

視覚障害者のための指揮軌道の触覚提示手法の評価 Evaluation of Tactile Presentation of Orchestral Conductor's Motion Trajectory for Visually Impaired Musicians

上田 雄斗¹⁾ Anusha Withana²⁾ 杉浦 裕太¹⁾
Yuto Ueda Anusha Withana Yuta Sugiura

1 序論

視覚障害者は、指揮者の手の動きによって表現される時間的指示の視認が難しい場合があり、演奏におけるアンサンブルが困難に感じる場面がある [1]。既存研究において、視覚障害者に対する指揮動作の共有のため、触覚を用いた手法が考えられてきた [1, 2]。これらの手法では、腕や手首などの身体の一部に振動アクチュエータを装着し、指揮動作の拍子に合わせて振動させる方法が用いられている。しかし、これらの手法では、触覚提示部における振動の有無を用いて拍を提示しているため、提示可能な情報量は限定的であり、指揮において重要である手の動きを提示することは難しい。そこで我々は、複数の振動アクチュエータと触覚の仮現運動を用いて、指揮軌道を提示する手法を提案してきた [3, 4]。本研究では、反応時間を評価尺度とした比較実験を行った。特に、提案手法が様々なテンポ変化に対応できるかについて詳細な実験を行った。結果、テンポ変化を伴う場面や演奏開始のタイミングの理解において、指揮動作の軌道を提示する手法は既存手法より有効であると分かった。

2 実験

提案手法の有効性を評価するために、演奏活動を想定した 2 種類の実験を行った。1 つ目はテンポが変化する場面、2 つ目は演奏開始のタイミングの理解についてである。演奏の場面において、テンポ変化や演奏開始のタイミングは、指揮動作により演奏者に伝達される。そのため、提案手法がテンポ変化や演奏開始のタイミングの理解に有効かどうかを評価することは重要である。

2.1 触覚提示における点提示と軌道提示

触覚提示において、指揮動作の軌道提示の有効性を検証するために、点提示と軌道提示 (提案手法) の 2 種類の触覚提示において実験を行った。点提示は、既存研究 [1, 2] と同様に 1 つの振動アクチュエータを、拍のタイミングに合わせて振動させることで提示する手法を示す。拍のタイミングでの振動の提示位置をそろえるために、点提示では軌道提示で使用する振動アクチュエータの下限を使用した。1 章で述べたように、軌道提示では指揮者の指揮軌道を提示する。

2.2 評価尺度

提案手法の有効性を検証するため、指揮動作の触覚提示において、反応時間を評価尺度とした比較実験を行った。反応時間 ($T_{response}$) を以下の式で定義する。

$$T_{response} = |T_{gt} - T_{pred}|$$

ここに、 T_{gt} は指揮者が指し示す正しい拍のタイミング、 T_{pred} は指揮動作の触覚提示によりユーザが計測した拍のタイミングを表す。演奏者は一般的に、指揮の動きをみて拍のタイミングを予測している。そのため、軌道提

1) 慶應義塾大学

2) The University of Sydney

表 1 Beats per minute (BPM) 設定

テンポ変化	BPM
accel	60 → 80, 80 → 100, 100 → 120
rit	60 → 40, 80 → 60, 100 → 80

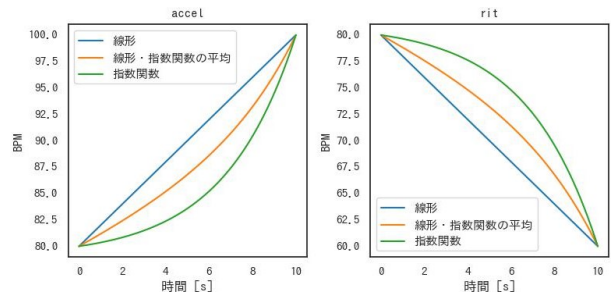


図 1 80BPM における 3 種類のテンポ遷移 (左: accel, 右: rit)

示の方が点提示よりもより正確に拍のタイミングを予測できるのではないかと考える。我々の仮説は、軌道提示の方が点提示よりも反応時間が小さいという結果が得られることである。

2.3 実験設定

触覚ディスプレイは椅子の背もたれに設置され、被験者には背中の中心と触覚ディスプレイが接触するように着座してもらった。触覚ディスプレイから感じられた振動をもとに、予測した拍のタイミングに合わせて PC(ASUS ZenBook S13) のスペースキーを押してもらうことで、その時間情報を記録した。振動の周波数を 100Hz とした。また、振動音の影響を取り除くために、被験者にはヘッドフォンよりホワイトノイズを聴取してもらった。本実験では、指揮の振り方としてもっとも基本的である「叩き」を使用した [5]。「叩き」は、ボールが床で弾むように、均等に加速・減速を繰り返す指揮法である。拍子において、最も簡易的である一拍子を使用した。評価にあたり正確な指揮動作を再現するため、プログラム上で計算した指揮動作をもとに触覚提示を行った。本実験は我々の研究室内で行われた。

2.4 テンポ変化に関する実験

accelerando (accel) と ritardando (rit) の 2 種類のテンポ変化に対する反応時間を測定した。accel はだんだん速く、rit はだんだん遅くを示す音楽用語である。表 1 に Beats per minute (BPM) 設定を示す。各実験では、60, 80, 100 を基本とした 3 種類の BPM を設定した。各 BPM 10 秒間で元のテンポから目標テンポまで変化させ、その間の拍の反応時間を計測した。テンポ変化において、様々なテンポ遷移に対応できるかを評価するために、3 種類のテンポ遷移を設定した。例として、図 1 に 80BPM における 3 種類のテンポ遷移を示す。1 つ目は線形遷移で、最も単純なものである。2 つ目は、指数関

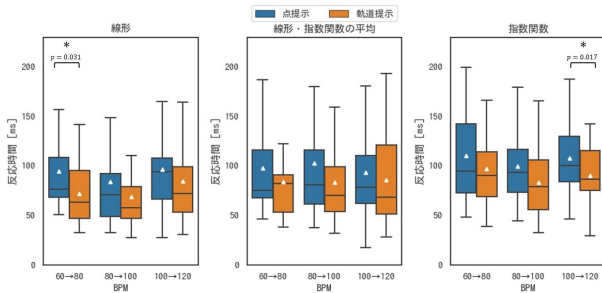


図 2 accel における反応時間：*は有意差 ($p < 0.05$) を示す。

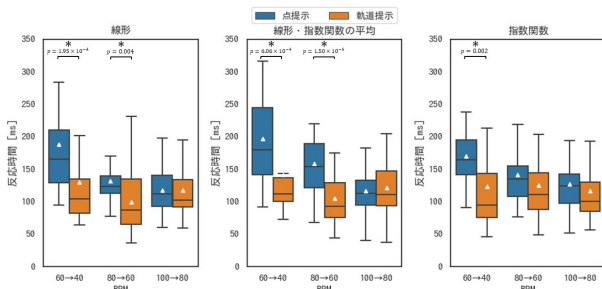


図 3 rit における反応時間：*は有意差 ($p < 0.05$) を示す。

数遷移である。柳田らは、複数の演奏者に行ったインタビューから、演奏におけるテンポ変化はしばしば最初のテンポから目標テンポまで指数関数的に遷移すると判断している [6]。3 つ目は、線形遷移と指数関数遷移の平均である。提示方法、テンポ変化、遷移方法、BPM の順序は、被験者ごとにランダムに決定した。所要時間は 1 人あたり約 30 分であった。被験者は 19 歳から 26 歳まで (平均 21.8, 分散 1.87) の 16 名の晴眼者で構成される。そのうち、音楽経験のある被験者の数は、11 人 (68.8%) であった。ここで音楽経験において、部活動やその他の活動などで指揮者の前で演奏した経験が 1 年以上ある方をカウントした。

2.4.1 結果

結果を図 2, 3 に示す。図 2 に accel における反応時間を示す。Wilcoxon の符号順位検定の結果、線形遷移 (BPM: 60 → 80)、指数関数遷移 (BPM: 100 → 120) において、軌道提示の方が点提示より反応時間が有意に小さかった。図 3 に rit における反応時間を示す。Wilcoxon の符号順位検定の結果、線形遷移 (BPM: 60 → 40, 80 → 60)、指数関数遷移 (BPM: 60 → 40)、線形と指数関数の平均 (BPM: 60 → 40, 80 → 60) において、軌道提示の方が点提示より反応時間が有意に小さかった。このことから、テンポ変化の理解において、軌道提示は点提示より有効であると考えられる。

2.5 演奏開始のタイミングに関する実験

演奏開始のタイミングは指揮者の予備運動によって合図される。予備運動は、演奏開始を補助するために、演奏開始と同様のテンポを開始拍の前に提示する指揮動作を示す [5]。演奏開始のタイミングにおいて、予備運動における拍として 1 拍と 2 拍の 2 種類を設定し、予備運動を受けた後の開始拍における反応時間を測定した。本実験では簡単のため、予備運動に通常の拍と同様の 1

拍子の動作を用いた。各予備運動においてそれぞれ 30

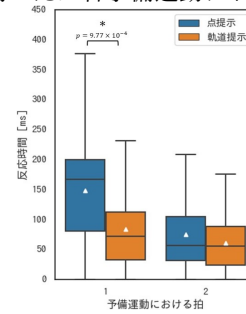


図 4 演奏開始のタイミングにおける反応時間：*は有意差 ($p < 0.05$) を示す。

回ずつ提示し、反応時間を測定した。なお各試行において、BPM は 60~100 からそれぞれランダムに決定した。所要時間は 1 人あたり約 10 分であった。被験者は 19 歳から 26 歳まで (平均 21.8, 分散 2.27) の 11 名の晴眼者で構成される。そのうち、音楽経験のある被験者の数は、9 人 (81.8%) であった。

2.5.1 結果

結果を図 4 に示す。Wilcoxon の符号順位検定の結果、予備運動における拍が 1 拍の場合において、軌道提示の方が点提示より反応時間が有意に小さかった。このことから、演奏開始のタイミングの理解において、予備運動における拍が 1 拍の場合において、軌道提示は点提示より有効であると考えられる。

3 結論

本研究では、振動アクチュエータを用いた触覚提示により、指揮軌道を提示する手法を評価した。反応時間を評価尺度とした比較実験を行った結果、提案手法は既存手法よりも、様々な種類のテンポ変化に対する適応性が高いことが示唆された。また、予備運動における拍が 1 拍の場合の演奏開始のタイミングの理解において、提案手法は既存手法より有効であることが分かった。今後の研究として、当事者とのワークショップを通してデバイスの改良を行うことや、当事者を対象とするユーザ実験を行うことなどが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、JST さきがけ (課題番号: JP-MJPR2134) の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Luca Turchet et al. 2021. Musical HapticWearables for Synchronisation of Visually-impaired Performers: a Co-design Approach. In ACM IMX. 20–27.
- [2] Takashi Asakawa et al. 2012. An electric music baton system using a haptic interface for visually disabled persons. In SICE. IEEE, 602–607.
- [3] Yuto Ueda et al. 2022. Demonstration of Trajectory Presentation of Conducting Motions Using Tactile Sensation for Visually Impaired. In ISMAR-Adjunct. 901–902.
- [4] Yuto Ueda et al. 2022. Evaluation of Trajectory Presentation of Conducting Motions Using Tactile Sensation for the Visually Impaired. In ICAT-EGVE Posters and Demos.
- [5] Yoshio Saita. 1999. Hajimeteno Shikihou. Ongaku no Tomo Sya.
- [6] Masuzo Yanagida et al. 2016. Effects of the mode of tempo change on perception of tempo change. Proc. Meet. Acoust. 28.