

テクニカルノート

# 鍵盤上への演奏補助情報投影機能を持つ ピアノ学習支援システムを用いた熟達過程の評価分析

竹川 佳成<sup>1,a)</sup> 平田 圭二<sup>1,b)</sup> 田柳 恵美子<sup>1,c)</sup> 椿本 弥生<sup>1,d)</sup>

受付日 2016年8月5日, 採録日 2016年12月1日

**概要:** 楽器の演奏技術の向上には多大な時間や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挫折してしまったりする演奏者が多い。この問題を解決するために、筆者らの研究グループは、鍵盤の上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上や鍵盤の周囲に打鍵位置情報など演奏を補助するための情報を投影するピアノ学習支援システムを構築してきた。評価実験から対比手法である「光る鍵盤」の学習方法と比較して打鍵ミス数が少なくなり課題曲を短時間で学習できることが明らかになったが、提案するピアノ学習支援システムを用いずに新規の楽曲を練習し打鍵ミスすることなく弾ける能力も獲得できるかといった熟達化への効果を十分には調査できていなかった。そこで本研究では、ピアノ学習支援システムの熟達化プロセスについて詳細な評価分析を行う。評価実験では、提案する学習支援システムを使いながら5日間かけて6人の被験者に1日30分間課題曲を練習してもらい、実験日ごとの熟達度を調査するためにシステムの補助がない状態で課題曲を演奏してもらった。練習中に記録した打鍵データなどをもとに熟達化プロセスを検証した。

**キーワード:** ピアノ, 熟達化, 学習支援システム

## Evaluation Analysis of a Piano Learning Support System Focusing on the Learning Process

YOSHINARI TAKEGAWA<sup>1,a)</sup> KEIJI HIRATA<sup>1,b)</sup> EMIKO TAYANAGI<sup>1,c)</sup> MIO TSUBAKIMOTO<sup>1,d)</sup>

Received: August 5, 2016, Accepted: December 1, 2016

**Abstract:** Beginners often give up practicing the piano because of the difficulty of acquiring piano techniques such as reading a score, correct keying, and proper fingering. Our research group developed a piano learning system to support correct keying and fingering for beginners. It uses a projector which is set above the keyboard and can display information along the entire MIDI keyboard. We have developed a prototype system, and evaluated its effectiveness through actual use of the system. We found that it had significant advantages over conventional methods. However, we cannot examine the learning process for keying technique, using this system. Therefore, the goal of our study is to evaluate and analyze the proposed learning system, focusing on the learning process. We conducted an evaluative experiment with six participants over five successive days (30 minutes per day), using the proposed learning system. We analyzed the learning process considering accuracy of keying.

**Keywords:** piano, learning process, learning support system

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

a) yoshi@fun.ac.jp

b) hirata@fun.ac.jp

c) tayanagi@fun.ac.jp

d) mtsubaki@fun.ac.jp

## 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、さまざまな技術が求められ、それらの習得には長期間の基礎的な練習を必要とする。特に初心者にとって、

譜面上の音符を見て、音符から鍵盤上の打鍵位置をイメージし、打鍵するという一連のプロセスは最初に立ちはだかる難関で、このプロセスに対する労力や精神的負荷を軽減できれば、楽器の練習を楽しみながら継続できる。演奏の初期段階（ピアノ初心者が初見の楽曲に対して打鍵位置を覚えるために練習している段階）における敷居を下げるために、筆者らの研究グループは、図 1 に示すような鍵盤の上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上や鍵盤の周囲に打鍵位置情報など演奏補助情報を投影するピアノ学習支援システムを構築してきた [1], [2], [3]。評価実験から対比手法である「光る鍵盤の学習方法 [4], [5]」と比較して、基礎的な打鍵技能を短時間で高められることが明らかになった。ここで「打鍵技能」とは打鍵ミスすることなく弾ける能力を意味し、「基礎的な打鍵技能」とはピアノ学習支援システムの補助を利用しながら新規の楽曲を練習し、最終的にピアノ学習支援システムの補助を用いずにその楽曲を打鍵ミスすることなく弾ける能力のことである。しかし、「基礎的な打鍵技能を短時間で効率的に高められただけなのか、あるいは、応用的な打鍵技能（ピアノ学習支援システムを用いずに新規の楽曲を練習し打鍵ミスなしで弾ける能力）も高められたのか」といった熟達化（基礎的および応用的な打鍵技能が向上すること）の効果について十分に調査できていなかった。

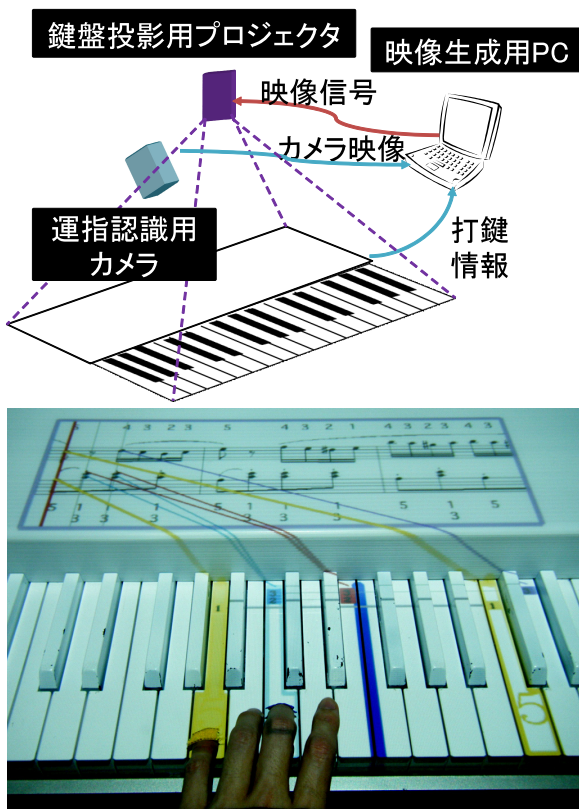


図 1 従来のピアノ学習支援システムの提示コンテンツ

Fig. 1 Presented contents of a conventional piano learning system.

そこで本研究では、この問題を解決するために、ピアノ学習支援システムの熟達過程について詳細な評価分析を行う。

以下、2章で関連研究について説明し、3章で実験計画について述べる。4章で評価実験について述べ、最後に5章で本研究のまとめを行う。

## 2. 関連研究

これまでピアノ学習の支援につながる試みはいくつか行われている。蓄積した演奏データ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システム [6], [7], [8], [9], [10] や、演奏を自動的に評価しアドバイス文や誤りを譜面上に提示 [11] するシステムがある。これらは、打鍵ミス、打鍵の強さを主に打鍵情報から評価している。Piano Tutor [12] は演奏追従認識による自動譜めくり機能や、ビデオや音声による模範演奏の提示や、演奏者の演奏データを解析し改善点をテキストなどで指示する機能などを持つ。先生と生徒のレッスン支援 [13], [14] として、音量の変化やテンポ、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の具合などを示すシステムが提案されている。打鍵すべき鍵、運指、手本映像を表示するキーボードやソフトウェア [1], [2], [4], [5], [15], [16], [17] がある。

本研究のように学習が進むにつれてどのような変容がみられるのかという熟達過程を調査している研究は少ない。

## 3. 実験計画

筆者らの研究グループが提案するピアノ学習支援システムは、ピアノ初心者を対象としており、五線譜やシステムが生成する補助情報を活用しながら学習者はある楽曲を何も弾けない状態から練習し、できるだけ早く上達し、最終的にシステムの補助を用いずに打鍵ミスをせずに演奏できるようになることをめざしている。このために、図 1 に示すように、鍵盤上に次に演奏すべき打鍵位置や運指番号、鍵盤の付近に提示した五線譜の音符とそれに対応する鍵を結ぶ線など譜読みを補助するための多彩な情報を提示している。

提案するピアノ学習支援システムは、30分間の評価実験により対比手法である「光る鍵盤の学習方法」と比較して打鍵ミス数が減った [1] ため、基礎的な打鍵技能を短時間で向上させられる。しかし、ピアノ演奏における応用的な打鍵技能を短時間で向上させることができるかどうかは検証されていない。

そこで、本研究では課題曲の練習前と練習後に、学習支援システムを使わずに課題曲とは別の楽曲を1回ずつ演奏してもらう。その打鍵ミス数の変化を計測することで、提案システムが学習者の応用的な打鍵技能の向上に貢献しているかどうか評価する。

### 3.1 実験システム

実験で使用した学習支援システムのシステム構成を図 2 に示す。鍵盤の上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上に打鍵位置情報を提示する。また、演奏者の前方に視線追跡機能付きディスプレイを配置し、演奏を補助するための情報を提示している。システムは、MIDI データ（打鍵位置や打鍵強度）を入力とする。さらに、演奏の様子を記録するためにビデオカメラを設置した。

映像生成およびディスプレイ視線データ記録用の PC として SONY 社の VGN-SR94VS を使用し、鍵盤上の視線データ記録用の PC として SONY 社の VPCSA を使用した。また、MIDI 鍵盤として CASIO 社の PriviA PX-110 を使用した。プロジェクタとして BenQ 社の MP776 ST を使用した。プロジェクタの鍵盤投影領域は 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。PC 上のソフトウェアの開発は、Windows 7 上で Microsoft 社の Visual C++ 2010 を用いて行った。

### 3.2 提示コンテンツ

図 3 を用いてシステムが提示する補助情報のコンテンツについて説明する。図中の番号は、以下の簡条書き番号に対応している。

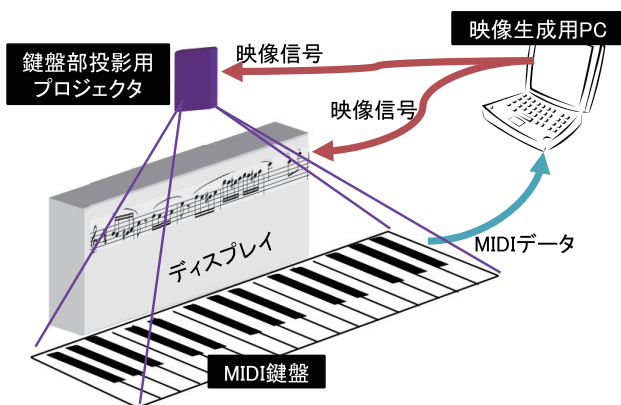


図 2 システム構成  
Fig. 2 System structure.



- (1) 前面ディスプレイに既存の紙媒体の楽譜と同様の楽譜を提示する。
- (2) 譜面上には現在の演奏位置を示すカーソルを提示する。これにより、学習者は現在どこを演奏しているか直観的に理解できる。正しい鍵を弾いたときのみカーソルは進むようになる。
- (3) 次に演奏する鍵上に色付き枠を提示する。譜面上に記載されている運指を色付き枠の色で提示したり、運指番号（親指から小指にかけて 1 から 5 の番号がそれぞれ割り当てられている）として鍵上に提示したりする。これにより学習者は容易に打鍵位置や運指を把握できる。また、鍵上に提示されている打鍵位置情報や運指情報をディスプレイにも提示する。図 3 中の左図 (3) に示すように、ディスプレイには打鍵すべき鍵の外枠と運指番号しか提示されない。さらに、この外枠や運指番号は、打鍵すべき鍵の音高と連動してディスプレイ上に提示される位置が変わる。具体的には、打鍵すべき鍵が高音であればディスプレイの右側に提示され、低音であればディスプレイの左側に提示される。ディスプレイには鍵の枠しか提示されないため、鍵盤上に提示された情報と比較して得られる情報は少なく、直観性に欠ける。
- (4) 楽譜上に表示されている番号付きの黒地白抜ききの四角形は、現在位置を手動で変更できるキューポイントである。これは、学習者が集中的に練習したい場合や、途中から演奏したい場合に有効である。キューポイントを切り替えるアイコンを、演奏で使用しない鍵の鍵盤上に投影し、その鍵を打鍵することでユーザが選択的に利用できるようにする。これをキューポイント設定機能と呼ぶ。
- (5) 提案システムは打鍵位置および運指情報を提示するかどうかを切り替える機能（打鍵位置提示 ON-OFF 機能）を持ち、この機能进行操作するアイコンを演奏で使用しない鍵の鍵盤上に投影する。打鍵位置提示 ON-OFF は、割り当てられた鍵を押すごとにトグル式で切り替

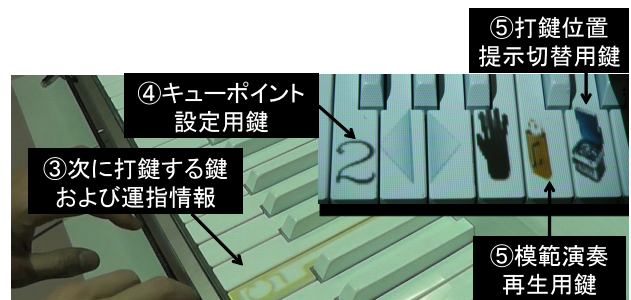


図 3 提示コンテンツ  
Fig. 3 Presented contents.

わる。また、提案システムは模範演奏を再生する機能（模範演奏再生機能）を持ち、同様に演奏で使わない鍵の鍵盤上に模範演奏再生機能に対応するアイコンを投影する。学習者が模範演奏再生機能に割り当てられた鍵を押下すると模範演奏の再生が始まり、再生中にその鍵を再度押下すると模範演奏を途中で止められる。なお、本論文では、キューポイント設定機能・打鍵位置提示 ON-OFF 機能・模範演奏再生機能をまとめて付加機能と呼ぶ。

#### 4. 評価実験

評価実験では、楽曲習得の初期段階（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）にあるピアノ初心者を対象に、提案システムを用いた学習を通じたピアノ演奏の熟達過程を、打鍵データ・観察データをもとに分析する。

##### 4.1 実験の手順

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6名で、小・中・高等学校の音楽の授業で鍵盤楽器を使って演奏した程度でピアノレッスンを個別に受講するなど専門的な教育をうけておらず、五線譜がほとんど読めない20代から40代の成人である。なお、各被験者にはあらかじめ楽譜の読み方や、各種機能の使い方を説明した。

**課題曲と評価曲** 基礎的な打鍵技能を評価するために、課題曲として図4のW.A. Mozartのトルコ行進曲（K.331）

の最初から17小節目までを両手で練習してもらった。また、応用的な打鍵技能を評価するために、評価曲として図5のJ.S. Bachのメヌエット（BWV Anh. 114）の最初から8小節目までを実験初日と最終日に各1回ずつ、楽譜のみ提示した状態で両手で演奏してもらった。いずれの被験者も課題曲および評価曲ともに小・中・高等学校の音楽の授業などで聴いた経験がありメロディを口ずさめる程度である。

以下に示すように、メヌエットは課題曲で求められる打鍵の技能を単純化した楽曲であるため評価曲として選定した。

- 両手で演奏する必要があること
- 同じくらの高さの音高が連続するフレーズ（図5の左手1小節目から6小節目）や跳躍のある音高（図5の右手1小節目から4小節目）が連続するフレーズといった課題曲と似た複数種のフレーズがあること
- 白鍵だけでなく黒鍵の打鍵も求められること
- 評価曲の音域は課題曲の音域よりも狭いこと

**実験方法** 実験では、「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の補助を利用せずに通し演奏（最初から最後までひととおり演奏すること）を行う」という試行を1日1回行った。これを連続5日間かけて繰り返した。

応用的な打鍵技能の向上を検証するために、実験初日の冒頭および最終日の最後に評価曲（メヌエット）の到達度テストを行った。練習中および到達度テスト中は、MIDI鍵盤が生成する打鍵データをシステムに記録し、演奏中の



図4 課題曲（トルコ行進曲）の楽譜

Fig. 4 Score of the training piece (Turkish March).



図5 評価曲（メヌエット）の楽譜

Fig. 5 Score of the test piece (Minuet).

様子をビデオカメラで記録した。なお、評価曲の到達度テストは初日と5日目の両方に1回ずつしか行っておらず、5日目の演奏は、初日の演奏の影響を受けていないと見なせる。

到達度テストでは、前面にある楽譜のみ（現在の演奏位置を示すカーソルも提示しない）提示し、打鍵ミス数を計測した。また、誤打鍵（間違えて打鍵した場合図6(a)), 未打鍵（打鍵しない場合図6(b)), 余打鍵（余分に打鍵した場合図6(c))を打鍵ミスと見なした。

被験者への指示 30分間の練習では「自然なテンポで譜面を見ながらミスなく弾けることを意識して、機能を自由に使って30分間練習してください。また、この後、課題曲の到達度テストを行います。到達度テストは打鍵位置の情報などシステムからの補助情報がない状態で最初から最後まで弾いてもらいます。実験中に質問があれば何でも聞いてください」と指示した。被験者から「自然なテンポとは



図6 打鍵ミスの計測方法

Fig. 6 The way of measurement of the keying errors.

どれくらいの速さか」と問合せがあり、「模範演奏と同じテンポ」と回答した。また、到達度テストでは「今からテストを行います。最初から最後まで模範演奏にできるだけ近いテンポでミスなく弾いてください。制限時間は5分間で、分からないところがあれば飛ばしてもらってもかまいませんし、これ以上演奏できなければ言ってください。たとえ間違っても弾き直しをしないようにしてください」と指示した。なお、実験期間中に難しすぎて練習を放棄した被験者はいなかった。

4.2 打鍵技能の獲得

実験結果 課題曲（トルコ行進曲）の到達度テストにおける打鍵ミス数を図7に、付加機能使用回数を表1に、評価曲（メヌエット）の到達度テストにおける打鍵ミス数を図8に示す。

全体的に、課題曲の到達度テストにおける打鍵ミス数は実験が進むにつれて減少している。また、評価曲においては、打鍵ミス数が減少した被験者がいた一方、上達が見られなかった被験者もいた。さらに、練習における被験者ごとの総打鍵回数について分散分析を適用したが、有意差は観測されなかった。

考察 到達度テストにおいて打鍵ミス数に被験者間で差が生じた原因として、被験者ごとの学習方略の違いが考えられる。

提案する学習支援システムは、打鍵位置情報を視覚的に

表1 付加機能使用回数

Table 1 The number of usage of the extended functions.

| 実験日            | 被験者A |   |   |   |    | 被験者B |   |   |   |   | 被験者C |    |    |    |    | 被験者D |    |   |    |   | 被験者E |   |    |   |   | 被験者F |    |   |   |   |
|----------------|------|---|---|---|----|------|---|---|---|---|------|----|----|----|----|------|----|---|----|---|------|---|----|---|---|------|----|---|---|---|
|                | 1    | 2 | 3 | 4 | 5  | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 1    | 2  | 3  | 4  | 5  | 1    | 2  | 3 | 4  | 5 | 1    | 2 | 3  | 4 | 5 | 1    | 2  | 3 | 4 | 5 |
| 打鍵位置提示ON-OFF機能 | 0    | 0 | 8 | 6 | 10 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 22   | 7  | 8  | 31 | 39 | 4    | 8  | 4 | 2  | 3 | 10   | 4 | 4  | 1 | 5 | 1    | 5  | 1 | 1 | 5 |
| 模範演奏再生機能       | 0    | 0 | 0 | 0 | 1  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 9    | 8  | 8  | 1  | 7  | 2    | 2  | 4 | 3  | 3 | 7    | 7 | 4  | 0 | 3 | 2    | 2  | 3 | 1 | 4 |
| キューポイント1       | 0    | 8 | 3 | 1 | 5  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 108  | 20 | 6  | 24 | 45 | 4    | 11 | 6 | 3  | 8 | 2    | 3 | 12 | 1 | 2 | 61   | 3  | 2 | 1 | 0 |
| キューポイント2       | 0    | 2 | 0 | 0 | 12 | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 32   | 1  | 4  | 0  | 2  | 10   | 0  | 0 | 0  | 0 | 0    | 0 | 1  | 0 | 0 | 2    | 13 | 0 | 0 | 0 |
| キューポイント3       | 0    | 0 | 0 | 0 | 2  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 4    | 23 | 2  | 1  | 1  | 1    | 2  | 0 | 4  | 8 | 0    | 0 | 0  | 0 | 0 | 1    | 4  | 0 | 2 | 0 |
| キューポイント4       | 0    | 0 | 0 | 0 | 1  | 0    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0    | 4  | 12 | 3  | 0  | 0    | 3  | 4 | 10 | 4 | 0    | 1 | 0  | 0 | 3 | 0    | 0  | 3 | 1 | 0 |

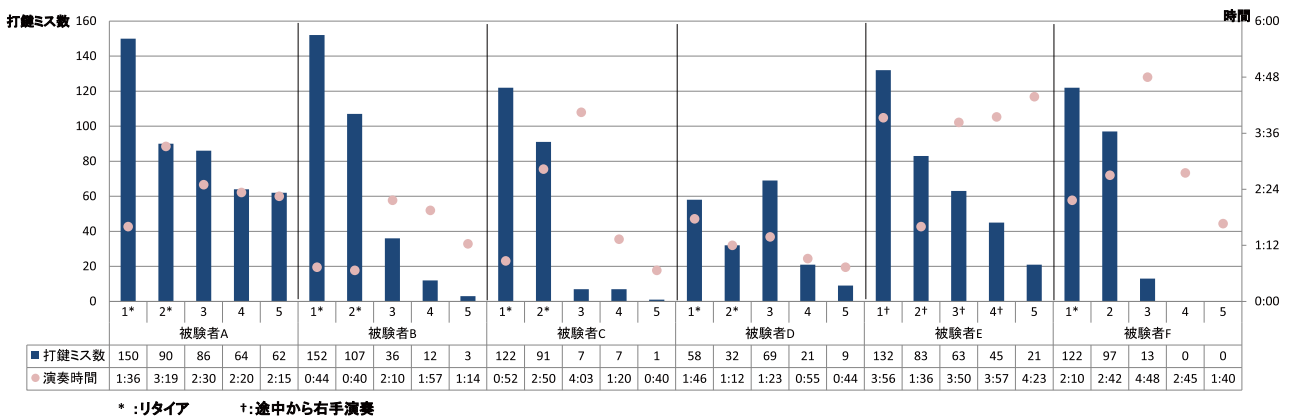


図7 課題曲（トルコ行進曲）の到達度テスト—打鍵ミス数および演奏時間

Fig. 7 Test on the training piece (Turkish March)

—Results of the number of keying errors and execution time.

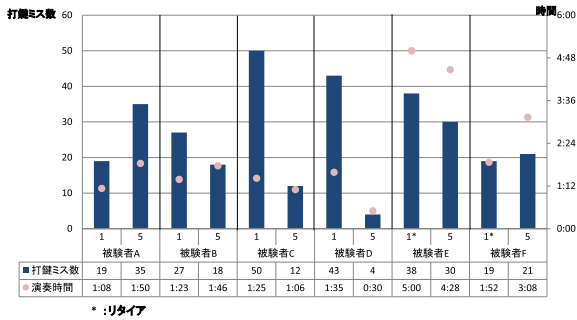


図 8 評価曲 (メヌエット) の熟達度テスト  
—打鍵ミス数および演奏時間

Fig. 8 Test on the test piece (Minuet)  
—Results of the number of keying errors and execution time.

表 2 各被験者の特徴

Table 2 The features for each subject.

| 被験者   | 学習方略       | 特徴                      |
|-------|------------|-------------------------|
| A     | 打鍵位置情報依存型  | 打鍵位置情報に依存少ない付加機能の利用     |
| B     | 打鍵位置情報依存型  | 打鍵位置情報に依存付加機能の利用なし      |
| C と D | システム方略適合型  | 打鍵位置情報と付加機能の両方をバランス良く利用 |
| E     | システム方略不適合型 | 打鍵位置情報を極力利用しない模範演奏の聴き込み |
| F     | システム方略不適合型 | 打鍵位置情報を極力利用しないゴール指向     |

提示することで、打鍵位置をできるだけ早く学習できることをめざしている。また、打鍵位置提示 ON-OFF 機能、模範演奏再生機能、キューポイント指定機能といった付加機能を使わせることで能動的な学習の促進をねらっている。

システムが提供する機能の性質、被験者の練習の様子や対面ヒアリングによる言語報告をもとに、被験者の学習方略を次の3つに大きく分類した。

- 打鍵位置情報依存型：打鍵位置情報を利用し打鍵位置を学習するものの、付加機能をほとんど使わない受動的な学習方略
- システム方略適合型：打鍵位置情報を利用し打鍵位置を学習すると同時に、付加機能を利用する能動的な学習方略
- システム方略不適合型：打鍵位置情報に頼らない学習方略

以降、各学習方略について詳細に考察する。なお、各被験者の特徴を表 2 に示す。

**打鍵位置情報依存型** 課題曲 (トルコ行進曲) や評価曲 (メヌエット) における実験最終日の打鍵ミス数に注目すると、被験者 A は最も多かった被験者である。被験者 A の付加機能の使用回数は、表 1 に示すように、他の方略の被験者と比べて少なく、打鍵位置情報をつねに利用しながら練習

していた。実験 3 日目以降に打鍵位置提示 ON-OFF 機能を使用する様子が観測されるが、30 分間のうち、短期間 (2 分~3 分) に、あるフレーズに対して打鍵位置情報を見ずに弾けるか確認しただけである。被験者 A は実験が進むにつれて課題曲の到達度テストの打鍵ミス数は少なくなっている。また、リタイアしなかった 3 日目以降の演奏時間も短くなっている。一方、5 日目の評価曲の打鍵ミス数は初日と比べて増えており、演奏時間も長くなっている。被験者 A は PC 用キーボードのタッチタイピング技能を獲得するために、タッチタイピング練習ソフトウェアで繰り返し練習した過去の成功体験があり、「タッチタイピングの練習と類似している実験の学習方法は、学習しやすかった」とコメントしている。また、「タッチタイピングでは、ミスなくタイピングできた単語もできなかった単語も区別なく均等に練習したため、今回の実験においても、間違えやすいところを集中的に練習するといったことはやらなかった」とコメントしている。したがって、被験者 A は過去の成功体験から、意図的に打鍵位置情報を利用し付加機能をはほとんど使わなかった。

一方、被験者 B は被験者 A より付加機能を使っておらず、システムが提示する打鍵位置情報をつねに使いながら練習していた。被験者 B も、繰り返し練習により新たな技能を獲得した過去の成功体験があり、このような学習方略にいたった。被験者 B は被験者 A と同様の受動的な学習方略で、課題曲の打鍵ミス数は少なくなり、演奏時間も短くなり、打鍵技能は向上するものの、評価曲の打鍵技能はシステム方略適合型の被験者と比較して向上しなかった。

**システム方略適合型** 被験者 C や被験者 D は打鍵位置情報をもとに打鍵位置を学習すると同時に、付加機能を使って難しい箇所を集中的に練習したり、打鍵位置情報を使わずに弾けるかどうか確認しながら練習したりしていた。特に被験者 C は、打鍵位置提示 ON-OFF 機能やキューポイント選択機能を何度も使用し、集中的に部分練習していた。実験が進むにつれて着実に到達度テストの打鍵ミス数が少なくなり、演奏時間は短くなっていった。評価曲においても実験初日と実験 5 日目では打鍵ミス数は減少したと同時に演奏時間も短くなった。これにより、提案する学習支援システムは課題曲を弾くための打鍵技能を短時間で獲得できるだけでなく、ピアノ演奏における応用的な打鍵技能の向上にも貢献できたことが分かる。

**システム方略不適合型** システム方略不適合型の被験者 E や被験者 F の特徴として、実験が進むにつれて課題曲の到達度テストの打鍵ミス数は減少する一方、評価曲の到達度テストにおける打鍵ミス数の減り方は、システム方略適合型の被験者のそれと比較して小さい。また、課題曲の演奏時間に注目すると、被験者 E は実験が進むにつれて長くなり被験者 F は 3 日目で最も長くなり実験が進むにつれ短くなった。評価曲の演奏時間に注目すると、被験者 E の演奏

時間は短くなった一方、被験者 F の演奏時間は長くなった。

被験者 E は、提示された打鍵位置情報にはできるだけ頼らず、模範演奏を何度も聴いたり、楽譜をじっくり見たりしながら打鍵位置を模索していた。表 1 に示す模範演奏再生機能の回数を見ると、被験者 C は被験者 E よりも多い。被験者 C は、途中まで模範演奏を聴く練習を何度も実施していたため模範演奏再生回数は増えたが、被験者 E は模範演奏を最初から最後まで聴いていた。被験者 E は音楽を学んでいた経験があり、「音楽の新曲に取り組むときその曲を繰り返し聴いて覚える」という成功体験を持つ。今回の実験においても、自身の成功体験を適用し聴覚中心の学習方略で取り組んでおり、提案する学習支援システムの学習方略に適さなかった。

被験者 F も被験者 E と同様に、できるだけ打鍵位置情報を使用しないで練習していた。表 1 に示す打鍵位置提示 ON-OFF 回数を見ると、他の被験者と比べて多くないが、他の被験者は部分的に打鍵位置を提示したり提示しなかったりしていた一方、被験者 F は長時間打鍵位置を提示しないで練習する様子が観測された。被験者 F は、「課題曲の到達度テストでどうすれば打鍵ミスなく弾けるようになるか」を中心に考えるゴール指向の学習方略で取り組んでおり、到達度テストでは打鍵位置情報が提示されないことから、打鍵位置情報を見ずに演奏できるように練習していた。このため、到達度テストにおける打鍵ミス数は減少しており、全被験者の中で最初に課題曲の到達度テストの打鍵ミス数が 0 回になったが、楽譜を中心に打鍵位置を考えながら弾いていたため、他の被験者と比較して、低速なテンポで演奏していた。また、このゴール指向の学習方略は課題曲の到達度テストにおいて効果的であったが、5 日間の練習後に演奏した評価曲の到達度テストでは、5 日間の成果を活かせず、練習前に演奏した評価曲の到達度テストと変わらない結果となった。

## 5. まとめ

本研究では、提案するピアノ学習支援システムを用いた熟達化の効果に関する詳細な評価分析を行った。

実験結果から得られた考察より、成人学習者は過去の成功体験に基づく各自の学習方略を持っており [18]、いずれの被験者も自身の学習方略を基準にシステムを利用することが分かった。また、打鍵ミス数を分析したところ、自身の学習方略とシステムの学習方略が適合した被験者（被験者 C および被験者 D）は、課題曲および評価曲の到達度テストにおける打鍵ミス数が減少した。一方、学習方略が部分的に適合した被験者（被験者 A および被験者 B）やシステムの学習方略に適合しなかった被験者（被験者 E および被験者 F）は基礎的な打鍵技能の向上はみられたが、応用的な打鍵技能に関しては低下あるいは学習方略適合型の被験者ほど向上しなかった。

今後の研究課題として、被験者数を増やした評価実験や長期間にわたる評価実験の実施などがあげられる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 16K12560 の助成および一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: 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, Vol.52, No.2, pp.917-927 (2011).
- [2] 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).
- [3] 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 (日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol.30, No.4, pp.51-60 (2013).
- [4] CASIO: 光ナビゲーションキーボード, 入手先 (<http://casio.jp/emi/key.lighting/>).
- [5] ヤマハ株式会社: 光る鍵盤 EZ-J210, 入手先 (<http://www.yamaha.co.jp/product/piano-keyboard/ez-j210/index.html>).
- [6] 大島千佳, 井ノ上直己: 不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムにむけて, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2007-MUS-71), Vol.2007, No.81, pp.185-190 (2007).
- [7] Mukai, M., Emura, N., Miura, M. and Yanagida, M.: Generation of Suitable Phrases for Basic Training to Overcome Weak Points in Playing the Piano, *Proc. International Congress on Acoustics*, MUS-07-018 (2007).
- [8] Kitamura, T. and Miura, M.: Constructing a Support System for Self-learning Playing the Piano at the Beginning Stage, *Proc. International Conference on Music Perception and Cognition*, pp.258-262 (2006).
- [9] Akinaga, S., Miura, M., Emura, N. and Yanagida, M.: An Algorithm to Evaluate the Appropriateness for Playing Scales on the Piano, *Proc. International Congress on Acoustics*, MUS-07-005 (2007).
- [10] Akinaga, S., Miura, M., Emura, N. and Yanagida, M.: Toward Realizing Automatic Evaluation of Playing Scales on the Piano, *Proc. International Conference on Music Perception and Cognition*, pp.1843-1847 (2006).
- [11] 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ン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, pp.933-934 (2008).
- [12] Dannenberg, R.B., Sanchez, M., Joseph, A., Capell, P., Joseph, R. and Saul, R.: A Computer-Based Multi-Media Tutor for Beginning Piano Students, *Journal of New Music Research*, Vol.19, No.2-3, pp.155-173 (1990).
- [13] Smoliar, S., Waterworth, J., and Kellock, P.: pianoFORTE: A System for Piano Education Beyond Notation Literacy, *Proc. 3rd ACM International Conference on Multimedia*, pp.457-465 (1995).
- [14] 大島千佳, 西本一志, 鈴木雅実: 創造的演奏教育支援に向けた生徒の音楽的理解と技術習得の分析, 日本創造学会論文誌, Vol.8, pp.21-35 (2004).
- [15] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀: The Phantom of the Piano: 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2006, No.4, pp.69-70 (2006).
- [16] コナミ: キーボードマニア, 入手先 (<http://www.konami>).

jp/am/keyboard/).

- [17] 河合楽器製作所：ピアノマスター，入手先 (<http://www.kawai.co.jp/emusic/products/pm/index.htm>).
- [18] Lee, W.W., Owens, D.L., 清水康敬：インストラクショナルデザイン入門—マルチメディアにおける教育設計，東京電機大学出版局，p.38 (2013).



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年より公立ほこだて未来大学システム情報科学部助教。2014年より公立ほ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.でAssistant Visiting Professorを兼務。博士(情報科学)。ヒューマンコンピュータインタラクション，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年より公立ほ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。



田柳 恵美子

2008年北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程修了。博士(知識科学)。大学・研究機関等の研究広報，自治体等の科学技術系事業のコンサルティング等に携わった後，

2008年公立ほこだて未来大学特任准教授，2010年特任教授を経て，2012年より社会連携センター教授。専門は知識科学，知識社会学。



椿本 弥生

2008年東京工業大学大学院社会理工学研究科博士課程修了。博士(学術)。同年より東京大学大学総合教育研究センターマイクロソフト先進教育環境寄附研究部門特任助教。2009年より東京大学大学院情報学環特任助教等を経て，

2014年より公立ほこだて未来大学システム情報科学部准教授。専門は教育工学。教授学習過程に関する研究に従事。