低周波音による健康影響評価のための周波数重み特性と量反応関係の導出
—騒音の専門家が過去の公害事件の過ちを繰り返さないために— *

○松井利仁，佐藤　奨，田鎖順太（北大・工学研究院）

1　はじめに

近年，風力発電施設やヒートポンプ室外機からの低周波音による健康影響の訴えが増加している。低周波音による睡眠障害は，交通騒音と同様，心疾患，脳血管疾患，糖尿病などの様々な身体的影響の原因となる[1)]。さらに，低周波音は中高周波帯域の騒音とは異なる特異的な健康影響が生じ得る。

騒音による空気振動は中耳から前庭窓に伝わり，前庭器官を経由して蝸牛に伝わる。著者は，音響工学や建築音響などの物理系分野のテキストで，前庭器官についての記述を見たことがない。しかし，医学分野では，音刺激によって目眩，吐き気など，平衡機能への症状が生じ得ることが，Tullio 現象として広く知られている。

我が国では，低周波音問題は西名阪自動車国道事件[2)]　という環境問題から始まり[3)]，環境低周波音による影響について，周波数別の影響が検討され，欧米よりも進んだ科学的知見が得られていた。しかし環境省は，風車騒音について，低周波音帯域の成分が不明確となる A 特性音圧レベルによる評価方針を示している。

これまでの科学的知見やそれに基づいた対策方法（参照値）を捨てることが，住民の理解につながるとは考えがたい[4)]。今後，風力発電事業者と住民との間では，紛争が増加することになるであろう。現時点では，住民団体の方が騒音の専門家よりも知識を有しているように思える。

現在，騒音による健康損失は，各種環境要因の中では，大気汚染に次いで高いとされている[5)]。このような状況で，騒音の健康影響を研究する専門家が不在の検討会が，騒音影響の指針を提案することは不可解である。有害化学物質などの他の環境要因の場合には，あり得ないであろう。

騒音の専門家や環境省の担当者は，過去の様々な公害事件において，専門家の発言や行為によって政策が誤った方向に向かったという歴史的事実を知らないのではないか。

本稿では，騒音の専門家が過去の公害事件の過ちを繰り返さないよう，西名阪自動車国道事件の概要を紹介するとともに，「風車病」と「水俣病」に対する専門家の行為の共通点を述べる。また，低周波音に関する医学的な知見を示した上で，風車騒音も含む低周波音の健康影響評価のために，過去の実験結果[6)] に基づいた，新たな低周波音の評価指標と健康リスク評価方法を提案する。

2　西名阪自動車国道事件[2)]

我が国では，1970 年代に西名阪自動車国道高架橋から発生した低周波音による公害事件をきっかけに，疫学調査や心理実験などが行われ，科学的知見が蓄積された。

低周波騒音の発生源となった高架橋近傍では，目眩や頭痛，不眠などの症状が 50%以上もの住民に確認され，道路から 100m 以上離れた場所でも健康影響が確認された。これらの事実は，低周波音による共振に伴う物的被害とともに報道され，低周波音による公害事件として広く知られることとなった。

この事件による科学的知見の 1 つが，現在も利用されている「気になるー気にならない」曲線や，「圧迫感・振動感」曲線である[6)]。当時，周波数分析は必ずしも一般的ではなかったが，この成果は今も有効であり，その後の実験結果[7)] との整合性も確認されている。

3　水俣病と風車病との類似点

3.1　専門家による原因の否定

ISO が示す聴覚閾値以下で影響は生じない，と考える専門家は少なくない。例えば，中野有朋氏は学会や住民説明会などでこれを繰り返し述べている。聴覚閾値が純音に対するヒトの平均値であ

*Dose-response relationship between LFN and sensation in the vestibule for health impact assesment —why the noise specialists should know about the history of Minamata disease?—. By Toshihito MATSUI (Hokkaido University)

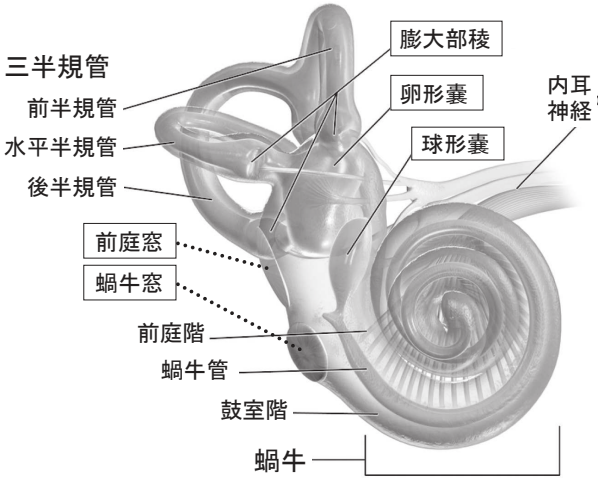

図 1　前庭および蝸牛の構造と前庭窓の位置関係 [9)]

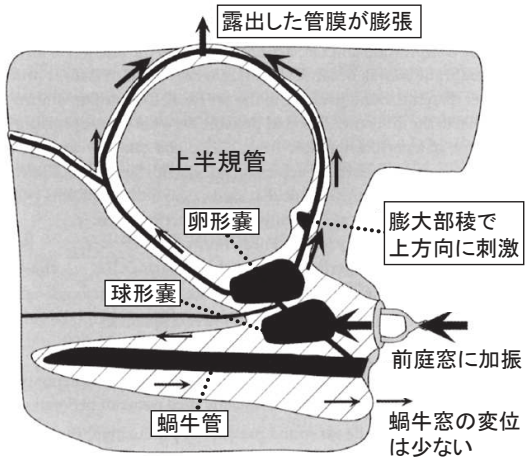

図 2　上半規管裂隙症候群での音刺激による外リンパの流れ [10)]

り，半数はそれ以下でも音として知覚でき，複合音の閾値はさらに低い。そもそも前庭器官への刺激による影響は聴覚とは異なり，高感度な住民も存在する（後述）。これらのことを知らずに発言することは，専門家がとる態度ではない。

同様な行為は，水俣病で事業者側の代弁をした専門家にも見られる。当時東工大の清浦雷作氏は，科学的根拠もなく，腐った魚を食べたことによる「アミン説」を唱えた。全国紙で大きく報道され，熊本大学の水銀説が否定された。現在，清浦氏は Wikipedia で「御用学者」の代表となっている。

3.2　専門家への研究費の支給

水俣病に関しては，国を擁護する法学者や医学者に対して，年間 1 億円前後の資金が支給されていた [8)]。

近年，環境省は風車騒音の影響について多額の研究費を支出しているが，これらの研究費による調査研究が，風車病の被害者の救済につながっているとは考えがたい。少なくとも，騒音制御工学会が下請けをした調査研究は，後述する前庭での知覚は無視され，A 特性音圧レベルでの評価に固執した。今回，環境影響評価指針の策定に反映されたことは，被害住民の切り捨てにつながるであろう。

また，風力発電事業者からの研究費を得た，低周波音の健康影響を否定するレビュー論文が複数報告されている。同様な例は，タバコ産業からの資金による研究など，環境問題以外の分野でも見られることに専門家は注意すべきである。

3.3　患者の認定

水俣病が今なお裁判で争われる事態となっている原因が，水俣病認定の際の判定基準である。これが，専門家が策定した非科学的な指針であることが裁判で認められたのは，つい最近のことである。

専門家が風力発電や低周波音の指針を示すことは，被害住民の切り捨てにつながり得る。そのことに責任を持たないような専門家は，指針策定に係わるべきではない。

4　低周波音による刺激と知覚

4.1　前庭における低周波音の知覚

図 1 に内耳の構造を示す。中耳からの振動は前庭窓から内耳に入るが，前庭窓は卵形嚢や球形嚢などの感覚器近傍に位置し，球形嚢を経由してから蝸牛に振動が伝わる。しばしば，前庭窓が前庭階に直接つながっている図を見かけるが，これは正しい内耳の構造を表わしていない。前庭が蝸牛よりも知覚感度が高ければ，音としてではなく，振動や圧迫感などとして知覚されることになる。

4.2　上半規管裂隙症候群

Superior canal dehiscence syndrom（上半規管裂隙症候群）は，1998 年に報告された比較的新しい内耳の障害である。上半規管上部の骨の欠損により，音や振動などの刺激によって上半規管にリンパが流れ込みやすくなり，目眩，眼振などの症状が現れる。近年の調査で，有病率が 1～2%程度という結果が示されており，目眩で耳鼻科を受診

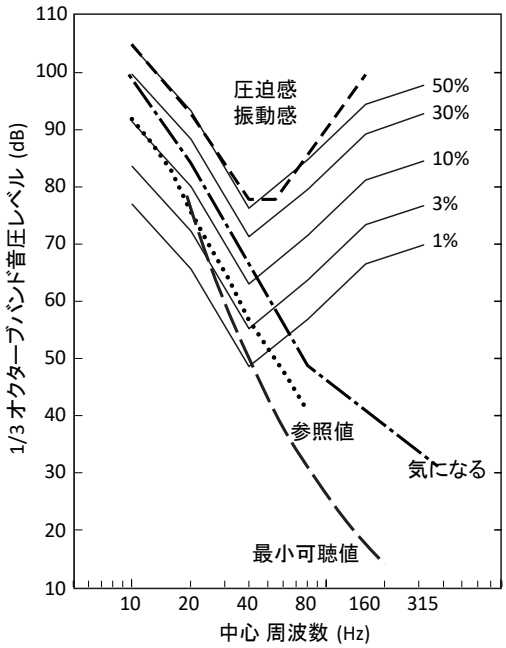

図 3 「圧迫感・振動感」以上の知覚の等反応率曲線

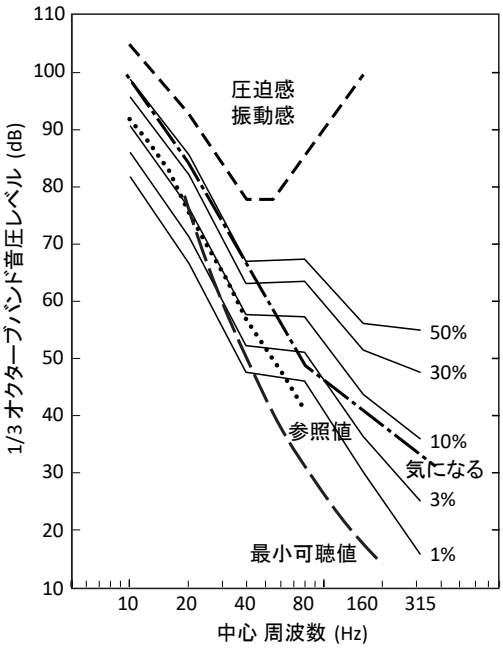

図 4 「気になる」以上の知覚の等反応率曲線

する患者の多くがこの障害を有するという報告もある。

上半規管裂隙症候群の住民が，低周波音に対して高感受性群となることは間違いない。その閾値等に関して十分な知見が得られていないだけである。

上半規管裂隙症候群の有病率が低いことは，通常の実験結果や横断調査では，前庭の反応による健康影響を検出することが困難であることを意味する。

5 過去の実験的研究結果の再解析 [11)]

5.1 中村らの実験結果 [6)]

中村らは種々の周波数・音圧レベルの低周波音を用いて，2 種類の被験者実験を行っている。実験 1 では,「気になる」,「振動感を感じる」,「痛みを感じる」などの複数の感覚反応の中から最も優位な感覚を求めている。実験 2 では,「気になる」,「振動感を感じる」などの個々の感覚反応について，その閾値を求めている。

これらの実験結果に基づいて,「気になる－気にならない」曲線や,「圧迫感・振動感」曲線などが示されているが，これらは 50 パーセンタイルとなる等感曲線である。本研究では，ロジスティック回帰分析により，反応の個人差そのものを推定した。なお，詳細は既報の文献 [11)] を参照されたい。

5.2 低周波音に対する等反応率曲線

ほとんどの周波数において,「わかる」⇒「気になる」⇒「圧迫感・振動感」⇒「痛み」という順序で反応が生じた。図 3 は「圧迫感・振動感」以上，図 4 は「気になる」以上の反応の等反応率曲線である。参考のために,「聴覚閾値」,「参照値」,「気になる－気にならない曲線」なども示している。

「圧迫感・振動感」は前庭による反応と考えられるが，中心周波数で 40Hz 付近が感度が高く，これ以上の周波数では感度が低下する傾向を示している。

一方,「気になる」以上の反応は，100Hz 以上の帯域で「圧迫感・振動感」とは明らかに異なる特性を示しており，この帯域では前庭の感度が低いことから,「気になる」という反応は，蝸牛での音の知覚が優先していると考えられる。

目眩やふらつきなどの急性的な健康影響や，平衡感覚への刺激による入眠障害については,「圧迫感・振動感」の曲線がそれを反映すると考えられる。また，超低周波帯域では,「気になる」よりも「圧迫感・振動感」の反応率が高いという結果が得られている。

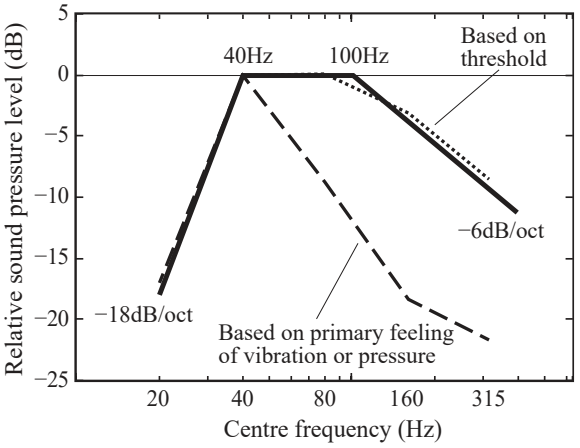

図 5 低周波音の健康影響評価のための周波数重み付け（H 特性）

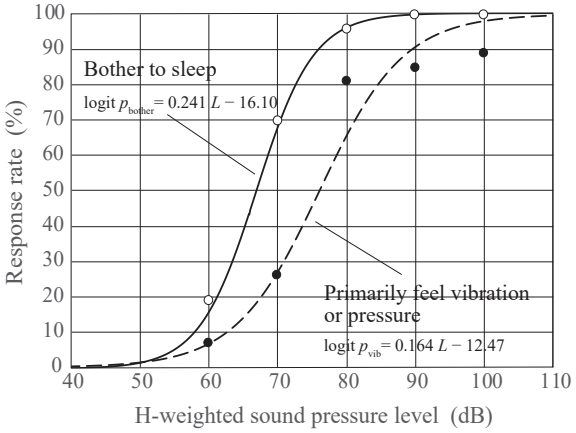

図 6 低周波音の健康リスク評価のための量反応関係

5.3 前庭器官の特性に基づく周波数帯域の統合

優先感覚を求めた実験 1 の結果（10〜315Hz）と，閾値を求めた実験 2 の結果（80〜315Hz）を併用することで,「圧迫感・振動感」の閾値に係わる周波数特性を推定した。結果を図 5 に示す。

「圧迫感・振動感」は前庭の有毛細胞への刺激と考えられるが，前庭では蝸牛のような周波数分析は行なわれない。このことは複合音の場合，周波数別に評価することが適切ではないことを意味する。このため，図 5 の特性の周波数重み付けをした音圧レベルは，前庭器官での感覚特性を近似的に評価できると考えられる。

著者らはこれを「H 特性」と定義し，H 特性音圧レベルに基づく「圧迫感・振動感」の量反応関係を求めた。図 6 の破線に結果を示す。●印は，中心周波数 40Hz での実験結果である。この曲線を利用することにより，H 特性音圧レベルによって「圧迫感・振動感」を知覚する住民比率を予測できる。

図中の実線は，40Hz の中心周波数での「気になる」以上の反応率の量反応関係である。「気になる」以上の反応率は，1 本の等感覚曲線とはならないが，40Hz 以下の等感覚曲線は H 特性とほぼ等しく，80Hz 以上の騒音では暗騒音の影響により閾値が上昇すると推定されるため，H 特性によって「気になる」以上の反応を近似的に評価できると考えられる。少なくとも，A 特性音圧レベルよりも妥当なリスク評価が可能であろう。

なお，上半規管裂隙症候群の有病者が 1，2%程度存在することを考慮すれば,「圧迫感・振動感」の 1，2%以下の反応率は，危険側の予測値になっていると考えられ，より低いレベルから反応が生じる。

参考文献

1) Basner M, *et al.*, “ICBEN review of research on the biological effects of noise 2011-2014,” Noise & Health 17, 57–82（2015）.
2) 西名阪低周波公害裁判弁護団，低周波公害裁判の記録（清風堂，1989）.
3) 時田保夫，“低周波音の評価について，” 日本音響学会誌 41（11），806–812,（1985）.
4) 松井利仁，“風車騒音の住民影響を A 特性音圧レベルで評価することは困難，” 日本音響学会講演論文集，1085–1086（2014）.
5) Hänninen O, *et al.*, “Environmental burden of disease in europe: assessing nine risk factors in six countries,” Environ Health Perspect 122, 439–446（2014）.
6) 中村俊一，他，“超低周波音の生理・心理的影響と評価に関する研究班　報告書,” 文部省科学研究費「環境科学」特別研究,（1981）.
7) 犬飼幸男，他，“低周波音の聴覚閾値及び許容値に関する心理物理的実験—心身に係る苦情に関する参照値の基礎データ,” 騒音制御 30(1)，61–70（2006）.
8) 津田俊秀，医学者は公害事件で何をしてきたのか（岩波，2004）.
9) Wikipedi，下記 URL から引用した図に加筆，https://en.wikipedia.org/wiki/Inner_ear
10) P.A. Fuchs ed., The Oxford handbook of auditory science: the ear, chap. 3（Oxford University press, London, 2009）.
11) 佐藤　翔, 松井利仁, “低周波音による健康影響に関する量反応関係の導出,” 音響学会騒音・振動研究会資料 N-2016-38, (2016).