

令和 7 年 6 月 6 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2024

課題番号：21K02885

研究課題名（和文）物理学履修者の基本概念理解に内在する認知段階因子と授業形態の研究

研究課題名（英文）cognitive stage factor and lesson styles inherent in understanding concepts of physics

研究代表者

庄司 善彦（Shoji, Yoshihiko）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・客員准教授

研究者番号：90196585

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本件は国内外の物理教育学会で未解決の問題に以下の回答を示した。(1) 科学的推論能力を評価するLCTSRスコアは、小学校高学年から大学院までの学齢に対して、ロジスティック関数に従う。この関数は、国籍および教育システムに依存しない。(2) 同一学生による回答統計的ばらつきは、全解答に対する正解率と同じ正解確率の2項分布のばらつきになる。(3) 日本の受験学習は物理概念の深い理解に寄与している。この寄与はLCTSRスコアが高いほど大きい。(4) 大学入学選抜試験のスコアとLCTSRスコアの相関はほとんどない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

初等物理学における誤概念とは、「2倍の重さの物体は、2倍の速さで落下する」といった、物理法則に反する概念である。この誤概念は日常体験に根ざすもので、この克服は容易ではなく、物理教育研究の重要課題の一つとされている。誤概念克服に効果の高い授業形態について、国内外で多くの研究が行われているが、日中韓における物理学習において重要な部分を占める大学受験対策に関しては、ほとんど研究されていない。本件は最初の本格的調査に基づき、受験対策の効果を評価する研究である。

研究成果の概要（英文）：This case provided the following answers to unresolved problems at physics education societies both in Japan and abroad. (1) The LCTSR score, which assesses scientific reasoning ability, follows a logistic function for ages from upper elementary school to graduate school. This function is independent of nationality and education system. (2) The statistical variability in answers by the same student is a binomial distribution with the same probability of correct answers as the rate of correct answers for all answers. (3) Examination preparation in Japan contributes to a deeper understanding of physics concepts. This contribution is greater for higher LCTSR score. (4) There is almost no correlation between university entrance examination scores and LCTSR scores.

研究分野：物理教育学

キーワード：大学受験 物理誤概念 認知発達 FCI ローソクテスト ジェンダー

様式 C - 19 , F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年米国を中心に発達した物理教育研究 (Physics Educational Research Based on Evidence) における最重要課題の一つが、物理法則に反する素朴誤概念 (naïve misconception) の克服である。これは「質量が2倍の物体は2倍早く落下する」といった日常経験に起因する思い込みであり、国の文化と無関係に根強く存在することが知られている。誤概念の克服は容易ではなく、克服は物理概念の深い理解とほぼ同義と解釈されることが多い。本件で用いるFCI (Force Concept Inventory) はニュートン力学の概念理解度を測る5択30問のアセスメントテストであり、33以上の言語に翻訳されて使われている。

(2) FCIは授業効果の測定にも使われ、その指標としてR. Hakeが提唱した規格化ゲインが、効果量 (Cohen's d) 以上に使われて標準となっている。講義前のスコアをSF1、講義後のスコアをSF2とすると、規格化ゲインは $GH = (SF2 - SF1) / (30 - SF1)$ で定義される。Hakeが米国における62の入門物理学コースを調査した結果、従来型の一方的講義スタイルの授業では講義前スコアSF1と無関係に $GH = 0.23 \pm 0.04$ であったのに対して、双方型授業では $GH = 0.48 \pm 0.14$ という高い値を示した。この調査結果からHakeは、双方型授業が学生の問題解決能力を高め、誤概念の克服に有効であるとし、この考えは物理教育分野で、現在に至るまで広く認められている。

(3) 大学の初等物理教育において、FCIスコアに寄与する授業形式以外の因子は”hidden variable”と呼ばれ、性別、数学の能力、空間視覚化能力、高校物理の修了、科学的推論能力、物理学への適性、性格、学習動機、家庭の経済環境、民族、IQ、SAT (Scholastic Aptitude Test) のスコア、所属クラスのGPA平均などが研究対象となっている。これらの因子の一つである科学的推論能力を測るアセスメントとして物理・生物分野ではLCTSR (Lawson's Classroom Test of Scientific Reasoning) が多く用いられている。選択式24問のテストであり、問1 から問20 までには、それぞれ2 問ずつが1 つの設問への解答とその理由を問うペアとなっている。LCTSRは被験者の保存概念、比例概念、変数制御、確率的思考、仮説演繹思考、といった抽象思考能力をテストし、J. Piagetの発達段階論に基づいた認知発達段階を判定する。LCTSRスコアをSLとすると、SL=0~10が具体的操作段階、SL=11~16は前期移行段階、SL=17~20が後期移行段階、SL=21~24が形式的操作段階とされる。V.P. Colettaらはこの科学的推論能力を、FCIスコアとゲインに寄与する最重要因子の一つとしている。

(4) これらHakeやColettaらの報告に反するかのようなデータをL. Baoらが報告したことが、本研究の動機となった。彼らは米中の中堅大学理工学部への新生を対象とした、FCIスコアとLCTSRスコアの分布を比較した。米国ではSF=18に達した学生割合が30%であったのに対して、中国では98%であった一方、論理能力を示すLCTSRのスコア分布は米中で一致し、日本の中堅大学工学部新生の分布もこれらにほぼ一致した。中国の高校教育の驚くべき点は、従来型授業でありながら、概念理解が困難とされる低SLの学生層が低認知段階に留まったまま誤概念を克服していることである。

(5) P.R. GrossはBaoらを批判し、米中の学生の推論能力に差がない結果に大きな意味はないとした。Grossは様々な分野の学習において「事実の認識」と「科学的推論」は不可分であり、中国

の教育も意図せずに推論能力を発達させると述べ、他方の米国では推論能力の発達を促す探究型学習が組織的に行われており、米中の効果が一致したか、ともに効果がないかのいずれかであると主張した。R. HakeもGrossを支持し、中国における高いFCIスコアに対しては、従来型授業で最大とされる規格化ゲイン0.3を中学から高校卒業までの5年間維持することで可能、という、やや無理のある解釈を示した。

(6) 他方でBaoらのグループは論文の supporting online material を公表し、抽象概念処理能力が年齢とともに発達するとしてPiagetの発達理論に対応する定量的データを示した。ただしそのスコアにはシーリング（天井効果）があり、伸びは大学入学時点で止まるとした。これは、認知発達に関するGrossの意見への定量データによる反論となったが、中国における高校教育の特異な成功の理由を示すデータではなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究の対象は日本における受験対策の学習効果である。この学習形態は米国の高校教育制度には無く、逆に中国においては高考と呼ばれる大学入学選抜が日本の大学入試以上に過酷とされている。日本の教育は米国と中国の間に位置すると考えるならば、我々の日本の受験対策に関する研究は、誤概念克服に成功した中国の教育に対する理解を進めるはずである。

(2) 日本の受験対策は志望校の過去問を解くことに時間を割く。学習者は能動的に問題を解き、回答に対する評価と説明がフィードバックされるので、能動的かつ双方向型であると言える。しかしその教育目的は「物理法則の理解」よりは「正解に至る手順の獲得」である。前者は宣言的知識（declarative knowledge）、後者は手順的知識（procedural knowledge）の獲得であり、これらは異なる能力に対応する。従って本研究からは、教育手段と獲得能力の関係性に対する知見も期待できる。

3. 研究の方法

(1) 本件で扱うデータは、2016年度から2024年度にかけて国内大学の様々な学部と講義で得られたFCIへの回答7332件とLCTSRへの回答4045件である。大学におけるデータ収集に際しては、学籍番号の他に高校における履修状況、センター試験または共通テストの科目選、さらに性別への回答を求めた。

(2) 学部生に加え、学部で回答済みの大学院生に対してもLCTSRへの回答を求めた。

(3) 授業効果と受験学習効果別に、LCTSRスコアに対するFCI スコアをグラフ化することで、各段階の教育の誤概念克服に対する寄与が明らかにする。

4. 研究成果

(1) ローソンテストのスコアが、小学校高学年から大学院生に至るまでの広い学齢層で、ロジスティック関数に従って伸びていることを示した。しかもこの関数形は、同じ学齢に対して中、米、日で差がないことも示した。

(2) 高校における物理基礎履修効果は僅かで、物理基礎への受験対策効果が高いSLで見えている程度であった。高校物理履修はFCIスコアを押し上げ、受験対策によってさらに上昇している。そして受験対策によるFCIスコアの上昇は、受験生のLCTSRスコアに強く依存していた。この依存はV. Colettaが示した様々な授業の効果の中で、最も強いLCTSRスコア依存性を示した

授業と同程度であった。

(3) 本研究の学問的課題は「中国の高校教育はどのようにして、認知能力の未発達な学生の物理概念理解を可能にしているのか」であった。我々はこの課題に対して受験対策の効果という仮説を立て、これを実証しようとしたが、我々が得た結果は「受験対策学習によって誤概念克服が進むのは、認知発達段階の高い高校生」であり、仮説に対して否定的であった。

(4) 一方我々は解明の手がかりとなる2つの学習効果を確認できた。その一つは、テストの高得点を目的とする受験対策が、物理概念の理解を深める手段としても機能した点の客観データに良い確認である。議論による深い理解への道筋が演繹的であるならば、問題演習による道筋は帰納的であり、誤概念克服には全く異なる道筋が存在するのである。もう一つの手がかりは、問題に正解できるスキルは認知発達が不十分であっても獲得できていることを示す客観データの確認である。FCIへの正解が認知発達を必要としないならば、FCIへの正解が入試問題への正解の延長上にある可能性がある。これは一般に非効率とされるこの道筋を、中国における教育時間の長さが高い効果を実現させている可能性を示唆している。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Y. Shoji, S. Munejiri, and E. Kaga	4. 巻 17
2. 論文標題 Validity of Force Concept Inventory evaluated by students' explanations and confirmation using modified item response curve	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Phys. Educ. Res.	6. 最初と最後の頁 20120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020120	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 該当する

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 斉藤 準
2. 発表標題 物理学実験科目における学習成果と認知段階因子との関係
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 野村和泉
2. 発表標題 物理を専門としない学生の学力及び科学的認知力テストの結果について
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 庄司善彦
2. 発表標題 誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子（5） - ガウス分布を仮定した解析 -
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 庄司善彦
2. 発表標題 学生の認知発達を、客観的かつ定量的に測るローソンテスト
3. 学会等名 大学教育学会課題研究周回
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 庄司善彦
2. 発表標題 誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子(4) 性因子
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshihiko Shoji
2. 発表標題 Surprising CoRespondence of the Score of LCTSR to School Age
3. 学会等名 ARE Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 庄司善彦
2. 発表標題 学齢に対する、ローソンテストのスコアの伸び
3. 学会等名 物理教育学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 庄司善彦
2. 発表標題 誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子(4) 性因子
3. 学会等名 物理教育学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 庄司善彦、宗尻修司、野村和泉、斉藤準
2. 発表標題 誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子 高校生は、どのような学習で誤概念を克服しているか
3. 学会等名 日本物理教育学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 斉藤準、庄司善彦、宗尻修司、野村和泉
2. 発表標題 フレンド型実験授業における学習成果と認知段階因子との関係
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 庄司善彦、宗尻修司、野村和泉、斉藤準
2. 発表標題 誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子 高校生は、どのような学習で誤概念を克服しているか
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 庄司善彦, 宗尻修治, 野村和泉, 斉藤準
2. 発表標題 FCIゲインに寄与する認知段階因子と学習形態因子(1)
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 庄司善彦, 宗尻修治, 野村和泉, 斉藤準
2. 発表標題 FCIゲインに寄与する認知段階因子と学習形態因子(2) -解答変化から見た誤概念克服過程-
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 斉藤準, 宗尻修治, 野村和泉, 庄司善彦
2. 発表標題 フレンド型実験授業における学習成果と認知段階因子との関係
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2022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	宗尻 修治 (Munejiri Shuji) (90353119)	広島大学・先進理工系科学研究科(総)・准教授 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	斉藤 準 (Saito Jun) (90757668)	帯広畜産大学・畜産学部・准教授 (10105)	

	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	野村 和泉 (Nomura Izumi)	中部大学・工学部・非常勤講師 (33910)	

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