

20kHz以上の成分が楽器音の知覚に及ぼす影響

The effect of the component over 20kHz on the perception of the instrument sound

小林 幸夫, 鈴木 脩平*

Yukio KOBAYASHI, Syuhei SUZUKI

In this study, the effect that instrument sound including frequency components over 20kHz gives to a human perception. The discrimination experiment of sound was performed with three sound sources of Myochin-Hibashi, Sanukite and Cymbal. As a result, several subjects distinguished including frequency components over 20kHz sound from not sound. Furthermore, the evaluation experiment of psychological influence by including frequency component over 20kHz was performed. This result show the sound source including components over 20kHz was the more natural impression in comparison with the sound source did not include them. In addition, the sound source including frequency components over 20kHz was shown doing a metallic sound more clearly.

Keywords : audio frequency, tones over 20kHz, perception of instrument sound

1. 研究の背景及び目的

音響学の分野では、これまで人間の最高可聴周波数は20kHzとされ、それ以上の周波数の音はヒトの聴覚の上限周波数を超えた音（超音波）として扱われてきた[1]。

しかし、近年ではSACDやDVD-Audioなどの高忠実度再生を目的とした規格で20kHz以上の周波数成分の再生を仕様としている。また、可聴域の上限を超える高周波数成分が音質を向上させるといわれ、いくつかの研究では可聴周波数以上の周波数帯の音を知覚することが出来る可能性があると報告している[2][3]。

そこで本研究では、ヒトの耳には聞こえないとされる20kHz以上の音に着目し、特に20kHz以上の周波数成分を有する楽器音の知覚について、20kHz以上の成分が及ぼす影響について調べることを目的とする。

2. 使用音源

20Hz～100kHzの周波数帯域の收音が可能なコンデンサマイク（Sanken製 CO-100K）、およびニアPCMレコーダー（SONY製 PCM-D1）を用い、サンプリング周波数96kHz、量子化ビット数24bitで録音した。音源には

*2008年度小山高専電子システム工学専攻修了

20kHz以上の周波数成分を豊富に含むことが確認されているシンバル、サヌカイト、明珍火箸の三種を用いた。

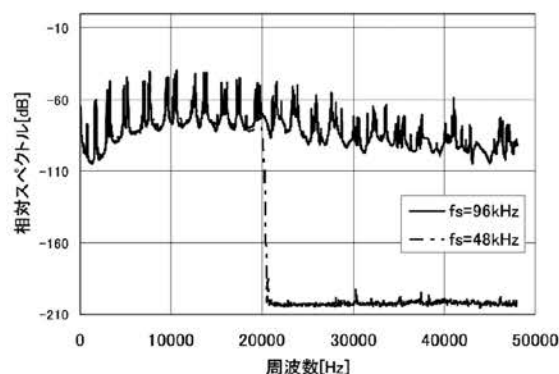


Fig.1 明珍火箸のスペクトル

これらの録音した音をDigiOn製 5.1チャンネルマルチトラックサウンド編集ソフトDS DIGION SOUND5を用いてダウンサンプリングし、元データとサンプリング周波数のみ異なる音源を作成した。作成した音源は、サンプリング周波数48kHzと96kHzの2種類、計6種類である。一例として、Fig.1に明珍火箸のスペクトルを示す。これより、96kHzサンプリングの音源には20kHz以上の成分が多く含まれており、48kHzサンプリングの音源には含まれていないことがわかる。

3. 実験環境

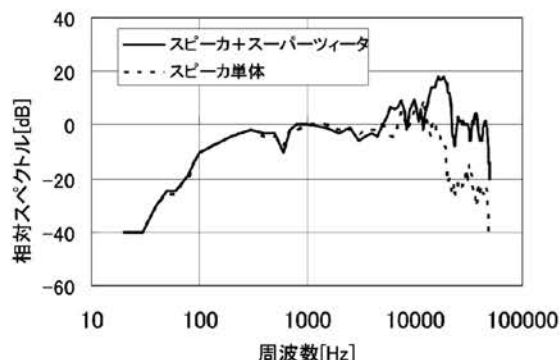


Fig.2 音響再生システムの周波数特性

研究を行うにあたり、広く用いられているフルレンジ型スピーカー単体では、高周波数領域において十分な出力の確保が見込めないため、高周波数領域再生用スピーカーであるスーパーツイータ（Fostex製/GS90A）を北陸先端科学技術大学院大学宮原研究室で製作された本研究室所有のスピーカー（12cmフルレンジ、バスレフ型）に付加した。音源の再生にはリニアPCMレコーダー（SONY製 PCM-D1）を用い、パワーアンプ（Panasonic製 SU-MA10：再生周波数帯域 DC～100kHz）を介してスピーカシステムに出力した。

Fig.2に再生システムの周波数特性を示す。スピーカー単体に比べ、20kHz以上の周波数特性が改善されており、20kHz以上の周波数領域の再生が十分可能だと言える。

4. 弁別実験

4.1. 実験方法

作成した音源から、刺激となる音源の作成を行った。パターンは、Fig.3に示すような二つの楽器音と無音時間によって構成した。一つの楽器音の長さは30秒とし、無音時間は5秒とした。刺激パターンに用いた音源のパターンは、作成した音源のサンプリング周波数96kHzの音源をA、48kHzの音源をBとしたとき一音目→二音目をA→A、A→B、B→A、B→Bのパターンをランダムに選択して用いた。

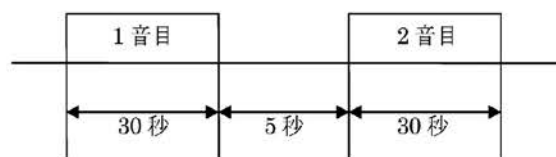


Fig.3 刺激パターン

被験者は10名（男性：8名、女性：2名）とした。被験者には、作成した刺激パターンを用いて一つ目の音に対して二つ目の音がどのように聞こえたかを判断してもらった。判別は、

①同じに聞こえた場合は○

②違って聞こえた場合は×

の二択で評価してもらい、被験者には一組聞き終わるごとに回答用紙に記入するよう求めた。各音源につき8回、全24回の比較を行った。

4.2. 実験結果

各楽器の弁別率をTable.1に示す。弁別実験は二肢強制選択なので、弁別率75%以上の場合のみ弁別できていたとみなす。弁別率の単位はパーセントである。また、表内の*は75%以上の弁別率であることを表している。

この実験では、弁別率が75%以上の被験者が、明珍火箸で5人、シンバルで5人、サヌカイトで1人得られた。したがって、確かに弁別できていると言える結果が得られた[4]。

Table.1 弁別実験結果

	明珍火箸	サヌカイト	シンバル
被験者1	* 87.5	37.5	* 75
被験者2	62.5	25	62.5
被験者3	* 75	50	62.5
被験者4	* 87.5	37.5	25
被験者5	37.5	37.5	50
被験者6	* 100	* 100	* 100
被験者7	50	62.5	* 75
被験者8	37.5	25	62.5
被験者9	50	50	* 75
被験者10	* 87.5	25	* 75
平均	67.5	45	66.25

以上の結果から20kHz以上の周波数成分による音の違いを、確かに知覚できる被験者が明珍火箸とシンバルで半数得られ、弁別が可能であることを確認できた。

5. 心理評価実験

弁別実験の結果から、20kHz以上の成分を含む音を知覚できる可能性があることを示した。この実験結果から、20kHz以上の周波数成分が楽器音の知覚にどのように影響しているかを調べるため、心理学的測定を行った。測定にはSD法（Semantic Differential Method）を用いた。

5.1. 実験方法

被験者は健康な男女30名を対象に行った。実験では、被験者に対し、Table.2に示す10個の形容詞対を「かなり」「やや」「どちらでもない」「やや」「かなり」の五段階の尺度で評価してもらった。

実験に用いた音源は、弁別実験と同様のものを使用した。刺激のパターンは一つの楽器音の長さは7秒、無音時間は5秒とし、再構成した。また、音源のパターンは一音目から二音目のサンプリング周波数の変化を48kHzから96kHzの変化のみとしたものの、先入観による影響を考慮し、被験者にはサンプリング周波数の変化を明かさないうばい形式として実験を行った。

Table.2 SD法で用いた形容詞対

1	繊細な－荒れた
2	鋭い－鈍い
3	自然な－人工的な
4	甲高い－低い
5	快い－不快な
6	滑らかな－粗い
7	迫力のある－物足りない
8	金属的な－しっとりとした
9	のびのある－つまった
10	澄んだ－濁った

5.2. 実験結果

Table.3に各音源の評価スコアの平均値を示す。値が大きいほど形容詞対の左側の形容詞による影響を表している。また、得られた評価値に対して主成分分析を行った。主成分分析は、多数の変数を少数の主成分に縮約する手法である[5]。この分析結果からSD法で用いた形容詞対をグループ分けし、データの解釈を容易にすることができる。

Table.3 各音源の平均評価スコア

	明珍火箸	サヌカイト	シンバル
繊細な－荒れた	3.2	3.4	3.1
鋭い－鈍い	3.5	3.1	3.7
自然な－人工的な	3.0	3.4	3.1
甲高い－低い	3.5	3.2	3.3
快い－不快な	2.9	3.4	3.3
滑らかな－粗い	3.1	3.2	3.2
迫力のある－物足りない	3.3	3.2	3.8
金属的な－しっとりとした	3.7	2.9	3.6
のびのある－つまった	3.5	3.2	3.5
澄んだ－濁った	3.4	3.3	3.2

主成分分析の結果、20kHz以上の周波数成分を含む音源では、

- (a) すべての音源で主成分1の「自然な－人工的な」に関する負荷量が大きく、サンプリング周波数96kHzの音源の方が、より自然な印象になる傾向が見られた。
- (b) 主成分2では「甲高い－低い」、「金属的な－しっとりとした」など、金属性の因子による負荷量が大きい。
- (c) シンバルでは「迫力のある－物足りない」など、シンバル特有の迫力に関する負荷量が大きい。

Table.4 明珍火箸の主成分分析結果

	主成分 1	主成分 2	主成分 3
繊細な－荒れた	0.7342	0.1235	0.0670
鋭い－鈍い	0.0888	0.7635	0.0708
自然な－人工的な	0.8331	0.1437	0.0030
甲高い－低い	-0.3244	0.7792	-0.2173
快い－不快な	0.8146	0.0343	-0.1789
滑らかな－粗い	0.6827	0.3734	-0.0606
迫力のある－物足りない	0.0814	0.7194	0.4295
金属的な－しっとりとした	-0.6000	0.6029	0.3275
のびのある－つまった	0.8329	-0.2206	0.3236
澄んだ－濁った	0.2566	0.8219	-0.3356

Table.5 サヌカイトの主成分分析結果

	主成分 1	主成分 2	主成分 3
繊細な－荒れた	0.8575	-0.0226	-0.0674
鋭い－鈍い	-0.2139	0.6727	-0.5094
自然な－人工的な	0.7893	0.2289	0.0698
甲高い－低い	-0.2767	0.5688	0.5675
快い－不快な	0.7989	0.0653	0.3220
滑らかな－粗い	0.8130	0.1213	0.2840
迫力のある－物足りない	-0.4735	0.4493	-0.1804
金属的な－しっとりとした	-0.3972	0.7088	0.3050
のびのある－つまった	0.5940	0.5032	-0.1646
澄んだ－濁った	0.7296	0.2530	-0.4165

Table.6 シンバルの主成分分析結果

	主成分 1	主成分 2	主成分 3
繊細な－荒れた	0.5417	-0.0846	0.5450
鋭い－鈍い	0.2358	0.7192	-0.0965
自然な－人工的な	0.6839	0.0883	0.2661
甲高い－低い	-0.6239	0.5721	-0.0299
快い－不快な	0.7538	-0.0067	-0.4332
滑らかな－粗い	0.7854	-0.0455	-0.2228
迫力のある－物足りない	-0.0020	0.8314	0.1173
金属的な－しっとりとした	-0.4790	0.5000	-0.1879
のびのある－つまった	0.5009	0.4061	0.5522
澄んだ－濁った	0.6672	0.2980	-0.5066

従って、20kHz以上の周波数成分を含む音源が人間に与える印象は、CD等の音源に比べ、より自然な印象を与える可能性が高いことを示している。また、20kHz以上の周波数成分は金属製の楽器に多く含まれている場合が多く、今回の実験で金属性の因子の負荷量が大きかった。よって、今回の実験では20kHz以上の周波数成分が金属音に対し、金属らしさを際立たせることがわかった。

6. まとめ

20kHz以上の周波数成分を有する楽器音の知覚について、20kHz以上の成分が及ぼす影響について調べるため、20kHz以上の周波数領域の再生が可能な音響再生システムを用いて実験を行った。

まず主観的な音の弁別実験を行った。その結果、弁別実験では、弁別率が75%以上を示した被験者が10人中5人であった。また、弁別率が75%に達していないものの、ほとんどの被験者で明珍火箸とシンバルがサヌカイトの弁別率を上回るという結果が得られた。これより、音源ごとに差はあるものの、20kHz以上の成分の有無により音の違いの弁別が可能であることを示した。

さらに、20kHz以上の周波数成分が楽器音の知覚にどのように影響しているかを明らかにするために、SD法を用いた心理評価実験を行った。実験結果から、20kHz以上の周波数成分を含む音源では、それらの成分を含まない音源に比べ、より自然な印象を与える可能性が高く、20kHz以上の周波数成分が楽器音に対し、金属らしさを際立たせる重要な要素であるという結論に至った。

参考文献

- [1] 西巻正郎：“電気音響振動学”，電子通信学会，pp.8(1960)
- [2] 葦原郁他：“音楽に含まれる超高周波数成分が知覚に及ぼす影響—主観弁別実験—”，AES東京コンベンション2001予稿集，pp.18-21，(2001)
- [3] 山崎憲，堀田健治，斉藤光秋，小川通範：“溪流の音に含まれる超音波が人間の生理に与える影響について”，日本音響学会誌64巻9号，pp.545-550，(2008)
- [4] 鈴木脩平，小林幸夫：“20kHz以上の成分が楽器音の知覚に及ぼす影響”，電気学会研究資料 ETT-07-08，(2008)
- [5] 奥野忠一，久米 均，芳賀敏郎，吉澤 正：“多変量解析法《改訂版》”，日科技連出版社，pp.159-258，(1971)

小山工業高等専門学校 電気情報工学科
E-mail : ykoba@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 2009年9月29日」