

平成21年 5月29日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500741
 研究課題名（和文） 地域の高校教員との連携による高校・大学初年次の物理教育の新しいカリキュラム開発
 研究課題名（英文） Development of new physics curriculum by cooperation of high school and university teachers
 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：

地域の高校・大学教員の密接な高大連携による教育研究体制を構築し、近年の欧米諸国の物理教育改革の成果の日本の高校および大学初年次における応用の可能性について検討した。特に、①生徒の物理概念に対する誤認識を把握し、IT機器を効果的に活用して正しい概念に導く実験方法や②コンテキストを基盤とした探究学習の指導方法について、地域の高校生を対象とした公開講座を開催して実地に検討した結果、いずれも日本における効果が確認され、これからの物理カリキュラム開発におけるひとつの方向性を示唆する成果を得た。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

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：科学教育カリキュラム

1. 研究の背景

現行の学習指導要領による理科カリキュラムは、中学・高校の現場のみならず、大学教育においても様々な問題があることが指摘されている。中でも物理分野は指導要領の改訂によって大きな影響を受けたため、物理を履修せずに大学の理工系に進学する学生が増加し、社会的な問題となっている。これらの背景には、指導要領や受験勉強の制約が大きいためカリキュラムが硬直化し、学習内容と日常生活における科学技術が乖離していることなどによる、高校生から大学生にかけての理科、特に物理分野の学習に対する興

味や関心が著しく減少していることが挙げられる。

これらのことは、先進諸外国においても同じような状況であったが、近年、科学教育刷新の新しい動きが活発になってきている。特に科学・技術・社会の関わりを重視した STS 教育が世界的な潮流となり、その流れに沿ってさまざまなカリキュラム改革が試みられ、成果をあげている。本研究で取り上げる英国や米国の物理教育現場では、伝統的な計算中心の物理教育によって育てられた学生は学習した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。そのひとつに、すべての人のための物理を目標に掲げながら、日常生活の中で経験する様々な事象や新しい技術を教材として積極的に使うカリキュラム（コンテキストを基盤とする物理）がある。例えば、英国の高校物理コース「アドバンス物理」はその流れを汲んでいる。また米国においては、学生の物理概念の誤認識の原因を認知心理学的観点から分析し、その成果を基に教員と生徒の対話を中心に展開するインタラクティブな授業方法「Active Learning」が開発されている。特にその手段として IT 技術を積極的に活用した動力学分野の教材「RealTime Physics」は、学生の物理概念の定着率を飛躍的に向上させることが示されている。

このような流れの中で、我々は平成 14 年度から 18 年度の 5 年間にわたり、複数の高校と大学をつなぐ新しい高大連携体制を構築し、上記「アドバンス物理」の日本の物理教育への適用の可能性について実践的に検討してきた。これまでに、英国型の授業運営や探求実験の指導法などについて公開授業を通して共同で検討し、その成果を各学校における授業の改革に活用するなどの成果を上げている。

2. 研究の目的

生徒の物理概念に対する誤認識を把握し、IT 機器を効果的に活用して正しい概念に導く実験方法やコンテキストを基盤とした探究学習の指導方法について、地域の高校教員と大学教員が共同で実践的に検討し、その成果を高校や大学の初年次教育で実践するとともに、その過程が教員自身の自己研修となることを目的とする。具体的には、次の 2 つテーマを設定した。

(1) Active learning による物理授業の展開

Active Learning の授業方法とその効果について、高校生・大学生を対象にした動力学の公開講座を開催して追試し、日本での同様の授業方法の利用可能性を検討する。

(2) 探究学習における指導方法

現在の日本の高校物理における探究活動は推奨されているものの、コンテキストを基盤とした例はほとんどなく、さらにその指導方法は確立しているとは言い難い。そこで、実験中の生徒の到達度を把握しながら、探究活動を成立させる指導方法について、英国の「アドバンス物理」を参考に検討し、日本の物理授業で活用可能なティーチングプランを詳細かつ具体的に作成する。

3. 研究の方法

大学教員と京都の公立と私立高校教員の密接な連携協力によって進めた。具体的には、前述の研究会を継続発展させて、京都の公立私立高校に勤務する現職の物理教員約 15 名

を研究協力者として迎え、共同で教材作成と授業実践、授業研究を行った。

本研究の基本的な流れは、次のとおりである。なお、これら一連の過程が現場研究協力者自身の自己研修となることも目指した。

- ① 研究会を定期的に開催し、上記目的に沿った研究テーマについて、文献調査や実験などを行い詳細に検討する。
- ② 検討した成果をもとに授業プランを作成し、地域の高校生を対象とした公開講座を開く。
- ③ そこでの成果を反映させた授業プランを、研究協力者が各自の勤務校での授業などを通じて実践し、教育現場レベルにおける実用性を検討する。
- ④ その結果を研究会に持ち寄り、さらに検討・修正を加え、現場で活用可能な実用的なプランを提案する。

4. 研究成果

(1) Active learning による物理授業の展開

① RealTime Physics の特徴

「RealTime Physics」(以下 RTP) は、Active learning の考えを基に Sokoloff らによって開発された物理カリキュラムである。その力学分野について、研究会にて実践的に検討した結果、以下の特徴があることがわかった。

- ・ 生徒・学生は、綿密に用意された一連の実験それぞれにおいて、結果を予想し、班で議論し、IT 機器を用いた実験でその結果を即時に確かめ、予想と比べながら理解していくという手順が終始徹底されている。
 - ・ 運動学や Newton の 3 法則の数量的な理解ではなく、概念的理解に焦点を絞っている。
- 以上の検討結果を基に、公開講座を開催し、日本の生徒に対する効果を検証した。

② 公開講座「Active learning による力学入門」

②-1 公開講座の概要

公開講座は 2007 年 8 月 17 日(金)、18 日(土)、同志社高校にて開催した。参加者は、高校生 21 名(2 年生 4 名、3 年生 17 名)、大学生 12 名の計 33 名で、高校生の参加者は全員、物理 I の力学を学習済みである。公開講座の内容は、RTP の「module 1 力学」の前半(Lab1~6)で、具体的には運動(速度・加速度)、力と運動(Newton の第 2 法則)である。研究会において、事前にテキストを試読し、2 日間で行えるように一部省略しながら再構成し、Lab6 のみ探究学習的(発表を含む)な要素を含む実験書を作成した。表 1 に公開講座の概要を示す。授業の基本的な展開は、RTP のそれに従って、実験書に沿って班実験(各班 3、4 名)を行いながら、討論して展開する形をとった。図 1 に活動の例を示す。

表1 公開講座の概要

【第1日目】	
実験1	運動への招待
探究1	あなたの運動の距離-時間グラフ
探究2	運動の速度-時間グラフ
探究3	位置と速度のグラフを関係づける
実験2 運動を変化させる	
探究1	速度と加速度のグラフ
探究2	加速度を測定する
探究3	スローダウンとスピードアップ
探究4	ボールの運動
【第2日目】	
実験3 力と運動	
探究1	力を力センサーで測定する
探究2	運動と力
実験4 力を結合させる	
探究1	速くなる 遅くなること
探究2	合力 作用する力を結合する
探究3	一定の速度での運動
実験5 力, 質量, 加速度	
探究1	力, 質量, 加速度
探究2	力と質量の単位
実験6 空気抵抗を受ける運動	

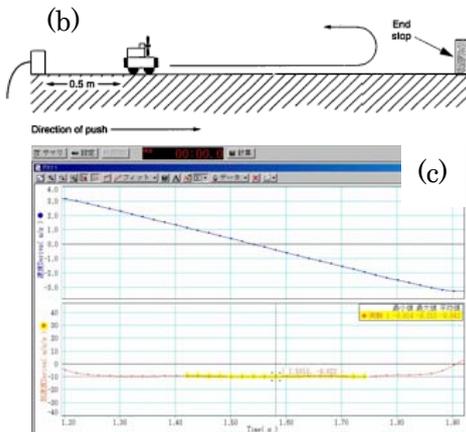


図1 活動の例 (実験2探究3「スローダウンとスピードアップ」)。(a)実験の様子, (b)距離センサーを用いた実験課題, (c)得られたグラフ。

②-2 実践結果

RTP をベースにした授業を受けた結果、参加した生徒・学生が以下の6項目の観点においてどのように評価しているか知るために、事後アンケートを行った。

- ① 内容への興味,
- ② 内容の理解度
- ③ 実験操作の簡単さ
- ④ 考える機会の多さ
- ⑤ グループ内の討論の深さ
- ⑥ 興味を持って最後まで取り組めたか

図2にその結果を示す。ここで、各項目の評価は3段階(3が高い)である。高校生の回答の特徴として、「実験操作の簡単さ」が低く、「考える機会の多さ」が高い傾向にあることがわかる。前者に関しては、開始当初は機器の扱いにとまどう生徒も見られたが、比較的短時間でその操作に慣れ、ほとんどの生徒が使いこなしていた。しかしながら、ここでの実験操作はIT機器の操作が中心であるため、教員が感じる以上に得意な(慣れている)生徒とそうでない生徒との差があったものと考えられる。

後者については、生徒の感想の中に「自分から考えなければ先に進めない授業で充実していた」、「理解する“きっかけ”のある授業であることがよかった」などがあり、考えながら行う実験について評価は高く、興味を持って取り組んでいたことが窺える。しかし、考える機会は「多かった」と評価する一方で、「グループ内の討論の深さ」については評価が低い。これについては、活動中の様子を見る限り、意見を言うだけに終わったり、リーダー的生徒の意見に従うだけだったりしたことなどが挙げられ、自由に討論ができる環境づくりなど、課題も残った。

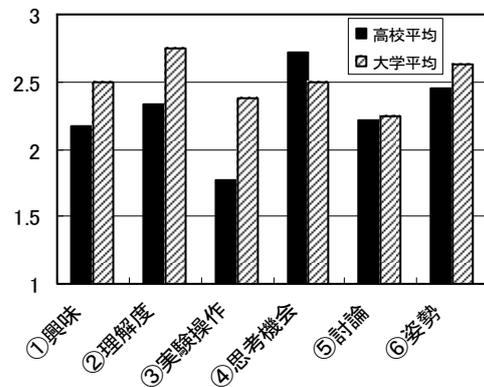


図2 事後アンケート結果(3段階評価)。ここで、興味:①内容への興味, ②理解度:内容の理解度, ③実験操作:操作の簡単さ, ④思考機会:考える機会の多さ, ⑤討論:グループ内の討論の深さ, ⑥姿勢:興味を持って最後まで取り組めたか。

②-3 成果と課題

公開講座を通して、RTPは生徒の認識過程の研究成果を基に“予想(グラフを描く)、討論、実験、結果の分析、問い”というスタイルが徹底され、実験や問いが丹念に展開されていることが実践的に確認され、生徒にも

教員にも誤概念が明確になり、それを実験や討論を通して変えていけることが明らかになった。特に、力と運動の分野においては、現象をグラフと結びつけて捉えさせ、概念を理解させることが焦点となるが、IT 機器を利用することにより、この展開を可能なものにしていく。この点は、授業時間数の少ない日本の高校物理教育における実験のあり方を大きく変えていく可能性を示唆している。

一方で、このカリキュラムは、高校で物理を既習した生徒の大学初年度のカリキュラムとして開発されているため、力学既習の高校生や大学生の概念定着を図る上では大いに役立つことは評価できるが、力学を最初から教えるカリキュラムとして導入することは難しく、その指導法を十分に理解した上で授業スタイルの変更を行わない限り、日本の高校物理授業に導入できないことが明らかになった。

(2) 探究学習における指導方法

① 「アドバンス物理」における探究学習

アドバンス物理における電流学習は、身のまわりのセンサー回路を題材とした様々な活動を通して、電流回路の基本的な知識を獲得・定着させる展開となっている。その最後には「センサープロジェクト」と呼ばれるオープンエンドな探究活動が設定されており、これまでの研究の結果、この探究活動は生徒に物理の知識を使って探究することの面白さを感じさせるとともに、それらの知識を現実において活用できる「活きた知識」として定着させる傾向があることが明らかになっている。

これまでに「センサープロジェクト」は研究分担・協力が所属する各高校・大学において実践され、それぞれの生徒・学生の実態に合わせて改良されるなど、様々な“ノウハウ”が蓄積されてきた。そこで、そのそれらを活かし、日本の高校および大学初年次の物理教育における探究学習の指導方法のひとつのモデルを検討した。

② 公開講座「センサープロジェクト」

②-1 ティーチングプランの概要

公開講座の概要を表2に示す。以下に、作成したティーチングプランの基本方針について、展開に従って述べる。

【導入】探究学習における留意点の紹介

生徒の大半は、探究学習を行った経験が少ない。そこで、“探究とはなにか”、“そこで大切にしなければならないことはなにか”などについて、実際の研究者の姿勢を引き合いに出しながら、①目的をよく理解して、自分たちなりの予想（計画）を立てること、②結果を考察してわかりやすく発表できること（後述【発表会】参照）、したがって、③

班でよく話し合うことを目標として示した。

【基礎実験：センサー回路の基礎】探究に必要な知識・技能の共有と十分な理解

班ごとの探究活動に入る前に、教員主導の生徒実験と考察を行い、全体との討論の中で探究に必要な知識・技能が生徒全員に定着するよう徹底した。ただし、教え込みにならないように、教師は獲得させたい事項に関連する発問（直接的内容ではない）を行い、班ごとの十分な議論とその結果の全体への発表、さらにそれを用いた全体との討論の中で、それらを生徒に発見させるような展開を心掛けるようにした。これは、続く探究活動への動機づけや探究の手順・ポイントが生徒なりにイメージできるようになることを目指したものであり、ここでの理解の深さが探究活動の成否に直結するためである。

表2 公開講座の概要

第1日目 午前

【導入】探究活動とは

【基礎実験】センサー回路の基礎

- 1) デジタルマルチメーターを活用した小実験
 - 目的：現代の計測技術を活用する
- 2) 抵抗の直列回路による“電位分割”実験
 1. 複数の定抵抗を用いて
 2. 可変抵抗と定抵抗を用いて
 - 目的：電位分割の概念の定着、オームの法則、電流、電位差など基礎の復習・理解、探究内容のイメージ形成

第1日目 午後 ～ 第2日目 午前

【探究実験】センサープロジェクト

- ・ 温度センサー回路を作る
 - ※ 熱いことを音（または光）で知らせる
- ・ 光センサー回路を作る
 - ※ 明るいことを音（または光）で知らせる

第2日目 午後

【発表会】

- ・ 各班：10分（発表）+5分（質疑応答）

【探究活動：センサープロジェクト】生徒の主体的な活動ための支援

探究活動において、生徒が主体的に実験を計画し、活動することは当然のことであるが、“オープンエンド”であるからといって、全く自由にさせると教師は対応できなくなり、活動が発散することになりかねない。一方で、探究過程で教師が逐一アドバイスをを行うと生徒の意識は下がり、探究にならない。これまでの公開講座や授業実践の成果から、課題に対する生徒の問題意識が高まっている状態における教師のアドバイスは“自分たちの考え”として好意的に受け入れられる傾向があることがわかっている。したがって、公開講座では、教師は生徒の問題意識が高まる（たとえば“探究に行き詰まる”）まで、我慢強く見守ることを基本姿勢とした。ただし、教師は生徒がつまづきやすいポイントを事前に把握し、生徒がそのポイントにおいてどのような議論や実験的アプローチをしてい

るかをチェックしておき、生徒が探究に行き詰まった際に、そのポイントまで戻ることを示唆するアドバイスをすることにした。

ある班の探究活動中の一場面を図3に示す。ここで、左端に座っている人物が、この班の担当教員である。教員は作成したティーチングプラン（冊子）を手に、設定されたチェックポイントにおける生徒の選択をメモしながら、活動を見守っていることがわかる。



図3 ある班の探究活動中の一場面。左端に座っている人物が担当教員。作成したティーチングプラン（冊子）を持って活動を見守っている。

【発表会】評価ポイントの事前の紹介

オープンエンドな班別探究学習を行う場合において、発表の果たす役割は非常に大きい。個々の探究成果を単に共有するためだけでなく、発表することを意識した丁寧な実験（計画）や、考えをまとめるために班内で綿密な議論を行うことが必然的に要求されるためである。そこで、より効果的な発表会となるように、【導入】および【探究活動】開始時に、発表および評価のポイントとして次の事柄を紹介した。①班の全員で発表（分担して説明）すること。②発表においては、班の全員が探究の過程や結果について共通の理解をしていることが最重要であり、その結果、探究の成果すべてを発表できなくても評価すること。③設計したセンサーシステムの原理も含めた探究結果を他の班の生徒が理解できるように発表の工夫をすること。これらを事前に明らかにしておくことにより、物理を得意とする生徒は独りよがりな探究を進めることも、逆に任せきりになることもなく、必然的に積極的な議論が班の中で交わされるようになることを目指した。活動中においても、前述のポイント毎または必要に応じて何度も指示するようにした。

図4に発表中の生徒のようすを示す。後ろの黒板に貼られているのは、生徒が発表用に作成したポスターである。上記のポイントが意識され、生徒がたどり着いた成果と未解決の課題が明らかにされた発表となり、会場の見学者も含めた活発な質疑応答が展開された。

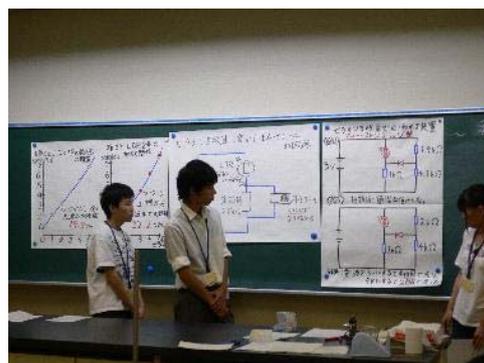


図4 ある班の発表のようす。黒板に貼られているのは、生徒が発表用に作成したポスターである。説明を意識された内容になっていることがわかる。

②-2 成果と課題

公開講座では、【探究活動】の時のみ、生徒の班ごとに1名の教員を指導者として配置した。これは、研究会メンバーにとって探究活動指導のあり方についての研修の機会とするとともに、全員が同じ指導プランで、異なる班を指導することによりこのプランの問題点を明らかにするためである。

事後に行った検討会では、外部参観者から本指導プランの問題点として、指導教員ごとの指導方法の差が大きいことが挙げられた。具体的には、生徒の探究過程におけるアドバイスの内容とタイミングである。前述のように、本指導プランでは生徒の活動を注意深く“見守る”ことが基本方針であったが、実際には早い段階から解説調の説明やアドバイス、教員による活動の提案等が行われた。これは、事前の教員間の打ち合わせ不足による指導方針の共通理解ができていなかったことや班構成の違いなども原因として挙げられる。その背景として、このプランは教員にとって自身の教育欲に対してかなりの我慢を要求するため、それが実際の指導法の差となって表れたと考えられる。

また、指導プランでは【基礎実験】段階における基本事項の生徒の理解度がポイントであったが、実際には生徒に共通認識をさせるための全体討論の時間を設けることができなかった。その結果、生徒の理解に差が生じ、それをフォローするために探究段階における教員の指導法にばらつきが生じたとも考えられる。以上の問題が生じた理由のひとつとして、時間的な制約が挙げられるが、通常授業で行う際には避けられない問題であり、したがって「なにを」「どの段階で」「どこまで」教えるかなど、内容・展開のさらなる精選を行っていく必要があることが明らかになった。

(3) まとめと今後の課題

地域の高校教員と大学教員の密接な高大

連携による教育研究体制を構築し、その下で現在、欧米諸国で急速に進んでいる物理教育改革の成果の日本の高校および大学初年次における応用の可能性について検討した。特に、①生徒の物理概念に対する誤認識を把握し、IT機器を効果的に活用して正しい概念に導く実験方法や②コンテキストを基盤とした探究学習の指導方法について、地域の高校生を対象とした公開講座を開催して実践的に検討した。その結果、いずれも日本の高校および大学初年次の物理教育における有用性が確認された。

今後、これらの成果を教育現場においてより広く活用していくためには、これらの指導方法に対する教員研修の充実と、より幅広い学力の層の生徒を対象とした授業実践を行う中で改良を重ね、柔軟性を持たせていくことが必要である。

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4件)

- ① 笠潤平, 山崎敏昭, 岩間徹, 小川雅史, 内村浩, 谷口和成, 村田隆紀, 宮永健史, 藤田利光, アドバンス物理研究会 (京都・和歌山) の活動方法と成果, 物理教育 55-2, 117(2007), 査読あり.
- ② 谷口和成, 大学初年次物理実験における「アドバンス物理」の実践, 大学の物理教育 13-2, 109 (2007), 査読あり.
- ③ 山崎敏昭, 笠潤平, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀 (他5名), 日本とイギリスの高校物理教育の比較－放射線学習を例に－, 近畿の物理教育 13, 18 (2007), 査読あり.
- ④ 山崎敏昭, 井上賢, 谷口和成, 内村浩, 高校物理実験の実態を探る－2006年大学新入生調査からの分析－, 物理教育 55-1, 33 (2007), 査読あり.

[学会発表] (計7件)

- ① 山崎敏昭, 岩間徹, 小川雅史, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, アドバンス物理“センサープロジェクト”を通じた高校生の実験に対する認識の変化, 日本物理学会, 平成21年3月28日, 立教大学.
- ② 酒谷貴史, 山口道明, 谷口和成, 力と加速度における誤概念を意識した授業展開の実践的研究, 日本物理学会, 平成21年3月28日, 立教大学.
- ③ 谷口和成, 岩間徹, 山崎敏昭, 山口道明, 内村浩, 村田隆紀, アドバンス物理“センサープロジェクト”から見た探究

学習の指導方法についての一考察－, 日本物理教育学会, 平成20年11月22日, 大阪教育大学.

- ④ 岩間徹, 谷口和成, 次期学習指導要領「物理基礎」は力学だけでよいか－「science for all」の立場の「電気分野」授業実践から－, 日本物理学会, 平成20年9月20日, 岩手大学.
- ⑤ 山崎敏昭, 岩間徹, 笠潤平, 小川雅史, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, Active learningの方法と効果についての公開講座を用いた検討, 日本物理教育学会近畿支部, 平成19年11月24日, 大阪教育大学.
- ⑥ 山崎敏昭, 笠潤平, 岩間徹, 小川雅史, 谷口和成, 内村浩, 村田隆紀, 力学の概念形成におけるActive learningの効果－公開講座による検証結果の分析－, 日本物理学会, 平成19年9月23日, 北海道大学.
- ⑦ 笠潤平, 谷口和成, 岩間徹, 山崎敏昭, 小川雅史, 内村浩, 村田隆紀, Active learningの方法と効果についての公開講座を用いた検討, 日本物理学会, 平成19年9月23日, 北海道大学.

[その他]

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

(3) 連携研究者

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

内村 浩 (UCHIMURA HIROSHI)
京都工芸繊維大学・アドミッションセンター・准教授
研究者番号：90379074