

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の調査

竹川佳成^{1,a)} 椿本弥生^{1,b)} 田柳恵美子^{1,c)} 平田圭二^{1,d)}

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う演奏者が多い。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。評価実験から比較手法である「光る鍵盤」の学習方法と比較して課題曲を効率的に学習できることが明らかになったが、「課題曲を効率的に学習できただけか、あるいは、ピアノ演奏そのものの演奏技術が向上したのか」「必要とする提示情報は熟達度に応じて変化するか」といった提案する学習支援システムを使用した場合における熟達化プロセスは十分調査できていなかった。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化プロセスの詳細な調査を目的とする。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8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や視線データなどをもとに熟達化プロセスを検証した。

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、それらの修得には長期間の基礎的な練習を必要とする。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挫折してしまう演奏者が後を絶たない。特に初心者にとって、譜面上の音符および運指を見て、音符から鍵盤上の打鍵位置をイメージし、指示された運指で弾く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の軽減が楽器演奏を楽しめ長続きさせる秘訣であるといえる。演奏初期段階（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]。評価実験から比較手法である「光る鍵盤の学習方法 [4], [5]」と比較して効果的に学習できることが明らかになった。しかし、「課

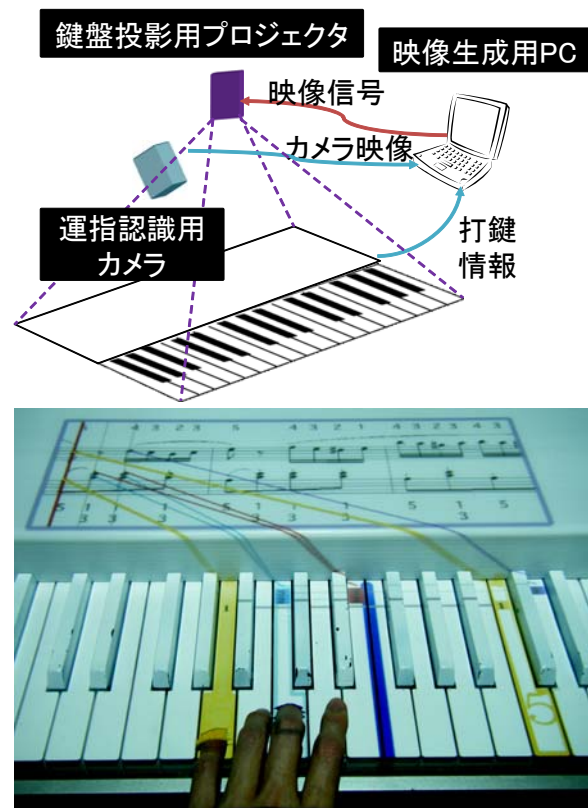


図1 従来のピアノ学習支援システムの提示コンテンツ

課題曲を効率的に学習できただけか、あるいは、ピアノ演奏そのものの演奏技術が向上したのか」「必要とする提示情

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

a) yoshi@fun.ac.jp

b) mtsubaki@fun.ac.jp

c) tayanagi@fun.ac.jp

d) hirata@fun.ac.jp

報は熟達度に応じて変化するのか」といった提案する学習支援システムを使用した場合における熟達化プロセスは十分調査できていなかった。

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化プロセスの詳細な調査を目的とする。

評価実験では、提案システムを使いながら5日間かけて8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を利用しない状態で練習後に課題曲を演奏してもらった。また、5日間かけて練習してもらった課題曲とは異なる曲を実験初日と5日目に演奏してもらい、提案システムを使って練習したときのピアノ演奏技術の熟達度を調査した。さらに、打鍵タイミングや打鍵位置といった演奏データだけでなく、視線追跡装置を用いて鍵盤上や鍵盤の周囲のどこを見ていたか計測した視線データにより、熟達化プロセスにおける重要情報の変遷を分析する。

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、打鍵の強さなど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もつ。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等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。これらはいずれも打鍵情報から演奏を評価し学習目的に必要な情報を提示している。本研究では、視線データと打鍵データを用いて演奏を評価している点で異なる。

学習者の視線の動きを観測する研究 [18], [20], [21], [22] はいくつか行われている。特に、川崎ら [19] はピアノ学習者の視線の動きを観測し、プロフェッショナルのピアニストと初心者との視線の動きの違いを解析している。本研究は初心者を対象としており、対象者という観点では川崎らの研究と類似する部分があるが、本研究のように鍵盤上にアノテーションが投影されるピアノではなく、川崎らは一般的なアコースティックピアノを利用しているため、実験環境は大きく異なる。また、川崎らは楽譜上の視線追跡だけであったが、本研究では楽譜および鍵盤の視線を追跡し

ているという点でも異なる。

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これから練習し、できるだけ速く習熟し、最終的にシステムの補助なしで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る打鍵位置や運指番号、譜読みを補助するために鍵盤の上部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多彩な情報を提示している。1章で述べたように、本研究では提案するピアノ学習支援システムを使用して学習したときにおける熟達化プロセスを調査するために詳細な評価実験を行う。

3.1 実験方針

実験方針として以下があげられる。

ピアノ演奏技能の獲得 提案するピアノ学習支援システムは、30分間の評価実験から比較手法である「光る鍵盤の学習方法」と比較して打鍵ミス数が減り、提案するピアノ学習支援システムを使用しながら練習すれば効率的に課題曲を弾けるようになる。しかし、「新規の楽曲を提案システムの補助なしで演奏できるようになる」といったピアノ演奏の汎用的な技能を修得できたかは検証されていない。

そこで、本研究では提案する学習支援システムを使って練習する前と、提案システムを使った後で、新規の楽曲をそれぞれ演奏してもらい、その演奏精度を計測することで、提案システムが学習者のピアノ演奏技能の向上に貢献するか調査する。

提示情報の重要度の変遷 提案する学習支援システムは演奏を補助するさまざまな情報を提示しているが、例えば、「未熟な段階では打鍵位置が明確にわからないため手元の打鍵位置情報を頼りに演奏するが、熟達するにつれて打鍵位置情報に頼らず楽譜を見る」など熟達度によって情報の重要度は変わってくると思われる。

そこで、より効率的な学習支援システムの提案をめざして、熟達するにつれ必要とされる提示情報の変遷を明らかにする。具体的には、提案システムを使いながら5日間かけて8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を利用しないで課題曲を演奏してもらった到達度テストをうけてもらう。また、打鍵タイミングや打鍵位置といった演奏データだけでなく、視線追跡装置を用いて鍵盤上や鍵盤の周囲のどこを見ていたか視線データを計測する。これらのデータおよび実験中の観測から、熟達化プロセスにおける重要情報の変遷を定量的・定性的に分析する。なお、実験結果を

明確にするために、打鍵位置をシステムの補助なしでできるだけ速く習熟できることを提案システムの目的とし、この目的に特に有効な情報であった「鍵盤上への打鍵位置および運指番号」・「楽譜」・「楽譜上に提示する現在の演奏位置」のみ演奏補助情報として提示する。

3.2 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。鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上に演奏補助情報を提示する。また、演奏者の前方に視線追跡機能付ディスプレイを配置し、プロジェクタと同様に演奏補助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、鍵盤部の視線を追跡するために鍵盤上部に視線追跡装置を設置し、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、鍵盤部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。鍵盤部の視線追跡装置としてTobii社のX1ライトを使用し、ディスプレイ部の視線追跡装置としてTobii社のT60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りスクリーンとして鍵盤上部に白いプラスチックの板を設置した。PC上のソフトウェアの開発は、Windows 7上でMicrosoft社のVisual C++ 2010とIntel社のOpenCVライブラリを用いて行った。

3.3 提示コンテンツ

図3を用いてシステムが提供したコンテンツについて説明する。図中の番号は、以下の箇条書き番号に対応している。

- (1) 既存の紙媒体の楽譜と同様の楽譜を提示する。なお、楽譜は「フレーズの境界（以降、チャックと呼ぶ）を楽譜上に示した楽譜」と「チャック無楽譜（通常の楽譜）」の2種類が存在する。
- (2) 現在の演奏位置を提示する。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演奏位置は進むようになる。また、打鍵ミス時、チャック付楽譜を利用している場合、現在弾いているチャックの先頭音符から弾き直しになる一方、チャック無楽譜を利用している場合、打鍵ミスをした箇所の音符から弾き直しになる。
- (3) 次に演奏する鍵上に色付枠を提示する。運指情報は、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）ごとに対応している輪郭の色や、鍵上に運指番号を提示することで示す。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。

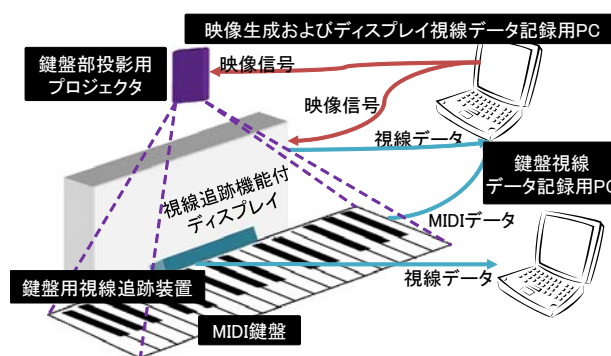


図2 システム構成

また、ディスプレイにも鍵盤と同様の打鍵位置情報や運指情報を提示する。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塗りの四角形は、現在位置を変更す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（打鍵位置提示切替機能）をもち、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。打鍵位置提示切替は、割り当てられた鍵を押すごとにトグル式で切り替わる。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）をもち、同様に演奏で使用し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・打鍵位置提示切替機能・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、演奏初期段階（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）における提案システムを用いた際のピアノ演奏に関する熟達化プロセスを、打鍵データや視線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8名で、五線譜がほとんど読めない鍵盤経験のない20代から40代の成人であ



図 3 提示コンテンツ

る。なお、各被験者にはあらかじめ楽譜上に書かれている音符の意味や、各種機能の使い方を説明した。

課題曲 熟達化プロセスを評価するために、W. A. Mozart のトルコ行進曲（最初から 17 小節目まで両手）を演奏してもらった。また、ピアノ演奏技術の熟達度を評価するために、J. S. Bach のメヌエット（BWV Anh. 114）の最初から 8 小節目までを両手で演奏してもらった。

実験方法 実験では、「トルコ行進曲を 30 分かけて練習し、到達度テストとして通し演奏（最初から最後まで一通り演奏すること）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。また、8 名のうち 4 名の被験者（被験者 B、被験者 C、被験者 G、被験者 H）にチャンク付楽譜を割り当て、残りの 4 名の被験者（被験者 A、被験者 D、被験者 E、被験者 F）にチャンク無楽譜を割り当てた。チャンク付楽譜はトルコ行進曲のみで、メヌエットはチャンクのない通常の楽譜である。さらに、この割当てでは実験初日から 5 日全てにおいて変わらない。

ピアノ演奏技能の上達を検証するために、「初日のトルコ行進曲練習前」および「5 日目のトルコ行進曲到達度テスト後」に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、視線計測装置が生成する視線データ、MIDI 鍵盤が生成する打鍵データをシステムに記録し、演奏の様子をビデオカメラで記録した。なお、メヌエットの到達度テストは初日と 5 日目の両方に行ったが、被験者は初日に行ったメヌエットの演奏を覚えておらず、5 日目のメヌエットの到達度テストは、初日のメヌエットの到達度テストに影響はない。

到達度テストでは、練習中で計測している打鍵データをもとに打鍵ミス数を計測した。通し演奏時は、両手法において前面にある楽譜のみ（現在の演奏位置も提示しない）提示した。また、誤打鍵（間違えて打鍵した場合）、未打鍵（打鍵しない場合）、余打鍵（余分に打鍵した場合）を打鍵ミスとみなした。

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みながらミスなく弾けることを意識して、機能を自由に

使ってもらって 30 分間練習してください。また、この後、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。また、到達度テストでは「今から到達度テストを行います。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 分間です。わ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教えてください。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、難しすぎて練習を放棄した被験者はいなかった。

4.2 ピアノ演奏技能の獲得 - 実験結果と考察

トルコ行進曲の到達度テストにおける打鍵ミス数および演奏時間（課題曲を「最初から最後まで」あるいは「最初からリタイア」するまでにかかった時間）を図 4 に、トルコ行進曲の練習中における付加機能使用回数を表 1 に、メヌエットの到達度テストにおける打鍵ミス数および演奏時間を図 5 に示す。なお、チャンクの有無が打鍵ミス数や演奏時間、学習方略など実験結果に影響を与えないと考えており、チャンクの有無による区別はしない。また、初日のメヌエット到達度テストにおいて被験者 G および被験者 H の打鍵ミス数は、他の被験者と比較して極端に少なく、本来もっているピアノ演奏技術が他の被験者より高いため、分析の対象から除外することにした。これらは 4.3 節においても同様に取り扱う。

全体的に、トルコ行進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、途中リタイアした場合を除き演奏時間も減っている。また、メヌエットにおいては、打鍵ミス数が減少し演奏時間が短くなっ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。この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提示することで、打鍵位置をできるだけ速く学習できることをめざしている。また、打鍵位置提示切替機能、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

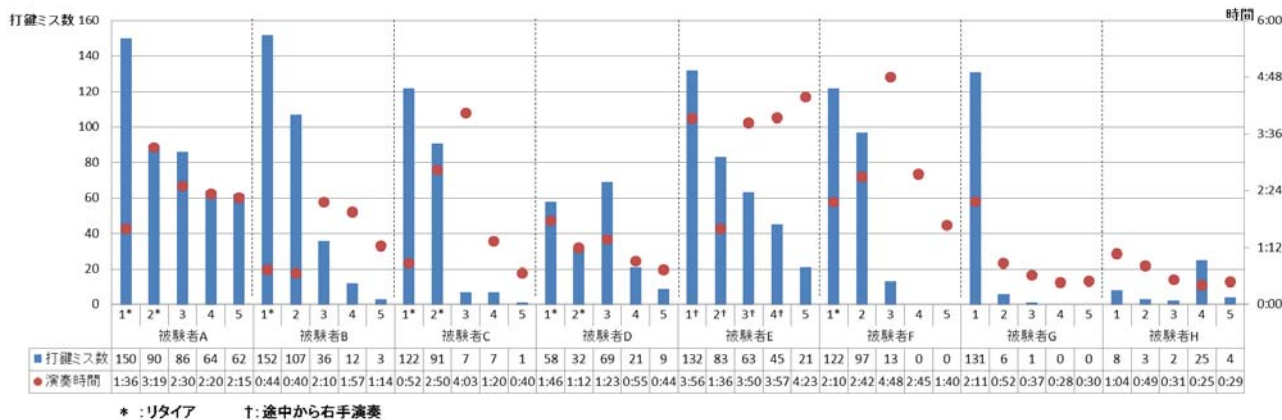


図 4 トルコ行進曲の到達度テスト - 打鍵ミス数および演奏時間

表 1 付加機能使用回数

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

使うことで学習の促進をねらっている。打鍵位置情報はデフォルトで提示されるが、これらの付加機能は選択的に利用される。したがって、提案する学習支援システムは「提示された打鍵位置情報を活用し打鍵位置を学習し、学習効率を高めるために能動的に付加機能を活用する」という学習方略を理想としている。

被験者の学習方略は、「学習支援システムが提供する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学習方略（打鍵位置情報偏重型）」「学習支援システムが提供する打鍵位置情報を利用し打鍵位置を学習すると同時に、付加機能を積極的に利用し熟達度に応じて学習方法を柔軟に構築する学習方略（システム方略適合型）」「学習支援システムが提供する打鍵位置情報に頼らず、自身の過去の成功体験をもとに練習する学習方略（システム方略不適合型）」の3つの大きく分類できる。以降、各学習方略について考察する。

打鍵位置情報偏重型 打鍵位置情報偏重型の被験者 A は、他の被験者と比較して最も熟達度が低かった被験者である。被験者 A の付加機能を使用回数は、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切替機能を使用する様子が観測されるが、30 分間の訓練中 2 分～3 分と短期間に、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をただけである。被験者 A は実験が進むにつれてトルコ行進曲の到達度テストの打鍵ミス数は少なくなっている一方、5 日目のメヌエットの打鍵ミス数は初日と比べて増えている。被験者 A は「PC 用キーボード

のタッチタイピングを修得するときに、タッチタイピング練習ソフトウェアで繰り返し練習をして習熟していっ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訓練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 は学習支援システムの学習方法に肯定的でストレスなく学習できていたが、学習支援システムを十分使い切れていたとはいえない。

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を常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習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 より受動的な学習方略であったにも関わらず、被験者 A と異なり実験が進むにつれて着実に熟達している。被験者 A の熟達が伸び悩んだ要因の調査は今後の課題である。

システム方略適合型 被験者 B や被験者 C 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修得できているか確認しながら練習していた。特に被験者 C は、打鍵位置提示切替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、途中リタイアを除き課題曲を弾き通すためにかかった

時間も短くなり演奏テンポが速くなっていった。メヌエツト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、演奏テンポは速くなった。これにより、提案する学習支援システムは課題曲を効果的に学習できるだけでなく、ピアノ演奏技術の向上にも貢献できたことがわかる。メヌエツトの到達度テストにおいて、システム方略適合型被験者における打鍵ミス数増加率（「実験5日目の打鍵ミス数」を「初日の打鍵ミス数」で割った値）が最も小さく、「システム方略適合型被験者における打鍵ミス数増加率」および「システム方略不適合型被験者における打鍵ミス数増加率」間で有意水準5%で有意差(p値=0.047)が観測された。その他の組み合わせにおいて有意差は観測されなかった。

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トルコ行進曲の到達度テストの打鍵ミス数は減少する一方、メヌエツトの到達度テストにおける打鍵ミス数は、実験初日と実験5日目と比べて変化は小さい。

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、模範演奏を聴きこんだり、楽譜をじっくり見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いて練習するという訓練を何度もやっ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じっくり聴いていた。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」という成功体験をもつ。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訓練していた。表1に示す打鍵位置提示切替回数を見ると、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訓練する様子が観測された。被験者Fは、「トルコ行進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型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トルコ行進曲の打鍵ミス数は減少しており、被験者A～被験者Fの中で最初に打鍵ミス数が0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演奏テンポは他の被験者と比べると遅い。また、トルコ行進曲用に組み立てられた学習方略はトルコ行進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メヌエツトの到達度テストでは、5日間の練習で得られたスキルを活かせず、練習前に演奏したメヌエツトの到達度テストと変わらない結果と

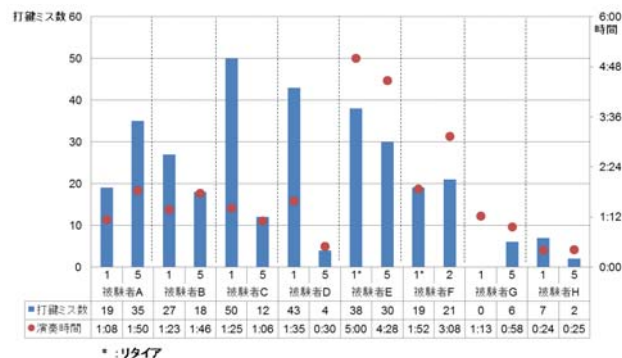


図5 メヌエツトの到達度テスト - 打鍵ミス数および演奏時間

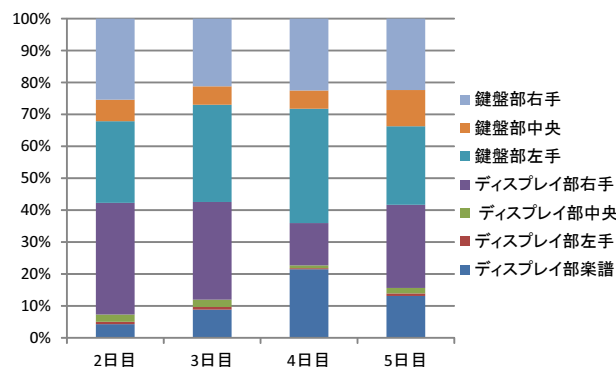


図6 トルコ行進曲の練習中 - 実験日ごとの視線分布

表2 トルコ行進曲の練習中 - 実験日ごとの打鍵ミス数

実験日	全打鍵数	全ミス数	ミス率
1	1878	86	5%
2	2453	154	6%
3	3058	95	3%
4	3179	54	2%
5	3384	186	5%

なった。これにより、ピアノ演奏においては楽譜や鍵盤をよく理解する認知的側面の熟達も重要であるが、楽譜上の音符から打鍵位置を正しく演奏できるようになるといった身体行動の熟達も重要であるといえる。これらがバランス良く熟達することでピアノ演奏技術そのものも向上すると思われる。

4.3 提示情報の重要度の変遷 - 実験結果と考察

「熟達度」と「提示情報の重要度の変遷」を分析するために、30分間のトルコ行進曲の練習における視線の分布を調査した。上述したように学習方略の違いが見られたため被験者ごとに視線分布を分析することが望ましいが、紙面の制約のため、被験者Bに着目して詳細に検討する。被験者Bを選定した理由は、実験日ごとの練習においてシステムが提供する付加機能を使用せず、提示される打鍵位置を淡々と繰り返しており、どの打鍵に対してどういう視線であるか特定しやすいためである。

図??, 表2, 図6に、実験日ごとの視線分布、実験日ごとの打鍵ミス数、実験日をさらに周りに分割した周ごとの視

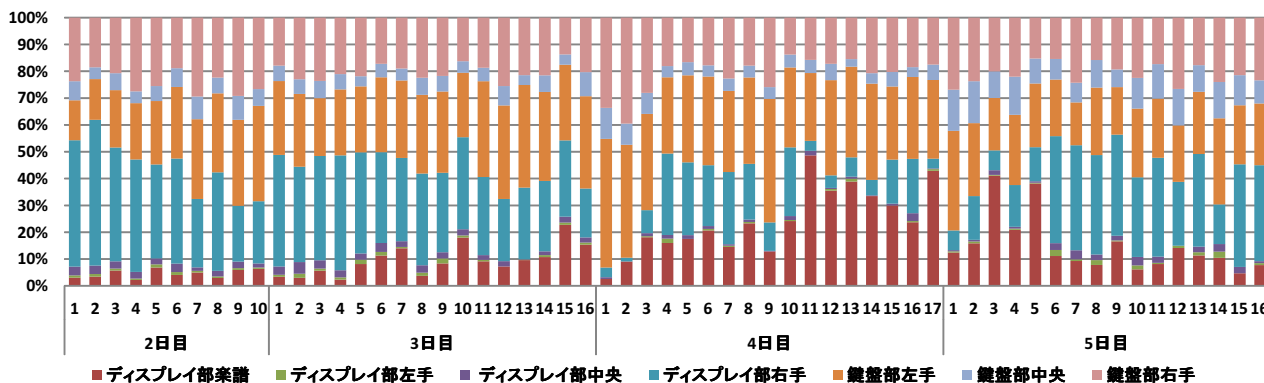


図 7 トルコ行進曲の練習中 - 周ごとの視線分布

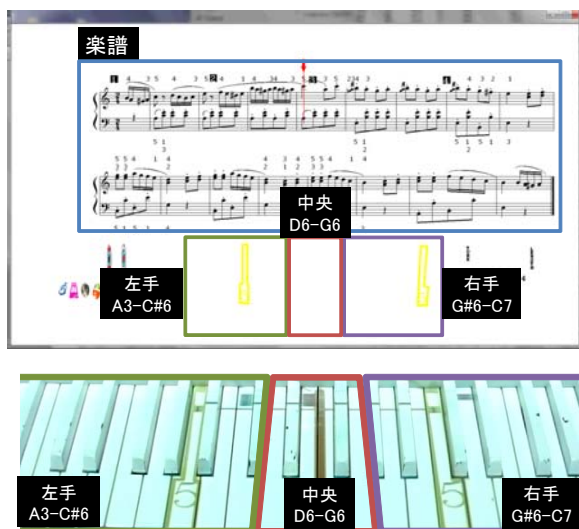


図 8 ディスプレイ部と鍵盤部における視線領域

線分布をそれぞれ示す。

図??および図6で使用している視線領域を図7に示す。ディスプレイには打鍵位置だけを示す仮想的な鍵盤が提示されており、ディスプレイ上の仮想鍵盤と実際の鍵盤を演奏する手を基準に右手・左手・中央に領域をわけた。トルコ行進曲は右手で弾く領域と左手で弾く領域が明確にわかれており、右手と左手の境界線はE6 (Eは音名をおよび6はオクターブ数を意味する) である。視線認識精度の問題から、右手と左手の境界付近は明確に右手左手どちらの領域を見ているか特定できないため、中央という領域を設けた。また、被験者Bはトルコ行進曲の練習において、課題曲を最初から最後まで繰り返し練習していた。図6の日付の上の数は、対応する実験日の実験開始後、何回目であるかを意味している。さらに、実験日が2日目から始まっている理由はシステムの不具合により初日の鍵盤部の視線がとれていなかったためである。

実験日単位の視線分布 図??に示すように、熟達度が低い2日目ではディスプレイ部楽譜を見る頻度は少なく、鍵盤あるいはディスプレイ部右手を中心にしている。4日目になると楽譜を見る頻度はあがり、ディスプレイ部右手や鍵

盤部右手を見る頻度は少なくなった。これにより熟達するにつれて、鍵盤に提示された打鍵位置情報や、ディスプレイ上に提示された打鍵位置情報は不要となり、楽譜情報が重要となっていることがわかる。また、右手の打鍵位置に関してはディスプレイ部右手を見ており、左手の打鍵位置に関しては鍵盤上の打鍵位置を直接見ている。被験者Bは「余裕があれば演奏中に楽譜を見つつ練習したいと思っており、できるだけ視線移動を少なくするために、右手の演奏はディスプレイを見ていた」とコメントしている。また、被験者Bは「右手は利き手であり、左手と比べて鍵間の距離が鍵盤を直接見なくても予測できた」と述べており、右手は左手と比べて鍵盤のプラインドタッチ能力が高く、このような視線の動きになったと考えられる。

表2の実験日ごとの打鍵ミス数に着目すると、4日目が最も打鍵ミス数が少なかった。一方、5日目は打鍵ミスが増えたため、弾き直しが生じ、全打鍵数も増えている。5日目は、4日目とくらべて被験者の調子が悪かったと思われる。このため、5日目の視線は、ミスを避けるために楽譜を見る頻度が低くなった。しかし、5日目におけるトルコ行進曲の到達度テストは4日目の同楽曲の到達度テストより成績が良くなっている。5日目の30分間の練習においても着実に熟達度が向上したことがわかる。

周単位の視線分布 図6に示すように、楽譜を見ている割合が30分間の練習においても変動していることがわかる。特に、実験開始直後は楽譜を見ている割合が低い。実験開始直後は、ウォーミングアップのため、より確実に打鍵ミスなく演奏できる方法で取り組み、昨日までの動きを思い出している。

楽譜を見ている割合が段階的に増えていき、ある閾値を超えると楽譜を見る割合が下がるという現象が観測される。これは、被験者が段階的に打鍵位置情報に頼らずに演奏しようという姿勢が観測されると同時に、打鍵ミスが生じたり、打鍵位置が楽譜だけではわからなくなった場合は、一端、確実に演奏できる方法に戻り、再度段階的に難度をあげていく様子が観測される。

このように、各種提示情報の重要度は、時々刻々と変化

する熟達度に強く影響を受ける。また、被験者 B は表 1 に示すように付加機能を全く使わずに打鍵位置情報を単に追いかけるという受動的な学習方略であるが、視線データを解析することで、楽譜を見るように努力するなど独自に課題を設けて練習に取り組んでいたといえる。

5. まとめ

本研究では、学習者の視線に注目し、ピアノ学習支援システムの熟達化プロセスの詳細な調査を行った。成人した 8 名の鍵盤楽器初心者には、学習支援システムを使いながら 1 日 30 分間トルコ行進曲を 5 日間かけて練習してもらい、実験日ごとにシステムの補助を使わずに到達度テストを行ってもらった。

実験結果より、成人学習者は過去の成功体験から学習方略をもっており [23]、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していた。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は、効率的に習熟でき、ピアノ演奏そのものの演奏技術の獲得までいった。学習方略が部分的に適合した被験者は学習効果にばらつきが生じ、システムの学習方略に適合しなかった被験者はピアノ演奏技術の獲得まではいたらなかった。

さらに、1 名の被験者に対して解析した実験日ごとの視線データの結果から熟達するにつれて被験者が必要とする情報は打鍵位置情報から楽譜情報に遷移していることが明らかになり、周ごとの結果から必要な提示情報は時々刻々と変化する被験者の熟達度と連動している。

今後は、音符に着目した提示情報の重要度の変遷の調査、他の被験者を対象とした実験データの解析、視線データを考慮した熟達度の算出、熟達度に応じて補助情報を適応的に提示する学習支援システムの構築などがあげられる。

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 年).
- [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 (2013 年 掲載決定).
- [3] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: 学習の敷居の低さとシステムからの離脱の容易さを両立した学習支援システムの実現に向けて, インタラクティブシステムとソフトウェア XX: 日本ソフトウェア科学会 WISS2012, pp. 109-114 (2012 年).
- [4] CASIO: 光ナビゲーションキーボード: http://casio.jp/emi/key_lighting/.
- [5] ヤマハ株式会社: 光る鍵盤 EZ-J210: <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 年).
- [7] M. Mukai, N. Emura, M. Miura, and M. Yanagida: Generation of Suitable Phrases for Basic Training to

Overcome Weak Points in Playing the Piano, Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-018 (2007).

- [8] T. Kitamura and M. Miura: Constructing a Support System for Self-learning Playing the Piano at the Beginning Stage, Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 258-262 (2006).
- [9] S. Akinaga, M. Miura, N. Emura, and Masuzo Yanagida: An Algorithm to Evaluate the Appropriateness for Playing Scales on the Piano, Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-005 (2007).
- [10] S. Akinaga, M. Miura, N. Emura, and Masuzo Yanagida: Toward Realizing Automatic Evaluation of Playing Scales on the Piano, Proceedings of 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 年).
- [12] R. B. Dannenberg, M. Sanchez, A. Joseph, P. Capell, R. Joseph, and R. Saul: A Computer-Based Multi-Media Tutor for Beginning Piano Students, Journal of New Music Research, 19 (2-3), pp. 155-173, 1990.
- [13] S. Smoliar, J. Waterworth, and P. Kellock: pianoFORTE: A System for Piano Education Beyond Notation Literacy, Proceedings of the Third 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 年).
- [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 年).
- [16] コナミ: キーボードマニア <http://www.konami.jp/am/keyboard/>.
- [17] 河合楽器製作所: ピアノマスター: <http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/pm/index.htm>.
- [18] Wikipedia, Eye movement in music reading, http://en.wikipedia.org/wiki/Eye_movement_in_music_reading
- [19] 川崎智子: ピアノ演奏時における読譜の為の眼球運動, 三重大学教育学部研究紀要教育科学, 第 33 巻, pp.49-66 (1982 年).
- [20] S. Kobori and K. Takahashi: Cognitive Processes During Piano and Guitar Performance: An Eye Movement Study, Proceedings of the 10th International Conference on Music Perception and Cognition, pp.748-751 (2008).
- [21] S. Kawase: An Exploratory Study of Gazing Behavior During Live Performance, Proceedings of the 7th Triennial Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music, pp. 227-232 (2009).
- [22] T.M. Nguyen and D.D. Salvucci: Piano Playing: A Model of Sight-Reading and Rhythmic Timing, Proceedings of the Seventh International Conference on Cognitive Modeling, pp. 208-212 (2006).
- [23] W. W. Lee, D. L. Owens, 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.