



令和3年度研究助成 【サウンド技術振興部門】より

## 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

北海道大学大学院工学研究院環境工学部門  
地域環境研究室助教

田鎖 順太

### 1. はじめに

風力発電は発電時に二酸化炭素を排出せず、脱炭素社会の実現に貢献するであろうきわめて有望な技術のひとつである。我が国では、現在、官民を挙げて急ピッチで導入が進んでおり、たとえば秋田県由利本荘市では海岸線から5 km程度の沿海部に、30kmにわたって、高さ約200mの風車が100基建設される計画がある（経済産業省資源エネルギー庁、2020）。

しかし、風車近傍では、睡眠障害・頭痛・めまい・吐き気等の健康影響が国内外を問わず数多く報告されている（Punch & James, 2016）。単に風力発電の導入を進めればよいわけではなく、風車によって地域住民に健康影響が生じることのない様に、そのリスクに関して十分な評価検討が必要である。

これらの健康影響の主たる要因は風車騒音と推測されているが、その科学的知見は乏しい。睡眠障害が比較的低い曝露レベルでも生じること（Kageyama et al., 2016）の原因や、頭痛・めまい・吐き気等の特異的な影響と騒音との関係は未解明である。

風車騒音と環境騒音（自動車、航空機、等）との最大の差異は低周波成分が卓越している点であり、風車騒音による影響の解明には低周波音の受容メカニズムに基づく音の評価が

重要と考えられる。本研究では、低周波音の受容において「振動感」が重要な役割を果たしていると考え、どのような音刺激によってこの知覚が生じるかを明らかにすることを目的としている。

### 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。

なお、風車騒音による影響において平衡器官が重要な役割を果たしているのではない

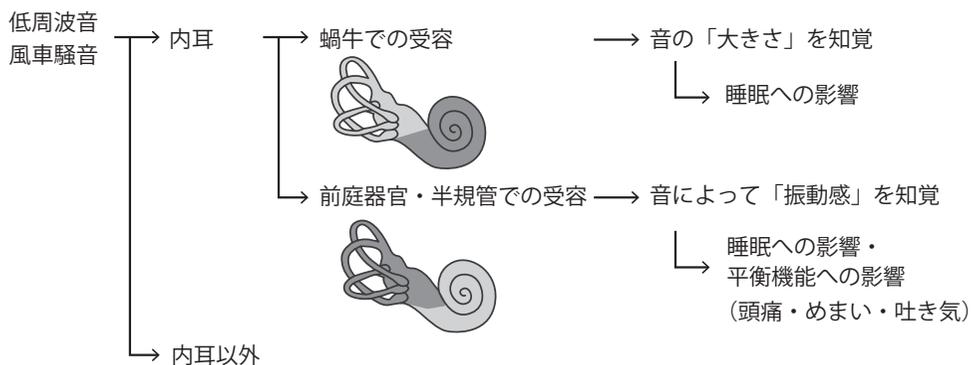


図1 風車騒音（低周波音）による振動感が受容される経路に関する仮説。

か、とする指摘はこれまでも行われている (Pierpont, 2009) が、科学的には未解明である。前庭誘発筋電位 (VEMP: vestibular evoked myogenic potential) (Murofushi, 2016) の閾値が非常に大きいため (90 dB以上)、この指摘に否定的な見解も見受けられるが、同検査では短音が利用されており、低レベル・長時間の低周波音曝露に対する反応性は未だ不明である。

### 3. 音響心理実験による振動感の評価

著者は、まず、過去に行われた音響心理実験に関する検討を行った。

低周波音による振動感は、初期および近年行われた音響心理実験において (Morinaga et al., 2019; 石井 et al., 1981) 示されている。これらの実験では、被験者は様々な音刺激に対して最も卓越していた知覚を選択する様指示され、40-50Hz程度の音刺激では多くの被験者が「圧迫感がある」や「振動感がある」と回答した。なお、「圧迫感」と「振動感」は、この実験では、被験者は区別できていなかったと考えられる。

入手できた過去の実験結果を現代の統計モデルを利用して定量的に解析し、「圧迫感・振動

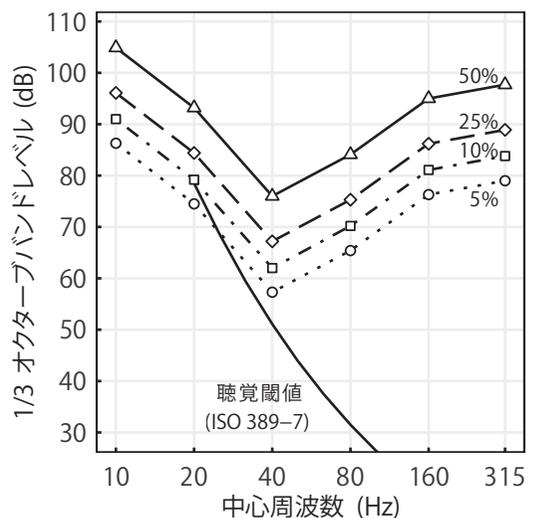


図2 「圧迫感・振動感」の等反応率曲線。反応のピークが40Hz付近に示されており、反応率によって曲線の形は変化しない。

感」の等反応率曲線を示した結果を図2に示す (Tagusari et al., 2021)。反応のピークが40-50 Hzにあることに加え、複数の等反応率曲線が平行であることに注目すべきである。このことは、「圧迫感・振動感」が蝸牛における知覚に

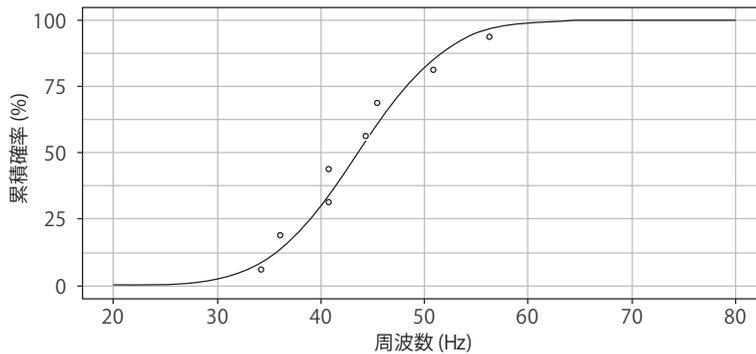


図3 最も振動感を強く感じた周波数を被験者調整法によって求めた結果。

由来していないことを示唆している。もし蝸牛における知覚に由来しているのならば、反応率に応じて異なる曲線形状となると予想される。

しかしながら、図2に示している反応は、比較的高レベルの曝露のもとで「最も強く感じる知覚」を選択する実験に由来している。健康影響の要因たる「振動感」の解明のためには、低レベルでの反応性が重要である。振動感がある最も小さいレベルを被験者に尋ねる既存研究 (Takahashi, 2013) では、図2に示されるような反応性のピークは示されず、振動感の閾値は聴覚閾値と同様、高周波数ほど低閾値となった。同様の結果は著者による実験でも再現された。

著者は、聴覚閾値に近い曝露レベルにおいて被験者調整法による振動感の同定が困難であるためにこのような結果が得られたのではないかと考えた。つまり、小さな音では「音が聞こえる」と「音に振動感がある」ことの判別を行うことは困難であり、被験者は、かろうじて聞こえるよりも少し大きなレベルを、実際には振動感を判別できないにも拘らず、「振動感がある最低のレベル」と回答しているのではないかと考えた。このことは、最も振動感がある周波数を被験者調整法によって回答させる実験を

行ったところ、被験者の回答が40–50 Hzに集中したことから示唆された (図3)。被験者調整法によって求められた振動感の閾値レベルは目的としていた特異的な反応の閾値を表していないと示唆され、これまでとは異なる、客観的な評価法の検討が求められる。

#### 4. 振動感の客観的評価、今後の展望

振動感が前庭器官や半規管における受容に由来するならば、これらの器官の反応性を測定することによって客観的に振動感を評価できるのではないかと考えられる。

神経生理学の分野で考案・利用されてきた検査法、すなわち、音響刺激を用いたVEMPの測定、振動刺激を用いたVEMPの測定や眼振の測定 (Dumas et al., 2017) 等が有用と考えられる。ただし、これらの平衡器官の検査法は、異常の検出を主目的としている。健常者において低レベル・長時間の低周波音に対する反応性を測定するためには測定方法・解析方法の修正・改良が必要であると考えられる。著者は今後、近年高精度で測定が可能となった眼球運動に注目し、眼振による振動感の検出を検討する予定である。

## 謝辞

本研究は、カワイサウンド技術・音楽振興財団およびJSPS科研費若手研究21K17265の支援を受けて実施した。心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- Dumas, G., Curthoys, I. S., Lion, A., Perrin, P., & Schmerber, S. (2017). The Skull Vibration-Induced Nystagmus Test of Vestibular Function – A Review. *Frontiers in Neurology*, 8, 41. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00041>
- Kageyama, Takayuki., Yano, Takashi., Kuwano, Sonoko., Sueoka, Shinichi., & Tachibana, Hideki. (2016). Exposure-response relationship of wind turbine noise with self-reported symptoms of sleep and health problems: A nationwide socioacoustic survey in Japan. *Noise and Health*, 18 (81), 53-61. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.178478>
- Morinaga, M., Yamamoto, I., Kobayashi, T., Makino, K., Ochiai, H., & Tachibana, H. (2019). *Frequency characteristics of oppressive and vibratory feeling to low-frequency sound*. 9-13.
- Murofushi, T. (2016). Clinical application of vestibular evoked myogenic potential (VEMP). *Auris, Nasus, Larynx*, 43 (4), 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2015.12.006>
- Pierpont, N. (2009). *Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment*. K SELECTED BOOKS.
- Punch, J. L., & James, R. R. (2016). Wind Turbine Noise and Human Health: A Four-Decade History of Evidence that Wind Turbines Pose Risks. In *Hearing Health & Technology Matters*. Hearing Health & Technology Matters.
- Tagusari, J., Sato, S., & Matsui, T. (2021). Frequency weighting to evaluate the feeling of pressure and/or vibration caused by low-frequency noise: Re-analysis of an existing study. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 14613484211042156. <https://doi.org/10.1177/14613484211042156>
- Takahashi, Y. (2013). Vibratory Sensation Induced by Low-Frequency Noise: The Threshold for “Vibration Perceived in the Head” in Normal-Hearing Subjects. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 32 (1-2), 1-9. <https://doi.org/10.1260/0263-0923.32.1-2.1>

石井聖光, 曾根敏夫, 岡井治, 時田保夫, & 中村俊一, (1981), *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* (昭和55年度文部省科学研究費「環境科学」特別研究 No. 503005).

経済産業省資源エネルギー庁, (2020), *再エネ海域利用法に基づく促進区域の指定を行いました*. <https://www.meti.go.jp/press/2020/07/20200721005/20200721005.html>