

## 低周波音が人の心理と生理に及ぼす影響の評価

### The Evaluation of The Effect of The Low Frequency Sounds On The Human Psychology and The Human Physiology

○ 大森 由喜江\*、 松田 光央\*、 坂野 進\*

Yukie Omori\*, Mitsuo Matuda\*, Susumu Sakano\*

\*日本大学工学部

\*College of Engineering, Nihon University

キーワード : 低周波音 (low frequency sounds) , 心理的・生理的評価  
(psychological and physiological evaluation) , マハラノビス  
の距離(Mahalanobis distance)

連絡先 : 〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原 1  
日本大学工学部 機械工学科 メカトロニクス研究室

大森由喜江 : Tel : 024-956-8774. Fax: : 024-956-8774  
E-mail : sakano@mech.ce.nihon-u.ac.jp

# 低周波音が人の心理と生理に及ぼす影響の評価\*

大森由喜江<sup>\*1</sup>, 松田 光央<sup>\*1</sup>, 坂野 進<sup>\*2</sup>

## The Evaluation of The Effect of The Low Frequency Sounds On The Human Psychology and The Human Physiology

Yukie OMORI, Mitsuo Matuda, Susumu SAKANNO

*The low frequency sounds and the very low frequency sounds generally have low sound pressure level and we don't detect the sounds. However, the low sounds from the part of the machines and equipments and the vibrations from the large structures may become larger and we detect these sounds. The low frequency sounds make the buildings vibrate, and the oppressive feeling and the discomfort condition have been given to us. In this study, the psychological and physiological effects of the low frequency sounds on the human are tested and are evaluated. Concretely, the following are examined: Change of the body condition in doing long time exposure of the low frequency sounds to the human and the change of the psychology according to the questionnaire.*

**Key Words:** Low frequency sounds, Psychological and physiological evaluation, Mahalanobis-Taguchi System, Mahalanobis distance.

### 1. 緒 論

近年、我々の住環境の変化、すなわち、建物の集合化、高層化、気密化、などにより人に心理的あるいは生理的な影響を及ぼす低周波領域の音が住まいの中に侵入して来ている。1960年代から高度経済成長時代にかけて産業施設や交通機関から発生する公害問題の一つとして低周波音公害が発生した。これらの問題は、発生源から離れた場所において窓ガラスや建具のがたつき振動として物理的な被害の訴えや、頭痛、目眩、吐き気、いらいら、などの生理的あるいは心理的苦情源となっている。これまでに、低周波音の発生源の追及が行われ、いろいろな低周波音の発生が指摘されている<sup>(1)(2)</sup>。低周波音は一般的には聞こえることが少なく、高い音圧の低周波音に日々暴露されているが生活していることが多い。低周波音については、可聴の研究、人体に及ぼす反応の研究<sup>(3)(4)</sup>、などが行われている。低周波の振動が人体に及ぼす研究も行われている<sup>(5)</sup>。しかし、これらの研究で行われている実験では、低周波音あるいは低周波振動を極く短時間暴露したものである。また、低周波音の影響についての評価に関しては確定した評価法はない。

本研究においては、人が長時間におよび低周波音に暴露された場合における影響の評価を行う。評価の分類としては、人に感覚的に被害を与える心理的な影響の評価と人体の反応に影響を与える生理的影響の両面から評価を行う。心理的な評価の方法としては、アンケート結果を基に MTS 法（マハラノビス・タグチ・システム）を用いてマハラノビスの距離により評価を行う。生理的影響の評価として、血圧、心拍、体温の変化を測定し、評価を行う。

### 2. 実験の方法

#### 2.1 実験システム

被験者は図1に示すように、低周波発信機、音源、アンプ、スピーカーからなる低周波音発生システムの前に位置し、被験者に一定音圧80dBの低周波音を全身暴露した。

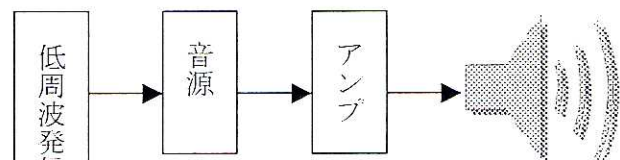


Fig. 1 Experimental system

\*原稿受付 2002年〇月〇〇日。

\*1 大学院生、日本大学大学院工学研究科（〒963-8642 郡山市田村町徳定宇中河原1）。

\*2 教授、日本大学工学部。

## 2. 2 測定項目

### (1) 心理的影響の評価

低周波音を全身に暴露した場合における被験者の訴えをアンケートの形で収集した。5、10、20、40 Hz の低周波音と比較のために60、125、250、500 Hz を中心とする 1/3 オクターブバンドノイズを80 dB の音圧で被験者に全身暴露した。アンケートの評価として、① 感じない、② 少し感じる、③ 感じる、④ やや感じる、⑤ 非常に感じる、の5段階評価とした。また、評価項目は表1に示すように、圧迫感、振動感、音のうるささ、総合、に分類される22項目を用いた。

Table. 1 Evaluation items using experiment

圧迫感	1. 圧迫感、 2. 鼓膜の圧迫感 3. 頭部の圧迫感 4. 重苦しさ 5. 息苦しさ 6. 胸部圧迫感 7. 動悸
振動感	8. 振動感 9. 鼓膜の振動感 10. 頭部振動感 11. 振動の不快感 12. 胸部振動感 13. 腹部振動感 14. 腰部振動感 15. 体の揺れ 16. 下肢振動感
音	17. 音のおおきさ 18. 音のうるささ 19. 音の不快感 20. 音のにごり
総合	21. 総合強度 22. 不快感

アンケート結果から各周波数における評価を行う方法として MIS (マハラノビス・タグチ・システム) 法を用いた。MIS 法は多項目の評価をマハラノビスの距離という一つの評価尺度で評価する方法である。詳細については後に述べる。

### (2) 生理的影響の評価

生理的影響の評価項目として、血圧、心拍、体温

の変化の測定を行った。5、10、20、40 Hz の低周波音を被験者に 30 分間暴露し、実験の前後および暴露中5分間おきに測定を行った。

なお、被験者は20人の20代男女である。

## 3. MTS 法<sup>(6)</sup>

### 3. 1 データの基準化と相関行列

MTS 法 (Mahalanobis—Taguchi System) は多次元情報処理手法の一つで、多次元空間における項目をマハラノビスの距離として評価を行う方法である。基準となる多変量データ群から「原点と変位量」とからなるマハラノビス基準空間を定義し、「変位量」を「ものさし」として用いる方法である。医学分野を初めとしていろいろの分野で識別、予測、検査、などに適用した例が報告されている。

次式でデータを基準化する。

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - m_i}{\sigma_i} \quad (1)$$

ここに、 $X_i$  は計測特性で、平均値  $m_i$  と標準偏差  $\sigma_i$  とによりデータを基準化する。次に、相関行列を求める。相関行列 R は次式で与えられる。

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここに、行列 R の要素  $r_{ij}$  は項目 i と項目 j の相関係数である。

$$r_{ij} = \frac{1}{n} (x_{i1}x_{j1} + x_{i2}x_{j2} + \cdots + x_{in}x_{jn}) \quad (3)$$

相関行列 R の逆行列 A を求める。

$$A = R^{-1} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 3. 2 マハラノビスの距離

計測値 $X_1, X_2, \dots, X_k$ に対してマハラノビスの距離 $D^2(x)$ は次式で求められる。

$$D^2 = \frac{1}{k} \sum a_{ij} \times \frac{(X_i - m_i)}{\sigma_i} \times \frac{(X_j - m_j)}{\sigma_j} \quad (5)$$

本研究においては、 $k=22$ 項目である。評価項目に対するアンケートにおいて、⑤が多ければ上記のマハラノビスの距離は大きくなり、①が多ければ小さな値となる。

## 4. 実験結果および考察

### 4. 1 心理的影響

図2に各周波数におけるアンケート結果を基にしたマハラノビスの距離を男女別に表したものを示す。40Hz～60Hzにピーク値が見られる。また、男子に比べて女子の方が音に対して敏感であることを示している。

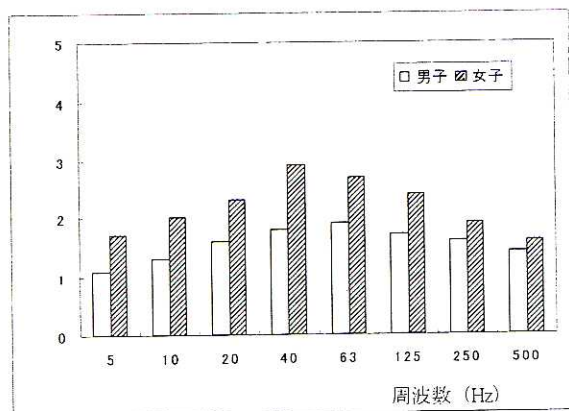


Fig. 2 Mahalanobis distance in each frequencies

次に、5Hz、40Hz、125Hzおよび500Hzの個々の周波数における評価結果を図3～図10に示す。5Hzにおいて体感としての圧迫感および振動感のみで低周波音に対する特徴が出ている。40Hzにおいては、体感も大きくなっているが、音に対する不快感も大きくなり低周波音と可聴音の両方に対する評価となっている。125Hzになると体感に対する評価が下がり、可聴音に対する評価が大きくなっている。500Hzになると圧迫感や振動感ほとんどなくなり、音に対する評価が大きくなっている。可聴音に対する特徴が表れている。

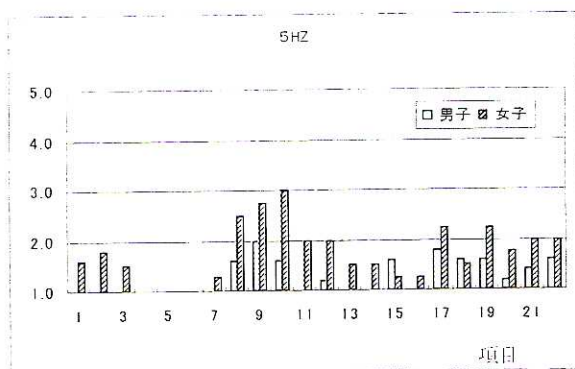


Fig. 3 Mahalanobis distance (5Hz)

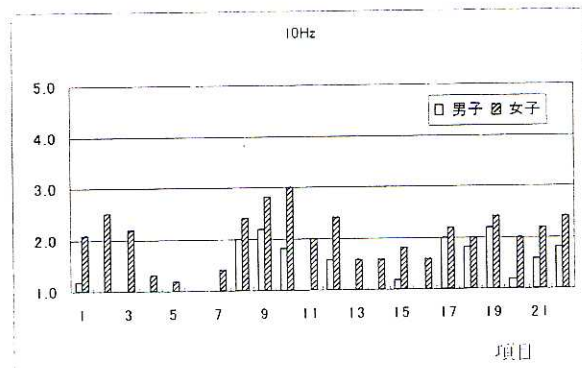


Fig. 4 Mahalanobis distance (10Hz)

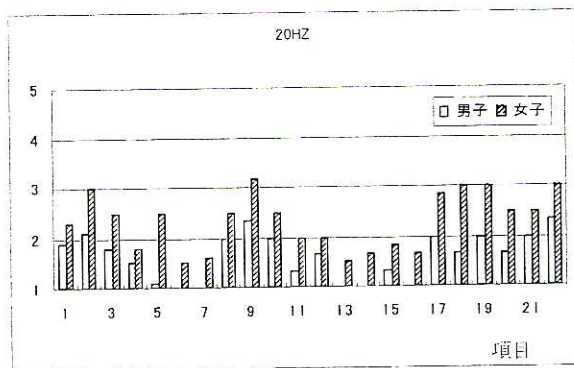


Fig. 5 Mahalanobis distance (20Hz)

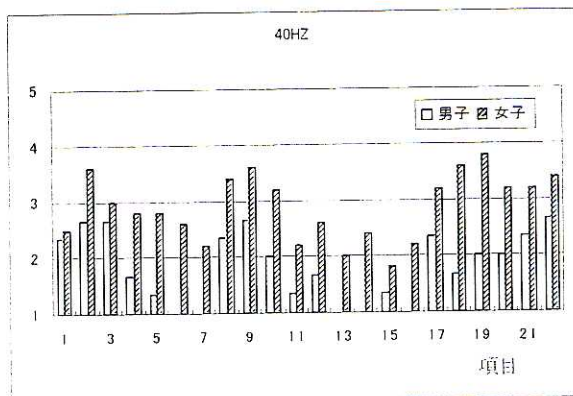


Fig. 6 Mahalanobis distance (40Hz)

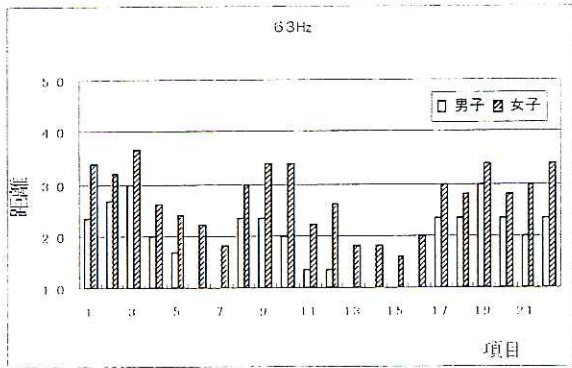


Fig. 7 Mahalanobis distance (63Hz)

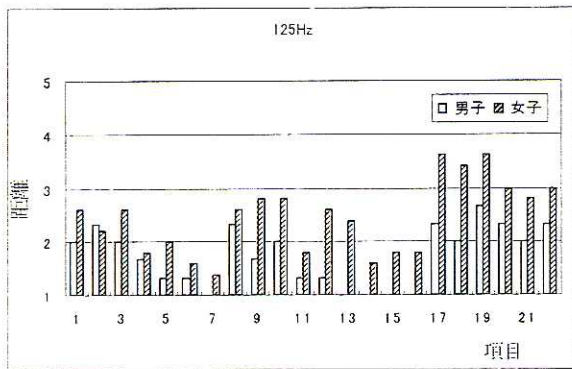


Fig. 8 Mahalanobis distance (125Hz)

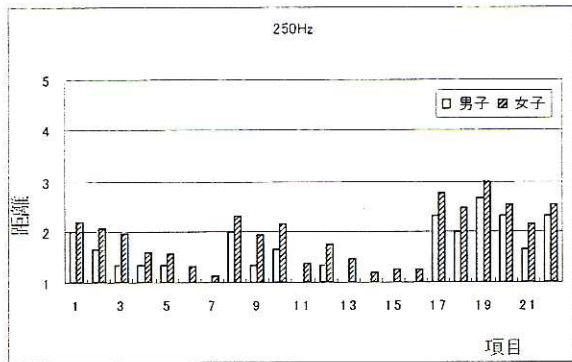


Fig. 9 Mahalanobis distance (250Hz)

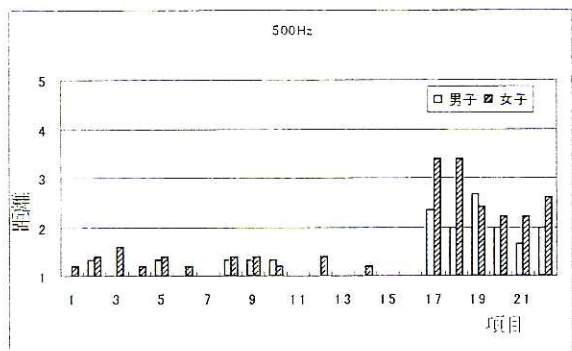


Fig. 10 Mahalanobis distance (500Hz)

## 4. 2 生理的影響

### (1) 血圧

血圧の測定には市販の血圧計を用いた。0分から5分おきに30分まで、さらに、暴露後の安静時と8回測定している。最高血圧および最低血圧の変化を図11～図13に示す。最高血圧が低周波音の暴露により低下している。最も心理的影響のあった40Hzで大きな低下となっている。急激なストレスを受けてショック状態(ショック相)に陥った場合に類似している。さらに時間が経過するとショックから立ち直ろうとする防衛反応が働き(反ショック相)、血圧は元の状態に戻ろうとしている。

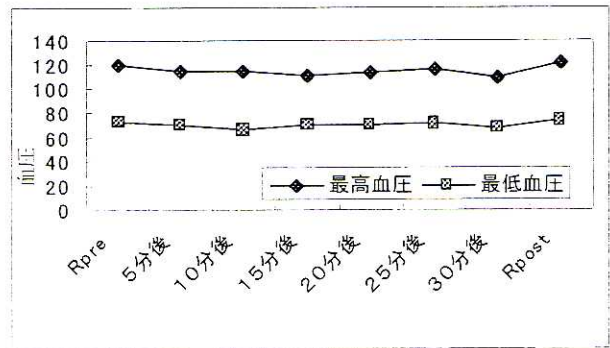


Fig. 11 Change of blood pressure in each times (5Hz)

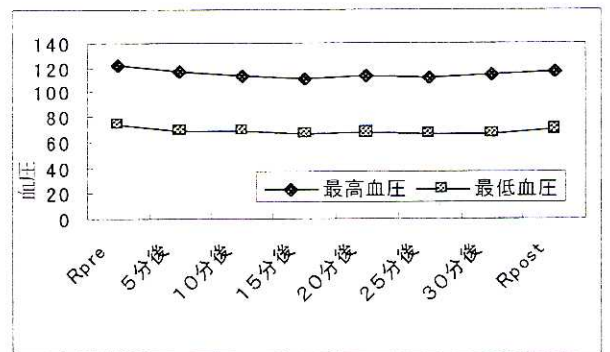


Fig. 12 Change of blood pressure in each times (10Hz)

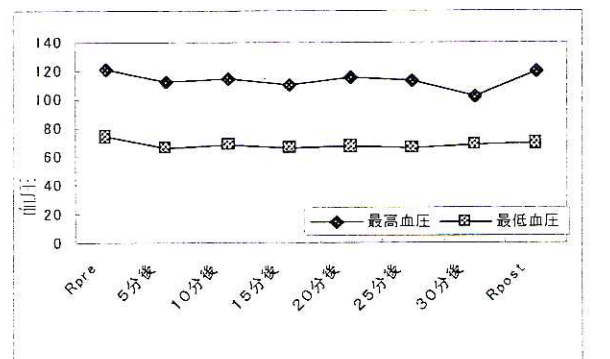


Fig. 13 Change of blood pressure in each times (20Hz)

(2) 心拍

図14～図16に心拍数の変化を示す。血圧ほど変化は大きくないが若干心拍数が低下している。その理由は血圧の変化の場合と同じである。

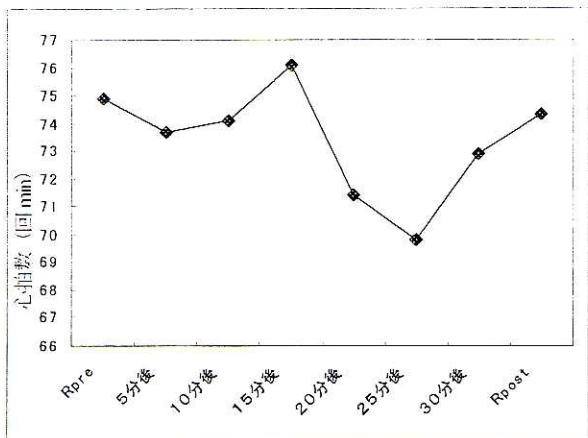


Fig. 14 Change of pulse numbers (5Hz)

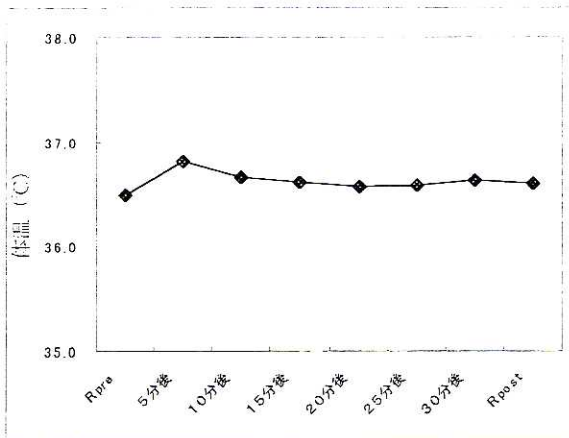


Fig. 17 Change of body temperature (5Hz)

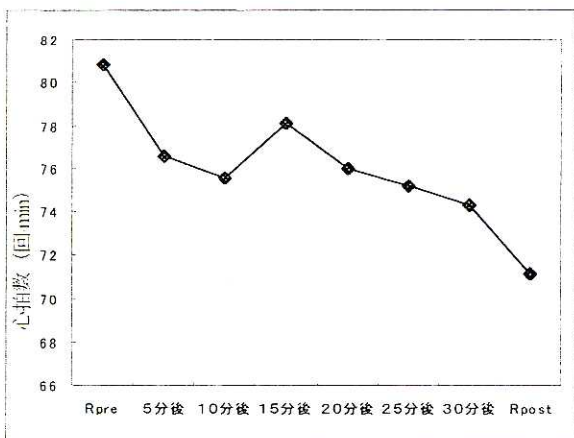


Fig. 15 Change of pulse numbers (10Hz)

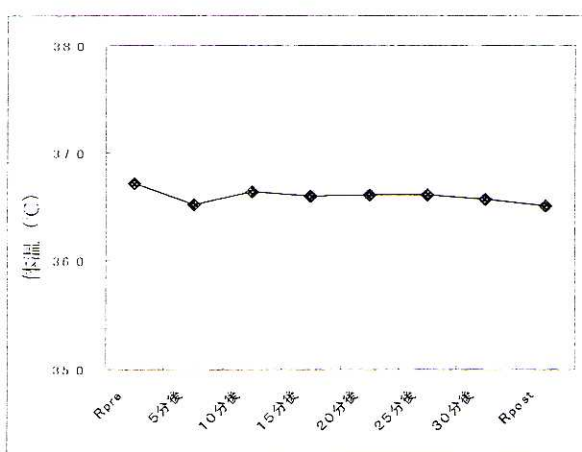


Fig. 18 Change of body temperature (20Hz)

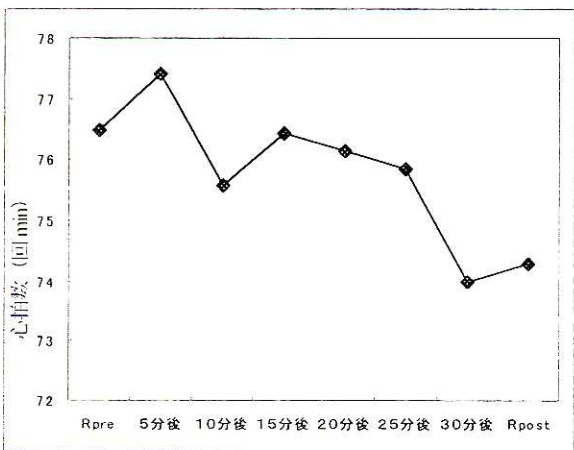


Fig. 16 Change of pulse numbers (20Hz)

(3) 体温

体温の変化を図17および図18に示す。低周波音の暴露で体温はほとんど変化していない。

低周波音の暴露による心理的及び生理的影響(変化)をまとめたものを表2に示す。

Table. 2 Integration of Psychology and physiology effect  
単位: %

	5Hz	10Hz	20Hz	40Hz
最高血圧	-8.5	-10.3	-16.0	——
最低血圧	-8.2	-11.4	-11.2	——
心拍数	-6.8	-8.2	-3.3	——
体温	+0.8	+0.8	+0.5	——

上記の値は測定データの中の最大の変化量を示す。

4.3 考察

実験結果から推論すると、5～10Hzの低周波音域では鼓動や頭部の圧迫感、振動感の因子の影響のみ

である。このあたりの周波数では音感覚に関する因子の影響はほとんどないものと考えられる。20 Hz～60 Hz では音感覚の因子の影響が入ってくる。そのためにマハラノビスの距離が大きくなり、全体としての影響が大きくなっている。125 Hz 以上では音感覚の因子の影響が大きくなっている。周波数が高くなるにしたがって圧迫感および振動感の評価値は低下して行く。500 Hz では圧迫感、振動感もほとんどなくなり、聞こえる音感覚の評価のみとなっている。低周波音を身体に暴露された場合に圧迫感と振動感で不快と感じている。特に、鼓膜、頭部、胸部への圧迫感、振動感が不快の原因となっている。また、男子よりも女子の方が低周波音に敏感に反応している。

人はいろいろの環境因子に適応しながら生きている。環境因子の変化が刺激となって人体に作用すると、交感神経の働きが活発となり、その刺激に対応している。しかし、刺激に対応できない状況もあり、心身に不調をきたしている。今回の実験では30分間の暴露で、最初は刺激によりショック状態となり血圧および心拍数は低下するが、暴露後に徐々に防衛本能が働き出し、元に戻ろうとしている。低周波音・振動公害のように刺激が長期的に作用し、ショック状態が持続すると人に病的な影響をもたらすものと推論される。

## 5. 結 言

低周波音を人体に暴露した場合における心理的影響ならびに生理的影響について評価を行った。人体に5～60 Hz の低周波音と比較のための125～500 Hz の音を与え、30分間の反応を調べた。心理的影響の評価として、圧迫感、振動感および聴感に関する22項目の評価項目を用いてアンケートを取り、MTS法により評価を行った。生理的影響については音の暴露中の血圧、心拍数および体温の変化の測定を行った。本研究における結果は以下のとおりである。

(1) 5～10 Hz の低周波音領域では圧迫感、振動感の評価因子が優位となり、聴感に関する評価因子はほとんどなく、低周波音特有の様相を示した。

(2) 20～60 Hz で圧迫感、振動感および聴感の3評価因子が現れ、マハラノビスの距離が大きくなり、人に不快感を強く与えている。

(3) 125 Hz 以上では、圧迫感、振動感の評価因子が徐々に減少し、周波数が高くなるにしたがって聴感の因子のみとなっている。

(4) 低周波音の暴露により、血圧および心拍数は低下する。暴露による一種のショック状態の発生により

このようなことが生じている。その後、人体の防衛本能により元の状態に戻ろうとする傾向が見られる。体温についてはほとんど変化がなかった。

(5) MTS法を用いることによる評価方法を提案した。低周波音が人に与える心理的影響の評価に適した手法であることを示した。

## 参 考 文 献

- (1) 汐見文隆、低周波音による住民被害に実情を迫って、公害と対策、14、(1968)、pp. 159-166.
- (2) 吉田義之、自動車の振動による人体への影響について、日本生理学雑誌、29-11、(1967)、pp. 611-630.
- (3) 岡井 治、他5名、低周波音による人体反応の評価、人間工学、15-5、(1979)、pp. 271-278.
- (4) 岡井 治、低周波音による生理学的影響、公害と対策、14、(1968)、pp. 15-19.
- (5) 吉田義之、町田信夫、三木良太、低周波全身鉛直振動の人体に及ぼす生理学的・心理学的作用、人間工学、21-3、(1985)、pp. 117-123.
- (6) 山口玄一、品質工学の教理、(1999)、日本規格協会。
- (7) 本田 薫、ランダム発生源の暴露による負担に関する実験的検討、人間工学、34-4、(1998)、pp. 203-206.
- (8) 本田 薫、音のテンポが心拍変動と快適感に与える影響、日本生理人類学会誌、2-1、(1997)、pp. 33-38.
- (9) 宮川雅充、青野正二、日本音響学会誌、58-3、(2002)、pp. 151-164.
- (10) 矢野 隆、他10名、騒音の社会反応の測定方法に関する国際共同研究、日本音響学会誌、58-3、(2002)、pp. 165-171.
- (11) 岡井 治、他6名、極低周波音の人体への影響、人間工学論文集、(1978)、pp. 55-56.
- (12) Mohr, G.C., et al. Effect of low noise frequency and infrasonic noise on man. *Aerospace Med.*, 36, (1965), pp. 817-824.
- (13) Rimoldi, O., et al. Analysis of short-term oscillations of RR and arterial pressure in conscious dogs. *American Journal of Physiology*, 258-1, (1990), pp. H967-H976.
- (14) 吉田義之、小磯 章、伊藤秀 一郎、振動感覚の一計測法、人間工学、9-1、(1973)、pp. 21-26.
- (15) 坂野 進、品質工学応用講座、半導体製造の技術開発、(1994)、日本規格協会