

(410) 情報 その他

ハイレゾ音源の高域成分が脳活動に及ぼす影響 Effects of high-resolution sound on brain activity

谷本 典之[†] 石光 俊介[†]

Noriyuki Tanimoto[†] Shunsuke Ishimitsu[†]

[†] 広島市立大学大学院 情報科学研究科 システム工学専攻

1 概要

近年、CD音源よりスペックの高い「ハイレゾ音源」が普及しており、ハイレゾ対応ポータブルプレイヤーやスマートフォンなどを使用して気軽に聞くことができる。ハイレゾ音源とは、JEITAの公告によって「CDのスペック(サンプリング周波数(fs):44100Hz, 量子化ビット数(Qb):16bit)を上回るスペックを持っていることが望ましい」と定義されており、20kHzを超える高周波を再生することが可能である。ハイレゾ音源はCDスペックの音源に比べて高音質であるとされているが、人間の可聴域は20Hz~20kHzとされており、ほとんどの人が20kHzを越える音は聞くことができない[1]。現在、人間がどのようにハイレゾを認知できているか明らかになっていない点が多くある。

そこで本研究では、脳反応に焦点を当て、人間がハイレゾ音源及び可聴域外の高周波をどのように認知しているかについて3つの調査を行った。まず、高周波聴取時のN1反応についての実験を行い、次に、刺激の周波数とN1反応の関係についての調査、最後に、ハイレゾ音源と脳波の安定度の関係の調査を行った。

2 高周波聴取時のN1反応

2.1 実験内容

高周波を聴取した際に、脳が反応しているかを確認するために、高周波聴取時のN1反応を解析する実験を行った。N1反応とは、刺激聴取後約100ms後に観測される他の脳波に比べてマイナス方向に十分大きな反応のことを指す。N1反応は人の意思に関係なく出現するため、高周波聴取時にN1反応を観測することができれば脳が高周波に反応を示していることが分かる。これを確認するために本実験では、16kHz, 20kHz, 24kHz, 90kHzの4種類の純音を各100回ずつ呈示し、刺激聴取中の脳波を測定した。刺激は普段音楽を聴くときの音量に調節してもらい、イヤホンで呈示した。刺激呈示中被験者には映画を無音で視聴してもらった。

2.2 結果と考察

440HzでN1を観測することができた被験者(成人男性1人, 16kHzまで認知)に対して実験を行ったが、すべての周波数においてN1を観測することができなかった。先行研究では、4kHzを超える純音を

用いたN1反応の調査は確認できなかった[2]。これらのことから、音を認知していても16kHz以上ではN1反応を観測することができないことが分かった。

3 刺激の周波数とN1反応の関係

3.1 実験内容

高周波聴取時のN1反応調査の結果より、刺激が一定の周波数を超えるとN1を観測することができない可能性が示唆されたため、刺激の周波数が高くなるにつれてN1がどう変化するのか調査を行った。本実験では、440Hz, 1kHz, 4kHz, 8kHz, 12kHz, 16kHzの6種類の純音を使用し、刺激聴取中の脳波を測定した。刺激は1秒純音, 2秒無音のセットを100回繰り返すものを使用した。前回の実験同様、刺激は普段音楽を聴くときの音量に調節してもらい、イヤホンで呈示した。刺激呈示中は無音で映画を視聴してもらった。

3.2 結果と考察

440HzでN1を観測することができた被験者(成人男性1人, 成人女性1人)に対して実験を行った。結果としては、両者ともに8kHzを超えたあたりから振幅が小さくなりN1を観測することができなくなった。図1, 2に被験者1の4kHz, 8kHzトーンバースト聴取時のN1反応を示す。周波数ごとにN1の振幅の比較を行ったところ、両者ともに周波数が高くなるにつれて、振幅が減少する傾向がみられた。このことから、440Hzを超えるとN1の振幅は周波数が高くなるにつれて小さくなり、8kHzを超えたあたりからノイズに埋もれて観測することが困難になることが分かった。

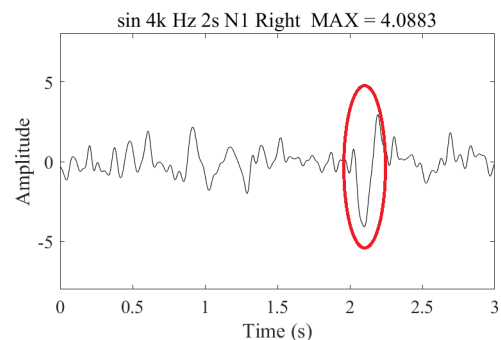


図1: 4kHz トーンバースト聴取時のN1反応

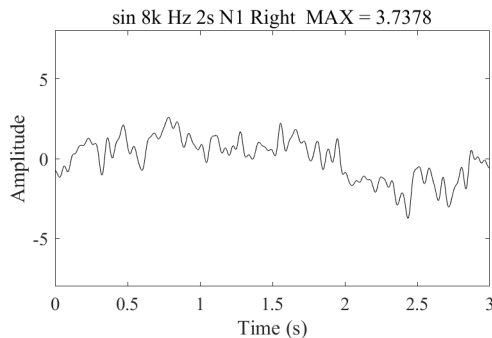


図 2: 8kHz トーンバースト聴取時の N1 反応

4 ハイレゾ音源と脳波の安定度の関係

4.1 実験内容

高周波で N1 を観測することができないことが確認されたため、ハイレゾ音源、非ハイレゾ音源聴取時に好ましさがどのように変化をするのかを調査した。先行研究で、脳波中の α 波の安定度は刺激が好ましいと安定し、刺激が好ましくないと不安定になるとされている。本実験ではそれを用いて解析を行った[3]。刺激は、サヌカイトを用いて演奏された、小松玲子「密かな水瓶」(fs:192kHz) から切り出した約 5 秒のハイレゾ音源を 2 つ、その音源をダウンサンプリング (fs:44.1kHz) した非ハイレゾ音源を 2 つ、以上 4 つの音源を使用し、各 20 回ずつ呈示した。なお、サヌカイトは非ハイレゾ音源では再生することができない 20kHz 以上の成分が含まれていることは予備実験で確認した。前実験と同様に、刺激は普段音楽を聴くときの音量に調節してもらいイヤホンで呈示し、脳波測定中は目を閉じて実験を行った。

4.2 解析方法

脳波の安定度は有効継続時間 (τ_e) によって定義した[4]。有効継続時間 (τ_e) とは、正規化 ACF(式 2) の振幅が 10 % に減衰するまでの遅れ時間 (初期減衰部 (0dB>10log $|\phi(\tau)|$ >-5dB) を用いて得られる回帰直線から算出) で定義される。つまり、 τ_e が長ければ、時間的に安定していることとなる。

ACF は

$$\Phi(t) = \frac{1}{2T} \int_0^{2T} p(t)p(t+\tau)dt \quad (1)$$

で与えられ、正規化 ACF は、

$$\phi(\tau) = \frac{\Phi(\tau)}{\Phi(0)} \quad (2)$$

として定義される。ここで、 $2T$ は積分区間、 τ は遅れ時間、 p 入力信号である。 p を脳波に置き換えることで脳波の安定度を求めることが可能となる。

4.3 結果と考察

各音源聴取時の脳波に対して有効継続時間を算出し、安静状態の τ_e から刺激呈示中の τ_e への増加率を求めた。被験者はハイレゾと非ハイレゾの聞き分

けの成績が特によかった 2 名にお願いした。被験者 1 の結果を図 3 に示す。このとき、ハイレゾ音源は SoundNumber 1,2, 非ハイレゾ音源は SoundNumber 3,4 である。結果としては、 τ_e にハイレゾ音源と非ハイレゾ音源による違いは現れなかった。この原因として、刺激音の呈示時間が短かったことがあげられるため今後は刺激呈示時間を長くして調査する必要がある。また、本実験は検討途中のため今後も調査を行っていく。

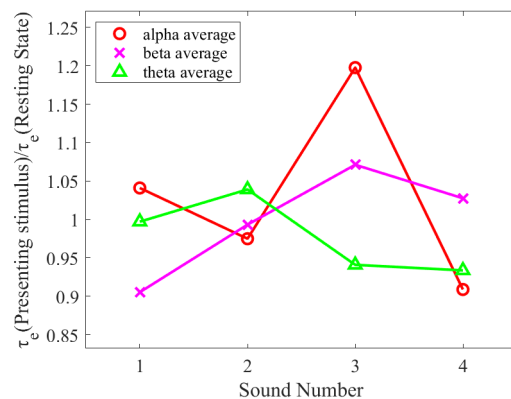


図 3: ハイレゾ音源 (1,2), 非ハイレゾ音源 (3,4) 聴取時の τ_e

5 結言

高周波聴取時の脳反応について 3 つの調査を行った。まず、N1 反応を用いた実験では、刺激の周波数が高くなるにつれて N1 の振幅が小さくなり、個人差はあるが 8kHz 付近でノイズに埋もれて N1 を観測することが困難になることが分かった。脳波の安定度を用いた実験では、ハイレゾ音源と非ハイレゾ音源聴取時の τ_e に相関は見られなかった。その原因として、刺激呈示時間が短かったこと、被験者数が少なかったことがあげられる。

今後の検討として、以下の 3 点について調査する。1 つ目は、ハイレゾ音源と非ハイレゾ音源聴取時の N1 反応の比較を行う。2 つ目は、ハイレゾ音源と脳波の安定度の関係を実験条件を変更して調査する。3 つ目は、ハイレゾ聴取時における α 波の含有量についても併せて調査する。

参考文献

- [1] 山本 竜太, 金只 直人, 水町 光徳, “ハイレゾリレーションオーディオの音質評価”, 山梨応用工学会論文誌, Vol. 1, No. 2, pp. 52-57, 2013 年
- [2] 小寺 一興, 山根 仁, 山田 修, “Tone Burst で誘発される, ヒトの調整脳幹反応”, Audiology Japan, 20 巻 1977 年
- [3] 安藤 四一, “脳から見た音の科学”, 一灯舎 (2011)
- [4] Y. Soeta, S. Nakagawa, M. Tonoike and Y. Ando, Magnetoencephalographic responses correspond to the individual annoyance of bandpass noise, Journal of Sound and Vibration, 277-3, 479/489, 2004