

令和元年6月19日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00952

研究課題名(和文) 相互作用型授業とその知識・理解及び学習姿勢を複合した分析・評価法の開発

研究課題名(英文) Development of interactive lectures with complex methods of analysis and evaluation of knowledge, understanding, and learning attitudes

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、相互作用型の物理授業の分析・評価を、学習者の物理学習に対する期待や態度(学習姿勢)を含めたものにまで拡張することによって、定量的分析・評価の機能を向上させ、教材開発・授業のさらなる改善につなげた。具体的には、国際比較が可能な学習姿勢の調査法CLASSの導入、開発した分析方法と授業効果の定量的分析方法との複合的な分析、学習姿勢におけるジェンダー差の調査・分析、知識・概念理解と学習姿勢とを共に向上させる授業・教材の開発および改善の4項目を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

教育の質保証の観点から「評価手法の研究・開発」の必要性が指摘されてきているが、具体的な評価方法に関しては模索が続いている。本研究の成果である学習姿勢と知識・理解との複合かつ定量的な評価法の確立は、この学術的要請に、物理教育研究として、一定の成果を示した意義があると考えられる。また、例えば、学習姿勢調査CLASSと力の概念調査FCIとの複合的分析により、物理の知識・概念理解だけでなく学習姿勢をも向上させる授業法を開発することで教育実践の改善につながれると期待され、この意味で社会的意義を有すると考える。

研究成果の概要(英文)：The method of analysis and evaluation of interactive physics lectures has been extended to the expectation and attitudes about physics learning. The quantitative analysis and evaluation for physics classes have been improved by introducing the questionnaire about learning attitudes. Specifically, we (1) introduce the questionnaire about learning attitudes, CLASS, which enables us to compare Japanese results with other countries, (2) analyze the effectiveness of lectures quantitatively by using the developed questionnaire and physics concept inventories, (3) analyze the gender differences by using the questionnaire, and (4) develop teaching methods and materials based on the data obtained.

研究分野：物理教育

キーワード：学習姿勢調査 定量的評価 CLASS 相互作用型授業 ジェンダー差

1. 研究開始当初の背景

極めて高度化した科学技術のさらなる発展と、それに伴う環境問題・エネルギー問題への対応が世界的課題となっている今日において、科学教育、特に物理教育の充実を図ることは空前の意義・重要性をもつものとなっている。ところが、わが国を含む先進国一般において、自然科学に関心を持つ若者の減少、とりわけ物理離れは深刻さを増しており、その原因の究明と効果的な対策が科学教育研究の重要課題となっている。

そのような中、海外においては、米国を中心とした物理教育研究 (PER) を土台として、上述の重要課題の解決に向けた多くの研究が行われてきた。特に、学生間、学生と教師、学生と実験・現象の観察といった、学習者相互作用を重視したインタラクティブな授業 (相互作用型授業、「アクティブ・ラーニング」に対応する) は、伝統的な知識伝達型の授業に比べて高い教育効果を示すことが定量的に明らかとなってきた。特に、力学授業に関する Hake の大規模調査によって、伝統的な講義形式の授業は相互作用型授業と比較して「半分」以下の効果しかないことが明らかにされてから (R. Hake, *Am. J. Phys.* **66** (1998) 64)、相互作用型授業の普及と開発が PER ベースで急速に進んだ。その結果、ピア・インストラクション (PI)、WU・UMD チュートリアル、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広がるとともに、米国での物理履修率は上昇した。さらに、物理教育の相互作用型授業への転換の成果が他分野の自然科学教育、数学教育にも影響を与えた。

一方、PER はいくつかの難問にも直面している。その一つは、物理の学習によって得られるものに対する期待 (expectations) や「科学的なものの見方・考え方」を身に付けようとする学習態度 (attitudes) (本報告書ではこれら学習への期待・態度を「学習姿勢」と呼ぶ) が、伝統的な講義だけでなく相互作用型授業においても授業後に低下する傾向にあるという問題である (A. Madsen, et al.: *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **11** (2015) 010115)。学習姿勢は 21 世紀スキルとして重要視されているコンピテンシーを直接反映するものであり、その向上は知識・理解の向上と同等以上に重要と考えられている。そのため、問題の打開に向けた実践的研究が、様々な授業形態で行われている。しかし、学習姿勢と知識・概念理解をともに向上させる授業方法は、未だ確立されていない。

もう一つは、ジェンダー・ギャップ問題である。物理についての関心や学力 (成績) に男女差があることは古くから教員の知るところではあったが、物理教育研究が進むにつれて、その実態が定量的に示されるようになった。Madsen らは、FCI (Force Concept Inventory) 等の概念調査を用いた米英の調査結果をメタ分析し、平均 13% の得点差 (ジェンダー・ギャップ値という) があることを見出した (A. Madsen, et al.: *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* **9** (2013) 020121)。また、Madsen らはジェンダー・ギャップ値が生じる原因を詳細かつ多角的に検討したが、要因は見出されなかった。

上記の学習姿勢とジェンダー・ギャップという 2 つの問題は、現在も PER の重要課題となっており、米国をはじめ世界の多くの大学で精力的に研究されている。一方、わが国においては、本研究を開始する時点においては、研究が殆ど行われていないのが現状であった。本研究は、国際的に未解決であり、国内的には未開拓となっている課題に取り組んだ研究として位置づけられる。

2. 研究の目的

本研究では、相互作用型授業における知識・概念理解と学習姿勢の複合的な定量的分析・評価法と、それに基づく授業・教材の改善法を開発するものである。具体的には、以下の 4 項目を包括的に研究することを目的とした。

- (1) 本研究代表者および石本美智 (連携研究者) によってつくられた和訳版 CLASS (Colorado Learning Attitudes about Science Survey) をベースに、学習姿勢のパラメータを可能な限り定量化し、様々な授業形式に対し学習姿勢の影響を数値的に比較検討できるような分析方法を開発すること
- (2) 上記 (1) で開発した分析方法と、これまでに開発してきた物理の知識・概念理解に関する授業効果・学習効果の定量的分析方法とを複合化し、従来の知識・概念理解のみに注目してきた分析・評価法に、新たに学習姿勢のパラメータを導入した形で初学者の学習過程を詳細に分析する道を拓くこと、またその有効性を定量的に明らかにすること
- (3) 上記 (2) の分析方法に基づき、海外で重要視されている物理教育におけるジェンダー・ギャップに関するデータを我が国においても蓄積し、詳細に分析・評価すること
- (4) 上記 (1) ~ (3) の結果に基づき、知識・概念理解と学習姿勢とを共に向上させると同時にジェンダー・ギャップを縮小する授業法および教材開発を行うこと

なお、多肢選択問題による統計データだけでは学生の思考過程を詳細に分析することはできないため、学生間の議論および面接のプロトコル分析を取り入れた定性的な調査も併せて行い、定量的な分析・評価を補完した。

3. 研究の方法

最初に、ピア・インストラクション、ILDs 等による相互作用型授業の実践を行いながら和訳版 CLASS と FCI 等による事前・事後調査結果の複合的な分析・評価方法を開発した。分析方法としては、今までの Hake の規格化ゲインや本研究代表者の開発したピア・インストラクション効率に加え、現代テスト理論を用いた定量的な能力値および新たなゲイン (Rasch ゲイン) の導入を試みた。一方、詳細な定性的分析としてピア・インストラクションの議論プロトコルの分析を実施した。なお、分析・評価においては、常にジェンダー別の分析を加え、ジェンダー・ギャップの把握を行った。

次に、分析・評価結果に基づいて、授業・教材の改善を行った。授業方法としては、ピア・インストラクションをはじめとする既存の相互作用型授業に加え、新たに素朴概念を積極的に克服させる授業法としてコンフリクトマップに基づく授業実践を試みた。

さらに、上記の定量的な分析・評価からのフィードバックによって開発・修正した教材と授業法を実践し、さらにそのデータを分析・評価することにより授業改善の程度を数値化するという、定量的な分析・評価と授業改善のループ構造を実証的に研究した。また、様々な高校から CLASS 実施結果の提供を受け、総合的な結果を米中の結果と定量的に比較し、学習姿勢における日本の生徒の特徴を見いだすことを目指した。

4. 研究成果

本研究において具体的に論文として発表してきた主な研究成果(執筆中を含む)について述べる。

(1) ジェンダー・ギャップについて

力学分野の授業で行った力学概念理解度調査 FCI、ピア・インストラクション、ワークシートへの記述等から得られるデータに基づいて、ジェンダー差を分析した。その結果、「研究開始当初の背景」で引用した Madsen らによる英米の値 13%と同程度のジェンダー・ギャップ値が日本の高校・大学にも存在することを見いだした。また、FCI の誤概念分類表に基づいて誤概念の程度を示す指標として「誤概念保持率」を導入して定量的に誤概念のジェンダー差を調べたところ、顕著な差を示す誤概念があること等が分かった。特に、「自己中心的な観測系」、「質量は運動を止めさせる」、「回転のインペタス」においては 2 倍以上もの正答率の差が生じる場合が見られた。また、ジェンダー差の大きい誤概念に焦点を当てて授業を行うことによるジェンダー・ギャップ値の変化を調べた。その結果、一定の改善が見られる場合とそうでない場合が生じ、必ずしも教員の意図通りに改善されるわけではないことがわかった。この結果は Madsen らの分析結果とも整合している。

(2) 素朴概念を克服させる授業法の開発

本研究ではピア・インストラクションをはじめ既存の相互作用型授業を実施しながら分析・評価と授業改善を行うものであるが、素朴概念を積極的に克服させることを意図した授業法として新たにコンフリクトマップに基づく授業を実践的に研究した。Tsai によって提唱されたコンフリクトマップ (C. Tsai: Int. J. Sci. Educ. 22 (2000) 285-302) は、初学者に対し、自らが持つ素朴概念を乗り越えさせて正しい概念に変容させ、それを保持させるような授業を構成することを目的としている。具体的には、素朴概念と正しい科学的概念とのコンフリクト(認知的葛藤)とその超克過程を明示し、概念変容の流れに基づいて授業を構成するためのマップである。

本研究では、コンフリクトマップの効果を詳細に分析するため、少人数の学生を対象としてコンフリクトマップによる授業を行い、発話の分析によって、学生の思考過程に沿った概念変化の様子を調べた。具体的には、まず FCI を実施し、調査対象の学生に見出された素朴概念を克服させるコンフリクトマップを作製し、その実践における課題を試行発話法 (think aloud) で行わせ、プロトコル分析を実施した。

その結果、生徒に認知的葛藤を生じさせる課題ほど、素朴概念の変容に効果があることが分かった。なお、FCI によって測定した Hake ゲインの平均値は 0.53 であり、少人数 (8 人) 対象という限定的な状況ではあるものの高いゲインが得られている。このことは、科学的な概念獲得におけるコンフリクトマップの効果の高さを示唆している。一方、効果的なコンフリクトマップを構成する作業には、多くの時間がかかることが現実的な課題として残った。授業でのコンフリクトマップの効果的な使用方法としては、素朴概念が強固に残ることが知られている学習課題に絞って用いることが、本研究結果から推奨されるコンフリクトマップの実践的な利用法といえるだろう。

(3) 現代テスト理論の導入による定量分析の精密化

Hake の規格化ゲインによって、授業効果は、大学や高校の学力差などを超えて、0 から 1 に規格化された値で比較できるようになった。しかしながら、規格化ゲインは、順序尺度である正答率に基づいて定義されているため、足し算したり割り算したりといった演算を行うことに科学的な意味を持たせることができない。また、一般にテストの正答率は学生の能力を直接表す量ではなく、設問や母集団によって影響を受ける。これらの限界を克服するには、古典テスト理論に

基づくのではなく現代テスト理論による分析を行う必要がある。そこで本研究では、定量的分析のさらなる精密化を図るために、現代テスト理論を用いた FCI の解析を行った。具体的には Rasch モデルを用いた解析を行った。

その結果、Rasch モデルに基づくゲイン (Rasch ゲインと命名) が、極めて自然な形で導入されることが分かった。また、Rasch ゲインが、クラス平均値と個人平均値が一致しないといった、Hake ゲインの欠点を有しないことを明らかにした。

(4) CLASS を用いた複合的な分析

学習姿勢調査 CLASS は、全 42 問からなり、物理を学んだことのない学生でも回答可能なように記述されている。また、物理以外の教科にも使えるようにできている。作成においては、学生へのインタビュー調査、記述調査等で改良を重ねている。回答は、リッカート尺度の 5 段階 (5. 強く同意する ~ 1. まったく同意しない) から選択させ、専門家的 (Expert like) な回答を「好ましい回答」として集計する。なお、集計結果は 8 項目のカテゴリー (Real World Connection: RWC, Personal Interest: PI, Sense Making/Effort: SME, Conceptual Connections: CC, Applied Conceptual Understanding: ACU, Problem Solving General: PSG, Problem Solving Confidence: PSC, Problem Solving Sophistication: PSS) に分類評価される。

本研究では CLASS 和訳版を用い、複数の高等学校において物理学習姿勢の調査を行った。得られた結果を米国の大学及び中国の高校における CLASS 実施結果と比較したのが図 1 である。項目間の違いを見るために、図 1 は平均値で規格化してある。

図 1 から、日本の高校生の特徴として、米国の大学生、中国の中等学校生に比べて「意味を考える努力 (SME, sense making/efforts)」の項目が相対的に高い一方、「問題解決の自信 (PSC, Problem Solving Confidence)」が相対的に低いことが見出された。なお、学習姿勢スコアの絶対値は米国・中国と比較して低いが、米中では事前調査に比べて事後調査のスコアが大きく低下しているのに対し、日本では事前・事後での値はほとんど変わらないという結果を得た。

また、FCI ゲインと CLASS の相関はほとんど見られなかった。これは米国、中国で見出されている結果と同様である。

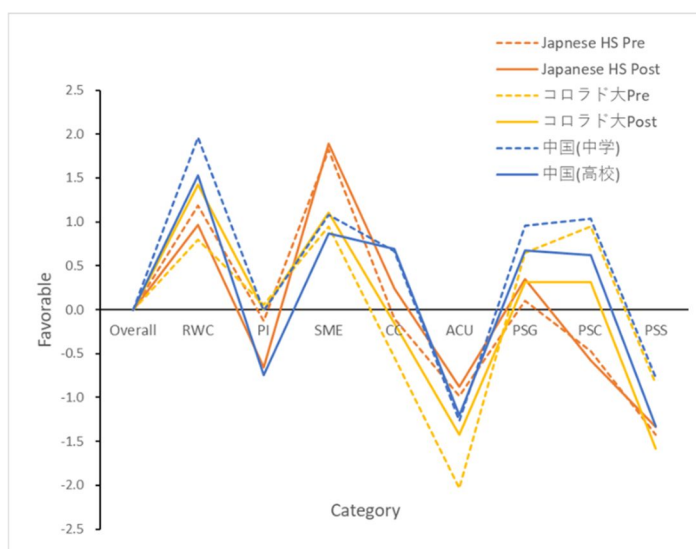


図1 CLASSの国際比較 (相対値)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

Hideo Nitta and Takuya Aiba, An Alternative Learning Gain Based on the Rasch Model, The Physics Educator, 査読有, Vol.1 No.1, 2019, pp.1950005-1 -1950005-7

DOI:10.1142/S2661339519500057

西村 聖太, 新田 英雄, 形成的評価の活用は概念理解と学習姿勢を向上させるか, 物理教育, 査読有, 66-4, 2018, 243 -248

太善 良介, 新田 英雄, 物理教育におけるコンフリクトマップの実践的研究, 物理教育, 査読有, 66-2, 2018, 99 -104

金森 大和, 新田 英雄, FCI とピア・インストラクション型授業にみられるジェンダー差, 物理教育, 査読有, 65-3, 2017, 139 -144

新田 英雄, 日本の相互作用型授業と物理教育研究, 物理教育, 査読無, 64-3, 2016, 204 -208

[学会発表] (計 19 件)

江藤 開, 新田 英雄, CLASS と FCI による学習姿勢と理解度の分析, 日本物理学会 2018 年秋季大会, 2018

新田 英雄, 物理初学者が抱える数学的困難, 2018 年度日本物理教育学会年会第 35 回物理教育研究大会, 2018

西村 聖太, 新田 英雄, 形成的評価の活用は概念理解と学習姿勢を向上させるか, 2018 年度日本物理教育学会年会第 35 回物理教育研究大会, 2018

宗形 操, 新田 英雄, コンフリクトマップを用いた高校物理授業, 2018 年度日本物理教育学

会年会第 35 回物理教育研究大会, 2018

江藤開, 新田英雄, CLASS (Colorado Learning Attitudes about Science Survey)による学習姿勢の調査と因子分析, 2018 年度日本物理教育学会年会第 35 回物理教育研究大会, 2018

Hideo Nitta, QUANTITATIVE ANALYSES OF INTERACTIVE LECTURES ON INTRODUCTORY PHYSICS (Invited Keynote), International Conference on Modern Trends in Natural Science and Advanced Technologies in Science Education ICNS2018, 2018

新田英雄, 概念変容モデルとコンフリクトマップ, 日本物理学会 第 73 回年次大会 (2018 年)

新田英雄, 相葉拓哉, 植松晴子, 項目応答理論による FCI の分析 - 新しい学習ゲインの定義 -, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017

西村壘太, 新田英雄, アクティブ・ラーニング型授業と聴衆応答システムを活用した形成的評価 II, 第 34 回物理教育研究大会, 2017

新田英雄, 概念調査に関する評価法の再検討 - テスト理論の立場から -, 第 34 回物理教育研究大会, 2017

Hideo Nitta, Takuya Aiba, Haruko Uematsu, The Hake gain and the Rasch gain: An alternative approach to calculate learning gains, The GIREP-ICPE-EPEC 2017, 2017

後藤敬祐, 新田英雄, ピア・インストラクションのプロトコル分析, 日本物理学会第 72 回年次大会, 2017

新田英雄, 物理教育研究から見た数学と物理 (「数学と理科の融合教育の可能性」シンポジウム招待講演) 2016 年度数学教育学会秋季例会, 2016

後藤敬祐, 新田英雄, ピア・インストラクションのプロトコル分析, 日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016

太箸良介, 新田英雄, コンフリクトマップを使った授業方法の改善, 2016 年度日本物理教育学会年会第 33 回物理教育研究大会, 2016

相葉拓哉, 新田英雄, ピアインストラクション型授業における教育的効果の統計的分析, 2016 年度日本物理教育学会年会第 33 回物理教育研究大会, 2016

清水滉大, 新田英雄, 電気回路における素朴概念の分類, 2016 年度日本物理教育学会年会第 33 回物理教育研究大会, 2016

西村壘太, 新田英雄, アクティブ・ラーニング型授業と聴衆応答システムを活用した形成的評価, 2016 年度日本物理教育学会年会第 33 回物理教育研究大会, 2016

Hideo Nitta, Gender gap on FCI at various ages, 2ND World Conference on Physics Education, 2016

〔図書〕(計 1 件)

Maurício Pietrocola, Ian Lawrence, Ton Ellermeijer, Trinh-Ba Tran, Marcia Begalli, Uta Bilow, Hideo Nitta 他, Springer Nature, *Physics Education to Meet the Needs of Society*, 2019, pp.87-98

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

(旧連携研究者)

研究協力者氏名: 石本 美智

ローマ字氏名: (ISHIMOTO, Michi)

研究協力者氏名: 植松 晴子

ローマ字氏名: (UEMATSU, Haruko)

研究協力者氏名: 谷口 和成

ローマ字氏名: (TANIGUCHI, Kazunari)

研究協力者氏名: 松本 益明

ローマ字氏名: (MATSUMOTO, Masuaki)

研究協力者氏名: 笠 潤平

ローマ字氏名: (RYU, Junpei)

(研究協力者)

研究協力者氏名: 西村 壘太

ローマ字氏名: (NISHIMURA, Ruita)

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。