

クラシックギターの演奏姿勢に 楽曲の音楽的特徴が与える影響

Influence of Musical Characteristics of Pieces on the Playing Posture of the Classical Guitar Performance

飯野 健広¹ 飯野 なみ^{2,3} 藤波 努¹

Takehiro Iino¹, Nami Iino^{2,3}, Tsutomu Fujinami¹

¹北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科

¹Japan Advanced Institute of Science Technology

²国立情報学研究所

²National Institute of Informatics

³理化学研究所

³RIKEN Center for Advanced Intelligence Project

Abstract: In this study, the analysis of posture while playing classical guitar using human pose estimation (MediaPipe) and the analysis of the musical characteristics of a piece of music using mean information content. We analyzed the works, classifying them into three periods. The results showed that both the defective posture during performance and the amount of information in the chords were higher in contemporary pieces than in pieces from the other eras. We discussed the influence of the musical characteristics of a piece of music on the performance posture.

1. はじめに

クラシック音楽家は演奏によって引き起こされる骨格筋系の障害のPRMSD (Playing-Related Musculoskeletal Disorder)により、本来の演奏ができない事例が多くみられる。例えば、腱鞘炎やフォーカル・ジストニアは炎症部やその周辺の痛みが強く、演奏動作に制約がかかる。また演奏動作に必要な骨格筋の機能が低下しているために特定の動きができず、楽曲が求めるスピードや局所的な指の動きの正確性が欠けてしまう。これらは演奏時の無理な姿勢やオーバーユース(局所的に同じ筋肉の使いすぎ)が起因しているとされている[1]。特にプロの演奏家の場合は、長時間の練習が不可欠であるが、機能低下に気づかずに練習をしている可能も十分にありうる。

クラシックギターの演奏者(プロやアマチュア)に対する痛みに関する調査では、頸部や背中の上部にそれぞれ53.1% (n=64) [2]、首と腰にそれぞれ29%、肩に15.5%の割合で痛みを感じているという報告がある[1]。クラシックギターの楽曲に着目すると、現代曲はルネサンス・バロック、古典派・ロマン派以降までに培われてきた調性音楽が崩壊し、不協和音

やリズムの複雑化、ギター奏法の多様化がみられることから、技術的に長時間の練習が必要となる。

そこで本研究ではクラシックギターに着目し、ギター演奏による身体的負荷と楽曲の関係を明らかにすべく、音楽的特徴と演奏姿勢を時代別に比較することで音楽的特徴が演奏姿勢に対して与える影響について調査した。演奏姿勢には実用性や精度などを考慮して、骨格推定のMediaPipe Pose[3]を用いて、首の角度や胴体の角度から分析した。楽曲の音楽的特徴は先行研究[4]に倣い、音高やピッチクラスなどの情報量解析から音楽的特徴を定量的に示した。本研究によって、コンサートやコンクールでの選曲の支援や姿勢改善のためのきっかけの提案となることが期待できる。

2. 先行研究

2.1 演奏動作や姿勢に関する研究

演奏動作は多くの手法で解析が行われてきた。身体情報をデータ化することを目的としてモーションキャプチャを用いたピアノ演奏手腕骨格の運動の解析

[5]や骨格筋の活動情報量を計測した研究[6]などがある。しかしながら、モーションキャプチャや力量計測などのシステムは場所の制約や導入コストがかかり、練習時に簡単に使用できるレベルにない。演奏家の技術は繊細であり、身体的動作と音楽表現がマッチするために、大掛かりであればあるほど、日常の演奏姿勢や演奏動作とずれが生じることや邪魔になる可能性がある。

骨格推定(Human Pose Estimation: HPE)は、コンピュータビジョンにおいて入力された画像から人物や物体の位置座標、位置の関係性、方向を検出することを目的としている[7]。HPEは、顔や肩、手などの身体的部位となるポイントの位置を予測することができ、特にセキュリティ分野やスポーツの動作解析における研究は多く見受けられるが[8]、音楽分野に応用した研究は少ない。要因としては、左手の細かい動きによって、カメラの角度の問題などから実測の課題が代表として上がってきた。

2.2 クラシックギターの演奏姿勢

図1にクラシックギターの基本的な姿勢を示す。椅子に座り、左足を足台に置いてギターのボディを右太腿と左太腿の上におく。その上で右肘の上腕側で抑え、右手で弦を弾き、左手でフレットを抑える。このように、足台を使用することで身体が左右非対称性になり、骨盤に歪みが生じるため、この演奏姿勢については様々な議論がなされている[15]。しかし、国内コンクールにおける足台の使用率を調査してみると、未だに国内でも8割程度の演奏者が足台を用いている現状にあり、基本的な姿勢とされている。



図1 クラシックギターの基本姿勢

この基本姿勢の状態から、顔の方向はギターのボディ側、フレット側を向く。ギターは物理的に顔の下にあることから、首を折ることや身体を傾けることによって、指を注視することができる。しかし、ギ

ターを注視するために行う動作が身体的な負荷を与えている可能性もある。それらは不良姿勢と呼ばれる状態であるが、音楽表現に伴う必要な動作によって誘発されることもあるため、一概に不良姿勢が悪いとは言えない。また、視聴者側からも顔を下に向けて集中しているようなポジティブな印象を与えることもある。本研究では不良姿勢を無くすのではなく、不必要な不良姿勢を低減することを目的としている。

3. 実験

3.1 実験概要

本研究では、まず演奏姿勢に対して、MediaPipe[3]を用いた骨格推定による姿勢判定するシステムを作成し、解析した。表1は分析した楽曲の一覧である。楽曲の時代、名前、作曲者名、同ジャンルでエントリーされた回数、解析で使用した動画の数を示している。公益社団法人日本ギター連盟が主催する東京国際ギターコンクールにおいて、2003年から2016年までに2次予選あるいは本選でエントリーされた104曲のうち、10回以上エントリーされた16曲から10曲を取り上げた。それらを楽曲が制作された時代別に以下の3つに分類した。

- ルネサンス・バロックの作品(1750年以前) : 3作品
- 古典・ロマンの作品(1750-1920) : 3作品
- 現代以降の作品(1920年以降) : 4作品

表1 楽曲の時代とエントリー回数、対象動画の数

時代	楽曲名 / 作曲者	エントリー回数	動画数
ルネサンス ・ バロック	Fantasia P.71 / J. Dowland	18	3
	Grand Over true Op.61 / M. Giuliani	14	7
	BWV998 Prelude, Fugal, Allegro / J.S. Bach	14	5
古典 ・ ロマン	Fantasia Hognose / J.K. Mertz	13	4
	Introduction and Rondo Brillante Op.2 No.2 / D. Aguado	16	4
	Elegies / J.K. Mertz	11	4
現代	Sonata / A. Ginastera	17	3
	Invocation y Danza / J. Rodrigo	14	3
	Fandango from Tres Piazzas Espanola's / J. Rodrigo	14	3
	El Decameron Negro / L. Brouwer	10	2

解析には YouTube 上にある動画を用いた(ルネサンス・バロックの3作品を15動画, 古典・ロマンの作品を12動画, 現代以降の作品を11動画の合計38動画). 次に, 楽曲の音楽的特徴については対象となる10曲について4つの要素(音高, ピッチクラス, 音価, 和音)の平均情報量解析を行った.

3.2 演奏姿勢の判定手法

Google社が提供するMediaPipeという機械学習による解決を目指したメディアに本研究では着目した[3]. MediaPipeはヨガや高強度インターバルトレーニング(HIIT)などの自由度が高い姿勢や動作に対して, 機械学習を用いて推定を行うことができ, 現在では精度が高いHPEの1つである. HPEで 사용되는骨格検出のライブラリを代表ともされるOpenPoseやPoseNetなどと比較してもMediaPipeはキーポイントの数が最大である[10]. また, YOLOv7と比較した研究では, MediaPipeの方が低質の画像や遠方の距離においても精度が高い[11]. MediaPipeは上記のようにHPEにおいて精度が高く, 比較的簡単に実装でき, スマートフォンのカメラのレベルでの推定を行うことができる. また, ギターのようなものを持つことで身体の一部が隠れる場合も機械学習を用いて, 推定することができる. 実装をしてみるとギターによって骨盤などの複数の身体的部位が確認できなくとも, 推定によって保管された. 実用的な側面を考慮し, 本研究ではMediaPipe Poseを使用することが有用であると考え.

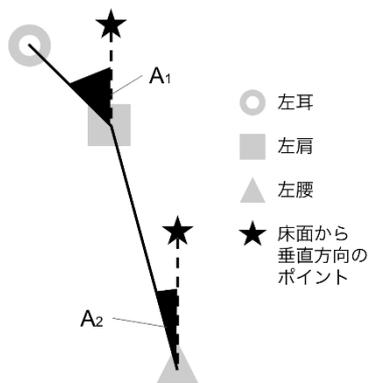


図2 姿勢判定するとき抽出する簡易モデル

MediaPipe Poseを用いて姿勢を判定する上で首・肩・腰の3点に着目した. MediaPipeでは, 33のキーポイントを取得することができる. 図1にMediaPipe Poseで取得する3つのキーポイント及び判定するための2つの角度を示す. 3つのキーポイントはが◎左耳, ■が左肩, ▲が左腰である. それ

ぞれ左耳・左肩・左腰のキーポイントの(x, y, z)座標を取得した. その次に, ■が左肩, ▲が左腰から床面からの垂直方向に伸ばしたポイントがそれぞれの★となる. その床面から垂直方向のベクトルを基に, 2つの角度については, 左肩■から★の方向に伸ばしたベクトルと左肩■から左耳◎を結ぶベクトルがなす角度を首の角度(図2 - A₁)とした. 同様にして, 胴体の角度(図2 - A₂)は, 左腰▲から垂直方向の★を結ぶベクトルと左腰▲から左肩■を結んだベクトルがなす角度とした. 空間における2つのなす角度A(A₁, A₂)は以下の式で表される.

$$A = \arccos \left(\frac{(y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \right)$$

ここで, 予備実験の結果から首の角度A₁を48°, 胴体の角度A₂を20°を基準とする. 本研究では, 演奏姿勢を「良い姿勢」と「不良姿勢」の2つに分類する. 良い姿勢の条件は, 首の角度が48°以内かつ胴体の角度が20°以内である姿勢であり, 不良姿勢は良い姿勢が当てはまらない時の姿勢とした. この判定を楽曲の動画のfpsごとに良い姿勢と不良姿勢の計算をし, それぞれを合計した時間(s)で示すことで, 楽曲中のそれぞれの姿勢の時間的割合を算出した.



図3 MediaPipeを用いた姿勢判定の様子 (左-良い姿勢, 右-不良姿勢)

3.3 楽曲の情報量解析

クラシックギターに関しては平均情報量を指標とした楽曲分析が行われている[4]. 具体的には, クラシックギターの楽曲の音高, ピッチクラス, 音価, 和音を対象として, 平均情報量解析を行い, 音楽的特徴を示した. 各情報は楽譜情報をもとに打楽器のような音高を固定することのできない音符を除いた上で, 音高はすべての音符の音高の, ピッチクラスの情報は音符のピッチクラスの, 音価は音符の長さの, 和音はコードネームの, 各出現回数をカウントし, 平均情報量を求めた. その結果, 全体的な

傾向として、4 つ全ての平均情報量においてルネサンス・バロック、古典・ロマンの作品よりも現代以降に制作された作品の方が情報量が大きかった。

エントロピーとも呼ばれる平均情報量は複雑性や意外性として捉えることができる。すなわち、情報量が高ければ複数の事象が均等に出現することであり、ある事象に偏るほど小さくなる。生起確率の n 個の事象がそれぞれ p_1, p_2, \dots, p_n が生じるときの情報量の期待値 H は以下の式で求められる。

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

期待値 H が大きい場合は楽曲全体を通して、ある事象に偏らず満遍なく出現するという解釈になる。楽曲に平均情報量を適用させた場合、複雑性の知覚と平均情報量による複雑性の値が評価的に同等であった報告[12]や音価や音高によって音楽と言語の構造について定量的に示したこと[13]から、楽曲の音楽的特徴を示すための一つの手法であるといえる。本研究においても演奏姿勢に対して音楽的特徴がどのように影響があるのかを調べるためには音響分析や音色、楽器などではなく、楽曲中から要因を見つけることが適していると考えた。そのため、本研究では対象の10曲に対して、音高、ピッチクラス、音価、和音の平均情報量を算出した。

3.4 実験結果

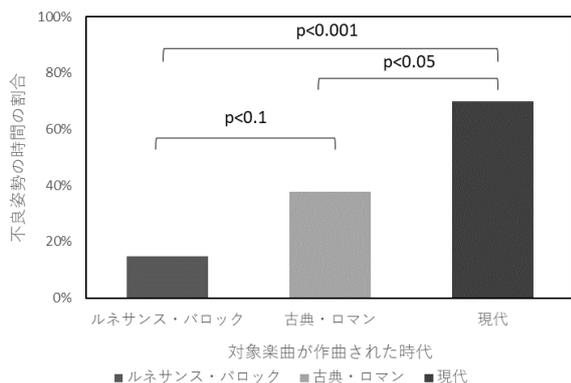


図4 時代別の演奏時の不良姿勢の時間的割合

時代別の演奏時の不良姿勢の時間的割合の平均について図4に示す。ルネサンス・バロックと古典・ロマンの楽曲の平均の差について t 検定で有意差判定をした。ルネサンス・バロックの楽曲は、14.82%(標準偏差 = 21.68, 範囲 = 0.07~9.80)であり、古典・

ロマンの楽曲は、37.63%(標準偏差 = 26.72, 範囲 = 10.84~79.55)であった。その上で対応する t 検定を行った結果、条件間に有意傾向が得られた($t(25)=1.91, p=.075$)。古典・ロマンと現代以降の楽曲の平均の差について t 検定を行った。古典・ロマンの楽曲は、37.63%(標準偏差 = 26.72, 範囲 = 10.84~79.55)であり、現代の楽曲は、69.80%(標準偏差 = 28.07, 範囲 = 5.98~96.03)であった。その上で対応する t 検定を行った結果、条件間に有意な差が得られた($t(21)=2.55, p=.021$)。すなわち、ルネサンス・バロックの作品、古典・ロマンの作品、現代以降の作品の順に不良姿勢の時間的割合が増加した。

表2 各楽曲の不良姿勢の時間的割合と各種平均情報量

楽曲	時代	エントリ回数	不良姿勢の時間	音符数	音高	ピッチクラス	音価	和音
Fantasia P.71	ルネサンス・バロック	18	16.29	1244	4.214	2.879	2.335	3.923
Grand Overture Op.61		14	27.6	3571	4.689	3.259	1.997	4.825
BWV998 Prelude, Fuga, Allegro		14	4.84	3954	4.528	3.153	2.43	4.926
Fantaisie Hongrois	古典・ロマン	13	44.3	2462	4.759	3.286	2.418	4.789
Introduction and Rondo Brillante Op.2 No.2		16	43.61	3239	4.597	3.138	2.42	4.683
Elegie		11	24.76	2819	4.28	3.45	2.901	4.35
Sonata	現代	17	52.5	5720	4.922	3.515	1.757	5.981
Invocation y Danza		14	84.77	3179	4.876	3.37	1.945	5.18
Fandango from Tres Piezas Espanolas		14	88.22	1674	4.83	3.28	2.141	5.049
El Decameron Negro		10	85.28	4008	4.525	3.296	3.144	5.8

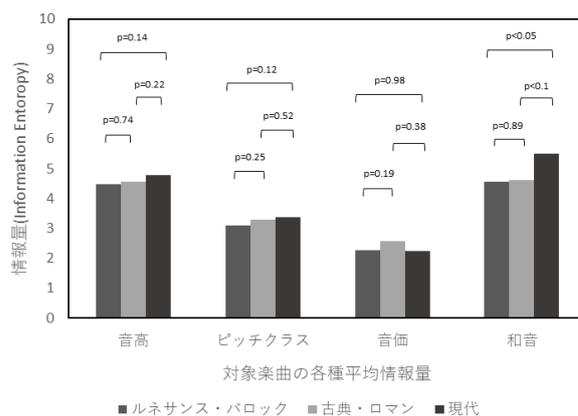


図5 時代別の楽曲の各種平均情報量

表2に対象楽曲の不良姿勢の時間的割合と各種平均情報量を示す。これらを時代別に音高、ピッチクラス、音価、和音の平均算出したものを図5に示す。

それぞれの平均情報量に対して、時代別ごとに t 検定を行い、有意差が得られるかどうかを分析した。その結果、音高、ピッチクラス、音価については有意差また有意傾向は得られなかった。しかし、和音の出現回数については、古典・ロマンと現代では有意傾向、ルネサンス・バロックと現代では有意差が得られた。そこで、時代ごとに相関性があるのかを調べたところ、強い正の相関関係が認められた ($r=0.6855582$, $p=0.02865$)。図 6 に示すようにルネサンス・バロックと古典ロマンの時代の作品は不良姿勢の時間は多くても約 50%で和音の情報量も約 5.0 に留まっているが、現代においてはそれらを大きく上回っている。全体として右肩上がりである。すなわち、現代に時代が近づくほど、和音の情報量は大きくなり、不良姿勢が悪くなることが示唆された。

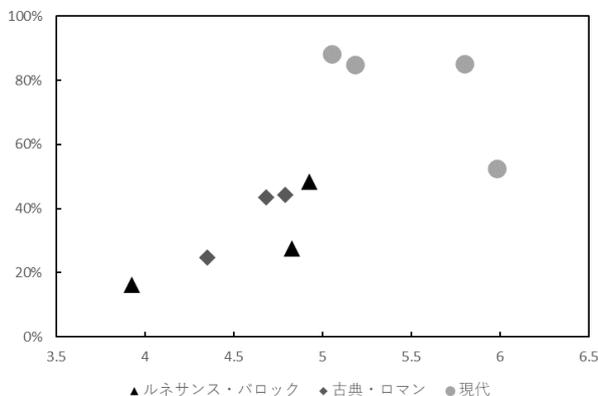


図 6 不良姿勢の時間的割合と和音の情報量

3.5 考察

実験結果より、時代別の演奏姿勢について t 検定で有意差の判定をしたところ、現代以降の作品は、ルネサンス・バロックの作品と古典・ロマンの作品と比べて、不良姿勢の割合が多く、有意差が得られた。現代以降の作品は協和音やメロディが少なくなるなど、音楽のあり方が多様化したために技術的・音楽的にも高度なスキルが求められるようになったことが起因している可能性がある。しかし、時代別の音高、ピッチクラス、音価、和音の平均情報量の結果では、音高、ピッチクラス、音価の3つで有意差が得られなかった。国際的なコンクールで多くの参加者が選んでいる楽曲であることを考慮すると、本研究で取り上げた10曲はすべて難易度が高く、音高やピッチクラスにおいて楽曲中のバリエーションに大きな差がなかったと考えられる。加えて、音価も同様にスケールや早弾きのような元来から難しいテクニックとされているものがルネサンス・バロックの作品の時代からあることから、有意差が得ら

れなかったと考えられる。一方で、和音はルネサンス・バロックと現代以降の作品では有意差が得られ、古典・ロマンの作品と現代では、有意傾向であるという結果が得られた。ルネサンス・バロックの時代に確立し始め、古典・ロマン時代には当たり前となっていた調性音楽は現代曲に傾向を残しながらも、それまでには避けられてきた不協和音などが増えた。和音の情報量が現代曲で最も多いことから、和音のバリエーションが多く、かつそれぞれの出現頻度に偏りが無いことが示された。そして、和音の情報量と不良姿勢の割合について調査したところ、強い相関関係があった。これは和音が不良姿勢を誘発する一要因であることを示唆している。クラシックギターでは、和音を演奏するときにセーハをしたり、左手の指の動きが変則的になったりすることから、現代曲では両者が高い値を示したと考えられる。

本研究で対象とした楽曲のうち、《Invocation y Danza》の演奏動作に着目すると、右手の人差し指と薬指でハーモニクスを、親指で低音を、同時に弾くような演奏法がある。この箇所ではピンポイントで右手を所定の位置に置かなければならない。このような数ミリのずれによって正確性が失われるような演奏動作については、手元を注視して演奏をする必要があるが、それによって首を傾げるなどの不良姿勢が誘発される。楽曲の音楽的特徴を考慮して、現代以降の作品を選定する場合には、技術的に難しい箇所が多いために、不良姿勢の低減への意識を持たなければならない。

現代曲は和音のバリエーションの増加に加えて、奏法の多様化や複雑化などの複数要因によって不良姿勢が引き起こされる。本研究では現代以降の作品における不良姿勢の割合が最も大きく、身体的負荷が大きいことが明らかになった。加えて、生理学的に見ると不良姿勢によってテストステロンが減少し、コルチゾールが上昇するという報告から[14]、不良姿勢が大きい心理的ストレスを与えている可能性がある。そのため、現代以降の作品を長時間の練習することやコンサート・コンクールで長時間の演奏をする際は、演奏中もしくは楽曲を弾き終わってからハイパワーポーズ(胸を張ること)に姿勢を切り替え、不良姿勢をリセットすることによって、身体的にも心理的にも軽減されると考える。

4. おわりに

本研究では、クラシックギターの楽曲の音楽的特徴が演奏姿勢にどのように影響を与えるのかを明らかにすることを目指して、東京国際ギターコンクールで頻度高くエントリーされた10曲を対象に、ルネ

サンス・バロック, 古典・ロマン, 現代の3つの時代に分類し, それぞれの演奏姿勢の時間的割合の解析と4つの平均情報量(音高, ピッチクラス, 音価, 和音)の解析を行った. 演奏姿勢では Google から提供されている MediaPipe Pose を用いて耳・肩・腰の3点から首と胴体の角度を算出し, 演奏姿勢を良い姿勢と不良姿勢の2つに分類する判定を行った. その結果, ルネサンス・バロック, 古典・ロマンの作品, 現代以降の作品の順で不良姿勢の時間的割合が増加した. 次に, 対象の楽曲に対して情報量解析を行った結果, 音高, ピッチクラス, 音価では有意差は得られなかったが, 和音では, ルネサンス・バロックの作品と現代以降の作品で有意差, 古典・ロマンと現代以降の作品で有意傾向が得られ, 現代以降の作品の和音が多彩であり, 複雑性を持つことが示された. 以上の二つの結果から不良姿勢の時間的割合と和音の情報量がそれぞれ現代以降の作品が最も大きかった. それらの相関性を調べたところ, 強い相関が得られたことから, 不良姿勢になる要因のうちの 하나가和音の複雑性によることを示すことができた.

ただし, 先行研究[4]では四つの平均情報量ではすべて現代以降の作品が最も多いという結果が報告されている. 本研究で対象とした楽曲は難易度がすべて高いことから楽曲数を増やしてさらに詳細に調べることを今後の課題としたい. 加えて, 奏法によって演奏姿勢が誘発されやすいものについても今後調べることで不良姿勢になりやすい楽曲の提示ができ, クラシックギタリストの痛みや病気の軽減に繋げたい.

参考文献

- [1] Dhriti M. A., Agrawal P., Aju K.: Prevalence of playing-related musculoskeletal Disorder (PRMDS) among amateur young Guitar Players, *Journal of Musculoskeletal Research*, Vol. 16, No. 2, pp. 1330002, (2013)
- [2] Marques D. N., Roset-Llobet J., Fonseca M. F. et al.: Flamenco Guitar as a Risk Factor for Overuse Syndrome, *Medical Problems of Performing Artists*, Vol. 18, No. 1, pp. 11-14, (2003)
- [3] Valentin B., Ivan G., Raveendran K., et al.: BlazePose: On-device real-time body pose tracking, *CVPR Workshop*, (2020)
- [4] 飯野 なみ, 飯塚 泰樹, 沖野 成紀: クラシックギターコンクールにおける選曲支援のための演奏プログラムに関する研究, *情報処理学会論文誌*, Vol. 59, No. 3, pp. 904-911, (2018)
- [5] Rahman Md. M., Kazuataka M., Masafumi S., Noburu Y.: Analysis of Finger Movements of a Pianist Using Magnetic Motion Capture System with Six Dimensional Position Sensors, *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, Vol. 10, No. 2, pp. 243-250, (2010)
- [6] 木下 博, 小幡 哲史, 平野剛, 音楽演奏の運動分析, *日本音響学会誌*, Vol. 72, No. 12, pp. 783-789, (2016)
- [7] Chung J. L., Ong L.Y., Leow M.C.: Comparative Analysis of Skeleton-Based Human Pose Estimation, *Future Internet*, Vol. 14, No. 12, 380, (2022)
- [8] Mickael C., Aris C. Andreas S. et al.: Where are we with human pose estimation in real-world surveillance? *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) Workshops*, pp.591-601, (2022)
- [9] 宇田川雄貴, 橋本卓弥, 松本賢太, et al.: Opnpose による運動解析とエキセントリック握力測定によるクライミング競技者のパフォーマンス評価, *ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集*, pp. 1P2-G11, (2020)
- [10] Jo B. J., Kim S. K.: Comparative analysis of Openpose, PoseNet, and MoveNet models for pose estimation in mobile devices, *Traitment du Signal*, Vol. 39, No. 1, pp. 119-124, (2022)
- [11] Kukil, Vikas G.: YOLOv7 Pose vs MediaPipe in Human Pose Estimation, *LearnOpenCV*, (2022) <https://learnopencv.com/yolov7-pose-vs-mediapipe-in-human-pose-estimation/> (2023-02-12)
- [12] 大村 英史, 柴山 拓郎, 高橋達二 et al.: 人間の因果推論にみられる認知バイアスに基づいたメロディ生成システム, *Vol. 24, No. 5*, pp. 954-966, (2012)
- [13] 大村 英史, 柴山 拓郎: 音高と音価の情報量操作による音楽と言語の構造, *人工知能学会全国大会論文集*, Vol. 2016, pp. 3G3OS15a1, (2016)
- [14] Carney D.R., Cuddy A.J., Yap A.J.: Power posing: Brief nonverbal displays affect neuroendocrine levels and risk tolerance, *Psychological Science*, Vol.21, pp. 1363-8, (2010)
- [15] Bosi, B.: Classical Guitarists and Posture: What Should We Teach?, *MTNA E-Journal*, Vol. 9, No. 3, pp. 18-25, (2018)