

## 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

竹 川 佳 成<sup>†</sup> 寺 田 努<sup>††,†††</sup> 塚本 昌彦<sup>††</sup>

ピアノ演奏では、正確な打鍵や適切な指使い、リズム (打鍵および離鍵のタイミング) などさまざまな技術が求められる。筆者らの研究グループでは、演奏初期段階における打鍵位置や運指の習熟を高める学習支援システムを構築してきたが、リズムの学習に関しては考慮してこなかった。楽譜にはさまざまな音長の音符や休符が存在するが、譜読みに慣れていない初学者が、五線譜上に書かれた音符および休符の音長をイメージすることは難しい。また、ピアノロール譜のように、打鍵や離鍵のタイミングを明確に提示する楽譜も存在するが五線譜の学習ができない。そこで、本研究ではこれらの問題を解決するために、リズム学習を考慮した五線譜ベースのピアノ演奏学習支援システムの構築を目的とする。提案システムは、音長を逐次チェックする機能をもち、リズム情報を直観的に提示する手法について検討している。さらに、ピアノロール譜を比較対象とした評価実験を行い提案手法の有用性を検証した。

## Construction of a Piano Learning Support System considering Rhythm

YOSHINARI TAKEGAWA,<sup>†</sup> TSUTOMU TERADA<sup>††,†††</sup>  
and MASAHIKO TSUKAMOTO <sup>††</sup>

Playing the piano requires various kinds of techniques such as correct keying, fingering and rhythm. Our research group has developed a piano learning system to support correct keying and fingering for beginners. However, the system does not account for the difficulties of learning rhythm. Rhythm consists of various kinds of notes and rests, and it is difficult for beginners, who are not used to reading a score, to understand the different duration of each note and rest. Moreover, there are piano roll scores, which describe timing of keying and releasing clearly, but which do not teach player how to read musical staff. Therefore, the goal of our study is to construct a piano learning support system that has a rhythm check function. We discuss methods to indicate information for piano performance such as rhythm information effectively while teaching how to read musical staffs. We have developed a prototype system, and evaluated its effectiveness by actual use of the 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 (打鍵および離鍵のタイミング)、打鍵の強弱、テンポ (楽曲の速さ) 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訓練を必要とする。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。

筆者らの研究グループでは、これらの問題を解決す

るために、演奏初期段階における打鍵位置や運指の習熟を高める学習支援システム<sup>1)</sup> を構築してきた。提案システムは、ピアノの上部にプロジェクタを設置し演奏を支援する情報を鍵盤や鍵盤の周囲に提示する。また、運指認識技術<sup>2)</sup> を活用し演奏者の運指を逐次チェックする機能をもち、運指や演奏の正誤、運指情報や打鍵情報といった演奏に必要な情報を直観的に提示する手法について検討している。最終的に学習者がシステムで補助していない楽曲も演奏できるようになることを念頭におき、一般に広く普及している五線譜を使った学習支援システムを構築してきた。

一方、リズムは演奏において重要な要素であり、誤ったリズムで演奏した場合、たとえ打鍵位置が正確であったとしても不自然な演奏になってしまう。楽譜にはさまざまな音長の音符や休符から表記されているが、譜読みに慣れていない初学者が、五線譜上に書かれた音符および休符から音長をイメージすることは難しい。

<sup>†</sup> 神戸大学自然科学系先端融合研究環

Organization of Advanced Science and Technology,  
Kobe University

<sup>††</sup> 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

<sup>†††</sup> 科学技術振興機構さきがけ

PRESTO, Japan Science and Technology Agency

したがって、各音符や休符の長さを直観的に理解できる仕組みがあれば、効率的に学習できる。また、ピアノ演奏では複数の指や手について打鍵および離鍵のタイミングを同時にコントロールする必要があるため複雑な手および指の制御が求められる。多くの初学者が、片手で十分演奏できるにも関わらず、両手での演奏ができないという悩みをもっていることからわかるように、初学者にとって指や手を異なるタイミングで動かすことが難しく、例えば、両手演奏で右手と左手の離鍵のタイミングが異なる場合、どちらかの手の演奏に影響され、正しいタイミングで離鍵できない。学習において誤りを指摘し気づかせることは重要なポイントであり、リズムにおいても正誤をチェックし、誤って演奏した場合は正しく演奏できるまで次に進まないなどペナルティを課すことで学習効果は高まる。誤ったリズムを一端身につけると修正が難しいためできるだけ早期に正しいリズムを学ぶことが重要である。さらに、リズムはテンポによりリズムを構成する各音符の音長が相対的に変化するためテンポを意識する必要がある。筆者らの研究グループが構築した学習支援システムはリズム学習に関しては考慮しておらず、正確な打鍵位置を把握できる(初心者から始めてゆっくりなテンポであれば両手で演奏でき、現在押している鍵だけでなく、次の鍵まで先読みできるようになっているレベル)ようになったとしても、五線譜から各音符の長さを正確に捉えることの難しさや、右手と左手を異なるタイミングで動かすことの難しさから、打鍵時間が適切でなかったり、五線譜に記載されていない停滞が入ってしまい、不自然な演奏になっていた。また、ピアノロール譜のように、打鍵や離鍵のタイミングを明確に提示する楽譜も存在するが五線譜の学習ができない。五線譜は広く普及している演奏方法を示すメディアであり、ピアノ演奏初学者にとって五線譜に書かれた音符や休符の長さが理解できなければ、システムが補助しない楽曲を弾けるようにはならない。

そこで、本研究では楽器演奏の敷居を下げ習熟を高めるために、リズム学習を考慮した五線譜ベースのピアノ演奏学習支援システムの構築を目的とする。

提案システムは、打鍵および離鍵のタイミングを示す線を五線譜の音符上に重畳することで学習者は直観的にリズムを学べる。これらの情報は、五線譜上に提示されているため、音符や休符の長さの意味なども同時に学習できる。また、学習者がリズムの誤りを知覚するために、打鍵および離鍵タイミングをチェックする機能をもつ。さらに、テンポを意識しながら訓練できるようメトロノームを提示する機能をもち、楽曲中

には難易度の異なる箇所が存在するため、足ペダルを用いて容易にテンポを変更できる機能をもつ。

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。例えば、Piano Tutor<sup>3)</sup>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。本研究のように楽器の上やその周囲にアノテーションを提示できるプロジェクタは利用しておらず、リズムや打鍵位置などの提示方法が異なる。しかし、Piano Tutorは総合的な独習支援システムであり、Pitno Tutorの取り組みから得られた知見を取り込むことで効果的な学習支援を提供できる可能性がある。

演奏中にリアルタイムな支援を行う事例として、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<sup>1),4)~7)</sup>がある。これらは、リズムに関して誤ったときのペナルティがないなど冒頭で述べた問題がある。

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<sup>8),9)</sup>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ですが、習得に時間がかかる。

また、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<sup>10)~14)</sup>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<sup>15)</sup>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。先生と生徒のレッスン支援<sup>16),17)</sup>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。本研究で提案するシステムは、演奏中にリアルタイムにフィードバックのある独習支援をめざしており、想定環境や学習方法が異なる。

さらに、演奏の敷居を下げる試みとして、楽曲の速

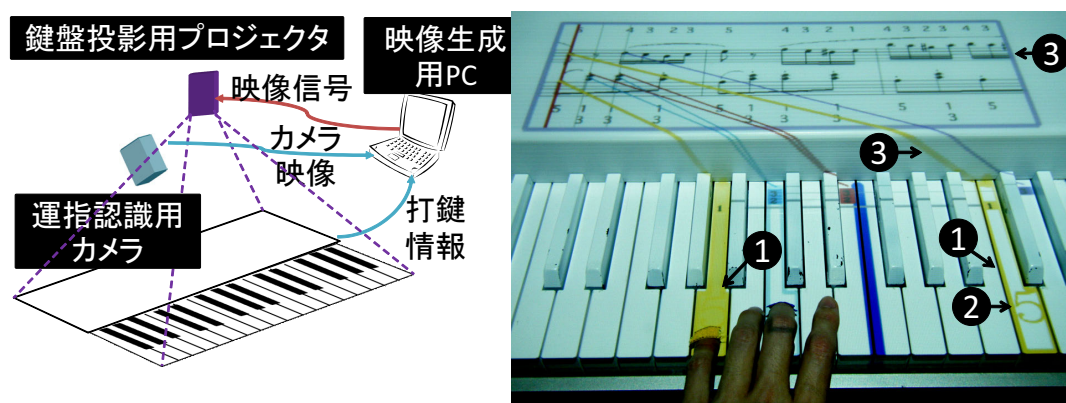


図 1 従来システムのシステム構成および提示コンテンツ  
Fig. 1 System structure and presented contents of the conventional system

さや強さを指揮棒を振る感覚でコントロールできる Radio-baton<sup>18)</sup> やブラボーミュージック<sup>19)</sup> 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<sup>20)</sup> 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<sup>21)</sup> がある。これらは、あたかも演奏しているように見せることができるが、実演したときのパフォーマンス性が低く、システムの補助なしに演奏したいという要望に応えられない。

### 3. 設 計

1 章で述べたように、筆者らの研究グループは、最終的に学習者がシステムで補助していない楽曲も演奏できるようになることを念頭におき、五線譜ベースの打鍵位置や運指を学ぶための学習支援システムを構築してきた。しかし、リズム学習の支援を考慮していなかった。そこで、従来システムを改良したリズム学習支援システムの構築をめざす。提案システムでは、打鍵位置や運指情報の提示に加え、リズム情報を直観的に理解できる情報提示手法 (3.3 節 i) や、リズムをチェックしその結果を教示する補正機能 (3.3 節 ii) を提案する。また、打鍵や離鍵のタイミングはテンポに依存するため、メトロノームの提示機能 (3.3 節 iii) やメトロノームの利便性を高める機能 (3.3 節 iv) および v) も提案している。

#### 3.1 従来システム

筆者らの研究グループは、図 1 に示すようにプロジェクタを搭載し、鍵盤やその周辺にアノテーションを提示する学習支援システムを構築してきた<sup>1)</sup>。プロジェクタを利用することでカラフルな図や文字といったリッチなコンテンツを演奏時に視線がいきやすい箇所へ提示できるため、直観的に情報を理解でき、効率的な学習を進められる。さらに、提案した学習支援シ

ステムは、カメラを使って運指 (指使い) を認識する機能<sup>2)</sup> をもつ。これにより、例えば、誤った運指を使っている場合に誤りの指摘や正解運指の提示といったことが可能となる。

提案した学習支援システムは、図 1 に示すように、鍵盤や鍵盤付近に演奏に役立つさまざまな情報を提示している。以下、提示している情報や機能について説明する。なお、図中の番号は、以下の箇条書き番号に対応している。

- (1) 打鍵情報を示すために、次に打鍵する鍵の輪郭を囲む。
- (2) 運指情報は、運指番号ごとに対応している輪郭の色や、鍵上に運指番号を表示する。正解運指が次に打鍵する鍵上にある場合、その打鍵鍵全体が塗りつぶされる。一方、誤運指で打鍵している場合や、誤った鍵を打鍵した場合、矩形を赤色で塗りつぶすことで誤りを視覚的に示す。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と同時に誤りを補正できる。
- (3) 鍵盤上部に現在演奏している付近の楽譜を示す。楽譜の各音符と音符に対応する鍵との間が線で結ばれている。これにより譜面が読めないユーザであっても音符と鍵の関係が理解でき読譜学習にもつながる。

光る鍵盤 (次に弾く鍵を赤く光らせて提示する CA-SIO 社などから販売されている楽器)<sup>4)</sup> の方式を比較対象として使った評価実験では、光る鍵盤の打鍵ミス数の約 0.08 倍、運指ミス数は約 0.02 倍になり、提案した学習支援システムの高い有用性を検証できた。

#### 3.2 システム構成

提案システムの構成を図 2 に示す。提案システムは、テンポを制御するために足ペダルを、演奏支援情報を視覚的に提示するためにプロジェクタを利用する。

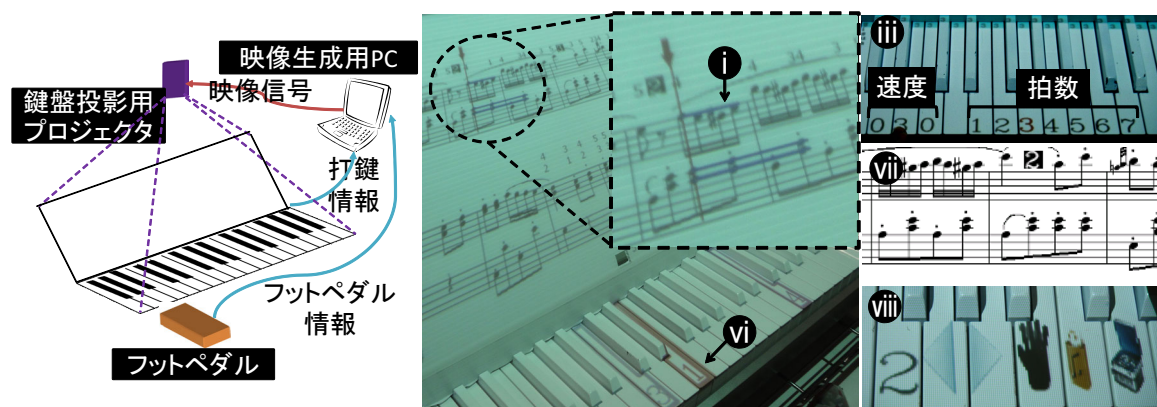


図 2 提案システムのシステム構成および提示コンテンツ  
Fig. 2 System structure and presented contents of the proposed system

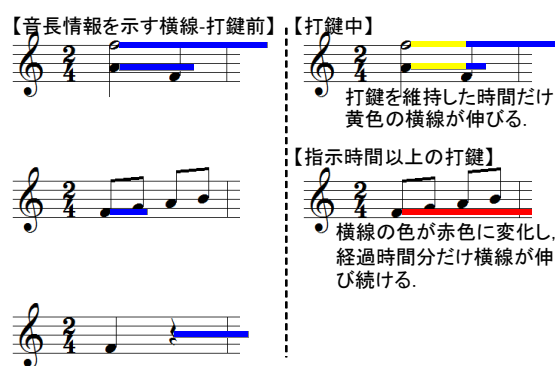


図 3 音長重畳機能の例  
Fig. 3 Examples of presented duration for musical notations

プロジェクタを利用することで鍵盤上や鍵盤付近に演奏支援情報を投影できる。システムは、ペダル情報、MIDI 情報 (打鍵位置や打鍵強度) を入力とする。

### 3.3 提示コンテンツ

図 2 を用いて提案する演奏情報について説明する。システムは正しい鍵を適切なタイミングで打鍵および離鍵したときのみ演奏情報を更新する。図中の番号は、以下の簡条書き番号に対応している。

i) **五線譜への音長重畳機能** 楽曲は長さの異なるさまざまな音符や休符から構成され、初心者にとって、各音符や休符がもつ時間を理解することは重要である。そこで、提案システムは、図 3 に示すように、五線譜の音符や休符上に、音符や休符の長さに対応する横線を重畳し、各音符の音長を直観的に理解できるようにする。また、打鍵するにつれ横線の色が青色から黄色に変化し、学習者は直観的に残りの打鍵維持時間を理解できる。また、指示された時間以上に打鍵した場合は、横線が赤色に変化し、オーバーした時間だけ赤色の横線が水平方向に伸びるようなインタラクティブ機能を

もつ。

ii) **リズムチェック機能** 「適切な分だけ打鍵維持したか」「不要な停滞はなかったか」「同時に打鍵できているか」といった打鍵および離鍵タイミングをチェックする機能をもつ。なお、同時打鍵におけるタイミングのずれなどこれらの許容時間に関しては、テンポ、楽曲、学習者の習熟度によって変化するため、学習者が自由に設定できるようにする。

iii) **メトロノーム** テンポにより各音符の音長が相対的に変化するため、テンポの意識は重要である。そこで、提案システムは、メトロノーム機能をもたせテンポを意識しながら学習できるようにする。図 2 に示すように、メトロノームを起動したときに、メトロノームの速度や拍数を設定するアイコンが表示され設定できる。

iv) **足ペダルによるメトロノーム速度調節機能** 楽曲中には、難しい箇所や簡単に演奏できる箇所といったように難易度の異なる箇所が存在する。難しい箇所を訓練する場合、最初はゆっくりなテンポで訓練し少しずつテンポを速めていくといった練習をしたり、逆に、簡単な箇所は、難しい箇所で弾いていたゆっくりなテンポにわざわざあわせるのではなく、楽曲に指示されているテンポで訓練したいと思う。したがって、テンポ速度を柔軟に制御できればより効率的に訓練できる。そこで、本研究ではメトロノームのテンポをコントロールするための足ペダルを用意し、ペダルを踏み込むとテンポが速くなる機能を提供する。

v) **演奏に動的にあわせるメトロノーム機能** 訓練中は何度も停滞が生じてしまう。また、メトロノームに慣れていない初学者は、メトロノームのタイミングに合わせる事が難しい。そこで、メトロ



ノームの開始点を演奏に合わせる機能を提案する。これにより、初学者は自分の好きなタイミングで演奏を始めることができ、メトロノームのタイミングにあわせる時間の削減や、精神的な負荷を軽減できる。

- vi) **鍵盤上への打鍵位置および運指の提示** 打鍵情報は、次に打鍵する鍵の輪郭を囲むことで示す。また、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)ごとに示している輪郭の色や、鍵盤上に運指番号を提示することで示す。打鍵位置や運指が鍵盤上に直接提示されているため、五線譜から打鍵位置や運指を読み取ることが難しく、打鍵する位置や運指が理解できていない新しい楽曲を練習し始めの段階において、効率的に学習できる。
- vii) **キューポイント選択機能** 楽譜上に表示されている番号付きの黒塗りの四角形(この例では「2」)は、演奏の開始点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。
- viii) **各種機能 On/Off 切替** 上記で述べた各種機能の On/Off を切り替えるアイコンを、演奏で使わない鍵の鍵盤上に用意し、ユーザが選択的に利用できるようにする。

## 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VPCSAを使用した。また、MIDI鍵盤としてCASIO社のPrivia PX-110を使用し、メトロノームのテンポを制御するためにRoland社のEV-7を使用した。プロジェクトとしてBenQ社のMP776 STを使用した。なお、プロジェクトの鍵盤投影領域は6オクターブ(72鍵)で、プロジェクト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。

## 5. 評 価

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、リズム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を評価した。

### 5.1 実験の手順

実験の手順を以下に示す。



図 4 ピアノロール譜の例

Fig. 4 An example of a piano roll

**比較対象** 本研究では、提案するリズム支援機能の有効性を検証するために、ピアノロール譜を用いた場合、提案するリズム支援を利用しない場合について比較した。ピアノロール譜(図4)は、音長を直観的に理解できる譜面で、キーボードマニア<sup>22)</sup>のような表示形態をとっており、演奏する順に画面上部から下部へ向かって矩形が降りてきて、最下部にまで落ちたときに打鍵するタイミングである。また、矩形の長さは音長を、運指に割り当てられた色で矩形が囲まれており、矩形中の番号は運指番号を示す。

表1に、各比較対象において適用させた機能を示す。

ピアノロール譜が表示されている場合でも、常に、ピアノロール譜の上部に五線譜は表示されており、容易にピアノロール譜および五線譜を見られる状態にある。また、リズムチェック機能を使用している提案手法では、正しい打鍵および離鍵タイミングで正しい鍵を弾いたときのみ次の演奏情報を提示する。一方、ピアノロール譜およびリズム支援なしにおいては、正しい鍵を打鍵すれば次に遷移する。デフォルトのメトロノームのテンポは、クリックの間隔を0.6sec(4分音符=12.5bpm(Beats Per Minute))とした。16分音符1個分に2クリックとした。なお、16分音符が課題曲において最も音長が短い音符である。

**被験者** 各手法ごとにそれぞれ3名ずつ実験してもらった。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院生および大学生である。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長さの意味や、各種機能の使い方を説明した。また、ピアノロール譜を利用する被験者は、ピアノロール譜の読み方を十分理解している。

**課題曲** W. A. Mozart のトルコ行進曲(ソナタ K.331 第3楽章)を、最初から18小節目まで両手で演奏してもらった。

### 【正しい演奏】

### 【実際の演奏】

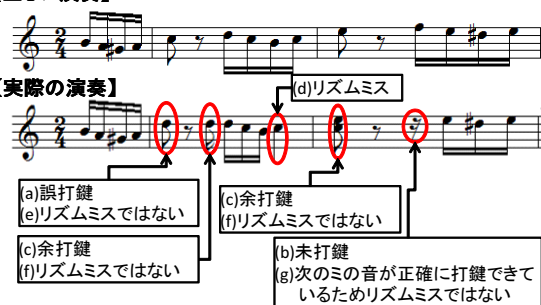


図 5 打鍵ミスおよびリズムミスの計測方法

Fig. 5 The of measurement of the rhythm errors and the keying errors

**実験方法** 実験では、課題曲を 30 分間訓練してもらった。30 分間の訓練後、通し演奏（最初から最後まで一通り演奏すること）をしてもらい、実験終了後、各機能の感想を自由記述欄に記入してもらった。通し演奏では五線譜表記の楽譜およびメトロノームのみ提示し、通し演奏における打鍵ミス数やリズムミス数を計測した。メトロノームのテンポは、訓練時に採用したデフォルトのメトロノームのテンポと同じで、クリックの間隔を 0.6sec とし、16 分音符 1 個分に 2 クリックとした。

誤打鍵（間違えて打鍵した場合 図 5-(a)）、未打鍵（打鍵しない場合 図 5-(b)）、余打鍵（余分に打鍵した場合 図 5-(c)）を打鍵ミスとみなした。また、リズムミスには、停滞と音長ミス（図 5-(d)）がある。音長ミスは、打鍵時間の  $\pm 0.3\text{sec}$  を許容誤差としている。例えば、16 分音符の音長は 1.2sec であるため、0.9sec–1.5sec 分打鍵していれば正解とする。離鍵してから次に打鍵するまでが 0.6sec 以上であれば停滞とみなす。なお、次の打鍵位置を探すために前に弾いた鍵を離鍵せずに打鍵し続けている場合や、前に弾いた鍵を早めに離す場合があった。明らかに次の打鍵位置を探しているような様子がみられる場合は停滞とみなした。これらは音長ミスおよび停滞ミスとしてカウントされる。誤打鍵を正打鍵とみなして演奏している場合は、音長や停滞はその誤打鍵をもとに判断する（図 5-(e)）。余打鍵や誤打鍵に気がついて修正した場合は、リズムミスにカウントしない（図 5-(f)）。未打鍵の場合も、「未打鍵の次の鍵」が正確に打鍵できていればリズムミスとみなさない（図 5-(g)）。

**被験者への指示** 30 分間の訓練では「自由に練習してもらって良い」と指示し、被験者に割り当てた演奏モードの機能を使って自由に訓練してもらった。なお、いずれのモードにおいても、難しすぎて練習を放棄し

表 1 適用した機能

Table 1 The applicable functions

|                     | 提案手法 | ロール譜 | 支援なし |
|---------------------|------|------|------|
| 五線譜への音長重畳機能         | ○    | ×    | ×    |
| リズムチェック機能           | ○    | ×    | ×    |
| メトロノーム              | ○    | ○    | ○    |
| 足ペダルによるメトロノーム速度調節機能 | ○    | ○    | ×    |
| 演奏に動的にあわせるメトロノーム機能  | ○    | ○    | ×    |
| 鍵盤上への打鍵位置および運指の提示   | ○    | ○    | ○    |
| キューポイント選択機能         | ○    | ○    | ○    |
| ピアノロール譜提示機能         | ×    | ○    | ×    |

表 2 打鍵ミス数およびリズムミス数

Table 2 The number of keying and rhythm errors

|         | 打鍵ミス数 |      | リズムミス数 |      |
|---------|-------|------|--------|------|
|         | 平均    | 標準偏差 | 平均     | 標準偏差 |
| 提案手法    | 6.0   | 2.6  | 10.7   | 3.8  |
| ピアノロール譜 | 31.0  | 1.4  | 27.5   | 3.5  |
| リズム支援なし | 34.5  | 0.7  | 46.0   | 11.3 |

た被験者やシステムの機能を全く使わずに独自の方法で練習した被験者はおらず、モードごとの被験者間で訓練後の演奏上達度に大きな差異はなかった。

## 5.2 実験結果と考察

実験結果を表 2 に示す。ピアノロール譜およびリズム支援なしにおいて、それぞれ 1 名の脱落者が存在し、課題曲の 1/4 までしか演奏できなかった。脱落者のデータは表 2 の実験結果に含めていない。打鍵ミス数およびリズムミス数ともに、「提案手法とピアノロール譜」および「提案手法とリズム支援なし」において 5% の有意差が観測された。したがって、提案手法はピアノロール譜およびリズム支援なしよりも効率よく学習できることがわかった。以下、提案手法の特徴的な機能をもとに実験結果について考察する。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をしている。

**五線譜への音長重畳機能** 提案手法を利用した被験者が効率的に学習できた原因として、リズム理解の促進および読譜力の向上があげられる。

提案手法やピアノロール譜を利用した被験者全員から「明示的な音長提示は各音符のリズムを理解する助けとなった」というコメントが得られており、リズム学習が促進したといえる。

提案手法を利用した被験者は、音長が音符に重畳されているため、音長情報だけでなく音符も自然に目に入る環境にあった。実験初期段階では正確な打鍵やリ

ズムを意識していたため、鍵盤上の打鍵位置情報やリズム情報を示す楽譜上の横線に集中していたが、演奏に慣れてくるにつれ、楽譜上に示されている音符から打鍵位置を理解する余裕が生まれ五線譜の学習をしていった。また、楽曲には難易度の異なる箇所があり、難易度が低く打鍵位置や音長の提示に頼らなくて良い場合は五線譜の学習に専念し、難易度が高いところは正しいリズムや打鍵位置の演奏に専念するといった柔軟に学習項目を変更していた。

ピアノロール譜を使用した被験者は、実験初期段階では打鍵位置や運指を確認するために手元を見ながら訓練しておりほとんど五線譜を見ていなかった。ある程度、打鍵位置や運指を学んだ後は、基本的にピアノロール譜を見ながら音長の訓練をしており、ピアノロール譜と五線譜は離れた位置にあり視線を移動する必要があるため、提案手法のような簡単な箇所だけ五線譜を見るといったことは難しく、最終的に五線譜だけで訓練をする時間が十分とれなかった。このため、ピアノロール譜が表示されない本番において、不明な箇所や難しい箇所が表れたときに、読譜力がないためミスが頻発していた。

リズム支援なしを利用した被験者も、ピアノロール譜の被験者と同様、実験初期段階では打鍵位置や運指を確認するためにほとんど五線譜を見ていなかった。ある程度、打鍵位置や運指を確認できた後は、五線譜を見ながらリズムの訓練をしていたが、リズムや打鍵位置を覚えきる前に練習時間がなくなってしまい、打鍵ミスやリズムミスが増加したと考えられる。

**リズムチェック機能** リズムチェック機能は読譜力の向上に貢献した。提案手法を利用した被験者は、実験初期段階から、正しい長さだけ打鍵を維持しないと先に進まないリズムチェック機能が適用されていたため、打鍵維持時間を意識し、音長重畳機能により五線譜上に示された残りの打鍵維持時間を常に確認しており、五線譜への注視率が高くなっていた。

音長ミスに関しては、提案手法を使った被験者はリズムチェック機能により、誤った音長ミスがその都度修正されていた。全手法について言えることであるが、特に、左右のリズムが異なる箇所は、どちらかの手の動きに無意識につられてしまうため、被験者がよくリズムミスをするポイントである。リズムチェック機能により、右手と左手のリズムの違いを意識でき、何度も訓練させられることで習熟が高まった。リズムチェック機能を利用することで、学習者が気づきにくい音長の誤りを修正できた。

**足ペダルによる速度調整機能** 足ペダルによる速度調整機能は全ての手法において利用できる機能であるが、提案手法を使った2名の被験者を除き使用した者はいなかった。ほとんどの被験者は通し演奏のときに使用する速度で訓練していた。2名の被験者はスムーズに演奏出来るところはメトロノームの速度をあげて訓練し、上手く演奏出来ないところは速度を下げて練習するといったように意図通りの使い方をしていた。残りの被験者は、速度をあげる余裕がなかったため利用しなかったと述べており、機能そのものの使いにくさに関しての指摘はなかった。

**演奏に動的に合わせるメトロノーム機能** 演奏に動的に合わせるメトロノーム機能に関しては「メトロノームのタイミングをその都度意識する煩わしさがなかった」という肯定的なコメントが得られた。実験者が被験者の行動をもとにした知見であるが、実験開始直後は打鍵位置や運指を確認するため、頻繁に停滞が生じていた。したがって、リズム支援なしの被験者は、メトロノームのクリックのタイミングをとる煩わしさから、メトロノームを無視して学習していた。一方、提案手法やピアノロール譜の被験者は、メトロノームのクリックも意識しつつ学習をしていた。

**鍵盤上への打鍵位置および運指の提示、キューポイント機能** すべての被験者は実験初期段階から「鍵盤上への打鍵位置および運指情報」は利用していた。また、「キューポイント選択機能」を利用し苦手箇所を集中的に訓練していた。これら2つの機能は、すべての被験者から学習において便利な機能であるというコメントが得られ有用性が確認できた。

## 6. ま と め

本研究では、リズム学習を考慮した五線譜ベースのピアノ演奏学習支援システムを構築した。五線譜の音符や休符の上に、音長を示す線を重畳することで、学習者は直観的に音長を理解できる。また、打鍵維持時間に比例して音長の色が変化するインタラクティブな機能を利用することで、どれくらい打鍵し続けるべきか視覚的に確認できる。さらに、リズムチェック機能により、リズムミスに気づき、繰り返し訓練することで複雑なリズムであっても弾けるようになる。評価実験より提案手法を利用した鍵盤初学者は30分の訓練で、打鍵ミスやリズムミスがほとんどなく演奏できるようになっており、ピアノロール譜と比較しても提案手法の方が打鍵およびリズムに関して効果的な学習がで

きていることが確認できた。

冒頭で述べたように、ピアノ演奏にはさまざまな技術を必要とし、これらの技術の習得には時間がかかる。したがって、旧来のピアノ演奏学習では、各種演奏に必要な技術を個別に学習させており、結果、ある楽曲を演奏できるようになるまでには、多大な時間と労力を必要とし、挫折してしまう学習者が後を絶たなかった。本研究では、マルチメディア技術や情報デザインの活用から人の処理能力を高め、演奏に必要な技術をまとめて学習する総合学習を提案し、実験結果より、提案する学習スタイルの有効性が明らかになった。今後は、運指・強弱・アーティキュレーションなども含めて統合的に学習できる環境を構築し、新たな楽器演奏の学習メソッドを確立していきたい。また、人の処理能力は年齢や身体スキルに依存するため、子供や老年寄りなどさまざまな世代の方を対象とした長期的な評価実験を行う必要がある。

## 謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金若手(B)(21700198)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 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, 西尾章治郎: 鍵盤楽器のための実時間運指取得システムの構築, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol. 23, No. 4, pp. 51-59 (2006年).
- 3) 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.
- 4) CASIO: 光ナビゲーションキーボード:  
[http://casio.jp/emi/key\\_lighting/](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) 河合楽器製作所: ピアノマスター:  
<http://www.kawai.co.jp/cmusc/products/pm/index.htm>.
- 7) 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).
- 8) C. Lewiston: MaGKeyS: A haptic guidance keyboard system for facilitating sensorimotor training and rehabilitation, PhD Thesis. MIT Media Laboratory, 2008.
- 9) 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.
- 10) 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).
- 11) 吉田勝彦, 向井将博, 江村伯夫, 三浦雅展, 柳田益造: ピアノ独習者にとって適切なハノン風課題曲の生成, 日本音響学会音楽音響研究会資料, MA2008-52, pp. 51-56 (2008年).
- 12) 北村 環, 三浦雅展: ピアノ導入教育のための学習支援システムの実現を目指して, 日本音楽知覚認知学会平成 18 年度秋季研究発表会資料, pp. 115-120 (2006年).
- 13) 森田慎也, 江村伯夫, 秋永晴子, 三浦雅展: ピアノ基礎練習を対象とした奏者への視覚フィードバックの試み, 日本音響学会音楽音響研究会資料, MA2007-45, pp. 63-66 (2007年).
- 14) 森田慎也, 江村伯夫, 三浦雅展, 秋永晴子, 柳田益造: ピアノ音階演奏に関する記述パラメータの操作による模擬演奏の生成, 日本音響学会 2008 年春季研究発表会, pp. 937-940 (2008年).
- 15) 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).
- 16) 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).
- 17) 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).
- 18) 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).
- 19) SCEI: ブラボーミュージック  
<http://www.jp.playstation.com/scej/title/bravo/index.html>.
- 20) ヤマハ株式会社: EZ-AG  
<http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-ag/index.php>.
- 21) ヤマハ株式会社: EZ-TP  
<http://www.yamaha.co.jp/ez/product/ez-tp/index.php>.
- 22) コナミ: キーボードマニア  
<http://www.konami.jp/am/keyboard/>.