

# 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

上田 健太郎<sup>1,a)</sup> 竹川 佳成<sup>2,b)</sup> 平田 圭二<sup>2,c)</sup>

受付日 2016年1月20日, 採録日 2016年9月6日

**概要:** ピアノの初心者には、自身の苦手箇所や練習の進捗をうまく把握できないため、効率的にピアノを練習することができない。結果として、努力に見合った練習の成果を得ることができず、ピアノの練習に対するモチベーションを低下させてしまう。本論文では、成人のピアノ初心者の効率的な練習を実現するために、打鍵情報をもとにピアノの練習の状況を可視化する機能と、譜面上に気づきをアノテーションする機能を持つ学習支援システムを提案する。評価実験では、14名の被験者にシステムを利用してピアノを練習してもらった。評価実験の結果より、被験者は可視化された練習状況の閲覧とアノテーション入力によってピアノの打鍵時間が短縮されたにもかかわらず、課題曲の習得に要する日数が短縮されていることが明らかになった。

キーワード: ピアノ, 学習支援システム, 可視化, アノテーション

## Design and Implementation of a Piano Learning Support System Focusing on Visualization of Keying Information and Annotation

KENTARO UEDA<sup>1,a)</sup> YOSHINARI TAKEGAWA<sup>2,b)</sup> KEIJI HIRATA<sup>2,c)</sup>

Received: January 20, 2016, Accepted: September 6, 2016

**Abstract:** It is difficult for beginners to practice the piano efficiently because they are mostly unable to recognize their own weak points and advances in the proficiency of their piano performance. 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 learning support system that offers comprehensive visualization of the practice information, and an annotation function, to achieve efficient piano learning. We conducted a system evaluation experiment with fourteen subjects, using the proposed learning system. The results of the experiment reveal that even though the performance time of subjects who were practicing the set piece with the system became shorter, the total number of experiment days was also significantly shorter than that of subjects who were practicing the set piece without any support from the system.

**Keywords:** piano, learning support system, visualization, annotation

### 1. はじめに

たとえピアノレッスンに通っていたとしても、多くの場

合はレッスンの時間よりも自宅で練習している時間の方が長い。そのため、楽器の演奏技術の習得には自主的な練習の結果が大きく反映される。しかし、身近に熟達者のいない環境では、学習者は自分の不得手要素や練習ごとの成長・変化に気付くことが難しく、得意な部分ばかりを何度も練習してしまうなど効率の悪い練習をしてしまう場合が多い [1]。そのため、学習者が練習に多くの時間を割いたとしても、それに見合った熟達効果を得ることができるとは限らない。このように、ピアノ演奏技術の習得には自律的・長期

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学大学院  
Graduate School of Future University Hakodate, Hakodate,  
Hokkaido 041-8655, Japan

<sup>2</sup> 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655,  
Japan

a) g2115005@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) hirata@fun.ac.jp

的な学習の継続が必要であり、その敷居の高さゆえに習得を断念する学習者が多い。

過去の複数の研究により、自律的・長期的な学習には自分の練習方法を自分自身で評価することが重要であることが示されている [2], [3], [4], [5]。一方、Sperling らは練習方法は一種の暗黙知であるため、練習初期は練習方法を言語化することが困難であると指摘している [6]。これに関して諏訪らは、練習方法を記録し参照することで概念間の連想が促され、練習方法の言語化が徐々に促進されることを明らかにしている [7]。また田柳らは、多種類の情報を併用することで練習方法の言語化の負担が軽減され、練習方法の妥当性が担保されると主張している [8]。

これらの知見に基づき本研究では、学習者が自身の練習方法や練習中に得られた気づきを言語化することで、練習方法が深化され熟達効率が向上するという仮説を立てた。また、仮説検証のため、成人のピアノ初心者を対象に新たな学習支援システムを提案する。提案するシステムは、打鍵情報をもとにピアノの練習の状況を可視化する機能と、譜面上に気づきをアノテーションする機能を持つ。

以下、2章で関連研究について説明し、3章で提案システムの設計について述べる。4章で実装について説明し、5章で評価実験について述べる。最後に6章で本研究のまとめを行う。

## 2. 関連研究

### 2.1 ピアノ練習状況の可視化に着目した事例

Smoliar らはピアノレッスンにおける教師と生徒のコミュニケーション支援のために、練習の状況の可視化に着目した pianoFORTE というシステムを提案した [9]。pianoFORTE は MIDI データをもとに打鍵強度、テンポ、スタッカートやレガートといったアーティキュレーション、右手と左手のタイミングの一致度を可視化する機能を持つ。しかし、当該システムの練習状況可視化手法、システムがピアノ演奏熟達に及ぼす影響についての十分な評価は現在まで行われていない。

田中らはピアノ学習者と指導者の演奏を MIDI データをもとに可視化し、それぞれの演奏の定量的な比較を試みた [10]。その結果、可視化されたデータから分析可能な演奏傾向は、実際のピアノレッスンの場で分析可能な演奏傾向と一致することを明らかにした。しかし、当該システムは練習状況を譜面にマッピングせずに可視化しているため、直感的な把握が難しい。そのため、実際のピアノ練習で用いるのには適していない。

P.I.A.N.O. はプロジェクションマッピングによって物理鍵盤上にピアノロールを投射し打鍵位置を提示するピアノ学習支援システムである [11]。P.I.A.N.O. は課題曲練習時の学習者のミスタッチ箇所、音符ごとの音価をピアノロール上に重畳表示する機能を持つ。またこれらのデータは次

回練習時に物理鍵盤上にも提示される。しかし、当該機能の利用・非利用が学習者の熟達プロセスにどのような影響を与えるかは調査されていない。

### 2.2 譜面への書き込みに着目した事例

Wikivatoire は中級者から上級者のピアノ学習者を対象とした、演奏解釈の共有・蓄積プラットフォームである [12]。学習者は当該システムにより楽曲に対する自身の演奏解釈を譜面上に書き込みができる。書き込みは同じ楽曲を練習している学習者間で共有される。当該システムは実際に運用され多くの学習者が書き込みを行ったが、それらが学習者に与えた効果については十分に評価されていない。

森田らは、模範演奏と学習者の MIDI データを自動的に比較し、演奏に関するアドバイスを生成し譜面上にアノテーションするシステムを構築した [13]。また、当該システムは打鍵強度、打鍵タイミング、音価を折れ線グラフで可視化する機能を持つ。しかし、可視化されたデータは譜面上の音符にマッピングされておらず、直感的な理解が難しい。また、当該システムは評価実験が行われておらず、アドバイス文と可視化データがピアノ学習に及ぼす効果は明らかになっていない。

森らは、同じ曲を練習している他人と譜面への書き込みを共有するシステム BondScore を提案している [14]。評価実験では、他者の書き込みが少ない課題曲は書き込み数が増加しにくく、多くのシステム利用者が他人の書き込みを参考にしながら自身の書き込みを行っていることが示された。

## 3. 設計

### 3.1 方針

我々が提案するピアノ学習支援システムの対象は成人のピアノ初心者である。提案システムの到達目標は、学習者に五線譜、システムが生成する補助情報、可視化された練習状況を提示することで、学習者がある楽曲を一から練習し、最終的にシステムの補助なしで演奏できるようにすることである。このためのシステムの要件として以下があげられる。

#### 3.1.1 打鍵位置情報の提示

提案システムには、我々の研究グループがこれまでに開発した打鍵位置の提示機能 [15] を実装する。成人のピアノ初心者の練習における第 1 の難関は、譜面上の音符と鍵盤の対応付けである。旧来の五線譜とピアノのみを利用した学習方法では、学習者が自力で譜面上の音符と鍵盤を対応付ける必要があるため、演奏の練習に着手するのに多くの時間を要していた。本研究では、このことが迅速な仮説の検証を妨げると判断し、打鍵位置の提示機能によって練習を補助することとした。当該機能による練習の補助は譜面上の音符と鍵盤の対応付けのみに限定されるため、仮説の

検証に悪影響を及ぼすことはないと考えられる。

### 3.1.2 練習状況の提示

提案システムは、練習に関する客観的な情報として練習状況（合計打鍵回数、正解打鍵回数、打鍵ミス回数、演奏の滞留度）を可視化し提示する。練習状況の自己判定のしやすさにはばらつきがある。したがって、練習状況の可視化によって学習者が自身の練習方法を客観的に意識したり、演奏から着目している練習課題の達成度を適切に判断できたりするようになれば、練習進捗度の誤認やそれにとまなうモチベーションの低下を避けられるであろう。

システムには練習日当日の経過時間ごとの練習状況の差分、練習日別の差分を提示する機能を実装する。これは、筆者らの過去の研究によって、前日の練習方法と今日の練習方法を比較したり、数日前の練習方法から現在の練習方法を決定したりするなど、様々な対象やレベルで比較することにより練習方法が変容・深化することが明らかになっているためである [16]。

練習状況の可視化手法にはヒートマップと折れ線グラフを採用する。ヒートマップとは、データの値を青、緑、赤の色相の変化で表現したグラフである [17]。ヒートマップはデータを譜面上の音符にマッピングしやすく、データの傾向を短時間で把握できるという特性を持つ。ただし、ヒートマップは練習状況の差分表現（前日の打鍵ミス回数と当日の打鍵ミス回数などを重畳して表示し比較すること）に不向きであるため、差分表現は折れ線グラフで行う。

### 3.1.3 譜面へのアノテーション

練習中に気づいたことを譜面上にアノテーション（気づきを言語化し譜面上の該当する箇所書き込むこと）する機能を実現する。これは、練習中の小さな気づきが、その日の練習の全体を振り返る際に新たな着眼点を生むきっかけになると考えられるためである。これらの情報は時間の経過とともに忘却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、その日の練習方法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づきと、その日の練習全体を俯瞰して得られる気づきは互いに異なる要素を含むと考えられるからである。

## 3.2 システム構成

システムの構成を図 1 に示す。システムは課題曲の MIDI データとキーボードの MIDI 出力を入力とし、これをもとに練習状況および演奏位置を出力する。演奏者の前面にはディスプレイがあり、練習状況、アノテーション、譜面および演奏位置を表示する。鍵盤上部にはプロジェクタが設置されており、鍵盤上に打鍵位置情報を提示する。

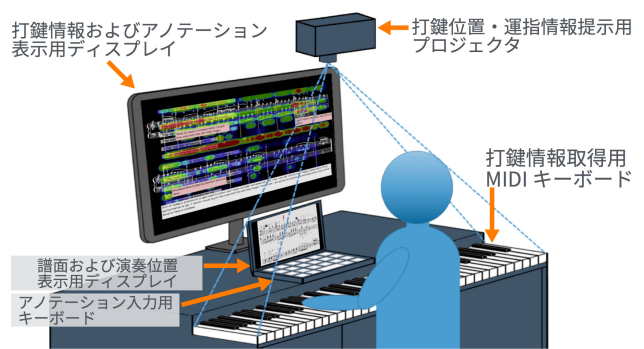
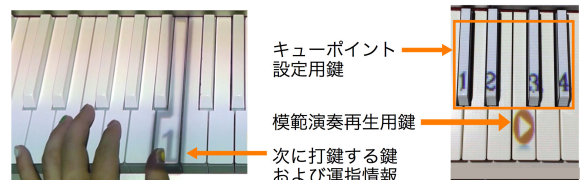


図 1 システム構成

Fig. 1 System structure.



(a) 画面上に提示される情報



(b) 鍵盤上に提示される情報[15]

図 2 ディスプレイと鍵盤上に提示されるコンテンツ

Fig. 2 Presented contents on display and keyboard.

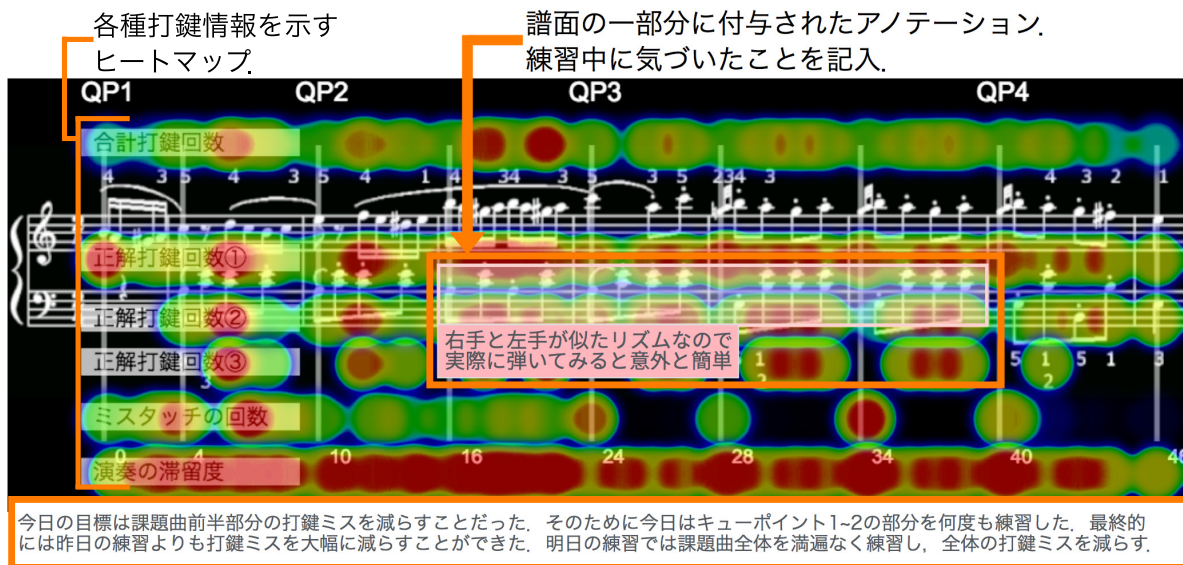
## 3.3 提案システムの機能

### 3.3.1 プロジェクタによる打鍵位置情報の提示機能

現在の演奏位置を示すカーソル（図 2(a)）と対応する鍵盤位置情報をプロジェクタで投影する（図 2(b)）。模範演奏再生用鍵を押すと、実際の演奏を聴くことができる。図 2(a) の譜面上に表示されている番号付きの黒字白抜き四角形は、現在の演奏位置を手動で変更できるキューポイントである。キューポイントの設定用鍵、模範演奏再生用鍵は図 2(b) に示したように演奏で使わない鍵に設定されている。

### 3.3.2 ヒートマップによる練習状況の表示機能

図 3 に示したように、学習者によって入力された MIDI データを基に、合計打鍵回数、正解打鍵回数、打鍵ミス回数、演奏の滞留度の 4 種類の練習状況を譜面上にヒートマップ形式で表示する。ヒートマップはそれらの値の大きさを青、緑、赤の色相変化で表現する。具体的には、透明、青色、シアン、緑色、黄色、赤色の順に値が多いことを表す。最上段のヒートマップは、譜面上で同じ時刻に垂直に並んでいる各音符の打鍵回数の合計を表す。2 段目のヒートマップは、譜面上で同じ時刻に垂直に並んでいる各音符



譜面全体に付与されたアノテーション。その日の練習方法を記入。

図 3 譜面上にヒートマップ形式で提示された練習状況とアノテーション

Fig. 3 Keying information shown on the score in the heat map style and annotations.

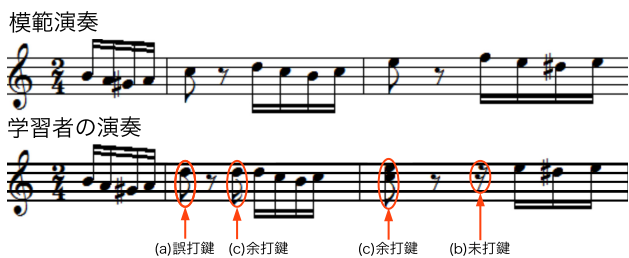


図 4 打鍵ミスの計測方法

Fig. 4 The way of measurement of the mis-keying.

のうち、上から1つ目の音符を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、譜面上で同じ時刻に垂直に並んでいる各音符のうち、上から2つ目、3つ目の音符を正しく打鍵できた回数を表す。5段目のヒートマップは、譜面上で同じ時刻に垂直に並んでいる各音符の打鍵ミス回数を表す。6段目のヒートマップは演奏の滞留度を表しており、滞留度が高いほどヒートマップの色は赤色に近づく。

なお、打鍵ミスは誤打鍵(間違えて打鍵した場合、図4(a))、未打鍵(打鍵しなかった場合、図4(b))、余打鍵(余分に打鍵した場合、図4(c))の3つと定義した。演奏の滞留度は運指ごとの打鍵間隔(Inter-Onset Interval)から算出した。図5に示したように、単音の場合はIOIをそのまま滞留時間とし、和音の場合は和音を構成するすべての合計のIOIを音数で割った値を滞留時間とした。

3.3.3 折れ線グラフによる練習状況の差分表示機能

図6に示したように、折れ線グラフはヒートマップと同様に練習状況を譜面上に提示する。グラフの屈曲点は各音符のy軸位置と対応している。また、システムは別の練習状況の折れ線グラフを重畳して表示できる。この機能に



図 5 演奏滞留度の算出方法

Fig. 5 The way of measurement of the performance suspension rate.

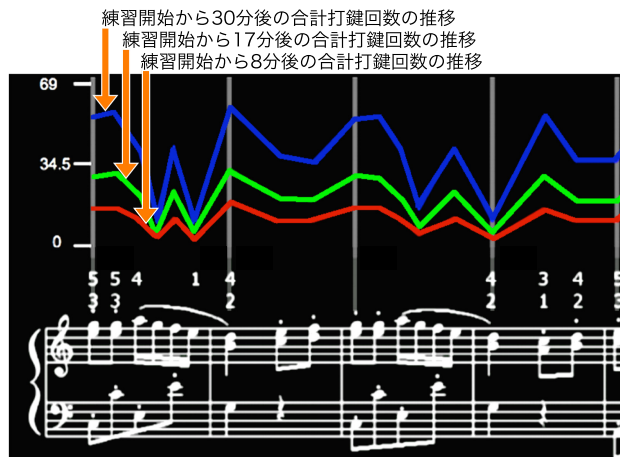


図 6 譜面上に提示された練習状況の差分を示す折れ線グラフ

Fig. 6 Line graphs showing the difference of keying information on the score.

より、学習者は自身の練習進捗度を直感的に把握できる。図6では、例として練習開始8分後、17分後、30分後の合計打鍵回数の折れ線グラフを重畳して表示している。学習者は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

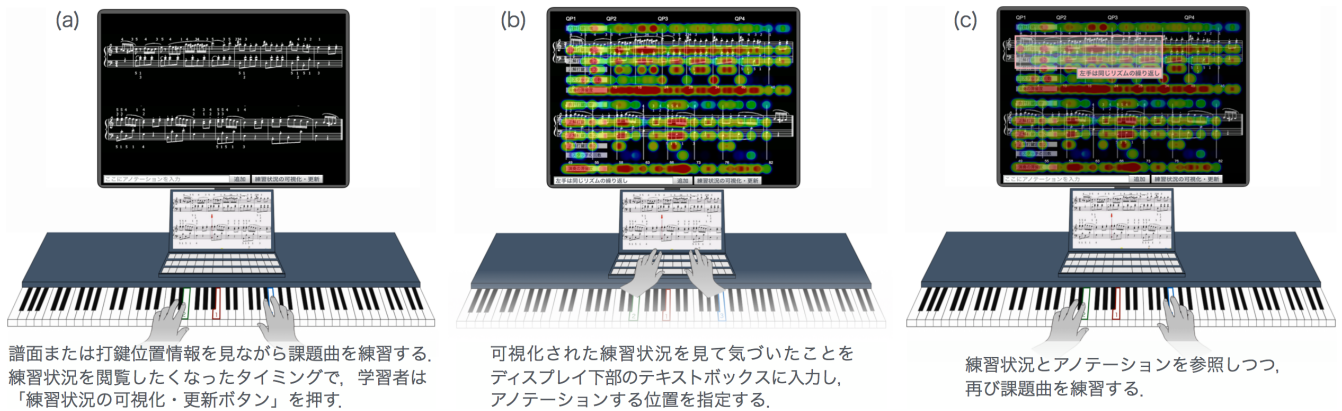


図 7 システムの操作フロー  
Fig. 7 Flow of system operation.

ことができる。

### 3.3.4 アノテーション機能

図 3 の下段にアノテーションを示す。アノテーションは学習者が練習中に得た気づきをテキストボックスに入力し、マウスなどで位置を指定することで付与できる。アノテーションには学習者が練習中に得た気づきを記述する。練習中のグラフの表示、1つのアノテーションの入力は30秒以内に終了することを目標とする。これは、グラフの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、目安として30秒を超える操作は練習時間の減少につながるためである。入力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書き込むのではなく、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。

### 3.4 システムの操作フロー

図 7 に、ピアノ練習時における提案システムの操作フローを示す。まず、学習者は譜面または鍵盤上の打鍵位置情報を見ながら課題曲を練習する(図 7(a))。練習状況を閲覧したくなったタイミングで、学習者は「練習状況の可視化・更新ボタン」を押す。打鍵情報およびアノテーション表示用ディスプレイ(図 1)に、システムは可視化した練習状況を表示する。次に、学習者は練習状況を見て気づいたことをディスプレイ下部のテキストボックスに入力し、アノテーションする位置をマウスなどで指定する(図 7(b))。システムは指定された位置にアノテーションを表示する(図 7(c))。学習者は練習を終了するまでこれらの手順を繰り返す。

## 4. 実装

3章で述べた設計に基づいて提案システムを実装した。PCはiiyama社のMN7250-i7-GXRを使用し、MIDI鍵盤

としてCASIO社のPrivia PX-100を使用した。プロジェクタとしてBenQ社のMP776STを使用した。鍵盤投影領域は6オクターブ(72鍵)で、プロジェクタの映像がよく見えるように黒鍵を白く塗った。開発にはMicrosoft社のVisual C++ (2010)、JavaScript、HTML、CSSを用いた。

## 5. 評価実験

評価実験では、本研究の仮説を検証するために2つのピアノ練習手法を設けた。各手法での演奏練習の初期段階(成人のピアノ初心者が初見の楽曲に対して運指や打鍵位置を覚えるために練習している段階)における実験日数、打鍵時間、練習箇所、アノテーションの内容の差異を比較し、システムを評価した。

### 5.1 実験内容

**提案手法:** 提案手法は、提案システムのすべての機能を利用しながらピアノを練習する。練習中は、図 7 に示した手順でシステムを操作する。

**比較手法:** 比較手法は、提案システムの機能のうち、打鍵位置情報の提示機能、模範演奏の再生機能を利用しながらピアノを練習する。練習中のシステムの操作は、図 7 の(a)のみである。

**被験者:** 実験に参加した被験者はA~Nの14名(男性12名、女性2名)で、いずれも楽譜をほとんど読めない鍵盤楽器の演奏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17小節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。トルコ行進曲は成人ピアノ初心者にとって難易度の高い楽曲である。しかし、簡単な課題曲では課題曲の練習時に得られる気づきが少なく、提案システムの機能が十分に活用されない可能性がある。

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、楽譜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、だからどうしたか
- ・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 8 練習方法記述ガイド

Fig. 8 Guide for writing the practice method.

表 1 提案手法の実験結果

Table 1 Results of proposed method.

	実験実施 日数	打鍵時間(分) /実験実施日数	キューポイント /実験実施日数	模範演奏再生 /実験実施日数	練習状況可視化機能 /実験実施日数
被験者 A	3	10.30	16.40	0.4	3.67
被験者 B	3	5.40	15.00	0.3	1.00
被験者 C	3	4.84	11.44	0.67	1.33
被験者 D	5	6.49	38.33	3.11	1.80
被験者 E	5	8.06	53.00	11.1	1.00
被験者 F	6	2.40	9.45	1.18	1.50
被験者 G	9	6.10	9.04	0.27	3.00
平均	4.86	6.22	21.81	2.44	1.90
標準偏差	2.03	2.31	15.78	3.65	0.96

実験手順：被験者には、初日の実験開始前にシステムの利用方法を個別に教示した。この教示は、被験者が提案システムの各機能を教示なしで実行できるようになるまで続けた。実験では、被験者 A~G の 7 名には提案手法で、被験者 H~N の 7 名には比較手法で課題曲を 1 日に 30 分かけて練習してもらった。練習後、到達度テストとしてシステムの補助がない状態で、通し演奏（最初から最後までひととおり演奏すること）を 5 分間の制限時間内で行った。

到達度テスト後、被験者 A~G にはその日の練習 30 分間の MIDI データと到達度テストの MIDI データをシステムへ入力してもらい、可視化された練習状況を表示した状態でその日の練習方法を図 8 のガイドに従って記述してもらった。このデータは練習のポートフォリオ（練習状況の可視化データと譜面上のアノテーションを一緒に保存したもの）として HTML 形式で保存した。被験者 H~N には練習方法の記述を手書きで行ってもらった後、実験者がシステム上でそれを再記述し、練習ポートフォリオとして HTML 形式で保存した。到達度テストにおいて打鍵ミスがなくなるまでこれら一連の試行を 1 日 1 回行った。なお、被験者には練習中にそれまでの自分自身の練習ポートフォリオを閲覧することを許可したが、他者のポートフォリオの閲覧は禁止とした。これは、被験者の練習方法を変化させた要素が混在してしまい、分析・考察が困難になる状況を避けるためである。

## 5.2 実験結果

表 1 に提案手法で課題曲を練習した被験者の実験実施日数、実験実施日数あたりの打鍵時間、キューポイントの操作回数、模範演奏の再生回数、練習状況可視化機能の利用回数を示す。表 2 に比較手法で課題曲を練習した被験者の実験実施日数、実験実施日数あたりの打鍵時間、キューポ

表 2 比較手法の実験結果

Table 2 Results of comparative method.

	実験実施 日数	打鍵時間(分) /実験実施日数	キューポイント /実験実施日数	模範演奏再生 /実験実施日数	練習状況可視化機能 /実験実施日数
被験者 H	5	6.55	12.84	9.60	-
被験者 I	6	12.50	5.69	0.33	-
被験者 J	9	11.79	1.83	4.78	-
被験者 K	9	6.96	0.23	4.56	-
被験者 L	10	9.31	3.58	1.60	-
被験者 M	11	6.46	5.56	24.50	-
被験者 N	11	16.23	1.56	3.00	-
平均	9.97	8.71	4.47	6.91	-
標準偏差	2.19	3.43	3.91	7.69	-

イントの操作回数、模範演奏の再生回数を示す。

提案手法で課題曲を練習した被験者の実験実施日数は 4.86 日で、比較手法で 9.97 日となった。有意水準 5% において Student の t 検定を行った結果、提案手法の被験者の実験実施日数は有意に ( $t(12) = 3.17, p = 0.008$ ) 短縮されていることが示された。練習日あたりの打鍵時間は、提案手法の被験者で 6.22 分、比較手法で 8.71 分となった。これについても有意水準 5% において Student の t 検定を行った結果、提案手法の被験者の打鍵時間は有意に ( $t(12) = 2.22, p = 0.046$ ) 短縮されていることが示された。したがって、提案手法により練習時間あたりの熟達効果が増大したといえる。

提案手法で課題曲を練習した被験者の練習日あたりのキューポイント操作回数は 21.81 回で、比較手法で 4.47 回となった。有意水準 5% において Welch の t 検定を行った結果、提案手法の被験者のキューポイント操作回数は有意に ( $t(12) = 2.36, p = 0.04$ ) 多いことが示された。したがって、提案手法を利用した被験者は比較手法の被験者よりも練習箇所を意識的に変更しながら練習しているといえる。

練習日あたりの模範演奏再生回数は、提案手法の被験者が 2.44 回、比較手法の被験者が 6.91 回となった。有意水準 5% において Student の t 検定を行った結果、両者には有意差が示されなかった ( $t(12) = 1.29, p = 0.23$ )。また、提案手法の被験者は練習日あたりに練習状況の可視化をおよそ 2 回行っていた。以上のことから、提案手法の被験者は打鍵時間の短縮によって生じた時間を、模範演奏の確認ではなく可視化された練習状況の閲覧やアノテーション付与に利用していると考えられる。

## 5.3 考察

本節では、評価実験で得られた被験者の練習ポートフォリオの内容をもとに、前節で説明した結果が得られた要因を探る。

第 1 の要因として、提案手法を利用した被験者が練習中にアノテーションした気づきや練習課題を引用して練習方法を記述する機会が多かったことがあげられる。たとえば、被験者 F (3 日目) の練習ポートフォリオ (図 9) では、アノテーションに小指の運指が難しいこと、4 小節目から 6

練習中にアノテーションした気づきを引用し練習方法を記述.

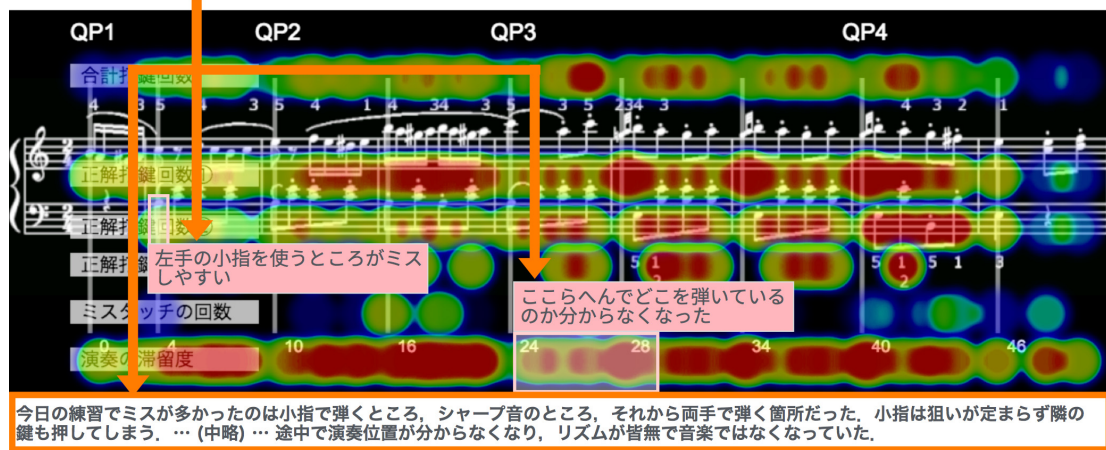


図 9 被験者 F (3 日目) の練習ポートフォリオ

Fig. 9 Extract from practice portfolio of Subject F on day 3.

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、学習者は別の箇所を打鍵ミスと捉えていた.

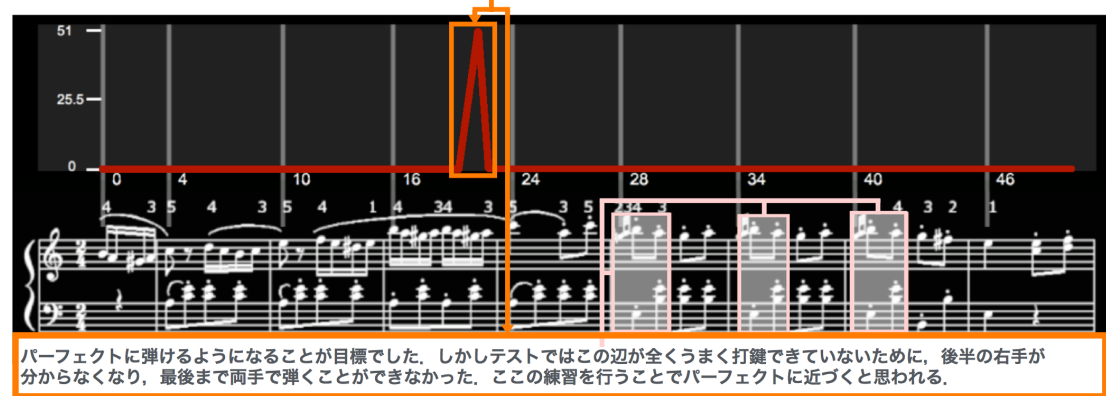


図 10 被験者 K (9 日目) の練習ポートフォリオ

Fig. 10 Extract from practice portfolio of Subject K on day 9.

小節目で演奏位置を見失うことについて記述しており、これらの気づきは練習終了後の練習方法の記述にも反映されている。結果として、前日の自分が苦手としていた箇所を振り返りやすい練習方法の記述になり、これがキューポイント機能の利用回数増加および練習の効率化につながったと考えられる。一方、比較手法を利用した被験者 K (9 日目) の練習ポートフォリオ (図 10) では、到達度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。これは、システムを利用していないため自身の練習状況を参照できず、自身の苦手箇所を誤認してしまったためであろう。比較手法を利用した被験者については、このような苦手箇所の誤認識の積み重ねが実験日数の増加につながったと考えられる。

第 2 の要因として、提案手法を利用した被験者は可視化された練習状況の閲覧により、自身の練習進捗度をより客観的に把握できていたことがあげられる。たとえば、被験者 G (3 日目) の練習ポートフォリオ (図 11) では、練

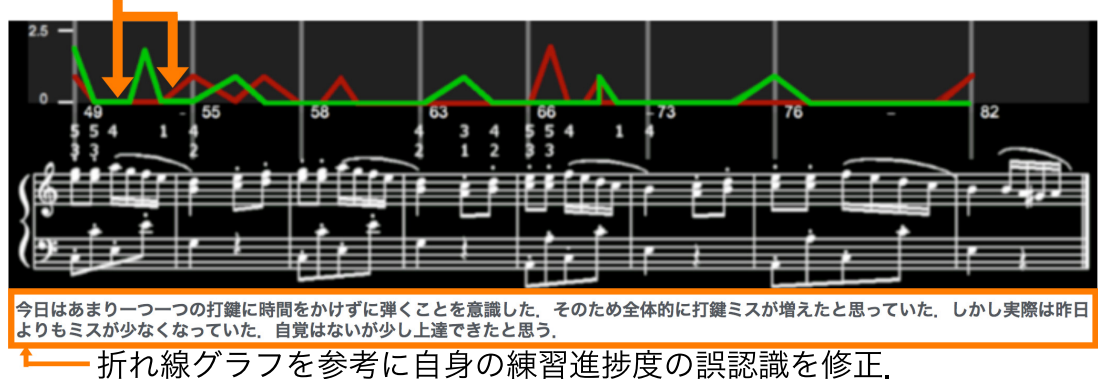
習中は打鍵ミス数が前日よりも増えたと誤認していたものの、練習方法の記述時に打鍵ミス数の差分グラフを閲覧し誤認に自ら気づいた様子が記録されていた。

#### 5.4 新たに示唆された問題点

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によって、提案システムに関する以下の問題点が示唆された。

アノテーションの書き込みが面倒：図 1 に示したように、提案システムはアノテーションの入力にパソコンのキーボードを利用している。そのため、学習者は気づきをアノテーションするたびに鍵盤からキーボードへ手を移動する必要がある。また、学習者はアノテーション中、運指やメロディの流れを再確認するためにアノテーションの対象箇所を演奏し直すことが多かった。この場合、鍵盤とキーボード間の手の移動はさらに多くなり、アノテーション入力にかかる手間が増大する。手の移動にともない視線の移

赤の折れ線グラフは2日目、緑の折れ線グラフは3日目の打鍵ミス回数を示す。



折れ線グラフを参考に自身の練習進捗度の誤認識を修正。

図 11 被験者 G (3 日目) の練習ポートフォリオ

Fig. 11 Extract from practice portfolio of Subject G on day 3.

動も増加するため、譜面を読めない学習者はどの部分を演奏していたのか、どの部分に関する気づきであったかを見失ってしまう。

演奏中にアノテーションを見る余裕がない：初心者には練習中、譜面よりも鍵盤に視線を集中している場合が多い。一方、図 1 に示したように、アノテーションは学習者の前面にあるディスプレイ上に表示されている。そのため、演奏への集中度が高まっていたり鍵盤を注視して練習したりしている場合、アノテーションされている箇所を気づかないうちに演奏し終えてしまう学習者が多く見られた。

ヒートマップの閲覧性が悪い：被験者へのヒアリングでは、ヒートマップの閲覧性に関して「ヒートマップが6段も表示されており、直感的に理解しにくい」、「ヒートマップの2~4段目（正解打鍵回数）はほとんど閲覧しないので、表示しなくてよい」といった問題点が指摘された。評価実験で提案手法でピアノを練習した被験者 A~G のアノテーションを分析したところ、ヒートマップの2~4段目を参考に記述したと考えられるアノテーションは1つもなかった。以上より、ヒートマップで表示する練習状況は、合計打鍵回数、打鍵ミス回数、演奏の滞留度だけで十分であると考えられる。また、これによりヒートマップが6段から3段に減少するため、閲覧時の認知負荷も低下すると考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、学習者が自身の練習方法や練習中に得られた気づきを言語化することで、練習方法が深化され熟達効率が向上するという仮説を立てた。また、仮説検証のため、成人のピアノ初心者を対象に新たな学習支援システムを提案した。提案するシステムは、打鍵情報をもとにピアノの練習の状況を可視化する機能と、譜面上に気づきをアノテーションする機能を持つ。評価実験では、提案手法（システムのすべての機能を利用してピアノを練習する）と、比較手法（打鍵位置の提示機能のみを利用して練習する）

の両条件における被験者の熟達プロセスを比較した。

その結果、提案手法の被験者は可視化データ閲覧とアノテーション入力によってピアノの打鍵時間が短縮されたにもかかわらず、課題曲の習得に要する日数が短縮されていることが明らかになった。また、アノテーションの内容の分析から、提案手法の被験者は比較手法の被験者に比べ、自身の打鍵ミス箇所や課題達成状況をより具体的かつ正確に把握し言語化できていたことが明らかになった。以上より、仮説は支持されたといえる。

評価実験では、アノテーションの書き込みが面倒、演奏中にアノテーションを見る余裕がないといった、提案システムのアノテーション機能に関する新たな問題点も示唆された。今後はこれらの知見に基づきシステムを改良する。その他の課題として、他者の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あげられる。本研究の評価実験では、被験者の練習方法に影響を与えうる要素を絞り込む必要があったため、他の被験者の練習ポートフォリオは閲覧不可としていた (5.1 節)。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練習方法を知ることが、自分自身の練習方法に固執しがちな学習者に新たな視点を与え、練習方法の幅を広げると考えられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16K12560 および 15K00279 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 小林 仁：ピアノが上手になる人，ならない人，pp.4-5，春秋社 (2012)。
- [2] Meijer, J., Slegers, P., Elshout-Mohr, M., Daalen-Kaptein, M., Meeus, W. and Tempelaar, D.: The development of a questionnaire on metacognition for students in higher education, *Educational Research*, Vol.55, No.1, pp.31-52 (2013)。
- [3] 佐藤浩一：学習支援のツボ，pp.27-47，北大路書房 (2014)。
- [4] Sungur, S. and Senler, B.: An analysis of Turkish high school students' metacognition and motivation, *Educational Research and Evaluation: An International Journal on Theory and Practice*, Vol.15, No.1, pp.45-



- 62 (2009).
- [5] Wristen, B.: Demographics and motivation of adult group piano students, *Music Education Research*, Vol.8, No.3, pp.387-406 (2006).
- [6] Sperling, R., Howard, B., Staley, R. and DuBois, N.: Metacognition and Self-Regulated Learning Constructs, *Educational Research and Evaluation: An International Journal on Theory and Practice*, Vol.10, No.2, pp.117-139 (2004).
- [7] 諏訪正樹, 赤石智哉: 身体スキル探求というデザインの術, *認知科学*, Vol.17, No.3, pp.417-429 (2010).
- [8] 田柳恵美子, 平田圭二, 竹川佳成, 椿本弥生: 音楽演奏熟達化研究への一人称物語記述手法の導入, *知識共創*, Vol.4, III5-1-10 (2014).
- [9] Smoliar, S., Waterworth, J. and Kellock, P.: pianoFORTE: A System for Piano Education Beyond Notation Literacy, *Proc. 3rd ACM International Conference on Mul-timedia*, pp.457-465 (1995).
- [10] 田中功一, 鈴木泰山, 辻 靖彦: 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*, Vol.2014-MUS-102, No.10 (2014).
- [11] Rogers, K., Röhlrig, A., Weing, M., Gugenheimer, J., Könings, B., Klepsch, M., Schaub, F., Rukzio, E., Seufert, T. and Weber, M.: P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection, *Proc. 9th ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp.149-158 (2014).
- [12] Koike, H.: Top-Wikivatoire, Wikivatoire: Social college of music (online), available from (<http://wikivatoire.org/>) (accessed 2015-12-03).
- [13] 森田慎也, 江村伯夫, 三浦雅展, 秋永晴子, 柳田益造: 演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独習支援, *日本音響学会平成 20 年度秋季研究発表会*, 2-9-9, pp.933-934 (2008).
- [14] 森 郁彌, 西本一志, 小倉加奈代: BondScore: 連帯感醸成によるピアノ独習者のための練習動機づけ支援システム, *インタラクション 2012 論文集*, Vol.2, pp.199-204 (2012).
- [15] 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, *日本ソフトウェア科学会論文誌*, Vol.30, No.4, pp.51-60 (2013).
- [16] 竹川佳成, 平田圭二, 田柳恵美子, 椿本弥生: 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-MUS-102 (2014).
- [17] Ferster, B.: *Interactive Visualization*, pp.107-173, The MIT Press (2012).



竹川 佳成 (正会員)

2007 年大阪大学大学院情報科学研究科博士課程修了。同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。2012 年より公立はこだて未来大学システム情報科学部助教。2014 年より公立はこだて未来大学システム情報科学部准教授, 現在に至る。2011 年には MIT Media Lab. にて Assistant Visiting Professor を兼務。博士 (情報科学)。教育工学, エンタテインメントコンピューティング, 音楽情報科学の研究に従事。



平田 圭二 (正会員)

1987 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程博士課程修了。工学博士。同年 NTT 基礎研究所入所。1990~1993 年 (財) 新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT) に出向。2011 年より公立はこだて未来大学教授。1993 年音楽情報科学研究会初代主査。2005~2007 年および 2011~2013 年本会理事。2010~2015 年デジタルプラクティス誌編集委員長。現在, 音楽情報学に加え, うつ病家族看護者の ICT 支援, スマートシティの研究に従事。本会フェロー, シニア会員。



上田 健太郎 (学生会員)

2015 年公立はこだて未来大学システム情報科学部卒業。同年より同大学大学院システム情報科学研究科に在学中。技能熟達支援に関する研究に従事。