

令和 6 年 6 月 23 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02890

研究課題名（和文）思考過程の可視化による物理の多様表現の困難と克服 - CBTでの新たな表現を踏まえて

研究課題名（英文）Overcoming difficulties in multiple representations of physics through visualization of the problem solving process

研究代表者

興治 文子 (Okiharu, Fumiko)

東京理科大学・教育支援機構・教授

研究者番号：60409050

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）：物理学を深く理解するためには、物理現象を文章、図、式、グラフなど多様な表現で理解する必要があり、表現間の変換も求められる。初学者と熟達者では、問題文やグラフの読み方が異なり、熟達者は重要な箇所のみ重点的に見ていることが明らかとなった。初学者については、ある物理概念が多様な表現で提示された場合、自身が持つ概念を一貫して表現することに困難を感じていることも明らかにした。初学者が理解を深める上で、思考スタイルが関係するという仮説を基に研究を継続している。また文章表現による理解の差異については、反駁文で提示された場合、読む時間が早く、理解も深まること、反駁を含む段落での読み方が早いことも明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

GIGAスクール構想やCOVID-19により学習環境が大きく変わり、1人1台のタブレットを用いた教育が一般的になってきた。紙媒体の情報から、動的な表現も含む4次元での表現方法も一般的になりつつある。本研究では、物理概念の多様な表現に焦点をあて、学習者の視線の動きやインタビュー調査を基に、理解や困難を明らかにしたものである。問題文、グラフ、シミュレーション教材など、同じものを見ているにも熟達者は重要な箇所をしっかりと見ているのに対して、初学者は重要な箇所が分からないことが明らかとなった。学習者の問題解決時の思考スタイルを明らかにすることは、今後の物理教授法の改善に示唆を与えるものと期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to understand physics in depth, it is necessary to understand physical phenomena in multiple representations such as sentences, diagrams, equations, and graphs, and transition between representations is also required. It was found that novice and expert students read the problems and graphs differently, with expert students focusing only on the important parts. As for novice students, it was also revealed that they have difficulty in expressing their own concepts consistently when a certain physical concept is presented in multiple representations. We are continuing our research based on the hypothesis that thinking styles are relevant to the understanding of novice students. Regarding differences in comprehension based on textual expression, we also found that students read faster and comprehended more when presented with a refutation text, and that they read faster when presented with paragraphs containing refutation.

研究分野：物理教育

キーワード：物理学 多様表現 表現の一貫性 視線追尾 思考過程 反駁文

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物理教育研究は、学習者が物理学の問題を解けるにも関わらず、本質的な物理概念を理解していないことが判明したことを契機に発展してきた研究領域である。物理教育研究の初期の段階では、学習者の概念理解を定量的に測るための問題群が開発され、現在では世界中で利用できるデータベースが構築され、翻訳版も多数ある。一方で、応募者はこれらの物理概念の理解を問う問題群は、基本的には物理現象の定性的理解についての多肢選択式であることから、学習者に問える範囲は限られており、次の段階の研究が必要ではないかと考えている。

特に注目したのは、物理現象を表す表現の多様性である。たとえば、力学台車の斜面の運動を考えると、言葉や文章による説明の他、図を描いて説明する。また、台車の時間変化を教える際には時間を変数として表で表現したり、グラフを描いたりする。さらに、現象を記述したり、変数間の関係を説明したりするためには数学的な表現も用いる。この表現間の変換の困難さが、学生が物理学を難しい学問だと考える一因である。物理現象を作図したり、モデル化したり、式で表現する際に、学生はどのような理由で、なぜつまづくのだろうか。数学ができる学生であっても、必ずしも物理現象を数式で表現することができない学生もいる。式、グラフ、作図など多様な表現及び表現間の変換を伴う物理学の問題を解く際に学生はどのように考え、どのようにつまづくのかといった思考過程を明らかにすることが、学生の物理学の定性的理解から定量的理解へとつなげるために必要だと考える。

2. 研究の目的

本研究では、次の3点について明らかにすることを目的とする。

- (1) 大学生を対象として、物理現象の表現の多様性の困難さ、具体的には物理現象をグラフで表す際の困難について、学習者の視線計測装置を用いた調査およびその内容に関する半構造化面接調査を行うことで、定量的に明らかにする。
- (2) 得られた研究結果について、タイの研究協力者の調査結果と比較し、国を超えた普遍的な困難さなのか、大学入学時までのカリキュラムの差異に依拠しているのかどうかを明らかにする。
- (3) 得られた結果を基に、学習者の困難を克服するような動的な教材を開発し、その効果について評価する。

3. 研究の方法

- (1) 微積分学を用いた入門物理学を履修している大学1年生を対象に、予備調査として単振動のグラフ理解に関する調査を行う。調査問題は、研究協力者であるタイの研究者が作成した問題を用いる。この結果を基に、視線追尾装置を用いた調査に用いる問題群や提示方法について検討を行う。視線追尾装置を用いた調査およびその内容に関する半構造化面接調査を行う。
- (2) タイの研究協力者の調査結果と比較するため、申請者がタイを訪れる、あるいはタイの研究協力者に訪日していただき、両国のカリキュラムの相違や共通する課題について明らかにする。
- (3) 得られた結果を基に、動画分析ソフトやシミュレーションを用いた教材の有用性を視線追尾装置を用いて明らかにする。

4. 研究成果

- (1) 理系大学生を対象として、単振動のグラフ理解に関する調査および力学での運動分析ソフト利用に関する調査を行った。前者については、微積分学を用いた入門物理学を履修している

大学1年生204名を対象に、単振動のグラフ理解に対するオンラインベースの調査を行った。その結果、多くの設問で先行研究の結果と似た傾向にあることから、国を超えて学習者が難しいと考える分野や表現に対する一定の知見を得ることができた。具体的には、高校の物理学の学習範囲で馴染みの少ない初期位相や、グラフの軸の読み間違い、質点のつり合いに関する誤概念などである。

次に、先行研究の単振動の調査問題に加え、シミュレーションの活用も含めた調査問題を作成し、試行的に視線追尾装置を用いて5名の学生を対象として調査を行った。物理学専攻の大学院生2名と、物理学科ではない学部生3名である。物理学を専攻している学生と、そうでない学生を比較すると、問題解法が異なることが明らかとなった。後者については、同じく微分積分学を用いた入門物理学を受講している学生約240人を対象として、授業外で運動分析を行う課題を出し、その効果と課題について検討した。動画分析による力学概念の理解について、教師による提示だけでも「とても役に立った」「やや役になった」の割合が5割を超えたが、自分で分析したときは約6割を超えた。現象とグラフを結び付けて理解するために、動画分析が有用だと感じている学生が多かった。

本研究では、単振動のグラフ理解を主題としたため、学習者が問題文や図が表示されたモニターを閲覧するだけでは解答を得ることが難しく、実際にペンで問題を解きながら考える過程が必要であった。一方で、本研究で用意できた視線追尾装置はモニター計測を目的としたものである。学習者にタブレットに表示された問題をペンストロークで解いてもらい、その過程を視線追尾装置を用いて計測する手法も取り入れたが、文字を書く際の腕によって視線計測がさえぎられるという物理的な問題で、研究方法を見直す必要があった。

更に、COVID-19による影響のため、タイの研究協力者と対面で交流をすること、視線追尾装置を用いた調査の被験者を集めることが困難であり、研究方法を見直すこととした。修正した研究方法に基づく結果は次の(2)から(4)である。

- (2) 物理学における多様な表現方法による学習者の困難を明らかにする際に、一貫性という問題がある。学習者が持つ概念について、多様な表現でその概念が表現されたときに、一貫して同じ回答をすることができるか、という問題である。物理基礎を履修している高校2年生を対象として、鉛直投げ上げ運動をしているボールにはたらく力について、図、グラフ、ベクトルで表されたそれぞれの問題に対する解答について、表現の間の一貫性を調査した。その結果、上昇中、最高点到達時、落下中の一連の運動において解答パターンは24通りと多岐にわたり、約99%の生徒が図の解答とグラフの解答に表現間の一貫性がなかった。この結果から、物理を学び始めたばかりの生徒は誤概念だけでなく異なる表現での理解に困難を抱えていることを明らかにした。
- (3) 被験者がモニターを見るだけの研究方法で検討できる方法として、文章構成の違いや図があることによる科学概念理解の有効性について検討を行った。四季の変化についての天文分野についての先行研究に基づき、反駁文を読む群と、通常の文章で提示された群に分け、その効果について検証を行った。被験者数は約20名である。群による違いよりも個人差の方が大きい状況ではあるが、読む時間や概念理解の有効性については、反駁文を読んだ群の方が読む速度が速く、科学概念理解も促進されるという先行研究の結果と同様の傾向がみられた。

視線追尾装置を用いたことによる成果としては、反駁文で提示された群は通常文が与えられた群と比較して、反駁文を含む段落において、特に読む速さが早いことが明らかとなった。これは、文章の要点が明示されているからだと考えられる。一方で、学習者が何度か文章を読みなおすことの効果、内容理解のために図をどの程度参照するのか、いつ図を参照するの

かについては、明確な結論を得ることができなかった。

- (4) 被験者がモニターを見るだけの研究方法で検討できる方法として、調査問題を変更して研究を行った。具体的には、問題の解答の手掛かりとして運動図、グラフ、表で表示した際に、被験者がどの表現のどの個所から情報を読み取っているのかについて、視線追尾装置を用いた調査と半構造化された面接調査を行った。また調査の際に、被験者が分かりやすいと考えている表現方法についても調査し、その表現を主として問題解法時に活用しているのか、それとも問題依存性の方が高いのかについて検討した。結果については精査中である。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 興治文子, 松岡広海, 尾崎龍之介, 中村公亮, 長谷川大和, 小林昭三	4. 巻 -
2. 論文標題 単振動におけるグラフ理解に関する一考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021PC CONFERENCE論文集	6. 最初と最後の頁 185-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 尾崎龍之介, 長谷川大和, 興治文子	4. 巻 71
2. 論文標題 鉛直投げ上げ運動の多様な表現を生徒はどう一貫して理解しているか	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 87-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Fumiko Okiharu, Yamato Hasegawa, Akizo Kobayashi,
2. 発表標題 Effectiveness of Using Video Analysis Software in Introductory Physics
3. 学会等名 The International Conference on Physics Education(ICPE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideto Hagiwara, Shuji Ukon, Fumiko Okiharu
2. 発表標題 Eye-tracking analysis of the educational effect of refutation text in reading science texts: Case of celestial movements and seasonal changes
3. 学会等名 The International Conference on Physics Education(ICPE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩原秀人, 右近修治, 興治文子
2. 発表標題 科学テキストにおける反駁文の教育的効果検証 ~天体運動と季節の変化を例にして~
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中山理知, 松岡広海, 長谷川大和, 小林昭三, 興治文子
2. 発表標題 学習者の思考過程から紐解く単振動シミュレーションの理解度
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 興治文子, 中山理知, 長谷川大和, 小林昭三
2. 発表標題 大学初年次生を対象とした波動光学の概念理解の困難の明確化
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fumiko Okiharu, Hiromi Matsuoka, Yamato Hasegawa, Shuji Ukon, Akizo Kobayashi
2. 発表標題 Graph Comprehension of Simple Harmonic Motion and Understanding among Japanese University Students
3. 学会等名 The 3rd World Conference on Physics Education (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryunosuke Ozaki, Kosuke Nakamura, Yamato Hasegawa, Fumiko Okiharu
2. 発表標題 Survey of Newton Mechanics Conceptual Consistency using Multiple Representations for High School Students
3. 学会等名 The 3rd World Conference on Physics Education (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yamato Hasegawa, Kasumi Endo, Ryunosuke Ozaki, Hiromi Matsuoka, Kosuke Nakamura, Shuji Ukon, Fumiko Okiharu
2. 発表標題 Measurement of the Refractive Index with PhET
3. 学会等名 The 3rd World Conference on Physics Education (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 興治文子, 長谷川大和, 小林昭三
2. 発表標題 大学初年次物理における授業外運動分析ソフトの利用とその効果
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡広海, 長谷川大和, 右近修治, 興治文子
2. 発表標題 大学生の単振動に関する事前調査からみるグラフ理解とその困難
3. 学会等名 2021年度日本物理教育学会年会第37回物理教育研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾崎龍之介, 中村公亮, 長谷川大和, 興治文子
2. 発表標題 物理現象を式で理解することに困難を感じる高校生を対象とした多様表現導入の試み
3. 学会等名 2021年度日本物理教育学会年会第37回物理教育研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川大和, 遠藤霞, 尾崎龍之介, 松岡広海, 中村公亮, 興治文子
2. 発表標題 屈折率の測定 -多様表現や振り返りとしてのPhETの有効性
3. 学会等名 2021年度日本物理教育学会年会第37回物理教育研究大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山理知, 興治文子, 長谷川大和, 小林昭三
2. 発表標題 波動光学に対する概念理解の困難の分類とその克服
3. 学会等名 2023年度日本物理教育学会年会第39回物理教育研究大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 萩原秀人, 右近修治, 興治文子
2. 発表標題 科学テキストにおける反駁文や図の読解時の眼球運動データ分析 ~天体運動と季節の変化を例にして~
3. 学会等名 2023年度日本物理教育学会年会第39回物理教育研究大会
4. 発表年 2023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
研究 分担者	小林 昭三 (Kobayashi Akizo) (10018822)	新潟大学・人文社会科学系・フェロー (13101)	
研究 分担者	右近 修治 (Ukon Shuji) (60735629)	東京都市大学・共通教育部・教授 (32678)	

	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
研究 協力者	長谷川 大和 (Hasegawa Yamato)	東京工業大学附属科学技術高等学校・教諭	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------