

R-01-2014

YIES Research Report

山梨県環境科学研究所研究報告書

第34号

プロジェクト研究

「自然環境から発生する音が聴覚中枢の活動に及ぼす影響に関する研究」

平成25年度

山梨県環境科学研究所

は じ め に

山梨県は、県土の78%が森林で占められ、これらの森林には県の内外から多くの来訪者を迎え入れています。山梨県環境科学研究所では、このような森林環境を保健休養面で活用するための研究を行ってきました。これまでに、森林や流水から発生する音には可聴域上限を超える20 kHz以上の周波数成分（超高周波数音）が含まれることや、超高周波数音を含む自然環境音の聴取によってリラクソスの指標となる脳波の α 波成分が活性化されることなどを報告してまいりました。

これらの研究を引き継いで行ったプロジェクト研究「自然から発生する音が聴覚中枢の活動に及ぼす影響に関する研究」の成果を、本報告書にまとめました。本研究では、超高周波数音による聴覚中枢の活性化を確認するには至りませんでした。超高周波数音は直立姿勢維持時の感覚情報の統合過程に影響を及ぼす可能性が示されました。

近年、超高周波数音は人の健康への効用が注目されつつあります。単独では音として知覚されない超高周波数音が、可聴域音と共存することによって可聴域音の聴き取りに何らかの効果もたらす、といった聴覚系への効用に着目したものが中心であるなか、本研究では、聴覚以外の感覚情報の統合過程にも調査の範囲を広げました。その結果、超高周波数音を含む自然環境音を人の背後から提示したときに前後方向の揺れが誘発される可能性を見いだしました。現時点ではプレリミナリーではありますが、今後さらに基礎研究を積み重ねていけば歩行の誘導技術への応用の可能性も考えられ、超高周波数音の活用法に新たな展開をもたらすものと言えます。

山梨県の豊富な森林環境は、その保健休養機能が広く認められ、ウェルネスツーリズムへの振興が図られています。一方、今回報告する研究成果が、森林環境の持つ機能の新たな一面を示すものとなり、今後、県民の生活を豊かにする技術へと発展していくことを期待します。

山梨県環境科学研究所

所 長 荒 牧 重 雄

I プロジェクト研究の概要

I-1 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ名：

「自然から発生する音が聴覚中枢の活動に及ぼす影響に関する研究」

研究期間：

平成 23 年 4 月～平成 25 年 3 月（2 カ年）

I-2 研究体制

山梨県環境科学研究所

研究代表者：

山梨県環境科学研究所 環境生理学研究室
非常勤嘱託 松本 清

所内研究参加者：

山梨県環境科学研究所 副 所 長 永井 正則¹⁾
山梨県環境科学研究所 環境生理学研究室
研 究 員 堀内 雅弘²⁾
助 手 遠藤 淳子

所外共同研究者：

至学館大学健康科学部 准 教 授 石田 光男
日本大学法学部 教 授 和田 万紀
山梨県工業技術センター
主幹研究員 岩間 貴司
山梨県富士工業技術センター
主任研究員 山田 博之

(¹⁾ 平成 23 年度まで在籍、²⁾ 平成 24 年度より在籍)

I-3 研究目的

平成 20 年度から 21 年度の山梨県総合理工学研究機構共同研究「自然資源のもたらす保健休養上の効用に関する研究」において、①森林や流水から発生する音には 20 kHz 以上の周波数成分（超高周波数音）が含まれること（山梨県総合理工学研究機構研究報告書第 4 号、2009）、②超高周波数音を含む自然環境音の聴取によって、 α 波帯域の脳波成分が活性化されること（山梨県総合理工学研究機構研究報告書第 5 号、2010）が明らかとなった。これらのことから、自然環境から発生する音には超高周波数音が含まれている場合があり、超高周波数音が含まれている自然環境音を聴取することによってストレス軽減効果を得られる可能性が示された。

そこで本プロジェクト研究では、自然環境から発生す

る音に含まれる超高周波数音の発展的な活用法を探るため、人の聴覚活動および聴覚以外の感覚情報処理にもたらす影響を明らかにすることを試みる。まず、超高周波数音が聴覚中枢を活性化するか否かについて、聴覚誘発電位を用いて明らかにする（サブテーマ 1）。次に、超高周波数音が可聴域音の聴き取り易くするか否かについて、聴力検査を用いて明らかにする（サブテーマ 2）。また、聴覚以外の感覚情報の統合過程に影響するか否かについて、重心動揺検査を用いて明らかにする（サブテーマ 3）。

I-4 研究成果の概要

サブテーマ 1 超高周波数音が聴覚中枢に及ぼす影響について

聴覚中枢の活動の指標として、音刺激を与えて頭皮上から記録される聴覚誘発電位を用いた。聴覚誘発電位は、ビーブ音を繰り返し提示しながら同時に脳波の記録を行い、ビーブ音のタイミングに同期させて脳波を加算平均処理することによって、その波形を求めることができる。本研究では、音の開始後から 100 ms（0.1 秒）付近に、音の立ち上がりに関連して出現する陰性成分（N1）に注目した。N1 の振幅はビーブ音の聴覚情報処理の量的な評価に、N1 のピーク潜時はビーブ音の聴覚情報処理の速さの評価に、それぞれ利用することができる。

成人男女（大学生および社会人）を対象に、①背景音なし条件（Control）、②可聴域音のみの自然環境音を背景音として提示する条件（Audible）、③超高周波数音を含む自然環境音を背景音として提示する条件（Full）の 3 条件下において、聴覚誘発電位を導出する実験を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

背景音のある Audible および Full 条件（②および③）は、ビーブ音が自然環境音に紛れているため、背景音のない Control 条件（①）に比べ、聴覚誘発電位 N1 の振幅が減少しピーク潜時が延長した。自然環境音に超高周波数音が含まれている Full 条件（③）と含まれていない Audible 条件（②）との間に、N1 の振幅や潜時の差は認められなかった（図 I-1）。

先行する「自然資源のもたらす保健休養上の効用に関する研究」では、超高周波数音を含む自然環境音の聴取による α 波帯域の脳波成分の活性化を見出している（山梨県総合理工学研究機構研究報告書第 5 号、2010）。本研究でも、聴覚誘発電位測定に先立ち、背景音を聴取している時の脳波の測定し追試を行った。周波数解析を行った結果、自然環境音に超高周波数音が含まれている Full 条件（③）と含まれていない Audible 条件（②）との間

に、 α 波の含有率に関して差は認められなかった。

したがって、本研究の実験設定では、そもそも超高周波数音の効果が発揮されず、聴覚中枢に及ぼす影響を抽出できなかった可能性が考えられる。

サブテーマ 2 超高周波数音が可聴域音の聴き取り易さに及ぼす影響について

可聴域音の聴き取り易さは、純音聴力検査（気導聴力および骨導聴力）を用いて調査した。検査音の周波数は 500 Hz、1000 Hz、2000 Hz の 3 種類（低音、標準、高音）とし、検査音のサンプルを提示した後に、聴こえない音圧から開始し 2 dB ずつ音圧を上げていき、「きこえる」という応答が初めて得られた音圧を聴力レベル（音圧閾値）として求めた。気導聴力の検査にはスピーカーを（自由音場検査）、骨導聴力には専用の骨導受話器を用いた。

成人男女（大学生および社会人）を対象に、①背景音なし条件（Control）、②可聴域音のみの自然環境音を背景音として提示する条件（Audible）、③超高周波数音を含む自然環境音を背景音として提示する条件（Full）の 3 条件下において、聴力検査実験を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

背景音のある Audible および Full 条件（②および③）においては、自然環境音に紛れた検査音を聴き取らなければならないため、背景音のない Control 条件（①）に比べ、気導聴力・骨導聴力とも低下（音圧閾値は上昇）した。自然環境音に超高周波数音が含まれている Full 条件（③）と含まれていない Audible 条件（②）の間には、気導聴力・骨導聴力とも聴力（音圧閾値）の差は認められなかった（図 I-2）。

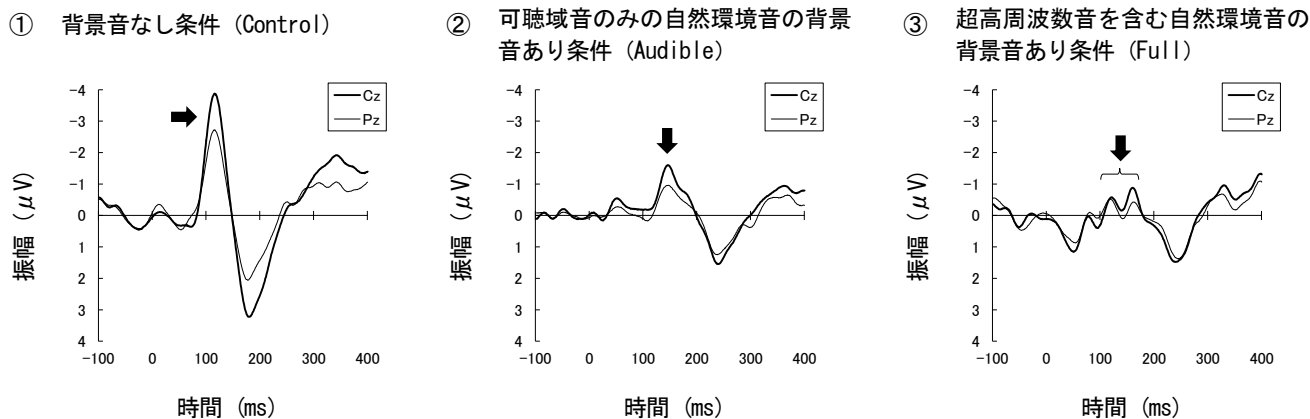


図 I-1 聴覚誘発電位（成人男女 15 名の総加算平均波形を示す。図中の矢印の示す陰性成分が N1 である。Cz：正中中心部、Pz：正中頭頂部。）

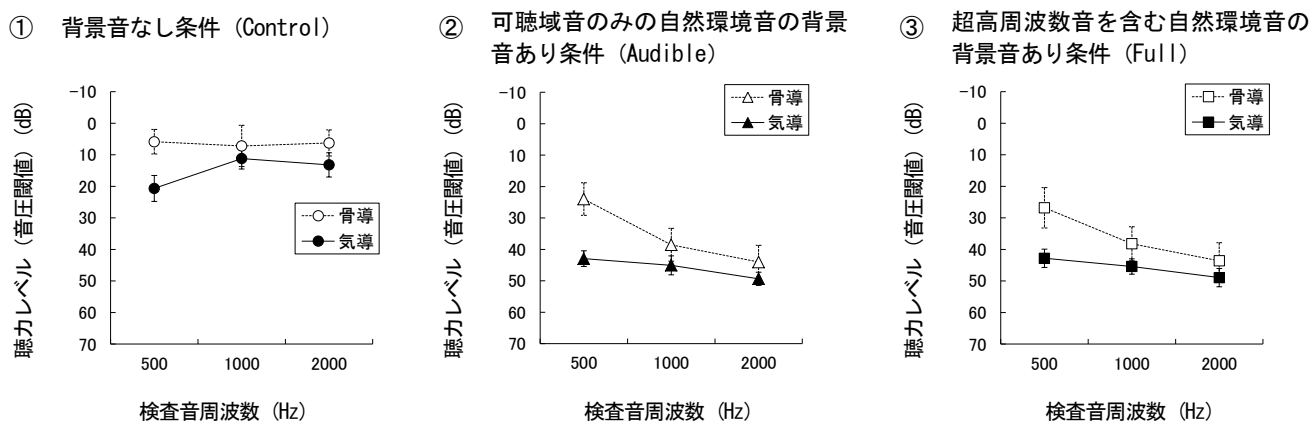


図 I-2 聴力レベル（音圧閾値）（成人男女 15 名の平均値と標準偏差を示す。点線：骨導聴力、実線：気導聴力。聴力レベル（音圧閾値）は数値が小さいほど聴き取りが良好であることを示すため、縦軸は反転している。）

サブテーマ 1 と同様、聴力検査に先立つ背景音聴取時の脳波の周波数解析の結果、 α 波の出現に関して Full 条件 (③) と Audible 条件 (②) との間に差が認められなかったことから、本研究の実験設定では、そもそも超高周波数音の効果が発揮されなかったため、可聴域の聴き取り易さに及ぼす影響を抽出できなかった可能性が考えられる。

サブテーマ 3 超高周波数音が感覚情報の統合過程に及ぼす影響について

超高周波数音が、前庭感覚 (平衡感覚) や視覚などの他の感覚と干渉する可能性について、直立姿勢の維持機能を指標として検討した。直立中の重心動揺は、その動揺軌跡の長さや面積から姿勢の安定性を評価し、周波数分析から姿勢維持に関わる視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度も定量化することができる。これらの測定項目に基づいて、超高周波数音の聴取が姿勢維持の安定性やそれぞれの感覚の関与度に与える影響を調査した。また、背景音の有無や音源の位置の影響も合わせて検討した。

大学生男女 20 名を被験者とし、次の 7 つの実験条件下で、直立姿勢を維持しているときの重心動揺検査を行った。①背

景音なし条件 (Control)、②可聴域音のみの自然環境音を背景音として、被験者の左右両側に配置したスピーカーから提示する条件 (Audible, Bilateral)、③超高周波数音を含む自然環境音を、両側から提示する条件 (Full, Bilateral)、④可聴域音のみの自然環境音を、左側のスピーカーのみ提示する条件 (Audible, Left)、⑤超高周波数音を含む自然環境音を、左側のスピーカーのみ提示する条件 (Full, Left)、⑥可聴域音のみの自然環境音を、被験者の背後に配置したスピーカーから提示する条件 (Audible, Posterior)、⑦超高周波数音を含む自然環境音を、後方から提示する条件 (Full, Posterior)。その結果、以下のことが明らかとなった。

重心動揺の総軌跡長、前後方向の軌跡長、視覚系や前庭感覚系 (耳石器官) の情報が反映される 0.5 Hz 以下の帯域の左右方向のパワーにおいて開閉眼の影響に加え、可聴域音のみの自然環境音が提示される Audible 条件 (②, ④, ⑥) よりも、超高周波数音を含む自然環境音が提示される Full 条件 (③, ⑤, ⑦) の方が増加していた (図 I-3)。したがって、超高周波数音は視覚や前庭感覚 (耳石器官) の姿勢維持への関与度を低下させ、姿勢を不安定にする可能性が示された。

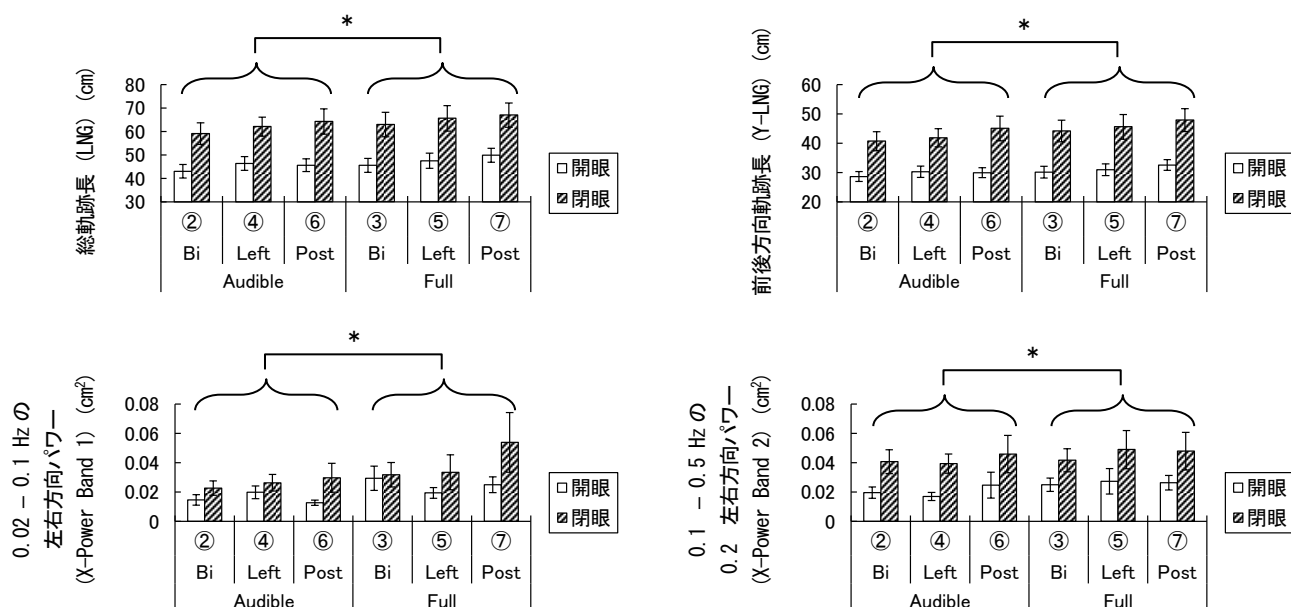


図 I-3 重心動揺検査の各項目 (大学生男女 20 名の平均値と標準誤差を示す。白 : 開眼時、斜線 : 閉眼時。Bi : 両側にスピーカー、Left : 左側にスピーカー、Post : 後方にスピーカー。Audible : 可聴域音のみの自然環境音、Full : 超高周波数音を含む自然環境音。)* : $p < 0.05$ 。

体性感覚系や前庭感覚系（半規管）の情報が反映される 0.5 H 以上の帯域の前後方向での含有率においては、両側（Bilateral: ②, ③）および左側（Left: ④, ⑤）のスピーカーの位置では、“自然環境音が可聴域音のみ” か “超高周波数音を含む” かの間（Audible – Full: ②–③, ④–⑤）に差がなかったのに対し、後方から自然環境音を提示した場合

（Posterior: ⑥, ⑦）では、可聴域音のみの自然環境音（Audible: ⑥）よりも超高周波数音を含む自然環境音（Full: ⑦）の方が増加していた（図 I – 4）。したがって、超高周波数音はその音源が前後軸上に位置するとき、体性感覚や前庭感覚（半規管）の姿勢維持への関与度を低下させ、前後方向の揺れを誘発する可能性が示された。

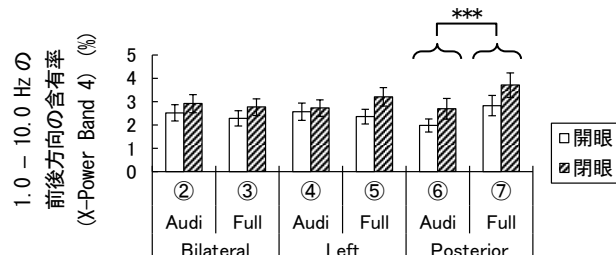
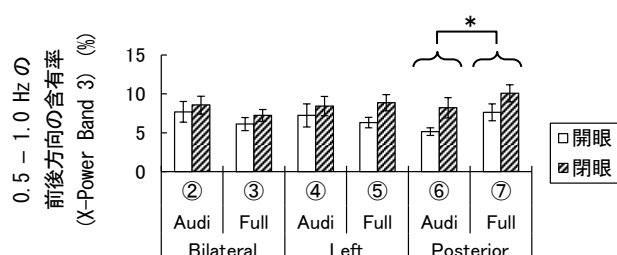


図 I – 4 重心動揺検査の各項目（大学生男女 20 名の平均値と標準誤差を示す。白：開眼時、斜線：閉眼時。Audi：可聴域音のみの自然環境音、Full：超高周波数音を含む自然環境音。Bilateral：両側にスピーカー、Left：左側にスピーカー、Posterior：後方にスピーカー。）*： $p < 0.05$, ***： $p < 0.001$.

まとめ

今回の実験では、超高周波数音が聴覚中枢や可聴域音の聴き取り易さに及ぼす影響を確認することはできなかった。ただし、今回の実験では、超高周波数音を含む自然環境音を聴取しているときに脳波の α 波帯域のパワーの増加も観察されなかったため、超高周波数音の効果が発揮されにくい実験設定となっていた可能性も考えられる。したがって、超高周波数音の聴覚中枢や可聴域音の聴き取り易さに及ぼす影響については再検討する必要がある。

一方、超高周波数音が感覚情報の統合過程に及ぼす影響として、人の背後から超高周波数音を含む自然環境音を提示したときに、前後方向の揺れが誘発される可能性が示された。この特徴の利活用案のひとつとしては、歩行誘導技術への応用の可能性が考えられる。そのためには、今後、対象者の年齢を広げて追試を行ったり、異なる実験条件で検討したりして、さらに基礎データを蓄積した上で検討していくことが必要であると考えられる。

I – 5 研究成果の発表状況

(A) 出版物

- 1) Ishida M., Saitoh H., Wada M. and Nagai M. (2010) Effects of anticipatory anxiety and visual input on postural sway in an aversive situation. *Neuroscience Letters* 474: 1-4.
- 2) 永井正則 (2011) 不安レベルと不安傾向が生理機能に影響する. *自律神経* 48: 192-195.
- 3) Falcon J., Besseau L., Manganou E., Herrero MJ, Nagai M., Goeuf G. (2012) Melatonin, the time keeper: biosynthesis and effects in fish. *Cybiu* 35: 3-18.
- 4) 村松憲、石黒友康、丹羽正利、上村孝司、永井正則、佐々木誠一 (2012) 高血糖によって誘発される運動ニューロンの形態変化. *運動障害* 22: 1-4.
- 5) Muramatsu K., Niwa M., Nagai M., Kamimura T., Sasaki S. and Ishiguro T. (2012) The size of motoneurons of the gastrocnemius muscle in rats with diabetes. *Neuroscience Letters* 531: 109-113.
- 6) Nagai M. (2012) Changes in immune activities by thermal

stress — an overview of findings in 1980s and 1990s —. Mt. Fuji Research 6: 1-8.

- 7) Ohno-Sadachi H., Saitoh J. and Nagai M. (2012) The odor of lavender maintains the pattern of autonomic nervous activities during sleep in humans exposed to stress. Mt. Fuji Research 6: 9-15.

(B) 学会発表

- 1) 石田光男、永井正則 (2010) 森林環境の音響特性と α 波誘導効果の検討. 第28回日本生理心理学会大会、水戸、平成22年5月.
- 2) Nagai M. and Ishida M. (2010) Control of standing posture during pregnancy. The 87th Meeting of the Physiological Society of Japan, Morioka, May 2010.
- 3) 永井正則、石田光男、和田万紀 (2010) 妊娠中の腹囲と直立姿勢の維持. 第28回日本生理心理学会大会、水戸、平成22年5月.
- 4) 和田万紀、石田光男、永井正則、御園生拓 (2010) 学習活動が免疫グロブリンAの分泌に与える影響. 日本教育心理学会第52回大会総会、東京、平成22年8月.
- 5) 松本清、和田万紀、永井正則 (2010) ストレス対処行動と皮膚感覚閾値. 第63回日本自律神経学会総会、横浜、平成22年10月.
- 6) 永井正則 (2010) 不安レベルと不安傾向が生理機能に影響する. 第63回日本自律神経学会総会シンポジウム「体温調節と発汗：機能解剖、発汗の臨床、そして心理要因の影響」、横浜、平成22年10月.
- 7) 松本清、和田万紀、永井正則 (2011) 自然環境音聴取時の重心動揺. 第39回日本バイオフィードバック学会学術総会、東京、平成23年6月.
- 8) 永井正則、石田光男、和田万紀 (2011) 森林環境のもたらす保健休養効果. 第64回日本自律神経学会総会、秋田、平成23年10月.
- 9) 永井正則 (2012) 野外活動時の生体反応計測について(招待講演). 日本野外教育学会中部甲信越ブロック会議、甲府、平成24年3月.
- 10) 和田万紀、永井正則 (2012) 中学生における座学が分泌型免疫グロブリンAの唾液中への分泌に及ぼす影響. グループダイナミクス学会第59回大会、京都、平成24年9月.
- 11) 和田万紀、永井正則 (2012) 女子大生の甘味閾値に及ぼ

す月経周期の影響. 第76回日本心理学会大会、川崎、平成24年9月.

(C) 講演等

- 1) 永井正則、遠藤淳子 (2010) 県民緑化まつり「さわやか森林浴のつどい」における生理心理指標の測定実習および供覧. 都留市、平成22年4月.
- 2) 永井正則、松本清、遠藤淳子 (2010) 武田の杜「セラピーウォーク」における生理心理指標の測定実習および供覧. 甲府市、平成22年5月.
- 3) 永井正則 (2010) 森林環境がもたらす保健効果. 環境・健康ビジネス研究会、北杜市、平成22年6月.
- 4) 永井正則 (2010) 睡眠と健康 — 質のよい睡りのために. 伊東高校同窓会定期総会記念講演. 伊東市、平成22年6月.
- 5) 永井正則 (2010) 森林環境そして香りの効用. 国際ロータリークラブ第2620地区インターアクト第37回年次大会、富士吉田市、平成22年7月.
- 6) 永井正則、松本清、遠藤淳子 (2010) 「金川の森まつり」における生理心理指標の測定実習および供覧. 笛吹市、平成22年10月.
- 7) 永井正則 (2010) 環境と人間. 伊東高校「読書ウィーク」講演、伊東市、平成22年10月.
- 8) 永井正則 (2011) 森林環境のもたらす保健休養効果. 環境・健康ビジネス研究会、北杜市、平成23年3月.
- 9) 永井正則、松本清、遠藤淳子 (2011) 武田の杜「セラピーウォーク」における生理心理指標の測定実習および供覧. 甲府市、平成23年5月.
- 10) 永井正則 (2011) 森林と高原を活用したストレス軽減法. 第1回森林療法プログラム体験セミナー ～森のチカラを科学する～. 北杜市、平成23年5月.
- 11) 永井正則 (2011) ストレスと睡眠. 第1回森林療法プログラム体験セミナー ～森のチカラを科学する～. 北杜市、平成23年5月.
- 12) 永井正則 (2011) 暑さ寒さと健康. 平成23年度山梨県環境科学研究所「環境科学講座」、富士吉田市、平成23年6月.
- 13) 永井正則、松本清、遠藤淳子 (2011) 「金川の森公園まつり」における生理心理指標の測定実習および供覧. 笛吹市、平成23年10月.

- 14) 永井正則、松本清、遠藤淳子（2011）「富士河口湖町誕生祭」における生理心理指標の測定実習および供覧．富士河口湖町、平成 23 年 10 月．
- 15) 永井正則（2011）森の癒しを科学する．県立八ヶ岳自然ふれあいセンター体験会&講演会、北杜市、2011 年 11 月．
- 16) 永井正則（2012）香りの効用．環境・健康ビジネス研究会、甲府市、平成 24 年 5 月．
- 17) 永井正則（2012）森林のセラピー機能．第 15 回関東甲信越地区農学部附属演習林技術職員研修、山中湖村、平成 24 年 6 月．
- 18) 堀内雅弘、松本清、遠藤淳子（2012）武田の杜「セラピーウォーク」における生理心理指標の測定実習および供覧．甲府市、平成 24 年 5 月．
- 19) 瀬子義幸、松本清、遠藤淳子（2012）武田の杜「新緑の山歩きと要害温泉」における生理心理指標の測定実習および供覧．甲府市、平成 24 年 6 月．

I-6 謝辞

本研究の遂行に必要な被験者の募集に関して、ご理解とご協力をいただいた山梨大学、山梨英和大学、山梨県立大学、健康科学大学の先生方並びに関係各位に深く感謝いたします。同時に、学業または職務の合間をぬって、被験者として実験に参加いただいた学生および社会人のみなさまに心より感謝申し上げます。

Ⅱ 研究成果報告

Ⅱ－１ 研究テーマおよび研究期間

研究テーマ名：

「自然から発生する音が聴覚中枢の活動に及ぼす影響に関する研究」

研究期間：

平成 23 年 4 月～平成 25 年 3 月（2 カ年）

Ⅱ－２ 研究組織

山梨県環境科学研究所			
環境生理学研究室	非常勤嘱託	松本	清
山梨県環境科学研究所	副 所 長	永井	正則 ¹⁾
山梨県環境科学研究所	環境生理学研究室		
	研 究 員	堀内	雅弘 ²⁾
	助 手	遠藤	淳子
至学館大学健康科学部	准 教 授	石田	光男
日本大学法学部	教 授	和田	万紀 ^{a)}
山梨県工業技術センター			
	主幹研究員	岩間	貴司
山梨県富士工業技術センター			
	主任研究員	山田	博之

(¹⁾ 平成 23 年度まで在籍、²⁾ 平成 24 年度より在籍)

a) サブテーマ 3 を分担

Ⅱ－３ 研究目的

平成 20 年度から 21 年度の山梨県総合理工学研究機構共同研究「自然資源のもたらす保健休養上の効用に関する研究」において、①森林や流水から発生する音には 20 kHz 以上の周波数成分（超高周波数音）が含まれること（山梨県総合理工学研究機構研究報告書第 4 号、2009）、②超高周波数音を含む自然環境音の聴取によって、 α 波帯域の脳波成分が活性化されること（山梨県総合理工学研究機構研究報告書第 5 号、2010）が明らかとなった。これらのことから、自然環境から発生する音には超高周波数音が含まれている場合があり、超高周波数音が含まれている自然環境音を聴取することによってストレス軽減効果を得られる可能性が示された。

そこで本プロジェクト研究では、自然環境から発生する音に含まれる超高周波数音の発展的な活用法を探るため、人の聴覚活動および聴覚以外の感覚情報処理にもた

らす影響を明らかにすることを試みる。まず、超高周波数音が聴覚中枢を活性化するか否かについて、聴覚誘発電位を用いて明らかにする（サブテーマ 1）。次に、超高周波数音が可聴域音の聴き取り易くするか否かについて、聴力検査を用いて明らかにする（サブテーマ 2）。また、聴覚以外の感覚情報の統合過程に影響するか否かについて、重心動揺検査を用いて明らかにする（サブテーマ 3）。

Ⅱ－４ 研究成果

サブテーマ 1 超高周波数音が聴覚中枢に及ぼす影響について

本サブテーマでは、ピープ音を聴かせた時に脳波上に現れる聴覚誘発電位を指標として、超高周波数音が聴覚中枢の活動を活性化する可能性を検討する。そのために、超高周波数音聴取の有無が、聴覚誘発電位の大きさ（振幅）とピーク潜時に及ぼす影響を比較する。超高周波数音が聴覚中枢の活動を活性化するならば、超高周波数音の聴取によって聴覚誘発電位の振幅が増大したりピーク潜時が短縮したりすることが予想される。なお、超高周波数音は、先行する山梨県総合理工学研究機構共同研究の際に、山梨県内の森林環境で採取した音を用いる。

研究倫理

本実験は、山梨県環境科学研究所倫理委員会の審査・承認を受けて行った。実験方法につき事前に被験者に十分説明し、被験者自身のインフォームドコンセントを書面にて確認した。

方法

実験には、20 歳から 59 歳までの成人男女（大学生および社会人）15 名が参加した（平均年齢 32.8 歳）。実験に先立ち、一般の定期健康診断で行われる聴力検査を実施し、被験者全員の聴力レベルが通常であることを確認した。

実験は、山梨県環境科学研究所内の人工気象室にて実施した。無響音室の環境に近づけるため、4 面の壁には白い布をカーテン状となるよう取り付け、床にはカーペットを敷いた（図Ⅱ－1）。空調による音や風の影響を避けるため、室内の温度湿度の調節は実験の開始直前までとした。

実験で使用する自然環境音には、板敷溪谷・大滝（山梨県甲府市）の滝から 10 m 付近で収録された音を用いた（図Ⅱ－2）。44 kHz、192 kHz でサンプリング加工したものを、それぞれ「可聴域音のみの自然環境音」、「超高

周波数音を含む自然環境音」として使用した。自然環境音を再生するスピーカーには、20 kHz 以上の音も再生可能なスピーカーを用いて、騒音レベル 70 dB（現地で収録した際の音圧と同等レベル）で提示した。

実験は、脳波の記録、聴力検査（サブテーマ 2 で結果報告）、聴覚誘発電位の導出の 3 つの計測を 1 セットとした。実験条件は次の 3 条件とし、各条件下で 1 セットずつ（計 3 セット）行った。条件の順序はカウンターバランスをとった。

- ① 背景音なし条件（Control）
- ② 可聴域音のみの自然環境音を背景音として提示する条件（Audible）
- ③ 超高周波数音を含む自然環境音を背景音として提示する条件（Full）

聴覚誘発電位を導出するために、1000 Hz のビーブ音を 1.5 秒に 1 回提示し、同時にトリガー信号を脳波計に

取り込み、その間の 2 分間の脳波を記録した。被験者には、安静座位にて、正面の壁の目の高さの位置に配置された注視点を見ながら、ビーブ音を聞くよう指示を与えた。

聴覚誘発電位は、頭皮上の正中中心部（Cz）および正中頭頂部（Pz）の 2 か所より導出された（図 II-3）。脳波をビーブ音のトリガー信号に同期させ、ビーブ音前 100 ms からビーブ音後 400 ms までの 500 ms を対象区間とした。瞬きなどアーチファクトの混入した試行を除き、加算平均処理を行った。

なお、聴覚誘発電位の導出に先立ち、超高周波数音の脳波 α 波帯域の活性効果を確認するために、頭皮上の左前頭部（F3）、右前頭部（F4）、左頭頂部（P3）、右頭頂部（P4）の計 4 か所より脳波を 4 分間記録した（図 II-3）。

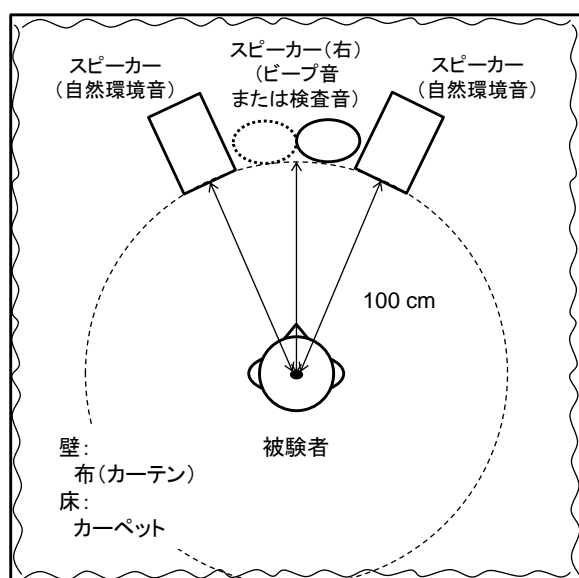


図 II-1 実験室内の様子（上：スピーカーの配置図、下：室内の写真。ビーブ音：サブテーマ 1 において聴覚誘発電位の導出に使用、検査音：サブテーマ 2 において聴力検査に使用。）

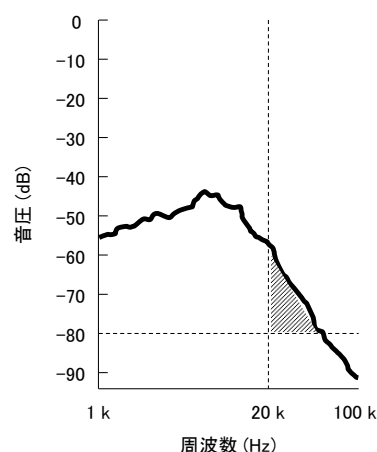


図 II-2 自然環境音（大滝）の周波数特性（斜線部分：可聴域上限の 20 kHz を超える音。）

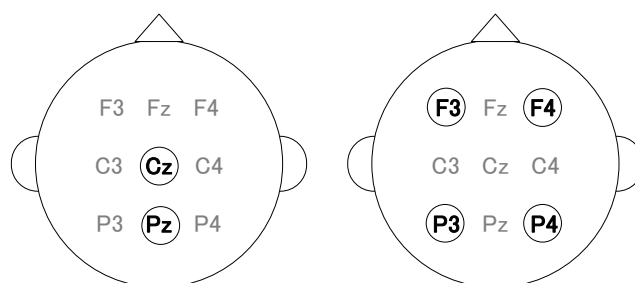


図 II-3 電極配置図（頭を真上から見た図。左：聴覚誘発電位の電極配置、右：脳波の電極配置。）

結果

聴覚誘発電位 被験者全員の聴覚誘発電位の総加算平均波形を図Ⅱ-4に示す。背景音のないControl条件(①)では、ビープ音の開始後から100 ms (0.1秒) 付近に音の立ち上がりに関連して出現する陰性成分(N1)と、それに続いて180 ms 付近に顕著な陽性成分(P2)が観察された。しかしながら、背景音のあるAudibleおよびFull条件(②および③)では、ビープ音後100-200 ms の間に複数の陰性のピークが出現し、また、Control条件のP2に比べかなり遅れて(ビープ音後240 ms 付近)陽性成分が観察された。AudibleおよびFull条件の陽性成分は、その潜時の長さから、P2波というよりもP3a波にあたる可能性も考えられる。

そこで、今回はN1のみを対象とし、各被験者の100 ms 付近の陰性ピークをN1と同定し、その振幅と潜時を計測した。N1同定が困難であった1名を除いた14名のN1振幅および潜時に関して、背景音条件(Control/Audible/Full)を要因とした分散分析を行った(表Ⅱ-1)。

表Ⅱ-1 背景音条件(Control/Audible/Full)を要因とした分散分析 ($df = 2, 26$)

		F	p	
振幅	Cz	12.776	< 0.001	***
	Pz	7.136	0.003	**
潜時	Cz	13.130	< 0.001	***
	Pz	7.699	0.002	**

その結果、N1振幅に関しては背景音のないControl条件(①)が背景音のあるAudibleおよびFull条件(②および③)より大きいことが示され、Audible(②)とFull(③)の条件間に差は認められなかった。N1潜時も同様

に、Control条件(①)の潜時はAudibleおよびFull条件(②および③)より短く、Audible(②)とFull(③)の条件間に有意差は得られなかった(図Ⅱ-5)。

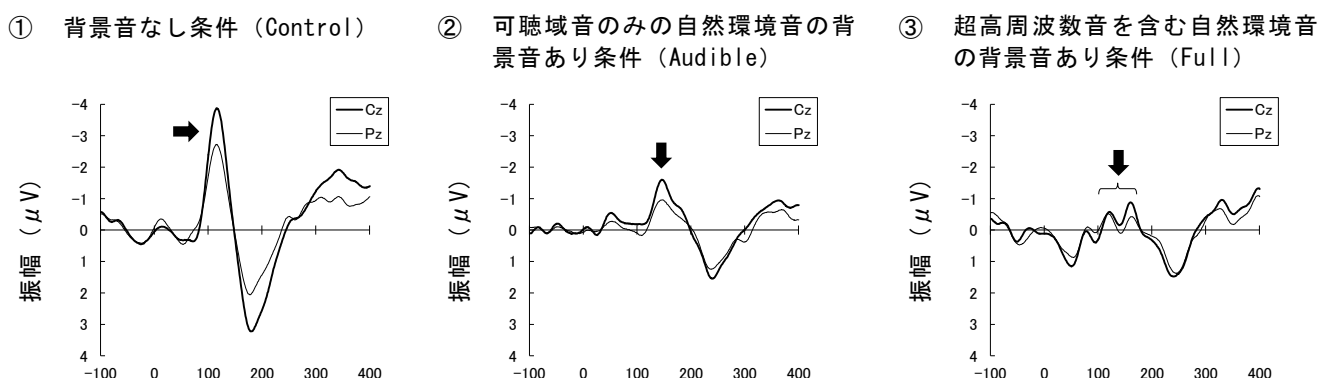
したがって、聴覚誘発電位に対する超高周波数音の有無の影響は検出されず、超高周波数音の聴取による聴覚中枢の活動の活性化は確認することができなかった。

脳波の周波数解析 聴覚誘発電位の導出に先立ち測定した脳波の周波数解析を行った。瞬きによるアーチファクト混入の著しかった2名を除く13名を対象に、4か所(F3, F4, P3, P4)の電極ごとに α 波帯域の含有率について、1分ごとの平均値を求め、背景音条件や時間経過の効果を検討した(図Ⅱ-6)。

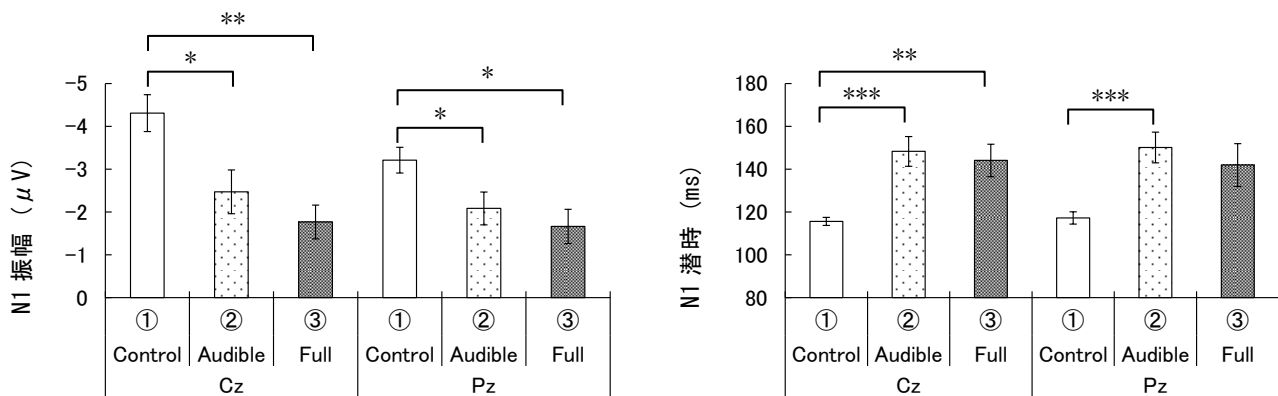
背景音条件(Control/Audible/Full)×時間(1分/2分/3分/4分)の分散分析を行った結果(表Ⅱ-2)、いずれの電極においても、背景音条件の主効果および時間の主効果に有意差は得られなかった。右前頭部(F4)では背景音条件×時間の交互作用に有意差が認められたため単純主効果検定を行ったが、いずれも有意差は認められなかった。それ以外の3ヶ所(F3, P3, P4)では交互作用の有意差は得られなかった。

したがって、先行する「自然資源のもたらす保健休養上の効用に関する研究」において見出された、超高周波数音を含む自然環境音の聴取による α 波帯域の脳波成分の活性化(山梨県総合理工学研究機構研究報告書第5号、2010)が、本実験では再現されていなかったと考えられる。

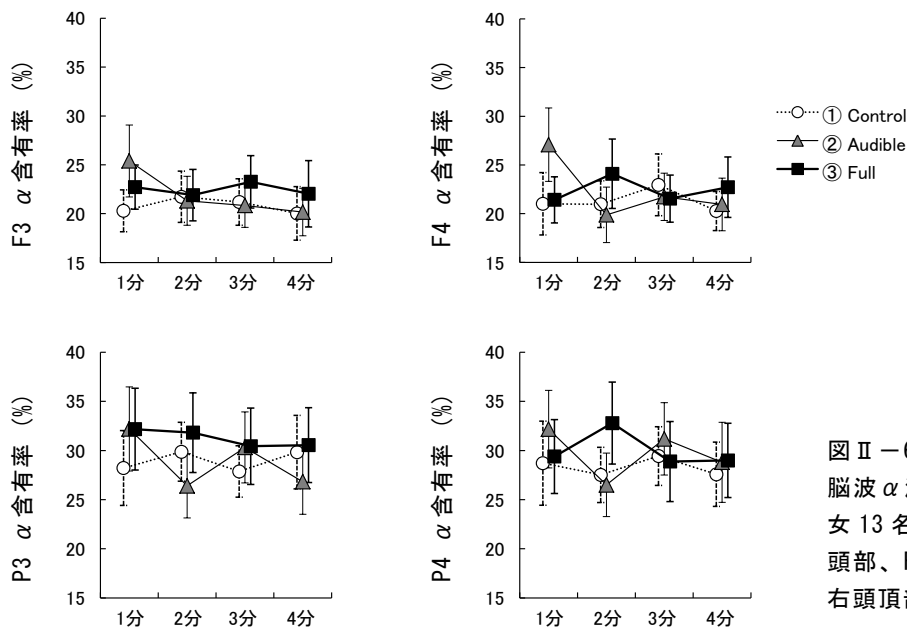
以上の結果から、今回の実験では、そもそも超高周波数音の効果が発揮されず、聴覚中枢に及ぼす影響を抽出できなかった可能性が考えられる。



図Ⅱ-4 聴覚誘発電位(成人男女15名の総加算平均波形を示す。図中の矢印の示す陰性成分がN1である。Cz:正中中心部、Pz:正中頭頂部。)



図Ⅱ－5 聴覚誘発電位 N1 の振幅および潜時（成人男女 14 名の平均と標準誤差を示す。Cz：正中中心部、Pz：正中頭頂部。）***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$.



図Ⅱ－6 脳波 α 波帯域の含有率の時間経過（成人男女 13 名の平均と標準誤差を示す。F3：左前頭部、F4：右前頭部、P3：左頭頂部、P4：右頭頂部。）

表Ⅱ－2 脳波 α 波帯域の含有率についての背景音条件（Control/Audible/Full）×時間（1分/2分/3分/4分）の分散分析

	背景音条件 (df = 2, 24)		時間 (df = 3, 36)		背景音条件 × 時間 (df = 6, 72)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
F3	0.991	0.385	0.699	0.558	0.816	0.560
F4	0.326	0.724	0.720	0.493	2.330	0.041 *
P3	0.892	0.381	0.308	0.819	0.822	0.556
P4	0.384	0.684	0.419	0.739	1.075	0.385

サブテーマ 2 超高周波数音が可聴域音の聴き取り易さに及ぼす影響について

本サブテーマでは、聴力検査を指標として、超高周波数音が可聴域音の聴き取り易くするかどうかを検討する。そのために、超高周波数音聴取の有無が、聴力レベル（音圧閾値）に及ぼす影響を比較する。背景音がある場合の聴力レベルは、背景音がない場合よりも低下すると考えられるが、超高周波数音が可聴域音を聴き取り易くするならば、超高周波数音の聴取によって聴力レベルの低下は抑制されることが予想される。なお、超高周波数音は、先行する山梨県総合理工学研究機構共同研究の際に、山梨県内の森林環境で採取した音を用いる。

研究倫理

本実験は、山梨県環境科学研究所倫理委員会の審査・承認を受けて行った。実験方法につき事前に被験者に十分説明し、被験者自身のインフォームドコンセントを書面にて確認した。

方法

実験には、サブテーマ 1 と同様、20 歳から 59 歳までの成人男女（大学生および社会人）15 名が参加した（平均年齢 32.8 歳）。実験に先立ち、一般の定期健康診断で行われる聴力検査を実施し、被験者全員の聴力レベルが通常であることを確認した。

実験は、サブテーマ 1 と同じく、山梨県環境科学研究所内の人工気象室にて実施した（図 II-1）。また、実験で使用する自然環境音もサブテーマ 1 と同じ音（大滝）を（図 II-2）、同じく 20 kHz 以上の音も再生可能なスピーカーを用いて提示した。

実験は、脳波の記録（サブテーマ 1 で報告）、聴力検査、聴覚誘発電位（サブテーマ 1 で報告）の導出の 3 つの計測を 1 セットとした。実験条件は次の 3 条件とし、各条件下で 1 セットずつ（計 3 セット）行った。条件の順序はカウンターバランスをとった。

- ④ 背景音なし条件（Control）
- ⑤ 可聴域音のみの自然環境音を背景音として提示する条件（Audible）
- ⑥ 超高周波数音を含む自然環境音を背景音として提示する条件（Full）

聴力検査には、純音聴力検査（気導聴力および骨導聴力）を用いた。検査音の周波数は 500 Hz、1000 Hz、2000 Hz の 3 種類（低音、標準、高音）とし、周波数ごとに検査を行った。検査法は上昇法を採用し、検査音のサンプルをはっきりと聴こえる程度で提示した後に、聴こえない音圧から開始し 2 dB ずつ音圧を上げていき、「きこえる」という応答が初めて得られた音圧を聴力レベル（音圧閾値）として求めた。気導聴力の検査音はスピーカーを用いて（自由音場検査）、骨導聴力の検査音は専用の骨

導受話器を右耳の後ろ側の乳突部に装着して、それぞれ提示した。

結果

気導聴力および骨導聴力の周波数ごとの平均聴力レベルを図 II-7 に示す。どの条件においても、乳突部に直接的に検査音を提示する骨導聴力の方が、気導聴力より聴き取りは良好（つまり聴き取り易い）であった。予想通り、気導聴力および骨導聴力ともに、背景音のない Control 条件（①）では、背景音のある Audible および Full 条件（②および③）よりも聴き取りは良好であったが、Audible と Full の条件間にはあまり差が見られなかった。

また、背景音のない Control 条件（①）では、骨導聴力は検査音の周波数間の差が小さく、気導聴力は 500 Hz（低音）より 1000 Hz および 2000 Hz（標準および高音）の方が聴き取りは良好であった。これに対し、背景音のある Audible および Full 条件（②および③）では、気導・骨導ともに 500 Hz（低音）において最も聴き取りが良好であった。

気導聴力 背景音条件（Control/Audible/Full）×検査音周波数（500 Hz/1000 Hz/2000 Hz）の分散分析を行った結果、背景音条件の主効果、周波数の主効果および背景音条件×検査音周波数の交互作用に有意差が認められた（表 II-3）。

単純主効果検定の結果、Control 条件（①）では 500 Hz（低音）よりも 1000 Hz および 2000 Hz（標準および高音）の方が聴き取り易かったことが、Audible 条件（②）では 2000 Hz（高音）よりも 500 Hz および 1000 Hz（低音および標準）の方が聴き取り易かったことが、Full 条件（③）では 500 Hz（低音）が最も聴き取り易く、次が 1000 Hz（標準）で、2000 Hz（高音）の最も聴き取りにくかったことが示された。

また、検査音の各周波数において、Audible および Full 条件よりも Control 条件の方が聴き取り易かったことが示された。

骨導聴力 背景音条件（Control/Audible/Full）×検査音周波数（500 Hz/1000 Hz/2000 Hz）の分散分析を行った結果、背景音条件の主効果、周波数の主効果および背景音条件×検査音周波数の交互作用に有意差が認められた（表 II-4）。単純主効果検定の結果、Control 条件（①）ではどの周波数の検査音でも聴き取り易さは同程度であったことが、Audible および Full 条件（②および③）では 1000 Hz および 2000 Hz（標準および高音）よりも 500 Hz（低音）の方が聴き取り易かったことが示された。

また、検査音の各周波数において、Audible および Full 条件よりも Control 条件の方が聴き取り易かったことが

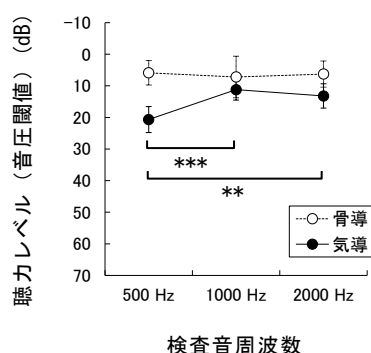
示された。

実験終了後の被験者の内省報告（感想）では、「検査音なのか自然環境音なの分からなくなった」といった内容が、より高音の検査音の際に見受けられた。つまり、今回使用した自然環境音（大滝）の周波数帯と、標準および高音の検査音の周波数との類似性が高かったと考えられ、自然環境音を聴きながらそれと似通った検査音を聴き取ることは、難易度がより高くなっていた可能性がある。その点、低音の検査音は自然環境音との周波数の類似性が低かったため、背景音のある Audible および Full 条件においては、低音の方が聴き取り易かったと考えら

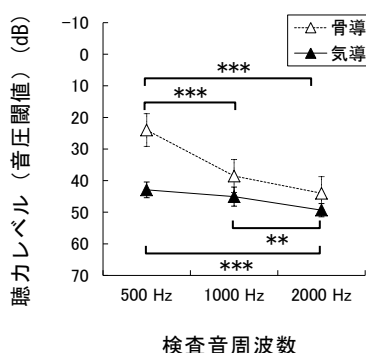
える。

また、聴覚誘発電位の結果と同様に、聴力レベルに対する超高周波数音の有無の影響は検出されず、超高周波数音の聴取による可聴域音の聴き取り易さへの効果は確認することができなかった。このことは、サブテーマ 1 でも報告した通り、本実験では超高周波数音を含む自然環境音の聴取による α 波帯域の脳波成分の活性化が再現されておらず、そのために可聴域音の聴き取り易さへの効果も検出されなかった可能性が考えられる。

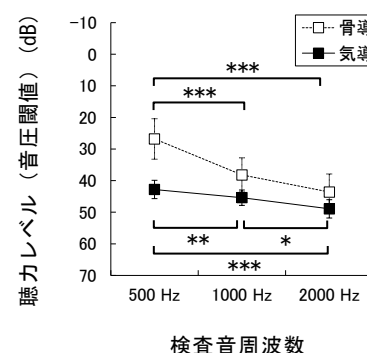
① 背景音なし条件 (Control)



② 可聴域音のみの自然環境音の背景音あり条件 (Audible)



③ 超高周波数音を含む自然環境音の背景音あり条件 (Full)



図Ⅱ-7 聴力レベル（音圧閾値）（成人男女 15 名の平均値と標準偏差を示す。点線：骨導聴力、実線：気導聴力。聴力レベル（音圧閾値）は数値が小さいほど聴き取りが良好であることを示すため、縦軸は反転している。）
***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$.

表Ⅱ-3 気導聴力についての背景音条件 (Control/Audible/Full) × 検査音周波数 (500 Hz/1000 Hz/2000 Hz) の分散分析

	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
背景音条件	2, 28	2397.274	< 0.001***
検査音周波数	2, 28	6.186	0.005**
背景音条件 × 検査音周波数	4, 56	55.342	< 0.001***

表Ⅱ-4 骨導聴力についての背景音条件 (Control/Audible/Full) × 検査音周波数 (500 Hz/1000 Hz/2000 Hz) の分散分析

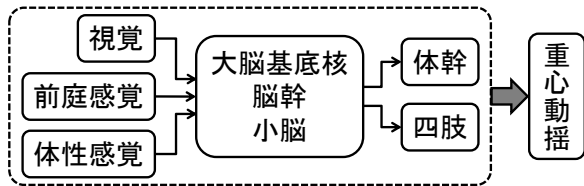
	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
背景音条件	2, 28	486.461	< 0.001***
検査音周波数	2, 28	33.246	< 0.001***
背景音条件 × 検査音周波数	4, 56	36.185	< 0.001***

サブテーマ 3 超高周波数音が感覚情報の統合過程に及ぼす影響について

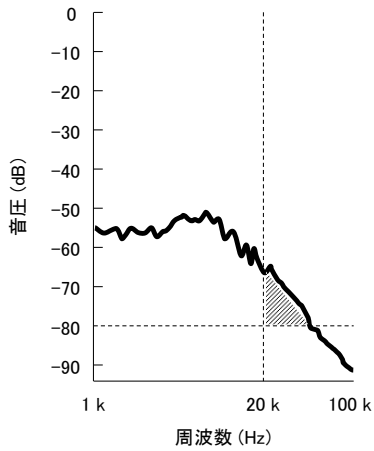
本サブテーマでは、超高周波数音が前庭感覚（平衡感覚）や視覚などの他の感覚と干渉する可能性について、直立姿勢の維持機能を指標として検討する。姿勢制御には、視覚、前庭感覚、体性感覚が関与している（図Ⅱ－8）直立中の重心動揺は、その動揺軌跡の長さや面積から姿勢の安定性を評価し、周波数分析から姿勢維持に関わる視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度も定量化することができる。超高周波数音が姿勢を安定化するならば、動揺軌跡の長さや面積は減少し、視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度に影響を与えるならば、各感覚の関与する周波数帯域のパワーに変化が見られると予想される。なお、超高周波数音は、先行する山梨県総合理工学研究機構共同研究の際に、山梨県内の森林環境で採取した音を用いる。

研究倫理

本実験は、山梨県環境科学研究所倫理委員会の審査・承認を受けて行った。実験方法につき事前に被験者に十分説明し、被験者自身のインフォームドコンセントを書面にて確認した。



図Ⅱ－8 姿勢制御と重心動揺



図Ⅱ－9 自然環境音（溪流）の周波数特性（斜線部分：可聴域上限の 20 kHz を超える音。）

方法

実験には、18 歳から 29 歳までの大学生男女 20 名が参加した（平均年齢 20.7 歳）。実験は、山梨県環境科学研究所内の人工気象室にて実施した。

実験で使用する自然環境音には、本谷川・溪流（山梨県増富町）の川辺から 3 m 付近で収録された音を用いた（図Ⅱ－9）。44 kHz、192 kHz でサンプリング加工したものを、それぞれ「可聴域音のみの自然環境音」、「超高周波数音を含む自然環境音」として使用した。自然環境音を再生するスピーカーには、20 kHz 以上の音も再生可能なスピーカーを用いて、騒音レベル 70 dB（現地で収録した際の音圧と同等レベル）で提示した。

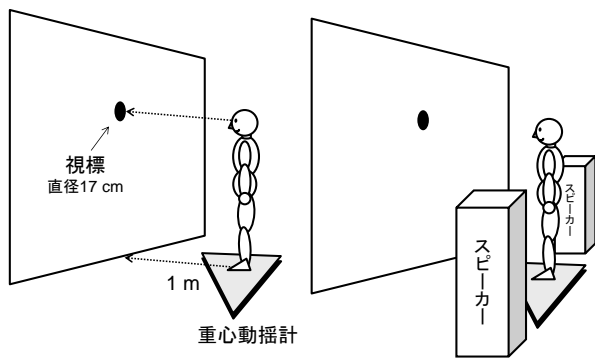
音源の位置の影響も合わせて検討するために、次の 7 つの実験条件下で、直立姿勢を維持しているときの重心動揺検査を行った（図Ⅱ－10）。記録時間は、開眼および閉眼で各 1 分ずつとした。

- ① 背景音なし条件（Control）
- ② 可聴域音のみの自然環境音を背景音として、被験者の左右両側に配置したスピーカーから提示する条件（Audible-Bilateral）
- ③ 超高周波数音を含む自然環境音を、両側から提示する条件（Full-Bilateral）
- ④ 可聴域音のみの自然環境音を、左側のスピーカーのみ提示する条件（Audible-Left）
- ⑤ 超高周波数音を含む自然環境音を、左側のスピーカーのみ提示する条件（Full-Left）
- ⑥ 可聴域音のみの自然環境音を、被験者の背後に配置したスピーカーから提示する条件（Audible-Posterior）
- ⑦ 超高周波数音を含む自然環境音を、後方から提示する条件（Full-Posterior）

姿勢の安定化の指標として、重心動揺の総軌跡長（LNG）、単位面積軌跡長（LNG/ENV AREA）、左右方向軌跡長（X-LNG）、前後方向軌跡長（Y-LNG）、外周面積（ENV AREA）を計測した。視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度の指標として、左右方向および前後方向それぞれの動揺軌跡の周波数解析を行い、表Ⅱ－5 に示す通り 4 つの周波数帯域に分けて、帯域ごとのパワーおよび含有率を求めた。

表Ⅱ－5 重心動揺の周波数帯域と感覚(Redfern et al., 2001)

周波数帯域	関与する感覚系
0.02 - 0.1 Hz	視覚系
	前庭感覚系（耳石器官）
0.1 - 0.5 Hz	視覚系
	前庭感覚系（耳石器官・半規管）
0.5 - 1.0 Hz	前庭感覚系（半規管）
1.0 - 10.0 Hz	体性感覚系



図Ⅱ-10 重心動揺検査（左：視標と人の配置、右：両側にスピーカーを配置した様子。）

分析は2つに分け、背景音の有無および超高周波数音の有無の影響を検討するために、分析1としてControl条件、Audible-Bilateral条件、Full-Bilateral条件(①、②、③)の3条件間の比較を行った。超高周波数音の有無と音源(スピーカー)の位置の影響を検討するために、分析2として、Audible-Bilateral条件、Full-Bilateral条件、Audible-Left条件、Full-Left条件、Audible-Posterior条件、Full-Posterior条件(②、③、④、⑤、⑥、⑦)の6条件間の比較を行った。

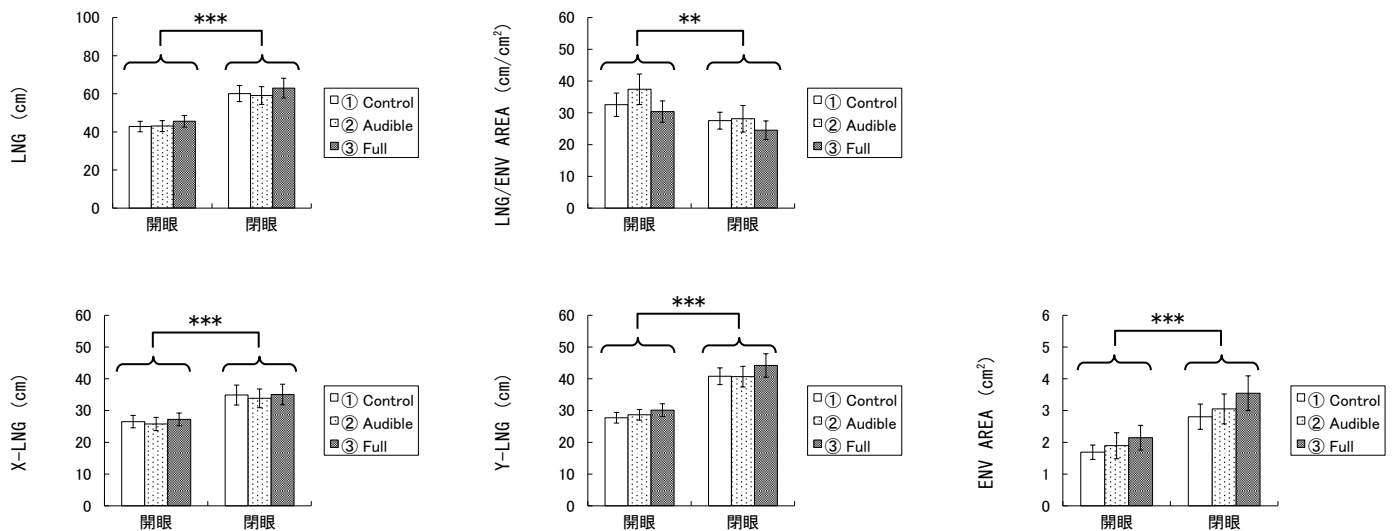
結果

分析1 Control条件、Audible-Bilateral条件、Full-Bilateral条件(①、②、③)の、姿勢の安定性の指標とした5項目の平均値を図Ⅱ-11に、背景音条件(Control/Audible/Full)×開閉眼(Eyes Open/Closed)の分散分析を行った結果を表Ⅱ-6に示す。

単位面積軌跡長および前後方向軌跡長において背景音条件の有意差が認められたが、多重比較検定の結果、条件間に有意差は得られなかった。開閉眼の主効果については、5つ全ての項目に有意差が認められ、いずれも閉眼による姿勢の不安定化を示ものであった。背景音条件×開閉眼の交互作用については、5つ全ての項目について有意な差は得られなかった。

したがって、背景音が左右両側から提示されている場合、背景音の有無や超高周波数音の有無は、姿勢の安定性にあまり影響しないことが示唆された。

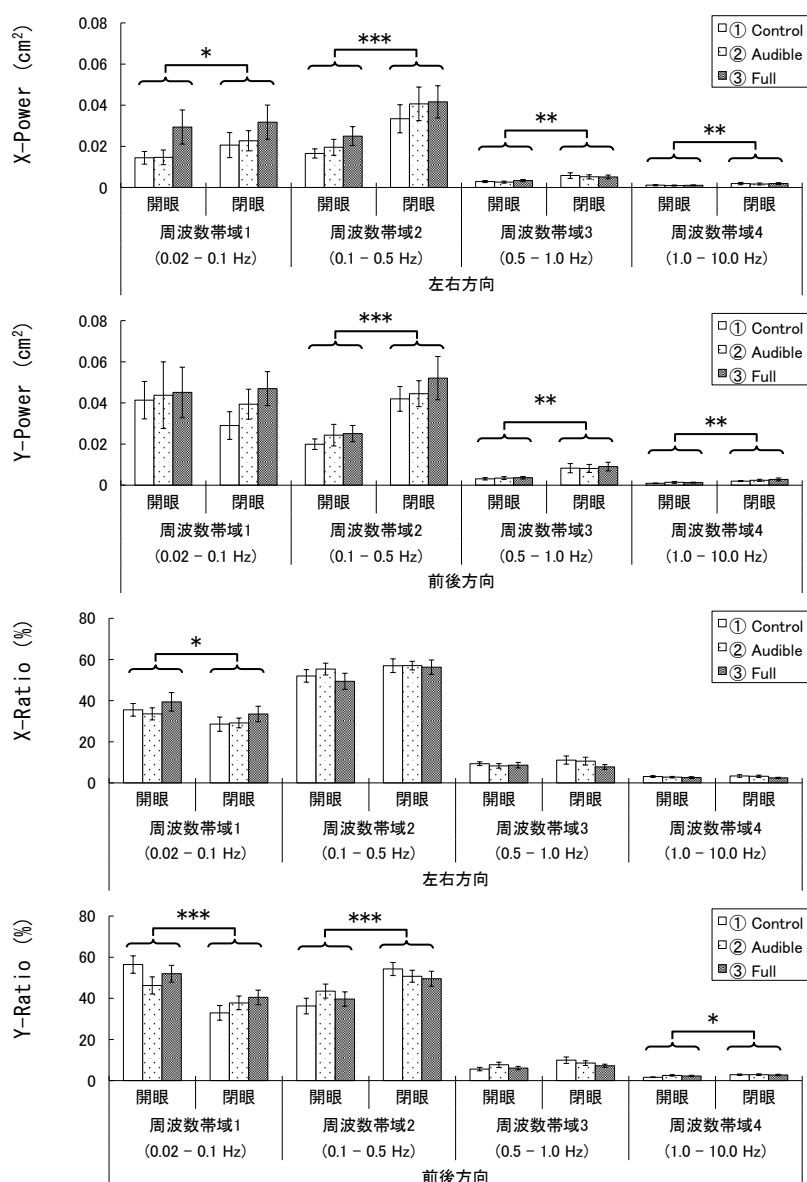
次に、視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度の指標とした周波数帯域ごとの重心動揺パワーおよび含有率の平均値を図Ⅱ-12に、背景音条件(Control/Audible/Full)×開閉眼(Eyes Open/Closed)の分散分析を行った結果を表Ⅱ-7に示す。



図Ⅱ-11 姿勢の安定性の指標とした重心動揺測定項目（大学生男女20名の平均値と標準誤差を示す。LNG：重心動揺の総軌跡長（cm）、LNG/ENV AREA：単位面積軌跡長（cm/cm²）、X-LNG：左右方向軌跡長（cm）、Y-LNG：前後方向軌跡長（cm）、ENV AREA：外周面積（cm²）。）***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$.

表Ⅱ-6 姿勢の安定性の指標とした重心動揺測定項目についての背景音条件(Control/Audible/Full)×開閉眼(Eyes Open/Closed)の分散分析

	背景音条件 ($df = 2, 38$)			開閉眼 ($df = 1, 19$)			背景音条件×開閉眼 ($df = 2, 38$)	
	F	p		F	p		F	p
総軌跡長 (LNG)	2.221	0.122		51.832	< 0.001	***	0.199	0.819
単位面積軌跡長 (LNG/ENV AREA)	3.287	0.048	*	13.643	0.001	**	0.822	0.446
左右方向軌跡長 (X-LNG)	0.696	0.460		39.399	< 0.001	***	0.076	0.926
前後方向軌跡長 (Y-LNG)	3.915	0.028	*	44.621	< 0.001	***	0.542	0.540
外周面積 (ENV AREA)	2.419	0.102		26.982	< 0.001	***	0.451	0.640



図Ⅱ-12 視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度の指標とした周波数帯域ごとの重心動揺パワー（大学生男女20名の平均値と標準誤差を示す。X-Power：左右方向の重心動揺パワー（cm²）、Y-Power：前後方向の重心動揺パワー（cm²）、X-Ratio：左右方向の重心動揺含有率（%）、Y-Ratio：前後方向の重心動揺含有率（%）。***： $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$ 。

Ⅱ－7 視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度の指標とした重心動揺周波数帯域別のパワーについての背景音条件（Control/Audible/Full）×開閉眼（Eyes Open/Closed）の分散分析

		背景音条件 (<i>df</i> = 2, 38)		開閉眼 (<i>df</i> = 1, 19)			背景音条件 × 開閉眼 (<i>df</i> = 2, 38)		
		周波数帯域	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	
左右方向 パワー (X-Power)	帯域 1	4. 773	0. 026	*	4. 539	0. 046	*	0. 323	0. 663
	帯域 2	2. 801	0. 104		21. 588	< 0. 001	***	0. 384	0. 608
	帯域 3	0. 479	0. 622		11. 196	0. 003	**	0. 749	0. 479
	帯域 4	0. 433	0. 579		10. 138	0. 004	**	0. 039	0. 961
前後方向 パワー (Y-Power)	帯域 1	0. 916	0. 408		0. 258	0. 617		0. 717	0. 494
	帯域 2	1. 529	0. 233		26. 094	< 0. 001	***	0. 389	0. 601
	帯域 3	0. 232	0. 793		12. 794	0. 002	**	0. 074	0. 836
	帯域 4	1. 531	0. 229		12. 858	0. 001	**	1. 045	0. 330
左右方向 含有率 (X-Ratio)	帯域 1	1. 709	0. 194		5. 530	0. 029	*	0. 134	0. 874
	帯域 2	0. 749	0. 479		3. 948	0. 061		0. 580	0. 564
	帯域 3	1. 497	0. 239		1. 241	0. 279		1. 194	0. 313
	帯域 4	2. 978	0. 062		0. 578	0. 456		0. 578	0. 565
前後方向 含有率 (Y-Ratio)	帯域 1	1. 373	0. 265		17. 727	< 0. 001	***	2. 802	0. 073
	帯域 2	0. 638	0. 533		20. 107	< 0. 001	***	1. 895	0. 164
	帯域 3	2. 361	0. 107		3. 447	0. 078		2. 952	0. 080
	帯域 4	2. 242	0. 120		4. 662	0. 043	*	2. 540	0. 092

※周波数帯域 1: 0.02 - 0.1 Hz, 周波数帯域 2: 0.1 - 0.5 Hz, 周波数帯域 3: 0.5 - 1.0 Hz, 周波数帯域 4: 1.0 - 10.0 Hz.

左右方向の 0.02 - 0.1 Hz 帯域の重心動揺パワーにおいて背景音条件の有意差が認められたが、多重比較検定の結果、条件間に有意差は得られなかった。開閉眼の主効果については、左右方向の 4 つ全ての帯域の重心動揺パワー、前後方向の 0.1 Hz 以上の 3 つの帯域のパワー、左右方向の 0.02 - 0.1 Hz 帯域の含有率、前後方向の 0.5 Hz 以下の 2 つの帯域および 1.0 - 10.0 Hz 帯域の含有率において有意差が認められた。

重心動揺パワーに関しては、左右および前後方向とも閉眼の方が開眼よりも増加していたことが示され、いずれも閉眼による姿勢の不安定化を示ものであった。

帯域ごとの含有率に関しては、左右および前後方向とも 0.02 - 0.1 Hz 帯域の開眼より閉眼の方が減少し、前後方向の 0.1 - 0.5 Hz 帯域および 1.0 - 10.0 Hz の帯域における含有率はともに増加していたことが示された。これらの結果は、閉眼によって視覚系の関与度が減少し、他の感覚の関与度が増加したことを反映していると考えられる。

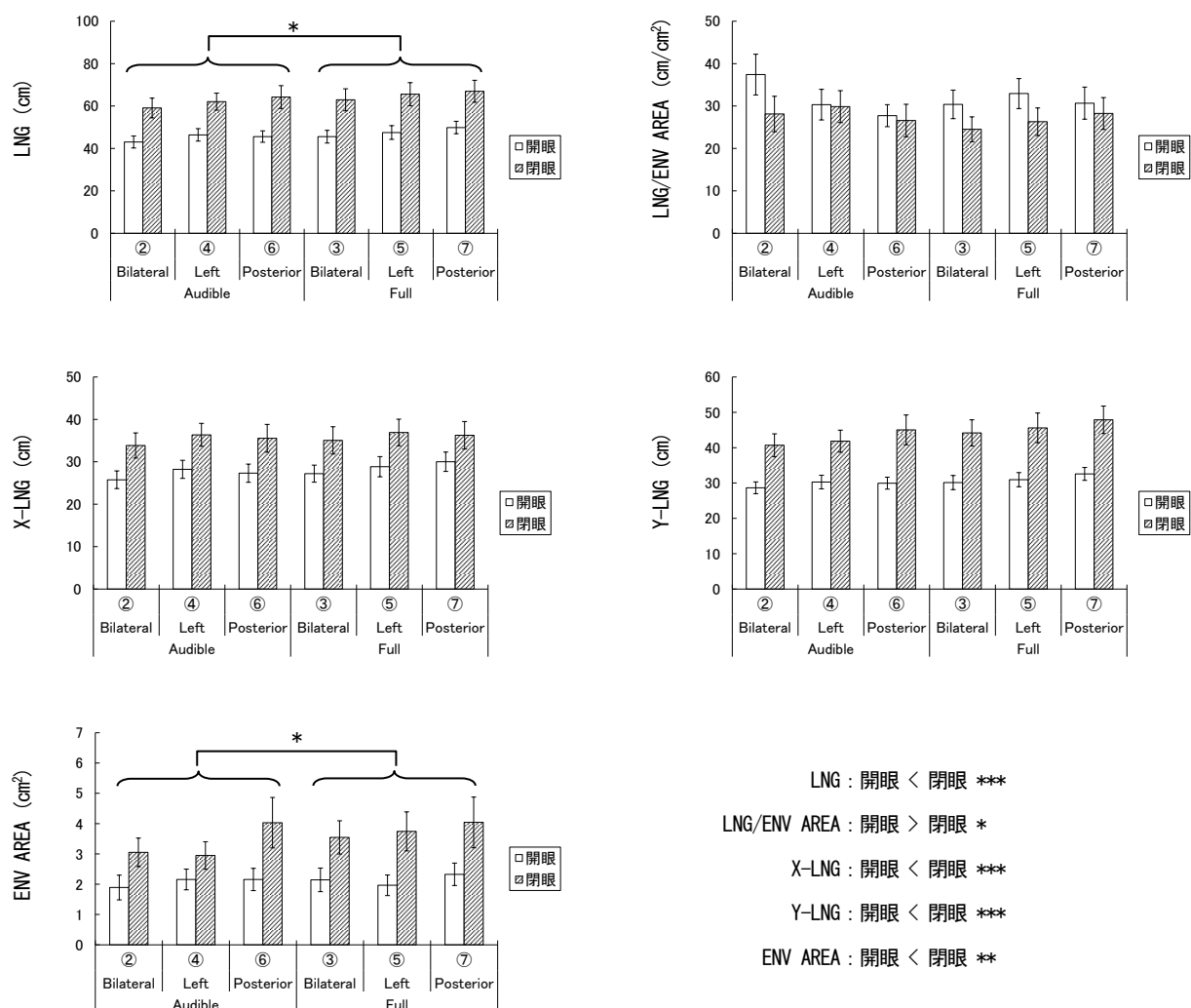
背景音条件×開閉眼の交互作用については、全ての項目について有意な差は得られなかった。

したがって、背景音が左右両側から提示されている場合、

背景音の有無や超高周波数音の有無は、視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度にはあまり影響しないことが示唆された。

分析 2 Audible-Bilateral 条件、Full-Bilateral 条件、Audible-Left 条件、Full-Left 条件、Audible-Posterior 条件、Full-Posterior 条件 (②、③、④、⑤、⑥、⑦) の、姿勢の安定性の指標とした 5 項目の平均値を図Ⅱ-13 に、背景音条件 (Control/Audible/Full) × 音源条件 (Bilateral/Left/Posterior) × 開閉眼 (Eyes Open/Closed) の分散分析を行った結果を表Ⅱ-8 に示す。

総軌跡長および前後方向軌跡長において、背景音の主効果に有意差が認められた。どちらも、Full 条件 (③、⑤、⑦) の方が Audible 条件 (②、④、⑥) より増加していたことが示され、超高周波数音の姿勢を不安定化する効果が示唆された。前後方向軌跡長においては、音源条件の主効果にも有意差が認められたが、多重比較検定の結果、スピーカーの配置による差は得られなかった。



図Ⅱ－13 姿勢の安定性の指標とした重心動揺測定項目（大学生男女 20 名の平均値と標準誤差を示す。LNG：重心動揺の総軌跡長（cm）、LNG/ENV AREA：単位面積軌跡長（cm/cm²）、X-LNG：左右方向軌跡長（cm）、Y-LNG：前後方向軌跡長（cm）、ENV AREA：外周面積（cm²）。***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$ 。

表Ⅱ－8 姿勢の安定性の指標とした重心動揺測定項目についての背景音条件（Control/Audible/Full）×音源条件（Bilateral/Left/Posterior）×開閉眼（Eyes Open/Closed）の分散分析

	背景音条件 ($df = 1, 19$)		音源条件 ($df = 2, 38$)		開閉眼 ($df = 1, 19$)		背景音条件 × 音源条件 ($df = 2, 38$)		背景音条件 × 開閉眼 ($df = 1, 19$)		音源条件 × 開閉眼 ($df = 2, 38$)		背景音条件 × 音源条件 × 開閉眼 ($df = 2, 38$)	
	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
総軌跡長 (LNG)	6.011	0.024 *	3.172	0.053	34.872	< 0.001 ***	0.109	0.896	0.317	0.579	0.258	0.773	0.716	0.494
単位面積軌跡長 (LNG/ENV AREA)	0.849	0.368	0.863	0.429	6.494	0.019 *	3.646	0.051	0.570	0.459	2.936	0.065	2.339	0.110
左右方向軌跡長 (X-LNG)	4.019	0.059	1.674	0.200	40.033	< 0.001 ***	0.227	0.797	0.814	0.378	0.246	0.782	0.442	0.645
前後方向軌跡長 (Y-LNG)	6.147	0.022 *	3.432	0.042 *	27.086	< 0.001 ***	0.033	0.967	2.854	0.107	1.632	0.208	0.616	0.545
外周面積 (ENV AREA)	4.250	0.053	2.567	0.111	13.890	0.001 **	0.294	0.746	3.749	0.067	1.246	0.291	2.025	0.145

また、5 つ全ての項目において、開閉眼の主効果に有意差が認められ、いずれも閉眼による姿勢の不安定化を示ものであった。背景音条件×音源条件、背景音条件×開閉眼、音源条件×開閉眼、背景条件×音源条件×開閉眼の交互作用については、5 つ全ての項目について有意な差は得られなかった。

したがって、姿勢の安定性の指標とした測定項目では、超高周波数音が含まれる自然環境音の聴取による姿勢の不安定化が示唆されたが、音源の位置による明確な影響は検出されなかった。

次に、視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度の指標とした周波数帯域ごとの重心動揺パワーおよび含有率の平均値を図Ⅱ－14a に、背景音条件（Control/Audible/Full）×音源条件（Bilateral/Left/Posterior）×開閉眼（Eyes Open/Closed）の分散分析を行った結果を表Ⅱ－9 に示す。

左右方向の 0.5 Hz 以下の 2 つの帯域の重心動揺パワーにおいて、背景音条件の主効果に有意差が認められ、いずれも Full 条件（③、⑤、⑦）の方が Audible 条件（②、④、⑥）よりも増加していたことが示された。また、左右方向の 1.0－10.0 Hz の含有率においても背景音条件の主効果に有意差が認められたが、こちらは Audible 条件（②、④、⑥）の方が Full 条件（③、⑤、⑦）よりも増加していたことが示された。これらの結果からは、超高周波数音が主として、視覚系や前庭感覚系（耳石器官）の関与度に影響を与えていると考えら

れる。

すべての項目において音源条件の主効果に有意差は得られなかったが、前後方向の 0.5 Hz 以上の 2 つの帯域の重心動揺含有率において、背景音条件×音源条件の交互作用に有意差が認められた。単純主効果検定の結果、どちらの帯域も Posterior 条件（⑥、⑦）においてのみ Full 条件（⑦）の方が Audible 条件（⑥）よりも増加していた。この結果は、超高周波数音が背後から提示されるときに、体性感覚や前庭感覚（半規管）の前後方向の重心動揺への関与度が低下することを反映していると考えられる。

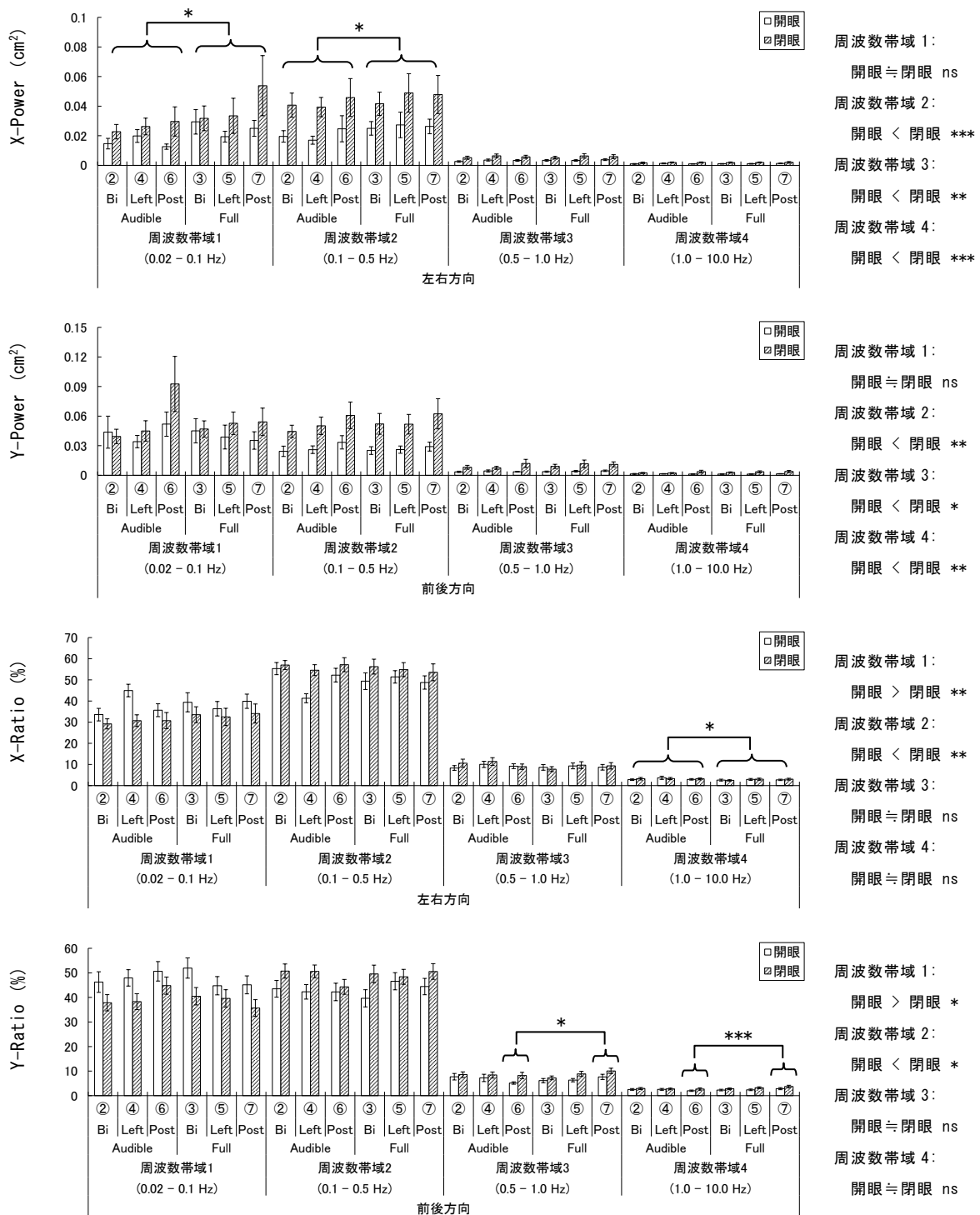
左右および前後方向の 0.1 Hz 以上の 3 つの帯域の重心動揺パワーと 0.5 Hz 以下の 2 つの帯域の含有率において、開閉眼の主効果に有意差が認められた。重心動揺パワーに関しては、左右および前後方向とも閉眼の方が開眼よりも増加していたことが示され、いずれも閉眼による姿勢の不安定化を示ものであった。

重心動揺パワーの含有率に関しては、左右および前後方向とも 0.02－0.1 Hz 帯域の開眼より閉眼の方が減少し、前後方向の 0.1－0.5 Hz 帯域および 1.0－10.0 Hz の帯域における含有率はともに増加していたことが示された。これらの結果は、閉眼によって視覚系の関与度が減少し、他の感覚の関与度が増加したことを反映していると考えられる。

表Ⅱ－9 視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度の指標とした重心動揺周波数帯域別のパワーについての背景音条件（Control/Audible/Full）×音源条件（Bilateral/Left/Posterior）×開閉眼（Eyes Open/Closed）の分散分析

	周波数帯域	背景音条件 (<i>df</i> = 1, 19)		音源条件 (<i>df</i> = 2, 38)		開閉眼 (<i>df</i> = 1, 19)		背景音条件 × 音源条件 (<i>df</i> = 2, 38)		背景音条件 × 開閉眼 (<i>df</i> = 1, 19)		音源条件 × 開閉眼 (<i>df</i> = 2, 38)		背景音条件 × 音源条件 × 開閉眼 (<i>df</i> = 2, 38)	
		<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
左右方向 パワー (X-Power)	帯域1	6.121	0.022 *	0.842	0.438	3.726	0.068	1.446	0.249	0.517	0.480	1.639	0.213	0.933	0.401
	帯域2	5.969	0.024 *	0.767	0.412	17.300	< 0.001 ***	0.444	0.537	0.225	0.640	0.329	0.721	0.437	0.578
	帯域3	0.364	0.553	1.552	0.229	13.637	0.001 **	0.258	0.697	0.222	0.642	0.816	0.419	0.180	0.835
	帯域4	0.647	0.430	0.963	0.390	16.093	< 0.001 ***	0.681	0.512	0.055	0.816	0.005	0.994	0.491	0.615
前後方向 パワー (Y-Power)	帯域1	0.616	0.442	3.362	0.064	1.794	0.196	2.738	0.094	0.184	0.672	2.618	0.107	0.683	0.510
	帯域2	0.570	0.459	3.106	0.078	13.343	0.001 **	0.408	0.570	0.762	0.393	1.042	0.348	0.182	0.833
	帯域3	1.629	0.217	2.128	0.148	7.181	0.014 *	0.427	0.566	2.115	0.162	1.732	0.201	1.448	0.246
	帯域4	2.459	0.133	1.466	0.242	5.753	0.026 *	0.240	0.787	6.432	0.020 *	2.116	0.161	1.649	0.214
左右方向 含有率 (X-Ratio)	帯域1	0.680	0.419	0.338	0.715	10.572	0.004 **	1.422	0.253	0.674	0.421	0.820	0.447	1.503	0.235
	帯域2	0.097	0.758	1.266	0.293	12.465	0.002 **	2.185	0.126	0.311	0.583	1.125	0.335	2.693	0.080
	帯域3	1.992	0.174	1.271	0.292	0.493	0.490	0.602	0.552	0.822	0.375	0.147	0.863	1.149	0.327
	帯域4	4.865	0.039 *	1.999	0.162	0.122	0.730	0.451	0.640	0.000	0.988	0.546	0.583	0.805	0.427
前後方向 含有率 (Y-Ratio)	帯域1	0.677	0.420	0.307	0.736	8.007	0.010 *	3.366	0.059	0.061	0.806	0.183	0.832	0.511	0.603
	帯域2	0.385	0.541	0.377	0.687	7.683	0.012 *	1.661	0.210	0.001	0.974	0.696	0.504	1.091	0.346
	帯域3	0.146	0.706	0.131	0.876	3.598	0.073	4.046	0.043 *	0.246	0.625	1.176	0.319	0.402	0.614
	帯域4	5.256	0.033 *	0.288	0.695	2.594	0.123	6.452	0.003 **	1.727	0.204	0.490	0.616	0.614	0.546

※周波数帯域 1: 0.02 - 0.1 Hz, 周波数帯域 2: 0.1 - 0.5 Hz, 周波数帯域 3: 0.5 - 1.0 Hz, 周波数帯域 4: 1.0 - 10.0 Hz.



図Ⅱ-14 視覚、前庭感覚、体性感覚の関与度の指標とした周波数帯域ごとの重心動揺パワー（大学生男女 20 名の平均値と標準誤差を示す。X-Power：左右方向の重心動揺パワー（cm²）、Y-Power：前後方向の重心動揺パワー（cm²）、X-Ratio：左右方向の重心動揺含有率（%）、Y-Ratio：前後方向の重心動揺含有率（%）。）***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$ 。

前後方向の 1.0 – 10.0 Hz の帯域の重心動揺パワーにおいて、背景音条件×開閉眼の交互作用に有意差が認められたが、単純主効果検定の結果、開眼時および閉眼時ともに Audible – Full 間に有意差は得られなかった。また、いずれの項目においても、音源条件×開閉眼および背景音条件×音源条件×開閉眼の交互作用に有意差は得られなかった。

以上の結果から、超高周波数音は姿勢を不安定にする効果はあまりないが、背後から提示されることによって、体性感覚や前庭感覚（半規管）の姿勢維持への関与度を低下させ、前後方向の揺れを誘発する可能性が示された。

II-5 まとめ

今回の実験では、聴覚中枢や可聴域音の聴き取り易さに及ぼす超高周波数音の影響を確認することはできなかった。ただし、今回の実験では、超高周波数音を含む自然環境音を聴取しているときに脳波の α 波帯域のパワーの増加も観察されなかったため、超高周波数音の効果が発揮されにくい実験設定となっていた可能性も考えられる。したがって、超高周波数音の聴覚中枢や可聴域音の聴き取り易さに及ぼす影響については再検討する必要がある。

一方、超高周波数音が感覚情報の統合過程に及ぼす影響として、人の背後から超高周波数音を含む自然環境音を提示したときに、前後方向の揺れが誘発される可能性が示された。この特徴の利活用案のひとつとしては、歩行誘導技術への応用の可能性が考えられる。そのためには、今後、対象者の年齢を広げて追試を行ったり、異なる実験条件で検討したりして、さらに基礎データを蓄積した上で検討していくことが必要であると考えられる。

R-01-2014

平成25年度
山梨県環境科学研究所研究報告書
第34号

YIES Research Report

2014年発行

編集・発行
山梨県環境科学研究所

〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田剣丸尾5597-1

電話 : 0555-72-6211

FAX : 0555-72-6204

<http://www.yies.pref.yamanashi.jp/>
