DOI：10.18883/johcu.0901.01

原　著

自然音聴取による自律神経機能への影響

伊藤 祥史[1]　原田 俊英[2]　山本 竜太[3]
二矢田 勝行[1]　石﨑 文子[2]　宮崎 洋幸[1]

抄　録

これまでハイレゾリューション・オルゴール音（以下ハイレゾ音）が心血管系自律神経機能にどのような影響を及ぼすか検証してきた。今回はオルゴール音以外の音源を用いて心血管系自律神経機能にどのような影響を及ぼすかを解析検討した。

音源は，雨音と波音の２種類である。雨音聴取は35名，波音聴取は28名である。雨音ではハイカット音よりハイレゾ音が心拍変動周波数解析の低周波変動成分（以下 LF），高周波成分（以下 HF），心拍変動係数（以下 CVaa）の値が有意に高く，波音ではハイカット音よりハイレゾ音が LF，HF，低周波変動成分と高周波変動成分の比（以下 LF/HF），CVaa の値が有意に高かった。

今回の結果から，雨音や波音の自然音に近いハイレゾ音では，交感神経活動・副交感神経活動とも活発化しており，自律神経機能全体の活動が増したものと考えられた。逆に，人工的に加工した雨音や波音のハイカット音の聴取では，交感神経活動・副交感神経活動とも低活発化しており，自律神経機能全体の活動が低下したものと思われた。

Key words:　ハイレゾリューション音，ハイカット音，自律神経機能，自然音

1　はじめに

近年認知されつつあるハイレゾリューション音（以下，ハイレゾ音）は，良質な音と評価されている[1), 2)]。一般的に音楽を聞くことは，人の社会生活の一部であり，人は日常的に音楽に親しんでおり，音楽を聴くことに抵抗感はない。ハイレゾ音で聞く音楽は，リアリティに富む音質で，すぐそばで演奏しているような臨場感があり，これが良質な音と評価される所以でもある。ハイレゾ音とは，人の可聴域の上限（周波数 20 kHz）を超える高周波成分を含み，従来の CD 音や MP3 のような圧縮音源よりも量子化精度が高い音源で，CD や MP3 の音源を超える情報量を持つ高音質音源である（Fig.1）。圧縮音源では伝えきれなかったレコーディング現場の空気感やライブの臨場感を，より感動的に体感できる。ビット数の高さとより細かなサンプリングによって，楽器や声の生々しさや艶などのディテールがきめ細かく表現されている。すなわち，ハイレゾ音は，人が自然音を聴取している状況に近い音源で

受稿：2023年10月10日　受理：2023年12月21日
[1] 広島都市学園大学　健康科学部
広島県広島市安佐南区大塚東3-2-1
[2] 県立広島大学　大学院総合学術研究科保健福祉学専攻
広島県三原市学園町1-1
[3] 株式会社キノスラ・ラボ
広島県広島市西区南観音７丁目９番25-203号

あると言える。他方，CD や MP3 に収録された音源は，収録可能な情報量に限りがありながら数曲の音楽を収録しなければ，コスト・パフォーマンスが低下する。このため CD や MP3 では，情報量の少ない音源（20kHz 以下の可聴域までを収録し，それ以上の周波数領域はフィルタリングにて人工的に排除された音）が収録されている。

われわれは，クラシック音楽によるリラクセーション効果の客観的評価の研究やリラックスさせる音楽と不安を感じさせる音楽の自律神経機能に及ぼす影響についての研究を行ってきた[3), 4)]。また，ハイレゾ･オルゴール音聴取とハイカット･オルゴール音（20kHz 以下の可聴域，24 ビットの精細度で収録）聴取による自律神経機能への影響の比較研究を行い，世界で初めて，ハイレゾ・オルゴール音聴取でハイカット・オルゴール音聴取よりも心血管系交感神経・副交感神経ともに活性度が上昇し，心血管系自律神経活動全体の活性度が増加することを発見した[5)-9)]。さらに，ハイレゾ・オルゴール音の脳機能への影響について脳波マッピング解析を用いた研究を行った結果，ハイカット・オルゴール音よりも $\alpha 2$ 波や $\beta 1$ 波の含有量が有意に増加することを世界で初めて客観的に証明した[10)]。また，ハイレゾ･オルゴール音聴取による平衡機能や末梢血管系への影響の研究をハイカット・オルゴール音聴取との比較の上で行い，新知見を得てきた[11), 12)]。そこで今回は，オルゴール音というある特定の音源ではなく，日常生活でしばしば接するような音源で，ハイレゾ収録したものとハイカット収録したものとで，人の自律神経機能にどのような影響を及ぼすのかを比較検討した。その音源は，一般的に現代の喧騒から逃れ癒されるような音源である雨だれの音（以下，雨音と略す）とさざ波の音（以下，波音と略す）である。

本研究は広島都市学園大学研究倫理審査委員会の承認を得て行った（承認　2016001 号）。

2　対象と方法

2.1　対象

2.1.1　対象（雨音）

対象は，インフォームドコンセントの得られた広島都市学園大学の健常な男性 23 名，女性 12 名の計 35 名（平均年齢は 22.3 歳 ± 1.76）であった。

2.1.2　使用した音源（雨音）

実験に使用した音源は，ザーッと降る雨音とポツポツと落ちる複数の水滴音が混ざり合っている。あまり激しい雨ではないので，迫力よりも安心感のあ

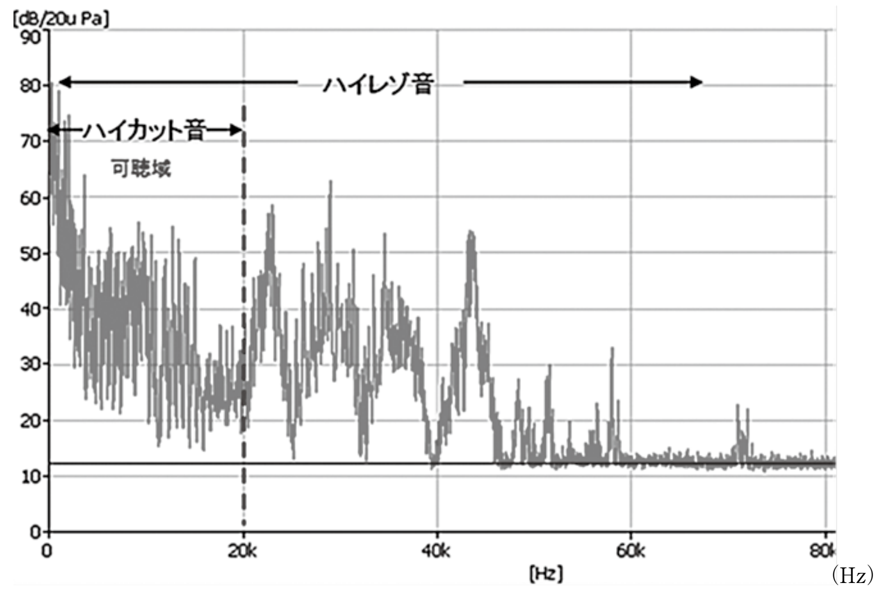

Fig.1　ハイレゾリューションサウンド周波数特性

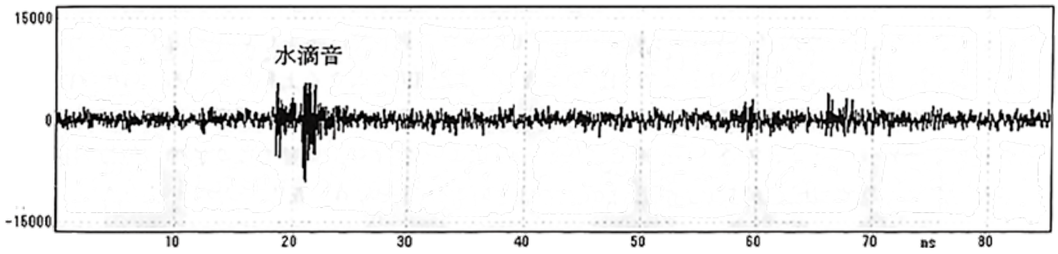

Fig.2　雨音の時間波形

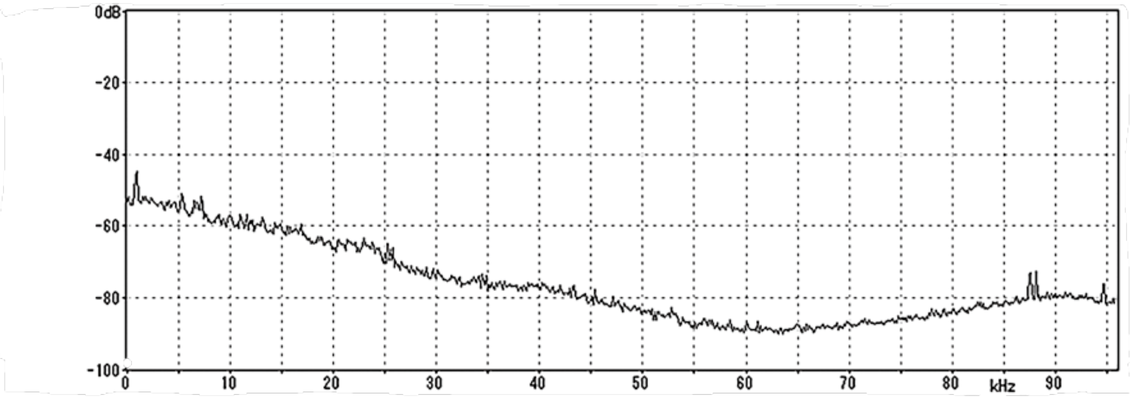

Fig.3　1分間のピークホールド周波数スペクトル

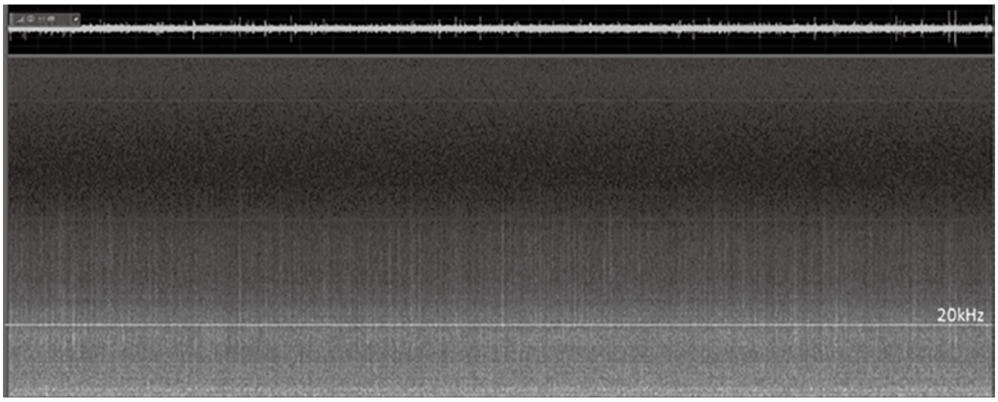

Fig.4　サウンドスペクトログラム（30秒間）

る音である。水滴音は音量も間隔も揺らいでおり，均一ではない。

Fig.2に「雨音」の時間波形を示す。雨音のみの部分の振幅は小さいが，水滴音が混入する部分では大きくなっている。

Fig.3は，1分間のピークホールド周波数スペクトルである。「雨音」のスペクトルは60kHzまでは単調に低下しており，起伏が少ない。

Fig.4は30秒間のサウンドスペクトログラムである。60kHz程度まで帯域が広がっている。時間軸上の混入する部分で不規則な縦しまが観察される。

2.1.3　対象（波音）

対象は，インフォームドコンセントの得られた広島都市学園大学の健常な男性14名，女性14名の計28名（平均年齢は20.5歳±1.07）であった。

2.1.4 使用した音源（波音）

広島県呉市蒲刈町の県民の浜で収録した，波が打ち寄せ返す音を使用した。ヘッドホンで聴くと，小波が打ち寄せる部分の音には安堵感があるが，大波が打ち寄せ砕ける音には迫力を感じる。大波小波，寄せ波が混合し，緩やかではあるが変化の大きい音源である。寄せ波と引き波の代表的なスペクトルを

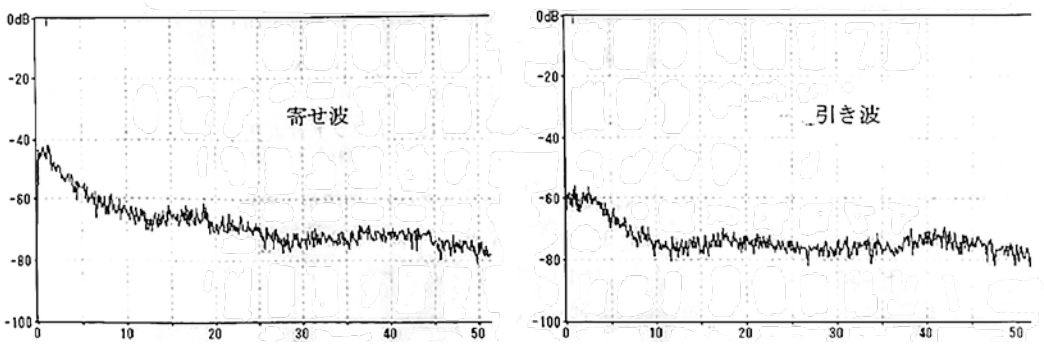

Fig.5　「寄せ波」と「引き波」の周波数特性

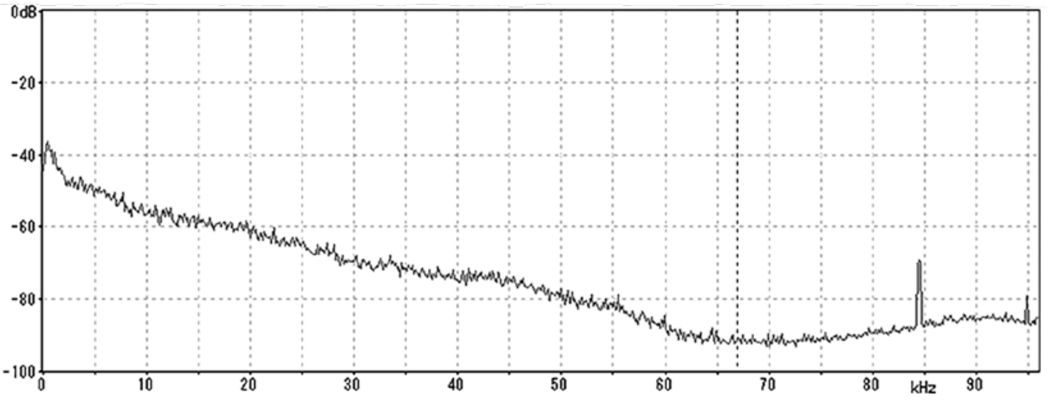

Fig.6　1分間のピークホールド周波数スペクトル

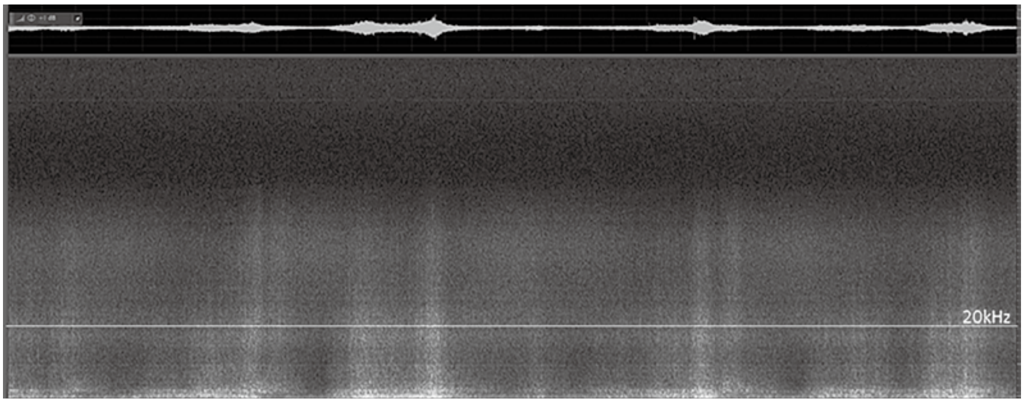

Fig.7　サウンドスペクトログラム（30秒間）

Fig.5 に，1分間のピークホールド周波数スペクトルを Fig.6 に示す。また 30 秒間のサウンドスペクトログラムを Fig.7 に示す。

2.2.1　ヘッドホンの特性（Fig.8）

ハイレゾ対応のヘッドホンを用いて実験を行った。使用したヘッドホンは，ソニー製 MDR-Z7 である。このヘッドホンは密閉ダイナミック型であり，口径 70mm のドーム型ドライバーユニットを備え，再生周波数のカタログ値は 4 Hz-100kHz である。確認のため，簡易測定として振動面中心から 5 cm のところに計測用マイクを置き，ホワイトノイズ特性を PULSE（B&K 社製）の音響振動解析プラットフォームで測定した。100kHz までは伸びていないが，少なくとも 45kHz あたりまでの帯域をカバーしていることがわかった。実験に用いるハイレゾ音源の最高周波数が 45kHz 程度なので，周波数特性としては十分であると判断した。

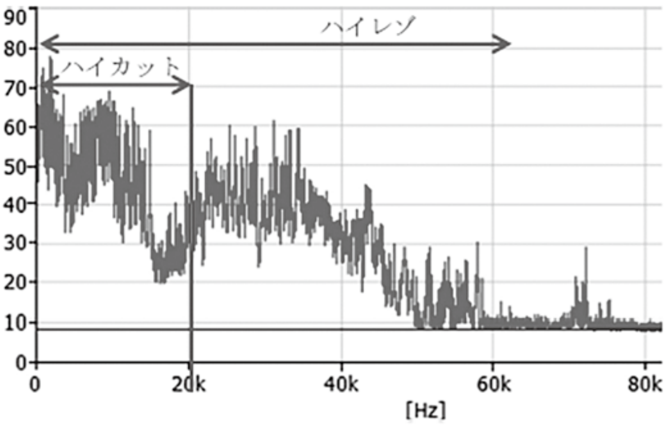

Fig.8　ヘッドホンを通した実験音源の周波数特性

2.2.2　実験環境

広島都市学園大学西風新都キャンパス内の研究室で行った。遮音装置は施されていないが，静かな音響環境である。被験者の前に小さい机を置き，前方，側方とも視覚刺激が入らないようにボードで取り囲み，その上に加速度脈波測定システム・アルテットC（株式会社ユメディカ製）を設置した。アルテットCのセンサー部分は被験者の左手第２指の末端に装着する。机の高さは，センサー部分が座位をとった被験者の心臓の位置にくるように調整し，頭部にはハイレゾ対応ソニー製 MDR-Z7 ヘッドホンを装着する。オペレータは被験者の視線外でノートパソコンと音楽プレーヤーを操作した。収集した１分間ごとの脈波データから高速フーリエ変換（FFT）を用いた心拍変動スペクトル解析により，低周波成分パワー値（LF），高周波成分パワー値（HF）およびLFとHFの比（LF/HF），心拍変動係数CVaaを算出した。LFは交感・副交感神経の指標，HFは副交感神経の指標，LF/HFは交感神経の指標，CVaaは副交感神経の指標である。

2.2.3　測定機器

加速度脈波測定システム・アルテットC（株式会社ユメディカ製）：反射型赤外光センサ，中心波長940nm，増幅回路：出力最大振幅± 3.3V，直流カット時定数1.5秒，AD変換：変換周波数1000回／秒，分解能3.23mV ／ digit，インターフェイス：方式USBVer.1.1，電源バスパワード60mA，USBケーブル：A － Bタイプ0.9m，フィルター処理：方式ソフトウェアによるデジタルフィルター，遮断周波数 -6dB at 20Hz，電源周波数除去率60dB以上，安全性：クラスⅠ機器，電撃に対する保護：BF型クラスⅡ機器，定格電圧：AC100V，定格電力：68VA，定格周波数：50 ／ 60Hz。

2.2.4　測定プロトコル

Fig.9に実験手順のタイムスケジュールを示す。無音の状態で，被験者は４分間の安静座位をとった．アルテットCによる脈波測定は，安静座位をとった後，後半２分後から３分後までの１分間行った。

３分間のハイカットを流した．アルテットCによる脈波測定は，音提示後115秒後から175秒後までの１分間行った。

２分間の無音状態で安静座位を保った。

その後，３分間のハイレゾを流した。アルテットCによる測定は，音提示後115秒後から175秒後までも１分間行った。

2.2.5　統計処理

３つの環境下の測定期間ごとに得られる４つの指標値（LF，HF，LF/HFおよびCVaa）の統計学的比較には，SPSS（IBM SPSS Statistics 24）を用い，１元配置の分散分析を行った。さらに，多重比較にはBonffdroniを用いて解析した。P<0.05を有意とした。

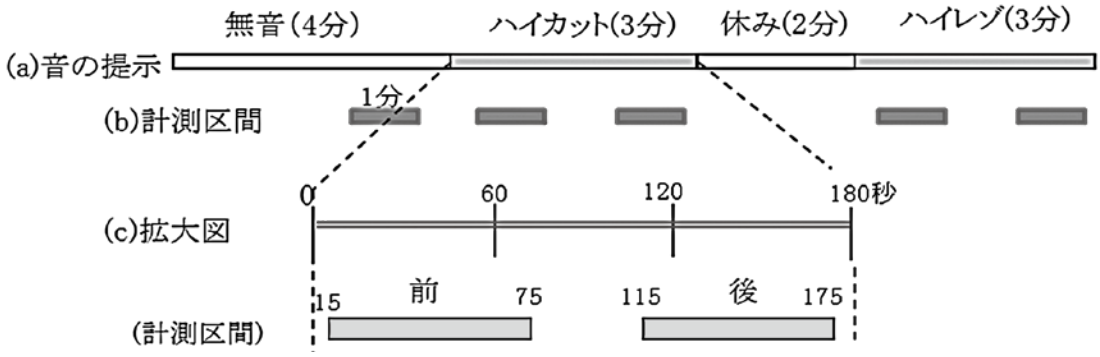

FIG.9　実験の手順

3　結果

3.1.1　雨音 LF（Fig.10）

無音：1439 ± 208 ms^2，ハイカット：1421 ± 264 ms^2，ハイレゾ：2083 ± 333 ms^2 で，ハイレゾはハイカットよりも有意に高かった（p=0.011）。

3.1.2　雨音 HF（Fig.11）

無音：626 ± 109 ms^2，ハイカット：594 ± 101 ms^2，ハイレゾ：774 ± 120 ms^2 で，ハイレゾはハイカットよりも有意に高かった（p=0.017）。

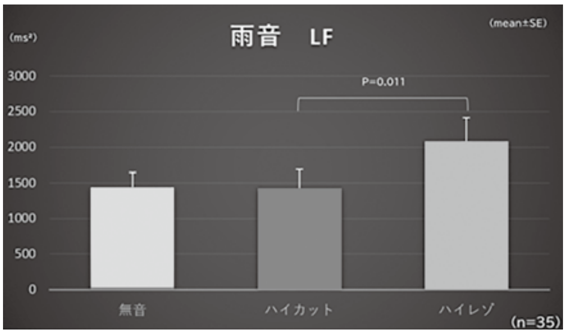

Fig. 10.　雨音LF

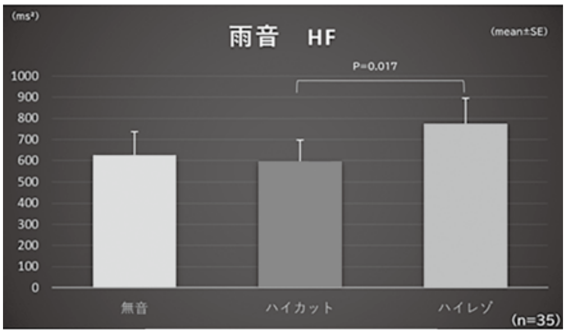

Fig. 11.　雨音HF

3.1.3　雨音 LF/HF（Fig.12）

無音：3.29 ± 0.4，ハイカット：3.68 ± 0.4，ハイレゾ：3.95 ± 0.6。

3.1.4　雨音 CVaa（Fig.13）

無音：5.17 ± 0.3 ハイカット：5.24 ± 0.3，ハイレゾ：6.11 ± 0.3 で，ハイレゾはハイカットよりも有意に高かった（p=0.011）。

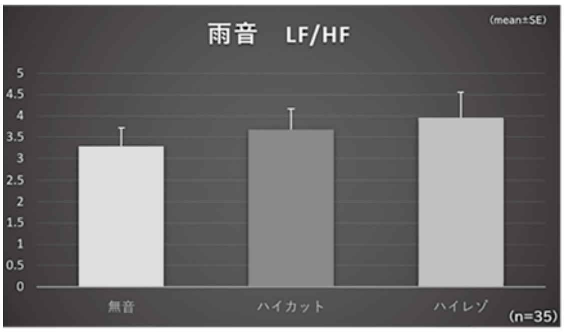

Fig. 12.　雨音LF/HF

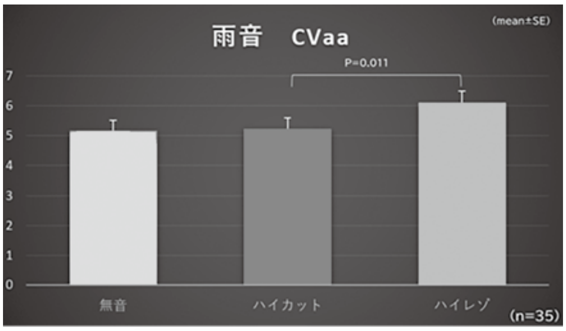

Fig. 13.　雨音CVaa

3.2.1　波音 LF（Fig.14）

無音：1437.5 ± 242 ms^2，ハイカット：931.9 ± 159 ms^2，ハイレゾ：1688.5 ± 336 ms^2 で，ハイレ

ゾはハイカットよりも有意に高かった（p=0.011）。

3.2.2　波音 HF（Fig.15）

無音：759 ± 136 ms^2，ハイカット：595 ± 109 ms^2，ハイレゾ：597 ± 103ms^2。

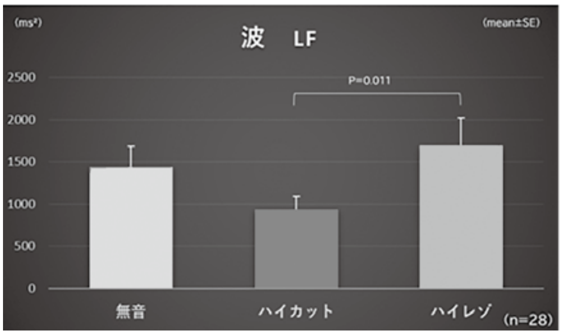

Fig. 14.　波音LF

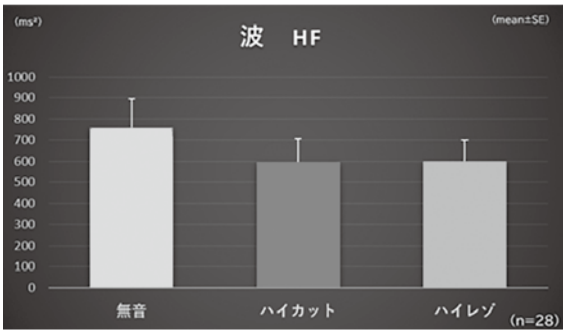

Fig. 15.　波音HF

3.2.3　波音 LF/HF（Fig.16）

無音：2.45 ± 0.4，ハイカット：2.55 ± 0.4，ハイレゾ：3.41 ± 0.5 で，ハイレゾはハイカットよりも有意に高かった（p=0.015）。

3.2.4　波音 CVaa（Fig.17）

無音：5.55 ± 0.4，ハイカット：4.65 ± 0.3，ハイレゾ：5.36 ± 0.4 で，ハイレゾはハイカットよりも有意に高かった（p=0.033）。

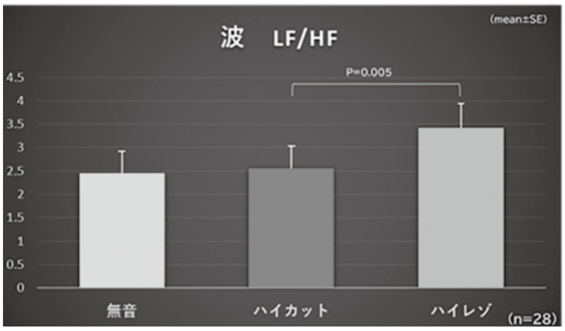

Fig. 16.　波音LF/HF

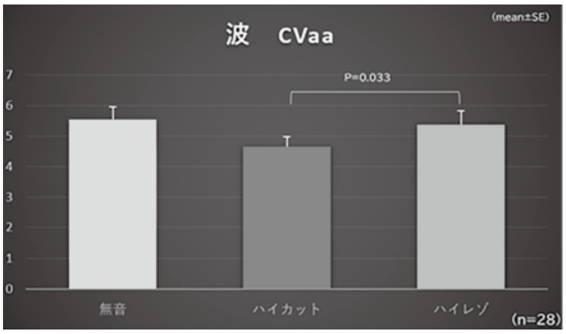

Fig. 17.　波音CVaa

4　考察

われわれは，これまでハイレゾ･オルゴール音（可聴域から 20 kHz 以上の非可聴域まで含む領域，24 ビットの精細度で収録）が心血管系自律神経機能や脳機能，末梢血管系，平衡機能などにどのような影響を及ぼすのか検証してきた[5)-12)]。そこで今回は，オルゴール音以外の音源を用いた場合に心血管系自律神経機能にどのような影響を及ぼすのかを解析し検討した。

音源は，雨音と波音の２種類であった。雨音聴取の対象者は 35 名（年齢 22.3 ± 1.76 歳），波音聴取の対象者は 28 名（年齢 20.5 ± 1.07 歳）で，健常な青年男女であった。（先行研究で男女差はほぼ認められないため，男女それぞれについては比較していない。）

方法は，ハイカット音（20kHz 以下の可聴域，24 ビットの精細度で収録）とハイレゾ音に加工した音（雨音や雨音）をヘッドホンで聴取させ，１分間の脈波測定から，高速フーリエ変換（FFT）を用いた心拍変動スペクトル解析により低周波成分パワー値（LF），高周波成分パワー値（HF）および，その比（LF/HF）を求め，また，脈波 aa 間隔変動係数（CVaa）を測定した。脈波測定により FFT を用いた心拍変動スペクトル解析をして得られる低周波成分のパワー値 LF は交感神経と副交感神経両方の活動性を，高周波成分のパワー値 HF は副交感神経機能の活動性をそれぞれ反映しており，LF と HF のパワー比である LF/HF は交感神経の指標として用いられている[13)]。脈波変動係数 CVaa は，心電図 RR 間隔変動係数 CVRR[14)] に相当しており，副交感神経機能の指標として用いられている。

その結果，雨音聴取では，ハイレゾ音のほうがハイカット音よりもLF，HF，CVaaの値が，有意に高値を示した。波音聴取では，ハイレゾ音のほうがハイカット音よりもLF，HF，LF/HF，CVaaの値が有意に高かった。

雨音や波音をハイカット収録した音は人工的な音であり，ハイレゾ収録した音はより自然音に近い音である。今回の結果から，雨音や波音の自然音に近いハイレゾ音では，交感神経機能と副交感神経機能の両方の総和である自律神経機能全体の活動が増したものと考えられた。逆に，人工的に加工した雨音や波音のハイカット音の聴取では，ハイレゾ音聴取の時よりも交感神経機能と副交感神経機能両方の総和である自律神経機能全体の活動が低下したものと思われた。

なお，波音聴取については，LF，HF，LF/HF，CVaaの４指標において，ハイカット音よりハイレゾ音が有意に上昇していた。つまり，HFとCVaaの副交感神経機能の指標が有意に高く，LF/HFの交感神経機能の指標も有意に高いという一見矛盾した結果のようにみえる。しかし，LFやHFは数量（単位はms^2）であり，LF/HFは数量ではなく，比（単位なし）である。LFは自律神経機能全体のパワー値であり，HFは副交感神経機能のパワー値であるが，LF/HFは比という数値であって交感神経機能のパワー値を表してはいない。したがって，パワー値としては副交感神経機能のHFが有意に高かったが，交感神経機能のパワー値も高く，交感神経機能と副交感神経機能の両方のパワー値の総和であるLFが有意に高かったものと思われた。つまり，波音聴取における４指標のハイカット音とハイレゾ音との比較において矛盾したものではないと考える。

今回の研究では，音源を自然音としてハイカット音とハイレゾ音での自律神経機能の比較解析を行った。その結果から，音源の種類やハイレゾ音あるいはハイカット音の組み合わせによって，目的に合致した音響空間を設定できる可能性が示唆された。

５ 結論

雨音聴取では，ハイレゾ音のほうがハイカット音よりもLF, HF, CVaaの値が，有意に高値を示した。波音聴取では，ハイレゾ音のほうがハイカット音よりもLF，HF，LF/HF，CVaaの値が有意に高かった。したがって，雨音や波音の自然音に近いハイレゾ音では，人工的なハイカット音よりも交感神経機能と副交感神経機能の両方の総和である自律神経機能全体の活動が増したものと考えられた。

６ 利益相反

本論文に関連し，開示すべきCOI関係となる企業などはない。

７ 引用文献

１）山本竜太，金只直人，水町光徳．ハイレゾリューションオーディオの音質評価．産業応用工学会論文誌 2013；１：52-57.
２）Oohashi T, Nishina E, Honda M, Yonekura Y, Fuwamoto Y, Kawai N, Maekawa T, Nakamura S, Fukuyama H, Shibasaki H. Inaudible high-frequency sounds affect brain activity: hypersonic effect. Journal of Neurophysiology 2000; 83(6): 3548-3558.
３）Harada T, Ishizaki F, Ito S, Aoi S, Miyaguchi M, Ikeda H, Nitta Y, Mibu M, Iida T, Chikamura C, Tamura N, Nitta K. Study of objective evaluation of effect of psychological relaxation using classic music. International Medical Journal 2017; 24(1): 31-33.
４）Harada T, Kurai R, Ito S, Nitta Y, Aoi S, Ikeda H, Iida T, Miyazaki H, Umei N, Chikamura C, Ishizaki F, Nitta K. Effect of joyful and anxiety-provoking music on autonomic nervous system function. International Medical Journal 2017; 24(2): 211-213.
５）原田俊英，山本竜太，伊藤祥史，石崎文子，二矢田勝行，宮崎洋行，上村一司，岩城富士大，今泉　敏．ハイレゾリューション音源が自律神経機能に及ぼす影響について．診療と新薬 2014；51(3)：331-334.
６）Ito S, Harada T, Ishizaki F, Yamamoto R,Niyada K, Miyazaki H, Nitta Y, Chikamura C, Suehiro K, Nitta K. Effect of high-resolution audio on function of autonomic nervous system. International Medical Journal 2016; 23(4): 339-341.
７）Ito S, Harada T, Ishizaki F, Yamamoto R,Niyada K, Miyazaki H, Nitta Y, Suehiro K, Nitta K. Relationship between acceleration plethysmography and headphone high-resolution music box audio. International Medical Journal 2018; 25(5): 327-329.
８）Miyazaki H, Harada T, Aonaka J, Ishizaki F, Kodama Y, Ito S, Numamoto H, Yoshikawa N, Nitta Y, Miki Y, Yamamoto R, Niyada K, Aoi S, Ikeda H,

Suehiro K, Nitta K. Relationship between autonomic nervous function and high-resolution music box audio. International Medical Journal 2020; 27(1): 13-15.
9）Miyazaki H, Harada T, Aonaka J, Ishizaki F, Kodama Y, Ito S, Nozaki M, Tsujimichi N, Numamoto H, Yoshikawa N, Nitta Y, Miki Y, Yamamoto R, Niyada K, Aoi S, Ikeda H, Kenji Suehiro K, Nitta K. Study on comparison of 24 with 16 bit headphone high-resolution music box audio. International Medical Journal 2020; 27(1): 55-57.
10）Ito S, Harada T, Miyaguchi M, Ishizaki F, Nitta Y, Chikamura C, Kodama Y, Niyada K, Yamamoto R, Nitta Y, Shiromoto O, Imaizumi S, Nitta K. Effect of high-resolution audio music box sound on EEG. International Medical Journal 2016; 23(2): 142-144.
11）Harada T, Aonaka J, Miyazaki H, Ishizaki F, Kodama Y, Ito S, Nitta Y, Miki Y, Yamamoto R, Niyada K, Aoi S, Ikeda H, Iida T, Suehiro K, Nitta K. Impacts of high-resolution and high-cut music box audio on balance. International Medical Journal 2019; 26(2): 118-121.
12）Harada T, Moriwaki Y, Ito S, Ishizaki F, Yamamoto R, Niyada K, Miyazaki H, Nitta Y, Aoi S, Ikeda H, Tadayuki Iida T, Nitta K. Influences of high-resolution music box sounds on the peripheral vascular system. International Medical Journal 2016; 23(6): 709-711.
13）Harada T, Ishizaki F, Hamada M, Horie N, Nitta Y, Nitta K, Katsuoka H, Nakamura S. Circadian rhythm of heart-rate variability and autonomic cardiovascular regulation in Parkinson's disease. Auton Nerv Syst (Tokyo) 2009; 46(4): 333-340.
14）景山　茂：心電図 R-R 間隔変動を用いた自律神経機能検査法．特集　自律神経機能検査法．Brain and Nerve 1984；36(5)：433-439.

DOI：10.18883/johcu.0901.01

The Impact of Listening to Nature Sounds on Autonomic Nervous System Function

Shoji ITO[1] Toshihide HARADA[2] Ryuta YAMAMOTO[3]
Katsuyuki NIYADA[1] Fumiko ISHIZAKI[2] Hiroyuki MIYAZAKI[1]

Abstract

We have previously investigated the effects of high-resolution music box sounds (hereinafter referred to as high-resolution music) on the autonomic nervous system function of the cardiovascular system. This time, we analyzed and studied the effects of sources of sound other than music box sounds on the autonomic nervous system function of the cardiovascular system.There are two types of audio sources: rain sounds and wave sounds. Rain sound listening involved 35 participants, while wave sound listening involved 28 participants. In the case of rain sounds, high-resolution music showed significantly higher values in the low-frequency component of heart rate variability analysis (LF), the high-frequency component (HF), and the coefficient of variation of heart rate (CVaa) compared to high-cut music. In the case of wave sounds, high-resolution music showed significantly higher values in LF, HF, the ratio of low-frequency component to high-frequency component (LF/HF), and CVaa compared to high-cut music.Based on the results of this study, it is suggested that high-resolution music resembling natural sounds like rain and waves leads to increased activity in both the sympathetic and parasympathetic nervous systems, resulting in an overall enhancement of autonomic nervous system function. Conversely, listening to high-cut music, which is artificially processed rain or wave sounds, appears to decrease the activity of both the sympathetic and parasympathetic nervous systems, leading to an overall reduction in autonomic nervous system function.

Key words: High-resolution music, High-cut music, Autonomic nervous system function, Nature sounds

[1] Faculty of Health Sciences, Hiroshima Cosmopolitan University, 3-2-1, Outuka-higasi, asaminami-ku, Hiroshima, 731-3166, Japan
[2] Faculty of Health and Welfare, Prefectural University of Hiroshima, 1-1, Gakuen-machi, Mihara, Hiroshima 723-0053, Japan
[3] Kinusura Labo Co., Ltd. 203, 9-25, Minamikanon 7-chome, Nishi-ku, Hiroshima-shi, Hiroshima 733-0035, Japan.