

# PracToneVis：管楽器奏者のための基礎練習支援システム

池谷 優希\* 伊藤 貴之\*

**概要.** 管楽器奏者にとって基礎練習は演奏技術の土台となる重要な活動であるが、その成果を客観的に評価する機会は多くない。特に音色は定量的評価が困難であり、課題の把握が難しい。本研究では、ロングトーンを対象とした基礎練習支援システム「PracToneVis」を開発し、音響解析による可視化と大規模言語モデル(LLM)によるフィードバックを通じて、演奏傾向の理解を支援する。音響解析において、我々は音量・音程・音色の3点に着目している。音量と音程は基準値との差分に基づき評価し、音色は倍音構成から抽出した特徴ベクトルをクラスタリングして可視化する。さらにこれらの安定性を得点化し、LLMによる自然言語での解説とともに演奏者に提示する。実験では、10名のフルート奏者によるロングトーンを分析し、PracToneVisの出力に対する評価アンケートを実施した。その結果、音色に関する表示の有用性が示された。今後は、より可読性の高い可視化方法の検討と、問題点の自動検出を通じて、さらなる練習の効率化を目指す。

## 1 はじめに

近年、音楽教育においてICTやAI技術を活用した学習支援が注目されている。特に、個人練習の質を向上させるために、演奏の可視化やフィードバックを自動化する研究が進んでいる。一方で、管楽器の基礎練習は、客観的な評価を得る機会は少ない。

ロングトーン練習は、息のコントロール、音程、音色の安定性などを養うための基本的な練習であり、多くの管楽器奏者が日常的に取り組んでいる。しかし、こうした練習においては、演奏者が自分自身の成長や課題を客観的に把握することが難しく、特に指導者不在の状況ではフィードバックの欠如が顕著である。これにより、非効率な練習や誤った癖の定着などが生じるリスクがある。

本研究では、こうした課題を解決するために、音響解析と大規模言語モデル(LLM)を活用した基礎練習支援システム「PracToneVis」を提案する。このシステムは、演奏音声の録音から音響的特徴（音量、音程、音色）を抽出・分析し、それらをもとに練習内容を数値化・可視化する。さらに、分析結果からLLMによる自然言語でのアドバイスを生成し、専門的な知識がなくても演奏の改善点を理解しやすいよう支援する。

このシステムの特徴は、音色に焦点を当てた音響的な定量評価と、人間らしい言語による解説を組み合わせる点にある。これにより、練習者は自らの演奏の良し悪しを数値化および言語化された形で把握

し、改善に向けた次の一手を明確にすることが可能となる。また、分析結果は視覚的に提示されるため、練習の傾向や変化を時系列で追うことも可能であり、継続的な成長を促す要素として機能する。

本稿では、システム構成、音響分析手法、LLMによるフィードバック生成の仕組み、そして実際に10名のフルート奏者を対象に実施したユーザ評価実験の結果について報告する。

## 2 関連研究

### 2.1 管楽器の基礎練習

管楽器奏における基礎的な技能の習得には、ロングトーンやスケール練習といった反復的なトレーニングが不可欠である。

渡部らは、伝統的なロングトーン練習が、単なる基礎固めにとどまらず、音質形成、集中力の育成、姿勢保持など多面的な効果をもつことを指摘し、その文化的・身体的側面にも注目した[1]。また、ロングトーン練習が音楽表現力の向上に資する理想的な訓練形態であることが、練習法の検討や、脳科学の面から示されている[2, 3]。

さらに、近年では情報技術を応用した支援システムの開発が進んでいる。森下らは、音の安定性と持続性に着目し、ロングトーン練習の可視化によって初学者の定着を支援するシステムを提案した[4]。また毛利らは、スケール練習時の音程や音量をリアルタイムでフィードバックするシステムを構築し、正確性と音色の両面からの改善を図った[5]。しかしこれらの手法では、ロングトーンの反復に伴う音色の変化を読み取りにくいという課題が残っている。

これらの研究に加え、学習者自身の気づきを促すインタラクティブな支援環境も検討されている。

Watanabe らは、Web 上で演奏を記録・分析・自己評価できる練習支援システム「Suiview」を提案した[6]。この研究は、音量・音程・音色のグラフ表示、それらの安定性得点化、ログ機能に加え、データ共有により指導者からフィードバックを送ることを可能にした。このアプリケーションは楽器の初学者を対象にしたものであり、練習効率の向上に大きく寄与することを証明した。実際に、中学生奏者を対象としてモデル演奏の視聴や自己評価、録音視聴の有効性を検証し、これらの組み合わせが演奏技術に正の影響を及ぼすことが示されている[7]。しかし、これらの取り組みは音のばらつきが大きい初学者を主な対象としている。一定以上の楽器経験を有する中級者にとって、音量や音程のみならず音色も実力向上のための重要な要因であるが、音色に関する情報や分析が十分に提供されているとは言い難い。また、毛利らの研究により実証されているように、管楽器の演奏経験の有無と音色の識別能力には強い相関がある[5]。そのため、音色を分類しただけでは、その特徴をユーザが正確に理解できるとは限らない。

一方で、機械学習や AI を活用した個別最適化の研究も進行している。具体的には、サクソフォン初学者の演奏傾向を分類し、タイプ別に異なるフィードバックを提示する手法[8]や、音響情報と姿勢データを同時に解析することで、演奏技能と身体的負荷のバランスを評価する手法[9]などが提案されており、これらは総合的な演奏支援の実現可能性を示唆している。

このように、管楽器の基礎練習に関する研究は、従来の実践知と科学的知見を融合しつつ、可視化技術や AI を取り入れた支援環境の構築へと発展している。

## 2.2 演奏の可視化

管楽器の基礎練習に限らず、演奏プロセスの機械学習と可視化は、演奏者の内省と技能向上を支援する手段として近年さまざまな形式で注目されている。とりわけ歌唱や楽器演奏において、音高変化や演奏傾向を可視的に把握する試みが進められている[10, 11, 12]。また Giraldo らは、バイオリン演奏における音の明るさ、豊かさ、安定性などを含む「音色の質」をリアルタイムで評価する機械学習モデルを開発した[13]。Pati らは学生による音楽演奏を自動的に評価するための DNN (深層ニューラルネットワーク) モデルを提案した[14]。Johnson らは、スマートフォンを用いて演奏中のピッチとタイミングをリアルタイムに評価・フィードバックするアプリケーション「MusicCoach」を提案した[15]。また、

スコアと関連付けることによって、演奏課題を可視化する手法も検討されている[16, 17]。Khulusi らは、これらの演奏の可視化に関する既存研究を俯瞰的に整理し、IMUTUS や Open Orchestra などの実装例を紹介しながら、学習者の自己評価や継続的練習の支援における可視化の有効性を論じている[18]。

このように、演奏の機械学習と可視化に関する研究は、パフォーマンス評価、構造理解、学習支援といった複数の目的を持ち、それぞれに応じた手法が開発されている。

## 2.3 音色の分析

音色は演奏表現の重要な要素であり、その分析と可視化は演奏理解や教育支援においても注目されている。中でも木管楽器の分析においては、特徴依存性に関する調査や、FFT 音響記述子と機械学習を用いた音色の分析など、さまざまな手法が採用されてきた[19, 20]。

本研究で実験の対象とするフルートについても、倍音に関する様々な検証がなされている。Yorita らは、音色の倍音構造を言語的イメージに対応づけた[21]。その後の研究により、奏者が倍音バランスを無意識に操作することで多様な表現を生み出していることが明らかにされた。さらに、演奏者による無意識的な音色調整の方法と、それを聴取者がどのように知覚するかが詳細に検討された[22, 23]。

また、Ferguson らは演奏中の音響特徴をリアルタイムに可視化することで、学習者が自身の音を直感的に理解できるようにするシステムを開発した[24]。球体オブジェクト群とパーティクル (粒子) を音に合わせて描画し、各パラメータを球や粒子の動きで表現している。Gkiokas らのクラリネットを対象とした音響分析においても、同様に球体で音の変化を表現している[25]。これらの研究は、音色という聴覚的・主観的な情報を視覚的に再構成し、分析・教育・創作の場面に応用する試みとして意義深い。

一方で、Yorita らによる倍音分析は音色評価構造の理解にとどまっている。本研究の新規性は、この倍音分析を基礎練習支援の文脈へ発展させた点にある。提案システム「PracToneVis」は、倍音構成を特徴量としたクラスタリングと色付けにより、音色の安定性や傾向を直感的に把握できる新しい可視化手法を実現した。さらに、大規模言語モデル (LLM) による自然言語フィードバックを統合し、音響データ解析と AI による出力を組み合わせたインタラクティブな評価を可能にした。これにより、データ駆

動型の客観指標と視覚的フィードバックを導入し、自律的な基礎練習を支援する枠組みを提示した。本研究では、Yorita らの音響学的研究成果を教育実践へと展開するモデルを示すとともに、LLM によるコメント生成を通じて、教師不在下でも学習者が「何をどのように改善すれば良いか」を理解できる自律学習支援環境を実現した点に意義がある。

### 3 提案手法

本研究では、単音主体の楽器練習（例：ロングトーン）における音響的な演奏傾向を定量的かつ視覚的に解析するための Web ベースの分析支援システム「PracToneVis」を構築した。本システムは録音音源を入力として、各音に対して音量・音程・音色の 3 つの項目を数値化・可視化するとともに、それらの安定性スコアを算出して総合評価として可視化する。また、音色クラスタの分析に基づいて、LLM（大規模言語モデル）による音質傾向の説明文も生成し、演奏者にとって可読性の高いフィードバックを提供することを特徴とする。なお、基礎練習において最も重要なのは自らの音を丁寧に聴くことであり、画面表示に過度に依存してしまうと演奏者の成長を妨げる可能性がある。そのため、本研究はリアルタイム解析ではなく録音音源を対象とした。

#### 3.1 処理手順

##### 3.1.1 音声の読み込みとセグメンテーション

音声ファイルは WAV 形式でアップロードされ、librosa ライブラリを用いて読み込まれる。まず基本周波数( $f_0$ )とエネルギー(RMS)をフレーム単位で抽出し、RMS 値の閾値に基づいて有声音区間をマスク処理する。さらに、ユーザが指定するテンポおよび拍数情報を基に、楽譜上の音価に対応する長さ（例：全音符 8 拍）でセグメントを分割する。区間の検出には領域ラベリング法を用い、各セグメントの持続時間が所定の閾値を満たす場合にのみ分析対象として採用する。この処理により、各音を明確に分離して分析することが可能になり、音の傾向がつかみやすくなる。一方で、この可視化はタイミングの抽出には対応していない。

##### 3.1.2 倍音構造に基づく音色特徴量の抽出

各セグメント内のスペクトル構造から音色に関する特徴量を抽出する。まず短時間フーリエ変換(STFT)によってピーク周波数を検出する。続いて最も低いピークを基音候補とし、他の周波数成分との相対比（基音の整数倍付近）に基づいて、最大 12 次までの倍音強度ベクトルを構築する。続いて 1 次成分を 1.0 とした相対値として各ベクトルを正規化して、「音色特徴量」として記録する。全てのセグ

メントから収集した特徴ベクトルに標準化を施し、次元削減とクラスタリングに利用する。基音とその倍音成分との相対的な強度比を算出することにより、音程の揺れによるクラスタリングへの影響を最小限に抑える。

##### 3.1.3 音色クラスタリングと視覚化

音色特徴量に対して主成分分析(PCA)を適用して 2 次元空間に射影する。続いて K-means 法によるクラスタリングを適用する。ここで最適なクラスタ数（ただし最大 7 個とする）の決定にはシルエットスコアを用いる。各クラスタに対して PCA 空間上の重心を求めた後、その順序に基づいて 7 色のカラーパレット（赤～紫の虹色スケール）を割り当てる。これにより、クラスタの音質傾向が視覚的に区別可能となる。

ここで、各セグメントに対して、以下の 3 つの要素を同一時間軸上に重ねて可視化する。

- ・ エネルギー（RMS）推移
- ・ チューニング誤差（単位：セント）
- ・ 音色クラスタ（PCA 空間上の座標とクラスタの色）

この可視化により、演奏者は各音の安定性や個性を多角的に把握することが可能となる。

##### 3.1.4 安定性スコアの算出

本研究では Watanabe らの「Suiview」[6]を参考にして以下の安定性スコアを設定し、セグメントごとに 0~100 点のスケールで算出する。

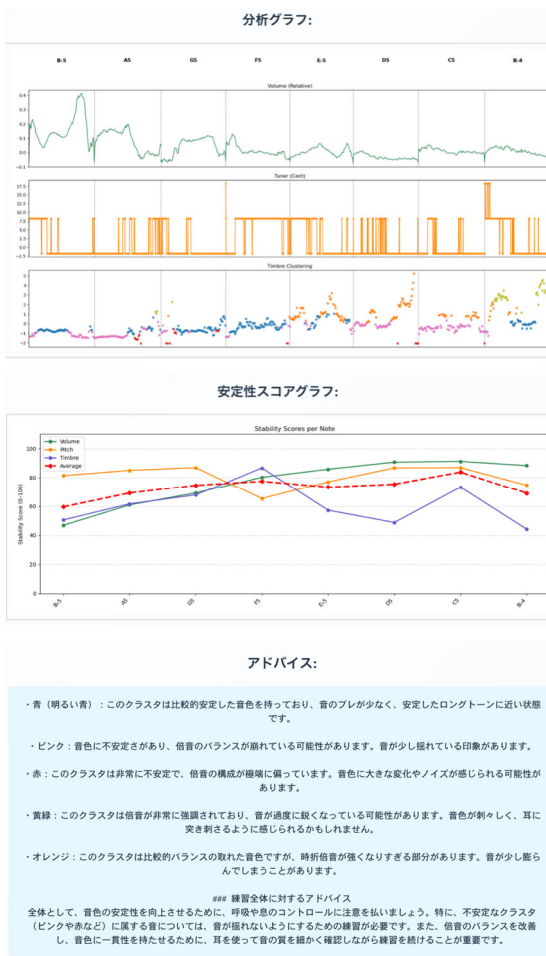
- ・ 音量安定性スコア：RMS の標準偏差に基づき、変動が少ないほど高得点とする。変動が大きい場合は「不安定」と判定される。
- ・ ピッチ安定性スコア：チューニング誤差（単位：セント）の絶対平均値に基づき、音高の揺らぎが小さいほど高得点とする。
- ・ 音色安定性スコア：セグメント内に含まれるクラスタラベルの分布から、最頻クラスタの占有率を算出する。単一クラスタに収束していれば高得点、分散していれば低得点とする。

一音ずつの得点に加え、各練習における安定性スコアの平均を「安定性総合スコア」として表示することで、練習全体における演奏傾向を俯瞰可能とする。なお、このスコアは音色の「良否」ではなく「安定性」を主眼に設計している。したがって、望ましくない音色であっても一貫して同一クラスタに属する場合、高得点となる可能性がある。この点は音質評価とは独立した設計上の制限であり、今後は良質音クラスタとの複合スコア化を検討する。

##### 3.1.5 音色クラスタの特徴記述と言語化

本研究では、音響分析結果を専門的でない演奏者にも伝わりやすい形で提示するために、LLM (GPT-

図 1. 音声アップロード・基本情報入力画面

図 2. PracToneVis による結果出力画面  
(上から音量・音程・音色・安定性・AIの評価)

40) を用いた評価文の自動生成を適用する。具体的には、音色の各クラスタについて以下の情報をプロンプトとして与える。

- ・ クラスタを構成する音の倍音強度ベクトルの平均
- ・ 音高ごとのクラスタ出現パターン (どの音高がどのクラスタに何回出現したか)
- ・ 割り当てられた色 (視覚的参照のため)

これらの情報をもとに、各クラスタの音色的特徴を「こもった」「明るい」「響きがある」「硬い」などの日本語の形容詞を用いて生成 AI に簡潔に回答させる。本システムでは生成 AI による回答に対して、専門語を避け、楽器演奏者に馴染みのある直感的な表現を促すようにチューニングをしている。さらに、全体的な演奏傾向に基づいた練習アドバイス (例: 「より芯のある音を目指しましょう」など) も自然言語で出力する。これらの出力は、AI に与えるプロンプトの内容によって傾向が大きく異なるため、ユーザ実験を通じて最良なプロンプトの内容、表現を検討する。

### 3.2 システム実装と出力形式

Python ベースの Flask によるバックエンドと React によるフロントエンドで構成される Web アプリケーションとして提案システムを実装した。ユーザはブラウザから音声ファイルをアップロードし、テンポ・拍数・基準ピッチ (例: 443Hz)・楽器名などのパラメータを図 1 の画面で入力する。このときシステムは即時に、図 2 のような分析結果を返す。分析グラフは上から順に音量・音程・音色を示す。音量は最頻値を基準として 0 に正規化し、音程は入力された基準ピッチを 0 として表示する。また、音色表示の色は AI によるアドバイス内の色と対応しており、各クラスタの特徴が言語的に説明される。安定性スコアグラフは、各音に対する得点をプロットすることで、音ごとに異なる課題の傾向を可視化する。

さらに、分析に伴い以下の 4 種類のデータが自動的に保存される。

- ・ 分析グラフ (PNG)
- ・ 安定性スコアグラフ (PNG)
- ・ AI によるアドバイス (PNG)
- ・ 倍音情報などの数値データ (JSON)

これらはすべて Web アプリ上でダウンロード可能となっており、演奏履歴の蓄積や教育目的での比較分析にも活用可能である。

表 1. 音色のクラスタリングに対する評価

	経験年数 (年)	回答
被験者 1	3	適切
被験者 2	10	適切
被験者 3	10	どちらかという適切
被験者 4	20	どちらかという適切
被験者 5	0.3	どちらかという適切
被験者 6	10	どちらかという適切
被験者 7	12	どちらかという適切
被験者 8	11	どちらかという適切
被験者 9	40	どちらかという適切ではない
被験者 10	10	適切

表 2. 各プロンプトの特徴

	倍音と音色の関係性	特徴
A	×	フルートの倍音と音色の関係性の情報を全く与えない
B	○	「倍音という言葉を使わずに分かりやすく説明して.」という指示文を追加する
C	○	倍音と音色の関係は与えるが、その他詳細な指示文は削除する
D	○	「音の特徴を説明する際には、響きのある、'硬い'、'こもった'、'明るい'、'深みがある'といった言葉を適切に活用して.」という指示文を追加する

## 4 ユーザ実験

### 4.1 実験方法

実験では、フルート奏者のロングトーンに対する PracToneVis の解析結果と演奏者自身の自己認識との関係を明らかにすることを目的として、音響解析および主観的自己評価に基づく検証を実施した。

具体的には、10名の異なる演奏歴を有するフルート奏者に対し、指定された1オクターブの音域(例：C4~C5)に含まれる音を、ロングトーンで録音するよう依頼した。演奏は統一された録音条件下で、一定のテンポのもとで実施した。収録した各演奏について、PracToneVisでの音響解析を実施した。

これらの音源に対する可視化結果を各演奏者本人に対して提示し、クラスタリングに対する評価、自然言語による出力に対する評価、さらに基礎練習に対する考えなどについてオンラインアンケート(Google Form)形式で回答を求めた。学習者自身が自らの演奏傾向を主観的に理解し改善行動に繋げることも練習支援の目的であることから、本研究では主観的納得感を評価に含めることにした。ただし、初心者においては自己解釈が十分に形成されていない場合もあるため、今後は専門家による評価実験も実施する必要がある。

表 3. 得点化の結果

種類	A	B	C	D
票数	26	33	25	26

### 4.2 実験結果

#### 4.2.1 音色のクラスタリングに対する評価

被験者 10名に対して音色のクラスタリング(色分け)結果は適切かどうかを「適切」、「どちらかといえば適切」、「どちらかといえば適切ではない」、「適切ではない」の4択で質問した結果、表1の回答を得た。クラスタリング結果は概ね適切と判断されたが、経験年数の長い被験者9のみ「どちらかという適切ではない」を選択した。

#### 4.2.2 自然言語による出力に対する評価

次に、被験者 10名に対して、4種類のプロンプト(A~D)に基づく出力結果に対する評価を依頼した。各プロンプトの違いは表2に示す。ここで「倍音と音色の関係性」とは、Yoritaらがフルートの音色を倍音構造で分類し、各分類に対する人間の印象を対応づけた知見を指す[21]。この情報をプロンプトに付与することで、LLMが各音の倍音構造に基づき特徴をより厳密に判断できると考えた。なお、この情報はプロンプトAを除くすべてに与えられている。さらに、その他の指示内容を差別化することで、プロンプトごとの出力傾向を検証した。特にプロンプトDでは、「響きのある」「硬い」「こもった」など、倍音と音色の関係性を表す中核的な形容詞を明示的に指示している点が特徴である。アンケートでは4種類の結果を提示し、録音を聞いた後、自身の解釈に最も近いと感じた順に順位付けを依頼した。その順位に対して線形配点法(1位=4点、2位=3点、3位=2点、4位=1点)による得点化を行った結果を表3に示す。最も高得点を得たのはBであり、AおよびDは同点でこれに続き、Cはやや低い得点となった。さらに、奏者の経験年数と各出力の評価傾向を分析したところ、経験年数が短い奏者はBを高く評価する傾向があり、経験年数が長い奏者ほどDを支持する傾向が顕著であった。

#### 4.2.3 自然言語による出力に対する評価

最後に、基礎練習の目的、普段感じている課題、PracToneVisの感想について自由記述で回答を求めた。表4は回答の抜粋である。目的に関しては、全員が「音の安定」と「音質の向上」を重視していることが確認された。一方で、演奏課題については奏者ごとに多様な内容が挙げられたが、全体としては音色の安定性や客観的評価の欠如に関する記述が最も多く見られた。さらに、PracToneVisの感想では、肯定的な意見が大半を占めたが、「良かった点も知りたい」という意見も寄せられた。

## 5 考察

ユーザ実験により、PracToneVis が提示する音色クラスタリングの結果は多くの被験者にとって妥当と評価された。特に初級から中級レベルの奏者に対しては、音色のばらつきや特徴を直感的に把握できる点で有用性が高いと考えられる。一方で、経験年数が長く音色が安定した奏者にとっては、本システムの出力が必ずしも自身の感覚と一致しない場合があり、分析モデルの改善余地が示唆された。現在のシステムでは、音が十分に安定している場合であってもクラスタ数を多めに設定してしまい、結果としてクラスタ間の音色の差異が小さいにもかかわらず過剰にクラスタを分割する傾向が見られた。このことから、クラスタ数の設定方法については再検討が必要である。

また、プロンプト B が最も高く評価された点は注目に値する。プロンプト A 以外の条件では、いずれも同じ倍音構造や音色に関する知識を与えているが、指示文によって出力のわかりやすさが大きく異なった。特にプロンプト B は、専門用語を避けて平易に説明するよう指示しており、直感的に理解しやすい表現につながったと考えられる。一方で、ある程度音が安定した熟練者にとっては、より精緻な言葉づかいや具体的な形容詞を含む説明が求められ、その結果、詳細な指示を与えたプロンプト D が相対的に高く評価されたと推察される。さらに、プロンプト A が比較的高い評価を得たことも興味深い。この傾向の背景として、初学者の演奏は音のばらつきが大きいいため、AI がもともと有している一般的な知識に基づく説明でも十分な特徴把握が可能であることが考えられる。すなわち、演奏者の熟練度によって求められるフィードバックの粒度が異なることが明らかとなったといえる。

自由記述の回答からは、演奏者の多くが「音の安定」と「音質の向上」を基礎練習の目的とすることが明らかになった。これらは「安定性のグラフ」や「音色の分類およびクラスタの説明」といった各機能にそれぞれ直結した回答であることから、本システムの有用性が示されたと言える。また、「改善点だけでなく良好な点も表示して欲しい」という要望も見られた。このことは、本研究の目的の一つである「基礎練習に対するモチベーションの維持」と強く関連している。従来の自動評価システムは誤りや弱点の指摘に重点を置きがちであるが、基礎練習においては「成長が実感できるポジティブなフィードバック」も演奏継続の大きな要因となる。したがって PracToneVis においても、良好な点を強調する仕組みを導入することで、練習者の前向きな感情を高め、ひいては練習意欲を高める効果が期待できる。

表 4. 自由記述の抜粋

質問	回答
基礎練習の目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>音質の精度向上</li> <li>音程感のコントロール</li> <li>音を安定して鳴らす練習</li> <li>指の連結、豊かな響きを出す</li> </ul>
普段感じている課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>音の最初と最後が安定しない</li> <li>苦手な音がある</li> <li>1人だと課題が分からない</li> <li>音によって音色が違う</li> </ul>
PracToneVis の感想	<ul style="list-style-type: none"> <li>音の安定性がわかりやすい</li> <li>音の傾向が分かって面白い</li> <li>良い点も教えて欲しい</li> <li>第三者目線の評価が有益</li> </ul>

## 6 まとめ

本研究では、管楽器奏者の基礎練習を支援するシステム PracToneVis を提案し、フルート奏者を対象とした実験を通じてその有効性を検証した。PracToneVis は、録音音源を入力として音量・音程・音色を解析し、その安定性を数値化・可視化することにより、主観的評価に依存していた基礎練習を客観的に理解できる環境を提供する。また、音色のクラスタリング結果に基づいて LLM による自然言語フィードバックを生成し、専門知識を持たない学習者でも直感的に改善点を把握できることを特徴とする。これにより、演奏者は数値化・可視化結果の確認にとどまらず、音質傾向を言語的に理解することで、より効果的な練習サイクルを形成できる。

ユーザ実験の結果からは、音色クラスタリングの妥当性が概ね肯定され、自然言語による説明も有用であることが示された。特に「音の安定」と「音質向上」という基礎練習の主要な目的に対して、本システムが効果的に機能していることが確認された。一方で、経験豊富な奏者に対してはクラスタリングの精度や説明内容が必ずしも十分ではないことが示され、自由記述からはポジティブなフィードバックへの要望が示された。これにより、PracToneVis にはさらなる改善の余地があることが確認された。

また、本システムは現在フルートを対象として検証を行った段階にとどまっているが、他の管楽器にも応用可能である。今後は楽器ごとの音響的特性や倍音構造の違いを考慮し、より汎用的に利用できるよう機能の調整を進める必要があると考えられる。それに加えて、クラスタリング機能の精度向上と演奏者のモチベーションを高める仕組みの導入を実施し、基礎練習の質と継続意欲の双方を強化する支援環境の構築を目指す。

## 参考文献

- [1] 渡部謙一. 管楽器基礎奏法におけるテクニカルアスペクトの解析と再考: 伝統的基礎練習「ロングトーン」の本質. 北海道教育大学紀要 教育科学編, 71(2), 177-186, 2021.
- [2] 河内勇. クラリネット演奏における基礎練習に関する一考察 (1): 小・中学生の初心者のためのロングトーン及び跳躍練習について. 兵庫教育大学研究紀要: 学校教育・幼年教育・教育臨床・障害児教育・言語系教育・社会系教育・自然系教育・芸術系教育・生活・健康系教育・総合学習系教育, 39, 183-190, 2011.
- [3] Braase, R. *Your Brain on Practice: Evidence-Based Strategies for Musical Training*. Arizona State University, 2024.
- [4] 森下孟, 小口宙暉, 國宗永佳, 桐原礼, 本間喜子. ロングトーン練習に着目した初学者向け学校吹奏楽練習支援システムの開発. 信州大学附属図書館, 2018.
- [5] 毛利仁紀, 土屋雅人. 管楽器吹奏技術向上のためのスケール練習システムの研究. 日本デザイン学会研究発表大会第 68 回春季研究発表大会, 234, 2021.
- [6] Watanabe, M., Onoue, Y., Uemura, A., Kitahara, T. *Suiview: A Web-Based Application that Enables Music in the AI Era: 15th International Symposium, CMMR 2021, Revised Selected Paper, 13770, 69-75. 2023.*
- [7] Hewitt, M. P. The effects of modeling, self-evaluation, and self-listening on junior high. *Journal of Research in Music Education*, 49(1), 306-318, 2001.
- [8] 平野沙月. 機械学習を用いたサクソフォン初学者のための練習支援システムの提案. 卒業論文, 愛知県立大学 情報科学部, 2021.
- [9] Bagga, G., Wang, A., Qi, B., Perumal, S. Artificial intelligence in music—Evaluator. *The Journal of Purdue Undergraduate Research*, 14(1), 38, 2024.
- [10] Itoh, T., Nakano, T., Fukayama, S., Hamasaki, M., Goto, M. *SingDistVis: Interactive overview+detail visualization for F0 trajectories of numerous singers singing the same song. Multimedia Tools and Applications*, 84(2), 1057-1077, 2025.
- [11] 原彩月, 伊藤貴之. 同一楽曲におけるベースの演奏傾向の可視化. 第 86 回全国大会講演論文集, 2024(1), 817-818, 2024.
- [12] Knight, T., Boulliot, N., Cooperstock, J. R. Visualization feedback for musical ensemble practice: A case study on phrase articulation and dynamics. *Visualization and Data Analysis 2012, SPIE 8294, 88-96, 2012.*
- [13] Giraldo, S., Ramirez, R., Waddell, G., Williamon, A. A real-time feedback learning tool to visualize sound quality in violin performances. In *Proc. MML 2017, 19-24, 2017.*
- [14] Pati, K. A., Gururani, S., Lerch, A. Assessment of student music performances using deep neural networks. *Applied Sciences*, 8(4), 507, 2018.
- [15] Johnson, D., Han, D. *Music Coach: Real-time evaluation of music performance using Nokia N900. Department of Computer Sciences, University of California, Santa Barbara, 2009.*
- [16] Heyen, M. F., Sedlmair, M. Supporting music education through visualizations of MIDI recordings. *IEEE VIS, Posers*, 14, 2020.
- [17] Hiraga, R., Watanabe, F., Fujishiro, I. Music learning through visualization. In *Proc. Second International Conference on Web Delivering of Music (WEDELMUSIC), 101-108, 2002.*
- [18] Khulusi, R., Kusnick, J., Meinecke, C., Gillmann, C., Focht, J., Jänicke, S. A survey on visualizations for musical data. *Computer Graphics Forum*, 39(6), 82-110, 2020.
- [19] Gonzalez, Y., Prati, R. C. Similarity of musical timbres using FFT-acoustic descriptor analysis and machine learning. *Eng*, 4(1), 555-568, 2023.
- [20] Brown, J. C., Houix, O., McAdams, S. Feature dependence in the automatic identification of musical woodwind instruments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109(3), 1064-1072, 2001.
- [21] Yorita, R., Clements, J. Using spectral analysis to evaluate flute tone quality. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 23(1), 035001, 2015.
- [22] 平岩樺生. フルートの演奏音における高周波成分と奏者による音色操作の関係. 国立音楽大学, 2024.
- [23] Hiraiwa, K., Miura, M. Unconscious overtone manipulation and transmission in flute performance: Insights into musical expression and perception. *Frontiers in Psychology*, 16(1393689), 2025. doi: 10.3389/fpsyg.2025.1393689
- [24] Ferguson, S., Vande Moere, A., Cabrera, D. Seeing sound: Real-time sound visualisation in visual feedback loops used for training musicians. In *Proc. Ninth International Conference on Information Visualisation*, 97-102, 2005.
- [25] Gkiokas, A., Perifanos, K., Nikolaidis, S. Realtime detection and visualization of clarinet bad sounds. In *Proc. 11th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx)*, 59-62, 2008.

## 未来ビジョン

本研究で提案した PracToneVis は、基礎練習を効率化する支援システムとして構築されたが、将来的には「誰もが平等に音楽を学び楽しめる社会」の実現に寄与できると考える。楽器演奏の習得の中には指導者や専門教育環境が不可欠な楽器もあり、都市部や経済的に恵まれた人々にしか十分な機会を見つけれない場合もあった。この問題に対して AI を活用することで、学習者は場所や環境に依存せずに自らの演奏を解析し、わかりやすい言葉で改善点や強みを把握できるようになる。その結果、独学者や教育資源が限られた地域の人々でも、音楽を継続的に学び、楽しむことが可能となる。こうした仕組みは、音楽教育における格差の解消と、文化としての音楽の民主化に大きく貢献する。

さらに、本システムは練習効率の向上にとどまらず、利用者のモチベーションを高める仕組みへと発展できる。第一に、演奏データをオンライン上で公開し、他のユーザがリアクションを付与できる機能を導入することで、学習者は他者からのフィードバックや共感を得られる。第二に、演奏データをベースとした学習型のゲーミフィケーションを組み込み、達成度に応じて新しい課題やステージが開放される仕組みを提供できる。これにより、学習者は基礎練習の習熟度を段階的に実感でき、練習そのものを「挑戦と達成のサイクル」として楽しむことが可能になる。これらの機能は、単調になりがちな基礎練習を継続的かつ主体的に取り組む学習体験へと変えることが期待される。