

論文の内容の要旨

論文題目	ハイレゾリューションオーディオの研究
学 位 申 請 者	西 口 敏 行

人間の可聴帯域上限は20kHzとされていたが、近年、20kHz以上の超高域成分が楽音の知覚や生理・心理にも影響与えるとの報告がなされ、ハイサンプリングオーディオとよばれる100kHz近くまで記録可能なメディアも販売されている。収録・再生帯域をどこまで高めるべきかは、マイクロホンやスピーカなどオーディオ機器の開発、放送や音源の収録・アーカイビングの方式を定めるうえで重要な要因となる。

ハイレゾリューションオーディオが聴感に影響を与えるとすると、その要因としては、可聴域を超える周波数成分（超高域成分）の影響と可聴域の音質変化が考えられる。

本研究では、まず、楽音に含まれる超高域成分の有無を弁別できるか否かを主観評価実験により確認した。超高域成分が聴こえに影響を与えるとすると、その要因は、2つに分けて考える必要がある。ひとつは、超高域成分を聴取することにより聴感へ影響が出る場合、もうひとつは、超高域成分を再生したことにより、可聴域の音が変わり、これが弁別の手がかりになっている場合である。後者の要因として、実験システムの非線形歪が指摘されている。本研究では、評価音再生時の非線形歪を測定し、歪のレベルが充分小さいことを確認したシステムを用いて実験を行った。また、過去の報告では、SACDやDVD-Audioなど市販の音楽ソフトを評価音源として用いたケースがあるが、この場合、収録条件が判らず、超高域成分の量も管理できない。そのため、研究では、主として独自に広帯域収録した音源から評価音源を作成して用いた。

本研究では、実験1と2の2つの超高域成分（21kHz以上とした）の主観弁別実験を行った。実験1では、超高域成分による音質差異が存在する可能性があるかないか、また、その影響は、音源の種類や被験者によって異なるのかどうかを確認する目的で、様々な種類の音源を用意し、比較的多数の被験者により基礎的な評価実験を行った。duo-trio testを用い、被験者36人で20種の音源をそれぞれ40回評価した。この結果、音源毎には有意な弁別結果は得られなかったが、被験者1名が正答率0.75をマークした。そこで、この被験者に対して追加実験を行った。より信頼性を高めるため、音源を6種類に選別して、それぞれの音源を20回評価した。この結果、どの音源に対しても有意な弁別結果は得られなかった。

実験1の結果と、超高域の影響には、音源の提示時間が関係するという先行研究を鑑み、実験方法を検討、被験者、音源を精査して実験2を行った。実験2では、新たに開発した超広帯域マイクにより収録した超高域成分が豊富な音源を使い、Pair test法により13名の被験者で超高域有無の弁別実験を行った。この結果、2人の被験者が筑前琵琶の音源において、超高域の有無を有意に弁別できた。

一方、可聴域の音質変化については、従来のサンプリング周波数（48 kHz）とハイサンプリングフォーマット（192 kHzと2.8 MHz）の主観弁別実験を行った。

評価音源については、サンプリングフォーマット以外の条件に差が生じないように充分留意した。音源は、収録条件を管理して独自収録を行った。音質への影響が大きいA/D、D/A変換器については、機種や個体差による音質差を排除するため、機種・ファームウェアが同一のものを用い、収録・再生をトータルしてフォーマット毎のレベル偏差は、 $\pm 0.05\text{dB}$ 以内になるように調節した。評価した音源は、邦楽、ボサノバ、ピアノトリオの3種、被験者は、聴力健全な音楽大学学生4名、バイオリニスト1名、録音技術者1名である。実験方法は、微小な差の検出に適すPair test法を採用した。実験の結果、被験者、音源に依らず、フォーマットの違いは有意に弁別できなかった。

超高域成分の主観弁別実験の結果から、音源と、聴取時間、被験者の条件によっては、超高域成分の有無が聞こえに影響を与える可能性があると考えられる。一方の可聴域の音質変化については、第4章にて、3種のフォーマット（48kHz 24bit, 192kHz 24bit, DSD）にて収録・再生をおこない、フォーマット間の可聴域の音質差異に関して主観評価実験により検討した。この結果、本実験のシステムでは、フォーマット間で可聴域の音質には差が見られなかった。したがって、ハイレゾリューションオーディオによる広帯域収録再生では、可聴域を超える周波数成分が聞こえに影響を与える場合があり、超高域成分を豊富に含む音源については、ハイレゾリューションオーディオによる広帯域収録再生は価値あることと考えられる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 西口 敏行

審査委員主査 出澤 正徳

委員 長岡 浩司

委員 井上 誠喜

委員 森田 啓義

委員 阪口 豊

本研究では、楽音に含まれる超高域成分の有無を弁別できるか否かを主観評価実験により確認している。超高域成分が聴こえに影響を与える要因として、超高域成分を聴取することにより聴感へ影響が出る聴覚系の特性、および、超高域成分の再生により可聴域の音に変化する記録・再生系の特性（非線形歪など）が考えられる。そのため本研究では、収録条件が明らかであり超高域成分の量も管理できる広帯域収録した評価音源を用い、また、評価音再生時の非線形歪が充分小さいことを確認したシステムを用いて実験している。本研究の実験で得られたデータは他に類を見ない高信頼度のものであり、ハイレゾリューションオーディオにおける、収録・蓄積・再生などのシステムのあり方を考えてゆく上での一つの指針を提供できるものと期待される。

第1章は序論であり、本研究の背景、位置づけ、周辺の科学的・技術的背景と本研究の目的について述べている。

第2章は、「聴覚とデジタルオーディオ」と題し、本研究に関連する音響聴覚とデジタルオーディオの基本的事項について解説している。デジタルオーディオにおける標本化周波数や量子化ビット数などの技術的仕様は可聴範囲をほぼ満足するように定められ、より高い標本化周波数、量子化ビット数を用いたハイレゾリューションオーディオが実現され、広帯域収録再生が可能となっている。しかし、音声の収録方法、電気音響変換器、記録・伝送フォーマットなどの構成にとって重要な広帯域収録再生の音質に関わる心理音響的な観点からの検討は少ない。

そこで、本研究では、可聴域を超える周波数成分（超高域成分）の影響と可聴域の音質変化という視点から検討することを述べている。

第3章は、「超高域成分の主観的弁別実験」と題し、評価音再生時の非線形歪を測定し、歪のレベルが充分小さいことを確認したシステムを用い、楽音に含まれる超高域成分の有無を弁別できるか否かの主観弁別実験を行って、楽音の超高域の有無が聴感に与える影響を実験的に検討している。

20種類の音源について、それぞれ40回、36人の被験者に対して主観評価実験を行い音源毎には有意な弁別結果は得られなかった。なお、有意に高い正答率をマークした1名の被験者については、詳細な追加実験で有意な弁別結果が得られないことを検証している。筑前琵琶の音源の提示時間が長い(85~120秒)実験と短い(20秒程度)実験において、2人の被験者は提示時間が長い場合には弁別できたが短い場合は弁別できないという、先行研究と整合する結果を確認している。音源と聴取時間、被験者の条件によっては、超高域成分の有無が聞こえに影響を与え得るということを実験的に検証した。そして、有意な弁別を行った2人の被験者について、無響室内で超高域の純音の聴覚閾値測定を行い、2人の被験者の閾値が直接的に筑前琵琶音源の超高域を気導聴覚系を通じて聴取したのではないことを検証している。超高域成分の有無の聞き分けのメカニズムとしては、骨導など気導聴覚系以外の未知の情報チャンネルの影響が示唆されるがこれについては更なる検証が必要としている。

可聴域を超える周波数成分が聞こえに影響を与える場合があること、また、それが気導聴覚系で聴取されたのではないことを精細かつ信頼度の高い実験を行って、検証していることが評価できる。

第4章は、「標準化フォーマットと可聴帯域内の音質」と題し、普及している3種のハイレゾリューションデジタルオーディオ標準化フォーマットに対する可聴域での音質差異について、主観弁別実験を行い検討している。実験システムでは、音源の収録条件を厳格に管理し、A/D、D/A変換器は、機種・ファームウェアが同一のものを用い特性の個体差による音質差を排除し、収録・再生を通じてフォーマット毎のレベル偏差は、 $\pm 0.05\text{dB}$ 以内と、標準化フォーマット以外の条件による差が生じない。実験の結果、被験者、音源に依らず、フォーマットの違いは有意に弁別されず、各標準化フォーマット間での差がないことを示した。

種々の条件を厳格に管理した信頼度の高い実験による検証が評価できる。

第5章は、「結論」であり、本論文の成果を総括し、見出された知見をまとめ、ハイレゾリューションオーディオの問題について議論している。

ハイレゾリューションオーディオによる広帯域収録再生では、可聴域を超える周波数成分が聞こえに影響を与える場合があることを実験により示し、超高域成分を豊富に含む音源についての広帯域収録再生は価値あるとしている。一方、標準化周波数を高めると非線形歪や時間ゆらぎの影響が増大し、また、超高域は聴取で確認不能であり品質管理が難しいなど、オーディオ信号の現実的な取り扱いにおける広帯域収録再生には、十分な注意が必要であることを指摘している。

以上、本論文は、音質や種々の条件を厳格に管理した信頼度の高い実験により、ハイレゾリューションオーディオにおける、収録・蓄積・再生などのシステムのあり方を考えてゆく上での指針となる信頼度の高い実験データを与えている。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文に値すると認められる。