

学習者の脚部状態に基づいて関心度を推定する手法の提案

江木 啓訓^{1,a)} 浅井 康貴¹ 相川 大吾¹

概要: 本研究では、脚部の状態や動作から学習者の関心度を推定する手法を提案する。学習活動を適切に支援するため、教員が学習者の状況を把握することは重要である。学習者の興味の程度に応じて段階的に学習を進めることで、効率的な学習を促すことができる。しかし、大規模授業では教員が学習者全員の状況を把握することは難しい。教員が学習者の反応から状況を読み取るためには熟達が必要である。また、ミニッツペーパーやクリッカーといった手法が広く用いられているが、学習者が記入や操作などの能動的な行動によって表出する必要がある。そこで、学習者の脚部状態を計測するデバイスの開発を行った。デバイスを用いて、学習者の脚部状態や動作と関心度の間に、どのような関係があるのかを調査した。その結果、脚部状態の変化回数と理解度・難易度・集中度との間に有意な相関があることが明らかになった。

A Method to Estimate Interest of Learner by Measuring Leg Conditions

HIRONORI EGI^{1,a)} YASUTAKA ASAI¹ DAIGO AIKAWA¹

1. はじめに

本研究は、脚部状態に基づいた関心度推定システムを提案し、学習者の脚部状態を計測するための脚部状態計測デバイスの開発を行う。

授業において教員が学習者の状況を把握することは重要である。特に学習者が授業の内容に対して注意を向けているか、関連性を感じているか等の関心度を把握し、その関心度の程度に応じて学習を進めることは、効果の高い学習を促すために必要である。しかし、大学の講義のような大規模授業では、各学習者の状況を把握することは困難である。教員が学習者を観察して反応を読み取り、大まかに状況を把握することは可能であるが、教員の熟達が必要であり、授業経験の少ない教員には難しい。授業評価アンケートをはじめとしたフィードバックの手法は、学習者の能動的な行動によって表出する必要があるが、必ずしもすべての学習者の状況を把握できるわけではない。このような課題に対して、学習者の状態を推定するための様々な手法の研究が行われている。

本研究は、学習活動に取り組んでいる複数の学習者の関心度を推定し、教員に状況を伝達した上でコミュニケーションを支援するシステムの開発を目的とする。学習者に影響の少ない形で関心度を推定するために、学習者の脚部状態に着目した。脚部状態から自動的に関心度の推定を行うために、フォトリフレクタを用いた非装着型の脚部状態計測デバイスの開発を行う。これまでに作成した脚部状態分類に基づいて、フォトリフレクタを用いた脚部状態計測デバイスを設計する。開発したデバイスを用いて、着座時の足の接地位置のデータを取得し、脚部状態が正しく計測可能かどうかを検証し、脚部状態計測デバイスの設計の妥当性を検討する。また、学習者の脚部状態と関心度との関係性を明らかにすることを目指す。

2. 関連研究

本研究に関連するものとして、身体的動作と関心や集中との関連性の研究、脚部状態と興味や関心との関連性の研究、および学習者の状況推定に関する研究について検討する。

2.1 身体的動作と意識

身体的な動作と主観的な意識との関連性を検証したもの

¹ 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-communications

^{a)} hiro.egi@uec.ac.jp

として、津田ら [1] の研究がある。被験者に回転椅子に着席した状態で、種類の異なる 12 編の映像刺激を 30 秒ずつ提示した。12 編の映像刺激に対して「興味の程度」、「おもしろさ」、「好み」について評定させ、評価が最も高いものと低いものの 2 種類を高興味条件と低興味条件として定義した。定義した 2 種類の映像刺激を 8 分間視聴させ、その間の回転椅子の座席回転行動を計測した。その結果、低興味条件において有意に体動率が高いことが明らかになった。

また、本田ら [2] はプログラミングや文書作成等の作業をしている被験者の集中度と回転椅子の回転頻度の関係を調査している。集中度の指標として脳波を使用している。安静時に出現する α 波が抑制され、精神活動により出現する β 波が出現した状況を集中時と定義し、コンピュータ作業中における椅子を回転させた頻度を調査している。その結果、集中時は椅子を回転させる頻度が減少していることが明らかになった。

これらの研究から、無意識的な身体動作と主観的な意識との間には関連性があり、学習者の動作を計測する事によって、状況を推定することが可能であると考えられる。

2.2 脚部状態と意識

脚部状態と主観的意識の関連性を調査したものとして、Bull の研究 [3] がある。被験者は椅子に座り、8 つの話題に関する各 5 分程度の動画を視聴した。使用された動画の内容は、興味があるように意図されたインディアンのロープ・トリックの記述や説明から、退屈であるように意図された国産木材諮問委員会のレポートについてと様々であった。被験者の姿勢の様子は、隠されたビデオカメラで撮影された。動画の視聴後、被験者は 8 つの話題について評定し順位付けを行った。興味と退屈について第 1 位もしくは第 2 位に順序付けられた話題に対して生じられた被験者の姿勢変化について、興味と足を後ろに引く動作、退屈と脚を伸ばす動作について有意に関連があることがわかった。

柴田 [4] は圧力センサと加速度センサを用いて着座姿勢と感情についての分析を行っている。ソファと床に圧力センサを設置、被験者の頭部と両腕部に加速度センサを装着させて着座姿勢のデータを取得している。また、その際の着座姿勢を側面から見た写真を他者に評価させている。他者に評価させる理由として、本人の感情自体の意識化が困難だと考えられることを挙げている。他者による評価と各種センサから取得したデータをステップワイズ法により分析した結果、「幸せな」、「満足した」、「悲しんだ」、「悩んだ」などの要素が含まれる「快適度」の感情は、脚部の位置に関係があるとしている。

先行研究から、着座時の脚部状態と興味や感情などの主観的意識との間には関連性があると考えられる。しかし、どちらの研究も学習中の学習者とは文脈が異なり、それぞれの実験結果をそのまま適用することは不適切と考えら

れる。

2.3 学習者の状況推定

学習者から得られる外的情報に基づいて、学習者の状態を推定する研究が多く行われている。状態推定の手法のうち、ビデオカメラを用いて得られた特徴量からの推定手法、ロードセルを用いた重心計測による推定手法について検討する。

ビデオカメラを用いた手法は、学習者に直接触れない状態推定が可能であると期待できる。中村ら [5] は、ビデオカメラで学習者の顔を撮影し、顔の傾きや位置、注視点などの特徴量データを取得した。その特徴量から学習者の問題に対する主観的な難易度を推定している。

また、Zaletelj [6] は Kinect を用いて講義中の学習者を撮影し、身体の向きや注視点特徴量をデータを取得している。得られた特徴量から、学習者の注意レベルを推定する機械学習モデルを提案している。

映像をベースとした特徴量の抽出による学習者の状態推定手法は、個人を特定可能なレベルで顔を常に撮影する必要がある。このような状況は学習者への精神的な影響が大きく、学習活動への影響が考えられる。また、学習中に計器が視界に入る状況も、学習者への精神的な影響があると考えられる。

ロードセルを用いた手法の提案として、松本ら [7] の研究がオフィスチェアの脚と座面の間のねじ締め部分に挟み込むセンシング機構を提案している。挟み込んだ 4 つのロードセルから重心位置と荷重のデータを取得し、SVM 識別器を用いて筆記状態と非筆記状態を識別している。

手塚ら [8] は、バランスボードを用いた椅子型の重心計測器を用いて、学習者の上半身の重心を計測している。重心計測器に座った状態の被験者に、計算問題と文章問題、リバーシ対戦の 3 つのタスクを課し、重心の分布によるタスク推定を試みている。

これらの研究では、量的なデータからの筆記・非筆記状態の識別や、取り組んでいる課題の推定が中心となっており、学習者が実際にどのような動作をしているのかを明らかにしていない。また、重心位置と荷重のデータのみを使用しているため、学習者の手足の動きなどの、詳細な動作まで検知できないと考えられる。

3. 脚部状態に基づいた関心度推定

本研究は、学習者の学習活動や精神状態に対する影響を出来る限り小さくしながら、身体動作を測定して学習者の状況を推定するというアプローチをとる。普段の学習環境と異なる環境で学習者の状態推定を行った場合、機器が設置されている環境での学習者の状態となり、実際の学習者に対して適用できない可能性が考えられる。これに対して、学習者に出来るだけ影響を与えずに測定可能な身体

部位として、脚部に着目した。床面にセンサアレイを設置し、学習者の脚部状態を計測することで、普段の学習を行う環境と同様の環境でデータ測定並びに状態推定が行えると考えた。

着座状態で机に向かって学習する状況であれば、床面に設置されたセンサは机に隠れて学習者の視界に計器が入りづらく、学習活動への影響は少ないと考えられる。また、床に設置するような非接触型デバイスであれば、学習者は普段の活動と同様の用具や環境で学習を行うことが可能であり、自然な状態の学習者の状態推定が可能であると考えた。

そこで、自然な形で学習者の脚部状態を計測可能な脚部状態計測デバイスの設計と開発を行い、関心度推定システムに利用できる手法を提案する。これまでに、システムの開発に必要な脚部状態分類の作成を行った [9]。作成した脚部状態分類を用いて、実際の学習者がどのような脚部状態をとっているか調査と分類を行った。その結果、脚部状態の種類や遷移回数の標準偏差の値が大きく、個人差が大きかった。また、脚部状態分類の全体で見ると、全体時間の 98%以上が作成した脚部状態の分類木で分類することができていた。このことから、脚部状態分類は概ね妥当だと考えられる。また、いわゆる「貧乏揺すり」のような周期的な運動は、ほとんど行われていなかった。このことから、分類から除外し、開発する脚部状態計測デバイスの検知の対象とはしない。

分類した脚部状態を測定、検知するために、脚部状態計測デバイスの設計と開発を行う。開発した脚部状態計測デバイスを用いて、脚部状態の判定が可能であるか検証を行い、脚部状態計測デバイスの設計の妥当性について検討する。また、脚部状態計測デバイスを用いて実際に講義動画を見て学習している学習者の脚部状態を計測し、脚部状態と興味関心についての関連性を検証する。

4. 脚部状態計測デバイスの設計と開発

学習者への影響を小さくし、可能な限り普段と同様の環境で活動が行えるよう、床に設置できるような非接触型の脚部状態計測デバイスを開発する。デバイスを床に設置すれば、学習中は机に隠れるため、計器が学習者の視界に入ることが少ない。また、学習中は足元を見る機会も少ないため、脚部状態計測デバイスの存在が学習活動に影響を与える可能性が少なく考えた。

本研究で提案する関心度推定システムの流れを 1 に示す。学習者は床に設置された脚部状態計測デバイスに足を乗せて学習活動を行う。デバイスにはフォトリフレクタが一定の間隔で複数設置されており、足の接地面の位置や大きさの測定を行う。フォトリフレクタはワンボードコンピュータ (Raspberry Pi) が制御し、取得したデータはサーバに送信する。サーバは送信された脚部データから脚部状態の

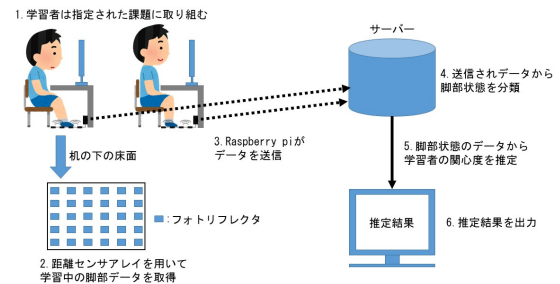


図 1 関心度推定システムの構成

判定を行う。判定された学習者の脚部状態データから関心度の推定を行う。

学習者の脚部状態のデータ測定には、物体検出距離が 5mm 未満であるフォトリフレクタ (Pololu 社製 QTR-1RC) を使用する。作成した脚部状態計測デバイスの全体像を図 2 に示す。脚部状態計測デバイスの大きさは幅が 900mm、奥行きが 1200mm、高さが 47mm である。幅 800mm、奥行き 500mm、高さ 700mm の学習机と、座面の高さが 450mm、幅が縦横 500mm の固定脚のミーティングチェアを使用することを想定して設計している。木材を重ね合わせて箱状にし、内部にフォトリフレクタを一定間隔で設置した。フォトリフレクタの間隔は、社団法人日本皮革産業連合会が公表している足サイズ計測事業報告書を参考にして決定した。足の幅の中で最も小さいと考えられるのは踵の幅である。踵の幅のデータの中での最小値が 4.9cm であったため、フォトリフレクタの接地間隔を 4cm とした。

アクリル板の左右の木材の下に、接続のためのブレッドボードや集積回路、配線類を収納する。台座に配置したフォトリフレクタが足の荷重によって壊れないようにするために、フォトリフレクタによる足の接地面の検知は厚さ 2mm のアクリル板を通した状態で行う。フォトリフレクタは机の真下にあたる部分に横に 16 個、縦に 11 個、合計 176 個設置している。Raspberry Pi で多数のセンサを制御するために、集積回路 (MCP23017) を使用した。

Raspberry Pi 上で、2 秒に 1 回の頻度でフォトリフレクタの値を読み取り、現在日時のデータと合わせて CSV ファイルに保存するようプログラムを実行する。

5. 評価実験

作成した脚部状態計測デバイスが、正しく脚部を検知可能かどうか評価実験を行った。被験者は脚部状態の計測に同意が得られた、理工系大学の大学生・大学院生 5 名とした。被験者 5 人のそれぞれの身長と足の大きさを、表 1 に示す。実験時の机と椅子の配置を図 3 に示す。

被験者は靴を脱いで靴下の状態で、脚部状態計測デバイスの上の椅子に座ってもらい、2 つの実験を行った。被験者に了承を得た上で、実験の様子はすべてビデオカメラに



図 2 脚部状態計測デバイス

表 1 被験者の身長と足の大きさ

被験者	足の大きさ (cm)	身長 (cm)
A	27.0	173
B	27.5	169
C	27.5	168
D	25.5	174
E	26.0	173



図 3 実験時の脚部状態計測デバイスの配置

て録画した。

5.1 脚部状態分類ごとの計測実験

被験者に脚部状態の分類 [9] に従って脚部状態の写真を提示し、実際にその脚部状態と同様の状態をとらせて脚部

表 2 脚部状態分類ごとの計測

脚部状態分類	状態
2	足引き足首組み
4	足引き
6	足伸ばし足首組み
8	足伸ばし
10	膝組み
12	足首組み
14	標準状態

表 3 講義動画

番号	再生時間	講義タイトル
1	9:12	加齢に伴う身体の変化
2	8:22	筋量の減少と疾患の関係
3	12:19	たんぱく質摂取による筋肉の合成
4	9:05	高齢者のたんぱく質摂取と筋肉量
5	9:28	レジスタンス運動 (筋トレ) と筋肉の合成
6	10:47	レジスタンス運動の健康への効果

状態測定を行った。測定は 20 秒ずつの測定を各脚部状態において 3 回ずつ行った。被験者にとらせた脚部状態を表 2 に示す。脚部状態分類の分類番号は周期的運動を含めて定義されているため、奇数の分類番号は除外した

被験者には、できるだけ自然で楽な姿勢を心掛けるように伝え、身体が痛い等の理由で提示した脚部状態がとれない場合は、無理の無い範囲で脚部状態を行ってもらった。

5.2 学習中の脚部状態計測

脚部状態と関心度の関係性について調査するために、被験者には椅子に座った状態で健康に関する講義動画を視聴させた。講義動画として、オンライン大学講座サイトである gacco^{*1}にて開講されている、立命館大学スポーツ健康科学部の藤田聡教授の「健康づくりのための運動と栄養摂取の実践」における Week1 の「筋トレのサイエンス」の動画を使用した。このようなテーマの講義動画を選択した理由は、どんな人にも関係しうるトピックである、かつ、その上で関心があるかがわかるようなテーマ設定として、健康に関わるテーマが良いと判断したためである。

講義動画を視聴する前に、講義動画視聴後に確認テストを実施する旨を伝え、出来る限り集中して講義動画を視聴してもらうようにした。また、椅子の位置を調整し、脚部状態分類における標準状態で座った際に足の接地位置が机の真下になるように調整してもらい、動画再生と脚部状態の記録を開始した。講義動画は 10 分前後のものが 6 本であり、被験者には 6 本の動画を連続して視聴してもらった。講義動画の内容と再生時間を表 3 に示す。被験者が講義動画を視聴している最中は、実験者は学習に影響を与えないように部屋から退出した。

講義動画の視聴終了後、確認テストを行った。確認テス

^{*1} <http://gacco.org/>

表 4 各講義動画に関する設問

質問番号	質問文
1(理解度)	内容を理解することができた
2(難易度)	内容が難しいと感じた
3	内容に関する事前知識があった
4(集中度)	集中して動画を視聴することができた
5	目を引くような動画だった
6	好奇心を刺激されるような内容だった
7	視聴中に退屈さを感じなかった
8	内容を理解する意義を感じた
9	自分の役に立つ内容の動画だった
10	身近に感じるような内容だった

トは○×で解答する問題を、各講義動画ごとに 2 問、合計 12 問用意した。被験者はランダムに並べ替えた確認テストに回答し、その最中も脚部状態のデータを取得した。

確認テスト終了後、事後評価アンケートを行った。質問内容は、6 本の講義動画の内容について、5 件法(「5:とてもそう思う」「4:そう思う」「3:どちらともいえない」「2:そう思わない」「1:全くそう思わない」)で回答を行う設問がそれぞれ 10 問ずつの合計 60 問であった。アンケートの内容を 4 に示す。

講義動画に関する設問は、設問 1~3 が講義動画の内容に関するものである。設問 4 は講義動画視聴時の集中力を問うものである。設問 5~10 は、ARCS モデルにおける注意 (Attention) と関連性 (Relevance) の下位分類に基づいた設問である。

6. 実験結果

6.1 脚部状態分類ごとの計測

フォトリフレクタの位置を特定するため、脚部計測デバイスの前後方向を X 軸、左右方向を Y 軸としてそれぞれ取り、学習者から見て左手奥を原点とする座標を定義する。被験者のそれぞれの脚部状態におけるフォトリフレクタの反応個数の平均と、反応したフォトリフレクタの座標の平均値を表 5 に示す。

被験者ごとのお示した被験者の実験データは、どの被験者に関してもおおむね同様の傾向があった。標準状態が最もフォトリフレクタの反応個数が多く、膝組み、足首組みの順で反応個数が減少している。足を伸ばした状態になると Y 座標が小さくなった。足を伸ばした状態で足首を組むと反応個数が減少する場合とほぼ変化しない場合があった。これは、足を伸ばした際に踵のみでデバイスに接地する被験者とそうではない被験者がいたためであった。また、踵のみで設置している場合、フォトリフレクタの反応個数が 0 個になるケースが見られた。足を引いた場合、フォトリフレクタの設置範囲から足が出てしまい、足首を組んでいるかどうかに関わらず、反応個数が 0 個になるケースがほとんどであった。

表 5 フォトリフレクタの反応個数と座標の平均

脚部状態	反応個数	X 座標 平均値	Y 座標 平均値
標準状態	14.5	7.5	6.3
足首組み	6.0	7.7	5.0
膝組み	8.2	6.8	5.1
足伸ばし	6.3	7.4	2.9
足伸ばし足首組み	2.1	7.8	2.5
足引き足首組み	0.0	0.0	0.0
足引き	0.2	8.0	10.0

表 6 アンケートの回答と脚部状態データとの相関

設問番号	データ項目	相関係数	p 値
1	変化回数 / 分	-0.53	0.003
1	合計変化量 / 分	-0.48	0.007
1	最大静止時間	0.46	0.009
2	変化回数 / 分	0.53	0.003
4	変化回数 / 分	-0.52	0.003
4	最大静止時間	0.46	0.011

6.2 学習中の脚部状態計測

講義動画視聴中の脚部状態の推移は、どの被験者も当初はほとんど動かなかった。しかし、時間経過と共に変化回数が増加し、累計変化回数の変化が大きくなる箇所があった。脚部状態の変化頻度は被験者によって大きくばらつきがあった。X 座標平均と Y 座標平均については、変化頻度の高い被験者 A を除いて、大きな変化は見られなかった。

各被験者の講義動画視聴中のフォトリフレクタの反応回数の分布からは、どの被験者も標準の脚部状態をホームポジションとしていたことがわかった。1 名を除いてほぼ同じ位置に足を置いており、脚部状態が変化した際にもほとんど足を動かしていなかった。

次に、各講義動画に対するアンケートの回答と、各被験者の講義動画ごとの脚部状態のデータについて、スピアマンの順位相関係数を求めた。その結果を表 6 に示す。

設問番号 1 は講義動画の内容の理解度について、設問番号 2 は講義動画の難しさについて、設問番号 4 は集中して講義動画を視聴したかについて質問したものである。すなわち、理解度と 1 分間あたりの変化回数と合計変化量、集中度と 1 分間あたりの変化回数との間には負の相関が、理解度と最大静止時間、難易度と 1 分間あたりの変化回数、集中度と最大静止時間の間には正の相関があることが明らかとなった。

7. 考察

7.1 脚部状態分類ごとの計測

今回の実験結果から、足を組むと標準状態よりもフォトリフレクタの反応個数が減少する、足を伸ばすと Y 座標の平均値が減少するなど、脚部状態ごとに一定の傾向があったため、単純な閾値の設定による脚部状態の判別が可能で

あると考えられる。しかし、踵のみの接地だと位置によってはフォトリフレクタが反応しないことがある。また、講義動画を視聴中の被験者が脚部状態に足の外側側面のみを接地させる状態をとることがあり、この状態は接地面が縦に細長いため、踵のみの場合と同様に足の接地位置によってはフォトリフレクタが反応しなかった。足を引いた状態においては、フォトリフレクタが設置されている範囲外に足が接地するため、フォトリフレクタでは脚部状態の検知がほぼ不可能であると考えられる。そのためフォトリフレクタのみでは、偶然足がフォトリフレクタで検出できない位置に接地しているのか、それとも足を引いている状態なのか判別することができない。今回の実験ではみられなかったが、これらの脚部状態に加えて、足を床から浮かせる動作も想定することができるため、フォトリフレクタのみでは多様な脚部状態に対応することは難しいと考えられる。

7.2 学習中の脚部状態計測

今回の実験によって、脚部状態が内容の理解度、難易度、集中度に関係していることが明らかとなった。この結果は、先行研究を支持するものであり、脚部状態の変化を計測することによって集中度の推定が可能となると考えられる。相関としてはやや強い程度の相関だが、これは被験者によって脚部状態の傾向が異なるからだと考えられる。脚部状態や変化の頻度は、個人差が大きい可能性が考えられる。

ARCS モデルにおける注意と関連性の下位分類に基づいた設問と脚部状態については有意な相関が見られなかった。相関が見られなかった原因として、学習内容として健康に関するテーマを設定したことが考えられる。健康に関するテーマはどんな人にも関連性のあり、興味深いような内容と考えられるため、アンケートの結果が評価の高い方に偏り、有意な相関が見られなかった可能性がある。

足を引く動作と伸ばす動作がそれぞれ興味と退屈に関係しているという先行研究があるが、今回の実験では足の曲げ伸ばしに関係する Y 座標の平均が全体を通してあまり変化しなかった。その原因として、講義動画による学習の前に確認テストを実施する旨を伝えたことが考えられる。確認テストが実施されることを知っている場合、緊張感をもって真面目に講義動画を視聴することが考えられるため、標準の脚部状態に近い状態で講義動画の視聴を続けた可能性がある。また、先に述べたようにテーマの関連性がどの被験者に対しても高いようなものであったため、退屈のシグナルである足を伸ばす状態に移行しなかった可能性が考えられる。さらに、脚部状態計測デバイスは椅子の動きを前後のみに制限しているため、被験者がリラックスして自由に脚部状態を取ることができなかった可能性も考えられる。

8. おわりに

本研究では、脚部状態に基づく関心度の推定システムの開発を目的として、フォトリフレクタを用いた脚部状態計測デバイスの開発と評価を行った。脚部状態計測デバイスは学習者の足の接地面を検知し、2 秒ごとに脚部状態の変化を記録する。作成した脚部状態計測デバイスを用いて、大学生を対象に脚部状態を計測する実験を行った。

その結果、作成した脚部状態計測デバイスはある程度の脚部状態の判別は可能だが、一部の脚部状態の検知が難しく、他種のセンサを併用する必要があることがわかった。また、脚部状態の 1 分あたりの変化回数や変化量、最大静止時間が、内容への理解度、内容の難易度、視聴中の集中度と有意な相関があることが明らかになった。

今後の課題としては、脚部状態計測デバイスの改良が挙げられる。フォトリフレクタだけでは、足引き状態などの特定の脚部状態の検知、計測が難しいため、レーザー距離センサを併用して脚部状態の計測を行う必要がある。また、脚部状態は個人差が大きく、少数のデータでは傾向が掴み切れないため、引き続き実験を行いデータを集める必要がある。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K02911 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 津田兼六, 鈴木直人: 主観的興味が瞬目率と体動の生起頻度に及ぼす影響, 生理心理学と精神生理学, Vol.8, No.1, pp.31-37 (1990).
- [2] 本田新九郎, 富岡展也, 木村尚亮, 大澤隆治, 岡田謙一, 松下温: 作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供-仮想オフィスシステム valentine, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1472-1483 (1998).
- [3] P. E. Bull: Posture and Gesture, Pergamon Press (1987).
- [4] 柴田滝也: 他者による着座姿勢の感情判断推定システムに関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol.78, No.689, pp.1687-1694 (2013).
- [5] 中村和晃, 角所考, 村上正行, 美濃導彦: e-learning における学習者の顔動作観測に基づく主観的難易度の推定, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J93-D, No.5, pp.568-578 (2010).
- [6] Zaletel, J.: Estimation of students' attention in the classroom from kinect features, Proceedings of the 10th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, pp.220-224 (2017).
- [7] 松本翔平, 綿谷亮, 岩井大輔, 佐藤宏介: アンビエントな着座揺動センシングによるデスクワークにおける筆記・非筆記状態識別, 電気学会論文誌 C, Vol.133, No.2, pp.373-379 (2013).
- [8] 手塚太郎, 清野悠希, 古谷遼平, 佐藤哲司: 姿勢計測による e-learning 受講者の行動推定, 知能と情報, Vol.28, No.6, pp.952-962 (2016).
- [9] 浅井康貴, 相川大吾, 江木啓訓: 学習者の関心度推定のための脚部状態計測デバイスの開発, インタラクシオン 2019 予稿集, pp.595-600 (2019).