

令和 5 年 6 月 11 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01065

研究課題名(和文) アクティブラーニング型初年次物理学コースデザインと標準テストによる効果検証

研究課題名(英文) Active learning course design and assessment on university basic physics course

研究代表者

千代 勝実 (SENYO, Katsumi)

山形大学・学士課程基盤教育院・教授

研究者番号：80324391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：15回の授業を通して体系的に教育効果を高めるための大学初年次物理学コースをデザインした。既存のコースを小単元に分解し、アクティブラーニング型授業で再構成し、また、能動的に参加する講義実験を開発し、学生の理解度と定着度を高めた。また、コースデザイン改善のためのPDCAサイクルを構築し、コースの評価と検証を行った。これらにより、学生の入学時の準備状況と教育効果の相関を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの大学初年次物理学教育では、講義と比較して、実験はアクティブラーニングとしての改善があまりなされてこなかった。そこで、講義で行う物理学実験を軸に、アクティブラーニングとしての効果を最大限に高めるための15回の授業コース設計を行い、また教育効果を測定した。個々の授業内活動だけでなく、コース全体としての教育効果に焦点を当てたことに高い教育的意義がある。

研究成果の概要(英文)：A first-year university physics course was designed to systematically enhance educational effectiveness. The existing course was broken down into small units and was reconstructed with active learning activities. Lecture experiments were developed that allowed students to participate actively, thereby increasing their understanding and retention. A PDCA cycle was constructed for course design improvement and evaluations and verifications of the course were conducted. Through these efforts, the correlation between students' preparedness upon enrollment and educational effectiveness was evaluated.

研究分野：高等教育研究

キーワード：STEM教育 物理学 標準テスト アセスメント アクティブラーニング

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、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の大学教育改革の中で、AP/DP/CPによる入口から出口までの教育目標の設定とそれを実現するための教育の体系性の重要性が意識されている。また個別授業においてもシラバスに基づいた教育内容の開示が行われてきている。このように大学教育における枠組みづくりにおいては系統的な教育活動が進んでいる。しかしコースの内部では、教育内容、単元のならびやその教育の深さ、教育手法について積極的に提示されていない。また教育効果の測定も授業改善アンケートやGPAなどの間接指標が中心で、改善に直接結びつくプレ・ポストでの標準テストの実施といった直接指標による評価は行われていない。

ところが昨今、アクティブラーニング型講義に関する教育効果測定が進展するにつれ、アクティブラーニングの従来の一方向型知識伝達講義に対する優位性が示されただけでなく、その手法により有効度が異なること、学生の事前の学習水準により適切な手法が異なること、必ずしもこれまでの教育項目の順序的・体系的な並びが適切ではないこと、がわかってきた。

本来、学位を授与するための学位プログラムは、学習小単元の単純な総和ではなく、小単位における様々な教育活動や教員と学生、学生同士の相互作用の中で有機的にコースが成立し、それをカリキュラム中に配置することにより体系的なプログラムとして存在できる。このような教育の体系性を考えたときに「アクティブラーニング型授業をどのように実施するのが効果的か」という、小単元・単元・コース間の有機的な結合を意識的に活用し、コース全体において系統的に教育効果の測定を行う手法を確立することを考えた。

そこで我々は、アクティブラーニング型講義と従来型講義間での定量的な効果測定と検証がなされている初等力学など大学初年次物理学科目において最も効果的なコースデザインを研究するという着想に至った。この分野で研究する利点は、世界的なデファクトスタンダードである力学概念調査(FCI)をはじめとした標準テストが存在し優劣を示す分析方法もほぼ確立されており、教育目標は学生が単に計算問題が解けるようになることではなく、物理学の概念を獲得し応用できるという合意が得られていることである。このため、初等力学のコース全体についても他の分野に比べて比較的容易に定量的な優劣を示すことができる。

また、コース自体の最適化とその手法を確立することにより、プレ・ポストで標準テストを用いた直接指標による教育の効果測定と評価改善手法の普及を目指した。

## 2. 研究の目的

昨今、STEM教育つまり理系教育が注目を浴びているが、大学の物理教育においては、米国で開発されたアクティブラーニング型授業の実践研究が特に精力的に行われている。一例としては、マズールの開発したピア・インストラクションの方法についての、新田の実践研究が挙げられる<sup>1</sup>。これらの教授法での学習目標は、知識習得ではなく物理概念の理解であり、その学習評価においては、デファクトスタンダードな定量的・客観的な指標として力学概念指標(FCI)などの標準テストを用いてベンチマーキングすることが標準的である。

また、理系の学生参加型授業としては各種実験を忘れることはできない。しかし実験授業は様々な設備と専用の教室、多くの教員やTAが必要であり、多数開講することは難しい。申請者のグループ「物理学講義実験研究会」(以下、本研究会)は、大がかりな実験設備と実験室が必要ないアクティブラーニング型実験として講義実験に着目し、我が国の大学教育に沿ったアクティブラーニング型授業の開発に取り組んできた<sup>2</sup>。講義実験とは、実験室ではなく講義室で実施可能な実験のことであり、教員が教卓等で実演する演示実験と、学生が机の上で行う机上実験が含まれる。ただし、実験を学生にただ単純に見せるだけでは、学生の興味をひく程度の効果しか認められず、学習内容の定着という観点からは効果が低いということが明らかになっている。そこで本研究会では、現代的なアクティブラーニングの手法を導入し、効果的な講義実験、特に系統的講義実験の実施法について、これまで研究を継続してきた。

系統的講義実験では学生が実験前に結果を予想するための仮説を立て議論を行う。さらに実験結果を評価し、仮説を検証する、さらに検証を受けて実験のパラメータを変更し仮説を立てるといった過程を繰り返す。これより学生が物理概念を認知的に構築する。従来の一方向的知識伝達型講義では外から物理概念に関する情報を得ることになるが、系統的講義実験では学生自身が仮説検証を繰り返し、発見的かつ主体的に物理概念を獲得する。

しかし、これまでなされてきた多くのアクティブラーニング型授業の開発研究と同様、本研究会が開発してきた系統的講義実験や教授法は、小単元での物理概念獲得を中心とし1~3回程度の授業回を想定したものであり、先行研究・実践と同様必然的にコースデザインがパッチワーク的なものとなる。そのため、各々の講義実験・教授法が、1コース15回の授業を構成する上でいかに有機的に統合されるべきか深く検討されず、従来の一方向的知識伝達型授業でのコースデザインを踏襲していた。そこで本研究課題では、大学初年次物理学コースについて、授業目標、授業方法、小単元の教授順序や体系、成績評価等をアクティブラーニング型授業を主とした

手法に最適となるよう再構築し、系統的にデザインする。

また、その教育効果を検証するため、コース全体を通じた学生の到達度を客観的に評価する。具体的には、開発したコースと同様の小単元を含む、従来の一方的な知識伝達型コースと比較し、コース受講前・受講直後・受講半年後に標準テストを実施し、学生の到達度と定着度を比較する。これらのコースおよびその評価を学びの準備状況が異なる大学においても行い、コース全体および小単元ごとの到達度を比較し、教育効果の違いを検証する。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、大学初年次物理学コース、その中で実施する系統的講義実験を含むアクティブラーニング型授業に焦点を絞る。その上で、授業目標、授業方法、小単元の教授順序や体系、成績評価等を統合的に設計し客観的に評価を行うことで、次のことを明らかにする。

1. 個々のアクティブラーニング型の授業手法を有機的に構成しコース全体としてアクティブラーニング型の授業手法が系統性を持つ大学初年次物理学コースをデザインする。
2. 開発したアクティブラーニング型コースと従来の一方的な知識伝達型コースにおける、学生の到達度と定着度の相違を明らかにする。
3. 開発したアクティブラーニング型コースの、学びの準備状況が異なる大学間での教育効果の相違を明らかにする。また、その相違の要因を仮説として提示し検証する。

物理概念の獲得においては、必ずしも教科書の並び順で学習していくことが適切とはいえない。例えば、初等力学の初期に学ぶ等速直線運動と重力による等加速度直線運動は非常に簡単でどの学生もすぐに習得できるように見える。しかしこれらを単純に組み合わせた放物運動においては、物体の軌道に沿った力がはたらいっているという誤概念を学生が持っているということが物理教育研究でわかっている。つまり簡単に見える2つの運動を学生は形式的に理解しているだけで、概念を適切に習得し応用できているわけではない。したがってコースデザインではこの3つの運動を個別に学習するのではなく、放物運動を学ぶ際に系統的講義実験を含む様々なアクティブラーニング手法を用いて、学生自身が3つの運動について矛盾のない概念を発見的に構成するよう実施する。同様の例は円運動における遠心力や力学的エネルギー保存則にも当てはまる。

また、標準テストの実施においては、5大学が地理的に離れていることから、ペーパーベースのテストとともに、山形大学で実用化し現在基盤力テストや大学と学生間の情報提供のワンストップ化に利用している「YUポータル」スマートフォンアプリの利用も検討する。このアプリを使用して項目反応理論など現代テスト理論に基づくテストの実施や個々の学生にカスタマイズされたアンケートを実施することが各大学でも可能である。以上のように学習水準の異なる大学間で系統的にコースデザインを実施する体制を整えている。

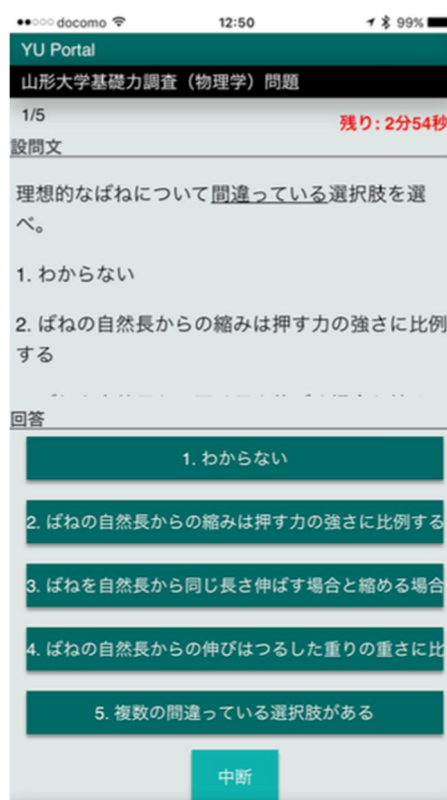
多くの大学で内部質保証としてディプロマポリシー(DP)やカリキュラムポリシー(CP)を整備しているが、それぞれのコースについては科目名や到達目標により整理しているだけで、学生が何をどのように学んだかという点については、GPAなどで評価するよりなかった。本研究課題によって、コースそのものの体系化の必要性が明確になり、教育効果の客観的な指標による可視化が行われる。つまり、これまで広く行われてきた一般的なアクティブラーニング型授業や本研究会が開発した講義実験とその教授法がどのように卒業時の質保証につながるかを、標準テストを通して数値的に指標化できる。その結果、大学がアクティブラーニング型授業を通してより良い教育を提供する誘因となる波及効果が期待できる。

### 4. 研究成果

#### 教育評価指標の開発と評価

・基盤力テストによる教育効果の測定と評価(千代、安田)

平成24年度から山形大学で実施している、学生の学力を直接的に測定する基盤力テストを継続して実施している。このテストは1年生入学当初、2年生進級当初、3年生において実施し、それぞれの学年でのコースの教



育効果測定を行い、授業の評価検証をするものである。科目は数的文章理解、数学、物理学、化学、生物学であり、学生が正解したかどうかで次に難易度の違う問題を出して成績を評価するコンピュータ適応型テストとなっている。これにより各 5 問という問題数で学生の学習到達度を客観的に測定できるようになった。

また、各入学年度の学生群について、経年での学習到達度の評価検証や、入学暦年での学生の学習到達度の変化の確認など、さまざまな学習データの取得が可能となった。

#### 講義実験・演示実験の開発

##### ・統計力学の法則を可視化するモデル実験（三浦）

傾斜基盤の上の粒子に熱振動(揺さぶり)を加えると拡散が起きる現象を利用した、統計力学のモデル化を行う実験を開発研究した。異なる直径の粒子(6mm/8mm)では拡散係数が異なる様子を観察可能である。これはガス・クロマトグラフィーの原理を表現したものであり、非物理系の学生にも理解しやすいものとなった。

##### ・電磁気学の法則を可視化する演示実験（三浦）

大型のトロイダルコイルを用いて、アンペールの法則を可視化する実験を開発研究した。コイル内外の磁場の様子を、ネオジム磁石による振り子を吊るして視覚的に理解できるものである。また、小型バンデグラフを用いて導体と誘電体の静電誘導による引力の差を実験で見えるようにした。

##### ・角運動量を理解する演示実験（三浦）

直線運動を角運動量に変換する装置で、運動量・角運動量の性質を可視化できる装置を開発研究した。直線運動する物体を同じ重さの回転できる物体に衝突させることにより、直線運動の運動エネルギーが回転運動のエネルギーに変換し、さらに直線運動のエネルギーに変換する様子を可視化した。

##### ・非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義（古澤）

医学系の学生に対して、回転運動する連続体に関する理解を深めるため、そのための教材を作成し、学生の前での演示事件をおこなった。実験の前後に概念の定着状況を把握するためのプレテスト・ポストテストを実施した。

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 伊東正人	4. 巻 67
2. 論文標題 物理授業におけるランベルトのW関数の活用法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 22-26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20653/pesj.67.1_22	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 古澤彰浩、伊東正人、大藪進喜、小西哲郎、齋藤芳子、千代勝実、中村泰之、藤田あき美、三浦裕一、安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における 系統的演示実験・講義の展開 IV
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古澤彰浩、伊東正人、大藪進喜、小西哲郎、齋藤芳子、千代勝実、中村泰之、藤田あき美、三浦裕一、安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開 V
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦裕一、古澤彰浩、伊東正人、大藪進喜、小西哲郎、齋藤芳子、千代勝実、中村泰之、安田淳一郎
2. 発表標題 角運動量を理解する演示実験の開発 II 運動量-角運動量の相互変換の可視化
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦裕一、古澤彰浩、伊東正人、大藪進喜、小西哲郎、齋藤芳子、千代勝実、中村泰之、安田淳一郎
2. 発表標題 電磁気学の法則を可視化する演示実験の開発     ガウスの法則、アンペールの法則など
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千代勝実、渡辺給理子、飯島隆広、安田淳一郎
2. 発表標題 山形大学における基盤力テスト～3年間の経年変化の分析
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千代勝実、渡辺給理子、飯島隆広、安田淳一郎
2. 発表標題 山形大学における基盤力テスト～第3回実施データの分析
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Hashizume, Douglas Gloag, and Katsumi Senyo
2. 発表標題 Improving Student Learning by Learning through Teaching
3. 学会等名 2019 Assessment Institute in Indianapolis (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao Hashizume, Douglas Gloag, Tetsuya Shiroishi and Katsumi Senyo
2. 発表標題 Hybrid Class Model Evolution for Yamagata University 's FYE Course
3. 学会等名 39th Annual Conference on the First-Year Experience 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古澤彰浩、伊東正人、大藪進喜、小西哲郎、齋藤芳子、千代勝実、中村泰之、藤田あき美、三浦裕一、安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開 II
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊東正人
2. 発表標題 鎖の形状に潜むランベルトのW関数とその演示方法
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤芳子
2. 発表標題 物理学講義実験における学生の学習行動
3. 学会等名 大学教育学会2018年度課題研究集会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦裕一、古澤彰浩、伊東正人、大藪進喜、小西哲郎、齋藤芳子、千代勝実、中村泰之、安田淳一郎
2. 発表標題 角運動量を理解する演示実験の開発 運動量-角運動量の相互変換の可視化
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古澤彰浩、伊東正人、大藪進喜、小西哲郎、齋藤芳子、千代勝実、中村泰之、藤田あき美、三浦裕一、安田淳一郎
2. 発表標題 非物理系の大学初年次物理学教育における系統的演示実験・講義の展開 III
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊東正人
2. 発表標題 ぶら下げた鎖に現れる数理と力学授業への導入
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田淳一郎、千代勝実、渡辺絵理子、飯島隆広
2. 発表標題 山形大学における基盤力テスト～第2回実施データの分析I～
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 千代勝実, 安田淳一郎, 渡辺給理子, 飯島隆広
2. 発表標題 山形大学における基盤力テスト～第2回実施データの分析II～
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takao Hashizume, Katsumi Senyo, Shigeru Asano, and Koji Fujiwara
2. 発表標題 Evolution of the First-Year Experience Course at Yamagata University
3. 学会等名 38th Annual Conference on the First-Year Experience
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsumi Senyo, Shigeru Asano, Koji Fujiwara, Douglas Gloag, Takao Hashizume, and Junichiro Yasuda
2. 発表標題 Using a Smartphone-Based Integrated Data Collection System to Measure Student Learning Gains
3. 学会等名 2018 Assessment Institute in Indianapolis
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 物理学講義実験研究会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 名古屋大学高等教育研究センター	5. 総ページ数 72
3. 書名 物理学講義実験ハンドブック(第5版)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

VERIOR INTERPRETATIO NATUAE  
<https://physicsdemo.org>

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	安田 淳一郎  (Yasuda Junichiro)  (00402446)	山形大学・学士課程基盤教育院・准教授    (11501)	
研究分担者	大藪 進喜  (Oyabu Shinki)  (10396806)	徳島大学・教養教育院・准教授    (16101)	
研究分担者	古澤 彰浩  (Furuzawa Akihiro)  (20362212)	藤田医科大学・医学部・准教授    (33916)	
研究分担者	小西 哲郎  (Konishi Tetsuro)  (30211238)	中部大学・工学部・教授    (33910)	
研究分担者	中村 泰之  (Nakamura Yasuyuki)  (70273208)	名古屋大学・情報学研究科・准教授    (13901)	

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	齋藤 芳子  (Saitoh Yoshiko)  (90344077)	名古屋大学・高等教育研究センター・助教    (13901)	
研究分担者	伊東 正人  (Ito Masato)  (90378232)	愛知教育大学・教育学部・教授    (13902)	

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