

奏法を考慮した箏演奏学習支援手法に関する考察

土井 麻由佳^{1,a)} 宮下 芳明¹

受付日 2017年6月7日, 採録日 2017年12月8日

概要: 箏を演奏するためには、演奏技術だけでなく、箏譜の読譜力や弦の位置把握力も必要である。それに加えて、箏には25種類もの奏法が存在し、その中には運指の切替えタイミング等の演奏するにあたって必要な情報が箏譜上に書かれていないものもある。そのため、これらの奏法の習得は難しいとされている。そこで本論文では、箏譜が読めず弦の位置を把握できない初心者のための「奏法」を考慮した箏演奏学習支援手法を提案する。提案手法は演奏支援情報を箏の弦や龍甲に直接提示する。システムでは、プロジェクションマッピングによって、これらの提示を行う。弦名が書かれた紙を用いた手法との比較実験を行い、撥弦位置や奏法を提示する学習支援手法が初心者に与える影響・効果について考察した。また、箏初心者を対象とした提案手法が経験者にも有用であるかについて検証した。実験の結果、初心者には撥弦位置や運指、一部の奏法提示に効果が見られたが、経験者には有用でないことが明らかになった。

キーワード: 箏, 楽器演奏学習, 奏法, プロジェクションマッピング

Evaluation of Koto Learning Support Method Considering Articulations

MAYUKA DOI^{1,a)} HOMEI MIYASHITA¹

Received: June 7, 2017, Accepted: December 8, 2017

Abstract: *Koto* players need not only to have play techniques but also to read *koto* scores and to understand string positions instantly. In addition, there are many articulations of the *koto* and there is no information about timing of switching fingers and pushing the string below in *koto* scores. In this paper, we propose a method to support learning how to play the *koto* including several articulations for beginners. The method is to present playing support information to strings and a plate of the *koto* directly. A system presents them by projection mapping. We considered the influence and effect of it on beginners. We also evaluated its effectiveness for an experienced person by comparative experiments. As a result of them, presentations of string positions, fingering, and some articulations are useful for beginners but it is not useful for experienced people.

Keywords: *koto*, instrument learning, articulations, projection mapping

1. はじめに

日本の伝統楽器である箏は13本の弦^{*1}が張られており、各弦に琴柱を立てて音高を決める。古くは弦楽器のことを広く「こと」と呼んでおり、箏が常用漢字でなかった時期もあったため、琴の漢字を用いる場合も多い。箏を演奏する際は、右手の親指、人差し指、中指に爪をはめる。基本的

に親指は手前から奥へ、人差し指と中指は奥から手前へ動かして弦を弾く。主に爪をはめた指を使って弦を弾くが、その中でも親指で弾くことが最も多い。左手等の爪をはめていない指で弦を弾くこともあるが頻度は低い。左手は主に弦を押し下り、引く張ったりすることで音を装飾するのに用いられ、使わないときは琴柱の左側の手前の弦の上に手のひら全体を軽くのせておく [1], [2], [3].

箏を弾くのは難しいと思われがちだが、音を出すこと自

¹ 明治大学
Meiji University, Nakano, Tokyo 164-0001, Japan
^{a)} cs172030@meiji.ac.jp

^{*1} 箏の弦は奥から順に「一、二、三、四、五、六、七、八、九、十、斗、為、巾」と呼ぶ。

←	十	三 ³	ヲ ³	ハ ³	斗 ³	二 ³
	八	六	十	ヲ	枕	
◎	△	△	九	ヲ	}	五
	八	六	八	ス		
サ	五 ³	八	十九	}		六
W	八	六	八	}		七
	八	六	七	}		
六		三 ³	九	為	十九	三 ³
		六	八	ヲ	ハ	
◎			十	ヲ	ハ	

図 1 箏譜の例 (「沢井忠夫箏教則本第一集」p.27 より抜粋)

Fig. 1 Example of a koto score.

体は難しくない [1]. しかし、箏を演奏するためには、手の形や爪の当て方、力の入れ方といった演奏技術に加えて、箏の楽譜 (以下、箏譜とする) を読み、弾くべき弦の位置を瞬時に把握する力が必要となる. 箏譜の多くは縦譜であり、かつ音符ではなく弦の名前 (以下、弦名とする) で書かれている. そのため、メロディが上下降する様を瞬時に把握することは、時間軸とともに音高の上下変化が分かる五線譜よりも難しい. また、箏譜からどの弦を弾くか (以下、撥弦位置とする) を直接読み取ることは容易であるが、箏には撥弦位置を把握するための目印となるものがないため、初心者が弦の位置を瞬時に把握することは難しい. そのため、スムーズに演奏できずにモチベーションが下がっていくことが多い. 加えて、奏法を表す記号等が独特であるため、箏譜の読譜は初心者にとって困難であるといえる (図 1).

さらに、箏には様々な奏法 (表 1) が存在することも演奏学習を困難にする一因となっている. 市販の教則本 [1] によれば、右手の奏法が 11 種類、左手の奏法が 7 種類、現代的な奏法が 7 種類の計 25 種類あるとされている. これらの奏法はやさしい楽曲にも含まれており、なかには箏譜からはタイミング等が分からないものもある. たとえば、図 1 の赤枠は巾 (1 番手前の弦) から六までを裏連で、その後六を引き色で弾くということを表している.

裏連は様々な指で弾く奏法であるが、箏譜には指を切り替えるタイミングがいっさい書かれていない. また、押し手という奏法は弦を弾く前に琴柱 (図 2) の左側の弦を下に押しなければならぬが、そのタイミングについても箏譜には書かれていない (図 1 青枠).

本研究では、箏の弦や龍甲 (図 2) に撥弦位置や奏法を表す記号といった演奏支援情報を直観的に提示することで箏演奏学習支援を行う手法を提案する. システムはプロジェクションマッピングを用いて演奏支援情報の提示を行う (図 2). これにより、弦の位置が把握できず箏譜が読めなくても「奏法」を含めた箏演奏学習が可能である. 提案手法を用いることで、従来の地道な基礎練習から始めるのではなく、まず曲が弾けるという成功体験を与える. そして箏への興味・関心を高めた後に、基礎練習や読譜に取り組むことを想定している. 提案手法は前述の奏法のうち 20

種類に対応している. 20 代~30 代の箏奏者 18 名 (男性 4 名, 女性 14 名, 箏演奏歴 1 年未満~20 年) を対象とした奏法の難易度や頻出度に関するアンケート調査の結果 (詳細は付録 A に記載) に基づき、奏法の選定を行った. 一般的な箏演奏学習では、弦名が書かれた紙 (以下、弦名紙とする) を用いたり、弦に印をつけたりして練習した後、通常の箏に切り替えていく. そのため、今回は弦名紙を用いた手法との比較実験を行い、練習時および通常の箏への移行時における提案手法の効果を検討した.

なお、本論文では十三弦、生田流を対象とし、実験では大日本家庭音楽会式の縦譜を使用した. また「箏譜が読めず弦の位置を瞬時に把握することができない人」を初心者として定義する.

2. 関連研究

これまでに行われてきたプロジェクションマッピングを用いた楽器演奏学習支援の研究について述べる. Rogers らは、鍵盤や投影拡張領域に、打鍵位置や運指、奏法といった演奏支援情報を投影することで、楽譜が読めなくてもピアノ演奏可能なシステムを構築した [4]. Zhang らは、丸や三角といったシンプルな図形で位置やジェスチャーを示し、古琴の演奏支援を行った [5]. 竹川らは、打鍵位置や運指といった演奏支援情報に加えて、演奏や運指の正誤を提示することで、打鍵位置だけでなく運指の習熟も高めるピアノ演奏支援システムを構築した [6]. このほかにも竹川らは、五線譜の音符や休符上にその長さを示す線を重畳するとともに音長をチェックすることで、直観的にリズムを学べるシステムを構築した [7]. Löchtefeld らは、ギターへのヘッドストックにプロジェクタを取り付け、フレットボードにコードやメロディの運指位置や演奏技法を投影し、ギター演奏習得を支援した [8]. Xiao らは、キャラクターがピアノの鍵盤に沿って歩いてみえるように投影し、そのキャラクターが鍵盤を物理的に押して演奏しているように見せることで、リズムや音楽表情の理解を支援するシステムを構築した [9]. 福家らは、どの鍵を打鍵しても正しい音を出力するモードから、打鍵数や打鍵距離を基準にミス許容するモード、ミスを許容しないモード、システムの支援がないモードまで、7 段階のミス許容度をシステムに持たせることで、モチベーションの維持を考慮した [10]. Raymaekers らは、拡張したスクリーンにピアノロール譜を、鍵盤上に打鍵タイミングまでの時間を提示し、演奏の正誤判定機能を持つシステムを構築するとともに、ピアノをゲームコントローラに見立てたシューティングゲームを制作した [11]. これらの関連研究ではピアノや古琴、ギターを対象としているが、本論文では箏を対象とする.

次に、これまでに行われてきた和楽器に関する研究について述べる. 佐野らは、龍額に箏譜を、弾くべき弦の位置に爪と対応した色を提示することで、撥弦位置と運指を容

易に把握できる箏演奏支援システムを構築した [12]. 伊藤は, 自由に縦書きの箏譜を作成し, 作成した箏譜を自動演奏できるソフトウェアを開発した [13]. 濱中らは, 暗譜学習支援を目的とし, 演奏速度に合わせて譜面を送る三味線演奏支援システムを構築した [14]. 野口らは, 尺八譜を作成し, 作成した尺八譜の自動演奏や自動譜めくりを可能とするシステムを開発した [15].

しかし, 奏法の習得を考慮した箏演奏学習支援に関する研究は行われていないため, 本論文では「奏法」を考慮した箏演奏学習支援手法を提案する.

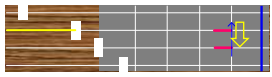
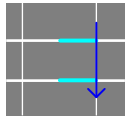
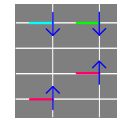
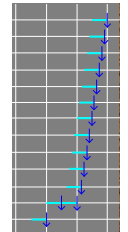
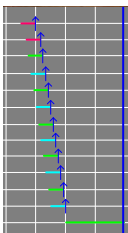
3. 提案手法

3.1 ターゲットユーザと使用状況

ターゲットユーザは箏譜が読めず弦の位置を把握できな

表 1 奏法と提示方法一覧

Table 1 Articulations and their presentation methods.

奏法名	弾き方	提示方法	例
すくい爪	右手の親指で弦を手前にすくい上げる.	親指の色の線に弾く向きを表す矢印を付加し提示する.	
押し合せ	隣り合った弦の低い方の弦を下に押し, 高い方の弦の音と同じにしてから, 右手の親指で 2 本同時に弾く.	親指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を同時に提示する. 弦を下に押すタイミングの少し前に琴柱の左側を押すことを表す矢印を提示し, 放すタイミングで消す. また低い方の弦の琴柱の左側を黄色い線で提示する.	
かき爪	隣り合った 2 本の弦を同時に右手の中指で手前にひっかくようにして弾く.	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を同時に提示する.	
割り爪	右手の人差し指, 中指の順にかき爪をする.		
合せ爪	右手の親指と, 中指または人差し指で同時に複数弦を弾く.		
流し爪	右手の親指で高い音から低い音へグリッサンドする.	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を順に提示する.	
引き連	右手の中指で低い音から高い音へグリッサンドする.		
裏連	右手の人差し指でトレモロ (後述) した後, 人差し指と中指の爪の裏で, 高い音から低い音へと順にグリッサンドし, 最後の 2, 3 弦を親指の通常面で弾く.	トレモロ (後述) と同様に表示した後, 該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を順に提示する.	

散し爪・輪連	散し爪は右手の中指の爪の右側を弦にあて、1本の弦を素早く右から左へ擦る。一方、輪連は右手の人差し指と中指で散し爪と同様に2本の弦を擦る。	該当する運指の色で擦る向きを表す矢印を提示する(右図上:散し爪,右図下:輪連)。線の右端が正しい位置で弾くための目印の線に来たときに弦を擦る。	
押し手	左手で琴柱の左側の弦を下に押して、音を半音または1音、1音半高くして弾く。半音上げる弱押し、1音上げる強押し、1音半上げる最強押しの3種類がある。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を提示する。押し手の少し前から琴柱の左側を押すことを表す黄色の矢印(弱押しの場合は塗りつぶしなし、強押しの場合は塗りつぶしあり、以下同様とする)を提示し、放すタイミングで消す。また琴柱の左側を黄色い線で提示する。	
押し放し	押し手や後押し(後述)をした後に左手を放し、余韻を変化させる。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を提示する。琴柱の左側を押すタイミングで押し手を表す黄色の矢印を提示し、放すタイミングで消す。また琴柱の左側を黄色い線で提示する。	
後押し	弦を弾いた後に押し手をする事で、余韻を高くする。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を提示する。琴柱の左側を押すタイミングで押し手を表す黄色の矢印を提示し、放すタイミングで消す。また琴柱の左側を黄色い線で提示する。	
突き色	右手で弦を弾いた直後に、左手で琴柱の左側の弦を突くように押して素早く放す。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を提示する。突くタイミングはV字で表す。また琴柱の左側を黄色い線で提示する。	
引き色	弾いた後、琴柱のすぐ左側を龍角側に引っ張り、音を下げる。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を提示する。引っ張るタイミングと向きは黄色の矢印で表す。また琴柱の左側を黄色い線で提示する。	
消し爪	琴柱のすぐ右側の弦の下に人差し指の爪をかすかに弦に触れさせて弾く。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印と消すことを示す×印を提示する。	
スタカート	弦を弾いた直後に、弦に手を触れて弾いた音を消す。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印と消すことを示す青丸を提示する。	
ピチカート	爪をはめていない指で弦を弾く。	白線で提示する。線の右端が正しい位置で弾くための目印の線に来たときに弦を弾く。	
トレモロ	右手の親指を添え、人差し指の爪の角を細かく往復させて音を出す。	人差し指の色でトレモロの拍の長さ分の線を提示し、線の右端が正しい位置で弾くための目印の線に来たときに音を出し始める。そして徐々に拍の長さを表す線を短くし残り時間を示す(右図は残り4拍を示している)。	
ハーモニクス	龍角と琴柱の中間を指で押さえながら弾き、1オクターブ高い音を出す。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印と黄色の丸(塗りつぶしなし)を提示する。また、押さえる場所をピンク色の丸で示す。	
アルペジオ	複数本の弦を順に弾く。	該当する運指の色の線とともに弾く向きを表す矢印を順に提示する。	

- ※ 撥弦位置の目印の線の色は、右手の親指で弾く場合はピンク色、右手の人差し指で弾く場合は緑色、右手の中指で弾く場合は水色、左手で弾く場合は白色とした。
- ※ 一部の図に含まれている青色の縦線は正しい位置で弦を弾くための目印の線である。また白い四角は琴柱を表している。これらは奏法の提示情報に含まれない。

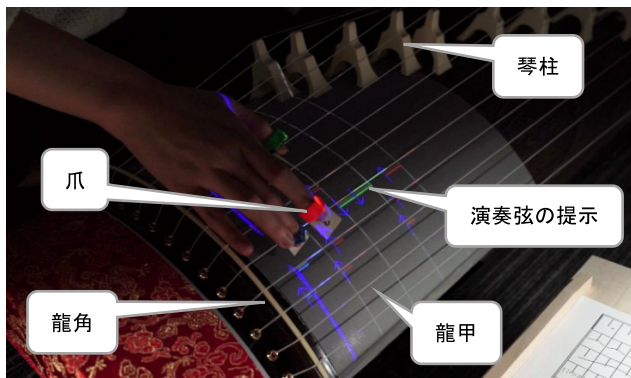


図 2 提案手法
Fig. 2 Our proposed method.

いが曲を演奏したい箏初心者である。

箏を演奏するにあたり、撥弦位置の探索や箏譜の読譜に箏演奏学習を妨げる問題点があると1章で述べた。実際に曲を演奏するには、1音ずつ弾く練習や奏法を1つずつ練習するという過程を経ることがほとんどである。このような地道な基礎練習は、正しい音色、美しい音色、力強い音色を出すために必要なことではあるが、かなりの時間を要する。そのため、せっかく箏に興味を持った初心者のモチベーションを下げたしまい、曲を演奏する楽しさを味わうことなく挫折してしまう可能性がある。まず提案手法を用いることで、しっかりとした音が出せていなくても、いきなり曲が弾けたという成功体験を先に与える。これにより箏への興味・関心をさらに高める。基礎練習は成功体験を与えた後に取り組むことを想定している。それゆえ提案手法には2種類のモードがある。

読譜についても、提案手法を用いて演奏を覚えたのちにに取り組むことを想定している。

3.2 演奏支援情報

提案手法は箏の弦や龍甲に1小節分の演奏支援情報を投影する。演奏支援情報の構成を具体例(図3)とともに以下に示す(親指はピンク色、中指は水色とした)。

- 運指別に色分けした撥弦位置の目印を表す線(図3(右)ピンク色と水色の横線)
- 弾く向きを表す矢印(図3(右)青色の矢印)
- 奏法を表す記号(表1)
- 1拍ごとの区切り線(図3(右)白色の縦線)
- 正しい位置で弦を弾くための目印の線(図3(右)青色の縦線)

これらの演奏支援情報は、左から右に1小節かけて移動しながら投影される。撥弦位置の目印を表す線の長さは箏譜と演奏支援情報の対応関係を分かりやすくするために、流し爪、引き連、裏連、トレモロ、アルペジオの5つの奏法は音長に、それ以外の奏法は箏譜上の弦名の大きさに合わせた。

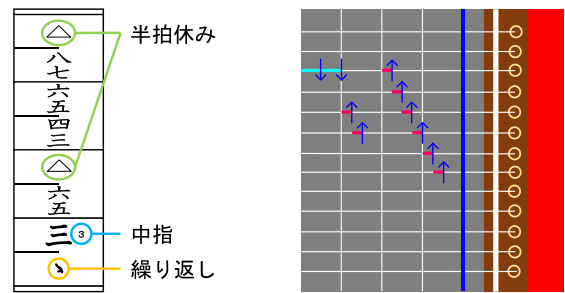


図 3 箏譜(左)と対応する演奏支援情報の提示(右)
Fig. 3 A koto score (left) and an example of the presentation of the performance support information corresponding to it (right).

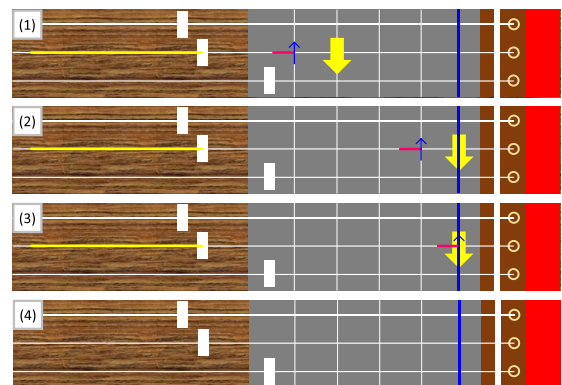


図 4 押し手の提示情報

Fig. 4 Presentation of Oshide.

※ 図中の白い四角は琴柱を表している。

また爪で弾く場合は龍角から2~4cmのところを弾く。そのため、正しい位置で弦を弾けるよう龍角から3cmのところを目印の線を投影する。弾く向きを表す矢印等の演奏支援情報がそこに投影されたタイミングで、指定された撥弦位置を指定された運指および奏法で弾くこととする。

提案手法が対象とする奏法とその提示方法の詳細を表1に示す。各奏法の記号化デザインは弾き方に基づいて作成し、それらのデザインが直観的であるかについてアンケート調査を行った。それを基に改良を重ねた結果、現在のデザインとなった。たとえば、押し手という奏法は弦を弾く前に琴柱の左側の弦を下に押さなければならないため、撥弦位置や弾く向きを表した矢印とともに弦を押すことを表した黄色の下向きの矢印を提示する。また琴柱の左側の弦を黄色の線で提示する(図4(1))。弦を押すには該当する弦の琴柱の左側に左手を移動するとともに押し手の形を作らなければならないため、時間がかかる。そのため最も目立つ色である黄色で提示している。また弦を下に押すことを表すために下向きの矢印とした。弦を押すことを表した黄色の下向きの矢印の中心が正しい位置で弦を弾くための目印の線と重なったタイミングで弦を押す(図4(2))。そして弾く向きを表す矢印が正しい位置で弦を弾くための目印の線と重なったタイミングで、該当する弦を指定された

運指で弾く(図4(3)).最後に弦を押すことを表した黄色の下向きの矢印と琴柱の左側の弦上に提示していた黄色の線が消えたら弦から左手を放す(図4(4)).

なお,本論文におけるすべての矢印は提示する記号としての矢印である.

3.3 機能

演奏支援機能については,大きく分けて2種類のモードがある.どちらのモードも,演奏支援情報の提示に合わせてメトロノームが鳴る.またテンポ変更を可能とし,♩ = 75, ♩ = 72, ♩ = 60, ♩ = 48, ♩ = 30の5つから選択できるようにした.

練習モード 基礎練習のためのモードであり,奏法別に練習することができる.なお,流し爪,引き連,割り爪,裏連を除き,演奏弦の指定はランダムに行われる.押し合せについては平調子のみを考慮しているため,対応できない弦を除いたランダム提示とする.

演奏モード 実際に曲を弾くことができるモードである.基礎練習で習得した奏法を複数取り入れたドリルのような楽曲を使用することで,基礎練習としても使用することができる.

4. システム概要

4.1 システム構成

システム構成を図5に示す.システムは演奏支援情報を提示するために,箏の上にプロジェクタを設置する.また演奏支援情報を見やすくするために,龍角(図2)付近の龍甲に灰色の紙を貼る.加えて,爪輪には各指で異なる色の塗料を塗布した.爪輪に塗布する塗料の色の制約は,各指で異なる色でかつユーザにとって違いが分かりやすい色であること,押し手のタイミング等の奏法を表す記号(散し爪・輪連,トレモロを除く)や指の動きを示した矢印,正しい位置で弾くための目印の線の色と被らないことである.

4.2 マッピング

マッピングにあたっては,箏の弦は水平ではないため,すべての弦に正確にプロジェクションマッピングされるようにし,位置の保存や読み込みも可能とした.位置合わせ時のみ半拍ごとの区切り線も提示しており,龍角に最も近い線を龍角から3cmのところに合わせて後,間隔が2cmになるように調整する.これにより正しい位置で弦を弾くことができる.

4.3 演奏支援情報データ生成方法

箏譜から提案手法に対応する演奏支援情報のデータを生成するため,タイミング,弦名,音長,奏法の4つの情報を含んだcsv形式のデータを手動で生成する.箏譜の解釈の多様性を維持するため,押し手等の押すタイミング,放

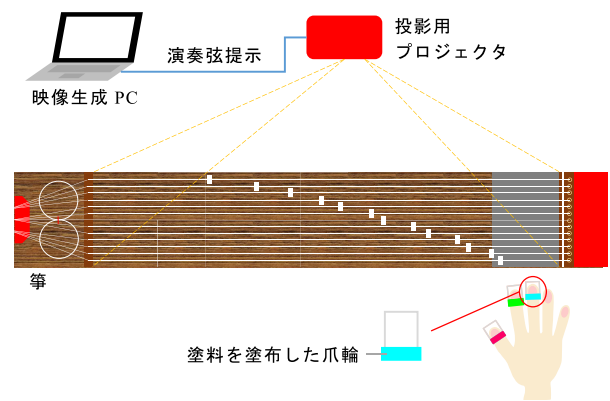


図5 システム構成

Fig. 5 System structure.

すタイミングについても手動で決定する.

4.4 実装

PCはNEC社のPC-LZ650NSSを使用し,箏は,にちわ楽器の6尺普通箏を使用した.プロジェクタとしてQUMI社のVIVITEK QUMI Q5-RDを使用した.PC上のソフトウェアの開発は,Windows 10上でProcessingとPure Dataを用いた.

システムには弾いた弦や運指を判定する機構はないため,この点におけるレイテンシはない.演奏支援情報を提示する際にレイテンシ(平均16ms)はあるが,実験参加者1名から「レイテンシを感じなかった」との感想を得ており,実験参加者の誰一人からもレイテンシが原因で演奏が困難であったという意見はなかった.そのため,問題なく作動しているといえる.

5. 評価実験

提案手法が初心者に与える影響・効果を調査するため,初心者を対象に演奏初歩段階*2における箏演奏学習に関する習熟の速さおよびモチベーション,テスト演奏の主観的評価,読譜力の向上を長期実験により評価する.また短期実験により奏法の提示効果や提示方法の適切さを評価するとともに,初心者を対象とした提案手法が経験者にも有用であるか検証する.

5.1 箏初心者を対象とした長期実験

5.1.1 実験手順

実験環境 4.4節の実装で使用したプロジェクタの輝度が500ルーメンであり十分な光量が得られなかったため,提案手法を使用する場合は手元が見える程度に照明を落とした.色の判別は十分可能であった.また箏譜が見えるよう,譜面台の左に照明器具を設置した.

実験条件 龍角付近の龍甲に弦名紙を貼った箏を弦名手法

*2 本論文では,「運指や撥弦位置を覚えるために練習している段階」を演奏初歩段階と呼ぶ.

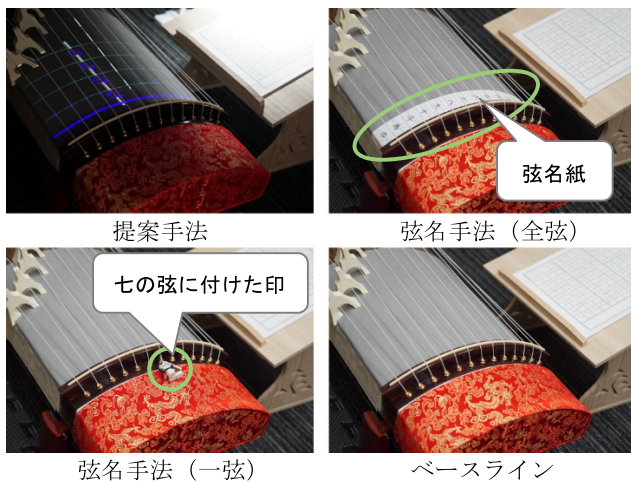


図 6 使用する条件の種類
Fig. 6 Kinds of conditions.

表 2 各参加者の音楽経験と割り当てた条件

Table 2 Music experience and allotment method of each participant.

参加者	音楽経験	条件
a	ピアノ (演奏歴 12 年) クラリネット (演奏歴 3 年) チェロ (演奏歴 3 年) クラシックギター (演奏歴 3 年)	条件 1: 「提案手法」
b	エレキギター (演奏歴 2 年) エレキベース (演奏歴半年)	条件 1: 「提案手法」
c	なし	条件 1: 「提案手法」
d	フルート (演奏歴 10 年)	条件 2: 「弦名手法 (全弦)」
e	ピアノ (演奏歴 9 年)	条件 2: 「弦名手法 (全弦)」
f	なし	条件 2: 「弦名手法 (全弦)」

(全弦), 七の弦に印をつけた箏を弦名手法 (一弦), 何も手を加えていない箏をベースラインとする (図 6). どの条件を使用する場合であっても譜面台に箏譜を置き, 龍角付近の龍甲に灰色の紙を貼った. 演奏初歩段階における提案手法が初心者に与える影響・効果を検証するため, 比較対象は条件 1「提案手法」, 条件 2「弦名手法 (全弦)」とした.

実験参加者 箏初心者の大学生 6 名 (男性 5 名, 女性 1 名) を, 音楽経験を考慮して各条件 3 名ずつ実験を行った. 各参加者の音楽経験と割り当てた条件を表 2 に示す.

課題曲 沢井忠夫作曲「冬の日」I 箏パートの 1 小節目から 46 小節目のうち, 29 小節目から 42 小節目までを除いた 32 小節を演奏させた. この楽曲には「すくい爪 (40 回), 合せ爪 (6 回), ピチカート (9 回)」の 3 種類の奏法が含まれている. 選曲にあたっては, 箏講師に難易度が妥当であることを確認してもらった. 実験では I 箏パートのみを抽出した箏譜を用いた.

実験方法 一般的な箏演奏学習は, 初めの 30 分から 1 時

表 3 実験スケジュール
Table 3 The experiment schedule.

実験日	実験内容
1 日目	爪の付け方や構え方, 箏譜の読み方, 課題曲に出てくる奏法を含めた弾き方, 提案手法の提示情報 (条件 1 を使用する参加者のみ) を教える, 課題曲の確認 (お手本を 1 回聴かせる), 練習 (P1), テスト演奏 (T1)
2 日目	課題曲の確認, 練習 (P2), テスト演奏 (T2)
3 日目	弾き方, 課題曲の確認, 練習 (P3), テスト演奏 (T3)
4 日目	2 日目と同様 (P4, T4)
5 日目	課題曲の確認, 練習 (P5), テスト演奏 (T5), 弦名手法 (一弦) を使用して 10 分間練習 (P6), 弦名手法 (一弦) を使用してテスト演奏 (T6), ベースラインを使用してテスト演奏 (T7)

P…練習(Practice), T…テスト(Test)

間程度は弦名手法 (全弦) を用いて, その後はベースラインを使用する. 場合によっては, 途中で弦名手法 (一弦から三弦) を使用することもある.

今回の実験では, 提案手法と弦名手法 (全弦) の学習効果をテスト演奏の成績や主観的評価, モチベーションスコア, 演奏遅延時間から調査し, 各手法から弦名手法 (一弦), ベースラインへの移行についても調べる. 実験は表 3 に示す日程で 5 日間行った. P1-P5 (表 3) の練習では, 割り当てた条件 (提案手法または弦名手法 (全弦)), 弦名手法 (一弦), ベースラインの中から参加者に選択させ (途中変更可能), 15 分間練習させた. T1-T5 (表 3) のテスト演奏では, 割り当てた条件を用いて通し演奏をさせた. 練習中もテスト時も $\Delta = 60$ (クリックの間隔を 1sec とした) でメトロノームを鳴らした.

各日の最終テスト終了後, P1-P6 (表 3) のモチベーションを 7 段階のリッカート尺度で, T1-T7 (表 3) の主観的演奏評価を 10 点満点でそれぞれ評価させ, その理由も書かせた. また, 最後に自由記述の感想を記入させた.

なお, 調弦と位置合わせ, 演奏支援情報データ生成は経験者である第 1 筆者が事前に行った.

実験参加者への指示 練習中に不明なことがある場合は質問するよう指示した. 加えて, 演奏遅延時間について調査するため, テスト時はテンポに合わせて弾き直しをしないよう指示した.

判定方法 演奏ミスの判定方法とその例を図 7 に示す. 演奏遅延時間については, テンポのずれ等による演奏遅延時間だけでなく, 弾き直すまでに要した時間や弾き直した時間, 撥弦位置や箏譜上の演奏位置を探すことによって発生した演奏停止時間も含めた.

判定はテスト演奏を録画した映像と音声波形をもとに行なった.

5.1.2 結果

各条件参加者のテスト演奏ごとの撥弦ミス数および運指ミス数, 奏法ミス数の平均を図 8 に示す. 分析には t 検定を用いた.

撥弦ミス 条件変更前のテスト (T1-T5) について述べる。誤撥弦は提案手法の方が少ない結果となった。T5についてのみ有意水準5%で有意差が見られた。未撥弦、余撥弦については、T1では提案手法に未撥弦が、弦名手法(全弦)に余撥弦が多く、T3の提案手法はどちらもミスが多かったが、各回有意な差は見られなかった。さらに余撥弦を弾く意思があって弾いた場合、爪の当て方や力の入れ方等の技術不足によって弾いた場合、弾き直した場合、カウントミスした場合の4つに分類し、各項目について同様に分析を行ったが、いずれも有意差は見られなかった。しかし、技術不足によるミスを除いた場合では、T2, T5の提

案手法に有意傾向が見られた ($p < .10$)。

条件変更後のテスト (T6-T7) における撥弦ミス全体として、T6では提案手法は弦名手法(全弦)よりミスが多い結果となった。しかし、T7では提案手法は弦名手法(全弦)よりミスが少なく、T6と比べてもミスは減少していた。
 運指ミス 提案手法はT5まではミスが少なく、参加者全員がミスなく演奏できたテストもあった。しかし、T6とT7では弦名手法(全弦)と同程度にミスが発生した。

弦名手法(全弦)はT2でミスが増えたものの、T2からT6にかけてミスが徐々に減少していく傾向にあった。

ピチカートについては、左手の中指もしくは薬指で弾くよう指示したが、左手の人差し指で弾く参加者がいた。今回は許容範囲内とし、運指ミスにカウントしなかった。

分析の結果、T2の提案手法に有意傾向が見られた ($p < .10$)。

奏法ミス すくい爪やピチカートについては、参加者6名中5名はほぼミスがなかった。合せ爪については1名を除きミスが発生していた。各回有意差は見られず、奏法ごとにミスを分類した場合も有意な差は見られなかった。

演奏遅延時間 各参加者の練習 (P1-P6) における条件の使用時間を図9に、各テストの演奏遅延時間を表4に示す。練習途中での条件の切替えを可能としたが、変更した

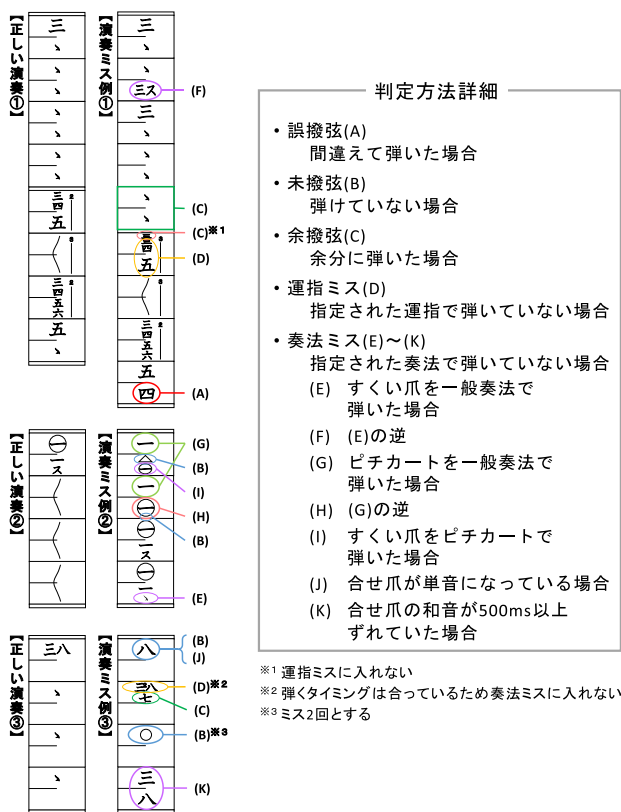


図7 ミス判定例
 Fig. 7 Judgement of errors.

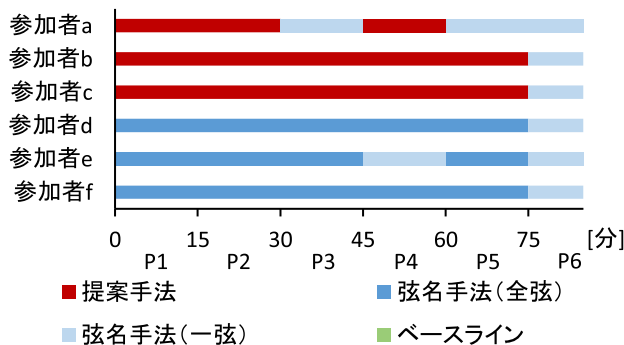


図9 練習P1-P6における各参加者の条件使用時間
 Fig. 9 Time used for each method for each participant in P1-P6.

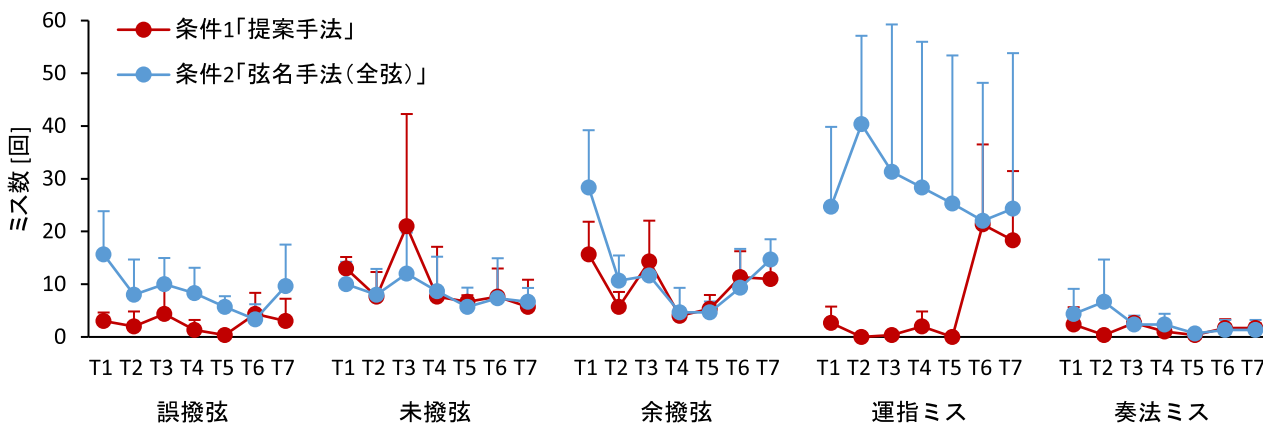


図8 各テスト T1-T7 における撥弦ミス数・運指ミス数・奏法ミス数
 Fig. 8 Numbers of picking, fingering, and articulation errors in T1-T7.

表 4 各テスト T1-T7 における各参加者の演奏遅延時間 (単位: 拍)
Table 4 Performances delay time of each participant in T1-T7 (unit: beat).

参加者	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
a	0	0	0	0	0	0	0
b	0	0	0	0	0	10	4
c	0	0	0	0	0	27	27
d	31	3	7	4	1	1	6
e	40	1	3	0	1	6	4
f	87	34	9	4	0	2	6

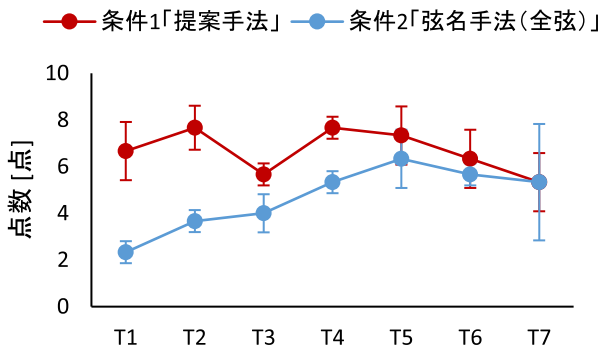


図 10 各テスト T1-T7 における主観的演奏評価

Fig. 10 Subjective performance evaluations in T1-T7.

参加者はいなかった。また、ベースラインに切り替えた参加者はいなかった。T6とT7について分析を行ったが、どちらも有意差は見られなかった。

提案手法を用いた場合は演奏遅延が発生しなかったものの、提案手法を用いない場合は弦名手法(全弦)以上に遅延が発生する者もいた。T6では2名、T7では1名が弾き直していた。

弦名手法(全弦)を用いた場合は、テンポの遅延や演奏停止が発生していた。T1, T3, T7では全員、T2では1名、T5, T6では2名が弾き直していた。T3, T6, T7を除き全体的に日を追うごとに遅延時間は短縮された。

各参加者の主観的演奏評価 各条件参加者の主観的演奏評価の平均スコアを図10に示す。弦名手法(全弦)より提案手法の方が高評価または同程度であった。T1, T2, T4において有意水準5%で有意差が見られ、T3では有意傾向が見られた ($p < .10$)。

モチベーション 各条件参加者の練習時のモチベーションスコアの平均を図11に示す。両条件も4~6点を推移しているが、提案手法はP3, P6で大幅に減少した。P1からP2の評価については、提案手法は高くなり、弦名手法(全弦)は低くなった。各回有意差は見られず、各条件におけるP5とP6のスコアの差についても同様に分析を行ったが有意差は見られなかった。

5.1.3 考察

提案手法は運指別に色分けした撥弦位置を次々と弦に直接提示しているため、提示情報に追いつかないことによる

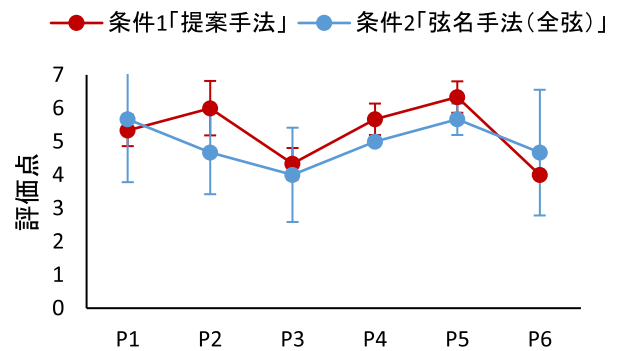


図 11 練習 P1-P6 におけるモチベーションスコア

Fig. 11 Motivation scores in P1-P6.

未撥弦は多かったが、誤撥弦や運指ミス、弾き直しによる余撥弦は少なかった。弦に提示している目印の線が龍甲にずれて投影されることによるミスの誘発が懸念されたが、2日目には慣れたとの意見があり、さほど影響は見られなかった。加えて演奏は遅延することなく、たとえミスしてもスムーズに演奏に戻っていた。そのため主観的演奏評価やモチベーションスコアは、提案手法を用いる場合は高くなったと考えられる。T1からT5にかけて評価が右肩上がりにならなかったことについては、初日からある程度弾けていたことや、ミスをきちんと把握できていたことが影響したと考えられる。

T6, T7で全体的にミスが増加したことについては、提案手法を用いない場合に発生するミスポイントを把握し修正するまでに至らなかったためであると考えられる。T7のミスがT6より減少したことについては、目印を頼りに撥弦位置を探すより自ら探した方が効果的であったためであると考えられる。T7の誤撥弦について、参加者2名はまったくなく、残りの1名も減少していたことから、T6のミスに気づき修正できたことが影響したと考えられる。

参加者 b, c の演奏遅延の発生については、楽譜を見ながらの演奏に慣れていなかったことやミスした際にスムーズに演奏に戻れなかったことが影響したと考えられる。一方参加者 a は音楽経験が豊富であることに加えて、弦名手法(一弦)の使用時間が他の参加者より長かったため、遅延が発生しなかったと考えられる。

主観的演奏評価やモチベーションスコアの理由記述、自由記述の感想の一部を以下に示す。

- どの指で弾けばいいのかという区別がすぐについた。
- 弾く向きを表す矢印が分かりやすく練習に役立った。
- 可視化されることで練習内容を思い出しやすかった。
- 曲全体の流れをとらえやすかった。
- 音ゲーに似ていてモチベーションを維持できた。
- 提案手法がないと、演奏再開位置を探すのに時間がかかって焦ってしまい、さらに間違えてしまった。
- 提案手法を使用している間は分かりやすく練習、演奏することができたが、運指提示がなくなると指の動か

し方に不安があった。

弦名手法（全弦）は目の高さや覗き込み具合によって弦名が書いてある位置と弦の対応が異なってしまうため、正しい撥弦位置を把握できず、誤撥弦や弾き直しによる余撥弦が多くなったと考えられる。そのため、弾き間違えに気づかずして T1-T5 を終えた者もいた。そして弦名手法（一弦）移行後、誤撥弦に気づき修正していた。

T2 から T6 にかけて運指ミスが減少している。この原因として、演奏や撥弦位置を少しずつ覚えてきたことで楽譜を見る余裕ができ、運指も意識できたことがあげられる。しかし、T1-T7 すべてにおいて参加者全員が親指から中指に切り替えて弾くべき箇所を親指で弾くミスをしていた。

モチベーションスコアについては、箏を弾くことの珍しさから P1 は高評価であったものの P2 では下がっていた。これについては「初日以外は上達している気がしなかった」と自由記述の感想に記述した者が 2 名おり、練習中に課題曲と関係ないフレーズを弾いている者もいた。しかし、少しずつテンポに合わせた演奏ができるようになったことに加えて、ミスに気付いていなかったため、主観的演奏評価は徐々に上昇したと考えられる。T6, T7 については「弦の位置把握に苦戦した」と T5 より評価を下げた者と「弦名紙がない割には上手に演奏できた」と T5 以上の評価をつけた者がいた。

最後にその他の結果の考察について述べる。T2 は演奏への慣れの影響により、両条件ともに撥弦ミスは減少したが、弦名手法（全弦）の運指への意識が希薄となったため、運指ミスの差はむしろ顕著になっていた。

両条件の T3 におけるミスの増加やモチベーションスコアの減少、弦名手法（全弦）の参加者 f を除く演奏遅延時間の増加、提案手法の P3 の主観的演奏評価の減少については、弾き方の再指導が影響したためであると考えられる。加えて、条件 1 の参加者 1 名が演奏途中で爪をはめ直していたため、提案手法の未撥弦が増加したと考えられる。

未撥弦や余撥弦においてさほど差がなかったテストや合せ爪の奏法ミスについては、各参加者の演奏技術不足が影響していたと考えられる。

モチベーションスコアの理由記述より、条件 1（提案手法）グループは 2 日目にはテンポを意識しており、早くても 2 日目、遅くとも 4 日目には弾けていない箇所に向けて練習していた。それに対し、条件 2（弦名手法（全弦））グループは 3 日目もしくは 4 日目にテンポを意識した練習をしていた。提案手法を用いることで、よりレベルの高い練習をすることができたといえるだろう。

5.2 箏初心者を対象とした読譜力向上の検証

5.2.1 実験手順

長期実験参加者 6 名を対象に、5.1 節の実験終了後さらに実験を行った。ここでは、提案手法を用いたのちに箏譜

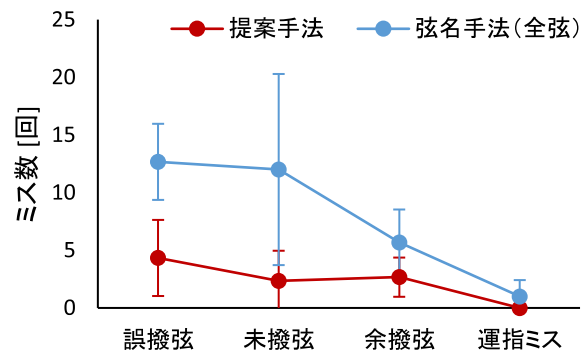


図 12 撥弦ミス数および運指ミス数

Fig. 12 Numbers of picking and fingering errors.

の読譜に取り組む場合と、初めから箏譜の読譜に取り組む場合における読譜力向上度合いを検証する。5.1 節の実験において、提案手法は主に箏譜ではなく弦への提示情報を見ており、箏譜を見ている時間は弦名手法（全弦）の方が長いと考えられる。そのため、読譜力は提案手法より弦名手法（全弦）の方が高いと予想した。

課題曲 沢井忠夫作曲「秋の日」I 箏パートを 45 小節目から 64 小節目まで（20 小節）演奏させた。この楽曲には「割り爪（3 回）、ピチカート（8 回）」の 2 種類の奏法が含まれている。こちらも該当パートのみを抽出した箏譜を用いた。また運指番号の記載がなかったため、中指で弾く箇所に運指番号を振った。

実験方法 参加者全員弦名手法（一弦）を用いて、5 分間練習した後、テストとして通し演奏をさせた。演奏にあたり、リズムは分かっているが、弦の位置が分からなかったり、指が追いつかなかったりして弾けないことがある。そのため、メトロノーム（♩ = 45）に合わせて弦を弾くタイミングで手をたたかせ、リズム理解度の確認を行った。

なお、調弦と位置合わせ、演奏支援情報データ生成は第 1 筆者が事前に行った。

判定方法 5.1 節の実験と同様とする。

参加者への指示 テスト時は弾き直しをせず自然なテンポで弾くよう指示した。リズム確認は別に行うことに加えて、リズムに意識が行き、その他への意識がおろそかにならないよう、練習時もテスト演奏時もメトロノームは使用しなかった。

5.2.2 結果

結果を図 12 に示す。両手法とも奏法ミスはなかった。有意水準 5% で t 検定を行ったところ、誤撥弦においてのみ有意傾向が見られた ($p < .10$)。

運指ミスについては、参加者 1 名を除きミスがなかった。

読譜については、弦名手法（全弦）グループ 2 名がピチカートと繰返しの記号が一緒に書かれた箇所を読むことができていなかった。提案手法グループは全員正しく読み、演奏できていた。また両グループとも 1 名ずつ、半々拍 2 回半拍 1 回が繰り返されるフレーズの一部を読み飛ばして

おり、リズム確認時も正確に手を叩けていなかった。残りの4名はリズムが理解できていることを確認した。

5.2.3 考察

予想に反して、提案手法は弦名手法（全弦）より撥弦ミスが少ない結果となった。これは提案手法の方が撥弦位置を把握できていたためであると考えられる。弦名手法（全弦）グループの参加者1名を除き運指ミスがなかったことについては、この実験に使用した楽曲に紛らわしい運指がなかったためであると考えられる。加えて、読み飛ばし箇所があったことについては、弾き間違えにより現在の演奏位置が分からなくなったためであると考えられる。

読譜について、提案手法の方が正しく演奏できていたのは、提案手法による奏法の可視化が楽譜上の記号理解を促進したためであると考えられる。

リズム理解については、楽譜からリズムを読み取るしかなかったため、ミスが発生したと考えられる。

以上より、初めから楽譜の読譜に取り組むよりも提案手法を用いたのちに取り組んだ方が、読譜力、演奏力ともに向上することが明らかになった。

5.3 奏法提示の有用性の検証

比較対象 演奏初歩段階における提案手法の奏法提示の効果、提示方法の適切さを検証するため、弦名手法（全弦）との比較実験を行った。対象とした奏法とその問題点を表5に示す。

実験参加者 5.1節および5.2節の実験に参加していない楽初習者の大学生6名（男性4名、女性2名）を、音楽経験を考慮し各手法3名ずつに分けた。各参加者の音楽経験と割り当てた手法を表6に示す。

課題曲 前述の奏法7種類（かき爪1回、割り爪1回、合せ爪5回、押し手2回（強押し1回、弱押し1回）、突き色2回、輪連1回、裏連1回）を含み、かつ現在の撥弦位置から次の撥弦位置への移動量が少なくなるように、第1筆者が作成した（付録B）。曲の長さは8小節、調弦は平調子である。かき爪、割り爪、合せ爪については楽譜に運指番号を振った。

演奏支援情報データ生成 押し手1回目（強押し）の押すタイミングは押し手の1拍前とし、放すタイミングは次の弦を弾いた後とした。押し手2回目（弱押し）は直前と直後に同じ弦を弾くため、押し手の直前（200ms前）を押すタイミングとし、次の弦を弾く直前（200ms前）を放すタイミングとした。突き色については、弦を弾いた半拍後を押すタイミングとし、押した直後（押すタイミングを提示した200ms後）を放すタイミングとした。

実験方法 以下に実験手順を示す。

- ① 爪の付け方や構え方、楽譜の読み方、課題曲に出てくる奏法を含めた弾き方、提案手法の提示情報（提案手法を使用する参加者のみ）を教える。

表5 対象とした奏法とその問題点

Table 5 Targeted articulations and their problems.

奏法	問題点
かき爪	弾く回数によって奏法が異なるため、運指も異なる（かき爪は中指で1回、割り爪は人差し指、中指の順1回ずつで弾く）
割り爪	
合せ爪	撥弦位置によって運指が異なる
押し手	楽譜上に琴柱の左側の弦を押すタイミングや放すタイミングが書かれていない
突き色	
輪連	楽譜には弾く弦の位置や運指が書かれておらず、記号のみで表されている
裏連	楽譜に運指の切替えタイミングが書かれていないうえに、最初に弾く弦名が書かれておらず、奏法を表す記号のみが書かれていることもある

表6 各参加者の音楽経験と割り当てた手法

Table 6 Music experience and allotment method of each participant.

参加者	音楽経験	手法
g	ピアノ（演奏歴3年）	提案
h	合唱（合唱歴3年）	提案
i	ギター（演奏歴4年）	提案
j	ピアノ（演奏歴17年） ホルン（演奏歴9年）	弦名（全弦）
k	ピアノ（演奏歴6年） クラシックギター（演奏歴2年）	弦名（全弦）
l	なし	弦名（全弦）

- ② 7分間練習（♩ = 60, ♪ = 48, ♩ = 30 から自由に選択可）
- ③ 3分間練習（♩ = 60 指定）
- ④ テスト演奏（♩ = 60 で通し演奏）
- ⑤ アンケート回答（感想のみ自由記述とした）

押し手の押し具合と音高については、事前説明（①）時にチューナ（KORG社のCA-1）を用いて参加者全員に確認させた。練習時とテスト演奏時は割り当てた手法のみを使用した。

なお、調弦と位置合わせ、演奏支援情報データ生成は第1筆者が事前に行った。

判定方法 撥弦ミスと運指ミスの判定は5.1節の実験と同様とする。ただし余撥弦については、爪の当て方や力の入れ方等の技術不足によるミスを含めないこととした。また、かき爪、割り爪、輪連の運指ミスは、各撥弦位置に対してではなく、奏法ごとにカウントした。加えて、かき爪、割り爪の未撥弦は、分けてカウントした。奏法ミスについては、一般奏法を押し手で弾いていた場合とその逆、輪連を一般奏法で弾いた場合を奏法ミスとした。今回は短期実験であったため、合せ爪のずれについては許容した。演奏遅延時間については、1拍目から28拍目まで（裏連の前までの7小節）を5.1節の実験と同様に判定した。裏連の遅延時間については別途判定した。押し手、突き色、裏連の判定内容を結果とともに、それぞれ表8、表9、表10に

表 7 撥弦ミス数・運指ミス数・奏法ミス数 (単位: 回) および演奏遅延時間 (単位: 拍)
 Table 7 Number of picking, fingering, articulation errors (unit: time) and performance delay time (unit: beat).

参加者	撥弦ミス数						運指ミス数		奏法ミス数		演奏遅延時間	
	誤撥弦数		未撥弦数		余撥弦数		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差						
提案	1.7	2.4	0.3	0.5	1.3	1.9	0	0	1.7	0.9	0	0
弦名	2.3	1.2	1.7	2.4	0.3	0.5	2.7	0.9	0	0	4.0	2.2

表 8 押し手の判定内容とその結果
 Table 8 Evaluations and results of *Oshide*.

参加者	強押し				弱押し			
	押す タイミング*3,7	放す タイミング*4,7	押す場所	押し具合*8	押す タイミング*5,7	放す タイミング*6,7	押す場所	押し具合*8
g	○	—	○	×	—	—	○	×
h	○	○	○	×	—	+	○	×
i	○	○	○	×	—	—	○	×
j	○	—	×	※	○	—	○	△
k	○	—	○	×	○	○	○	×
l	+	—	○	×	+	○	○	○

*3 押し手の弦を弾く前に押せていれば、すべて正しいタイミングとした。
 *4 押し手の次の弦を弾いた以降に放していれば、すべて正しいタイミングとした。
 *5 直前が後押しになっておらず、かつ押し手の弦を弾く前に押せていれば、すべて正しいタイミングとした。
 *6 押し手が突き色や押し放しになっておらず、かつ次の弦を弾く前に放していれば、すべて正しいタイミングとした。
 *7 ○…正しいタイミングであった、—…正しいタイミングより早かった、+…正しいタイミングより遅かった。
 *8 ○…正しい音高であった、△…正しい音高とのずれが±50 CENT以内であった、×…押し具合が足りなかった、※…押した弦が異なっていたため、判定できなかった。

表 9 突き色の判定内容とその結果
 Table 9 Evaluations and results of *Tsukiuro*.

参加者	1回目				2回目			
	押す タイミング*9	放す タイミング*9	押す場所	音色変化	押す タイミング*9	放す タイミング*9	押す場所	音色変化
g	—	+	○	×	+	○	○	×
h	+	+	×	×	×	×	×	×
i	—	○	○	○	○	○	○	×
j	○	○	○	○	○	○	×	×
k	—	○	○	×	—	○	×	×
l	○	+	○	×	+	+	×	×

*9 ○…正しいタイミングであった、—…正しいタイミングより早かった、+…正しいタイミングより遅かった、×…押せていなかった。

示す。

判定はテスト演奏を録画した映像と音声波形、前述のチューナを用いて行った。

参加者への指示 5.1 節と同様に指示した。

5.3.1 結果

各手法参加者のテスト演奏ごとの撥弦ミス数および運指ミス数、奏法ミス数、演奏遅延時間を表 7 に示す。提案手法は弦名手法 (全弦) より余撥弦、奏法ミスが多かった。有意水準 5% で t 検定を行ったが、有意差は見られなかった。演奏遅延については、弦名手法 (全弦) グループの参加者全員に発生しており、うち 1 名は弾き直していた。

押し手の判定内容とその結果を表 8 に示す。提案手法の場合、強押しは 2 名が正しいタイミングで押し放しできていたが、弱押しは全員うまくいかなかった。一方弦名手法 (全弦) は、強押しの押すタイミングが正しくても放すタイミングが早い傾向にあった。弱押しは押すタイミング、放すタイミングともに提案手法より正確であった。押す場所については両手法ともほぼ全員正解していた。しかし、強押しの押し具合は参加者全員が足りておらず、弱押しにおいても 1 名を除き、押し具合が足りていなかった。

突き色の判定内容とその結果を表 9 に示す。1 回目は提案手法の方が正しいタイミングで弾けていた。2 回目は提

表 10 裏連の判定内容とその結果
Table 10 Evaluations and results of *Uraren*.

参加者	遅延時間 (単位: 拍)	トレモロの後, 人差し指と中指の裏で下りているか	親指で最後の 2, 3 弦を 弾いているか ^{*10}
g	+0.3	○	○
h	+0.6	○	○
i	+0.1	○	×
j	-0.2	×	○
k	+0.5	○	○
l	+2.0	○	△

*10 ○…指示通りに弾けていた, △…人差し指の裏と中指の裏で弾いた後, 親指でもう一度弾いていた, ×…人差し指の裏と中指の裏で弾いた。

案手法グループの 1 名は押すことすらできておらず, 弦名手法 (全弦) グループも参加者全員が間違えて隣の弦を押していた。音色変化は両手法とも, 1 回目は 1 名ずつできていたが, 2 回目は誰一人できていなかった。

裏連の判定内容とその結果を表 10 に示す。提案手法の方が遅延時間は少なかったが, 弦名手法 (全弦) グループの参加者 1 名は早くなっていた。運指については両手法とも練習中は正しい運指で弾けていたものの, テスト演奏では間違えていた。

5.3.2 考察

提案手法は撥弦位置を運指別に色分けして提示していたため, 裏連を除き運指ミスはなかった。アンケートにおいても, 全員運指が分かりやすかったと述べていた。これより運指提示は効果があったといえる。特にかき爪や割り爪, 輪連といった, 人差し指と中指の区別が難しい奏法には有用であった。

誤撥弦については, 弦への提示が籠甲にずれて投影されてしまったことが原因であると考えられる。これについては, アンケートでも分かりにくかったとの感想があった。しかし, 5.1 節の長期実験より 30 分ほど使用すれば投影のずれに慣れ, ミスがなくなると予想される。また, 奥の弦を弾くために身を乗り出すことで演奏支援情報が隠れてしまい, 分かりにくかったとの意見も得られた。

提案手法の余撥弦が多かったことについては, 参加者 1 名が指示されたタイミングよりも早く弦を弾いてしまい, 正しいタイミングで再度弾き直していたためであると考えられる。

奏法提示のデザインについて述べる。以下に示すように奏法の提示デザインによっては, かえってタイミングが分かりにくくなってしまっている場合もあることが推測される。

押し手 押し手のタイミングを表す記号が弾く向きを表す矢印と混同してしまい, ミスをする参加者がいた。色や太さは違うが, 同じ矢印という形を使用したためであると考えられる。該当する弦の琴柱の左側も光らせていたが, 押し手の記号とこの提示が連動していることが分かりにく

かったとの意見もあった。

割り爪 人差し指と中指で同時に弾くミスがあった。割り爪は演奏支援情報がつながっていた (表 1) ため, 同時に弾くと勘違いさせてしまった可能性がある。

アンケートより, 次に弾くための準備時間がなかったという意見も得られた。現在の撥弦位置や次の撥弦位置だけでなくリズム感も提示するため, ピアノロール譜や音楽ゲームのような提示方法を採用し, かつ 1 小節前から提示しているが, 効果が見られない場合もあった。これについては練習時間を増やし, 提案手法に慣れることで解決されるだろう。

一方, 弦名手法 (全弦) は繰返し記号が書いてある箇所でもミスが発生していた。また箏譜に押し手や突き色のタイミングは書かれていないが, 正しいタイミングで弾いている者もいた。箏譜の記号が分かりにくかったとの感想もあったが, 左手奏法に関しては箏譜を見た方が普通の弾き方とは異なることを把握しやすかったと考えられる。アンケートより撥弦位置を把握しやすかったと回答していたが, 合せ爪で誤撥弦をしている者がいた。

最後に全体について述べる。両手法とも割り爪でリズムミスをした者がいた。弦名手法 (全弦) は突き色で演奏が遅延していた。課題曲を聴かせていたら, これらのミスが発生することはなかったと考えられる。

押し手や突き色の押しタイミング, 放すタイミングの提示は, 今回の実験では提示効果を明らかにすることはできなかった。奏法の種類が多く, 提案手法を使用しても 1 度に習得するのは難しかったことに加えて練習時間が短かったため, 長期実験により再検証する必要があると考えられる。また提示方法のデザインについても再考すべきであると考えられる。

裏連については, 運指が分からずミスをした参加者はいなかった。弾き方を教えているときにある程度習得できたものと考えられる。しかし, 運指は分かっているにも拍に収めることは難しく, 参加者 6 名中 5 名は遅延していた。唯一遅延がなかった参加者 j は, トレモロの長さを短くし, 裏連が 3 拍で収まるように工夫していた。そのため遅延は

なかったが、早くなってしまうと考えられる。提案手法を使用した参加者は、演奏支援情報に指が追いつかず遅れていたため、遅延したと考えられる。裏連は撥弦位置を気にせず運指だけを意識できるように、巾から一まで弾くことにしたが、六などの途中の弦までにした場合は撥弦位置も意識しなければならないため、運指への意識が希薄になりミスが起こると予想される。

5.4 経験者を対象とした提案手法の有用性の検証

5.4.1 実験手順

箏経験者にとって箏初心者を対象とした提案手法が有用であるか検証するため、箏演奏経験（演奏歴約9年）のある第1筆者自身が提案手法とベースラインとの比較実験を行った。箏経験者は弦の位置を把握し箏譜を読むことができる。また奏法をある程度習得している。そのため、初心者を対象とした演奏学習支援システムを経験者が使用した場合、それ以上の学習効果を生まないと予想した。

課題曲 提案手法の課題曲は、沢井忠夫作曲「音きらゝ」I 箏パート6 ページ1 行目2 小節目から7 ページ3 行目1 小節目までの20 小節とした。この楽曲には「ピチカート（28 回、うち16 回は合せ爪）、合せ爪（17 回）、押し手（弱押し2 回、強押し1 回）」の3 種類の奏法が含まれている。またベースラインの課題曲は、沢井比河流作曲「OKOTO」I 箏パート8 ページ2 行目4 小節目から9 ページ3 行目1 小節目までの20 小節（繰返しなし）とした。この楽曲には「合せ爪（24 回）、すくい爪（4 回）、ピチカート（56 回、うち24 回は合せ爪）」の3 種類の奏法が含まれている。どちらも $\text{♩} = 60$ で練習、テストを行った。選曲にあたっては、箏講師に難易度が同等であることを確認してもらった。

実験方法 実験はベースライン、提案手法の順に行った。どちらも課題曲に1 度目を通した後、練習前テストを行った。そして7 分間練習した後、練習後テストを行った。提案手法を使用する場合は練習時のみの使用とし、テストはすべてベースラインを使用し行った。また提案手法を使用する場合でもベースラインと同様に譜面台に箏譜を置き、手元が見える程度に照明を暗くした。

判定方法と参加者への指示 5.1 節の実験と同様とする。

5.4.2 結果

結果を図13に示す。撥弦ミス数は各課題曲の全撥弦数に対するミス数である。両条件ともに運指ミス、奏法ミスは見られなかった。箏譜に慣れ親しんでいる者にとってはベースラインを用いた方が効果的であり、提案手法を用いた場合は練習前よりも撥弦ミス総数が増加していた。

5.4.3 考察

予想に反して、箏経験者にとって提案手法は足かせとなった。提案手法を用いた際は、演奏支援情報を目で追うのに精一杯であった。撥弦位置が連続している箇所は分かりやすかったが、撥弦位置が離れている箇所は把握しに

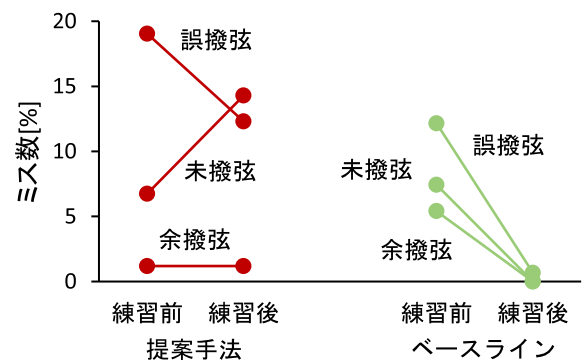


図13 練習前後の撥弦ミス数

Fig. 13 The number of picking errors of before and after practice by experienced people.

くかった。そのため、箏譜を見る余裕も演奏を十分に記憶する余裕もなかった。その結果、練習中に演奏を記憶することができなかつたうに、練習前にひととおり目を通したときの方が箏譜を記憶できていたため、練習後は練習前と比較して撥弦ミスが増加したと考えられる。一方、ベースラインを使用した場合は箏譜を見ながら練習したことで、撥弦名が記憶できたため撥弦ミスが減少したと考えられる。

実験終了直後、提案手法を使わずに最も苦戦していた両手で弾くフレーズを片手で1回ずつ練習してから両手で演奏してみたところ、それだけで弾けるようになった。後日 $\text{♩} = 30$ にテンポを落とし、提案手法を使用してみたところ、把握できない箇所はなくスムーズに演奏することができた。そして3回ほど使用したところでミスなく弾けるようになった。その後、 $\text{♩} = 60$ に戻し再度提案手法を使用してみても、スムーズに演奏することができた。これはテンポを遅くしたことで、演奏支援情報に追いつくことができたためであると考えられる。ある程度弾けるようになったところでベースラインに切り替えて演奏してみたが、やはり撥弦名を覚えたわけではなかったため弾きにくかったものの、こちらも3回目でミスなく弾けるようになった。

経験者を対象とする場合は、奏法の練習等の飽きやすい基礎練習や、指を速く動かす練習に取り入れると有用であると考えられる。ベースラインを使用してある程度演奏できるようになったのちに提案手法を使用すれば、撥弦ミスや運指ミスの確認に有用ではないかと考えられる。

今回の実験に使用した曲は初心者向けではないが、もしこの曲を初心者が練習する場合は、提案手法の方が有用である可能性があると考えられる。弦を連続で弾くフレーズの場合、フレーズの初めの弦を見つけられれば、提案手法がなくても比較的容易に弾けるようになると予想される。しかし、弾く弦の位置が離れている場合は、1つ1つ弦を探すことになり、曲として聞こえるまでに時間がかかるため、モチベーションが下がっていくと予想される。他にも両手で弾くフレーズはタイミングミスが発生する可能性が

ある。音源がある場合はこのミスに気づけるが、音源がない場合は間違えたまま練習してしまう可能性が高いと予想される。これは今後の検証課題である。

6. 議論

まず実験の限界と不備について述べる。今回の長期実験では、弾き方を教えているうえに、課題曲を毎日1回聴かせていた。そのため、説明していた第1筆者がいたり、課題曲の演奏があつたりといった補助がある状態であった。通常は先生に弾き方を教わったり、一緒に演奏することで曲を聴いたり、音源があつたりといった状況であるため、通常の練習に近い形で実験することができたとはいえるだろう。そのため、実際の学習に役立つと予想される。しかし、これらの補助によって支援されていた可能性がある。長期実験では課題曲を聴かせていたため、初日からリズムミスをする参加者は1名もいなかった。読譜力向上の実験では課題曲を聴かせなかったため、リズムミスをした参加者が両グループ1名ずついた。追加実験においても、両グループともリズムミスやタイミングミスをしていた参加者がいた。長期実験でも課題曲を聴かせていなかったら、リズムを理解できなかった者がいたと考えられる。また、箏譜からは読み取れない音高についても聴かせることで理解できる状況であった。提案手法を使用した参加者から流れが分かりやすいとの意見を得たが、完全に提案手法による効果であったとはいえない。

1章で、箏には25種類の奏法があり、その中には箏譜に演奏するうえで必要な情報が書かれていないと述べた。具体的には、押し合せ、裏連、押し手、押し放し（放すタイミングの表記はあるが、押すタイミングの表記はない）の4つがあげられる。これらのうち裏連は、弾き方を教えているときに、ある程度習得できてしまう。そのため、実験でも多少の時間のずれが発生したり、テスト演奏時に運指ミスしていた者もいたりしたが、参加者全員理解はできていた。押し合せと押し手については、音源があつても押すタイミングや放すタイミングは分からないが、映像がある場合はこれらも分かるため、提案手法より効果的である可能性が高い。しかし映像は弦の位置を直接提示してくれるわけではないため、撥弦位置が分からず押し手の押すタイミングと放すタイミングも分からない場合においては、提案手法の方が効果的であるとえられる。

評価実験の結果、奏法によって提示の有用性に差が出た。多方面の支援ができるよう大幅に盛り込んだ楽器演奏学習支援システムにしてしまうと、結果の原因を分離するのが困難であることが分かった。それぞれの機能を評価できるような実験デザインを考えることはできても、その実験数は膨大になってしまう。そのため、システムのデザインや実験のデザインは慎重に行うべきである。本論文の提案システムも、2章であげた多くの支援システムも、支援効果

を上げるために複数の工夫を凝らしたものが多く、総合的な支援効果の確認は行えても細かな原因特定にまで踏み込んでいるものは少ない。本論文でもこの課題を内包しているため、さらに詳細な原因特定のための実験デザインを検討したいと考えている。

次に提案手法と弦名手法（全弦）の比較について述べる。提案手法を使用した場合、練習を怠ける参加者はいなかった。演奏支援情報が次々と流れて提示されるため、練習は半強制的であったといえるだろう。一方弦名手法（全弦）を使用した場合、途中で飽きてしまい集中して練習をしなかった参加者がいた。自ら箏譜を読んで撥弦位置を探す必要があり、受動的に練習できなかったためであると考えられる。

最後に提案手法の学習効果について述べる。提案手法を用いることで演奏できるようになったとしても、撥弦名を覚えることはできない。箏は調弦によって弦に割り当てられる音が変わるため、音だけを覚える場合は調弦を暗記し、それを基に音を弦名に変換する必要がある。箏譜には弦名が書かれているため、箏譜を読みながら練習する場合と比較すると提案手法は遠回りである。そのため、箏譜が読めて弦の位置が把握できる経験者にとっては、提案手法を用いない方が効率良く学習することができたとえられる。

一方初心者には箏譜を読むことも弦の位置を探すこともできないため、弦名紙等を用いる従来の練習方法では慣れないことを同時進行でやっていかなければならない。提案手法を使用することで撥弦位置の探索をある程度解決し、撥弦ミスや運指ミスに気づかせ、間違った演奏を覚えてしまうことを防ぐことができる。そして提案手法を用いて演奏できるようになったのちに、箏譜の読譜に取り組んだ方が効率良く学習できる。提案手法から弦名手法（一弦）に移行した場合、弦名紙手法（全弦）よりモチベーションが下がってしまう。しかし、提案手法を用いた方が通常の箏に移行し演奏した際のミス回数が少なかったため、初心者にとって提案手法は有用であるといえるだろう。

5.4節の実験より、異なるターゲットユーザにとって提案手法は足かせになることが分かった。これより提案手法の学習効果は徐々に薄れ、最終的に効果がなくなることが予想される。そのため、ユーザのレベルに適したシステムの離脱を考えるべきである。

7. まとめと展望

箏初心者を対象とし「奏法」を考慮した箏演奏学習支援手法を提案した。提案手法は、運指別に色分けした撥弦位置や弾く向きを示した矢印、奏法を表す記号といった演奏支援情報を箏に直接提示する。実験を行った結果、提案手法を用いることで初心者でも「奏法」を含めて箏を演奏することができ、弦名手法以上に効率良く学習することができた。特に運指別に色分けした演奏弦や指が動く方向の提

示が、弾くべき弦の位置や曲の流れの把握、モチベーションの維持に効果があり、弦名手法（全弦）より誤撥弦ミスや運指ミスを減らすことができた。加えて演奏支援情報を可視化したことで、判定機構がなかったにもかかわらず、実験参加者自らミスに気づくことができた。奏法提示については一部学習効果が見られなかったものの、箏演奏学習の難しさを打開することができた。押し手については、箏譜には書かれていないタイミングを提示したにもかかわらず、その学習効果はあまり得られなかった。奏法の記号化のデザインにも問題があり、デザインを変更すれば効果があると考えられる。提示方法のデザインを改良した後、練習時間を増やした実験を再度行う予定である。また今回実装しなかった奏法についてもデザインし、実験を行う予定である。読譜力については、弦名手法（全弦）を用いて最初から箏譜の読譜に取り組むより提案手法を用いて演奏できるようにになったのちに箏譜の読譜に取り組んだ方が向上し、演奏力についても提案手法を用いた方が向上することが示唆された。しかし、経験者にとっては提案手法が逆効果になることが実験より明らかになった。提案手法の効果が逆転するタイミングは、箏譜を理解し箏譜に書かれた弦の位置を探せるようになったときと予想される。この知見は提案手法の補助を外すための指標として使えるだろう。

アンケート結果より、途中から演奏できる機能があると良いという意見も得られたため、練習開始位置の自由選択にも対応していく。また提案手法がなくなるとスムーズに演奏できない参加者がいたため、ユーザに合わせて徐々に補助機能がなくなるよう提案手法を改良していく。安定した演奏ができるようになった段階で、箏譜と向き合う時間を増やす仕組みを導入する。実験システム構築後、提案手法がどの段階まで有用であるか実験を行い、仮説どおりであるか検証したい。箏譜からシステムに適した演奏支援情報データを生成する方法についても楽譜作成支援システム [13], [15] を参考に検討していきたい。そのほかにも、押し手の押し具合と音高の関係が分からなかったり、そもそも押せていなかったりしたため、押し手についても支援していきたい。加えて、雑音がない、音の強弱が適切であるといった、より良い演奏に仕上げるための支援についても考慮したい。

謝辞 実験のアドバイスをくださった小林真由子箏講師ならびに事前調査アンケートに回答していただきました箏奏者の皆様にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 福永千恵子：やさしく学べる箏教本，汐文社（2003）。
- [2] 山口 修，田中健次：邦楽箏始め，カワイ出版（2002）。
- [3] 宮崎まゆみ：箏と箏曲を知る事典，東京堂出版（2009）。
- [4] Rogers, K., Röhligh, A., Weing, M., Gugenheimer, J., Könings, B., Klepsch, M., Schaub, F., Rukzio, E., Seufert, T. and Weber, M.: P.I.A.N.O.: Faster Piano

- Learning with Interactive Projection, *Proc. ITS '14*, pp.149–158 (2014).
- [5] Zhang, Y., Liu, S., Tao, L., Yu, C., Shi, Y. and Xu, Y.: ChinAR: Facilitating Chinese Guqin Learning through Interactive Projected Augmentation, *Proc. Chinese CHI '15*, pp.23–31 (2015).
- [6] 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).
- [7] 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設計と実装，情報処理学会論文誌，Vol.54, No.4, pp.1383–1392 (2013).
- [8] Löchtefeld, M., Gehring, S., Jung, R. and Krüger, A.: guitAR: supporting guitar learning through mobile projection, *Proc. CHI EA '11*, pp.1447–1452 (2011).
- [9] Xiao, X., Tome, B. and Ishii, H.: Andante: Walking Figures on the Piano Keyboard to Visualize Musical Motion, *Proc. NIME '14*, pp.629–632 (2014).
- [10] 福家悠人，竹川佳成，柳 英克：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，情報処理学会インタラクシオン 2015, pp.118–127 (2015).
- [11] Raymaekers, L., Vermeulen, J., Luyten, K. and Coninx, K.: Game of tones: Learning to Play Songs on a Piano Using Projected Instructions and Games, *Proc. CHI EA '14*, pp.411–414 (2014).
- [12] 佐野加奈，郷健太郎：初心者のための箏演奏支援システム，情報科学技術フォーラム講演論文集，Vol.11, No.3, pp.491–492 (2012).
- [13] 伊藤 稜：箏曲譜処理ソフトウェアの開発，情報処理学会研究報告（音楽情報科学研究会 2004-MUS-56），Vol.2004, No.84, pp.89–94 (2004).
- [14] 濱中敬人，坂本大介，五十嵐健夫：Aibiki：譜面の適応的自動スクロールによる三味線演奏支援，情報処理学会研究報告（ヒューマンコンピュータインタラクシオン研究会 2014-HCI-157），Vol.2014, No.69, pp.1–6 (2014).
- [15] 野口将人，田島ゆう子，松島俊明，坪井邦明，志村 哲：尺八譜の情報処理システム「尺八くん 2002」—システム評価と新機能，情報処理学会研究報告（音楽情報科学研究会 2002-MUS-47），Vol.2002, No.100, pp.53–58 (2002).

付 録

A.1 奏法選定のための事前調査結果

本提案手法では、箏初心者が奏法に抵抗を感じることなく、かつ頻出度の高い奏法を習得できるよう、難易度が最も低かった引き連の頻出度を基準に、非頻出度 22.2%以下の奏法を選定した。

奏法名	難易度		非頻出度	
	平均	標準偏差	選択数	%
押し手	2.69	0.34	0	0
割り爪	2.35	0.25	0	0
すくい爪	2.33	0.27	0	0
トレモロ	3.12	0.31	1	5.6
合せ爪	2.13	0.26	1	5.6
スタッカート	2.00	0.24	1	5.6
後押し	3.00	0.34	2	11.1
裏連	2.94	0.33	2	11.1
ピチカート	2.25	0.27	2	11.1
散し爪・輪連	2.13	0.32	2	11.1
かき爪	2.07	0.22	2	11.1
ハーモニクス	3.67	0.37	3	16.7
アルペジオ	3.31	0.37	3	16.7
突き色	2.93	0.32	3	16.7
押し放し	2.92	0.3	4	22.2
引き色	2.69	0.33	4	22.2
押し合せ	2.42	0.36	4	22.2
消し爪	2.29	0.28	4	22.2
流し爪	1.79	0.27	4	22.2
引き連	1.69	0.27	4	22.2
揺り色	2.93	0.29	5	27.8
かけ爪	2.17	0.31	5	27.8
すり爪	2.08	0.28	5	27.8
打ち爪	2.77	0.35	7	38.9
無調音	2.00	0.20	17	94.4

A.2 5.3 節「奏法提示の有用性の検証」に使用した箏譜

巾	一 ² 二	短期実験課題曲
為	五	
ハ	一 ² 二 三	
七	五	
十九	五 ² 七	
ハ	、	
七七	一	
ッ六	六 ² 八	
五	一	
四	五 ² 七	
三	一	
←	五 ² 八	
◎	◎	
◎	△	
◎	枕	
◎	十	
◎	斗	
サ	巾	
〰	為	
〰	巾	
〰	フ巾	



土井 麻由佳 (学生会員)

明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科卒業。2017年度より同大学大学院先端数理科学研究科先端メディアサイエンス専攻博士前期課程に在籍中。



宮下 芳明 (正会員)

千葉大学工学部卒業(画像工学)、富山大学大学院で音楽教育(作曲)を専攻、北陸先端科学技術大学院大学にて博士号(知識科学)取得、優秀修了者賞。2007年度より明治大学理工学部に着任。2009年度より准教授。2013年度より同大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科所属。2014年10月より教授、現在に至る。ヒューマンインタフェース学会、日本ソフトウェア科学会、ACM各会員。