

# 打鍵・視線情報表示機能を持つピアノ学習支援システムが学習方略の 形成に及ぼす効果の観察と分析

## Observation and analysis of the effects of a piano learning support system with the capability of visualizing keying and gaze information upon forming the learning strategy

上田 健太郎\*1  
Kentaro Ueda

竹川 佳成\*2  
Yoshinari Takegawa

平田 圭二\*3  
Keiji Hirata

\*1\*2\*3 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate

It is difficult for beginners to practice a piano efficiently because they hardly recognize their own weak points and advances in the proficiency of piano performance. For this reason, beginners tend to unconsciously adopt inefficient practice methods, such as the repeating practice of only a specific phrase they can play smoothly. As a result, their motivation for practicing the piano decreases because they cannot improve their skills in spite of their great efforts. In this paper, we propose a piano practice method with comprehensive visualization of the practice information to achieve efficient piano learning.

### 1. はじめに

ピアノ演奏では、譜読み、指示されている鍵への正確な打鍵、適切な運指(指使い)、リズム感覚、打鍵の強弱、テンポなど様々な技術が求められ、それらの習得には長期間の基礎的な練習を必要とする。このように、ピアノ演奏には多大な時間と労力を必要とするため、敷居の高さに利用を断念したり、習熟効率の低さから学習を断念する演奏者が多い。

そこで、筆者らの研究グループは学習者が自身の学習方略や練習中に得られた気づきを物語として記述することで、学習方略への意識の高まりや学習方略の省察およびメタ認知が促進され、習熟効率が向上するという仮説を立て、学習方略の物語化に着目したピアノ学習支援システムの構築をめざしてきた[竹川 11, 13a, 13b, 13c, 14]。実際にピアノ学習支援システムを利用しながら物語を記述してもらうという予備実験では、以下の問題が明らかになった。

- 熟達には打鍵ミス数や演奏の滞留度など様々な指標があるが、それらの評価や数値データの受け取り方は被験者の自己判断に委ねられていた。そのため、客観的な練習状況の変化点が主観に登って来ない被験者が多く、物語として外化されないケースが多かった。
- 各実験日の最後に物語を記述してもらったという実験手順上、物語実験全体を通しての振り返りや、その日の実験で印象に残っていることが記述されやすい一方、一回性の強い稀少なできごとや些末な気づきは、打鍵位置の理解や読譜など他に集中するべきことがある状況では忘却されやすく、物語として外化されなかった。しかし、そのような希少な出来事や粗末な気づきの蓄積と拡大例が重要ではないかと考える。

そこで、本研究の目的は、

- 打鍵情報をもとにピアノの練習状況を可視化する機能
- 譜面上に気づきや物語化した学習方略をアノテーションする機能

を持つシステムを構築し、これらの問題を解決することである。これにより、学習者の学習方略への意識を高めメタ認知を促進し、ピアノ演奏熟達レベルを高度化することを目指す。

### 2. 関連研究

ピアノ演奏練習支援に関する研究に触れる。例として、不得手な要素を克服させるピアノ学習支援システムに関する研究[大島 14]が挙げられる。このシステムは、学習者の打鍵ミスや打鍵強度などの演奏情報から演奏者の苦手な奏法を割り出し、集中的にトレーニングすることを目的としている。

夏目は、鍵盤の視線移動とそのタイミングが及ぼすミスタッチへの影響について検証し、ピアノ熟達者は初心者よりブラインドタッチでの演奏時間が長く、楽譜と鍵盤間の視線移動速度が速いことを明らかにしている[夏目 07]。

田中らは、ピアノ演奏指導者と学習者の演奏 MIDI データの特徴量を比較・分析した結果、ピアノ指導者の視点との一致が見られ、MIDI データによる定量的評価の方法は、多くのピアノ指導者から受け入れられる学習支援システムに応用可能であるとしている[田中 07]。この研究では、MIDI データのベロシティ、音価などの特徴量を、Excel に読み込んで折れ線グラフ形式で可視化し、視覚的に比較している。

### 3. 設計方針

本研究の目的を達成するために提案システムに求められる要件として、以下の3点を挙げる。

#### 3.1 練習状況の提示

学習者が自身の練習状況を意識したり、演奏から着目している練習の達成度を適切に判断できるようになれば、学習方略へのゆらぎや新たな気づきを与えられるであろう。熟達には打鍵ミス数や演奏の滞留度など様々な指標があるが、各指標の自己判定のしやすさにはばらつきがある。提案システムは学習方略の記述や譜面への書き込みを行う際の補充用のデータとして、打鍵ミス数、演奏の滞留度、練習位置の遷移などの打鍵情報を可視化し学習者に提示する。打鍵情報を可視化する理由としては、MIDI 鍵盤を利用することで容易にデータを収集できること、データの整理・分析が容易であること、打鍵情報が学習者の練習状況を直に反映するものであることが挙げられる。

第1章で述べたように、筆者らの過去の研究では前日の練習感覚と今日の練習感覚を比較したり、数日前の学習方略から現在の学習方略を決定するなど、様々な対象やレベルで比較することにより学習方略が変容・進化する事が明らかになってい

る。よって提案システムには練習日当日の経過時間毎の打鍵情報の差分、練習日別の差分を提示することができる機能を実装する。

可視化手法としては、提案システムの主なユーザは成人ピアノ初級者なので、熟達者でなくても容易に意味を理解できるように、情報を楽譜上の音符の位置をマッピングして提示する必要がある。したがって、提案システムは打鍵情報をヒートマップ形式で可視化し譜面上にマッピングした形で提示する。ヒートマップを採用した理由は、ヒートマップがデータのマッピングに優れている、データの値を色で表現するため学習者が短時間でデータの傾向を把握できるという特性を持つからである。ただし、ヒートマップ形式は差分表現に不向きであるため、練習の差分は主に折れ線グラフ形式で可視化する[Ferster 12]。

### 3.2 譜面へのアノテーション

小さい気付きや現象が練習省察への新たな着眼点を生むきっかけになったり、学習方略として外化された内容を補完することもある。一回性の強い稀少なできごとや些末な気付きは、打鍵位置の理解や譜読など他に集中すべきことがある状況では忘却されやすく、学習方略として外化されにくい。よって提案システムには練習中に得られた知見を譜面上にアノテーションする機能を実装する。

これらの情報は時間の経過と共に失念されてしまう可能性が高いため、学習者がアノテーションするタイミングは練習中の気づきを得た瞬間が望ましい。ただし、その日の学習方略のまとめを長文でアノテーションする場合は、練習後をアノテーションのタイミングとする。これは、一回性の強い稀少なできごとや些末な気付きと、その日の練習全体を俯瞰して得られる気付きは互いに異なる要素を含むと考えられるからである。

### 3.3 システム割込時間の短縮

練習中のグラフ表示、アノテーションの1回あたりの所要時間は、30秒以内とする。これは、グラフ表示とアノテーションは練習中に何度も繰り返して行うことが想定されるため、この時間を超える操作は練習時間の圧迫に繋がるためである。所要時間の短縮を実現するために、デフォルト状態で表示するグラフはヒートマップ形式とし、データ量を詳細に表示するのではなく、一目で練習傾向を把握できるようにする。また、アノテーションはマウスポインタでフリーハンドで行うのではなく、キーボードで入力し任意の箇所にドラッグアンドドロップできるようにする。

## 4. 実装

提案システムはMIDIデータ(打鍵位置や打鍵強度)を入力とし、打鍵ミスや演奏の滞留度などの熟達指標をヒートマップ、折れ線グラフ、レーダチャートなど複数のグラフで出力する。開発はMac OSX上のXcodeでJavascript, HTML, CSSを用いて行った。以降では、提案システムが実現する機能について説明する。

### 4.1 ヒートマップによる打鍵情報の表示機能

入力されたMIDIデータを基に、合計打鍵回数、正解打鍵回数、ミスタッチ回数、演奏の滞留度の5つの打鍵情報を譜面上に表示する(図4.1)。ヒートマップは、それらの値の大きさを色の違いで表現する。具体的には、透明、青色、水色、緑色、赤色の順に項目の回数が多いことを表す。最上段目のヒートマップは、その列の音符全てに関する合計打鍵回数を表す。2段目のヒートマップは、その列の上から1つ目の音符に関し、正しく打鍵できた回数を表す。3段目、4段目のヒートマップは、その列

の上から2つ目、3つ目の音符に関し、正しく打鍵できた回数を表す。5段目のヒートマップは、その列の音符に関するミスタッチの回数を表す。6段目のヒートマップは演奏の滞留度を表す。演奏の滞留度は、連指毎の打鍵間隔(Inter-Onset Interval)から算出している。

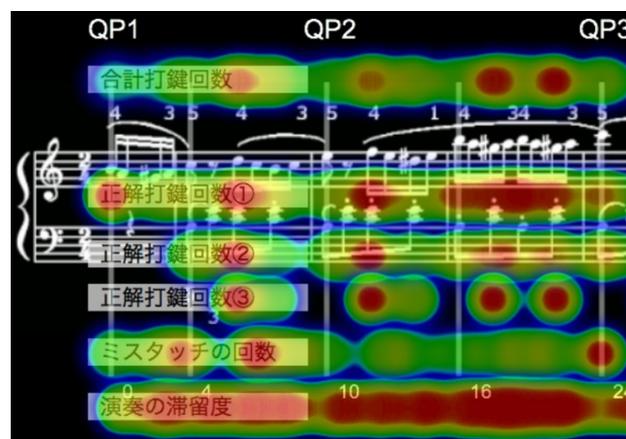


図 4.1: 譜面上に提示されたヒートマップ

### 4.2 折れ線グラフによる打鍵情報の差分表示機能

折れ線グラフはヒートマップと同様に打鍵情報を譜面上に提示し、各音符のy軸位置にグラフの屈曲点が当たる(図4.2)。提案システムは別の打鍵情報の折れ線グラフを重ね合わせて表示できる。これによって値の差分を把握することができる。図4.2は練習開始8分後、17分後、30分後の合計打鍵回数の折れ線グラフを同時に表示した例である。学習者は左下のプルダウンメニューで重ね合わせたいMIDIデータを選択する。折れ線グラフは同時に6つまで重ね合わせることができ、自分の上達の進行状況を直感的に把握できる。

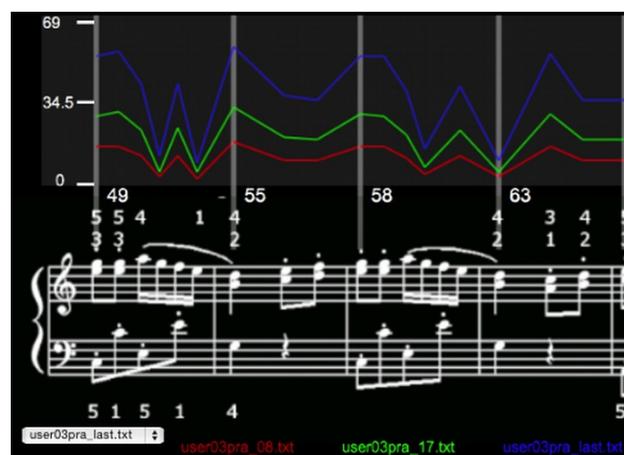


図 4.2: 譜面上に提示された折れ線グラフ

### 4.3 アノテーション機能

テキストボックスに入力された文章がアノテーションされる(図4.3)。アノテーションには学習者が練習中に得た気づきや、物語化した学習方略を記述する。譜面上には四角形や線などの図形を描画できる。これらはアノテーションが譜面のどの部分に関するものかを指し示すために用いる。

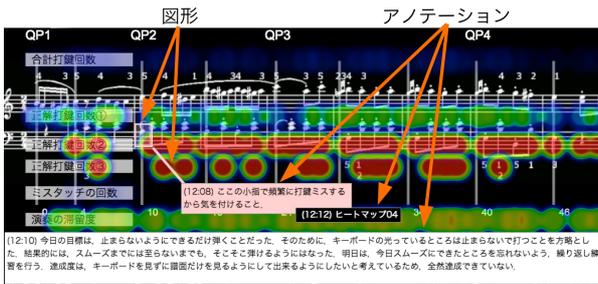


図 4.3: 各種アノテーション

## 5. 評価実験

評価実験では、被験者を提案システムを利用して練習するグループ、提案システムを利用しないで練習するグループに分けて実験を行った。両者の熟達過程を比較することで提案システムのピアノ練習状況可視化手法の妥当性と、譜面上へのアノテーション機能が学習者の学習方略への意識を高めメタ認知を促進させているかを評価した。

### 5.1 実験環境

実験では第1章で説明したピアノ学習支援システムを被験者の練習環境として利用し、そこから得られた MIDI データを提案システムの入力とした。実験環境の構成を図 5.1 に示す。ピアノ学習支援システムはプロジェクションマッピングによって打鍵位置情報を鍵盤上に提示する機能を持つ。

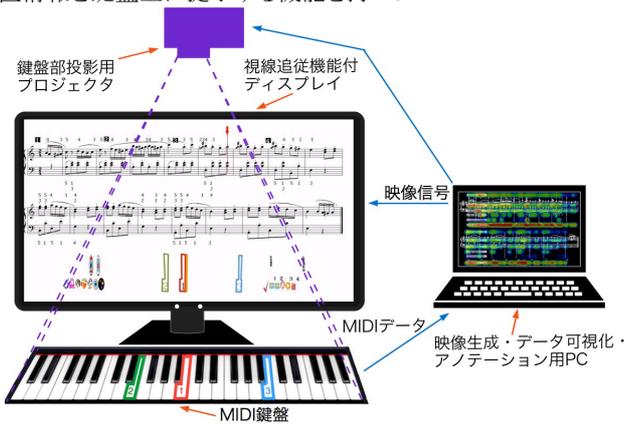


図 5.1: システム構成

### 5.2 実験手順

実験の手順を以下に示す。

**被験者** 実験に参加した被験者は A, B, C, D, E, F の 6 名で、いずれも楽譜がほとんど読めない鍵盤経験歴のない大学生である。各被験者にはあらかじめ楽譜上に書かれている記号の意味や、実験システムの各種機能の利用方法を説明した。

**課題曲** 課題曲として、W.A.Mozart のピアノソナタ第 11 番 第 3 楽章トルコ行進曲の冒頭部分(最初から 17 小節目まで)を練習してもらった。なお、課題曲については被験者全員が聴いたことがあるが、演奏したことはない。

今日の学習を振り返って、気づいたことや工夫した学習方略など下記の項目について、アノテーションシステムを利用しながら自由に記述してください。

- 今日の目標とそのための学習方略、達成度
- 明日の目標とその学習方略
- うまく弾けない箇所、だからどうした
- 昨日までうまくできなかったが出来るようになった箇所、なぜできるようになったか
- その他気づいたことなど

図 5.2: 学習方略の記述ガイド

**実験方法** 実験では、被験者 A, B, C は提案システムを利用しながら、被験者 D, E, F は提案システムを利用せずに課題曲(トルコ行進曲)を 30 分かけて練習し、到達度テストとしてシステム補助なしでの通り演奏(最初から最後まで一通り演奏すること)を 5 分の制限時間で行った。この際、被験者 A, B, C には任意のタイミングでアノテーションシステムに MIDI データを入力してもらい、可視化された打鍵情報を参考にしながら譜面へ気づきをアノテーションとして記述してもらった。

到達度テスト後、被験者 A, B, C にはアノテーションシステムでその日の学習方略や学習ポイントを図 5.2 のガイドに従って記述してもらい、練習ポートフォリオとして HTML 形式で保存した。被験者 D, E, F にはこの手順を手書きで行ってもらった後、実験者が提案システム上でそれらを清書し、練習ポートフォリオとして HTML 形式で保存した。これらの試行を 1 日 1 回行い、到達度テストにおいて打鍵ミスが無くなるまで繰り返した。到達度テストでは、前面にある楽譜のみ提示し(現在の演奏位置を示すカーソルも提示しない)、打鍵ミス数および演奏時間を計測した。

なお、被験者には練習中にそれまで自分の練習ポートフォリオをシステムで閲覧することを許可した。これは、被験者の学習方略を変化させた要素が氾濫し、分析・考察で特定できなくなる状況を避けるためである。

## 6. 実験結果の分析と考察

表 6.1 に各被験者の実験条件、実験実施日数、到達度テスト打鍵ミス箇所と重点的に練習していた箇所的一致率、打鍵時間を、表 6.2 に実験条件毎の実験結果の分散分析の p 値を示す。

表 6.1: 各被験者の実験結果

	提案システム利用の有無	実験実施日数	到達度テスト打鍵ミス箇所と重点練習箇所的一致率		打鍵時間
			一致率	打鍵時間	
被験者 A	あり	3 日	50%	20 分	
被験者 B	あり	6 日	20%	5 分	
被験者 C	あり	9 日	62.5%	12 分	
被験者 D	なし	6 日	50%	24 分	
被験者 E	なし	9 日	20%	14 分	
被験者 F	なし	11 日	62.5%	10 分	

表 6.2: 各被験者の実験結果の p 値

実験実施日数	到達度テスト打鍵ミス箇所と重点練習箇所的一致率		打鍵時間
	一致率	打鍵時間	
0.285	0.153	0.277	

提案システム利用 / 非利用の被験者間で、打鍵時間に有意差が見られなかった。これより、提案システムの利用が被験者のピアノ練習を妨げる要素は少ないと考えられる。一方、実験日数、重点練習箇所一致率にも有意差は見られず、熟達所要期間が短くなっていない。しかし、提案システムを利用していない被験者 D, E, F の練習ポートフォリオには図 6.1 に示した被験者 E 9 日目の練習ポートフォリオのように、テストで打鍵ミスした箇所を誤認していると思われる記述が散見された。おそらく、提案システムを利用していない被験者は自身の打鍵情報を参照できないため、自身の苦手箇所を誤認してしまっているであろう(ただし有意差はない)。

提案システムによる練習状況の可視化により、システム利用回数が多い被験者ほど実験実施日数が短くなると予測していたが、実際にはシステム利用回数が最も多い被験者 C の方が、最も

到達度テストでは、実際には折れ線グラフの起伏部分でミスしていたが、学習者自身は別の箇所をミス箇所と捉えていた

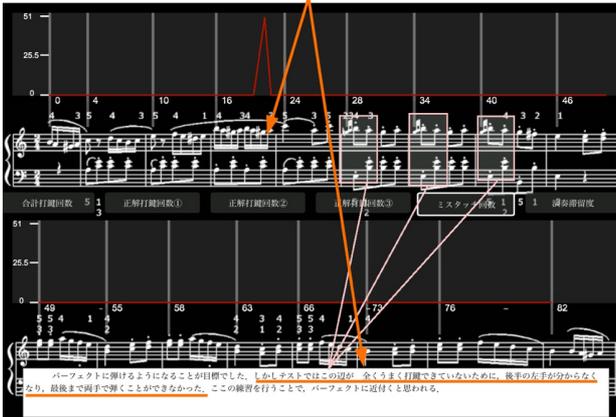
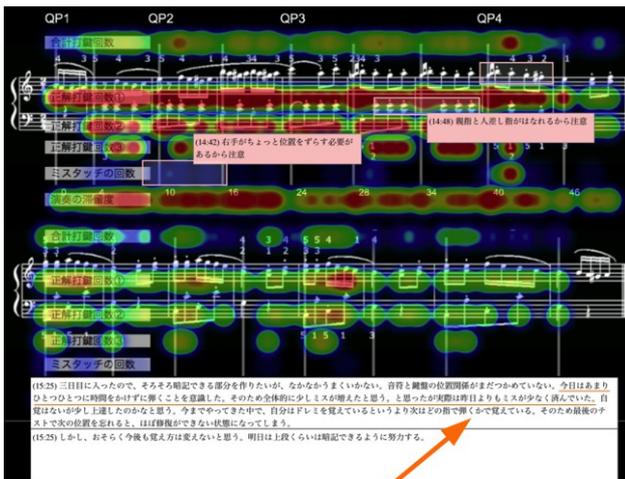


図 6.1: 被験者 E 9 日目の練習ポートフォリオ

少ない被験者 B よりも多くの実験実施日数を必要とした。一方、到達度テスト打鍵ミス箇所と重点練習箇所の一貫率は、システム利用回数が最も多い被験者 C が最も高く、システム利用回数が最も少ない被験者 B が最も低かった。これは、提案システムを高頻度で利用した学習者は可視化された打鍵情報を見ることで、自身の練習に関してより具体的な省察を行えたためと考えられる。



可視化データを参考に、練習進捗度を見直したと思われる記述

赤の折れ線グラフは 2 日目の、緑の折れ線グラフは 3 日目の打鍵ミス回数を示している



図 6.2: 被験者 C 3 日目の練習ポートフォリオ

システムを利用した被験者全てに共通してみられた傾向として、文章アノテーションで記述した気付きを取り込んだ学習方略を記述する機会が多いことが挙げられる。例えば、図 6.2 に示した被験者 C 3 日目の練習ポートフォリオでは、文章アノテーション

で小指の運指が難しいこと、10 小節目から 15 小節目でリズムが乱れることについて記述しており、これらの気付きは学習方略の記述にも取り込まれている。

## 7. 結論と今後の課題

本研究は打鍵情報からピアノ練習状況を視覚化し譜面上に気付きや学習方略をアノテーションできるシステムを構築し、演奏熟達レベルを高度化することを目的とした。評価実験の結果より、提案システムを高頻度で利用した学習者は、よりメタな視点で学習方略を省察できていることが明らかになった。また、システムによって練習中の小さな気付きや現象を譜面上に記述し記録することは、学習方略に新たな着眼点を与える場合があることも明らかになった。

被験者の練習ポートフォリオ、実験者の観察報告、被験者へのヒアリングでは、提案システムに関する以下の要求や問題点が明らかになった。

1. 旋律構造の可視化 実験実施日数が短かった被験者の多くは、打鍵ミスや重点練習箇所だけでなく楽曲の旋律構造にも着目していることが明らかになった。しかしこれらの被験者は、旋律構造に関するアノテーションを可視化された打鍵情報を見ずに行っていた。これより、打鍵情報の可視化だけでは旋律構造に関する気付きを与えられないと考えられる。

2. 他者の練習ポートフォリオを閲覧する 評価実験では、提案システムの評価のためにピアノ演奏熟達に影響を与えうる要素を絞り込む必要があったため、他の被験者のポートフォリオは閲覧不可としていた。しかし、学習者同士が練習ポートフォリオを共有しそこから他者の学習方略を知ることは、自身の学習方略に固執しがちな学習者に新たな視点を与え、方略の幅を広げると考えられる。

以上の問題を解決する具体的な方針として、1 については、旋律構造を音楽理論により分析し可視化する機能の実装が挙げられる。2 については、学習者のアノテーションや練習ポートフォリオに自動的にタグ付けする機能を実装し、学習者が他者のアノテーションや練習ポートフォリオを容易に検索可能な環境を構築することが挙げられる。

## 参考文献

- [竹川 11] 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会論文誌(2011).
- [竹川 13a] 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 (2013).
- [竹川 13b] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア(2013).
- [竹川 13c] 鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムにおける熟達化プロセスに関する調査, インタラクティブシステムとソフトウェア XXI(2013).
- [竹川 14] 学習方略の物語化に着目したピアノ学習支援システムの構築に向けて, 音楽情報科学(MUS)研究報告(2014).
- [大島 14] 不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムに向けて, 学会研究報告(2007).
- [夏目 07] ピアノ演奏における楽譜 鍵盤の視線移動とそのタイミングが及ぼすミスタッチへの影響について, 愛知教育大学大学院修士論文 (2007).
- [田中 07] ピアノの上達を目指す学習者と指導者の演奏 MIDI データの傾向について—ピアノ指導者の視点から—, 情報処理学会研究報告(2014).
- [Ferster 12] Interactive Visualization, The MIT Press(2012).