

バイオリン初心者のためのマルチモーダル情報提示による ポジショニング学習支援システムの設計と実装

齊藤 暉^{†1a} 竹川 佳成^{†1b} 平田 圭二^{†1c}

概要: バイオリンは押弦位置の僅かなずれで音高が変化したり、調弦の狂いによって演奏中に押弦位置が微妙にずれたりするため、正確なポジショニングの習得は難しい。前者の問題を解決するために指板上にフレットを模したシールの貼付や、チューナーなど、視覚的な補助情報により正しい押弦位置の理解を支援している。一方、後者の問題の解決に必要な音感の育成は支援していない。本研究では、両方の問題を解決するためにマルチモーダル情報（視覚的および聴覚的な補助情報）提示によるポジショニング学習支援システムの設計と実装を目的とする。本システムは、正しい押弦位置の理解を促すための機能や、学習者の音感を育成するための機能を持ち、それらによって従来の手法よりも効率的な学習を図る。評価実験ではバイオリン未経験者 14 名を対象に、システムの学習補助を使用した音階練習の後、学習補助無しで課題曲を演奏し振り返る、という手順を 3 セット実施した。学習補助は、統制群が視覚的補助のみ、実験群がマルチモーダル情報とした。課題曲での演奏音と正解音との音高差から各群の平均点を算出すると、1 セット目の課題曲の平均点は統制群よりも実験群の方が低かったが、3 セット目は実験群の方が高かった。また、課題曲の 1 回目から 3 回目にかけての平均点の上昇値において各群の差は有意だった。

キーワード: バイオリン, ポジショニング学習支援, マルチモーダル情報

1. はじめに

バイオリン演奏において、正確なポジショニングが必須である。ポジショニングとは、現在演奏している譜面上の音符に対応した音高で音が鳴るように指板を押弦することである。バイオリンの指板にはフレットが無いため、押弦位置が数ミリメートルずれただけで音高が大きすぎてしまう。また、演奏行為、気温や湿度の影響による調弦の狂いに臨機応変に対応して押弦位置を微調整するなど、正確なポジショニングの習得は非常に難しい。

従来のポジショニング学習法は、指板上に押弦位置の目安となるシール（以下指板シール）を貼ったり、チューナーを用いて演奏音（直前の撥弦あるいは擦弦において出力された音）の音高と、正解音（現在演奏している譜面上の音符に対応する音高）の音高差を可視化したりする方法がある。指板シールによって学習者は、どこを押弦すべきか視覚的に判断できる。しかし先述したようにバイオリンの調弦は不安定で、指板シールの貼り付けた位置に依存してしまうと、調弦の狂いに対応できない。一方、チューナーはリアルタイムに音高差を可視化するため、調弦が乱れても適切に音高差を提示する。そのため学習者は調弦が乱れた事実を理解し、チューナーのインジケータを見ながら正しいポジショニングを探り当てられるが、その作業は煩雑である。

正確なポジショニングを行うためには基本的な押弦位置を記憶することと、音感が必要となる。音感とは、ある正解音に対して演奏音がどの程度ずれているのか音だけで判

断できる能力と定義する。相川ら[1]は、「理想の音を出すには頭の中で出したい音を鳴らす必要があり、これを育成するためには、自分の音を聴く力をつけなければならない」と述べている。この「音を聴く力」と「音感」は類似しており、本研究では同義語として扱うこととする。この音感が向上することで、ポジショニングミスに対して、音が鳴った瞬間にミスに気づき、押弦位置を修正できる。

指板シールやチューナーは視覚的な補助であり、押弦位置の記憶を支援しているが、音感の育成は支援していない。

そこで本研究では、視覚的補助による押弦位置の記憶と、聴覚的補助による音感の育成に着目した、マルチモーダル情報提示によるポジショニング学習支援システムの設計および実装を目指す。

2. 関連研究

バイオリンを対象にポジショニングの学習支援を目的とした研究として、演奏中の音響データをもとに演奏音と正解音の音高差を可視化しリアルタイムにフィードバックするシステム[2]がある。このシステムは演奏中のミスの記録や、調弦の支援を行う機能などももつ。指板に押弦位置を提示するシステム[3]では、「人は嘘をつかれると相手を信用しなくなる」という心理特性を活用し、押弦位置の提示を正しいものだけでなく、曖昧にしたり虚偽の位置を提示したりすることで、学習者に対してシステムからの離脱を考慮している。また、演奏中の MIDI データをもとに、

†1 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate
†a g2116020@fun.ac.jp
†b yoshi@fun.ac.jp
†c hirata@fun.ac.jp

演奏音と正解音の音高差のフィードバックやその記録の機能ももつ。

バイオリン以外の楽器の学習を支援する研究事例として、演奏を自動的に評価しアドバイスや誤りを譜面上に提示するシステム[4]がある。このシステムは、打鍵のミスや強さなどを主に打鍵情報から評価している。また、打鍵すべき鍵、運指、手本映像を表示するシステム[5][6]などもある。

これらの学習支援に関する取り組みは、学習者の耳で判断し辛い学習項目に対し、視覚的に補助することで学習の効率化を図っている。一方、本研究のようにマルチモーダルな補助情報の提示で支援している事例は少ない。

3. 設計と実装

本研究が提案するポジショニング学習支援システムはバイオリン初心者を対象としている。提案システムは学習者に適切な押弦位置を記憶させたり、音感を育成させたりする多彩な学習補助機能を提供する。学習者はシステムが提供する学習補助を活用しながら、ある楽曲を何も弾けない状態から練習し、できる限り早く上達し、最終的にシステムの学習補助を用いなくてもポジショニングをミスせずに演奏できるようになることを目指している。

提案システムはポジショニング学習を行うための練習モードと、ポジショニングの精度を測るためのテストモードに分かれている。前者ではシステムが提示する学習補助を使用しながらポジショニング練習を行い、後者では学習補助無し状態でどれだけ正確にポジショニングをできるかテストする。またテストモードでは、テスト後にその結果を振り返るための機能がある。

3.1 システムの構成

提案するポジショニング学習支援システムのシステム構成を図1に示す。MIDI バイオリンのスクロール部分に固定されたカメラから撮る指板の映像に、押弦位置を示す光点を付与し、ポジショニング情報を提示する。また、演奏時のMIDI データ（ノートナンバーやピッチベンド）はPCに送られ、それをもとに学習補助を提示する。

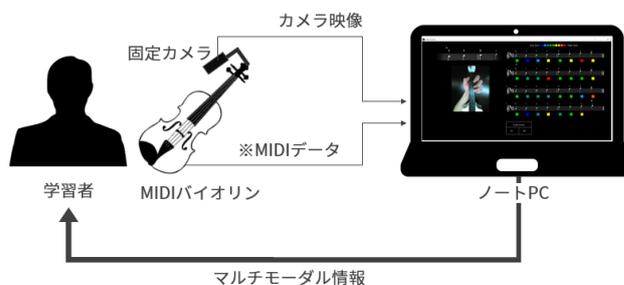


図1. システム構成

3.2 提示コンテンツ

システムが提示するコンテンツについて説明する。提案システムはポジショニング練習を行うための練習モードと、ポジショニングの精度を測るためのテストモードがある。練習モードで使用する学習補助が、視覚的な補助の使用時と聴覚的な補助の使用時とで画面が異なっており、それぞれの画面を図2および図3に示す。また、テストモードの画面を図4に示す。図中の番号は以下の簡条書き番号に対応し、以下各機能について説明する。

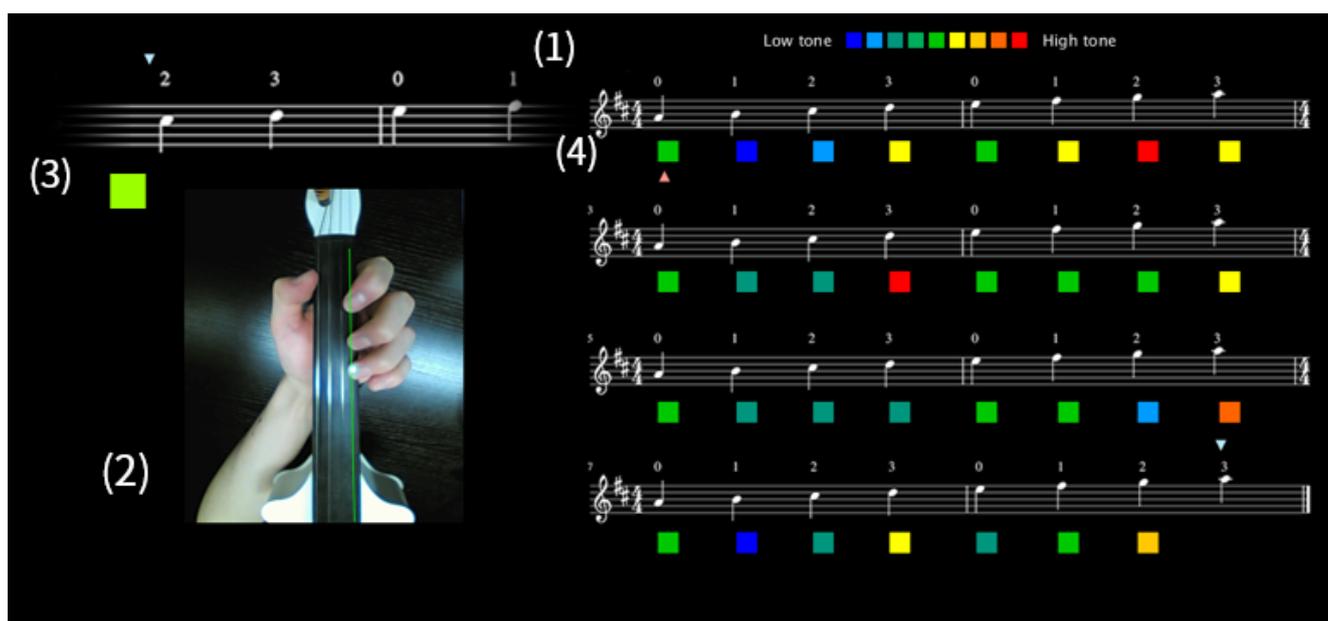


図2. 視覚的な補助の使用時における練習モードのスクリーンショット

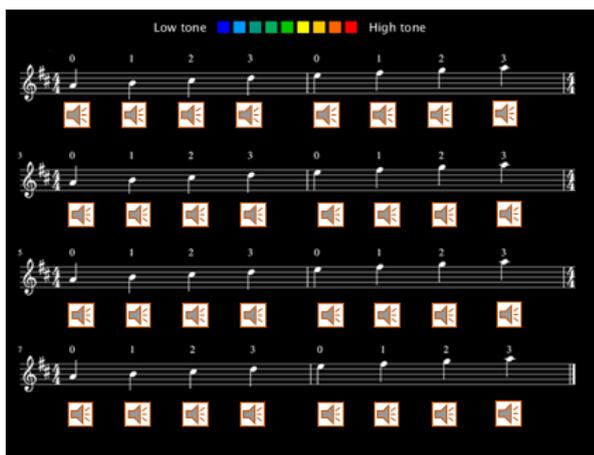


図 3. 聴覚的な補助の使用時における練習モードのスクリーンナップショット

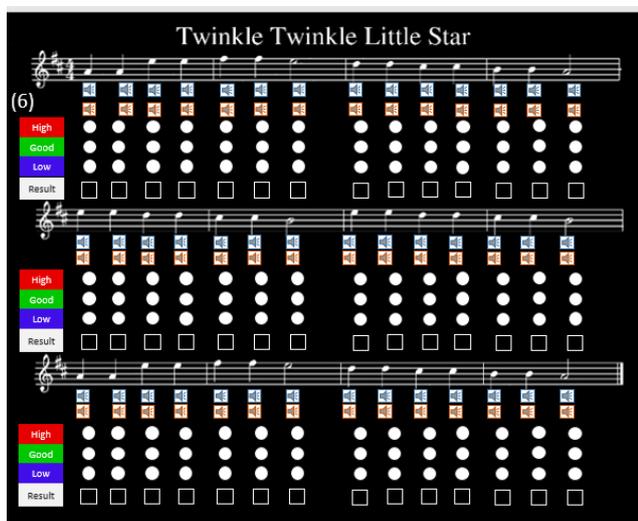


図 4. テストモードのスクリーンナップショット

- (1) **練習用音階の楽譜提示** 練習用音階の楽譜を提示する。音階はイ長調のラ 4〜ラ 5 (数字はオクターブ番号)の 8 音を 1 フレーズとし 4 フレーズ表示している。
- (2) **押弦位置提示機能** 各音符に対応した押弦位置を光点で提示する (図 5)。これにより学習者は、押弦すべき位置を直観的に理解できる。

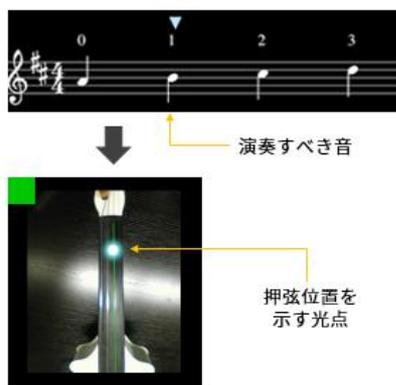


図 5. 押弦位置提示機能

- (3) **音高差フィードバック提示機能** 演奏音と正解音の音高差を 9 色の矩形でリアルタイムに提示する。矩形色分けの判定基準を表 1 に示す。正解音と演奏音がほぼ一致している場合 (正解音に対し演奏音の音高差が ± 25 セント以内と定める), 黄緑の矩形が提示される。また, 演奏音が正解音よりも低ければ低いほど黄緑から青に変化し, その音高差が半音 (100 セント) 以上になると青の矩形になる。逆に, 演奏音の方が正解音よりも高ければ高いほど黄緑から赤に変化し, 同じく半音以上高い場合は赤の矩形を提示する。これにより学習者は音高差を視覚的に素早く理解できる。

表 1. 音高差フィードバックの色分けの基準

正解音			
演奏音	半音低い 	正解音と一致 	半音高い
矩形色			

- (4) **音高差履歴提示機能** 各音符を最初に弾いた音の音高差フィードバックが, 音高差履歴として各音符の下部に記録される (図 6)。その音符を最初に弾いた時の履歴を残すことで, 学習者はミスをしやすい箇所やその程度を確認できる。



図 6. 音高差履歴提示機能

- (5) **正解音提示機能** 譜面に記されている音符の音高の正しい音を順番に再生する (図 7)。正解音と演奏音を聴き比べながら押弦位置を調整することで, その音高差を聴覚的に確認し, 正解音を耳で覚えらる。

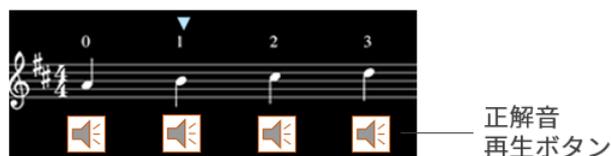


図 7. 正解音提示機能

- (6) **音感チェック機能** 演奏音と同じ音高の音を再生し, それが正解音と合っているか (Good), または高いか (High) 低い (Low) を学習者自身に判定させ, その結果

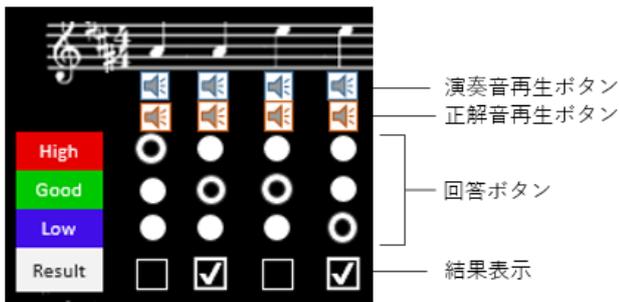


図 8. 音感チェック機能

が正しければチェックが表示される(図8)。提案システムはバイオリン初心者を対象としているため、演奏音のみ聴いても音高が正しいかどうか判別できない場合に備え、聴き比べをするための正解音を再生する機能も有する。これらにより学習者は、音感の傾向を確認できる。

4. 評価実験

評価実験では、バイオリン初心者を対象に、演奏音と正解音の音高差をもとにしたポジショニング精度を評価指標とすることで、提案手法の有用性を検証する。

4.1 実験の手順

被験者

被験者は14名で、全員がバイオリン未経験者である。なお、被験者にはあらかじめ本システムの使用方法のほか、楽器の構え方や演奏方法も説明した。

練習用音階とテスト用楽曲

練習用音階として、イ長調の1オクターブ(ラ4~ラ5)の音階を練習してもらった。テスト用の楽曲にはきらきら星イ長調を選定した。この曲を選定した理由は、移弦のタイミングや指使いがわかりやすく、初心者でも弾きやすい曲だからである。なお、被験者全員がテスト用楽曲を聴いたことはあるが、弾いたことはない。

統制群と実験群

被験者14名を7名ずつ、統制群と実験群に分類した。表2に示すように、統制群では従来の手法と同様に視覚的な補助のみを使用してもらったのに対し、実験群では視覚的な補助と聴覚的な補助を使用してもらった。

実験の流れ

統制群の実験の流れと、各ステップでの使用可能な機能を図9に示す。図中の(2)~(6)は3.2節の各機能の番号に対応し、使用可能な機能を○、そうでない機能を×で示している。練習用音階のラ4~ラ5の8音を1フレーズとし

(図5)、統制群ではポジショニング提示機能と音高差フィードバック提示機能、そして音高差履歴提示機能を使用しながら音階を8フレーズ練習した後、学習補助無しでテスト用楽曲を弾いてもらい、そして音高差履歴機能を使用してテストの振り返りをしてもらった。これを1セットとし、計3セット行った。

実験群の実験の流れと各ステップでの使用可能な機能を図10に示す。図9と同様、図中の番号は3.2節の各機能の番号に対応し、各機能の使用の可否は○×で示す。実験群の学習補助は統制群でも使用した3つの機能に加え正解音提示機能を使用可能としたが、ポジショニング提示・音高差フィードバックと、正解音提示は同時には使用せず、練習前にどちらを使用するか学習者に選択してもらった。学習補助無しでテスト用楽曲を弾いた後、音高差履歴提示機能と音感チェック機能を使用して振り返りを行ってもらった。1セット目の練習は8フレーズだが、2セット目以降は4フレーズにした。この理由は、実験群では統制群よりも振り返りが充実しており、総練習時間に大きな差がないようにするためである。

なお、演奏方法は右手の人差し指で弦を弾くピチカートを採用した。本来は右手に持った弓で音を鳴らすボーイングで演奏するが、弓の持ち方から構え方、基本的なボーイングだけでも初心者には難易度が高く、ポジショニングに集中できない可能性があったためである。

また、本研究はポジショニング精度の向上に着目しているため、演奏上の音量(ベロシティ)やリズム精度については考慮していない。

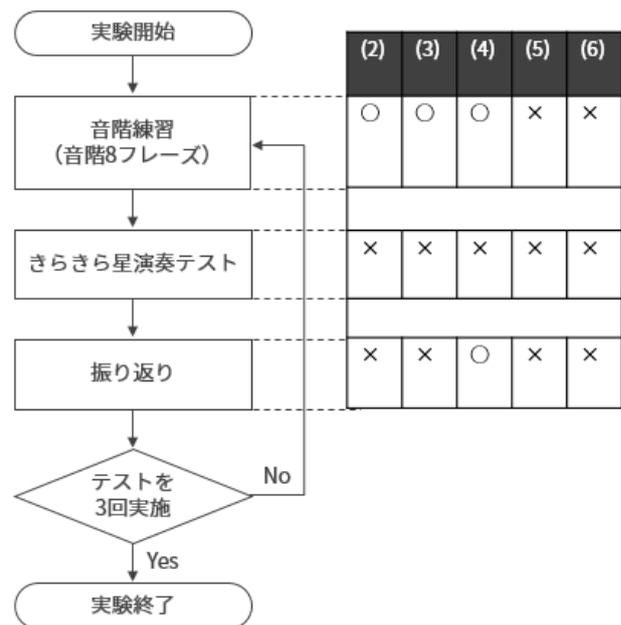


図 9. 統制群の実験の流れと使用可能な機能

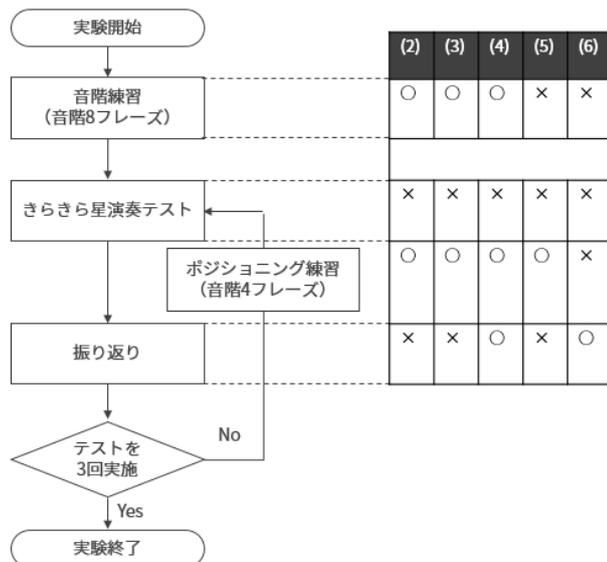


図 10. 実験群の実験の流れと使用可能な機能

実験終了後には実験群の被験者に対し、各機能の効果などについて、半構造化インタビューを行った。アンケートの回答形式には5段階のリッカート尺度法を用いた。また、各機能についてどう感じたかなど、自由にコメントを記述してもらった。

評価方法

各群の各テストにおいて各音符の音高差（演奏音-正解音）の結果をもとにポジショニングの精度を評価する。表2に示すように、演奏音と正解音が合っている場合を最高点（5点）とし、音高斉歴の9段階を点数化した。テスト用楽曲のきらきら星は全部で42音あるため、210点満点（5点×42音）となる。この採点基準に基づき群およびテストごとの平均点を算出した。

表 2. 音高差履歴ごとの取得点数

音高差	半音低い			なし			半音高い		
音高差履歴	■	■	■	■	■	■	■	■	■
点数	1	2	3	4	5	4	3	2	1

4.2 結果

テストの平均点

各群の1回目～3回目のテストでの平均点を図11に示す。1回目～3回目のテストの平均点の推移を比較すると、統制群では1回目から2回目のテストにかけて平均点が増加したものの、3回目では平均点が増加した。一方、実験群では1回目から3回目にかけて、平均点が増加した。テスト1回目から3回目にかけての各群の平均点の上昇値（図12）について有意水準5%で両側検定のt検定を適用した結果、 $t(12)=-2.01$, $p=0.0495 < 0.05$ であり、各群の平均点の上昇値の差に有意差が観測された。

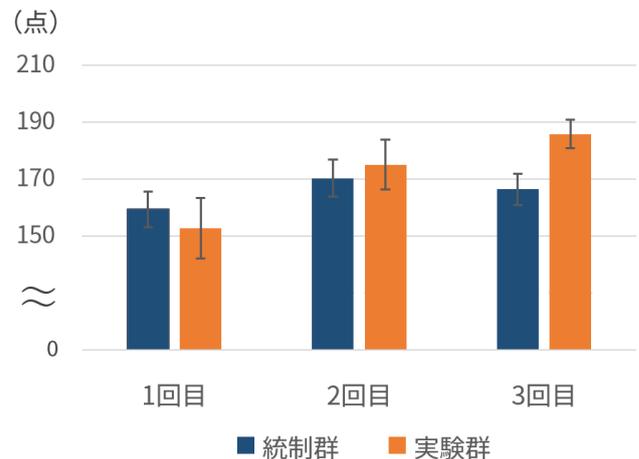


図 11. 各テストにおける平均点

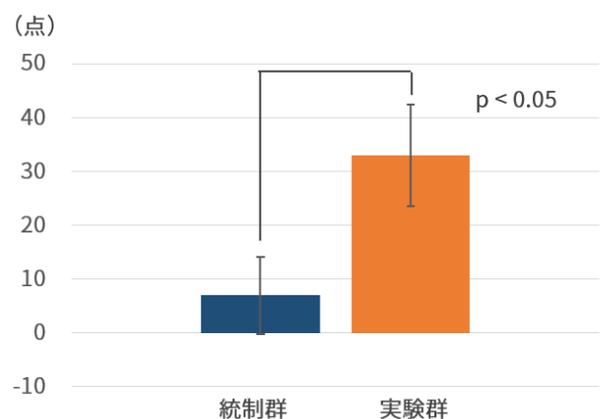


図 12. テスト1回目から3回目の平均点の上昇値

音符ごとの取得点数の割合

テスト用楽曲中の全42音において群ごとに取得した点数の割合を図13に示す。統制群では取得点数の取得率が増減傾向は無く、点数の伸び悩みが観測できる。実験群ではテスト毎に1点取得の割合が大きく減少し、4点および5点の取得率が増加した。各群のテスト3回目の取得点数の割合についてカイ二乗検定を行ったところ $\chi^2(4)=38.47$, $p < 0.01$ でありその差は有意であった。

4.3 考察

各群のテスト1回目から3回目にかけての平均点の上昇値や、テスト3回目の取得点数の割合に有意差が生じた要因として、振り返りによって間違えやすい音やその箇所を自覚できたことが関係していると考えられる。実験後のアンケートで「音感チェック機能によってその後の練習で注力すべき音や箇所を自覚できたか?」という質問に対し、実験群7名全員が「当てはまる」または「やや当てはまる」と回答していた。これについて被験者は「自分が弾いた音と正しい音を聴き比べたことで、いかに自分の弾いた音が

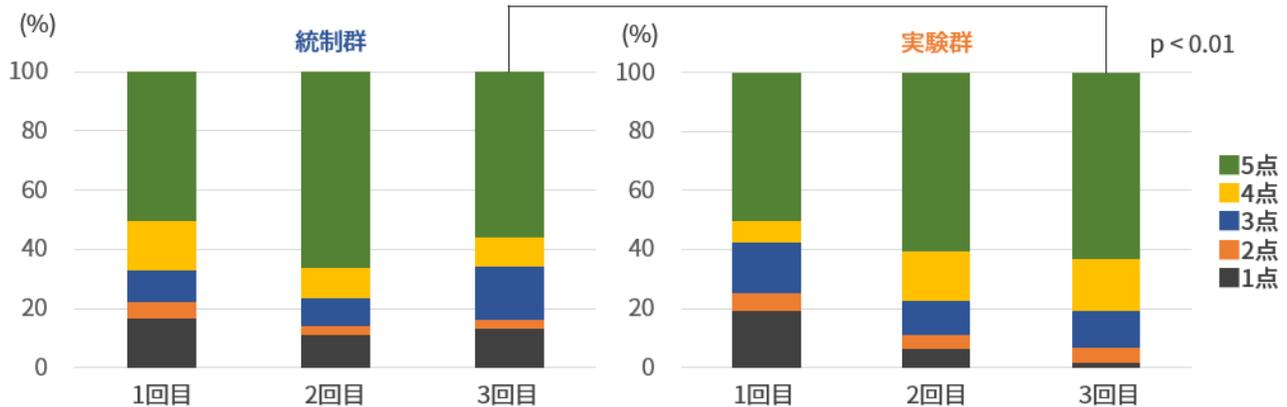


図 13. 各群のテスト毎における取得点数の割合

間違っていたか自覚できた」とコメントしており、音感チェック機能によってその後の練習で注力すべき音を自覚することで、より効果的な練習を行えたと考えられる。

「音感チェック機能によって自身の音感の不確かさを自覚できたか?」という質問に対しても実験群7名全員が「当てはまる」または「やや当てはまる」と回答していた。音感の不確かさとは、例えば演奏音と正解音が微妙にずれていた場合、それに気付かずに2つの音は同じ音だと判断してしまうなど、音感が確かでないことである。また、「正解音と演奏音を聴き比べながら練習することは、正しい音高の音を覚えるのに役立ったか?」という質問に対し実験群7名中6名が「当てはまる」または「やや当てはまる」と回答していた。これらのことから実験群の被験者に対し、音感チェック機能によって自らの音感の不確かさを自覚させ、そして正解音を用いた練習によって正しい音高の音の記憶を支援できたといえる。

さらに、「音感チェック機能や正解音提示の使用によって、自らの演奏音をきちんと聴くことへの意識が高まったか?」という質問に対し、実験群7名全員が「当てはまる」または「やや当てはまる」と回答していた。練習やテストにおいて自らの演奏音が合っているかどうか意識することで、テストの点数向上に影響を与えたと推測できる。

一方統制群では、振り返りは音高差履歴の確認のみであった。そのため、間違えやすい音を視覚的に確認することはできても、いかに演奏音と正解音がずれていたか聴き比べることはできず、どの音に注力すべきか曖昧になった、あるいはあまり考えなかったと推測する。また、音感の不確かさを自覚する機会もなかったため、演奏音をきちんと

聴くという意識も、実験群に対し弱かったと考えられる。

実験群では視覚的補助に頼らない練習方略に変化したことも関係していると考えられる。表3に示すように、実験群全員が1回目の練習は視覚的補助を使用していたが、2回目の練習では7名中6名が聴覚的補助の使用に切り替え、最終的には全員が聴覚的補助を使用している。これについて被験者は、「音高差フィードバックがあると黄緑の矩形を表示させることに夢中になってしまい、押弦位置や指同士の間隔などを覚えることを忘れてしまうから、使い過ぎるのは良くないと思った」「音高差フィードバックはその場限りのポジショニング矯正といった感じで受動的な練習になっている気がした。それよりも正解音と演奏音を聴き比べながら、自分で正しい押弦位置を探っていく方が能動的な練習のようで、着実に身に付きそうな感じがした」などとコメントしていた。視覚的補助に依存せず、正解音を聴きながら正しい押弦位置を模索していくことで、押弦位置をきちんと記憶できたと考えられる。

また、課題曲のきらきら星は同じ音が連続することが頻出する曲であるが、図14のように、連続する音の1音目でミスしても、それに気づき2音目では修正できている場面が観察された。「音感チェックは音感の向上に役立ったか?」「正解音は音感向上に役立ったか?」というそれぞれの質問に対し、どちらも実験群7名全員が「当てはまる」または「やや当てはまる」と回答しており、提案システム使用により音感が向上し、演奏中のミスに気づき修正できるようになったと考えられる。



図 14. 2音目でのポジショニング修正

表 3. 実験群の練習毎の使用機能の変化

使用機能	1回目	2回目	3回目
音高差フィードバック	7名	1名	0名
音高差履歴			
正解音提示	0名	6名	7名

5. まとめ

本研究では、バイオリン初心者のためのマルチモーダル情報提示によるポジショニング学習支援システムの設計および実装を行った。

提案システムの評価実験よりテストでの平均点を比較したところ、1回目は統制群よりも実験群の方が低かったが、3回目では実験群の方が高かった。テストの1回目から3回目にかけての平均点における各群の上昇値の差は有意であった。また、テストでの各音符の取得点数について分析すると、統制群では取得点数の増減率に明確な傾向はなかったが、実験群では1点の取得率が大きく減少し、その分4点や5点といった高得点の取得率が増加した。テスト3回目における各音符の取得点数の割合の差も有意であった。したがって、視覚的補助のみの使用よりもマルチモーダル情報の使用の方が、学習効果が高いことが明らかとなった。

今後の展望として、システムのUIの改良や、使用機能を制限した追加実験などが挙げられる。また、今回行った実験は短期的な実験だったため、長期的な実験を行った場合との違いや共通点の抽出などが挙げられる。

参考文献

- [1] 相川麻里子, 他(2013)『本当に役立つ! ヴァイオリン練習法 74 12人の指導者が実践する最強のトレーニング』リットーミュージック, pp. 45.
- [2] Wang, J., et al., Real-Time Pitch Training System for Violin Learners, Proc. Of Multimedia and Expo Workshops (ICMEW2012), pp. 163-168.
- [3] Kumaki, M., Takegawa, Y., and Hirata, K., Evaluation of Positioning Learning Support System using True information and False Information and Vague Information for Violin Beginner, Proceeding of International Computer Music Conference(ICMC2017), pp. 150--155.
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.4, pp.1383-1392(2013).