

e-learningにおける学習者の何気ない行動からの心理状態の抽出手法の提案

A proposal of a method to estimate a learner's mental state from his behaviors on a e-learning system

堀口 祐樹*¹ 小島 一晃*² 松居 辰則*²
Yuki HORIGUCHI Kazuaki KOJIMA Tatsunori MATSUI

*¹早稲田大学大学院 人間科学研究科 *²早稲田大学 人間科学学術院
Graduate School of Human Sciences, WASEDA Univ. Faculty of Human Sciences, WASEDA Univ.

To implement an effective learning environment in an e-learning system, it is an important task to estimate learners' mental state by detecting unusual behaviors in their learning activities. Our aim is to develop a such system without specific devices. In this study, we explore and model relationships between human behaviors and mental state in learning through an e-learning systems. We focused on learners' mouse movements and actions of inclining his head or staring a monitor, and conducted an experiment to examine their relation to mental state of the learners.

1. はじめに

現在の e-learning システムには、非同期型と同期型の 2 つのタイプが存在する。非同期型の e-learning システムには、学習者が時間や場所といった時間的、空間的制約に縛られることなく自身の学習スタイルに合わせて学習が行えるという利点がある一方で、指導者が学習者のさりげない表情や動作などから理解の深さなどを推し量ることができないという弱点がある。同期型の e-learning システムではこの弱点をある程度克服できるが、指導者と学習者双方に時間的制約が発生してしまう。したがって、より効率的な学習のためには、非同期型・同期型の e-learning システムのメリットを組み合わせた、学習者の心理状態の変化を捉える事ができる非同期型の e-learning システムが望まれる。

1.1 関連研究

非同期型の e-learning システムにおいて、学習者の行き詰まりや主観的な難易度などの心理状態を自動的に推測する研究は過去にもいくつかなされてきた。コンテンツの回答時間に基づいたシステムでは、ある程度の精度で学習者の行動の異常値を検出することに成功している [植野 07] が、回答時間に基づくという特性上、問題内のどの箇所でも異常な行動が発生したのか特定をすることは難しい。マウスなどの入力デバイスの操作間隔に基づいて推測を行うシステム [中村 02] では、リアルタイムで行き詰まりの検知を実現しているが、コンテンツ内で学習者が自由にヒント等を表示させる事の出来るコンテンツに限定されている。ステレオカメラを用いて取得した視線や顔の動かし方の情報と端末の操作間隔を組み合わせる主観的な難易度を推測するシステム [中村 07] では、上記の問題を解決しているが、学習者が難しさを感じた箇所を特定するためにはステレオカメラが必要となってしまうため、一般的なコンピュータやインターネットの環境では実現が難しいと考えられる。

1.2 本研究の目的

このような学習者の心理状態を自動的に推測する e-learning システムを実際の学習環境で使用するためには、特殊な装置は用いずに一般的なコンピュータの利用環境において、行き詰ま

りやひらめき等の学習者の意識の変化をリアルタイムに検出可能なシステムが必要であると考え、著者らによる先行研究では、マウスの移動速度を用いた学習者の異常行動の検知システム [堀口 08] の提案を行い、マウスの移動速度のみによる学習者の異常行動の検知という点では一定の可能性を見出している。同研究ではマウスの移動速度を用いるため、コンテンツ内における異常行動箇所の特定を可能としている。しかし、その異常値の検知に用いるモデルにはまだ検討の余地がある。そこで本研究では、上記のコンセプトを満たす e-learning システムの開発に向けて、e-learning システムにおける学習者の心理状態と行動との関連を探る実験を行い、システムに用いる検知モデルの検討を行う。

2. 実験

今回の実験の目的は、e-learning 環境における学習者の行動と心理状態の関連を探ることである。学習者の行動データは後述の実験ツールを用いて取得し、学習者の心理状態を表すデータはプロトコルから取得した。

2.1 コンテンツの設定

図表を中心としたコンテンツと文章を中心としたコンテンツとは、学習者のマウスの操作軌跡の特徴に大きな差があることが確認されている [堀口 08]。文章中心のコンテンツでは、内容にかかわらず比較的似かよった挙動が多く見受けられたのに対し、図表を中心としたコンテンツでは図表の形状によってその挙動は大きく異なる [堀口 08]。コンテンツが学習者の行動に与える影響は少ないほど分析時の比較が容易になるため、今回出題するコンテンツは英文の文章読解とした。

解答形式は 5 つの選択肢から 1 つの解答を選ぶ選択式とした。これは解答行動をマウスの操作に限定することで、キーボード操作に対する考慮の必要を無くすためである。また同様に、スクロール操作への考慮の必要を無くすため、1 画面に収まるようなボリュームのコンテンツを設定した。ただし、ボリュームが少なすぎると実験中に心理状態の変化が捉えにくくなる可能性があるため、1 画面で収まりきる程度の内容とした。そのところ、平均的に 5 分ほどで解答できる程度のボリュームとなった。

また、実験中に行き詰まりなどの心理状態を観察できるように、比較的難易度の高い問題を設定した。今回は国家二種試

連絡先: 堀口 祐樹, 早稲田大学大学院 人間科学研究科,
〒 359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15,
E-mail: horiguchi@mtlab.human.waseda.ac.jp

験の模擬問題集より出題された。

表 1: コンテンツの設定

場面	設問への回答
問題領域	英文読解
解答形式	選択式
解答時間	制限無し

2.2 実験状況

実験は Web カメラを内蔵したノート型のコンピュータ上で、前節の実験ツールを用いて実施した。実験中の被験者の様子を記録するためのビデオカメラと撮影用のコンピュータを別途用意した。実験ツールによって取得したデータと、カメラで撮影した映像の同期を取るために、実験ツールのタイムコードを、被験者には見えないように設置されたセカンドディスプレイに表示する。

今回の実験では、ポインティングデバイスをマウスに限定し、実験中の被験者には、マウスから手を離してはならない、という制約を課した。これは、終始マウスを操作しない状況や、画面に直接触れて文字を追う等の行動を抑制するためである。

2.3 実験の手続き

被験者のプロトコルの取得は、解答中に考えている事を逐一声に出す think aloud 法と、事後にその時考えていたことを報告する retrospective report 法を組み合わせで行った。think aloud 法により、リアルタイムに被験者の心理状態を記録できれば理想的であるが、声を出す事に意識が集中してしまうと、本来観測したい解答中の被験者の心理状態を抑制してしまう恐れがあるため、被験者に対しては可能な範囲で声を出すように事前に教示をし、実験中は被験者に対して話しかけない事とした。そして、その為に不足する情報を retrospective report 法により補うものとした。

実験は図 1 に示す手順で行った。まず始めに、被験者は実験ツールを用いて提示される問題に解答する (Step1)。このとき被験者は、考えた事を可能な限り声に出すように教示された。この様子は Web カメラとは別のカメラで撮影し Step2 で利用する。解答終了後、撮影した映像を被験者と共に確認をする (Step2)。実験中の様子を忘れてしまわないように、ヒアリングは 1 問解答が終了する度に行う。この段階の映像も撮影し、その後の分析に利用する。

Step2 でヒアリングした内容を基に、図 2 のような解答時の心理状態の遷移をまとめたシートを被験者に作成させる (Step3)。被験者には上述の一連の流れを繰り返し練習させ、十分に実験に慣れた上で本実験を行う。

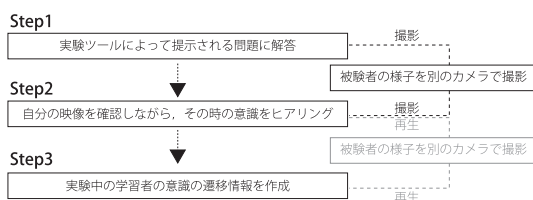


図 1: 実験の流れ

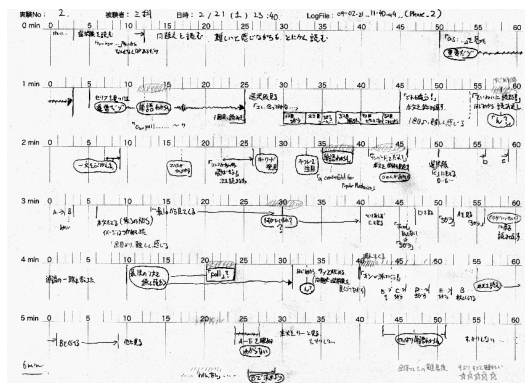


図 2: 被験者の心理状態の遷移情報の例

3. 学習者の行動観察を行うための実験ツール

学習者の行動観察を行うため、今回新たに実験ツールを開発した。本研究は一般的なコンピュータ環境で使用できるシステムへの応用を目的としているため、実験で収集するデータは、一般的に普及しているコンピュータ及び周辺デバイスにより取得可能な情報に限定するものとした。

3.1 学習者の行動観察に用いるパラメータ

先行研究 [中村 07] により、マウスの操作発生間隔などの「端末特徴」と顔の動かし方などの「顔特徴」を総合的に評価することにより、高い水準での主観的難易度の推定が可能であることが報告されている。この知見を利用し、一般的なコンピュータの利用環境で取得可能な情報として、今回の実験では表 2 に示す情報を収集する。

表 2: 取得する学習者の行動データ。

マウスの情報	$\{x, y, stat\}$ (Sampling-rate:60Hz)
顔の情報	$\{x, y, z, \theta\}$ (Sampling-rate:5-7Hz)

マウスの情報には、画面上のカーソルの座標 $\{x, y\}$ とマウスのボタンの状態 $\{stat(on, off)\}$ を、それぞれ 60Hz のサンプリングレートで得る。また、スクロール操作の情報は後述する理由から取得していない。

表 3: 顔の位置情報の取得可能範囲。

画面と顔の距離	約 40~80cm
顔の傾き $\{\theta\}$	約 $\pm 20^\circ$ 以内

顔の情報はノート型コンピュータの画面上部に内蔵されている Web カメラから入力される画像の解析を行う事によって得る。画像の解析には OpenCV を用いている。顔の位置 $\{x, y\}$ は入力画像中より検出された顔の位置の中心点とした。顔の傾き (Roll) は、顔の範囲より検出されたそれぞれの瞳の中心点の差 $\{\Delta x, \Delta y\}$ から、逆三角関数計算を行うことによって求めた。なお今回は顔の特徴点として瞳の中心点のみを用いている。顔の傾きとして得ているデータは Roll 成分のみである。主観的難易度の推定には顔の傾き (Roll) が大きく寄与している [中村 07] という先行研究の結果から、Roll 成分のみでも十分な情報が得られると判断した為、今回は pitch・yaw 成分は取得していない。正確な Roll 成分を計算するためには、pitch・yaw 成分も考慮に入れた処理が必要となるが、これら

を考慮すると、画像検出の計算コストが膨大になってしまい、実用的なサンプリングレートを確保することが難しくなってしまう為、今回は速度を優先させ上述の Roll 成分の計算方法を採用した。顔の位置 $\{z\}$ は、瞳の中心点の距離 $\{w\}$ を用いて推定している。こちらも、pitch・yaw 成分を考慮に入れないと正確な値は取得出来ないが、上述の理由により、簡易なこの方法を採用している。これらの計算コストを抑える工夫を取り入れることにより、5~7Hz ほどのサンプリングレートを確保した。顔の位置情報の取得可能な範囲は表 3 の通りである。

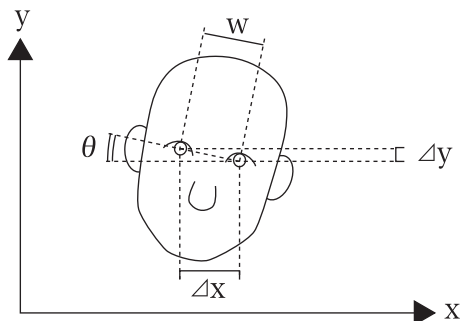


図 3: 顔の位置情報の取得

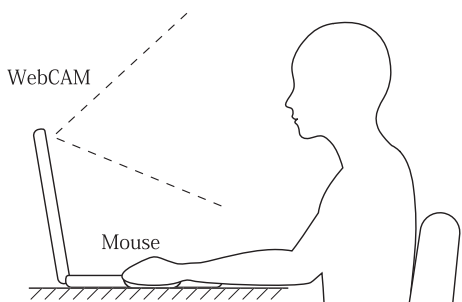


図 4: 実験ツール利用時の姿勢

4. 予備実験の結果

前節の方法を用いて予備的な実験を実施した。予備実験では 1 名の被験者を対象に、前述の 3 つのステップを 4 回練習させた後に、3 回の実験を行った。実験により得られたデータから後述する方法を用いてマウスの移動速度・顔の移動速度を算出し、各位置情報の情報などと併せてそれぞれの挙動の特徴を探る分析を行った。その結果、マウスの軌跡や顔の動かし方にいくつかの特徴的なパターンが見受けられた。

4.1 学習者の心理状態の分類

学習者の心理状態をヒアリングした結果、「単語がわからない」、「文章の意味がわからない」、「答えがどっちな悩む」などの、行き詰まりや迷いを現していると考えられる心理状態が多く観測された。そこで今回は、「単語の意味が分からない」、「文章の意味がわからない」と宣言された箇所を「行き詰まりの発生した時間帯」と定義し、行き詰まりが観測された時間帯とその他の時間帯との比較を行った。

4.2 マウス・顔の移動速度の算出

今回の実験ツールで記録を取る情報は、各時間ごとのマウスカーソルと顔の位置の座標である。このデータからそれぞれ下記の式によって移動速度を求めた。マウスの移動速度は、

表 4: 行き詰まりの観測された時間

	解答時間	行き詰まりの発生した総時間
問題 1	390 sec.	26.5 sec.
問題 2	234 sec.	14 sec.
問題 3	362 sec.	36 sec.

過去 0.1 秒間の移動量を基に算出した。顔の移動速度はサンプリングレートが一定でないため、時間のログを参照しながら、過去 1 秒間にさかのぼって算出した。

- マウスの移動速度 (pixel/sec)

$$\text{mouse}V_t = 10 \sum_{i=0}^6 \sqrt{(x_{t-i} - x_{t-(i+1)})^2 + (y_{t-i} - y_{t-(i+1)})^2}$$

- 顔の移動速度 (pixel/sec)

$$\text{face}V_t = \sum_{i=0}^n \sqrt{(x_{t-i} - x_{t-(i+1)})^2 + (y_{t-i} - y_{t-(i+1)})^2}$$

n : 1 秒前のアイテム

4.3 マウスの軌跡の特徴

3 回の試行全てにおいて、文章を読みながらマウスでトレースする行動が確認された。また、行き詰まりが発生した時間帯において、マウスがトレースしていた場所と被験者に報告された行き詰まりの原因となった箇所も、その 3 回の試行で観測された 14 カ所について全て一致していることが確認された。

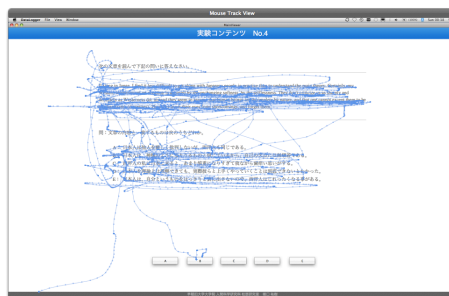


図 5: マウスによるトレースの例

4.4 マウスの移動速度と行き詰まりの関連

行き詰まりが発生した時間帯におけるマウスの移動速度と、その他の時間帯におけるマウスの移動速度を比較したところ、違いが確認された。図 6 は問題ごとのマウスの平均速度とその分散を現したグラフである。それぞれのグラフの左群はマウスの平均速度を、右群はマウスの速度の標準偏差を現している。黒の凡例は問題中の全時間帯における平均速度と標準偏差を表し、灰色の凡例は行き詰まりが起こった時間帯 (14 カ所) における平均速度と標準偏差を表している。行き詰まりが発生した時間帯と全時間帯とでは、差が見受けられる。このことから、行き詰まりが発生した際には、マウスの動きが全時間帯と比較して遅くなるという特徴が伺える。

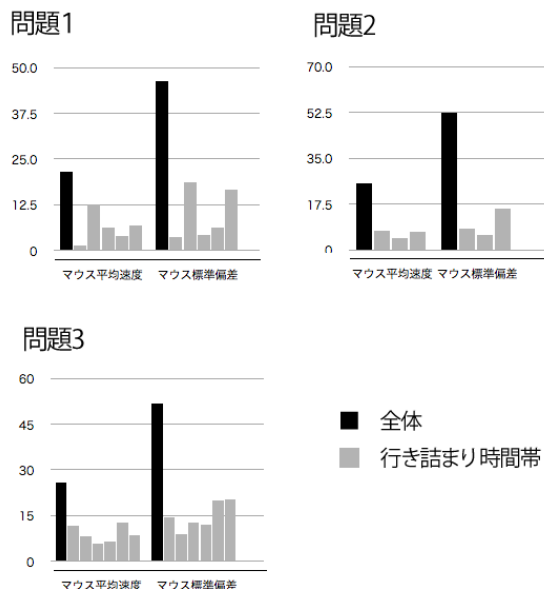


図 6: マウスの移動速度

4.5 迷いと顔の動きの関連

今回の実験中、顔を前後に動かす動きが合計 6 回観測された。特に問題 3 では 4 回観測されている。3 回の試行が終わった後にそれぞれの試行における問題の主観的な難易度を 5 段階の尺度で被験者に評価させたところ、この問題 3 は被験者が最も難しいと感じていたことがわかる。(表 5 参照)

また、顔を前後に動かした箇所を、プロトコルから推測された被験者の心理状態に照らし合わせたところ、「解答の B か C か迷う」、「決めかねる」、「この指示語はどっちを示しているのかわからない」、「何が言いたいんだ (単語の意味がわからない)」など、迷いや行き詰まりに関係が深いと考えられる心理状態が多く観測された。図 7 は問題 3 における顔と画面との距離を現したグラフ (抜粋) である。グラフが下に下がるほど画面との距離が遠くなることを現している。一旦画面から遠ざかり、数秒後に再び元の場所まで戻ってくる様子が観測される。

表 5: 顔を遠ざげた回数と主観的難易度との関連

	顔を遠ざげた回数	問題全体の 主観的難易度評価
実験 1	1	3
実験 2	1	3
実験 3	4	5

4.6 考察

以上の結果から、本手法によって学習者の行き詰まりや迷いなどの、学習中の心理状態の変化を捉えることが可能であると考えられる。また、4.3 で示した文字をトレースする特徴と 4.4・4.5 の行き詰まりや迷いなどを示すと考えられる特徴を組み合わせることで、問題中のどの部分 (単語、文章など) でつまづいているのか特定することも可能であると考えられる。

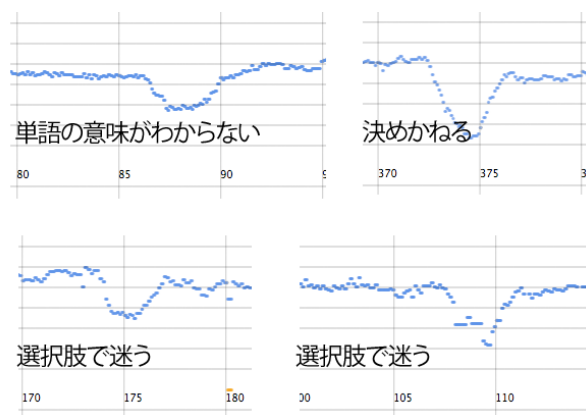


図 7: 顔を遠ざけた箇所とその時の心理状態

5. まとめ

本報告では、学習者の行動と心理状態の関連を探る手法の提案を行った。今回提案した手法により実施した予備実験では、「文章を読む際にマウスで文字をトレースする」というマウスの軌跡の特徴が明らかとなった。また「行き詰まった際にマウスの移動速度が遅くなる」という特徴も観測された。その他にも「問題を難しく感じるほど顔を画面から遠ざける行動が多くなる」という特徴や、「顔を画面から遠ざける時は、迷っている状態が多い」という特徴も観測され、本手法による学習者の心理状態の変化の抽出の可能性を見出した。また、マウスでトレースする特徴と、行き詰まりなどを示す特徴を組み合わせることで、つまづいた箇所の単語などを特定できる可能性も見出した。

今後は、実験を継続し、予備実験で得られた結果が再現されるかを確認する。そして、学習者の行動と意識の関連に対するモデルを確立し、そのモデルを利用して、学習者の意識の変化をリアルタイムに検知するシステムを作成することが将来の課題である。

参考文献

- [植野 07] 植野真臣: eラーニングにおける所要時間データの異常値オンライン検出, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J90-D, No.1, pp.40-51 (2007)
- [中村 02] 中村 喜宏, 赤松 則男, 桑原 恒夫, 玉城 幹介: 操作時間間隔の変動に着目した CAI 学習の行き詰まり検知方法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D-1, No.1, pp.79-90(2002/1)
- [中村 07] 中村 和晃, 角所 考, 美濃 導彦: e-learning 環境における学習者の観測に基づく主観的難易度の推定, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2007) (2007)
- [堀口 08] 堀口 祐樹, 小島 一晃, 松居 辰則: e-learning における学習時の潜在的な意識変化の抽出, 2008 年度 人工知能学会全国大会 (第 22 回) 論文集, pp.1C1-2 (2008)