

Title	骨格認識を用いたクラシックギター演奏時における姿勢の評価手法の提案
Author(s)	飯野, 健広
Citation	
Issue Date	2023-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/18250">http://hdl.handle.net/10119/18250</a>
Rights	
Description	Supervisor: 藤波 努, 先端科学技術研究科, 修士 (知識科学)

修士論文

骨格認識を用いたクラシックギター演奏時における  
姿勢の評価手法の提案

Proposal of a Posture Evaluation Method  
for Classical Guitar Performance Using Bone Skeletal Recognition

飯野 健広

主指導教員：藤波 努

北陸先端科学技術大学院大学  
先端科学技術研究科  
(知識科学)

提出日：令和5年2月

# Abstract

骨格認識を用いたクラシックギター演奏時における姿勢の評価手法の提案  
Proposal of a Posture Evaluation Method for Classical Guitar Performance  
Using Bone Skeletal Recognition

2110008 IINO, Takehiro

Classical music is becoming more and more difficult as more and more techniques are used in modern music. Especially in classical guitar, there are more than 60 techniques, and it is very difficult to play a piece that incorporates all of them correctly. Concentrating on the technical and expressive aspects of the music reduces the awareness of posture.

The purpose of this study is to create opportunities to reduce poor posture by evaluating posture during a piece of music using a system developed for expert classical guitar players that uses skeletal recognition to determine whether a player's posture is good or bad.

The results showed that the percentage of bad posture increased in the order of the age of the piece: Renaissance/Baroque, Classical/Romantic, and Modern, with a significant difference or trend for each piece (Renaissance/Baroque and Classical/Romantic:  $p=.075$ ; Classical/Romantic and Modern:  $p=.021$ ). This is suggested to be due to an increase in the amount of technical skill. Significant differences were also found in both neck angle ( $p=.030$ ) and torso angle ( $p=.019$ ) due to skeletal differences between the sexes. This difference may be due to physiological differences in the direction of pelvic rotation and muscle mass.

We believe that the system developed in this study can be used for a simple evaluation of posture during classical guitar performance, and that it can be used practically by using MediaPipe.

Keywords: classical guitar, posture, MediaPipe, pose detection

# 目次

第1章	序論	1
1.1	本研究の背景と目的	1
1.2	本研究の意義と特徴	3
1.3	本論文の構成	3
第2章	先行研究と関連領域	5
2.1	演奏動作に関する運動解析と骨格認識	5
2.2	MediaPipe	6
2.3	クラシックギターと演奏姿勢	9
第3章	演奏姿勢判定の提案手法	15
3.1	2標本問題の母平均の差に関するt検定	15
3.2	MediaPipeを用いた判定	16
3.3	システムを用いた分析手法	20
第4章	実験結果と分析	23
4.1	男女の骨格の差の結果	23
4.2	年代別の楽曲に関する結果	24
第5章	考察	27
5.1	男女の骨格の差に関する考察	27
5.2	楽曲の年代に関する考察	28
5.3	男女差と楽曲の年代に関する考察	29
第6章	結論と今後の展望	30
付録A	国内コンクールにおける足台の使用率	33

付録B	演奏姿勢に対する印象調査	35
付録C	奏者の2つの角度を調べるコード	36
付録D	演奏姿勢を判定するシステムの開発	41
D.1	システムの概要 . . . . .	41
D.2	システムのメインコード . . . . .	44

# 目次

2.1	MediaPipeのposeの33点のlandmark . . . . .	7
2.2	レオナルド・ダ・ヴィンチ作の『ウィトルウィウスの人体図』 . . . . .	7
2.3	MediaPipeによるPoseの機能のサンプルフローチャート . . . . .	7
2.4	良い姿勢(左)と不良姿勢(右) . . . . .	9
2.5	現在の一般的な足台を使用した構え方 . . . . .	10
2.6	フェルナンド・ソルの提案 . . . . .	11
2.7	ディオニシオ・アグアドの提案 . . . . .	11
2.8	5つの顔の向きに応じた奏者の画像 . . . . .	12
2.9	5つの顔の向きに応じた奏者に対して抱いた印象 . . . . .	14
3.1	良い姿勢の時の腰・肩・耳のポイント . . . . .	17
3.2	不良姿勢の時の腰・肩・耳のポイント . . . . .	17
3.3	姿勢判定するときの中心となる3点 . . . . .	18
3.4	姿勢判定するときの中心となる3点と2つの角度 . . . . .	18
3.5	システム全体の流れ . . . . .	21
4.1	男性と女性の平均的な骨格のモデル . . . . .	24
B.1	アンケートのキャプチャ(第1問のみ) . . . . .	35
D.1	システム全体の流れ . . . . .	42
D.2	入力から検出までの流れ . . . . .	42
D.3	3点の検出から計算までの流れ . . . . .	43
D.4	比較的良好な姿勢 . . . . .	44
D.5	不良姿勢 . . . . .	44

# 表目次

2.1	姿勢に対する姿勢の判定の点数の定義 . . . . .	13
2.2	演奏姿勢に対する判定の結果 . . . . .	13
2.3	姿勢（顔の向き）と印象について . . . . .	14
3.1	奏者の $A_1$ , $A_2$ の角度の平均と標準偏差 . . . . .	19
3.2	楽曲の作曲家および年代と演奏者数 . . . . .	22
4.1	奏者の首 $A_1$ , 胴体 $A_2$ の角度の平均と標準偏差 . . . . .	23
4.2	男性奏者と女性奏者の首又は胴体の角度の平均の差 . . . . .	24
4.3	楽曲に対する不良姿勢の割合と年代ごとの不良姿勢の割合 . . . . .	25
A.1	国内コンクールの足台使用率 . . . . .	33

# 第1章

## 序論

### 1.1 本研究の背景と目的

現代における文化的な生活において、音楽が豊かな生活を送るために重要視されている。また、約4～5万年前に世界最古のフルートの発見があることから[1]、音楽は人間の文化と進化とともに歴史を歩んできた。手や身体、心を使うことで、人類にとって遊びやエンターテインメント及び学習や問題解決のために音楽や芸術は、代替方法の1つとして挙げられる[2]。音楽の統制的活用をした音楽療法や起業家精神とともに創造的なトレーニングに活用した研究の報告がある[3, 4]。音楽鑑賞や初歩的な演奏における様々な活用法がある一方、20世紀を起点として、楽器や技術の多様化とテクニカルなスキルの難易度が向上している。特に元来から進化してきたクラシック音楽は、楽譜による正確な演奏技術を求められる。現代曲では、ハーモニーの複雑化や技術・奏法の増加などが主に難易度の高くなる要因として挙げられる。そのためにミスがなく、音楽表現にも優れているような究極的な演奏を求めるために演奏者は長時間の練習が必要となる。この演奏技術の向上のために身体的な負荷がかかることがある。特に演奏時の姿勢は演奏技術・演奏動作と大きく関わる。演奏家は、演奏関連骨格筋障害(Playing-Related Musculoskeletal Disorder: PRMD)といった演奏するために必要な機能の低下により、腱鞘炎やフォーカル・ジストニアのように炎症部の痛みにより、本来の演奏ができない事例が多くみられる。これらはオーバーユース(局所的な筋肉の使いすぎ)や不良姿勢が起因しているとされている[5]。誤った状態の不良姿勢が継続されると誤った奏法や非効率的な演奏方法の習得に繋がってしまう。

長時間の練習や不良姿勢での練習による身体的な負荷により、ギタリストや日本国内のピアニスト（ピアノ専攻の音大生を含む）においても怪我や病気の起因となることが調査



においても報告されている[6, 7]. 楽器演奏でなくとも一般的に座位姿勢の時間を減らすことがWHO(世界保健機関)からも呼びかけられている[8]. クラシックギターのような体全体を使って、片足を上げ抱え込むような姿勢に対する問題は長年の間、議論されてきたが、伝統的な歴史があるゆえに大きく変化していない. しかしながら、楽器の大きさや個人の骨格や身体的特徴などから、一意に決定をすることはできない. そのため、師匠から教わる最大限の良い姿勢を中心に、演奏を組み立てることで、無駄なく効率的な練習ができる. このためには個人に合わせた姿勢の発見とそれとともに見られる不良姿勢を同定することで、個人に合わせた姿勢を示すことができる.

そこで、本研究では、熟練者を対象とし、骨格認識を用いた演奏姿勢の良し悪しを判定する開発したシステムを使用して身体的負荷のある姿勢を軽減する「きっかけ」を作ることを行って行った. 演奏姿勢の軽減のために首や胴体の姿勢に関しての手法を提案し、それに伴う定量的な定義を示した. その手法を用いたシステムを作成した後に、2点の骨格に関することについて分析をした. 1つ目は、男女差の骨格の性質について、生理学的な観点を用いた考察を行い、それぞれの性別で起こりうる姿勢の問題点を明らかにした. 2つ目は、楽曲を年代別に分類し、それらの平均情報量について考察した先行研究との共通点から可能性を提示した. また、男女の骨格差及び年代別における楽曲の両側面から、クラシックギターの問題と今後の課題について示した

まず、本稿では演奏姿勢について、以下の2つに分類および定義する.

- 良い姿勢 (Good Posture) : 身体的負荷の一番少ないポジションに比較的近似する姿勢である.
- 不良姿勢 (Bad posture) : 身体的負荷の一番少ないポジションからかけ離れた姿勢である. 例えば、極端な前傾姿勢のような場合を示す.

身体的負荷の一番少ないポジションとは、座位姿勢時に体重が椅子に対して、効率よく分散する状態を示す. 不良姿勢は分散が効率よくない状態である. 本研究では、この2つに分類された演奏姿勢の定量的な定義の同定とその定義を基礎としたシステムの開発をする. また開発したシステムを用いて、実際の演奏動画から楽曲の性質および男女の骨格の差について分析・考察する.

まず始めに、骨格認識MediaPipe[9]を用い、良い姿勢と不良姿勢の判別のためのシステムの開発を行った. 本研究では、特に極端な前傾姿勢や後傾姿勢を不良姿勢と捉え、良い姿勢と不良姿勢の定量的な定義を予備実験により定めた. この判別を1楽曲を通したものを対象として、時間的評価を行い、楽器演奏時の姿勢の軽減への提案を試みた. 不良姿勢の検知と同定により、熟練者の姿勢水準を同定した.

次にクラシックギターの楽曲の年代よる姿勢の変化について調べる。技術が60項目[10]を超えるが、これは歴史的に積み重なって、さまざまな表現を行うために発案されてきたものである。現代曲ほど、楽曲の情報量が増えている先行研究から、楽曲年代ごとと姿勢に関する相関関係を先に開発したシステムを使用し、分析する。筆者は、技術量が増えるごとに、難易度が上がり、技術に意識を多くすることで、不良姿勢に陥りやすいという仮説をたてた。もし仮説が正しければ、身体的負担の少ない選曲の仕方や表現の拡張などさまざまな効果が期待される。また、クラシックギターというギターの根本的な技術を扱う楽器において、演奏技術に対する姿勢の影響を追求することで、本研究から今後、さらなる音楽表現の拡張や他の領域への拡張が期待できると考える。

## 1.2 本研究の意義と特徴

クラシックギターのような長時間の練習が必要な楽器に対して、演奏姿勢の意識についてはこれまでに課題とされてきたが、これに対して簡易的なシステムは少ない。特に骨格認識を使用したシステムの開発及び分析は文献としてスポーツの動作分析や医学業界より圧倒的に少ない。そこで本研究では、長時間の練習を必要としている演奏家のために簡単に実装できて、実用性のあるシステム及びそれに伴う姿勢の評価について提案をする。本研究で用いるMediaPipeは、2018年にサービスが開始され、2020年から大きく成長してきた。この特徴としてスマートフォンのカメラのレベルなどでも使用可能なものであり、骨格認識をする際に身体が隠れているという問題を解決した点がある。これはクラシックギターの構え方について、座位姿勢で太腿上にギター本体に置くことによって身体が隠れても、ある程度の精度で認識。推定できることを示している。本研究では、クラシックギターという伝統的な楽器で姿勢に課題を持つものに着眼し、それを骨格認識によって軽減という形で解決するための評価の提案をした。

## 1.3 本論文の構成

### 第2章：先行研究と対象領域

骨格認識技術についてとその音楽分野への応用について概説する。また、本研究における対象楽器としたクラシックギターそのものと姿勢についての本研究の背景とともに理解の必要な前提的なこれまでの議論を先行研究から整理する。

### 第3章：演奏姿勢の判定の提案手法

クラシックギターの演奏姿勢に対して骨格認識を行うにあたり，評価するための手法の提案とシステムに組み込むための手法を概説する．また，実験での分析方法について提示する．

#### 第4章：実験結果と分析

本研究で開発したシステムを使用して，楽曲の年代別および男女の骨格の差に関する結果及び分析をおこなった．

#### 第5章：考察

実験により得られた結果から，楽曲の年代別と技術量(平均情報量)との関係性について考察する．それと共に男女の骨格の差によって行われた実験において身体的メカニズムから考察を行う．

#### 第6章：結ごと今後の展望

本研究における結論及び考察のまとめを行い，今後さらなるクラシックギター界及び演奏家のためのシステムの改善や課題を記して，結語とする．

## 第2章

# 先行研究と関連領域

### 2.1 演奏動作に関する運動解析と骨格認識

骨格認識及び骨格推定(Human Pose Estimation: HPE)は、コンピュータビジョンの分野において入力画像及び動画から人物や物体の位置、位置関係、向きを検出することを目的としている[11]。特にセキュリティ分野[12, 13]やスポーツの動作解析[14, 15, 16]のような人間の骨格を推定するHPEを活用し、社会に大きく貢献している。特にHPEでは、手腕や顔、また身体的部位となるキーポイントの位置を予測する。しかしながら、セキュリティ分野及びスポーツの動作解析あるいは医学分野における研究は多く見受けられるが、音楽分野に応用した研究は少なく、多種多様で細かい動きによるスキルやカメラの角度の問題などから実測における課題が上がってきた。そこで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[9]。MediaPipeはヨガや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[17]。

演奏動作についてこれまでに様々な方法で運動解析が行われてきた。例えば、身体の各部の空間情報をデータ化する方法として、モーションキャプチャを用いてピアノ演奏時の手腕骨格の運動を解析している研究[18]や力量計測および骨格筋の活動情報量を計測する研究などがある[19]。指の動きについては、クラシックギタリストの左手の動きについて調査する研究がある[20]。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大掛かりであり、練習時に簡単に使用できるレベルではない。すなわち、実用化においては演奏家が簡単に操作でき、判別しやすいシステムは少ない。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ずれが生じることや邪魔になる可能性がある。そこで実用的で簡易的に実装できるのがMediaPipeであ

る。次節で概説するが、スマートフォンやパソコンのカメラでも機能するものであり、実用性があると考えられる。

## 2.2 MediaPipe

MediaPipeは2018年より、Google社が提供する画像処理技術を応用した機械学習による解決を目指したリアルタイムおよびストリーミングメディアである[9]。これはスマートフォンカメラの動画像までも扱うことのできるクロスプラットフォームで骨格認識や顔認証、物体認識などが可能となる。また、機械学習を用いた深度情報の推測を用いることによって、3次元の推定された座標の獲得ができる。MediaPipeを用いた機械学習での解決は多種多様である。人体であれば、MediaPipe PoseやHolisticのようなものに加え、手に関するMediaPipe Hands、顔認識や眼球運動に関するMediaPipe Face Detection、MeshやIrisが主な機能として挙げられる。また、それ以外にも物体検出、AR技術、文字検出などを行うことができる。特に骨格認識の分野においては、33点のキーポイントを推測することで、人間のポーズを取得する[17]。顔の部位及び本体は大骨格に合わせたポイントを取ることができ、ある点が隠れていた場合でも予測を行うことで補完している。

姿勢推定について、MediaPipeではPoseという機能で顔のメッシュから手の骨格の取得までを行っている。基本的にカメラから2～4m離れた一人を対象にトラッキングする。"人体の調和"と称されるレオナルド・ダ・ヴィンチ作の『ウィトルウィウスの人体図』(図2.2)からヒントを得ており、特に、四肢は臍を中心とした正円に内接することから、人間の腰を中心として円を描き、肩と腰の中心点を結ぶ線の傾斜角度を予測する研究も報告されている[17, 21]。そして、MediaPipeでは機械学習と画像処理にそれらを応用し、実現している[9]。この時、MediaPipe Poseで使用する33点のキーポイント(landmark)は図2.1のようになっている。また、MediaPipe Poseを使用する時の処理内容は、図2.3のサンプルフローチャートで主な流れとして示す。

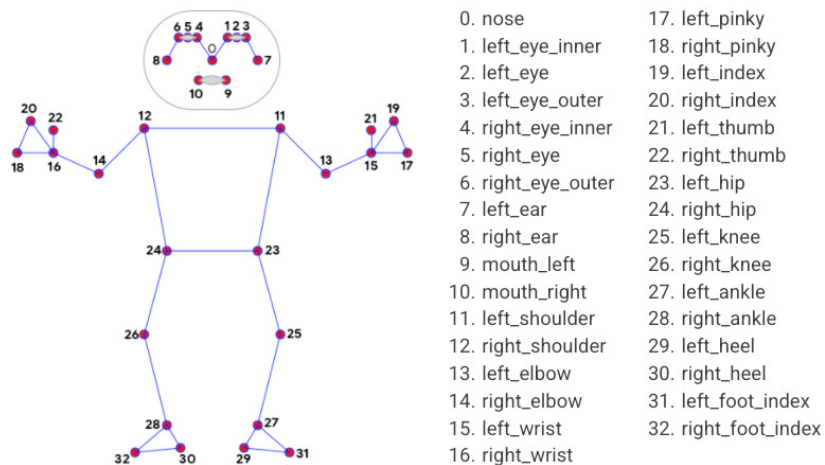


図2.1 MediaPipeのposeの33点のlandmark

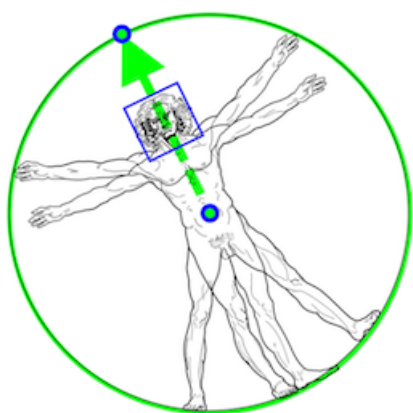


図2.2 レオナルド・ダ・ヴィンチ作の『ウィトルウィウスの人体図』

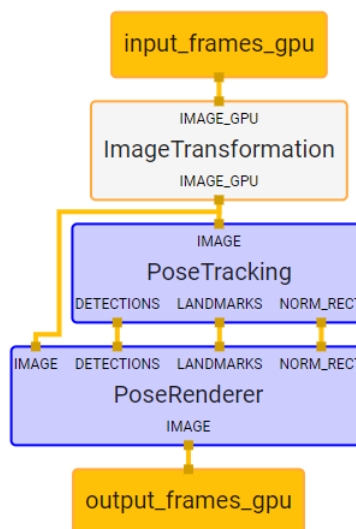


図2.3 MediaPipeによるPoseの機能のサンプルフローチャート

MediaPipeの研究について、音楽以外の分野ではないが、スポーツの動作解析や医療分野での研究や他の骨格認識との比較に関する研究が多く行われてきた。本節では、スポーツ動の動作分析や医療分野の先行研究による活用の方法についての紹介や別の骨格認識のための機器やライブラリといった環境について比較したものから、本研究においてMediaPipeが最適であることを示す。

スポーツの動作解析では、クリケット選手のバッティングスキルに注目し、自分のバッティングパフォーマンスを分析及び改善できるシステムの開発[22]や、人間のボディバランス能力に関連しており、その能力を評価するために安価で実装可能なMediaPipeを用いている研究もある[23]。医療の分野では、動作検知をMediaPipeによって精度高く行い、通知をするようなシステムの開発[24]や、日常的なコンピュータを使用しているときの姿勢に対して、休憩を促すようにするシステムの開発を行なっている[25]。

MediaPipeは他の骨格認識の環境についても比較されてきた。MediaPipeは2018年から公開されたライブラリであることから、手指ジェスチャーを中心として大きく開発や分析が行われてきた。しかし、演奏動作や音楽に関する文献は見当たらなかった。そこで、手指ジェスチャーの研究や他の骨格認識技術を用いた分析の中でも比較されたものを参考とした。手指ジェスチャーは、ハンドトラッキングであるが、これまでに多くの研究されてきた。Leap Motion[26]とMediaPipeの両者を利用した研究では、Leap Motionでの精度は80.43%なのに対して、MediaPipe Handsでは90.30%～93.75%となり、精度が高いことが分かった。また、OpenPose[27]とMediaPipeに関する比較検討では、重なっている動作制度やカバーエリアなどの領域ではMediaPipeがより効果的に乱れの処理をしていることが分かった[28]。

MediaPipe Handsだけでなく、MediaPipe Poseについて比較をしている研究もある。キーポイントのアノテーションの数がMediaPipe Poseでは顔・手・足に対してそれぞれ135点と33点であり、OpenPoseでは、顔、手、上半身、下半身にそれぞれ、70点、20点、1点、7点のキーポイントであることから、増加していることがわかる[29]。HPEで使用される4つのライブラリであるOpenPose[27]の他にもPoseNetやMoveNetなどと比較して、キーポイント数が最大である[11, 29, 30]。MediaPipe PoseとYOLOv7の精度を比較した結果、MediaPipeは低解像度の入力であることや遠距離である物体や人物に対してもMediaPipeの方が比較的に良好な結果を出し、YOLOv7は、素早い速度に対してはMediaPipeより精度が高いとされた[31, 32]。

先行研究からMediaPipeを使用した音楽分野での骨格に関するアプローチは少ない。しかし、本研究では安価で高精度な骨格認識を行い、今後、教育現場や個人的な練習をする際に用いることのできるシステム導入の側面などを考慮して、MediaPipeを使用することに着目した。クラシックギターを対象とした動作分析が少ない中、簡易的に実装のできるMediaPipeを用いて高精度に姿勢推定を行うことで、これからの大きく発展できると期待される。

## 2.3 クラシックギターと演奏姿勢

### 2.3.1 クラシックギターについて

クラシックギターは、弦楽器の中でも特に難易度の高い楽器といわれる。それは他の楽器と比べて多くの奏法を有し、演奏動作・奏法は60以上にもなる[33]。国内の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[34]における自由曲に対して、クラシックギターの楽曲の特徴などを考慮した上で平均情報量解析が行われている。この時、現代曲がロマン派やバロック以前の楽曲と比較した時に平均情報量が多く、多彩であり、演奏者が多彩さを求めることが結果として報告された[10]。技術の多様化と平均情報量の増加が現代曲である程多いことから、練習時間が増えていることは明らかである。このことから、長時間の練習は演奏姿勢が強制される。演奏姿勢には、良い姿勢のみならず、不良姿勢もある。良い姿勢や不良姿勢のイメージは、図2.4のような体勢である。良い姿勢は、ギターを保持したときに、基本となる姿勢である。基本的にはこの時をニュートラルポジションと呼び、身体的負担が少ない状態となる。また、不良姿勢は、大きな前傾姿勢のような形である。これにより、首や腰などが大きく曲がることで、身体的負担が大きい。



比較的にいい姿勢



不良姿勢

図2.4 良い姿勢(左)と不良姿勢(右)

また、使用器具として、クラシックギターの演奏姿勢は一般的に、足台を用いたものが主流である。その他の器具もあるが、クラシックギターの姿勢に着目した研究として、足台やクッションなどを用いた器具の使用による快適度や姿勢の安定性について足台が効果的であったことが報告された[35]。図2.5のように、左足を足台に乗せる一般的な姿勢は、かなり国内のコンクールでも割合は8割を超える(付録Aを参照)。この姿勢についても議



論がなされているが、本研究ではこの一般的な姿勢に着目し、開発、分析を行う。



図2.5 現在の一般的な足台を使用した構え方

### 2.3.2 演奏姿勢の改善についての議論

これまでにクラシックギターおよび他のギターを含めてさまざまな不良姿勢が原因となった怪我や痛みが明らかになってきた。先行研究では、フラメンコまたクラシックのプロのギタリストを対象にインタビュー調査を行ったところ、背中や首に痛みを訴える人が53.1%( $n = 64$ )以上と半数以上いた[36]。それに加えて、首と腰にそれぞれに対して29%で、方に15.5%の割合で痛みがあることが報告された[5]。また、ポピュラー音楽を含めたギタリストを対象とした調査でも怪我や痛みを訴えたことがあるというのが261名中61.3%(160名)だった[37]。これは音楽家にとって半数が故障を起こす原因にさらされていることが窺える。その中でも特に首や背中の上部、腰に痛みを訴える人が多い。これは座った時に骨盤への負荷が均等でないことを示しており、足台が1つの原因といえる。足台を使用する際、一般的には左足を足台の上に乗せる。Coleらは足台を使用し、骨盤への負荷が左右非対称で、分散制の悪い圧迫をすることにより、脊椎や関節などに過剰な負荷や圧縮といったヘルニアのような病気へ起因することがあり、「脊椎下部の小さな動きが、脊椎の残りの部分とそれとつながる胸部、鎖骨、肩甲骨、腕などにより大きな変化をもたらす」と述べており、音楽家は注意しなければならない[38]。ニュートラルポジションの姿勢は、筋肉や関節に最小限の負担で弾くことができる[39]。足台は最も一般的に利用されている道具の1つだが、理想的とは言い難い。すなわち、足台を使うことなく、両足を同じ高さにすることが理想である。



図2.6 フェルナンド・ソルの提案



図2.7 ディオニシオ・アグアドの提案

これを解決する方法として、フェルナンド・ソルやディオニシオ・アグアドなどギターの練習曲を数多く、作曲した人物たちが、他の構え方を提案してきた[40, 41]。フェルナンド・ソルは、図2.6のようにクラシックギターのボディのネックに近い部分を机の上に置いて、固定することを提案した[41]。しかし、これでは不安定である。ディオニシオ・アグアドは、図2.7に示すようにボディの下部の部分に三脚のようなもので支えることで、姿勢への負荷を減らそうとした[40]。しかしながら、最近の研究では足台やクッションなどを用いた器具の使用による快適度や姿勢の安定性について足台が効果的であったことが報告された[35]。このことから、理想とは言い難いが足台が一般的に流通してきた。根本的にこれを解決することはせず、個人的なニュートラルポジションを探るということで、人間工学的なサポートや譜面台、椅子、滑り止めを使用することを推奨している。

しかしながら、演奏をする時には一定の状態で演奏することは不可能に近い。ピアノであれば鍵盤の位置によって体を傾けることやギターであればネック部分の持つところや手腕の動きに依存することがある。足台という根本的な問題はあるものの体や首の位置などの問題解決として、不必要な不良姿勢の発生を減らすことが重要だといえる。

### 2.3.3 クラシックギターの演奏姿勢に対する印象調査

音楽や伝統芸能において、演奏時の動きは音楽を楽しむための視覚的要素として大きいと考えられてきた。マリimba、ファゴットとソプラノサックスの奏者の動きに対する感情表現では、幸せ、悲しみ、怒りなどといった表現に対して、動きのみで判別ができた報告

がある[42]。姿勢や動きのみのピアノ奏者の動きのみの音がない映像を見るだけで、鑑賞側がコンクールの優勝者を判別することができた[43]。このように、鑑賞側からの視点では、演奏姿勢や演奏動作は音楽鑑賞における視覚的要素として大きく占めることが分かってきた。 unnecessary演奏動作は必要はないが、音楽表現または感情表現として最もよく表すことのできるスタイルがあることようなことも指摘されてきた[44]。クラシックギターでは前傾姿勢であれば、首(Neck Line)の角度や胴体(Torso Line)の角度について着目するのであれば、前傾姿勢はかなり奏者としては負担になり得る。そこで、本実験では、クラシックギターの演奏姿勢に対する印象について調査をした。不良姿勢となるような前傾姿勢だけではなく、良い姿勢を含めて、演奏姿勢に対する判定とその時の印象について選択および記述によって、アンケート調査を行った(付録B)。実験参加者22名の対象者を行い、図2.8に示す顔(上/下/右/左/正面)を5方向に向けた奏者の5つの画像に対して、実験参加者が演奏姿勢の良いか悪いかを判定し、その姿勢に対する印象を調査した。表2.1のように演奏姿勢に対する判定に対して、判別の精度に段階をつけるために4項目(「姿勢がいい」・「たぶん姿勢がいい」・「たぶん姿勢が悪い」・「姿勢が悪い」)とした。点数の幅による確信のレベルを明確にすることで、演奏姿勢の印象を細分化するために、ここでは「姿勢がいい」を2点、「たぶん姿勢がいい」を1点、「たぶん姿勢が悪い」を-1点、「姿勢が悪い」を-2点として以下のように定めた。



図2.8 5つの顔の向きに応じた奏者の画像

表2.1 姿勢に対する姿勢の判定の点数の定義

項目	姿勢がいい	たぶん 姿勢がいい	たぶん 姿勢が悪い	姿勢が悪い
点数	2	1	-1	-2
判定	姿勢がいい		姿勢が悪い	

5つの画像に対して、演奏姿勢がいいか悪いかの判断をしたのちに、実験参加者に印象を選択項目による選択または記述を実施した。選択項目は以下についてであり、その他を記述形式として回答をした。

- 集中しているように見える
- 不安に見える
- しっかり弾けていそうに見える
- 暗い曲を弾いているように見える
- 明るい曲を弾いているように見える
- その他 (記述式)

これらの条件と調査により、本実験では演奏姿勢について聴者側から見たときの印象について調べた。

表2.2 演奏姿勢に対する判定の結果

問題	条件	平均点 (点)
1	正面を向く	1.19
2	下を向く	-1.38
3	上を向く	-0.52
4	右側を向く	0.38
5	左側に向く	1.14

演奏姿勢に対し、4項目から判定を行った結果、表2.2のようになった。正面、右、左を向くことに関しては、0以上であり、「良い姿勢」という印象を鑑賞側から見えることが分かった。上や下を向くことはマイナスとなり、「悪い姿勢」という印象となりうることが分かった。ここで、首の回転運動による要素よりも上下に動かすような方向に動かし、極端な前傾姿勢や後傾姿勢になることが「悪い姿勢」と印象に残る原因である可能性が示唆された。また、姿勢の判定とともに記述又は選択項目からの選択による印象について調べ

た。結果を図2.9に示す。表2.3には、顔の向き(姿勢)に対する印象を上位3つ並べた。この時、正面、上、左を向いたときに明るい曲を弾いているように見えることやしっかりと弾けていそうに見えるのに対して、下向き時には、集中しているように見える又は、暗い曲を弾いているように見えるという結果を得た。下向きについて、明らかに不良姿勢ではあるが、集中している印象に見えることや暗い曲を弾いている印象から、楽曲によってむしろ使用すると効果的なことが示唆された。

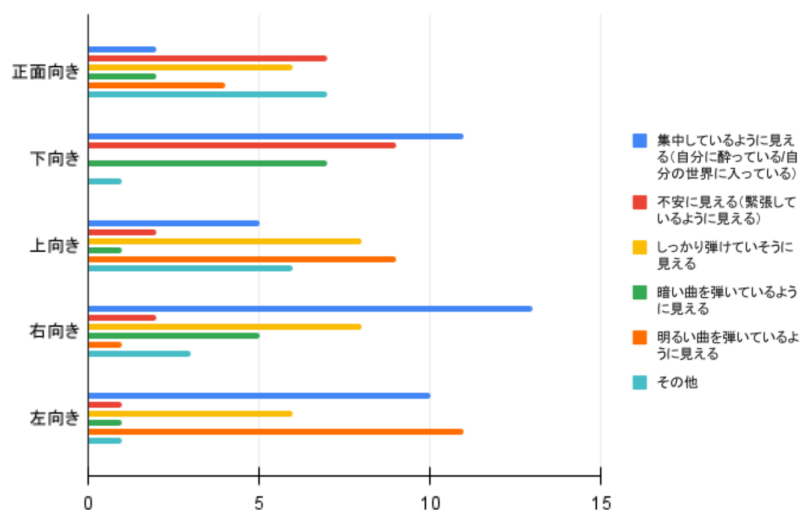


図2.9 5つの顔の向きに応じた奏者に対して抱いた印象

表2.3 姿勢(顔の向き)と印象について

顔の向き(姿勢)	印象1	印象2	印象3
正面	しっかり弾けていそうに見える	不安に見える(緊張なども含む)	明るい曲を弾いているように見える
下	集中しているように見える	不安に見える(緊張なども含む)	暗い曲を弾いているように見える
上	明るい曲を弾いているように見える	しっかり弾けていそうに見える	集中しているように見える
右	集中しているように見える	しっかり弾けていそうに見える	不安に見える(緊張なども含む)
左	明るい曲を弾いているように見える	集中しているように見える	しっかり弾けていそうに見える

## 第3章

# 演奏姿勢判定の提案手法

### 3.1 2標本問題の母平均の差に関するt検定

ここで、男女の骨格による違いを考慮するために男女の骨格の差について議論しなければならない。大きさ、形状などの身体的な構造から男性と女性には差異が生じる。そこで、予備実験において、角度の分析を行う際に対して、平均に有意な差があるのかどうかを調べる必要がある。平均およびt検定の手法を本節で分析方法として示す。

まず、ある条件で測定値の算術平均を割り出す。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

上記の算術平均を平均として使用し、t検定を行う。

t検定とは、t分布に照らし合わせて、2群の平均の差を検証する場合に用いるパラメトリック検定である。この時、t値を求める基本式は、以下のようになる。

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}} \quad (3.2)$$

ただし、t検定には対応ありと対応なしで手順が変化する。対応ありの場合、以下のように変化をする。

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}} \sim t(n-1) \quad (3.3)$$

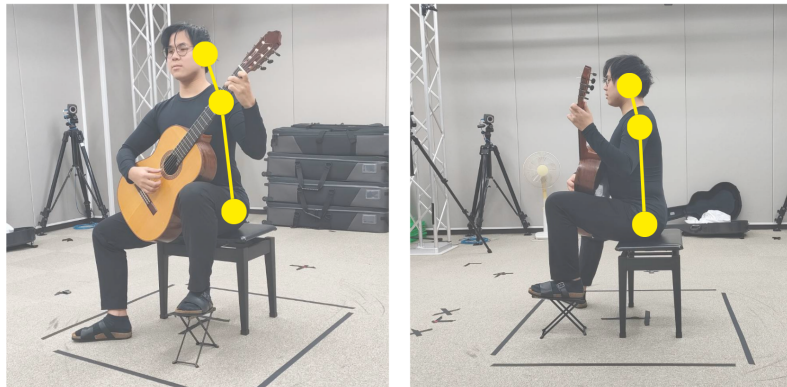
本研究においては、 $p$ 値<有意水準であれば、帰無仮説は棄却されて対立仮説を採択であり、 $p$ 値有意水準であれば、帰無仮説は棄却されない。すなわち、 $p < .05$  の場合、非等分散であり、 $p \geq .05$  の場合、等分散であるといえる。

## 3.2 MediaPipeを用いた判定

### 3.2.1 MediaPipeで実装内容

本研究では骨格認識を用いることで、簡易的に実装できるMediaPipeを用いて実装した。ここで、「良い姿勢」(図3.1)と「不良姿勢」(図3.2)について差別化を図らなければならない。人間を側面から見た時に、良い姿勢の図3.1に示すように腰・肩・耳の3点が直線的に結ぶことが理想であることに着目した。MediaPipeにおいても33点のキーポイントを取得する中から耳、肩、腰に該当する3点を抽出した。前傾姿勢になるときに、頭が前に出てしまうことと胴体全体が斜めになることから、耳と肩を結ぶ線(Neck Line)が首の角度として簡易的に示すことができる。同様に、肩と腰を結ぶ線(Torso Line)が腰の角度を示すことができる。両者を比較し、腰を中心に重ねたものが図3.4である。良い姿勢と比べて、不良姿勢は3点が直線的ではない。ここで、 $(x,y,z)$ のそれぞれの軸について定める。xは両肩を結んだ直線上となるような方向で、y軸は頭部から足の方向に延びる方向とする。前後はz軸の方向として、3次元で考えた場合、良い姿勢はニュートラルポジションに近く、耳・肩・腰の3点が直線に近い状態であり、y軸とするときにy軸と並行に近い状態になる。しかし、不良姿勢である時、3.2のように直線が崩れてしまう。すなわち、y軸に平行ではなく、角度が大きくなる。ここで姿勢を判定する方法として、y軸に平行であるかどうかを指標とする。すなわち、z軸において大きな動きがあるかを指標とする。以上から、本研究において、3点を取った時に良い姿勢の場合と不良姿勢の場合の定義は、側面から見た状態で、直線的な姿勢に近ければ、良い姿勢と定義し、明らかに角度がついてしまう場合に、不良姿勢とする。

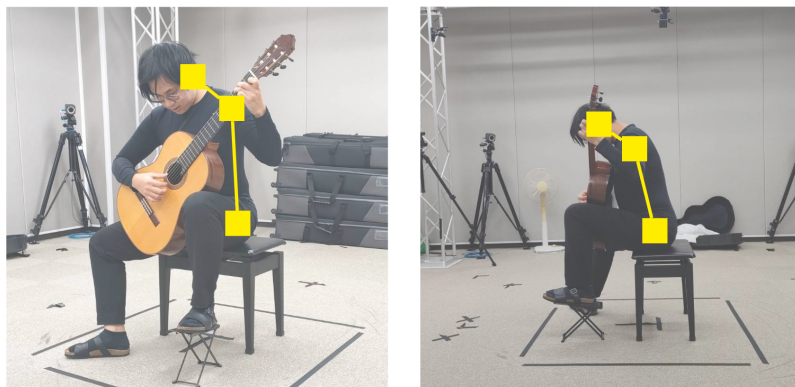
上記の姿勢の違いについてMediaPipeを使用したクラシックギターの演奏姿勢を対象としたシステム構築に向けた判定のための分析をした。耳・肩・腰に適応するMediaPipeでの抽出点の選別とそれらの点を用いた角度の計算および判定のための予備実験を行った。図3.3は、MediaPipeを使用した時の図である。この中から、前節で示した腰・肩・耳にあたる点は、図3.3のそれぞれ、◎：左耳のポイント(7.left\_ear)，▲：左肩のポイント(11.left\_shoulder)，■：左腰のポイント(23.left\_hip)であった。本研究では、左側面から見た方向を中心として考える。理由として、右側面である場合、ボディを抱え込む動作が常日頃であるため、前節での耳・肩・腰の3点の直線状態が実現しにくい状態であるためである。対して、左側面はギターのネック部分を持つことによる移動はあるが、基本的に大きく移動することはない。このことから首のライン(Neck Line)の明瞭化がしやすい。また、腰の位置に関してもギターのボディによって正面から見たときに隠れやすい右



a - 良い姿勢の  
右斜め前からみた画像

b - 良い姿勢の  
横からみた画像

図3.1 良い姿勢の時の腰・肩・耳のポイント



a - 不良姿勢の  
右斜め前からみた画像

b - 不良姿勢の  
横からみた画像

図3.2 不良姿勢の時の腰・肩・耳のポイント

腰よりも左腰の方が隠れにくいこともあり，MediaPipeの機械学習上，精度が高いと考えられる．ここで，前節でy軸に対して平行であれば，ニュートラルポジションに近いと述べたが，首の角度 $A_1$ と腰の角度 $A_2$ を使用する． $A_1$ は，肩からy軸と並行に伸ばした直線とのできた角度である． $A_2$ とは腰からy軸と並行に伸ばした直線とのできた角度である．この時の $A_1$ ， $A_2$ が総合的に0に近い状態であれば，ニュートラルポジションに近い状態で，「良い姿勢」であるといえる．

図3.4における $A_1$ ， $A_2$ の角度の計算方法は以下の計算式で行う．空間上における2つの



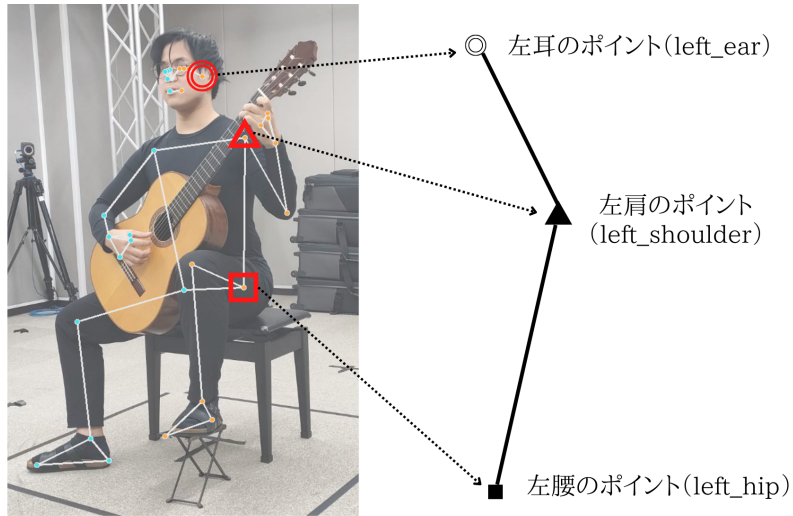


図3.3 姿勢判定するときの中心となる3点

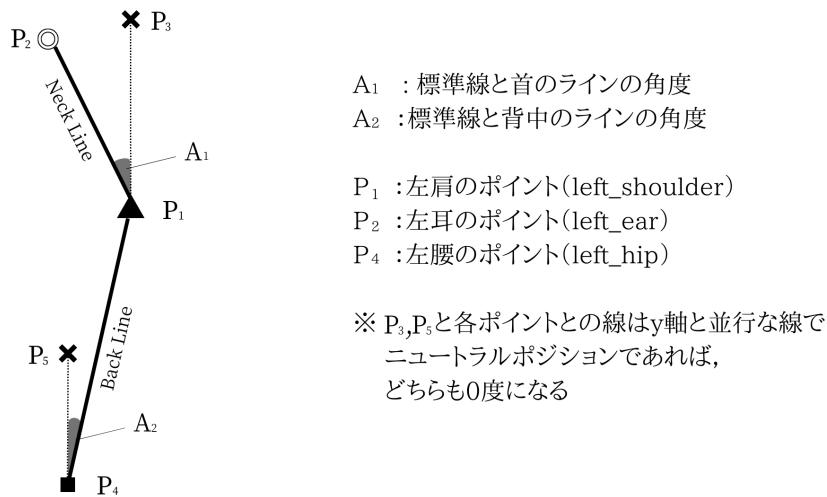


図3.4 姿勢判定するときの中心となる3点と2つの角度

ベクトルの角度を求める時、arccos関数と用いて表すと以下のようなになる。

$$A_1 = \arccos \left( \frac{\vec{P}_{12} \cdot \vec{P}_{13}}{|\vec{P}_{12}| \cdot |\vec{P}_{13}|} \right) \quad (3.4)$$

$P_1 = (x_1, y_1, z_1)$ ,  $P_2 = (x_2, y_2, z_2)$ である時、 $\vec{P}_{13}$ は、 $P_1$ から伸びるy軸上に並行なベクトルであり、x座標とz座標は等しい。また、y座標は、 $P_2$ のy座標と等しいため、 $P_3 = (x_1, y_2, z_1)$ である。従って、 $\vec{P}_{12}$ と $\vec{P}_{13}$ からなる空間ベクトル上における角度をそれ

それぞれのx,y,zの座標を用いて表すと以下のようなになる。

$$\Leftrightarrow A_1 = \arccos \left( \frac{(y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \right) \quad (3.5)$$

同様に、 $A_2$ の時は、以下の数式になる。

$$A_2 = \arccos \left( \frac{\vec{P}_{41} \cdot \vec{P}_{45}}{|\vec{P}_{41}| \cdot |\vec{P}_{45}|} \right) \quad (3.6)$$

$$\Leftrightarrow A_2 = \arccos \left( \frac{(y_1 - y_4)}{\sqrt{(x_1 - x_4)^2 + (y_1 - y_4)^2 + (z_1 - z_4)^2}} \right) \quad (3.7)$$

これらより、首の角度(Neck Line)と胴体の角度(Torso Line)を算出することができる。本研究においてはこの手法を用いてニュートラルポジションであるか否かを決定する手法とする。

### 3.2.2 MediaPipeを用いた判定のための検討

約10名のギタリストに対して、首の角度と胴体の角度について基準を示すために、画像での予備調査を行なった。その結果を表3.1に示す。結果は首の角度が平均 $32.23^\circ \pm 16.00$ であり、胴体の角度が $16.15^\circ \pm 5.67$ である。標準偏差の加算による幅は、一般的に68%の幅を持っている。すなわち、首と胴体それぞれ標準偏差の正の値を平均値に足すことで、猶予を持たせて良い姿勢の判定の基準値とする。

表3.1 奏者の $A_1$ ,  $A_2$ の角度の平均と標準偏差

条件	平均(度)	標準偏差
全体	首	32.23
	胴体	16.15

本研究ではそれぞれの角度について、以下のように定める。

- 良い姿勢(Good Posture)と判定するとき：
  - 身体的負荷の一番少ないニュートラルポジションに比較的近似し、側面から見た時に腰・肩・耳がほぼ直線状に位置する姿勢である。
  - 首(Neck Line)の角度： $48^\circ$ 以内

- 胴体(Torso Line)の角度：20°以内
- どちらかの角度が範囲内
- 悪姿勢(Bad Posture)と判定するとき：
  - 身体的負荷の一番少ないニュートラルポジションからかけ離れ，側面から見た時に腰・肩の直線と肩・耳が角度が生じる姿勢である。
  - 首(Neck Line)の角度：48°以内
  - 胴体(Torso Line)の角度：20°以内
  - どちらも角度が範囲外

### 3.3 システムを用いた分析手法

#### 3.3.1 システム概要

本研究では，良い姿勢か悪い姿勢なのかを判定するためにMediaPipe活用したシステムの開発をした．システム環境は，基本的にPythonでプログラミングし，MediaPipeやOpenCVなどのモジュールを用いて処理を行った．基本的に動画データまたは画像データを用いた．また加えて，これをリアルタイムに行うこともできるために，実際に演奏しながらでも確認することができる．動画データであれば，fpsごとに画像を分割してその後の処理を行なった．その画像に対して，MediaPipe内の骨格認識を行うための機械学習から骨格推定を行った．これを基に左耳・左肩・左腰の3点のポイントを抽出し，3次元座標(x, y, z)を推定した上で，3点の3次元座標から，首(Neck Line)の角度と胴体(Torso Line)の角度のベクトル計算を行った．それぞれの角度に対して，当てはまる条件(Neck Line < 48° かつ Torso Line < 20°)であるかどうかを判定し，比較的いい姿勢(Good Posture)と不良姿勢(Bad Posture)の時間を積み上げ加算で出力した．このシステムの結果を見ることによって，不良姿勢が比較的いい姿勢の時間を超えてしまうことに対して，意識をできると考える．ここで，前節から示す判定方法を基にしたシステムの全体の流れを図3.5示す．システム開発の詳細な実装内容やアルゴリズムなどについては付録Dにて示す．

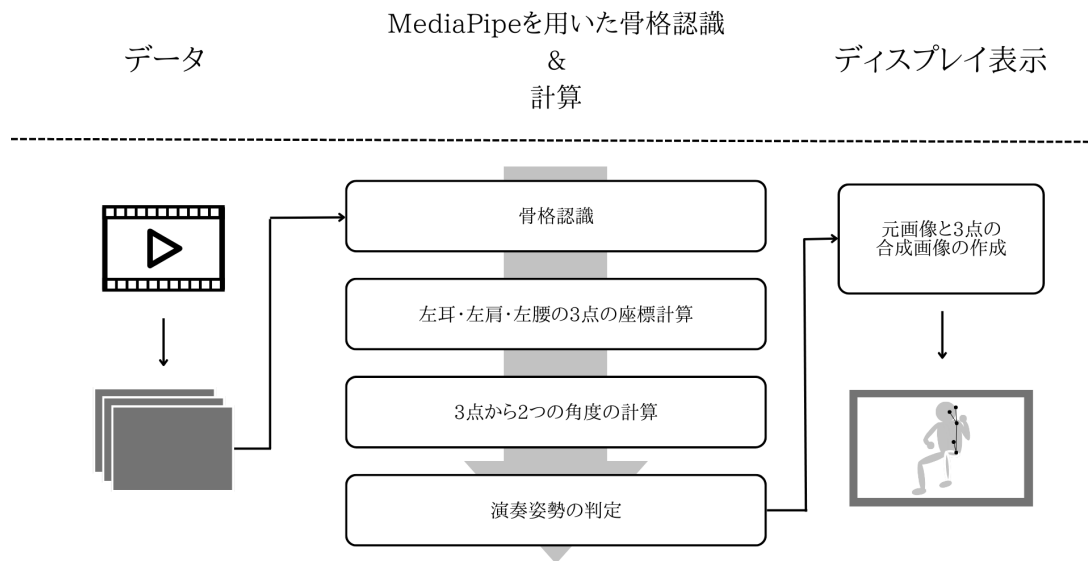


図3.5 システム全体の流れ

### 3.3.2 動画及び楽曲の選定

はじめに、楽曲の選定を行い、それら楽曲を弾いている動画をシステムに入力した。そして、入力された動画に対して、比較的良好な姿勢と不良姿勢の時間を出力した。それを38個の動画から算出し、楽曲の年代ごとの演奏姿勢の違いなどについて考察を行った。

日本国内の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で選定されている自由曲の中から作曲家の時代などを考慮した10曲の中から選定する。先行研究では、1750年より以前のルネサンスからバロック期の作品、1750年頃～1920年頃の作品（以下、古典・ロマン派）、1920年頃以降の作品（以下、現代）としているため[10]、本研究でもこれに従い、楽曲を選別した。この3つの年代の分類は先行研究[33]およびそれぞれの時代背景などを考慮した上で楽曲の性質の変化などの理由により分類した。この10曲の対象動画は研究対象として動画プラットフォームYouTubeに公開されている動画から選んだ。以下に選定楽曲と楽曲年代(上記の3つのから適するもの)、その楽曲の演奏者の人数を表3.2に示す。10曲中3曲がルネサンスからバロック期の作品(1750年以前に作曲)は、15人の演奏動画の動画を対象として分析した。他3曲が古典・ロマン時代(1750年から1920年の間)に作曲され、12人の演奏家によって演奏された動画を扱った。また、残りの4曲が現代曲で、1920年以降に作曲されたものであり、11人の演奏動画による分析を行った。したがって、全38人の演奏家(1名被りあり)によって演奏された動画に対して、

本システムを適用した。ただし、本研究による開発システムにはいくつか課題点が存在する。まずはじめに動画内において、複数の骨格が認識できないまたは人体を認識できないことがあるということである。次に角度によって、多少の角度が異なることがある。以上のことから、選定する動画を視点が変わらない（拡大などはあっても良い）ことや、最低限、腰まで写っているものを対象動画とした。

表3.2 楽曲の作曲家および年代と演奏者数

楽曲	作曲家	年代	演奏者(人)
Invocation y Danza	J. Rodrigo	現代	3
Fantaisie Hongroise	J.K. Mertz	古典・ロマン	4
Introduction and Rondo Brilliante Op.2 No.2	D. Aguado	古典・ロマン	4
BWV998 Prelude, Fuga, Allegro	J.S. Bach	ルネサンス・バロック	5
Fantasia P.71	J. Dowland	ルネサンス・バロック	3
Fandango from Tres Piezas Espanolas	J. Rodrigo	現代	3
El Decameron Negro	L. Brower	現代	2
Grand Ouver ture Op.61	M. Giuliani	ルネサンス・バロック	7
Elegie	J.K. Mertz	古典・ロマン	4
Sonata	A. Ginastera	現代	3
合計人数			<b>38人</b>

## 第4章

# 実験結果と分析

### 4.1 男女の骨格の差の結果

表4.1は、男性と女性の首(Neck Line)の角度と胴体(Torso Line)の角度について調査結果である。この平均の結果から、男性と女性の首(Neck Line)の角度と胴体(Torso Line)の角度について、優位差があるのかをt検定を用いて調べた(表4.2)。

表4.1 奏者の首 $A_1$ 、胴体 $A_2$ の角度の平均と標準偏差

条件		平均(度)	標準偏差
全体	首	32.23	16.00
	胴体	16.15	5.67
男性奏者	首	37.21	18.72
	胴体	14.25	6.07
女性奏者	首	27.25	11.00
	胴体	18.04	4.62

1. 男性と女性の首(Neck Line)の角度の分析を行った。男性奏者-首の平均得点は、 $37.21^\circ$ (標準偏差 = 18.72, 範囲 = 12 ~ 100)であった。また、女性奏者-首の平均得点は、 $27.25^\circ$ (標準偏差 = 11.00, 範囲 = 2 ~ 45)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( $t(98)=2.24$ ,  $p=.030$ )。

2. 男性と女性の胴体(Torso Line)の角度の分析を行った。男性奏者-胴体の平均は、 $14.25^\circ$ (標準偏差 = 6.07, 範囲 = 6 ~ 26)であった。また、女性奏者-胴体の平均は、 $18.04^\circ$ (標準偏差 = 4.62, 範囲 = 9 ~ 31)であった。その上で対応するt検定を行った結果、

表4.2 男性奏者と女性奏者の首又は胴体の角度の平均の差

項目	条件A	条件B	p-value	t-value
	平均得点(標準偏差)	平均得点(標準偏差)		
1	男性奏者—首( $A_1$ )	女性奏者—首( $A_1$ )	.030**	2.24
	37.21 (18.72)	27.25 (11.00)		
2	男性奏者—胴体( $A_2$ )	女性奏者—胴体( $A_2$ )	.019**	2.43
	14.25 (6.07)	18.04 (4.62)		

† p<.10 \* p<.05 \*\* p<.01

条件間に有意な差は得られた( $t(98)=2.43$ ,  $p=.019$ ).

首と胴体の角度について、どちらも男性と女性に有意な差が得られた。モデル化したものを図4.1に示す。項目1の首(Neck Line)の角度に関しては、男性が $37.21^\circ$ であったのに対して、女性は、 $27.25^\circ$ となった。また、項目2の胴体(Torso Line)の角度に関しては、男性と女性は首の角度と逆で、男性が $14.25^\circ$ であり、女性が $18.04^\circ$ となった。

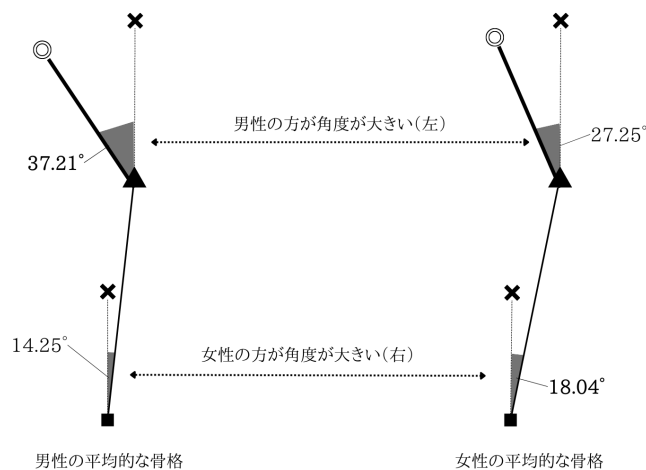


図4.1 男性と女性の平均的な骨格のモデル

## 4.2 年代別の楽曲に関する結果

楽曲を3つの年代(ルネサンス・バロック, 古典・ロマン, 現代)に分類して分析をした。ルネサンス・バロックの楽曲については、全体で、不良姿勢になる割合が14.82%であり、古典・ロマンの楽曲は、37.63%と比較的いい姿勢の方が楽曲の演奏中には、多いことが

わかった。現代曲は69.80%が不良姿勢の状態であることから、楽曲中の7割近くの時間が演奏姿勢が悪いことを示している。その上で楽曲の年代との間にどれだけの不良姿勢の時間となる割合に有意かどうかをt検定で分析した。

表4.3 楽曲に対する不良姿勢の割合と年代ごとの不良姿勢の割合

年代	楽曲	作曲家	不良姿勢の割合	
			各楽曲	平均
ルネサンス ・バロック (-1750)	BWV998 Prelude, Fuga, Allegro	J.S. Bach	4.84%	14.82%
	Fantasia P.71	J. Dowland	16.29%	
	Grand Ouvre ture Op.61	M. Giuliani	27.60%	
古典・ ロマン (1750- 1920)	Fantaisie Hongroise	J.K. Mertz	44.30%	37.63%
	Introduction and Rondo Brilliante Op.2 No.2	D. Aguado	43.61%	
	Elegie	J.K. Mertz	24.76%	
現代 (1920-)	Fandango from Tres Piezas Espanolas	J. Rodrigo	52.5%	69.80%
	El Decameron Negro	L. Brower	84.77%	
	Invocation y Danza	J. Rodrigo	55.88%	
	Sonata	A. Ginastera	85.28%	

ルネサンス・バロックと古典・ロマンのそれぞれの楽曲の平均の差についてt検定を行った。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 ~ 49.80)であった。また、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・ロマンと現代のそれぞれ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)であった。また、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( $t(21)=2.55, p=.021$ )。

ルネサンス・バロックと現代のそれぞれの楽曲の平均の差についてt検定を行った。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 ~ 49.80)であった。また、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( $t(24)=4.55, p=.00033$ )。

3つの項目から、現代、古典・ロマン、ルネサンス・バロックの順に不良姿勢の時間の



割合が高いことが分かった。ただ、ルネサンス・バロックの楽曲と古典・ロマンの楽曲は、そこまで大きな有意があるわけではなく、有意傾向にある。このことから、現代曲を弾いているときに不良姿勢になっている時間の割合が高いことを示した。

## 第5章

# 考察

### 5.1 男女の骨格の差に関する考察

男性と女性の首及び胴体についてそれぞれの角度について、有意差が出た。首の角度における結果(項目1)は男性 $37.21^\circ$ で、女性は、 $27.25^\circ$ となった。これは、女性の方が首(Neck Line)の角度がy軸方向に並行に近く、すなわち、首を曲げて演奏することが男性よりかは少なく、首の角度のみを見ると良姿勢に近いということである。加えて、男性については、標準偏差が大きいことから、女性よりも首の揺れる角度も多いことが分かった。また、男女の胴体(Torso Line)の角度の結果(項目2)に関しては、男性が $14.25^\circ$ であり、女性が $18.04^\circ$ と首の角度の時とは逆に女性の方が傾いていることがわかった。胴体の角度が男性は垂直に近く座っていることができおり、体重の分散効率がいいことが考えられる。胴体の安定性により、生理学的に男性の方が長時間の座位姿勢ができることが先行研究と一致した[45]。すなわち、女性の方が胴体の角度があり、上からの体重の分散効率が悪いことから、長時間の練習をした時に負荷が大きいのは女性と言える。

また、総合的に首の角度と胴体の角度を考えてみる場合に、2つの角度について簡単に合計で考えてみると、男性が $51.46^\circ (= 37.21^\circ + 14.25^\circ)$ で、女性が $45.29^\circ (= 27.25^\circ + 18.04^\circ)$ となり、全体としては男性の方が姿勢が悪いとわかった。先行研究より、骨盤の回旋方向が性別によって異なることが生理学的に報告されており、男性は腰椎の補助が必要で女性は背中への補助が必要であるという報告がある[46]。すなわち、座位姿勢時に男性の場合は骨盤が後ろに回旋し、女性は前に回旋することから、座位姿勢の時に椅子に与える圧力の箇所が違う。女性の方が局所的であることから、胴体を前にすることとギターへの負荷の力学的関係により、胴体が前傾姿勢になると考えられる。逆に男性は骨盤が後ろに回旋するために胴体の角度は女性ほど角度は出ないが、その分、前にあるギターを抱え

るために首の角度が前に出やすいことが考えられる。また一般的に男性と女性の筋力量は、絶対値、体重比相対値、除脂肪体重比相対値のすべてにおいて女性の方が上半身の筋力が男性よりも小さく、下半身は同等か女性の方が小さいとされている[47]。そのため下半身が固定されたクラシックギターのフォームでは、姿勢を保つためには上半身の筋力が必要であり、男性の方が上半身に筋力があり、多少、不良姿勢であっても弾けてしまうといえる。男性奏者が演奏姿勢で女性よりも総合的に角度が大きく、自由度が高い（標準偏差が大きい）ことは上半身の筋力には関係があることが示唆された。

## 5.2 楽曲の年代に関する考察

まず、前提として、本実験において分析された動画はステー上のもので多いためにある程度、熟練した状態であるために最低限レベルでの不良姿勢の時間と考えられ、練習中ではさらに不良姿勢の可能性がある。理由は楽曲中の一部に過ぎないが、難易度が高い箇所に対しては、繰り返し練習をすることが必要となるためである。同じ箇所を繰り返し練習することや重点的に練習箇所を意識することで不良姿勢が長時間にわたって強いられる。また練習中は楽譜に目線がいたり、ギターのフレットに集中することで、さらなる不良姿勢の原因になると考えられる。この前提をもとに上記の結果について考察する。

上記の結果から、現代、古典・ロマン、ルネサンス・バロックの順に不良姿勢の割合が多かった。ルネサンス・バロック時代の楽曲と古典・ロマン時代の楽曲では有意な差があるとは言えなかったが、有意傾向にある。また、古典・ロマン時代の楽曲と現代の楽曲では、有意な差( $p = .021$ )が得られ、不良姿勢の量が多いことがわかった。先行研究により、平均情報量が多くなる現代曲においては、技術量は多くなるとされている[10]。すなわち、ルネサンス・バロック、古典・ロマン、現代、の順に技術量（平均情報量）が多くなっている。したがって、ルネサンス・バロック、古典・ロマン、現代の順に技術量（平均情報量）とともに不良姿勢の割合も増えていることがわかる。これは、多彩さを求めて、現代曲を選び、情報量が多くするほど音楽表現は拡張される。しかしながら、現代曲を選び、コンクールでアピールすることが音楽表現としては有効であるが、本番に至るまでの練習量の増加が見込まれる。

ここで、楽曲内で起こり得る不良姿勢として考えられる要素が3つ程度、考えられる。1つ目は、ギターのフレットに注視することで目を物理的にフレットに近づけることにより起こる不良姿勢である。これにより、顔が前に出てしまうことにより、首の角度が大きくなり、前傾姿勢になる。このようにフレットを注視する頻度はギタリストには多い。技術の難易度が上がれば上がるほど、注視して正確性が増すように演奏する。2つ目は、音

楽表現によって注力する楽曲の箇所に対して、体重を利用した奏法を行うことだ。頭や前傾姿勢になることによって、音を出すことでアクセントや強調したいところを演奏する。クラシックギターは全身で抱えるために「音の深さ」や「音の大きさ」といった音楽表現の面で、体重を利用するような奏法が必要とされている。物理的に前傾姿勢によって、体重が乗りやすいことから不良姿勢になってしまう。3つ目は、右手を振り下ろすときに肘が前に出ることで前傾姿勢への誘導となり、不良姿勢に陥ることがある。ダウンストロークのように右腕を振り下ろすような奏法により腕が下へ向かうことで、肘が前に誘導される。このように行為から前傾姿勢となり、不良姿勢になる。以上、3つのように演奏中に自然に起こりうる意識のない奏法や行為は多くある。無意識の行為は技術量が多くなるほど多くなるため、現代に作られた楽曲は多くなると見られる。

### 5.3 男女差と楽曲の年代に関する考察

本章では、演奏姿勢に対して、男女差と楽曲の年代の2点において考察をした。演奏姿勢を考える際に重要となった首の角度と胴体の角度は、背骨の部位でいえば頸椎と腰椎にあたる。それぞれの要素に対して男女差があり、上半身の筋力には差があることが分かった。男女の両者とも腰椎、頸椎に加えて胸椎について考慮しなければならないことは前提であるが、上記の無意識の技術面、表現面で情報量が多いほど行為の種類などが多様化していくことで、さらに不良姿勢の傾向が増えていくことが予想されることを考えなければならない。こうした場合に、コンクールやコンサートで複数曲、長時間弾く場合には多彩さに加え、演奏姿勢について熟考を行うことで、演奏家がリスクを軽減することができる。ハイパワーポーズ（胸を張ること）により、テストステロンが上昇およびコルチゾールが減少したことから、良い姿勢は心理的にも生理学的にも重要になることが先行研究より報告されている[48]。すなわち、演奏姿勢として不良姿勢になることは心理的にも生理学的にも、そして身体的負荷にも演奏者に大きいストレスをかけることになる。しかしながら、不良姿勢の原因として大きく考えられるのは、クラシックギターで多く弾かれる楽曲はほぼ全て作曲家が男性ということである。男性として身体的大きさが標準となって、作られた楽曲には女性に対する技術的考慮は含まれていない。実際、本研究において女性作曲家の作った楽曲について調べても動画として多く出てこなかったために、検討することはできなかった。今後、女性が作成した楽曲やそれに類する楽曲の実験を行うことで新規的な発見が期待される。

## 第6章

# 結論と今後の展望

本研究ではクラシックギターの演奏姿勢について着目し、演奏姿勢の判定を行うシステムの開発とそのシステムを使用した姿勢評価から平均情報量と関係があるのかを分析することを目的とした。はじめに骨格認識技術MediaPipeを用いて、耳・肩・腰の3点を取り出し、それらから、首の角度および胴体の角度から前傾姿勢による不良姿勢の判定を行った。まず、MediaPipeを用いて左耳・左肩・左腰の3点を(x,y,z)座標で取り出し、左耳と左腰の角度を首の角度、左肩と左腰の角度を胴体の角度として、算出した。予備実験により、それぞれ、48°の首の角度と20°の胴体の角度を基準とした。男性と女性それぞれに対して、首の角度と胴体の角度について有意差があり、生理学的な観点から考察をした。これは筋肉量の違いや骨盤の回旋方向によるものであった。また、角度によって、ディスプレイ表示で色を変え、良い姿勢と不良姿勢の加算した総合的な時間を算出することで、楽曲中にどれくらい不良姿勢となっている時間があるのかを示した。それを基にしたシステムを使用して、10の楽曲で38の演奏動画を対象にして、演奏姿勢の分析を行った。楽曲は、ルネサンス・バロック、古典・ロマン、現代の3つの年代に楽曲を分類した。結果は現代、古典・ロマン、ルネサンス・バロックの順に不良姿勢の割合が多く、先行研究の平均情報量(=多彩さ)を求めることが不良姿勢につながる可能性があることを示唆した。技術量と多様化によって、長時間の練習も行われることが想定されることから、現代曲を選定したときには、意識して演奏姿勢について考えなければ、怪我につながる可能性がある。ただ、一概に不良姿勢が悪いというわけではなく、パフォーマンスや音楽表現面などにおける必要性などを今後は慎重に議論していく必要があると考える。一個人の演奏家として、演奏家がいかにして長くパフォーマンスを安定させることができるかを問いたい。演奏姿勢は個人の身体によって異なるために全てを一意に決定することはできないが、今後、究極的な演奏を追求する素晴らしい演奏家を身体的な負荷によって潰さないために本

研究が1つの「きっかけ」となることを期待している。

今後の展望として、作曲家の性別による奏者の姿勢の違いや技術の項目における姿勢の変化を示すことでさらなるクラシックギターの演奏姿勢に関するメカニズムと改善方法の提示ができることが期待される。また指導現場、練習現場で本研究において開発したシステムを用いて姿勢についての分析を行うことで演奏姿勢の変化の過程がどのタイミングで起こるのかを示すことでクラシックギター界および楽器の演奏によって起こる怪我や病気の軽減に貢献できることが期待される。

# 謝辞

本論文を執筆するにあたり，多くの方々に多大なご支援を頂きました。この場をお借りして御礼申し上げます。

指導教員である藤波努教授には，ご多忙の中，研究に関して様々なご指導，ご鞭撻を賜りました。

最後に，藤波研究室の皆さま，昨年度修了された OB・OG の皆さま，実験に協力してくださった本学学生の皆さま，自身の研究をサポートして頂いた藤波研究室所属の博士前期課程 1 年生の皆さま，博士後期課程の皆さまに感謝申し上げます。

令和 2 年 2 月

藤波研究室 飯野 健広

## 付録A

# 国内コンクールにおける足台の使用率

クラシックギターは、伝統的な演奏方法と姿勢について議論されてきた。第2章で足台の議論があったがその伝統的なところから、未だに現代においても改善される余地がない。そこで現状の足台の使用率について、予備的な調査を行った。日本におけるプロになるための登竜門とされるコンクールの中で、これまでの賞の実績を演奏画像とともにHPに載せているという条件で選定した。そこで、2018,2019年を除く2001年から2022年までの日本ジュニア・ギター教育協会主催のジュニアギターコンクールと2021年を除く2008年から2022年まで中部日本ギター協会主催の名古屋ギターコンクールを視認調査し、足台の使用率及び他の器具の使用率の算出した[49, 50]。ただし、ジュニアギターコンクールでは幼稚園児は骨格的に定まっていないことなどを考慮し、カウントしていない。以上の条件内で表A.1は、上記の各コンクールにおける足台か他の器具を使用している人数と足台の使用率を示す。

表A.1 国内コンクールの足台使用率

項目	足台 (人数)	他の器具 (人数)	足台の 使用率
ジュニアギターコンクール	290	21	92.76%
名古屋ギターコンクール	95	19	80.00%
全体	385	40	89.61%

両コンクールとも足台の使用率は8割以上と高かった。特に幼稚園児から高校生を対象



にしているジュニアギターコンクールでは(幼稚園児はカウントしていないが), 92.76%と多い。すなわち, 幼少期から足台の使用が体に染み付くように教育されていることがわかる。これには, 他の器具は身体の大きさや骨格の形, 他の器具を用いたときの身体的導入コスト(確立するための時間など)が足台よりも大きいと考えられることから, 他の器具の使用をしないと考えられる。名古屋ギターコンクールは基本的に全年齢対象であり, 日本国内だけではなく, 外国人も受けるようなレベルの高いコンクールであることから, 高校生以上の参加者が多い。身体的な大きさが決まってきた時期から, 他の器具による演奏を視野に入れることがわかった。

## 付録B

# 演奏姿勢に対する印象調査

以下に、印象調査におけるアンケートの一部のキャプチャを載せる。

【第1問】ギター演奏の時の姿勢について\*

演奏家が演奏している時の姿勢について判断してください。



- 姿勢がいい
- たぶん姿勢がいい
- たぶん姿勢が悪い
- 姿勢が悪い

【第2問】印象について\*

このフォームに対する印象を教えてください。  
当てはまるものがなければ、「その他」に入力してください。



- 集中しているように見える
- 不安に見える
- しっかり習けているように見える
- 痛い顔をしているように見える
- 疲れた顔をしているように見える
- その他...

図B.1 アンケートのキャプチャ(第1問のみ)

## 付録C

# 奏者の2つの角度を調べるコード

listings xcolor

```
1 import cv2
2 import time
3 import math as m
4 import mediapipe as mp
5 import codecs
6
7
8 # Calculate distance
9 def findDistance(x1, y1, x2, y2):
10     dist = m.sqrt((x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2)
11     return dist
12
13
14 # Calculate angle.
15 def findAngle(x1, y1, x2, y2):
16     theta = m.acos((y2 - y1) * (-y1) / (m.sqrt(
17         (x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2) * y1))
18     degree = int(180 / m.pi) * theta
19     return degree
20
21
22 def sendWarning(x):
23     pass
24
25
26 good_frames = 0
27 bad_frames = 0
28
```

```

29
30 font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
31
32 blue = (255, 127, 0)
33 red = (50, 50, 255)
34 green = (127, 255, 0)
35 dark_blue = (127, 20, 0)
36 light_green = (127, 233, 100)
37 yellow = (0, 255, 255)
38 pink = (255, 0, 255)
39
40 mp_pose = mp.solutions.pose
41 pose = mp_pose.Pose()
42
43
44 if __name__ == "__main__":
45     file_name = './sample/sample_posture.mp4'
46     cap = cv2.VideoCapture(file_name)
47
48     fps = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FPS))
49     width = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
50     height = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
51     frame_size = (width, height)
52     fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v')
53
54     video_output = cv2.VideoWriter('output.mp4', fourcc, fps, frame_size
55 )
56
57 while cap.isOpened():
58     success, image = cap.read()
59     if not success:
60         print("Null.Frames")
61         break
62     fps = cap.get(cv2.CAP_PROP_FPS)
63     h, w = image.shape[:2]
64
65     image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
66
67     results = pose.process(image)
68     image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2BGR)
69
70     # print(mp_pose.PoseLandmark, file=codecs.open('./csv/all-
71 landmark.csv', 'a', 'utf-8'))

```

```

70     # print(float(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].x * w),
71     # float(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].y * h),
72     # float(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].z),
73     # file=codecs.open('./csv/left-shoulder-landmark.csv', 'a
', 'utf-8'))
74     # )
75
76     # Left shoulder.
77     l_shldr_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].x * w)
78     l_shldr_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].y * h)
79     l_shldr_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].z)
80     # Right shoulder
81     r_shldr_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].x * w)
82     r_shldr_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].y * h)
83     r_shldr_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].z)
84     # Left ear.
85     l_ear_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_EAR].x * w)
86     l_ear_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_EAR].y * h)
87     l_ear_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_EAR].z)
88     # Left hip.
89     l_hip_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_HIP].x * w)
90     l_hip_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_HIP].y * h)
91     l_hip_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_HIP].z)
92
93     offset = findDistance(l_shldr_x, l_shldr_y, r_shldr_x, r_shldr_y
)
94
95     if offset < 100:

```

```

96         cv2.putText(image, str(int(offset)) + ' Aligned', (w - 150,
150), font, 0.9, green, 2)
97     else:
98         cv2.putText(image, str(int(offset)) + ' Not Aligned', (w -
150, 30), font, 0.9, red, 2)
99
100     neck_inclination = findAngle(l_shldr_x, l_shldr_y, l_ear_x,
l_ear_y)
101     torso_inclination = findAngle(l_hip_x, l_hip_y, l_shldr_x,
l_shldr_y)
102
103     cv2.circle(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), 7, yellow, -1)
104     cv2.circle(image, (l_ear_x, l_ear_y), 7, yellow, -1)
105     cv2.circle(image, (l_shldr_x, l_shldr_y - 100), 7, yellow, -1)
106     cv2.circle(image, (r_shldr_x, r_shldr_y), 7, pink, -1)
107     cv2.circle(image, (l_hip_x, l_hip_y), 7, yellow, -1)
108     cv2.circle(image, (l_hip_x, l_hip_y - 100), 7, yellow, -1)
109
110     angle_text_string = 'Neck : ' + str(int(neck_inclination)) + '
Torso : ' + str(int(torso_inclination))
111
112     if neck_inclination < 40 and torso_inclination < 10:
113         bad_frames = 0
114         good_frames += 1
115
116     cv2.putText(image, angle_text_string, (10, 30), font, 0.9,
light_green, 2)
117     cv2.putText(image, str(int(neck_inclination)), (l_shldr_x +
10, l_shldr_y), font, 0.9, light_green, 2)
118     cv2.putText(image, str(int(torso_inclination)), (l_hip_x +
10, l_hip_y), font, 0.9, light_green, 2)
119     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_ear_x, l_ear_y),
green, 4)
120     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_shldr_x,
l_shldr_y - 100), green, 4)
121     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_shldr_x, l_shldr_y),
green, 4)
122     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_hip_x, l_hip_y - 100)
, green, 4)
123
124     else:
125         good_frames = 0
126         bad_frames += 1

```

```

127
128     cv2.putText(image, angle_text_string, (10, 30), font, 0.9,
129         red, 2)
130     cv2.putText(image, str(int(neck_inclination)), (l_shldr_x +
131         10, l_shldr_y), font, 0.9, red, 2)
132     cv2.putText(image, str(int(torso_inclination)), (l_hip_x +
133         10, l_hip_y), font, 0.9, red, 2)
134     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_ear_x, l_ear_y),
135         red, 4)
136     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_shldr_x,
137         l_shldr_y - 100), red, 4)
138     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_shldr_x, l_shldr_y),
139         red, 4)
140     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_hip_x, l_hip_y - 100)
141         , red, 4)
142
143     good_time = (1 / fps) * good_frames
144     bad_time = (1 / fps) * bad_frames
145
146     if good_time > 0:
147         time_string_good = 'Good Posture Time : ' + str(round(
148             good_time, 1)) + 's'
149         cv2.putText(image, time_string_good, (10, h - 20), font,
150             0.9, green, 2)
151     else:
152         time_string_bad = 'Bad Posture Time : ' + str(round(bad_time
153             , 1)) + 's'
154         cv2.putText(image, time_string_bad, (10, h - 20), font, 0.9,
155             red, 2)
156
157     if bad_time > 180:
158         sendWarning()
159
160     video_output.write(image)
161
162     cv2.imshow('MediaPipe Pose', image)
163     if cv2.waitKey(5) & 0xFF == ord('q'):
164         break
165
166 cap.release()
167 cv2.destroyAllWindows()

```

## 付録D

# 演奏姿勢を判定するシステムの開発

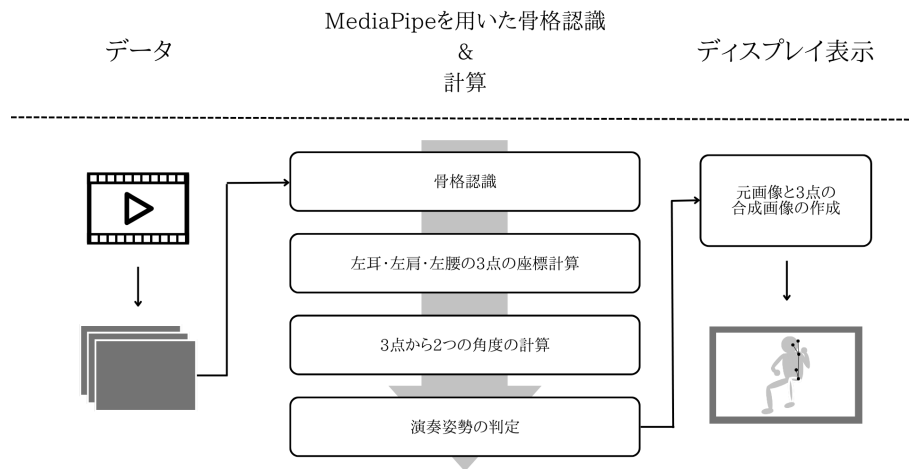
### D.1 システムの概要

本節では、開発した姿勢判定のシステムについて概説する。システム環境は、基本的にPythonでプログラミングし、MediaPipeやOpenCVを用いて処理を行った。基本的に動画データまたは画像データを用いる。また加えて、これをリアルタイムに行うこともできるために、実際に演奏しながらでも確認することができる。動画データであれば、fpsごとに画像を分割する。その画像に対して、MediaPipe内の骨格認識を行うための機械学習から骨格推定を行う。これを基に左耳・左肩・左腰の3点のポイントを抽出し、3次元座標(x, y, z)を推定する。3点の3次元座標から、首(Neck Line)の角度と胴体(Torso Line)の角度のベクトル計算を行う。それぞれの角度に対して、当てはまる条件(Neck Line < 48° かつ Torso Line < 20°)であるかどうかを判定し、比較的良好姿勢(Good Posture)と不良姿勢(Bad Posture)の時間を積み上げ加算で出力する。このシステムの結果を見ることによって、不良姿勢が比較的良好姿勢の時間を超えてしまうことに対して、意識をできる。ここで、前節から示す判定方法を基にしたシステムの全体の流れを図D.1示す。

#### D.1.1 MediaPipe Poseによる処理

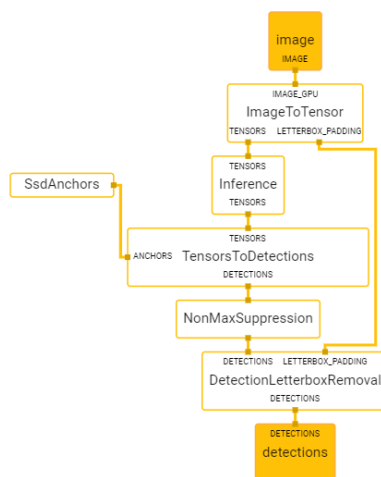
MediaPipe Poseを用いて、画像または動画から骨格の推定・検出を行う。図D.2は、MediaPipe Poseを用いたときの基本的な処理について示したMediaPipe Visualizer[51]を用いたグラフである。動画についてはfpsごとに画像を分割し、入力された画像に対して操作を行う。「image」では、入力画像をアスペクト比を保持したまま224\*224の画像に変





図D.1 システム全体の流れ

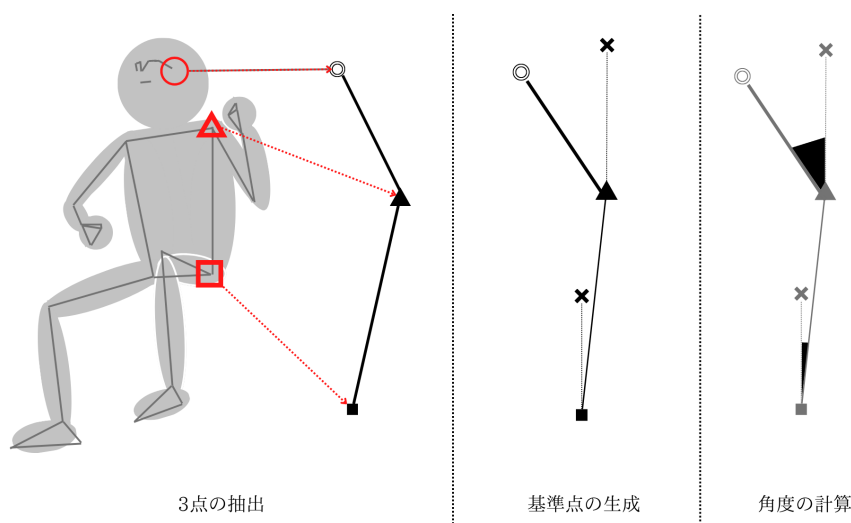
換したのちに、「Inference」において、CPU上でTensorFlow Liteモデルを実行する。そこから、キーポイントを表すベクトルを出力する。次に、「TensorsToDetections」では、TensorFlow Liteモデルが生成した検出したものを、オプションの指定に基づいたデコードと検出数ベクトルを生成を行う。「NonMaxSuppression」では、検出されたキーポイントが過剰となることを防ぎ、除去するために、抑制をする。最後に、正規化された各キーポイントの検出位置を元画像上の対応する位置に上から表示する。



図D.2 入力から検出までの流れ

この処理に加えて本研究では、MediaPipe Poseによるキーポイントの生成を行った後に、左耳・左方・左腰のみを抽出する。ここでは正規化されたキーポイントが生成されているため、元画像の幅(width)と高さ(height)をそれぞれのキーポイントのx,y座標にかける。z座標については正規化されているが、推定によって算出されているために処理を行わない。したがって、各3点の(x,y,z)の3次元座標が数値として算出される。

### D.1.2 各抽出点の計算



図D.3 3点の検出から計算までの流れ

3次元座標を持った抽出した3つのキーポイント(左耳 $P_1$ ・左肩 $P_2$ ・左腰 $P_4$ )の抽出を行った後に2点の基準点の生成を行う。図D.3のように左肩 $P_2$ からy軸に平行なベクトルの作成のための点 $P_3$ と左腰 $P_4$ から同様のベクトル作成のための点 $P_5$ を作成する。よって $\vec{P}_{12}$ ,  $\vec{P}_{13}$ の2つベクトルのなす角と $\vec{P}_{41}$ ,  $\vec{P}_{45}$ の2つベクトルのなす角の計算をする。 $\vec{P}_{12}$ ,  $\vec{P}_{13}$ の2つベクトルのなす角が首(Neck Line)の角度 $A_1$ で、 $\vec{P}_{41}$ ,  $\vec{P}_{45}$ の2つベクトルのなす角が胴体(Torso Line)の角度 $A_2$ である。これらの計算方法については、??にて示した。以降は数値から判定を行い、加算する形で比較的良好な姿勢である条件を満たしたときと満たさずに不良姿勢であるときの時間を算出する。

### D.1.3 ディスプレイ出力

出力結果として、図D.4と図D.5のようにした。基本的に3点の点を取ったものを元の動

画または画像に同時表示し、角度の情報を表示する。これによって、首(Neck Line)の角度が悪く、俯きがちになっているのか、胴体(Torso)の角度が悪く、前傾姿勢を引き起こしているのかが判別できる。また、加えて、Good Posture TimeとBad Posture Timeの加算された結果が表示される。姿勢がいいとき(図D.4)と不良姿勢(図D.5)の時の累計を表示するので、楽曲中にどれだけ、不良姿勢であるかが一目で理解できるようにした。



図D.4 比較的良好な姿勢



図D.5 不良姿勢

## D.2 システムのメインコード

listings xcolor

```

1 import cv2
2 import time
3 import math as m
4 import mediapipe as mp
5
6
7 # Calculate distance
8 def XYfindDistance(x1, y1, x2, y2):
9     dist = m.sqrt((x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2)
10    return dist
11
12
13 # Calculate angle.
14 def XYfindAngle(x1, y1, x2, y2):
15     theta = m.acos((y2 - y1) * (-y1) / (m.sqrt(
16         (x2 - x1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2) * y1))
17     degree = int(180 / m.pi) * theta
18     return degree
19
20

```

```

21 # Calculate distance
22 def ZYfindDistance(z1, y1, z2, y2):
23     dist = m.sqrt((z2 - z1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2)
24     return dist
25
26
27 # Calculate angle.
28 def ZYfindAngle(z1, y1, z2, y2):
29     theta = m.acos((y2 - y1) * (-y1) / (m.sqrt(
30         (z2 - z1) ** 2 + (y2 - y1) ** 2) * y1))
31     degree = int(180 / m.pi) * theta
32     return degree
33
34
35 """
36 Function to send alert. Use this function to send alert when bad posture
37     detected.
38 Feel free to get creative and customize as per your convenience.
39 """
40
41 def sendWarning(x):
42     pass
43
44
45 # Inititalize frame counters.
46 good_frames = 0
47 bad_frames = 0
48
49 # Font type.
50 font = cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX
51
52 # Colors.
53 blue = (255, 127, 0)
54 red = (50, 50, 255)
55 green = (127, 255, 0)
56 dark_blue = (127, 20, 0)
57 light_green = (127, 233, 100)
58 yellow = (0, 255, 255)
59 pink = (255, 0, 255)
60
61 # Initialize mediapipe pose class.
62 mp_pose = mp.solutions.pose

```

```

63 pose = mp_pose.Pose()
64
65
66 if __name__ == "__main__":
67     # For webcam input replace file name with 0.
68     file_name = './sample/exp_images/iino_normal.jpg'
69     cap = cv2.VideoCapture(1)
70
71     # Meta.
72     fps = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FPS))
73     width = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
74     height = int(cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
75     frame_size = (width, height)
76     fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v')
77
78     # Video writer.
79     video_output = cv2.VideoWriter('output.mp4', fourcc, fps, frame_size
80     )
81
82     while cap.isOpened():
83         # Capture frames.
84         success, image = cap.read()
85         if not success:
86             print("Null.Frames")
87             break
88
89         # get fps, frame size info.
90         fps = cap.get(cv2.CAP_PROP_FPS)
91         h, w = image.shape[:2]
92         image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB)
93         results = pose.process(cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_RGB2BGR))
94
95         # print("X",int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
96         PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].x * w))
97         # print("Y",int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
98         PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].y * h))
99         # print("Z",int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
100        PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].z ))
101
102         # Left shoulder.
103         l_shldr_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
104        PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].x * w)
105         l_shldr_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.

```

```

PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].y * h)
101     l_shldr_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_SHOULDER].z)
102     # Right shoulder
103     r_shldr_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].x * w)
104     r_shldr_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].y * h)
105     r_shldr_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.RIGHT_SHOULDER].z)
106     # Left ear.
107     l_ear_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_EAR].x * w)
108     l_ear_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_EAR].y * h)
109     l_ear_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_EAR].z)
110     # Left hip.
111     l_hip_x = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_HIP].x * w)
112     l_hip_y = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_HIP].y * h)
113     l_hip_z = int(results.pose_landmarks.landmark[mp_pose.
PoseLandmark.LEFT_HIP].z )
114
115     # Calculate distance between left shoulder and right shoulder
points.
116     # XYoffset = XYfindDistance(l_shldr_x, l_shldr_y, r_shldr_x,
r_shldr_y)
117     ZYoffset = ZYfindDistance(l_shldr_z, l_shldr_y, r_shldr_z,
r_shldr_y)
118     # Assist to align the camera to point at the side view of the
person.
119     # Offset threshold 30 is based on results obtained from analysis
over 100 samples.
120     # if XYoffset < 100:
121     #     cv2.putText(image, str(int(XYoffset)) + ' Aligned', (w -
150, 30), font, 0.9, green, 2)
122     # else:
123     #     cv2.putText(image, str(int(XYoffset)) + ' Not Aligned', (w
- 150, 30), font, 0.9, red, 2)
124     if ZYoffset < 100:
125     cv2.putText(image, str(int(ZYoffset)) + ' Aligned', (w -

```

```

150, 30), font, 0.9, green, 2)
126     else:
127         cv2.putText(image, str(int(ZYoffset)) + ' Not Aligned', (w -
150, 30), font, 0.9, red, 2)
128
129     # Calculate angles.
130     # XYneck_inclination = XYfindAngle(l_shldr_x, l_shldr_y, l_ear_x
, l_ear_y)
131     # XYtorso_inclination = XYfindAngle(l_hip_x, l_hip_y, l_shldr_x,
l_shldr_y)
132     ZYneck_inclination = ZYfindAngle(l_shldr_z, l_shldr_y, l_ear_z,
l_ear_y)
133     ZYtorso_inclination = ZYfindAngle(l_hip_z, l_hip_y, l_shldr_z,
l_shldr_y)
134
135     # # XY Draw landmarks.
136     # cv2.circle(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), 7, yellow, -1)
137     # cv2.circle(image, (l_ear_x, l_ear_y), 7, yellow, -1)
138
139     # cv2.circle(image, (l_shldr_x, l_shldr_y - 100), 7, yellow, -1)
140     # cv2.circle(image, (r_shldr_x, r_shldr_y), 7, pink, -1)
141     # cv2.circle(image, (l_hip_x, l_hip_y), 7, yellow, -1)
142
143     # cv2.circle(image, (l_hip_x, l_hip_y - 100), 7, yellow, -1)
144
145     # ZY Draw landmarks.
146     cv2.circle(image, (l_shldr_z, l_shldr_y), 7, yellow, -1)
147     cv2.circle(image, (l_ear_z, l_ear_y), 7, yellow, -1)
148
149     cv2.circle(image, (l_shldr_z, l_shldr_y - 100), 7, yellow, -1)
150     cv2.circle(image, (r_shldr_z, r_shldr_y), 7, pink, -1)
151     cv2.circle(image, (l_hip_z, l_hip_y), 7, yellow, -1)
152
153     cv2.circle(image, (l_hip_z, l_hip_y - 100), 7, yellow, -1)
154
155
156     # angle_text_string = 'Neck : ' + str(int(XYneck_inclination)) +
' Torso : ' + str(int(XYtorso_inclination))
157     angle_text_string = 'Neck : ' + str(int(ZYneck_inclination)) + '
Torso : ' + str(int(ZYtorso_inclination))
158
159     # Determine whether good posture or bad posture.
160     # The threshold angles have been set based on intuition.

```

```

161     # if XYneck_inclination < 40 and XYtorso_inclination < 10:
162     #     bad_frames = 0
163     #     good_frames += 1
164
165     #     cv2.putText(image, angle_text_string, (10, 30), font, 0.9,
166     light_green, 2)
167     #     cv2.putText(image, str(int(XYneck_inclination)), (
168     l_shldr_x + 10, l_shldr_y), font, 0.9, light_green, 2)
169     #     cv2.putText(image, str(int(XYtorso_inclination)), (l_hip_x
170     + 10, l_hip_y), font, 0.9, light_green, 2)
171
172     #     # Join landmarks.
173     #     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_ear_x, l_ear_y)
174     , green, 4)
175     #     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_shldr_x,
176     l_shldr_y - 100), green, 4)
177     #     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_shldr_x, l_shldr_y)
178     , green, 4)
179     #     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_hip_x, l_hip_y -
180     100), green, 4)
181
182     # else:
183     #     good_frames = 0
184     #     bad_frames += 1
185
186     #     cv2.putText(image, angle_text_string, (10, 30), font, 0.9,
187     red, 2)
188     #     cv2.putText(image, str(int(XYneck_inclination)), (
189     l_shldr_x + 10, l_shldr_y), font, 0.9, red, 2)
190     #     cv2.putText(image, str(int(XYtorso_inclination)), (l_hip_x
191     + 10, l_hip_y), font, 0.9, red, 2)
192
193     #     # Join landmarks.
194     #     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_ear_x, l_ear_y)
195     , red, 4)
196     #     cv2.line(image, (l_shldr_x, l_shldr_y), (l_shldr_x,
197     l_shldr_y - 100), red, 4)
198     #     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_shldr_x, l_shldr_y)
199     , red, 4)
200     #     cv2.line(image, (l_hip_x, l_hip_y), (l_hip_x, l_hip_y -
201     100), red, 4)
202
203     if ZYneck_inclination < 40 and ZYtorso_inclination < 10:

```



```

190         bad_frames = 0
191         good_frames += 1
192
193         cv2.putText(image, angle_text_string, (10, 30), font, 0.9,
194         light_green, 2)
195         cv2.putText(image, str(int(ZYneck_inclination)), (l_shldr_z
196         + 10, l_shldr_y), font, 0.9, light_green, 2)
197         cv2.putText(image, str(int(ZYtorso_inclination)), (l_hip_z +
198         10, l_hip_y), font, 0.9, light_green, 2)
199
200         # Join landmarks.
201         cv2.line(image, (l_shldr_z, l_shldr_y), (l_ear_z, l_ear_y),
202         green, 4)
203         cv2.line(image, (l_shldr_z, l_shldr_y), (l_shldr_z,
204         l_shldr_y - 100), green, 4)
205         cv2.line(image, (l_hip_z, l_hip_y), (l_shldr_z, l_shldr_y),
206         green, 4)
207         cv2.line(image, (l_hip_z, l_hip_y), (l_hip_z, l_hip_y - 100)
208         , green, 4)
209
210     else:
211         good_frames = 0
212         bad_frames += 1
213
214         cv2.putText(image, angle_text_string, (10, 30), font, 0.9,
215         red, 2)
216         cv2.putText(image, str(int(XYneck_inclination)), (l_shldr_z
217         + 10, l_shldr_y), font, 0.9, red, 2)
218         cv2.putText(image, str(int(XYtorso_inclination)), (l_hip_z +
219         10, l_hip_y), font, 0.9, red, 2)
220
221         # Join landmarks.
222         cv2.line(image, (l_shldr_z, l_shldr_y), (l_ear_z, l_ear_y),
223         red, 4)
224         cv2.line(image, (l_shldr_z, l_shldr_y), (l_shldr_z,
225         l_shldr_y - 100), red, 4)
226         cv2.line(image, (l_hip_z, l_hip_y), (l_shldr_z, l_shldr_y),
227         red, 4)
228         cv2.line(image, (l_hip_z, l_hip_y), (l_hip_z, l_hip_y - 100)
229         , red, 4)
230
231         # Calculate the time of remaining in a particular posture.
232         good_time = (1 / fps) * good_frames

```

```

219     bad_time = (1 / fps) * bad_frames
220
221     # Pose time.
222     if good_time > 0:
223         time_string_good = 'Good Posture Time : ' + str(round(
224             good_time, 1)) + 's'
225         cv2.putText(image, time_string_good, (10, h - 20), font,
226             0.9, green, 2)
227     else:
228         time_string_bad = 'Bad Posture Time : ' + str(round(bad_time
229             , 1)) + 's'
230         cv2.putText(image, time_string_bad, (10, h - 20), font, 0.9,
231             red, 2)
232
233     # If you stay in bad posture for more than 3 minutes (180s) send
234     an alert.
235     if bad_time > 180:
236         sendWarning()
237     # Write frames.
238     video_output.write(image)
239
240     # Display.
241     cv2.imshow('MediaPipe Pose', image)
242     if cv2.waitKey(5) & 0xFF == ord('q'):
243         break
244
245 cap.release()
246 cv2.destroyAllWindows()

```

## 参考文献

- [1] 大黒達也. 音楽する脳——天才たちの創造性と超絶技巧の科学. 朝日新書, 2022.
- [2] Joni Maya Cherbo, Ruth Ann Stewart, and Margaret Jane Wyszomirski. *Understanding the Arts and Creative Sector in the United States*. Rutgers University Press, 2008.
- [3] 桜林仁. 音楽療法について. 日本音響学会誌, 35(7):402–405, 1979.
- [4] Jonathan Gangi. Classical guitar study as creativity training: Potential benefits for managers and entrepreneurs. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 45(4), 2018.
- [5] M. Dhriti, Parul Agrawal, and Kurian Aju. Prevalence of playing-related musculoskeletal disorder (prmsd) among amateur young guitar players. *Journal of Musculoskeletal Research*, 16:1330002, 06 2013.
- [6] Furuya S., Nakahara H., Aoki T., and Kinoshita H. Prevalence and causal factors of playing-related musculoskeletal disorders of the upper extremity and trunk among japanese pianists and piano students. *Med Probl Perform Art*, 21(3):112–117, 2006.
- [7] Rietveld A.B.M. Dancers’ and musicians’ injuries. *Clin Rheumatol*, 32:425–434, 2013.
- [8] Fiona C Bull, Salih S Al-Ansari, and et.al. Biddle. World health organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54(24):1451–1462, 2020.
- [9] Google LLC MediaPipe Team. Mediapipe visualizer, 2018. (参照日 : 2023-01-14) <https://google.github.io/mediapipe/>, <https://github.com/google/mediapipe>.
- [10] 飯野なみ, 飯塚泰樹, and 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, 59(3):904–911, 2018.
- [11] Chung Jen-Li, Lee-Yeng Ong, and Meng-Chew Leow. Comparative analysis of skeleton-based human pose estimation. *Future Internet*, 14(12), 2022.
- [12] Mickael Cormier, Aris Clepe, Andreas Specker, and Jürgen Beyerer. Where are we with human pose estimation in real-world surveillance? In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV) Workshops*, pages 591–601, January 2022.
- [13] Yusuke Yamaura, Yukihiro Tsuboshita, and Takeshi Onishi. Head pose estimation for an omnidirectional camera using a convolutional neural network. In *2018 IEEE 13th Image, Video, and Multidimensional Signal Processing Workshop (IVMSP)*, pages 1–5, 2018.
- [14] 宇田川雄貴, 橋本卓弥, 松本賢太, 齋藤未花, and 菊池直樹. Openpose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, 2020:1P2–G11, 2020.
- [15] Masato Nakai, Yoshihiko Tsunoda, Hisashi Hayashi, and Hideki Murakoshi. Prediction of basketball free throw shooting by openpose. In Kazuhiro Kojima, Maki Sakamoto, Koji Mineshima, and Ken Satoh, editors, *New Frontiers in Artificial Intelligence*, pages 435–446, Cham, 2019. Springer International Publishing.
- [16] Laurie Needham, Murray Evans, Darren P. Cosker, and Steffi L. Colyer. Development, evaluation and application of a novel markerless motion analysis system to understand push-start technique in elite skeleton athletes. *PLOS ONE*, 16(11):1–12, 11 2021.
- [17] Valentin Bazarevsky, Ivan Grishchenko, Karthik Raveendran, Tyler Zhu, Fan Zhang, and Matthias Grundmann. BlazePose: On-device real-time body pose tracking. *CoRR*, abs/2006.10204, 2020.
- [18] Rahman Md. M., Kazutaka M., Masafumi S., and Noboru 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*, 5(2):243–250, 2010.
- [19] 木下博, 小幡哲史, and 平野剛. 音楽演奏の運動解析. 日本音響学会誌, 72(12):783–789, 2016.
- [20] Bráulio Bosi. Left-hand injuries in guitarists: Literature review and some solutions. *Per Musi*, (37), 2018.

- [21] G.L. Marcialis, F. Roli, and G. Fadda. A novel method for head pose estimation based on the “vitruvian man” . *Int. J. Mach. Learn. Cyber*, 5:111–124, 2014.
- [22] Mithelan Devanandan, Vithurson Rasaratnam, Manoj Karthik Anbalagan, Narthanan Asokan, Rrubaa Panchendrarajan, and Janani Tharmaseelan. Cricket shot image classification using random forest. In *2021 3rd International Conference on Advancements in Computing (ICAC)*, pages 425–430, 2021.
- [23] Hang Thi Phuong Nguyen, Yeongju Woo, Ngoc Nguyen Huynh, and Hieyong Jeong. Scoring of human body-balance ability on wobble board based on the geometric solution. *Applied Sciences*, 12(12), 2022.
- [24] Chirag Dilip Jawale, Keval Ashok Joshi, Swaroop Kusumakar Gogate, and Chetana Badgujar. Elcare: Elderly care with fall detection. *Journal of Physics: Conference Series*, 2273(1):012019, may 2022.
- [25] Rithik Kapoor, Ashish Jaiswal, and Fillia Makedon. Light-weight seated posture guidance system with machine learning and computer vision. In *Proceedings of the 15th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, PETRA '22*, pages 595–600. Association for Computing Machinery, 2022.
- [26] Ultraleap. Leap motion, 2020. (参照日 : 2023-01-14)  
<https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>.
- [27] doxygen. Openpose 1.7.0, 2022. (参照日 : 2023-01-14)  
<https://cmu-perceptual-computing-lab.github.io/openpose/web/html/doc/index.html>.
- [28] Patryk Radzki. Detection of human body landmarks - mediapipe and openpose comparison - openpose vs mediapipe, 2022. (参照日 : 2023-01-14)  
<https://www.hearai.pl/post/14-openpose/>.
- [29] BeomJun Jo and SeongKi Kim. Comparative analysis of openpose, posenet, and movenet models for pose estimation in mobile devices. *Traitement du Signal*, 39(1):119–124, 2022.
- [30] George Papandreou, Tyler Zhu, Nori Kanazawa, Alexander Toshev, Jonathan Tompson, Chris Bregler, and Kevin P. Murphy. Towards accurate multi-person pose estimation in the wild. *CoRR*, abs/1701.01779, 2017.
- [31] Kukil and Vikas Gupta. Yolov7 pose vs mediapipe in human pose estimation (learnopencv), 2022. (参照日 : 2023-01-14)

- <https://learnopencv.com/yolov7-pose-vs-mediapipe-in-human-pose-estimation>.
- [32] Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, and Hong-Yuan Mark Liao. YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. *arXiv preprint arXiv:2207.02696*, 2022.
- [33] 西村拓一福田賢一郎武田 英明飯野 なみ, 西村 悟史. 領域オントロジーと手続き的知識を併用した知識構築の実践と分析. 人工知能学会論文誌, 35(1):1–12, 2020.
- [34] 公益社団法人 日本ギター連盟. 東京国際ギターコンクール, 2022. (参照日: 2023-01-10)  
<http://www.guitarists.or.jp/index.html>.
- [35] Valenzuela-Gómez SA., Rey-Galindo JA., and Aceves-González C. Analyzing working conditions for classical guitarists: Design guidelines for new supports and guitar positioning. *Work*, 65:1–11, 2020.
- [36] Jaume Marques F. Gurgel I.G.D. Augusto L.G.S. Marques, Djalma Rosset. Flamenco guitar as a risk factor for overuse syndrome. *Medical Problems of Performing Artist*, 18:11–14, 2003.
- [37] Tim Morse, Jennifer Ro, Martin Cherniack, and Stephen Pelletier. A pilot population study of musculoskeletal disorders in musicians. *Medical Problems of Performing Artists*, 15:81–85, 2000.
- [38] Rebecca Cole. Practical music: Music musicians—the little things that count. 21(4):24–26, 2006.
- [39] Bráulio Bosi. Classical guitar and posture - what should we teach? 9:18–25, 2018.
- [40] D. Dionisis Aguado. *Dionisio Aguado Nuevo metodo para guitarra*. 1813.  
[https://www.academia.edu/36397566/Dionisio\\_Aguado\\_Nuevo\\_metodo\\_para\\_guitarra](https://www.academia.edu/36397566/Dionisio_Aguado_Nuevo_metodo_para_guitarra).
- [41] Fernando Sor. *Sor's Method for Spanish Guitar*. R. COCK ADND CO., 1920.
- [42] Sofia Dahl and Anders Friberg. Visual perception of expressiveness in musicians' body movements. *Music Perception*, 24, 06 2007.
- [43] Chia-Jung Tsay. Sight over sound in the judgment of music performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(36):14580–14585, 2013.
- [44] 星野悦子 (監訳). 音楽的コミュニケーション. Oxford University Press, 2012.  
Davidson, J. W. (2005). Bodily communication in musical performance. In D. Miell, R. MacDonald, D. J. Hargreaves (Eds.), *Musical communication*. New

York: Oxford University Press.

- [45] 沢井史穂, 実松寛之, 金久博昭, 角田直也, and 福永哲夫. 基本的日常生活動作中の体幹および下肢の筋活動水準の男女差. *体力科学*, 55(2):247–258, 2006.
- [46] Nadine M. Dunk and Jack P. Callaghan. Gender-based differences in postural responses to seated exposures. *Clinical Biomechanics*, 20(10):1101–1110, 2005.
- [47] Steven J. Fleck, William J. Kraemer, and (監訳)長谷川裕. 第9章 女性とレジスタンストレーニング - 相対筋力の男女差. In *レジスタンストレーニングのプログラムデザイン*, pages 4–5. Book House HD, 2007.
- [48] Dana Carney, Amy Cuddy, and Andy Yap. Power posing: Brief nonverbal displays affect neuroendocrine levels and risk tolerance. *Psychological science*, 21:1363–8, 10 2010.
- [49] 日本ジュニア・ギター教育協会. 過去のコンクール結果, 2022. (参照日 : 2023-01-10)  
<https://www.guitar.gr.jp/junior/>.
- [50] 中部日本ギター協会. 名古屋ギターコンクール, 2022. (参照日 : 2023-01-10)  
<http://www.cn-gk.net/nagoya.html>.
- [51] Google LLC MediaPipe Team. Mediapipe, 2018. (参照日 : 2023-01-14)  
<https://viz.mediapipe.dev/>.