

研究報告

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

山崎 敏昭 同志社中学校・高等学校 606-8558 京都市左京区岩倉大鷲町 89
 谷口 和成 京都教育大学教育学部 612-8522 京都市伏見区深草藤森町 1
 古結 尚 同志社中学校・高等学校 606-8558 京都市左京区岩倉大鷲町 89
 酒谷 貴史 同志社香里中学校・高等学校 572-8585 寝屋川市三井南町 15-1
 山口 道明 京都府立桃山高等学校 612-0063 京都市伏見区桃山毛利長門東町 8
 岩間 徹 平安女学院中学高等学校 602-8013 京都市上京区烏丸通下立売西入
 笠 潤平 香川大学教育学部 760-8521 香川県高松市幸町 1 番 1 号
 内村 浩 京都工芸繊維大学 606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町 1 番地
 村田 隆紀 元京都教育大学教育学部 612-8522 京都市伏見区深草藤森町 1

アメリカの物理教育研究の代表的な成果「アクティブ・ラーニング」を用いた新しい物理カリキュラムのひとつ「インタラクティブ・レクチャー・デモンストレーションズ (ILDs)」の日本での活用可能性について実践的研究を行っている。2009-11 年に京都の高校生を対象とした公開講座やいくつかの高校の授業でこれを実践した結果、このプログラムが生徒の概念理解を深める上で効果があることを明らかにしたが、課題として、生徒が問題意識を強く持って積極的に討論するような発問や発言の引き出し方など教師の役割の重要性もまた明らかになった。

キーワード アクティブ・ラーニング 物理教育研究 高校物理 RealTime Physics ILDs ICT 機器 FMCE 誤概念

1. はじめに

2001 年に結成された「アドバンス物理研究会 (京都・和歌山)」は、イギリスの新しい A レベル物理コース・アドバンス物理 (Advancing Physics) の内容研究と日本の物理教育への活用の可能性を検討することを目的として活動してきた。この研究会では高校教員、大学教員を中心として 20 名ほどが集まり、夏には高校生、大学生を集めての公開講座などを開き、主に探究学習を通して物理の基礎概念の理解を深め、定着をはかる実践をすすめてきた。さらには、ICT 機器の活用が今後の実験の可能性を大いに広げていくことも明らかにしてきた¹⁾。

一方で、2006 年に東京で開催された「物理教育国際会議 (ICPE2006)」において、アメリカを中心として近年展開されている「物理教育研究 (Physics Education Research: PER)」の代表的な研究者である E. F. Redish (メリーランド大学)、D. Sokoloff (オレゴン大学) らによる講演²⁾ やワークショップ³⁾ が行われた。そこでは、彼らが連携してまとめている教材群『Physics Suite』⁴⁾ でのアクティブ・ラーニングによる授業変革によって、学生の概念理解は格段に深まることが注目を集めた。それは、学生が遭遇する困難を綿密な調査的研究によって

明らかにし、認知科学に基づき、その原因とそれを解決していく方策を探究し、学生が効果的に学ぶための新しいカリキュラムを実践的に開発していくものであった。

研究会ではこの点に関心を深め、これまでの『アドバンス物理』研究を通して培ってきた経験や成果を生かしながら、PER の日本における活用の可能性を検討し、高校、大学の物理教育における生徒・学生の概念形成を促す研究と授業実践の取り組みを始めた。特に、2006-7 年には、D. Sokoloff や R. Thornton らが開発した『RealTime Physics (RTP)』⁵⁾、2009 年からは『Interactive Lecture Demonstrations (ILDs)』⁶⁾ の授業カリキュラムについて検討を重ね、京都の高校生を対象にした公開講座やその成果を生かした一般高校における授業実践を通して、検証を行っている。我々がこれらの授業カリキュラムに注目したのは、ICT 機器の長所を生かし、生徒間の討論を中心とした授業により、伝統的な授業、実験では払拭することが困難な誤概念を学習者自らの手で克服していくことができるという特徴にある。同時に、彼らが開発した「力と運動概念評価テスト (FMCE)」⁷⁾ などの調査問題を用いることにより、学習者の概念的な理解状況を定量的に把握することが可能であることも、研究をすすめる上で大いに役立つと考えた。

本稿では、はじめに 2006-7 年に行った RTP の研究成

加速中の車内に生じる気圧の差による浮力

果を簡単に紹介し、それを踏まえて、2009 年から取り組んでいる ILDs 力学分野の公開講座の実践、さらにその成果に基づき、京都の複数の高校における実際の授業の中で実践した内容とその成果、明らかになった課題について報告する。

2. RealTime Physics の検討

2006 年秋から、毎月の例会において『RealTime Physics』⁵⁾ のテキストを試読し、IT センサーを用いた授業の検討を行った。その上で、2007 年夏に、同志社高校において高校生 21 名、大学生 12 名を集めて 2 日間の公開講座を行い、日本における有効性について実践的に検証した。この公開講座を通して、このアクティブ・ラーニングのスタイルが日本の生徒に対しても十分に活用できること、特に、実験結果の予想、討論とそれを即時に確認してさらに討論するという展開は、生徒自身に常に課題を突きつけ、何が予想通りで何が違うのかを意識させ、概念の転換をせまることができることが明らかになった。

また、これを可能にしているのは、複数の IT センサー機器を用いた測定と即時表示機能であり、速度、加速度、力グラフを相互に関連付けながら概念をとらえさせることができること、生徒が短時間で何度もやり直して、グラフの意味を議論ができること、従来の「記録タイマー」では実現できない動力学での衝突などでリアルタイムな実験ができることなど多くの可能性を示唆する結果を得た。さらに、FMCE 問題を用いた概念評価において、事前において理解度が低かった層の生徒に明らかな向上がみられた⁸⁾。

このように、RTP の授業カリキュラムの日本の生徒・学生に対する可能性が確認された一方で、日本の高校物理における実際の授業に導入する上での問題も明らかになった。たとえば、現状の一般的な高校では、40 人規模のクラスの各グループに複数の種類の IT 機器を用意することは予算的に難しく、また、用意できたとしても、1 人の教員が毎回の授業で、問題なく動作するようにすべての機器を管理し、さらにすべての班をフォローすることも難しい。そこで、生徒の討論を中心とした授業展開は同じであるが、実験は教員による演示実験であり、これらの問題を回避できる可能性がある演示実験型の授業カリキュラム「インタラクティブ・レクチャー・デモンストラーションズ (ILDs)」⁶⁾ を検討するに至った。

3. ILDs 授業導入に向けた検討

3.1 ILDs の概要

ILDs は教員による演示実験を用いてすすめる講義で、

出版されているテキストには全部で 25 回ほどのワークシートが紹介されている⁶⁾。Sokoloff らの実践では、力学の講義の間に 4 回ほど導入している⁹⁾。その内容は、①運動学 1: 人の運動、②運動学 2: 台車の運動、③ニュートンの第一法則、第二法則、④ニュートンの第三法則であり、回ごとに 5～7 の演示実験課題がある。各課題の展開を図 1 に示す。はじめに、教師が計測せずに演示実験の概要を紹介し、生徒は「予想シート」に記入しながら予想し、その予想した結果について討論した後に、実際に教員が演示実験を行い、その結果をまた討論し、「結果シート」にまとめるというものである。例えば、図 2 は「運動学 2」における、ある演示実験の予想シートの一部である。ここでは、PER の成果に基づき、速度や加速度の誤概念が明らかになる事象を取り上げ、生徒自ら考え、討論し、その結果を解釈していく中で概念変革を目指している。

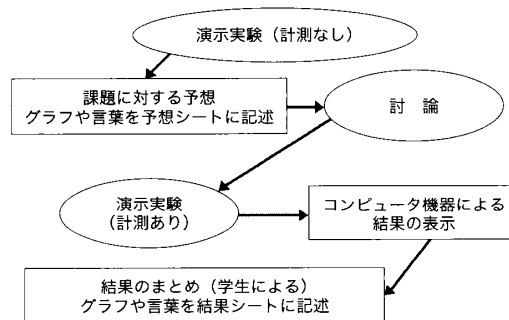


図 1 ILDs 授業における各演示実験の展開

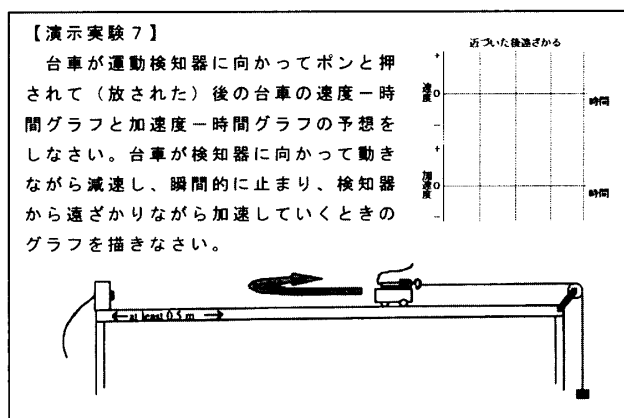


図 2 運動学 2- 台車の運動で用いた予想シートの一部
(実際のシートには図はなく、参考資料として添付)

3.2 研究計画

日本の通常の物理授業を振り返ると、教員がほとんど説明をしていて、なぜそうなのか生徒が自分の言葉で発したり、他の生徒の意見を聞いて考えたりする形ではないことが多い。一方、この点を系統的に授業に組み込むことにより、学習を能動的なものにしているの

が ILDs の特徴と言えるだろう。しかしながら、このような授業形式の経験のない我々が、40 人を越える生徒を前に授業をデザインし、実行できるかどうか、また日本の高校生にも有効に機能するかが検討における焦点となった。そこで研究会では、ILDs によるアクティブ・ラーニングの授業を詳細に検討し、日本における授業プランを作り上げていくために、以下に示すように、3 年計画を立てて取り組むことにした。

2009 年：ILDs 力学を対象に、予想シート、教師ガイドを訳しながら、内容分析と授業検討を行う。公開講座を実施してその効果を分析し、次年度以降、実施する ILDs 授業の内容を具体的に検討する。また、この授業の効果を分析する比較対象とするために、京都府内の各高校において、通常の物理授業の前後で FMCE による概念調査を実施しておく。

2010 年：公開講座で得た知見をもとに、京都の各高校で ILDs 授業を導入し、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。また、FMCE を実施して、前年の通常授業の結果と比較することによりその効果を分析する。

2011 年：前年実施の ILDs 授業をさらに改良しながら、さらに多くの高校で実施し、日本での活用の可能性を模索していく。

4. ILDs 公開講座

4.1 概要

2009 年 8 月に京都教育大学にて、力学既習の高校生 27 名を募り、上述の ILDs 力学の 4 つの回を 2 日間 (8 時間) かけて実践した。なお、I T センサーおよびデータロガーは「PASPORT シリーズ (Pasco 社製)」を用いた。

この講座の実施にあたり、日本の高校物理で ILDs 授業を行うことを想定して、いくつかの工夫と留意点を明らかにした。その一つは「回答応答システム (通称: クリッカー)」の導入である。40 人以上の生徒を対象とする日本の高校の授業では、このクリッカーを用いてクラスの予想分布を表示することにより、生徒は自分と他者との考えを容易に比較でき、討論を活発化することができるのではないかと考えた。また、グラフを描いて予想する場合はホワイトボードを用い、グループでの討論の結果をこのボードに書き込んで、比較できるようにした。

また、演示実験ごとに、目的の実験に合う (生徒に見せたい) 結果になるようにデータロガーの設定を行った。一般に、超音波による距離測定から速度-時間グラフ、加速度-時間グラフを表示する場合、そのままでは測定精度や演算方法の問題でグラフが「ガタガタ」になり、

目的に沿う形にならないことが多い。また、人間が動く場合と台車の衝突の場合では、おのずとデータ取得の仕方も異なる。つまり、適切なグラフを表示するためには、データのサンプリング周波数とグラフのスムージングのかけ方がポイントであり、この調整に時間をかけた。

4.2 結果および考察

公開講座の結果、明らかになったことは、参加した生徒は、常に課題に対して積極的に考え続ける「アクティブ・ラーニング」ができていて、生徒の誤概念が明らかになるようなよく練られた課題を次々に考えていく中で、正しい概念形成が進むということである。また、I T センサーが即時に示すグラフを生徒は「信頼」し、その結果を基にグラフの特性を評価し、速度や加速度の正負や変化などの意味を考えることもできていた。しかし、この公開講座は意欲をもって応募した高校生が対象であり、意欲や動機がさまざまな生徒がいる大人数クラスの授業において、同様の展開が可能かという課題は残った。

5. ILDs による高校授業

5.1 全体概要

2009 年の公開講座の成果を受け、2010、-11 年度は、研究会のメンバーの京都府内の高校教員にはたらきかけ、6 名の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 x 8 クラス | 3 | 44 人 x 8 クラス |
| 府立 B 校 | 4 | 17 名 | 3 | 41 名 x 2 クラス |
| 府立 C 校 | 3.5 | 26 名 x 2 クラス | 3 | 40 名 |
| 府立 D 校 | 3 | 17 名 x 2 クラス | | |
| 私立 E 校 | 4 | 26 名 | 4 | 26 名 |

評価については、事前と事後の時期に FMCE を用いた。FMCE は、1 から 8 問の小問からなる 13 の選択群 (計 47 問) から構成され、その問いの特徴により、「力そり (自然言語問題)」「グラフ選択」「斜面の台車」「コイン投げ上げ」の 4 つの問題群に分類される。すべての問いに答えるには時間がかかることと、原則として物理既習者を対象としているため、FMCE を評価に利用するにあたり、事前テストでは、中学校までに既習の位置、速度、力の概念を含む 7 群 (28 問)、事後テストでは、それに加速度を加えた 10 群 (39 問) に絞って実施した。たとえば、「運動の向きに力がはたらいている」という典型的誤概念 (MIF 誤概念) を含む「コイン投げ上げ」問題を図 3 に示す。

加速中の車内に生じる気圧の差による浮力

問 11～問 13 は、真上向きに空中に投げ上げられたコインに関するものである。放された後、コインは上がっていき、最高点に達して、再び落ちてもどってきた。選択肢のうち、1つを用いて、後に述べられている各場合について、コインに働いている力を示しなさい。空気抵抗の影響はすべて無視しなさい。

問 11 放された後、コインが上向きに動いているとき
問 12 コインが最高点にあるとき
問 13 コインが下向きに動いているとき

(選択肢)
A) 力は下向きで一定
B) 力は下向きで増大
C) 力は下向きで減少
D) 力はゼロ
E) 力は上向きで一定
F) 力は上向きで増大
G) 力は上向きで減少
J) 正しいものはない

図3 FMCEのコイン投げ上げ問題

5.2 授業実践 (2010 年度)

(1) 事前検討

2010 年に授業を実施するにあたって、次のことを実践する教員間の共通認識とした。①公開講座と同じ力学の4つの回を導入すること、②同じ予想シートを用いること、③授業人数や到達度の違いにより、導入方法と展開は各教員で判断すること。ここで、ILDsを通常授業に導入するにあたり最も議論になったことは、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時間)、さらに事前、事後テストも含めると6～8時間を確保するかであった。その例として、A校のある教員の一学期の物理Ⅰの展開を表2に示す。ここでは、「運動学」の単元は普段の授業をそのまま置き換え、他の時間は問題演習の時間を切り詰めて確保するという形で実施している。

表2 A校のある教員の一学期の授業展開。数字は授業開始からの時数。

| | | | |
|----|--------------------------|----|------------------|
| 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・正負を教えた) | 16 | 重力と質量 |
| 3 | ILD運動学1 | 17 | 第1法則、第2法則② |
| 4 | 有効数字、物理量 | 18 | 摩擦、摩擦角、動摩擦 |
| 5 | 位置、速度、合成 | 19 | ILDニュートンの第1&2法則① |
| 6 | 相対速度、グラフ | 20 | ILDニュートンの第1&2法則② |
| 7 | 加速度① | 21 | ILDニュートンの第3法則 |
| 8 | ILD運動学2.1 | 22 | 摩擦残り、空気抵抗 |
| 9 | ILD運動学2.2 | 23 | 圧力、大気圧、浮力 |
| 10 | 加速度② | 24 | 剛体の力の合成・分解 |
| 11 | 重力加速度、放物運動 | 25 | 剛体の力の合成・分解② |
| 12 | 力、フックの法則 | 26 | ボストテスト |
| 13 | 力の合成、分解、力のつりあい、作用・反作用 | 27 | 力のモーメント |
| 14 | 復習、運動の法則(ILD運動の法則) | 28 | 問題演習 |

また、生徒が互いの考えを理解し、能動的に参加することを促す方法については、生徒人数、教室環境(講義室・実験室)なども考慮して研究会で検討し、最終的には生徒の実態をふまえて各教員が判断した。例えば、カラーカードで考え(予想)を表示させ、その分布を全体に紹介する方法や4人グループで生徒に討論させ、予想結果をボードで表示し、教員が黒板に描く方法、生徒が黒板にグラフに描いて紹介する方法などである。

(2) 実践結果および考察

実施における課題を明らかにし、次年度に、より効果的な授業を行うために、全実施校のFMCEによる評価結果をもとに授業検討会を行った。各校の実施教員による授業の感想およびビデオによる授業分析を行った結果、①「運動学Ⅰ」の授業では、ほとんどの生徒が距離、速度グラフを正解する、②「運動学Ⅱ」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、混乱がみられる生徒が一定いる、③「ニュートンの第一、二法則」でも、力と速度のグラフを混同する生徒・グループがあり、ここが生徒に討論させる焦点となった、④「ニュートンの第三法則」では、9回に及ぶ演示実験を重ねるにつれて、作用と反作用の大きさが等しいことが予想できるようになったなど、実施校で共通した傾向がみられ、教員も一定の手応えを感じていたようであった。

しかしながら、FMCEによる授業評価では、概念はほとんど定着していないことが明らかになった。図4(左)は各高校における事前、事後テストの正答率を示しているが、事後において最も高い高校でも12%程度と極めて低いことがわかる。

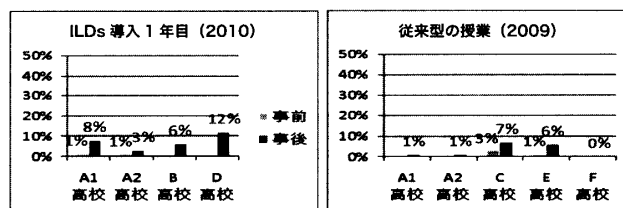


図4 2010年の「投げ上げられたコインにはたらく力」の問いに対するILDs授業前後における正答率の変化。比較のために、従来型の授業の同結果(2009年度)を載せている。

また、ILDs授業の特徴でもある、典型的誤概念(MIF誤概念)の変容を分析した。図5は、A高校において、事前テストでMIF誤概念をもつとみられる解答パターンを示した生徒のうち、事後テストにおいて正答へ変化した生徒の割合を示している。この結果もまたMIF誤概念をもつ生徒に対して、わずかに効果があることを示す程度であった。ただし、授業効果としては低いながらも、いずれの結果とも、前年(2009年)に実施した従来の講義中心の物理授業より効果があることは示しており、このILDs授業の可能性が否定されたわけではない。

そこで、事後の検討会において、その理由について検討した結果、①生徒は討論に慣れておらず、ILDsの核である討論が有効に機能しない。②生徒が実験の概要を理解するのに時間がかかり、予定時間がオーバーして後半の討論およびまとめに時間がほとんどとれない、③生徒

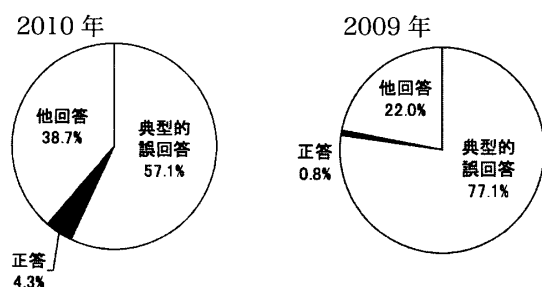


図 5 A 校 (73 名-典型的誤回答をした生徒) における事後テストで正答した生徒の割合。比較のために、従来型の授業の同結果 (2009 年度, 同 118 名) を載せている。

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。その後、これらの課題を改善する方法について検討し、次年度実施の留意点を明らかにした。その内容については、次節にて述べる。

5.3 授業実践 (2011 年度)

(1) 事前検討

前年の結果を受けて、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する、②実験結果をどう見たかについても生徒の発言を促し、全体での共通理解を明確にする、③クリッカーを導入する、④ ILDs の時間だけで終わるのではなく、ホームワーク (『RealTime Physics』を参考に作成) 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、⑤ ILDs 授業以外にも、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、などの改善点を共通認識して授業実践を継続した。なお、基本的な授業計画は各校の事情もふまえ、前年と同様にした。

(2) 実践結果および考察

前年と同様の手法を用いて FMCE により評価した「投げ上げ運動」に関する概念の授業前後における正答率の変化を図 6, 7 に示す。これらの結果から、正答率が大幅に増加しており、授業の改善の効果が確認できる。特に、A 校においては、MIF 誤概念を持つ生徒に効果があることがわかる (図 7)。

事後における授業検討会において、正答率が上昇した理由として、クリッカーを導入した A 校 (クラス人数 48 名) の教員から「その場ですぐ生徒全体の反応がみられるため、カラーカードなどよりも討論が活発になった」という感想が挙げられた。このことから、クラス全体の意見分布を把握することに苦勞し、考えを引き出しにくいクラス (たとえば 1 クラスの人数が多い) ほどクリッカーの使用が有効であることが示唆される。

また、概念理解の定着を図るホームワークを作成して、

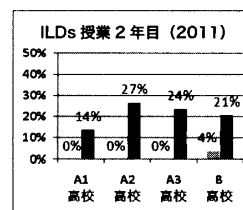


図 6 2011 年の「投げ上げられたコインにはたらく力」の問いに対する ILDs 授業前後における正答率の変化。図 4 との比較。

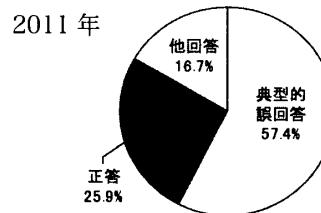


図 7 A 校 (170 名-典型的誤回答をした生徒) における事後テストで正答した生徒の割合。図 5 との比較。

生徒に提出を義務付けたことも、正答率の上昇に寄与したと考えられた。生徒の概念理解は行きつ戻りつし、何度もそれを必要とする機会に直面することで定着が進むこと、さらに、他の法則や概念の学習と比較したり、総合的に考えたりする「振り返り」の活動によって深まることが考えられ、カリキュラムを考える上でこれらの過程を十分に意識すべきである。一方で、実験器具、実験用 PC に加えて、クリッカーの配布・管理と集計のための PC 操作などを一人の教員が行うには一定の準備時間が必要であり、普及にはまだ多くの課題はあることも挙げられた。

さらに、多少の改善はみられたとはいえ、依然として、FMCE の正答率はかなり低い。授業中および直後の教員の手応えとの差異の原因のひとつに、事後テストが ILDs 授業の実施から数週間以上経った時期に行われているため、誤答した生徒の中には、直後においては一時的に概念が改善されたものの、時間経過にともない元の誤概念に戻った生徒の存在が考えられる。つまり、概念定着が悪いことを示しており、現状の評価方法ではこのような生徒の実態を把握できないが、その授業方法も含め、今後、改善の余地がおおいにあることを示している。

5.4 考察-討論の運営について

2010 年は、原則として ILDs の展開をそのまま物理授業に組み込む形で実施して、その効果を確認することが目的であったが、実践したすべての高校で正しい概念への改善、定着はほとんどできなかった。この理由として、設定されたすべての課題を 50 分間の授業の中で行うとすると時間が足りず、「とにかく急いで最後まで行うことを目指した」(実施教員のコメント) ために、討論が形式的になり、結果について十分に考察ができないなど

加速中の車内に生じる気圧の差による浮力

の問題点が挙げられた。

そこで2011年は、ほとんどの生徒が正解する課題には時間をかけずに進め、典型的な誤概念を含むようなポイントとなる課題では、生徒の考えたことを丁寧に引き出して、実験結果についても、それからわかることを生徒自身の言葉で発言させることを強く意識して展開することを実施教員間の共通認識とした。たとえば、図8はある教員が行った「運動学2」のユニットの演示実験7(図2の課題)について、各グループの討論結果をまとめたものであるが、多様な誤回答を引き出すことに成功していることがわかる。ビデオによる授業記録を分析したところ、この教員はそれぞれのグループでの考え方を引き出すのに時間をかけ、結果のどこに注目するかを明確にして演示実験を行っており、実験結果を見た後の生徒の討論が、自然に「なぜそのような(予想と異なる)結果になったのか」白熱したものになっていた。ILDs授業では、この後、「ボールの投げ上げ」に対する同様の課題に移るが、この教員のクラスでは、ほとんどのグループが予想の段階で正解した。つまり、前の課題で生徒が納得するまで予想および結果について討論ができたことで、速度と加速度に関する概念的理解が進んだと考えられる。

このように、2011年はILDs授業の展開において、どこが焦点になるかを教員が予想できた上で行ったことにより、生徒への発問や引き出し方がどの教員も格段に進歩していることがわかった。

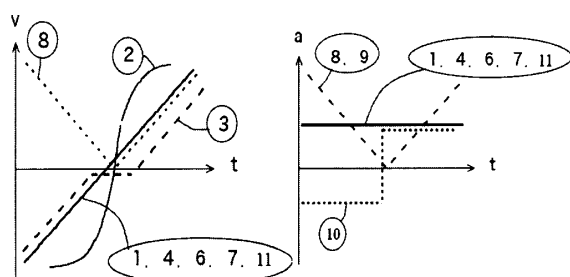


図8 向きを変える運動(演示実験7)での、グループごと討論した後の速度-時間、加速度-時間グラフの一部(数字はグループ番号)。転向点で一定時間の間、 $v=0$ であったり、 $v-t$ グラフと $a-t$ グラフが一致していたりする誤概念が確認できる。

6. 今後のILDs授業の発展の方向性

この3年間の実践研究を通して、ILDs授業により生徒の概念理解は進むこと、日本の高校物理のカリキュラムに導入することが十分可能で意義がある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ものではなく、アクティブ・ラーニングとして効果的に活用してこそ初めて生徒の概念理解にとって意味を持つ。Redishも、ILDs授業を効果的に実施するのは見かけは

ど簡単なことではなく、「学生が頭をはたらかせて能動的に課題に取り組むモードに引き入れることが重要で、受身的なクラスではとりわけ難しい」と述べている⁴⁾。本研究を通して我々が強く実感していることも、まさにこのことであり、結局のところ、それぞれの学校のクラス規模、生徒の到達度に合わせて「いかに生徒に積極的に授業に参加させるか」その方法を模索し、探究してきたともいえる。人数の多い授業では単に討論して発言させるだけでなく、発言を引き出して生徒全体に共通の問題意識を持たせる教員の展開力も問われ、その方法も多様である。

我々の研究はまだ始まったばかりである。教員各自が自らの授業スタイルを振り返り、生徒が能動的に授業に参加し、そこで自ら考え、試し、考察するような授業になるように、今後も検討を継続していくことが必要である。現在、ILDsは他の地域の高校や大学においてもその活用が広がっている。今後は、これらの取り組みとも交流を深め、実践校を増やししながら、日本の高校物理におけるアクティブ・ラーニングのあり方を検討し、物理教育を改善していく基盤づくりをしていく予定である。

付記 本研究は、平成21～23年度科学研究費補助金・基盤研究における「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」(課題番号21500873)によって行ったものである。

引用文献

- 1) 笠潤平 他：物理教育 55-2 (2007) 117-122.
- 2) E. F. Redish : *New Directions of Research on Undergraduate Physics Education*, Proceedings of the ICPE 2006 9-19.
- 3) D. Sokoloff and R. Thornton : *Active Learning with Interactive Lecture Demonstrations*, Proceedings of the ICPE 2006 92-96.
- 4) E.F. Redish : *Teaching Physics with the Physics Suite*, 2003, Wiley. この日本語版：日本物理教育学会 監訳：「科学をどう教えるか—アメリカにおける新しい物理教育の実践」(2012), 丸善.
- 5) D. Sokoloff, R. Thornton and P. Laws : *RealTime Physics* (Vernier Software, Portland OR, 1955) .
- 6) D. Sokoloff and R. Thornton : *Interactive Lecture Demonstrations*, 2004, Wiley.
- 7) R. Thornton and D. Sokoloff : *Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation*, Am. J. Phys. 66 (4) , 228-351 (1998).
- 8) 山崎敏昭他, 笠潤平他：日本物理学会第62回年次大会講演概要集, 23pTV-8, -9 (2007).
- 9) D. Sokoloff and R. Thornton : *Using Interactive Lecture Demonstrations to create an active learning environment*, Phys. Teach. 35, 340-347 (1997) .

(2012年10月17日受理)