



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

# 楽器音別に同調する振動呈示が音楽聴取体験に与える影響

増田智也<sup>1)</sup>, 御手洗彰<sup>2)</sup>, 棟方渚<sup>1)</sup>

1) 京都産業大学 大学院先端情報学研究所 (〒 603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山)

2) 京都大学医学部附属病院 (〒 606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町 54)

**概要:** 本研究では、楽器音別に同調する振動を呈示することで、音楽聴取体験に変化を与えるを試みる。従来より楽曲全体の音源波形に準じた振動刺激によって体感的な臨場感を付与する研究は多く行われている一方、振動刺激を楽器音別に呈示する効果は知られていない。演奏経験や趣味嗜好の違いなどによって、ボーカルやベース等の特定の音に注意を向けて楽曲を楽しむことがある点に着目し、楽器音別振動がその注意を向けるきっかけとなり、音楽聴取体験を多様化できると考えた。本稿では、楽器音を分離し振動として呈示可能なシステムを提案し、それが有する効果について報告する。

**キーワード:** 音楽聴取体験, 振動刺激, マルチモーダル

## 1. はじめに

音楽を聴取する際、楽器音の聴き分けや注意の向け方は人それぞれで異なる。特に聴きたい音を選んで聞き取る能力を選択的聴取と呼ぶが、楽器の演奏経験や音楽的な趣味嗜好、さらには鑑賞の目的の違いなどによって、その傾向も変化すると考えられる。例として、バイオリン演奏経験かコントラバス演奏経験か、バラード好きかロック好きか、リラックス目的か歌唱力向上目的か、それぞれの対比において選択的聴取の傾向に違いが生じることは容易に想像できる。大浦は聴取者の演奏経験に、土井は聴取経験に着目し、それぞれ楽曲の音量(演奏の強弱)を調整した際の演奏評定に及ぼす影響を調査し、経験者の方が評定の一貫性及び安定性が高いことを示した [1, 2]。後藤は金管楽器の 3 重奏旋律を用い、各楽器の演奏経験の違いが選択的聴取能力に及ぼす影響を調査し、特に聞き分けが難しいホルンの旋律の変化等について、ホルン演奏経験者のみ正答率が高かったことを示した [3]。このように、先行研究において、聴取者の音楽(演奏および聴取)経験が選択的聴取に大きな影響を及ぼしていることが示されている。

音楽聴取体験の多様化を目的として、振動刺激によって体感的な臨場感を付与する研究は多く行われている。しかしながら、その多くは楽曲全体の音源波形に同調する振動を用いたものであり、楽器音別に分離された音響波形による振動刺激を用いた研究は稀有である。著者らは、楽曲の音源波形をそのまま振動として呈示する手法と楽器音に同調する振動を複数同時に呈示する手法を比較し、音楽聴取体験の印象に与える影響の違いを調査した [7]。その結果、「普段意識的に聴いている音がより強調して感じられるため良かった」という意見や、振動に対して否定的な意見を持っていた実験参加者が楽器音に対応する振動呈示に対して、比較的好意的な印象を持っていることが確認された。これは、楽器音別の振動呈示は、楽曲全体の振動呈示よりも音楽聴取体験に影響を与える可能性があることを示唆している。そ

こで本研究では、楽器音別振動刺激と選択的聴取の傾向の関係性に着目した振動呈示システムを提案し、音楽聴取体験への影響を調査する。

## 2. 関連研究

杉谷らは、複数の周波数帯に分割した音響信号で振動モータを駆動させ、それを人の腕に伝達した際の感性に与える影響を調査した [5]。その結果、ダイナミックレンジの大きい楽曲に対して、感性的な印象の向上に効果的であることが確認された。井手口らは、ジャンルや印象の異なる複数の楽曲に対して、楽曲を構成する楽器音に対応する振動を呈示した際の体験の印象変化を調査した [6]。その結果、リズムカルな楽曲では、リズムを与える楽器に対応する振動を呈示することで、「迫力」や「乗り」といった印象が強調され、静かで穏やかな楽曲では、金管楽器のような伸びやかな音を出す楽器に対応する振動を呈示することで、「迫力」や「臨場感」といった印象が強調されることが確認された。

一方で、楽器の演奏経験や音楽的な趣味嗜好、鑑賞目的の違いなどによって生じる選択的聴取の傾向に着目した振動呈示に関する研究はほとんど行われていない。本研究では、選択的聴取の傾向と楽器音別の振動呈示の関係性が音楽聴取体験にどのような影響を与え得るのかを調査する。

## 3. 楽器音別振動刺激呈示システム

本システムを稼働させるには、楽曲の音源ファイルから楽器音別に音源ファイルを抽出・編集する音源事前処理、及びそれらを振動刺激として再生・呈示する機構が求められる。

### 3.1 音源事前処理

楽曲を構成する楽器音別の音源波形を抽出するため、音源分離ソフトウェアである Spleeter を用いる [8]。楽曲ファイルには、サンプリングレートが 44,100Hz、ビット深度が 16bit のファイルを使用する。Spleeter を用いることで、楽器音別として「ベース」、「ドラム」、「ピアノ」、「その他」の

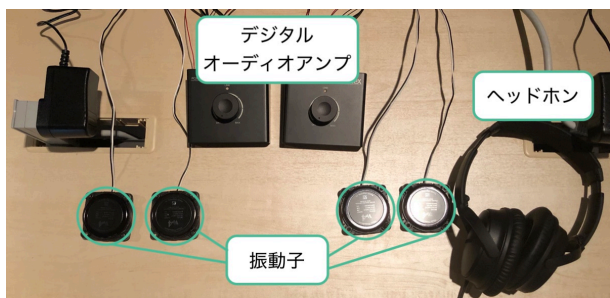


図 1: 振動呈示システムの刺激呈示インタフェース

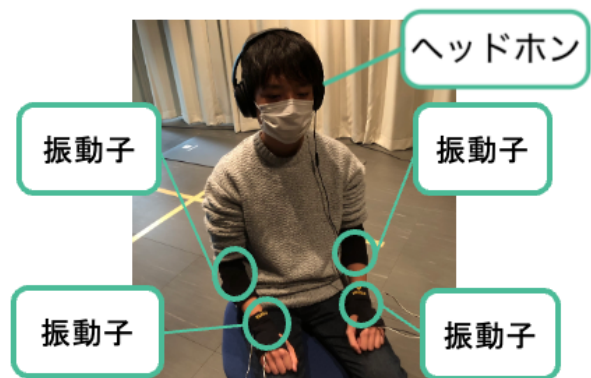


図 2: 振動呈示システム利用時の外観

音源ファイルが得られる。「その他」は、「ベース」、「ドラム」、「ピアノ」以外の全ての楽器音を含んでいる。なお、音源波形そのままを振動刺激で再生してしまうと、聴覚と振動覚のダイナミックレンジの違いにより、知覚できない可能性があるため、高周波数成分を多く含む「ピアノ」や「その他」は1オクターブ下げ、全体的に振幅調整を行なった。音源ファイルの編集には Adobe Audition を使用した。

### 3.2 振動刺激呈示機構

本システムは、コンピュータ (MacBook Air, Apple)、ヘッドホン (QuietComfort 25 Acoustic Noise Cancelling headphones, BOSE)、直動型振動子 (Vp408, Acouve Lab)、デジタルオーディオアンプ (PC200USB, Fostex) から構成される。図 1 に示す振動子はボイスコイル型で、スピーカーと同じ構造をしているため、可聴音を発することもある。その音が音楽聴取体験の印象に影響を与えないよう、楽曲の聴覚刺激にはノイズキャンセリング機能付きヘッドホンを用いる。ヘッドホンと各振動子への音源波形は、Adobe Audition で割り当てている。図 2 にシステム利用時の様子を示す。

## 4. 楽器音別振動刺激呈示実験

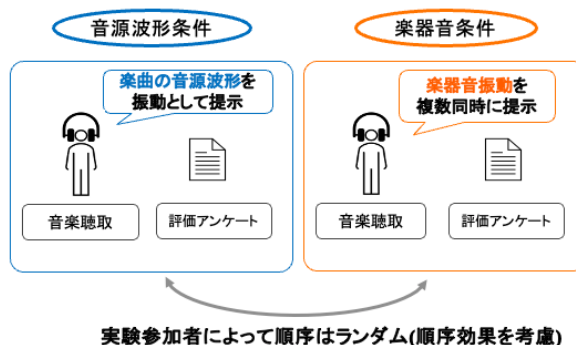
提案システムを用いて、振動呈示として楽器音別に提示することの効果について確認する。

### 4.1 実験の目的

本実験の目的は、楽曲の音源波形をそのまま振動刺激として呈示する場合と楽曲を構成する楽器音別に振動を複数同時に呈示する場合とで音楽聴取体験にどのような違いが生まれるかを調査することである。

表 1: 実験に使用した楽曲の特徴

	1 曲目	2 曲目
楽曲名	私	ノニサクウタ
作曲家	Mrs.GREEN APPLE	Mrs.GREEN APPLE
ジャンル	バラード	カントリー
使用楽器	ベース, ドラム, ピアノ ギター, シンセサイザー グロックン	ベース, ドラム, ピアノ ギター, バンジョー その他
BPM	83	105
調	ト長調	ト長調



実験参加者によって順序はランダム(順序効果を考慮)

図 3: 楽器別振動刺激呈示実験の概要

### 4.2 実験参加者

本実験は、京都産業大学の学生 16 名 (20~28 歳, 全員男性) を対象に実施した。

### 4.3 使用した楽曲

本実験では、表 1 に示すジャンルや印象の異なる 2 つの楽曲の 1 番サビまでを使用した。1 曲目は、イントロからサビにかけてピアノが主となるバラード [9], 一方, 2 曲目は、イントロからサビにかけて各楽器が軽快なリズムで鳴り続けるカントリーミュージックとした [10]。

### 4.4 実験手順

本実験の手順を図 3 に示す。楽曲の音源波形を振動刺激として呈示した状態で楽曲を聴く条件 (以下、音源波形条件)、楽曲を構成する楽器音に対応する振動を呈示した状態で楽曲を聴く条件 (以下、楽器音条件) の 2 つのフェーズで構成される。各フェーズの音楽聴取体験の印象評価は、各フェーズ終了時に Google Forms で行ってもらった。

本実験では、順序による印象強調の影響を排除するために、音源波形条件および楽器音条件の順序は実験参加者によってランダムにしている。また、振動子を装着する位置の違いによって振動の伝搬度合いが変わってしまう可能性があるため、250Hz の正弦波振動を呈示し、振動子の位置の微調整を行ってもらった。実験の所要時間は、30~45 分程度であった。

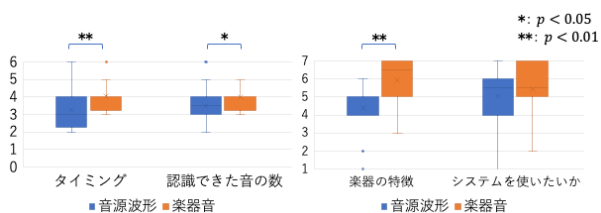


図 4: 1 曲目の結果

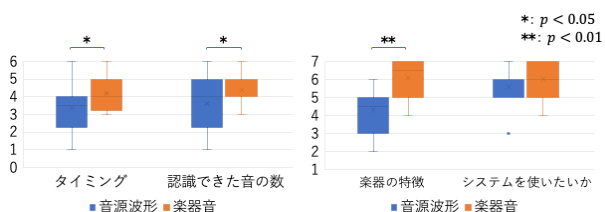


図 5: 2 曲目の結果

#### 4.5 振動の呈示部位

本実験では、振動の呈示部位として両肘と手の甲を選択している。音源波形条件では、楽曲の音源波形を振動刺激として呈示した。各部位に呈示される振動は全て同じものである。楽器音条件では、右肘に「ドラム」、右手の甲に「その他」、左肘に「ベース」、左手の甲に「ピアノ」に対応する振動を呈示した。

#### 4.6 評価手法

本研究では、「演奏しているタイミングが認識できた楽器」、「楽曲聴取時に音が認識できた楽器」、「各楽器の特徴を振動で表現できていると感じたか」、「自分の好きな楽曲でこのシステムを使いたいと感じたか」という設問に回答してもらった。「演奏しているタイミングが認識できた楽器」と「楽曲聴取時に認識できた楽器」については、楽曲を構成する楽器の選択肢(表 1 参照)を与え、それをもとに回答してもらうという形式を取っている。「各楽器の特徴を振動で表現できていると感じたか」、「自分の好きな楽曲でこのシステムを使いたいと感じたか」には、7段階の目盛り(1. 全くそう思わない-7. とてもそう思う)のうち、最もよく当てはまるものと感じたものを回答してもらった。「自分の好きな楽曲でこのシステムを使いたいと感じたか」については、7段階評価に加え、自由記述での回答もしてもらった。

#### 4.7 結果と考察

図 4, 5 に各楽曲の設問項目ごとの結果を示す。「演奏しているタイミングが認識できた楽器」と「楽曲聴取時に認識できた楽器」の結果は、選択された楽器の数を数えたものである。設問項目ごとにウィルコクソンの符号順位検定を行った。

1 曲目では、「演奏しているタイミングが認識できた楽器の数」、「楽曲聴取時に音が認識できた楽器の数」、「各楽器の特徴を振動で表現できていると感じたか」の設問項目で、有意差がみられた(「演奏しているタイミングが認識できた

楽器の数」:  $p < 0.01$ , 「楽曲聴取時に音が認識できた楽器の数」:  $p < 0.05$ , 「各楽器の特徴を振動で表現できていると感じたか」:  $p < 0.01$ ).

2 曲目では、「演奏しているタイミングが認識できた楽器の数」、「楽曲聴取時に音が認識できた楽器の数」、「各楽器の特徴を振動で表現できていると感じたか」の設問項目で有意差がみられた(「演奏しているタイミングが認識できた楽器の数」:  $p < 0.05$ , 「楽曲聴取時に音が認識できた楽器の数」:  $p < 0.05$ , 「各楽器の特徴を振動で表現できていると感じたか」:  $p < 0.01$ ).

実験結果から、楽器音条件では、演奏しているタイミングが認識できた楽器の数と楽曲聴取時に認識できる音の有意に増加することが確認された。これは、各楽器の特徴をよく表現した振動が演奏しているタイミングで呈示されることで、選択的聴取能力が一時的に向上したことによるものであると考えられる。

実験参加者から得られた好意的な意見としては「ベースに集中して聴くのが好きで、(振動呈示によって)より集中して聴けるようになったと思った」「ドラムの音がわかりやすかった」「各楽器のリズムをハッキリと感ずることができた」のように、選択的聴取の傾向に即した振動による印象向上や選択的聴取能力に与える影響について言及しているものがあつた。一方で、楽器音条件に対して好意的な印象を持たなかった実験参加者もいた。得られた意見としては、「振動が手や肘にあると歌や歌詞に集中できない」「ドラム以外は(振動提示が)常にビリビリしていて気になってしまった」などがあつた。これらの意見は、振動が音楽聴取体験を阻害したためであると考えられ、振動の強度、呈示部位、周波数帯を調節することで改善する可能性がある。その他に、「ピアノと振動の組み合わせが好みではない」という意見もみられた。これは、楽器音が振動によって強調されたもののその組み合わせに違和感を感じたためであると考えられる。

以上より、楽器音ごとに振動を呈示することで、選択的聴取能力が一時的に向上し、新たな音楽の楽しみ方を発見できる可能性が向上することが示唆された。また、選択的聴取の傾向に即した振動呈示は体験の向上させるための効果的な手法である可能性が示唆された。一方で、振動呈示の感覚や、楽器音と振動の間に違和感が生じる場合、体験の妨げになる可能性が示唆された。そのため、選択的聴取能力および選択的聴取の傾向を考慮した振動呈示が体験にどのような影響を及ぼすか、振動の強度や呈示部位、周波数帯などの影響も調査する必要があることが確認された。

## 5. おわりに

本研究では、楽器の演奏経験や音楽的な趣味嗜好、鑑賞目的の違いなどによって生じる選択的聴取の傾向に着目し、振動呈示においても楽曲全体を一つの振動とせず、楽器音別に分けて呈示することで選択性を高めることを試みた。本稿を通じて、楽曲を構成する楽器音を抽出し、楽器音別に振動を呈示するシステムを提案し、楽曲全体の音源波形によ

る呈示と比較した場合の効果について調査した。その結果、楽器音別の振動を呈示することで演奏しているタイミングが認識できた楽器の数と楽曲聴取時に音が認識できた楽器の数が有意に増加することが確認された。また、楽器音別の振動呈示によって、選択的聴取能力が一時的に向上し、新たな音楽の楽しみ方を発見できる可能性が示唆された。また、選択的聴取の傾向に即した振動呈示は体験の向上させるための効果的な手法である可能性が示唆された。その一方で、振動呈示の感覚や、楽器音と振動に乖離が生じる場合、体験の妨げになることが確認された。そのため、今後は、そのため、選択的聴取能力および選択的聴取の傾向を考慮した振動呈示が体験にどのような影響を及ぼすか、振動の強度や呈示部位、周波数帯などの影響を定量的に調査する必要がある。また、VRを含むゲームや音楽ライブなどの映像鑑賞においても体験の向上に効果的な手法であるかを検討する必要がある。

### 参考文献

- [1] 大浦容子. (1996). 熟達と評価的発達：音楽領域での検討. 教育心理学研究, 44, 136-144.
- [2] 土井広一. (2002). 音楽聴取経験の違いが演奏評定に及ぼす影響. 音楽文化教育学研究紀要, 14, 155-168.dd
- [3] 後藤靖宏. (2010). 金管 3 重奏旋律に対するホルン奏者の自発的な選択的聴取. 北星学園大学文学部北星論集, 47(2), 21-31.
- [4] 後藤靖宏. (2023). 音楽の印象に対する聴取方略と音楽経験の相互作用-選択的聴取と全体的聴取の比較. 北星学園大学文学部北星論集, 60(2), 23-33.
- [5] 杉谷邦明, 合志和洋, 古賀広昭, 小山善文 (2000). 体につけた振動モータによる音楽情報伝達と感性, 信学技報, HCS2000-18, pp33-40
- [6] 井手口健, 熊田信義, 永野秀和 (2003) 印象強調を目的とした音楽聴取時の振動付与方法の検討, 感性工学研究論文集 Vol.3 No.1 pp53-62
- [7] 増田智也, 御手洗彰, 棟方渚. (2022). 音楽聴取中における振動提示手法の差異が音楽体験の向上に及ぼす影響の実験的調査. 研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC), 2022(33), 1-7.
- [8] GitHub - deezer/spleeter: Deezer source separation library including pretrained models.  
<https://github.com/deezer/spleeter>
- [9] Mrs.GREEN APPLE(2016)「私」『TWELVE』EMI Records, UPCH-20411
- [10] Mrs.GREEN APPLE(2016)「ノニサクウタ」『サママ・フェスティバル!』EMI Records, UPCH-80434