

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18702

研究課題名(和文)ハイレゾ音源が認知機能に与えるメリットとそのメカニズムの解明

研究課題名(英文)The effect of listening to high-resolution digital audio on cognitive function

研究代表者

入戸野 宏(Nittono, Hiroshi)

大阪大学・人間科学研究科・教授

研究者番号：20304371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近年注目されているハイレゾオーディオが聴取体験に影響する機序について検討した。脳波と誘発電位を測定した実験により、以下の3点が明らかになった。(1)高周波成分が含まれている音源を聴くと、それをカットした音源を聴くときより、聴取時の脳波パワーが増大する。(2)高周波成分をフィルタで除去すると音が時間的に歪む(立ち上がりがぼやける)が、その違いはサンプリング周波数が変わらなければ聴覚皮質では検出されない。(3)サンプリング周波数を下げると音のぼやけが聴覚神経処理に内耳のレベルから影響を与える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハイレゾ音源は情報量が多く、可聴域を超える周波数帯域まで再現できる点がメリットだと言われることがある。しかし、今回の研究から、ハイレゾ音源の効果は、高周波音成分によって生じるのではなく、音の時間的歪みを少なくするために生じることが示唆された。デジタルオーディオであっても、データを物理的な音に変換して再生するアナログ経路がきわめて重要であり、その部分を改善することが聴取体験の向上につながるという。

研究成果の概要(英文)：High-resolution audio is a generic term for systems that can render beyond standard quality audio such as CD or DVD. This study dealt with how high-resolution audio affects the listener's experience. A series of experiments using the electroencephalogram (EEG) and evoked brain potentials revealed the following three findings. First, listening to audio materials that contained inaudible high-frequency components induced a larger oscillatory power on the EEG than listening to similar materials from which the high-frequency components were removed by digital filtering. Second, filtering out high-frequency components caused a temporal smearing of the sound (i.e., blurring instantaneous sound onsets), but the difference was not registered in the auditory cortex when the sampling rate was not changed. Third, when the sound was converted into a lower sampling rate, the resulting temporal distortion may have affected auditory neural processing from the inner ear level.

研究分野：実験心理学

キーワード：実験系心理学 心理生理学 聴覚

1. 研究開始当初の背景

ヒトが聞こえる音の範囲(可聴域)は、およそ20~20,000 Hzである。しかし、近年、可聴域を超える高周波帯域までを再現できるデジタル音源が「ハイレゾ(high-resolution)オーディオ」として注目されている。ハイレゾ音源は、従来の標準フォーマット(CDやDVDなど)よりも情報量が多いが、両者を聞き分けることは難しい。その一方で、高周波成分を含む音源を聴取すると、含まない音源を聴取するときと比べて、脳波のアルファ帯域パワーが大きくなるという知見がある(Kuribayashi & Nittono, 2017; Kuribayashi et al., 2014; Oohashi et al., 2000)。聞こえないはずの高周波音成分が生体に影響するメカニズムは明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では、新しい仮説に基づいて、この謎に取り組んだ。ハイレゾ音源が聴取者に与える効果は、高周波音成分が含まれることによるものではなく、急峻な音の立ち上がりをデジタル化するとき生じる時間的な歪み(ぼやけ、にじみ)が標準音源に比べて少ないからであると考へた。そこで、ハイレゾ音源の聴取が認知課題の成績に影響するかを確認するとともに、デジタル化に伴う音のぼやけが行動的・生理的に検出できるかを検討した。

3. 研究の方法

(1) ハイレゾ音源を聴取しているときの認知課題の成績

すでに実施していた実験の再分析を行った。大学生・大学院生20名(男女10名ずつ)が、高周波成分を含むオリジナル音源(J.S.Bach フランス組曲第5番、チェンバロ演奏、192 kHz/24 bits)と、高周波成分をデジタルフィルタで除去したハイカット音源をそれぞれ聴取しながら、計算課題に連続して1,000秒間(17分弱)取り組んだ。実験は二重盲検法を用いて行い、条件の順序はカウンタバランスした。

(2) 高周波成分を含むホワイトノイズの弁別

高周波成分の有無やフィルタを適用することで生じる音のぼやけが大脳皮質レベルで検出されるかを調べるために、脳波の一種であるミスマッチ陰性電位(mismatch negativity: MMN)を測定した。MMNは、聴覚感覚記憶の機能を反映する。広い周波数帯域を含むホワイトノイズバースト(持続時間50 ms)を192 kHz/24 bitsのオリジナル音として作成した。これに22 kHz、11 kHzのハイカットフィルタをかけて高周波成分を除去した音をハイカット音とした。500 msに1回の割合でオリジナル音を提示し、まれにハイカット音を提示した($p = .20$)。MMNの測定後に、音の聞こえの違いを行動的に弁別する課題であるABXテストを実施した。2種類の刺激が異なる音として処理されるなら、ハイカット音に対してMMNが生じ、ハイカット音とオリジナル音の弁別成績もチャンスレベルを超えるはずである。

(3) 弁別訓練の効果

上記の実験で用いた22 kHzハイカット音とオリジナル音について、音の特徴(高周波成分の有無と音のぼやけ)を2名の参加者に詳しく説明した上で、5日間にわたって成績のフィードバックを与えながらABXテストを実施した。

(4) サンプリング周波数の効果

以上の研究では、高周波音成分の有無を操作し、すべて192 kHzのサンプリング周波数を用いた。しかし、ハイレゾ音源と標準音源の効果の違いは、サンプリング周波数そのものにあるかもしれない。そこで、ハイレゾ音源として市販されている自然環境音を、CDと同じ44.1 kHzサンプリングに落とした音源(ハイカット44.1 kHz)を作成し、オリジナル音源との比較を行った。さらに、その音源を再度192 kHzに戻すことにより、高周波音成分は含まないがサンプリング周波数の高い音源(ハイカット192 kHz)も作成した。24名の大学生・大学院生を対象に、それぞれの音源を5分間聴取しているときの脳波と自律神経系反応を測定するとともに、聴取後に音質評価を求めた。

(5) 音のぼやけが聴覚伝導路に与える影響

フィルタをかけることで音が時間的に歪む(立ち上がりがぼやける)ならば、その影響は聴覚神経処理の初期から生じると考えられる。そこで、内耳から聴覚皮質に至る聴覚伝導路の電気活動を調べる聴性脳幹反応(auditory brainstem response: ABR)を測定した。まず、持続時間0.1 msのクリックを含むファイルを192 kHz/24 bitsのハイレゾフォーマットで作成した(オリジナル192 kHz)。これを44.1 kHzにダウンサンプリングした刺激(ハイカット44.1 kHz)と、それを192 kHzにアップサンプリングした刺激(ハイカット192 kHz)を作成した。聴力に異常のない大学生6名を対象に、それぞれ4,000回のクリックに対する脳電位反応を加算平均してABRを求めた。

4. 研究成果

(1) 高周波音成分を含むハイレゾ音源を聴取したときの方が課題の成績がよかった

オリジナル音源を聴いているときの方が、ハイカット音源を聴いているときよりも、計算課題の誤反応率は有意に低かった。平均正反応時間には有意差はなかった。音楽聴取中は、聴取前の無音区間に比べて、アルファ帯域パワーが増大した。増加の程度は、オリジナル音源の方がハイカット音源よりもわずかに高い傾向があった。自律神経系指標や表情筋活動には、条件間に有意差が認められなかった。

(2) 高周波成分の有無やフィルタによる音のぼやけは脳皮質では検出されなかった

1回目の実験 ($N = 28$) では装置の不具合によって音が正確に提示されなかったため、新しい装置を導入して2回目の実験 ($N = 38$) を実施した。図1に2回目の実験の結果を示す。MMNは可聴域を含めて高周波成分を除去した音 (11 kHz ハイカット音) には生じたが、可聴域を超える高周波成分だけを除去した音 (22 kHz ハイカット音) には生じなかった。また、後者は行動的な弁別課題でもチャンスレベルを超えなかった。これらの結果から、サンプリング周波数が高い場合には、高周波成分の有無だけでなく、音のぼやけも脳皮質レベルでは検出されない可能性が示された。

(3) 訓練しても高周波成分の有無は聞き分けられなかった

22 kHz ハイカット音とオリジナル音の弁別を5日間行ったときの16試行中の正解数は、参加者1は7, 9, 7, 10, 8回、参加者2は8, 8, 7, 8, 9回であった。12回以上正解するとチャンスレベルを超えるが、その基準は達成できず、一貫した向上も認められなかった。

(4) サンプリング周波数の違いは脳波パワーに影響した

高周波成分を同じように除去したハイカット 192 kHz とハイカット 44.1 kHz を比較すると、サンプリング周波数が高い音を聴取しているときの方が、脳波のシータ帯域 (4.0~8.0 Hz) とスローアルファ帯域 (8.0~10.5 Hz) のトータルパワーが高くなった。高周波成分の有無による差は認められなかった。自律神経系指標や気分、音質評価には明確な差がなかった。

(5) サンプリング周波数を下げることで生じた音のぼやけは聴覚伝導路に影響した

図2に、6名のABRの平均波形を示す。ハイカット 44.1 kHz のクリックに対する波の潜時は、その他のクリックに比べて、およそ200 μ s短かった。波 (蝸牛神経由来) から潜時の差があったという結果は、44.1 kHz にダウンサンプリングすることによって、クリックの立ち上がり時間が時間的にぼやけ、実際よりも早いタイミングで聴覚系に影響を与えたことを示している。

(6) 結論

本研究の結果から、ハイレゾ音源に比べてサンプリング周波数が低い標準フォーマットでは、フィルタ処理によって音のぼやけが生じ、聴覚系に影響を与えることが示された。過去の研究で報告された高周波成分の有無による脳波パワーや課題成績の差も、その一部は、音の時間的歪みによって引き起こされていた可能性がある。

ハイレゾ音源は、その情報量の多さが注目されるが、デジタル情報はアナログ信号に変換してはじめて聴取できる。従来の音源と比べてハイレゾ音源の優位性を論じるためには、録音から再生まで、アナログ部分を含めた経路全体を考慮する必要がある。今回得られた知見も、異なる再生装置を用いたときには変化するかもしれない。また、ハイレゾ音源のもう一つの特徴である量子化ビット数の高さもたらす効果についても、今回と似たような方法で検討できる。

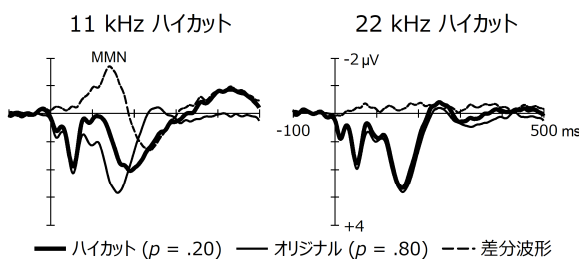


図1 ホワイトノイズバーストに対する脳電位反応 (38名の平均)

可聴域を含めて高周波成分を除去した音にはミスマッチ陰性電位 (MMN) が生じたが、可聴域を超える成分だけ除去した音にはMMNが生じなかった。

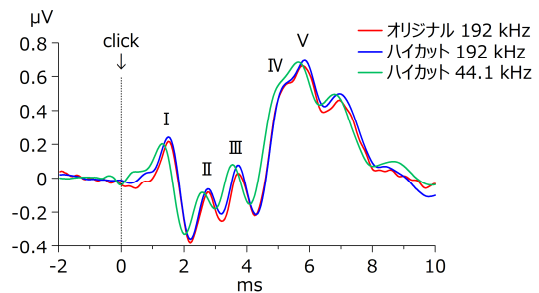


図2 クリックに対する聴性脳幹反応 (6名の平均)

44.1 kHz にサンプリング周波数を落とすと、音の立ち上がりがぼやけ、オリジナル音源よりも早いタイミングで内耳 (蝸牛) が刺激された。

引用文献

- Kuribayashi, R., & Nittono, H. (2017). High-resolution audio with inaudible high-frequency components induces a relaxed attentional state without conscious awareness. *Frontiers in Psychology, 8*, 93. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00093>
- Kuribayashi, R., Yamamoto, R., & Nittono, H. (2014). High-resolution music with inaudible high-frequency components produces a lagged effect on human electroencephalographic activities. *NeuroReport, 25*, 657-661. <https://doi.org/10.1097/WNR.000000000000151>
- Oohashi, T., Nishina, E., Honda, M., Yonekura, Y., Fuwamoto, Y., Kawai, N., Maekawa, T., Nakamura, S., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2000). Inaudible high-frequency sounds affect brain activity: Hypersonic effect. *Journal of Neurophysiology, 83*, 3548-3558. <https://doi.org/10.1152/jn.2000.83.6.3548>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 入戸野 宏	4. 巻 72
2. 論文標題 心理生理学のすすめ - ハイレゾから「かわいい」まで-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生産と技術	6. 最初と最後の頁 94-97
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 大湾 麻衣・入戸野 宏
2. 発表標題 デジタル音源のダウンサンプリングに伴う音の歪みの知覚と聴性脳幹反応
3. 学会等名 第38回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nittono, H.
2. 発表標題 What is the role of high-frequency sound components in high-resolution audio? A mismatch negativity study.
3. 学会等名 29th Annual Meeting of the Australasian Society for Psychophysiology (ASP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 入戸野 宏
2. 発表標題 ハイレゾオーディオが脳波に影響する仕組み - ミスマッチ陰性電位からの示唆 -
3. 学会等名 第49回日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 入戸野 宏
2. 発表標題 ハイレゾ音源に含まれる高周波成分は感覚記憶を形成しない
3. 学会等名 第37回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大湾麻衣・入戸野 宏
2. 発表標題 自然環境音の再生サンプリング周波数が音質の知覚と心理生理状態に及ぼす影響
3. 学会等名 第37回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 入戸野 宏
2. 発表標題 ハイレゾ音源は聞き分けられるか？ ミスマッチ陰性電位による検討
3. 学会等名 第36回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大湾麻衣・入戸野 宏
2. 発表標題 自然環境音のサンプリング周波数が人間の心理・生理状態に及ぼす影響
3. 学会等名 日本認知心理学会第16回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 入戸野 宏・栗林 龍馬
2. 発表標題 ハイレゾ音源をヘッドホンで聴取することが心理生理反応に与える効果
3. 学会等名 第35回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2017年

〔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
研究協力者	大湾 麻衣 (Ohwan Mai)		
研究協力者	栗林 龍馬 (Kuribayashi Ryuma)		