

圧力センサを活用したフルートの演奏経験の違いに伴う指圧特性の検討

Study of Finger Pressure Characteristics Associated with Different Flute Playing Experiences Utilizing Pressure Sensors

木谷 多貴¹ 大井 翔¹
Taki Kitani Sho Ooi

1. はじめに

近年、楽器演奏は日本において趣味や教育の場面を中心に広く親しまれ、文化活動の一部として重要な位置を占めている。総務省の社会生活基本調査（令和3年）によると、国内の10歳以上のうち約1143万人（10.2%）が趣味として楽器演奏を行っており、その多くが日常的に演奏活動に親しんでいる[1]。また、文化庁の文化庁活動等の実態調査（令和2年）によれば、学校の部活動の中で中学生が最も多く所属する部活は「吹奏楽部」（10.4%）であり、高校生では2番目に「吹奏楽部」が位置している（6.3%）[2]。吹奏楽部は、学生たちにとっても楽器演奏の教育を受ける場として非常に重要であり、音楽教育の中でも広く普及している。

一方で、民間調査によると、楽器の練習を「自宅で行う」と回答した割合は65.6%に達し[3]、演奏技術の習得が自己流になりやすい傾向が浮かび上がっている。また、楽器は一般的に弦楽器、打楽器、鍵盤楽器、管楽器に分類されるが、管楽器は演奏者自身の呼吸や筋緊張が大きく関与する「作音楽器」であり、これらの身体的な要素が演奏技術に大きな影響を及ぼす。特にフルートは、他の楽器とは異なり、図1のように楽器を「三点支持」（口・左手・右手）で保持する独特の構造を持っている[4]。この三点支持の特性が、演奏中の姿勢の安定や音の質に密接に関連しており、微細な力のかけ方が継続的に求められる。しかし、演奏者の手の大きさや筋力、経験年数により、指圧のかけ方には個人差が大きく、視覚的に確認することが難しいため、指導が非常に困難である。特に初心者にとっては、演奏における正しい身体動作や楽器の使い方を学ぶことは大きな障壁となり、特に身体的な使い方の正確さが演奏の質に直結することが多い。これにより、演奏技術や身体的動作に関する指導が必要不可欠である。

特に吹奏楽部における演奏技術や練習方法には個人差が大きく、客観的な指導が難しいという問題が指摘されている。学校音楽活動においては、録音・録画機材を持っていない学校が多く、演奏者が自分の課題を正確に認識できないという問題も存在する[5]。これにより、演奏者が自分の身体的な使い方を客観的に評価し、改善する機会が限られていることが問題視されている。

本研究では、圧力センサ（FSR: Force Sensitive Resistor）を活用し、フルート演奏時における指圧特性の違いを演奏経験年数に基づいて分析することを目的としている。

著者が事前に行ったフルート経験者8名に対するインタビューでは、初心者への指導が感覚的かつ比喩的に行われている実態が明らかとなった。たとえば、「ろうそくを吹き消すように息を出す」「ペットボトルの口に吹きかけるようなイメージ」などの表現が多く、これらは具



図1: 三点支持と呼ばれるフルートの持ち方

体的な身体動作を伴わず、学習者にとって再現性が乏しいことがわかった。

さらに、長時間の演奏が体に与える負担も問題となっており、長谷川らの調査によると、吹奏楽部に所属している高校生108人のうち、約42%が整形外科の症状を経験しており、演奏による身体的影響が顕著であることが示唆されている[6]。また、齋藤らの調査では、フルート演奏者の多くが肩や手指などに身体的症状を抱えていることが明らかとなった[7]。これらの結果から、演奏者が自分の身体的な使い方を正確に認識し、改善することの重要性が浮き彫りとなっている。

このような課題に対し、本研究では、圧力センサ（FSR）を用いて、フルート演奏時に各指が楽器に加える力を時系列で計測し、演奏経験年数によって三点支持における指圧特性に差異が生じるかどうかを分析する。センサによる客観的な指圧データを取得することで、従来は可視化困難であった個人差や習熟のプロセスを定量的に捉えることが可能となる。

2. 関連研究

楽器演奏支援に関する研究は活発に行われており、特に技術的な支援を通じて演奏技術の向上を目指すアプローチが注目されている。これらの研究は、演奏者が自身の身体的な使い方や演奏パフォーマンスに関するフィードバックを得る方法を模索しており、その中で、客観的な評価手法を取り入れた研究が増加している。

山口ら[8]の研究では、PCとスマートグラスを用いて楽器演奏を支援するシステムが開発され、演奏者にリアルタイムで音程、姿勢、視線、テンポに関するフィードバックを提供する「眼鏡型チューナー」の評価が行われた。この研究は、楽器演奏の経験が一定以上あり、吹奏楽コンクールに出場する程度の演奏能力を有した大学生・大学院生22人を対象に評価され、システムが演奏姿勢の改善や音程の精度向上に効果があることが確認された。結果として、スマートグラスを用いたフィードバック

¹大阪工業大学, Osaka Institute of Technology



図 2: アンケートに使用した演奏熟練度判定の指標

クが演奏者の姿勢を改善し、視線の自由度を高め、音程やテンポの精度向上に寄与することが示された。しかし、これは主観的な評価にとどまっており、客観的な測定が今後の課題であるとされている。

演奏者の身体的な負担や動作を定量的に評価する研究も増加している。特に、圧力センサを用いた評価は、楽器演奏時における身体的な負担を客観的に測定するための有力な手法として注目されている。López-Pineda [9]の研究では、木管楽器奏者の演奏中の動きがどのように身体に負担をかけているか、またどのような評価方法がよく用いられているかを調査している。特に、圧力センサが最も多く使用されており、フルートも含めた木管楽器奏者の身体的負担を評価するために活用されている。例えば、Clemente [10]の研究では、口周囲の筋肉にかかる力の定量化が行われ、金管楽器奏者と木管楽器奏者の力の差異が明らかになった。これにより、木管楽器における演奏中の負担が定量的に把握され、その改善策に向けた基礎データが提供された。Hofmannら [11]の研究では、クラリネットの演奏時の指の力を測定し、プロの演奏者と学生で力の差異があることを示した。このような研究は、圧力センサが楽器演奏の負担を測定する有力な手段であることを証明しており、演奏者の身体的負担の軽減を目指した支援に役立つ。

これまでの関連研究から、楽器演奏における身体的負担やその支援方法に関する研究は増えてきたが、フルートに特化した研究は少なく、特に定量的な評価が不足している。このような背景から、演奏者の身体的な使い方を定量的に支援するための科学的なアプローチが強く求められている。これに対して本研究は、フルート演奏における三点支持の特性を踏まえ、圧力センサを活用して演奏者の指圧特性を定量的に測定することを目的としている。このアプローチにより、従来の感覚的・比喩的な指導方法から脱却し、演奏者が自分の身体的な使い方を正確に認識するための客観的な指標を提供することが可能となる。また、既存の研究では主観的な評価にとどまることが多かったため、演奏において客観的な指標を提示する本研究は重要な研究となる。

3. 研究手法

本章では、本研究において実施したアンケート調査と圧力センサ (FSR) を用いた指圧測定手法について述べる。本研究の目的を達成するために、演奏者の経験レベルを適切に分類するための基準構築と、実験環境におけるセンサ設置、ならびにキャリブレーションを含む計測準備を行った。

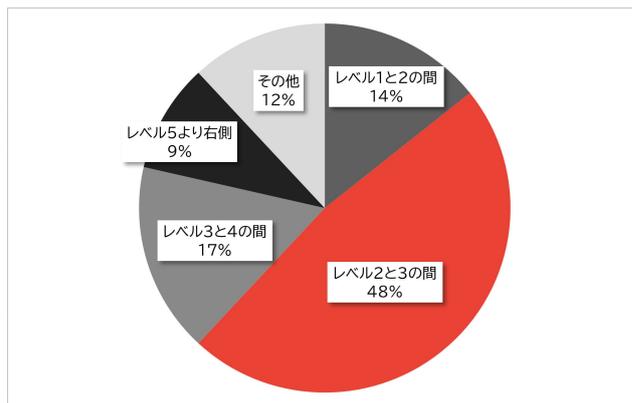


図 3: 演奏熟練度判定の結果

3.1. 演奏経験の分類に関するアンケート調査

本研究では、フルート演奏における指圧特性の比較分析を目的として、初心者と経験者の二群に分けたデータ取得を行う必要があった。しかし、既存の研究においてはフルート演奏者の熟練度を明確に分類する統一的な指標が存在しないため、独自の分類指標の設定が必要となった。そこで、フルート経験者を対象としたアンケート調査を実施し、経験年数、演奏可能な音域、演奏歴に基づく自己評価などを選択形式と自由記述形式で収集した。加えて、ヤマハ音楽振興会が実施している「演奏グレード」(10~6級)における管楽器(フルート)の評価基準を参考とし、とくにスケール課題に記載された音域情報(フルートで演奏可能な第1オクターブC(ド)音から第4オクターブC音まで)を熟練度判定の客観的な指標とし、図2をアンケートにおいて初心者と経験者の判定に利用した。

調査はGoogleフォームを用いて作成し、大学内ポータルで配布するなどして集計を行った。調査期間は2025年7月上旬から1か月間とし、そのうち7月18日まで に得られたデータを本研究で使用した。

調査項目としては、以下の内容を含んだ。

- 年齢・職業
- 大学のフルート専攻など専門的なフルートの教育を受けたことがあるかどうか
- フルート経験年数(例:〇〇年〇〇か月)
- フルート以外の楽器経験
- フルートで演奏できる音域を図2の通りにレベル分けしたとき、初心者と経験者の境目はどこにあると考えますか?(レベル1より左側, レベル1とレベル2の間, レベル2とレベル3の間, レベル3とレベル4の間, レベル4とレベル5の間, レベル5より右側, その他自由記述)
- フルート経験者はフルートを何年以上経験している人のことを指しますか?

その結果、フルート経験者の回答者数は43名であり、そのうち音楽系大学でフルートを専門とする回答者が6名含まれていた。しかし、43名中経験年数が0年0か

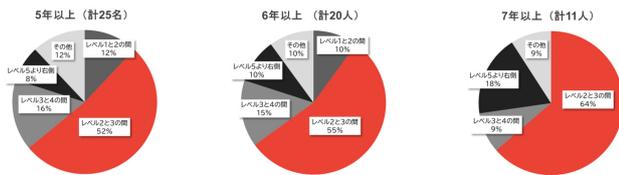


図 4: 回答者の演奏経験別の演奏熟練度判定

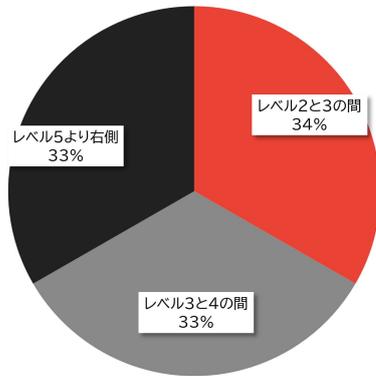


図 5: フルート専攻者の演奏熟練度判定

月の人が1名いたが、その人は未経験者として扱い有効データ42名分を分析した。分析の結果、「フルートで演奏できる音域を図の通りにレベル分けしたとき、初心者と経験者の境目はどこにあると考えますか?」という質問に関しては、図3のように、レベル2とレベル3の間が初心者と経験者を分ける有効な指標であるという回答が全体の48%を占めた。さらに、図4によると、レベル2とレベル3の間と答えた人は、フルート経験年数が5年以上の人だと約54%、6年以上だと約57%、7年以上だと70%となり、経験年数が長くなるほどレベル2とレベル3の間と答える人が多くなっている。音楽系大学かつフルート専攻の大学に在籍した経験のある人については、図5によると、レベル2とレベル3の間が2名(フルート経験年数:8年4か月,10年7か月)、レベル3とレベル4の間が2名(6年3か月,11年2か月)、レベル5より右側が2名(7年3か月,10年9か月)という結果になり、個人々人によって意見が分かれていた。

また、演奏年数に関しては、図6によると1年以上の演奏経験をもって経験者とみなす傾向が強く、全体の65%以上の回答者(28名)がこの基準を支持した。

これらの結果を踏まえ、本研究では経験者を「1年以上の経験かつ最低音のC音から第3オクターブのG(ソ)音以上の音域を安定して演奏可能な者」と定義し、それ未満の者を初心者として分類することとした。

3.2. 指圧計測のためのセンサ設計

演奏中に各指がフルートに加える圧力を定量的に評価するために、感圧抵抗型センサ(Force Sensing Resistor: FSR)である Interlink Electronics 製の FSR402 を使用した。FSR402 は直径 12.7 mm, 厚さ 0.46 mm と非常に薄型で柔軟性があり、楽器演奏時の自然な保持感覚や指の動きを阻害しにくい構造となっている。また、作動力は最小 0.2 N, 最大感度範囲は 20 N 程度とされており、高

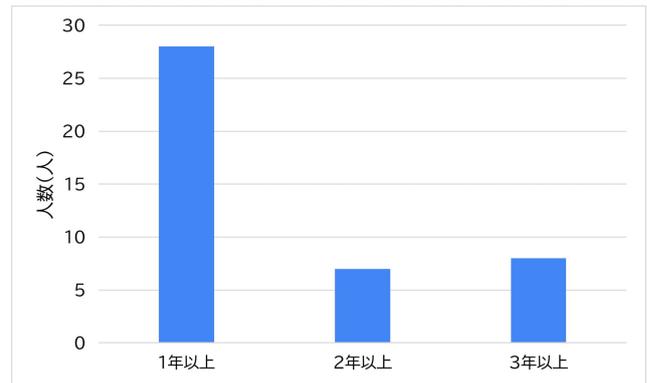


図 6: 経験者に必要な経験年数についての回答結果

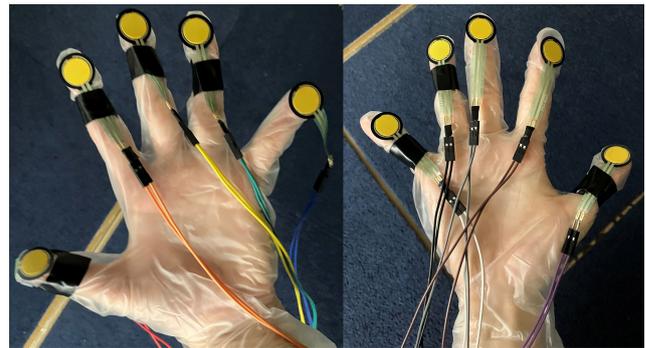


図 7: 参加者の左右の手に取り付けられたセンサ

速応答性と最大 1000 万回の押下耐性を有しているため、連続的な演奏動作の記録にも適している [12]。

本研究では、三点支持を構成する左手人差し指の付け根、右手親指、唇のうち、指に接触する部分に着目し、参加者には図7薄手のビニール手袋の上から手指の腹計10か所にFSRセンサを装着した。センサの装着には、フルートの操作性を損なわないようセンサの厚さと柔軟性を考慮し、薄型の両面テープを用いて配置した。粘着性が不十分な場合にはビニールテープを併用して補強し、演奏動作を妨げず、かつフルート本体を傷つけないように配慮した。装着時には各センサの位置と反応を確認し、無荷重状態での基準値を記録した。

計測には、2台の Arduino UNO R4 Wifi と 2台の PC を用いた。各 Arduino には最大5個のアナログセンサを接続し、USB 経由で各 PC にデータを送信した。演奏中のデータは Python を用いてリアルタイムで CSV 形式に記録され、各行には時刻情報とともに10個分のADC値が出力された。

ただし、2台の PC 間で正確な時刻同期を取るための機構は実装していなかったため、実験開始時に両者のセンサに対して同時に圧力を加えることで基準点を設け、記録後にタイムスタンプを手動で同期する方法を採用した。この方法により、すべてのセンサデータが時系列で揃った状態で後処理可能となった。また、演奏に使用するフルートは指にかかる荷重の影響を統一するため、Pearl Flute の PF-665 を使用した。

データ収集には Arduino UNO R4 WiFi を使用し、各センサからのアナログ電圧信号を電圧分圧回路を介して取得し、1024段階のADC(10ビット)値として記録した。

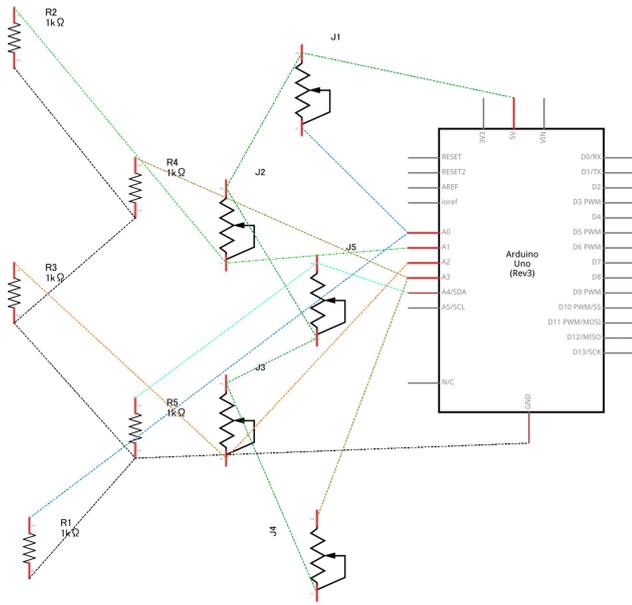


図 8: FSR センサを使用した Arduino の接続回路図

しかし、Arduino UNO R4 WiFi のアナログ入力ピンは 6 つのみであるため、センサ 10 個を同時に接続するには不足していた。この制約を回避するため、2 台の Arduino ボードと 2 台の PC を用いて、センサ群を分割して同時に記録する構成を採用した。2 台の Arduino ボードには図 8 それぞれ 5 つずつセンサの記録が取れるようになっている。両 PC 間の記録データの時刻同期には、実験冒頭にすべてのセンサに同時に圧力を加え、その共通の立ち上がり点を開始時刻とする手法を用いた。この方法により、異なる PC・Arduino 間でのタイムスタンプの差異を後処理にて補正可能となる。

3.3. センサのキャリブレーション

FSR センサは出力特性が非線形であり、かつセンサごとに個体差があるため、正確な力換算のためにはキャリブレーションが不可欠である [13]。本研究では、FSR402 の ADC 値をニュートン単位に変換するため、フォースメータを用いたキャリブレーション実験を行った。

キャリブレーション手法は以下のとおりである。まず、図 9 のようにセンサを水平な台に固定し、その上からフォースメータで段階的に荷重を加えた。このとき、徐々に荷重を増加させ、それに対応する Arduino の ADC 出力をプログラムで記録した。得られたデータに対して単回帰分析を行い、ADC 値と荷重 (N) の間の変換式を導出した。ADC 値と荷重 (N) の個々の値と回帰式について図 10 に示す。得られた回帰式は以下の通りである：

$$\text{荷重 (N)} = 0.053 \times \text{ADC 値} - 0.428 \quad (1)$$

この回帰式の残差平方和 (SSE) は 84.87 (小数第 3 位を四捨五入)、実測値のばらつき合計 (SST) は 5122.77 (小数第 3 位を四捨五入) である。さらに、決定係数は $R^2 = 0.9843$ と、FSR402 における出力値と力の関係が良好に近似されていることが確認された。これにより、本研究

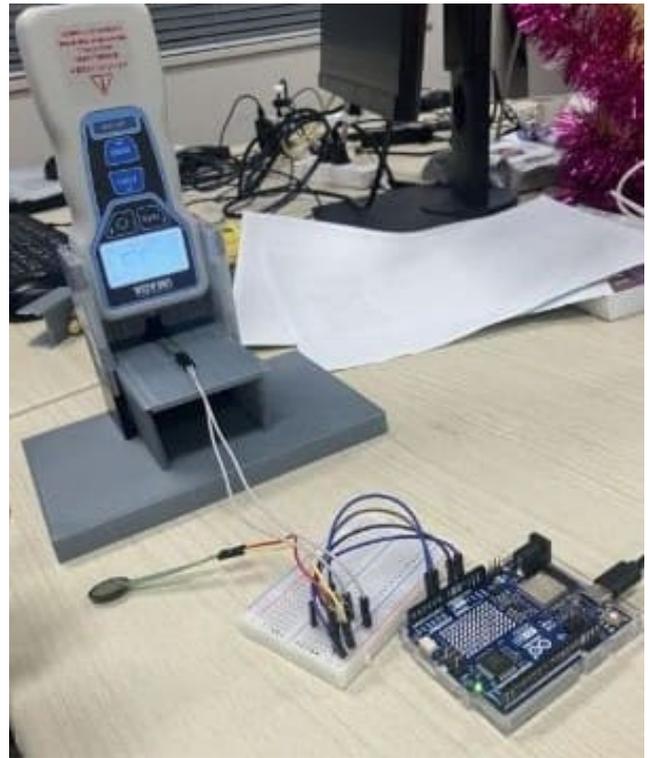


図 9: キャリブレーション時の機材

で取得されたセンサデータを実際の力 (N) として再現性のある定量値として扱うことが可能となった。

なお、FSR は高精度なロードセルとは異なり、 $\pm 15\% \sim 25\%$ の誤差を含む製品ばらつきがあることが Interlink Electronics の統合ガイドでも報告されている [12]。そのため、本研究では比較のための相対的な指標として使用することを前提とし、絶対的な力の測定には用いない。

4. 実験方法

初心者と経験者がフルート演奏中に楽器に対してどのくらいの圧力をかけて演奏しているかのデータを記録するための実験を行った。本研究における計測実験は、図 11 のように大阪工業大学内の実験室にて実施した。参加者には、あらかじめ録画されたフルート実験用動画を視聴してもらい、それに従うかたちで同じように演奏してもらった。演奏課題は最低音の C から最高音の C までの音を BPM60 で 4 拍分伸ばすこととし、実験時間は演奏 10 分、休憩 5 分を 3 セット行ってもらい合計 45 分間とした。

実験参加者は以下の 2 名とし、前述のアンケート調査に基づいて分類した。

- 初心者：演奏歴 1 年 2 か月、最低音域は 1 オクターブ目の Cis 音、最高音域は第 3 オクターブの F 音まで。
- 経験者：演奏歴 5 年 3 か月、最低音域は最低音の C 音、最高音域は第 4 オクターブの C 音 (最高音) まで。

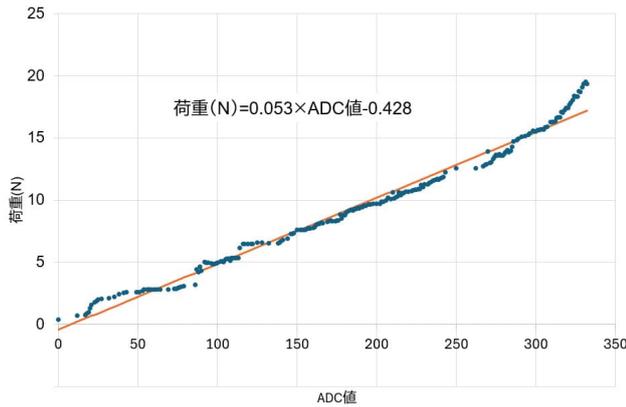


図 10: ADC 値と荷重 (N) の関係を表す回帰式

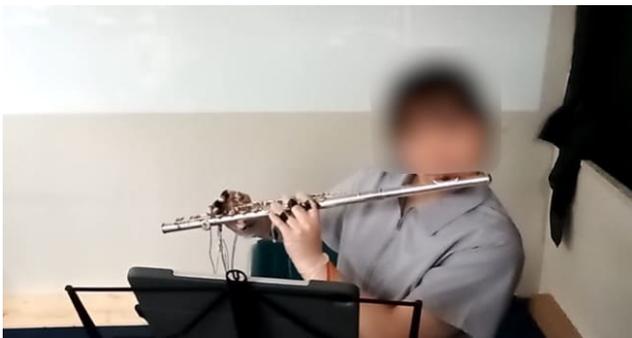


図 11: 実験時の様子

実験手順は、はじめに事前アンケートを行い、動画に従って実験を行った後、事後アンケートを行うという手順になっている。事前アンケートでは、以下の項目について質問した。

- 氏名、年齢、職業などの個人情報
- 大学のフルート専攻など専門的なフルートの教育を受けたことがあるかどうか
- フルード経験年数
- フルード以外の楽器経験
- 手の大きさ（手長、手囲）

手長と手囲の計測方法については、株式会社 MonotaRO の HP に記載されている内容 [14] を参考にし、図 12 を提示したうえで計測を行った。

事後アンケートでは、以下の 6 つの項目について質問を行った。

- 実験による身体の異常などは発生しましたか？
- 実験による身体の異常などは発生しましたか？という質問に【はい】と答えた方は、具体的にどのような異常が発生したか記述してください。
- 取得したデータについてどうお考えですか？(役に立つ—どちらでもない—役に立たないの 5 段階評価)
- 上記に回答した理由についてお答えください。

手長(てなが)の測り方

- ①メジャーを用意します。
- ②指先を軽く開いた状態にします。
- ③中指の先を 0 メモリに合わせ、手首(親指の付け根)のしわまでの距離を測定します。



手囲(てがこい)の測り方

- ①メジャーを用意します。
- ②手を真横に向けて指先を軽く開いた状態にします。
- ③生命線、頭脳線、感情線の始点に近い場所を通るようにメジャーを巻き付けて測定します。



図 12: ADC 値と荷重 (N) の関係を表す回帰式

- 今回使用したシステムについて、感想を自由に記述してください。
- 今回使用したシステムについて、改善点を自由に記述してください。

本実験は大阪工業大学ライフサイエンス実験倫理委員会の承認(承認番号 2025-15)を得て実施した。

5. 実験結果と考察

本章では、経験者 A (演奏歴 5 年 3 か月) および初心者 B (演奏歴 1 年 2 か月) のデータに基づき、10 個の FSR センサ (単位 N) から得られた圧力情報を、事前アンケート結果、指圧分布の特徴、三点支持に関わる右手親指の比較、左右手の荷重バランス、事後アンケート結果の 5 点に基づいて分析・考察する。本論文では、フルートで演奏できる音域のうち第 2 オクターブ目の C 音 (ド) から第 2 オクターブ目の H (シ) 音までの分析を行った。表中の S はセンサを表し、センサ番号は 1 から 5 が順に親指、人差し指、中指、薬指、小指に対応しており、L が左手、R が右手を示す。

5.1. 事前アンケート結果について

本実験では、圧力センサ装着による影響やシステムの有効性を把握するため、事前・事後アンケートを実施した。

表 3 の事前アンケートでは、フルートの経験年数が経験者 A が 5 年 3 か月、初心者 B が 1 年 2 か月であり、その他の楽器経験として経験者 A はピッコロ: 1 年と打楽器: 1 年、初心者 B はチューバ: 5 年 0 か月と回答があった。両者ともに楽器歴や習熟度が異なっており、実験で演奏可能だった音域も踏まえて B が初心者として妥当であること、A が音域と経験年数において経験者に該当することが理解できる。とくに他楽器経験などの情報は、今後より詳細な調査を行うにあたって指圧特性の違いを明らかにする際の参考指標となりうる可能性がある。

5.2. 指圧分布の特徴

表 1, 表 2 に示すとおり、経験者 A は平均値に関しては最大 11.04 N, 全センサ平均 6.04 N 程度の圧力で演奏しており、その分布も比較的安定していた (最大 CV=2.05)。一方、初心者 B は右手親指 (S1R) で平均が 23.98 N, と

表 1: 各センサの平均値および標準偏差 (単位: N)

	区分	S1L	S2L	S3L	S4L	S5L	S1R	S2R	S3R	S4R	S5R
平均	A	11.04	9.67	7.69	5.87	-0.31	10.43	4.53	3.70	2.13	5.65
	B	11.95	9.53	11.46	4.05	0.06	23.98	3.05	3.17	1.89	12.14
標準偏差	A	8.25	8.20	6.30	5.38	0.37	6.51	6.40	5.91	4.37	5.75
	B	7.77	8.62	9.69	4.76	1.76	5.31	6.84	6.63	4.77	7.68

表 2: 各センサの荷重変動係数 (CV)

	区分	S1L	S2L	S3L	S4L	S5L	S1R	S2R	S3R	S4R	S5R
CV	A	0.75	0.85	0.82	0.92	-1.19	0.62	1.41	1.60	2.05	1.02
	B	0.65	0.90	0.85	1.18	27.88	0.22	2.24	2.09	2.52	0.63

経験者の約 2.3 倍の平均値を示した。さらに、右手小指 (S5R) でも平均 12.14 N、標準偏差 7.68 N と高い負荷と変動が確認された。

特に S5R において、経験者 A は最大 17.59 N、平均 5.65 N・標準偏差 5.75 N であったのに対し、初心者 B は最大 30.31 N と、約 1.7 倍の力を加えていた。このように、B の加圧値は A の値を大きく上回っており、相対的に高負荷であるといえる。これらの結果から、初心者 B は小指を含めた握り込みや保持に過度な力をかけている可能性が高く、演奏姿勢の未熟さや指使いの非効率性が示唆される。

5.3. 三点支持に関わる右手親指

三点支持を構成する部位のうち、センサを装着した右手親指 (S1R) に注目すると、経験者 A は平均 10.43 N、最大 28.99 N、変動係数 (CV) 0.62 を示し、演奏中に比較的大きな強さの変化が見られた。これは、キー操作や姿勢の変化に応じて右手親指の支持力を適宜調節しながら演奏していたことを示している。

一方、初心者 B は同部位において平均 23.98 N、CV=0.22 であり、経験者 A の平均値の約 2.3 倍に相当する圧力を終始かけ続けていた。また、CV が小さいことから分かるように、演奏中の荷重変化が少なく、一定の力を継続的に維持していたことが分かる。

このような結果は、初心者 B がフルートの保持を右手親指に過度に依存しており、演奏中の圧力の加減をうまく調整できていない可能性を示唆する。右手親指による圧力の柔軟な制御は、安定した姿勢や滑らかな指運びに寄与すると考えられ、本項の結果はそのような制御力が演奏経験と密接に関係していることを示している。

5.4. 左右手の荷重バランス

左右手の 5 つのセンサの平均値を合計したところ、経験者 A は左手合計 6.79 N、右手合計 5.29 N (左右比 1.28:1) と左手偏重の傾向を示した。対して初心者 B は左手 7.41 N、右手 8.85 N (左右比 1:1.19) と右手偏重であった。とりわけ右手小指 (Sensor5R) では、B が 12.14 N、A が 5.65 N と大きな差があり、B がキー操作に利用する小指にも力を入れて楽器全体を保持していることが分かる。

このような右手偏重の特徴は、初心者にしばしば見られる傾向であり、小指に過剰な負担をかけた構えは、姿

勢崩れや指まわしの不自由さ、さらには痛みなどの問題を引き起こす可能性がある [15, 16]。

5.5. 事後アンケート結果について

表 4 の事後アンケートの結果からは、参加者 2 名 (経験者 A・初心者 B) とともに「身体的な異常はなかった」と回答しており、本システムの安全性において問題がないことが確認された。また、「取得したデータが役立つと思うか」という問いに対して、経験者 A は「3 (どちらでもない)」と中立的な回答だったのに対し、初心者 B は「5 (役に立つ)」と肯定的に評価している。特に初心者 B の自由記述からは、「プロとどう違うのか、どこが違うのかが分かることで改善に活かせる」との記述があり、可視化された定量的データが練習意欲や改善意識を促す可能性があることが示唆された。

一方、本実験で使用したセンサを装着するにあたっての課題として、「コードやテープで少し吹きにくかった」「指の配置がわからなくなった」など、装着感や演奏感覚の違和感が記述されている。これらは、演奏動作に影響を与える可能性があり、今後システム化するにあたって、センサの装着方法について模索する必要がある。

以上の結果から、システムは初心者にとって有用性が高く、今後の演奏指導の改善を行える可能性がある一方で、使用感や装着性に関して改善が必要だと考えられる。

6. おわりに

本研究では、フルート演奏時における指圧特性の違いを可視化するため、圧力センサ (FSR) を用いて初心者と経験者の演奏中の荷重データを定量的に分析した。その結果、経験者は三点支持において支持圧を動的に調整しながら演奏していたのに対し、初心者は特定指 (とくに右手親指・小指) に過剰な負荷をかけて演奏している傾向が確認された。また、左右手の荷重バランスにおいても顕著な差異が見られ、初心者は右手に過度に依存する傾向が示唆された。本研究は、これまで感覚的に扱われていた演奏支援において、指圧という定量的な指標を導入することで、指導や自己評価に資する新たな視点を提供するものである。今後は被験者数の拡大や演奏熟練度との関係性の深掘りを進め、より精緻な演奏支援への展開を図る予定である。本研究の成果は、演奏支援や教育支援の客観的指標の構築に貢献するものであり、今後の演奏技能評価や ICT 教育への応用も期待される。

表 3: 事前アンケート結果

質問項目	経験者 A	初心者 B
年齢	18	20
職業	大学生	大学生
音楽系の大学・学部への在籍経験	いいえ	いいえ
フルート専攻の大学・学部への在籍経験	いいえ	いいえ
フルート経験年数	5年3か月	1年2か月
フルート以外の楽器経験	ピッコロ1年, 打楽器1年	チューバ5年0か月
手長	17cm	17cm
手囲	18cm	19cm

表 4: 事後アンケート結果

質問項目	経験者 A	初心者 B
実験による身体の異常は発生しましたか？ (はい/いいえ)	いいえ	いいえ
取得したデータは役に立つと思いますか？ (1: 役に立たない～5: 役に立つ)	3 (どちらでもない)	5 (役に立つ)
上記の回答理由	いいと思ったから	自分が初心者なので、プロの方とどう違うのか、どこが違うのかで直せる箇所は直していきたいと思ったからです
システムに対する感想 (自由記述)	いいと思います	いつも吹いている時と違い、指先に違和感があり、指をどのように配置して吹いていたか忘れてしまいました。なので、指の配置を表示してくれたのが助かりました。
システムに対する改善点 (自由記述)	ないと思います	コードやら、テープやらで少し吹きにくかったです。

参考文献

- [1] 総務省統計局. 令和3年社会生活基本調査の結果. <https://www.stat.go.jp/data/shakai/2021/kekka.html>. (2025年4月9日閲覧).
- [2] 文化庁. 文化部活動等の実態調査報告書. https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkashingikai/kondankaito/bunkakatsudo_guideline/index.html. (2025年7月13日閲覧).
- [3] クロス・マーケティング. 楽器の演奏に関する調査(2024年). <https://www.cross-m.co.jp/report/trend-eye/20240821music>. (2025年4月9日閲覧).
- [4] 松井瞳. フルート初歩の初歩入門. ドレミ楽譜出版社, 2024.
- [5] 竹内俊一, 本田礼, 本田優子. 学校吹奏楽部の活動に関する実態調査(3) - アンケート調査を通して -. 兵庫教育大学研究紀要, Vol. 46, pp. 99-109, 2015.
- [6] 長谷川昌士, 河井秀夫, 西脇健司, 向井公一, 北山淳ほか. 高校吹奏楽部所属学生の楽器練習における身体症状の発生状況: 演奏楽器別での症状特性について. 四條畷学園大学リハビリテーション学部紀要, Vol. 6, pp. 13-18, 2010.
- [7] 齋藤里果, 秋山純和, 西脇健司, 向井公一, 北山淳ほか. 音楽家の身体症状とその対処法 - 音楽家へのアンケート結果より -. 理学療法科学, Vol. 21(4), pp. 447-451, 2006.
- [8] 山口恭正, 川田拓, 長濱澄, 堀田龍也. スマートグラスを用いた楽器演奏支援システムの開発と評価の試み - 姿勢・視線・演奏の主観評価から -. 日本教育工学会論文誌, Vol. 46, pp. 185-188, 2022.
- [9] Javier López-Pineda, María Carmen Rodríguez-Martínez, Rosa Gómez-Rodríguez, Lucía García-Casares, and Natalia García-Casares. Biomechanical assessments in woodwind musicians: A systematic review. *Healthcare(Basel)*, Vol. 11, p. 1621, 2023.
- [10] M.P. Clemente, A. Moreira, J. Mendes, A.P Ferreira, and J.M. Amarante. Wind instrumentalist embouchure and the applied forces on the perioral structures. *Open Dentistry Journal*, Vol. 13, pp. 107-114, 2019.

- [11] Alex Hofmann and Werner Goebel. Finger forces in clarinet playing. *Frontiers in Psychology*, Vol. 7, p. 1140, 2016.
- [12] Interlink Electronics. Interlink electronics fsr® force sensing resistors® : Fsr® integration guide. https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Interlink%20Electronics.PDF/FSR_Integration_Guide.pdf. Accessed: 2025-06-17.
- [13] Gottipati S Lakshmi and Hemavathi R. Calibration of force sensitive resistor used in force controlled grippers. *International Journal of Engineering Research Technology (IJERT)*, Vol. 9, pp. 356–358, 2020.
- [14] 株式会社 MonotaRO. 手袋サイズの測り方. https://jp.images-monotaro.com/etc/pdf/product/GC1274029-1274033_size.pdf, 2023. (2025年7月23日閲覧).
- [15] フルートの構え方のポイント. <https://www.shimamura.co.jp/shop/kasai/article/lesson/20220630/5488>. (2025年7月23日閲覧).
- [16] フルートの右手小指の役割と改善方法. <https://flute-flute.net/basic/little-finger/>. (2025年7月23日閲覧).