

モチベーションを考慮した ピアノ学習支援システムの設計と実装

福家 悠人^{1,a)} 竹川 佳成^{1,b)} 柳 英克^{1,c)}

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。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直観的に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格で、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もつ。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、同等の学習効果を確認した。

Design and Implementation of a Piano Learning Support System Considering Motivation

FUKUYA YUTO^{1,a)} TAKEGAWA YOSHINARI^{1,b)} YANAGI HIDEKATSU^{1,c)}

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, 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 a lighted keyboard method in a motivation.

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。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位置能力(課題曲が指示する鍵を正しく打鍵する能力)と学習者がもつ打鍵位置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わかっている[3]。したがって、たとえば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連発することになり、

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

a) g2113027@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) yanagi@fun.ac.jp

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、たとえ効率的な学習を犠牲にしたとしても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もつ打鍵位置能力と課題曲が求める打鍵位置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もつ。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常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。

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もつ。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、どの鍵を弾いても常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もちあわせていない。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

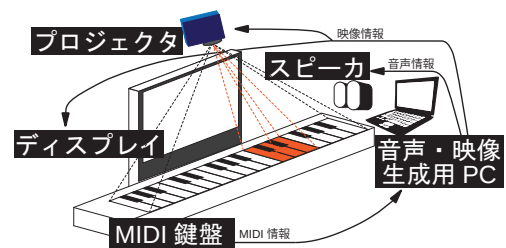


図 1 システム構成

Fig. 1 System structure

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ため、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と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する様子が観測された。また、打鍵位置を一通り覚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都度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言い難い。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

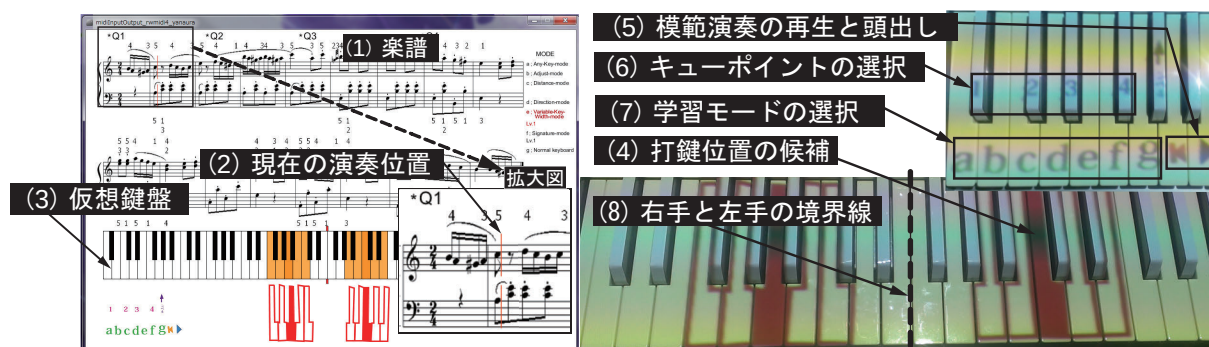


図 2 提示コンテンツ
Fig. 2 Presented Contents

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せずとも演奏できる。例えば、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、上達を感じ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 (打鍵位置や打鍵強度) を入力とする。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。

3.2 学習方法

提案する学習方法は許容範囲内の打鍵ミスであれば、学習者が本来弾くべき位置と異なる鍵を打鍵したとしても、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、ペロシティ・打鍵タイミング・離鍵タイミングを残したままで、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める。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もち、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。

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)) されたり、許容範囲外の打鍵ミスをした場合、赤く該当する鍵が塗りつぶされたりする。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)) をもち、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指し示することができる。波多野氏 [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、本研究では、和音演奏における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 に示す譜面で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。

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、演奏の簡単化を実現する。

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。

- (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

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)	×	×	×	×	×	○	○

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な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。許容範囲は全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^{*1}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。この境界線は以降のモードにおいても利用され位置は不変である。

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得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

*1 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

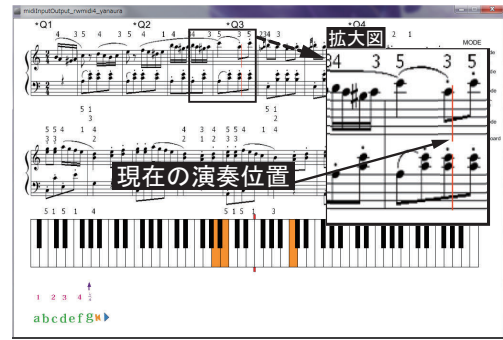


図 4 B モードにおける情報提示

Fig. 4 Presentation of information in the mode B

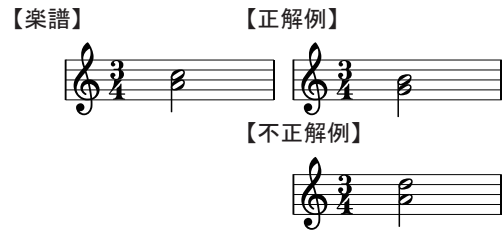


図 5 C モード

Fig. 5 Mode C

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が出力される。Cモードは楽譜上で和音を目視した際、鍵盤上での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成る楽譜の場合、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み合わ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成る楽譜の場合、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



図 6 D モード
Fig. 6 Mode D



図 8 E モード
Fig. 8 Mode E

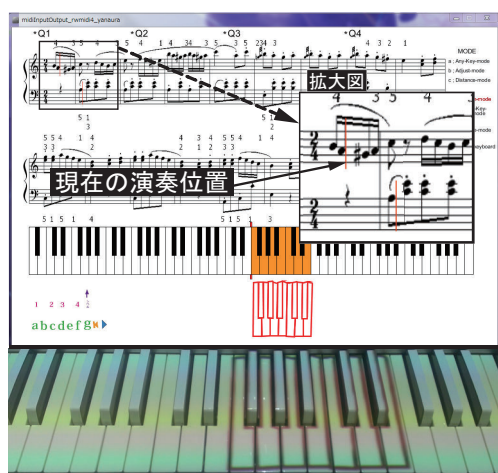


図 7 D モードにおける情報提示
Fig. 7 Presentation of information in the mode D

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つ前の音よりも相対的に高いか低いか同じかは認識しやすく、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どの方向に移動するかを考えるだけで良い。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みなし、正しい

音高を出力する。例えば、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。Fモードは光る鍵盤と同じ難度となる。

Gモード Gモードは、システムによる支援が無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、Windows7上でProcessingを用いた。

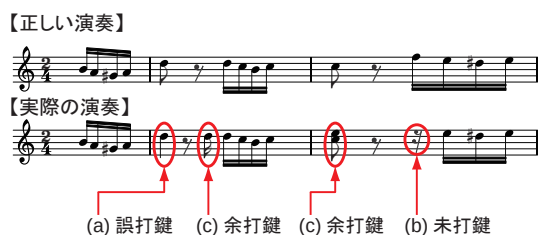


図 9 打鍵ミスの計測方法

Fig. 9 The way of measurement of the keying errors

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習熟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、提案手法が提案する学習モードの内、Fモードのみ利用できる。また、練習する手（右手，左手，両手）を選択できる練習モード切替機能をもつ。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 学習方法ごとにそれぞれ4名ずつ合計8名の被験者に実験してもらった。また、一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、実験は全て異なる被験者により実施された。被験者は五線譜がほとんど読めない鍵盤経験歴のない大学生である。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、各種機能の使い方を説明した。

課題曲 W. A. Mozart のトルコ行進曲を最初から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も難しい楽曲である。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見たい楽曲は存在し、本研究では、その楽曲をバイエルのような基礎的な練習曲ではなく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。

実験方法 実験では、割り当てられた学習方法で課題曲を30分間練習し、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全て利用し、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、システムの支援が無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9-(a)）、未打鍵（打鍵し無い場合：図9-(b)）、余打鍵（余分に打鍵した場合：図9-(c)）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い合わせがあったときは、「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 実験結果と考察

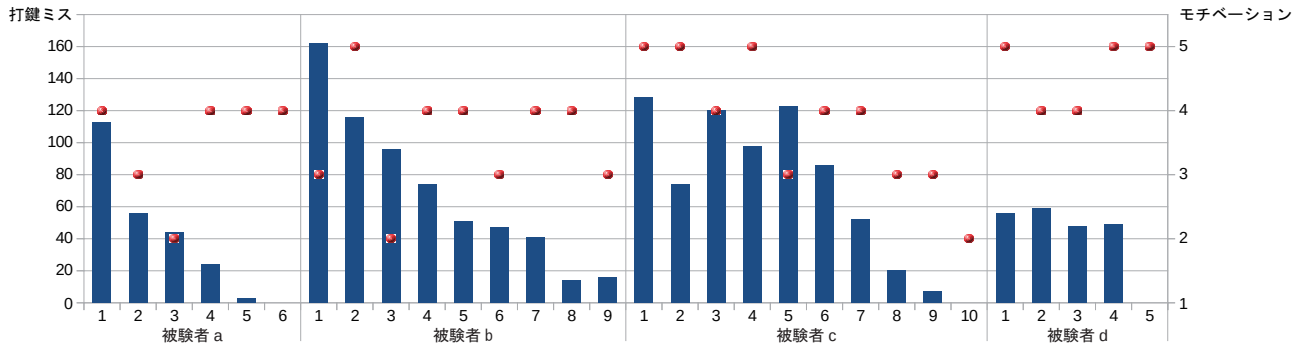
比較手法と提案手法を利用した各被験者の実験日ごとの打鍵ミス数および練習中のモチベーションのスコアとその理由を図10および図11に示す。横軸が実験日、縦軸の青色の棒グラフが実験日ごとの到達度テストにおける打鍵ミス数を表し、赤丸は各実験日の練習における被験者のモチベーションのスコアである。また、提案手法における実験日ごとの学習モードの使用履歴を図12に、比較手法における付加機能の使用頻度を表2に示す。

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0.3）、比較手法で3.9（標準偏差0.5）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、t検定を行った結果p値は0.04となり有意水準5%で有意差が観測された。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。被験者ごとにみると、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。

提案手法を利用した被験者は、図12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。例えば被験者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わかれるモー

図 10 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

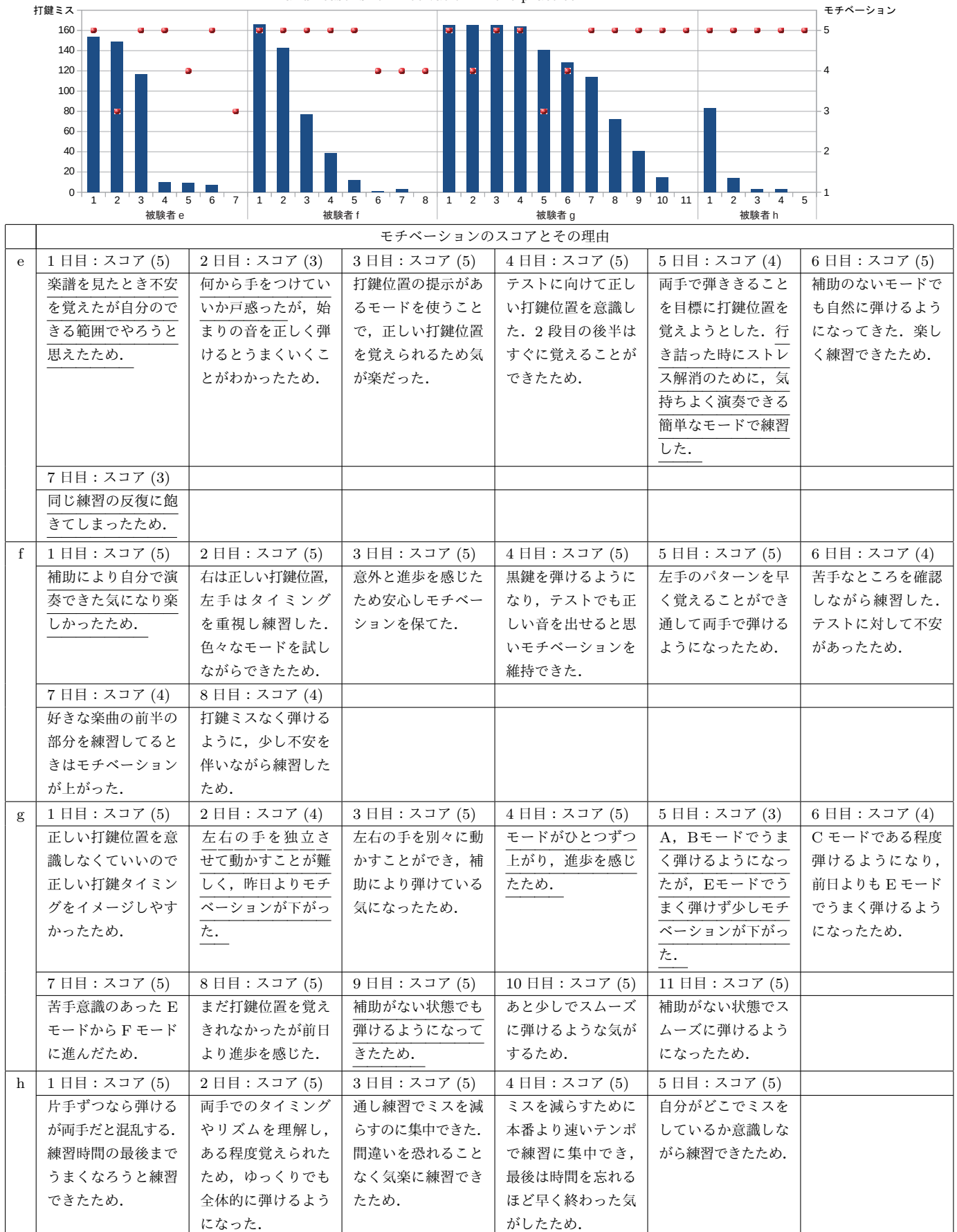
Fig. 10 Comparative method: Results of the number of keying errors in the test, the values and reasons for motivation in the practice.



モチベーションのスコアとその理由						
a	1 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。	2 日目：スコア (3) 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。	3 日目：スコア (2) 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>	4 日目：スコア (4) 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。	5 日目：スコア (4) 徐々にミスなく弾けるようになったため。	6 日目：スコア (4) <u>前日よりミスが減ってきたため。</u>
b	1 日目：スコア (3) <u>両手で弾くのは難しく何から手をつけていいかわからなかったため。</u>	2 日目：スコア (5) 早く弾けるようになりたい気持ちと， <u>案外できそうという期待が持てたため。</u>	3 日目：スコア (2) 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。	4 日目：スコア (4) 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。	5 日目：スコア (4) 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。	6 日目：スコア (3) 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) <u>打鍵位置を覚えられず苛立ってしまったため。</u>	8 日目：スコア (4) <u>一通り弾ける気がして練習に集中できたため。</u>	9 日目：スコア (3) <u>打鍵位置を覚えられず苛立ち，集中できなかった。</u>			
c	1 日目：スコア (5) 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かったため。	2 日目：スコア (5) 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。	3 日目：スコア (4) 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。	4 日目：スコア (5) 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た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。	5 日目：スコア (3) 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>	6 日目：スコア (4) 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) 自分なりの学習方略で手応えを感じ上達を感じることができたため。	8 日目：スコア (3) 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。	9 日目：スコア (3) 何回かノーミスでできるようになったが <u>同じ練習に少し飽きてきたため。</u>	10 日目：スコア (2) <u>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。</u>		
d	1 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。	2 日目：スコア (4) 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。	3 日目：スコア (4) <u>左手が難しくてどうやっても弾けない気がしたため。</u>	4 日目：スコア (5) 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，もっとやれようまく弾けるのではとやる気になれたため。	5 日目：スコア (5) 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 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. 11 Proposed method: Results of the number of keying errors in the test, the values and reasons for motivation in the practice.



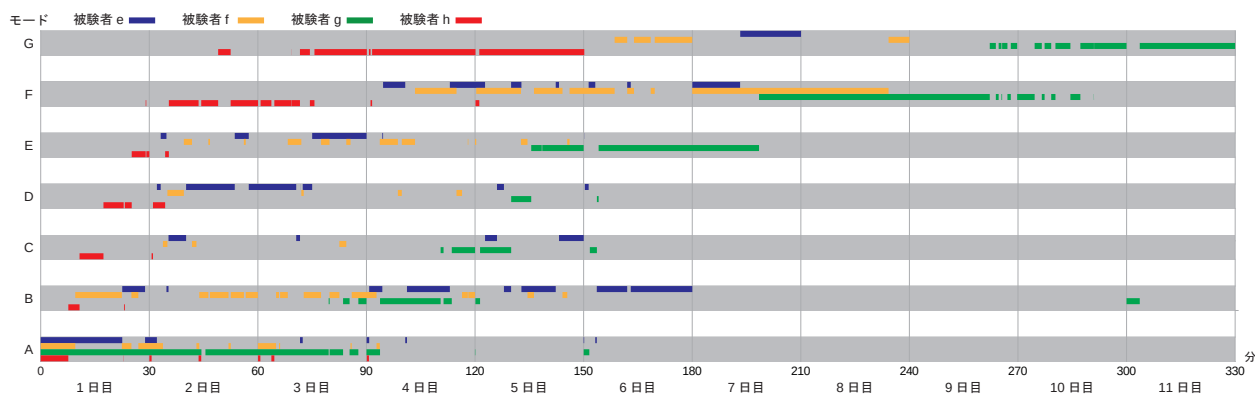


図 12 提案手法における各被験者の学習モードの使用履歴

Fig. 12 The use record of the learning mode of each subject

表 2 比較手法における付加機能の使用回数

Table 2 The number of usage of the extended function

被験者	実験日	キューポイント指定				モード切替	模範演奏
		1	2	3	4		
a	1日目	14	1	11	3	28	2
	2日目	9	0	6	22	0	0
	3日目	1	0	0	3	3	2
	4日目	8	5	5	27	0	0
	5日目	18	3	2	19	0	0
	6日目	37	0	2	9	0	0
b	1日目	19	4	4	2	10	16
	2日目	13	1	0	2	6	3
	3日目	10	3	0	4	30	4
	4日目	3	0	0	7	10	2
	5日目	4	0	0	4	3	3
	6日目	6	4	0	3	22	1
	7日目	4	3	2	9	4	5
	8日目	4	1	0	7	3	5
	9日目	22	3	0	0	0	1
c	1日目	98	36	25	0	1	3
	2日目	14	0	1	5	8	0
	3日目	11	4	1	2	21	5
	4日目	3	2	3	17	40	0
	5日目	20	1	1	24	38	4
	6日目	35	0	6	68	15	2
	7日目	42	10	0	25	23	3
	8日目	6	0	0	2	7	0
	9日目	17	2	3	12	3	0
	10日目	12	0	0	0	11	2
d	1日目	86	0	0	0	12	3
	2日目	46	3	8	8	16	13
	3日目	48	1	3	15	12	16
	4日目	29	2	1	1	11	5
	5日目	23	2	0	0	15	2

でもあった。比較手法においては、表 2 に示すように、練習モード切替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観測された。以下、実験結果について考察する。

モチベーションの原因 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原因として、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み合わせは、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。例えば、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、被験者は実験序盤や中盤における進歩から、どう練習するべきかという練習方略を構築できているものの、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 は苛立ちがあったことコメントに残しているが、c-5, d-2, g-2, g-5 はコメントに残していないため、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わからないという不安をもっている。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学習方略が正しいのか疑念をも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 では被験者は学習支援システムをどう活用すれば良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。

一方、モチベーションが向上する原因として、主に「上達」がある「前日よりミスが減ってきたため」「モードがひとつずつ上がり、進歩を感じたため」「補助がない状態でも弾けるようになったきたため」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、実験の時期に問わず散見される。また、個別の事例として、f-1「補助により自分で演奏できた気になり楽しかったため」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という自己効力感もモチベーションが高まる原因となっている。

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、実験初日の結果をみると、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」をもっていたり、被験者 a はミスへの苛立ちや落胆に係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。また、実験中盤以降、学習者は課題の達成を強く意識するが、提案手法の学習モードは、どのように学習を進めていけば良いかという羅針盤になり、比較手法でみられた練習方略を構築できないことによる不安の軽減に貢献している。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。さらに、意外な学習モードの利用方法として、被験者 e は「行き詰ったとき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をした」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無くす方法などが考えられる。また、提案手法では E モードと F モードにのみ正しい打鍵位置が提示されるため、正しい打鍵位置をその他のモードでも提示してほしいという要望があった。被験者に提示する情報が増えるほど視覚的および認知的な負荷が高まるため、A モードから D モードにおいて正しい打鍵位置を E モードや F モードと同様に提示することは検

討の余地がある。提示方法の工夫や、選択的に利用できる機能を含め検討していきたい。

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。提案システムは楽譜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提案した。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、練習に取り組むことができることが確認できた。

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。

参考文献

- [1] CASIO : 光ナビゲーションキーボード : http://casio.jp/emi/key_lighting/.
- [2] 河合楽器製作所 : ピアノマスター : <http://www.kawai.co.jp/cm/music/products/pm/index.htm>.
- [3] 瀧沢絵里 : テキスト指示・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 年).
- [4] コナミ : キーボードマニア <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-71), Vol. 2007, No. 81, pp. 185-190 (2007 年).
- [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, 日本音楽学会平成 20 年度秋季研究発表会, pp. 933-934 (2008 年).
- [7] 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).
- [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 年).
- [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 年).
- [10] R. Boulanger and M. Mathews: The 1997 Mathews Radio-Baton and improvisation modes, Proceedings of the 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), pp. 37-44 (2001 年).
- [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), pp. 69-74 (2001 年).
- [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 年).
- [14] 波多野諄余夫, 音楽と認知, 東京大学出版会, pp. 70-81 (1987 年).