

タスクおよび個人の特性が脚部動作量に及ぼす影響の分析

照井 佑季¹ 濱田 龍哉² 江木 啓訓^{1,a)}

概要: 本研究では、学習中の脚部動作と学習者のパーソナリティ特性、取り組む課題のもつ認知的特性との関係性を明らかにするために、実験による調査を行った。実験参加者 26 名に対して、3 種類の認知負荷課題に取り組み、NASA-TLX を用いてその作業負荷を取得した。また、ニューカッスル・パーソナリティ評価尺度表を用いて学習者のパーソナリティ特性を取得した。実験中、脚部動作計測デバイスを用いて、実験参加者の脚部動作量を算出し、各課題の作業負荷、学習者のパーソナリティ特性との関係について分析を行った。脚部動作量と認知負荷に関する分析の結果、負荷の高い認知負荷課題に取り組んでいる際の脚部動作量と、負荷の低い認知負荷課題に取り組んでいる際の脚部動作量の間有意な差が認められた。学習中に脚部が動いている学習者には高い認知負荷が掛かっている状態であり、学習の進行に困難を抱えている可能性が考えられる。脚部動作量とパーソナリティ特性に関する分析の結果、外向性と脚部動作量の間には正の相関が、調和性と脚部動作量の間には弱い負の相関が認められた。学習者の脚部動作に現れる個人差が、学習者の外向性と調和性によって説明できる可能性が示唆された。これにより、学習者の脚部動作量に基づいて、パーソナライズされた学習支援システムの構築が可能になると考えられる。

Analysis of the effects of task and individual characteristics on leg movement volume

YUUKI TERUI¹ TATSUYA HAMADA² HIRONORI EGI^{1,a)}

1. はじめに

本研究では、学習中の学習者の脚部動作を計測し、認知負荷の程度や学習者のパーソナリティ特性との関係の調査を行う。本研究により、学習者の脚部動作と学習者の心理的状態の関係を明らかにし、学習者にパーソナライズされた学習支援システムの構築を目的とする。

学習時間の経過に伴い学習者には疲労が蓄積し、集中力の低下などが起こることで、学習効率が低下していくと考えられる。主観的な疲労感の高い学生は、そうでない学生と比べて、学業成績が低い傾向があることが報告されている [1]。学習効率の低下を防ぐためには、休憩を取得するこ

とが有効であると複数の研究で報告されている。例えば、教授者が授業中に短い休憩や、外国の異文化に関するクイズを行うようなリフレッシュタイムを設けることで、学習者の集中力の低下を抑えることが可能である [2][3]。また、高校生の英単語学習を対象に、授業中の休憩の有無で群を分け、後日実施したテストの成績を比較した研究では、休憩を実施した群のテストの成績が休憩を実施しなかった群に比べて有意に高くなるという結果が報告されている [4]。これらの研究はいずれも教授者と対面の形式で行われる授業形態であり、教授者が休憩を取得するタイミングを決定している。

学習者が自身で休憩のタイミングを決定する方法には、あらかじめ決めていた学習時間の経過後に休憩を取得する方法や、学習者自身が疲労感を感じたタイミングで休憩を取得する方法が考えられる。あらかじめ休憩のタイミングを決定しておく手法として、ポモドーロ・テクニックを用いたものが挙げられる。ポモドーロ・テクニックでは短時間の休憩を挟みながら、25 分程度の固定長の学習を繰り返

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

² 電気通信大学 情報理工学域
School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

a) hiro.egi@uec.ac.jp

す手法である。しかし、ポモドーロ・テクニックでは、休憩を取得するまでの時間があらかじめ定められており、休憩の取得による学習効率への影響が大きくなるタイミングで休憩を取得することは困難である。よりパーソナライズされたタイミングで休憩を取得することで、学習効果が向上するといった指摘がある [5]。学習者ごとに、疲労が蓄積する速度は異なり、それによって最適な休憩取得のタイミングも異なると考えられる。しかし、学習者が自分の疲労を適切に判断し、学習効率の向上に最適なタイミングで休憩を取得することは難しい。そのため、学習者の疲労を客観的に判断するシステムが必要であると考えられる。学習活動の文脈に限らず、疲労の推定を目的とした様々な研究が行われてきた。特に、眼球の運動や瞬目、発汗量、心拍数などの生体情報に基づいて疲労を推定する手法は多く研究されている [6]。

これまでの先行研究より、学習者の疲労感や集中度、課題に対する主観的な難易度と学習者の脚部の動作に相関があることが明らかにされている [7]。また、学習者の脚部の動作に基づいて学習者の疲労を推定し、休憩の提案を行うことで、学習効果の向上に一定の成果を挙げている。しかし、研究ごとに様々な種類の課題を行っていることで、学習者の脚部動作を誘発する原因は明らかにされていない。

日本疲労学会では、疲労を「心身への過負荷により生じた活動能力の低下」、疲労感を「疲労が存在することを自覚する感覚」と定義している [8]。また、ISO は認知能力が低下した状態を精神疲労 (mental fatigue) と定義している [9]。このことから、学習中の疲労は、学習活動によって学習者にかかる認知負荷に起因すると考えられる。本研究では、課題の持つ認知負荷と学習者の脚部動作の関係を探ることで、学習者の心理的な状態と脚部動作の関係を明らかにする。

また、脚部動作には個人差が存在することが報告されている。先行研究では、脚部動作の個人差により、学習者ごとの最適な休憩のタイミングを決定することが困難なケースがみられた。脚部動作の個人差が、学習者自身によるものなのか、あるいは、課題に対する学習者の負荷の違いによる影響なのかは明らかにされていない。従って、学習者の脚部動作と課題の持つ認知負荷の調査と並行して、学習者のパーソナリティ特性との関係を調査することで、より正確に脚部動作から学習者の心理的な状態を推定することが可能になると考えられる。本研究では、BigFive 理論に基づく学習者のパーソナリティ特性を計測し、学習者の脚部動作との関係を明らかにする。

2. 関連研究

精神疲労に関する指標の探索を行った研究がある [10]。実験参加者に精神的負荷をかけるため、100 分間の暗算課題に取り組みせ、その前後と休憩取得後の精神疲労を比較

している。精神疲労の主観的な評価として、VAS や POMS による疲れと緊張に有意な差が認められている。また、客観的な評価として、Sequential Digit Search Test (SDST) の探索時間、心拍に関する指標に有意な差が認められている。しかし、休息による作業成績の回復が見込めても、精神疲労による疲労感や生理反応が残っており、過労の一因となる可能性を挙げている。そのため、急性疲労だけでなく過労や過重労働の評価への応用を検討する必要があるとしている。

心拍から得られる信号を用いて机上作業における精神疲労度の推定を行った研究がある [11]。この研究では精神疲労の発生方法として ATMT を、主観的疲労感の評価手法として VAS を用いている。VAS によって計測された主観的疲労感から、心拍データを 5 段階と 3 段階にクラス分けし、J4.8 と多層パーセプトロンを用いた分類器を作成している。分類の結果、複数の指標を用いることで 7 割程度の精度で精神疲労の推定が可能であることが示されている。

これらの研究では、いずれも被験者に暗算課題や ATMT などの認知負荷課題を課すことで精神疲労を誘発し、その評価を行っている。非疲労時と比較した際の、疲労状態の検出に関して一定の成果を挙げていると考えられる。しかし、指標に内在する個人差などの影響により、疲労の定量的な評価には至っていない。本研究では、学習者の脚部動作に個人差として影響を与える要因の調査を行うことで、学習者の心理的な状態の定量的な評価への応用を目指す。

加速度センサを用いて集中度の推定を行った研究がある [12]。椅子に加速度センサを取り付け、ユーザの着席・離席状態の推定と集中の度合いの推定を行っている。このシステムは取り付け場所の制約が少なく、机上作業を行う様々な環境に適用することが可能である。本研究では、学習者が自宅等で学習を行う状況を想定している。そのため、学習者の自宅にも容易に設置できるようなデバイスを開発する必要がある。

アナログ出力焦電型赤外線センサ (以下、焦電センサ) を用いて、センサの直下を通った人間の位置や身長を判別を行った研究がある [13]。天井に焦電センサを格子状に配置することで、センサを中心に半径 0.8m 程度で人間の位置を判別可能であると報告している。また、子供と大人のような極端に身長が異なる場合に、その弁別が可能であることを報告している。

アナログ出力焦電型赤外線センサを用いて、屋内行動の識別を試みた研究がある [14]。焦電センサの出力パターンに含まれる振幅や周波数成分などの特徴量が、人の細かい動きに応じて変化することを用いて、同じ位置での異なる行動の識別を行っている。着座した状態で行われる 4 種類の異なる行動を、RandomForest を用いて識別を行った結果、平均 F-Measure:75.3% で各行動の識別が可能であること報告している。また、焦電センサを用いることで、プライバ

シーの確保やコストの低減が可能であるとしている。

これらの研究では、焦電センサから得られる電圧信号に含まれる特徴量に着目し、行動認識やパターン認識を行っており、いずれも一定の成果を挙げている。本研究においても、焦電センサを用いることで、学習者のプライバシーを侵害することなく、学習者の脚部動作の特徴を取得できると考えられる。

3. 提案手法

先行研究より、学習中の学習者の脚部動作は、学習活動による疲労の蓄積に起因すると考えられている。いずれの先行研究でも、学習者の脚部動作は、学習時間の経過とともに増加することが確認されている [7][15][16]。しかし、先行研究で用いられてきた課題は、暗算課題、記憶課題、資格試験の学習など研究ごとに様々であり、課題に内在する認知負荷については考慮されていない。

本研究では、学習者の脚部動作は、課題による認知負荷に影響を受けていると仮定する。

先行研究では、同様のタスクに取り組み、同程度の疲労感を訴えた学習者の脚部動作にも差が存在することが報告されている。これは、単一の認知負荷課題を実施したことにより、学習者ごとに課題に対する得手不得手が異なり、学習者にかかる認知負荷が異なったことが原因であると感ぜられる。そこで、学習者に対して複数の認知負荷課題を実施し、課題ごとにその負荷を計測することで、学習者ごとに高負荷課題と低負荷課題を決定する。高負荷課題と低負荷課題に取り組んでいる際の脚部動作量を比較することで、課題の得手不得手に依存せず、負荷の程度と脚部動作量の関係を調査することが可能となる。学習者に実施する認知負荷課題は、認知機能の空間的注意、視覚探索、ワーキングメモリに負荷をかける課題を用いる。バイアスの異なる認知負荷課題を実施することで、学習者の課題の得手不得手により認知負荷の程度に差が生まれると考えられる。

3.1 脚部動作と作業負荷の関係

課題ごとの負荷の計測には、NASA-TLX を用いる [17]。NASA-TLX は、アメリカでメンタルワークロードの主観的な評価手法として一般的に用いられている。日本語版の NASA-TLX も既に開発されており、トラッキング課題、視覚探索、暗算課題などの課題で、困難度の変化に対して感度良く対応するワークロード得点が得られることが報告されている [18]。NASA-TLX は、知的・知覚的要求、身体的要求、タイムプレッシャー、作業成績、努力、不満の 6 つの尺度に関して、VAS を用いて評価を行う。VAS への回答を基に、各尺度に関して 1~100 点の評点 v_i を得たのち、その平均点を算出する。平均点は、一対比較を用いた重み付け係数による平均値 Weight Workload(以下、WWL) を用いるのが一般的である。一対比較は、6 つの下位尺度を

ペアにして、よりワークロードへの関りが大きいと考えるほうを選択させるものである。全ての組み合わせ 15 組に関して比較・選択を終えた後、各尺度が選択された回数をその尺度の重みづけ係数 w_i として扱う。WWL は下位尺度の評価値 v_i と重みづけ係数 w_i より、式 1 のように表される。

$$WWL = \frac{\sum_{i=1}^6 (w_i \times v_i)}{\sum_{i=1}^6 w_i} \quad (1)$$

3.2 脚部動作の個人差

先行研究より、学習者の脚部動作には個人差が存在することが明らかにされている。本研究では、脚部動作の個人差は、学習者のパーソナリティに起因するものであると仮定する。そのため、学習者の脚部動作を計測するにあたり、BigFive 理論に基づく学習者のパーソナリティの調査を行う。BigFive 理論によると、人間のパーソナリティ特性は、開放性、勤勉性、外向性、協調性、神経症傾向の 5 つ因子の組み合わせで表現できるとされている。本実験では、ニューカッスル・パーソナリティ評価尺度表を用いて BigFive の計測を行った [19]。ニューカッスル・パーソナリティ評価尺度表の質問項目を表 1 に示す。

パーソナリティ特性は、認知能力と区別して非認知能力とも呼ばれ、認知能力に比べて予測的妥当性が高いことが示されている [20][21]。学習者のパーソナリティの傾向を知ることで、その学習者が様々な状況下でどのように行動することかを予測することが可能であると考えられる。また、パーソナリティ特性は認知機能との相互作用に関する知見が報告されている。特にワーキングメモリとの関連が報告されており、外向的な特性を持つ人は内向的な特性を持つ人に比べて、短期的な記憶課題の反応時間や正答数などの成績が優れていることが明らかにされている [22][23]。本研究では、実験開始時に学習者のパーソナリティ特性の調査を行い、学習者の脚部動作の個人差を生む要因を明らかにする。

3.3 脚部動作量

本研究では、学習者の脚部動作を定量的に計測するため、脚部動作量を定義する。脚部動作量は、焦電センサの出力値から得られる。アナログ出力型の焦電センサから得られる電圧信号は連続性を持ち、検出範囲内の赤外線の変化量によってその出力値が変化する。そのため、検出範囲内の学習者の脚部動作の大きさを反映した出力値を得ることができる。これにより、先行研究では扱うことのできなかつた、貧乏ゆすりなどの小さな連続した脚部動作を定量的に扱うことが可能となる。脚部動作量は、焦電センサから得られる出力信号の移動標準偏差の単位時間あたりの和で与えられる。脚部動作量は、移動標準偏差の単位時間あたりの和とすることで、脚部動作の時系列的な変化や、学

表 1 ニューカッスル・パーソナリティ 評定尺度表の項目

Table 1 Items on the NPA

設問番号	項目
1	知らない人とすぐ話ができる
2	人が快適で幸せかどうか気にかかる
3	絵画等の制作, 著述, 音楽を作る
4	かなり前から準備する
5	落ち込んだり憂鬱になったりする
6	パーティや社交イベントを企画する
7	人を侮辱する
8	哲学的, 精神的な問題を考える
9	ものごとの整理ができない
10	ストレスを感じたり不安になったりする
11	むずかしい言葉を使う
12	他の人の気持ちを思いやる

習時間全体での脚部の動作量を柔軟に表現することが可能となる。

4. システム設計

本研究では、複数の課題に取り組む学習者の脚部動作を記録するためのシステムを開発した。

4.1 脚部動作計測デバイス

脚部動作計測デバイスは Arduino Nano, 焦電センサで構成される。焦電センサは Panasonic 社の EKMC2609112K を用いた。脚部動作計測デバイスを図 1 に示す。焦電センサから得られる電圧信号を Arduino を用いて 50Hz で取得し、デバイスの稼働時間を付与して USB シリアル通信を用いてデータを送信する。本研究では USB シリアルを用いて、Raspberry Pi 4 Model B に対して取得したデータを送信する。

脚部動作計測デバイスは、机の天板の裏に設置する。学習者にデバイスを取り付ける必要がないため、計測時の学習者の心理的な負担を抑えて計測を行うことが可能である。カメラを用いた画像処理によって、脚部動作量を計測するような手法も考えられるが、カメラを用いて可視光を記録するような手法では、学習者に与える心理的な負担が大きいと考えられる。また、可視光の記録は、学習者のプライバシーを侵害する可能性も考慮する必要がある。焦電センサは可視光を記録しないため、学習者への心理的な負担だけでなく、デバイスを設置する場所などの制約を抑えることが可能である。

4.2 課題提示システム

本研究では、複数の課題に取り組む学習者の脚部動作を計測するため、脚部動作計測デバイスを用いて学習者に課題を提示するシステムを開発した。システム的设计を図 2 に示す。課題提示システムは脚部動作計測デバイスを繋い

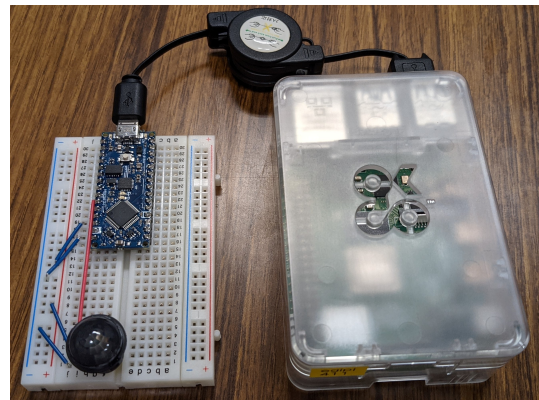


図 1 脚部動作計測デバイス

Fig. 1 Leg movement measurement device

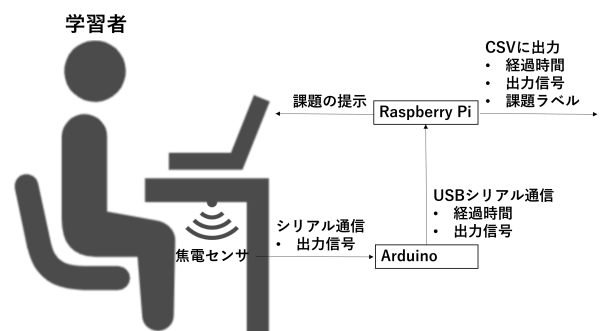


図 2 システム設計

Fig. 2 System design

だ Raspberry Pi によって実行される。RaspberryPi は脚部動作計測デバイスから USB シリアルによって送信されたデータに学習者が取り組む課題のラベルを付与し、CSV 形式で保存する。

実験終了後、保存したデータから脚部動作量を算出する。本研究では、脚部動作量を算出する際の標準偏差を求める際のデータ数は、脚部動作計測デバイスが 1 秒間に記録するデータ数である 50 とした。

5. 実験

本実験の目的は、学習中の学習者の脚部動作と学習者のパーソナリティ特性、課題の持つ認知負荷の関係を調査することである。実験参加者は、理工系大学の 18~24 歳の大学生および大学院生 26 名とした。実験開始前に、口頭と文書による実験内容の説明と承諾を得た。

5.1 実験課題

本実験では、実験参加者の認知負荷課題の負荷の程度に対する脚部動作量の変化を調査するため、3 種類の認知負荷課題を実験参加者に課した。3 種類の認知負荷課題は、選択反応課題、視覚探索課題、暗算課題を用いた。3 種類の課題とパーソナリティ・テスト、NASA-TLX は全て Python3 標準ライブラリの Tkinter を用いて作成した。

選択反応課題は、空間的注意課題としてポズナーの空間手掛かり法を用いた選択反応課題を用いた [24][25]. 初めに、画面の中央に上または下方向の矢印が提示され、その後、画面の中央の十字の注視点の上下どちらかに黒い四角形が提示される。提示された矢印の方向と四角形の位置が一致していた場合に、マウスをクリックする。

視覚探索課題は、ATMT Task-R を用いた。ATMT には、クリックしたマーカーが消え、新たに提示されるマーカーのみがランダムな位置に追加される Task-F と、クリックの度に全てのマーカーの位置がランダムで変化する Task-R の 2 種類が存在する。Task-F の場合、マーカーの配置を作業と並行して記憶することで成績が上昇し、それと同時に、実験参加者のワーキングメモリに負荷がかかることが予想される。本研究では、課題による被験者への負荷を可能な限り分離するため、視覚探索にかかる負荷を高くする必要がある。そこで、健常者であっても精神負荷によってパフォーマンスが低下するとされている Task-R を採用した [26].

暗算課題は、Turner らの提案した MATH と呼ばれるアルゴリズムに基づく課題を採用した [27]. 暗算課題は、画面に数式を提示し、その後、「EQUAL」という文字を提示する。その後、数式の答えを提示し、実験参加者はその答えが正しければマウスの左クリックを、誤っていれば右クリックをする。

5.2 実験手順

実験参加者は、選択反応課題、ATMT Task-R、MATH に取り組み、その際の脚部動作を脚部動作計測デバイスを用いて計測した。実験課題の実施順序はラテン方格法を用いて実験参加者間のカウンターバランスをとった。実験開始時にパーソナリティテストを実施した。また、手順 8, 9, 10 の後に NASA-TLX によって、各課題の認知負荷の調査を行った。実験のプロトコルを表 2 に示す。表 2 の Task1, Task2, Task3 は、選択反応課題、ATMT Task-R、MATH のいずれかが、ラテン方格法によって決定された順序で当てはまる。各課題ごとに取り組む時間に差が生まれないよう、各課題が 1 回 15 分程度となるように試行回数を設定した。

6. 結果

本実験は、理工系大学に所属する大学生及び大学院生の実験参加者 26 名を対象として実施した。実験参加者のうち、デバイスの不備によりデータの取得ができなかった 3 名を除く、23 名の実験結果を得た。

6.1 課題の作業負荷

実験参加者は、選択反応課題、視覚探索課題、暗算課題の 3 種類の認知負荷課題に取り組んだ。実験参加者の課題

表 2 実験プロトコル

Table 2 Experimental protocol

手順	セット	実験開始
1		パーソナリティテスト
2	1	Task1
3		Task2
4		Task3
5	2	Task1
6		Task2
7		Task3
8	3	Task1
9		Task2
10		Task3
		実験終了

備考 手順 8~10 の後に NASA-TLX を実施

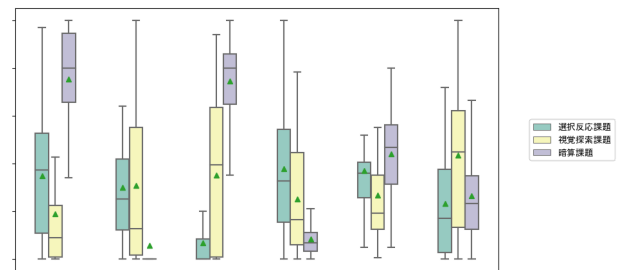


図 3 NASA-TLX による各課題の作業負荷

Fig. 3 NASA-TLX workload for each task

ごとの作業負荷を NASA-TLX を用いて計測した。課題ごとに計測した NASA-TLX の下位尺度の得点分布を図 3 に示す。

計測した NASA-TLX から課題ごとの WWL 得点を算出し、各実験参加者にとって負荷の低い課題と、負荷が高い課題を決定した。その後、負荷の低い認知負荷課題に取り組んでいる間の脚部動作量と、負荷の高い課題に取り組んでいる間の脚部動作量を算出した。負荷の低い課題に取り組んでいる際の脚部動作量と、負荷の高い課題に取り組んでいる際の脚部動作量を図 4 に示す。両群間の脚部動作量に対し、ウィルコクソンの符号付き順位和検定を行った結果、有意な差が認められた ($T = 72.0, p = 0.049$).

6.2 実験参加者のパーソナリティ特性

本研究では、ニューカッスル・パーソナリティ評定尺度表を用いて、実験参加者のパーソナリティ特性を計測した。計測した BigFive の各次元ごとの得点分布を図 5 に示す。

パーソナリティ特性の各次元は、スコアに基づき、「低」、「低-中」、「中-高」、「高」の 4 段階に評価される。実験参加者のパーソナリティ特性の各次元ごとに評価を算出した。各次元ごとの評価と脚部動作量に対して、スピアマンの順位相関分析を行った結果を表 3 に示す。分析の結果、外向性の評価と脚部動作量の間に正の相関が認められた

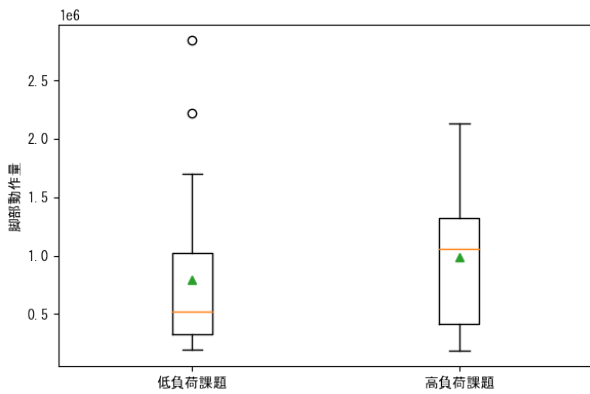


図 4 作業負荷による脚部動作量への影響

Fig. 4 Leg movement volume by NASA-TLX

表 3 脚部動作量とパーソナリティ特性のスコアの相関

Table 3 Correlation between leg movement volume and personality scores

パーソナリティ次元	相関係数	p 値
外向性	0.451	0.031
神経質傾向	-0.123	0.576
誠実性	-0.058	0.792
調和性	-0.347	0.105
(経験への)開放性	-0.272	0.209

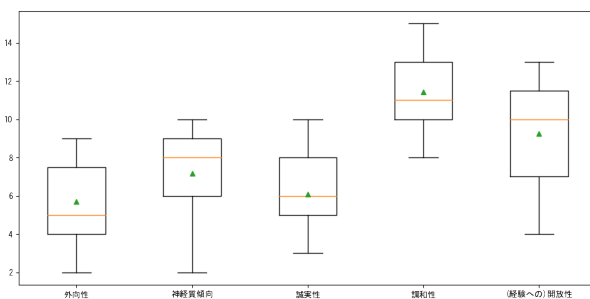


図 5 実験参加者のパーソナリティ特性のスコア分布

Fig. 5 Distribution of personality scores of the subjects

($r = 0.451, p = 0.031$). また、調和性と脚部動作量の間に弱い負の相関がみられた ($r = -0.347, p = 0.105$).

7. 考察

7.1 認知負荷課題の作業負荷と脚部動作量の関係

本研究では、認知負荷課題の性質によって学習者の脚部動作に与える影響が異なると仮定し調査を行った。実験参加者に、選択反応課題、視覚探索課題、暗算課題の3種類の認知負荷課題に取り組み、その際の脚部動作を計測した。また、NASA-TLX を用いて各認知負荷課題の作業負荷を計測した。課題に取り組んでいる際の脚部動作量を比較した結果、視覚探索課題に比べて、選択反応課題、暗算課題に取り組んでいる際の脚部動作量が有意に高くなっ

ていることが明らかになった。

また、NASA-TLX の結果から得られた WWL 得点に基づき、学習者ごとに作業負荷の小さい課題に取り組んでいる際の脚部動作量と、作業負荷の大きい課題に取り組んでいる際の脚部動作量を算出し比較を行った。比較の結果、作業負荷が大きい課題に取り組んでいる際の脚部動作量が有意に高くなっていることが明らかになった。WWL 得点が低い課題は視覚探索課題が最も多く、WWL 得点が高い課題として暗算課題となっている。

先行研究では、学習活動の進行に伴い、学習者に疲労感の増加とともに脚部動作が増加することが示されている。本研究で得られた結果をふまえると、学習者にとって、ワーキングメモリにかかる負荷は視覚探索にかかる負荷に比べて大きく、学習者に疲労が蓄積する速度が速くなったと考えられる。しかし、本実験では3種類の課題を順に3セット行っている。また、3種類の課題の順序はラテン方格法を用いることでカウンターバランスをとっているため、課題の順序による影響は少ないと考えられる。そのため、疲労が学習活動の経過に伴い蓄積するのであれば、課題間に脚部動作量の差は生まれないと考えられる。これらのことから、学習者の脚部動作に関する仮説が2点挙げられる。

1つ目は、学習者の脚部動作は疲労の蓄積に起因するものではなく、ある時点で学習者に掛かる認知負荷に起因しているというものである。この仮説が正しい場合、脚部動作の計測によって CLT に基づいた学習の支援を行うことが可能になると考えられる。学習による認知負荷が学習者にとって大きすぎる場合、学習者の学習に対する意欲や集中力の低下に繋がる。その一方で、適切な認知負荷は学習者が試行錯誤し、より深い理解に繋がると考えられる [28]。本研究では、学習者が自宅等で個人で学習を行う場面を想定していた。しかし、学習者の脚部動作がある時点での認知負荷をリアルタイムに反映している場合、演習形式の授業において、行き詰っている学生の発見・支援に応用できる可能性がある。仮説を立証するため、より詳細に学習者に掛かる認知負荷をコントロールし、脚部動作量の変化と合わせて検証を行う必要がある。

2つ目は、学習者の脚部動作は疲労の蓄積に起因して発生するが、疲労の回復に効果のある課題や作業が存在し、それにより課題間の脚部動作量に差が生じるというものである。本研究では、認知負荷課題が切り替わる際に VAS による疲労感の計測や NASA-TLX による作業負荷の計測を行っている。しかし、VAS や NASA-TLX に取り組んでいた時間は認知負荷課題に取り組んでいた時間に対して短く、全ての認知負荷課題の後に実施している。そのため、VAS や NASA-TLX の作業が認知負荷課題間の脚部動作量に差を生じる要因であるとは考えにくい。今後、本実験において作業負荷の低かった視覚探索課題が、疲労の回復に効果があるのか検討を行う必要がある。また、課題の切り

替えによる疲労への影響も検討する必要がある。

7.2 学習者の性格特性と脚部動作量の関係

本研究では、学習者もつパーソナリティ特性と脚部動作量の関係の調査を行った。パーソナリティ特性の各次元はスコアによって、「高」、「中間—高」、「中間—低」、「低」の4段階で評価される。実験参加者の回答から、各次元の評価と脚部動作量の相関分析を行った。その結果、外向性と脚部動作量の間には正の相関がみられた。

外向性のスコアの高い人は刺激への慣れを生じやすく、スコアの低い人は慣れを生じにくいことが明らかにされている [29]。そのため、学習者の外向性を把握することで、認知負荷課題の習熟効果による成績の向上が極限值に達するまでに必要な累積実施時間を調整できると考えられる。また、外向性のスコアが高い人は、低い人に比べて、単調な作業のような低負荷の課題に取り組んだ際の精神疲労が大きいことが明らかにされている [30]。外向性のスコアが高い人は課題による認知負荷への慣れが早く、早い段階から課題を単調に感じることで疲労が蓄積し、脚部動作量が高くなったと考えられる。先行研究においても、学習者の脚部動作には個人差が存在することが明らかにされているが、この個人差は単一の認知負荷課題に連続的に取り組んだ際に確認されたものである。学習者ごとの認知負荷に対する慣れの違いが、経過時間とともに脚部動作の個人差として表出した可能性が考えられる。そのため、外向性のスコアのの違いに焦点を当て、脚部動作や課題のパフォーマンスの時系列的な変化を観察することで、学習者の認知負荷への慣れや習熟効果の個人差の理解に応用できると考えられる。

また、有意差はみられなかったものの、調和性に関しても弱い負の相関が確認されている ($r = -0.347, p = 0.105$)。Nettle は調和性に関して、

調和性が高いとは、他者の心の状態に注意を払う傾向があるということであり、また決定的なのは、それを行動の選択要因のなかに含めるということである。

としている [19]。爪噛みや貧乏ゆすりなどの社会で好ましくないと思われる行動が、誠実性と調和性のスコアから予測されることが報告されている [31]。貧乏ゆすりは、ストレス下に置かれた場合や、活動が拘束されたときに自発しやすい傾向がある。貧乏ゆすりのように同じ行動が繰り返されるような神経性習慣は、これまでの先行研究では適切に扱うことができなかった。しかし、本研究で提案した脚部動作量を用いることで、短時間に細かい動作が繰り返される場合も定量化が可能となった。実験中に貧乏ゆすりを行っていた被験者も確認されており、その被験者に課題による負荷がかかっていたことがわかる。貧乏ゆすりに限らず、脚部の頻繁な動作行動は周囲の人の学習活動の妨げと

なる場合がある。調和性の高い人は、他者の心の状態に注意を払い、それが行動の選択要因に含まれる。そのため、課題から負荷に対して発現する自分の脚部の動作を、意識的に抑制している可能性が考えられる。

学習者の脚部動作は言わば、認知負荷という入力に対する出力である。その感度がパーソナリティのスコアによって異なる場合、脚部動作量を統一された指標として扱うと、高い負荷が掛かり、学習活動の進行に困難を抱えている学習者を見逃してしまう恐れがある。先行研究において、学習効果の向上を目的に脚部動作に基づいた休憩取得のタイミングを決定した研究があるが、閾値の設定が課題であるとしている。学習者のパーソナリティを調査し、そのスコアに応じた閾値を設定することで、より最適なタイミングでの休憩の提案が可能になると考えられる。

8. おわりに

本研究では、学習中の学習者の行動の理解を目的として、学習中の脚部動作と学習者のパーソナリティ特性、取り組んでいる課題のもつ認知的性質との関係の調査を行った。

それぞれの認知負荷課題の作業負荷に基づく分析の結果、負荷の高い認知負荷課題に取り組んでいる際の脚部動作量と、負荷の低い認知負荷課題に取り組んでいる際の脚部動作量の間には有意な差が認められた。学習者のパーソナリティ特性に基づく分析の結果、パーソナリティ特性の外向性と脚部動作量の間には正の相関が、調和性と脚部動作量の間には弱い負の相関が認められた。

今後、脚部動作の個人差の理解に応用することが可能になると考えられる。特に、先行研究で行われてきた休憩の提案などは、休憩を提案するための脚部動作の閾値の設定に課題を抱えていた。学習者のパーソナリティを予め調べておくことで、脚部動作の個人差に基づく閾値の設定が可能になり、よりパーソナライズされた休憩の提案が可能になると考えられる。また、認知負荷の程度によって脚部動作量がどの程度変化するのか調査を進めていく。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 21K18496, 21K02839 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] J. III. Olmsted. The mid-lecture break: When less is more. *Journal of Chemical Education*, Vol. 74, No. 4, pp. 525–527, 1999.
- [3] 金村美千子. Ph2-30 授業中におけるリフレッシュタイムの効果 (教授・学習, ポスター発表 h). 日本教育心理学会総会発表論文集 第 50 回総会発表論文集, p. 782. 一般社団法人 日本教育心理学会, 2008.
- [4] Yusuke Watanabe and Yuji Ikegaya. Effect of intermittent learning on task performance: a pilot study. *Journal of Neuronet*, Vol. 38, pp. 1–5, 2017.

- [5] Aditi Ramachandran, Chien-Ming Huang, and Brian Scassellati. Give me a break! personalized timing strategies to promote learning in robot-child tutoring. In *Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 146–155, 2017.
- [6] 東川知生, 山本景子, 倉本到, 辻野嘉宏ほか. デスクワーク時における瞬目に基づく疲労蓄積の検出と適切な休憩タイミングの提示. 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-HCI-146, No. 1, pp. 1–6, 2012.
- [7] 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誌, Vol. 37, No. 2, pp. 130–142, 2020.
- [8] 日本疲労学会. 抗疲労臨床評価ガイドライン, 2008.
- [9] International Organization for Standardization. Ergonomic principles related to mental work-load, 2017.
- [10] 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.
- [11] 東海林可奈, 石井峻, 横窪安奈, ロベズギョーム. 生体信号を用いたデスクワークにおけるメンタル疲労度推定. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, 第 2019 巻, pp. 617–621, jun 2019.
- [12] 大久保雅史, 藤村安耶. 加速度センサーを利用した集中度合い推定システムの提案. *WISS2008*, 2008.
- [13] 奥田晋也, 金田重郎, 芳賀博英. アナログ型焦電センサによる人間の室内位置・身長判別法の提案. Technical Report 112(2004-UBI-006), 同志社大学工学部知識工学科, 同志社大学工学部知識工学科, 同志社大学工学部知識工学科, nov 2004.
- [14] 藤原聖司, 柏本幸俊, 藤本まなと, 諏訪博彦, 荒川豊, 安本慶一ほか. アナログ出力焦電型赤外線センサを活用したスマートホーム向け宅内行動認識. 第 24 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol. 2016, pp. 59–65, 2016.
- [15] 照井佑季, 相川大吾, 江木啓訓. 焦電センサを用いた脚部動作計測による学習支援手法の提案. マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2021 論文集, No. 1, pp. 1430–1435, jun 2021.
- [16] 後藤和彦, 相川大吾, 照井佑季, 江木啓訓. 脚部動作計測に基づいた休憩が学習効果へ及ぼす影響の分析. 日本教育工学会論文誌, Vol. 45, pp. 161–164, 2021.
- [17] Sandra G. Hart and Lowell E. Staveland. Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In Peter A. Hancock and Najmedin Meshkati, editors, *Human Mental Workload*, Vol. 52 of *Advances in Psychology*, pp. 139–183. North-Holland, 1988.
- [18] 芳賀繁, 水上直樹. 日本語版 nasa-tlx によるメンタルワークロード測定. 人間工学, Vol. 32, No. 2, pp. 71–79, 1996.
- [19] Daniel Nettle. パーソナリティを科学する-特性 5 因子であなたがわかる-.
- [20] James J Heckman, Jora Stixrud, and Sergio Urzua. The effects of cognitive and noncognitive abilities on labor market outcomes and social behavior. *Journal of Labor economics*, Vol. 24, No. 3, pp. 411–482, 2006.
- [21] James J. Heckman. The economics, technology, and neuroscience of human capability formation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, No. 33, pp. 13250–13255, 2007.
- [22] E Howarth and HJ Eysenck. Extraversion, arousal, and paired-associate recall. *Journal of Experimental Research in Personality*, 1968.
- [23] Matthew D Lieberman. Introversion and working memory: central executive differences. *Personality and Individual Differences*, Vol. 28, No. 3, pp. 479–486, 2000.
- [24] Michael I Posner. Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology*, Vol. 32, No. 1, pp. 3–25, 1980.
- [25] Carlos M. Gómez, Angélica Flores, and Alfredo Ledesma. Fronto-parietal networks activation during the contingent negative variation period. *Brain Research Bulletin*, Vol. 73, No. 1, pp. 40–47, 2007.
- [26] K MIZUNO. Utility of an advanced trail making test as a neuropsychological tool for an objective evaluation of work efficiency during mental fatigue. *Fatigue science for human health*, pp. 47–54, 2008.
- [27] J.Rick Turner, John K. Hewitt, Richard K. Morgan, Jane Sims, Douglas Carroll, and Krystyna A. Kelly. Graded mental arithmetic as an active psychological challenge. *International Journal of Psychophysiology*, Vol. 3, No. 4, pp. 307–309, 1986.
- [28] 柏原昭博, 菅野昭博, 平嶋宗, 豊田順一. 説明における認知的負荷の適用と実験的評価. 人工知能, Vol. 10, No. 3, pp. 393–402, 1995.
- [29] Gina M Ditraglia and John Polich. P300 and introverted/extraverted personality types. *Psychophysiology*, Vol. 28, No. 2, pp. 177–184, 1991.
- [30] 石橋基範, 土居俊一. 向性と精神的負荷が精神疲労に及ぼす影響. 人間工学, Vol. 45, No. 1, pp. 19–28, 2009.
- [31] Atsushi Oshio. Who shake their legs and bite their nails? self-reported repetitive behaviors and big five personality traits. *Psychological Studies*, Vol. 63, No. 4, pp. 384–390, dec 2018.