

# 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

増田 智也<sup>1,a)</sup> 御手洗 彰<sup>1</sup> 棟方 渚<sup>1,b)</sup>

**概要:** 本稿では、振動提示による音楽体験の向上を目指すために、音楽聴取中の振動提示手法の差異が、音楽体験の向上に及ぼす影響を調査した。音楽体験は、複数の感覚情報が相互に作用するマルチモーダルな体験となっている。聴覚のみならず、複数の感覚情報が相互に作用することで、音楽体験が向上することが示唆される。感覚情報の中でも、振動触覚は、耳だけでなく身体全体で音楽を感じることができるため、体験の向上に寄与する可能性が高いと考えられる。このような背景から、振動刺激を用いた音楽体験の向上を目的とする研究やシステムの開発は数多く行われている。一方で、振動刺激のような楽器音を強調するようなモダリティは、聴取者の選択的聴取の傾向を強制的に変化させる効果をもつ可能性があり、この効果が音楽体験に与える影響は未知である。そこで、本研究では振動提示の音楽体験の向上を目指すために、振動提示が選択的聴取の傾向と聴取者の音楽体験に与える影響を調査した。実験では、楽曲の音源波形を振動刺激として提示する手法と楽曲を構成する楽器音に対応する振動を複数同時に提示する手法を用いて、音楽体験の印象にどのような違いがあるかを評価する。

## 1. はじめに

音楽体験は、複数の感覚情報が相互に作用するマルチモーダルな体験となっている。音楽ライブを例に挙げると、ライブの演出が視覚情報、スピーカーから出力される音圧が触覚情報に当たる。一般的に、ライブ会場での音楽体験は、家庭内で音楽を聴く場合と比較して、臨場感や迫力があるとされる。このように、聴覚のみならず、複数の感覚情報が相互に作用することで、音楽体験が向上することが示唆される。感覚情報の中でも、振動触覚は、耳だけでなく身体全体で音楽を感じることができるため、体験の向上に寄与する可能性が高いと考えられる。このような背景から、振動刺激を用いた音楽体験の向上を目的とする研究やシステムの開発は数多く行われている。

健聴者は、人混みやホールの中などの騒音が多い環境でも、聞き取りたい音を抽出することが可能である（選択的聴取）[1]。楽曲を聴取する場合においても、楽器の演奏経験や音楽の趣味嗜好の違いなどから認識できる音は異なり、楽曲の選択的聴取の傾向があることが考えられる。著者が体験した例として、ベースの演奏経験がある人と楽器の演奏経験がない人が同じ楽曲を聴いた場合、前者はベー

スの音を意識的に聴く可能性が高いのに対し、後者はボーカルを意識的に聴くといったことが挙げられる。このように、選択的聴取の傾向は個人で異なり、それによって音楽体験が異なると考えられる。一方で、振動刺激のような楽器音を強調するようなモダリティは、聴取者の選択的聴取の傾向を強制的に変化させる効果をもつ可能性があり、この効果が音楽体験に与える影響は未知である。

そこで、本研究では振動提示の音楽体験の向上を目指すために、振動提示が選択的聴取の傾向と聴取者の音楽体験に与える影響を調査した。実験では、振動を提示しないで音楽を聴取した場合、楽曲の音源波形を振動刺激として提示した場合、楽曲を構成する楽器音に対応する振動を複数同時に提示した場合の3つの条件下で、異なる2曲の楽曲を聴取させ、音楽体験の印象についてアンケート調査を実施した。その結果より、音楽体験の印象にどのような違いがみられたかを分析し、音楽体験の向上に寄与する要因を調査した。

## 2. 関連研究

振動の知覚特性に関する研究は数多く行われている。Verrillo[2]は、ヒト触覚の知覚可能周波数範囲が聴覚と比較して非常に狭く、0~1000Hz程度であること、主観的な感覚は周波数帯によって変化すると結論づけた。Merchelら[3][4]は、打楽器に対応する振動を指先に提示し、その

<sup>1</sup> 京都産業大学  
Kyoto Sangyo University

<sup>a)</sup> i2286176@cc.kyoto-su.ac.jp

<sup>b)</sup> munekata@cc.kyoto-su.ac.jp

振動から識別が可能であるかを調査した。その結果、周波数スペクトルやリズムなどの特徴が維持されている場合、楽器の識別率が容易になるということが確認された。また、打楽器以外の楽器音に対応する振動を指先に提示し、その振動から楽器が識別可能なものであるかを調査したところ、ピッチシフトした音源波形を用いた場合、振動知覚が容易になること、強いトランジェントを持つギターやピアノの音は識別可能であることが確認された。

体験の向上を目的とした、振動提示手法に関する研究は数多く行われている。Karamら [5][6] は、人が音を空間的に処理する仕組みをもとに、全身触覚提示システム Emoti-chair を開発した。椅子背面に取り付けられたボイスコイル型の振動子は、椅子背面の低い位置から低音の振動を、椅子背面の高い位置から高音の振動を提示する。これにより、音と振動の組み合わせを自然に感じることが可能となる。Lemmensら [7] は、映画などの映像コンテンツの体験向上を目的に、64個の振動アクチュエータをジャケットに取り付け、コンテンツに同期した振動を提示する Tactile Jacket を開発した。梶本ら [8] は、軽量でユーザ拘束性が低く、一般家庭でも使用可能な触覚提示装置の開発を目的に、骨伝導の仕組みを利用した鎖骨への振動提示手法を提案した。評価結果から、従来の皮膚への振動提示と比較して、上半身のより広い範囲で振動が伝わるということが確認された。柳ら [9] は、首部・胸部・背部に複数の振動モーターを配置し、前後左右から音と同期した振動を提示するウェアラブルデバイスを提案した。前後の振動開始時間に差を加えることで、本来感じることができない「音の物理的な通過感」を感じさせることで、臨場感の向上を検討している。

振動提示が音楽体験の印象に与える影響に着目した研究も行われている。杉谷ら [10] は、複数の周波数帯に分割した音楽信号の包絡線パターンで振動モーターを駆動させ、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。その結果、ダイナミックレンジの大きい楽曲に対して、非常に効果的であることが確認された。井手口ら [11] 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提示した際の体験の印象変化を調査した。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提示することで、「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、伸びやかで連続的な音を出す楽器に対応する振動を提示することで、「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。

これらの研究では、個人の選択的聴取の傾向や振動提示手法の差異が体験の印象に与える影響を調査していない。そこで本研究では、楽曲の音源波形をもとに振動を提示するシステムを構築し、振動提示手法の差異が音楽聴取体験

に与える影響の違いを調査する。実験では、楽曲の音源波形を振動刺激として提示する手法と楽曲を構成する楽器音に対応する振動を複数同時に提示する手法を用いて、音楽体験の印象にどのような違いがあるかを評価する。

### 3. 実装システム

本実験では、楽曲の音源波形を振動刺激として提示した場合と楽曲を構成する楽器音に対応する振動を複数同時に提示した場合に音楽聴取体験にどのような影響を与えるのかを調査するため、楽曲および楽器音の音源波形を基にした振動提示システムを実装する。

本システムは、楽曲の音源ファイルから楽曲を構成する楽器音の音源ファイルを抽出、編集する音源処理部、被験者に振動刺激を提示するハードウェア部から構成される。

#### 3.1 振動提示手法

本実験では、振動提示手法として、楽曲の音源波形を振動刺激として提示する音源波形条件と楽曲を構成する楽器音に対応する振動を複数同時に提示する楽器音条件の2条件を設定している。音源波形条件では、実際に振動を提示する振動子とヘッドホンに楽曲の音源ファイルを割り当てる(図1左)。楽器音条件では、各振動子に楽曲を構成する楽器音の音源ファイルを割り当て、ヘッドホンには楽曲の音源ファイルを割り当てる(図1右)。

#### 3.2 音源処理部

本システムでは、楽曲を構成する楽器音の音源波形を振動刺激として用いるため、Spleeterを用いて、楽曲を構成する楽器音の音源ファイルを取得する [12]。楽曲ファイルには、サンプリングレートが44100Hz、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、「ベース」、「ドラム」、「ピアノ」、「その他」の音源ファイルが得られる。「その他」は、「ベース」、「ドラム」、「ピアノ」以外の楽器音が含まれているファイルである。本システムでは、各楽器音に対応する振動を1つずつ割り当てるため、得られた音源ファイルをステレオからモノラルに変換する。その後、高周波数成分を多く含む「ピアノ」、「その他」の音源を1オクターブ下げる。最後に、音源分離で得られた音源波形の振幅では、振幅が小さく振動として知覚できない可能性があるため、音源波形の振幅を調整した。音源ファイルの編集には、Adobe Auditionを使用した。

#### 3.3 ハードウェア部

本システムは、Macbook Pro、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2)。本シス

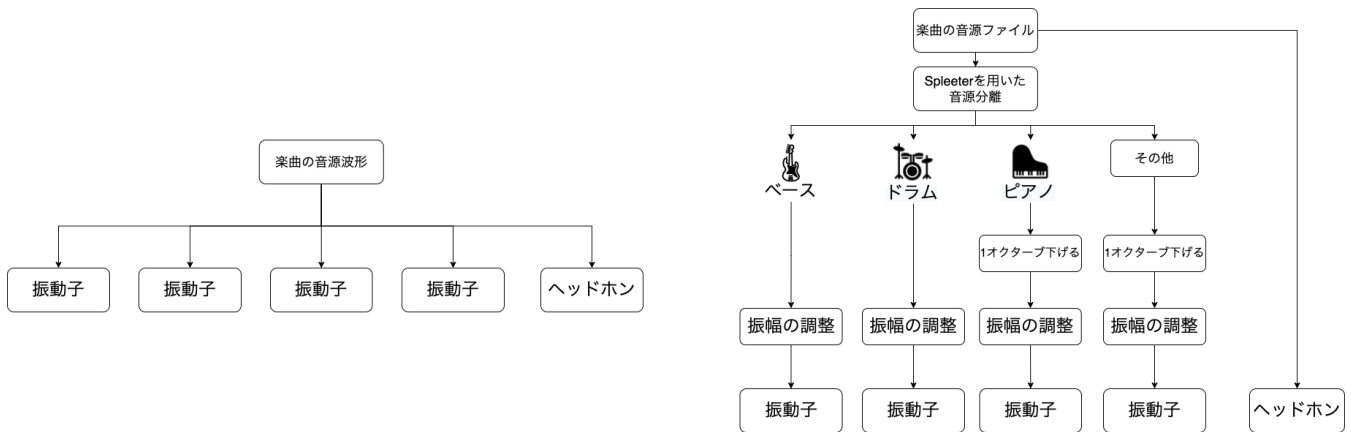


図 1 振動提示手法 (左：音源波形条件, 右：楽器音条件)

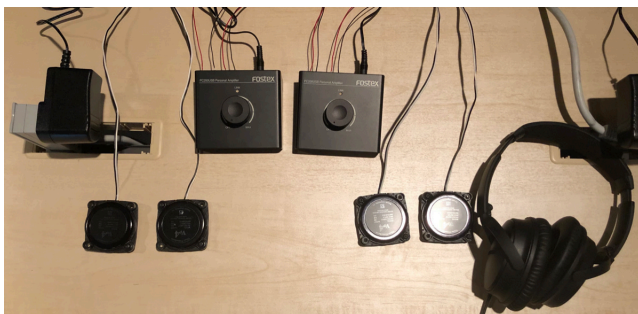


図 2 ハードウェア部

テムで使用する振動子は、ボイスコイル型であり、スピーカーと同じ構造をしている。そのため、音楽波形を入力した場合、可聴音を提示することも可能である。本システムでは、振動子から発せられる音が実際に聴いている音と重なることで評価に影響を与える恐れがあるため、ヘッドホンはノイズキャンセリング機能付きのものを選択した。

ヘッドホンと各振動子への音源ファイルの割り当ては、Adobe Audition を用いて行なっている。

## 4. 実験

### 4.1 目的

本実験の目的は、楽曲の音源波形を振動刺激として提示した場合と楽器音に対応する振動を複数同時に提示した場合に音楽聴取体験にどのような影響を及ぼすのかを調査することである。

### 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、ジャンルや印象の異なる楽曲に対して、振動を提示したことによる影響を調査するために、表 1 に示す 2 曲の 1 番サビまでを使用した。

表 1 実験に使用した楽曲

	1 曲目	2 曲目
楽曲名	私	ノニサクウタ
作曲者	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 グロッケン	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

表 2 音源ファイルの振幅の調整

楽曲名	楽器	振幅 [dB]
私	ドラム	+3
	ピアノ	+6
	その他	+6
ノニサクウタ	ベース	+3
	ドラム	+3
	ピアノ	+6
	その他	+6

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である [13]。一方、2 曲目は、イントロからサビにかけて楽曲を構成する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である [14]。ジャンルの違いの他に、楽曲で使用されている楽器や BPM の違いから、聴取者に与える印象に明確な差異があると考えられるため、この 2 曲を実験で使用することとした。音源分離で得られた各楽曲の音源ファイルの振幅の調整結果を表 2 に示す。

### 4.4 実験手順

本実験の手順を図 3 に示す。実験は、振動を提示しない状態で楽曲を聴くフェーズ (以下、振動なし条件)、楽曲の音源波形を振動刺激として提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提示した状態で楽曲を聴く条件 (以下、楽器音条件) の 3 つのフェーズで構成される。各フェーズの音楽聴取

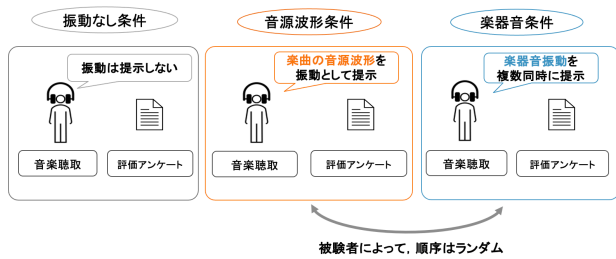


図 3 実験手順

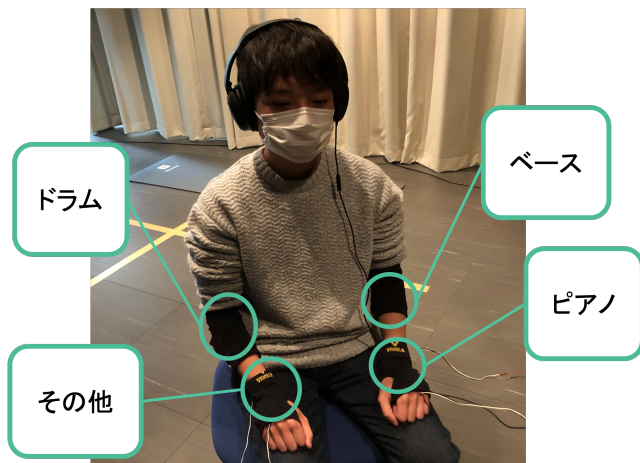


図 4 振動の提示部位 (左: 音源波形条件, 右: 楽器音条件)

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被験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、振動なし条件終了後、250Hz の正弦波振動を提示し、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。

#### 4.5 振動の提示部位

本実験では、振動の提示部位として、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提示した (図 4 左)。各部位に提示される振動は、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」に対応する振動を提示した (図 4 右)。

#### 4.6 評価手法

本実験では、振動を提示しない状態で楽曲を聴取させた場合と比較して、振動を提示した状態で楽曲を聴取させた場合にどのような印象が変化したのかを、井手口らの研究で使用された印象語対を使用して 7 段階で相対評価してもらった [11](表 3)。被験者には、7 段階の目盛りのうち、最もよく当てはまるものと感じたものにチェックを入れる形で

表 3 楽曲の印象を表す印象語対

	1. 楽曲が好みではない	7. 好みのものである
	1. 振動があると悪い	7. あると良い
第 1 因子 (躍動感)	1. 乗りが悪い 1. 不快だ 1. 重々しい 1. 暗い	7. 乗りが良い 7. 快い 7. 軽やかだ 7. 明るい
第 2 因子 (穏やかさ)	1. 穏やかだ	7. 激しい
第 3 因子 (スケール感)	1. 臨場感がない 1. 迫力がない	7. 臨場感がある 7. 迫力がある
第 4 因子 (爽やかさ)	1. 濁った	7. 澄んだ

回答してもらった。設問項目のうち、「振動があると悪い - あると良い」は、音源波形条件と楽器音条件の時のみ回答してもらう。本研究では、振動を提示することで、楽曲の好みにどのような影響を与えるかを調査するために「楽曲が好みのものではない - 好みのものである」という項目を追加している。

さらに、本実験で使用した曲以外で、「自分の好きな曲にこのシステムを使いたいか」という設問項目 (7 段階評価、自由記述にて回答) を加え、実験システムの振動提示の有無や提示手法の差異による実験参加者の音楽体験の違いを調査した。

## 5. 結果

音楽聴取体験の印象評価の結果を図 5 と 6 に示す。図 5 が 1 曲目、図 6 が 2 曲目の評価結果である。「1. 振動があると悪い - 7. あると良い」については、音源波形条件と楽器音条件間でウィルコクソンの符号順位検定を行い、その他の印象語対では、フリードマンの検定および Holm 法を用いて多重比較を行なった。

「乗りが悪い - 良い」と「濁った - 澄んだ」について、1 曲目でのみ有意差がみられた (「乗りが悪い - 良い」:  $\chi^2(2) = 10.2, p = .006$ , 「濁った - 澄んだ」:  $\chi^2(2) = 8.04, p = .018$ )。多重比較の結果、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「乗りが良い」という印象を強調することが確認された ( $p < 0.01$ )。また、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「澄んだ」という印象が減衰することが確認された (振動なし条件と音源波形条件:  $p < 0.10$ , 振動なし条件と楽器音条件:  $p < 0.05$ )。

「不快だ - 快い」について、2 曲目でのみ有意差がみられた ( $\chi^2(2) = 6.53, p = .038$ )。多重比較の結果、振動なし条件と比較して、楽器音条件の方が、「快い」という印象を強調することが確認された ( $p < 0.05$ )。振動なし条件と音源波形条件間では有意差がなく、1 曲目では、どの条件間でも有意差がなかったことから、振動の違いと元来楽曲

+ :  $p < 0.10$   
 \* :  $p < 0.05$   
 \*\* :  $p < 0.01$

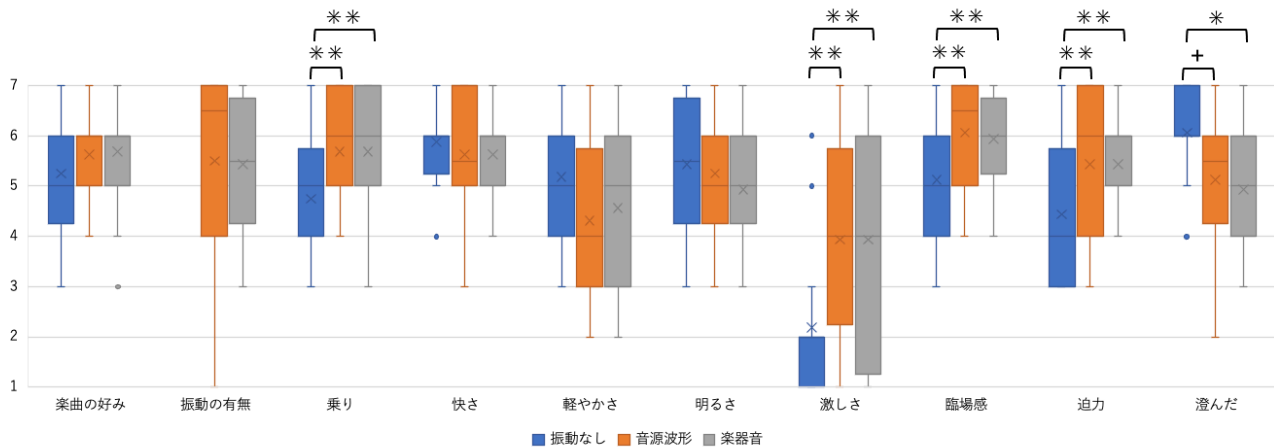


図 5 1 曲目の印象評価の結果

+ :  $p < 0.10$   
 \* :  $p < 0.05$   
 \*\* :  $p < 0.01$

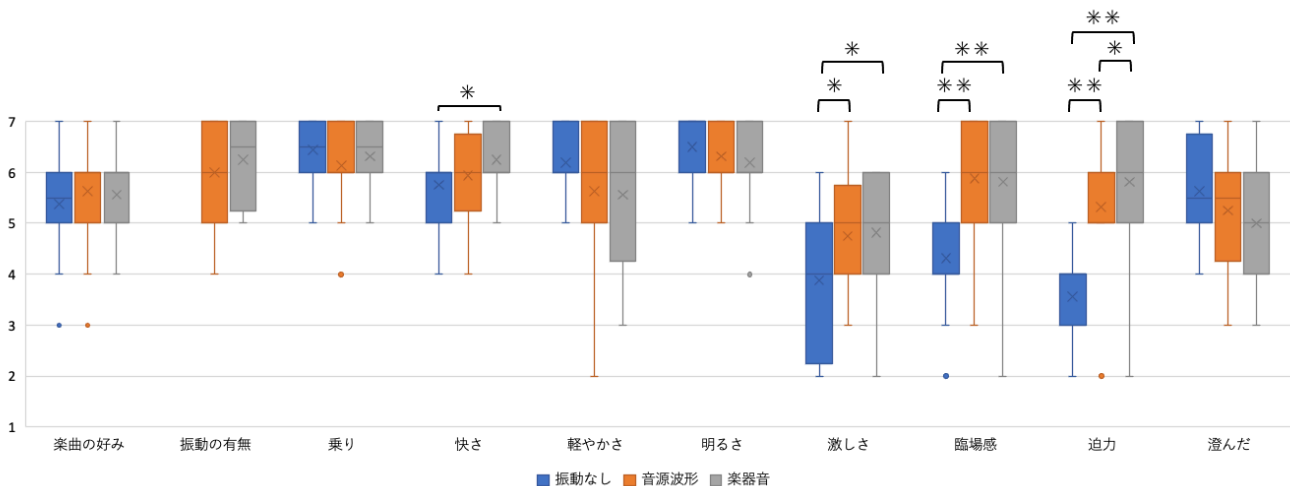


図 6 2 曲目の印象評価の結果

が持っている印象が影響していることが考えられる。

「穏やか - 激しい」について、1 曲目と 2 曲目の両方で有意差がみられた (1 曲目:  $\chi^2(2) = 14.1, p < .001$ , 2 曲目:  $\chi^2(2) = 7.06, p = .029$ )。多重比較の結果、1 曲目では、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「激しい」という印象を強調することが確認された ( $p < 0.01$ )。2 曲目でも同様に、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「激しい」という印象を強調することが確認された ( $p < 0.05$ )。

「臨場感がない - ある」について、1 曲目と 2 曲目の両方で有意差がみられた (1 曲目:  $\chi^2(2) = 11.1, p = .004$ , 2 曲目:  $\chi^2(2) = 19.6, p < .001$ )。多重比較の結果、1 曲目では、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「激しい」という印象を強調することが確認され ( $p < 0.01$ )、音

音条件の方が、「臨場感がある」という印象を強調することが確認された ( $p < 0.01$ )。2 曲目でも同様に、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「臨場感がある」という印象を強調することが確認された ( $p < 0.01$ )。

「迫力がない - ある」について、1 曲目と 2 曲目の両方で有意差がみられた (1 曲目:  $\chi^2(2) = 11.8, p = .003$ , 2 曲目:  $\chi^2(2) = 21.7, p < .001$ )。多重比較の結果、1 曲目では、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「迫力がある」という印象を強調することが確認された ( $p < 0.01$ )。また、2 曲目では、振動なし条件と比較して、音源波形条件および楽器音条件の方が、「迫力がある」という印象を強調することが確認され ( $p < 0.01$ )、音

源波形条件と比較して、楽器音条件の方が、「迫力がある」という印象を強調することが確認された。 $(p < 0.05)$ 。

「楽曲の好み」、「振動の有無」、「軽やかさ」、「明るさ」では、どちらの楽曲でも有意差がみられなかった。

「自分の好きな楽曲でこのシステムを使いたいか」について、7段階評価をもとに好意的な印象（7段階中5点以上）と否定的な印象（7段階中4点以下）に分けた。二つの振動提示条件で印象を比較してみると、両条件ともに好意的な印象であった実験参加者は10人（1曲目）と12人（2曲目）、両条件共に否定的な印象であった実験参加者は2人（1曲目）と0人（2曲目）、音源波形条件で好意的な印象であり楽曲音条件で否定的な印象であった実験参加者は1人（1曲目）と2人（2曲目）、音源波形条件で否定的な印象であり楽曲条件で好意的な印象であった実験参加者は3人（1曲目）と2人（2曲目）であった。これらの結果から、楽曲の聴取と共に振動提示を行うシステムに対して、多くの実験参加者は自分の好きな楽曲で使いたいと思えるような好意的な印象を抱いていたことがわかった。一方で、振動提示を行うシステムを使いたくないと思う実験参加者や振動提示手法によって、好意的な印象と否定的な印象が変わる実験参加者もあり、楽曲の聴取と振動提示を用いたシステムに対する印象には個人差があることが理解できた。

## 6. 考察

### 6.1 振動提示による音楽聴取体験の印象変化

振動を提示して視聴させた両方の楽曲において「激しい」、「臨場感がある」、「迫力がある」という印象が強調されることが確認された(図5,6)。臨場感や迫力といった印象は、複数の感覚情報が提示されることでより増強される。振動が提示されることで、耳だけでなく身体全体で音を感じられるようになったため、これらの印象が強調されたと考えられる。2曲目の楽曲では、音源波形条件と比較して、楽器音条件の方が「迫力がある」という印象が強調されることが確認された(図6)。2曲目の楽曲は、1曲目の楽曲と違い、各楽器に対応する振動が常に感じられる。そのため、音源波形条件では感じるできない振動も常に感じられるため、「迫力がある」という印象をより強調したことが考えられる。

### 6.2 1曲目でのみ確認された音楽聴取体験の印象変化

音楽聴取体験の印象評価の結果から、静かで穏やかな1曲目の楽曲でのみ、振動を提示することで「乗りが良い」という印象が強調され、「澄んだ」という印象が減衰することが確認された(図5)。1曲目の楽曲は、ピアノが主となるバラードであるため、ドラムなどのリズムを刻む楽器を意識的に聴く可能性が低いことが考えられる。そのため、

振動が提示されることで、リズムの知覚が容易になり、「乗りが良い」という印象が強調されたということが考えられる。一方、ピアノのように本来振動として知覚する印象が少ない楽器が主となる楽曲の場合、振動提示によって不調和を生じさせ「澄んだ」という印象が減少したと考えられる。音源波形条件と楽器音条件間では有意差がみられなかったことから、楽曲を構成する楽器音の主張が激しくない楽曲では、振動提示手法の差異は影響を与える可能性が低いことが示唆される。

### 6.3 2曲目でのみ確認された音楽聴取体験の印象変化

各楽器が軽快なリズムを刻む2曲目の楽曲でのみ、楽器音に対応する振動を提示することで、「快い」という印象が強調されることが確認された(図6)。2曲目の楽曲は、各楽器が常に軽快なリズムを刻むカントリーミュージックである。このような楽曲の場合、楽器音に対応する振動を複数同時に提示することで、各楽器が刻むリズムを身体全体で感じられるようになるため、「快い」という印象が強調されることが考えられる。

### 6.4 振動提示手法に関する印象評価

1曲目の楽曲では、音源波形条件と楽器音条件の両方で好意的な印象を受けた人が10名、両方で否定的な印象を受けた人が2名、音源波形条件に対してのみ好意的な印象を受けた人が1名、楽器音条件に対してのみ好意的な印象を受けた人が3名であった。2曲目の楽曲では、音源波形条件と楽器音条件の両方で好意的な印象を受けた人が12名、音源波形条件に対してのみ好意的な印象を受けた人が2名、楽器音条件に対してのみ好意的な印象を受けた人が2名であった。この結果から、振動提示そのものが音楽体験の向上に寄与する可能性が高いことが考えられる。また、楽器音条件に対して、「今まで認識できていなかった楽器の音を認識できるようになった」という意見や「普段意識的に聞いている楽器音をより強調して感じられるため良かった」という好意的な意見も得られた。一方、「ピアノと振動の組み合わせに違和感を覚えた」という意見も得られた。このことから、聴取者の演奏経験や音楽の趣味嗜好による選択的聴取の傾向に適した振動提示は聴取者に好意的な印象を与え、選択的聴取の傾向に適さない振動提示は非好意的な印象を与えることが考えられる。以上から、振動提示による音楽体験の向上を目指すためには、聴取者の選択的聴取の傾向と振動提示との調和が重要であることが理解できた。

## 7. おわりに

本研究では、音楽聴取中の振動提示手法の差異が、音楽体験の向上に及ぼす影響を調査するために、振動を提示し

ない条件と楽曲の音源波形を振動刺激として提示する条件と楽器音に対応する振動を複数同時に提示する条件に対して、音楽体験の印象にどのような違いがあるかを評価し、その結果をもとに体験の向上に寄与しうる要因を調査した。その結果、静かで穏やかな楽曲を聴取する際に、振動を提示することで、「乗り」、「激しさ」、「臨場感」、「迫力」、「濁った」といった印象が強調されることが確認された。また、軽快でリズムカルな楽曲を聴取する際に、楽器音に対応する振動を提示することで、「快さ」、「激しさ」、「臨場感」、「迫力」といった印象が強調されることが確認された。その中でも、「快さ」という印象は、楽器音に対応する振動を提示した場合にのみ強調され、「迫力がある」という印象は、楽曲の音源波形を振動刺激として提示した場合と比較しても、有意に強調されることが確認された。また、振動提示手法の差異が、選択的聴取の傾向と体験の印象に影響を及ぼす可能性があることが示唆された。

これらの結果から、振動提示による音楽体験の向上を目指すためには、聴取者の経験や趣味嗜好による選択的聴取の傾向と、振動提示との調和が重要であることが理解できた。一方で、本実験で使用した楽曲の数は少なく、集められた被験者の偏りなどがあるため、より統制を行った条件下で更なる実験を行うことが必要となる。今後の課題として、使用する楽曲と被験者数やその偏りを考慮した上で、音楽聴取体験を向上させる振動のあり方をより詳細に分析していくことが必要である。今後は、視覚などの異なる感覚情報と組み合わせた場合の影響や、映画やコンサートなどの音楽に関連するコンテンツとの適応性も検討していく必要がある。

謝辞 本研究を進めるにあたり、実験に協力していただいた被験者の皆様に対し、この場を借りて改めてお礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 境久雄著, 中山剛共著, “聴覚と心理,” コロナ社, 1978.
- [2] R. Verrillo.(1992) Vibration Sensation Humans. Music Perception. Vol. 9, No.3, pp281-302
- [3] C. Chafe.(1993) Tactile Audio Feedback, Proc. Intl. Computer Music Conf, pp76-79
- [4] Merchel, S., Alitinsoy M. E., and Stamm, M.(2011) Tactile Identification of Non-Percussive Music Instruments, Proceedings of Forum Acusticum, pp1257-1261
- [5] Karam, M., Russo, A. F., and Fels, I. D.(2009) Designing the Model Human Cochlea: An Ambient Crossmodal Audio-tactile Display; IEEE Transactions on Haptics, 2(3), pp160-169
- [6] Karam, M., Branje, C., Nespoli, G, Thompson, N., Russo A. F., and Fels, I. D.(2010) The Emoti-chair: an Interactive Tactile Music Exhibit; Proceedings of the ACM Computer Human Interaction, pp3069-3074
- [7] Lemmens, P., Cromptvoets, F., Brokken, D., van den Eerenebeemd, J., de Vries, G-J,(2009) A body-conforming tactile jacket to enrich movie viewing; Proceeding of the IEEE World Haptics Conference,

- pp7-12
- [8] 岡崎 龍太, 櫻木 怜, Yem Vibol, 梶本 裕之 (2016). 鎖骨への触覚提示による体表伝搬運動とその音楽体験への影響, TVRSJ Vol.21 No.4 pp645-655
  - [9] 柳 翔太, 吉田 直人, 米澤 朋子 (2015) 前後左右振動と音の物理的通過感による音楽の臨場感向上の有効性の検証 2015 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集 G-13
  - [10] 杉谷 邦明, 合志 和洋, 古賀 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
  - [11] 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
  - [12] GitHub - deezer/spleeter: Deezer source separation library including pretrained models.  
<https://github.com/deezer/spleeter>
  - [13] Mrs.GREEN APPLE(2016) 「私」『TWELVE』EMI Records, UPCH-20411
  - [14] Mrs.GREEN APPLE(2016) 「ノニサクウタ」『サママ・フェスティバル!』EMI Records, UPCH-80434