

# モチベーションを考慮したピアノ学習支援システム

竹川 佳成<sup>1,a)</sup> 福家 悠人<sup>1,b)</sup> 柳 英克<sup>1,c)</sup>

受付日 2015年6月16日, 採録日 2016年1月12日

**概要:** 楽器の演奏技術の向上には多大な時間を必要とするため、敷居の高さに演奏に取り組むことを最初から断念したり、ピアノ演奏の練習を途中で挫折してしまう演奏者が多い。鍵盤演奏の敷居を下げるために、光る鍵盤のように次に打鍵する鍵を鍵盤上に提示するなど打鍵位置を把握できる学習支援システムが提案されてきたが、学習者のミスに対して厳しく、学習者はミスをしないように細心の注意を払う一方、打鍵ミスが続くと次に進めないためフラストレーションがたまり練習へのモチベーションが下がってしまう。そこで、本研究では、モチベーションの維持を考慮したピアノ学習支援システムの構築をめざす。提案システムは学習者のモチベーションを維持させるために譜読みの認知プロセスに着目したミスの許容度を導入し、ミス許容度の異なる多段階のモードを持つ。提案システムの有用性を検証するために評価実験を行った。比較手法と比較してモチベーションを維持でき、かつ、正確な打鍵位置の学習に関して同等の学習効果を確認した。

キーワード: ピアノ, モチベーション, 学習支援システム

## A Piano Learning Support System Considering Motivation

YOSHINARI TAKEGAWA<sup>1,a)</sup> YUTO FUKUYA<sup>1,b)</sup> HIDEKATSU YANAGI<sup>1,c)</sup>

Received: June 16, 2015, Accepted: January 12, 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. There are several learning support systems such as a lighted keyboard which indicates the next note to be played by turning the corresponding key red. However, these systems are strict in regard to learners' mistakes, and it does not show the next key to press when a learner has pressed an incorrect key. When the learner makes a mistake again and again, he/she grows annoyed and loses motivation because he/she cannot progress to the next step. Therefore, the goal of our study is to construct a piano learning support system considering the learner's motivation. The proposed system varies the error margin of keying focused on a process of reading a score, and it offers several learning methods which have different degrees of error margin. We have developed a prototype system, and evaluated its effectiveness through actual use of the system. We found that it had significant advantages over the comparative method in terms of motivation, and the same degree of learning effectivity of keying accuracy as the comparative method.

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

### 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、弾くという一連のプロセスは最初に立ち上がる難関で、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

<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) g2113027@fun.ac.jp

c) yanagi@fun.ac.jp

ために練習している段階)における敷居を下げる取り組みとして、次に打鍵すべき鍵など演奏支援情報を光で指示する光る鍵盤 [1] や、ディスプレイに鍵盤や手を表示して打鍵位置や運指をグラフィカルに提示するピアノマスター [2] などが提案されている。しかし、同時に打鍵する数が増えたり、課題曲中で使用する鍵の数が増えるなど、課題曲の難度があがると、課題曲が求める打鍵能力(課題曲が指示する鍵を正しく打鍵する能力)と学習者が持つ打鍵能力とのギャップが大きくなってしまふ。瀧沢によれば、学習者にとって課題の難度が高すぎると課題の練習に取り組む意欲が下がることが分かっている [3]。したがって、たとえ光る鍵盤やピアノマスターの補助を利用したとしても学習者にとって楽曲の難度が高すぎると打鍵ミスを生発することになり、次の音符に進めない状態が続きフラストレーションがたまり学習者のモチベーション(習熟に向けて練習を続けたいと思う気持ち)が下がってしまう。学習者の学習スタイルは多様であり、できるだけ短い時間で効率的に課題曲の打鍵位置を習熟したい者もいれば、できるだけモチベーションを維持しながら学習したい者もいる。また、光ナビゲーションキーボード [1] やキーボードマニア [4] のように打鍵ミスで中断が発生しない練習形式もあるが、難度の高い楽曲では、練習開始直後は何も演奏できず、正しい音高が出力されるという意味での演奏の完成度は低くモチベーションが下がってしまう。

そこで、本研究ではモチベーションの維持を考慮したピアノ学習支援システムの構築をめざす。

提案システムは学習者が持つ打鍵能力と課題曲が求める打鍵能力間のギャップを減らすためにミスの許容度が異なる多段階の学習モードを持つ。ミス許容度が最も高い学習モードは、どの鍵を押したとしてもつねに正しい音を出力するため、初心者であっても、即座に演奏したい楽曲を弾けるようになると同時に演奏する楽しさや成功体験を提供できる。また、学習者は打鍵することで音高の出力タイミングを制御するため、演奏している実感を得られる。さらに、学習者は習熟度に応じて学習モードを選択的に使い分け、段階的にミス許容度を下げることで上達していく。これにより、自己効力感(課題曲を練習すれば演奏できるようになるという気持ち)も高められる。これらの一連の心理効果により、学習者のモチベーションを高い状態で維持できる。

以下、2章で関連研究について説明し、3章で設計について述べる。4章で実装について説明し、5章で評価について述べ、最後に6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 [5] 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 [6] 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 [7] 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。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], [8], [9] 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が、本研究で提案するミスの許容度は考慮されていない。

さらに、演奏の敷居を下げる試みとして、楽曲の速さや強さを指揮棒を振る感覚でコントロールできる Radiobaton [10] などの指揮システムがある。また、竹内らの Two Finger Piano [11] や大島らの Coloring-in Piano [12] は、どの鍵を弾いてもつねに正しい音が出力される。これらは、本研究で提案するミスの許容をすでに導入している事例であり、あたかも演奏しているように見せることができる。しかし、本研究のように段階的にミス許容度を変化させ演奏を学習するといった学習の要素は持ちあわせていない。石田らによる ism [13] は即興演奏において、奏者の不適切な演奏箇所をリアルタイムに適切な音に置き換え演奏を支援し、ism-v [13] は演奏者の不適切な音を振動で指摘する学習支援システムである。学習者の打鍵ミスに対して段階的に許容度を変化させている点で本研究と類似しているが、我々の研究では即興演奏ではなく五線譜の楽譜をベースとした楽曲の演奏を対象としている点で異なる。

## 3. 設計

1章で述べたように、本研究で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ほとんど何も弾けない状態から練習し、できるだけモチベーションを維持しながら打鍵位置を習熟し、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す。この要求を満たすシステムの要件として以下があげられる。

**打鍵位置情報の提示** 演奏者は演奏したい楽曲があった場合、とにかくその楽曲を弾けるようになりたいという思いが強い。しかし、ピアノ初心者は、楽譜の音符と、その音符に該当する鍵盤の対応付けをとることが困難である。したがって、五線譜とピアノしか利用しない旧来のピアノ学習方法では、学習者はまず譜読みの勉強から開始する必要がある。最終的に目標とする楽曲を演奏できるようになるまでに時間がかかっていた。また、筆者らの研究グループは、これまでにピアノ初心者のための学習支援システムを構築しており、評価実験の結果より、光る鍵盤のように次の打鍵位置を鍵盤上に提示することは、演奏の敷居を下げ、打鍵位置を理解する効果的な方法であることが証明されて

いる [8]. したがって, 本システムにおいても光る鍵盤のような打鍵位置の提示を採用する.

**ミス許容度の導入** 打鍵位置情報を提示することで, 学習者はたとえ楽譜を読めなくても正しい打鍵位置がどこか視覚的に理解できる. しかし, 楽曲が難しくなればなるほど, 打鍵位置情報のサポートがあったとしても正しい鍵を打鍵することは難しく, スムーズに演奏できるようになるまでに時間がかかる. 筆者らの研究グループでは上述したようにピアノ初心者のための学習支援システムを構築し評価しているが, 打鍵位置提示があったとしても難しい箇所\*1を何度も間違えたり, 何度も打鍵位置を確認し注意を払って演奏したりする様子が観測された. また, 打鍵位置をひとつおぼえるまでには時間がかかり, 特に実験開始直後は打鍵位置をそのつど確認する必要がある, 演奏したい楽曲をスムーズに演奏できているとはいえない. そこで本研究では, ミスの許容度という概念を導入し, ミス許容度が異なる学習モードを提案する. 学習者は自身の習熟度に応じて適切な学習モードを選択することで, 正しい打鍵位置の打鍵に集中しなくても演奏できる. たとえば, 最も難度の低い学習モードでは, どの鍵を弾いても正しい音が出力されるため, 打鍵タイミングを考慮するだけで, 練習開始直後からスムーズに演奏できる. 学習モードを段階的に変化させることで, 上達しながら練習に取り組み, これによりモチベーションを維持できる.

### 3.1 システム構成

提案する学習支援システムのシステム構成を図 1 に示す. 演奏者の前面にディスプレイを設置し, ディスプレイに楽譜と仮想鍵盤を提示する. また, システムは MIDI 情報 (打鍵位置や打鍵速度) を取得する. MIDI 鍵盤上には次の打鍵位置などの情報をプロジェクタで投影し提示する.

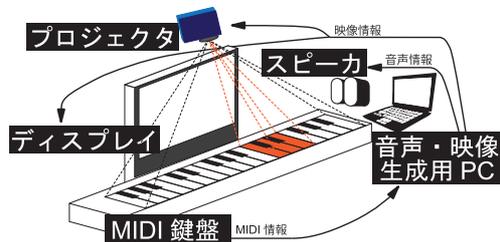


図 1 システム構成

Fig. 1 System structure.

\*1 たとえば, 音符間の音高の跳躍 (現在弾いている音符の音高と次の音符の音高が離れている) 箇所である. この箇所では, 現在弾いている鍵から次の鍵に指を移動させるために, 手を意識的に開いたり, 手首を動かしたりする必要がある. また, 何鍵離れているかを楽譜から読み取ることも難しく, 頻繁に打鍵ミスしてしまう.

### 3.2 学習方法

提案システムは打鍵ミスの許容度が異なる複数の学習モードを持ち, 学習者は自身の習熟度に合わせて選択的に各種学習モードを利用する. 選択中の学習モードにおいて許容範囲内の打鍵ミスであれば, システムは練習している楽曲の音高データベースから正しい音高データを取得し, 打鍵速度・打鍵タイミング・離鍵タイミングを残したまま, 音高のみを正しい音高に差し替えて出力する. これにより, 学習者が正確に打鍵できない低い習熟度であっても, 完成度の高い演奏を行えるためモチベーションを維持しながら練習に取り組みると考える.

システムは, ディスプレイ上に楽譜 (図 2-(1)) を提示し, 「現在の演奏位置 (図 2-(2))」を赤色の実線で楽譜上に提示する. 許容範囲以内の打鍵ミスであれば, 音高を差し替え出力すると同時に, 楽譜上の「現在の演奏位置」を更新する. 右手パートと左手パートそれぞれに「現在の演奏位置」を表す赤色の実線が存在し, 右手パートの楽譜, 左手パートの楽譜がそれぞれ用意されているため片手だけの部分練習を行うことも可能である. ディスプレイには楽譜以外に, 仮想鍵盤 (図 2-(3)) が提示されている. 「現在の演奏位置」および学習モードに合わせて, 仮想鍵盤上と MIDI 鍵盤上に次の打鍵位置の候補が提示 (図 2-(4)) される. また, 打鍵ミスが許容範囲外であった場合, 誤りであることを意味する効果音を出力することで学習者が誤りを認識できるようにする. さらに, 模範演奏の再生機能 (図 2-(5))・キューポイント (現在の演奏位置を変更する) 機能 (図 2-(6))・学習モード変更機能 (図 2-(7)) を持ち, 演奏に使用しない鍵にアイコンを投影し, 該当する鍵の打鍵により操作する. 学習モード選択用の鍵 (図 2-(7)) に投影された a~g は後述する学習モード A~G にそれぞれ対応している.

### 3.3 学習モード

本研究では, ミスの許容度の閾値を段階的に設定する必要があるが, その切り口として, 譜読みの認知プロセスに着目した. これは, 一般的に演奏者は楽譜上の音符から打鍵すべき鍵を決定し, 該当する鍵を打鍵するためである. 演奏のきっかけとなる譜読みの認知プロセスを適切に細分化できれば, 学習者にとって直観的な許容範囲を設定できるのではないかと考える.

波多野 [14] による初見視奏における楽譜の認知プロセスを参考にした. 波多野は, 初見試奏において, 譜面に記載された音符の音高や音価をそれぞれ高速に読み取るのではなく, これまでの演奏経験をもとに「パターン (ある音符のまとまり)」を「既知の単位」に読み替えていると述べている. たとえば, 3つの音符が離れずかつ重複せず上下に並んだ和音は3度の音程を隔てた3つの音で, 1つの音高さえ決まれば他の2つの音高は自動的に決まる. 演奏者

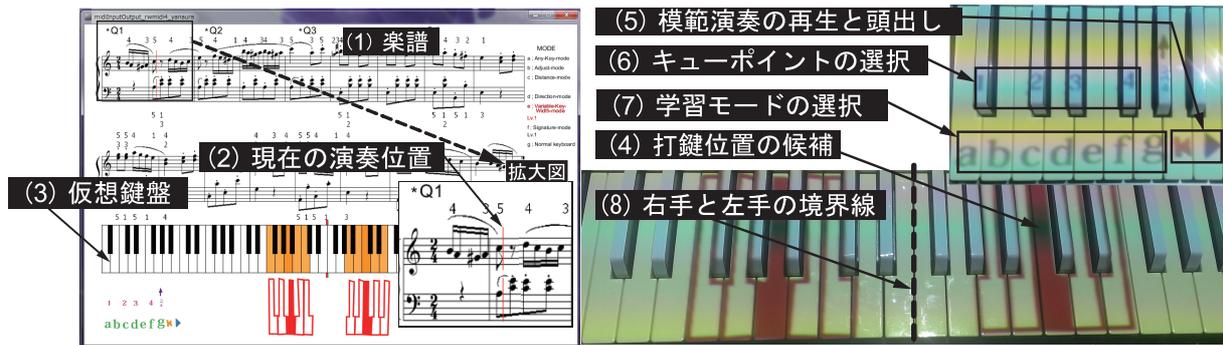


図 2 提示コンテンツ  
Fig. 2 Presented contents.

- (i) 音符の存在
- (ii) 音符の個数：2個
- (iii-(a)) 音符間の距離（音高軸）：現在の演奏位置に該当する2個の音符は白鍵1個分離れている
- (iii-(b)) 音符間の方向（時間軸）：1つ前の音符と比較して同じ高さの音符と、音高の高い音符
- (iv) 音部記号および五線譜の意識（調号は無視）：  
打鍵する鍵はソ4およびシ4  
# 数字はオクターブ数
- (v) 調号の意識：  
打鍵する鍵はソ#4およびシ4



図 3 譜読みの認知プロセス  
Fig. 3 Recognition process of music reading.

は、各音符の音高をそれぞれ読み取るのではなく、「音符の重なり具合のパターンを読み取り、既知の単位に変換するという処理」と「1つの音の音高を読み取るという処理」により処理の高速化を実現していると述べている。また、「音高のパターンと特定の音高とを切り離した方がより効率的な処理が可能となる」と記述している。すなわち、ド・ミ・ソから構成される和音と、レ・ファ・ラから構成される和音とを比べると、音高は異なるものの、音符の重なり具合という点では同じとらえることで、演奏者は既知の単位を増やしていると述べている。本研究では、「既知の単位への読み替え」および「音高情報の切り離し」から着想を得て譜読みの認知プロセスを5つに分解した。具体例として、図3に示す譜面と和音を演奏しようとしている場合、学習者は(i)音符の存在を確認し、次いで(ii)和音を構成する音符の数を理解する。また、(iii-(a))和音を構成する音符間の音高の差を理解したり、(iii-(b))現在演奏する音符が1つ前の音符より高い・低い・同じかという音符間の向きを理解したりする。(iv)着目している音符が「ト音譜あるいはヘ音譜のどちらに所属しているのか」、「五線譜上のどの位置にあるのか」について理解し音名とオクターブの高さを求める。最後に、(v)調号を認識し、(iv)で得られた音名およびオクターブの高さに調号情報を適用する。

ピアノ初心者には、既知の単位を持ちあわせていないため、音符から音高情報を切り離すだけでなく、調号情報、音符の重なり情報、個数情報など多様な観点で切り離すことで、単位を形成しやすくなるのではないかと考えた。従来の学習方法はこれらの過程を同時に理解することを前提としていたため、高い認知的負荷を要求していたが、提案

表 1 学習モードと譜読みの認知プロセスの関係

Table 1 Relationship between learning modes and recognition process of music reading.

	学習モード						
	A	B	C	D	E	F	G
(i)	○	○	○	○	○	○	○
(ii)	×	○	○	○	○	○	○
(iii-(a))	×	×	○	○	○	○	○
(iii-(b))	×	×	×	○	○	○	○
(iv)	×	×	×	×	△	○	○
(v)	×	×	×	×	×	○	○

手法ではこれらを個別に学習できる学習モードを提案することで、認知的負荷の軽減も同時にめざす。

以下、提案する学習モードについて説明する。各学習モードと上述した譜読みの認知プロセスの対応を表1に示す。学習モードはAからGになるにつれ、誤りに対する許容度が低くなり難しくなる。このため提案する学習モードをAから順に練習し、最終的にGで終了することを本提案システムの理想的な学習方法とし、学習者は自身の習熟度に応じて選択的に学習モードを切り替える。

**Aモード** Aモードでは、学習者はどの鍵を打鍵したとしても正しい音高の音が出力されるモードである。打鍵タイミング、離鍵タイミング、ペロシティは学習者の操作がそのまま反映される。学習者の打鍵する鍵は右手、左手それぞれ1鍵ずつ打鍵することを想定し打鍵タイミング、離鍵タイミング、ペロシティに意識を集中させることで鍵盤を打鍵するという動作に慣れるためのモードである。すでに聞き慣れた楽曲を練習している場合、学習者はペロシティ、打鍵タイミング、離鍵タイミングを十分に理解しているため、少しの練習で音長を制御しながら演奏できるようになる。これにより学習者は完成系をイメージでき、練習するモチベーションが向上する。許容範囲はすべての鍵となるため正しい打鍵位置は提示せず、現在の演奏位置のみを提示する。本研究では、両手で演奏する楽曲を想定しているため、学習者が楽曲中の右手パートを演奏しようとしてい



図 4 Bモードにおける情報提示

Fig. 4 Presentation of information in the mode B.

るのか、左手パートを演奏しようとしているのかシステムが区別できるよう、図 2-(8) に示すように、鍵盤上の右手と左手の境界（ミ 4\*2 とファ 4 の間）を定める。ミ 4 よりも高い鍵（右手領域）を打鍵していた場合、システムは右手パートを演奏していると判断し、右手パート上の「現在の演奏位置」を示す実線を次の音符に進める。この境界線の位置は楽曲によってそれぞれ異なる。

なお、右手パートと左手パートの演奏領域が重なる場合、境界線の設定が困難になる。この問題は、鍵盤上部にカメラを設置し画像処理で使用している手を認識 [15] するなどで解決できる。

**Bモード** Bモードは、学習者が和音の演奏に慣れるために有効なモードであり、和音を構成する音の数と学習者の打鍵する鍵の数が一致していれば正しい音出力されるモードである。Aモードと同様にどの鍵でも許容されるため正しい打鍵位置は鍵盤上に提示しない。提示される情報は、図 4 に示すように、現在の演奏位置を意味する赤色の実線と和音を構成する音の数分の白鍵を橙色で色付けた鍵を仮想鍵盤上に提示する。打鍵する数が異なる場合は誤りを意味する効果音を出力する。現在の演奏位置にある音符が単音の場合は 1 つの矩形しか提示されないが、和音の場合は、和音を構成する音の数だけ提示される。これは、後述する Cモードにおいても同様である。

**Cモード** Cモードは Bモードの制約に加え、和音を構成する音符の音高差と打鍵間の距離が同じであれば正解とし、正しい音出力される。図 5 のように右手のパートの和音（ラ、ド）を演奏する場合、同じように 3 度の関係にある和音（図 5 の正解例：ソとシ）の打鍵は正解となる。3 度の関係にない和音（図 5 の不正解例参照：ラとレ）を打鍵すると誤りを意味する効果音出力される。Cモードは楽譜上で和音を目視した際、鍵盤上で打鍵間の距離を把握できるようになることを目的としている。現在の演奏位置を示す赤色の実線を楽譜上に提示し、仮想鍵盤上に正

\*2 数字はオクターブの高さを表しており、ド 4 が中央のドである。

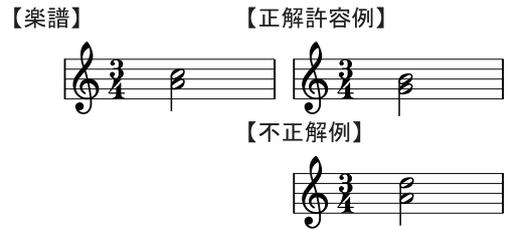


図 5 Cモード  
Fig. 5 Mode C.



図 6 Dモード  
Fig. 6 Mode D.

しい打鍵間の距離を橙色の矩形で提示する。

**Dモード** Dモードでは、Cモードまでの制約（和音を打鍵する際の打鍵数、ある瞬間における打鍵間の距離）に加え、「1つ前の打鍵位置」と「現在打鍵している打鍵位置」の関係も考慮する。具体的には、図 6 上部に示す単音からなる楽譜の場合、図 6 上部の正解例に示すように、1 打鍵目、および 2 打鍵目は同じ音高で 3 打鍵目は 2 打鍵目より低い音高という組合せであれば許容される。一方、不正解例 1 では 3 打鍵目が 2 打鍵目より高く、不正解例 2 では 2 打鍵目が 1 打鍵目と異なる音高のため誤りとなる。このように、1つ前の打鍵位置を基準に現在打鍵している打鍵位置の向きが正しければ、正解とする。なお、現在の打鍵位置が鍵盤の両端のいずれかで、次に演奏する鍵が物理的に弾けない場合、現在の打鍵位置を、右手はド 4、左手はラ 3 に置き換える。図 6 下部に示す和音からなる楽譜の場合、右手パートは最も高い音を基準とし、左手パートは最も低い音を基準とする。具体的には、不正解例 1 では 3 個目の和音の最も高い音が 1 個前の和音の最も高い音と異なるため誤りになる。不正解例 2 では 3 個目の和音の最も高い音は合っているが、低い方の音との音高差が異なるため誤りとなる。初心者であっても、今から弾く音が 1 つ前の音よ

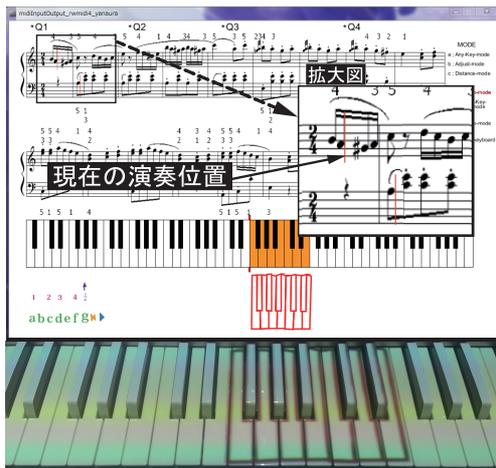


図 7 Dモードにおける情報提示

Fig. 7 Presentation of information in the mode D.

りも相対的に高いか低いかわかりやすく、Cモードまでの制約を習得できていれば、1つ前に弾いた鍵からの方向に移動するかを考えるだけでよい。学習者に提示する情報は、図7に示すように現在の演奏位置を示す赤色の実線と、MIDI鍵盤上に投影される次の打鍵方向を橙色で塗りつぶした情報である。本モードより仮想鍵盤に提示される情報と同じ情報がMIDI鍵盤上にもプロジェクタで投影される。図7では、右手でト音譜上のラ4を弾く場合における許容範囲内の鍵盤領域を示している。ここでは、1つ前の音符(シ4)を弾くために、学習者はファ5を打鍵したことを前提とし、Aモードで説明したように右手領域の最左端であるファ4からミ5までが許容範囲となっている。

**Eモード** Eモードは本来打鍵すべき打鍵位置を基準に指定した鍵数範囲内であれば正しい打鍵と見なし、正しい音高を出力する。たとえば、図8上部に示す単音の場合、正解例のように、本来打鍵する位置を中心に左右白鍵2個以内の誤りは(ド5を中心とし、ラ4~ミ5の範囲内の白鍵を打鍵すれば正解)許容される。図8下部に示す和音を演奏する場合、単音と同様、左右白鍵2個以内の誤りは許容される(図8下の正解例)。3個以上であれば不正解(図8下の不正解例)となる。また、BモードおよびCモードの制約も含まれており、図8下部の不正解例2に示すように和音を構成する音高差の誤りは不正解となる。打鍵位置のミスの許容範囲は±2白鍵分をデフォルトとし、学習者は習熟するにつれ許容範囲を下げる。許容範囲0が、調号を考慮しない光る鍵盤[1]と同じ難度になる。図2に示すように、ディスプレイ上の仮想鍵盤の鍵に対して、楽譜の音符に対応する打鍵位置と、許容範囲の打鍵位置をそれぞれ橙色で塗りつぶす。また、楽譜の音符に対応する打鍵位置は、許容範囲の打鍵位置と比べて橙色の彩度を高くして目立つようにする。また、MIDI鍵盤上にも同様の情報を提



図 8 Eモード

Fig. 8 Mode E.

示するが、MIDI鍵盤上においては楽譜の音符に対応する鍵は塗りつぶされ、許容範囲に該当する鍵は外枠のみ提示される。

**Fモード** Fモードでは、Eモードにおけるミス許容範囲0の制約に加え、調号も制約として含む。

**Gモード** Gモードは、システムによる支援がない状態となり楽譜とピアノのみを用いた学習方法となる。

#### 4. 実装

3章で述べた学習支援システムのプロトタイプを実装した。PCはSONY社のVAIO VGN-SR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。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Processingを用いた。

#### 5. 評価実験

評価実験では、提案する学習支援システムの有用性を検証するために演奏初期段階(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打鍵位置の学習の速さおよびモチベーションの度合いを評価した。

##### 5.1 実験の手順

実験の手順を以下に示す。

**比較手法** 比較手法は、光る鍵盤と同じで、具体的には、



名称：トルコ行進曲 (K. 331) 作曲者：W. A. Mozart 小節数：17 小節 調性：イ長調  
臨時記号の数：6 個 音域：右手 (ソ#4～ド6)、左手 (ラ2～ミ4)

図 9 課題曲—トルコ行進曲  
Fig. 9 Trial piece – Turkish march.

提案手法が提案する学習モードのうち、Fモードのみ利用できる。また、練習する手(右手, 左手, 両手)を選べる練習モード切替え機能を持つ。さらに、提案手法と同様、模範演奏の再生や、キューポイントの指定機能も利用できる。

**被験者** 比較手法(被験者 a, b, c, d)および提案手法(被験者 e, f, g, h)ごとにそれぞれ4名ずつ合計8名の被験者に参加してもらった。また、1度実験に参加した被験者は他の比較対象の実験には参加せず、実験はすべて異なる被験者により実施された。被験者は小・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受けていない大学生である。いずれの被験者も課題曲はよく聴いたことがありよく知っている。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、楽譜に記載された音符と対応する鍵の関係、符頭および符尾の意味、調号の意味、各種機能の使い方を説明した。

**課題曲** 図9に示すW.A. Mozartのトルコ行進曲(K.331)を最初から17小節目まで両手で演奏してもらった。トルコ行進曲は、ピアノ初心者にとって難しい楽曲である。しかし3章の冒頭で述べたように、たとえ初心者であったとしても弾いてみたい楽曲は存在する。本研究では、その楽曲の難度をトルコ行進曲レベルの難しさと想定しているためである。すなわち、「一般に広く知られている楽曲であること」「両手で演奏する必要があること」「白鍵だけでなく黒鍵を押す必要があること」「各手の演奏領域は1オクターブ以上の音域があること」「連続する音符間において、その音程が5種類以上あること」「単音および和音での演奏があること」「右手および左手において打鍵あるいは離鍵のタイミングが同じだったり異なったりする箇所がある

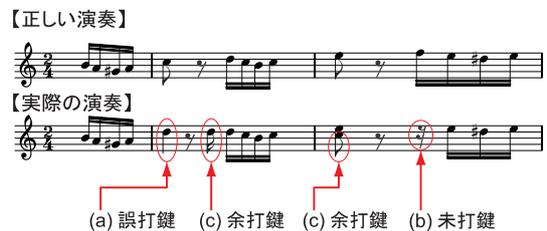


図 10 打鍵ミスの計測方法

Fig. 10 The way of measurement of the keying errors.

こと」を楽曲選定の要件とした。

**実験方法** 実験では、全被験者に割り当てられた学習方法で課題曲を30分間練習してもらい、到達度テストとして通し演奏(最初から最後までひととおり課題曲を演奏すること)を行ってもらった。なお、実験初日のみ、30分間の練習前に、各種機能を理解してもらうために、割り当てられた学習方法で課題曲を5分間練習してもらった。この5分間で被験者は各種機能をすべて利用し、被験者が各種機能の使い方を理解したことを実験者は確認した。実験は1日に1回とし、通し演奏での打鍵ミスが0回になるまで実験を行った。被験者bは旅行のため、被験者bのみ実験の継続が難しく、打鍵ミスが0回に到達しないまま実験を終了した。また、各実験日の実験終了後、「練習に対してモチベーションは維持できたか?」というモチベーションの維持(5段階:1(できない)~5(できた))に関するアンケートを回答してもらい、その理由について自由記述してもらった。通し演奏時は、ディスプレイ上にある楽譜のみ(現在の演奏位置も提示しない)提示し、システムの支援がない状態での演奏であった。また、誤打鍵(間違えて打鍵した場合:図10-(a))、未打鍵(打鍵しない場合:図10-(b))、余打鍵(余分に打鍵した場合:図10-(c))を打鍵ミスと見なした。なお、誤打鍵と余打鍵のどちらか判

定できない場合は誤打鍵と見なし、余打鍵と未打鍵のどちらか判定できない場合は余打鍵と見なし、誤打鍵と未打鍵のどちらか判定できない場合は誤打鍵と見なす。

**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、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」とはどれくらいの速さか問合せがあったときは、「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うてください。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。

## 5.2 実験結果

比較手法と提案手法を利用した各被験者の実験日ごとの打鍵ミス数および練習中のモチベーションのスコアとその理由を図11および図12に示す。横軸が実験日、縦軸の青色の棒グラフが実験日ごとの到達度テストにおける打鍵ミス数を表し、赤丸は各実験日の練習における被験者のモチベーションのスコアである。また、提案手法における実験日ごとの学習モードの使用履歴を図13に、学習モードの利用率の平均値を図14に、学習モードの利用率の最大値を図15に示す。「図14の被験者eのAモードの値」は、「被験者eの7日間におよぶ実験におけるAモードの利用率の平均値」を示している。また、「図14の全被験者のAモードの値」は、「図14における各被験者のAモードの利用率の平均値」を示している。図15の利用率の最大値は、図14と同様で、たとえば「図15の被験者eのAモードの値」は、「被験者eの7日間におよぶ実験中Aモードが最も利用された利用率」を示しており、「図15の全被験者のAモードの値」は、「図15における各被験者のAモードの利用率の最大値」を示している。さらに、各モードおよび各被験者の最小値は0%であった。

練習に対するモチベーションスコアの平均値は、提案手法で4.6（標準偏差0.4）、比較手法で3.8（標準偏差0.8）となった。この値が大きいほど高いモチベーションで練習に取り組んでいたといえる。また、有意水準1%においてWelchのt検定を行った結果、有意差 ( $t(52) = -4.02$ ,  $p = 0.0002$ ) が観測された。したがって、提案手法は比較手法よりもモチベーションを維持しながら練習できていると

いえる。被験者ごとに見ると、比較手法を利用した被験者のモチベーションスコアは全体的に揺らぎがみられ、モチベーションの最低値が2になる場合もある。一方、提案手法を利用した被験者のモチベーションスコアは安定していた。

打鍵ミス数に関しては、いずれの被験者も実験が進むにつれて打鍵ミス数が少なくなっている。しかし、実験にかかった日数は、手法間で差異は観測されなかったため、打鍵位置の学習においては、同等の学習効果であるといえる。

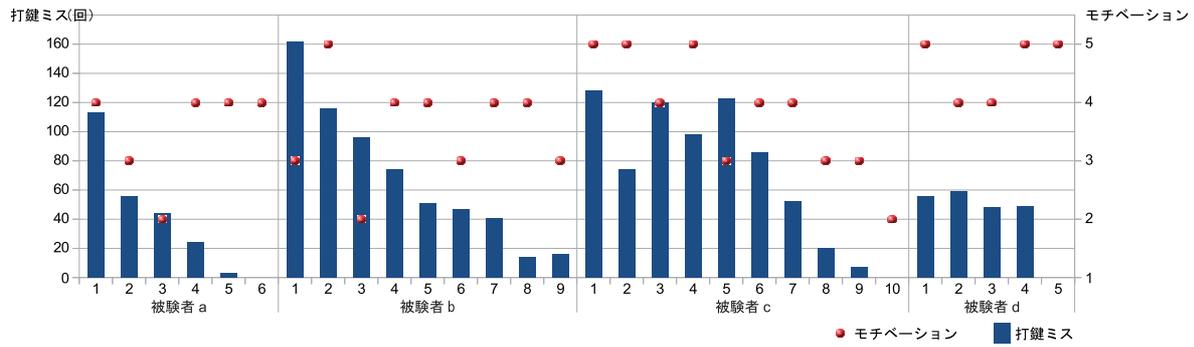
提案手法を利用した被験者は、図13より、すべての学習モードを利用していた。また、実験序盤はAモードやBモードといったミス許容度の高いモードを利用していた。また、実験の終盤においては、E・F・Gモードを利用していた。学習モードの利用率は、被験者ごとに個人差がある。たとえば被験者fのDモードの利用率は低い（総実験時間の3.4%利用）が、被験者eのDモードの利用率（総実験時間の14.5%利用）は高く、被験者ごとに好みが分かれるモードもあった。比較手法においては、練習モード切替えスイッチを利用して、片手だけの練習あるいは両手の練習と練習の難度を切り替えていたり、キューポイント機能を利用して難しい箇所を集中的に練習する様子が、実験中の観察、実験後の被験者からの聴取、付加機能の使用回数履歴を分析することで、観測された。

## 5.3 考察

本節では、評価実験で被験者に回答してもらったモチベーションのスコアやその理由をもとにピアノ学習とモチベーションの関係について議論する。次いで、提案手法と比較手法とでモチベーションの結果が異なった要因について、提案手法の各モードの有用性、提案手法の改善点について議論する。

**モチベーション低下の要因** 図10および図11の練習中におけるモチベーションのスコアおよびその理由から、モチベーションが低下する要因として、主に下記の3つが推察できる。なお、以下に示すa-3といったアルファベットと数字の組合せは、図10や図11に記述されているモチベーションスコアの理由における被験者名と実験日に対応する。たとえば、a-3は被験者aの実験3日目のコメントである。また、本文中で参照されているコメントに下線をひいた。

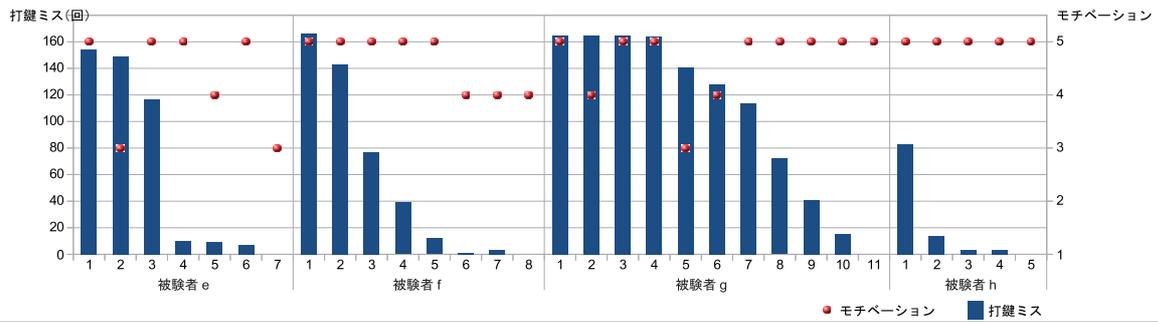
**飽き** a-3, c-9, c-10, e-7などのコメントより、反復練習への飽きがモチベーションスコアの低さに影響していると考えられる。このコメントは実験終盤によくみられ、a-3やc-10では「反復練習」、c-9やe-7では「同じ練習」という文言が被験者のコメントで使われており、被験者は実験序盤や中盤における進歩から、練習の目的や具体的な練習方法の内容は言及されていない



モチベーションのスコアとその理由						
a	1日目：スコア (4)	2日目：スコア (3)	3日目：スコア (2)	4日目：スコア (4)	5日目：スコア (4)	6日目：スコア (4)
	打鍵位置が提示されるため戸惑うことが少なかった。何度も同じところでミスしたが、ミスを自分で許容しながら気持ちに余裕をもたせた。	リズムを一定に保てなくてスムーズに弾けるようになる気がしなかった。	全体的にスムーズに弾けるようになってきたが、 <u>反復練習に少し飽きてきたため。</u>	楽譜を見ながら弾こうとしたがうまくできず、打鍵位置を覚えた。	徐々にミスなく弾けるようになったため。	前日よりミスが減ってきたため。
b	1日目：スコア (3)	2日目：スコア (5)	3日目：スコア (2)	4日目：スコア (4)	5日目：スコア (4)	6日目：スコア (3)
	両手で弾くのは難しく何から手をつけていかかわからなかったため。	早く弾けるようになりたい気持ちと、案外できそうという期待が持てたため。	最終的に両手で弾かなければならないと思い焦ってしまったため。	飽きないように両手練習を挟みながら右手の練習に集中できたため。	早く弾けるようになりたいと思い、両手の練習にチャレンジした。	あまり集中できなかったが運指を覚えてきた。
	7日目：スコア (4)	8日目：スコア (4)	9日目：スコア (3)			
	打鍵位置を覚えられず苛立ってしまったため。	一通り弾ける気がして練習に集中できたため。	打鍵位置を覚えられず苛立ち、集中できなかった。			
c	1日目：スコア (5)	2日目：スコア (5)	3日目：スコア (4)	4日目：スコア (5)	5日目：スコア (3)	6日目：スコア (4)
	右手のみの反復練習でミスをなくすために集中でき、区切りの良いところまで進み楽しくなったため。	右手を一通り弾けるように試行錯誤しながら練習し、目標まであと少しという所まで進んだため。	練習の最後は疲れてしまった。左手の練習が未知の領域だったので、発見が多くあったため。	予想以上の発見があり必死に練習に取り組むことができ左手パートを弾けるようになったものの、両手でできるか心配。	初めて両手の練習で前半はモチベーションを保てたが、 <u>うまくいかない部分もあったため。</u>	こなした内容は前日とほぼ同じだが、完成に近づく感覚があったためモチベーションを保てた。
	7日目：スコア (4)	8日目：スコア (3)	9日目：スコア (3)	10日目：スコア (2)		
	自分なりの練習方法で手応えを感じ上達を感じることができたため。	ひたすら反復練習するだけで少し疲れを感じたが、上達を感じたため飽きずにできた。	何回かノーマスでできるようになったが同じ練習に少し飽きてきたため。	正確に弾くことに集中できたが反復練習に飽きてしまったため。		
d	1日目：スコア (5)	2日目：スコア (4)	3日目：スコア (4)	4日目：スコア (5)	5日目：スコア (5)	
	両手が難しく片手ずつ練習をし、右手はある程度弾けるようになったため。	両手でうまく弾けずモチベーションが下がったが、簡単に弾ける所があり上がった。	左手が難しくてどうやっても弾けない気がしたため。	両手でうまく弾けずあきらめかけたが、練習するうちに上達を感じ、もっとやればうまく弾けるのではとやる気になったため。	ゆっくり弾くとうまくいくと分かり、弾けるようになるまでモチベーションを保てた。	

図 11 比較手法：到達度テストの打鍵ミス数、練習に対するモチベーションスコアとその理由

Fig. 11 Comparative method: Results of the number of keying errors in the test, the values and reasons for motivation in the practice.



モチベーションのスコアとその理由						
e	1日目：スコア (5)	2日目：スコア (3)	3日目：スコア (5)	4日目：スコア (5)	5日目：スコア (4)	6日目：スコア (5)
	楽譜を見たとき不安を覚えたが自分のできる範囲でやろうと思えたため。	何から手をつけていか戸惑ったが、始まるの音を正しく弾けるとうまくいくことがわかったため。	打鍵位置の提示があるモードを使うことで、正しい打鍵位置を覚えられるため気が楽だった。	テストに向けて正しい打鍵位置を意識した。2段目の後半はすぐに覚えることができたため。	両手で弾ききることを目標に打鍵位置を覚えようとした。行き詰った時にストレス解消のために、気持ちよく演奏できる簡単なモードで練習した。	補助のないモードでも自然に弾けるようになってきた。楽しく練習できたため。
	7日目：スコア (3)					
	同じ練習の反復に飽きてしまったため。					
f	1日目：スコア (5)	2日目：スコア (5)	3日目：スコア (5)	4日目：スコア (5)	5日目：スコア (5)	6日目：スコア (4)
	補助により自分で演奏できた気になり楽しかったため。	右は正しい打鍵位置、左手はタイミングを重視し練習した。色々なモードを試しながらできたため。	意外と進歩を感じたため安心しモチベーションを保てた。	黒鍵を弾けるようになり、テストでも正しい音を出せると思いいモチベーションを維持できた。	左手のパターンを早く覚えることができ通して両手で弾けるようになったため。	苦手なところを確認しながら練習した。テストに対して不安があったため。
	7日目：スコア (4)	8日目：スコア (4)				
	好きな楽曲の前半の部分を練習してるときはモチベーションが上がった。	打鍵ミスなく弾けるように、少し不安を伴いながら練習したため。				
g	1日目：スコア (5)	2日目：スコア (4)	3日目：スコア (5)	4日目：スコア (5)	5日目：スコア (3)	6日目：スコア (4)
	正しい打鍵位置を意識しなくていいので正しい打鍵タイミングをイメージしやすかったため。	左右の手を独立させて動かすことが難しく、昨日よりモチベーションが下がった。	1本指から2本指で演奏できるようになり上達を感じた。	モードがひとつずつ上がり、進歩を感じたため。	A, Bモードでうまく弾けるようになったが、Eモードでうまく弾けず少しモチベーションが下がった。	Cモードである程度弾けるようになり、前日よりEモードでうまく弾けるようになったため。
	7日目：スコア (5)	8日目：スコア (5)	9日目：スコア (5)	10日目：スコア (5)	11日目：スコア (5)	
	苦手意識のあったEモードからFモードに進んだため。	まだ打鍵位置を覚えきれなかったが前日より進歩を感じた。	補助がない状態でも弾けるようになってきたため。	あと少しでスムーズに弾けるような気がするため。	補助がない状態でスムーズに弾けるようになったため。	
h	1日目：スコア (5)	2日目：スコア (5)	3日目：スコア (5)	4日目：スコア (5)	5日目：スコア (5)	
	片手ずつなら弾けるが両手だと混乱する。練習時間の最後までうまくならうと練習できたため。	両手でのタイミングやリズムを理解し、ある程度覚えられたため、ゆっくりでも全体的に弾けるようになった。	通し練習でミスを減らすのに集中できた。間違いを恐れることなく気楽に練習できたため。	ミスを減らすために本番より速いテンポで練習に集中でき、最後は時間を忘れるほど早く終わった気がしたため。	自分がどこでミスをしているか意識しながら練習できたため。	

図 12 提案手法：到達度テストの打鍵ミス数、練習に対するモチベーションスコアとその理由  
 Fig. 12 Proposed method: Results of the number of keying errors in the test, the values and reasons for motivation in the practice.

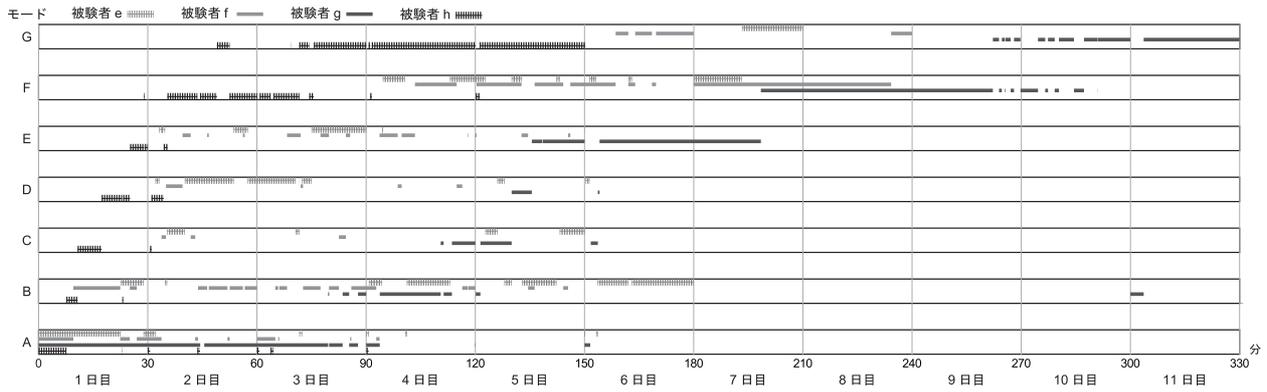


図 13 提案手法における各被験者の学習モードの使用履歴

Fig. 13 The use record of the learning mode of each subject.

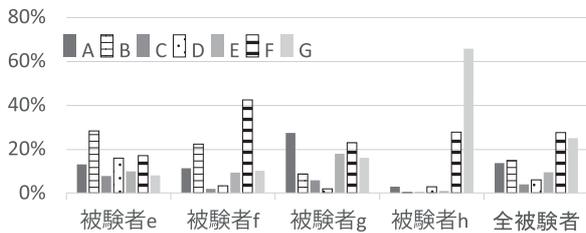


図 14 学習モードの利用率の平均値

Fig. 14 The average utilization rate for each learning mode.

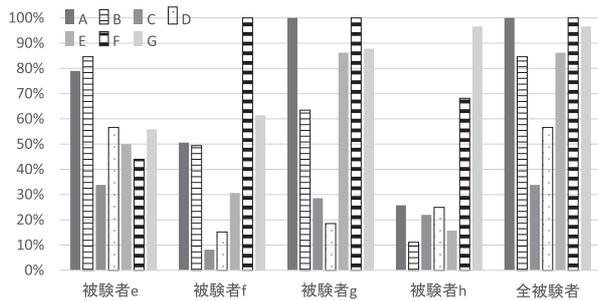


図 15 学習モードの利用率の最大値

Fig. 15 The maximum utilization rate for each learning mode.

ものの、どう練習するべきかという練習方法を構築できている。しかし、何度も繰り返し練習しているため、練習への飽きが生じている。

**苛立ちや落胆** b-7, b-9, c-5, d-2, g-2, g-5などのコメントより、被験者は課題の難しさやうまく演奏できないことによる苛立ちや落胆を感じている。これは実験序盤から終盤にかけてどの段階でもみられる。実験序盤は両手演奏時に左右の手を独立して動かすという難しさが、実験中盤や終盤は打鍵位置を覚えるという難しさがある。被験者はこれらをうまく克服できずに苛立ちや落胆をみせている。b-7, b-9のコメントでは苛立ちという表現が使われている。c-5, d-2, g-2, g-5のコメントでは「苛立ち」や「落胆」という表現が使われていないが、実験後のヒアリングで落胆したことを確認している。

**不安** b-1, d-3, e-2などのコメントより、被験者は（シス

テムをどう活用して) どのように練習すれば上達するのか分からないという不安を持っている。これは実験序盤や中盤にみられるが、b-1では両手演奏の難しさを体験し最終的に課題を達成できるのか不安になり自己効力感が下がっている。d-3では被験者は自分の練習方法が正しいのか疑問を持ちはじめ課題を達成できるか漠然とした不安を感じている。e-2では被験者は提案システムをどう活用すればよいか戸惑いをみせている。なお、「苛立ちや落胆」の項と同様、上述の内容が実験者の憶測でないことを被験者に確認している。

**モチベーション向上の要因** モチベーションが向上する要因として、主に「上達」がある「前日よりミスが減ってきたため (a-6)」「モードが1つずつ上がり、進歩を感じたため (g-4)」「補助がない状態でも弾けるようになったため (g-9)」など、過去の自分の状態とくらべて上達していたり、課題達成に近づいたときに、モチベーションスコアの向上や、高いモチベーションスコアが観測される。これは、提案手法および比較手法ともに、実験の時期に関わらず散見される。また、個別の事例として、「補助により自分で演奏できた気になり楽しかったため (f-1)」という課題曲そのものを演奏する楽しさがモチベーションの高まりに影響している。さらに、e-1のように課題そのものの達成は不透明であるが、提案手法のAモードやBモードで練習することで課題を細分化した小課題を確認でき、その小課題であれば達成できそうという自己効力感であったり、b-2やb-8のように課題そのものを達成できそうだという自己効力感もモチベーションが高まる要因となっている。

**モチベーションの差異** 上述したように、モチベーションが上下する原因は多種多様であるが、提案手法は全体的に「上達」や「楽しさ」に該当するポジティブなコメントが多い。一方、比較手法はポジティブなコメントもあるが、「飽き」「苛立ちや落胆」「不安」に該当するネガティブなコメントが提案手法と比べると多くみられる。

具体的に、実験初日の結果を見ると、提案手法は「楽しさ」や「自己効力感」に関する記述が多く全被験者が最高点のスコアをつけている一方、比較手法を利用した被験者bは「不安」を持っていたり、被験者aはミスへの苛立ちや落胆に関するコメントを残しており、被験者aおよび被験者bのモチベーションスコアは最高点ではない。実験中盤以降で今回の実験で最低点2のモチベーションスコアがつけられたときに注目すると、被験者aや被験者bの実験3日目にモチベーションスコアに2がつけられた理由は反復練習への飽きや、課題を達成しなければならないという焦りである。被験者cは実験7日目以降、モチベーションスコアが低下しており、最終日の10日目のモチベーションスコアが2となった。低下の理由は反復練習への飽きと考えられる。

提案手法のモチベーションスコアが比較手法よりも高くなった理由として、実験序盤においては、楽しさや自己効力感を提供できるきっかけとなった「打鍵ミスの許容を考慮した学習モード」の影響が大きいと考えられる。実験1日目で被験者eや被験者fは「自分のできる範囲でやろう(e-1)」「補助により自分で演奏できた気になり楽しかった(f-1)」とそれぞれコメントしており、AモードやBモードで練習することで小課題を達成できそうだという自己効力感を感じている。一方、比較手法を利用した被験者aや被験者bはミスへの苛立ちや不安を感じている。これらの結果により、実験初日において楽しさや自己効力感を提供には、提案手法の打鍵ミスの許容を考慮した学習モードの影響が大きいといえる。

また、各種学習モードを攻略していくことで被験者は進歩を感じることができ、「上達」の誘導を学習モードによりうまくデザインできた。たとえば、被験者gは「1本指から2本指で演奏できるようになり上達を感じた(g-3)」「モードが1つずつ上がり、進歩を感じたため(g-4)」と述べている。提案手法は「正解の鍵の押下」という行為を、鍵を押すということ、正しい鍵の個数分だけ同時に打鍵することなどのように細分化し、各モードに割り当てている。被験者gは、提案システムを利用することで、自身の演奏を、正しい鍵を押すという打鍵の正確性ではなく、正しい鍵の個数分だけ同時に押せるようになったという点で評価している。比較手法を利用した被験者のコメントを再確認したところ、比較手法を利用した被験者は、打鍵の正確性の評価にとどまっており、被験者gのような打鍵行為を細分化した観点で評価できていなかった。打鍵の正確性という観点では上達していなかったとしても、異なる観点で演奏を評価することで上達を感じることができ、モチベーションを高めている。

さらに、意外な学習モードの利用方法として、被験者eは「行き詰まったときにストレス解消のために気持ち良く演奏できる簡単なモードで練習をした(e-5)」とコメント

しており、ストレス解消に利用している被験者もいた。

**提案手法の各モードの有用性** 図14-全被験者に注目すると、C・D・Eモードの利用率は10%を下回る一方、FモードやGモードは20%を超えている。また、被験者ごとの結果に注目すると、被験者eのBモード、被験者fのFモード、被験者gのAモード、被験者hのGモードがそれぞれ最高値を記録している。一方、図15-全被験者に注目すると、A・B・E・F・Gモードの利用率は80%以上である。

FモードやGモードの利用率の平均値(図14-全被験者)が高くなった理由は、正しい打鍵位置を覚えるための最も有効なモードだったためである。これは全被験者への聴取から確認済みである。実際、FモードやGモードは特に実験の終盤に頻繁に利用され、図15-全被験者のFモードやGモードは95%以上である一方、Eモードは、正しい打鍵位置の学習を含んでいるという点では、FモードやGモードと同じであるが、利用率の平均値は小さく、最大値は大きくなり、FモードとGモードと異なる結果になった。

AモードからDモードは、打鍵行為そのものの学習、同時に打鍵する鍵数の理解の学習、1つ前の打鍵位置から次の打鍵位置の移動距離の学習などに特化しており、正しい打鍵位置の学習は学習項目に含まれていない。Eモードから初めて正しい打鍵位置を学習しているが、Eモードは、一時的な利用にとどまり、正しい打鍵位置を覚えるための主要なモードにはいたっていない。Eモードは、正しい鍵およびその周囲の鍵の打鍵を許容しており、大まかな打鍵位置を覚えるために利用され、FモードやGモードは正しい打鍵位置を覚えるために利用される。Eモードと、F・Gモードでそれぞれ用途は異なるが、大まかな打鍵位置を覚えることは、正しい打鍵位置を覚えることと比較して、多くの時間を必要としないため、Eモードの利用率の平均値は小さくなったと考えられる。しかし、図15の被験者eのEモード利用率は50%以上、被験者gのEモード利用率は85%以上で、ある実験日において頻繁に利用されており、実験後に被験者eや被験者gに聴取したところ、EモードがなくFモードから練習した場合、打鍵ミスが多くなり苛立ちや落胆が高まったであろうという内容の感想を述べており、Eモードの有用性はあるといえる。

Aモードは打鍵行為そのものを学習するために、Bモードは同時に打鍵するという行為を学習するために頻繁に利用され、利用率の平均値も高い結果が得られている。しかし、CモードやDモードの全被験者の利用率の平均値(図14-全被験者)および各被験者の利用率の最大値は小さくなった。これは、課題曲の和音のバリエーションが少なく、CモードとBモードに違いがみられなかったためだと考えられる。課題曲において和音は左手パートで2種類、右手パートで4種類存在する。音高の違いを無視し、音程だけに注目すると、左手パートおよび右手パートあわせて

2種類で、全和音は2音から構成される。Bモードの利用率が高くCモードの利用率が低い被験者fは「Cモードは難しいと感じずBモードと似ているという印象があった」と感想を述べている。今後の課題として、3和音や4和音などを含む和音のバリエーションが多い楽曲を課題曲に選んだときに、Cモードの利用率がどのように変化するか調査する必要がある。被験者fおよび被験者gにDモードを利用しなかった理由を聴取したところ、1つ前の鍵と現在の鍵の差分を考えるよりも打鍵位置を考えた方が分かりやすい、特に和音の場合の考え方が複雑だった、という内容の感想が得られた。

したがって、A・B・E・F・Gモードに関しては有用性が確認されたが、Cモードに関しては、和音のバリエーションが少ない楽曲では有用性を確認できず、Dモードに関しては不要といえる。なお、上記で述べた各モードの利用目的に関しては、実験者の憶測ではなく、全被験者からそのような目的で利用したということの確認がとれている。

**提案手法の改善点** 提案手法において、被験者はシステムの支援によりスムーズに演奏することができるため、高いモチベーションを維持できるが、仮に到達度テストを受けていなかった場合、擬似的ではあるが演奏できたという達成感から難度の高い学習モードに挑戦しない態度も考えられる。この対策として半強制的に支援をなくす方法などが考えられる。また、被験者1名（被験者fの実験5日目）から「正しい鍵の位置を提示してほしい」というコメントがでた。被験者fは、実験開始日からこのように感じていたのではなく、実験5日目の練習中にこのように感じており、実験4日目終了後までは、「正しい鍵の位置を提示してほしい」と思わなかった。被験者fは1日目から5日目の実験において、AモードからFモード間をモードを上げたり下げたりしながら練習している。実験5日目では、被験者fは正しい打鍵位置を覚えるために、Fモードを頻繁に利用しながらも、苦手な箇所を克服するためにEモードやBモードを利用していた。被験者fは正しい打鍵位置を覚えることを課題としていたため、その情報が提示されないBモードを利用したときに「正しい鍵の位置を提示してほしい」と感じた。これらは被験者fへの聴取から明らかになった事実である。正解の鍵の位置の提示に関しては、学習者の学習目標によって必要かどうかかわってくるため、学習者が正解の鍵を提示するか否かを選択できる機能を提供することで対応していきたい。

## 6. まとめ

本研究では、学習者のミスの許容度に注目し、モチベーションの維持を考慮したピアノ学習支援システムを構築した。提案システムは譜読みの認知プロセスをもとに、ミスの許容度が異なる学習モードを持つ。評価実験より、提

案手法を利用した被験者は、従来手法よりも高いモチベーションを維持しながら練習に取り組みると同時に、打鍵位置の学習において同等の学習効果があることを確認した。

今後の課題として、被験者数を増やすといった大規模な評価実験の実施や、学習者の打鍵ミスをもとに最適な学習モードを自動選択する機能の提案などがある。

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

## 参考文献

- [1] CASIO: 光ナビゲーションキーボード, 入手先 ([http://casio.jp/emi/key\\_lighting/](http://casio.jp/emi/key_lighting/)).
- [2] 河合楽器製作所: ピアノマスター, 入手先 (<http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/pm/index.htm>).
- [3] 瀧沢絵里: テキスト教示・練習課題の難易度が内発的動機づけに及ぼす影響について, 学習院大学人文科学論集 19, pp.131-149 (2010).
- [4] コナミ: キーボードマニア, 入手先 (<http://www.konami.jp/am/keyboard/>).
- [5] 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-071), Vol.2007, No.81, pp.185-190 (2007).
- [6] 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, pp.933-934 (2008).
- [7] 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 (2-3), pp.155-173 (1990).
- [8] 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).
- [9] 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).
- [10] Boulanger, R. and Mathews, M.: The 1997 Mathews Radio-Baton and improvisation modes, *Proc. International Computer Music Conference 1997*, pp.395-398 (1997).
- [11] 竹内好宏, 片寄晴弘: Two Finger Pianoによる曲想の表現, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学 1995-MUS-011), Vol.1995, No.74, pp.37-44 (1995).
- [12] 大島千佳, 宮川洋平, 西本一志: Coloring-in Piano: 表情付けに専念できるピアノの提案, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学 2001-MUS-042), Vol.2001, No.103, pp.69-74 (2001).
- [13] 石田克久, 北原鉄郎, 武田正之: N-gramによる旋律の音楽的適否判定に基づいた即興演奏支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.7, pp.1548-1559 (2005).
- [14] 波多野諄余夫: 音楽と認知, pp.70-81, 東京大学出版会 (1987).
- [15] 竹川佳成, 寺田 努, 西尾章治郎: 鍵盤奏者のための実時間運指取得システムにおける演奏ルールの考察, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学 2006-MUS-66), Vol.2006, No.90, pp.13-18 (2006).



竹川 佳成 (正会員)

2003年三重大学工学部情報工学科卒業。2005年大阪大学大学院情報科学研究科修士課程修了。2007年同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。博士(情報科学)。音楽情報科学、ウェアラブルコンピューティングの研究に従事。



福家 悠人

2013年公立はこだて未来大学システム情報科学部卒業。2015年同大学院システム情報科学研究科修士課程修了。同年株式会社ウイングに入社。現在に至る。インタラクティブシステムに興味を持つ。



柳 英克 (正会員)

1980年東京芸術大学美術学部デザイン科卒業。NHK「できるかな」、フジテレビ「ひらけポンキッキ」をはじめ、TV・CM・舞台等で、デザイン・造形・アイデアプランを手掛ける。2000年4月より公立はこだて未来大学システム情報科学部助教授。2004年4月より同教授となり、現在に至る。現在は、地域活性化を目的とするブランド構築や、コミュニケーション・身体性等をテーマとする創作を中心に研究活動を行っている。デザイン学会、環境芸術学会各会員。