

# 学習者の疲労度推定のための脚部動作計測デバイスの提案

相川 大吾<sup>1</sup> 河端 留奈<sup>2</sup> 江木 啓訓<sup>1</sup>

**概要:** 本研究では, 学習者の主観的疲労度の推定を目指し, 精神的な負担が少ない手法で脚部動作の計測を行うデバイスの提案を行う。一般に, 授業中の学習者の主観的疲労感は, 時間と共に増加すると考えられる。また, 学習者の主観的疲労感の蓄積は, 学習を阻害すると考えられる。疲労感の蓄積を防ぐために, 教授者は, 適切なタイミングで休憩を実施することが効果的である。したがって, 学習者の主観的疲労感を推定し, 疲労感が増加したタイミングで休憩を促すことによって, 効果的な学習を支援することができると考えられる。これまでに, 学習者の主観的疲労感と脚部の動作の間には有意な相関が報告されている。学習者の主観的疲労感, 脚部動作の計測によって推定できると考えられる。しかし, 現在提案されている脚部動作の計測手法は, 学習者へ与える影響が大きく, 学習を阻害する可能性があるなど, 実際の教育現場へ導入することは困難であると考えられる。本研究では, 学習現場への導入可能性の高い手法で, 学習者の主観的疲労感の推定をおこなうことを目指し, 焦電型赤外線センサを用いた脚部動作計測デバイスを開発した。開発した脚部動作計測デバイスを用いて暗算課題に取り組む学習者の脚部動作を計測した結果, 目視での計測との再現率は 0.931 となり, 非常に高い精度で計測できることが示された。

## A Development of Leg Movement Sensing Device to Estimate Learners' Fatigue

Daigo Aikawa<sup>1</sup> Runa Kawabata<sup>2</sup> Hironori Egi<sup>1</sup>

### 1. はじめに

本研究では, 教育現場への導入可能性の高い手法で脚部動作の計測を行う, 脚部動作計測デバイスの提案を行う。

一般に, 授業中の学習者の主観的疲労感や集中度は, 学習の時間と共に蓄積すると考えられる。主観的な疲労感が高い学習者は, 主観的な疲労感が低い学生に比べて学業成績が低下することが報告されている [1]。したがって, 学習者の疲労感を回復させることによって, 学習効果を高めることが期待できる。教授者は, 授業中に学習者の疲労感を回復させるために, 短い休憩を実施することができる。しかし, 休憩を過剰に実施することは授業の進行を妨げ, 学習者の学習を阻害すると考えられる。そのため, 学習者の主観的疲労感に応じて, 適切なタイミングで休憩を実施する必要がある。

これまでに, 疲労を評価する手法の研究が行われてい

る。POMS(Profiles of Mood States)をはじめとした質問紙の実施や, Odd-Ball 課題によって誘発する, 事象関連電位 P300 の潜時の計測 [2] などがある。しかし, 学生に対して, 授業中, 定期的に質問紙や課題に回答させることは, 授業の進行を妨げ, 学習行動を阻害してしまう恐れがあると考えられる。授業の進行を阻害しない推定手法として, 学習者の生理指標の計測を用いた手法が提案されている [3]。しかし, 生理指標の計測のために学習者の身体に測定機器を取り付けることは学習者の精神状態に与える影響が大きい。また, 計測機器に関する専門知識を必要とするものが多いため, 教育現場への導入は困難であると考えられる。

本研究では, 学習者の主観的疲労感の推定に, 脚部動作の計測を用いる。学習中に, 学習者の脚部が動作している時間と, 主観的疲労感には有意な相関が報告されている [4]。したがって, 学習中の脚部動作を計測することによって, 学習者の主観的疲労感を推定することが可能であると考えられる。授業中の脚部の計測であれば, 授業の進行を阻害しないと考えられる。また, 脚部の計測であれば, 机上の

<sup>1</sup> 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報学専攻

<sup>2</sup> 電気通信大学 情報理工学域 先端工学基礎課程

タスクに影響されずに計測を行うことができる。したがって、本研究では、脚部動作の計測を自動で行うデバイスを開発する。

## 2. 関連研究

これまでに、脚部の計測や姿勢推定に関する研究が行われている。

相川らは、被験者に暗算課題を課し、その間の脚部動作の計測を目視で行った [4]。この結果、暗算課題中の被験者の脚部が動作した時間と主観的疲労感の間に有意な相関があることが明らかになった。しかし、授業を受ける学習者すべての脚部状態を教授者が目視で計測を行うことは困難である。このため、脚部動作の計測を自動で計測を行うデバイスの開発が必要である。

浅井らは、脚部状態の計測を行うデバイスを開発した [5]。このデバイスは、床に設置する板状のデバイスであり、デバイスの上に机と椅子を設置することができる。デバイス上に設置した椅子に座ったときに、足裏が接する面に多数のフォトフレクタが埋め込まれており、学習者の足裏の接地を検出することができる。被験者に映像講義を視聴させ、その間の足裏の接地面を開発したデバイスで計測を行ったところ、足裏の接地位置の変化した回数と、講義内容の主観的難易度、集中度などの間に有意な相関が見られた。しかし、浅井らの研究で開発されたデバイスは、幅 900mm、奥行き 1200mm、高さが 47mm と大きく、多人数の授業への導入は困難であると考えられる。また、学習者は板状のデバイスの上で学習を行う必要があるため、学習者の心理状態に影響を与える可能性がある。

Mota らは、椅子の座面に設置した圧力センサマットを用いて、着座時の姿勢推定を行った [6]。この結果、座面の圧力分布図から姿勢の変化を高精度に推定できることが明らかになった。脚部が動作した場合は、座面にかかる圧力分布が変化すると考えられるため、圧力センサマットを用いることによって脚部動作の検知できると考えられる。しかし、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、多人数の授業への導入は困難であると考えられる。

先行研究で用いられた手法の問題点から、本研究では、以下の二つの条件を満たす脚部動作計測デバイスの開発を行う。

- 目視による脚部動作計測と比較して十分な精度で計測できること
- サイズや金銭的コストの面を他手法と比較し、授業への導入可能性が高いこと

## 3. 提案手法

本研究では、脚部動作の計測に、焦電型赤外線センサを用いる。焦電型赤外線センサは、自動照明システムなどに

おいて、人感センサとして用いられる受動型センサである。

焦電型赤外線センサに用いられている強誘電体は、赤外線を受光すると分極を生じる。この分極によって、受講する赤外線の変化量に応じて電荷が励起される現象のことを焦電効果という [7]。焦電型赤外線センサを人感センサとして用いる場合、検知対象の空間において発せられる赤外線を受光する。対象の空間に人が存在した場合は、対象空間から発せられる赤外線量が、人体の移動によって変化するため、焦電効果によって、人体の検知を行う。しかし、人体が静止している場合は、赤外線の変化量が小さいため、人体を検知することができない。

本研究では、焦電型赤外線センサの性質を用いて、脚部動作計測デバイスを開発する。脚部動作計測デバイスは、机の下を対象として、焦電型赤外線センサを用いて脚部動作の検知を行う。脚部が動作した場合は、机の下の空間の赤外線量が変化するため、焦電効果が生じる。一方で、脚部が静止している場合は、机の下の赤外線量の変化が小さいため、焦電効果が生じない。

焦電型赤外線センサを用いた脚部動作計測では、学習者に計測機器を装着させる必要がない。また、脚部動作計測デバイスを机の天板の裏に設置することで、学習者が計測によって心理的な影響を受けにくいと考えられる。

## 4. 脚部動作計測デバイス

本研究で開発した脚部動作計測デバイスは、シングルボードコンピュータ (Raspberry Pi 3 Model B, Raspberry Pi Foundation) と、焦電型赤外線センサ (AMN22111, Panasonic 社) をユニバーサル基盤を用いて接続したものである。本デバイスで用いる焦電型赤外線センサの出力はアナログ出力である。しかし、本研究で用いたシングルボードコンピュータはデジタル出力のみに対応しているため、アナログ/デジタルコンバータ (MCP3008, MICRO CHIP 社) を用いて焦電型赤外線センサの出力を変換した。焦電型赤外線センサは受光する赤外線の変化量に応じて出力が変化するため、一般的に、受光する赤外線量の変化が小さい場合は、一定の幅で値を出力する。一方で、赤外線量の変化が大きい場合は出力が大きく増減する。したがって、焦電型赤外線センサの出力を一定間隔で取得した場合、ばらつき大きさによって脚部動作を検知することができる。本研究で開発する脚部動作計測デバイスでは、単位時間あたりに取得した焦電型赤外線センサの出力のばらつきを、移動標準偏差によって評価する。

シングルボードコンピュータが 0.1 秒毎に焦電型赤外線センサの出力を読み取り、直前の 9 件を含む、合計 1.0 秒分の出力の移動標準偏差を算出する。計測開始から 1.0 秒後までは、脚部動作の判定は行わない。0.1 秒毎に、移動標準偏差が閾値を超えた場合に脚部が動作していると判定し、それ以外の場合は静止と判定する。動作していると判

断した場合は 1 を，静止していると判断した場合は 0 を，CSV ファイルに出力する．計測終了後の CSV ファイルには，計測結果のデータが格納されている．

脚部動作計測デバイスを机の天板の裏に設置し，無人の状態です 5 分間の計測を 3 回行った．計測結果における，移動標準偏差の最大値を閾値とした．

脚部状態計測デバイスの概要を図 1 に示す．

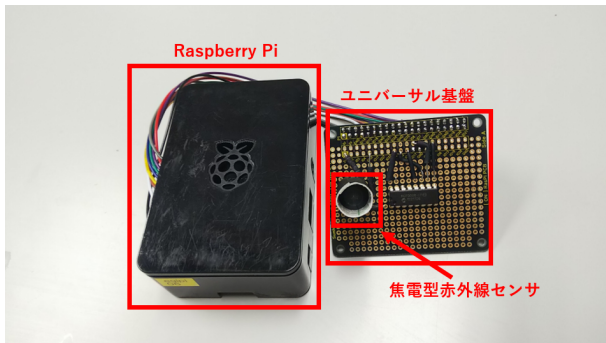


図 1 脚部動作計測デバイス

## 5. 評価実験

脚部状態計測デバイスの計測精度が，目視による計測と比べて十分な精度であるかどうかを調査するために実験を行った．

理工系大学の学部生 5 名 (A, ..., E) を被験者とした．机と椅子を用意し，被験者に着席させた．机の天板の裏に，脚部動作計測デバイスを設置した．机に設置した様子を図 2 に示す．



図 2 机に設置された脚部動作計測デバイス

本実験で用いた机と椅子は，幅 800mm，奥行き 500mm，高さ 700mm の木製の学習机 (株式会社良品計画製) 及び座面の高さが 450mm，幅が縦横 500mm の固定脚のミーティングチェア (株式会社オカムラ製) である．着座状態の被験者に対し，60 分間の暗算課題を課した．暗算課題は

相川らの研究 [4] で用いられたものを用いた．液晶ディスプレイに表示された二桁同士の足し算，もしくは引き算の計算式の正誤を判断するものである．解答はマウスを用いて行う．計算式が正しければ左クリック，誤りであれば右クリックで解答を行う．実験室の気温は摂氏 26 度とした．実験の様子を図 3 に示す．



図 3 実験の様子

実験中の被験者の脚部動作を脚部動作計測デバイスで計測した．また，脚部動作計測デバイスによる計測結果と，目視による計測結果を比較するために，実験中の被験者の脚部をビデオカメラで録画した．ビデオカメラで撮影した映像は，アノテーションツールの ELAN を用いて，1 名の分析者が目視でアノテーションを付与した．脚部動作計測デバイスによる計測結果との比較のため，脚部動作計測デバイスによる結果と同様に，動作している場合は 1，静止している場合は 0 のアノテーションを付与した．アノテーションから，0.1 秒毎に判断結果を分割し，CSV ファイルとして出力したデータを，目視による計測結果とした．目視による計測結果と脚部状態計測デバイスによる計測結果のカッパ係数を算出した．

## 6. 結果

目視による計測結果と脚部動作計測デバイスによる計測結果の例を，図 4 に示す\*1．

被験者毎に，脚部動作計測デバイスによる計測結果と目視による計測結果を比較し，カッパ係数を算出した結果を被験者毎に表 1 に示す．

被験者全体では  $k = .931$  となった．カッパ係数が  $k = 1.000$  となった被験者 E については，二つの計測手法で脚部の動作が一度も検知されなかった．

\*1 上段：目視による計測結果，下段：脚部動作計測デバイスによる計測結果

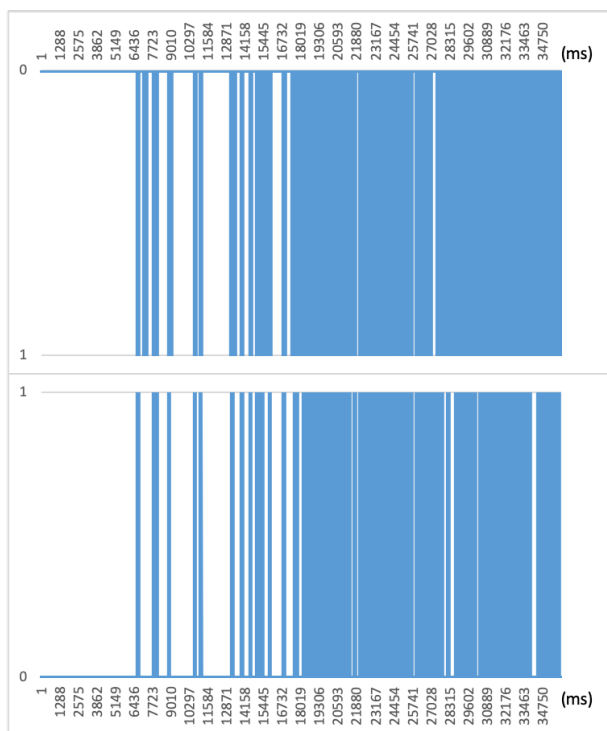


図 4 計測結果の例 (被験者 A)

表 1 脚部動作計測デバイスと目視による計測結果のカップ係数

被験者	再現率
A	0.884
B	0.924
C	0.925
D	0.988
E	1.000
全体	0.938

## 7. 考察

### 7.1 計測精度に関する考察

表 1 に示した結果より、脚部動作計測デバイスと目視による計測結果のカップ係数は、全ての被験者で  $k = .88$  を超えた。また、被験者全体の結果を比較すると、 $k = .938$  となり、目視による計測と比較して十分な計測制度であると言える。したがって、2章で提示した開発するデバイスの条件 1 は満たされたと言える。

一方で、割合は大きくないが、目視による計測結果と異なる判定を行った箇所が存在する。焦電型赤外線センサは、赤外線量の変化を検知するため、ごく小さな動作などの、赤外線量の変化が小さい場合は出力が変化しない場合がある。このため、貧乏ゆすりなどのごく小さな脚部動作を検知できなかった可能性がある。

また、焦電型赤外線センサの性質上、人体以外の熱源から発せられる赤外線によって、誤検知を行ってしまう可能性がある。本実験では、実験室の気温を一定に保ったため、気温の変化による誤検知の発生は考えにくいですが、脚部動作

を計測中に、机の下でヒーターを焚く場合や、床暖房が稼働している場合は、計測精度が低下すると考えられる。近年、自宅などから遠隔で受講する授業を実施する教育機関が増えているため、このような条件下であっても高い計測精度を実現可能かどうかは調査を行う必要がある。

### 7.2 授業への導入可能性に関する考察

本研究で開発した脚部動作計測デバイスに用いたシングルボードコンピュータは、縦 60mm、横 93mm、高さ 32mm であった。また、焦電型赤外線センサを接続したユニバーサル基板は、縦 55mm、横 65mm、高さ 35mm であった。浅井ら [5] が開発したデバイスと比較すると、非常に小さく、一般に販売されている製品の組み合わせで制作することができるため、授業に導入しやすいと考えられる。

## 8. おわりに

本研究では、焦電型赤外線センサを用いた脚部動作計測デバイスの提案を行った。

脚部動作計測デバイスを用いて、60 分間の暗算課題に取り組む被験者の脚部を計測し、目視による計測結果と比較を行った。実験の結果、開発したデバイスは、脚部動作計測に焦電型赤外線センサを用いることにより、従来の手法と比べて小型でありながら、十分な計測精度があることが示された。一方で、焦電型赤外線センサは、気温の変化による誤検知を起こす可能性があるため、室温条件の変化による影響について調査を行う必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K02911, JP19H01710 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 中村浩一, 兒玉隆之. 学業成績の把握および学生教育管理のための POMS. 理学療法科学, Vol. 28, No. 2, pp. 227–230, 2013.
- [2] 岡村法宜. 長時間の計算作業による精神疲労が事象関連電位 P300 に及ぼす影響. 産業衛生学雑誌, Vol. 49, No. 5, pp. 203–208, 2007.
- [3] 山田晋平, 三宅晋司, 大須賀美恵子. 精神疲労を評価する指標の探索. 人間工学, Vol. 48, No. 6, pp. 295–303, 2012.
- [4] 相川大吾, 浅井康貴, 河端留奈, 江木啓訓. 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.
- [6] Selene Mota and Rosalind W Picard. Automated posture analysis for detecting learner's interest level. In *2003 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, Vol. 5, pp. 49–49. IEEE, 2003.
- [7] 秦淑彦. 焦電型赤外線センサを用いた 1 人用ゲートにおける通行判定. 知能と情報, Vol. 28, No. 6, pp. 887–898, 2016.