

## ハイレゾリューションオーディオの音質評価

著者	山本 竜太, 金只 直人, 水町 光徳
雑誌名	産業応用工学会論文誌
巻	1
号	2
ページ	52-57
発行年	2013
その他のタイトル	Evaluation of Sound Quality of High Resolution Audio
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/00008677">http://hdl.handle.net/10228/00008677</a>

doi: <https://doi.org/10.12792/jjiaae.001.02.003>

# ハイレゾリューションオーディオの音質評価

山本 竜太<sup>a,\*</sup> 金只 直人<sup>b</sup> 水町 光徳<sup>b</sup>

## Evaluation of Sound Quality of High Resolution Audio

Ryuta Yamamoto<sup>a,\*</sup>, Naoto Kanetada<sup>b</sup>, Mitsunori Mizumachi<sup>b</sup>

(Received August 8, 2013; revised September 9, 2013; accepted September 10, 2013)

### Abstract

In this paper, sound quality of high resolution audio (HRA) is investigated in the view point of auditory perception. Perceptual characteristics of HRA have been examined by listening tests compared with the standard audio CD and the compressed MPEG audio layer-3 (MP3) qualities. The listening tests were carried out by the paired comparison, and the participants were asked to discriminate among HRA, CD, and MP3. Jazz music was selected out as the original HRA. Both CD and MP3 quality audio files were prepared from the original HRA file by the authors. It is found that the participants prefer the audio format with richer information, that is, HRA is most desirable and CD is better than MP3. The questionnaires filled in by participants indicate that subjective characteristics of HRA include much presence, high spatial clarity, and wide spaciousness. Additionally, perceptual discrimination in quantization distortion is also focused on in between 16 bits and 24 bits resolution. As the result of the listening test with 28 participants, the difference of the quantization resolution was discriminated with the accuracy of 60.3 %. Concerning the perceptual discrimination of HRA, quantization resolution is an important factor as well as its wide frequency range.

キーワード : High Resolution audio, CD, MP3, 音質評価, 量子化精度

Keywords : High resolution audio, CD, MP3, subjective quality evaluation, quantization resolution.

### 1. はじめに

近年 CD 音 (サンプリング周波数 44.1kHz, 量子化精度 16bit) よりもさらに高精細な音響—ハイレゾ楽曲 (サンプリング周波数 96kHz/192kHz, 量子化精度 24bit 以上) の配信が盛んになってきている。このハイレゾオーディオとは CD や MP3 などこれまでの音源に比べ, サンプリング周波数と量子化精度の両方において優れている楽曲

である。これに対応したネットオーディオ機器も数多く販売されるようになった。また, ハイレゾ楽曲はネット配信だけでなく, Blu-ray Disc でも販売されている。このようにハイレゾ音源の市場規模は急速に拡大しようとしている。現在でも音楽メディアとして販売されているものの主流は CD であり, そのデータを非可逆圧縮した MPEG Audio Layer-3 (MP3) がネット配信の主流であるが, 今後メモリ容量の増大や通信速度の向上によって, 高精細なハイレゾ楽曲がますます広がっていくものと思われる。このような動向を踏まえ, 本報告ではハイレゾ音, CD 音, MP3 音の音質を同一基準で評価し, それぞれの特徴を明らかにすることを目的とする。

ハイレゾ音と CD 音の聴取比較において, 西口は高周波数帯域を十分に含む楽曲においてのみ, 13 人中 2 人が有意に違いを判別できたと述べ, 可聴域を超える高周波成分が聴こえに影響を与える場合があるとしている<sup>(1)</sup>。また, 大橋らは 40kHz 以上の帯域を有する LP 音と CD 音の音質をシェッフェの対比較法によって多方面から比較し, LP 音の優位性をハイパーソニック効果<sup>(2)</sup>と関連

\* Corresponding author. E-mail: ryuta-yamamoto@digifusion.net

a 株式会社ディジフュージョン・ジャパン

〒732-0057 広島県広島市東区二葉の里 1-1-68

Digifusion・Japan Co., Ltd.

1-1-68, Futabanosato higashi-ku Hiroshima, Japan 732-0057

b 九州工業大学

〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1 番 1 号

Mitsunori Mizumachi Labs.

Kyushu Institute of Technology

1-1, Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu, Fukuoka, Japan 804-8550

付けている<sup>(3)</sup>。西村らは MP3 のビットレートの違いによる音質劣化が美的・叙情的因子に影響を及ぼしているとしているが<sup>(4)</sup>、128kbps 以下の MP3 同士での比較である。これまで、サンプリング周波数や振幅の分解能の違いを含めた音楽データフォーマットの違いについて、複合的な評価は行われていない。音楽評論家やアマチュアの愛好家による聴感評価は音楽雑誌などにも書かれているが、サンプリング周波数や振幅の分解能の違いを含めた複合的な評価を行なった例はない。

本研究では市販されているハイレゾ楽曲を基とし、ハイレゾ音、疑似 CD 音（サンプリング周波数 48kHz、量子化精度 16bit）、MP3（320kbps）音、MP3（128kbps）音を作成し、これら 4 種の音質の違いを一般被験者が具体的にどのように感じ、聴き分けを行なえるのかを同一基準で評価した。MP3 に関しては高音質な 320kbps（MP3H）と一般普及音質 128kbps（MP3L）の 2 種類にすることとした。また併せて、量子化精度の違いが聴感に影響を与えるかどうかの評価も行なった。

## 2. 音楽データフォーマット違いに基づく聴感評価

### 2.1 実験に用いる音源の準備

評価実験を行なうために、ハイレゾ音、CD 音、MP3 音（320kbps）、MP3 音（128kbps）の 4 種のデータフォーマットの音源を用意する必要がある。

実験曲を決定するにあたり、さまざまなハイレゾ楽曲の周波数分析を行なったが、桐生らの報告<sup>(5)</sup>にあるように、ハイレゾと称される楽曲の中には、超高周波域において問題のある楽曲が少なからず存在することがわかった。また、同一原盤から作成されたと思われるハイレゾ、CD、MP3 の市販音源を用いようとしたが、これらはそれぞれ、音を良く聴こえるように味付けされていることがわかった。このような事項から、まず、広帯域まで高周波成分を含んでいる、ジャンルの違う 3 種のハイレゾ楽曲（クラシック、ジャズ、女性ボーカル楽曲）を注意深く選定した。次にこれらから CD 音、MP3 音の音源データを次のように作成した。

#### ・ハイレゾ音（HRA）

ネット配信またはハイレゾ音として DVD に収録されているハイレゾ楽曲の原音を使用した。192kHz サンプリング、量子化精度 24bit とした。

#### ・CD 音

上記ハイレゾ音に MATLAB を用いてカットオフ周波数 20kHz の急峻なローパスフィルタ（20 次バターワースフィルタ）をかけることによって高域成分をカットし、48kHz サンプリングに落とし、さらに量子化精度 16bit に変換した。CD は本来 44.1kHz サンプリングであるが、リサンプリングの精度を考慮して 192kHz の 1/4 である 48kHz とした。

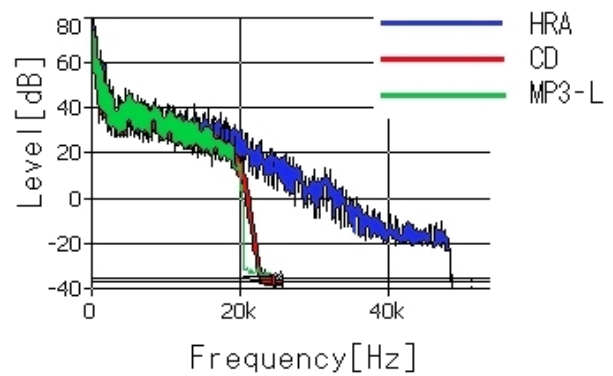


Fig.1. Long-term averaged amplitude spectra for HRA, CD, and MP3(L)

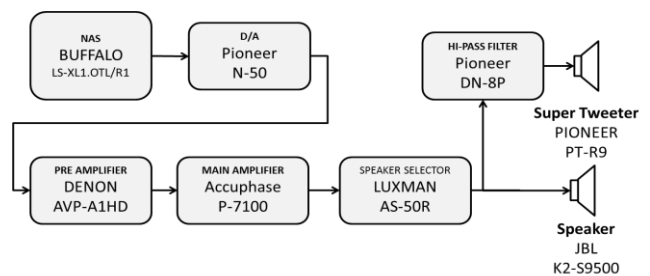


Fig.2. Experimental setup for listening test. Sound file stored in NAS was D/A converted and amplified prior to branch into loudspeakers.

#### ・MP3（320bps）－MP3H

上記 CD 音をフリーソフト（LAME）によって変換した。MP3 の高音質版として評価対象とした。

#### ・MP3（128bps）－MP3L

同様に CD 音をフリーソフト（LAME）によって変換した。MP3 の一般音質版として評価対象とした。

予備実験として上記 3 つのジャンルのハイレゾ楽曲それぞれを 4 種のフォーマットで聴き比べた。3 曲にはそれほど大きな差が無かったが、歯切れよく打楽器を多く含むジャズ楽曲で評価を行なうことにした。評価に使用したジャズ楽曲のハイレゾ音（HRA）、CD 音、MP3 音の長時間平均周波数特性を Fig.1 に示す。CD 音は 20 kHz 以上の成分が無く、MP3 音はさらに帯域が狭い。

### 2.2 実験に用いる音源の準備

使用した音響機器の構成を Fig.2 に示す。作成した実験音サンプルをネットワークに直接接続して使えるハードディスク－NAS（Network Attached Storage）に保存し、ネットワークオーディオプレーヤ経由でスピーカに出力した。提示順序や時間間隔は手動で行なった。なお、実験は完全なブラインドで行い、提示する楽曲のフォーマット情報は被験者へは一切提示しなかった。

Fig.3 に示すように、2 つのスピーカと聴取位置の中心を一辺 2.5m の三角形の頂点になるように配置した。

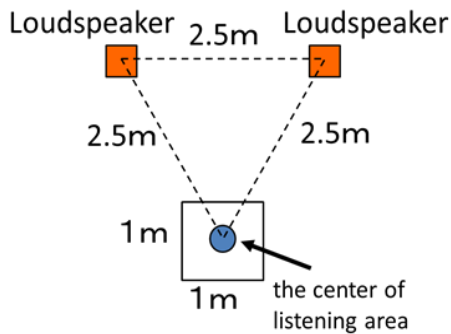


Fig.3 Geometrical relationship among two sets of loudspeakers and listening area, where four listeners sat together.

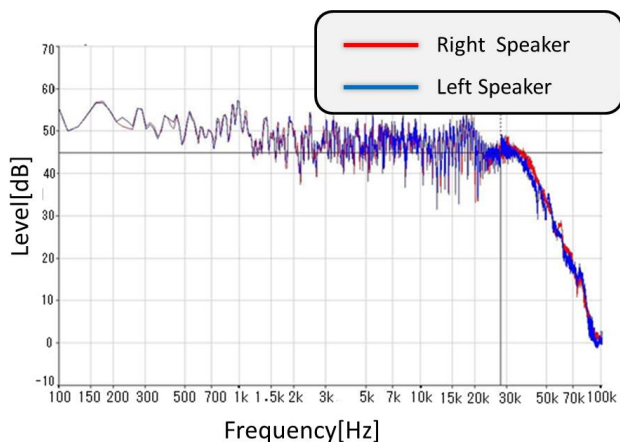


Fig.4. Measurement of white noise presented by left and right loud speakers using a microphone in the center of listening area.

スーパーツイータ（可聴域 20kHz 以上の超高周波を再生するスピーカ）は指向性が強いいため、被験者の耳の高さに配置し、聴取位置の中心に向くように正確に調整した。聴取位置は 1m 四方の範囲に最大 4 名座れるよう設定し、耳が聴取位置の範囲に入るように椅子を調整した。これは一度に 4 名の評価を可能にすることで実験効率を上げるためである。Fig.4 は聴取位置における音響装置の周波数特性である。実験と同じ環境にて、左または右のスピーカから片側ずつホワイトノイズを出力し、Fig3 に示した聴取範囲の中心位置の耳の高さにて、100kHz まで計測可能な計測用マイクロフォン（ブリュエル・ケア社製 Type2670 4939-A-011）を置いて計測した。聴取範囲で、特性が高周波帯域までほぼ平坦であることを確認した。実験に使用する音の大きさは聴取位置において、最大音圧が約 75~80dB になるように調整した。

ハイレゾ音を用いた音質比較を行なう場合、音響機器（特にスピーカ）による非線形歪により、超音波域の音が可聴域に影響を与えることが指摘されている<sup>(6)</sup>。これに対して、使用した楽曲において、スーパーツイータの

Table 1. Reference of adjectives

番号	評価語対
1	柔らかい—固い
2	豊かな—やせた
3	心地よい—刺激的な
4	つやのある—カサカサした
5	奥行きのある—奥行きが無い
6	広がりのある—広がりの無い
7	雰囲気豊かな—雰囲気が乏しい
8	ニュアンスの変化が大きい—ニュアンスの変化が小さい
9	自然な—不自然な
10	重厚な—軽い
11	滑らかな—粗い
12	高音の伸びのある—高音のつまった
13	低音の伸びのある—低音のつまった
14	澄んだ—濁った
15	メリハリのある—ぼけた
16	響いた—響きの無い
17	ハジレの良い—ハジレの悪い
18	迫力のある—ものたらない
19	好き—きらい

超音波域の音が可聴域に与える影響は無視できるレベルであることを確認している。

### 2.3 実験の手続き

#### ① 被験者

現役の演奏家 2 名や普段から音楽鑑賞を趣味としハイレゾ音に馴染みのある者 7 名を含み、10 代から 70 代までの普段音楽をあまり聴かない者まで様々な老若男女合計 27 名（男性 16 名、女性 11 名）を対象とした。

#### ② 事前アンケート

加齢とともに可聴域が狭くなることや、音楽と接している環境によって判断能力に差が生まれる可能性も考慮し、評価結果と併せて分析するため、被験者には事前に年齢・性別、音楽（楽器）経験の有無、普段よく聴く音楽のジャンル、聴く環境・メディアの種類等の記述を要請した。

#### ③ 評価法

2 つの比較対象の優劣を問うサーストンの一対比較法<sup>(7)</sup>を用いた。2 つの音を提示し、好き嫌いではなく、「どちらの音質が良いか(前,後)」を判断するように要請した。

#### ④ 音質表現

音質の判断とともに、判断に及んだ理由の記述を要請した。細かいニュアンスを表現してもらうために自由記述形式とした。しかし、短時間での判断・記述が必要なため、参考として、音質を表現する言葉（Table 1）を提

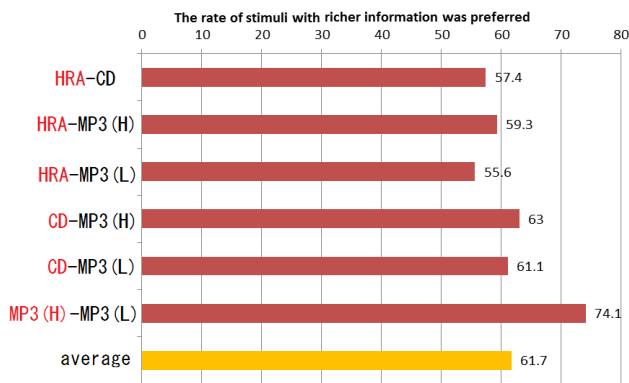


Fig.5. Results for each format pairs of experiment.

示した。この種の実験に不慣れな被験者は、この表を参照しながら記述していた。

Table 1 の音質表現語は LP レコードと CD の音質比較を行なった大橋らの研究<sup>(3)</sup>と音質表現語を体系的にまとめた厨川らの研究<sup>(8)</sup>を参考にして、周波数特性、量子化精度、MP3 など圧縮音源の音質差を表現できると思われる評価語対を選んだ。

#### ⑤ 音の提示時間

1 つの実験は [2 分の音] → (30 秒休) → [2 分の音] で構成される。

音質評価には、10 秒～30 秒の音を用いるのが一般的であるが、ハイレゾ音によるハイパーソニック効果出現による時間遅れ<sup>(3)</sup>の可能性を考慮して評価音を長めに設定し、音の間隔を広くした。そして、ハイパーソニック効果の残留の影響を除去するために、次の評価音対の提示までの間隔を 1 分以上確保した。

#### ⑥ 提示音の組合せ

4 種のフォーマットの音源を 2 つずつ組合せ、前後の入れ替えも含めて 12 の組合せを 1 セットとした。

#### ⑦ 実験時間

被験者の疲労を考慮し、1 セッションの実験を約 30 分とし、セッション間には約 15 分の休憩を入れた。また、原則として 1 日に 2～2.5 時間とした。

#### ⑧ 教示とトレーニング

被験者が実験に熱意を持って参加してもらうため、実験の意義、実験の手続き、そして、ハイレゾ音、CD 音、MP3 音の概要を口頭で説明した。また、被験者は音楽メディアフォーマットの異なる音源を比較評価する実験に不慣れであり、またハイレゾオーディオを初めて聴く被験者が大多数であるため、実験前には実験内容の説明とともに実験と同じ方法で音を提示して、約 30 分のトレーニングを行ない、実験と楽曲に慣れるようにした。このトレーニングには実験と同じ音源及び別音源の両方を用いた。

### 2.4 結果

被験者 27 名による聴感評価実験の結果を Fig.5 に示す。評価基準は、情報量の多い方を「音質が良い」と判断した場合を正解とした。そうでない場合を不正解とし、「同じ」という評価結果も不正解にカウントした。

2 つのデータフォーマットの組合せにおいて、赤字で示した左側が情報量の多い（帯域幅が広い／圧縮率が低い）ほうである。各棒グラフの大きさは 27 名×2 試験＝54 データの平均値であり、左側（赤字）のデータフォーマットのほうが「音質が良い」と答えた割合である。例えば、HRA-CD の比較では 57.4% の割合で、ハイレゾ (HRA) のほうを音質が良いと判断したことを表す。Average は、左側(赤字)のほうが良いと答えた割合の平均値である。

Fig.5 によると、すべての組合せで、情報量の多いほうの音を「音質が良い」と判断した割合が 50% 以上となっている。組合せによって値の大小の違いはあるが、良いと期待されるほうの音を良いと判断している。

#### 2.5 考察

各被験者が一対比較において音質判断の根拠として記述した音質評価語を全て集計し、似通った表現を統合し、多少の主観を交えて整理したものを Table2(a)～(f) に示す。情報量の多いフォーマットを表の左に、情報量の少ないフォーマットを表の右に配置してある。○印の項目は、他方よりも良いと判断した評価語であり、×印の項目は劣っていると判断した評価語である。(a)～(f)それぞれにおいて、上段は情報量の多いほうを「良い」と判断した場合、下段はその逆に判断した場合である。

ハイレゾ音と CD 音では、拡がり感、奥行き感、臨場感に違いがあり、CD と MP3 の違いは、雑音感、歪み感の有無、音の分離度の良否などが主なものである。また、MP3H と MP3L では、圧縮率の違いによって、クリアさや歪み感に差がある。

各々の上段を見ると、全体的に、情報量が多いほうの音源には臨場感、音の拡がり、クリアさ、メリハリの良さなど、音の豊かさや歯切れの良さを表現する言葉が多く、情報量が少ない音源のほうは、拡がりの無さ、粗さ、物足りなさなど瘦せた感じや歪感を表す言葉が多い。

Fig.5 の結果から、MP3H と MP3L は高い精度で識別できており、同質の音の優劣の判断は比較的容易と思われる。ハイレゾ音と CD 音の識別率は 57% であり、あまり高くない。しかし、さらに各被験者の結果と事前アンケートを対比して見ると、ハイレゾ音と CD 音の識別が 100% できている被験者 9 名のうち 7 名は現役の演奏者や普段からハイレゾ音楽を聴いて親しんでいる者である。このような人々はハイレゾ音の良さがわかるようである。また、平常から音楽に親しみ、高音質の音を聴き慣れている被験者は平均識別率が高い傾向がある。

被験者の大多数は MP3 や CD を主に聴いており、なじ

Table2. The summary of Adjectives described by the subjects.

	ハイレゾ	CD
(a)ハイレゾ: CD比較	○ 臨場感、立体感、拡がり感 奥行き感、バランスが良い 自然な感じ、クリア	× 物足りない、やや響き不足 粗い、軽い、こもり感
	× こもっている ノイズ感 うるさい	○ まとまりがあり、のびが良い クリア キレがある 音がきれい
(b)ハイレゾ: MP3H比較	ハイレゾ	MP3H(320kbps)
	○ クリア、臨場感、響きが良い 豊か、細かい、歪が小さい 艶がある	× 拡がりがない 伸びが無い、固い、粗い 滑らかさに欠ける
	× うるさい、少し雑音感がある	○ クリア、自然な感じ 歯切れが良い、バランスが良い
(c)ハイレゾ: MP3L比較	ハイレゾ	MP3L(128kbps)
	○ 拡がり感、歪が小さい 臨場感 音がきれい、個々の音が豊か	× 拡がりがない、粗い、固い 雑音感がある、音がこもる 物足りない
	× 少しこもり感がある。 うるさい、粗い	○ 艶を感じる、迫力がある 響きが良い、きれい
(d)CD: MP3H比較	CD	MP3H(320kbps)
	○ 音がクリア、メリハリがある 拡がりがある、 心地よい、自然、臨場感	× 雑音感 拡がりがない 奥行き感が無い こもっている、キレがない
	× 音が固い、変化が小さい	○ 高音に拡がり 歯切れがよい、こちらが好き
(e)CD:MP3L 比較	CD	MP3L(128kbps)
	○ 歪感が小さい、きめ細かい 音の拡がり、迫力がある 自然、歯切れが良い	× 歪感、雑音が多い 響きが無い、キレがない 音が拡がらない
	× 固い、瘦せた音 高音が多少粗い	○ 音が豊か、刺激的、まろやか 低音が良い、拡がりがある。
(f)MP3H: MP3L比較	MP3H(320kbps)	MP3L(128kbps)
	○ クリア、拡がり感、臨場感 奥行き感、メリハリが良い、 心地よい、キレが良い	× 歪感、拡がりがない 粗い、奥行き感がない 音の分離が悪い
	× 薄っぺらい、おとなしい、 粗い、固い	○ まとまっている 拡がりを感じる マイルド

みの無いハイレゾ音に一種の異質感があるように思える。ハイレゾ音と CD 音・MP3 音を比較した Table2(a)~(c) の下段を見ると、ハイレゾ音に「うるさい」「ノイズ感がある」「粗い」といった表現が多く、CD 音や MP3 のほうが「自然な感じ」「きれい」「好き」という表現が並んでいる。Fig.5 に示したように、ハイレゾと MP3 の識別率が、CD と MP3 よりも低いのはこのためではないかと考えている。

最も情報量差の大きいハイレゾ音と MP3L の識別率が最も低い結果となったことは非常に興味深い。被験者が自由記述した音質表現語と併せて考察すると、MP3 には「粗さ」「歪感」という音質感があり、ハイレゾ音にも「うるさい、ノイズ感がある」という同様の記述がある。理由は明らかではないが、ハイレゾ音の異質感が影響しているのではないかと考えている。楽曲数やデータ数を増

やして、さらに詳しく検討する必要がある。

### 3. 量子化精度の違いによる聴感評価実験

ハイレゾ音と CD 音の聴感上の違いをもたらす物理的要因として、周波数帯域の違いと振幅の量子化精度の違いがある。先行研究においては、LP レコードと CD の音を試聴比較し、LP レコードの音のほうが総合的に良く、その要因は LP レコードが 40kHz 超の広い周波数帯域を有することであるとしている<sup>(3)</sup>。LP レコードはアナログ録音であり、CD は 16bit デジタル録音という違いがあるが、この報告では振幅方向の分解能の違いには触れていない。

我々は、振幅の量子化精度の違いが聴感音質に影響を与えるかどうかを確かめるために、同じ周波数帯域の 24bit 音と 16bit 音の試聴評価を行った。

#### 3.1 実験に用いる音源の準備

##### ① 音源

ハイレゾ音に対して MATLAB にて 20kHz の急峻なフィルタをかけ、48kHz サンプリングして、量子化精度 24bit 音とそれを量子化精度 16bit に変換した 16bit 音を作成した。楽曲は前実験と同じものを用いた。

##### ② 被験者

現役の演奏家 2 名や普段から音楽鑑賞を趣味としハイレゾ音に馴染みのある者 7 名を含み、10 代から 70 代までの普段音楽をあまり聴かない者まで様々な老若男女合計 28 名（男性 14 名、女性 14 名）を対象とした。この 28 名中には前実験の 24 名が含まれている。

##### ③ 音の提示時間

一対比較法を用い、被験者に次のように 2 つの音を提示した。

[前の音 (30 秒)] → [約 3 秒休] → [後の音 (30 秒)]  
可聴域の音であるので、ハイパーソニック効果の影響がないため、提示時間、間隔を前実験よりも短く設定した。

##### ④ 提示音の組合せ

量子化精度 24bit と 16bit の 2 種類であり、前後の音と順序を入れ替えた組合せをランダムに 2 回繰り返し、4 試験を 1 セットとした。

##### ⑤ 評価方法

2 つの音を提示し、この音が「同じ」か「違う」か、のみを判断させた。予備実験における比較検証により、この判別が微妙な差であることがわかったので、「どちらが良い音か」という一歩踏み込んだ判断はあえて求めなかった。その代わりに「違う」と判断した場合は、どのように違うか記述を求めた。

#### 3.2 結果および考察

データ数は 28 人 × 4 試験 = 112 であり、その平均識別率は 60.3% である。χ<sup>2</sup> 検定 (有意水準 5%) の結果、この値は統計的に有意であり、16bit と 24bit の音は識別でき

ると言ってよい。

被験者それぞれの量子化精度の識別率は実験2の識別率の良否とは必ずしも連動していない。聴きどころが違うものと思われる。被験者に対して、「違う」と選んだ理由の自由記述を求めたが、明確な回答が得られなかった。現役の演奏家においてもその記述は困難な様子であった。

また、被験者の「音楽経験」や「普段聴いている音楽メディア」と相関関係はあまり見られない。しかし、普段から音楽に親しんでいる被験者は、量子化精度の違いの識別率も比較的高い傾向がある。

このように量子化精度の違いを聴き分けることができることを確認したが、音質にどのような違いを生ずるかについてはデータが得られなかった。

#### 4. おわりに

ハイレゾ、CD、MP3の音質差の評価および量子化精度16bitと24bitの音質差の評価を行なった。

27名の被験者によるハイレゾ音、CD音、MP3音(320kbps)、MP3音(128kbps)の対比較による聴き比べ実験を行なった結果、ハイレゾとCDにおいては57.4%がハイレゾ楽曲を「良い音」と判断した。またCDとMP3音(320kbps)では63.0%、MP3音(320kbps)とMP3音(128kbps)では74.1%の割合で情報量の多い前者の音質が良いと判断された。

聴感としては、ハイレゾ音は臨場感や音の分離、拡がり感を、CD音ではきれいな歪みが少ないこと、MP3は歪感があり、臨場感に乏しいことをそれぞれ特徴として感じていることがわかった。

周波数帯域を可聴域に制限し、量子化精度24bitと16bitによる聴感比較実験を被験者28人で行なった結果、60.3%の割合で違いが識別できた。ハイレゾオーディオの周波数帯域の広さと共に量子化精度の緻密さも聴感へ影響をおよぼしていることがわかった。

しかし、量子化精度の違いが音質にどのような違いを与えるかについては確認できず、この点は課題として残った。今回は一つの楽曲で実験を行なったが、今後は、さらに被験者を増やして、いろいろな楽曲で実験を行い、統計的な検証を行う必要がある。

#### 謝 辞

本研究は平成24年度広島県次世代自動車技術開発促進補助金を受けた「ハイレゾ・ネット配信に対応した車載音響システムの開発」(オオアサ電子株式会社、株式会社ディジフュージョン・ジャパン)の一環として行われました。そして、本研究を進めるにあたり、ひろしま医工連携・先進医療イノベーション拠点の設備を使用させていただきました。厚く御礼申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、ご指導を賜りました公益財団法人ひろしま産業振興機構の二矢田勝行様、研究推進にご尽力いただいた同機構の岩城富士大様、上村一司様、実験の便宜を図っていただいた広島大学医工連携拠点の末廣憲治様に心から感謝申し上げます。

#### 文 献

- (1) 西口敏行:「ハイレゾリューションオーディオの研究」, 電気通信大学審査博士論文, 2009
- (2) T. Oohasi, et al.:「Inaudible High-Frequency Sounds Affect Brain Activity」, *Journal of Neurophysiology*, Vol. 83, pp. 3548-3558, 2000
- (3) 大橋力, 仁科エミ, 不破本義孝:「LPとCDとの音質のちがいに ついて—生理学的・感性科学的検討—」, *信学技報*, HC94-18, No. 1, pp. 15-22, 1994
- (4) 西村竜一, 末永司, 鈴木陽一, 田中章浩:「音質劣化が刺激の印象空間内での布置に及ぼす影響」, *日本音響学会誌*, Vol. 6, No. 2, pp. 63-72, 2008
- (5) 桐生昭吾, 蘆原郁, 佐藤宗純, 吉川昭吉朗:「次世代高品位オーディオと測定技術」, *日本音響学会誌*, Vol. 56, No. 9, pp. 653-656, 2000
- (6) 桐生昭吾, 蘆原郁:「ハイサンプリングソフトの品質評価」, *信学技報*, EA99-37, pp. 67-73, 1999
- (7) 難波精一郎, 桑野園子:「音の評価のための心理学的測定法」, コロナ社, 1998
- (8) 厨川守, 八尋博司, 柏木成豪:「音の7属性の性格について」, *日本音響学会誌*, Vol. 34, No. 9, pp. 501-509, 1978



山本 竜太

2003年3月近畿大学工学部電子情報学科卒業。同年4月株式会社ディジフュージョン・ジャパン入社、現在に至る。ハイレゾリューションオーディオの研究に従事。



金只 直人

2013年3月九州工業大学工学部電気電子工学科卒業。同年4月九州工業大学大学院工学府電気電子工学科入学。現在、水町研究室でハイレゾリューションオーディオの研究に参加。



水町 光徳

2000年3月北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了, 博士(情報科学)。2000年4月ATR音声言語通信研究所入所。現在、九州工業大学大学院工学研究院・准教授。音情報処理の研究に従事。