

スマートフォン利用時の姿勢矯正に向けた 首の角度推定手法の提案

渡邊健斗¹ 中村聡史¹

概要：スマートフォン利用時において、スマートフォンを肩より下に置き、上から覗き込むような俯いた姿勢で操作してしまう人が多く見られる。首は傾ければ傾けるほど負荷がかかるため、ユーザの姿勢をリアルタイムに評価しフィードバックするシステムによりユーザの姿勢矯正を支援できると考えられる。本稿では、姿勢矯正システムの初期段階としてスマートフォンのみを用いた首の角度推定を目的とする。首が傾くとスマートフォンの内カメラ上で鼻から首元までの距離が短くなることに着目し、姿勢がいい時との差分を用いた首の角度推定手法を提案した。また、データセットを構築しその精度を検証した。その結果、一定の精度で推定可能であることが明らかになった一方、精度には改善の余地があることも明らかとなった。

キーワード：姿勢矯正、スマホ首、ストレートネック、スマートフォン

1. はじめに

首の骨がまっすぐになってしまい、首にかかる負荷が分散できず首への負荷が増大する、「ストレートネック」が大きな問題となっている。ストレートネックとは、図1に示すように、本来湾曲しているべきである首の骨の湾曲が少なくなり、まっすぐになってしまうことをいう。ストレートネックになってしまうと首こりや肩こりといった健康面、美容面、精神面など様々な悪影響がある。このストレートネックは、何らかの対象を上から覗き込むような形で俯くような、頭部が前に突き出した「頭部前方位姿勢」を長時間続けることによりなりやすいことが知られている。

ここで、頭部前方位姿勢のように、姿勢が悪くなりやすい状況として、スマートフォン利用時があげられる。実際、我々がYahoo!クラウドソーシング[1]にて男女2,000名を対象としたアンケート調査を2023年7月に行ったところ、有効回答者1,623人のうち約83%の人がスマートフォンを首の高さ以下の位置で利用していると回答していた。そもそも首は傾ければ傾けるほど首に負荷がかかるとされており(図2)、日常的に俯いた姿勢でスマートフォンを利用していると首に大きな負荷がかかることになる。この、スマートフォン利用時の頭部前方位姿勢を防ぐには、日常的に姿勢に注意してスマートフォンを利用する必要があるが、自身で意識することは容易ではない。そのため、システム等によってユーザのスマートフォン利用時の姿勢をリアルタイムで推定し、姿勢が悪い場合にフィードバックを返すことが重要であると考えられる。

スマートフォンを利用しているユーザの姿勢を推定するため、後頭部にウェアラブルセンサを装着して推定する手法[3]や、Kinectと電気ゴニオメータそれぞれを用いた首の角度を推定する手法[4]がある。しかし、センサを購入、装着する手間や、特定の範囲内でスマートフォンを利用しなけ

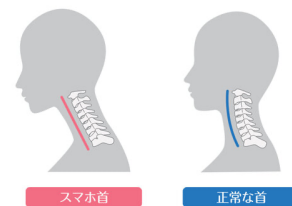


図1 スマホ首と正常な首



図2 首の角度と首への負担[2]

ればならないといった制約がある。またLowanontら[5]は、スマートフォンのみを用いて首の角度を推定しているが、スマートフォンと顔の距離が一定でなければ正しく推定できないという問題があった。このように、既存手法は日常的なスマートフォン利用時で用いることが困難である。

そこで本研究では、スマートフォンのみを用いて首の角度を推定する手法を提案する。具体的には、スマートフォンの傾きと、スマートフォンの内カメラから得た映像から顔や首に関する特徴量を算出し、重回帰分析を行うことで首の角度を推定する。また、これまでの研究では頭部の傾きを首の角度としており、実際の首の角度を十分に考慮できていないという問題があった。そのため、首の角度を十分に考慮したデータセットを構築する手法も検討し、データセットを構築したうえでその精度を検証する。

¹ 明治大学
Meiji University

2. 関連研究

2.1 スマートフォンの利用と首への負担に関する研究

スマートフォンの利用と首への負担に関する研究は様々行われている。Namwongsa ら[6]は、様々な首の角度で1分30秒のテキスト入力作業を行い、首の筋活動と首の痛みを測定する実験を行った。実験の結果、首の角度が大きくなるほど頸部脊柱起立筋の筋活動が増加することから、スマートフォン利用時の首の角度は0度～15度の間が望ましいと述べている。さらに、タイの学生799名に対し、スマートフォンの利用と筋骨格系障害に関するアンケート調査を行った[7]。12ヶ月の実験の結果、喫煙とスマートフォン利用時間が頸部筋骨格系障害と関係していることを明らかにした。またLee[8]は、スマートフォンの利用者の首の角度、可動域、筋持久力、痛みと障害の関係を調査し、スマートフォンの首を曲げた姿勢での長利用時間が長いほど首の痛みが悪化し、日常生活に支障を感じる日数が増えることを明らかにした。

我々の研究は、この首を曲げた状態でのスマートフォン利用による身体への負担を軽減させるため、ユーザの首の角度を推定することを目的としている。

2.2 着座姿勢における姿勢矯正システム

PC作業時などの着座姿勢における姿勢矯正システムについての研究は様々なものがある。Ishimatsu ら[9]は、ユーザの姿勢を横からKinectを用いて撮影することで上半身の前傾姿勢を、座面に複数の圧力センサを設置することで足の交差を検知し、不良姿勢時にポップアップウィンドウを用いてフィードバックする「BITAIKA」システムを開発した。30分のPC作業を行う実験の結果、システム利用時の方が不良姿勢を取った時間が有意に短かったことを明らかにした。Kim ら[10]はPC作業時のディスプレイ上部に3Dカメラを取り付けることでユーザの前傾姿勢を検知するシステムを開発した。実験の結果、ポップアウトウィンドウを用いた視覚的なフィードバックがユーザの前傾姿勢防止を支援することを明らかにした。またChoi ら[11]は、ユーザに感知されない速度で上下左右、前後傾斜に動く可動モニタを用いることでユーザの姿勢を誘導するシステムを開発した。50分の文書作成タスクを行う実験の結果、従来の固定モニタに比べて頭部前方位姿勢を取る時間が短く、疲労度も少ないことを明らかにした。

これらの研究はユーザの行動範囲が限定されている状況において有効であるが、スマートフォン利用時のようにユーザが広範囲に移動する可能性がある場合には適応が困難である。我々の研究は、より多様な場面でユーザの姿勢を推定することを目的としている。

2.3 スマートフォン利用時の姿勢矯正システム

スマートフォン利用時にける姿勢矯正システムについても様々研究されている。特に加速度センサを用いて首の角

度をセンシングするものが多い。ケーブル部分が首のラインに沿うようになっているネックバンド型のワイヤレスイヤフォンを装着し、ケーブル部分に加速度センサを設置するもの[12]や、ウェアラブルネックレスの首裏部分に加速度センサを設置するもの[13]、導電性糸を用いて電子機器をテキスタイルに組み込む技術を用いたベスト[14]など様々な形態のものがある。これらの研究では、首筋や首裏に直接センサを取り付けるため正確に首の角度を取得できる一方、ウェアラブルセンサを購入、装着しなければならず、導入コストが高いといえる。

一方、スマートフォンのみを用いた姿勢矯正システムについても多数研究されている。Gupta[15]は、スマートフォンの加速度センサから傾きを取得し、その値もとにユーザの姿勢を判定している。Lee ら[16]は、スマートフォンの傾きと内カメラの映像に映るユーザの顔領域の大きさ、形状、明るさ等を用いてユーザの姿勢を判定するシステムを開発した。これらの研究では、ユーザの背筋に対する首の角度と首に対する顔の角度が同一のものとして扱われており、首に負荷をかける要因を正確に推定することができていない。

我々の研究もこれらの研究と同様にスマートフォン利用時のユーザの首の角度を推定するものであるが、スマートフォンのみでユーザの顔の角度を考慮して首の角度推定を行うものである。

3. 提案手法

3.1 概要

スマートフォンのみを用いて首の角度を推定するため、ここではスマートフォンの傾きと、スマートフォンの内カメラから得られる映像に着目する。スマートフォン利用時の内カメラには、ユーザがスマートフォンの画面を見ているため、ユーザの顔やその周辺が映っていることが多い。ここで、スマートフォンの位置が固定であるとき、首が下に傾けば傾くほどスマートフォンの内カメラの映像上でユーザの鼻から首元までの距離は短くなる(図3)。この鼻から首元までの距離の、正しい姿勢(以降基準姿勢)のときの値に対する割合を特徴量として利用することで首の角度が推定可能になると期待される。

3.2 特徴量とその前処理

3.1節で述べた通り、角度の推定のためユーザの鼻から首元までの距離の変化を利用するが、首に対するユーザの顔の角度や、ユーザの顔とスマートフォンの位置関係、ユーザの顔とスマートフォンとの距離によっても変化する。そこで、こうした情報を特徴量化し、利用することによってユーザのスマートフォンに対する首の角度を推定する。具体的には、スマートフォンに対する顔の角度やスマートフォン自身の地面に対する角度、ユーザの鼻から首元までの距離と、目と目の距離を利用する。なお本稿では簡単のため、首

の角度については前後方向（図4）に限定する。

具体的には、それぞれの値を以下のように定義する。

F_a : 現在のスマートフォンに対するユーザの顔角度

S_a : 現在の地面に対するスマートフォンの角度

D_e : 現在のユーザの目と目の距離

D_n : 現在のユーザの鼻から首元までの距離

D_{es} : 基準姿勢時のユーザの目と目の距離

D_{ns} : 基準姿勢時のユーザの鼻から首元までの距離

以上を踏まえ、最終的な特徴量は以下の3つとなる。

1. F_a
2. S_a
3. $\frac{D_n D_{es}}{D_e D_{ns}}$

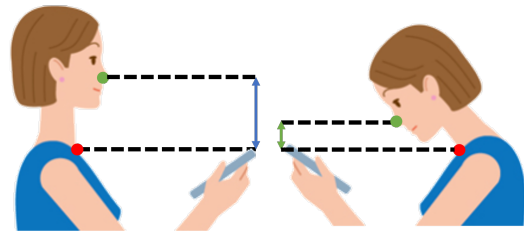


図3 鼻から首元までの距離の変化



図4 首の前後方向の動き

4. データセット構築

4.1 既存研究におけるデータセット構築手法

既存研究[5]では首の角度の正解データは、壁に貼り付けられた角度に沿って頭を倒すという形式で実現されていた。この方法では、首の角度と首に対する顔の角度を分離できず、実際の首の角度を計測するうえで適切であるとはいえない。また、主観に基づくものであり、データの客観性に問題があった。

Oyeleke ら[17]は良い姿勢（首や頭を曲げない姿勢）と悪い姿勢（頭部を前や横に傾けた姿勢）について画像を収集し、CNN を用いて二値分類を行っている。また Lee ら[16]も、スマートフォンのみを用いて首の角度を推定しているが、立位と座位それぞれにおける頭部を持ち上げた姿勢、頭部を倒した姿勢の合計 4 種類の姿勢についてのデータセットを構築している。これらの研究は、良い姿勢と悪い姿勢における明確な基準が存在していない。また、良い姿勢と悪い姿勢の 2 段階のデータセットしかないため、実際にユーザがスマートフォンを利用する際の連続的な姿勢についての検証ができていないという問題がある。

4.2 本研究でのデータセットの構築方法

4.1 節で触れた通り、これまでの研究で実現されていたデータセットは、様々な姿勢を取るユーザのスマートフォンの実利用に相当するものではなかった。実利用を考慮すると、首の角度やスマートフォンの角度だけでなく、首に対する顔の角度やスマートフォンと顔の位置関係なども考慮する必要がある。ここで、そのすべての変数の取りうる範囲について、ひとつひとつの値を固定してデータ取得を繰り返すことは工程数も多く現実的ではない。

そこで本研究では、ユーザの首の角度を計測する外部のカメラを用いつつ、首や顔の角度とスマートフォンをそれぞれ動かしながらその内カメラとセンサの情報を記録することで、データ数を維持したうえで工程数の削減を実現する。また、外部のカメラから得られるデータとスマートフォ

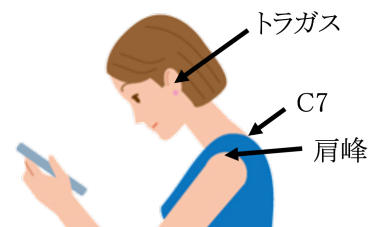


図5 各部位の位置

ンから得られるデータを時間的同期させることにより、同一姿勢に対するデータを取得する。

4.3 首の角度の正解データ

首の角度の計測方法は大きく 2 つのものがある。一つは、首裏にある C7 と呼ばれる頸椎の上から 7 番目の骨が隆起している点と、トラガスと呼ばれる顔側の耳孔の前にある三角に出っ張った軟骨部分の点を結んだ直線の傾きとするものである。もう一つは、肩峰と呼ばれる鎖骨と上腕骨の繋ぎ目部分の点とトラガスを結んだ直線の傾きとするものである。それぞれの位置を図 5 に示す。どちらも首の角度に関する姿勢矯正の文脈で用いられる手法であるが、前者の場合、肩より下がまっすぐなとき最も首に負担がかからない姿勢でも 10~20 度程度傾いていることになる。またその傾きは個人によって異なると考えられる。そこで本研究では、ユーザが目指すべき値を理解しやすくするため、肩峰とトラガスを結んだ直線との傾きを首の角度とした。またこれに伴い、基準姿勢を首の角度が 0 である時、つまり肩峰とトラガスが地面に対して垂直に並んでいる姿勢と定義する。

4.4 データセット構築のための動作デザイン

本研究では、参加者にスマートフォンを手に持ち様々な姿勢をとってもらいながらそれを横から撮影することで、スマートフォンから得られる特徴量と正解データを収集する。ここで、3.2 節で述べたユーザの鼻から首元までの距離に影響を与えると考えられる 3 つの要因（首に対するユー

ザの顔の角度、ユーザの顔とスマートフォンとの位置関係、ユーザの顔とスマートフォンの距離)と正解データがいずれも連続的であるため、全ての組み合わせについてバランス良くデータを取るには、ユーザに自由に動いてもらうのではなく、ある程度動きを統制する必要がある。そのため、本研究では図6に示すように参加者に対して動きのデザインを行った。この図中の動きを1セットとし、休憩を挟みつつ合計5セット行ってもらった。1セットあたりの所要時間は7分で、トータル60分であった。

参加者には、タブレットを用いて自身の首の角度をリアルタイムに視覚フィードバックし、首の角度を維持すべきときは厳密に意識しすぎる必要はないが、およそ角度を維持するように教示した。なお、スマートフォンがユーザの目の高さ以上の位置にある場合は、首への負担が少ないことから本稿では対象外とした。

4.5 データセット構築システム

データセットを構築するため、特徴量と正解データを収集するシステムを開発した。システムは特徴量を得るためのスマートフォンを用いた部分と、正解データを得るための外部カメラを用いた部分で構成される。

まずスマートフォンを用いた部分について、3つの特徴量を以下のように取得した。

1. 制約の無い end-to-end の頭部姿勢推定手法[18]を用いて、スマートフォンの内カメラから得られた画像における顔の角度を推定した。なお、推定のスコアが0.9未満のものは推定ミスとしてデータから除外した。
2. JavaScript を用いてスマートフォンの方向センサの値を取得した。
3. 姿勢推定フレームワークである OpenPose[19]の学習済みモデルを用いた pytorch-openpose を用いて、スマートフォンの内カメラから得られた画像からユーザの骨格情報を推定し、取得した座標情報から特徴量を算出した。なお、1と同様に両目、鼻のキーポイントの推定スコアが0.7未満のものはデータから除外した。また、首元のキーポイントは推定スコアがある程度低くてもおよそ正確な位置を示していることが多いと判断したため、推定スコアが0.2未満のものを除外対象とした。

これらの特徴量は30fpsで取得した。

次に、外部カメラによる首の角度の取得について、事前に高速に動作する姿勢推定フレームワークである MediaPipe[20]を用いて検証を行ったところ、肩の検出位置が不安定であり、首の角度の計測精度に問題があった。そこで、正解データを取得するため実験参加者の肩峰とトラガスの位置にARマーカを貼り付けた。外部カメラを用いてそれらの座標を検出し、結んだ直線の傾きを求めることで首の角度を算出した。なお、ARマーカはスマートフォンの内カメラに映り込み、また、外部カメラのフレームレートは15fps程であった。

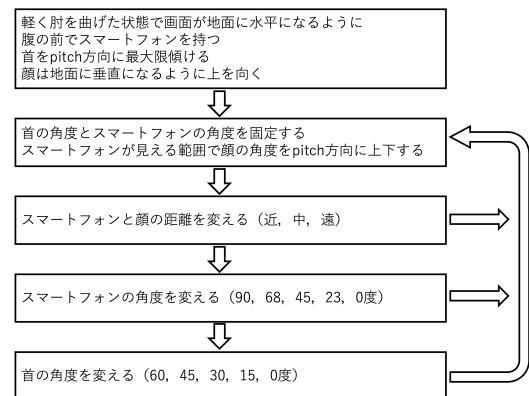


図6 データセット構築における動きのデザイン



図7 実験の様子

ここで、スマートフォンの内カメラと正解データを取得するための外部カメラではフレームレートが異なるため、タイムスタンプの差が40ミリ秒以内のものを同一姿勢に対するデータとして対応付けた。タイムスタンプの差が40ミリ秒以内のデータが複数ある場合には、より時間差が少ない方のデータを採用した。

4.6 データセット構築環境

データセット構築は十分な明るさの室内で行い、ブラインドを閉めることで昼夜による室内の明るさの変化が小さくなるようにした。また、遮蔽物を置きスマートフォンの内カメラや外部カメラに参加者以外の人が映り込まないようにした。

データセット構築に使用するスマートフォンは Apple iPhone11 を用いた。外部カメラには V4K USB 書画カメラ IPEVO を用いた。外部カメラが地面に対して水平になるようにした。データセット構築の様子を図7に示す。

参加者は大学生、大学院生の5名(男性4名、女性1名)であった。また、参加者が巻き肩であると正解データに誤差が生じてしまうため、巻き肩の人は対象外とした。さらに巻き肩でない参加者に対しても、データ取得中は肩が内側に入らないよう注意するよう教示した。

表1 全参加者のデータを学習した場合の分類確率

		推定した角度 (度)						
		0	10	20	30	40	50	60
正解データ (度)	0	0.17	0.57	0.16	0.05	0.03	0.01	0.00
	10	0.07	0.45	0.32	0.10	0.04	0.01	0.00
	20	0.02	0.24	0.40	0.20	0.10	0.03	0.00
	30	0.01	0.08	0.20	0.31	0.31	0.01	0.01
	40	0.00	0.03	0.11	0.18	0.36	0.28	0.04
	50	0.00	0.02	0.05	0.09	0.24	0.42	0.18
	60	0.00	0.01	0.01	0.03	0.12	0.42	0.41

表2 参加者ごとに学習した場合の分類確率

		推定した角度 (度)						
		0	10	20	30	40	50	60
正解データ (度)	0	0.43	0.41	0.17	0.04	0.02	0.02	0.00
	10	0.16	0.41	0.29	0.08	0.04	0.02	0.00
	20	0.06	0.25	0.38	0.17	0.09	0.04	0.01
	30	0.01	0.08	0.17	0.36	0.26	0.10	0.03
	40	0.00	0.03	0.07	0.20	0.33	0.28	0.08
	50	0.00	0.01	0.03	0.08	0.22	0.42	0.22
	60	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09	0.30	0.56

5. 機械学習

5.1 推定方法

スマートフォン利用時のユーザの首の角度を推定するため、得られた特徴量と正解データをもとにランダムフォレストを用いて重回帰分析を行う。参加者1人につき5セット分のデータを取得したため、5分割交差検証を行った。機械学習には、Pythonのライブラリであるscikit-learnを用いた。なお、スケールが異なる特徴量を扱うため、事前にデータの標準化を行った。なお、データは1人あたり約15,000件、合計84374件のデータを収集した。

5.2 推定結果

全参加者について5分割交差検証を行った結果、平均決定係数が0.61、平均RMSEが11.64、平均MAEが8.68であった。また正解データが0度～60度までを10度間隔で7段階に分け、それぞれの角度のデータについての推定分類確率を表1に示す。表から、0度以外の角度においては約40%程度の確率で正しく分類できていることがわかる。また、正しく分類できていない場合でもその付近の角度を推定することがわかった。一方、0度のデータについては10度と推定してしまうことが最も多いこともわかる。

次に参加者ごとに5分割交差検証を行ったところ、平均決定係数の平均が0.60、平均RMSEの平均が11.47、平均MAEの平均8.42であった。また、参加者ごとに学習させた場合の分類確率の平均を表2に示す。表から、全ての角度について正解の角度と推定する確率が最も高かった。また全参加者のデータを学習した場合と同様に、不正解の場合でもその近辺の角度と推定していることがわかる。ここで、参加者ごとに学習させた場合、個人ごとに精度に差があった。分類確率の精度が全体的に高かった参加者の例と低かった参加者の例を表3、表4に示す。表から、多くの角度において15%程度の差があることがわかる。一方、正解データが0度と40度の分類確率においては全体的に精度が低かった参加者の方が高精度であった。

6. 考察

6.1 推定精度

参加者全体、個人ごとともに決定係数が0.6程度であることから、全体として本手法が一定の精度で首の角度を予測できていることがわかる。しかし、RMSEやMAEの値から、平均で約8.5度の誤差があることがわかる。これは推定値が0～60度の範囲であることを考えると小さくなく、精度には改善の余地があるといえる。

分類確率の結果より、参加者全体、個人ごとともに多くの首の角度において正解の角度と推定している確率が最も高く、不正解の場合でもその近辺の角度と推定していることから、比較的高精度に分類できていることがわかる。ここで、正解データが0度と60度のものについては、0度より小さく推定した場合、60度より大きく推定した場合にも正解と分類されることから、他の角度より正解確率が高いことが予想される。しかし、結果としては60度のデータについては同程度であり、0度のデータについては逆に精度が低く15度と推定することが多かった。これは、その角度を維持することが難しかったがために参加者の肩の位置が移動してしまったことが影響していると考えられる。4.6節で述べた通り、肩の位置が移動してしまうと正解データの値が実際のものとは異なってしまったため、データセット構築の際に参加者には肩が内側に入らないよう教示した。しかし、逆に肩を外側に開くことについての教示は行っていなかった。首の角度を0度や60度に保つことが難しい場合、肩を外側に開いたり内側に閉じたりしてしまうことがある。そのため、実際の首の角度が0度や60度で特徴量がそれにともなった値であったとしても、正解データが異なったものとなってしまっていた可能性が考えられる。また、個人ごとに精度に差がみられたが、首の傾きと特徴量の変化率が異なり個人に対して最適なモデルが構築できなかった、基準姿勢の取得に誤差があったなどの要因が考えられるが、原因は明らかでない。

6.2 特徴量による影響

推定精度が下がった要因として、特徴量が不適切であっ

表3 精度が良かった参加者の分類確率

		推定した角度 (度)						
		0	10	20	30	40	50	60
正解データ (度)	0	0.24	0.54	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00
	10	0.08	0.52	0.34	0.06	0.01	0.00	0.00
	20	0.03	0.28	0.40	0.13	0.05	0.01	0.00
	30	0.00	0.03	0.13	0.52	0.23	0.08	0.01
	40	0.00	0.00	0.05	0.22	0.30	0.36	0.07
	50	0.00	0.00	0.00	0.05	0.13	0.61	0.21
	60	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.37	0.61

表4 精度が低かった参加者の分類確率

		推定した角度 (度)						
		0	10	20	30	40	50	60
正解データ (度)	0	0.45	0.33	0.11	0.06	0.02	0.03	0.00
	10	0.16	0.39	0.22	0.12	0.05	0.05	0.01
	20	0.05	0.24	0.25	0.25	0.12	0.08	0.02
	30	0.02	0.09	0.20	0.30	0.22	0.14	0.02
	40	0.01	0.03	0.09	0.19	0.35	0.28	0.07
	50	0.01	0.03	0.06	0.10	0.23	0.40	0.17
	60	0.00	0.01	0.02	0.04	0.14	0.37	0.43

た可能性がある。

まず本稿ではスマートフォンの角度とユーザの顔の角度について、pitch 軸のみの角度に着目し、roll, yaw 軸の角度については考慮しなかった。しかし、実際にはそれぞれに傾きがあったことから、ユーザの鼻から首元までの距離や目と目の距離に影響を与えたことが考えられる。そのため、pitch 軸のみだけでなく roll, yaw 軸の角度も考慮することにより、精度向上につながると考えられる。

また、基準姿勢を取得する際、参加者に背中と頭を壁に付け、スマートフォンを顔の前に持ってもらうことで首の角度が 0 度かつスマートフォンや顔の傾きによる影響を排除しようと考えていた。しかし、スマートフォンや参加者の顔の傾きを完全に排除することはできなかった。そのため、基準姿勢における鼻から首元までの距離や目と目の距離に誤差が生じ、精度に影響を与えた可能性が考えられる。なお、壁に背を付けていい姿勢をすることは簡単ではないため、そうしたことが影響した可能性も否めない。

一方、今回 pytorch-openpose を用いて骨格推定を行っているが、その精度が十分でなかったために精度が出ていない可能性も考えられる。実際に pytorch-openpose を用いて同じ首の角度について骨格推定を行った例を図 8 に示す。図の左はスマートフォンの角度が 90 度付近 (地面に垂直) のもので、右はスマートフォンの角度が 0 度付近 (地面に水平) のものである。図から、スマートフォンが 90 度付近の場合は正しく推定できているのに対し、スマートフォンの角度が 0 度付近の際に推定すべき首元よりも下の胸元付近を推定していることがわかる。このように骨格推定の精度が不安定であったことが、推定精度に影響していることが考えられる。そこで今後は特徴量、正解データの取得方法を再検討し、精度向上を目指す。

7. まとめ

本研究では、スマートフォンのみを用いた首の角度推定のため、スマートフォンの内カメラに映る映像とセンサに着目し、ユーザの鼻から首元までの距離を用いる手法を提



図8 骨格推定の結果

案した。また、既存研究のデータセット構築の問題点を踏まえ、データ数を維持しつつ工程数を削減するデータセット構築の手法についても検討した。さらに、構築したデータセットをもとに重回帰分析を行った結果、全参加者のデータを学習した場合と参加者ごとにデータを学習した場合ともに、決定係数が約 0.6 であり、平均 8.5 度の予測残差があった。これは一定の精度で推定できているが、目的変数のスケールから十分な精度ではないといえる。また首の角度について 0~60 度を 10 度間隔で分類したところ、多くの角度において正解の角度と分類される確率が最も高く、不正解の場合でもその近辺の角度と推定されることが明らかとなった。精度が高くなかった要因として、データセット構築参加者の肩の移動を考慮できていなかったこと、特徴量抽出の精度が不安定であったことなどが挙げられる。

今後は特徴量、正解データの取得方法について再検討し、予測モデルの精度向上を目指す。また、予測モデルを用いてスマートフォン利用時のユーザの姿勢をリアルタイムに推定し、フィードバックを行うことによる姿勢矯正システムの開発を目指す。

参考文献

- [1] “Yahoo!クラウドソーシング”. <https://crowdsourcing.yahoo.co.jp/>, (参照 2023-12-14).
- [2] Hansraj, K. K.. Assessment of Stresses in the Cervical Spine Caused by Posture and Position of the Head. Surgical Technology International, 2014, vol. 25, no. 25, pp. 277-279
- [3] “ALEX PLUS | 株式会社 EFG”. https://www.enjoyfg.com/brand/alex_plus/, (参照 2023-12-14)
- [4] Allahyari, T., Samani, A. S., & Khalkhali, HR.. Validity of the Microsoft Kinect for measurement of neck angle: comparison with

- electrogoniometry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2016, vol. 23, no. 4, pp. 524-532
- [5] Loawanont, W., Mongkolnam, P., & Nukoolkit, C.. Smartphone Posture Monitoring System to Prevent Unhealthy Neck Postures. *Proc. of 12th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, 2015, pp. 331-336
- [6] Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M, S., & Boucaut, R.. Effect of neck flexion angles on neck muscle activity among smartphone users with and without neck pain. *Ergonomics*, 2019, vol. 62, no. 12, pp. 1524-1533
- [7] Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M, S., Boucaut, R.. Factors associated with neck disorders among university student smartphone users. *Work*, 2018, vol. 61, no. 3, pp. 367-378
- [8] Lee, H, J.. Neck Pain and Functioning in Daily Activities Associated with Smartphone Usage. *The Korea Society of Physical Therapy, The Journal of Korean physical therapy*, 2016, vol. 28, no. 3, pp. 183-188
- [9] Ishimatsu, H., Ueoka, R.. BITAIKA: development of self posture adjustment system. *Proc. of the 5th Augmented Human International Conference*, 2014, no. 30, pp. 1-2
- [10] Kim, J., Lee, N. H.m Bae. B. C., & Cho. J. D.. A Feedback System for the Prevention of Forward Head Posture in Sedentary Work Environments. *Proc. of the 2016 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems*, 2016, pp. 161-164
- [11] Choi. K. H., Cho. M. U., Park. C. W., Kim. S. Y., Kim. M. J., Hong. B., & Kong. Y. K.. A Comparison Study of Posture and Fatigue of Neck According to Monitor Types (Moving and Fixed Monitor) by Using Flexion Relaxation Phenomenon (FRP) and Craniovertebral Angle (CVA). *International journal of environmental research and public health*, 2020, vol. 17, no. 17, 6345
- [12] Liao. D. Y.. Design of a Secure, Biofeedback, Head-and-Neck Posture Correction System. *2016 IEEE First International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, 2016, pp. 119-124
- [13] Chung. H. Y., Chung. Y. L., & Liang. C. Y.. Design and Implementation of a Novel System for Correcting Posture Through the Use of a Wearable Necklace Sensor. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, vol. 7, no. 5, e12293
- [14] Martins. J., Cerqueira. S. M., Sliva. A. F., Catarino. A., Rocha. A., & Santos. C. P.. Towards a Smart-Vest for Forward Posture Monitoring: Improving Usability with E-Textiles, *2023 IEEE 7th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG)*, 2023, pp. 215-218
- [15] Gupta. H.. Smartphone Based Cervical Spine Stress Prevention. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2018, vol. 11, no. 2, pp. 110-120
- [16] Lee. H., Lee. S., Choi. Y. S., Seo. Y., & Shim. E.. A New Posture Monitoring System for Preventing Physical Illness of Smartphone Users. *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, 2013, pp. 713-716
- [17] Oyeleke. R. O., & Sorinolu. B. G.. Towards Explainability in mHealth Application for Mitigation of Forward Head Posture in Smartphone Users. *2022 IEEE International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom)*, 2022, pp. 49-55
- [18] Hempel. T., Abdelrahman. A. A., & Al-Hamadi. A.. 6D Rotation Representation For Unconstrained Head Pose Estimation. *2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2022, pp. 2496-2500
- [19] Cao, Z., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y.. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. *Proc. of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 7291-7299.
- [20] Lugaesi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C. L., Yong, M.G., Lee, J. & Chang, W. T. Mediapipe: A framework for building perception pipelines. 2019, arXiv preprint arXiv:1906.08172.