

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00955

研究課題名(和文) 物理問題の解決方略とその認知過程の視線追跡技術を使った分析及び形成的評価への応用

研究課題名(英文) Eye movement study of problem solving using physics tasks

研究代表者

大野 栄三(OHNO, Eizo)

北海道大学・教育学研究院・教授

研究者番号：60271615

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：人文・社会学系大学生、高校生を対象にして、物理の問題を解答中の彼らの眼球運動を調べ、視線追跡のデータを分析することによって、彼らが使っている問題解決の方略やその背後にある思考過程を解明する研究を行った。

(1) Force Concept Inventory (FCI) の問題を使った実験を行い、速度、加速度の概念についてどこまで理解しており、それを問題解決に利用できているかを分析した。文系大学生と理系大学生との比較を行った。  
(2) 視線計測の実験で使用する物理の問題を、フィンランド及びチェコと共同で開発し、高校生を対象にした実験を行った。解答をグラフまたは文章のどちらかの選択肢で提示する問題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視線計測技術を使って、学習者(高校生及び大学生)が物理の問題を解決する際の眼球運動を計測し、彼らの問題解決の方略、誤解や思い込み、理解に至る過程を明らかにしようとするものである。初等・中等教育課程、文化や社会の違いが問題解決の方略や思考過程に及ぼす影響について考察するときの根拠となるデータが得られる。本研究の成果は、物理の理解度を調査する問題の改善や授業中に用いる教材(設問)の開発に役立てることができる。

研究成果の概要(英文)：(1) We used an eye-tracking method to investigate students' approaches to solving a physics task. We found that the data of participants' eye movements are related to their problem-solving processes. The result indicated that a typical eye movement was observed when a student figured out a way to solve a question.

(2) Physics tasks using various representations were used. The layouts of the tasks were similar. The multiple-choice alternatives were presented in both the text and graph representations. The research was done by collaborators in Finland. We found that students who preferred either the text or graph representations watched the options differently, but they used both representations to be sure of their solution.

研究分野：科学教育、教育方法学

キーワード：物理教育 力学 眼球運動 視線計測 問題解決

## 1. 研究開始当初の背景

視線追跡技術の近年の進歩と計測装置の普及により、眼球運動はさまざまな研究分野で重要な生理指標として利用されている。研究開始当初、教育分野でも、眼球運動の計測データを活用している論文数が急増しており、視線追跡技術が学習と認知過程をつなぐ研究手法として注目されていた。視線追跡技術を使って行われた理科教育分野の研究として、高校生が教科書の図と本文を総合して内容を理解する際に、図がもつ抽象性がどの程度影響するのか、恐竜について説明した PowerPoint スライドを提示された大学生が、図と本文のどちらに注意を振り向けているのかなどを調べた論文があった。眼球運動を利用して学習者の認知過程を解明する研究は、理科教育分野ではようやく緒に就いたばかりであった。

本研究の代表者は、人文・社会学系大学生を対象にして、Force Concept Inventory (FCI) の問題を解答中の彼らの眼球運動を調べ、視線追跡のデータを分析することによって、彼らが使っている問題解決の方略やその背後にある思考過程を解明する研究を進めていた。FCI は、物理を学び始める前の大学生がもっているニュートン力学の基礎的知識を調べるために考案された多肢選択問題の一式である。FCI は物理教育における有効なツールであり、FCI を構成する問題の分析や改訂についての研究が多数行われていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、視線追跡のデータとインタビューを分析することによって、以下を明らかにしようとするものである。

- ・実験の対象者を人文・社会科学分野の大学生だけでなく、理工学分野の大学生及び高校生に拡げ、彼らの問題解決方略やその背後にある思考過程を明らかにする。
- ・FCI 以外の調査問題を使った実験を行い、調査問題の評価と研究成果を利用した改善を行う。
- ・海外でも同様の条件で実験を行い、国内の実験結果と比較する。
- ・本研究代表者がこれまで受けてきた科研費による教科書分析及び授業分析の研究成果を加えて、本研究の成果を活用し、形成的評価のため授業中に使う教材（設問）を開発し、教育現場へ提案する。

## 3. 研究の方法

大学生を対象にして、ディスプレイに表示された問題 (FCI の問題、独自開発の問題など) を順番に解答してもらい、そのときの彼らの眼球運動を視線追跡装置で測定した。すべて解答し計測が終了した後にインタビューを実施し、その選択肢を選んだ理由や、迷った選択肢はあったかなどを質問した。

## 4. 研究成果

(1) 日本の文系大学生を対象に行った実験データを精査し、速度、加速度の概念についてどこまで理解しており、それを問題解決に利用できているかを分析した。2 個のブロックの速度や加速度を評価する問題では、実験参加者が解答を開始してからの視線の位置や動きの変化で、正解に気づいた時刻を確認することができた。正解を導くことができなかつた実験参加者は、ブロックの特定の位置に注目し続けており、速度や加速度の概念を使いこなすまでには至っていないことが推測できた (図 1 及び表 1)。正解した実験参加者は、一定時間間隔にブロックがどれだけ移動したかに注目していた (図 2 及び表 2)。いずれの実験参加者も、解答開始直後は、スタート地点からどれだけ移動したか、2 個のブロックが並んでいるかに注意を払っていたが、その後の解答方略に違いがあることが視線追跡の結果からわかった

さらに、文系学生と比較するために理工系学生を対象にした実験も、少人数ではあるが実施した。文系大学生の眼球運動から、理系大学生は、データ数は少ないが、解答開始後に文系大学生のような眼球運動は長く続かず、すぐに一定時間間隔にどれだけ移動したかを考え始めるという結果になった。

(2) 文系大学生が FCI を解答する際に、問題文のどのような語句や文章表現を注視しているのかを、heat maps と scan path のデータを使って検討した。問題文の読解の難度が視線追跡の結果にどのように反映されるのかを分析した。インタビューから、実験参加者の出身地の違いや語彙の豊かさ、日常経験から離れた問題設定が彼らの問題文読解に影響を与えていることが、眼球運動に現れていることを示す結果が得られたと考えている (図 3)。

(3) 視線追跡の実験で使用する物理の問題を、フィンランド及びチェコと共同で開発し、高校生を対象にした実験を行った。解答をグラフと文章の 2 種類の選択肢で提示する問題である。高校生は画面左側に書かれている問題文を読み、画面右側にあるグラフまたは文章で与えられた 5 つの選択肢から解答を選ぶ形式になっている。高校生がグラフか文章のどちらを好むかという自己評価と、実際に 2 種類の問題を解答する際の彼らの視線の動きを調べて考察した。フィンランドが先行して実験を行ったので、その結果をまとめ国際会議で発表した。研究代表者は共著者に加わっている。会議後に投稿した論文が採択され、2020 年 12 月に Springer から出版される予定である。



図1 括弧内の誤答を選んだ実験参加者の heat maps

表1 誤答（塗りつぶしセル）を選んだ実験参加者の眼球運動

実験参加者	最初に選択肢を注視するまでの経過時間 [s]					選択肢の領域に滞在した時間 [s]				
	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	選択肢5	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	選択肢5
#1	4.40	24.85	32.14	29.18	33.88	0.55	1.32	1.57	1.18	0.85
#3	—	12.28	13.48	13.82	14.00	0	1.17	3.00	2.02	1.72
#6	14.03	13.83	42.34	47.07	47.70	1.23	2.40	0.63	0.45	1.40
#7	11.73	17.56	59.56	61.98	61.31	1.20	2.77	0.75	1.42	0.67
#10	10.22	49.85	49.75	53.78	59.41	0.20	1.82	1.00	1.35	1.22

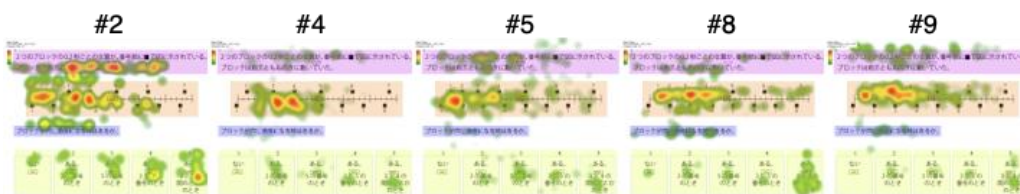


図2 正解（選択肢5）した実験参加者の heat maps

表2 正解（選択肢5）した実験参加者の眼球運動

実験参加者	最初に選択肢を注視するまでの経過時間 [s]					選択肢の領域に滞在した時間 [s]				
	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	選択肢5	選択肢1	選択肢2	選択肢3	選択肢4	選択肢5
#2	0.75	0.73	0.72	0.68	23.06	0.63	1.05	1.30	1.88	4.30
#4	0.96	0.23	20.81	31.78	59.13	0.60	2.58	1.50	1.45	2.38
#5	—	29.99	30.64	51.41	55.07	0	1.11	2.82	3.40	2.22
#8	6.45	30.35	31.70	32.27	32.65	0.32	0.90	0.57	0.38	6.18
#9	23.62	23.92	24.55	58.08	58.55	0.30	0.82	0.52	0.47	2.03

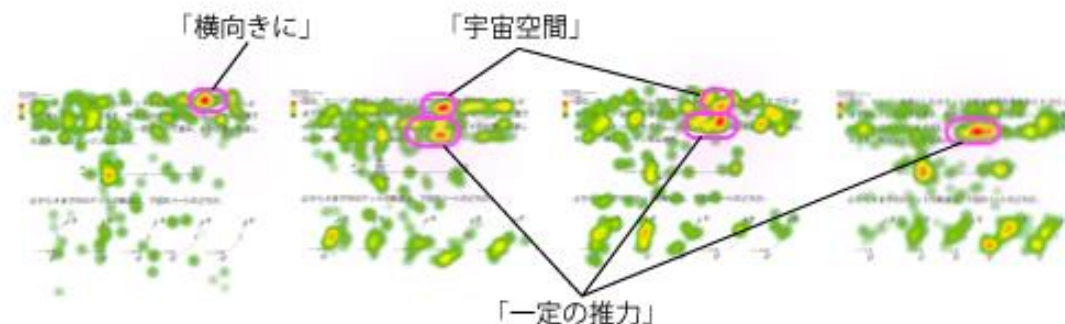


図3 問題文中の特定の語句や表現を注視している heat maps の例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大野栄三、下條暁司、岩田みちる	4. 巻 67
2. 論文標題 FCI問題解答時の眼球運動と解答後のインタビューとの対応関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 16, 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.20653/pesj.67.1_16">https://doi.org/10.20653/pesj.67.1_16</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Roman Rosiek, Mirosława Sajka, Eizo Ohno, Atsushi Shimojo, Michiru Iwata, and Dariusz Wcisłó	4. 巻 1804(060003)
2. 論文標題 An excerpt from an eye-tracking comparative study between Poland and Japan with the use of Force Concept Inventory	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1063/1.4974400">https://doi.org/10.1063/1.4974400</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Jouni Viiri, Jasmin Kilpelainen, Martina Kekule, Eizo Ohno, Jarkko Hautala
2. 発表標題 Eye movement study of mechanics problem solving using multimodal options
3. 学会等名 GIREP-MPTL 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野栄三
2. 発表標題 FCI問題解答時の思考過程と眼球運動：学生は物体の速度、加速度をどう捉えているか
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大野栄三
2. 発表標題 物理教育研究における眼球運動計測
3. 学会等名 第5回新潟大学レッスンスタディとアクティブラーニングのシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野栄三、Roman Rosiek、Miroslawa Sajka、下條暁司、岩田みちる
2. 発表標題 Force Concept Inventory解答時の視線運動 統計的解析の試みとその国際比較
3. 学会等名 日本物理教育学会第34回物理教育研究大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野栄三
2. 発表標題 FCI問題解答時の思考過程と眼球運動の関係
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Eizo Ohno、Roman Rosiek、Miroslawa Sajka、Atsushi Shimojo、Michiru Iwata
2. 発表標題 Statistical analysis of eye movement data during problem solving in Force Concept Inventory
3. 学会等名 GIREP-ICPE-EPEC 2017(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大野栄三
2. 発表標題 視線計測による物理問題文の分析
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 OHNO Eizo
2. 発表標題 Eye-tracking Investigation of Understanding the Relationships between Velocity, Time, and Distance while Solving Force Concept Inventory Problems
3. 学会等名 Teacher Education Forum: Preparing Thinker Teachers, 2019 SNU-HU-NTNU-KU Joint-Symposium on Science Education
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野栄三
2. 発表標題 物理教育研究における視線計測技術の活用動向
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----