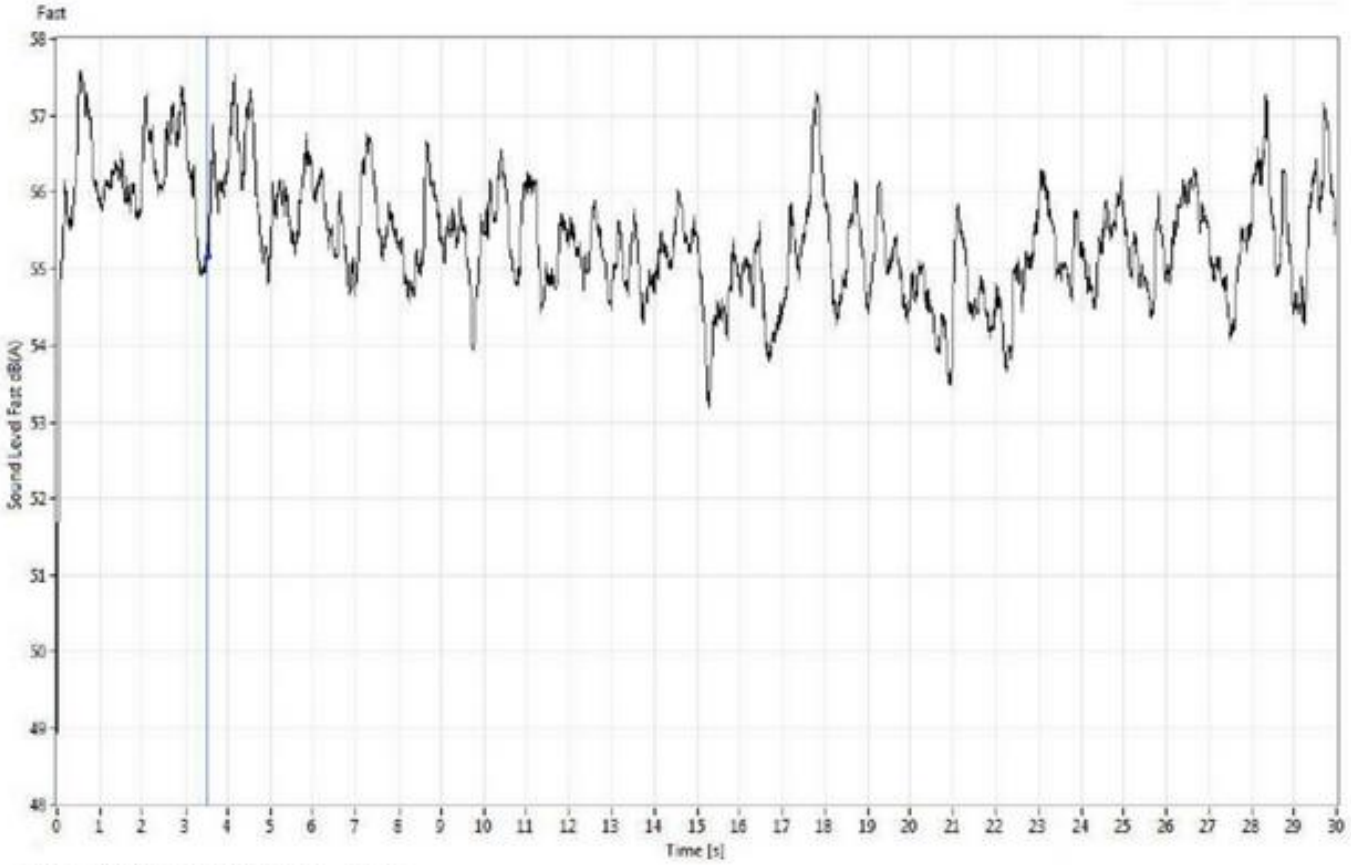
スウィッシュ音に関して、ある風車会社の資料に、次のような記述がありました。

② 機側的な音の変動（スウィッシュ音）について

風力発電機の回転に伴い発生する騒音は、周期的な変動がみられる。この音は、スウィッシュ音と呼ばれる。

風力発電機メーカーより入手した騒音の測定結果（時間変動）を、図 2.2-10 に示す。

ブレードの回転に伴い約 1.5 秒ごとに音圧レベルの変動がみられ、変動幅は 1～3dB 程度となっている。



注）調査時の風速は 8.9m/s
測定位置はロータ中心から 120m の地点

図 2.2-10　風力発電機から発生する騒音レベルの時間変動

目盛り軸の所に、Sound Level Fast dB(A) とあるので A 特性音圧レベル（騒音レベル）の値です。

主に、54ｄＢから 57ｄＢの間で変動すると判断できます。（平均では 55.5ｄＢとする。）

計測位置がローター中心から 120mの場所なので、地上では、風車の根元から 100mの地点になります。

120m離れて、音圧レベルが LP(120)=55.5ｄＢならば、音源のパワーレベルＬWは

$$L_{pi} = L_{Wi} - 20logr - 11$$

より、

$$55.5 = L_{Wi} - 20log120 - 11$$

LW=108.1 となる。

500m離れた場合は、

$$L_{pi} = 108.1 \quad - 20log500 - 11$$

より、LP(500)＝43.1ｄＢ　となる。

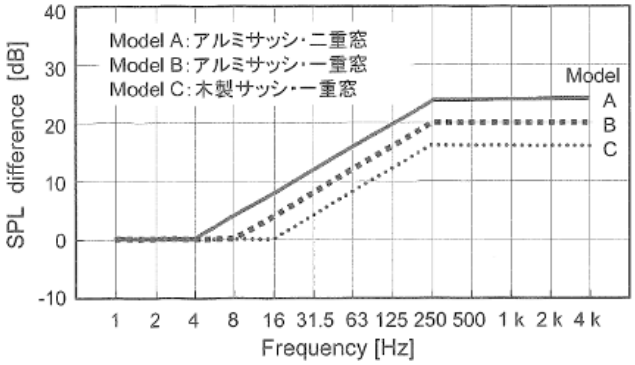


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

200Ｈｚだと、防音窓での減衰は、25ｄＢ程度なので、
120m地点で、防音窓のある室内では、29ｄＢ～32ｄＢとなり、
500m地点で、防音窓のある室内では、43-25＝18ｄＢとなり

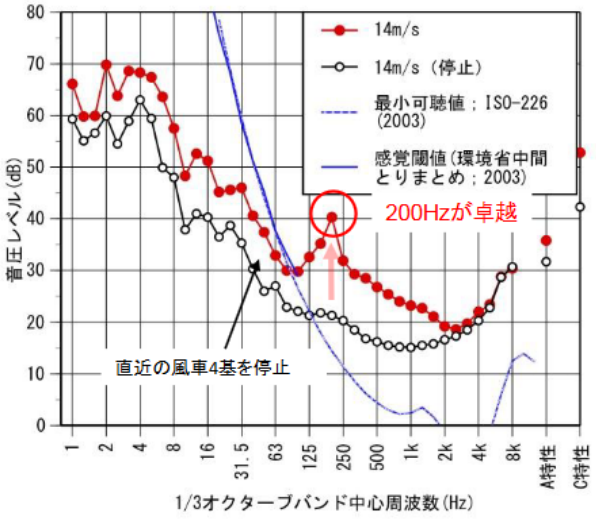
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

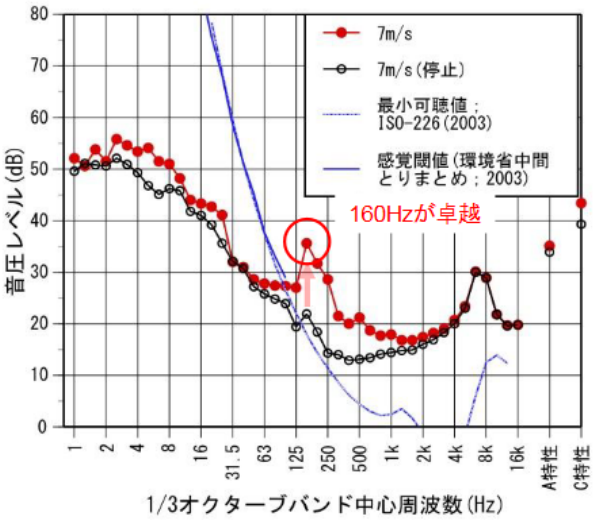
室内での影響は無いと判断します。他の周波数成分については慎重な計測と計算が必要です。

純音成分

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



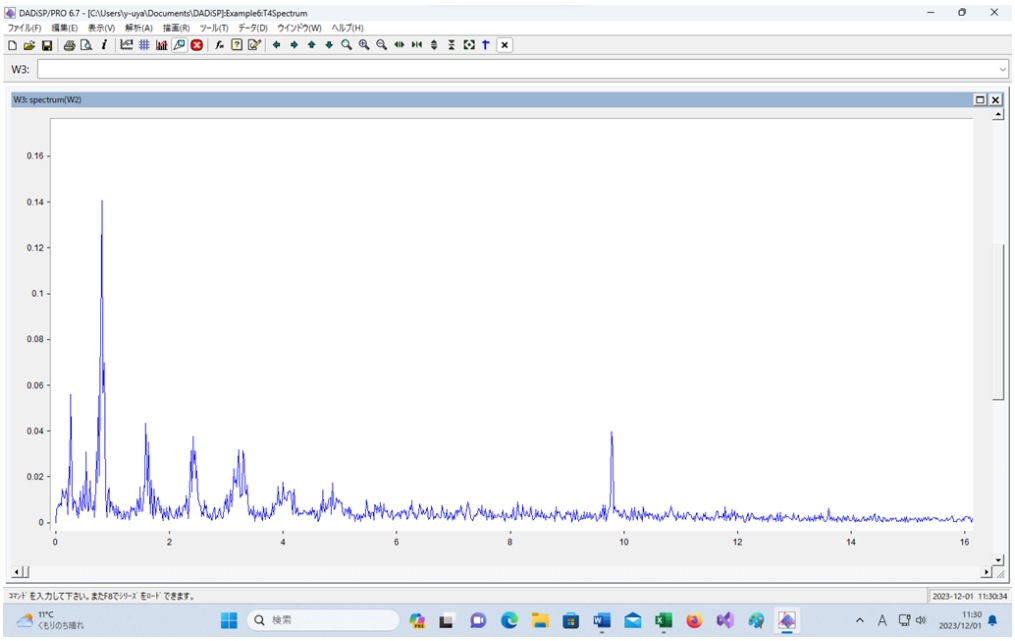


左；風車より240m，木造家屋-屋内　　**右；風車より350m，木造家屋-屋内**

＊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

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



音圧（パスカル）がピーク値となるときの周波数に、次のような規則性がある。

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

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

グラフから、超低周波音は、強烈な純音であることが明確です。
不思議なのは、35～40ｄB の音圧レベルの純音は気にするのに、音圧が 50～70ｄB の超低周波音を気にしないことです。

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

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

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

70ｄＢ-40ｄＢ＝30ｄＢです。

音の大きさに〇〇ﾃﾞｼﾍﾞﾙの差があるとは？	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。

被害と騒音レベルでの差

風車の被害では、

- 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

とあるが、

不快感での睡眠影響だけでは理解できない被害もある。

“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。”**

原因として、

- 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

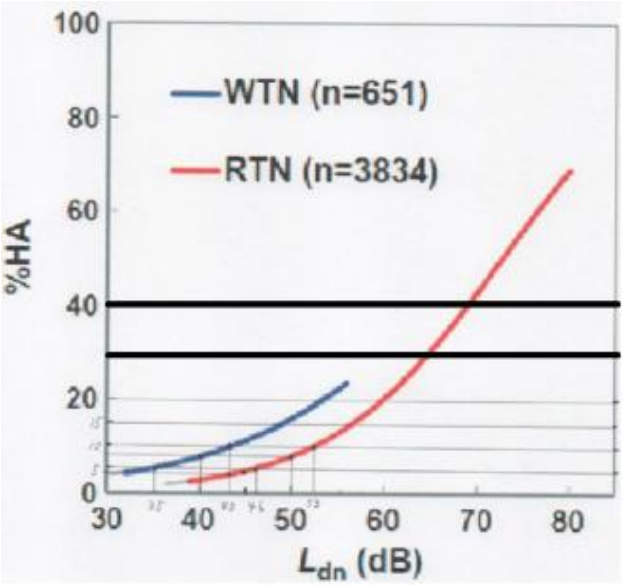
6

という見解もある。もちろん、業者の説明が悪いからだという説もある。

同じ音圧レベルなのに風車音と交通騒音では被害に大きな違いが起きる理由を説明しなくてはなりません。

風車からの超低周波音を考慮して、エネルギーによる補正をすれば、より合理的に説明できると考える。

報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



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

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

風車騒音でのグラフと、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。

“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。”

エネルギー分布の数値に着目します。

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

風車音でのエネルギー分布は、20Hz 以上が 7％、0～20Hz が 93%になっています。
風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与の部分に注意して、
不快感に関する風車音の周波数帯ごとの寄与は、20Hz 以上の寄与が 9%、0 から 20Hz の寄与が 91%
と考えれば、数値的にはそれなりに整合性があります。
単純な発想ですが、検証する価値はあると考えます。

ズレの理由を次の様に考えました。
Ａ特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

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

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

となって、11.5ｄＢ増加します。

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

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

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

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

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

また、エネルギー分布を考えても、風車音の 7%のエネルギーから計算される数値で判断するのは、あまりにも、非科学的と言うしかない。

もちろん、

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

との説もあるが、風車からの超低周波音を精密に計測して、その物理的な影響で健康被害が起きる事を説明できる。説明できないのは、学者の学力が足りないからです。

もちろん風車音の性質は、発生メカニズムとの密接な関係があるのだが、発生メカニズムを明確に示して、風車音の性質や塔の運動との関連を示す文献も見当たらない。もちろん風車音の性質を詳しく説明した論文は非常に少ない。

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,
風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018
2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016
3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008
4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990

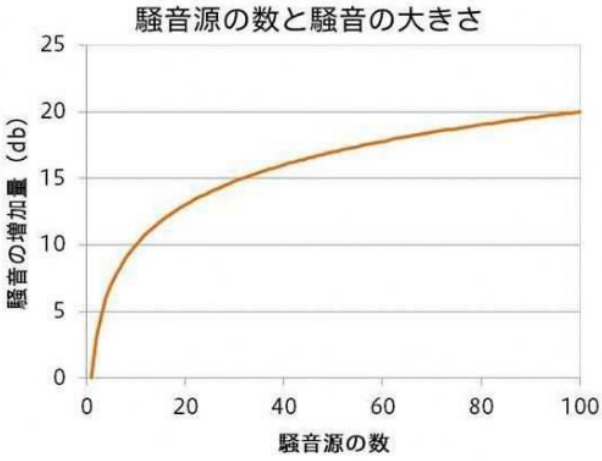
風車の基数と距離（累積的な影響）

風車の数が増えるとどうなるか？

・理論的には

同じ出力の風車の数がn倍になると発生騒音レベルは右のような曲線になる

2倍で３ｄＢ
10倍で１0dB
100倍で20dB 増加する



これは佐藤先生に相応しくない観点である。

佐藤先生ならば、風車が１基見えた時の被害と複数見える時の被害のグラフを示すべきでした。
佐藤先生は、講演後の質問したいして次の様に答えていた。
“音が聞こえなくても、目の前に風車が有り、それが気になれば調子悪くなる。
（車で遠く離れたコンビニに行って、風車から離れれば眠れるのは？）**目の前の嫌なことが無くなったから。**
根本的な解決は家から、エコキュートを遠ざけると良くなる。“

音が大きくなったから被害が増えるのではなく、見えるから被害が増えるのだと言っているのに、上記のグラフを提示している。
これでは、環境大臣が気にしていた、“風車音の累積的影響”を気にしているように見えてしまう。
佐藤先生らしさが全く見られない。

音響パワーレベルと音圧レベル

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）。

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

ここで、

Ｌｎ：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)

Ｌｗ：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)

$$\Delta L_{\mathrm{AIR}} = \alpha\left(r^2 + h^2\right)^{1/2} \qquad (3.2)$$

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。

$$Lp = 10\log\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots + 10^{L_n/10}\right) \qquad (3.3)$$

ここで、

Ｌｐ：予測地点における騒音レベル(dB)

Ｌｎ：ｎ番目の風力発電機による騒音レベル(dB)

(-8　と　-11　のちがいの説明は省略します。)

環境大臣の意見（累積的な影響）

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

２．総論（２）累積的な影響

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

別紙

２．各論

（１）騒音に係る影響

想定区域の周辺には、複数の住居及び学校その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設（以下「住居等」という。）が存在しており、沿岸付近の住居等の近隣に風力発電設備等が設置される場合には、工事中及び稼働時における騒音による生活環境への重大な影響が懸念されることから、環境の保全に十全を期することが求められる。このため、風力発電設備等の配置等の検討に当たっては、「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」（平成 27 年 10 月環境省）、「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」（平成 29 年５月環境省）その他の最新の知見等に基づき、住居等への影響について適切に調査、予測及び評価を行い、その結果を踏まえ、風力発電設備等を住居等から離隔を取ること等により、騒音による生活環境への影響を回避又は極力低減すること。

累積的な影響について

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

$$L_1 = PL - 11 - 20log1000$$

$$L_2 = PL - 11 - 20log2000 = PL - 11 - 20(log1000 + log2) = L_1 - 20log2 = L_1 - 6.02$$

2km の距離の風車が k 基になったとすると、音圧レベルは

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

となるので、

$$10logk - 6.02 = 0$$

より、

$$k = 3.99$$

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

では、２ｋｍ離れた場所に 40 基建てたらどうなるでしょう。

$$L_{40} = L_1 - 6.02 + 10log40 = L_1 + 10.00$$

となります。

１基の風車にどれくらい近づけば、$L_1 + 10.00$の音圧レベルになるかを計算します。
距離を（1000* r ）mにしたときに、

$$L_r = PL - 11 - 20\log(1000 * r) = L_1 - 20logr = L_1 + 10.00$$

$$-20logr = 10.00$$

より、

$$logr = -0.5$$

$$r = 0.316$$

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

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

風車から、400m離れた場所での騒音被害で、引っ越しを考えている人もいます。FB での友人は、
“こんばんは。
500 メートル近すぎます。更に近い 400 メートル離れた我が家の今夜の音です。
夜 11 時に一旦眠りに就きましたが、午前 1 時 20 分この音で目が覚めました。
佐々木さん、バードストライクに遭う鳥たちは間違って風車にぶつかったのかな？
わたしは今夜初めて、人間ストライクしたいと発作的に思いましたよ。気が狂いそうなほどの音です😱
鳥たちは気がおかしくなって、自らぶつかって行ったのではないだろうか？？
今夜はもう眠れそうにありません。頭も肩も首も背中も、身体中が自分じゃないみたいです
ヒーリング音楽を流し横になっていますが、ここから逃げ出したい“
“コメントをありがとうございます。わたしは移住三年目で、住民説明会などの資料は持っていません。
騒音計測についてのお話しはありますが、まだそれに至ってはおりません。
わたしは引っ越ししか方法がないと考えていますが、わたしの故郷に近い松前町や江差町の人々に、風車の影響を知って欲しいと思い、こちらにコメントを置かせていただきました。
今ある風車については、正直無駄なエネルギーを使い疲弊するだけなので、自分が離れるしか手立てはないと思います。“

と言っています。

ただし、風車は点音源よりも線音源に近い性質を持っている。風車音は指向性を持っている。風速の変化で音圧が平均値の２倍程度まで上がる。１２０秒間のうち２０秒間程度続くことがある。
被害は上の計算からの推定よりも大きいと考えられる。

山形県の風車騒音と他県の風車騒音

平成 30 年度第 2 回山形県地域協調型洋上風力発電研究・検討会議（2019 年 2 月 18 日開催）で、

ア　部会で一定の整理を行った事項

	意見・質問	回答・対応の方向性
騒音	騒音の発生による地域住民への影響が懸念される。	風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は1km 程度と規定されており、影響は小さい。
	低周波の影響はあるか。	超低周波及び低周波の健康影響について明らかな関連を示す知見は確認されていない。

と書いています。

山形県の風車音は、到達範囲１ｋｍ程度を規定されているので、音源から２ｋｍ地点には到達しないのですが。
先生の計算では、２ｋｍ離れたところに、風車が沢山立てば、住宅の近くに新しい風車が出来たような影響を与えるようにも理解できます。
山形県では、“風力発電施設の稼働に伴う騒音の到達範囲は１ｋｍ程度と規定されており、影響は小さい”とされていますので、山形県の風車音はとても賢くて、風車から１ｋｍまで来たら、向きを変えて風車に向かって引き返すのでしょうか？

山形県酒田市の市民は
アンケート名:酒田市広報 11 月特集「風のまち酒田の未来を考えるーカーボンニュートラルの実現に向けてー」には、次の意見もありました。
“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。“

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

山形県の見解は正しいのでしょうか？

・酒田市での意見交換会
もっとひどい認識もあります。
酒田市沖洋上風力発電に関する意見交換会　令和６年６月
〇日時・場所
中学校区ごとに開催します。開始時間はいずれも午後 6 時 30 分です。
開催日 会場
６月 14 日（金）西荒瀬コミュニティ防災センター（第一中学校学区）
６月 17 日（月）港南コミュニティ防災センター（第三中学校学区）
６月 19 日（水）勤労者福祉センター（第二中学校学区）
６月 21 日（金）富士見学区コミュニティ防災センター（第六中学校学区）
６月 24 日（月）十坂コミュニティセンター（第四中学校学区）
６月 26 日（水）八幡タウンセンター（鳥海八幡中学校学区）
６月 28 日（金）平田農村環境改善センター（東部中学校学区）
〇対象
市内に住所または勤務先がある方

6/21 住民意見交換会(於：富士見コミセン)での主なやりとり概要
〇風車の低周波音は、胎児に影響が無いのか。子育て世代が安心できないのであれば、風車を設置すべきではない。
→（県）貴重な御意見として頂戴する。環境省の通知では、①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、②風力発電施設から発生する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、としている。今後議論を深めていき、例えば遊佐町沖のように、環境配慮事項として盛り込んでいきたい

6/28 住民意見交換会（於：平田農改センター）での主なやりとり概要
そもそも構造物として大丈夫なのか、というところが気になっている。また、低周波音、騒音、健康被害が発生しないという担保をどうとるのか。振興策は当たり前の話である。また、2016 年には県危機管理課で最大の地震の被害シミュレーションも行っている。これとの関係はどうか。
→（県）地域の皆様の健康が最優先であり、本日の意見を踏まえて議論をしていかなければならない。国の厳しい基準を経て、最終的に第三者機関の認証を得ないと着工できない。地域の皆様の理解を深めていくため、有識者から説明いただく機会もつくるなど、今後どうしていくか国や酒田市と相談させていただく。
県危機管理課の津波のシミュレーションは承知しており、想定されている内容と安全基準との関係を検討する。

上の概要には無いが、聞いていた市民がびっくりした発言についても書いておきます。
「**騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。**」
（酒田市の６月の意見交換会での**県職員の発言**）を多くの市民が驚きを持って聞きました。
FB では、
富士見学区での説明会で言い切りましたが他でも言い切ったのでしょうか？

最後の平田でも言い切りました。
と話題になっています。

酒田市沖洋上風力発電に関する意見交換会の　～留意事項～
令和６年６月　酒田市 商工港湾課　山形県 エネルギー政策推進課
①洋上風力発電に対する意見を聴く場です
・本日は、酒田市沖で洋上風力発電事業を進めるかどうかを決める場ではありません。
・他の人の意見を否定しないでください。（考えが違うのは当たり前です。お互いに尊重しましょう）

いくら意見が否定されないとしても、嘘をついてはいけません。意見交換会はデマを広めるための場所ではありません。大人は、自分の発言に責任があることを知っています。口から出まかせの発言は許されないのです。
県の職員が県民を騙すための嘘をつけば、公務員の信用失墜行為に当たります。
そのような職員は直ちに懲戒免職とすべきです。（出席させた県知事の責任も重大です。）
意見交換会と言う公の場であり、仕事として参加しての発言です。
「騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」
と言ったからには、
「騒音と低周波、健康とは関係ありません。」と言う根拠を示し、論証する責任があります。
“騒音と低周波、健康とは関係ない”ことの根拠を明確にしてください。まさか、根拠もない事を公の場所で口にしたのではないでしょうね。
「国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」については、根拠となる文書を具体的に示す必要があります。根拠となる国の文書を示して下さい。
それが責任と言うことです。

事業者でさえも慎重な発言をしています。
石狩湾での風力発電関係の、“環境影響評価準備書についての意見の概要と事業者の見解”に於いて、
意見：
“北海道自然保護協会などによる一般意見：「方法書 69 頁では、低周波音について「対象事業地域から最寄の住居までの距離が３ｋｍ以上あり、**影響はまったく及ばない**と考えられる」と記している。この表現は、国内外における低周波音による健康被害の実態をまったく踏まえていないので、まず、その科学的根拠について、方法書に、明確に具体的に示すべきである。”
“「配慮が特に必要な施設が４ｋｍ以上離れていることが確認された」としても、**巨大化された風力発電機が４ｋｍ以上離隔したとしても本当に悪影響が生じないのか、科学的な根拠が明示されていない。**”
に対して、
事業者は次の様に答えている。
“低周波音については、対象事業実施地区から最寄りの住居までの距離が３ｋｍ以上ありますが、ご指摘のとおり、周辺への影響を十分把握するため、騒音・低周波音を項目として選定し、予測・評価を行っております。”
“影響はまったく及ばない”と言う考えは隠れてしまいました。

「騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」が正しいならば、次の様になる。

前提として、“国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。”については、国の主張（どこに書いてあるか不明だが）が正しいとして、“風車から 1km 離れれば問題ない”との主張が成り立つとする。

これと、“騒音と低周波、健康とは関係ありません。”を合わせて、山形県の洋上風力を考えてみれば、
風車は沿岸から２ｋｍ程度は離れている。よって１ｋｍ以上の距離があるので、問題は起きない。
風車群から大きな音が響いてきて、眠れない日や、夜中に起こされる日が毎日続く。
不眠で、病気になる可能性は高くなるが、騒音と低周波、健康とは関係ないので、
風車音による安眠妨害が原因で病気になっても、“健康には関係ない。”のだから、風車騒音や風車からの低周波による健康被害とは認めない。病気になったのは、風車とは関係が無く単なる個人的な問題である。

他の地域で、風車による健康被害が発生していた。住民が要求して夜間一部の風車を止めて音を減らした結果被害が減った事実があるとしても、健康被害と風車からの騒音と低周波に関連があるとは認めない。

風車音では、交通騒音よりも低い音圧でも“非常に不快である”と感じる人が多い。風車が大型化したことと、風車が沢山並んだことでさらにこの傾向は増すが、沿岸での騒音レベルがいくら大きくなっても、健康とは関係ない。

地獄の鬼も顔負けの主張です。眠らせないことは昔からの拷問の方法です。
「騒音と低周波、健康とは関係ありません。国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。」

との主張は、住民を拷問にかけると言っているのと同じです。

騒音で眠れなければ、車の運転中に居眠りをします。仕事中にミスも起きます。子供は授業中に居眠りをします。体調も悪化します。

それを訴えても、県のお役人様は聞く耳を持っていないのです。住民に残された唯一の方法は、山形県が引っ越しを禁止する前に、山形県から脱出することだけです。

そのような内容の主張をしている職員は山形県の職員には相応しくない。正体は、山形県を衰退させるために送り込まれた工作員だと思います。直ちに懲戒免職にすべきです。

・“国では風車から 1km 離れれば問題ないとしています。”
（酒田市の６月の意見交換会での県職員の発言）
についてですが、私は環境省の HP や学者の論文を調べたが、この記述は見つけられなかった。
もしこの記述が正しいならば、日本の国家公務員と日本政府には理性を持った人が誰もいないことになる。
この記述は、日本の国家や国民に対する侮辱でしかない。
　環境大臣の意見の所で計算した累積的影響は、高等学校で数学を勉強した人なら簡単に理解できます。
断言できることは、環境大臣は、“風車から１ｋｍ離れれば問題なし”とは言っていないという事です。

“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）（p29)を作った学者の方々は、法律を次のように解釈した。
“（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている。”
　この意味は、音は“事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲”よりも遠くまで届き影響を与えるが、その範囲以外では環境影響を受けるとは認められない。
　と理解できる。
　被害があっても、その原因が発電所による環境影響だとの認定をしない。との主張である。こちらは、その意味は理解可能であるが、この解釈が、（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）の解釈として妥当か否かに関しては疑問がある。後で法律の文章を確認するが、曲解と評価するのが妥当である。
　さて、学者の方々は、
（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）は、１ｋｍ以上離れた場所での騒音被害は認めない。
と主張していると解釈したのだが、これは学者が通産省令を理解する能力が無かったと言うだけの事である。

　本当に通産省は、
“発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている”、のでしょうか？

　そんなことはありません。

最初に、
平成十年通商産業省令第五十四号
発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令
を確認します。

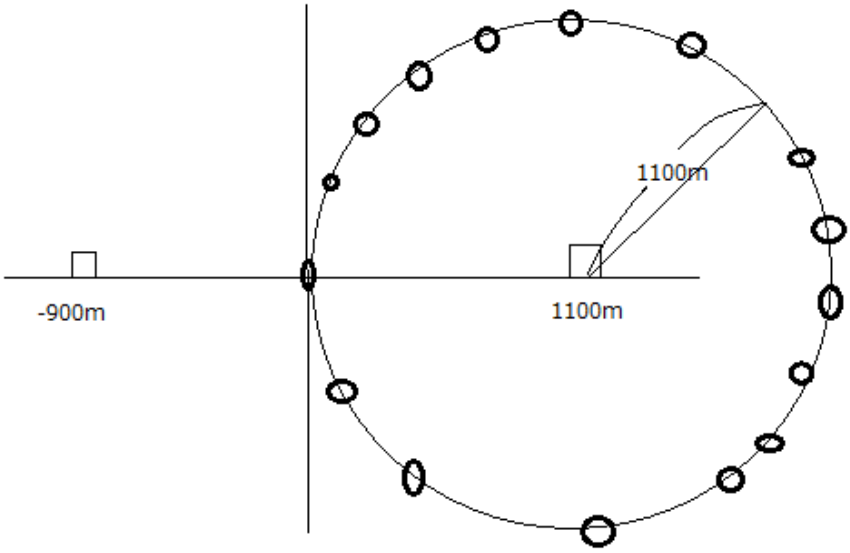
第四条　計画段階配慮事項についての検討に当たっては、当該検討を行うに必要と認める範囲内で、当該検討に影響を及ぼす第一種事業の内容（以下「配慮書事業特性」という。）並びに第一種事業実施想定区域及びその周囲の自然的社会的状況（以下「配慮書地域特性」という。）に関し、次に掲げる情報を把握するものとする。
一　配慮書事業特性に関する情報

イ　第一条各号に掲げる事項
ロ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の原動力の種類
ハ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の出力
ニ　第一種事業により設置又は変更されることとなる発電所の設備の配置計画の概要
ホ　第一種事業に係る工事の実施（この条から第九条までにおいて「第一種事業の工事の実施」という。）に係る期間及び工程計画の概要
ヘ　その他第一種事業に関する事項
二　配慮書地域特性に関する情報
イ　自然的状況
（１）　気象、大気質、騒音、振動その他の大気に係る環境（以下「大気環境」という。）の状況（環境基本法（平成五年法律第九十一号）第十六条第一項の規定による環境上の条件についての基準（以下「環境基準」という。）の確保の状況を含む。）
（２）　水象、水質、水底の底質その他の水に係る環境（以下「水環境」という。）の状況（環境基準の確保の状況を含む。）
（３）　土壌及び地盤の状況（環境基準の確保の状況を含む。）
（４）　地形及び地質の状況
（５）　動植物の生息又は生育、植生及び生態系の状況
（６）　景観及び人と自然との触れ合いの活動の状況
（７）　一般環境中の放射性物質の状況
ロ　社会的状況
（１）　人口及び産業の状況
（２）　土地利用の状況
（３）　河川、湖沼及び海域の利用並びに地下水の利用の状況
（４）　交通の状況
（５）　学校、病院その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設の配置の状況及び住宅の配置の概況
（６）　下水道の整備の状況
（７）　環境の保全を目的として法令等により指定された地域その他の対象及び当該対象に係る規制の内容その他の環境の保全に関する施策の内容
（８）　その他第一種事業に関する事項
２　前項第二号に掲げる情報は、入手可能な最新の文献その他の資料により把握するとともに、当該情報に係る過去の状況の推移及び将来の状況を把握するものとし、必要に応じ、次の各号のいずれかに該当する地域の管轄に係る地方公共団体（第七条から第十四条までにおいて「関係地方公共団体」という。）、専門家その他の当該情報に関する知見を有する者から聴取し、又は現地の状況を確認することにより把握するよう努めるものとする。この場合において、当該資料については、その出典を明らかにできるよう整理するものとする。
一　第一種事業実施想定区域及びその周囲一キロメートルの範囲内の地域
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域

この、
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受

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

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



当然、右側の建物の被害についても考慮されます。
“発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている”
のではありません。地形や季節風の影響で被害が出ることもあるので、１ｋｍ以上の場所でも、適切な予測が必要となることがあるのです。
だから、
二　既に入手している情報によって、一以上の環境の構成要素（以下「環境要素」という。）に係る環境影響を受けるおそれがあると判断される地域
というおまけが付いているのです。

いくら、日本語の理解力が無いからと言って、省令を勝手に捻じ曲げてはいけません。
もちろん、存在しない規則を主張してもいけないのです。

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

注）発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行

うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成 10 年 6 月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲 1 km の範囲内としている。

について確認したのですが、この文書をまとめる時の会議の記録があります。

平成 28 年度第 3 回（第 9 回）風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会議事録
日時：平成 28 年 11 月 11 日　10：00～11：55
場所：三田共用会議所大会議室
出席者
（座長）　町田信夫
（委員）　沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆
（環境省）　高橋水･大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活環境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査

“測定範囲１ｋｍに関しての議論”は次のものです。

【塩田委員】　塩田です。25 ページの 80 番に、調査を行う範囲の距離についての意見があります。その範囲の距離に対する考え方をもう少し親切に答えてあげたほうがよいのではないかと思います。これだと１ｋｍでいいよと解釈されそうです。
【町田座長】　事務局どうぞ。
【行木大気生活環境室長】　ありがとうございます。ご指摘、そのとおりと思います。この点につきましては、測定方法に関するマニュアルのところでも、非常に大事なこととして整理が重要な点と考えておりまして、マニュアルの作成におきましてご指摘も踏まえて、しっかりやっていきたいと思います。その旨、この考え方のこの部分の記載におきましても明記をするよう修正をしたいと思います。ありがとうございます。
【町田座長】　橘委員、どうぞ。
【橘委員】　ここで言う、推進費と書いてありますけど、いわゆる戦略指定研究でやった全国調査では、一応 1 キロメートルを 100 メートルぐらいから 1 キロメートルぐらいを目安にしています。それでも、それ以上数キロメートルなんていったら、実質上とても無理です。そんなに測定点は選べません。1 点か 2 点増やすだけならできるでしょう。
　それから、**1 キロでもちろん音は風車、聞こえるところは聞こえます。だから、聞こえなくなるまではかれといったら、もう数十キロにわたって、あ、数十キロって、数キロにわたって測定しなきゃならなくなる**という、実際マニュアルでそんなことを書いたら、実行不可能なマニュアルになってしまいます。だから安易に 1 キロ、それをもっと数キロにしますとか言われると困るなという。
【行木大気生活環境室長】　橘先生、説明が足りず、大変失礼いたしました。ご指摘のとおりでして、何よりもその調査におきましては、その対象となる施設とその周辺の地形の状況ですとか、土地利用の状況に応じて影響がありそうなところを選定して調査をしていくというところが大事と思っておりまして、日本はいろいろ、日本だけじゃないと思いますけれども、いろいろと個別の場所で状況も違いますから、単純に距離を指定するということは適切ではないと思っております。マニュアルにおきましては、そういった観点のどういったところが、最も影響が大きくなりそうなのか、どういったところで、その調査を行うのがいいという辺りを整理して書いてい

くということだと思っております。

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

こんなことがあって、
（座長）　町田信夫
（委員）　沖山文敏、落合博明、桑野園子、佐藤敏彦、塩田正純、橘秀樹、田中充、矢野隆
（環境省）　高橋水･大気環境局長、早水大臣官房審議官、行木大気生活環境室長、木村大気生活環境室長補佐、出口大気生活環境室振動騒音係主査
たちの作った報告書、
“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”（検討会報告書）
の 29 ページの記述となりました。
学者の方々の見解は、経産省の趣旨とは異なる内容だと考えます。

カナダ政府の HP にある、ノイズ入門には、
“グラフの X 軸は 0.1 ヘルツ(Hz)から 100Hz までの周波数を表し、Y 軸は測定された音の強さをデシベル(dB)で表します。この図は、夏の晴れた夜に 4 基の風力タービンから **2.5km 離れた場所**で測定した例です。図の 0.8、1.6、2.4、3.2、4.0、4.8、5.6、6.4、7.2、8.0Hz のピークは、これらの特定の風力タービンがこれらの特定の周波数の音を生成することが知られているため、測定された音が風力タービンからのものであることを裏付けています。”との説明がある。

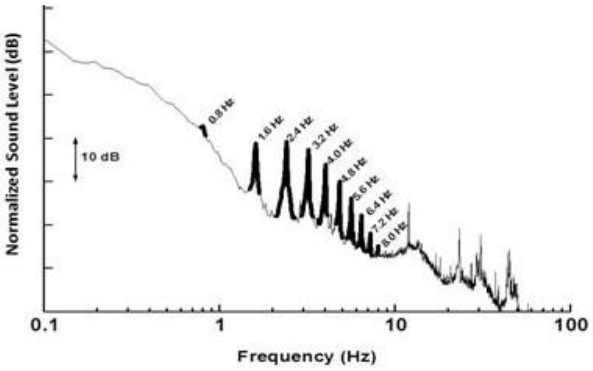


Fig.1 Noise from Wind turbine

風車音は、2.5ｋｍ以上離れた場所に届いています。

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）

〇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】

〇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、

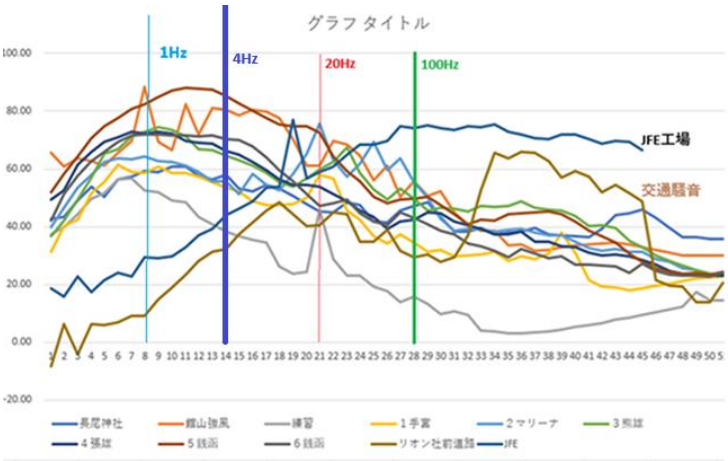
今後、当時より大型の風車が稼働した際には、必要に応じて改めて科学的に測定していくことも検討したいと思います。

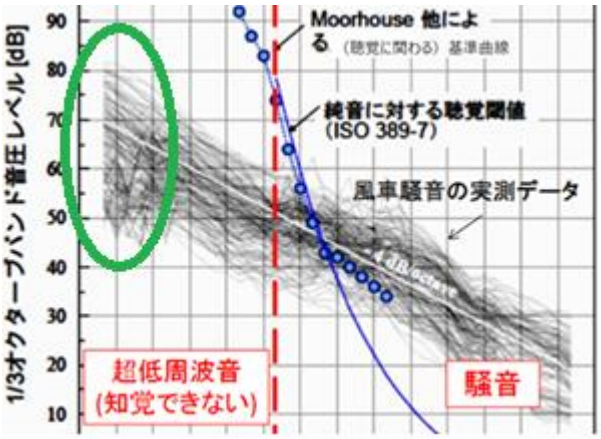
【資源エネルギー庁】

〇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、ど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。

とのやり取りがあった。

基本周波数（0.5Hz～1Ｈｚでの卓越）





右側のグラフを見れば、1Hz で 50～80 d B の超低周波音が出ていることは明らかである。
左のグラフから、工場音や交通騒音では 1Hz で 30 d B 以下の音圧レベルである事が分かる。
“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。”
と言うのは、嘘と言うよりは、あまりにも市民を馬鹿にした発言です。
（超低周波音と風車症候群の関連は、“洋上風力の留意点 2025”の p 926 に書いてあります。）

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

上の左のグラフは、ISO7196 に従って、0.25Hz から計算した 1/3 オクターブ解析の結果です。
1Hz では、風車音と他の環境騒音ではかなりの差があります。
20 d B～50 d B の差があるので、100 倍～10 万倍の違いがある。
風車音方が圧倒的に大きいのです。

エネルギーでの比較

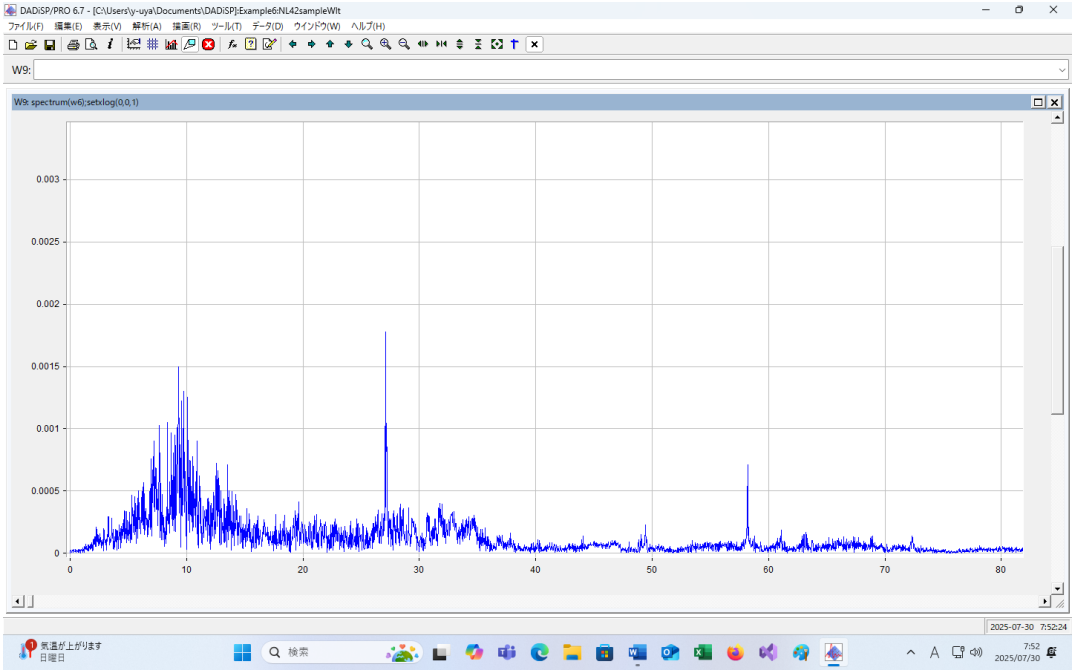
周波数帯	0 ～20Hz	20～200Hz	200～24 k Hz	0～24 k Hz	単位
交通騒音	1.76E-07	8.08E-08	1.80E-05	1.80E-05	W/m2
神社風	8.23E-06	3.91E-07	2.12E-07	8.83E-06	W/m2
JFE工場	4.80E-05	4.01E-04	5.34E-04	9.84E-04	W/m2
風車弱風	8.19E-04	2.40E-05	3.82E-07	8.43E-04	W/m2
風車強風	1.49E-03	2.30E-05	6.94E-08	1.52E-03	W/m2

超低周波音の領域では、強風時の風車音のエネルギーは、交通騒音の 1 万倍です。

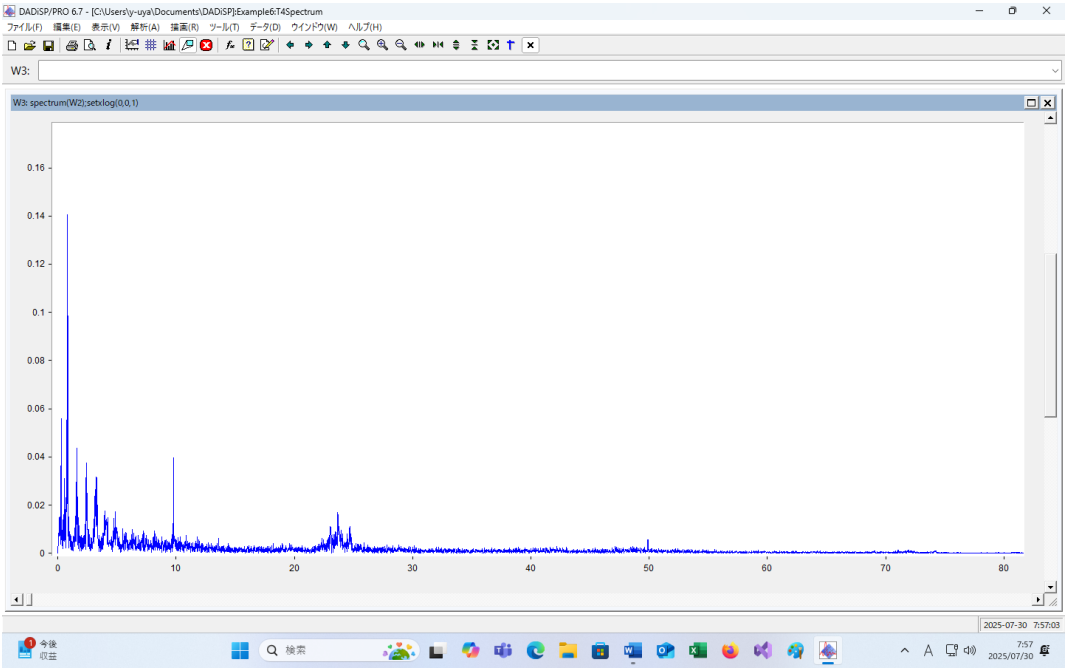
大型のスピーカでも 10Hz 以下の超低周波音を出せない理由を簡単に言えば、圧縮して密の状態を作ろうとしてコーンが前に来ると、空気の粒が横に逃げてしまい密の状態が作れない。疎の状態を作ろうとしてコーンが後ろに行ったときは、横から空気の粒が入ってきて疎の状態が作れない。10m*50mくらいのスピーカや自動車が無いと超低周波音となる粗密波を作れないのです。超低周波音が出るには、粗密波を作り出せる大きさの物体と、その運動が必要なのです。

この様な嘘は、
4 信用失墜行為の禁止（国公法第 99 条）
職員は、その官職の信用を傷つけ、又は官職全体の不名誉となるような行為をしてはならない。
国家公務員が非違行為を行うことは、職員本人はもとより、職員が所属する職場に対する信頼を損ね、更には公務全体の信用を失うことになりかねません。そこでこのような行為を公私にわたって行うことを禁止しています。
に違反した行為だと考えます。しかし、**最近は嘘をつくことが環境省職員の仕事になったようです。**

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。



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の根拠を伺いたい。

・酒田市の見解

酒田市風力発電施設建設ガイドライン

平成１６年１１月２５日

“３　風力発電施設を建設する際のガイドライン

①住宅等との距離

住宅等からは**２００メートル**以上離れること。（※住宅等には、学校、幼稚園、保育園、**病院**などの文教施設、**保健福祉施設**等を**含む**ものとする。また、住宅等との距離とは、風車におけるタワー基礎部分からとします。風車の頂上の最高部までの高さが１００メートルを超える場合は、住宅等との距離はその高さの２倍とします。）

2

②騒音

山形県の騒音に係る環境基準値内（昼間で 55dB 以下、夜間で 45dB 以下）であること。“

とあり、

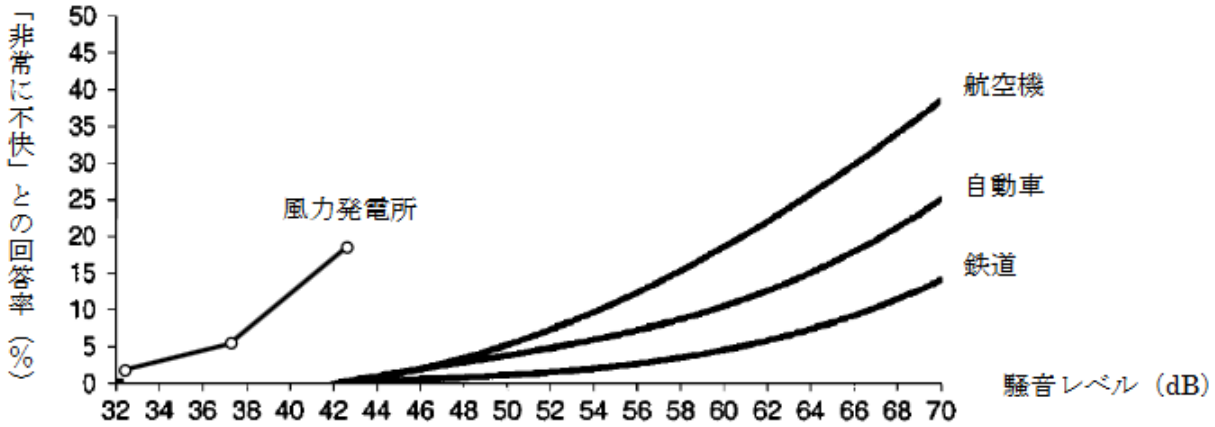
一目見て、**子供、病人、老人に対して冷たく厳しい対応をする市政**だと分かります。

その理由を述べます。普通は、学校、病院に対する配慮をするのです。

風力発電施設から発生する騒音に関する指針（ｐ1）

これらの特徴を踏まえ、風車騒音に関する指針値は、全国一律の値ではなく、地域の状況に応じたものとし、残留騒音に５dB を加えた値とする（図１及び図２）。ただし、地域によっては、残留騒音が 30dB を下回るような著しく静穏な環境である場合がある。そのような場合、残留騒音からの増加量のみで評価すると、生活環境保全上必要なレベル以上に騒音低減を求めることになり得る。そのため、地域の状況に応じて、生活環境に支障が生じないレベルを考慮して、指針値における下限値を設定する（図２）。具体的には、残留騒音が 30dB を下回る場合、**学校や病院等の施設があり特に静音を要する場合**、又は地域において保存すべき音環境がある場合（生活環境の保全が求められることに加えて、環境省の「残したい日本の音風景 100 選」等の、国や自治体により指定された地域の音環境（サウンドスケープ）を保全するために、特に静穏を要する場合等）においては**下限値を 35dB** とし、それ以外の地域においては 40dB とする。

山形県の騒音に係る環境基準値内（昼間で 55dB 以下、夜間で 45dB 以下）だと眠れそうもないです。



・遊佐町の見解

令和５年度 町政座談会 概要　（山形県　遊佐町）

（１）開催状況

【開催日】　【会 場】　【参加者数】

②　５月２４日（水）　蕨岡まちづくりセンター 33 人　　６地区合計参加者 141 人

（２）会議録　５月２４日 蕨岡地区

①風力発電に係る健康被害については、１００％ではないが一部認識している。陸上風力発電による健康被害は風車から民家が非常に近いという因果関係もあると考えられる。遊佐町沖で計画されている風車は約２キロの離岸距離がある。国ではこの距離があれば１００％大丈夫という表現をしていないが、国の指針では被害はないのではないかとして進めている事業となる。全国でも洋上風力発電が進められているがこの規模の洋上風力はどこにもなく、はっきりとした影響度合いは現状としてはまだ分からない。町としても法定協議会の意見取りまとめでもそのような健康被害が出た場合には、事業者がしっかりと対応していくように要望し、事業者決定後は事業者と協定を結び、町民の皆さまの不安やリスクの回避に努めていきたい。

②健康被害があってはならないが、これまでも法定協議会のみならず、国や県に対して事業者を含めた相談窓口を設置するよう要望している。事業者の決定までに町として相談の受け入れの体制を整えていきたい。

この見解は、環境大臣の意見に照らしてみれば、常識的な判断の結果を記述したものだと言える。

業者に騙されないためには、風車音の計測と解析を町独自で計画することが必要です。

佐藤先生の良心と危険性の指摘

佐藤先生は、良心的な方です。トランプ氏のように、フェイクニュースと言って否定するようなことはしない。離岸距離２ｋｍの風車の危険性についても、間接的な表現で伝えていた。

講演後の質疑応答で、次のことを念頭に置いた質問が出た。

■低周波が引き起こす動悸や胸部痛がいまだに続く

由利本荘市　道川 誠二（71 歳）

私は、由利本荘市内の日本海に近い団地に住んでいる【地図参照】。2012 年に子吉川河口の本荘マリーナに本荘風力発電所（1990 ㌔㍗、1 基）ができた。私の家から 1・9 ㌔のところだ。そして 2017 年、その南側に電源開発の由利本荘海岸風力発電所（2300 ㌔㍗、7 基）ができた。これは私の家から 2・4 ㌔だ。

加えて 2019 年の秋頃に、今度は自宅から北東方向約 2 ㌔の三望苑で、由利本荘第三風力発電所（1990 ㌔㍗、1 基）と由利本荘第二風力発電所（1990 ㌔㍗、1 基）が稼働し始めた。

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、「事業者に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。

同年 9 月初め、耳鼻咽喉科の病院で聴力検査をしてもらった。私は若い頃、突発性難聴になって左耳はまったく聞こえない。聞こえる右耳は、高い周波数は歳相応に聴力が落ちているが、低い周波数はそれほど落ちていない、との検査結果だった。睡眠導入剤と精神安定剤を処方された。

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。待合室にいる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、寝ているときグウ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。

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

市役所生活環境課が「遮音効果の高い耳栓を試してほしい」というので、それを借りてグウングウンという音が聞こえる夜中に試してみた。耳栓をすると低周波音の振動だけが聞こえて、しないときより気になって眠れなくなるようだった。今は、ラジオを聞いているとマスキング効果で寝られるよとアドバイスを受け、そうしている。

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

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

佐藤先生は、道川さんがウソをついているとは言わなかった。

風車が見えていても、風車を止めれば被害は激減する。

伊豆の場合、

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

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

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

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

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

風車を止めれば症状は改善する。改善しないもとしては、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。

佐藤先生は、これがフェイクニュースだとは言わないでしょう。

風車が稼働している地域に都会から引っ越してきた場合はどうか？
すでに稼働しているのだから、静穏な地域ではない。都会から越してきたのだから、もともと静穏な環境に住んでいたわけでもない。それでも被害が起きる。原因は何か？
風車が建つ前の環境が静穏だったことがどの様に影響すると説明できるのでしょうか？
伊豆の場合は、都会からの移住者で別荘地として購入した人たちが多いのだが、かなりの被害が出た。
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。
風車を止めたからと言って、もともと静穏だったという条件が変わることは無い。唯一変わったのは、風車が停止して音が出なくなったという事だけです。
もとの環境に戻すのは難しくても、風車を止めて夜間の音を無くすことは可能です。目の前に風車はあるのですが、動いている風車が減れば、累積的影響での数値は小さくなり、計測した音圧レベルも減少します。
夜間の被害状況が改善した原因は、風車音を減らしたからだと言えます。

佐藤先生は、動いている風車が減って、動いているのが見える風車の基数が減ったから被害が減ったというかもしれません。
夜寝ている時には、目を閉じているので風車は見えませんが、稼働していれば被害が出ます。

山影で風車の姿が見えないが、稼働していれば被害があると言う事例もあります。

“南伊豆風車（被害）紀行（２）～承前
似たような証言は他の家でもあり、風車が山陰に隠れて見えない、1.5km くらい離れた家では、その見えない風車からの音は聞こえないのですが、回っているとき、ぴったり連動して住民が吐き気や胸の圧迫感、頭痛、耳鳴りなどに襲われていることが分かったそうです。
そのかたは、当初、見えない風車のことなど気にしていなかったのですが、昨年暮れから急に、そして、あまりに頻繁に気持ちが悪くなるので、体調がおかしくなる時間帯を記録していたところ、それが風車の稼働している時間とぴったり重なったのです。“

これは、風車音が有れば、見えなくても風車音の被害が出る事を示しています。もちろん、見えるか否かに関わらず、隠れた風車が動いていなければ被害は起きません。

佐藤先生は風車症候群の症状が出る原因は、“風車が見えるからだ”と主張した。
陸上での風車は、山の陰で見えない事もあるが、離岸距離２ｋｍの風車は、岸から丸見えである。水平線が陸から４ｋｍなので、洋上風力の風車は、岸に近くてよく見える。
田鎖先生のＨ－Ｒｉｓｋでは計算対象外の、“風車が見える事”で被害が出ると言っているのです。(似たような理論は他にもある。)
陸から２ｋｍの風車が沢山あると、音の累積的影響と、沢山の風車が見えることで、大きな被害が出る。
音のエネルギー加算での累積的影響を除いたとしても、佐藤先生の理論に従えば、沢山の風車が並べば風車の

数だけ怒りがまし、症状が悪化し、被害者が増えることになる。
　１基の風車が見えた時の被害人数×風車の基数
　だけの、被害者と重い症状が出ると考えられます。
　被害者の総数は、1基の風車が見えるときの被害人数が分かればすぐに計算できます。素晴らしいい理論です。
　佐藤先生は、２ｋｍの場所に並べた風車の危険性を訴えていたのです。
　ただし、極めて分かりにくい表現だった。また、1基の風車が見えるときに被害者が何人出るかを示してくれなかった。
　佐藤先生の理論では、2ｋｍの地点に設置した洋上風力の被害は陸上風車の10倍～20倍以上になると言える。見えることが被害の原因なのだから、このような結論になる。
　被害を減らすには、見える風車を2基くらいにして、残りは水平線の向こうにもっていって見えなくしなさいと言っているのです。
　素晴らしい考えです。佐藤先生の本心を誤解してはいけません。

　佐藤先生は、
　大型風車からは0.5Hzの強烈な超低周波音が出る。
　エネルギー加算での累積的影響を計算しなさい。
　限界曲線と言っていたのはウソですよ。
　風車音の影響が長く続くと、いくら治療しても回復しない状態になる。
　風車は見えないところに設置しなさい。
　と言いたかったのかも知れません。
　海面から200ｍの高さのものが見えなくなるのは陸から50ｋｍ離したとき、
　海面から100ｍの高さのものが見えなくなるのは陸から35ｋｍ離したとき、
　です。
　佐藤先生はここまで計算して、風車が見えないようにしなさいと言っていたのです。

佐藤先生の全体的な論調

・風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とは言えない。
・低周波領域の音が「特異的な」影響を示す可能性については低いと考えられている。
・低周波領域の音も含め、感覚閾値には個人差がある。
・知覚することによる反応についても個人差がある。
・正しい情報の周知により住民に安心感を与えることが重要。
最初に超低周波音を除外する。
次に、可聴成分のうちの低周波成分（20Hz～100Hz）の影響を小さいと評価する。
可聴域成分の影響は感覚閾値に個人差があるので、風車症候群が現れるのは、個人差の問題だと主張する。
知覚する事の意味を、風車が見えるからという事に絞って、見えることが大きな原因だと主張する。
“風車症候群は風車を見た時の印象の問題であり風車音が原因ではない。”が正しい情報だと主張する。
纏めれば、
風車が嫌いな人が風車症候群になる。風車が好きなら被害は起きないと言いたいのでしょう。
そうなれば、風車症候群の原因は、個人的な趣味の問題であり自己責任だということになる。

もちろん、似たような主張をする学術論文も沢山ある。

“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。”

風力発電所による近隣住民への影響に関する社会調査
本巣 芽美*1 丸山 康司 *2
“「既存の風力発電所に対する賛否」以外の要因は，特に国際間で大きな違いは見られなかった．共通する点として，「建設過程の公正性」や「建設過程における不快感」は「風車音による不快感」と相関がある点である．また，「距離」に関しては日本と欧州は有意差が確認されず，米国においては相関係数が 0.197 とほとんど相関がないことから，やはり国際的に見ても**「距離」と「風車音による不快感」は関連がない**と言える．
したがって，**近隣住民の風車音による不快感を低減させるためには**，風車音の音量や距離に関する対策だけでなく，**建設過程における地域住民への対応が重要**であると考えられる．“
では、
業者がもう一度丁寧に説明して回れば、風車音による不快感が消えるとでも言うのでしょうか？

研究費が貰えれば、精密騒音計で計測されたものは“疑似音”だ。と言い出す学者も MIT にいる。
日本にも、風雑音だとする学者が沢山いる。
その様な学者が論文の評価をするので、既存の論文を徹底的に批判する論文は、企業の利益に反するので、決して学術的な論文とは認められない。

A 特性音圧レベルの比較と、低周波数領域（20Hz～100Hz）の比較のグラフは、
・低周波領域の音が「特異的な」影響を示す可能性については低いと考えられている。
の根拠を与える。

被害に個人差があることを、
・低周波領域の音も含め、感覚閾値には個人差がある。
と言い換えた。
論理的には誤りではないが、その目的は感覚や知覚の中に風車に対する嫌悪感を含める事である。

さらに、知覚の意味を風車が見える事による不快感に収束させるために。
・知覚することによる反応についても個人差がある。
と言う。
知覚する事での反応を、風車に対する嫌悪感にすり替えた。知覚の内容や因果関係を明確にする必要がある。

最後は、
・正しい情報の周知により住民に安心感を与えることが重要。
と言って、風車に対する嫌悪感が風車症候群の原因なので、嫌悪感を無くせば被害は起きない。
との“正しい情報”を拡散する予定であったが、**風車を見ることによる嫌悪感に重点を置きすぎてしまった**のでしょう。

最初の主張
・風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とは言えない。
を支持する学者は沢山いる。
（風力発電についての意見聴取会（三重県松坂市、平成 21 年）において、　落合博明氏の発言）
“・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度であり、**聞こえなければ不快感などの影響はない**ということは専門家の一般的な意見である。”
しかし、専門家は風車音の詳細な性質や、その指向性、風車音が粗密波として作り出される物理的な運動とその原因を説明しない。
風車に問題意識を持っている学者でも、超低周波音の計測をしないで議論する人が多い。
田鎖順太氏講演会「**風車騒音**による健康への影響について」
遊佐沖・洋上風力発電についての公開質問状への回答についての見解と再質問（2023.420）
鶴岡市議会議員草島進一
“超低周波音による影はどうか、睡眠への影を除外した「健康影響」についてはどうか,という点についてですが、いずれも、問題にしていません。問題にしているのは音として感じられる周波数帯域（20Hｚ以上）の風車騒音による、睡眠への影響です。”
これでは、被害の原因が可聴音による安眠妨害に限定されます。圧迫感（実際の圧迫）、循環器系の障害、頭痛との関連が見失われて原因不明のままとなり。結果として被害者は救われなくなります。

佐藤先生の理論では、風車音が知覚閾値より小さくても、風車が見えれば被害が増えるという事になる。
洋上風力の風車は丸見えなので、音とは関係なく、被害が大きくなることになってしまう。

講師を佐藤先生にしたのは、山形県の人選ミスなのか、環境省への攻撃なのかは分からない。

言い過ぎた佐藤先生

山形県と酒田市の方針は、風車音は１ｋｍしか影響しない。２ｋｍ離せば十分だ。超低周波音（0～20Ｈｚ）は知覚閾値以下だから影響は無い。低周波音（20Ｈｚ～100Ｈｚ）音が「特異的な」影響を示す可能性については低い。A 特性音圧レベルは他の環境騒音よりも低い。よって風車音は健康被害の原因ではない。

原因は個人差であり、主観の問題だというように纏めたかったのだろうが、佐藤先生は見えることが被害の原因であると言ってしまった。

佐藤氏の発言は次の様なものであった。

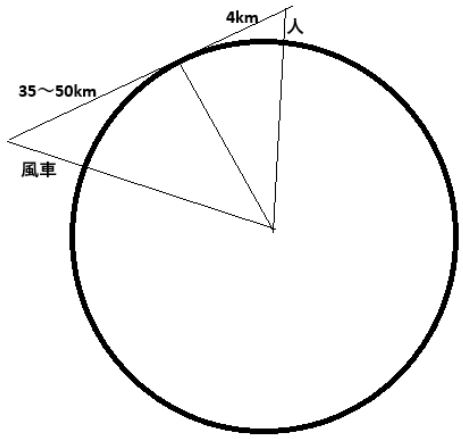
“風車が建つ前は、体はどこも悪くなかったのに、風車が建ってから調子が悪くなったという話は聞いている。
低周波の音が原因でなったのか、低周波を出す風力発電が出来たからなったのかは分からない。
低周波音そのものが体への健康影響を起こしたという可能性は低い。
音を感じる、あるいは自分にとって悪いものが出来たというものを感じた事によって調子が悪くなる。
低周波音というなんだか良く分からないものが健康に影響を与えるという可能性は低いだろと言うのが今の科学的見解
風車から低周波音という悪いものが出ていると思うだけで調子が悪くなる。
音が聞こえなくても、目の前に風車が有り、それが気になれば調子悪くなる。
（車で遠く離れたコンビニに行って、風車から離れれば眠れるのは？）**目の前の嫌なことが無くなったから。**
根本的な解決は家から、エコキュートを遠ざけると良くなる。“

これを見れば、解決方法には２つあると考えられる。

本人が、風車から低周波音と言う悪いものが出ていると考えなければ解決する。しかし、市民は学者と違って最新の計測技術や解析技術を持っています。計測すれば、風車から強烈な超低周波音が出ている事を知っています。計測結果はネットで公開されています。事実と異なる思い込みは出来ないのです。
エコキュートの場合の根本的な解決策である、風車を遠くに持って行って、見えなくする。

根に持つ人や、風車音を計測している市民も多いので、**解決方法は、目の前にあると気になる風車を遠く離して見えなくし、夜間は音を出さないようにする**方法が最適だと思われる。

風車の大きさにもよるが、高さ 100ｍなら 35ｋｍ、高さ 200ｍなら 50ｋｍ程度離す。という事になる。



佐藤先生の論理の検証

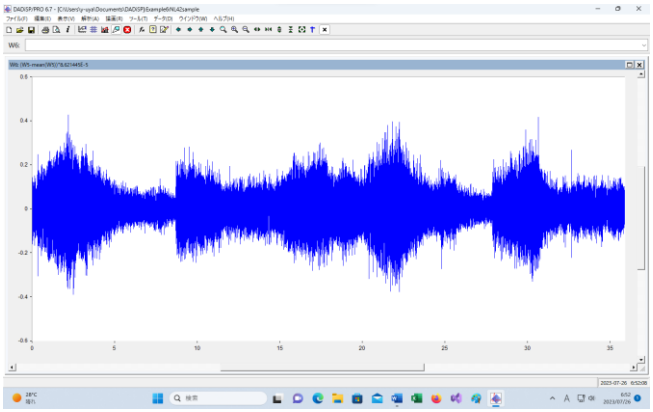
“風車から低周波音という悪いものが出ていると思うだけで調子が悪くなる。”ですが、計測すれば、**風車から強烈な超低周波音が出ている事が分ります。単なる思い込みではありません。**

学者は JIS 規格や環境省の助言（二重防風スクリーンと除外音処理）に従って計測するので、上の様な結果を除外してしまいます。

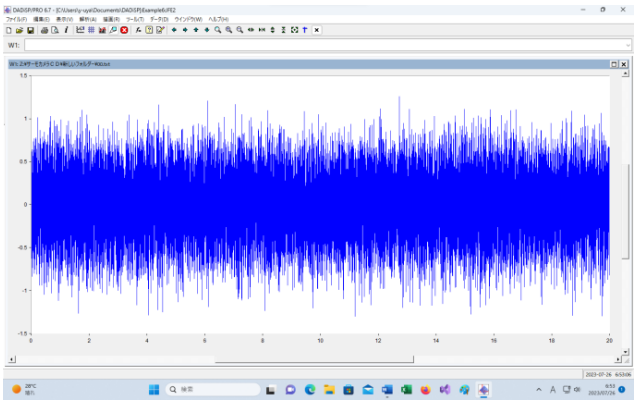
住民の中には、自分で風車の超低周波音を計測する人もいます。市民は、それぞれの仕事の分野では、世界との競争に中で生き抜いてきているので、古臭い技術は使いません。最新の理論と技術を使いますので、風車からの超低周波音も計測できるのです。

波形：

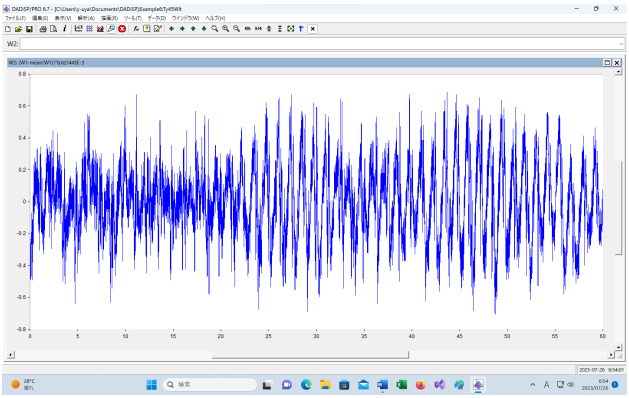
リオン社前の交通騒音



JFE の製鉄所内の音



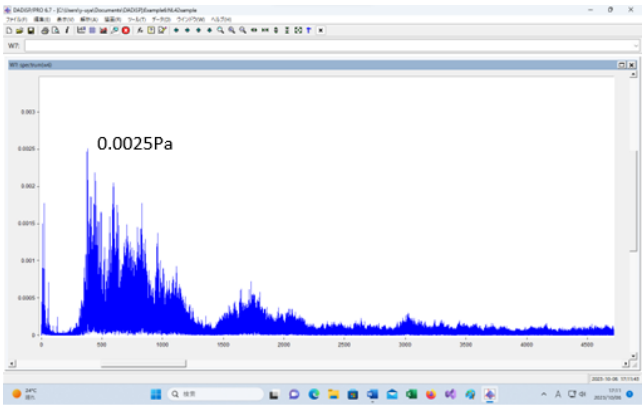
館山の風車音



周波数スペクトル

図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz



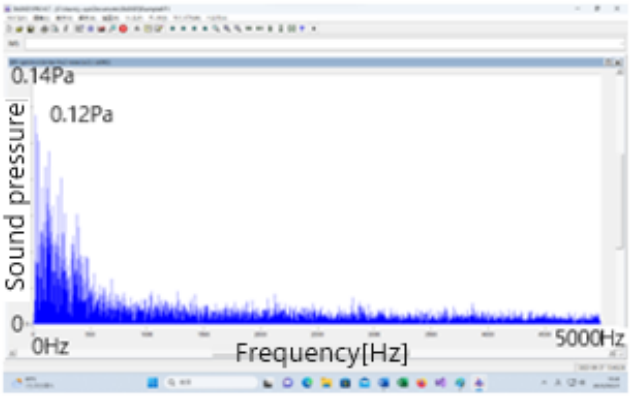


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

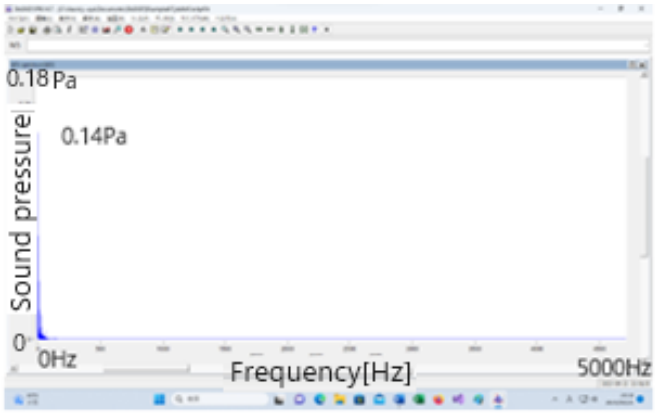


表２．エネルギーの分布

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

音のエネルギーの比較：

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*p）/（ρ c）　　(W/m²)

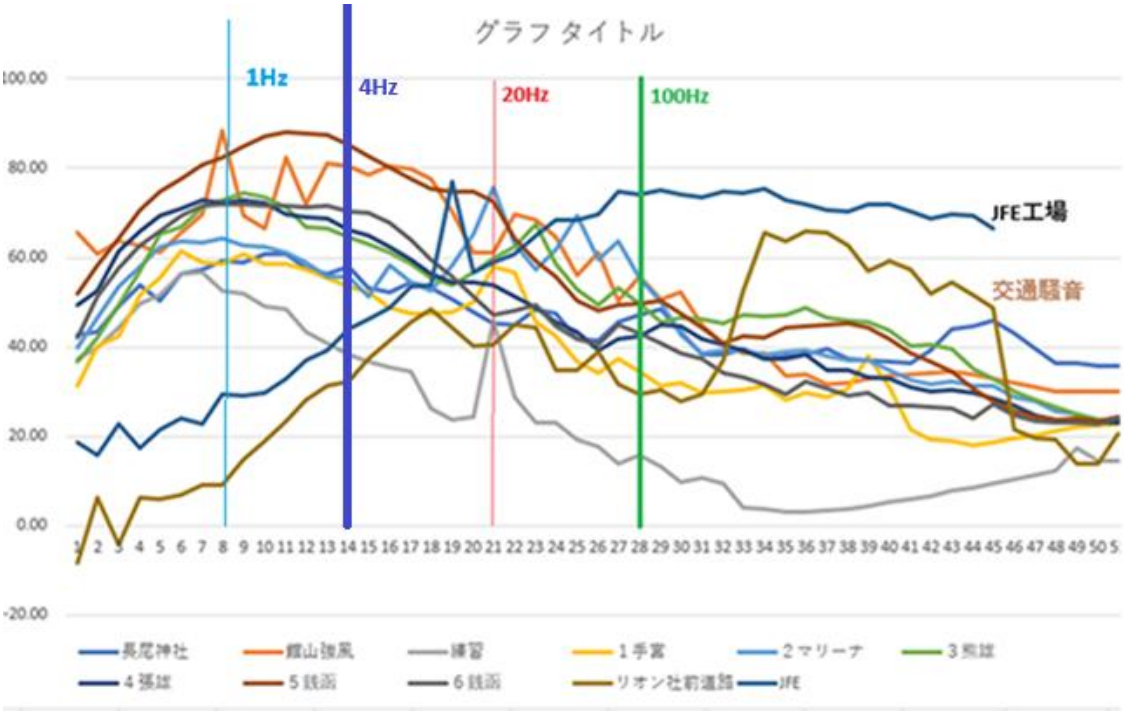
ここで、p（Pa）は音圧、ρは空気の密度（kg/m³）、c は音の速度（m/s）

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

さらに、0～20Hz ないでのエネルギーの分布は次の様になっています。

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

基本周波数（0.5Hz～1Ｈｚでの卓越）



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

これは、ISO7196 に従って、0.25Hz から計算した 1/3 オクターブ解析の結果です。

1Hz では、風車音と他の環境騒音ではかなりの差があります。

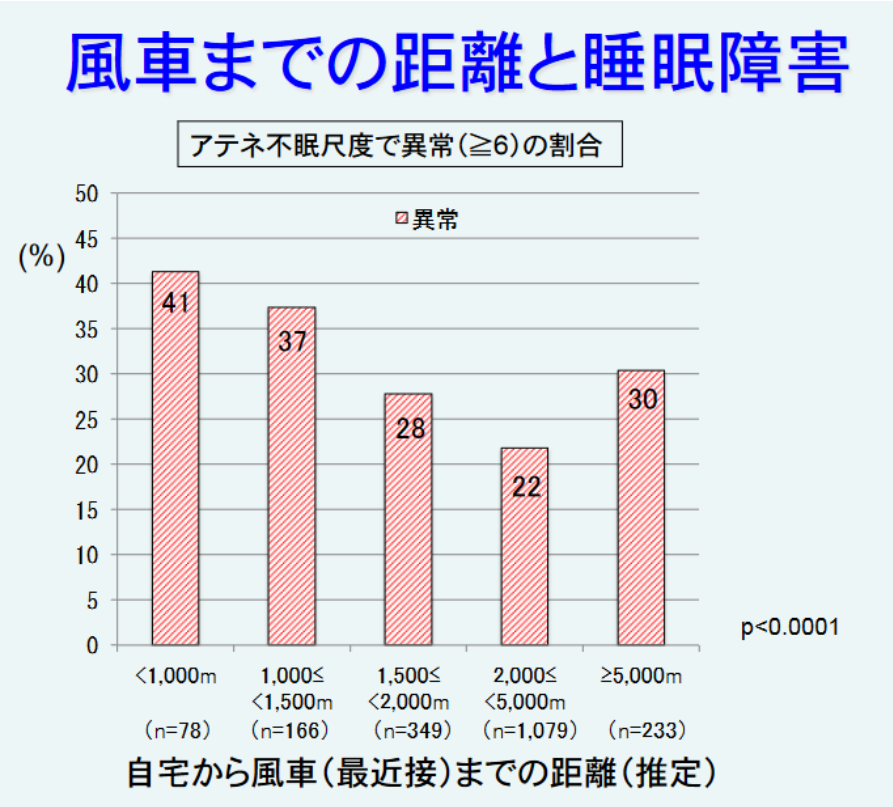
風が強い時の超低周波音は、交通騒音の 10000 倍になっています。学者の資料では消えています（環境省が命じた除外音処理）。

市民の常識には、物理学もあります。風車の超低周波音の影響を、人体への圧力変動として影響する場合として計算できます。結果は、血液の流れに着目すれば、循環器系の障害が起きる事や、音響キャビテーションでの偏微分方程式を考えれば頭痛が起きる事が、物理的に必然的な結果であることも判明しています。

ただし、末梢血管の圧迫は、基本周波数での音圧が物理的な決定要因になるので、風車音の数値としては、基本周波数での音圧をパスカル値で扱う必要がある。

G 特性音圧レベルは、原因を不明にする役割しか持っていないので使えない。1 Hz からの 1/3 オクターブ解析では、大型風車の基本周波数が 0.5Hz 程度になるので、ISO7196 に厳密に従って、0.25Hz～315Hz での音圧レベルを重み無しで調べる必要がある。

石竹先生の調査では、



風車から、3ｋｍ辺りまでは、距離に関係する形での影響が見て取れる。

もちろん、佐藤先生の言われるように、この中には、思っただけで調子が悪くなる人もいるかもしれないが、風車が有れば、一定の割合で距離に関連する形での一定量の被害者が出ることは間違いない。

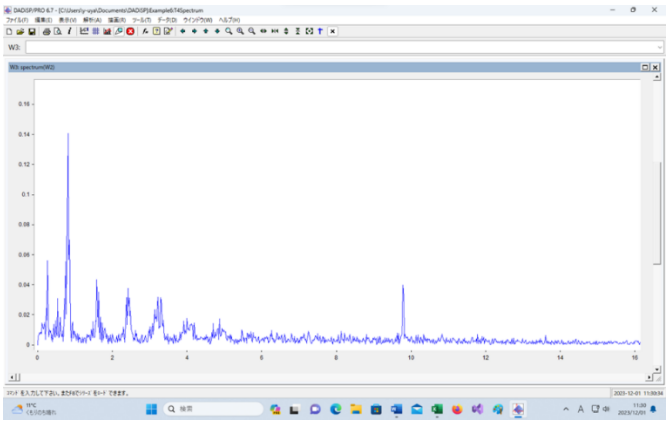
もちろん、被害が病気ではないかもしれない。睡眠障害と不眠症は違いますが、毎日睡眠障害が起きる土地に生活すれば、睡眠不足で仕事にミスが出る。生徒は眠いので学校で居眠りして学力が落ちるので、学習塾のお金がかかる。睡眠不足で体力が低下し、熱中症になる可能性が高くなる。そんな地域に住めば、大きな損失になるので、地価が下がる。転出者が増えて住民税が減る。住民が減ればインフラの設置費用の負担の一人当たりの学が高くなる。要するに、風車の近くの住民は損をすることが分る。

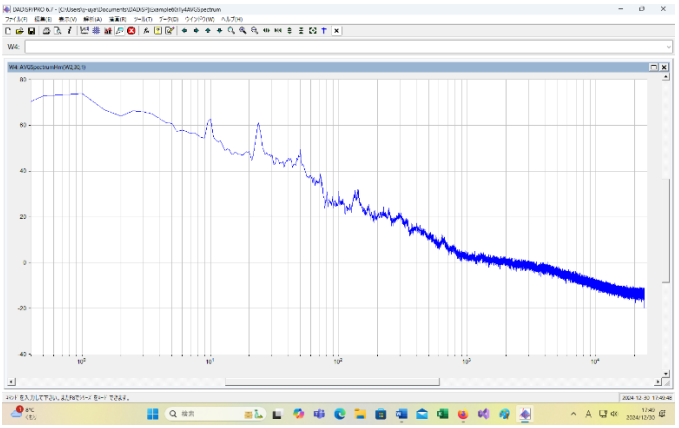
もちろん、“風車から低周波音と言う悪いものは出ない”と思えば被害は減るのかもしれないが、計測すれば、超低周波音に関しては交通騒音の 10000 倍のエネルギーの音が出ていて、物理的な作用をするのだから、人間そんなに簡単には考えを切り替えられないし、出ていないと思うだけでは音を消せない。

風車からは、実際に強烈な超低周波音が出ているのです。その特徴と物理的な影響を考えれば、循環器系の障害や頭痛が起きることには密接な関連があることが分ります。

実際に計測と解析をやらないで、市民の思い込みであるかのような表現は、風車音に関する認識の欠如を意味するものであり、科学とは無縁の発言である。普通の科学者は、風車からどの様な音が出ているかを自分で調べてから発言する。数学と物理の知識があれば、その音が循環器系の障害や頭痛を引き起こす事はすぐ分かる。

たまに、精密騒音計での計測結果を示す研究者もいますが、ほとんどが次の右側のグラフになっています。





風車音での被害の究明では、左を選べば、f/3、2f/3、f、2f、3f、、Hz で音圧がピークとなることが分り、その事から風車音が発生する仕組みや頭痛が起きる理由を解明できるが、右のグラフを選べば風車音被害の原因は究明できなくなります。

ただし、左のグラフは JIS 規格に従った計測では得られません。環境省の指導に従った計測では得られないものです。しかしこれが無いと、風車音での被害の原因が解明できないのです。

これを計測すると、

“今回の投稿原稿は、騒音計で風車近傍での騒音測定を行っているが、その解析方法ならびに解釈には不適切な箇所が多い。また、風車騒音の発生原因のひとつとしてタワー断面の振動を挙げているが、その固有周波数についても検討されておらず、騒音周波数と関連づけるには無理が多いと考えられる。総じて、学術論文として期待される最低限のレベルを満足しておらず、掲載否と判断する。“

別の方から、

“音の計測については、私は専門ではないですが、論文レベルにするには、少なくとも、JIS 規格などで計測方法などが規定されていますので、それに従う計測などをすることが要求されると思います。”

とのアドバイスをいただきましたが、

0.8Hz～2 k Hz の範囲に入っていない、0.5Hz の音に対して、JIS 規格をどのように適用すべきなのかが、私の学力では理解できませんでした。

0.5Hz や 0.5/3Hz、2*0.5/3Hz の音を計測して、風車音の影響を調べると、JIS 規格からはみ出しますので、その結果は、学会で認知される論文にはなりません。

山形県酒田市の市民は

アンケート名:酒田市広報 11 月特集「風のまち酒田の未来を考えるーカーボンニュートラルの実現に向けてー」には、次の意見もありました。

“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。“

寝ているのですから、風車は見えていません。距離も同じです。寝ている間に風車が増えたわけではありません。風車に対する嫌悪感が寝ている間に増えたり減ったりするとも思えません。

変化するのは風車音の周波数と音圧です。基本周波数に関して言えば、30 程度の間、平均的な音圧の２倍になる事があります。風速と音圧の関係を考えれば、１時間に１回程度の割合で、30 秒間の音圧が２倍以上になる事が起きます。

“騒音で眠れない、起こされる”ですが、騒音があると思うから眠れなかったり、目が覚めたりするのでしょうか？騒音が無いと思えば良いのでしょうか？

目を覚ます要因となる音が有るか無いかは、本人がどの様に思うかとは別の話です。精密騒音計で計測すれば済む話です。もちろん客観的な証拠として、精密騒音計での計測が必要でもあるが、県や市は精密騒音計での計測をしてくれません。

ただし、普通騒音計での計測をしてくれる県や市もあるが、これで測って、環境騒音での基準値と比べると、“問題は無い。”と言う結論になります。

（車で遠く離れたコンビニに行って、風車から離れれば眠れるのは？）**目の前の嫌なことが無くなったから。**
根本的な解決は家から、エコキュートを遠ざけると良くなる。“
音が聞こえなくても、目の前に風車が有り、それが気になれば調子悪くなる。
について、
伊豆の場合、

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

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

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

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

この結果を受けて住民が動き、今後は夜間に住宅直近の風車３基を停止すること、次に近い風車２基の回転数を４割減らすこと――という内容の協定を、自治会と事業者と東伊豆町の三者で結んだという。これによって睡眠障害は７割減った。ただし、それでも耐えられず転居した家族もいる。“
このときは、
風車は目の前にあったが、事故で風車が停止していたので風車騒音や風車超低周波音は出なかった。
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。
これは、

風車が目の前にあっても、それを止めて音を出さなければ、被害が激減する事を意味している。

ただし、全員が完全に回復したのではない。この原因は、目の前の風車が気になるからかもしれないし、佐藤先生が言っていた、“不可逆的性変化”まで被害が進行してしまったのが原因かもしれない。

循環器系に関しての継続的な検査として、血管壁の厚さを CT や MRI で定期的に調べて置けば、風車音の曝露との関係性は判明する。

パブロフの犬

佐藤氏の発言は次の様なものであった。
風車から低周波音という悪いものが出ていると思うだけで調子が悪くなる。
音が聞こえなくても、目の前に風車が有り、それが気になれば調子悪くなる。

これを見ると、パブロフの犬を思い出す

ノーベル賞を受賞したイワン・パブロフ
イワン・パブロフは、1849 年 9 月 14 日に現在のロシアで生まれました。サンクトペテルブルク大学へ進学した後に外科医となりますが、その後、軍医学校に進学しました。軍医学校で医師免許を取得したのち、師ボートキンの生理学研究所に就職し、この研究所でさまざまな研究をおこないました。
当時、犬で唾液腺の研究をしていたイワン・パブロフは、人間の足音で犬が唾液を出していることを発見し、ここから条件反射の実験を本格的におこなうようになりました。
1904 年には消化腺の研究が評価され、ロシア人として初めてとなるノーベル生理学・医学賞を受賞しました。ノーベル賞授賞式では、消化腺の研究よりも条件反射や無条件反射について演説しています。
条件反射と無条件反射の違い
イワン・パブロフが発見した条件反射は、学習によって身につけられた反射的行動のことを指します。
たとえば、**梅干しを見たら唾液が出るという現象は、梅干しが酸っぱいということを理解している（実際に食べて学習している）から起きるものです。**一方で無条件反射とは、学習せずとも無意識に起こる行動のことを言います。熱い鍋に手が当たったとき、無意識に手を引っ込める行動も無条件反射です。
これにより、条件反射とはトレーニングや経験によって起こる行動であることがわかります。
犬がご飯を見て唾液の分泌量が増えるのは無条件反射ですが、パブロフの犬のように、ベルの音を聞いて唾液の分泌量が増えるのは条件反射となります。イワン・パブロフは、犬にベルの音をご飯の合図と学習させたことにより、条件反射の定義が確立しました。

佐藤先生の主張では、
梅干しを見たら唾液が出るという現象は、梅干しが酸っぱいということを理解している（実際に食べて学習している）から起きるものです。
における学習活動（**実際に食べて学習している**）に当たる部分が、**“風車から低周波音という悪いものが出ていると思う”** に相当します。
風車から超低周波音・低周波音と言う悪いものが出るというネット上の噂を信じたのが原因だという事になります。
この様に主張する為には、中野 有朋氏の様に、(“低周波音トラブルの多くは誤解トラブル”)
“全国各地に風力発電用の風車が多数設置されている。その中で、風車から低周波音がでる、また超低周波音が出るので人体に悪影響があるなどというトラブルが起こっているところがある。そしてこれがテレビなどでまことしやかに報道されるので、本当であると思われてしまう。
しかしこれは音波の発生に関する最も基本的事項の誤解によるもので、全くの誤りである。
風車からは、問題になるような超低周波数及び低周波数の回転音は発生しない。問題になることがあるのは通常

の騒音の問題である。“
“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。 “
と主張して、
“存在しない音を、存在して悪い影響を与えると信じ込んだこと”がパブロフの犬での学習活動に当たり、その学習活動の結果として、
“音が聞こえなくても、目の前に風車が有り、それが気になれば調子悪くなる”
と言う主張になる。

業者や行政は、普通騒音計を使う場合が多く、この機材では超低周波音は計測できない。だからと言って超低周波音が存在しない訳ではない。
精密騒音計を使う場合でも、JIS 規格に従って、G 特性音圧レベルと 1/3 オクターブ解析（1～80Hz）の結果を見る限りは、基本周波数（f=RZ/60Hz）での音圧は分からない。
もちろん、二重防風スクリーンを使えば、１Hz の辺りでは 38ｄB 程度減衰した数値が得られる。更に除外音処理をすれば、超低周波音の部分は全て消えてしまう。
学者の多くは、超低周波音を無視して、“**聞こえなければ不快感などの影響はない**”との立場をとる。

学者には計測能力と解析能力が無いのだが、世界の企業と競争しながら生き抜いてきた市民は、新しい知識と新しい解析方法を知っている。デジタル信号処理、数学、物理学に関しても専門的な知識が無ければ世界との競争に勝てない。学者の世界とは比べ物にならない、厳しい競争の中で、技術と知識を身につけてきたのです。
すでに、計測結果と解析結果を示しました。もちろん発生メカニズムに関しても後ほど説明します。

市民は、風車から超低周波音が出ることを知っています。詳細な解析結果と物理学や数学の知識も持っているので、風車音の物理的な作用の結果として、循環器系の障害や頭痛が起きる事を知っています。
ほんの少し勉強して計測と解析をすれば、佐藤先生でも分ります。

学習活動に当たる部分は、次の様になります。

“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。”

“海岸の風車も三望苑の風車も、どちらも家から約 2 ㌔のところにあり、両方にはさまれた真ん中に私の家がある。だから両側から低周波音が来ているのではないかと思う。南西の風が相当強いときには風車が回る騒音が聞こえることもあるが、多くがグウングウンという低周波音だ。ブレード（羽根）と支柱が交叉するときに生まれる衝撃音で、支柱の振動が空気振動で伝わり、頭にグウングウンと響くようだ。
さっき病院の待合室で気分が悪くなったといったが、後で調べたらその病院も海岸の風車と三望苑の風車にはさまれており、どちらも病院から 2・7 ㌔とまったく同じ距離だった。

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

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

このような学習活動をした人の中には、

音が聞こえなくても、目の前に風車が有り、それが気になれば調子悪くなる。

と言う人も、いるかもしれないが。

伊豆の例で確認した通り、多くの人は目の前に風車が有っても、風車が停止していて音が出ていなければ、体調が回復するのです。

以上の事から、佐藤先生の主張、

風車から低周波音という悪いものが出ていると思うだけで調子が悪くなる。

音が聞こえなくても、目の前に風車が有り、それが気になれば調子悪くなる。

は、基礎的事項（風車音の計測と解析）を確認しないで述べた、失言でしかない。

宿題ですが、

風車が見えていても、風車が停止すれば被害が激減する。

風車に近いほど多くの被害が出る。15～20ｋｍ離れれば被害はあまり出ない。

山影で見えない風車が動いているときに被害が発生することがある。

風車から離れたところに住んでいる人が、風車を短時間見て、その姿を記憶していても、家に戻ってから風車症候群の症状が出る事はない理由を説明する。

騒音レベル（A 特性音圧レベル）と、被害の症状との関連性が薄い理由を説明する。

風車での騒音レベルは他の環境嘘音での騒音レベルよりも低いことが多い理由を説明する。

可聴低周波数領域での音圧が風車音よりも高い、自動車、新幹線、飛行機内では睡眠妨害の訴えはない理由を説明する。

被害者の家での最大音圧の計測をする。

目を閉じた時、雨戸を閉めて見えない時でも被害が出る理由を説明する。

風車の超低周波音が人体に物理的に作用することを説明する。

佐藤先生にも、被害地域（風車から 200ｍくらいの場所で風車が見えないような家）に住んでもらう。

風車が無い地域に引っ越しした場合安眠できるが、風車の記憶は残っている。風車の記憶は影響するのか否かを説明する。

など、いろいろ疑問点がある。

佐藤先生の説はこれらを合理的に説明できなくてはならない。

さて、
・風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とは言えない。
は、正しい知見であろうか。

「科学的知見」は論文として発表されるもの
但し、すべての論文が同一の価値を持つわけではありません！

批判的吟味（Critical Appraisal)が必要
1．目的（リサーチクエスチョン）が明確か
2．方法は妥当か、質はどうか
（曝露量評価、アウトカム評価の方法、バイアスの可能性）
3．結果は適正に示されているか
4．結果の解釈は妥当か、論理の飛躍はないか
（種差、現実との乖離）

以上より
- Meaningfulness（意味）
- Validity（妥当性）
- Reliability （信頼性）
- Relevance（臨床的意義） を、評価する

と言っているが、一つ欠けている点がある。
実験の前提となる、仮定は適切か？
風車音の実験をする前に、風車音の計測が必要である。計測結果を解析して、風車音の性質を明確にして、実験室で使う音が風車音の特徴を備えているか否かを検証する必要がある。
最初の仮定、風車音はこのような性質を持つ。の部分が間違っていれば、風車音に関する実験とは言えなくなってしまう。
風車音の計測結果から得られる性質だけではなく、風車から粗密波が発生する物理的な仕組みを考えて、理論的に導き出される性質と、計測結果から得られる性質が一致している事も必要である。
これにふまえて、実験室での音を調査して、風車音の資質を適切に再現できているか否かを判断する必要がある。最初に仮定する、風車音の性質に関する根拠の正当性は、計測と理論の両面から補強される必要があるのです。

佐藤氏は、講演内容を、
洋上風力発電施設から発生する音の種類、特徴及び発生メカニズム

として、発生メカニズムを上げていたが、講演では発生メカニズムを説明することは無かった。
　風車音の性質と発生メカニズムを説明することは、環境省が“風雑音”と言って除外してきた超低周波音を計測して、その物理的な性質を明確にする事になり、結果として、水平軸型の風車から出る超低周波音が循環器系の障害と頭痛の原因であることを説明する事になってしまうからでしょう。

風車音に関する論文は沢山ある。
　風車からは原理的に超低周波音は発生しない。
　精密騒音計に記録されたものは音ではなく、疑似音である。（MIT の論文）
　10Hz 以下のものは、風雑音であり、風車からの超低周波音ではない。
　超低周波音は発生するが、風切り音である。
　風車からは広帯域の空力音と機械音が出る。
　風車からは空力変調音が出る。
　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。
　カルマン渦。
　風車被害の原因に関しては、
　聞こえない音は人間には影響を与えない。
　風車病の原因は、風車に対する嫌悪感である。
　風車病の原因は、建設時の業者の説明が不十分だったからだ。
　（これらの問題点に関しては“洋上風力の留意点 2025”の p 517 に書いてある。）
はっきり言って、支離滅裂である。

　論文には査読がある。しかし、査読する人の能力が問題になる。上記の理論が査読を通っているという事は、査読をする人が能力不足だという証拠になる。
　風車からの超低周波音の性質を解明できない、数学や物理が理解できない査読者が認めた論文は信頼できないのです。
　結局、自分の力で、論文の中身を検証し、必要ならば計測と解析をするしかないのです。普通の学者は、講演をする前には、調査研究をして、自分の頭で正しいか否かを考えるのです。

　風車音の計測をしたことは無い。学会で認知されている文献を調べた。と言っていたが、風車音に関する測定と解析をしないで妄想を書いた論文がまかり通るのです。聞こえる、聞こえない、の前に、超低周波音をしっかり計測する必要があるのです。
　佐藤先生は、
ペレイラさんの論文は学会で認知されていないから認めがたい。
田鎖さんのソフトは知っているが、信頼性については分からない。
とも言っていたが、内容を自分で判断して間違いを指摘する事が必要なのです。田鎖さんの論文の問題点に関しても自分の判断を明確に示せば良いのです。査読者の能力が低すぎる現状では必要な事なのです。
　結局、自分の力で、論文の中身を検証し、必要ならば計測と解析をするしかないのです。
　計測機材と PC と基本的な解析ソフトは購入できますが、超低周波音の問題点を解明するには、ソフトが少し足りない。

佐藤先生は、環境省や県や市の単なる代弁者ではなかった。
新しい論文を読んでいて、議論すべき課題を提起している。
しかし、学者なので、学力と根性が足りない。

佐藤先生は、文献は調べているが、“風車音の計測とか解析はしていない。”と言っていた。
風車音に関する実験では人工的な音を使う。風車音に関する評価をするためには、風車音の特徴を備えた音を使う必要がある。風車音の特徴を知らない人は、実験で使われた音が風車音の特徴を備えているか否かが分からない。風車音について知らなければ、文献の内容が正しいか否かを判断できない。単に、この様な議論があると紹介するだけになっている。

佐藤先生は、新しい論文を示している。この内容に関して批判的に検討するには、デジタル信号処理の知識の他に、超関数論の立場から測度について考える事が必要である、さらに、特殊な性質を持つ風車音に対する FFT の適用における問題点も明確にする必要がある。もちろん、風車音の発生メカニズムとの関連も検討する必要がある。

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

背景：風力タービン症候群（WTS）の患者は、自身の健康不良や特に睡眠障害をインフラサウンドの特有のパターンに起因すると主張している一方、これらの症状は心理的な起源であり、ノセボ効果に起因するという意見がある

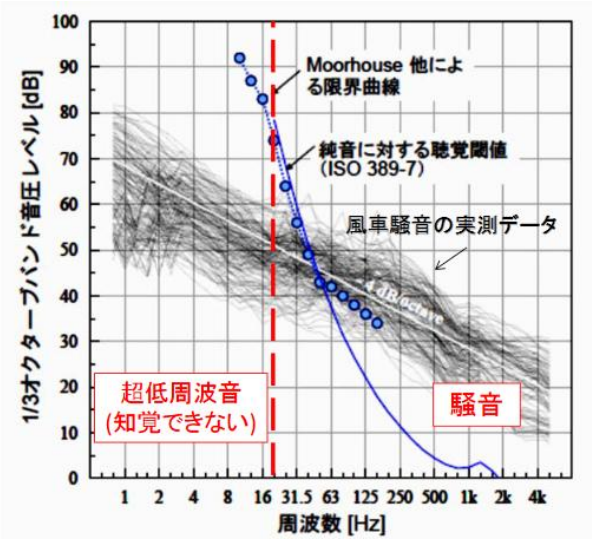
方法：37人の音に感受性の高い健康成人に対し、72時間の超低周波音（1.6-20 Hz、音圧レベル約90 dB pk re 20 μPa、風力発電機の低周波音を模擬的に作成）曝露が人間の生理、特に睡眠に及ぼす影響をテストした。無作為化二重盲検三群クロスオーバー研究を実施しました。曝露は、低周波音（約90 dB pk）、擬似低周波音（同じスピーカーで低周波音を発生させない）および交通ノイズを曝露し、睡眠影響や生理的影響を測定

結果：交通騒音は睡眠に影響を与えたが低周波音は主観的、客観的にも影響が認められなかった

結論：風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とはいえない

この実験は、“風車から発生する超低周波音”に関する実験である。
実験室で使われる音は、風車音の性質とその人体へ作用する仕組みを再現している必要がある。
当然、風車音の性質が分からなければ、実験室での音が実験目的から見て適切か否かの判断が出来ない。

では、
風車音はどのような性質を持っているのでしょうか？
グラフのほとんどは、次の様なものであり、波形を示す資料はなかなか見つからない。



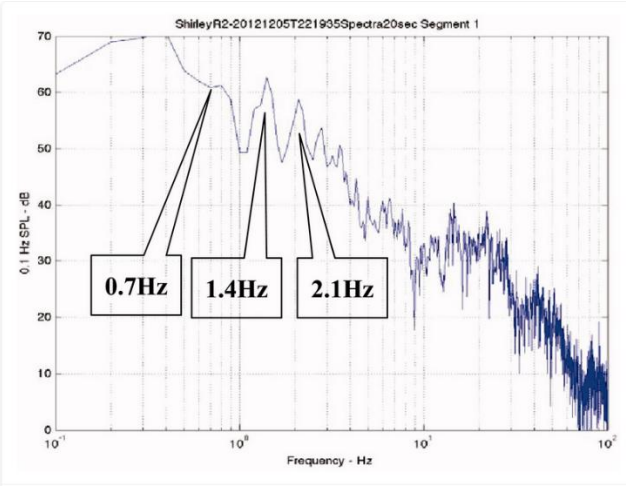


Figure 7. Measured typical narrow band spectrum recorded at Shirley Wind Farm showing blade pass frequency components.

また、音圧をパスカル単位で精密に示す資料も見つからない。

これが有れば、佐藤先生も正しい判断が出来ただろうと思うが、無いのです。これらの資料は自分で作るしかないのです。計測と解析が必要になるのです。それが有れば、引用する論文の内容に関して、正しいか否かを自分で判断できるのです。

最初に問題になるのは、この実験で使った音が風車音の特徴を再現できているか否かである。

論文には、

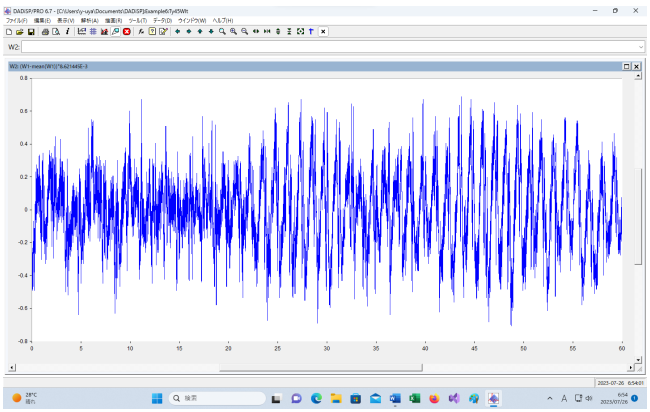
The simulated wind turbine infrasound comprised sinusoidal harmonics in the frequency range specified with monotonically decreasing amplitude and selected phase shift, resulting in a **trapezoidal waveform as observed in field measurements** (Figure S3).5

シミュレートされた風力タービンの超低周波音は、単調に減少する振幅と選択された位相シフトで指定された周波数範囲の正弦波高調波で構成され、**フィールド測定で観察される台形の波形**をもたらしました(図 S3)。5

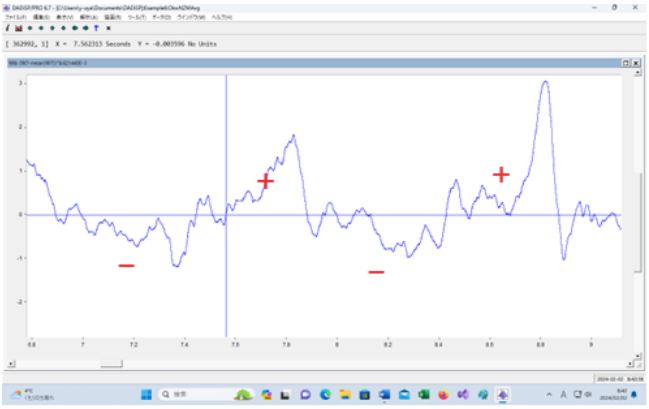
とあるが、実際の風車音の波形は、“**台形の波形**”ではない。

NL-62 を使って波形収録をしてみた。

60 秒間の波形

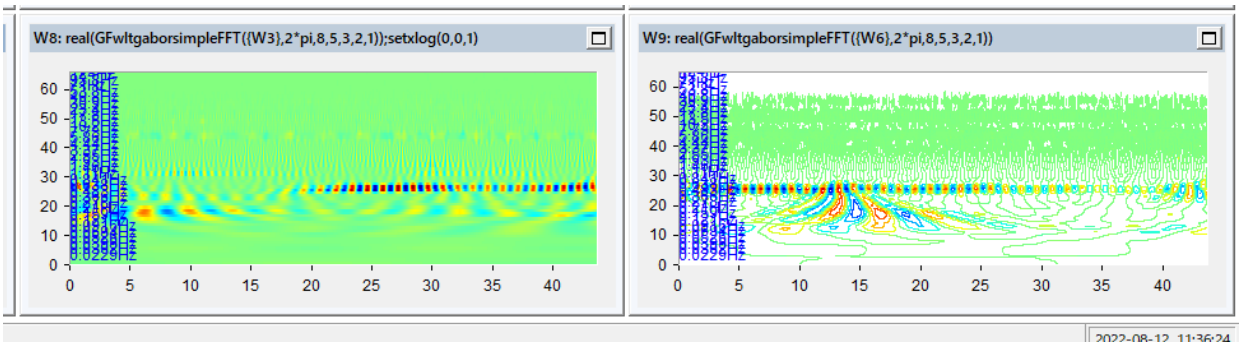


風車音の 2.2 秒間の波形



であり、

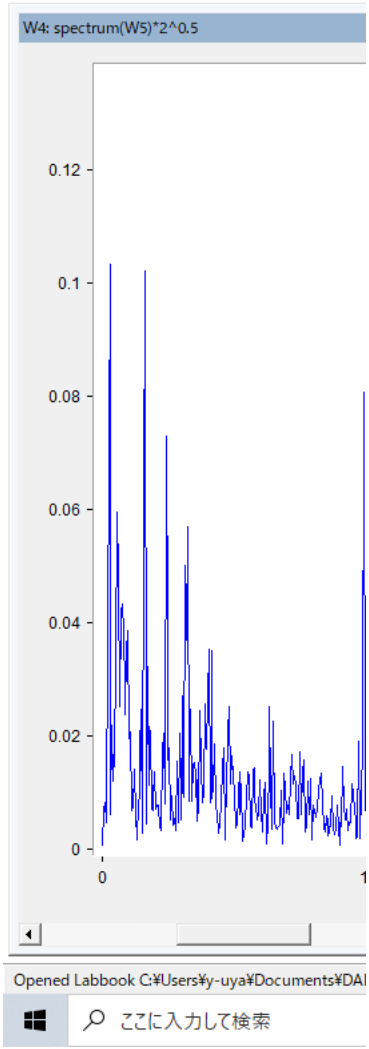
Wavelet 解析の結果として、0.8Hz の成分の周波数はかなり安定していることも分かります。



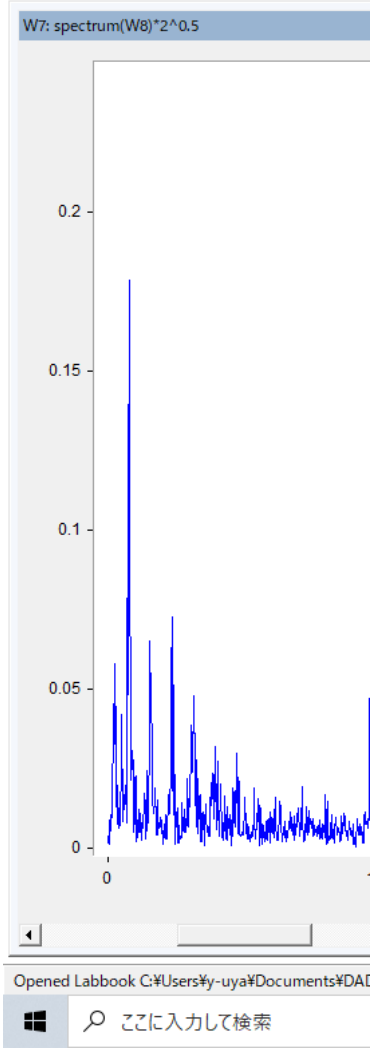
色の濃い部分は音圧が高く色が薄い部分は音圧が低いことを意味しています。0.8Hz を示す色の濃い帯があるが、風速の変化で色の濃さが変わります。色の濃い部分は 30 秒くらい継続します。

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

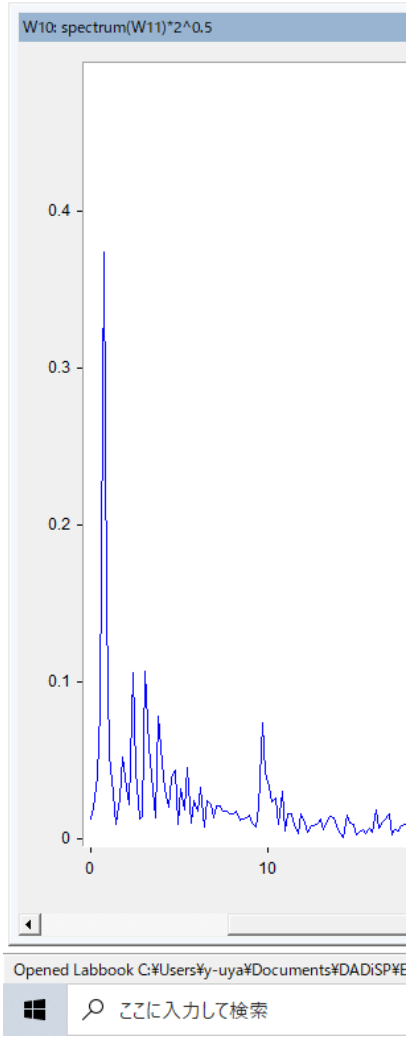
さて、音圧の変化は、次の様になっています。



0.104Pa



0.175Pa

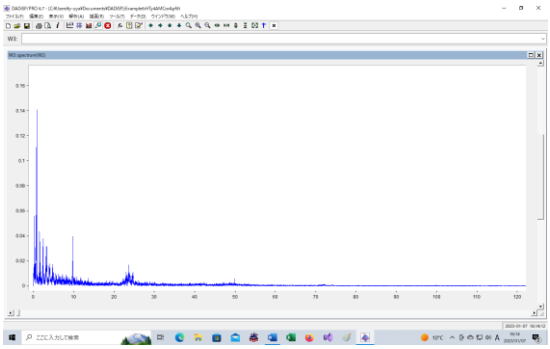


0.37Pa

周波数の変動幅は少ないのですが、音圧は平均すると 0.175Pa、弱いときは 0.104Pz、強いときは 0.37Ｐａです。強いときは、平均の２倍程度の音圧になり、激しく変動します。

風速が変わっても、ブレードの質量が大きいので発電機の抵抗があっても回転数はあまり変化しない。よって周波数はそれほど変化しない。揚力ベクトルの変化は大きいので塔の曲がり方が大きく変わる。そして音圧は大きく変動する。

風車音の周波数スペクトルは次の様になります。



上の周波数スペクトルをグループに分けて成分を取り出します。

A：f/3、2f/3

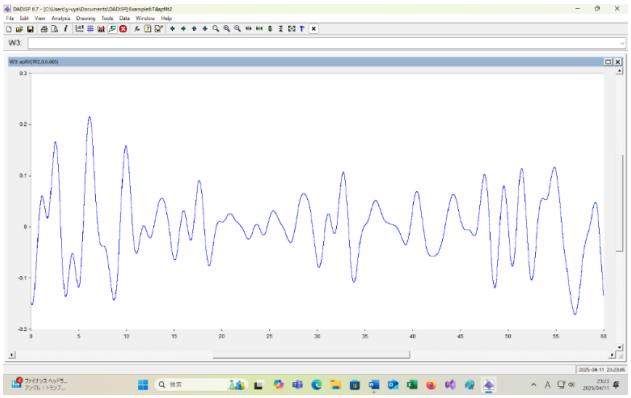
B：f、2f、3f、4f、5f、6f

C：10Hz の近く

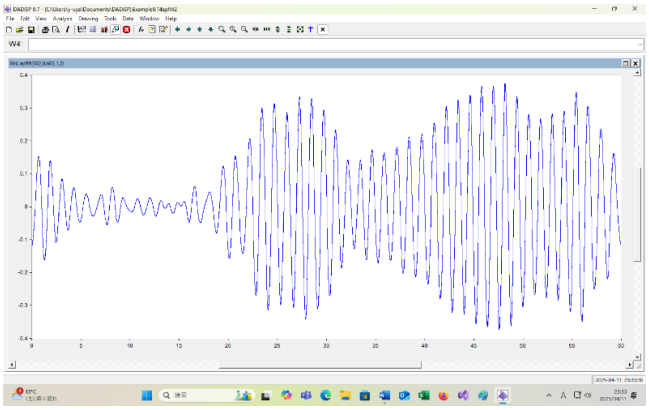
D：20～30Hz

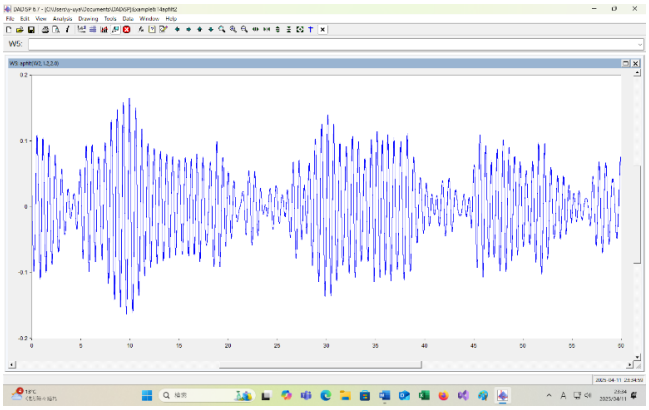
E：200～24000Hz

A：0～2f/3 Hz の成分（0～0.665Hz）

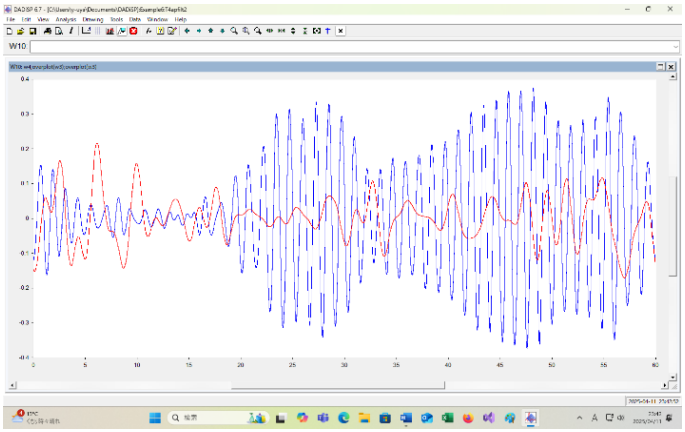


B： ｆ＝0.8Ｈｚ成分（Max0.37Pa）　　２ｆ＝1.6Ｈｚ成分

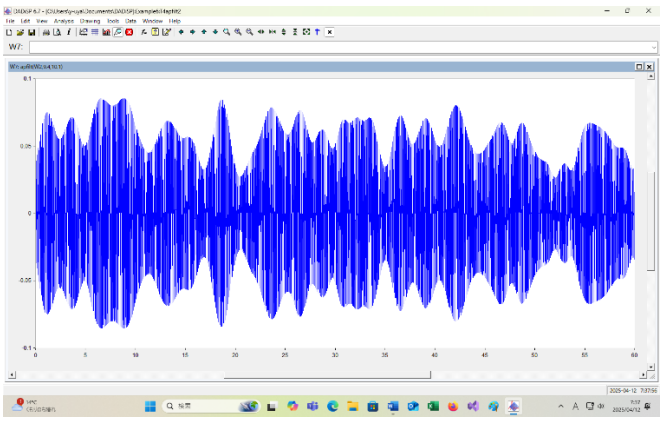




f Hz 成分と（0～0.665Hz）成分の比較

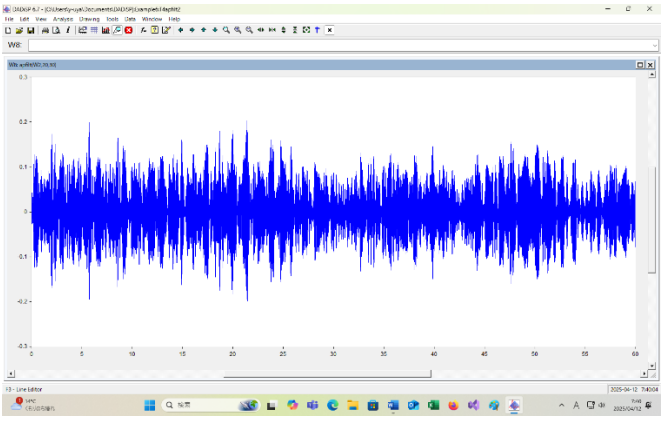


C：9.4～10.1Hz 成分

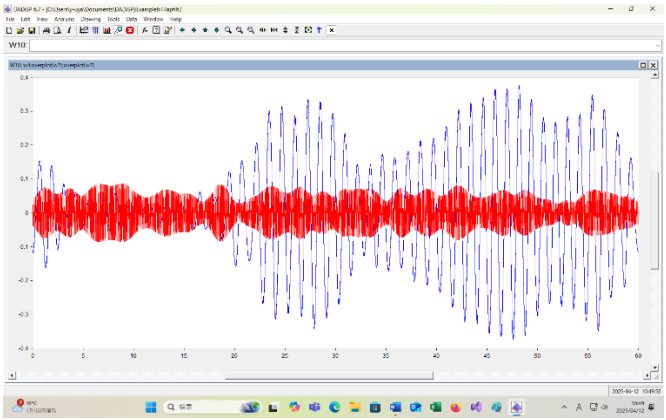


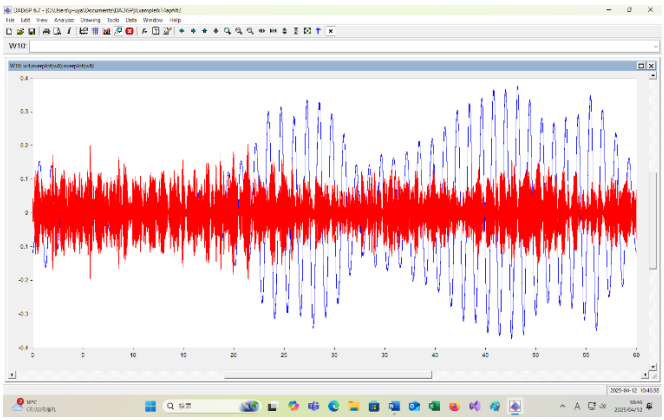
f ＝0.8H z 成分（Max0.37Pa）と C の比較

D：20～30Hz



f ＝0.8H z 成分（Max0.37Pa）と D の比較





風車音が粗密波として掲載される仕組みを考えれば、“**台形の波形**”になる根拠は見当たらない。
もし、計測結果が台形になったとすれば、サンプリングレートが低すぎた可能性が高い。
計測機材とサンプリングレートと収録した波形データを WAV ファイルとして公開して議論する必要がある。

実験の妥当性を検証するには風車音の性質を明確にする必要がある。さらに、その性質が風車音の発生メカニズムから見て妥当性が有ると言えるのかを調べる必要がある。指向性を持った粗密波がどの様にして形成されるのかを明確にする必要があるのです。
比較すべきは、風車音と実験で使った音の精密な周波数スペクトルである。

風車音の精密な周波数スペクトルを調べる段階で困難が発生する。JIS 規格、環境省の助言、過去の学者の沢山の論文（風切り音、風雑音、空力音、疑似音などなど）との論争が始まる。
風車音の計測方法や解析方法の妥当性や、離散的周波数特性を持つ音に対する FFT の計算結果の評価方法なども問題になる。解析方法として、Wavelet 解析やカオス理論、音響キャビテーション、有限要素法、統計力学、量子力学、超関数論などを使うことの是非も問題になる。
困難は多いが、これを突き破らなくては、風車音と健康被害の因果関係は解明できないのです。

次に、

The infrasound sound levels were measured continuously above the pillow of each participant using a GRAS 46AZ one-half inch low frequency microphone and preamplifier set connected to the microprocessor. Software was used to enable the overall dB pk sound level and narrow band frequency analysis to be measured continuously and stored at 1-s intervals for later processing.
超低周波音の**音のレベルは**、マイクロプロセッサに接続された GRAS 46AZ の 1/2 インチ低周波マイクとプリアンプセットを使用して、各参加者の枕の上で**連続的に測定されました**。ソフトウェアを使用して、全体的な dB pk サウンドレベルと狭帯域周波数解析を連続的に測定し、後で処理するために 1 秒間隔で保存できるようにしました。
です。

音圧レベルを測るには、波形データを FFT に掛けて、周波数ごとの音圧を調べます。この音圧から音圧レベ

ルを計算する場合と、ある周波数帯域を決めてエネルギー加算で求める場合があります。ここでは重み付け無しでの数値で考えます。

実験で使う音は、周波数が安定していますが、風車音では変化します。これが音圧計算に大きく影響します。

例えば、計測した風車音で、10 分間のデータから最大音圧を調べると、1.013Hz で 0.184Pa ですが、
1 分ごとに分けて調べると、周波数は 0.966667Hz～1.016667Hz で、音圧は 0.17Pa～0.42Pa です。
30 秒ごとに分けると、周波数は 0.87Hz～1.03Hz で、音圧は 0.21Pa～0.56Pa です。

分	0～10																				
周波数	1.013																				
音圧	0.184																				
分	0～1		1 ～2		2～3		3～4		4～5		5～6		6～7		7～8		8～9		9～10		平均
周波数	1.016667		1.016667		1.016667		1.016667		0.983333		0.966667		1.016667		1		1.016667		1		1.005
音圧	0.424407		0.370196		0.322781		0.291005		0.266354		0.179982		0.370865		0.381001		0.401818		0.354761		0.336
分	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	
周波数	1	1.03	1.03	1	1	1.03	1	1.03	1	1	1	0.87	1.03	1	1	1	1.03	1	1	1	1.003
音圧	0.56	0.36	0.46	0.44	0.43	0.4	0.43	0.31	0.29	0.47	0.21	0.22	0.4	0.38	0.42	0.39	0.51	0.32	0.48	0.39	0.394

安定した音圧と安定した周波数を持っている人工的な音とは性質が違うのです。
高い音圧が圧迫感の原因であることは明らかだが、体内への作用は音圧だけではなく、周波数の違いも大きく影響します。更に、全体的な波形も影響します。

圧迫感に関する実験として、音圧と周波数が安定した人工音を使うには工夫が必要です。
この部分の考察が欠けています。原因は、風車音の性質を正しく調べていないからです。

この場合で言えば、10 分間での数値を使えば、0.184Pa なので、音圧レベルは、79.3ｄB、
30 秒間での数値を使えば、0.56Pa なので音圧レベルは 88.94ｄB になります。

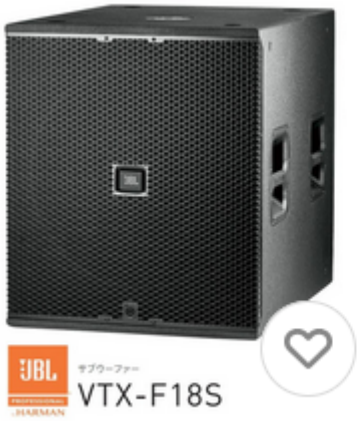
その刺激で目が覚めるか否かを考えれば、88.9ｄB を採用することになります。これを見つけるには Wavelet 解析が必要です。実験で使う音の作用を評価するには、この様な風車音の特徴を含めた実験が必要なのです。
（単純に最大音圧を測れば、3.056352Pa であり、103.7ｄB となります。）

次に、

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ー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

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２１７８０００円のスピーカーですが、

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

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

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

周波数特性（±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．
バスレフにしろバックロードホーンにせよ，スピーカの背圧を利用して低音を増強するものでは，いずれ超低域では前後の音圧が相殺しあって音が消えてしまう．
結局のところ，限られた大きさで，共振の力を借りずに，空気の質量等によりスピーカの低域を増強することは難しいと思われる． “

とのことです。

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来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ないとしか思えない。

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るのです。

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ー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。

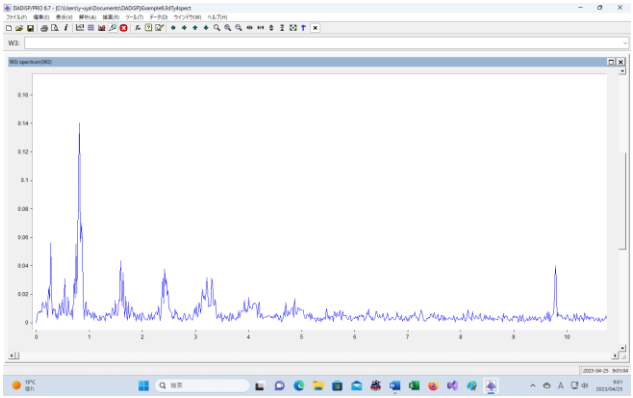
精密騒音計で風車音を測定して WAV ファイルを作る。Wav ファイルを PC に読み込ませて、PC についているスピーカーで音を出す。PC のスピーカーから出てくる音を精密騒音計で再度測定して、新しい WAV ファイルを作る。

この２つの WAV ファイルの周波数スペクトルを調べて比較してみました。

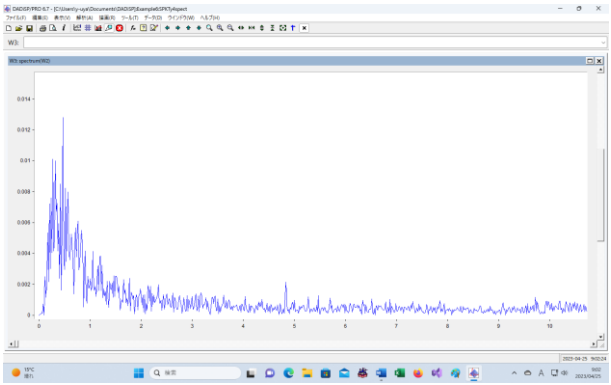
DADISP と DADISP/WAV の組み合わせで、野外での風車音とそれを再生した物を再度録音した結果を比較し

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

風車音の周波数スペクトル

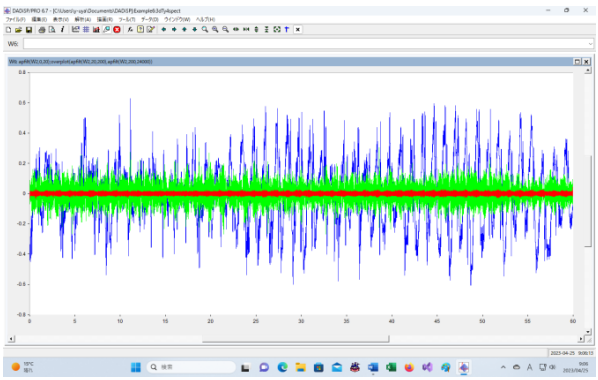


再生音の周波数スペクトル

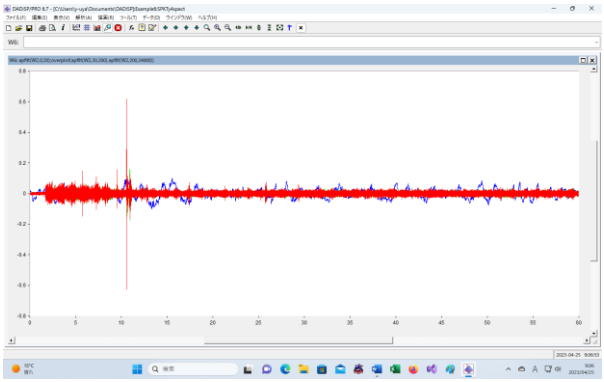


さらに、周波数帯ごとに分割してそれらの強さを比較すると、風車音そのものと、再生音の性質の違いが明確になります。（0Hz～20H z 青、20Hz～200Hz 緑、200Hz～24000Hz 赤）として分解します。

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。

風車音に関する論文は沢山ある。超低周波音を問題にする人でも、実際に計測して解析し、波形データと共に

公開する学者はいない。しかも風車音の発生メカニズムを示す人は見当たらない。何を言っても当分は安心です。学者の中には佐藤先生の考えを批判する人はいませんから。

佐藤先生が示した論文は、風車音に関する理解に欠けていて、スピーカの再生音に関する理解も欠けている。風車音の浴び方と実験室での音の浴び方に関する検証が不十分であり、科学的な論文ではない。

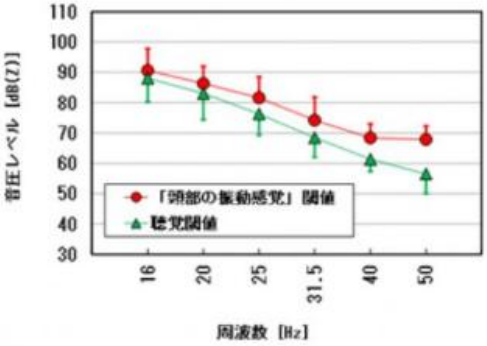
佐藤先生が、風車音の計測と解析をやってみればすぐに分かるのだが、それをやらないで無責任な発言をする。いかにも学者らしい態度と発言である。

環境省は、聴覚閾値＝感覚閾値＝知覚閾値として扱うのですが、佐藤先生は聴覚閾値と感覚閾値を区別しています。

聴覚閾値と振動感閾値

低周波領域の聴覚閾値と感覚閾値

右のグラフは、低周波域の純音による「頭部の振動感覚」閾値を調べた結果です。低周波音による振動感覚は頭部で知覚されやすいので、その閾値を調べました。その結果、「頭部の振動感覚」閾値は、聴覚閾値よりも数～10 dB以上も高いことが分かりました。このことから、振動感覚の誘起は低周波音の特徴ですが、基本的には低周波音も聴覚で知覚されると考えられます。



[Takahashi: J Low Freq Noise Vib Active Control, Vol.32, No.1-2 (2013) より]

ここでは、頭部による振動感覚を扱っています。

グラフを見れば、赤い線と緑の線は周波数が低くなると差が縮まります。上の図では逆転していませんが、他の感覚では逆転する事もあります。

聴覚閾値と不快感での閾値

参照値は、被験者の 10%程度が不快だと感じる値です。

環境省は、聴覚閾値と感覚閾値を意識的に同一視しますので、環境省の立場だと次の表になります。

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

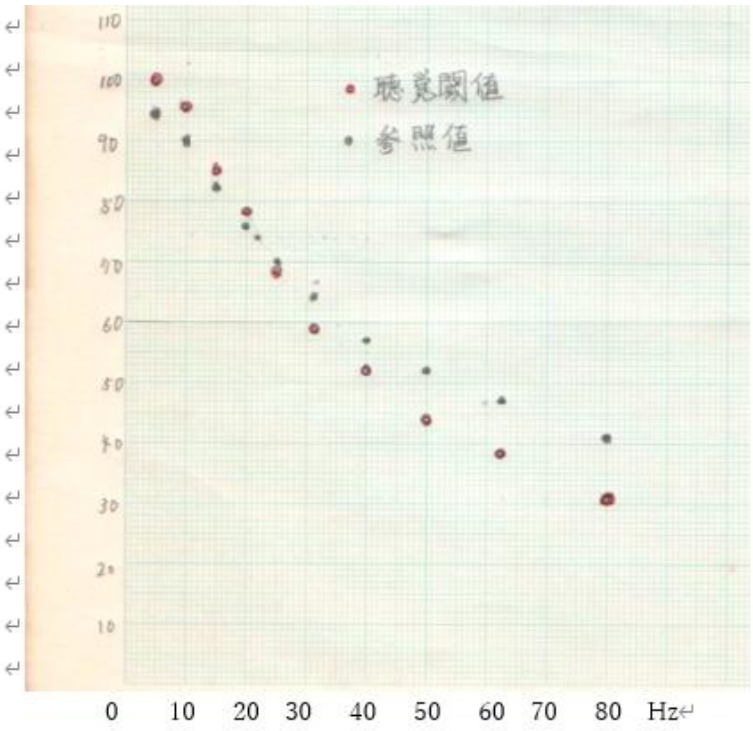
（感覚閾値は聴覚閾値の間違いです。threshold of hearing　だから、聴覚（聴力）閾値です。）

参照値　－　聴覚閾値　の表を作れば次のようになります。

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

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

10Hz、5Hz、1Hz、0.5Hz と低くなればなるほどこの傾向は続くと考えます。
グラフにすれば（参照値の予測もしてみました。）次のようになります。



不快感に関する感覚閾値は、超低周波音の領域では、聴覚閾値よりも低いのです。

には、
“音圧レベルと音の大きさ（ラウドネス）の関係は等ラウドネス曲線に示されるとおりであり，低周波音帯域では，より低い周波数の音の方が，音圧レベルの上昇に対してラウドネスレベルが増加する割合は大きくなる傾向がある．
また，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．“
とある。

周波数Hz	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
物的参照値 dB	70	71	72	73	75	77	80	83	87	93	99						
心身参照値 dB				92	88	83	76	70	64	57	52	47	41				
聴覚閾値							78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
聴覚閾値(旧)							78.5	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5	26.5	22.1	17.9	14.4
夜間参照曲線				92	87	83	74	63	56	49	43	42	40	38	36	34	
振動感（頭）						92	87	81	74	70	68	62	57				
高橋:聴覚閾値						86	81	75	66	60	56	47	41				
G特性の重み	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36	-44	-52	-60	-68
A特性の重み				-70	-63	-57	-51	-45	-39	-35	-30	-26	-23	-19	-16	-13	-11

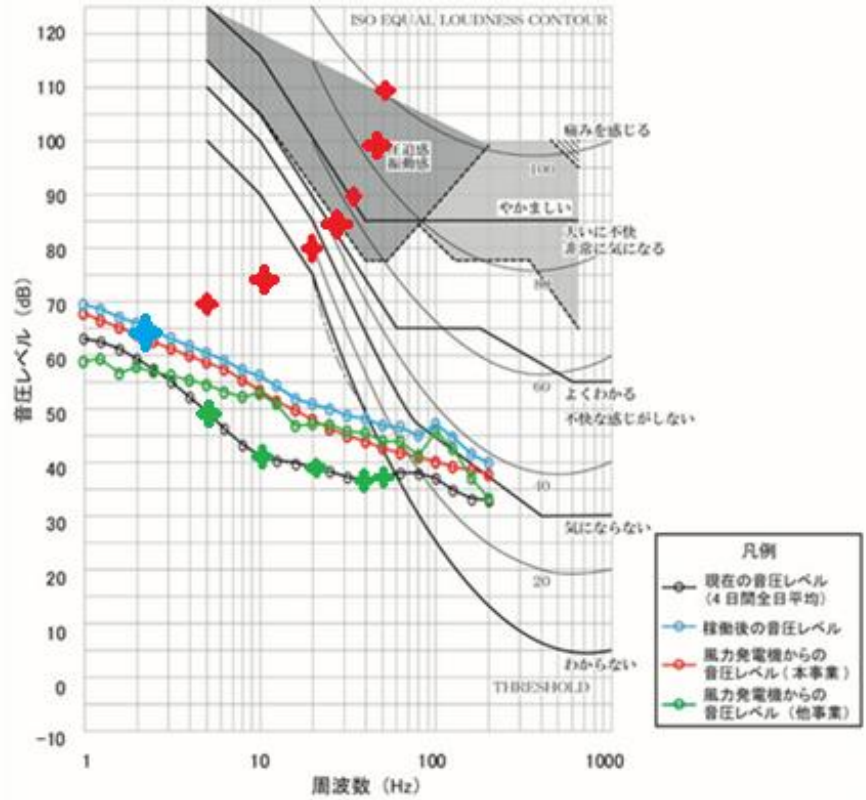
周波数Hz	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
聴覚閾値	130	126	123	118	115	111	105	100	95		78.1	68.7	59.5	51.5	44	37.5	31.5
G特性の重み	-28	-24	-20	-16	-12	-8	-4	0	4	7.7	9	3.7	-4	-12	-20	-28	-36
合計	102	102	103	102	103	103	101	100	99		87.1	72.4	55.5	39.5	24	9.5	-4.5

聴覚域値とガタツキ感閾値

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

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

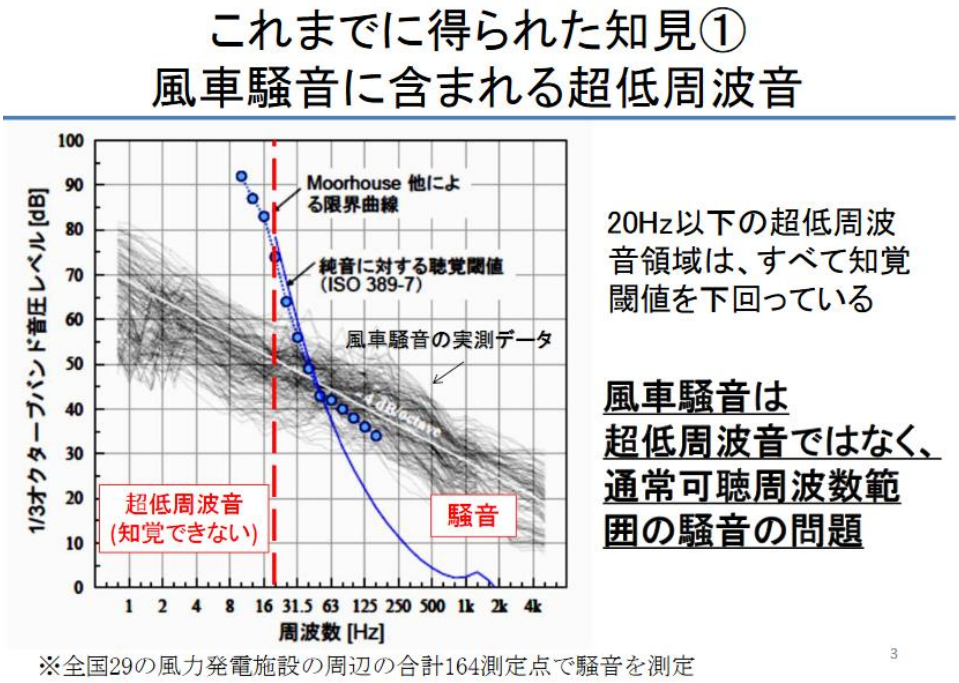
上の表では、周波数が下がればガタツキ閾値も小さくなります。



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。
この図から、2Hz で 65ｄB 程度で、ガタツキが起きると考えられます。
ガタツキによる睡眠妨害を考慮すれば、風車音のガタツキに関する感覚閾値は、5Hz では 70ｄB、2Hz では 65ｄB 以下だと考えられます。

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。
よって、超低周波音は聴覚閾値よりも低いが、ガタツキによる感覚閾値より十分に高い音圧レベルにあるので安眠妨害が起きる。聴覚以外の感覚器官でも風車の影響を感知して、いろいろな形での被害が起きる。
と言えます。

聴覚閾値を知覚閾値と言い換えて、聞こえなければ知覚できないとしていたものに比べれば、
佐藤先生の議論は、かなり丁寧な議論になっています。



多くの場合、風車音の超低周波音の部分の音圧レベルは、聴覚閾値以下であることを、イヤホンを使った実験で 2.5 Hz～24.2 kHz に関して確認する。

聴覚閾値＝感覚閾値＝知覚閾値　とした日本語を使う。

そして、超低周波音は知覚できない、事にする。

知覚できないのだから、影響は無い。

さらに、専門家が、

“・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度であり、**聞こえなければ不快感などの影響はない**ということは専門家の一般的な意見である。”

と言って応援する。

この結果、超低周波音の部分は考察の対象外となる。

20Hz 以上の可聴音については、A 特性音圧レベル（騒音レベル）で評価する。この場合、

A 特性音圧レベルでの比較

で見たように、風車音での数値は低い。

さらに、可聴低周波音（20Hz～100Hz）で比べても、風車音が卓越している訳ではない。

もし、原因追及を 20Hz 以上の部分に限定すれば、

・低周波領域の音が「特異的な」影響を示す可能性については低いと考えられている。

との主張は、低周波領域を 20～100Hz と理解すれば、根拠のある主張である。

0.5Hz や 1Hz が風車音の基本周波数であり、その部分の実験的な裏付けが無い事。

聴覚閾値＝感覚閾値＝知覚閾値　が、人間は様々な感覚器官で風車音の影響を感知することを無視している事。

体そのものが、超低周波音による圧力変動としての物理的な影響を受けることを考えれば、
・風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とは言えない。
との結論が疑わしい事が判明する。

低周波音の計測は、G 特性音圧レベルと、1Hz～80Hz の 1/3 オクターブ解析で行われてきた。どちらも風車音の影響を考える手掛かりを隠蔽してしまうのです。

環境省は、二重防風スクリーンと除外音処理で、基本周波数での特徴を測らせないようにする。

この部分を測るには、JIS 規格を無視した測り方になる。また、解析方法も、Wavelet 解析やカオス理論や FFT での数値に対する解釈の仕方、など沢山の問題が発生する。

風車音が発生する仕組みや、指向性に関して議論すれば、今まで使ってきた点音源としての方法が役に立たない事が分かる。風車音の伝搬に関する式を新しく作ることになるが、とても難しい。

風車音が発生する仕組みや性質に関する、今までの理論を全て否定する必要が出てくる。学会からは嫌われて、風車音が健康被害の原因だと言えば、環境省からも嫌われる。

しかも、精密騒音計を普通に使ったのでは計測できない。更に、データを詳細に解析できるソフトが販売されていないので、自分で解析ソフトを書かないと風車の超低周波音の性質が分からない。

ここからはみ出せば、学者ではなくなるので、ほとんどの学者が、聞こえないので影響なしとの立場を取り、聞こえないことを理由に、
・風車から発生する超低周波音は風車症候群の原因とは言えない。
との主張を支持することになる。

可聴低周波音（20～100Hz）に注目して議論する人もいるが、手を抜き過ぎだとしか言えない。
大きなエネルギーを持っていて、物理的な作用として体内の圧力を強制的に変動させる超低周波音が循環器系の障害や頭痛の原因になることは、流体力学、音響キャビテーション、デジタル信号処理、数学、物理学を勉強すれば分かる。

何が、

風車症候群の内容として、**（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）**
の症状に関連が深いのかも推察できる。
あとは統計や CT や風車の超低周波音に関する理論的な裏付けをすれば良いのです。

しかし、風車超低周波音の基本周波数の部分の精密な計測と解析をする学者は見られない。
妄想をふりまく学者が増える。
被害の原因は、業者の説明が悪いからだ。
被害の原因は、風車が見える事と風車に対する嫌悪感だ。
などの現実と矛盾する珍説が現れる。

人は嘘をつく。

被害が無くなるには、どのような説明をすればよいのかの報告はなかった。

説明会を欠席した人と、出席した人の被害の違いの説明はなかった。

説明会で、業者の嘘を見ぬいて反論した人がどうなるかの説明はなかった。

業者と次のような契約をすれば、被害を報告する人は減る。

企業は地域にお金をバラ撒く。名目は地域振興協力費、個別の対策では、エアコンを付けて防音窓に換える。道路などのインフラ整備を企業が行う。お祭りには人を派遣して協力する。地域の有力者には他の名目でお金を払い見張り役にする。契約事項の中に、口外しないと約束させ、口外したときの罰金を決めておく。

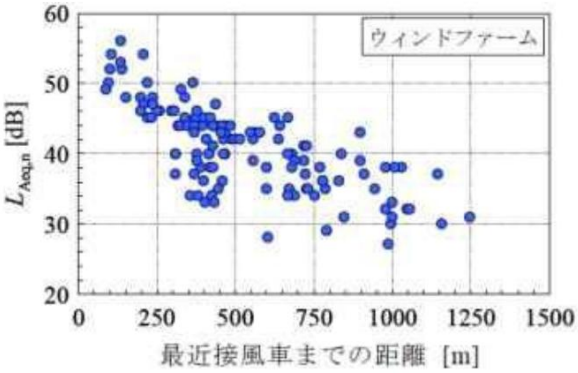
こんな工夫をすれば、被害の訴えは激減します。

さらに、説明内容で、超低周波音の被害を訴える人は健常者ではない。人には聞こえない音の被害を訴えるのは人間ではない。と説明しておく。（このために、聴覚閾値＝感覚閾値＝知覚閾値が必要になる。）

具体的な事例は、“洋上風力の留意点 2025”に書いてあります。

文献調査をしたという佐藤先生だが、調査が足りない。学者としての責任感が足りない。

風力発電からの距離と音圧レベル



- 水平距離が遠くなるほどレベルが低下する
- **出力の大きさ（発生源での騒音レベル）・風向き・地形でばらつきが生じる**

風車音が指向性を持つことを示す論文がある。

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

当然、指向性を持つ原因についての考察も必要になる。単なるばらつきで済ませてはいけません。

これと、風車の塔の運動と風車音の精密な周波数スペクトルが有れば、風車音の発生メカニズムが分かる。そうすれば、風車の超低周波音が循環器系の障害や頭痛を引き起こす事は物理学の知識があればすぐ分かる。

佐藤先生に不足しているのは、文献調査の能力だけではなく、数学、物理学、デジタル信号処理、の基礎知識と、自分で調べて確認するという気持ちである。

数学の世界では、出版後 50 年経ってから間違いが見つかって修正する事もある。世界中で 50 年間読まれてきた本でも間違いが残っている。

風車音の研究には、人の健康や幸せな生活が懸かっているのです。論文の検証は査読者任せではいけないのです。自らの知識と責任で、厳しく判断し、現実の被害を見つめながら考えて、結論を出すことが必要なのです。

失礼ですが、“佐藤先生は、講演をするには勉強が足りません。”と言わせていただきます。しっかり勉強して下さい。

佐藤先生が言いたかった、
見える位置に設置すれば被害がでる。
個人差を含めての解決策は、風車か見えなくなる位置に設置することである。
すなわち、岸から 35ｋｎ～50ｋｍ離す。20ｋｍでは風車の上の部分が見えるから被害が出る。
という結論には一定の合理性が有る。
更に、
佐藤先生のレジュメでの風車音に関する記述を含めれば、既存の風車に関しては、夜間は風車を停止すれば動いている風車に対する嫌悪感も減る（もちろん音も減る）ので、佐藤先生は夜間の風車停止も提案すべきであった。
佐藤先生の主張、
“風車が建つ前は、体はどこも悪くなかったのに、風車が建ってから調子が悪くなったという話は聞いている。”
に従った対策としては、**撤去して風車が建つ前の状態に戻す方法**や、
原因が、“低周波の音が原因でなったのか、低周波を出す風力発電が出来たからなったのかは分からない。” の様にどちらか分からなくても、両方とも解決すればよい。
停止させて音が出ないようにして、さらに風車が見えないようにするならば問題は起きないと言える。

しかしながら、このような対症療法的な議論では、風車の被害者の問題は解決できない。
佐藤先生の主張の核心は、
“低周波音というなんだか良く分からないものが健康に影響を与えるという可能性は低いだろと言うのが今の科学的見解”
にある。この部分が、
“風車から出る超低周波音は基本周波数の部分の音圧が極めて高く、周波数スペクトルが離散的であるという性質を持っている。これを浴びた場合、体内の圧力が大きく変化する。この時の圧縮が体の表面から始まるので末梢血管の収縮によって動脈内での圧力が高まり、血管壁の肥大化と心筋の疲労が蓄積して、循環器系の障害が起きる。また音響キャビテーションでの微分方程式を考えれば、頭痛が起きる事も明らかである。これらは風車の超低周波音による直接的な健康被害である。”
と変われば、話は簡単になる。
このためには、風車音を詳細に調べて、物理的な影響を精密に評価し、実験と計測で補足する必要がある。更に、風車音の発生するメカニズムを明確にし、理論的な予測と計測された風車音の性質が一致する事を確認する必要がある。それほど難しい話ではないので、佐藤先生もこの作業に参加して下さい。

健康被害の考え方

「健康影響」の分類について

・急に起こるもの（急性影響）と
徐々に、継続して起こるもの（慢性影響）

・可逆性変化（曝露をやめると元に戻る）と
不可逆性変化（曝露をやめても継続するもの）

標的臓器（影響を受ける臓器）は曝露原因によって異なる

「風車騒音・低周波音による健康被害」０８年８月８日「風車問題伊豆ネットワーク」事務局

Ⅰ 健康被害について

２、症状 「夜眠れない、眠っていても起こされてしまう」など不眠症状を中心に、血圧上昇、めまい、動悸、頭痛、腹痛、耳鳴り、肩こり、手足のしびれ、吐き気、脱毛、顎の痛み、腹・胸の圧迫感、幻覚、癲癇、イライラ感、脱力感、不安、集中できない、疲れやすい、気持ちが悪くなる、など多様な自律神経失調症状が訴えられる。（癲癇はイライラ感が昂じて怒りやすくなること思われる。イギリスに多いようである。）

前記臨床上の症状は低周波音との因果関係が病理学的に証明されていない。日本では、不定愁訴、自律神経失調と診断される。ポルトガルでは VAD（振動音響病）と診断されることが多くなってきているとのことだが、公的には認定されていない。

しかし**疫学的には、外形的に証明される。風車（音源）が停止すれば症状は消失する。また他地域に移動するなど風車（音源）から離れれば、同様に症状は消失する。このことは風車騒音・低周波音と健康障害との因果関係を外形的に明快に証明するものである。**

②東伊豆町熱川天目地区の場合

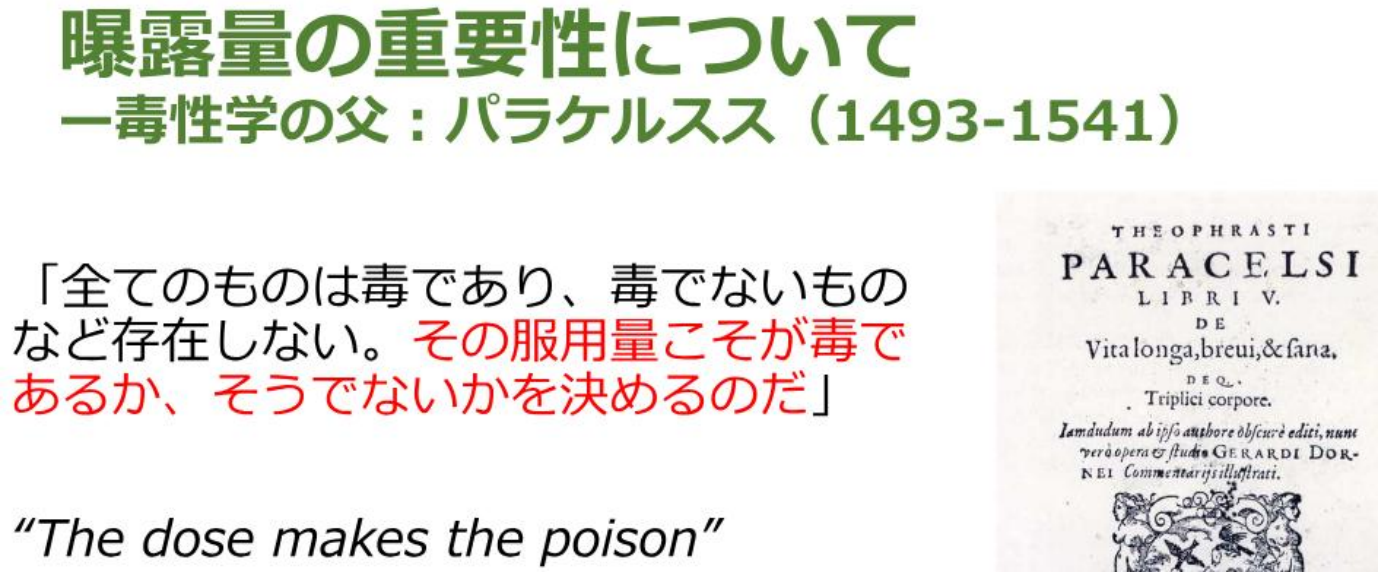
天城連山の主稜線を町境とする東伊豆町は、稜線から太平洋へと落ちるいくつかの支稜により厳しい地形をなしている。町民の居住区は海岸線近くの一部の平坦地がほとんどである。この厳しい地形と美しい海と山の景観を利用して４０年ほど前から別荘地が開発されてきた。熱川天目地区はその一つである。標高 700m ほどの天目山とその北側の山との間の標高 300m~450m のところに居住区が造られている。

居住区は別荘地として利用されるのみならず、現役を引退し、老後を静かな環境のなかで過ごそうとする人たち、４８世帯、９６名が定住している。

昨年末、この天目山稜線上に、居住者への説明もなく 10 基の風車が建設され、直ちに試験運転が開始された。運転は５基前後が中心で全基運転は数日のみ、風況によっては 10 基全部が停まっている日もあった。４月８日に低気圧通過にともなう強風と落雷により２基のブレード３枚が破損（２枚は付け根から折損破壊して近くの町道一帯に飛散）、ナセル（発電機、増速機が収められている箱、タワー上部に取り付ける。）も壊れた。現在は運

転停止中、原子力保安院の指導のもとに原因究明と安全対策が検討されている。この間の運転期間はほぼ３ヶ月、停止日数を考えると３ヶ月に満たない。
ところがこのわずかな期間に、それも試験運転開始から間もなく、風車騒音・低周波音による健康被害の訴えが続出した。アンケートによれば、定住４８世帯のうち２１世帯で前記症状などの被害の届けがあり、９６名の定住者のうち３０名あまりから身体変調（健康被害）の訴えがあった。世帯数では４割強、定住者数では３割強にもなる。一気に被害が出ているのだ。豊橋市細谷地区もそうだが、こうした被害の大量発生が風車による、20HZ以下の超低周波音を含む低周波騒音健康被害の特徴である。風車以外ではこうした短期間における被害の大量発生はみられない。
居住区は高齢者がほとんどである。高齢者はもともと持病をもっている方が多い。
そこに風車の低周波音が襲ってきた。**高血圧**や身体のふらつきに悩まされた方が多くいたと聞いている。なかには血圧上昇からくも膜下出血などで倒れ、亡くなられた方が２名いる。そのほかに入院を余儀なくされた人が２名、外耳を腫らせた方もいる。風向と風速状態によっては歩行が自由にならない人もいた。
風車が止まっている現在、血圧上昇、歩行困難、外耳の腫れ、頭痛、耳鳴り、めまい、その他などの多様な身体症状の訴えはない。症状は消失している。この秋以降に予定されている運転の再開、その後の本格稼動を前に、天目の人々は静かな日々を惜しむようにして生活している。

風車被害の形は多様であり、
A 特性音圧レベルで評価されるような、騒音としての作用、すなわちラウドネスによる影響
可聴低周波音や超低周波音によるアノイアンス（不快感）による影響
超低周波音での圧力変動による影響
に分類して考えるべきである。
風車音の持つ物理的なエネルギーと周波数の離散的な特徴に着目して考えることが重要である。



“風力だめーじサポートの会をつくった 2022 年の 9 月頃、夜中に目が覚めて血圧が異常に高くなっていたので、内科の医者に行った。睡眠導入剤と血圧を下げる薬を処方され、その 1 カ月後にはもっと強い薬をもらったが、やはり風車の音が気になって目が覚めることが多くあった。睡眠導入剤もだんだん効かなくなってきて、逆

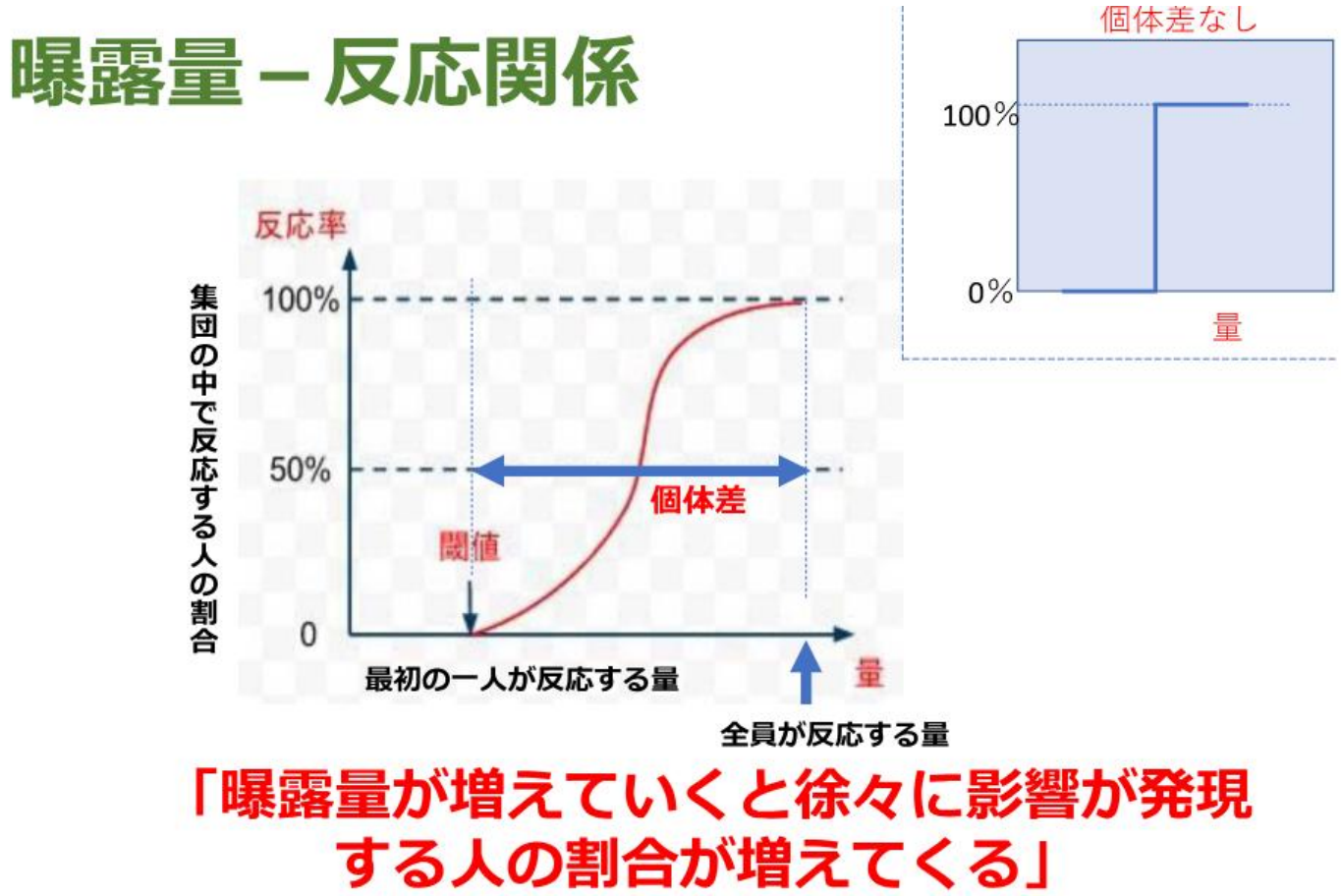
にそのせいで具合が悪くなるようにも感じ、それ以来一切のんでいない。

市役所生活環境課が「遮音効果の高い耳栓を試してほしい」というので、それを借りてグウングウンという音が聞こえる夜中に試してみた。耳栓をすると低周波音の振動だけが聞こえて、しないときより気になって眠れなくなるようだった。今は、ラジオを聞いているとマスキング効果で寝られるよとアドバイスを受け、そうしている。

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

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

暴露量の増加によって被害が大きくなる事が見て取れる。



曝露量を測定するのが難しい。

リスク評価のための研究方法にはどのようなものがあるのでしょうか

- **動物実験**

  例）マウスに低周波音を曝露させて影響を調べる。
  長期間の強い曝露が可能

- **人を用いた実験**

  例）人に曝露室で低周波音を曝露させて反応を調べる。
  通常、短時間。倫理的配慮が必要。

- **人（集団）を対象とした疫学研究（調査）**

  例）実際に低周波音に曝露している人集団と、曝露していない人集団を比較して差異を調べる

これから、

風車症候群の内容として、（**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**）が考えられます。

これと、超低周波音の関係が有るか無いかは、風車音を調べてみないと分かりません。佐藤先生は、風車音の性質について詳しく説明している文献を示してくれなかった。

日本では、JIS 規格に従った計測でないと、学術論文としては認められない事が多い。また、環境省は風車音の計測方法に関して厳しい制限をしている。

環境省の助言（二重防風スクリーンと除外音処理）に従って計測したのでは、風車からの超低周波音は計測できないし、除外音処理で削除されてしまいます。

最近は、環境アセスの項目から超低周波音が除外され、A 特性音圧レベルで風車音を評価することになっている。

普通の科学者は、理由を考えます。同じ 42ｄB なのに、交通騒音では“非常に不快”と感じる人はいないのに、風車音では 20％になっている。その理由は何か？

国民や県民の健康を守るべき国や県は、風車音の計測や被害状況の調査をしない。被害の原因を調べないばかりではなく、積極的に偽情報を流している。学者も国や県や業者の見方をする。この状況を打破するには、市民が力を合わせて風車音の計測と解析、さらに健康調査を行うしかない。

なお、動物実験で 1Hz の音を浴びせることは困難でも、密閉容器に入れて、気圧を変化させて、影響を調べるのは簡単に出来ます。人体実験では数か月間、風車音を浴びせる必要があるので、トレーラーに実験室を載せて、風車の近くで半年から 3 年程度、その中で生活しながらの調査をする必要があります。

（一般的な）音の健康影響にはどのようなものが考えられるでしょうか

- **聴力損失：慢性/急性　主として不可逆性**
- **いらいら感　（アノイアンス）：急性　可逆性**
- **睡眠障害**
- **耳鳴り**
- **高血圧症：慢性　可逆性？**
- **心臓疾患：慢性　不可逆性　器質性**

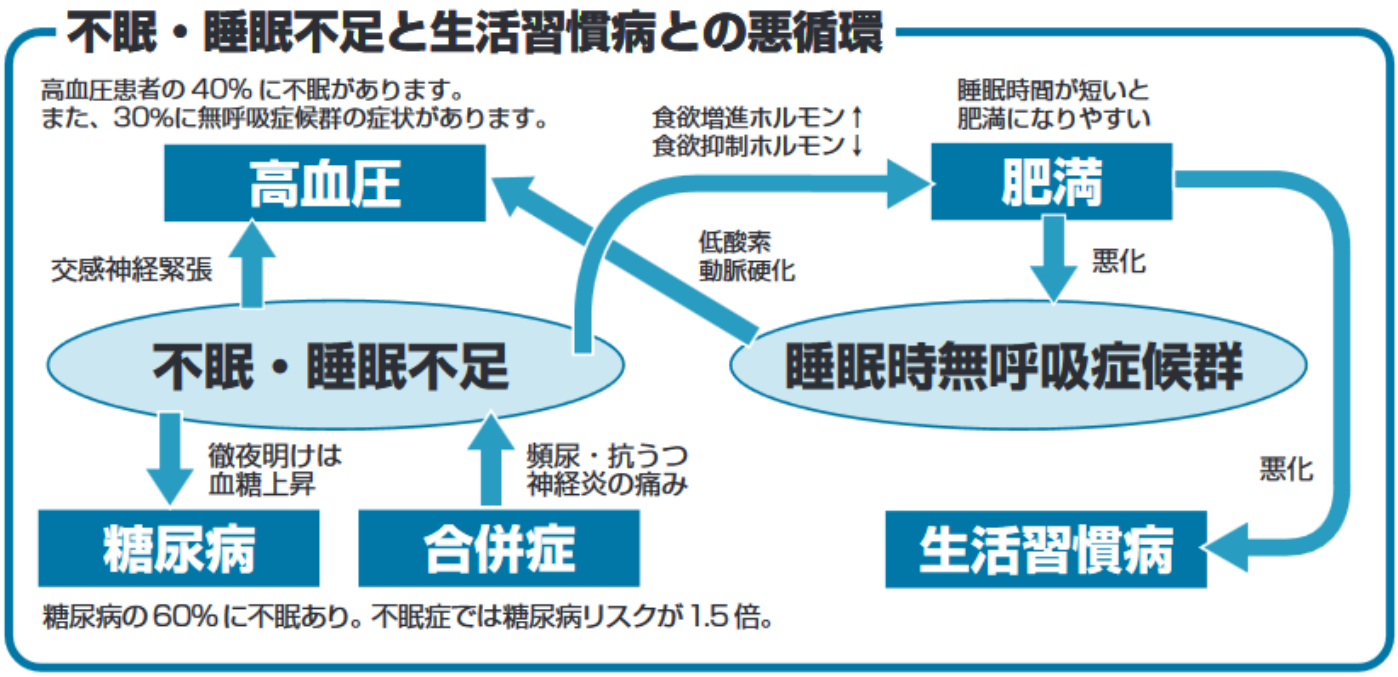
風車音による影響と他の音では、アノイアンス（不快感）の中身に違いがあります。

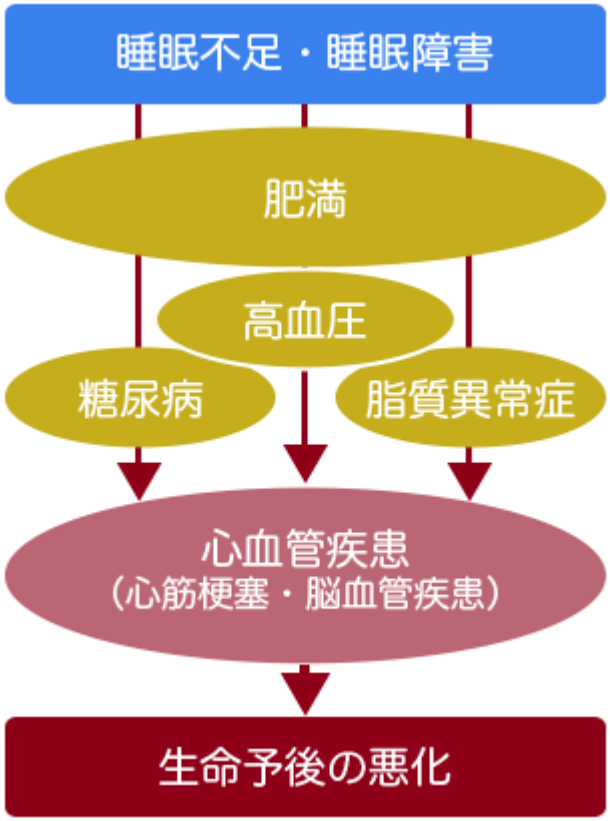
聴覚を刺激する形での影響と、強制的な圧縮膨張による影響では、アノイアンスの内容に差が出るだけではなく、体調の悪化でも、違いが出ている。

アノイアンスの内容を分類して、原因を調べる必要がある。

今は、超低周波音を計測して解析できる機材があるのです。解析ソフトも完成しています。学者が勉強すればその違いはすぐに分かります。もちろん、市民が勉強すれば、もっと早く分かります。

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。





風車から発生する音・騒音による健康影響の課題と最新の知見

・健康影響を評価することの難しさ

ー主たる影響は「アノイアンス（イライラ感）」「睡眠影響」
非特異的影響かつ客観的評価が困難

ー個体差　感受性の違い

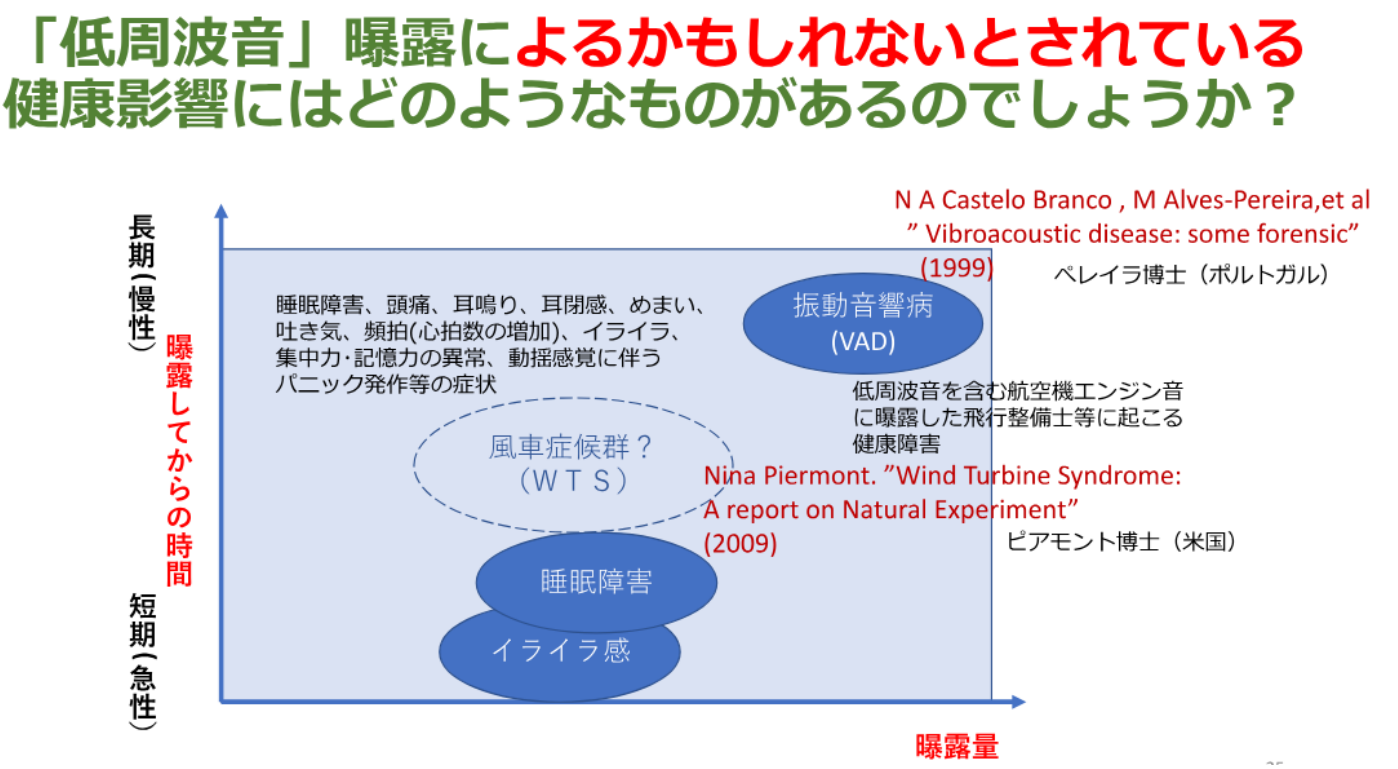
ー低周波音の健康影響の評価　感覚閾値と聴覚閾値の違い
「よくわからないもの」への不安

Ⅰ　健康被害について

２、症状　「夜眠れない、眠っていても起こされてしまう」など不眠症状を中心に、血圧上昇、めまい、動悸、頭痛、腹痛、耳鳴り、肩こり、手足のしびれ、吐き気、脱毛、顎の痛み、腹・胸の圧迫感、幻覚、癲癇、イライラ感、脱力感、不安、集中できない、疲れやすい、気持ちが悪くなる、など多様な自律神経失調症状が訴えられる。（癲癇はイライラ感が昂じて怒りやすくなること思われる。イギリスに多いようである。）

前記臨床上の症状は低周波音との因果関係が病理学的に証明されていない。日本では、不定愁訴、自律神経失調と診断される。ポルトガルでは VAD（振動音響病）と診断されることが多くなってきているとのことだが、公的には認定されていない。
しかし**疫学的には、外形的に証明される。風車（音源）が停止すれば症状は消失する。また他地域に移動するなど風車（音源）から離れれば、同様に症状は消失する。このことは風車騒音・低周波音と健康障害との因果関係を外形的に明快に証明するものである。**

因果関係を病理学的に解明出来れば良いのです。
最新の医療器材、数学、物理学、の知識を総動員すれば、解明出来ます。
解明したくない人も多い。勉強が嫌いな学者も多いが、勉強すればだれでも分かる事柄です。
佐藤先生も、少し勉強してみてはいかがですか？



ペレイラさんも一緒に勉強しましょう。

過去の疫学研究の結果

1）カナダ政府(2014,2015)

- 2012年から2つの州　500m以内とそれより遠い10ｋm以内の居住者2000サンプルを対象
- 主観的（睡眠、アノイアンス、ＱＯＬ等）
- 客観的（睡眠、血圧，ストレスホルモン）　を調べた
- Ａ特性35ｄＢを超えるとアノイアンスが有意に増加
- その他の影響に曝露との間に有意な関連性は認められなかった

2）オーストラリア国立保健医療研究委員会（2015）

- 文献調査
- 風力発電施設が人の健康に悪影響を与える科学的根拠は存在しないと結論
- 風車騒音とアノイアンスとの関連について質的には不十分であるものの一貫性のある科学的根拠が存在する。
- 睡眠影響についてはアノイアンスほどの一貫性は無い、不十分な科学的根拠は存在する
- 風車から発生する超低周波音と低周波成分を含む音が人の健康に影響を及ぼすことを示す科学的根拠は存在しない

3）日本「環境研究総合推進費研究」（2015）

- 鹿児島県の風力発電施設近隣住民を対象とした疫学調査
- 風車音が聞こえる場所、1500m以内、静穏地区、はアノイアンスや睡眠影響との間に関連がある
- 超低周波音は健康への直接影響は考えにくい
- 風力発電施設への「態度」や個人の音への感受性は睡眠障害発症に関係している

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

200～24ｋＨｚでのエネルギーは、上の表では風車音が低くなっていて、計測地点の周囲にはいろいろな音源があるので、計測した音から風車音を分離するのは少し難しい。カナダの調査の様に、風車音の特性評価にＡ特性音圧レベルを使ったのでは、風車音のエネルギーの 7%と被害の関連を捜すことになるので、関連性が見つからないのも当然です。

疫学研究の方法に問題点はないのか？

- 疫学は集団を対象にする
- 研究では曝露レベルにより集団を分けて、アウトカム（健康事象）の出現率を比較する
- 出現率に「有意な差」が認められるかは、統計学的手法により評価する
- 出現率が小さければ莫大な対象者数が必要
- アウトカムが非特異的なものであると「撹乱因子」（曝露要因以外で結果に影響する要因）の制御が困難

暴露レベルの評価では A 特性音圧レベルによる数値が使われる。この観点から暴露レベルが評価される。

騒音レベル（A 特性音圧レベル）では、20Hz 以下は実質的に無視され、1 k Hz～4 k Hz が重視される。

IEC61672:2014 規格では、

1/3 オクターブバンド重み付け特性　（IEC61672:2014 規格）

Frequency [Hz]	A-Weighting	C-Weighting	Z-Weighting
6.3	-85.4	-21.3	0.0
8	-77.8	-17.7	0.0
10	-70.4	-14.3	0.0
12.5	-63.4	-11.2	0.0
16000	-6.6	-8.5	0.0
20000	-9.3	-11.2	0.0

となっていて、6.3Hz から 20000Hz です。

JIS　C　1509　では、

JIS C1509 に規定された周波数重み付け特性 A/C/Z の値とそのグラフを表 1、図 2 に示します。

表 1　周波数重み付け特性 A/C/Z　(1/3 オクターブバンド)

No	公称周波数（Hz）	厳密周波数（Hz）	A 特性（dB）	C 特性（dB）	Z 特性（dB）
10	10	10.00	-70.4	-14.3	0.0
11	12.5	12.59	-63.4	-11.2	0.0
12	16	15.85	-56.7	-8.5	0.0
13	20	19.95	-50.5	-6.2	0.0
14	25	25.12	-44.7	-4.4	0.0
41	12500	12589.25	-4.3	-6.2	0.0
42	16000	15848.93	-6.6	-8.5	0.0
43	20000	19952.62	-9.3	-11.2	0.0

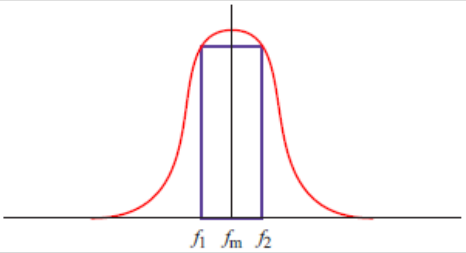
重みは、各周波数帯に対して決められていて、最低の周波数は 6Hz、10Hz、16Hz、20Hz などがあり、規格

や騒音計を作る会社によって差があります。

各周波数に対して決められているのではありません。さらに、各周波数帯でのバンドパスフィルタによって、その帯域の下限が実質的に決まります。

上記の中心周波数に対するバンドパスフィルタの特性は次のようになっています。

● 1/3 オクターブバンドフィルタ



$$f_2 = \sqrt[3]{2} \cdot f_1$$

$$f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt[6]{2} \cdot f_1 = \frac{f_2}{\sqrt[6]{2}}$$

$$\left(\sqrt[3]{2} = 1.2599、\sqrt[6]{2} = 1.1225\right)$$

式 11-2

バンド幅：$B = (f_2 - f_1) \approx 0.23 f_m$

図 11-2　1/3 オクターブバンドにおける中心周波数、上下限周波数とバンド幅

上下限周波数とバンド幅は、

$$f_2 = \sqrt[3]{2} \cdot f_1$$

$$f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt[6]{2} \cdot f_1 = \frac{f_2}{\sqrt[6]{2}}$$

$$\left(\sqrt[3]{2} = 1.2599、\sqrt[6]{2} = 1.1225\right)$$

式 11-2

バンド幅：$B = (f_2 - f_1) \approx 0.23 f_m$

心周波数、上下限周波数とバンド幅

です。その周辺での減衰は

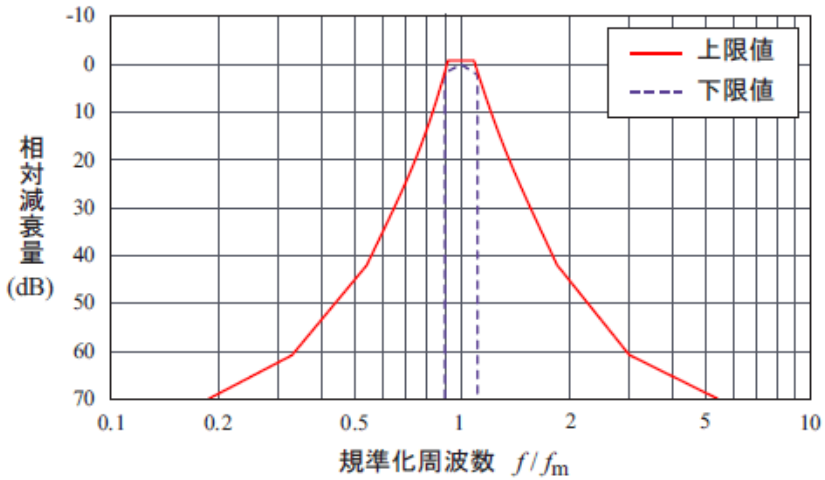


図 11-5　1/3 オクターブバンドフィルタ クラス 1 の相対減衰量の限界値

となっています。

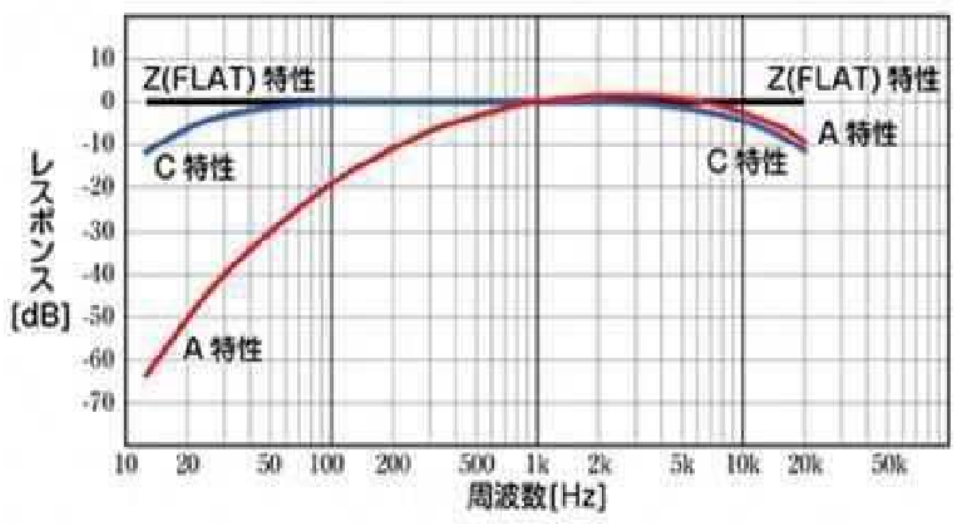
バンドパスフィルタの特性と A 特性での中心周波数を見れば、20Hz 以下の周波数成分の影響は無視されて、A 特性音圧レベルが決まる事が分ります。

普通は、各周波数帯の音圧レベルに対して重み付けしてから、それらの数値のエネルギー加算で、A 特性音圧レベルが決まります。

A 特性での重みは、各周波数に対して決められている訳ではありません。中心周波数 0.5Hz の帯域に対する G 特性での重みは決まっていますが、A 特性での重みが決まっていないばかりでなく、A 特性では、中心周波数 0.5Hz の帯域に対する重みも決まっていません。従って、0.5Hz の音に対する重み付けはされていないのです。

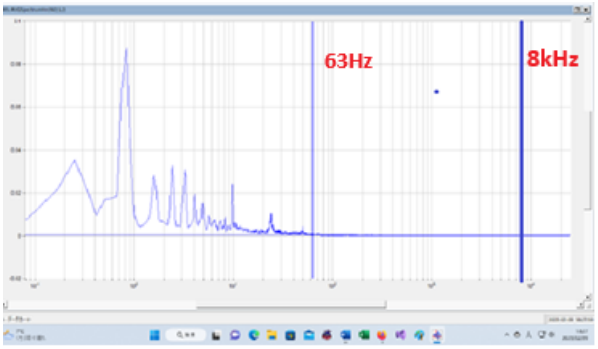
“各周波数の音圧レベルを重み付け”はしてはいないのです。文献を調べるなら、より注意深く調べてから、講演原稿を書くべきです。一番良いのは、音圧変動の計測値から A 特性音圧レベルを計算するプログラムを自分で書いてみれば良いのです。

A 特性では、1 k Hz～4 k Hz を重視するのですが、



人の聴覚の「周波数特性」に基づいて各周波数の音圧レベルを「重みづけし、一つの値にするもの

困ったことに、風車音の成分で、1 k Hz～4 k Hz に入るものは、ほとんどないのです。次のグラフは、風車音の周波数スペクトルです。



物理的に体内の圧力を変動させる基本周波数での音圧を使えば、圧迫感との強い関連性が見つかるはずです。A 特性音圧レベルを使うのでは、風車音と被害の関連は見つかりません。

疫学的因果関係（Hill の基準）

- 関連の強固性：要因Ａに曝露された群の疾患Ｂの発症率（罹患率）が、非曝露群に比べてどの程度高いか。高いほど強固。相対危険度やオッズ比で表される
- 関連の時間性：要因Ａへのばく露（原因）があり、その後疾患Ｂ(結果）が発生
- 関連の一貫性：要因Ａと疾患Ｂとの同じ関連が異なった地域、集団、時間でも一貫して得られること
- 生物学的納得性：要因Ａが疾患Ｂを招くという説得性のある形態学的、機能的な説明ができるか（メカニズムが特定される）
- 現時点の知識との整合性：発見された要因Ａと疾患Ｂの関連性は現在一般的に認められている疾患史や経過と矛盾しないかを判断。
- 量-反応関係：曝露量が多くなるほど影響の出る割合が増加する
- 類似性：要因Ａと疾患Ｂの関連性に、既に認められている因果関係でよく似たものがあるか
- 実験的証拠：要因Ａと疾患Ｂの関連について実験でえられた証拠があるか

風車音の周波数スペクトルとエネルギー分布

図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

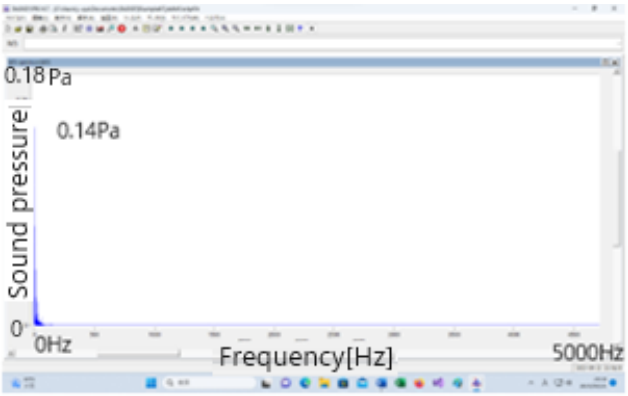


表２．エネルギーの分布

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

騒音レベル（A 特性音圧レベル）での比較
可聴低周波領域（20～100Hz）での比較

から見れば、要因Ａとして、Ａ特性音圧レベル、可聴性低周波音の強さを選べば、その数値と風車音被害、

２、症状 「夜眠れない、眠っていても起こされてしまう」など不眠症状を中心に、血圧上昇、めまい、動悸、頭痛、腹痛、耳鳴り、肩こり、手足のしびれ、吐き気、脱毛、顎の痛み、腹・胸の圧迫感、幻覚、癲癇、イライラ感、脱力感、不安、集中できない、疲れやすい、気持ちが悪くなる、など多様な自律神経失調症状が訴えられる。

での、

夜眠れない、眠っていても起こされてしまう」など不眠症状と（ラウドネスによる）イライラ感

との関連は認められるが、

血圧上昇、めまい、動悸、頭痛、腹痛、耳鳴り、肩こり、手足のしびれ、吐き気、脱毛、顎の痛み、腹・胸の圧迫感、幻覚、癲癇、（アノイアンスでの）イライラ感、脱力感、不安、集中できない、疲れやすい、気持ちが悪くなる、

との関連は考え難い。
要因Ａとして風車の超低周波音を選べば深い関連が見つかる。

関連の強固性
要因Ａとして、風車の超低周波音を考えれば、
疾患Ｂとして、「腹・胸の圧迫感」、頭痛　は、
超低周波音による物理的な圧迫、人体に対する強制的な圧縮膨張と末梢血管の収縮による動脈内の血圧上昇や音響キャビテーションを考えれば、疾患Ｂは要因Ａによる物理的に必然的な結果となる。
物理学的に強固な結びつきがある。

関連の時間制
佐藤先生が認めているように、
“風車が建つ前は、体はどこも悪くなかったのに、風車が建ってから調子が悪くなったという話は聞いている。”
とあり、関連に時間制がある。

関連の一貫性
風車音による被害は、秋田でも、伊豆でも、北海道でも、三重県でも、アメリカやヨーロッパでも同様の被害が報告されています。

生物学的納得性
超低周波音が体内の圧力を変動させる仕組みは説明できます。人体の圧縮過程は外側から始まるので、動脈の血圧は上昇します。結果として血管壁の肥大化や心筋への負荷の増加により、循環器系の障害が起きると思われます。さらに、音響キャビテーションを考えれば、潜水病での被害の内容と比較すれば、頭痛が起きるのは当然の結果です。

現時点の知識との整合性
最も困難なのは、要因Ａに当たる超低周波音の計測です。これさえ出来れば矛盾はないと考えるが、千葉県は機材を持っていても、地下鉄の音しか測らない。風車音の計測は拒否した。多くの学者が JIS 規格で考えろと言って、Ｇ特性音圧レベル、1～80Ｈｚでの 1/3 オクターブ解析、Ａ特性音圧レベル、以外は受け付けない。

佐藤先生が機材を購入して計測と解析をしてくれれば、全てが解決します。

量-反応関係

市役所生活環境課が「遮音効果の高い耳栓を試してほしい」というので、それを借りてグウングウンという音が聞こえる夜中に試してみた。耳栓をすると低周波音の振動だけが聞こえて、しないときより気になって眠れなくなるようだった。今は、ラジオを聞いているとマスキング効果で寝られるよとアドバイスを受け、そうしている。

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

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

とあるので、量-反応関係も成立している。

類似性

風車の超低周波音が特殊なので、類似したものは無い。

実験的証拠

人工的に 0.5Hz や 1H z の超低周波音を発生させ、体全体に浴びせることは出来ないので、実験は困難ではあるが、方法は 2 つ考えられる。一つはトレーラーに実験室を作り、風車の近くへ行く事、もう一つは気密室での圧力変動による実験である。

まだ行われていない。

近いうちに、風車の超低周波音を住宅内で計測して、健康状態との関連性の調査が行われます。

今後も引き続き調査すべきこと

- **影響個体差はどこから生じるのか？　（なぜ同居家族のなかでも症状を訴える人と訴えない人がいるのか？）**
- **曝露感覚がない曝露レベルで身体に影響は起こりうるのか（内耳への影響の客観的評価等）**
- **より洗練された説得力のある疫学研究方法の開発**
- **症例を集積して「高感受性」の有無と、その要因を調べる**

圧迫感は曝露感覚なのです。これは基本周波数での音圧との関連が極めて深い。
聴覚での曝露感覚が無くても、圧迫感や振動感としての曝露感覚はあるのです。循環器系の障害や頭痛は超低周波音を暴露したことに対する物理的な反応であり、直接的な健康被害です。
聞こえない音や見えない光が安全だとは言えないのです。

“聞こえない音波と見えない電磁波”の危険性

音波

	超低周波音	可聴音	超音波
重視する周波数	0.3～1Hz	20Hz～20ｋHz	20ｋHz 以上
物理作用	人体を圧縮膨張させる	鼓膜を振動させる	皮膚に直接作用する
健康影響	頭痛、循環器系の障害	大きければ睡眠を妨害	皮膚が火傷する

電磁波

	マイクロ波	可視光線	X 線γ線
重視する周波数	2.45GHz ＝2.45*10^9Hz	405THz～790THz 405*10^12～790*10^12Hz	10^17Hz～10^22Hz
物理作用	水分子を振動させる	視覚に対して刺激を与える	人体を透過する
健康影響	体温上昇で死亡	体内時計の調整、健康増進	遺伝子を傷つける

本日のまとめ

- 洋上風力発電施設から**発生する音は出力および設置基数により異なる**
- 住民に達する音圧レベルは**距離が遠ざかるにつれて減衰**する
- 発生する音には**低周波領域の音も含まれる**
- これまでの研究結果からは、**低周波領域の音が「特異的な」影響を示す可能性については低い**と考えられている
- 風車から発生する音は**スウィッシュ音という特徴的なもの**である
- 低周波領域の音も含め、**感覚閾値には個人差**がある
- 知覚することによる**反応についても個人差**がある
- 予防対策では正しい情報の周知により**住民に安心感を与えることが重要**である

まとめ
洋上風力発電施設から発生する音は強い指向性を持っている。大きさは出力及び設置基数及び風速により異なる。

住民に達する音圧レベルは距離が遠ざかるに連れて減衰するが、風車音の指向性によって風の向きや風速で大きく変化する。

発生する音のエネルギーの 93%以上は超低周波音の部分であり、20Hz 以上の可聴音はエネルギーの 7%以下である。

これまでの研究は、環境省の助言に従うものが多く、低周波音を扱う場合でも G 特性音圧レベルや 1～80Ｈｚの 1/3 オクターブ解析であり、基本周波数（ｆ＝ＲＺ／６０Hz）の影響は無視されている。
さらに、最近は、環境省の助言、
“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。”
“風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“
となっていて、“除外音処理”で観測された超低周波音を、消し去るように要求しています。更に、JIS 規格に従う方法では、超低周波音での最大音圧が計測できないようになっています。
査読が通るように書けば、超低周波音の問題を解決できない論文になってしまいます。
　風車音の性質をしっかり調べて、人体に対する物理的な影響を調べれば、風車音が循環器系の障害や頭痛などの形で直接的な健康被害を引き起こす事が判明しますが、それを書けば科学的な論文とは認められません。

風車からの音は、計測の方法によっては、振幅変調が観測されます。

超低周波音、可聴低周波音、などを含めて、聴覚閾値や感覚閾値には個人差がある。それとは別に、これらの被害が差別的な扱いの要因になっている事もあり、被害を口に出せない人も多い。

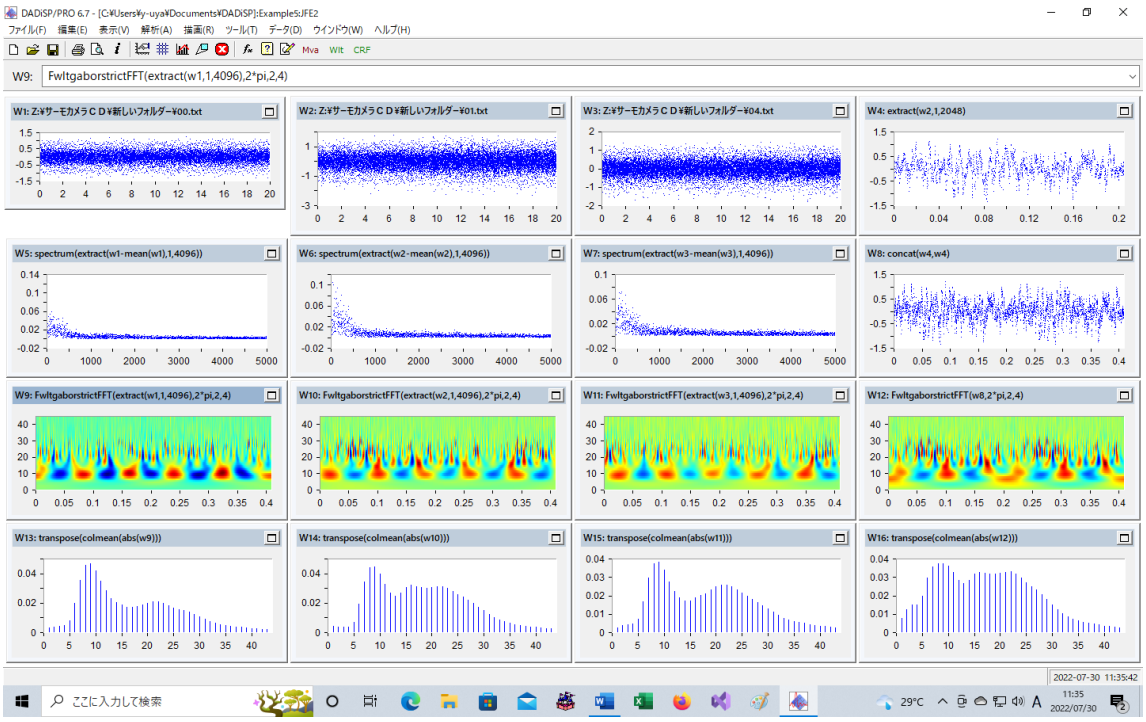
予防策の一つとして、水平軸型の風車を垂直軸型の風車に変更する事も考えられる。
二重サッシの防音窓は、0.5Hz～1Hz の超低周波音を防ぐ力は無いのです。発生源対策しかないのですが、建設時の自然破壊や、風速の減少による植生の変化に関しては、同様の被害が出ると思われます。

？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？
★特効薬
風車が見えるから被害が出るのです。最良の予防対策は、アイマスクを付けて外出し風車を絶対に見ないようにすることです。
交通事故を心配する人がいるかもしれませんが、見えない車で事故が起きるはずはありません。赤信号でもアイマスクを付ければ安全です。
？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？？

市民の常識

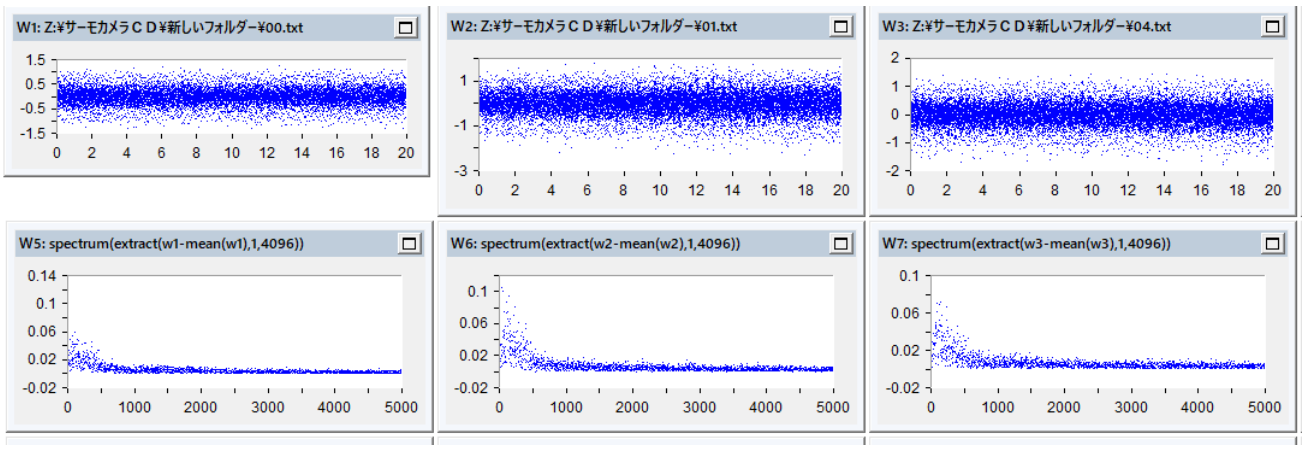
次のグラフは、JFEの工場での騒音です。

JFE2

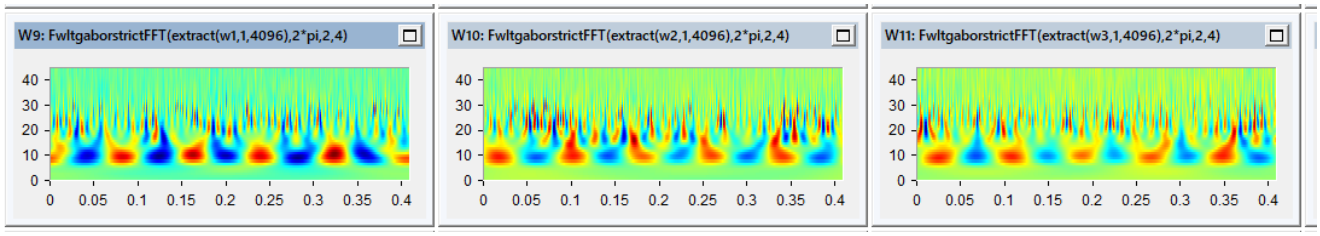


となり、

FFT を使った解析では、違いを見つけるのは困難です。

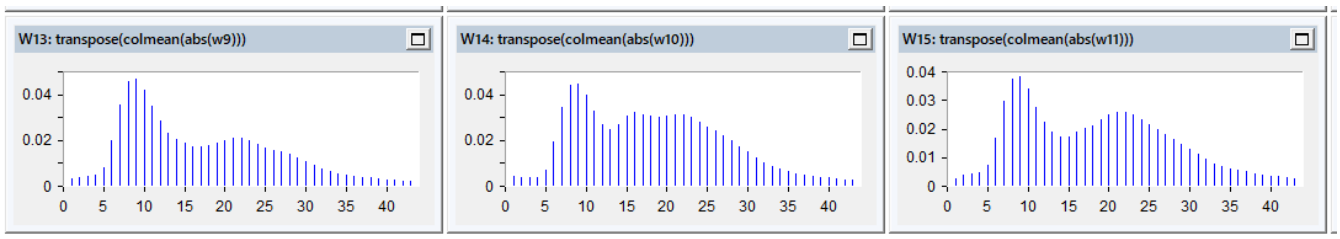


Wavelet 解析でも違いは明確ではありません。



カオス理論を使えば、

こぶが小さいヒトコブラクダ　　フタコブラクダ　　こぶが大きいヒトコブラクダ



となって、座っているラクダのこぶの形が違うことが分かります。こぶの数は故障している機械の固有振動数の個数を表します。左と右は棒状のもの、中央は四角いもの。となります。
このようにして、カオス理論を使えば、故障している機械を見つける事が出来る。

アメリカでは普通の解析技術になっているのです。G 特性音圧レベル、1/3 オクターブ解析、A 特性音圧レベルに拘っていたのでは、世界では通用しないのです。

市民は、そんな世界で生き抜いているのです。学者も少しは勉強してほしいものです。環境省や山形県もウソをばら撒くのは止めてほしいと思います。

風車音の性質と健康被害の解明の準備

講演する側（国、県、市、学者、企業）が風車音そのものの特徴を調べない理由は明白です。健康被害の原因が物理的に解明されてしまうからです。

質問する側が調べない理由が全く分からない。調べたデータをネットに公開して世界中の学者に考えてもらえばよいのに、それをしない。まるで被害原因を特定したくないかの様に見えてしまう。

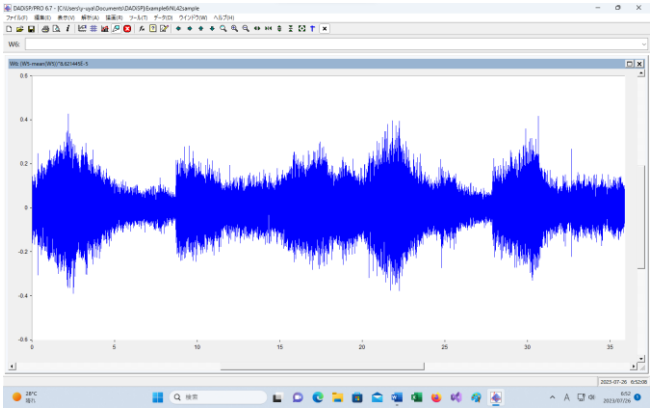
風車からどの様な音が出るのか、その音が出る仕組みはどのようなものか、粗密波がどの様な運動の結果として発生して、どの様に伝搬してゆくのか、簡単ではないが、解明する必要があるのです。また、どちらも水平軸型の風車と垂直軸型風車の違いにつては、気にしていないように見える。

まず、風車音の性質と人体への物理的な作用について見てゆきます。

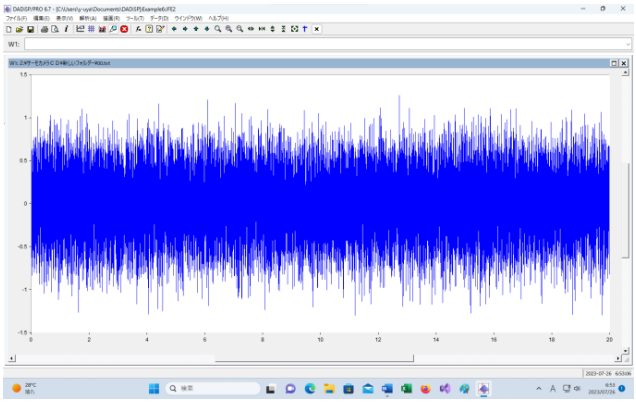
風車音とは何か

音の波形を調べてみました。交通騒音、製鉄所での音、風車音には大きな違いがあるのです。

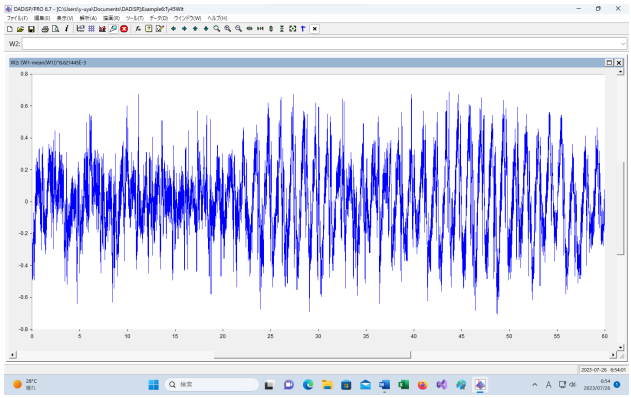
リオン社前の交通騒音



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。

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

図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

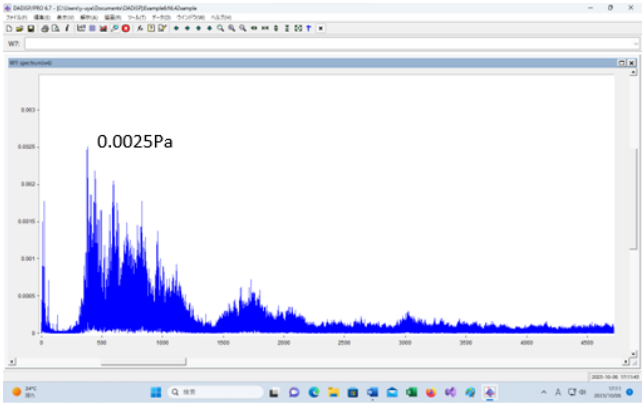


図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz

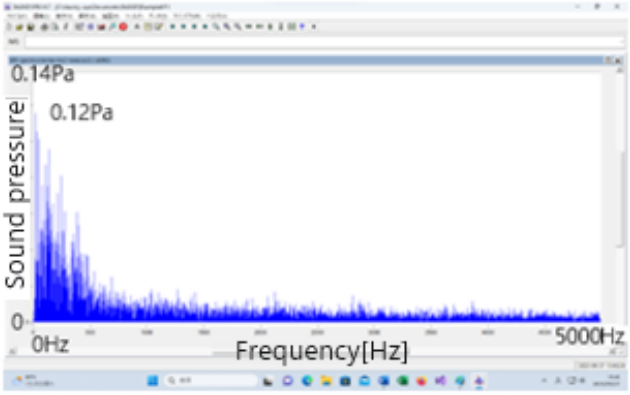


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

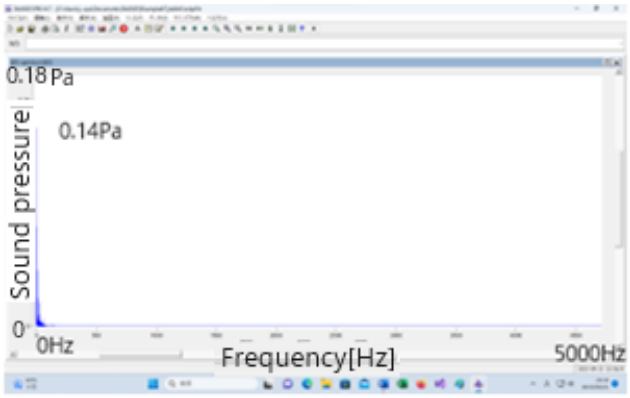
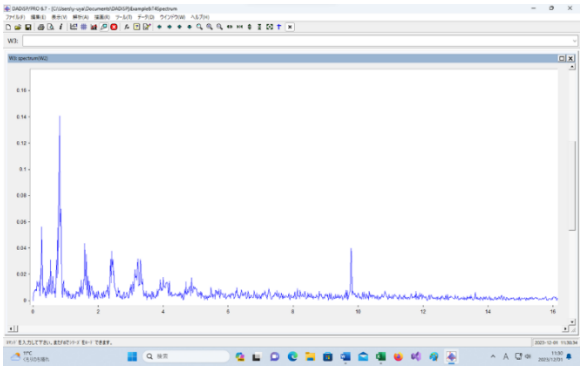


表２．エネルギーの分布

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

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

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。

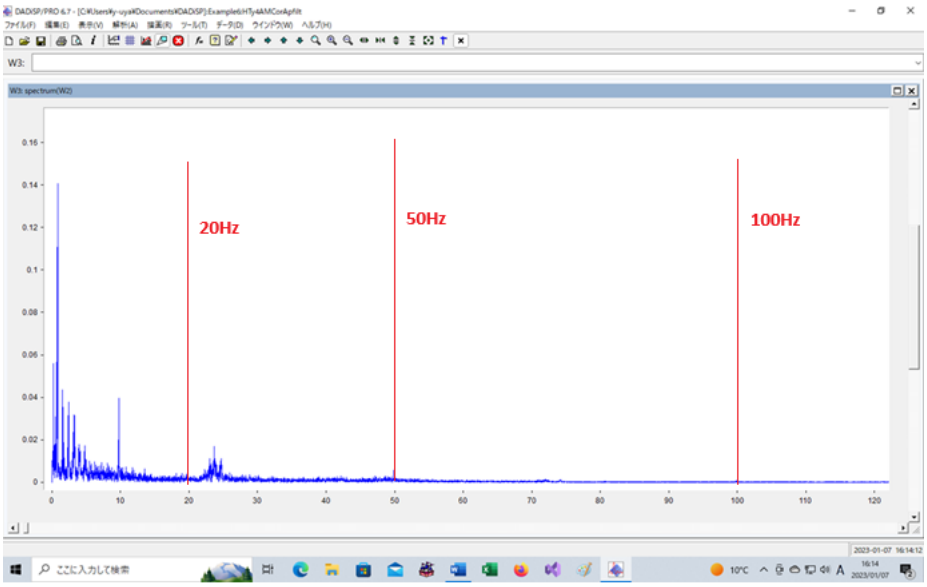
周波数	周波数/0.8167	音圧[Pa]
0.2667	0.3266	0.0560
0.5333	0.6530	0.0309
0.8167	1.0000	0.1405
1.5833	1.9387	0.0436
2.4167	2.9591	0.0377
3.2167	3.9387	0.0317
4.0000	4.8978	0.0177
4.8667	5.9590	0.0173
5.4667	6.6936	0.0101
6.2667	7.6732	0.0098

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。

翼の回転数毎分を R(rpm)回、翼枚数を Z(枚)とするときに、 f ＝RZ/60[Hz]として計算した周波数に於いて、最大音圧になります。更に、超低周波音の領域での周波数は離散的であり、f/3、2f/3、f、2f、3f、…に於いて音圧がピーク値となるのです。

昔の環境省は、風車から出る音に関して超低周波音の領域にも関心を持っていた。
60 秒間での、風車の回転数を R、羽の枚数を Z とすると、風車からは、f=RZ/60　Hz の音とその倍音が出ると言っていた。f/3、2f/3 でのピーク値に関しては書かれていない。現在の大型風車では f ＝0.5Hz 程度になる。

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、100Hz 以上の成分は、微弱なものであることが分かります。



いくら環境省が風雑音を除外音処理で切り捨てろと言っても、上のグラフを見れば議論の範囲を 20Hz 以上に限定してはいけないことは明白です。

聞こえなくても、体内の圧力を変動させることは物理の常識がある人なら分かります。大きな圧力変動が急激に起きれば潜水病になります。程度の差はあるが同様の物理的な変化が起きるのです。海に潜って鼓膜に掛かる圧力が増えても、うるさいと感じる人はいません。聞こえなくても被害は起きるのです。

風雑音

風雑音について、ある方から、次の様に教えていただきました。

“宇山さんは、風車からの低周波音の測定について検討されていたと思います。

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

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

低周波数域の風雑音は風がマイクロホンに当たることによって発生します。

この雑音は周波数が低くなるほど大きな成分を持っています。

通常、低周波音の測定は風雑音による影響を避けるため、風のない時に行います。

しかし、風車は風がないと回らないので、風による影響を受けます。

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

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

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

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

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

研究にあたっては、このあたりも参考にしていただけると幸いです。”

この立場は、“風雑音”の意味を２通りに捉えています。

１，風がマイクに当たって発生する音。

２，5Hz 以下の周波数域（場合によってはおよそ 10Hz 以下）の超低周波音。

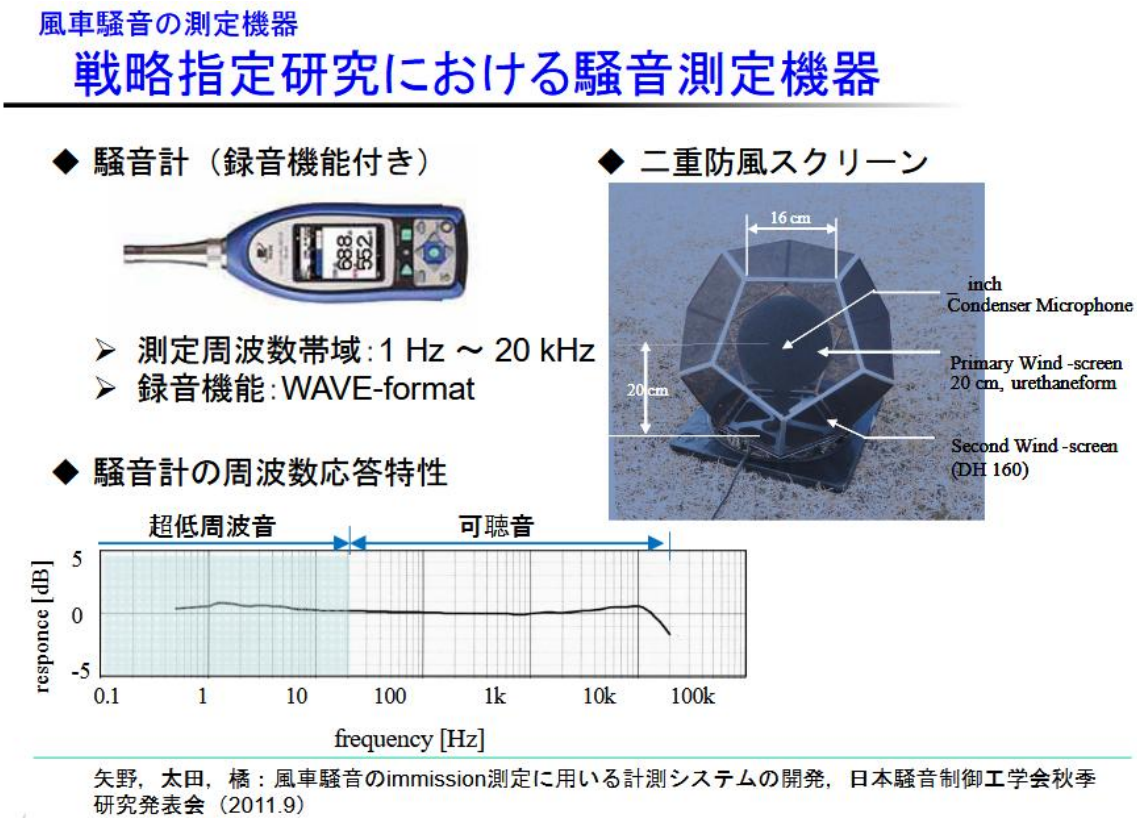
です。

環境省水・大気環境局長　からのお知らせ、「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」、の（別紙）、風力発電施設から発生する騒音に関する指針、には、

“環境省では、平成 25 年度から水・大気環境局長委嘱による「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、風力発電施設から発生する騒音等を適切に評価するための考え方について検討を進め、平成 28 年 11 月 25 日に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」を取りまとめました。今般、同報告書を踏まえ、風力発電施設から発生する騒音等について、当面の指針を別紙のとおり定めたので通知します。貴職におかれては、下記に示した本指針策定の趣旨等及び別紙の指針、並びに風力発電施設から発生する騒音等の測定方法について別途通知する**「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」を、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ生活環境を保全する上での参考としていただく**とともに、関係の事業者等へ周知いただくなど格段の御配意をお願いいたします。”

と書かれている。

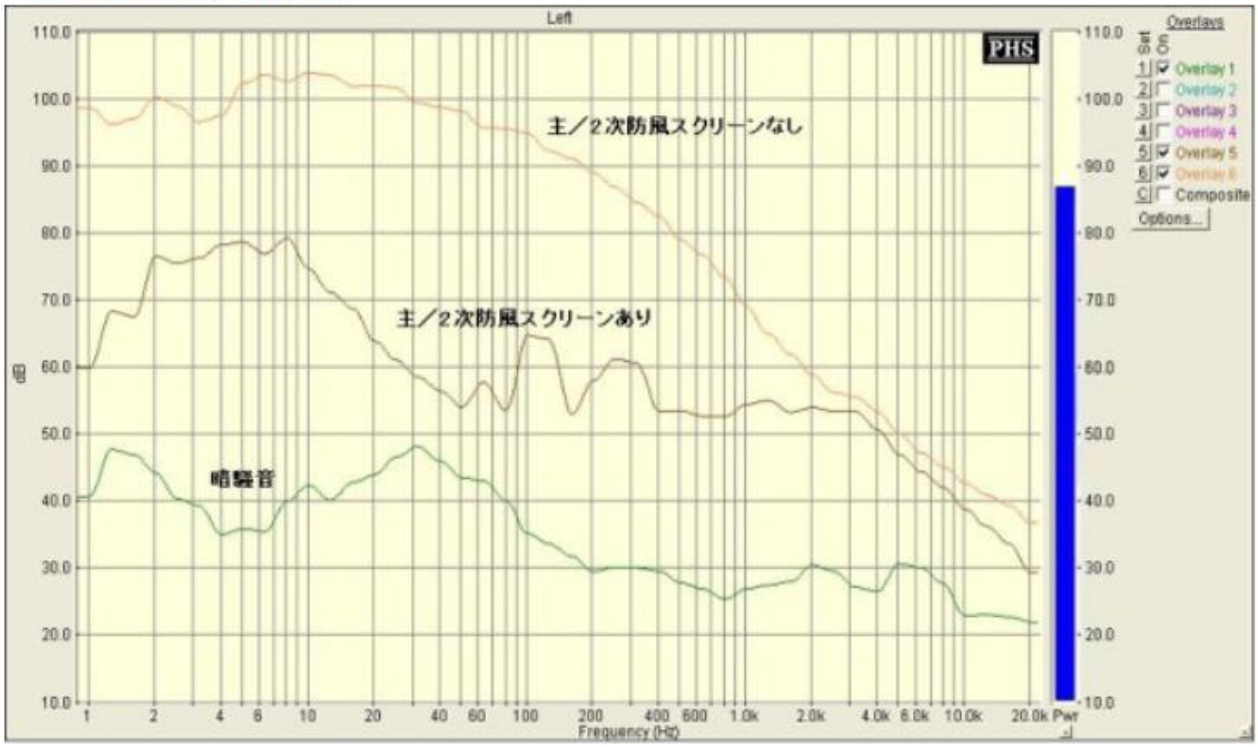
“風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル 平成２９年５月 環境省”
の３ページには、
“2.3.5　風雑音
風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音。測定においてはウインドスクリーン（防風スクリーン）を装着することにより風雑音を低減する必要がある（3.1(2)参照）。
風により発生する葉擦れ音や風音は自然音であり風雑音ではない。”
とあり、７ページでは、
“(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“
となっている。



環境省は風車騒音のエネルギーが集中している部分である、超低周波音の成分を、二重防風スクリーンを付けて、風車音での音圧が最大となる１Hz の辺りの計測では、40ｄＢ程度数値を下げて計測しなさい。残っていたら“除外音処理”完全に消しなさい。と言っているのです。
40ｄＢ の減衰効果で音のエネルギーは、１/10000 の強さとして評価されるという事です。それでも残っていると気になるのでしょう。

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

風車音に関する問題は、水俣病の時とよく似ています。

今なぜ東工大生に教養が求められるのか 池上彰のリベラルアーツ教育のススメ
【現代史】池上 彰 特命教授
“戦後日本現代史に出てくる四大公害病のひとつ、「水俣病」はその好例です。1956 年に最初の症例が見つかった水俣病は、メチル水銀化合物による中毒性中枢神経疾患でしたが、当初は原因がわからず「奇病」とされました。その後、原因物質は有機水銀にあると考えた熊本大学医学部研究班は、水俣市の化学メーカーであるチッソ（当時は新日本窒素肥料）に工場排水の調査協力要請をするものの、同社はこれを拒否します。「日本化学工業協会」もチッソを守る側につきました。
このときチッソをかばってしまったのが、東工大の清浦雷作教授でした。水俣病の原因は有機水銀ではなく、腐

った魚に原因があるという「アミン説」を唱えたのです。日本の理工系トップである東工大教授の見解は、熊本大学医学部の調査内容よりも、権威のある事実として流通してしまい、原因究明を遅らせる結果となったのです。その後、チッソの排水が原因だったことが判明し、政府見解が確定するのはようやく 1968 年のことでした。“
“世界の理工系の総本山であるマサチューセッツ工科大学（MIT）における教育のあり方です。なんと学部 4 年間で「最先端科学は教えない」というのです。理由は「科学や技術は先端的であればあるほど陳腐化するのも早いから」。ならば、まず知性の血肉となる各方面の教養を身につけさせるのが MIT の教育方針であり、音楽教育などにも力を入れていました。すぐに役立つ知識よりもすぐには役に立たない教養こそが、長い目で見ると役に立つ――まさしくリベラルアーツの本質を衝いた発想だと感心しました。”

とあるが、日本だけではなく、外国（MIT）でも同様です。

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
Author Information
From the Department of Biological Engineering (Dr McCunney), Massachusetts Institute of Technology, Cambridge; Department of Epidemiology (Dr Mundt), Environ International, Amherst, Mass; Travel Immunization Clinic (Dr Colby), Middlesex-London Health Unit, London, Ontario, Canada; Dobie Associates (Dr Dobie), San Antonio, Tex; Environment, Energy and Acoustics (Mr Kaliski), Resource Systems Group, White River Junction, Vt; and Psychological Evaluation and Research Laboratory (Dr Blais), Massachusetts General Hospital, Boston.
Address correspondence to: Robert J. McCunney, MD, MPH, Department of Biological Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Ave, 16-771, Cambridge, MA 02139 (mccunney@mit.edu).

The Canadian Wind Energy Association (CanWEA) funded this project through a grant to the Department of Biological Engineering of the Massachusetts Institute of Technology (MIT). In accordance with MIT guidelines, members of the CanWEA did not take part in editorial decisions or reviews of the manuscript. Drs McCunney, Mundt, Colby, and Dobie and Mr Kaliski have provided testimony in environmental tribunal hearings in Canada and the USA. The Massachusetts Institute of Technology conducted an independent review of the final manuscript to ensure academic independence of the commentary and to eliminate any bias in the interpretation of the literature. All six coauthors also reviewed the entire manuscript and provided commentary to the lead author for inclusion in the final version.
“カナダ風力エネルギー協会(CanWEA)は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の生物工学科への助成金を通じてこのプロジェクトに資金を提供しました。MIT のガイドラインに従い、CanWEA のメンバーは原稿の編集上の決定やレビューに参加しませんでした。McCunney 博士、Mundt 博士、Colby 博士、Dobie 博士、Kaliski 氏は、カナダと米国の環境法廷の公聴会で証言を行いました。マサチューセッツ工科大学は、解説の学術的独立性を確保し、文献の解釈における偏りを排除するために、最終原稿の独立したレビューを実施しました。また、6 人の共著者全員が原稿全体をレビューし、最終版に含めるためのコメントを筆頭著者に提供しました。”

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.
“環境条件で低周波音と超低周波音を測定する際の主な問題は風です。
マイクの上を空気が流れるため、空気圧の変動により疑似音が発生しました。
従来のサウンドレベルモニタリングでは、この影響は**ウィンドスクリーンやデータの消去によって最小限に抑えられます**
風の強い時期(高さ 2m[6.5 フィート]で 5m/s[11 mph]未満)に測定されます.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場合、これはそうではありません
最善の解決策。特に超低周波音では、風による疑似音は、風速は 1m/s にまで低下します 12 実際、多くの騒音計は超低周波周波数を測定しません。”

誰でも、お金には弱いものです。
“カナダ風力エネルギー協会(CanWEA)は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の生物工学科への助成金を通じてこのプロジェクトに資金を提供しました。“

普通に考えれば、計測機器を 3 台用意して、二重防風スクリーンを付けて風を当てて測るもの。標準防風スクリーンを付けて風を当てて測るもの、ビニール袋で包んで車の中に置き風を当てないで測るもの、の 3 つのデータを比較するべきです。そんなことをすれば、風雑音説が成立しなくなるのは明らかです。

環境省は
“一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。
風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“
と言っていながら、

“「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」を、騒音問題を未然に防止するために対策を講じ生活環境を保全する上での参考としていただく”
と言っても、
風車音のエネルギーの 7％しかない騒音（20Hz 以上）だけを評価して生活環境を保全しなさいと言っても、それは無理な話です。

低周波音での圧迫感やガタツキに最も関連する最大音圧の部分を捉え、統計的な関連を調査することが必要なのです。

この超低周波音の部分が“風雑音”ではないことは、簡単に確認できます。

“風雑音”は“風がマイクロホンにあたることにより発生する雑音”ですが、風車の近くでは、マイクに風が当たらなくても音圧の高い超低周波音が計測される。

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、ドアを閉めた場合の計測結果（マイクに風は当たりません。）を見れば、最大音圧は 0.42Pa（1Hz）であり、音圧がピーク値となる周波数が規則性を持つことが分る。

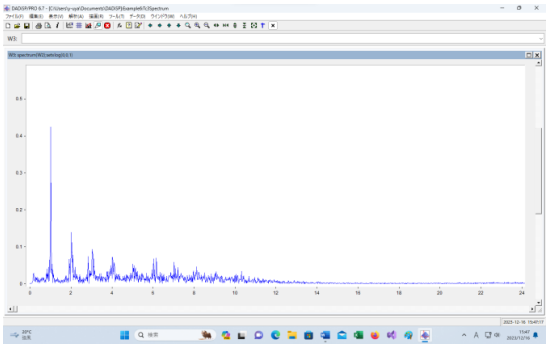


Fig.7 Wind turbine noise (0～25Hz) Max 0.42Pa (1Hz)

この規則性と音圧の高さを見れば、風雑音ではなく、風車からの超低周波音が風車の近くで計測されることが分ります。この超低周波音を隠すために、環境省は二重防風スクリーンや除外音処理を要求しているのです。

風雑音と風車超低周波音の見分け方

低周波音の測定方法に関するマニュアルには、

“3）風雑音と低周波音の見分け方

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

・多くの場合、対象とする低周波音は定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化を示すはずである。

・風による音圧レベルは，不規則に変化する。“

とある。（その通りでした。）

カナダ政府の HP にある、ノイズ入門には、

“グラフの X 軸は 0.1 ヘルツ(Hz)から 100Hz までの周波数を表し、Y 軸は測定された音の強さをデシベル(dB)で表します。この図は、夏の晴れた夜に 4 基の風力タービンから 2.5km 離れた場所で測定した例です。図の 0.8、1.6、2.4、3.2、4.0、4.8、5.6、6.4、7.2、8.0Hz のピークは、これらの特定の風力タービンがこれらの特定の周波数の音を生成することが知られているため、測定された音が風力タービンからのものであることを裏付けています。”との説明がある。

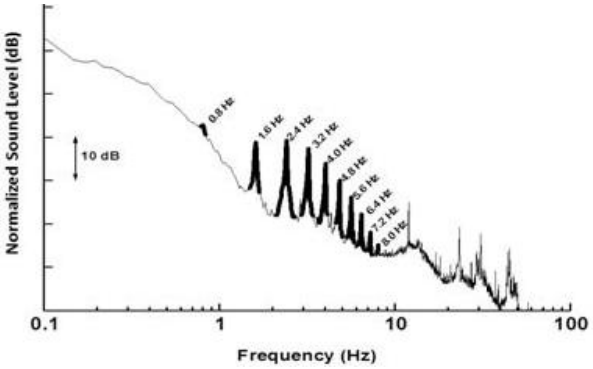
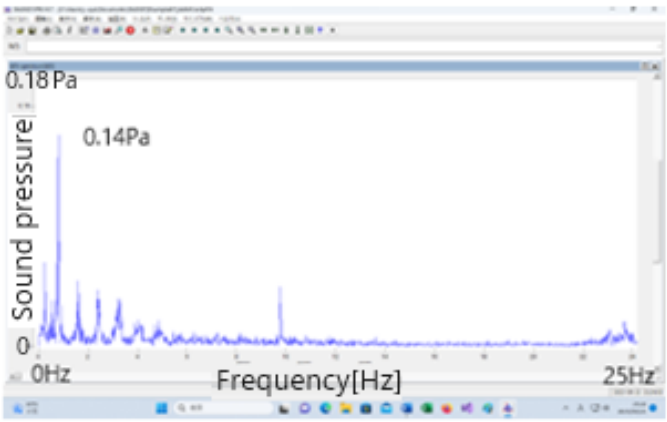


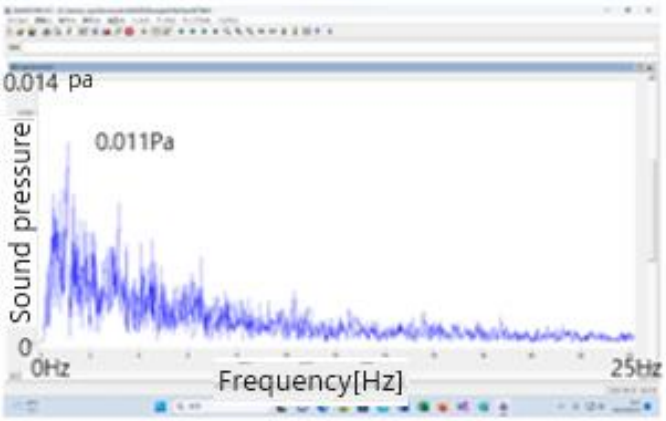
Fig.1 Noise from Wind turbine

上のグラフでは、0.8Hz と 1.6Hz の間の値も詳しく計測されています。

風車のすぐ近くでは、マイクに風が当たらなくても、音圧が高く、規則的な周波数を持った、超低周波音が計測されました。風車が無い場所で計測した風雑音は音圧も低く、周波数スペクトルに規則性が無いのです。



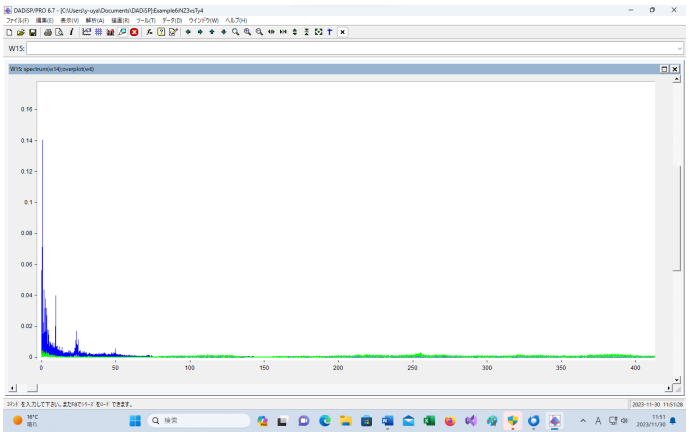
風車の近くでの超低周波音：風車有り



風をマイクに当てて測って超低周波音：風車無し

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

風車の近くでの音圧のピーク値と周波数



風車有り（青）と風車無し（緑）の場合の比較

周波数の離散的な特徴と音圧の関係をみれば、風車音の発生する仕組みから計算される、マクローリン展開の係数の性質に一致しています。従って、風雑音ではなく、風車からの超低周波音なのです。

もし、風雑音だと言うならば、風車の無い場所（風車から 20ｋｍ以上離れた場所）で、同じ風速の風をマイクに当てながら計測してみて下さい。その周波数特性を風車の近くでのものと比較してみて下さい。

超低周波音の成分を使って、風車音が届いているか否かの判断ができます。遠方での計測音のうちで風車音による影響の割合を判断するには、この部分が必要なのです。

都合が悪いからと言って、“風雑音”だとして、“除外音処理”をしてはいけないのです。

1/3 オクターブ解析では、周波数は次の表の中心周波数で表示されます。

1/3オクターブバンド中心周波数と帯域幅				
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
0.194	0.173	0.218	0.045	0.194
0.244	0.218	0.274	0.057	0.250
0.308	0.274	0.345	0.071	0.315
0.388	0.345	0.435	0.090	0.400
0.488	0.435	0.548	0.113	0.500
0.615	0.548	0.691	0.142	0.630
0.775	0.691	0.870	0.179	0.800
0.977	0.870	1.096	0.226	1.000

Table 2 Table of center frequency

実際の周波数	公称中心周波数	厳密中心周波数
0.700Hz	0.8Hz	0.775Hz
0.8167Hz	0.8Hz	0.775Hz
0.869Hz	0.8Hz	0.775Hz

結果として、周波数の規則性が不明となります。

“定常的、周期的あるいは特徴的な音圧レベルの変化”を把握するには、正確な周波数を把握する必要があり、

周波数分解能を高くした、正確な周波数スペクトルの計算が必要です。1/3 オクターブ解析は使えません。

洋上風力発電の場合には、岸から 2～3ｋｍの辺りに沢山の風車が並びます。累積的な影響を考慮する必要があります。

洋上の風車と沿岸の住宅の間には、波、車、工場、カラス、船など、沢山の音源があります。計測された音から、風車音の影響分を抽出するには工夫が必要です。1/3 オクターブ解析では、周波数の離散的な特徴が不明となり、風車音か否かの判断は出来ません。カナダ政府の HP の様に超低周波音の部分をよく見れば、風車音が届いているか否かの判断ができます。

風車が３基くらいなら、音圧のピーク値の規則性を調べて、沿岸に届いている音の中での風車音による影響を把握できると思います。しかし、同型の風車が、20 基、100 基、200 基となると、それぞれの風車からの超低周波音のピーク値を見つけて風車ごとに分類することは不可能です。

詳細は後ほど述べますが、風車音と他の環境騒音の性質の違いを利用すれば、風車音の影響が大きいか否かを判断できます。

さらに、遠方での風車音の音圧を調べてみると、風車を点音源として計算した数値よりも大きいことが分ります。線音源として計算した数値よりは小さい事も分ります。

音源の形、風車音の指向性、風車音が出る仕組み、などを考えると、遠方への影響を予測する式としては、点音源と線音源の中間の式を使えば、実際の計測値とほぼ一致する理由も分ります。

事業者は点音源の式で影響を考えます。その数値は影響をより小さく見せかけるための数値になってしまいます。ツジツマ合わせのために、二重防風スクリーンで音を減衰させて、計測値を小さく見せかけていますが、実際に被害が起きる室内で、二重防風スクリーンを外して測れば、実際には音圧がとても高いことが分ります。

1Hz 未満の周波数をしっかり捉え、音源としての風車の形を把握して、発生する音の伝搬式を正確に記述することが必要です。

巨大な風車が沿岸に並ぶのです。石狩湾の計測結果では、36 基の風車群の中心から 10ｋｍ、20ｋｍ離れた場所でも、計測結果から見れば、大きな影響を受けていることが分ります。

風車音があってもすぐには死にません。でも、その地域から出て風車音の無い地域で生活した人は、その地域には戻って来ません。

さらに、山形県の遊佐町の場合は、漁場の半分を奪われます。当然、漁獲高は減ります。生産活動の場所を奪われるのですから、経済的な面でも生活には適さない場所になります。

地域経済の振興策についても、中国の生産力と生産コストの比較、発電の単価の比較、地域からの人口流出、など検討すべき課題は沢山あります。ＳＤＧｓは、バラ色ではありません。さらなる苦難の道です。

住民にとっても苦難が続きます。住民説明会で、“業者の話が分からない。”と思ったら勝てません。住民説明会に参加しなければ、風車に賛成とみなされます。

最も簡単な対処方法は、業者が嫌がる質問状を提出して、文書での回答を要求することです。質問状はネットにあるものを活用すれば良いのです。

業者の回答をネットに公開して、業者の言い分の問題点を教えてもらいましょう。

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

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

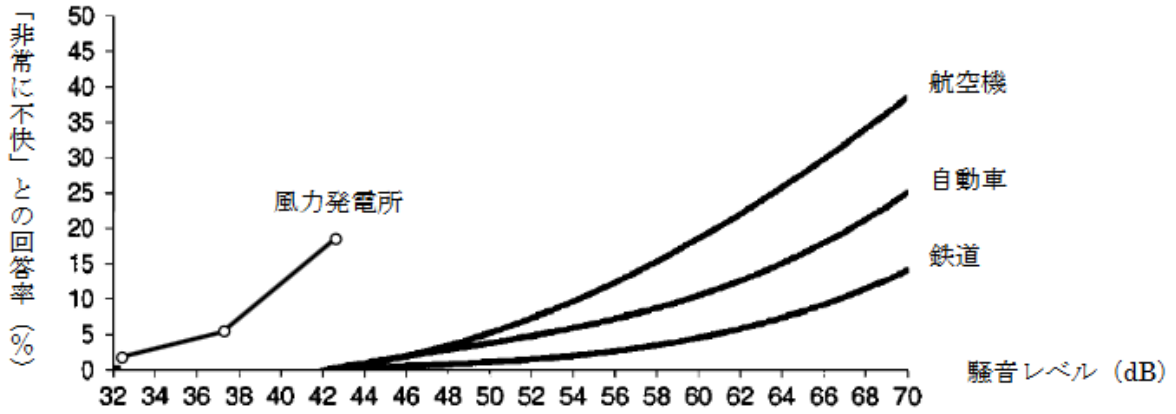


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

これを見れば、“非常に不快”であるとの観点から見れば、風車音は、鉄道、自動車、航空機の騒音とは全く性質が違う事が分ります。

結論：

風車音とは超低周波音の塊であり、音圧が特に高くなる周波数が決まっている。

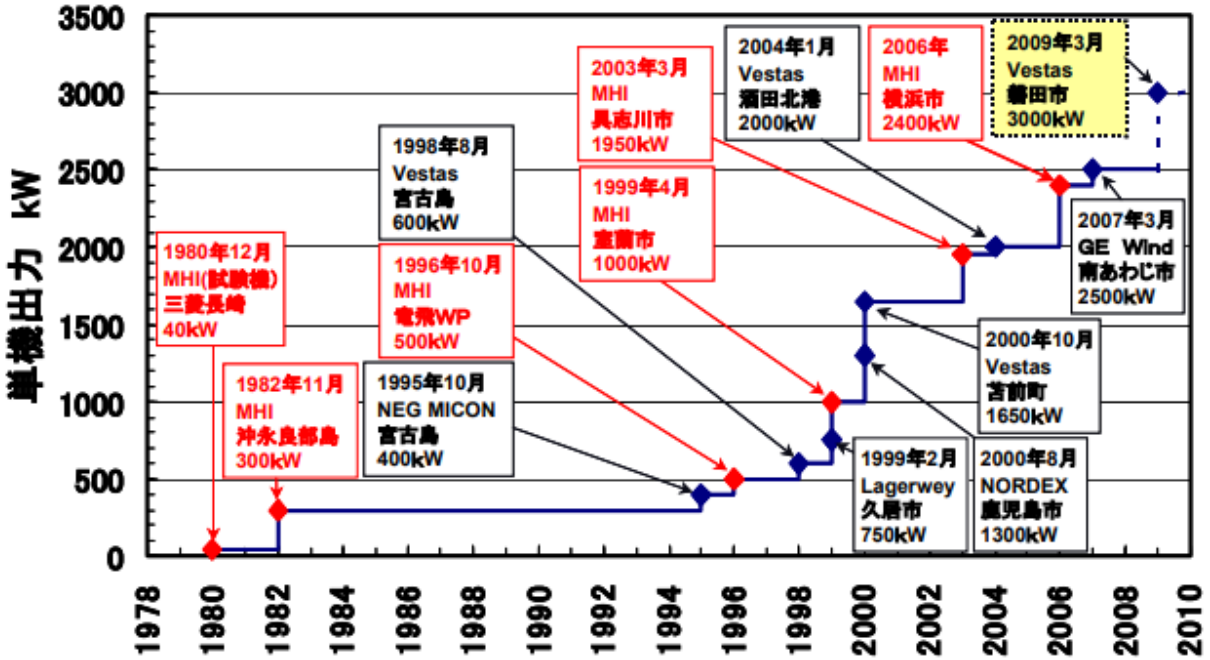
1 分間の回転数（R）×羽枚数（Z）÷60 を基本周波数（ｆ）とすると、周波数が、f/3、2f/3、f、2f、3f、…の時に音圧が高くなる。大型風車では、ｆ＝0.5Ｈｚ程度である。

この音は、風車の近くであれば、マイクに風が当たらない（ビニール袋で包んで、箱に入れ、車に積んでドアを閉める）状態でも計測される。

なお、Ｇ特性音圧レベルや 1/3 オクターブ解析では、この特徴は把握できない。

環境省は、二重防風スクリーンと除外音処理で超低周波音の部分を隠そうとしている。だからこそ、この部分を解明すれば、風車音による被害の原因が明らかになると言えるのです。

大型化する風車



平成２２年は西暦 2010 年です。風車の出力は 3000ｋW でした。令和６年、西暦 2024 年では、9500ｋW～1 万 5000ｋW の風車が作られようとしています。

山形県遊佐町沖（2024年2月1日現在）

事業体	事業計画
中部電力	45万kW（9500～1万2000kW × 最大47基）
日本風力開発	50万kW（9500～1万5000kW × 最大46基）
東京電力リニューアブルパワー	50万kW（9500～1万8000kW × 最大53基）
伊藤忠商事	49万4000kW（9500～1万5000kW × 最大52基）
遊佐沖洋上風力発電に係る環境アセスメント共同実施コンソーシアム	加藤総業、コスモエコパワー、石油資源開発、九電みらいエナジー、住友商事、SBエナジー、丸紅、関西電力、インベナジー・ウインド、JRE、RWE JAPAN、INFLUX、JR東日本エネルギー開発、JERA、電源開発、東北電力、三井不動産、三菱商事エナジー、レノバ、ユーラスエナジー（公表企業のみ記載） 45万kW（9500～1万5000kW × 最大52基）

・ 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。

との認識は、消えてしまったようです。学問も研究者も退化しました。

“・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度であり、**聞こえなければ不快感などの影響はない**ということは専門家の一般的な意見である。”

呆れます。“専門家”の見解を一人ひとり確認して問題点を指摘して教えてあげる必要があります。

・騒音と健康について、

環境大臣は、“騒音による生活環境への重大な影響が懸念される”と言っています。

環境省の HP には、

● 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

とあり、“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”と言っているが、

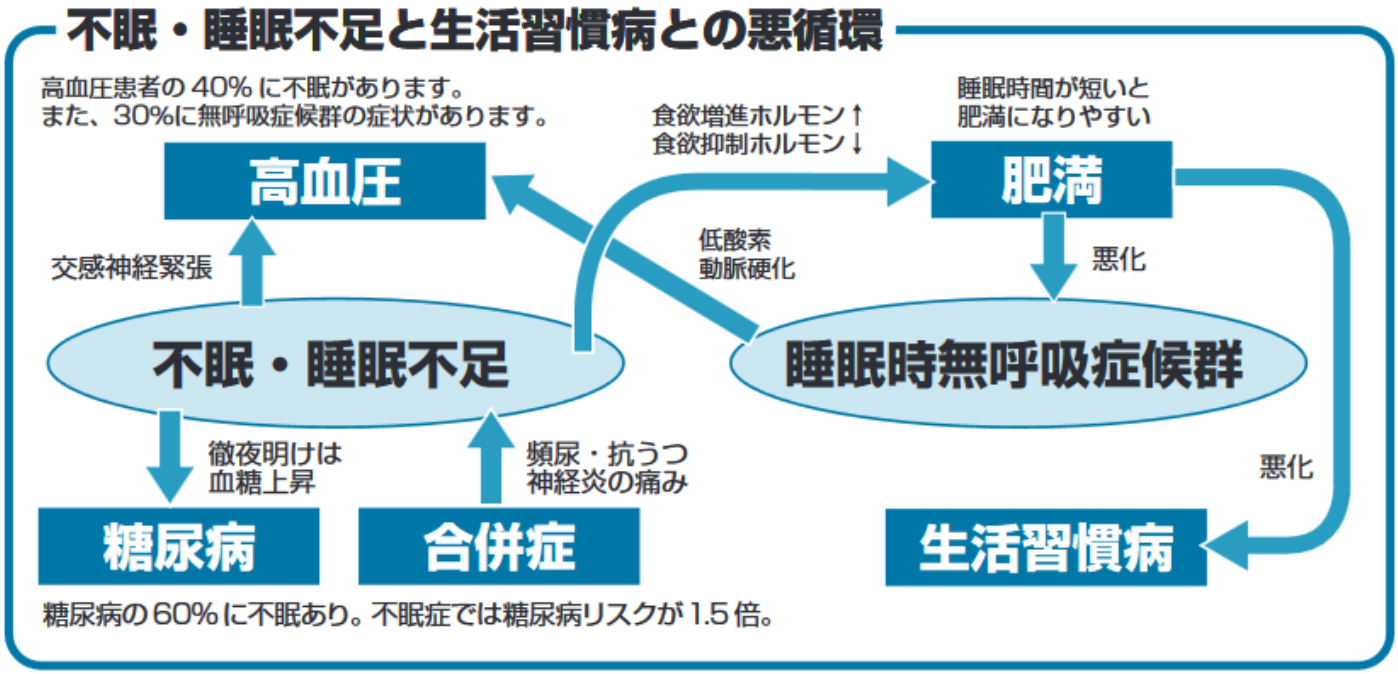
“風車騒音が人の健康に影響を及ぼす可能性は低い”とは言っていないのです。

“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”のです。

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”のです。

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。



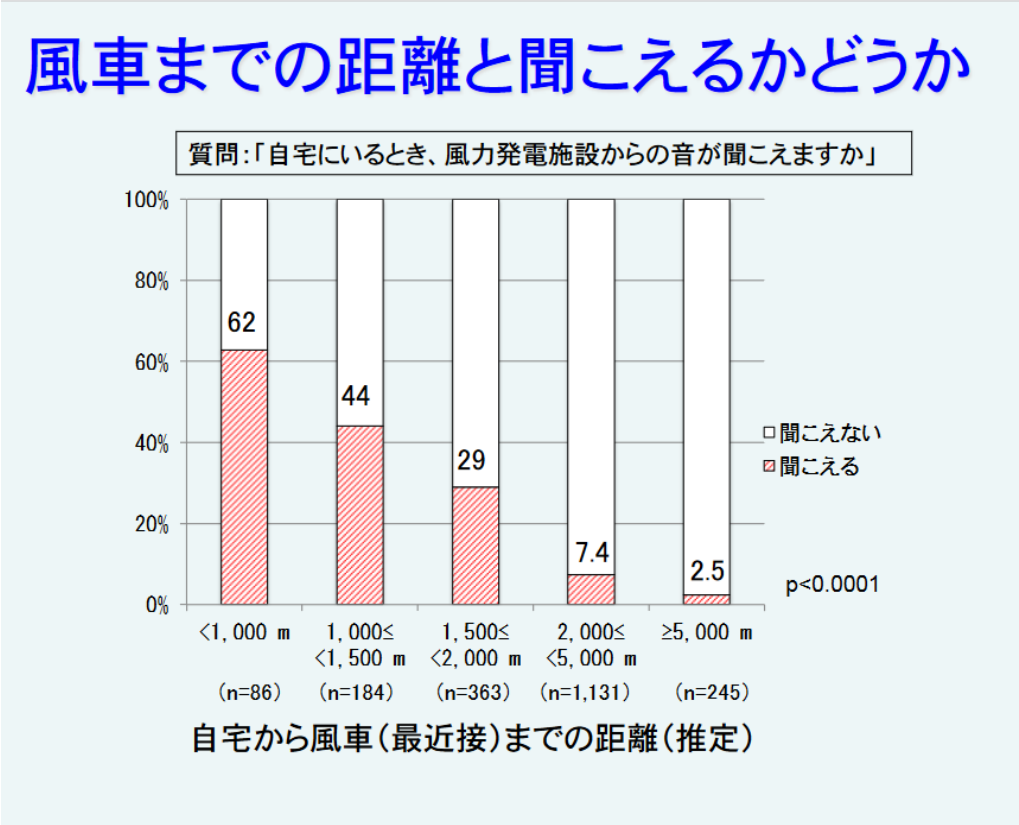
“騒音と低周波、健康とは関係ありません。”
は間違った考え方です。
“騒音は健康と深い関係があり、睡眠を妨げることで糖尿病や心筋梗塞のリスクを高めます。”
と修正する必要があります。

「寝る子は育つ」ということわざは正しい意味を持つ

「寝る子は育つ」とは、よく眠る子は元気に育つという意味を持つことわざです。
ことわざとは、昔から伝えられてきた知恵や教訓を含む言葉ですが、「寝る子は育つ」ということわざは単なる迷信ではないようです。
子どもの成長には、就寝中に分泌される成長ホルモンが関係しています。成長ホルモンには、軟骨に働きかけて骨の成長を促す役割があり、身長が伸びるために欠かせないものです。
眠りについてから 2 時間ほどの間に分泌量がピークを迎えるため、適切に睡眠をとることは子どもの成長のために大切だといえます。
このとおり、就寝中に子どもが成長するために必要な成長ホルモンの分泌が活発になることから、「寝る子は育つ」ということわざは正しい意味を持つといえるでしょう。
ただし、あくまでも「正しく睡眠をとれば、骨や筋肉に作用する成長ホルモンが分泌される」ということです。単純に「たくさん寝たから身長が高くなる」「寝た分だけ体格が良くなる」というわけではない点に注意してください。

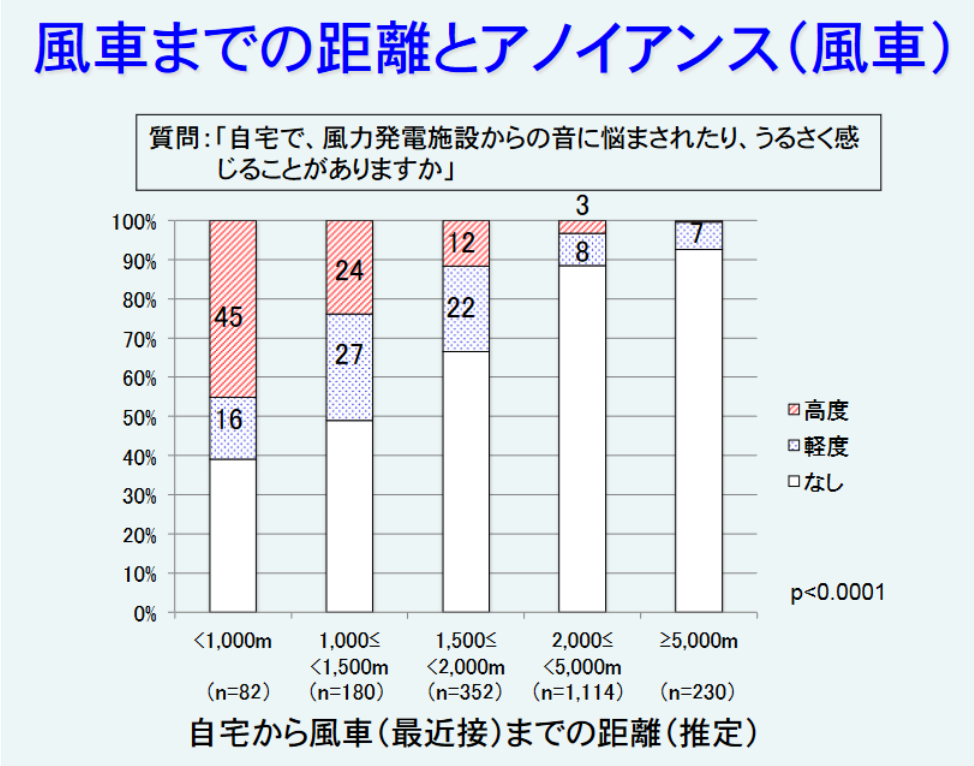
カナダ政府の HP にある、
Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results には、
“多くの変数が測定された睡眠に有意な影響を与えたことがわかりますが、参加者の自宅の近くで計算された屋外の WTN レベルは、睡眠効率、覚醒速度、覚醒時間、総睡眠時間、または眠りにつくのにかかった時間と関連していることがわかりました。”
“煩わしさと健康
WTN の**不快感**は、**血圧、片頭痛、耳鳴り、めまい、PSQI のスコア、知覚ストレス**など、いくつかの自己申告による健康への影響と統計的に関連していることがわかった。
WTN の**不快感**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。“

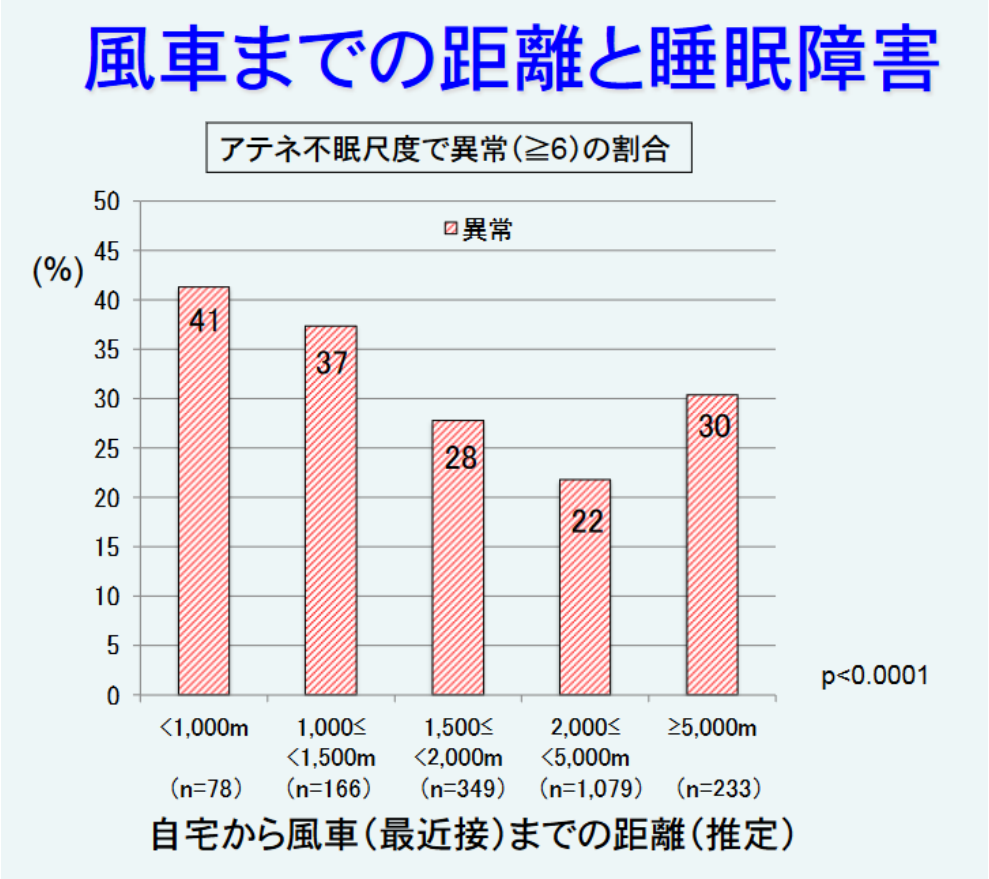
環境研究総合推進費 課題成果報告会（2016.3.11）
風力発電等による低周波音・騒音の長期健康影響に関する疫学研究
研究代表者：石竹達也（久留米大学医学部）研究実施期間：平成 25～27 年度
　石竹達也氏（久留米大学医学部）の調査結果は



2000mから 5000mの距離でも 7.4%の人には音が聞こえる。

2000m圏内では、29%の人が騒音を認識する。





アテネ不眠尺度の６点は、

６点以上	不眠症の疑いがあります。医師に相談することをお勧めします。

と言うレベルです。

なお、●アテネ不眠尺度とは

アテネ不眠尺度とは、世界保健機関（WHO）が中心になって設立した、「睡眠と健康に関する世界プロジェト」が作成した世界共通の不眠症の判定方法です。

８つの質問に対する回答を最大２４点で数値化し、不眠度を測定します。

多くの調査結果で、睡眠妨害が起きていることも判明している。普通の人は、目覚まし時計の音がすれば、起きてしまうのです。

１日だけ眠れなくても、健康に影響するとは言い切れないかもしれないが、風車が稼働すれば、毎日毎日眠れない日が続くのです。

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

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

たことがわかる。

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

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

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

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

とあります。

・低周波音と健康について

低周波音の意味ですが、20～100Hz、1～80Hz とかいろいろありますが、ここでは、1～80Hz として考えることにします。（低周波音の測定方法に関するマニュアル p 1）

昔の環境省は、風車から出る音に関して超低周波音の領域にも関心を持っていた。
60 秒間での、風車の回転数を R、羽の枚数を Z とすると、風車からは、f=RZ/60　Hz の音が出ると言っていた。
この値は、現在の大型風車では 0.5Hz 程度になる。

さらに、環境省の資料には、低周波音は塀や壁では防ぎにくいと書いてあった。もちろん２重窓でも音を防げないので被害も防げないのです。環境省の“よくわかる低周波音”には、

5 低周波音を防止するには

低周波音は発生源対策が効果的

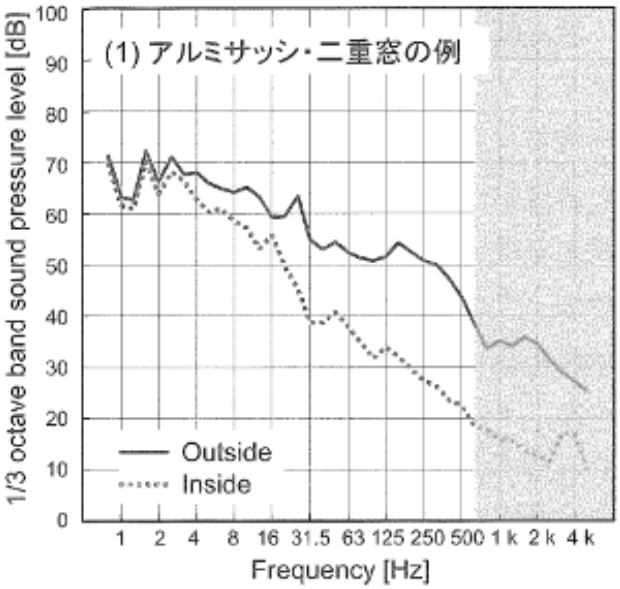
低周波音は、通常の騒音の場合に比べて塀や壁による防音効果はあまり期待できません。
低周波音の対策には、発生源の対策が最も効果的です[15]。ただし、低周波音の対策は大掛かりなものになります。

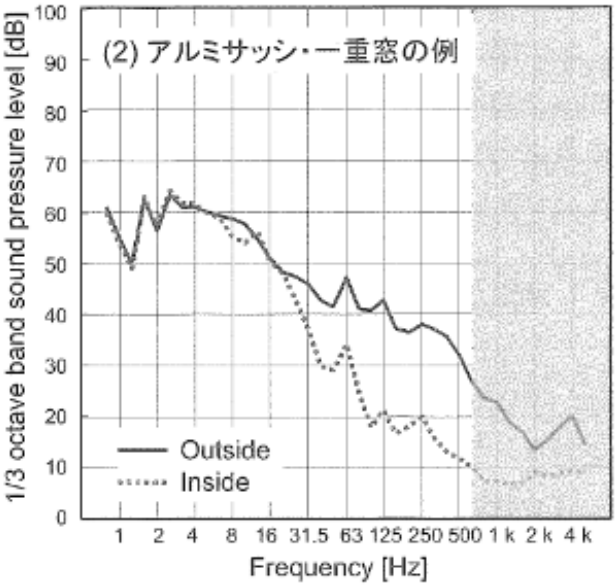
15）低周波音の対策は、発生源の対策が基本ですが、以下のような対策で窓のがたつきや不快感が解消されることがあります。
・窓ががたつく場合：隙間にパッキングを取付ける、ガラスを桟（さん）にパテなどで固定する。
・部屋の場所により不快で眠れない場合：寝る向きや寝る部屋を変えてみる。
なお、対策に関して詳しくお知りになりたい方は「低周波音防止対策事例集」（平成14年、環境省）をご覧下さい。

ここには、“窓ががたつく”、“不快で眠れない”とあり、“うるさくて眠れない”との表現ではない。
“低周波音は、通常の騒音の場合に比べて塀や壁による防音効果はあまり期待できません。”
“発生源の対策が最も効果的です”
とあり、対策としては、運転を止めるか、壊すか、建てさせない、のどれかとなります。

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

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





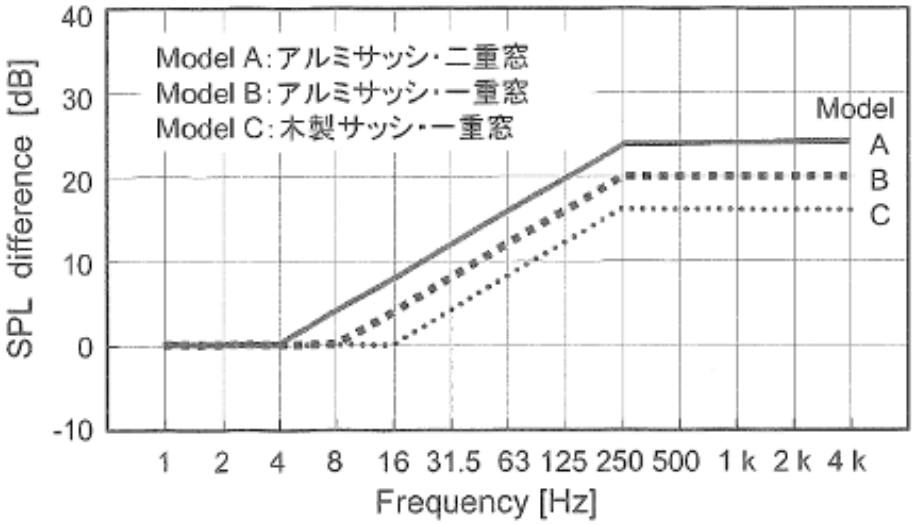


図 4 開口部構造別のハウスフィルター・モデルの案

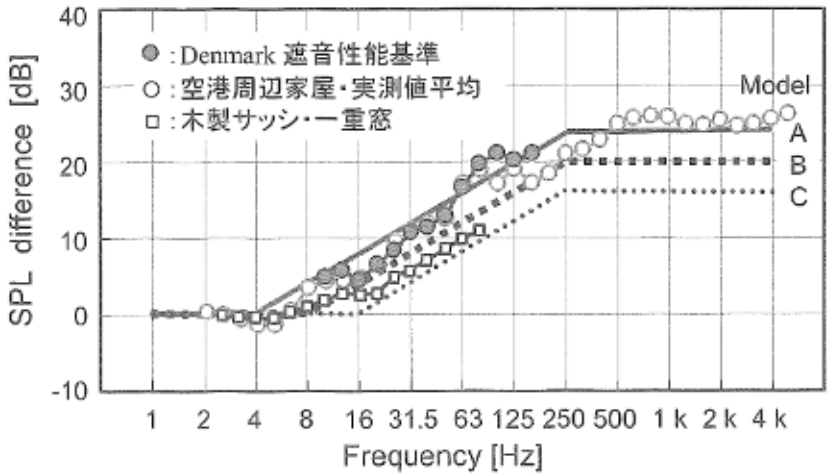


図 5　ハウスフィルター・モデルと 3 種類の参照データの比較

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

これを見ると、低周波音に対して、防音窓の効果が少ないことが分かります。 4 Hz 以下は素通りです。

30Hz 以下の周波数に関しては、あまり効果がありません。200Hz 程度のものに対しては効果があります。250Hz 以上だと 20ｄB の減衰で、エネルギーは 1/100 程度になるが、16Hz だと 5ｄB 程度の減衰で、エネルギーは 0.316 倍（約 1/3）程度にまで減衰します。

風車音で目立つのは、30Hz 以下の部分がほとんどです。

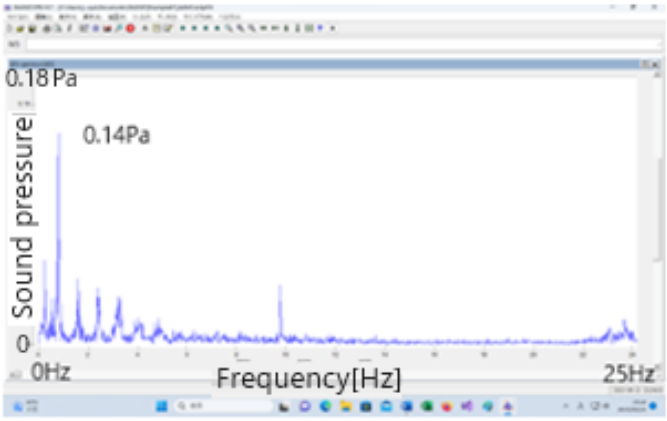


図１．交通騒音（リオン社前）０～5000Hz

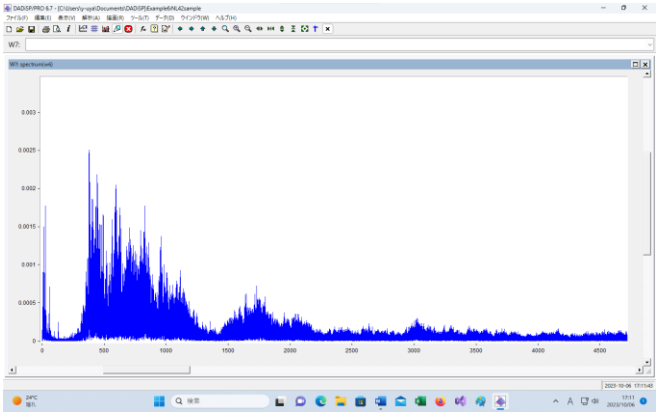


図２．工場騒音（製鉄所内の音）０～5000Hz

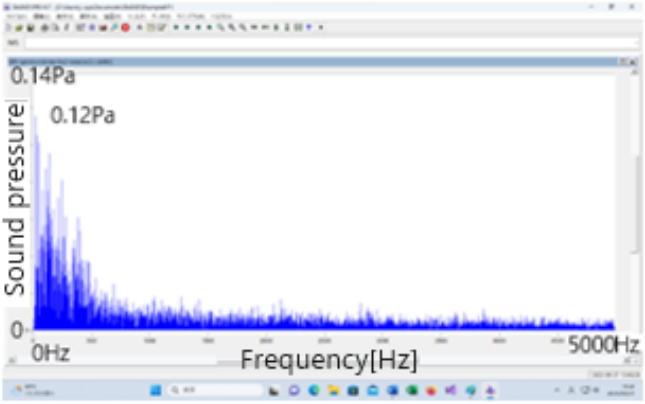


図３．風車音（館山風の丘）０～5000Hz

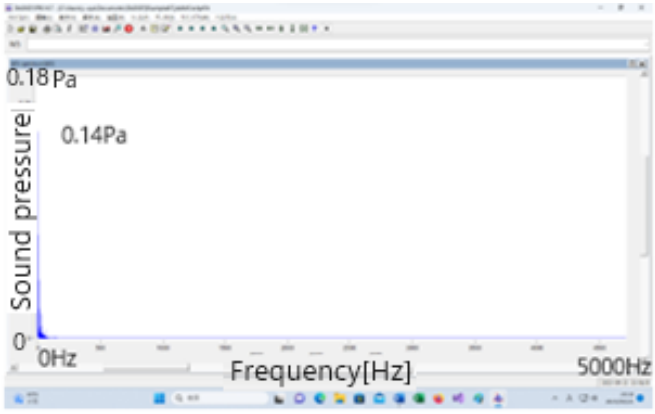


表２．エネルギーの分布

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

交通騒音に対して効果のある防音窓も風車音に対しては、お手上げなのです。

以前は、低周波音の被害の研究も行われていた。被害の特徴は、“音がうるさい”という事とは別のものです。

“低周波音の基礎および伝搬・影響・評価”（小林理学研究所　落合博明）には、

2.　低周波音とは?

2.1　低周波音の周波数範囲

ISO-7196 では、超低周波音(Infrasound) とは「周波数スペクトルが主に 1ー20Hz の範囲にある音」としている。「低周波音の測定方法に関するマニュアル」では、1/3 オクターブバンド中心周波数で 1ー80Hz の音波を低周波音、そのうち 1ー20Hz の音波を超低周波音と定義している。

2.2　低周波音の発生源

住環境のいたる所で測定した低周波音の測定結果（1ー80Hz 平坦特性）を図-1 (5)に示す。低周波音はいたるところに存在するが、問題となるような大きさの低周波音は、稀にしか存在しない。苦情が発生するような大きさの低周波音を発生する可能性のある発生源を表-1 (5)に示す。表では超低周波音の発生機構別に示した。但し、これらの発生源から必ず問題となるような低周波音が発生するわけではないことに注意が必要である。

表-1　超低周波音の発生機構と発生機構別発生源

平板の振動によるもの	板や膜の振動を伴うもの等	大型の振動ふるい、道路橋、溢水ダムの水流等
気流の脈動によるもの	気体の容積変動を伴うもの等	空気圧縮機、真空ポンプ等の圧縮膨張による容積変動
気体の非定常励振によるもの		大型送風機の翼の旋回失速やシステムのサージング、振動燃焼等
空気の急激な圧縮、開放によるもの		発破、鉄道トンネルの高速での列車突入等

発生源ですが、風車の振動を考えるならば、風車の側面に４枚の響板（100m*10m）が付いて

いてその振動で粗密波が発生すると考えるべきです。特に、風車音の指向性と、f/3、2f/3[Ｈｚ]の音の発生理由と考えれば、当然の帰結です。

低周波音の測定にあたってはＧ特性音圧レベルと 1/3 オクターブバンド音圧レベル（またはオクターブバンド音圧レベル）を測定する。

Ｇ特性の周波数レスポンスを図-9 および表-2 に示す。Ｇ特性は ISO-7196 ⑵で規定された超低周波音（1ー20Hz）の周波数重み特性で、基準は 10Hz、1ー20Hz における傾斜（12dB/oct.）は低周波音の感覚閾値に基づいている。

なお、1Hz 未満および 20Hz より高い周波数域の特性は、特に意味を持たない。

残念ながら、間違っています。ISO7196で規定した超低周波音は、1～20Hzでは、ありません。周波数スペクトルが主に1～20Hzに入る。のですから、その範囲に入らないものがあっても良いのです。ISO7196での中心周波数は0.25Hz～315Hzです。

また、大型化した風車では、最大音圧となるので0.5Hzあたりです。その近くに風車音のエネルギーの50%以上が集中しています。

この部分を無視しては風車音の影響を評価できないのです。最大音圧は“圧迫感”の原因です。0.5Hzの部分が大きな意味を持つのです。1Hz未満を軽視すれば、圧迫感や頭痛の原因が不明になるのは当然です。

これは、G特性音圧レベルや1/3オクターブ解析だけでは分からないのです。計測方法や解析方法には新しいものがあります。Wavelet解析やカオス理論も役に立ちます。

6. 低周波音苦情の分類

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

表-3　低周波音苦情の分類

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

ここで、圧迫感や吐き気は、音がうるさいと言う反応ではありません。聴覚に対する刺激ではなく、他の感覚器官に対する刺激と考えるべきです。

10.　おわりに

近年、風車からの騒音・低周波音が問題となっている。しかし、国内に設置されている大型の風車から発生する騒音・低周波音の測定データが公表されていない。これにより、風車から問題となるような大きさの音が発生しているのかどうかもはっきりせず、あらぬ誤解を生じさせていると考えられる。

現状をきっちりと測定し、測定データを公表することにより、問題の有無を明確することが重要である。問題がある場合には、対策を施すことにより、騒音の低減をはかればよいと考える。

なお、低周波音の基礎的な事項については、環境省よりパンフレット(23)が公表されているので、そちらも併せて参照頂きたい。

残念ながら、業者が、計測結果のデジタルデータを公開した例は見られない。県や市が、風車音を計測して、計測結果をデジタルデータとして公開した例も見られない。　待っていてもだめですから、自分で精密騒音計、振動レベル計、ビデオカメラを購入して、計測結果をどんどん公開すべきです。

この中で、

現状をきっちりと測定し、測定データを公表することにより、問題の有無を明確することが重要である。問題がある場合には、対策を施すことにより、騒音の低減をはかればよいと考える。

と言われているが、貴社は今まで建設してきた風車の音に関して、どの様な騒音計で計測しましたか？機種名を明らかいにして下さい。その機種で計測可能な周波数範囲を示してください。計測結果はどのような形で保管していますか？

住民の信頼を得るためには、計測結果とのものを公開すべきだと考えます。計測結果で最も重要なのは、高性能のマイクを備えている精密騒音計で記録した音圧変動（圧力変動）の記録だと考えます。これを公開することが、被害原因が風車なのか否かを考える上で最も重要なことだと考えます。

貴社は、風車音を NL-62、NL-63、SA-A1 のどれかで計測し、音圧変動の様子を記録したＷＡＶファイルを公開すべきだと考えるが、貴社はどのように考えますか？

計測すれば、風車から超低周波音が出ていることが判明すると思いますが、どのような対策が有効だと考えていますが？

対策は、周波数によって変わってくるのですが、貴社の風車から出ている音の周波数成分の中で、最大音圧を持っている成分を明らかにして、被害を防ぐ手段が有効である事を、周波数に踏まえてしっかりと説明してください。

・参照値

環境省は、“参照値”として、低周波音の被害の目安となる数値も示していた。

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

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

表 2-3　低周波音による心身に係る苦情に関する参照値[1-6]

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

ｵｰﾊﾞｰｵｰﾙ値
92dB(G)

上の２つの表の数値です。

これと関連するものとして、
ISO 389-7:2019 には、threshold of hearing 聴覚（聴力）閾値の値が書かれています。
この、聴覚閾値の表の数値と、心身に係る苦情に関する参照値との対応表をつくれば、

バンド（ヘルツ）	20	25	31.5	40	50	63	80
参照値（デシベル）	76	70	64	57	52	47	41
聴覚閾値（デシベル）（改訂前の値）	78.1 (78.5)	68.7	59.5	51.1	44	37.5	31.5

となります。
（参照値－聴覚閾値）の表を作れば次のようになります。

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

この表は、**周波数が低くなればなるほど、聴覚閾値と参照値（不快感を感じ始める値）の差が小さくなってきていて、20Hz 手前で逆転する**ことを示します。

不思議なことに、環境省の HP には、

Ｑ７　感覚閾値と『参照値』は違うものですか？
Ａ７　感覚閾値とは、なんらかのかたちで低周波音を感じることのできる最小の音圧レベルです。一方、『参照値』には、１）建具類のがたつきなどの「物的苦情の『参照値』」と２）圧迫感、振動感、不快感などの「心身に係る

苦情の『参照値』」の２種類があります。「物的苦情の『参照値』」については、建具等ががたつき始める最小の音圧レベルを実験等によって求めたものです。「心身に係る苦情の『参照値』」については、長時間継続する低周波音を受けた場合に、大部分の人があまり気にならないで許容できる最大音圧レベルです。このように、「心身に係る苦情の『参照値』」と「感覚閾値」とでは定義が異なります。**大小関係で言うと、実際には、「心身に係る苦情の『参照値』」は「感覚閾値」より少し大きな値となっています。**

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

Q10　風力発電から、低周波音が出て健康や生活環境に影響があると聞きましたが本当ですか？
A10　風力発電施設から発生する音には低周波音も含まれますが、他の環境騒音（交通騒音等）と比べて特に大きいわけではありません。風力発電施設から発生する音と健康影響の関係については、国内外で様々な研究が進められていますが、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音（※）と健康影響について、現段階において、明らかな関連を示す知見は確認できませんでした。
　環境省では、平成 25 年度から「風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会」を設置し、平成 28 年 11 月に検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」が取りまとめられました。
　検討会報告書では、これまでの国内外で得られた研究結果を整理しています（詳細は検討会報告書を参照ください。）。
　まず、日本の風力発電施設から発生する音の実測調査の結果、風力発電施設から発生する超低周波音は、音圧レベルがそれほど高くなく、人間の知覚閾値以下であることがわかりました。また、他の環境騒音を比較した結果、風力発電施設から発生する音は、低周波数領域で卓越があるわけではありませんでした。
　また、国内外の風車騒音と人への健康影響について、過去の研究を広く整理し専門家による審査を経て医学会誌等に掲載されたレビュー論文や、各国政府による報告書等を整理したところ、風力発電施設から発生する超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できませんでした。
　ただし、検討会報告書では、一般的な騒音の問題として、生活環境を保全する観点から騒音の評価の目安を定めるべきとされ、その後環境省により指針が定められています（Q11 を参照ください）。
※　低周波音というのは、**一般に１００Hz 以下の周波数の音を指します。その中でも２０Hz を下回るものは、超低周波音と呼ばれ、通常人間には聞こえません。超低周波音は音圧レベルが高くなると、圧迫感等を感じさせる場合があることが知られています。**

　さて、超低周波音・低周波音ですが、環境省が言っていた通り防音は困難です。

　少し調べれば、回転軸が水平の風車は、超低周波音の発生装置そのものであることが分ります。

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

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

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

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

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

この音が“知覚できないから問題は無い”という人は、0.8Hz の音の知覚閾値の音圧を示す事が必要となります。知覚閾値を決める実験ではどのようなスピーカを使ったのかを示す必要があります。実験を再現するためには、スピーカを販売している会社名を示す事も必要です。

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

超低周波音・低周波音は一度発生したら、防音窓でも防げないのです。

そして、“苦情”＝被害を防ぐには、風車を停止させるか撤去するしかないのです。

環境省は検討会報告書を根拠として、住民の被害を苦情と言い換え、さらに 20Hz 以下周波数成分を計測しないことにした。A 特性音圧レベルを基に住民の言い分を評価すれば、住民の訴えは根拠の無いたわごと、ということになります。

回転軸が水平の風車は、物理的に考えれば、超低周波音の発生器そのものであり、風車が大型化すれば被害は大きくなるのです。一度出た低周波音は防げないのです。

１０．健康被害と原因

１０．１　アノイアンスとラウドネス

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

ラウドネス（うるささ）の評価に、A 特性音圧レベル（騒音レベル）の数値が適しているのだが、アノイアンス（不快感）の評価には適していない。
　騒音レベルの数値が同じでも、風車音でのアノイアンスと交通騒音でのアノイアンスには、大きな違いがある。

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

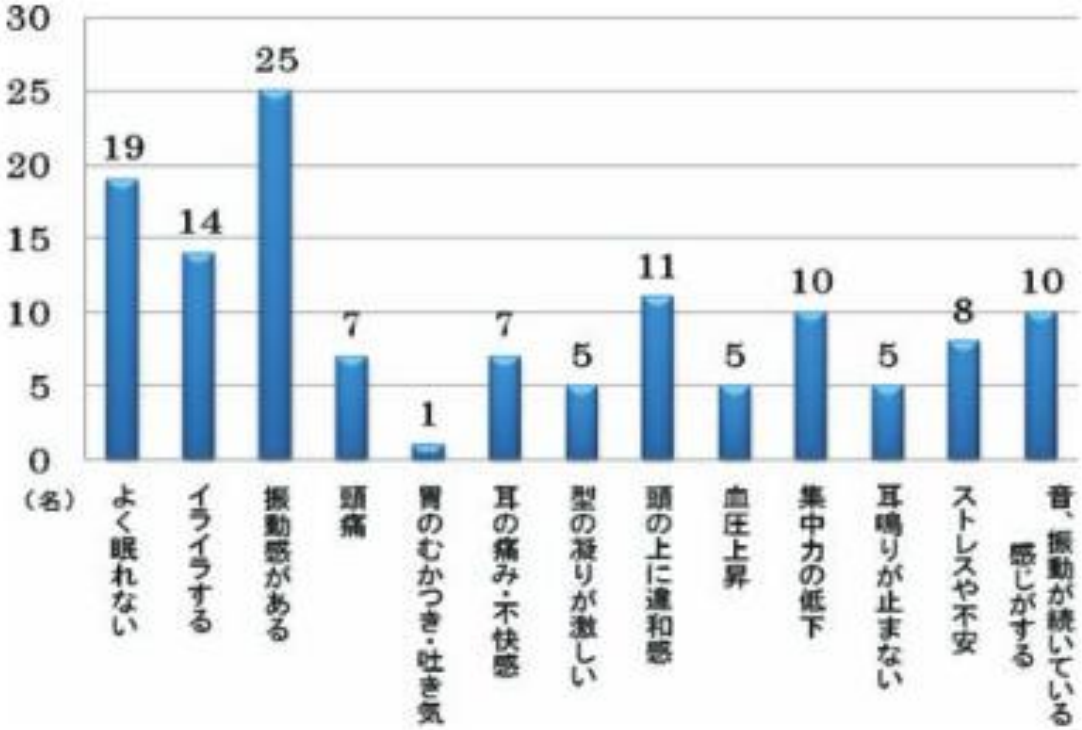


図２　苦情の訴え（「Ｑ５」、複数回答を含む）

には、

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

表1 東伊豆での風車停止中の被害改善調査（%）

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

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

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

とあります。

・平成２２年、環境省の調査

風力発電所に係る騒音・低周波音に関する問題の発生状況

には、

“【風力発電所の現地調査のうち、騒音・低周波音に関する主な状況】

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

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

□ 騒音の環境基準を満たしている地点からも苦情が生じている事例があった。

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

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

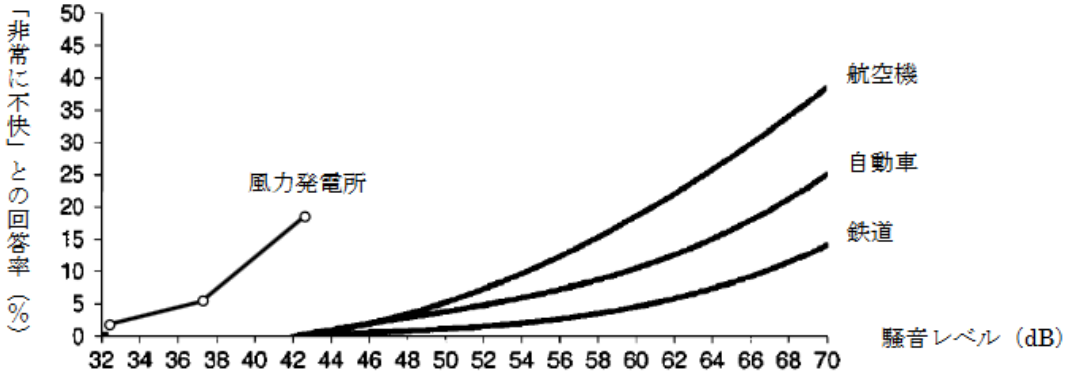


図８．「非常に不快」との回答率と各種の騒音源からの騒音レベルの関係
（脚注３及び５の文献より環境省作成）

②風力発電所からの騒音・低周波音に関する訴え

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

とあります。

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

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

風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会　の報告書（ｐ14）には、不快感と A 特性音圧レベル（20Hz～）の関連を示す記述がある。（これは、統計的な分析結果です。）

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

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

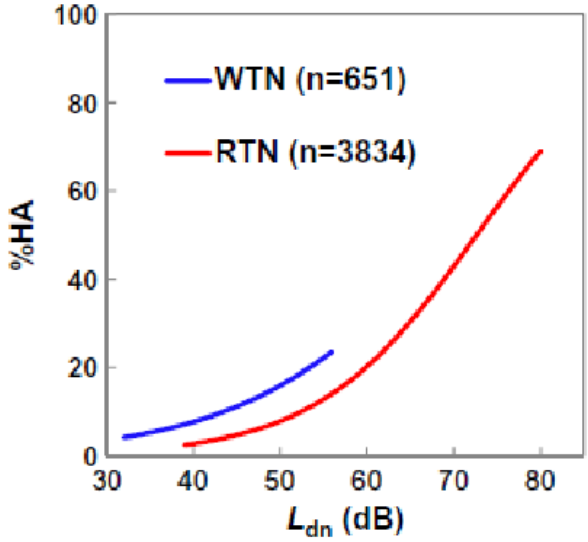


図 7 風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（Ldn ）※ と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

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

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

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

大型風車による地盤振動伝播*

—立地環境による差異—

Ground vibration originated from large-scale wind turbines

— difference by the foundation situation —

小野寺 英輝

3-2. アノイアンス問題発生地域での計測

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

(b)では，微細な変化の観察を容易とすることを目的に縦軸を(a)の 200 倍としてある．ただし，(b)を(a)と同じスケールの縦軸にすると振幅データは，およそ 10Hz 以上の領域を除けば，値の上下はほとんど観察されない．

なお，図中のギリシャ数字は前記の表 1 にある風車の略号を示す．ただし，それぞれの計測個所までの距離は，表 1 に示した通り一定ではない．これらのうち，**最大のピーク値を示すⅤの場合の振動加速度は 8.9×10-2(Gal)，アノイアンスの申告があったⅥの場合，6.7×10-6(Gal)で，数値的には非常に小さくなっている．なお**

補足であるが，震度 1 の最小値は 0.6(Gal)である．

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

１． 雨の日には 24 時間強い不快感を感じる

２． 水田にいると楽になる

３． 冬がひどく，夏はいくらかよい

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

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

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

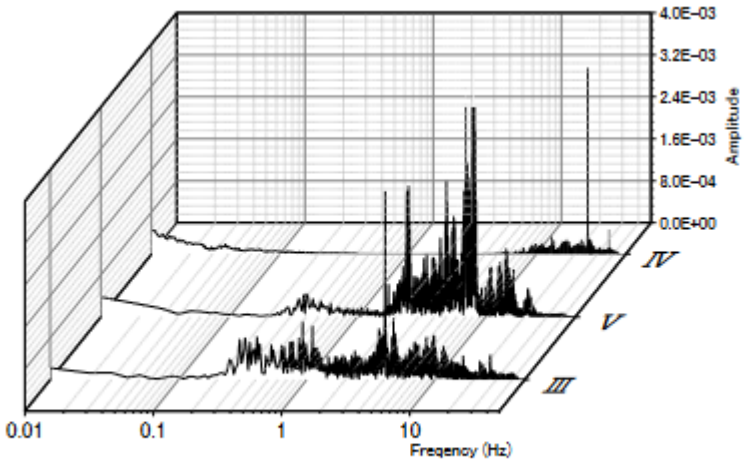
これらのうち，アノイアンス申告が顕著であったのがⅥ関係地域であり，次いでⅧ地（民間の作業所）であるが，後者は風車に近接していることから，一般の空力騒音によるものではないかと考えられる．

4．まとめ

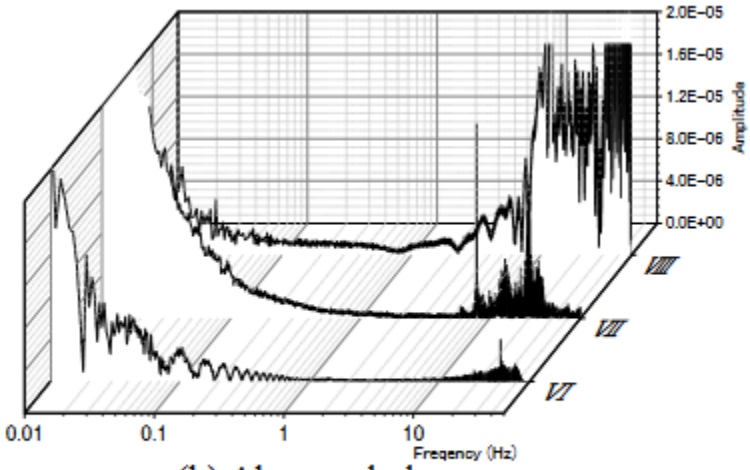
(1)本報の範囲では減衰割合は，砂地では z 方向が，土質地盤では y 方向が他に比して大きい．

(2)風車の立地条件によると思われる極低周波数側の振幅増加が他と比して大きい周波数から発生する場合がある．

(3)1Hz 以下で，波状の周波数分布を示す風車があり，本調査の範囲では，アノイアンス申告のある地域と一致している．



(a) Referring places



(b) Abnormal places

Fig.5　Frequency profiles of measured points

質問

建設後に、事前予測と異なって室内でのガタツキが起きることもあります。

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

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

（答え）

周辺の家の振動（野中　氏）

ここでは、音だけではなく地盤振動に関しての記述があります。

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界値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得ません。

（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 30ｄＢ以下でした。”との事記述は、不良品の計測器を使ったとしか思えない。

【振 動 の単 位 】

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

名　称	記号	単位	解　説
変　位	δ	μ 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もあります。単位を見て分かる通り速度は変位を時間で 1 回微分したものです。kine は発破振動で良く用いられる単位で kine= cm/sec です。
加 速 度	a	cm /sec^2 gal G	物体が振動する時の速度の変化量。地震動など多くの振動はこの加速度で管理される場合が多いです。変位を時間で 2 回微分したものが加速度です。cm /sec^2＝gal、重力加速度 1G=980 gal 変位と速度とは(1)式の関係となります。
加速度実効値	a_{rms}	cm /sec^2 gal	振動の多くは異なる周波数成分を含む複合振動ですので、波形のピーク値のみでは、その振動の仕事量は計れません。(2)式により求められる“振動の仕事量”(力積)に相当する値です。
振動加速度レベル	LVA	dB	人の感覚が対数尺度に近いため、(3)式により加速度実効値を対数尺度で表す値。帯域の広い振動量を示すのに都合が良いです。
振動レベル	LV	dB	振動加速度レベルに感覚補正(周波数重付補正)された値で、この振動レベルのみ物理的な量でなく“感覚量”です。

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

加速度（m/s²）・振動加速度レベル(dB)の相互変換

$AdB=10\log(a1/a0)^2=20\log(a1/a0)$, $a0=10^{-5m/s2}$ で換算してます。

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

参 考 資 料—低周波音の基礎知識—

の-参考２-のページには、

. 低周波音の苦情と実態

c.1 低周波音苦情の分類

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

（1）心理的苦情 気分のいらいら、胸や腹の圧迫感

（2）生理的苦情 頭痛、耳なり、吐き気、

（3）睡眠影響

（4）物的苦情 家具、建具（戸、障子、窓ガラス等）の振動、置物の移動

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

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

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

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

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

などが考えられます。

このうちで、
安眠妨害を引き起こしそうな不快感を集めてみると、

ラウドネス（うるささ）関連の刺激や状態
風車の騒音がうるさい

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

る、怒る、集中できない、神経質になる、緊張する、不安になる、気分のいらいら、

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

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

10．1．1 唾液コルチゾール検査

唾液コルチゾール検査 「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ)」という言葉をご存じでしょうか？
近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日 常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たち の心身を守ってくれています。 しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。
以下の症状に覚えはありませんか？ 朝、起きるのがつらい ぐっすり眠っても、まだ疲労感がある 塩辛い食べ物が無性に欲しくなる 以前楽しんでいたこともすべて億劫に感じる 日常的なことがとても疲れる 性欲の低下 ストレスに対処出来ない、イライラしやすい 病気や怪我、外傷から回復するのに時間がかかる ベッドや椅子から立ち上がるとき、クラクラする 軽度のうつ（人生に何の意味も感じられない） 人生の全てがむなしい PMS（月経前症候群）の悪化（手足のむくみ、頭痛、乳房の張り、下腹部の痛み、ふさぎ、不安、怒り、イ ライラがひどくなる） カフェインがないと仕事ができない 思考がまとまらず、ボーっとする 記憶があやふや 午前１０時まで目覚めない 午後３時から４時の間はぼんやりしている 夕食後、やっと元気になる 仕事がはかどらない（医者も知らないアドレナル・ファティーグ ジェームズ・L・ウィルソン著 中央アート出版社より引用） 146 146 上記の症状に １つでも当てはまれば、副腎疲労の可能性が考えられます。もし、4 つ以上当てはまる場合には、「唾液コルチゾール検査」で十分に副腎が働いているかどうか調べてみることをお勧めします。副腎疲労 の治療は、原因となるストレスの同定・除去や、生活習慣の改善、サプリメントを用いた栄養療法などが中 心となります。 唾液コルチゾール検査の方法 一日 4 回（8 時、12 時、16 時、24 時）唾液の採取をします。唾液中に含まれるコルチゾールの日内変動を 調べます。 正常な場合：朝の値が最も高く、時間が経つにつれて下がります。 副腎機能が低下している場合：朝の値が低くなるなど、分泌パターンに変化が見られます。 こういった値の変化によって副腎疲労の度合いが分かります。（唾液の接種だけの検査ですので、身体への負 担はほとんどありません。） 検査費用：15,000 円（税別）※自費診療 この検査を含めた場合、診断書の発行費用は、１回あたり２万円程度です。

10．1．2 カナダ政府の風車騒音と健康に関する調査

Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results
“風車騒音と健康に関する調査:結果の概要”には、

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

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

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

“ストレス対策
毛髪コルチゾール、血圧、安静時心拍数の測定値を知覚ストレス尺度に加えて適用し、WTN への曝露がストレスに関連していることが知られている生理学的変化と関連している可能性をより完全に評価しました。
コルチゾールはストレスのバイオマーカーとして確立されており、伝統的に血液や唾液から測定されます。しかし、血液や唾液からの測定値は、コルチゾールの短期的な変動を反映しており、時間帯、食物摂取量、体位、短時間のストレスなど、疫学研究で制御することが非常に困難な多くの変数の影響を受けます。コルチゾールは成長するにつれて髪に取り込まれるため、毛髪サンプル中のコルチゾールを測定することで、このような懸念は大幅に解消されます。1ヶ月あたり 1cm の予測可能な平均成長率で、髪のコルチゾールを測定することで、ストレッサーへの曝露の月を遡及的に調べることができます。したがって、コルチゾールは、WTN への長期曝露がストレスに関連する主要なバイオマーカーの 1 つに及ぼす潜在的な影響を評価するのに特に有用です。
重回帰分析の結果から、毛髪コルチゾール濃度と知覚ストレス尺度のスコアとの間に一貫性が見られた(すなわち、この尺度のスコアが高いほど毛髪コルチゾールの濃度が高い)が、どちらの指標も WTN への曝露によって有意な影響を受けないことがわかった。同様に、自己申告による高血圧(高血圧)は測定された血圧の上昇と関連していたが、測定された血圧または安静時心拍数と WTN 曝露との間に統計的に有意な関連は観察されなかった。
“

“5.3 煩わしさと健康
WTN の不快感は、血圧、片頭痛、耳鳴り、めまい、PSQI のスコア、知覚ストレスなど、いくつかの自己申告による健康への影響と統計的に関連していることがわかった。
WTN の不快感は、測定された毛髪コルチゾール、収縮期血圧、拡張期血圧と統計的に関連していることがわかりました。
自己報告および測定された健康エンドポイントに関する上記の関連は、特定の騒音レベルまたはタービンからの特定の距離に依存せず、多くの場合、道路交通騒音の不快感についても観察されました。
カナダ保健省は、これらの症状が風力タービンへの曝露よりも前からあったのか、あるいは風力タービンへの曝露によって悪化した可能性があるのかを知る方法がないが、この調査結果は、長期にわたる高い不快感と健康との潜在的な関連性を裏付けている。
調査結果は、健康と福祉への影響が、風力タービンへの曝露以上に、コミュニティの不快感に影響を与える活動に部分的に関連している可能性があることを示唆しています。
ウ. 客観的に測定された結果
客観的に測定された健康アウトカムは一貫しており、対応する自己申告の結果と統計的に関連していることがわかった。WTN は、多重回帰モデルの適用後、毛髪コルチゾール濃度、血圧、安静時心拍数、または測定された睡眠(睡眠潜時、覚醒、睡眠効率など)に関連していることは観察されませんでした脚注 6。“

とありますが、

不快感の原因を 20Hz 以上の成分に限定してはなりません。
ですから、
WTN（Wind Turbine Noise）ではなく WTS（Wind Turbine sound）とする必要があるのです。

とある内容を表にすれば次の様になります。

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

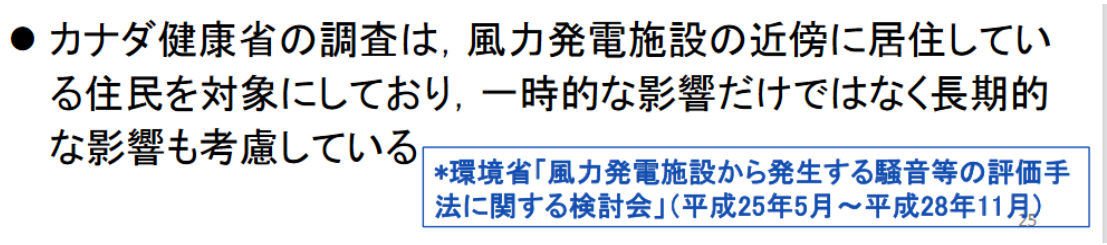
（×は関連性無し、○は関連性あり、△は三段論法で関連性ありと判断できるものを表します。）

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

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

追加すべき項目は、最大音圧と、その周波数です。
音響キャビテーションでの、気泡発生の条件、周波数が低くて音圧が高い。に関連するからです。

カナダ健康省の調査



について確認しました。
カナダ政府の HP にある、
Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results
には、
となっています。
“風車騒音と健康に関する調査:結果概要”（ Wind Turbine Noise and Health Study: Summary of Results）の問題点は、WTN（Wind Turbine Noise）と健康の関連を調査する。との方針にあります。
本来ならば、超低周波音での最大音圧との関連を調べるべきなのに、20Hz 以上を対象とする WTN との関連を調べても、上手くは行かないのです。
調査結果は、次の様になりました。

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

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

表-3　低周波音苦情の分類

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

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

従って、ここでの“統計的に有意な知見”とは、WTN（Ａ特性音圧レベル、騒音レベル）と“低周波音苦情”の項目との統計的に、深い関連性は認められなかったという意味です。
風車音の特徴をＷＴＮで表現できると考えてことが間違いの原因です。ＷＴＮは 20Ｈｚ以上の周波数から計算されます。風車音では、20Hz 以上の周波数を持っている成分のエネルギーは全体の 7%です。
WTN の数値は、可聴域での被害“うるさい”との関係は深いのですが、圧迫感や頭痛などの不快感との関連は薄いのです。このような低周波音による被害との関連を求めるには、圧迫感に注目すれば、圧迫の原因そのものである最大音圧を多変量解析での項目にしなくてはならないのです。

安眠妨害に関係が深いのは、ラウドネス（うるささ）ではなく、アノイアンス（不快感）なのです。
風車音による被害としての安眠妨害を評価する数値は、圧迫感に注目して考えれば、最大音圧をパスカル値で表現した数値なのです。
アノイアンス（不快感）は、風車音の大きな特徴であり、1 日中続く風車音は、長期間にわたり継続的に安眠妨害を引き起こす。
その結果、風車音→安眠妨害→健康被害の形で、風車音は間接的に健康被害を引き起こす。

風車から出る超低周波音は、離散的な周波数構造を持っていて、強風時の波形を見れば、音響キャビテーションにおける気泡発生の条件を満たす。体内に発生する微小な気泡によって、潜水病の状態と同じ状態になるので、頭痛が起きる。これは風車音による直接的な健康被害である。

10．1．3 風車音の影響

風車騒音の人への影響

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

周辺環境に対する影響の懸念が国内外で顕在化

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

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

直接的影響と間接的影響

“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”
との主張について確認すべき事項があります。
“騒音”とは、20Hz 以上の周波数成分であり、20Hz 以上の成分は風車音にはあまり含まれていないのです。ですから、騒音の部分を A 特性音圧レベルとして数値化したものと、被害の関連を調べれば、その関連性は低いのです。これは被害の中身を見ればはっきりします。音が聞こえてうるさいという（ラウドネスに関連する）訴

えは少ないのです。

うるさくて眠れない場合もあるでしょう。鉄道も夜は走りません。車の交通量も夜は減ります。風車音は夜も止まりません。このことによる影響については、

“風車騒音が人の健康に間接的に影響を及ぼす可能性は高い”と言うべきです。

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

風車音による被害の形は、“うるささ”だけではありません。

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

これらの被害は不快感となり（アノイアンスによる）睡眠妨害を引き起こします。

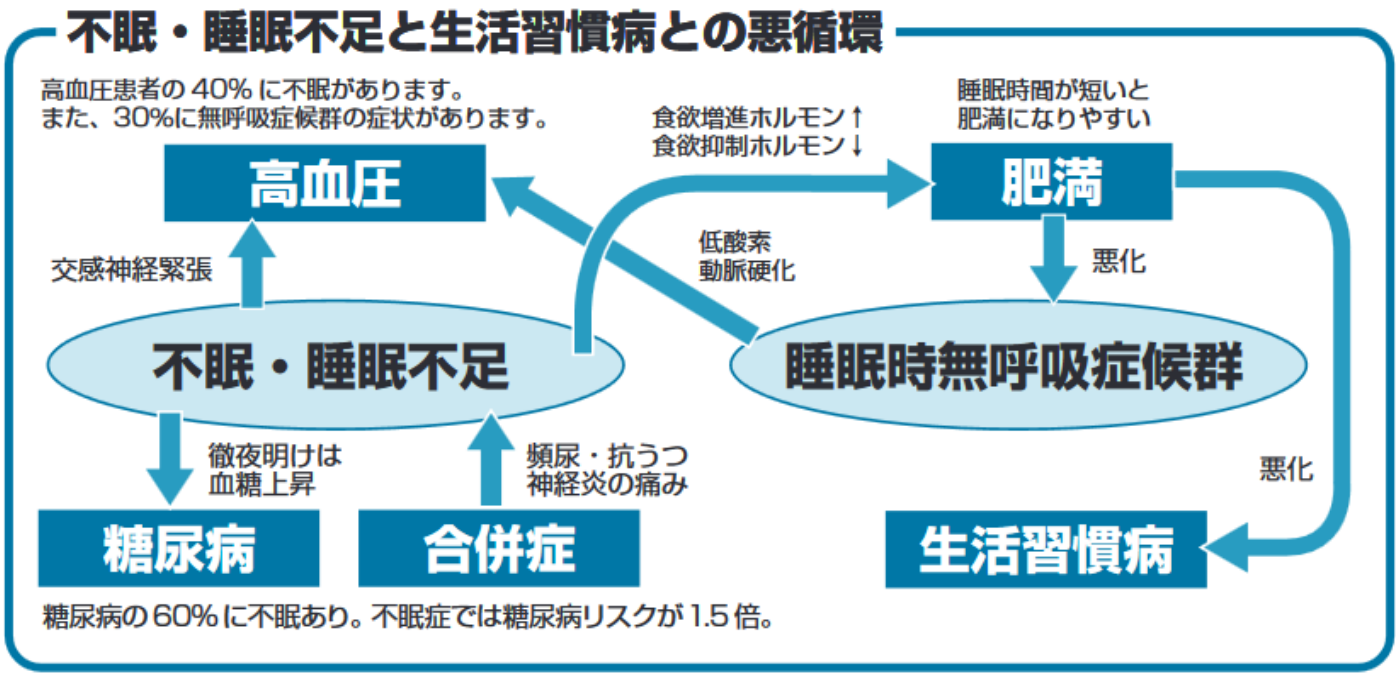
これが可聴域の音が原因で起きるならば、交通騒音でもこのような訴えが多発するはずですが、そうではありません。

風車音が、うるさい（ラウドネス）から眠れない、不快感（アノイアンス）で眠れないのかは別にしても、

風車被害の調査結果では最も多いのが、風車音による睡眠妨害の訴えです。

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

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



さらに、

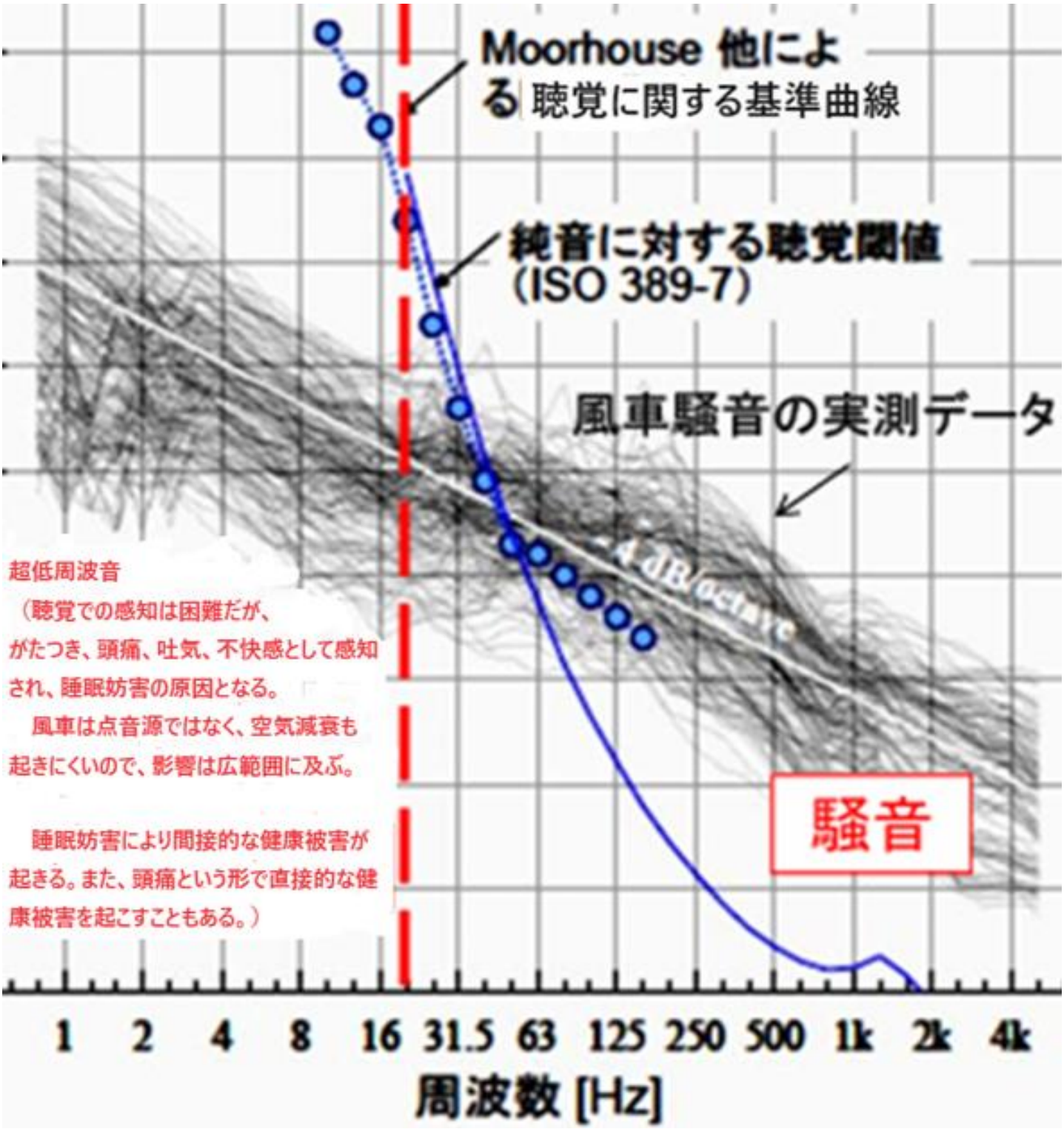
“風力発電施設から発生する騒音が 人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”かもしれないが、

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

のです。

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

ですから、図は次の様に修正されるべきです。



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

明らかな関連に関して
“明らか”の意味は色々である。数学の命題で、証明を省いて“明らか”と書いてある事も多いが、初学者にとっては決して明らかではない。
　例えば、“2+3”を計算せよと言われたら、“2+3＝5”と答える人がほとんどだと思います。
では、
“2+3＝5　を証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？
“√2　が無理数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？
“π　が超越数であることを証明せよ。”と言われたら、どうしますか？“明らか”でしょうか？

　“超低周波音・低周波音と健康影響については、明らかな関連を示す知見は確認できない”ですが、
“風車の運転を止めれば不眠や体調不良が無くなり、運転すれば不眠や体調不良が起きる。”から、関連は明らかである。
と主張したら、関連を認めるのでしょうか？たぶん、企業は認めないのだと思います。
　では、風車音が原因で、体内に小さな気泡が発生することを、物理的、数学的に、解明して、コンピュータシミュレーションで示したら、関連が“明らか”なったと認めるのでしょうか？
9) 石井俶夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム，初版, 2005
この本の、音響キャビテーションに関する内容をさらに研究すれば、現在の物理と数学から見て、関連が明らかになったと言える。と考えます。

　実際に被害を受けて苦しんでいる人がいても、その原因を究明し、問題を解決することが出来ないならば、科学の価値は無い。
1/3 オクターブ解析を使い周波数の特定さえもしようとしない。家の中で振動レベル計を使う提案もしない。これでは、問題は決して解決しない。

もちろん調査は必要だが、調査の前に、“健常者の人体に感知される超低周波音は存在せず、建具をがたつかせる超低周波音も存在しない”と言うような考えを流布し、被害を訴えさせなくする風潮を改める必要がある。
また、被害を苦情と言い換え、単なる主観や経済的利益の問題に摩り替えてはいけない。

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

用語の確認：
検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」には

（注）「超低周波音」についての補足

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

と書いてある。

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

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

風車騒音が

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

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

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

”検討会報告書「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“には、

報告書（ｐ14）に、

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

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

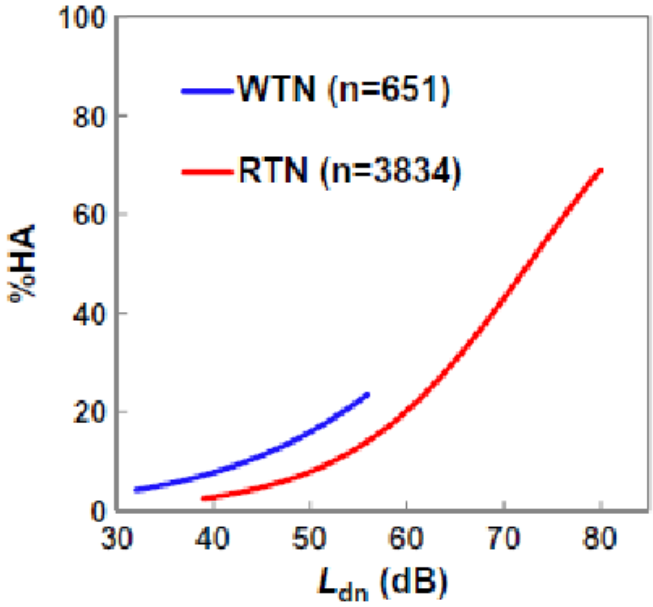


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

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

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

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

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

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

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

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

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

うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼

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

であることが分かります。
交通騒音での基準値の表と比較してみます。

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

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

住宅街での交通騒音での基準値は昼間で 55ｄB、夜間で 45ｄB です。

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

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

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

グラフのズレについて６～９ｄＢとの解説もありますが、グラフを拡大して、水平線を引いて、交点の間隔を調べてみたら、次の様に 4～13ｄB なりました。

ズレの理由を次の様に考えました。

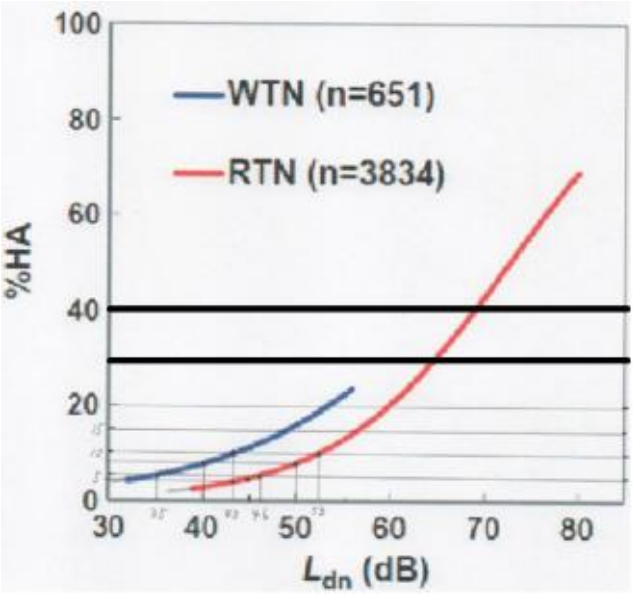
A特性音圧レベルで計算される騒音レベルは、風車音のエネルギーの 7%と占める。この部分が、風車音全体のエネルギーの 99%まで増加したとすれば、

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

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

となって、11.5ｄＢ増加します。

報告書（ｐ14）にある、風車騒音と交通騒音の違いを表にすると、



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

“非常に不快である”と感じる人の割合にかなりの差があることが分かります。

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

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

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

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

なお、このｐ14 の記述は、“特定の周波数が卓越した音（純音性成分）”についての分析ではなく、
風車騒音の一般的な性質を、交通騒音との比較において述べている事に注意する必要がある。
風車騒音で 35ｄB は、交通騒音で 46ｄB の場合と同じ被害が出ます。5%の人が、“非常に不快である”と思う数値です。単純に“不快である”と思う人をその２倍と仮定すれば、合計で 15%の人が不快感を覚える数値です。普通は、風車は夜間も停止しません。AA 地区で、夜間で 46ｄB の騒音がある場合の被害が想定されます。言葉で言えば、“やや大きく聞こえるが、通常の会話は可能”のレベルです。これでは病人は安眠できません。眠れなければ、体力も落ちます。病気が治るとは思えません。対策が必要です。
　もちろん、健康な人でも安眠できる状態ではありません。

（防音効果を無視して考えれば､）
　風車騒音は屋外で計測したＡ特性音圧レベル（２０Hz～）を使って評価します。
住宅地域での指針値の下限として 40ｄB が示されています。風車騒音での 40ｄB は、被害状況を比べながら交通騒音に対応させると、交通騒音での 50ｄB に相当します。
　風車は夜間も停止しません。もし、風車音で 40ｄB の音が夜間放出されると、被害は、夜間に於いて交通騒音 50ｄB が発生している状況と同程度の被害が出ます。
交通騒音で 50ｄB だと、8%の人が“非常に不快である”と感じます。他の統計結果と比較すれば、“不快である”と感じる人の割合は、その２倍で、16%程度だと推測できます。
合計は、24%になります。上の表では“大きく聞こえる、通常の会話は可能”ですから、24%程度の人が、“睡眠の妨げとなる”と考えるのは当然の結果だと判断できます。
もちろん、眠りが浅くなっても、翌日死亡することはほとんどありません。そんな日が毎日続けば、車を運転中に居眠りします。子供は、学校の授業中に居眠りします。
死亡事故や、生涯賃金の減少が予測できます。もちろん、これは風車騒音（0Hz 以上）による直接の影響ではありません。風車騒音（0Hz 以上）は、毎日毎日ほんの少しだけ、安眠を妨げただけです。風車には責任はありません。眠い時に運転した人が悪いのです。眠いからと言って授業中に居眠りした生徒が悪いのです。
（となりますが、室内での影響を考えると、もう少し複雑になります。）

これだけでも、大きな問題ですが、風車騒音（0Hz 以上）のエネルギーを考えるともっと大きな問題があることが分かります。
　これを検討するには、風車騒音でのグラフと、交通騒音でのグラフがずれている理由を考えなくてはなりません。

その理由については、次の事項を手掛かりにして考えてみます。

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

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

“わずらわしさ（アノイアンス）に関連する要因としては風車騒音は 9%から 13%の範囲の寄与にとどまり”とあり、アノイアンスの他の原因で 91%から 87%の影響力を与えるものとして、“景観への影響”を与えるのは、乱暴すぎます。
わずらわしさ（アノイアンス）に関してのこの差の原因を“景観への影響”としても数値的な誤差の説明とはなりません。影響力が 9%～13%しかないものに責任を負わせてはいけません。“他の要因”について考える必要があります。

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

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

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

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

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

騒音（低周波音）・超低周波音の大きさの表し方

音圧レベル＜物理的な大きさ＞

音響出力は音圧の二乗に比例する

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

L_p : 音圧レベル(dB)

p : 音圧実効値(Pa)

p_0 :基準音圧 2×10^{-5} (Pa) (=20μPa)

dB値(参考) : 0.002Pa=40dB,
0.00002(2×10^{-5}) Pa=0dB

＊ OA音圧レベル (dB), 1/3オクターブバンド音圧レベル (dB)

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

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

のときに、全体のエネルギー（14 倍）を含めた評価は、

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

となる。（１ｄB の誤差が出るが、近似値としては良い値だと考えます。）

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

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

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

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

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

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

これらの数値は、屋外での計測値です。

このエネルギー分布と音の透過率を考えながら、室内の情況を考えます。

石竹達也　氏の研究内容に、

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$L_{Geq,n}$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$L_{Aeq,n}$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 40ｄB の風車騒音では、エネルギーの 7%に対する評価値が 40ｄB となっています。この部分に対しては、防音窓によって 24ｄB の減衰が得られます。従って、16ｄB となって、次の表から

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

ほとんど聞こえないレベルとなる。

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

さて、騒音レベルの計算ですが、次の資料を確認します。

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

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

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

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

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

この計算では、各周波数帯の音のエネルギーの和に対しての騒音レベルを計算しています。
音圧の２乗が音の強さ（エネルギー）に比例することから、この帯域でのエネルギーの大きさを　${P_{1/1}}^2$　とすれば、エネルギーの和を考えると、（　J＝（ｐ＊ｐ）/（ρｃ）を考え、適当な定数を掛けて考える。）

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

が成立する。

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

より$L_{800}/10=log_{10}(P_{800}/P_0)^2$、よって、$({}^{P_{800}}/_{P_0})^2=10^{L800/10}$

となり、

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

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

$$=10*log_{10}\left(10^{L800/10}+10^{L1000/10}+10^{L1250/10}\right)$$

となります。

そこで、

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

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

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

とすれば、

$$(P_L/P_0)^2=(P_T/P_0)^2-(P_H/P_0)^2$$

$$=10^5-10^4$$

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

この部分が、7ｄB 減衰すれば、42.5ｄB

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

とおくと、

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

さらに、

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

での減衰が 24ｄB なので、

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

とおいて、

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

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

このとき、

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

となります。

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

交通騒音（20Hz 以上）で 45ｄB だった場合はどうなるかと考えると、これは、24ｄB の減衰がそのまま使えて、室内では 21ｄB になると言えます。
交通騒音（20Hz～100Hz）で 40ｄB だった場合は、24ｄB の減衰があれば、16ｄB になります。
交通騒音に対しては、家は防音窓を付ければ、安眠を保証してくれます。
周波数が高ければ、防音窓は私たちの生活を守ってくれますが、周波数が低い風車超低周波音（ISO7196）の場合には、守ってはくれないのです。

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

普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

風車が大型化すると、この傾向はさらに顕著になります。従って、
“これらの結果は、風車騒音は超低周波音（ISO7196）による問題であるということを示している。”
“風車騒音（0Hz 以上）は通常可聴周波数範囲の騒音（20Hz 以上）としてではなく、超低周波音（ISO7196）の問題として議論すべきであることを意味している。”
のです。
ここでは、聴覚を中心に考えたが、圧力の感知や、共振による揺れの感知、共振による２次的な騒音の発生も検討が必要です。A 特性音圧レベル（２０Hz～）はこれを表現できません。

１０．２　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ありません。風車音の被害を把握するには８つの観点が必要です。
音がうるさい
圧迫感や吐き気などによる不快感
直接的な健康被害としての頭痛
音が原因の建具や床のガタツキを感じる
夜間の光（航空障害灯）による安眠妨害
風車の陰によるイライラ
風車振動の地中伝搬　（大型風車による地盤振動伝播　小野寺 英輝）
音源としての風車の形と距離減衰
です。
どれが起きても、睡眠を妨げられます。

10．2．2　ガタツキ閾値

銭函での G 特性音圧レベルは 67.950932ｄB ですから、100ｄB よりは低い数値です。
ISO7196 の中心周波数での、平坦特性での音圧レベルは、

中心周波数（Hz）	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
銭函（平坦特性ｄB）	51.39	57.76	62.60	65.99	69.41	71.60	71.82	71.97	71.45	71.53	71.33

中心周波数（Hz）	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
銭函（平坦特性ｄB）	71.54	70.30	69.88	67.92	63.91	59.42	55.67	51.17	47.02	48.24	49.40

中心周波数（Hz）	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
銭函（平坦特性ｄB）	44.68	41.86	40.38	44.90	42.97	40.98	38.58	37.28	34.08	33.15	

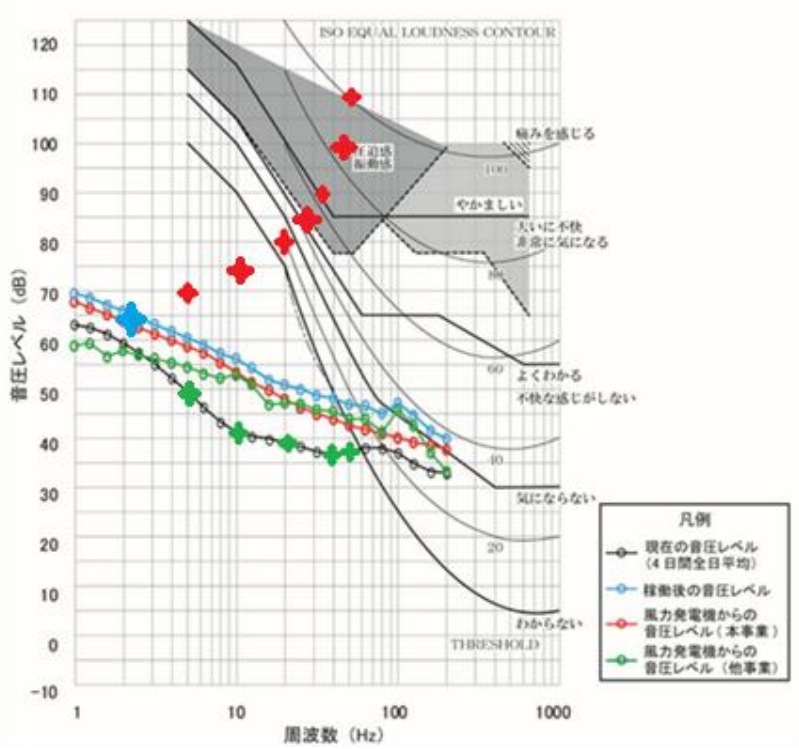
5Hz では 69.88≒70ｄB、1.25Hz では 71.97ｄB　です。ガタツキ閾値の数値、5Hz で 70ｄB になっています。

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

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

ガタツキが起きて、夜中に目が覚めても不思議ではありません。

上の表では、周波数が下がればガタツキ閾値も小さくなります。



上の図から、2Hz で 65ｄB 程度で、ガタツキが起きると考えられます。

風車の影響で、5Hz で 70ｄB、2Hz で 65ｄB 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のあるので、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とって脳に伝え、その結果、さまざまな疾患が発症したり悪化したりするという仮説（図 1）を提唱してきましたが、今回の研究成果により、本来は平衡感覚を司る前庭器官に、気圧を感じる部位と機能もあることが確かめられました。

実験の内容は次のとおりです。

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

図 1

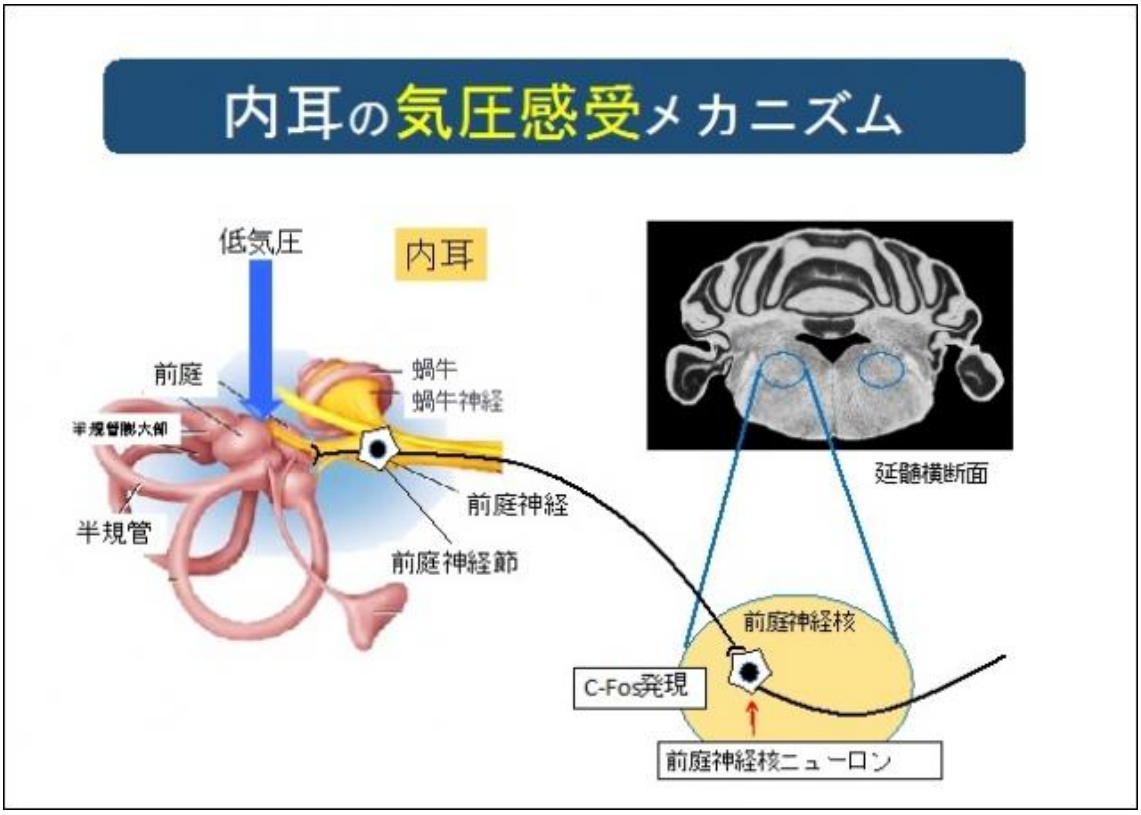
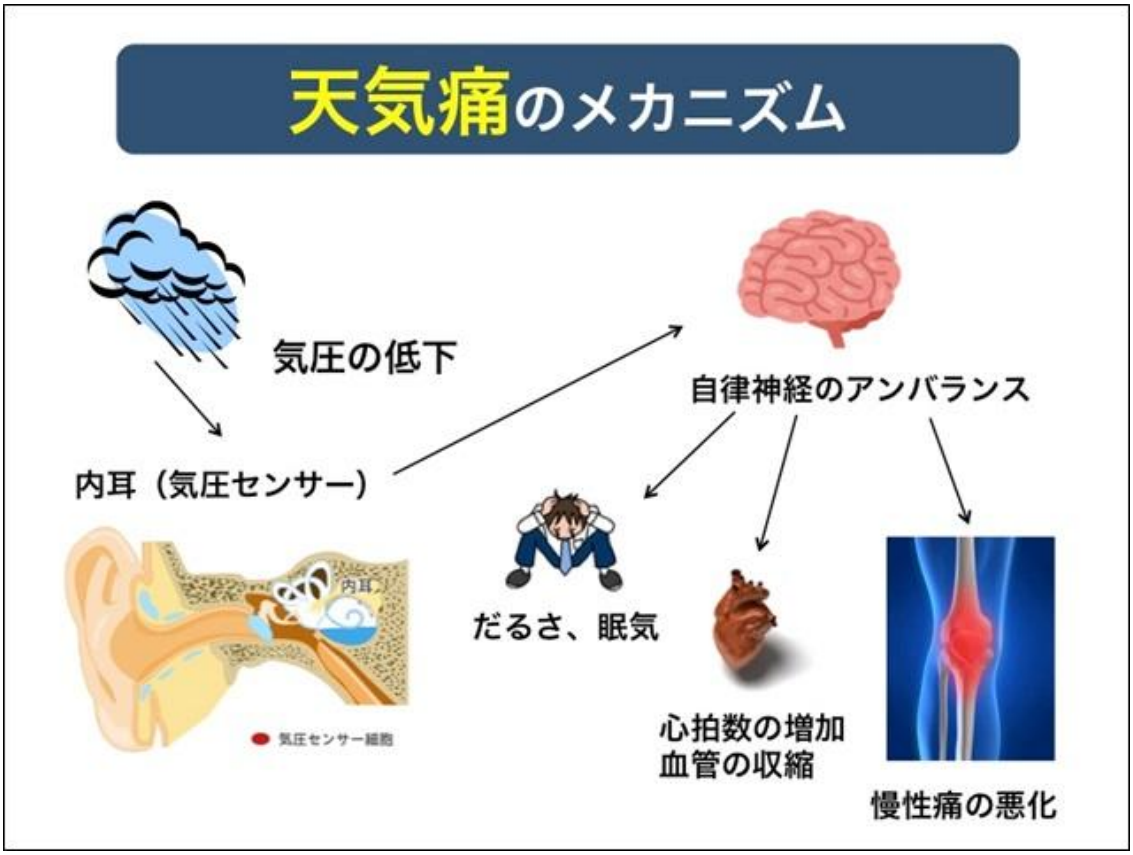

内耳の気圧感受メカニズム
低気圧
内耳
前庭
蝸牛
蝸牛神経
半規管
前庭神経
前庭神経節
延髄横断面
前庭神経核
C-Fos発現
前庭神経核ニューロン

図 2


天気痛のメカニズム
気圧の低下
内耳（気圧センサー）
自律神経のアンバランス
だるさ、眠気
心拍数の増加
血管の収縮
慢性痛の悪化

今後の展開

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

研究成果の公表

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

論文題名：

Lowering barometric pressure induces neuronal activation in the superior vestibular nucleus in mice

（低気圧はマウスの上前庭神経核ニューロンを興奮させる）

問い合わせ先

佐藤純　（中部大学　生命健康科学部　理学療法学科教授）

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

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

周波数が 0.5 (Hz)の音を考える。

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

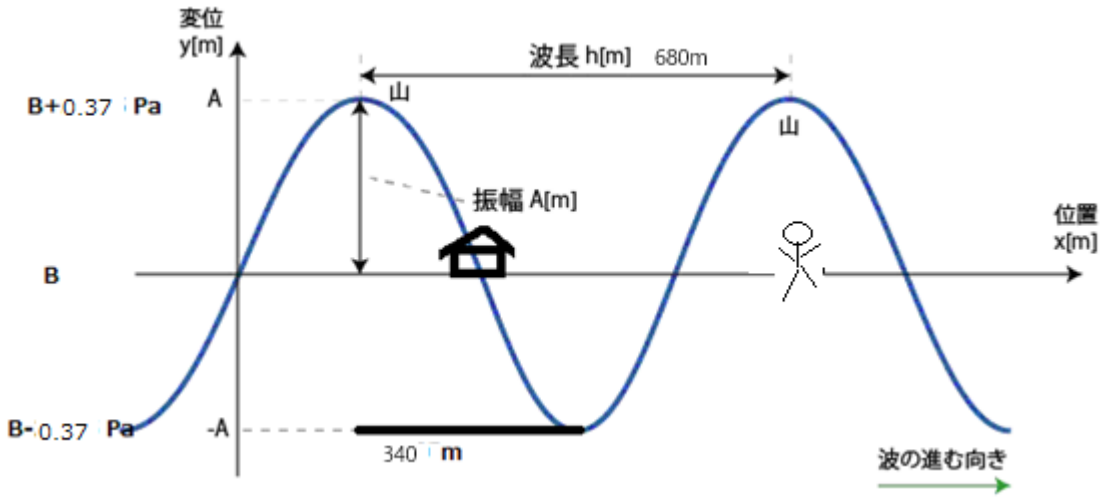
音圧を 0.37（Pa）として、ある時刻 t を固定すれば、下の図のようになる。

右の人物（風船のように反応すると考える）は、

気圧が高くなった中にいるので、押しつぶされている。

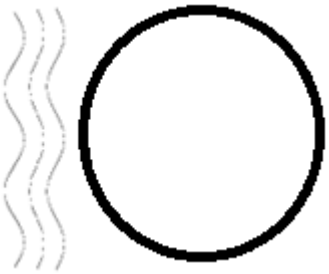
１秒後には波が右に 340m進むので、気圧が低くなり、膨張する。

２秒後には、波は 680m進むので、気圧が高くなり、押しつぶされる。



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

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



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

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

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

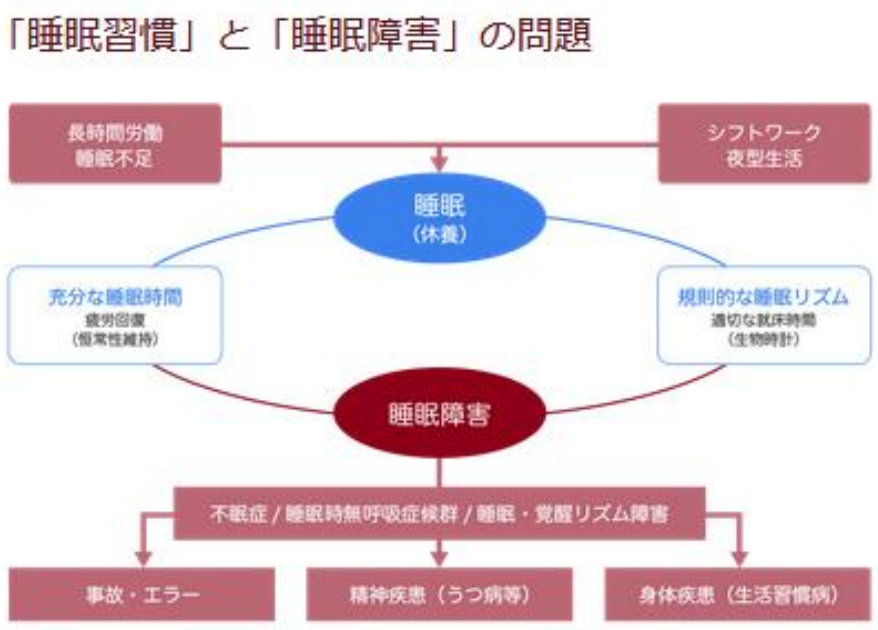
人間の体は、人体に加わる圧力の変化に敏感に反応することは、七浦地区に住み海に潜ってアワビを採っている人ならば皆が知っています。深く潜ったり、浮き上がったりする動作を繰り返すと、頭痛がしたり、鼻血が出たり、耳が痛くなったりします。人体に加わる圧力変動の観点からの議論する必要があります。

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

10. 2. 4 不眠による被害

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

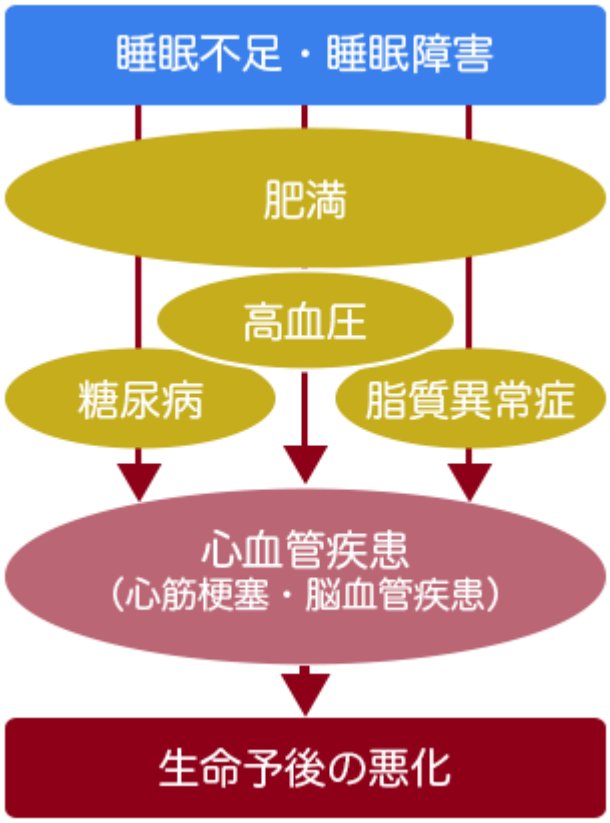
睡眠と生活習慣病との深い関係（厚生労働省）
質の悪い睡眠は生活習慣病の罹患リスクを高め、かつ症状を悪化させることが分かっています。睡眠問題は「睡眠習慣」と「睡眠障害」の問題に分けられます。睡眠習慣については睡眠不足やシフトワークなどによる体内時計の問題、睡眠障害については睡眠時無呼吸と不眠症の問題を取り上げ、それぞれ生活習慣病との関係を明らかにします。



日本人、特に子供たちや就労者の睡眠時間は世界で最も短いと言われています。【図 2】は就労者の男女別の睡眠時間を国際比較した結果です。日本人の睡眠時間が如何に短いかお分かりいただけると思います。とりわけ女性は家事や育児の負担が大きいため男性よりもさらに睡眠時間が短く、平日・週末を問わず慢性的な寝不足状態にあると言えます。
慢性的な睡眠不足は日中の眠気や意欲低下・記憶力減退など精神機能の低下を引き起こすだけではなく、体内のホルモン分泌や自律神経機能にも大きな影響を及ぼすことが知られています。一例を挙げれば、健康な人でも一日 10 時間たっぷりと眠った日に比較して、寝不足（4 時間睡眠）をたった二日間続けただけで食欲を抑えるホルモンであるレプチン分泌は減少し、逆に食欲を高めるホルモンであるグレリン分泌が亢進するため、食欲が増大することが分かっています。ごくわずかの寝不足によって私たちの食行動までも影響を受けるのです。実際に慢性的な寝不足状態にある人は糖尿病や心筋梗塞や狭心症などの冠動脈疾患といった生活習慣病に罹りやすいことが明らかになっています。
また日本人の約 2 割は交代勤務に従事しています。夜勤に入ることによって、体内時計と生活時間との間にずれ

が生じやすくなります。体内時計にとって不適切な時間帯に食事を取ることでも生活習慣病の原因のひとつになると推測されています。夜間には体内時計を調節する時計遺伝子の一つである BMAL1 遺伝子とその蛋白質が活性化しますが、この蛋白質は脂肪を蓄積し分解を抑える作用を持っています。すなわち「夜食べると太る」という我々の経験は科学的にも正しかったわけです。夜勤中についつい間食をしている方にとっては耳の痛い話ではないでしょうか。

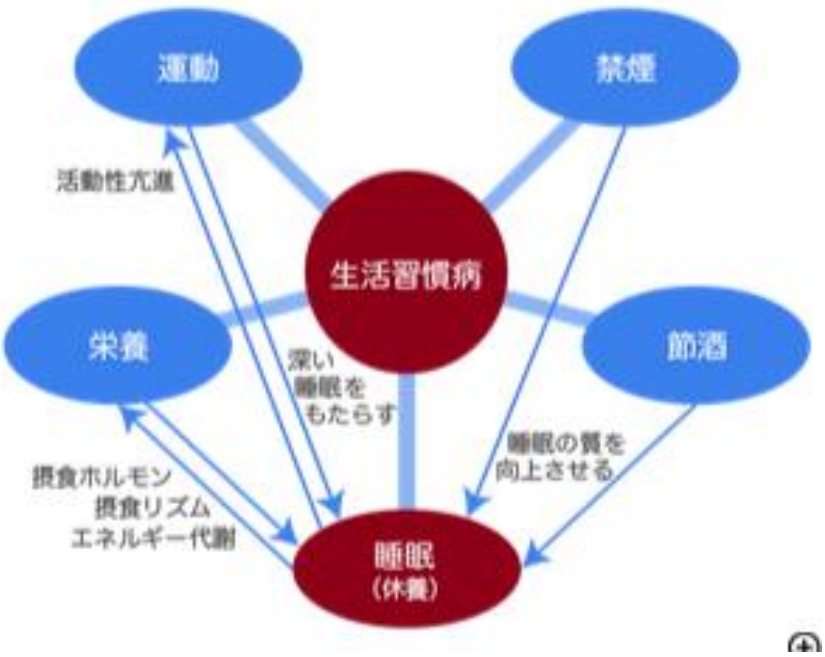
睡眠障害と生活習慣病



睡眠障害もまた生活習慣病の発症に関わっています。以前から生活習慣病患者さんでは睡眠時無呼吸症候群や不眠症の方が多いことが知られていました。その後の多くの研究によって、睡眠障害が生活習慣病の罹患リスクを高め症状を悪化させることや、その発症メカニズムが明らかになりつつあります。
例えば睡眠時無呼吸症候群の患者さんでは、夜間の頻回の呼吸停止によって「低酸素血症と交感神経の緊張（血管収縮）」「酸化ストレスや炎症」「代謝異常（レフチン抵抗性・インスリン抵抗性）」などの生活習慣病の準備状態が進み、その結果として 5～10 年後には高血圧・心不全・虚血性心疾患・脳血管障害などに罹りやすくなります。
また慢性不眠症の患者さんもまた、「交感神経の緊張」「糖質コルチコイド（血糖を上昇させる）の過剰分泌」「睡眠時間の短縮」「うつ状態による活動性の低下」など多くの生活習慣病リスクを抱えています。入眠困難や中途覚醒・早朝覚醒など不眠症状のある人では良眠している人に比較して糖尿病になるリスクが 1.5～2 倍になることが知られています。

睡眠障害もまた生活習慣病のひとつ
21 世紀における国民健康づくり運動（健康日本 21）では「栄養・食生活の管理」「身体活動・運動」「禁煙・節酒」などと並んで「十分な睡眠の確保」に取り組んできました。不規則な食事・運動不足・ニコチン・アルコー

ル過飲によって睡眠状態は悪化しますので、これら生活習慣を改善することは良質な睡眠を保つことにもつながります。逆に言えば睡眠障害もまた生活習慣病のひとつと考えるべきでしょう。



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

安眠妨害は拷問の手法

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

PhantaPorta
パンタポルタ

魔女狩りの常套手段！ 人間性を奪う拷問「睡眠妨害」の恐怖

拷問の歴史　西洋史　狸穴醒　歴史・文化

今回は道具を使わず、眠りを妨げることで犠牲者を従わせる「睡眠妨害」の拷問を紹介します。
嘘の自白、精神異常、果ては死……睡眠妨害の末路
眠りによる休息は、あらゆる生物にとって必要不可欠なものです。それだけに、睡眠の妨害は非常に効果の高い拷問となりえます。

睡眠妨害の拷問は古くから行われていましたが、古代や中世では拷問に残酷さが求められたためあまり目立っていませんでした。しかし、近世以降になると盛んに用いられるようになります。

睡眠妨害のうちもっとも原始的な拷問はなんでしょう？

それは、24 時間体制で見張りをつけて眠らせないようにしておくというものです。犠牲者は監房に閉じ込められ、居眠りをすれば執行人に棒でこづかれます。その状態で歩き続けなければならないこともありました。もち

ろん飲食は最低限だけ、または禁止です。
　こうして長時間眠れずにいると、犠牲者の精神は追い詰められ、誘導尋問に乗りやすくなりますし、無実であっても言われた通りのことを自白してしまいます。
　また限界に達すれば精神に異常をきたすこともあり、方法によっては死んでしまうことすらありました。
こうした睡眠妨害は、犠牲者の身体に傷が残りにくいことから、現代でも密かに行われ続けているといいます。

睡眠は、健康な生活にとって極めて重要なのです。

疲労物質と睡眠
疲労とは？疲労の原因と回復方法
公開日：2016 年 7 月 25 日 12 時 00 分
更新日：2019 年 8 月 5 日 15 時 59 分
疲労とは
　疲労は「疲れ」とも表現され、痛みや発熱と同様に「これ以上、運動や仕事などの作業を続けると体に害が及びますよ」という人間の生体における警報のひとつです。疲労は、人間が生命を維持するために身体の状態や機能を一定に保とうとする恒常性（ホメオスタシス）のひとつとして、痛みや発熱などと並んでそれ以上の活動を制限するサインとして働いています。
疲労の定義
　日本疲労学会では、「疲労とは過度の肉体的および精神的活動、または疾病によって生じた独特の不快感と休養の願望を伴う身体の活動能力の減退状態である」1)と定義されています。疲労は、心身への過負荷により生じた活動能力の低下のことを言い、思考能力の低下や、刺激に対する反応の低下、注意力の低下、注意散漫、動作緩慢、行動量の低下、眼のかすみ、頭痛、肩こり、腰痛などがみられます。
疲労の原因
　自律神経の中枢部では、身体の器官や組織の調節を行い、絶えず生命維持のための身体機能を一定に保っています。運動時には、運動強度や体調に応じて呼吸や心拍、体温などの機能の調節を行っており、身体へかかる負荷に合わせて生体機能のコントロールを行う自律神経の中枢も働き続けます。運動によって体にかかる負荷が大きくなるほど、自律神経の中枢にかかる負荷も大きくなり、自律神経の中枢がある脳がダメージを受けることで疲労が起こるとされています。
　疲労を起こすのは活性酸素による酸化ストレスで、神経細胞が破壊されるからであると考えられています。運動などのエネルギーをたくさん使う活動では、酸素が多く消費されるとともに活性酸素も多量に発生します。活性酸素が発生すると、活性酸素を分解して体内から除去する抗酸化酵素が働くようになっていますが、発生する活性酸素の量が抗酸化酵素の働きを上回ると自律神経の細胞や筋肉が活性酸素によって攻撃されて疲労へとつながります。
　加齢や紫外線を浴びることは活性酸素の影響を受けやすくなるため、疲労が起こりやすくなります。睡眠障害や睡眠時無呼吸症候群も疲労を蓄積させる原因となることが言われています。
乳酸は疲労物質か？
　「乳酸は疲労物質」という考え方がされていましたが、現在では乳酸が疲労を起こす物質であるという考えは間違いであるとされています。疲労した筋肉では乳酸の濃度が高くなり、筋肉のパフォーマンス低下がみられる

けれども、乳酸がパフォーマンスの低下をもたらすのではないとされています 2)3)。

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

疲労と病気

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

疲労の回復方法

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

との記事も公開されています。

南房総市の健康だより

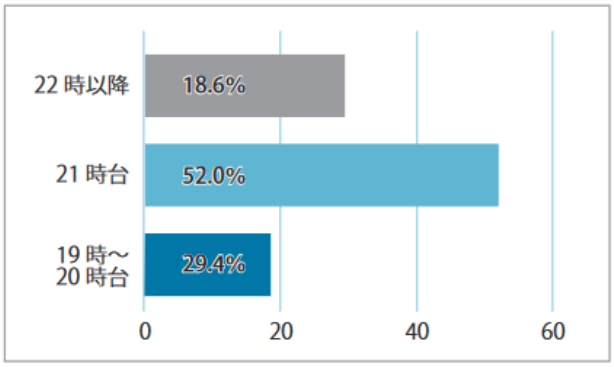
南房総市が 2021 年２月１１日に発行した、広報みなみぼうそう２月号には、次のように書かれている。

子どもの睡眠と成長ホルモン
～夜9時までに眠り、朝7時までに起きる～

健康だより
問 保健予防室 ☎ 36−1154

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

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



子どもの就寝時間
（令和２年度３歳児健康診査から）

睡眠の質を高めるために

◇朝起きたら太陽の光で体内時計をリセット

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

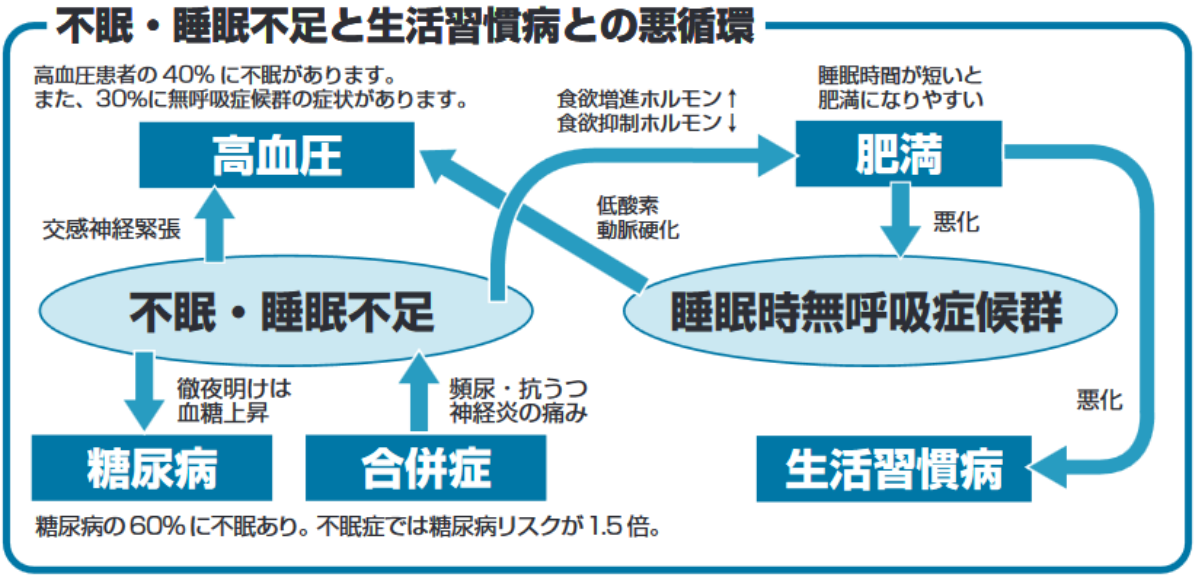
◇ブルーライトを遮断し、灯りは暗く

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

◇休日でもいつもと同じ時間に起床する

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

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



騒音での不眠は、学生の成績にも大きく影響します。睡眠不足の生徒は授業中に居眠りします。それを教員に注意され、教員とのトラブルとなることも多い。体力低下で体育の授業中の事故も増えると考えられる。この件数についての実態調査をする。
風車の近くに住む生徒の成績の分布､風車から10ｋｍ以上はなれたところに住む生徒の成績の分布を調査する。学校には、風車建設前の生徒の成績データが残っている。各家庭にも成績通知表が残っている。これを持ち寄れば、風車建設前と建設後の成績の変化が数値化できる。これらの値を、風車建設前と建設後で比較する。
　睡眠不足の問題は、生徒の学力が低下となり、生涯賃金にも大きく影響する。先生に居眠りを注意されてトラブルを起こし、不登校になることも考えられます。
これが被害であることは明白です。
　海に潜ってアワビを採る漁師にとっては、睡眠不足は命に関わる大問題です。夏の暑いときに畑で草取りをする人にとっても、体力不足での熱中症は命に関わる事柄です。トラックで荷物を運ぶ人にとっても、睡眠不足は交通事故に直結する重大問題です。
この常識を無視して、
“これらの音によりわずらわしさ（アノイアンス）を増加させ、睡眠への影響のリスクを増加させる可能性があることが示唆されている。”と言われたら、“お前たちを拷問にかけてやる。”と宣言しているとしか思えません。
いくら、環境省のお役人様が偉いといっても、このようなことは受け入れられません。
　朝早くから、車を運転する人にとっては命に係わる重大な事柄です。居眠り運転は運転する人だけではなく、歩行者や、他の車を巻き込む事故の起きる可能性が大きくなります。
　命に係わる事柄です。もちろん、騒音が１日だけとか、夕方６時から朝６時までは風車を止めるとかの配慮があれば、少しは危険性が減少するでしょうが、１年中、２４時間うるさくされたら、住民は困り果てます。

“直接的”と“明らかな”と言う言葉で騙そうとしてはいけません。
“風車騒音が人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低い”との表現は、“風車騒音が人の健康や労働に対して間接的に影響を及ぼし、地域社会を崩壊させる可能性は極めて高い”と言い換えるべきです。

風車騒音は、
わずらわしさ（アノイアンス）に伴う睡眠影響を生じる可能性はあるものの、
人の健康に直接的に影響を及ぼす可能性は低いと考えられる。
に関しては、
風車騒音の意味が問題になる。
そして、
人間の健康に直接的に影響を及ぼす
の意味も問題です。

風車音を浴びて、数日後に死亡したと言うような事態は聞いたことが無い。
強烈な放射線を浴びて、数日後に死亡した人はいる。放射線と風車からの音はだいぶ違います。

極めて周波数が高い、超音波では、直接的と言える被害も出ています。もちろん、超音波を聴覚で捉えることは出来ません。聴覚閾値以下の音です。しかし、この聴覚閾値以下の超音波に人間の体は直接反応します。超音波を使った美顔器でも、使い方によっては事故が起きます。
この場合は、超音波を感知したと言うよりは、超音波に直接反応したと言うべきでしょうが、聴覚閾値に至らない音が、人体に直接作用して被害を生む事もあることが分かります。

“超音波使った美容施術” 規制が必要か検討へ 消費者事故調
2022 年 7 月 27 日 7 時 07 分
エステサロンなどで超音波の技術を使った美容施術を受けた結果、やけどやシミができるといった事故が相次いでいるとして、消費者庁の安全調査委員会が調査の中間結果を報告し、機器の使用などに関して法令による規制が必要かを検討していくことを明らかにしました。
事故が相次いでいるのは、エステティックサロンなどで行われている、肌のたるみを取ったり痩身（そうしん）効果を得たりするために「HIFU」と呼ばれる機器で超音波を照射する施術です。
去年から調査を進めている消費者庁の安全調査委員会、いわゆる消費者事故調が 26 日に調査の中間結果を報告しました。
それによりますと、2015 年 11 月からことし 5 月末での間に 110 件の事故の情報が寄せられ、このうち 76 件はエステサロンで起きていて、
内訳は
▽やけどが 45 件、
▽皮膚が赤く腫れる、シミができたなどの「皮膚障害」が 23 件、
▽マヒが残ったといった「神経・感覚の障害」が 13 件などとなっています。
これまでの調査では、施術者が施術の内容や注意事項などを十分に説明しておらず、利用者がリスクを理解していないケースも多いことや、非常に強い照射能力があり、やけどなどを引き起こすおそれがある機器がエステ店で広く使われていることが分かったということです。
事故調は今後、機器の使用などに関して法令による規制が必要かどうかなどをまとめ、今年度内に再発防止への提言を示したいとしています。

超低周波音（ISO7196）のケースは、超音波とは違いますが、可能性に関しては慎重に確認することが必要です。
“音波が、人間の健康に直接的に影響を及ぼす”可能性があるような現象としては、強烈な超低周波音による音響キャビテーションや、強烈な超音波による障害の 2 つが考えられる。
風車音で、音響キャビテーションが起こるかどうかについては、シミュレーションのプログラムが必要です。

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

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

不眠を訴える人が多く出ます。不眠が継続すると、問題が起きるのです。

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

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

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

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

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

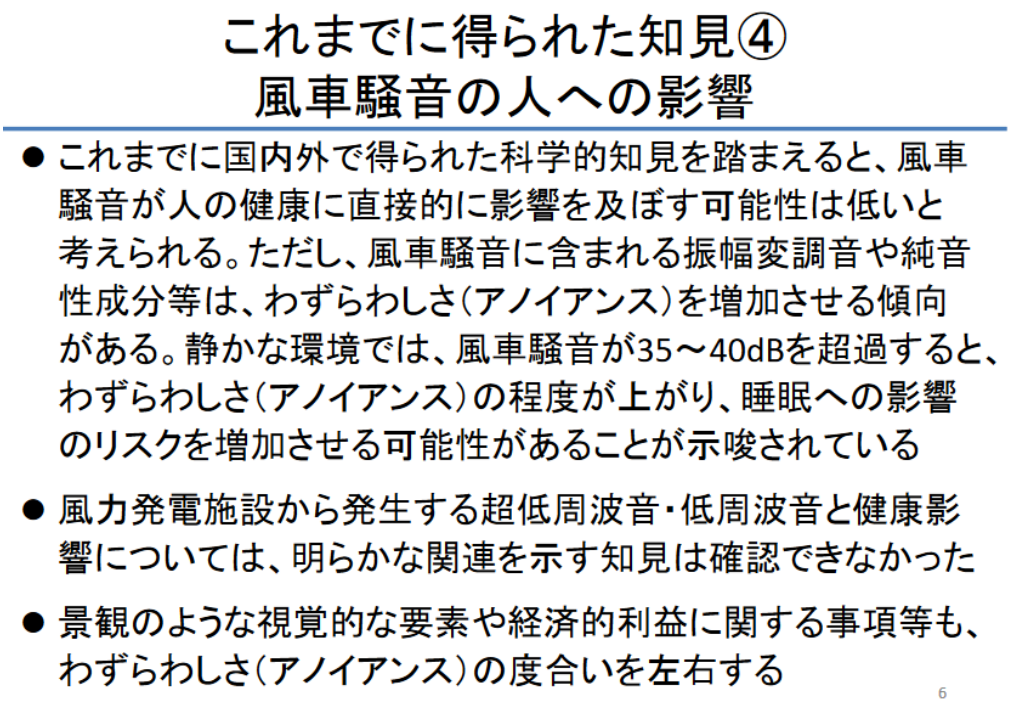
海に潜って、アワビを採る人にとっても、睡眠不足は大変危険です。体調不良で潜っていて気分が悪くなるのは、良くあることです。眠れなくて体力が落ちれば、漁獲高にも影響します。

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

不眠は被害なのです。苦情ではありません。

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

この常識を無視して、



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

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

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

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

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

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

が正しいとすれば、

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

正しい見解です。

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

さらに、

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

では、A 特性音圧レベルによる基準値と、健康被害との明らかな関連を示す知見は確認できたのであろうか？確認できたのならその根拠を示して欲しい。

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

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

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

人間にとって、睡眠は極めて重要である。睡眠を妨害されたら、“健康で文化的な生活”を送ることは出来ない。憲法で保障された、基本的人権を侵害されているのである。

１０．３　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。

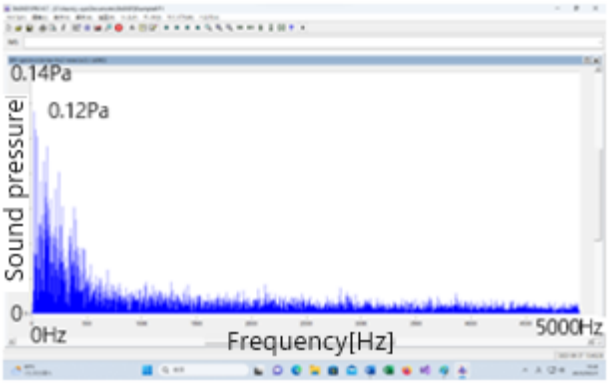


Fig.1 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa](12Hz)

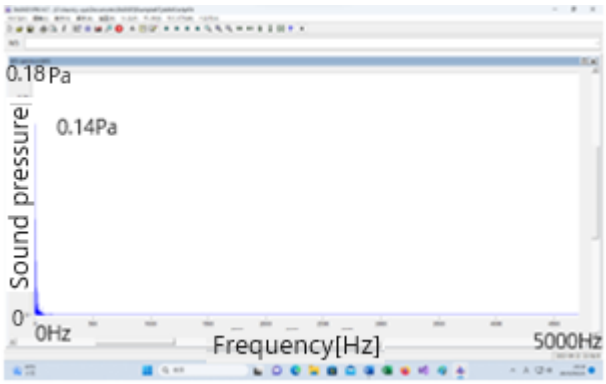


Fig.2 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

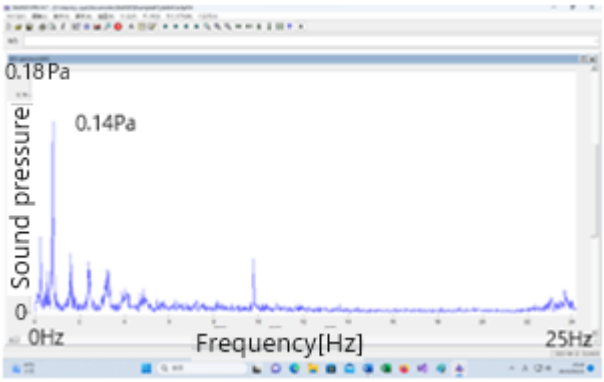


Fig.3 Wind turbine noise (0～25Hz)

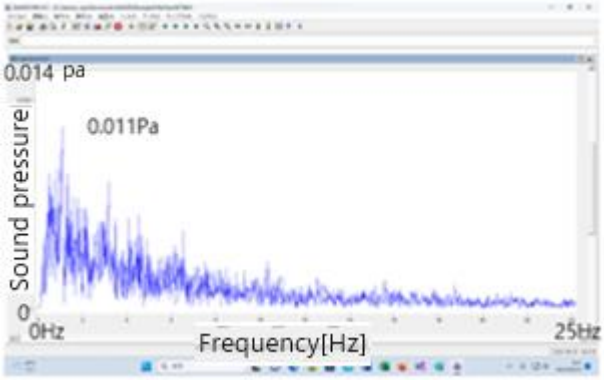


Fig.4 Nagao shrine (0～25Hz); 0.011[Pa](1.1Hz)

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%

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 1 Energy distribution (0～5000Hz)　　Table 2 Energy distribution　(0～20Hz)

表１より、風車音を騒音（周波数 20Hz 以上）として考えると、音のエネルギーの 93%を無視することになる。その結果、圧迫感などの不快感の原因となる部分を除外した数値と不快感を訴える人の割合を比較することになり、交通騒音の場合に比べると大きな誤差が出る。
表２より、0.8Hz の部分が、0～20Hz の音のエネルギーの 61%を占めていることが分る。よって、超低周波音を１～20Hz に限定してはならない。

４．風車音と再生音

図５は NL-62 で記録した 60 秒間の風車音。図６は FFT を使って音を分割し、青を 0～20Hz、緑を 20～200Hz、赤を 200～24ｋHz の成分として表したもの。図７は図５の音を PC のスピーカで再生し、再度 NL-62 で収録した音を図６と同様に分割したもの。
図６では 200Hz～24kHz の成分に振幅変調が見られるが、音圧が極めて低く空気減衰やエネルギー透過率を考えれば室内への影響は弱い。逆に、超低周波音のエネルギーは大きく、その影響を慎重に調査すべきである。
なお、圧迫感を除けば、風車の近くで聞いた音とスピーカからの音の違いを聴覚では判別できなかった。

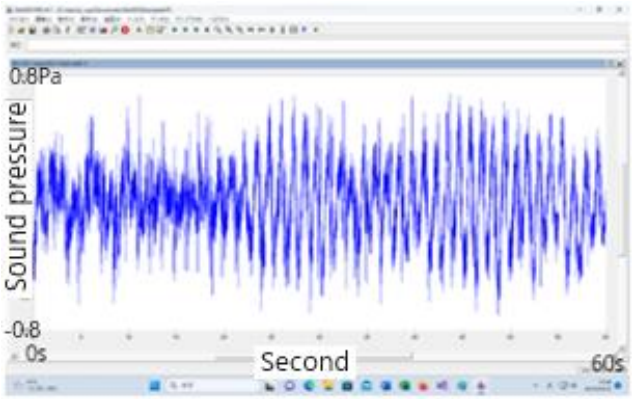


Fig.5 Wind turbine noise

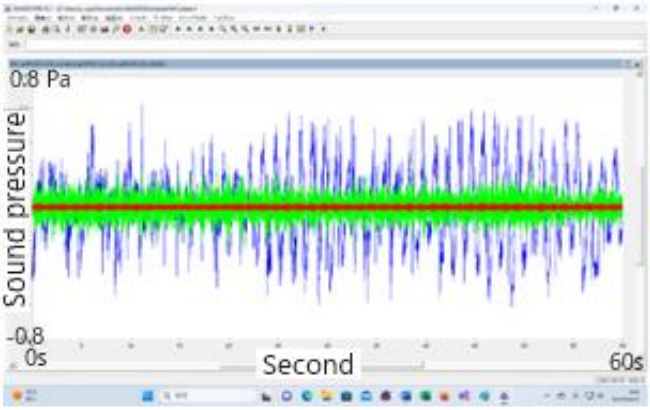


Fig.6 Separated Wind turbine noise

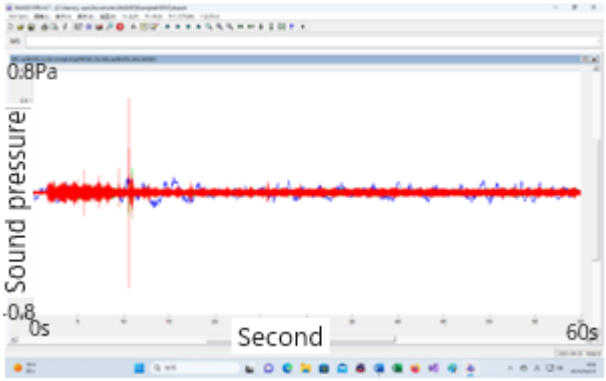


Fig.7 Separated sound from speaker

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

室を作って風車の近くに行くしかない。

５．風車音の細かな特徴

表３は、図３に於ける音圧のピーク値とその時の周波数を対応させたものである。

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

Table 3 Frequencies of the peak values

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

６．周波数の細かな変動

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

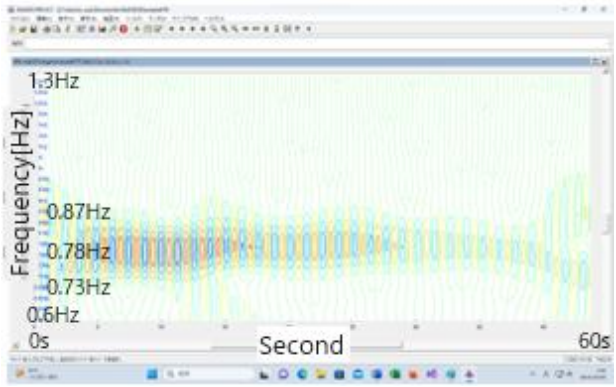


Fig.8 Fine fluctuation nearby 0.8Hz

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

Table 4 Fine fluctuation from video

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

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

７．塔の振動方向と風車音の指向性

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

“風車ナセル・タワーの振動解析”1）

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

“風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について″2)

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

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

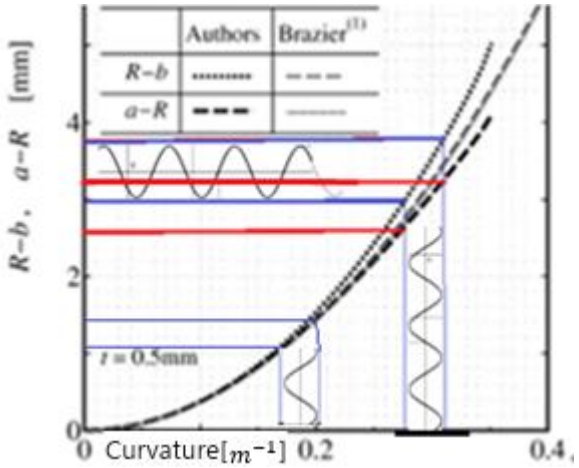


Fig.9 Force fluctuation and side vibration

図９は塔の側面が塔に掛かる力の変化に応じて振動することを示す。右の方が側面の振動幅が大きい。

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

８．風車にかかる力とその影響

“流体力学(前編)” ４)によれば、

翼に働く揚力Ｌは、Kutta-Jopukowski の定理より、

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

で与えられ、揚力は、一様流の速度Ｕの２乗に比例する。
ブレードと塔の距離が近いことを考え、揚力Ｌの大きさや塔に対する回転モーメントが周期的に変化することを調べれば、塔の変形の様子と風車音の発生原因が分り、風車音の周波数と音圧の程度も分る。

“風車の振動解析” 5)では、揚力Ｌについて述べた後で、風車に掛かる力について考察がされている。
“風速は高さにより変化するので、ブレードが回転すると、これらの力は周期的に変化する。その結果、ブレードとタワーに周期的励振力が加わる。”
“ブレードからタワーに加わる力の各振動数成分は、枚数倍となる。以上のように、回転速度のｎ倍の振動数ｎＰをもつ多くの励振力が加わる。”と述べている。
“回転速度のｎ倍の振動数ｎＰをもつ多くの励振力”としたのでは、風車音の指向性の考察が欠けていて、塔がどのように変形して音が出るのかという事に繋がらない。

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

風車の側面の振動を考えるには、塔に掛かる力の観点から、塔に掛かる回転モーメントに視点を移して計算する必要がある。塔の変形は、釣り竿が曲がる場合と似ている。釣り竿の変形は、釣り竿に対する回転モーメントで決る。上部の揺れは円形のままでも可能だが、側面の揺れは、切り口の変形を伴う。
風車は揚力によって回転し、ブレードの角度を変えて回転速度を調節する。回転開始時は回転方向の成分が大きくなるようにブレードの向きを調整し、定格出力運転時には揚力ベクトルの方向を 200～210 度の向きにして、ブレードの回転を抑える。この結果、揚力の回転軸方向の成分が大きくなる。

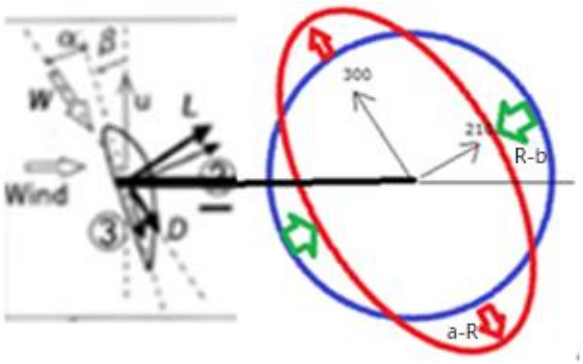


Fig.10　Lifting vector and modification

９．塔に掛かる力と回転モーメント
（９桁の数値で計算し、最後に四捨五入した。）
ナセルや塔の揺れに関してはブレードが真上に来た時の揚力ベクトルの方向を重視すべきだが、ここでは、揚力ベクトルの回転軸方向への成分を考える。
単純化して、塔の高さは 100m、ブレードの代りに、丸い標識のような形の板が中心から 50mの所に付いている

として、周波数を計算する。

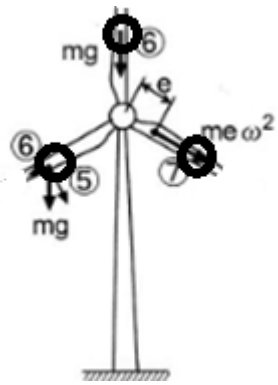


Fig.11 Wind turbine in balance

円盤の地上からの高さは$100 + 50 * \sin(\omega t + \theta)$ m
となる。
上空では地表近くよりも強い風が吹く。上空での風速の予測式はいくつかあるが、ここでは次の予測式を使う。
高さZ_{h1}での風速V_{Zh1}
高さ$Z_{G(V)}$での風速の予測値$V_{ZG(V)}$
地表面粗度区分Ｖに応じた冪指数 α(v)
としたときに、次の関係式

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

が成立し、田園地帯では、$\alpha(V) = 0.15$である。
田園地域で、地上 10mの時の風速が 7[m/s]のときは、
地上 100+50*sin(ωt+θ) m での風速は

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

となる。

空気密度を 1.23[kg/m^3]、 風力係数Ｃｄ＝1.2、とすると風速 V[m/s]のとき、Ｐ:風荷重[N/㎡]は

Ｐ＝（Ｖ^2／２）×1.23×1.2　　[N/㎡]　(4)

となり、標識の面積が 10[㎡]のとき、地上 10mで 7[m/s]の風が吹くときに、風車に取り付けてある丸い板にかかる力は、

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

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

となる。この力は風速の２乗に比例する。
この力によって引き起こされる風車を倒そうとする力は、回転軸を地表とブレードの回転面の共有する直線としたときの回転モーメントであり、

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

となる（ｋ=181.24）。ここでは

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

の部分に注目して考える。
ブレードのなす角は２π/3 なので回転モーメント M は、
ω=2π・0.8/3　と置いたときに、

$$f(t) = (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} + (100 + 50 * \sin(\omega t + 2\pi/3))^{1.3} + (100 + 50 * \sin(\omega t + 4\pi/3))^{1.3} \qquad (8)$$

とすれば、

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

となる。マクローリン展開

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

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）

$$(100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} = (100^{1.3})(1 + (1/2) * \sin(\omega t))^{1.3} \qquad (11)$$

に注意して展開式に(1/2)sin(ωt)を代入すれば、

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

となる。次の関係式に注意して計算する。

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

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

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

なので、sin の 3 乗の和のうち、sin(x)の和は 0 となり、sin(3x)の和は

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

となるから

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

よって、

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

となる。
３枚のブレードが、sin(ωt)、sin(ωt+2π/3)、sin(ωt+4π/3)に従って回転している場合には、
塔にかかる回転モーメントは

$$M = k * f(t) \approx 221734.19 + 307.78\sin(3\omega t) \quad (19)$$

となり、ブレードの回転周波数が、0.26666Hz ならば、塔にかかるモーメントは 0.8Hz の周波数で変化する。
ブレードの回転周期の 1/3 の周期で回転モーメントが変化することが分る。

（２）不均等な場合（0.27Hz, 0.53Hz の根拠）
次に、ブレードの１枚だけが他の２枚よりも少し大きい場合を考える。

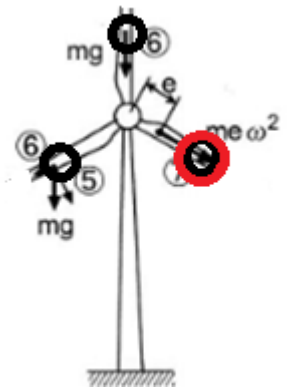


Fig.12 Wind turbine imbalance

大きな部分の面積が、10*1.003＝10.03 ㎡　だとすれば、この時、赤い丸の部分が受ける力は、

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

$$* 1.23 * 1.2 * 10 * 1.003 \quad [N] \qquad (20)$$

より、

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

となる。θ＝0 のものが大きいとして、

$$g(t) = f(t) + 0.003 * (100 + 50 * \sin(\omega t))^{1.3} \quad (22)$$

を考える。（（８）式を使った。）

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

となり、冪乗の項を倍角で表現して計算すれば、

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

を得る。これが、超低周波音での、0.27Hz、0.53Hz 成分が出現する根拠である。

（３）0.8Hz、1.6Hz、2.4Hz、…が出現する根拠
　次の命題に注目する。

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

n＝１の場合は、$(sinx)^1 = \sin(1x)$　で正しい。
n＝k の時に成立すると仮定すると、

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

定数*sinx　は条件を満たし、

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

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

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

よって、$(sinx)^n = f_n(x)$は次の形で書ける。

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

（28）

そこで

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

（29）

を考えるには、１次式の和

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

（30）

について調べればよいことになる。
m＝3k、m＝3k+1，m＝3k+2　　（k＝0,1,2,…）
の場合に分けて考える。
m=3k の場合は、

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

m=3k+1 の場合は、

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

（32）

となる（m=3k+2 の場合も同様）。よって、

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

には、$\sin(3mx)$, $\cos(3mx)$ のような形の項と定数だけが残る。これが、0.8Hz より大きな周波数、1.6Hz、2.4Hz、3.2Hz、4.0Hz でピーク値となる理由である。
（８）（９）式には、（10）の展開式を長くしても、
定数項と、$\sin(3m\omega t)$, $\cos(3m\omega t)$の項しか残らない。
塔には、ブレードの揚力による力のほかに、塔自体に吹き付ける風の力もあって風下に向かって少し曲がる。高さによって風速が異なるので、ブレードの揚力は塔にかかる力を周期的に変化させる。３枚のブレードが完全に均等で風が安定していても、3*R/60[Hz]のほかに、2*3*R/60[Hz]、 3*3*R/60[Hz]、4*3*R/60[Hz]、…の揺れが発生する。
さらに、１枚のブレードが少しだけ大きい場合や、風に対する角度が他の２枚と少しだけ異なる場合には、
風車の変動に、R/60[Hz]の他に、2*R/60[Hz]、 3*R/60 [Hz]、の揺れも含まれる。
この力が塔に作用すれば、塔の切り口は楕円となり、塔の側面での振動が起きる。この結果、側面が大きく振動する方向への指向性を持った超低周波音が発生する。
規則的な周波数を持ち、ブレードの回転に起因する塔の振動で発生する音を“風雑音”と言ってはならない。“風車から超低周波音が発生する”のである。
図４は“風雑音”を表すが、図３は風車からの超低周波音を表す。音の持つ指向性と周波数の規則性がその特徴である。
胴の部分に２つの太鼓、上部に笛を付けた楽器のようなイメージを図１３に示す。これは、塔内の気圧変動も含めて、風車音の特徴を考えた上での、風車から音が発生する仕組みを表す模式図である。

Fig.13 Image of Wind turbine noise

１０．室内での計測とカオス理論
“低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化”7）には、“室内の音場は特に低周波数領域では複雑で、物理的にも難しい問題を多く含んでいる。”と書かれている。
室内の音の解析は難しいが、カオス理論を使えば困難を克服できる。図 14 は、製鉄所内の騒音から故障している機械を見つける為の解析である。
１段目は騒音のグラフ、２段目は周波数スペクトル、３段目は Wavelet 解析。　ここまでの解析では特徴が不明だが、“Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits”8)を使えば４段目のグラフとなる。

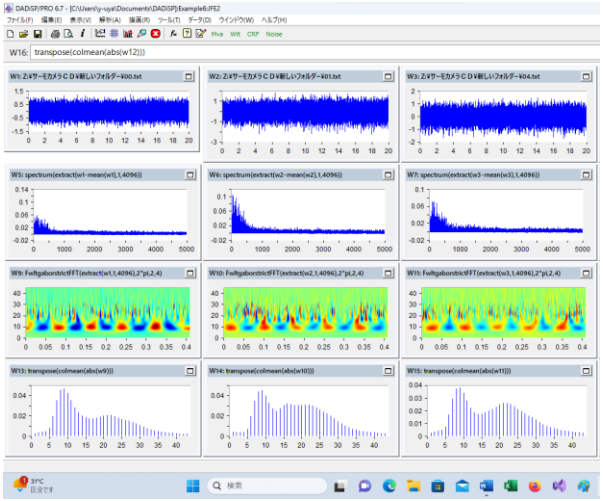


Fig.14 Effect of Chaos theory

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

１１．風車音で留意すべき事項

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

１２．まとめ

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

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

１３．引用文献

1) 高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018

2) 菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016

3) Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008

4) 今井巧,流体力学(前編),裳華房,第 17 版,1990

5) 石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010

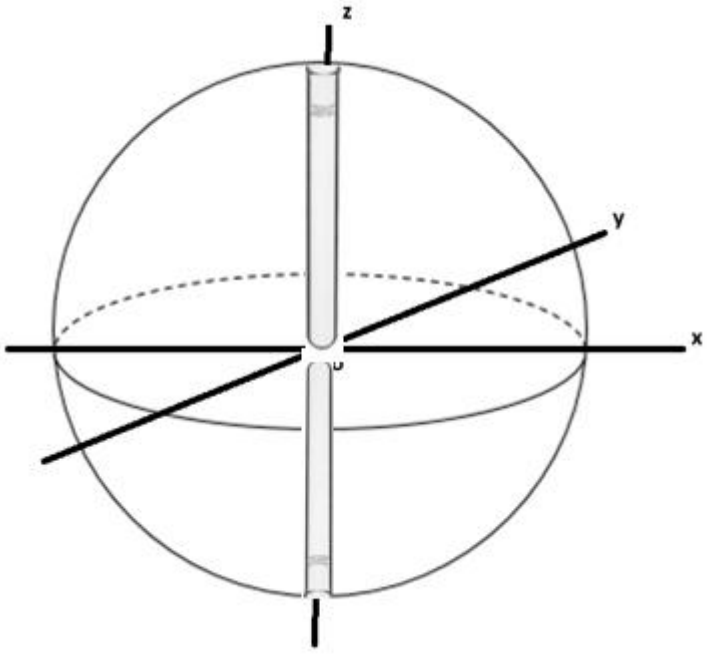
6) M.S.Howe, 空力音響学, 共立出版、初版、2015

7) 橘秀樹, 福島昭則, 落合博明,低周波数騒音に対するハウスフィルタのモデル化,日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集, Vol. 2017:春季 p.13-16, 2017

8) Vesna Rubežić, Igor Djurović, Ervin Sejdić,
Average Wavelet Coefficient-Based Detection of Chaos in Oscillatory Circuits,
COMPEL The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering 36(1):188-201, January 2017
9) 石井俶夫編集,泡のエンジニアリング,テクノシステム，初版, 2005

10．3．2　圧縮と膨張

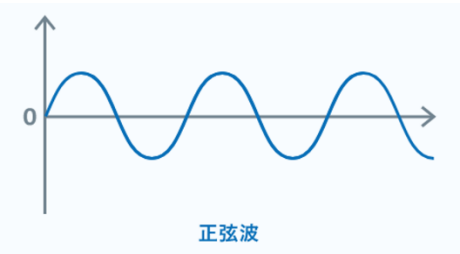
人体を半径 0.5mの球とみる。表面積は 4*3.14*0.5*0.5＝3.14 ㎡
表面の部分は体重（60ｋｇ）に相当する質量を持ち、面密度は 60/3.14＝19kg/m^2
音（平面波）の波面に対して、ｘ軸が垂直になっているとする。
音速は 340m/秒とする。
パスカル値については、1 パスカルは、1 平方メートル（m2）の面積につき 1 ニュートン（N）の力が作用する圧力または応力と定義されている[1]。
ニュートンについては、1 ニュートンは、1 kg の質量を持つ物体に 1 m/s2 の加速度を生じさせる力である。



北極と南極に向けた２本の試験官のような部分を考える。
試験管の半径をｒ＝0.005m、断面積を ds＝π*0.000025＝0.0000785 [m^2]、
殻の部分の密度をρ＝19.1kg/m^2 とする。
試験管の口の部分の質量は M=ρ*ds＝19*π*0.000025＝0.0015 [kg]となる。

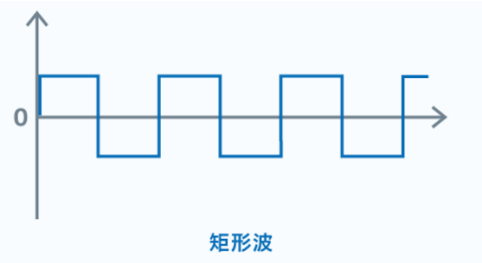
この部分を、ｙｚ平面に平行な平面波が通過すると考える。
試験管の口の部分での音圧 P(t)が

$$P(t) = Asin\omega t$$



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＝0.34m
$P_0 + A$の部分の長さは、0.17m＝170ｃｍ
この部分が蓋の部分を通過する時間は、0.17/340＝0.0005 秒
よって、0.0005 秒ごとに、蓋に掛かる圧力が変化することになる。

　内圧がP_0で外圧が$P_0 + A$になったとすれば、蓋に掛かる力は（A*蓋の面積）パスカルになる。
この状態が dt 秒間継続したとすれば、Ｆ＝ｍαより、
A*ds=Mα
α＝A*ds/M
となり、dt 秒後には、測度 v1=αdt、移動距離は初速度 v0=0 なので、
dl=(1/2)α(dt)^2+v0*dt
となる。
　試験管の長さを、L とすれば試験管の容積は L*ds となる。dt 秒後の状態は、蓋が移動したので試験管内の容積は、ds*(L-dl)に変わる。
　容積が減ったので、管内の気圧が上がりP_1となる。
　とりあえず、管内の気体の温度は同じと仮定する。（あとで修正する）
　$P_1 * ds * (L - dl) = P_0 * ds * L$
よって、dt 秒後の状態は、
v1＝α*dt
dl=(1/2)α(dt)^2

$$P_1 = P_0 * L/(L - dl)$$
$$L_1 = (L - dl)$$

となる。

　次は、外圧は$P_0 + A$、内圧は　$P_1 = P_0 * L/(L - dl)$として考える。この時の初速度は v1、

蓋に掛かる圧力差は$P_0 + A - P_1$、これが蓋 ds の部分を押す。

加速度α_1として、$(P_0 + A - P_1) * ds = M * \alpha_1$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

初速度は v2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

加速度α_1として、$(P_0 + A - P_3) * ds = M * \alpha_3$

初速度は v3

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

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

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

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

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

$$P_4 = P_0 * L/(L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$
$$L_4 = (L - dl - dl_1 - dl_2 - dl_3)$$

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

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

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

初速度は v4

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

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

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

以下、同様。

となる。

dt=0.00125 秒、L＝0.5m、M=ρ*ds＝0.0015kg、A＝1、として上記の計算をすれば、

dt* k ＝周期/2　となるまでは内部の圧力が上昇するが、その後は、外の気圧が、外圧は$P_0 - A$となるので、試験管内の空気は膨張を開始する。この膨張は、周期/2 の間だけ継続する。その後、外圧は$P_0 + A$となり、また、圧縮過程に入る。

最初の圧縮過程が終了する時点での試験管内の圧力は次の表のようになる。

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

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

気圧変動の振幅が 1 パスカルのときは、

200Hz だと、体内の圧力は 0.033 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

100Hz だと、体内の圧力は 0.132 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

10Hz だと、体内の圧力は 0.467 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

1Hz だと、体内の圧力は 0.974 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

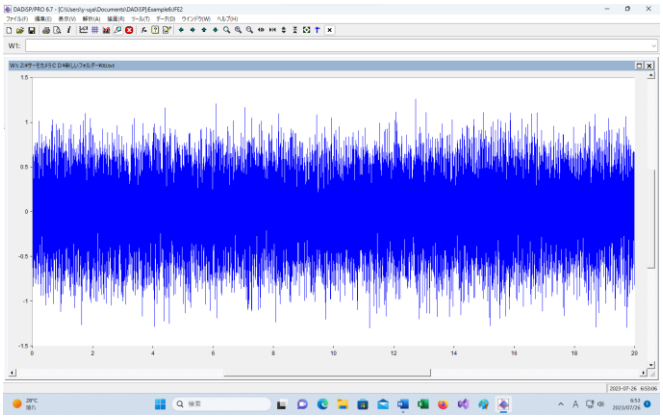
0.5Hz だと、体内の圧力は 0.999 パスカル増えた後で減圧過程に入る。

周波数が低いほど、体内の圧力変動が大きくなる。

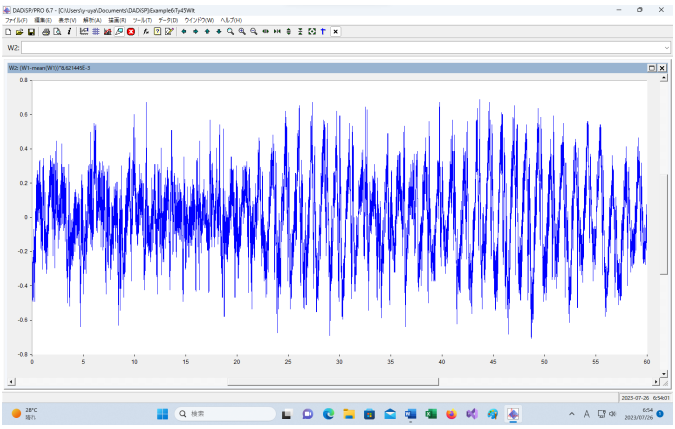
200Hz 以上ならば、体内の圧力はほとんど変化しないが、10Hz 以下では、かなりの圧縮が起きる。
これは、圧迫感ではなく、圧迫そのものです。
　この圧力変動は、体内での気泡の溶解と発生の平衡状態を、発生が多い方に傾かせる。

　ここでの計算は、波形が矩形波に近い場合でないと適用できない。

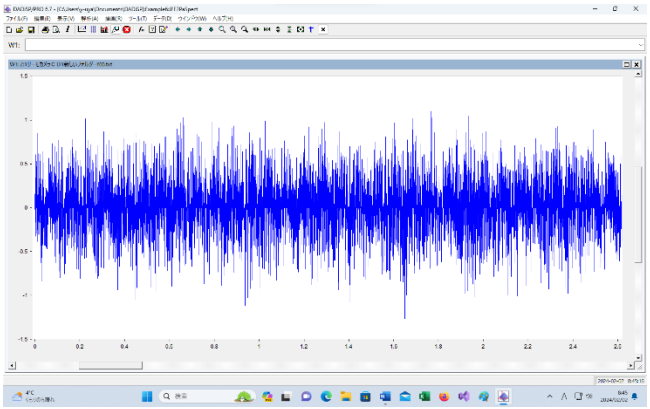
JFE の製鉄所内の音



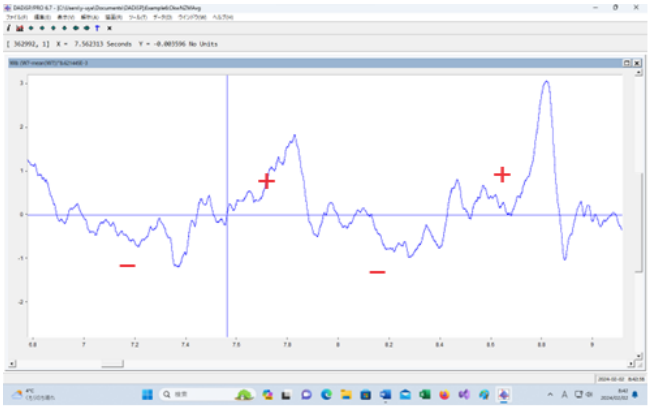
館山の風車音



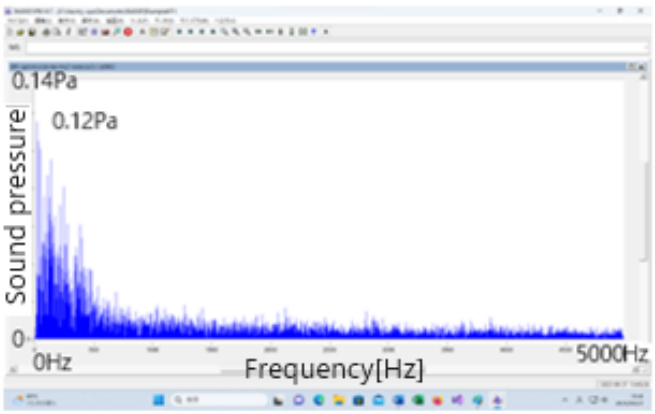
工場騒音の、2.6 秒間の波形



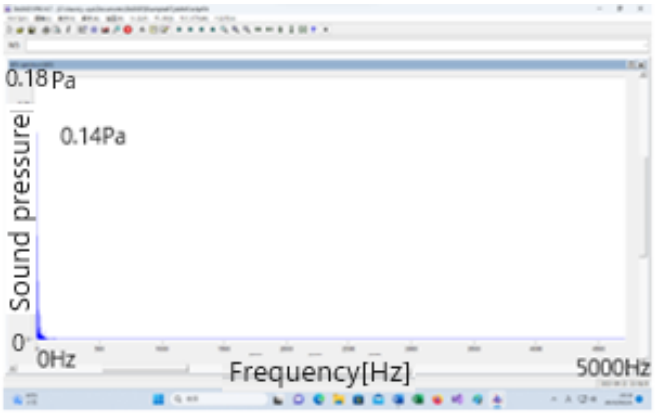
風車音の 2.2 秒間の波形



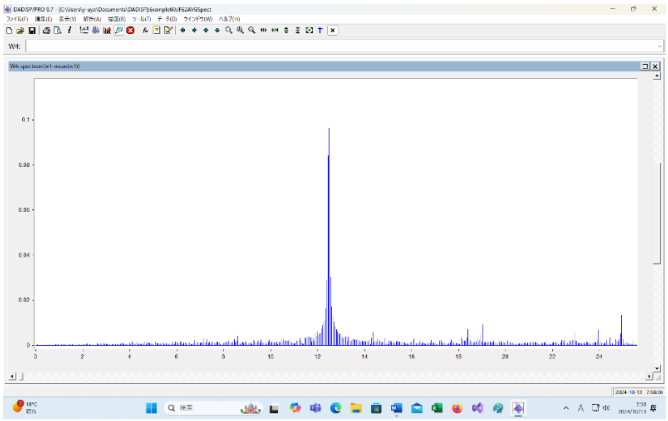
製鉄所(0～5ｋHz)；最大 0.12[Pa](12Hz)



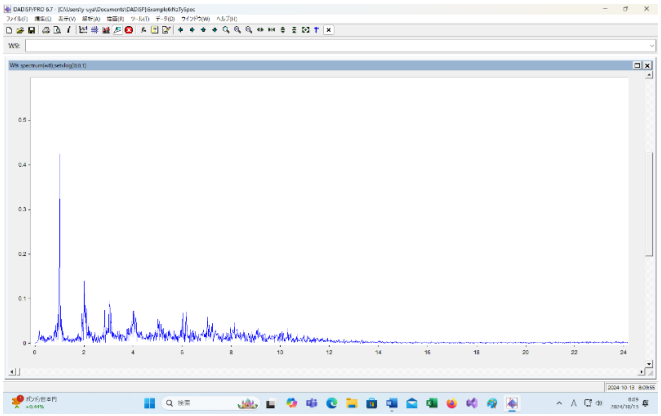
風車音(0～5000Hz)；最大音圧 0.14[Pa](0.8Hz)



工場騒音０～25Hz、最大音圧 0.1[Pa]　（12.5Hz）



風車音（強風）０～24Hz、最大音圧 0.42[Pa]（1Hz）



エネルギーの分布

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

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

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

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

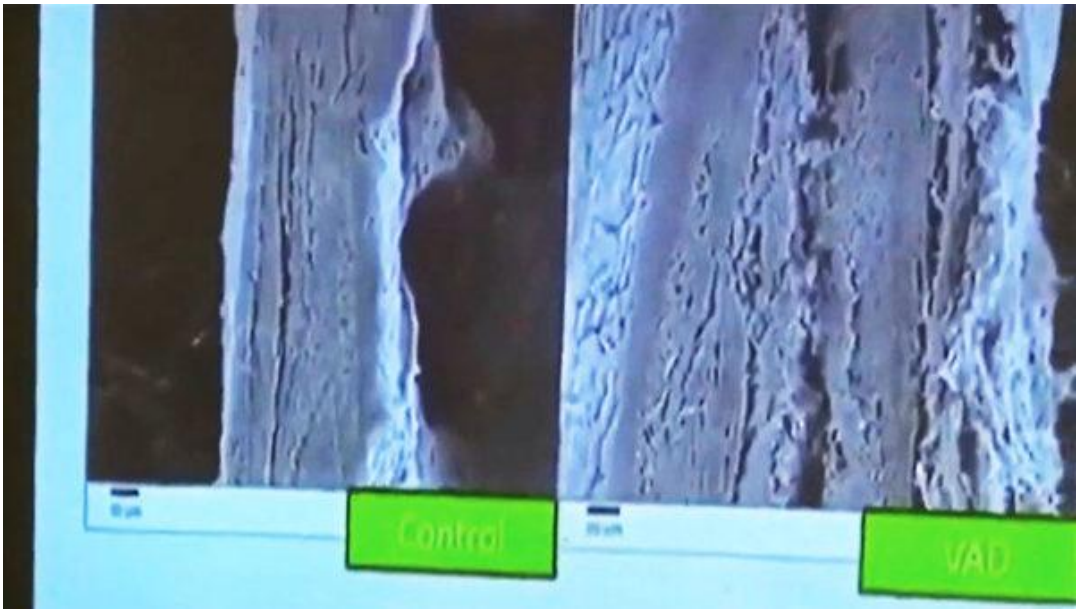
１０．３．３　長期曝露による循環器障害

長周新聞の記事に次ものがある。
低周波音の人体への影響を解明　　マリアナ・アルヴェス・ペレイラ博士の報告から
博士は、

“その結果、腎臓と脳に腫瘍が見つかった。それまでの検診では見つけることができなかった腫瘍だった。もっとも驚いたのは、梗塞で心臓発作を起こした傷跡が１１もあったことだ。そして１２回目の発作で亡くなった。１２番目の傷跡は２㍉以下で、通常は梗塞の傷跡と見なさない小さなサイズだった。さらに通常では考えられないことだが、心臓血管構造の異常な肥厚が見つかった。

そして心膜と呼ばれる部分も肥厚していた。心臓の膜である心膜はとても薄く、正常な心膜の厚さは０・５㍉未満だ。ところが低周波音に暴露した患者は、心膜が２・３㍉にもなる。

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



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

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

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

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

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

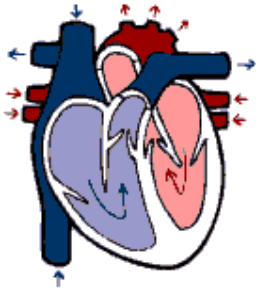
風車音の影響による体内の圧力変動は、航空機での音よりも大きいと考えられる。理由はその周波数特性にある。周波数が低いほど、体内の圧力変動に大きく影響するからである。

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

高血圧症のはなし

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

高血圧とは



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

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

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

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

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

さらに、

4. 高血圧で起きる病気

高血圧を放置しておくと体中の血管の壁に強い負担がかかります。すると、その刺激で血管は収縮し、さらに血管の内腔は狭くなります。また、血管壁には強い圧力がかかるため血管壁自体も補強され厚くなり、その結果さらに内腔は狭くなって、動脈硬化が促進されます。

動脈硬化による血管の内腔の狭窄が進めば血液の流れは悪くなり、やがて血流は完全に途絶えてしまいます。 血液は全身に酸素や養分を運んでいるので、その血流が悪くなると全身にさまざまな支障を与える重大な病気を引き起こしてしまいます。

次に、高血圧によって引き起こされる代表的な病気について考えてみましょう。

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

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

知り合いの医師に教えていただいたのですが、

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

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

被験者の体調の把握にはスマートウォッチも使えます。

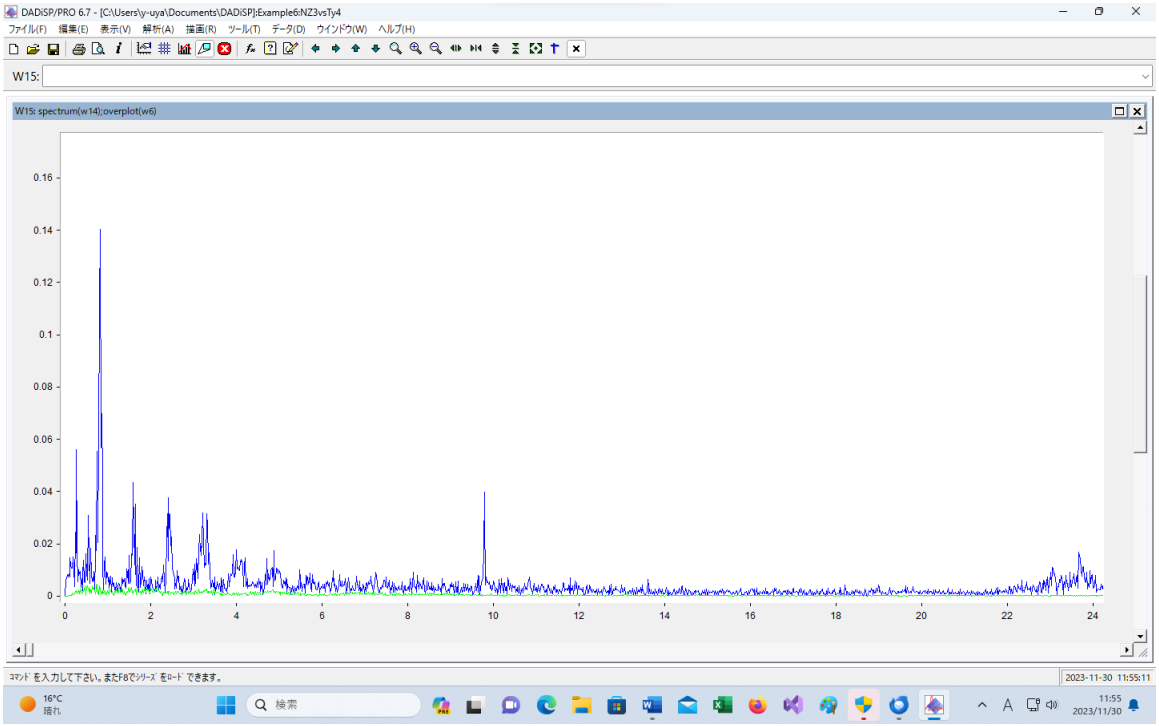
この数値と、眠る人の近くに精密騒音計を置いて 6 時間の連速測定を置きなった結果を Wavelet 解析すれば関連性についての証拠の一つが得られます。

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

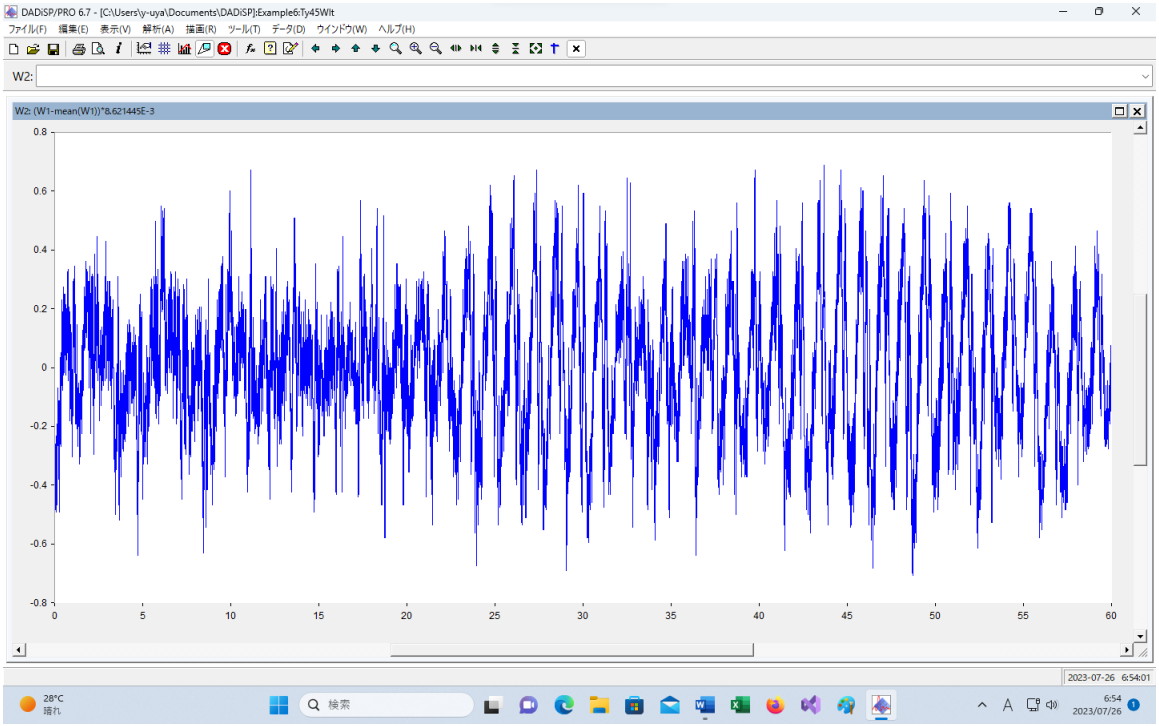
衝撃問題における応力波の伝播と反射・透過について
いろいろな弾性波（その 1）
金属中の応力波伝播(高速変形の力学の基礎)

10．3．4　音響キャビテーションと頭痛

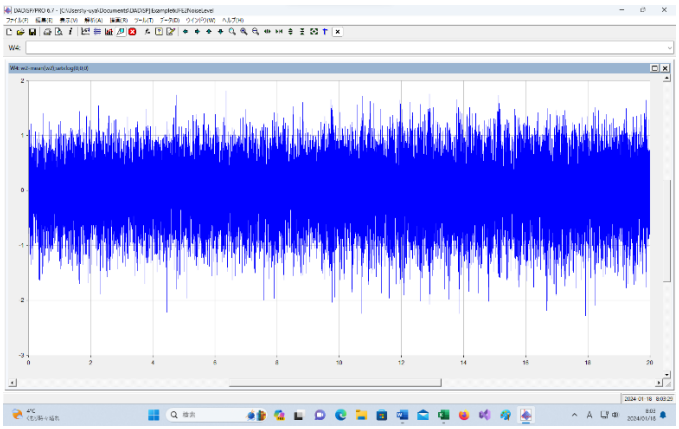
風車音の周波数スペクトルから、風車からの超低周波音は離散的であり、f=RZ/60＝1Ｈｚの成分が卓越した音圧を持っていることが分ります。

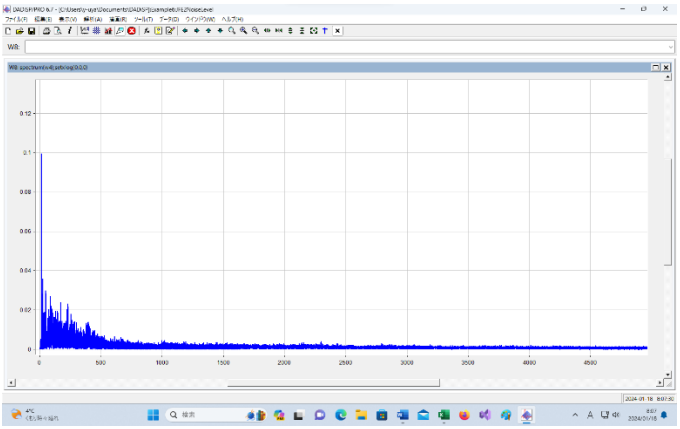


グラフは、1Hz の成分が卓越した音圧を持っているので、グラフの基本的な形を決定します。他の成分は、基本的なグラフに部分的な変動を与えるだけです。

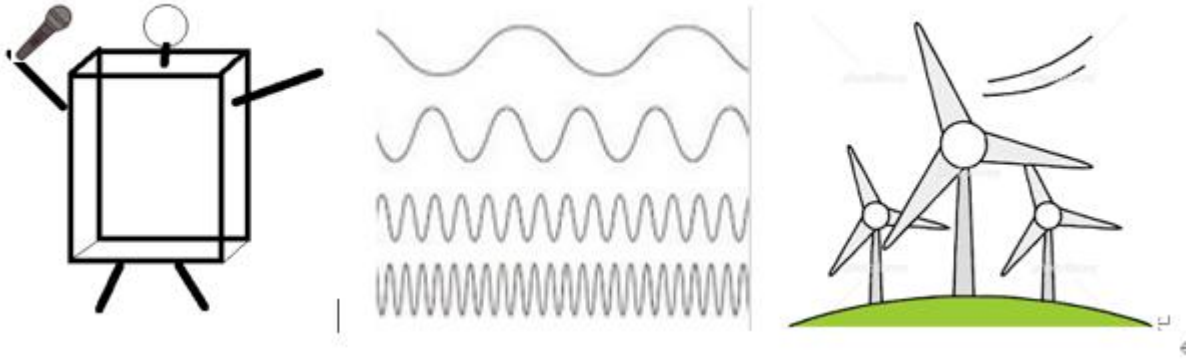


JFE の工場での音の全体のグラフと周波数スペクトルは次のグラフです。



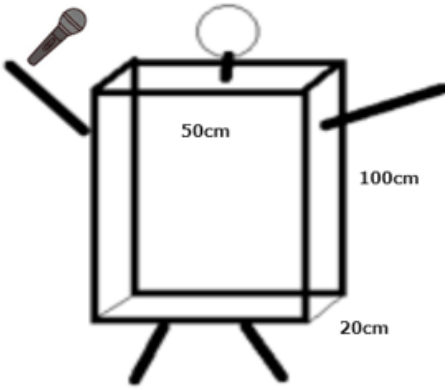


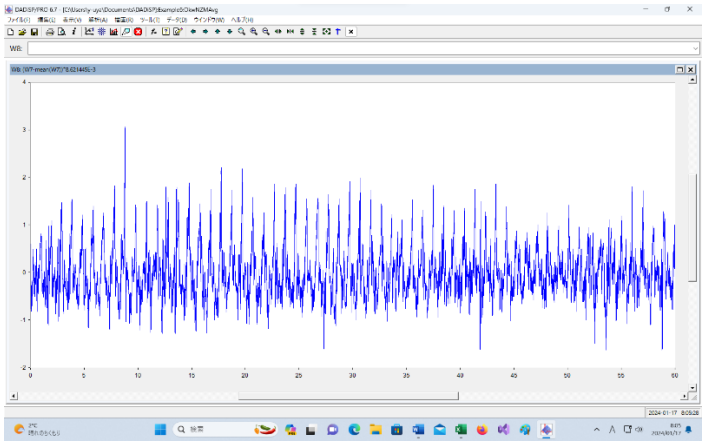
この性格の違は、人体に対する圧迫に仕方に影響します。



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

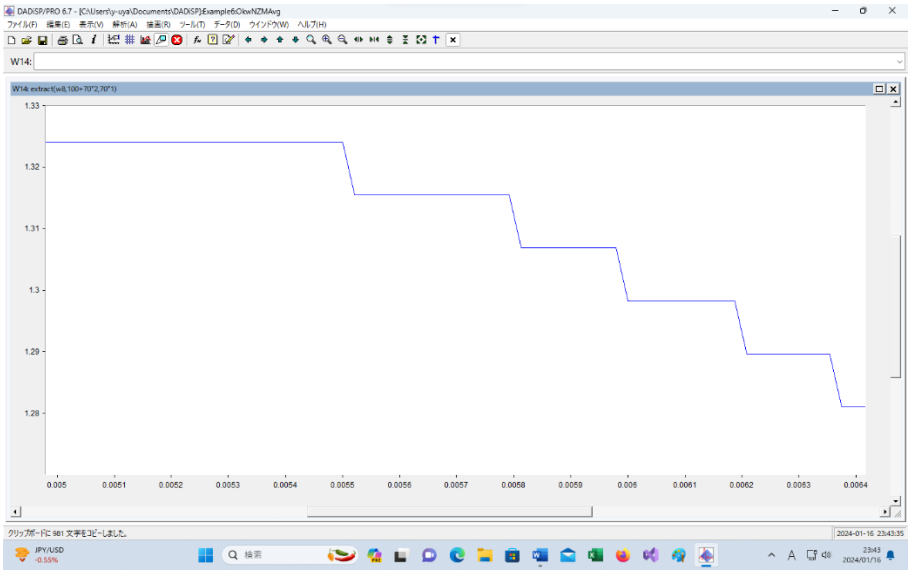
音速が 340m ですから、体の右側から、マイクのある体の左側までは、0.5/340 秒です。マイクが音圧を計測する回数が 1 秒間に 48000 回だとすれば、0.5/340 秒では、48000*0.5/340＝70.6＝70 回です。





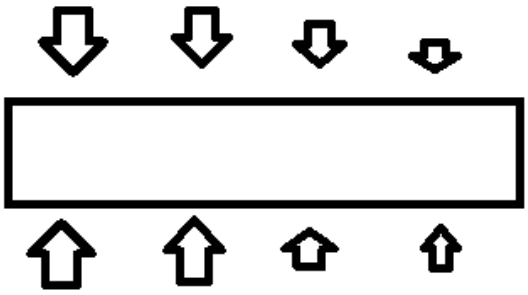
右側は、計測した風車音のデータです。これから 70 個分を取り出します。

音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



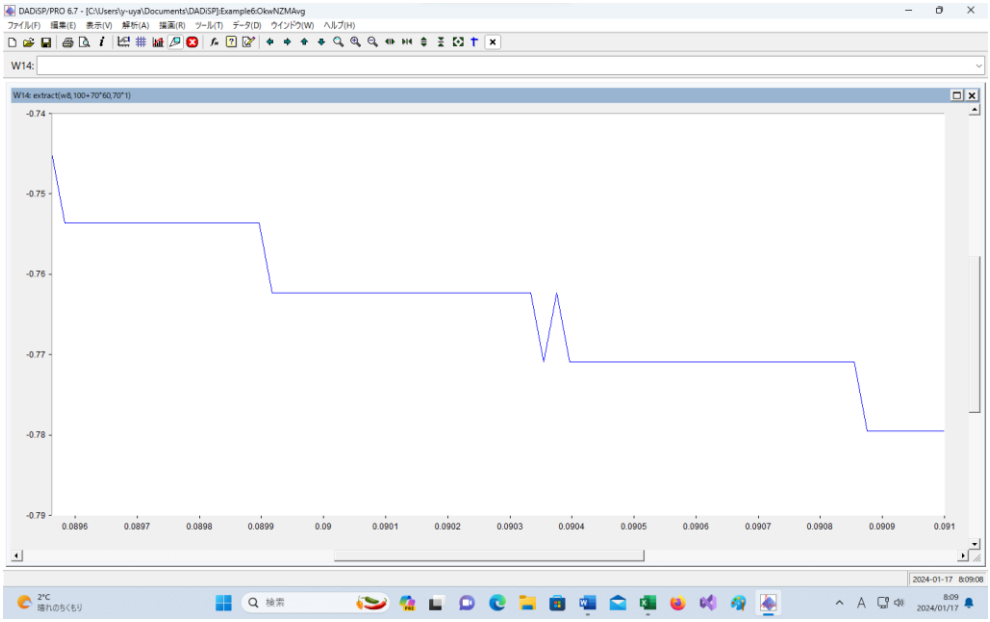
となり、数値は、

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



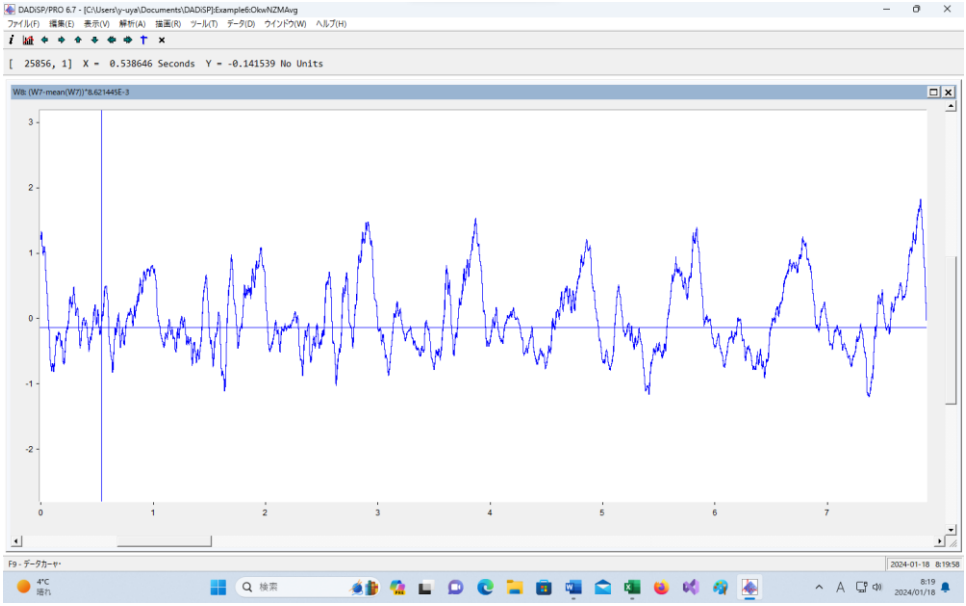
合計：91Pa、平均：1.3Pa です。この時は、体全体が押しつぶされる状態です。

もちろん、



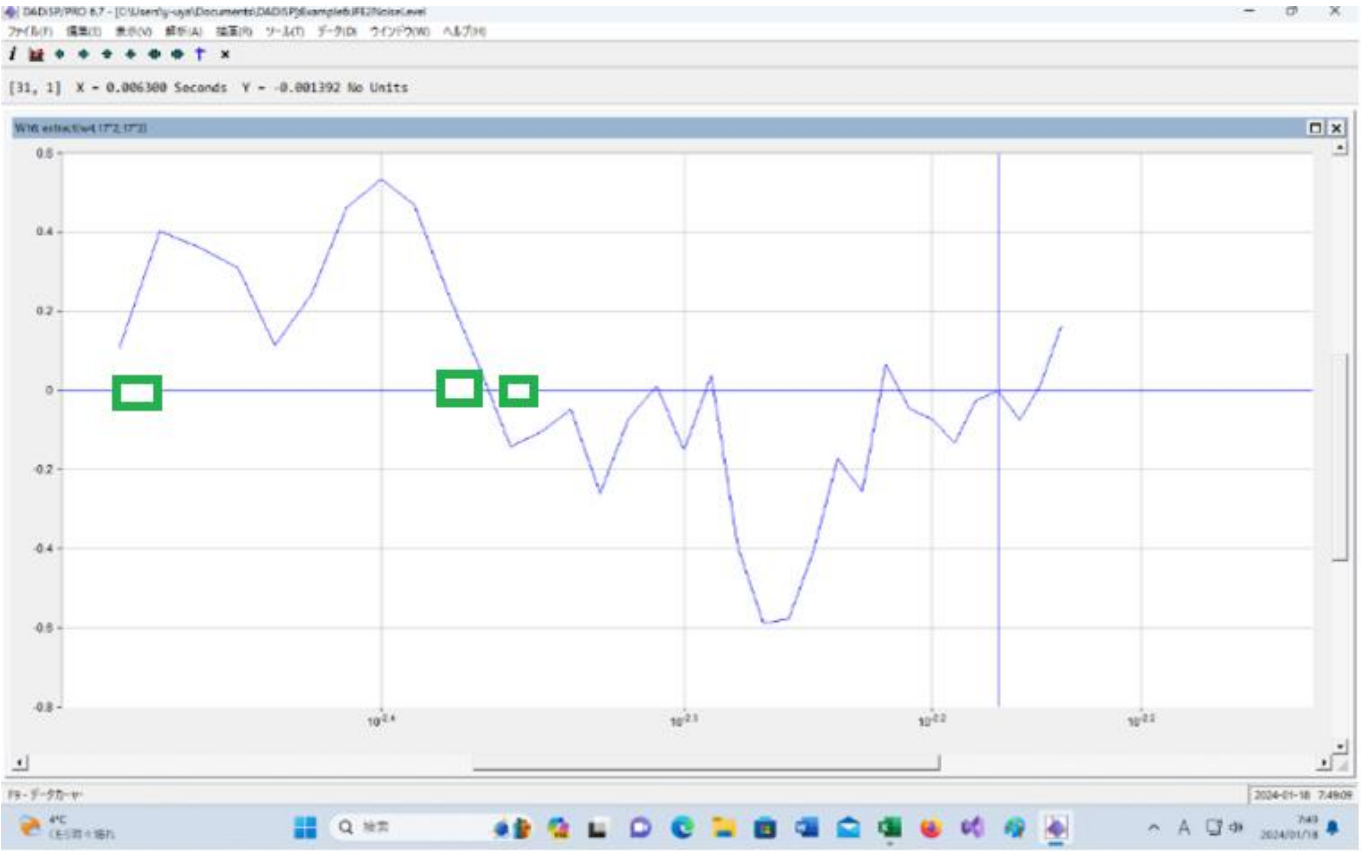
もう少し経つと、引っ張られて膨張する状態になります。
上のグラフの値は、-0.77Pa 程度です。強制的に膨張させられている状態です。

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



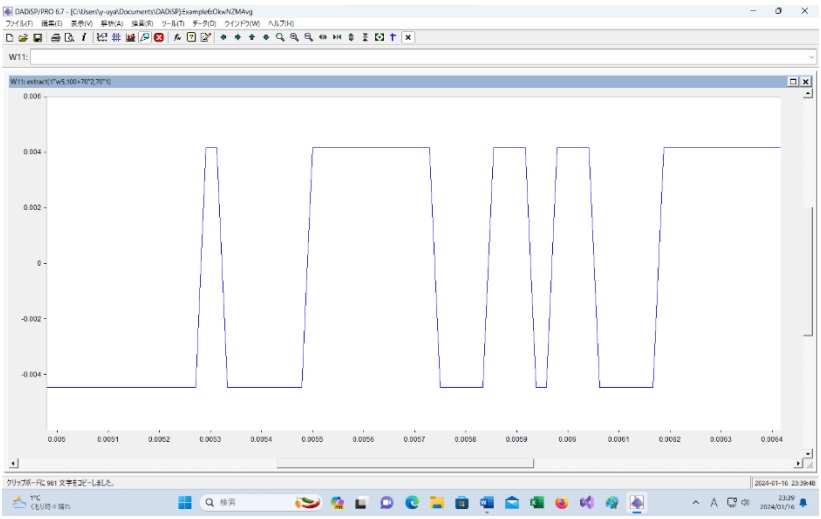
人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。
　物理的は圧力が周期的に変化するのです。

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



圧縮、膨張の継続時間は 0.04-2*0.001＝0.038 秒程度です。時間が短いので、皮膚が圧縮での運動を開始したとたんに膨張の動きを開始します。他は、50ｃｍの範囲内に圧縮と膨張が混在します。
体内への圧力変動に要る影響は軽微だと考えられます。

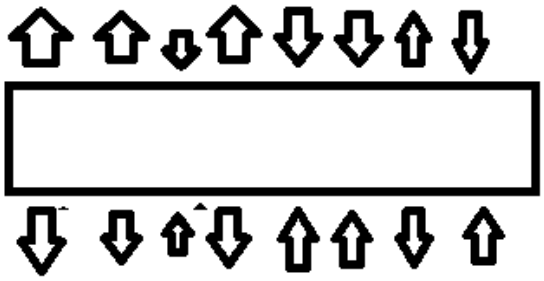
神社での音の音圧の、70 個の連続した数値のグラフは、



であり、

数値は、

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



合計：－0.01919Pa、平均：－0.00027Pa です。

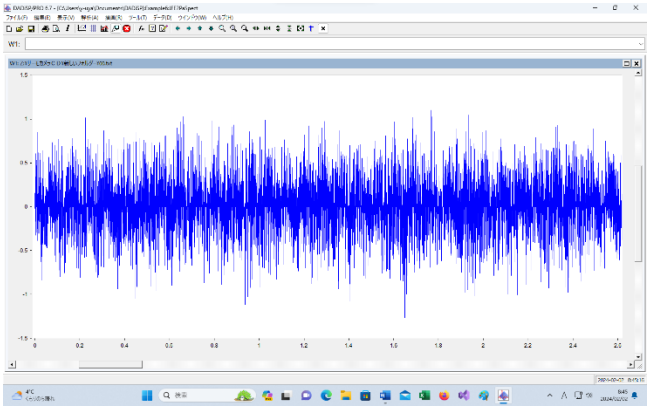
押される場所と、引っ張られる場所が混在しているので、一方的に押しつぶされることはありません。
時間がたっても、プラスマイナスが混在する状況は、あまり変化しません。
風車は、50ｃｍの幅全体が押されるのですが、神社の音では、各部分ごとに押したり引いたりすることになるので、全体としての影響は 1/100 程度になってしまいます。
　風車の場合（特別な周波数の音が極端に強い）は圧迫感を感じても、神社の音のような性質を持っている（沢山の周波数成分を持っている）場合には、圧迫感は感じないのです。
　風車音の下では、人間の体は、圧迫感を感じるというよりは、0.5 秒ごとに圧縮と膨張を繰り返すのです。
人体に掛かる、物理的な圧力が周期的に変化するのです。
超低周波音の中でも、1Ｈｚのものが圧倒的に高い圧力を持っているので、その周期によって人体への圧力変動が決まってしまいます。これに近い周波数のものが、同じような音圧で存在すれば、このようにはなりません。
この点が、風車音と他の環境騒音の最も大きな違いです。
計測された 164 か所の風車音も、0.5～1Ｈｚあたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことも分ります。164 か所の計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。
圧縮、膨張についてさらに確認します。
風車音は風速に変化によって変わります。速度が増せばブレードに掛かる揚力が増えます。揚力の大きさは風速の２乗に比例します。これによって、塔に掛かる回転モーメントも変化します。結果として塔の側面の振幅も増

加します。音圧も変化します。

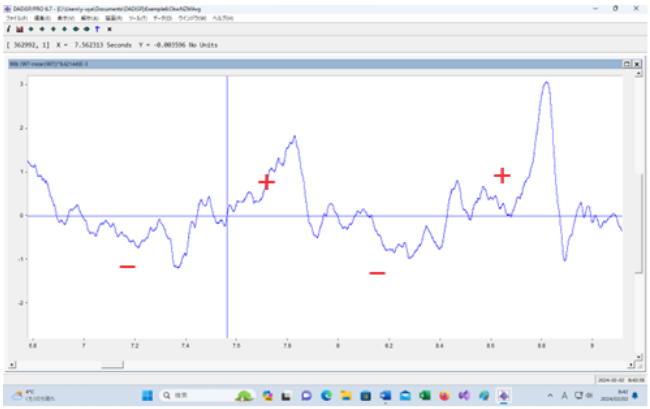
風が弱い時の音圧は 0.15Pa ですが、風が強いと 0.42Pa までは増加します。基本周波数は 0.8Hz から 1.0Hz 程度に増加します。

音圧の変動は大きいが、周波数の変動は小さいです。

工場騒音の、2.6 秒間の波形

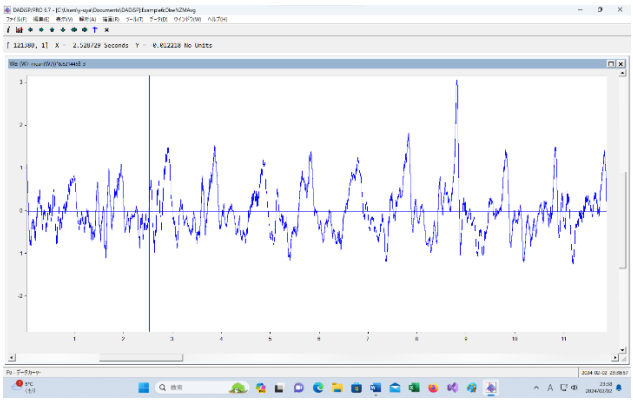


風車音の 2.2 秒間の波形

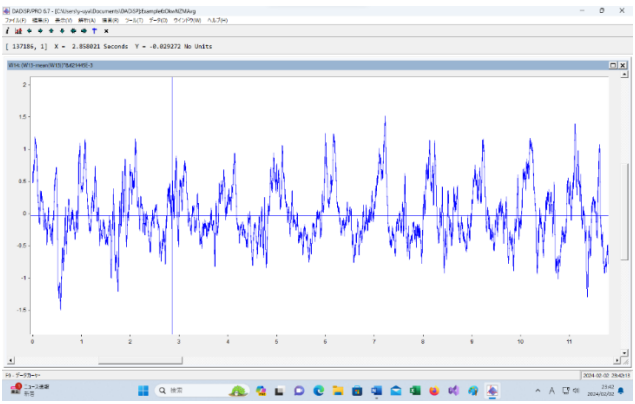


これが、圧縮と膨張が、ゆっくり繰り返される原因です。

音圧が高い（風が強い）ときの 12 秒間



音圧が低い（風が弱い）ときの 12 秒間



風が強い時の方が、音圧のプラス、マイナスがはっきりします。より強い形で、圧縮と膨張の過程が継続することになります。指向性も同様の効果を及ぼすと考えます。

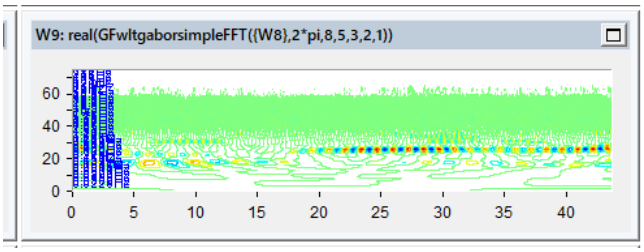
風が強い時は、0.42Pa で 1Hz でした。風が弱い時は 0.15Pa で 0.8Hz でした。周波数の変化は小さいのですが、音圧の変化は大きいです。

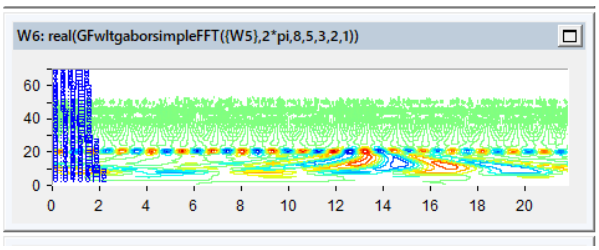
これから、多変量解析では、（PT＝最大音圧*周期）の項目を設ければ良いことが分ります。

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

符号決定率＝最大音圧/２番目の音圧
をかけた方がよさそうですが、ここでは保留しておきます。

さらに音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性が高くなるのは、風が強い時だという事になります。体内の気泡は、潜水病を同じですから、頭痛の原因になります。
　風車音の指向性や風速の変化が激しい事から、条件を満たす時間は、普通は 20 秒程度ですが、風速、風向が安定している場合は、被害が大きくなると考えられます。
風車音の２分間の結果を並べて表示すれば、下のようになり、





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

“泡のエンジニアリング”　テクノシステム　を参考にすれば、

１１．音場中の気泡の成長

　圧力一定のもとでは、不凝縮ガスが過飽和でない限り、気泡は消滅する。これに対して、音響場の中に置かれた気泡では不足飽和状態でも、不凝縮ガスの析出による気泡の成長が見られる。この現象が音響キャビテーション発生の原因となり、また、液体中の溶存ガス除去促進にも利用される。
　気泡への不凝縮ガス析出量は式(5.5.55)

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

による。

液体中の濃度境界層厚さをδ_Dとすれば、単位時期あたりのガス析出・溶解量は

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

となる。

これに踏まえて、図 2.5.6 に示す現象のメカニズムを説明する。

図　2.5.6

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

まず、気泡表面液体の不凝縮ガス濃度ρ_{gLW}はヘンリーの法則

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

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

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

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

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

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

この過程を繰り返して、低周波の場合のほうが気泡は成長すると考えられる。

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

となっています。

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

超低周波音の中でも、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との最も大きな違いです。

計測された 164 か所の風車音も、0.5～1Ｈｚあたりの孤立した周波数の音が、他の周波数よりも極端に高い圧力を持つことは、すでに確認しました。計測対象となった全ての風車の近くでは、人体は強制的な、圧縮、膨張にさらされるのです。
これは、音響キャビテーションの影響を考えれば、体内に溶け込んでいる空気が析出して気体となる可能性がある事を意味しているのです。体内の気泡は潜水病を同じで頭痛の原因になります。
これは、風車音による直接的な健康への影響なのです。これは、極めて物理的な原因であり、風車音の周波数特性から引き起こされます。そして、回転軸が水平の風車が、上空と地上付近での風速差がある中で、ブレードに掛かる揚力によって回転することからの必然的な帰結です。

風車の物理的な構造が、健康障害を引き起こす根本的な原因なのです。
従って、水平軸型の風車は、最大の欠陥商品なのです。
それを陸地から２ｋｍの距離に並べることは狂気の沙汰です。

10. 3. 5 潜水病についての資料

沖縄南部徳洲会病院総合健診センター
相 馬 康 男
潜 水 業 務 の 特 殊 性
(潜水業務関係者の方々へ)

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

Ⅰ. 水圧による影響

ロシアの原潜クルスクや東シナ海での不審船引き上げの様に、水深 100 ㍍での危険性は誰でも納得します。では、水深何㍍から危険なのでしょうか。潜水業務に関する唯一の法律「高気圧作業安全衛生規則(以下、高圧則と略します)」の第 1 条 1 項 2,3 号の定義は「潜水器を用いて圧縮空気の供給を受ける水中」または「大気圧を越える気圧下(海底トンネル内工事等の潜函工法)」となっていて、大気圧(1 気圧)よりも高い空気圧を呼吸する業務が対象になります。第 27 条は「(水中)作業時間の規定は水深 10 ㍍(2 気圧)を越える業務に限る」との但し書きもあります。実際問題として、モズク養殖漁師の最大水深は 8 ㍍を越えませんが重症な潜水障害が発生しています。法律論はさて置き、水圧による影響である「潜水障害(潜水病)」の主な項目を説明しておきましょう。

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

炭酸飲料の泡から理解できる様に、圧力が高いと気体は液体(体内)へ溶け込めます。陸上の 1 気圧(大気圧)下でも体内には空気中の窒素が約 1 ㍑溶け込んでいます。潜水すると水深 10 ㍍毎に溶け込む空気が倍増します。例えば水深 20 ㍍(大気圧の 1 気圧 + 水深 20 ㍍での水圧 2 気圧 = 3 気圧)の深さに潜水すると、時間経過と共に体内窒素は陸上の 3 倍の 3 ㍑になります。この様な窒素過剰状態のまま水面へ浮上して圧力が下がりますと、余分な 2 ㍑の窒素ガスが溢れ出し、泡となって血管を塞いだり色々な細胞や組織を圧迫して様々な障害が現れます。これを「減圧症(DCI)」と言い、僅かな気泡または気泡により生じた血栓でも脳脊髄や肺や心臓への血管が塞がれれば即死します。更に、人体の 60%が水分で 20%以上は脂肪です。脂肪組織には水分の 5.3 倍の窒素が溶け込みますが、最も脂肪分と血流量が豊富な組織は脳脊髄神経系です。潜水病では血液中の気泡や血栓ばかりを考え勝ちですが、特に脳や脊髄の神経細胞内にできた気泡によって神経細胞が損傷を受ける事も忘れないで下さい。考え方として減圧症と脳梗塞や心筋梗塞は同じ病気です。つまり、その主な原因は① コレステロールや血栓(気泡)により組織に酸素と栄養を送る血管が塞まる。② 不整脈 (潜水徐脈)により血流がヨドんで血液が固まり易くなって血管に塞まる。③ 高脂血症(乾燥空気の呼吸による脱水)により血液がドロドロとなり、血栓(と気泡)が出来易くなって血管に塞まる。④ 高血糖・ストレスで血液がベトベトになり、血栓が出来易くなって血管に塞まる。⑤ 高血圧(浮上と潜降による急激な圧変化)により血管に負担が掛かり脆くなって破れる。⑥ 肥満・喫煙・運動不足等により血管の弾力性がなくなる。等だからです。脳梗塞や心筋梗塞は発作から 3 時間以内に治療しないとひどい後遺症を残しますが、減圧症も速やかに治療を受けないとめまいや慢性関節痛、半身不随

等の症状が一生続く事になります。また、潜水直後は症状の有無に関係無く、必ず体内に気泡ができていると言う事も常に意識して下さい。気泡が障害を起こすか起こさないかの差は紙一重です。更に、潜水後の飲酒は 2 脱水状態を引き起こします。特に水分補給のつもりでビールを飲む方が多いのですが、アルコールが体内に入ると、アルコールを排出させる為に水分も一緒に過剰に排出されて脱水状態(血液ドロドロ)を引き起こします。ダイビング前後のビールやお酒類は非常に危険です。

常識とは逆に、気体の大きさは水深が浅くなる程大きく膨張します。つまり、水面に近い程、

体内気泡の膨張による危険性が高まります。水深３０㍍から２０㍍へ移動する場合と、水深１０㍍

から水面へ浮上する場合とでは、同じ１０㍍の水深変化なのですが、空気の大きさには 6 倍の差があります。水面に近い程、肺や副鼻腔等の体内空間にある空気容積が大きく変化して身体に影響を及ぼします。水面近くでの急激な潜降や浮上は非常に危険です。例えば、水中で高圧空気を呼吸している時に、パニックや器材操作ミス等により安定した呼吸が出来ないまま急浮上してしまうと、水面近くで肺内の空気が大きく膨張して肺をパンクさせます。肺が破れると破れた肺血管に空気が吸い込まれて、特に脳への血管を塞いで意識を失って溺れます。これを「動脈ガス塞栓症(AGE) 旧称 エアエンボリズム)」と呼びます。考え方として、１分間で水深 10 ㍍付近から水面へ浮上する圧力差は、地上から上空 1 万 8 千㍍以上へ急上昇する気圧変化に相当します。この上昇能力はジェット戦闘機でも無理なのでミサイルやロケットが必要です。高々度へ急上昇するジェット戦闘機パイロットは、与圧服を着て体への圧力を上げて置かないと脳への血流が不足して失神します。ダイバーは全身で水圧を受けているので失神はしませんが、ジェット戦闘機以上の圧変化を体に受けています。陸上と違い、海水の密度は空気の 800 倍ありますから、少しの動きでも大きな水の抵抗を受けて体力を消耗します。生活習慣病対策としてプールでのエクササイズが有効なのはこの水の抵抗と浮力のお陰ですが、ダイバーにとっては大きな負担です。また、水深 10 ㍍を越えて呼吸する空気は軽自動車のタイヤ圧に匹敵します。空気密度が高いと粘張度が上がって吸い難い吐き難い状態になり、少しでも動き過ぎると酸素不足や炭酸ガス過剰となります。更に、些細な衝撃でも体内の空洞部分(肺や副鼻腔、中耳、胃腸)にある高圧空気によって強烈な衝撃力が加わり損傷させます。しかし、実際に呼吸しているダイバーがこの「硬い空気」を認識する事はできないので、危機意識が持てません。

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

高圧空気を呼吸すると、酒に酔ったのと同じように適切な判断が出来なくなります。これを「窒素酔い」と言います。極端な場合、水中で呼吸装置を口から外して笑い続けて溺れます。厄介なのは窒素酔いになっていると自覚できない点です。潜水慣れしていない方の単独潜水は危険です。水深 30 ㍍を越えると窒素酔いになるとされていますが、酒の強さと同じで窒素圧に敏感な方もいますので、初心者では限界水深を 18 ㍍以内にする必要があります(プロでも空気潜水の限界は 40 ㍍)。珊瑚のサンゴ虫と同じように、骨にも骨の細胞があって常に新しい骨へと置き換えています。潜水を行うと骨細胞に栄養を送っている血管が塞がったり骨細胞自体への圧迫等によって骨の再生が止まってしまい、気付かない内に骨がボロボロになります。これを「減圧症性骨壊死」と言い、痛み等の症状が出た時点では殆ど手遅れで、人工関節埋め込み手術等が必要になります。

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

Ⅱ.適切な訓練

潜水士テキストは 1998 年に大幅に改定されましたが、基本となる高圧則は 1972 年 9 月 30 日以来殆ど改定されていません。潜水士免許は筆記試験だけで交付されますから、泳げなくて水が怖い方でも一生資格を失う事は

ありません。また、この法律での潜水事業は海底油田や海中トンネル等の大規模工事で、浮上する前に体内の余分な窒素を抜く為の減圧停止を行うヘルメット式減圧潜水を前提としています。ですから、水面からホースを使ってダイバーに空気を送る方法と、減圧停止を無視した場合の緊急再圧の教育(送気員、再圧員)だけを義務付けてはいますが、スキューバ関係の教育規定が一切ありません。更に、保護されるべきダイバーは被雇用者に限られているので、「個人事業主」である孫受け作業ダイバーやガイドダイバーそして漁師はこの法律の適用を全く受けません。沖縄県の水上安全条例ではレジャーダイビング従事者に潜水士免許取得を義務付けていますが、認可制では無く届出制ですので徹底されてはいません。ダイビングショップのインストラクターは潜水士免許が無くても業務に従事しますし、所属営利団体に年会費と保険料さえ払い続ければ、一切の追加教育や更新訓練を受けなくてもインストラクター資格を失う事もありません。この様に潜水業務は法律的にも行政的にも曖昧なまま放置されているので、世間一般に限らず潜水従事者自身も業務に伴う危険性と教育訓練の必要性を再認識する機会がありません。そこで、潜水業務従事者として継続的な教育訓練を受けるべき項目を幾つか挙げておきます。

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

潜水現場に緊急再圧チャンバーと厳密な減圧停止の設備と人材が完備されていない限り、減圧潜水は極めて危険です。例えば、水深 34 ㍍に 1 時間潜水すると水深 9 ㍍で 10 分停止、 6㍍で 27 分停止、 3㍍で 34 分停止の合計 1 時間 11 分掛けて水面へ上がってこないと減圧症になります。漠然と 6㍍や 3㍍付近で適当に停止していれば減圧できる訳ではありません。所定の水深から 10 ㌢浅過ぎても深過ぎても正確な減圧は出来ません。浅過ぎれば窒素が抜け切れませんし深過ぎれば窒素が貯まって増えてしまいます。この厳密な減圧手順の認識が日本には完全に欠落していて、「取り敢えず減圧停止しておけば大丈夫」と思い込まされています。40 ㍍_____を越える大深度潜水の場合、母船上の加圧室で呼吸抵抗、酸素中毒、窒素酔いを防止する為のヘリウムを使った特殊ガスと圧力に慣れさせた後に目的の水深へと加圧室ごと潜降し、潜水業務中は加圧室を居住区域とする飽和潜水を繰返し、水中業務が終了したら加圧室内で加圧されたまま母船へと引き上げた後に厳密な減圧手順を行います。ここまでやっても大深度での安全は保障できません。アメリカ海軍の特殊部隊 (Navy Seals)ダイバーでさえ基本的に減圧潜水も反復潜水 (４８時間以内に２回以上潜ること)も禁止されています。スペースシャトルから宇宙服へ着替えて船外へ出る場合には、1 気圧の居住区からエアロックへと移り０.3 気圧まで(水深換算すると水深 7㍍から水面への浮上に相当)12 時間掛けて減圧しないと宇宙空間へは出られません。宇宙も水中も圧力変化と装備以外には呼吸する空気が無い、と言う意味で同じような安全管理が必要な事を忘れないで下さい。

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

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

最後に水中活動への順応性を維持する上で不可欠な継続的訓練です。二足歩行で陸上生活をする人間は、水中で

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

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

高圧則第 42 条 1 項では、水深 10 ㍍以上での業務には再圧室を設置または利用できるような措置を講じる必要があります。現実的には医療用酸素の準備及び外洋からの航空機搬送体制の整備ですが法律的な問題が解決されていません。

最後に「吹かし」についてお話します。そもそも「吹かし」は減圧停止が必要だったヘルメットダイバーが送気停止等により緊急浮上した際に、何かの理由で再圧室による緊急再圧が出来なくなったので、仕方なく 3 分以内に再度潜降して減圧停止手順を繰り返した事が始まりだと思われます。現場設置型の再圧チャンバーによる緊急再圧であっても何らかの症状が発現した場合は、緊急再圧を中止して、医師による治療へと変更します。しかし、この緊急再圧に関する理解が全く無いままに、ノウハウだけが漁師や作業ダイバーの世界へ間違って伝わって「ベンズ」の治療方法として普及してしまったようです「吹かし」は治療方法では無く、異常が全く無い場合に限った減圧停止の緊急避難方法です。医療機関での高圧酸素を使って、3.8 気圧 6 時間掛けても治療出来るとは限らないのに、長くても 1 時間程度の「吹かし」で治療できる筈がありません。長期的にみても「吹かし」は骨壊死や関節痛、めまい等の慢性減圧症を必ず悪化させます。

Ⅲ. 潜水適性

陸棲動物の人間にとって、空気の無い深く冷たい水中への漠然とした恐怖心を持つのは当然です。

高所恐怖症と同じで、潜って遠い水面を実感しないと「深所恐怖症」なのかどうかは分かりません。

この様に、潜水にも精神的・肉体的な適性があります。今まで述べてきました様に「ダイビングは誰

でも参加できるレジャー」では無いのです。適性を欠いた状況でのダイビングは事故に直結します。
医学的に潜水に適さない身体的疾患には以下の様な項目があります。
脳血管障害（ 一過性脳虚血発作、脳出血、くも膜下出血、脳梗塞
痙攣性疾患（ てんかん、電解質異常による筋肉痙攣
心血管障害（ 心筋梗塞、狭心症、不整脈、先天性心奇形、自律神経障害
呼吸器疾患（ 喘息、自然気胸、肺嚢胞
耳（ 耳管機能異常、中耳炎、内耳炎、平衡感覚機能障害
代謝疾患（ 糖尿病、肝機能障害、腎機能障害
骨障害（ 慢性減圧症としての骨壊死、副鼻腔の炎症
その他（ 妊娠による胎児への影響
陸上生活では何ら問題とならない疾患も潜水業務では絶対禁止となります。例えば、肺嚢胞は全く自覚症状がありませんが、潜水による圧力変化によって破裂する危険性があります。自然気胸を起こす肺嚢胞、喫煙や大気汚染、無症状の結核等の感染症による肺気腫・無気肺については、少なくとも就業前と半年毎の胸部レントゲン検査及び 疑わしい場合の胸部 CT 検査が不可欠です。更に、生活習慣病を発症させる生活様式を続けている場合は脳卒中と心臓発作の危険性を確認する脳 MRI 検査と負荷心電図検査等も必要です。水中での発作は死に直結します。
高圧則では就業前と半年毎の「専門医」による検診を義務付けています(第 38 条)が、日本の医学教育では潜水業務に関する授業が有りません。再圧チャンバーのある病院であっても潜水障害を診断そして治療できる医師は極めて少数です。蛇足になりますが、日本では減圧症の診察で CT や MRI を撮って再圧チャン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と、最低でも$4,000-(¥45 万円～¥60 万円)以上請求されますし、日本の健康保険も使えません。この様に、日本の潜水医療は制度的医療技術的に世界基準から大きく遅れているのです。

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、0.5～0.8Ｈｚ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 ＝1Ｈｚとなり、周波数スペクトルは 0Hz から、24000Hz までの範囲であり、刻み幅 1Ｈｚ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 ＝ 0.01667Hz 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）だけでの 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 ～ 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 130ｄB に設定したことが分かります。

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

設定で 130ｄB 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、2×10^(-5)×10^(143/20) = 282.5075088 [Pa]に相当する。

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

16 ビットの符号付整数は {+2^(15)－1}～（—2^15） の範囲であり、音圧が －282.5075088Pa 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、－282.5075088Pa/ （－（2^(15)）） ＝8.62144497*10^(-3) Pa（実効値）を意味する。整数値 k は、k *8.62144497*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、8.621445E-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 20ｋｍ）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)

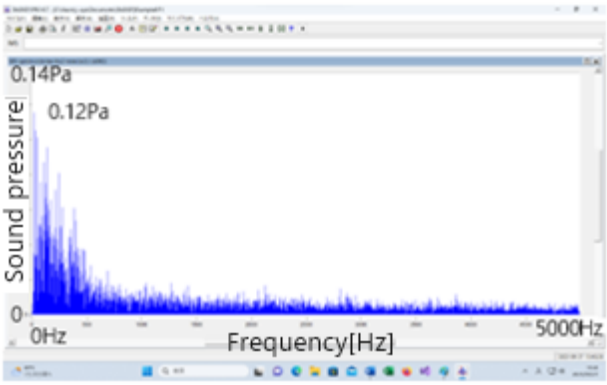


Fig.2 JFE iron mill ; Max 0.12[Pa](12Hz)

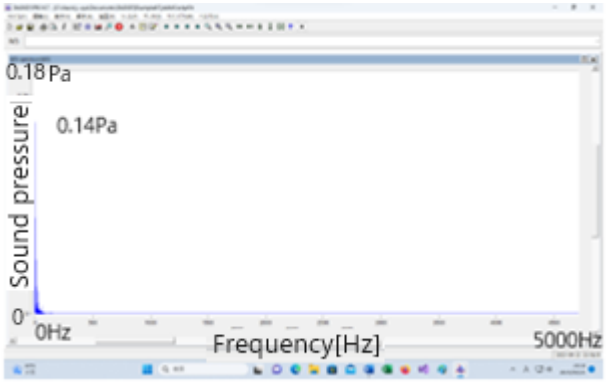


Fig.3 Wind turbine noise ; Max 0.14[Pa](0.8Hz)

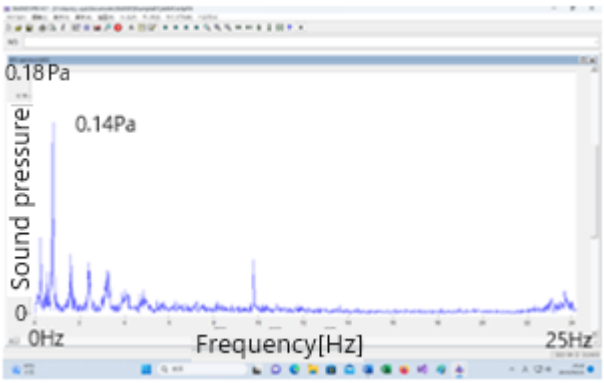


Fig.4 Wind turbine noise (0～25Hz)

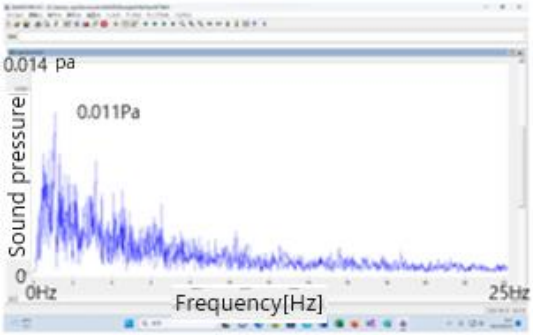


Fig.5 Nagao shrine (0～25Hz)；0.011[Pa](1.1Hz)

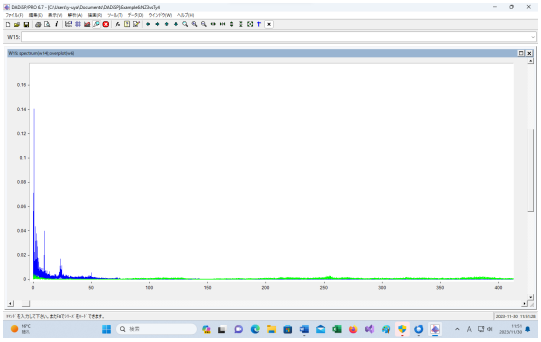


Fig.6 Wind turbine sound and Wind noise

・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。

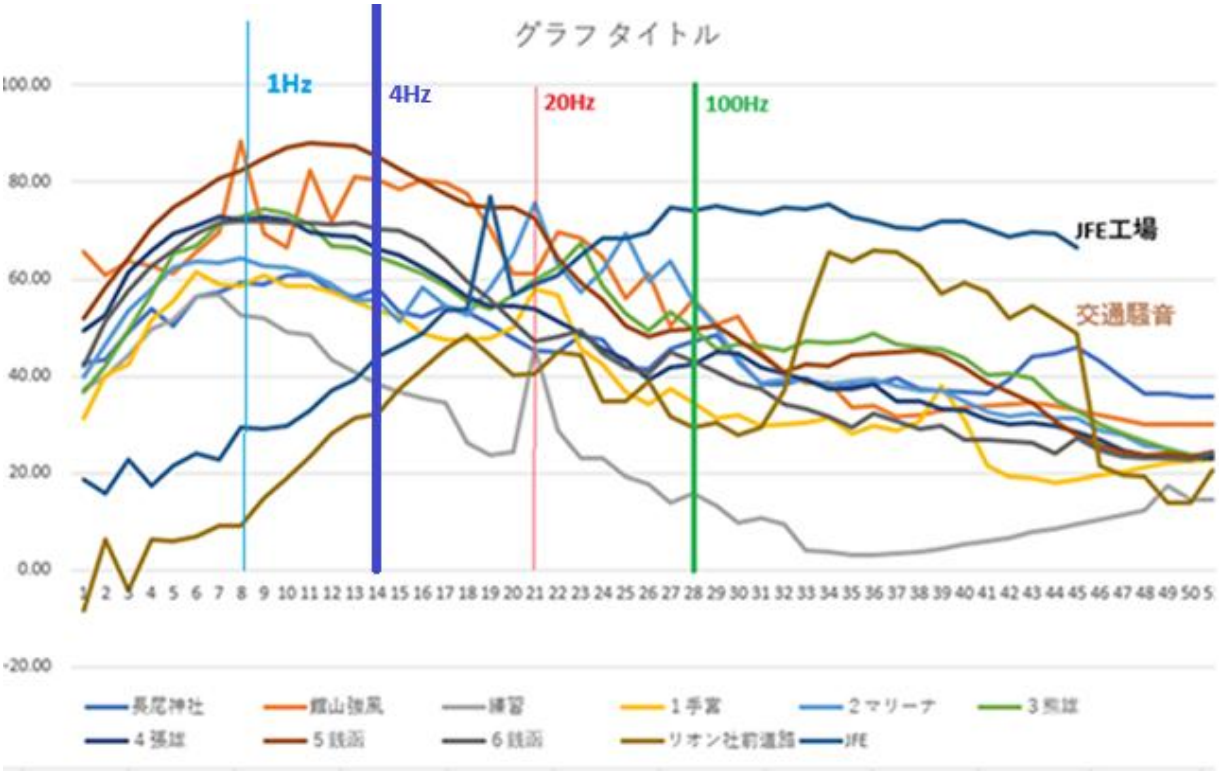
なお、番号と中心周波数（0. 19Hz～20000Hz）の関係は次の表です。

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 番のところです。（1/3 オクターブ解析での平坦特性音圧レベルのグラフです。）



グラフの中央部分（8 番～33 番、1Hｚ～315Hｚ）の辺りでは、風車音は、全体として周波数が大きくなると音圧レベルが減少するが、交通騒音などは周波数が高くなると音圧レベルが上昇する。

8 番（1Hz）から 15 番（5Hｚ）辺りでの違いが大きい。これを風車からの超低周波音だと認めたくない人はこの部分を“風雑音”というのですが、風車音が発生する仕組みを考えて、詳細な周波数を確認すれば、離散的な特徴から風車の超低周波音だと分かるのです。

石狩湾の風車群の中心から 10ｋｍ、最も近い風車まで 5ｋｍの銭函での数値を検討してみます。

銭函での騒音レベル（A 特性音圧レベル）は、40.500459ｄB です。

20Hz 以下では、風車音の音圧が高いのですが、20Hz 以上では、神社での音や JFE の工場音の音圧が高いのです。

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

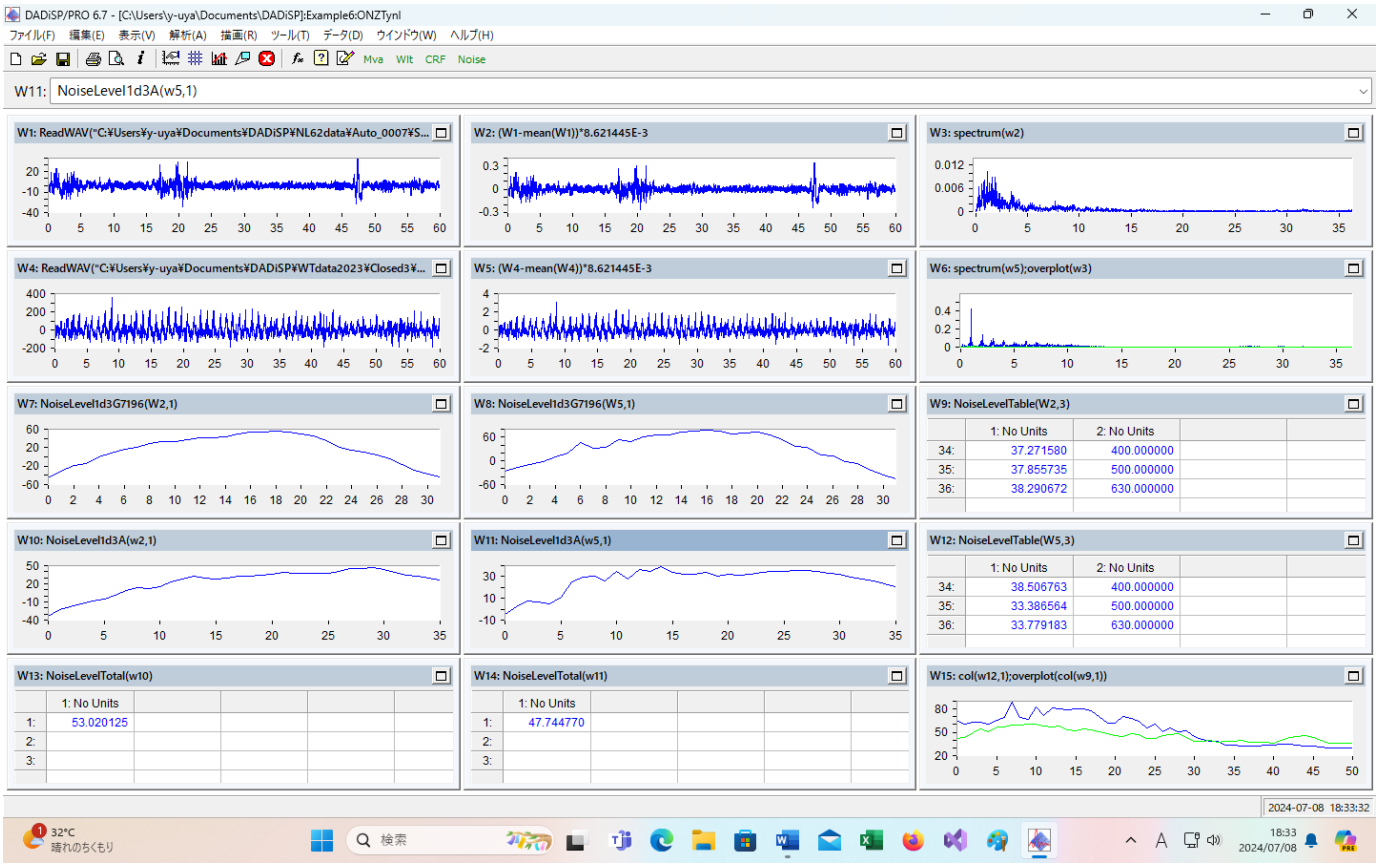
※表 2 中の No. は、図 8 中の騒音の種類を示す番号に対応する。

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。

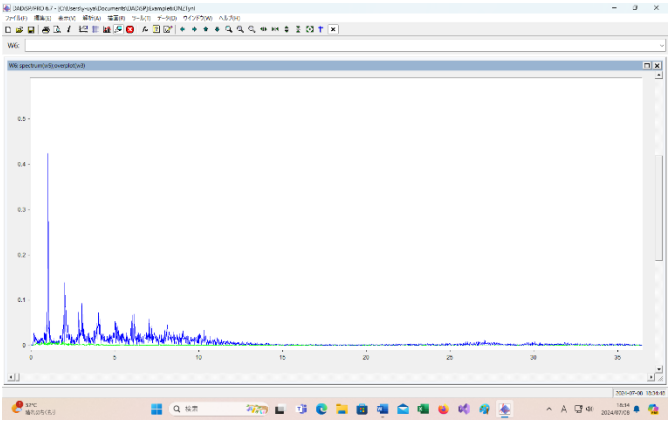
結果として、一般騒音は G が小さく A が大きいので G-A は小さい数値になります。

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。

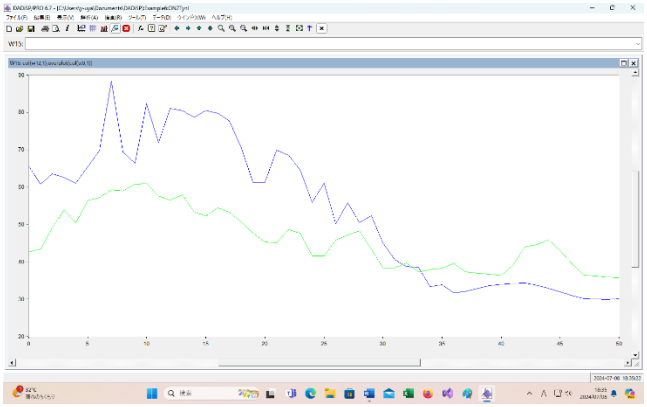
長尾神社と館山の風車の例からも分ります。



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）

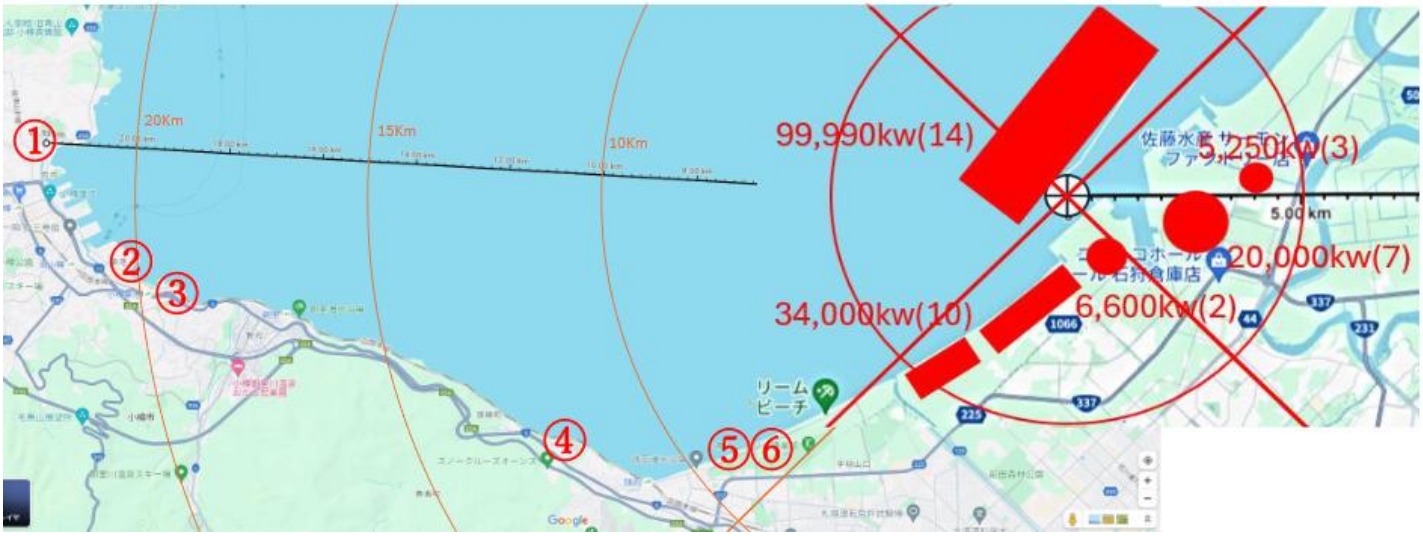
海の上に立つ、風車！その数１４基！国内２例目の「大規模洋上風力発電所」です。東京の再生可能エネルギー会社と火力発電大手が工事を進め、１月から運転を始めました。政府は再生可能エネルギーを２０３０年度には総発電量の４割近くまで増やす計画で、風力発電所の建設もすすんでいます。

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。

放送日：2024 年 5 月 23 日（木）深夜 0 時 56 分～

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。ＪＦＥの製鉄所では-0.46、リオン社前の道路では、-15.20 になっています。熊碓では、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、

$$L_n = L_W - 20 * logR - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使った場合は、

風車36基	2000	3000	5000	7000	10000	15000	20000	25000
A	43.35	41.48	39.12	37.68	36.48	35.7	35.47	35.4
G	70	66.49	62.09	59.23	56.25	53	50.86	49.34

となるが、実測値よりはかなり小さい。

線音源の場合（日本環境アメニティ株式会社）の式（線音源と仮定したもの）、

$$L_n = L_W - 10 * logR - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと大きすぎる数値となる。

風車音の指向性と振動面の大きさを考えて、

点音源と線音源の中間の式

$$L_n = L_W - 15 * logR - 8 - \Delta L_{AIR}$$

を使うと実測値に近い数値、

風車36基	2000	3000	5000	7000	10000	15000	20000	25000
A	53.61	50.6	46.59	43.84	40.99	38.25	36.9	36.24
G	86.5	83.86	80.53	78.34	76.01	73.38	71.5	70.05

となる。

式、

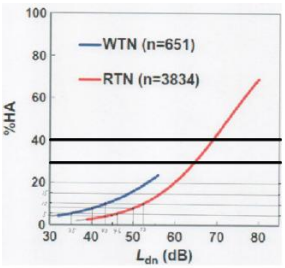
$$L_n = L_W - 20 * logR - 8 - \Delta L_{AIR}$$

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＝68.92ｄB、A＝43.69ｄB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＝43.96ｄBの風車騒音は、53ｄB 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	10dN
5%	35dB	46dB	11dB
4%	30dB	43dB	13dB

“非常に不快である”と感じる人の割合が 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 53ｄB 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。

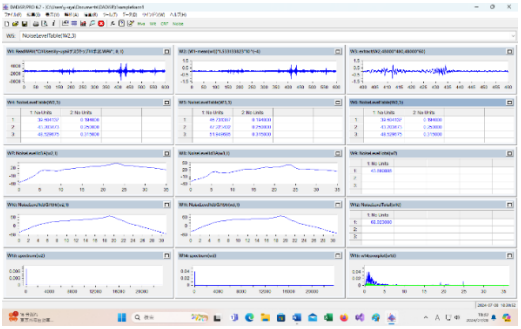
この数値の意味は、騒音値の基準と目安（日本騒音調査ソーチョー）の資料によれば、

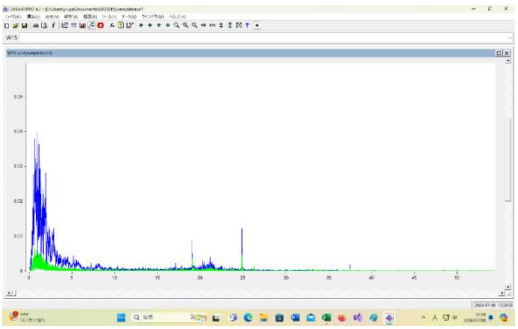
うるさい	かなりうるさい。かなり大きな声を出さないと会話ができない	７０db	・騒々しい事務所の中 ・騒々しい街頭 ・セミの鳴き声（２m） ・やかんの沸騰音（１m）
	大きく聞こえ、うるさい。声を大きくすれば会話ができる	６０db	・洗濯機（１m） ・掃除機（１m） ・テレビ（１m） ・トイレ（洗浄音） ・アイドリング（２m） ・乗用車の車内
普通	大きく聞こえる、通常の会話は可能	５０db	・静かな事務所 ・家庭用クーラー（室外機） ・換気扇（１m）
	聞こえるが、会話には支障なし	４０db	・市内の深夜 ・図書館 ・静かな住宅地の昼
静か	非常に小さく聞こえる	３０db	・郊外の深夜 ・ささやき声
	ほとんど聞こえない	２０db	・ささやき ・木の葉のふれあう音

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 20ｋｍ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＝55ｄB 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。

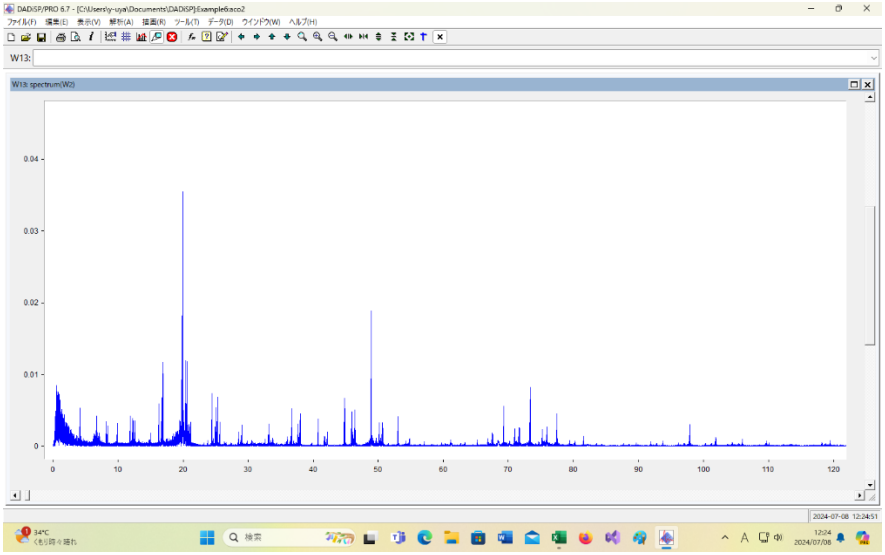
手宮①





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（15～100Ｈｚ）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 10ｋｍ、一番近い風車から 5ｋｍ）の団地では、ヘリコプターが近くに着陸するかのような音が響いています。

風車からの距離は、銭函とほぼ同じです。

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 67.950932ｄB ですから、100ｄB よりは低い数値です。

ISO7196 の中心周波数での、平坦特性での音圧レベルは、

中心周波数（Hz）	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5
銭函（平坦特性ｄB）	51.39	57.76	62.60	65.99	69.41	71.60	71.82	71.97	71.45	71.53	71.33

中心周波数（Hz）	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5
銭函（平坦特性ｄB）	71.54	70.30	69.88	67.92	63.91	59.42	55.67	51.17	47.02	48.24	49.40

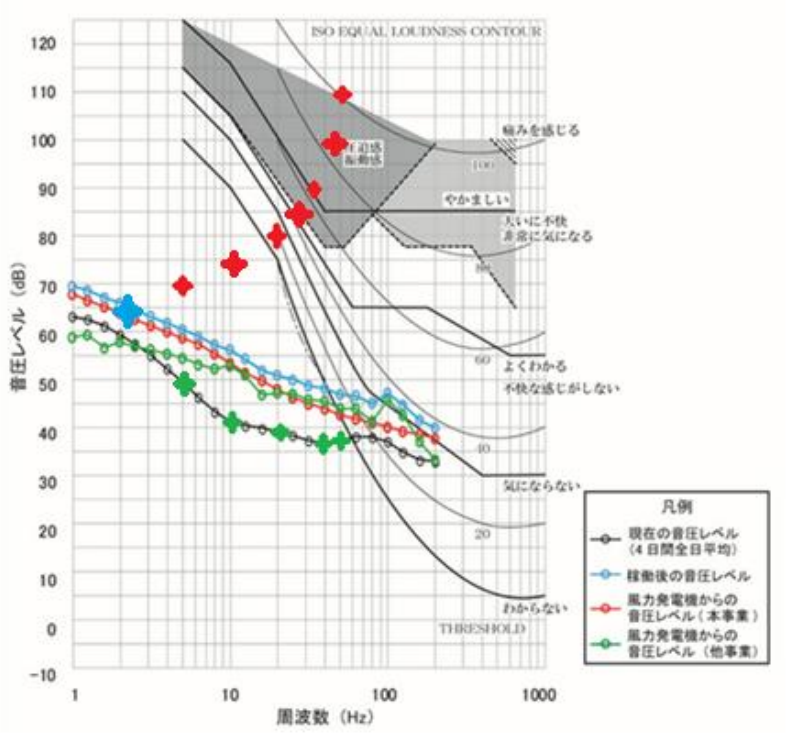
中心周波数（Hz）	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	
銭函（平坦特性ｄB）	44.68	41.86	40.38	44.90	42.97	40.98	38.58	37.28	34.08	33.15	

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

表１　低周波音による物的苦情に関する参照値

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

ガタツキが起きて、夜中に目が覚めても不思議ではありません。上の表では、周波数が下がればガタツキ閾値も小さくなります。



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 65ｄB 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。

銭函では、2Hz の時は、71.53ｄB ですので、ガタツキでの安眠妨害も心配になります。。

・風車音の影響予測の方法

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

別紙
各論
（1）騒音に係る影響
想定区域の周辺には、複数の住居及び学校その他の環境の保全についての配慮が特に必要な施設（以下「住居等」という。）が存在しており、沿岸付近の住居等の近隣に風力発電設備等が設置される場合には、工事中及び稼働時における騒音による生活環境への重大な影響が懸念されることから、環境の保全に十全を期することが求められる。このため、風力発電設備等の配置等の検討に当たっては、「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」（平成 27 年 10 月環境省）、「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」（平成 29 年 5 月環境省）その他の最新の知見等に基づき、住居等への影響について適切に調査、予測及び評価を行い、その結果を踏まえ、風力発電設備等を住居等から離隔を取ること等により、騒音による生活環境への影響を回避又は極力低減すること。

では、
「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」
「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」
が上げられているが、問題が多い。

「騒音に係る環境基準の評価マニュアル」では、
交通騒音などの一般的な騒音に関して評価方法が書かれていますが、
風車音を計測した結果から計算したＡ特性音圧レベルと交通騒音を計測した結果から計算したＡ特性音圧レベルの数値が同じでも、“非常に不快である”との被害を訴える人の割合に大きな違いがあるので、この数値で、風車音の被害を評価してはいけないのです。

”**検討会報告書**「風力発電施設から発生する騒音等への対応について」“ｐ14 には、
“風車騒音とわずらわしさ（アノイアンス）との量-反応関係についても多くの研究がなされている。複数の報告により、**同程度の音圧レベルにおいては、風車騒音は他の交通騒音よりもわずらわしさ（アノイアンス）を引き起こしやすい**ことが示唆されている。

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

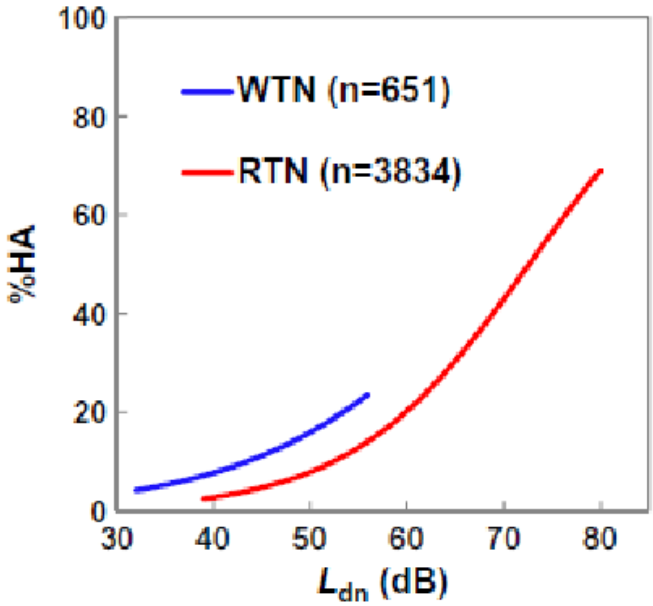


図 7　風車騒音（WTN）と道路交通騒音（RTN）の昼夜時間帯補正等価騒音レベル（L_{dn}）※と非常に不快と感じた者のパーセンテージ（%HA）

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

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

なお、洋上風力の風車は丸見えです。

「風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアル」には、

“3.2 騒音の測定機器

(1) 騒音計（サウンドレベルメータ）

本マニュアルにおける風車騒音の測定には、計量法第 71 条の条件を満たし、JIS C 1509-1 の仕様に適合する騒音計（サウンドレベルメータ）で、以下の機能を備えているものを使用する。

□ 時間重み付け特性 F の騒音レベルを時間間隔 0.1 s 以下でサンプリングして連続記録する機能を有するもの

□ 原則として騒音計の測定下限が、対象とする地域の残留騒音の騒音レベル以下のもの

（注 1）静穏な地域では、残留騒音の騒音レベルが騒音計の測定下限値未満となることがある。その場合には測定結果一覧表に測定下限値未満であることを明記する。また静穏な地域で測定する場合には測定下限値がより小さい JIS C1509-1 のクラス 1 に適合する騒音計を使用することが望ましい。

（注 2）測定においては、風雑音を低減するために「(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）」に記載する全

天候型のウインドスクリーンを使用する。
（注 3）通常、周波数特性の分析のために、測定現場で音圧信号を一旦録音するが、その際使用する録音装置は JIS C 1509-1 の騒音計の仕様に適合する周波数範囲とダイナミックレンジの性能を備えている必要がある。一般には、1/3 オクターブバンドの周波数特性を求めるときには騒音計の周波数重み付けを Z 特性とした AC 出力を録音する必要があるが、本マニュアルでの測定に限り周波数重み付けを A 特性としてよい。なお、信号圧縮処理を用いた録音装置は使用できない。
(2) ウインドスクリーン（防風スクリーン）
風車の有効風速範囲の風況下で騒音を測定する際には、一般的に用いられる直径 10 cm 以下のウインドスクリーンでは、風雑音を十分に低減することはできない。風雑音の影響を低減するためには、より大型の、全天候型のウインドスクリーンを使用する必要がある。
風の影響が大きい場合には二重のウインドスクリーン等の、より性能の良いウインドスクリーンを使用する。
（注） 二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。“
とある。

JIS C 1509-1 について、小野測器の HP で確認すると。
○ 計量法
表 7-1 普通級と精密級との違い(計量法)

	普通騒音計	精密騒音計
器差(dB)	±1.5	±0.7
目盛誤差(dB) (基準レベルに対して±10 dB の範囲)	±0.3	±0.2
目盛誤差(dB) (上記以外)	±0.6	±0.4
レンジ切替誤差(dB)	0.7	0.5
周波数範囲(Hz)	20 ～ 8 kHz	20 ～ 12.5 kHz

○ JIS 規格
表 7-2 クラスによる性能の違い（JIS 規格）

	クラス 2(普通級)	クラス 1(精密級)
レベル直線性誤差(dB) (入力レベルの 10 dB 以内の変化に対して)	±0.5(±0.8)	±0.3(±0.6)
レベル直線性誤差(dB) (上記以外)	±1.1(±1.4)	±0.8(±1.1)
周波数範囲(Hz)	20 ～ 8 kHz	16 ～ 16 kHz

最も広い、周波数範囲で 16HZ～16ｋHz となっています。騒音計ですから、可聴域を調べるのは当然ですが、風車音には合いません。周波数範囲を 0.25Hz～20ｋHz まで拡張することが必要です。

風車音の問題を考えるときには、他の環境騒音と比べて、特徴を把握することです。もし、風車音の特徴が交通騒音に似ているならば、交通騒音の評価で役立った、(A 特性音圧レベルによる) 騒音レベルを使えばよいし、特徴が全く違いならば、その特徴を把握できる数値を見つけなくてはなりません。

このマニュアルの悪質性は

“本マニュアルは、風力発電施設の設置事業者・製造事業者、行政（国、地方公共団体)、地域住民等の関係者等が、風力発電施設から発生する騒音に関する測定を行う場合の標準的な方法を示すものであり、風車騒音、残留騒音の測定方法の他、測定手順や留意点等も併せて記載したものである。”

にあります。

これは、風車音のエネルギーの７％だけで風車音の影響を評価するように、業者、行政、住民に要請しているのです。

計測機材の指定は 16Hz 以下を計測するなという意味です。結果の数値からは、“安全です” とか “問題ありあせん” という結論になりますが、これは被害者に対する圧力として働きます。

さらに、

“(注)　二重ウインドスクリーン等を使用しても風雑音を十分に除外できない場合には除外音処理を行い、風雑音の影響範囲を除外する等の対応が必要である。”

と、念押しをします。

これは、風車の超低周波音の影響を十分理解しているから、計測値から除去して、徹底的に誤魔化そうという意思の表れです。

計測された超低周波音については “風雑音” だと言って、風車音の成分ではないから除外してから数値を提出するようにと要請しているのです。

理由は分かりませんが、多くの学者が、“風雑音” 説を支持しています。もちろん、彼らが精密な計測結果を公開することは無いのです。

“聞こえなければ不快感などの影響はない” との立場が、**専門家の一般的な意見**だという人もいます。

風力発電についての意見聴取会（三重県松坂市、平成 21 年）において、落合博明氏は

“・風車から出る音として、羽の先端のシュッシュッという風切音、羽の回転に起因する低周波音、特にダウンウインドの風車になりますが、タワーの周りに渦ができてそれを羽がバサバサッと切る音、それからナセルから出る機械音などがある。

・風車には風上側に羽があるアップウインド、風下側に羽があるダウンウインドの 2 種類があり、特にダウンウインド型の風車は 1980 年代にアメリカで問題になった。ダウンウインド型であることと、羽とタワーの距離が近いこと、回転速度が速いことによってある特定の周波数が卓越した。それを受け、最近ではメーカーもアップウインド型の風車にするように工夫することが多くなり、ダウンウインドであってもタワーと羽の距離を広く取ることによって渦を小さくするような工夫をしている。

・最近の風車で問題になっているのは 100 ヘルツから 250 ヘルツ以下の騒音で特定の周波数が飛び出ていることによって問題になる場合がある。

・10 ヘルツの閾値は大体 95 から 100 デシベル程度であり、**聞こえなければ不快感などの影響はない**という

ことは専門家の一般的な意見である。
・騒音の動植物への影響について研究している専門家はあまりいないのでデータはほとんどない。低周波音については鶏や牛が室内にいる時に低周波音、超低周波音による建具のがたつきでびっくりしてしまったという例がある。室外にいて影響があったという話は知りうる中では聞いていない。“
と言っている。

　これでは風車音による被害の原因が不明となり、単なる気のせいだと言われてしまいます。

・遠距離での騒音予測の式（点音源と線音源）

石狩湾にある 36 基の風車から 10～20ｋｍほど離れた場所での音の予測計算で点音源の式

Ｌ＝LW－20log(r)－8－ΔＬＡ

を使った場合は実測値よりはかなり小さい数値となります。

線音源の場合（日本環境アメニティ株式会社）にある線音源の式、

Ｌ＝LW－10log(r)－8－ΔＬＡ

を使うと実測値よりも大きすぎる数値となる。

風車音の指向性と振動面（風車の側面で長さは 100m程度）の大きさを考えて、点音源と線音源の中間の式

Ｌ＝LW－15log(r)－8－ΔＬＡ

を使うと実測値に近い数値になります。

大型の風車が沢山並んだ場合の予測に点音源の式を使ったのでは、過小評価になります。遠方の大型風車群の影響評価については、理論と実際の計測値の対比が必要となります。文献の調査に時間がかかりますので今から検討しておくべきです。

もう少し調べます。

２．音響パワーレベルの定義

音響パワーレベル（Sound Power Level）は，音源が空間内に放射する音響パワー（単位：W＝J／s），すなわち音源が単位時間（1 s）あたりに放射する音響エネルギーをレベル表示した量で，国際的な約束として次のように定義されている。

$$L_W = 10 \log_{10} (P / P_0) \quad (1)$$

ただし，L_W ：音源の音響パワーレベル（dB）

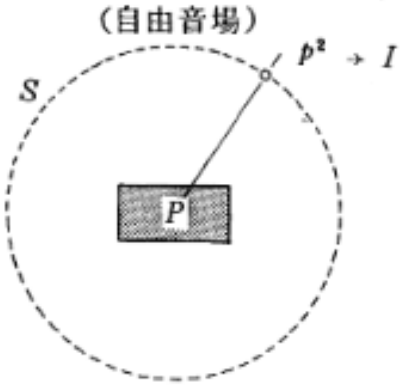
P ：音源の音響パワー（W）

P_0 ：基準の音響パワー（10^{-12} W）

この定義から明らかなように，音響パワーあるいは音響パワーレベルは，定常的（完全に定常的でなくても，ある時間をとれば統計的に定常とみなせる音も含む）を放射する音源についてのみ定義できる量で，間欠的あるいは衝撃的な音を発生する音源については適用できない。（この種の過渡的な音については，パワーではなく，放射エネルギーに着目してレベル表示する方法[2]が提案されているが，現在のところ音響パワーレベルほど一般的にはなっていない。）

(1) 音圧法Ⅰ（自由音場法または半自由音場法）

図－1に示すように，自由音場内に置かれた音源を中心として，それをとり囲む球面を考えると，音源が放射する音響パワー P(W) と球面を通過する音の強さ（音響インテンシティー）の面上の平均値 $\overline{I}$



図－1 自由音場法（音圧法－Ⅰ）

（W／m²）の間には，次の関係がある。

$$P = \overline{I} \cdot S \qquad (2)$$

ただし，S：球面の面積（m²）

ここで，自由音場内で音源からある程度離れた場所では，音の強さ I と音圧 p の2乗の時間平均値(以下，平均2乗音圧という）の間には次の関係が成り立つ。

$$I = p^2 / \rho c \qquad (3)$$

ただし，ρ：空気の密度，c：空気中の音速

したがって(2)式は

$$P = (p^2/\rho c) \cdot S \qquad (4)$$

と表すことができ，定義式(1)に従って両辺を10^{-12}で除してレベル表示することにより，音源の音響パワーレベルは次式で表される。

$$L_W = 10 \log_{10} (P/P_0) \qquad (1)$$

ただし，L_W ：音源の音響パワーレベル（dB）

P ：音源の音響パワー（W）

P_0 ：基準の音響パワー（10^{-12} W）

$$L_W = 10log_{10}\left(\frac{P}{P_0}\right) = 10log_{10}\left(\frac{P}{10^{-12}}\right) = 10log_{10}\left(\left(\frac{1}{10^{-12}}\right)\left(\frac{p^2}{\rho c}\right) * S\right)$$

$$= 10log_{10}\left(\left(\frac{p^2}{400 * 10^{-12}}\right) * S\right) = 10log_{10}\left(\left(\frac{p}{20 * 10^{-6}}\right)\text{^}2\right) + 10log_{10}(S)$$

$\rho c * 10^{-12} = 400 * 10(-12) = (20 * 10^{-6})^2 = p_0$^2　と

$S_0 = 1$ に注意すれば、

$L_W = 10\log \frac{W}{W_0}$ dB　　$L_p = 10\log \frac{p^2}{p_0^2}$ dB)

(W_0 = 1 pW)　　(p_0 = 20 μPa)

より、

$$L_W = \overline{L}_p + 10 \log_{10} (S/S_0) \qquad (5)$$

ただし，$\overline{L}_p$：球面上の平均音圧レベル

S_0：基準の面積（1 m²）

（S=4πr^2 とすると、自由音場の式になる。）

球面上で音圧レベルが一定ならば、平均音圧レベルは、先のL_pと一致する。

以上のように，この方法は測定球面上で測定される音圧から間接的に音の強さを求め，それから音源の音響パワーを求める方法であり，その意味からこの方法は音圧法（音圧法－Ⅰ）と呼ばれている。また測定音場に着目する場合には，自由音場法と呼ばれている。

また、

音響パワーレベルは、無響室あるいは残響室と呼ばれる実験室において測定される音圧レベル等から算定される。音響パワーレベルと音圧レベルの単位は同じく dB であるが、対象としている物理量は異なることに留意する。

音響パワーレベル L_W (dB)を有する無指向性の音源と、r (m)離れた点(受音点)における音圧レベル L_p との関係は、反射音のない空間(自由空間)において、式 1 で与えられる。$4\pi r^2$ は、音源を中心とした半径 r の球の表面積である(図 1)。距離が離れて表面積が大きくなり、単位面積当たりの音のエネルギーが小さくなるに伴い、音圧レベルは小さくなる。式 1 は、音源からの距離が大きくなるに従い音圧レベルが小さくなることを表すことから、距離減衰の式と呼ばれる。

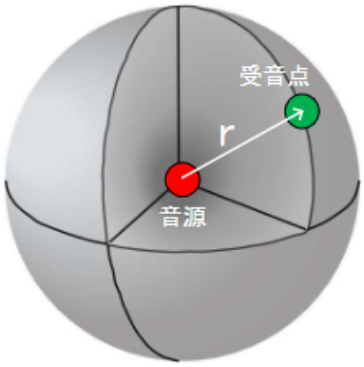


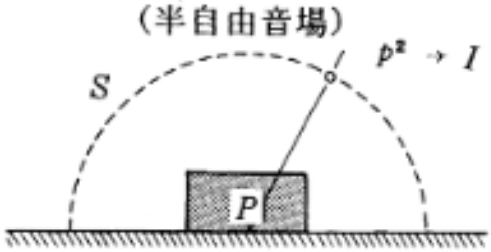
図 1　音の放射の概念図

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

との関係式もあります。

こちらの式は、音源が地上から離れていて波面が球形となる場合に適していると考えます。

また図－2 に示すように，一つの面が反射性である半自由音場内の反射面の上に音源を置き，それを



図－2　半自由音場法（音圧法－Ｉ）

とり囲む半球面を設定した場合にも，全く同様の原理で音響パワーが測定できる。この方法は，音場の種類から半自由音場法と呼ばれている。もちろんその場合には，(4)，(5)式の中の S としては，半球面の面積をとらなければならない。

半球面の面積は、２πr^2　なので、

$$L_p = L_w - 10\log(2\pi r^2) = L_w - 20\log r - 10log(2\pi) = L_w - 20\log r^2 - 7.98$$

こちらの式は、音源が地面に近い場合に使われるようです。

風車では、低周波音の予測にはこれを使うようです。

GPI の使う予測式は次のものです。

② 予測式

低周波音は、一般的な騒音と同じ伝搬を示し、半自由空間における距離減衰式は、一般的に広く騒音予測計算を用いており、かつマニュアル等で示された手法である。

特に低周波音は、施設建物等による遮へい・回折による減衰をしにくいことから、遮へい・回折減衰は考慮しないこととし、発生源における低周波音が距離減衰する伝搬理論計算式を用いた。

また、本施設は低周波音の発生として特殊な施設ではなく、地形は平坦であり、特異な低周波音の発生や伝搬状況とはならないと考えられることから、下記の予測式の適用は妥当であると考える。また、遮へい・回折減衰を考慮していないことから、低周波音が大きくなる条件での予測手法となっている。

[半自由空間における点発生源の距離減衰式]

$$SPL = PWL - 8 - 20 \cdot \log(r)$$

ここで、

SPL ：予測点における低周波音レベル(dB)

PWL ：発生源の低周波音レベル(仮想点発生源の低周波音レベル)(dB)

r ：発生源から予測点までの距離(m)

[低周波音圧レベルの合成]

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

ここで、

ΣL ：合成された低周波音圧レベル(dB)

Ln ：発生源 n に対する低周波音圧レベル(dB)

GPI が使う低周波に関して使う予測式は次式です。(騒音の計算は別の式でした。)

(7) 予測式

音の伝搬理論式に基づき計算を行った。なお、空気の吸収等による減衰、障壁等の回折による減衰及び地表面の影響による減衰を考慮しないこととした。

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 \cdot log_{10} r$$

[記　号]

L_i ：音源から距離 r における音圧レベル（デシベル）

PWL_i ：音源のパワーレベル（デシベル）

r ：音源からの距離（m）

予測地点におけるＧ特性音圧レベル及び1/3オクターブバンド音圧レベルは、各風力発電機から発生するＧ特性音圧レベル及び1/3オクターブバンド音圧レベルを計算し、それらを重合させて算出した。

$$L_p = 10\log\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots + 10^{L_n/10}\right)$$

［記　号］

L_p：予測地点における音圧レベル（デシベル）

L_n：n番目の風力発電機による音圧レベル（デシベル）

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）。

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

ここで、

Ｌｎ：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)

Ｌｗ：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)

$$\Delta L_{\mathrm{AIR}} = \alpha\left(r^2 + h^2\right)^{1/2} \qquad (3.2)$$

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。

$$Lp = 10\log\left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \cdots + 10^{L_n/10}\right) \qquad (3.3)$$

ここで、

Ｌｐ：予測地点における騒音レベル(dB)
Ｌｎ：ｎ番目の風力発電機による騒音レベル(dB)

GPI 準備書ｐ828 には、２つの式

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 * log_{10} r$$

$$L_p = 10\log\left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \cdots + 10^{\frac{L_n}{10}}\right)$$

があり、上の式は、

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

で、ｈ＝０，ΔL_{AIR}＝０と置いたものと同一であり、２番目の式は（3.3）式と同じです。

色々ありますが、1Hz から 40Hz までは、GPI 準備書ｐ828 にある２つの式

$$L_i = PWL_i - 8 - 20 * log_{10} r$$

$$L_p = 10\log\left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \cdots + 10^{\frac{L_n}{10}}\right)$$

で計算をします。

周波数が高くなると、空気減衰を考える必要がでてくるので、50Ｈｚ以上の周波数に関しては、

（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。

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

ここで、

Ｌｎ：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)
Ｌｗ：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)

$$\Delta L_{\mathrm{AIR}} = \alpha\left(r^2 + h^2\right)^{1/2} / 1000 \qquad (3.2)$$

α　：定数（以下の表に一例を記載するが詳細は ISO9613-2 に記載される大気吸収減衰係数を参照し、オクターブバンド別に計算を行う）

温度と相対湿度におけるオクターブバンド騒音に対する大気吸収減衰係数α

温度(℃)	相対湿度(%)	オクターブバンド中心周波数(Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117.0
20	70	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6
30	70	0.1	0.3	1.0	3.1	7.4	12.7	23.1	59.3
15	20	0.3	0.6	1.2	2.7	8.2	28.2	88.8	202.0
15	50	0.1	0.5	1.2	2.2	4.2	10.8	36.2	129.0
15	80	0.1	0.3	1.1	2.4	4.1	8.3	23.7	82.8

に従って、空気減衰の項を追加します。

A 特性音響パワーレベルと A 特性音圧レベル（20Hz～）の関連を示す式には次のものもあります。

A特性音圧レベル$L_{A,i}$のユニットパターンは、無指向性点音源の半自由空間における伝搬を考えて次式によって計算した。

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20\log_{10} r_i + \Delta L_{dif,i} + \Delta L_{grnd,i} + \Delta L_{air,i}$$

ここで、

$L_{A,i}$　：i 番目の点音源から予測点に伝搬する A 特性音圧レベル（dB）

$L_{WA,i}$　：i 番目の音源位置における自動車走行騒音の A 特性音響パワーレベル（dB）

r_i　：i 番目の音源位置から予測点までの直達距離（m）

$\Delta L_{dif,i}$　：回折に伴う減衰に関する補正量（dB）

$\Delta L_{grnd,i}$　：地表面効果による減衰に関する補正量（dB）

$\Delta L_{air,i}$　：空気の音響吸収による減衰に関する補正量（dB）

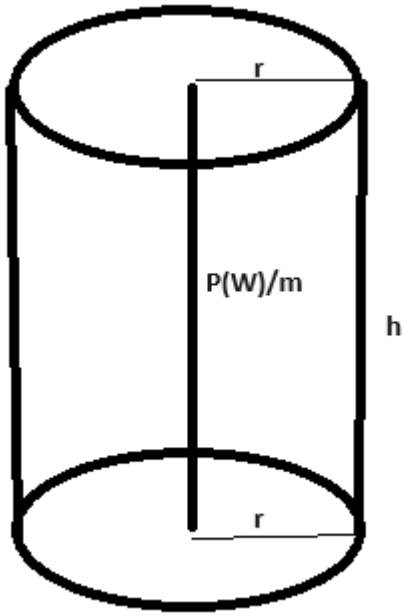
実際の計算は、

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

を使う事にします。これで、A 特性音響レベルから、A 特性音圧レベル（20Hz～）が得られます。

この式が低周波音の計算に適していることと、風車音の成分は 100Hz 以下の低周波成分がほとんどであることから、上の（3.1）式を使って計算したものを作りました。

・線音源での音圧法



円柱の中央部の置かれた直線状の音源を中心にして、それを取り囲む円柱を考える。音源が放射する音響パワーP（W/m）と、高さｈ、半径ｒの円柱面を通過する音の強さの平均値　$\bar{I}$　(W/m^2)の間には、

$Ph = \bar{I} * S = \bar{I} * 2\pi * r * h$　の関係がある。

音の強さＩと音圧ｐの間には

I＝(p^2)/(ρ ｃ)　　（ρは空気密度、ｃは空気中の音速）

積ρ ｃは空気の音響インピーダンスと呼ばれ、$\rho c \approx 400$[NS/m3]である。

よって、式は

$$P = \frac{p^2}{\rho c} * 2\pi * r$$

となる。

音響パワーレベルの定義より。

$$L_W = 10\log\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

ただし、　L_W ：音源の音響パワーレベル（ｄB）

P　：音源の音響パワー　（W）

P_0　：基準の音響パワー　（10^(-12) W）

これに、

$$P = \frac{p^2}{\rho c} * 2\pi * r$$

を代入すれば、

$$L_W = 10log_{10}\left(\left(\frac{p^2}{400 * 10^{-12}}\right) * 2\pi * r\right) = 10log_{10}\left(\left(\frac{p}{20 * 10^{-6}}\right)\text{^}2\right) + 10log_{10}(2\pi * r)$$

$$= L_p + 10log_{10}(2\pi * r)$$

よって、

$$L_p = L_W - 10log_{10}(r) - 10log_{10}(2\pi) L_p = L_W - 10log_{10}(r) - 7.98$$

となるので、7.98＝8 として、

線音源での式は空気減衰を含めて書けば

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）、

$$L_n = L_W - 10 * \log(r) - 8 - \Delta L_{AIR}$$

となる。

点音源での予測

風車は点音源ではありませんが、ここでは点音源の式を使って確認します。
GPI の計画は、4200 k W の風車 9 基の建設です。

表 2.2-10　風力発電機の概要

項　目	諸　元
定格出力	4,200kW
カットイン風速	3m/s
定格風速	12m/s
カットアウト風速	27m/s
ロータ径	117m
ロータ中心までの地上高（ハブ高さ）	112m
ブレード枚数	3 枚
定格回転数	13.6rpm
設置基数	9 基

風車騒音の予測をするには、３つのデータが必要です。

１番目は、GPI の準備書にある、次の表です。 p 829

表 10.1.4-4　風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル											
	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
本事業	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7
既存施設	121.0	121.9	118.2	118.1	117.4	116.1	113.4	112.1	110.6	109.1	107.8	106.6
計画中施設	119.2	117.5	118.9	122.4	121.2	121.2	121.4	120.7	119.4	118.8	119.8	117.8

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル												G特性
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	
本事業	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0	128.4
既存施設	103.9	102.1	101.1	101.3	101.7	97.4	102.6	99.8	108.0	100.5	96.8	93.8	117.5
計画中施設	113.3	114.2	114.1	112.7	112.3	111.2	109.8	107.2	105.6	108.7	102.1	97.5	128.5

注１：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020 年 4 月　株式会社シーテック)を参考とした。

表の、“既存施設”は、CTech 社の 2000 k w のもの、計画中施設は 2300 k w のものです。
上の表では 200Hz までしか書かれていないので、200Hz 以上の成分を考える手掛かりは、

２番目に必要な数値は、準備書のｐ801 にある、Ａ特性パワーレベルの表です。ｐ801

表 10.1.3-15　風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)：A特性パワーレベル								A特性(dB)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
本事業	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0
既存施設	89.2	91.0	88.5	97.2	102.5	98.3	97.8	87.3	105.9
計画中施設	87.2	94.8	93.9	96.7	98.5	94.2	82.7	75.4	103.1

注１：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020 年 4 月　株式会社シーテック)を参考とした。

この表は、1/1 オクターブ形跡の表です。(本事業が GPI のもの、既存施設はシーテックの 2000ｋｗのもの、計画中施設はシーテック 2300ｋｗのものです。)

上の表は 1/3 オクターブ解析での数値、下の表は 1/1 オクターブ解析での数値です。

表 10.1.3-15　風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/1オクターブバンド中心周波数(Hz)：A特性パワーレベル								A特性(dB)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
本事業	86.3	93.5	98.2	100.5	100.4	97.7	92.7	85.1	106.0
既存施設	89.2	91.0	88.5	97.2	102.5	98.3	97.8	87.3	105.9
計画中施設	87.2	94.8	93.9	96.7	98.5	94.2	82.7	75.4	103.1

GPI の風車で、ｒ＝4323m離れた場所に建つもので、1/1 オクターブ解析での中心周波数が 63Hz の場合は、Ａ特性（音響）パワーレベルが 86.3 です。

$$L_{A,i} = L_{WA,i} - 8 - 20\log_{10} r_i$$

で計算して、1/1 オクターブ解析での、Ａ特性音圧レベルが 5.6ｄＢになります。63Ｈｚでの 1/1 オクターブ解析での重みは－26.2ｄＢなので、平坦特性での音圧レベルの値は 31.8ｄＢとなります。実際(31.8－26.2＝5.6)です。

1/3 オクターブ解析ではこれが３つの帯域に分かれて、３つの帯域での値を総合したものが 31.8ｄＢになります。各帯域が同じ値だとすると、各帯域での平坦特性での値は 27.0ｄＢになります。

実際、31.8=10*LOG(3*(10^(27.0/10))となります。この結果、1/3 オクターブバンドでの平坦特性の音響パワーレベルが得られます。

			距離	4323			
Hz	1/1 重みA	1/1 LWA	1/3 重みA	LA	1/1 平坦	1/3 平坦	確認
50			-30.2			27.0	
63	-26.2	86.3	-26.2	5.6	31.8	27.0	31.7844
80			-22.5			27.0	
100			-19.1			24.1	
125	-16.1	93.5	-16.1	12.8	28.9	24.1	28.8844
160			-13.4			24.1	

63Hz での 1/3 オクターブ解析での平坦特性での数値が 27.0 d B になりますが、
さらに、空気減衰を考慮します。

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

ここで、

Ｌｎ：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）

Ｌｗ：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）

$$\Delta L_{\mathrm{AIR}} = \alpha\left(r^2 + h^2\right)^{1/2} / 1000 \qquad (3.2)$$

（3.2）式の計算は、

α　：定数（以下の表に一例を記載するが詳細は ISO9613-2 に記載される大気吸収減衰係数を参照し、オクターブバンド別に計算を行う）

温度と相対湿度におけるオクターブバンド騒音に対する大気吸収減衰係数α

温度（℃）	相対湿度（%）	オクターブバンド中心周波数（Hz）							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117.0
20	70	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6
30	70	0.1	0.3	1.0	3.1	7.4	12.7	23.1	59.3
15	20	0.3	0.6	1.2	2.7	8.2	28.2	88.8	202.0
15	50	0.1	0.5	1.2	2.2	4.2	10.8	36.2	129.0
15	80	0.1	0.3	1.1	2.4	4.1	8.3	23.7	82.8

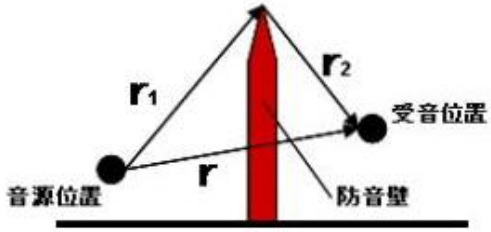
■　防音壁の回折効果　計算方法

防音壁の効果計算例(直接音に対しての減衰量)

点音源に近い場合　減衰量＝10log(0.2+2α/λ)+12.5

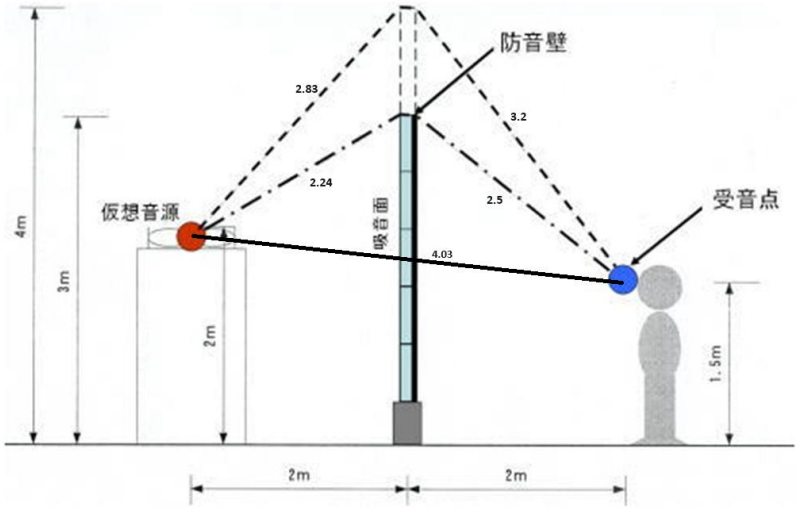
線音源に近い場合　減衰量＝10log(0.4+2α/λ)+8

波長; λ(m)　行路差; α＝r_1+r_2−r(m)



※注意

受音点での騒音値は、この上部を回折してきた音と、横からの回折音、及び、防音壁を透過してきた音の合成値となります。



波長を変えながら計算すると、

高さ	α	λ	Hz	減衰効果
3m	0.71	340.00	1	5.600057
	0.71	0.97	350	14.7057
	0.71	0.85	400	15.21978
	0.71	0.68	500	16.09501
	0.71	0.03	10000	28.72884
4m	2	340.00	1	5.758536
	2	0.97	350	18.85247
	2	0.85	400	19.40717
	2	0.68	500	20.34072
	2	0.03	10000	33.21319

となるので、

防音壁効果予測計算結果			
壁高さ	仮想音源騒音レベル	受音点騒音レベル	減音効果
3m	75dB(A)	43dB(A)	-15dB
4m		39dB(A)	-19dB
	*上記計算は参考値です。		
	*計算結果には暗騒音、防音壁の背後、側面の反射音は考慮しておりません。		
	*騒音源の周波数特性、位置などにより計算結果が異なります。		
	*上部に吸遮音ルーバーや消音スプリッターを設置することによりさらに効果を上げることも可能です。		

この例は、400Hzでの数値と考えられます。

ここでは、
距離減衰、空気減衰、遮蔽による減衰
を使って計算します。

３番目は、残留騒音です。

「風力発電施設から発生する騒音に関する指針について」、
の（別紙）、風力発電施設から発生する騒音に関する指針、には、
本指針における用語の意味は以下のとおりである。
〇残留騒音：一過性の特定できる騒音を除いた騒音
〇風車騒音：地域の残留騒音に風力発電施設から発生する騒音が加わったもの

風力発電施設から発生する騒音等測定マニュアルの２ページに
“③ 残留騒音（residual noise） ： ある場所におけるある時刻の総合騒音のうち、すべての特定騒音を除いた残りの騒音。本マニュアルでは、地域の静けさを表わす騒音レベルのベースに含まれる準定常的な暗騒音は残留騒音に含める。したがって、残留騒音でも音源が識別できる場合がある（遠方の、波音、川音、道路交通騒音等）。なお、**測定地点周辺に既設の風力発電施設がある場合は、これらの施設から発生する騒音を除いた騒音を残留騒音とする。”**
とある。

ここでの、**“測定地点周辺”**については、“周辺”として１ｋｍ、２ｋｍ、３ｋｍ、５ｋｍ、１０ｋｍが考えられますが、距離を伸ばしてしまうと、
“風力発電施設から発生する騒音等への対応について”
平成２８年１１月風力発電施設から発生する騒音等の評価手法に関する検討会、のｐ29 に書いてある、
“（注）発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令（平成 10 年６月 12 日 通商産業省令第 54 号）では、発電所一般において環境影響を受ける範囲であると認められる地域は、事業実施想定区域及びその周囲１km の範囲内としている。”
との関係で、困ることが出てくる。（もちろん省令の趣旨は、検討会の解釈とは異なる。）
１ｋｍ以上での影響を認めてしまうと、影響がないからと言って、風車から１ｋｍ圏内での説明会しかやってこなかった事に矛盾する。

風車での死亡事故

読売新聞オンラインによれば、
巨大な風車が突然壊れ、地域住民の憩いの場に墜落した。秋田市の公園で２日、風力発電施設の羽根が落下した事故。近くには地元の男性が倒れており、間もなく死亡が確認された。
経済産業省によると、２３年度までの５年間に風力発電に関連する事故は約２００件発生し、このうち羽根が破損したケースは約３０件あったという。羽根は先端部の回転速度が時速３００キロ程度に達し、空気中の砂や雨にさらされるため、損傷を放置すると落下につながりかねない。
秋田地方気象台によると、秋田市内は同日朝から強風注意報が発表され、午前１０時時点の最大瞬間風速は２０・３メートルだった。

なお、アゴラ編集部によれば、
風力発電所の羽根（ブレード）は、風が強くなるほど回転が速くなり、先端は新幹線並みの速度に達することもあります。風速が毎秒 2 メートルほどで回転を始め、毎秒 4 メートルほどから発電を開始しますが、毎秒 25 メートルを超えると安全のため自動的に回転を停止しますので決して効率的とはいえません。

との事です。

・風車の破損事故

人間に多くの恵みを与えてくれる大自然も、濡れ衣を着せられれば怒ります。そして、天罰が下ります。

風車からの超低周波音を“風雑音”と言ってはなりません。

この原因は、マイクに風が当たる事ではないのです。もし、マイクに風が当たることが原因ならば、風車が無い場所でも、同じようは周波数スペクトルが現れなくてはなりません。

“風雑音”とは、考えることを止めました。研究者の資格はありませんと自ら宣言していることになるのです。

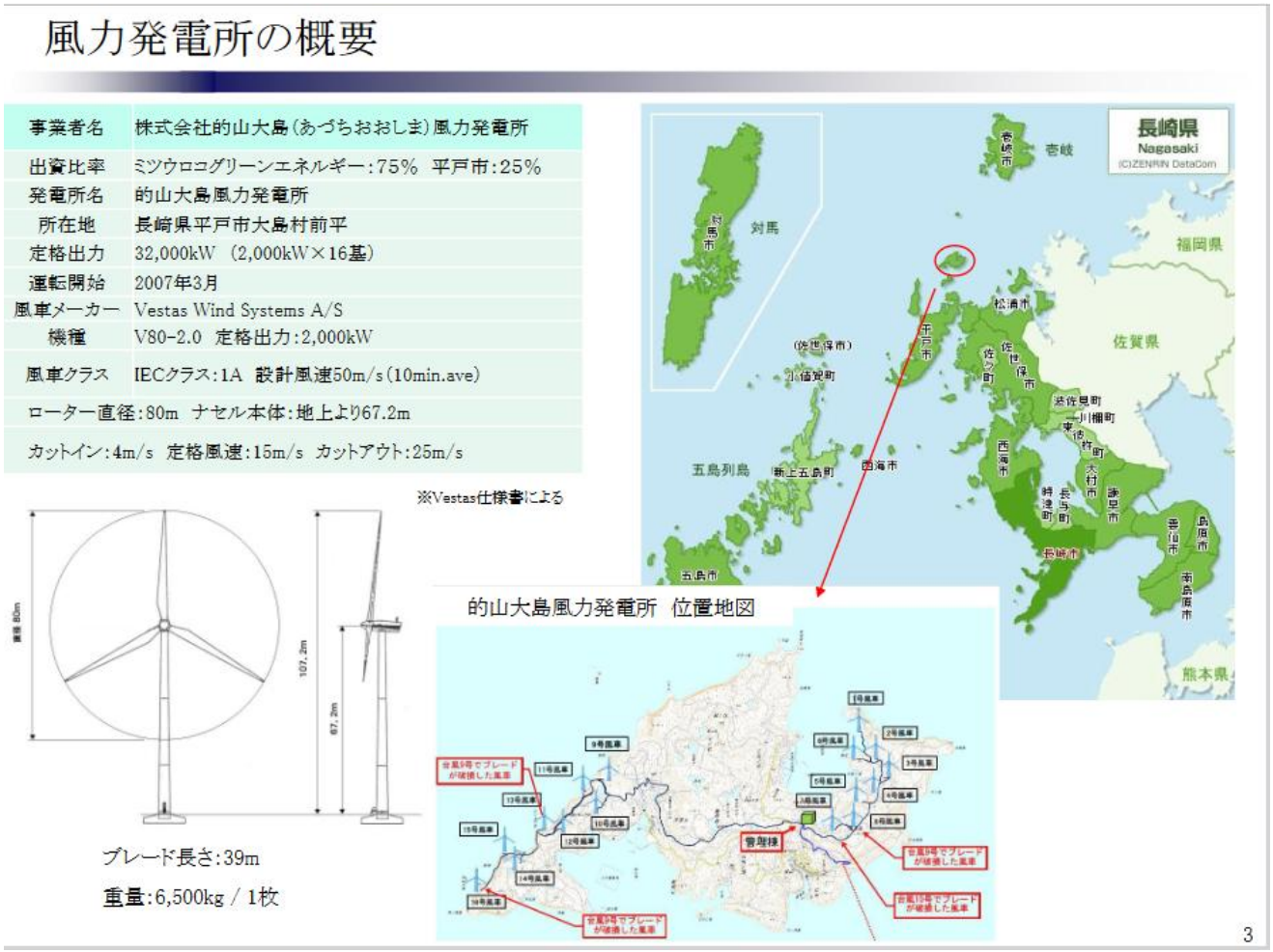
これを、風車からの超低周波音だと考えれば、この音は金属疲労による風車の倒壊の予測に役立つのです。

金属疲労は毎日の繰り返しですが、近年は台風が大型化しています。水平軸型の風車の最上部にあるナセルは、トラックのような形状です。横風を受けると、大きな被害が出ます。

被害を避けるためには、風に対して正面を向けて、風の影響を小さくするのです。これが出来なくなると、次のような事故が起こります。

台風は今後も大型化します。この事故はこれからの起こるのです。

的山大島風力発電所：台風９号・10 号によるブレード折損事故に関する報告　（第４報）



事故の概要

台風9号時

2020年9月2日夕方から9月3日早朝にかけ、台風9号が的山大島の西側を通過した。このとき、発電所の風車全16機のうち8号風車、13号風車、16号風車の3機のブレードが破損した。

風車は台風通過前に風速25m/sのカットアウト風速を超えたため、保安停止中の7号風車を除き、全機自動でPause状態に移行していた。

Pause状態：風車は発電停止し、ブレードピッチはフェザリング状態で、ヨーは自動追従となります

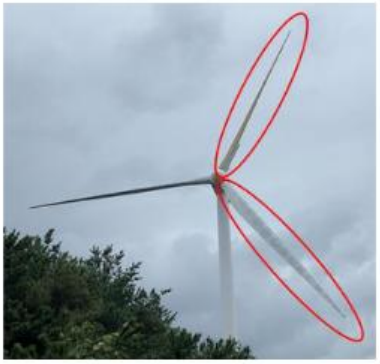
8号風車:ブレード3枚破損

13号風車:ブレード1枚破損

台風10号時

台風9号通過から中2日、2020年9月6日夕方から9月7日早朝にかけ、台風10号が的山大島の西側を通過した。このとき、7号風車のブレードが破損した。

台風9号通過時に発生した故障により、事故機である4機については、ヨーイングに異常が生じており、風向の変化に追従できない状態となっていた。



16号風車:ブレード2枚破損

7号風車:ブレード1枚破損

ヨーイングとは、ナセルの向きを風の方向に向けることです。これが故障すれば、当然事故は起こります。

しかし、故障しなくても、事故が起こる可能性はあるのです。

風が、大きさと方向を激しく変化させることは、気象庁のデータから明らかです。

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

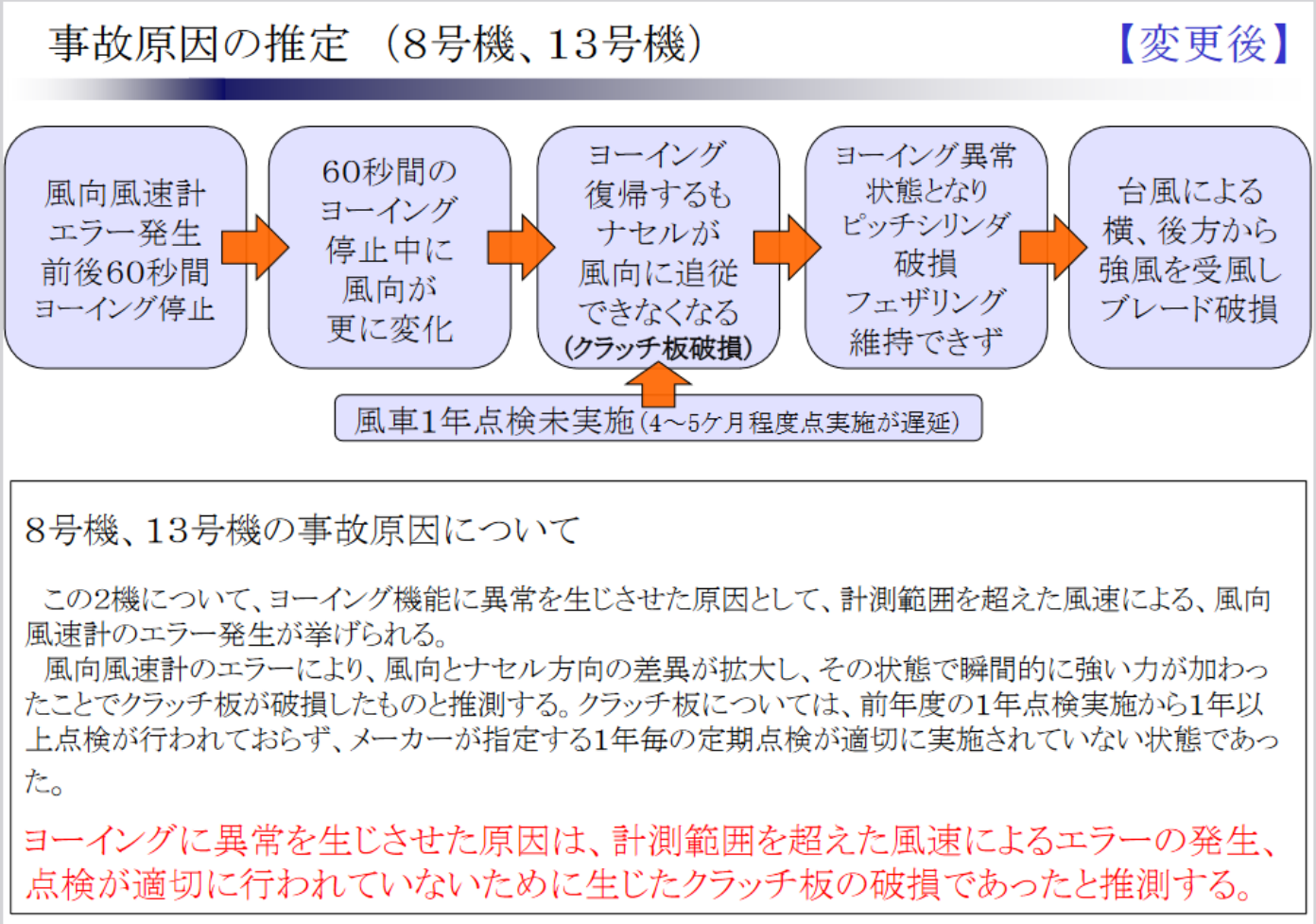
年	月	日	時	分	秒	前10秒間最大瞬間風速	前10秒間最小瞬間風速	前10秒間風程
						0.1m/s	0.1m/s	
2019	2	2	0	12	40	147	124	132
2019	2	2	0	12	50	146	107	131
2019	2	2	0	13	0	122	82	102
2019	2	2	0	13	10	105	65	83
2019	2	2	0	13	20	112	71	82

（前 10 秒間風程は、10 秒間に風が進む行程を意味します。132 は秒速 13.2mの風速です。）

風速も風向も不安定なのです。

風の急激な変化についついてゆくには、風車の向きを高速で変化させなくてはなりません。発電機の部分はとても重いので、激しく向きを変えればそれだけで壊れます。

構造から考えて、水平軸型の風車は、根本的な欠陥品なのです。



世の中には、音も静かで、風に合わせて向きを変える必要のない風車もあります。パリのエッフェル塔に登ってみてください。

金属疲労

風車は壊れます。風車の事故の記事ですが、

金属疲労についても考慮する必要があります。飛行機の事故では金属疲労の話をよく聞きます。風車でも起こります。

金属疲労で１メートルの亀裂　京都・伊根町の風力発電所事故で専門家会議

今年３月、太鼓山風力発電所（伊根町）で、風力発電機の鉄製タワーが折れ風車部分が落下した事故をめぐり、事故原因について検証している府の専門家会議が４日、京都市内で開かれ、金属疲労によって長さ約１メートルの亀裂ができ、それが広がったことで破断につながった、とする検証結果をまとめた。

同会議によると、外観調査や金属組織の分析から、３枚の羽根（長さ２５メートル）と発電機など計４５トンが溶接された鉄製タワー（高さ５０メートル）の上端部付近で、金属疲労による亀裂ができていたことを確認した。

ナセル落下を写真１－１にタワーの破断状況を写真１－２に示す。
また、タワートップ及びナセルの断面図を図１－３に示す。

写真１－１　ナセル落下

原因は、特別に大きな力が働いたというわけではなくて、金属疲労とことです。

金属疲労は、比較的小さい応力でも繰返し受けることで、材料に小さな割れが発生し、それが少しずつ進行して、最終的には破壊にいたる現象です。

金属疲労がなぜ問題になるのか？

金属が破壊するのにはいくつかのパターンがあります。

最も単純なケースとして引張試験のように応力をかけ続け破壊するものです。この場合、破壊の前に変形が起こるため、確認は容易です。

しかし、金属疲労の場合、大きな変形は起きずに小さな割れが起こるだけです。そのため、疲労の発生確認と破

壊までの予想時間が困難です。
金属材料は自動車や航空機、建築物などに使用されています。これらはほとんど常に応力がかかる状態であるため、金属疲労が起こります。実際の金属材料の不具合や事故の多くはこの金属疲労が原因です。

さて、
1）高橋厚太,賀川和哉,長嶋久畝,川端浩和,田中元史,小垣哲也,濱田幸雄,風車ナセル・タワーの振動解析,
風力エネルギー利用シンポジウム Vol.40,p.251-254,2018
には、ナセルと塔の側面が大きく揺れることが書かれています。
塔が揺れれば、塔が曲がります。塔の振動の周波数は、1.6Hz です。（比較的小さな風車なので回転数が大きいのでしょう。）この周波数 1.6Hz は、ブレードの回転数から計算した風車音の超低周波音のうちで、最も音圧が高くなる周波数と一致しています。
従って、風車からの超低周波音の周波数を正確に測ることは、風車に起きる金属疲労の状態を予測する方法の一つと言えるのです。
風車音の超低周波音の部分を解析しない、論文が、熊谷組の名前がついた形で公開されていることは、風車に関して、建設後の金属疲労に関心が無いのが熊谷組なのかと思われてしまいます。
2）菊島義弘,長島久敏,橋本晶太,鯨岡政斗,濱田幸雄,川端浩和,小垣哲也,風速が風車騒音指向性に及ぼす影響について,風力エネルギー利用シンポジウム Vol.38 p. 69-72, 2016
には、風車音が指向性を持つことが書かれています。
計測結果では、1.6Hz の成分が目立ちます。
3）Dai-Heng CHEN,増田健一,尾崎伸吾,円筒の弾塑性 純曲げ崩壊に関する研究, *日本機械学会論文集 A 編*, Vol.74, No.740, p. 520-527, 2008
には、円筒が曲がる場合の曲面の変形について書かれています。この変形が大きな方向と風車音の持つ指向性とは一致しています。
5）石田幸雄,風車の振動解析,Journal of JWEA Vol.34 No.4, 2010
を見れば、定常運転の時の、ブレードに掛かる揚力ベクトルの方向が、塔の振動方向であることが分ります。

もしも、金属疲労に関心があるならば、塔の振動を周波数が一致していて、しかも運動方向と指向性が一致している風車音を調べるべきだと考えます。
風雑音を風車からの超低周波音だと理解して、それが発生する仕組みを考えることが大切なのです。

・風車の収支決算

「くさつ夢風車」の今後のあり方についての検討内容

1）環境負荷の低減（表－②）

発電事業により温室効果ガスが約 5,000t-CO_2 削減された。

（杉の木が 1 年間に吸収する量に換算すると約 36 万本に相当）

表－② 環境負荷の低減（くさつ夢風車の運転による温室効果ガス排出削減量）

年 度	発電電力量 (kWh)	CO_2 排出削減量 (t-CO_2)	杉の木換算(※) (本)
H13(2001)	493,606	341	24,328
H14(2002)	729,443	503	35,951
H15(2003)	719,968	497	35,484
H16(2004)	754,309	520	37,177
H17(2005)	806,859	557	39,767
H18(2006)	654,629	452	32,264
H19(2007)	641,608	443	31,622
H20(2008)	533,607	368	26,299
H21(2009)	345,263	238	17,017
H22(2010)	747,605	516	36,846
H23(2011)	268,205	185	13,219
H24(2012)	572,121	395	28,197
H25(2013)	32,220	22	1,588
H26(2014)	2,819	2	139
H27(2015)	0	0	0
H28(2016)	0	0	0
合 計	7,302,262	5,039	359,898

※温室効果ガス排出係数は、中央環境審議会地球環境部会 目標達成シナリオ小委員会中間取りまとめで用いられた火力平均係数である 0.00069t-CO_2/kWh を用いた。

※削減できた CO_2 と同じ量を、杉の木が 1 年間に吸収する量に換算したもの。（削減した CO_2 の量を杉 1 本あたりの年間 CO_2 吸収量 14kg で除して算出した）

表－④ 事業実績

年 度	稼働日数（日）	発電電力量（kWh）	発電量金額換算(千円) a	維持管理費用(千円) b	収 支（千円） a-b
H13(2001)	225	493,606	6,433	4,004	2,429
H14(2002)	328	729,443	8,631	7,377	1,254
H15(2003)	345	719,968	7,915	7,339	576
H16(2004)	315	754,309	8,543	7,308	1,235
H17(2005)	340	806,859	8,259	8,115	144
H18(2006)	338	654,629	6,742	12,381	▲5,639
H19(2007)	338	641,608	6,746	9,036	▲2,290
H20(2008)	334	533,607	6,202	8,015	▲1,813
H21(2009)	229	345,263	3,561	11,447	▲7,886
H22(2010)	325	747,605	7,850	10,136	▲2,286
H23(2011)	147	268,205	2,816	15,469	▲12,653
H24(2012)	284	572,121	10,314	19,657	▲9,343
H25(2013)	15	32,220	657	19,988	▲19,331
H26(2014)	2	2,819	59	11,634	▲11,575
H27(2015)	0	0	0	5,958	▲5,958
H28(2016)	0	0	0	8,967	▲8,967
合 計 (H13-H28)	3,565	7,302,262	84,728	166,831	▲82,103
合 計 (建設費用込)	建設費用(市負担分)： 163,830 千円				▲245,933

４．事業の総括

１）経済性の観点からの総括

当初想定できなかった度重なる故障や、それらの修繕期間が長期化したこと、またブレードの損傷などによる稼働停止のほか、予定していた風速が得られなかったことなどにより、結果として発電実績の大幅な低迷となった。

５．「くさつ夢風車」の今後のあり方検討にかかる考え方について

上記の総括を踏まえ、経済性および環境啓発の両側面から耐用年数以降のあり方を検討していく必要がある。

１）廃止

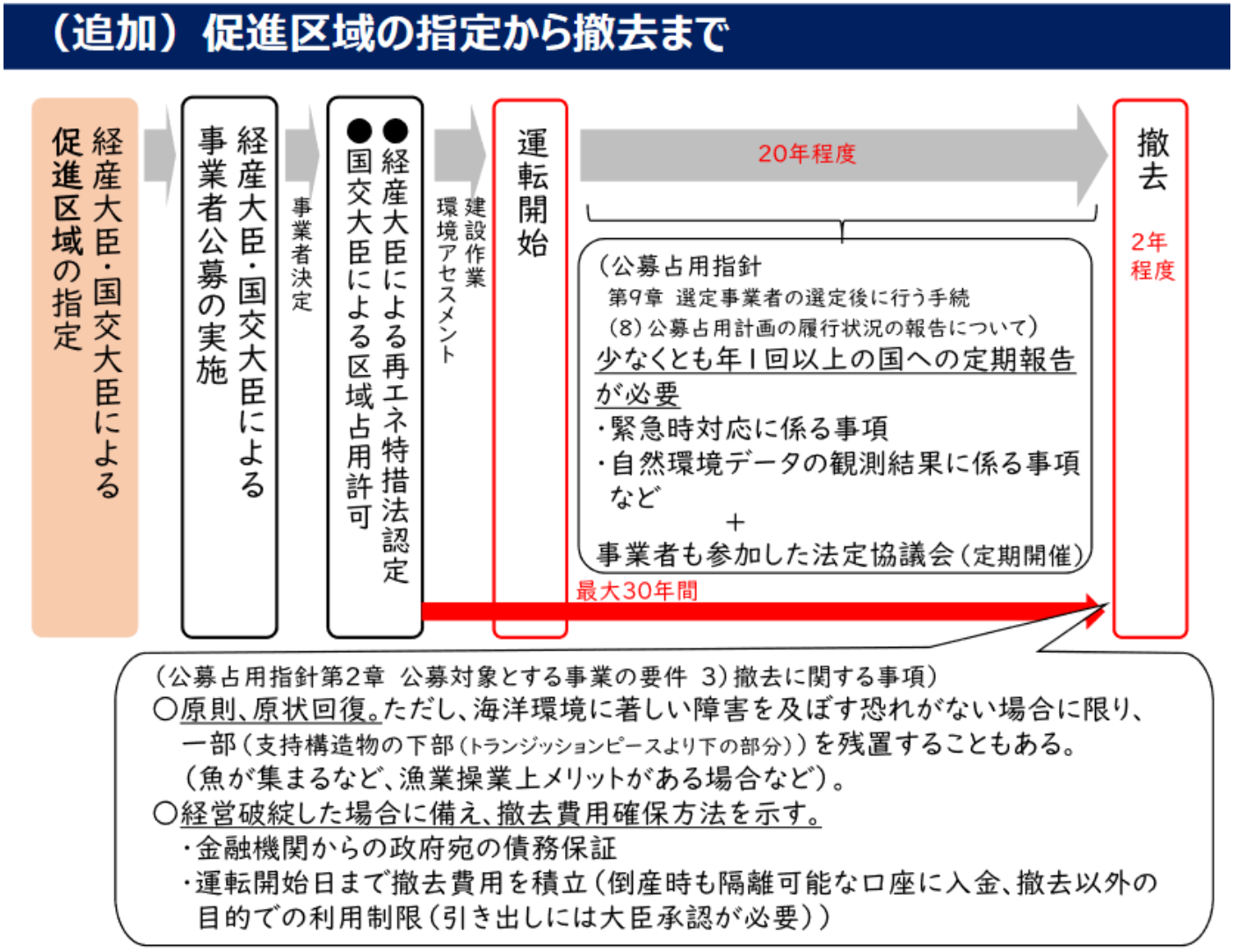
さらなる赤字を増やさないという経済性の観点から、事業の廃止（＝撤去）を行う。

撤去工事のタイミングによって、維持管理費用が増加する。なお、工事に際して、少なくとも 2 か月程度は水生植物公園みずの森を全面閉園する必要が生じる等の周辺施設への影響も含め、撤去時期の検討が必要となる。

この場合の概算費用については、撤去のみに要する費用として、約 2 億 4000 万円が必要となる見込みである。

・撤去費用

酒田市沖洋上風力発電に関する意見交換会（追加資料）



倒産に備えて、風車1基あたり5億円ていどは撤去費用の預かり金として、現金で山形県が業者から受け取っておく必要がある。

洋上での撤去作業、海中での作業、物価上昇を考えて20年だと、1基当たり5億円くらいは必要かもしれない。

企業が倒産して、施設の管理と撤去費用が地権者の責任になっている事例もあります。

洋上風力では、風車の故障率、実際の稼働期間、修理費と故障の原因、発電収入の経年変化、税収（風車の固定資産税）、住民の現象による税収の減少、漁獲高の減少、漁業収入の変化、耕作放棄地の増加と熊、イノシシなどの被害増加、産業基盤の喪失、海底部分の修復費用、底引き網への影響、漁業者の働き方と就労先、風力関係の仕事と携わる人数、漁業からの転職の可能性と年齢構成、漁場としての将来の姿（海底の様子）、

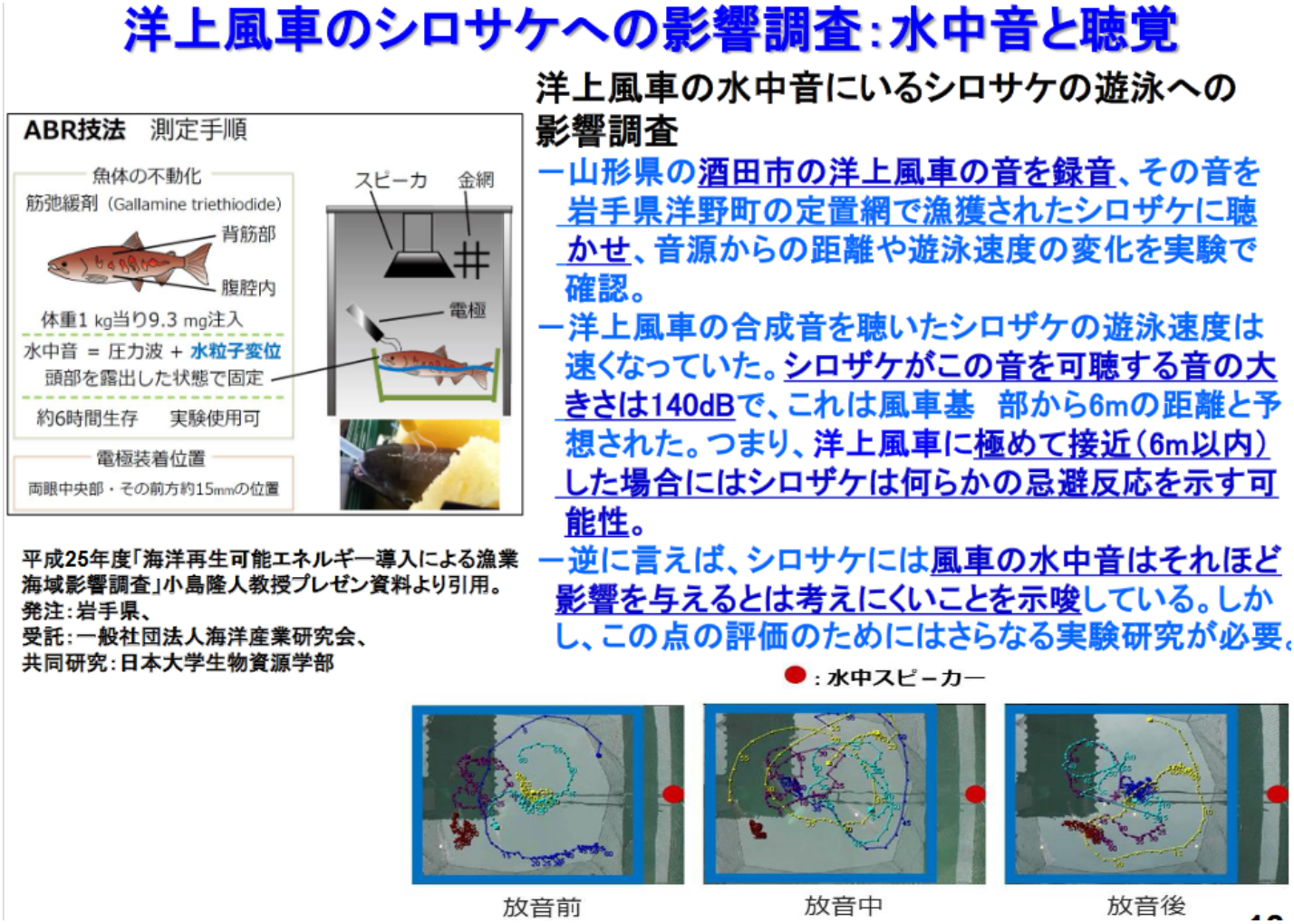
魚と風車音

山形県酒田市沖の想定海域案（出典 山形県）

地元の漁業者からは「漁業者の意見の変遷をきちんと絵のなかに書き、いまの漁業者がどう考えて海域が決まったということが将来的にわかるような決め方をしていただきたい」「組合員を集めて酒田市沖の洋上風力について協議を行った。賛成、反対、どちらの意見もあったが、これからも丁寧な説明をお願いしたい」「遊佐町沖の洋上風力の話が出た時に、酒田の漁業者からかなりの反対意見が出たが、議論を重ね、遊佐の海域の事業に関しては、遊佐の漁業者の意見を尊重することになった。酒田の想定海域に関しては酒田の漁業者の意見を尊重したい」といった意見が出された。内水面の漁業関係者は「最上川でふ化事業をしているサケ、サクラマス、生育段階の一定期間を庄内の沿岸部で育つアユへの影響も考慮して議論を進めて欲しい」と要望した。

商工関係者からは「酒田市沖で風車を設置する際、陸路の物資運搬など、現在の庄内の交通インフラを考えると脆弱な部分がある。交通渋滞をはじめ、地域住民の生活や経済活動が滞るようなことが露見するようなことがあってはならない」といった指摘があった。

洋上風力の場合は、漁業への影響を議論しているが、基本的な事が分っていない。



それは、スピーカの音響特性と風車音の関係である。

風車音と再生音

図 9 は NL-62 で記録した 60 秒間の風車音。図 10 は FFT を使って音を分割し、青を 0～20Hz、緑を 20～200Hz、赤を 200～24 k Hz の成分として表したもの。

図 11 は図 9 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 10 と同様に分割したものである。

スピーカからの再生音には、10Hz 以下の部分が含まれないのです。にもかかわらず、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。

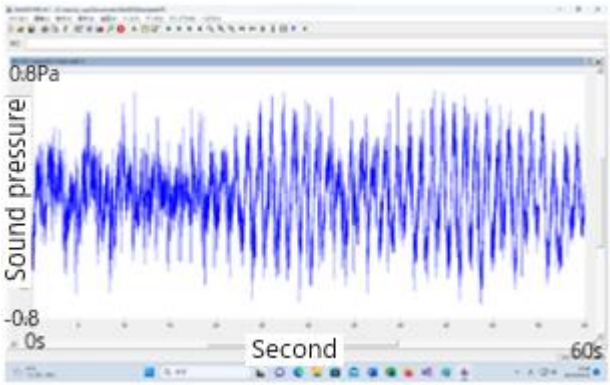


Fig. 9 Wind turbine noise

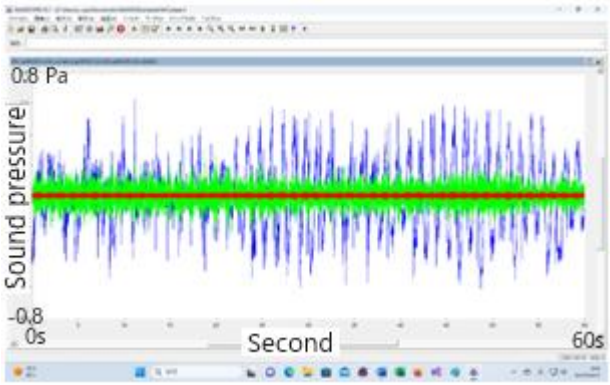


Fig. 10 Separated Wind turbine noise

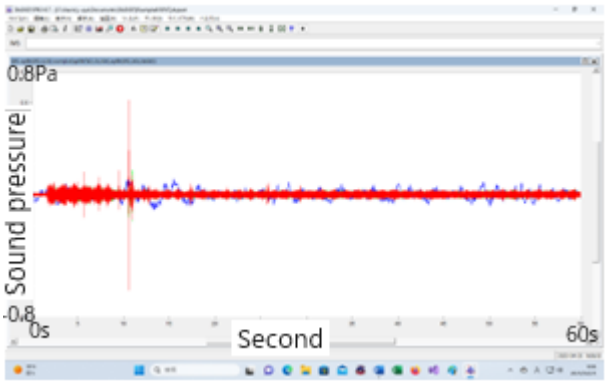


Fig. 11 Separated sound from speaker

図 11 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 10Hz 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。聴覚では判別できないので、正確な周波数計算が必要となる。

実験で魚が体験する音は、超低周波音の観点から言えば、風車音とは全く異質のものなのです。

熊ドンと風車音

洋上風力ではありませんが、陸上風車の影響も確認しておきます。

熊ドンと言う熊撃退の音を出すものがあります。

“クマよけ装置は、富士河口湖町の「Ｔ．Ｍ．ＷＯＲＫＳ」（轟秀明社長）が開発し、岡山理科大（岡山県）や帯広畜産大（北海道）と共同で実証実験した。クマが装置から１～７メートル程度に近づくと赤外線が感知し、８０～１２０ヘルツの低周波の音を組み合わせて断続的に出す仕組み。轟社長によると、８０～１２０ヘルツは、クマが警戒している時に発するうめき声と同程度の周波数という。”

実証実験で設置した「いのドン・くまドン」（北海道で）
＝Ｔ．Ｍ．ＷＯＲＫＳ提供

熊ドンでは、８０～１２０ヘルツの低周波音が出ます。

風車からも出ています。エネルギーが高いのはもっと周波数の低い部分です。

4200ｋＷの風車

表 2.2-10　風力発電機の概要

項　目	諸　元
定格出力	4,200kW
カットイン風速	3m/s
定格風速	12m/s
カットアウト風速	27m/s
ロータ径	117m
ロータ中心までの地上高（ハブ高さ）	112m
ブレード枚数	3 枚
定格回転数	13.6rpm
設置基数	9 基

での、音響パワーレベルの表です。

GPI の準備書にある、次の表です。 p 829

表 10.1.4-4　風力発電機のパワーレベル及び周波数特性

単位：dB

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル											
	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5
本事業	133.1	131.8	130.5	129.2	127.9	126.6	125.3	124.0	122.7	120.7	118.7	116.7
既存施設	121.0	121.9	118.2	118.1	117.4	116.1	113.4	112.1	110.6	109.1	107.8	106.6
計画中施設	119.2	117.5	118.9	122.4	121.2	121.2	121.4	120.7	119.4	118.8	119.8	117.8

項目	1/3オクターブバンド中心周波数(Hz)：平坦特性音響パワーレベル												G特性
	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	
本事業	115.1	113.3	111.5	110.2	109.2	108.0	107.1	106.3	105.4	104.5	103.9	103.0	128.4
既存施設	103.9	102.1	101.1	101.3	101.7	97.4	102.6	99.8	108.0	100.5	96.8	93.8	117.5
計画中施設	113.3	114.2	114.1	112.7	112.3	111.2	109.8	107.2	105.6	108.7	102.1	97.5	128.5

注 1：既存事業及び計画中施設の施設規模及び風力発電機の仕様は、計画中施設の「(仮称) ウインドパーク布引北風力発電事業環境影響評価準備書」(2020 年 4 月　株式会社シーテック) を参考とした。

表の、“既存施設”は、CTech 社の 2000ｋｗのもの、計画中施設は 2300ｋｗのものです。

風車から 300ｍから 500ｍくらい離れると、100Ｈｚの周波数成分は、
点音源で計算すると４５～50ｄＢ程度の音圧レベルです。人間の感覚で言えば、大きく聞こえる、会話には支障なしですが、
風車音では、不快感としては、55～60ｄＢの交通音に相当するので、こちらだと、うるさい、声を大きくすれば会話ができる、程度の不快感です。熊も大変です。
スピーカの音響パワーレベルは大きなもので、95～105ｄＢ程度です。
風車からの音の 100Hz 辺りの音響パワーレベルは、105ｄＢ程度ですから、風車はちょっと大きな熊ドンの働きをします。
熊が安眠出来ないと泣いています。
嘘だと思ったら、熊に聴いてみて下さい。

ビデオには、熊ドンの音を聞いた熊が逃げ去る様子が映っていました。

欧州で実績がある
バードストライク対策システムを導入

バードストライク対策システム（出典 ユーラスエナジーHD）

新たな防止策は、風車のタワー10 メートルの高さに、360 度カメラおよびスピーカーをタワー側面の四方に設置し、カメラで遠方から風車に接近する鳥類を検知して、危険域に侵入した際にスピーカーから忌避音を発生させ、鳥類の進路変更を促すものだ。風力発電所の全 14 基に、バードストライク対策システムを設置し、24 年 12 月から試験運用を開始したが、**その後もバードストライクが複数発生している**状況を踏まえ、海ワシ類の保護を最優先に考え、鳥類の専門家のご意見も参考に、今年 3 月 25 日より海ワシ類が活動する日の出 1 時間前から日没までのあいだ、14 基すべての運転を停止する措置を開始した。現在は、鳥類種や飛翔範囲に対してバードストライク対策システムの有効性を高められるように、音量の調整やカメラの検知率の向上など忌避効果の性能改善に取り組んでいるとしている。
ユーラス HD は「今後、バードストライク対策システムの調整・改善を行うとともに、鳥類の専門家と連携しバードストライクの原因調査や環境影響評価の内容の振り返り・検証などを行い、自然と風力発電の共生を目指し、バードストライク発生防止に向けて取り組んでまいりますとコメントしている。

【バードストライク対策システムの概要】
１．360°カメラにより、風車の半径 1km 圏内に接近した鳥類を検知
２．半径 1km 圏内で鳥類の滞空が続いた際には鳥類種を識別
３．半径 300m 圏内に鳥類が接近した際には、スピーカーより特殊な忌避音を発生させ、鳥類に進路変更を促すことでバードストライクを防止する

しかし、効果は見られません。

・調査とアンケート

アンケートなどを工夫して相関行列の計算をするべきである。
生理的な現象を数値化しやすいように唾液コルチゾール検査を含めるべきである。

数値化して、多変量解析にかけることのできるデータが必要です。健康調査に、“唾液コルチゾール検査”も含めるべきです。

・唾液コルチゾール検査

唾液コルチゾール検査 「副腎疲労（アドレナル・ファティーグ)」という言葉をご存じでしょうか？
近年、体調不良で検査をしても原因がわからないという不安を訴える患者様が増えています。現代人は、日 常的にさまざまなストレスを受けています。副腎から分泌されるコルチゾールは、このストレスから私たち の心身を守ってくれています。 しかし、強いストレスが慢性的に続くと、副腎も疲れ、コルチゾールの分泌が追い付かなくなり、身体にさまざまな症状が現れます。
以下の症状に覚えはありませんか？ 朝、起きるのがつらい ぐっすり眠っても、まだ疲労感がある 塩辛い食べ物が無性に欲しくなる 以前楽しんでいたこともすべて億劫に感じる 日常的なことがとても疲れる 性欲の低下 ストレスに対処出来ない、イライラしやすい 病気や怪我、外傷から回復するのに時間がかかる ベッドや椅子から立ち上がるとき、クラクラする 軽度のうつ（人生に何の意味も感じられない） 人生の全てがむなしい PMS（月経前症候群）の悪化（手足のむくみ、頭痛、乳房の張り、下腹部の痛み、ふさぎ、不安、怒り、イ ライラがひどくなる） カフェインがないと仕事ができない 思考がまとまらず、ボーっとする 記憶があやふや 午前１０時まで目覚めない 午後３時から４時の間はぼんやりしている 夕食後、やっと元気になる 仕事がはかどらない （医者も知らないアドレナル・ファティーグ ジェームズ・L・ウィルソン著 中央アート出版社より引用）146 146 上記の症状に １つでも当てはまれば、副腎疲労の可能性が考えられます。もし、4 つ以上当てはまる場合に は、「唾液コルチゾール検査」で十分に副腎が働いているかどうか調べてみることをお勧めします。副腎疲労 の治療は、原因となるストレスの同定・除去や、生活習慣の改善、サプリメントを用いた栄養療法などが中心となります。 唾液コルチゾール検査の方法 一日 4 回（8 時、12 時、16 時、24 時）唾液の採取をします。唾液中に含まれるコルチゾールの日内変動を 調べます。 正常な場合：朝の値が最も高く、時間が経つにつれて下がります。 副腎機能が低下している場合：朝の値が低くなるなど、分泌パターンに変化が見られます。 こういった値の変化によって副腎疲労の度合いが分かります。(唾液の接種だけの検査ですので、身体への負 担はほとんどありません。） 検査費用：15,000 円（税別）※自費診療 この検査を含めた場合、診断書の発行費用は、１回あたり２万円程度です。

カナダ政府の HP にある、

“風車騒音と健康に関する調査:結果の概要”

には、

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

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

“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、

WTS 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。
WTS 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。

に変える必要があります。

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

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

追加すべき項目は、最大音圧と、その周波数です。
音響キャビテーションでの、気泡発生の条件、周波数が低くて音圧が高い。に関連するからです。

・アンケート用紙

アテネ不眠尺度(AIS)不眠症の自己評価

過去一ヶ月間に、少なくとも週3回以上経験したものを選んでください。

1	寝床についてから実際に寝るまで、時間がかかりましたか？	0	いつもより寝つきは良い
		1	いつもより少し時間がかかった
		2	いつもよりかなり時間がかかった
		3	いつもより非常に時間がかかった、あるいはまったく眠れなかった
2	夜間、睡眠の途中で目が覚めましたか？	0	問題になるほどのことはなかった
		1	少し困ることがある
		2	かなり困っている
		3	深刻な状態、あるいは全く眠れなかった
3	希望する起床時間より早く目覚めて、それ以降、眠れないことはありましたか？	0	そのようなことはなかった
		1	少し早かった
		2	かなり早かった
		3	非常に早かった、あるいは全く眠れなかった
4	夜の眠りや昼寝も合わせて、睡眠時間は足りてましたか？	0	十分である
		1	少し足りない
		2	かなり足りない
		3	全く足りない、あるいは全く眠れなかった
5	全体的な睡眠の質について、どう感じていますか？	0	満足している
		1	少し不満である
		2	かなり不満である
		3	非常に不満である、あるいは全く眠れなかった
6	日中の気分はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し滅入った
		2	かなり滅入った
		3	非常に滅入った
7	日中の身体的および精神的な活動の状態はいかがでしたか？	0	いつもどおり
		1	少し低下した
		2	かなり低下した
		3	非常に低下した
8	日中の眠気はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった
9	胸や腹への圧迫感はありましたか？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった
10	頭痛はしました？	0	全くなかった
		1	少しあった
		2	かなりあった
		3	激しかった

風車との距離 m	1から8の合計点		[1～3点]・・睡眠がとれています
			[4～5点]・・不眠症の疑いが少しあります
			[6点以上]・・不眠症の可能性が高いです
計測希望 有・無	9の点数	屋外	ピーク値； Hz Pa
			A特性音圧レベル； dB
			G特性音圧レベル； dB
署名・印	10の点数	室内	ピーク値； Hz Pa
			A特性音圧レベル； dB
			G特性音圧レベル； dB

を使うべきです。