

視線情報を加味した英単語並べ替え問題の解答時における迷い推定の試み

An Attempt to Estimate Hesitation with Eye Gaze Information When Solving Word-Reordering Problems

反町 祐啓^{*1}, 宮崎 佳典^{*2}Yukei SORIMACHI^{*1}, Yoshinori MIYAZAKI^{*2}^{*1} 静岡大学 情報学部^{*1}Faculty of Informatics, Shizuoka University^{*2} 静岡大学大学院 情報学領域^{*2}College of Informatics, Shizuoka University

Email: sorimachi.yukei.20@shizuoka.ac.jp

あらまし：我々は英単語並べ替え問題を対象に、学習者の解答中の迷いを推定する web アプリケーションの開発を進めている。推定には機械学習を採用しており、分類器作成のための特徴量として解答中のマウスの軌跡情報や学習履歴、解答情報等を用いている。本稿では新たに視線計測装置（アイトラッカー）を導入し、注視点の動きや注視単語の変化といった視線情報を特徴量とすることで推定精度向上を試みる。得られた迷い情報は学習者の履歴データと合わせ、学習（者）分析に応用することを目指す。

キーワード：英単語並べ替え問題，迷い推定，視線情報，機械学習，アイトラッカー

1. はじめに

我々は、ランダムに並べられた英単語を、所定の日本語文に対応するように並べ替える英単語並べ替え問題を対象に、解答時に発生する「迷い」（解答に対する自信のなさ）を推定する web アプリケーションの開発を進めている。先行研究では新規パラメータ策定や取得データ分析等により推定率向上に焦点を当てた取り組みが行われていた。評価指標の F 値を参照すると、問題単位では約 84%⁽¹⁾、単語単位では約 68%⁽²⁾ という結果であった。問題単位の推定と比べると、単語単位の推定においては単語間を絶えず行き来しながら文構造を試行錯誤する等の複雑な行動に対して詳細な分析が求められる。マウスの軌跡情報のみでは「一切操作をせずに熟慮する」、「何度も単語同士を見比べる」等の迷いの兆候を把握することは難しく、迷いの推定精度を上げるに至っていないと考えられる。そこで今回、視線計測装置（アイトラッカー）の Tobii Eye Tracker 5 を導入し、実用的な視線計測システムを構築することを目的とした上で注視点の動きや注視単語の変化等の視線情報を特徴量とすることで推定精度の向上を目指す。

関連研究として、英語多肢選択問題における解答時の視線と確信度の関係を分析した研究⁽³⁾⁽⁴⁾や、組み立て作業における視線情報を用いた迷い検出についての研究⁽⁵⁾がある。(3)は英語多肢選択問題を対象として視線情報から学習者の確信度を機械学習で推定している。視線情報を e-Learning に応用する点は本稿と共通するが、特徴量としてマウス軌跡情報は用いられていない。(4)は英語多肢選択問題を用いて正答に対する確信による視線の特徴を考察している。学習者の視線情報と迷いの関係性を分析するという点で本稿と類似するが、機械学習による自動推定ではなく関係性の記述が主であり実験方法も異

なる。(5)はレゴブロックを用いた組み立て作業において、機械学習を使用して作業者の視線遷移情報から迷いを検出している。視線情報を用いて迷いを推定する点で方向性は違わぬものの、対象となるタスクが物理的な組み立て作業である点が異なる。

2. システムの概要

本システムは web 上でマウスのドラッグ&ドロップ (D&D) 操作を利用して英単語並べ替え問題に解答する。学習者が解答に使用する解答画面を図 1 に示す。解答画面には並べ替え対象の単語を提示する「問題提示欄」、学習者が単語を配置する「解答欄」、そして単語を一時的に退避させておくことのできる「単語退避レジスタ」が用意されている。学習者は、提示された日本語文に合うように単語を D&D 操作によって解答欄やレジスタへ移動し、全ての単語を配置し終えたあとに決定ボタンを押下することで解答を完了する。また、操作の効率化のため、複数の単語を矩形選択によってまとめて移動できる「グループ化機能」も実装されている。学習者は一問解答するごとに、解答過程で迷った単語について、その迷い度を「かなり迷った」、「少し迷った」、「ほとんど迷わなかった」の三段階から選択できる。特定の単語ではなく問題全体で迷った場合には「全体的に迷った」という選択も可能である。加えて、問題一問の解答を通じた迷い度の選択では「かなり迷った」、「少し迷った」、「ほとんど迷わなかった」、「誤って決定ボタンを押した」の四つから選択できる。本稿では、「誤って決定ボタンを押した」は、解答データからノイズとして除去する。

取得した軌跡データや解答情報を利用して、機械学習によって学習者の迷いを推定する。軌跡データを学習者の自己申告に基づき、単語に対する迷い度

が「かなり迷った」場合を「迷いあり」, 「ほとんど迷わなかった」場合を「迷いなし」とする2ラベル化し, ラベルと特徴量の組であるデータを用いて分類器を構築する. 分類アルゴリズムには, ランダムフォレストを, 実装には Python のライブラリである scikit-learn を使用している.



図 1 解答画面

3. 視線情報の計測方法

本稿で使用するアイトラッカーは Tobii Eye Tracker5 (トビー・テクノロジー株式会社) である. キャリブレーションにはドライバアプリケーションである Tobii Experience を用いる. また, Tobii Eye Tracker5 が検出した学習者の注視点画面の円形ポインタ (視線ポインタ) としてオーバーレイ表示するため, 専用アプリケーション Tobii Ghost も同時に利用する. 実験時には, 画面キャプチャソフトである OBS Studio を用いて, 図1に示される英単語並べ替え問題の解答画面と, Tobii Ghost によって表示される視線ポインタを同期して実験の様子を MP4 形式で録画する (問題解答ごと). また, 録画操作の効率化と同期の正確性を期すため, OBS studio の obs-websocket 機能を介して, 学習者が英単語並べ替え問題の解答開始, 及び決定ボタンを押下することで, 画面録画が自動で開始・終了するようにした.

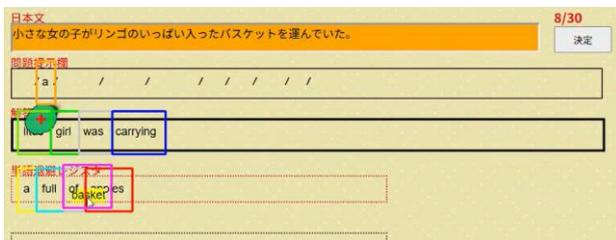


図 2 注視点座標の抽出処理

録画したファイルから各フレームにおける視線ポインタの中心 (注視点) 座標を抽出する際には, python のライブラリである OpenCV を使用する. 視線ポインタの色を事前に統一し, MP4 ファイルの各フレームを読み込み, 同色を持つ領域を検出する. その後, 領域の重心を計算し, 重心位置を該当フレームの注視点座標として記録する. 本稿では, 得られた注視点座標を用いて, 当該フレームで注視している単語情報も取得した. これを実現するには, 各時刻における問題画面上の各単語の表示位置及び判定領域を正確に把握する必要がある. 英単語並べ替え問題のシステム仕様に基づき, 各単語の表示位置

は動的に計算されるため, 実験システムの記録履歴データと照合することで各単語の判定領域を計算し, 注視している単語の判定を行った. 上述の抽出処理のイメージ図を図2に示す. 緑の円が視線ポインタ, 赤い十字線が視線ポインタの重心点 (注視点) を表す. 各単語を囲っている線が判定領域である.

4. 特徴量設計と迷い推定

本稿における迷い推定は, 単語単位そして問題単位を対象とするが, ここでは単語単位の推定を中心に説明する. 分類アルゴリズムにはランダムフォレストを採用し, 機械学習における正解ラベルは「かなり迷った」「ほとんど迷わなかった」の二値とし, 先行研究⁽¹⁾⁽²⁾で用いた特徴量は以下の通りである:

- ・ 解答時間
- ・ 移動距離
- ・ 移動速度
- ・ 静止時間
- ・ D&D 回数
- ・ D&D 間時間

D&D 間時間は, 一度 D&D 操作が完了してから次に D&D 操作が行われるまでの間の時間を指す. 本稿で視線情報として新しく追加する特徴量は:

- ・ 注視時間
- ・ 注視点移動距離
- ・ 注視点座標の標準偏差
- ・ 注視単語回数

である. 注視単語回数は注視点単語から別単語へ移動した回数, 注視時間は該当する単語を注視していた時間である. 機械学習では迷いなし, 迷いありのデータを少ない方のデータ数に合わせて同数ずつランダムに抽出し, 分類する 10 交差検定を行う.

5. まとめ

本稿では, 英単語並べ替え問題の解答時に生じる迷いの推定精度を向上させるため, マウスの軌跡情報・解答履歴に加えて視線情報を特徴量として導入する枠組みを提案した. 現在, 評価実験として, 4 節で示した視線情報の特徴量を含むデータセット, マウス軌跡情報の特徴量を含む既存のデータセット, 両者の特徴量を含むデータセットの三条件を用いた比較検証, ならびに迷いの有無に応じた注視点座標のヒートマップ分析を計画している. 上記の実験は今後実施予定, 発表時に結果を報告する予定である.

参考文献

- (1) 坂野僚亮, 宮崎佳典: “英単語並べ替え問題に解答する際に発生する迷いの解答履歴データ分析,” 情報処理学会第 83 回全国大会, pp.(4)-789-790[4ZG-07] (2021)
- (2) 山川智也, 宮崎佳典: “英単語並べ替え問題における迷い推定を利用した学習支援システム開発の試み,” 情報処理学会第 86 回全国大会, pp.(4)-505-506 (2024)
- (3) 山田健斗, 大社綾乃, 藤好宏樹, 他: “英語多肢選択問題解答時の視線に基づく確信度推定,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.116, No.462, pp.199-204 (2017)
- (4) 小島一晃, 村松慶一, 松居辰則: “多肢選択問題の回答における視線の選択肢走査の実験的記述,” 教育システム情報学会誌, Vol.31, No.2, pp.197-202 (2014)
- (5) 村儀天星, 渡邊昭信, 辻愛里, 他: “組み立て作業における視線遷移の特徴に着目した「迷い」の検出と分類法,” 情報処理学会研究報告, Vol.2022-MBL-104, No.30, pp.1-8 (2022)