

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24年3月31日現在

機関番号：14302

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500873

研究課題名（和文） 高大連携を基盤とした双方向型物理授業プランの開発

研究課題名（英文） Development of interactive physics class based on coordination between high schools and universities

研究代表者

村田 隆紀（MURATA TAKATOSHI）

京都教育大学・名誉教授

研究者番号：10027675

研究成果の概要（和文）：高校・大学の教員からなる研究会を組織し、教師－生徒および生徒同士の討論を中心として物理概念の定着を目指す、双方向型・相互作用型の物理授業について実践的に研究した。京都の高校生を対象とした公開講座を実施し、その成果を基に実際の物理授業プランを開発、複数の高校・大学における物理授業でこれを実践した。その結果、開発したプランが学習者の概念理解を深めること、学習者が討論の中で問題意識を強く持つための発問や発言の引き出し方など教師の役割の重要性等が明らかになった。

研究成果の概要（英文）：We organized a study group of university staff and high school teachers of physics to study classroom activities practically with aiming establishment of concepts of physics among students. We focused on discussion-based bi-directional interactive activities between teachers and students as well as among students themselves. We developed a class-room activity plan of mechanics and dynamics, and carried out a trial extramural course based on it to high school students who participated voluntarily, and analyzed reactions of students. Based on the analysis, we further developed the curriculum plan and practiced it in real classrooms both in universities and high schools. We confirmed that the developed plan is very effective in learners' understanding of concepts of physics. We also confirmed that during discussions among learners, teachers' role is essentially important to bring out learners' awareness of issues and responses by putting appropriate questions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：物理教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，科学教育

キーワード：アクティブ・ラーニング，高大連携，物理教育研究

1. 研究開始当初の背景

2006年8月に東京で開催された物理教育国際会議(ICPE2006)において、英国や米国の物

理教育現場では、「伝統的な」物理教育（教員からの一方的な講義や計算中心の授業）によって育てられた学生の、学習した物理概念

の定着が乏しいことが実証され、その解決のために新しい方法が開発されていることが明らかになった。特に、米国においては、物理教育研究 (Physics Education Research: PER) と呼ばれる研究分野が確立し、そこでは学生の理解の実態についての実証的な調査研究が積み重ねられ、その結果に基づく物理カリキュラム開発が行われている。PER の代表的な成果のひとつに「アクティブ・ラーニング (能動的学習)」と呼ばれる概念の誤認識の原因を認知心理学の成果を用いて検証し、IT 技術を積極的に使って反映する授業法がある。ICPE2006 では、この授業法を用いた授業プログラムによって、力学をはじめとする各分野で、学生の物理概念の定着率が飛躍的に向上し、物理履修者数も増大に転じていることが報告された。

一方、日本の教育現場においても、物理学習後の概念定着率の低さは物理教育関係者の長年にわたる課題となっているが、これを改善する効果的なカリキュラムはなく、ほとんどの教育現場では依然として「伝統的な」物理授業が行われているという実態がある。

2. 研究の目的

学習者の物理概念に対する誤概念を把握し、正しい概念に導く実験方法や指導方法について、地域の高校教員と大学教員が共同で研究会を通じて実践的に検討し、その成果を高校や大学の初年次教育での実践を通して新しい授業プランを開発することを目的とした。具体的には、上述の「アクティブ・ラーニング」のひとつ「Interactive Lecture Demonstrations (ILDs)」の力学分野を取り上げ、詳細かつ実践的に検討し、ILDs 授業の日本における活用の可能性および方法を検討することを中心に行った。

3. 研究の方法

(1) ILDs 力学分野の分析 (2009 年度)

京都地域の高校教員と大学教員が共同で研究会を組織し、研究会活動を通して教材や教師ガイドを基に、内容の分析および授業検討を行う。

(2) ILDs 公開講座の実施 (2009 年度)

通常の物理授業へ導入を検討する前段階として、①研究会のメンバーがこの授業スタイルを理解すること、②日本の高校生の反応や効果を確認することを目的として、(1)の分析結果を基に、京都府内の高校生を対象とした「ILDs 公開講座」を実施し、日本における ILDs 授業の効果を分析する。

(3) ILDs 授業プランの開発 (2010-11 年度)

公開講座で得た知見をもとに、通常の物理授業で実施可能な ILDs 物理授業プランを構

築し、研究会に所属する各教員の勤務校で実践する。各授業のようすをビデオ分析し、FMCE (4) を参照) による評価結果と合わせて考察することにより、日本の高校の実状に合ったアクティブ・ラーニングの授業を検討する。

(4) 力学概念調査の実施 (2009-11 年度)

開発する物理授業プランの効果を評価するために、授業の前後で「力と運動に関する概念調査 (FMCE)」テストを実施する。これは、PER の成果のひとつであり、学習者の物理概念の定着度を測るとともに、授業評価の指標ともなる。この調査を「ILDs 公開講座」および開発する「ILDs 物理授業」の前後に行い、それぞれの評価結果と通常の物理授業の同調査結果 (2009 年 2 月に先行実施) との比較により、開発する物理授業プランの有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) ILDs 授業の展開

ILDs は全 25 章からなるプログラムで、各章は、PER の成果に基づき、学習者の多くがもつ典型的な誤概念を含む複数の演示実験から構成される。各演示実験の展開を図 1 に示す。

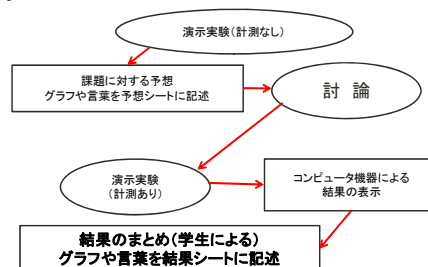


図 1 ILDs 授業における各演示実験の展開

演示実験ごとに学習者は、提示された実験課題の結果を各自で予想して「予想シート」に記入し、それを基に周囲の学習者と討論を行い、教員による演示実験を見て、その結果について再度、周囲と討論し、結論を「結果シート」にまとめていく展開が繰り返される。その特徴を挙げると、①演示実験を IT センサー、データロガーとパソコンを利用して行い、結果を即時に表示すること、②討論によって学習者にたえず自分の考えを明らかにさせること、③指導者は結論を説明するのではなく、絶えずそれを支援するはたらきかけを行うこと、などがある。アメリカでは、この展開によって、力学をはじめ多くの分野で著しい教育効果を上げていることが明らかになった。

(2) ILDs 公開講座

①概要

2009 年 8 月 1 日 (土)、2 日 (日) に京都教育

大学にて実施した。対象は力学（物理 I）を学習済みのボランティアの生徒 22 名である。内容は、ILDs の力学分野の 8 回の授業のうち、学習者の誤概念が特に多く含まれる、「運動学 1」、「運動学 2」、「ニュートンの第一法則、第二法則」、「ニュートンの第三法則」の 4 つを取り上げた。また、この授業の評価は、授業のビデオ分析および事前と事後に FMCE テストを実施し、その正答率の変化と事後アンケート調査により行った。

実施にあたり、日本の物理授業で ILDs を行うことを想定しながら詳細に分析し、特に討論を活発にするために、次の 2 つの工夫を行った。ひとつめは、回答応答システム（クリッカー）の導入（図 2）である。典型的な誤概念が複数あり、しかも明らかな実験の場合、予想を多肢選択式にして、このシステムを用いた。これは、クラス全体の予想分布を表示することにより、学習者が自分と他者との考えを比較することを容易にし、結果において誤概念を認識させるためである。



図 2 公開講座におけるクリッカー活用の様子

一方、多肢選択ではなく、グラフを描いて予想する課題の場合は、グループ討論の場としてホワイトボード（シート）を用意し、そこに結論をまとめさせ、壁に貼り付ける方法をとった。これもクリッカーの活用と同様に、他のグループの結論との比較を容易にするためである（図 3）。



図 3 ホワイトボードシートによる討論の様子

ふたつめは、演示実験の結果の表示方法である。データロガー（PASPORT シリーズ：PASCO 製）に付属のソフトによりグラフで表示されるが、必ずしも生徒に見せたいグラフが表示されるとは限らない。したがって、データのサンプリング周波数とスムージングのかけ方の調整を行った。

②結果

事前と事後の FMCE テストの正答率を比較すると、平均で 37% から 74% へと大きく上

昇した。また、すべての回の授業において、生徒は積極的に授業に参加し、予想の段階で誤っていても、周囲との討論を通じて考えを再構築し、演示実験後には正解に近づくという過程がみられた。これは、事後アンケートの感想の中で「この公開講座はとても頭を使って考えさせられた」という反応が多かったことからわかる。以上の結果は、この ILDs の授業展開が通常の授業では定着させることができなかった（物理既習にかかわらず事前テストの正答率 37% しかない）生徒の概念理解を促すことがわかる。

一方で、公開講座に参加した生徒は意欲をもって応募してきた高校生であり、意欲や動機がさまざまな生徒がいる実際の大人数クラスや物理を学ぶ生徒を対象とした授業において、同様の展開が可能かどうかという課題は残った。

(3) 高校における ILDs 授業の導入

①概要

2009 年の公開講座の成果を受け、2010、2011 年度に、研究会のメンバーの京都府内の高校教員が勤務校における物理 I の授業の中で ILDs 授業を導入した。各年度の実施状況を表 1 に示す。

表 1 ILDs 授業の実施状況

学校	2010年度		2011年度	
	単位数	人数	単位数	人数
私立A校	3	48人×8ヶ所	3	44人×8ヶ所
府立B校	4	17名	3	41名×2ヶ所
府立C校	3.5	26名×2ヶ所	3	40名
府立D校	3	17名×2ヶ所		
私立E校	4	26名	4	26名

実施するにあたって、①公開講座と同じ力学の 4 つの章を導入すること、②同じ「予想シート」「結果シート」を用いること、③授業人数や到達度の違いにより、導入方法と展開は最終的には各教員で判断することの 3 点を教員間の共通認識とした。なお、授業の評価は、授業のビデオ分析および事前と事後に実施する FMCE テストの正答率の変化により行った。

ここで、ILDs を通常授業に導入するにあたり、現状において物理 I の内容だけでも余裕のない授業時間数の中で、どのように ILDs の時間（4～6 コマ、事前事後テストも含めると 6～8 コマ）を確保するかについて議論した。その結果、原則として、A 高校の物理 I の展開（図 4）のように、「運動学」の単元は ILDs の授業を普段の授業とそのまま置き換え、足りなくなる時間は問題演習のための時間を切り詰めて確保する形をとった。

授業 時数	ILDS 授業	内容	授業 時数	ILDS 授業	内容
1	○	プレテスト	15		第1法則・第2法則
2		有効数字・ベクトル(1次元の向き・正負)	16		重力と質量
3	○	運動学1	17		第1法則・第2法則の
4		有効数字・物理量	18		摩擦・摩擦角・動摩擦係
5		位置・速度・加速度	19	○	ニュートンの第1・第2法則の
6		相対速度・グラフ	20	○	ニュートンの第1・第2法則の
7		加速度①	21	○	ニュートンの第3法則
8	○	運動学2①	22		摩擦・摩擦角・動摩擦係
9	○	運動学2②	23		圧力・大気圧・浮力
10		加速度②	24		剛体の力の合成・分解①
11		重力加速度・放物運動	25		剛体の力の合成・分解②
12		カ・フックの法則	26	○	ポストテスト
13		力の合成・分解・つり合い・作用反作用	27		力のモーメント
14		復習・運動の法則(ILDS運動の法則)	28		問題演習

図4 ILDSを導入したA高校の一学期の「物理1」の授業展開。

また、生徒に互いの考えを理解させ、討論への参加を促す方法については、生徒人数、教室環境(講義室・実験室)などを考慮した方法をとった。例えば、カラーカードで予想(選択肢)を表示させ、その分布を全体で紹介する方法(図5(a))や、4人グループで生徒に討論させ、教員が討論中に各グループを回って意見を聞き、その結果を教員(同(b))や生徒(同(c))が黒板にグラフに描いて紹介する方法などである。



図5 各学校での討論(予想)結果の表示方法。(a)カラーカード使用。(b)机間を回り予想結果を教員が板書。(c)生徒が黒板に記入。

②結果

2010年の結果では、「運動学1」の授業で

は、ほとんどの生徒がグラフを正解するが、「運動学2」の授業では、速度と加速度を同一視していたり、転向点で加速度を0と考えたりなど、一定の生徒に混乱が見られた。また、「ニュートンの第一、第二法則」では、力と速度のグラフが同じになる生徒、グループ、「ニュートンの第三法則」では、作用と反作用と力のつり合いの混同がある生徒がみられた。これらはまさにPERにおいて予想された反応であり、授業においても討論の焦点となり、一定の盛り上がりを見せ、授業効果があるようにみえた。しかしながら、事後におけるFMCEの結果をみると、概念はほとんど定着していないことが明らかになった。たとえば、「運動の向きに力がはたらいっている」といった典型的な誤概念に対する正答率は、実施校平均で0%(事前)から7%程度(事後)にしか改善されなかった。

ビデオ分析を含めて原因を考察した結果、①生徒・教員ともに討論に慣れておらず、討論が表面的で、有効に機能していない、②生徒が実験の概要を理解するのに時間がかかり、最も重要な討論と生徒自身の言葉による「まとめ」がほとんど行われていない、③生徒の授業への参加意識がそれほど高くなく、しかも40名を超える授業では、数時間のILDS授業を組み込むだけでは概念が定着しにくい、などが挙げられた。

そこで、2011年には、①討論を促す教員のファシリテーター(討論の助言者)としての役目を強化し、生徒が自分の言葉で発言することを重視、②実験結果で生徒が発言し、全体での共通理解を明確に、③クリッカーを導入、④ILDSの時間だけで終わるのではなく、類似のホームワークを課す、試験に同様の問いを出す、など一貫した展開をすすめる、⑤ILDS授業以外でもIT機器を用いて生徒が予想、討論していく授業を、年間を通して意識的に実践する、などを改善点として授業実践を継続した。その結果、FMCEの正答率に多少の上昇が見られた(前述の誤概念に対して、事前1%→事後21%)ものの、概念定着の大幅な改善にはいたらなかった。

(4) 大学におけるILDS授業の導入

①概要

日本の大学生に対する効果を検証するために、京都教育大学教育学部において初年次に開講されている理科教員免許必修科目「物理学基礎実験」の受講者47名に対して、2009年の公開講座と同様の内容(ILDSの力学分野の「運動学1」、「運動学2」、「ニュートンの運動の第1、第2法則」、「ニュートンの第3法則」の4ユニット)を1コマ/ユニット(90分/コマ)の時間配分で行った。また、授業の評価として、事前と事後にFMCEテストを実施し、その平均正当率およびそれを用いて

次式にて授業の効果を表す「規格化ゲイン:g」の時間経過（授業直後、3ヶ月後、17ヶ月後）に伴う変化を調べた。

$$g = \frac{\text{事後テスト正答率} - \text{事前テスト正答率}}{1 - \text{事前テスト正答率}}$$

実施にあたり、次の点を留意した。①理科教員免許の必修科目で実践することにより、学生の受講動機（理科教員として必要な知識・概念を獲得したい、または獲得しなければならない等）を意図的に刺激し、より積極的な討論を促す展開とした。また、②事前のFMCE正答率や高校物理の履修状況をもとに、討論を行う班編制（座席指定）を行うことにより、クラス内の討論が可能な限り等質になるよう配慮した。さらに、③授業後において、各演習実験の前後における自分および班の考えの変化とその理由等について、詳しく分析して報告するレポート課題を出した。

②結果

FMCEの平均正答率およびそれを用いた「規格化ゲイン」の時間経過（授業直後、3ヶ月後）に伴う変化を調べた結果（図6）、事前に0.31であった正答率が、直後で正答率0.75（ゲイン0.70）、3ヶ月後においても正答率0.70、（ゲイン0.61）と高い状態で維持されていることがわかった。これは17ヶ月後においても正答率0.69とほとんど変化しておらず、さらに特筆すべきこととして、授業直後より3ヶ月後以降の値の方が高い学生が3割程度、存在することも明らかになった。

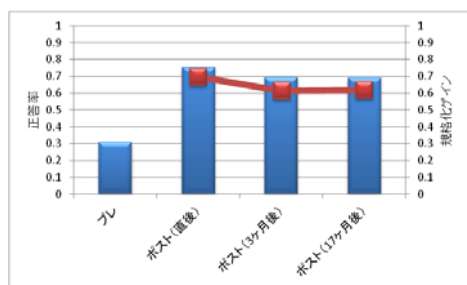


図6 ILDs 授業前後の各時期における FMCE 正答率と規格化ゲイン (■)

また、個人ごとにより詳しく分析したところ、規格化ゲインが0.61以上の学生のうち、3ヶ月後からゲインが変化していない（もしくは増加した）学生が5割を占め、さらに、彼らの平均正答率は0.89と極めて高いレベルで定着していることも明らかになった。

これらのことは、ILDsによる力学授業により学習者の誤概念が改善され、正しい概念が定着されたことを示唆しており、前節で報告した高校での実践結果とは明らかに異なる。この要因として、①ILDsの核となる討論の運営（発表の動機付け、班構成）方法および②

授業記録（自分の考えの変化を記述した事後レポート）の提出義務、等が挙げられる。①については、高校物理未履修者が半数程度含まれる対象であったが、受講者全員が教員志望という高いモチベーションで授業に望んでいること、また大学の授業ということもあり、授業者は、時間的余裕をもって討論をさせ、また支援することができたこと、②については、授業後に学生がメタ認知を行う機会が設けられたことが特に概念の理解だけでなく定着に寄与していることが、提出レポートおよびアンケート分析により明らかになった。

(5) まとめと今後の課題

本研究により、ILDs 授業を導入することにより日本においても学習者の概念理解は進むこと、特に大学の初年次教育においては有効であること、まだまだ改善の余地はあるものの、高校物理のカリキュラムに導入することは十分可能で、意味があるということが明らかになった。しかし、単に授業に導入すればよいというのではなく、「アクティブ・ラーニング（＝能動的学習）」が実現してはじめて、学習者の概念理解とその定着に意味を持つことも明らかになった。つまり、学習者を“能動的に課題に取り組むモード”に引き込むことが重要で、受身的な雰囲気クラスでは効果を期待することは難しいことである。本研究において、実践した教員が実感したこともまさにこのことであり、そのためには、学習者の多様な思考をできるだけ引き出して、全体に共通の問題意識を持たせ討論を活発化できる教員の展開力、つまりファシリテーターとしての能力が強く求められる。今後は、教員各自が自らの授業スタイルを振り返り、「アクティブ・ラーニング」型の授業も実践できるような教員研修等を含めた支援を行っていく必要がある。

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1件）

- ① 小川雅史, 岩間徹, 酒谷貴史, 古結尚, 山口道明, 山崎敏昭, 笠潤平, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, インタラクティブな手法を取り入れた「運動学」授業の試み, 近畿の物理教育 16, 22-25(2010), 査読あり.

〔学会発表〕（計14件）

- ① 古結尚, 山崎敏昭, 岩間徹, 山口道明, 倉内邦行, 酒谷貴史, 笠潤平, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 日本の高校に導入したILDs 授業の特徴とその課題 2, 日本物理学会, 平成 23 年 9 月 23 日, 富山大学.

- ② H. Kogetsu, T. Yamazaki, A. Adachi, T. Sakatani, M. Yamaguchi, K. Kurauchi, T. Iwama, J. Ryu, K. Taniguchi, T. Murata, H. Uchimura, Evaluation of ILDs in secondary school physics in Japan, INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION 2011(ICPE 2011), 2011.8.15, Instituto Politécnico Nacional, Mexico City.
- ③ 酒谷貴史, 古結尚, 山崎敏昭, 岩間徹, 山口道明, 倉内邦行, 笠潤平, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 京都の高校における ILDs 授業の成果と課題, 日本物理教育学会, 平成 23 年 8 月 9 日, 広島県情報プラザ.
- ④ 酒谷貴史, 山崎敏昭, 古結尚, 山口道明, 笠潤平, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 京都の高校における ILDs 授業導入に対する FMCE テストによる評価, 日本物理学会, 平成 22 年 9 月 25 日, 大阪府立大学.
- ⑤ 山崎敏昭, 古結尚, 山口道明, 酒谷貴史, 笠潤平, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 日本の高校に導入した ILDs 授業の特徴とその課題, 日本物理学会, 平成 22 年 9 月 25 日, 大阪府立大学.
- ⑥ 池口真一, 谷口和成, 酒谷貴史, 笠潤平, 教員養成系大学における相互作用型物理授業の実践, 日本物理学会, 平成 22 年 9 月 25 日, 大阪府立大学.
- ⑦ 谷口和成, 酒谷貴史, 池口真一, 笠潤平, 教員養成系大学における相互作用型物理授業の効果, 日本物理学会, 平成 22 年 9 月 25 日, 大阪府立大学.
- ⑧ 古結尚, 山崎敏昭, 山口道明, 酒谷貴史, 笠潤平, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 高校物理の現場で実践したアクティブラーニング・ILDs 授業の報告, 日本物理教育学会, 平成 22 年 8 月 9 日, 関西大学.
- ⑨ 谷口和成, 力と運動に関する概念評価法の検討日本物理教育学会, 平成 22 年 8 月 9 日, 関西大学.
- ⑩ 酒谷貴史, 谷口和成, アクティブ・ラーニングによる電磁気分野の授業とその効果, 日本物理学会, 平成 22 年 3 月 19 日, 岡山大学.
- ⑪ 笠潤平, 谷口和成, 酒谷貴史, 大学におけるインタラクティブな力学入門授業と事前・事後テストによるその評価, 日本物理学会, 平成 22 年 3 月 19 日, 岡山大学.
- ⑫ 笠潤平, 岩間徹, 山崎敏昭, 小川雅史, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 09 年夏の ILDs 公開講座の FMCE 事前事後テストによる評価, 日本物理学会, 平成 21 年 9 月 27 日, 熊本大学.
- ⑬ 岩間徹, 山崎敏昭, 笠潤平, 小川雅史, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 09 年夏の公開講座での ILDs 授業の特徴, 日本物理学会, 平成 21 年 9 月 27 日, 熊本大学.
- ⑭ 酒谷貴史, 古結尚, 笠潤平, 岩間徹, 山口道明, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 京都の高校での通常の力学の授業実践についての FMCE 事前・事後テストによる評価, 平成 21 年 9 月 27 日, 熊本大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 隆紀 (MURATA TAKATOSHI)

京都教育大学・名誉教授

研究者番号：10027675

(2) 研究分担者

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

笠潤平 (RYU JUMPEI)

香川大学・教育学部・教授

研究者番号：80452663

(3) 連携研究者

内村 浩 (UCHIMURA HIROSHI)

京都工芸繊維大学・アドミッションセンター・教授

研究者番号：90379074