

## 視線データからの解答過程の分析における 時系列情報を含むヒートマップによる可視化の有効性

### Effectiveness of visualization using heat maps including time-series information in analyzing the solution process from gaze data

岩田 蒼良<sup>\*1</sup>, 中村 泰之<sup>\*2</sup>

Sora IWATA<sup>\*1</sup>, Yasuyuki NAKAMURA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>名古屋大学情報学部

<sup>\*1</sup>School of Informatics, Nagoya University

<sup>\*2</sup>名古屋大学教養教育院

<sup>\*2</sup>Institute of Liberal Arts and Sciences, Nagoya University

Email: iwata.sora.r2@s.mail.nagoya-u.ac.jp

**あらまし**：本稿では、数学問題解答時の解答過程・思考過程を、視線計測装置による視線データの分析から明らかにすることを目的として実験を行った。確率問題を視線計測装置をつけながら解いてもらい、視線データを取得した。実験協力者は学生16名、社会人1名の計17名である。問題文や解答欄をブロック分けし、どのブロックを見ているかを1秒ごとに記録することで視線データを整理した。この整理したデータを、注視箇所の遷移情報の可視化、注視箇所の遷移情報を含むヒートマップによる可視化により分析した。2つの可視化のいずれも読み取れる特徴があったが、特に注視箇所の遷移情報を含むヒートマップからは「前問を利用して解くことに気づいているか」が視線移動に表れていることがわかるなど、解答過程の分析を行う上で有効な可視化方法であることがわかった。

**キーワード**：視線データ、数学問題

## 1. はじめに

今日、技術発展により手軽に視線の計測が可能になってきている。それに伴い、視線計測データから人の認知や思考を分析する研究が増えてきている。数学分野では、教員の意図通りに学生が学習できるような教材開発のために学生が教材を読む際の視線計測データを分析したもの<sup>(1)</sup>や、立体図形課題遂行時における学習者の解決方略における特徴を明らかにすることを目的として視線データを分析したもの<sup>(2)</sup>など、教材開発や図形問題に関する視線データを用いた研究が多く行われてきている。しかし、視線データから数学の問題を解く上での解答過程・思考過程を分析する研究はまだあまり行われていない。視線データから解答過程を分析することができれば、数学能力が突出していたり数学が非常に苦手であったりするような注目すべき学生に対して分析を行うことで重要視すべき点がわかり、数学教育の場での授業効率や質の向上が期待できる。

これらの背景から、本研究では視線データから数学問題を解く上での解答過程を分析することを目的として実験を実施した。

## 2. 研究方法

### 2.1 実験環境

今回の実験で使用した問題は分数の解答を含むため、分数の正誤評価が可能な数式自動採点システムSTACK(<https://stack-assessment.org>)を解答フォームとして利用した。また、視線計測装置はTobii Pro グラス 3 (トビー・テクノロジー株式会社) を使用し

た。

### 2.2 実験手順

本研究では、数学I・Aを履修した大学生16名、社会人1名の計17名の実験協力者に、確率の問題を出題した。実験協力者は実験実施説明を受けた後、視線計測装置をつけて問題に解答する。最終的な解答はタブレットでSTACKに入力してもらい、即座に正解か不正解かが判定され、不正解の場合は何度でも入力しなおせるようにした。解答の方針が立たずに3分ほど経った時点でヒントがいるか聞き、解答者が必要とした場合は事前に用意していたヒントを印刷した紙を渡した。解答時間は30分程度としたが、30分を超えて解答者がまだ解答していた場合にも解答をやめさせるなどの措置は行わなかった。解答終了後、解法の方針を立てるまでの思考過程、数学に対して苦手意識があるかをインタビューした。

### 2.3 分析方法

問題文、ヒント文を意味のあるまとまりごとにブロック分けし、解答を記述した箇所は解答欄として分類した<sup>(3)</sup>。また、問題文中の青球がいくつ、赤玉がいくつという情報を問題用紙に図で書いていた解答者が数人いたため、この図もブロックの1つとした。以上のどこにも属さない部分はその他とした。図1で問題文のブロックの区切り方の一部を示す。得られた視線データをTobii Pro Lab(x64)という専用の解析用ソフトウェアによりコマ送りで確認しながら、視線が向けられたブロックを1秒ごとに記録していった。

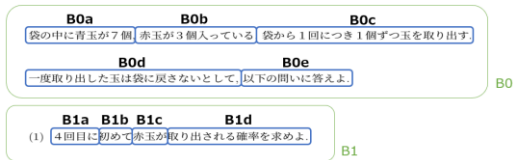


図1 問題文のブロック分けの一部

### 3. 結果と考察

#### 3.1 注視箇所の遷移情報の可視化

解答過程の分析を行ううえで注視箇所の遷移情報が重要となるため、まずは時間情報に重点をおいた時系列グラフを作成した。時系列グラフは、各時刻で解答者がどのブロックを見ているかを可視化したものである<sup>(1)</sup>。具体的な作成方法は以下の通りである。横軸を時間、縦軸を各ブロックとし、正答を入力した時刻を黒色、誤答を入力した時刻を灰色、口頭でのヒントを出した時刻をオレンジの線で書き込んだ。時系列グラフでの可視化結果で見られたいくつかの特徴を挙げていく。

解答者 02 は、小問(1)において、問題解答時に重要となる前提条件を踏まえずに式を立てたことから誤答していたのが動画データからわかっている。図2から、(1)の誤答後、この前提条件が記述されたブロックのB0dを見てすぐに正答を導いていることが読み取れる。誤答後に間違いの原因を特定して正答を導く解答過程がグラフからも確認できた。

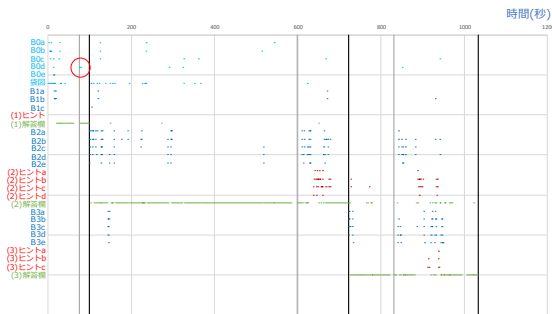


図2 解答者 02 の時系列グラフ

以上のように、時系列グラフでは、局所的な細かい思考を推定することができた。しかし、細かい情報を拾いすぎてしまうため全解答過程における思考の推移の特徴を把握するのは困難であった。

#### 3.2 注視箇所の遷移情報を含む時系列ヒートマップ

全解答過程における思考の推移の特徴をより直感的に把握するため、可視化方法の再検討を行った。移動平均の考え方を応用し、移動頻度という量を導入した。移動頻度の計算の仕方は、10秒間（フィルター）で各ブロックを見ている頻度を計算し、フィルターを1秒ずつ移動させながらその計算を繰り返すというものである。計算した移動頻度をヒートマップにより色付けする、時系列ヒートマップによる可視化を行った（図3）。

時系列ヒートマップから読み取れた(3)の解答時における特徴について述べる。(3)で正答している人

は、(3)の問題文を読んだ後は(2)の解答欄を特に高い頻度で見ながら解答をする傾向があった。(2)の解答を(3)に利用できることに気づき、(2)の解答欄に書いた式を参照しながら立式していることがうかがえる（図3上）。一方、(3)で正答から遠い誤答をしていた解答者は、(2)の問題文や解答欄をほとんど見返していなかった。(3)の解法や立式において、(2)を利用できることに気づけていないことがここから読み取れる（図3中）。また、ヒントを与えるまで解法の方針が定まらなかったある解答者は、(2)の解答欄だけでなく(2)の問題文を特に長い時間見返していた。ここから、(3)の解答に(2)を利用できそうだという予想はついているが、具体的にどう利用できるのかが分からずに(2)の問題文と(3)の問題文を交互に見てそれを考えているとグラフから読み取れる（図3下）。実際、この解答者は解答後のインタビューでヒントを提示するまで(2)をどう利用しようか考えていたと答えていた。

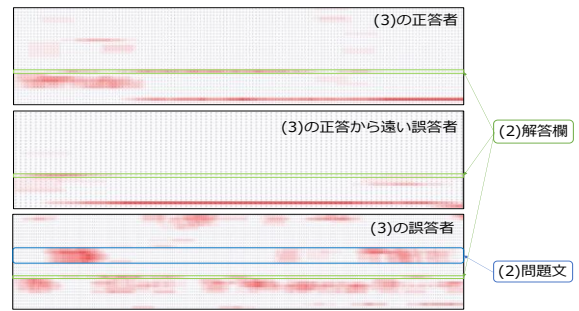


図3 ある3人の解答者の時系列ヒートマップの一部

時系列ヒートマップは、解答過程の分析に重要となる視線の時間変化を追いつつ、注視情報により視線の向け方の強弱が視覚的にわかりやすく表せているため、解答過程の分析を行うのに有効であった。

### 4. まとめ

本研究により、視線データから解答過程がある程度分析でき、さらに視線データの可視化方法について時系列ヒートマップが有効であるという示唆が得られた。

注目すべき学生に対して視線データから解答過程の分析を行うことで、重要視すべき点がわかり教育の場での授業効率や質の向上につながると期待できる。

#### 参考文献

- (1) 西浦孝治, 東海林智也: “数学教材における視線移動の定量的分析について”, 数理解析研究所講究録, Vol.2236, No.2, pp.100-107 (2022)
- (2) 木下卓海, 岡本尚子, 黒田恭史: “実物・タブレット・紙面における立体図形課題遂行時の学習者の解答方略の特徴—生体情報を用いた分析を通して—”, 数学教育学会誌, Vol.61, No.1-2, pp.89-97 (2020)
- (3) 黒田恭史, 岡本尚子, 前迫孝憲, 深田英里: “算数文章題解決過程における視線移動の特徴”, 教育システム情報学会第41回全国大会 (2016)