

譜面への書き込みによる視認性低下の改善を目的とした 筆記情報を用いた重要度設定手法の提案

津田 紗宮良¹ 中村 聰史¹

概要：吹奏楽や管弦楽では、演奏者が練習時に課題点や注意点、アドバイスなどを譜面に書き込み、記録しておくことがよくある。しかし、書き込みが増加すると譜面自体や書き込みの視認性が低下するという問題がある。そこで本研究では、追加の動作を行わずに筆記情報から設定した書き込みの重要度をもとに、視認性を向上させる手法を提案する。具体的には、筆圧などを用いて重要度を設定し、その重要度に応じて書き込み自体の濃度を時間経過とともに変化させる。また、吹奏楽部員の中高生を対象に譜面への書き込みに関する基礎調査とプロトタイプシステムのユーザ評価実験を実施し、システムの利用可能性の調査を行った。その結果、練習の段階に伴って重要視される書き込みが譜面理解から音楽表現へと変化することが明らかになった。また、筆圧のみでの重要度設定では安定した精度は得られなかった一方で、重要度が低い書き込みを徐々に消していくシステムに対する肯定的なユーザ評価も得られた。

キーワード：譜面、筆圧、デジタル手書き

1. はじめに

中学校や高校の部活動として行われる吹奏楽や管弦楽では、日々の練習や合奏を通じて演奏技術の向上が図られている。その際、演奏者は自身の課題点や、コーチ・先輩からの指導内容などを記録するために譜面へ書き込みを行う。書き込む内容は、音形や音量など音楽記号として表現可能なものからフレーズのイメージや演奏方法など記号化が困難なものまで多岐にわたり、音のイメージの表現や強調のために矢印や丸で囲むなどの書き込みも行われる。また、書き込みが多く行われる場面は合奏中であり、時間に限りがあることが多い。

コンクールで演奏するような練習期間が長い曲や難易度の高い曲では、図1のように譜面への書き込み量が増加していくことによって、視認性が低下してしまう。その結果、過去に記録した重要な書き込みが新しい書き込みに埋もれてしまったり、新たな書き込みを追加するスペースが不十分になったりするなどして、本人にとって必要な情報が記録できず、また適切に得られなくなるという問題がある。

ここで、学生が参加する吹奏楽や管弦楽の多くでは、現在でも紙の譜面が使用される場面が多いが、デジタル譜面に対応したアプリケーションの開発も徐々に行われてい

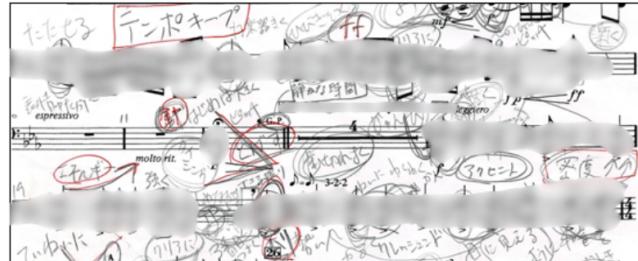


図1: 譜面への書き込み例

る。既存のデジタル譜面アプリの例としては、nkoda^{*1} や forScore^{*2} などがあり、nkodaでは視覚的に譜面上の情報を整理するために、ハイライトで色分けをしたり、書き込みをレイヤーで管理したりすることができる。またforScoreは、タグ付けやセットリストの作成によって楽譜の整理を容易にしており、メトロノームやチューナーなどの演奏支援ツールに加え、手書きやスタンプを活用した書き込みが可能である。しかし、これらのアプリケーションに搭載されている機能は、書き込むという行動のほかに、メニュー操作などが必要となる。そのため、時間的な制約がある合奏中においてそれらを操作することは困難であり、ユーザの負担を軽減するには現在の紙の譜面における手書きの書き込み手法に沿った入力方法がデジタル譜面においても有効であると考えられる。

¹ 明治大学
Meiji University

^{*1} nkoda: <https://www.nkoda.com/>
^{*2} forScore: <https://forscore.co/>

そこで本研究では、合奏中などの限られた時間においても、演奏者が書き込んだ情報を整理し、必要な情報を適切に取得可能な譜面環境の実現を目指す。そのために、筆記情報をもとに設定した書き込みの重要度に応じて、書き込みの濃度を変化させることによって、譜面への書き込みの視認性を向上させる手法を提案する。本手法により、演奏者の負荷を抑えながら、実用性と視認性に優れた譜面環境の構築を目指す。また、初期検討として譜面への書き込みに関する基礎調査とシステムの利用可能性の調査を行う。

2. 関連研究

2.1 演奏支援に関する研究

松原ら [1] は、中級演奏者を対象としたオーケストラスコアの理解支援のために、スコアを動的に色で可視化するインタラクティブな楽譜色付けシステム ScoreIlluminator を提案している。また、その動的な色付けにより、複雑なスコア構造を視覚的に把握しやすくなり、スコア理解の支援に有効である可能性が示されている。Stenberg ら [2] は、譜面の可読性を高めるための提示方法を検討し、従来譜と改良譜を比較する実験を行った。その結果、短いフレーズごとに縦の空白を挿入した譜面では演奏ミスの数が有意に減少し、譜読みが滑らかになることを明らかにしている。

竹川ら [3] は、ピアノの演奏学習を支援するため、実際の鍵盤上に演奏補助情報を直接投影するシステムを提案し、システムを使用することで難しい箇所の集中的な練習が見られ、打鍵ミス数も減少する傾向があることを明らかにしている。また関根ら [4] は、管楽器中級者を対象として音程のずれを色彩情報で可視化するシステムを提案している。チューナーと提案手法を比較する実験を行うことで、提案手法によって音程のずれが改善された傾向は見られなかったが、音程がずれた箇所を重点的に練習する傾向が見られることを明らかにしている。

このように、楽器の演奏を支援するために譜面の表示方法や演奏のフィードバック方法を提案する研究は多く行われている。しかし、練習時に行う譜面への書き込みに着目した演奏支援の研究はほとんど行われていない。

2.2 譜面の書き込みに関する研究

Winget [5-7] は、譜面に書き込まれた内容や目的、構造などを体系的に解明するために約 25,000 件の書き込みを分析し、演奏支援と知識共有のためのモデルを構築している。分析の結果から、書き込みの約 8 割は技術的なものであることや、プロとアマチュア、室内楽とオーケストラなど置かれている立場やスキルに応じて書き込みの目的や量が変化することを明らかにしている。また、デジタルシステムにおけるアノテーション機能の重要性や書き込みツールの開発の必要性についても述べている。

Weigl ら [8] は、楽譜への注釈について、多様なニーズを

網羅しようとすると機能が多すぎて使いにくいツールになるという課題に着目し、ユーザが自身に合った形で注釈を作成しつつ、共有可能なデータ基盤を提案し、音楽注釈が共通のデータ基盤の上で柔軟に扱えることを明らかにしている。また Page ら [9] は、楽譜における注釈機能が用途ごとに個別化していることによって相互運用性がないことに着目し、システムの共通基盤について検討を行い、注釈内容は利用目的に強く依存するため一般化が困難である一方で、楽譜中のどの部分に対しての注釈であるかという位置情報については、汎用的に扱うための基盤が実装可能であるとしている。

このように、書き込みに関する研究はデジタル化に向けたシステムの構築が中心であり、手書きの書き込みをデジタルにも応用する研究や個々人の譜面への書き込み自体に着目した研究は十分に行われていない。

2.3 筆圧制御に関する研究

Ramos ら [10, 11] は、デジタルペンの入力における筆圧の活用幅を広げるために、筆圧が操作入力としても機能するかを検証した。その結果、十分な視覚フィードバックを伴う条件下では 6 段階程度の筆圧を安定して識別可能であることが示されている。また、筆圧の変化を UI 操作に用いる手法の提案も行い、弱い筆圧から強い筆圧へと変化させる操作が有用である可能性が示されている。

Cabral ら [12] は、従来のデータ可視化操作がボタンやスライダーなどの UI 操作を必要とする点に着目し、デジタルペンの筆圧・傾き・タッチといった身体的動作を可視化操作に直接利用する手法を提案している。ユーザ評価の結果、タスクによっては提案手法が従来のマウス入力よりも迅速な探索を可能にすることが明らかになっている。

関口ら [13] は、従来の Undo が時系列順の操作に依存する問題に着目し、筆圧を利用して確信度ベースで Undo を可能とする PP-Undo を実装した。また、ストローク群のグループ化の検討も行い、筆圧の平均や上位 25% 値を用いる設定が高精度であることを明らかにしている。

このように、デジタル上での筆記において筆圧は、操作意図や確信度を反映する要素としてすでに活用されている。本研究では、演奏者自身の意思を反映させやすくかつ視認性を保つことが可能な譜面環境を提供することを目的として、筆圧などの筆記情報に着目した譜面書き込み手法を提案するものである。

3. 譜面への書き込みに関するアンケート調査

3.1 アンケート調査概要

2.2 節で述べたように、個々人の譜面における書き込み行動が明らかにならないため、基礎調査として中学校や高校の現役吹奏楽部員を対象に譜面への書き込み行動についてのアンケート調査を行った。

本アンケートでは、「練習時間の経過に伴って書き込み内容は変化するのか」という問い合わせのもと、譜面が配布されてから演奏の本番までの練習段階を序盤・中盤・終盤に分け、それぞれの場面にどのような書き込みを行ったり確認したりするのかを調査する項目を作成した。また、書き込み内容を以下の5つのカテゴリに分けた。このカテゴリは、実際に譜面に書き込まれた内容を踏まえて著者を含む吹奏楽経験者3名の協議によって決定したものである。

- **楽譜の補助**：難しいリズムや臨時記号など譜面理解に関する書き込み
- **演奏方法**：息の使い方や音形など具体的な演奏の指示に関する書き込み
- **表現**：フレーズやイメージなど音楽的なニュアンスに関する書き込み
- **他との関係性**：和音やタイミングなどアンサンブルでの役割に関する書き込み
- **心構え**：自分自身へのリマインドや意識に関する書き込み

序盤・中盤・終盤の3つの練習段階において、これらの5つのカテゴリの書き込みをどの程度行ったり確認したりするのかをそれぞれ5段階で評価してもらった。また、書き込む際の工夫や書き込み方の各自のルールなどいくつかの項目について自由記述も交えて回答してもらった。アンケートの回答者は、吹奏楽部員34名（中学生20名、高校生14名）であった。

3.2 書き込みの練習段階の違いについて

書き込みを行う場面において、5つの各カテゴリに対する序盤・中盤・終盤の練習段階別の5段階評価の平均と、その5段階評価をFriedman検定で比較し、5%水準で有意であった場合にNemenyi検定による多重比較を行った結果を表1に示す。表には多重比較の結果5%水準で有意であった組み合わせを表示している。5段階評価の平均が4以上のものに着目をすると、よく行われる書き込みが楽譜の補助から、表現や他との関係性へと変化していることが分かった。また、検定の結果より、楽譜の補助についての書き込みは序盤に比べて中盤や終盤に減少する傾向があり、表現・他との関係性・心構えについての書き込みは序盤に比べて中盤や終盤に増加する傾向があることが分かった。

同様に、書き込みを確認する場面における練習段階別の5段階評価の平均と、検定結果を表2に示す。5段階評価の平均が4以上のものに着目をすると、よく見られる書き込みが楽譜の補助から、演奏方法や表現、他との関係性へと変化していることが分かった。また、検定の結果より、楽譜の補助についての書き込みは序盤・中盤・終盤と時間経過に伴って見なくなる傾向がある一方で、心構えについての書き込みは時間経過に伴って見られるようになる傾向があり、表現・他との関係性についての書き込みは序盤に比べ

て中盤や終盤に見られるようになる傾向があることが分かった。

以上より、楽譜の補助についての書き込みは練習の序盤に多く行われた後、徐々に見られなくなっていくことが分かった。一方、表現・他との関係性・心構えについての書き込みは、練習が進むにつれてよく行われるようになり、本番が近くなっていることが分かった。

表1: 書き込みを行う際の5段階評価の平均と検定結果

カテゴリ	序盤	中盤	終盤	Nemenyi検定
楽譜の補助	4.06	2.97	2.56	序盤-中盤, 序盤-終盤
演奏方法	3.47	3.94	3.68	—
表現	3.06	4.38	4.53	序盤-中盤, 序盤-終盤
他との関係性	2.88	3.88	4.00	序盤-中盤, 序盤-終盤
心構え	2.32	3.29	3.85	序盤-中盤, 序盤-終盤

表2: 書き込みを確認する際の5段階評価の平均と検定結果

カテゴリ	序盤	中盤	終盤	Nemenyi検定
楽譜の補助	4.21	3.29	2.41	序盤-中盤-終盤
演奏方法	3.79	4.06	3.76	—
表現	3.09	4.41	4.50	序盤-中盤, 序盤-終盤
他との関係性	2.68	3.85	4.15	序盤-中盤, 序盤-終盤
心構え	2.09	2.88	3.82	序盤-中盤-終盤

3.3 書き込みの学年の違いについて

書き込みを行う場面と確認する場面のそれぞれにおいて、各カテゴリに対する練習段階別の5段階評価を中学生と高校生に分けて平均を求めたものを表3と表4に示す。

書き込みを行う場面において、各カテゴリのそれぞれの練習段階に対して中学生と高校生の評価をWilcoxonの順位と検定で比較した結果、序盤における表現、終盤における表現、中盤における他との関係性について5%水準で有意であることが明らかになった。この結果より、序盤は高校生よりも中学生の方が表現についての書き込みを行う傾向がある一方で、終盤になると高校生の方が中学生よりも表現についての書き込みを行う傾向があることが分かった。また、中盤では高校生の方が中学生よりも他との関係性についての書き込みを行う傾向があることが分かった。

同様に、書き込みを確認する場面においても検定を行ったところ、終盤における表現について5%水準で有意であることが明らかになった。この結果より、終盤では高校生の方が中学生よりも表現についての書き込みを見る傾向があることが分かった。

以上より、中学生に比べて吹奏楽歴の長い高校生は練習が進むにつれて表現についての書き込みをより重視する傾向があることが分かった。

表 3: カテゴリ別の 5 段階評価の平均 (中学生)

カテゴリ	書き込みを行う			書き込みを確認する		
	序盤	中盤	終盤	序盤	中盤	終盤
楽譜の補助	4.35	3.10	2.85	4.05	3.55	2.70
演奏方法	3.45	3.95	3.80	3.85	4.00	3.85
表現	3.45	4.30	4.30	3.30	4.30	4.30
他との関係性	2.75	3.55	3.85	2.50	3.65	4.10
心構え	2.40	3.35	3.90	2.15	2.90	3.45

表 4: カテゴリ別の 5 段階評価の平均 (高校生)

カテゴリ	書き込みを行う			書き込みを確認する		
	序盤	中盤	終盤	序盤	中盤	終盤
楽譜の補助	3.64	2.79	2.14	4.43	2.93	2.00
演奏方法	3.50	3.92	3.50	3.71	4.14	3.64
表現	2.50	4.50	4.86	2.79	4.57	4.79
他との関係性	3.07	4.36	4.21	2.93	4.14	4.21
心構え	2.21	3.21	3.79	2.00	2.86	4.36

3.4 書き込み行動について

書き込みを行ううえで意識することや工夫していることを自由記述で回答してもらった結果、回答が多かったものは、重要なことを特に濃く書いたり大きく書いたりすることと、文字を省略したり記号に落とし込んで書くことであった。この他にも、書き込みが見えなくならないように大事なことのみを選択して書き込んだり、書く内容によって書く場所を分けたりするなどの回答が得られた。

また、書き込みを囲ったりなぞったりする重ね書き行動について、どんな場面や目的で行うのかを自由記述で回答してもらった結果、複数回指摘されたものを強調したり、ほかの書き込みに埋もれて見にくくなったものを分かりやすくしたりするためであることが分かった。

以上より、書き込みの視認性向上や重要度を表現する手段として、書き込みの濃さや大きさ、重ね書きなどが実際に多く使用されていることが分かった。

3.5 アンケート結果まとめ

3.2~3.4 節の結果より、練習の段階に伴って重要視される書き込みが譜面理解から音楽表現へと変わることが明らかになり、この傾向は吹奏楽歴が長い高校生のほうがより顕著であることも分かった。そのため、書き込みの濃度を変更することは、この時間経過に伴う重要な書き込みの変化に対応できる可能性がある。

また、現役の吹奏楽部員は日頃から自身の譜面の視認性を向上させる工夫として書き方を意識していることが明らかになった。このことから、筆記情報を重要度設定に利用することは従来の譜面の書き方に沿った手法であり、メニュー やパレットなどの操作に比べ、負担をより軽減でき

ると考えられる。

4. 提案手法

4.1 手法

本研究では、書き込み時の筆圧や重ね書きといった筆記情報に着目し、それらを用いた手書きメモの重要度設定機能を備えたデジタル譜面手法を提案する。筆圧は、筆記時に自身で意識的に強弱をつけて調整できるため、書き込みの意図や重要度を反映しやすいと考えられる。また本研究における重ね書きは、特定の音楽記号や自身の書き込みに對して、同一の線や図形を繰り返しなぞるように書く行為を指し、演奏者が限られた書き込み時間の中で重要箇所を視覚的に強調するために普段から行われているものである。これらの情報を組み合わせて、それぞれの書き込みの重要度を設定し、その重要度に応じて書き込みの表示を変化させる。ここでは、重要度が低いものは時間経過とともに濃度を下げて表示し、段階的に書き込みが減少していく仕組みにすることで、視覚的な情報の取捨選択を自然な形で促し、演奏者自身にとって必要な情報のみが残る譜面環境を提供することが可能となると考えられる。

4.2 プロトタイプシステムの実装

「吹奏楽における書き込みにおいて、筆圧による重要度の書き分けは可能なのか」という仮説を検証するために、プロトタイプシステムを実装した。将来的には、複数の筆記情報をもとに重要度を設定し、時間経過に伴って自動で濃度を変更できるシステムの実装を目指しているが、初期検討のため、筆圧のみに着目し、実験参加者に将来的なシステムをイメージしてもらえるようにした。

JavaScript にて実装した本システムでは、アップロードした PDF の譜面の上から書き込みを行うことが可能であり、書き込まれた際の筆圧に応じて太さや濃さが変化する。また、スライダーを操作することによって、時間経過による書き込みの濃度変化を模擬的に再現しており、濃度変化を分かりやすくするために使用できる色は黒のみにした。操作画面を図 2 に示す。

5. 実験

本実験では、筆圧を重要度設定に用いるという提案手法およびプロトタイプシステムの利用可能性を検討するため、現役の吹奏楽部員を対象として、指導中に行う書き込みを筆圧によって書き分けてもらう実験を行った。また、システムをより実用的にするための手がかりを得ることを目的に、指導中の書き込み行動の調査も行った。

5.1 実験手順

実験参加者にはまず、練習曲として用意した過去の吹奏楽コンクールの課題曲の一部を事前に譜読みしてもらった。



図 2: システム操作画面（譜面は生成 AI により生成）

次に、システムが筆圧によって重要度を分けて管理するものであることを説明し、実験内では重要度の高さを、書き込みを残したい期間「数週間」「数か月」「本番まで」の3段階として書き分けてほしいと伝えた。また、強い筆圧と弱い筆圧で試し書きをしてもらい、個人の筆圧の幅を記録した。その後、著者が指導者側となり、実験参加者1名ずつに対して実際の練習のように演奏を聴き、注意やアドバイスを伝えるという指導を行った。なお、書き込み行動の調査を行ううえで、同一の楽器内において伝える指導内容が大きく変化しないよう、想定される指導内容をある程度事前に用意した状態で実験を行った。その際、事前に説明した3段階の重要度を意識しながらタブレット上に書き込みを行ってもらった。

普段の部活動で使用されている譜面台は、紙の譜面を置くことを前提としており、タブレットを置いて書き込みを行うには不安定であったため、本実験では指揮者などが用いる安定性の高い譜面台を用意した。またタブレットは、譜面をA4原寸大に近い形で表示することが可能なWacom MovinkPad Pro 14を使用した（図3）。

練習終了後、書き終わった譜面を保存したうえで、その譜面上の各書き込みについて実験参加者が3段階のうちどの重要度だと考えて書き込みを行っていたかという意図を記入してもらった。また、書き込みが時間経過とともに薄くなる状況をスライダーで模擬的に提示し、提案手法について理解してもらったうえでインタビュー形式のアンケートに回答してもらった。主な質問内容を表5に示す。

なお本実験では、指導側となる著者が演奏経験のあるサックスのパートに所属する10名の生徒を、実験参加者とした。著者はサポートとして生徒らに複数回指導した経験があり面識があった。

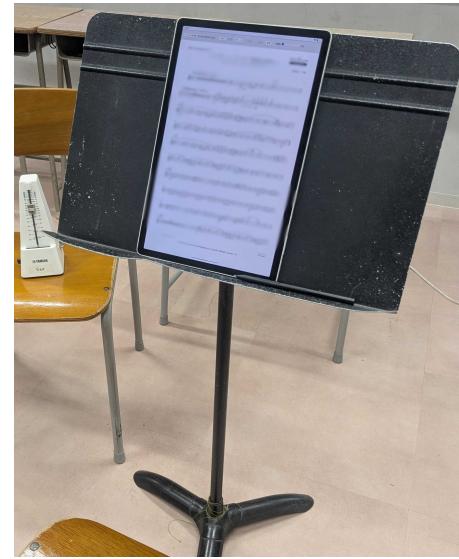


図 3: 実験環境

6. 実験結果

6.1 筆圧と重要度について

本実験では、実際に得られた筆圧データについて、関口らの研究[13]を参考に、筆圧が弱くなりやすい各ストロークの書き始めと書き終わりの25%ずつの筆圧を除外したうえで分析を行った。また、重要度の認識には、ストローク同士の距離や時間の近さをもとにグルーピングしたストローク群の平均筆圧を低い順に3分割したものを使用した。なお、実験参加者のうち3名については実験時にデータの不備が確認されたため、ここで筆圧の分析結果からは除外した。

実験参加者自身が意図した3段階の重要度それぞれに対して、筆圧をもとに認識した各重要度に含まれる割合の平均を表6に示す。この結果より、意図した重要度が低いものは0.67の精度で低い重要度として認識されており、重要度が高いものに関しては0.50の精度で高い重要度として認識されることが分かった。また、意図した重要度が中程度であったものは、低い重要度として認識される割合が0.44であることが分かった。

6.2 インタビューについて

インタビューで5段階評価を行った3項目についての集計結果を表7に示す。

システム側で提示した書き込みが消えていくイメージと実験参加者自身の意図との一致度について、5段階（1:全く意図した通りでなかった～5:非常に意図した通りだった）で評価してもらった結果、9名が評価3以上をつけた。このことから、実験参加者の主観的な評価としては、システムの挙動がある程度自身の意図にあってると感じていることが分かった。

表 5: インタビューの主な質問内容

質問番号	質問内容	回答形式
Q1	学年・吹奏楽歴・担当楽器を教えてください	自由回答
Q2	デジタル譜面の使用歴はありますか	自由回答
Q3	実験内で重要度をどのような基準で 3 段階に分けましたか	自由回答
Q4	システムの書き込みが消えていくイメージを見てどの程度自分の意図通りだったと感じましたか	5 段階
Q5	具体的に消え方が思い通り or 思い通りでなかったところはどこですか	自由回答
Q6	思い通りにいかなかった場合それはなぜだと考えられますか	自由回答
Q7	書き込みが消えていくというシステム自体は使ってみたいと思いますか	5 段階
Q8	書き込みが自動で整理されて消えていくというシステムについてどう思いますか	自由回答
Q9	システムで書き込みをする際に筆圧をかけることへの負担はどの程度ありましたか	5 段階
Q10	いつまで書き込みを残したいかを考えながら書き込むことへの抵抗感などはありましたか	自由回答

表 6: 実験参加者 7 名における重要度の分類確率の平均

		認識		
		低	中	高
図 識	低	0.67	0.16	0.18
	中	0.44	0.35	0.21
	高	0.21	0.29	0.50

また、書き込みが消えていくというシステム自体について、5段階（1: 全く使いたいと思わない～5: 非常に使いたいと思う）で評価してもらった結果、評価2と評価4以上に意見が分かれた。自由回答による評価理由も調査した結果、「書いたもの全てが重要であるため消えて欲しくない」「書いたものが消えてしまうこと自体が惜しい」といった意見がある一方で、「書き込みをしすぎて実際に何が重要か分からなくなってしまった経験があるため助かる」「書いたものを整理してくれるのはありがたい」といった意見も得られた。そのため、書き込みが消えていくというシステム自体の受容可能性には個人差があり、賛否が分かれることが分かった。

システムで書き込みをする際に筆圧をかけることへの負担について、5段階（1: 全く負担ではなかった～5: 非常に負担だった）で評価してもらった結果、評価1と評価3以上に意見が分かれた。自由回答による評価理由も調査した結果、「急いで書くと筆圧をかけにくい」「紙の譜面でそこまで筆圧を意識していなかったため、勝手が違う感じでやや負担だ」といった意見がある一方で、「普段紙で筆圧を強くかけることはなかったが、安定した譜面台の上にあるタブレットに書く分には筆圧をかけやすかった」「重ね書きなど普段から紙の譜面に筆圧をかけて書く場面があるため、あまり負担ではなかった」といった意見も得られた。そのため、筆圧をかけることへの負担はある程度あるものの、普段の書き込み行動の経験や個人に左右されることが分かった。

7. 考察

7.1 筆圧と重要度について

6.1節の結果において、実験参加者自身が意図した3段階の重要度それぞれに対する、筆圧をもとに認識した各重要度の精度が最大でも0.67であった要因について検討を行った。

まず、傾斜のある譜面台上で筆記を行うことによる影響を調査するため、結果においてデータの不備によって除外された3名の実験参加者について、再度その重要度を意識しながら筆記を再現してもらい、実験参加者自身が意図した3段階の重要度それぞれに対して、筆圧をもとに重要度を認識した結果を表8に示す。この結果より、低い重要度の精度が0.86となり、高い重要度や中程度の重要度についても6.1節での結果よりも精度が上昇したことから、指導中に書き込みを行うよりも後から筆記を再現した場合は筆圧をコントロールできていることが分かった。そのため、譜面台上という普段の筆記環境にはない傾斜のある状況下によって筆圧のコントロールが困難になっているのではなく、指導中という時間が限られている状況下によって筆圧のコントロールがしにくくなっている可能性が考えられる。実際に、実験後のインタビューにおいても「早く書くことで全体的に筆圧が弱くなった」「重要度によってというよりは、体勢によって意図しないところで筆圧が変わってしまった」といった意見が得られていた。

次に、書き込みを行う際に重要度を考えてから筆記を行うことによる影響を調査するため、ストローク群の平均筆圧を実験参加者が意図した重要度ごとに色分けしたものの一例を図4に示す。図内の点線はストローク群の平均筆圧を低い順に3分割した線である。この結果より、図4の上図のように重要度によってある程度書き分けられている場合もあるが、下図のように実験参加者自身が高い重要度をつけている書き込みが他の重要度の書き込みに比べて弱い

表 7: インタビューの 5 段階評価の結果 (人数)

質問項目	評価 1	評価 2	評価 3	評価 4	評価 5
システム提示と実験参加者の意図との一致度	0	1	3	4	2
書き込みが消えていくシステムの利用意欲	0	4	0	4	2
書き込み時に筆圧をかけることへの負担	3	0	5	2	0

表 8: 再度筆記を行った実験参加者 3 名における重要度の分類確率の平均

		認識		
		低	中	高
図	低	0.86	0.13	0.02
	中	0.31	0.53	0.16
	高	0.12	0.19	0.69

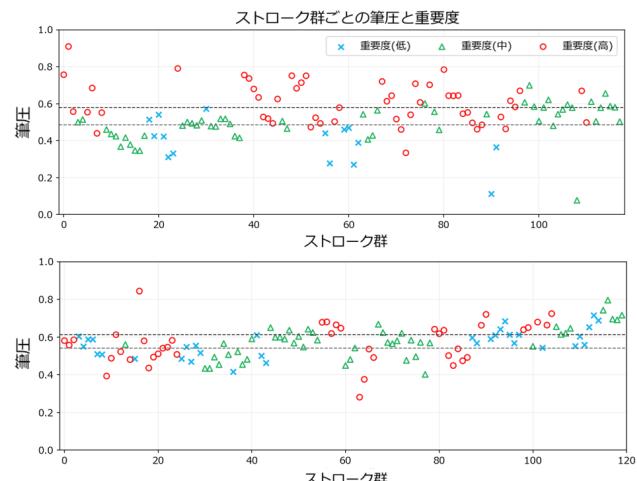


図 4: ストローク群ごとの筆圧と重要度 (上図: 書き分けが出来ている例 下図: 書き分けが出来ていない例)

筆圧で書かれる場合などもみられた。また、実験後のインテビューにおいても、「普段から筆圧を意識して書いていない」「そもそも自分のなかで重要度が定まっていない」といった意見が得られた。そのため、書き込み時にその書き込みをいつまで残したいのかについて考えて筆圧に反映させるという行動には慣れが必要であることが示唆された。一方、インテビューにおいて「重要度を考えながら書くのは大変だが、その意識をすることで演奏技術の向上にいい影響がありそう」「普段から強調したいものを大きく書いたりしているから、先のこと考える抵抗感や面倒さは大きくない」といった前向きな意見も得られた。

これらの影響に加え、システムでのグルーピングの精度が影響している可能性も考えられる。距離や時間によってストローク群に分けているため、1つの書き込みに時間がかかってしまったり、逆に短い時間で複数の書き込みが行われたりするとグルーピングの精度が低下する。実際にストローク群の数も実験参加者によって 42~138 とばらつき

が大きくなっていた。システムのグルーピングの精度を改善することによって、重要度の設定精度も向上できる可能性がある。また、本実験では書き込む内容や重要度ごとのバランスを指定しなかったため、重要度ごとの書き込み量に偏りが発生してしまっていたり、実験参加者ごとに書き込みの全体量が大きく異なっていたりした。そのため、一度行われる書き込みの量などが影響した可能性もあると考えられる。

7.2 書き込み行動について

書き込まれた内容については、本番まで残したい書き込みとして「壮大に」や「遠くに」といった音の表現や抽象的なイメージなどが書かれる傾向がみられた。これは、音楽表現に関する書き込みが本番前まで重視されていたという 3.5 節の結果と一致している。実験後のインテビューにおいても「抽象的なものは残す」「曲のイメージは大事」などの意見が得られた一方で、「意識系は練習をして徐々に慣れていくため、そこまで残らなくてもよい」といった意見もあった。本実験では実験参加人数が少なく楽器の制限もあったため、今後さらに書き込み行動の調査を行い、書き込み内容に応じた重要度の傾向を明らかにすれば、システム側で書き込みの重要度を設定する際の指標の 1 つとして書き込む内容が利用できる可能性がある。

重ね書きについては、ピアノ (p) やフォルテ (f), クレッセンド (<) といった音量に関する記号を何度も囲ったりなぞったりする行動が確認された。クレッセンドの重要度を高くする傾向はみられたが、そのほかの音量記号を囲んだものについては重要度に一貫性はみられなかった。このことから、記号や音符を囲う行為は重要度とは関係なく習慣化している可能性が考えられる。音量記号についての書き込みは、五線や音符の上から重ねて書き込むため、重要度にかかわらずその書き込み自体が譜面に埋もれないよう工夫している結果であると考えられる。一方、本実験内ではあまり見られなかったが、文字自体を囲ったり下線を引くような行動は、自身が書いた書き込みを再度強調するためのものであると考えられ、記号ではなく文字に対しての追加の書き込みは重要度設定に利用できる可能性がある。

本実験では、1 回の指導しか行えなかったため、今後は複数回の指導など、より継続的な実験を行うことで記号と文字の書き込みの違いなどを明らかにする予定である。

7.3 システムの利用可能性について

これまでの結果や考察を踏まえ、個人差はあるものの重要度に応じた筆圧の書き分けがある程度可能であることから、筆圧を重要度設定に利用するという手法は可能性をもつことが示唆された。しかし、筆圧のみでは重要度の設定精度に限度があるため、筆圧に加えて複数の指標を組み合わせて精度向上を図る必要性があることも分かった。

またインタビューにおいては、システム側で提示した書き込みが消えていくイメージと自身の意図の一一致度について一定の評価がなされており、システムへの利用意欲もある程度確認された。一方、書き込みが消えていくことに対して「書き込みをあとから見返せるなら消えてもよい」といった意見がいくつか得られた。そのため、視認性向上のために書き込みの濃度を変化させて徐々に消していくシステムに加えて、消した書き込みの管理や見返す方法についても検討する必要がある。

ここで、バリトンサックスを担当する実験参加者から「楽器が邪魔で筆圧をかけにくかった」といった意見が得られた。小型楽器であれば自身の楽器を膝の上に置くなどが可能であるが、大型楽器は楽器を支えながら書き込みを行う必要があるため、小型楽器に比べて筆圧をかけにくい可能性が考えられる。そのため、楽器による書き込む際の姿勢の違いの影響について今後考慮していく必要があると考えられる。

8. おわりに

本研究では、合奏中などの限られた時間においても、演奏者が必要な情報を適切に取得可能な譜面環境の実現を目的として、筆記情報をもとに設定した書き込みの重要度に応じて、書き込みの濃度を変化させることにより、演奏者の負担を増加させずに譜面への書き込みの視認性を向上させる手法を提案した。初期検討として譜面への書き込みに関するアンケート調査と、またプロトタイプシステムを実装し、システムの利用可能性についての検討を行った。基礎調査からは練習の段階に伴って重要視される書き込みが譜面理解から音楽表現へと変わることや、現役の吹奏楽部員が自身の譜面の視認性を向上させる工夫として書き方を意識していることが明らかになった。また、筆圧のみでの重要度設定では安定した精度が得られなかった一方で、主観的な評価としてはシステムに対して肯定的な意見が多かったため、システムの精度改善を行うことで、実用性のあるシステムとして利用できる可能性がある。

今後は、システムで使用する色や実験参加者の楽器や学年の幅を広げたうえでの実験の実施や、筆圧に加えて重ね書きや書き込み内容などの複数の指標を組み合わせた書き込みの重要度設定手法の検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 松原正樹, 諏訪正樹, 斎藤博昭: インタラクティブな楽譜色付けによるオーケストラスコア理解支援システム, 人工知能学会論文誌, Vol. 27, No. 5, pp. 281–295 (2012).
- [2] Stenberg, A. and Cross, I.: White Spaces, Music Notation and the Facilitation of Sight-Reading, *Scientific Reports*, Vol. 9, No. 1, p. 5299 (2019).
- [3] 竹川佳成, 平田圭二, 田柳恵美子, 椿本弥生: 鍵盤上への演奏補助情報投影機能を持つピアノ学習支援システムを用いた熟達過程の評価分析, 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 5, pp. 1093–1100 (2017).
- [4] 関根美幸, 伊藤正彦: 管楽器中級者を対象とした色彩表示による音程可視化・モチベーション維持システムの提案, 情報処理学会 インタラクション 2022, pp. 431–435 (2022).
- [5] Winget, M. A.: Heroic Frogs Save the Bow: Performing Musician's Annotation and Interaction Behavior with Written Music., *ISMIR*, pp. 73–78 (2006).
- [6] Winget, M.: Annotation Functionality for Digital Libraries Supporting Collaborative Performance: An Example of Musical Scores, *Proceedings of the 7th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries*, p. 305–306 (2007).
- [7] Winget, M. A.: Annotations on Musical Scores by Performing Musicians: Collaborative Models, Interactive Methods, and Music Digital Library Tool Development, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol. 59, No. 12, pp. 1878–1897 (2008).
- [8] Weigl, D. M., Goebel, W., Baker, D. J., Crawford, T., Zubani, F., Gkiokas, A., Gutierrez, N. F., Porter, A. and Santos, P.: Notes on the Music: A Social Data Infrastructure for Music Annotation, *Proceedings of the 8th International Conference on Digital Libraries for Musicology*, pp. 23–31 (2021).
- [9] Page, K. R., Lewis, D. and Pugin, L.: Annotation of Digital Music Notation Documents: Surveying Needs for a Generalised Implementation, *Proceedings of the 12th International Conference on Digital Libraries for Musicology*, p. 81–89 (2025).
- [10] Ramos, G., Boulos, M. and Balakrishnan, R.: Pressure Widgets, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 487–494 (2004).
- [11] Ramos, G. A. and Balakrishnan, R.: Pressure Marks, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 1375–1384 (2007).
- [12] Cabral, D., Ramos, M. and Campos, P. F.: Applying Pen Pressure, Tilt and Touch Interactions to Data Visualizations, *Companion Proceedings of the 2020 Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, pp. 57–60 (2020).
- [13] 関口祐豊, 中村聰史: PP-Undo+: 筆圧を軸とした手書き編集手法, 第31回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (2023).