



二台ピアノ演奏者のための 感覚情報共有に基づく演奏支援システムのデザイン

Design of a performance support system based on sensory information sharing for two-piano performers

頼岡えみり¹⁾, 朱宇凡¹⁾, 脇坂崇平¹⁾, 吉田貴寿¹⁾, 堀江新¹⁾, 南澤孝太¹⁾

Emiri YORIOKA, Yufan ZHU, Sohei WAKISAKA, Takatoshi YOSHIDA, Arata HORIE,
and Kouta MINAMIZAWA

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

(〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, {e-yoril8, hsu-zhu, wakisaka, yoshida, a.horie, kouta}@kmd.keio.ac.jp)

概要: 本研究は、二台ピアノ演奏における完全な調和と効率的な練習を目的とした、個別練習支援システムを提案する。本稿では、視野制限からズレが生じやすい課題に対し、練習時での演奏映像と体幹動作センシングと触覚刺激に基づく感覚情報共有により、タイミングの精度向上を図る。また、主観的体験の評価やズレの頻度の変化を調査することで、演奏精度向上や練習の効率化だけでなく、より高次元芸術表現の効果を検証する。

キーワード: 触覚, 皮膚せん断, 重心, 二台ピアノ, 練習支援



図 1: 対面で演奏する二台ピアノ

1. はじめに

二台ピアノの演奏は、音楽の調和と協力を表現する最も美しい形態の一つだが、同時に非常に難しい演奏形式でもある。二台ピアノは、図 1 のようにグランドピアノの凹み部分を噛み合わせるようにして、二人の演奏者が対面で演奏するスタイルであり、異なる個性を持つピアニスト達は、対話の中で協奏することで、壮大で熱狂的な音楽空間を創り出す。しかし、対面での演奏により相手の姿が見えないことから、ズレが生じやすく練習に時間がかかってしまうという課題があり、この課題に対して、視覚および触覚のフィードバックを提供することで、演奏者間の同期を支援し、効率的な練習支援システムを目指す。

初めて二台ピアノを演奏した際、相手の演奏者とリズムやタイミングが全く合わず、何度もズレが生じた。この経験

は、単に技術的な問題だけでなく、相手の意図や感情を理解し、共鳴することの難しさを痛感させるものだった。個々のパートを完璧に仕上げるだけでなく、二人の演奏が一体化するには、互いの演奏スタイルや呼吸、動きに慣れる必要がある。数時間に及ぶ練習の中で、徐々にお互いのテンポやニュアンスを感じ取れるようになったが、これは多大な時間と労力が必要であり、二台ピアノの演奏がいかに深い相互理解と感覚の鋭さを必要とするかを実感した。

二台ピアノは、1st ピアノと 2nd ピアノがあり、1st ピアノは通常、主要な旋律やテーマを担当し、リードする役割を果たす。一方で、2nd ピアノはハーモニーやリズムを支え、全体のバランスを保つ役割を担う。この役割分担によって、音楽の多層的な構造が生まれ、それぞれのピアニストが独自の表現を持ちながらも、ひとつの調和した作品を創り上げることができる。

これまでの研究では、アンサンブル演奏中の音楽家間の同期や相互作用を高めるための様々な方法が提案されてきた。例えば、MirrorFugue III[1] は、記録された演奏を用いてライブ演奏時の相互作用を調査しており、触覚フィードバックを通じて演奏者の同期を強化する Soundbrenner Pulse のウェアラブルメトロノームは触覚提示として新たな可能性を示した。また、ピアノ演奏における股関節運動の研究 [2] では、音楽表現と同調に寄与する微妙な動きを浮き彫りにし、さらにはカルテットにおける演奏者の動きと同期との関係性 [3] において、協調的な音楽解釈を実現するための、身体的合図によるニュアンス豊かなコミュニケーションの必要性を強調している。これらは、二台ピアノ時の重心移

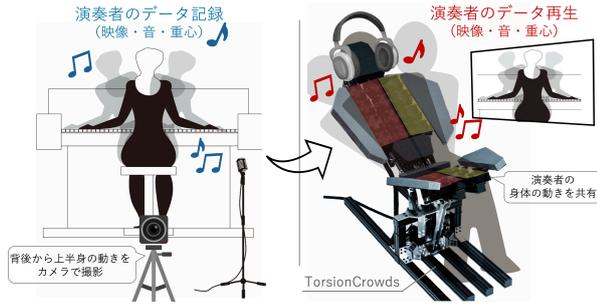


図 2: 演奏者のデータ (映像・音・重心) の記録再生

動共有によって、同期性や音楽性の共有に新たな可能性をもたらすことを示唆している [4]。

以上の研究は、アンサンブル演奏における同調と相互理解を深めるための多様なアプローチを示しているが、デュオにおける解釈のニュアンスの相互理解を促進するためには、演奏者間の微細なコミュニケーションと個々の解釈の違いを理解し合うことが重要であり、感覚的な対話が不可欠であるため、更なるアプローチが必要である。

本稿では、リーダーである 1st ピアノのデータ (演奏映像・重心) を記録し、システムを通じてそれを 2nd ピアノの演奏者が練習に用いた場合での、練習中の体験や合同練習の体験の主観評価を行う。さらに、システムを用いた練習後のズレの頻度の変化を調査する。これらを通じて、提案システムが演奏精度の向上や練習の効率化に与える影響の可能性を検証する。

2. フィールドワーク

音楽大学の修士課程 1 年生 2 人とピアニスト 1 人計 3 名を対象に、フィールドワークを行った結果、演奏者はタイミングを合わせる直前に前傾姿勢になることが多く、演奏中の上半身の動きでテンポを測っていることが示唆された。そこで、体幹の動きと呼吸、重心のコントロールに密接な関係があることを認識し、重心の移動を共有することがタイミングの同期性を高めるために有効であると考えられる。

3. 提案手法

3.1 コンセプト

本研究では、図 2 に示すように演奏者の体の動きを捉える床センサー Flexel[5] を用いて、演奏中の重心データを解析し、それを椅子型の触覚デバイスである TorsionCrowds (回転の皮膚せん断変形に基づく分布型触覚ディスプレイ) [6] に出力する。TorsionCrowds を通じて、演奏者の微細な体重移動を記録し触覚提示することで、演奏者の身体の動きと音楽表現との関係性を直感的に理解することを目的とし、単にズレを軽減することだけでなく、音楽表現の向上を目指す。

3.2 ハードウェア

本システムで用いる TorsionCrowds は、広範囲な身体の面積に分布する力の感覚を生み出す触覚ディスプレイであ

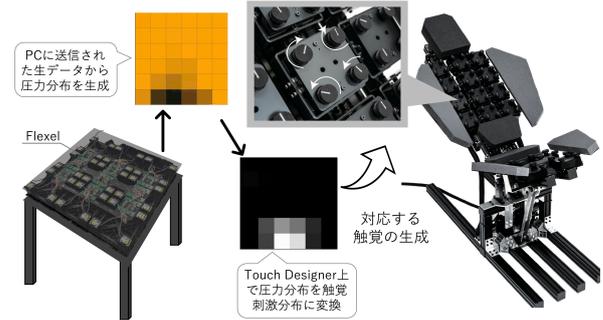


図 3: システム構成図

り、背凭れや座面に埋め込まれた複数の回転アクチュエータによって、皮膚の変形分布を生成する。これらのアクチュエータをコントロールすることで、刺激の強度分布を動的に再現し、振動や圧力を与える従来の触覚デバイスと比較して、より幅広く高解像度な触覚体験が可能になる。

また、本システムで用いる床センサー Flexel は、一辺 50cm の床材に 1 つあたり耐荷重 50kg の荷重センサーが 36 個据え付けてあり、表面への分布荷重を計測することができる。本センサーを椅子の座面に設置することで上半身の荷重中心の時系列変化を取得できるよう組み立てた。

3.3 ソフトウェア

本研究で提案するシステムは図 3 に示すように、まず床センサーから得られた生データは PC に送信され、零点補正を行った後、補正済みの圧力分布を触覚生成モジュールに送信している。Touch Designer で記述される触覚生成モジュールでは、圧力分布データの各フレームごとに、演奏者の重心位置とその変化を計算し、対応する触覚の生成を行っている。

4. 実験

本実験では 1st ピアノを筆者が担当し、実験参加者として、音楽大学修士 1 年生のピアニスト 1 名に 2nd ピアノを担当してもらい、以下の曲で実験を行った。

- Brahms: Sonata for 2 Pianos, Variations on a Theme by Haydn Op. 56b, Choral St. Antoni - Andante

4.1 目的

本実験では、リーダーである 1st ピアノのデータ (演奏映像・重心) を記録し、図 4 のような体験を通じて 2nd ピアノの演奏者が練習に用いる。この練習中の体験や合同練習の体験の主観評価を行い、さらに、システムを用いた練習後のズレの頻度の変化を調査する。

また検証方法として、演奏者の主観的な認識に基づくズレの評価方法を採用し、技術的な計測では捉えきれない微妙な音楽的ズレを評価することを目的としている。具体的には、記録した演奏を元に、1st ピアノ奏者と 2nd ピアノ奏者の両者がズレを感じた箇所楽譜上に印をつけた後、両者でディスカッションを行い、合意のもとで最終的なズレの箇所を決定する。この方法により、リズムだけでなくフレー



図 4: 2nd ピアノ演奏者による視覚・触覚・聴覚情報を統合したシステムの体験

ジングや表現のタイミングの不一致も含めた、微妙な同期のズレを評価することが可能となり、この結果から演奏精度の向上や練習の効率化に与える影響の可能性を検証する。

4.2 実験手順

本研究では、2nd ピアノ演奏者向けの演奏支援システムの効果を検証するため、以下の手順で実験を行った。

1. 初回対面合同練習：1st ピアノと 2nd ピアノの演奏者が合同で練習を行い、ズレの箇所を記録
2. 1st ピアノのデータ記録：1st ピアノ演奏者の演奏映像・音源と重心データを記録
3. 2nd ピアノ演奏者による支援システムを用いた事前練習
 - (a) 視覚・触覚・聴覚情報を統合したシステムでの練習を実施
 - (b) 触覚・聴覚情報のみのシステムで複数回練習を実施
4. 二回目の対面合同練習：システムを用いた練習後に再度合同練習を実施し、ズレの箇所を再測定
5. 2nd ピアノ演奏者の主観的評価の収集

4.3 実験結果

本実験では、提案システムの効果を評価するため、1st ピアノと 2nd ピアノの間で生じるタイミングのズレをシステム使用前後で評価した。図 5 にあるように、システム使用前の初回合同練習では、タイミングのズレが 18 回観察された。これに対し、提案システムを用いた個別練習を経た後の二回目の合同練習では、タイミングのズレの回数が 8 回に減少した。

また、2nd ピアノ演奏者の主観的な評価として、「譜読み後の 1 番最初の時に体験すると良い」「演奏家にとっても、今後の自己研鑽にもつながる。アンサンブルすることの可能性を広げてくれるかもしれない」「それぞれの癖がわかるといい。門下生によっても弾き方が違う。弾き方が変わると重心も変わってくるから、それがわかると面白いかも」「音が大きすぎると触覚に集中できないので、音は最小にして欲しい」「触覚が足りない。重心がかなり動かないと感じな

い。演奏中はもっと繊細な重心、動かない人もいるからこそ、ちょっとした移動ももっとオーバーにデバイスが動いてくれるといい」「音大の室内楽やアンサンブルの授業に取り入れると面白そう」などの主観的フィードバックを受けた。

特に譜読み後の初期段階での利用が効果的であると指摘され、演奏家の自己研鑽やアンサンブルの可能性を広げることが示唆されたが、現状のシステムにはいくつかの改善点が挙げられ、触覚提示において、より繊細な重心移動も検知できるよう調整が必要とされた。

さらに、視覚情報と触覚情報の関係性については、演奏との直接的な結びつきは薄いものの、相手の動きを理解する上では有用であるとの見解が示され、聴覚情報と視覚情報の重要性のバランスが、練習の進行に伴って変化することも指摘された。

5. 考察

本実験の結果から、提案システムが二台ピアノ演奏の同期性向上と演奏者間の理解促進に寄与する可能性が示唆され、特に相手の癖や息遣いをより理解できたという評価は、本システムが単なる技術的な同期だけでなく、芸術表現における深い共感の醸成にも貢献し得ることを示している。また、息遣いの共感アンサンブルにおいて極めて重要でありながら、従来言語化が困難であった要素であるが、本システムがこの感覚共有を促進できる可能性があることは、音楽教育や合奏練習の新たなアプローチを示唆している。

しかし、この結果は単一の試行に基づくものであり、有意性を主張するには更なる反復実験が必要であり、ズレの減少が純粋にシステムの効果によるものか、あるいは単純な練習効果や慣れによるものかを区別するためには、従来の練習方法との比較調査をする必要がある。例えば、システムを使用した場合と、使用しなかった場合のズレの頻度や、主観的評価を比較実験を行うことで、システムの効果をより明確に評価できる。

加えて、本実験で採用した主観的なズレの評価方法は、演奏者の音楽的感覚を反映する上で有用である一方、評価の客観性という点では課題が残る。今後は、この主観的評価と客観的な音響分析や動作分析を組み合わせることで、より多角的かつ精密な評価方法を確立していきたい。

6. おわりに

本研究では、二台ピアノ演奏における個別練習支援システムの開発と初期的評価を行った。演奏者からの主観的評価を通じて、相手の癖や息遣いの理解促進など、技術的側面だけでなく芸術的表現の共有にも貢献する可能性が示された。さらには実験結果から、システム使用後のタイミングのズレの減少傾向が観察され、本システムが二台ピアノの同期性向上に寄与する可能性が示唆された。しかしながら、本システムには触覚提示手法や検証方法などのいくつかの課題があり、観察されたズレの減少が純粋にシステムの効果によるものか、単なる練習効果によるものかを区別

図 5: システム使用前 (左) とシステム使用后 (右) の 1st ピアノ奏者と 2nd ピアノ奏者の両者がズレを感じた箇所

するには、より厳密な実験デザインが必要である。今後の展開として、触覚フィードバックの感度向上を検証した後、異なる熟練度の演奏者や様々なジャンルの楽曲での検証や多様な演奏者による様々な楽器の演奏データの収集と分析、より大規模なアンサンブルへの応用可能性の探索を行いたい。今後は本研究で得られた知見を基に、より包括的かつ体系的な研究を進め、二台ピアノ演奏における芸術表現の向上を目指す。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット研究開発プログラム (JP-MJMS2013) および JST ACT-X (JPM-JAX21KG) の支援のもと実施された。

参考文献

- [1] Xiao Xiao, Paula Aguilera, Jonathan Williams, and Hiroshi Ishii. Mirrorfugue iii: conjuring the recorded pianist. In *CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI EA '13, p. 2891–2892. ACM, 2013.
- [2] Catherine Massie-Laberge, Marcelo M. Wanderley, and Isabelle Cossette. Kinetic analysis of hip motion during piano playing. In *Proceedings of the 5th International Conference on Movement and Computing*, MOCO '18. ACM, 2018.
- [3] Donald Glowinski, Maurizio Mancini, Roddy Cowie, Antonio Camurri, Carlo Chiorri, and Cian Doherty. The movements made by performers in a skilled quartet: a distinctive pattern, and the function that it serves. *Frontiers in Psychology*, Vol. 4, , 2013.
- [4] Craig Turner, Peter Visentin, Deanna Oye, Scott Rathwell, and Gongbing Shan. Pursuing artful movement science in music performance: Single subject motor analysis with two elite pianists. *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 128, No. 3, pp. 1252–1274, 2021. PMID: 33775176.
- [5] Takatoshi Yoshida, Narin Okazaki, Ken Takaki, Masaharu Hirose, Shingo Kitagawa, and Masahiko Inami. Flexel: A modular floor interface for room-scale tactile sensing. In *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '22. ACM, 2022.
- [6] Arata Horie, Hideki Shimobayashi, and Masahiko Inami. Torsioncrowds: Multi-points twist stimulation display for large part of the body. In *ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '20. ACM, 2020.