２０１６年度　日本物理教育学会年会

第３３回　物理教育研究大会

発表予稿集

２０１６年８月６日（土）・７日（日）

国立大学法人　新潟大学

（〒950-2181 新潟市西区五十嵐２の町 8050 番地）

主催　日本物理教育学会

共催　新潟大学教育学部

後援　文部科学省，日本物理学会，応用物理学会，日本理化学協会，
新潟県教育委員会，新潟市教育委員会，
新潟県高等学校教育研究会，新潟県理化学協会

第33回物理教育研究大会

大会テーマ　アクティブラーニングを実現する物理教育
日　　時　2016年8月6日（土）・7日（日）
会　　場　国立大学法人　新潟大学　五十嵐キャンパス

《大会プログラム》

8月6日（土）

8:50～ 9:20　受付（中央図書館ライブラリーホール）
9:20～ 9:35　開会（A会場）
9:35～10:35　原著講演1（A会場）
10:45～12:00　原著講演2（A会場）
12:00～13:00　昼食
13:00～14:30　特別講演　David Sokoloff氏（オレゴン大学教授）
「Interactive Lecture Demonstrations: An Effective Active Learning Strategy for Lecture」
（相互作用型の演示実験講義：講義をアクティブラーニング型に変える効果的手法）
14:40～15:25　ポスターセッション（中央図書館ライブラリーギャラリー）
15:35～16:35　原著講演3（A会場・B会場）
16:45～17:45　原著講演4（A会場・B会場）
18:00～20:30　懇親会（第2食堂）

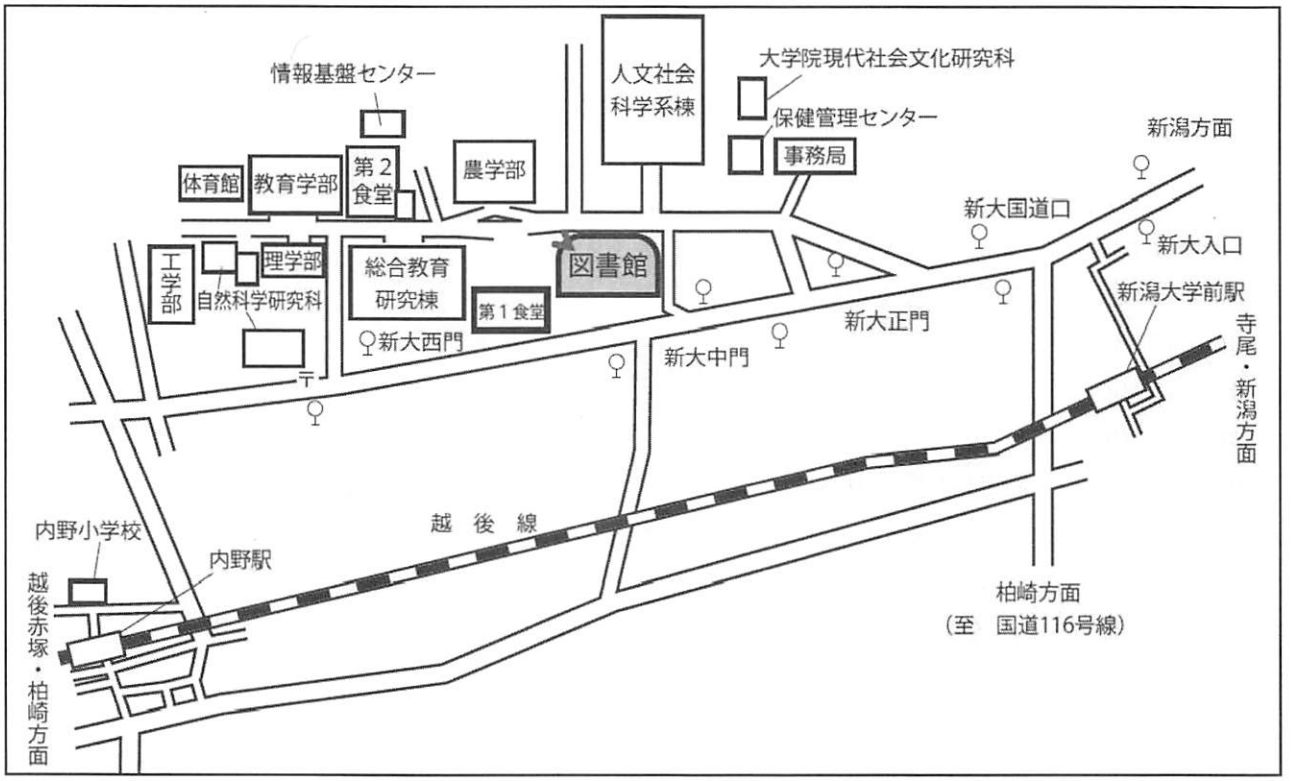
8月7日（日）

9:00～ 9:30　受付（中央図書館ライブラリーホール）
9:30～10:10　受賞・表彰式（A会場）
10:30～12:00　ワークショップ（教育学部202・203・205講義室）
①協同的グループ問題解決法　金長　正彦　氏（電気通信大学）
②チュートリアル　植松　晴子　氏（東京学芸大学）
③相互作用型演示実験講義(ILDs)　谷口　和成　氏（京都教育大学）
12:00～13:00　昼食
13:00～14:15　原著講演5（A会場）
14:25～15:10　原著講演6（A会場）
15:20～16:05　原著講演7（A会場）
16:15～16:45　各ワークショップの報告（A会場）
16:45～17:15　全体討論（A会場）
17:15～17:30　閉会

A会場　中央図書館ライブラリーホール
B会場　教育学部204講義室

新潟大学五十嵐キャンパス　構内見取り図

メイン会場：図書館　　サブ会場：教育学部　　昼食会場、懇親会会場：第２食堂



日本物理学会奨励賞

特別講演

日本物理教育学会奨励賞　記念講演

A会場：中央図書館ライブラリーホール

「万博公園・理科実験野外教室」8年間の取り組み　檀上　慎二　……　3

特別講演

A会場：中央図書館ライブラリーホール

Interactive Lecture Demonstrations:An Effective Active Learning Strategy for Lecture
（相互作用型の演示実験講義：講義をアクティブラーニング型に変える効果的手法）　David R.Sokoloff　……　6

2015年度　日本物理教育学会賞・日本物理教育学会奨励賞

＊　2015年度日本物理教育学会賞は，応募（推薦）がありませんでしたので，受賞者なしとなりました。

日本物理教育学会奨励賞

檀上　慎二（四天王寺学園中学校･高等学校）

“万博公園理科実験野外教室”の７年間の取組み

檀上慎二氏は，2009年に創始された万博記念公園における理科の大規模な野外実験教室の初代実行委員長を務めて以来，７年間にわたり“万博公園理科野外教室”を統括し，企画・運営してこられた。同氏は，「理科教育を通しての自立型人間の育成」という理念のもとに長年にわたって実施されている「青少年のための科学の祭典」大阪大会で培った経験を生かし，「次世代育成」という理念を掲げて“万博公園理科野外教室”を成功裏に取りまとめ，年毎に見事な成果を上げてこられた。今後はさらに発展させることを目指して活躍しておられる。

同氏の以上の教育実践は多方面から高い評価を得ており，その功績は日本物理教育学会奨励賞に相応しい。

日本物理教育学会・日本物理教育学会奨励賞について

長年にわたり会長を務められた故・大塚明郎先生から寄せられた御厚志を基に本学会の一層の活性化を図ることを主旨として1995年に「大塚賞」が創設されました。発足当初は“活性化”とは若手の育成と奨励を強く意識していました。その後，有志の方々からのご寄付を加えて基金を増補し，2006年に名称を「日本物理教育学会賞（理論部門，実践部門）」と変更して会員の優れた成果を表彰してきましたが，学会の新たな活性化を図るべく，2013年度から，学会賞を「日本物理教育学会賞」と「日本物理教育学会奨励賞」の２種類としました。2016年度の募集については，会誌64－３に掲載の予定です。

過年度の受賞者一覧

日本物理教育学会奨励賞

2014 年度	植松　晴子	「チュートリアル方式による物理教育の実践」
2013 年度	至田　雅一	「生徒たちが取り組む次世代育成の理科実験教室の創始と理科教育普及への貢献」
	本弓　康之	「身近な素材を用いた興味深い現象を伴う教材の開発と紹介」

日本物理教育学会賞

2014 年度	(受賞者なし)	
2013 年度	笠　　耐	「国際的な交流の場の開拓とそれによる日本の物理教育の発展への貢献」
2012 年度	(受賞者なし)	
2011 年度	(受賞者なし)	
2010 年度	平島由美子	「小学校教員支援の実践と支援政策の提言」
2009 年度	鈴木　　亨	「誤概念を支える因果スキーマ」
2008 年度	北村　俊樹	「パソコンを使った手軽で精度のよい音波の実験」
2007 年度	堀込　智之	「造波水槽の開発を通じた波動現象の教材化」
2006 年度	金城　啓一	「生徒実験を主体としたプログラム学習型授業の実践」

大　塚　賞

2005 年度	斎藤　吉彦	「方位磁針集団による磁区演示と自発的対称性の破れ」
	渡邊　儀輝	「学校・地域・メディアを巻き込んだ理科教育の実践」
2004 年度	三門　正吾	「紙筒と空き缶を利用した高感度 GM 管の製作」
2003 年度	米田　隆恒	「電子天秤を用いた誘電率および透磁率の測定」
2002 年度	永田　敏夫	「モアレ縞で遊ぼう」
	川上　　晃	「注射器とフラスコを使ったニューコメン蒸気機関の製作」
2001 年度	綿引　隆文	「物理授業におけるエネルギー環境教育の実践」
2000 年度	宝多　卓男	「アルキメデス逸話の再実験」
	工藤　貴正	「夢と楽しさのある演示実験の実践」
1999 年度	石崎　喜治	「雨ドイを使った波動の導入実験など一連の実践」
	山田　善春	「炭酸ガス風船通信など一連の実践」
1998 年度	(受賞者なし)	
1997 年度	鬼塚　史朗	「伝声炎」
	佐々木秀一	「渦電流で磁石を浮上させる実験など一連の実践」
1996 年度	矢野　淳滋	「半導体レーザーを使った加速度計」
1995 年度	森　　雄兒	「陽電子の見える霧箱」

「万博公園・理科実験野外教室」8年間の取組み

四天王寺学園中学校[1], 檀上慎二[1]
E-mail　danjo@mb.infoweb.ne.jp[1]

1．はじめに

このたび、日本物理教育学会奨励賞の受賞にあたり、大層光栄なことと存じ恐縮する次第である。受賞の対象となった「万博公園理科実験野外教室」は私一人の手によるものではなく、毎年工夫を重ねて出展していただいている先生方、副実行委員長として活躍されてきた大阪府立東住吉高等学校の至田雅一先生、会計として活躍されてきた大阪教育大学附属高校池田校舎の筒井和幸先生を始め、多くの方々の叡智と努力によって運営されてきたものである。そして何より、8年間一貫してご指導いただいた大阪大学名誉教授の高橋憲明先生の独創的な発想があってなされたものであることを、まず始めに申しあげたい。

2．理科実験野外教室の生い立ち

理科実験野外教室は、青少年のための科学の祭典大阪大会（以後「大阪大会」と記す）の発展版として2009年にスタートした。

大阪大会は1992年からスタートし、現在では毎年8月下旬の土日に、大阪・梅田の「ハービスホール」で開催している、関西最大級の科学イベントである。大阪大会は、中学生、高校生が前面に出て来場者に実験の説明をすることを特徴としてきた。他者に説明することで、自らの知識・理解が鍛えられ、確かなものとなっていく。大阪大会は、次世代の科学・技術を担うべき青少年を育成させる格好のプログラムとなった。

2004年からは、大阪大会から派生して「自然科学の基礎を訪ねる」という取り組みを始めた。これは、青少年が大阪市立科学館を舞台に研究活動を行い、科学館の展示物を来場者に説明することを通して青少年の成長を促そうというものである。大阪大会の次世代育成の理念をさらに発展させたものといえよう。

さらに次の発展として、高橋憲明先生から、実験教室の舞台を野外に移して次世代育成を図るというアイデアが示され、檀上が委員長、至田雅一先生が副委員長として、学校外における新しい理科教育法を確立することに取り組んだ。このようにして「理科実験野外教室」が誕生した。

3．理科実験野外教室の8年間

2009年、大阪・千里に広がる万博記念公園を舞台に「理科実験野外教室」を始めた。舞台を野外に移すことにより、これまでできなかった大規模な実験、広いスペースや太陽や風を必要とする実験を可能とした。それだけではなく、この企画を通して青少年にスケールの大きな発想を経験し、自ら醸成してもらうことによって、次世代育成を図ることとした。ガスも電気も自由には使えない、天候もどうなるかわからない環境で、どういうことが可能で効果的かを考えることも、強靭な精神を養うための訓練である。

以来８年間、９回におよぶ理科実験野外教室の中から、代表的な実験例を下に示す。

・「ソーラーバルーンを揚げよう」

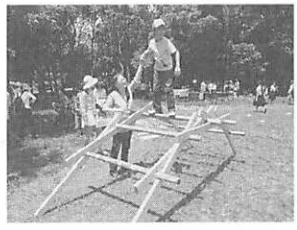
黒いポリ袋をつないで巨大な風船を作り、太陽熱で浮上させる。

・「ドラム缶つぶし」

理科実験野外教室の定番実験。原理を説明するために、真空の説明や事前の実験を積み重ね、最後にドラム缶つぶしに至る。

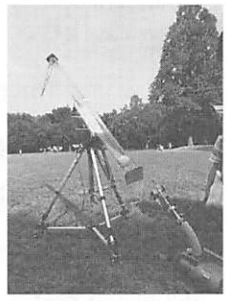
・「レオナルドの橋」

木を組合せて大きなアーチ橋を作り、子どもが乗って渡る。



・「飛ばせ！真空砲」

ポンプで真空状態を作り、それが破れるときの勢いでマシュマロを打ち出す。



出展者の中には、「このような企画は他にない」と、遠く東京や山口から毎年出展していただいている先生もおられる。

大阪大会同様これらの実験においても中学生、高校生が先頭にたって来場者に説明していることはいうまでもない。この８年間の経験を通して、多くの若者に大きく成長する契機を与えることができた。高校生・中学生からは、自分の考えが大きく広がったとか、困難に立ち向かってそれを克服する力が身についた、自発的な啓蒙活動を始めたなどの意見をいただいている。大阪大会や野外教室で育った青少年スタッフが、現在教員や研究者として活躍しているケースも多い。このような成果が今後さらに広がっていくことを願っている。

４．おわりに

冒頭に紹介した高橋憲明先生、至田雅一先生、筒井和幸先生に改めて感謝したい。また、この取り組みを続けてこられたのは、出展者・実行委員の皆さまの努力に加え、関西・大阪 21 世紀協会、大阪府万博記念公園管理事務所の皆さまのおかげである。大阪市立科学館、日本物理教育学会近畿支部、関西サイエンス・フォーラム、読売新聞社の皆さまにもご後援をいただいた。この場を借りて感謝申し上げるとともに、引き続いてのご支援をお願いしたい。

参考文献

[1] N. Takahashi and N. Suzuki：20years of raising next generation for researchers and teachers of natural science through science festival for youngsters in Osaka, APPC12 (2013) F3-13 F Pwe-9

[2] M. Sida, S. Danjo and N. Takahashi ：Outdoors science experiment classes：Raising the next generations for researchers and teachers of natural science, APPC12 (2012) F-Pwe-9

[3] 至田雅一、檀上慎二 ： 万博公園理科実験野外教室に見る次世代育成，『物理教育』(2013)

[4] 檀上慎二、至田雅一、筒井和幸：「万博公園・理科実験野外教室」８年間の取組み『日本物理教育研究大会予稿集』(2015)

オレゴン大学名誉教授ディビッド・ソコロフ氏
特別講演要旨（土佐幸子訳）

演題：Interactive Lecture Demonstrations: An Effective Active Learning Strategy for Lecture
（相互作用型の演示実験講義：講義をアクティブラーニング型に変える効果的手法）

講演要旨：The results of physics education research and the availability of computer-based tools have led to the development of active learning materials to improve conceptual learning in the introductory physics course. These include hands-on, student-centered laboratory curricula like RealTime Physics (RTP) [1], and lecture materials like Interactive Lecture Demonstrations (ILDs) [2], [3]. The success of these materials is based on (1) engagement of students in the learning process, and (2) clear and understandable presentation of real observations of the physical world. Student learning assessment using conceptual evaluations has played a large role in the development and validation of these approaches. ILDs in most areas of physics have also been published by Wiley in the book, Interactive Lecture Demonstrations. Examples of ILDs in different areas of physics, and the eight-step ILD procedure will be demonstrated through audience participation. Use of ILDs to create and active learning environment, and results of studies on the effectiveness of ILDs will also be presented.

[1] David R. Sokoloff, Ronald K. Thornton and Priscilla W. Laws, "RealTime Physics: Active Learning Labs Transforming the Introductory Laboratory," Eur. J. of Phys., 28 (2007), S83-S94.

[2] David R. Sokoloff and Ronald K. Thornton, "Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment,"The Physics Teacher 35: 6, 340 (1997).

[3] David R. Sokoloff, "Active Learning of Introductory Light and Optics," Phys. Teach. 54: 1, 18 (2016).

物理教育研究から得られた成果にコンピュータを利用した測定装置の活用を加え、入門的な物理講義において学生の概念理解を促すアクティブラーニング型の教授法の開発に取り組んできた。この教授法には、学習者主体でハンズオンを行う実験カリキュラム「リアルタイム物理（RTP）」（文献１）と「相互作用型演示実験講義（ILDs）」（文献２、３）という講義手法が含まれる。この教授法の成功の要因として、（1）学習の過程において学生を集中させ、（2）学生が理解できるように物理現象を明確に提示していることが挙げられる。概念理解の調査を

通して学生の学びを評価することも、この教授法のアプローチの開発と妥当性を確かめる上で大事な役割を担ってきた。ILDs は物理の各分野ごとに「相互作用型演示実験講義」と題する書籍として Wiley 社から出版されている。本講演では、複数分野の ILDs の例と「相互作用型演示実験講義」の８つのステップを聴衆の参加を含めながら紹介する。さらに、ILDs を用いてアクティブラーニングの環境を作ることと、ILDs の効果に関する研究成果についても発表する。

ワークショップ

ワークショップ

8月7日（日） 10:30～12:00

協同的グループ問題解決法	金長 正彦	…… 7
チュートリアル	植松 晴子	…… 9
相互作用型演示実験講義（ILDs）	谷口 和成	…… 11

協同的グループ問題解決法

電気通信大学　　金長 正彦
e-mail: kanenaga@team-edu.uec.ac.jp

1. はじめに

ヘラー達（P. Heller, K. Heller et al.）ミネソタ大のグループが始めた“物理学での協同的グループ問題解決（Cooperative Group Problem Solving in Physics）”[1]という教育法を知ったのは，電気通信大学で２０１０年度から始まった学科･専攻を問わず全学共通の初年次教育カリキュラムにおいて，物理学の単位を修得することができなかった学生向けに２０１１年度より開講された再履修物理科目を担当した時期であった．

この科目を履修する学生達は，前年度と同じ学習範囲（力学，波動，熱力学，電磁気学の初歩）について再履修者専用の試験ではなく，次年度（２０１１年度）に入学した学生達と同一の試験を受けることが義務づけられていた．前年度の試験解答状況を調査した結果からは，再履修になる学生達の傾向として，いわゆる概念理解が不十分なだけでなく，工学部専門科目を学習する上で必須である計算能力が不足していることも示されていた．このような再履修者に対して，前年度と同様，教員から学生への一方通行である講義を行う授業が有効であるか確信が持てない状況であった．そこで再履修科目では，概念理解については Peer Instruction で理解を深め，計算能力については演習問題を学生に解かせて養う演習授業形式を採用することとした．

２０１１年度前期に実施した演習授業の学習効果を調べるため，前年度初年次の試験結果と比較したところ，９０%以上の学生について前年度より試験成績が向上していることが示された．しかしながら，その成績向上の割合は，教員の演習解答採点時の指摘量（いわゆる赤ペンの入る量）と正の相関があることも示された（学生個人の努力量も関係するかもしれないが，学生の時間外学習時間などは調査しておらず不明である）．つまり，演習解答採点時の指摘量が多かった学生ほど前年度の成績に比較して成績が向上する割合が大きくなっていたのである．この演習授業形式では，受講学生数が少ない内は教員の努力で賄えるが，学生数が増加すれば破綻することは自明である．事実，前期の受講者数が６０人前後であった際の採点時間が週末１日で終了していたのに比べ，後期の受講者数は１００人を超え，その採点時間は週末２日を要することになった．

この問題を解決するために採用したのがヘラー達の「物理学での協同的グループ問題解決」である．次章ではその概略を紹介した後，我々が採用した方略を説明する．

2. 物理学での協同的グループ問題解決

エドワード･F･レディッシュの解説[2]によれば，ミネソタ大グループが開発した方略は次の３項目で表される．（１）六つの特徴により問題の難易度を分類し，文脈に富んだ問題（context-rich-problem）を開発する．（２）３名から４名でグループを組んだ学生達にこれらの問題を渡し，グループ内での教え合いによる学習の相互作用を促す．（３）明確な問題解答の方略を学生に予め明示し，学生達が行き詰まった場合にそれを適用するように支援する．

彼らが開発した文脈に富んだ問題は，現実的な場面に即したもので，不完全なデータしか与えられていない，場合によっては問題の一部を学生達自身で提起しなければならないこともある．こうした問題は，学生個人で解くには難しすぎるが，さまざまな能力の学生が混ざっているグループが協同で取り組めば，15 分から 20 分程度で解くことが可能な程度の難易度を設定している．各グル

ープはさまざまな能力の学生を含むように組まれ，グループ内のそれぞれの学生に特定の役割，議論を運営する者，問題内容を説明する者，説明や解答に疑問を提起する者，議論を記録する者を（交代しながら）振り当てることで学習の相互作用を増強している．

前述の電気通信大学再履修科目で演習授業を行った際に問題となったのは，教員の演習解答採点時の指摘量と学生の成績向上に相関があることであった．教員が指摘して初めて，学生は自己の解答を復習し，その意味を再度考え，理解するような学習状況になっていたことに問題があった．教員の指摘を介在せずに，この種の学習状況を実現する学習教育方法が必要だったのである．ミネソタ大グループが開発した協同的グループ問題解決の方略であれば，その学習状況を再現する可能性があると考えたが，特に文脈に富んだ問題を用いて特定の学習項目を深く理解する方略では，限られた授業回数で決められた学習範囲に対して計算能力を養う目的を達成するのは困難であると予想された．そこで，それまでに演習授業で利用していた問題を可能な限り彼らの開発主旨に沿う形で変更し，それ以外の部分はそのまま利用して演習授業を２０１３年度に実施した．２０１４年度では２０１３年度受講者の意見を一部取り入れた方略に変更したので，その結果も次章で紹介する．

3. 電気通信大学での実施結果

右図はそれぞれ前年度の試験成績を偏差値化し横軸に，再履修科目で演習授業を受けた年度の試験成績を偏差値化して縦軸にとり，５ポイント間隔で同じ範囲に入った人数をバブルの半径とした図である．図１は従来型演習授業を受けた学生グループの結果であり，図２は協同的グループ問題解決の方略に可能な限り沿った演習授業を受けた学生グループの結果を示し，図３はグループ内での役割分担を割り当てずに協同的グループ問題解決の方略を実施した結果を示している．図３の演習授業で役割分担を割り当てなかった理由は，図２の演習授業での学生アンケートで最も不評であったのが役割分担の割当であったためである．いずれの結果も前年度の成績以下になった学生数は２，３名で演習を行うことで成績向上が見られたことを示している．協同的グループ問題解決に可能な限り沿った演習授業を行った図２に特徴的な点は，成績向上の割合が高い領域に学生数が多く分布している点である．役割分担を行うことで学生間の相互作用が促進されたと我々は解釈している．

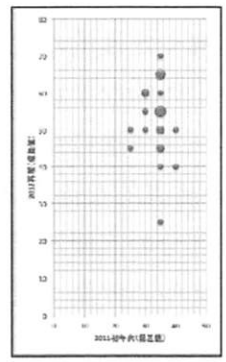


図１

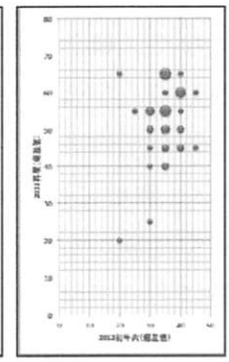


図２

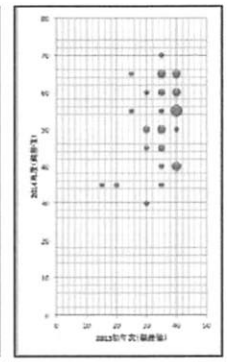


図３

4. まとめ

ミネソタ大グループが開発した協同的グループ問題解決の方略を実施する場合，その最も障害となる部分（文脈に富んだ問題開発）がある程度省略可能であることが本稿により示された．本ワークショップでは，この改編した協同的グループ問題解決を実施する上でのキーポイントや演習問題の改訂方法などを，実際の演習授業に参加実施していただくことで紹介する．

参考文献

[1] P. Heller and K. Heller, Cooperative Group Problem Solving in Physics, Physics Dep., Univ. of Minnesota, Minneapolis, 1996.

[2] Edward F. Redish, Teaching Physics with the Physics Suite（エドワード･F･レディッシュ 著，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）

チュートリアル

東京学芸大学[1], 植松晴子[1]
E-mail　uematsu@u-gakugei.ac.jp[1]

1．はじめに

ワシントン大学の McDermott らによって開発されたチュートリアル(Tutorials in Introductory Physics, TIP)[1]は，伝統的な演習授業に代わる相互作用型授業である．日本物理教育学会監訳の『科学をどう教えるか』[2]でも解説されている．学習者は，グループの中でワークシートの課題に取り組みながら,遭遇する認知的葛藤を学習者同士の議論を通じて解決し，理解を深めていく．用いるワークシートは，物理教育研究に基づいて作成されており，学習者の持つあらゆる素朴概念を引き出し，学習者同士で議論しながら新しい知識を自分の理解の体系に組み込んでいくように設計されている．設問の条件にしたがって式を立てて解くという形式の演習問題ではなく，概念の理解や定性的な説明を求めるものがほとんどである．他の相互作用型授業と共通して，学習者の主体的な学びを促すことを目的の一つとしている．チュートリアルでは授業全体が学習者のペースで進行するため，仮説を立てて検証する発見型のものに徹することは難しく,教材にはやや誘導的な面もあるが,グループ内での議論が円滑に進めば，学習者は日常感覚や経験からくる自分の直観を活かし，論理的な思考をつないで納得して理解する．また，教員にとっては，従来型の授業では知ることの少なかった学習者の真の考えに触れる機会となる．

2．チュートリアルの授業の進め方

チュートリアルは本来，アメリカの大学において講義や実験と並行して行われる演習の授業として開発されたもので，知識を与える過程は含まれていない． TA が学生の間を回って，議論を深める質問をしたり，論点を整理したりする．TA の研修は教員が行うものの，必ずしもチュートリアルの授業を教員がみるとは限らない．

伝統的授業を受けてきた多くの学生は,「授業では教員が期待する“正解”を答えなければならない」,「そのためには日常感覚や経験による直観は切り離して“物理の授業用の考え”を使わなければならない」と考える．その結果，型通りの演習問題は解けるようになっても，誤概念は一向に解消しないことが起こり得る．講義で得た知識を自分で活用する時間であるはずの演習の授業も，他から正解や解法を教えてもらって，自分の考えをそれに合わせるだけになっていることもある．その場合，断片的な知識の集合を飲み込んでいるだけで整合性のある理解の体系を構築することは望めないが，それが学生の授業観・学習観であり，変容させるのは容易ではない．チュートリアルを効果的にするためには，知識はどの授業でも向こうから伝えられる・与えられるという受け身の姿勢から学生が脱却して，一人一人が自分の直観を活かすこと･論理的に思考すること･その結果納得して理解することに意義を見出さなければならない．教員や TA は，その価値観を一貫して強調する必要がある．ファシリテーションにおいては，個々の学生の考えに関心をもって耳を傾け，さまざまな意見を掘り起こして議論を活性化する

役割を担う．進行上，最低限必要な知識を補ったり，グループの理解が一定のレベルに達していることを確認したりする場面はあるが，教えることはしない．真の理解は学習者自らが得るもので，待っていても与えられないことを認識させるのである．ワークシートも理解への過程を支援するもので，その課題に“正解”はない．内容の理解度の評価については宿題や試験で行う．その際にも，基本的な知識や事実から結論にどう結びつけるかという論理的な思考を重んじる．

3．ワークショップでのチュートリアル

本ワークショップでは，東京学芸大学の「物理学演習」で行っている形式でチュートリアルを行う．用いる教材は，メリーランド大学の物理教育研究グループが，TIP をもとに認知論的配慮を加えて開発した Open Source Tutorials (OSTs)[3]である．実施上の問題で若干変更した部分もあるが，基本的には原版に忠実に翻訳して用いている．

学芸大では，アメリカの大学のカリキュラムと異なり，講義・実験・演習はそれぞれ独立である．教材の一回の内容は授業時間に比して多いが，授業時間内に消化しきれないグループがあっても，学習内容を共有したり確認したりすることに他の授業の時間を充てることはできない．そこで，授業の初めに最低限必要な知識を確認している．また，授業の最後にはその回の内容を振り返る時間を設け，それぞれが「大事だと思うこと」「すっきりしないこと」を書く．その記述の一部を次の回に紹介して共有している．

本ワークショップでのファシリテータは筆者のみになるが，参加される方々には実際にグループでワークシートの課題に取り組みながら，学生とファシリテータの双方の立場を想像していただきたい．最後に，学芸大の学生に見られるさまざまな反応も紹介する．

4．おわりに

2. で述べた授業観・学習観の変容は，相互作用型授業全般に通じて求められることである．それは数回の授業で実現できることではなく，教員が自らの授業観・学習観を問い直しながら，学生へ継続的に働きかけることが必要であると考えている．

参考文献

1) L. C. McDermott, P. S. Shaffer and the Physics Education Group: *Tutorials in Introductory Physics* (Prentice-Hall, 2002).

2) エドワード・F・レディッシュ著，日本物理教育学会監訳：『科学をどう教えるか』(丸善出版，2012)

3) http://www.physics.umd.edu/perg/

相互作用型演示実験講義(ILDs)

京都教育大学　谷口和成
E-mail　guchi@kyokyo-u.ac.jp

1．はじめに

近年，学習者に正しい物理概念を定着することを目指した教育的介入法として，米国の物理教育研究において「Physics Suite」と呼ばれる，アクティブ・ラーニングを主体とする授業手法・教材群が開発されている[1]。日本においてはICPE2006以来，これらを用いた様々な実践的研究が行われ，成果と課題が報告されている[2, 3]。本稿では，ワークショップで取り上げる「相互作用型演示実験講義（Interactive Lecture Demonstrations[4]：ILDs）」と呼ばれる，オレゴン大学のソコロフ教授らによって開発された手法の概要と日本における実践の現状を紹介する。

2．ILDsの構成および授業の展開

ILDsには，Mechanics, Oscillations & Waves, Heat & Thermodynamics, Electricity & Magnetism, Light & Opticsの５つの分野があり，各々は関連する物理概念を中心とした複数のユニットから構成される。各ユニットは，基礎的な概念上の問題に焦点を当てた，単純な基本的原理を説明する一連の演示実験（ユニットにつき5〜8つ）で構成され，通常の講義期間中の適当な時期に複数回実施されるように設定されている。ユニットを構成する各演示実験は，表１に示す８つのステップに基づき展開される[4]。そこでは，演示実験の結果を予想させる中で，学生間の討論により素朴概念を表出，共通認識させ，演示実験の結果に対する認知的葛藤を促し，その解決手段としての討論の活性化，さらには概念に対するメタ認知を経て，科学的な概念形成が目指される。

表１　ILDsの手順の８つのステップ[4]

1. 演示実験について説明し，測定結果を表示しないで，クラス全体に見えるように実演する。
2. “予想シート(あとで回収する)”に記名させ，それに自分の予想を記録するように求める。（予想シートは出席・参加ポイントとなるが，予想は評価されないことを断言する）
3. 少人数(周囲の2，3人)のグループで議論させる。
4. クラス全体で，学生たちの共通する予想(複数)を明確にする。
5. “予想シート”に，自分たちの最終的な予想を書くように求める。
6. 測定結果を表示しながら演示実験を行う。
7. 何人かの学生に結果を述べさせ，演示実験の文脈の中で結果を議論させる。ここで“結果シート”(予想シートと区別)を完成させてもよい。また，結果シートは今後の学習のために持ち帰ってもよい。
8. “表面的な”特徴は異なるが，物理的に類似した状況(背景にある概念は同じであるが物理的には異なる状況)について議論させる。

3．ILDsの特徴

表１に示した手順は，単に正しい物理概念を定着させるだけでなく，学習のプロセスに学生を引き込み，通常の受動的な講義的環境からより能動的な環境へ転換するように設定されている[4]。そこで，学生が能動的に参加するためのいくつかの特徴を挙げる。

- ２種類のワークシート（ステップ２，５，７）

予想シートと結果シート（内容は同じ）が配布される。予想シートは，事前の予想を記入して提出さ

せ，出席点として評価することにより，授業への参加率を上げる効果がある。ただし，成績評価には用いず，学生の理解の状況を把握できる有効な方法として使用される。結果シートには，実験結果を記入して，各自のふり返りに用いられるように，持ち帰らせる。

- ICT 機器の積極的活用（ステップ 6）

  運動センサー，電流-電圧センサーなどの各種 IT センサーおよびそれに連動したグラフ化ソフトの活用により，高品質なデータの収集およびグラフの即時表示が可能となり，実験結果や事前の予想との相違が明確化され，討論の活性化，結果として誤概念の改善が促される。

その他の特徴として，力学と電気回路分野については，それぞれの概念調査問題（Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE と Electric Circuits Concept Evaluation: ECCE）が ILDs 開発者のソコロフ教授らによって作成されており，より適切に学生の理解状況を定量的に把握できるとともに，規格化ゲイン[1]を用いた授業評価が可能であることなどが挙げられる。

4．ILDs の効果　－日米の比較－

米国オレゴン大学を中心とした大学生を対象とした調査の結果，従来の伝統的な講義型の授業に比べて，極めて高い学習効果があることが報告されている[4]。日本においては，京都や関東の高校・大学の物理教員による研究グループを中心に実践的検討が広がりつつある。大学における実践の例としては，著者が勤務する教員養成系の大学において 2010 年から実践され，米国と同等の高い効果があることが報告されている[3, 6]。一方，高校生を対象とした実践例としては，上記のグループにより公開講座や通常の物理授業で行われ，一定の効果が確認されているが，米国の成果ほどではない[5]。この効果の違いとして，高校生に積極的に自らの考えを表明させ，それに基づいて討論をさせること（動機付け）の難しさと，ファシリテータとしての教師の振る舞いの難しさが指摘されている[5]。同様のことは，レディッシュ教授もその著書[1]の中で指摘しており，ILDs 実践における課題ともいえる。これに関連して最近では，ILDs の授業展開における学習者の動機づけと学習効果の関係性に関する研究も行われている[6]。

5．おわりに

ILDs は上記の特徴に加え，授業者がひとりで実施できる演示実験による課題であるという点においても，教育課程が過密な日本の教育現場における活用が期待される。ワークショップでは，適当なユニットを模擬授業的に進めながら，授業を展開する上でのポイントに加え，日本において実践する際の工夫や学習者の動機付けとの関連性を交えながら紹介する予定である。

参考文献

[1] E. F. Redish : *Teaching Physics with the Physics Suite*, Wiley (2003), ｴﾄﾞﾜｰﾄﾞ・F・ﾚﾃﾞｨｯｼｭ著，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』，丸善(2012).

[2] 例えば，西村塁太，他：物理教育 62-1 (2014) 7-12，植松晴子：大学の物理教育 17-3 (2011) 129-132，等.

[3] 谷口和成：日本物理教育学会第 29 回物理教育研究大会予稿集(2012)，谷口健太：同第 30 回予稿集(2013).

[4] D. Sokoloff, R. Thornton : *Interactive Lecture Demonstrations*, Wiley (2004).

[5] 山崎敏昭，谷口和成，他：物理教育 61-1(2013) 12-17.

[6] 北村貴文，谷口和成：物理教育 63-2(2015) 98-103.

原著講演

原著講演プログラム

A会場：中央図書館ライブラリーホール　　B会場：教育学部204講義室

8月6日（土）

9:35～10:35　原著講演1（A会場）　座長：柿沼　藤雄（新潟工科大学）

1-a1	未履修クラスでの物理学概論	副島　雄児	…… 13
1-a2	主題探究型科目における科学クイズの活用とクォーター制への対応の試み	細田　宏樹	…… 15
1-a3	2014-2015物理教育の現状調査報告	岸澤　眞一	…… 17
1-a4	手回し発電の手応えに関する誤概念の研究-電池の消耗によるブリッジングの可能性に関する基礎研究-	山田　吉英	…… 19

10:45～12:00　原著講演2（A会場）　座長：興治　文子（新潟大学）

2-a1	子どもの物理事象に対する認識を高める授業の創造	堀井　孝彦	…… 21
2-a2	「課題研究」の指導についての一考察	本田　崇	…… 23
2-a3	Force Concept Inventory解答時の視線運動解析の国際比較	大野　栄三	…… 25
2-a4	FCI調査からみえる高校三年間での力学概念の変化	加賀　栄子	…… 27
2-a5	約半世紀前の村上一中の理科授業はAL？ - ズバリ測りましょう。工夫しなさい。-	大多喜　重明	…… 29

15:35～16:35　原著講演3（A会場）　座長：長谷川　雅一（新潟県立松代高等学校）

3-a1	反転授業＋グループ学習にピア・インストラクションを融合した初等物理授業の実践	関川　準之助	…… 31
3-a2	明治授業筆記の探索分析と価値ある科学教育の内容・目標・方法の再構成	小林　昭三	…… 33
3-a3	企業内教育からみた経験帰納的学習法の位置付け	内山　哲治	…… 35
3-a4	力学講義における実験動画を用いた授業の課題	中村　琢	…… 37

15:35～16:35　原著講演3（B会場）　座長：田邉　康彦（新潟県立教育センター）

3-b1	単振動の授業での主体的・協働的な学習活動の試み	新海　徳則	…… 38
3-b2	GPSを使った「地球の大きさ」の測定(実習)とその展開　3	西　博次	…… 39
3-b3	アクティブ・ラーニング型授業と聴衆応答システムを活用した形成的評価	西村　塁太	…… 41
3-b4	高校物理における電子黒板の活用-見えてきた課題と今後の可能性-	岡崎　裕一	…… 43

16:45～17:45　原著講演4（A会場）　座長：麩沢　祐一（東京学館新潟高等学校）

4-a1	電気回路における素朴概念の分類	清水　滉大	…… 45
4-a2	最近の科学的自然観について	吉村　高男	…… 47
4-a3	理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢調査	右近　修治	…… 49
4-a4	大学初年度における相互作用型演示実験講義(ILDs)の試み	梅田　貴士	…… 51

16:45～17:45　原著講演4（B会場）　座長：笹川　民雄（元　新潟市立明鏡高等学校）

4-b1	高校物理教員におけるアクティブラーニング型授業への移行に関する考察	佐藤　革馬	…… 53
4-b2	教科書の変遷から探る力のベクトル表現	神村　圭佑	…… 55
4-b3	コンフリクトマップを使った授業方法の改善	太箸　良介	…… 57
4-b4	高等学校「物理基礎」における「科学教育による認知的加速（CASE）」の実践報告2	山下　哲	…… 59

8月7日(日)

13:00～14:15 原著講演5(A会場) 座長:宮田 等(新潟大学)

5-a1	三朝の温泉水を用いた214Pbの半減期の教材化	足利 裕人	…… 61
5-a2	研究経過報告:電池のモデル化－化学と融合させたアプローチ	勝田 仁之	
5-a3	大学専門課程の自由テーマ設定型熱力学実験と教育効果	松崎 清司	…… 63
5-a4	「熱運動」と「熱エネルギー」の用語についての学生の誤解や混乱の実態	五十嵐 靖則	…… 65
5-a5	直線電流の作る磁場を直接測定する装置の試作	増子 寛	…… 67

14:25～15:10 原著講演6(A会場) 座長:鈴木 重行(新潟県立十日町高等学校)

6-a1	物理概念の理解度における男女差の調査と解消に向けての課題の検討	米山 美咲	…… 69
6-a2	二次元運動に関するILDs授業の実践	青木 海仁	…… 71
6-a3	高校物理授業における学習意欲向上のための振り返りシートの活用	古結 尚	…… 73

15:20～16:05 原著講演7(A会場) 座長:鈴木 重行(新潟県立十日町高等学校)

7-a1	中学校理科におけるILDs「作用・反作用の法則」の実践	北村 貴文	…… 75
7-a2	ILDsによる学習効果に対する動機づけの変容	齋藤 孝	…… 77
7-a3	ICTを活用した演示実験を中心とした授業展開の実践	筒井 和幸	…… 79

未履修クラスでの物理学概論

九州大学基幹教育院，　副島　雄児[1]，小島　健太郎[2]
okosoe@artsci.kyushu-u.ac.jp[1], kojima@artsci.kyushu-u.ac.jp[2]

1．はじめに

九州大学の基幹教育科目（1年次に履修する全学教育科目）では理系学部学生を対象とした「基幹物理A・B」が開講されているが，高校で物理学を十分に履修していない学生を対象としたいわゆる“未履修クラス”では，「基幹物理A・B」に代えて「物理学概論A・B」を開設している．「物理学概論A」は1年前期開講の力学，「物理学概論B」は1年後期開講の熱力学・電磁気学である．

筆者らは，平成26・27年度に「物理学概論B」を担当するにあたって，教科書を指定してその内容を講義する通常の講義形式に代えて，60名程度の受講生を5～6名の班に分け，班学習を中心とした講義形式を試験的に実施した．講義方法の妥当性や効果，あるいは欠点を調べるために，平成27年度の最後の講義で，受講生によるアンケートを実施した．ここでは，講義の方法とアンケートの結果を報告し，この講義に関する考察を行う．

2．講義方法

平成27年度の受講生は農学部の未履修学生56名であった．学生には，講義外での班学習が必要なので，普段連絡を取り易い仲の良い者同士で12班に分かれるように指示し，この結果，4～7名からなる班に分かれた．以降の講義では，班ごとに固まって着席することとし，表1に示すような活動を行う予定であることを説明した．

表1　講義計画

週	内　容	班活動
1	講義説明・導入講義	
2	熱力学講義・班課題指定	
3	班学習	課題取組
4/5	課題説明発表会（6発表×2）	課題発表
6	熱力学試験	
7	電磁気学講義1・班課題指定	
8	班学習	課題取組
9/10	課題説明発表会（6発表×2）	課題発表
11	電磁気学講義2・班課題指定	
	冬休み中の班学習	課題取組
12/13	課題説明発表会（6発表×2）	課題発表
14	電磁気学試験	
15	成績通知・まとめ	

第2週は熱力学の全体的な講義（第一法則，第二法則）を行い，講義中に班ごとの課題（調べて発表すべき問題）を指定する．翌週第3週には班活動の時間をとって調べ学習を行うが，不足分については時間外に班員が集まって学習を補い，発表の準備を行う必要がある．第4週では奇数班発表（6発表），第5週では偶数班発表（6発表）を行い，受講生同士が学び合う場とした．

電磁気学についても同様の形式で取り組み，前半は静電磁気（第7週～第10週），後半は電磁誘導・電磁波（第11週～第13週）を扱う内容とした．

3．アンケート内容と結果

講義の最終週（第 15 週）はこの講義に関するアンケート調査を実施し，その後，第 6 週と第 14 週に実施した試験の結果を通知して成績の確認を行って終了した．アンケートの設問は表 2 の通りで，[1. 全くそう思わない，2. あまりそう思わない，3. どちらでもない，4. そう思う，5. 強くそう思う] の 5 件法である．

表2　アンケート設問

15	A	総合的にこの授業に満足している
1	B	レポート作成と説明を行う形式は取り組みやすかった
2		レポート作成と説明を行う形式は，テキストを用いて解説と説明を行う形式の講義に比べて，理解を深めるのに役立った
4		レポート学習の前の講師によるまとめ講義は役に立った
14		もっと厳密さや計算を重視した内容の方が理解が深まる
3	C	他の授業に比べて授業時間外に行う学習時間は多かった
7		班学習があったことで，自分自身の学習に責任感が生まれた
5	D	班は班学習を行うのに適した人数だった
6		授業時間外の班学習は全員協力して行った
8		班学習の課題の回数は適切だった
9		授業時間外に集まりにくいなど，班学習に支障があった
10	E	まとめ講義の内容は適切な難易度だった
11		レポート学習の課題は適切な難易度だった
12	F	熱力学とは何か，基礎概念が習得できた
13		電磁気学とは何か，基礎概念が習得できた

左覧の数字は設問の配列番号で，アルファベットは設問の内容から，A：満足度，B：方法，C：活動（個人），D：活動（班），E：難易度，F：理解度，の分類を表わし，設問をこの分類で配列している．

アンケート結果の一例として，図1に満足度と他設問との相関を示した．

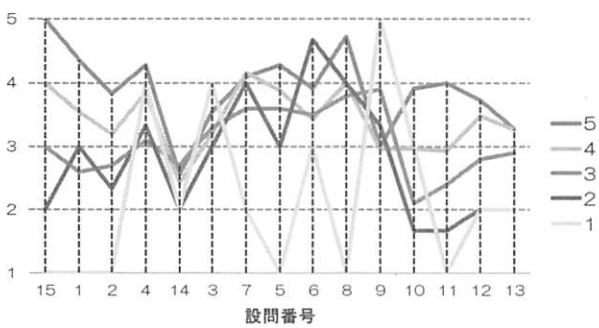


図1　満足度との相関

満足度の人数分布は，5＝11人，4＝31人，3＝10人，2＝3人，1＝1人であった．理解度（設問12，13）は満足度にほぼ比例しているといえる．講義の方法に関する設問1，2も，ほぼ満足度に比例していることから，当初は教師自身が不安に感じていたのだが，未履修クラスの講義形式としてこの方法が必ずしも不適切なものであったとはいえない．また，設問14（もっと厳密さや計算を重視した内容の方が理解が深まる）に関しては，満足度に関係なく多くの受講生が［2. あまりそう思わない，3. どちらでもない］の間に位置していることから，受講生が通常の講義形式を望んでいるわけではないこともわかる．更に，設問4（レポート学習の前の講師によるまとめ講義は役に立った）から，この講義方法を支える手段として，概念説明を行う講義は重要な意味を持っているといえる．

満足度1が他と特異な結果を示している設問5（班人数は班学習を行うのに適した人数だった），8（班学習の課題の回数は適切だった）から，満足度が低いのは班学習がうまく行かなかったからだと予想できる．（ただし，回答者は1名なので，傾向としてではなく，単に個人的な判断かもしれない．）確かに，設問9（授業時間外に集まりにくいなど，班学習に支障があった）では多くの受講生が3以上の高い値を回答している．グループ学習の方法に対する検討が必要であると思われる．

4．おわりに

発表では，アンケート結果に基づくいくつかの分析を紹介する．また，第6週と第14週に実施した試験の結果とも照らし合わせて分析を試みる．今年度の後期にもこの講義を担当する予定になっているが，ここで得られた結果から，講義の実施方法について十分な検証を得たうえで検討してみたい．

主題探究型科目における科学クイズの活用とクォーター制への対応の試み

愛媛大学教育学部　細田宏樹
E-mail　hosoda@ed.ehime-u.ac.jp

1．はじめに

2001年に愛媛大学では共通教育改革「ルネッサンスプラン」が行われ，自然科学科目を引き継ぐ「自然を知る」という大区分と同格の「こころ豊かに生きる」の大区分が設定された。その大区分の下に「趣味・余暇を楽しむ」の区分があり，その区分の授業科目の１つとして「雑学のすすめ」が設定された。

各大区分に対する卒業に必要な単位数が減り，学生に対して事前のアンケートが行われ，文科系学部の学生は「自然を知る」に分類される自然科学科目の履修を避ける傾向にあることが分かった。そこで，私は「雑学のすすめ」の担当を希望し，物理学の授業を試みた。

私は，学生にとって「趣味・余暇を楽しむ」には，何をさせたらよいかと考えた。その結果，身近な自然現象を題材にしたオリジナル科学クイズを作成する授業を考案した。その当時，MIF素朴概念の研究も盛んであったことから，学生のもつ誤概念や誤解で引っ掛ける選択肢を作らせ，なぜ間違いかを吟味させることで，物理現象や法則などを深く考えさせることを試みた。

数年後には「雑学のすすめ」という授業科目は無くなり，自然科学科目の１つである「自然の法則」として2007年度まで，私は「クイズを作る」授業を計５回行ってきた。[1]

2013年度の愛媛大学の共通教育改革では主題探究型科目が設定された。この科目は受講者定員 50 人に対して，アクティブ・ラーニングを用いることが条件となっていた。私は，主題探究型科目の１つである「自然のしくみ」で，「クイズを作る」授業を計３回行った。[2]

2016年度からは，定員50人は変わらずに，90分×8回の授業を行うクォーター制が始まった。主題探究型科目「自然のしくみ」で授業時間短縮の中，アクティブ・ラーニングをどのように行っていくかを思案した。そこで今回は，2016年度前学期の主題探究型科目「自然のしくみ」の授業において，クォーター制に対応した授業実践の試みについて報告する。

2．科学クイズを作成する授業の特色

「オリジナル科学クイズをつくる」授業の当初からのルールを以下に示す。

(1) 自分が知りたい事で自己の学力・知識では答えを知る術さえも分からない事を調査依頼対象(テーマ)としてあげる。すなわち，「誰か私のために調べて教えてください」と，自分にはできない事をあげる。その際，不思議なことに，興味・関心が人それぞれ異なり，受講生のあげたテーマに，重複がほとんど見られない。

(2) 他者があげたテーマから１つを選ぶ。すなわち，自分があげたテーマの選択は禁止とする。そのことで，聴衆の中に必ず１人は本当に知りたいと思っている人がいて，発表者は感謝されることが通常である。そして，不思議なことに，90%以上の人が他者のあげたテーマを１つずつ選ぶことができる。

(3) クイズの誤答選択肢は，受講者の直感による解答を使用する。つまり，思い込みや勘違いで引っ掛ける。そして，発表では誤答の理由を考えさせる。

(4) テーマ担当者は発表時の質疑・応答で，質問に答える義務がない。そのため，聴衆は発表者へ気兼ねなく質問できる。そして，分かっている人は発表者に代わって質問に答えることができる。しかし実際には，発表者はよく調べており，的確に質問に答えている。また，みんなで真実を知りクイズを完成させるという意識があり，事実，仮説，直感を区別して議論することができるようになる。

(5) 教員は聴衆の１人として振る舞う。具体的には，司会役をするが，発言は受講生の許可を得てから行う。すなわち，学生主動の授業である。

(6) 試験では作成したクイズを用いる。そして，正答・誤答・部分点はテーマ担当者が決める。このことで，授業の振り返りができる。

３．クォーター制に向けた初回アンケート調査

2016 年度前学期は，第１クォーターおよび第２クォーターと，法文学部の夜間主の２回生以上が受講する「自然のしくみ」の授業を担当することになった。初回の授業の出席者数は，第１クォーターが６人，第２クォーターが 22 人である。クォーター制に対応した授業を行うために，初回アンケート調査を行った。その調査項目と結果は以下のとおりである。

(1) ダムの水のエネルギーが，発電所，変電所，変圧器を経て家庭に届き，電灯をつけた。この過程でのエネルギー変換について，○○エネルギー，仕事，熱などの語句を使って説明せよ。（結果：「発生した熱」が「電気」に変わる等の誤解と無回答が目立つ）

(2) 台はかりの上面に茶碗を載せたところ 50 g を指した。その茶碗の中に玉ねぎを入れたところ 200 g を指した。そのとき，玉ねぎが台はかりの上面を押す力を求めよ。ただし，100 g の物体に働く重力の大きさを１N とせよ。（結果：「1.5 N」が 12/28，無回答が 13/28）

(3) 深い鍋に薄い食塩水を入れ，形や大きさの等しい２つの生卵を入れたところ，生卵 A は鍋の底に沈み，生卵 B は水面に浮かんだ。これらの状況で浮力の大きさを比較すると，どちらの生卵に働く浮力が大きいか，それとも等しいか，その理由を述べよ。（結果：「生卵 B」が 16/28，理由「浮いたから」が 7/16，「等しい」が 1/28，無回答が 11/28）

４．科学クイズを作成する授業の実施

初回アンケート調査時に，上記のような問題の答えを考えることについて質問したところ，「嫌だと感じる」人が大多数であった。その要望を受け，例年通りの方式で「クイズを作る」授業を行うことにした。今回の発表では，受講の動機や学習意欲，テーマの題材や作成したクイズなど，クォーター制の状況下で，文科系学生に対して行った授業実践について報告する。

謝 辞　本研究の一部は JSPS 科研費 15K12388 を受けたものです。

参考文献

[1] Hiroki HOSODA : “Problem-Solving Learning of Physics through the Creation of Quiz”, Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics Conference (APPC12) ; JPS Conference Proceedings Vol.1, 017028-1-4, 2014 年.

[2] 細田宏樹：「19aBB-10 科学クイズを活用した物理教養教育 VI」, 日本物理学会第 71 回年次大会(2016 年)概要集, 3341, 2016 年 3 月.

2014-2015 物理教育の現状調査報告

拓殖大[1]，東工大附高[2]，同志社中・高[3]，東京農工大[4]，京都教育大[5]，新潟大[6]
岸澤眞一[1]，長谷川大和[2]，山崎敏昭[3]，箕田弘喜[4]，村田隆紀[5]，合田正毅[6]，覧具博義[4]
E-mail: skishiza@ner.takushoku-u.ac.jp[1]

1. はじめに

我が国の高校および大学初年次の物理教育の現状を探る「物理教育の現状調査プロジェクト」は2014年から始まった。このプロジェクトでは，基本的物理概念理解の調査として「力学概念調査」(Force Concept Inventory :FCI)[1]を，科学的思考力・推論力の調査として「ローソン教室テスト」(LCTSR)[2]を利用している。昨年度の発表では，FCIの問別正答率が日米間でかなり強い相関があること，および物理の履修によってFCIの正答率が確実に伸びていることなどを報告した[3]。今回は，2014年度2015年度のデータから得られた知見について報告する。

2. Item Response Curve (IRC)

Item Response Curve (IRC:項目応答曲線)による分析は，Morrisらによって開発された分析方法である[4]。例として，氷上でパックが打たれた後に，パックにはたらく力について尋ねる問11についてのIRCを図1に示す。使用したデータは2014年度のFCIプレテスト被験者約5600名(高校生及び大学1年生)のものである。横軸はFCI全体の正答数，縦軸は横軸の示す正答数であった集団のなかで5つの選択肢を選んだ人数の比率を表す。たとえば正答数12問の集団では，選択肢2と4を選んだ者がそれぞれ20%，選択肢3を選んだ者が50%と読み取れる。

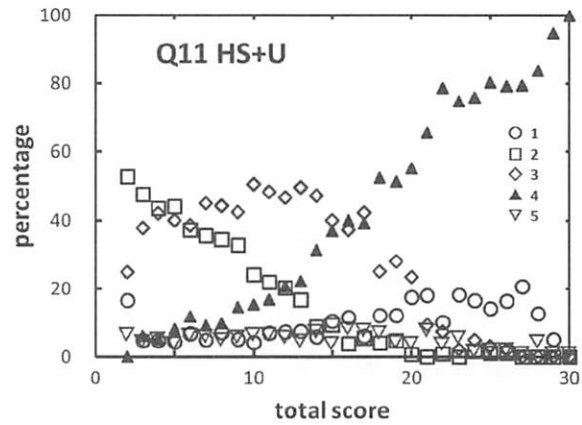


図1　問11のIRC　(2014年度FCIプレ)

選択肢2は「重力による下向きの力と進行方向の水平な力」，選択肢3は「重力による下向きの力と，床から受ける上向きの力と，進行方向の水平な力」，選択肢4は「重力による下向きの力と，床から受ける上向きの力」である。この問に関わる主な誤概念は(a)「運動している物体には進行方向に力がはたらいているという考え方」および，(b)「(机や氷の表面のように)動かないものは物体に力をおよぼさないという考え方」の2種類である。このIRCを見ると，選択肢2は低位層で選択される割合が高く，選択肢3は中位層で選ばれる割合が高く，正答選択肢4は正答数14から22の間で急激に増加している。このことから，ニュートン力学の理解が不十分であると(a)と(b)の両方に関わる選択肢2を選び，理解がある程度進むと(b)は克服されるが(a)はまだ強固に残り，理解がさらに進んではじめて(a),(b)ともに克服されていくことがわかる。このように，IRCを使うことによって学生の理解のレベルの進展に伴って誤概念がどのように克服されて正答にたどり着くかを読み取ることができる。

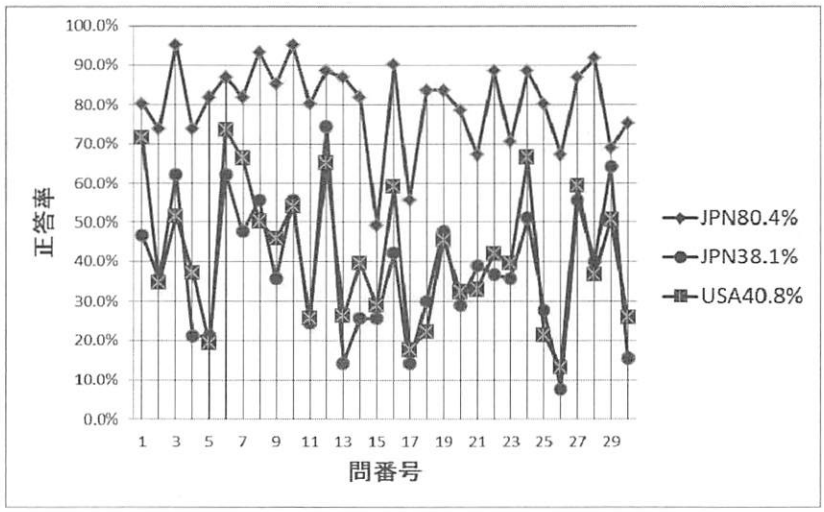
また，2014年度のデータのIRCを，Morrisらの論文の掲載されているIRCと比較した結果，

ほとんどすべての問でIRCの形が日米で驚くほど似ていることがわかった。このことは，文化的背景の異なる日米間で，問ごとの正答率だけではなく，誤答パターンにも類似性があることを示している。

3. 平均正答率と問別正答率のパターン

日本での2015年度FCIプレテストのデータのうちの工学部2学科と文献[4]による米国データ（3大学理工系総計約4500名の平均値)を比較したのが図2である。平均正答率(＝正答数/30問)は，日本（JPN）の2学科のそれぞれについて80.4%と38.1%，米国（USA）について40.8%であった。図2から見て取れるように，平均正答率が80.4%の日本の学科は，平均正答率が40%前後の日本の学科および米国の被検者集団とは問別正答率のパターンが顕著に異なり，相関係数はほぼ0.50である。これに対して，平均正答率が40%前後の日本および米国の被検者集団の問別正答率のパターンは相互に強く類似しており，相関係数は0.80に達している。

このような同等の平均正答率の被検者集団が相互に強く類似した問別正答率パターンを示す傾向は，日本の高校および大学全体にわたって見られた。これは，FCIの項目応答曲線（IRC）の形状が，日米や日本の高校・大学を通じて相互に極めて類似している事実とも整合する。



これらの結果は，学生達のニュートン力学の基礎概念の理解は全体が連携しながら進んでいくこと，全問についての正答率が，全体的理解度の指標になること，そして理解の進展のパターンには広い共通性が見られることを示している。

図2　問別正答率パターンの日米比較の例（凡例中の数字は平均正答率)

本調査にご協力いただいている高校・大学の物理教員の皆様に感謝申し上げる。

この研究はJSPS科研費26282032の助成を受けて行われている。

参考文献

[1] D. Hestenes, et al. “Force Concept Inventory” The Physics Teacher, 30(3),1992

[2] A. E. Lawson, “The development and validation of a classroom test of formal reasoning” J. Research in Science Teaching, 15(1), 1978

[3] 岸澤眞一，山崎敏昭，長谷川大和，覧具博義他：「2014 物理教育の現状調査・力学概念調査からの分析(1)，(2)」，第32回物理教育研究大会発表予稿集(2015), 57-60

[4] G. A. Morris, et al. “An item response curves analysis of the Force Concept Inventory” Am. J.Phys.80(9) , September 2013.

手回し発電の手応えに関する誤概念の研究
—電池の消耗によるブリッジングの可能性に関する基礎調査—

福井大院[1]，福井大教育地域科学部[2]，山田吉英[1]，小林和雄[1]，山本修平[2]
E-mail　yamada.heart@gmail.com

1．手回し発電について

2009年度センター試験の手回し発電に関する問（物理Ⅰ本試験第1問の問2）は誤答率がきわめて高いことが指摘されている。問の内容は手回し発電機を(a)豆電球に接続するとき、(b)リード線を直結させる（ショートさせる）とき、(c)不導体に接続するとき、3つの場合について、同じ速さで回す際の手応えの大きさ（必要な力の強さ）を問うものである。正答するには、抵抗と電流の関係を踏まえ、誘導起電力か消費電力の大きさに着目する必要があるだろう。

この問は1987年の板倉らの仮説実験授業書で扱われている[1]。これは、電流、電圧、電磁誘導といった電気回路の理論的詳細には立ち入らず、電気エネルギーについて体感的に学ぶためのカリキュラムである。

また、手回し発電機を扱うカリキュラムとして、1990年のSteinbergらのCASTLE（The Capacitor-Aided System for Teaching and Learning Electricity）プロジェクトが挙げられる[2]。彼らは、手回し発電機の導入は電源の2つの役割、すなわち電圧源（起電力）としての働きと電力源（エネルギー源）としての働きを意識させるのに役立つと述べている。論拠は乾電池が2つの働きを同じ場所で行うのに対し、手回し発電機では電圧源の役割が発電機自体に、電力源の役割が人体に空間的に分離されるという点にある。

現在、初等教育の場においては、小学校第6学年で「手回し発電機などを使い、電気の利用の仕方を調べ、電気の性質や働きについての考えをもつことができるようにする」ため用いることが推奨されている[3]。

2．研究目的

手回し発電の手応えに関する問が学習者の前概念をよく引き出すという指摘はしばしば実践記録中に見いだされる[4]。しかしその誤答の割合や含まれる前概念の分析を示した研究は見あたらない。本研究では、この問の持つ教育的価値と利用可能性を、筆者ら自身の実践におけるデータとそれに含まれる前概念の分析を示しつつ論じる。

これに加え、手回し発電の実体験がどのような効果を学習者にもたらすかの影響と、手回し発電機を電池に置き換えたときの電池消耗によるブリッジング可能性について、基礎となるデータを講演で示す。

3．研究方法

大学の教育学部で小学校教員を志望する学生94名に対し、授業「理科実験観察法」の中で、この問を「実験結果に対する予想」として提示し、正答とその理由を記述するよう指示した[5]。

また授業では各自の根拠を討論し、実験を行い、結果を踏まえて再解釈を行うというプロセスを経験させた。再解釈の段階で教師から解説は行わず、その自由記述を整理したものが本研究第二のデータをなす。さ

らに授業から２ヶ月以上経過した時点で、学習者の一部に電池の消耗を用いたブリッジングの可能性を検討するための問に回答してもらった。この結果が本研究第三のデータである。これらについても講演で述べる。

４．調査結果

全 94 名の回答者のうち、正答「c 不導体、a 豆電球、b ショートの順に軽い」を選択したのは **3 名**であった。理由の記述は「*c は電流が 0 に近くなるので抵抗も生じず必要な力が少なくてすむ。a,b はその逆で電流が流れるので力が必要。b は抵抗（豆電球）がなく、その分電流がよく流れる*」、「*不導体のような電気を通さないものの方が、流れとかが関係なくなるから、軽い。c は流れない→逆に軽い―いっぱい発電しようとできないから。a は電球が間にくることで、少し流れにくくなり少し重くなる。b はとても流れやすいから、いっぱい発電しようとして重くない*（ママ）」、「*b には発電した電気の逃げ道がなくなるから重くなる。a と c では c の不導体の方がより電気を逃がすようなイメージ。どれだけまわしても手ごたえがないような感じで軽くなる*」というものであった。他方、正答と真逆の選択肢「b ショート、a 豆電球、c 不導体の順に軽い」の選択者は **70 名**であった。次いで多く選択された答は「c 不導体、b ショート、a 豆電球の順に軽い」の **16 名**であった。他の選択肢を選んだのはいずれも 3 名以内であった。

理由の記述を見る限り「電気」「電流」「抵抗」「発電」などの意味やメンタル・モデルには大きな多様性があるが、粗視化すれば前概念や困難の典型化が可能である。先述の引用実践でも言及される電気抵抗と力学的抵抗の混同（「電気が通りにくいのでたくさん力が必要」「抵抗がある方が重い」などの記述）は全体の 9 割程度（**78 名**）に見られた。また、ショートを適切に（低抵抗ゆえ大電流ゆえ大電力と）判断できる者は **2 名**程度であった。

また、電流消費の前概念やエネルギー変換に類似した観念（「使われる電気（電力）」などの記述）は全体 94 名中 **43 名**（真逆の選択肢を選んだ 70 名中 25 名、選択率第 2 位の誤答選択者 16 名中 12 名）に見られた［6］。（このメンタル・モデルは実験体験後、より多くの学習者に支持されることを講演で述べる。）

参考文献

［1］板倉聖宣・吉村七郎・塩野広次・小林光子『ゼネコンで遊ぼう－発電機と電気エネルギー－』仮説社(1987)

［2］M. S. Steinberg & C. L. Wainwright, “Using Models to Teach Electricity - The CASTLE Project-”, *The Physics Teacher*, 31, 353-357 (1993).

［3］文部科学省『小学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書（2008）

［4］例えば古澤佑一「研究発表授業実践　手回し発電機を回すのに必要な力」http://furusawanobuturi.web.fc2.com/（2016/07/01 アクセス）

［5］この授業は電気回路や電気エネルギーについてではなく、学校理科における実験の役割と性質について理解を深めるためのものである。すなわち観察は理論負荷であり、「百聞は一見にしかず」のように実験結果を見れば自ずと正しい理解に至るわけではない、という例示のためこの問を扱っている。

［6］科学的概念と前概念を合計するようだが、多くの学習者にとってキャリア（電荷）とエネルギー変換率（電力）は「電気」の名のもと未分化で明確に区別できない。小学校学習指導要領では「電気は，つくりだしたり蓄えたりすることができる」「電気は，光，音，熱などに変えることができる」ことを教えるものとしている。

子どもの物理事象に対する認識を高める授業の創造

東京学芸大学附属世田谷小学校，堀井　孝彦
E-mail　a873509y@u-gakugei.ac.jp

１．はじめに

児童・生徒・学生にとって，物理事象との出会いは幼少期の日常生活に遡る。それ以来，物理事象に対する認識は徐々に培われ，あるものは素朴概念としてとどまりあるものは物理概念へと変容していく。小学生の発達段階において，物理概念の獲得は容易ではないが，日頃の授業実践を通して子どもの物理概念への素地・基盤を構築していくことは可能である。ここでは，理科を中心として，生活科，総合的な学習の時間等も含めて，子どもの物理事象に対する認識を高める授業の創造について検討していきたい。

２．小学校理科授業をめぐる諸問題

（１）素朴概念は無理に「克服」させるものではない

児童・生徒・学生が素朴概念を多数持っていることはよく知られた事実であり，児童・生徒・学生が正しい科学概念を獲得して欲しいということは，校種を問わずして理科教育，科学教育に携わっているすべての教員の願いであるに違いない。理科を研究教科としている小学校の一教員という立場から見ると，すべての児童が科学的な見方考え方と，小学生という発達段階において必要な一定の知識・技能を習得して，それぞれが目指す中学校・高等学校等に進学し，さらに，学びを広め深めていって欲しいという願いを持っているのは言うまでもない。

ところが，「素朴概念は，正しい科学概念の構築を阻害するのではないか」という考えも少なくない。それどころか，素朴概念を無理に克服させようとすることが，無意味な丸暗記を助長し，知識に偏重した試験学力と，真の概念形成との間のズレを生み出しているのではないだろうか。このように学力としての一定水準を保ちつつも，結果として，素朴概念から科学概念への無理な変容を強いてきた理科教員の功罪も，児童・生徒・学生の概念形成に大きく影響していると考えざるを得ない。

そこで，「素朴概念は無理に克服させるものではなく，素朴概念こそが，科学概念，物理概念を無理なく構築していくための大切な素地・基盤になる」という立場で検討していくことにする。

（２）行きすぎた問題解決に注意する

全国学力調査の結果を見ても分かるように，我々理科教員がもっている，理科教育観と児童・生徒が持つ理科学習観との間には，相当大きなズレが見られる[1)]。また，小学生は理科に対する好感度が高いとは言われているものの，高学年になると，授業実践を通した経験則ではあるが，理科に対する好感度低下の兆しが見られるようになる。

現在小学校理科においては，問題解決学習を基本に授業が行われている。各学年には第３学年の「比較」，第４学年の「関係付け」，第５学年の「条件」，第６学年の「推論」といった問題解決能力についてのキーワードがある[2)]。一方，小学校の理科授業における，一連の流れに着目してみると，例えば，村山（2013）によれば，「①自然事象への働きかけ②問題の把握・設定③予想・

仮説の設定④検証計画の立案⑤観察・実験⑥結果の整理⑦考察⑧結論の導出」という問題解決の8つのステップが提唱されている[3]。理科授業を実践していくにあたって，これらに対する異論はまったくない。

ところが，特に，高学年の物理分野の単元，例えば，「振り子」や「電磁石」において，学びの意欲が徐々に減退していく子どもの姿をしばしば目にする。この事実に関しては，「比較的変化の少ない単純な実験を何度も繰り返し行うこと」「振り子の周期や電磁石に付くクリップや釘の数を定量的に捉えること」「複数の実験結果をもとにこれらの平均を求めること」「実験結果についての定量的なデータを表やグラフに表すこと」「実験結果に基づいた複数の情報を総合的に見ながらきまりを見いだすこと」「これらの事象を解釈する際，目には見えない場の存在を体感的に捉える必要があること」等が問題解決のプロセスに加わることが挙げられる。

現行の学習指導要領第5学年「電流の働き」の内容には，「電流の流れているコイルは，鉄心を磁化する働きがあり，電流の向きが変わると，電磁石の極が変わること」「電磁石の強さは，電流の強さや導線の巻数によって変わること」の2つが挙げられているが[4]，前者のより一層の充実を目指す必要があるのではないか。

（3）系統性には疑問がある

現行の小学校学習指導要領解説を見ると，「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」という4つの柱がある[5]。ところが，「回路」や「量の保存」等についての系統性は一応見えるものの，例えば，「光や波動に関わる学習」に関しては，全く系統性がない。「回路」や「量の保存」についても，「問題解決」が前面に出ているため，科学概念としての系統性は希薄であると言わざるを得ない。

系統性が形骸化しないよう，それぞれの学習内容に関して，科学概念，物理概念としてのつながりについて再検討する必要がある。

3．物理事象との関わりを充実させた低・中学年の授業を目指す。

生活科において動物，植物等との関わりは明示されているが，かつての低学年理科で取り扱われてきた物理分野の内容については，小学校学習指導要領解説生活編への例示にとどまり，取り扱いは必須ではない。幼少期の日常生活における物理事象との関わりを顕在化させ，児童の物理事象に対する認識を高め，前概念や素朴概念がやがて物理概念へと変容していくようにするためには，低学年期におけるブランクがあるのは好ましくない。

そのため，低学年生活科，および，第3学年の理科における，物理事象との関わりを大事にし，総合的な学習の時間も含めて，子どもの発達段階に応じてどの時期にどのような手立てを講じていくのが望ましいのか検討しながら，これらの授業を創造していく必要があると考える。

そこで本発表においては，第1学年，および，第3学年における授業実践を中心に報告する。

【参考・引用文献】

1）国立教育政策研究所，平成27年度全国学力・学習状況調査の結果，2015年
2）5）文部科学省，小学校学習指導要領解説理科編，2008年
3）村山　哲哉，小学校理科「問題解決」8つのステップ，東洋館出版社，2013年
4）文部科学省，小学校学習指導要領，2008年

「課題研究」の指導についての一考察

新潟県立新潟中央高等学校，本田崇

E-mail　tk4.hawkeye.1577@gmail.com

１．はじめに

「課題研究」は現行の学習指導要領では，理数科において原則としてすべての生徒に履修させることとなっている。前任校（新潟県立長岡高等学校）では，以前より「課題研究」を理数科の教育活動の中心に位置づけて取り組んでいる。筆者も本年３月までの前任校での９年間の勤務の間「課題研究」の指導にあたってきた。その実践を通して「課題研究」の指導について感じたこと・考えたことを述べる。その上で，高校生の「課題研究」の指導をどのように進めるのがよいか，意見をいただきたい。

２．長岡高校の概要

新潟県立長岡高等学校は創立 140 年を超える伝統校であり，ほぼすべての生徒が大学進学を目指している。平成７年度に新潟県初の理数科が設置され，平成 14～16 年度にはスーパーサイエンスハイスクール（ＳＳＨ）に指定された。平成 20 年度には理数科が２クラスに増え，理系一般の進路を目指すサイエンスコースと，医学部・歯学部への進学を目指すメディカルコースの２コース制となった。平成 25 年度からは再びＳＳＨに指定され，先進的な理数教育の研究・実践に取り組んでいる。

３．長岡高校における「課題研究」の指導の流れ

現在「課題研究」は理数科サイエンスコースの生徒が２年生から３年生にかけて取り組んでいる。２年生のはじめに，似た興味・関心をもつもの同士で数名グループを作り，担当教員を決めて研究テーマを決める。12～1 月に中間発表会，３年生の４月に発表会を行う。研究成果は論文にまとめ，論文集を発行する。また，『日本学生科学賞』・『JSEC 高校生科学技術チャレンジ』のいずれかに応募する。

４．実践を通して感じたこと・考えたこと

○ 「課題研究」を行う目的

「課題研究」を行う目的とは何か。筆者は，大学や研究所等で行われている「研究」とは異なるものだと考えている。「研究」では当然新たな発見を目指すことが求められる。それに対して「課題研究」では，研究のプロセスを体験させることにより力点が置かれるものであると考える。学習指導要領には，《科学や数学に関する課題を生徒自らが設定し，自らその課題の解決を図る学習を通して，専門的な知識と技能の深化，総合化を図るとともに，問題解決の能力や自発的，創造的な学習態度を育てること》[1] とある。

○ テーマ設定

「課題研究」でもっとも重要なのはテーマ設定であると考えている。テーマがうまく設定できるかどうかが「課題研究」の成否を分けるといってもよい。ここには十分な時間をかけるべきである。また，できるだけ生徒の発想を大事にしたい。ＳＳＨにおいても，生徒の「課題発見」を重視することが強く求められるようになってきている。ただ実際のところ，生徒が最初に示してくるテーマは，実現が難しいものであることが多い。生徒の発想を大事にしながらも，着地点が見通せるようなテーマへと話し合いながらテーマを決めていく。このとき，あまりに

教員主導でやってしまうと，生徒に“やらされている感”が出てしまう可能性がある。

また研究にはオリジナリティが必要であるが，物理分野では全くのオリジナルのテーマを見つけ出すことは非常に難しい(これに対して生物分野であれば,『○○地域における△△の分布』というように地域性を入れることでオリジナリティが出せる)。

○　「課題研究」の内容

筆者が９年間に生徒と取り組んだ「課題研究」の内容は以下の通りである。

「リフティングボディ」「立体視の研究」「静電発電機の研究」「万華鏡の研究」「連成振動の研究」「和音の性質と伝わり方」「静電発電機の研究②」「ハーモノグラフの研究」「磁場の測定」「円筒内での球の詰まり方について」「曲線上を運動する物体の加速度に関する研究」「サイクロイド曲線について」「紙製円筒のひねりに関する研究」「ビンから出る『トクトク音』についての研究」「水切りの条件」「ウーブレックのダイラタンシーに関する研究」「『ジョボジョボ音』についての研究」

「研究」には「理学的な研究」と「工学的な研究」の２つがある。両者の違いは，研究結果がどう応用されるかという点にどれくらい重きを置くか，と言える。前述のとおり長岡高校では「課題研究」の成果を『日本学生科学賞』・『JSEC 高校生科学技術チャレンジ』のいずれかに応募するのだが，『日本学生科学賞』の出品票には，次のような項目がある。《展望（結果から、この研究は どのように使えるか。あるいはどのような場面に応用できそうか。)》[2] これは「工学的な研究」の方が高い評価を受けやすいと読める。この２つのコンテストの上位入賞者は，米国で行われる『インテル国際学生科学技術フェア（Intel ISEF)』へ派遣されるのだが，そこでは研究結果の応用や社会的な意義などがかなり重視されるということである。

筆者は高校生の「課題研究」としては，研究結果の応用や社会的意義を述べることができればそれにこしたことはないが，そうでなくても，生徒が興味・関心をもって主体的に取り組めるテーマで，研究のプロセスにしたがって取り組むことができるのなら，それでよいのではないかと考えている。

５．おわりに

われわれ高校の教員は，授業を行うトレーニングは受けていても，研究を指導するトレーニングは受けていない。そのため赴任した当初は,「課題研究」をどのように指導すればよいのか，手探り状態であった。筆者の後から赴任された方も同様のようすが見られた。数年前より,「理科課題研究ガイドブック」（千葉大学先進科学センター）などが刊行され，研究を指導の際に参考となる情報も増えつつある。

次の学習指導要領の改訂に向け,「数理探究」（仮称）の設置や,「総合的な学習の時間」から「総合的な探究の時間」（仮称）への変更が検討されている。すべての高校で現在理数科やＳＳＨ指定校で行っている規模の「課題研究」を実施することは難しいだろうが，何らかの形で導入され，より多くの教員が関わることになろう。

引用文献

1)　文部科学省.「高等学校学習指導要領解説　理数編」.

2)　読売新聞社.「日本学生科学賞　出品票」

Force Concept Inventory 解答時の視線運動解析の国際比較

北海道大学大学院教育学研究院[1], Pedagogical University of Cracow[2,3], 北海道大学大学院医学研究科[4], 北海道大学大学院教育学院[5], 大野栄三[1], Roman Rosiek[2], Miroslawa Sajka[3], 下條暁司[4], 岩田みちる[5]

E-mail: eohno@edu.hokudai.ac.jp[1]

1. はじめに

近年、理科教育研究の分野で学習者の眼球運動を計測して、彼らの認知過程を考察する研究が進んでいる[1][2]。視覚的注意の研究は100年以上に渡って行われており，眼球運動のデータは視覚的注意についての有用な情報を与えてくれる[3]。著者らは、本格的に物理を学び始める前の学習者がもっているニュートン力学の基礎的知識を調べる Force Concept Inventory（FCI）を利用し、FCIを解答しているときの大学生の眼球運動を測定し、視覚的注意の変化から彼らの認知過程について考察してきた[4][5]。

眼球運動の計測に使われる視線計測装置は，アイトラッカー（eye tracker）として知られている。本発表では，日本とポーランドの大学生を対象にして、FCIを解答中の視線を計測し，その結果を分析することによって解答者が使っている問題解決の方略を明らかにし、両国の学生間での異同について考察する。初心者がひとつの選択肢を選んだ時，その選択が一貫した誤解（misconceptions）によって導き出された結果なのか，それとも初心者がどのように考えてよいかわからず迷った末の選択なのか。このような方略のちがいや一貫した誤解の存在といった傾向は、日本とポーランドで同じか否か。これらの研究課題に対して、これまでに得られた結果を報告する。

2. 測定・分析方法

視線計測装置は、日本では Tobii T120 を、ポーランドでは SMI1250 を利用した。実験参加者（以下，参加者）は，実験の説明を受け，承諾書に署名した後，実験室へと移動する。日本では、図1のように，専用の台に顎を置いてもらい，視線計測の調整を行う。ポーランドの計測装置は、このような補助具なしでも高精度に計測できる。調整後，参加者にマウスで画面上の所定の場所をクリックしてFCIの問題を1問ずつ表示してもらい実験を開始する。画面上の問題を解答中に参加者の視線が記録される。参加者は，解答を決めたら選択肢番号を声に出すようあらかじめ指示されている。FCIの問題は日本語翻訳版を利用し，図が含まれる6つの問題を選んだ。問題文の行間は広げ、ひとつの図に複数の選択肢が配置されている場合は、選択肢ごとに図を用意し、実験参加者がどの選択肢を注視しているのかが明瞭にわかるようにする等の編集を行っている。

図1　視線計測の様子

全6問の解答を終えた後，参加者に対してインタビ

ューを行う。インタビューは、日本とポーランドで共通の質問を用意し、半構造化されたかたちで実施した。実験時間は，参加者 1 名あたりおよそ 50 分である。

実験参加者は大学生であり，いずれも専門分野は人文・社会科学系である。高等学校理科の現行学習指導要領が 2012 年度から実施されているため、日本の実験参加者については、年齢によって物理教育についての履歴が異なっている。実験前の聞き取りでは、高校時代の科目名称を忘れたという者が多く、彼らの履修科目を正確に確認することはできなかった。

3. 結果

本発表では、運動しているアイスホッケーのパックを運動方向に対して垂直に打ったとき、パックの運動の軌跡を選ぶ問題に着目する。図 2 は解答分布の比較である。日本の結果は、前回の実験[3][4]で同一の問題を使っていたため、そのデータも含めたものである。

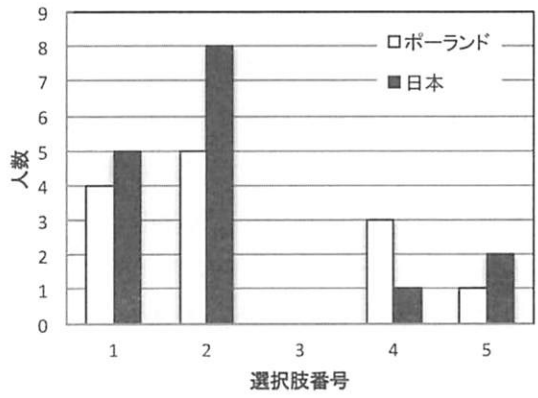


図 2　解答分布

日本とポーランドの学生ともに 3 番を選択したものはいなかった。日本の学生は、2 番に偏る傾向がある。2 番の解答はこの問題の正答ではあるが、2 番を選んだ日本の学生は誤解にもとづいて解答していたことがインタビューから明らかになった。彼らの多くが、パックの運動方向にはたらいている力と打つ力を平行四辺形の法則で合わせたからという意味の理由を述べていた。

ただし、そのように誤答した日本の実験参加者は、1994 年以前に生まれた者では 11 名中 7 名、1995 年以降に生まれた者では 5 名中 1 名であった。今後実験数を増やす必要はあるが、学習指導要領改訂による影響を疑うことはできるだろう。

本発表では、日本の実験参加者を 1994 年以前生まれと 1995 年以降生まれの 2 つに分け、ポーランドの実験参加者グループと合わせて、3 つのグループの視線運動解析の結果を比較する。

参考文献

[1] F. Yang et al., Tracking learner's visual attention during a multimedia presentation in a real classroom, *Computers & Education* 62 (2013), 208-220.

[2] Rosiek, R. and Sajka, M. E. (2014). Neurodidactical approach to research on science education. In Nodzyńska. M., Cieśla, P. and Różowicz, K. (Eds.), *New Technologies in Science Education* (pp. 7-20). Kraków: Pedagogical University of Kraków.

[3] A. Duchowski, Eye Tracking Methodology: Theory and Practice, 2nd ed., Springer (2007).

[4] 大野栄三，下條暁司，岩田みちる「Force Concept Inventory 解答過程の視線計測技術を使った分析」日本物理教育学会第 32 回物理教育研究大会（2015 年 8 月，九州大学）

[5] E. Ohno, A. Shimojo, M. Iwata. Analysis of problem solving processes in physics based on eye-movement data, GIREP & EPEC 2015 (July, 2015) University of Wrocław, Poland.

FCI 調査からみえる高校三年間での力学概念の変化について

加賀栄子，宗尻修治，乾雅祝
広島大学大学院総合科学研究科
E-mail: d121382@hiroshima-u.ac.jp

1．はじめに

伝統的授業で物理を学習している高校一年生と三年生を対象に，FCI（力学概念調査）[1]を 2013 年度から年度の初め(Pre)と年度の終わり(Post)に実施してきた。2013 年度の調査結果から，授業で習ったにもかかわらず正答率の低い問題があることがわかった。それらは，慣性の法則，作用反作用の法則といったニュートンの法則に関する問題であった。そこには伝統的授業では獲得しにくい力学概念が含まれていると考えた。そこで，2014 年度からこれらの力学的概念を理解させるため，能動参加型授業の一つであるマクダーモットらによって開発された “Tutorials in Introductory Physics (TIP)” の Newton’s second and third laws のワークシートとホームワーク[2] を使った授業を高校一年生のこれまで行ってきた伝統的授業の中に２時間だけ取り入れた。チュートリアルを実施しなかった 2013 年度の高１の規格化ゲインは 0.20 で，チュートリアルを実施した 2014 年度と 2015 年度の高１の規格化ゲインは 0.30 と 0.21 だった。今回はこれまでの FCI 調査に基づき，それぞれの生徒が FCI の各設問で選んだ選択肢が高１post から一年経った高３pre でどのように変化したかを明らかにすることを目的とする。さらに，このような追跡調査を通して，チュートリアルの効果がどの程度維持されているかを検討した。

2．調査方法

FCI 調査は，2013 年度からＡ高校の物理選択者を対象に毎年，高校一年生の４月（高１pre）と２月（高１post）そして高校三年生の４月（高３pre）と 12 月（高３post）に実施してきた。つまり，生徒からみるとほぼ一年おきに FCI 調査を受けたことになる。今回の調査は，2013 年度と 2014 年度に入学した生徒のうち，高校一年から高校三年まで行ってきた FCI 調査を全て受験した生徒（2013 年度入学の生徒は 66 名，2014 年度は 70 名）のデータについて調べた。また，力学の学習について，高１では「物理基礎」の力学全て（落下運動，ニュートンの３法則など）を，高２では「物理」の力学（運動量，剛体）を，高３では「物理」の力学（円運動，単振動，万有引力）を学んでいる。

3．調査結果

表１は，高１post と高３pre と post の全体の正答率と各設問の正答率を表している。高１pre で正答率が低く，誤概念を持ちやすいと考えられる設問を取り上げている。それらの設問は，高校一年生の授業で習ったにもかかわらずあまり高１post で正答率が上がらなかったもの（問 15 と問 26）[3]と高１post で FCI 成績の上位層と下位層で正答率に差が 50%以上あったもの（問 13，問 17，問 26，問 30）[4]である。表１の正答率を見ると，高１pre よりも高１post が上がっているが，高１post から高３pre へはほとんど変わっていない。特に問１７では，高１post と高３pre の正答率はほぼ同じだが，必ずしも同じ人が再び同じ正答を選んだ

わけではないことが表２からわかる。

表２は，問 17 について高１post で選んだ選択肢が高３pre で変化する様子を表している。2013 年度入学の表では，高１post で正答の２番を選んだのは 19 人で，そのうち７人が高３pre で１番に変更している。しかし，高１post で２番を選んだ 12 人と１番を選んだ６人と４番を選んだ２人が高３pre で２番を選んだので正答率はほとんど変化がない。2014 年度入学の表も高１post と高３pre との正答率はであるが，同じ人が選んでいるわけではないことがわかる。

チュートリアルを実施すると正答率は上がり，高３pre でもその正答率が維持されている。しかし，個々の生徒についてみると正答選択肢を選んだ 35%の生徒が１年後にはほかの選択肢に移っており，チュートリアルを実施しない場合に比べ正答選択肢を維持できるかどうかについて差は見られなかった。

表２より，問 17 の選択肢の中うち，最も多く選ばれているのは１番（誤答）で，高１post から高３pre へ継続して選んでいる。誤答が繰り返し多くの生徒に継続して選ばれている設問はほかにもある。このことは，生徒の持っている根強い誤概念を表していると考えられる。より詳細な考察は講演時に報告する予定である。

2013 年度入学　N=66

	高 1 pre	高 1post	高 3 pre
全体の正答率	28%	46%	59%
問13	2%	52%	55%
問15	11%	21%	30%
問17	0%	29%	30%
問26	2%	12%	29%
問30	0%	35%	42%

2014 年度入学　*Turorials* 実施　N=70

	高 1 pre	高 1post	高 3 pre
全体の正答率	27%	52%	59%
問13	1%	44%	61%
問15	9%	40%	44%
問17	1%	37%	37%
問26	3%	27%	29%
問30	4%	40%	50%

表１　FCI 設問別正答率の推移

2013 年度入学　N=66

		高 3pre 選択肢				
		1	2	3	4	5
高１post 選択肢	1	34	6	1	0	0
	2	7	12	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
	4	2	2	0	1	0
	5	1	0	0	0	0

2014 年度入学 *Turorials* 実施 N=70

		高 3pre 選択肢				
		1	2	3	4	5
高１post 選択肢	1	22	8	1	1	1
	2	8	17	0	1	0
	3	0	0	0	0	0
	4	6	0	1	2	0
	5	1	0	0	0	0

＊高３pre で問 17 の回答がなかった生徒が一人いる。

表２　問 17 における高 1post から高 3pre への選択肢の推移（正答は２番）

参考文献

[1] 作成者　石本美智，植松晴子，塚本浩司、新田英雄、覧具博義　作成　2011 年４月 17 日

[2] Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer and the Physics Education Group :
TUTORIALS in Introductory PHYSICS,
TUTORIALS in Introductory PHYSICS HOMEWORK, Prentice-Hall, Inc., 2002

[3] 加賀栄子，宗尻修治，乾雅祝　日本物理学会第 70 回年次大会（2015 年）概要集 3504

[4] 加賀栄子，宗尻修治 2013 年度応用物理・物理系学会中国四国支部学術講演会予稿集 pp. 147

約半世紀前の村上一中の理科授業はAL？
― ズバリ測りましょう。工夫しなさい。 ―

神戸市立工業高等専門学校　大多喜 重明[1]，　長井 清香
E-mail　ohtaki@kobe-kosen.ac.jp[1]

1．はじめに

２０世紀末に国際規格を翻訳し、日本工業規格の「数値の丸め方（JIS Z8401:1961）」は改正され、現在の規格（JIS Z8401:1999）に置き換えられた。

当初、四捨五入は算数や理科で教えるものだと思っており、JIS にあるとは思わなかった。さいころを使った四捨五入の方法を「理科の四捨五入」として教えていたので、工業標準化法に基づく方法に戸惑った。新規格を定めた先生方はノギスを使ったことが無いのではないか、国際規格との整合化はそれほど大事かと、暫くは高専生への四捨五入の教え方に窮した[1]。

旧規格（JIS Z8401:1961）も「最近接遇数への丸め」と呼ばれる方法であるが、旧規格を教え子に教えなかった教員もいる[2]。現行規格のまえがきは、「これは国際規格。従って、もっと良い方法があるので考えなさい。」という意味にも解釈できる。日本の製造業の目覚ましい発展は、欧米の先進国より測定値の扱い方が上手だったことも、一つの要因ではないかと思った。

「理科の四捨五入」は、1972 年頃に村上市立村上第一中学校（表題では村上一中と略す。）で教えて頂いた方法である。他にも授業で様々な方法を教えて頂いた。授業の最後に「測定の方法や計算の仕方を自分で工夫しなさい。」と宿題を出された。その宿題に今も取り組んでいる。受動的学びの時間が圧倒的に多い授業だったが、現在も能動的に宿題に取り組んでいるので、私にとってはこの授業はアクティブラーニング（表題ではALと略す。）に分類できる。その宿題に身近な教育研究者と議論しながら取り組む中で、現行の検定教科書や副教材などの解説にも疑問が生じたので、幾つかを例示し問題提起する。

2．ズバリ測るとは

「長さをものさしで測るとき、読み取り精度の過不足なく、ズバリ測らなければならない。」と村上一中で教えて頂いた。長さをズバリ測るとは「最小目盛りが 1mm のものさしで測ると、多くの人は 0.01mm の精度では読み取れない。逆に、目分量を全く使わずに 1mm の精度で読み取り、長さの違いが分かるのに同じ長さとしてもいけない。」ということである。

これは開発競争を勝ち抜くために大事な考え方だと思う。実際の精度より精度が高い方に間違うと、データの捏造のようになり、多くの場合、誤った方向に研究開発を進めてしまう。逆に、精度が低い方に間違うと、研究開発を進める方向が絞れるのに絞れなくなってしまう。何れにせよ、研究開発費や人材活用の無駄が起こり、研究開発の速度が遅くなり、ものづくりの機を逸する可能性も高くなるので、国際競争に不利になる（図１）。

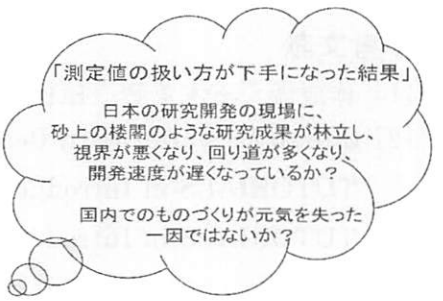


図１：もやもや感

３．AL 型授業成功のために

ズバリ測るには「最近接遇数への丸め」と「理科の四捨五入」のどちらが良いかについてはどちらでも良いと考える。前者は 1961 年、後者は 1972 年にはあり、もっと良い方法が日本のどこかにあるかも知れない。

前述した化学同人編集部編「実験データを正しく扱うために」の Web サイト[2]で、師弟関係にある大学教員間の議論を解説している。ほぼ同じ規格に改正するときに国際規格との整合化を謳うことから平行線を辿る議論だったのではないかと憶測する。指導的な技術者から末端の技術者まで、すべての技術者が持っていた無駄のない技術開発力が戦後日本の経済成長を支えてきたと思う。無駄のない技術開発力はズバリ測ることを常に工夫する姿勢から生まれたと思う。「最近接遇数への丸め」と「理科の四捨五入」の両方を知っていた方が、教員が AL 型授業として講義を成功させることができると思うので、ズバリ測ることを工夫する姿勢を育てるという目的においてはどちらが良いかはあまり関係ないと考える。

４．教科書などの解説例

学術論文中のグラフや表が作成されるまでの論文には書かれていないデータ解析能力の育成を目的とした解説が現行教科書には殆ど無く、その解説が有っても、本文と欄外の解説で矛盾を起こしている[1,3]。しかし、矛盾を意図的に使えば、有効な教育手段になると考える。

図２と図３は「NHK 10min ボックス」からの引用で、図２は測定値を有効数字２桁で揃えて表示し、図３は測定器の測定精度（最小目盛りの 10 分の１）まで示している。どちらが良いかは使用目的によるが、ズバリ測る工夫を生徒に促すには、どちらか一方だけを示すよりも二つの方法を示した方が効果的と考える。AL 型授業には「やってみせる」ことも有効と考えるがその方法がとりやすくもなる。

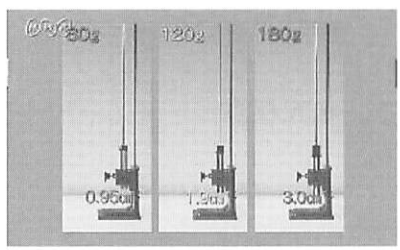


図２：昨年の公開映像

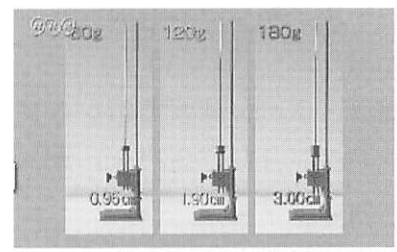


図３：最近の公開映像

測定値の和の解説は少なくとも２通り[1]あったが、新課程の教科書からは仮のゼロを使う（「値がない」も含む。）方法のみになっている[3]。生徒に工夫を促すという観点からは好ましくない変更と考える。異なる解説の比較からさらに良いものを問う手順を例示し、報告する。

参考文献

[1] 大多喜、長井：「物理教育における数値の丸め方の扱い」，大学の物理教育 **19**(2013), 24-27

[2] http://www.chem.konan-u.ac.jp/applphys/web_material/data_handle/

[3] 大多喜、長井：「有効数字教育の変化とその影響」，大学の物理教育 **21**(2015), 28-30

反転授業＋グループ学習にピア・インストラクションを融合した初等物理授業の実践

函館工業高等専門学校　関川準之助

E-mail　sekikawa@hakodate-ct.ac.jp

1．はじめに

昨年、公立高校を定年退職し縁があって高専に再就職したのを契機に、授業スタイルを座学から「反転＋グループ学習（ＧＷ）」に転換し、今年度からはその中にピア・インストラクション（ＰＩ）を取り入れた。まだ全ての結果が出ていないが、取り組みの現状を報告する。

2．「反転＋ＧＷ」授業の実施（2015 年）

◎この授業のねらい（「アクティブラーニング入門」[1] の実践をベースにした）

・グループ学習による問題演習を授業の中心に据えて、学生の能動的な学習を目指す。

・45 分授業では時間が足りないので、Blackboard に予習教材を置いて反転授業にする。

◎学習の流れ

★予習（各自スマホ・パソコンで：～10 分）

・「Blackboard Learn」にアップした教材に各自スマホやパソコンでアクセスして学ぶ。
教材の様式は“動く教科書”で、自作ビデオなどの実験ビデオ教材と学習の要点で構成されている。

・確実に予習させるため、教材の最後に小テストを配置し、成績の一部にすると予告しておく。

★授業：要点説明・実験（10/45 分）

・本時の「要点プリント」を配布し、必要があれば演示実験をして現象を確認する。

★授業：グループ学習（20/45 分）　※’15　6 人 1 グループ、’16　4 人 1 グループ

・グループごとの問題演習。グループで対話をしながら解き方や考え方への理解を深めていく。
学生の様子を見ながら共通の疑問は教員が黒板で適宜説明する。

★授業：振り返り（15/45 分）

・「確認テスト」…練習問題からピックアップする。相互採点。

・「リフレクション（気づき）カード」記入

◎定期試験の結果

座学形式の授業を経て実施した前期中間試験と、グループ学習後の前期期末試験を比較する。

・前期中間試験（受験総数 162 名）　出題分野：円運動、単振動、万有引力
平均点：49.3 点　上位者：(90 点以上) 7 人　下位者：(60 点未満) 98 人

・前期期末試験（受験総数 160 名）　出題分野：波の性質、音波
平均点：70.2 点　上位者：(90 点以上)43 人　下位者：(60 点未満) 52 人

◎「反転＋ＧＷ」授業の振り返り

・学生が能動的に学習するＧＷを授業の中心に据え、学生の意欲を引き出すことが出来た。

・「振り返りカード」で授業に双方向性が出来た。

・“公式を使って計算するだけが物理ではない”→概念的な理解を深めるような仕掛けが必要
→「反転」で若干の時間的な余裕があるので、授業進度を遅らせずに、＋α を導入したい。

3．ピア・インストラクション[2]（ＰＩ）の導入（2016 年）

◎ＰＩとは

・ハーバード大学の Mazur 教授が開発

・「授業中に問題を出題し、その答を付近の学生同士で議論させる教育活動」

・１コマの授業を 10~15 分で区切り、その最後に講義したばかりの内容に関する概念的な設問(ConcepTest)を出題する。

①選択問題を提示　②学生に回答させる（相談しない）　③付近の学生同士で議論・説得

④もう一度回答させる　⑤正解を告げ、解説する

※実践では「要点説明」の直後に１～２問出題する。学生の回答には「カード」を使用した。

★「ConcepTest」の例　（2 年「物理Ⅰ」）

もしあなたが空気抵抗のない中で物体を落とすと、物体は９.８m/s² で下へ加速します。

もしその代わりにあなたが下方へ物体を投げると、投げたあとの物体の下への加速度は

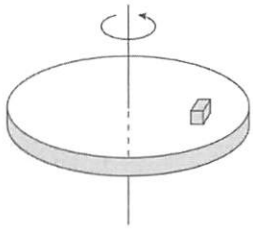
１．９.８m/s² 以下です。　　学生の回答：　２　→　　０人

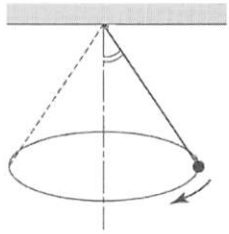
２．９.８m/s² です。　　４２　→　５９人（正解：全体の 94%）

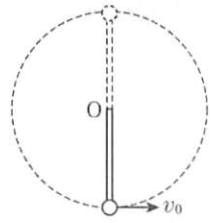
３．９.８m/s² 以上です。　　２０　→　　４人 定期試験での正答率 91%

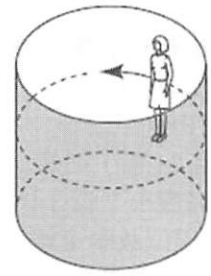
★座学の定着度との比較　（3 年「物理Ⅱ」）

図の瞬間におもり（人）が受ける合力のベクトル（１つの矢印）を、外で静止している観測者の立場で、解答用紙に記入せよ。※合力が０のときは「０」と記入せよ。









※授業でのＰＩ正答率（左から４番目のみの出題）　　PRE　7%　POST　0%

※学生の定期試験での正答率：　　2015 年　座学のみ　　37%

（上記４コ全部を出題）　　2016 年　反転＋ＧＷ＋ＰＩ　58%

4．「反転＋ＰＩ＋GW」授業のススメ

・”１時間の授業の準備に３時間”　でも一度出来上がると翌年以降は改良のみ。

・「振り返りカード」で授業に双方向性ができ、授業に行くのが楽しくなる。

・問題量と授業の時間配分に工夫の余地あり。 教員＝レストランのフロアマネージャー?!

・「反転」で学生の学習時間が増えるので、授業進度は決して遅れない。（進学校でもＯＫ）

・ConcepTest で直接概念形成を促せる。時間配分や再回答前の仕掛けに工夫の余地あり。

・「反転」には、クラウドを利用した moodle サーバー構築サービス[3]を利用するのも手。

参考文献

1) 小林昭文「アクティブ・ラーニング入門」産業能率大学出版部，2015 年

2) E.Mazur : Peer Instruction : A user's manual (Pearson-Prentice Hall, 1997)

3) 例えば、「こだまリサーチ」http://www.kodamari.com/ （連絡先：fuwa@kodamari.com）

明治授業筆記の探索分析と価値ある科学教育の内容・目標・方法の再構成

新潟大学教育学部, 小林昭三[1], 興治文子[2]
kobayasiakizo@ed.niigata-u.ac.jp[1], okiharu@ed.niigata-u.ac.jp[2]

1．はじめに

全国各地の文書館で，明治以来の高等小学校生徒や師範学校生徒などが理数分野の授業を受けた際に筆記した授業筆記を，網羅的・包括的に探索・収集した。そのデータベース化を進め，デジタル・リポジトリの形成を目指している。そうした教育現場の生の姿を伝える授業記録の調査分析により，これまで見逃されてきた明治中期の知られざる授業実態が解明されてきた[1, 2]。

それらは，従来の法令や教科書を主たる手掛かりに調査分析された理数教育史の実相[3]とはかなり異なる，新たな授業史的な実態・新知見を確証するものとなっている。特に，日本の開国や明治維新の後に，日本が世界的教育改革の潮流を如何に学んで受容したか，日本独自な授業法や実験法を如何に工夫し普及させたか。当時の世界的な科学や数学の教育改革の中において，日本は世界的トップ水準に何時頃・如何に挑んできたか，等の思いがけない真相が，相次ぐ授業記録の再発見によって次々と解き明かされてきている[1]。そうした最近の成果について報告する。

さらに，明治以来の日本の理数教育の変遷において欧米と日本の国際的な連関は如何なるものだったか。日本と韓国や中国との理数教育をめぐる緊密な国際的連関によって，中国や韓国の留学生などがいかに自国の科学教育に重大な影響を及ぼしてきたか。そのようなアジアの中における理数教育分野での特徴的な国際的連関についても報告されよう。

最後に，ICT分野の革新により可能性が大きく開かれてきた近年の状況を生かして，明治以来の物理教育において特に希求され続けた価値ある教育内容を，「ICT活用した現代的アクティブ・ラーニング型授業」として如何に再構成するか，についての実例のいくつかが紹介されよう。

2．世界的水準に挑んだ明治期理数教育の実相

明治24（1891）年に長野県上伊那郡高等小学校伊那富分教場の1年生であった宇治橋正則が残した4年間の科学分野の授業筆記を，兵庫教育大学図書館教材文化資料館で2015年度に偶然発見した。

明治24年・高等小学校1年生の理科筆記，明治25年・同2年生の理科筆記1と理科筆記2，明治26年高等小学校3年生の理科・物理筆記，及び，理科・生理筆記，明治27年高等小学校4年の理科・化学筆記（数学分野の筆記もあり）を宇治橋正則は遺していた。その科学教育分野について紹介する。

明治19年の小学校令時代に，高等小学校で理科の授業が開始された。高等小学校の1年と2年生では，宇治橋は確かに理科の名称の授業を筆記した。それが理科筆記や理科筆記1，理科筆記2である。

次に物理分野のみの目次を示す。低学年の理科（高等小1年，2年）では，物理も博物的授業内容であった。他方，高学年（3，4年生）の物理学や生理学や化学では，科学の基礎・基本に関する授業内容だった。その授業内容の核心的特徴を，以下の物理分野の目次や授業内容で，解明しておこう。

2．1 明治25(1892)年高等小学校2年生・理科筆記・物理の目次:

理科筆記や理科筆記1，理科筆記2は，明治14(1881)年制定の小学校教則綱領に大略で一致することは注目に値する。即ち，初等科・中等科・高等科の区切りにおいて，「博物は中等科に至って之を課し，最初は努めて実物に依って通常の動物の名称，部分，常習，効用，通常の植物の名称，部分，性質，効用，及び通常の鉱物の名称，性質，効用，等を授け，高等科に至りては，更に植物，動物の略説を授くべし」とある[3]。高等小1年，2年の理科筆記は，通常の植物・動物・鉱物に関する博物授業だった。

明治25(1892)年高等小学校2年生・物理筆記の目次:

動静力学／1力／2動静／3重心／4平均／5重心線／6梃子／7秤／8助力機（梃子・滑車・輪軸・・）のようである。つまり，2年生の理科における物理は，「単一の機器及び近易の方便（教則綱領）」という動静力学を教える授業内容であり，博物的な理科の授業として実施された。

明治26(1893)年高等小学校3年生:理科・物理の部:

第一力学／1引力／重量／・・／墜落：運動の法則／1慣性の法則（遅速あるは空気の抵抗）／2等加速度運動／・・／3距離は1，3，5，7の奇数和となる（距離＝g・t^2/2）／応用／4振り子の法則：／5凝集力／6三態（気体・液体・固体）／7粘着力／8？／9液体／10毛細管引力／11音

響，である。即ち，2～3年生の物理は「物性，重力より始め，漸次水気熱音光電気磁気の初歩を・・努めて単一の機器及び近易の方便に依り実地試験を課しその理を了解せしむ」[(3)]の内容であった。

即ち，長野でも，新潟で確証されたように，「低学年で理科，高学年の3年生と4年生では，物理学筆記や化学筆記や生理学筆記」が遺され，科学の基礎・基本が確かに教えられていたのである。

3．宇治橋正則の物理筆記の授業内容の特徴

宇治橋正則の物理筆記は当時の如何なる物理教科書を使って教えられたかは，多数の翻訳教科書があり特定が困難だが，原本は「パーカー・カッケンボス・ガノー・スチュワート・エベレッタ・・」などなので「カッケンボス型」か「スチュワート型」かは実験装置図から特定できる。

その調査分析結果では，むしろ両者が混合したものということが明白だった。宇治橋正則の教師は両者の翻訳教科書を十分に咀嚼し，高等小学校の高学年に興味をそそる高いレベルの授業内容として取捨選択して実施したようだ。運動法則をめぐる特徴的な授業内容は次の様でである。

引力：　萬物皆互に相引かんとするの力あり。之を引力と云う。物質の分量等しからざるに，物体あれば分量の多き体に，他体は引き寄せらるべし。故に地球上の萬物は皆地球に引かれて，地面に向かいて落つ。これ地球は地上の物体に比すれば甚大なればなり。重量：　物体を支え或はこれを引上げんとすれば，多少力を要す。これ物体に重力あるがためなり。地球は，総て物体を地心の方向に引付けんとするものなるを以て，地球表面に於て，物体の重量は，土地の高低と緯(ヰ)度の異なるるに従いて，異あるものなり。(実例は，富士頂998.2匁，北極1003.3，札幌1000.7東京1000.0，那覇999.3，赤道998.1が，緯度の違う例として立ち入って挙げられる)。物体の重量は地球の表面を離るるに従いて減少す。物体の重量は地中に入るに従いて減少す。墜落：地球と物体との間には引力あり。為に諸物体常に地心に向て近かんとす。此現象を物体の墜落と云う。

法則：1．墜体の速度は物質の性質及び質量に関せず常に同一にして一定せり。其遅速あるは空気の抗抵による。2．墜体はその落下の時間の長短に比例してその速力を増加するものなり。その増加する速力は一定にして即ち一秒時毎に32尺なり。之を地球の加速度と称す。加速度×時間＝全速力。全速力／速度＝時間。3．其墜落の距離は最初の一秒時間は加速度の半ば，即一六尺にして，其次よりは奇数に従いて増加す故にその全距離は初の一秒時に落ちたる距離，即一六尺に時間の自乗数を乗すべし。16×時間＝全距離。即ち，加速度×時間^2／2。以上が宇治橋正則物理筆記，「万有引力と墜落」の筆記における，核心的な部分である。その後，応用，振子，と続く。

4．おわりに

この物理筆記の力学法則部分は，(1)宇田川準一の『物理全志・物理小誌』，(2)『明治24-26物理学講本・神戸要次郎編訳（田中出版）』及び，(3)『小学物理書・志賀泰山編訳』などに記述された「カッケンボス・ガノー型」の内容である。しかも，原著のNatural Philosophyにある，中等以上の内容を含むもので，高レベルの授業内容を上手く講じた筆記である。特に，3法則「1墜体の速度は質量によらず同一，2重力加速度(1秒毎の速度増加分)は32尺，3．墜落全距離は$gt^2/2$」のまとめ方は，3例中『志賀の小学物理書』に酷似し，それよりも見事である。その際，原著と翻訳ではアトウッド装置実験（AW)を3法則の検証に使うが，何故かどの筆記にもAW実験が無い。その理由の分析は最後の歴史的価値ある内容のICT活用能動授業の実例に触れる際に，身近な簡易実験と異なる重厚な装置による困難な実験が避けられた例として，論じよう。科学教育革新が急速進展した明治初期に翻訳者の多くが欧米を訪れて直接ハクスレイ・ロスコー・スチュワート・スペンサーから原著教科書による教育法を学び持ち帰り普及した。韓国や中国の留学生も日中韓の緊密な国際連関の基で科学教育法を身に着け，帰国後に本国に与えた影響も論じる。

謝辞：本研究は，JSPS科研費15H02912，15K12373，および，2570071によるものである。

参考文献

(1) 小林昭三・興治文子，『科学史研究』第52巻，（2013年）200-210頁，及び，同書，240-248頁。
(2) 高橋浩，赤羽明，所澤潤，玉置豊美，森下貴司，滝沢俊治，『科学史研究』　第43巻(No.230)(2004年)，pp.74-82。
(3) 板倉聖宣，『日本理科教育史(付・年表)』1968，第一法規出版。『増補　日本理科教育史(付・年表)』，仮説社（2009年），p.152，p.162 or p.176。

企業内教育からみた経験帰納的学習法の位置付け

宮城教育大学教育学部[1]，宮城教育大学大学院教育学研究科[2]　内山哲治[1]，佐藤壮[2]
E-mail　tetsu-u@staff.miyakyo-u.ac.jp[1]

1．はじめに

文部科学省のホームページに校種ごとの学習指導要領[１]が掲載されている。ここにある「総合的な学習の時間（総合学習）」の目標は，校種が異なっていても文言の違い程度で，内容が同じであり，児童生徒がいわゆる問題解決学習，課題解決学習，課題解決型学習(Project-based learning: PBL)を通してアクティブラーニング（能動的学習）を行うことを謳っている。また，これに伴って，高等学校などでは課題研究を行っているところも多い。

われわれは，課題研究の助言や物理教育を調べる中で，PBL は学習が進んだものに有効ではあるが，初学者にとっては敷居が高いと考えてきた。そこで，経験帰納的学習(Experience-based inductive learning: EBIL）を提案し，実践している[２，３]。

今回は，第一義として利潤を求めるために，効率のよい教育が研究され実践されている企業における教育（企業内教育）を参考に，動機づけなどを軸にして PBL および EBIL の位置付けを検討したので，報告する。

2．経験帰納的学習（EBIL）

われわれは物理を未履修および得意としない学生（物理初学者）に対して物理教育を行う中で，以下のように考えた。

物理学は自然科学である。また，われわれは自然の中で生きている。この事実は，われわれは生まれながらにして自然に囲まれており，その中で生活することによって，既に「無意識のうちに物理を認識している」といると言えるのではないか，というものである。この立場から考えると，物理が出来ないというのは，無意識の中にある自然現象を整理し正確に捉えられていない，または，物理として正確に表現する術を知らないだけに過ぎないということになる。

そこで，『われわれは自然界に生まれてからこれまで培ってきた自然現象に対する経験（日常生活での経験）を積極的に利用する。つまり，指導者（教員）の下でこの先行経験を細分化し，正確に物理概念を抽出する。そして，個人から出てきた自然な感覚（物理概念）と物理法則との間の関係を帰納的に結び付ける学習法』を EBIL とした。この EBIL は，部活動が非常に有効であることが分かっている[３]。

3．企業内教育

企業内教育は大まかに On-the-job training（OJT）と Off-the-job training（Off-JT）の２つに分けられる。

人事院総裁秘書官や研修審議室参事官を歴任された川端大二氏によると，『OJT は，「上司が仕事を通じ，あるいは仕事に関連させつつ部下を指導し育成する研修」である。』と定義されている[４]。つまり，OJT とは，指導者の管理下に学習者を配置し，学習者が職務遂行を通して

知識・技能を獲得する学習方法となる。OJT の例としては，徒弟制が挙げられる。

一方，前掲著[４]に，『Off-JT とは，「一定期間職務から離れてもっぱら行う研修」であるが，主として集合研修の形で行われる』とある。つまり，Off-JT とは，主として指導者の下に学習者が集い，指導者が構成した学習内容に従い，学習者が学習するという学習方法である。ここで，Off-JT における指導者としては，企業内部および外部の人間を問わない。Off-JT の例としては，教員の初任者研修が相当する。

企業では。この OJT と Off-JT は互いに独立な関係ではなく，相互作用するように設計されており，OJT での職務遂行によって得られた知識・技能を Off-JT によって深めることや，Off-JT によって得られた知識・技能を OJT において実践するようになっている。

以上の学習方法を，学習者の主体性，学習の主導権，および動機づけを座標軸として，OJT，Off-JT，PBL，EBIL を 3 次元グラフ内に配置し，それぞれの関係，特に EBIL の立場を明らかにしたい。なお，本研究は JSPS 科研費 15H02908 の助成を受けたものである。

参考文献

[１] http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/1356249.htm

[２] 内山哲治，山口智輝「物理教育における経験帰納的学習の提案」物理教育 61 (2013) 160.

[３] 山口智輝，内山哲治「打撃シミュレーション教材を利用した授業実践」宮城教育大学 情報処理センター研究紀要 20 (2013) 51.

[４] 川端大二「社員研修―その基本と実践―」産業能率大学出版部 (1984).

力学講義における実験動画を用いた授業の課題

岐阜大学,　中村琢
E-mail　nakamura@gifu-u.ac.jp

1．誤概念ベースの力学授業

本研究は大学初年次生対象の物理学力学の講義における，実験動画を基にした学習者主体の授業実践と教育効果に関するものである。この授業は力学の典型的な誤概念をベースにして，グループディスカッションとピアインストラクション(PI)を盛り込んだ協働的学習により，正しい概念の獲得を目指している。力学の事象の提示においては，事前に撮影した数秒間の実験動画と，学習者の前で見せる演示実験を用いた。提示する実験には，超音波で位置計測を行うモーションセンサーと力センサー，加速度センサーおよび，計測結果を同時にグラフ出力可能なデータロガーとソフトウェアを用いた。受講者は高等学校での物理履修歴が異なる様々な学部の大学1年生40名で，事前に実施する力学概念調査(FCI)のスコアで均した4人からなる小グループに編成した。微積分を使わない代数レベルで実施した。扱った内容は，速度，加速度，位置の時間変化，運動方程式，落体の運動，慣性の法則，静止摩擦力，動摩擦力，作用反作用の力，等速円運動である。

2．授業の課題

授業実践により得られた知見を整理する。事象提示に動画を用いたことの長所は，次の5点である。(1)数秒で事象を提示でき，問題の思考にすぐに入ることができる。事象提示に掛かる時間を予測できるので，授業を組み立てやすい。(2)学習者が測定器の仕様に慣れる必要がなく，速やかに物理の思考に入れる。(3)何度も動画を再生，停止することにより細部にこだわった議論が可能である。(4)授業準備が容易である。(5)教材を他の授業者に提供できる。

一方，短所は，次の2点である。(1)学習者が手を動かして試行できない。情報が動画のみであるため，授業者が前提条件や実験のセットアップを正確に伝える必要がある。またこれにより，学習者の思考の内容が限定的になる。(2)理論と現実との差など，授業者の意図しない論点に関心が集まることがある。

短所の(2)の具体例を挙げる。各種センサー類による測定は10ミリ秒間隔で行い，各時点の測定誤差によるばらつきを生じる。理論を勉強してきた学習者には，実際の測定がばらつくことの思考に困難を感じる者もいる。これらのばらつきの原因が，実験装置の摩擦，空気抵抗などによるものと考え，実際には理論が破たんしていると考える学習者もいる。また，静止状態にある物体に一瞬だけ力を加え初速を与えたあとの運動を考えるとき，最初の一瞬にこだわって議論をする学習者も多い。

以上の実践より，動画を用いた講義における課題は，授業者が扱う問題を絞り，出題意図を明確にした動画を作ること，問題を精選して，学習者の実態に見合う構成にすることである。本発表においてはFCIの結果と議論の音声データを基に，教育効果を検証し，これらの課題の具体例を示す。

単振動の授業での主体的・協働的な学習活動の試み

愛知県立岡崎高等学校, 新海徳則
E-mail　k605068s@m2.aichi-c.ed.jp

1．概要

高校物理の単元「単振動」の導入部で，主体的・協働的な学習活動を取り入れた。ばね振り子の x-t 図から始めて，グループの話し合いにより v-t 図と a-t 図を予想していくものである。初めのうちは，正しい図を予想できてはいても科学的な根拠づけができないグループが多かったが，活動が進むにつれて既習の考え方を応用する姿勢が見られるようになった。

2．目的

高校物理の単元「単振動」の導入部で，主体的・協働的な学習活動を取り入れた。それは，単振動の分野を苦手とする生徒を少なくするためである。生徒が単振動の学習に困難を感じる理由の一つは，複雑な運動学を実際の現象と結びつけて考えられないからである。本発表は，現象の予想と議論を中心としたグループワークを行うことによってこの点を改善し，既習の考え方を問題解決に応用する姿勢を育成できることを報告する。

3．方法

本発表で紹介するのは，ばね振り子の x-t 図をもとに，v-t 図と a-t 図を作図させる授業である。平成 27 年度に第 2 学年の単元「単振動」の 3 時間目に行った。手順は以下の通りである。

(1) 生徒個人による予想
(2) 個人の予想についてのグループによる議論
(3) 教員による正解の提示
(4) 教員の示した正解についてのグループによる考察

なお，これに先立つ 1･2 時間目の授業では，ばね振り子を具体例としてとり上げ，単振動を，変位 x が時刻 t の三角関数で表される運動として定義することから始めた。その後に角振動数などの量の説明と，等速円運動の正射影の説明をした。等速円運動の正射影から導入する従来の方法を変更したのは，実際の現象と関連づけやすくすることを意図したものである。

4．結果

初めのうちは，正しい図を予想できてはいても科学的な根拠づけができないグループが多かったが，活動が進むにつれて既習の考え方を応用する姿勢が見られるようになった。前半の v-t 図の作図では，ばね振り子の振動を想起して直感的に予想したグループが多かった。そこで，一部のグループが力学的エネルギー保存則を利用して作図を説明できていたことを全グループに紹介し，既習の考え方を適用するよう促した。その結果，後半の a-t 図の作図では，「v-t 図の傾きを利用する」「等速円運動の正射影を考える」「運動方程式を適用してばねの伸び縮みに注目する」といったアプローチが見られるようになった。

GPSを使った「地球の大きさ」の測定(実習)とその展開　その3

西　博次　岡山県立総社高等学校
hirotsugu_nishi@pref.okayama.jp

1．はじめに

この発表は，ＧＰＳを使って「地球の大きさ」を測定する生徒実習の報告(第３報)です。15年間ほど継続的に実施したことからわかってきた課題と，発展的な学習につなげるための展開をテーマとしてまとめました。グランドでの実測を伴う実習を１コマの授業時間の中に収めるための工夫と，年度を重ねるごとに変化していく生徒の状況についても盛り込みました。さらには，生徒の興味・関心・意欲に応じて，深めることのできるテーマについても触れました。グローバルな視点で，地球に思いを寄せる切っ掛けとなってくれれば幸いです。

2．地球の大きさの測定について

紀元前にエラトステネスは，丸い地球一周の長さが約 46000km 程度であることを見積もっています。この実験実習は，地球が球体であることを知った上で，地球の南北方向に緯度で１度だけ歩いてその距離を実測し，360 倍することで，地球１周の大きさ(長さ)を求めてみようという発想からスタートしています。実際には緯度で１度という距離は，約 111km 程度もあり，生徒達にとっては時間的にも空間的にも実測が困難となります。そこで，中心角にしてもっと小さな角度の距離を測定することを計画し，実測可能なサイズまで対象をズームアップしていくことにします。１度を 60 等分した角度で１分(1’)の場合は，約１．９km。さらに 60 等分した角度で１秒(1”)の場合は，約 31ｍなので，この距離を生徒全員に実測させることとしました。実習にあたっては，中心角の測定は，南北方向，東西方向とすることで，緯度の差，経度の差についてＧＰＳを使って測定することにします。また，距離の測定については，各自の１歩の長さを事前に決定しておくことで，各自が歩測により測定することとします。

この測定法により，「測定」で生ずる「誤差」について，体験的に考えるチャンスも生まれます。

3．生徒の実習について

実験・実習　地球を見てみよう・地球を測ってみよう

【準備物】ＧＰＳ，電卓(筆算)，５０ｍのものさし(物理教室前の廊下 50m)

【考え方】右図のように地球の一部分の距離を測定して，中心角 360° の地球の円周の長さを求める。(実際には，中心角１秒の距離を実測する。)

【自分のいる位置をＧＰＳで調べ，分度器のかわりに使う】
(例) N 34°35'35.1"　北緯 34 度 35 分 35.1 秒…赤道から北に 34 度の位置
E133°45'35.4"　東経 133 度 45 分 35.4 秒…グリッジ天文台から東に 133 度の位置にいる。
位置データを見ながら，南北，東西に中心角１．０秒の距離を歩く。

【自分の歩幅で距離を測定する】
歩測の準備(１歩の長さを測っておこう。)
５０ｍの距離(廊下)を歩いて，歩数を数える。
１歩の歩幅 [m] ＝１００ｍ÷(往き＋復り)の歩数

往き	歩	１歩の平均の長さ
復り	歩	m

【方法】
ＧＰＳと歩測で地球のサイズを測定してみよう。
(1) 窓の開けた所でＧＰＳの電源を入れ，初期化する。(通常数分かかる。準備済み)
(2) 南北方向の目安を定める。(Ｅの表示が同じ方向)
(3) ＧＰＳをつかって１秒の長さを測ってみよう。
・ＧＰＳをコンパスとして子午線(南北)方向に歩きながら，緯度で１秒の長さを歩いてみよう。
(ヒント：１秒の長さ ＝ １歩の長さ × 歩数)
(ポイント：方向は目標物を設定してから歩く。歩測する人と，ＧＰＳのデーターを見る者の２名で実施するとうまくいく。ＧＰＳで角度の秒の変わり目でスタートして，つぎの変わり目で終了するとよい。)
(4) 次の関係を使って地球１周の長さを求めなさい。

地球１周の長さ [km] ＝ 緯度１秒の長さ [m] × 60 × 60 × 360 ÷ 1000

スタート　７歩　５０ｍ
北端の位置：北緯３４度　分　秒
１秒の歩数　歩
１歩の長さ　m
緯度１秒の長さ　m
南端の位置：北緯３４度　分　秒
【計算式】
地球１周の長さ　km

【やってみよう】
・ＧＰＳをコンパスとして東西方向に歩きながら，経度で１秒の長さを歩いてみよう。
(問) この結果と，(3)の結果についてデータは同じか異なるか，また，その理由を考えてみよう。
西端位置 東経 134 度　分　秒
東端位置 東経 134 度　分　秒
歩数　歩
経度１秒の長さ　m
同じ
異なる
【理由】

【感想・まとめ】

(　　)回(　　)年(　　)組(　　)番 氏名(　　)

図 1　実験実習書

実験実習書は，毎年担当する生徒の実態にあわせて改訂し，平成 28 年度版が左のものです。現在の勤務校では，理科の廊下 50ｍの目印をもとに休憩時間に利用し１歩の長さを求めています。実習は，広いグランドを利用しなくても 40ｍ四方の中庭で 40 名の生徒が 10 班に分かれて，同時展開で実施できます。校庭は市街地にあり，立地状況から南北方向の目安の設定をＧＰＳにより行った後，実測に入ります。測定に際しては，タイムトライアルで，精度とともに，測定時間についても評価の対象としています。

ＧＰＳは，その特性から１地点で止まっている状態では方向が定まらないため，移動しながらの使用が必要となります。このため４人グループの１人がＧＰＳを担当し，「スタート」からちょうど 1.0 秒(“)増減した地点で「ゴール」を発声し，他３名はその声を聞き歩数を数えるというスタイルが定着しました。

同じ 1.0 秒の角度を歩いても，南北方向と東西方向の距離が異なることに気づくと，真面目なチームは実習を失敗したのではないかと驚き，改めて慎重に測定し直すこともあります。

測定後に教室でデータ処理し，考察，まとめを完成し，終礼時に提出です。次の授業で，測定結果の解説を受け，内容理解のための学習を深めていきます。

4．実験・実習のまとめ

教育課程が変わり，異なる校種を体験しました。各生徒実習を時系列順に示し特徴を述べてみます。

①国土地理院の２万5000分の１地形図で地球の大きさを調べた[園芸科家政科]

1990 年ごろ地形図の南北の長さを測定することで，地球の大きさの測定を試みました。特に家政科の生徒は，物差しの読み取りがうまく，有効数字３桁の精度で地球の大きさを決定できました。興味関心も高く意欲的で，北海道と九州の地形図を比較し東西方向の長さを測定により，緯線の長さが北に行くほど短くなることから，地球が球状をしている証拠の１つを自分達で見いだすことができました。以後の実習の基本的なアイデアが完成しました。

②ＧＰＳで地球の大きさの測定を開始[総合学科]

理科の同僚が①の研究授業に参加していた経緯から，ＧＰＳによる測定実験実習の環境を整備してくれました。南北方向の測定から地球１周の大きさを測定するとともに，東西方向の測定について北にいくほど短くなることから，地球が球形である１つの証拠を実測して結論を出すことができました。選択履修のため２人１組で実習でき，ＧＰＳの特徴を理解して活用できました。

③ＧＰＳで地球の大きさをグループ測定[工業高校]

生徒個々の学力や学習意欲や興味関心も広がりがありました。グループ学習の形態を取り，互いに補い合い完結させていく手法が確立できました。ＧＰＳという機器に関する興味関心は高かったので，学習の目的に導くことができました。内容理解への意欲に転換する過程が重要だと感じました。

④地球の大きさを個人で測定[理数科，普通科]

ＳＳＨ指定校の設定を受けＧＰＳを個人活用できる体制ができました。個別に，緯度経度のデータを見ながら，進行方向を定めつつ歩数の測定ができました。測定誤差がどの場面で発生しているのか，生徒が自分で判断できました。

図 2 測定風景

表 1　生徒の測定した地球の大きさ

実験担当生徒名	５０ｍの歩数[歩]	１秒の歩数[歩]	地球１周の距離[万km]
T，K	６０	４１	4．4
A，N	７２	４５	4．0
K，H	７７	４１	3．5
Y，M	６８	４０	3．8

⑤地球の大きさをグループ測定，地球の球形である証拠にも迫る[工業高校]

③と同種別の学校で，教育課程が変化していく中で，特に聞く力，粘り強く考えようとする姿勢，結論をまとめ表現する力を高める必要性を強く感じました。例えば，計算は電卓に頼る傾向が強く，使う公式はブラックボックスとして記憶しており，内容を理解するよりも結果を出すことが目的という傾向を強く感じました。小学校高学年以降の学習について，考え方よりも結果を学ぶ学習を習慣付けされているようなイメージさえ受けてしまいます。

⑥課題研究，アクティブラーニングをすすめる[家政科，普通科]

物理基礎の探求活動に位置づけて，考え方，実験実習方法の工夫，まとめ，プレゼンなどの取り組みを計画しました。また，高校生が講師になり，中学生たちに理科の楽しさに触れてらう体験授業などにも発展していきます。（ＧＰＳは他校から借用します。）

これらの状況を踏まえて，教員側で準備したスケールの大きなデータについて生徒に発展的に検討させる試みを続けています。

5．発展的な取り組み「地球が丸い」を測定値から見つける

週末の時間を使って到達できる条件で，南北に長い陸地部分で，生徒と同様の実験実習を歩測でなく 50ｍメジャーで教員も実施しました。南北方向では測定値は，どこの測定点でも30.9m程度であること，東西方向の距離は北に行くほど短くなることがわかります。生徒たちは，地球が丸くないと説明できないという結論にも達することができました。

表 2　教員による測定結果

測定場所	経度１秒の長さ[m]（東西方向１秒の長さ）
① N37°付近	２４．５
② N36°付近	２５．０
③ N35°付近	２５．３
④ N34°付近	２５．５

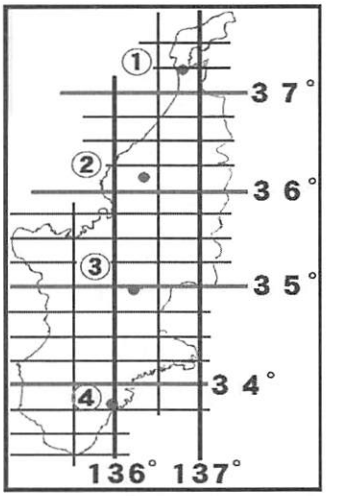


図 3　測定ポイント

将来的には，地球の各地の中・高・大の学生達がＧＰＳ携帯を使って自分の地域で測定し，ネットワーク上で，世界各地の測定データを共有し，地球を一つに繋げていける教材になる可能性を感じています。

アクティブ・ラーニング型授業と聴衆応答システムを活用した形成的評価

神奈川県立逗葉高等学校[1], 東京学芸大学[2], 西村塁太[1], 新田英雄[2]
m121805g@st.u-gakugei.ac.jp[1], nitta@u-gakugei.ac.jp[2]

1．はじめに

平成 26 年 12 月に公表された中央教育審議会答申で，従来の知識の伝達・注入を中心とした授業からアクティブ・ラーニング（AL）への転換を推進することが強調されてから，生徒同士で議論したり実験したりする能動的な学習活動を取り入れた授業（相互作用型授業）への関心が急速に広がっている。私たちは，ピア・インストラクション（PI）や相互作用型演示実験講義（ILD）を取り入れた授業を実践してきた。そして，いわゆるクリッカーと呼ばれる聴衆応答システム（ARS）で得られるデータや，Force Concept Inventory(FCI)を授業前後で実施することで得られる規格化ゲインといった定量的な指標に基づいた授業効果分析・改善の研究を行ってきた。

筆者の一人は現在の勤務校での相互作用型授業の実践を通して，同校に通う生徒の多くが，基本的な読み・書きを含めた，学習についての多様な課題を抱えていることがわかってきた。また授業とは，先生の教えてくれる正解や，教科書の太字キーワードをプリントに穴埋めしていく作業であり，それをそのまま覚えてテストで解答することが重要である，という学習観を持つ生徒も多く，生徒同士での議論に意義を見出せていない様子も伺えた。このように相互作用型授業は，ただ生徒主体の活動を取り入れるだけでは不十分であり，実際の授業の実践にあたっては，考えねばならないことが多くあることがわかってきた。そこで本研究では，①単元構成，②授業環境，③生徒個別の学習状況のフィードバック，の 3 点に関し検討を行い，改善を試みた。

2．授業改善の試み

① 単元構成の工夫

筆者が実践している PI では基本的に，授業を 10～15 分毎に区切り，教師による講義と講義の中心概念を問う選択肢問題についての生徒同士の議論を交互に行う。PI 型授業では，知識をインプットする講義と，アウトプットする議論が交互に行われるので，授業にメリハリがつけられるという利点がある。しかし本校で実践したところ，生徒は能動的な学習活動に慣れておらず，うまくその切り替えができない様子であった。そこで単元の前半に知識をインプットするための講義と生徒実験を行い，PI はテスト前のまとめとして単元後半に数問連続して行うことにした。このように構成することで，生徒は議論の土台となる知識を，ある程度定着させてから議論に入ることができるのではないかと考え，このような授業形式を考えた。具体的な流れとしては「講義」→「生徒実験」→「講義」→生徒実験→…→「PI」→「定期テスト」というものである。

② 授業場所の工夫

従来の PI 型授業では，ほとんど毎回クリッカーを使用することになるので，機材の都合上，毎回物理実験室で授業を行っていた。これを変更し，講義の授業は普通教室，生徒実験と PI の授業は物理実験室で行った。普通教室では生徒が慣れ親しんでいる教師主体の講義，物理実験室では生徒主体の実験や議論といった具合に，授業場所によって学習形態を変えることで，学習に対する構えを作りやすくするように気を付けた。

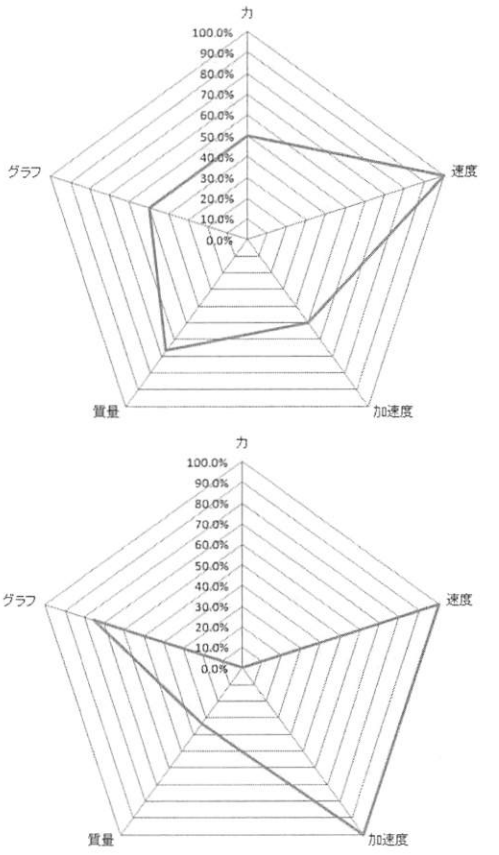
③　ARS データに基づく生徒個別の学習状況のフィードバック

ARS を活用することで，生徒個別の学習に関する貴重なデータが得られる。本実践ではこのことに注目し，教師が生徒個別の学習状況を視覚的に把握できるように，かつ，生徒にもデータに基づいたフィードバックを返し学習を支援するため，「ARS 個別学習票」を作成し，配付した。

1. **出題の意図　…　何を理解して欲しいと考えて出題したのか**
2. **各選択肢についてのコメント　…　どの誤答がどのような間違いを表しているのか**
3. **クラス全体の正答率　…　問題の難易度**
4. **クラス全体の選択肢毎の回答状況　…　どのような考えを持った生徒が多いのか**

ARS 個別学習票の中の「2. 各選択肢についてのコメント」を生徒が読むことで，生徒に自分で何がわかり，何がわかっていないのかということについて考え始めるきっかけを与えられる。ARS 個別学習票が生徒への形成的評価となって，生徒を学習へ動機づけ，生徒に自ら学ぶ力を育てることになる。AL の評価の難しさであるが，例えば PI を実施したときに，内容を深く理解することや知識を活用することの重要性は，議論や教師の解説を通して，その場で自分なりに理解できた一部の生徒にしか実感できない可能性があり,そうでない生徒に対しては手立てが必要となる。特に多くの高校生は，自らの学習について自ら考える（メタ認知）習慣が，十分に身に付いているとは言えない。

またARS設問の改善とPIでの議論班作りの工夫にも取り組んだ。【速度】や【運動の法則】のような，その単元で生徒に身につけさせたい，考えさせたい概念を「学習の観点」として設定し，一問につき一つの学習の観点だけを問うように設問を作成した。また，生徒ごとに ARS 設問の正誤を学習の観点毎に集計し，各学習の観点を頂点にとったレーダーチャートでグラフ化した（図）。そして，レーダーチャートの形が異なる生徒同士でグループ編成した上で PI を実施した。テストで合計得点が同じでも，生徒ごとに知識構造が異なることは，教師であれば誰しも直感的に理解している。本実践では，学習の観点の設定と ARS の活用により，生徒の学習上の特徴を視覚的に表すことで，PI での議論で生徒たちが互いに足りない部分を補い合ったり，自分にはない新たな発想を得て概念形成を深めたりする状況を意図的に作り出すことを目指した。



上図:同じ得点の生徒二人のレーダーチャート

高校物理における電子黒板の活用 —見えてきた課題と今後の可能性—

北陸学院中学・高等学校　　岡崎 裕一
E-mail　okazaki@hokurikugakuin.ac.jp

1．はじめに

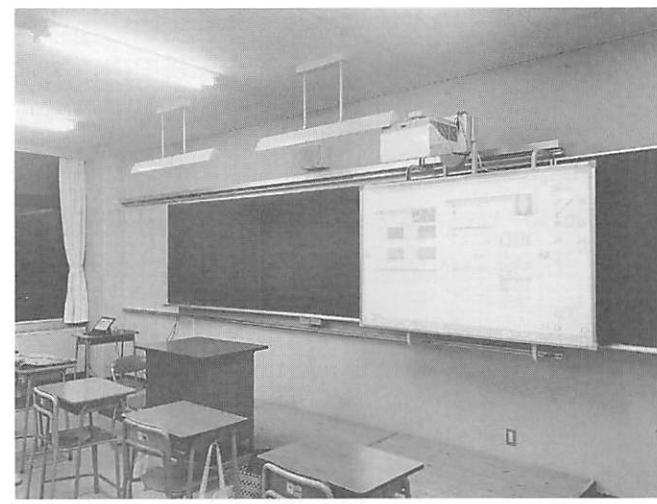
本校は，備え付けの電子黒板を 2013 年 4 月に特別教室，2014 年 9 月に全普通教室に設置した。発表者が担当する「物理基礎」，「物理」(※いずれも高等学校の科目)でも指導者用デジタル教科書と電子黒板を組み合わせて授業を展開している。最初の導入から 3 年，試行錯誤しながら使用してきた電子黒板について，見えてきた課題と今後の可能性について，発表者の経験をもとに報告する。

2．全教室に電子黒板を導入するまで

発表者が教員になった 2008 年当時，授業でどのように生徒に様々な物理現象をイメージさせるかが課題だった。力学分野は目に見える現象が多いからそこまで困らなかったが，電磁気分野は目に見えない現象が多いので，(紙の)教科書の図だけでは説明に困ることも多かった。また，波動分野を教えるときも導入でウェーブマシンを利用してイメージをつかませることはできるが，その後の問題演習では，やはり教科書の止まった図では，生徒に思うどおりのイメージをさせることができなかった。もちろん，黒板に時間経過を追って，波の図を作成していくこともできたが，3 年生の演習授業ならともかく，初めて波動分野を学習する 2 年生には，波の図が動いていくということすらイメージさせられず，苦労したのを覚えている。

そこでまずは，パワーポイントなどのソフトを利用して，教材研究・作成をし，毎時間，教室にプロジェクターを持って行き，作成したパワーポイントのアニメーションを見せるところから授業の改善を始めた(当時，備え付けのプロジェクターや電子黒板といった ICT 機器は，本校には設置されていなかった)。しかし，毎時間のプロジェクター，パソコンの準備・接続には思いのほか時間が掛かり，授業時間確保に影響を及ぼすという新たな課題も見えてきた。

そこから，特別教室(一部)に備え付けのプロジェクター設置(2010 年 4 月)，特別教室に電子黒板の設置(2013 年 4 月)，そして全普通教室に電子黒板の設置(2014 年 9 月)と段階的に ICT の導入を進めていき，教員がタブレット端末一つを持っていくだけで，どの教室でも電子黒板で授業ができるように校内の環境を整えていった(図)。



３．指導者用デジタル教科書と電子黒板を組み合わせた授業

２で述べたハード面の整備だけでなく，2012 年 4 月の学習指導要領の先行実施(数学・理科)に合わせて，初めて作成された物理の指導者用デジタル教科書の教材研究も同時に進めて準備を行った。現在は，指導者用デジタル教科書と電子黒板を組み合わせての授業を主とし，デジタル教科書のコンテンツでは補えないところは,自分で作成したパワーポイントを部分的に使用したり，以前から利用している動画・画像を見せたりして授業を展開している。また，問題演習では，電子黒板に問題文を映し，黒板に従来通りチョークで解説を書いている。このように電子黒板だけではなく，状況に応じて，既存の黒板を組み合わせて授業を行っている。

４．電子黒板を使用するメリット

電子黒板を使用するメリットは大きく 3 つあると考える。1 つ目は，動画やアニメーションを見せることによって生徒にとってより深い理解につながること(分かる授業)，2 つ目は，板書時間の短縮による授業進度の確保(効率化)，3 つ目は，指導者用デジタル教科書と組み合わせることによる教材作成の時間短縮(教師の負担軽減)である。これらのことは生徒に実施したアンケートでも成果が確認できた(詳細は発表で)。

５．見えてきた課題と今後の可能性

４で述べた 3 つのメリットは，場合によっては課題にもなりうる。例えば，指導者用デジタル教科書のコンテンツばかりに頼ってしまうと，生徒も教師も実験をおろそかにしてしまう可能性がある。また，進度が維持できる反面，生徒にとって授業が受け身になってしまうことも考えられる。そして，電子黒板と指導者用デジタル教科書を使用することによって，教師間の授業内容の標準化が進んだということもできるが，それにより教師が教材研究を疎かにしてしまって，「分かる授業」を展開するために電子黒板を導入したはずなのに，本末転倒になってしまうという危険性もある。また，教科書から黒板までデジタルに頼ることによって，少なからず機械トラブルも発生し，予定の授業内容を変更したということもあった。

しかしこれらの課題は，教師側の意識で解決できると考える。すべてをデジタルコンテンツでまかなおうとするのではなく，生徒実験や演示実験，実際に教師が黒板上で見せる作業などと見比べ，どれが生徒の理解の深まりにより良い方法なのかを常に考えることが大切である。また，授業が受け身になってしまうのを防ぐために，ノートの取り方指導やワークシートの工夫も必要であろう。そして，電子黒板や指導者用デジタル教科書が当たり前になった今でも，授業研究を怠ることなく，今まで以上に時間をかける必要がある。電子黒板にかぎらず ICT の使用によって，「授業の上手な教師はより上手くなっているし，下手な教師はよりその下手さを露呈している」という生徒の率直なアンケート結果もある。何でもかんでも指導者用デジタル教科書に合わせて授業を展開するという受け身の姿勢ではなく，教師自身がそのメリット・デメリットを把握したうえで，授業計画を行うことが大切である。電子黒板はあくまでもただの“ツール”だということを忘れてはいけない。その意識をしっかり教師側が持てたとき，電子黒板をただ単に“使用”している状態から“活用”している状態になっていくと考える。

電気回路における素朴概念の分類

清水滉大，新田英雄
東京学芸大学
nitta@u-gakugei.ac.jp

認知心理学によれば，科学的概念の形成は，学習者の既存の概念と教授者が習得させたい概念との関連付けが適切に行われることによってなされるため，教授者が学習者の保持する概念を把握していることが不可欠である[1]．しかしながら物理学習者は，過去に学習した科学的な概念だけでなく，素朴概念（誤概念・代替概念）と呼ばれる科学的でない概念を保持しているため，学習者が保持する概念を普段の授業からだけで把握することは困難である．なお，素朴概念の構築過程及び払拭方法は明らかになっていない．

そこで本研究では，高等学校での幅広い活用を視野に入れ，欧米で報告されている論文・著作物を中心に学習者が保持する素朴概念を整理・分類し，これを素朴概念分類表と名付けた．この分類表は「科学的知識は階層的に段階を追って理解されている（例：電流を理解していなければ，直列接続を理解することはできない.）」という仮定の下で，まず科学的知識を階層的（Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ）に分類（表 2）し，そこに素朴概念を対応付ける（表 3）形式とした．実際に学習者が素朴概念分類表に分類された概念を保持しているかは高等学校における実践により確認（例：図 1・2，表 1）し，階層構造の妥当性は概念テストの結果をもとに部分的に検証した．

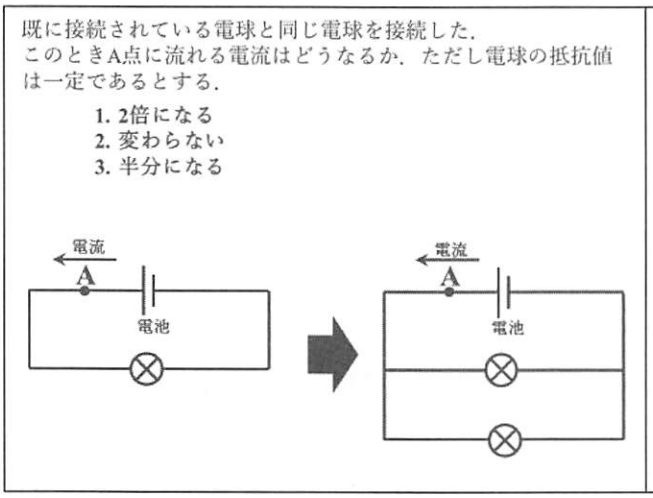


図 1　出題した問題

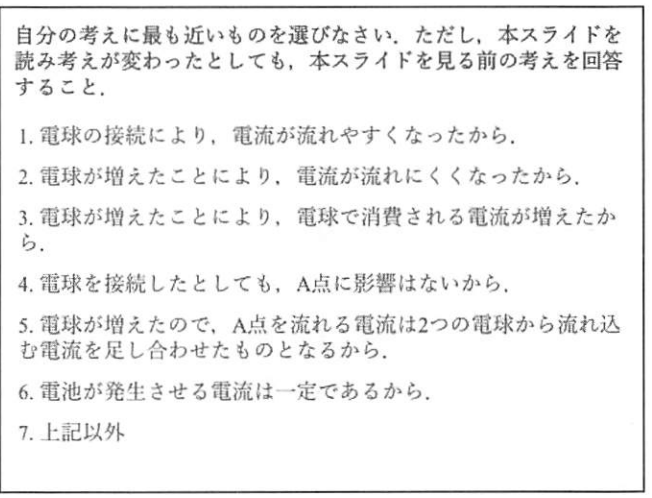


図 2　回答の理由

表 1　図 1，2 の結果（計 80 人に実施）

選択肢	図 1		図 2	
	議論前（人）	議論後（人）	議論前：理由（人）	議論後：理由（人）
1	25	37	8	10
2	37	35	11	4
3	18	8	2	1
4			16	19
5			26	39
6			7	5
7			10	2

表 2　電気回路における思考過程の階層構造

階層	思考過程		
Ⅲ	④	回路の構成を変更した場合には，全体に対して立式しなおす必要がある．	2 つ以上の抵抗を直列・並列に接続したときの全体の抵抗値を合成抵抗という．
Ⅱ	③	回路中の交点において，流れ込む電流の和は流れ出る電流の和に等しく，また，閉回路を一周するとき，起電力の和は電圧降下の和に等しい（キルヒホッフの法則）．なお，直列・並列はそれぞれ電流・電圧が共通である関係を指す．	導体に電流が流れるとジュール熱が発生する（ジュールの法則）．
Ⅰ	②	導体に流れる電流は，その導体の両端の電位差に比例する（オームの法則）．	
	①	物体内に電場があるとき，電荷が移動し電流が流れる物体を導体という．この電場が，一定の電位差を生じさせる装置によりつくられ回路が閉じていれば，電流は流れ続ける．	

表 3　電気回路における素朴概念の分類

階層	回路全体		回路を構成する要素	
Ⅲ	④	**回路の構成の変更** ・回路素子（を流れる電流や電位差）は，回路を構成する他の素子と無関係に分析できる	④	**抵抗（合成抵抗）** ・合成抵抗は抵抗の個数と比例関係にある ・並列に抵抗を追加していくことが合成抵抗を小さくすることは，数学的にしか理解されていない
Ⅱ	③	**キルヒホッフの法則・直列と並列** ・直列という用語から連続性を，並列という用語から幾何的関係を考える ・流れる電流の大きさを決定するのに抵抗の大きさは関係ない	③	**抵抗（ジュールの法則）** ・電球の明るさは，電気的関係ではなく幾何的関係に依存する ・電位が高いと電球が明るい ・抵抗では何かが消費される
Ⅰ	②		②	**抵抗（オームの法則）** ・電位差と電流を関連付けていない
	①	**電位差** ・回路の任意の点における電位の値が重要だと考える	①	**電池** ・定電流を供給する装置とみなされている
		電流 ・回路で電流が消費される		
		閉回路 ・閉回路とは，電池の正極と負極とをつなぎあわせたものである		

参考文献

[1] エドワード・F・レディッシュ，“科学をどう教えるか”，丸善出版（2012）

[2] R. Cohen, B. Eylon, and U. Ganiel, “Potential difference and current in simple electric circuits : A study of students' concepts”, *Am. J. Phys* **51**, 407-412 (1983)

[3] L. C. McDermott and P. S. Shaffer, “Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part l : Investigation of student understanding”, *Am. J. Phys* **60**, 994-1003 (1992)

最近の科学的自然観について

山口東京理科大学　吉村高男
E-mail　yoshimura.takao@rs.tusy.ac.jp

1. はじめに

最近の宇宙観測や素粒子の加速器実験の進展で、今まで人類が想像しなかった新しい宇宙像や素粒子像が見え始めてきた。それらの科学的自然像をもとにイメージできる最近の自然観は、ウロボロスの蛇の図に代表されるように、素粒子と宇宙の繋がり、マクロとミクロな世界の繋がり、高エネルギーと低エネルギーで現れる物理現象の双対性など様々な領域・分野間の興味深い繋がりが明らかになってきている。これらの状況と今まで語られてきた物質の階層性と歴史性の議論も踏まえ、理科教育の究極的な目標である「科学的自然観の育成」について、今日的な立場から考える。適切な科学的な自然観を持つことは、初等中等教育をはじめ、大学・大学院教育及び理科教育者・科学者にとっても永遠のテーマであり、この世界で生き続けるためにも、非常に大切なことである。

2. 初等中等教育における理科の目標

学習指導要領によると、小学校・中学校における理科の目標は「自然に積極的にかかわり、科学的な見方や考え方を養う」となっている。高等学校では、理科の目標は小学校・中学校の目標との関連を図り、自然に対する科学的な見方や考え方を踏まえた「科学的な自然観の育成」を目指すことを最終的な目標としている。物理・化学・生物・地学の目標についても、対象となる物質の階層は異なるものの、理念は全く同様である。

即ち、特徴的な物質の階層性におけるそれぞれのスケールにおいて成立する法則性があり、地学、生物学、化学、物理学等の学問体系（カテゴリー）が存在している。そして、それぞれのスケールのつなぎ目が理解できていれば、基本的には問題はない。しかし、本来的には、時空間（真空）、素粒子の存在といった基盤となるものから全ての科学分野が統一的・総合的に導出・説明できることが理想的なことではある。しかし、残念ながら人類の英知はそこまで進んでいない。

3. 素粒子と宇宙

よく知られているように、アトミズムの概念に則った素粒子物理学の任務は、物質の構成要素である素粒子、即ちクォークやレプトン（電子、ニュートリノ等）の質量や属性と、その間に働く力（相互作用）を明確にすることにある。物質の質量の 2%程度を担っているクォークの質量は、ヒッグス場と湯川結合定数で与えられるが、これらについては全く分かっていない。自然界の 4 つの力（強い力、弱い力、電磁気力、重力）に加え、これらの力は、今後さらなる素粒子加速器等による実験や観測を積み重ねることで統一的な理解

が進むものと考えられている。

一方、この宇宙はインフレーション・ビッグバンで始まったと考えられている。宇宙の誕生後 38 万年経ち水素原子が生成され、光子が自由になり、宇宙の晴れ上がりが起こった痕跡である宇宙背景輻射の観測からもそのことは支持されている。インフレーション期における量子ゆらぎによる時空のゆらぎが温度ゆらぎと物質の密度ゆらぎを生み、高温・高密度のビッグバンと真空の相転移を経て、宇宙誕生後 1 秒も経たないうちに、代表的な 4 つの相互作用と素粒子が生成された。さらに、宇宙誕生の 2 億年後には最初の星も生成され、宇宙膨張を続ける中で、今日ある宇宙の姿が形成されてきたと考えられている。

ところで、素粒子の奥深い領域に迫るため、人類は素粒子加速器のエネルギーを上げ、衝突実験を繰り返している。即ち、ミクロの領域を探るための高エネルギー化は、必然的に高エネルギー・高密度のビッグバン、つまり宇宙の始まりに近づいているとも言える。宇宙の過去の姿は私達から遠ざかる場所から光の情報として届いており、宇宙背景輻射は最も遠い宇宙の果て近く（宇宙の晴れ上がり）からの情報でもある。物質の階層性におけるミクロスケールの追求は、自ずと宇宙の始まりとマクロスケールの宇宙の果てに双対的に繋がってくるという面白さが見えてきている（図 1）。

さらに、遠くの Ia 型超新星の観測や宇宙背景輻射の温度揺らぎの分析等から、私達が知っている物質は全宇宙エネルギーの 5%程度で、残りの 95%は全く分かっていない暗黒物質（27%）、暗黒エネルギー（68%）と考えざるを得ない状況になっている（図 2）。

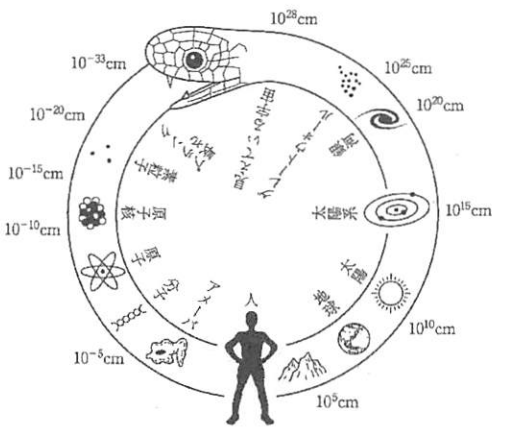


図 1　ウロボロスの蛇

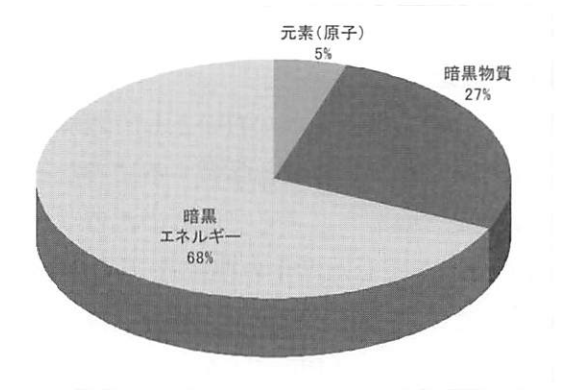


図 2　宇宙エネルギーの構成図

（佐藤勝彦著「宇宙論入門」岩波書店より引用）

4. おわりに

すでに、多くの人によって語られているように、物質の階層性は宇宙進化の中における歴史的産物ではあるが、積極的な実験によって、物質の階層性の追求が直接的に宇宙の始まりに繋がってきていること、即ち、空間性の中に時間性を認識することは、新たな時代における科学的自然観の育成にとって刺激的で大切なことであると言える。

理工系大学初年度物理受講者の学習姿勢調査

都市大[1]，拓大工[2]，東学大教育[3]，東工大附属高[4]，多摩大附属高[5]，北里大[6]
右近修治[1]，長田　剛[1]，岸澤眞一[2]，鈴木　邦夫[1]，中村　正人[1]，新田　英雄[3]
長谷川大和[4]，宮崎幸一[5]，山本　明利[6]
E-mail: ukons@tcu.ac.jp[1]

1. 学生の思考過程を調査する

2015年度より，大学初年度物理教育における，物理学の学びに伴う学生の思考過程を調査している。彼らはどのような思考過程を経て物理を把握するのか，学習に困難が生じている者と成功している者の違いを特色づける基本的要因は何なのかを，観察された事実に基づいて摘出する。そうした調査結果に基づいて，学生個々の学習過程を効果的に支援することのできる教材群を開発し，授業を改善するための具体的手段を構築することが，本研究の最終目標である。

2015年度は，東京都市大学工学部1年生の物理学(1)，物理学(1)リメディアルクラス受講者を調査対象者とし，(1)力学概念調査（FCI）プレテスト調査およびポストテスト調査，(2) 簡易MPEX による受講者の学習姿勢に関する調査，(3)半構成型聞き取り調査（semi-structured interview）の方法による，学生の物理問題解法スキル調査の3点に焦点を絞って実施し，すでにその経過を報告している[1]。

2016年度も引き続き東京都市大学工学部1年生の物理学(1)，物理学(1)リメディアルクラス受講者を調査対象者とし，(1)～(3)の各調査を実施中である。今回は，(2)の簡易MPEX による受講者の学習姿勢に関する調査結果を中心に報告する。

2. MPEX 調査

学生は，物理をどのようなものとして理解しているのか，また，これから物理を学習するに当たって，どのような態度で臨もうと考えているのだろうか。E.F. Redish らは，そうした学生の期待感（expectations）を調査するために，メリーランド物理期待感調査（MPEX ：Maryland Physics Expectations survey）を開発した[2]。MPEX は物理に対する34の主張それぞれに対し，「①強く同意する」「②同意する」「③どちらとも言えない」「④同意しない」「⑤まったく同意しない」の5段階で答えさせることにより，学生の物理に対する態度や信念，学習観を調査するものである。例えばMPEX 10番（表1の（　）内番号が10番）に対する，物理専門家の選ぶ「好ましい」回答は，④あるいは⑤の「否定」となるだろう。また，18番（表1の（　）内番号が18番）に対しては，①あるいは②の「肯定」が「好ましい」回答とな

表1　MPEX（簡易版）問題例

c. 概念	1(4)	物理の問題を解くということは，基本的には，問題に対する条件と式を見出し，答えを得るために数値を代入することだ。	否定
	5(14)	物理学を学ぶということは，授業や教科書の中に出てくる法則や原理，式で明確に関連付けられている知識を獲得することだ。	否定
	10(27)	物理を理解しているとは，基本的に，教科書で読んだり授業で示されたりした事柄を，思い出せるかどうかである。	否定
d. 現実性	3(10)	物理法則は私が理解する現実世界とほとんど関係がない。	否定
	8(18)	物理を理解するために，私はしばしば，自分が体験したことを思い出し，それをいま考えているテーマに関連付けるようなことをする。	肯定
	9(22)	物理は現実世界と関係しており，時にそのかかわり方を考察する手助けをしてくれる。しかしそれは，私が大学の物理の授業でやる，本質的なものではない。	否定

る。MPEXは，10番に対しては④，⑤を，18番に対しては①，②を選択したときに得点させ，学生の物理に対する「好ましい」考えや学習態度を数値化して評価する。34問の内容は重複があり，a.独立性（Independence），b.整合性（Coherence），c.概念（Concepts），d.現実性（Reality link），e.数学との関連（Math link），f.エフォット（Effort）の6つの観点に分類されている。34個の回答からa.～e.各観点の数値評価を得ることができる。

3. 簡易MPEX調査

東京都市大学工学部初年度生を対象に，4月当初に毎年実施される英数理の新入生基礎学力調査の機会を利用して，2015年度，2016年度の2回，MPEX調査を実施した。ただし時間的制約のため，10問から成る簡易版を作成して使用した。10問はMPEX34問の中からa.～f.の観点が適切に含まれるように選択した。a.～f.の観点とMPEX（簡易版），MPEXの対応を表2に示す。番号および（ ）内番号は，それぞれMPEX（簡易版），MPEXの問題番号である。表1にMPEX（簡易版）問題例を示す。各問に対して「好ましい」回答をしたときに1点を与える。観点a.～e.はそれぞれ複数の問から構成されるので，その平均点をそれぞれの観点の数値評価とする。総合評価は観点a.～e.の数値評価の平均点とする。したがって数値評価はすべて0点～1点の範囲で与えられる。

表2　MPEX（簡易版）の観点対応表

a	独立性	2(8)，4(13)，5(14)，10(27)
b	整合性	6(15)，7(16)
c	概念	1(4)，5(14)，10(27)
d	現実性	3(10)，8(18)，9(22)
e	数学との関連	2(8)，6(15)，7(16)

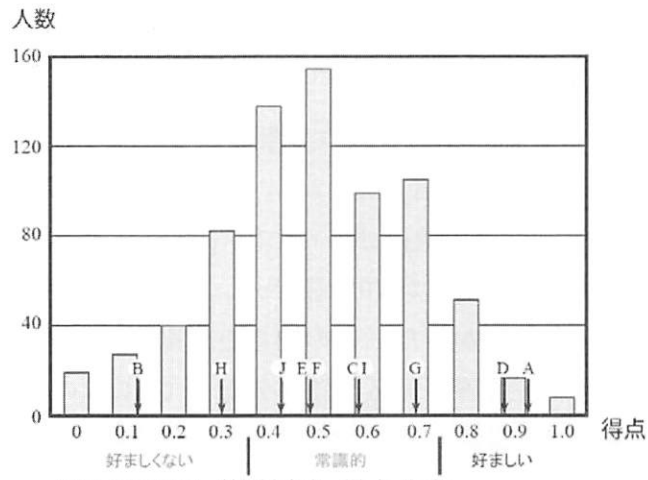


図1 MPEX（簡易版）得点分布

図1に2015年度東京都市大学工学部，744名のMPEX（簡易版）総合評価の得点分布を示す。0点～1点の数値は物理に対する態度の「好ましさ」を評価したものであるとはいえ，果たしてこれが学生のどのような状況を反映しているものであるのか，具体的状況が見えにくい。そうした部分を補うものとして聞き取り調査を実施した。図1中A～Jの10個の記号は，聞き取り調査を実施した学生のMPEX（簡易版）得点を示している。実際の聞き取り調査結果を踏まえ，得点を図1のように「好ましくない」から「好ましい」までの3段階に分類した。

2016年度は簡易MPEX調査に加え，CLASS（Colorado Learning Attitudes about Science Survey）[3]を工学部全体で実施した。簡易MPEX調査とCLASS調査の相関等に関しても合わせて報告する。

参考文献

[1] 右近修治他8名，2016年日本物理学会年会春季大会（東北学院大学）

[2] F.レディッシュ著，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』丸善出版（2012）

[3] W. K. Adams,et al. PHYS. REV. ST PHYS. EDUC. RES. 2, 010101(2006)

大学初年度における相互作用型演示実験授業(ILDs)の試み

広島大学大学院教育学研究科，梅田貴士[1]，岩佐和樹
E-mail　tumeda@hiroshima-u.ac.jp[1]

1. はじめに

近年の物理教育研究の成果の 1 つとして、相互作用型演示実験講義（ILDs）がある[1]。ILDs とは D.R. Sokoloff と R.K Thornton らによって開発された教授法で、ワークシートや演示実験、ディスカッションを取り入れた授業の展開によって効果が得られることが評価されている。ILDs は演示実験をメインとした方法であり、多数の実験道具や特殊な教室を必要とせずに少～大人数授業にも対応でき、部分的な導入も可能であるという汎用性の高さが特徴である。大学の物理教育におけるアクティブラーニングの実現を目的として、大学初年度の授業で ILDs を試行したので、その結果について報告する。

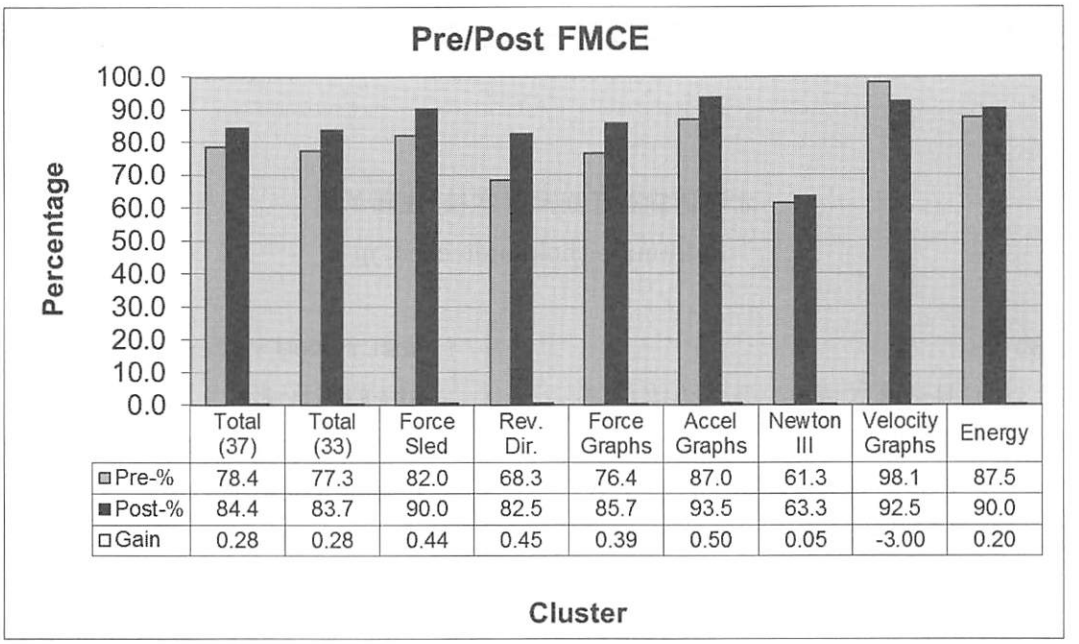
2. ILDs 試行の概要

ILD s を試みたのは国立大学教員養成系学部の 1 年生後期の力学入門の授業（90 分 1 コマで全 15 コマ）で、受講者数は 47 名。時間の都合により、ILDs を試行する授業は 90 分授業の 1 コマ分。評価の為に FMCE[2]を用いたプレ、ポストテストを行った。最初に FMCE を用いたプレテストを実施した所、正答率が 70%後半と、かなり正答率の高い集団であることが分かった。その中で比較的正答率の低かった「力の向きと運動方向が異なる問題」と「作用反作用に関する問題」の中から、前者の改善が見込める単元として ILDs の「Kinematics 2 (KIN2)」を行うこととした。

授業では議論を行ってもらう為に 3 名の班を作った。FMCE プレテストが好成績だった学生を各班に 1 名配置して、あとの 2 名はランダムに配分した。授業の進め方は ILDs の「KIN2」に従い、8 種類の演示実験を行った。それぞれの実験で、どういう実験を行うかの説明と計測なしの演示実験を行い、その結果を予想してもらった。その予想結果は選択肢形式でクリッカーによる集計を行い、その結果を元にグループ内で討論を行ってもらった。正答率が高いので同じ回答を選ぶ人も多かったが、それでも、どうしてその回答を選んだかの理由を説明するように求めた。数人にその考えを発表してもらい、その後で、計測ありの演示実験を行った。場合によってはもう一度グループで議論の時間を取る、というステップを各実験で繰り返していった。

3. FMCE によるプレポストテストの結果

プレテストは授業の第 1 週で、ILDs の試行授業は第 7 週の授業で行い、ポストテストは第 8 週に行った。受講者数は 47 名であったが、プレ、ポストテストを両方回答した学生は 40 名であった。以下、この 40 名に対する結果を紹介する。プレ、ポストテストの解析結果は図 1 にまとめられている。FMCE の解析は Web で限定公開[3]されているテンプレートを使用した。FMCE の全 47 問のうち、不適切な 7 問を除外して、3 問一括の問題が 3 つあり、全部で 34 問 37 点満点と、エネルギーに関する 4 問を除いた 30 問 33 点満点の 2 種類で採点されている。また、Smith & Wittmann[4]らによって改訂されたクラスター毎の結果も示されている。それぞれのクラスターがどの問題に対応するかは表 1 にまとめてある。ゲイン(Gain)は規格化ゲインである。



	Total (37)	Total (33)	Force Sled	Rev. Dir.	Force Graphs	Accel Graphs	Newton III	Velocity Graphs	Energy
Pre-%	78.4	77.3	82.0	68.3	76.4	87.0	61.3	98.1	87.5
Post-%	84.4	83.7	90.0	82.5	85.7	93.5	63.3	92.5	90.0
Gain	0.28	0.28	0.44	0.45	0.39	0.50	0.05	-3.00	0.20

図 1：FMCE プレポストテストの解析結果。クラスターの詳細は表 1 と本文を参照。

クラスター（改訂版）	対応する問題の概要	対応する問題番号
Force Sled	そりに働く力	1-4, 7
Rev. Dir.	斜面台車、コイン力、コイン加速度	8-13, 27-29
Force Graphs	力と速度グラフ	14, 16-21
Accel Graphs	加速度グラフ	22-26
Newton Ⅲ	トラック車衝突、トラック車押す	30-32, 34, 36, 38
Velocity Graphs	速度グラフ	40-43
Energy	エネルギー	44-47

表 1：クラスター（改訂版）[4]に対応する問題番号とその概要

4. 結果の考察

ILDs の試行を行った結果、今回の「KIN2」に関連しそうなクラスターでは比較的良いゲインが得られている。今回のテーマと関係が薄い Newton Ⅲと Energy のクラスターは予想通りゲインが低い一方で、関連がありそうな Velocity Graphs がほぼ 100%の正答率からの減少も見られている。ILDs の試行以外の授業では特に FMCE に影響がありそうな内容は少なかったと思われるので、たった一回の試行ではあったものの全体的には予想以上に効果があったと考えられる。今回の受講者は 40 名の内 30 名弱は理科教員コースの学生で高等学校物理履修者がほとんどであり、残りは小学校教員コースなど物理未履修の学生が多かった。その結果、各班に 1，2 名は FMCE の正答率が非常に高い学生が配置されており、良い結果に影響していたのではないかと考えている。

[1] D.R. Sokoloff and R.K. Thornton, Phys. Teach. 35, 340-347 (1997).
[2] R.K. Thornton and D.R. Sokoloff, Am. J. Phys. 66(4), 228-351 (1998).
[3] PhysPort, https://www.physport.org/.
[4] T.I. Smith and M.C. Wittmann, Phys. Rev. ST-PER 4, 020101 (2008).

高校物理教員におけるアクティブラーニング型授業への移行に関する考察

北海道釧路江南高等学校, 佐藤革馬
kakuma-s@hokkaido-c. ed. jp

1．はじめに

平成28年3月31日に高大接続システム改革会議「最終報告」が公表され、その中で「協働的な学習（アクティブ・ラーニング、以下ＡＬ）」の視点からの学習と指導方法の改善を進めることが述べられている。また、平成27年12月21日の中央教育審議会答申「これからの学校教育を担う教員の資質能力の向上について」の中でも、これからの時代の教員に求められる資質能力として、ＡＬの視点からの授業改善、ＩＣＴの活用、新たな課題に対応できる力量が求められると述べられている。

昨今、様々なＡＬ型授業の実践が報告されているが、どのような経験から、高校物理教員がＡＬ型授業へ移行できるのか、検討することも必要だろうと思うようになった。

本発表は、高校教員である筆者がどのように授業スタイルを改善してきた振り返ることで、高校物理教員がどのようにＡＬ型授業に移行していけば良いか、考察するものである。

2．授業づくりアンケート結果

筆者の勤務校の理科教諭5名（30代1名、40代1名、50代3名）に協力を求め、どのような授業づくりをしているか、ＩＣＴの活用とＡＬの二つの指標で無記名アンケートを実施した。質問は、現在の授業、新人の頃（教員経験３年目未満）の授業、５年後のそれぞれの授業スタイルを五件法で問うものである。

（質問例）　現在の授業について、次の質問に答えてください。

1－1　授業スタイルは、次のどれに近いですか。最も近いと感じる番号に○をつけてください。

1　板書して、説明をすることがほとんど。生徒のノートでまとめる力を重視している。

2　板書して、説明することが多いが、生徒で話し合ったり、相談する時間を作るときが時々ある。

3　板書して、説明するときと、生徒の話し合いを促すような時間を半々にする。

4　生徒のグループ活動を主体としているが、時々板書して説明する時間を作っている。

5　生徒のグループ活動やペアワーク、調べ学習をほとんどの時間に充て、言語活動を重視している。

1－2　情報コミュニケーションツール（ICT機器）を使って、授業をしていますか。最も近いと感じる番号に○をつけてください。

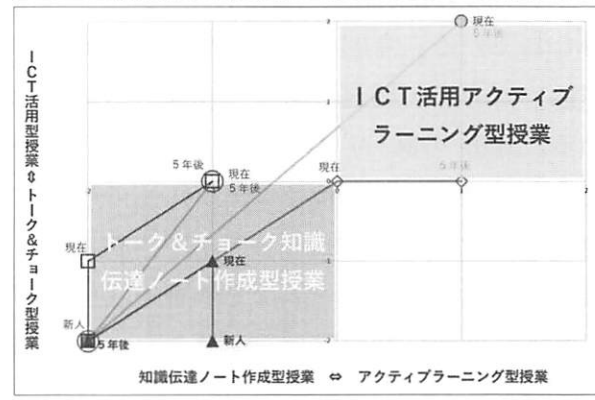
1　黒板とチョークの授業なので、ICT機器は使っていない。

2　主に黒板とチョークの授業だが、時々、ICT機器を使って授業をしている。

3　黒板とチョークの授業と、ICT機器を使った授業を半々で行っている。

4　主にICT機器を使った授業だが、時々、黒板とチョークだけの授業を行っている。

5　ICT機器を使った授業なので、ほとんどチョークを使わない。



グラフは、どのように授業が変遷したか、アンケート結果をまとめたものである。ここから、新人の頃は、ノート作りに主眼を置いた知識伝達型の授業だったこと、現在はＩＣ

Tの活用を時々利用しているが、今後は、教員によって意識が大きく異なることが分かる。どちらかと言えば、現状と変わらず、知識伝達型授業を続けようとする意思が見られた。

3．授業づくりの変遷

筆者は高校物理の授業を受け持つようになって１５年目になる。数年前までは、常に大学受験の対応を最優先に考えた授業を展開していた。また、多忙感からトーク＆チョーク形式の授業から脱却できずにいた。しかし、進路指導部の業務の中でキャリア教育の視点を得ることができ、ピア・サポートトレーニングの手法を学ぶ機会にも恵まれ、生徒が主体的に学べる授業に転換できた。

現在の授業は、自然科学への興味関心を持ってもらい、物理の知見を深めることと、コミュニケーション能力や課題解決能力を身につけることを重視して組み立てている。

以下、筆者の授業の変遷につい整理する。

（1）トーク＆チョーク型授業

教員として駆け出しの頃から慣れしたんだスタイルで、知識伝達を効率よく行うことを目的としている。生徒には板書した内容を、素早くノートにまとめ、記憶を整理することを求めた。そのため、生徒に伝わる板書の工夫と、話し方の工夫に力を入れた。

授業者の視点で考えると、この授業方法は、板書案を作ることで授業者自身の知識を整理することができ、駆け出し教員の知識レベルを引き上げることにつながる。また、問題解説を作ることで、定期試験の問題作成スキルも高める事ができる。

この授業スタイルを突き詰めるほど、物理の面白さを感じる生徒が少なく、授業が速くて物理は難しい、という生徒が多くなった。

（2）ＩＣＴ＆チョーク型授業

次に、生徒のノート作成スピードが遅くなったと感じるようになり、プリント学習を中心に切り替えた。このときに、ＩＣＴを活用した授業に改めた。プリントを実物投影機で写し、穴埋めを直接プリントに書き込むことなど、それまで黒板だけで行っていたことを、黒板とＩＣＴを組み合わせて使い、授業時間をコントロールするところに主眼を置いた。

また、問題演習の時間に、時々、グループで答え合わせをさせ、お互いに教え合う環境を作るように少しずつ心掛けた。

しかし、プリントの穴埋めをする「作業時間」に成り下がる生徒も出始め、記憶の整理をする面では、プリント学習よりもノート作りの方が良い、と感じた。

（3）ＩＣＴ＆グループワーク型授業

簡易スクリーンを白のテーブルクロスで作成し、プロジェクターを荷台に載せて普通教室でも気軽にＩＣＴ授業ができるようにした。

今年度は、iPad Pro とスタイラスペン、GoodNotes というアプリを使ってチョークをほとんど使わない授業を行っている。

授業の最初にプリントを配布し、前半は法則や考え方の穴埋めや、問題演習をグループワークで取り組ませる。このとき教員に頼らないこと、グループの中で解決することを約束している。授業の予習と、まずは試行・思考するトレーニングをねらいとしている。

授業の後半は、プリントを GoodNotes で投影したものに書き込みながら解説をする。特に、抽象的概念の形成が難しいときは、動画やアプリも活用する。例題の解説は、生徒が黒板を使って行い、発表させる。

この授業スタイルは、「予習→授業→復習」の学習サイクルを１コマの授業の中で実現するものである。年間の授業計画を細かく立てる必要があるが、トーク＆チョーク型授業で身につけた高校物理の授業の全体像を把握しているので対応できる。

生徒の主体的・協同的学習を促す授業に移行したが、それまでの経験が重要であったと強く感じている。

教科書の変遷から探る力のベクトル表現

新潟大学大学院教育学研究科[1],新潟大学教育学部[2],神村圭佑[1],興治文子[2],小林昭三[2]

E-mail　u15b121d@mail.cc.niigata-u.ac.jp,

okiharu@ed.niigata-u.ac.jp, kobayasiakizo@ed.niigata-u.ac.jp

1　目的

力と運動の理解は，日常生活に起因する素朴概念の存在により困難であることはよく知られている．著者らの先行研究では，素朴概念の存在だけではなく，力の表現と運動の表現が共に矢印による表現がなされることが素朴概念を強化する要因であり，それは現行の教科書上でも，初学者にとって力と運動が混同されるような表現がなされていたことを明らかにした[1)]．

それでは，この教科書上での力と運動の表現は，いつ頃から，どのように教授されはじめたのだろうか．近代教育が導入された明治初期の教科書における力と運動のベクトル表現を分析し，変遷を明らかにすることで，この力と運動の表現に関する混同の解決への寄与を目的とする．

日本の近代教育におけるベクトルの導入は，公田は 1874（明治 7）年の東京開成学校の「高等数学」の Quaternion においてであることを明らかにした[2)]．この高等数学を教授していたのは，機械工学を専門とする外国人教師の Robert Henry Smith であり，教科書は Kelland-Tait の”Introduction to Quaternions” を使用していたとされている．このように，明治 6(1873)年に設立された東京開成学校においては，欧米の外国人教師と外国渡来の教科書の果たした役割は小さくない．しかし，これらを明らかにした公田は，分野を数学に限定しており，物理学に関しての研究は行っていない．そこで本研究では，明治 30 年頃までの中等教育段階程度の外国渡来の物理学教科書と日本の教科書を基に，力学におけるベクトルの表記方法とその扱いについて明らかにする．

2　分析の対象

日本においては，1872（明治 5）年に「学制」等の教育法令が公布されたことにともない，学校教育での近代教育は始まったとされる．東京開成学校では，自然科学教育の近代化を目指すにあたって，前述のように欧米の教育を参考とした．この東京開成学校の物理学の科目において使用されていた主な外国渡来の教科書のうち，今回調査の対象としたのは，G. P. Quackenbos の “Natural Philosophy”（1874 年），B. Stewart の “Lessons in Elementary Physics”（1878 年），フランスの A. Ganot 著の E. Atkinson 英訳版“Elementary Treatise on Physics Experiment”（1879 年），Everett の “Elementary treatise on natural philosophy”（1894 年)である[3,4)]．これらの教科書は，明治初期を中心に使用されていた．今回ベクトルの図が含まれない教科書は調査の対象としなかった．明治 20 年代頃からは，日本人によって執筆された物理教科書が出回り始めた．上記の外国渡来の教科書に加え，次の教科書を対象に加える．菊池熊太郎の『物理学教科書』（1894（明治 27）年），木村俊吉の『新編物理学』（1895(明治 28)年），中村清二の『近世物理学教科書』（1900（明治 33）年），早川金之助の『中学校物理学教科書』（1903(明治 36)年）である[4)]．これらの 8 つの教科書を調査対象として，これらはいずれも，中等教育程度を対象とした内容である．注目した内容は 3 つあり，1 つ目はベクトルの合成・分解，2 つ目は力，3 つ目は運動する物体についてである．これらの内容をどのように扱っているのかについて分析した．

3　結果

Quackenbos の教科書では，力の合成は扱うものの，力の分解には触れていなかった．また，矢印は現在の矢線ベクトルの形ではなく，矢そのものを使って表していた．そのため，力を矢印で表してはいない．この矢の表記は力や運動の「向き」を示すために用いている．

Stewart の教科書では，力の合成は平行四辺形を用いた図で表していた．一方，力の分解について触れている図は見られなかった．力は線分と矢印で表しており，また，矢印も矢の位置が図ごとに異なっていた．運動の表現に矢印を用いた図はなかった．

Ganot の教科書では，力の合成は力の始点と終点を矢印で結ぶ表記をしている．力の分解は，斜面の物体にはたらく力について幾何学的に述べている．また，力の矢印を用いている図が見られる．運動に関しては，矢印で表記している図は見られなかった．

Everett の教科書では，力の分解に幾何学的な方法と三角関数を用いる方法を併記している．ほぼ，現代の教科書と同じ方法で，力の表記，運動の解析を行っている．しかし，運動に関しては矢印での表記は見られなかった．

菊池の教科書は，力の合成・分解については力の平行四辺形を用いて，幾何学的に説明している．矢印の表記については，矢が線の中に付いたり，端に付いたりしており力の表記の仕方にはまだばらつきがある．運動に関しては，軌跡を実線で表しており，運動の向きを示す矢印は用いられていなかった．

木村の教科書は，Everett の教科書や図を参考にしている．そのため Everett の教科書とほぼ同じ書き方をしている．

中村の教科書では現代の教科書とほぼ同じ表記の仕方，解析の仕方をしている．力の合成・分解に関しては三角関数を用いている．力の表記には矢印を用いており，矢線の端に矢を書いている．ただし，運動の向きを示すような矢印は用いられておらず，初学者が混同を招くような表記は無かった．

早川の教科書も中村同様に現代の物理教科書とほぼ同様の表記をしていたことが確かめられた．運動に関しても同様に，運動の向きを示すような矢印の表記は無かった．

4　まとめ

明治 20 年頃までの教科書は，欧米渡来の教科書も，日本人によって執筆されたものも，現代のものと比べると内容が洗練されていなかったり，教科書ごとに表記の仕方がそれぞれ異なっていたりするなどの特徴が見られた．明治 30 年代頃には，現代の物理教科書とほぼ同様の内容を扱い，同様の表記の仕方で記述されていた．このことから，現代の物理教科書での表記の仕方は，明治 30 年頃には完成されていたということが言える．ただし，初学者が混同する運動の向きの矢印による表記は，明治期に出版された教科書には無かった．

謝辞：本研究は，JSPS 科研費 2570071,15H02912,15K12373 によるものである．

参考文献および注

1) 神村圭佑：新潟大学教育学部卒業論文,(2016) 全 47 頁.

2) 公田蔵：数理解析研究所講究録,**1317**(2003) 190-204.

3) 中川保雄：科学史研究 II，**16**(1977) 38-46.

4) 調査した教科書は入手できた版を載せており，当時使用されていたものと同一とは限らない．

コンフリクトマップの実践的研究

太箸良介、新田英雄
東京学芸大学
nitta@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

多くの学習者は、日常の経験や学習の中で素朴概念（誤概念、先行概念）と呼ばれる概念を保持している。認知心理学によれば、科学的な概念は既有の知識と科学的な概念の関連付けによって構成されるため、これらの概念は物理学の学習に非常に大きな影響を与える。しかしながら、素朴概念は非常に強固で、正しい科学的な概念を習得するときの障害になることが多い。適切な関連付けを行えるような教授法や素朴概念の払拭方法は多くの研究がなされているが、決定的なものは見つかっていない。

2. コンフリクトマップについて

本研究では、高等学校物理基礎におけるコンフリクトマップの実践的研究を行う。Tsai によって提案されたコンフリクトマップは、認知心理学における概念変容モデルに基づいた授業法である[1][2]。本研究で試作したコンフリクトマップの例を図 1 に示す。このマップは、素朴概念と矛盾する認知（P1,Discrepant Event)、素朴概念を科学的な概念に直接変更させる事象(Critical Event)、科学的な概念の正しさをサポートする概念(C1,C2,C3)、科学的な概念が有用であることを確かめられる認知（P2,P3,P4）から成り立っている。素朴概念は学習者の中では非常に根強く、矛盾した現象を見せるだけでは概念の変容は起こらないか、起こってもすぐに元の概念に戻ってしまう。上記の４つの要素を、この順番で学習者に提供していくことにより、学習者が正しい概念を構築することができると言われている。

3. コンフリクトマップの実践結果

今回は高等学校物理基礎の力学分野における、力の導入の部分のコンフリクトマップを使った実践記録を示す。力の導入の部分に見られる素朴概念として、McCloskey による「素朴インペタス理論」が多くの生徒に見られる[3]。それを解決するためのコンフリクトマップを作成し、実践した。

実践は個人授業形式で行い、授業の様子は録画をし、その後逐語・分析を行った。今回示す対象者は、物理は中学校理科までを履修している。なお授業に必要な概念は、授業直前に授業者が直接指導をした。

生徒は P1 で認知的葛藤を引き起こし、Critical Event、C2,C3,C4 と順を追って理解を進めた。しかし、P3 のサポートする認知の部分で、素朴概念に戻るような発言があり、正しい概念に移行するのに時間がかかった。

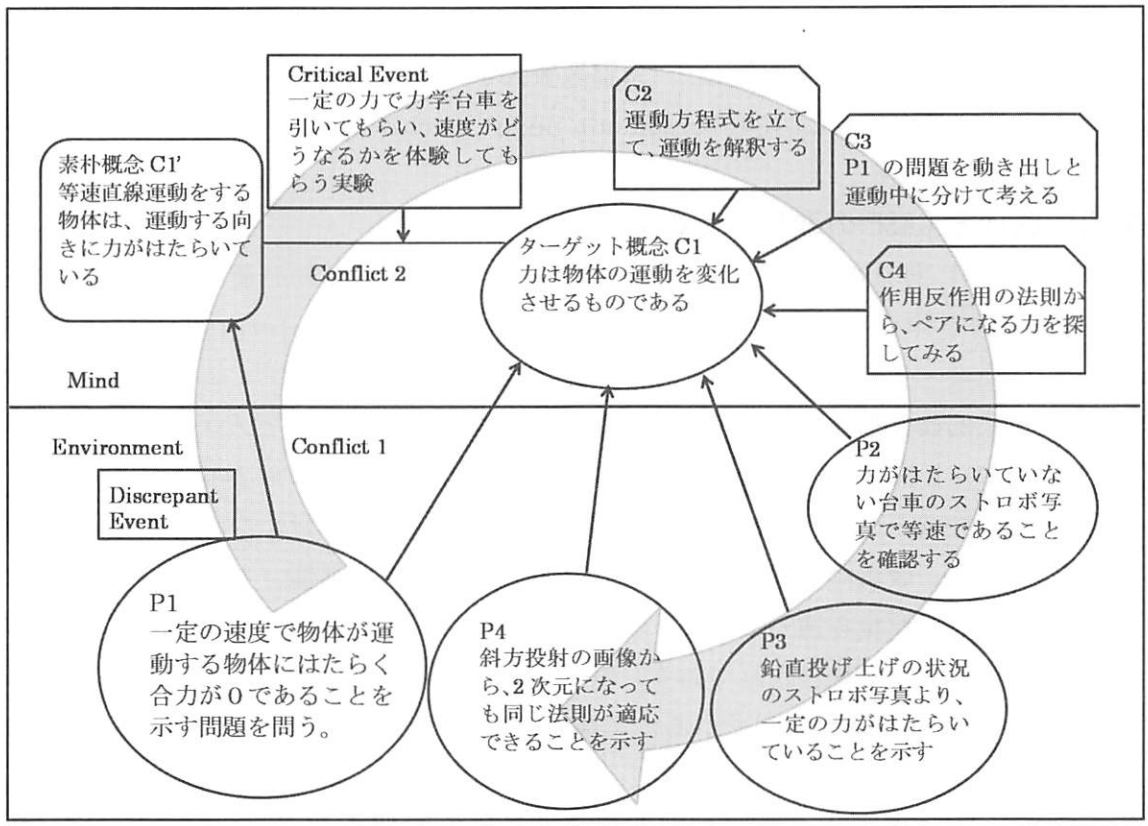


図1　力の導入に関するコンフリクトマップ

4. 考察

実践を通して、生徒が学習したことをすぐに別の現象に適応するには別の困難があることが分かった。そのため適応する認知にも、簡単なものから徐々に難しくしていくような段階があるとよりわかりやすい授業になると考えられる。また、Tsai はターゲット概念をサポートする概念（C2,C3,C4）が先にあり、適応する認知（P2,P3,P4）がそのあとに来なければならないと述べたが、C2,C3,C4 を連続して提示すると、生徒は何をしようとしているのかを見失いがちになってしまう恐れがあることが実践から示唆された。Critical Event 以降の６つの要素の順序は固定されない方が、授業の流れとして自然だと思われる。

参考文献

[1] Chin-Chung Tsai:Enhancing science instruction : the use of'conflict maps', Int.J.Sci.Educ.22,285-302 (2000)

[2] Chin-Chung Tsai and Chun-Yen Chang : Lasting Effects of Instruction Guided by the Conflict Map:Experimental Study of Learning About the Causes of the Seasons, Journal of Research in Science Teaching,42,1089-1111 (2005)

[3] M.McCloskey : in D.Gentner and A.Steven(eds.)Mental models,(Hillsdale,NJ,1983)

高等学校「物理基礎」における「科学教育による認知的加速（CASE)」の実践報告２

京都市立伏見工業高等学校[1]，京都教育大学[2]　山下 哲[1]，谷口 和成[2]
E-mail: haz34840@wood.odn.ne.jp[1], guchi@kyokyo-u.ac.jp[2]

１．英国における CASE の取組とその効果

英国で 1980 年代に開発された，科学教育を通して小・中学生の認知発達を加速させることによって論理的思考力を伸長させるプログラム「CASE (Cognitive Acceleration through Science Education)」は児童・生徒が具体的な操作・議論の反復を通じて，ピアジェの言うところの具体的操作期から形式的操作期への認知発達を加速させることを目的としたプログラムである[1]。理科の授業とは別に，全 30 回の生徒間共同活動を行う形式を取り，これを 2 年間かけて行う体裁を取る。この中で，児童・生徒は形式的操作の推論形式（シェマ）に対する認知的葛藤と社会的構成をくり返し経験し，教員はこれらを十分に行えるように具体的準備とブリッジングを通してサポートする。こうした取組を通じて児童・生徒のシェマの発達が促され，論理的思考力がよりスムーズに伸長されることが報告されており，現在，CASE の利用は世界的に広がっている。日本においては，これまでに義務教育課程を中心に実践的研究が行われ，その効果が報告されている[3]。

２．高等学校「物理基礎」「物理」における CASE の取組の目的

高等学校程度の物理の学習の困難性の原因については，しばしば素朴概念の存在が指摘されている。これは異なる概念を同一のものと扱ってしまったり，あるいは，同一の概念であっても文脈によってその解釈を変えてしまうことによると考えられている。ここで，素朴概念の解消には，アクティブラーニング等による話し合い活動が有効であるについても昨今知られるようになってきている。しかしながら英国と同様に，中学校・高等学校の理科で要求される操作が可能となる認知的発達段階が，生徒の現状を超えていることが少なからずある[1]としたら，これが高等学校程度の物理の学習において概念獲得をさらに困難なものにさせている原因のひとつとして考えることができる。具体的には，高等学校程度の物理の学習では比較的単純な身の回りの現象を『物理的』に捉え，これを定量的に表現する，あるいは形式的に操作することが必要であり，この表現や操作を通して，多くの身の回りの物理現象を記述するしくみを理解することを目的のひとつとしている[4]。しかしながら，学習者が変数や比例といった本来であれば高等学校入学までには身についているべきシェマの発達が十分でない場合，従来型の講義形式の授業や，単なる反復練習はもちろん，素朴概念の解消を目的とした能動的な学習形態の授業であっても，当該の生徒に高校物理で目指す概念獲得をさせることは難しいことが容易に推測される。

講演者は昨年度の 4 月より，勤務校において，高校 2 年生に対しては「物理基礎」の授業内に，高校 3 年生に対しては「地学基礎」の授業の中で，2・3 週に一度の頻度で継続的に CASE の取組を行ってきた[4,5]。本来 CASE は小・中学生を対象に行うことを予定しているが，上記のような認知的な発達が十分でない生徒が相当数いる講演者の勤務校の様な場合，CASE を高校生に対して実施することは，物理的に考えるための思考の土台づくりとしても，さらにはアクティブラーニ

ングを支える学習観の育成の観点からも，むしろ必要であると言ってよい。また，CASE では「なぜ難しいのか，なぜ簡単なのか」や「分かるためにはどうすればよいか」といった，メタ認知を授業構成の柱の 1 つとしており，メタ認知を継続的に体験させる適切な教材とも言える。

3．CASE の取組の効果と検証

CASE では直接的に物理の内容を扱わないが，高等学校「物理基礎」・「物理」の学習において CASE の効果がどのように反映されるか調べるために，取組前後における物理の学習に対する学習観調査[2]と生徒へのインタビュー調査を行った。なお，普段の「物理基礎」や「物理」の授業においては，可能な限り CASE で用いた用語や発問を意識して行うことによって，生徒が普段の授業の中でも CASE 的に考えるように促している。

物理の学習に対する学習観調査からは，「社会的環境」のパラメータ（下位尺度）に有意な上昇が見受けられた。このパラメータは学習の意欲を支える要因のひとつとして考えることができ，CASE の取組を通して，生徒が自身の学習において周囲との関わりが有効であると評価するようになったことを示唆している。同時に，生徒へのインタビューにおいても，多くの生徒が CASE や CASE の中で用いられる方法に対して好意的であり，「物理基礎」や「物理」のように「正解のある問い」に対しては，「自力のみで正答に到達したい」という能動的な意見も見受けられた。実際，CASE を行うことの効果は，授業内での生徒の自発的な質問や，生徒相互間での指摘や教えあいの増加として日々実感している。

講演では上記に加えて，CASE の取組の認知的発達への影響を調べるために，取組前後で実施した科学的推論調査（SRT s）[3]やローソンテスト[3]の結果も合わせて報告する予定である。

4．今後の展望と課題

2 年生，3 年生ともに CASE，および CASE 的な授業には多くの生徒が好意的である現状を利用して，生徒に対して他教科も含めた学習観の変化を促している。すなわち，CASE で経験した方法を普段の学習でも用いて，「何もしないで，分からないままでいることの無い様に」はたらきかけている。この点，生徒のモチベーションや学習姿勢に対してはたらきかけているため，個人差や他の要因が非常に大きいことも否めないので，なるべく多くの他の教員の協力を要請しており，その実効性を維持していくことが今後の課題である。

参　考　文　献

[1] P. Adey, M. Shayer, C. Yates, “Thinking Science”, 2001

[2] 中西，伊田，三重大学教育学部研究紀要 57 巻, 93-100(2006)

[3] 谷口和成，他，日本物理学会講演概要集 64(1-2)，406(2009)，同 69(1-2)，457(2014)，等.

[4] 山下哲，谷口和成，”高等学校「物理基礎」における「科学教育による認知的加速（CASE)」の実践報告”，物理教育研究大会予稿集 (32)，41(2015).

[5] 山下哲，谷口和成，”英国「認知促進」プログラムを組み込んだ高校「物理基礎」の展開と意義”，日本物理学会第 71 回年次大会講演概要集，22aBB-12(2016).

三朝の温泉水を用いた ^{214}Pb の半減期の教材化

公立鳥取環境大学　足利裕人
ashikaga@kankyo-u.ac.jp

1．はじめに

山陰地方には世界一のラドン含有量の三朝温泉と池田鉱泉（冷泉）がある．温泉水は身近な放射線源であり，^{222}Rn を多く含み，壊変して娘核種 ^{214}Pb と ^{214}Bi を生じる．従来のガイガーカウンタを用いたβ線による半減期の測定では，^{214}Pb と ^{214}Bi を化学的に分離する必要があった [1]．本研究ではこれらの元素のγ線スペクトルを用いたため，化学的処理が不要になった．^{222}Rn は活性炭に吸着させ，放射平衡後に加熱して，残った ^{214}Pb と ^{214}Bi のγ線スペクトルを 10 分おきに測定し，減衰するピークの強度比より半減期を求めた。

2．測定方法

「薬師の湯」を泉源の試料とし，洗浄瓶に 6 分目とり，約 50 回激しく振って気相中に ^{222}Rn を追い出し，シリカゲル管を通して，ポリ袋に入れた活性炭に吸着させた [1]．ガイガーカウンタで線量の変化を観察しながら，一定値に落ち着く放射平衡まで 2 時間程度放置し，その後電子レンジで数十秒加熱して，活性炭中に ^{214}Pb と ^{214}Bi だけを残し，それらが壊変時に出すγ線を 3 inch の NaI（Tl）シンチレータで 10 分間ごとに測定した．各元素のピークの面積（強度）は，科学計算ソフト「ORIGIN」を用いて精密に求め，時間ごとの値から強度の減衰比を求めた．

図 1　温泉水の採取

3．半減期の計算方法

一定時間 t_0 ごとの MCA（マルチチャンネルアナライザー）が出力するスペクトラムの ^{214}Pb の 1 つのピークの面積値の比から，半減期を計算する方法を示す．

図 2 は半減期 T の放射性物質の減衰の様子である。このグラフの S_1，S_2 の面積は，時間 t_0 経過するごとの ^{214}Pb のγ線スペクトルの 1 つのピークの面積を示す．

S_1，S_2 の比は積分計算により，

$$\frac{S_1}{S_2}=\int_o^{t_0}\left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T}\right)}dt \Big/ \int_{t_0}^{2t_0}\left(\frac{1}{2}\right)^{\left(\frac{t}{T}\right)}dt=\left(\frac{1}{2}\right)^{-\left(\frac{t_0}{T}\right)}$$

となる．この値を b と置くと，半減期 T は

$$T=t_0\frac{\log 2}{\log b}$$

で求まる．ここでは，この b を減衰比とした．

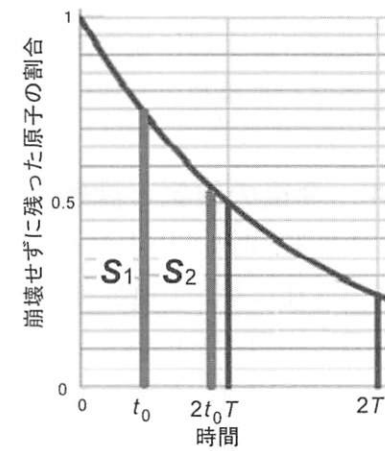


図 2　崩壊曲線と半減期

4．測定結果

図 3 は，奥から手前にかけて t_0＝10 分間ずつ測定した ^{214}Pb のγ線スペクトルの時間変化を示す．MCA のスペクトル出力は CSV ファイル形式にして ORIGIN に取り込み，各ピークを Gaussian 関数で近似して分離した．図 4 の上の図は測定開始の 10 分間，下の図は続く 10 分間の測定結果を示す．左の連続する 3 つの鋭いピークが ^{214}Pb であり，右端が ^{214}Bi で

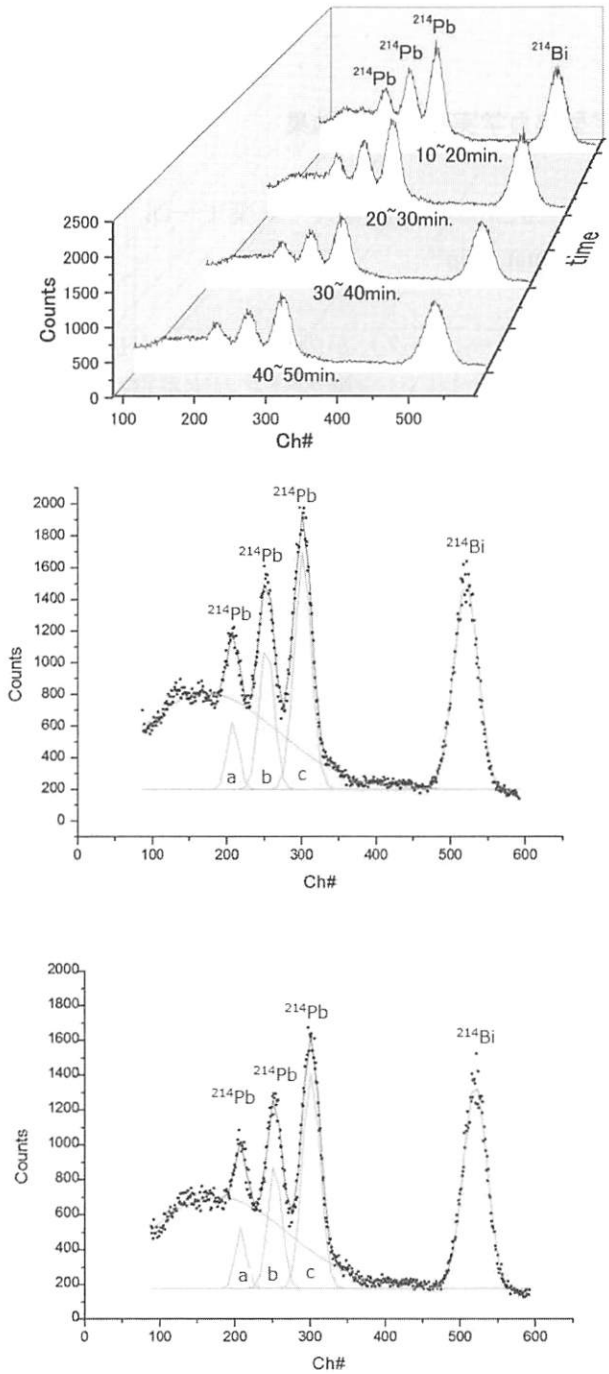


図 4　連続する 10 分間のピークの変化と，ORIGIN による分離と強度測定

ある．これら 3 本の ^{214}Pb のピークを左から a, b, c とし，a, b, c, a+b+c，^{214}Bi の各ピークの面積の減衰比の時間変化を，図 5 に示した．減衰比 b は，グラフの縦軸の値に見られるように，それぞれ 1.28，1.32，1.18 であった．^{214}Pb の 3 本のピークの面積の和で求めた減衰

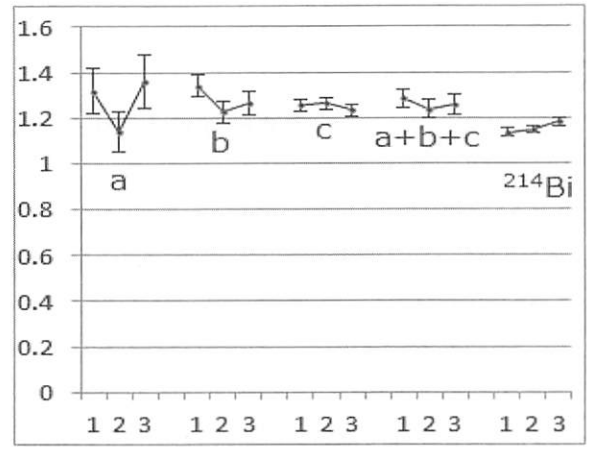


図 5　スペクトルの 10 分ごとの時間変化

比（図 5 の a+b+c）は 1.26±0.04 であり，この値で半減期を求めると，T=29.9±3.5 分の値を得る．文献値では 26.4 分であり，誤差の範囲内に収まった．このウラン系列の温泉水を用いた半減期の測定時間は，中等学校の授業時間 50 分の中で実験し，分析することを可能にする．

4　おわりに

身近な温泉水から得られる ^{214}Pb の半減期は，安価で高感度のシンチレータと MCA，数百グラムの活性炭があれば，授業授業内で測定できるため，生徒実験として教材化が可能である．中等学校では図 4 の各ピークを厚紙に印刷して生徒に配布し，切り取って質量を測定して減衰比を求め，半減期を計算する定量的教材としての利用を予定している．また，測定方法を改良し，誤差を 1%以内に収めるよう研究を進めている．中等学校の原子分野は霧箱の活用以外に適当な教材が見当たらない．定量実験教材として発展できればと思う．

参考文献

[1] 鎌田正裕，中村麻利子，江坂享男，化学と教育，社団法人日本化学会，1994

[2] 足利裕人，放射線と産業，No.126, pp.20-24,2010

大学専門課程の自由テーマ設定型熱力学実験の教育効果

東京農工大学工学部　松崎清司*　畠山温　三沢和彦　太田寛人　秋葉圭一郎
*e-mail matuzaki@cc.tuat.ac.jp

１．はじめに

物理教育において，能動的な授業方法（アクティブラーニング）が効果的であると広く認識されている．[1] 本研究では，学部３年生の学生実験において実験内容と方法を自分たちで考えさせる種目を導入した．その種目の内容の理解向上，物理学の学習に対する学生の基本的姿勢が改善されるなどの教育効果を期待して研究している．導入した種目は熱力学種目（スターリングエンジン）である．３年生実験は，１週５時間，４週で１テーマ，年間で６テーマ行い，各テーマ終了後にレポートを提出する．熱力学実験はその中の１テーマである．この実験に用いるスターリングエンジン（NARIKA 製 GT03）はダイナミックな動作を学生が直接見て実感できる．実験テーマ設定の自由度が高くなるようにそのエンジンに各種センサをとりつけ，データを LabVIEW を用いたグラフィカルなソフトウェアで PC に表示する実験システムを構築した．[2] 実験では約１０人を３班に分け１班が１つの装置を用いる．教科書の記述は装置の使い方に関する最小限のものにとどめた．学生は，自分で原理を調べ，目的，実験方法を設定する．初日に装置の説明，機器の動作を確認し，今後の方針を考える．２日目から毎回，初めと終わりに全体で議論しながら実験を進める．熱効率の導出をテーマとする班が多いが，様々なテーマがこれまで実施されている．4 日目の最後に最終討論を行い実験を締めくくり，１週間後にレポートを提出する．[3]

２．３年実験終了時のアンケート結果と考察

表１：2014 年度アンケート結果

理解		有効	あまり有効でなかった
	自分で考える	27	1
	簡略なテキスト	4	28
	発表討論する	12	1
手法		有効	あまり有効でなかった
	自分で考える	28	2
	簡略なテキスト	7	17
	発表討論する	26	1

表２：2015 年度アンケート結果

		効果がある	やや効果がある	効果があまりない	逆効果
理解	自分で考える	25	15	4	1
	簡略なテキスト	15	20	9	2
	発表討論する	20	21	3	1
		効果がある	やや効果がある	効果があまりない	逆効果
手法	自分で考える	28	13	3	1
	簡略なテキスト	14	21	6	1
	発表討論する	24	15	3	1

３年実験が終了したときにとったアンケート結果（表 1、表２）をもとに議論する．アンケートの項目は，(理解)：実験に関する物理学を理解することと，(手法)：自分で考えながら実験する本来の研究手法を学ぶことの２項目で，１．自分たちでテーマと方法を考えること，２．簡略なテキストで原理などは自分たちで調べること，３．自分たちで発表討論してまとめていくこと，の３点について，学生が効果があったと感じているかどうかを調べた．2015 年度の表２のアンケート結果を見ると，効果がある，やや効果があるが大部分である．また，2014 年度のアンケート調査（表１）[3] では，簡略なテキストに関して否定的な意見が多いが，2015 年度は改善が見られた．これは，実施方法を修正し，実験で必ず理解すべき原理などをこまめにレポートとして課すようにしたためであると考えている．

３．2015 年卒業時アンケートの結果と議論

表３：2015 年度卒業時アンケート結果

理解		大いに有効	有効	あまり有効でなかった	逆効果
	自分で考える	13	39	3	0
	簡略なテキスト	5	28	24	0
	発表討論する	17	37	2	0
手法		大いに有効	有効	あまり有効でなかった	逆効果
	自分で考える	19	37	5	0
	簡略なテキスト	5	31	15	0
	発表討論する	18	36	4	0

このアンケートは，2014 年度の３年生が 2015 年度に１年間卒業研究を行った後の卒業時に，３年実験を振り返って回答してもらったアンケートである．アンケートの質問形式が同じでないために比較にあたっては注意が必要であるが，簡略なテキストに関して有効であるという回答の割合が卒業研究を行う前の 2014 年度のアンケート[3] よりも増えている．また，自由コメントとして，卒業研究を行うにあたって役立ったという意見が多かった．卒業研究を経ての意見の変化については今後も継続して調査を行う．

４．まとめ

以上のようなことから，大部分の学生は自由テーマ設定型の学生実験種目を肯定的に捉えているといえる．今後，２年の光学実験を自由テーマ型実験として行う予定でいる．こちらの効果も期待している．

５．謝辞

この研究は，科学研究費助成事業　基盤研究(C)一般「自由テーマ設定型の物理学実験種目の導入効果の研究」課題番号(26350187)の予算で行いました．

参考文献

１）エドワード．F．レデッシュ,「科学をどう教えるか．」,(2012)，日本物理教育学会，監訳，丸善
２）松崎清司，秋葉圭一郎，太田寛人，畠山温，三沢和彦，「自由テーマ設定型熱力学実験の開発と教育効果」，日本物理教育学会年会，第 32 回物理教育研究大会発表予稿集，(2015)，P127-128
３）松崎清司，秋葉圭一郎，太田寛人，畠山温，三沢和彦，「自由テーマ設定型の実験種目の設定とその教育効果」東京農工大学・大学教育ジャーナル(2016),12,1-6

「熱運動」と「熱エネルギー」の用語についての学生の誤解や混乱の実態

ー「基礎物理学」と「物理講義実験」受講生のアンケート調査から見えてきたものー

東京理科大学　理学部　　五十嵐　靖則

1 はじめに

中学校、高等学校理科の教科書に見る熱概念についての誤解や混乱は目に余るものがある[1]。このことに関係して、教員志望学生の熱概念に対する理解について調査を実施し報告した[2)～4)]。今回は、高等学校で新課程と旧課程で学んだ学生の熱概念に対する理解についての調査を実施し比較分析した結果を報告し、理科・物理教育の改善の資料としたい。

2 アンケート調査対象と調査項目

2014年から2016年の4月初めにA大学の1年生(工業化学の基礎物理学)と2年生(物理学科の講義実験)を対象に次に示す質問項目を設定して「熱運動」「熱エネルギー」という言葉を どのように理解をしているかを探るために質問紙法によるアンケート調査を実施した。以下に調査に用いた質問紙の概要(依頼文は省略)を示す。

1　「熱運動」という言葉について

「熱運動」という言葉を聞いたり、自分で使ったりしたことがありますか。該当する記号に○を付してください。複数回答可

ア 聞いたことがある　イ 自分も使ったことがある　ウ 聞いたことも、自分で使ったこともない

2　『物質を構成している原子や分子は、「熱運動」をしている。』という説明を聞いて、貴方は、この説明(現象)をどのように理解しますか。自分の考えや理解に最も近いものを1つ選んでその記号に○を付してください。

ア『物質を構成している原子や分子は、熱によって、動かされ、運動している。』と理解する。

イ『物質を構成している原子や分子は、熱を持っていて、その熱のエネルギーで運動している。』と理解する。

ウ『物質を構成している原子や分子は、温度に応じて乱雑に運動しているので、熱運動という言葉は適切ではない。』と理解する。　エ その他 (　　)

3　「熱エネルギー」という言葉について

「熱エネルギー」という言葉を聞いたり、自分で使ったりしたことがありますか。該当する記号に○を付してください。複数可

ア 聞いたことがある　イ 自分も使ったことがある　ウ 聞いたことも、自分で使ったこともない

4　「熱エネルギー」という言葉の意味を貴方は、どのように理解しますか。次に示すものの中から自分の考えに最も近いものを1つ選んでその記号に○を付してください。

ア『物質を構成している原子や分子は熱運動をしている。その熱運動のエネルギーのこと』と理解する。

イ『熱はエネルギーの一形態なので、熱(熱量)のこと』と理解する。

ウ『熱エネルギーという言葉は、物理学的に不適切であると』と理解する。　エ その他 (　　)

3 調査の集計結果

表1 集計結果

		2014(旧課程) 84名	2015(新課程) 86名	2016(新課程) 86名	2015(旧課程) 69名	2016(新課程) 98名
		工業化学科　基礎物理学 (1年生)			物理学科　講義実験(2年生)	
1 「熱運動」という言葉について	ア 聞いたことがある	79.8 %	74.4 %	86.0 %	85.5 %	85.7 %
	イ 自分で使ったことがある	32.1	40.7	33.7	18.8	23.5
	ウ 聞いたことも使ったこともない	6.0	4.7	4.7	5.8	1.0
2 「熱運動」という言葉の理解	ア 熱によって動かされ運動しいている	28.6 %	32.6 %	30.2 %	30.4 %	28.6 %
	イ 熱を持っていて その熱のエネルギーで運動	45.2	46.5	52.3	44.9	43.9
	ウ 温度に応じて運動しているので適切でない	19.0	18.6	12.8	23.2	18.4
3 「熱エネルギー」という言葉について	ア 聞いたことがある	82.1 %	83.7 %	86.0 %	81.2 %	82.7 %
	イ 自分で使ったことがある	29.8	27.9	23.3	17.4	28.6
	ウ 聞いたことも使ったこともない	6.0	9.3	7.0	5.8	3.1
4 「熱エネルギー」という言葉の理解	ア 熱運動のエネルギーのこと	56.0 %	54.7 %	58.1 %	40.6 %	46.9 %
	イ 熱はエネルギーの一形態なので熱(熱量)のこと	32.1	40.7	37.2	53.6	49.0
	ウ 物理学的に不適切	11.9	4.7	4.7	5.8	3.1

4 調査結果の分析と考察

(1) 工業化学科の「基礎物理学」履修生の高等学校での物理の履修状況

物理未履修者の数は、旧課程の 16.7 %から 11.6 %、8.1% と旧課程と比較して減少傾向にあることが判明する。この結果は、基礎を付す科目を３科目以上履修することが義務付けられたものによると考えられる。

表２　工業化学科の「基礎物理学」履修生の高等学校での物理の履修状況

2014 年度(旧課程)　84 名			2015 年度(新課程)　86 名			2016 年度(新課程)　86 名		
物理Ⅰ(3 単位)履修者	70 名	83.3 %	物理基礎(2 単位)履修者	76 名	88.4 %	物理基礎(2 単位)履修者	79 名	91.9 %
物理Ⅰ未履修者	14	16.7	物理基礎未履修者	10	11.6	物理基礎未履修者	7	8.1
物理Ⅱ(3 単位)履修者	66	78.6	物理(4 単位)履修者	72	83.7	物理(4 単位)履修者	73	84.9

(2) 「熱運動」と「熱エネルギー」という言葉の理解の分析

表３　「熱運動」と「熱エネルギー」という言葉の理解(クロス集計)

２「熱運動」という言葉の理解	３「熱エネルギー」という言葉の理解	2014(旧課程)		2015 (新課程)		2016(新課程)		2015(旧課程)		2016(新課程)	
		工業化学科　基礎物理学 (1 年生)						物理学科　講義実験(2 年生)			
ア 熱によって動かされ運動しいている	ア 熱運動のエネルギーのこと	17.9%	%	24.4%	%	23.3%	%	30.4%	%	16.3%	%
	イ 熱はエネルギーの一形態なので熱量のこと	8.3	28.6	8.1	32.5	27.9	54.7	0	30.4	12.2	28.5
	ウ 物理学的に不適切	2.4		0		3.5		0		0	
イ 熱を持っていてその熱のエネルギーで運動しいている	ア 熱運動のエネルギーのこと	27.4%	%	22.1%	%	5.8%	%	0	%	20.4	%
	イ 熱はエネルギーの一形態なので熱量のこと	16.7	45.3	22.1	46.5	23.3	36.1	43.5	44.9	23.5	43.9
	ウ 物理学的に不適切	1.2		2.3		7.0		1.4		0	
ウ 温度に応じて運動しているので適切でない	ア 熱運動のエネルギーのこと	6.0%	%	5.8 %	%	1.2	%	8.7	%	5.1	%
	イ 熱はエネルギーの一形態なので熱量のこと	7.1	19.1	10.5	18.6	1.2	4.7	10.1	23.1	11.2	18.3
	ウ 物理学的に不適切	6.0		2.3		2.3		4.3		2.0	

5 考察とまとめ

(1) 「熱運動」について:　表１から、原子や分子は熱を持っていてそのエネルギーで運動していると理解している学生が工業化学科では増加し５割前後おり、物理学科ではわずかに減少しているが４割強いることが判明する。物理学科の学生は「熱運動」の言葉は自分も使ったことがあるが増加している。このことは、新学習指導要領で、「物理基礎」の小項目のねらい及び内容の取扱いに、「熱運動」という用語が使用されたこと及び、「化学基礎」の指導内容の小項目に「熱運動」の項目が戦後初めて入った[5]ことによる影響と思われる。

(2) 「熱エネルギー」について:　表１から、新課程の両学科の学生は、「熱運動のエネルギーと理解している」が ４～５ポイント増加し、工業化学科では４割ほど、物理学科では５割弱ほどおり、聞いたことがあるが増加している。物理学科の学生は自分も使ったことが増加している。 一方、「熱エネルギー」の言葉を「熱（熱量）のこと」と理解している学生は工業化学科では４割弱ほど、物理学科では５割ほどいることが判明する。

(3) 「熱運動」「熱エネルギー」の言葉は適切でないと回答する学生の数が減少傾向にあることは危惧される。

(4) 学生の理解の混乱について:　以上のことから、「熱エネルギー」の言葉は、「熱運動のエネルギー」と理解している者と、「熱量」と理解している者がほぼ半々おり混乱している状況が明白に見て取れる。

(5) 英語圏に見る熱概念の変遷と進化:英語圏では、「熱運動」や「熱エネルギー」という用語は既に死語となっている[6]。

Thermal motion (温度による運動)、random motion(乱雑な運動)、thermal energy(温度によるエネルギー)、temperature energy(温度エネルギー) 等の用語が使用され、誤概念を誘発し易い言葉(heat motion や heat energy)の使用は中止されている。日本でよく見かける「thermal motion」「thermal energy」の訳の「熱運動」や「熱エネルギー」は誤訳であることを認識し、初学者に誤解や混乱を起こさせないための修正が必要である。

6 参考文献

1）五十嵐 靖則　中学・高校教科書に見る「熱」と「熱エネルギー」の用語の混乱について　日本物理教育学会第 30 回物理教育発表予稿集(2013)50-51

2）五十嵐 靖則　熱概念は教員志望学生にどのように理解されているか　物理学会講演概要集 Vol. 69-1 第２分冊 2014. 3, P. 459

3）五十嵐 靖則　「熱運動」の用語は物理学用語として適切か　日本物理学会講演概要集 Vol. 68-２第２分冊、2013. 9, P. 349

4）五十嵐 靖則　「熱エネルギー」という用語の不適切性について　日本物理教育学会第 31 回物理教育発表予稿集(2014)69-70

5）学習指導要領解説　理科編　理数編　平成 21 年 12 月　文部科学省 実教出版　P. 195、P. 196、P. 200

6）五十嵐 靖則　英語圏に見る熱概念の変遷と進化　日本物理教育学会 第３２回物理教育発表予稿集(2015)107-108

直線電流の作る磁場を直接測定する装置の試作

元麻布高校　　増子寛

E-mail　masuko@kdp.biglobe.ne.jp

1．はじめに

直線電流の磁場（磁束密度）を直接測定する装置を試作したので報告する。通常の学校で扱える電流の作る磁場は、地磁気のオーダーになる。そのレベルの測定センサはすでにいくつか市販のものがあるが[1)]、それらを使って $B=\mu_0 I/2\pi r$ の関係を実測して表示させるには手間がかかる。今回はマコメ研究所が位置検出用に開発した1軸磁気センサを応用して、直線電流の作る磁場について、電流値Ｉと電流からの距離ｒの依存性を実測する装置を試作した。

2．装置の概要

磁気センサの外形は径3mm長さ17mmの円柱状で、先頭から5mmほど内側の位置に測定部分が装着されている。センサ自体は先頭から外形に沿った向きの磁場を計測する。3mmφのステンレス棒を水平に張り電流Ｉを流す。センサを鉛直に保持したまま水平面内で電流から垂直に移動させ、その距離ｒを計測する。図1はその概念図である。センサの分解能は、0.5μＴ程度で、増幅器を通してmVの電圧で出力する。一般に使用されている電源の電流出力は最大5Aのものが多いので、それに合わせて、全体の大きさを40cm×40cm×15cmとしてアルミフレームで組み立た。40cm×40cmの水平面の上に、電流保持の器具と、センサを水平面内で電流に垂直に移動させる目盛り付きのガイドを取り付けた。

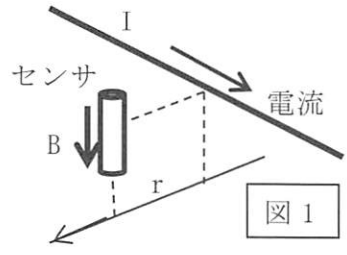


図1

3．測定結果

電流値を最大5Aと想定しているので、センサの位置は電流から10cm程度の範囲で測定した。位置を固定して電流との比例関係、電流を固定して距離との反比例の関係を実測したところ、理論値とほぼ一致した結果が得られた。図2はｒ＝3cmの位置での電流依存性、図3はＩ＝5Aの距離依存性である。どちらも理論式で計算した値とほぼ重なっている。

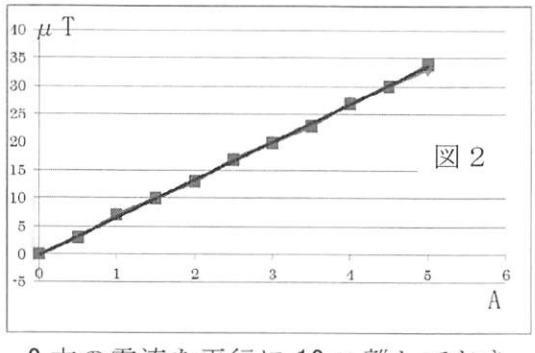


図2

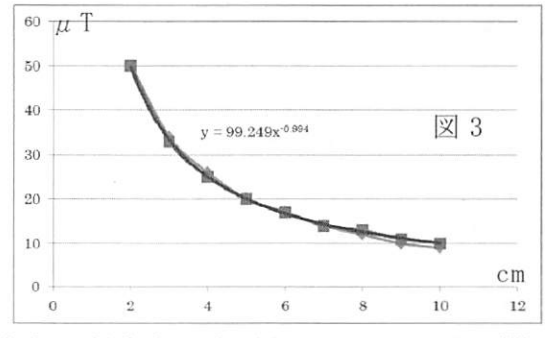


図3

2本の電流を平行に10cm離しておき、同じ向きと反対向きの2通りについて、その間の位置での磁場の変化を測定したが、共に理論値とほぼ重なる値が得られた。

註1）例えば　Pasco磁気センサ(2軸)分解能1μＴ

物理概念の理解度における男女差の調査と解消に向けての課題の検討

東京学芸大学　米山　美咲[1]，植松　晴子[2]
E-mail　m151817y@st.u-gakugei.ac.jp[1],uematsu@u-gakugei.ac.jp[2]

1．はじめに

物理概念の理解度を測る物理概念調査において、女性の正答率を男性の正答率が上回るという研究結果が国外を中心に多数報告されており、ジェンダーギャップ問題として知られている。国外の研究例としては、「ジェンダーギャップ値」を

G＝〈男子学生の平均得点率(%)－〈女子学生の平均正答率(%)〉

で定義すると、FCI 及び FMCE 事前調査において 19 の英米の大学における平均値がG=１３％であることが、Madsen らによって示されている[1]。国内においても小学生・中学生・高校生・大学生に実施した FCI の結果から、その正答率について男女差が生じていることが指摘されていると同時に、物理について全く学んでいない段階で FCI の正答率に男女差が生じていること、女性が保持しやすい誤概念が存在することが指摘されている[2]。本研究では、女性が保持しやすい誤概念が存在することに着目し、素朴概念から正しい理解に至る学習過程に問題があると考えた。そこで、独自の質問紙調査を通して、誤概念を生じさせる要因となっている素朴概念や経験、並びに中等教育を通すことで保持している概念がどのように変容するかを検討することで、物理領域の指導方法や教材の改善への提言を目指す。

2．大学生を対象とした FCI に見るジェンダー差

本学大学２年生に実施した最近５年間の FCI（全体 557 名、うち男性 368 名、女性 189 名）におけるジェンダーギャップ値を算出すると、G=16.9%であった。FCI の設問ごとの平均正答率をジェンダー別に示したものを図１に示す。なお、図１は Birch と Walet の図[3]に倣ったものである。

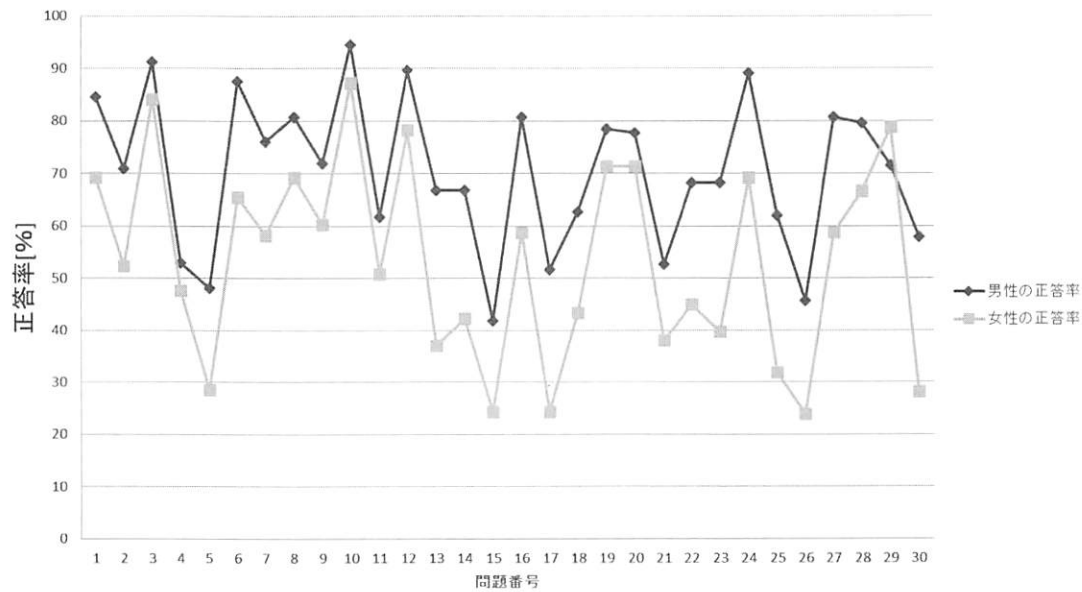


図１　FCI の設問ごとの平均正答率のジェンダー差

各設問の中で、特にジェンダー差の大きい設問に着目すると、いわゆるインペタスの概念を適用した場合に誤答が予想される問題や、座標系の不一致による誤答が予想される問題が目立つ。それぞれの問題について誤答の分布を見ると、やはり上記のような誤概念を保持していると考えられる選択肢を選んでいる割合が、女性の方が高かった。

3．調査の概要

これまでの結果に基づき、女性が保持しやすい誤概念をさらに明確にすること、誤概念を生じさせる要因となっている素朴概念や経験並びに中等教育を通すことで保持している概念がどのように変容するかを調べるため、独自の質問紙を作成した。質問紙はFCIにおいてジェンダーギャップ値が大きかった問題や、これまで行われてきた力学に関する概念調査問題[4]を参考に作成しており、自由記述式となっている。また、なぜそのような回答をしたのかを尋ねることによって、保持している誤概念やその背景を検討・明確にするために、自由記述式で理由を尋ねる欄を作成した。調査の結果に関しては、講演にて述べる。

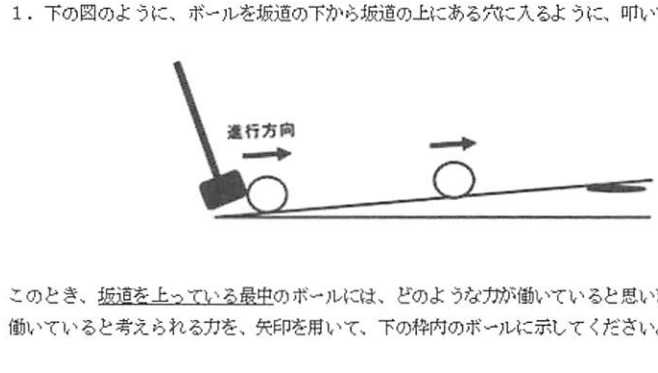


図２　インペタスの概念を適用した場合に誤答が予想される問題

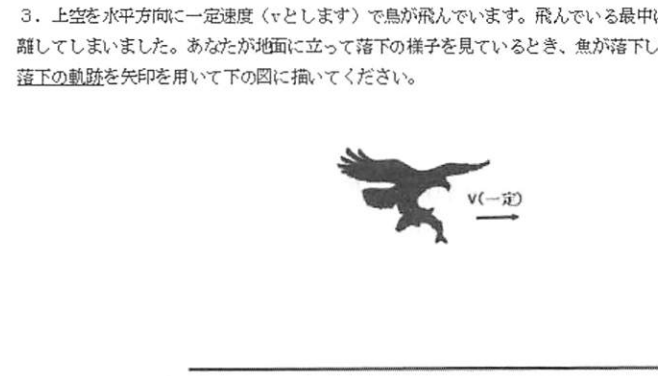


図３　座標系の不一致による誤答が予想される問題

文献

[1]A. Madsen, S. B. McKagan and E. C. Sayre: Phy. Rev. ST Phys. Educ. Res. 9(2013)020121.

[2]金森大和, 物理教育にみられるジェンダー差とピア・インストラクション型授業　東京学芸大学修士論文(2016).

[3]M. Birth and N. Walet: GIREP-MPTL 2014(Palermo, Italy).

[4]川村康文　日本理科教育学会研究紀要 36(3), 13(2016).

二次元運動に関するILDs授業の実践

青木海仁[1]　谷口和成[2]
京都教育大学大学院[1]，京都教育大学[2]
Email:din55036@kyokyo-u.ac.jp

1. はじめに

米国の物理教育研究（PER）において，物理を学習する中で学習者が科学的に誤った概念（以下誤概念）に陥りやすいことが明らかとなっており，日本の学生も同じ傾向が見られることが明らかにされている [1][2]。誤概念を正しい概念に転換する授業手法の一つに，PERの研究成果である「Interactive Lecture Demonstrations ：ILDs（相互作用型演示実験授業）」がある。これまで日本におけるILDsの実践の結果，力学分野，電気回路分野等において一定の成果があることが報告されているが[3]，力学分野のILDsは台車などを用いた一次元運動のユニットのみ行われており，二次元運動を扱うユニットを含む実践は行われていない。そこで前回は，一次元運動のILDsを受講した2013年度の学生の「Force Concept Inventory：FCI」の調査結果に対して，一次元運動と二次元運動の問題に対する「規格化gain（以下gain）」を算出した結果，一次元運動は0.4程度の高い値であったのに対し，二次元運動は0.1程度と低い値であった。そこで，今回はその結果を踏まえ，2015年度の前期に一次元運動のILDsを受講した学生集団に対して，同年度後期の授業において引き続き，ILDsの二次元運動のユニットを実践し，総合的な力学概念の理解を目指した。

2. 授業の概要と評価

2015 年度 10 月~11 月に 90 分×6 回にわたり，二次元運動のユニットを実践した。内容は ILDs 原著の①ベクトル，②放物運動，③エネルギー保存，④運動量，⑤円運動の Unit を翻訳し実施した[4]。なお，物理未履修者に配慮し，Unit の初めには導入的展開を行った。対象は，一次元運動の ILDs を受講した教育学部 1 回生 39 名で，高校での履修状況は未履修者 4 名，物理基礎 9 名，物理 26 名である。

授業の評価として，FCI を用いた事前調査を 2015 年度（4 月初め），一次元運動の ILDs の 3 ヶ月後（7 月：事後調査①），二次元運動の ILDs の 3 ヶ月後（翌年 2 月：事後調査②）の計 3 回行った。分析方法として，FCI の問題を一次元運動 14 問と二次元運動 16 問に分類し，高校物理の履修状況別に正答率と gain を算出，比較した。なお，未履修者は 4 名と少人数であったため，以降は「物理基礎選択者」と合わせて算出している。

表 1　研究の流れ

2015年度				
4月初め	4月終わり	7月	10月	2月
FCIによる事前調査	一次元運動のILDs	事後調査①	二次元運動のILDs	事後調査②

3. 実践結果

図 1 は 一次元運動と二次元運動の ILDs 実践前後の各運動の概念変容を履修状況別に比較した結果を示している。一次元運動の 4 つのユニットの実践後（7 月）における一次元運動の問いに対する gain は，履修状況に関わらず 0.4 以上の高い値を示しており，これまでと同様に，一次元

運動に対する ILDs の効果の高さを確認することができる。しかし，二次元運動の問いに対する gain は 0.2 程度とそれほど高い効果が得られなかったことが明らかになった。

このような概念的理解状況にある同集団に対して，二次元運動の ILDs を実践した結果（2 月），一次元運動に対する gain は履修状況に関係なく，0.55 以上に達した。これは，発展的内容（二次元の運動）の学習がより基礎的な概念（一次元の運動）の定着を促したことを示唆する結果といえる。一方で，二次元運動に対しては，物理基礎履修者は 0.27，物理選択者は 0.33 とそれほど高くはない結果となった。

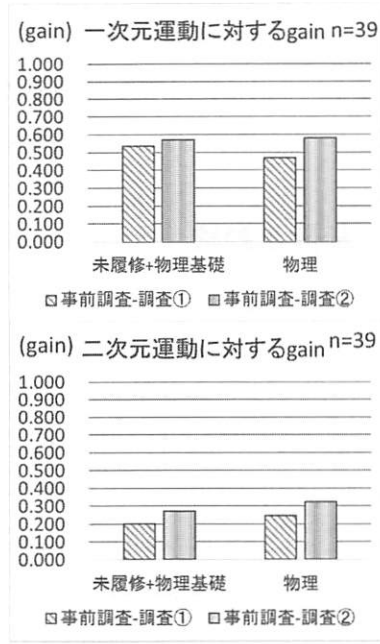


図 1 各運動の履修状況別 gain

そこで，その原因をより詳しく分析するために，FCI の各問いの正答率を分析した。図 2 は特に上昇した問題と変化があまり見られなかった問題の正答率を示している。二次元運動を行う物体に加わる「力」の方向に関する問いの正答率は大幅な上昇が確認されたが，「速度」の合成に関する問いの正解率は変化がなかった。ここで，前者の問いは典型的な IMF 誤概念を含む問いであり，今回の授業が一次元の運動との「ブリッジング」の役割を果たしたことが推測できる。一方，後者については，その基礎となるベクトルの概念に関する理解が不十分であることを示唆している。

以上の結果より，今後，ベクトルのユニットの授業改善とその結果を以降のユニットにおいて積極的な活用を促すはたらきかけ（ブリッジング）を行う必要がある。またそれ以外の Unit においてもより概念理解を促す展開を検討し，今後改善していく予定である。

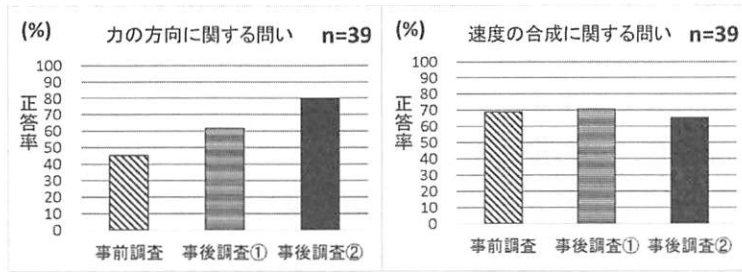


図 2　各問いの平均正答率

4. おわりに

二次元運動の ILDs を行うことにより，一次元運動の基礎的な概念理解および定着が促進され，二次元運動の理解にも部分的に効果があることが明らかになった。しかしながら，力学概念が文脈に依存する状況は依然として変わりなく，今後，二次元運動の ILDs 全体を改善するとともに，力学概念の総合的な理解，定着を促していく必要がある。

参考文献

[1] J.Clement, Am. J. Phys. 50(1), (1982), p66-71
[2] 谷口和成，第 28 回物理教育研究大会予稿集，32（2011）
[3] 谷口健太，第 30 回物理教育研究大会予稿集，54（2013）
[4] D.Sokoloff andR.Thornton, Interactive Lecture Demonstrations, (2004)

高校物理授業における学習意欲向上のための振り返りシートの活用

同志社中高[1], 京都教育大学物理[2], 古結　尚[1], 谷口　和成[2]
E-mail　kogetsu@js.doshisha.ac.jp[1], guchi@kyokyo-u.ac.jp[2]

1．背景と動機

アクティブ・ラーニング型授業により概念の定着が見られるが、概念の定着と学習者の意欲には関係があると考えられる[1),2)]。十分な認知的葛藤が行われるためには、学習者の意欲が高い状態で行うことが必要であることが考えられる。実際の授業では、講義型授業の間にアクティブ・ラーニング型の授業を組み込んでいるのが現状である。講義型授業においてでも、学習者の意欲の向上および維持が必要だと考える。そこで、その手法として一定の効果が報告されている「振り返りシート」を活用する[3)]ことにより、講義型授業の中での学習意欲向上を目指した。振り返りシートによる学習者の変容について見ていきたい。

2．手法

高等学校「物理」科目において、振り返りシートを活用した授業を行った。授業を行った学年は３年生であり、４単位の科目である。クラスは選択講座２講座であり、人数は２講座合計62 名である。授業形式は、ほぼ、通常の講義型授業である。振り返りシートの項目は、ARCS動機づけモデル[4)]に基づいて、４観点４段階の選択形式で行った。また、「気づいたこと、不思議に思ったこと」「難しかったこと、質問」に関する自由記述欄を設けた。各授業終了時に生徒が記入し、授業２回ごとにシートを提出してもらった。提出したシートは、コメントをつけて返却した。この講座を受講している生徒は、昨年度２年生の時に「物理基礎」科目を受講しており、その中で５クラスの生徒が振り返りシートを活用して学習した。今年度「物理」科目を受講している生徒のうち、39 名が昨年度振り返りシートを活用して学習している。

3．自由記述欄のコメントの分析

提出された振り返りシートの自由記述欄のコメントについて分析をした。コメントの量について単純に平均して比較すると、昨年度振り返りシート実施者のコメントの量の方が、昨年度未実施者よりも多い傾向が見られた。また、振り返りシートの回数を追うごとに、昨年度実施者と今年度実施者の差がなくなってきた。これは、1 学期の間にコメントを書くことについて慣れてきたと思われる。

4．総合的動機づけ診断の分析

総合的動機づけ診断[5)]を用いて、動機づけについて分析を行った。授業の初回にとった結果は図１のようであった。昨年度実施者のほうが昨年度未実施者よりも多少高かったが、有意差があるほどではなかった。振り返りシートによる効果は、感情的要因について多少高くなることが示唆されるかもしれない。発表では１学期末にとった総合的動機づけ診断の分析についても触れたい。

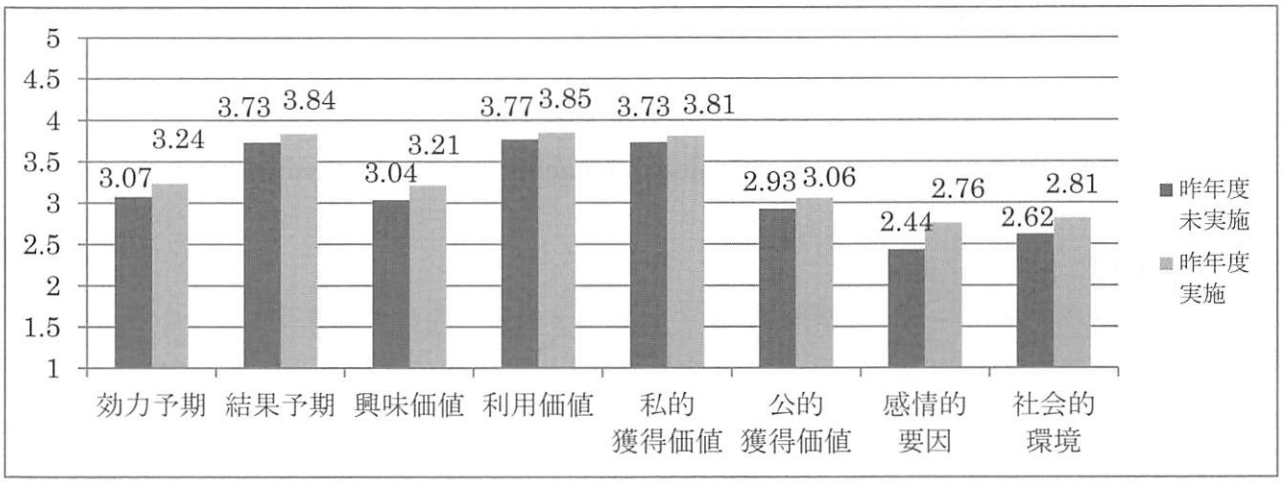


図１　総合的動機づけ診断の結果

５．ピア・インストラクション型授業におけるメタ認知について

授業については、通常の講義型の他に、ピア・インストラクション型授業を６回行った。ピア･インストラクション型授業では､あらかじめ作成した選択肢から各自クリッカーで選択し、分布の結果を見た後、周りの人と議論する。ピア・インストラクション型授業についての振り返りシートを見てみると、通常の講義型授業に比べコメントの量が増えた。これは、ピア・インストラクションによってメタ認知が進んだためだと思われる。

６．まとめと今後の課題

振り返りシートを活用した場合､「授業を受けている間、コメントを考える必要があるので振り返ることになり、そのことがためになった」という生徒が多く見られた。その一方で、振り返りシートに全くコメントを書かない生徒も、数は少ないがいた。そのような生徒に対してどのようにはたらきかけるかについては、今後の課題である。例えば、振り返りシートを返却する際に書かれていた内容について触れる等、振り返りの内容についてクラスで共有することが一つの方策だと思われる。

[参考文献]

1) 谷口和成，北村貴文，物理学会第 70 回年次大会 24pCK-6

2) 古結尚，谷口和成，物理学会 2015 年秋季大会 19pAL-6

3) 北村貴文，谷口和成，物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集(30)，72-73 (2013).

4) Keller, J. M. (2009) Motivation Design for Learning and Performance; The ARCS Model Approach.

5)中西，伊田，“総合的動機づけ診断に関する探究的研究”，三重大学教育学部研究紀要 57 巻,93-100(2006)

中学校理科におけるILDs「作用・反作用の法則」の実践

同志社女子中・高等学校[1], 京都教育大学[2], 北村貴文[1], 谷口和成[2]
E-mail　kitamura@mail.girls.doshisha.ac.jp[1], guchi@kyokyo-u.ac.jp[2]

1．はじめに

近年，アクティブ・ラーニング型授業（AL）は校種・教科を問わず重要視されている。物理教育では，米国物理教育研究において，主に大学生の対象として開発され効果を挙げているALを促す物理教育プログラムを，中学・高校の理科授業へ導入した報告[1)]が存在するが，実践例は少ない。そこで，中学生に対して，ALの1つ「Interactive Lecture Demonstrations[2)]（ILDs)」の「作用・反作用の法則」のユニットを実践した。作用・反作用の法則は中学3年で取り扱い，「作用反作用は常に成り立つものではない」などの誤概念がある[3)]。このような誤概念に対して，ILDsは誤概念が表出するように構成された様々な課題を，ICT機器を用いた演示実験と討論を通して，概念理解を目指す。ただし，中学理科では作用・反作用の法則は運動中については詳細には取り扱わず，教科書でも「この法則は，物体が運動しているときにも成り立っている[4)]」との記述でとどまっているため，本実践は運動中についても詳細に取り扱う発展的学習の位置づけである。

本研究の目的は，中学校理科において，作用・反作用の法則の概念理解を目指したILDsを実践し，その理解の過程および効果を検証することである。

2．方法

(1)対象　京都府私立中学校3年生（41名×2組，42名×2組）の生徒であり，既習事項は発展的に取り扱った内容も含め，「力のつり合い」，「摩擦力」，「加速度」，「運動の法則」であった。

(2)授業内容　2015年9月中旬にILDs「作用・反作用の法則」のユニットを90分（45分×2コマ連続）で実施した。各演示実験の展開は【①ICTなしの演示，②個人予想，③クリッカーで予想回答表示，④班・全体討論，⑤ICT有りの演示，⑥班・全体討論】である。

また，ILDsに次のような差異を設け，中学生への成立を目指した。第1に，課題の表現や提示方法を中学生に理解しやすく変更し，回答はすべて多肢選択型とした（表1)。第2に，作用・反作用の法則に対する初学者を対象とするため，演示実験と学習内容の関連を見失う可能性がある。そこで，授業開始時に「物体Aが物体Bに力を及ぼすとき，物体Bは物体Aに力を及ぼす（課題X)」ことを提示した。第3に，力センサー2台による計測結果はスクリーン上にF-tグラフで提示する。そこで，グラフの理解を促すために，ICT有りの演示後の討論では「結果とグラフの見方」に言及することを指示した。第4に，メタ認知を充実させるために，全演示実験終了後に，課題Xを班・全体でより詳しく表現する活動を行った。第5に，通常授業としての成立のため，討論の題材にならない「2力は同一作用線上」などは教員がまとめにおいて述べた。

(3)手続き　(i)各演示実験に対する予想シートの回答から，概念の変化の過程を探った。(ii)各演示実験の個人予想時に，「確信度」を「5：かなり確信がある」～「1：まったく確信がない」で回答を求め，概念への確信度を探った。(iii)全演示実験後に「わかったことをすべて踏まえて，『物体Aが物体Bに力を及ぼすとき，物体Bも物体Aに力を及ぼす』についてさらに詳しく説明せよ」に自由記述を求めた。(iv)すべての学習過程終了後に「今回の授業は良かったか，記号

で選んでください。また，それを選んだ理由を書いてください」について「5：とても良かった」～「1：まったく良くなかった」からの回答と自由記述を求めた。

表１　本実践における各演示実験の課題

演示１	手でブロックを押す。このときブロックは運動の向きと逆向きに一定の摩擦力を受ける。ブロックが一定の速度で押されているとき，F（手→ブ）とF（ブ→手）を比べよ。
演示２	手でブロックを押す。このときブロックは運動の向きと逆向きに一定の摩擦力を受ける。ブロックが加速するように押されているとき，F（手→ブ）とF（ブ→手）を比べよ。
演示３	手でブロックを押す。このときブロックは運動の向きと逆向きに一定の摩擦力を受ける。押されながらブロックが減速しているとき，F（手→ブ）とF（ブ→手）を比べよ。
演示４	２人（AとB）がお互いの手を押す。人Aが人Bを正の向きに押して，次に，人Bが人Aを負の向きに押し返すとき，F（B→A）をF（A→B）と比べよ。
演示５	台車Aが障害物によって止められている台車Bを押している。台車Bは軽く押されていたが，次第に強く押された。F（B→A）をF（A→B）と比べよ。
演示６	２台のまったく同じ台車AとBが，両方とも同じ速さで押されて衝突した。衝突の間のF（B→A）をF（A→B）と比べよ。ただし，今回は力の向きも比べる。
演示７	押された重い台車が止まっている軽い台車と衝突した。衝突の間のF（重→軽）をF（軽→重）と比べよ。ただし，今回はどちらの台車が先にF（重→軽）またはF（軽→重）を受けたかも比べる。

３．結果と考察

図１は表１の各課題に対する個人予想の結果である。演示１の予想時には多くの生徒が強固な誤概念を所持していることがわかる。一定の加速度を持った状況の演示 1～3 では正答率の上昇と確信度の回復が生じているが，力が変化する状況の演示４の予想になると正答率と確信度が低下している。つまり，演示 1～3 終了時では特定の状況のみで適応される限定的で不完全な概念であったことがわかる。演示５は演示４と同様に，力が変化する状況である。この予想時は正答率の上昇が見られるが，確信度は低下している。ここから，状況が変化した演示４の実験結果を受けて，正しい物理概念へと再形成し始めている一方で，再形成している概念に疑念を抱いている段階といえる。演示６では衝突の状況となる。ここでの予想時には，正答率の上昇に加えて，確信度が大きく回復している。ここから，演示５までの実験結果から再形成された概念が正しいと認識し始め，その概念は状況にかかわらず成立するものとして形成されていると考えられる。演示７の予想時には正答率と確信度ともに低下しているが，質問が変化しているにもかかわらず，１度目の状況変化ほどの低下が見られないことから，再形成した概念への疑念が段階的に減少していることが考えられる。

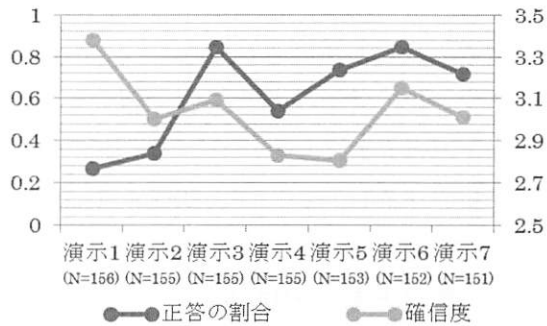


図１　個人予想時の正答の割合と確信度の平均値の推移

また，アンケートの結果，本実践に対して生徒の 74%が肯定的であり，否定的な生徒は 4%にとどまっていた。ここから，本実践の展開は中学生にも無理なく実施できたものと考えられる。

一方で，全演示実験後の班討論では「加速度が同じだから与える力も同じ」といった因果スキーマ[5]に関する記述も少数の班ではあるが表出していた。全ての生徒が作用反作用の法則を原理として理解・納得できる展開の考案は今後の課題である。

参考文献

1)　岸翔太，他：物理教育 63-2 (2015) 92-97.
2)　D. Sokoloff & R. Thornton : Interactive Lecture Demonstrations (Wiley, 2004).
3)　伊田暁，越桐國雄：大阪教育大学紀要 第Ⅴ部門 59-1 (2010) 29-39.
4)　吉川弘之，他：未来へ広がるサイエンス３（啓林館，2016）168.
5)　鈴木亨：物理教育 56-1 (2008) 10-15.

ILDsによる学習効果に対する動機づけの変容

京都教育大学大学院[1]，京都教育大学[2]，齋藤孝[1]，谷口和成[2]
E-mail　din65043@kyokyo-u.ac.jp

1. はじめに

米国の物理教育研究において開発された相互作用型授業には，ILDs（Interactive Lecture Demonstrations）やOSTs（Open Source Tutorials）が主に挙げられる。それらの授業形態は異なるものの，学習者同士の討論を中心とした授業展開である点と，学習者に葛藤を生じさせるような課題設定を行っている点で共通する。これらは，主に大学生を対象とした実践が日本でも多く報告されており，力学分野，電気回路分野において確かな学習効果があることが確認されている[1]。本研究室でもILDsを例年実施しており，高い学習効果に加えて，学習者の動機づけや学習観の変容が確認されるなど，その効果は概念定着のみならず多岐にわたることが明らかとなっている[2]。しかしながら，学習効果と動機づけの関係については明らかとなっておらず，課題として挙げられていた。そこで本研究の目的は，ILDsによる学習効果と動機づけの変容に着目した分析を中心に行い，その関係を多面的に検証することとした。

2. 実践と調査の概要

2015年4月～5月に，本学理科領域専攻1回生20名を対象にILDsを実施した（力学分野4コマ，電気回路分野2コマ）。授業の前後には，従来から実施している「力と運動に関する概念調査FMCE（Force and Motion Conceptual Evaluation）」，「総合的動機づけ診断[3]」を実施した。また，動機づけの変容を質的な側面より明らかとするため，学習者の動機づけを4つの側面に分類した「ARCSモデル[4]」を基に，5段階の自己評価と，その評価理由を記述する質問紙を事後調査に用いた。加えて，授業を全てビデオで記録し，授業後には学生に授業インタビューを行った。

表1　ARCSモデルの分類枠と質問項目

分類枠	項目（5段階評価）※各項目についてその回答理由を自由記述
A:Attention　【注意】	ここまでの学習はおもしろかった
R:Relevance　【関連性】	ここまでの学習はおもしろかった学習はやりがいがあった
C:Confidence　【自信】	ここまでの学習で自分に自信がついた
S:Satisfaction【満足感】	ここまでの学習は満足できるものだった

3. 結果および考察

3.1. 概念定着と動機づけの関係の検討

FMCEの結果は，規格化ゲインを用いて評価した。事後，遅延（3ヵ月後）ともに高い値が示された（事後：0.63，遅延：0.54）ため，本研究のILDsは，物理概念の形成に一定の効果があったことが確認された。また，授業前後での動機づけの変化を検討するため，総合的動機づけ診断の各下位尺度について，対応のあるt検定を行った。その結果，下位尺度の「感情的要因」，「社会的環境」において，有意な得点の上昇が見られた（感情的要因:t (18)＝2.608，p<.01：社会的

環境：t (18)＝2.935, p<.01)。

次に，学習効果に対する動機づけの変容を検討するために，

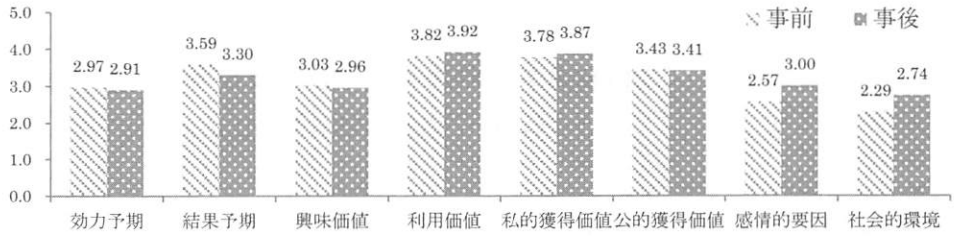


図 2　総合的動機づけ診断の結果

FMCE 結果から求めた規格化ゲインをもとに順位づけを行い，学生を 3 グループに分類して，各グループの総合的動機づけ診断の結果を比較した。その結果，上位グループの 7 名（規格化ゲイン 0.8 以上）は，下位尺度である「感情的要因」が全員上昇しており，事後平均と事前平均の差が 0.82pt(事前 2.50pt, 事後 3.32pt)であった。同様に, 他の 2 グループは順に 0.16pt(事前 2.67pt, 事後 2.83pt)，0.25pt(事前 2.54pt，事後 2.79pt)であり，有意に大きいことが明らかになった。すなわち，学習効果と動機づけに相関があることを示唆する結果を得た。

3.2. ARCS モデルを基にした質問紙の結果と考察

ARCS モデルを基にした 5 段階の自己評価シートを事後に実施した。その結果，「注意」,「関連性」,「満足感」の観点では，6 割～8 割の学生が「やや当てはまる：4」，「当てはまる：5」を選択し，ILDs に対して，一定の意義や満足感を感じていることが確認された。しかし,「自信」の側面については，約 7 割が「どちらでもない：3」,「やや当てはまらない：2」を選択した。その回答理由の記述には,「簡単な内容にも関わらず，間違えることがあった」,「これからの内容についていけるかどうか分からない」といった，自身の物理の学力を再認識するような記述が多く見られ，このことが物理に対する「感情的要因」の増加に繋がったと考えられる。

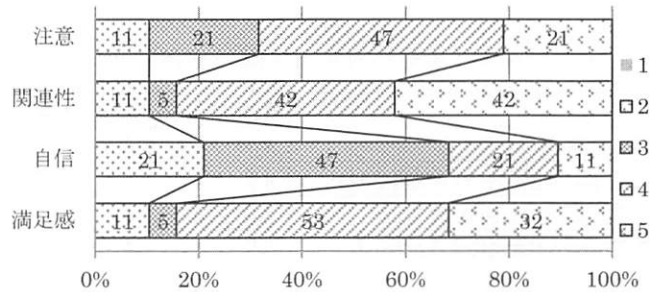


図 3　ARCS モデルを基にした質問紙の結果

4. おわりに

ILDs による学習効果と動機づけの関係について詳細な分析を行った結果，学習効果の高い集団は動機づけの「感情的要因」の上昇が大きく，これらには相関関係があることが示唆された。講演ではこれらの分析に加えて，ビデオ分析とインタビュー調査による結果を交えた考察を報告する。

参考文献

[1] 例えば，谷口健太，谷口和成　他，日本物理学会 2013 年秋季大会，27pBD-1,-2 (2013).

[2] 北村貴文，谷口和成，物理教育 63-2,12 (2015)

[3] 中西良文，伊田勝憲，三重大学教育学部研究紀要(教育科学)57(2006)pp.93-100

[4] J.M.Keller 著，鈴木克明訳，『学習意欲をデザインする - ARCS モデルによるインストラクショナルデザイン - 』（北大路書房，2010）

ICTを活用した演示実験を中心とした授業展開の実践

大阪教育大学附属高等学校池田校舎，筒井和幸
ktsutsui@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

1．はじめに

授業でICTを活用し始めて約8年になる。この間，生徒の反応やアンケートによって効果的な点や工夫が必要な点を調査し，時間をかけて徐々に改善を進めてきた。最近では，演示実験を学習課題とすることによって，探究的な学びや協働的な学びへと学習活動を深化させることを試みている。本発表では授業展開の実践例を紹介し，今後の課題について述べる。

2．センサやICTを使った授業

(1) 導入初期の利用方法と課題の発見

センサやICTを使うことには，「短時間で測定結果が処理される」，「分析ソフトの機能を使うと微積分を用いた概念形成ができ，理解をより深めることができる」など様々なメリットがある。

表1 センサやICT実験に対する評価(5段階)(2010年)

	高2全	高3文	高3理	卒業生
①学習内容に興味が持てる	4.1	4.4	4.5	4.5
②学習内容が理解しやすい(納得できる)	4.2	4.3	4.5	4.5
③物理現象を考えるきっかけになる	3.6	4.1	4.1	4.3
④グラフの傾きや面積の意味がわかる	3.9	4.0	4.1	4.6
⑤グラフを見ても意味が分かりにくい	2.4	2.4	2.4	2.4
⑥実験に時間がかかり過ぎる	2.4	2.5	2.3	2.7
⑦授業にできるだけ取り入れた方がよい	3.9	4.1	4.2	4.1
⑧自分自身で実験(PC操作含む)をしたい	3.2	3.1	3.3	3.2
人数	59	13	74	15

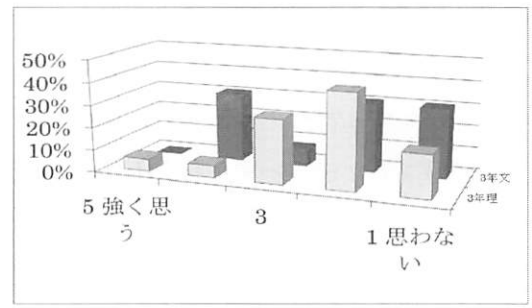


図1 グラフを見ても意味がわかりにくい生徒
(2010年調査 手前：高3理，奥：高3文)

アンケート結果（表1，図1）から，センサやICTを活用して測定結果をグラフ表示した場合，それを分析・解釈する力がある程度ないと，ねらい通りの学習効果が得られないことがわかった。

(2) 授業方法の工夫・改善

①初学者からの継続的な指導

高校1年から，センサを用いた実験で得られるグラフの分析・解釈を，私と生徒との対話を通して丁寧に行うようにした。この継続的な指導は大変有効で，グラフを分析・解釈する力や現象に対する理解，考察し表現する力は，数年前の生徒と比較して質的に向上したと感じている。

②生徒間の対話（協働的な学び）の活用

経験上，グラフの分析や解釈などが苦手な生徒に対しては，教師が説明するよりも生徒同士で話し合わせた方が理解が進みやすい。そこで，演示実験の途中や最後に生徒間の対話の機会を設けて，実験結果の見方がわからない生徒をなくすようにした。

③演示実験の課題としての活用

初期には「演示実験は『興味』の対象，『学習』の対象は問題集」と考える生徒が少なくなかった。そこで，授業中に行った演示実験を報告書にまとめて提出させることにした。定期考査にも実験を素材とした問題を出題し，演示実験は学習の対象であるという意識の定着を図った。

(3) 課題の例（運動エネルギー）

運動エネルギーについて考える実験（図 2）を行ったときの課題を次に示す。

> ① 実験の方法（手順）を箇条書きにして説明せよ。その際，実験装置の配置などがわかるように図も描くこと。
> ② 実験の結果（各測定値）を表にまとめよ。
> ③ 実験の結果から，物体のした仕事 W（$=Fs$）と，物体の質量 m と速度 v の 2 乗の積（mv^2）との関係を配布したグラフ用紙に表せ。この結果から，物体の運動エネルギー（仕事をする能力）は，mv^2 に等しいと言えるか。
> ④ 教科書やノートを参考に，物体の持つ運動エネルギーを理論的に導出せよ。
> ⑤ 理想的には③で描いたグラフはどのようになると考えられるか。③のグラフ用紙に赤線で描け。また，実験でそうならなかった原因を考察せよ。

課題は web ページに pdf 形式の文書ファイルで置くことにしている [1]。

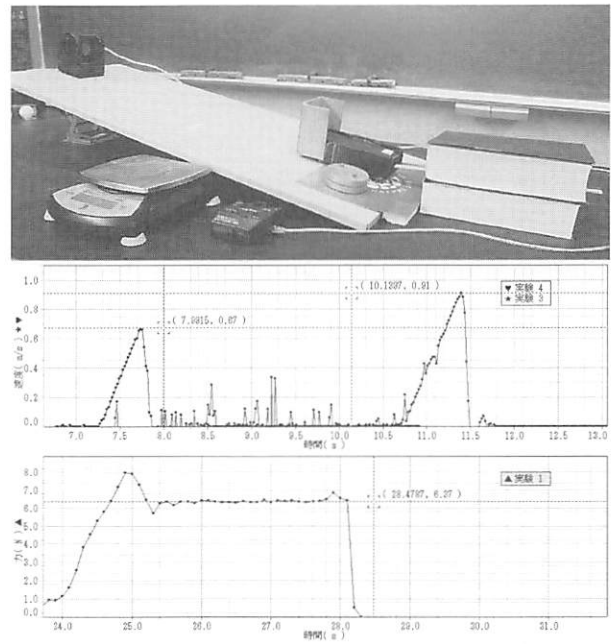


図 2　運動エネルギーの実験器具と実験結果の例
上段のグラフ：斜面を運動する台車の v-t グラフ
下段のグラフ：物差しを押したときの F-t グラフ

(4) 課題提出後の指導

提出された報告書の中から見本として適当なものを選んで拡大コピーし，授業教室に掲示している。これは大変好評で，書き方の参考にする生徒以外に，掲示されることを目標にする生徒や，考察内容について議論する生徒が見られるようになった。

(5) 授業改善の成果

①選択者の増加

「物理」選択率 2 学年では約 60%，3 学年では約 50%で，旧課程の「物理 I」（2 学年）約 55%，「物理 II」（3 学年）約 45%と比べて，各学年で数%ずつ増加した。

②課題に対する意識の変化

2012 年度に行った「物理の学習課題に対する意識調査」の結果から，「実験課題は思考力や考察力をつけるのに役立つ」，「演習課題は学習に興味がわく，意欲が出る」の両方に肯定的な生徒ほど成績が良いことがわかった。これは，実験を「興味」の対象ではなく，「学習」の対象と考えている生徒が物理の学力をつけていることを示しており，授業改善の一つの成果と考えている。

3．今後の課題

現在も「授業姿勢が受け身の生徒が少なくないこと」，「探究活動の経験が不十分であること」，「答えが一つに決まらない課題に対して消極的な傾向がみられること」など課題は多い。しかし，学校での授業時間が限られている以上，課題解決のためには，授業の質や方法を改善するだけでは限界がある。今後は，授業以外の時間の学習活動も含めて，相乗効果の出るように授業をデザインする必要があると考えている。発表では，試行的に実践を始めているいくつかの内容についても報告する。

参考 URL

1) 附属高校池田校舎物理科（2 年生用）　https://sites.google.com/site/physicsikeda/home

ポスターセッション

ポスターセッション

8月6日（土） 14:40～15:30 中央図書館ライブラリーギャラリー

ps01	大学初年次物理教育とアクティブラーニング	柿沼 藤雄	81
ps02	久留米工大における新しい基礎教育体制の構築	巨海 玄道	83
ps03	規格の異なる豆電球の直列接続回路に関する理解度調査	渡會 兼也	85
ps04	ピアインストラクション型授業における教育的効果の統計的分析	相葉 拓哉	87
ps05	超音波を用いたビデオ教材の開発-凹面鏡で反射した波動の振る舞い-	加納 康裕	89
ps06	超音波の全反射とエバネッセント波の可視化	池山 美波	91
ps07	DVD－R分光器の設計と利用	佐藤 誠	93
ps08	薄膜干渉分野における反射防止膜（ARコート）の教材利用	茂木 孝浩	95
ps09	市販ストップウォッチを活用した自作装置による屋外での音速測定	東 徹	97
ps10	スマートフォンの加速度センサーを用いた放物運動の実験	安達 照	99
ps11	手回し発電機のハンドル回転エネルギー測定器とエネルギー教育への応用	出口 幹雄	101
ps12	よく開く大型箔検電器	秋山 和義	102

大学初年次物理教育とアクティブ・ラーニング

新潟工科大学　柿沼藤雄，吉田宏二

E-mail：kakinuma@iee.niit.ac.jp

1．はじめに

進学率の向上とともに，低学力であり，学修意欲の乏しい学生や学修姿勢に問題がある学生が増えてきている。このような大学の現状を踏まえ，危機感を持った中央教育審議会は，平成 24 年 8 月に，“新たな未来を築くための大学教育の質的転換について”という答申[1]を行った。そこでは，学修時間の確保を重要な課題とし，主体的に考える力を持った人材育成には，能動的学修（アクティブ・ラーニング）への転換が必要であり，学生に授業ための事前準備・授業の受講・事後の展開を促す教育上の工夫や教育外学修プログラム等の提供が必要であることを指摘している。

偏差値の低い大学である本学も教育に問題を抱えており，このような学生の学修状況を踏まえて，初年次物理教育では，アクティブ・ラーニングの方法を取り入れた授業を行い，その実施結果の分析を行ったので，その結果について報告する。

2．入学時の学生の高校での理科の履修状況

入学時のアンケート調査により，平成 26 年度（以後 H26 と記す）では，物理Ⅰが 60%程度，物理Ⅱが 35%程度であった物理履修者の割合が，H27 では，物理基礎 83%，物理 63%と増加した。

	(H26)	(H27)		(H26)	(H27)
①	物理Ⅰ	物理基礎	⑤	物理Ⅱ	物理
②	化学Ⅰ	化学基礎	⑥	化学Ⅱ	化学
③	生物Ⅰ	生物基礎	⑦	生物Ⅱ	生物
④	地学Ⅰ	地学基礎	⑧	地学Ⅱ	地学

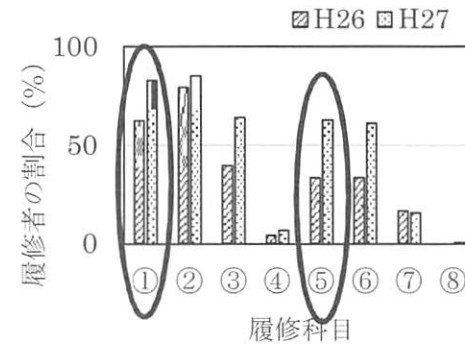


図１　本学学生の高校理科の履修状況

3．物理教育における授業改善の試み

アクティブ・ラーニングを取り入れた授業には，協同的グループ問題解決法、チュートリアル、相互作用型演示実験講義(ILDs)、反転授業、PBL 等がある。本学の物理教育では，ここ数年、グループで問題解決を行う方法を取り入れて授業を行ってきている。H27 の取組と結果について、H26 との比較、H27 での前期と後期での方法の違いによる授業結果への影響等についての検討結果について説明する。

3－1　授業の流れ

授業については，予習をさせること，グループで問題解決をおこなう場を作ること，授業の成果を確認できることを組み込んだ授業計画を立てた。基本的な構成は，次のようなものである。

０．予習（まとめと課題）１．Pre-test，２．学習内容のポイントの説明，３．Group work，

4．解答の班による発表，5．Post-test

3－2　基礎物理Ⅰと基礎物理Ⅱの試験の結果の比較

試験の結果をもとに，基礎物理Ⅰと基礎物理Ⅱの結果を分析した。基礎物理Ⅰと基礎物理Ⅱでは，やり方はほぼ同じであるが，グループワークのやり方に違いがあり，その差異の影響と思われる違いが成績の中に見られたのでそれについて以下に述べる。

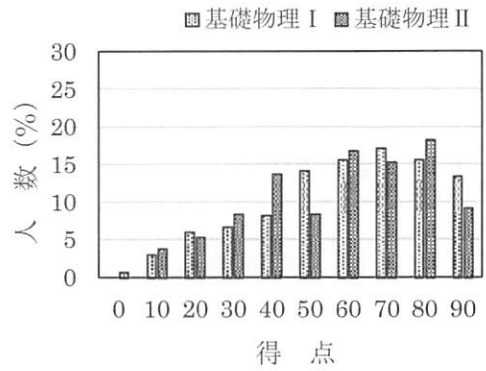


図2　試験の得点分布

平均点は，基礎物理Ⅰが64.8点，基礎物理Ⅱが62.1点であった。図2は，基礎物理Ⅰと基礎物理Ⅱの試験の10点刻みの得点分布を表わしたものである。基礎物理Ⅰでは70点台にピークを持つなめらかな変化がみられる。基礎物理Ⅱでは，50点付近にくぼみが見られ，2つの山から構成されるように見える。基礎物理Ⅰと基礎物理Ⅱでは平均点が異なるので，偏差値に直して比較した。

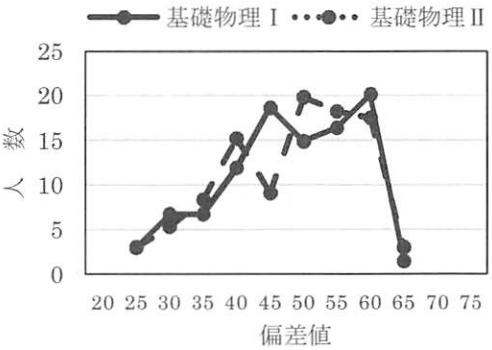


図3　偏差値での比較

図3に示されるように，基礎物理Ⅱでは基礎物理Ⅰに比べて，偏差値60と45付近に大きな減少がみられ，それに対応した増加が低偏差値側にみられる。このような違いは授業方法でグループワークがうまくいったかそうでないかを反映していると考えられる。グループワークによって，高学力の学生が低学力の学生に教える形になるが，その恩恵は教える側と教わる側の両方にあることを示唆している。基礎物理Ⅱでの，90点台の人数の減少は教える側のメリットがなくなったためであり，50点台の人数の大幅な減少は，教わる側のメリットの減少に起因すると考えられる。一方，30点台以下の得点の人数に変化は見られず，これに対応する学生にはグループワークの方法はあまり効果を持たないと考えられ，別の指導法を考える必要があると思われる。

4．まとめ

H25～H27の3年間に行ったグループワークを取り入れた双方向性授業の取組の授業構成と方法について述べ，授業の効果について検討した。H24まで行ってきた一方向性の講義形式の授業よりも，学習時間や理解度に改善が見られており，より工夫された双方向性の授業構成にすることで，より一層の授業改善が進むと考えられる。また，H27では，前期と後期のグループワークの違いに起因すると考えられる成績分布の差が見られ，学生のコミュニケーションの機会を取り入れられるグループワークの授業方法が，低学力といえどもある一定の水準にある学生に対しては有効な方法であるという結果が得られた。

参考文献

[1]　「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて」（平成24年8月28日　中央教育審議会答申）

久留米工大における新しい基礎教育体制の構築

久留米工大基幹教育センター[1], 久留米工大教育創造工学科[2], 巨海玄道[1], 野田常雄[2]、江藤徹二郎[2]、佐々木良勝[2]、中村文彦[2]
E-mail　geomi@kurume-it.ac.jp1

1．　はじめに

大学生（中学生や高校生も含めて）の基礎学力が落ちていることはこれまで多くの人が指摘しており、どの大学もその対策に乗り出している[1]。しかし共通するところはどの大学もこれといった妙案がないところである。特に地方の低偏差値の大学では「基礎学力の低下」という美辞麗句では言い表せないような深刻な「学問離れ」が起きている。それは学生の大学での学びに対する態度がこれまでと比べて極端に意欲が乏しく、そもそも学ぼうとする態度そのものがないと言う姿勢が多々見られると言うことである。そのような姿勢の評価のため以下のような２つの点に着目して簡単な調査を行った[2]。学生は昼休み、空き時間、放課後において多くの時間を集会所、食堂、ロビーなどで過ごす。ここでどんな態度を見せるかを以下の視点に立ち調査した。

１）空き時間に学習熱心な学生は上のような場所で必ず教科書、参考書やノートなどを拡げている。

２）その人数はそこにいる学生全体の何％か？（この割合をx(%)とした）

本学(KIT)及び比較のため、他の２つの大学（ＡとＣ）でも殆ど同時期に調査を行った。調査は大体１～２週間おきに、前期の試験開始直前まで行った。図１にその結果を示す。

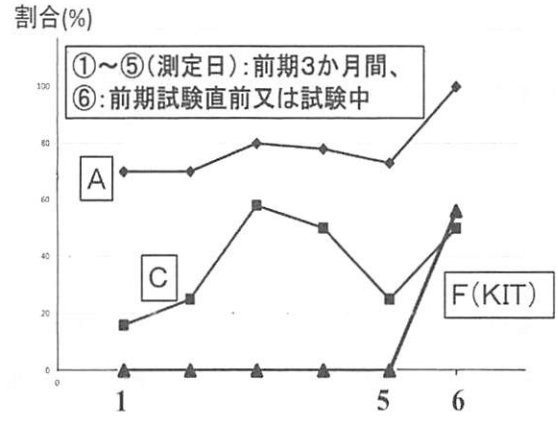


図１．学びに対する尺度の評価

他大学をＡ，Ｃとし、Ｆが本学である。入試の偏差値はＡ＞Ｃ＞Ｆの順である。縦軸がxを示している。３つの大学で顕著な差が見られた。図の右端は前期のテスト中かその直前である。本学の学生はテストの直前を除けば集会所やロビー等で教科書などを開いている学生は皆無であった。他方高い偏差値を持つＡ大学では常時７０％近い学生は何らかの勉強（予習あるいは復習

等）をしていることになる。xの値の意味するところは大変深刻なものがある。この値（具体的には逆数$1/x$と見てよい）をもってその学生の「学びへ向かう態度」として評価するなら、本学の学生は３つの大学中最低となる。即ち通常の時間に学ぶ姿勢がまったく見られないと言うことになる。しかし図１の結果は大学入学後に学習に対する低いモチベーションを持ったわけではなく、小学・中学・高校での低いモチベーションの延長であると考えた方がよい[３]。このような学生に基礎教育を施し、４年間でＡやＣ大学の学生と同じような付加価値を付けるにはどうすればよいだろうか。このことは広く本学における初年次教育は大学全体として取り組まなければならない問題であり、それぞれの科目の担当者の大きな工夫が必要であることを意味することになる。例えば１年生初期から微分方程式を使った力学の講義などは無理であることは容易に予想されることであろう。このようなことから本学では物理学及び数学の初年次教育において本学独自の新しい体制の構築を行った。

２．「基幹教育センター」の設置

本センターは平成２８年４月より設置されたものである。背景には上で述べたような本学の学生の状況とこれまでに数年かけてきた基礎学力調査があった[４]。本センターでは本学で物理学及び数学を教えている教員を中心として講義がよくわからない学生に対するケアを行うことを目的とした。ただ講義をしただけではこれまでの経験から「質問に来る学生」はいないので[２]小テストの結果や講義中の演習などで理解がよくできていない学生を特定し、空き時間を使って彼らを呼び出し指導する方式をとった。これは以前物理学に限って開設した「物理駆け込み寺」のやり方と同じである[2]。言ってみればこれまでの学習支援センターが質問に来ることを学生の自主性に任せていたがそれでは誰も来なかった。本センターの方式はそのような状況を改めるため、新しく一歩踏み込んだ方式を採用したことになる。物理学は講義担当教員が質問を受けるようにしたが数学は非常勤講師を入れまた専任の教員もそれを補助すると言った形で行っている。ただ本センターは始まったばかりで多くの改善する点を含んでいる。現在までの問題点と課題について報告したい。

参考文献

[１]戸瀬信之、西村和雄著、“大学生の学力を調査する”、岩波新書。
[２]巨海玄道、野田常雄、江藤徹二郎、中村文彦、久留米工大研究報告、No.38(2015)pp.33-41.
[３]巨海玄道、“大学全入時代の物理学基礎教育の新展開”科研費研究成果報告書（平成 28 年 3 月）。
[４]巨海玄道、久留米工大研究報告、No35(2012)pp.37-44.

規格の異なる豆電球の直列接続回路に関する理解度調査

金沢大学附属高等学校[1], 京都教育大学[2], 渡會兼也[1], 沖花彰[2]
E-mail　watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp[1],okihana@kyokyo-u.ac.jp[2]

1．はじめに

電気回路における基本概念は，初等・中等教育において長期間学んでいるにも関わらず，理解が定着していないことが多数報告されている。例えば，電流が豆電球で消費される，という素朴概念は非常に強固で，平島＆市川（2013）で指摘されたように，大学生でも直列接続された豆電球の前後の電流が変化する，というような素朴概念を持ち続ける学生も少なくない[1]。

筆者らは2015年7月に勤務校で規格の異なる豆電球の直列接続回路に関する理解度を調査した。結果，多くの生徒は直列ならば電流が一定であることは理解しつつも，豆電球の明暗に対する判定については，矛盾した説明をする生徒が多く，電流・電圧・抵抗の関連がついていないことがわかった。

2．調査内容

2015年7月中旬に，規格の違う豆電球を2個直列に接続し，片方のみ点灯する場合について調査した。対象は2年生文系1クラス，理系2クラス（2年生全員），3年生理系2クラスの合計194人である。解答時間は10～15分程度で，記述部分がある程度が埋まるまで時間を取った。この段階で3年生は物理基礎の電気分野を履修済み，2年生は未履修である。

図のように，規格の異なる2つの豆電球A，Bと1.5Vの乾電池（内部抵抗は無視する）を直列に接続したところ，Aは点灯し，Bは点灯しなかった。次のうち正しいと考えられるものに○をし，正しくないものに×をし，さらにその理由を述べよ。

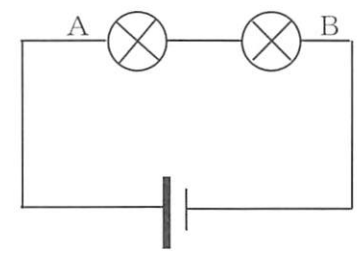


図1

①豆電球Bのソケットがゆるんでいた。
②豆電球Bのフィラメントが切れていた。
③豆電球Bを流れる電流が，豆電球Aを流れる電流より多かった。
④豆電球Bを流れる電流が，豆電球Aを流れる電流より少なかった。
⑤豆電球Bに電流が流れていなかった。
⑥豆電球Bの抵抗が，豆電球Aの抵抗より大きかった。
⑦豆電球Bの抵抗が，豆電球Aの抵抗より小さかった。
⑧豆電球Bにかかる電圧が，豆電球Aにかかる電圧より大きかった。
⑨豆電球Bにかかる電圧が，豆電球Aにかかる電圧より小さかった。

3．結果

表1は本校生徒の正答率をまとめたものである。全問正解した生徒は194人中8人（8%）しかいない。中でも①と②の正答率が50%を切っている。①の不正解者の理由を見ると，1位は「ソケットがゆるむと電流が流れない」68%(49/72)，2位は「ソケットがゆるんでも回路は成立」

15%(11/72)であった。不正解者の多くは，ソケットが緩みBには電流が流れないと言いながら，Aには電流が流れる，という矛盾した答えを導いている。②についても不正解者の理由を見ると，1位「フィラメントが切れると電流が流れない」49%(42/86)，2位「フィラメントが切れても回路は成立」23%(20/86)となっている。不正解者の多くは，フィラメントの役割を知らないわけではないが，そのこととAに電流が流れることが結びついていない。

③④を見ると，不正解を選んだ生徒は文献[1]ほどではないが何名かいる。④で電流がA＞Bを選んだ生徒（32人）には，『電流消費』を思い浮かべる生徒が少なからず存在することを示している。⑤は④の結果とほぼ対応関係がついており，④の理由として⑤と考えている生徒が多かった。⑥と⑦，⑧と⑨は相反する問いであるはずなのに，正答率に2倍弱の差があるが原因はよくわかっていない。

表1：全問の正答率

問題（a）	正解(人)	不正解(人)	解答なし(人)	合計(人)	正答率	正答
①Bのソケット	91	102	1	194	47%	×
②Bのフィラメント	72	122	0	194	37%	×
③電流がB＞A	181	11	2	194	93%	×
④電流がA＞B	160	32	2	194	82%	×
⑤Bの電流が0	157	36	1	194	81%	×
⑥抵抗がB＞A	82	109	3	194	42%	×
⑦抵抗がA＞B	44	147	3	194	23%	○
⑧電圧がB＞A	144	44	6	194	74%	×
⑨電圧がA＞B	96	90	8	194	49%	○

また，点灯しない豆電球のほうが抵抗が大きい（⑥○7×）と考える生徒は54%もいた（残り5%は記述なし）。自由記述を見ると，以下のような思考をしているように思われる。まず，抵抗Bのみでオームの法則を考えると，電流が一定で抵抗が大きいと電圧が大きい。ここで再び，抵抗の性質を考えると，抵抗が大きいものは電流が流れにくい。よって，電球Bには電流が流れないので光らない，というものである。これはおそらく，生徒のオームの法則や消費電力についての知識が断片的であり，回路の全体問題としてもつながっていないことがわかる。

4．まとめ

これら素朴概念を改善する実験授業を2016年2月に実施した結果，①②の問いは実験（経験）によってほとんど改善されたが，⑥～⑨の問いについてはなかなか改善されないこともわかってきた。本ポスターでは調査結果と実験授業の結果についても紹介したいと考えている。

参考文献

1）平島・市川「中学生および大学生の電流と電圧理解に関する調査結果」大学の物理教育　19（2013）pp. 19-23

ピアインストラクション型授業における教育的効果の統計的分析

相葉拓哉, 新田英雄
東京学芸大学
nitta@u-gakugei.ac.jp

1. 目的

本研究では、高等学校物理基礎の力学分野で行われてきたピアインストラクション(以下、PI)型授業の約9年間分のデータを収集し、統計的に処理することで、PI型授業の教育的な効果の検証を目的としている。

2. ピアインストラクション(Peer Instruction)

ピアインストラクションとはHarvard大学のMazurが開発したアクティブラーニングの一種である。簡潔に説明すれば、概念を問うような問題を生徒に出題し、答えについて生徒同士で互いに議論させるというものだ。実際の流れを下記に記す。

1 生徒に概念を問うような問題を出題する
2 生徒がその問題に対して回答する
3 周囲の生徒同士で議論を行い、自分の意見を発言する
4 再び生徒が問題に対して回答する
5 問題の答えを提示し、解説を行う

左にあるよう流れで、1組あたり4人程度の生徒が数分の間議論を行う。

実際に、ピアインストラクションで使われる例題の問題とその問題での結果を図1, 表1に記す。

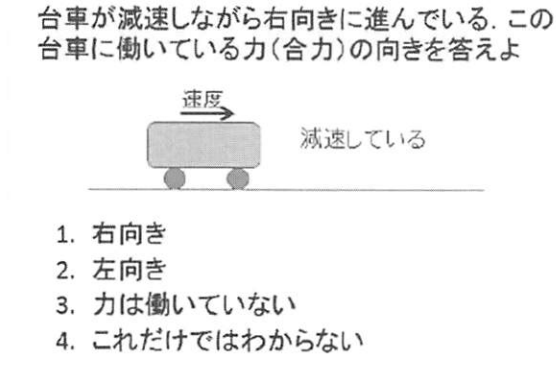


図1 ピアインストラクションで用いる概念問題

表1 図1の問題の各年度での結果

実施年度	実施人数	Pre(%)	Post(%)	効率
2008	86	71	78	0.24
2009	123	74	94	0.75
2010	130	72	91	0.68
2011	82	68	87	0.58
2012	80	74	89	0.57
2013	128	66	91	0.75
2014	126	56	65	0.20
2015	83	60	83	0.58
2015	41	73	90	0.63
2016	83	60	90	0.76

表1に効率とあるが、これはPI効率のことを指す。ここで用いられる計算式を下記に記す。

$$\text{PI効率} = \frac{(\text{議論後正答率}\%) - (\text{議論後正答率}\%)}{100 - (\text{議論前正答率}\%)}$$

今回、PI効率を算出するために上のような式を用いた。このPI効率では、それぞれの概念問題に対する理解のしやすさを表している。例えば、議論前正答率が73%で、議論後正答率が90%であった場合のPI効率は、上記の式よりPI効率=(90-73)/(100-73)≒0.63というように算出される。

3．本研究の条件

本研究室では2008年度よりPI型授業を東京学芸大学附属高等学校で実践した。実施した際の授業者は本研究室に当時所属していた大学院生で、40人程度を1クラスとし、各授業者は2,3クラスを受け持ちながら、高等学校の2年生の物理基礎の力学分野でPI型授業を実践した。また、PI型の授業を行うということは共通しているが、各年度によって詳細な授業方法や扱う概念問題は異なっている場合もある。

4．結果

実際に解析を進める上で、プロットする1点は各年度かつ各授業者ごととする。同一年度でも授業者が2人いる(A氏は1,2組を、B氏が3組を担当している)場合は別の点としてプロットした。議論前と議論後の関係を図2に、議論前とPI効率の関係を図3に記した。

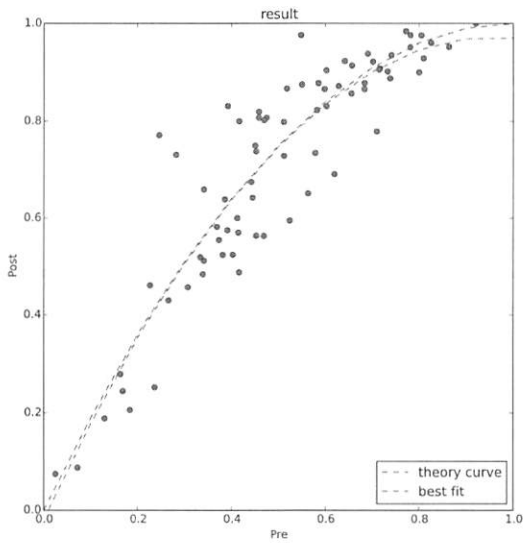


図2 議論前と議論後の関係

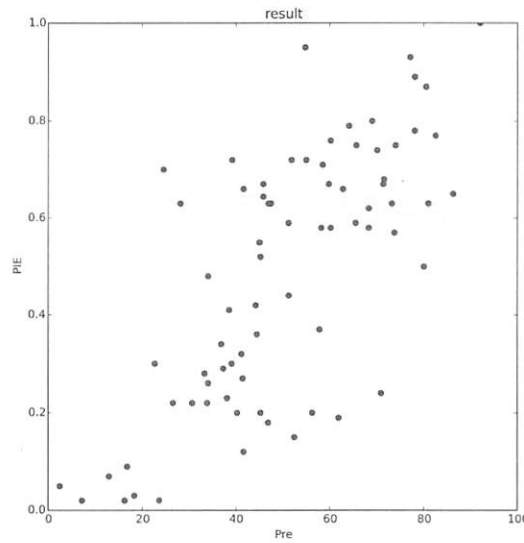


図3 議論前とPI効率の関係

5．考察・今後の展開

今回の結果から理論曲線とデータに対してフィッティングした曲線を比較すると概ね一致した。このことからPI型授業に関して、先行論文(nitta, 2010)での理論曲線の定義の正しさがうかがえる。また、今回収集したデータは教師歴としては経験が浅い大学院生が授業した際のものであり、PI型授業が授業者の持っている様々な技術に依らずにPI型授業というパッケージ授業にある一定の教育的な効果があることが示唆された。今後の展望として、実施されたPI型授業をグラフ問題や作用・反作用の法則などの細かい分野ごとの詳細な解析を行うことや波動や電気分野などでもPI型授業は行われているため、力学分野に関わらず解析を行っていきたい。

6．参考文献

H. nitta, (2010)" Mathematical theory of peer-instruction dynamics", Phys. Rev. ST Phys. Educ. 6, 020105

西村塁太(2014)「ピア・インストラクション型物理授業の改善に関する実践研究」, 東京学芸大学修士論文

超音波を用いたビデオ教材の開発
－凹面鏡で反射した波動の振る舞い－

加納 康裕[a]，中島 萌[a]，筒井 和幸[b]，本管 正嗣[b]，幾見 優子[c]，山本 健[a]
関西大学システム理工学部物理・応用物理学科[a]，
大阪教育大学付属高等学校池田校舎[b]，関西大学北陽高等学校[c]
k380971@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

理科の学習において，言葉による現象の説明だけでなく視覚的な情報があることは生徒の理解をより容易なものとするだろう．高等学校において，波動の性質を説明するための視覚的な情報として水波投影装置を用いていることが多い．現在に至るまで水波投影装置は，様々な改良が施されてきた．だが，液体表面波を撮影対象とし，水中を透過した光を利用しているために，様々な実験的制約が生じてしまう．一方で，視覚的な情報としてコンピュータシミュレーションを用いることもある．確かに，シミュレーションは理解を補助するものとして非常に効果的ではある．しかしながら，現実に生じた物理現象を伝えることで，学生の科学への探究心の向上に期待したい．そこで我々は，水中の超音波を光学的に可視化することにより，波動分野の視覚的な学習用教材として利用している[1]．今回，凹面鏡で反射した波動の振る舞いを視覚的に理解することができる教材を開発したので報告する．

2. 超音波の光学的可視化

超音波の周波数に適した音響光学効果を用いることで，超音波の可視化が可能となる．超音波の周波数やビーム径，光の波長によって様々な方法が提案されている．比較的低周波である 1 MHz 程度の超音波の可視化には Fresnel 法を用いることが多い[2]．この方法の特徴は伝搬する超音波の波面を観察できることにある．数 MHz 以上の超音波の可視化には Schliren 法が多く用いられる[3]．この方法を用いる場合には，Fresnel 法のように波面を観察することは困難になるが，超音波の伝搬を音線として理解することができる．また，光源に短時間発光可能な Xe フラッシュランプを用い，発光周期と超音波励振周期の同期をとることにより，任意の時間の静止画やスローモーションでの撮影が可能となる．

本報告では，凹面鏡で反射した波動の振る舞いを視覚的に理解する教材を作成するため，超音波の伝搬を音線として認識することができる Schliren 法を用いた[4-6]．

3. 凹面鏡で反射した波動の振る舞い

主軸に平行な光は凹面鏡で反射した後，Fig. 1(a)のように焦点に集まる[7]．一方，焦点を光源とする光は凹面鏡で反射した後，Fig. 1(b)のように主軸に平行な光線となる．しかし，実際には焦点は鏡面が円弧ではなく，放物線のときに存在するものである．このことについて，円と放物線の近似を考える．Fig. 2 において実線であらわされる半径 R の円（①）の方程式は

$$(y-R)^2+x^2=R^2 \tag{1}$$

である．そして，点線で表される焦点 f の放物線（②）の方程式は

$$x^2=4fy \tag{2}$$

と表される．(1)を y について解くと，x 軸に接する下半円の方程式は

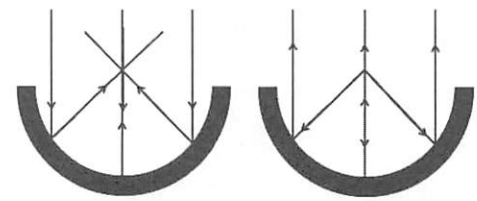
$$y=R-\left(R^2-x^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

となり，さらに，括弧内をテーラー展開すると

$$y=\frac{1}{2}\frac{x^2}{R}+\frac{1}{8}\frac{x^4}{R^3}+\frac{1}{16}\frac{x^6}{R^5}+\cdots \tag{3}$$

となる．同様に放物線の方程式は

$$y=\frac{1}{4}\frac{x^2}{f} \tag{4}$$



(a) Focusing　(b) To parallel rays

Fig. 1 The behavior of the reflected light in a concave mirror.

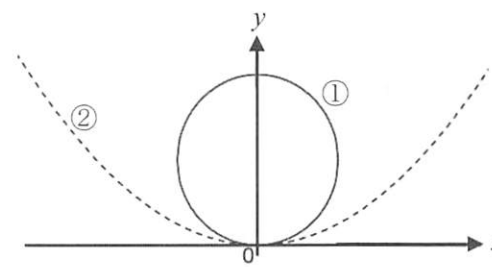


Fig. 2 Circle and parabola.

と得られる．(3)式と(4)式の両者を比較すると，$2R=4f$ の場合に(3)式の第 1 項は放物線と考える事ができる．また，x に比べて R が十分に大きい場合には第 2 項目以降は無視することができる．つまり，中心軸付近では円は放物線とみなすことができる．以上より，中心軸付近において，円は焦点を持つとみなすことができるので，主軸に平行な光は凹面鏡で反射した後に集束し，焦点を光源とする光は凹面鏡で反射後，主軸に平行な光線となる．

4. 実験方法および可視化結果

Fig. 3 に Schliren 法によって可視化した周波数 10 MHz の超音波を示す．半径 13 mm の円板型超音波振動子を画面上部に設置し，画面下部に凹面鏡の役割を果たす反射面を設置した．(a)は超音波振動子から励振された平面超音波が，画面下部の反射面に向かって伝搬しているところである．波面を観察することができないが，伝搬する超音波を音線として観察できることがわかる．反射面に達した平面超音波は反射する．この様子を捉えたものが(b)である．反射した超音波は次第に集束して行く．(c)において反射した平面超音波が一点で集束している様子を確認できる．これらの連続した静止画から，凹面鏡を模した反射面で反射した超音波が一点に集束することが視覚的に理解できる．現実には，約 1500 m/s の位相速度で水中を伝搬する超音波であるが，ビデオ教材では，数秒のスローモーション動画として観察することができる．

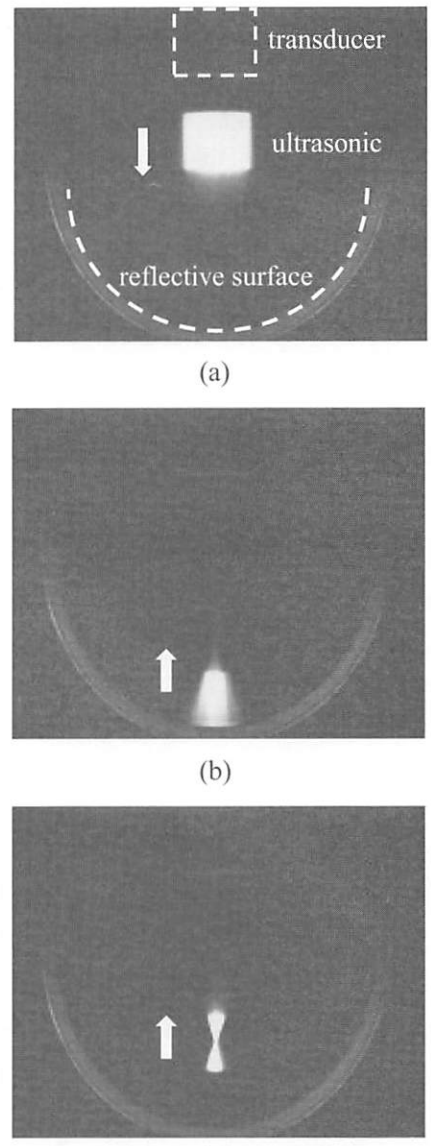


Fig. 3 Visualization of the behavior of the reflected wave.

5. まとめ

Schliren 法を用いて超音波を可視化することで，凹面鏡で反射した波動の振る舞いのビデオ教材を作成した．本ビデオ教材は，教職を目指す学生が教育現場で実際に使用することを目的として作成した．また，作成したビデオ教材は youtube において視聴できるようにする予定である．

6. 参考文献

[1] 山本健，井上知美，音村明良，筒井和幸，本管正嗣，淺川誠，伊藤博介，鈴木直，藤井和成，「超音波を用いた波の干渉を理解するためのビデオ教材開発」日本物理教育学会近畿支部年報，18，12-15，2012.

[2] K. Yamamoto, “Optical visualization of ultrasonic waves propagating in a fluid waveguide,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 26, 378-380, 2005.

[3] K. Yamamoto, P. Pernod and V. Preobrazhensky, “Visualization of phase conjugate ultrasound waves passed through inhomogeneous layer,” *Ultrasonics*, 42, 1049-1052, 2004.

[4] 音村明良，井上知美，山本健，藤井和成，鈴木直，本管正嗣，筒井和幸，「超音波による二重及び多重スリット干渉実験の光学的可視化」2011 年度日本物理教育学会年会第 28 回物理教育研究大会発表予稿集，96-97.

[5] 江口悠介，筒井和幸，本管正嗣，幾見優子，淺川誠，鈴木直，山本健，「超音波を用いたビデオ教材の開発－ホイヘンスの原理による反射の説明－」2013 年度日本物理教育学会年会第 30 回物理教育研究大会発表予稿集，96-97.

[6] 柴田章平，池祥宣，北山美結，江口悠介，筒井和幸，本管正嗣，幾見優子，淺川誠，鈴木直，山本健，「超音波を用いたビデオ教材の開発－定常波・うなりの光学的可視化－」2014 年度日本物理教育学会年会第 31 回物理教育研究大会発表予稿集，125-126.

[7] 加納康裕，清水健人，江口悠介，筒井和幸，本管正嗣，淺川誠，鈴木直，山本健「超音波を用いたビデオ教材の開発－ホイヘンスの原理に基づいた波動の集束－」2015 年度日本物理教育学会年会第 32 回物理教育研究大会発表予稿集，135-136.

超音波の全反射とエバネッセント波の可視化

池山 美波, 清水 健人, 中田 望, 山本 健
関西大学システム理工学部物理・応用物理学科
E-mail:k873517@kansai-u.ac.jp

1．はじめに

超音波の可視化は，複雑な波動現象を理解するための有力な研究・教育手段の一つである[1]．高等学校において，波は屈折率の大きな媒質Ⅰから小さな媒質Ⅱに入射するとき，入射角が臨界角を超えると全反射が起こると学習する．しかし，実際には媒質Ⅱにしみだす波(エバネッセント波)が存在する．エバネッセント波は音波でも光波でも存在し，波動分野における一般的な現象であるが，視覚的にとらえることは困難である[2][3]．本研究では，水中(媒質Ⅰ)からガラス中(媒質Ⅱ)に超音波を入射し，全反射と共に発生したエバネッセント波の可視化を行った．教科書のレベルを超えた物理現象をビデオ教材として提示し，生徒の物理学に関する興味の向上に期待したい．また，大学の波動分野における教材としても活用し，高校生同様に，学生の波動分野に関する興味の向上や研究活動への動機となることを期待したい．

2．超音波の光学的可視化

超音波を可視化するためには，適切な音響光学効果を用いる必要がある．超音波の周波数やビーム径，光の波長によって，様々な手法が提案されている．比較的低周波である 1 MHz 程度の水中の超音波の可視化には，波面まで認識できる Fresnel 法を用いる[4-6]．Fresnel 法は超音波による位相格子によって超音波場の後方に生じる Fresnel 回折像を映像としてとらえる方法である．透明な固体媒質中を伝搬する超音波の可視化には，光弾性法を用いる[7]．透明な固体媒質に外力を加えると異方性を示し，物体内部では複屈折が生じる．これを光弾性効果という．光弾性法は光弾性効果を利用して応力分布を映像で観察できる方法である．光源には，短時間発光可能な Xe フラッシュランプを用い，発光及び超音波励起の同期を取ることにより，任意の時間の静止画やスローモーション動画の撮影が可能となる．本報告では，Fresnel 法及び光弾性法を用いて超音波の全反射及びエバネッセント波の可視化を行った．

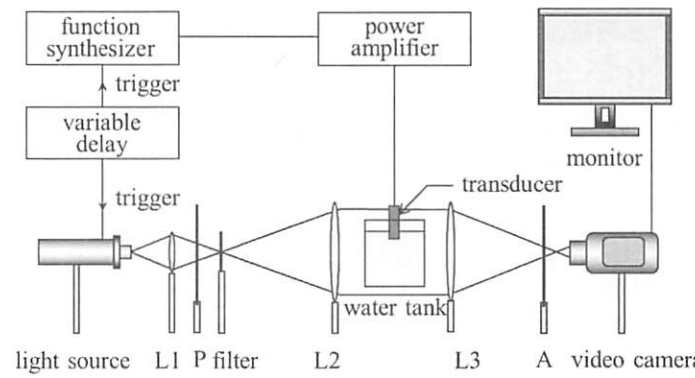


Fig.1 Experimental setup for the visualization system of the stroboscopic photoelastic technique.

3．エバネッセント波

Fig.2 に示すように，超音波を水($y \geq 0$)からガラス($y < 0$)に入射し，界面で全反射するとき，ガラスにしみだす波が存在する．それがエバネッセント波である．エバネッセント波の振幅は-y 方向に指数関数的な減衰を示す．また，エバネッセント波はエネルギーの移動がなく，群速度をもたない．位相速度及び波長は，入射角に依存するという特徴を有する．

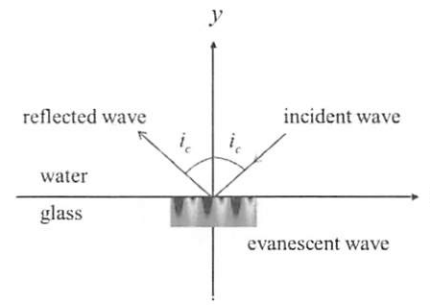


Fig.2 Evanescent wave

4．可視化結果

Fig.3 に水とガラスの界面に発生するエバネッセント波の伝搬の様子を示す．(a)では，図中右上に超音波振動子を設置し，周波数 1 MHz の超音波を入射角 51 deg で水とガラスの界面に入射させている．これは臨界角(24 deg)を十分に超える角度である．(b)では，全反射と共に，ガラス中にエバネッセント波が確認できる．また，水中で入射波と反射波が互いに干渉している．(c)では，反射波が反射の法則を満たし，水中を伝搬しているのが確認できる．エバネッセント波は入射波が水とガラスの界面で反射している間のみ発生している．

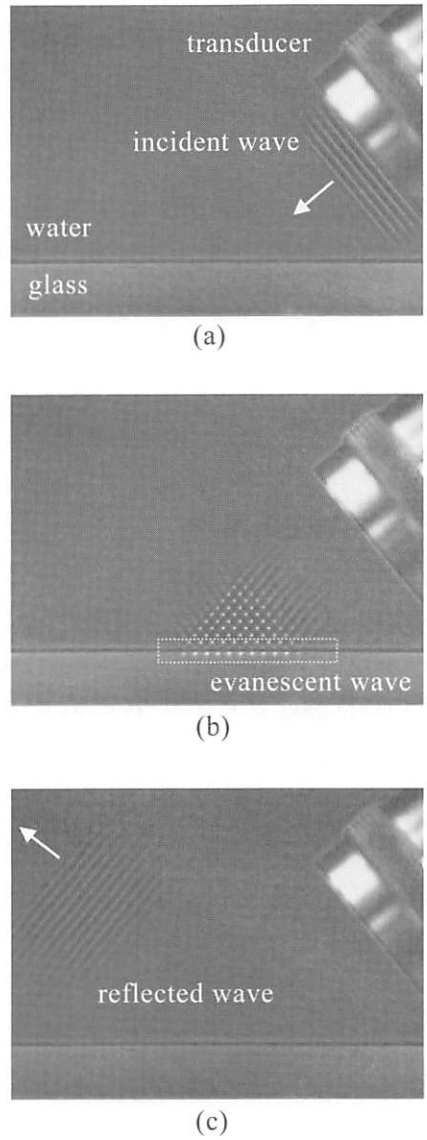


Fig.3 Acoustic evanescent wave
by Fresnel method and photoelastic method

5．まとめ

Fresnel 法及び光弾性法により，超音波の全反射及びエバネッセント波の伝搬の様子を可視化した．高等学校における，教科書のレベルを超えた物理現象をビデオ教材として提示し，生徒の物理学に関する興味の向上に期待したい．加えて，大学の波動分野における教材としての活用も期待でき，波動分野に関する興味の向上や研究への動機となれば幸いである．

参考文献

[1]山本健，井上知美，音村明良，筒井和幸，本管正嗣，淺川誠，伊藤博介，鈴木直，藤井和成，「超音波を用いた波の干渉を理解するためのビデオ教材開発」日本物理教育学会近畿支部年報，18，12-15，2012.

[2]K. Yamamoto, T. Sakiyama and H. Izumiya, “Visualization of Acoustic Evanescent Waves by the Stroboscopic Photoelastic Method” *,2015 Internatinnai Congress on Ultrasonics,2015 ICU Metz*

[3]清水健人，崎山琢斗，和泉谷日冴，加納康裕，山本健，「薄いガラス板における音響エバネッセント波の光学的可視化」電気情報通信学会技術研究報告，1-5

[4] K. Yamamoto, “Optical visualization of ultrasonic waves propagating in a fluid waveguide,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 26, 378-380, 2005.

[5] 江口悠介，筒井和幸，本管正嗣，幾見優子，淺川誠，鈴木直，山本健，「超音波を用いたビデオ教材の開発－ホイヘンスの原理による反射の説明－」2013 年度日本物理教育学会年会第 30 回物理教育研究大会予稿集，96-97

[6] 加納康祐，清水健人，江口悠介，筒井和幸，本管正嗣，淺川誠，鈴木直，山本健，「超音波を用いたビデオ教材な開発-ホイヘンスの原理に基づいた波動の集束」，2015 年度日本物理教育学会年会第 32 回物理教育研究大会予稿集，135-136

[7] K. Yamamoto, K. Nishimiya, N. Wakatsuki and K. Mizutani, “Optical visualization of coupling modes of leaky Lamb waves with negative group velocity in the solid/fluid/solid tri-layer,” *Acoust. Sci. & Tech.*, 31, 185-187, 2010.

DVD-R分光器の設計と利用

津山高専　佐藤誠
E-mail　satom@tsuyama-ct.ac.jp

1．はじめに

CD 片を回折格子に用いた分光器の報告は多いが，ほとんどは定性的なスペクトルの観察にとどまっている．この理由のひとつは，CD のトラックピッチは 1.6 μm と規定されているが，実際に計測すると製品ごとに 0.1 μm 程度のばらつきがあり，格子間隔を別途計測しないと波長の読み取りが正確にできないことにある．一方，CD-R のトラックピッチのばらつきは nm 程度と小さく，身近に入手できる格子間隔が明確な回折格子として利用しやすい[1]．以前，CD-R を用いた分光器教材を報告したが，今回，DVD-R を回折格子に用いた分光器を設計し，良好な特性を得たので報告する．

2．DVD-R回折格子

DVD-R は CD-R と同じく書き込みを行う要請から，そのトラックピッチは精度が高く製品ごとのばらつきが少ないと期待される．また，DVD-R は2層構造なので2枚に剥離させると 0.5 mm 厚の透明な透過型回折格子を入手できる．基材が薄いので CD-R より扱いやすく，トラックピッチが狭いので分光器にした際波長分解能も高い．図１に示すセットアップで DVD-R のトラックピッチを測定したところ，d = 739 nm であった．この値をもとに分光器の設計を行った．

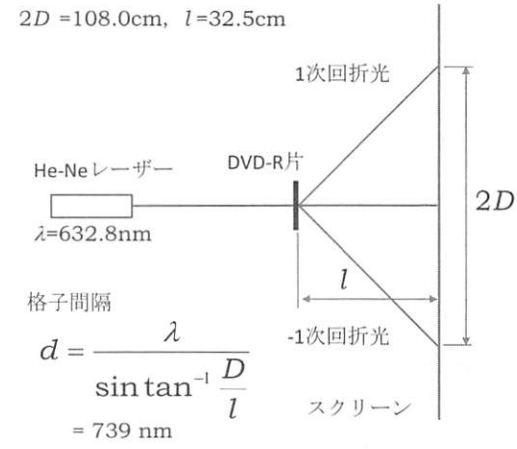


図１　トラックピッチ測定

3．分光器設計

回折格子を用いた分光器はその性質上，0次光を中心に回折光を観察すると，長波長側で波長の目盛りが密に，短波長側で疎になる．波長目盛りの線形性を確保するには，1次回折光を回折格子の正面に見るように斜めに入射光を配することが有効である．波長 550 nm を正面に見る設計とした．入射光の方向は 48.0 度になる．

観察する目の位置を変化させるとスペクトルの観察される方向が変化する．この効果のため回折光には見かけ上の焦点があり，これは波長毎に異なる．波長目盛りをこの焦点に一致させることで目の位置がずれても正しく波長を読み取ることが可能となる（図２）．また，スペクトルを記録する際，スペクトルと目盛りの両方に焦点の合った撮影ができる．CD-R の場合は格子ピッチが広いためスペ

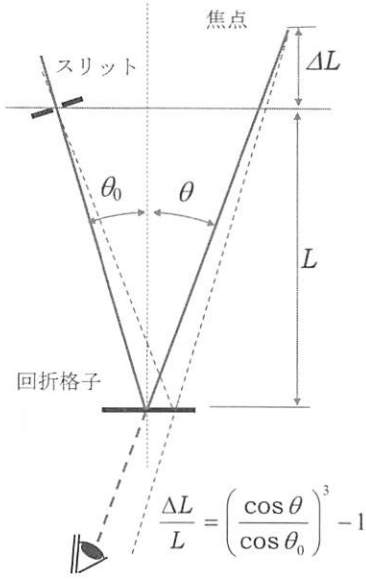


図２　焦点設計

表１　波長と回折角度および焦点深さ

λ /nm	400	450	500	550	600	650	700
θ /deg	-11.6	-7.76	-3.87	0	3.88	7.77	11.7
$\Delta L/L$	2.14	2.24	2.31	2.34	2.31	2.25	2.13

クトルの広がりが狭く，波長目盛りは分光器の箱の対向面に設けることができた．DVD-R では，表１に示すように波長ごとの焦点深さが異なるとともに角度広がりが大きいので波長目盛りを曲面上に設ける必要がある．

図３に組み立て中のペーパークラフト分光器を示す．箱の内部にピンホールによる波長目盛りを設け，外部からの採光で確認する構造である．DVD-R 片は 10 mm × 15 mm の大きさで，短辺方向にトラック方向を一致させ，格子面を内向きにして接眼穴の内側に張り付けた．

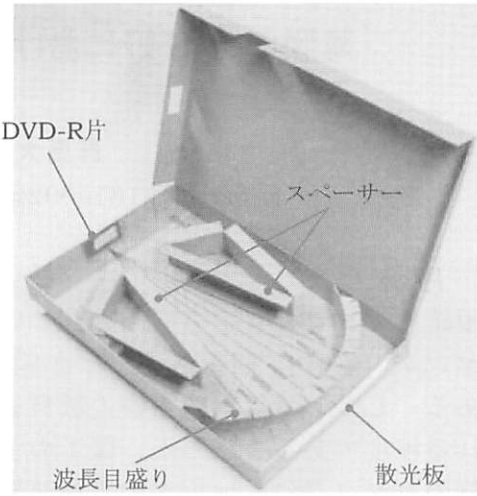


図３ 組み立て中の分光器（内部構造）

４．直視化

この DVD-R 分光器は入射光の方向が正面から 48.0 度ずれているため，慣れないと観察光を捉えることが困難である．これを改善するため，入射光窓に反射板を取り付け正面からの光を接眼穴方向に導くためのアダプターを作製した．反射板は，厚紙に剥離した DVD-R の金属層を貼り付けたものである．分光観察の目的には十分である．図３はアダプターを取り付けた DVD-R 分光器の外観である．

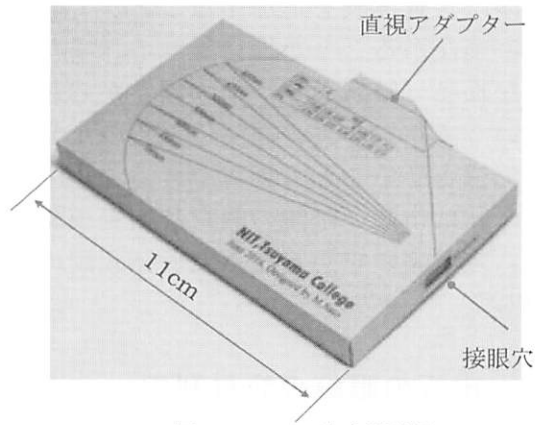


図４ **DVD-R**分光器外観

５．スペクトル観察

DVD-R 分光器で観察した蛍光灯のスペクトルを図５に，空（曇天）のスペクトルを図６に示す．白い点は目盛りのピンホールである．スペクトルと目盛りのピンホール共にピントの合った撮影ができていることが分かる．このため，目線を動かしても波長を正しく読み取ることができ，さらに，老眼のため接眼穴から目を離して観察する場合でも，一度にはスペクトルの一部しか見えないが，問題無く波長の読み取りができる．

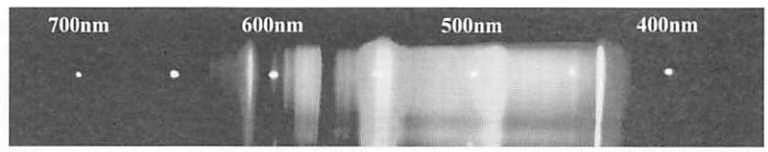


図５ 蛍光灯のスペクトル観察

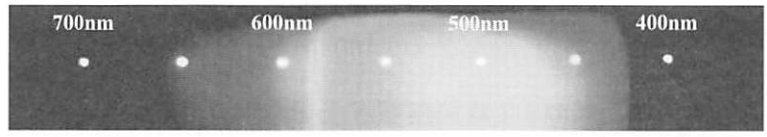


図６ 空（曇天）のスペクトル観察

６．まとめ

DVD-R を透過型回折格子に用いた分光器を設計し，スペクトル観察を行った．波長を 5 nm の精度で読み取ることができ，波長の同定が必要な実験に手軽に利用できる．

参考文献　1）M. Sato , " Design of Toy Spectroscope with a CD-R Piece as Grating " Bull. Tsuyama National College of Technology, vol.32, pp.249-254, 2009

薄膜干渉分野における反射防止膜（ARコート）の教材利用

群馬大学　茂木孝浩[1]，青木悠樹[2]
E-mail　e161e002@gunma-u.ac.jp[1],y-aoki@gunma-u.ac.jp[2]

1　序論

眼鏡やカメラのレンズに施されている反射防止膜（ＡＲコート）は、光の干渉分野を学ぶ際、「ヤングの実験」「回折格子」と並ぶ重要な学習項目「薄膜干渉」を巧みに応用した技術の一つである。しかし、反射防止膜の教科書における扱いは軽く、記載が全くないかコラム的に紹介される程度である。むしろ、図１のような演習問題に取り上げられることが多い。各社の理科教材のカタログにもヤングの実験装置や回折格子が多く掲載される一方、薄膜干渉は掲載がなく、シャボン玉の膜の観察を行う定性実験が主流となっている。

反射防止膜の教材利用が実現すれば、従来はシャボン膜による定性的な実験のみだった薄膜干渉に定量実験を追加することができ、理解の深化につながることが期待される。また、生徒の身近な物品（眼鏡など）に物理学が応用されているという感銘を与え、同時に日本の工学技術の高さを実感させることも期待できる。

今回は市販の眼鏡の教材利用を模索するとともに、定量実験を想定した反射防止膜の試作品を検討した。

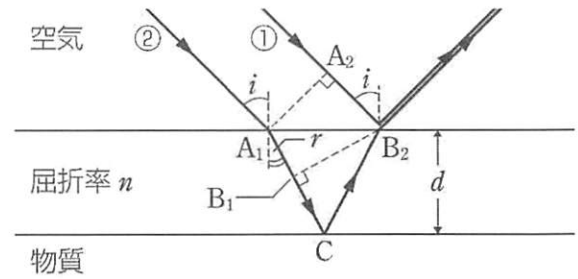


図１　最小膜厚を導く演習問題[1)]

2　市販の眼鏡の教材利用

昨今、特に眼鏡レンズにおけるコート技術の飛躍的向上により、国内の視力矯正用眼鏡のほぼ100％が反射防止を含む多彩なコート処理を施され、市販されている。この市販の眼鏡レンズの反射率を、反射防止膜のない眼鏡レンズの反射率と比較した。比較したのは以下の４種。

Ⅰ．DAISO 製 PC 用眼鏡　¥100
Ⅱ．市販の近視用眼鏡
Ⅲ．ファッション伊達眼鏡　¥400
Ⅳ．DAISO 製伊達眼鏡（UV400cut）　¥100

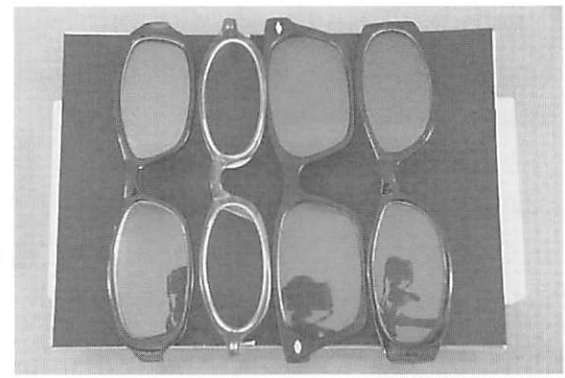


図２　間接白色光の反射率の比較
（左から眼鏡Ⅰ，眼鏡Ⅱ，眼鏡Ⅲ，眼鏡Ⅳ）

図２より、詳細な数値解析するまでもなく、反射防止膜を施した眼鏡Ⅱの反射率の低さが実感できる結果となった。RAW 画像から各眼鏡レンズと背景の黒画用紙の明るさを複数点測定し、黒画用紙の反射率を基準に評価した結果を図３に示す。眼鏡Ⅱの反射率は背景の黒画用紙の反射率とほぼ等しく、反射防止膜が十分機能していることが伺える。一方、眼鏡Ⅲと眼鏡Ⅳは明瞭な白色反射光が確認できた。眼鏡Ⅰは眼鏡Ⅲや眼鏡Ⅳと比べ、短波長の青側に強い反射光が確認できた。

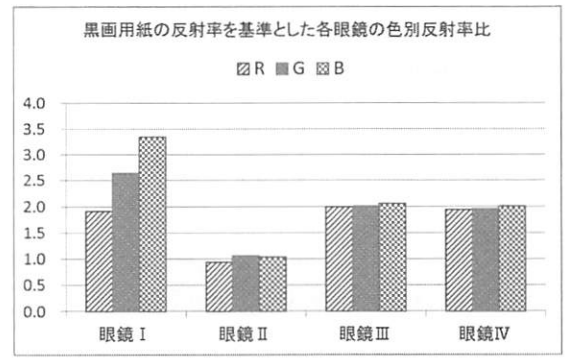


図３　各眼鏡の色別反射率比

3　反射防止膜教材の製作

市販の眼鏡は可視光領域全域の反射防止を目的に多層膜を採用している。同時に紫外線対策や傷付き防止など、他の用途の膜も混在している。反射防止膜の光学特性を定量的に理解する教材を目指し、株式会社ニデックに依頼し、５種類の試作品を製作した。価格等も勘案し、加工は最小限に留めた。５種類の内訳は以下の通り。これらの波長別反射率は図４に示す。

Ⅰ．アクリル基材
Ⅱ．基材Ⅰ＋片面５層ＡＲコート
Ⅲ．基材Ⅰ＋両面 WET-AR（既製品）
Ⅳ．ガラス基材
Ⅴ．基材Ⅳ＋片面単層ＡＲコート

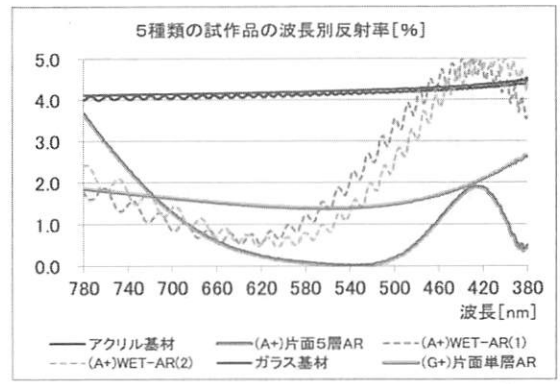


図４　５種類の試作品の波長別反射率[2)]

(1) Na 灯の反射光の観察と測光

直接照射と間接照射の間に明瞭な差（図５）が現れた。直接照射の場合、５種の反射光の輝度はほぼ同一となり、間接照射の場合、薄膜処理した３種のみ反射率の低下が確認できた。

(2) 弱 LED 照明の反射光の観察

輝度の低い緑色 LED の光を直接照射し、反射光を観察・撮影（図６）した。画像右上の光点が LED 光源、左下に表裏両面の反射光の像が見られる。緑色の反射率を抑えた試作品Ⅱは表面の反射像がかなり薄く、単層の試作品Ⅴも表面の反射率が低下したことが認識できた。

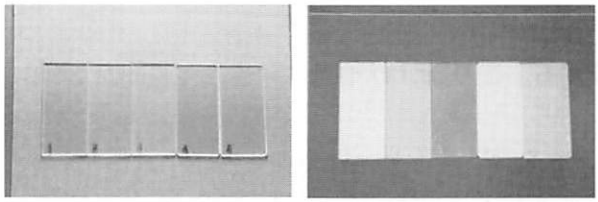


図５　Na 灯直接照明(左)と間接照明(右)の反射

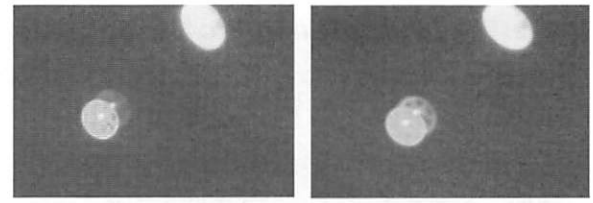


図６　LED 照明の反射（左:試作品Ⅱ，右:試作品Ⅴ）

4　反射防止膜教材の製作Ⅱ

上述の結果を踏まえ、反射防止膜教材の中核を『単層ＡＲ・両面塗布』と定めた。反射防止効果こそ『５層ＡＲ・両面塗布』に及ばないものの「目視識別に十分な反射防止効果」と「薄膜干渉学習と直結する単純な理論体現」を兼ね備えた教材となる可能性が高い。この『単層ＡＲ・両面塗布』の詳細な性能を検討することを目的とし、真空装置を用いた薄膜の蒸着実験を計画した。この実験は現在も継続中である。

蒸着源はフッ化リチウム、蒸発方法は抵抗加熱を採用。真空槽（図７）は蒸着時 10^{-4}～10^{-5} Pa 程度の高真空を実現する。水晶振動子を利用する方法[3)]により実験中の膜厚追跡を行い、３色 LED 光源の反射光を 2.0 秒間隔で撮影することにより光学的にも膜厚を追う。結果、光学膜厚 $nd \leqslant \lambda$ の範囲において膜厚の増加に伴う反射光の明るさの周期的な変化と、色による周期の違いを検出した。

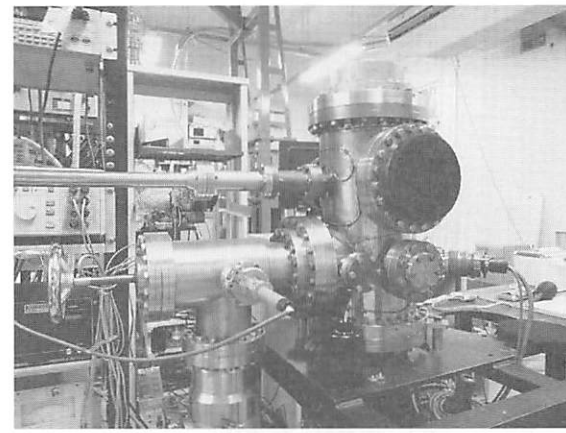


図７　真空槽と排気系

参考文献

1) 國友正和・他『物理』数研出版，2012，193 頁.
2) 販売元(株)ニデックの測定結果.　3) 吉田貞史『薄膜』培風館，1990，75-77 頁.

市販ストップウォッチを活用した自作装置による屋外での音速測定

弘前大学教育学部　　東　徹
E-Mail　razuma@hirosaki-u.ac.jp

1　はじめに

音が聞こえるたびに時間測定のスタートとストップを繰り返す時間測定装置を、市販のストップウォッチを利用して製作した。この装置のストップウォッチの読みから、耳で聞いた音の速さを簡単に求めることができる方法を紹介する。共振現象を利用した音速測定は言うに及ばず、超音波を使ったり、パソコンを使って時間計測するよりも、より直接的に生徒の五感に訴えることができ、中学校でも利用可能な実験である[1)]。

2　測定原理と方法

音源には拍子木を用いる。測定方法は次の通りである。

A、B の 2 人がこのストップウォッチを持って、L だけ離れた P 地点、Q 地点に分かれて立つ。その様子を図 1 に示す。図 2 には、測定時における時間経過とストップウォッチの指示値を示す。なお、距離 L の測定は、通常のメジャーを利用して行った。

① P 地点の A が拍子木を叩く。拍子木を叩いた瞬間から、A のストップウォッチは動き始める。図 2 ではこの瞬間を $t=0$ としている。

② P 地点で発せられた音は、t_1 秒後に Q 地点に到達する。この音が Q 地点に到達した瞬間から、B のストップウォッチは動き始める。

③ Q 地点の B のストップウォッチが動き始めてから t_0 秒後、B が拍子木を叩く。拍子木を叩いた瞬間、B のストップウォッチは止まる。このとき、B のストップウォッチの指示値は t_0 である。

④ Q 地点で拍子木が叩かれた瞬間から t_1 秒後にこの音は P 地点に到達し、A のストップウォッチが止まる。このとき A のストップウォッチは、$(2t_1+t_0)$ を示している。

実験終了時（$t=2t_1+t_0$）でのそれぞれのストップウォッチの指示値は次の通りである。

A のストップウォッチ：$2t_1+t_0$

B のストップウォッチ：t_0

音速 v は次のようになる。

$$\frac{2\times(\text{PQ 間の距離})}{(\text{A のストップウォッチの読み})-(\text{B のストップウォッチの読み})}=\frac{2L}{(2t_1+t_0)-(t_0)}=\frac{L}{t_1}=v$$

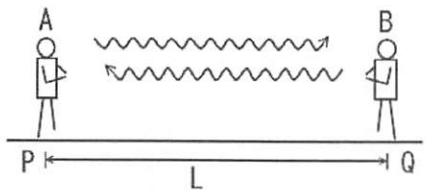


図 1　実験時の配置図

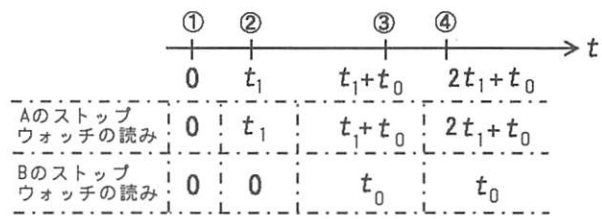


図 2　時間経過とストップウォッチの指示値

3　時間測定装置

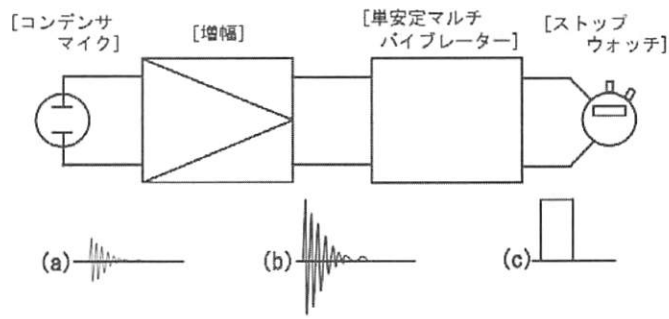


図3　スタートとストップを繰り返す装置の概念図

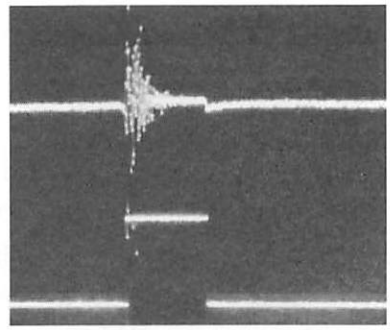


写真1　信号(a)と信号(c)の実際の波形

音が聞こえるたびに時間測定のスタートとストップを繰り返す装置の概念図を図 3 に示す。図 3 には、各ブロックの入出力信号のイメージを併せて示している。また、実際に測定した信号(a)と信号(c)を写真 1 に示す。

「START/STOP」ボタンを押すたびに、ストップウォッチでは、内部のカウンター回路の中の 2 つの接点が接触し、時間測定の開始と停止が繰り返されている。「START/STOP」ボタンを押し 2 つの接点を閉じたときと、この 2 つの接点にパルス信号を加えたときとは等価であるから、「START/STOP」ボタンを取り外し、この 2 つの接点にパルス信号を加えれば、外部からの電気信号によって時間測定の開始と停止を行わせることができる。

コンデンサマイクの出力信号(a)は増幅されて信号(b)となり、単安定マルチバイブレーターのトリガー信号となる。そして単安定マルチバイブレーターの出力信号を、「START/STOP」ボタンを取り外したストップウォッチの 2 つの接点間に加える。これによって、コンデンサマイクが音を感知するたびに、ストップウォッチのスタートとストップが繰り返されることになる。また、単安定マルチバイブレーターの出力信号のパルス幅を調整することにより、コンデンサマイクが音を感知しない時間を決めることができる。製作した装置では、その幅は 0.3 秒とした。ストップウォッチの内部の接点に接続した様子を写真 2 に、製作した装置全体を写真 3 に示している。

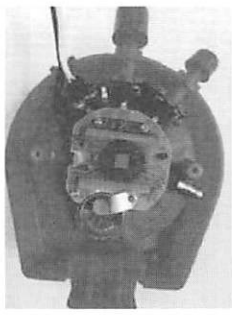


写真2　ストップウォッチの内部

写真3　製作した装置の全体

参考文献

1) 音速測定の様々な方法については、大久保政俊，音速の測定実験－「物理Ⅰ」における「音の伝わり方」での指導法について－，北海道立理科教育センター研究紀要 13 号(2001)10-13 にまとめられている。

スマートフォンの加速度センサーを用いた放物運動の実験

東京都立蔵前工業高等学校　　安達　照
E-mail　aadachi888-metro@yahoo.co.jp

1　はじめに

物理概念の形成への効果を高めることから、測定から結果がでるまでの時間のロスがないコンピュータ（PC）と物理センサーを用いた実験手法を用いて、物理教育研究がなされてきた[1)]。最近、PCと同等の機能を持ち、各種センサーを備えたスマートフォン（スマホ）のアプリケーション（アプリ）を用いた物理実験も報告されており[2)]、上記と同等の物理概念への効果を有すると考えられる。我々は、PCがなくてもスマホだけで、容易にデータ取得からデータ解析までできるようなアプリケーション（アプリ）"Diracma1"を開発し、歩行実験、自由落下、鉛直投げ上げ、運動法則、ばねの定常波等の実験への応用可能性を検討してきた[3-4)]。

我々が行ってきた実験は主に一次元運動であったが、本研究では、放物運動のような二次元運動への応用可能性を検討する。放物運動については、PCとセンサーによる測定は難しく、ストロボを用いた写真撮影による実験で行われていた。この場合、物体の位置は容易に確認できるが、加速度情報を得るにはグラフ化する時間のロスがある。そこで、我々は、放物運動の加速度や速度の時間変化を瞬時にグラフ化できるアプリ"DiracmaW"を開発した。アプリ"Diracma1"では、1軸方向の加速度のみを計測していたが、"DiracmaW"では、2軸（水平・鉛直方向）の加速度を計測・表示する機能や、より正確に投射できるような傾き表示機能等を追加している。アプリ"DiracmaW"を用いて、まず、水平投射実験への応用可能性を検討した。

2. アプリ"DiracmaW"の概要

図1は、本研究で開発したアプリのアイコンで、Google Playというネットのサイトで無料公開を予定している。下記のような仕様になっている。

・実験端末：Galaxy SII（OSはAndorid4.0）
・表示画面：加速度－時間（a-t）グラフ、速度－時間（v-t）グラフ表示
　　（AFreeChartライブラリー使用）
・加速度測定方向：Y軸とZ軸方向
　　（スマホの長手方向と面に垂直方向）
・サンプリング周波数：100 Hz
・加速度測定値：重力加速度を除いた値
・分析機能：時間幅、平均加速度の算出
・スマホの傾き表示：X、Y、Z軸周りの回転角（スマホと地面の平行確認用）

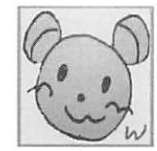


図1　DiracmaWのアイコン
（デザインはMarina氏）

3. 水平投射実験への応用

図2のように、傾き表示機能を見ながらスマホの表示面を地面と平行に調整し、手でスマホを投射した。水平距離は手を離した地点の地面の位置から、スマホが落下したところまでを水平距離としている。図5は高さ約0.50 mの高さから、水平に投げたとき水平距離にして約0.44 m飛んだときのa-tグラフ（Y軸・Z軸方向）である。

図3の上図に示されているY軸方向（水平方向）の加速度の変化を見ると、手で押し始めた時点（0.49 s付近）から増加しはじめ、正のピークとなり、一旦、加速度が0になり、その後、負のピークが見られる。初めのピークあたりの時間が手で水平に押しているときの加速度、水平に飛んでい

るときは加速度0の等速直線運動、地面に着いたときに負の加速度がかかっていることに対応していると考えられる。加速度0の期間より、スマホが水平に空中に飛んでいる時間は約0.31 s間と推定できる。

次に、図3の下図に示されているZ方向（鉛直上向きを正）の加速度の変化を見ると、急激に変化し、加速度は約- 9.8 m/s^{2}で一定になっている。これは、スマホが手から離れたときから、鉛直下向きに自由落下していることを示していると考えられる。加速度一定の期間から、鉛直下方向への落下時間は約0.31 s間と推定される。この時間から落下距離を見積もると、0.47 mとなり実際に落下させた距離（0.50 m）とほぼ一致している。

図3のa-tグラフを積分して、v-tグラフにしたものが図4である。図4の上図に示すように、スマホを手で水平の押し始めた時間（0.49 s付近）からY軸方向の速度が増加し、その後、スマホから手がはなれた時点から速度がほぼ一定（等速直線運動）となり、着地とともに急激に速度が減少している。Y軸方向（水平方向）の速度の変化から、等速直線運動となる速度である約1.4 m/sが水平の初速度であると考えられる。水平の飛行時間は約0.31 sであるので、水平距離は約0.43 mと見積もることができる。実際の水平距離（約0.44 m）とほぼ一致していた。次に、図4の下図に示すようにZ方向の速度については、落下中、等加速度運動（自由落下運動）して、鉛直下向きに速度が直線的に増加していることが確認できる。

4. まとめ

本アプリによって、スマホを水平に投射したとき、水平方向は等速度運動となり、鉛直方向は等加速度運動（自由落下）になっていることが容易に確認できた。また、水平・落下距離の定量的な分析も可能であることがわかった。当日は、斜方投射についても報告する予定である。

参考文献

1)エドワード・F・レディッシュ著：「科学をどう教えるか」（丸善出版、2012）.
2) P. Vogt and J. Kuhn: Phys. Teach., 50, (2012) 439-440.
3)安達　照、全国理科教育大会(2016).
4)安達　照、応用物理教育、40(2)(2016)掲載予定.

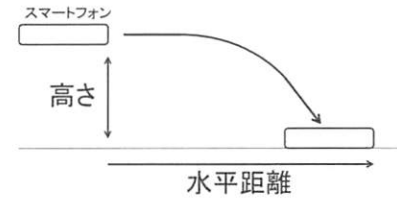


図2　水平投射の実験概要

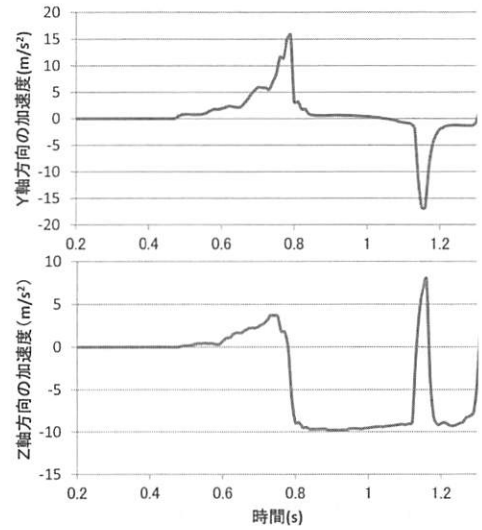


図3　水平投射のa-tグラフ

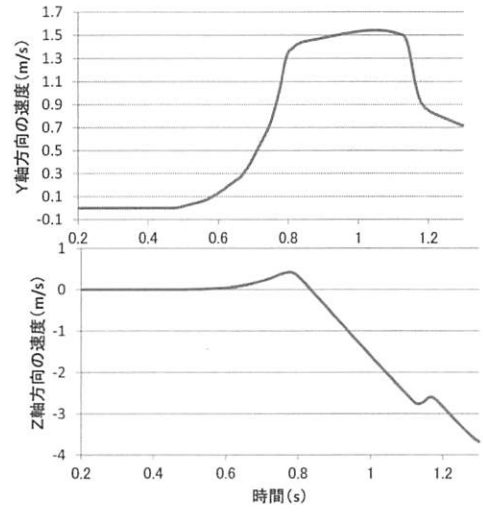


図4　水平投射のv-tグラフ

手回し発電機のハンドル回転エネルギー測定器と エネルギー教育への応用

新居浜高専　出口幹雄
E-mail　deguchi@ect.niihama-nct.ac.jp

1．はじめに

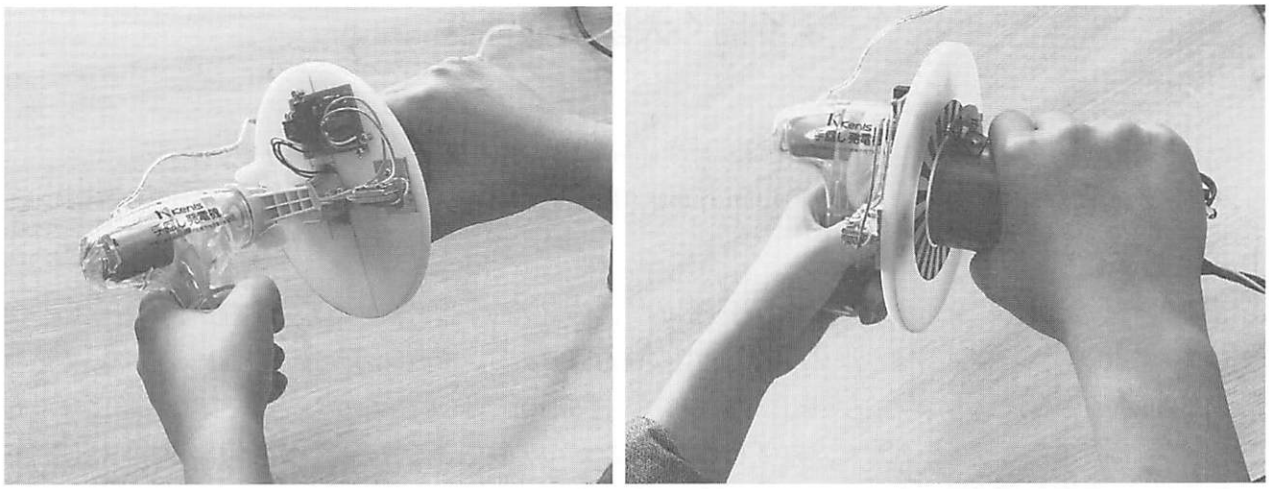
手回し発電機は、ハンドルを回す機械的エネルギーを電気エネルギーに変換する装置であって、ハンドルを回す操作で手軽に電気を起こすことができ、体感を通じてエネルギーについて学ぶことができる優れた教材である。学習指導要領においても小学校理科で電気のはたらきについて学ぶための教材としての使用が明記されており、教育現場に幅広く普及している。手回し発電機でどれだけの電気エネルギーを発生しているかは、ハンドルを回す手応えで感覚的にある程度は把握することはできる。しかしながら、科学的なものの見方・考え方について学ばせることを理科教育の命題とするならば、物理量の大小の評価をするのに人の感覚という主観的な尺度に頼っているのでは言行不一致と言わざるを得ない。特に、“エネルギー”に関する事柄については、その問題の性質上、定量的な観点で捉えて議論することが重要である。

手回し発電機で発電するエネルギーについては、電圧・電流・時間の３つを測定すれば求めることができるが、実際にこれらを精密に同時測定してエネルギーを計算する計測システムを組み上げることは意外と大変なものである。そこで、筆者はこれを測定器１つで簡単に実現できる装置を開発した※（市販されている）。一方、ハンドルを回す機械的なエネルギーについては、これまで計測する術が無かった。そこで、これを計測することができる装置を試作した。

2．ハンドル回転エネルギー測定器の概要

図１に試作したハンドル回転エネルギー測定器の外観を示す。(a)は手回し発電機のハンドルに本器を装着した様子を示しており、板バネがハンドルクランクの先端に、ストッパがハンドルの回転軸部分に引っ掛かることで、ハンドルを回す際に板バネの固定された白い円板部分がハンドルと一緒に回転する構造になっている。このため、板バネは常にクランクと同じ向きを保ち、板バネの両面に貼付された歪ゲージにより、クランクの先端にクランクと垂直方向に働く力を測定することができる。クランクの長さ（ハンドルの回転半径）は一定であるので、これからハンドルに加わるトルクを求めることができる。図１(b)は本器の手で握る部分の側から見た様子である。白い円板の裏面には白黒模様を付けており、握り部に固定された光センサで白い円板の回転角度を読み取る、いわゆるロータリエンコーダを構成している。このようにして測定したハンドルに加わるトルクとハンドルの回転角度から、ハンドルに手から加えられた機械的エネルギーを算出する。計測値は液晶表示器（図示せず）に表示されるとともに、USB インタフェースを通じてパソコンに接続すれば、パソコンにデータを読み込んでデータ処理することもできる。

白い円板部と握り部は、ハンドルを回す際に相対的に回転することになるが、歪ゲージの信号を増幅する回路は、ノイズ低減の観点から白い円板上の板バネのすぐ近傍に固定されており、この回路に繋がる電源供給線と信号線が捩れてしまうことを防止するため、握り部内部の回転軸



(a) ハンドルにはめ込む側から見た様子　　(b) 握り部側から見た様子

図1　手回し発電機のハンドル回転エネルギー測定器の外観

にスリップリングを設け、ブラシ接続で電源と信号を接続するようにした。したがって、本器をハンドルに装着して回す場合、実際に手がする仕事は、このスリップリング部の摩擦による損失分だけ余計に要することになるが、ハンドルに加わるエネルギーそのものの測定にはこの損失が影響を及ぼすことはない。

3．ハンドル回転エネルギー測定器を用いた各種実験

中学校理科の学習指導要領では、エネルギー変換についての学習では“変換の効率についても扱うこと”と記載されているが、これまでエネルギー変換を取り扱う教材は様々に工夫されてはいるものの、変換の前後でエネルギーを定量的に計測して変換効率を評価することを体験できる実験教材はあまりない。この点、手回し発電機の出力エネルギーを測定することは前述の装置※を用いれば容易に可能であるので、これと併せて本器を用いることにより、ハンドルを回す機械的エネルギーから電気エネルギーへの変換効率を求めることができる。実際に手回し発電機に適当な負荷を繋いでエネルギー変換効率を測定してみると、変換効率は決して一定ではなく、負荷や運転条件によって大きく変化するものであることが分かる。

本器は、手回し発電機のハンドルに装着して用いるように設計したが、同等の寸法形状のハンドルであれば何にでも適合はできる。例えば、ハンドルの回転軸に大きな羽車を付けて風を起こすようにすれば、回転エネルギーと風力の関係を調べることができる。この際、回転軸にギヤを付けて回転数を上げるようにしてもよい。

また、ハンドルの回転軸に適当な太さの丸棒を取り付けて、これを他方の手で握りながらハンドルを回すようにすれば、回転エネルギーと回転する軸を手で握って起きる摩擦熱の関係を体感しながら理解することができる。

以上のように、本器を用いることにより、エネルギー変換に関するこれまでに無かった様々な実験を実現することができる。

※ 出口幹雄、八田章光 ： エネルギー環境教育研究 Vol.4 No.2 (2010) pp.27-32

よく開く大型箔検電器

元兵庫県立神戸高等学校　秋山和義
E-mail quork@kba.att.ne.jp

1　はじめに

電気の物理では初めに静電気から入るのが一般的で，静電気の学習に箔検電器の実験が欠かせない。学校で普通に用いられる検電器はボルタ以来の定型の検電器である。それはガラスの容器に入っていて箔の長さは 4cm 程度で小さいため生徒実験には適しても，教師の説明を聞きながら全員で観察するには不向きである。そこで，もう少し大きく，教卓上で観察しながら実験できる教育用の箔検電器があれば便利である。すでに大型の検電器は市販されているが，これは普通の検電器を箔の長さを 15cm 程度に大きくしたものであり箔の開きも 90° までである。これはこれで有用であろうがさらに扱いが簡便で教室に持参でき，印象的な大きな動きをして，だれでも自作できるものがあればさらに便利だろう。

筆者は，すでに新型の箔検電器として普通の検電器の形を逆転させて金属板を下部に，箔部を上に備えたものを開発した[*1]。これは箔は台所用アルミホイルまたは紙（印刷機用マスター紙）を用いて自作でき，生徒が自作して実験できてよく開く（0〜180° ）ものである。この箔検電器は，ガラス容器は不要で観察しやすく丈夫でもあり，触ったくらいでは壊れない。その後，構造上よく開くこの検電器を原型として箔の長さを最大 30cm まで大型化する改良をおこない実用にも適するものができたので報告する。

2　検電器の概要

検電器の概観は図 1 で示す。この検電器の要点は箔の材料と検電器の構造にある。箔の材料は紙で，構造（形）は通常の検電器を上下逆転させた形で，下部の金属板からの反発力を利用して大きく開くようにしている。円盤上垂直部分の下半分が支柱で上半分が箔である。写真は垂直真下から真上まで開かせている様子である。箔には着色して導通を良くしたしなやかな紙を用いて，箔の長さは最大 30cm 程度まで大きくすることができてガラスの容器も不要である。開き角は 0° 〜180° と大きく，動く範囲は半径 15cm〜30cm の半円で真下から真上まで開かせることができる。箔は普通の湿度の日であれば充分良く開き，動きの上からも箔の長さは 20cm 程度が最適である。要は，観察・実験しやすいことである。電荷の正負の判定，静電誘導等の通常の検電器の実験はすべて可能である。

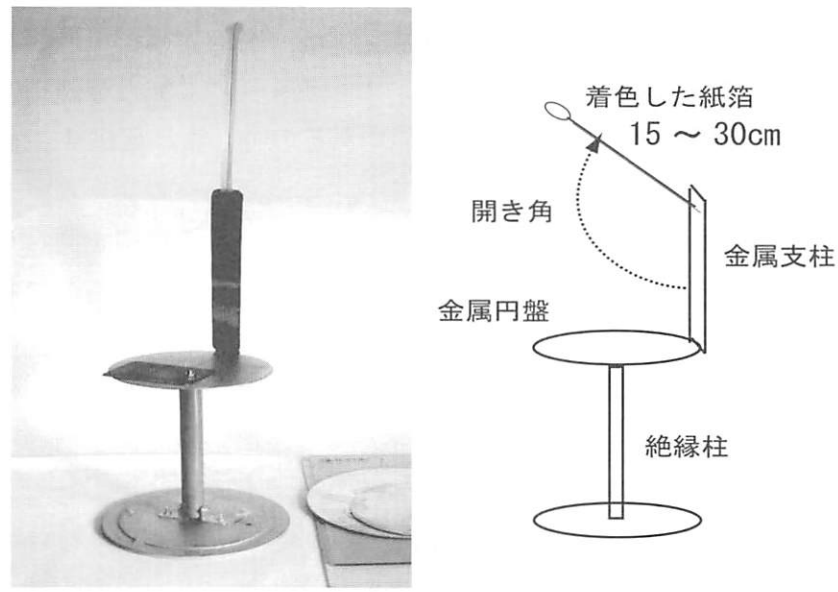


図 1　大型箔検電器

[*1] 物理教育 59-1(2011)

3　材料と工作

（1）箔は印刷機用のマスター紙を用いる。印刷機用マスター紙は RISO, Z 3 3 (タイプ), 1 ロール (27cm × 109m),6100 円。サインペンは Tombow, 商品名"蛍 coat", 型番；WA-TC 90, 水性・顔料である。マスター紙はプラスチック面と紙の面があるが，紙の面に鉛筆で直線を引きその直線に沿ってサインペンで着色し，さらに箔全体にも薄く着色する。着色するのは顔料を塗ることで紙の電気伝導性を与えるためである。その直線を折目として 2 枚重ねに折り，箔の型紙に重ねる。続いて定規を当てて型紙に沿ってカッターナイフで切り抜き，箔の回転部には折り目を入れて，紙面側が支柱金属側となるように糊ずけして箔部は出来上がりである。

（2）台座としては半径 10cm，厚さ 1.0mm のアルミ円盤の中心に塩化ビニルパイプの支柱を設ける。アルミ円盤の円周部分には箔の支柱を固定すための金属板を設ける。

4　帯電方法

よく行われるような，帯電させたエボナイト棒を検電器にこすりつける方法では十分に帯電させることは難しい。そこで，検電器の箔を 180° まで開くように帯電させるために次の方法を用いる。

図 2 のような塩化ビニル板をティッシュペーパー等で摩擦した後，絶縁棒を付けた半径 10cm の金属円盤をその上に載せてから円盤を手で触る。これは静電誘導で円盤を帯電させるためである。続いて絶縁棒を持って円盤を持ち上げる。持ち上げることで円盤の電位があがり検電器に接触させると容易に電荷が移る。または図のように円盤にコードをつけて検電器に連結しておけば検電器は帯電する。この方法はボルタが接触電位差の研究に用いた，コンデンサトーレと呼ばれる，電位差を高めて箔を大きく開かせる方法である。このとき円盤をすべてはなすことなく塩化ビニル板上で傾けて一部を離すことで検電器の帯電量を調節できて箔の傾きを制御することができる。さらに 50V 程度の乾電池を用いて円盤を帯電させて同様の方法で箔を開かせることもでき，小さい箔を用いれば 180° まで開く。また，このような器具を用いることなく，よく行われるように，摩擦して帯電させた塩化ビニル板を直接検電器に近づけて静電誘導で検電器を帯電させても 20cm の長さ程度の箔を 180° 開かせることもできる。

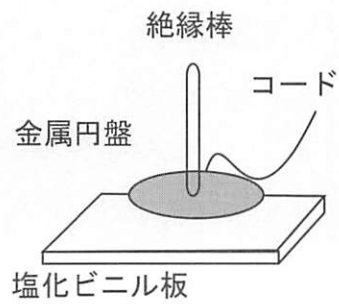


図 2　帯電器具

5　おわりに

開発した大型の箔検電器の動きは大きく，電気の働きを大きな箔の動きで直接に観察できるようになった。この検電器によって静電気の勉強が印象付けられると思う。

箔検電器の理論では箔が開く角はエネルギー仕事の原理から決められる。箔を開く力は同種電気のクーロンの反発力であるが，そのクーロン力は導体上の電荷分布に依存する。そして，その電荷分布を決める条件は，導体が等電位になることと，箔の開き角によって導体系のエネルギー（静電エネルギーと重力の位置エネルギー）が極小になることである。この一般論から導かれることは，箔の開き角は電位差の 2 乗に比例し，箔の開きによる静電容量の変化率にも比例する。したがって理論的にはよく開く検電器はどのような形が最適かは簡単には決められない。

2016年度　日本物理教育学会年会
第33回　物理教育研究大会　発表予稿集

発行日　2016年8月6日
発行者　第33回物理教育研究大会　実行委員会
印　刷　コーエイ印刷　株式会社