

学習中の生理応答同時計測による「学びのつまずき」推定システム開発

田村かおり¹ 岡本剛¹ 大井京² 島田敬士³ 畑埜晃平¹ 山田政寛¹ 陸恣¹ 木實
新一¹

概要： 学習者が新規知識獲得時に感じる「学びのつまずき」を推定するために、学習ログデータと生体信号を活用した「マルチモーダル・ラーニングアナリティクス」が注目されている。本研究では、学習中生体信号として脳波および視線計測を導入し、「学びのつまずき」推定のためのシステムを開発した。本開発システムを用いて学習中の状態を計測し、バイオマーカー候補を探索した。その結果、脳波ではベータ波振幅が、視線では視線停留時間および視線流入回数が、それぞれつまずき推定のマーカー候補になりうることを示した。本研究で得られた結果は、生体信号から「学びのつまずき」の詳細な推定を実現する上での基盤となりうる。

Estimation System of “Stumbling Blocks in Learning” by Simultaneous Measurements of Physiological Response

KAORI TAMURA¹ TSUYOSHI OKAMOTO¹ MISATO OI² ATSUSHI
SHIMADA³ KOHEI HATANO¹ MASANORI YAMADA¹ MIN LU¹
SHIN'ICHI KONOMI¹

1. はじめに

学習中の学習ログデータや生体信号を活用し、学習支援に活用する「マルチモーダル・ラーニングアナリティクス (MLA)」が注目されている。MLA では比較的スパースな学習ログデータに加えて、生体信号計測では密なデータの蓄積が可能である。このような生体信号は内的な心理状態を反映しうると考えられるため、MLA により、学習中「いつどこで」つまずきが生じたか推定できる可能性がある。

本研究では、学習者の「学びのつまずき」推定の実現をめざし、学習中の複数生体信号同時計測環境を開発し実験を行った。計測する信号として、電子教材注目箇所と心理状態推定のため、視線および脳波計測を導入した。

「学びのつまずき」推定は二段階で行うことを目指した。すなわち、つまずきページ推定（どのページを難しく感じるか）、および、ページ内つまずき要素推定（あるページ中でどの部分を難しく感じるか）である。各生体信号の特徴から、つまずきページ推定に脳波信号を、要素推定に視線運動を用いることとした。本研究では、各推定に使用可能なバイオマーカーの探索を目的として検討を行った。

2. システム概要 a

本システムでは、視線計測・脳波計測・および電子教材による学習環境の統合を実現した。

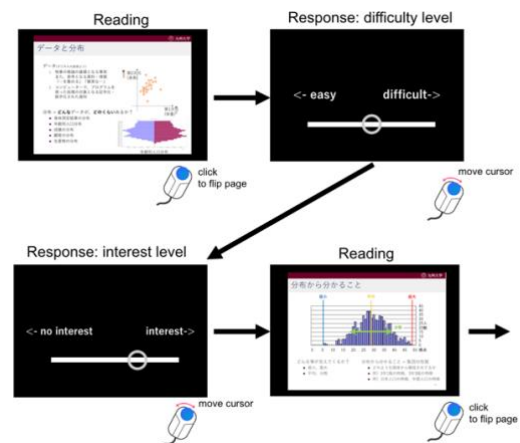


図1. 実験中の操作

学習中のページ切り替えイベント等を全計測データと同期しているため、計測後のオフライン解析が可能である。視線計測には Tobii Pro Spectrum 150Hz (Tobii AB, Stockholm, Sweden)を使用した。学習環境および視線計測は、Matlab 環境下で Psychtoolbox および Tobii Pro SDK を用いてコード開発を行った。脳波計測には Quick-20 (Cognionics, San Diego, U.S.)を使用し、国際 10-20 法にもとづく 19 電極位置で計測を行った。脳波計測制御には Data acquisition software suite を用いた。

学習時の電子教材学習時は、トラックボールの左クリックでページが進み、右クリックでページが戻るように設定し

*1 九州大学基幹教育院
Faculty of Arts and Science, Kyushu University
2 九州大学附属図書館付設教材開発センター
Innovation Center for Educational Resource, Kyushu University

3 九州大学大学院システム情報科学研究院
Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

た (図 1). 毎ページの難易度・興味度を回答する画面をページ閲覧後に表示した. 難易度・興味度はスライダーバー上のポイントをドラッグして回答するようデザインした.

3. 手法

3.1 実験概要

本実験では九州大学大学生 19 名が参加した (女性 9 名, 年齢 20.2 ± 1.6 歳). 被験者は矯正視力に問題がない健康な学生で, 今回使用する教材を使った授業 (九州大学基幹教育科目「情報科学」) を受講していない学生を対象とした. 九州大学基幹教育院倫理審査委員会にて承認を得たうえで下記の実験を実施した.

被験者に説明を行い, 参加承諾を得たのち, 防音暗室内で電子教材を閲覧し内容について学習するよう指示した. 電子教材は液晶ディスプレイに表示した. 計測中, 被験者は自分のペースで教材を閲覧するよう指示した. 画面と目との距離は 57cm に設定し, アイトラッカーは画面下部にマウントした状態で設置した.

計測中, 被験者は自分のペースで教材を閲覧するよう指示した. すべてのタスク・計測が終了した後, 九州大学が運営する「M2B 学習支援システム」を用い, 同教材をもう一度振り返りながら, 各ページの難しく感じる箇所について回答させた.

3.2 解析手法

各ページに対する被験者難易度について, 被験者間での難易度回答の分散が大きかったため, 各被験者でページ難易度順位を算出し, 解析に利用した. 各ページにおける難易度順位得点を全被験者で合計し, 合計値の四分位点により難しいページと易しいページを決定した. すなわち, 難易度上位 25% が「難しいページ群」とし, 難易度下位 25% を「易しいページ群」とした.

視線データについては, Tobii Pro SDK を用いてエクスポートした後, 視線停留を Kliegl algorithm [1] により検出した. 解析プログラムの開発にはオープンソースツールボックスである PyGaze [2] を参考に Python3.6.0 環境にて実装した. 任意に定めた各関心領域において, 視線停留時間総和および視線流入回数をそれぞれ算出し, 視線運動指標とした. 各視線運動指標と難易度順位の関係を示すため, スピアマン順位相関係数 ρ を計算した.

脳波は 1Hz ハイパスフィルタによるフィルタリング後, 瞬目アーチファクト除去のため独立成分分析を行った. 脳波研究で一般に使用されるオープンソースツールボックス EEGLab [3] により独立成分の抽出を行い, 目視にて瞬目成分と疑われる成分を除去した. 除去後さらに 3–50 Hz バンドパスフィルタを適用した. フィルタリングした脳波データについて, 各ページ閲覧開始から終了までを 1sec ごとに抽出した. 抽出区間に絶対値 100microV を超える振幅が含まれる場合は, アーチファクト混入区間とみなし,

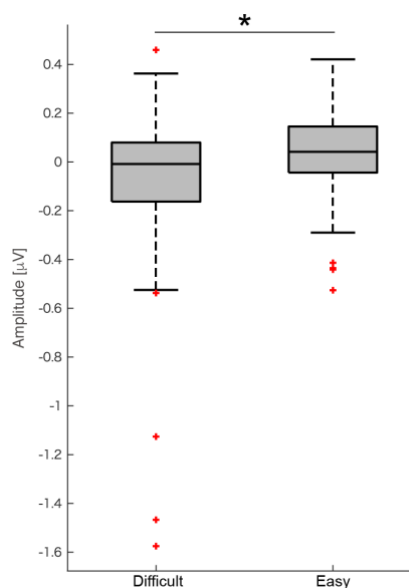


図 2 ページ閲覧中のベータ波振幅. X 軸は難易度評価によるページ群. アスタリスクは有意差 ($p < 0.05$) を示す.

解析から除外した. 各区間に高速フーリエ変換を適用し, 得られた振幅を各ページ内で平均化した. 本研究ではベータ波帯域 (14–30Hz) に注目し, 振幅を算出している. なお, 閲覧開始直前の 1sec をベースラインとして, ベースライン振幅を各区間振幅から引算した.

4. 結果

4.1 「難しい」ページにおける脳波応答

学習中の「つまずき」をページ単位で特定するためのバイオマーカーを特定するため, 各ページにおける難易度評価から学習者が難しく感じるページ (Difficult) と易しく感じるページ (Easy) を決定した. 各ページ群はそれぞれ, 全ページ数の 25% を占める. 特定したページ難易度群間で学習中脳波応答を比較した. その結果, ベータ波帯域において, ページ難易度群間で脳波振幅に有意な差が確認された (図 2, $z = 2.57$, $p = 0.01$, ウィルコクソン検定). 結果から, 学習者が難しく感じるページ閲覧時は, 易しく感じるページと比較して, ベータ波帯域の振幅が下がることが示唆された.

4.2 ページ内関心領域における視線運動指標と難易度評価

次に, 難しさの要因となりうるページ内要素を同定するため, 視線運動について解析を行った. 各ページにおけるページ内要素ごとに関心領域を設定し, 領域ごとに視線運動指標を算出した. 各領域における視線運動指標について, 該当ページにおける各被験者の難易度順位との相関解析を行った. 本稿では資料中の 1 ページについて, 解析結果例を示す. 図 3 および図 4 に同一ページでの異なる関心領域における視線運動指標–ページ難易度順位相関解析の結果

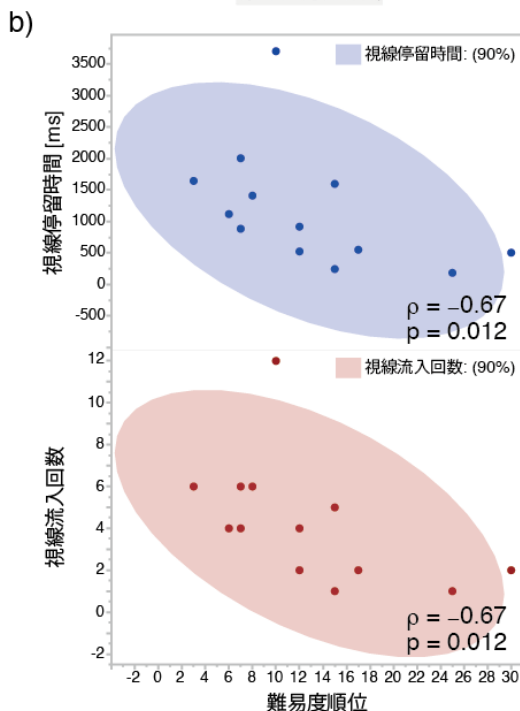
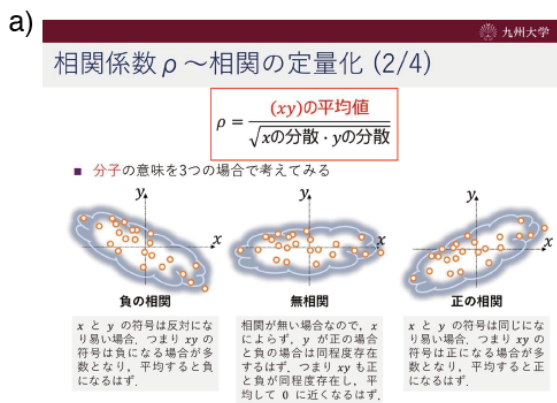


図 3. 各被験者の評価したページ難易度順位と、数式部分における視線運動指標相関。a) 解析関心領域（赤枠で示す部分）。b) 被験者が評価したページ難易度の順位と、a 領域における各視線運動指標散布図。

を示す。図 3 で示す関心領域は、被験者の多くが「該当ページ内で最も難しく感じる箇所」であると評価した。関心領域（図 3a）において、視線停留時間総和と難易度順位間に有意な相関が見られた（図 3b 上、 $\rho = -0.67$, $p = 0.012$, スピアマン順位相関）。同様に、視線流入回数と難易度順位にも有意な相関が見られた（図 3b 下、 $\rho = -0.67$, $p = 0.012$ ）。一方、同じページの別領域（画像部分）では、どちらの視線運動指標においても、難易度順位との間に相関は見られなかった（ $\rho \leq -0.14$, $p \geq 0.50$ ）。

5. 考察

本研究では、「学びのつまずき」箇所の詳細な推定を目指し、つまずきページ推定およびページ内つまずき要素推定に活用可能なバイオマーカーの探索を行った。その結果、

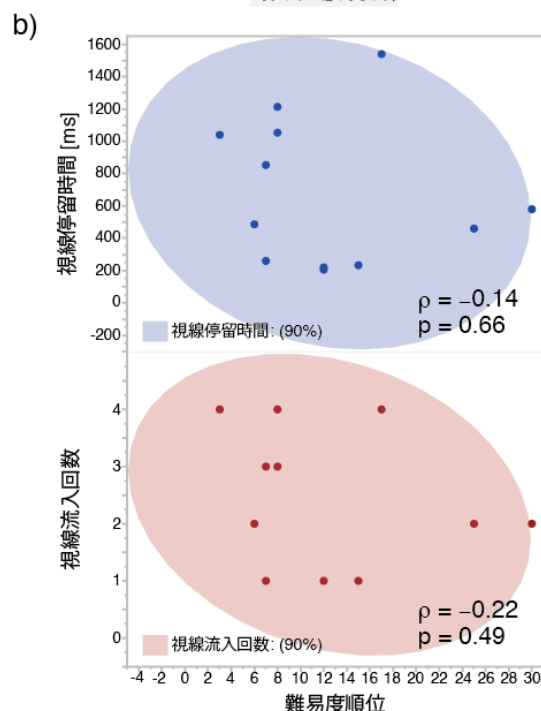
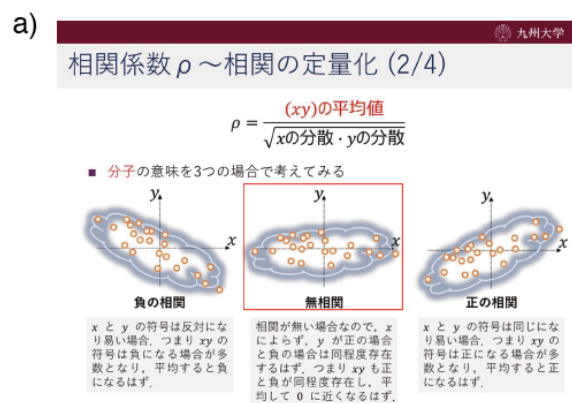


図 4. 各被験者の評価したページ難易度順位と、画像部分における視線運動指標相関。a) 解析関心領域（赤枠で示す部分）。b) 被験者が評価したページ難易度の順位と、a 領域における各視線運動指標散布図。

ページ単位推定には脳波ベータ帯域減少が、要素推定には視線停留時間および流入回数が「つまずき推定」のバイオマーカー候補としてそれぞれ特定できた。

脳波解析から、被験者が難しく感じたページ閲覧時には、易しく感じたページと比較して、より低いベータ帯域振幅が見られた。脳波ベータ帯域減少は、認知負荷との関連性がこれまでも示唆されてきた [4]。したがって、今回得られた結果は、難しいページ閲覧時に認知負荷が増加した結果を示唆すると考えられる。

あるページを難しいと感じた被験者における視線運動解析の特徴を抽出し、ページ内つまずき箇所推定に関するバイオマーカー探索を試みた。その結果、多くの被験者が難しいと回答した数式部分において、視線停留時間と流入回数に難易度順位との相関関係が見られた。すなわち、本ペ

ージを難しく感じた被験者ほど、数式箇所を長く閲覧し、また他要素から数式箇所への読み戻りを行ったことを示している。一方で、本ページを易しく感じた被験者にとっては、数式部分は容易に理解できたため注視や読み戻りは発生しなかった可能性がある。

マルチメディア教育における認知理論では、認知プロセスにおいて選択 (selecting)・体系づけ(organizing)・統合(integrating)の三段階があるとされている[5]。今回解析にもちいた視線運動指標は、知識の体系づけ及び統合に関連があると言われており[6]、すなわち、教材内のコンテンツ同士の体系づけや、自身が既にもつ知識と教材内コンテンツとの統合を示していると考えられる。本研究で得られた視線運動指標から、数式箇所に関する体系づけや知識統合に「学びのつまずき」が生じ、ページ内容理解の「難しさ」を想起させた可能性が示唆された。

本研究では、ページ単位とページ要素単位での「学びのつまずき」を二段階で推定することを目指し、各推定のためのバイオマーカー探索を試みた。結果から、脳波ベータ波帯域振幅の変化がページ単位で、視線運動指標がページ内要素単位での「学びのつまずき」推定のためのマーカーとなりうることを示唆できた。今後は開発したシステムを幅広い教材に活用し、より精度の高いつまずき推定システムの実現に取り組む予定である。

6. 謝辞

本研究は JST 未来創造事業探索加速型「持続可能な社会の実現領域・労働人口減少を克服する”社会活動寿命”の延伸と人の生産性を高める「知」の拡張の実現」の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] Engbert, R. and Kliegl, R., :Microsaccades uncover the orientation of covert attention, *Vision Res.*, Vol. 43, No. 9, pp. 1035–1045, (2003).
- [2] Dalmajer, E. S., Mathôt, S., and Van der Stigchel, S., :PyGaze: An open-source, cross-platform toolbox for minimal-effort programming of eyetracking experiments, *Behav. Res. Methods*, Vol. 46, No. 4, pp. 913–921, (2014).
- [3] Delorme, A. and Makeig, S., :EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis, *J. Neurosci. Methods*, Vol. 134, No. 1, pp. 9–21, (2004).
- [4] Ku, Y., Hong, B., Gao, X., and Gao, S., :Spectra-temporal patterns underlying mental addition: An ERP and ERD/ERS study, *Neurosci. Lett.*, Vol. 472, No. 1, pp. 5–10, (2010).
- [5] Mayer, R. E., :Cognitive Theory of Multimedia Learning, in *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, R. Mayer, Ed. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 43–71, (2014).
- [6] Alemdag, E. and Cagiltay, K., :A systematic review of eye tracking research on multimedia learning, *Comput. Educ.*, Vol. 125, pp. 413–428, (2018).