

蝸牛遅延特性を模擬したオールパスフィルタの設計*

☆飯田大貴, 山田宏樹, 矢田部浩平 (農工大), 饗庭絵里子 (電通大)

1 まえがき

蝸牛は音の周波数情報を処理する感覚器官であり、内耳に位置する。そこでは、高周波音と低周波音が同時に入力された際に、低周波音が遅れて処理される蝸牛遅延と呼ばれる現象が起きる。この蝸牛遅延を考慮した信号処理を音楽に適用することで、新たな価値を創出できる可能性がある。これまで、音楽的利用への準備段階として、我々は蝸牛の群遅延特性を模した、遅延量の調整が可能なオールパスフィルタを設計した [1]。本稿では、このフィルタをさまざまな音源に適用し、フィルタが各音源の聴感的特徴に及ぼす効果を主観評価実験によって調査した。

2 蝸牛遅延フィルタ

我々はこれまで、蝸牛の群遅延特性を模したオールパスフィルタの設計を行った [1]。この蝸牛遅延フィルタは、蝸牛遅延特性の遅延量を任意の倍率に調整することができる。フィルタをそのまま音源に適用すると蝸牛遅延が増長される。逆に、対象となる信号の時間軸を反転すると、蝸牛遅延を減らすフィルタ、すなわち蝸牛遅延補正フィルタを実現することもできる。以後、蝸牛遅延を増長した音源を「増長音源」、補正した音源を「補正音源」と呼ぶ。

3 予備実験

音楽的利用の評価を行う際に、評価語やフィルタの遅延量の倍率の適正範囲を求める必要がある。そのために予備実験を行った。

3.1 方法

使用した音源は、スネアドラム、バスドラム、ベース、ギターの4種類である。蝸牛遅延フィルタの特性を強く反映させるために、打楽器やスラップ奏法、カッティングギターなどのアタック成分が強い音源を利用した。音楽経験のある4名の被験者(男性4名)で実験を行った。被験者は、各楽器に対して生音源と増長音源、生音源と補正音源を聴取する。この時、2つの音源の順番はランダムに変化する。2つ目の音源を聞いた後に、最初の音源に比べ、後の音源がどのように聞こえたかを表-1の評価語に従って1点刻みで評価した。また、評価が終わった後にそれぞれの音

表-1 評価カテゴリと評点

評価カテゴリ	評点
非常に良い (much better)	100
良い (better)	75
比較的良好 (relatively good)	50
やや良い (slightly better)	25
ほぼ同じ (about the same)	0
やや悪い (slightly worse)	-25
比較的悪い (relatively bad)	-50
悪い (worse)	-75
非常に悪い (much worse)	-100

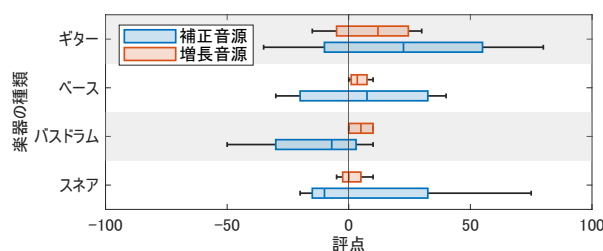


図-1 各音源ごとの評価の分布。横軸に評価カテゴリに伴う評点を示す。

源がどのように聞こえたかを自由に記入した。このアンケート結果を、本実験で評価語を設定する際に参照した。

3.2 結果と考察

図-1に各音源の生音源と補正音源、生音源と増長音源を比較した際の評価分布を示す。補正フィルタは、箱が横に伸びていて評価がばらついている。これは、音質の「良い-悪い」という尺度で評価をしたことにより、被験者の趣味嗜好によって評価が分かれたためであると考えられる。一方で増長フィルタの評価はばらつきが小さく、音質の変化が少なかった。これは、饗庭らの「蝸牛遅延を増長させた音は知覚されにくく、逆に蝸牛遅延を補正した音は知覚されやすい」という結果とも合致する [2]。本実験では音楽的利用の検討をするので、実験の上では増長と補正が同程度に知覚されることが望まれる。そのため次章の実験では、増長フィルタの遅延量を大幅に増やすことでバランスをとる。評価後のアンケートでは、補正フィルタを適用したギター音源に対し「出だしの音の厚みが強くなった」、「人工的なオートワウのような音」、増長フィルタを適用したバスドラム音源に対し「前に出てきた感じ」などの感想が挙がった。

*Research on musical applications of IIR all-pass filter simulating cochlear delay characteristics. By Hiroki IIDA, Koki YAMADA, Kohei YATABE (Tokyo University of Agriculture and Technology) and Eriko AIBA (The University of Electro-Communications).

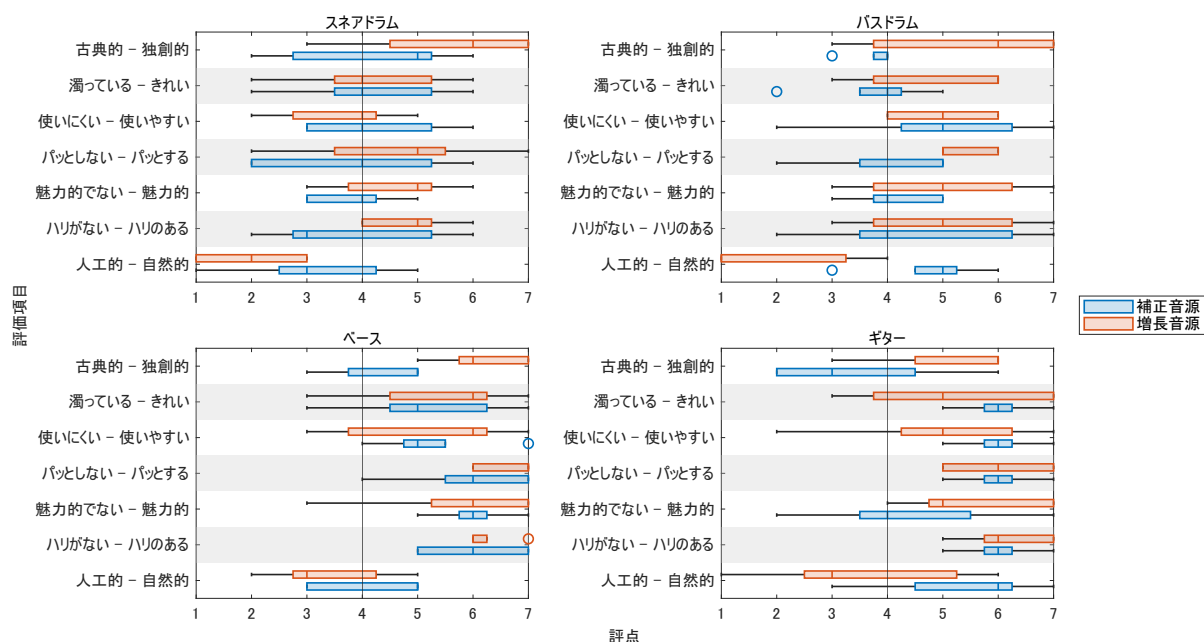


図-2 各楽器の評価結果。横軸に評点評価，縦軸に評価項目を示す。左上図がスネアドラム，右上図がバスドラム，左下図がベース，右下図がギターである。それぞれ，青色が補正フィルタ，赤色が増長フィルタに対応する。

4 実験

蝸牛遅延フィルタを用いることにより，どのような印象がもたらされるかを両極尺度で調べた。

4.1 方法

音楽経験のある5名の被験者（男性3名，女性2名）で実験を行った。使用した音源は，予備実験で用いたデータと同じ4種類である。この4種類の音源に対して，補正フィルタと増長フィルタを適用した。補正フィルタを適用することで，蝸牛遅延がなくなった音源を聴取することになる。増長フィルタの遅延量は4倍とした。この倍率は，フィルタの特性が十分に表れつつ，音楽的に良い効果が表れていると感じた倍率である。それぞれの音源に対して，予備実験のアンケート結果を元に「古典的-独創的」，「濁っている-きれい」，「使いにくい-使いやすい」，「パツとしない-パツとする」，「魅力的でない-魅力的」，「ハリがない-ハリのある」，「人工的-自然的」の7項目の評価項目を設定し1点刻みで1点～7点で評価した。また被験者は，普段音楽を聴く環境で実験を行い，実験を始める前にサンプル音源を聴取し，普段音楽を聴く際の音量に調整した。

4.2 結果と考察

楽器ごとに評価語に沿って比較する。図-2にスネアドラム，バスドラム，ベース，ギターの評価結果を示す。青色が補正音源，赤色が増長音源に対応する。スネアドラム，バスドラムでは全体的に評価のばらつきが大きい，どちらの楽器も増長フィルタでは「人

工的」や「独創的」といった評価を受けている。これは，設定したフィルタ倍率が高すぎたことや，音源のアタック成分がダウンチャープのように聞こえたことが原因であると考えられる。スネアドラムでは，全体的に評点が中心に分布している。この蝸牛遅延フィルタは，スネアドラム音源の周波数帯に対しては群遅延特性が平坦な特性を持つため，蝸牛遅延フィルタの影響をあまり受けなかったことが原因であると考えられる。バスドラムでは，補正，増長フィルタに対して「ハリのある」の項目で比較的高い評価を得られた。ベース，ギターでは「ハリのある」，「魅力的である」，「パツとする」，「使いやすい」の項目で高い評価を得られた。特にギターでは，補正音源の評価のばらつきが小さかった。この結果から，ベース，ギターなどの弦楽器に対しては，音楽的利用価値があると示唆される。

5 まとめ

本稿では，蝸牛遅延フィルタを様々な音源にかけて音楽的利用の検討を行った。スネアドラム，バスドラムなどの打楽器では評価がばらついたが，弦楽器に対しては音楽的に良い効果があることが分かった。

参考文献

- [1] 飯田大貴，高津航輝，山田宏樹，矢田部浩平，饗庭絵里子，“蝸牛遅延特性を模擬したオールパスフィルタの設計，”音講論集，pp.851-852，(2023.9).
- [2] E. Aiba, M. Tsuzaki, S. Tanaka, and M. Unoki, “Judgment of perceptual synchrony between two pulses and verification of its relation to cochlear delay by an auditory model,” *Jpn. Psychol. Res. (JPR)*, **50**(4), 204-213, (2008).