

# 視線情報を活用した迷い推定のための英単語並べ替え問題 Web アプリケーションの開発

## Development of an English Word-Reordering Web Application for Hesitation Estimation with Eye Gaze Information

反町 祐啓<sup>\*1</sup>, 宮崎 佳典<sup>\*2</sup>

Yukei SORIMACHI<sup>\*1</sup>, Yoshinori MIYAZAKI<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>静岡大学 情報学部

<sup>\*1</sup>Faculty of Informatics, Shizuoka University

<sup>\*2</sup>静岡大学学術院 情報学領域

<sup>\*2</sup>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、学習者の解答過程における迷いを推定する 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、解答中のマウスの軌跡情報や学習履歴、解答情報等を特徴量としている。これに対し、本稿では一般的な Web カメラを用いた視線計測装置（アイトラッカー）を独自開発し、注視点の動きや注視箇所の変化といった視線情報を新たに特徴量として追加する。マウス軌跡と視線情報を相互補完的に活用することで、迷いの推定精度の向上を目指す。

**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。先行研究では新規特徴量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%<sup>(1)</sup>、単語単位では約 68%<sup>(2)</sup> 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。そこで、マウスの軌跡情報とは異なるアプローチとして学習者の視線情報を新たに計測・取得することとした。視線は学習者がどの情報に注意を向けているかを直接的に示す指標であり、マウスが動いていない熟慮時においても、日本語文や単語の間を視線がどう動いているかを捉えることができる。マウスの軌跡情報と視線情報双方の学習履歴データを相互補完的に利用することで、従来の先行研究では把握できなかった迷いの状態を推定し、推定精度の向上を目指す。

既存の視線計測研究の多くは専用のアイトラッカーを必要とする。(3)では Tobii Eye Tracker 5 が使用されているが、計測精度は高い一方で高価であり、教育現場への普及には課題がある。そこで本稿では、将来的な教育現場での実用化を見据え、一般的な Web カメラを用いた視線情報の計測手法を独自開発した。Web ブラウザ上で動作するため、学習者は専用のアイトラッカーを用意することなく視線計測を行うことが可能となる。本手法によって取得した注視点の動きや注視箇所の変化等の視線情報を特徴量

とすることにより、新規特徴量の有用性を検証する。

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<sup>(4)(5)</sup>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<sup>(6)</sup>がある。(4)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の軌跡情報は用いられていない。(5)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。(6)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。なお、本解答画面は先行研究<sup>(3)</sup>を Web カメラによる視線計測に適するように変更を加えた。一般的な Web カメラによる視線計測は専用のアイトラッカーと比較して精度が限られるため、各単語および欄のサイズを拡大することで、注視箇所の判定精度向上を図った。

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。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。取得した解答履歴データを利用し、機械学習によって学習者の迷いを推定する。取得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」として二値に分類し、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使用している。

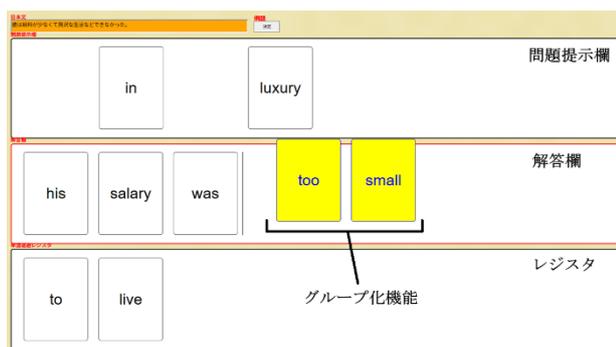


図 1 解答画面

### 3. 特徴量設計

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、ここでは問題単位の推定を中心に説明する。マウスの軌跡情報として用いている特徴量の組み合わせは以下の通りである：

- ・ 解答時間
- ・ マウス総移動距離
- ・ 最大 D&D 時間
- ・ マウス平均移動速度
- ・ マウス最大静止時間

解答時間は最初のドラッグから解答終了までの時間である。視線情報として新しく追加する特徴量は：

- ・ 注視点総移動距離
- ・ 注視単語回数
- ・ 注視点 U ターン回数
- ・ 各欄注視時間

である。注視点 U ターン回数は X 軸（水平）、Y 軸（垂直）方向にそれぞれ注視点の進行方向が逆転した回数である。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。

### 4. 視線情報の計測手法

本手法では、オープンソースの顔ランドマーク検出モデルである MediaPipe FaceMesh を用いて視線を計測する。このモデルは Web カメラの映像から顔の

特徴点と虹彩位置をリアルタイムで検出できる。視線計測の前に、学習者ごとの個人差を補正するキャリブレーションとして、画面内の 17 点を順番に提示する。各点において虹彩中心サンプルを取得し、虹彩中心とターゲット座標の対応関係を学習する。この対応関係は 2 次多項式を用いた回帰分析により数式化される。キャリブレーション完了後、検出した虹彩位置から回帰式により注視点座標を算出し、頭部回転補正および平滑化を適用し最終的な注視点座標を推定する。また、座標に対応する画面要素を取得し、学習者が注視している単語や欄を判定できる。

上記で述べた視線計測手法の精度を検証するため、静止マーカーおよび動的マーカーを用いた二種類のテストを実施する。マーカーの大きさは解答画面の単語と同一とした。静止テストでは画面内の 9 点のマーカーを順次提示し注視点座標を取得する。動的テストでは 6 点のマーカーを移動させ、移動区間の注視点座標を取得する。取得した座標からマーカー中心との誤差距離、マーカーへの注視率、および隣接マーカーまで拡張した範囲への注視率を算出する。

現在、上記の視線計測精度の検証実験に加え、3 章で示した視線情報の特徴量を含むデータセットを用いた、本システムにおける迷い推定精度の実験を計画している。これらの実験は今後実施予定であり、発表時に結果を報告する予定である。

### 5. まとめ

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。視線計測には、専用のアイトラッカーを必要とせず一般的な Web カメラで動作する独自手法を採用した。今後は本システムを足掛かりにして、マウスの軌跡情報と視線情報双方を用いた推定の精度向上に取り組んでいく所存である。

#### 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) 反町祐啓, 宮崎佳典: “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,” 教育システム情報学会第 50 回全国大会, 東京 (2025)
- (4) 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)
- (5) 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)
- (6) 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)