

機関番号：82629

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20530678

研究課題名(和文) 低周波音によって人体に生じる物理的振動と振動知覚特性の関係に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Basic study on the relationship between subjective perception of vibration and actual body vibrations induced by low-frequency noise

研究代表者

高橋 幸雄 (TAKAHASHI YUKIO)

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所・環境計測管理研究グループ・主任研究員

研究者番号：40312300

研究成果の概要(和文)：低周波音によって知覚される「頭部の振動感覚」を独自に定義し、16～80 Hz の純音に対するその閾値、等感度レベル(基準音は 80 dB(Z)、および 85 dB(Z) の 50 Hz 純音)を測定した。同時に、頭部の 3 箇所が生じる振動を測定した。本研究で測定された頭部の振動は小さく、低・中程度の音圧レベルの低周波音によって頭部に生じる振動による「頭部の振動感覚」知覚への寄与は、ほとんど無いと推測された。

研究成果の概要(英文)：We measured the threshold levels for experiencing “vibration perceived in the head,” which was originally defined in this study, and the equal-sensation levels for “vibration perceived in the head” at eight frequencies (16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, and 80 Hz). The reference tones used for measuring the equal-sensation levels were 50-Hz, 80-dB(Z) and 50-Hz, 85-dB(Z) tones. While measuring the threshold levels and the equal-sensation levels, actual head vibrations of the subject were also measured at three locations on the head. The levels of the actual head vibrations were found to be not high, suggesting that the actual head vibrations induced by low- or moderate-level low-frequency noise hardly contributed to the perception of vibration in the head.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：労働衛生工学(特に騒音・低周波音)

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：低周波音、振動、知覚、振動感覚

## 1. 研究開始当初の背景

産業用機器から発生するような音圧レベルの高い低周波音に曝露された場合、人体には物理的な振動が生じることが知られている (Smith, “Characterizing the effects of airborne vibration on human body vibration response,” *Aviat Space Environ Med*, 73,

36-45 (2002); Takahashi et al., “Some characteristics of human body surface vibration induced by low frequency noise,” *J Low Freq Noise Vib Active Control*, 21, 9-20 (2002))。この振動は小さいものであるが、それをヒトが知覚できることは、過去の知見からも明らかである。研

究代表者らの先行研究においては、音圧レベルの高い低周波音への曝露時に体表面に生じる振動の大きさ(振動加速度レベル)が、不快感(Takahashi et al., “A study on the relationship between subjective unpleasantness and body surface vibrations induced by low-frequency pure tones,” *Ind Health*, 43, 580-587 (2005))や振動感(Takahashi et al., “The relationship between vibratory sensation and body surface vibration induced by low-frequency noise,” *J Low Freq Noise Vib Active Control*, 21, 87-100 (2002))の主観的評価値と良好な相関関係にあるという結果が得られている。この結果は、この振動が知覚可能というだけでなく、不快感や振動感のような心理的影響にも寄与している可能性を示すものであり、この振動の大きさと、その知覚特性の関係を詳しく調べることが、低周波音による心理的影響を研究する上での重要なステップの一つになると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者らによる先行研究を進展させ、振動知覚の閾値に相当するような比較的低い音圧レベルから、より高い音圧レベルまでの低周波音を刺激音に用いることによって、「振動知覚の閾値と人体の物理的振動の大きさとの関係」、「振動知覚の等感度レベルと人体の物理的振動の大きさとの関係」を明らかにすることを目的とする。これらは振動知覚と人体振動の関係として基本的なものであり、将来の研究の発展へ向けての基礎的なデータになると期待できる。

## 3. 研究の方法

(1) 本研究での被験者実験は、研究代表者の所属する独立行政法人労働安全衛生総合研究所の超低周波音実験室で実施した。

(2) 本研究の対象とした振動感覚は、主として、低周波音によって知覚される「頭部の振動感覚」である。これは、研究代表者による先行研究(Takahashi, “Vibratory sensation induced by low-frequency noise: a pilot study on the threshold level,” *J Low Freq Noise Vib Active Control*, 28, 245-253 (2009))で、低周波音による振動感覚が頭部で最も鋭敏に知覚されるという結果が得られていたためである。本研究では、「頭部」を「首から上」とし、「頭部の振動感覚」を「被験者の主観的判断に基づく、頭部の全体、または一部での振動の知覚(主観的な感覚で、実際に物理的な振動が生じているか否かとは無関係)。聴覚や、他の部位での振動の知覚独立した感覚」と定義した。

(3) 「頭部の振動感覚」閾値は、被験者調

整法によって測定した。これは、テスト音の音圧レベルを被験者自身が調整して自身の閾値を探す方法である。音圧レベルの調整手順の影響が生じる可能性があったため、上昇順による測定(振動感覚を知覚できない音圧レベルから、徐々に音圧レベルを上げながら閾値を探す方法)と下降順による測定(振動感覚をはっきりと知覚できる音圧レベルから、徐々に音圧レベルを下げながら閾値を探す方法)を各2回、計4回の測定を行い、その平均値を閾値とした。テスト音には、8種類の純音(16、20、25、31.5、40、50、63、80 Hz)を用いた。

(4) 「頭部の振動感覚」の等感度レベル測定では、80 dB(Z)、および85 dB(Z)の50 Hz純音を基準音とし、それによって知覚される「頭部の振動感覚」を基準感覚とした。まず、被験者に基準音を10秒間聞かせ、その間に知覚される「頭部の振動感覚」を基準感覚として記憶させた。続いて、上記(3)と同じテスト音を再生し、それによって知覚される「頭部の振動感覚」の主観的な大きさが、基準感覚の主観的な大きさと同じになるようにテスト音の音圧レベルを調整させた。この場合の音圧レベルの調整手順は、上昇順と下降順のどちらでもよいとし、2回の測定の平均値を等感度レベルとした。

(5) テスト音によって頭部に生じる物理的振動の測定には、小型・軽量の加速度センサを使用した。このセンサを頭部表面の3箇所(額、左右耳の後部(乳突部))に貼り付け、体表面に対して垂直方向の振動(測定された振動のうち、テスト音と同じ周波数成分を振動加速度レベル(VAL)に変換)を測定した。「頭部の振動感覚」の閾値測定時には4回の測定の平均値、「頭部の振動感覚」の等感度レベル測定時には2回の測定の平均値を測定値とした。

(6) 本研究では、補足的に「胸部の振動感覚」の閾値についても測定した。「胸部」は首から下、鳩尾から上の胴体部分とし、「胸部の振動感覚」は「頭部の振動感覚」と同様に定義した。

(7) 「胸部の振動感覚」閾値は、上記(3)と同様の方法で測定した(4回の測定の平均値)。この場合のテスト音も上記(3)と同じである。

(8) テスト音によって胸部に生じる物理的振動の測定にも、上記(3)と同様の方法を用いた。胸部表面の2箇所(左右の乳首から上に5 cm)で測定し、4回の測定の平均値を測定値とした。

## 4. 研究成果

(1) 「頭部の振動感覚」閾値の測定結果を図1に示す(未発表データ)。これは、14人の被験者(男性が7人、女性が7人)から得

られたもので、「頭部の振動感覚」閾値（黒丸）と、比較用に同じ方法で測定した聴覚閾値（黒三角）について、ともに平均値とSDを示している。

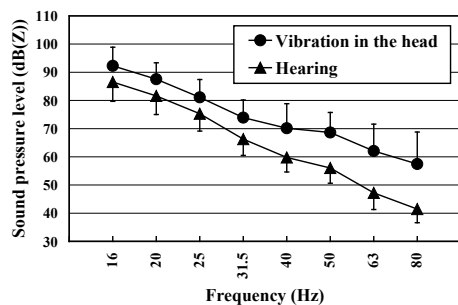


図 1

全テスト周波数において、「頭部の振動感覚」閾値は聴覚閾値よりも高く、その差は 6~16 dB(Z) 程度であった。また、周波数が高くなるとともに、両者の差が大きくなる傾向が見られた。知覚部位を頭部に限定して低周波音による振動感覚の閾値を測定した例は、研究代表者によるもの以外には見られず、非常に興味深いデータと考えられる。

「頭部の振動感覚」閾値には、40~50 Hz 付近にギャップがあるかのような特徴的な周波数特性が見られた。これは、聴覚閾値には見られなかった。近年、Pedersen ら (Pedersen and Marquardt, "Individual differences in low-frequency noise perception," Proc Inter-Noise 2009, Paper number in09\_693 (2009)) によって測定された FMETF (Forward Middle-Ear Transfer Function) にも似た特徴が見られることから、「頭部の振動感覚」の知覚に聴覚機能が何らかの寄与をしている可能性が考えられる。

「頭部の振動感覚」閾値と聴覚閾値の相関を図 2 に示す。ここには、全データ (14 人の被験者 × 8 周波数) をプロットしている。

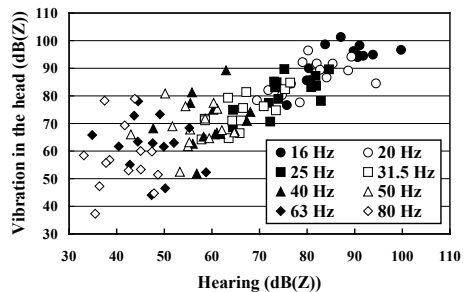


図 2

図から明らかなように、全体的に「頭部の振動感覚」閾値は、聴覚閾値と良好な相関関係

にあった。また、周波数が高くなるにつれて、相関関係のバラつきが大きくなる傾向が見られた。この良好な相関関係は、「頭部の振動感覚」の知覚に聴覚機能からの寄与があるのではないかという推測と矛盾しない。また、周波数が高くなるにつれて通常の「音」としての知覚が容易になるが、それが「頭部の振動感覚」の知覚を妨害しているという可能性も考えられる。「頭部の振動感覚」の知覚と聴覚との関連については、今後の検討課題と考えられる。

(2) 「頭部の振動感覚」の等感度レベルの測定結果を図 3 に示す ([学会発表] の⑥)。これは、6 人の被験者 (男性が 2 人、女性が 4 人) で得られたもので、2 つの基準音 (80 dB(Z)、および 85 dB(Z) の 50 Hz 純音) に対する結果を一緒に示している (平均値と SD)。

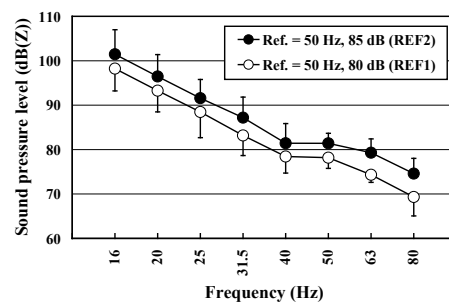


図 3

2 つの等感度レベルの差は、5 dB(Z) よりもやや小さかったが、全テスト周波数でほぼ一定であった。これは、事前に予想された結果である。低周波音による「頭部の振動感覚」の等感度レベルについては他に測定例が無く、この結果は、低周波音の知覚特性を研究する上で貴重なデータになると考えられる。また、「頭部の振動感覚」閾値の測定結果 (図 1) と同じく、40~50 Hz 付近にギャップ状の特徴的な周波数特性が見られた。閾値とは独立に測定された等感度レベルにも見られたことから、これが低周波音による「頭部の振動感覚」の特徴である可能性は高いと考えられる。

(3) 「頭部の振動感覚」の閾値レベルで頭部に生じる振動の測定結果を図 4 に示す ([学会発表] の②)。これは、10 人の被験者 (男性が 3 人、女性が 7 人) の額で測定されたものである。ここでも、平均値と SD を示している。50 Hz でのデータが省略されているが、これは、測定の際に同周波数の電気的ノイズが混入してしまった恐れがあったために省略したものである。

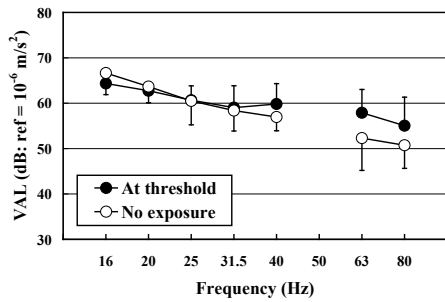


図 4

図中の白丸がテスト音の無い状態での振動、黒丸が「頭部の振動感覚」閾値レベルのテスト音によって生じた振動を示している。31.5 Hz 以下では、両者にはほとんど差が無かった。一方、63 Hz 以上では、「頭部の振動感覚」閾値レベルでの振動がやや大きかったものの、過去に Miwa ら (Miwa and Yonekawa, "Evaluation methods for vibration effect. Part 9. Response to sinusoidal vibration at lying posture," Ind Health, 7, 116-129 (1969)) によって測定された頭部での振動感覚閾値 (通常の振動曝露による閾値) よりも小さいものであった。左右耳の後部 (乳突部) で測定された振動についても、同様の結果が得られた。これらのことから、「頭部の振動感覚」閾値レベルの低周波音によって頭部に生じる物理的振動が、「頭部の振動感覚」の知覚に寄与している可能性は低いと推測された。

(4) 「頭部の振動感覚」の等感度レベルで頭部に生じる振動の測定結果を図 5 に示す ([学会発表] の③)。これは、8 人の被験者 (男性が 3 人、女性が 5 人) の額で測定されたものである。ここでも、平均値と SD を示している。

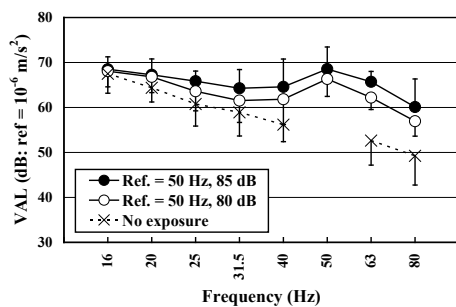


図 5

図 4 と比較すると、テスト音の音圧レベルが大きくなったことに伴い、頭部に生じる振動も大きくなっている。特に 40 Hz 以上では、テスト音の無い状態の振動 (図中の×) よりも明らかに大きくなっていた。ただし、こ

で測定された振動も、Miwa らによって測定された頭部での振動感覚閾値 (通常の振動曝露による閾値) と同程度、あるいはやや大きい程度であり、「頭部の振動感覚」の知覚への寄与は、あったとしても小さいと考えられた。

(5) 「胸部の振動感覚」閾値については、12 人の被験者 (男性が 8 人、女性が 4 人) について測定した (未発表データ。ここには図示しない)。

周波数の低い領域では、「頭部の振動感覚」閾値 (図 1) とほとんど差が無かった。しかし、周波数が高くなるにつれて「頭部の振動感覚」閾値よりも高くなり、80 Hz ではおよそ 10 dB(Z) 高かった。この結果は、研究代表者の先行研究 (前述) における、頭部で最も鋭敏に振動感覚が知覚されるという結果と矛盾しないものである。

(6) 「胸部の振動感覚」の閾値レベルで胸部に生じる振動の測定は、5 人の男性被験者で実施した (未発表データ。ここには図示しない)。

左右胸での結果とも、31.5 Hz 以下では、テスト音が無い状態での振動と比較してほとんど差が見られなかったが、40 Hz 以上ではやや大きくなった。「胸部の振動感覚」の知覚への寄与については、検討途中である。

(7) 本研究で測定したような、低周波音による「頭部の振動感覚」や「胸部の振動感覚」の測定例は、研究代表者によるもの以外には見られない。本研究の結果は、低周波音の知覚特性を調べる上で非常に有用なデータになると考えられる。

研究代表者による先行研究 (前述) では、音圧レベルの高い低周波音によって人体の生じる振動が、振動感覚と良好な相関関係にあることが示され、この振動が主観的な振動感覚の知覚に寄与している可能性が示唆された。しかしながら、本研究では、「頭部の振動感覚」の閾値や等感度レベル (基準音は、80 dB(Z)、および 85 dB(Z) の 50 Hz 純音) といった低・中程度の音圧レベルの低周波音によって頭部に生じる振動については、「頭部の振動感覚」の知覚にほとんど寄与していないことが推測された。人体に生じる振動が、主観的な振動感覚の知覚に寄与するためには、単に振動が生じるだけではなく、その振動の大きさが一定以上になることが必要なのかもしれない。また、(胸部での関係は検討途中であるが) この寄与の特性は部位によって異なる可能性もある。これらの点は、今後の検討課題の一つである。

本研究で測定した「頭部の振動感覚」については、その知覚に対して聴覚機能が寄与している可能性が示唆された。この点は、低・中程度の音圧レベルの低周波音による振動感覚の知覚メカニズムを検討する上で非常に重要と考えられる。今後の優先的な検討課

題としたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計7件)

①高橋幸雄, 低周波音による「頭部の振動感覚」の等感度レベルに対する頭部の振動の寄与に関する考察, 日本音響学会 2010 年秋季研究発表会 (2010年09月14-16日, 吹田)

② Yukio Takahashi, A study on the contribution of head vibrations to the threshold levels for “vibration perceived in the head” of subjects exposed to low-frequency noise, 39th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2010) (2010年06月13-16日, リスボン(ポルトガル))

③Yukio Takahashi, On the contribution of actual head vibrations to equal-sensation levels for “vibration perceived in the head” of subjects exposed to low-frequency noise, 14th International Conference on Low Frequency Noise and Vibration and its Control (Low Frequency 2008) (2010年06月09-11日, オールボー(デンマーク))

④高橋幸雄, 低周波音によって知覚される「頭部の振動感覚」に対する頭部の振動の寄与について - 「頭部の振動感覚」閾値レベルでの考察 -, 日本音響学会 2010 年春季研究発表会 (2010年03月08-10日, 調布)

⑤高橋幸雄, 低周波音による「頭部の振動感覚」の等感度レベル測定の試み, 日本騒音制御工学会平成 21(2009)年秋季研究発表会 (2009年09月10-11日, さいたま)

⑥ Yukio Takahashi, Measurement of equal-sensation levels for “vibration perceived in the head” of persons exposed to low-frequency noise, 38th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise 2009) (2009年08月23-26日, オタワ(カナダ))

⑦高橋幸雄, 低周波音評価時に振動感覚を考慮すべき周波数・音圧レベルについて - 「頭部の振動感覚」閾値の測定結果から -, 第 82 回日本産業衛生学会 (2009年05月20-22日, 福岡)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 幸雄 (TAKAHASHI YUKIO)

独立行政法人 労働安全衛生総合研究所・

環境計測管理研究グループ・主任研究員

研究者番号: 40312300

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: