

Title	リフレクションを用いて気づきの拡張を促すピアノ演奏における表情創造支援システムの検証―「Brownies in Piano」を用いたユーザスタディー
Author(s)	宮本, 遥奈; 西本, 一志
Citation	情報処理学会研究報告, 2026-HCI-217(7): 1-8
Issue Date	2026-03-09
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	https://hdl.handle.net/10119/20429
Rights	<p>社団法人 情報処理学会, 宮本遥奈, 西本一志, 情報処理学会研究報告, Vol.2026-HCI-217, No.7, 2026, 1-8.ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.</p>
Description	

リフレクションを用いて気づきの拡張を促す ピアノ演奏における表情創造支援システムの検証 — 「Brownies in Piano」を用いたユーザスタディ—

宮本遥奈^{†1} 西本一志^{†1}

概要: ピアノ演奏の表情付け創造においてリフレクションは重要な役割を果たす。しかし初心者にとって、通常のリフレクションのみでは、実際の演奏と表現したい演奏イメージとのズレを知覚し、その解決策を具体的に検討することが困難である。そこで本研究では、リフレクションを強化する手法として、自身の演奏を加工した複数の音源を生成・提示する「拡張リフレクション」を提案している。提案システム *Brownies in Piano* では、演奏者のMIDI演奏データを入力として、演奏表情を強化・弱体化、および三種の形容詞の印象に変化させるフィルタをLLMによって生成し、元の演奏音源を変形する。これにより、リフレクションにおける表現探索の過度な固定化を緩和するとともに、通常のリフレクションでは得られにくい気づきを促すことを目指す。本稿では、提案システムが演奏表情の創造において有効であるかを検証するため、表情付けに関する気づきの拡張が生じているかといった観点から、被験者実験を通じて評価を行い、その結果について報告する。

キーワード: 創造活動支援, ピアノ演奏支援, 拡張リフレクション, LLM

Evaluating an Expression Creation Support System for Piano Performance which Augments Awareness through Reflection — A User Study Using “Brownies in Piano” —

HARUNA MIYAMOTO^{†1} KAZUSHI NISHIMOTO^{†1}

Abstract: Reflection plays a crucial role in creating expressive nuances in piano performance. For beginners, however, conventional reflection makes it difficult to perceive discrepancies between the intended expressive image of a performance and the actual performance, and to concretely examine possible solutions. To address this issue, we proposed “Augmented Reflection,” a method that strengthens reflection by generating and presenting alternative variations modified from one’s own performance. In the proposed system, *Brownies in Piano*, the performer’s MIDI performance data are used as input, and filters that augment or attenuate expressive elements, as well as filters that transform the performance to convey impressions corresponding to three types of adjectives, are generated by an LLM and applied to the original performance. This approach aims to alleviate excessive fixation during expressive exploration in reflection while encouraging insights that are difficult to obtain through conventional reflection alone. In this paper, to examine whether the proposed system is effective in supporting the creation of expressive performance, we conduct a user study and evaluate the system from perspectives such as whether it augments awareness related to musical expression, and report the results.

Keywords: Creativity Support, Piano Performance Support, Augmented Reflection, LLM

1. はじめに

ピアノを用いて音楽的創造活動に取り組もうとすると、楽器演奏経験の不足や技術習得におけるハードルの高さから、「創造」に到達する以前の段階で挫折してしまう人が多い。そこでこれまで、自動演奏やピアノ演奏における運指・リズムなどを対象とした、技術的側面の支援が多く行われてきた[1]。しかし、本来音楽は何かを表現するものであり、自己表現の一部であることを踏まえると、楽器操作や運指といった演奏技術面のみならず、音楽の創造的側面に関する支援も重要である。そこで我々は、ピアノ演奏を対象とした創造的側面を支援する手段についての研究を進めてい

る。なお、創造性には超一流のプロレベルから初心者レベルまで多様な段階が存在するが、本研究では主に、初心者からアマチュア演奏者による *little-c* と呼ばれるレベルの創造性を支援対象とする[2]。

ピアノ演奏における創造的側面の重要な取り組みの1つとして、演奏への表情付けが挙げられる。表情付けとは、微細な音量の強弱や音の長さの伸縮などを調整することによって、演奏を表情豊かにすることである。表情付けの流れは、まずどのような表現をしたいのかをイメージし、次にそのイメージに適した演奏技術を選択し、演奏音を調整することで表情を付与するという過程をたどる[3]。表情付けの流れは一方的なものではなく、演奏の反復的な試行錯誤を通じて、当初は大まかであったイメージを徐々に詳細化しつつ、よりイメージに適した演奏へと近づけていく

^{†1} 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科
Graduate School of Advanced Science and Technology, Japan Advanced
Institute of Science and Technology

過程である。すなわち、表情付けの過程は連続的な思考過程であるといえる。この音楽における連続的な思考過程に関して、藤本はリフレクションが有効かつ重要であると指摘している[4]。リフレクションとは、自らの行為・思考・経験を振り返り、その過程から新しい気づきや学びを得ることであり、「reflection in action」と「reflection on action」の2種類に分類される[5]。表情付けにおいては、演奏中に自分が今まさに弾いている音を聴きながら、そこで得た気づきを即座に後続の演奏に反映させるものが「reflection in action」であり、自分が弾いた演奏の録音などを事後的に聴取し、そこで得た気づきを次の演奏に活かすものが「reflection on action」である。

しかし、初心者から中級者の演奏者にとって、演奏中の音を聴いたり録音を単に聴き返したりすることによる通常のリフレクションでは、表現したいイメージとのズレを十分に知覚し、それを解消するための具体的な演奏方針を導き出すことが困難であることが、プロピアニストへのインタビューから指摘された。そのため、より多様で幅広い気づきを得ることが可能なリフレクションの在り方が求められている。

そこで本研究では、通常のリフレクションを強化する手法として「拡張リフレクション」を提案している。拡張リフレクションとは、個人が行った行為そのもの（本研究ではピアノ演奏）を基にしつつ、その行為を適度に変形した刺激を複数生成・提示することで、リフレクションにおける過度な収束や固定化を緩和し、通常のリフレクションでは得られにくい気づきを促すことを目的とした手法である。本稿では、拡張リフレクションを実現するために実装したシステム“Brownies in Piano”が演奏表情の創造において有効であるかを検証するため、表情付けに関する気づきの拡張が生じているかといった観点から、被験者実験を通じて評価を行いその結果について報告する。

2. 関連研究

ピアノ演奏の学習支援に関する例として、上田ら[6]は、打鍵情報を基にピアノの練習状況をヒートマップで可視化する機能と、譜面上に気づきや学習方略をアノテーションする機能を持つ学習支援システムを構築した。ヒートマップでは、正解打鍵回数、打鍵ミス回数などを表示し、アノテーション機能は、学習者が練習中に得た気づきや学習方略を記述することで、練習の省察への新たな着眼点を生むきっかけに繋がる。ただし、このような取り組みは表情の創造よりは演奏の正確性を重視している点で、技術的な学習支援の取り組みであると言える。

初心者の表情付けに関する研究として、高橋らによる熟達者と非熟達者の演奏比較が挙げられる[7]。この研究では、熟達者はフレーズの構造に応じて *velocity* や *duration* を柔軟に変化させているのに対し、非熟達者では変化の幅が小

さく、結果として演奏が平坦になりやすいことが報告されている。

表情付けを支援するシステムに関する研究例として、楊ら[8]は、独力では楽曲をうまく解釈できない初心者を対象として、インターネットを利用して楽曲と関連する画像を収集して楽曲の各部と関連付けた画像データベースを構築し、画像付き楽譜を提示することによって楽曲の表情付けを支援するシステムを構築している。このようにピアノ演奏の技術面での支援に関する研究や、初心者を対象とした演奏表情付けとその支援に関する研究例はこれまでも多数存在する。しかしながら、創造性の発揮を目的としてリフレクションに着目した表情付け支援に関する研究例は、管見の限り見当たらない。

3. 提案手法

表情付けに代表される音楽の創造的側面においては、試行と振り返りを繰り返す連続的な思考が求められるため、リフレクションは不可欠な役割を担っている。しかし、通常のリフレクションには、初心者から中級者の演奏者に特有の困難が存在することが、プロピアニストによって指摘された。プロピアニストは、自身の演奏を聴き返すという行為について、「自分が弾いたものを聴くという行為からは、理想と異なっている違和感には気づくことができて、そこからどのように改善すべきかを導き出すには培ってきた経験が物をいうため、初級者・中級者にとって簡単なことではないと考える。」と述べている。さらに、「初中級者の場合、従来の方法、自身の録音や参考音源を聴くやり方では、それらのレベルが大きく乖離している問題がある。上級者は、様々な論理的思考や経験に基づいて、理想の演奏まで細やかに筋道立てた試行錯誤が可能だが、初中級者が自力のみでそれらを行うのは非常に困難である。」と指摘している。

これらの専門家の意見から、初心者から中級者の演奏者は、実際の演奏とのズレの方向性を把握しにくい状況に置かれていることが分かる。ピアノ演奏における「理想の演奏」は、必ずしも明確な形で演奏者の頭の中に存在しているとは限らず、多くの場合、漠然としたイメージとして存在している。そのため、そのイメージを表現しようとして演奏しても、実際に生じる演奏には何らかのズレが含まれることになる。熟練した演奏者であれば、豊富な演奏経験や音楽の聴取経験に基づく試行錯誤によって、このズレを修正することが可能である。しかし、初心者から中級者においては、演奏経験や音楽の聴取経験が十分でないため、そのズレが「どのようにズレているのか」、また「理想がどの方向に存在するのか」を把握することが難しい。その結果、「なんとなく違う」という違和感は知覚できるものの、具体的な解決策を導き出すことができない。さらに、修正の方向性が不明確なまま試行錯誤を重ねることで、最終的

には個人の手癖や慣れに依存した演奏に偏ってしまうという問題が生じる。

そこで本研究では、従来のリフレクションにおいて初心者がピアノ演奏の表情付けを行う際に生じるこれらの困難を軽減する手法として、「拡張リフレクション」を提案している。拡張リフレクションでは、自身の演奏をそのまま振り返りだけでなく、自身の演奏を基に演奏表現を適度に変化させた複数の「改変演奏音源」を提示することで、リフレクションを強化・拡張することを狙っている。改変演奏音源とは、音の *velocity* や *duration* を微調整して表現を強化または弱化したものや、形容詞による印象変化を反映させた音源である。なお改変演奏音源の提示は、理想の演奏表現の解の候補を示すためではなく、理想の演奏の方向性を考察しやすくするために理想の演奏表現からの「多様なズレ」を示すことに主眼があることに注意されたい。

4. 予備調査：プロピアニストへのインタビュー

提案手法の中核である「拡張リフレクション」の有効性を検証するため、プロのピアノ演奏家 3 名を対象にアンケート調査を実施した。調査では、通常のリフレクションの限界を踏まえた上で、拡張リフレクションの背景、目的、および具体的手法について説明した文書を提示し、その後、本手法の長所・短所とその理由を尋ねた。

第1の長所として、手癖からの脱却と探索範囲の拡張に関して指摘があった。専門家 A は「今までの自分の習慣や癖の外にある演奏方法の可能性を探ることができる」と述べている。また、専門家 B も「自分からは思いつかなかった表現の可能性が広がる」と評価した。これらの意見は、拡張リフレクションは、複数の改変演奏を提示することで、個人の実験則への依存を緩和し、より広い探索を可能にするのではないかと設計意図と整合的である。

第2の長所として、理想イメージの明確化と方向性の発見に関して指摘があった。専門家 A は「自分の演奏の録音をもとに生成されているから、それを聴くことにより身につけやすい」と述べている。提示される改変演奏が学習者自身の演奏に基づいているため、新たな表現を理解し、取り入れる際の認知的負担が軽減されることを示唆している。また、専門家 B は、「複数の表情付けから自分の理想に近いものを選択していくことによって、少しずつ自分の理想が明確になり、表現方法も身につく」と述べ、選択のプロセス自体も理想イメージの形成に寄与する可能性を示唆した。さらに、専門家 C は「自身の演奏から具体的な変化を視覚化できれば、より筋道だった試行錯誤の方法に気づくことができる」と述べ、漠然とした反復ではなく、論理的な試行錯誤が可能になる点に言及している。これらの指摘は、拡張リフレクションによって改変演奏の提示を通じて多様なズレを体験することで、複数の視点から理想イメー

ジの方向性や具体的な解決策を検討することが可能になるという設計意図と整合的である。

さらに、設計意図とは異なるが、新たな発見として心理的負担の軽減と楽しさに関する指摘があった。専門家 B は「1人で表現を試行錯誤することは苦痛を伴うが、この方法を用いることで音楽表現を楽しんで模索できる」と述べている。通常のリフレクションは、正解の存在しない中で孤立した試行錯誤を強いるため、学習者にとって高い心理的負担となる場合が多かった。これに対し、拡張リフレクションは複数の代替案を提示することで、試行錯誤のプロセスを「苦痛」から「楽しさ」へと転換できる可能性を示している。

一方、懸念される短所と留意点として「全体的な統一感の欠如」「受動的な学習姿勢への懸念」「本質的な音楽理解の不足」が指摘された。全体的な統一感の欠如に関して、専門家 A は、「部分部分で良いと感じた演奏を結びつけてしまうと、1曲の中で表現方法がばらばらになってしまうのではないかと指摘している。これに関しては、まずは部分的な表情付けに関する支援を行うこととして、楽曲全体で曲調が大きく変わらない曲を課題曲とすることで、この懸念を軽減する。この結果で効果が出れば、次に曲全体の手法を提案する必要があるだろう。

受動的な学習姿勢への懸念に関して、専門家 B は「自分の中の想像力を働かせることを止めてしまい、正解に近そうなものを選んでしまう」と述べ、専門家 C は「思考力や感覚力が鈍り、演奏表現が作為的で不自然なものになる可能性がある」と指摘している。これに関しては、改変演奏は自分自身の演奏を基に表情を変更した音源であるため、正解の演奏を提示しているわけではないが、より能動的に演奏表現を考えるよう工夫する。具体的には、音源を生成する際に選択された形容詞などを伏せてブラインド状態で聴取する、最初の視聴時には *duration* を表示するピアノロールや *velocity* を示す棒グラフを提示せずに音のみを聴取させる、などである。このように、はっきりと断定はしない設計とすることで、演奏者自身が能動的に演奏表現を考えることを促す。また、視覚的な情報は最小限にすることで、聴覚への意識が増え普段演奏表現を考えている感覚に近づける。

本質的な音楽理解の不足に関して、専門家 C は、「私個人としては演奏表現を行う際、数値的な視点で演奏を『作る』ことはしていない」と前置きした上で、音楽表現が複数の要素の相互関係によって成立するものであり、表層的なパラメータ操作のみでは本質的な表現には到達し得ないという立場を示している。その上で、「初級者の段階から拡張リフレクションに過度に頼ることで、思考力や感覚力が十分に育たないまま、演奏表現が作為的で不自然なものとなり、自身の演奏欲求とは乖離した新たな手癖が形成されてしまう可能性」を指摘している。これに関しては、将来

的には操作するパラメータの数を増やしたり特徴量で制御したりすることでより音楽的に生成すること、また自分の中の感覚に目を向けさせることなどの仕掛けも必要であると考え、「全体的な統一感の欠如」と「本質的な音楽理解の不足」に関しては、将来的に解消すべき課題として位置づける。

5. 提案システム：Brownies in Piano

5.1 概要

本システムの使用手順の概略は以下の通りである：

1. 利用者は MIDI データを出力可能なグランドピアノで演奏を行い、その演奏の MIDI データを記録してシステムに入力する。
2. システムは、GPT-5 の API を用いて演奏データを 5 通りに加工する。
3. 利用者は、自分自身の演奏と加工された 5 つの演奏をブラインドで聴き比べたのち、どれがどのくらい良かったかをパーセンテージのパラメータで選択する。
4. 3.で一番好感度が高かった演奏のみを **velocity** や **duration** に関して視覚的に表示し (図 1)、演奏内容を検討する
5. その後、再び 1.に戻って新しい演奏を行う。

以上のプロセスを繰り返して、納得がいくまで表情付けを構築していく。

このように、本システムは自身自身の演奏を提示することで通常のリフレクションを提供するとともに、さらに 5 つの改変演奏音源を提示することで拡張リフレクションを提供する。また、1 番好感度が高かった音源のみ **velocity** や **duration** に関して視覚的に表示することで、具体的な方策や方向性考案のための手がかりを提供する。

5.2 改変演奏音源の生成・再生方法

改変演奏音源は、元の演奏データを以下の 3 つの方法で改変して生成した：

1. 強化：元の演奏の表情を強くする。

2. 弱化：元の演奏の表情を弱くする。
3. 表情を<形容詞 1~3>の調子に変化する。

1.の強化は、**Velocity** と **Duration** の変動幅を増大させ、演奏者の表現意図を強調する処理である。**Velocity** については、演奏全体の中央値を基準とし、各音の強弱の偏差を 1.2 倍に拡張することで、強く演奏された音はより強く、弱く演奏された音はより弱く変換する。**Duration** については、音間隔 (IOI) に対する元演奏の **Duration** の割合に応じて、0.8~1.2 の範囲で伸縮させる。具体的には、元演奏がレガート寄りの場合は最大 1.2 倍まで延長し、スタッカート寄りの場合は最大 0.8 倍まで短縮する。これにより、レガートな箇所はよりレガートに、スタッカートな箇所はよりスタッカートになり、**Duration** における表情が強調される。

2.の弱化は、**Velocity** および **Duration** の変動幅を縮小させ、演奏表情を平坦化する処理である。**Velocity** については、中央値からの偏差を 0.8 倍に圧縮することで、強弱差を適度に抑制し、演奏全体の起伏を緩和する。**Duration** については、IOI に対する元演奏の **Duration** の割合に応じて、0.8~1.2 の範囲で伸縮させる。ただし、強化処理とは逆の制御を行い、元演奏がレガート寄りの場合は最大 0.8 倍まで短縮し、スタッカート寄りの場合は最大 1.2 倍まで延長する。これにより、スタッカートおよびレガートの極端な差が緩和され、**Duration** における表情が平坦化される。

3.では、形容詞の箇所にはあらかじめ用意した 28 語の形容詞からランダムに 3 語を選択した。この形容詞 28 語は、東海林の「感性形容詞による自動作曲システム」[9]で使用されている感性形容詞 28 語を採用した。感性形容詞 28 語は形容詞イメージスケール[10]の中から分布崩さないように選出されたものである。改変演奏音源の生成には、GPT-5 の API を用いた。その際、直接 MIDI データを出力させるのではなく、MIDI データを変換させるような Python のソースコードを出力させた。GPT-5 に与えたプロンプト (の一部) と、それによって生成された Python のソースコード (の一部) の 1 例を図 2、3 に示す。プロンプトの

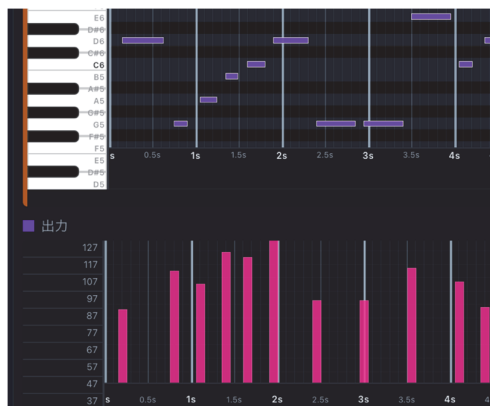


図 1. 演奏データ表示画面

Fig. 1 A snapshot of the performance data display

```
方針もコメントで述べる。
- 3つの関数は異なるアプローチでもいいです。共通性は不要です。各形容詞に
最適な処理を実装してください。

-実装スタイル
- セクションごとにブロックコメントを入れ、設計判断の理由を書き残す。
-マジックナンバーを避け、意味のある名前を付ける。
- データ分析や計算が必要な場合は、_percentile()、_compute_context()、
_uniform_signed_from_note() などのヘルパー関数を定義してかまいません。むしろ、
複雑な処理は小さな関数に分割してください。

【実装例】
def apply_filter_重厚な(notes: list) -> list:
    result = []
    iois = compute_iois(notes)
    avg_ioi = mean(iois) if iois else 480

    for i, note in enumerate(notes):
        # ベロシティを強化
        v = min(127, int(note.velocity * 1.2))
        # デュレーションを延長
        d = int(note.duration * 1.1)
        result.append(Note(pitch=note.pitch, start_time=note.start_time,
                           velocity=v, duration=d, channel=note.channel))

    return result
```

図 2. プロンプト例 (抜粋)

Fig. 2 Prompt Examples (Excerpt)

```
def apply_filter_スカットした(notes: list) -> list:
    """
    写像方針
    - 全体: 抜けの良い明快さ。ダイナミクスを拡張しコントラスト強化。
    - アタック感: 強め。フレーズ頭ははっきり。
    - 跳ね/滑らかさ: 短音はキレ良くスタッカート寄り。
    - 余韻: 全体的に短め。次の音へバツと切り替える。
    - ヒューマナイズ: ごく控えめ (タイトさ優先)。
    """

    for i, note in enumerate(notes):
        tnext = ioi_next[i] if i < len(ioi_next) else median_ioi

        # ベロシティ拡張
        v = expand(note.velocity)

        # 強拍風アクセント (簡易) : cycle_pos==0をやや持ち上げ
        if cycle_pos[i] == 0:
            v += beat_emphasis

        # フレーズ頭は強め
        if phrase_head[i]:
            v += head_boost

        # 短連鎖の先頭はさらにアタック強化、後続は控えめ
        if short_pos[i] == 0 and short_len[i] > 1:
            v += 6.0
        elif short_pos[i] > 0:
            v -= 4.0

        # クリップと微小ヒューマナイズ
        v += _det_noise_signed(note.pitch, note.start_time, salt=3) * 2.0
        v = int(_clamp(round(v), 1, 127))

        # デュレーション: 短め・タイト
```

図 3. 生成されたソースコード (抜粋)

Fig. 3 Generated source code (excerpt)

内容については事前に行った予備実験を踏まえて決定した。

なお、先に示した使用手順の 3. で 6 つの演奏 (自身の演奏と 5 つの改変演奏) を聴き比べる際、どれがどの演奏なのか、改変演奏音源の生成にあたってどのような形容詞を用いて演奏を加工したのかは、一切提示しない。これは、生成された音源がその形容詞通りの変化になっているかなどが重要なのではないからである。それぞれの演奏の微妙な違いを感じとり、そこから得られた気づきによって自由奔放に新しく自分らしい表情付けの可能性を拡げていくことを期待している。そのためには、その表情付けがどのような形容詞などに基づいて行われたかという情報によって発想の幅を狭めるべきではないと考えるからである。また、いずれの演奏データについても利用者は満足いくまで聞き直すことができる。各音源の再生の際には、実際に鍵盤が動いた方が演奏のイメージが湧きやすいと考え、グランドピアノの自動演奏機能を用いる。

6. 検証実験

Brownies in Piano がリフレクションにおける収束の過度な固定化を緩和できるか、また通常のリフレクションでは得られがたい新たな気づきを得られるかを検証するため検証実験を行った。なお本実験は、知識科学倫理審査会議 (承認コード:KSEC-E20250111801) の承認を得て実施した。実験には、17 名 (男性 8 名、女性 9 名) の実験参加者が参加した。被験者のピアノ演奏経験は半年~21 年である。被験者は拡張リフレクションを提供する Brownies in Piano を使用する実験群 9 名と、通常のリフレクションとして自分の演奏データの聴取と可視化グラフの表示をするシステムを使用する統制群 8 名に振り分けた。また、ピアノの経験年数が半年~9 年と 10 年~21 年の 2 グループに分けて分析



図 4. 課題曲の一部の譜例: 音楽之友社刊『子供のバイエル 下巻: 付点 4 分音符のおはなし』より抜粋

Fig. 4 Sample score for part of the test piece

を行った。内訳は、実験群 (半年~9 年: 6 人, 10 年~21 年: 3 人) で統制群が (半年~9 年: 4 人, 10 年~21 年: 4 人) である。

実験には、MIDI 出力が可能なグランドピアノ (ヤマハグランドピアノ C3 自動演奏機能上級仕様) を用い、防音室内で実施した。課題曲には、高橋らによる熟達者と非熟達者の演奏比較研究[8]において両者の差が報告されている、音楽之友社刊『子供のバイエル下巻: 付点 4 分音符のおはなし』の練習曲冒頭から第 8 小節までを実験用に改変したもの (図 4) を用いた。

実験群の実験の手順を示す。まず実験者がシステムの使用方法について説明を行った。その後、5.1 節に示した一連の操作を 1 セッションとし、これを 5 回繰り返して実施した。また、各セッション終了後に、生成された音源に対する好感度を 0~100 の範囲で評価してもらった。

次に、統制群の実験の手順を示す。まず実験者がシステムの使用方法について説明を行った。続いて演奏を行い、これを録音する。演奏後、録音した演奏を音のみで聴取したのち、グラフを表示した状態でもう一度聴取する。これを 5 回繰り返す。なお実験群とは異なり、自分が弾いた演奏音源のみを聴取するため、好感度の入力を行わない。

いずれの群についても、実験中は被験者が周囲の目を気にすることなく創造活動に集中できるように、実験者は防音室から退出した。また、実験終了後に表情付けに対する意識の変化、システムの使用感について、5 or 7 段階リッカート尺度、自由記述を用いたアンケート調査を行った。さらに、感想も自由に記述してもらった。なお、紙幅の都合でアンケート項目の詳細は割愛する。

結果に関しては Mann - Whitney の U 検定を用いて検証する。有意水準は両側 5% とした。群間差の大きさを評価するための指標として、Rank-biserial correlation (r) を算出し、統計的有意性と併せて結果の解釈に用いる。なお、分析の前処理として、逆転項目の質問に関しては回答値を反転させ、高い値ほどシステムに対して肯定的な評価を示すように統一した。

自由記述による回答データについては、テキストデータを各要素 (コード) で分類し、頻度を比較する。分類の種類は、気づきの種類と音楽要素の 2 軸で分類した。気づきの種類に関しては、Self-Reflection, Visual, Comparison

(Negative・Positive)を用いた。Self-Reflectionは、自分の中の「理想」や「意図」と照らし合わせて内省し気づきを得た場合、Visualはグラフ表示ページにて視覚的に気づきを得た場合、Comparisonは記憶にある自分の演奏と再生して聞いている演奏との比較によって気づきを得た場合である。記憶にある自分の演奏に比べて再生して聞いている演奏が劣っていた場合（理想のイメージに遠い場合）はNegative、優れていた場合はPositiveに分類する。なお、自由記述の内容が比較したことのみでどのように感じたのか、どう変わったのかが示されておらずNegativeともPositiveとも分類できない場合はComparisonのみに分類した。音楽要素に関しては、Duration, Dynamics, Expression, Rhythmを用いた。また、頻度の計算は、特定の要素に言及した回数をその群の全参加者数で割った平均回答数を用いた。

7. 結果・考察

U検定に関しては全ての項目で有意差を確認することはできなかった。これは、表情付けという微細な変化を扱っていることが関係している可能性がある。しかし、いくつかの項目で有意傾向や中程度以上の効果量を確認できた。以下にピアノ経験年数別で記述する。

7.1 ピアノ経験年数：半年～9年

ピアノ経験年数：半年～9年では、気付きや意識に関する質問f7「提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった」（ $r = 0.38$ ）および質問f9「今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった」（逆転項目）（ $r = -0.46$ ）では、Experimental群がControl群を上回り、いずれも中程度の効果量が確認された。一方、探索行動に関する質問f3「他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった」（逆転項目）（ $r = -0.42$ ）において、Experimental群がControl群を下回り、中程度の効果量が認められた。

これらの結果を統合すると、f7の結果から新たな気づきは得られていたものの、f3やf9の結果のように「他の選択肢を実際に試す行動」には必ずしも結びついていなかったことが示唆される。この背景として、提示された変形音源が強すぎる強弱や過度に短い音といった極端な例であった場合、参加者はそれらを「違い」としては認識したものの、「自分が試すべき選択肢ではない」と判断し、観察に留まった可能性が考えられる。すなわち、本システムは「観察による気づき」を促進する効果は高かった一方で、そこから「能動的な探索」へと参加者を移行させるためには、実際に試してみたいと感じられるように生成する音源の質を向上させる必要がある可能性が示唆される。

そこで、実験中に提示した各音源に対して評価してもらっていた好感度を集計した。オリジナルと弱体化演奏はそれぞれ平均値が71.10, 70.70とほぼ同等で高く、中央値も

ともに70であった。一方、強化演奏は平均値が62.00と、やや低下していた。この結果は、表現を強調する方向の処理が必ずしも好感度の向上につながらず、場合によっては過剰な強調として知覚された可能性を示唆している。形容詞での変化は平均値が45.93と最も低く、標準偏差も25.13と最大であった。また、最小値が0であったことから、極端に低い評価を受けた事例も含まれていることが分かる。しかし、最大値はその他の項目と同じ90であることから、全く受け入れられていないわけではないといえる。これらの結果は、生成結果の品質に大きなばらつきがあり、安定性に欠けていた可能性を示している。また、実際に好感度が低かった音源を分析したところ、突発的に大きな音が発生し、リズムや音の長さが不均一である等特徴が見られた。

以上より、表現の変形においては、「どの方向に変えるか」だけでなく、「変化量や生成方法の安定性」が課題であるといえる。加えて、質問f8「今回の実験中の自分を振り返って、表情付けについて、弾き方をあまり意識せずに演奏していた」（逆転項目、 $r = 0.38$ ）において、Experimental群がControl群を上回り、中程度の効果量が認められた。これは、無意識で演奏することを抑制する傾向が示されていた。この結果に関して質問f3を踏まえると、結果として行動には現れていないが、本システムが表情付けに関して探索する意欲を向上させている可能性が示唆される。

自由記述の新たな気づきを得た場合の「着目した音楽的要素」の分析（図5上）では、両群の関心の向け方に明確な差異が確認された。Control群では、特にRhythm（タイミング）への言及が1.00と多く、演奏の正確性に関する反省が多く見られた。一方、Experimental群ではRhythmへの言及は0.33にとどまり、Durationが1.00と増加した。すなわち本システムでは、参加者の注目が「正しく弾くこと」から、表現要素の1つであるDurationに移っていたと解釈できる。

次に演奏イメージの確立に関して述べる。質問f6「提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった」（逆転項目）において、（ $r = -0.58$ ）とExperimental群がControl群を下回り、大程度の効果量が認められた。一見するとこの結果は、「システムが演奏イメージに影響を与えなかった」ことを示しているようにも解釈できる。しかし、自由記述から得られた新たな「気づきの種類」の分析結果（図5下）では、「Comparison(Negative)」に分類される反応が実験群において複数確認された。例えば、「強すぎる音源を聴いて、自分はそう弾かないように気をつけた」といった記述は、提示された極端な変形音源を好ましくない例として捉えたことを示している。このことから、「こうは弾きたくない」という境界線を明確に認識し、結果として自身の目指す演奏イメージをより強く確信した可能性がある。すなわち、反面教師として機能することで、演奏イメージの確立を支援し

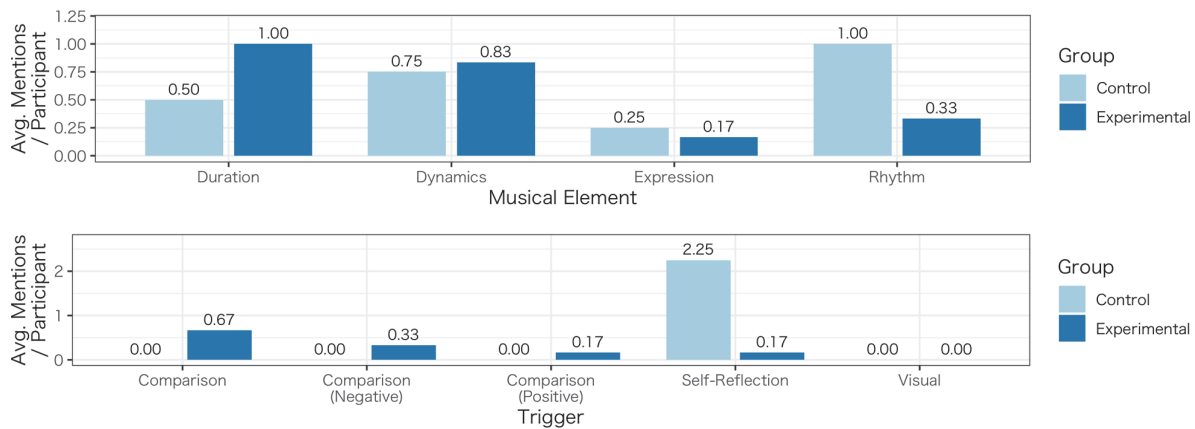


図 5. ピアノ経験年数：半年～9年における自由記述の分析結果（着目した音楽要素・気づきの種類）

Fig. 5 Analysis results of free-response comments by the subjects with 6 months to 9 years piano experience

ていた可能性がある」と解釈できる。これは、多様なズレを提示するという本システムの狙いのひとつの表れであるとみなせよう。

システムの使用感に関する質問 f10「このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う」（逆転項目）（ $r = -0.33$ ）では、Experimental 群が Control 群を下回り、中程度の効果量が認められた。しかしながら、質問 f19「このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う」では、 $p = 0.066$ と有意傾向が認められ効果量に関しても（ $M = 7.00$, $r = 0.50$ ）と Experimental 群が Control 群を大きく上回り、非常に高い評価が得られた。このことは、本システムの使用により新たな気づきが得られ、それに基づいて演奏表現を意識的に検討しようとした結果、確認や判断に伴う認知的負荷が増大し、その負荷が一時的な効率低下として知覚された可能性を示唆している。

7.2 ピアノ経験年数：10年～21年

気づきに関する質問 f7「提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴くことで、これまであまり意識していなかった表現の側面に目が向くことがあった」では、有意な効果量は確認されなかった。また、探索行動に関する質問 f3「他の選択肢を試してみようとはあまり思わなかった」（逆転項目）（ $r = -0.42$ ）、f9「今回の実験中の自分を振り返って、自分の演奏の表現について、一度で固まらず徐々に変化していく感覚があった」（ $r = -0.33$ ）では、いずれにおいても Experimental 群が Control 群を下回り、中程度の効果量が認められた。これらの結果は、ピアノ演奏経験が長いグループは通常の練習過程において既に十分に意識的な演奏を行っており、本システムによる気づきの上乗せ効果が限定的であったことを示唆している。また、Control 群に関しては提示する音源が自分の演奏した音源だけであるため収束的な試行錯誤がしやすいことも評価の高さに影響したと考えられる。

次に自由記述の新たな気づきを得た場合の「着目した音

乐的要素」の分析（図 6 上）では、両群の関心の向け方に明確な差異が確認された。Control 群では Rhythm への言及は 0.25 あり、演奏の正確性に関する反省が見られた。ただしその割合は高くなく、Duration や Dynamics, Expression への言及も高いことから、ピアノ経験年数：半年～9年に比べて、元々表現面に関して意識が高いことが伺える。一方 Experimental 群では、Rhythm への言及が 0.00 であったことから、演奏の正確性に関する意識が抑制された傾向が示された。これは、本システムの仕様が Velocity と Duration のみを変更し、Rhythm を変更しなかったことによる影響であろう。しかしながら同時に Expression への言及も 0.00 になっていることから、正確性への意識が薄れたことが表情的側面への意識の高まり（新たな気づき）には繋がっていないことが示唆される。

演奏イメージに関して、質問 f6「提示された自分の演奏（を変形した音源）を聴いても、目指している演奏イメージはそのままだった」（逆転項目）において、（ $r = -0.50$ ）と Experimental 群が Control 群を下回り、大程度の効果量が認められた。これは、提案システムの方が当初の演奏イメージがより維持されていた傾向を示している。また、自由記述の分析では「Comparison (Negative)」に分類される反応が確認されなかった（図 6 下）。以上を踏まえると、演奏イメージが維持されたという結果は、ピアノ演奏経験が長いグループにおいては反面教師効果というよりも、元来の演奏スタイルに対する自信や、確立された解釈に基づくものであると推察される。

システムの使用感に関する質問 f10, f16, f19 において、ピアノ経験年数：10年～21年では中程度以上の効果量が確認された。質問 f10「このシステムを利用することで、表情付けの練習をより効率的に進められると思う」（逆転項目）（ $r = 0.42$ ）では Experimental 群が Control 群を上回り、中程度の効果量が認められた。この結果は、熟達者が本システムを効率的な練習支援ツールとして評価したことを示

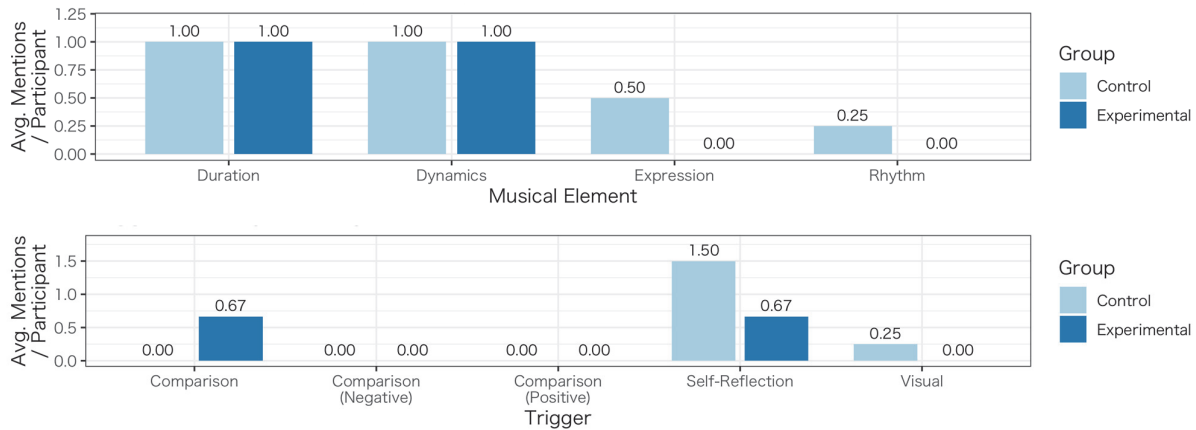


図 6. ピアノ経験年数：10年～21年における自由記述の分析結果（着目した音楽要素・気づきの種類）

Fig.6 Analysis results of free-response comments by the subjects with 10 to 21 years piano experience

している。これは、ピアノ演奏経験が多いグループは、多様な経験を背景に、自身の解釈と異なる音源を即座に棄却または活用することができ、迷いなく練習を進めるためのツールとして本システムを利用できたと考えられる。また、質問 f16「このシステムでは、自分が意図したとおりに操作できると感じた」($r = -0.33$)では、Experimental 群が Control 群を下回り、中程度の効果量が認められた。さらに、質問 f19「このシステムは、全体として使いやすいシステムだと思う」($r = -0.42$)でも Experimental 群が Control 群を下回り、中程度の効果量が認められた。しかし、平均値を見ると f16=6.00, f19=6.33 であるため、評価自体が低いわけではない。また、ピアノ演奏経験：10年～21年のグループにおいては当初の演奏イメージがより維持されていた傾向が示されていたことを踏まえると、提示された音源が演奏イメージに影響を与えることができずに、操作制約として一定の摩擦となっている可能性が推察される。

8. おわりに

本研究では、拡張リフレクションを提供するピアノ演奏の表情付け支援システム *Brownies in Piano* を開発した。提案システムの有効性を検証するため、ピアノ経験年数が半年～21年の17名を対象に、拡張リフレクションを用いた実験群と通常のリフレクションを用いた統制群、ピアノ経験年数半年～9年と10年～21年のクロス比較実験を行った。その結果、特にピアノ経験年数半年～9年の層において強弱や音の長さといった演奏表現に関する新たな気づきが促進され、演奏の正確性に偏りがちな注意が表現的側面へと移行する傾向が確認された。一方で、提示された複数の改変演奏を実際の演奏行動に反映させる点については限定的であり、表情付けの多様化が必ずしも行動レベルでは顕在化しないという課題も明らかとなった。また、生成された改変演奏の中には、否定的な比較を引き起こすものも含まれており、それらが反面教師として機能し、演奏者自

身の理想イメージを再確認・明確化する効果を持つ可能性が示唆された。

以上の結果から、拡張リフレクションは、ピアノ演奏における創造的側面への気づきを促進する有効な手段となり得る反面、観察された気づきを実際の演奏行動へと結びつけるための支援設計には改善の余地があることが示された。今後は、音源生成の音楽的妥当性の向上に加え、得られた気づきを演奏実践へと促すインタラクション設計を通じて、より実践的な創造支援手法へと発展させる必要がある。

謝辞 実験にご協力いただいた協力者の皆さんに厚くお礼申し上げます。本研究は JSPS 科研費 JP24K02976 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1383-1392, 2013.
- [2] James, C., and Ronald, A.: Beyond Big and Little: The Four C Model of Creativity, *Review of General Psychology*, Vol.13, No.1, pp.1-12, 2009.
- [3] Ruisheng, W.: Analysis on the Emotion Expressing Technique in Piano Performance, *Advances in Social Science*, Vol. 378, pp.609-612, 2020.
- [4] 藤本佳子: 問題解決としての音楽的思考におけるリフレクションの機能, *学校音楽教育研究*, Vol. 23, No.23, pp.1-12, 2019.
- [5] Schön D. *The Reflective Practitioner – How Professionals Think in Action*, Basic Books, 1983.
- [6] 上田健太郎, 竹川佳成, 平田圭二: ピアノ練習状況の可視化および気づきのアノテーション機能を持つ学習支援システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.12, pp.2617-2625, 2016.
- [7] 高橋 範行, 大串 健吾: ピアノ演奏における熟達者と非熟達者の演奏表現の比較, *音楽教育学*, Vol. 34, No. 1, pp.1-11, 2004.
- [8] 楊旭, 小林智也, 小倉加奈代, 西本一志: 集合的に収集された楽曲関連画像の演奏表情構築への影響, *情処研報*, Vol.2012-HCI-147, No.27, pp.1-8, 2012.
- [9] 東海林瑞江, 椎塚久雄: 感性形容詞による自動作曲システム, 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム講演論文集, Vol.23, pp.29-31, 2007.
- [10] 小林重順: “カラーシステム”, 日本カラーデザイン研究所, 1999.