

演奏初期でつまずいたピアノ初心者のための モチベーションを考慮した ピアノ学習支援システムの提案

熊木 万莉母^{†1,a)} 竹川 佳成^{†1,b)} 平田 圭二^{†1,c)}

概要：本稿では、ピアノ初心者のためのモチベーションを考慮した学習支援システムを提案する。ゲーミフィケーションを用いることで、学習を支援する情報から離脱できるだけでなく、演奏初期でつまずいた学習者も従来と同様に点数が上昇し、従来よりもモチベーションを維持したまま学習ができるという仮説をたてる。モチベーション低下という課題解決において、自発性および持続性を促すアプローチのため、ゲームモードを付与する。ゲームモードでは、ゲームをしながらピアノも演奏できる独自のルールを提案している。このシステムを用いた実験では、ゲームモードを使用した群が、正確な学習支援情報のみで学習を続けた群よりも効果的に学習できることが示された。モチベーションに関しても、モチベーションや楽しさにおいて、提案システムを用いた群で優位的に肯定的であった。また、システム使用時間に関しても交互作用が認められ、ゲームモードを付与した群が学習に対し、意欲的であることを示している。

キーワード：ヒューマンコンピュータインタラクション、モチベーション、ゲーミフィケーション

1. はじめに

ピアノ演奏では、譜読み、運指(指使い)、リズム感覚、音の強弱、テンポ、基本姿勢など、さまざまな技術が求められる。演奏することは、楽器を演奏する演奏者の物理的な身振りや密接に結びついている。それらの習得には長時間の基礎的な練習を必要とし、初歩的な楽曲を演奏できるようになるためだけでもとりわけ多くの練習が必要となる。ピアノ演奏には多大な時間と労力を必要とするため、敷居の高さに練習を断念したり、習熟効率の低さから挫折する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基礎練習は難しい。この基礎練習は特に重要であるにもかかわらず、一般にきわめて単純な練習であるがために挫折の要因となってしまうことが多い。この基礎を習得するための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。

筆者らの研究グループは、これまでに初心者を対象とし

たピアノ学習支援システムを構築してきた [1], [2], [3]。提案システムはプロジェクションマッピング技術を活用し、演奏すべき鍵を光らせて提示することで、学習者が打鍵位置を理解できるよう設計されている。このように身体動作に直結する情報の直観的な提示が、初心者にとって効率的な学習方法であることが明らかになった。しかし、このような補助情報に依存してしまうと、課題曲を最初から最後まで繰り返して練習するスタイルに陥り、補助情報から離脱しづらくなる傾向が観測された [4]。また、システムが推奨する学習方法と学習者自身の学習スタイルが適合していないと学習効率が下がることや、課題曲が難しくなればなるほど学習効率は低くなり、学習者の練習するモチベーションは下がってしまう。

これまでに楽器演奏の精神的負荷を軽減するために、ゲーミフィケーションを取り入れる試みがある [5], [6]。これらはモチベーションを上げるためのシステムであり、精神的負荷を軽減させ、楽器に気軽に触れてもらう第一段階としての支援といえる。しかし、これらはゲームに夢中になり、演奏とはいえない音を出力するものであり、ピアノの打鍵を学習してとはいえないことや、打鍵位置の提示をなくした瞬間、どこを演奏すべきか分からなくなってしまうため、楽譜と楽器上の演奏すべき箇所の対応をつけることが難しい。

^{†1} 公立はこだて未来大学

^{a)} g2117017@fun.ac.jp

^{b)} yoshi@fun.ac.jp

^{c)} hirata@fun.ac.jp

また、あくまでゲーミフィケーションをモチベーションの向上のために用いている点に関して注意する必要がある。Burke は、ゲーミフィケーションを用いる際にモチベーションを上げるためには、自律していると感じられる、上達し続けられていると学習者が感じられている必要があると述べている [7]。上達という意味では、たとえば正誤があっていた時に画面上でスコアが上がる、仮想的なキャラクターがスコアに応じて成長する、などと視覚的にわかりやすいアプローチは多々行われている [8], [9]。しかし上達を前提とするスコアリングは上達したようにみえるが、実際には伸び悩む学習者のフラストレーションをためるばかりである。また演奏の上達には、関係のないゲームをさせても上達しないため、問題の本質的な改善には至らない。上達とモチベーション向上の両立が重要といえる。本研究では、この両立を実現するために技能の再固定化と、再固定化中のスコアリングに注目した。再固定化とは、従来と異なる動作をはさんで学習することで、学習効率が上がることを意味する [10]。ゆるく上達しながらも、本来の学習の目的とは離れたゲームに没入することができ、上達とモチベーションの向上を両立できると期待される。そこで本研究では演奏初期でつまづいたピアノ初心者のためのモチベーションを考慮したピアノ学習支援システムの構築を目的とする。

2. 関連研究

2.1 補助情報の提示および離脱

歌唱・習字・楽器演奏の支援には、学習者に模範的な動作や誤りを補助情報として提示することが、習得期間の短縮に有効であることが確認されており、模範や現状の提示と誤りの指摘の両方を行う学習システムが提案されている。例えば、ピアノ学習においての演奏初期段階（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）において、音符名と打鍵番号を鍵盤にシールとしてあらかじめ全て貼り付けるような学習や、次に打鍵すべき鍵などの演奏支援情報を光で提示する光る鍵盤 [11] やソフトウェアが楽器メーカーからいくつか販売されている。また、竹川らは鍵盤の上に設置したプロジェクタから、打鍵位置・運指・リズム・楽譜などを鍵盤やその周囲に提示する学習システムを提案してきた [3], [4]。また、福家らは、モチベーションを考慮しながら学習支援するシステムを提案している [12]。これらは、動作前に模範を指示することで学習の敷居を下げると同時に、誤った動作を行った場合、正しい打鍵位置と現在の打鍵位置を視覚的に強調して誤りに気づかせたり、次の模範を提示せず誤った箇所を学習者に再実施させるといったペナルティを与えることで、学習者が正しく動作を理解できる機能をもつ。演奏初期段階では、学習者は補助情報を利用しながら練習する。最終的に補助情報を利用せずに楽曲を演奏できるよう

になる必要があるため、補助情報からの離脱は重要である。竹川らは、補助からの離脱を促進するために、補助情報を利用したかどうかを学習者に視覚的にフィードバックする機能をもつシステムを提案した [13]。また、学習者が自身の習得度に合わせて、補助情報を段階的に減らす機能をもつシステムの提案も行われている [14]。

2.2 システムによる異なる情報を学習者に提示して補助情報から離脱させる研究

学習を効率的に行うシステムとして、横山らはピアノの演奏ミスを手動的に発生させるシステムを構築した [15]。通常事態の練習と異なる演奏会などの非常事態に、ミスが発生しても奏者に演奏を継続させ、演奏の停止や淀みを回避もしくは対処できる能力を身につけることを目的とする。このシステムは、システムが音高を強制的に演奏の誤りを発生させることで、演奏における非常事態をシミュレートする。演奏から予測されるアルゴリズム評価による苦手な箇所の音高を差し替える方法と、学習者による主観的な評価から苦手な箇所の音高を差し替えるという2種類の方法を実験している。これらの差し替え後、動揺したとアンケート結果で出た箇所に関して動揺箇所と定義し、演奏評価を行なっている。アルゴリズム評価よりも、主観評価による動揺箇所と演奏評価に関連性が見られている。また、システムによる差し替え練習を継続することで差し替えによる動揺が減少していくことも確認された。バイオリンの学習支援システムに虚偽や曖昧といった情報を含有させるというシステムも提案されている [16]。このシステムでは、学習者が任意のタイミングで提示される情報の真偽を選択可能としている。実験結果では、正確な情報だけでなく虚偽や曖昧といった従来とは異なる情報を含有した学習を行なった群が、従来の正解のみの学習を行なった群よりも効率的に学習できると述べられている。また、実験結果から虚偽情報を含有した学習のほうが曖昧情報を含有した学習よりも効果が高いと示されている。

横山らの研究では非初心者を対象としているが、本研究では対象者をピアノ初心者としている点が異なっている。前述した筆者らのバイオリン学習支援システムを提案した研究では、システムに提示される情報に誤りを意図的に含有させているが、本研究では学習者が自ら意図的に誤りを発生させるという点が異なっている。両研究ともにモチベーションに関して評価を行なっていないものの、横山らは、音高差し替えとは演奏を壊す行為であり、奏者に動揺を与えられない箇所での音高差し替えが過剰になると奏者のモチベーションを下げることもなると述べている。しかし、差し替えそのものに関してのモチベーションの低下に関しては述べられていない。

2.3 従来のゲーミフィケーションシステム

栗原は、ゲーミフィケーションは非ゲーム的文脈でゲーム要素やゲームデザイン技術を用いることであると述べており、すでに完成されているゲームの余剰自由度の中で非ゲーム目的を達成することを Toolification of Games と定義している [17]. 本研究では学習支援システムはゲームではないものの、打鍵位置を覚えてテストするといった手順をゲームと見立てた場合、再固定化をはさんだゲーミフィケーションアプローチが余剰自由度の中で非ゲーム目的を達成する Toolification of Games といえる. 個人の運動を支援する Fitocracy は、運動をクエストに見立てポイント制にすることで、世界中のユーザとコミュニケーションをとりながら目的を達成できるように設計されている [18]. また、Google Image Labeler は、ユーザをペアに分け、両ユーザに提示されたランダムな画像へラベルをつけてもらい、そのラベルが具体的であればあるほど高得点を付与する [19]. このシステムにより、ペアで共通でラベル付けされた単語は Google 画像検索用の正確なデータベースを構築するために使用される. 三輪らは、リズムゲームをしながらマイクロタスクができるシステムを考案し評価を行った [20]. この提案システムではリズムゲームを邪魔することがほとんどなく、多くのマイクロタスクの回答を集めることが出来ただけでなく、このシステム自体が楽しかったという肯定的な意見を得ることが出来た. しかし、三輪らはこの実験が短期的なものであり、長期的に実践した時に本当に邪魔にならないかといった懸念をしており、この懸念はシステムを今後も使い続けたいかどうかなどのモチベーション維持にも関わると考えられる. ほかに、Raymaekers らや Weing らは、リズムゲームのように四角いノートがプロジェクションマッピングされた映像から対応するピアノの鍵盤へと流れてくることで、直感的に打鍵するシステムを提案した [5], [6]. また、ノートの長さに合わせて打鍵し続けることで音符のリズムも理解でき、非常に直感的に演奏することができ、従来の既存のシステムと比較してリズムゲームをするように楽しみながら演奏することができる. しかし、これらのシステムでは直感的に演奏できるものの、楽譜との対応がつかないまま演奏することになり、このシステムの補助がなくなった際は楽譜を見ながら演奏することや、他楽譜に切り替えた際に対応することができない. 本研究では、楽しみながら演奏するといったモチベーションを維持することを重点に置いたまま、楽譜と鍵盤の位置との対応も同時に行うことができるシステムを目指す.

3. 設計

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課題曲を何も

弾けない状態から練習し、モチベーションを維持させながら、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、ミスをせずに正しい打鍵位置を理解できるようになることを目指している. そのために、システム設計の要件として以下の2点がある.

3.1 打鍵位置の提示

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学習を継続する. 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. 打鍵位置に対応する位置にシールを貼ることで五線譜とピアノを対応させる従来の学習方法では、学習者はまず譜読みの勉強から開始する必要がある. このような従来の学習方法は、学習者の熟達度に合わせて徐々に提示する情報を減らしていく. しかし、複数シールを貼っている状態は情報が複数提示されているため、現在演奏すべき音符に対応した打鍵位置を探す作業が初心者には難しい. そこで、本研究の提案するシステムでは、現在演奏すべき音符に対応した打鍵位置を光らせて提示することとする. 打鍵位置の提示を行い、押さえるべき位置を分かりやすく学習者に提示する. 筆者らの研究では、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、評価実験の結果から、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 [21]. 初心者にとって敷居が低い練習方法として、提案システムでは演奏すべき音符に対応した正解情報のみ提示を行う. これは一見、非常に学習に有効と考えられるが、この提示を受けている学習者は思考せずに、提示される位置に漠然と指を置いて学習する単調作業を継続してしまう [4]. また、実際のピアノ学習では最終的に提示する情報が一切無い状態で演奏する技術の習得が望まれる. そこで、提案システムに正解情報だけでなく、ゲームモードと呼ばれるゲーミフィケーションを取り入れたモードの検討を行う. 正解情報を使用する際は学習者の習熟度が一番低く、学習者の習熟度が高くなり、練習に対してモチベーションが下がったり、集中力が低下した際にゲームモードを使用していくことを、本システムの理想的な使用とする.

3.2 再固定化を用いたゲーミフィケーション

本研究では、ゲーミフィケーションとして取り入れたゲーム操作の中で間違えた打鍵を押すという操作を行う. 操作方法に関しては、他にも考えられる方法としては、音の強弱を変更する、目隠しをしたまま演奏する、早く演奏するなどの方法が考えられる. 指示された音に対して、まったく別の鍵盤を打鍵するというアプローチの理由は、人間は全く別の情報を与えられたときに、その情報そのものに興味がわいたり、集中が向く、といった心理から、この誤

打鍵という動作を行うこととした [22]. また, このように異なる動作を従来の学習で用いて学習を行うことで記憶を定着化させることを再固定化と呼ぶ [10]. ジョーンズ・ホプキンス大学の Pablo Celink 教授によると, 従来の反復するのみの学習を継続するよりも, 技術を取得するのにより効果的な手法が提案されている [10]. 従来の学習を行なったのちに, 意図的に別の動作をすることで, 従来学習のみの反復を行なった群よりも学習効率が高いということが示されている. このように, 一度は長期記憶として安定化した記憶が新しい知識によって不安定な状態に変化し, そして再び安定した状態に戻る神経システムを再固定化と呼ぶ. Celink らの実験では, マウスに見立てた小さなデバイスを絞ることで, コンピュータ画面にカーソルを移動させるという新しいスキルを学ばせた. Celink らは, 再固定化を行うための別の動作として, デバイスを異なる力で絞る動作をさせた. 練習と練習の間に 6 時間のブランクをあげた実験で, 再固定化が運動スキルの習得に役立つということが証明された. Xiao によると, 演奏者のパフォーマンスには, 打鍵そのものと, 演奏表現を付与させた音を出力するという動きの両方が含まれる [23]. Klemmer によると, これらのパフォーマンスは, 音楽学習において不可欠な役割を果たす [24]. よって, 演奏は運動と類似する動きをもち, この再固定化も有効な手段といえる. また, リアルタイムに他の動作を行う研究も存在する. Huang によると, 他の動作をしている間に, 運指する指を触覚情報で提示する学習方法を従来の学習と比較した研究はすでに行われており, 有用性が認められている [25]. したがって, 学習においても他の動作をリアルタイムに行うことで再固定化を行う仕組みは有効といえる. そこで, 本研究はゲーミフィケーションに再固定を用いた学習を行うことで, モチベーションを維持しながら従来の学習と同様の学習効果を得ることを目指す. 学習モードを 2 種類に分割し, 正解のみ提示する正解モードに加えて, モチベーションを維持することができるゲームモードを付与する. ゲームモードでは, 誤打鍵をさせるという再固定化の動きに統一性をもたせるゲームシステムの提案を行うこととする.

4. システム構成

提案システムの構成を図 1 に示す. 提案システムのピアノは, MIDI キーボードを利用する. このキーボードを分解し, 鍵盤部分のみディスプレイ直下に固定している. また, MIDI キーボードが生成した演奏データは MIDI のデータ形式で PC に送られる. MIDI データをもとに, PC は楽譜情報のコンテンツをディスプレイに出力する. 提示するコンテンツは Unity で実装を行い, 使用言語は C# である. MIDI ピアノから入力された MIDI データは, unity-midi-input のプラグインで読み込んでいる.

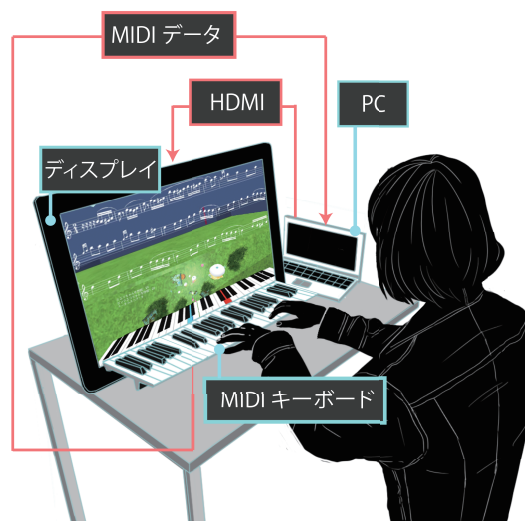


図 1 システム構成

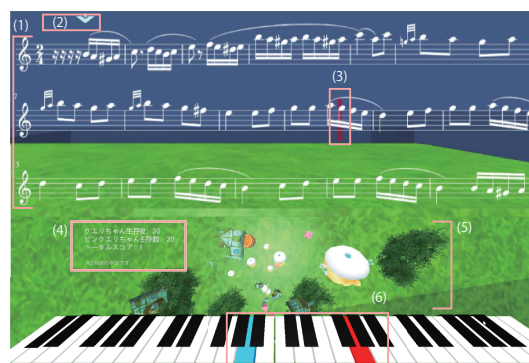


図 2 システムが提示するコンテンツ

4.1 学習者に提示する情報

学習者に図 2 に示すコンテンツを提示する. 図中の番号は, 以下の箇条書きの番号に対応している.

(1)～(3) 楽譜の提示

提示コンテンツの右側に楽譜を提示する (1). 弾き始めの音符の上に, 水色の下向きの矢印が提示されている (2). 次に弾くべき音符の上に, 半透明の赤色の四角形が重畳されて提示される (3). 本研究では, 間違った打鍵をあえて学習者に打鍵してもらうことで, 再固定を行なっているが, モチベーションを維持することも考慮しなくてはならないため, 打鍵を誤打鍵しても, 学習者に視覚的に間違えた意識させない仕組みをとることとした. この仕組みは大島らの Coloring in Piano[26] や竹内らの Finger Piano[27] を模倣して, どの鍵を打鍵しても常に正しい出力が行われるようにした. 具体的には, 間違えた打鍵を行なっても, 本来演奏すべき音出力され, そのまま演奏が継続できる. そのため, 次に弾くべき音符を示す半透明の赤色の四角形は, たとえ誤打鍵した場合でも次の音符の上へと進み, 次の音符を弾くことができる. 筆者らの研究を参照し, 課題曲は W.A.Mozart のトルコ行進曲 (K.331) を最初から 17 小節目までとした [28]. なお, 今回のシステムを利用する



図 3 キャラクター一覧



図 4 ゲーム内オブジェクト

ピアノ初心者の定義は以下の通りとする。

- W.A.Mozart のトルコ行進曲 (K.331) の単音のみの楽譜を読むことができる
- ピアノの打鍵位置を把握していない

(4)～(5) ゲームモード画面

ゲームモードは、打鍵によって生成されたキャラクターのオブジェクト数かつ打鍵の時間でスコアが決定される。打鍵中に 2 秒間に 1 度合図の音が鳴り、それを超えてしまうと 1 秒あたり 1 点スコアから減算される。また、生成されたキャラクターオブジェクトの現在の残存数も記載されている。

(6) 仮想鍵盤

画面内に仮想的な鍵盤を提示する。また、画面に対応する位置に実際の MIDI キーボードを配置する。仮想鍵盤では、次に弾くべき打鍵位置が赤く示され、学習者の打鍵した位置が青く示される。学習者はこの打鍵位置を覚えて学習する。

4.2 ゲームモード

図 3 および図 4 にゲームモードで提示するオブジェクトの情報を示す。図中の番号は、以下の箇条書きの番号に対応している。

(i) Yellow Query-chan

打鍵ごとに 1 体生成され、ピアノの打鍵位置に対応した位置に落下する。このオブジェクトのスコアは 1 点である。

(ii) Pink Query-chan

(i) オブジェクトが (iii) オブジェクトに衝突すると、このオブジェクトが 1 体生成される。このオブジェクトは 2 点のスコアをもつ。

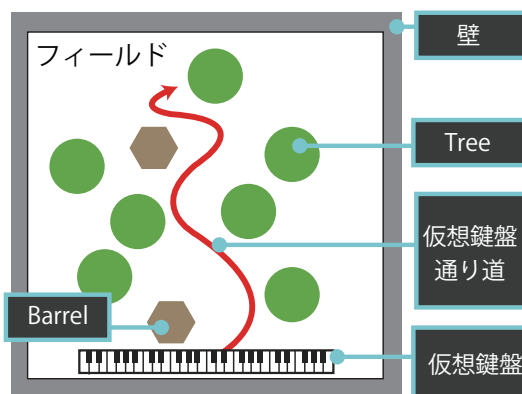


図 5 ゲームフィールドのレイアウト

(iii) Tree

- (i) オブジェクトがこのオブジェクトに衝突することで、
- (ii) オブジェクトが生成される。

(iv) Barrel

このオブジェクトに (i) オブジェクトが衝突すると、周囲に残存していた (i)(ii) オブジェクトが半径 22m 以内で消滅する。

(v) Land mine

学習者が (iv) オブジェクトを回避するため、指示された赤色の鍵盤以外を打鍵すると、このオブジェクトが生成される。このオブジェクトに (i) オブジェクトが衝突すると、周囲に残存していた (i)(ii) オブジェクトが、半径 11m 以内で消滅する。

ユーザは以上の (i)～(v) のオブジェクトの意味を理解し、ゲームとして遊びながら必要な時のみ自然と誤打鍵を行い、再固定化をすることで、学習効率が見込まれなかった学習者が従来の学習と学習効率は変わらないまま、従来の学習よりもモチベーションを維持しながら学習できることを目指す。

また学習者が見ている画面内のゲーム画面は図 5 のように、(iii) および (iv) オブジェクトを真上から見ている映像となる。学習者が留意する点は 2 点あり、1 点目は常にカメラ位置および仮想鍵盤が一定のアニメーションで図 5 の赤い矢印のパスに従って動くため、(iv) オブジェクトが近づいてきた際に、その (iv) オブジェクトから離れた位置での打鍵を行う。しかし、あえて誤打鍵を行うと、ペナルティとして、(v) オブジェクトが生成されるため、(iv) オブジェクトだけでなく (v) オブジェクトも回避しなくてはならない点が 2 点目の留意する点である。この 2 点に留意しつつ、学習者はスコアを高めるために (iii) オブジェクトにタイミングよく (i) オブジェクトを衝突させて、(ii) オブジェクトを生成させてスコアを増加させていく。

5. 実験

本研究が提案する再固定化を行うためゲームモードを付与したゲームモード使用群が、正解情報のみを用いる従来

の学習を行った正解モード使用群よりも有用性が高いことを示すため、3日間の評価実験を行った。

5.1 実験の前準備

実験では、被験者12名をそれぞれ6名ずつ計2群に分類した。正解モードのみ使用できる正解モード使用群 (True Group)、正解モードおよびゲームモードを指示したタイミングで切り替えて使用できるゲームモード使用群 (Game Group) である。楽譜を読むことができ、かつ全員がピアノ初心者であることを確認のもと、実験を行った。本研究では、ピアノ初心者を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できないと定義することとする。10分ほどシステムを触ってもらい、システムの使用方法を理解してもらった。実験では、現在演奏すべき音符のノートナンバー、被験者によって入力されたMIDIの値、現在何のモードで学習しているか、時間、スコアに関してログをとった。

5.2 実験手続き

被験者には、練習としてトルコ行進曲の楽曲を休憩を5分ほど挟みながら演奏してもらった。練習ではトルコ行進曲を第17小節までを3回反復し合計252音演奏してもらう。練習では、譜面上の音符を見て、音符から鍵盤上の打鍵位置を覚えてもらうことを目的とする。1回目の学習では被験者は割り当てられた正解モードを使用して練習を行う。2回目の学習では、正解モード使用群は正解モードを使用して練習してもらうが、ゲームモード使用群はゲームモードを使用して練習した。3回目の学習では、両群ともに1回目の学習と全く同じ練習を行なった。その後、到達度テストとして、打鍵位置の指示がない状態で、トルコ行進曲を第17小節まで演奏してもらった。この1~3回の練習およびテストを連続した3日間で行なった。1日目の1回目のみテストを挟み、その時点で9割以上の点数をとった被験者は演奏初期でつまづいていないと判断し、除外した。また、各日の実験終了後は、モチベーション調査や練習に対して楽しく練習することが出来たかなどのアンケートを行っている。

5.3 実験結果

84点満点を100点満点に換算した平均点を群ごとに図6に示す。縦軸はテストの点数、横軸は各群の各日を示している。各日ごとのテストの点数がどれほど上昇したかを表1に示し、各群の被験者がテストで90%以上のスコアをとるのににかかった日数を表2に示す。

実験結果の図6を見ると、3日目の状態で両群ともに9割以上の点数が取れるようになった。有意差は見られなかったものの、表1から1日目から3日目にかけて、提案手法の点数の伸びが非常に良いとわかる。2日目から3日目に

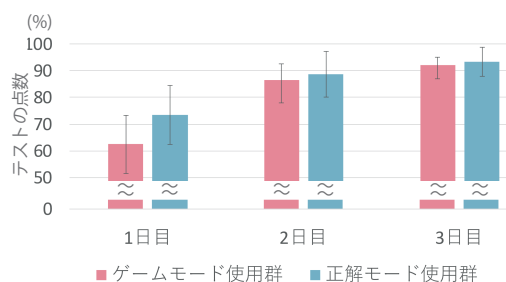


図6 各群のテストの点数

表1 各日でのテストの上昇した点数

グループ名	1~3日	1~2日	2~3日
Game Grop	29.56	23.81	5.75
True Group	19.98	15.31	4.67

表2 90%以上のスコアをとるためににかかった平均の日数

グループ名	日
Game Grop	1.8
True Group	2.0

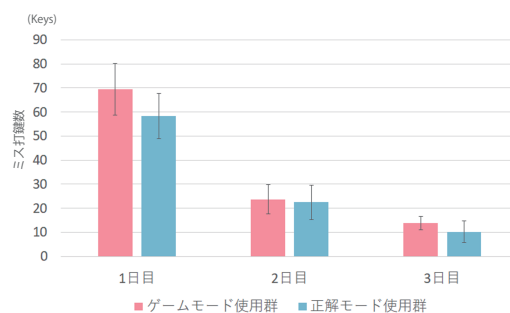


図7 各群の平均ミス打鍵数

表3 各日での減少したミス打鍵数

グループ名	1~3日	1~2日	2~3日
Game Grop	55.67	45.83	9.83
True Group	48.16	35.83	12.33

かけても提案手法の点数の伸びが比較手法の正解モード使用群よりも良い。また、最初の日にはこの点数が提案手法のゲームモード使用群のほうが低いが、9割以上の点数をとれるようになった日数を表2で比較すると、ゲームモード使用群が1.8日かかっているのに対し、正解モード使用群が2.0日と時間がかかっていることがわかる。

図7はミス打鍵数に関して示し、表3は各日のミス打鍵数がどれくらい減少したかに関して示す。縦軸はミス打鍵数、横軸は各群の各日を示している。ミス打鍵に関しては、指示された打鍵位置からどの程度離れた鍵盤を打鍵したかを数え上げている。両群ともに有意差は見られなかったが、ミス打鍵数は3日間の練習を通してほぼ両群に差は見られない数値へと落ち着いている。また1日目から3日目にわたってゲームモード使用群のミス打鍵数が正解モード使用群のミス打鍵数よりも減少し、その差は1日目から

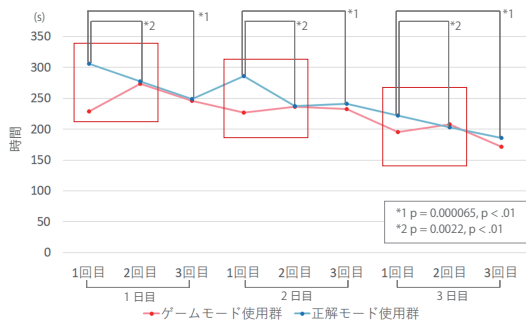


図 8 各群の練習時間

表 4 アンケート結果

Group Name	1 日目			2 日目			3 日目			If	
	M	E	H	M	E	H	M	E	H	M	E
Game Group	4.33	4.50	4.17	4.50	4.83	4.50	4.83	4.50	4.50	1.50	1.67
True Group	4.17	3.33	4.33	4.33	4.00	4.17	4.00	3.83	4.00	4.17	4.50

2 日目に広がっていることが分かる。

次に図 8 に練習にかかった時間を示す。縦軸は練習にかかった時間、横軸は各群の日にちと回数を示している。3 要因分散分析を行ったところ、赤線で囲った各日の 1 回目と 2 回目に交互作用が 1%水準で示せた。この交互作用により、1 回目から 2 回目にかけて、提案手法であるゲームモード群は練習時間が増加し、比較手法である正解モード使用群は練習時間が減少しているということが明らかになった。正解モード使用群では 1 回目から 3 回目にかけて 1%水準、1 回目から 2 回目にかけても 1%水準で有意差が観測された。また、ゲームモード使用群に関しては有意差は観測されなかった。

アンケート結果を表 4 に示す。表中の M はモチベーションを維持できたかに関する質問である。1 に近づくごとにモチベーションを維持できなかった、5 に近づくごとにモチベーションを維持できたという区分になっており、被験者は 1～5 段階で回答できる。表中の E に関しては楽しさを感じる事ができたかに関する質問である。1 に近づくごとに楽しさを感じる事が出来なかった、5 に近づくごとに楽しさを感じる事が出来たという区分になっており、被験者は 1～5 段階で回答できる。表中の H は今後もこのシステムを利用し続けたいかに関する質問である。1 に近づくごとに今後はシステムを利用したくない、5 に近づくごとに今後もシステムを利用したいという区分になっており、被験者は 1～5 段階で回答できる。1 日目から 3 日目にかけてモチベーションの項目でゲームモード使用群の評価が上がった。また、1 日目の H 以外の質問を除いた全ての日にちおよびすべての項目でゲームモード使用群のほうが評価が高かった。2 日目の E の質問に、5%水準で正解モード使用群とゲームモード使用群の間で有意差が見られた。表中の If として、最終日にゲームモードがなかったらモチベーションおよび楽しさはどのようになっていたかに関してアンケートをゲームモード使用群に行なった。また、

同等の質問として、正解モード使用群にはゲーミフィケーション的なアプローチがあったら、モチベーションおよび楽しさはどのようになっていたかに関してアンケートを行なった。それぞれの項目で 1%水準で有意差が見られた。

6. 実験結果の考察

図 6 から、2 日目ではほとんどの被験者が 8 割以上の点数をとれていることから、今回の実験では 1 日目から 2 日目にかけての学習が学習効率の境目だといえる。3 日間の練習を通して、点数の伸びが良いことから提案手法の学習効率が良いということがわかる。時間を比較してみると、各日で 1 回目と 3 回目で提案手法ではほぼ変化がないのに対し、比較手法では非常に時間が短縮されている。被験者の実験の様子を見てみると、被験者の大部分が演奏に慣れて単調的な学習になったため、このように時間が短縮されたと言える。また、1 回目と 2 回目に交互作用が見られるのも特徴的である。ゲームモードを 2 回目に使用することで認知的な負荷が増えて時間がかかったという考え方もあるが、1 回目から 3 回目にかけて提案手法は有意差がなく、認知的負荷が増えたというよりもゲームに熱中していたと考察できる。次にアンケート結果からも、モチベーションに関してはゲームモード使用群で各日で上がっているにも関わらず、正解モード使用群では上がっていない。ゲームモード使用群では、ゲームモードのスコアをあげるのに夢中になった、という肯定的な意見が得られた。そのため、モチベーションが上昇したと考えられる。また、今後も使い続けたいかという質問に対し、提案手法では上昇したのちに横ばいの結果であったが、比較手法では日にちが経過するごとに下がっている。2 日目のモチベーションおよび楽しさよりも 3 日目の両項目の結果が低いことから、日にちが経過するごとに受け身がちな学習になり、消極的な学習意欲になったのだと推測できる。2 日目の楽しさに関して有意差が見られた理由としては、ゲームモードでは 1 日目は覚えることで精いっぱいだったが 2 日目ではゲームモードを使用する余裕が生まれたり、スコアをあげる方法に気づいたという肯定的な意見が得られたのに対し、正解モード使用群では、1 日目と比較して対応する位置が分かるようになってきたという意見が多く、あくまでテストの点数をあげるために学習を継続してしまい楽しさを見いだせなくなってきたということが考えられる。

7. まとめ

本研究では、モチベーションを考慮したピアノ学習支援システムの構築を行った。提案手法であるゲームモードによる学習が、従来の正解位置のみ提示する学習と比較して新しい評価軸が増えることで、練習時間やアンケート結果からモチベーションを維持したまま学習できるといったことが示せた。有意差は示せなかったが、テストの点数の伸

びが良いことから、学習効率が高いことも示せた。ゲームモードを使用する群が学習効率が高かった要因として、新しい評価軸が増えたということに加え、再固定化を用いる学習がゲーミフィケーションシステムと合致していたことが考察できる。今後は、再固定化する学習のみを行う群との比較を行い、モチベーションの維持に関してさらに調査していきたい。

謝辞

この研究を始めるにあたって多くの知識を共有してくださった鳴海拓志先生(東京大学)、評価方法について適切なアドバイスをしてくださった寺井あすか先生(公立はこだて未来大学)に感謝いたします。本研究はJSPS科研費JP16K12560の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 竹川佳成, 福家悠人, 平田圭二: モチベーションを考慮したピアノ学習支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 4, pp. 1193–1206 (2016).
- [2] Takegawa, Y., Terada, T. and Nishio, S.: Design and Implementation of a Real-Timeing Detection System for Piano Performance, *Proceedings of the International Conference on Computer Music*, pp. 66–74 (2006).
- [3] Takegawa, Y., and Terada, T.: Design and Implementation of a Piano Practice Support System using a Real-Time Fingering Recognition Technique, *Proceedings of the International Conference on Computer Music*, pp. 387–394 (2011).
- [4] Takegawa, Y., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A Piano Learning Support System considering Rhythm, *Proceeding of International Conference on Computer Music*, pp. 325–332 (2012).
- [5] Raymaekers, L., Vermeulen, J., Luyten, K., and Coninx, K.: GAME OF TONES: Learning to Play Songs on a Piano Using Projected Instructions and Games, *Proceedings of the Extended Abstracts of the International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 411–414 (2014).
- [6] Weing, M., RhLig, A., Rogers, K.: P.I.A.N.O.: Enhancing Instrument Learning via Interactive Projected Augmentation, *Proceedings of the International Conference on Association for Computing Machinery on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*, pp. 75–78 (2013).
- [7] Burke, B.: Gamify: How Gamification Motivates People to Do Extraordinary Things (2016).
- [8] Kuramoto, I., Kashiwagi, K., Uemura, T., Shibuya, Y. and Tsujino, Y.: Weekend Battle: An Entertainment System for Improving Workers' Motivation, *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, pp. 43–50 (2005).
- [9] Yoshino, T., Yamano, T.: Casual Scheduling Management and Shared System Using Avatar, *Proceedings of the International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems*, pp. 220–229 (2011).
- [10] Wymbs, F.N., Bastian, J.A. and Celnik, A. P.: Motor Skills are Strengthened through Reconsolidation, *Curr Biol*, Vol. 26, No. 3, pp. 338–343 (2016).
- [11] CASIO:光ナビゲーションキーボード, <http://slash.hogehoge.com/slash>
- [12] Takegawa, Y., Fukuya, Y. and Yanagi, H.: Design and Implementation of a Piano Learning Support System Considering Maintenance of Motivation, *Proceedings of the International Conference on Educational Media and Technology*, pp. 449–463 (2016).
- [13] 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, *Workshop on Interactive Systems and Software*, Vol. 30, No. 4, pp. 51–60 (2013).
- [14] Nonami, J., Takegawa, Y.: Construction of a Support System for Learning Character Balance in Transcription for Beginners, *Proceeding of the International Conference on IEEE Global Conference on Consumer Electronics*, pp. 26–30 (2014).
- [15] 横山裕基, 西本一志: ピアノ通し演奏における演奏ミスによる中断を防ぐための練習支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 2010, No. 4, pp. 205–208 (2010).
- [16] Kumaki, M., Takegawa, Y., Hirata, K.: Design and Implementation of a Positioning Learning Support System for Violin Beginners, Using True, Vague and False Information, 情報処理学会論文誌, Vol. 2018, No. 26, pp. 285–293 (2018).
- [17] Kurihara, K.: Toolification of Games: Achieving Non-game Purposes in the Redundant Spaces of Existing Games, *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, No. 31, pp. 8–17 (2015).
- [18] Fitocracy, <https://www.fitocracy.com/>
- [19] Google Image Labeler, <http://images.google.com/imagelabeler/>
- [20] 三輪聡哉, 中村聡史: マイクロタスク埋め込み型音楽ゲームの提案, 情報処理学会研究報告エンタテインメントコンビューティング, Vol. 34, No. 2, pp. 1–6 (2014).
- [21] 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).
- [22] 梶田省治, <https://note.mu/yhiroki/n/n211bee1c0c9f>
- [23] Xiao, X., Ishii, H.: MirrorFugue: Communicating Hand Gesture in Remote Piano Collaboration, *Proceedings of the International Conference on Tangible and Embedded Interaction* (2010).
- [24] Klemmer, S. R., Hartmann, B. and Takayama, L.: How Bodies Matter: Five Themes for Interaction Design, *Proceedings of the International Conference on Designing interactive Systems*, pp. 140–149 (2006).
- [25] Huang, D., Starner, T., Do, E., Weinberg, G., Kohlsdorf, D., Ahlrichs, C. and Leibrandt, R.: Mobile Music Touch: Mobile Tactile Stimulation for Passive Learning, *Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 791–800 (2010).
- [26] 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, 情報処理学会論文誌, Vol. 103, No. 42, pp. 69–74 (2001).
- [27] 片寄晴弘, 竹内好宏: 演奏解釈の音楽理論とその応用について, 情報処理学会研究報告, pp. 37–44 (2001).
- [28] 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).