

令和元年6月26日現在

機関番号：14302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00975

研究課題名(和文) 認知科学的アプローチにより問題解決能力を育む高校物理カリキュラムの開発

研究課題名(英文) Development of high school physics curriculum fostering problem solving abilities through cognitive science

研究代表者

谷口 和成 (TANIGUCHI, Kazunari)

京都教育大学・教育学部・教授

研究者番号：90319377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)： 高校物理教育において「問題解決能力」を育成するために、その基本となる科学的思考の基礎となる「推論パターン」の習得と活用を促す、認知論的アプローチに基づく異なる物理授業を開発した。公立高校の2,3年生を対象に、年間を通して継続的に実践した結果、生徒の認知発達が促され、物理学習に対する動機づけが向上するとともに、物理の概念的理解および問題解決能力の向上が確認された。さらに、それを実現できる教員研修を実施し、本研究成果の教育現場への普及の可能性が確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、現在の日本の中高生の理科学習に対する課題として指摘されている、生徒の学習意欲の低さに対して、生徒の認知発達状況と学習内容の難易度の不整合に起因している可能性を質的・量的に指摘し、認知論的アプローチにより、それを向上させるだけでなく、問題解決能力の向上にも成功している。

この成果は、学習指導要領が目指す「主体的・対話的で深い学び」を実現する際の生徒を見取る新しい観点として現職教員に受け入れられているなど、社会的意義も高い。

研究成果の概要(英文)： In order to foster "problem-solving ability" in high school physics education, we developed physics classes based on a cognitive approach that promotes the acquisition and use of the "reasoning pattern" underlying scientific thinking. As a result of practicing continuously throughout the year for the second and third graders in public high schools, students' cognitive development was promoted, motivation for physics learning was improved, and conceptual understanding of physics and problem solving ability were improved.

In addition, we conducted teacher training so that in-service teachers could do it and the possibility of spreading this curriculum to the field of education was confirmed.

研究分野：科学教育・物理教育

キーワード：認知心理学 認知発達 物理教育 推論パターン 学習意欲 アクティブ・ラーニング

1. 研究開始当初の背景

高等学校学習指導要領において、課題解決能力の育成が目指されて久しいが、OECD-PISA 調査¹⁾および義務教育課程における全国学力テスト²⁾による日本の中高生の実態として、問題解決能力に課題があることが指摘されている。これらのことは、学習した範囲では科学的な知識を獲得しているものの、その知識を問題解決に用いる方法すなわち科学的思考の基盤となるいくつかの考え方＝「形式的操作の推論パターン」(例えば、変数制御、比例性、補償、蓋然性、相関性、形式的モデルの扱い、等)が身につけていない生徒が存在する可能性を示唆している³⁾。とりわけ、これらの推論パターンは高校物理を学習するにあたって必須であるものの、推論パターンの習得・活用を意識した授業やカリキュラムは提案されておらず、研究報告もほとんどない。

一方、英国には、認知科学を基盤とした【科学教育による認知促進(Cognitive Acceleration through Science Education: 以下 CASE)】プロジェクト、およびそこで開発された“Thinking Science”と呼ばれる、全30回で構成されるプログラム教材がある⁴⁾。このプロジェクトの核となる概念は【認知促進(Cognitive Acceleration: 以下 CA)】と呼ばれ、形式的操作の推論パターンの活用に焦点を当てた一連の授業(以下【CASE 授業】)を通して、科学的推論能力の育成を目指すものであり、この概念は英国のナショナルカリキュラムにも影響を与えている⁵⁾。このように、CAの概念は、現在の日本の中等物理教育における前述の課題を解決する可能性があるものの、日本の教育現場への導入の可能性を探る組織だった実践的な検討は、申請者らの研究グループが義務教育課程を対象に行っている⁶⁾のみで、高校の教育課程を対象とした研究はない。

2. 研究の目的

本研究では、中等教育における現在の教育課題である「問題解決能力」を育成する方法として、その基本となる「科学的推論能力」に着目し、認知論的アプローチを用いた物理授業および評価方法を開発し、その育成を目指した。具体的には、(1)生徒の「認知的な発達段階(以下、認知段階)」を調査し、科学的推論能力の基礎となる「シエマ(推論パターン)」の活用力を評価する方法を検討、開発する。その結果をふまえて(2)推論パターンの習得・活用力を育む「物理基礎」「物理」の授業を開発するとともに、学習意欲や物理概念の習得状況への影響を調査する。さらに、(3)高校3年間を通して、問題解決能力を段階的に育む物理カリキュラムを提案するとともに、それを実現する教員支援のための研修プログラムの開発を目指した。

3. 研究の方法

高校生の科学的推論能力を評価する調査問題を開発するとともに、京都府内の公立高校(研究協力者の勤務校)の2,3年生(A,B,Cクラス)を対象として、高2年次(認知論的アプローチ1年目)には、認知段階の調査結果に基づき、必要な【CASE 授業】によるCAを目指す。さらに、高3年次(同2年目)には、高校物理における各単元の学習内容をCAの視点で分析し、各単元の目標を授業の軸としつつ、各単元(学習)の特徴にあった「推論パターン」の獲得、活用を働きかける【CA 物理授業】およびカリキュラムを開発、実践する。なお、生徒の認知段階およびCAの達成度評価には英国の“Science Reasoning Tasks: 以下 SRTs⁷⁾”を用い、調査問題の開発にあたっては、SRTsによる調査結果および授業中の生徒の認知的反応との比較によって妥当性を検証する。また、開発した授業の評価として、物理概念の理解度を“Force Concept Inventory: 以下 FCI⁸⁾”、物理に対する学習意欲を「総合的動機づけ診断⁹⁾」、認知的な発達段階をSRTsを用いて、それぞれ各年次の開始時(4,5月)と終了時(2,3月)に調査し、各々の変容間の相関を調べ、生徒インタビュー等によって、その妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1)高校生の実態

はじめに、研究協力校における実践の初年次の学年(2年生)Cクラスの認知的な発達段階および学習に対する動機づけの実態について、SRTsおよび総合的動機づけ診断による調査を行った。SRTsの結果より、形式的操作段階に到達している生徒は2割程度しかおらず、約半数が具体的操作段階であることが明らかになった。これらの生徒は、高校物理で扱う抽象的な思考を前提とする学習に取り組む以前の大きな課題がある可能性を示唆している。

また、総合的動機づけ診断の結果(図1)において、【感情的要因】と【社会的環境】の下位尺度が際立って低いことがわかる。【感情的要因】は学習時の不快感情への耐性を、【社会的環境】は自己の学習に対する周囲の存在の有効性の認識を示していることを考慮すると、生徒は義務教育課程における物理分野に関する学習を、不快感情を伴わな

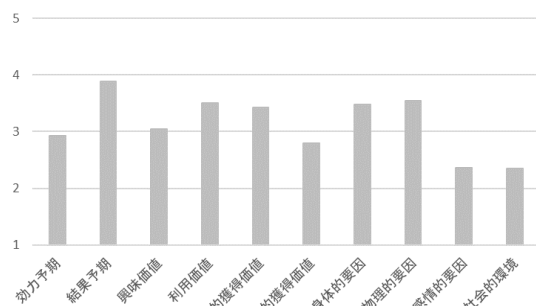


図1 物理学習の動機づけ状況

い限度で、他者との交流や協働の有効性を感じることなく行って来たことを示唆している。

したがって、認知論的アプローチ（両授業）では、思考することの効力感をいかに喚起するかに留意した。具体的には、適切な難易度の課題によって認知的葛藤を感じ、他者との話し合いを通して、それが解消されたり、理解が深まったりする過程を経験させ、積極的にメタ認知を促すなど、思考することを学習活動の中心におくはたらきかけを行った。

(2) 認知発達への影響

認知論的アプローチを実施したクラスA, B, Cと統制群の認知段階分布の変容を図2に示す。ここで、統制群は1年間でほとんど変容がないのに対し、実施群は全クラスでその促進が確認できる。特に、2年間にわたり継続的に実施したクラスCの変容が大きい。これは、まさに本アプローチの認知発達への寄与とともに、このようなはたらきかけなしには、その自然発達はほとんど生じないことを示唆している。

また、クラスCの結果から、実施2年次(1年目)よりも3年次(2年目)

に認知発達が促される傾向が確認できる。なお、クラスBは3年次に「物理」が開講されていないため、クラスBの3年次の認知発達の変容は【CASE授業】によるものと言える。

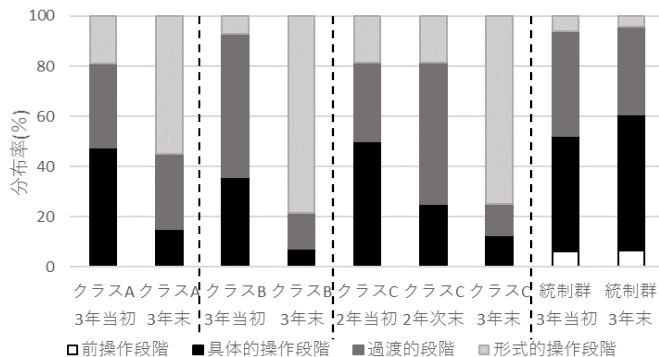


図2 認知的な発達段階の分布率

(3) 力学概念理解への影響

力学概念理解に対する授業効果を分析するために、クラスAとCのFCIの得点率を用いて「規格化ゲイン¹⁰⁾」の比較を行った。図3より、3年次のプレおよびポスト得点率および規格化ゲインとも、クラスCの方が高いことがわかる。その理由として、授業者の本授業スタイルへの「慣れ」による影響が考えられる。実際、クラスCは、1年先行して実施したクラスAでの実践の反省を活かし、グループワークの機会を増やすなどの工夫を行っている。特に、クラスCの2, 3年次を通じた2年間の規格化ゲインは0.44に達しており、【CA物理授業】が生徒のアクティブ・ラーニングを促していた¹¹⁾ことを示唆している。

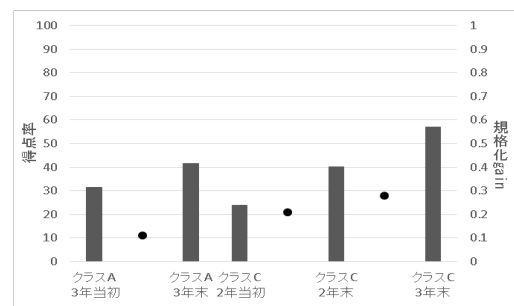


図3 FCIの得点率と規格化ゲイン

(4) 動機づけへの影響

本実践の物理学学習に対する動機づけへの影響について検証するために、ここでは、調査した10個の下位尺度のうち、有意な向上が確認された【感情的要因】と【社会的環境】について分析を行った。図4はクラスA~Cの各年次(1年間)のクラス平均の変容(差)を示している。図より、各クラスに共通して、2年次(1年目)は、【感情的要因】の変容はほとんどなく($t=0.63$)、3年次(2年目)に大きく向上する傾向(クラスA, C)があるが、【社会的環境】は1年目から大きく変容する傾向(特にクラスB, C)があることがわかる。つまり、【感情的要因】と【社会的環境】に変容があらわれる時期に“ずれ”が確認できる。

このことは、本授業スタイルに、生徒が段階的に適応した結果として解釈することができる。これはまさに、1年目に認知発達に焦点を当てて生じさせた認知的葛藤を討論によって解決を目指すCASE授業により、「自己の学びを支えてくれる存在」として周囲を認識し、スキーマの発達(推論パターンの獲得)が促された結果、2年目のCA物理授業において、授業者の課す物理の問題を正しく理解できたこと、すなわち、課題そのものの難しさに直面できたことにより、感情への揺さぶりが生じたことを示唆している。

ここで、クラスCの特徴的な変容に注目する。3年次の7月の時点では、2年次当初に比べて

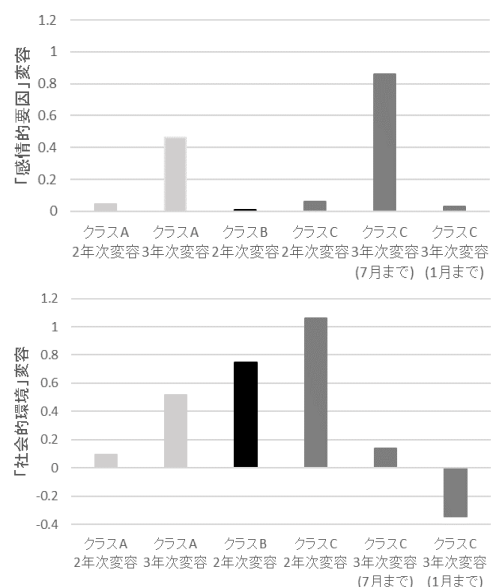


図4 動機づけの変容の時期

【感情的要因】、【社会的環境】とも上昇が確認できるものの、3年次末には両尺度とも大きく低下している。この変化は、ポスト調査の実施時期がクラスAとは異なり、実施校の授業がすでに終了した時期であったことが影響した可能性がある。すなわち、生徒の物理学学習に対する動機づけが、学ぶこと自体が「目的」である「内発的」なものではなく、自分の目標（就職、進学、卒業など）を達成するための「手段」である「同一化的」または「取り入れ的」なものであった可能性を示唆している。

(5)問題解決能力への影響

開発した科学的推論力をはかるパフォーマンス課題「ダチョウの卵で温泉卵をつくるには」を用いて、問題解決能力の経時的な変容を調査した。その結果、2年間の継続的な実践を行ったすべてのクラスにおいて、1年目の終了時では変容はほとんど確認されなかったが、2年目の中間を過ぎると、抽象的な変数への気づきや抽象的な課題に対する変数制御の習熟など、急激な成長が確認された。この結果は、認知論的アプローチが問題解決能力の向上に寄与したことを示唆している。さらに、(2)、(4)節で述べた認知発達および動機づけの変容の傾向とも矛盾しないことから、これらの相乗効果により、その向上が実現されていることが考えられる。このことは、実践後の生徒インタビューにおいても、それを示唆するコメントが多数出されたことからわかる。

(6)教員研修

開発した認知論的アプローチを教育現場に導入するためには、授業者の中で、認知発達および動機づけに関する理論的理解とファシリテーション能力をはじめとする実践力との融合が不可欠である。そこで、本研究の成果を活かし、それを旨とした教員研修講座を平成29、30年に開催した。その結果、“認知発達の視点での生徒の見取りの意義”“CASEプログラムの継続的な実施”“通常授業におけるシエマ（推論パターン）の積極・意識的な活用”など、本アプローチが生徒の学習に対する態度や動機づけの向上に寄与することに高い共感を得て、さらに「自分の勤務校でも実施したい」という前向きなコメントも多数出された。一方で、「認知論的アプローチの有用性は理解できたが、勤務校で実施するにはもっと事例研究など具体的な検討が必要」など継続的な支援の要求も出された。

(7)まとめと今後の展望

本研究において開発した認知論的アプローチは、生徒の認知発達を促すとともに、学習に対する動機づけを向上させ、それらの結果として物理概念の定着および問題解決能力の向上に寄与することが確認された。生徒の興味関心をひく教材研究やICTを用いたAL型の授業開発研究に注目が集まる傾向がある中で、本研究は、生徒の認知発達（物事をどのように捉えているか、捉えるか、といった本質的な能力）に注目した介入が、情意面への支援を含む介入となることを示した新規的なものである。実際、本研究の成果を現職教員研修のテーマとして用いたところ、受講者から高い評価を受けたことから、現在の教育現場のニーズに合ったものであることがわかる。今後、このアプローチを広く普及するために、授業者の理論的、実践的理解を保証する継続的な支援体制を構築していく予定である。

<引用文献>

- 1) OECD 生徒の学習到達度調査(PISA), 国立教育政策研究所：
<http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/index.html>
- 2) 教育課程研究センター「全国学力・学習状況調査」, 国立教育政策研究所：
<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/zenkokugakuryoku.html>
- 3) 高等学校学習指導要領解説 各学科に共通する教科「理数」編, 文部科学省 (2018).
- 4) P. Adey, M. Shayer and C. Yates, “*Thinking Science prof. edition (CD-ROM)*”, Nelson Thames (2003).
- 5) 小倉康, 「英国における科学的探究能力育成のカリキュラムに関する調査」, 国立教育政策研究所 (2004).
- 6) 例えば, 野ヶ山康弘, 谷口和成, 京都教育大学教育実践研究紀要 13, 63-71(2013), 等.
- 7) M. Shayer, P. Adey, “*Science Reasoning Tasks*”, Slough :NFER (1978).
- 8) D. Hestenes, et al., *The Physics Teacher* 30, 141-158 (1992).
- 9) 中西良文, 伊田勝憲, 三重大学教育学部研究紀要 57, 93-100 (2006)
- 10) R. Hake, *Am. J. Phys.* 66-1, 66-74 (1998).
- 11) E. Redish, “*Teaching Physics with the Physics Suite*”, Wiley (2003).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- (1) 野ヶ山康弘, 谷口和成, 伊藤崇達: 生徒の意欲を喚起する授業デザインの構築1, 京都教育大学教職キャリア高度化センター 教育実践研究紀要1, 査読なし, 101-109(2019).
- (2) 谷口和成: 深い学びに大切なこと - 動機づけとアクティブ・ラーニング -, 大学の物理教育 23-3, 査読なし, 132-137(2017).

DOI https://doi.org/10.11316/peu.23.3_132

- (3) 野ヶ山康弘, 谷口和成: 粒子概念の系統的カリキュラムに関する検討, 京都教育大学教育実践研究紀要 17, 査読なし, 105-115(2017).
- (4) 野ヶ山康弘, 谷口和成: ICT を活用したアクティブ・ラーニングによる論理的思考の育成, 京都教育大学教育実践研究紀要 16, 査読なし, 21-30(2016).
- (5) 北村貴文, 谷口和成: ILDs による概念理解に対する学習者の動機づけの影響, 物理教育 63-2, 査読あり, 12-17(2015).

〔学会発表〕(計 17 件)

- (1) 谷口和成, 松谷佳樹, 池田敏浩: 継続的な認知的支援による理科学習の動機づけと科学的推論力への影響 II, 日本物理学会 第 74 回年次大会(2019).
- (2) 山下哲, 谷口和成: シェマと物理概念の獲得の関係に注目した、認知発達に基づく高校物理授業の実践, 日本物理学会 第 74 回年次大会(2019).
- (3) 谷口和成, 彦野冬馬, 山下哲, 笠潤平, 覧具博義, 村田隆紀: アクティブ・ラーニング型授業における学習者の科学的推論力の物理概念理解への影響, 日本物理学会 2018 年秋季大会(2018).
- (4) 山下哲, 谷口和成: 認知発達を意識した高校物理授業の必要性とその効果, 日本物理教育学会 第 35 回物理教育研究大会(2018).
- (5) 石井哲夫, 谷口和成, 筒井和幸: 生徒の認知発達と高校物理授業改善の課題, 日本物理学会 2018 年秋季大会(2018).
- (6) 谷口和成, 山下哲, 野ヶ山康弘, 笠潤平: 児童・生徒の認知発達を踏まえた理科授業の効果と意義, 日本物理学会 第 73 回年次大会(2018).
- (7) 山下哲, 谷口和成: 認知的発達段階を考慮した高校物理授業の必要性とその効果, 日本物理学会 第 73 回年次大会(2018).
- (8) 谷口和成, 山下哲: 科学的推論能力の育成に着目した高校物理授業の効果 II, 日本物理学会 2017 年秋季大会(2017).
- (9) 山下 哲, 谷口和成: 科学的推論能力の育成に着目した高校物理授業の効果 2, 日本物理教育学会 第 34 回物理教育研究大会(2017).
- (10) 山下 哲, 谷口和成: 高校物理における '認知促進' プログラムと認知過程を重視した授業展開の可能性, 日本物理学会 第 72 回年次大会(2017).
- (11) 谷口和成, 山下哲: 生徒の認知発達に着目した高校物理授業の実践, 日本物理学会 2016 年秋季大会(2016).
- (12) 山下 哲, 谷口和成: 高等学校「物理基礎」における「科学教育による認知的加速(CASE)」の実践報告 2, 日本物理教育学会 第 33 回物理教育研究大会(2016).
- (13) 谷口和成, 齋藤孝: 相互作用型授業における学習者の変容の質的分析 II, 日本物理学会 第 71 回年次大会(2016).
- (14) 山下 哲, 谷口和成: 英国「認知促進」プログラムを組み込んだ高校「物理基礎」の展開と意義, 日本物理学会 第 71 回年次大会(2016).
- (15) 秋月康平, 谷口和成: 認知発達を促す授業の開発と実践 - 中学校理科「運動とエネルギー」振り子の学習を通して -, 日本理科教育学会第 65 回全国大会(2015).
- (16) 谷口和成: 児童・生徒の論理的思考力を育む理科授業のための CASE 教員研修, 日本理科教育学会第 65 回全国大会(2015).
- (17) 山下 哲, 谷口和成: 高等学校「物理基礎」における「科学教育による認知的加速(CASE)」の実践報告, 日本物理教育学会 第 32 回物理教育研究大会(2015).

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 村田 隆紀

ローマ字氏名: (MURATA, Takatoshi)

所属研究機関名: 京都教育大学

部局名: 教育学部

職名: 名誉教授

研究者番号(8桁): 10027675

研究分担者氏名: 笠 潤平

ローマ字氏名: (RYU, Jumpei)

所属研究機関名: 香川大学

部局名：教育学部

職名：教授

研究者番号(8桁): 80452663

(2)研究協力者

研究協力者氏名：山下 哲

ローマ字氏名：(YAMASHITA , Satoru)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。