

## 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25年6月10日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500801

研究課題名（和文） 科学的な評価と研究の手法を導入した物理教育の改善

研究課題名（英文） Research-based Evaluation and Improvement of Physics Instructions

研究代表者

新田 英雄 (NITTA HIDEO)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号：50198529

研究成果の概要（和文）：物理教育の改善をもたらすための科学的な研究手法と評価方法を開発・改良した。特に、ピア・インストラクションを導入した物理授業を大学初年次および高校2年次に対して実践し、その中で事前・事後テストによる定量的な授業分析と評価、ピア・インストラクション時の議論前・議論後正答率の詳細な数値データに基づく理解度と議論効果の定量的な分析等を進めた。その結果、授業の分析と評価を定量的に行い、それを授業改善につなげていくという科学的な物理教育の改善ループが実現可能であることが示された。

研究成果の概要（英文）：Scientific methods of data analysis and evaluation for improving physics lectures have been developed. Peer Instruction has been implemented in the introductory physics course for freshmen as well as for high-school students. Data obtained from the pre-post tests and from the Peer-Instruction Efficiency have been used for quantitative analyses of students' understanding of physics and the effectiveness of discussion among students. Our results suggest that it is possible to establish a loop of improving physics lectures by these scientific methods of quantitative analysis and evaluation of lectures.

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	450,000	1,950,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：物理教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：物理教育研究，相互作用型授業，ピア・インストラクション，授業評価

### 1. 研究開始当初の背景

科学技術がますます高度化し、さらに、環境問題・エネルギー問題等が世界的に大きな課題になっている今日、物理教育・理科教育の重要性は、これまでになく大きなものになっている。しかし、理科に関心を持つ若者の減少、とりわけ物理離れは世界的に進行しており、その原因の究明と効果的な対策の実施

が強く求められている。これを受けて、1980年代から認知心理学などの関連科学の発展を取り入れることによって物理教育を科学的な研究の対象としてとらえる「物理教育研究(Physics Education Research: PER)」とそれに基づく物理教育改革が、欧米を中心に急速に発展している。特に、生徒・学生の物理概念の理解や科学的態度を数値的に分析し、

さらに授業の効果を標準テストによって数値化していくという研究手法が、多様な教育方法の効果や問題点を定量的に比較することを可能としたことは注目に値する。例えば Hake は、様々な大学・高校の 6400 人もの学生に対して実施された力学概念標準テスト (FCI) の事前・事後テストの結果を規格化ゲインという量を導入して比較し、伝統的な講義型の授業では、たとえ優れた授業であっても力学概念を獲得させることは困難であり、授業の効果は能動的学習法を取り入れた授業の半分以下であることを数値的に示した (R.Hake, Am. J. Phys. 66 (1998) 64)。

米国では上記のような科学教育研究のデータに裏づけされ、「物理教育研究に基づいた (PER-based)」を標語とした物理授業の改善が進み、Laws らの開発した Workshop Physics やそれを大規模化した MIT の TEAL, Mazur が開発した Peer Instruction (PI), Redish らの進める UMD Tutorial, Interactive Lecture Demonstration (ILD) などの active-learning (能動的学習法) が、効果の数値的な裏付けをもとに多くの大学ならびに高校で広がっている。世界的な理工系離れの風潮の中、米国では高校での物理履修登録者数が 1986 年の 17% から 2005 年には 31% へとほぼ倍増しているが、物理教育研究に基づく教育改善がその要因のひとつと考えられる。

一方、本研究開始時点のわが国では、新しい教育手法や IT 教材の導入などの研究は行われていたものの、その効果を客観的に検証しながら教育をシステムティックに改善する物理教育研究は、その試みが始まったばかりであった。例えば、新しい教育改善を試みても、事後アンケートでは「興味を持てた」「楽しかった」といった感覚的な測定で終わっているものが多く、学生の学力をどれだけ伸ばせたかを示す授業効果そのものを数値化し比較するという研究は進んでいなかった。そのため、異なる大学間、高校間における物理授業の効果を比較することは困難となっていた。また、米国の研究成果に基づいた能動的学習法に対する組織的な研究は、少数の研究グループで行われてはいるものの、評価を含めた形での試行は部分的な段階にとどまっていた。

そのような背景の中で、研究代表者 (新田) は、本研究の連携研究者 (佐藤, 谷口, 松浦, 覧具, 笠) および研究協力者 (石井, 右近, 岸澤, 湯口ほか) とともに、すでに平成 18 年以来、物理教育改善に向けたグループ研究を推進してきた。その中でさらに、米国メリーランド大学の E. F. Redish 教授 (海外共同研究者) 他欧米の指導的な物理教育研究者との研究連携ネットワークを構築してきた。

## 2. 研究の目的

上記のような背景に立ち、本研究では、物理教育の改善をもたらすための物理教育・科学教育に対する科学的な研究の手法を開発・改良し、これに基づいてわが国の教育環境に適合する実施可能で効果的な教育手法や教材を、可能な限り客観的で定量的な裏付けを添えて開発し検証することを目的とした。具体的には、欧米を中心に発展している物理教育研究の手法と様々なそれに基づく能動的学習方式 (相互作用型授業) の調査を深化させるとともに、従来から提唱されているわが国独自の教育方式の物理教育研究の観点からの検討などを行い、これらの方式をわが国の教育の実情に適合した形で導入して教育改善を図るための実践研究を行った。また、研究成果の国際会議や英文論文発表を通じて、わが国の物理教育の国際交流拡大をはかった。

## 3. 研究の方法

相互作用型授業には様々な種類があるが、本研究では、東京学芸大学の物理基礎講義および附属高等学校において、研究協力者とともにピア・インストラクションを導入した相互作用型授業を展開し、それを中心に科学的評価と物理学習者の概念形成過程を実践的に研究した。また、連携研究者および研究協力者による物理教育研究会を開催した。一方、海外共同研究者 Redish 教授の博士課程学生 M.Hull 氏を東京学芸大学に受け入れ、チュートリアル型授業の導入を試行すると同時に、Hull 氏の博士論文の調査研究に協力した。

## 4. 研究成果

### 2010 年度

(1) 力学概念理解度調査のための標準テストの開発と精緻化: 米国で開発された理解度測定のための代表的な標準テスト FCI (Force Concept Inventory) については、すでに研究代表者らによる和訳が作成され複数の大学・高校で利用が始まっていたが、連携研究者、研究協力者とともに訳文を精緻化した。なお、旧訳と新訳において、測定結果に有意な差が出ないこと、すなわち旧訳の統計的な結果は継続的に比較対象とできることを検証した。

(2) ピア・インストラクション方式による相互作用型授業の開発: 高等学校物理 I 及び大学基礎物理学において、研究協力者とともにピア・インストラクションによる相互作用型授業の実践的开发を行った。2010 年度は、ピア・インストラクションに適した設問の作成と試用、ICT を活用した実験との併用、小テストとの組み合わせ等を試みた。また、

(1) の FCI を科学的な授業評価の指標として用い、Hake ゲインを算出したところ、0.39

という値を得た。なお、ピア・インストラクションの教育効果を数学的に記述する理論の構築を開始した。

## 2011 年度

(1) ピア・インストラクション方式による相互作用型授業の改善：2010 年度に引き続き、高等学校物理 I 及び大学基礎物理学において、研究協力者とともにピア・インストラクションによる相互作用型授業の実践的開発を行った。2011 年度は、e-learning の導入による個人学習の促進を行い、引き続きピア・インストラクションに適した設問の作成、ICT を活用した実験の併用、小テストとの組み合わせ等を試みた。また、議論をするグループ数を 3, 4, 5 人と変化させ、どの人数が最も PI 効率が大きいかを調べたところ、4 人グループが最も効果的であるとの結論を得た。さらに、ピア・インストラクションの教育効果を数学的に記述する理論を発展させ、実践結果を分析した。

(2) 認知心理学の見解に基づく物理初学者の物理概念形成過程の研究：物理概念の獲得は、日常知をベースとした素朴概念が邪魔をして困難となることが知られている。しかし、その科学的分析は十分になされているとは言えない。物理教育をより改善していくためには、物理概念の獲得過程において初学者が抱える困難を詳細に分析し、それらへの適切な対応策を授業に取り入れられない限り、効果的な教育方法や教材をより発展的に開発することは難しい。そこで、初学者への面接調査を行い、物理概念獲得における困難を詳細に分析した。また、知覚過程と素朴概念の関係に関する調査研究を並行して行った。

## 2012 年度

(1) 基礎物理調査の改善の試行：標準質問紙の改善：本研究の一部として訳文を完成させた標準力学テスト FCI(Force Concept Inventory)を実施してきた。一方、FCI の実施に 30 分を要することが問題点として挙げられており、より短時間で終了する標準テストの作成が望まれている。そこで本研究では、日本で開発された 10 分程度で終了する「物理基礎調査」に着目して継続実施し、FCI との相関を調べてきた。しかしながら、FCI との相関は代替として利用できるほどには強くなかった。そこで平成 24 年度は「物理基礎調査」の問題を一部修正して、FCI との相関に変化があるかを調べたが、期待されるほどの相関の強まりは見られなかった。

(2) 相互作用型授業の改善と評価法の開発：相互作用型授業の実践研究としてピア・インストラクションを基盤とした授業の実践研究を引き続き行った。特に平成 24 年度は、先行オーガナイザーとしての予習とメタ

認知促進としての授業の振り返りを導入し、一層の授業改善と新たな評価基準の策定を試みた。その結果、振り返りの記述の充実度と FCI ゲインとの間に相関が見出された。これはメタ認知を深めることにより物理学の理解が促進されることを示唆している。

(3) 初学者の物理概念把握に関する基礎研究：昨年度に引き続き、学生・生徒への面談等による初学者の物理概念の理解過程に関する基礎研究を行った。平成 24 年度は、高校生 5 名に対し個別指導を行なったときのプロトコル分析によって理解過程を調べた。個別指導の技術的部分では市川の開発した「認知カウンセリング」の手法を援用した。調査研究の結果、初学者の物理理解はほとんどが不完全な状態にあることが明らかとなった。なお、個別指導の効果を評価するために、コロラド大学の開発した CLASS を和訳して用いた。事前事後調査から、個別指導によって科学的な見方・考え方が向上することが明らかとなった。

## 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 11 件)

- ① 新田英雄, アフォーダンスから見た素朴概念, 物理教育通信, 査読無, 150 巻, (2012) pp.30-35.
- ② 新田英雄, 大学院生の物理教育研究, 物理教育通信, 査読無, 149 巻, (2012) pp.55-56.
- ③ 新田英雄, 素朴概念の分類, 物理教育, 査読有, 60 巻, (2012) pp.17-22.
- ④ 新田英雄, アフォーダンスと物理教育, 大学の物理教育, 査読有, 17 巻, (2011) pp.104-107.
- ⑤ 安田淳一郎, 植松晴子, 新田英雄, 力学概念指標 (FCI) 和訳版の妥当性評価, 物理教育, 査読有, 59 巻, (2011) pp.90-95.
- ⑥ 新田英雄, 塚本浩司, FCI(Force Concept Inventory)とは何か, 大学の物理教育, 査読有, 17 巻, (2011) pp.16-19.
- ⑦ 新田英雄, ピア・インストラクションとは何か, 日本物理学会誌, 査読無, 66 巻, (2011) pp.629-632.
- ⑧ 新田英雄, 物理教育シンポジウム「高校の物理, 大学の物理—そしてその接続—」, 大学の物理教育, 査読無, 17 巻, (2011) pp.56-57.
- ⑨ Hideo Nitta, Mathematical theory of peer-instruction dynamics, Phys.Rev. ST Phys.Educ.Res., 査読有, 6 巻, (2010) pp.020105-1-020105-4.
- ⑩ H. Takahashi and H. Nitta, Peer Instruction at Japanese High School

Physics, AIP Conference Proceedings, 査読有, 1263 巻, (2010) pp.191-192.

- ⑪ 新田英雄, 物理教育委員長として, 日本物理学会誌, 査読無, 65 巻, (2010) pp.837-837.

[学会発表] (計 12 件)

- ① 新田英雄, 森口真靖, ピア・インストラクションは「発達の最近接領域」を刺激するか?, 日本物理学会 2013 年年会, 2013 年 03 月 26 日, 広島大学 (広島県).
- ② 新田英雄, 工藤知草, ピア・インストラクション型授業の理論的分析と評価, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 09 月 20 日, 横浜国立大学 (神奈川県).
- ③ 新田英雄, 川島愛美, 西村壘太, ピア・インストラクションを導入した授業実践とその評価, 2012 年度物理教育研究大会, 2012 年 08 月 11 日, 北海道大学 (北海道).
- ④ Hideo Nitta, Mayuko Koh, *Naive Conceptions in Terms of Affordance Theory*, World Conference on Physics Education, 2012 年 07 月 05 日, Bahcesehir 大学 (イスタンブール, トルコ).
- ⑤ 新田英雄, アフォーダンス理論と素朴概念, 日本物理学会 2012 年年次大会, 2012 年 3 月 25 日, 関西学院大学 (兵庫県).
- ⑥ 新田英雄, 工藤知草, 松浦執, ピア・インストラクションを導入した物理入門講義の展開, 2011 年 9 月 23 日, 富山大学 (富山県).
- ⑦ H.Nitta, H.Kawakatsu, A.Kobayashi, Fukushima Nuclear Accident and Science Literacy, International Conference on Physics Education 2011 (招待講演), 2011 年 8 月 16 日, Instituto Politécnico Nacional (Mexico City, Mexico).
- ⑧ 新田英雄, 素朴概念の分類, 2011 年度日本物理教育学会年会第 28 回物理教育研究大会, 2011 年 8 月 9 日, 広島県情報プラザ (広島県).
- ⑨ 新田英雄, 素朴概念の分類, 日本物理学会第 66 回年年次大会, 2011 年 3 月 25 日, 新潟大学 (新潟県).
- ⑩ 新田英雄, 工藤知草, 川島愛美, Bordogna-Albano の「教授-学習過程の数理モデル」に基づくピア・インストラクションの解析, 日本物理学会平成 22 年度秋季大会, 2010 年 9 月 25 日, 大阪府立大学 (大阪府).
- ⑪ H. Nitta, H. Takahashi, and M. Kaneta, Peer Instruction Efficiency: Measuring the Effectiveness of Peer Instruction,

GIREP-ICPE-MPTL 2010, 2010 年 8 月 25 日, Centre des Congres, Reims (France).

- ⑫ 新田英雄, ピア・インストラクションによる力学授業と FCI による評価, 2010 年度物理教育学会年会第 27 回物理教育研究大会, 2010 年 8 月 9 日, 関西大学 (大阪府).

[図書] (計 1 件)

- ① エドワード・F・レディッシュ著, 日本物理教育学会監訳, 科学をどう教えるか, 丸善出版, (2012).

[その他]

神奈川県教育委員会教員研修での ICT を活用した物理授業の講義担当:

- ① 実践的授業力向上研修講座～新学習指導要領が目指すもの～〔理科(物理)〕 生徒実験の基礎「生徒同士の議論を取り入れた授業」2011 年 8 月 24 日, 神奈川県立総合教育センター善行庁舎 (神奈川県)
- ② 講座名: 生徒実験の基礎研修講座 1 物理「生徒応答システムによる生徒同士の議論を取り入れた授業」2010 年 7 月 28 日, 神奈川県立総合教育センター善行庁舎 (神奈川県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

新田 英雄 (NITTA HIDEO)  
東京学芸大学・教育学部・教授  
研究者番号: 50198529

### (2) 連携研究者

佐藤 実 (SATO MINORU)  
東海大学・理学部・講師  
研究者番号: 10328099

谷口 和成 (TANIGUCHI KAZUNARI)  
京都教育大学・教育学部・准教授  
研究者番号: 90319377

松浦 執 (MATUURA SHU)  
東京学芸大学・教育学部・教授  
研究者番号: 70238955

覧具 博義 (LANG HIROYOSHI)  
東京農工大学・工学部・名誉教授  
研究者番号: 50302914

笠 潤平 (RYU JUMPEI)  
香川大学・教育学部・教授  
研究者番号: 80452663