

脚部動作計測デバイスを用いた学習者の関心度推定の検討

相川 大吾¹ 浅井 康貴¹ 後藤 和彦² 江木 啓訓^{1,a)}

受付日 2020年4月9日, 採録日 2020年10月6日

概要: 本研究では, 学習者の脚部状態を記録するデバイスの開発を行い, 脚部状態と, 理解度・難易度・集中度の関係を明らかにすることを目的とする. 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, 効果的な学習を促すことができる. しかし, 大規模な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. これまでに, 学習者の心理状態と脚部動作の間には, 相関があることが明らかになっている. 本研究では, 学習者の脚部状態を記録するデバイスを開発した. 開発したデバイスを用いて, 講義映像を視聴する学習者の脚部姿勢や脚部動作と, 関心度の関係の調査を行った. その結果, 脚部動作と理解度・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.

キーワード: 関心度推定, 脚部状態, 行動検知, ヒューマンセンシング, 教育工学

A Study on Estimation of Learner's Interest with Measuring Device of Leg Conditions

DAIGO AIKAWA¹ YASUTAKA ASAI¹ KAZUHIKO GOTO² HIRONORI EGI^{1,a)}

Received: April 9, 2020, Accepted: October 6, 2020

Abstract: The purpose of this study was to develop a device to record the leg conditions of learners and to clarify the relationship between the leg conditions and the level of comprehension, difficulty, and concentration. It is important for teachers to understand the situation of learners in order to properly support their learning activities. It is possible to promote effective learning by promoting learning in stages according to the level of interest of the learners. However, in large classes, it is difficult for teachers to keep track of all learners. There is a correlation between psychological state and the leg conditions of the learner. In this study, we developed a device to record the leg conditions of learners. Using the developed device, we investigated the relationship between the level of interest in the lecture video and the leg conditions and movements of learners watching the video. The results showed that there was a significant correlation between leg conditions and comprehension, difficulty, and concentration.

Keywords: interest estimation, leg condition, behavior detection, human sensing, educational technology

1. はじめに

授業などの学習活動において, 教員が学習者の状況を把握することは重要である. 学習意欲のモデルとして, Keller が提唱する ARCS モデルがある [1]. これは, Attention (注

意), Relevance (関連性), Confidence (自信), Satisfaction (満足感) の4つの要素からなるモデルである. ARCS モデルでは, 学習者の好奇心を刺激し, 退屈を避けながら学習意欲を喚起させるような授業設計を行う必要性が指摘されている. したがって, 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などの関心度を把握し, 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

¹ 電気通信大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

² 電気通信大学情報理工学域
School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

a) hiro.egi@uec.ac.jp

が必要であり、授業経験の少ない教員には難しい。

教授者が学習者の状況を把握するための手段として、ミニッツペーパーやクリッカ [2] を用いたアンケートなどがあげられる。ミニッツペーパーとは、あらかじめ用意した質問用紙を授業中または授業直後に配布し、記述させるものである。クリッカとは、カード型の発信機であり、0 から 9 までの信号を教授者が用意した端末に送信することができる。これを学習者に配布し、授業中にクイズやアンケートを実施することによって、リアルタイムなフィードバックが可能となる。学習者の理解度を教授者が把握することを目的として、小テストの実施を支援するシステムの研究も行われている [3]。しかし、これらの手法は、学習者の能動的な行動によって表出する必要があり、授業の進行を一時的に中断する必要がある。

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。本研究では、学習活動に取り組んでいる学習者の関心度を推定するために、学習者の脚部状態と関心度の関係を明らかにすることを目的とする。学習者の心理状態と脚部の動作の間には、相関があることが指摘されている [4]。これまでに、脚部状態の計測を自動的に行うために、脚部状態計測デバイスの開発を行っている [5]。本研究では、開発したデバイスを用いて学習者の脚部状態の計測を行い、脚部状態と関心度との関係性を明らかにする。

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、学習者の状況推定に関する研究、および着座時の姿勢計測に関する研究がある。

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のものとして、津田ら [6] 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 [7] はプログラミングや文書作成など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ことによって、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

脚部状態と主観的な意識の関連性を調査した研究に、脚部の姿勢に着目しているものと、脚部の動作に着目しているものがある。脚部の姿勢に着目している研究に、Bull の研究 [8] 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 位に順位付けられた話題に対して生起さ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、退屈と脚を伸ばす姿勢について有意に関連があることが分かった。

また、柴田 [9] 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し、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あげている。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。

脚部の姿勢に着目している研究に、相川ら [4] の研究がある。この研究では、暗算課題に取り組む学習者の脚部の動作を目視で計測した。また、一定時間ごとに主観的疲労感を問うアンケートを実施した。この結果、脚部の動作時間と主観的疲労感の間に正の相関がみられた。

これらの先行研究から、着座時の脚部の姿勢と興味や感情などの主観的な意識との間には関連性があると考えられる。しかし、Bull や柴田の研究は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。

相川らの研究では、脚部動作の計測が目視で行われている。多人数の授業において脚部の状態を教授者が目視で計測することは困難である。したがって、脚部状態を自動で計測するデバイスの開発が必要である。また、本研究で対象とする、学習者の興味関心との相関については議論されていない。

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、学習者に直接接しない状態推定を行えることが期待できる。中村ら [10] 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 [11] 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。

中村ら [12] は講義映像を視聴する学習者の、瞬きの回数、視線の停留時間、視線の軌跡を含む、眼球運動の特徴量を用いて学習者の状態推定を行うシステムを開発している。開発したシステムの評価実験を行った結果、学習者の学習状況を精度良く推定できることが報告されている。

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つね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 [13] の研究では、オフィスチェアの脚と座面と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 [14] 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、学習者の主観的な意識などとの関係性は議論されていない。

2.4 着座時の姿勢推定

着座時の座面の圧力分布から、姿勢の推定を行う研究が行われている。Mota らは椅子の座面に設置した圧力センサマット (Tekscan 製) を用いてゲームを行う被験者の姿勢の推定を行った [15]。この結果、上体の9つの姿勢 (端に座る、前に傾く、右前に傾く、左前に傾く、直立する、後ろに傾く、右後ろに傾く、左後ろに傾く、後ろにもたれ

る) を高精度で検出できることが報告された。しかし、この研究で用いられている圧力センサマットによって取得される圧力分布図からは、臀部および大腿の輪郭などの身体的な個人情報を認知できてしまい、被計測者は計測をされることに不快感を持つと考えられる。また、一般に圧力分布図を取得することのできる高精細な圧力センサマットは高価であり、授業などの多数の学習者に対して適応することは困難であると考えられる。

これに対し、Barba ら [16] は安価な圧力センサを用いたクッション型姿勢検知デバイスを提案している。このデバイスでは Mota らのデバイスに比べ、圧力計測を行う点の粒度が低く、臀部の形などが認知されるようなデータは取得されない。しかし、姿勢の検知精度について言及されておらず、また、得られたデータと被計測者の心理状態との関係も議論されていない。

3. 研究アプローチ

2章で検討した関連研究をふまえて、本研究は学習者の学習活動や精神状態に対する影響をできる限り小さくしながら、身体の状態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が対象となり、推定手法が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、学習者にできるだけ影響を与えずに測定可能であり、精神状態と関連すると考えられる身体の部位として、脚部に着目した。これまでに、フォトフレクタを用いて、学習者の脚部状態を計測する、脚部状態計測デバイスを開発した [5]。床面にセンサアレイを設置し、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なら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にくく、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。

2.2節より、脚部状態は、脚部の姿勢である脚部姿勢と、脚部姿勢間の遷移や不規則的な動作などの脚部動作に分けられると考えられる。相川ら [4] の研究では、脚部動作の計測から学習者の疲労感の推定を試みている。しかし、学習者の疲労との相関について議論されているのは、脚部の動作時間のみであり、脚部姿勢やその他の脚部状態に関する指標については議論されていない。また、関心度と脚部状態の関係性は議論されていない。

本研究では、脚部姿勢と脚部動作の、2つの観点から関心度の推定が可能であるか検討を行う。また、検討した結

果から、脚部状態計測デバイスを用いて実際に講義動画を見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開発

これまでに、計測の対象とする脚部姿勢分類を定義し、脚部状態計測デバイスの開発を行った [5].

4.1 脚部姿勢分類

脚部状態のうち、ある状態を一定時間保っている状態を脚部姿勢とする。着座時の学習者がとりうる、18種類の脚部姿勢からなる脚部姿勢分類を定義した。定義した脚部姿勢分類から作成した分類木を図1に示す。

作成した脚部姿勢の分類木を用いて、実際の学習者がどのような脚部姿勢をとっているか調査と分類を行った。調査と分類の対象は、総合大学学際系学部の学習科学の講義を受講している学生31名とした。講義中に撮影した映像に基づく調査と分類の結果から、脚部姿勢の種類や遷移回数標準偏差の値が大きく、個人差が大きいことが明らかになった。また、分類の対象とした時間の98%以上が定義した脚部姿勢の分類木によって分類することができていた。このことから、脚部姿勢分類はおおむね妥当であると考えられる。

4.2 脚部状態計測デバイス

脚部状態を測定するために、脚部状態計測デバイスの設計と開発を行った。この際、いわゆる「貧乏ゆすり」のような周期的な運動は分類から除外し、開発した脚部状態計測デバイスの検知の対象とはしなかった。これは、実際の学習者の脚部姿勢の調査の結果、周期的な運動はほとんど行われていなかったためである。

脚部状態計測デバイスは、足裏の接地面を検知するというアプローチをとっている。接地面の検知には、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)を用いている。接地面の検知手法としては、

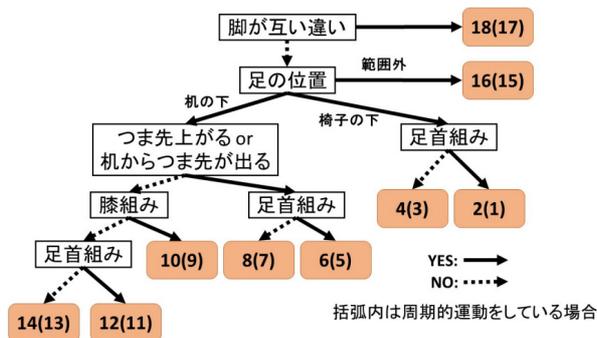


図1 脚部姿勢の分類木 [5]

Fig. 1 Classification tree of leg posture [5].

圧力センサマットを足元に設置することや、ToF式3D点群計測を用いて脚部の状態を計測する手法などが考えられる。しかし、接地点の検出の際に圧力センサマットを用いた場合は、わずかに触れているのみで、ごく弱い圧力しか発生していない場合は検出を行うことができないと考えられる。また、ToF式3D点群計測を用いて接地面の検知を行う場合、極近距離の計測になるため、検出精度が低下すると考えられる。一方で、フォトリフレクタを用いた場合は、センサにかかる荷重にかかわらず、接触を検知することができる。また、極近距離の検出を得意としているため、足の接地面の検知を行ううえで、フォトリフレクタが最適であると判断した。

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。脚部状態計測デバイスは板状であり、上に椅子と机を設置することが可能である。机を設置した際に、脚部状態計測デバイスの、机の天板の真下にあたる部分にフォトリフレクタが一定の間隔で176個設置されている。2台のRaspberry Piを用いてフォトリフレクタを88個ずつ制御し、脚部状態計測デバイス上で着座している学習者の、足裏の接地位置や大きさの測定を行う。足の接地を検知したフォトリフレクタの位置や個数から脚部姿勢の計測を行い、フォトリフレクタの反応の変化から脚部動作を計測することができる考えた。

各Raspberry Pi上で、2秒に1回の頻度でフォトリフレ



図2 脚部状態計測デバイス [5]

Fig. 2 Measuring device of leg conditions.

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プログラムを実行する。3章で述べたとおり、本研究では貧乏ゆすりのような周期的な運動は対象としていないため、計測頻度は十分であると考えた。

脚部状態計測デバイスの全体構成を図 2 に示す。脚部状態計測デバイスの大きさは、幅が 900 mm、奥行きが 1,200 mm、高さが 47 mm である。幅 800 mm、奥行き 500 mm、高さ 700 mm の学習机と、座面の高さが 450 mm、幅が縦横 500 mm 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。

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 4.9 cm であったため、フォトリフレクタの接地間隔を 4 cm とした。

なお、先行研究 [5] では、フォトリフレクタとあわせてレーザ距離センサを併用していた。しかし、計測の精度が不安定であったため、本研究ではフォトリフレクタのみで計測を行った。

5. 脚部状態計測デバイスの評価

脚部状態計測デバイスを用いて、脚部姿勢の推定が可能であるか検証を行った。被験者は脚部姿勢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 名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。

5.1 実験手順

被験者に脚部姿勢の分類 [5] に従って 7 種類の脚部姿勢の写真を提示し、実際にその脚部姿勢と同様の姿勢をとらせて計測を行った。測定は 20 秒ずつの測定を各脚部姿勢において 3 回ずつ行った。被験者にとらせた脚部姿勢を図 4 に示す。

被験者には、できるだけ自然で楽な姿勢を心がけるように伝え、身体が痛いなどの理由で提示した脚部姿勢がとれない場合は、無理のない範囲で脚部姿勢をとってもらった。

アクリル板に汚れが付着するなどによって実験条件が変化しないように、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、実験を行った。

表 1 被験者の身長と足の大きさ

Table 1 Height and shoe size of the subjects.

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

5.2 結果

フォトリフレクタの位置を特定するため、図 5 に示すとおり、脚部状態計測デバイスの前後方向を Y 軸、左右方向



図 3 実験時の脚部状態計測デバイスの配置

Fig. 3 Setting of the measuring device during the experiment.



図 4 脚部姿勢ごとの計測

Fig. 4 Measurement for each leg posture.



図 5 脚部状態計測デバイスにおける座標系

Fig. 5 Coordinate system in the measuring device of leg conditions.

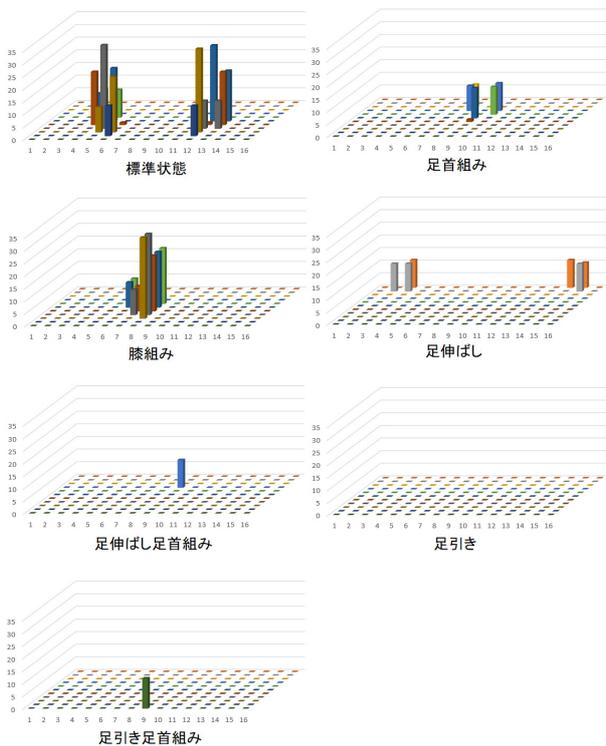


図 6 各脚部姿勢の反応個数 (被験者 A)

Fig. 6 Number of responses for each leg posture (Subject A).

を X 軸としてそれぞれとり、学習者から見て左手奥を原点とする座標を定義する。脚部姿勢ごとに、3 回の計測で各フォトリフレクタが被験者の足に反応した合計の回数をグラフにすると、被験者ごとに図 6 に示すような結果を得ることができた。被験者のそれぞれの脚部姿勢におけるフォトリフレクタの反応個数の平均を表 2 に、反応したフォトリフレクタの座標の平均値を表 3 にそれぞれ示す。

実験で得た個別の被験者のデータからは、どの被験者に関してもおおむね同様の傾向があった。標準姿勢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。足を伸ばした姿勢になると 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。

表 2 フォトリフレクタの反応個数の平均値

Table 2 Average number of reactions of photo reflectors.

脚部姿勢	反応個数	S.D.
標準状態	14.5	3.2
足首組み	6.0	4.3
膝組み	8.2	2.0
足伸ばし	6.3	3.6
足伸ばし足首組み	2.1	1.6
足引き	0.2	0.3
足引き足首組み	0.0	0.0

表 3 フォトリフレクタの座標の平均

Table 3 Average of the coordinates of photo reflectors.

脚部姿勢	X 座標 平均値	S.D. (X 座標)	Y 座標 平均値	S.D. (Y 座標)
標準状態	7.5	0.7	6.3	0.8
足首組み	7.7	1.0	5.0	1.0
膝組み	6.8	1.1	5.1	1.1
足伸ばし	7.4	2.2	2.9	1.5
足伸ばし足首組み	7.8	3.7	2.5	1.6
足引き	8.0	2.1	10.0	2.6
足引き足首組み	0.0	0.0	0.0	0.0

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かかわらず、反応個数が 0 個になるケースがほとんどであった。

5.3 考察

踵のみが接地する姿勢であると、足の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った。足を引いた姿勢においては、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足の接地を検知することが困難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姿勢なのか判別することができない。

今回の実験では指示をしなかったが、これらの脚部姿勢に加えて、足を床から浮かせる姿勢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姿勢に対応することは難しいと考えられる。一方で、実験結果から、足を組むと標準姿勢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、脚部姿勢ごとに一定の傾向があった。被験者によって座り方や脚部の長さが異なるため、脚部状態計測デバイスを授業に導入し、脚部姿勢の推定を行う場合には、被計測者ご

とに計測開始時の姿勢を統制するなどの必要性があると考えられる。したがって、授業の開始時に学習者に基本姿勢をとってもらわなければならないが、その後は、脚が伸びているか、足を引いているのか、という大まかな推定に関しては、単純な閾値の設定による脚部姿勢の推定が可能であると考えられる。

6. 関心度推定手法の検討

脚部状態を計測することによって、学習者の関心度の推定を行う場合において、脚部姿勢と脚部動作のどちらか一方、または双方を手がかりとできるかを明らかにするために、講義動画を視聴する学習者の脚部姿勢と脚部動作を目視で分類するとともに、脚部状態の計測を行う。分類と計測結果から、関心度を推定するための指標を定義した後に、学習者の関心度との間の相関関係について検討を行う。

被験者は、5章で行った実験の被験者と同じ5名であった。被験者に、椅子に座った状態で健康に関する講義動画を視聴してもらった。講義動画として、オンライン大学講座サイトである gacco^{*1}で開講されている、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、そのうえで関心があるかが分かれ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、できる限り集中して講義動画を視聴してもらうようにした。被験者は椅子の位置を調整し、脚部姿勢分類における標準姿勢で座った際に、足の接地位置が机の真下になるように調整してもらった。その後、動画再生と脚部状態の計測を開始した。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4に示す。被験者が講義動画を視聴している際は、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。

被験者の了承を得たうえで、被験者が講義動画を視聴し

表4 講義動画

Table 4 Lecture videos.

番号	再生時間 (秒)	講義タイトル
1	552	加齢に伴う身体の変化
2	502	筋量の減少と疾患の関係
3	739	たんぱく質摂取による筋肉の合成
4	545	高齢者のたんぱく質摂取と筋肉量
5	568	レジスタンス運動(筋トレ)と筋肉の合成
6	647	レジスタンス運動の健康への効果

*1 <http://gacco.org/>

ている間、被験者の脚部をビデオカメラで撮影を行った。また、被験者が講義動画を視聴している間、脚部状態計測デバイスを用いて足の接地面のデータを取得した。

アクリル板に汚れが付着するなどによって実験条件が変化しないように、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、実験を行った。

講義動画の視聴終了後、確認テストを行った。確認テストは○×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:まったくそう思わない」)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。事後評価アンケートの設問を表5に示す。

事後評価アンケートの設問は、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[1]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。

6.1 学習中の脚部姿勢の計測

学習中の脚部状態のうち、関心度を推定する指標について検討するために、実験から得られた脚部の映像から、講義動画を視聴する学習者の脚部姿勢を目視で分類を行った。脚部姿勢を関心度の推定に用いることが可能であるか検討する。

6.1.1 脚部姿勢分類の手順

ビデオカメラによって撮影した被験者の脚部の映像を、1人の分析者(分析者1)が目視で分類を行った。分類は、図1に示した分類木を用いて行った。分類結果の妥当性を確認するため、分析者1とは独立した別の分析者(分析者2)も同様の手順で分類を行い、分析者1の分類結果との比較を行った。分類の結果から、講義動画を視聴している

表5 事後評価アンケートの設問

Table 5 Questions for post-evaluation questionnaire.

設問番号	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

表 6 脚部姿勢ごとの時間割合

Table 6 Ratios of time for each leg posture.

脚部姿勢	時間割合
標準姿勢	0.787
足首組み	0.094
膝組み	0.000
足伸ばし	0.000
足伸ばし足首組み	0.000
足引き	0.005
足引き足首組み	0.001
その他の脚部姿勢	0.013
脚部動作	0.099

間の、脚部姿勢ごとの時間割合を算出した。

6.1.2 分類の結果

分析者 1 と分析者 2 による脚部姿勢の分類結果の一致率は 0.939 であった。したがって、分析者 1 の分析は妥当であったと考えられる。

分析者 1 による分類の結果から、講義動画を視聴している間の、脚部姿勢ごとの時間割合を算出した結果を表 6 に示す。講義映像視聴中の脚部姿勢は、ほとんどの時間で標準姿勢をとっていたことが分かった。また、ある姿勢から次の姿勢への遷移を行っていた時間の割合が、0.099 であった。したがって、本実験では、講義映像を視聴中の被験者の脚部姿勢のうち、標準姿勢もしくは遷移と分類された割合が 0.886 となった。なお、遷移時間には、ある分類の脚部姿勢から脚部が動作し、再び同じ分類の脚部姿勢になる場合も含まれる。

6.1.3 考察

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 [8] が、今回の実験では足引きの姿勢や足伸ばしの姿勢を維持することはほとんどなかった。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、標準姿勢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姿勢をとることができなかった可能性も考えられる。

脚部姿勢に着目して計測を行った場合、学習時間のほとんどを標準姿勢が占める可能性が高いことが明らかになった。したがって、本実験のような講義動画の視聴における脚部状態の計測においては、脚部姿勢に関する指標を用いることは困難であると考えられる。

表 7 アンケートの回答と脚部動作データとの相関

Table 7 Correlation between questionnaire responses and leg movements.

設問番号	データ項目	相関係数	p 値
1 (理解度)	変化回数/分	-0.53	0.003**
1 (理解度)	合計変化量/分	-0.48	0.007**
1 (理解度)	最大静止時間	0.46	0.009**
2 (難易度)	変化回数/分	0.53	0.003**
2 (難易度)	合計変化量/分	0.29	0.012*
2 (難易度)	最大静止時間	0.39	0.034*
4 (集中度)	変化回数/分	-0.52	0.003**
4 (集中度)	合計変化量/分	-0.38	0.037*
4 (集中度)	最大静止時間	0.46	0.011*
5~10 (注意と関連性)	変化回数/分	-0.13	0.487
5~10 (注意と関連性)	合計変化量/分	-0.01	0.976
5~10 (注意と関連性)	最大静止時間	0.16	0.385

(* : p < .05, ** : p < .01)

6.2 学習中の脚部動作の計測

脚部状態のうち、脚部姿勢に着目して関心度の推定を行うことは困難であることが明らかになった。一方で、2.1 節で議論したとおり、先行研究において、身体動作の頻度や動作量などと、興味や集中度などの主観的意識の間に負の相関関係が報告されている [6], [7]。脚部動作に着目した場合においても、他の身体動作と同様の性質を示す可能性がある。以降では、脚部動作に関する指標と関心度の関係性を議論する。

本研究では、脚部状態計測デバイスを用いて計測する指標として、脚部動作の頻度や動作量を表す 3 つの指標を定義する。脚部動作の頻度と動作量を表す指標として、単位時間あたりの変化回数と、変化量、最大静止時間を定義する。1 個以上のフォトリフレクタの反応が、直前の検出時から変化していた際に脚部姿勢が 1 回変化したと見なす。変化の回数を変化回数、反応が変化したフォトリフレクタの個数を変化量、フォトリフレクタの反応がいったい変化しない状態が継続していた時間を静止時間と定義した。

6.2.1 脚部動作と関心度の関係性

実験で脚部状態計測デバイスを用いて計測したデータから、講義動画を視聴する学習者の 1 分間あたりの脚部姿勢の変化回数、合計変化量と、最大静止時間をそれぞれ算出した。事後評価アンケートによって得られた講義動画ごとの理解度、難易度、集中度、注意と関連性のスコアと、講義動画ごとの 1 分あたりの脚部姿勢の変化回数、1 分あたりの合計変化量、最大静止時間のそれぞれから 1 つずつ選ぶ、すべての組合せについて、スピアマンの順位相関係数を算出した。

6.2.2 分析結果

事後評価アンケートの回答と、各被験者の講義動画ごとの脚部動作の指標について、スピアマンの順位相関係数を求めた結果を表 7 に示す。表 7 に示したデータの組合せ

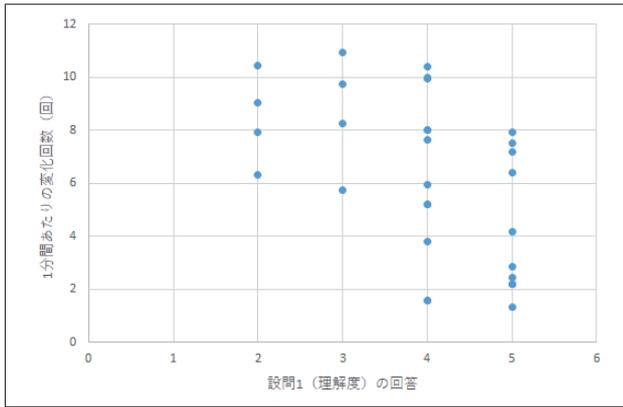


図 7 理解度と変化回数

Fig. 7 Comprehension and number of changes.

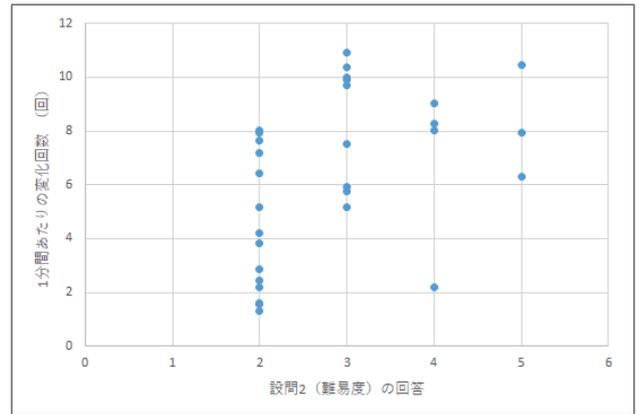


図 10 難易度と変化回数

Fig. 10 Difficulty and number of changes.

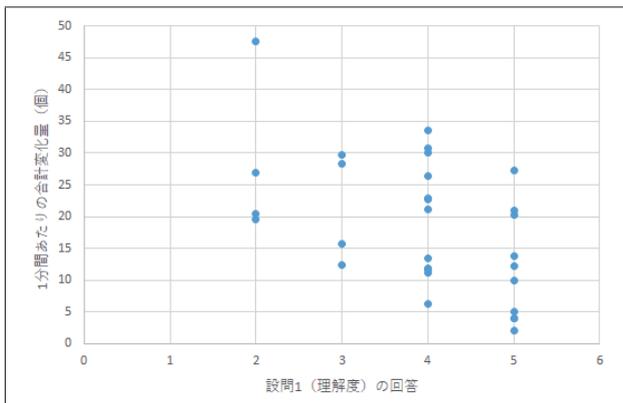


図 8 理解度と合計変化量

Fig. 8 Comprehension and total change.

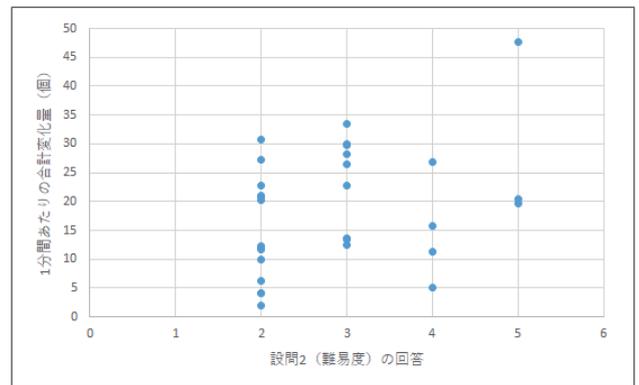


図 11 難易度と合計変化量

Fig. 11 Difficulty and total variation.

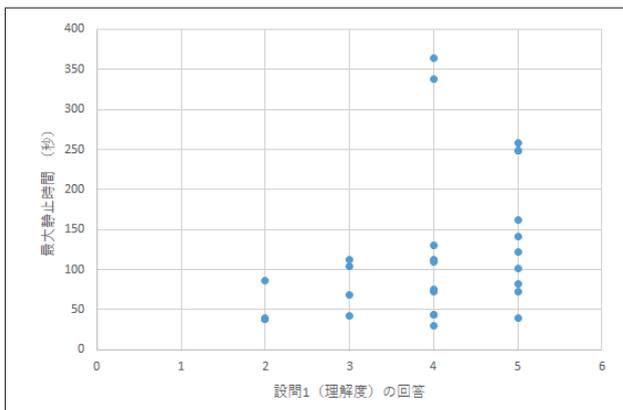


図 9 理解度と最大静止時間

Fig. 9 Comprehension and maximum standstill time.

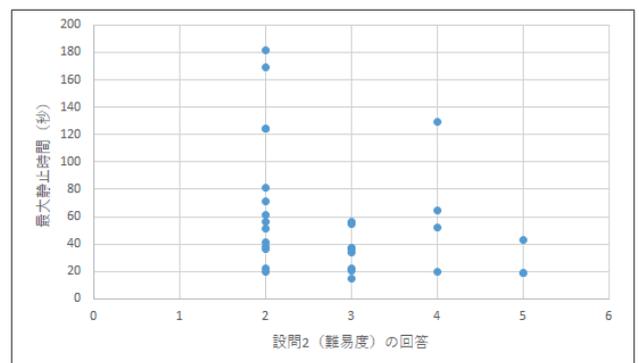


図 12 難易度と最大静止時間

Fig. 12 Difficulty and maximum standstill time.

について散布図にまとめた。理解度と脚部動作に関する指標の関係を図 7, 図 8, 図 9 に, 難易度と脚部動作に関する指標の関係を図 10, 図 11, 図 12 に, 集中度と脚部動作に関する指標の関係を図 13, 図 14, 図 15 にそれぞれ示す。また, 注意と関連性のスコアと, 脚部動作に関する指標の関係を図 16, 図 17, 図 18 にそれぞれ示す。

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, 集中度と 1 分間あたりの変化回数, 合計変化量の間には負の相関があることが明らかになった。理解度, 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になった。また, 難易度と, 1 分間あたりの変化回数, 合計変化量の間には正の相関があることが明らかになった。難易度と最大静止時間の間には, 負の相関があることが明らかになった。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動作については, 有意

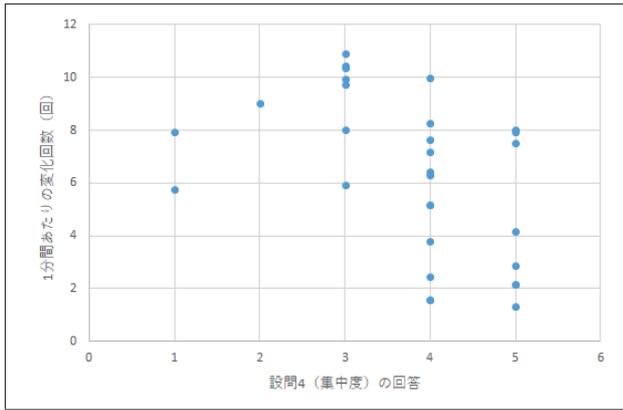


図 13 集中度と変化回数
Fig. 13 Concentration and number of changes.

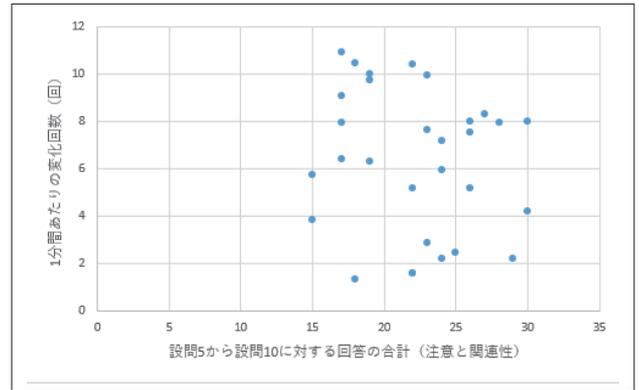


図 16 注意と関連性と、変化回数
Fig. 16 Attention and association, and number of changes.

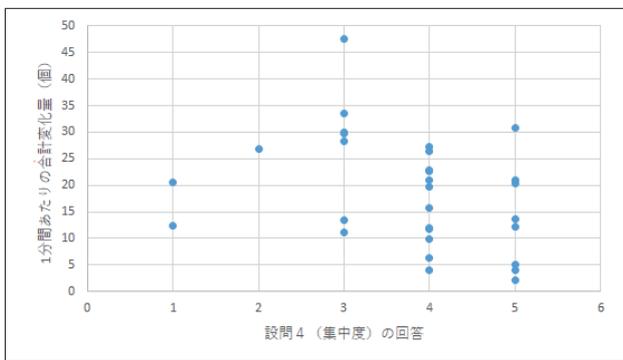


図 14 集中度と合計変化量
Fig. 14 Concentration and total variation.

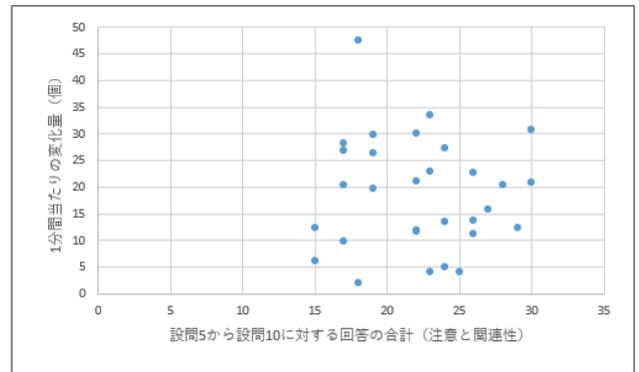


図 17 注意と関連性と、合計変化量
Fig. 17 Attention and association, and total change.

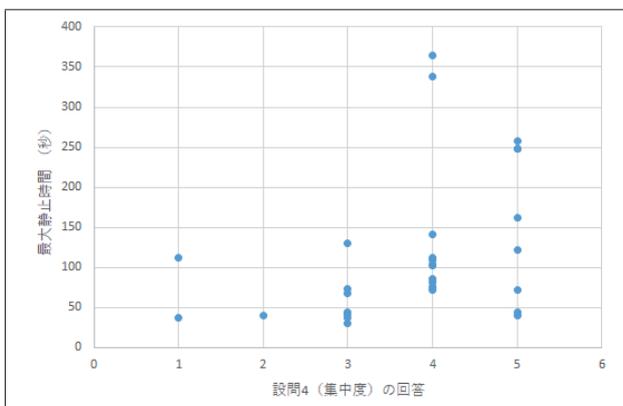


図 15 集中度と最大静止時間
Fig. 15 Concentration and maximum standstill time.

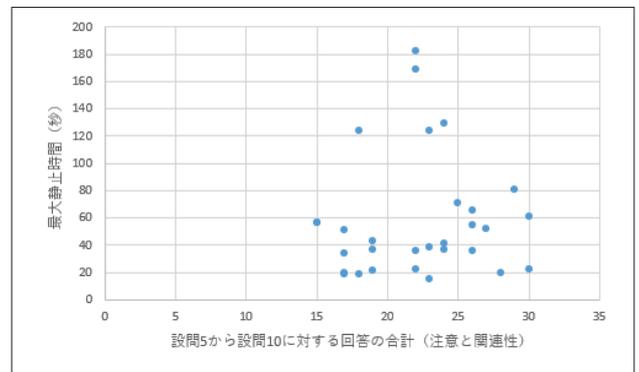


図 18 注意と関連性と、最大静止時間
Fig. 18 Attention and relevance, and maximum standstill time.

な相関がみられなかった。

各被験者間で、確認テストの正答率には大きな差がみられず、脚部動作との相関はみられなかった。

6.2.3 考察

今回の実験によって、脚部動作が内容の理解度、難易度、集中度に関係していることが明らかになった。この結果は、先行研究を支持するものであり、脚部姿勢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

によって脚部動作の傾向が異なるからだと考えられる。脚部姿勢が変化する頻度や変化量は、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動作に関しては、有意な相関がみられなかった。相関がみ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。このため、アンケートの結果が評価の

高い方に偏り、有意な相関がみられなかった可能性がある。

各被験者間で、確認テストの正答率と脚部動作との間に相関関係はみられなかった。この原因としては、確認テストの弁別性が低く、被験者の成績が同様なものになってしまったことが考えられる。一方で、すべての被験者が同様な成績であったことから、講義動画を真摯に視聴していたと考えられ、実験結果の信頼性は十分なものであったと考えられる。

6.3 実験結果に関する考察

本実験では、提示する講義動画の順序がすべての被験者で同一であった。このため、動画の内容だけでなく、視聴時間の経過が被験者の理解度、難易度、集中度に影響を与えていた可能性がある。しかし、実際の学習活動においては、あらかじめ定められた順序に基づいて学習を進めることが一般的であると考えられる。実験結果は、講義を構成している複数の動画を順序どおりに提示して得られており、実際の学習環境に近い形で得られた結果であると考えられる。

7. おわりに

本研究では、学習者の脚部状態と関心度の関係性の調査を明らかにすることを目的として、開発した脚部状態計測デバイスを用いた実験を行った。

被験者に脚部状態計測デバイス上で7種類の脚部姿勢をとってもらい、学習者の脚部姿勢を計測する実験を行った。その結果、足裏の接地面の検知によって脚部姿勢を推定することが、ある程度は可能であることを確認した。

脚部状態と関心度との関連性を調査するために、被験者に実際に学習してもらう実験を行った。約60分の講義動画を脚部状態計測デバイス上で視聴してもらい、学習中の脚部状態をビデオカメラと脚部状態計測デバイスで記録した。ビデオカメラの映像から目視による脚部姿勢の分類を行い、脚部姿勢ごとの時間割合を算出した。この結果、講義映像を視聴する学習者の脚部姿勢は、ほとんどの時間で、基本姿勢であることが分かった。この結果から、関心度の推定には、脚部姿勢ではなく、脚部動作に着目することとした。

講義動画を視聴させた際に脚部状態計測デバイスを用いて計測したデータから、脚部動作と関心度の関係性を検討した。この結果、脚部動作の指標である、フォトリフレクタの反応の変化回数、変化量、および最大静止時間が、学習内容の理解度、学習内容の難易度、および学習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、脚部状態をより高精度に計測するデバイスの検討があげられる。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を検知することが難しいことが明らかになった。このため、他のセンサを併用して

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いため、継続してデータを収集することにより個人差の傾向を明らかにしていく必要がある。

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] Keller, J.M.: *Motivational Design for Learning and Performance*, Springer (2009).
- [2] Murphy, T., Fletcher, K. and Haston, A.: Supporting clickers on campus and the faculty who use them, *Proc. 38th Annual ACM SIGUCCS Fall Conference (SIGUCCS'10)*, pp.79–84 (2010).
- [3] 大庭知也, 高瀬治彦, 川中普晴, 鶴岡信治: 多人数クラスにおける記述式小テストを支援するシステム, コンピュータ&エデュケーション, Vol.39, pp.86–91 (2015).
- [4] 相川大吾, 浅井康貴, 河端留奈, 江木啓朗: 学習者の脚部動作時間に基づく疲労感の推定手法, 教育システム情報学会論文誌, Vol.37, No.2, pp.130–142 (2020).
- [5] 浅井康貴, 相川大吾, 江木啓朗: 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).
- [6] 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).
- [7] 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, 日本建築学会計画系論文集, Vol.39, No.5, pp.1472–1483 (1998).
- [8] Bull, P.E.: *Posture and Gesture*, Pergamon press (1987).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] Zaleteelj, J.: Estimation of students' attention in the classroom from kinect features, *Proc. 10th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, pp.220–224 (2017).
- [12] 中村亮太, 井上亮文, 市村 哲, 岡田謙一, 松下 温: 「ghost-tutor」: 個人の学習ペースを考慮した学習支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.7, pp.2099–2106 (2006).
- [13] 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).
- [14] 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).
- [15] Mota, S. and Picard, R.W.: Automated posture analysis for detecting learner's interest level, *2003 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, Vol.5, pp.49–49, IEEE (2003).
- [16] Barba, R., de Madrid, A.P. and Boticario, J.G.: Development of an inexpensive sensor network for recognition of sitting posture, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.11, No.8, p.969237 (2015).



相川 大吾 (学生会員)

2019年電気通信大学情報理工学部総合情報学科卒業。現在、電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻博士前期課程在学中。教育学習支援システムの研究に従事。



浅井 康貴 (正会員)

2019年電気通信大学大学院情報理工学研究科情報学専攻博士前期課程修了。在学中は教育学習支援システムの研究に従事。



後藤 和彦 (学生会員)

電気通信大学情報理工学域在学中。教育学習支援システムの研究に従事。



江木 啓訓 (正会員)

電気通信大学大学院情報理工学研究科准教授。博士(工学)。2000年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2002年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程修了。2005年同大学院理工学研究科後期博士課程単位取得退学。同年東京農工大学総合情報メディアセンター助手、2007年同助教。2013年神戸大学情報基盤センター准教授。2015年より現職。教育学習支援システム、教育用情報システム、ヒューマン・コンピュータ・インタラクションの研究に従事。IEEE, 日本教育工学会各会員。本会シニア会員。