

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K19404

研究課題名(和文) 前庭器官・半規管における低周波音に対する生理学的反応特性の解明

研究課題名(英文) Investigation on physiological reactions of vestibular system and semi-circular canals to low-frequency noise

研究代表者

田鎖 順太 (Tagusari, Junta)

北海道大学・工学研究院・助教

研究者番号：40791497

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年、低周波音を原因と疑う睡眠障害・頭痛・めまい・吐き気等の症例が多数報告されている。低周波音が前庭器官・半規管によって受容されたことによって「圧迫感」・「振動感」が生じている可能性があり、頭痛・めまい・吐き気等の症例はこれらの器官への外部刺激に起因する平衡機能障害であると推察される。

本研究では、低周波音による特異的な健康影響を評価するための基礎的な知見として、低周波音による「振動感」に関する音響心理実験を行った。

「振動感」の知覚に共振の存在が示唆されること、「振動感」の閾値を被験者が判別することは困難であり実験デザインの見直しが求められること、等の知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低周波音は、不眠・頭痛・めまい・吐き気など、様々な健康影響の原因であると推察されるが、そのメカニズムに関する知見はきわめて乏しく、健康リスクの評価もきわめて困難である。「振動感」は低周波音によって生じる特異的な知覚反応であり、これを明らかにすることは低周波音による健康影響を明らかにし、そのリスクを低減することに繋がる。本研究結果は、「振動感」の評価において従来の実験的手法では不十分であることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：In recent years, many cases of sleep disturbance, headache, dizziness, and nausea suspected to be caused by low-frequency sounds have been reported. It is possible that the vestibular organs and semicircular canals receive low-frequency sounds, causing a sense of "pressure" and "vibration", and that the cases of headache, dizziness, and nausea are due to impaired balance caused by external stimulation of these organs.

In the present study, we conducted psychoacoustic experiments on the "vibration sensation" caused by low-frequency sounds as a basic knowledge to evaluate the specific health effects of low-frequency sounds.

The results suggest that the perception of "vibration sensation" is influenced by resonance, and that it is difficult for subjects to discriminate the threshold of "vibration sensation" and that the experimental design should be revised.

研究分野：騒音

キーワード：低周波音 音響心理 振動感 共振

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

環境騒音は、「うるさい」といった感覚的な影響だけではなく、環境性睡眠障害、高血圧、虚血性心疾患、脳卒中、等の疾患と関連付けられる環境リスク因子であり、曝露レベルの評価が求められる。この評価にあたっては、環境騒音はさまざまな周波数成分を含むため、「音の大きさ」に注目した周波数重み付けレベル（A特性音圧レベル）が広く用いられる。

しかし、近年、高架道路や風車周辺において、A特性音圧レベルが非常に低いにも拘らず、騒音を原因と疑う睡眠障害・頭痛・めまい・吐き気等の症例が新たに多数報告されている。これらの音は、周波数 100Hz 以下程度の成分が卓越しているという特徴が共通している。また、既存の研究では、低周波成分が卓越する音の曝露環境下では、A特性音圧レベルが小さくても、「気になる」、「眠れない」などの心理的な影響が生じることが示されており、高レベルの低周波音では、「圧迫感」・「振動感」等の特異的な知覚が生じることが報告されている。「圧迫感」・「振動感」は、頭痛・めまい・吐き気等の疾患と関連性が高いと考えられる。そのため、低周波音が様々な健康影響の要因となっている可能性について、十分な検討が求められる。

低周波音が「気になって眠れない」という反応に関しては、通常の音によっても生じ得る心理的な反応であると考えられ、様々な研究が行われている。一方、「圧迫感」・「振動感」に関する先行研究は少ない。これらの知覚反応は低周波音が前庭器官・半規管によって受容されたことによって生じている可能性があり、この仮説のもとで、頭痛・めまい・吐き気等の症例はこれらの器官への外部刺激に起因する平衡機能障害であると推察される。

したがって、低周波音による健康影響を解明するための基礎的な検討として、低周波音による知覚反応および前庭器官・半規管を介した受容メカニズムに関する科学的知見が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、低周波音による特異的な健康影響を評価するための基礎的な知見として、低周波音による「振動感」の量反応関係を明らかにすることを目的とした。

「振動感」は、低周波音で特異的に観察される知覚反応であるため、頭痛・めまい・吐き気等の特異的な健康影響と関連していると推察される。また、(音に起因しない)振動が前庭器官・半規管によって知覚されることを考慮すると、「振動感」の知覚にも前庭器官・半規管が寄与している可能性がある。そのため、低周波音による振動感を解明することによって、前庭器官・半規管における低周波音の受容およびこれに起因する平衡機能障害のリスク評価に利用可能と考えた。なお、「圧迫感」については、語句に心理的な印象を含むと考え、研究対象からは除外した。

3. 研究の方法

まず、低周波音による「振動感」が気導音と同じ経路で知覚されるとする仮説に基づき、音響心理実験を行った。被験者は、聴力正常かつ平衡機能障害の既往歴がない 25 名（男性 19 名、女性 6 名；年齢 21～25 歳）であった。被験者には、21 種類の純音（20Hz、22.4Hz、25Hz、28Hz、31.5Hz、33.5Hz、40Hz、45Hz、50Hz、56Hz、63Hz、71Hz、80Hz、90Hz、100Hz、112Hz、125Hz、140Hz、160Hz、180Hz、200Hz）を、ヘッドホン（SONY、MDR-MA900）を用いて曝露した。「振動感」の閾値は、被験者調整法によって求めた。この際、「耳の奥や頭の中で振動を感じる最小のレベル」に調整する様に教示を与えた。また、レベルを調整しても「振動感」が得られない場合には、「振動感なし」として記録した。

次に、低周波音による「振動感」の知覚において気導音以外の経路が寄与している可能性を検討するための実験を行った。被験者は、聴力正常かつ平衡機能障害の既往歴がない 21 名（男性 13 名、女性 8 名；年齢 19～33 歳）であった。被験者には、6 種類の純音（25Hz、31.5Hz、40Hz、50Hz、63Hz、80Hz）を、スピーカー（YAMAHA、NS-SW1000）を用いて曝露し、同様に被験者調整法によって「振動感」の閾値を得た。さらに、最も「振動感」がある周波数を被験者調整法によって得た。この際、「振動感」の閾値よりも高いレベルの純音（25～80Hz）を用い、「最も振動感がある音の高さ」に調整する様に教示を与えた。加えて、前庭器官の反応性を評価するために、この際の眼球の位置をビデオ式アイトラッカー（Pupil Lab, Pupil Core）によって観察した。また、ノイズキャンセリングヘッドホンを装着させ、同じく被験者調整法によって「振動感」の閾値を求めた。

最後に、被験者が「音の大きさ」と「振動感」を混同して回答している懸念があったため、上記の実験の被験者のうちの 7 名について、追加実験を行った。追加実験では、被験者に、「音にはいくつかの異なる知覚がある」と教示を与えた上で、被験者調整法によって、最も「振動感」がある周波数を求めた。

4. 研究成果

図1に、本研究で得られた「振動感」の閾値を、先行研究の結果とともに示す。

全身曝露を行った実験結果は先行研究とよく一致し、この実験条件における結果の再現性を示唆している。しかし、ヘッドホンによる曝露では閾値は大幅に高かった。低周波音による「振動感」においては、気導音以外の伝達経路が支配的であると推察され、骨導音や体の他の部位における共振が寄与している可能性がある。

これらの結果は、また、周波数が高くなるほど「振動感」の閾値が低くなることを示している。しかし、ヘッドホンによる曝露では、周波数が高くなるほど「振動感」が得られない被験者が多くなった。加えて、50Hz付近で「圧迫感」、「振動感」が優先的に知覚され、高い周波数では知覚されにくい、とする既存の知見との整合性に大きな課題が残る。

「振動感」の教示に関する追加実験では、この点に関する検討を行った。図2に、「音にはいくつか異なる知覚がある」と教示を与えた際の最も「振動感」を強く感じる周波数の測定結果（累積確率）を示す。個人差はあるが、「振動感」を最も強く感じるのは40Hz付近であることが示されており、優先知覚に関する先行研究の結果と一致した。しかし、この追加実験に参加した被験者の多くは、図1に示したように、周波数が高くなるほど「振動感」の閾値が低くなる傾向を示していた。このことは、「振動感」の閾値を被験者調整法によって求めることが困難であること、すなわち、比較的低い音圧レベルでは、「大きさ」が小さいことと「振動感」が小さいことの判別が困難であることを示唆している。環境音の様な比較的低レベルの低周波音による「振動感」を評価するためには、異なる実験デザインが求められる。近くの判別が困難であることを考慮すると、音響心理学的な手法よりも生理学的な手法の探索が求められる。

なお、本研究では、ノイズキャンセリングヘッドホンを用いた「振動感」閾値の測定を行ったが、この測定は知覚の判別に関する問題の解決に寄与しておらず、結果の解釈には実験デザインの見直しが求められる。

一方で、「振動感」を最も感じる周波数を被験者が調整可能であったことは、「振動感」が何らかの共振に由来していることを示唆している。既存の研究では、胸部における共振周波数が50Hzであること、きわめて高い音圧レベル（100dB程度）の曝露によって胸部表面が振動すること、等が示されている。本研究で用いた音圧レベルはこれよりもはるかに低いが、同様のメカニズムによって胸部などの部位で振動が生じ、それを知覚している可能性があると考えられる。

本研究では、加えて、ビデオ式アイトラッカーを用いた眼振の測定を行った。予備的な検討においては高曝露レベル時に曝露音の周波数と同期した眼球運動が認められたが、一連の実験においては曝露音との関連性は示されなかった。曝露周波数、曝露レベル、視線方向、等の実験条件について更なる検討が求められる。

以上より、本研究では、低周波音による「振動感」に関して音響心理実験を通じた検討を行い、「振動感」を強く感じる周波数が40Hz付近に存在し、共振の存在が示唆されること、「振動感」の閾値を被験者が判別することは困難であり実験デザインの見直しが求められること、等の知見を得た。

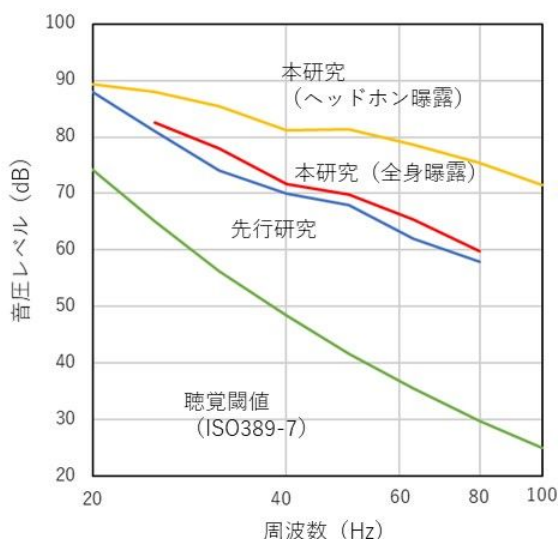


図1: 「振動感」の閾値に関する実験結果

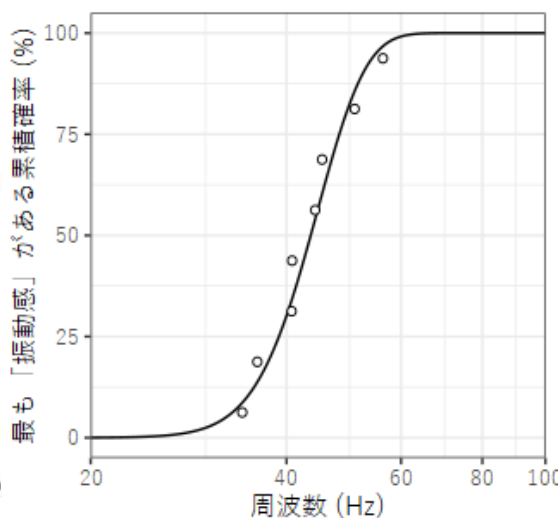


図2: 最も「振動感」がある周波数に関する実験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------