

第5章 健康影響に関する文献レビュー

5.1 はじめに

前述のとおり、風力発電施設の設置に伴う健康影響の可能性は主に低周波数騒音を含む騒音との関連で議論されてきた。したがって、本章では風車から発生する騒音が人体に何らかの健康影響を起こしうるかどうかを検討するために、これまでに発表されている学術論文等の関連文献を収集、評価した。文献の評価にあたっては、まず、健康影響の種類、研究方法の種類、さらに、風車騒音と健康影響の関連を検討するために重要な研究課題を整理した上で、それぞれの研究課題に答えうる科学的な根拠が十分にあるかどうかという視点から行った。

5.2 健康影響の種類

一般に、ある物質や環境への暴露が人体に有害な健康影響があるかどうかを検討、評価する際には、その健康影響が、暴露後どのぐらいの時間を経て、どの臓器に生じるものかどうかをまず考える必要がある。暴露後比較的早期（直後から1週間程度）に生じる健康影響を「急性影響」、逆に健康影響が生じるまでに半年以上かかるものを「慢性影響」、さらにその中間を「亜急性影響」と呼んでいる。急性影響には、皮膚炎や肺炎、肝炎のような「疾患」の他、頭痛や吐気、腹痛のような「自覚症状」も含まれる。一方、慢性影響には、がんや白血病、白内障等、徐々に身体に影響を及ぼし、不可逆的（暴露が無くなっても自然には元に戻らない）な疾患が多く含まれる。

風車騒音による健康影響の検討では、これまで主として自覚症状を中心とした急性影響が対象となっているが、これは騒音という「有害環境」が人体に及ぼす慢性影響に関する知見が未だ限られていることが原因と思われる。知見が限られている理由には以下に述べるように、慢性影響を調べるための研究方法には多くの困難な点があることが考えられる。

5.3 研究方法の種類と特徴

有害な健康影響の有無を評価するための研究の方法は、影響を受ける対象に何を用いるかによって分類することができる。すなわち、微生物や魚類、マウス、ラット等の実験動物、そしてヒトである。また、近年では動物あるいはヒトの細胞を用いる場合もある。動物に実際に暴露させ、健康影響の有無を評価する研究方法を「動物暴露実験」と呼ぶのに対し、ヒトに試験的に暴露させ、健康影響の有無を評価する研究方法を「人体暴露実験」と呼ぶ。実験動物を用いた暴露実験では、影響の発現を確認するために通常起こりえない高レベルの暴露を行うことが可能なのに対し、ヒトに対して有害な影響を起こしうる物質（又は環境）の高レベル暴露は倫理的に問題があるために人体暴露実験では日常起こりうるレベル以下に留めざるを得ない。また、動物暴

露実験では、12ヶ月間あるいは24ヶ月間という、マウスやラットにとってはほぼ一生にあたる長期の暴露により慢性影響を調べることが可能であるが、ヒトへの暴露実験では長期暴露による慢性影響を調べることはできない。したがって、ヒトの慢性影響を調べるためには疫学研究という手法を用いることが必要となる。

疫学研究とは、ヒト集団を対象として、その集団に起こった健康事象（疾患や死亡等）の頻度を観察したり（これを「記述疫学」という）、集団同士で比較し、差の有無を検討することによって因果関係の有無を調べたりする（これを「分析疫学」という）研究方法である。時間の経過を考慮するかどうかで、分析疫学をさらに「横断研究」と「縦断研究」に分けることができる。例えば、風車の近隣住民100名と、そうでない100名を対象にして「不眠の有無」の聞き取り調査をある時点で行いその頻度の差を検討することは「横断研究」である。縦断研究には症例対照研究（ケースコントロール研究ともいう）とコホート研究の2つがあるが、前者は健康事象の有無で集団を分けて、それぞれの集団における「要因」の頻度を比較するものであるのに対し、後者は「要因」の有無で集団を分けて、その後、それぞれの集団において発生した健康事象の頻度を比較するものである。例えば、肺がんの患者100名と、そうでない100名それぞれに対し、過去の喫煙の有無を聞き、各集団の喫煙率を比較することにより喫煙と肺がんの因果関係を調べる研究は症例対照研究であり、喫煙者1万名と非喫煙者1万名を予め用意し、その後その各1万名の集団を観察し、それぞれの集団において生じた肺がん患者の割合を比較し、喫煙と肺がんの因果関係を調べる方法がコホート研究である。優れた疫学研究かどうかは、後述する「バイアス（系統誤差）」がどの程度制御されているかによるが、ケースコントロール研究、コホート研究いずれもその研究方法上、バイアスは完全に制御することはできない。

5.4 疫学研究の評価方法

ヒトへの健康影響を評価するためには、種間による影響がありうる他の動物よりもヒトを用いた疫学研究の結果を用いる方が、信頼性が高いのは明らかである。しかしながら疫学研究においても、結果を評価する際には真実を捻じ曲げうる様々な要因（バイアス）を念頭に置き、注意深く検討する必要がある。以下に、疫学研究を評価する際に注意すべき点を示す。

5.4.1 無作為誤差（ランダムエラー）

真の体重が70kgの人の体重を測定した時に70.1kgであったり、69.8kgであったり、測定によりばらつくことがある。ばらつき方は体重計の精度によるが、何度も測定すれば、その平均値は必ず真の値である70kgになる。この場合の、これら測定値と真の値との差を「無作為誤差（ランダムエラー）」という。疫学研究では集団を対象にするが、人数が少ない場合には、観察された「差」が無作為誤差による可

能性が高くなる。疫学研究では統計学的手法を用いて、観察された差がこの無作為誤差によりたまたま生じた可能性を計算し、その可能性が十分小さければ（通常は5%未満）、その差は真のものとする。したがって、疫学研究では統計処理の方法が正しいかどうかはその評価において重要となる。

5.4.2 バイアス（系統誤差）

真の体重が70 kgの人の体重を測定した時に何度測っても70 kg以上あるいは以下の場合には、多め（あるいは少なめ）に測ってしまう何らかの原因があると考えられる。このようにある一方向に誤差が生じるものを「系統誤差」という。系統誤差が生ずる理由はさまざまである。疫学研究では、そのような系統誤差が生じるような設定をできるだけ排除する配慮がどれだけされているかが評価のポイントとなる。以下に系統誤差の代表的なものを簡単に説明する。

① 情報バイアス：疾病又は暴露の分類ミス

暴露量と健康影響発現の関連を調べようとするときに、暴露量の測定が間違っていたり、健康影響の有無の判定が誤っていたりすれば、その関連性は不正確なものとなる。したがって、「暴露量の測定をどのように行ったか」、「健康影響の有無をどのように判定したか」の情報は重要である。「暴露量」、「健康影響」とともに、その種類によって測定の困難さは様々である。健康影響においては、客観的に判断できるがんのような疾病は判断に誤りは出にくいですが、自覚症状や診断の難しい疾病では分類を誤りやすくなる。

② 選択バイアス

調査対象となる集団（標本集団という）は、調べようとする事象に関わるすべての人たち（母集団という）を代表していなければならない。この条件が整うことにより、調査結果の普遍性が保たれることになる。そのために標本集団は母集団から無作為（ランダム）に抽出されることが行われる。このようなプロセスを経ずに、例えば、調査に協力的な人たちのみを対象としたり、性、年齢、職業等、健康事象の出現に関連するような要因に偏りがあつたりする場合には「選択バイアス」となり得る。また、質問票調査などで、回答が回答者の意思に任されている場合には、回答者と回答しなかった者との間には集団の特性に何らかの違いがある可能性が生ずる。このような場合、回答者の結果のみを使用して論ずるならば、同じく選択バイアスとなる可能性がある。

③ 交絡バイアス

ある因子の暴露とその結果である健康事象との関連を考える際に、その因子に付随し、表面には現れていないその他の因子が健康事象と関連しており、実は観察している因子は、直接的には関連していない場合がある。これを「交絡」と呼び、その表面に現れていない因子を「交絡因子」という。例えば、コーヒーの摂取が肺がん発症のリスクを増加させるかどうかを調べた結果、コーヒーをたくさん飲む人の方が肺がんになりやすいことが分かった。しかし、もし、「コーヒーを飲む人はより喫煙する傾向にある」という関係があったとしたら、コーヒー多飲者に認められた肺がんの増加はコーヒーのせいではなく、喫煙によるものである可能性が高い。この場合、喫煙は交絡因子となる。交絡因子は存在すると真実を歪める結果となるので、「交絡バイアス」とも呼ぶ。交絡バイアスを制御するためには、喫煙しない人だけで調査したり（対象者の限定）、同じような喫煙量の集団ごとに分けて調査したりする方法（層別化）がある。

5.4.3 疫学研究における因果関係に対する基準

疫学研究の主たる目的のひとつは、因果関係の検討であることは前述したとおりである。観察された関連が偶然を含めた単なる関連ではなく、因果関係であるか否かを判断する手助けとなる基準については、Hill¹⁾によって詳述されている。因果関係の検討を目的とした疫学研究は、以下のような Hill が論じた基準の観点から評価されるのが通常である。

① 関連の強固性：

暴露因子の有無と疾病発現の間の強固性は、暴露因子があることにより、何倍その疾病発症のリスクが高まるかによって決まる。例えば、喫煙者は非喫煙者の5～10倍肺がんになりやすいといわれている。また、喫煙は大腸がん発症のリスクも増加させるが、その大きさは1.2倍程度、すなわち20%増大させるにすぎない。したがって、喫煙と発がんの関連の強固性は大腸がんよりも肺がんの方がはるかに高い、ということになる。

② 関連の一致性：

もし、異なった状況下で異なった母集団中に同様の関連が観察されたとすれば、因果関係が存在する可能性が高く、方法論上の人為的なものによる可能性は低くなる。すなわち、複数の研究で同様の結果が得られていれば、より因果関係の存在が示唆される。

③ 関連の特異性：

要因と結果の間に特異的な関係が認められることをいう。例えば、その要因が存在する場合に非常に稀な疾患や特徴的な症状が現れたとすれば、特異性は高いことになる。

④ 関連の時間性：

要因が作用してから結果が現れるまでの時間的關係が妥当であることをいう。すなわち、疑わしい要因の暴露が疾患発生前に存在し、その間隔が疾患の潜伏期間に相当するものでなければならない。喫煙と肺がんを例に取れば、喫煙してから相当年数が経過してから肺がんが発症しなければならない。

⑤ 関連の整合性：

要因と結果の關係が、これまでの科学的な知見などと矛盾しないことをいう。すなわち、要因が疾病発症のリスクが増大した場合、その理由が矛盾なく説明できること。喫煙者で肺がんが増加することは、タバコの煙中に発がん物質が多く含まれることから整合性があるということになる。

⑥ 量反応關係：

疾病発症のリスクが暴露レベルの増加とともに上昇することを、量反応關係という。喫煙本数別に集団を分けた場合、喫煙本数が多くなるにつれて、肺がんを発症する人の割合は高くなる。

以上のように、因果關係の立証は、様々な観点から検討される必要がある。したがって多くの知見が集積されていない状況で因果關係の存在を示すことは困難である。一方、これらの知見に乏しいことが、因果關係が存在しないことを示唆するものでもない。

5.5 文献の選択及び評価方法

5.5.1 論文抽出方法

医学文献データベースである MEDLINE において、検索語を “wind turbine noise” とし、選択されたヒト又は動物を対象とした原著論文の他、専門家から情報提供された MEDLINE には収載されていない学会講演録や報告書等の「査読」（編集者及び 2～3 名の外部の専門家により論文として掲載の可否を評価するシステム）のない文献も対象とした。

5.5.2 文献評価方法

文献を評価する際には、研究の目的を明らかにした上で、どのような研究方法によるものか（動物暴露実験か、人体暴露実験か、疫学研究か）、評価する健康影響は何なのか、暴露レベルはどのぐらいか、を念頭に置き、それらの方法が、研究の目的に合致したものであるかどうか、結果の解釈が妥当であるかどうか等により行った。

5.6 風車騒音による健康影響に関する研究課題

「(通常の暴露レベルでの) 風車騒音により人に健康影響は起こりうるか」、という命題に対する答えを見出すことが、本文献調査の最終ゴールである。その命題を検討するにあたって、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 風車騒音暴露による主たる健康影響は何か
- (2) 長期暴露による慢性影響はあるのか
- (3) 健康影響が起こるとすれば、それはどのような暴露レベル（音圧）で起こるか
- (4) 健康影響は感覚閾値以下の音圧で起こりうるか
- (5) 低周波音による健康影響を修飾する要因はあるか

抽出された文献が、上記の研究課題に対してそれぞれどのようなエビデンス（科学的根拠）を提示しているのかについて評価していくこととした。

5.7 結果

5.7.1 風車騒音による主たる健康影響は何か

前述したように、これまでに風車騒音による健康影響は一過性の急性影響が主なものである。文献調査により比較的信頼性が高いと考えられた4つの疫学調査^{2~5)}のうちの3つにおいて風車騒音と「アノイアンス」との関係について言及している。Pedersonらは、2000年（平成12年）にスウェーデンの風力発電所周辺で、平坦な地に住む住民351名を対象とした横断研究を行った²⁾。風力発電による発生音圧による影響を把握するという趣旨は対象者に秘匿した質問票調査であった。68.4%の回答を寄せた回答者の住居を対象に、屋外での音圧レベル測定をスウェーデン環境保護庁のガイドラインに基づいて調査したところ、A特性音圧の増加に比してアノイアンスを示した者の割合は、共に統計学的に有意に増加する結果が示された。そこでPedersonらは2004年（平成16年）に、500kW以上の風力発電施設を擁し、地形も多様性に富んだ7地域に居住する発電所周辺住民1,309世帯を対象とした追試験を実施した³⁾。実施内容は2000年（平成12年）の横断研究と同様であった。すなわち、風力発電による発生音圧による影響を把握するという趣旨は秘匿しつつ、屋外での音圧レベル測定をスウェーデン環境保護庁のガイドラインに基づいた調査したところ、回答率は57.6%であった。回答者の特性において、平均年齢が4才高かったという差異はあったものの、A特性音圧の増加に比して覚知しえた者の割合と、アノイアンスを示した者の割合は、共に統計学的に有意に増加する結果が示された（順にオッズ比：1.3、95%信頼区間：1.25~1.40、オッズ比：1.1、95%信頼区間：1.01~1.25）。また、同グループは2007年（平成19年）4月に、今度はオランダにて、以下の条件で抽出された風力発電所から2.5km以内に住む成人を対象に、道路交通の騒音を含めた室内外での生活環境調査を実施し⁴⁾、やはり、騒音レベルが上がるほどアノイアンスを示す者の割合が高くなるという結果を示した。

以上はいずれも疫学研究の断面調査（横断研究）であり、質問票により自覚症状の有無や病気の有無を尋ねるものである。Pedersonらは、質問票の中に睡眠障害、頭痛、易疲労感、頸肩背部痛や違和感、緊張感、焦燥感の有無等を組み込んでいたが、これらについては結果で述べておらず風車騒音との関連性は認められなかったようである。残りの一つの疫学研究⁵⁾は主観的な健康度を同じく質問票で測ったものである。風力発電所からの騒音影響把握という趣旨を隠した上で、WHOによる健康関連QOL(HRQOL)の得点を発電所からの距離で区分した2群間で比較した結果、把握した。睡眠満足度の低下やアノイアンスへの高い訴えと、活力度低下が近傍住民群にて確認し、睡眠満足度の低下並びにアノイアンスへの高い訴えと活力度低下は、健康度や幸福感の低下に帰着しえると結論づけている。その他、低周波音による健康被害を訴えている人12名に対するインタビュー調査⁶⁾もあるが、前述したよ

うにバイアスの入り込む余地が大きく結果の信頼性は低い。

また、自覚症状以外では、van den Berg ら⁷⁾はオランダの調査を基にした査読なし報告書において、風車騒音と糖尿病、高血圧、耳鳴り、難聴、心疾患、偏頭痛の有無との間に関連がなかった、としている。また、自覚症状以外を調べた人体暴露実験としては、夜間就寝時に低周波音を暴露し、起床時の血中コルチゾルを測定しストレス影響について検討したものがあるが⁸⁾、そのようなストレスが加わるとどのような健康影響が起こりうるかについては不明である。

一方、動物実験では、脳や聴覚器、心臓への影響を検討している論文が見受けられた^{9~11)}。これらの研究はいずれもラットに 5~15 Hz : 130 dB の低周波音を 1 日数時間、1~2 週間の間暴露し、各臓器への影響を調べるものであった。Pei ら⁹⁾は 5 Hz : 130 dB の低周波音の 1 日 2 時間の暴露を 1、7 及び 14 日間続け、心筋細胞のカルシウムチャンネル等の微細構造の変化による、それに伴う血圧や心拍数の変化について検討し、7 日暴露群及び 14 日暴露群において細胞内カルシウム濃度の変化を引き起こすなどの変化を示し、これらの結果から低周波音が心筋に損傷する可能性があるとして結論している。Pei らはその後も同様の暴露プロトコールにより心筋細胞のアポトーシス関連の蛋白発現を調べることにより低周波音暴露による心筋障害の可能性を示している¹⁰⁾。また、Liu ら¹¹⁾は脳への影響に着目し、ラットに 16 Hz : 130 dB の低周波音の 1 日 2 時間の暴露を 7 日間行い、脳の海馬における細胞分化や細胞内 Ca 濃度、さらにアポトーシスについて調べ、低周波音が脳の海馬に影響を与えることを示唆した。これらの動物実験では非常に高レベルの低周波音が心筋細胞や脳細胞に影響を与えることを示したものであるが、暴露レベルの設定の根拠が不明であり、しかも高レベルのみの暴露であることから、より低レベルの暴露による影響を推定することが困難である他、暴露方法についての記載も不十分であった。

以上から、風車騒音によりヒトに起こり得る健康障害としては、いくつかの疫学研究の結果から、現在のところ、アノイアンス及び睡眠障害が最も可能性が高いものといえる。これらアノイアンスや睡眠障害が持続すれば、ストレスから高血圧や精神疾患等の疾患のリスクが高まることも考えうるが、これまでの疫学研究においてはそのようなエビデンスは認められなかった。

5.7.2 長期暴露による慢性影響はあるのか

前項で述べたように、これまでに認められている健康影響は、アノイアンス及び睡眠障害である。これらは暴露開始後、比較的早期から起こる症状であり、しかも、暴露が無ければ起こらない、いわば「反応性」のものである。ここでいう「慢性影響」は長期間の暴露により身体に何らかの不可逆的变化が起こったことを指すが、これまでにヒトにおいて風車騒音によるそのような健康影響は報告されていない。

動物実験においては 130 dB という極めて高いレベルの暴露により組織に形態学

的变化を及ぼすことを示している研究があり、このようなレベルの暴露では不可逆的な影響の可能性を示すが、実際の起こり得る暴露はこれらのレベルよりも数段低いものであり、長期間暴露したとしても同様の変化が起こることは考えにくい。その他、比較的低いレベルの慢性暴露を動物に行い、平衡感覚への影響を見た事例もあり¹²⁾、ヒトへの影響の可能性も示唆されるがこれは今後の疫学研究において検討される必要があると考えられる。

5.7.3 健康影響が起こるとすれば、それはどのような暴露レベル（音圧）で起こるか

暴露レベルによって起こりうる影響は異なる。これを「量影響関係」という（注：似た用語として「量反応関係」があるが、これは、量が増加するにつれ、ある健康影響の起こる割合が増加していくことをいう）。一般に暴露が小さいレベルで起こる健康影響は軽度かつ可逆的なものであり、高レベルではじめて起こる影響は重度で不可逆的な影響となり、さらに高い暴露では死に至る場合もある。ここでは最も軽度で、かつ看過できないと思われる健康影響が出現する暴露レベルがどのぐらいかを考えることとする。この設問に答える文献は、前述したアノイアンスと睡眠障害を健康影響のアウトカム（暴露要因による影響を評価する分析項目）とする4つの疫学調査にほぼ限られる。

Pederson らの 2004 年（平成 16 年）に行った横断研究によれば、A 特性音圧の増加に比して覚知しえた者の割合と、アノイアンスを示した者の割合は、以下のよう
に共に統計学的に有意に増加する「量反応関係」が示された（順にオッズ比：1.3、95%信頼区間：1.25～1.40、オッズ比：1.1、95%信頼区間：1.01～1.25）。

表 5-1 A 特性音圧の増加に比する反応の割合

音圧 (dB)	知覚しえた者の割合 (%)	アノイアンスを訴えた者の割合 (%)
32.5 ~ 35.0	40	3
35.0 ~ 37.5	50	4
37.5 ~ 40.0	76	6
> 40.0	90	15

また、同グループのオランダでの調査では、どちらかというとな不快と回答した者の割合は、30 dB 未満では 2%、30 dB 以上 35 dB 以下では 7%だったものが、35 dB(A) 以上では 18%と同じく「量反応的」な増加が確認された。

以上の結果からは 40 dB 近傍が多くの人にアノイアンスを生じさせるレベルと考えられるが、後述するようにアノイアンスの有無には「視認性」及び「風力発電への立場・態度 (attitude)」も関連しており、これらの因子で補正すると、アノイアンスと音圧レベルとの関連が失われる。当然のことながら、視認性と音圧レベルは強く相関しているため、どちらがアノイアンスに強く寄与しているかの判断は困難で

ある（前述の交絡因子。また、アノイアンスは情動に左右されるものであるから、アノイアンスは、風力発電への立場・態度が基盤にあり、視覚を含め、聴覚、振動覚により風力発電施設の存在を感じることによって生じると考えるのが妥当であろう。したがって、何らかの健康影響が起これば、暗騒音が少なく、また静穏が望まれる夜間の睡眠時において、聴覚、振動覚等により風力発電の稼働を知覚し、その存在を再認知することから、アノイアンスが生じ、それが持続することによるものと考えられる。

このようなシナリオにおいて健康影響を生じせしめる音圧レベルを想定することは極めて困難であると言わざるを得ない。

5.7.4 健康影響は感覚閾値以下の音圧以下で起こりうるか

前項で、低周波音を知覚することによりアノイアンスあるいは睡眠障害が生じ、これが持続することから他の何らかの健康影響が生ずる可能性があるということ述べた。そこでは感覚により低周波音を認識しなければ健康影響を生じないという前提に立っているが、近年、感覚閾値以下の低周波音が直接脳に影響を生ずる可能性があるとする研究が報告されている。

Saltらはモルモットを使った実験により、内耳の蝸牛にある外有毛細胞が内有毛細胞より低周波音に対して敏感であること、高周波音の存在により低周波音に対する耳の反応性が影響されていることを示し、これらから、聴覚閾値以下の低周波音が外有毛細胞に直接作用し、何らかの影響を及ぼす可能性があるとしている¹³⁾。しかしながら、麻酔下のモルモットを用いた実験結果であり、暴露条件もどこまで現実を反映しているかが評価できず、また、外有毛細胞から脳への影響については言及されておらず、この結果をもって感覚閾値以下で健康影響がありうるという著者の主張は論理にはやや飛躍があると言わざるを得ない。

5.7.5 低周波音による健康影響を修飾する要因はあるか

～交絡因子として何を考えるべきか～

前述したように、低周波音の暴露による健康影響を検討する際には、交絡因子の存在の可能性を検討しなければならない。既に、視認性や、風力発電に対する立場・姿勢がアノイアンスの有無に影響することが疫学研究によって示されていることを記したが、ここではもう少し詳しく述べることにする。

風力発電施設に対して、否定的立場や姿勢を示す住民は、13.4倍（95%信頼区間：6.03～29.59）、景観を風力発電所が損ねていることに対して否定的な見解を持つ住民になると、14.4倍（95%信頼区間：6.37～32.44）、アノイアンスを強く感じていた³⁾。また、最近、住居を改築した者の場合も、2.6倍（95%信頼区間：1.03～6.33）と、いずれも騒音感性のある住民が2.5倍（95%信頼区間：1.14～5.63）、不快に感じ

ている割合が高かった。これらはすべて A 特性による音圧レベル増加に伴うアノイアンス増加が 1.1 倍（95 %信頼区間：1.00～1.25）であったことより、倍率が高かった。元々、自然豊かなで落ち着いた環境である田園地帯を住居として指向したにもかかわらず、風力発電施設が建造され、かつ、音響が放散されるようになると、指向したはずの快適性と景観が損なわれると、風力発電施設の存在自体を目障りな存在としてとらえ、自然破壊の象徴として認知され、不快な情動が生じるという考察がなされていた³⁾。さらに、自ら選択したはずの住環境の快適性が自らの意思とは無関係に侵食され、心休まる環境ではなくなったとの認識が固定化すると、実際に熟睡不良といった健康関連 QOL への悪影響として帰結しえるという考察もなされていた⁵⁾。

視認性の観点での層別解析を行った研究では⁴⁾、暴露レベルが 30dB 未満の群でさえも、住まいから風力発電を視認出来るとアノイアンスが 4.1 倍になることを示している。ロジスティック回帰分析による各種変数のオッズ比（各変数があることによりアノイアンスが増加する倍率）は、それぞれ、音圧レベル 1.1、聴覚過敏性 1.4、一般的な風力発電への立場・姿勢 1.7、視認性あり 13.7 と、視認性が最も強く影響していた。また、この研究では、変数間の関連分析も実施しており、聴覚過敏性と音圧レベルの間に関連は認められなかったが、聴覚過敏性とアノイアンスの間には有意な強い関連が確認された。また、聴覚過敏性と風力発電に対する立場・姿勢とも関連があった。「どちらかという」と以上の否定的な立場・姿勢を示していたのが全回答者の 14 %であるのに対し、「視認性がある」者では 36 %へと増加していた。

Pedersen らはまた、風力発電施設の立地条件について検討をしている³⁾。風力発電施設が、都市近郊かつ平坦な地に立地している場合に対して、平坦な田園地帯に立地している場合で 5.2 倍（95 %信頼区間：1.62～16.55）、複雑地形を示す田園地帯に立地している場合で 10.1 倍（95 %信頼区間：2.46～41.61）アノイアンスが増加していた。複雑な地形だと、トンネル効果が音響に影響を与えたのではないかの考察がなされていた。同研究グループは、平坦な地であるオランダを選んで、より仔細を検討している⁴⁾。「市街地」、「幹線道路を含む田園地帯」、「幹線道路を含まない田園地帯」に住まいを区分した上での層別分析では、35dB 以上になると、幹線道路のない田園地帯の方が、幹線道路のある田園地帯の方より知覚のみならずアノイアンスにおいても統計学的な有意差が確認された。田園地帯に立地していた場合でも、幹線道路があれば、暗騒音が上がることから、オッズ比は 0.3 に収まっていた。逆に、市街地では 1.9 へと跳ね上がっていたことから市街地は避ける必要があるとしている。

Shepherd らの研究⁵⁾によると、事前に周囲の関係者と相談したとか、風力発電施設に関する情報を収集したといった対処行動を選択した住民では、統計学的に有意に音響へのアノイアンスが少なかった。また、不幸／抑うつ、いらいら、絶望とい

った、緊迫感や緊張感に関する質問肢においても統計学的に有意に少なかった。

Pedersen ら³⁾の研究で対象となった 725 人のうち 100 人は、風力発電施設の所有権を一部又は全部所有しているか、経済的利益を享受できるという立場であった。これらの群と、経済的利益享受関係にない群とでは、音圧の増加に対する知覚に統計学的有意差は認められなかったが、35 dB 以上になると、Mann-Whitney の U 検定にてアノイアンスにおいて有意差が確認された。なお、100 人中 76 名が、40 dB 以上と音圧レベルの高い場所に住まいがあったものの、3 %のみしかアノイアンスを示していなかった。また、ロジスティック回帰分析でも、経済的利益がある場合のオッズ比は 0.1 だった。同様の傾向は、他でも確認されていた。屋外での音圧とアノイアンスとの関係について検討した研究⁴⁾では、経済的利益がないと 12 %が「どちらかという」と以上にアノイアンスを示していたのに対して、経済的利益を受けている群では 4 分の 1 の 3 %に過ぎなかった。屋内になると、経済的利益がないと、「どちらかという」と以上にアノイアンスを示していたのは 8 %であったのに対して、経済的利益があると 0 %であった。

以上のように、疫学研究からは、音圧レベル以外に視認性、風力発電施設に対する立場・姿勢、聴覚過敏性、地形・設置地区、事前の情報の有無、経済的利益の有無、等がアノイアンスの有無に影響していることが示された。一方、元々の病気の有無や性格等との関連について言及した研究は認められなかった。

5.8 まとめ

本章では、風力発電施設から発生する低周波数騒音を含む騒音の暴露が健康影響を及ぼすかどうかを、これまでに報告された学術論文や報告書を基に検討した。検討においては、それら論文等の内容を吟味し、科学的根拠の強さの評価を行った上で、幾つかの重要な課題に対して現在知りうる状況を整理した。その結果、以下のようなことが確認された。

- ①風力発電施設から発生する低周波音の健康影響を調べることを目的とした疫学研究は限られており、4編の学術論文が発表されているのみであった。これらはいずれも近隣住民を対象とした自記式の質問票による横断研究であった。
- ②風車から発生する騒音との関連の可能性のある影響はアノイアンスと睡眠障害であり、その他疾患（高血圧、糖尿病、心臓疾患、脳疾患等）との関連を示す研究はなかった。
- ③風車騒音とアノイアンスとの関連は認められたが、視認性やその他の要因が間に介在している可能性があり、その因果関係については評価が困難であった。
- ④同じく、風車騒音と睡眠障害との関連は認められたが、その因果関係を示す明らかな根拠はなかった。
- ⑤アノイアンス及び睡眠障害を起こしうる音圧レベル（閾値）を決定しうる明かな根拠は存在しなかった。様々な個人要因が個人の感受性の違いを生ずる可能性があることが確認された。
- ⑥動物実験では、心臓の細胞における変化等を示した研究もあるが、それらはいずれも極めて高いレベルの暴露によるものであり、現実の風車による騒音暴露のリスク評価の用いる根拠としては妥当性に乏しいものであった。
- ⑦以上のように、これまでの調査・研究において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いと判断された。風車騒音と、アノイアンス及び睡眠障害との関連は示唆されるため、これらが慢性的に惹起されることによるストレスから何らかの健康影響が生ずることは、否定はできない。ただし、現時点においてそのような健康影響の有無を評価した信頼に足る研究の発表はなかった。

■参考文献（第5章）

- 1) Hill A. Bradford : The environment and disease: Association or causation? Proc. R. Soc. Med., 58(5):295-300. (1965)
- 2) Pedersen E., Waye K. P. : Perception and annoyance due to wind turbine noise--a dose-response relationship. J Acoust Soc Am, 116(6):3460-70. (2004)
- 3) Pedersen E., Waye K. P. : Wind turbine noise, annoyance and self - reported health and

- well - being in different living environments. *Occup Environ Med.*, 64(7):480-486. (2007)
- 4) Pedersen E., van den Berg F., Bakker R., Bouma J. : Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *J Acoust Soc. Am.*, 126(2):634-43. (2009)
 - 5) Shepherd D., McBride D., Welch D., Dirks KN., Hill EM. : Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise Health*, 13(54):333-9. (2011)
 - 6) Adam M., Moorhouse A., Waddington D. : Social effects of low frequency noise exposure on sufferers: developing a procedure of assessment. *Proceeding of 12 International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*, Bristol, UK. (2006)
 - 7) van den Berg F., Pedersen E., Bouma J., Bakker R. : Visual and Acoustic impact of wind turbine farms on residents. FP6-2005-Science and Society-20, Specific Support Action Project no. 044628. A report financed by the European Union. (2008)
 - 8) Wayne K. P., Clow A., Edwards S., Hucklebridge F., Rylander R. : Effects of nighttime low frequency noise on the cortisol response to awakening and subjective sleep quality. *Life Sciences*, 72:863-875. (2003)
 - 9) Pei Z., Sang H., Li R., Xiao P., He J., Zhuang Z., Zhu M., Chen J., Ma, H. : Infrasound - induced hemodynamics, ultrastructure, and molecular changes in the rat myocardium. *Environ Toxicol*, 22 (2):169-75. (2007)
 - 10) Pei Z., Zhuang Z., Xiao P., Chen J., Sang H., Ren J., Wu Z., Yan G.. : Influence of infrasound exposure on the whole L-type calcium currents in rat ventricular myocytes. *Cardiovasc Toxicol*, 9 (2):70-7. (2009)
 - 11) Liu J., Lin T., Yan X., Jiang W., Shi M., Ye R., Rao Z., Zhao G. : Effects of infrasound on cell proliferation in the dentate gyrus of adult rats. *Neuroreport*, 21(8): 585-589. (2010)
 - 12) Tamura H., Ohgami N., Yajima I., Iida M., Ohgami K., Fujii N. Itabe H., Kusudo T., Yamashita H., Kato M. : Chronic Exposure to Low Frequency Noise at Moderate Levels Causes Impaired Balance in Mice. *PlosOne*, 7(6):e39807. doi:10.137. (2012)
 - 13) Salt A. N., Hullar T. E. : Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research*, 268:12-21. (2010)