

風力タービン症候群と脳

ニーナ・ピアポント医学博士、哲学博士¹

2010年11月15日

*以下は、ピアポントが「グローバル風力産業と健康への悪影響に関する第一回国際シンポジウム:社会正義の喪失?」における基調講演の全文です。カナダ・オンタリオ州ピクトンで、2010年10月30日に開催されました。続いて、アレック・ソルト博士、マイケル・ニッセンバウム博士によるシンポジウムでの他のいくつかの関連講演についての議論が続きます。

クリストファー・ハニングとリチャード・ジェームズ氏。

概要

以下で述べる最新の研究は、風力タービン症候群のメカニズムを示唆しています。空気中または体伝わりの低周波音が内耳を直接刺激し、蝸牛(聴覚器官)と耳石器官(鞍孔と音囊、バランスと運動検知の器官)の両方の生理的反応を生じさせます。

研究により、蝸牛内の生理的反応が低周波の聴覚反応を抑制しつつも、脳に信号を送ることが決定的に証明されており、その機能は現在ほとんど不明です。蝸牛のタービン騒音に対する生理的反応も耳鳴りの引き金であり、耳鳴りがもたらす脳細胞レベルの再編成は言語処理や言語処理に関連する深遠な学習過程に影響を与える可能性があります。

新たな研究により、哺乳類の「動き検知」耳石器官も空気中の低周波音に反応することが示されています。耳中器官からの生理的反応や信号は、めまいや吐き気(船酔い、動いていなくても)、恐怖や警戒(驚き、覚醒)、視覚的な問題解決の困難など、幅広い脳反応を引き起こすことが知られています。

¹ ニーナ・ピアポント医学博士(ジョンズ・ホプキンス大学)、PhD(プリンストン大学:人口生物学)。ピアポントはアメリカ小児科学会のフェローであり、かつてコロンビア大学(ニューヨーク)医師・外科医大学院の臨床助教授を務めていました。現在は主に小児と成人の行動医学を専門とする個人開業医を行っています。連絡先は pierpont@westelcom.com。彼女の著書『風力タービン症候群:自然実験に関する報告』(2009年)は、Amazon.com と www.windturbinesyndrome.com で入手可能です。

風力タービンの騒音による警報の増加は、たとえ人が起こされた記憶がなくても睡眠を妨げます。メイン州の人口レベルの調査では、タービンから 1400m(4600 フィート)まで睡眠と精神衛生に明確な障害が見られ、5km(3 マイル)以内では影響が減少していることが示されています。

感覚系は脳の機能を変化させます

正直に言うと、私は変わった医療の診療をしています。私は小児科医の訓練を受けていますが、脳と発達に魅了されており、基本的に精神医学と子どもの発達を実践しています。子どもの脳がよく成長する手助けをする方法、そしてもう一方の極端な視点では、普通の人の正常な脳機能に悪影響を及ぼすもの(例えば風力タービン症候群)についても興味があり、その機能をどう元に戻すかを知りたいです。

脳の機能の多くは感覚系—視覚、聴覚、触覚—に関わっており、脳が体のあらゆるところから基本的な感覚信号を取り出し、その特定の生き物—自分自身—が今どこにいるのか、そしてそのニーズを満たすために次に何をすべきかを一貫したイメージに変換する役割です。そのニーズは、基本的な生理的なもの、例えば呼吸や適切な量の血液を体の各部位に送ることから、配偶者が最後に言った言葉で本当に何を意味していたのかを理解するような複雑な社会的・言語的なニーズまで多岐にわたります。私たちの感覚系がこれらすべてのニーズを媒介しています。

感覚系は脳の機能を変えます。それは人や動物がその瞬間に感じたり考えたりするだけでなく、その脳が将来、さらには近い将来どのように機能するかにも影響を与えます。これは神経可塑性と呼ばれ、学習の神経基盤であり、エリック・カンデルは 2000 年にノーベル賞を受賞しました。²

² カンデル ER. 2000 年。記憶保存の分子生物学:遺伝子とシナプスの対話。ノーベル講演。こちらをクリックしてください。

耳鳴り:脳が音が存在しない場所から音を作り出します

例えば、耳鳴りや耳鳴りは風力タービン症候群における重要な感覚の問題です。耳鳴り、ブンブン、ジュージュウという音、滝のような音——私の研究対象者はこれらすべてを、時には頭や耳の両方で表現しました。

私のサンプルで影響を受けた家族の成人および高齢ティーンの 58%が耳鳴りを経験していました。一般人口では 4%です。聴力損失や工業音曝露の既往歴がある人は特に耳鳴りになりやすいですが、研究に参加した他の人もこれらのリスク要因なしで耳鳴りを発症しました。

耳鳴りの人々の中で、多くの人が蝸牛に損傷を抱えています。蝸牛は内耳の聴覚器官であるカタツムリの形をしています。この損傷のために、多くの研究者はこれまで耳鳴りは蝸牛に歪んだ聴覚信号として起源を持つと考えられてきました。蝸牛は環境に音が存在しないにもかかわらず、神経信号を発生させることができるのです。

今では耳鳴りの状況がまったく異なります。蝸牛から脳に至る神経が完全に切断された(例えば神経に腫瘍があるため)聴神経を持つ人も耳鳴りがありますが、蝸牛から脳への入力は一切ありません。

最近では、耳鳴りの人を対象とした機能的画像診断(MRI や PET スキャンなど)で、耳鳴りは耳ではなく、音を処理する脳の部分で発生するという考えが支持されています。引き金は蝸牛や蝸牛の一部からの入力がないことです。基本的に、脳は音が存在しないところから音を作り出しています。

それは、手足を失ったときに感じる幻の痛みのようなものです。その手足から神経入力はなくなってしまうますが、それでも人はその手足が痛みを感じます。

耳鳴りはこういうものです——幻聴音です。それは耐え難く不快な感覚になり得ます。

この種の脳の変化(耳鳴りのように)は急速に起こります。これは、アメリカの医療研究のゴールドスタンダードである『ニューイングランド・ジャーナル・オブ・メディシン』のような非の打ちどころのないジャーナルから学んだことです。耳鳴りの病態生理を説明した総説記事は、2002年に次のように述べています。

難聴は中枢[脳]の聴覚系の経路の再編成を引き起こします。これらの変化は急速に起こり、聴覚経路と他の中枢[脳]経路との異常な相互作用を引き起こすことがあります。³

ここで起きているのは、脳の細胞が良い接続ではなく新しい接続を作っているということです。それは脳の中の混沌のようなもので、その結果、実際には存在しない音が聞こえてくるのです。

風力タービン症候群と耳鳴り

さて、『風力タービン症候群』のこの話を聞いてください。⁴ 本物のカナダ人家族、私の書齋に家族 A がいる。彼らをスミスと呼びましょう。彼らをフランク、マーレン、そして 2 歳の息子ジャスティンと呼びましょう。

フランクは 32 歳で、健康な漁師で自分のボートを所有しています。10 基のタービンが家を指し示し、1km 先に最も近いものが稼働します。最初の 3 週間は、フランクの耳に繰り返しポップ音があり、まるで圧力の変化のような感じでした。3 週間経つと、家にいると常に頭痛が始まります。家を出るたびに数時間後に治り、帰宅後数時間でまた戻ってきます。頭痛が始まってから数週間後、耳鳴りが始まり、5 か月間の曝露期間中に悪化し、最終的に家族は家を出て町の家を借りました。

33 歳の会計士である妻のマーレンも、最初の 3 週間は耳の中で繰り返しポップ音が鳴るのに気づきました。また、以前ほど聞こえなくなったことにも気づいた。3 週間後、耳鳴りが始まりました。耳鳴りは 5 ヶ月間の曝露期間中、彼女が家にいる時間やタービンの音の大きさによって悪化しました。曝露が終わった後、耳鳴りは治ったと彼女は言いましたが、騒がしい部屋で会話が理解しづらい新たな困難に気づきました。彼女は話し手の顔をもっと注意深く見なければならぬことに気づいた。

曝露中、健康な 2 歳のジャスティンが耳を引っ張り、不機嫌になったのと同じ時期に、家族の大人たちも頭痛や耳鳴りに気づきました。彼の言語発達は曝露前、曝露中、そして露出後のすべてで良好でしたが、曝露中に子どもが T と K の音、W と L の音を混同し始めたこ

³ ロックウッド AH、サルヴィ RJ、バーカード RF. 2002 年。耳鳴り。N Engl J Med. 347(12): 904-10.

⁴ ピアポント, N. 風力タービン症候群:自然実験に関する報告。K-セレクトッド・ブックス、2009 年、294 ページ。

とに母親は気づきました。これは彼が以前にできなかったことです。この音響混乱は、曝露終了から6週間経った今も続いており、私は両親にインタビューしました。

研究を臨床の記録と照らし合わせましょう。医学科学をこの実際の家族と結びつけましょう。この2人の成人は数週間にわたり耳圧の変化を経験し、そのうち1人は聴力を失いました。その後、耳鳴りが発症しました。騒音への曝露が終わると耳鳴りは解消されたが、マーレンは自分の聴覚処理と子供であるジャスティンの聴覚処理に微妙な違いを感じていた。

背景の雑音の中で一つの声を識別することは、脳(または中枢)聴覚処理の一例であり、脳が耳から発せられる信号を受け取り、それらを言語や音楽、隠者のツグミの歌声、その他の認識可能で意味のある音にまとめる方法です。

背景の雑音から一つの音を選び出すために、脳は両耳からの同時信号を処理し、それらの信号を統合して、どちらの耳だけでもできない新しい知覚の形を作り出します。(それは両目を持つ奥行き知覚のようなものです。)

背景雑音の中の聴覚は脳の聴覚処理の一つの側面であり、聴覚学者がよく検査します。言語の音を区別することも、特に言語学習中の子どもたちにとって、脳が音を処理する上で重要な部分です。

では、何があるのでしょうか?ニューイングランド・ジャーナルによると、耳からの入力不足すると脳の聴覚経路が急速に再編成され、耳鳴りが生じるそうです。(としますこの「再編成」は機能の悪化を意味しており、改善ではないことを無視してはいけません。これを、子どもが言語を学ぶ過程で起こる脳の組織化のプロセスと対比してください。)一方でこの研究があり、他方では若く健康な大人たちが、かなりの騒音曝露を経験した際に自分の聴覚や聴覚関連のプロセスを観察したことを語っています。

ちなみにマーレンはその音をこう表現しています。「チェーンソーのように騒がしくはなかった。むしろ脈打つ苛立ちのような感じだった。他の人には大きく聞こえないでしょう。

「

ジャスティンのように2歳半の幼い子どもで、これほど早く曝露から切り離された場合、このプロセスは完全に可逆的だと思います。しかし、年齢や曝露期間が長くなると、こうした影響は逆的になりにくいのです。それが脳の発達の基本原理です。

音にさらされることは、比較的低い音レベルでも、言語の音を読み解く脳の部分や、聞いたり読んだりすることを理解・学習・記憶する部分を乱します

私はスミス体験の解釈を耳鳴りの研究と、空港や交通音など他の環境音が子どもの学習に与える影響という別の研究分野に基づいています。

読み方を学ぶのは言語を非常に多く消費するプロセスであり、特に学校や家庭での騒音の影響に敏感です。この効果は、ノイズが注意や作業記憶に与える影響とは異なり、⁵ 音声認識などの音声処理の指標と関連しています。⁶

例えば、ある研究ではドイツのある都市が古い空港を閉鎖し、新しい空港を建設しました。研究者たちは両グループの子どもたちの読解力を時間をかけて追跡する機会がありました。閉鎖された空港の近くに住む人々は読書力が向上しました。新しい空港の近くの人たちは、空港が開業してから学習が遅れました。⁷

別の研究では、交通量の多い高速道路沿いのアパートに住む子どもたちの読解力と聴覚処理に対するノイズの影響を調べました。聴覚処理は、脳が耳からの信号を意味のある言語や他の音に変換する仕組みです。

子どもたちが建物の高い階層に住むほど、アパートは静かになり、読解力や聴覚識別のスコアも高く、例えば「goat」と「boat」を区別する能力が高まりました。この研究では、親の教育や収入の影響を除外し、さらに騒音にさらされた子どもほど読解の遅れが強いこと

⁵ ヘインズ MM、スタンスフェルド SA、ジョブ RFS、バーグルンド B、ヘッド J 2001 年。慢性的な航空機騒音曝露が子どものストレス反応および認知に与える影響の追跡研究。国際雑誌 エピデミオール 30: 839-45。

⁶ エヴァンス GW、マックスウェル・L. 1997 年。慢性的な騒音曝露と読解障害:言語習得の媒介効果。Environ Behav 29(5): 638-56。

⁷ ヒュッケ S、エヴァンス GW、ブリンガー M. 2002 年。航空機の騒音が学校児童の認知能力に与えるいくつかの影響に関する前向き研究。心理学 13 巻:469-74。

が分かりました。読解の遅れは、子どもたちが言語の音を区別するのが苦手だったこと、そして音が増えるほど悪化したことが原因でした。⁸

言い換えれば、環境にノイズが存在することで、子どもたちの脳が言語音を処理する能力が低下し、それが読み書きの学習能力を低下させたのです。ノイズが単に学ぶべきことを聞き取れなくしていたわけではなく、実際には脳の言語処理能力を損なっていました。たとえその言語が目を通して入ってきて、私たちが読むときにそうなるのです。

さらに、これらの騒音が読書に与える影響は、聴力損傷を引き起こすために必要な音量よりもはるかに低い音量で発生しています。⁹ 他の研究では、高学年の子どもたちが影響を受けやすく、長時間の曝露がより大きな障害を引き起こすことが示されています。¹⁰

私の風力タービンの研究では、学校に通う子どもやティーンズの10人中7人が、タービン曝露時の学校成績が以前・後と比べて悪化し、教師や保護者の双方に指摘された読解力、算数、集中力、テストの成績に予期せぬ問題が見られました。教師たちは子どもたちに何が問題なのか尋ねるメモを家に送りました。

これらの影響は微妙ですが、深刻な影響を及ぼします。ノイズ曝露は、比較的低い音レベルでも、言語の音を読み分ける役割を担う脳の部分(言語処理と呼ばれる)や、聞いたり読んだりすることを理解・学習・記憶する部分(言語に基づく学習と呼ばれる)を乱します。

強調したいのは、聴力に害を与えない低レベルの騒音曝露でも、こうした影響を与えることがあるということです。

⁸ コーエン・S、グラス DC、シンガーJE。1973年。アパートの騒音、聴覚的識別、子どもの読解能力。J Exp Soc Psychol 9: 407-22。

⁹ エヴァンス・GW。2006年。児童発達と物理的環境。『心理学年鑑』57巻:423-451頁。

¹⁰ エヴァンス 2006年。

バランス器官:脳における多様な存在であり、どのような感覚を引き出し、その情報が脳でどのように利用されるかに関わっています

内耳にはもう一組の器官があり、バランス器官(前庭器官と呼ばれる)があり、これは小耳管と小包(耳石または「耳の岩」と呼ばれる二つの器官で、微細な石が重力や直線の動きの知覚を制御している)と、頭部の三つの平面での回転を検出する半規管から成る。

バランスシステムは、一般の人々も医師も、おそらくすべての感覚の中で最も知られていないものです。それは別の種類の感覚です。内耳の前庭器官など専用の器官がいくつかありますが、これらの器官は単独で機能しません。これは、全身からの複数の感覚信号の協力(および脳の統合)が必要です。

この感覚はバランスを取る(まっすぐ立つこと)だけでなく、常に自分が空間のどこにいるのか、体の各部分がどれくらいの速さ、どの方向に動いているかを把握するためにも使います。前庭感覚は瞬時にフィードバックを受け、例えば眼球運動筋や首や背中の姿勢維持筋肉にフィードバックします。また、重力に適応し、全身の動脈や小さな血管の張力や心臓の鼓動の強さを調整し、立っている時も横になっている時も、頭上に立つ時も血が均等に分布するようにします。

バランスや動作検知には、目からの入力、全身の筋肉や関節の伸縮受容体、皮膚の触覚受容体、そして現在では内臓や胸部・腹部の大血管の伸縮受容体からの入力が必要です。また、¹¹内耳からの信号である小窩、袋、半規管からの信号も必要とされています。

これは特に信号がすべて一致しない場合に限って、脳統合の驚くべき成果です。脳は、どの信号が一致しない場合や、あるチャンネルからの信号が歪んでいる場合に、どの信号を軽視したり無視したりすべきかを見極めなければなりません。

魚でさえ耳石器官と半規管を持っています。蝸牛、つまり特殊な聴覚器官は後から進化し、特に哺乳類で私たちのタイプが進化しました。脳は本質的に進化を通じて、前庭ニューロンや信号がすでに存在した状態で成長しました。その結果、動き、重力、圧力、振動を検出す

¹¹ ミッテルシュテート、H. 1996年。体性重力。Biol Psychol 42(1-2): 53-74。

るシステムは、脳内で多様な存在感を持ち、どの感覚を引き出すか、そしてその情報の使い方によってあらゆる方向に広がっています。

魚類や両生類では、耳石器官はこれらの動物自身の音を検知する器官よりも低周波の騒音や振動を検出する能力はるかに優れています。マウス¹²¹³(哺乳類)においても、耳石器官によって低周波の空気伝播音が検出されること¹⁴が今やわかっています。人間では、耳石器官による低周波音の検出は骨伝導音、つまり頭に直接振動源を置くことでのみ検出されています。

ピアノの中程度低い音の音である 100 Hz では、健康な成人は自分の正常聴覚閾値より 15dB 低い位置で骨伝導振動を検出できます。おそらく尿道を通じてです。ここで¹⁵の¹⁶「検出」とは、振動が目の周りや首の筋肉に自動的な反射を引き起こすことであり、これは前庭刺激によるものであることがわかっています。

これらすべては、病態生理学的メカニズムの理解に近づいているということを書きたいです

¹² フェイ・RR、シモンズ AM。1999 年。聴覚と魚類と両生類。比較聴覚:魚類と両生類、編。フェイ・RR、ポッパー AN、269-317 頁。スプリンガー・フェアラーク、ニューヨーク。

¹³ サンド・オー、カールセン・ヘ。1986 年。大西洋のタラによる低周波音検出。J Exp Biol 125: 197-204。

¹⁴ ジョーンズ GP、ルカシキナ、バージニア州ラッセル IJ、ルカシュキン AN。2010 年。前庭系はマウスの低周波音の感覚を媒介します。J Assoc Res Otolaryngol 2010 年 9 月 4 日。[印刷前に Epub]

¹⁵ トッド NPMc、ローゼングレン SM、コールバッチ JG。2008 年。低周波振動に対する人間の前庭系の調律と感受性。ニューロサイエンス・レターズ 444: 36-41。

¹⁶ トッド NP、ローゼングレン SM、コールバッチ JG。2009 年。人間の前庭系における低周波振動への周波数調整の心房起源?Neurosci Lett 451(3): 175-180。

風力タービン症候群。風力タービン症候群は耳鼻咽喉科医が観察する内耳の病理に似ています

風力タービン症候群の症状は、前庭内耳の病理によるバランス障害の患者で長年にわたり耳鼻咽喉科医が見てきた症状クラスターと直接一致しています。しかし¹⁷、¹⁸前庭病理では、騒音曝露によって症状が現れたり消えたりすることは知られていません。非常に重要なのは、前庭病理に関連する症状は、バランスやめまいだけの問題ではないということです。これは後ほど説明します。実際、これらの症状は臨床的に、脳のバランス処理部分と認知・記憶との関連性を示しており、これらの関連性は現在ようやく実験や機能的脳画像によって説明されています。

私のサンプルである成人・子供を含む患者の 90%以上が、風力タービン曝露中に認知障害を抱え、これらの問題は曝露終了後も徐々に解決しました。これには、読書、数学、スペル、書くこと、キッチンや家庭でのマルチタスクの難しさ、一連の用事の記憶、電話での思考の流れの維持、テレビ番組のプロットの追いかけ、レシピの追跡、家具の組み立ての指示に従うことなどが含まれていました。

臨床現場でバランス障害のある患者は、短期記憶、集中力、マルチタスク、算数、読解にも苦勞しています。例えば、内耳液漏れの患者は、めまい、頭痛、首のこわばり、睡眠障害の症状を示し、基準値と比較して顕著な精神的能力障害を伴います。¹⁹

この種の内耳漏れは、むち打ち症、軽度の頭部外傷、または耳への圧迫外傷によって引き起こされることがあります。液体漏れは内耳の液体圧力の不均衡、すなわち内リンパ性水腫と関連しており、バランスと聴力の両方に歪みをもたらします。(メニエールバランスや聴覚障害が変動する疾患は、原因不明で現れたり消えたりする内リンパ水腫です。)

¹⁷ グリム RJ、ヘメンウェイ WG、ルブレイ PR、ブラック FO。1989 年。軽度の頭部外傷で定義されるリンパ環部癭症候群。Acta Otolaryngol Suppl 464: 1-40。

¹⁸ ヘインズ DA、マッコラム G。2006 年。認知・前庭相互作用:患者の困難と可能なメカニズムのレビュー。J Vestib Res 16(3): 75-91。

¹⁹ Grimm ら、1989 年。

興味深いことに、次に講演する内耳の低周波効果について講演するアレック・ソルト博士は、実験的に低周波曝露が一時的な内リンパ水腫を引き起こすことを発見しました。²⁰ これはバランスのメカニズムの一つと考えられています

風力タービン症候群の障害、耳鳴り、頭痛、認知障害などが含まれます。

バランスシステムは特に感情と密接に関連しています

これまで、内耳からの聴覚信号の欠如や歪みが脳レベルでの思考や学習にどのように影響するか、また内耳からのバランス信号の歪みが脳レベルでの思考、記憶、集中力にどのように影響するかについて話してきました。この感覚と脳機能の連鎖の中にもう一つ、議論したいテーマがあります。

バランスシステムは感情、特に恐怖、不安、パニックと密接に関連しています。新しい雪の下で足が氷の上で滑り、バランスを取り戻そうと腕を振りほどくと、一瞬パニックに陥ります。夫は高所恐怖症で、その理由は彼の脳のバランス信号統合のスタイルに直接起因しています。私はそうではなく、海の崖の縁に座って海鳥を眺めるのが大好きです。

私がそうしているのを見たり、彼自身が崖っぷちに近づいたり、高いビルの屋上に上がったりとすると、めまいや吐き気を感じ(これはバランスの問題の直接的な症状です)、さらにパニックや理不尽な感情を抱きます。つまり、自分や私が落ちたり飛び降りたりするのではないかと怖がっています。

(最近までは完全には気づけなかった。彼はとても落ち着いていて落ち着いているけれど、今はなぜ彼が私をニューファンドランドに戻したくないのか理解した。そこには大きくて素晴らしい海鳥の崖がある...)

バランスと不安の関連に関するいくつかの研究では、パニック障害の最大 80%がバランス処理の測定可能な障害を持っているとされています。人々がパニックになるのは、バランス信号の歪みや、自分の脳が歪んだバランス信号を処理する独特のスタイルによって「方向感覚を見失う」場所です。食料品店はいつも大きな原因でした。

²⁰ ソルト社 2004 年。耳が外傷性のない低周波音に曝露されることで発生する急性内リンパ水腫。J Assoc Res Otolaryngol 5(2): 203-14.

私の風力タービン研究では、成人被験者の3分の2(21人中14人)が、高いタービン騒音にさらされると非常に不快な症状を経験しました。彼らは胸の中で動きを感じ、それは震え、震え、脈動と表現され、そして逃げ出したいという不快な衝動に襲われた。あるいは、その感覚が夜中に目を覚まさせたり、心臓が激しく鼓動したり、呼吸ができないような感覚だったり、窓が割れるような不穏な音がして家を確認しに起きなければならないという感覚に襲われたのかもしれない。

風力タービン症候群のパニック症状は、過去の運動感受性の既往に関連しています

これらの人たちはこれまでパニック発作を経験したことがなかった。数名は不安やうつ病の既往歴がありましたが、研究対象の成人全体では、過去の精神的健康問題がこのパニック症状の存在と有意に関連していませんでした。パニック症状と関連し、非常に有意な統計的関係があったのは、過去に運動感受性の既往があったことです。

ミズーリ州のタフなカウボーイで馬を育てる溶接工でさえ、この症状で夜にタービンの近くで目を覚ました。家族と共に町に引っ越してからは、赤ちゃんのようにぐっすり眠りました。もうパニックで目覚めることはありません。(ただし、そのことを私に伝えたのは彼の妻でした。)私の研究に参加した医師でさえこの症状がありました。私の研究対象の幼児や未就学児も同様の症状を示していました。夜間に高い警戒状態で目を覚まし、再びベッドに戻れず、眠れなくなるのです。

要するに、耳に響くノイズは単なる聴覚の問題ではなく、私たちが学んでいることだけでなく、脳が音をどのように組織するかについても関わっています。

概要

- ・ 風力タービンの騒音は、多くの曝露された人々に耳鳴りを引き起こします。生理学的な耳鳴りは、脳の音の処理の変化の結果です。
- ・ 他の種類の環境ノイズは、子どもの言語音の処理方法を変えることで学習を妨げることが示されています。風力タービンにさらされた家族は、曝露中に子どもの思考力や学習能力の低下に気づきました。成人は曝露中に思考、記憶、集中力に問題を抱えていました。
- ・ 他の臨床および脳の研究では、思考力やパフォーマンスの低下が内耳の前庭部分の機能不全と関連していることが示されています。

- 歪んだバランスシグナルは、さまざまな状況でパニックや不安と密接に関連しており、これが風力タービンにさらされた以前はパニックではなかったが動きに敏感な人々に夜間パニックが起こる理由を説明している可能性があります。

アレック・ソルト博士は、A 加重ノイズ測定を打ち破り、風力タービンが生み出す強度の低周波ノイズに対して耳が生理学的に応答することを示しました

アレック・ソルト教授はワシントン大学医学部セントルイス校耳鼻咽喉科の蝸牛内耳生理学者であり、検査科学者です。彼と彼の学生たちは、モルモットの蝸牛(内耳の聴覚部分)の体液と生理学を研究しています。

ソルトと彼の同僚たちは長年にわたり、低周波音を使って蝸牛の一部の挙動を変えてきました。これは低周波音に興味があったからではなく、蝸牛液や細胞の研究に役立つ生理学的な効果があるからです。

ここ 1 年ほどで、ソルト博士は蝸牛内の内毛細胞と外毛細胞の 2 種類の感覚細胞が低周波に対して異なる反応を示すことを記録しました。内側の有毛細胞は聴覚信号を脳に送りますが、超音波には反応しませんが、外側の有毛細胞は反応します。

彼は、低周波音波が外側の有毛細胞を動かし、内側の有毛細胞の反応を妨げることを発見しました。外毛細胞は脳や他の外毛細胞にも神経信号を送りますが、これらの信号が脳に到達した後には何をするのかは明確ではありません。確かなのは、彼ら自身が音の刺激を伝えていないということです。一部の証拠によれば、これらは脳内の音信号の最初の中継点である蝸牛核内で大きな音の知覚を媒介する役割を果たす可能性があるとして唆されています。^{21 22}

²¹ ベンソン TE、ブラウン MC. 2004 年。蝸牛核内のタイプ II 聴神経線維のシナプス後標的。J Assoc Res Otolaryngol 5(2): 111-125。

²² ワイズ・C、グロヴァツキ・E、フックス、P. 2009 年。タイプ II 蝸牛求心神経のシナプス後機能。ネイチャー 461(7267): 1126-1129。

風力タービン症候群にとって重要なのは、ソルト博士が蝸牛が確かに低周波音に反応し、脳に信号を送る一方で、外側有毛細胞の解剖学的構造や細胞反応が低周波音を聞くことを妨げていることを発見したことです。

これらの発見が人々やその病気に何らかの意味があるのか疑問に思い、ソルト博士は昨冬に医学文献を調べ、風力タービン症候群(Wind Turbine Syndrome)という名前を見つけました。その後、彼は自身の発見を風力タービン症候群の症状や臨床的症状と結びつけた研究論文を発表しました。²³

ソルト教授が優れた教育者であることは、彼のウェブサイトからも明らかであることを強調しておきます。動くカラフルな3Dシミュレーションも含め、内耳について学ぶべきことがたくさんあります。

彼の最近の研究論文はここに掲載されており、その重要性について使いやすい議論が掲載されています。また、彼の研究が紹介されている国立衛生研究所(NIH)のウェブサイトへのリンクもあります。また、10月30日のピクトン会議でのプレゼンテーションのスライドも公開しています。

発表では、ソルト博士は風力タービンの測定された音響スペクトルを、風力産業のコンサルタントが行う人間の聴覚応答曲線だけでなく、内毛細胞と外毛細胞の別々の応答曲線と比較し、風力タービンの低周波騒音や低周波音が正常な蝸牛でも容易に検出できることを示しました。また、A加重音響レベル測定が風力タービンの健康影響に重要な低周波を特示的に除外し、A加重ノイズ測定の信頼性を事実上打ち砕いていることも示しています。

ソルト博士の研究は、風力産業が主張する「風力タービンによる低周波音は多くの人の聴覚閾値以下であり、人間の健康に関係ない」という主張を明確に否定しているため、刺激的かつ有用です。むしろ、耳は風力タービンが発する低周波の騒音に対して生理的反応を示します。たとえその騒音が聞こえなくてもです。

生理学的反応はもちろん臨床効果への扉を開きます。

²³ ソルト AN、ハラーの TE。2010年。低周波音、低周波音、風力タービンに対する耳の応答。Hear Res 268(1-2):12-21。

風力タービン症候群のメカニズムに関しては、一方で既知の脳反応がないにもかかわらず、超音波に対する人工内耳の反応が実証されているという興味深い立場にあります。一方で、内耳の前庭(バランス)器官(蝸牛と生理的・液体のつながりを共有している)を考慮すると、脳の反応について多くのことがわかります。感覚、症状、脳細胞経路、機能的・実験的問題に関して、脳が正常または歪んだ前庭信号に対してどのように作用するかについては、膨大な科学文献があります。²⁴

また、風力タービン症候群の症状複合体は前庭機能障害の症状と非常に似ていることもわかっています。不足しているのは、前庭器官の有毛細胞を刺激する空気中の低周波音波の直接的な証拠です。ソルト博士は学会講演で、前庭有毛細胞は体寄り振動の低周波に「調律されている」(つまり最良の反応を持つ)が、これらの細胞が外耳および中耳から入ってくる「音響的」(つまり空気伝播)の超音波に対する反応をまだ研究していないと語っていました。

「ジャンピングマウス」:哺乳類のバランス器官は耳石器
官(サキュルと尿道)を使って空気中の低周波音を検出しま
す。

私は、ある研究グループが空気中の低周波音が前庭の有毛細胞を刺激したり、人間の前庭が空気中の低周波音に反応したりすることを示すのは時間の問題だと推測しています。私の予測は、会議直後にソルト博士から送られてきた新しい論文「前庭系はマウスの低周波音の感覚を媒介する」に基づいています。²⁵ 著者らは、この囊の「祖先の音響感受性」が魚類や両生類だけでなく、最近の証拠によれば鳥類や哺乳類にも保持されていることを説明しています。

著者らは、マウス耳管がマウスの耳蝸の検出範囲以下の空気中の低周波音にどのように反応するかを示しています。

²⁴ この分野は『風力タービン症候群』の72-99、195-205、226-244 ページでレビューされています。

²⁵ ジョーンズら 2010 年。

ネズミはビーブ音に驚いて飛び上がります。低周波または中周波の背景音が聞こえると、より激しく跳ねて驚きます。著者らはこの「驚き反応」、つまりマウスがどれだけ跳ねたかを小さな電子プラットフォーム上で定量的に測定しました。遺伝的に正常なマウスは低周波または中周波の背景音により反応しやすく跳びますが、著者らは遺伝的理由で耳石器官(小結石)を発生させなかったマウス(小結石)を発生させなかったマウスも試験しました。重要なのは、これらの耳石欠損マウスは、背景音刺激がマウス蝸牛の周波数範囲内にある場合にのみ、超大きなジャンプを行ったことです。彼らは機能する耳石器官を持つマウスのように低周波の背景音刺激を検出できませんでした。

ジャンプマウス。この研究の著者らは、哺乳類の耳が耳の耳のバランスと動き検知器官を使い、蝸牛には聞こえないほど低い周波数の空気中の低周波音を検出できることを示しました。これにより彼らはより驚くようになります。次に「ジャンプする人々」を考えてみましょう。これは、風力タービンからの低周波の低周波ノイズの前で夜中に驚いて起きる人です。

このような証拠は、風力タービン症候群のメカニズムを示唆しています。空気中または体中から伝播する低周波音が内耳を直接刺激し、蝸牛と耳管の両方の生理的反応を引き起こします。

蝸牛の生理的反応は低周波音に対する聴覚反応を抑制しますが、脳に一部の信号を送ります。その機能は現時点でほとんど解明されていません。蝸牛のタービンノイズに対する生理的反応も耳鳴りの引き金であり、耳鳴りがもたらす脳細胞レベルの再編成も引き金となります。これらの再編成は言語処理や言語処理に関連する学習過程に影響を与える可能性があります。耳窩器官からの生理的反応や信号は、めまいや吐き気(運動のない船酔い)、恐怖や警戒(驚き、覚醒)、視覚的な問題解決の困難など、前庭信号に対する脳の幅広い既知の反応と結びついています。

クリストファー・ハニング医師と睡眠覚醒

睡眠とこれらの耳脳機構の相互作用は興味深いものです。風力タービンは特に不快な音を発生させ、警戒力が高いと睡眠専門医のクリス・ハニング博士は会議で説明しました。

私たちの睡眠は完全に目覚めたときだけでなく、身体と脳が完全に目覚めずにより軽い睡眠段階に移行する潜在的覚醒によっても妨げられます。この種の乱れは完全な覚醒よりもさらに少ない音を必要としますが、それでも睡眠や気分、記憶、思考、覚醒、協調性の回復効果を妨げます。

人それぞれ、どれだけ深く眠るかや、騒音による目覚めや興奮に対する抵抗力は異なります。私たちは、昼間の機能に関するアンケートを用いて、睡眠中にどれだけ乱されているかを確実に測定できます。

リック・ジェームズ、騒音制御エンジニア:建物の病的症候群

風力タービンに関する騒音研究に目を向け、騒音制御技師のリック・ジェームズは、風力タービン騒音の不穏で高い警戒特性を示す音響モニタリングデータを発表しました。すなわち、低周波騒音と低周波音のパルス質、そして低周波騒音と低周波音の脈動特性です。可聴ノイズとタービンからの低周波は「振幅変調」(つまり音量が上下する)の影響を受けており、この特性がその不穏な性格を大きく増しています。

クラスターでのタービンの配置や間隔も騒音の大きさに影響を与えます。なぜなら、最初のタービンの風下乱流で2台目のタービンが作動する際により多くの騒音を発生させるからです。

ジェームズ氏は、1980年代から90年代にかけて、オフィスワーカーの病気について、大型建物の暖房、換気、空調システムのファンや振動ダクトの誤った位置からの低周波騒音によって引き起こされる病気に関する研究をレビューしました。これらの「シックビル症候群」の専門的な症例に関する研究は、低周波騒音が仕事の生産性に与える悪影響に焦点を当て、低周波騒音が集中力や気分に与える影響を実験的に評価しました。²⁶

ただし注意点があります。「シックビル症候群」という用語は、主に室内空気の問題(粒子、アレルゲン、感染性粒子、溶剤臭い、新鮮な空気の量など)に関連しており、この症候群には皮膚、目、呼吸器の刺激、疲労、頭痛、集中力の低下、吐き気、めまいが含まれま

²⁶ パーソン・ウェイ・K、ライランダー・ライト、ベントンS、レヴェントホール・ヘビーガード。1997年。低周波換気騒音による性能および作業品質への影響。J Sound Vibr 205 巻4号: 467-474。

す。²⁷ 後者の症状は他の文脈では低周波ノイズ曝露と関連していることが多いですが、皮膚や粘膜の刺激はそうではありません。

言い換えれば、風力タービン症候群はシックビルディング症候群の騒音関連の側面を共有していますが、両者は同じものではありません。

マイケル・ニッセンバウム医師は、タービンから最大 3 マイル離れた被験者を対象に、睡眠や気分への影響がタービンからの距離によって直接的に変化したと報告しています

最後に、メイン州の医師マイケル・ニッセンバウム博士が、メイン州の風力タービンから最大 3 マイル以内に住む 79 人の成人を対象に、睡眠障害と身体的・精神的健康に関する臨床的には検証済みのアンケートを回答した研究結果を発表しました。これらの質問票はタービンからの距離に基づいて研究群と対照群に分けられていました。

ニッセンバウム博士は、研究群と対照群の間にいくつかの睡眠質指数や一般アンケートのメンタルヘルス部分に違いがあることを発見しました。さらに驚くべきことに、研究群と対照群のデータを統合したところ、タービンから約 5km(3 マイル)離れた場所でも線量応答関係があることが判明しました。ニッセンバウム博士は、タービンから最大 3 マイル離れた被験者が、当初研究群または対照群に含まれていたかどうかにかかわらず、タービンからの距離によって睡眠や気分への影響が直接変化したと報告しました。

これは貴重な研究です。調査では、被験者の現在の睡眠状態や健康状態に関する情報のみを求めており、タービンに関する言及は含まれていませんでした。タービン騒音の影響は、多くの研究者(私を含む)が提案した 1.5~2km の最小セットバックよりもはるかに遠くで見られるようですが、1.4km 以降では症状が減少しました。アンケートは風力タービン症候群の全症状を抽出したわけではありませんが、重要な症状である睡眠障害と、タービンに関連する一般的な医療的・精神的健康の標準化かつ定量的な指標を提供しました。

²⁷ 世界保健機関。1982 年。室内大気汚染物質:曝露と健康への影響。23-25 ページ。

風力タービン症候群の 「人間性」

これが、私が「風力タービン症候群:自然実験に関する報告書」を発表してから1年後の風力タービン症候群の現状です。「先ほども言ったように、この産業疫病のメカニズムやその他のパラメータの解明に大きな進展を遂げました。

ただし、例外を除き、これらは政府や産業界、財団の資金的・道義的支援を得て行われたことは一切ありません。むしろ、政府(あらゆるレベル)や風力エネルギー業界は、この研究を積極的に妨害しようとしています。しかし——これは私にとって非常に嬉しいこと——彼らの反対にもかかわらず成し遂げられたのです。

例外は国立衛生研究所で、ソルト博士の研究に資金を提供していた。NIHに感謝します!

最後に一言。私にとって、再びカンファレンスで風力タービン症候群の被害者と話すことは、身を引き締めると同時に活力を与えてくれました。時には政治的・ジャーナリズムの「雑音」に気を取られ、WTSがどれほど深刻な存在かを忘れてしまうこともあります。

別途、異なる国の男性と女性が静かに自殺の考えを私に打ち明けてくれました。どちらも年配で、良い結婚生活と生産的な生活、十分な資源を持っています。一人は激しい吐き気と嘔吐で家を出てしまい、もう一人は帰宅するたびに体調を崩します。

政府、風力産業とその科学的・臨床的雇用者、メディアがこれらの人々の経験を軽視し否定し続けている一方で——神のみぞ知る、メディアは否認、嘲笑、そして毒で溢れています(「風力タービン症候群」で検索してください)——私は改めて、この完全に矯正可能な状態が身体的、精神的、社会的、経済的に及ぼす影響がひどいものであることを改めて思い知らされます。