

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350185

研究課題名(和文) 日本型チュートリアル方式で物理概念形成と論理的思考力育成を図るプログラムの開発

研究課題名(英文) Development of a program with Japanese style of Tutorial which helps students to understand physics concepts and to foster reasoning ability

研究代表者

植松 晴子(小松晴子)(UEMATSU, Haruko)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：70225572

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)：米国で開発された教材を用いた相互作用型物理授業を日本の大学で継続的に実践することで、オリジナルの意図を損なうことなく、日本の教育体制や文化的背景に適合した教材や授業形式が確立しつつある。この授業法をより効果的にするためには、学習者に直接かかわるTAの教育が肝要である。TA自身に論理的思考や能動的関与の重要性を認識させるための教育法を確立した。日本の学生には、丸暗記やパターンマッチングの解法によって演習問題を解く学習姿勢があることが確かめられた。

研究成果の概要(英文)：Tutorials, which is one of classes involving interactive engagement, are originally developed in the United States. We have kept teaching Tutorials and succeeded in improving them without spoiling original intentions so that we can teach them in the way suitable for Japanese curricula and cultural background. TA's play an important role in facilitating students' discussion to promote changing their learning attitudes. We have established a TA training program to let TA's realize the importance of emphasizing reasoning and learning actively. Japanese students proved to have learning attitude using rote memory or pattern-matching in problem solving.

研究分野：物理教育, 原子物理学, 量子光学

キーワード：相互作用型授業 能動的関与 ファシリテーション 学習姿勢 授業観

1. 研究開始当初の背景

科学技術が高度に進んだ現代社会においては、市民の科学リテラシーを高めることが一層求められている。自然科学に関わる基本的な概念や科学的な思考力の育成は、自然科学や科学技術の研究者だけでなく、一般的に求められる素養であり、科学教育の担う役割は大きい。

海外では、科学的手法を用いた物理教育研究(Physics Education Research, PER)とそれに基づく授業改革の努力が体系的に進められている。特に米国では、PERの成果から、伝統的な講義形式より相互作用型の授業形式がはるかに有効であることが定量的に示され¹⁾、認知科学の手法等も取り入れてさまざまな相互作用型の授業形式が提案され、実践されている²⁾。本課題の研究開始当初、我が国においても海外のこうした取り組みへの関心が高まり、高等学校や大学において少しずつ試行され始めていた。それらの試行によって、日本においてもPERに基づいた授業方法や教材が基本的な物理概念の獲得に有効であることが示されるようになってはいた^{3,5)}ものの、広く定着するには至っていなかった。その要因の一つは、日米の環境の違いによるもので、教育課程や文化的背景の違いによって、教材や手法をそのまま取り入れることには困難があり、解決すべき課題があった。もう一つの要因は、従来の授業観によるものである。授業を実践する教員や受講する学習者が、それぞれの受けた伝統的な授業方法からくる先入観に縛られがちで、新しい授業方法の本質を十分認識していないことがあった。

2. 研究の目的

相互作用型物理授業を有効に機能させるためには、米国で開発された教材や手法を表層的に導入するのではなく、日本の教育体制にあった授業形式で日本固有の問題を解決する教育法を実践することと、授業を実践する教員が背後にあるPERの成果の意義を理解し、導入する方法の本質を授業で一貫して強調することが不可欠である。それを多数の教員やファシリテータで共有して、単独の教員による試行にとどめず、広く恒常的に実践して定着を図る必要がある。

本研究では、相互作用型授業の一つであるチュートリアル方式について、日本固有の問題を検討し、PERで強調されている基本的な物理概念の獲得と論理的思考力の育成を図ることを目的とした。具体的には、

- (1) 日本の教育体制や文化的背景に合致した授業形式と教材の開発
- (2) 学生間の議論をファシリテートするTAの有効な教育方法の開発
- (3) 学習者主体の概念形成と論理的思考力の育成に重点を置く意識の教員による共有の3点である。

3. 研究の方法

チュートリアルとは、学習者を数名ずつのグループに分け、あらかじめ準備した問題(ワークシート)に対し、グループ内で相互に議論しながら取り組むことで能動的な学習を実現する授業方式で、教員やTAは必要に応じて理解に向けた議論の誘導を行う。

(1) チュートリアル方式の授業とTA教育の実践・分析・改善のサイクル

東京学芸大学では2011年から理科の教員養成課程の学生を主な対象に、150名前後が受講するクラスで、チュートリアル方式の授業を継続的に実施している。教材は当初、メリーランド大学のものを和訳してそのまま用いたが、継続的な実施によってオリジナルの意図は十分把握できていると考え、意図を損なうことのないように配慮しながら、対象となる学生の実状に対応して変更を加えた。また、自ら能動的に関わり議論によって理解を深めることや論理的に思考・表現することに対して、授業内で意義を強調し評価においてもそれを重視した。

講義・実験・演習が一貫して行われるアメリカの大学で開発された教材を、それぞれが独立に行われる日本の大学で実践するにあたり、議論のベースとなる基本的事項を確認する過程をチュートリアルの開始前に取り入れる等、授業の体制を検討した。日本の場合、チュートリアル方式に符合する入門物理学の演習の授業がなかったり、本学と同様、講義と変わらない大人数のクラスで行われていたりしている。学生間の議論のファシリテーションをするTAの関わり方も検討した。

グループの議論をビデオ撮影するとともに、授業後にTAから全体の進行や各グループの様子を聞き取って記録した。また、テストや宿題等の課題と毎回の授業で学生が記述する振り返りを記録した。これらの記録を基に、授業体制や教材、ファシリテーションの問題点を分析し、改善策をフィードバックして次の実践に臨んだ。

授業の効果を測るために、力学分野の最も一般的な概念調査(Force Concept Inventory, FCI⁶⁾)であるFCIを学期初めと期末試験時に実施した。また、学習姿勢を測る調査も行った(Colorado Learning Attitudes about Science Survey, CLASS⁷⁾)。

(2) 質問紙調査・個別聞き取り調査

PERにより開発された教材の多くは、学習者の素朴概念についての調査に基づいて、素朴概念から出す結論と物理概念や法則から導ける結論との矛盾による認知的葛藤に直面させることで、素朴概念に直接働きかけるように設計されている。しかしながら実践の記録から、働きかけを繰り返し行わないと素朴概念の克服は十分行われないこと、教材の設計とは独立に学生が演習問題をパターンマッチング的に解くことが示唆された。日本

の場合、特に後者は入試制度等によって強化されている可能性が考えられる。このような学習姿勢について、質問紙調査と個別聞き取り調査を行った。

また、矛盾が起きているにもかかわらず、教材の設計に反して認知的葛藤を感じていない様子もみられた。これについても、質問紙と個別インタビューによって、予備的調査を開始している。

(3) 機関内の教員との授業研究及び相互の授業見学

学習者の能動的関与を促すためには、単独の相互作用型授業の実践では限界があるので、所属機関内の教員が一貫して取り組むことを目指して、入門物理学に関わる講義、実験、演習に携わる教員で授業研究を行っている。また、物理学以外の他分野の教員とも相互の授業を見学し、学習者の能動的関与の重要性を共有している。

チュートリアル形式の授業については、担当教員を複数にして、共有をより深いものに行っている。

4. 研究成果

(1) 主な成果

米国で開発された教材を用いた相互作用型物理授業を日本の大学で継続的に実践することで、日本の教育体制や文化的背景に適合した教材や授業形式が確立しつつある。入門物理学の基本的事項を知識として与える過程は、少なくとも講義授業を事前に履修して演習に臨んでいる大学生にはあまり重要ではなく、前回の授業の最後に学生が振り返って書いた記述を用いて、ポイントや疑問点を確認する方が有効であることが明らかになってきた。基本的事項が定着していないからといって、情報伝達を繰り返すことが無意味であることを物語っている。

学生の記述や発言からは、理解に至る過程も抱える困難も想定以上に多様であることが明らかになった。多様性への対応は、教材の内容や議論のファシリテーションに多様性を取り入れるとともに、学生間の相互作用を活用することが考えられる。

TA の教育には、教材の内容や教授法の理解に加えて、彼らの授業観への働きかけが欠かせない。チュートリアル方式の授業では、学習者と直接関与する TA が授業観を体現する。新しい概念をただ受け入れるのではなく、自分で論理的に考えて素朴概念を変容させる過程を強調するために、彼ら自身がその重要性を認識する必要がある。TA の教育の中にも相互的関与を取り入れ、これまでの実践の記録から多様な学生の反応についての情報を基にファシリテーションのしかたを検討させた。TA についても、自分で考え仲間議論することが有効である。

授業前後に FCI を実施してこの授業の評価を行った。FCI の全 30 問のうち、授業の内容

に関わる 15 問について、授業前後の正答率の伸び(<post>-<pre>)を授業前からの伸びしる(1-<pre>)で割った規格化ゲイン<g>¹⁾の推移を表 1 に示す。2010 年の値は、伝統的な演習問題に若干ピア・インストラクションを加えて行った際の参考データである。アメリカでの調査では、伝統的な講義型の授業では<g>の値が 0.2 前後、相互的関与を取り入れた授業が 0.3~0.7 と報告されており¹⁾、その結果と一致する。伝統的知識伝達型の授業に比べて概念獲得に効果があることが分かる。ただ、授業形式や TA の教育方法が確立しては来ているものの、規格化ゲインにはまだ伸びる余地がある。さらなる改善が必要である。

表 1 事前・事後の FCI 15 問の結果

実施年度	<pre>	<post>	<g>
2010	56%	65%	0.20
2011	62%	76%	0.37
2012	65%	82%	0.50
2013	62%	78%	0.43
2014	66%	76%	0.30
2015	62%	79%	0.45
2016	68%	83%	0.47
2017	70%	82%	0.41

CLASS の調査はまだ限定的であるが、チュートリアル方式の授業前後で学習姿勢の向上が見られている。引き続きデータを蓄積する必要がある。

演習問題をパターンマッチングによって解こうとしたり、状況を判断せずに丸暗記した法則等を適用しようとしたりする姿勢があることはこれまでも示唆されていたが、質問紙調査や個別聞き取り調査を学生に行って、そのことが確かめられた⁸⁾。このような学習姿勢は、現実に即した判断力や論理的思考力の育成を妨げる可能性がある。日本に限られた問題ではないが、暗記やパターンマッチングによる解法で、ある程度の成果が得られる現在の入試の実状では、科学リテラシーを高める上では望ましくない姿勢を肯定し強化しかねない。本研究の調査では、暗記やパターンマッチングによる解答と素朴概念を明確には分離できず、学習姿勢と概念獲得の関連を明らかにすることは今後の課題である。

(2) 得られた成果の位置づけ

PER で開発された相互作用型授業の中でも概念獲得の効果が高いとされているチュートリアル方式を、継続的に実践している。米国で開発された教材と手法を、オリジナルの意図を損ねることなく学生の反応をフィードバックしながら、日本の教育体制や文化的背景に合った形に修正し、この方式の授業を実施する可能性を提示した。同時に、鍵となるのは学習者主体の意識であることを発

信している。教材や授業の進め方に関心が集まりがちであるが、学習者主体の意識を教員やTAが一貫して持ち、共有することがより重要であること、チュートリアル方式に限らずPERに基づいた教材はその点でもよく配慮されており、安易な改変には慎重であるべきことを引き続き強調したい。

学会や研究会での発表には多くの関心が寄せられ、教材を紹介することも多い。学会で開いたワークショップでは授業の実践を紹介し、相互作用型授業全般を促進するための一翼を担った。相互作用型授業への関心は、いくつかの大学からFD研修の講師依頼があることからもうかがえる。学習者の学習姿勢に働きかけ、教員にも学習者にもある固定的な授業観を変容させるには、共有する活動が今後も必要である。

(3) 今後の展望

本研究の調査の中で見出された学習者の考え方の多様性に対しては、多様なアプローチが有効と考えられる。TAに非物理専攻の学生を試行したところ、異なる視点が導入され、議論のファシリテーションの新しい可能性が示された。これまでの実践で記録した学生の反応をデータベース化し活用して、ファシリテーションに汎用性のある指針を得る。また、学習者間の相互作用を多様性への対応に活かす教材を設計して、ファシリテータの不足や不在への対応を検討する。議論の活性化やファシリテーションのあり方を相互作用型授業の課題としている教員は多く、これを解決して多くの大学での実践につながることを期待できる。

基本的物理概念の理解度については、調査問題が整備され授業の効果を測って、他の教員・環境の授業と比較できる状況である。一方で、論理的思考力の育成については、評価方法が十分でない。今後もCLASSによる調査を継続して、学習姿勢についてのデータを蓄積する一方で、これまでの実践の中で出題した記述式の問に対する解答を分析して、論理性・合理性に焦点を絞った調査方法を検討する。

学習姿勢への働きかけを有効にするにはそれを徹底して行う必要があり、所属機関内での授業研究などを契機に、学校内外で連携して意義の共有が広く恒常的に行われるようになることが望ましい。

矛盾が起きているにもかかわらず、教材の設計に反して学習者に認知的葛藤が生じない要因については、学習者の発達段階、無関心、教材の文脈を読めないこと等が考えられる。教材や授業形式の改善のために、葛藤が生じない要因を明らかにすることは今後の課題である。

<引用文献>

- 1) R. Hake: Am. J. Phys. **66** (1998) 64
- 2) F. Redish: *Teaching Physics with the Physics*

Suite (John Wiley & Sons, 2003)

3) 山崎他, “高校物理に導入したアクティブ・ラーニングの効果と課題”, 物理教育, **61**, 12-17(2013)

4) 科学研究費成果報告書 研究課題番号23501008, 研究代表者: 植松晴子, <https://kaken.nii.ac.jp/report/KAKENHI-PROJEC-23501008/23501008seika/>

5) 植松晴子, “チュートリアル方式による物理授業の試み”, 大学の物理教育, **17**, 129-132(2011)

6) D. Hestenes, M. Wells and G. Swackhammer, “Force concept inventory”, Phys. Teach. **30** (1992) 141.

7) W. Adams et al., “New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey”, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **2**, 010101 (2006).

8) 高橋夏輝, 植松晴子, “正しい物理概念獲得を阻害する思考過程について”, 日本物理教育学会第32回物理教育研究大会 2015年。

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 3件)

植松晴子, “ワークショップ:チュートリアル”, 物理教育, **65**, 166-169(2017), 査読無.
DOI: https://doi.org/10.20653/psj.65.3_166

岸翔太, 植松晴子, 勝田仁之, “中3を対象にした幾何光学におけるTutorialsの実践”, 物理教育, **63**, 92-97(2015), 査読有.

DOI: https://doi.org/10.20653/psj.63.2_92

植松晴子, “チュートリアル方式の物理授業実践を通して実感する米国物理教育研究の成果”, 物理教育, **63**, 2-7(2015), 査読有.

DOI: https://doi.org/10.20653/psj.63.1_2

[学会発表](計 9件)

植松晴子, “「演習」授業と「実験」授業での相互作用型授業の効果”, 日本物理学会第73回年次大会, 2018年。

Haruko Uematsu, “TUTORIALS IN A STAND-ALONE LARGE CLASS”, International Conference on Physics Education 2017, 2017年。

植松晴子, “力学概念調査にみられる学習者の事前知識と関心の影響”, 日本物理学会2016年秋季大会, 2016年。

植松晴子, “ワークショップ:チュートリアル”(招待講演), 日本物理教育学会第33回物理教育研究大会, 2016年。

植松晴子, “チュートリアルの実践から学ぶ学習者主体の姿勢”(招待講演), 日本物理教育学会第32回物理教育研究大会, 2015年.

高橋夏輝, 植松晴子, “正しい物理概念獲得を阻害する思考過程について”, 日本物理教育学会第32回物理教育研究大会, 2015年.

植松晴子, “チュートリアル方式の授業に見る学生の学習観・授業観”, 日本物理学会第70回年次大会, 2015年.

植松晴子, “チュートリアルの実践から見てきたこと”(招待講演), 日本物理学会第70回年次大会, 2015年.

植松晴子, “大学の演習授業でのチュートリアル方式の実践”, 日本物理教育学会第31回物理教育研究大会, 2014年.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(3) 連携研究者

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

安田 淳一郎 (YASUDA, Junichirou)
山形大学・基盤教育院・准教授
研究者番号: 00402246