

クッション型デバイスによる着座姿勢と学習集中度の評価

Evaluation of Sitting Posture and Learning Status Using Cushion Shaped Device

鶴岡秀樹^{*1} 後藤隆太郎^{*1} 横田悠右^{*2} 成瀬康^{*2} 矢入郁子^{*1}
 Hideki Tsuruoka Goto Ryutaro Yusuke Yokota Yasushi Naruse Ikuko Yairi

^{*1}上智大学大学院理工学研究科理工学専攻情報学領域
 Graduate School of Science and Engineering, Sophia University

^{*2}国立研究開発法人情報通信研究機構脳情報通信融合研究センター
 National Institute of Information and Communications Technology

This research has proposed an ambient cushion type sensing / display device that supports autonomous learning by applying the connection feeling with a friend in a remote place to learning for the purpose of continuing and deepening it. In this paper, quantitative evaluation using an electroencephalograph was conducted to investigate the relationship between the sitting posture data obtained by sensing and the degree of concentration of learners. In the concentrated state, it was confirmed two trends of forward posture and small movement.

1. はじめに

近年 e-learning の普及により、学習動機の継続的維持による自律学習支援の重要性が高まっている。しかし、学習動機の継続的維持は難しく、自律学習を断念してしまう人も少なくない。本研究は自律学習の継続と深化のために Dici らの自己決定理論 [Ryan 00] に基づいた動機付けを支援するシステムとして、遠隔地にいる友人とのつながり感を学習に応用することで自律学習を支援するアンビエントなクッション型センシング・情報提示デバイスを提案してきた [Tsuruoka 17]。提案システムの概要を図 1 に示す。提案システムにおけるつながり感の醸成は、学習集中度の共有により実現されている。本研究における学習集中度とは、学習者が集中して学習に取り組んでいる度合いを定量化した値であり、着座姿勢を元に算出されている。児童を対象とした実験を通して、筆記学習における集中状態では「前傾姿勢である」「動きが少ない」という 2 つの傾向が見受けられた。

一方で学習集中度の推定では、着座者の体型や着座位置の影響を受けやすく個人によって推定精度が落ちてしまうことも少なくなかった。また「後傾姿勢で足を組む」「机にうつ伏せになり寝る」といった特異な姿勢については、本来集中が途切れた際の行動であるが、当システムでは集中状態と推定する結果となった。以上のような学習集中度の誤推定から招かれる誤提示により、本来意図する自律学習の促進という効果を得ることができないだけでなく、学習意欲を削ぐといったことさえも散見された。

本稿では、クッション型デバイスで計測される着座姿勢を元にした、学習集中度推定手法の改善および、妥当性を検証すべく、ウェアラブル脳波計による定量的評価を行なった。以降、2 章で当デバイスによる着座姿勢センシングおよび、集中度の関係について、3 章では脳波計による学習集中度の計測方法について述べる。4 章では、脳波計による評価実験の結果と考察、5 章で評価実験に対する将来展望を述べ、6 章を本稿の結びとする。

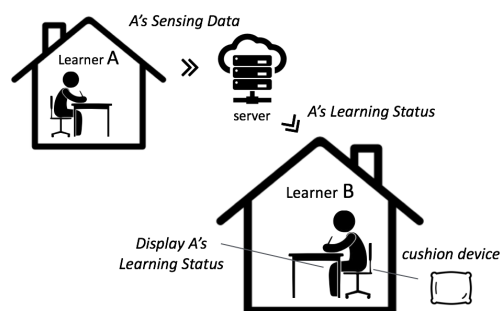


図 1: 提案システムの概要

2. 着座姿勢と学習集中度

2.1 クッション型デバイスによる着座姿勢センシング

杉浦らはフォトリフレクタを用いて、赤外光照射時の綿の散乱現象を利用し、綿の密度計測を実現した [Sugiura 11]。本研究では、このフォトリフレクタが搭載された 6 つのセンサユニットをクッションに内包することで、着座姿勢センシングが実現されている。学習者が着座した箇所に対応する綿密度から着座位置や姿勢、さらには動きを検出する。

着座姿勢とそれぞれのセンサの出力表示を図 2 に示す。センサの出力は円の大きさと表され、クッションを置いた際に出力される値を基準値としたキャリブレーションが行われている。

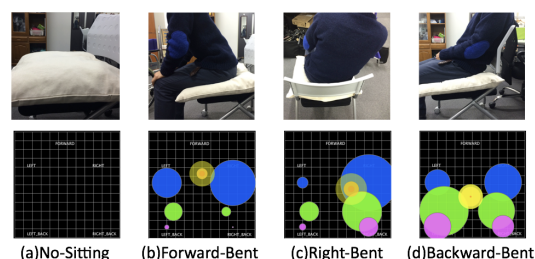


図 2: 着座姿勢センシングの出力例

また、図の中央の円は学習者の重心を6つのセンサ値から算出したものである。(a)No-Stting(未着座状態)では、6つのセンサ値はゼロに等しい。学習者が着座している(b)(c)(d)では7つの円でセンサ値が表示されている。また、(b)Forward-Bent(前傾姿勢)ではクッション前部に配置したセンサ値が大きく出力され、後部の値が小さく出力される。同様に(c)Right-Bent(右傾姿勢)では右側に配置したセンサの値が、(d)Backward-Bent(後傾姿勢)では後部に配置したセンサの値が大きく出力される。このように当システムでは、センサの配置と出力の大きさから着座状態および、着座姿勢の推定を実現している。

2.2 着座姿勢による学習集中度の推定

児童を対象とした実験を通して、筆記学習における集中状態では「前傾姿勢である」「動きが少ない」という2つの傾向が見受けられた[Tsuruoka 17]。回転椅子の背面に取り付けたWilリモコンで計測される加速度から作業の集中度を推定する研究では、集中している状態と2軸方向加速度から得られる動きに相関があることがわかっている[Okubo 09]。また、Kinectを用いた学習時の姿勢と行動から学習の集中度合いを推定する研究では、集中度合いが高い状態では前のめりになるという報告が挙げられた[Kamei 15]。以上を踏まえ、本研究では、計測された着座姿勢を前傾や後傾などの「静的な姿勢」と、動的な姿勢である「動き」の2つに分類し、それぞれ posture 値・movement 値と表現している。posture 値は前部・中央部・後部の3箇所それぞれにおいて2つのセンサ値の和を示した値であり、movement 値は6つのセンサそれぞれに対して差分絶対値を計算し、平均した値である。posture 値を元に前傾姿勢か否かの2段階、movement 値には閾値を設け分類された5段階の値から、学習集中度を算出してきた。このように本研究では、着座姿勢(posture・movement)をベースとした学習状況推定を行なってきた。

3. 脳波計による学習集中度の計測

人の脳内におけるワークロード、すなわち脳にかかっている負荷の度合いは内的な状態とともに変化している。ワークロードは思考や行動を行っている活性状態では高くなり、安静状態では低くなる。このことから、学習において集中して思考している場合はワークロードは高く、逆に集中していない場合は低くなることはいえ、ワークロードの推定を行うことで学習集中度を定量的に評価することが可能であるといえる。ワークロードの推定指標として聴覚定常応答(Auditory steady-state response: ASSR)が有効である[Yokota 16]。ASSRとは特定の周波数情報を持つ聴覚刺激を呈示した時に発生する振動反応である。一般にASSRは40Hzの周波数刺激においてもっとも強く誘発することが知られている[Galambos 81][Roß 00]。ワークロードの増加に伴いASSRのチャンネル内位相同期(Phase-locking index: PLI)は減衰することが報告されている[Griskova-Bulanova 11]。PLIは以下の数式で表される。

$$PLI(f, ch) = \frac{1}{n} \left| \sum_{k=1}^n \frac{F(f, ch, k)}{|F(f, ch, k)|} \right| \quad (1)$$

ここで、Fは周波数特性、fは周波数、chはチャンネル、kは試行、nは全試行を表している。算出される学習時のPLIの増減から学習集中度を定量的に評価し、着座姿勢との関係を調査した。

4. 着座姿勢と学習集中度の評価実験

4.1 概要

協力者は男子大学生4名であった。それぞれm1,m2,m3,m4と表記する。実験では、基準となるPLIを算出するため、始めに安静状態(閉眼)での脳波を3分間計測した。次に、クッション型デバイスに着座し、脳波計を装着した状態で20分間学習を行った。学習課題には100ます計算を用いた。また学習中はASSRを誘発させるための聴覚刺激が用いられた。聴覚刺激は、搬送波が500Hzの正弦波を40HzでAM変調した刺激であり、協力者にはイヤホン(ELECOM)を介して呈示した。聴覚刺激は課題を実行している間、常に呈示された。また本研究では、学習集中度を定量的に評価するために安静状態(rest)のPLIから活性状態(task)のPLIを減算したものをを用いて評価を行なった。task時のPLIは60秒ごとを区切りとし、実験開始60秒以降、毎秒計算している。この差分が大きいほどワークロードは高いこととなり、学習集中度が高い状態である。実験の様子を図3に示す。

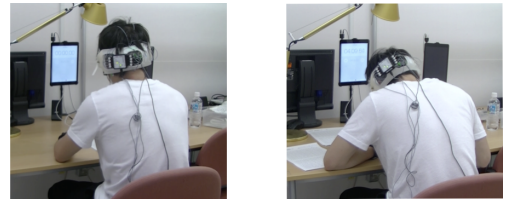


図3: 脳波計を用いた評価実験の様子(左: rest時, 右: task時)

4.2 結果

図4は計測されたワークロード、posture、movementがそれぞれz-scoreにより正規化されたグラフである。ワークロードは高いほど学習に集中していることを意味する。また、時刻t点でのワークロード値は[t-59, t]の値を元に算出(前60秒間の周波数解析)されているため、実験開始直後60秒間の値は算出されない。postureはforward postureという値で表現されており、これは学習者の前傾度合いを6つのセンサ値から算出したものである。学習に集中して取り組んでいるという時は前傾姿勢であるという傾向が得られており、分析では前後の姿勢に着目した。forward postureの値が大きいほど、前傾姿勢であることを意味する。movement値は直前の姿勢から動いた量であり、値が大きいほど動きが大きいことを意味する。

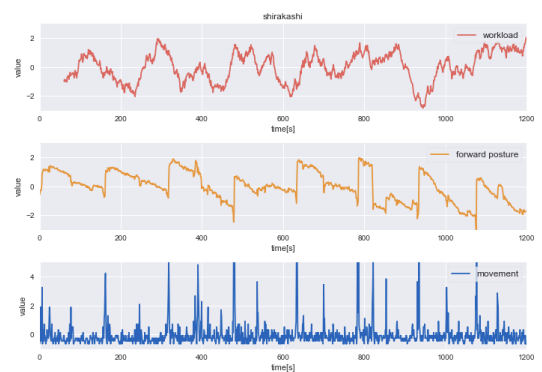


図4: ワークロードと着座姿勢

4.2.1 posture

分析では、ワークロードの値から学習集中度が高い時刻と低い時刻に閾値を設けて分類した。ワークロードが高いと判断する閾値は1.0 から 2.0 まで 0.1 刻みで設けた。同様に、ワークロードを低いと判断する閾値は-1.0 から-2.0 まで 0.1 刻みで設けた。閾値の正負はそれぞれ対応している。例えば、閾値が-1.0 と 1.0 の場合は-1.0 以下をワークロードが低い時刻、1.0 以上をワークロードが高い時刻とみなす (low < -1.0, 1.0 < high)。これを踏まえ、ワークロードの高い時刻、低い時刻に対応する posture の平均値をそれぞれ算出した。また、ワークロードは前 60 秒間の周波数解析によって算出されているため、posture も同様に前 60 秒間の平均によって算出した。m1 のワークロードと forward posture の結果を図 5 に示す。

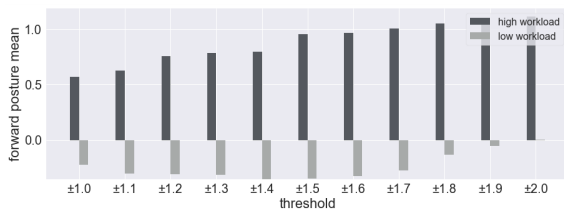


図 5: ワークロードと姿勢に関する結果

ワークロードが高い状態では正の大きな値が得られ、前傾姿勢傾向であったことが伺える。一方で、ワークロードが低い状態では負の値が得られ、前傾姿勢傾向ではなかったといえる。他の協力者 m2,m3, では前傾姿勢傾向が見受けられた一方、m4 ではワークロードが低い状態の方が前傾姿勢傾向にあった。以上より、ワークロードが高い時刻、つまり学習に集中している状態では前傾姿勢であるという傾向が確認された。一方で、ワークロードと前傾姿勢に相関が得られなかった学習者もあり、個人によるばらつきが生じていた様子であった。

4.2.2 movement

学習中に継続的な小さな動きが見られる際は集中力が低下していること、単発的な大きな動きの後に集中力が高まる傾向が得られている [Goto 16]。以上より、学習者の動きを「大きな動き」と「小さな動き」の2つの動きに着目しσを用いて、movement 値が2以上を大きな動き、2以下を小さな動きに分類した。大きな動きでは「回答用紙を取り替える」「制限時間を確認する」、小さな動きでは「座り直す」「足を組む」などの動きが見られた。本稿では、主な学習状態と動きの関係を検証するため小さな動きに着目しワークロードと動きの関係を分析した。計測された movement 値から大きな動きを取り除いた様子を図 6 に示す。

posture 時と同様、ワークロードに閾値を設けワークロードの高い時刻、低い時刻に対応する movement 値の平均値をそ

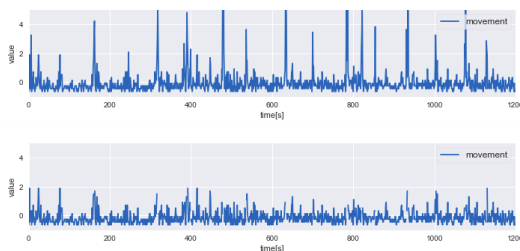


図 6: 大きな動きを取り除いた様子 (上: フィルタ前, 右: フィルタ後)

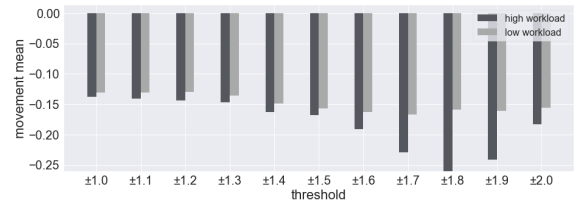


図 7: ワークロードと動きに関する結果

れぞれ算出した。また、posture 時と同様、前 60 秒間の平均によって算出した。m2 のワークロードと movement の結果を図 7 に示す。

閾値ごとのワークロードと動きの關係に着目する。ワークロードが高い状態と低い状態を比較すると、高い状態の movement が小さく出力されている。その差は閾値を大きく儲けた箇所、つまりワークロードの高低が顕著であるほど大きい様子であった。以上より、ワークロードが高い状態では低い状態と比較すると、動きが少なくなる傾向がみられた。一方で m1,m3 では、ワークロードが低い状態の方が movement が小さく出力された箇所も複数見受けられた。

以上より、ワークロードが高い箇所では、前傾姿勢であり動きが比較的少ないという傾向が確認された。これにより、着座姿勢と学習集中度には有意な關係がある可能性が示された。以上より本研究で扱っている、着座姿勢 (posture・movement) をベースとして算出した学習集中度推定手法は妥当であった可能性が高いといえる。

4.3 考察

当デバイスで計測される学習者の着座姿勢は、個人の体格差や着座位置による影響を受ける可能性が高い。ワークロードと姿勢に関する結果では、m1,m2 が全ての閾値においてワークロードが高い時刻では前傾姿勢傾向にあるという結果が得られた一方、m4 では相反する結果となった。これは、個人の体格が大きく異なったことや着座位置に制約を設けなかったことで、センサの値が最初に着座した箇所に大きく影響を受けた可能性が高い。また、姿勢は動きよりも個人差による影響を受けやすいといえ、適度なキャリブレーションが必要である。個々人の要素を可能な限り取り除くために、最初の着座位置や着座の基本姿勢などある程度の制約を設けた実験を設計することが好ましい。

また、ワークロードと動きに関して、図 7 より movement の平均値は全て負の値が算出されている。movement 値は標準正規分布であるため、ワークロードの高低に関わらず相対的に動きが少ないことが伺え、またその差も僅かであることから、動きの少なさを立証するには不十分である可能性もあり、閾値の設け方や分析手法を改めることで再度検証していきたい。また、大きな動きが確認された時刻から 60 秒間のワークロードの調査が行われたが、値は上昇・下降・一律とまばらであり、検証する秒数の変更や動きのより細かい分類など多角的な分析が必要であるといえる。

5. 将来展望

5.1 学習・非学習の分類評価

当実験では、学習者には 100 ます計算の学習課題が提供され、20 分間の学習が行われた。20 分間という時間は想定される自律学習と比べると短く、常に集中した学習が行われていた様子であった。よって、当実験では「学習状態であること」は前

提とした上で、学習者の集中状態を推定する設計となっていたといえる。一方で、当デバイスで学習者が「学習状態」であることと、睡眠やスマホ操作などといった着座状態ではあるが学習していない状態である「非学習状態」の2分類による推定評価が行われていない。学習集中度推定は学習・非学習の2値分類と比較して、より細かい姿勢を扱う必要があり高難易度であったため、ワークロードと着座姿勢に関係が見られなかった学習者が存在した可能性が高い。今後は、着座状態から学習・非学習状態の推定を行う実験を設計することで、着座姿勢から推定可能な学習状態を探っていききたい。

5.2 学習内容の再考

当実験の学習課題で採用した100マス計算は、学習者が回答を終えたタイミングで用紙を取り替える必要があったため定期的な動きが生じていた。当デバイスで計測された単発的な大きな動きが、ワークロードの変化によるものであるのか、100マス計算によって誘発されたものであるのか判断することは困難であった。ワークロードと着座姿勢の相関を確認することを目的としているため、動きを誘発する可能性のある外部要因は取り除くことが望ましい。今後は動きを誘発しない朗読などの学習内容で実験設計を行い、ワークロードと着座姿勢の関係を再度検証していきたい。

6. おわりに

本稿では、ウェアラブル脳波計を用いて着座姿勢と学習集中度の定量的評価を行なった。ワークロードが高い状態、つまり学習に集中している状態では、前傾姿勢傾向にあり動きが少なくなるという傾向が見られ、着座姿勢 (posture・movement) をベースとした本研究の学習集中度推定は妥当であった可能性が高い。一方で、着座姿勢と学習集中度に相関が見られなかった学習者もあり、着座位置や体格に影響を受けていた様子であった。

謝辞

本実験に御協力下さった児童とご家族の皆様、上智大学の皆様に感謝致します。本研究は東京都千代田区による研究助成によって遂行されました。

参考文献

- [Galambos 81] Galambos, R., Makeig, S., and Talma-choff, P. J.: A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp, *Proceedings of the national academy of sciences*, Vol. 78, No. 4, pp. 2643–2647 (1981)
- [Goto 16] Goto, R., Tsuruoka, H., Yokota, Y., Naruse, Y., and Yairi, I.: Measurement of the correlations between learner's concentrations and sitting posture by electroencephalograph, in *human interface symposium 2016* (2016)
- [Griskova-Bulanova 11] Griskova-Bulanova, I., Rukse-nas, O., Dapsys, K., Maciulis, V., and Arnfred, S. M.: Distraction task rather than focal attention modulates gamma activity associated with auditory steady-state responses (ASSRs), *Clinical Neurophysiology*, Vol. 122, No. 8, pp. 1541–1548 (2011)

- [Kamei 15] Kamei, S.: Estimation of Degree of Concentration Based on Behavior Analysis in Learning, *Bulletin of graduate studies. Science and engineering* (2015)
- [Okubo 09] Okubo, M. and Fujimura, A.: Development of Estimation System for Concentrate Situation Using Acceleration Sensor, in *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction. Part I: New Trends*, pp. 131–140, Berlin, Heidelberg (2009), Springer-Verlag
- [Roß 00] Roß, B., Borgmann, C., Draganova, R., Roberts, L. E., and Pantev, C.: A high-precision magnetoencephalographic study of human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones, *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 108, No. 2, pp. 679–691 (2000)
- [Ryan 00] Ryan, R. M. and Deci, E. L.: Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions, *Contemporary educational psychology*, Vol. 25, No. 1, pp. 54–67 (2000)
- [Sugiura 11] Sugiura, Y., Kakehi, G., Withana, A., Lee, C., Sakamoto, D., Sugimoto, M., Inami, M., and Igarashi, T.: Detecting Shape Deformation of Soft Objects Using Directional Photorefectivity Measurement, in *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 509–516 (2011)
- [Tsuruoka 17] Tsuruoka, H., Goto, R., and Yairi, I.: Ambient System for Encouraging Autonomous Learning Using Cushion Shaped Device, *D - Abstracts of IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems (Japanese Edition) Vol. J100-D*, Vol. J100-D, No. 1, pp. 36–46 (2017)
- [Yokota 16] Yokota, Y., Tanaka, S., Miyamoto, A., and Naruse, Y.: Estimation of workload during walking in a naturalistic environment, *IEICE technical report*, Vol. 115, No. 514, pp. 223–228 (2016)