

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

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。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し、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り成功体験を提供できる。学習者は熟達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。これにより上達を感じながら、低い難度で練習できる。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。従来手法と比較してモチベーションを維持でき、かつ、効果的に学習できることが明らかになった。

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]、[2]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[3]などが楽器メーカーからいくつか販売されている。これらはたとえ音符が読めなくても打鍵箇所を把握でき、打鍵ミスをした場合、次の打鍵箇所を提示しないといったペナルティを課すことで誤った打鍵操作に気づき正しい打鍵を学べる。このように従来システムは、学習者のミスに対して厳格であった。このため、学習者はミスをしないように細心の注意を払わなければならない。また、打鍵ミスが重なると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(熟達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楽器演奏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。

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し、初心者であっても即座に演奏し

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

a) b1008238@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) yanagi@fun.ac.jp

たい楽曲を弾けるようになり成功体験を提供できる。学習者は熟達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。これにより上達を感じながら、低い難度で練習できる。

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 [4], [5], [6], [7], [8] 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 [9] 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 [10] 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 [11], [12] 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], [3], [13], [14], [15], [16] 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。

磁力を用いた触覚フィードバックにより、リズムを学習できるシステム [17], [18] もある。これらは、リズム学習だけに注力しており、譜読み、正確な打鍵や運指の学習は考慮していない。また、適切な操作タイミングの刺激を繰り返し受けるという受動的な学習スタイルである。一方、本研究では、打鍵や離鍵のタイミングを学習者自身が行うという能動的な学習スタイルを採用している。受動的な学習スタイルでは、ユーザは刺激を受ければ良いだけであるため学習における精神的な負荷は低いが、習得に時間がかかる。

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 [19] やブラボーミュージック [20] などの指揮システムがある。また、右手をかき鳴らすだけで自動的にコードが変わる機能のついた EZ-AG [21] や声の音程や音量を自動的に感知してトランペットの音を実現する EZ-TP [22] がある。竹内らの Two Finger Piano [23] や大島らの Coloring-in Piano [24] 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許容度をすでに導

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は考慮していない。

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一から練習し、できるだけモチベーションを維持しながら習熟し、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。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、複雑なフレーズを演奏する場合、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ており、評価実験の結果から、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、練習の難しさは改善する余地がある。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、ミス許容度を導入し、ミス許容度が異なる学習モードを提案する。学習者は自身の熟達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、低い練習の

難度で、練習直後から成功体験を得られ、上達を感じながら練習に取り組める。これによりモチベーションの維持を図る。

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や仮想鍵盤を提示する。また、MIDI 情報 (打鍵位置や打鍵強度) を入力とする。さらに、図2に示すようにディスプレイに表示された仮想鍵盤と実際の MIDI キーボードとのサイズは一致しているため、仮想鍵盤の鍵上に提示された情報が MIDI キーボードのどの鍵と対応しているか直観的に理解できる。

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、ベロシティ・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熟達度であっても、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モードをもち、学習者は自身の熟達度に合わせて選択的に提案する学習モードを利用する。

提案する学習モードはいずれも図2に示すように楽譜および仮想鍵盤を提示しており、学習者の打鍵位置に合わせて仮想鍵盤上に情報を動的に提示する。また、システムは現在の演奏位置を緑色の実線で楽譜上に提示し、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、現在の演奏位置を更新する。また、打鍵位置がミスの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。なお、楽曲として単音の旋律を想定している。

以下、提案する学習モードについて説明する。

エニーキーモード エニーキーモードでは、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。ベロシティ、打鍵タイミング、離鍵タイミングは学習者の操作がそのまま反映される。すでに聞き慣れた楽曲を練習している場合、学習者はベロシティ、打鍵タイミング、離鍵タイミングを十分に理解しており、単音の旋律であるため、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、

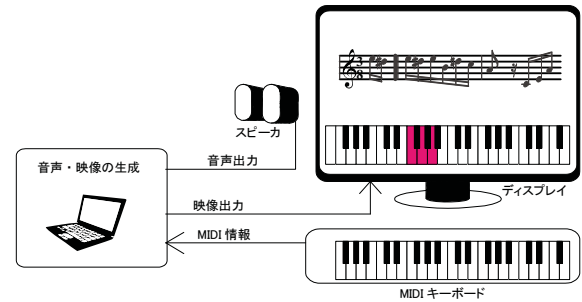


図1 システム構成



図2 仮想鍵盤の提示

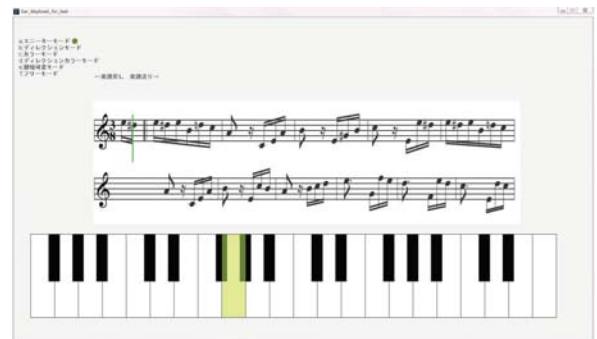


図3 エニーキーモードのスクリーンショット

練習するモチベーションが向上する。エニーキーモードを利用するときのスクリーンショットを図3に示す。現在の打鍵位置を緑色の矩形で仮想鍵盤に提示している。

カラーモード カラーモードは、学習者が黒鍵の演奏に慣れるために有効なモードであり、鍵の色 (黒鍵あるいは白鍵) が正しければ、システムは打鍵ミスと判定せず正しい音高を出力する。本モードはエニーキーモードあるいは後述するディレクションモードにて学習した後に使用されることを想定している。カラーモードを利用しているときのスクリーンショットを図4に示す。現在の打鍵位置を緑色の矩形で、次の打鍵位置として適当な領域をピンク色の短

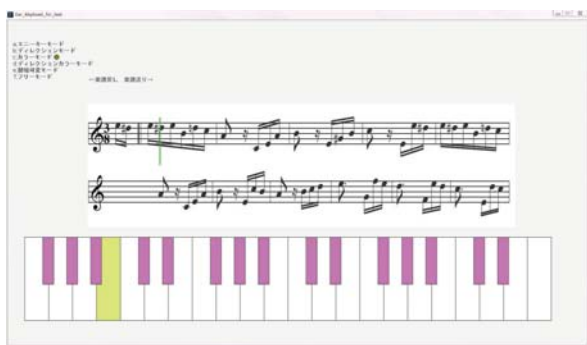


図 4 カラーモードのスクリーンショット

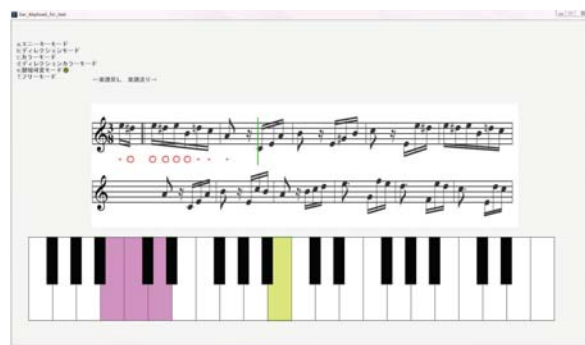


図 6 鍵幅可変モードのスクリーンショット

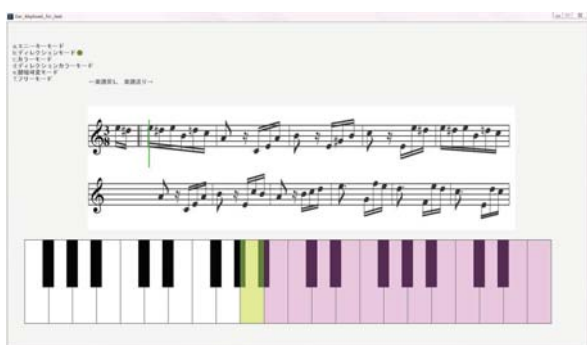


図 5 ディレクションモードのスクリーンショット

形で示して。

ディレクションモード ディレクションモードでは、打鍵位置の方向が正しければ、システムは打鍵ミスと判定せず正しい音高に差し替えた音を出力する。次に打鍵する鍵と、現在演奏している鍵が同じ高さの場合、同じ鍵を弾く必要がある。また、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、現在の打鍵位置を中央の鍵とする。初心者であっても、次に弾く音が現在の音よりも相対的に高いか低いかは認識しやすく、現在弾いている鍵からどの方向に移動するかを考えるだけで良いため、ディレクションモードはエニーキーモードあるいはカラーモードを学習した後のステップとして適している。ディレクションモードを利用しているときのスクリーンショットを図5に示す。現在の打鍵位置を緑色の短形で、次の打鍵位置として適当な領域をピンク色の短形で示している。

ディレクションカラーモード ディレクションカラーモードは、前述のディレクションモードとカラーモードを統合したモードである。次の打鍵位置の方向に加え、鍵の色が正しければシステムは打鍵ミスと判定せずに正しい音高を出力する。本モードはディレクションモードとカラーモードの両方を学習した後に利用されることを想定している。

鍵幅可変モード 鍵幅可変モードは本来打鍵すべき打鍵位置および鍵の色(白鍵か黒鍵か)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6では本来打鍵する位置はC(ド)の白鍵であり、打鍵ミスの許容範囲は±1鍵で、Cの鍵を中心に左右白鍵1個分である。仮に本来打鍵すべき鍵がC#(ド#)で許容範囲が±1であれば、許容される鍵はA#(ラ#)、C#(ド#)、D#(レ#)である。打鍵位置のミスの許容範囲は±2鍵分をデフォルトとし、学習者は熟達するにつれ許容範囲を下げる。許容範囲0が、光る鍵盤[1],[2]と同じ難度になる。学習者が前述したモードの練習後、鍵幅可変モードで練習することを想定しており、前述したモードはいずれも、現在の打鍵位置を基準に正誤判定を行っていたが、鍵幅可変モードは、楽譜上の音符に対応する鍵を基準に正誤判定を行う。また、学習者は鍵幅可変モードから絶対的に正解の鍵を意識しはじめる。したがって「本来弾くべき鍵を正しく打鍵できたか」「正解の鍵ではないものの許容範囲内であったか」「許容範囲外であったか」を学習者が認識することは重要といえる。そこで、楽譜上にどの精度で打鍵できたかを記載する。具体的には「本来弾くべき鍵を正しく打鍵できた」場合は「○」、「正解の鍵ではないものの許容範囲内であった」場合は「・」、「許容範囲外であった」場合は無印を記載する。これにより学習者が一通り楽曲を演奏した後に自分がどれくらいの精度で演奏できていたか視覚的に理解でき演奏を振り返られる。

打鍵位置提示無モード これは、打鍵ミスを許容せず仮想鍵盤上に打鍵位置を提示しないモードで、楽譜上に現在の打鍵位置を示す緑の実線のみを提示する。楽譜を見ながら練習する状況とほぼ同じである。

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TOSHIBA社のdynabook CX/47Eを使用し、MIDI鍵盤としてM-AUDIO社のeKeysを使用した。ディ



図 7 打鍵ミスの計測方法

スプレイは LG エレクトロニクス・ジャパン株式会社の L226WTQ-BF を使用した。PC 上のソフトウェアの開発は、Windows Vista 上で Processing を用いて行った。

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。

比較対象 評価実験では、3.2 節で述べた提案する学習方法と、「ミス許容範囲 0 の鍵幅可変モード」および「打鍵位置提示無モード」を選択的に利用できる従来の光る鍵盤モードと比較した。

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 Ludwig van Beethoven の「エリーゼのために」を、最初から 22 小節目まで片手 (右手のみ) で演奏してもらった。

実験方法 実験では、課題曲を割り当てられた学習方法で 30 分間の練習後、本番として通し演奏 (最初から最後まで一通り演奏すること) を行ってもらった。また、実験終了後、各学習モードごとに「成功体験 (模範演奏のように演奏すること) は得られたか?」という演奏の成功体験 (4 段階) に関するアンケートおよび「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 (4 段階)

表 1 実験結果

	被験者	誤打鍵	余打鍵	未打鍵	合計
提案手法	A	3	0	0	3
	B	3	0	0	3
	C	1	1	2	4
	D	1	0	0	1
従来手法	E	7	4	20	31
	F	10	6	1	17
	G	4	3	5	12
	H	20	13	6	39

階) に関するアンケートを回答してもらった。通し演奏では、打鍵ミス数を計測した。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) 提示した。また、誤打鍵 (間違えて打鍵した場合 図 7-(a)), 未打鍵 (打鍵しない場合 図 7-(b)), 余打鍵 (余分に打鍵した場合 図 7-(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「自由に練習してもらって良い」と指示し、手法ごとに割り当てた演奏モードの機能を使って自由に練習してもらった。なお、いずれの手法においても、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

試行ごとの各被験者の打鍵ミス数を表 1 に示す。提案手法を使用した被験者のミス数は、従来手法のミス数と比べて大きく減少した。「提案手法の打鍵ミス数の平均」と「従来手法の打鍵ミス数の平均」で 5 % の有意差 (p 値=0.038) が観測された。また、アンケート結果を表 2 および表 3 に示す (1(悪い)~4(良い))。

従来手法を使用した被験者は正しい打鍵位置を把握するために時間がかかり、たどたどしい演奏であった。また、練習中に課題曲の 22 小節を演奏しきるのに時間がかかり、苦勞している様子が見られた。一方、提案手法を使用した被験者は、各学習モードを使ってステップアップすると同時に実験開始直後から短時間でスムーズに演奏できモチベーションを維持しながら学習できた。同時に高い学習効果を得られた。以降、各手法について考察する。なお、以下に示す被験者の行動は実験者が観察したもので、実験終了後に被験者に確認している。

エニーキーモード 被験者全員から成功体験を得られたという回答が得られた。モチベーションの維持は概ね肯定的な意見が得られた一方、他のモードに比べて数値は低くなった。これは、本モードがリズムを刻むだけの作業で、他のモードと比べて上達を感じられなかったためである。

表 2 提案手法におけるアンケート結果

被験者	質問 内容	エニー キー	カラー	ディレ クション	ディレクション カラー	鍵幅 可変	打鍵 位置無
A	成功体験	4	3	3	3	4	4
	モチベーションの維持	4	4	3	4	2	4
B	成功体験	4	4	4	3	3	2
	モチベーションの維持	4	4	4	4	3	3
C	成功体験	4	3	4	4	4	2
	モチベーションの維持	2	2	3	4	4	4
D	成功体験	4	3	3	3	2	3
	モチベーションの維持	2	4	4	4	3	4

課題曲は単音の旋律であったため難度は低かったが、両手演奏や和音が含まれる場合、難度が高くなり、両手演奏での打鍵タイミングの練習や、和音での同時打鍵の練習をエニーキーボードでは集中して行えるため、エニーキーボードの意義が強まると考えられる。

ディレクションモードおよびカラーモード エニーキーボードと比較して、成功体験の数値は低くなった一方、モチベーションの維持に関する数値は高くなった。これは、ディレクションモードおよびカラーモードともにミスに対する制約が高くなっており、成功体験は得られにくくなった。一方で、難しさを克服するという上達を提供できモチベーションは高まったと考えられる。ディレクションモード利用直後は、学習方法に慣れるために戸惑っている被験者が観測されたが、すぐに慣れ、スムーズに演奏でき学習していった。また、「1つ前に自分が打鍵した位置を忘れてしまい戸惑うときがあった」というコメントが得られた。これに関しては、ディスプレイ上の学習者に対する提示方法を工夫することで解決できると思われる。また、カラーモードでは、楽譜に記載された変化記号に戸惑いが見られたが、楽譜を見ながら練習することで黒鍵の位置を覚えていき上達していった。

ディレクションカラーモード ディレクションモードとカラーモードと比較して成功体験が得られた数値はほぼ同じ値になったが、モチベーションの維持に関する数値は全員が高くなった。ディレクションモード、カラーモードで練習したことが活かされていることから、上達していると感じ、モチベーションの維持に反映されたと思われる。また、「一番上達を実感したのはディレクションカラーモードであった」というコメントが2名の被験者から得られた。

鍵幅可変モード 全体の中で2番目に成功体験を得にくいモードであった。鍵幅可変モードは、その他のモードと比較して、ミスの許容度が低いため難しいという印象をもたれる。また、「MIDI キーボードとディスプレイ仮想鍵盤の

表 3 従来手法におけるアンケート結果

被験者	質問内容	ミス許容度 0	打鍵位置無
E	成功体験	4	2
	モチベーションの維持	4	3
F	成功体験	4	2
	モチベーションの維持	4	1
G	成功体験	2	2
	モチベーションの維持	3	2
H	成功体験	2	1
	モチベーションの維持	3	3

両方を見ないといけなため難しい」という視認性に関して提案手法を利用した被験者の2名から指摘があった。例えば竹川ら[14]の手法を使用し、プロジェクタを利用し鍵盤上に情報を直接投影することで視認性に関する問題は解決できると思われる。さらに、提案手法を利用した被験者全員から、「段階的に鍵幅を狭くしていても、モチベーションの維持のしやすさは変わらず成功体験は得られる」というコメントが得られた。

打鍵位置提示無モード 本モードが最も成功体験を得られにくく、難しいというコメントが得られたが、モチベーションの維持の数値は高くなった。提案手法を利用した被験者は、本モードを利用するまでに段階的に練習を積んでおり、たとえ難度が高くなったとしても、挫折することなく、モチベーションを維持できたと思われる。一方、従来手法を利用した被験者は成功体験が得られておらず、モチベーションの維持も低い。提案手法のように段階的に難度を高めることで、無理なく学習できており、本研究で狙いとしている効果が得られた。

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。段階的に難度を変更し、その都度、無理なく少しの練習で高い成功体験を得られるように学習方法を設計した。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でき、打鍵ミス数も少なくなり効果的に学習できていることが確認できた。

今後は、両手演奏や和音を含む場合における学習方法の拡張や、さまざまな世代を対象とした評価実験を行う予定である。

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] 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>.
- [3] 河合楽器製作所: ピアノマスター:
<http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/pm/index.htm>.
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] S. Akinaga, M. Miura, N. Emura, and M. Yanagida: An Algorithm to Evaluate the Appropriateness for Playing Scales on the Piano, Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-005 (2007).
- [8] S. Akinaga, M. Miura, N. Emura, and M. Yanagida: Toward Realizing Automatic Evaluation of Playing Scales on the Piano, Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 1843–1847 (2006).
- [9] 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 年).
- [10] 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).
- [11] 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).
- [12] 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).
- [13] 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).
- [14] 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構築, 情報処理学会インタラクティブセッション 2012, pp. 73–80 (2012 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] C. Lewiston: MaGKeyS: A haptic guidance keyboard system for facilitating sensorimotor training and rehabilitation, PhD Thesis. MIT Media Laboratory, 2008.
- [18] G. Grindlay: Haptic Guidance Benefits Musical Motor Learning, Proceedings of 2008 Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 397–404 (2008).
- [19] 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).
- [20] SCEI: ブラボーミュージック
<http://www.jp.playstation.com/scej/title/bravo/index.html>.
- [21] ヤマハ株式会社: EZ-AG
<http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-ag/index.php>.
- [22] ヤマハ株式会社: EZ-TP
<http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-tp/index.php>.
- [23] 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).
- [24] 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).