

Plessa: 圧力センサを用いたフルート演奏者の指圧データ分析とフィードバックシステムの検討

木谷 多貴^{1,a)} 大井 翔^{1,b)}

概要: 本研究では、フルート演奏時の指圧をリアルタイムで計測・可視化するシステムを構築し、指圧データと演奏者の特性との関連を調査した。分析の結果、フルート経験年数と指圧に強い負の相関があり、指圧フィードバックが演奏技術向上に有益である可能性が示唆された。今後は、初心者へのシステム体験と改善を進め、指圧フィードバックの効果をより詳細に評価する予定である。

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ており、文化活動の一部として重要な位置を占めている。文化庁の文化部活動等の実態調査（令和2年）によると、中学生の部活動では吹奏楽部の所属割合が最も高く、高校生においても上位を占めている [1]。また、総務省の社会生活基本調査（令和3年）では、国内の10歳以上のうち10.2%が趣味として楽器演奏を行っていることが示されている [2]。このように、学校教育と趣味の双方において、楽器演奏は身近な活動となっている。

一方で、演奏者の練習環境には課題が存在する。民間調査によれば、演奏者の65.6%が自宅で一人で練習していると回答しており [3]、指導者から直接フィードバックを受ける機会は限られている。竹内らの調査では、吹奏楽部では管・打楽器の専門的な指導が可能な顧問が不足しており、外部講師による指導も年間1~2回程度にとどまることが報告されている [4]。その結果、多くの演奏者が自己流で練習を継続せざるを得ず、誤った身体動作や楽器の扱い方が習慣化するリスクが指摘されている。

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、身体動作を適切にコントロールする必要がある。特にフルートは、図1に示すように、下あご、左手人差し指付け根、右手親指の三点で楽器を保持する独特の構造を持つ。この三点支持は、指を自由に動かすために不可欠であり、テコの原理によって楽器の安定が保たれている [5]。そのため、これらの支持点や指にかかるわずかな力の違いが、姿勢の安定性や音質に影響を及ぼす。

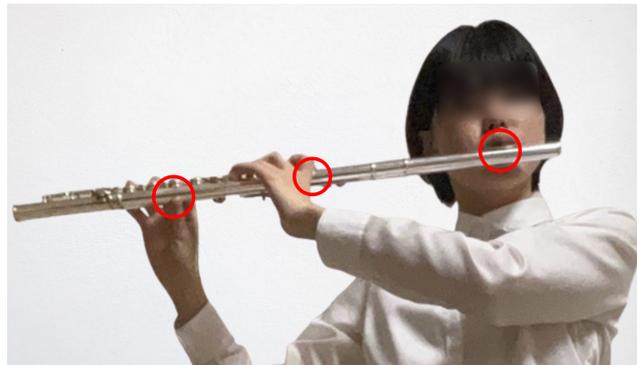


図1: 三点支持と呼ばれるフルートの持ち方（赤丸：下あご、左手人差し指の付け根、右手親指による三つの支持点）

また、フルート以外の楽器を対象とした研究においても、指の使い方や力の加え方が演奏に影響することが報告されている。Hofmannらは、サクソフォン演奏において指の動作タイミングが舌の動作よりも演奏に大きな影響を与えることを示している [6]。さらに、クラリネットやピアノを対象とした研究では、熟練者は経験の浅い演奏者と比較して、必要最小限の力で演奏していることが明らかになっている [7][8]。これらの知見から、指圧は多くの楽器に共通する重要な要素であり、指が楽器の保持にも関与するフルートではその重要性が一層高いと考えられる。

しかし、初心者が指圧を含む身体動作を正しく理解し再現することは容易ではない。著者が実施したフルート経験者8名への事前調査では、「ろうそくを吹き消すように息を出す」といった感覚的・比喩的な表現に基づく指導が多く用いられていることが確認された。このような感覚的かつ比喩的な表現は具体的な身体動作を明示しないため、初心者が自身の演奏を客観的に修正することは難しい。一方で、演奏動作を客観的に振り返ることが技術習得を支援す

¹ 大阪工業大学

^{a)} taki.kitani@mix-lab.net

^{b)} sho.ooi@outlook.jp

る手段として有効であることは先行研究により示されている [9][10]. しかし, そのような振り返りを日常的に行うために必要となる演奏中の身体動作を手軽に計測・可視化できる機材や環境は, 教育現場や個人練習の場において十分に整備されていない [11].

そこで本研究では, 安価で扱いやすい圧力センサ (FSR) を用いて, フルート演奏時の各指の指圧をリアルタイムに計測・可視化する計測システムを構築し, 基準データ整備に向けたデータ取得を目的とする. 具体的には, フルート専攻者および経験者を対象に指圧データを収集し, 演奏中の指圧傾向を整理することで, 今後の初心者支援に向けた指圧フィードバックシステムの基盤となる知見を得ることを目指す.

2. 関連研究

2.1 管楽器演奏における身体動作の定量化

管楽器演奏における身体への負荷や力の加え方に関する研究は, 演奏技術の向上や身体の異常の予防, さらには治療への応用に必要なるものであり, その重要性が指摘されている. 例えば, 上下唇の力を測定し, 楽器ごとの力学的負荷を定量化する研究 [12] や身体負荷の評価方法に関する調査などがある [13]. これらの研究では, 圧力センサが広く活用されているが, 身体負荷の評価方法にはほかにも様々な研究が存在する.

クラリネット専攻の大学生を対象にした調査によると, 表現豊かに演奏する際, プロの演奏家と比較して過剰な力が加わっていることが明らかになっている [7]. これは, 運指の力学的特徴が演奏技術の習熟度と密接に関係していることを示す重要な知見である. しかし, これらの研究はクラリネットやサクソフォンなど, 楽器を口に咥えて演奏するシングルリードの木管楽器を対象としたものが多く, フルートのように三点支持で支える必要がある楽器の指圧計測は十分に行われていない.

フルート演奏では, 軽く添えるなどの比喩的な表現が指導に多く用いられ, 客観的な指導法に基づく指導方法は確立されていない. このように, フルート演奏における指圧の力学的特徴を定量的に扱う研究は不足しており, 指圧を測定・可視化する意義は大きい.

2.2 楽器演奏のセンシングと動作可視化

センサ情報を活用して演奏動作を可視化する技術は, 自身の演奏を客観的に把握するための有効な手段として広く研究されている. まず, センサ情報を取得する方法では, 弦楽器や鍵盤楽器の運指動作を圧力センサと位置センサの組み合わせで取得する研究や [14], フルート本体にセンサを組み込む研究 [15] などがある. 取得したデータを可視化する研究としては, Web ブラウザ上でリアルタイムに可視化する試み [16] や, スマートグラスを使った試み [17] があ

る. これらの研究では, 楽器演奏で重要視されることが多い音程に着目しており, 演奏中の身体動作に関わるものを対象としていない.

以上より, 演奏動作のセンシングについては弦楽器や鍵盤楽器では技術的に成熟しつつあるものの, フルートでは演奏技術の向上ではなく演奏の幅を広げるために利用されている. 可視化技術においても, 音程など外部から取得可能な情報に焦点を当てている. 一方で, 本研究が対象とする指圧のような身体内部の力学的情報を提示するアプローチは十分に検討されておらず, 研究の価値が大きいものである.

2.3 演奏フィードバックと技術獲得支援

演奏技術の獲得を支援する研究では, 初心者のピアノ演奏時の打鍵タイミングを提示するシステム [18] などがある. 鍵盤楽器などでは, タイミングや音の情報といった外部から取得可能な要素が対象となっており, 学習者が演奏結果を客観的に理解するための仕組みが中心である.

しかし, フルート演奏では三点支持の特性上, 指圧が演奏の安定性に大きく影響するにもかかわらず, 指圧を定量的に計測し技術習得を支援する研究は存在しない. そこで我々は, フルート演奏における指圧計測の重要性を示すため, 初心者と経験者の指圧差を測定し, 指圧計測が初心者の演奏技術向上の手がかりとなり得ることを確認した [19]. 指圧のような身体内部の情報を可視化し, 熟練者との差異を提示するアプローチは従来の研究にはないものであり, 本研究の貢献は大きいと考えられる.

3. 実験

3.1 Plessa のシステム設計

フルート演奏時の指圧を計測するため, 圧力センサとして FSR (Force Sensitive Resistor) の一種である FSR402 を使用した. 各圧力センサは Arduino Micro に接続し, センサ出力を A/D 変換してデジタル値として取得した. 取得したデータは有線通信により PC へ送信した.

PC 側では Python で受信処理を行い, PyQt を用いて指ごとの指圧をリアルタイムに可視化した. 圧力センサの値は ADC 値として CSV 形式で保存し, 解析時には事前に実施したキャリブレーションに基づき力の単位 (N) へ変換した. キャリブレーション方法の詳細については先行研究に詳述しているため, 本論文では省略する [19].

図 2 に, フルート演奏時の指圧計測の様子を示す. 圧力センサは 10 個使用し, 両手 10 本の指の主指腹へ装着した. ただし, 指が楽器に接触する位置には個人差があるため, 装着したセンサが演奏中に楽器へ適切に接触するように, 装着位置を調整した.

本研究で使用した計測ソフトウェアの画面を図 3 に示す. 本ソフトウェアでは, 指ごとの指圧波形をリアルタイ



図 2: フルート演奏時における指圧計測の様子

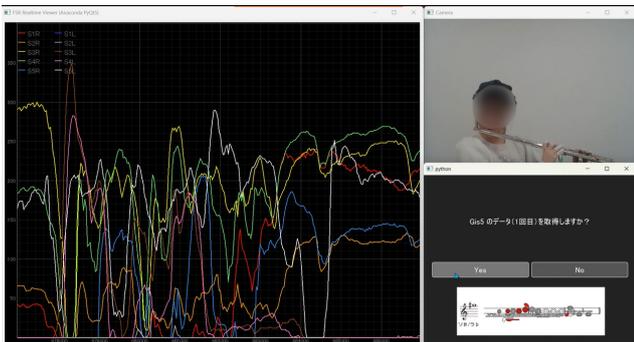


図 3: 指圧データをリアルタイムに可視化する計測ソフトウェアの画面

ムに表示するとともに、PC の操作によりデータ取得の開始・終了を制御できる構成とした。また、演奏中の指圧情報を視覚的に提示することで、演奏者が自身の指圧変化を即時に確認できるよう設計した。

3.2 本実験の参加者と実験手続き

参加者はフルート専攻者 1 名およびフルート経験者 7 名とした。本研究では、初心者支援に向けた基準データ取得を目的としているため、本稿では演奏経験を有する参加者のデータを対象として分析を行う。また、経験者の定義に関しては先行研究に詳述しているため、本論文では省略する [19]。

実験開始前に研究内容の説明を行い、同意書への記入を得た後、事前アンケートに回答してもらった。

事前アンケートでは、以下の項目について質問した。

- 年齢、職業などの基本情報
 - フルート経験年数
 - フルート以外の楽器経験
 - 手の大きさ（手長、手囲）
 - 現在の演奏可能音域（ヤマハグレード検定 [20] を参考にした区分）
 - フルート演奏にブランクがある場合はその期間
- 演奏課題は、フルートで演奏可能な最低音 C から最高

音 C までの音を対象とし、各音を BPM60 で 4 拍分保持するロングトーン演奏とした。演奏中の指圧データはリアルタイムに可視化しつつ、全データを記録した。演奏時間は参加者によって異なり、おおよそ 20~30 分程度であった。事前説明およびアンケートを含めた実験全体の所要時間は約 1 時間であった。

実験終了後に事後アンケートを実施した。事後アンケートでは、実験による身体の異常の有無を確認し、「はい」と回答した場合には具体的な内容を自由記述で回答してもらった。また、指圧情報のフィードバックの価値、演奏中の指圧をリアルタイムに表示することの有用性、およびシステム画面レイアウトの見やすさについては 5 段階評価で回答を求めた。さらに、指圧以外にフィードバックすべき要素、印象に残った点、およびシステムの改善点について自由記述で回答を得た。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。

4. 結果と考察

4.1 事前アンケートで得られた情報

事前アンケートでは、参加者の演奏経験に関する情報を取得した。表 1 に示すように、各参加者の演奏能力に関するデータを収集し、フルートの演奏歴やフルート以外の楽器経験についても調査した。また、手の大きさについても調査を行い、結果は表 2 に示されている。なお、調査ではフルートで演奏できる音域に関する情報も収集したが、実験時は全員がレベル 5（最低音から最低音まで演奏可能）に該当したため、音域の違いはなかった。フルート経験年数は最も短い経験者 D の 3 年 8 か月から専攻者 A の 7 年 9 か月まで幅広い分布を示した。

フルート以外の楽器経験がある参加者は多く、経験者 A はピアノやユーフォニアムなど、経験者 E はピッコロやトランペットなど複数の楽器に触れている。これらの事前データは、指圧データとの関連性を調べるための基礎情報となり、特にフルート経験年数や他の楽器経験が指圧の強さや安定性に与える影響を調べるために重要である。

4.2 指圧特性の傾向

本実験では、ロングトーン演奏時（4 秒間）の指圧データを収集し、演奏中の指圧特性を代表する統計量（平均値、最大値、標準偏差、変動係数 (CV)）を用いて分析を行った。各参加者の指圧データに基づき、参加者別、属性別の指圧データの平均値を小数第二位で四捨五入し、表 3 に示した。表 3 に示す通り、専攻者 A と経験者 A の S1R については、センサ故障によりデータを取得できなかったため、これらのデータは分析から除外した。また、指圧データの分析においては、音ごとに実際に使用された指のみを対象とし、使用されなかったセンサは NaN 化して統計量を算

表 1: 参加者の演奏能力と経験データ

参加者名	演奏できる音域	フルート経験年数	フルート以外の楽器経験	ブランク期間
専攻者 A	レベル 5	7 年 9 か月	ピッコロ 2 年 6 ヶ月	-
経験者 A	レベル 5	6 年 4 か月	ピアノ 18 年, エレクトーン 18 年, ピッコロ 5 年 4 ヶ月, ユーフォニアム 5 ヶ月	-
経験者 B	レベル 5	6 年 0 か月	ピッコロ: 5 年 4 か月	4 年 0 か月
経験者 C	レベル 5	7 年 7 か月	ピッコロ: 6 年 7 か月, ピアノ: 12 年 6 か月	-
経験者 D	レベル 5	3 年 8 か月	-	-
経験者 E	レベル 4	4 年 0 か月	ピッコロ 3 年 0 か月, トランペット 3 年 0 か月, ピアノ 19 年 0 か月	6 年 0 か月
経験者 F	レベル 5	5 年 0 か月	ピッコロ約 4 年	3 年 0 か月
経験者 G	レベル 5	5 年 2 か月	-	2 年 6 か月

表 2: 参加者の手の大きさに関するデータ (単位: cm)

分類	手長	手囲
専攻者 A	17	20
経験者 A	17	17
経験者 B	17	17
経験者 C	16	17
経験者 D	18	19
経験者 E	17	17
経験者 F	17	17
経験者 G	18	18

出した。これはフルートの運指において、特定の音で使用されない指が明確に定まっており、未使用センサを含めて平均値を計算すると、実際の指圧特性を過小評価する可能性があるためである。

全体平均では、左手は S3L が最も高く 18.76N、次いで S1L の 15.26N、S2L の 14.91N の順であった。右手は S1R が最も高く 18.73 N、次いで S4R の 17.00 N、S3R の 15.70 N の順であった。注目すべき点は、右手親指 (S1R) の指圧が最も高かったものの、左手中指 (S3L) の指圧がそれに匹敵する高さであり、予想に反して左手の指圧が強くなる傾向が見られた。

属性別に見ると、経験者のみの平均値は総計と同様の分布を示し、左手では S3L が最も高く 19.51 N であった。女性のみグループでも同様の傾向が見られた。しかし、個人差も顕著であり、例えば経験者 D は S5L、S2R、S5R 以外のセンサで女性平均より高い平均指圧を示した。経験者 D は唯一の男性参加者であり、体格差や性別が指圧の強さに影響を与えている可能性が示唆された。

4.3 指圧特性と参加者特性との相関

参加者のフルート経験年数と指圧データの平均値との相関について、表 4 で示される通り、相関係数が S2L で -0.90、S3L で -0.85、S4L で -0.77 と非常に強い負の相関が確認された。これにより、フルート経験年数が増えるにつれて、これらのセンサで指圧が低下する傾向が示された。さらに、p 値も S2L で 2.1×10^{-3} 、S3L で 7.2×10^{-3} 、S4L で

2.5×10^{-2} となっており、いずれも統計的に有意な相関が確認されている。これは、先行研究である Hofmann らの研究 [7] における、指圧の強さと習熟度の関連性と一致する結果である。一方で、他のセンサにおいては相関が非常に弱く、p 値が高いため、フルート経験年数との有意な関連性は確認できなかった。これにより、フルート経験年数が指圧特性に与える影響は、特に S2L、S3L、S4L に顕著であることが示唆される。

また、平均値については、他管楽器経験数に関してはほとんどのセンサで弱い負の相関が確認され、ブランク期間に関してはほとんどのセンサで弱い正の相関が見られたが、10 個中 9 個のセンサで有意差は確認されなかった。手の大きさに関しては、平均値、最大値、CV いずれにおいてもほとんど相関は見られず、手の大きさが指圧に与える影響は少ないことが示された。

4.4 事後アンケートについて

実験において、参加者全員が「身体の異常などは発生しましたか?」という質問に対して「いいえ」と回答した。この結果から、システム使用における身体的な負担や異常は確認されておらず、安全に実験が実施されたことが示唆される。

事後アンケートでは、選択式の質問と自由記述の質問が含まれていた。選択式の質問では、それぞれの質問内容に対して、「そう思わない」を 1、「そう思う」を 5 として 5 段階評価で回答された。

選択式の回答結果について表 5 に示す。事後アンケートの結果、リアルタイムでの指圧フィードバックに対して好意的な意見が多く、特に「指圧の情報をフィードバックしたことについて」という質問において、8 名全員が「価値がある」と回答した。さらに、「演奏中の指圧をリアルタイムに表示することについて」も 8 名全員が「役に立つ」と回答している。

自由記述では、「同じ指使いでも吹く前と吹いているときに指圧が異なっているのが目に見えて分かるのが面白い」、「新しい視点だと思った」、「とても面白かった」という意見

表 3: 参加者と属性ごとの指圧の平均値 (単位: N)

参加者名・属性名	S1L	S2L	S3L	S4L	S5L	S1R	S2R	S3R	S4R	S5R
専攻者 A	12.80	5.91	13.65	10.99	2.77	-	20.27	21.08	18.09	8.66
経験者 A	11.83	10.72	14.81	11.80	4.69	-	1.99	8.01	12.54	10.94
経験者 B	19.30	15.85	20.69	15.46	7.02	23.24	6.45	18.14	18.4	13.78
経験者 C	16.21	10.27	14.81	9.67	3.22	16.28	11.11	15.94	14.84	10.33
経験者 D	21.15	19.27	21.70	17.24	5.41	27.35	11.91	16.66	19.69	9.08
経験者 E	17.65	20.41	20.93	13.29	7.13	20.18	15.23	15.59	18.51	16.55
経験者 F	12.23	16.36	21.64	13.41	9.04	7.62	16.2	15.04	17.28	8.73
経験者 G	10.57	20.66	22.43	15.99	5.40	17.48	11.47	15.55	16.84	-0.43
全員	15.26	14.91	18.76	13.46	5.57	18.73	11.96	15.70	17.00	9.74
経験者のみ	15.62	16.23	19.51	13.81	5.97	18.73	10.69	14.91	16.84	9.90
女性のみ	14.43	14.28	18.35	12.93	5.59	16.99	11.97	15.58	16.64	9.84

表 4: センサごとの指圧データと参加者情報の相関

フルート経験年数	センサ名	S1L	S2L	S3L	S4L	S5L
	相関係数	-0.38	-0.90	-0.85	-0.77	-0.67
	p 値	3.6×10^{-1} n.s.	2.1×10^{-3} **	7.2×10^{-3} **	2.5×10^{-2} *	6.7×10^{-2} n.s.
	センサ名	S1R	S2R	S3R	S4R	S5R
他管楽器経験数	相関係数	-0.31	-0.01	0.16	-0.51	-0.06
	p 値	5.5×10^{-1} n.s.	9.8×10^{-1} n.s.	7.1×10^{-1} n.s.	2.0×10^{-1} n.s.	8.8×10^{-1} n.s.
	センサ名	S1L	S2L	S3L	S4L	S5L
	相関係数	-0.11	-0.31	-0.43	-0.59	0.09
ブランク期間	p 値	8.0×10^{-1} n.s.	4.6×10^{-1} n.s.	2.9×10^{-1} n.s.	1.3×10^{-1} n.s.	8.3×10^{-1} n.s.
	センサ名	S1R	S2R	S3R	S4R	S5R
	相関係数	-0.23	-0.20	-0.44	-0.45	0.72
	p 値	6.6×10^{-1} n.s.	6.3×10^{-1} n.s.	2.8×10^{-1} n.s.	2.7×10^{-1} n.s.	4.3×10^{-2} *
フルート経験年数	センサ名	S1L	S2L	S3L	S4L	S5L
	相関係数	0.16	0.63	0.63	0.30	0.74
	p 値	7.0×10^{-1} n.s.	9.4×10^{-2} n.s.	9.7×10^{-2} n.s.	4.7×10^{-1} n.s.	3.7×10^{-2} *
	センサ名	S1R	S2R	S3R	S4R	S5R
他管楽器経験数	相関係数	-0.12	0.12	0.10	0.40	0.37
	p 値	8.3×10^{-1} n.s.	7.8×10^{-1} n.s.	8.1×10^{-1} n.s.	3.3×10^{-1} n.s.	3.7×10^{-1} n.s.

** $p < .01$ * $p < .05$ n.s. $p \geq .05$

が多く、データを通じて自分の演奏を客観的に把握できることに驚きと興味を持っていることが伺えた。また、指圧フィードバックが演奏技術向上に有益である可能性が示唆された。

画面レイアウトについては、6名が「見やすい」と回答し、2名が「やや見やすい」と回答した。自由記述では、「色別の波形だけではなく運指表と波形の色を重ねて表示できるとどの指の指圧が認識しやすい」などの提案があり、改善の余地が示唆された。

システムに対する改善点としては、主にセンサの滑りやすさとセンサの大きさに関する意見があった。滑りやすさについては、「滑りやすいために指圧が強くなってしまわないか」、「滑り止めを付けるべき」という意見が出された。センサの大きさに関しては、小指などの楽器のキーが小さい箇所に関係のない部分に接触してしまうことがあったため、センサの形状やサイズに関する改善案が出

された。

その他の意見として、「指圧を可視化することで運指だけではわからないことが分析できる」、「初心者の方に正しい演奏方法が分かれば上達がスムーズだったのでは」という意見もあり、このことから指圧フィードバックが演奏技術の向上に役立つ可能性があることが示唆された。

5. まとめ

本研究では、演奏時の各指の指圧をリアルタイムに計測・可視化する計測システムを構築し、基準データ整備に向けたデータ取得を行った。指圧データとフルート演奏経験との関連性について分析した結果、フルート演奏経験が長い参加者ほど指圧の平均値が低くなる傾向があることが分かった。また、事後アンケートの結果から、指圧フィードバックが演奏技術向上に有益である可能性が示唆された。これにより、指圧フィードバックが演奏者の技術向上に寄

表 5: 事後アンケートの結果

質問内容	尺度値				
	そう思わない	やや そう思わない	どちらでも ない	やや そう思う	そう思う
指圧の情報をフィードバックしたことについて価値があるか	0	0	0	0	8
演奏中の指圧をリアルタイムに表示することについて役に立つと思うか	0	0	0	0	8
今回のシステムの画面レイアウトについて見やすいと思うか	0	0	0	2	6

与するという新たな視点が得られた。

しかしながら、センサの滑りやすさや大きさ、また画面レイアウトに関して改善点が浮き彫りになった。具体的には、センサの滑り止めの改善や、センサの形状・サイズの最適化が求められており、さらにユーザビリティの向上が期待される。

今後の展望として、実際にフルート初心者システムを体験してもらい、指圧フィードバックが演奏技術にどのような影響を与えるのかを調査する予定である。また、より効果的なフィードバックを提供できるようにシステムの改善を進めていく。具体的には、指圧データの解析精度の向上や、ユーザーインターフェースの改善を行い、より直感的で有益なフィードバックを提供することを目指す。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 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).
- [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] 竹内俊, 本田礼, 本田優子. 学校吹奏楽部の活動に関する実態調査 (2) : アンケート調査を通して - 兵庫教育大学研究紀要, Vol. 45, pp. 101-110, 2014.
- [5] 松井瞳. フルート初歩の初歩入門. ドレミ楽譜出版社, 2024.
- [6] Alex Hofmann and Werner Goebel. Production and perception of legato, portato, and staccato articulation in saxophone playing. *Frontiers in Psychology*, Vol. 5, p. 690, 2014.
- [7] Alex Hofmann and Werner Goebel. Finger forces in clarinet playing. *Frontiers in Psychology*, Vol. 7, p. 1140, 2016.
- [8] Dietrich Parlitz, Thomas Peschel, and Eckart Altenmüller. Assessment of dynamic finger forces in pianists: Effects of training and expertise. *Journal of Biomechanics*, Vol. 31, No. 11, pp. 1063-1067, 1998.
- [9] Manuel Solier Ortega and Lucia Herrera Torres. Fomento del aprendizaje autorregulado en estudiantes de viento. *DEDiCA. Revista de Educação e Humanidades*, Vol. 6, pp. 153-170, 2014.
- [10] Margarita Lorenzo de Reizabal and Manuel Benito. Gestural learning in orchestra conducting through self-observation. *Revista de Psicodidáctica*, Vol. 23, No. 2, pp. 144-152, 2018.
- [11] 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.
- [12] Miguel P. Clemente, André Moreira, Joaquim Mendes, Afonso P. Ferreira, and José M. Amarante. Wind instrumentalist embouchure and the applied forces on the perioral structures. *The Open Dentistry Journal*, Vol. 13, pp. 107-114, 2019.
- [13] 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.
- [14] Tobias Grosshauser and Gerhard Tröster. Finger position and pressure sensing techniques for string and keyboard instruments. In *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME)*, pp. 479-484, 2013.
- [15] Cléo Palacio-Quintin. Eight years of practice on the hyper-flute: Technological and musical perspectives. In *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME)*, pp. 293-298, 2008.
- [16] 川田拓, 山口恭正, 長濱澄, 堀田龍也. Web ブラウザを用いた楽器の演奏パフォーマンスの可視化の試み. バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集, Vol. 34, pp. 1-3, 2021.
- [17] 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.
- [18] 竹川佳成. 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.
- [19] 木谷多貴, 大井翔. 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. 2025 年度情報処理学会関西支部 支部大会, 2025.
- [20] ヤマハ音楽振興会. ヤマハ管楽器演奏グレード 10 級~6 級 (フルート). <https://www.yamaha-mf.or.jp/grade/examination/wind/grade10-6.html>, 2025. アクセス日: 2025 年 7 月 23 日.