

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350187

研究課題名(和文) 学習者相互作用を重視した物理授業とその科学的な分析・評価法の開発

研究課題名(英文) Developing a method of interactive-learning-oriented physics teaching and its scientific analysis and evaluation

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：学習者相互作用を重視した相互作用型の物理授業を実践的に開発すると同時に、その効果を科学的に分析・評価し、教材開発・授業改善につなげていく方法を研究開発した。具体的には、授業実践によって得られたFCIスコアやPI効率等のデータを定量化し、授業の効果ならびに教材を数値的に比較検討できるような分析方法を開発した。また、開発した分析方法およびデータと学生との面接調査の結果を踏まえ、初学者の思考過程を詳細に分析・分類した。さらに、分析結果に基づいた授業および教材の開発および改善を行う授業開発のループを実証することを試みた。

研究成果の概要(英文)：Interactive lectures of physics have been developed with a method of analysis and evaluation of the effectiveness of these lectures. Specifically, data obtained from lectures, such as the FCI scores or the PI efficiencies, are evaluated quantitatively for the purpose to enable comparing the effectiveness of various lectures. Using the obtained data, the method of evaluation and data from interviews to students, we have investigated in detail how novices understand physics. Based on these results we attempt to establish the loop of lecture-analysis-improvement.

研究分野：物理教育

キーワード：相互作用型授業 分析と評価 ピア・インストラクション FCI

### 1. 研究開始当初の背景

科学技術が急速に高度化していき、それに伴って環境問題・エネルギー問題等が世界的な課題となっている今日において、物理教育の充実を図ることの意義・重要性は過去になく大きなものとなっている。しかしながら、物理学に関心を持つ若者の減少は深刻さを増しており、その原因の究明と効果的な教育手法の開発が、科学教育研究の重要課題の一つとなっている。

一方、海外においては、物理教育研究 (Physics Education Research, PER) に基づくインタラクティブな授業(相互作用型授業)の方が伝統的な知識伝達型の授業より高い教育効果を示すことが数値的に示されたのを契機に (Hake,1998), 相互作用型授業が急速に普及している。特に米国では、物理教育研究 (PER) に基づいた物理授業の改善が進み、Mazur によって開発されたピア・インストラクション(PI), Redish (海外共同研究者)らの進める UMD チュートリアル, Sokoloff らによる Real Time Physics や Interactive Lecture Demonstrations (ILDs) などの相互作用型授業が、PER による授業効果の数値的な裏付けをもとに多くの大学に普及してきた。その結果、米国での物理履修率は 1980 年代後半より上昇し続けており、これら物理教育の相互作用型授業への転換の成果は、化学や宇宙科学といった他の自然科学教育さらには数学教育にも影響を与えてきた。

我が国においても、米国を中心とした海外の PER の成果への関心が 2006 年の東京における物理教育国際会議の開催を契機として急速に高まっていたものの、相互作用型物理授業の実践は残念ながら一部にとどまっていた。その原因としては、相互作用型授業の実践例、教材例の不足が挙げられるが、それだけでなく日本において相互作用型授業が効果的であることの科学的根拠が明示されていないことが背景にあると考えられた。この理由としては、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科学的に数値化し比較する手法が確立されていないことが挙げられた。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が困難となっていた。

本研究代表者は、2010 年度～2012 年度実施の基盤研究 (C)「科学的な評価と研究の手法を導入した物理教育の改善」(研究代表者：新田英雄)において、ピア・インストラクション (PI) を導入した物理授業の試行を行い、その授業効果を科学的に示すために、力学概念テスト FCI (Force Concept Inventory) を事前・事後調査に用いて Hake の規格化ゲインを求め、さらに個々の PI を数値的に評価する「PI 効率」を導入した。また、上記の FCI の和訳版を共同で作成し、日本の研究者・教育者が FCI を広く使用している基礎をつくった。以上が本研究に取り組

み始めた当時の状況である。

### 2. 研究の目的

本研究は、1 で述べた研究をさらに発展させ、学生間、学生と教師、学生と実験 (現象) といった、学習者相互作用を重視したインタラクティブな物理授業 (相互作用型の物理授業) を実践的に開発すると同時に、その効果を科学的に分析・評価し、教材開発・授業改善につなげていく方法を研究開発することを目的としたものである。具体的には、主に次の 3 項目について明らかにすることを目指した。

- (1) 規格化ゲインによる授業評価や、PI 効率といった教材の数値化が評価基準として効果的であることを実証すること。
- (2) 数理モデルにより標準的な学生の応答を抽出することによってピア・インストラクションのような相互作用型授業の効果を数値化すること。
- (3) 上記(1),(2)からのフィードバックと、学生・生徒の発話プロトコルの詳細な分析に基づいた、授業および教材の開発および改善を行うこと。
- (4) 上記(1),(2),(3)を、図 1 に示すような授業開発のループとして確立すること。

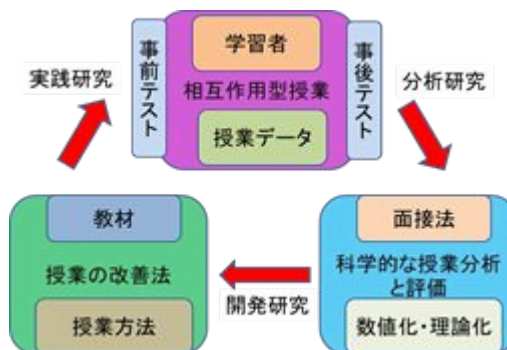


図 1: 研究と授業開発のループ

### 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。定量的なデータを得る手段としては、FCI による事前・事後調査、PI の議論前・議論後正答率及び PI 効率を主に用いた。また、予習状況やメタ認知 (振り返り) の定量化の試みや、面接法によって得られたプロトコルおよび PI のグループ討議のプロトコルの分析も行った。さらに、生徒・学生の学習姿勢の定量化のために CLASS の導入も試行した。また、図 1 の改善ループの実施のため、研究協力者らと定期的にミーティングを持

ち、常に前年度までのデータを参照しながら、教材の検討と改善を行った。

#### 4. 研究成果

##### 2013 年度

大学におけるピア・インストラクション (PI) 型物理基礎講義について、数理理論との比較を行い、PI の効果と学習内容との関連等を定量的に分析した(論文, )。また、高校物理において、従来の FCI を用いた規格化ゲインの算出や誤答分析、PI 効率を用いた定量分析に加え、予習状況および「振り返り」の効果を定量化することを試みた(論文, )。

これらの定量的な分析から明らかになったこととして、主に以下の3点がある。

(1) 議論前に誤答であったが議論後に正答に変化する割合を学生ごとに求め、個人ゲイン(Hake の規格化ゲインの定義を個人単位に流用した量)と比較したところ、誤答から正答に変化した PI 回数が多い学生ほど、個人ゲインが低いという傾向があることがわかった。これはヴィゴツキーの発達最近接領域理論を単純にあてはめると説明できない傾向である(論文)。

(2) 規格化ゲイン、PI 効率ともに男女差の大きい問題があることが明らかになった。FCI の規格化ゲインは海外で知られているジェンダー差とほぼ等しい値となった。また、PI の議論前正答率では男女で正答率が2倍以上も異なる問題があることが分析から明らかになった。このような男女差が物理教育で生じていることは深刻な問題であるといえる(論文)。

(3) 高校で前年度の授業の定量分析に基づいて授業を修正したが、期待したほどの差は規格化ゲインに現れなかった。すなわち、今後、定量分析に基づく授業改善の方法を再検討していく必要があることが明らかになった。

##### 2014 年度

2013 年度の研究経過を受けて、主に次の(1)~(3)に取り組んだ。

(1) 2013 年度に引き続き、大学におけるピア・インストラクション(PI)型物理基礎講義(「物理学概論」)において PI の効果と学習内容との関連等を定量的に分析した。また、昨年度の高校物理における実践研究で生徒から教師へのフィードバック機能の有効性が示された「振り返り」(メタ認知)活動を、e-learning システム(WebClass)からの入力で取り入れることを試みた。その結果、特に PI の設問に関してのメタ認知活動が促進されることが示唆された。また、「振り返り」活動における学生の疑問に授業で回答する等、相互作用型の授業構成と改善にも活用できることがわかった。

(2) 2013 年度の研究で、規格化ゲイン・PI 効率ともに男女差の大きい問題があることが明らかになった。また、それが高校物理学

習以前に生じていることが示唆された。そこで、FCI を小学校・中学校で実施し、男女差がどの学習段階で生じているのかを調査した。その結果、小学校6年生で6.9%、中学校3年(力学分野未習段階)で8.5%、男子が女子を有意に上回っていることがわかった。

(3) 学習指導の形をとりながら学習者の物理思考過程を think aloud 方式で記録したプロトコルを詳細に分析した。その結果、初学者はテストの正答率から想像されるよりもかなり低い水準の物理概念理解に留まっていることが示唆された(論文, )。

##### 2015 年度

引き続き上記の研究を行うとともに、以下の3項目についての研究を重点的に行うとともに、研究の総括を行った。

(1) CLASS( Colorado Learning Attitude about Science Survey) を用いた調査を試行し、物理学習に対する学習者の姿勢や期待を定量化することを試みた。具体的には、石本美智氏(高知工科大)と共同で CLASS の和訳を行うとともに、10名ほどの学生による妥当性評価を実施し、その和訳版 CLASS を高校生と大学生に試行した。その結果、FCI と CLASS の間に、男子学生には弱い相関があるのに対し、女子学生には有意な相関がないことが分かった。この結果は、物理概念理解と学習姿勢との関連においてジェンダー差があることを示唆している。物理教育におけるジェンダー差に関する今後の研究が必要である。

(2) FCI の誤答を、Hestenes らの「誤概念分類表」に基づいて分類し、物理学習者の持つ困難の傾向を詳細に分析した。その結果、誤概念にもジェンダー差が見られることが明らかになった。

(3) PI における生徒間の議論のプロトコルをグループごとに分析することや、think aloud 方式による物理学習者の問題解決時における思考過程の詳細な分析を行い、定量的なデータの背景にある生徒の思考過程を調査した。

以上の2013年度~2015年度の研究により、図1に示した授業改善のループが機能することが実証されたと考えられる。しかしながら、一方では、本研究のループは複数の研究者、研究協力者が多くの時間をかけて実現できるものであることも明らかになった。すなわち、現場の教員が単独で図1のループを完全に行うのは困難である。教員もグループを形成し、協働しながら科学的な分析と評価に基づく授業改善を行うことが重要である(論文)。

なお、本研究は高く評価され、2014年度に日本科学教育学会論文賞を受賞した(論文)。また、2015年度には物理教育国際会議 ICPE2015 および日本科学教育学会において招待講演を行った。

## 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 10 件)

新田英雄, 国際物理教育委員会 ICPE, 大学の物理教育, 22-1 (2016) pp.2-3, 査読無.

新田英雄, 研究領域としての物理教育, 日本物理学会誌, Vol.71 (2016) pp.40-43, 査読無.

新田英雄, 植松晴子, 森口真靖, 物理教育に潜むジェンダーギャップ, 大学の物理教育 20S (2015) S53-S56 査読有.

平本健太, 新田英雄, 個別指導による生徒の思考過程の分析, 物理教育 62-3 (2015) pp.167-170 査読有.

新田英雄, 松浦執, 工藤知草, ピア・インストラクションを導入した物理入門講義の実践と分析, 科学教育研究 38-1 (2014) pp.12-19 査読有. DOI: 10.14935/jssej.38.12

西村壘太, 新田英雄, 「振り返り」を導入したピア・インストラクション型授業, 物理教育 62-1 (2014) pp.7-12 査読有.

Ruita NISHIMURA, Hideo NITTA, A Peer-Instruction-based Physics lecture at High School in Japan, JPS Conf.Proc. Vol.1 017030 (2014) 査読有. DOI: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.1.017030>

新田英雄, ピア・インストラクションとその分析, 大学の物理教育 20-2 (2014) pp.71-74 査読有.

新田英雄, 物理概念形成過程の研究手法としての個別指導, 物理教育通信 154 (2013) pp.35-39 査読無.

新田英雄, 森口真靖, 「発達の最近接領域」から見たピア・インストラクション, 大学の物理教育 19-3 (2013) pp.92-95 査読有.

[学会発表](計 10 件)

新田英雄, 石本美智, CLASS の和訳とその試行, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月 18 日, 関西大学(大阪府).

H. Nitta, Quantitative Analysis of Peer Instruction, (招待講演) The International Conference on Physics Education, 2015 年 8 月 Beijing, China.

新田英雄, 科学教育セミナー「ピア・インストラクション型授業とその定量的分析」(招待講演) 日本科学教育学会第 39 回年会, 2015 年 8 月山形大学(山形県).

新田英雄, 金森大和, 宮崎達朗, 堀井孝

彦, 小中高大で実施した力概念調査 FCI に見られるジェンダー差, 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 24 日, 早稲田大学(東京都).

新田英雄, 金森大和, ピア・インストラクションと FCI に見られるジェンダー差 II, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9 月 7 日中部大学(愛知県).

新田英雄, 金森大和, ピア・インストラクション型授業におけるジェンダー差, 第 31 回物理教育研究大会, 2014 年 8 月 11 日, 電気通信大学(東京都).

新田英雄, 森口真靖, 工藤知草, 西村壘太, ピア・インストラクションと FCI に見られるジェンダー差, 日本物理学会 2014 年年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 東海大学(神奈川県).

西村壘太, 新田英雄, ピア・インストラクション型授業の改善 II: メタ認知と FCI ゲイン, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 27 日, 徳島大学(徳島県).

平本健太, 新田英雄, 個別指導による物理概念の形成過程の研究, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 27 日, 徳島大学(徳島県).

H. Nitta, T. Kudo, R. Nishimura, and N. Moriguchi, Data analysis of Peer Instruction, International Conference on Physics Education (ICPE 2013), 2013 年 8 月 6 日, Prague, Czech Republic.

## 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

植松 晴子 (UEMATSU HARUKO)  
東京学芸大学・教育学部・准教授  
研究者番号: 70225572

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

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