

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月31日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22650200

研究課題名（和文） 思考実験型反例を用いた概念変容促進に関する研究

研究課題名（英文） Concept Change with Counterexamples of Thought Experiment

研究代表者

平嶋 宗 (HIRASHIMA TSUKASA)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10238355

研究成果の概要（和文）：

本研究では、学習者の犯した誤りに対して、その誤りを仮に正しいとした場合に推論しうるおかしな現象（思考実験型反例）を提示することで、その誤りに対する概念的な修正（概念変容）を促す仕組みの設計と実験的な評価を試みた。より具体的には、力学の抗力に関する誤概念に関する思考実験型反例の生成システムと、動物や植物に関する分類木の誤りに対する思考実験的の生成システムを設計・開発した。実験的な利用の結果、誤りの修正効果が確認できた。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we have proposed a framework of promotion of concept change with counterexamples generated by thought experiment. We have designed and implemented two concrete systems for normal reaction in mechanics and for classification tree of animals and plants. Through experimental uses of the systems, we have confirmed the counterexamples generated by the systems were useful to promote subjects concept changes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	0	1,500,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	420,000	3,320,000

研究分野：学習工学

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，教育工学

キーワード：概念変容，思考実験，反例

1. 研究開始当初の背景

本研究の基盤となる「誤りベースシミュレーション」の技術は研究代表者および共同研究者らが本研究の開始以前に独自に開発してきたものであり、その実践的利用もすでに試みられていたものである。しかしながら、これまでの研究においては、「誤りの可視化」

に焦点が当てられており、その可視化が学習者にどのような影響を与えるかについては十分な検討・考察が行われていなかった。このため、これまでに行った実践においても、誤りが修正されるかどうかまでは調査しているものの、学習者の考え方がどのように変化したかまでは調べられておらず、この調査

を目的としたシステムの改良，実践・実験として新たな研究を行う必要がある。本研究では，元々はシーズベースで進められてきたものであるが，このシーズが「概念変容」という学習における根本的なニーズに対する貢献へ接続できることを目指すことが本研究の意義となっている。さらに，本研究で扱う「思考実験型反例」は，国内外を問わずこれまで学問的に取り扱われたことのない新規性の高い反例であり，また，その有効性を示唆するような報告も研究代表者および共同研究者らのもの以外には見当たらない。

○反例としての新規性：「反例」は，概念変容を促進するための最も重要な要因であり，これまでも様々な反例が提案・実践的に使用されてきているが，これまで取り扱われてきた反例はすべて，「学習者の持つ誤りを含んだ概念ではうまく説明できない／説明が複雑になってしまう事象」であり，正しく説明されるべき「正しい事象」であったといえる。これに対して本研究で取り扱った「思考実験型反例」は，学習者の誤りを反映した「正しくない事象」である。「正しくない事象」を学習者に提示してしまうことから，これまでの誤りベースシミュレーションに関する研究においては，学習者に誤りであることを気づかせることに目的を限定していた。これに対して同様な説明を教育現場でも行うことがあるとの知見に基づき，中学校教諭の協力の下，中学校理科の抗力に関する授業で用いたところ，通常授業グループよりも転移課題や遅延テストにおいて有意に高い成績（効果量として大）が得られた。このことは概念レベルでの学習・変容が促進されていることを示唆しており，本研究ではこの知見に基づいて「誤りベースシミュレーション」によって生成される正しくない事象を概念変容促進のための反例として位置づけた上で，その役割および利用法・適用可能性に関して検討を進めた。

○インタラクティブ性：誤りベースシミュレーションでは，個々の誤りに応じてその誤りを反映したおかしな事象を生成する。したがって，学習者が入力を修正すれば，それに応じて提示される事象も変化することとなる。本シミュレーションが持つこのインタラクティブ性は，学習者に誤りを修正することの意味を事象の変化として直観的に分かる形で示すことを可能とする。従来の研究において用いられてきた反例は，対象概念とそれに対する誤概念を綿密に分析した上で考案されたものがあり，よく考えられたものであるといえることができるが，学習者が誤りを修正していく過程に応じて反例を変えることは難しく，インタラクティブ性に乏しかったといえ，本研究が新しい概念変容促進の可能性を示すことになることを目指した。

○思考法としての思考実験：本シミュレーションでは，学習者の入力に応じた事象が生成されることになり，おかしな事象を修正しようとするれば，自分の入力と出力される事象の関係を予測した上で，入力を修正することが求められる。これは，思考法としての思考実験を経験させることになりうると期待できる。少なくともこれまでの実践では，通常の授業では入力と生起する事象を関係付けながら考えようとする学習者があまり現れないのに対して，本シミュレーションを用いた場合には，多くの学習者が両者を関係付けながら考えようとしていることを窺わせる結果を得ている。思考法としての思考実験を学習者が行えるようになることの可能性を示した研究はこれまでに国内外で行われておらず，本研究がその先駆けとしての位置づけを持つと考えた。

2. 研究の目的

申請者らは，学習者の犯した誤りを仮に正しいとした場合に，どのようなおかしな結果が導いてしまうかを推論する「誤りベースシミュレーション」とそれによる誤りの可視化に関する研究を本研究の開始以前に行ってきた。たとえば，力学問題に対して学習者が誤った方程式を立てた場合，その誤った方程式を用いるとどのような力学的な現象が生じるかを力学的物体のおかしな振る舞いとして提示するものである。つまり，「方程式の誤り」を「ふるまいの誤り」として可視化することで，学習者自身による誤りへの気づきを促進することを指向したものとなっていた。この研究はこれまで主にシミュレーション生成やその制御などの技術的な観点から進められてきたが，近年，この研究成果の実践的活用を指向して，中学校理科での「力」，特に「抗力」に関する学習場面での利用を試みたところ，単に誤りへの気づきを促進する，というだけではなく，概念のレベルで学習が促進されたことを窺わせる結果が得られている。このことが本研究の契機となっている。

概念変容の促進に関してはこれまでも国内外で数多くの研究がなされてきており，学習者の持つ概念の誤りあるいは不完全さを指摘するための例（反例）が非常に重要な役割を果たすものとして重視されている。これらの研究における反例は，「自分の考えでは説明できない／説明が複雑になってしまう事例」であり，「起こり得る事象」であった。これに対して本研究で取り扱っている思考実験型反例は，「学習者の誤りに基づいて生成される起こり得ない事象」であり，誤りベースシミュレーションを用いることで始めて生成可能となる。また，教育現場では同様な考え方のもとでの誤りに対する指摘が

しばしば行われるものであった。したがって本研究は、有効性は認識されているもののこれまで十分研究されてこなかったタイプの反例に取り組んだものとなっている。

3. 研究の方法

本研究は、まず、思考実験的反例の適用範囲の拡張として、速度を持った物体を対象とした思考実験的反例の生成とその有効性の確認を試みた。また、もう一つの拡張として、概念マップ的に記述した動植物の分類概念を対象として、その分類木の間違いに基づいておかしな特徴を持った動植物を生成するといったこれまでと異なったタイプの思考実験的反例の生成を試みた。さらに、これは力学の問題を対象として、思考実験的反例を提示した際に、被験者がどのようにその反例を捉えているかにすいてのデータの収集と分析を行った。このデータの収集と分析は、実際の学習者を対象とした場合に困難であると考えられることから、大学生を被験者として行った。

4. 研究成果

○速度を持った物体を対象とした場合の思考実験的反例の有効性の検証

本研究の以前においては、速度を持たない物体に関する抗力に関する誤概念を対象とした思考実験的反例の生成とその有効性を確認はできていた。このような力学系においては、正しい状態は静止であり、それ以外の状態は誤りであるため、誤りの認識が容易である対象であった。このため、静止系において思考実験的反例が有効に働いたことを示すだけでは、有効性の検証としては不十分であったといえる。このような背景のもと、速度を持った物体を対象とした抗力に関する誤概念についての思考実験的反例の生成とその実践的な有効性の検証を行った。中学3年生の3クラスを対象として、2クラスを思考実験的反例を用いるクラス(実験群)とし、1クラスを通常の授業を行うクラス(統制群)とした。全ての学習者は、事前テスト、事後テスト、遅延テストを受けた。事前テストは、授業で用いられる4つの課題で構成される。事後テストおよび遅延テストは、事前テストを同じ四つの課題に加えて、応用的な課題を5問加えたものとなっている。これらの課題さらに、そこで学習者が把握していないといけない概念によって、(概念A)静止+力が働かない、(概念B)静止+力が釣り合っている、(概念C)加速+合力と運動方向が一致、(概念D)等速+力が働かない、(概念E)等速+力が釣り合っている、(概念F)減速+合力が運動と逆方向に働く、に分類している。

実験の結果、事前テストにおいては統制群と実験群の成績に差はなかったが、概念A-Cの容易な課題に関しては、ポストおよび遅延においてもテスト結果に有意差が見られなかった。また、中程度の難易度とみなせる概念D-Eの課題のポストにおいても差が見られなかった。しかしながら、概念D-E課題の遅延テストの実験群と統制群のスコアの差は有意傾向にあり、実験群のほうが高く、効果量も0.4と中程度であった。また、難しい課題といえる概念Fに関しては、ポストおよび遅延の両方において有意に実験群の成績が高くなっており、効果量もそれぞれ0.7、0.79と大きなものであった。つまり、より難しい概念に関する課題において、実験群は統制群に比べてよい成績となっており、また、授業~時間をおくに従ってその差が大きくなる傾向にあるといえる。このことから、思考実験的反例は、速度を持って運動している物体を対象とした場合においても、学習者に対して誤りであることを顕在化し、またそれが概念の修正に有効性を持っていることが示されたと考えている。

○思考実験的反例に対する思考過程のプロトコル収集と分析

大学生を対象として、静止系における思考実験的反例の提示とそれについての感想の収集を行った。中学理科において学ぶ程度の例題を、文系の大学生に対して行い、回答できないものに対してだけデータ収集の対象とした。誤りの顕在化に関しては全ての被験者が受け入れているとの結果が得られたが、顕在化された誤りの抽象化および他の誤りとの共通化に関しては十分な判断が行われていることをうかがわせるデータは得られなかった。このことは、単に思考実験的反例を提示するだけでなく、その反例について学習者が理解し修正に結びつける上での支援の必要性を示唆していると判断している。

○動物や植物の分類概念を対象とした思考実験的反例の生成システムの実装と実験的評価

思考実験的反例のもう一つの事例として、学習者による動物や植物の分類木の作成と、その誤りに基づく不適切な属性を備えた動植物の提示、の仕組みを作成し、実験的に中学校での利用を試みた。動植物の分類は重要な属性に基づいて行われているものであり、それぞれの属性は分類対象となっている動植物の重要な特徴を捉えたものとなっている。しかしながら、往々にして単なる暗記の対象となってしまう、どのような属性がどのような動植物の特徴を捉えているかまで意識されていない場合がしばしば見受けられる。このような状況において単に誤りを指摘しても、学習者がそれを再度暗記するだけになってしまう恐れがある。分類木を間違うと

いうことは、動植物に対する特徴づけの間違いである解釈することができ、特徴づけが間違っていれば、その間違った特徴づけに応じた動植物を想定することができる。これが、学習者の誤った分類に対する思考実験的反例となる。このような仕組みを用いた分類を植物に対して行わせたところ、植物に対しての分類がより正確になるだけでなく、動物を対象とした分類に関しても修正効果を持つことが示唆される結果を既に得ている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計8件)

(1) 茅島路子, 平嶋宗, 東本崇仁, 溝口理一郎: EBSにおけるメタ認知活動「抽象化操作」, 教育システム情報学会研究会(2012.3.17, 枚方市)

(2) Takahito Tomoto, Isao Imai, Tomoya Horiguchi and Tsukasa Hirashima, "Error-based Simulation in Dynamics and Its Evaluation in Junior High School", Proc. of ICCE2011, pp. 81-85 (2011.12.1, Thailand).

(3) 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "知識の体系化を指向したコンセプトマップ構築学習の支援環境の開発", 教育システム情報学会第36回全国大会公演論文集, pp. 124-125 (2011.8.31, 広島市).

(4) 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "生物領域におけるコンセプトマップ構築学習のための誤りの可視化", 第62回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会 (SIG-ALST), pp.1-6 (2011.7.29, 千葉市).

(5) Takahito TOMOTO, Masaharu ICHI, Tsukasa HIRASHIMA, Akira TAKEUCHIA: Learning Environment for Solution-based Problem-Posing in Multi-Digit Subtraction, ICCE2010, pp. 76-80 (2010.11.30, Malaysia).

(6) 今井功, 平嶋宗, 堀口知也, 東本崇仁, "運動状況を対象とした Error-based Simulation と中学校理科における授業実践", 日本科学教育学会年会論文集 34, pp. 291-292 (2010.9.11, 広島市)

(7) 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "Error-based Simulation の静止状況から運動状況への拡張及び授業実践", 教育システム情報学会第35回全国大会公演論文集, pp. 423-424 (2010.8.26, 札幌市).

(8) 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "コンセプトマップへのフィードバックを目的とする誤りの可視化", 第59回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会

(SIG-ALST), pp.25-30 (2010.7.30, 所沢市)

[その他]

ホームページ等

誤り可視化シミュレーションに関するソフトウェアの提供ページ

<http://www.takahito.com/eps>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平嶋 宗 (HIRASHIMA TSUKASA)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 10238355

(2) 研究分担者

堀口 知也 (HORIGUCHI TOMOYA)

神戸大学・海事科学部・教授

研究者番号: 00294257

東本 崇仁 (TOMOTO TAKAHITO)

東京理科大学・工学部・助教

研究者番号: 10508435

(3) 連携研究者

()

研究者番号: