

# ハイレゾ音源に含まれる高周波音の音圧レベルがヒトに与える影響

寺尾 健太郎<sup>†</sup> 川勝 真喜<sup>‡</sup>

東京電機大学 システムデザイン工学研究科<sup>†</sup> 東京電機大学 情報環境学研究科<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

ヒトの聴覚が知覚できる上限周波数は、個人差はあるものの、約20kHzまでと広く知られている。一次聴覚野といった聴覚情報処理に関わる脳内部位では、高周波音の有無に関連した神経活動の変化は認められていない<sup>[1]</sup>。しかし、可聴域を超える周波数成分を豊富に含んだ自然音や楽曲を聞くことで、脳幹および視床の血流量増加やNK細胞の活性化、認知症高齢者の行動・心理状態を緩和するといった報告がある<sup>[2]-[4]</sup>。このようなヒトにポジティブな影響を与える現象はハイパーソニック・エフェクト(Hypersonic Effect:以下, HSE)と呼ばれている。

山崎らの報告<sup>[5]</sup>では、耳元に到達する高周波音の SPL(Sound Pressure Level)を、可聴音の約70~84%で呈示することで HSE の効果が増加する。また仁科は、高周波音が聴覚系のみならず体表面に到達する状態で呈示することが必須であると報告<sup>[1]</sup>した。しかし、他研究者の研究において、耳元の周波数特性や SPL を示すことはあっても、胸元や足元といった体表面部位での周波数特性や SPL を示す例は見られない。

そこで本研究では、耳元の SPL を固定し、耳元以外の測定点で高周波音の SPL を変化させることで、疑似的に複数の環境を構築し、HSEの発現にどのような影響を与えるのか検証する。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験環境

室内に椅子を設け、その正面にスピーカ(JBL 4312E)とツイータ(Pioneer PT-R4)を配置した。音源には高周波音を豊富に含んだガムラン音源を用いており、可聴音のみの音源である HCS(High Cut Sound)と、高周波音を含む音源 FRS(Full Range Sound)を用意した。可聴音はパワーアンプ(Denon PMA-390AE)を通してスピーカから、高周波はパワーアンプ(Onkyo TX-8150)を通してツイータ

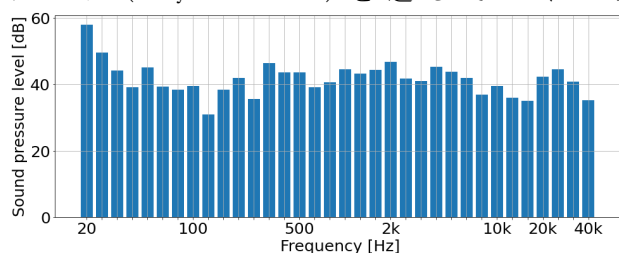


Fig.1 Example of the 1/3 octave analysis at ear position.

から呈示できるようにシステムを構成した。実験中に外部からの影響を除くために防音室を使用した。なお、本稿では可聴領域を中心周波数 20~20kHz とし、高周波領域を中心周波数 25k~40kHz とする。

### 2.2 呈示音

先行研究に基づき、耳元での高周波音の SPL を、可聴音を基準(約61 dB)として、76%にあたる約46 dBに揃えた。実際に集音した音の 1/3 オクターブ分析による周波数特性を Fig.1 に示す。ツイータを 90° 回転して設置することで、耳元以外の計測点でも可聴音を基準とした SPL の比率が 75~76%の間に設定された Environment 1(以下, Env1)と、耳元以外の計測点が 70%を下回るように設定した Environment 2(以下, Env2)という2つの環境を用意した。Fig.2 に、耳元(0°)から10°刻みで足先(40°)までを集音した高周波音の SPL 比率を示す。

### 2.3 被験者

被験者は学生10名(男性10名、年齢21~23歳)である。被験者には高周波音が体表面に届くように、上半身は裸で下半身は半ズボンに着替えてもらった。また、呈示音が HCS、あるいは FRS のどちらなのかは被験者に伝えていない。

### 2.4 呈示手順

音呈示時間は130秒間であり、実験中は常に閉眼状態とし、FRS と HCS をランダムに2回ずつ呈示した。なお、前の実験の影響が残らないように、各実験の間には10分以上の休憩時間を設けた。Fig.3 に音呈示のタイムチャートを示す。

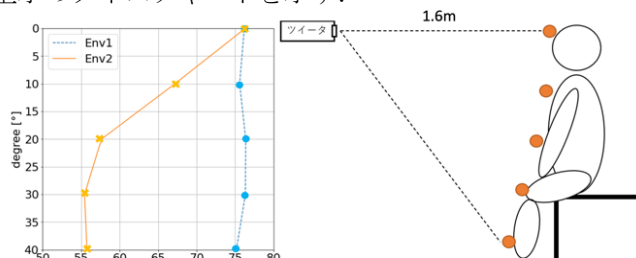


Fig.2 The SPL ratio of ultrasound to audible sound, measured by every ten degrees in each two conditions.

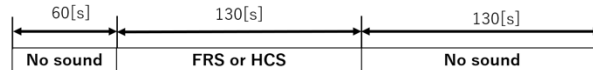
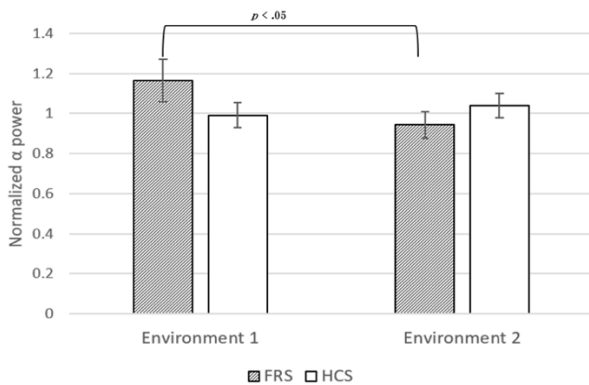
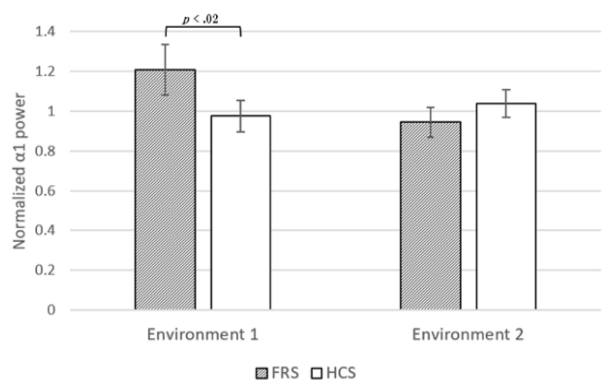


Fig.3 Time chart of measurement.

Effects of sound pressure levels of ultrasounds contained in high-resolution sound sources for humans.

<sup>†</sup>Tokyo Denki University Graduate School of System design

<sup>‡</sup>Tokyo Denki University Graduate School of Information Environment

Fig.4 Normalized  $\alpha$  power for each experiment.Fig.5 Normalized  $\alpha 1$  power for each experiment.

## 2.5 脳波計測

HSE の発現指標として、脳波の  $\alpha$  波帯域 (8~13Hz) を使用した。本稿では、 $\alpha$  波帯域を  $\alpha 1$  波 (8~10Hz) と  $\alpha 2$  波 (10~13Hz) の 2 つに分類した。脳波計 (ミュキ技研 Polymate II) を用い、サンプリング周波数 500 Hz で記録した。計測点は国際 10-20 法に基づき、 $\alpha$  波の出現が多く見られた Pz (頭頂部) での測定値を用いた。音呈示時間 130 秒の後半 60 秒間に対して 512 点、50% のオーバーラップ処理を施して高速フーリエ変換を適用し、分析を行なった。 $\alpha$  波の大きさには個人差があるため、実験中 1, 2 回目の無音部後半 30 秒の  $\alpha$  波パワー平均値を基準として正規化を行なった。

## 3. 結果

正規化した  $\alpha$  波帯域の全被験者パワー平均値と標準誤差を Fig. 4, 5 に示す。Env1 (FRS)-Env1 (HCS), Env2 (FRS)-Env2 (HCS), Env1 (FRS)-Env2 (FRS) の 3 対を、Bonferroni 法を用いて多重検定を行った。

体表面に満遍なく高周波音が呈示された Env1 (FRS) と耳元以外は SPL の差が大きい Env2 (FRS) では、Env1 (FRS) のほうが  $\alpha$  波帯域全体のパワーが有意に増加した ( $p < 0.05$ )。しかし Env1 (FRS)-Env1 (HCS) では、平均値は Env1 (FRS) が大きかったものの有意差は認められず、Env2 (FRS)-Env2 (HCS) に関しては Env2 (HCS) のほうが、平均値が大きい結果になった。 $\alpha 1$  波では Env1 (FRS)-Env1 (HCS) で有意差が見られたが ( $p < 0.02$ )、その他では有意差はみられなかった。また  $\alpha 2$  波では、どの組み合わせでも有意差が見られなかった。

## 4. まとめ

耳元の音圧レベルを合わせたものの、HSE の効果が現れたのは Env1 の環境のみという結果となった。これは、耳元以外の体表面に到達する高周波音の SPL を、可聴音を基準とした SPL 比率の 75~76% に合わせたことにより、高周波音を受容する部位が刺激された、あるいは高周波音が体表面に到達するパワーのどちらかが要因であると考えられる。この結果から、HSE の発現には耳元以外の点にも、適切な SPL が存在すると考えられる。

また、今回の実験では  $\alpha 2$  波ではパワーの増加が見られなかった。その要因の一つとして、使用した音源に 50 kHz を超える音が豊富に含まれていなかったことが考えられる。実際、 $\alpha 1$  波と  $\alpha 2$  波の増減は高周波音の周波数に依存して変化し、80~88 kHz の高周波音を付加することで  $\alpha 1$  波、 $\alpha 2$  波ともに有意に増大したとの報告がある<sup>[6]</sup>。

今後は、体表面に到達する高周波音のパワーを一定に保ち、身体へ局所的に呈示する実験を行い、高周波音を受容する特定の部位が存在するのか、もしくは体表面に到達する高周波音のパワーのどちらが HSE 発現に効果的な条件なのかを検討する。

## 参考文献

- [1] 仁科エミ, "ハイパーソニック・エフェクトの発現メカニズムに関する研究の進展", 日本音響学会誌, 65, pp45-45, 2009.
- [2] 大橋力ほか, "ハイパーソニックエフェクトについて", 電子情報通信学会誌, pp29-34, 1997.
- [3] 仁科エミほか, "超高密度複雑性森林環境音の補完による都市音環境改善効果に関する研究", 日本都市計画学会 都市計画論文集, pp169-174, 2005.
- [4] 川勝真喜ほか, "受動的音楽療法における高周波非可聴音が認知症高齢者の行動・心理状態に及ぼす影響", 日本音楽療法学会誌, 20, pp132-142, 2020.
- [5] 山崎憲ほか, "溪流の音に含まれる超音波が人間の生理に与える影響について", 日本音響学会誌, pp545-550, 2008.
- [6] 福島亜理子ほか, "超高周波成分の帯域の相違が自発脳波  $\alpha 1$  活性に及ぼす影響", 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3D1-2, 2020.