

## 風力タービンからの低周波音は人間に影響を与える可能性 があります

アレック・N・ソルト<sup>1</sup> とジェームズ・A・カルテンバッハ<sup>2</sup>

### 概要

風力タービンは耳に影響を与える低周波の音を発生させます。耳は表面的にはマイクに似ており、機械的な音波を電気信号に変換しますが、これは複雑な生理学的プロセスによって行われます。低周波音と耳に関する深刻な誤解は、耳の仕組みを詳細に考慮しなかったことに起因しています。聴力を提供する細胞は超低周波に鈍感ですが、耳の他の感覚細胞ははるかに感度が高く、これは電氣的記録によって示すことができます。超音波への反応は、意識的な聴覚を伴わない経路を通じて脳に到達し、満腹感、圧迫感、耳鳴りの感覚を生じさせたり、感覚を持たなかったりします。低周波音による潜在意識の経路の活性化は睡眠を妨げる可能性があります。耳の仕組みに関する現在の知識に基づけば、風力タービンが発生させる低周波の音が近隣住民に影響を与える可能性は十分にあります。

### キーワード

蝸牛、有毛細胞、A加重、風力タービン、タイプII聴覚求心性線維

### 風力タービンは低周波音を発生させます

---

<sup>1</sup> ワシントン大学、ミズーリ州セントルイス、アメリカ合衆国

<sup>2</sup> ラーナー研究所/頭頸部研究所、オハイオ州クリーブランド、アメリカ合衆国

### 著者:

アレック・N・ソルト、耳鼻咽喉科、ボックス 8115、ワシントン  
大学医学部、660 South Euclid Avenue, セントルイス, MO  
63110、アメリカ

メール:salta@ent.wustl.edu

風力タービンが発生させる音は、設計、サイズ、ローター回転数、発電機負荷、風速や乱流などの環境条件など多くの要因によって大きく異なります(例:Jakobsen, 2005)。風速が低く発電機負荷が低い条件下では、発生する音は無害に見え、他の環境音よりも検出が困難です(Sonus, 2010)。

しかし多くの場合、音にはかなりの低周波の低周波成分が含まれていることがあります。ある研究(Van den Berg, 2006)では、レード風力発電所の最寄りタービンから 750m 離れた家の前で風力タービンの音が測定されたと報告されています。このタービンは Enercon E-66 の 1.8MW タービン、ハブ高さ 98m、ブレード長は 35m です。2 つ目の研究(Jung & Cheung, 2008)では、1.5MW タービン、62m のハブ高さ、36m のブレード長から 148m から 296m の音が測定されたと報告されています。これら両方の研究は、風力タービンの全スペクトル音響測定を報告する数少ない出版物の一つであり、音響スペクトルは 10Hz 以下の周波数が優勢で、1Hz 付近では 90dB 以上の SPL レベルが見られました。風力タービン騒音の低周波成分は、図 1 に示すように、風下 1,500 フィートの風下に GE 1.5MW 風力タービンを搭載した家庭の音の録音で示されています。この 20 秒の録音は、低周波成分を録音できるマイクで行われました。この抜粋が収録された録音期間中の音レベルは 28 から 43 dBA の間で変動しました。音の可聴成分と低周波成分は、20Hz 以上(左)または 20Hz 以下(右)の波形をフィルタリングすることで示されます。可聴のハイパスフィルタリング波形では、ブレードの周期的な「スウッシュ」音が時間の経過によって程度の差があります。ローパスフィルタリング波形から、元の録音で最も大きなピークは聴取できない低周波音を表していることが明らかです。超周波波形の振幅は可聴成分よりもかなり大きいにもかかわらず、コンピュータの音響システムで再生されるとこの波形は聞こえません。これは、従来のスピーカーはそのような低周波を発生させることができず、仮にできたとしても、非常に高音量で再生しない限り、その周波数は最も感度の高い人以外にはほとんど聞こえないことが多いからです。また、録音では、高周波レベルの期間が可聴成分が高い時間帯と一致しないことも注目されました。

これは、音の聴覚成分から低周波のレベルを判断することは不可能であることを示しています。可聴成分が大きいからといって、高レベルの低周下線音が存在するとは限りません。これらの測定は、家庭内で録音された風力タービンの音に顕著な低周波成分が含まれていることを示しています。

### 風力タービンの低周線音は通常聞こえません

聴覚は低周波音、特に風力タービンによって発生する音に非常に鈍感です。図 2 は、風力タービンの音響スペクトルと人間の聴覚感度の比較例を示しています。この例では、約 30Hz を超えるタービンの音成分は閾値を超えているため、聞こえます。30Hz 以下の音は高レベルであっても、可聴閾値以下であるため、聞こえないことがあります。この比較に基づき、長年にわたり風力タービンからの低周波は人間にとって重要ではないと考えられて

きました。レヴェントホール(2006年)は「風力タービンからの低周波は可聴閾値以下であり、影響しない」と結論づけました。(p.34) レヴェントホール(2007)はさらに「音を聞けなければ、他の方法でそれを知覚できず、それはあなたに影響を与えない」と述べています。(p.135)

英国風力エネルギー協会のウェブサイト『Renewable UK』(2011年)はレヴェントホール博士の言葉を引用しています。「現在の風力タービン設計からは有意な低周波音は一切発生しないと断言できます。」したがって、聴覚が低周波音に鈍感であるという事実は、低周波音が人間に影響を与える可能性を排除するために使われています。これは長年、「聞こえないものはあなたに影響を与えない」という言葉の形で知られてきました。この概念の問題は、「聴覚」の感度が「耳」の感度と同等と仮定されていることです。つまり、音が聞こえなければ、その音は耳を刺激するには不十分だと仮定されます。耳の生理学に関する現在の知識は、この論理が誤りであることを示唆しています。

### 耳は風力タービンの低周波音に敏感です

聴覚を担う感覚細胞は、蝸牛(内耳の聴覚部分)にあるコルティ器官と呼ばれる構造に含まれています。この器官は蝸牛の螺旋全体にわたって走り、全く異なる性質を持つ2種類の感覚細胞を含んでいます。図3の挿入図に示されているように、感覚内毛細胞(IHC)が1列、外毛細胞(OHC)が3列あります。IHCとOHCの両方において、細胞の感覚毛の音による偏向が刺激を与え、電気的応答を引き起こします。各IHCは複数の神経線維によって神経支配されており、脳に情報を伝達しており、聴覚はIHCを通じて行われることが広く認められています。低周波での聴覚感度の急激な低下(図2)は、低周波の感受性を選択的に低下させる3つの過程によって説明されます(Cheatham & Dallos, 2001)、特に蝸牛ヘリコトレマを通る圧力シャントや、内毛細胞のステレオシリアの「流体結合」から刺激への「流体結合」による中耳力学の特性(詳細はSalt & Hullarによるレビュー)。2010)。

これらのプロセスの複合効果は、CheathamとDallos(2001)によって定量化され、図3の「IHC感度」曲線として示されています。低周波を減衰させる最後の成分であるいわゆる入力の流体結合は、IHCの感覚毛が上層のゼラチン状被蓋膜に接触せず、膜の下の流体空間に位置しているため生じます。

その結果、IHCの測定では、これらの装置は構造の音による変位には反応せず、振幅や位相特性が刺激の速度に反応していることを示しています。刺激頻度が下がるほど、サイクルが長くなるほど刺激速度は低下し、効果的刺激は6dB/オクターブ減少します。これがIHCが低周波刺激に対して鈍感であることが知られています。低周波の場合、IHCの計算感度(図3)は聴覚感度の測定(図2)と良好に比較され、聴覚がIHCによって媒介されるという見解を支持しています。

しかし問題は、耳のコルティの感覚器官のOHCがより多いことに起因しています。解剖学的研究により、OHCの感覚毛は上層の被蓋膜に埋め込まれており、これらの細胞からの

電氣的測定では、その反応は構造の速度ではなく変位に依存することが示されています。その結果、頻度が低下しても IHC ほど反応が低下しません。

計算された感度は図 3 の「OHC 感度」曲線として示されています。IHC と OHC の反応の違いは、中耳やヘリコトレマ(上記の 3 つの成分のうち他の 2 つ)の周波数依存的効果とは無関係であることに注意が必要です。例えば、ヘリコトレマによる低周波刺激の減衰は、IHC と OHC の両方に等しく影響を与えます。したがって、図 3 に示される感度の違いは、IHC と OHC の感覚毛が上層の被殻膜とどのように結合しているかの違いに起因しています。

この生理学的な違いの重要な結果は、OHC が IHC よりもはるかに低いレベルで刺激されることです。図 3 では、シェード領域内の風力タービンの音響スペクトルの部分が、聞こえるには低すぎる周波数とレベルを表していますが、耳の OHC を刺激するには十分です。

これは 20 Hz 以下の低周波に限定されるものではなく、この例では 5 Hz から 50 Hz の範囲の音も含まれます。「聞こえない音は影響を与えない」という概念は正しくないことが明らかです。なぜなら、内耳の感覚細胞のよく知られた生理的特性を認識していないからです。

OHC を聞こえない低レベルで刺激すると、多くの影響が及ぶ可能性があります。動物では、OHC の応答を示す人工内耳マイクロフォニックスが、40 dB SPL の低レベルでも 5 Hz の低周波周波数に記録できます(Salt & Lichtenhan, in press)。OHC は、有毛細胞と脳幹をつなぐ聴神経線維の 5%から 10%を占めるタイプ II 神経線維によって支配されています。残りの 90~95%は IHC からのものだ。タイプ I(IHC)とタイプ II(OHC)の神経線維はどちらも脳幹の蝸牛核で終わっていますが、両者の解剖学的接続はますます大きく異なっているように見えます。タイプ I 線維は蝸牛核の主出力ニューロンで終わる。例えば、蝸牛核の背側部分では、タイプ I 線維が紡錘状細胞と接続し、耳から受け取った情報を直接処理し、それを聴覚経路の上位レベルへ届けます。対照的に、タイプ II 線維は蝸牛核の顆粒細胞領域で終点します(Brown, Berglund, Kiang, & Ryugo, 1988)。一部の顆粒細胞はタイプ II 線維から直接入力を受けます(Berglund & Brown, 1994)。これは、顆粒細胞が近傍細胞への主要な入力源を提供し、その機能が聞こえた音を処理する紡錘状細胞を抑制する役割を果たしているため、潜在的に重要です。もしタイプ II 線維が顆粒細胞を励起させるなら、最終的な効果は紡錘状細胞の音に対する反応を減少させることです。OHC の喪失、あるいは過剰刺激が背側蝸牛核における興奮性と抑制性の影響のバランスに大きな乱れをもたらす可能性があるという証拠が増えています。この障害の一つが多動症の出現であり、これは幻音や耳鳴りの知覚に寄与していると広く信じられています(Kaltenbach et al., 2002;カルテンバッハ&ゴドフリー、2008年)。顆粒細胞系はまた、脳の多くの聴覚・非聴覚中枢とも接続しています(Shore, 2005)。これらのセンターの中にはオーディションに直接関与するものもありますが、注意制御、覚醒、驚き、バランス感覚、頭部と耳の位置のモニタリングなど多様な機能を果たすものもあります(Godfrey ら, 1997)。

背側蝸牛核に帰属する機能には、音の定位、自己発生ノイズの打ち消し、頭部や耳を音源に合わせること、注意ゲート(Kaltenbach, 2006; Oertel & Young, 2004)。したがって、OHCから背側蝸牛核の回路への入力、複数のレベルで機能に影響を与える可能性があります。

t

### A 加重風力タービンの音響測定

風力産業が示す風力タービンによる音圧の測定値は、ほぼすべて A 加重で dBA で表されています。この方法で測定すると、タービン付近の音レベルは通常 30~50 dBA の範囲で、風力タービンの音は、約 50~100 メートル離れた流れる小川の騒音や、そよ風に揺れる葉の音とほぼ同じレベルになります。これは、ガス暖炉がついた典型的なリビングルームや図書館の閲覧室、あるいは無人の静かなエアコンの効いたオフィスの騒音レベルに似ています。(Renewable UK、2011 年)

このような測定に基づけば、風力タービンは非常に静かな機械であり、誰かを大きく乱す可能性は低いと考えられます。対照的に、風力タービンの騒音に対する人間の知覚はかなり異なります。Pedersen と Persson-Waye(2004)は、道路交通、航空機、鉄道などの多くの他の騒音について、30%の人が不快感を引き起こすために必要なレベルが 70 dBA を超えたのに対し、風力タービンの騒音ははるかに低い約 40 dBA で 30%の人々の不快感を引き起こしたと報告しました。この大きな差異は、おそらく風力タービンの音響測定を A 重み付けし、低周波成分を除外して煩わしさを引き起こしている結果であると考えられます。A 重み付けは、人間の聴覚感度(40phon 感度曲線に基づく)に基づいて音の測定値を補正します。その結果、低周波の音成分は測定で大幅に強調が薄れます。これは、これらの成分が人間に聞き取りにくいという理由に基づいています。Van den Berg(2006)によるタービン音響スペクトルデータの A 重み付けの効果を示す例は図 4 に示されています。元のスペクトルの低周波成分は、1 Hz で 93 dB SPL のピークレベルを生み出していましたが、A 加重により除去され、1 kHz 付近で 42 dBA のピークレベルを持つスペクトルが残されます。音を聞くことが重要な要素であれば、A 重み付けは十分に許容されます。しかし、風力タービンの音が耳に影響を与えるかどうかを評価するために A 加重測定やスペクトルを用いると問題が生じます。前述の通り、内耳の一部、特に OHC は聴覚よりも低周波の音にはるかに敏感であることが示されました。したがって、A 加重音は、風力タービンの騒音が耳や OHC を介して聴覚と無関係な人間の生理的側面に影響を与えるかどうかを有効な表現とはしません。図 3 からわかるように、3~4Hz までの音の周波数が OHC を刺激している可能性があります。図 4 の A 加重スペクトルは約 14Hz 以下のすべての成分を遮断しています。このため、風力タービンの音が人に影響を与えるかどうかを A 加重音の測定だけで判断することはできません。A 加重測定はこの目的には適さず、音が耳に影響するかどうかを誤解を招く表現を与えます。

A 加重法の代替案としては、フルスペクトル(無加重)、C 重み、または G 重み測定法の使用があります。G 加重測定では、20Hz 以下のヒト可聴度曲線に基づく重み付け曲線、

20Hz 以上では急なカットオフを用い、通常の可聴周波数帯域を和らげます。この関数の形状は聴覚が主な問題でない場合に恣意的ですが、図 4 に示すように、高周波の可聴成分に依存しない音の超周波成分の指標を提供します。この関数を通常の人間の聴覚感度曲線に適用すると、約 95 dBG の音が人間に聞こえることが示されており、これは Van den Berg(2006)の観察と一致しています。同様に、図 3 の OHC 感度関数を G 加重することで、60 dBG の音レベルが人間の耳の OHC を刺激すると推定できます。風力タービンによる低周波レベルの調査では、dBG で測定された(Jakobsen, 2005)では、風上タービンは通常 60 ~70 dBG の超周波音を発生させましたが、この範囲を超えたりそれ以下のレベルが観測されたりしました。ヤコブセンの G 加重測定から、風力タービンが発生させる低周波のレベルは聞こえるほど低いレベルですが、ほとんどの場合人間の耳の OHC 刺激を引き起こすには十分であると結論づけられます。C 重み付けは低周波の音響成分をより多く表現しますが、それでも低周波成分の強調を恣意的に弱めてしまいます。

#### 風力タービンからの低周波は、近くに住む人間に害を及ぼすのでしょうか？

内耳の生理学や風力タービン音の性質に関する現在の理解は、風力タービンが発する低レベル低周下波音が耳の OHC によって変換され、この情報がタイプ II 求心性線維を介して脳の蝸牛核に伝達されることを示しています。したがって、「現在の風力タービン設計から有意な低周波音はない」といった軽蔑的な発言は間違いなく誤りであると結論づけます。意識的に聞こえないレベルの低周波依存情報が脳幹のレベルで存在しているという事実は、そのような音が人に影響を与える可能性の科学的根拠を提供します。したがって、低周波成分が風力タービン騒音への曝露による高い不快感や他の問題を引き起こす可能性は、簡単に否定できません。

しかし、風力タービンの音が害を及ぼすかどうかの問題はより複雑です。大きな音など他の音が有害で内耳の内部構造を損傷するのに対し、低レベルの低周下波音が耳に直接的な損傷を引き起こすという証拠はありません。したがって、風力タービンからの低周波音は高レベルの可聴音と同じような有害さは低いと考えられます。

重要な問題は、その音が検出された場合、それが人に害を及ぼすほどの有害な影響を及ぼす可能性があるかどうかです。この問題を考慮する上で大きな複雑な要素は、通常の曝露期間です。風力タービンの近くに住む人々は、24 時間 365 日、数週間、場合によっては数年にわたりタービンの音にさらされることがありますが、風の条件によって音のレベルは時間とともに変動します。人間に対する低周波の研究は多くありますが、通常は限られた期間(通常は最大 24 時間)高レベルが関与しています。文献を調査した結果、風力タービン近くに住む人々が長期的に経験する低レベル低周波音波曝露を再現した研究は見つかりませんでした。したがって、これまでのところ、このような長時間の曝露が人間に害を及ぼさないという研究は発表されていません。一方で、現在では多くの報告があります(例:Pierpont, 2009;パンチ、ジェームズ、パブスト、2010 年)は、風力タービンの近くに住む人々が病気

になることを強く示唆しており、慢性的な睡眠障害を含む多くの症状が一般的に見られます。風力タービンによる低周波音のレベルが聞こえないという理由でこうした報告が却下されている事実は、耳の既知の生理学を完全に無視しているように思えます。OHC から脳への経路が存在し、聴こえない低周波が機能に影響を与えることがあります。対照的に、私たちの視点から見ると、低周波音が人に影響を与える可能性があるという十分な証拠があり、この問題についてより詳細な科学研究が必要だと正当化しています。したがって、タービンが自宅の近くに設置されると健康が損なわれる可能性があり、低周波音によって睡眠が妨げられるとその可能性が高まります。これらの現象を理解することは、他の低周波ノイズ源に対処する上で重要であり、なぜある個体が他よりも敏感なのかを明らかにする助けになるかもしれません。より深い理解は、問題を緩和するための効果的な手順の実施にもつながります。

耳の生理学と脳とのつながりに関するよく記録された知識に基づき、風力タービンからの低周波が近隣住民に影響を与える科学的には十分に考えられると結論づけられます。

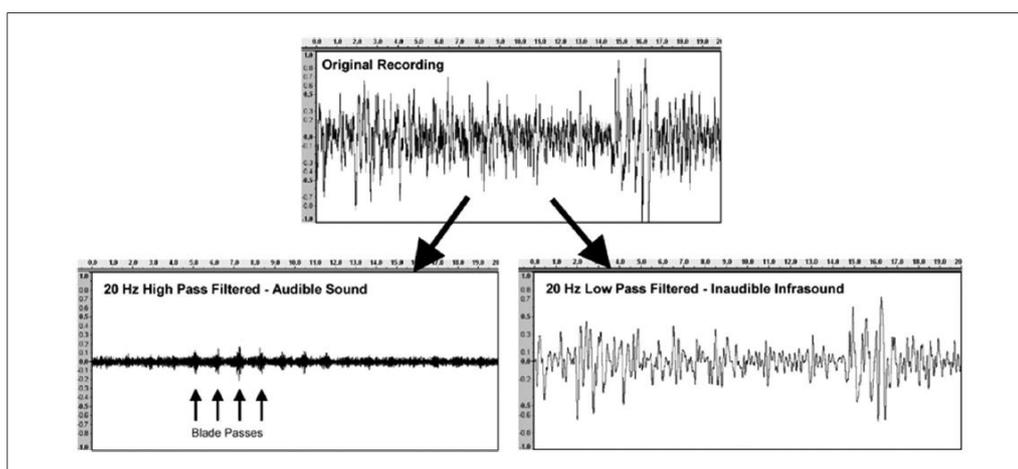


図 1。 上部パネル:風力タービンが風下 1,500 フィートのホームで 20 秒間録音された風力タービンの音声全スペクトル録音(リチャード・ジェームズによるデジタル録音)。 左下パネル:20Hz でハイパスフィルタリングした結果で、ブレード通過音を含む音が表示されています。 右下パネル:20Hz でローパスフィルタリングした結果で、音の低周波成分が示されています

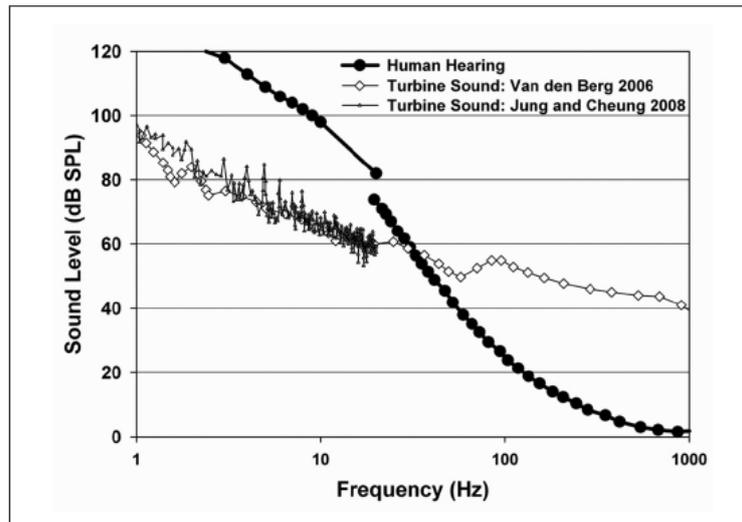


図2。風力タービン音の広帯スペクトル(Jung & Cheung, 2008;Van den Berg, 2006)と人間の聴覚感度の比較(国際標準化機構、2003年、20Hz以上;Møller & Pederson, 2004, 20 Hz以下)。30Hz以上の音のレベルは可聴性曲線の上であり、聞こえます。30Hz未満では、音量が可聴性曲線より下なので、これらの成分は聞こえません。

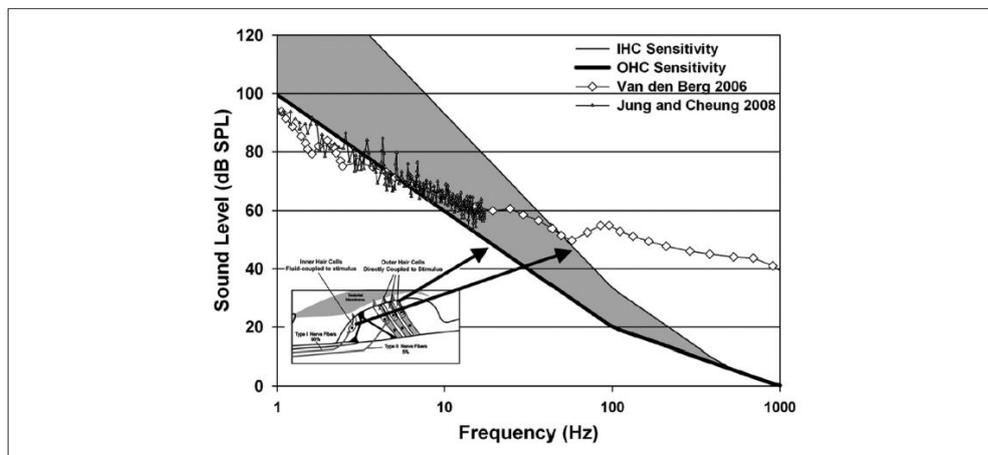


図3。細い線は周波数の関数としての内毛細胞(IHC)の感度推定値を示しており、これは図2に示される人間の聴覚曲線と比較可能であり、聴覚がIHCによって媒介されていることと整合しています(Cheatham & Dallos, 2001に基づく)。太い線は外有毛細胞(OHC)の推定感度を示しており、IHCよりもかなり感度が高いです。シェード領域(約5~50Hz)内の重ねられた風力タービンスpekトルの音成分はIHCを刺激するには低すぎて聞こえませんが、OHCを刺激するには十分なレベルです。挿入図には蝸牛の感覚器官(コルティの器官)の断面図があり、IHCとOHCの位置を示しています。

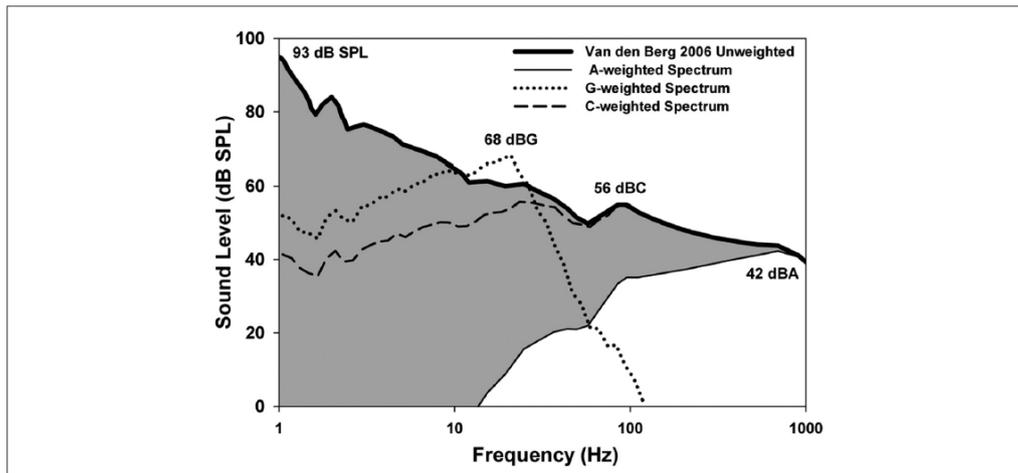


図 4。A 加重前後の風力タービン音響スペクトルの低周波成分(1kHz 未満)。元のスペクトルは Van den Berg(2006 年)から取られています。陰部は A 重みによるスペクトルの変化度を表します。重み付け(つまり人間の聴覚の感度に応じてスペクトルを調整すること)は、低周波音が聞こえないレベルで OHC を刺激する可能性があるという事実を無視する効果があります。この音をスペクトルのピークに基づいて 42 dBA と表現することは、5 Hz(図 3 参照)までの低周波成分が OHC を刺激している可能性を無視しています。比較のために G 加重後のスペクトル(点線)と C 加重(破線)後のスペクトルも示しています

### 利益相反の宣言

著者は本記事の研究、著者、および/または出版に関して潜在的な利益相反を一切認めていません。

### 資金調達

著者は本記事の研究、著者、出版に対して一切の経済的支援を受けていません。

### 参考文献

- 一. バーグルンド、A. M.、ブラウン、M. C.(1994 年)。マウスのさまざまな蝸牛領域から採集されたタイプ II 螺旋神経節細胞の中心軌跡。 *聴覚研究*、75 巻、121-130 頁。
- 二. ブラウン、M. C.、バーグルンド、A. M.、ニューヨーク州キアン、リュウゴ、D. K.(1988 年)。タイプ II 螺旋神経節ニューロンの中心軌跡。 *比較神経学ジャーナル*、278 巻、581-590 頁。
- 三. チーサム、M. A., & ダロス、P. (2001).内毛細胞の応答パターン:低周波聴力への示唆。 *アメリカ音響学会*、110 巻、2034-2044 年。

- 四. ゴドフリー, D. A., ゴドフリー, T. G., マイクセル, N. I., ウォーラー, H. J., ヤオ, W., チェン, K., カルテンバッハ, J. A. (1997 年)。蝸牛核の顆粒領域および密接に関連する領域の化学。J. Syka(編)『中枢聴覚系における音響信号処理』(pp. 139-153)に収録。ニューヨーク、NY:プレナムプレス。
- 五. 国際標準化機構。(2003 年)。ISO226:2003 年:通常の等音量レベル輪郭。スイス・ジュネーブ:著者。
- 六. ヤコブセン, J. (2005 年)。風力タービンからの低周波放射。低周波騒音振動と能動制御ジャーナル、24 巻、145-155 頁。
- 七. Jung, S. S., & Cheung, W. (2008 年)。大型風力タービンの音響放出特性の実験的同定(特に低周波および低周波ノイズに重点を置き)。韓国物理学会誌、第 53 巻、1897-1905 年。
- 八. カルテンバッハ, J. A. (2006 年)。背側蝸牛核は耳鳴りの聴覚、注意、感情の要素に関与しています。聴覚研究、216 巻、224-234 頁。
- 九. カルテンバッハ, J. A., ゴッドフリー, D. A. (2008 年)。背側蝸牛核の多動性と耳鳴り: 関連しているのか? アメリカ聴覚学雑誌、17 巻、S148-S161。
- 十. カルテンバッハ, J. A., レイチェル, J. D., マソグ, T. A., 張, J., ファルザラーノ, P. R., およびレヴァンドフスキ, M. (2002 年)。背側蝸牛核におけるシスプラチン誘発の過活動と外毛細胞の喪失との関係: 耳鳴りとの関連性。神経生理学ジャーナル、88 巻、699-714 頁。
- 十一. レヴェントホール, G. (2006 年)。風力タービンからの低周波音—事実、虚構、または欺瞞。カナディアン・アコースティクス、34 巻、29-36 頁。
- 十二. レヴェントホール, G. (2007 年)。低周波音とは何ですか? 生物物理学と分子生物学の進展、93 巻、130-137 頁。
- 十三. Møller, H., & Pederson, C. S. (2004 年)。低周波や低周波での聴覚。ノイズ・アンド・ヘルス、6 巻、37-57 頁。
- 十四. オールテル, D., ヤング, E. D. (2004 年)。小脳回路が聴覚系で何をしているのですか? 『神経科学の動向』27 巻、104-110 頁。
- 十五. ペダーセン, E., ペルソン-ウェイ, K. P. (2004 年)。風力タービン騒音による知覚と煩わしさ—線量-応答関係。アメリカ音響学会ジャーナル、116 巻、3460-3470 頁。
- 十六. ピアポント, N. (2009 年)。風力タービン症候群。K-セレクトの本。  
[http://www.kselected.com/?page\\_id=6560](http://www.kselected.com/?page_id=6560) から取得
- 十七. パンチ, J., ジェームズ, R., & パブスト, D. (2010 年 7 月/8 月)。風力タービンの騒音: 聴覚士が知っておくべきこと。Audiology Today、22 巻、20-31 頁。
- 十八. Renewable UK。(2011 年) 風力タービンからの騒音—事実。  
<http://www.bwea.com/ref/noise.html> から取得

- 十九. ソルト, A. N., およびヒュラー, T. E.(2010 年)。低周波音、低周波音、風力タービンに対する耳の応答。 *聴覚研究*, 268 巻、12-21 頁。
- 二十. ソルト, A. N., リヒテンハン, J. T.(出版予定)。内耳の低周波への応答。 *第4回風力タービン騒音国際会議*, ローマ, 4 月。ショア, S. E.(2005 年)。背側蝸牛核における多感覚統合:音響神経節および三叉神経節刺激に対する単位反応。 *European Journal of Neuroscience*, 21, 3334-3348.
- 二十一. ソナス。(2010 年)風力発電所およびその他の源からの低周波測定。  
[http://www.pacifichydro.com.au/media/192017/infrasound\\_report.pdf](http://www.pacifichydro.com.au/media/192017/infrasound_report.pdf) から取得
- 二十二. ヴァン・デン・ベルグ, G. P.(2006 年)。 *強風の音:大気の安定性が風力タービンの音とマイクロフォン騒音に与える影響*(博士論文)。オランダ・フローニンゲン大学。<http://dissertations.ub.rug.nl/faculties/science/2006/g.p.van.den.berg/> から取得

### 略歴

アレック・N・ソルトは 1977 年にイギリス・バーミンガム大学で博士号を取得し、35 年以上にわたり耳の生理学研究に積極的に携わってきました。

ジェームズ・A・カルテンバッハは 1984 年にペンシルベニア大学で博士号を取得しました。彼は聴覚障害の神経生物学を専門とし、現在はクリーブランドクリニックの耳科研究ディレクターを務めています。