

2018 年度 日本物理教育学会年会
第 35 回 物理教育研究大会

発表予稿集

大会テーマ
物理教育の研究の充実に向けて
ー物理をどう学ばせるかー

2018 年 8 月 11 日（土）・12 日（日）

於：国立大学法人 香川大学

〒760-8522 香川県高松市幸町 1-1

主催 日本物理教育学会

共催 国立大学法人 香川大学

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

香川県教育委員会，高松市教育委員会

目 次

大 会 日 程	1
会 場 案 内 図	2
日本物理教育学会賞・奨励賞	6
受 賞 講 演	8
特 別 講 演	12
ワ ー ク シ ョ ッ プ	14
原著講演プログラム	15
原 著 講 演	18
ポスター発表プログラム	117
ポスターセッション	118

第 35 回 物理教育研究大会日程

大会テーマ	物理教育の研究の充実に向けて ―物理をどう学ばせるか―
日 時	2018 年 8 月 11 日 (土) ～8 月 12 日 (日)
会 場	香川大学

大会プログラム

8 月 11 日 (土・祝)

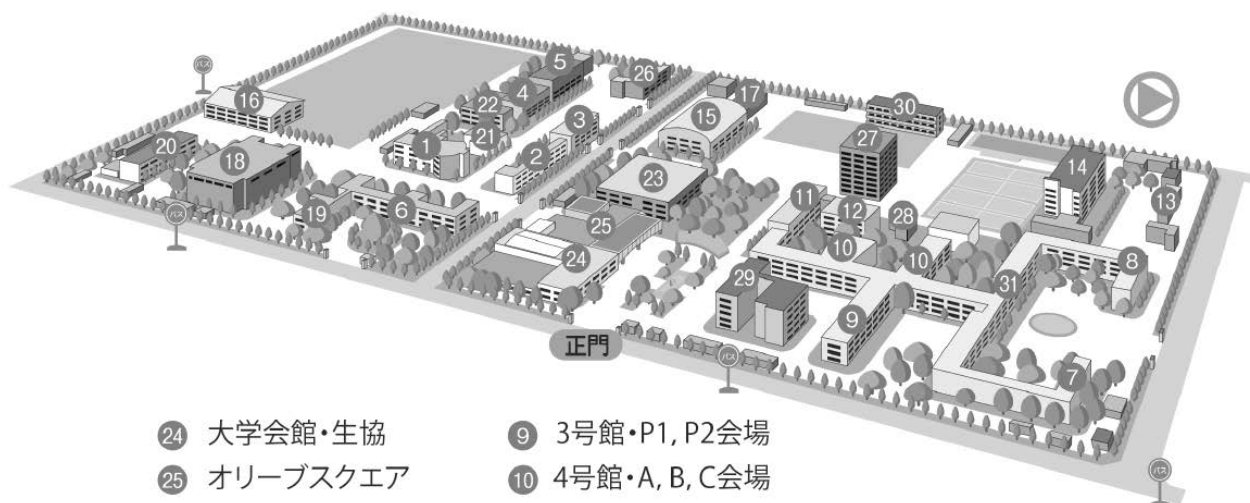
9:00 ～	受付 (4 号館 1 階ピロティ)
9:30 ～ 9:40	開会 大会テーマ趣旨説明 (C 会場)
9:40 ～ 9:55	学会賞表彰式 (C 会場)
9:55 ～ 10:35	受賞講演 1 (C 会場)
10:40 ～ 11:20	受賞講演 2 (C 会場)
11:20 ～ 12:00	受賞講演 3 (C 会場)
12:00 ～ 13:30	昼食・ポスターセッション (P 1、P 2 会場)
13:30 ～ 14:30	特別講演 (C 会場) 「希少糖産生酵素の発見とその後の展開」 近藤 浩二 (一般社団法人希少糖普及協会代表理事会長、元香川大学学長・名誉教授)
14:40 ～ 16:10	原著講演 1 (A 会場) および原著講演 2 (B 会場)
16:20 ～ 18:05	原著講演 3 (A 会場) および原著講演 4 (B 会場)
18:20 ～ 20:30	懇親会 (大学生協)

8 月 12 日 (日)

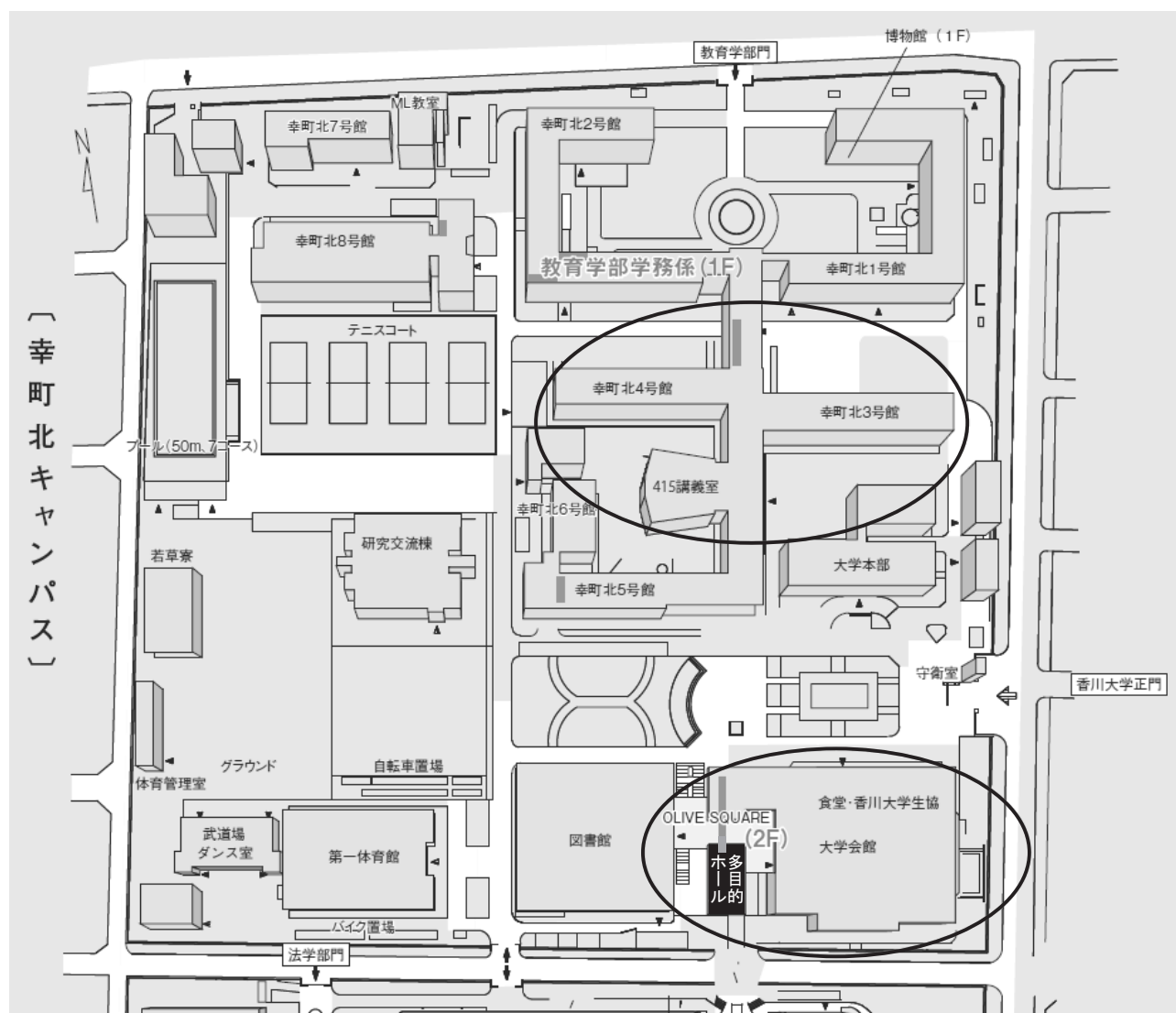
8:45 ～	受付
9:00 ～ 12:00	ワークショップ (Olive Square 多目的ホール) 「アクティブ・ラーニング ワークショップ」 D. Sokoloff (オレゴン大学)
12:10 ～ 13:40	昼食・ポスターセッション (P 1、P 2 会場)
13:40 ～ 15:10	原著講演 5 (A 会場) および原著講演 6 (B 会場)
15:20 ～ 17:05	原著講演 7 (A 会場) および原著講演 8 (B 会場)
17:05 ～ 17:20	閉会

A 会場 : 411 講義室	B 会場 : 412 講義室	C 会場 : 415 講義室
P 1 会場 : 312 講義室	P 2 会場 : 313 講義室	
Olive Square (オリーブスクエア) 多目的ホール		

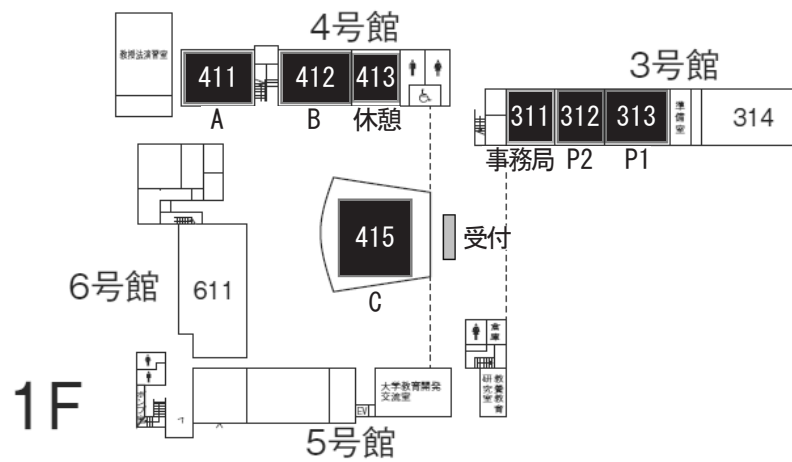
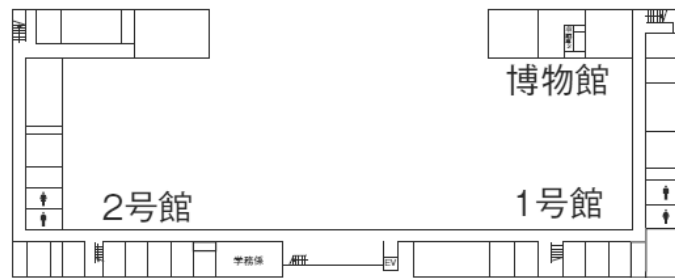
会場案内図



- | | |
|-------------|------------------|
| 24 大学会館・生協 | 9 3号館・P1, P2会場 |
| 25 オリーブスクエア | 10 4号館・A, B, C会場 |



香川大学教育学部（幸町北キャンパス）



日本物理教育学会賞・奨励賞受賞講演

特 別 講 演

ワークショップ

日本物理教育学会賞・奨励賞受賞講演

8月11日(土・祝)

会場:415講義室

9:55 ～ 10:35 受賞講演1「物理はおもしろい ―「日本物理教育学会賞」の受賞にあたって―

(受賞理由「知恵と工夫で幅広い世代に継続して科学の素晴らしさを伝え続ける実践」)

高見 寿(岡山県教育委員会科学教育推進アドバイザー) …… 8

10:40 ～ 11:20 受賞講演2「高校物理の授業に役立つ基本実験講習会」

(受賞理由「高校物理基本実験講習会の立ち上げと各地域における普及啓発」)

増子 寛(元・麻布中学校高等学校) ……10

11:20 ～ 12:00 受賞講演3「“自然科学の基礎を訪ねる”15年間の取組と成果(仮題)」

(受賞理由「“自然科学の基礎を訪ねる”15年間の取組と成果」)

筒井 和幸(大阪教育大学附属高等学校池田校舎)

廣瀬 明浩(大阪教育大学附属天王寺中学校) ……別刷

特 別 講 演

8月11日(土)13:30 ～ 14:30

会場:415講義室

「希少糖産生酵素の発見とその後の展開」

近藤 浩二(一般社団法人希少糖普及協会代表理事会長、元香川大学学長・名誉教授) ……12

ワーク シ ョ ッ プ

8月12日(日) 9:00 ～ 12:00

会場: Olive Square (多目的ホール)

「アクティブ・ラーニング ワークショップ」

D. Sokoloff (オレゴン大学) ……14

2017 年度

日本物理教育学会賞



高見 寿（岡山県教育委員会科学教育推進アドバイザー）

知恵と工夫で幅広い世代に継続して

科学の素晴らしさを伝え続ける実践

高見氏は、岡山県で20年も続いている「青少年のための科学の祭典」の立ち上げ、継続的な科学実験講座の開催や、県下の幅広い物理教員との交流、教員研修活動等を通じて、地域の物理教育、さらには理科教育全般の発展に大いに尽力してきた。それだけでなく、本学会の中国四国支部の設立への尽力、物理オリンピックの日本代表選考会「物理チャレンジ」第1回の岡山県での開催への尽力は、全国的な規模での本学会への貢献として高く評価できる。このように、高見氏は、創意と熱意に満ちた継続的な実践活動を通して、長年にわたって物理教育に顕著な貢献をした。

日本物理教育学会賞



増子 寛（元・麻布中学校高等学校）

高校物理基本実験講習会の立ち上げと

各地域における普及啓発

「高校物理の授業に役立つ基本実験講習会」は現在、本学会が共催する物理教育の普及活動として非常に重要な位置を占めている。増子寛氏はこの基本実験講習会を2008年に立ち上げる際に中心的な役割を担った。以後、基本実験講習会に精力的に取り組み、普及啓発の活動を行ってきた。その結果、近年は全国各地で同趣旨の講習会が開催されるようになった。このような全国的な展開と発展は同氏のリーダーシップと創意と熱意に満ちた継続的な活動に負うところが大きく、同氏の実践は物理教育における顕著な貢献であると認められる。

日本物理教育学会奨励賞



筒井 和幸（大阪教育大学附属高等学校池田校舎）

廣瀬 明浩（大阪教育大学附属天王寺中学校）

“自然科学の基礎を訪ねる”

15年間の取り組みと成果

筒井和幸氏と廣瀬明浩氏の両氏は、「科学館大好きクラブ」を母体とした中高大学生の自主的な科学的探究活動「自然科学の基礎を訪ねる」を15年にわたり企画、整備、発展に尽力してきた。学生・生徒を活動の担い手に加え、活動を通して科学に対する認識を深めさせるという両氏の指導と実践は次世代育成に大いに貢献している。このようなユニークな科学啓発活動の実践は、両氏の卓越した指導力と熱意・献身によるところが大きく、物理教育における特筆すべき貢献である。なお両氏の寄与は切り離しがたく、グループとしての受賞となった。

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。2018年度の募集については、会誌66-3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

2016年度	(受賞者なし)
2015年度	檀上 慎二 「万博公園理科実験野外教室」の7年間の取り組み
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

2016年度	(受賞者なし)
2015年度	(受賞者なし)
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」

物理は面白い –「日本物理教育学会賞」の受賞にあたって–

岡山県教育委員会科学教育推進アドバイザー 高見 寿

E-mail takami-h@star.bbexcite.jp

この度、「日本物理教育学会賞」をいただき、まことに光栄に存じます。多くの先生方に支えていただいたこととを、感謝いたします。

1 活動の紹介

高校の物理教員として、長年やってきました。物理は面白い、ということに尽きます。どんなことをやってきたか、簡単に振り返ってみます。

(1) 高校の物理教員として

(2) 日本物理教育学会中国四国支部の設立

2000 年前後から四国連絡会議と中国連絡会等との連絡を取りながら進めた結果、2007 年 1 月 8 日、多くの会員の協力により、日本物理教育学会中国四国支部が設立された。

(3) 「青少年のための科学の祭典」の開催

岡山県では 1998 年から「青少年のための科学の祭典」を開催しているが、その立ち上げにかかわった。すでに東京をはじめ全国で行われていた行事を、岡山県でも開催しようとした。岡山大学や岡山理科大学の先生方に協力を得て、開催にこぎ着けた。岡山県の科学教育の裾野の広がりを願っている。

(4) 「科学オリンピックへの道」推進事業

物理オリンピックの日本代表選考会「物理チャレンジ」は 2005 年に初めて岡山県で開催された（その後、筑波と交代で開催）。この選考会が岡山で開催されるようになったきっかけは、岡山の数人の高校物理教師と一人の大学教員の熱意ある行動である。

そのようなことから、県下の教員の意識は自ずと高まりを見せ、岡山県は応募数では全国 1, 2 位を争っている。それに関連して、岡山県教委が岡山大学とも連携して県独自の事業として「科学オリンピックへの道 岡山物理コンテスト」を実施している。この取り組みに、「岡山県教委科学教育推進アドバイザー」として、関係している。

(5) 「岡山物理を語る会」の活動

昭和 50 年代から約 30 年間、若い物理教員が立ち上げた勉強会。当初からのメンバーで、興味深い実験やおもしろい物理の話をしてきた。その成果の一つが会員で書いた「早わかり物理 50 の公式」（講談社ブルーバックス）である。

(6) 「5 分物理の会」主宰

高校教員の間に蓄積した演示実験をまとめて、「5 分でできる演示実験」（現在テーマ数 510）を発行した。これを基にして出版したのが「教室でできる 5 分間ぶつり実験」（日本評論社）である。その執筆をきっかけに、また、上記「岡山物理を語る会」を発展させ、「5 分物理の会」を充足させた。今年 12 月で足かけ 10 年になり、開催回数 100 回目を迎える。

(7) 地域での継続的実験講座の開催

各地域の公民館や子どもの活動支援団体などで、年間多くの実験講座を行っている。

(8)「おもしろ実験研究所」主宰

岡山県の地元紙山陽新聞社が毎週発行する子ども新聞「さん太タイムス」に、毎月1回「おもしろ実験研究所」という科学実験を紹介する記事が掲載されている。小学生が読んで、やってみたくするような実験を紹介している。今年1月の掲載で連載が丸10年になった。この企画を立案し、継続させている。県内の小・中・高・大の先生方100名以上が関わっている。一昨年5月、初めから8年間の記事を集めた「おもしろ実験研究所」という本を監修し、山陽新聞社から発行された。

(9) コンピュータ計測システムの開発

昭和60年代になってコンピュータが教育現場に普及し、物理の授業においてもこれを利用することが多くなった。その中で、物理授業において計測器としてコンピュータを利用することが研究された。当時主流だったPC98の背面に、「OP-1」と命名された汎用入出力ボードを挿入して計測を行うというシステムを開発した。

回路の詳細な解説、測定用電子回路の製作、BASICとマシン語によるプログラム作成の方法、授業の指導案などをまとめた「物理の授業におけるパソコンの利用」という冊子を発行した（第1集～第4集）。これにより、多くの実験で物理計測ができるようになった。この汎用ボード「OP-1」は、業者に依頼しプリント基板を作製した。簡単に製作できるようになって、県内外に多くの台数が広まった。

プログラム言語BASICが使われなくなり、パソコンがWINDOWSになってこの計測システムは使えなくなった。その後、教材業者が測定システムを開発して販売している。

最近になって、PICマイコンを使った汎用測定システムを開発した。これにより、30年前と同じように授業における物理測定ができるようになった。例えば、1万分の1秒単位の測定をして、音が1m進む間の時間が計測できる。これを使って、教育センターの講座などで、物理教員の研修を行った。

(10)「物理教育」の掲載記事

(11) 主な著作

- ・「教室でできる 5分間ぶつり実験」（日本評論社、2009年）高見寿・岡山物理アカデミー著
- ・「早わかり物理50の公式」（講談社ブルーバックス、2007年）岡山物理アカデミー 編
- ・「おもしろ実験研究所」（山陽新聞社、2017年）高見寿 監修

2 物理はおもしろい

長い間にいろいろとやってきましたが、その動機は、物理はおもしろい、と感じたことです。そのことで仕事ができたと感謝しています。

- ①物理を分かりやすく伝えようと思った。自分が、物理が好きだった。
- ②何でも教材にしてしまおうと工夫した。アイデアがよく浮かんできた、
- ③幅広く先生方と交流を持って、活動の場が広がった。

3 実験紹介

いくつか、実験を紹介します。

高校物理の授業に役立つ基本実験講習会

元 麻布高校 増子寛

E-mail masuko@kdp.biglobe.ne.jp

1. 発端と第1回の背景

「高校物理の授業に役立つ基本実験講習会」という長い名称の由来は、物理教育研究会（APEJ）が設立当初から、明日の授業に役立つ授業実践の研究を活動の柱の一つとしていて、なかでも授業に役立つ実験の開発と普及という課題にこだわりを持っていたことにある。この実験講習会のきっかけは、当時の東京大学教養学部附属教養教育開発機構と共同して、DVDの教材「見て体験して物理が分かる実験ガイド」を作製したことにある。後にこのDVDをそのまま書籍として学術図書出版から出版した。この教材は、授業に必要とされる基本的な実験が誰でも確実に効果的に実施できるようになることを目的に編纂されているので、これをテキストとして講習会を実施しようということになった。高校の現場での実験の実施状況がいくつか報告される中で、大量の退職教員とそれを上回る新任教員の採用によって、実験のノウハウの伝承が危機的な状況にあるという認識が、講習会実施への強い動機付けとなった。2008年7月20日（日）の午後と21日（海の日）の午前の2日にわたって、麻布高校の物理実験室で第1回の実験講習会が開催された。参加者は全国から55名で、これに対してインストラクター20名、事務局5名という態勢で臨むことになった。以降今日まで東京での実施は同時期に同会場で行われている。

2. 講習会の形態

この講習会は、参加者を少人数のグループに分け、輪番制で全実験項目について順次実際に実験してもらうという形態をとっている。「どの教科書にも載っているような基本的な実験のいくつかを、教員が実際に体験することによって、自ら準備し教室で実施できるようにすること、あわせて、汎用的な実験の基礎技術もいくつか習得できるようにすること」というこの講習会の目的を達成してもらうための方策である。したがって多数の現場教員をインストラクターとして配置している。事実、この方法が参加者から絶大な支持を得ることになり、この講習会が現在まで継続されている最大の要因となっている。参加者からは常に次のようなコメントが寄せられる。「少人数制であったこともあり、講師の先生と受講者の距離が近い為、気になった点はすぐに講師の先生に質問ができました。」いわゆる伝達講習会との違いともいえよう。現在は40名弱のインストラクター（事務局を含めると45名程度）が54名ほどの参加者に対応している。また初日の夜の懇親会も大切なセッションとなっている。

3. 他地域への働きかけと日本物理学会及び日本物理教育学会との連携

物理教員が学校に一人しかいないという状況が珍しくない昨今、このような講習会は、近くに相談相手がいなかったことを解消する一助になることは確実である。そこで、日本物理教育学会の各支部をはじめとする地域の研究組織に、講習会の企画・実施を呼びかけることを始めた。何人かを東京の講習会に招待して、講習会を経験してもらうことも行った。その結果福岡の2010年をかわきりに、北海道支部、新潟支部、近畿支部、東北支部、兵庫、高松と同様の主旨の実験講習会が実施され今日に続いている。福岡では九州支部創設にながしかの役割をはたしたのではないと思われる。第3回から日本物理学会物理教育委員会の行事の一つとなり、資金的な援助が得られるようになった。第8回から日本物理学会と物理教育研究会（APEJ）との間で協定書が取り交わされ、東京での実験講習会が、窓

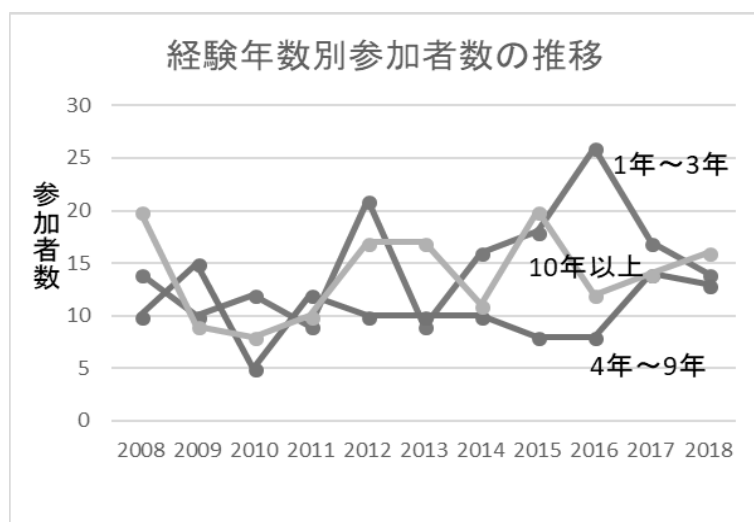
口を物理教育委員会とした日本物理学会との共同事業として位置づけられた。それと同時に各地で開催されている実験講習会を、日本物理学会の各支部の事業として組み入れることが可能になった。この件に関しては兵頭俊夫日本物理学会会長（当時）の尽力によるところが大であった。

4. 項目の変遷

第1回は各項目30分で12項目を実施した。初めのころは項目を変えることを意識していたが、実験に対する認識がかなり薄い参加者がいることがわかってからは、実験項目を変えることより、より確実に内容を定着させることに力を注ぐようになり、内容的には年々改訂されているものの、実験項目名はしばらく固定化されるようになった。それでも参加者とインストラクションのミスマッチが感じられることもあった。例えば、8回目が終わった時点で、それまで電磁誘導とオシロスコープの使い方の担当者から、回路の基本の学習が必要であることが指摘され、9回目からはより基本的な内容に改めた。一昨年から実験項目を9にして各50分で実施している。よりインストラクターと参加者の対話を重視した結果である。

5. 参加者の推移

経験年数別参加者数の推移を下図に示す。経験年数4年から9年の、学校の仕事が比較的集中する時期はやはり参加が少ない。それに比べて10年以上の経験のある参加者が比較的多い。自分のこれまで



でのやり方を振り返る時期なのかもしれない。アンケートの記述にも、実験の大切さの再認識や行ってきた実験の新たな視点の発見などを述べているものが多い。将来教員を志望する学生にも開放しているが、学生を含めて新人の参加が最近増えている。これは物理基礎の導入と退職教員の増加による採用枠の拡大によるところが大きいと考えられる。彼らにとって高校物理の実験の経験は希薄である。周囲にもそれを補う人材はほとんどい

なくなっている。インターネットにも限界がある。彼らがこの実験講習会を選んでくれたことは喜ばしい限りで、実施後のアンケートでも実験に対する新鮮な感想が多く返ってきている。

6. 今後の見通し

インストラクター同士が集まって講習会の準備をする過程は、インストラクター自身の授業実践にとっても大変重要であり、新鮮で刺激的であり、かつ楽しいことである。インストラクターの目線は常に参加者と同じにしておくことが大原則である。自分も学ぶという姿勢がインストラクションを効果のあるものにしている。新人の訓練という面もあるが、それだけでは長続きはしない。東京と各地域では事情が異なる。どうしてもリピーターが多くなる地域では、物作りの要素を早くから取り入れるなど様々な工夫がなされている。それぞれの地域に即した実験項目の選択があってよいはずである。しかしどの場合でも、参加者とインストラクションのミスマッチだけは避けたいところである。そしてインストラクターが参加者と一緒に楽しめる環境が必要であろう。

注 各講習会の報告、引用などは、物理教育 65-1 (2017) の企画特集を参照されたい。

「科学館大好きクラブ」—新しい自然科学教育の形—

大阪教育大学附属高等学校池田校舎, 筒井和幸¹ 大阪教育大学附属天王寺中学校, 廣瀬明浩²
ktsutsui@cc.osaka-kyoiku.ac.jp¹ hirose@cc.osaka-kyoiku.ac.jp²

1. はじめに

大阪市立科学館を拠点に、中学生・高校生・大学生が自主的に探究活動を行い、成果発表を行う活動を始めて今年で15年となる。この活動の主体である「科学館大好きクラブ（KDC）」にはこの間に約280名の学生が参加し、研究者、技術者、教育者など有為な人材を多数輩出してきた。本講演では、活動の特徴や参加した学生の活躍・成長例を紹介するとともに、学校で物理（理科）教育に携わる我々がこの実践研究から学んだことについて述べる。

2. 活動開始の経緯

1992年に始まった「青少年のための科学の祭典大阪大会」は大規模な理科実験イベントへと発展したが、来場者が年々低年齢化していった。そこで、中学生・高校生の部活動や探究活動の成果発表を奨励したところ、参加した生徒が様々な面で成長することが確認された。そこで、2005年の世界物理年に向けて、大阪市立科学館の高橋憲明館長（当時）の発案を基に、新しい形の自然科学教育として本活動を企画し、2004年から試行的に実施することになった。

3. 活動の特徴

活動開始以来、活動として常に重視していることは、次の4点に集約できる。

(1) 自然科学の基礎についての探究

学生数人で一つの班を構成し、科学館の展示物を用いたり、自分たちで実演実験を開発・工夫したりして、科学的な内容を小学生にもわかるように解説することに取り組む。

準備段階では各班の解説プランについて、アドバイザー（社会人や院生）や他班の学生から厳しい質問やアドバイスがあり、全体で議論する中で題材についての理解が深まっていく。

(2) 多様な人とのコミュニケーション

展示場では大人から子どもまで幅広い年齢層の人と対話する必要がある。さらに近年は外国からの来館者も増加しており、英語での説明が求められる機会が増えている。

初めて展示場で解説する時には緊張も見られるが、解説を聞いた来場者から感謝や賞賛の言葉をもらおうと自信がつき、より積極的にコミュニケーションできるようになっていく。

(3) 組織の自律的運営

KDC内部の運営は主として大学生・院生に任されている。会合の内容や進行、会計、各種の製作物の準備や備品管理、自己評価活動などを分担し、高校生・中学生も協力している。

活動の中心は展示物解説だが、組織運営に関わる経験をすることは学生には大変有意義で、個人としての自立性と全体を見る視野の広さが育成される。

(4) 自己評価活動

イベントの際には来館者及びスタッフにアンケートを実施し、自己評価活動を行っている。

この結果は活動報告書としてまとめられ大阪市立科学館研究報告に収められている。自己評価活動は組織の自律性を保つ上で不可欠であるだけでなく、毎年少しずつ学生が入れ替わるためデータを基に定期的に反省会を行うことは、共通理解を深める上で貴重な機会となっている。

4. 参加した学生の成長

高校生の中には、AO 入試や推薦入試で活動の成果が評価されて進学した者も複数いる。大学生の中には、就職試験の面接で KDC の活動や経験を語り評価された者もいる。KDC の活動は、高校生を対象に最近増えつつある「科学的な研究体験」や「ボランティア活動体験」とは、「自律性の高さ」という点で大きく異なっている。自由に活動できる機会を生かして主体的・協働的に活動し、その成果を自己評価して新たな目標を設定するという経験が、生徒・学生の人格的な成長に大きく寄与していることが、高く評価されているものと考えている。

15 年間の活動の中で、学位をとり研究職に就いた者も複数いる。企業で技術開発に携わる者、科学館の学芸員や初等・中等教育教員（10 名以上）など、有為な人材を多数輩出している。

5. 実践研究から我々が学んだこと

今年 3 月末に公示された高等学校の新学習指導要領では、探究など学習の過程を重視することが求められている。また、「社会に開かれた教育課程」や「カリキュラム・マネジメント」がキーワードとされている。しかし我々はこれらを 10 数年前から実践してきた。

この活動を通して、我々は「自然科学についての探究活動と、コミュニケーションを大切にした自律的組織運営の経験」が青少年を人間的に大きく成長させることを実感を持って学んだ。入会したばかりの頃は展示場でも固い表情で棒立ちだった生徒が、1 年もすれば自信を持って笑顔で人に話しかけられるようになり、会合でも自分から企画を提案できるようになる。

学校ではない自由参加の小さな組織による活動ではあるが、「新しい自然科学教育の形」として、大きな教育的成果が得られることを実証したと考えている。今後は KDC で育った教員が勤務先での探究活動の指導の中で、自らの経験を生かしてくれることを期待している。また、その成果が KDC に還元されるようになれば、今後もさらなる発展が期待できると考えている。

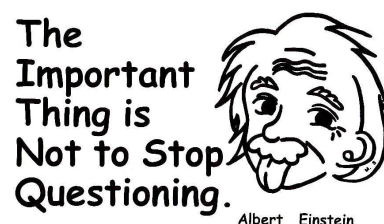
6. 謝辞

最後になりましたが、長年に亘りご支援いただいている大阪市立科学館の斉藤館長、学芸員・職員の皆様、企画段階から見守り、勇気づけていただいた高橋元館長に篤く御礼申し上げます。また、(公財)パナソニック教育財団、(公財)日産財団、(公財)日本財団、阪急阪神ホールディングス(株)、電気記念日行事関西実行委員会 他、多数の皆様方のご援助のおかげで、今日まで活動を継続することができました。この場を借りて心より感謝いたします。

参考文献・参考 URL

N. Takahashi et al. Proc. ICPE2006, p.329, A. Hirose et al.,
ibid. p. 361, K. Tsutsui et al., ibid. p. 363.

科学館大好きクラブ <http://www2.hamajima.co.jp/~fhert>



希少糖産生酵素の発見とその後の展開

一般社団法人希少糖普及協会 近藤浩二

E-mail k-kondou@rondo.ocn.ne.jp

1. 希少糖とは（希少糖秘話（何森健著、（株）希少糖生産技術研究所刊）による）

単糖の研究は、19世紀末までに、エミール・フィッシャーの研究などですべての研究が終わったと考えられていた。教科書には、すべての単糖の名前と構造式が記されている。

自然界に少ないマイナーな単糖は、非天然型単糖、自然界に少ない単糖、非発酵性単糖などと呼ばれ、これらの糖は、自然界では必要でなくなった糖、研究に値しない糖と考えられていた。全体をまとめて呼ぶ必要もなかった。

これらのマイナーな糖を作ることを考えた香川大学農学部の何森 健先生は、これらの糖の総称を「希少糖」と呼んだ。「希少糖」は何森先生の造語である。

正確には、香川大学農学部の何森 健教授とヘルシンキ工科大学のマッティ・レイソーラ教授の呼びかけで、2001年に設立された国際希少糖学会によって、希少糖の定義が「自然界にその存在量が少ない単糖およびその誘導体」と定められた。

2. 希少糖産生酵素の発見（希少糖秘話（何森健著、（株）希少糖生産技術研究所刊）による）

何森 健先生が、希少糖を作ろうと意図して作った最初の希少糖は、D-タガトースであった。ガラクトースから微生物を利用してD-タガトースを作り、論文化した（1988年）。この実験を繰り返す中で、偶然D-ソルボースが生産された。D-タガトースからD-ソルボースを作る微生物の探索が始まり、香川大学農学部の土の中からこの微生物が発見された（1991年）。

この微生物が作る酵素は、D-タガトースの3位の炭素に結合するOH基を反対側に移動させる（エピ化）働きを持つ、これまでに見つかったことのない新しい働きをもつ酵素（DTE）であった。

さらに、この酵素はD-フルクトースに作用し、D-ブシコースを産生した。初めて天然型の単糖から希少糖を産生する酵素が発見された。多くの酵素が基質特異性を持つ中で、DTEのみがすべてのケトースに反応した。この発見が、希少糖の生産戦略図、イズモリングの完成に導いた。

3. 産学官連携事業としての希少糖研究のはじまり

D-フルクトースから大量にD-ブシコースを作ることができ、動物実験で食後血糖値の上昇抑制、体脂肪の蓄積抑制が発見され、希少糖が注目を集めることとなった。

国からの補助事業に採択され、産学官の連携事業として事業化を目指して開発研究されてきた。最初の事業化の目標は、D-ブシコースの特定保健用食品としての商品化であった。

4. 研究成果の蓄積と事業化の戦略

産学官連携事業は、希少糖の生産技術の開発と希少糖の機能性の研究及び安全性の確認、利用分野の開発などで、多くの研究成果を生み、希少糖の事業化の戦略が必要となった。

事業化の第1段階を、特定保健用食品・甘味料の開発、D-アロースの抗酸化作用やがん細胞増殖抑制作用などをもとにした医薬品開発、植物成長抑制作用や自己免疫力増強作用などを利用した農薬・農業用資材の開発に絞り、事業化に取り組む企業を募る。

事業化には、設備投資を含む多額の開発投資が必要であり、市場での優位性と劣位性、コスト低減の可能性など、検討課題は多い。D-プシコースの特定保健用食品申請

5. 希少糖含有シロップの開発

事業化の目標に向けた商品開発が必要である。甘味料の商品化には、酵素反応を利用したピュアな希少糖の商品化か、混合物としての商品化かの選択が必要になる。

過去の技術（アルカリ異性化）の再検討も、新たな発見を生む。

6. 甘味料としての商品化

機能性の保持は可能か、市場での優位性と劣位性の検討。

機能性表示食品としての申請をめざしている。制度上の制約（2015年4月機能性表示食品制度発足）があり、対象外となっていた。2018年3月改訂により申請可能となる。

2017年10月、四国健康支援食品（民間認証）に認定された。

7. 香川県の役割

香川県は、D-プシコースの機能性の発見から研究助成による支援、2003年からは県独自の糖質バイオクラスター形成事業のもとで、香川大学での希少糖研究開発への支援、商品開発企業の支援を進め、希少糖含有シロップの上市以降は、香川県産業成長戦略を新たに策定し、独自の希少糖ホワイトバレープロジェクトを進めている。

8. 甘味料としての優れた特長

希少糖含有シロップの甘味料としての優れた特徴が、次々と報告されてきている。

塩味の増感

素材の風味を引き立てる

短時間で甘味付け

卵臭のマスキング

甘味のキレがよく、甘みが残らない

他の甘味料と相性がいい

9. 今後の展開

ワークショップ: 研究によって妥当性を示されているインタラクティブ・レクチャー・デモンストレーション (ILDs) を用いて学生たちの概念的な理解を向上させる

デイヴィッド・R・ソコロフ, オレゴン大学, アメリカ合衆国

sokoloff@uoregon.edu

物理教育研究の諸結果とコンピュータに依拠する諸ツールの利用可能性は、アクティブ・ラーニングの方略およびカリキュラム・教材群の開発をもたらした。こうした教材の多くは、たとえば、『リアルタイム物理』などの学生中心型の実験カリキュラムのようなハンズ・オン型学習向けに設計されている。これらの教材の成功の一つの理由は、それが学生たちに対して学習において能動的な役割を果たすことを促す点にある。本ワークショップでは、一聴衆の能動的な参加を通して一講義におけるアクティブ・ラーニングを促進するように設計された教材である *Interactive Lecture Demonstrations (ILDs)* を実演する。電気回路、熱と温度、および光学の例が用いられ、クリッカー（個人応答システム）の利用例もいくつか含まれる予定である。

日時： 8月12日（日）午前9:00～12:00

場所：オリーブ・スクエア 多目的ホール

ワークショップのスケジュール

- 9:00 アクティブ・ラーニングと「インタラクティブ・レクチャー・デモンストレーション」への導入
- 9:30 みなさんの参加による「熱と温度」・「光学」のILDs の例示
- 10:15 みなさんの参加による、クリッカーを用いる「結像」についてのILDs
- 11:00 ILDs とアクティブ・ラーニングに関する質疑応答および議論
- 12:00 終了

原 著 講 演

原著講演プログラム

8月11日（土・祝）

14:40 ～ 16:10 原著講演 1 座長：植松 晴子

A会場：4 1 1 講義室

- | | |
|--|------------|
| 1-1 落下運動における MIF 誤概念を解消する教材の開発と実践 | 藤瀬 貴也 … 18 |
| 1-2 形成的評価の活用は概念理解と学習姿勢を向上させるか | 西村 壘太 … 20 |
| 1-3 コンフリクトマップを用いた高校物理授業 | 宗形 操 … 22 |
| 1-4 高校3年間にわたっての FCI 追跡調査 | 加賀 栄子 … 24 |
| 1-5 力学概念理解度調査から見てきた日本の高校および大学基礎課程での
物理教育の課題 | 長谷川大和 … 26 |
| 1-6 力学概念理解度調査の項目応答曲線を用いた分析
ー作用反作用に関わる問を中心にー | 岸澤 眞一 … 28 |

14:40 ～ 16:10 原著講演 2 座長：高野 弘

B会場：4 1 2 講義室

- | | |
|--|------------|
| 2-1 小学校理科の実験指導力の向上に資する自作型実験教材の研究実践 | 内田 祐貴 … 30 |
| 2-2 生活科自然領域モデル授業「てこのかがく」に見られる小学1年生の探
索行動の段階性(Ⅱ) | 小谷 卓也 … 32 |
| 2-3 子どもが持つ支点の位置に関する素朴概念 | 堀井 孝彦 … 34 |
| 2-4 斜面上の物体にはたらく重力の分解に関する教材開発と中学校における
授業実践 | 寺島 幸生 … 36 |
| 2-5 運動する物体を題材にした探究活動における足場かけの工夫
～中学校理科3年生の「運動とエネルギー」を題材に～ | 森山 正樹 … 38 |
| 2-6 中学「作用・反作用の法則」における ILDs を組み込んだ教授方略の考
案と実践 | 北村 貴文 … 40 |

8月11日(土・祝)

16:20 ~ 18:05 原著講演3 座長：梅田 貴士

A会場：4 1 1 講義室

3-1 認知発達を意識した ILDs 型高校物理授業における ICT 環境の積極的活用	山下 哲 … 42
3-2 力の相互作用に関する「物理基礎」授業の課題 ー遠隔力をめぐってー	石井 哲夫 … 44
3-3 ILDs における力学概念理解に対する科学的推論力の影響	谷口 和成 … 46
3-4 理工系大学初年度物理受講者の問題解法スキル	右近 修治 … 48
3-5 学生は授業の実験をどう見ているか ー電気回路分野における調査ー	植松 晴子 … 50
3-6 概念変容研究における p-prims 活用の検討 ー手回し発電機の手応えを文脈としてー	山本 修平 … 52
3-7 物理初学者が抱える数学的困難	新田 英雄 … 54

16:20 ~ 18:05 原著講演4 座長：細田 宏樹

B会場：4 1 2 講義室

4-1 無重力動画から始まる慣性力の概念形成 ー女子生徒の感性にアプローチする授業案の開発ー	藤野 智美 … 55
4-2 デジタル教科書と電子黒板を組み合わせた高校物理の授業実践	岡崎 裕一 … 56
4-3 光学分野における物理と芸術の融合プログラムの開発	小川慎二郎 … 58
4-4 原子・元素・原子核のクイズと模型を用いた中学生向けセミナーの実践	小林 良彦 … 60
4-5 地震観測への参加を通じた探索型学習についてのエピステモロジー的考察	岩堀 卓弥 … 62
4-6 科学折り紙を活用した理数探究教材	石原 正三 … 64
4-7 授業実録で解明する明治 150 年科学教育の新実態とその現代的再構成	小林 昭三 … 66

8月12日(日)

13:40 ~ 15:10 原著講演5 座長：新田 英雄

A会場：4 1 1 講義室

5-1 物理のアクティブラーニング型授業における形成的アセスメントの要素	瀬々 将吏 … 68
5-2 ILDs 「ニュートンの第3法則」の改善と実践	梅田 貴士 … 70
5-3 運動学における ICT を用いた生徒実験を中心とした授業実践の試み	酒谷 貴史 … 72
5-4 反転学習を導入したピア・インストラクション型講義の実践	小島健太郎 … 74
5-5 アクティブラーニング型物理教授法普及におけるワークショップの役割	土佐 幸子 … 76
5-6 多様な学習履歴を持つ学生によるアクティブ・ラーニング II	酒見 龍裕 … 78

13:40 ~ 15:10 原著講演6 座長：足利 裕人

B会場：4 1 2 講義室

6-1 ブレッドボードによる電気の授業	牧山 隆洋 … 79
6-2 トランジスタ1本の追加で実現する“減衰しない”電気振動	猪本 修 … 80
6-3 スマートフォンに接続した超音波センサーを用いた物理実験（運動の法則）	安達 照 … 82
6-4 超音波発生装置を使った定常波の観察	影森 徹 … 84
6-5 音波をどう扱うべきか，変位波？それとも疎密波？	藤田 利光 … 86
6-6 アルミパイプ内側面の虹模様の観察	渡部健太郎 … 88

8月12日（日）

15:20 ~ 17:05 原著講演7 座長：稲田 佳彦

A会場：4 1 1 講義室

7-1 理科の探究活動と探究的な学習について	笠 潤平 … 90
7-2 「課題研究」における課題設定の指導に関する実践の報告 その1 ー限られた単位数の中で全生徒に課題設定指導を行う方法ー	乃口 哲朗 … 92
7-3 国際科学技術オリンピックを目指す「天城塾」の取組	仲達 修一 … 94
7-4 認知促進の概念に基づく「比例概念」の発達を促す中学校理科授業の実践	松谷 佳樹 … 96
7-5 実験を取り入れた物理学講義による学生の物理学に対する姿勢・考え方の変化	大村 訓史 … 98
7-6 文系学生向け「自然科学基礎実験」の開講	鶴町 徳昭 …100

15:20 ~ 17:05 原著講演8 座長：井上 賢

B会場：4 1 2 講義室

8-1 磁場による偏向を用いた β 線のエネルギー分布の測定	足利 裕人 …102
8-2 力学計算問題演習の個別学習指導における総当り表の活用	細田 宏樹 …104
8-3 強制振動仮説における「潮汐バースト」の概念とその意義	池田 幸夫 …106
8-4 「熱運動」という用語は物理学的に適切か	五十嵐靖則 …108
8-5 相対論的すれ違い効果 =ローレンツ力は電気力=	山本 文隆 …110
8-6 ファラデーの電磁誘導の法則とローレンツ力	秋山 和義 …112
8-7 電流と磁場の作用・反作用についての一考察	石原 諭 …114

落下運動における MIF 誤概念を解消する教材の開発と実践

広島大学大学院教育学研究科, 藤瀬貴也, 梅田貴士

E-mail m170146@hiroshima-u.ac.jp

1. はじめに

生徒がもつ誤概念を解消する授業を構成することは、理科教育における重要な課題の一つとなっている。誤概念の代表的な例の一つとして、Clement が報告した「Motion Implies Force (MIF 誤概念)」がある¹⁾。力と運動の分野における定性的な先入観で、その内容は「ボールを上向きに投げると、上昇中のボールには上向きの力がはたらいている」など、物体が運動する向きに力がはたらいているとする考え方である。これは、摩擦が存在する現実世界で、物体を動かし続けるには、物体の運動する向きに力を加える必要がある、という日常経験から一般化されたもので、この考え方を様々な力学の問題に適用していると考えられる。

そこで、落下運動中の物体にはたらく力を考えることを通して、MIF 誤概念を解消させることを本研究の目的とした。この目的を実現するために、本研究では、落下運動における MIF 誤概念を解消する教材の開発と、開発した教材を用いた授業の考案を行い、考案した授業を広島県内の高等学校第 1 学年の生徒 97 名 (3 クラス) を対象に実践する。実践の効果を測定するために、Hestenes らによって開発された「Force Concept Inventory (FCI)」を用いたプレ・ポストテストを実施し、結果の分析を行う。

2. 概念理解の状況分析

まず、授業を実践する対象である高校生の概念理解の状況を把握するため、FCI のプレテストの結果を分析した。上記の高校生 97 名に対する FCI 全体の平均正答率は 28.1% (平均得点 8.74 点) であった。また、落下運動中の物体にはたらく力に関する問題である問 13 に関しては、正答率 11.3% であった。

問 13 の選択肢毎の正答率と選択肢の概要

- (1) 18.6% (上昇, 下降中) 重力+減少し続ける上向きの力
- (2) 35.1% (上昇中) 減少し続ける上向きの力 (下降中) 増加し続ける下向きの重力
- (3) 32.0% (上昇中) 減少し続ける上向きの力 (下降中) 重力のみ
- (4) 11.3% (上昇, 下降中) 重力のみ
- (5) 3.1% 上記のどれでも無い

これらの結果を Morris らによって考案された項目応答曲線と合わせて分析する。FCI の問 13 について、作成した項目応答曲線は、Morris らによる項目応答曲線に近い形を示した。このことから、落下運動中の物体にはたらく力について、能力レベルが下位の群では、上昇中は減少し続ける上向きの力、下降中は重力による増加し続ける下向きの力がはたらいているとする選択肢 (2) を回答する傾向が高く、速度に似通った力を考える段階ということが分かる。次に、能力レベルが中位の群では、上昇中は重力による一定の下向きの力と減少し続ける上向きの力、下降中は重力による一定の下向きの力がはたらいているとする選択肢 (3) を回答する傾向が高く、重力につい

て正しい知識は身につけているものの、上昇中のみ速度に似通った力を考える段階ということが分かる。最後に、能力レベルが上位の群では、運動中、重力による一定の下向きの力のみはたらいっていると選択肢(4)を回答しており、能力レベルによって考え方が変容していく過程が分かった。高校生の多くが、物体の運動する向きに力のはたらいっていると考えながらも、自由落下となる下降中では、物体にはたらく力は重力のみと理解できている。このことを踏まえて、教材の開発と授業の考案を行う。

3. 教材の開発

MIF 誤概念を解消するために、運動中の物体にはたく力を何らかの方法で可視化できる教材が有効ではないかと考えた。そこで、落下運動中の物体に生じる加速度を計測できる教材「加速度ボール」³⁾と、物体にはたらく力を LED で可視化させた教材「Fi-Cube」⁴⁾を参考に、落下運動中の物体にはたらく力を LED が光る色で識別できるボール型の教材(図 1)を作製した。この教材は、次に挙げる 3 つの挙動を示す。

- ① ボールにはたらく力がつりあっている場合：白色
- ② ボールに重力のみがはたらく場合：青色
- ③ それ以外の場合：赤色

これらの挙動の変化は、3 軸加速度センサを使用することで、センサ自身にはたらくみかけの重力を利用して判別する。みかけの重力に対応した値を 3 軸加速度センサが電圧として出力し、それを Arduino Fio で処理することで、①～③の動作をさせる。また、LED には、視認性が高いシリアル LED テープを使用した。

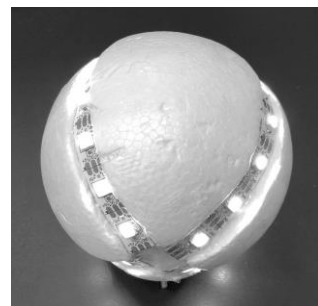


図 1. ボール型の教材

4. 今後の研究展開

研究大会までに、高等学校物理基礎で授業の実践を予定している。実践後、ポストテストとして再び FCI を実施し、問 13 の鉛直投げ上げ運動における物体にはたらく力に関する問題を中心に、力と運動に関する問題にどのような影響をもたらしたかを分析し、その結果を報告したいと考えている。

5. 主要参考文献

- 1) Clement, *Student's Preconceptions in Introductory Mechanics*, Am. J. Phys. 50, 66 (1982).
- 2) Gary A. Morris, *An item response curves analysis of the Force Concept Inventory*, Am. J. Phys. 80, 825 (2012).
- 3) 遠藤一太, つくれば工房 (private communication).
- 4) 宇都宮大学教育学部・理科教育学研究室, (<http://www.edu.utsunomiya-u.ac.jp/scied/Fi-Cube/>)

形成的評価の活用は概念理解と学習姿勢を向上させるか

東京学芸大学附属国際中等教育学校¹, 東京学芸大学², 西村 壘太¹, 新田 英雄²

m121805g@st.u-gakugei.ac.jp¹, hi_nitta@u-gakugei.ac.jp²

1. はじめに

小テストと2種類の個票による形成的評価システムについて前回発表した¹⁾。自由記述のアンケートによると開発した個票は、自分の理解度を把握でき、自学に役立つ教材として、多くの生徒から好意的に受け止められている。しかし、個票の活用が実際に生徒の物理概念や学習姿勢の向上に効果があるのかを分析・評価する方法は見いだせていなかった^{2), 3)}。

そこで本研究では、個票の活用度を調べるアンケートを実施し、その結果と小テストおよびFCI⁴⁾とCLASS⁵⁾の結果を組み合わせ、形成的評価と生徒の概念理解ならびに学習姿勢の関係を総合的に分析することを試みた。その結果、個票による生徒別のフィードバックの活用度が高い生徒群において、物理概念および学習姿勢がともに向上していることを見いだした⁶⁾。なお授業実践は、昨年度国立大学附属中等教育学校5年生（高等学校2年生に相当）の物理基礎を対象として行った。

2. 形成的評価に関するアンケート

年度末に以下の設問でアンケートを実施した。回答は選択式で「5：良いと思う（そう思う）、4：どちらかというと思う（そう思う）、3：どちらとも言えない、2：どちらかというと思う（そう思わない）、1：良くないと思う（そう思わない）」の5段階とした。

問1 授業ではよく、選択肢問題がスクリーンに映し出され、それにクリッカーで

答え、周囲の人と議論する機会がありました。この活動についてどう思いますか？

問2 学習がある程度進んだところ（特にテスト前）で、クリッカーで選択肢問題に解答する形式の小テストを行いました。この小テストについてどう思いますか？

問3 小テストの結果は、後日2種類の個票でフィードバックしてきました。個票は物理を理解するのに役立ちましたか？

問4 個票から、自分が理解していること、理解していないことが具体的にわかりましたか？

問5 個票を配付したことは、あなたの物理の勉強に対するやる気を高めましたか？

問6 もし個票が配布されていなかったら、今の自分ほどには物理を勉強していなかったと思いますか？

問2ではほぼ9割の生徒がARS小テストを良いと答え、問3で半分ほどが個票は物理を理解するために役立ったと答え、問4で6割ほどが個票は自分の理解状況の把握に役立ったと答えた。問5より個票が動機づけに役立ったと考えているのは3分の1ほどであった。

3. 形成的評価と生徒の概念理解

生徒が2種類の個票による形成的評価をどのように活用し、そしてそれが物理の理解とどのように関係しているのかを考察するため、

力学分野で4回実施した小テストや、力学授業の前後で実施した FCI をアンケートと組み合わせ分析した。

個票の活用度の指標としては、アンケートの間3（個票の活用と物理の理解の関係について）、4（個票の活用と生徒自身による物理の理解状況の把握（メタ認知）の関係について）、5（個票の活用と物理学習への動機付けの関係について）についての肯定的評価が高いほど個票の活用度についての自己評価が高いとみなし、これら3問の平均値を用いた。分析は、平均値の大きい集団から上位（19名）、中上位（14名）、中下位（16名）、下位（17名）の四分位に分けて行った。なお、四分位の生徒数に差があるのは、平均値の同じ生徒が複数名いた場合、個票の活用度は同程度であったとみなして同じ集団に入れるように作ったためである。

FCI の事前事後調査の平均正答率はそれぞれ 32.6%と 50.2%で、Hake の規格化ゲインは 0.26 であったが、図1のように四分位ごとの規格化ゲインを求めてみると、個票をよく活用したと自己評価する生徒ほど規格化ゲインも高くなっていることがわかる。

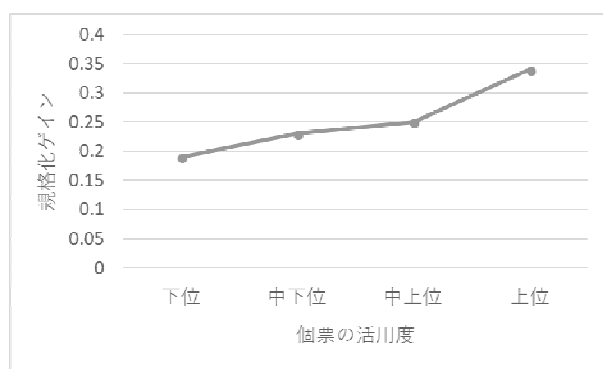


図1 個票の活用度と FCI 規格化ゲイン

4. 形成的評価と生徒の学習姿勢・態度

形成的評価が生徒の学習姿勢・態度とどのように関係しているのかを考察するために、CLASS とアンケートを組み合わせ分析を

行った。

図1と同様にアンケート問3、4、5の平均値で生徒集団を四分分し、CLASS の事前と事後調査で好ましい回答割合を比較したのが図2である。図2より、個票をよく活用したと自己評価する上位の生徒群では CLASS 全体における好ましい回答の割合が増加したのに対し、他の分位の生徒群ではほぼ変化していないか、減少していることがわかる。

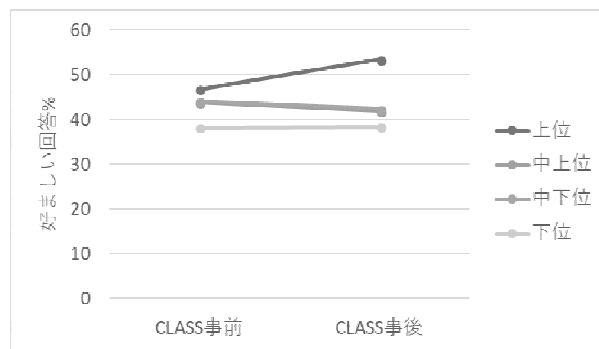


図2 個票の活用度と CLASS 好ましい回答

本発表では、授業実践の概要と、アンケートと FCI, CLASS の更に詳細な分析結果について報告する。

本研究の一部は JSPS 科研費 16K00952 の助成を受けている。

参考文献

- 1) 西村 壘太, 新田 英雄: 第 34 回物理教育研究大会 (兵庫) 発表抄録
- 2) 西村 壘太: 物理教育 **66-1**, (2018), pp.28-31.
- 3) 西村 壘太: 物理教育通信 **171**, (2018), pp.93-104.
- 4) D. Hestenes, M. Wells and G. Swackhamer: Phys. Teach. **30**, (1992), 141.
- 5) W. K. Adams, *et al.*: Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **2** (2006) 010101.
- 6) 本発表の詳細については、西村, 新田: 物理教育 (投稿中) .

コンフリクトマップを用いた高校物理授業

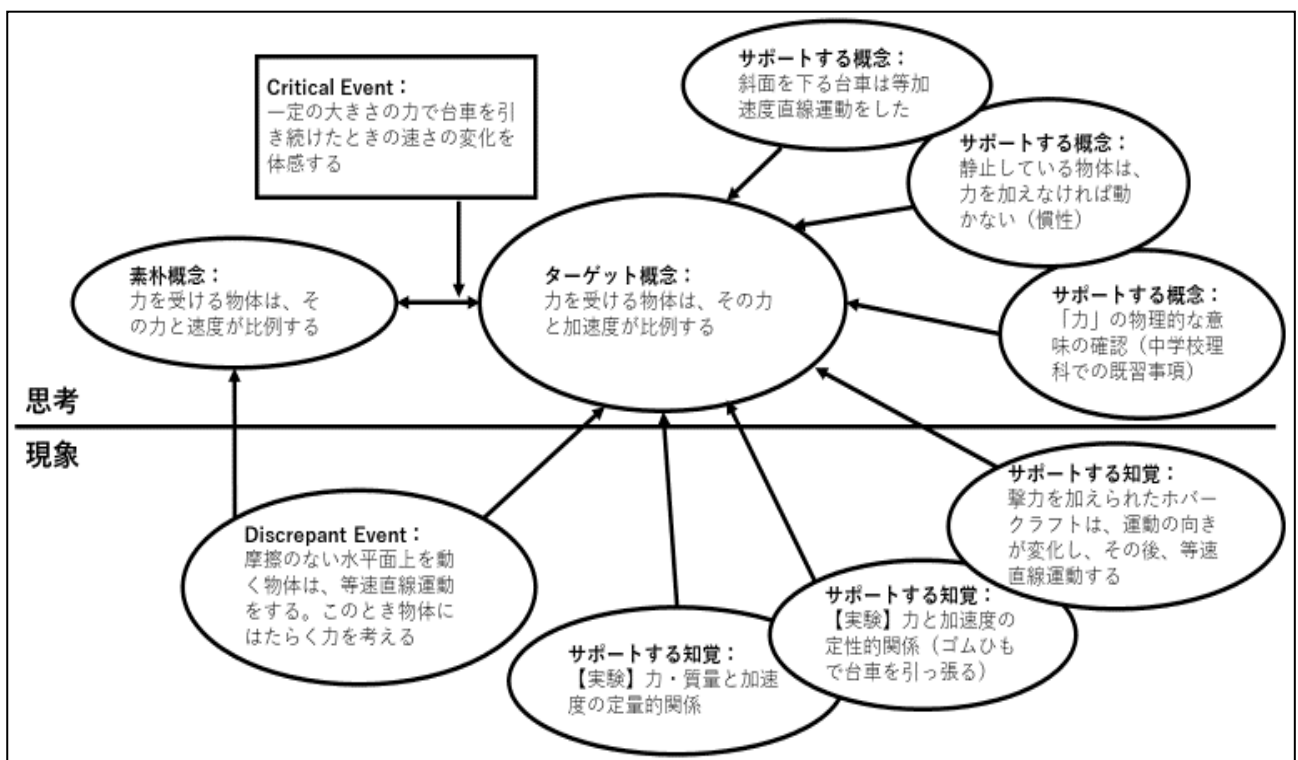
東京学芸大学 宗形操¹, 新田英雄²

m171813k@st.u-gakugei.ac.jp¹, nitta@u-gakugei.ac.jp²

生徒が物理学を学ぶ際に、生徒の理解を妨げるものとして、日常経験から得られる素朴概念がある。物理の授業では、この素朴概念を科学的概念に概念変容させることが必要となる。しかし、この素朴概念そのものについての研究は多く行われているが、概念変容を促すための方法についてはあまり知られていない。また概念変容は、既存のスキーマや知識構造の再構築が必要となり、達成するのは困難である。

そこで、概念変容を促すモデルとして、Tsai によって提案されたコンフリクトマップに注目した[1,2]。コンフリクトマップは、授業のターゲットとなる科学的概念を構築するための要素を示したものである。認知心理学における概念変容モデルに基づき、2つの認知的葛藤（矛盾する事象（Discrepant Event）と素朴概念との認知的葛藤、科学的概念（ターゲット概念）と素朴概念との認知的葛藤）を引き起こし、これを解決するための実験、演示、説明などの一連の教育的内容の流れが含まれている。

本研究では、高等学校物理基礎の単位におけるコンフリクトマップを作成し、それを基にした授業の計画と実践を、高等学校にて行った。特に、力学分野の「力と加速度の関係」と「いろいろな落下運動」の単位におけるコンフリクトマップを作成した。例を下図に示す。



図：力と加速度の関係の授業におけるコンフリクトマップ

コンフリクトマップの要素は、まず学習目標となる科学的概念（ターゲット概念）と、ターゲット概念に対する素朴概念を置く。これらの周りに、素朴概念と矛盾する事象（Discrepant Event）、素朴概念を科学的概念に変容させる事象（Critical Event）、科学的概念をサポートする概念、科学的概念をサポートする知覚を配置することで、概念変容のための一連の流れを示している。このコンフリクトマップを基に授業を計画し、実践することで、学習者に正しい概念を構築することができる。

今回作成したコンフリクトマップでは、対象となる科学的概念（ターゲット概念）はそれぞれ「力を受ける物体は、その力と加速度が比例する」と「落下運動する物体には、鉛直下向きの一定の重力のみがはたらく」となり、それらに対する素朴概念は、「力を受ける物体は、その力と速度が比例する」と「物体が動く方向に力がはたらく。その力は徐々に消滅する」とした。作成したコンフリクトマップを基に、授業計画をつくり、実際に授業を行った。

合わせて、授業の効果を調べるために、授業内での簡単な演習の結果や、概念調査の結果を詳細に分析した。また、概念変容が上手く促されたのかを調べるために、授業内の生徒の議論や記述から生徒の考えを読み取った。

引用文献

- [1] Chin-Chung Tsai: Int.J.Sci.educ., 22, 285-302 (2000)
- [2] 太箸良介, 新田英雄: 物理教育 66-2 (2018) pp.99-104

高校3年間にわたっての FCI 追跡調査

広島大学大学院総合科学研究科, 加賀 栄子, 宗尻修治

E-mail d121382@hiroshima-u.ac.jp

1. はじめに

物理教育研究によって従来の伝統的な授業方法では物理概念獲得が難しいことが指摘され、様々な能動的な授業方法が開発されている (例[1])。我々は 2013 年度, 伝統的な授業を行っている A 高校の現状を調べるために, 物理を学ぶ高校 1 年生を対象に 4 月と 2 月に力学概念調査 (FCI) [2,3]を行い, そのゲイン(Hake gain)[4]を調べた。その結果はこれまでの研究で指摘されたとおり, 典型的な伝統的授業の値の範囲にあった。A 高校においても何らかの能動的な授業を取り入れ, 授業の効果を上げていく必要があることがわかった。しかし, すべての授業に能動的な形式を取り入れることは容易ではない。そこでまず, 授業改善のヒントを得るために, A 高校の高校生が, 力学概念を高校 3 年間のどの時期にどの程度理解していくのかを詳しく調べることにした。

FCI 調査は, 2013 年度以降, 毎年行っており, 同一の生徒に対して, 高校一年生の 4 月(I), 2 月(II), 高校三年生の 4 月(III), 11 月(IV)の計 4 回の調査を実施してきた (N=188)。A 高校の授業形式は, 講義形式の伝統的な方法である。ただし, 2014 年と 2015 年度のみ, 1 年生に対して, 2 時間だけチュートリアル[5]の授業を試している。しかし, この時間の全授業時間に対する割合は小さいので, 今回の調査では, これらを含めて 2013 年度以降のすべての年度のデータを平均して分析した。

図 1(a)の  は, 生徒全体の平均の FCI の正答率の変化を示している。物理を学んでいくにつれて, (I) 28.9%, (II) 49.7%, (III) 60.3%, (IV) 67.6%と上がり, 生徒全体としては順調に力学の概念を獲得していくように見える。しかし, 個人の選ぶ選択肢の変化を調べると, 一旦正答を選んでも, 必ずしも継続してそれを選び続けるわけではないことがわかった[6]。このような個人の追跡調査の先行研究には Lasry らによるものがある[7]。彼らは FCI について個人が選ぶ選択肢の追跡調査を行い, pre-test で正答を選んだにもかかわらず post-test で誤答に移った割合(Loss), また, pre-test で誤答を選んだが post-test で正答に移った割合(Gain)を調べ, FCI の得点の高い者ほど Loss が低く, Gain が高いことなどを報告している。本研究では, 高校 3 年間で 4 回の FCI のデータを用いて, 個人の追跡調査を行い得られた知見を報告する。

2. 結果

図 2 は, I~IVのうち, 連続する二回の FCI 調査における個人の選択肢の変化を示す。RR は同一の生徒が二回連続して正答を選んだ問題数の全問題数 30 に対する割合であり, その全生徒の平均値を示す。同様に RW は正答から誤答に移った問題数の全問題数に対する割合, WR は誤答から正答に移った問題数の全問題数に対する割合, WW は二回連続して誤答であった問題数の全問題数に対する割合である。図 2 より, (I)での正答率は, 28.9% (RR+RW) であったが, (II)においても正答したのは 20.3%(RR), (II)で誤答に移った全体に対する割合が 8.6%(RW)であることがわかる。また(I)では, 誤答は 71.1%(WW+WR)であったが, (II)においても 41.7%はそのまま誤答, 29.4%が正答に移っている。(II),(III),(IV)と経過すると, 次第に RR の割合が増え, RR に対する RW の割合は減少していき, 理解が

定着していく様子が見られる。図 1 (a)は、FCI 全体の正答率、RW、WR の変化を示している。正答率は WR-RW だけ増加すると見ることができる。

次に FCI の問別の特徴を調べた。その例として図 1 (b)は、FCI の問 2 の正答率、RW、WR の結果を示している。(b)問 2 は、II の正答率 48.9%が I の正答率 50.0%よりも少し下がっている。このとき誤答から正答に変わった生徒 (WR) は 19.7%で、正答から誤答に変わった (RW) 生徒は 20.7%だった。正答率だけ見ると変化は 1.1%だが、個々の生徒の変化を見ると WR,RW を合わせると約 40 パーセントの生徒の考えが変わっていた。このように、追跡調査をすることによって正答率だけでは分からない生徒の考えの変化が分かる。また、個々の生徒について、FCI の得点と Loss, Gain の関係を調べると、FCI の得点が高いほど Loss が低く、Gain が高いということが分かった。そのほかの詳細は本大会で発表する予定である。

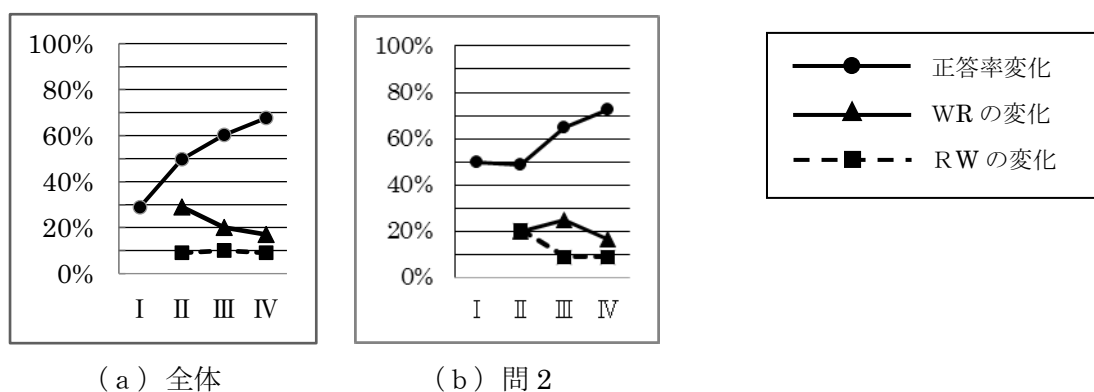


図 1 正答率、RW、WR の変化 (N=188)

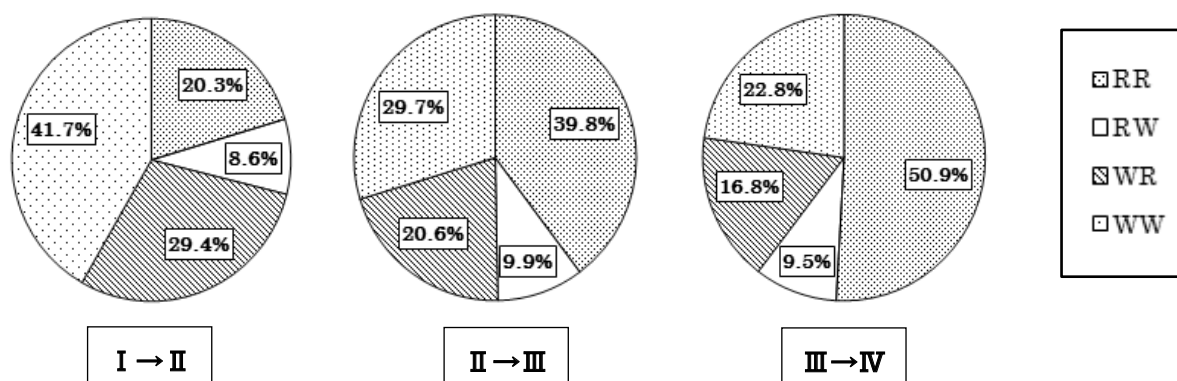


図 2 全回答の中で RR,RW,WR,WW の占める割合の変化 (N=188)

- [1] E.F.Redish 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
- [2] D.Hestenes, M.Wells and G.Swachkamer, Phys.Teach. 30-3 (1992) 141-158
- [3] 石本美智,植松晴子,塚本浩司,新田英雄,覧具博義 「力と運動についての概念調査」 日本語第 2 版
- [4] R. Hake, American Journal of Physics 66 (1998) 64
- [5] 加賀栄子, 宗尻修治, 乾雅祝 第 71 回日本物理学会年次大会 (2016) 概要集 22a-BB4
- [6] 加賀栄子, 宗尻修治, 乾雅祝 第 33 回物理教育研究大会予稿集, 27 (2016)
- [7] N.Lasry, J.Guillemette and E.Mazur, NATURE PHYSICS.Vol 10 (2014)

力学概念理解度調査から見てきた日本の高校および大学基礎課程での物理教育の課題

東工大附高¹，拓殖大²，同志社中・高³，京都教育大⁴，香川大⁵，東京農工大⁶，新潟大⁷

長谷川大和¹，岸澤眞一²，山崎敏昭³，谷口和成⁴，笠潤平⁵，箕田弘喜⁶，

合田正毅⁷，村田隆紀⁴，覧具博義⁶

E-mail hasegawa@hst.titech.ac.jp¹

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」では，2014～2016 年度に，物理教育研究（PER）に基づいて開発された「力学概念理解度調査」（Force Concept Inventory：FCI[1]）を高校生および大学 1 年生約 12,000 名を対象にして実施した。本発表では，本調査から見てきた日本の高校および大学基礎課程での物理教育の課題について考察する。

2. 大規模データの分析

FCI 調査の主要な用途の一つは，力学コース開始時にプレテストとして実施して学習者の力学概念理解の状況や素朴概念の分布を測定して授業設計に役立てることにある。たとえば，Morris ら[2]は米国大学の理工系初年次生約 4000 名のデータを項目応答曲線（Item Response Curves：IRC）により分析した。我々も日本の生徒・学生の FCI データにこの分析を適用して，米国での知見ときわめて強く類似する分析結果を得てその有用性を確認した[3,4]。

しかし，IRC を作成するためには，数千程度の大規模な被検者データが必要である。そこで，我々は正答総数 S が一定値に属する被検者について，それぞれの項目（設問）の正答率を縦軸に，項目（設問）番号を横軸として示したパターン図（項目正答率パターン，Item Response Patterns：IRP）による分析を提案した[5]。正答総数 S が一定値の被検者群ごとに作成した項目正答率パターンの全体は，正答選択肢について作成した全 30 問の項目応答曲線全体と等価である。IRP は作成が容易で，クラスデータなど，数十人程度の小規模データでもその全体傾向をつかむことができる。

3. クラスデータの分析

FCI 調査をコース開始時のプレテストに加えて終了時のポストテストとして実施すれば，事前・事後のクラス平均正答率 $\langle Spre \rangle$ と $\langle Spost \rangle$ の比較からこのコース履修による概念理解の向上が推定できる。Hake[6]は，米国の高・大の入門力学コース 62 クラスのデータの分析から規格化ゲイン $\langle g \rangle = (\langle Spost \rangle - \langle Spre \rangle) / (1 - \langle Spre \rangle)$ を概念理解度向上の指標として提案した。彼によれば，0.3 を超える $\langle g \rangle$ 値は，物理教育研究に基づく改革型の授業でないと得られにくい。

我々の 2016 年度調査で得た高・大あわせて 69 クラスの事前・事後データセットを表 1 に示す。表中で授業法 1 は講義主体の従来型授業，授業法 2 は改革型授業，授業法 3 は部分的に改革型を取り入れた授業である。

高校の「物理基礎」では従来型授業クラスにおける $\langle g \rangle$ の平均 0.12 に対し，改革型では 0.24 で顕著な差がある。しかし，「物理」では従来型で 0.17，改革型で 0.14 であり明確な差が見られない。「物理」まで履修した生徒の高校での力学概念理解の $\langle g \rangle$ を，物理基礎履修者全体(total)の $Spre$ と「物理」の $Spost$ から推定すると，0.27 になり，Hake 報告の高・大の従来型授業

クラスの 0.24 を若干上回る。

表 1 授業法と規格化ゲイン<g>の関係

【高校物理基礎】

	クラス数	総数	Spre 平均	Spre 標準偏差	Spost 平均	Spost 標準偏差	<g> 平均	<g> 標準偏差
授業法 1	11	359	0.33	0.08	0.40	0.10	0.12	0.07
授業法 2+3	11	402	0.36	0.11	0.50	0.15	0.24	0.13
total	22	761	0.34	0.10	0.45	0.14	0.18	0.12

【高校物理】

	クラス数	総数	Spre 平均	Spre 標準偏差	Spost 平均	Spost 標準偏差	<g> 平均	<g> 標準偏差
授業法 1	5	133	0.45	0.09	0.55	0.10	0.17	0.09
授業法 2+3	13	345	0.44	0.10	0.51	0.11	0.14	0.09
total	18	478	0.44	0.10	0.52	0.11	0.15	0.09

【大学基礎課程力学】

	クラス数	総数	Spre 平均	Spre 標準偏差	Spost 平均	Spost 標準偏差	<g> 平均	<g> 標準偏差
授業法 1	20	1,298	0.61	0.13	0.62	0.12	0.04	0.06
授業法 2+3	9	479	0.55	0.14	0.62	0.17	0.19	0.16
total	29	1,777	0.59	0.13	0.62	0.13	0.08	0.12

※Spre はプレテスト、Spost はポストテスト、<g>は規格化ゲイン

大学の基礎課程力学では改革型の授業においても<g>平均は 0.19 であった。しかし、標準偏差は 0.16 と大きく、少数だが<g>の大きいクラスがあることを反映している。大学の基礎課程では従来型クラスが約 70%を占め、その<g>平均は 0.04 ときわめて低いことがわかった。

講演では、いくつかのクラスの IRP のプレテストとポストテストの比較を提示し、「改革型学習」は形式的・表面的な導入ではあまり効果が上がらないことを報告する。

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いたします。なお、本研究は JSPS 科研費 26282032 の助成を受けて実施されています。

参考文献

[1] D. Hestenes, et al. The Physics Teacher, 30,141(1992)

この論文に記載されている FCI は旧バージョンである。調査では改訂版の和訳を用いた。この和訳は PhysPort の FCI translation から入手が可能である(登録が必要)。

<https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?I=5&A=FCI>

[2] G. Morris et al. Am. J. Phys. 74 449(2006), G. Morris et al. Am. J. Phys. 80(2012)

[3] 岸澤真一他：「2014・2015 物理教育の現状調査報告」，第 33 回物理教育研究大会発表予稿集(2016), 17-18

[4] 岸澤真一他：「力学概念理解度調査の項目応答曲線を用いた分析－作用反作用に関わる間を中心に－」，本大会予稿集

[5] 長谷川大和他：「項目正答率パターン」を用いた力学概念理解度の分析」，日本物理学会第 72 回年次大会(2017)概要集 3378

[6] R. Hake, Am. J. Phys. 66, 64 (1998)

力学概念理解度調査の項目応答曲線を用いた分析 －作用反作用に関わる問を中心に－

拓殖大¹, 東工大附高², 同志社中・高³, 京都教育大⁴, 香川大⁵, 新潟大⁶, 東京農工大⁷
岸澤眞一¹, 長谷川大和², 山崎敏昭³, 谷口和成⁴, 笠潤平⁵, 合田正毅⁶, 村田隆紀⁴,
箕田弘喜⁷, 覧具博義⁷

E-mail: skishiza@ner.takushoku-u.ac.jp¹

1. はじめに

「物理教育の現状調査プロジェクト」は2014年度および2016年度に大規模な「力学概念調査」(Force Concept Inventory :FCI)[1]を実施した。プロジェクトでは、この調査によって得られた10,783人のFCIプレテストのデータを基に、Item Response Curves(項目応答曲線:以降IRCと呼ぶ)[2]を作成し分析を試みた。IRCの利点は、統計学に関する詳しい知識がなくとも、図から問の困難度や誤答の選択傾向が読み取れることにある。2017年度にはこのIRCをインペタス誤概念の観点から分析した結果について報告した[3]。今回は主に作用反作用に関わる問について分析した結果を報告する。

2. 作用反作用に関わる問の分析

文献[1]では、FCIで明らかにされる誤概念を分類し表にしている。この表にあげられた誤概念のうち、運動のインペタス概念と、作用反作用に関する誤概念が、もっとも難しく克服することが困難であるとヘステネスは述べている。

作用反作用(Action/Reaction Pairs)に関する誤概念は次の2つである (AR○はヘステネスによる誤概念分類記号)。

AR1 より大きな質量はより大きな力を示唆している

AR2 もっとも活動的なものがもっとも大きな力を発生させる

今回はこの分類にしたがって、作用反作用に関わる4つの問の回答状況を分析する。

Q4 大型トラックと小型自動車の正面衝突したとき、衝突中にはたらいている力

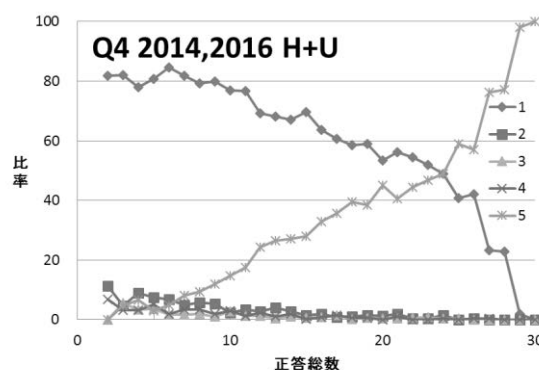
個々の問の「難しさ」をその問の正答者が50%に達するスコア(正答総数)で定義することにすれば、この問の「難しさ」は25でかなり難しい問題である。誤答はほぼ選択肢(1)しか選ばれない。

(1) 大型トラックが小型自動車におよぼす力の方が、小型自動車が大型トラックにおよぼす力よりも大きい。

(1)はAR1に相当する。この誤概念を克服するために、メリーランド大学のOpen Source Tutorialsでは、「自動車の方がトラックよりもより大きな影響を受ける」という直感を大切にし、より大きな影響とは力なのか、それとも速度変化なのかを問いかけることによって、正しい理解へ導こうとする方が示されている[4]。

Q15 小型自動車が大型トラックを加速しながら押す

Q4と同様に難しい問題であり、「難しさ」は27である。おもな誤答選択肢は



(2) 自動車トラックを押す力<トラックが自動車を押す力

(3) 自動車トラックを押す力>トラックが自動車を押す力

である。(2)はAR1に相当する。Q4ではAR1が誤答の大部分を占めていたが、この間では低位層のみに選択されている。(3)はAR2に相当し、低位層から高位層まで幅広く選択されている。この文脈では、質量差よりも、どちらがより活動的(active)であるかが注目されている。

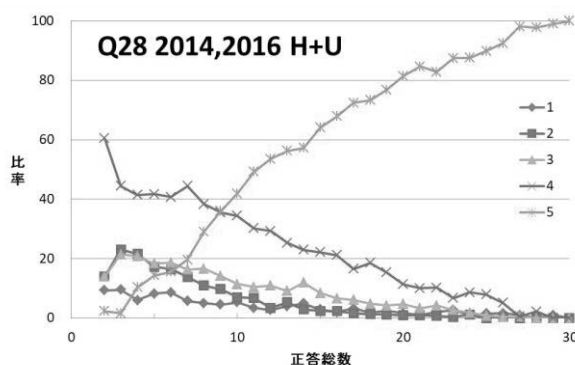
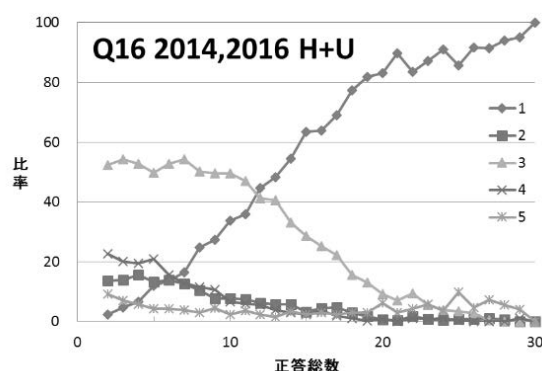
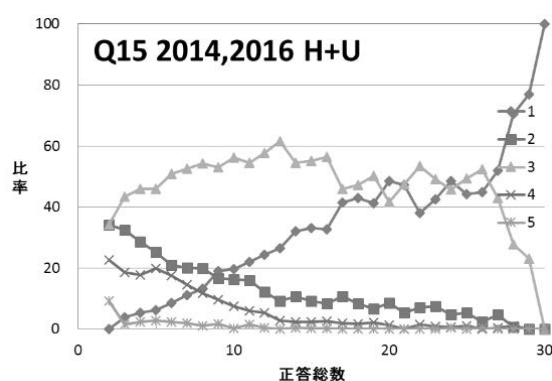
Q16 小型自動車が大型トラックを一定の速度で押す
選択肢はQ15と同じであり、おもな誤答は(3)である。Q4, Q15と似た問題であるにもかかわらず、「難しさ」は15であり、難易度は中程度である。Q15, Q16と比較してQ16の正答率が高いということは、この間では2つの力がつり合っていて等速で動いていると考えている者が多いことを示唆している。

Q28 体重の異なる二人の学生が向かい合っている座っていて、重い学生aが軽い学生bを押す

「難しさ」は11であり、作用反作用に関する問題ではもっとも易しい。おもな誤答は(4)であり、AR1, AR2の両方を含む。

(4) aがおよぼす力の方が大きい

Q4(1)やQ15(3)と比較すると、この間の(4)の選択率は低い。誤概念は文脈によって異なる現れ方をするという一例である。このことは、誤概念克服のためには、教員は様々な文脈で考えさせることによって学習者への支援をする必要があることを示唆している。



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いたします。

この研究はJSPS 科研費 26282032 の助成を受けて行われています。

参考文献

[1] D. Hestenes, et al. “Force Concept Inventory” The Physics Teacher, 30,141-158 1992

この論文に記載されている FCI は旧バージョンである。調査では改訂版の和訳を用いた。この和訳は PhysPort の FCI translation から入手が可能である(登録が必要)。

<https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?I=5&A=FCI>

[2] G. A. Morris, et al. “An item response curves analysis of the Force Concept Inventory” Am. J. Phys. 80(9), 825-831 September 2013

[3] 岸澤真一, 長谷川大和, 山崎敏昭, 覧具博義他:「2014-2016 物理教育の現状調査報告Ⅱー項目応答曲線を用いた分析ー」, 第34回物理教育研究大会講演予稿集(2017), 17-18

[4] <http://umdpereg.pbworks.com/w/page/10511238/Tutorials%20from%20the%20UMd%20PERG>

小学校理科の実験指導力の向上に資する自作型実験教材の研究実践

神戸松蔭女子学院大学, 内田 祐貴

E-mail yuchida@shoin.ac.jp

1. はじめに

小学校理科の大きな課題の1つに、理科の指導、特に実験指導に対して苦手意識を持っている小学校教員が多いという問題がある。現役小学校教員を対象とした、理科教育に調査がいろいろな規模で複数行われているが、そのどれもが、小学校教員の多くが理科の授業に苦戦していることを示している。例えば、科学技術振興機構と国立教育政策研究所が行った調査では、学級担任として理科を教えている教員の約半数が苦手と回答している[1]。さらに、物理、化学、生物、地学と分野ごとの回答では、物理分野が最も否定的（苦手とやや苦手をあわせたもの）回答が多かった。小学校では、中学校高等学校と違い学級担任が基本的にすべての科目を教えることになっている。理科のみを教える理科担当教員や、理科支援員制度を取り入れている自治体もあるが、多くの小学校では、理科が苦手な教員も小学校理科を教えなければならず、これらの調査結果とあわせると、理科、特に物理分野の苦手な小学校教員が日々の理科の授業を教えているといえる。日本では、「理科離れ」の問題や、理数系人材の強化がいられているが、小学校理科は科学の入口として、科学の面白さを児童生徒に伝える重要な役割があり、それを担う教員の影響力は大きい。この観点からも、小学校教員の理科指導力向上への支援は、重視すべきものである。

2. 自作型実験教材と実践

この問題の解決として、実験観察を主体とするカリキュラムを大学で実施するなどいくつかの試みが行われている。本研究では、注射器を利用した真空ポンプの自作型実験教材[2-4]を用い、指導力向上への効果を検証する。実験器具から自作することにより、実験の原理をより深く理解でき、実験技術、実験指導力の向上などが期待できる。

研究実践として、発表者の所属する大学で2015年度から、教員免許更新講習講座（選択領域：小学校）「理科を楽しく教える」において、この教材を用いた実験教材作成演習を行っている。実験教材作成演習では、簡易真空ポンプを一人ずつ作成してもらい、作成した教材を用いて、3つの実験（「低圧状態でのマシュマロ等の体積膨張実験」、「擬似雲の発生実験」、「減圧沸騰実験」）を行った。真空ポンプを、材料は集めやすく安価であり、特殊な工具を使わずに簡易に作成でき、0.2気圧程度まで減圧できるものである。実際に、受講者全員が45分以内に完成することができた。

3. 結果と考察

研究実践の概要は次の通りである。

- (1) 実施時期：2015年～2017年の3回
- (2) 対象者：小学校教員免許更新講習受講者

(3) 実施内容：教材作成演習、作成した教材

講習の最初に受講者自身の理科指導に関する自己評価を行ってもらい、講習終了後、実験教材円周に対するアンケートに回答してもらった。アンケートの内容は、以下のとおりである。

質問内容

Q1：自分で実験器具を作ることは、実験技術の向上につながりますか？

Q2：実験器具から自作できる実験教材に興味（授業などで活用したい）ありますか？

Q3：今後、このような講習（教材作成）があった時に、参加したいと思いますか？

回答項目

1：思う

2：やや思う

3：やや思わない

4：思わない

回答は選択式とし、肯定的回答（回答 1 と 2）、否定的回答（回答 3 と 4）から選択してもらった。アンケートの回答数は 54 であり、結果は表 1 の通りである。

	思う	やや思う	やや思わない	思わない	無回答
Q1	64.8	33.3	0	1.9	0
Q2	75.9	22.2	1.9	0	0
Q3	57.4	38.9	1.9	0	0

表 1. 自作型実験講習に対するアンケート結果（N=54）

Q1 では肯定的回答が約 98.1%、また Q2, 3 でも肯定的回答が 98.1%であった。さらに、「教員経験歴」、「実験器具の自作経験」、「理科の指導法についての知識・技能の自己評価」、「理科の観察・実験についての知識・技能の自己評価」などの質問結果と、アンケートの回答との間には特定の相関は見られず、参加者のすべての層から肯定的評価が得られたことから、今回の実験教材が、「授業で使える」理科指導力向上に役立つ内容であったと考えられる。自由記述欄においても、「2 学期の授業で使いたい」、「今後もこのような講習を受けたい」という回答が複数見られた。これらは、Q2, 3 の回答結果の傾向と一致しており、小学校教員の実験指導力向上に自作型実験教材が資する可能性を示唆している。

参考文献

- [1] 科学技術振興機構理科教育支援センター、「平成 20 年度小学校理科教育実態調査（速報）」（2008）
- [2] 岩間滋、「注射器で簡単に作れる簡易真空（減圧）ポンプ」、第 27 回東レ理科教育賞受賞作一覧
- [3] 山本明利、「Y P C 簡易真空実験器の作り方と使い方」、YPC ニュース **185** pp. 12-15（2003）
- [4] 内田祐貴、「実験教材としての簡易真空ポンプの研究開発と教育実践」、神戸松蔭女子学院大学研究紀要人間科学部篇 **5**, pp. 67-74(2016)

生活科自然領域モデル授業「てこのかがく」に見られる

小学 1 年生の探索行動の段階性(II)

小谷卓也¹, 小川真里佳², 大阪大谷大学教育学部¹, 熊取町立東小学校²

E-mail kotanit@osaka-ohtani.ac.jp¹, o6mrk4emyspc@gmail.com²

1. 本研究の背景

1989 年に低学年理科・社会科が廃止され、代わって生活科が新設された。設置から 30 年経った生活科は、低学年の「基幹教科」としてほぼ定着してきた。しかし 2008(平成 20)年に出された中央教育審議会答申で、「科学的な見方・考え方の基礎」の育成や「中学年以降の理科の学習との接続」が不十分であることが指摘され、小・中・高等学校理科における自然認識や科学的思考の土台となるべき生活科の「自然」と関わる体験活動に課題があることが明らかとなった。

そこで小谷らは、かつての低学年理科のねらいの 1 つであった「自然認識」や「科学的な見方・考え方の基礎」を現行の生活科において育成するため、乳幼児期(0-6 歳児)と低学年児童期(7-8 歳)を接続する 8 年一貫の科学教育プログラム「かがく」を開発して生活科自然領域の授業として実施し、「かがく」の体験活動でどのような認識や思考が育成され、それらが将来の理科とどのようにつながっていくのかについて調べてきた(e.g., 小谷, 2018)。低学年児童期の「かがく」のモデル授業の 1 つである「てこのかがく」の実践研究においては、小学 1 年生の探索行動の特性として、3 つの段階があることを明らかにした(小谷・小川, 2018)。

2. 本研究の目的

本研究では、生活科自然領域のモデル授業「てこのかがく」における小学 1 年生の抽出児 12 名の探索行動の 3 つの段階である「いじくりまわす」段階、「試す」段階、「納得する」段階の各段階の時間的変化の特性を明らかにすることを研究の主たる目的とした。

3. 本研究の方法

(1)実施日時: 2016 年 10 月 31 日 2・4・5 限

(2)調査対象児(抽出児): 自然と関わる体験に興味の高い小学 1 年生 12 名(M:6 名、F:6 名)を選出

(3)調査実施場所: 大阪府下の私立 A 小学校

(4)生活科自然領域のモデル授業「てこのかがく」の概要

「てこのかがく」のねらいは、低学年児童に、てこの体験活動を通して認知スキルである「思考のスキル」を自然に身につけさせ、「自分なりの理屈」を構築させることである。授業構成上、低学年児童が自力で気づけるような極めて基本的な科学知識を「知的な気づき」として設定するが、これを低学年児童に気づかせることが目的である為、教師が直接教えたりしない(表 1 参照)。

表 1「てこのかがく」の「思考のスキル(認知スキル)」と「知的な気づき」

思考のスキル(認知スキル)

(1)観察のスキル:左腕と右腕に同種のおもりを 1 個ずつ置き、てこがつり合う(回転する)様子を集中して見る事ができる。

(2)コミュニケーションのスキル:「てこ」のつりあう位置について気づいた事を、様々な方法で他者に伝えることができる。

(3)「予測」:てこの探索体験を通じて、どの位置におもりを置くとつり合うのかを実験前に考えることができる。

知的な気づき(=低学年児童が自力で気づけるような初等的科学知識)

2 つのおもりを、それぞれ支点を挟んで「てこ」の右腕と左腕の等距離の位置にのせると、てこがつり合うことに気づく。

「てこのかがく」は、第1部「投げかけの時間」（「つりあい」現象と出会わせした後、1人1セットの教材を配布し、てこの左腕におもりを固定した時、右腕のどの位置におもりを置くとつり合うのかを問う）、第2部「探究の時間」（「左端」に加え「中央(軸)」の位置におもりを固定した時、右腕のどの位置におもりを置くとつり合うかを自由に探索させる）、第3部「振り返りの時間」（気づきを友達同士で共有する）、第4部（おもりの種類をかえて探索する）の4部で構成した。

(5)データ取得の方法:抽出児12名の言動を1抽出児につき1台のビデオカメラで追跡記録した。

(6)分析の方法:抽出児の第2・4部の計約14-24分の時系列エピソード記録から探索行動の時間的変化をマイクロジェネティック法によって分析した(e.g.,Siegler,R.S.,1995)。さらに仮説生成型の事例分析から、探索行動の特性の仮説を導き出した(e.g. 無藤ら、2009)。

4. 本研究の結果と考察

小谷・小川によれば、「てこのかがく」における探索行動には、表2のように「いじくりまわす」・「試す」・「納得する」の3つの段階が存在することが明らかとなった(小谷・小川、2018)。

この3つの段階の時間変化をグラフ化した結果、時間が経過しても探索段階が「いじくりまわす」段階(記号:1)から変化しない時間変化のパターン(12名中7名[BF1C1/BF1C2/BF1C3/CM2C2/CM2C3/DF2C2/DF2C3])、時間経過とともにいじくりまわす段階(記号:1)と試す段階(記号:2)の2つの段階を推移する時間変化のパターン(12名中4名[AM1C1/CM2C1/DF2C1/AM1C2])、3つの段階を推移する時間変化のパターン(12名中1名[AM1C3])の3つのパターンを抽出できた(図1・2参照)。

表2 「てこのかがく」の探索行動特性から導かれた3つの段階

- | |
|---|
| (1)「いじくりまわす(Messing About)」段階の探索特性: てこの左腕の初めておく位置におもりを固定し、右腕も初めておく位置におもりをのせた後、つり合いの位置を見つけようとするような探索のこと。 |
| (2)「試す」段階の探索特性: てこの左腕にこれまでおいた位置に再びおもりを固定し、右腕もこれまでおいた位置におもりをのせ、つり合いの位置を見つけようとするような探索のこと。 |
| (3)「納得する」段階の探索特性: つり合いの位置がわかったにもかかわらず、意図的にその位置からおもりをずらしてつり合うかどうか確かめたり、友達が主張する「つり合いの位置」を自分で実際に追試したりしようとするような探索のこと。 |

(stage) 女児DF2C2の探索段階の時間変化

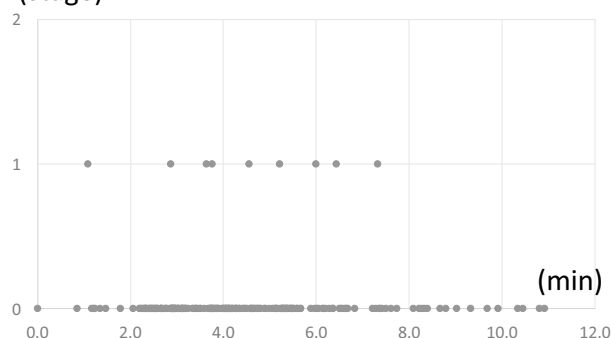


図1 時間が経過しても探索段階が変化しないパターン

(stage) 男児AM1C1の探索段階の時間変化

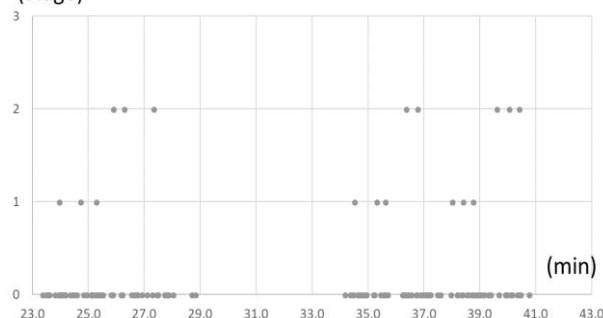


図2 時間の経過とともに探索段階が変化するパターン

付記:本研究は、科学研究費(研究課題番号:18K02967、研究代表者:小谷卓也)の助成を受けた。

引用・参考文献:[1]Siegler, R.S., 'How Does Change Occur :A Microgenetic Study of Number Conservation', Cognitive Psychology28,pp.225-273,1995.

[2]David Hawkins, 'Messing About In Science', Science and Children2(5), pp.1 -4, 1965. 他

子どもが持つ支点の位置に関する素朴概念

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. 研究の概要

小学生を対象とした物理概念調査の作成過程において、「てこの支点の位置は、その中心になければならない」という素朴概念を持つ児童が多数いることが分かった。てこの規則性の授業実践で事前・中間・事後調査を行い、子どもが持つ概念を調査すると、さおばかりの問題では、正しい概念に変容した児童は少なく、さらには、中学生でさえ同様な素朴概念を持っていることが分かった。てこの規則性を理解しても、時間が経つと元の素朴概念に戻ってしまい、この素朴概念は非常に強固で、正しい科学概念へと変容しづらいことが明らかになった。

2. 研究の目的

理科の学習において、子どもがさまざまな素朴概念や誤概念をもち、これらが授業を通して変容しづらいことは、よく知られた事実であり、これまでに非常に多数の研究が行われてきた。筆者は、児童が持つ概念を分析することを目的として、2015年～2017年にかけて、主に小学校第6学年児童を対象として、また、一部対象を中学生にも拡げて、小学校理科物理分野についての概念調査を行ってきたが、その中で、一連の調査結果を通して、子どもには、「てこの支点の位置は、その中心になければならない」という素朴概念が存在すること、また、「てこの規則性」について学習したにも関わらず、この素朴概念が、根強く存在し続けることが分かった。本論文では、今までの概念調査結果に基づいて、てこの支点の位置に関する素朴概念について検討・吟味する。

3. 研究の方法

概念調査においては、多肢選択式問題による定量的な分析方法と回答理由記述による定性的な分析方法を併用することにした。下に詳述するように、多肢選択式問題による調査問題の典型的な例として、近年高等学校や大学でしばしば用いられている「力学概念調査 (Force Concept Inventory, FCI)」が挙げられる。Hestenes et al. (1992)によると、FCIは、その作成段階において、力学概念に関する一覧表が「正しい概念」と「誤概念」に分けて作成され、これらに基づいて問題や選択肢がつくられている。さらには結果の分析、生徒・学生へのインタビューを通して問題や選択肢の改良がおこなわれて現在の版へと至っている。ここでは、「児童・生徒が持つ素朴概念の発生状況を調査問題や選択肢に反映させる」ということに関して、FCIの問題作成のプロセスを一部援用した。特に、「てこの規則性」に関する調査問題においては、「てこの支点の位置は、その中心になければならない」という素朴概念が、すでに初期の調査段階で見られたため、その発生状況を踏まえて、3回にわたって問題を修正改良した（以下、それぞれの段階での調査を第1次、第2次、第3次と呼んで区別する）。問題の修正改良後には、「てこの規則性」の授業の進捗状況に合わせて事前調査－中間調査－事後調査を行った。児童の概念獲得状況を比較するために、これらの調査ではすべて同一問題を使用した。これらの結果に基づいて比較・検討した。

4. 結論と課題

本研究では、「さおばかり」に関する多肢選択方式による調査問題を小学校児童、および、中学校生徒を対象として行うことにより、「てこの支点の位置は、その中心になければならない」という、「支点中心説」を持っているということを示してきた。また、多肢選択式問題の回答理由を記述させることを通して得られた児童・生徒の思考に基づいて、問題そのものや選択肢を修正した問題を用いることによって、この問題が「支点中心説」を的確に検出できているということが分かった。特に後者については、正答 4 を選択した児童・生徒の回答理由記述には、「支点中心説」に類する素朴概念を示唆する記述が皆無であったことから、正答選択肢を「支点中心説」に基づく偽正答から分離できたことが裏付けられる。

一方、一般的な「てこの規則性」の授業を行っても、児童が持つ「てこの支点の位置に関する素朴概念」は、他の素朴概念と同様に、それほど改善しないという事実が分かった。また、学習を通して、たとえ正しい概念について一時的に理解できたとしても、それは極めて脆弱であり、時間が経つとやはり「支点中心説」が優勢になることも分かった。さらには、中学校に進学して、生徒が、力と運動に関する新たな学習内容について学んだとしても、「支点中心説」は、一部の生徒には根強く残っていることが明らかになった。

第 6 学年「てこの規則性」の学習においては、支点の位置が棒の中心ではない事象を取り扱っている。長い棒を用いたても実験用ても、支点が棒の中心になるのは特別な場合であり、支点の位置がいつもその中心になるとは限らない。今回の一連の調査において、「支点中心説」は、事前調査の段階ですでに出現しているが、この素朴概念が、子どもの発達段階のどの段階で形成されるのかということについては、現在のところまだよく分からず不明であり、その解明は今後の課題の 1 つである。ただし、実験用てこにおいては、支点の位置がその中心に固定されているため、この素朴概念が生まれる、もしくは、強化される可能性があるといえるが、その点も含めて、回答理由記述だけではなく、今後児童に対してインタビューを行うなど、「支点中心説」の発生要因をさらに詳しく調査する必要があると考える。また、素朴概念は、科学的な概念の獲得を阻害する要素とも成り得るため、実験用てこを取り扱う際には、「てこの支点の位置は、その中心にあるとは限らない」ということを強調して指導するとともに、演示を行ったり、実際に「さおばかり」を製作させたりすることによって、このことを確かめさせる必要があると考えている。高等学校や大学の物理講義において、伝統的な形式の授業は、素朴概念・誤概念を改善し、正しい物理概念を生徒・学生に習得させるのにほとんど効果がないと言われている (Redish, 2003)。そのため、アクティブラーニングの導入をはじめ、世界各国の高等学校や大学の授業改革が進んでいる。小学校理科においても同様である。てこ自体が子どもの日常生活に浸透している割には、「支点中心説」という素朴概念が学習後においても根強く残っていたことから、子どものてこに対する認識は十分ではないといえる。そのため、小学校理科においても授業改革が必要である。そこで、授業改善のための方策の 1 つとして、今回作成した調査問題を授業評価のための指標として活用していきたいと考えている。

【参考文献】

- Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G.: Force Concept Inventory, THE PHYSICS TEACHER, VOL30, 141-158, 1992.
Redish, E.F.: Teaching Physics With the Physics Suite, John Wiley & Sons, Inc., 2003.

※本稿は、現在、東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科の学校教育学研究論集に投稿審査中の論文より抜粋したものである。

斜面上の物体にはたらく重力の分解に関する教材開発と 中学校における授業実践

徳島市徳島中学校¹，鳴門教育大学附属中学校²，鳴門教育大学³

森愛実¹，穴野彰彦²，寺島幸生³

E-mail yterashima@naruto-u.ac.jp³

1. 背景と目的

理科授業において，探究的な活動の場面を積極的に設定し，科学的な思考力，表現力を育む活動が求められている．しかし，学習内容によっては効果的な教材研究や実践研究が十分とは言えない．例えば，中学校第3学年の「斜面上の物体にはたらく力」の単元の授業では，紙面上で力を作図して分解し，力の矢印の長さから分力の大きさを捉えさせる指導法が一般的である．したがって，生徒が斜面に平行，垂直な各分力を直接測定して，重力と各分力の大小関係や，斜面の傾きと分力の大きさとの関係について探究的に学ぶ取組は比較的少ないと考えられる．我々は，探究的な活動を通して，生徒が斜面上の物体にはたらく重力を分解し，重力と分力の大小関係や，傾斜角と分力の関係について理解できるように，従来よりも簡易な材料，方法で分力を求める実験教材・方法を開発し，それを用いた中学校理科の授業を実践した¹⁾．本発表では，開発教材の特性，授業実践の概要および成果と課題について報告する．

2. 教材開発

分力測定の方法と実験教材の構成を模式的に図1に示す．傾斜角 θ のなめらかな斜面上にある重量 W の台車を，斜面上方からばねばかりで吊るして静止させ，ばねばかりの表示値から，台車にはたらく重力の斜面に平行な方向の成分 $W\sin\theta$ （以下，分力A）を求めた．また，斜面に沿って物体を支えた状態で，斜面に垂直な方向から物体をばねばかりで吊り上げ，物体が斜面から離れるときのばねばかりの表示値から，斜面に垂直な方向の成分 $W\cos\theta$ （以下，分力B）を求めた．

木板の一端を滑り止めシートを敷いた机の上に置き，他端をL字形ブックエンドの上に置いて斜面を設定した．板の上面にステンレスシートを貼り付けた．台車が乗り切るサイズで側面，底面が平らな金属製L字形ブックエンドを，斜面下方から台車を支える壁として使用した．ブックエンドの底面裏側にマグネットシートを貼り付け，斜面下方のステンレスシート上に磁力で貼り付け固定した．台車，ばねばかり以外の各材料は，100円ショップやホームセンターで購入した．

傾斜角 $\theta = 15^\circ$ ， 30° ， 45° における台車にはたらく重力の分力A，Bを各々10回ずつ測定し，その平均値と標準偏差を算出した．また，ストップウォッチを用いて，測定に要した時間を計測した．分力Bの測定では，図1のように台車を釣り上げると台車が傾いたり揺れ動いたりして不安定なため，斜面上のブックエンド側面に台車の車輪を置いて，台車を斜面に垂直な

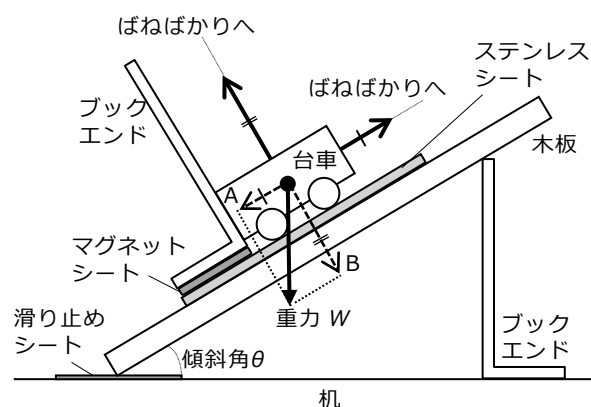


図1 測定方法と実験教材の模式図

方向に吊り上げる方法も試行した。また、旅行用キャリーケースの重量を量るハンディタイプのキャリースケールを用いて各分力を測定した。各方法での実験結果、操作性および所要時間を比較し、中学生の実験として最適な方法について検討した。

実験結果から、ばねばかり、キャリースケールによる両測定は、分力を求める上で共に有用であるが、それぞれ以下の特性と注意点が判明した。ばねばかり測定では、キャリースケール測定よりも1桁高い有効数字で、計算値に概ね一致する結果が得られた。しかし、台車の車輪を斜面上に置いて分力Bを求める場合には、台車の釣り上げ操作の不安定さによって、精度が下がり、測定に比較的時間を要した。台車をブックエンドに沿って置くことで、精度が改善し、時間も短縮できた。一方、キャリースケール測定では、得られる有効数字は少ないが、分力A、Bともに結果のばらつきが比較的小さく、ばねばかり測定よりも短時間で簡単に測定できた。本研究では、生徒実験を含む探究的な学習を1回50分の授業で効率的に行う目的から、生徒が使い慣れたばねばかりを用い、分力Bについては、中学生でも簡単かつ短時間に極力小さな誤差で測定できるように、台車の車輪をブックエンドに載せて測定する方法を採用して、以下の授業を計画した。

3. 授業実践

2017年、徳島市の公立A中学校において、上記の実験教材・方法を用いて、斜面上の台車にはたらく重力を斜面上に平行および垂直な方向に分解して捉える第3学年理科の授業を実践した。活動前の調査から、重力よりも斜面上に平行な分力の方が大きいと誤解している生徒が多いことが分かった。重力と各分力の大小関係や、分力の大きさと傾斜角との関係を調べるという課題を設定し、生徒4～5人のグループ毎に、実験教材を組立て、先述の測定方法により分力を測定した。生徒は各傾斜角につき、両分力を5回ずつ測定し、その平均値を算出してワークシートに記録した。グループ毎に実験結果について議論、考察した後、各グループの代表者が得られた結論を発表して全員で共有した。教師は、生徒の結論を整理して、重力が斜面上に平行、垂直の各方向に分解できることや傾斜角と分力の関係、重力と分力の大小関係についてまとめた。

4. 成果と課題

教材開発や予備実験の結果と生徒の実験結果や活動状況を踏まえて、本研究の成果と今後の課題について検討した。生徒実験の結果は、計算から予測される分力と傾斜角との関係を概ね再現した。多くの生徒が、授業前には重力と分力の大小関係を正しく理解できていなかったが、本授業を通して、重力の分解、各分力と傾斜角の関係および重力と各分力の大小関係について正しく理解できたことが、ワークシートの記述から推察された。今回開発した教材は、安価に購入できる素材を簡単に加工、組み立てるだけで作製できるため、教材準備における教師の負担が少ない。斜面上に平行な分力だけでなく、台車の向きを工夫することで、斜面上に垂直な分力を簡単かつ短時間に比較的精度よく測定できる。本教材を用いた実験によって、生徒は力の大小関係を単に紙面上の矢印としてではなく、実測値に基づいてより深く理解することができた。従来の装置や方法よりも簡単に分力を求められる実験教材を安価な材料で開発し、生徒実験に活用して、その有用性を提案したことが本研究の成果である。課題として、教材各部の設計や測定方法を再検討し、生徒実験での誤差をさらに小さくする工夫が必要である。

参考文献

- 1) 森愛実, 宍野彰彦, 寺島幸生: 応用物理教育, 第42巻1号, pp.27-32, 2018年

運動する物体を題材にした探究活動における足場かけの工夫 ～中学校理科3年生の「運動とエネルギー」を題材に～

森山正樹，札幌市立白石中学校

E-mail masaki.moriyama@sapporo-c.ed.jp

1. はじめに

中学校理科3年生の単元「運動とエネルギー」において，レールを転がる小球の運動の規則性を生徒が探究する実践を2か年で行った。物体に働いている力は目に見えないため，力の働きに着目して物体の速さの変化などの運動を論じるのは中学生には非常に難しい。そこで，生徒が仮説を設定して実験に臨む際に，教師がどのような足場かけ(scaffolding)をすると生徒の学びを深めることができるかを検証した。なお，生徒が仮説を設定する際には，1年目に4QS(フォーカス)を活用し，2年目では4QSを活用しない方法で探究活動を行った。

2. 「物体の運動」の章における目標

- 力と運動に関する事物・現象に進んで関わり，それらを科学的に探究しようとするとともに，事象を日常生活との関わりでみることができる。 <関心・意欲・態度>
- 力と運動に関する事物・現象の中に問題を見いだし，目的意識をもって実験を行い，運動の規則性について自らの考えを導いたりまとめたりして表現することができる。 <思考・表現>
- 力と運動に関する実験の基本操作を習得するとともに，実験の計画的な実施，結果の記録や整理などの仕方を身に付けることができる。 <技能>
- 力と運動に関する規則性について，基本的な概念や原理・法則を理解し，知識を身に付けることができる。 <知識・理解>

3. 教材の工夫

章全体を通して生徒の興味を喚起するため，演示実験装置を開発した(図1)。電気配線のカバーをレールとして，レールの側面に磁石をつけて黒板に設置し，異なる状態(①下り斜面，②水平面A，③登り斜面，④水平面B，⑤落下)を作った。

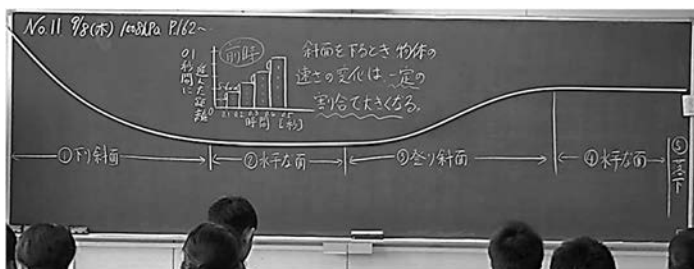


図1 黒板一面に設置した演示実験装置

レールの左上からビー玉を転がし，①～⑤を転がるビー玉の速さに着目させた。以後に扱う運動の状態をすべて包含しており，運動を見て生じた疑問を章全体の学びへ展開できるようにした。

4. 指導計画(12時間扱い)

- ・レールを転がる小球の運動(①～⑤)を見て，速さがどうなっているのか考える(1時間)
- ・速さを求めるための技能(記録タイマーの使い方)を身に付ける(1時間)
- ・斜面(①)を下る物体の速さの変化を調べる(2時間)
- ・運動する物体の速さの変化を大きくするにはどうすればよいか調べる(2時間) -本時-
- ・水平面(②④)を進む物体の速さはどうなっているのか調べる(1時間)
- ・斜面(③)を登る物体の速さはどのように変化しているのか調べる(1時間)
- ・斜面の角度が90度(⑤)のとき，物体の速さはどのように変化しているのか調べる(1時間)
- ・①～⑤の運動における速さの変化は何によって決まるのか考える(1時間)
- ・慣性の法則，作用・反作用の法則について知る(2時間)

5. 4QS(フォークス)とは

4QS(Four question strategy)とは、子どもの疑問を科学的に探究可能な「問題」にするために Cothron らが提唱した指導法であり、日本では小林らによって研究された。ワークシートの STEP1～4 の手順で空欄を埋めていくと、具体的な仮説を立てることができるように工夫されている(図2)。

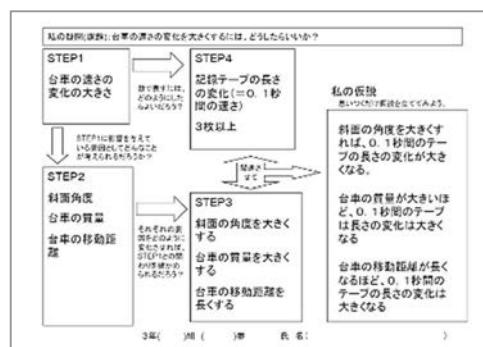


図2 4QSのワークシートの活用例

6. 本時(2時間)の展開

下り斜面(①)を力学台車が運動する実験を行う際に、基準(斜面の角度と物体を走らせる位置)となる状態を決め、すべての班が同じ条件で測定を行い、基準となるグラフを作成して速さの変化を確認した。どんな条件を変えると台車の速さの変化を大きくできるか、次時に仮説を立てた。

(1) 4QSを活用した場合(1年目:2016年度に実施)

4QSを用いて、STEP1～4を考えながら自分の仮説を立てた。その後、班で話し合いをして検証実験を行った。検証実験の結果と、前時に得た基準の状態のグラフ(紙テープの長さの差)とを比較して、速さの変化を大きくする条件を見出した。

(2) 4QSを活用しない場合(2年目:2017年度に実施)

仮説を立てる段階で、速さの変化が大きくなる条件を記入する欄をワークシートに設けた。生徒から出た条件は、斜面の角度、台車の質量、台車の位置、台車が走る距離を変えるなどだった。その中で有力と思われる方法を班で2つ選択して、各班で実験を行った(図3)。その際に、一つの条件だけを変えるように促した。



図3 仮説を検証する実験の様子

7. 実践を終えての考察

この教材の開発により、「物体の運動」の章を通して好奇心が持続し、レーンで見た5つの場面について次々と調べる実験を展開できた。仮説を設定する場面において4QSの手法は有効であり、仮説を立てるのが苦手な生徒でもSTEPに従って考えていくことで仮説を立てることができた。この手法の良いところは、条件制御をしっかりと行った実験計画をつくることのできる点である。しかし、4QSを使えば仮説設定の力がつくとは単純には言えない。4QSはいわば思考ツールの一つであり、スキルを身に付けるために活用すると効果がある。4QSでは変数を一つに条件制御して考えるように構成されている。そこで2年目の実践では、変化させる一つの条件に着目して実験するように支援した。これにより、生徒は条件制御をしっかりと行って要因を考えることができた。つまり科学的に考える際に必要なのは、変数を一つにして検証することである。このことを指導者が理解した上で、生徒にふさわしい問題解決の場を設定していくことが大切である。

8. おわりに

1年目の実践で、生徒は①～⑤の運動において速さの変化する理由を明確に説明することが難しかった。そこで2年目の実践では、物体に働いている力に注目するようにして、力の矢印の作図を通して現象を説明するように促した。目に見えない力やエネルギーの存在を生徒が理解するのは難しいが、生徒の発達に応じたよりよい工夫を模索していきたい。生徒の学びを深めるためには、より良い教材の開発と思考するプロセスの習得などの足場かけが必要であると考えられる。

9. 参考文献

小林辰至, 永益康彦(2006), 「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望」, 科学教育研究 Vol.30 No.3, p.188

中学「作用・反作用の法則」におけるILDsを組み込んだ教授方略の考案と実践

同志社女子中学校・高等学校 北村貴文

E-mail kitamura@mail.girls.doshisha.ac.jp

1. はじめに

作用・反作用の法則は中学校で初めて扱うが、そこには多くの誤概念が報告されており¹⁾、教員でさえも誤概念を所持していることがある²⁾。学習者の理解や認知の過程を考慮した学習素材や、カリキュラムの再構築が必要とされている²⁾中で、例えば、運動方程式を拠り所とした報告などがある³⁾が、中学生に適応させることは難しい。中学校段階では、カリキュラム上、ある一つの場面を例に説明するだけではなく、様々な場面で作用・反作用の法則が成り立つことを考え、その結果、作用・反作用の法則の概念的理解に結び付けるような帰納法的推論による学習展開をとることが一つの手段として考えられる。ILDs「作用・反作用の法則」⁴⁾はさまざまな場面で作用・反作用の法則に関する演示実験を確認し、議論させる展開となっている。そのため、中学生に対しても、実験事実を確認すること、さらに、作用・反作用の法則がいずれの場面でも成り立つことを確認する点で、学習に組み込む意義は大いにあると考えられる。

そこで、中学校「作用・反作用の法則」におけるILDsを組み込んだ帰納法的教授方略を考案、実践し、初学者に対する概念理解を促すことを目的とした。

2. ILDs 作用・反作用の法則の演示内容

各演示実験(表1)の展開は【①ICTなしの演示、②個人予想、③班・全体議論、④ICT有りの演示、⑤班・全体議論】である。

ここで、中学生を対象とするために、問題の表現や課題の提示方法を中学生に理解しやすい内容に変更しており、いずれの演示実験に対する解答も多肢選択型とした。また、結果はグラフで提示するため、グラフを読めない生徒は結果が分からない可能性がある。そこで、ICT有りの演示後の議論では、「グラフをどのように見れば結果がわかるか」について言及することを指示し、議論場面でのグラフの理解を促した。

3. 2015年度の実践の成果と課題

対象 京都府の私立中学校の3年生4クラス166名の生徒を対象に行った。実施時期は2015年9月中旬であり、ILDsの作用・反作用の法則を2コマ(45分/コマ)で実施した。

内容 2章で述べたILDsを実施した。「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」ことを教示して行った。

結果と考察 個人予想時の解答とその確信度(図1)から、演示実験前に誤概念を強い確信のもと所持していること、演示状況が変わるごとに、認知的葛藤が起こり、正しい概念に近づいてい

表1 本実践における演示実験の内容と課題

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、 $F(\text{手} \rightarrow \text{ブ})$ と $F(\text{ブ} \rightarrow \text{手})$ の大きさを比較。
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、 $F(\text{手} \rightarrow \text{ブ})$ と $F(\text{ブ} \rightarrow \text{手})$ の大きさを比較。
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、 $F(\text{手} \rightarrow \text{ブ})$ と $F(\text{ブ} \rightarrow \text{手})$ の大きさを比較。
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、 $F(\text{B} \rightarrow \text{A})$ と $F(\text{A} \rightarrow \text{B})$ の大きさを比較。
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。 $F(\text{B} \rightarrow \text{A})$ と $F(\text{A} \rightarrow \text{B})$ の大きさを比較。
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 $F(\text{B} \rightarrow \text{A})$ と $F(\text{A} \rightarrow \text{B})$ の大きさを比較。また、力の向きも比較。
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 $F(\text{重} \rightarrow \text{軽})$ と $F(\text{軽} \rightarrow \text{重})$ の大きさを比較。また、どちらの台車が先に力を受けたかも比較。

ることが示唆された。また、演示実験終了後、「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」をより詳しく説明することを求めた自由記述の回答を求めたところ、作用と反作用の大きさに関する記述に強い認識を示していることが示唆された〔力の大きさが同じ：82%、逆向き：29%、同時にはたらく：34%、常に成立、24%〕。この実践では、中学生に対しての ILDs の有効性が明らかになった一方で、初学者を対象とするために、より全般的な着目ができるような改善の必要性が明らかになった。

4. ILDs を組み込んだ中学生版教授方略の考案と 2017 年度の実践

対象 京都府の私立中学校の 3 年生 2 クラス 81 名（41 名 × 2 クラス）の生徒を対象に行った。実施時期は 2017 年 11 月上旬であり、2 コマ（45 分/コマ）で実施した。

内容 次の①～④の内容を加えた。①演示前に作用・反作用の語句を説明。②実験前に全演示実験を踏まえてわかることを後で考えてもらおうと生徒に説明（メタ認知の促進）。③作用・反作用について矢印で図示する項目を予想シートと結果シート内に設置（力の大きさ、力の向き、2 物体間にはたらく力であることについて、全演示実験で意識させる）。④「つり合いの関係にある 2 つの力」と「作用と反作用の関係にある 2 つの力」の違いについて教員を含めたクラス全体で議論（作用・反作用の法則は 2 物体間で成り立つことを意識づける）。

結果と考察 概念テストとして、「つり合いの関係の 2 力と作用・反作用の区別」「静止した 2 物体での作用・反作用」、「質量が違う 2 物体の衝突での作用・反作用」、「作用・反作用の法則は常に成立する」についての質問紙調査を作成し、実践前後で調査したところ、全問正答率は〔事前：0%、事後：76%〕であり、異なる課題での遅延調査でも正答率は 78%であった。また、事前事後テストのいずれにおいても正答率が高かった課題を除いて、マクネマー検定を実施し、実践によって先行概念から正しい概念を理解できたか検討をした結果、いずれの課題でも有意差がみられた。

また、2015 年度の演示実験時の正答率の変化と比較（図 2）した結果、推移の傾向には大きな違いはみられなかった。そのため、対象が異なっても、中学生であれば、複数場面の確認の必要性を示唆しているといえる。一方、キーワード出現率を比べると全般的な理解が認識できる教授方略となっていた（図 3）。これは、演示実験前のメタ認知の促進、シート内の作図など、改変部分が全般的な理解を促したと考えられる。

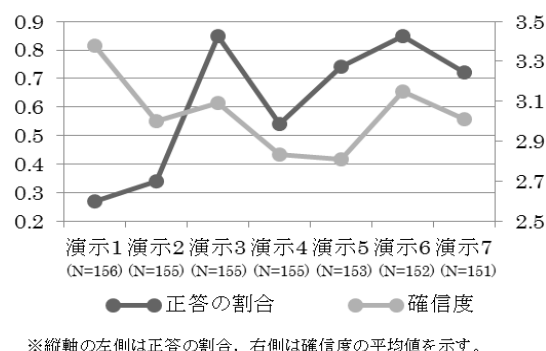


図 1 15 年度予想正答率と確信度の変化

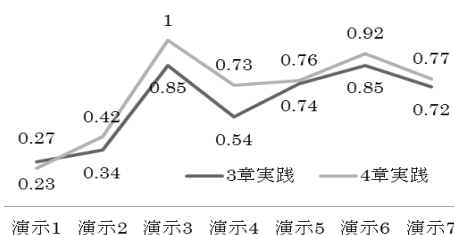


図 2 演示実験での予想正答率の比較

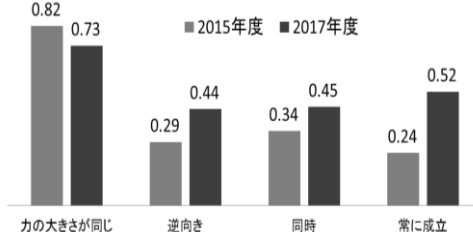


図 3 キーワード出現率の比較

引用文献

- 1) 伊田暁：大阪教育大学紀要 第 V 部門 59-1 (2010) 29-39. などにまともられている。
- 2) 鈴木亨：物理教育 56-1 (2008) 10-15.
- 3) 沖野信一，松本伸示：理科教育学研究 52-1 (2011) 1-12.
- 4) D. Sokoloff & R. Thornton：Interactive Lecture Demonstrations (Wiley, 2004).

認知発達を意識した ILDs 型高校物理授業における ICT 環境の積極的活用

京都市立紫野高等学校¹, 京都教育大学² 山下 哲¹, 谷口 和成²

E-mail: haz34840@wood.odn.ne.jp¹, guchi@kyokyo-u.ac.jp²

1. はじめに

近年の物理教育研究において、入門物理の学習にとって素朴概念（誤概念）が概念的理解の大きなハードルになっていることが課題のひとつとなっている。素朴概念は非常に強固であるため従来型の講義形式の授業では解消が難しいことに加えて、学習経験の浅い初学者ほど直感に強く影響されることが原因のひとつとして考えられている。本研究では、素朴概念を解消する手段の一つとして PER で開発された「Interactive Lecture Demonstrations (ILDs)」を用いている。

一方で、高等学校において物理を学習する生徒の中には、論理的・科学的な推論を積み重ねることや、物理的な概念を整合性を持って組み立てることを苦手とする生徒も多い。こういった力を身に着けるためには、生徒の学習への能動的参加が不可欠であるが、認知的な発達段階と学習の認知的困難さの不整合により、格別の支援が必要であると考えている。この要請に関して講演者らは、英国で小・中学生の認知発達を促すことを目的に開発された「Cognitive Acceleration through Science Education (CASE)」[1]の指導構成の柱を、講義型授業においても活用した「CASE 的な物理授業」を行ってきた。これまでに、生徒の認知発達のみならず、学習意欲の向上と学習方略の獲得、特に、科学的推論能力の向上が確認されている[2]。そこで本研究では、「CASE 的な物理の授業」を実施しつつ、それに連動する形で ILDs 型授業を組み込むことにより、科学的思考力と物理の概念構築を行う力の育成をめざした。なお、ICT 環境を利用することは、生徒が自発的かつ能動的に授業へ参加する契機となるだけでなく、生徒の思考過程の外化と共有・評価をよりスムーズに行うことが可能となるため、本研究全体を通じて積極的に活用した。

2. 素朴概念と認知的な発達段階

素朴概念は学習者が物理を学ぶ以前の日常経験から獲得したものであり、かつ、直感的なものであるため非常に強固であり、その解消が難しい。その多くは異なる物理概念を同一の概念として捉えてしまったり、また、同一の物理概念を状況ごとに別の概念として認識してしまったりと、不正確かつ不完全なものである。ここで、物理概念を正確に理解し、問題解決に活用するには、比・比例概念や仮説演繹的思考といったピアジェのいうところの「形式的操作」能力がその前提として要求される、直感や文脈に影響されることなく、これらの操作を行うことができる発達段階に達していることが必要となる[2]。実際、認知発達の段階と物理概念の理解の間には一定の相関が認められることが報告されており[3]、物理学習において、認知発達を考慮した授業展開により、概念構築を支援する意義は高いと考えられる。このように、高等学校の物理の学習に即した形で、これらの方法を開発していくことが本研究の目的である。

3. ICT 環境を利用した、ILDs と「CASE 的な物理の授業」

講演者は、2017 年度 4 月より、「物理基礎」（2 単位）における「運動学と運動の法則」と「力

学的エネルギー」の単元において、ILDs を実施してきた。本研究の実施校は生徒全員にタブレット PC を購入させており、ILDs の進行において、演示実験に対する生徒の予想やその分布および解釈の変化に対してリアルタイムでフィードバックすることが可能であるため、これを積極的に活用した。

さらに、ILDs と並行して実施している「CASE 的な物理授業」は、生徒の思考過程を外化・共有・評価する形態を取るため、授業内で扱った概念および概念の構築における生徒の解釈や理解をクラス全員で検証・共有する際にもタブレット PC を用いた。これにより物理の学習において、複数概念間の関係性の理解、すなわち、概念の整合的な構築は大きな課題の一つであると考えられるが、通常であれば個人の中で完結してしまう思考過程に対して、外化して検証する場面を意図的に設定することによって、概念の構築に必要な不可欠である論理的思考力の育成をめざした。

4. 効果の検証と謝辞

本取組の効果を検証するために、FCI, Lawson Test(CTSR), MPEX, および、総合動機づけ診断を 2017 年 4 月にプレテスト, 2018 年 3 月にポストテストの形で実施した[2][4]。なお, 2018 年 3 月には生徒への個別インタビューも合わせて行った。図 1 は, Lawson Test と FCI の相関を示しているが, 4 月期では素朴概念を保持しており, かつ, 認知発達段階が形式的操作期に達していない生徒が多数存在したものの, 3 月期ではこれらが大きく改善していることが分かる。講演ではこれらに加えて学習観の変容との関係について考察する。

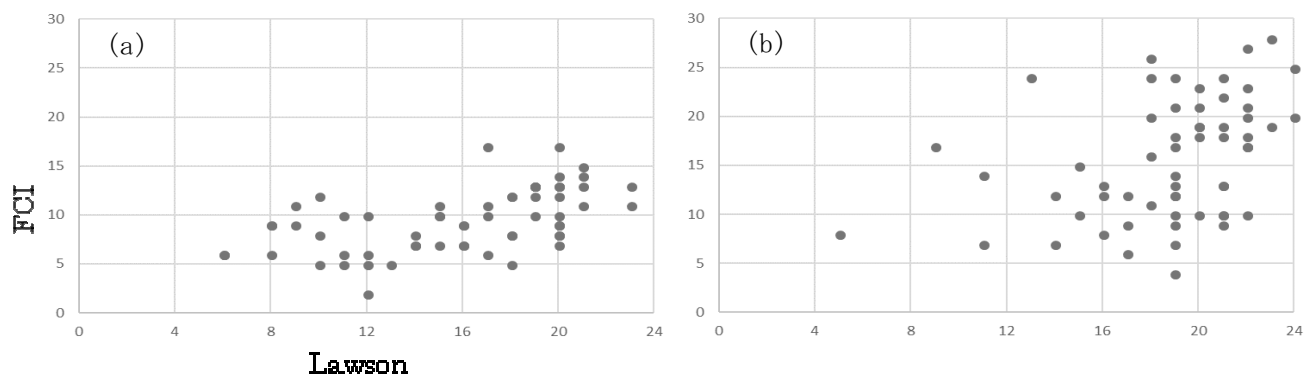


図 1 認知発達段階と物理概念理解度との関係. (a) 事前, (b) 事後.

本研究は, JSPS 科研費基盤研究 (C) 研究課題「認知科学的アプローチにより問題解決能力を育む高校物理カリキュラムの開発」(15K00975) と武田科学振興財団の助成を受けて行っている。

参 考 文 献

- [1] P. Adey, M. Shayer, C. Yates, “Thinking Science”, 2001.
- [2] 山下哲, 谷口和成, ” 認知的な発達段階を考慮した高校物理授業の必要性とその効果”, 日本物理学会第 73 回年次大会講演概要集, 24pK510-10(2018).
- [3] 谷口和成, 笠潤平, 村田隆紀, 覧具博義, “日本の高校・大学生の科学的思考力の現状”, 日本物理学会第 72 回年次大会講演概要集, 19pC11-6(2017).
- [4] 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.

力の相互作用に関する「物理基礎」授業の課題－遠隔力をめぐって－

京都教育大学・院¹, 大阪教育大学附属高校池田校舎², 京都教育大学³, 石井哲夫¹, 筒井和幸², 谷口和成³
E-mail din75032@kyokyo-u.ac.jp¹, ktsutsui@cc.osaka-kyoiku.ac.jp², guchi@kyokyo-u.ac.jp³

1. はじめに

力の作用反作用（相互作用）の概念理解は、その文脈に依存する傾向があることが指摘されている¹⁾。ピアジェによれば、認知的発達において「形式的操作期」に達していない子どもにとっては理解が困難である²⁾とされ、その影響も危惧される。しかしながら、高校物理の課程では、認知的困難さに対する配慮は一般には意識されておらず、さらに、力学分野の学習を通じた理解がめざされることが多く、他の分野の学習において意識されることは少ない。

そこで本研究では、力の相互作用の理解の現状を、認知発達と概念理解の視点から分析し、「物理基礎」において総合的にはたらしきける授業改善の方向性を検討した。

2. 認知発達と概念理解に関する調査

調査対象は、「物理基礎」履修中の O 高校 1 年生、約 160 名である。調査に用いたのは、(1) 認知発達 (科学的推論) 調査として Lawson-**CTSR**³⁾(Classroom Test of Science reasoning, 多肢選択型)、(2) 力学概念調査として **FCI**(Force Concept Inventory)³⁾、(3) 電磁気分野の概念調査については、**CSEM**⁴⁾ (Conceptual Survey of

【1】2個の磁石があります。磁石Aは、磁石Bに比べてとても強い磁石です。AとBは引き合っていますが、引き合う力の大きさについて正しい文はア～ウのどれですか。

ア. AがBを引く力<BがAを引く力
イ. AがBを引く力=BがAを引く力
ウ. AがBを引く力>BがAを引く力

理由

【2】右図のように、磁石の磁界中に、細いワイヤーでつるした導体棒を入れ、矢印の向きに電流を流しました。①導体棒が受ける力は、ア～オのどちら向きですか。②磁石が受ける力はア～オのどちら向きですか。

ア. 図のアの向き
イ. 図のイの向き
ウ. 図のウの向き
エ. 図のエの向き
オ. 力を受けない

答① ()

② ()

図1 電磁気分野の概念調査問題の一例

Electricity and Magnetism)を参考に、高校1年生向けの問題を作問した(図1)。

3. 調査の結果

(1) 科学的推論調査 (Lawson-CTSR) の結果

本年6月に実施した Lawson-CTSR(N=161)の結果、平均正答率は74.9%であった。また、ピアジェの認知的発達段階において「形式的操作期」に該当する生徒の割合は24.2%となった。

(2) 力学概念調査 (FCI) の結果

本年4月に実施した **FCI** プレテスト (N=164) の結果, 平均正答率は 40.1% となり, 正答率が 60% を超える生徒は 11.6% であった。図2は問題別の正答率を示し, 図中の★印は, 作用反作用に関する設問を表している。★印の正答率には 18% から 48% までの幅があり, 強い文脈依存性を示している。

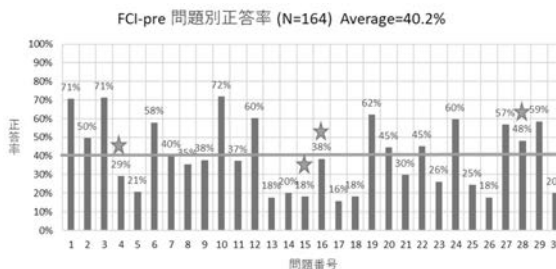


図2 FCIの問題別正答率

(3) 電磁気分野の概念調査の結果

本年6月の電磁気分野の調査(N=163)では、図1の問【1】「磁石どうしの相互作用」の正答率は14.1%となった。また、図1の問【2】「電流と磁石の相互作用」では、①電流が受ける力が69.3%、②磁石が受ける力が14.1%の正答率となった。これらの結果は、電磁気分野の相互作用の概念理解に対する一層の困難を示している。

4. 調査結果の分析

図3は、Lawson-**CTSR**と**FCI**の正答率の相関を示す散布図である。両者は、 $r=0.39$ の弱い

正の相関を示した。さらに図3には、FCIの作用反作用に関する設問(4問)の全問正答者(10人)を△でプロットした。

図3の破線は、相関の近似直線($r=0.39$)を示し、実線は全問正答者とそれ以外を2群に分ける境界線(線形判別分析による)を示す。

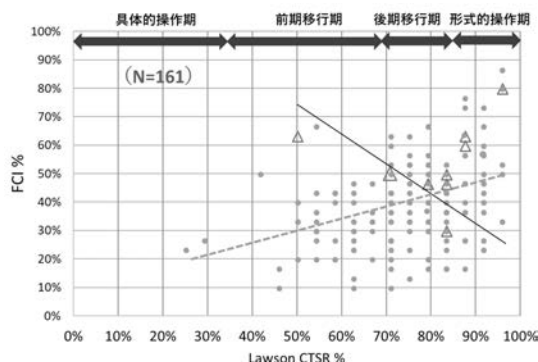


図3 FCI作用反作用問題の全問正答者分布

これより、作用反作用に関する推論が文脈に依存しない生徒群は、形式的操作期・移行期にあり、力学概念の理解が全般的に進んだ生徒群であることが確認できた。

同様の散布図に、電磁気調査の間【1】「磁石どうしの相互作用」の正答者(理由も含めて正答の11人)を◇でプロットした(図4)。

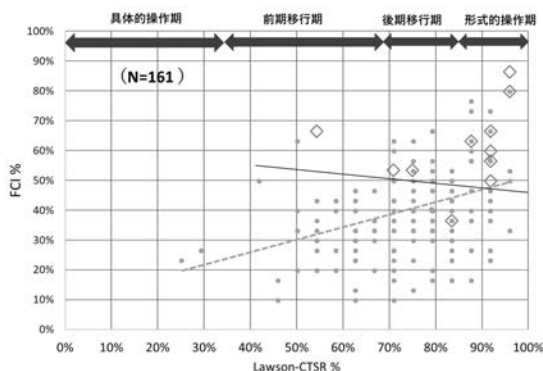


図4 磁石の作用反作用問題の正答者分布

図4は、図3とほぼ同様の分布を示すが、両図に共通に含まれる正答者は、形式的操作期の2人のみである。さらにこの2人は、電磁気調査の間【2】に対しても、作用反作用に対する一貫した推論を行っていた。

5. 生徒インタビューから見える課題

FCIの作用反作用に関する全4問の正答者10人の中から、電磁気調査の間【1】が誤答の生徒と、間【1】、【2】とも正答の生徒を選び、

インタビューにより両者の推論の質的な差を調査した。

【I】「磁石間の相互作用」が誤答の生徒

F「この場合は触れあってないし…」S「強いのと弱いのをこう置いたら、くっつくじゃないですか、弱い方が。」

【II】相互作用の説明が一貫している生徒

O「ぼくは作用・反作用で「エ」にしました。磁石が導体棒を「イ」の方向に押したって考えたら、じゃ押し返されるのかな?とか。」

【I】では、「非接触」が、作用反作用の法則の適用を妨げ、「より強いものが力を及ぼす」という素朴概念(プリミティブ)に依拠している。他方【II】では、未経験の事象に対して作用反作用の法則を適用し、演繹的推論を行っている。

力の相互作用の理解や、空間を隔ててはたらく力への一般化には、演繹的推論能力や力学概念の全般的な理解が求められ、これらは「形式的操作」にあたる。したがって、「移行期」にある生徒には、注意深い文脈・状況の設定が必要となる。このことは「物理基礎」においてもっと強調されてよい。発表では、昨年度の実践(演示)における成果と課題を紹介する。

6. 授業改善の方向性

授業改善の方向性として、空間を隔てた力の相互作用の理解に向けた「足場」を持つことに配慮した。授業プランは、「磁石間相互作用の静力学の文脈」から、「異なるバネ定数のバネによる衝突」という「足場」を経て、「異なる磁石の反発力による衝突」へと展開する。

また、異なる認知的発達段階の生徒が混在することから、素朴概念と科学的概念との葛藤を引き出す討論や、討論後のふり返りによって自らの知識を再構成する、相互作用型授業の実施を予定している(授業実施は今秋を予定)。

参考文献および註

- 1) ナイト, R.D., 『物理を教える』(並木雅俊 監訳, 丸善, 2017) pp. 42-43
- 2) ピアジェ, J., 「4. 子どもの物理学的世界—作用と反作用—」『発達の条件と学習』(中垣啓訳, 誠信書房, 1979) pp. 121-122
- 3) CTSR, FCI については、「物理教育現状調査プロジェクト」(代表 覧具博義 氏) により作成された翻訳版を使用させていただいた。
- 4) Maloney, D.P. et al., (2001), 'Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism, *Am. J. Phys. Suppl.* **69**, 7, July

ILDs における力学概念理解に対する科学的推論力の影響

京都教育大学¹, 香川大教育², 東京農工大³ 谷口和成¹, 彦野冬馬¹, 笠潤平², 覧具博義³, 村田隆紀¹

E-mail guchi@kyokyo-u.ac.jp¹

1. はじめに

高校物理や大学入門物理の目標のひとつに「物理学の基本的な概念や原理・法則の理解」がある。この目標はどの程度達成されているのか、また概念理解に直接、間接に関係する要因は何か、これらを明らかにすることは効果的な物理教育を実施していく上で重要な視点である。この視点について Coletta らは、アクティブ・ラーニング型授業（以下 AL 型授業）を実施している大学の学生を対象に、力学概念理解度や授業効果（FCI で評価）と科学推論力（CTSR¹で評価）の関係を調査し、授業効果と科学推論力に有意な正の相関があることを報告している²。この傾向は、物理学習では抽象的な概念を多く扱うため、たとえ AL 型授業であっても、科学推論力（形式的操作能力）が不十分であれば授業効果は望めないという可能性を示唆している。

日本では「物理教育の現状調査プロジェクト³」において、FCI と CTSR による大規模調査が実施され、現在、上記の視点を含めた分析が行われている⁴。本研究では、このプロジェクトに協力している京都教育大学（AL 型授業を実施）の結果について、Coletta らの成果を参考に、科学推論力（認知的発達段階）と力学概念理解および授業効果の関係について分析、検討を行った。

2. 調査対象および方法

対象は、2014～2017 年の 4 年間に「物理学基礎実験」を受講者した理科領域専攻の 1 回生、計 157 名である。この授業では、ILDs 力学分野および電気回路分野の一部のユニットが年度開始直後から数回にかけて実施している⁵。ここで、力学概念理解度および授業効果の評価として FCI、科学的推論力（認知的発達段階）の評価として CTSR による調査を 4 月上旬（プレ）と 8 月上旬（ポスト）に実施している（ポストは FCI のみ）。授業効果は規格化ゲイン、認知発達の状況は CTSR の正答数からピアジェに基づく、具体的操作期、前期移行期、後期移行期、形式的操作期の 4 つの段階で評価した（図 1）。

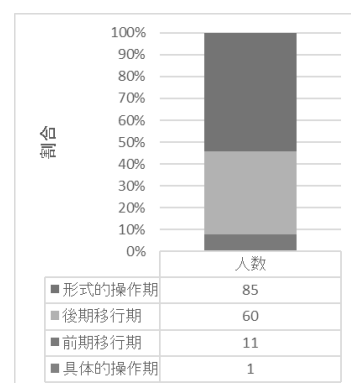


図 1 認知発達段階の割合

表 1 に各年度の事前および事後の FCI 正答率の平均値および規格化ゲインを示す。表より、この 4 年間、ほぼ同様の推移をしており、数値の上では同質の AL が成立していたといえる。そこで、本研究では、4 年間の受講者を合わせて分析を行った。

表 1 年度別結果

年度	人数	FCI Score_pre (σ)	FCI Score_post (σ)	Normalized gain
2014	41	59.3 (23.9)	72.4 (21.3)	0.32
2015	39	61.5 (22.6)	75.6 (18.3)	0.37
2016	43	64.7 (17.3)	74.3 (16.3)	0.27
2017	34	48.8 (21.0)	72.4 (18.9)	0.46
平均		58.6 (23.4)	73.7 (18.4)	0.36

3. 分析結果および考察

高校物理の履修状況別に比較した結果を図 2 に示す。図より物理履修者の結果は、すべてにおいて物理基礎および未履修者に比べて高く、FCI 正答率は事後において 8 割に達していることがわかる。一方で、物理基礎までの履修者と未履修者の FCI 正答率には、事前時には僅かながらも

差があったものの、事後においてその差はなくなり、いずれも6割程度で落ち着いている。ここで、この両者のゲインに差がないことは興味深い。短絡的ではあるが、本授業ILDsは、高校で物理を一通り学習した対象に効果が高いことを示唆している。

事前の力学概念理解度（FCI プレ）と科学推論力（CTSR）との関係について履修別に分析した結果、全体としては弱い正の相関（ $R=0.36$ ）が確認された（図3）。履修状況別にみると、その相関係数は「物理」「物理基礎」「未履修」の順に、0.35, 0.46, 0.63となり、物理の学習経験が少ないほど、科学推論力が影響する傾向を示した。ここで、「物理基礎」履修者の中には、FCI 正答率が8割を超える層があり、その層はCTSRの正答率が8割以上（形式的操作期）に集中している。これは、物理を深く学んでいなくとも、科学的推論力が高ければ、概念理解が可能である可能性を示唆している。また、FCI プレ結果を高校までの物理学習の成果として捉えと、伝統的授業形態（受講者の9割強が経験）において概念理解を得るには、科学推論力が必要であると捉えることもできる。

認知発達段階と授業効果（個人ゲイン）の関係についての分析結果を図4に示す。ここで、個人ゲインの平均は0.38であったが、標準偏差が0.28と大きく、全体として相関は見られない（ $r=0.12$ ）。つまり、同じAL型授業を受けてもその効果に個人差があり、さらに基本的には発達段階に依存しないことを示唆している。ただし、前期移行期までの層に限ると弱い相関（ $r=0.35$ ）が確認されるが、対象が少ないため、今後も継続した調査・分析が必要である。

講演では、上記の分析結果の詳細に加え、受講者の高校における授業形態との関係についての分析結果もあわせて検討した結果を報告する。

この研究は JSPS 科研費 15K00975 および JSPS 科研費 26282032 の助成を受けて行っている。

参考文献

- 1) A. E. Lawson, J. Res. Sci. Teach. 15(1), 11-24 (1978) 多肢選択版 (2000).
- 2) V. P. Coletta & J. A. Phillips, Am. J. Phys. 73, 1172 (2005).
- 3) 岸澤真一, 覧具博義, 他, 第33回物理教育研究大会発表予稿集, 17-18(2016).
- 4) 谷口和成, 笠潤平, 村田隆紀, 覧具博義, 他, 第34回物理教育研究大会発表予稿集, 18-19 (2017).
- 5) 谷口和成, 物理教育 65-3, 170-175 (2017).

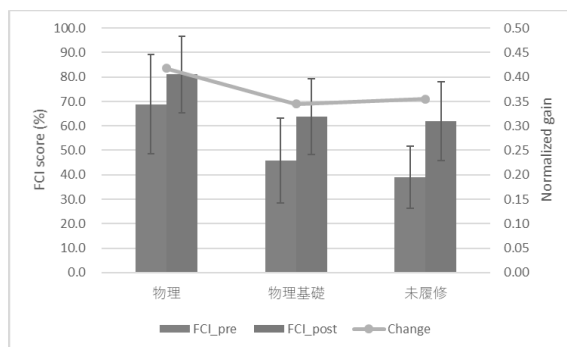


図2 履修状況別結果

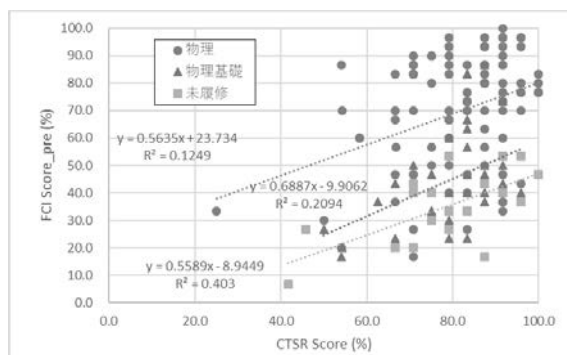


図3 科学的推論力と力学概念理解度の関係

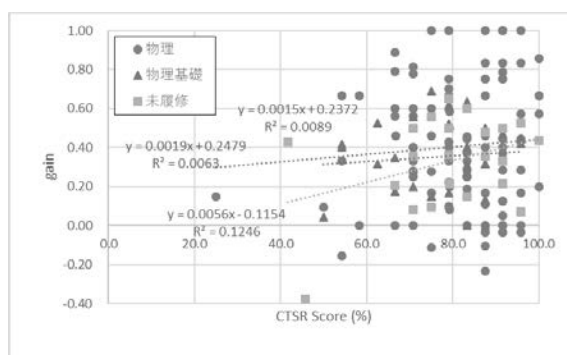


図4 科学的推論力と授業効果の関係

理工系大学初年度物理受講者の問題解法スキル

都市大¹, 拓殖大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, 岸澤眞一², 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.jp¹

1. 個人面接による学生が持つ問題解法スキルの評価

東京都市大学工学部必修科目「物理学(1)(2)(力学)」履修者 34 名(2015 年度 9 名, 16 年度 10 名, 17 年度 15 名)に対し, 教員 1 人が学生 1 人と対面する半構成型聞き取り調査を実施し, 個々の学生が持つ問題解法スキルを詳細に調べた。調査項目は以下の通りである。

(a)MPEX (Maryland Physics Expectation survey) 10 項目に回答させ, その理由を聞く。

(b)通過率の低い力学概念調査 (FCI) 5 項目に回答させ, その理由を聞く。

(c)共通の力学問題に解答させる。解答は与えられたワークシート内に記入し, その時考えている事柄について, できる限り口に出しながら問題を解いてもらう。

なお(c)は, 年度により若干の差し替えはあるが, 次の問題群から構成される。

(c1)速度・加速度・力の関係を説明してもらう。

(c2)ボールの投げ上げに関する計算問題

(c3)エレベーター内での体重計の読みなど選択形式問題 3 題, その理由も説明してもらう。

(c4)文章で叙述されている状況から, 速度-時間グラフを作成してもらう。

(c5)やや複雑な 2 体問題を解いてもらう。

学生への聞き取り調査の状況はすべてビデオ画像として記録した。一人当たり 1 時間から 1 時間半にわたる全員の画像記録は, 高校あるいは大学で長年にわたる物理の教授経験を有する物理教員 5 人(以下「評価者」)がすべてを視聴し, その内容を詳細に検討し評価した。

(c5)はチワワ(犬)と人が摩擦の無視できる床上に立ち, 人が犬に結び付けた紐を一定の力で引き続けた場合, 両者が出会うときの犬の速さを求める問題である。解に至るまでの経路が多様であると共に, その行程は比較的長い。単純な”plug and chug”方略はまったく役立たない問題である。しかし一方, 物理知識として, 等加速度運動, 運動方程式のような基本的なものだけで完全正答が可能である。もちろん, 仕事と運動エネルギーの関係や運動量保存の法則, 2 物体系の扱い方等を知っていれば, より有利に進めることができる。学生面接の記録から, (c5)がその学生が持つ問題解法スキルを見積もるのに適していると評価者に判断された。

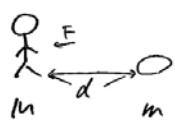
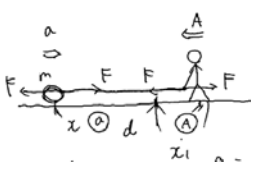
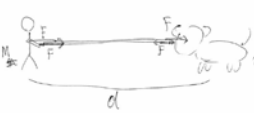
学生が問題(c5)を解く過程を「図解」「記号の割り振り」「物体系の認識」「座標軸の設定」「運動方程式」「等加速度運動の方程式」「変位」等 16 の観点から評価し, 5 人の評価者による平均点(1 点満点)をその学生が持つ問題解法スキルの数値評価(問題解法評価)とした。

面接を実施した時期は, その年度の 7 月から 2 月までの間に分散している。そこで, 物理学(1)(2)の講義終了前後の 7 月から 9 月までに面接を実施したものをグループ 1, 10 月から翌年 2 月までの間に実施したものをグループ 2 とし, 別々に集計した。グループ 1 は 22 名, グループ 2 は 12 名となった。グループ 1 は力学の講義終了後の経過時間が短いので物理知識の記憶が新しい。グループ 2 はその点, 不利と予想した。

2. 学生の問題解法の実例

表 1 に実際に観察された学生の問題への取り組み状況と、これに対して判定された数値評価の実例を示す。表中にある段階Ⅰとは問題の文章以外、何の情報も与えずに、自由に問題と取り組ませる段階である。段階Ⅱは、取り組みを終了したと判断した時点で、学生にポリヤによる問題解決の手法を説明し、それを参考にしてさらに取り組ませる段階である。段階Ⅰ、Ⅱ共、学生はいつやめてもよい。

表 1 学生の問題解法の実例

学生	数値評価	取り組み状況	特徴的な関係式	図解
A	0.06	右の図解をした後で、しばらく黙考する。「おそらく文字で答えるのですが、これはちょっとわからないでしょうね。厳密な答の値はわからないけど、一応チワワの速さは、男と全く同じだと思います。質量がMとm、不等号はないけれども、一般的にチワワの方が軽い。軽いものを引っ張ると、…質量に関わりなく両者とも(力は)一緒。その速さをどう求めるかはわからない。導き出す手順が全くわからない。」で段階Ⅰを終了。	-	
B	0.54	チワワ、人が受ける張力が等しく、それぞれに別の大きさの加速度が生じることを認識している。符号の混乱があるものの運動方程式を書くことができた。「チワワは人より軽いかなと思った。そうすると加速度はチワワの方が大きくなって人の方が小さくなると思った。チワワは真ん中より右で人と合うかなと思った。どこで会ったかと思ったところで、人とチワワの質量と加速度の比で出るかなと思った。でもここわからなくなった。」と発言し、段階Ⅰを終了する。	$m: M = a: A = a$ $a = \frac{M}{m} A$ $x: d = a: A = a$ $x = \frac{a}{A+a} d$	
C	0.97	開始から2分、相対速度、相対加速度を考え始め、解法の方針を固める。チワワ、人、それぞれの運動方程式より、人に対するチワワの相対加速度を求め、等加速度運動の関係式より、チワワが人に対してd進む時間を求める。これよりチワワの速度を求めるが、計算間違いに気が付かず段階Ⅰを終了する。段階Ⅱでも再度同じ手順で計算を繰り返すが、チワワの地上に対する速度、人に対する速度の違いを明確にするなど、より慎重に進め、解を得る。	$v_{M'}^2 - v_{M'}^2 = 2 \frac{M}{m} a d$ $v_{M'} = v_M - v_M = \frac{M}{M+m} v_M$ $v_{M'} = (1 + \frac{M}{m}) v_M = (\frac{M+m}{m}) v_M$	

3. 問題解法スキル評価結果と FCIpost

図 1 にグループ 1、グループ 2 の問題解法評価と FCIpost との相関を示す。グループ 1 の相関係数は 0.53、グループ 2 は 0.82 であり、後者ではより強い相関になっている。グループ 1 のように力学講義の記憶が強く残っている状態であれば、概念的理解だけにやらずとも、記憶されている知識を頼りにして、16 観点中のいくつかについて、評価を高めることが可能であろう。しかしグループ 2 のように、講義の記憶が薄れた時点では、頼りになるのは概念的理解ではないだろうか。グループ 2 の問題解法評価が FCIpost とより強い相関を持つことは、講義で学んだ事柄が、将来活用されるためには、概念的理解が必要であることを示唆している。

この研究は、JSPS 科研費 15K00933、18K02964 の助成を受けて行われています。ここに感謝いたします。

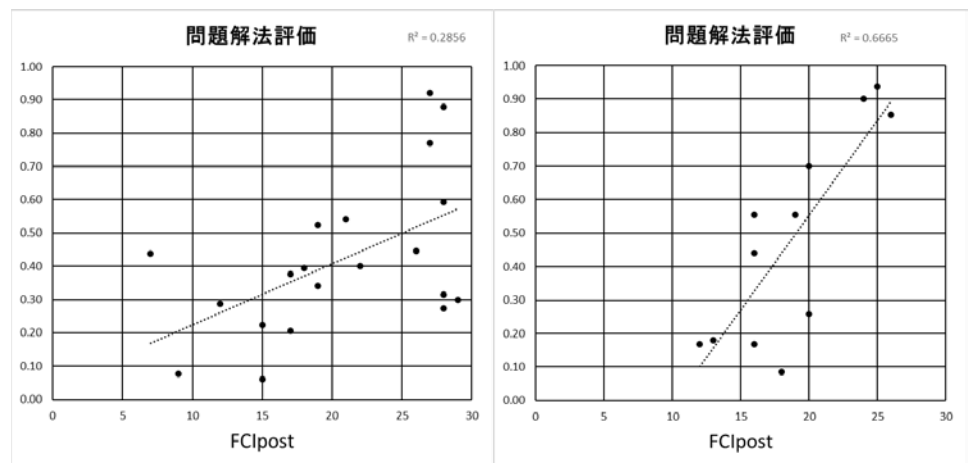


図 1 グループ 1 (左)、グループ 2 (右) の問題解法評価と FCIpost

学生は授業の実験をどう見ているか —電気回路分野における調査—

東京学芸大学¹ 植松晴子¹, 大城翔平¹

E-mail uematsu@u-gakugei.ac.jp, m151808x@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

学習者が自分の経験や日常感覚にもとづいて構築している素朴概念を、正しい物理概念に変容させるためには、認知的葛藤に遭遇させることが有効である。素朴概念から導かれる結論と正しい概念から導かれるものとが矛盾する現象に直面して、それを解消しようとすることが学習の動機となる。相互作用型物理授業には、認知的葛藤を生ずる設計がなされており、基本的物理概念に関連する実験が、素朴概念と対立するものとして、あるいは相容れない二つの考えの決着をつける手立てとして用いられることも多い。そのような相互作用型物理授業が学習者の概念変容に確かに有効であることは、多くの実践から明らかになっている。

東京学芸大学で実践しているチュートリアル形式の授業において、概念変容への一定の効果が見られる一方で、教材の設計意図に反して、認知的葛藤が生じない場合が認められる。予測と異なる実験結果に対して、自分の素朴概念をあっさり放棄したり、実験結果を意識的・無意識的に無視したりするのである。また、決まったフレーズとして丸暗記した法則を、適用すべき状況であるかどうかを吟味せずにあてはめる場合もみられる。葛藤は起こらず、自分の初めの考えと実験結果や別の考えとをすり合わせる事ができない。結果的に、その場は正しい考えを受け入れても、概念が変容することはなく理解は深まらない。

そこで、大学生が学生実験などの実験結果をどのようにとらえているのか、予想や仮説と実験結果を的確に比較して結論を導いているのか、という実態を明らかにすることを目的として、電気回路分野の実験に関する質問紙とインタビューによる調査を行った。

2. 調査方法

調査の対象は、東京学芸大学初等教育教員養成課程及び中等教育教員養成課程の学生 234 名である。ほぼ半数が理科を専門としている。受講生の 8 割は高等学校で「物理Ⅰ」・「物理Ⅱ」もしくは「物理基礎」・「物理」を履修しており、理科専攻の学生は基礎物理学に関する必修科目を履修済みである。

質問紙調査では、電気回路分野におけるチュートリアルの「電池の定電流源説」に働きかける教材を参考に、調査問題を作成した。大人数の学生を対象に調査を行うため、予想・実験・議論という過程を模して、予想後の実験は予めビデオ撮影したものをを用いた演示実験に近い形式とした。所要時間は 20 分である。チュートリアルでは初めに回路の概念を構築する内容が含まれるが、この調査ではそれを済ませた前提で、閉じた回路には一続きの流れがあることを仮定として共有した。また、等価な電球を用いることで、電球の明るさが回路を通る流れの量を示すものとした。

質問紙の構成は、①同じ電池に図 1, 2 の回路を接続したときの電球の明るさを予測する、②

演示実験，③実験結果から，各電球に流れる電流の大きさを比較する，④実験結果から電池を流れる電流についてわかることを説明する，というものである．それぞれの項目で，どう考えたのかについても記述を求めた．電球はどれも等価なものとしている．「電池の定電流源説」をもっていれば，図 1，2 のいずれの回路でも電球の明るさは等しいと答え，実験で図 2 の電球の方が暗くなることを観察し

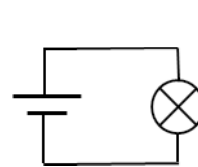


図 1

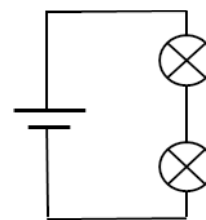


図 2

て，認知的葛藤を生じて考えが変容することが予想される．質問紙の回答から，演示実験後に考えに変容があったか，的確に実験結果を説明できているかを調べた．

質問紙の回答を明確にし，実験に対する姿勢を調査する目的で，質問紙調査の対象者に協力を求め，18 名を対象にインタビュー調査を行った．また，物理に対する自信についても質問した．自信に関する設問の意図は，予備調査の過程で，自分の考えや予想を捨て去る学生に，物理に対する自信のなさを口にする傾向が見られたためである．

3. 結果

①の予想では，半数近くの学生が「図 1，2 の電球の明るさは同じ」と回答した．彼らの③での回答をインタビューの結果を参考にして分類すると，(i)観察した電球の明るさから電流の大きさを正しく考えられる，(ii)オームの法則を適用して説明はするものの観察した結果には結びついていない，(iii)電流が分散するという別の素朴概念を適用する，(iv)「直流回路は電流一定」という暗記フレーズを適用して矛盾は放置する，(v)「分からない」となる．回答の割合は順に，52%，8%，15%，18%，7%であった．(ii)，(iii)は，実験結果を解釈するための知識が現象と乖離している可能性がある．(iii)と(iv)の学生には認知的葛藤が認められず，解消しようという学習の動機が期待できない．考えに変容が見られた(i)の学生の中にも，実験結果のみの記述にとどまり概念を変容させる過程があったのかどうか，読み取れないものが含まれる．

インタビューによる実験観の調査からは，授業での実験を学習した公式などを確かめるものと捉えていることが窺えた．公式に合うデータがとれることが実験の「成功」であり，測定誤差がなければ実験結果は必ず理論式と一致すると考えている．いわば，公式が正答であり，実験は正答を出すための演習問題のようである．

物理に対する自信の調査では，自信や得意と感ずることの根拠として，物理法則を用いて現象を説明できることとともに，演習問題ができること，計算ができることが多く挙げられた．物理の授業の目標も，「定期テストの問題を解けるようになること」と考える学生が多かった．

4. まとめ

本研究での調査では，大学生が実験結果に対して，既存の知識や概念を絶対的なものとして実験結果から新しい情報を得ない様子や，状況を的確に判断せずに暗記フレーズを適用して説明しようとするのが明らかになった．その背景には，試験問題を解けることが物理の授業の目標で，実験は公式を正答とした答え合わせの位置づけと捉える学生の学習姿勢の問題が影響している可能性がある．

概念変容研究における p-prims 活用の検討—手回し発電機の手応えを文脈として—

福井大学大学院¹， 福井大学大学院教育学研究科²， 山本修平¹， 小林和雄^{2a}， 山田吉英^{2b}

E-mail fukui_rika2@yahoo.co.jp¹, kobaykk@u-fukui.ac.jp^{2a}, yamada-y@u-fukui.ac.jp^{2b}

1. はじめに

従来の概念変容研究において、誤概念は学習者によって強固に保持され、克服されるべきものとされてきた[1]。しかしこのような見方は、代表的な誤概念にあてはまらない推論を「その他」として扱わざるを得なかったり、認知的葛藤方略による実践の際、期待する誤概念が引き出されなかったり、たとえ引き出したとしても、学習者の推論を否定的に扱うことで直観に対する自信を傷つけたり、長期的な概念変容を必ずしも保証しないなどの課題を残している。

diSessa は力学的現象に対して人々が行う推論（予測、期待、説明、判断）を断片的な知識要素「現象論的プリミティブ（phenomenological primitives：p-prims）」で説明・理解するという見方を提唱した[2]。p-prims とは、それ自体は真でも偽でもない、現象の表面的な解釈に強く結びついた感覚直観であり、人々は場面に応じてそのつどなんらかの p-prims を活性化させて推論すると考える。p-prims は誤概念よりも粒度の細かな単位であるため、学習者の多様な推論をきめ細かく解釈することができる。このような見方では、「誤概念」とは保持される信念というよりは、特定の文脈・場面で、特定の不適切な p-prims が高い信頼性で活性化される現象であると考えることができる。そこで活性化された p-prims はその場面においては不適切であるが、他の場面においては適切であり得るし、学習者の誤った推論を全面的に否定するのではなく、適切な橋渡しによって科学的な概念へと発達させられるかもしれない。また「概念変容」も、誤概念から科学的概念への信念体系の不連続な変化というよりは、適切な場面で適切な p-prims を一貫して活性化できるように習熟するプロセスと考えることができる。

筆者らは手回し発電機の手応えを文脈として、電気回路における p-prims の実態調査を行い Ohm 及び Working Harder の p-prims の活性化を推察した[3]。現在、p-prims の実態調査とあわせて、p-prims を意図的に活性化する指導方略の開発を試みている。（Ohm 及び Working Harder の p-prims の詳細については本大会での筆者らのポスター発表「p-prims の活用事例」 予稿に掲載した表をご覧ください。）

2. p-prims を活用した指導計画

図1は手回し発電機の手応えの文脈において活性化される p-prims の活用例を模式的に示したものである。①様々な素子を接続させた場合の手回し発電機の手応えを予測させ、

理由を説明させる。ここでは、Ohm 及び Working Harder の p-prims が活性化され、「電気抵抗が大きいものを接続させた方が手応えが大きい」という誤概念が観察される。②様々な素子を接続させた時の手応えを実験で確認させると、ほとんどの学習者にとって反直観的な結果が得られる。この結果を説明させると、Working Harder の p-prim が活性化されたまま、手応えに対する「抵抗」を電流にマッピングしなおした「電気抵抗が小さいもの」ほど、発電機に戻ってくる電流が大きい「ため手応えが重い」というアドホックな解釈が生じる。この解釈には「素子で電流が消費されている」、「発電機から出る電流が素子によらず一定」といった誤概念が含まれているが、反直観的な実験結果を受け入れやすくするため、多くの学習者にとって共感・意味理解が可能なこの解釈を共有させる。③その解釈を橋渡しとして科学的な推論にシフトできるような指導を行う。

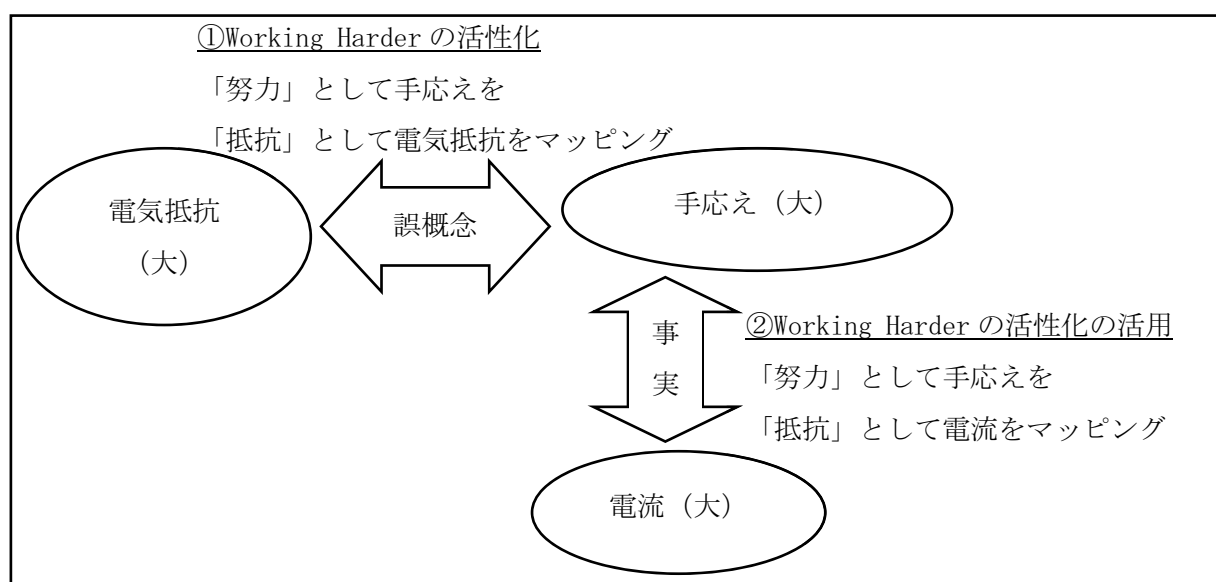


図 1 手回し発電機の手応えの文脈において活性化される p-prims の活用例

実践後、学習者によるワークシートの記述とグループワーク時の発話を、p-prims に着目して分析を行った。その結果と結論については講演にて述べる。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費基盤研究(C)研究課題「小中校一貫型探究物理カリキュラムの開発」(16K01033) の助成を受けて行っている。

参考文献

- [1] diSessa, A. A. (2006) (寺本貴啓訳 2009) 「概念変容研究の歴史―道筋と断層―」 ソーヤー『学習科学ハンドブック』 培風館.
- [2] diSessa, A. A. (1993) Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105-225.
- [3] 山本修平, 小林和雄, 山田吉英(2017) 「手回し発電機の手応えを考察する場面での p プリムズ」 福井大学教育実践研究, 42, pp.71-77.

物理初学者が抱える数学的困難

新田英雄, 東京学芸大学

E-mail nitta@u-gakugei.ac.jp

1. 物理の中の数学と学習の転移

物理学にとって数学は法則を正確に記述するための言語のようなものである。そのため、正確さを求めるならば、初等的な物理教育においても数学は不可欠となってくる。

しかしながら、生徒にとっては、数学と物理は別の教科である。

「数学で習っているはずなのに、この計算ができない」と物理教員が嘆くのはよくあることだが、実は、数学の問題としては計算できても、物理の問題として提示されると、同じ計算ができなくなる場合があることが、物理教育研究で指摘されている¹⁾。

ある教科や文脈で学んだことを他の教科や文脈にもあてはめることができるようになることを学習の転移と呼ぶが、転移が生じにくいことは、認知心理学ではよく知られた事実である。したがって、数学でならった2次関数や正弦関数を、物理の放物運動や正弦波にあてはめることができるようになるためには、転移を生じさせるための学習を行うことが前提となる。

2. 物理初学者の抱える数学的困難の例

物理法則を数学で表す際に、物理初学者が持つ困難の一例を見てみよう。力、質量、加速度を、それぞれ、 F , m , a としたときのニュートンの運動方程式は $ma = F$ である。これは、数式としては、隣り合う2辺の長さが a , b の長方形の面積 S を表す式 $S = ab$ と何ら変わらない。しかし、生徒は、「縦かける横が面積になるのはわかるが、なぜ質量と加速度をかけると力になるのかわからない。」とか、そもそも「なぜ質量と加速度という量を掛け算してよいのかわからない」とか言ったりする。物理の数式に現れる変数が次元を持つのは当然であるが、生徒にとっては、生活の中で概念を形成した、実体に伴う量である質量（重さに関連する量）や加速度（運動に関連する量）が掛け算されて別な現実の量になるということが不可解なのである。言い換えると、物理量の関係性を数式によって認知することが、数学で学習してきた数式に対する認知のフレームと整合しないことが、初学者に大きな認知的負荷をかけてしまうのではないだろうか。一方、教師はすでに数学に対するフレームを物理に整合させることができている。学習の転移という観点で語るなら、転移ができているのである。数学的な部分と物理の部分をバイリンガルのように行き来できるようになっているため、初学者の抱える困難に思い至ることができなくなっていると思われる。通常、自転車にはすぐ乗れず、乗れるようになるための訓練を必要とするが、いったん乗れるようになると、どうして自分が乗れなかったのかが思い出せない。これと同じ理屈である。

参考文献

1) F. R. Yeatts and J. R. Hundhausen, Calculus and physics: Challenges at the interface, American Journal of Physics, Vol.60, pp.716-721, 1992.

無重力動画から始まる慣性力の概念形成

ー 女子生徒の感性にアプローチする授業案の開発 ー

奈良女子大学附属中等教育学校, 藤野智美

E-mail tomtmetomo@cc.nara-wu.ac.jp

1. 目的

本研究では、主に女子生徒の興味・関心を引き出す物理教材の開発について取り組んでいる。高等学校における物理の教科書の指導内容は、理学部・工学部的な視点を中心に内容構成が行われており、主に女子生徒を中心に「物理は機械や難解な理論を学ぶ学問」という懸念を抱く生徒が少なくない。この状況をふまえ、物理概念を活用して撮影されているプロモーションビデオを題材とした探究課題を中心に、女子生徒の感性に注目した教材開発に取り組んだ。

2. 「無重力」の持つ魅力

「力は目に見えないから苦手」という悩みを持つ生徒は多く、中でも、女子生徒の中での力学概念への苦手意識は大変顕著である。一方、見えないからこそ力は魅力的である、と考えることも可能で、特に無重力状態は、「あるべきはずの重力が存在しないかのように感じる」こと、そして何よりも、眺めているだけでその理由を模索したくなる不思議さから、人々を魅了する現象であると考えられる。

そこで、音楽プロモーションビデオ(PV)の無重力シーンを題材として、「この PV はどのような手法で撮影されているのだろう？」という問いかけを行い、撮影方法の探究から慣性力の概念形成を行う授業を実施した。

(なお、本質的には「無重量空間」という表現が正しい印象であるが、混乱を避けるために一般的な呼称である「無重力空間」を採用している。)



図1 取り扱ったシーン

(ロックバンド「OK Go」のPVより)

3. 授業の展開方法

本研究では、本校高校2年生の課題研究の授業及び奈良女子大学の大学教養特講の授業において以下のような授業案を展開した。

1. 音楽 PV の無重力シーンを見せ、その撮影方法を考えさせる。
2. 1 で考えた方法によって無重力状態を生み出せることを実験的に示す方法を考えさせる。
3. 各グループ別に立案した実験方法を検証し、発表活動を行う。
4. 慣性力の学習と日常生活への応用例を模索する。
5. 運動方程式を使った慣性力の理論的理解 【発展学習】



図2 生徒実験の様子

引用・参考文献：吉田信也・藤野智美(2018)『「女性のための物理教科書」研究』敬文舎

デジタル教科書と電子黒板を組み合わせた高校物理の授業実践

北陸学院中学・高等学校 岡崎 裕一

E-mail okazaki@hokurikugakuin.ac.jp

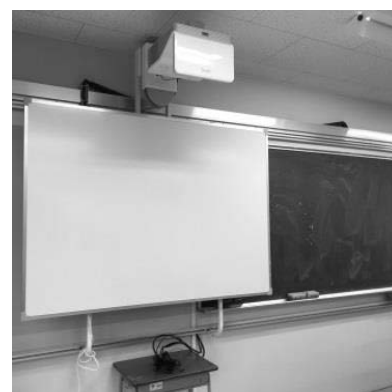
1. はじめに

2012年4月、高等学校の現行学習指導要領実施(※数学・理科は1年前からの先行実施)に合わせて、各教科書会社より(指導者用)デジタル教科書が供給された。これは、教科書のページがただ単にデジタル化されたものではなく、図をアニメーションで動かすことができたり、関連している動画、シミュレーションが収録されていたり、本文や図に直接、マーカーで書き込むことができたりなど、教科書会社により差はあるが、非常に有用なコンテンツを提供している。もちろんこれは従来のプロジェクターを使って示すこともできるが、電子黒板を用いることで実際に教員が正面でタッチパネル操作により授業を行うことができるので、従来の授業に慣れている生徒にとっても違和感がない。本校は、2013年4月に特別教室、2014年9月に全普通教室にと、備え付けの電子黒板が段階的に導入された。結果、教員がパソコンやタブレット端末を持っていだけで、どの教室でも(指導者用)デジタル教科書と電子黒板を組み合わせ、タッチパネル操作で授業ができる環境が整っている。そのような環境での授業実践を通して見えてきた課題と今後の可能性を発表者の経験をもとに報告する。

2. デジタル教科書と電子黒板を組み合わせた授業の利点と課題

高校物理における(指導者用)デジタル教科書と電子黒板を使用する利点は大きく3つあると考える。一つ目は、アニメーションや動画を示すことによって、生徒にとって物理現象のイメージが容易にできるようになり深い理解につながる(分かる授業の実施)、二つ目は、板書時間の短縮による授業進度の確保(授業の効率化)、三つ目は、教材研究・作成の時間短縮(教員の負担軽減)である。また教員が授業中に書いた図や文字は、既存の黒板では残すことができないが、電子黒板だとデジタル情報として残すことができる。これは授業の振り返りや、欠席者への対応などでも役立つ。これらの利点は、生徒に実施したアンケートにおいても確認できた。

しかしこれらの利点は、使い方次第では課題にもなり得る。まず、(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、理科の根幹である実験を疎かにしてしまう可能性がある。次に、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が考えられる。また、教員間の授業内容の標準化が進んだ反面、それにより教員が教材研究を疎かにしてしまう危険性がある。教科書から黒板まですべてをデジタルに頼ることによって、機械トラブルが発生した場合の影響が大きくなり、予定の授業内容を変更せざるを得ないこともあった。



普通教室に設置した電子黒板

3. ICTは「ツール」の一つだという意識を常に教員がもつ

このような課題は、教員側が「(指導者用)デジタル教科書や電子黒板などのICTをどのように『活用』するか」をつねに意識すること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、実際に教員が黒板上で見せる作業などと比べて、どの方法が生徒の理解の深まりにより良いものなのかを考えることがまず大切である。また、授業が受け身になってしまうのを防ぐために、ワークシートなどの工夫も必要である。(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工夫を重ねることが大切である。ICT の使用によって、「授業の上手な教員はより上手くなっているし、下手な教員はより下手になっている」という生徒の率直なアンケート結果もある。教員側もすべてを(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、その利点・課題を把握したうえで、授業計画を立てることが大切である。ICT はあくまでも「ツール」の一つだということを忘れてはいけない。

4. 今後の可能性

ここまで述べた ICT の活用法は、あくまでも従来の講義型の授業をいかにわかりやすくするか、効率よく行うかを基本にしている。これを応用して、生徒の主体的・対話的で深い学びの実現にも(指導者用)デジタル教科書や電子黒板などの ICT は有効だと考える。

例えば、先に述べたアニメーションを見せる時も、その便利さに頼って生徒が思考する前に見せてしまうと、生徒は短時間で理解できるかもしれないが、思考は活性化されない。そこでひと工夫して、生徒にその結果を事前に予想させ議論させることができれば、思考が活性化され、その考えた過程が他の現象でも応用できるし、何より生徒の記憶にも残る。発表者は電子黒板で(指導者用)デジタル教科書のアニメーションを見せる時もこのような使い方をしている。もちろんこれは、生徒実験でも演示実験でも同じことではあるが、特に ICT を使用する時は、その手軽さゆえに教員側もただ単にアニメーションを見せることで、わかりやすく教えたつもりになってしまうので、より注意が必要である。

また問題演習時にも、班ごとに協働で入試問題等を解かせることがある。その時に班の中で議論が行き詰まってしまうことがある。そのような時は、教員が机間巡視の中で興味深い解き方をしている班のワークシートをタブレット端末で撮影し、無線システムを経由してリアルタイムで電子黒板上に紹介している。それを見ながら、他の班での議論が深まることも多い。また問題を考える上で、どうしても生徒達の中で検証してみたい事例、乗り越えられない課題に直面した際、電子黒板ですぐにアニメーションや実験映像などのデジタルコンテンツを見せられることも ICT の強みである。問題演習時は生徒の思考が活性化してくると、様々な疑問が生まれてくるので、ある程度、教員が事前に予測していたとしても、すべてを演示実験でまかなうことは難しい。そのような場合に、教員自身の教材やインターネット上から様々なデジタルコンテンツをその場ですぐに見せることができる ICT は非常に有効である。

5. おわりに

以上のように、いわゆる従来型の一斉授業や問題演習においても、効果的な ICT の活用によって、生徒の主体的・対話的で深い学びを実現することができる。生徒に討論をさせたり、調査学習をさせたり、発表をさせたりという形にこだわるのではなく、生徒の思考の活性化という内実をどのように実現するかが重要である。電子黒板などの ICT は、その目的を達成するためにこそ活用されるべき「ツール」なのである。

光学分野における物理と芸術の融合プログラムの開発

早稲田大学高等学院¹, University of Verona², 小川慎二郎¹, Francesca Monti²

E-mail s-ogawa@waseda.jp¹

【概要】

「物理概念の高い理解」と「物理の有用感向上」の両立を目的とした、中等教育における科学と芸術の融合カリキュラムの開発を行うため、イタリア共和国の中等教育における科学カリキュラム開発の国家プロジェクト「**Progetto Lauree Scientifiche**」にヴェローナ大学の物理教育研究グループのメンバーと共に参加してカリキュラムを開発し、ヴェローナにある公立の後期中等教育機関 (Il Liceo Maffei di Verona) において試行し、事前事後に評価テストを行った。

さらに、その内容を発展させ、勤務校（早稲田大学高等学院中学部）において試行した。

【背景】

物理教育の目的には「物理概念を正しく理解した学生を育てること」と「物理学そのものに関する理解を持った市民を育てること」の2つがある。両者の目的に共通して重要であると考えられるのは、物理の学習を単独で行うのではなく、その応用として、工学、デザイン、調理、被服、絵画、彫刻、映画、アニメ、スポーツ、健康、音楽等と関わる題材について探究的もしくは体験的に学ばせることである。中でも工学分野への応用を扱う事例は多く見られるが、芸術分野への応用については、まだ研究の余地が大きい。

そのため、科学と芸術を強く結びつけた表現活動のルーツであるイタリアにおいて、歴史的な経緯を有効に利用した、科学と芸術の融合プログラムの開発を行った。

【方法】

本研究は次のような方法で進めた。

(1) ヴェローナ大学の研究者と共に対象分野の選定とプログラムの開発

光学分野の学習に「我々が周りの世界がどのように感じ取っているのか？」というテーマを選定した。人間が自然をどう感じているのかという視点を加え、芸術や建築の歴史、および芸術表現に関する哲学と絡めたプログラムを開発した。

(2) 事前事後テストの選定

①光学分野の理解に関する評価テスト（平面鏡に関するもののみ抜粋）

Four-tier Geometrical Opics Test (FTGOT) （部分：Q.1-4のみ）

②物理の学習に関する態度に関する調査テスト

Colorado Learning Attitudes about Science Survey (CLASS)

(3) 市内の各高校の教員を集め、試行する学校の募集

公立の後期中等教育機関 (Il Liceo Maffei di Verona) の高校5年生4クラスを対象に3時間の授業を実施することに決定

(4) 授業の実施（2018年1月中旬～下旬に上記教育機関にて実施）

(5) 事前事後テストの分析（イタリアの研究者と協力して分析中）

(6) 日本で行う発展プログラムの開発

美術科の教員と協力し、中学 1 年の光学の学習と透視図法の学習を連携させ、科学と芸術の融合プログラムを開発した。

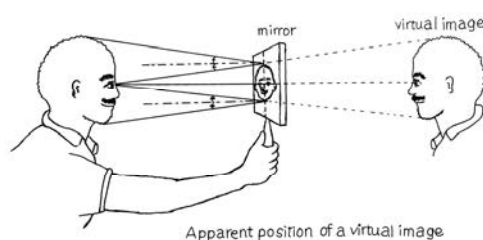
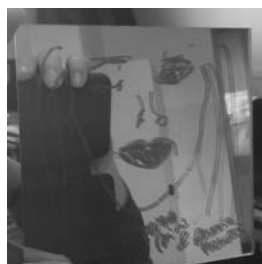
(7) 中学理科および美術の授業でプログラムの実施（2018 年 5 月～6 月に実施）

【成果】

「鏡に映る自分の顔の虚像がどのように見えるか」をテーマとした実験に生徒 1 人ひとりが取り組みながら、「反射の法則」に加え、「実際にどのような大きさに見えるのか？」という考えについて生徒同士および教員生徒間の対話を通して学ぶプログラムを開発した。

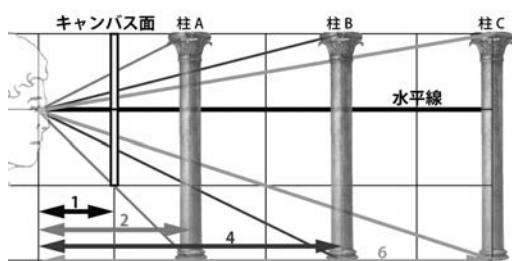


鏡に映る自分の顔をペンでなぞっている様子（右はその顔の絵）



鏡に映る自分の顔と虚像の関係

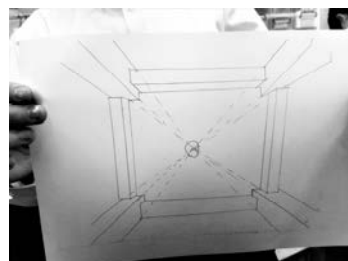
次に、「遠くにあるものは小さく見える」ことを「レンズの式」や眼球の構造から考えさせ、「網膜にどのような大きさで実像が形成されるのか」という考えを基にして、透視図法の科学的根拠を解説し、開発した「自動透視図法描画装置」を用いてスケッチをさせた。その後、美術の授業で二点透視図法による箱の描画や、校内での建築物デッサンに取り組ませた。



透視図法の説明図



自動透視図法描画装置を用いた椅子内部の描画



このプログラムにより物理の「法則の深い理解」と「有用性の認識」を両立させながら「表現技法の科学的理解」や「芸術表現とは何か？」といった学習機会を創出することができた。

【今後の課題】

(1) プログラム評価の方法の修正

プログラムの効果をより正確に評価するために、プログラムの時間数、評価テストの内容、実施方法について検討し改善する必要がある。

(2) 他分野との連携の拡大

他の様々な分野との連携をさらに深め、物理のあらゆる学習内容について、その他の理科、数学科、保健体育科、技術家庭科、芸術科と連携してプログラムを開発したい。

原子・元素・原子核のクイズと模型を用いた中学生向けセミナーの実践

九州大学基幹教育院¹, 新潟大学男女共同参画推進室², 小林良彦¹, 中野享香²

E-mail kobayashi@artsci.kyushu-u.ac.jp¹, michika@adm.niigata-u.ac.jp²

1. はじめに

「原子（げんし）」「元素（げんそ）」「原子核（げんしかく）」を初学者向けに説明する場合、実物を用意できない上に、単語同士の区別がつきにくく、混乱を招く可能性が高いという欠点に向き合わねばならない。そのため、基礎科学の重要な柱の一つである原子・元素・原子核それぞれの概念を理解させるためには、こうした欠点を補う工夫が必要であると言える。

筆者らは、新潟大学男女共同参画推進室が展開する、大学院生が自身の研究内容を中高生向けに紹介する「サイエンス・セミナー」[1-3]において、原子核物理の研究紹介をテーマとするセミナーを行ってきた。本発表では、筆者らがセミナーの実践を通して開発・改善を行ってきた受講生の理解を助けるためのクイズを含むプリント教材と原子核の模型について紹介する。また、セミナー終了時に行ったアンケート調査の結果についても説明する。なお、本発表の一部は 2018 年 3 月の物理教育学会九州支部研究大会でも報告したものである[4]。

2. 原子核に関するクイズと模型

筆者らは、セミナーの中盤で、原子・元素・原子核の基本的な説明をした後に、理解を助けるためのプリントを受講生に配布し回答させた。プリントは発表スライドの要点と全 4 問から成るクイズとした。1 問目はセミナー内で紹介した物理学者の名前を問うクイズにし、2 問目から 4 問目を原子核に関するクイズとした。2 問目は「元素の種類は（ ）で決まっている」という穴埋め問題とし、元素名は陽子数で決まることを思い出させた。3 問目では、炭素（C）を例に図 1 のような穴埋め問題を設け、陽子数と中性子数が原子番号および質量数とどのような関係にあるのかを考えさせた。最後の 4 問目は図 2 のような穴埋め問題で、同位体の存在を示す問題とした。

() の数 → 12
() の数 → 6

C

図 1 原子番号と質量数に関するクイズ

	水素			ヘリウム			リチウム		
	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^3_2\text{He}$	${}^4_2\text{He}$	${}^6_2\text{He}$	${}^6_3\text{Li}$	${}^7_3\text{Li}$	${}^8_3\text{Li}$
陽子の数									
中性子の数									

図 2 同位体の存在を学んでもらうクイズ

これらのクイズに加えて、筆者らは原子核の模型の開発も行った。図 3 は 2 色の BB 弾を用いて作成した原子核の模型である。記載内容は図 2 に示したものと同様だが、この模型の説明には、それぞれの原子核の半減期と地球上における存在割合も記した。加えて、図 4 のような 2 色のピンポン玉を用いた模型も作成した。ピンポン玉の模型は、陽子玉と中性子玉に面ファスナーのフ

ック面とループ面がそれぞれ取り付けられており、自由に脱着して原子核の種類を変えられるようにした。また、陽子と中性子の数が乖離するほど一塊にはなりにくいという、実際の原子核の特性もある程度再現できる利点を持つものである。

図3や図4のような模型を用いることで、肉眼では見えない原子核が陽子と中性子という2種類の粒子からできている、という概念に親しんでもらうことをねらいとした。

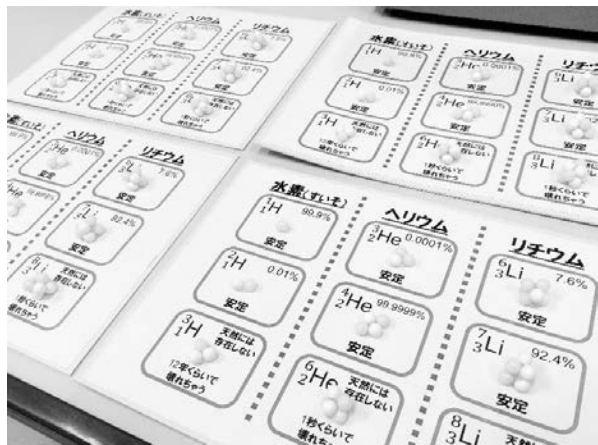


図3 BB弾を用いた原子核模型

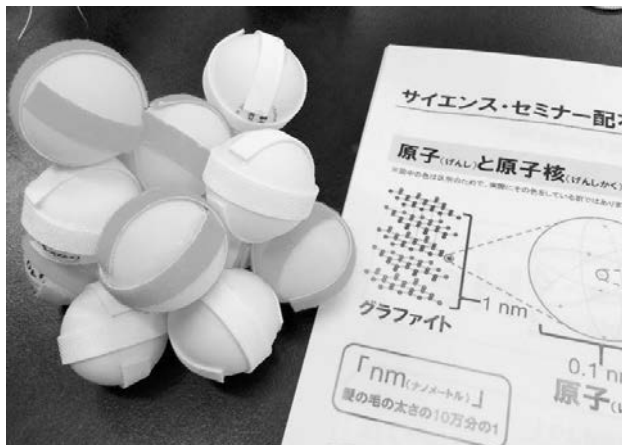


図4 ピンポン玉を用いた原子核模型

3. アンケート調査の結果

セミナーの印象や科学への興味、そして、何を学んだのかを調べるべく、受講した中学生へのアンケート調査をセミナー終了時に行った。

アンケート調査では、8割程度の受講生から「楽しかった」「分かり易かった」などの好評価が得られた。また、セミナー前後での科学への興味を問う設問の結果からは、4割程度の受講生が本セミナーの受講によって科学への興味を増加させたことも分かった。

アンケート調査の自由記述回答からは、「原子や原子核はすごく小さかった」「元素の種類は陽子の数で決まっている」などの回答を得ることができ、ねらい通りの効果が得られたと考える。

4. 結論と展望

原子・元素・原子核の初学者向けに、理解を深めるためのクイズと模型を開発し、その効果を実際の中学生向けセミナーの受講者アンケートから検証した。クイズと模型を用いたセミナーは、楽しく、分かり易かったという評価をもらうことができ、受講した中学生の科学への興味を増加させる効果があることも分かった。アンケート調査の自由記述回答からは、受講生が原子・元素・原子核に関する理解を深めている様子が伺えた。

今後も実践とアンケート調査を行い、適切な教材使用による受講生の学びについて調べていきたい。特に、自由記述回答の結果を蓄積し、テキスト分析等により詳細にその効果を検証したい。

- [1] 中野享香, 三宅恵子, 佐藤孝, 五十嵐由利子: 工学教育 Vol.59 No.3 p88 – p92 (2011)
- [2] 中野享香: 大学の物理教育 Vol.19 p68 – p72 (2013)
- [3] 小林良彦, 草野有紀, 中野享香: サイエンスコミュニケーション Vol.7 No.1 p37 (2017)
- [4] 小林良彦, 中野享香: 九州の物理教育 Vol.4 p12 – p13 (2018)

地震観測への参加を通じた探索型学習についてのエピステモロジー的考察

岩堀卓弥¹，矢守克也²，京都大学防災研究所^{1,2}

E-mail iwahori@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp¹, yamori@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp²

1. はじめに

本稿では、学校における地震観測への参加型学習の諸事例を紹介するとともに、これらの実践事例について Hofer (2004) らによるパーソナルエピステモロジーの概念を援用して検討を加えることで、学校教育各年代の参加型学習で身につけるべき力について考察を行う。

2. 満点地震計を用いた参加型防災学習プログラム

2-1. 満点地震計：満点地震計は京都大学防災研究所阿武山観測所の飯尾教授らのグループによって、2008 年に作成された小型地震計である。飯尾教授らは、この満点地震計を、地域を選択して集中的に配置し、これまでにない高密度の地震観測を行っている。これが満点地震計による稠密多点型地震観測計画の「満点計画」である。満点計画は目標観測点数一万点を目指すが、現時点では、近畿地方の北部に 82 か所や鳥取県西部から島根県東部にかけて約 100 箇所等、合計約 330 点の満点地震計を設置し観測体制を敷いている。

2-2. 満点計画学習プログラム：京丹波町立下山小学校は京都府中部の中山間地帯に位置する、全校生徒 80 名程度の小学校である。2009 年度に、「満点計画」における地震計の観測点増と防災教育授業の実践とを目的として小学校の敷地内に、子どもたちも手伝って地震計が設置された。下山小学校では、地震計の設置以降に、地震計のデータ交換のタイミングごとに生徒（6 年生）と筆者らが共に作業を行い、教室で地震計と関連したテーマでの授業を行うという形式で防災教育授業を続けている（岩堀ら，2016）。

2-3. 藤島高校 SSH：岡本(2015)らは、満点地震計の観測システムを展開すれば詳細震源決定が可能であり、かつ、防災教育のツールとしても有効と考え、これを文部省 SSH（スーパーサイエンスハイスクール）のプログラムに取り入れることで、藤島高校（2011 年 10 月）、金津高校（2012 年 06 月）、丸岡高校（2012 年 07 月）、三国高校（2013 年 04 月）、坂井高校（2014 年）の順に、福井県内の学校に地震計を展開した。SSH の授業の枠を使った波形の解析結果は、藤島高の生徒達によって、福井県の SSH の合同発表会や地球惑星連合の高校生の部で発表されている。

3. パーソナルエピステモロジー：パーソナルエピステモロジーは、科学的な知識のメタ認知に関する区分 (Hofer, 2004) である。この考え方は、科学的な知識を単に客観的な知識としてではなく、それを認知する主観の側の条件からも考察する点で、主体的・能動的な学習のあり方の考察と親和性が高い。パーソナルエピステモロジーは、次の 4 段階の認識に分けられる。

Certainty (確実さ、信頼性)	Simplicity (シンプルさ)	Source (ソース)	Evidence (明証的な根拠)
暗黙的認識		明示的認識	

図-1 パーソナルエピステモロジーの 4 段階

- ・Certainty（確実さ、信頼性）：対象となる知識についての曖昧な、流体のようにぼんやりとした認識である。その知識は確実に信頼できるものか、発展中の仮説などの水準の認知である。
- ・Simplicity（シンプルさ）：対象となる知識を認知主体が構成するにあたって行う、それは単なる個別の事実の集積かそれともより高いレベルで事実群が統合されるのかという判断についての、つまり連続性（非連続性）についての認識。Certainty より明晰だが、暗黙的な認識である。
- ・Source（ソース）：外部の知識と自己の関係について、意味を構築する主体としての認識。この認識は明示的に表現でき、具体的には、「どのように私はこれを知るか?」、「どのようにこれは私の経験と合うか?」といった問いの形をとる。
- ・Evidence（明証的な根拠）：知識の必要十分条件についての、つまり知識の正当（統）化に関する自己認識。この認識は明示的に表現でき、具体的には「私は必要な知識を知っているか?」、「さらに知る必要はあるか?」、「ではどうするか?」と言った問いの形をとる。

この4段階は、あくまで学習を行う個人のベースで考えるべき認知の条件であり、一般的には必ずしも図式的な発展段階に沿うものではないことを Hofer は強調している。さらに、彼は、それぞれの段階の区分は曖昧である（時に相互浸透する）ことも述べている。これらを裏返せば、個別（個人ごと、事例ごと）に例外を認めるという条件において、一般的に小学校（Certainty）、中学校（Simplicity）、高校（Source）、大学（Evidence）の各年代とメタ認知の段階を対応づけることが、直観的な理解に、そして理論の実践への適応に有益と筆者は考える。

4. 考察

小学校での満点計画学習プログラムの事例は、暗黙的認識としての Certainty（あるいは Simplicity）の段階に対応する。この参加型学習は、中学校以降で扱う知識は教えない一方で、地震計をお世話し下級生に受け継ぐ役割の自覚を「アイデンティティの獲得」として評価できる（岩堀，2016）ことを踏まえると、地震学の知識の体系的な蓄積というより、むしろ地震学的知識への信頼と関心の構築という意義が大きいと考えられる。

藤島高校 SSH の事例は、明示的認識として、source（あるいは evidence）の段階に対応する。「震源決定は迷うので個人で決めずに相談する」一方で、「リーダーだけど指示したことない。（メンバーが）分からない用語を1つ1つ勉強していった」というインタビューを踏まえると、参加型学習を通じて科学的知識を主体的に探索する姿勢を身につけることに意義があると考えられる。

メタ認知の各段階の区分についてのより詳細な検討は今後の課題である。

【引用文献】

Barbara K. Hofer(2004): Epistemological Understanding as a Metacognitive Process: Thinking Aloud During Online Searching, Educational Psychologist, 39:1, 43-55

岡本拓夫・斉川清一・片川浩一・高岡美咲・岩堀卓弥・谷口溪(2015): 高校の校舎を利用した地震観測 ― (SSH) より小・中・高における防災教育へー, 日本地震学会モノグラフ, 4, pp144-147.

飯尾能久・矢守克也・城下英行・岩堀卓弥, 東北地方太平洋沖地震と地震防災に関する最先端の研究, 物理教育, 日本物理教育学会, 60, pp282-288, 2012 年

岩堀卓弥・矢守克也・城下英行・飯尾能久・米田格, 防災教育における「伝達型」・「参加型」モデルの関係性―満点計画学習プログラムをめぐって―, 災害情報, 日本災害情報学会, 14, pp139-152, 2016 年

科学折り紙を活用した理数探究教材

埼玉県立大学 保健医療福祉学部, 石原 正三

E-mail shozo@spu.ac.jp

1. はじめに

三角形のユニットを設計して任意の立体を折り紙で制作する手法を“科学折り紙”と呼ぶ。科学折り紙で多面体の骨格構造（スケルトン）を作り、多面体のスケルトンを糊と水引で接続して結晶構造や分子構造の立体構造を視覚的に表現するモデル（“折り紙モデル”）を制作して、物質構造の教具として利用するとともに、実習教材としても開発を進めてきた。[1, 2]

昨年の第34回物理教育研究大会（於：兵庫、甲南大学岡本キャンパス）では、大学1年次生を主な対象として開講されている教養科目「数理科学」で実施している科学折り紙の実習を紹介し、日本の伝統文化である折り紙の親しみやすさと色彩豊かな芸術的趣を活かし、科学折り紙を理数科教材として活用することを提案した。[3]

本講演では、2020年度に実施される高等学校新教育課程で新たに設置される理数探究の実験テーマとして科学折り紙を活用することを提案し、実験授業を実施する際に必要となる基礎知識と機材を紹介する。

2. 三角形のユニット折り紙の設計

従来のユニット折り紙では、ユニットの形状は二等辺三角形に限られていたため、制作できる立体は正多面体などの対称性の高い立体に限定されていたが、ユニットの形状を任意の三角形に拡張することで、任意の形状の立体が科学折り紙の手法で制作できるようになった。三角形のユニットの形状をX線結晶構造解析の実験データに対応させることにより、最近接原子間距離（ボンド・レングス；図1(a)の b_1 と b_2 ）と結合角（ボンド・アングル；図1(a)の φ ）を折り紙のサイズ（図1(b)の a と l ）と折れ線の位置（図1(b)の c ）に関連付け、各ユニットの折り紙の形状を図1(c)の関係式から任意の立体構造のユニットを設計し、任意の立体構造モデルを制作することができるようになっている。

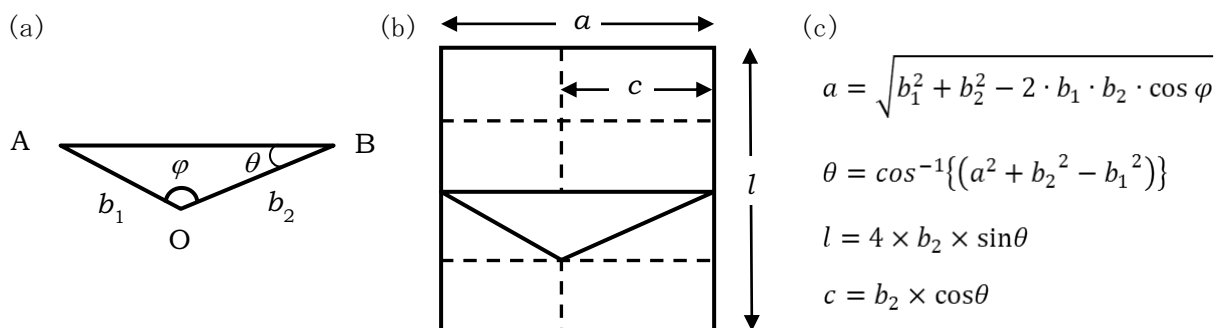


図1 三角形のユニット折り紙の設計：(a) ユニットの形状 (b_1, b_2, φ) , (b) ユニットを制作するために必要な折り紙のサイズと折れ線の位置 (a, l, c) , (c) ユニットの形状 (b_1, b_2, φ) と折り紙のサイズと折れ線の位置 (a, l, c) の関係式

3. 折り紙モデルの制作に必要な物品と機材

科学折り紙の実験に必要な物品と機材を図2に示す。また、ユニットの設計には、三角関数が扱える関数電卓か計算ソフト（例えば、Microsoft Excel）が利用できるPCが必要となる。

折り紙モデルの制作には非常に多くの枚数の折り紙を適切な形状にカットする必要がある、折り紙を手で一枚一枚カットしたり、簡易型カッターを使用したりすることは、生徒の安全と折り紙の均一性を考慮し、極力、避けるべきである。折り紙の裁断には電動カッターを使用することが最善と考えられるが、電動カッターが利用できない場合は、学校に設置されている大型のカッターを使用することをお勧めする。

制作途中の作品を保管したり、飛散しやすい物品をまとめて収納したりするため、二重のジッパー付きビニール袋（例えば、旭化成ホームプロダクツ社製 Ziploc フリーザーパック L）を用意しておくとお便利である。

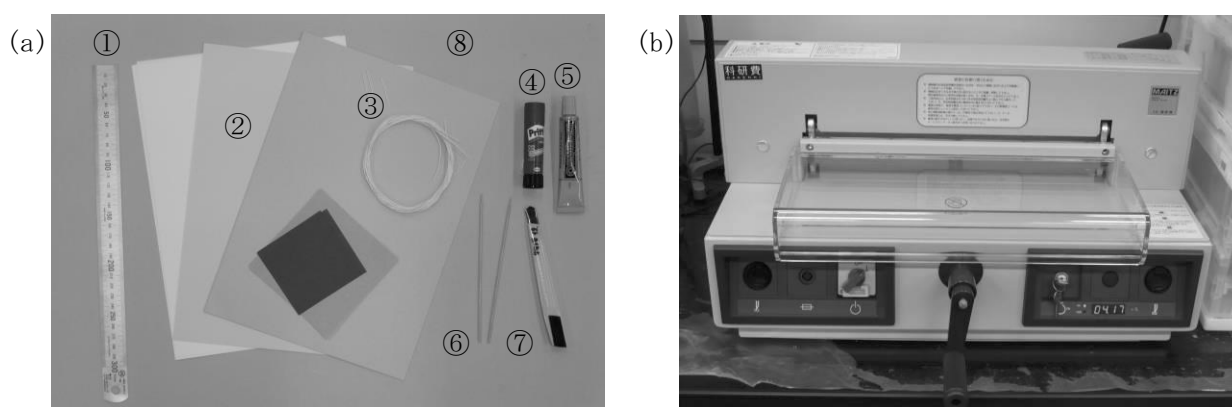


図2 科学折り紙の実験に必要な物品と機材: (a) 物品 ①金属定規, ②折り紙(コピー用紙), ③水引, ④スティック糊, ⑤セメダイン, ⑥竹串, ⑦カッター, ⑧カッティングマット; (b) 機材 電動裁断機 (MAITZ 社製 No. CE-4215)

4. おわりに

ユニット折り紙の設計には、幾何学や三角関数などの数学的基礎知識が必要であり、また、折り紙モデルの制作には、試行錯誤を繰り返しながら目的とする立体構造に辿り着く、モノづくり活動を通じた探究過程が含まれている。特に、日本の伝統文化である折り紙の豊かな色彩と造形美は、自然の中に潜む芸術的体験を学習者に実感させることができ、科学折り紙を活用した理数探究教材の最大の特徴となっている。

今後、科学折り紙が「理数探究」、および「理数探究基礎」で活用されることを期待している。

References

- [1] Ishihara, S., "Science Origami, An Effectice Teaching Aide on Science", Volume 1 (2014), 017024-1~017024-4, DOI:10.7566/JSPSCP.1.017024.
- [2] 石原正三, 「結晶の折り紙モデルを利用した実習教材」, 『ものづくり・マテリアル』 マルトー第2回教育奨励賞受賞他論文集, (2001), pp. 1-10.
- [3] 石原正三, 「科学折り紙の手法を活用した理数科教材」, 第34回物理教育研究会予稿集, (2017).

授業実録で解明する明治 150 年科学教育の新実態とその現代的再構成

新潟大学教育学部, 小林昭三
kobayasiakizo@ed.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

明治 150 年に挑み続けられた世界先端の科学教育授業に関する授業筆記記録を、香川や関西・中国・九州や全国各地において探索し調査分析してきた⁽¹⁾。そうした全国網羅的な科学授業の実録資料を探索調査して、明治 150 年に及ぶ科学・理科・物理授業の目標・内容・課題に関する教育史的新実相を解き明かす研究成果の報告である。更に、その教育史的価値ある授業内容を、最新の ICT を活用した能動学習型授業として、現代的に蘇がえらせる試行にも触れよう。

最近では、徳島や香川の文書館の調査も進展した。加えて大分や熊本の図書館においても授業記録の探索収集が進展し、北海道から本州・四国・九州の全国に何とか及ぶという調査になった。今回は特に、香川や熊本や兵庫・大阪で入手できた科学教育分野の筆記文書の内容を中心に科学教育の相互関連を辿り、明治中期科学教育の特徴的な史変遷とその意義や価値を論述しよう。

2. 香川や熊本や兵庫・大阪での明治期理数教育の実相

1886（明治 19）年の小学校令により、尋常小学校 4 年までは読本による理科的な内容、高等小学校で理科授業なるものが開始された。高等小学校の 1 年と 2 年生では博物的に動物・植物・鉱物や博物的な物理や化学が教えられた。確かに低学年の理科（高等小 1 年、2 年）では、物理や化学も博物的な授業内容であった⁽²⁾。高等小 3、4 年の物理学や生理学や化学では、科学の基礎・基本に関する本格的な授業内容が明治 20 年代の相当な期間において教えられた⁽¹⁾ことが、授業筆記で確認できた。香川・熊本・兵庫・大阪・埼玉・新潟他の授業記録の物理分野他の概観を紹介して、実際に授業ノートに筆記された理科や科学の授業実態における史変遷の核心的な特徴を解明しよう。

2. 1 山下愼一による理科筆記帳⁽³⁾・明治 27(1894)年・香川家文書での実験記述

小学校令から 8 年経た明治 27 年に、山下愼一により筆記された理科筆記ノートを紹介する。これは山下が長尾高等小学校 3 年生の時に受けた理科の授業を筆記したものである⁽³⁾。物理や化学の授業の主要部分の筆記に試験（実験）が登場する点は使用教科書では判別できない、特に興味深い特徴と云える。それは後藤牧太やスチュワート物理書の実験的検証を基軸に据える開発主義や能動学習の手法が明治 27 年頃にも実施されたことを意味するからである。なお、この筆記の記述内容は『学海指針社編輯・小学理科新書巻 3』3 年生用と細部まで一致するので、この授業で用いられた教科書は理科新書であろう。その目次と内容とを次に列記するが良い一致が確認できよう。最初は植物と動物、次は、物理、地文学と続く（高等小学校 1、2 年次では博物である）。

植物と動物の内容は次の様である。（1）植物の生長；1 成長の状態、2 生育の要素 3 根の構造、4 葉の構造、5 根葉の作用、6 養分の貯蓄、（2）動物の生長；1 鳥の孵化生育の状態、2 鳥の同化作用、3 獣の同化作用、4 魚類の同化作用、5 動物の食物、6 動物の呼吸、7 呼吸上の関係（植物は炭酸ガスを同化し・炭素と酸素に・動物は酸素を燃焼し炭酸ガスに）、8 食物上の関係（鉱物・植物・動物）：以上の目次からは、植物と動物との生態学的関連を特に重視した内容であり、この点でも学海指針社編輯の小学理科新書（小林八郎発行）の第 3 巻（3 年用）に良く対応している。

物理分野の記載内容：小学理科新書巻 3 で「実験・検証・法則・応用」の能動型授業法が実施された。

筆記の物理部分は、重力、振り子や加速運動に触れ、天秤や槌子へと続く構成となっている。

（4）錘；1 重力、2 垂直、3 重量、4 運動の試験、5、運動の法則（落下の加速、投げ上げの減速、撃力は重量 x 速度）。重力：垂直：重量：糸を吊す：地球の引力運動の試験（実験）で検証 坂道を転落：漸々速を増加速；撃力・高いほど痛感、投上：速を減と速を増。特に重力の詳細は：（一）重力 鉛丸を糸にて吊るさば、糸の張るを見る。鉛を石に或いは木に代ふるも皆然らざるはなし。或いはこれを上ぐるも、再び、下りて前の如し。此の如く地球に近よらんとする力を、地球の引力と云ひ、又、物体の重力と云う。（二）垂直 重き石を吊るせば、まっすぐに地面に垂れる。之を垂直と云う。（三）重量 物体は皆 地球に引きつけられ、其の支ふるもの圧す。物体の

圧する力をその物体の重量と云う。(四)運動の試験 坂道を転落する岩石は遅緩になりしものも、漸々其の速力を増さん。又、球を空中に投げ上げるに、始めの速力は大なる漸々減じても再落下せん。(五)運動の法則 (一)高さ所より落つる物体は漸々其の速を増す。(二)投げ上げる物体は漸々速力を減ず。(三)撃力は物体の重量及び運動の速力に比例すと運動法則の核心部を含む。(一)振り子試験：3尺振り 60/s 実験図はないが、試験(実験の事)を次の様に詳しく記述した：今3尺ばかりの糸を以て重りを吊り、(イ)のところに挙げて放たば重力の働きにより、錘は(ロ)に至りて舊(もと)の位置に止まることなり。更に進みて(イ)と殆ど同じ高さの(ハ)に至りて、再び(ロ)を過ぎて、ほとんど(イ)のところに至る。斯く如く上下に動きて、長く止まらずは、重りを(ニ)に挙げて之を話せば(ホ)に至る。かくして一分時を等しくするに至るに、(イ)に上ぐるも其の振動数は殆ど六十にして敢て差異を生ぜず。此働きを振り子の働きという。以上の様に、実験内容の筆記部分は、理科新書・法則・と殆ど変わらないが、これを試験・法則・応用とスチュワートや後藤の小学校物理教科書のような能動学習型であることに注意されたい。

その後には、以下の目次のような日常的な道具や機械の学習内容に移行して行く：

(6)振り子時計(3尺振子は1分60回・歯車の組合で時計) 重心：1定義、2物の釣り合い、3物の倒れる理由、4応用(7)秤：天秤の原理、同の構造、用法・・・化学・医術に用う。

(8)天秤の原理；重量 $\times$ 距離、構造、用法、てこ(法則、圧搾機、種類)、鉄(2)比重：水の浮力試験、法則、比重定義、比重を測る法重なる鉱物の比重(金19.3、鉛11.2、銀10.5、鉄7.7、水晶2.7(構造、法則・定滑車と動滑車、応用)、輪軸(構造、法則、応用)、歯車(構造、法則、応用)物の膨張；試験、法則、応用、寒暖計(構造、製法)3氏(摂氏・列氏は80度沸点・華氏)空気 以上の様である。小学校令下の変遷は明治24年ごろの宇治橋正則と比較すると明瞭化する。

2.2 明治25-26年・高等小学校2-3年生宇治橋正則の理科筆記・物理の目次との比較：

長野県上伊那郡高等小学校伊那富分教場の宇治橋正則は、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・化学筆記などを遺した。

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。「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。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)高等小2年・物理筆記の目次は次の様：動静力学／1力／2動静／3重心／4平均／5重心線／6槌子／7秤／8助力機(槌子・滑車・輪軸・・・)。「単一の機器及び近易の方便」の動静力学を教える博物的物理授業だった。明治26年高等小学校3年生の理科・物理の部には運動法則の核心部が含まれた。小学校教則綱領(M14)の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」の内容だった。教則大綱(M24)下でも、その目次は；「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= $g \cdot t^2/2$)／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／だった。

3. おわりに

宇治橋の明治26年物理筆記内容の実験装置図は「カッテンボス型」を含むもので、教師は教則大綱(M24)時代に於いても世界最高水準の物理の授業を目指していた。教則大綱(M24)に基づく強い教科書検定制約下でも理科新書を用いた香川・山下(M27)や群馬の坂本(M32)の理科筆記帳で開発主義的「試験・規則」が継続された。茨城・福島・新潟他でも類似の傾向が見られた。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 15H02912, 17K18617 の研究助成をうけたものです。

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) 板倉聖宣、『増補 日本理科教育史(付・年表)』仮説社(2009年)、170-253頁。
- (3) 香川県立図書館所蔵・山下家文書 3058・明治27年歴史・理科筆記帳・山下愼一。

物理のアクティブラーニング型授業における形成的アセスメントの要素

秋田県立横手清陵学院高等学校, 瀬々将吏

E-mail ztaro21@gmail.com

1. 概要

形成的アセスメント（FA）とは、狭義には「学習者の学習ニーズを確認し、それに合わせて適切な授業を進めるための、生徒の理解と学力進歩に関する頻繁かつ対話型なアセスメント」を指す。広義には、そのようなアセスメントを組み込んだ授業方略そのものをも示し、理論・実践の双方の包括的な枠組みとして発展の途上にある。本発表では、FA の枠組みを紹介した後に、既存のアクティブラーニング（AL）型物理授業を取り上げ、「FA の要素」が AL 型物理授業にどのように現れているかを検討する。

2. 物理の AL 型授業に置ける形成的アセスメント

物理の AL 型授業において、形成的アセスメントの方略はどの程度実践されているのだろうか。その度合いを分析するために、ウィリアムとトンプソンによる形成的アセスメントのフレームワークを用いる。まず、彼らが提唱する「5つの戦略」は以下のものである。

1. [ゴールの共有] 学習目的と達成規準を明確にし、共有する。
2. [根拠の引き出し] 学習の根拠を引き出すための討論などの活動を行う。
3. [フィードバック] 学習者の学びを前進させるようなフィードバックを与える。
4. [資源] 学習者自らが他の生徒の指導の資源となることを促す。
5. [オーナーシップ] 学習者は自らの学習のオーナーとなる。

また、これらの戦略が学習環境にどのように埋め込まれるかを示すフレームワークを表1に示す。

表1 5つの戦略を学習指導に結びつけるためのフレームワーク

	(a) どこに行くのか	(b) どこにいるのか	(c) どうやって行くのか
教師	(1) 学習活動の意図を明らかにし、到達の基準を共有	(2) 学習の根拠が明確化されるような、効果的な討論や学習課題を実施	(3) 学習を前進させるフィードバックを与える。
クラスメイト	(1) 学習活動の意図と到達の基準を理解・共有	(4) 生徒が互いに他の教育資源になるよう促す。	
学習者	(1) 学習活動の意図と到達の基準を理解・共有	(5) 生徒が自分の学習のオーナーになるよう促す。	

物理のAL型授業をこれに照らし合わせて分析する。用いるAL型授業は以下のものである。まず、古くから行われており、日本でも知名度のあるものとして

1. ピア・インストラクション
2. チュートリアル
3. ILDs
4. 小林昭文氏の授業法

を分析する。これらの実践は、少なくとも表立っては形成的アセスメントの枠組みを採用していない。これと対比するために、Chaipat 氏の 2015 年の学位論文で実践された方法を分析する。この実践は、形成的アセスメントを全面的に授業方略として取り入れている。

分析方法は以下の通りである。

- (i) 注目した実践が、表 1 のフレームワークをどの程度充足しているかを、文献を用いて判断しスコア化する。
- (ii) 定量的な概念調査 (FMCE, FCI など) が利用可能な場合は、その結果と (i) の結果の相関を調べる。

分析は現時点で進行中であるが、少なくとも現時点において、既存の AL 型授業においても、表 1 のフレームワークに合致する点が多く見られることは注目に値する。形成的アセスメントの理論や実践例が、物理の AL 型授業のデザインに有用であることを指摘する。また、アセスメントをあらかじめ想定した授業設計により、学習活動が「逆向きに」設計されうることも指摘する。

ILDs「ニュートンの第3法則」の改善と実践

広島大学大学院教育学研究科，梅田貴士

E-mail tumeda@hiroshima-u.ac.jp

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。昨年度「ニュートンの第3法則」を試行してみて、幾つかの点で課題を感じたため、これらを改善したILDsを考案し、大学初年度に行った実践と結果について報告する。

2. ILDs「ニュートンの第3法則」の改良

通常のILDs「ニュートンの第3法則」では作用と反作用の大きさが一致することについては効果的に演示できている。しかしながら、作用反作用と力のつり合いの区別に焦点を当てた演示実験は含まれておらず、どう違うかを議論させるだけになっている。この部分は作用反作用に関する理解で混乱しやすいポイントなのでILDsの演示実験として取り入れたいと考えた。この実験を行うには、ブロックにはたらく摩擦力を測定する仕組みが必要となる（図1左）。

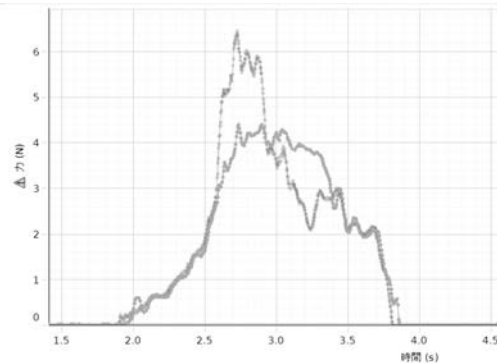
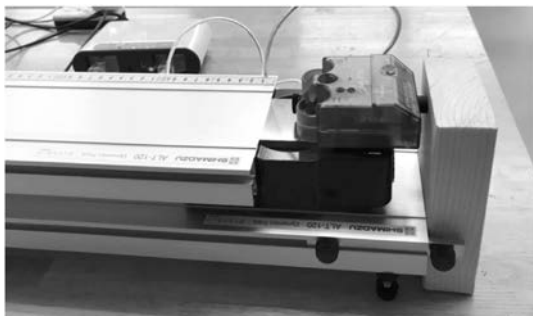


図1：（左図）レールを載せた台車に取付けた力センサーで摩擦力を測定する。（右図）手でブロックを押して急加速した後、摩擦力で減速、停止した時の、「手がブロックを押す力」と「摩擦力」の時間変化グラフ。「手が押す力」と「摩擦力」の大小が途中で入れ替わっている様子が分かる。

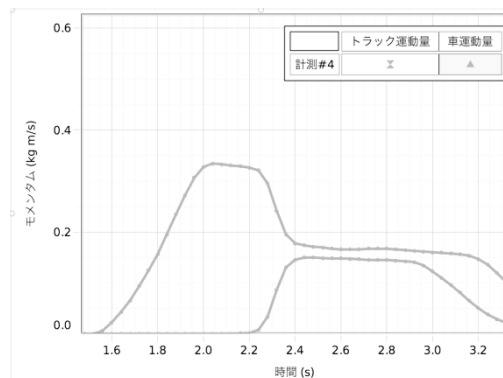
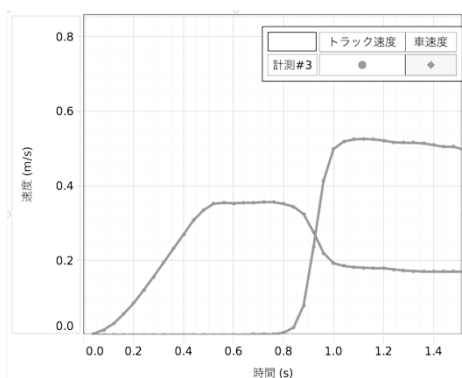


図2：質量が異なる台車2台の弾性衝突実験。（左図）台車の速度-時間グラフ。（右図）台車の運動量-時間グラフ。共に最初は重い方の台車を手で押している時間で、一定時間後に衝突している。

力センサーを取り付けた台車の上にレールを載せ、そのレール上でブロックの運動に関する作用反作用の実験を行う。ブロックが加速、減速する場合に作用反作用の大きさは等しいが、摩擦力との差が生じている様子を演示実験の中で可視化できた（図1右）。

さらに、質量の異なる台車（トラックと車）の衝突における作用反作用の実験では、力センサーの演示によってお互いに及ぼす力の大きさが等しいことが可視化できる。しかし、学習者の立場になって考えてみると、実際の衝突では質量の小さい台車の方が大きく弾き飛ばされるので、その原因について納得させるステップが必要だと考えた。その為には、質量の異なる2台の台車のそれぞれの速度変化と、運動量変化を可視化させたい。そこで、スマートカート^[2]を利用した演示実験を組み込むことを考えた。この実験によって得られたグラフを図2に示している。

3. ILDs「ニュートンの第3法則」改良版の実践

ILDsを試みたのは国立大学教育学部の1年生後期（第4ターム）の力学入門の授業（90分授業で全15回）で、受講者数は36名。今年度は「ニュートンの第3法則」と「斜面上の台車の運動」をそれぞれ90分授業として実施した。これらの実践の評価の為にFMCE^[3]によるプレ・ポストテストを行った。プレテストは授業の第1週で、ILDsの実践は第7回目と第8回目の授業で行い、その1週間後にポストテストを行った。ILDsを受講し、プレ・ポストテストを両方回答した25名に対する結果を図3に紹介する。ここで、Smith & Wittmann^[4]らによるクラスター別の結果も示されている。ゲイン(Gain)は規格化ゲインである。

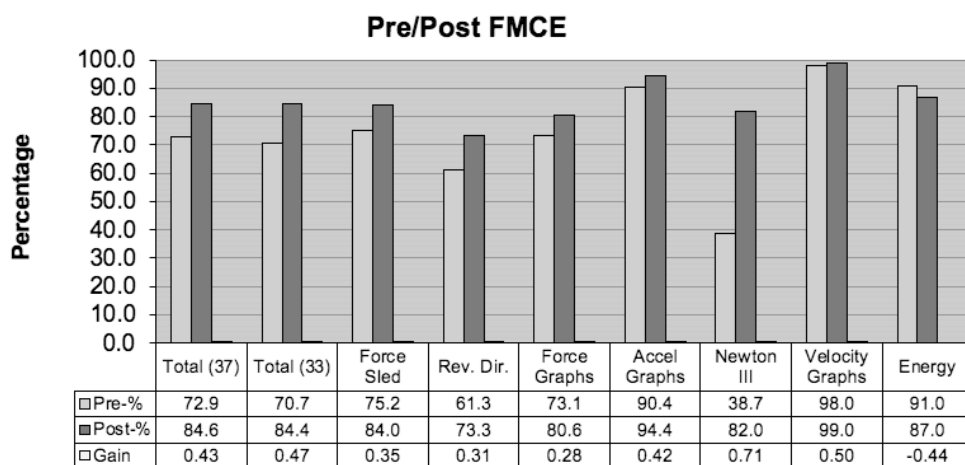


図3：FMCE プレ・ポストテストの解析結果。Gainは規格化ゲインを表す。

今回はILDs「ニュートンの第3法則」の改善と実践を行った結果、関連するクラスターの（規格化）ゲインが0.71となった。ILDsを行わなかった一昨年度は同ゲインが0.05、テキストに沿って行った昨年度のゲインは0.45であったことから改善の効果が得られたと言える。

参考文献

- [1] D.R. Sokoloff and R.K. Thornton, Phys. Teach. **35**, 340-347 (1997).
- [2] 力学台車スマートカート, 株式会社 島津理化.
- [3] R.K. Thornton and D.R. Sokoloff, Am. J. Phys. **66**(4), 228-351 (1998).
- [4] T.I. Smith and M.C. Wittmann, Phys. Rev. ST-PER **4**, 020101 (2008).

運動学における ICT を用いた生徒実験を中心とした授業実践の試み

酒谷貴史¹，谷口和成²

同志社香里中学校・高等学校¹，京都教育大学²

tsakatani@kori.doshisha.ac.jp

1. はじめに

次期学習指導要領では「主体的・対話的で深い学び」を推奨しており，教員はアクティブラーニングの視点からの授業改善を求められている。ただ，理科の授業においては実験や観察があるため，文部科学省が目指す授業を行いやすいように思われがちである。しかしながら，山崎らのグループが行った高校物理に関する調査によると，全国的な生徒実験の平均は生徒1人あたり6回と少なく，0回と答えた学生は2割もいた[1]。また，科学技術振興機構理科教育支援センターが教員に対して行った調査によると，「観察実験を行う上で障害となっていること何ですか」という質問に対して，多くの教員が「授業時間の不足」を回答していた[2]。

本研究では，ICT 機器を用いた生徒実験を行うことで，多くの教員が感じている授業時間の不足を解消し，さらに文部科学省が求める「主体的・対話的で深い学び」につながるのではないかと考え，高校1年生の物理基礎において授業実践を行った。

2. 実践概要

これまでも，京都のアドバンシング物理研究会などが公開講座で ICT 機器を用いた演示実験を主体とした授業実践が行われ，運動学の学習において生徒が持つ誤概念に一定の効果があることが報告されている[3]。しかしながら，高校の物理学習において ICT 機器を用いた生徒実験は，まだまだ実践報告が少ないように思われる。

そこで，物理基礎の“運動とエネルギー”の学習において，4～5人の班に1台のセンサ内蔵型力学台車を配り，生徒実験を中心としたアクティブラーニング型授業[4]を実施した。また，このような授業方法が生徒の持つ“学習意欲”や“運動学における正しい概念の獲得”に効果についても調査を行った。

3. 運動学の授業展開

これまでの“運動とエネルギー”における生徒実験の主流は打点タイマーを用いた実験であったが，この方法では50分の授業を生徒実験のみに費やされてしまう。そのため，授業時間を確保するために講義型の授業が中心となりがちであった。そのため，生徒たちの深い学びにつながっていなかったのではないかと考えられる。しかしながら，センサ内蔵型力学台車を用いることで，タブレット端末にグラフが瞬時に表される。その結果，これまで大幅な時間が費やされていた計測の時間を短縮することができ，50分の授業の中で半分を講義に費やし，残りの時間を生徒実験に費やすことができるようになった。表1は学習指導要領の内容と授業実践で行った各授業の概要である。詳しい授業の展開については講演にて発表する。

表 1 学習指導要領の内容と各授業の内容

学習指導要領の内容	授業内容（概要）
(1)ア(イ)運動の表し方	① 距離センサを用いた $x-t$ グラフ（演示実験），速さの定義
	② 変位と速度，センサ機器の使い方，等速直線運動（生徒実験）
	③ 等速直線運動（生徒実験），等速直線運動のまとめ
	⑧ 合成速度，相対速度，小テスト
(1)ア(ウ)直線運動の加速度	④ 加速度の定義，斜面を下る台車の運動（生徒実験）
	⑤ 等加速度直線運動の解説，台車の質量を変えて斜面を下る運動，斜面を上る運動（生徒実験）
	⑥ 加速度が負の運動の解説，自由落下（演示実験）
(1)イ(エ)物体の落下運動	
	⑦ 鉛直投げ下ろし，鉛直投げ上げ（演示実験）

図 1 と図 2 は，斜面の傾きと台車の質量を変えて台車が下る実験の結果を表したグラフである。生徒は中学校の理科において加速度が斜面の傾きに関係することを学んでいるために，予想通りの結果となっていた。しかし，質量にも加速度が関係するという素朴概念を持っている生徒たちは，重たい物体ほど加速度が大きいと予想してしまうため，自らの考え方が間違っていることに気づく。生徒たちは予想と結果が異なることに対して，自然と話し合いを始めて，こちらが指示していない実験を始めるなど，主体的に学ぼうとする様子が見られた。

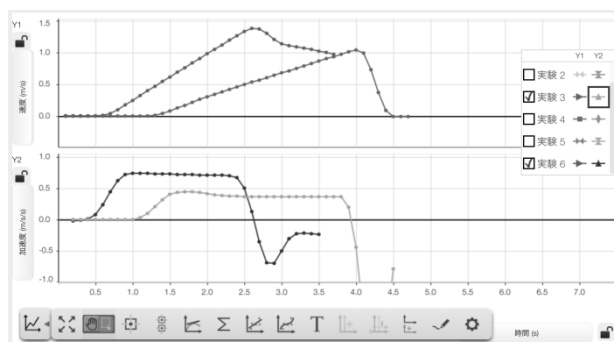


図 1 斜面の傾斜を変えた実験における速度と加速度グラフ

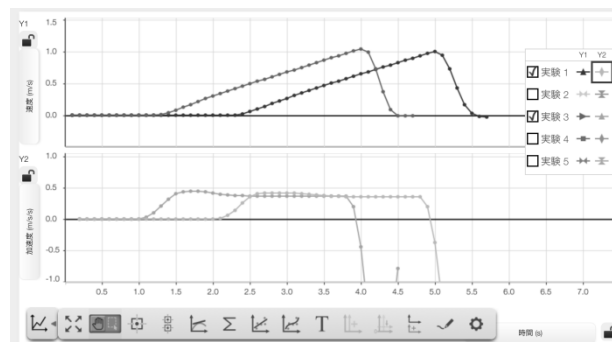


図 2 台車の質量を変えた実験における速度と加速度のグラフ

【 参考文献 】

- [1] 山崎敏昭他，物理教育 59(2)，101-107（2011）
- [2] 平成 20 年度高等学校理科教員実態調査，（独）科学技術振興機構理科教育支援センター，国立教育政策研究所教育課程研究センターHP より
- [3] 山崎敏昭他，物理教育 61(1)，12-17，2013
- [4] 溝上伸一，アクティブラーニング型授業の基本形と生徒の身体性，東信堂，2018

反転学習を導入したピア・インストラクション型講義の実践

九州大学 基幹教育院, 小島健太郎¹, 原田恒司²

E-mail kojima@artsci.kyushu-u.ac.jp¹, harada@artsci.kyushu-u.ac.jp²

1. はじめに

発表者らは、2014 年度以降、物理学の入門講義においてピア・インストラクション¹⁾ (PI) を取り入れた教育実践を行ってきた²⁾。2017 年度より、この PI 型講義における新たな取り組みとして、動画教材による予習を前提とする反転学習を導入した。以下では、まず反転学習を導入した背景と動画教材および授業実施方法の概要を紹介する。また、今回の実践を通じて得られた受講生へのアンケート調査の結果もふまえ、今回の取り組みの課題と展望について議論する。

2. 教育実践の背景と概要

本研究は、九州大学の初年次文系学生を主な対象とした選択科目「身の回りの物理学」における 2014 年度以降の教育実践を対象としている。2016 年度までの実践では、PI におけるグループワークの活性化を狙って、PI 効率の分析を通じたクイズ問題（コンセプテスト）の精査や、学習者の知識外化を支援するワークシートの導入を行ってきた²⁾。こうした試みを通じて、PI 型講義を多くの受講生が肯定的に評価することや、PI による学習を深めるためにはグループワークに十分な時間を確保することが重要だということが明らかになった。

しかし一方で、2017 年度よりカリキュラム改訂に伴い、授業回数がそれまでの 90 分全 15 回から、8 回へと大きく減少することとなった。その結果、PI を実施する確保しつつ、当科目で学ぶべき内容をカバーするには、授業時間外での学習を充実させることが重要だと考えるようになった。このような背景のもと、我々は近年注目を高めている反転学習³⁾に着目し、2017 年度より PI 型講義に動画教材を用いた反転学習を導入するに至った。

3. 動画教材と授業実施方法の概要

動画教材は、PC で作成したスライドに、説明の音声やポインターをつける形式で作成した。動画一本あたりの長さは 5 分から 12 分程度である。動画の内容や本数は表 1 に示している。

動画は YouTube にアップロードし、URL を知っている者だけが閲覧できる設定としている。URL は、授業支援のための WEB システム (moodle) に掲載し、受講生はそこを通じて YouTube の動画にアクセスしたうえで、毎週 5 本程度の動画を予習する。なお、一部の動画は「発展」あるいは「補足」扱いとし、必要と思う学習者のみが自発的に学習するものと位置付けた。毎回の授業では、最初の 10 分ほどで、moodle を用いて予習内容に関連する小テストを実施し、残りの時間は PI を中心に実施した。また、一部の授業では、動画の内容に関する疑問や授業終了後の振り返りを WEB システム上に記述させ、それをもとにしたフィードバックを行った。動画の閲覧状況の概要は、上述の moodle および YouTube 上の機能を用いて追跡した。

表 1 反転学習に利用した動画教材

分野	テーマ	内容の例	本数
力学	運動の記述	位置ベクトル、速度ベクトル、加速度ベクトル、等速円運動	5
	運動の法則	力とは何か、慣性の法則、運動の法則、作用・反作用の法則	5
	重力による運動	落体の法則、滑車に吊るされたおもりの運動、万有引力	3
	仕事とエネルギー	力のする仕事、(力学的) エネルギー保存則とその応用	4
気体		圧力、理想気体の状態方程式、大気圧の高度依存性、気体の比熱	4
熱力学		熱と熱容量、熱力学第一法則、大気の高さによる温度変化	3
波	波の記述	波の例、媒質、変位、正弦波、振幅、波長、速さ、振動数、位相	3
	波の性質	重ね合わせ、干渉、屈折、合成、分解	3
	身の回りの音	音速、合成、干渉、うなり、スペクトル、弦、気柱、ドップラー効果	7
	身の回りの光	光と電磁波、分散、散乱、連続・輝線スペクトル、レイリー散乱	4
その他		次元解析、近似の式、弧度法と正弦関数、関数と微分・積分	5

4. 本取り組みの課題と展望

反転学習の導入により、授業の進捗を確保しつつ、PI を実施するための時間を確保することが可能になった。以下では、2017 年度および 2018 年度の受講生に対するアンケート調査 (N=429) の結果もふまえ、今回の取り組みの課題や展望を述べる。

まず、多くの受講生が PI への取り組みを肯定的に捉えている。例えば「講義だけの授業より、クリッカーを用いたクイズがある方が楽しめる」という設問には、約 87% の受講生が肯定的に回答している。この傾向は 2016 年度以前の結果と同様であり、このことから、反転学習の導入は PI への取り組みを妨げなかったと言えるだろう。一方、動画の難易度や予習の負荷が高いことに対して、改善を求める意見が少なからず見られたことは課題である。これらに対しては、動画の難易度および分量の調整や、習熟度別の教材作成を進めることが有効だと考えている。また、「動画で予習するより、授業時間内に講義を聞く方が良い」という設問に対して否定的な回答をした受講生ほど、PI に対して肯定的な傾向が高かった。反転学習を導入した PI では、個々の学習者の PI への取り組みの成否と予習への取り組みは互いに影響しあうため、通常の講義に PI を取り入れる場合よりも、PI の成否が学習効果へ与える影響が大きくなると予想される。

反転学習は、学習における最も重要な活動を授業内で実施し、それ以外を授業の外に出すという考え方を基本としている。PI を中心に据えた授業を設計する上で、反転学習は一つの有効な選択肢である。今後は、本実践によって得られた課題を改善していくとともに、アンケートのみではなく理解度の調査等も含めた議論によって、効果的な授業方法を検討する必要があるだろう。

参考文献

- 1) E. Mazur: Peer Instruction, A user's manual (Pearson-Prentice Hall, New Jersey, 1997); C. H. Crouch, E. Mazur: Am. J. Phys. 69, (2001) 970.
- 2) 小島健太郎, 原田恒司: 第 34 回物理教育研究大会原著講演, 2017 年 8 月 11 日.
- 3) ジョナサン・バーグマン, アーロン・サムズ: 「反転授業」(オデッセイコミュニケーションズ 2014)

アクティブラーニング型物理教授法普及におけるワークショップの役割

新潟大学教育学部，土佐幸子

E-mail stosa@ed.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

アクティブラーニング型の物理教授法が，高校・大学で大きく取り上げられている現在¹⁾，具体的な手法を広く普及することの重要性は高い。アクティブラーニング型物理教授法として米国で長年にわたって開発・実践されてきた手法には，ピアインストラクション²⁾，相互作用型演示実験講義（ILDs）³⁾，チュートリアル⁴⁾，協働的グループ問題解決法⁵⁾など多数知られている。日本において，それらの手法は認知度を高めつつあるが⁶⁾，読んで知る程度であることが多く，どのように使われるのかを実地に学習できる機会はほとんどない。そこで，本発表では，アクティブラーニング型教授法の普及活動に関して，米国の現状を紹介し，ワークショップ形態の長所・短所の考察を通して，ワークショップ形態は日本の物理教育界においてどのような役割を果たすのかを議論する。

表1 米国の物理教授法普及活動

2. 米国における普及活動の現状

2. 1 米国における普及活動

アクティブラーニング型物理教授法に関して，米国では様々な活動が行われてきており，表1のように大きく4種類に分けられる。まず，①のAAPTによるワークショップは，冬と夏の年2回開催される学会において，一般発表等が始まる前の土日に30～50講座が開かれる。内容は多岐にわたり，実験技術に関するもの，ICT活用に関するもの，教授法や評価方法に関するものなど様々である。どのワークショップにも共通するのは，その分野において第一線で活躍する研究者が，15～30名の大学教員を主とする参加者を対象に，実際に活動させながら内容の紹介を行うところである。これらのワークショップの目的は，技術や手法を広め，それを使えるような物理教員を増やすことである。②のワークショップは年2回，40名程度の新しく（3年以内）大学に採用された教員を対象に行われる。各大学の学科長から推薦を受けた参加者は，3日間，朝から晩まで食事の時間も含め，多方面にわたるアクティブラーニング型教授法に関する手法を，開発者から徹底的に習う。1996年に始まったこの活動は，毎年，全米の新採用物理大学教員の約半数を参加させることに成功しているという。プログラムをみただけで，その内容の濃さがわかる。この活動の目的は，全米の物理教授法をアクティブラーニング型に改革することである。③のカテゴリーには，例えば全国を巡回して開催される天文学のアクティブラーニング・ワークショップやオレゴン大学のソコロフ教授が毎年開催するワークショップがある。④は各大学の物理学科が，アクティブラーニング型教授法の研究者を招き，講演を行うものである。

①	全米物理教師学会（AAPT）におけるワークショップ
②	新任大学教員を対象とするワークショップ（New Faculty Workshop）
③	NSFなどの研究費により研究者個人またはグループにより行われるワークショップ
④	大学で行われる講演会

るもの，ICT活用に関するもの，教授法や評価方法に関するものなど様々である。どのワークショップにも共通するのは，その分野において第一線で活躍する研究者が，15～30名の大学教員を主とする参加者を対象に，実際に活動させながら内容の紹介を行うところである。これらのワークショップの目的は，技術や手法を広め，それを使えるような物理教員を増やすことである。②のワークショップは年2回，40名程度の新しく（3年以内）大学に採用された教員を対象に行われる。各大学の学科長から推薦を受けた参加者は，3日間，朝から晩まで食事の時間も含め，多方面にわたるアクティブラーニング型教授法に関する手法を，開発者から徹底的に習う。1996年に始まったこの活動は，毎年，全米の新採用物理大学教員の約半数を参加させることに成功しているという。プログラムをみただけで，その内容の濃さがわかる。この活動の目的は，全米の物理教授法をアクティブラーニング型に改革することである。③のカテゴリーには，例えば全国を巡回して開催される天文学のアクティブラーニング・ワークショップやオレゴン大学のソコロフ教授が毎年開催するワークショップがある。④は各大学の物理学科が，アクティブラーニング型教授法の研究者を招き，講演を行うものである。

2. 2 米国におけるアクティブラーニング型教授法の実践と実践の困難さ

このように米国の物理教育学界では，広範囲にわたってアクティブラーニング型物理教授法の普及に努めている。スケールアップ形式⁷⁾の教室の普及に伴って，アクティブラーニング型の教授法を積極的に支援する大学もある。しかし，これだけ強力にアクティブラーニング型教授法の普及を推し進めても，米国の大学物理教員の誰もが取り入れているわけではない。2012年の物理教育研究によると，米国で何らかの形でアクティブラーニング型の講義を取り入れて

いる大学教員は約 50%だという⁸⁾。新任大学教員のワークショップに参加し、3日間、アクティブラーニング型教授法漬けになっても、従来型の情報伝達型の教授法を変えようとししない教員は多い。その背景には、若手教員が研究成果をあげることを厳しく課されている現状がある。テニュアトラック制を採用している米国では、権威ある学術誌に論文が、規定年数内に規定数掲載されることが研究の世界で生き残るために必須である。教育活動が学内で評価されるとしても、研究上の業績に比べて優先順位は高くない。また、正規のルートに乗っている教員は研究を専門とし、教育を専門とするのはそのルートに乗れなかった講師 (Lecturer) であるという考え方も未だに強い。結局、教育に熱心なのは、物理教育研究を専門とする教員か、業績の心配をする必要がないベテラン教員ということになる。

3. ワークショップ形態の長所・短所

表1からわかるように、米国において普及活動に用いられている形態は、ワークショップが多い。講演ではなく、ワークショップを開催する長所はどこにあるのだろうか。また、ワークショップにはどのような短所があるのだろうか。講演とワークショップについて、いくつかの点を比較して

表2 講演とワークショップの比較

みよう。表2

のように、講演は多数の参加者を1か所に収容し、一度に情報を提示できる。しかし、情報を一方的に視聴す

	講演	ワークショップ
参加者数	多数でも可	40名程度まで
時間	1時間程度	少なくとも90分
情報提示	視聴する形、一方向が多い	参加型、体験型、双方向
参加者同士の対話	ないことが多い	有り
目的	情報獲得	概念構築、技能獲得
参加者の姿勢	受動的、消極的	主体的、積極的

る形では、自分の考えや疑問を口にするのは難しく、受動的にならざるを得ない。ワークショップは参加者同士で話し合う機会を含め、活動に参加することが主であるから、自分のわからないところを追求することも可能である。ワークショップはこのように、好ましい要素ばかりだと考えられるかもしれないが、参加者は主体的・積極的に活動することを期待されるため、心理的プレッシャーは高いとも言える。ワークショップを成功させるには、参加者が抵抗なく活動に積極的に取り組むことがまず大事であり、そのような雰囲気作りが求められる。

4. 日本におけるワークショップの役割

2016年の日本物理教育学会研究大会では3つのワークショップが同時開催された。本大会直前にはソコロフ教授による2日半のワークショップが新潟で開催される。心理的な負担を押し附ける、参加者がどのような学びを展開するだろうか。本発表ではその様子をお伝えして、今後の日本の物理教育界におけるワークショップの役割を議論する。

参考文献

- 1) 中央教育審議会:「新たな未来を築くための大学教育の質的転換にむけて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～(答申)」(2012).
- 2) E. Mazur: "Peer Instruction: A User's Manual" Prentice Hall (1997).
- 3) D. R. Sokoloff and R. K. Thornton: "The Physics Suite: Interactive Lecture Demonstrations" John Wiley & Sons (2001).
- 4) L. C. McDermott and P. S. Shaffer: "Tutorials in Introductory Physics" Prentice Hall (1998).
- 5) University of Minnesota: "Cooperative Group Problem Solving" Retrieved from <http://groups.physics.umn.edu/physed/Research/CGPS/CGPSintro.htm>
- 6) E. F. レディッシュ:「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」(日本物理教育学会 監修, 翻訳) 丸善 (2012).
- 7) R. Beichner et al.: "Student-centered activities for large enrollment undergraduate programs SCALE-UP project", in Research-Based Reform of University Physics, edited by E. F. Redish and P. J. Cooney, American Association of Physics Teachers, College Park, MD (2006).
- 8) C. Henderson, M. Dancy, & M. Niewiadomska-Bugaj: "Use of research-based instructional strategies in introductory physics: Where do faculty leave the innovation-decision process?" Phys. Rev. ST - Phys. Edu. Research 8 020104 (2012).

多様な学習履歴を持つ学生によるアクティブ・ラーニングⅡ

久留米工業大学 基幹教育センター¹ 教育創造工学科² 建築・設備工学科³

酒見 龍裕¹ 野田 常雄² 江藤 徹二郎³ 井野 明洋² 巨海 玄道¹ 中村 文彦²

E-mail tsakami@kurume-it.ac.jp¹

1. 地方私立大の現状

久留米工業大学のような地方私立の単科大学の多くは、入学定員を充足するため、入学してくる学生の学習履歴は多岐にわたる。つまり、このような大学には、義務教育課程の知識の習得が出来ていない学生から、高校の物理・数学を理解し、授業を学修できる学生まで、幅広い学力を持つ学生が入学してくる。本学では数学・物理の学力調査を入学時に行っている。範囲は算数から微積分といった小学～高校レベルの数学・物理である。この結果から毎年、高校数学を理解し入学する学生がいる一方で、本学には2³を答えることができない学生も入学してくることがわかっている。この現状は、本学のような地方私立の小さな大学では、ほぼ同様だと思われる。この現状でも社会が学士卒の学生に求める汎用的技能、いわゆる「学士力」「ジェネリックスキル」¹⁾は変わらない中で、我々は学生をそのレベルまで引き上げなければならない。

2. アクティブ・ラーニング型授業の導入

現在、文部科学省は、小学校から大学に至る授業に課題解決型能動的、いわゆるアクティブ・ラーニング(AL)要素の導入を求めている。つまり、これまでの知識修得型から知識活用型教育への方向転換が求められている。学生に汎用的技能を身につけさせるためには、このAL型教育の導入は非常に有効であろう。国公立大のような総合大学では、入学定員を上回る応募があり、ある一定以上のレベルの学生が集まってくるため、AL型教育の導入が比較的容易であることが想像される。しかし、我々の大学では学生間に知識量や思考力に差があるため、一律にAL型授業の導入することは非常に困難である。我々はこのような大学でも可能な、AL型授業の導入方法を模索し、AL型教育が多様な学習履歴を持つ学習者に対して有効か検証した。

3. 1年次物理学へのAL型授業の導入

本学では1年必修科目の物理学の授業(受講者約290人)を8つの学力別クラスで行っている。その最上位クラスと最下位クラス(いずれも約30人)に対しグループ学修を中心としたAL型授業を導入した。今年度は、AL型授業の導入2年目となる。

昨年度に引き続き、下記のようなAL型授業を行った。①個人で課題に取り組む(5～10分) ②グループで課題に取り組む(5～10分) ③学生によるプレゼン ④教員による解説(演示実験を含む)。昨年度は、講義型からAL型授業への転換の効果を検証するべく、本学独自の学力調査問題を行った。その結果、下位・上位クラスとともに、従来の講義型と比べ、AL型授業では学力向上が見られた(図1)。今年度は、学生間の学力差が非常に大きい本学のような大学でも、このAL型授業が有効かの検証を昨年度に引き続き行った。この検証や課題についての詳細は、学会にて報告する。

1) 初年次教育学会編(2013)『初年次教育の現状と未来』世界思想社

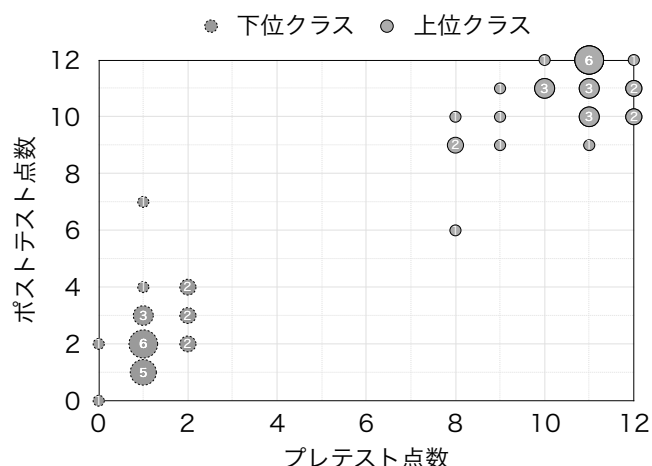


図1 平成29年度プレ/ポストテスト点数分布
(円内数字:人数)

ブレッドボードによる電気の授業

弓削商船高等専門学校, 牧山隆洋
E-mail makiyama@gen.yuge.ac.jp

1. はじめに

高校物理の「電気回路」を苦手とする学生は多い。その主な理由は、実際に実験をしたことがないために、イメージがわからないからである。ちなみに本校の8割の学生は、ブレッドボードについて知らなかった。

ブレッドボードとは、ハンダ付け不要で回路を試作できる基盤である。電子パーツを穴に挿入するだけで、回路を組むことができる。

実際に、電圧、電流、抵抗値などを測定しながら法則や公式の確認をすれば、理解を深めることできて、苦手意識の解消が期待できる。

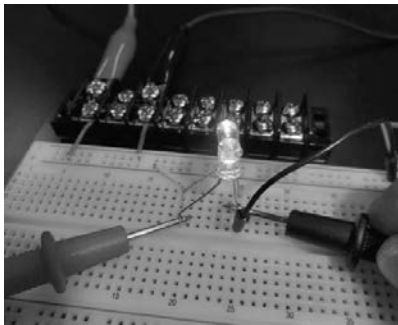


図1 LEDの点灯（並列回路）

2. 方法・目的

本校では2人に対して、ブレッドボードを1セット用意してグループ実験を行った。その他、マルチメーター、各種電子パーツ、乾電池等を用意した。内容は、①「オームの法則」、②「LEDと消費電力の計算」、③「コンデンサーの合成容量」、④「キルヒホッフの法則」である。

①「オームの法則」では、ブレッドボードの仕組みを説明して、電流、電圧、抵抗の測定方法の確認、合成抵抗値の計算方法の確認をする。

②「LEDと消費電力の計算」では、図1のように複数のLEDを並列接続で点灯させて、電圧と電流を測り、消費電力を計算する。

③「コンデンサーの合成容量」では、3つのコンデンサーとLEDを用意し、それぞれ並列回路と直列回路を作る。どちらの回路が、より電荷をためやすいかを、LED

の点灯時間で確認する。また、図2のような回路を作り、コンデンサーについての理解を深める。スイッチを切るとじわじわとLEDの光が消えていく。

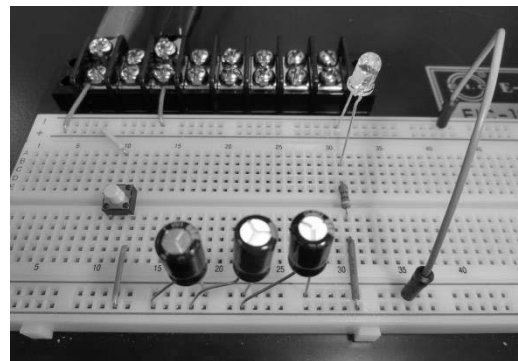


図2 コンデンサーの放電

④「キルヒホッフの法則」では、キルヒホッフの法則から抵抗に流れる電流値を計算で求めて、実際に回路を組んで、計算値と実測値がほぼ一致することを確認する。

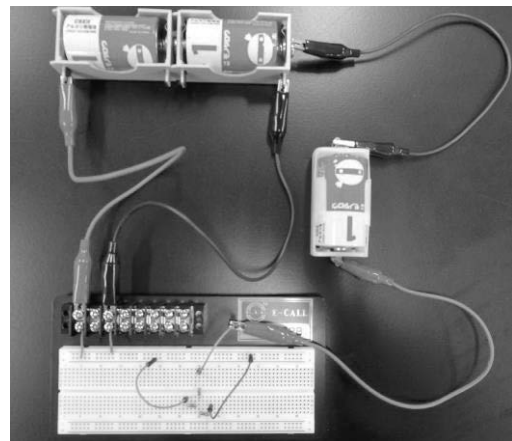


図3 キルヒホッフの法則

本校には商船学科と電子機械工学科と情報工学科の3学科がある。全学科の2年生に電気の授業を実施中である。

トランジスタ1本の追加で実現する“減衰しない”電気振動

兵庫教育大学 猪本 修

E-mail inomoto@hyogo-u.ac.jp

高校物理ではコンデンサとインダクタから構成される回路の電気振動が扱われるが、現実には振動が常に減衰するために演示が容易でない。本研究ではトランジスタを回路に加えることで安定した電気振動をつくり、授業における演示効果が高まることを示す。NPN 型トランジスタの電流電圧特性に着目し、その負性微分抵抗特性を利用することで、減衰しない電気振動を実現する。

1. はじめに

高校物理の電磁気に関する単元では、交流回路における受動素子（コンデンサ、インダクタ、抵抗）のはたらきを学ぶ。このうちコンデンサとインダクタのみから構成される回路（LC 回路とよばれる）は最も単純な振動回路のひとつであり、また交流回路におけるコンデンサとインダクタのはたらきを説明する上で適している。しかしながら系のエネルギーが回路素子の内部抵抗によってジュール熱として散逸し、振動が減衰する（図 1）。

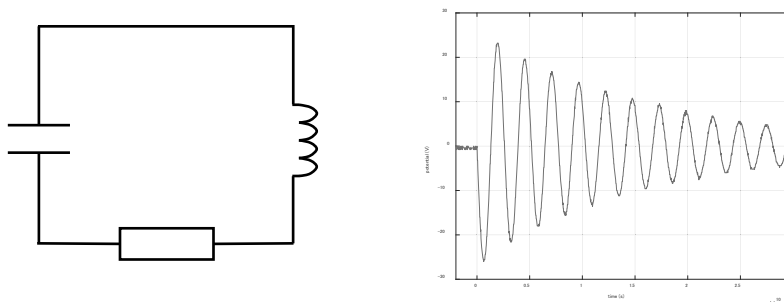


図 1 振動回路と振動の時系列

そこで、ここでは電気振動の減衰を抑制するために、トランジスタの非線形抵抗に着目する。非線形抵抗は、例えば白熱電球や整流ダイオードのように、素子を流れる電流が印加電圧に比例しないコンダクタのことである。トランジスタはベース電流を 0 としつつエミッタ・コレクタ間に電圧をかけると、電圧に応じた非線形なコンダクタンス特性を示す。特にいくつかの NPN 型トランジスタでは印加電圧に対する電流応答が多価関数となり、ある範囲での電流変化が負となる負性微分抵抗特性（negative differential resistivity, NDR）を示すことが知られている。NDR を示す回路素子としては、古くはネオン管や真空管さらにはトンネルダイオード（エサキダイオード）が広く使われていた。オペアンプが開発されてからはインピーダンス変換器によって NDR の関数形を自在に設計することが可能となった。

2. 非線形抵抗と弛張発振

NDR の特徴のひとつは回路の発振を可能とすることである。例えば 3 次関数によって表される非線形抵抗素子が発振をもたらすことはよく知られており、それは van der Pol 方程式によってモデル化され、詳しく解析されている。

NDR を示す素子を用いた最も単純な発振回路のひとつに、コンデンサと抵抗から構成される一次遅れ回路に NDR 素子を接続した系がある。図 2 は CR 直列回路にネオン管を並列に接続したものであり、回路に電圧を印加すると次第にコンデンサ電圧 v_C が大きくなるが、これがある電圧 (約 72V) に達するとネオン管に電流が流れて短時間だけ発光する。これによってコンデンサ電圧が低下し、その結果としてネオン管に電流が流れなくなってコンデンサが充電される。充電によって電圧が上昇すると再びネオン管に電流が流れて発光する。発振の周期は一次遅れ回路の時定数によって決定される。この系の発振機構は Pearson-Anson 効果とよばれる弛張発振現象であり、こうした発振現象は電子回路に限らず様々なエネルギー開放系の局面に見いだすことができる。

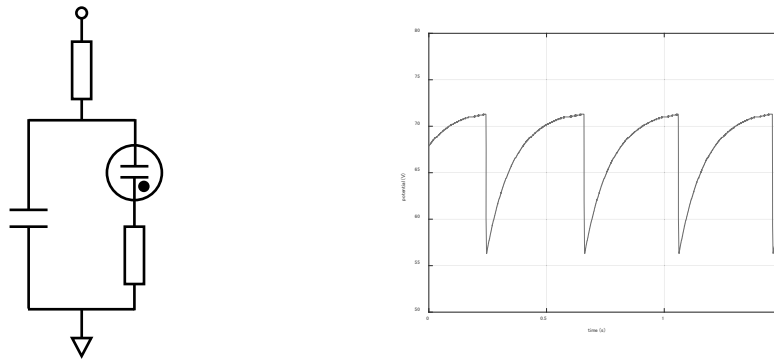


図 2 弛張振動を示す回路

図 2 のネオン管を NPN 型トランジスタに置き換えた回路であっても、その NDR 特性によって同様に発振する。そこで本研究では、トランジスタの NDR 特性を LC 回路に取り入れることとし、回路定数を検討した。さらに回路方程式をつくり、その解の性質を調べた。

3. トランジスタによる LC 回路の発振

トランジスタを取り入れた振動回路を検討した。すなわちコンデンサ、インダクタ、抵抗から構成される振動回路にトランジスタ T_r を直列に接続し、電流源 S によって一定の電流 i_0 を回路に供給した。ここでトランジスタのベース端子は開放された状態にあり、したがって増幅作用はない。回路定数を $C = 0.01 - 10 \mu\text{F}$, $L = 100 \text{ mH}$, $R = 100 \Omega$ とし、また定電流源からの電流 i_0 を 1 mA としたところ、この回路は時間的に安定した正弦的な振動を発現した。

この定常的な振動は、NPN 型トランジスタがもつ NDR 特性によって振動の減衰が抑えられることによるが、このように LC 回路をわずかに改変するだけで、安定した電気振動が容易に実現する。これは交流回路と電気振動を理解する上で有益であり、その演示教材として優れている。

スマートフォンに接続した超音波センサーを用いた物理実験(運動の法則)

東京都立桐ヶ丘高等学校 安達 照

(元都立蔵前工業高校)

E-mail aadachi888-metro@yahoo.co.jp

1 はじめに

スマホのアプリケーション(アプリ) Diracma シリーズ(DiracmaA、DiracmaJump、DiracmaS 等)を開発し、スマホに搭載されている加速度センサー、オーディオ機能等を用いた力学や音波実験等の基礎的検討を行ってきた¹⁻⁶⁾。

アメリカの物理教育(ILDs 等)では、距離の変化測定用には、瞬時に結果を得ることができるため、超音波センサー(いわゆるモーションセンサー)と PC を用いた物理実験装置が用いられてきた⁷⁾。これらの測定用システムは物理概念構築に高い効果を有すると考えられるが、導入コスト等の問題で、導入している高校は多くない。本研究では、超音波センサー(スマホに搭載されていないセンサー)をスマホに接続するアプリを開発することで、より安価でどこでも実験可能なシステムを構築した。本報では、運動の法則実験への応用を行った。

2. 実験装置の概要

(1) 超音波センサーとマイコンについて

超音波センサー(HC-SR04)と小型マイコン(ArduinoNano、1.7cm×4.5cm)の接続については、HP に接続方法やプログラム例が掲載されている⁸⁾。この例では、距離(cm)を出力するようになっているが、プログラムの最後の部分を修正し、シリアル出力は下記の命令(数値と改行)だけにする(ここでプログラムでは Duration には超音波の往復時間(μs)を入れておく)。

```
Serial.print(Duration);  
Serial.println("");
```

(2) マイコンとの接続用アプリ DiracmaM

マイコンとスマホ(Android 系)はホストケーブルで接続する。本アプリは、マイコンから往復時間と改行がリアルタイムで送られてくるデータを受け取り、距離、速度、加速度の時間的変化をグラフ表示するようになっている(グラフィブラリーは MPAndroidChart、Ardiuno と Android とのデータ通信には usb-serial-for-android を用いた)。近日、詳細な使い方を含め、GooglePlay にて無料公開予定である。

・動作確認端末:

Galaxy SC-02C (OS 4.03)、SC-04F (OS 6.01)

Sony Xeperia402SO(OS 6.0)

3. 運動の法則への応用

(1) 実験方法

図1のように、力学台車、おもり、滑車を使用して実験を行った。台車の動きを超音波センサーで測定した。

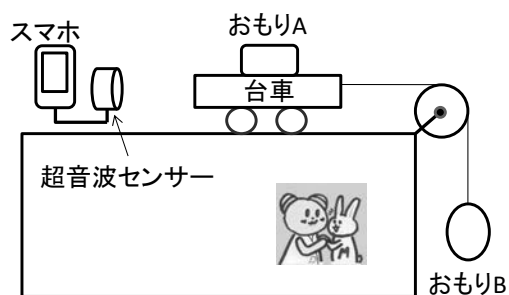


図1 運動の法則実験の概要図(右下の絵はアプリのアイコン、デザインは Marina 氏)

(2) 実験結果及び考察

次に、図2は、台車(1kg)の上におもりA(0.4kg)をのせて、滑車を通じておもりB(0.1kg)で引っ張ったときの距離、速度、加速度の時間変化のグラフである。速度の時間変化は直線的に増加する等加速度運動を示しており、加速度の時間変化も平均 0.6 m/s^2 で一定となっている。運動の法則で、質量 $m=1+0.4+0.1=1.5 \text{ kg}$ 、力 $F=0.1 \times 9.8=0.98 \text{ N}$ のときは、加速度は 0.65 m/s^2 となるので、実験値ともほぼ一致している。

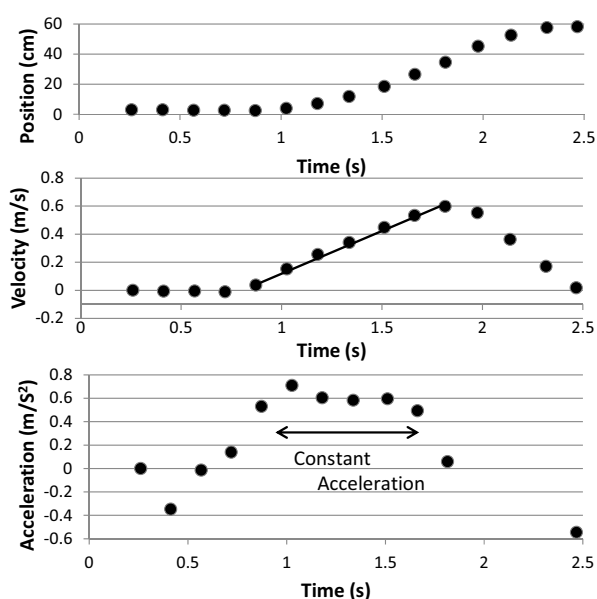


図2 等加速度運動の各種グラフ

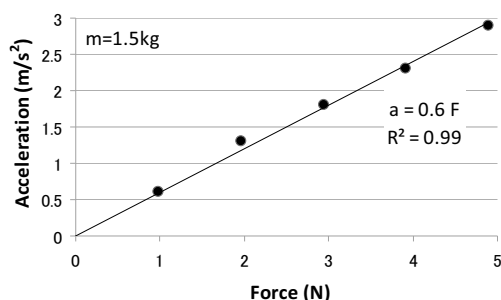


図3 加速度と力の関係（質量一定）

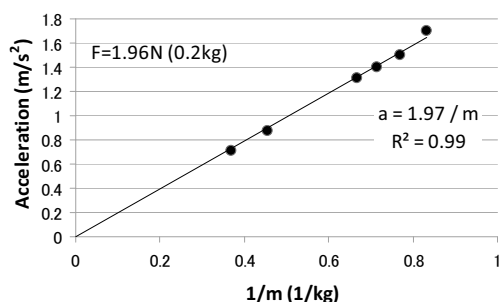


図4 加速度と質量の逆数との関係（力一定）

他の条件で試してみると、図3、4のように実験データは運動の法則に一致した結果が得られた。

4. 教育実践

高校の物理基礎に応用したときの生徒の主な感想は下記のとおりで、興味・関心を高めることがわかった。

- ・目に見えないものなので、普段はわからないが、アプリを使うとグラフからかなりのことがわかる。
- ・超音波センサーの状況は、実際に目で見ることができないが、アプリで可視化できるのが興味深いと思った。

5. まとめ

アプリ"DiracmaM"を用いることで、スマホにマイコン経由で接続した超音波センサーの測定データを取得することができ、比較的、正確で安価に運動の法則実験が行えることがわかった（1セットは2000円以下）。今後は、小型で、どこでも持ち運びできるモバイル特性を生かした実験や、超音波センサー以外のセンサーを用いた実験を行っていく。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP17H00166 の助成を受けている。

参考文献

- 1) 安達 照、応用物理教育, **40**(2)(2016)131.
- 2) 安達 照、日本理化学協会研究紀要 **48**(2016)5.
- 3) 安達 照、日本理化学協会全国理科教育大会発表論文集(2017)12.
- 4) 安達 照、物理教育研究大会発表予稿集(2017)41.
- 5) 安達 照、応用物理教育, **42**(1)(2018)57.
- 6) 東レ理科教育賞 HP に掲載の PDF ファイル http://www.toray-sf.or.jp/activity/science_edu/sci_001.html
- 7) 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）.
- 8) スイッチサイエンス社のサイト：
<https://www.switch-science.com/catalog/2860/>

超音波発生装置を使った定常波の観察

早稲田大学本庄高等学院 影森 徹

kagemori@waseda.jp

1. はじめに

高等学校の物理基礎で、波の定常波の学習をする。そのとき、定常波を観察させるために、ウェーブマシーンと呼ばれる金属製や木製のすだれ状の器具を使用している。この定常波は横波のものであるため、縦波の定常波を観察させる実験装置（図1）を超音波振動子を用いて構築し授業で活用したので報告する。

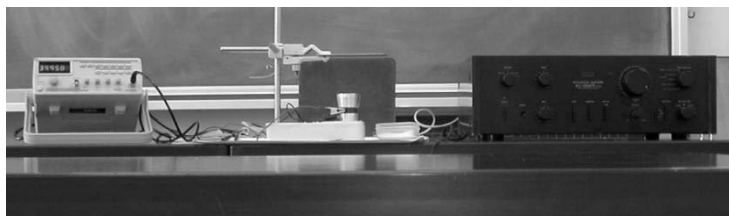


図1 浮揚装置全体図

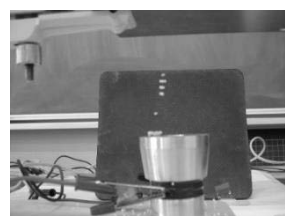


図2 超音波振動子

2. 実験の準備

○ 超音波振動子（図2）

本多電子 洗浄機用 HEC-45402 インピーダンス 35Ω 以下 静電容量 330pF 50W

○ ファンクションジェネレーター エー&ディー AD-8624A

○ オーディオアンプ サンスイ 出力 100W

○ 鉄製スタンド ○クランプ ○自在ばさみ

○ ワニぐちクリップ (2本) ○オーディオコード (1本)

○ スピーカー用コード (1セット) ○発泡スチロールの球 (直径 1.5mm 程度)

3. 実験方法

図3ように、ファンクションジェネレーターから 40kHz の信号を発信し、オーディオアンプに入力し増幅する。その信号をスピーカー端子から超音波振動子に入力する。



図3 機器の接続

超音波振動子は図2のような向き置くと実験がしやすい。超音波振動子の上方10cm位のところに金属板を固定し反射板とする。

手順

- ① ファンクションジェネレーターからおおよそ40kHzの信号を出力する。波の形はサイン波とした。
- ② オーディオアンプの電源を入れ、ボリュームを最大にする。
- ③ ファンクションジェネレーター周波数を変えながら、超音波振動子が一番振動しているところで周波数を固定する。
- ④ さじで、発泡スチロール球をすくい、超音波振動子と金属板の間の空間に振りかける。
- ⑤ 図1のように発泡スチロール球が浮揚すれば成功である。
- ⑥ 発泡スチロールの代わりに、ドライアイスから出る白い煙で実験を行うと、層状に煙が並ぶので、同様に定常波を観察することができる。

実験をするにあたり、いくつか注意点がある。

超音波振動子に出力すると、後述のように共振回路が作られるため、オーディオアンプに負担がかかる。また、超音波振動子に入力されたエネルギーの多くは発熱に供されるので、振動子はやけどをするくらい熱くなる。そのため、実験を1分ほどしたら、装置が冷めるのを待つとよい。

また、超音波振動子とアンプとの接続には、はんだ付けを使用しないほうがよい。これは、40kHzの振動により、金属疲労が生じ切断されてしまうからである。

4. 浮遊物の間隔

浮遊物は、定常波の腹の付近に浮いているようである。腹と腹の間隔は波長の半分であるため、室温20℃の時には、

$$\text{波長} = \frac{\text{音速}}{\text{振動数}} \text{ より、 } \frac{\lambda}{2} = \frac{343.5}{40000} \div 2 \quad \text{よって、約 } 4.3 \times 10^{-3} \text{m} \quad \text{つまり } 4.3 \text{mm} \text{ になる。}$$

6. 安全性について

低出力の超音波は、歯ブラシや洗浄機などにも利用されており人体に与える影響もほとんどないと思われる（アメリカ電機工業会）。出力が50Wを越えなければ、総務省への届け出の必要はない（超音波工業会）。

7. 超音波振動子の購入先

エコテック （楽天店 <http://item.rakuten.co.jp/us-dolphin/c/0000000147/>)

音波をどう扱うべきか、変位波？それとも疎密波？

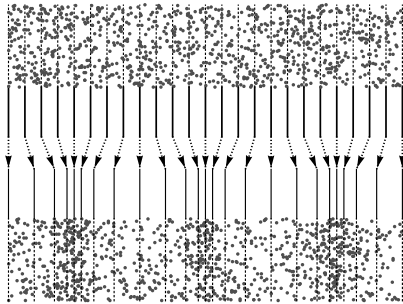
(元)和歌山大学教育学部¹，平安女学院中学校高等学校²，同志社中学校・高等学校³，

藤田利光¹，岩間 徹²，山崎敏昭³

E-mail toshi-f@maia.eonet.ne.jp¹，iwama@heian.ac.jp²，yamato@js.doshisha.ac.jp³

1. 縦波と疎密波の表示

力学的な波について、横波の場合は進行方向に沿って変位の様子を図示すればそのまま視覚化できるが、縦波の場合は変位の向きが進行方向と同じなので視覚化しにくいため、射線上の変位ベクトルを90度回転



縦波の変位と疎密の図。点線の波線は縦波の横波表示。上は縦波変位を反時計回りに回転した場合、下は時計回りの場合。下の太い実線は密度変化の横波表示。

して「縦波の横波表示」をする。こうすると、縦波も横波と同じように扱えて便利だが、変位ベクトルを回転する向きが反時計回りか時計回りかが任意なので、そのことに注意する必要がある。図の横波表示では、変位を反時計回りに回転すれば縦波の右向き変位を正、左向き変位を負として扱うことになり、時計回りに回転すれば変位の正と負の扱いが逆転するから、取り方次第で波形の山と谷が逆になる。しかもこの違いは、取り扱いの便宜に過ぎないからである。

この任意性を避けるには、この行に沿って進む縦波の変位を $\cdots \leftarrow \cdots \rightarrow \cdots \leftarrow \cdots \rightarrow \cdots$ の様に直接矢印の並びで表せばよい。矢印の並びで表すと、表示は一意的だが、変位が波として空間変化する様子が分かりにくい。

縦波による媒質の密度変化は、疎密のピークと変位のピークが1/4波長ずれていて、 $\cdots \leftarrow \cdots$ 疎 $\rightarrow$ 密 $\leftarrow$ 疎 $\rightarrow$ $\cdots$ のようになっている。さらに「密度変化の横波表示」を用いれば、波の表示は一意的で、変化の様子も分かりやすく、音波のほぼ完全な記述になっている。

2. クイーンケ管

現行指導要領では、物理基礎で「クイーンケ管による実験などを通して音の干渉を扱う」としている。クイーンケ管では、入口から入った音波を左右のパイプに分けて導き、出口直前で重ね合わせて出てきた音を観測する。パイプの片方をスライドさせれば経路長が変えられ、経路長を変えながら出て来る音の干渉を観測すれば、スライド量から音波の波長が分かる。

変位の重ね合わせで考えると、左右のパイプ長が等しいときには音波が出会う箇所で縦波の変位は同位相逆向きで弱め合う。疎密の重ね合わせで考えると、その位置では位相が一致するから音は強め合う。観測は後者を支持するから、音波を疎密波としなければ説明できない。

3. 音の干渉実験

現行指導要領では、物理基礎で「水面上を伝わる波を観測させるなどして」波を扱うとしている。離れた位置の2つの波源から出てくる同位相の波の干渉は水波実験器で演示できる。音波による類似の実験は多くの教科書で紹介され、大学入試センター試験でも出題されている。これは、ステレオのスピーカーセットの様に離れた2つのスピーカーに同時に単一振動数の音の電気信号を流せば実現できる。教科書では、両スピーカーからの距離の差が波長の整数倍なら両スピーカーからの音は同位相で強め合い、距離の差が波長の半整数倍なら逆位相で弱め合う、と説明する。しかし、スピーカーを向かい合わせにして置いてその中央で聞くなら、クイーンケ管の場合と同じで、変位波とすれば同位相逆向き変位の重ね合わせで弱め合い、疎密波とすれば同位相の重ね合わせで強め合う。つまり、変位波と疎密波では干渉が逆になる。スピーカー周辺でも、変位は向きが異なる変位ベクトルの和だから必ずしも教科書の説明通りにはならない。一方、疎密波であれば、一般的に教科書の

説明が成りたつ。つまり変位波とするなら、教科書の説明はスピーカー間の距離に比べて両スピーカーから離れた位置で近似的に成立するとしなくてはならない。実験の結果は、変位波による説明を支持しない。

4. 音波の反射

固定壁に垂直に入射する音波について、壁際では媒質は変位しないから、反射波は、壁際の変位が入射波の変位を打ち消すような波になる。通常の縦波の横波表示では、壁際で入射波が山なら反射波は谷、入射波が谷なら反射波は山と考えるから、反射波は、入射波を延長した波を半波長ずらして壁面で折り返した波となり、正弦波の場合は入射波と反射波に位相差 π が現れる。今、波の進行方向の縦波変位を正として記述する横波表示で考えよう。この場合は、壁際で入射波が山なら反射波も山、入射波が谷なら反射波も谷だから、見かけ上、入射波を折り返す際に半波長のずれや π の位相差は現れない。最初に述べた伝統的な音波の反射の説明は、特定の横波表示を前提にしていることが分かる。

一方、変位を矢印で記述する場合は一意的で、入射波の変位が壁際で $\leftarrow$ なら反射波の変位は壁際で $\rightarrow$ 、入射波が $\rightarrow$ なら反射波は $\leftarrow$ となるから、反射波は、入射波の延長を壁面で矢印の向きも一緒に折り返した波になる。

疎密波の反射については、固定壁では媒質が移動しないから、入射波の密が近づけば逃げ場のない壁際では密が倍増され、疎が近づけば裏から媒質がやって来ない壁際では疎が倍増され、壁際で倍増される疎や密が反射波を作る。従って固定壁における疎密波の反射は、横波の自由端反射と同じ筋書きなので同じパターンになる。逆に、開口部では媒質の移動が自由だから、入射波が及ぼす疎密の変化は「のれんに腕押し」的に受け流されるため疎密変化は殆どゼロ。従って開口端における疎密波の反射は、横波の固定端反射と同じ筋書きで同じパターンになる。

5. 定在波（定常波）

クインケ管でも干渉実験でも、変位波と疎密波の違いが際立つのは直線状に互いに逆向きに進む音波の重ね合わせの場合である。同波長で逆向きに進む音波の重ね合わせによってできる定在波（定常波）についても同様に、変位の節

は疎密の腹、変位の腹は疎密の節だから、観測しているのが変位なのか密度なのかで結論が分かれる。妥当性の如何は、気柱共鳴で気柱各部の音の強度分布を調べれば、直ちに分かる。

6. 音波の位相

音叉の両腕は振動の向きが逆だから、通例、両腕から出る音波の変位は互いに位相が π 異なると説明する。今、柔軟なパイプの一方の口を音叉の左腕近くに固定して音波を取り入れ、他方の口を右腕近くに固定して右腕から出る音波との重ね合わせを観測しよう。パイプ長が波長の整数倍なら変位も疎密も同位相で同期する。分かることは、位相差の π は、変位が同一直線に沿って互いに逆向きの正弦振動のとき成り立つ便宜であって、それが証拠に、等方的に音を出す音源を考える場合は、任意の二方向に出て行く音波に位相差を考える意味は全くない。

7. 結論

音が関係する現象は、殆どが媒質の密度変化や圧力変化によって生ずる。教科書でも最初にそのような説明がある。ところが、縦波、横波を含め波の学習は変位波が中心なため、我が国の物理教育では、[1~3]の意見はあるが、音波を縦波の変位で扱うことに大勢は疑問を呈していない。しかし見てきたように、音波は疎密波として扱う方が音現象を正しく説明でき、変位波では不都合なことが多い。また、疎密波の方が扱いやすくもあり、理解もしやすく教育的である。学習指導要領でも音波を縦波の変位で扱うとはしていない。以上から、音波は、縦波が作る疎密波として扱うべきこと、縦波の横波表示に替えて密度変化の横波表示を基本とすべきこと、及びそのための世論喚起を提案する。

参考文献

- [1] 石川昌司：物理教育，Vol. 52(2004)，No. 1，pp. 34-35.
- [2] 石川昌司：物理教育研究（日本物理教育学会北海道支部，<http://pesjh.jp/sbs/>），Vol. 32（2004. 7），pp. 12-14.
- [3] 川内 正：「平成 24 年度全国理科教育大会（2012）研究発表論文集」，pp. 24-27.
- [4] 藤田利光，岩間徹，山崎敏昭：物理教育，投稿中（2018）.

アルミパイプ内側面の虹模様の観察

東京学芸大学, 上田正和, 渡部健太郎, 荒川悦雄*

*E-mail arakawae@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

高等学校ではニュートンリングやヤングの実験の綺麗な虹模様により「光がもつ波の性質」を学習する[1]。

虹模様は、ある種のアルミパイプを通して白色光源を眺めると、同パイプ内側面にも観察できる(写真1)。本研究では、この虹模様を干涉縞として詳しく観察し、光線追跡を行い、干涉縞の原因となる光路を確定した。この内側面に酸化被膜の薄膜を仮定し、光の弱めあいの条件から、薄膜の厚みを求めた。

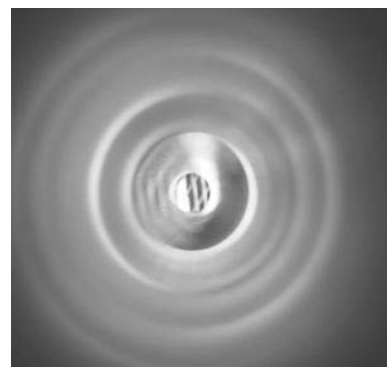


写真1 アルミパイプの内側面の虹模様

2. 実験方法

アルミパイプ(株式会社光モール製、アルミ丸パイプ 32、外径 32 mm、1.5 mm 厚)の外側面は白っぽい金属光沢を呈するが、虹模様が見える内側面は艶のある紫色であった。内側面に何らかの被膜の存在を仮定し、水、石鹼水、エチルアルコール、及び 4 mol/L の塩酸による洗浄を試み、色の変化を観察した。豆電球式の懐中電灯(ELPA 社製、DOP-LR302、照度 70 lx)を白色光源として内側面への入射角に依存した反射光の色も観察した。

続いて、蛍光灯(パナソニック株式会社製、H-f 型、昼白色、電力 32 W)を光源として虹模様を観察した(写真1)。アルミパイプの光源側にピンホール(黒色厚紙、直径 3 mm)を装着すると、乳白色及び橙色のリングが現れた(写真2)。ピンホールがある点を P、乳白色及び橙色のリングが見える円筒内の円の中心をそれぞれ S 及び D とする。観測者の目の位置を円筒の中心軸上に置き M とした。1 m 弱離れたところにある光源を見下ろす配置にし、1 mm 刻みの目盛りをつけた木綿糸を M から P に通し、端に質量 5 kg の重りを結び付け、観測者側から支え、長さ PM に依存した距離 MS あるいは MD を測定した。

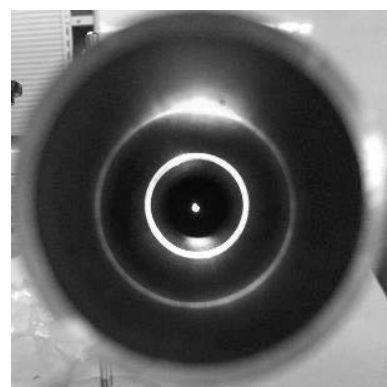


写真2 ピンホールを装着したアルミパイプ内側面

3. 結果

内側面が艶のある紫色を呈していたアルミパイプは、水、石鹼水、エチルアルコールには

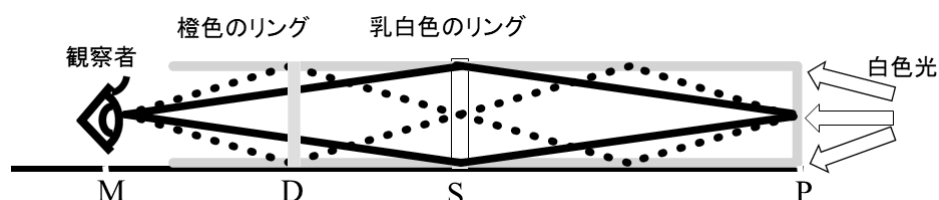


図1 アルミパイプ内部での光路

反応しなかったが、塩酸に浸すと泡を出しながら溶け、虹模様は見えなくなり、分光現象を観察できなくなった。このことから内側面には酸化被膜が存在していることが分かった。艶のあ

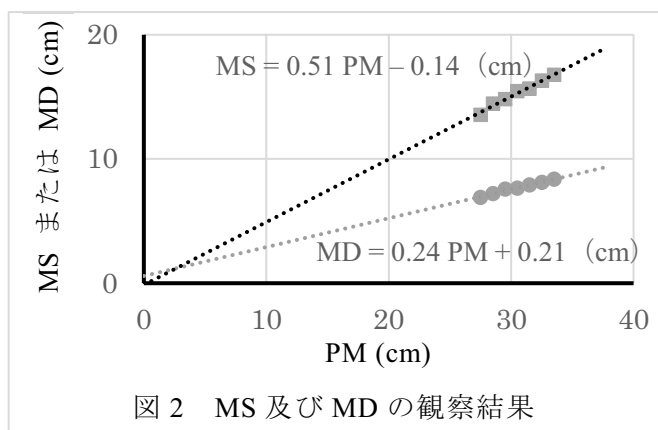


図2 MS 及び MD の観察結果

る紫色を呈する内側面は赤色を反射しないことから、この酸化被膜は、この波長領域でアルミニウムと同じ屈折率をもつアルマイトの皮膜である可能性が高い[4]。

アルミパイプにピンホールを装着して光源を眺めると MS 及び MD はそれぞれ図2の四角い灰色印及び丸い橙色印のようになった。MS 及び MD は原点を通る直線に乗り、この直線の傾きは $MS/PM = 0.51 \pm 0.01$ 及び MD/PM

$= 0.24 \pm 0.02$ なので、 $MD:MP = 4 : 1$ 、 $MP:MS = 2 : 1$ という規則性が分かった。これによりアルミパイプ内部での乳白色あるいは橙色のリングを通る光路が確定し、それぞれ図1の実線あるいは点線のように光線追跡できた。

4. 考察

酸化被膜は薄膜として働き、この薄膜の空気側の表面とアルミニウム側の界面で光が干渉していると仮定し、光の弱めあいの条件式 $2nd \cos\phi = m\lambda$ から[3]、薄膜の厚さ d を見積もる。ここで、 m は回折の次数、 λ は波長、 ϕ は薄膜からアルミニウムへの光の入射角である。空気から薄膜への入射角を θ 、アルマイトの屈折率を n とすると、 $n \sin\phi = \sin\theta$ である。

アルミパイプの切片を正面から見ると艶のある紫色であった。これは紫色の補色である黄色の波長 $\lambda = 550 \sim 590 \text{ nm}$ [2] が弱め合って見えるためと考えた。 $\theta = 0^\circ$ 、 $n = 1.77$ (黄色) [4]、及び $m = 1$ とすると光の弱めあいの条件式より d は $155 \sim 167 \text{ nm}$ となった。

写真2で乳白色に見えた理由は補色である青色の波長 $\lambda = 435 \sim 480 \text{ nm}$ [2] の光が弱め合ったためと考えた。同様に橙色に見えた理由は補色である緑青色の波長 $480 \sim 490 \text{ nm}$ [2] を中心として前述と同程度の波長領域 $\lambda = 465 \sim 505 \text{ nm}$ の光が弱め合ったためと考えた。PM が 28.5 cm のとき乳白色及び橙色のリングの θ は図1の光線追跡の結果から幾何学的にそれぞれ 84.4° 及び 78.9° となった。 $n = 1.78$ (青色から緑青色) [4]、光の弱めあいの条件式より乳白色及び橙色のリングの位置から求めた d は $m = 1$ とするとそれぞれ $144 \sim 159 \text{ nm}$ 及び $156 \sim 170 \text{ nm}$ となった。PM が長くなってもリングの色は不変だったが、これは $\sin\theta$ がほぼ1であったことによる。

本研究の内容を発展的学習教材とし、学習指導要領[1]に記載されている「光がもつ波の性質」について、内容の(2)、ウ・(イ)にある「薄膜の干渉」を学習することを提案する。

参考文献

- [1] 高等学校学習指導要領 理科編, 文部科学省, 2014 年
- [2] 理科年表, 海老原熊雄, 丸善株式会社, 1987 年
- [3] 幾何光学, 三宅和夫, 共立出版株式会社, 1979 年
- [4] FILMETRICS

<https://www.filmetricsinc.jp/refractive-index-database/Al2O3/Aluminium-Oxide>

<https://www.filmetricsinc.jp/refractive-index-database/Al/Aluminium> 閲覧日 2018.7/5

理科の探究活動と探究的な学習について

香川大¹，高野山大²，京都教育大³

笠潤平¹，岡本正志²，谷口和成³

E-mail: ipryu@ed.kagawa-u.ac.jp

1. はじめに — 新しい高校学習指導要領の特徴

新しい高等学校学習指導要領（平成 29 年告示）の「第 5 節理科」の「目標」は平成 21 年告示の学習指導要領よりも「科学的探究」をする技能・力・態度の育成を強調している。また重要なことに「各科目」の「内容の取扱い」の中で「この科目で育成を目指す資質・能力を育むため、観察、実験などを行い、探究の過程を踏まえた学習活動を行うようにすること」とし、「その際、学習内容の特質に応じて、情報の収集、仮説の設定、実験の計画、実験による検証、実験データの分析・解釈、法則性の導出などの探究の方法を習得させるようにするとともに、報告書などを作成させたり、発表を行う機会を設けたりすること」と述べている。つまり生徒の学習方法においても「探究の過程」を踏まえることを要請している。（ほぼ同じ趣旨が中学校理科の新学習指導要領でも書かれている。）これらの方針と「理数探究基礎」と「理数探究」という新科目の設置を考えると、新学習指導要領の理科関連の部分の特徴は一括りに「探究」であるとしたくなるだろう。しかし、これらを一括りにすることは混乱の原因になるように思われる。本発表は「探究活動」と「探究的な学習」論にもとづく授業・カリキュラムとの違い、および理科授業の探究性について整理を試みる。

2. 「探究活動」と「探究的な学習」論にもとづく理科授業の違い

私見では、「理数探究」などで目指されていると思われる「探究活動」(Investigation)と「探究的な学習」(Inquiry learning)論や「探究にもとづく科学教育」(Inquiry based Science Education)論にもとづく理科授業は別のものである。

2.1 「探究活動」

「探究活動」は端的に言えば生徒が自分で科学的な研究をすることであり、英国のある定義を借りれば、「(生徒にとって) 答えがただちにわからず、答えに至るルーチン的な方法もわからない課題に生徒が取り組む」活動である。より詳しく典型的な形を述べると、生徒が、①自分で選んだ、②自分にとって答えがわからないテーマについて、③計画を立て実験や観察を行い、④その結果に対して考察し結論を導く、そして⑤全過程を吟味し、⑥批判的な聴き手に向かって発表するような活動である。

この「探究活動」の意義は何よりも、中高生に「科学をする」機会を提供するということそのものである。将来科学者になるか否かに関わらず、すべての生徒たちに本来の科学観・研究観を育てる可能性を開く。実験の全過程を前もって指示し、その一回の実験によって科学の法則を「導出」ないし「確認」したことにするプリントに従って、生徒が「正しい結果」を書きこんでいく経験ばかり与えているのでは、まるで理科の実験の体験を通じて「非科学的」になることを「学習」させているようなもので、科学とは何かについての生徒の理解を損なう。探究活動はこれとは反対に未知のことの解明という経験を与える。

2.2 「探究的な学習」論

一方、「探究的な学習」論は、通常の授業で「探究のプロセス」を模倣することで科学的概念の習得と探究のスキルの習得を行わせるという学習論でそのままでは素朴すぎ非現実的である。

世界の科学教育の歴史の中で、この考えは形を変えながら繰り返し主張されてきた。日本でも昭和44年改訂の中学校理科学習指導要領はアメリカの「探究学習」論の強い影響下に作成されたが、(このときの)「探究学習の特徴は教育目標やカリキュラムおよび学習指導法においても、科学の基本的諸概念を獲得するための探究の過程や探究の技法(科学の方法)を同時に修得すること」(栗田一良)にあった。また、最近でも例えば欧州委員会の科学教育の教授法に関する2012年の報告「最新の科学教育—ヨーロッパの未来のための刷新された教授法」(通称「ロカール報告」)は、「探究にもとづく」学習こそが科学教育の基本となるべきであると主張している。

しかし、前者は失敗に終わり、後者については「典型的な科学授業の枠の中で科学の探究過程を複製するのは不可能である」(Ogborn)などという強い懸念が提起されている。実際、生徒の考えはしばしば強固な素朴概念で構成され、しかも生徒たちはそれに疑問を持っていない。それ以外の考えの可能性を自発的に追究しようとはせず、さらに特定の状況に依存した説明で満足しある場面での自分の説明と他の場面での説明が首尾一貫しているかどうかをそれほど気にしない。つまり研究者のように自己点検しながら科学のプロセスを踏まえて物事を理解しようという気持ちはない。逆に、端的に言えば、もし科学的な研究のプロセスがそのまま学習のプロセスのひな型ならば、授業の「逆向き設計」や「教えて考えさせる授業」などの工夫は必要がない。

2.3 「探究型の授業」

しかしその一方で、授業に探究的な要素がまったくなければ、その授業はつまらない授業になる。一般により授業の条件の一つは「生徒が追究したくなる課題」があることである。板倉聖宣の「仮説実験授業」や玉田泰太郎の授業などに代表される授業では、そのようなよい課題の提示とそれについての生徒の討論と実験による決着の連鎖を通じて、そのテーマにおける生徒の科学的理解が次第に発展していくように周到に準備され、クラス全体が一体となって、自然現象とその背景にある法則を知覚的に探究していくことができる。このような授業は、生徒の素朴概念やその克服の過程やその過程で有効な実験の研究の上に準備された「ガイドされた探究」型の授業である。

だがそれでも、この種の授業では、たとえば、「探究活動」で与えられるような生徒自身が自前で実験を計画する貴重な経験は与えられないことに注意しなければならない。つまり、自分のふだんの授業が、仮説実験授業や玉田方式的になっけていても、やはり「探究活動」をする機会への代替とはならないのではないかと思われる。

※ この研究は JSPS 科研費 16K00968 の助成を受けて行われている。

参考文献

- [1] Gott, R. & Duggan, S., *Investigative Work in The Science Education*, OUP, 1995
- [2] 高等学校学習指導要領(平成29年改訂), 文部科学省, 2017
- [3] 中学校学習指導要領(昭和44年改訂), 文部省, 1969
- [4] 栗田一良, 我が国における理科教育現代化運動の成果と課題, 吉本編「現代理科教育の課題と展望」第II章第4節, 東洋館出版社, 1981
- [5] Rocard, Y. *Science Education Now*, Brussels: European Commission Report EU22-845., 2007
- [6] Ogborn, J. WCPE2012 Plenary Lecture, Istanbul, 2012

「課題研究」における課題設定の指導に関する実践の報告 その1

—限られた単位数の中で全生徒に課題設定指導を行う方法—

香川県立観音寺第一高等学校 乃口哲朗

E-mail nt8765@kagawa-edu.jp

実践までの経緯

香川県立観音寺第一高等学校での探究的学習は、平成28年度までは理数科第2,3学年の生徒（各1学級、各30名）がSSH学校設定科目「科学探究Ⅰ」、「科学探究Ⅱ」において、普通科第2学年の生徒（6学級、約210名）が総合的な学習の時間の一部の時間において行ってきた。平成29年度からは、理数科で培ってきた探究的学習の成果を学校全体に普及すべく、普通科第2学年の理系クラスの生徒（3学級、計103名）がSSH学校設定科目「課題探究」において、文系クラスの生徒（3学級、計109名）が総合的な学習の時間「文系課題探究」において、一年間を通じて取り組むよう、教育課程を変更した（表1）。これらの実施において浮かんできた課題の一つが、「課題設定」の方法と指導に関する改善の必要性であった。特に普通科理系の「課題探究」において、探究課題を生徒自らが設定した場合、教員が与えた場合ともに、探究の進め方や深まりに課題の残るグループが散見されたのである。平成30年度での実施を前に、探究課題を「生徒が自由に設定する」のか「教員が候補を与えて選ばせる」のかについて、SSH運営指導委員会（2月）、SSH先進校視察（同月）を経て、「本校が身に付けさせたい力」と生徒の実態を照らし、課題研究担当教員間で議論を重ねた結果、

今回報告する方法に辿りついた。

表1 H28年度までとH29年度以降の課題探究の実施状況

	H28年度まで	H29年度
理数科	第2,3学年 SSH学校設定科目（通年） 「科学探究Ⅰ」、「科学探究Ⅱ」で実施	
普通科	第2学年 総合的な学習の時間 「総合学習」の中の一部の時間で実施	理系クラス SSH学校設定科目（通年） 「課題探究」で実施
		文系クラス 総合的な学習の時間（通年） 「文系課題探究」で実施

限られた単位数の中で全生徒に課題設定指導を行う方法

「抱いた疑問を課題に設定するプロセス」を全生徒に体験させ、その中から教員が「課題研究で取り組むのに相応しい課題を選ぶ」ことにより、生徒に疑問から学ぶ体験を充実させ、その中から出てきた課題に取り組むことによりモチベーションを保ちつつ、どのグループも少なくともある水準まで探究を深められるようにする方法である（図1）。各Stepの概要を記す。

- ・Step I 生徒は「課題」、「動機・目的・先行研究調査」、「研究方法」を書き、教員が「何を明らかにしたいのか」、「どのように探究するのか」などについての不十分な個所の指摘、調べておくべき関連事項などの示唆などにより添削を行い、生徒に返却する。これらを繰り返し、清書する。
- ・Step II 提出されたワークシートの中から実行する8つのテーマを指導にあたる教員が選ぶ。
- ・Step III 選考された8題の清書を掲示し、どの課題に取り組みたいかの希望調査を行う。
- ・Step IV 希望調査をもとにグループ編制を行う。

H29 年度 課題設定の仕方が課題に

	自由にテーマを設定させる	用意した研究課題を選択させる
メリット	・「自分の研究だ」と思えるのでモチベーションが高い ・研究を進めることの難しさを学ぶことができた ・理数科ではこの手法で成功してきた ・生徒がこれから生きていく上で、「自ら問をたてる」経験、失敗する経験は必要である	・教員が事前に準備を十分にすることができるため、指導がしやすく、研究の迷走を減らすことができる ・多くの生徒に探究力の最低限の到達度を確保しやすい ・探究の成功体験させることで、探究の手法を一通り学べる ・研究の作法を学ぶことを優先すべき
デメリット	・迷走する班が多くでき、これをなんとかしようとしても、時間的な制約で教員が「予習」することが困難 ・探究が深まらずに終わってしまう ・先行研究等の調査が不十分	・研究のスタート時のモチベーションは低くなりがち。 ・研究を進めることでモチベーションは上がっていくものだが、その指導をするための授業時間数は十分ない

二律背反？

H30 年度 限られた単位数の中で全生徒に課題設定指導を行う方法

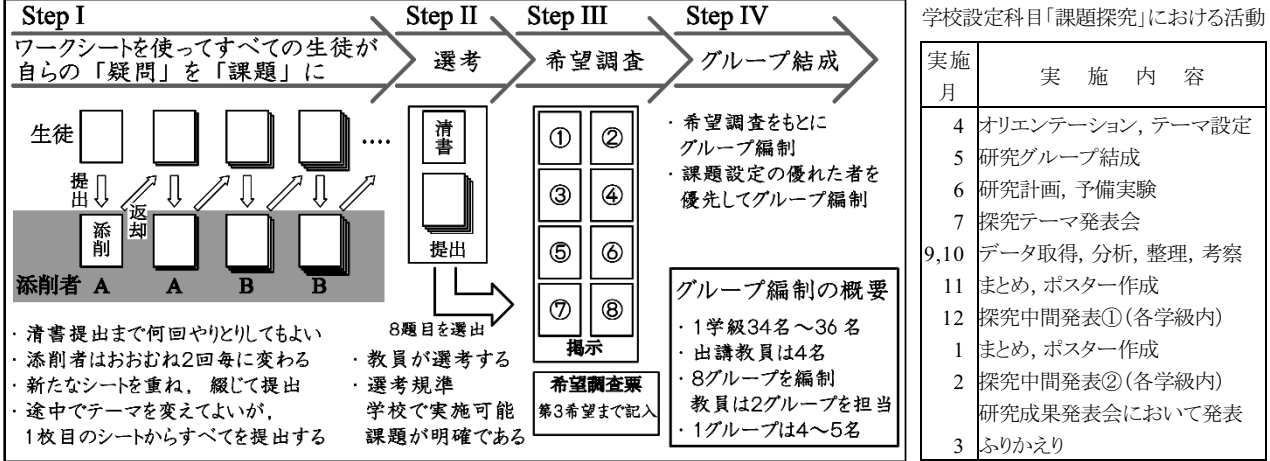


図1 平成29年度及び30年度の課題設定の方法の関連

実践して見えてきたもの

- ・ 探究テーマ発表会での生徒からの質問内容及び応答の変化

探究テーマ発表会を各学級（8グループ）において、質疑応答を含む6分を持ち時間として行っている。平成29年度も同様な形式で行ったが、生徒から発せられる質問に変化が見られた。平成29年度においては、質問の大半は教員によるものであったが、平成30年度では、本報告段階で発表会を終えた2学級で、合計56件の質問のうち生徒によるものは45件であり、その中には一問一答では終わらず議論となるケースも目立った。また、質問内容についても、実験条件を統一する方法や測定方法などが妥当であるかどうかといった的を射たものばかりであった。それらの質問に対する発表者の応答についても、その場で追加の説明を行えたり、指摘内容を踏まえた方法を新たに考え出して答えられたりするなど、平成29年度のテーマ発表会にくらべて、深く議論できていた。この変化は、課題設定ワークシートを用いた課題の設定に関する指導の効果の現れであると考えられる。

- ・ テーマ発表会の段階での研究計画の完成度の向上

研究計画がより具体的になりどの範囲までを研究対象としているかを限定できているグループや、先行研究の調査を行えているグループも現れた。

今後の注目点

- ・ 研究が本格化する2学期からの生徒の取り組み状況の変容
- ・ 必要となる助言・指導の性質や、探究の深まりの変化

国際科学技術オリンピックを目指す「天城塾」の取組

岡山県立倉敷天城高等学校 仲達修一

E-mail shiyuuichi_nakadachi@pref.okayama.jp

1. はじめに

本校は平成17年に、文部科学省からスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の指定を受けて以来、将来国際的に活躍できる科学者・技術者の育成するための理数系カリキュラムについての研究開発を行っている。本年度（平成30年度）は、指定3期目（平成27年度から5年間）の4年目に当たり、通算で14年目となる。その取組の一環として、国際物理オリンピックへの参加を目指して平成24年3月に開始した「天城塾」の取組について、その形態や運営についての研究成果を報告する。平成27年度と28年度には、国内大会（全国物理コンテスト 物理チャレンジ）でメダルを獲得する生徒が出ている。「天城塾」は、開設当初は教員主導で実験課題を指導したり学習会を開催したりしていたが、近年では、生徒（併設中学校の生徒を含む）たちが自主的に集まり、異年齢集団の中で先輩から後輩へとノウハウが受け継がれつつある。また、近年では化学・生物分野での取り組みも見られるようになった。本稿では、「天城塾」を運営する教員の指導の在り方についても報告する。

2. 「天城塾」の研究について

平成24年の3月（春休み）に併設中学校の生徒3名を対象に教員主導で始めたゼミ形式の「天城塾」は、平成28年度には中学生・高校生合わせて延べ約20名が参加しており、放課後や長期休業中を利用して、自主的に実験レポート課題や理論問題コンテストに向けての学習に取り組んでいる。この「天城塾」は、純粋に学問の素晴らしさを伝えることを理念とし、現在では生徒たちがリーダーを中心に自主的に活動しており、文字通り「アクティブ・ラーニング（AL）」が実現している。教員は、多くの進学校で行われているような、大学入試に向けたいわゆる「演習」という形態はとっておらず、あくまでも環境整備（活動の場づくり）に徹している。生徒への直接的な指導としては、実験レポートの点検と、過去問で質問を受け付けると、問題を解いて見せることはせず、参考文献（英文を含む）の該当箇所を示し、その部分の学習を促すことで対応している。

「天城塾」を研究対象とする研究テーマを「異年齢集団による科学研究活動を通じた主体性と協調性の育成」とし、「天城塾の活動により、科学研究に必要な主体性と協調性、コミュニケーション力を身に付けさせることができるであろう」という仮説を設定した上で研究開発を行っている。仮説を設定する上での根拠として、国立教育政策研究所生徒指導研究センターが平成23年6月に刊行している「子どもの社会性が育つ『異年齢の交流活動』―活動実施の考え方から教師用活動案まで―」を参考とし、教員主導から生徒主導の活動へと転換した。この冊子では、「効果をあげる『交流活動』三つのポイント」が次のように示されている（一部を掲載）。

ポイント 1	「関わる喜び」が獲得できる活動を設定しているか	・子供たちが楽しいと感じられる活動を中心に構成する。 ・教師が「やらせたい」「やってほしい」活動ではなく、子供たちが進んで「やりたい」と思う活動を設定する。
ポイント 2	年長者が主体的に取り組める活動になっているか	・リードする年長者が主体的に企画して取り組めるように、十分な準備の時間を確保する。
ポイント 3	全教職員が「交流活動」で子供が育つメカニズムを正しく理解し、適切な対応ができる仕組みになっているか	・子供自らが「関わり合う喜び」を感じとらせることがねらいである。 ・年少者は、年長者のしてくれたことに感謝し、自分もあんな年長者になりたいとあこがれの気持ちをもつことが成長につながる。

ポイント1及び2については、国内コンテストでメダルを獲得した高校生がリーダーとなり、自ら教材を作成し、塾生に伝授している。また、塾生たちはリーダーの指導に従い、あこがれ（ポイント3）と尊敬の念を持って学習している。また、多くの塾生には「理科教室にいれば仲間たちが待っていて楽しい活動ができる」という様子がうかがえる。以上のことから、生徒指導研究センターが示した三つのポイントが実現できており、成果を上げることができていると考えている。なお、「天城塾」を運営する教員の役割（ポイント3）は、「スケジュールの管理」「活動場所の確保」「教材の準備」の三つである。

また、平成30年3月に国立教育政策研究所の生徒指導・進路指導研究センターが刊行している全教職員が認識を挙裕史、主体的に取り組むことで、いじめの未然防止は可能。」の中で、いじめの未然防止に有効な教職員の取組として、「①どの生徒も学級や学校で安心・安全であると感じられるような『居場所づくり』と、「児童生徒が互いに認め合えるような『絆づくり』」がなされるよう、すべての児童生徒に活躍できる場をつくるという『絆づくりのための場づくり』の二つがあげられている。「天城塾」では、物理好きの生徒たちが放課後物理教室に集まり、互いに議論をしながら実験課題に取り組んでいる。今後も、「物理教室に来れば仲間が待っていて楽しい活動ができる」という場を提供し、「塾生同士の絆を深める場」として機能しているかどうかを確認しながら運営を心掛けていきたいと考えている。

3. 成果と今後の課題

「天城塾」の成果として、主体性と協調性を身に付けることができていることが、平成27年度の「全国物理コンテスト」で銅賞を受賞した本校生徒が岡山県教育委員会の広報誌「教育時報」（2016年5月）に寄稿した次の文章（一部を抜粋）によって明らかになっている。

私はこの経験で“真の学び”を体験できたのだと思います。すなわち、シラバスに沿った勉強をするのではなく、自分の学びたいことについて、図書館で専門書を借りて解き、仲間と議論を深め合う、という学びです。そういう学びは楽しいし、本来の学問の姿だと思うのです。

平成29年度には、国内コンテストでメダルを獲得した生徒が作成した微分積分とベクトル解析の手書きの教材（物理オリンピックのための物理数学―微分積分・ベクトル解析・電磁気学―）を印刷製本し、「天城塾」で活用するとともに、本校Webページにもアップロードしている。

【URL】http://www.amaki.okayama-c.ed.jp/SSH_2017/amaki_jyuku/AmakiJuku2017.pdf

今後の課題として、この取組を継続し、実際の国際物理オリンピックに出場する生徒を輩出することが挙げられる。

[文献]

- ・国立教育政策研究所生徒指導研究センター：子どもの社会性が育つ「異年齢の交流活動」―活動実施の考え方から教師用活動案まで―（平成23年6月）
- ・国立教育政策研究所生徒指導・進路指導研究センター：全教職員が認識を共有し、主体的に取り組むことで、いじめの未然防止は可能。（平成30年3月）
- ・岡山県教育委員会：教育時報（平成28年5月）
- ・岡山県立倉敷天城高等学校：物理オリンピックのための物理数学―微分積分・ベクトル解析・電磁気学―（平成29年3月）
http://www.amaki.okayama-c.ed.jp/SSH_2017/amaki_jyuku/AmakiJuku2017.pdf
- ・H. Young and R. Freedman : 13th edition. *University Physics*. Pearson Education, Inc. (2012)

認知促進の概念に基づく「比例概念」の発達を促す中学校理科授業の実践

京都教育大学大学院¹, 京都市立藤森中学校², 京都教育大学³ 松谷佳樹¹, 池田敏浩², 谷口和成³

E-mail din75038@kyokyo-u.ac.jp¹, fv868-ikeda@edu.city.kyoto.jp², guchi@kyokyo-u.ac.jp³

1. はじめに

全国学力学習状況調査¹⁾や理科離れに関する様々な調査²⁾において、中学生の関心・意欲・態度の顕著な低下が報告されている。その背景として、中学校理科の学習では、多変量的で抽象的な思考（形式的操作）が求められる一方で、1年次に形式的操作期に達している生徒はわずかであり、その操作が十分にできない（具体的操作期以前の）生徒は学習課題に臨むことができず、結果として意欲の低下を起こしている可能性がある。ここで海外に目を向けると、英国には理科カリキュラムと並行して「認知発達を促す(CA)」ことを目的とした、CASE(Cognitive Acceleration through Science Education)プログラム³⁾がある。CASEでは、図1に示す5つの柱を意識した授業構成の中で「変数制御」「比・比例性」「分類」「形式的モデルの構築と使用」等のシエマと呼ばれる形式的操作の推論パターンの発達を促すことが目指され、その結果として英国では、学力向上等の効果が報告されている⁴⁾。一方、教育制度が異なる日本では、CAを意識した理科授業の開発、実践により、抽象的な概念の理解に有効であることが報告されている⁵⁾。しかしながら、公立の中学校で継続的に実践された例は少なく、さらにCAを意識した展開が学習意欲に与える影響は明らかになっていない。

そこで本研究では、理科の各単元の学習に必要なシエマを分析し、それに対するCAの視点を取り入れた授業を複数開発し、年間を通して継続的に実践する。これにより生徒の形式的操作能力（認知発達）を促すとともに、それが理科の学習意欲に与える影響を検討する。ここでは、「比・比例性」のシエマの発達を促す理科授業の成果を例に報告する。



図1 CASEの5つの柱

2. 授業の概要

京都府公立中学校2年生2クラス(69名)を対象に、平成29年度の1年間の理科授業を通してCAの視点で継続的な働きかけを行った。ここで紹介する「電流のはたらきを表す量」の単位では、「電力と水の温度変化の関係を調べる」実験の考察の場面において「比・比例性」のシエマが必要となる。そこで、「ヒーターの能力の高さを調べる」ことをテーマとした授業実践(表1)を行った。なお授業では、認知的葛藤と討論が主な活動の中心となるため、SRTs(科学推論課題)task II⁶⁾による認知発達の状況を考慮した班編成を行った。

表1 本実践における授業展開

	CA視点	展開
導入	具体的準備	● ヒーターを見て、能力の高さを調べる実験方法を考える
展開①	認知的葛藤	● 個人で課題「能力の高いヒーター」に取り組む
展開②	認知的葛藤 社会的構築	● 班で討論しながら課題に取り組む ● 全体で討論しながら課題に取り組む
展開③	メタ認知	● グラフを描き、比例性に気付く ● 課題の難しかった部分を挙げる

展開①、②では、具体的操作期と形式的操作期の子どもの「比・比例性」に対する認識・解釈の違い⁷⁾を参考に、2種類のヒーターによるそれぞれの水の温度変化の結果(表2)を提示し(【具体的準備】)、「どちらのヒーターの能力が高いか」理由とともに問いかける(個人予想)。その後、集計し、全体で意見が分かれたことを認識させた(【認知的葛藤】)後、班・全体討論に移り、課題の解決に臨む(【社会的構築】)。展開③では、活動前後の自身の考えの変容やその原因をふり返る(【メタ認知】)。

表2 提示した実験結果

ヒーター①

時間[分]	0	1	2	3	4	5
水温[℃]	21.4	22.0	22.7	23.3	23.9	24.5

ヒーター②

時間[分]	0	1	2	3	4	5
水温[℃]	20.3	21.0	21.7	22.5	23.2	23.9

3. 結果と考察

図2は個人予想における、各解答における発達段階の占める割合を示している。図より、具体的操作期の7割超の生徒、移行期以降でも約4割の生徒が「あたり量」の考え方で解釈できていないことがわかる。この結果は、多くの生徒が「比・比例性」の概念が定着していないにもかかわらず、電流を流した時間と発熱量の関係や、他の単元では、銅と酸化銅の質量比など比例性を伴った実験結果を考察し、知識として定着することが求められるといった厳しい現状に直面していることを示唆している。

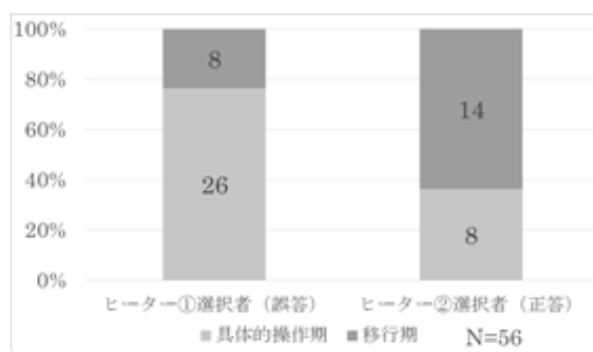


図2 個人予想と発達段階

図3はある生徒の討論前後の解答を示している。この生徒に代表されるように、個人予想の段階では約4割の生徒が誤答を選択し、その大半が「ヒーター②よりも①のほうが(最終的な)水温が高いから」と記述していたが、討論後は約8割の生徒が正答を選択しており、討論を通して考えが変化したことがわかる。一方で、それでもなお誤答を選択する生徒もあり、単元、学年を超えた比例概念に対する継続的な働きかけの重要性を示唆している。講演では、その他のシェマに対するCA授業や学習意欲との関連についても報告する。

自分の予想
能力の高いヒーターは(①・②)

【理由】水の温度のあがりますスピードが②より早いから、よく加熱している
理王のん→水の温度が高いから。

意見交換後の予想
能力の高いヒーターは(①・②) (他の班の意見)

【理由】ヒーター①よりヒーター②のほうが温度のあがっていく数が多い。
(ヒーター①は、最初の水の温度が高かったり。)

図3 ワークシートの記述例

参考文献および註

- 1) 国立教育政策研究所(2015)『平成27年度全国学力・学習状況調査の結果』p.5
- 2) 加藤巡一(2008)“理科教育と理科離れの実態(二)中学校”神戸松蔭女子学院大学研究紀要49, p17-32, 等.
- 3) Philip Adey, Michael Shayer, Carolyn Yates(1989)『Thinking Science』Nelson Thornes Ltd.
- 4) ピアジェによる「変数制御」「比・比例性」「分類」「形式的モデルの構築と使用」等の推論パターン。
- 5) たとえば、池田敏浩、谷口和成、他(2014)“認知促進の概念を継続的に組み込んだ理科授業の実践”, 日本物理学会講演概要集69-1, p.457.
- 6) Shayer, et al. (1978)『Science Reasoning Tasks. Slough』NFER.
- 7) Michael Shayer, Philip Adey(1981)『Towards a Science of Science Teaching』Heinemann Education Books

実験を取り入れた物理学講義による 学生の物理学に対する姿勢・考え方の変化

広島工業大学工学部¹，広島工業大学環境学部²，大村訓史¹，前原俊信²

E-mail: s.ohmura.m4@it-hiroshima.ac.jp¹, t.maehara.wx@it-hiroshima.ac.jp²

1. 実験を取り入れた物理学講義

我々は、大学の初年次の物理系科目において、従来、教員が一方向的に知識を伝達するスタイルの講義を、いくつかの実験を取り入れたアクティブラーニング形式の講義に変更し、学生の物理学に対する考え方の変化を調べた。学んだ知識を実際に実験を通して現実の物理現象に活用することで、学生の“物理”という学問への印象がどう変わるのかを事前・事後アンケートにより調査した。

広島工業大学生命学部食品生命科学科1年生必修（2017年度開講，2クラス69名）の基礎物理学A（内容は質点の力学）において，全15回の講義中に6回の簡易実験を取り入れた。実験の内容を表1に，また，実験の様子を図1に示す。

表1．講義の中で実施した実験

	実験内容
1	歩く速さの測定
2	傾けたレールの上を滑り落ちる物体の加速度の測定
3	反応時間の測定（自由落下する物体の落下距離と時間の関係）
4	単振り子の周期の測定（振り子の長さとの関係）
5	仕事率の測定
6	バネとばしによる力学的エネルギー保存則の確認



図1．実験の様子（バネとばし）

2. アンケートとその結果

本研究では，メリーランド大学の調査 MPEX¹⁾ から抜粋したアンケートを用いた。各質問とも5段階評価で最も当てはまるものを選ばせた。アンケートを初回の講義前と15回目の講義後に実施し，その変化を調べた。表2に用いた11個の質問と結果（平均値）を示す。

表 2. アンケートの質問と結果

(対応のある 2 組の標本の平均の差の t 検定, $df=67$, $**p<0.01$, $*p<0.05$)

	質問	1	～	5	事前	事後
1	物理という学問について	好き		嫌い	3.9	**3.2
2	物理法則は日常生活とはあまり関係ない。	思う		思わない	3.6	*4.0
3	物理を学ぶことは、授業や資料に出てくる公式を覚えること だと思ふ。	思う		思わない	2.8	2.8
4	物理の問題を解いていて、自分の経験や予想とひどく異なる 結果が得られても、その計算を信用しなければならないと思 う。	思う		思わない	3.0	2.9
5	ごく少数の特に能力の高い人だけが本当に物理を理解するこ とができると思う。	思う		思わない	2.7	3.0
6	物理の問題を解くのに最も大切なことは、使うべき正しい公 式を見つけることだと思ふ。	思う		思わない	2.1	2.0
7	物理の問題を解くのに必要な公式を思い出せない時は、それ 以上できることはほとんどないと思ふ。	思う		思わない	2.8	**3.3
8	物理を学ぶことは、日常生活において物事を理解するのに役 立つと思ふ。	思う		思わない	2.6	**2.1
9	物理の問題を解くとき、まずその問題の背後にある考え方に ついて意識する必要があると思ふ。	思う		思わない	2.4	**1.8
10	宿題や試験、日々の練習問題で間違えたら、なぜ解けなかつ たかその理由を考え、後の授業や別の授業に活かそうと思ふ。	思う		思わない	2.1	2.0
11	テスト勉強の時は、注意深くノートを復習した方が良いと思 う。	思う		思わない	1.7	1.7

質問 2, 8 の変化から、実験を取り入れた講義を受けることで、物理という学問は難しいことをただ淡々と学ぶ学問ではなく、日常生活と密接にかかわった身近な学問であるという認識を持つようになったと考えられる。また、実験の中で学んだ知識を実際に使うことで、問題を解く際にも、関連する実験を思い出したり、また想像したりするようになったのではないかと考えられる。そのことを示唆する結果が質問 7, 9 の変化に現れている。しかし、この講義で行った実験は主に“公式を使う”ことが多かったため、質問 6 は変化がなく、物理では公式が重要であるという意識は残ってしまった。ただ、何よりも重要な効果は物理を嫌いという意識が改善されたことにある。本研究によって、物理への苦手意識や嫌悪感の起源が講義で学ぶ内容と現実の物理現象の解離によるものではないかということが示唆された。

2018 年度も同様の授業を行い、調査も実施するので、その結果が得られていれば、あわせて報告する予定である。

参考文献

- 1) E. F. Redish, J. M. Saul, and R. N. Steinberg, Am. J. Phys. **66**, 212-224 (1998)

文系学生向け「自然科学基礎実験」の開講

香川大学¹，香川県立保健医療大学²，鶴町徳昭¹，高橋尚志¹，寺尾徹¹，岡田宏基¹，横平政直¹，
山田佳裕¹，石井知彦¹，丸浩一¹，中村文洋²

E-mail tsuru@eng.kagawa-u.ac.jp

1. 授業開講に至る背景と経過

2016 年度より香川大学の人文・社会科学系学生（法・経済・教育学部）を対象とした「自然科学基礎実験」が開講した。全国でもあまり例がない「文系向け」の科学実験は全学共通科目・学問基礎科目内の「学問への扉」の一科目として位置づけられる。香川大学においては「豊かな人間性と高い倫理性の上に，幅広い基礎力と高度な専門知識に支えられた課題探究能力を備え，国際的に活動できる人材を育成する」ことを教育目標に掲げている。それを具現化するために全学共通スタンダードを定め，それに沿ったカリキュラム編成を実施している。学問基礎科目はそのスタンダードの中で特に「③広範な人文・社会・自然に関する知識」を身につける科目として存在している。

しかし近年，文系学生は文系科目を，理系学生は理系科目を履修する傾向があり，このことは大学全体として問題視されていた。これを解決すべく，2014 年 11 月ごろに大学教育開発センター内に「自然科学基礎実験のためのプロジェクトチーム(PT)」が立ち上げられた。先行事例のある東北大学などへの視察や 2015 年度の高学年向け教養科目としての試験的開講を経て，2016 年度の本格実施に至った。

2. 教職員組織や実施形態

2016 年度本格実施に当たり，組織の整備を行った。企画・運営は調査研究部サブグループ（SG：本発表共著者により構成）が担い，授業を担当する実施委員会として SG のメンバーに加えて，各学部（教育学部・医学部・農学部・工学部）の自然生命科学系教員および教務職員の総勢 16 名が参加した。テーマは物理学・化学・生物学・地学のそれぞれから 2 テーマずつ提供し，バラエティ豊かなものとした。表 1 に各分野の実験テーマを示す。

表 1 実験テーマ

物理学 1	光の不思議を知ろう
物理学 2	電気で音を見よう
化学 1	マイクロスケールケミストリー
化学 2	液体クロマトグラフィー（2016 年度），白い粉を同定しよう（2017 年度）
生物学 1	生命の不思議 遺伝子について
生物学 2	食用肉の組織を観察し，その生体機能について考える
地学 1	身の回りから学ぶ地球科学
地学 2	衛星データを用いた高松の環境調査

文系学生向けということではあったが、当該学科の強い要望もあり、高校時代に十分な理科の履修がなされていない学生を含む医学部看護学科の学生も受講を認めることとした。授業の形態としては以下のように行った。(1)後期に選択科目として開講する。(2)90分1コマを15回、物理学、化学、生物学、地学をそれぞれ2テーマとし、各テーマ2回で構成する。(3)学生は1クラスとして最大40名とする。

3. 実際の授業の様子と学生の反応

定員40名のところ2016年度は46名、2017年度は100名を超える希望者の中から抽選で受講者を調整するなど授業への期待度は年々高まっている。実際の授業内容であるが、物理学においては、機材などの関係から2つのグループに分けて実験をおこなった。Aグループは「光の不思議を知ろう」、Bグループは「電気で音を見よう」がテーマである。「光の不思議を知ろう」においては第1週目には光とは何か、光と色の関係について概説した後、レーザー光で風船を割るデモンストレーション実験を行った。そのあとレプリカグレーティングを用いた分光器を自作し、これらを通して光吸収に起因した色について学んだ。第2週目は干渉・回折による色の出方について概説した後、偏光板を用いた実験を行い、光が波であることの理解を深めた。「電気で音を見よう」においては第1週目にテスターを用いた様々な実験を通じて、とにかく電流や電圧、抵抗の概念形成に努めた。物理系の中でも電気に関する部分は目に見えない部分が多く、特に文系学生にとっては鬼門となり得るためである。第2週目はオシロスコープとマイクロフォンを用いて、様々な音の波形の観測を行った。音叉から発せられる純粋な正弦波に近い音から、様々な周波数成分が混じっている人間の声まで多彩な波形の観測をすることで音に関する理解を深めた。

一方、図1に示すのは2017年度の化学のテーマとして開講された「白い粉を同定しよう」の授業風景である。このように全学生に白衣を貸与し、安全教育なども行った後に実験を実施している。文系学生にとって初めて見るもの、初めて触れるものに関して純粋な感動があるように感じられた。座学ではなく、実験を中心に据えた方針は正しかったのではないと思われる。40名の定員というのも適正な規模と感じられた。教員そしてTeaching Assistantの目が届き、実験が進まない学生に対してもフォローができていたのではないと思う。途中で脱落する学生もほとんどなく、学生の満足度もそれなりに高いものではないかと感じている。一方で、「面白かった」「こんな授業が受けたかった」という声を学生から聞いてはいるものの、それが単なる物珍しさだけで終わらせてはいけない。文系学生にとって、これまで未経験であった実験の感動を一過性のものとせず、自然科学に生涯にわたって興味と関心を持ち続けていけるような仕組みを今後も考えていくべきである。

授業の規模、実験スペースや機材、分散キャンパスなどの問題も山積しているが、今後もじっくりとこの授業の質的充実・量的拡大に取り組んでいきたい。担当教員の一番のエネルギー源は授業を終えた後の学生の満足感の溢れる表情である。これがある限り、なかなかやめられないというのが偽らざる気持ちである。



図1 化学実験の様子

※写真の掲載に関しては
学生の同意をとっております。

磁場による偏向を用いたβ線のエネルギー分布の測定

公立鳥取環境大学、足利裕人

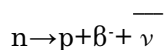
E-mail hashikaga@kankyo-u.ac.jp

1. はじめに

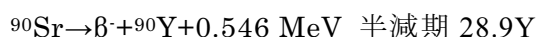
2011年の福島原発事故以来、国民のすべてが放射線の知識をあるレベルで有し、測定ができ、判断でき、行動できることが国民的素養として求められるようになった。中等学校では従来取り扱われていた電子線(陰極線)のほかに、β線を含む放射線について取り扱われるようになったが、β線については高エネルギーであることと、線源の管理に多くの問題があることから、教育現場で実験として利用できるものは霧箱¹⁾以外になかった。本研究では、β線を数種類の磁束密度の1対のネオジム磁石の間を通し、GM計数管の角度を変えながら磁場による偏向を計測する装置を試作した。この装置により偏向させる磁場の強さによるβ線の角度分布の変化を測定し、正規分布で仮定したエネルギー分布シミュレーションと比較し、β線についての知見を広げる教具となることを試みた。

2. β崩壊

孤立した中性子はβ崩壊をおこし、半減期615秒で陽子となり、電子(β線)と反ニュートリノが放出される。



不安定原子核においても中性子はβ崩壊をおこすがその、原子核の半減期は孤立した中性子の半減期615秒とは異なり、⁹⁰Sr、⁹⁰Yの場合には以下ようになる。



β崩壊では崩壊のエネルギーが娘原子とβ線

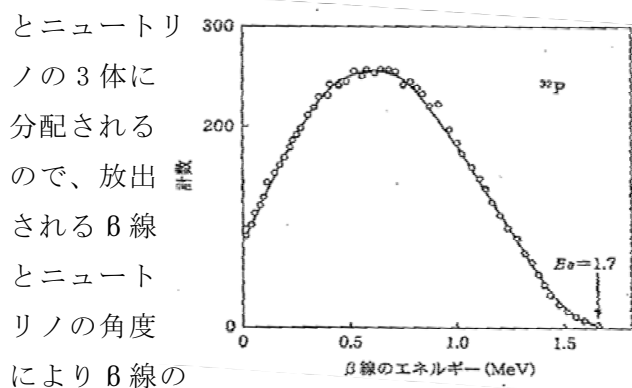


図1 ³²Pのβ線スペクトル

が異なる。このためβ線のエネルギー分布は

連続になり連続スペクトルを示す。図1に

³²Pのβ線スペクトル²⁾を示す。平均のエネルギーは最大エネルギーの約1/3である。

3. 装置の製作

測定の概念図を図

2に、3Dプリンタで製作した装置の外観

を図3に示す。β線源には5k Bqの

⁹⁰Sr-⁹⁰Yを用いた。

磁場により曲げられ

たβ線の角度分布を、10°おきにGM

計数管で測定する。

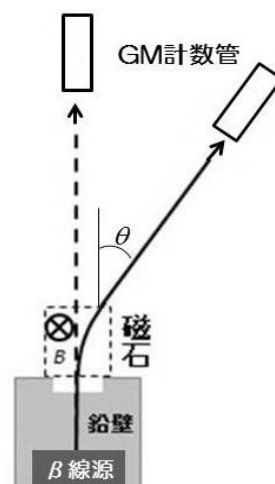


図2 測定の概念図

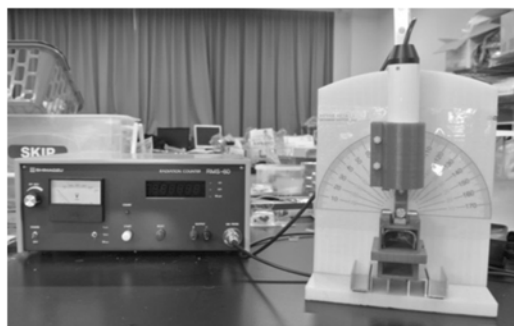


図3 装置の外観

線源を格納する部分は鉛板で覆い、磁場の強さは、一対の磁石の磁束密度を変えた。

3. 測定とシミュレーションの方法

磁場 $B=0$ 、0.04、0.09、0.16、0.18、0.20、0.21 T の下で、線源の面に垂直な方向より -30° から $+70^{\circ}$ まで、 10° 毎に1分間の測定を5回行い、平均してバックグラウンドの値を差し引きグラフ化した。また、 β 線のエネルギーを正規分布モデルで仮定し、エネルギー値によって、どの角度に偏向し、分布するのか、増子の示した相対論を用いた計算式³⁾により、 β 線の運動エネルギーから β 線の速さを求め、磁束密度の値からローレンツ半径を求め、さらに偏向角を求めるシミュレーションを行った。その際、各磁場の強さを変えても線源から出る β 線の個数は変わらないとして、各分布のグラフの面積を一定にした。

4. 結果

実験結果を図4に示す。磁場が強くなるほど、分布のピークがより傾き、磁場なしのときと比べて、磁場を強くしていくときの偏向角の広がりが大きくなっている。

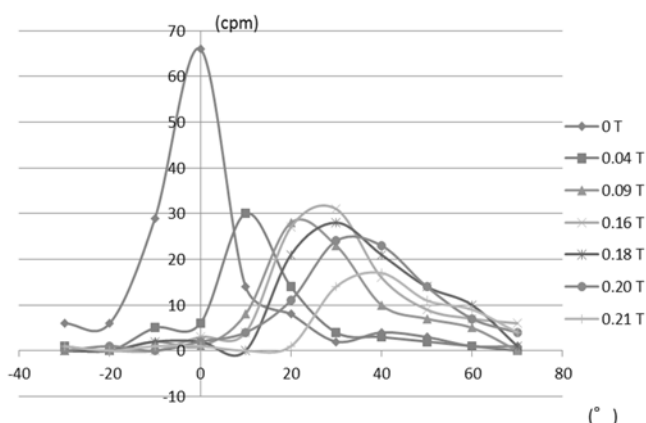


図4 各磁場での β 線の分布

図5は、磁場が無いときの β 線のビームを、全く広がりがなく、そのエネルギーが正規分布をしていると仮定して、各分布の面積

が一定になるようにグラフツールで計算して求めたシミュレーションである。磁場が強くなるほど分布のピークが角度の大きい方に移動していき、ピークの高さは徐々に小さくなっている。各分布の計算点を結んでいくと、図4の分布に近いものが得られる。

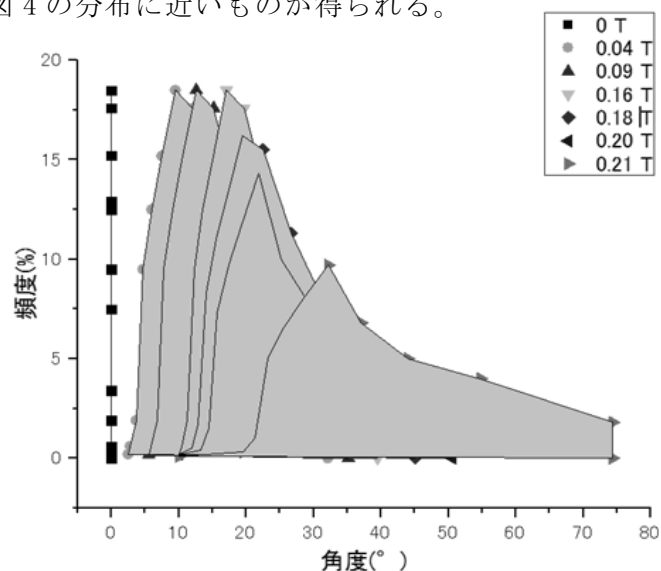


図5 各磁場によるシミュレーション

5. おわりに

図4と図5を比較すると、本研究で用いた正規分布モデルで、 β 線のエネルギー分布の磁場による偏向が説明できそうである。今後の課題として実際の β 線は磁場が無い時も広がりを持つため、測定ではこの広がりを少なくし、またシミュレーションでは考慮する必要がある。また、磁石間の磁場の測定は、精密に求める工夫が必要である。

6. 参考文献

- [1] 足利裕人：2015年 応用物理学会春季学術講演会 予稿集「霧箱中の飛跡で求める β 線のエネルギー分布」
- [2] 飯田博美：放射線概論，通商産業研究社，pp47-48, 2006
- [3] 増子寛：2015年度 日本物理教育学会第32回年会予稿集，pp115-116 「 β 線の磁場による偏向を計測する演示実験装置の試作」

力学計算問題演習の個別学習指導における総当り表の活用

愛媛大学教育学部 細田宏樹

E-mail hosoda.hiroki.mc@ehime-u.ac.jp

1. はじめに

教員養成学部の主に力学を扱う講義において、文科系・理科系志向の大学生が混在する状況で、いくつかの工夫を取り入れて教育実践を行ってきた。その中で、大学生の理解の進まない学習内容が運動方程式の立式過程であり、国語的方法¹⁾や別解²⁾などを用いて主に個別学習指導により対応してきた。その際に、最後の“切り札”として用いている方法が“国語的方法を併用した総当り表”である。

しかし、最近になって、「重さ」の関係する計算問題演習において物体に作用する力を区別し分析する際に、誤概念が強固であることで総当り表の使用でも理解の進まない大学生が見受けられるようになってきた。そこで、総当り表に数値を入れる方法を考案し、大学生に対して試してみた。

2. 「重さ」に関する大学生の認識調査の結果と考察

図1に示すように、机の上に100 gの箱Aと200 gの箱Bを重ねて乗せた状況を与え、①箱Bにはたらく重力の大きさ、②箱Bが机を押す力の大きさを、1回生及び2回生対象の主に力学を扱う2つの講義の初回に、受講者に問いかけた。その回答結果を表1に示す。①では正答(2 N)の人数が多い。しかし、②では誤答(2 N)の人数は正答(3 N)の人数と同程度である。この傾向は主に4回生から得られた結果³⁾にも見られる。

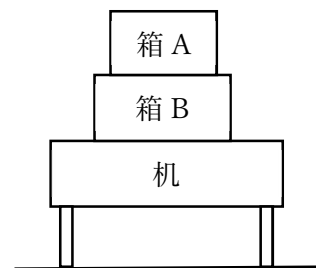


図1 机の上に重なって乗っている箱Aと箱B

②で誤答(2 N)が多い原因の一つは、小中学校での重さの学習内容に不一致があり、その学習内容の接続の仕方にあるのではないかと考えている。小学校第3学年の算数では「重さを実感しながら測定することで重さの概念を理解できるように」⁴⁾し、単位(g, kg)を学ぶ。第3学年の理科では「物の重さを手ごたえなどの体感を通して調べる」⁵⁾ことで学ぶ。一方、中学校理科では「重さについては、小学校の学習内容を踏まえながら、力の一種であることを理解させ、…(中略)…、重さは物体に働く重力の大きさで、ばねばかりなどで測定することができる量であるとする」⁶⁾とし、重さで単位(N)を学ぶ。このように学んだ大学生は、重力を「人が体感できる重さ」と認識し、②の垂直抗力を「箱Bが重力で机を押している力」と誤解し、運動方程式を立てる際に、下向きの垂直抗力を Mg とおくのではないかと考えられる。

表1 各講義での回答結果

	1回生		2回生	
	①	②	①	②
1 N	0	0	2	0
2 N	13	7	16	9
3 N	2	8	1	10
その他	0	0	1	1

3. 国語的方法を併用した総当り表

運動方程式を立てる準備として、問題文に記載のある物体と「地球」を総当り表の形式でまとめる。この総当り表と力の作図を利用して、運動方程式の立式過程の個別学習指導を行ってきた。

表2は、図1の状況で作成された総当り表である。個別学習指導において、大学生は、表2の枠内の文を頭で考え、力の作図と対比させながら各枠に対応する力を判断し、表3を作成していく。

表3は、運動方程式の立式のために作成される表である。この表では、図1の箱Aの質量を m 、箱Bの質量を M 、箱Aにはたらく垂直抗力の大きさを N 、箱Bが机から受ける垂直抗力の大きさを F とし、加速度 a で上昇するエレベータの中を考えている。鉛直上向きに正をとり、上向きの力には「+」を、下向きの力には「-」を付けることや、作用・反作用の力の関係も、考えさせている。

この表を用いることで、大学生にとって困難であった運動方程式の立式を、「気づいたら式ができあがっていて、とてもびっくりした」という感想のように、適切な力の分析を通して体験させることができた。そして、この方法を何回か経験すると、表の作成なしに立式できる学力がついていた。

表4は、図1において力のつり合い条件を確認するための表である。たとえば「箱Aが重力1Nで机を押している」とか、「箱Bが重力2Nで机を押している」と考えていると、表の総和が「0N」にならず、力のつり合いの式に矛盾が起こる。この数表での矛盾を解決する物理学的思考法を教員志望の大学生に問いかけ、力学に関する誤概念や苦手意識を少しでも払拭したいと考えている。

表2 国語的方法を併用した総当り表

		力を及ぼす物体（力の作用源）【主語】			
		箱 A	箱 B	机	地球
力を受ける物体【目的語】	箱 A		箱 B が箱 A を押す力 (垂直抗力)	机が箱 A を押す力 (接していない)	地球が箱 A を引く力 (重力)
	箱 B	箱 A が箱 B を押す力 (垂直抗力)		机が箱 B を押す力 (垂直抗力)	地球が箱 B を引く力 (重力)
	机	箱 A が机を押す力 (接していない)	箱 B が机を押す力 (垂直抗力)		
	地球	箱 A が地球を引く力 (万有引力)	箱 B が地球を引く力 (万有引力)		

表3 運動方程式の立式のための表

	力の作用源				総和
	箱 A	箱 B	机	地球	
箱 A		N	0	$-mg$	$= ma$
箱 B	$-N$		F	$-Mg$	$= Ma$
机	0	$-F$			
地球	mg	Mg			

表4 力のつり合い条件の確認のための表

	力の作用源				総和
	箱 A	箱 B	机	地球	
箱 A		1 N	0 N	-1 N	0 N
箱 B	-1 N		3 N	-2 N	0 N
机	0 N	-3 N			
地球	1 N	2 N			

謝 辞 本研究は JSPS 科研費 JP15K12388 の助成を受けたものです。

- 参考文献 1) 細田宏樹：大学の物理教育 2002-2 (2002) 42-44.
 2) 細田宏樹：物理教育 63 (2015) 120-123.
 3) 細田宏樹，牛島美月：日本物理学会 第 73 回年次大会 (2018 年) 概要集 (2018) 3166.
 4) 文部科学省：『小学校学習指導要領解説・算数編』（平成 29 年 7 月）p.60.
 5) 文部科学省：『小学校学習指導要領解説・理科編』（平成 29 年 7 月）p.32.
 6) 文部科学省：『中学校学習指導要領解説・理科編』（平成 29 年 7 月）p.33.

強制振動仮説における「潮汐バースト」の概念とその意義

広島修道大学(非常勤講師), 池田 幸夫

E-mail ikeda2329@gmail.com

1 問題の所在

起潮力には2つの要素がある。ベクトルとしての力(大きさと向き)と約12時間ごとに作用する**周期性**である。従来の潮汐論には, 前者に関するものが圧倒的に多いが, 周期性に着目した論考は極めて少ない。私が知る限りでは, 周期性に着目した最初の論文は, 2001年に「物理教育」に発表された福住の論文である。彼は, 潮汐運河理論に基づいて潮汐運動を流体力学的に考察して, 「潮汐は**強制振動**である」ことを提唱している¹⁾。論文ではないが, 中央大学のHPに講義用テキストとして公開されている「力学1講義ノート」で, 中野は強制振動の事例として潮汐を取り上げ, 強制振動であることを理論的に示した²⁾。私自身は, 2012年に講談社ブルーバックスシリーズの中で, 振動実験に基づいて強制振動で潮汐を説明した³⁾。

周期的な外力を受けると, 物体は振動する。これは物理学の基本的な原理の一つである。起潮力は約12時間周期で極めて規則的に作用する。したがって, 周期的な起潮力を受けた海洋が強制振動を起こすと考えすることは, きわめて合理的な推論である。さらに, 強制振動仮説を導入すると新しい概念が生まれる。その例として, **潮汐バースト**の概念を紹介する。

2 強制振動仮説

中学校理科や高校物理では共振や共鳴については学習するが, 一般的な強制振動については学習しない。そのため, 学生が強制振動を学ぶのは大学の教養課程が初めてであろう。大学の基礎物理学の教科書に示されている式を振動数で書き直すと, 次のようになる。

$$x = \frac{F_0}{4\pi^2 m} \frac{1}{f_0^2 - f^2} \cos(2\pi f t)$$

ここに, F_0 : 外力, m : 質量, t : 時間, f : 外力の振動数, f_0 : 物体の固有振動数である。

この式から, 外力の振動数 f と振動体の

固有振動数 f_0 の大小関係によって, 強制振動を次の3点にまとめることができる。

① $f < f_0$: 外力と同じ振動数で同じ向きに振動する。(同位相)

② $f = f_0$: 振動体は大きく振動する。(共振)

③ $f > f_0$: 外力と同じ振動数で逆向きに振動する(逆位相)。

地球の自転周期は24時間である。したがって, 地球上の任意の一点は約12時間ごとに起潮力を受けることになる。それゆえ, 1日当たりの起潮力の振動数は約2.0となる($f = 2.0$)。一方, 古賀らの研究⁴⁾によると, 水深5000mの様な海がもつ固有周期は35.5時間である。1日当たりの振動数にすると $f_0 = 0.67$ である。したがって, 海洋においては上述の③ $f > f_0$ に該当し, 図1に示されているように, 潮汐は起潮力と同じ振動数で**逆向きに振動する**ことになる(逆位相の関係)。

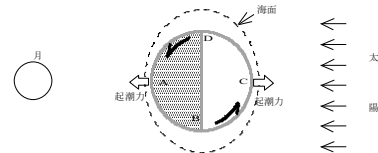


図1 強制振動仮説による満月の日の潮汐

図1は, 仮想地球における満月の日の潮汐を図示したものである。すなわち, 月と太陽が南中する起潮力最大の地点が干潮となり, 月と太陽が東西の水平線上にあるところが満潮となるのである。これは, 「起潮力に海水が引き上げられて満潮となる」という通説とは全く逆になることに注目していただきたい。

では, 実際の潮汐はどうなっているであろうか。上述の議論は, 地球全体が一様な深さの海で完全に覆われている仮想地球を仮定している。世界最大の海洋である太平洋の沿岸における満月の日の実際の潮汐は, 朝と夕方が満潮, 昼間と真夜中が干潮である。昔から「大潮のころは汐干狩に最適」とされているが, これは潮の引き方が

大きいから適しているのではなく、昼間の明るい時間帯に干潮となるためである。この逆位相の関係は通説ではまったく説明できないが、強制振動仮説を導入すると合理的に理解できる。

3 潮汐バーストの概念

強制振動仮説の最も興味ある特徴は、理論の中に**共振**が含まれていることである。起潮力の振動数が海洋の固有振動数と一致すれば、理論的に振幅が無限大となって巨大な潮汐が発生する^{1) 2)}。中野は、もし水深が 20000m になれば、このような巨大潮汐が発生すると指摘している。水深が 20000m になると、潮汐波の速度が月の移動速度に等しい 460m/s となるからである²⁾。ただし、海洋の水深が 20000m になることは、現実的にはあり得ないことである。

水深が現在と同じであっても、起潮力の振動数 f が減少すれば共振は発生する。「地球の物理学事典」によると、地球の自転周期は潮汐摩擦によって 100 年間に約 **0.0024 秒** ずつおくらせている⁵⁾。この遅れによって起潮力の振動数が減少して $f = f_0$ になると、共振が発生する。共振によって発生するこのような巨大潮汐を**潮汐バースト**と呼ぶことにする。

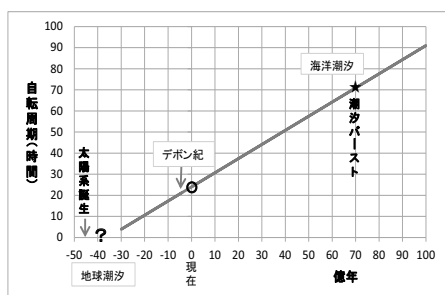


図2 潮汐摩擦による自転周期の遅れ

図2は、潮汐摩擦による自転周期の遅れを100年間に0.0024秒として作成したグラフである。Scruttonは保存状態のよいデボン紀のサンゴ化石を用いて、当時の1年は13月(約400日)であることを明らかにした⁶⁾。デボン紀はおよそ4億年前の地質時代である。当時の1日は約22時間、現在よりも2時間ほど短かったことになる。この値は、潮汐摩擦から推定した図2の直線とよく一致している。

前述したように、水深5000mの海洋の固有周期は35.5時間である⁴⁾。したがって、

起潮力の周期が35.5時間になれば、共振が起こる。起潮力の周期は自転周期の1/2であるので、図2から共振による潮汐バーストは約70億年後に起こると推定できる。

図2から導かれるもう一つの問題は、太陽系が誕生した約46億年前の潮汐バーストである。自転周期の遅れを直線で外挿することは厳密にはできないが、太陽系誕生直後の地球の自転周期は現在よりもはるかに短かったはずである。「地球の物理学事典」によると、地球自由振動の周期は約54分である⁵⁾。この値を固体惑星の固有周期とすれば、自転周期が約2時間の原始惑星が存在していたとすれば、潮汐バーストによる天体崩壊があった可能性がある。

潮汐による天体崩壊として、**ロッシュの限界**がよく知られている。「地球の物理学事典」によれば、伴星が主星の半径の2倍程度まで接近すると、起潮力が伴星自身の重力より大きくなって伴星は崩壊する⁵⁾。ロッシュの限界による天体崩壊は天体の大接近が必要であるが、潮汐バーストは距離よりも自転周期に依存しているため、距離による制限がないことが特徴である。

3 まとめ

潮汐を強制振動で説明する福住の論文が発表されてからまもなく20年になるが、気象庁HP、地学教科書や科学啓蒙書に見られる説明はほとんど変わっていない。

強制振動仮説には、潮汐に関する見方を大きく変えるポテンシャルがある。潮汐バーストは、そのような新しい概念の一つである。潮汐バーストの概念をきっかけに、潮汐問題に対する研究者の関心が広がることを期待している。

引用文献

- 1) 福住靖治；物理教育，49 - 4, 2001.
- 2) 中野徹；<http://www.phys.chuo-u.ac.jp/labs/nakano/rikigaku/sec6.pdf>，2008
- 3) 池田幸夫；ブルーバックス B-1613 (松森靖夫編著)，2012.
- 4) 古賀雅夫・松島 晟・武政剛弘；長崎大学教養部紀要(自然科学編)，32 - 1. 1991.
- 5) 本多 了代表訳；「地球の物理学事典」，朝倉書店，2013.
- 6) Scrutton, C. T.；Palaeontology, vol.7, 552 - 558, 1964.

「熱運動」という用語は物理学的に適切か

東京理科大学 理学部 五十嵐 靖則

igarashi-yasunori@nifty.com

1 はじめに

我が国の物理教育は、熱概念に関わる用語で英語圏などと比較して半世紀ほど遅れている。初学者は誤解や混乱の状態に放置されている。ここに、我が国の理科教育や物理教育の大きな課題の一つがある。これまでも熱概念に関わる用語の調査を報告してきたが^{1), 2)}、今回は、「分子運動」の概念がどのように変遷してきたかについて、19世紀半ばから20世紀半ばまでの英語圏とドイツ語圏のテキスト等を調査した結果を報告する。「thermal motion」を「熱運動」と訳すことは適切ではなく、誤訳であることが明らかになった。

2 英語圏、ドイツ語圏における「分子運動」に関わる用語の変遷の調査とその結果

(1) 「熱は分子運動の一形態」という認識が出始めた頃 (1840年代から1900年代初め頃まで)

① Über die Erhaltung der Kraft by Hermann von Helmholtz 1847³⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

Das, was bisher Quantität der Wärme genannt worden ist, würde hiernach der Ausdruck sein erstens für die Quantität der lebendigen Kraft der Wärmebewegung und zweiten für die Quantität derjenigen Spannkraft in den Atomen,...

(下線は筆者による。)

ヘルムホルツによる「エネルギー保存の原理」が述べられた講演の著作には、「Wärmebewegung」(熱運動)の用語が使用されている。「エネルギー」の用語には「kraft」が用いられている。

② Principle of physics, or Natural Philosophy by Benjamin Silliman 2nd Ed. 1860⁴⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.411に、『587. Thermoscopes. - This name (from θερμη, temperature, and σκοπέω, to see) is applied to a class of instruments designed to indicate small difference of temperature, and not to measure them in degrees. ...』 P.498に、『758. Relations of heat and force. - It is well known that there is an intimate relation between heat and mechanical force, and that one may be exchanged for the other. ...』 (下線は筆者による。)

このテキストには、「heat motion」の用語の使用は見当たらなかった。また、「エネルギー」の用語には「force」が用いられている。この時代、「energy」の用語(T. Youngによって使用された用語)が普及していなかったことが判明する。

「thermo」はギリシャ語からの転用で「temperature」(温度)の意味であることが明確に述べられている。

③ Heat A mode of motion by John Tyndall 3rd Ed. 1868⁵⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.27に、『The theory, then, which Rumford so powerfully advocated, and which Davy so ably supported, is that heat is a kind of molecular motion; and that by friction, percussion, and compression, this motion may be generated, ...』 P.59に、『The motion of the mass, as a whole, has been transformed into a motion of the molecules of the mass. This motion of heat, however, though intense, is executed within limits too minute, and the moving particles are too small, to be visible. ...』 P.119に、『(140 a) But the principle of the conservation of force is illustrated here as elsewhere. ...』 (下線は筆者による。)

このテキストには、「熱は分子運動の一形態である(heat is a kind of molecular motion)」と明確に述べられているが、「heat motion」(熱運動)という用語は使用されていない。しかし、「motion of heat」(熱の運動)という表現が使用されている。この頃英語圏ではまだ、「heat motion」(熱運動)という用語は生まれていなかったと考えられる。

④ The theory of electrons by H. A. Lorentz 2nd Ed. 1909⁶⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.10に、『...The fundamental idea of the modern theory of thermic and electric properties of metals is, that the free electrons in these bodies partake of the heat-motion of the molecules of ordinary matter, travelling in all directions with such velocities that the mean kinetic energy of each of them ...』 (下線は筆者による。)

このテキストには、「heat-motion」(熱運動)の用語が、その他、P.63、P.67の計3箇所で使用されている。

⑤ The Kinetic Theory of Gases by L.B. Loeb 1st ed.1927, 2nd Ed. 1934⁷⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.203に、『...viscosity, and heat conduction, to the eternal and chaotic random heat motion of the molecules. ...』 P.390に、『...and a direct proof of the heat motions of the molecules to establish the kinetic hypothesis on the firm basis of an acceptable theory. ...』 P.414に、『...This fluctuation is due to the thermal agitation which causes a small but definite mass motion of the electrons giving rise to potential difference.』 (下線は筆者による。)

「heat motion」(「熱運動」)という熱の運動説(保有熱)の考えの用語が使用されている一方で、「thermal agitation」(温度による擾乱)の用語が1箇所で使用されている。この頃から「heat motion」と「thermal motion」の混在期に入る。

(2) 「temperaturbewegung」や「temperature motion」の出現と、「heat motion」と「thermal motion」(「thermal

agitation」の混在期（1930 年代）

- 6 Beziehungen zwischen Molekülbau und Kristallbau. by R. de L. Kronig 1933⁸⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.317 に、『… die Unregelmäßigkeiten im Potentialverlauf des Kristallgitters zufolge der temperaturbewegung und eventueller Verunreinigungen berücksichtigt. …』 (下線は筆者による。)

この論文には下線部にあるように、誤解を生じないよう「temperaturbewegung」(温度運動)の用語が使用されている。

- 7 Introduction to theoretical Physics by Slater and Frank 1st Ed.1933⁹⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.474 に、『271. Temperature Vibrations of a Crystal. ...These coordinates can now execute simple harmonic vibrations, and the superposition of all these vibrations, each with its appropriate amplitude and phase, is the temperature agitation of the crystal. …』 (下線は筆者による。)

このテキストには、「Temperature Vibrations」(温度振動)や「temperature agitation」(温度擾乱)等の用語を用いて初学者が熱振動や熱擾乱と誤解しないよう配慮されている(ギリシャ語から転用された「thermal」の多義性を避けるため)。

- 8 The Theory of the Properties of Metals and Alloys by Mott & Jones 1936¹⁰⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.28 に、『…These may be irregularities produced by heat motion or the disorder of the atomic arrangement in the lattice. …』 P.178 に、『…The extra energy of the electron gas at a temperature T , due to thermal motion, is therefore proportional to $(kT)^2/\zeta$. …』 (下線は筆者による。)

このテキストには、前半部は「heat motion」が、後半部は「thermal motion」が使用されている。

(3) 「thermal motion」や「thermal agitation」の用語が定着し始めた時代（1940 年代）

- 9 An introduction to the Kinetic Theory of Gases by Sir James Jeans 1st Ed. 1940¹¹⁾ に見る「分子運動」関連の記述。

P.120 に、『…This shows that the total energy of a gas may be regarded as the sum of the energy of its mass-motion and its thermal motion. …』 (下線は筆者による。)

最早、「heat motion」の用語ではなく、P.117 に「thermal motions」の節もあり用語の変更があったことが判明する。

(4) 「thermal motion」の正しい物理学的意味の発見

- 10 Physical Chemistry by Castellan 1st Ed. 1964, 3rd Ed. 1983¹²⁾ に「thermal motion」の意味の解説

P.56 に、『…It say that kinetic energy of the random motion is proportional to the absolute temperature. For this reason, the random motion or chaotic motion is often called the thermal motion of the molecules.』 (下線は筆者による。)

このテキストに、分子の乱雑な運動を何故に「thermal motion」と呼ぶのかの物理学的な理由を示しての解説がある。「乱雑な運動の運動エネルギーは絶対温度に比例する。この理由から、乱雑な運動はしばしば分子の thermal motion と呼ばれる。」とある。このことは、「Thermal motion」は「熱運動」ではなく「温度運動」であることが分る。

3 考察とまとめ

上の Castellan の「thermal motion」の説明と、昨年の研究大会の「Advancing Physics A2 に見る熱概念」¹³⁾ で紹介した Riedi 著「Thermal Physics」¹⁴⁾ にある『The most directly accessible thermal concept is not heat but rather Temperature, …』の解説から、「thermal motion」は「温度による運動」或は、「温度運動」と訳すのが適切なことと判明する。決して「熱運動」ではない。「熱運動」と訳すことは物理学的に適切ではないことが明白になった。

4 参考文献

- 1) 五十嵐 靖則 中学・高校教科書に見る「熱」と「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 回物理教育研究大会発表予稿集(2013.8)50-51
- 2) 五十嵐 靖則 「熱エネルギー」「熱運動」という訳語は適切か—英語圏のテキストを調査して判明したこと— 日本物理学会講演概要集 Vol.72No.1 (2017.3)
- 3) H. Helmholtz Über die Erhaltung der Kraft Ostwald's Klassiker der Exacten wissenschaften Nr.1 Verlag von Wilhelm Engelmann 1889 p.23-24
- 4) Benjamin Silliman Principle of Physics, or Natural Philosophy 1st Ed.1858, 2nd Ed.1860 Ivison, Blakeman, TAYLOR, & COMPANY P.411, P.498
- 5) John Tyndall Heat A mode of motion 3rd Ed.1868, Longmans, Green, and Co. P.27, P.59
- 6) H. A. Lorentz The theory of electrons 2nd Ed. 1909, Dover Publications, Inc. 1952, P.10, P.63, P.67
- 7) Leonard B. Loeb The Kinetic Theory of Gases 1st ed.1927, 2nd Ed. 1934, Dover Ed.1961 P.317
- 8) R. de L. Kronig Beziehungen zwischen Molekülbau und Kristallbau. Handbuch der Physik Zweite Auflage Band XXIV Springer (1933)253-332
- 9) J. C. Slater and N.H. Frank Introduction to theoretical Physics 1st Ed.1933, P.474
- 10) N.F. Mott & H. Jones The Theory of the Properties of Metals and Alloys 1st Pub.1936 Dover Publications, Inc. 1958, P.28
- 11) Sir James Jeans An introduction to the Kinetic Theory of Gases 1st Ed. 1940 Cambridge University Press P.120
- 12) Gilbert W. Castellan Physical Chemistry 1st Ed. 1964, 3rd Ed. 1983 Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. P.56
- 13) 五十嵐 靖則 Advancing Physics A2 に見る熱概念 日本物理教育学会 第 34 回物理教育研究大会発表予稿集(2017.8)111-112
- 14) P. C. Riedi Thermal Physics An introduction to thermodynamics, statistical mechanics, and kinetic theory 2nd Ed. Oxford University Press 1988, P.9

相対論的すれ違い効果 = ローレンツ力は電気力 =

長崎県立島原高校 山本文隆

fumitaka125@yahoo.co.jp

1. 概説

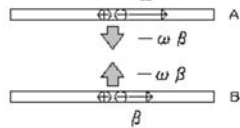
ローレンツ力(含アンペール力)は慣性系によっては電気力とも磁気力とも見なせるが、見る人によってどちらにも見えるということは本来矛盾。これは電荷粒子群同士がおりなす相対論的すれ違い効果により電気力だけで説明可能。ここに磁場は不必要。

2. 電荷群クーロン力の運動による変化

2力のすれ違い効果、一方が静止するとき対光速速度 β として $\gamma_\beta = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ 、一般的に2者が共に移動(β 、 ω)すると、相対速度 $v = (\omega - \beta)/(1 - \omega\beta)$ として $\gamma_v = \gamma_\omega \gamma_\beta (1 - \omega\beta)$

3. アンペールの力

2本の平行電流素片間で起きる変化を4種の電荷の組み合わせで考える。



$$\begin{aligned} \oplus_A \oplus_B &= +1 & \oplus_A \ominus_B &= -\gamma_\beta & \ominus_A \oplus_B &= -\gamma_\omega \\ \ominus_A \ominus_B &= +\gamma_\omega \gamma_\beta (1 - \omega\beta) \\ \text{総和} &= 1 - \gamma_\beta - \gamma_\omega + \gamma_\omega \gamma_\beta (1 - \omega\beta) \doteq -\omega\beta \\ (\gamma_\omega - 1)(\gamma_\beta - 1) - \gamma_\omega \gamma_\beta \omega\beta &\doteq \omega^2 \beta^2 / 4 - \omega\beta = -\omega\beta \end{aligned}$$

一般式として $d^2F = -\omega\beta d^2F_{\text{クーロン}}$ 。これは $\omega = 0$ または $\beta = 0$ で働かず、2電流が流れるときのみ同方向で引力、逆方向で斥力として働く。この性質はアンペールの力そのもの。

4. アンペールの力 平行電流

電流素片の微小長と電荷密度を導線Aで $d l_A$ 、 ρ_A 、導線Bで $d l_B$ 、 ρ_B と表すと微小長の持つ電荷は $q_A = \rho_A d l_A$ 、 $q_B = \rho_B d l_B$ 。素片間距離を r とすると導線間距離 R とは $R = r \sin \theta$ (θ は r と $d l$ のなす角)の関係。従ってすれ違い効果で生じる力 d^2F は、2導線間距離 R の方向で(k をクーロン定数) $d^2F = \beta \omega d^2F_{\text{クーロン}} \sin \theta = \beta \omega k q_A q_B \sin \theta / r^2$

1. アンペールの力一般解

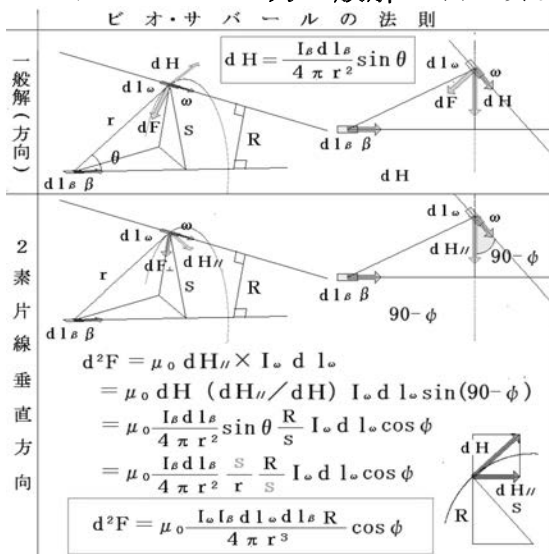


図5 異なる方向の2電流素片、ビオサバルと相対論的すれ違い効果の比較

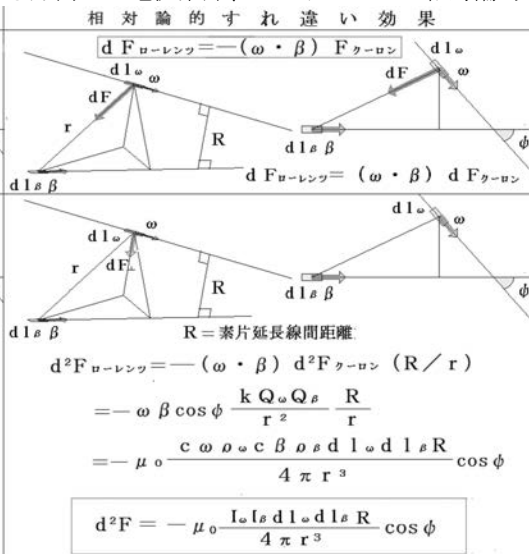


図5のようにビオサバルの法則と相対論的すれ違い効果は2電流素片延長線同士の最短距離方向($R_{\parallel}$)でのみ一致し R に垂直方向($R_{\perp}$)では異なる。しかし円電流同士ではその対称性から $R_{\perp}$ 方向の総和は打消され問題とならない。

$$= k \beta \rho_A d l_A \omega \rho_B d l_B \sin^3 \theta / R^2$$

導線Aは導線Bに対し十分長いので $d l_B$ の $0 \sim l_B$ の積分は他変数に無関係に l_B

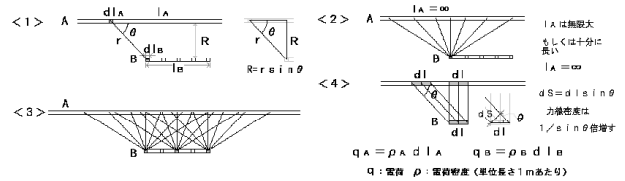
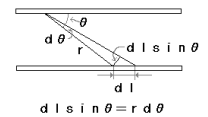


図3 並行電流の導線同士

$$\begin{aligned} dF &= \int d^2F \\ &= \int (k \beta \rho_A \omega \rho_B l_B \sin^3 \theta / R^2) d l_A \\ \text{ところで } c \rho_A \beta &= I_A, \quad c \rho_B \omega = I_B \text{ の関係がある。} \quad \text{電荷密度} \times \text{電荷速度 } c \rho_A \beta = \rho_A v \\ &= (Q_A / l_A) (l_A / t_A) = I_A \text{ (電流)} \\ \therefore dF &= (k I_A I_B l_B \sin^3 \theta / c^2 R^2) d l_A \\ r d \theta &= d l \sin \theta \\ R &= r \sin \theta \text{ より} \\ d l &= (R / \sin^2 \theta) d \theta \end{aligned}$$

図4 長さや角度の関係



$$\begin{aligned} F &= (k I_A I_B l_B / c^2 R) \times \int_0^\pi \sin^3 \theta d \theta \\ &= 2 k I_A I_B l_B / c^2 R \quad (\text{負号省略}) \\ \text{磁気力にすると } k / c^2 &= \mu_0 / 4 \pi \text{ より} \\ F &= \mu_0 I_A I_B l_B / 2 \pi R \\ \text{さらに導線Aの電流が作る磁界の強さ} \\ H_A &= I_A / 2 \pi R, \quad \text{磁束密度 } B_A = \mu H_A \text{ より} \\ F &= \mu_0 H_A I_B l_B = B_A I_B l_B \\ \text{これは磁力の公式と一致。電気力の関係から並行電流のローレンツ力や磁界の強さが導ける。} \\ \text{※ ビオ・サバルの法則の導出} \\ dF &= (k I_A I_B l_B \sin \theta / c^2 r^2) d l_A \\ &= \mu_0 I_A I_B l_B d l_A \sin \theta / 4 \pi r^2 \\ &= \mu_0 (I_A d l_A \sin \theta / 4 \pi r^2) I_B l_B \\ \text{一方 } I_B \text{ を一定電流、} l_B \text{ を定数として} \end{aligned}$$

$dF = \mu_0 dH_A I_B l_B$ であるから比較して
 $dH_A = I_A d l_A \sin \theta / 4 \pi r^2$
 これはビオ・サバルの公式。

(1) 円形電流同士

1) ビオ・サバルの法則による導出

設定 (図6): 下円形導線電流 I_ω 、B点素片 $d l_\omega$ 、上導線電流 I_β 、E点素片 $d l_\beta$ 、電荷 $q_\omega = \rho_\omega d l_\omega$ 、 $q_\beta = \rho_\beta d l_\beta$ (ρ = 電荷密度)。A点原点、円との接線右方向を基準線。2素片間距離 r ($= BE$)、 $\angle AOB = 2\theta$ 、 $\angle ABD = \theta$ 。 $d l_\beta = 2L d\theta$ 、 $\angle DBE =$ ビオ角度 ϕ 、 $\sin \phi = DE/BE = DE/r$ とするとビオサバルの法則の式は

$$dH_B = I_B d l_B DE / 4 \pi r^3$$

E点素片単位ベクトルとの外積の $R_{\parallel}$ 方向成分は $(R/DE) \cos 2\theta$ であるから

$$dF = \mu_0 dH I_E d l_E (R/DE) \cos 2\theta = \mu_0 L R I_\omega I_\beta d l_\beta \cos 2\theta / 2 \pi r^3$$

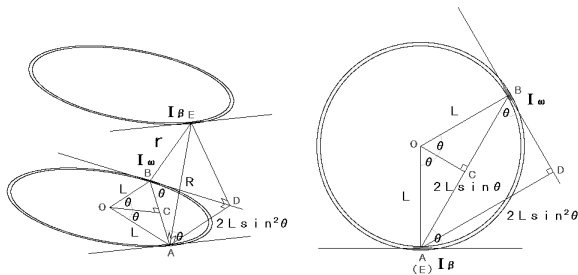


図6 円形電流同士に働く力 dH

E素片はすべて同条件だから $\int d l_\beta = 2 \pi L$
 $\therefore dF = \mu_0 L^2 R I_\omega I_\beta \cos 2\theta / r^3$

$$F = \mu_0 L^2 R I_\omega I_\beta \int_0^\pi (\cos 2\theta / r^3) d\theta$$

積分は未解、図7は $\theta = 0 \sim \pi$ の分布概要。
 力は電流素片に近い平行電流付近にほぼ集中。

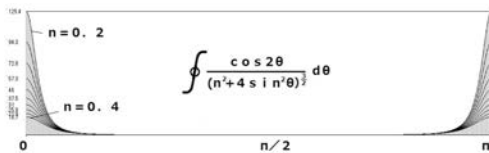


図7 積分分布概要

2) すれ違い効果による導出

すれ違い効果は並進部で生じる。係数 $-\omega \beta$ は両者のなす角を ϕ とし (素片延長線が交わらなくても R に垂直な面上で交差する角が ϕ (図5右))

$$dF = -\omega \beta \cos \phi F_{\text{クーロン}} = -(\omega \cdot \beta) F_{\text{クーロン}}$$

円電流同士の場合 $\phi = 2\theta$ (図5)

$$dF = -\mu_0 L^2 R I_\omega I_\beta \cos 2\theta / r^3$$

これはビオサバルの法則と一致。

(2) 円電流と直線電流

相対論的すれ違い効果の一般式は図5右の公式。方向性については、円電流中央線上にある電流素片 F で考えると r は定数となり扱いやすい。

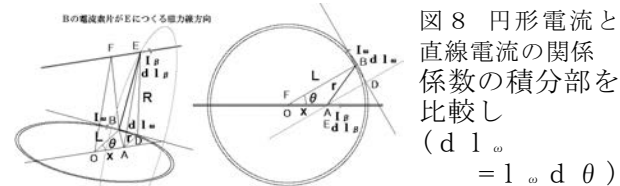


図8 円形電流と直線電流の関係係数の積分部を比較し ($d l_\omega = l_\omega d\theta$)

$$R_{\perp}: dF = \mu_0 \frac{I_\omega I_\beta d l_\beta L}{4 \pi r} \cos(90+\theta) d\theta$$

$$\cos(90+\theta) = -\sin \theta \text{ であり } \theta = 0 \sim \pi \text{ で}$$

$$\text{斥力、} \pi \sim 2\pi \text{ で引力 } R_{\parallel} \text{ 方向の合力 } 0$$

$$(\text{周回} \int (-\sin \theta) d\theta = [\cos \theta] = 0)$$

$$R_{\parallel}: \text{①直線電流方向 } \text{②直線電流垂直方向}$$

$$\text{① } dF = -\mu_0 \frac{I_\omega I_\beta d l_\beta L}{4 \pi r} \sin \theta \cos \theta d\theta$$

$$\int \sin \theta \cos \theta d\theta = \int \sin 2\theta / 2 \text{ 電流方向合力} = 0$$

$$\text{② } dF = -\mu_0 \frac{I_\omega I_\beta d l_\beta L}{4 \pi r} \sin^2 \theta d\theta$$

$$\int \sin^2 \theta d\theta = \int (1 - \cos 2\theta) / 2$$

$$\therefore dF = -\mu_0 \frac{I_\omega I_\beta d l_\beta L}{4 \pi r} \text{ 垂直方向合力} = \pi$$

相対論的すれ違い効果から直線電流に働く水平方向 (フレミングの左手の法則に従う) のアンペールの力 (ローレンツ力) が導かれた (図9左)。

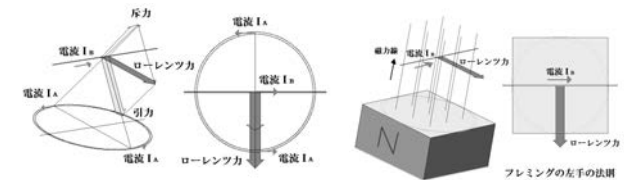


図9 フレミング左手の法則成立の理由 左

6. ローレンツ力 ($F = q v B$)

磁場に垂直に単独で走る電荷には進行方向と磁場に垂直なローレンツ力が働く。ところでこれは円形電流の上を単独で走る電荷の動きと同じでありすれ違い効果で説明される。ただし単独側の電荷速度 β は光速を無視できないほど大きく電流中の電子速度 ω は十分に小さい ($\beta \gg \omega$)。例として反時計回り円形電流上 (図11手前電子速度 $-\omega$ 、奥速度 $+\omega$) を速度 β の電子がよぎるときを考えると手前導線との間に

$$\ominus_\beta \oplus_\omega = -\gamma_\beta \ominus_\beta \ominus_\omega = \gamma_\beta \gamma_\omega (1 + \omega \beta)$$

$$\text{総和} = -\gamma_\beta + \gamma_\beta \gamma_\omega (1 + \omega \beta)$$

$$\div -1 - \beta^2 / 2 + 1 + \beta^2 / 2 + \omega^2 / 2 + \omega \beta$$

$$= \omega^2 / 2 + \omega \beta \div +\omega \beta (\because \beta \gg \omega)$$

の変化が起きる。このときよぎる電子には斜め上向きで奥へ押す斥力が働く。同様に奥導線との間の変化は $-\omega \beta$ で、よぎる電子には斜め下向きで奥へ引く引力が生じる。両者の合力は上下方向を打ち消し、水平に奥へ向かうクーロン力の変化 (=ローレンツ力) として現れる。

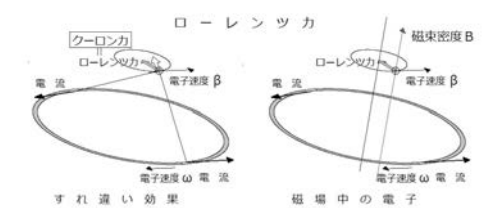


図11 円形電流の上をよぎる電子に働くローレンツ力

合力の係数 (負号含) は問題とせず式を導くと $q = \rho d l$ 、 $k / c^2 = \mu_0 / 4 \pi$ を用い

$$dF = \omega \beta F_{\text{クーロン}} = \omega \beta k q_\omega q_\beta / r^2$$

$$= \mu_0 c \omega \beta q_\beta \rho_\omega d l_\omega / 4 \pi r^2$$

$$= q_\beta c \beta (\mu_0 (c \omega \rho_\omega d l_\omega / 4 \pi r^2))$$

$$= q_\beta c \beta (\mu_0 (I_\omega d l_\omega / 4 \pi r^2))$$

$$= q_\beta v \mu_0 dH = q_\beta v dB$$

磁場を用いたローレンツ力と全く同じ力が得られた。なお円形電流の他の部分の影響は方向の違いから小さくなるが、曲がりにより最大関与の位置も移動、力を与える素片も変化。この繰り返しと遠心力との釣り合いで電荷は円形電流と並行な円運動を引き起こす。

ファラデーの電磁誘導の法則とローレンツ力

元兵庫県立神戸高等学校 秋山和義

quork@kba.att.ne.jp

1 はじめに

ファラデー・ノイマンの電磁誘導の法則（ファラデーの法則）は電磁気の学習では中心的な課題である。その教え方で、磁場内で運動する導線に現れる起電力の原因としてローレンツ力による説明があり、いわば同じ現象を、ファラデーの電磁誘導の法則とローレンツ力の法則という2重の説明が行われる。ここで電磁誘導法則とローレンツ力について誤解と混乱も生じ、理解をより困難にしている。本論ではこれらの問題を解くために、ローレンツ力とは何かを論じる。

2 ファラデーの電磁誘導の法則とは

ファラデーの電磁誘導の法則は、ある閉じた周回路を貫く磁束の変化率がその周回路の起電力を与える関係で、磁束密度 $\mathbf{B}$ (以後、磁場と呼ぶ)、電場の強さ $\mathbf{E}'$ (以後、電場と呼ぶ) として

$$-\text{磁束変化率} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{d}{dt} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \oint \mathbf{E}' \cdot d\mathbf{r} \quad \text{周回起電力} \quad (1)$$

と表わされる。ここで積分する曲面とその周辺が時間とともに動くことも含まれる。そこで閉じた周回路の各部分が速度 $\mathbf{v}$ で運動することを考慮し、左辺を周回積分に変形する。ここで面積分を線積分にするとき、 $\mathbf{B} = \text{curl} \mathbf{A}$ とベクトルポテンシャル $\mathbf{A}$ で表わし、磁荷は存在しないことから $\text{div} \mathbf{B} = 0$ とおく。(記号 $\rightarrow$ は面と境界の曲線が動いていることを表わす)

$$\frac{d}{dt} \int_{\rightarrow} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \int \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} + \frac{d}{dt} \int_t \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (2)$$

$$= \int \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} + \int (\mathbf{v} \text{ div} \mathbf{B} - \text{curl}(\mathbf{v} \times \mathbf{B})) \cdot d\mathbf{S} \quad (3)$$

$$= \oint \left(\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \right) \cdot d\mathbf{r} \quad (4)$$

したがって式(1)と(4)から、 φ を任意の一価連続関数として

$$\mathbf{E}' = -\text{grad} \varphi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad \text{ただし} \mathbf{B} = \text{curl} \mathbf{A} \quad (5)$$

を得る。この(5)式はファラデーの電磁誘導の法則(1)を微分形式で表わしたものである。なお、項 $\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$ は磁石が動いて磁場変化する場合を、項 $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ はコイルが動く場合の効果を表わすが、両者は入れ替わり得る。この(5)式で、両辺の curl を作れば次式のマックスウェルの誘導法則を得る。

$$\text{静止物体中では} \quad \text{curl} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{運動物体中では} \quad \text{curl} \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + \text{curl}(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (6)$$

3 ローレンツ力とは何か

では、ローレンツ力とは何だろうか。本来ローレンツ力とは運動する電荷が電磁場から受ける力として定義される。そこで改めてその力を考えよう。歴史的にはアンペール力から、電流を荷電粒子の流れと考えて、粒子に働く力として導入された。しかしここでは、力の定義に基づいてファラデー法則から考え

る。ファラデー法則の、任意の周回路上の場所に電荷 e を置くと、その電荷はその場所の誘導電場から力 $\mathbf{F} = e\mathbf{E}'$ を受けることになる。そこで (5) 式に e をかけて電荷が誘導電場から受ける力を表わすと

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E}' = e(\mathbf{E}_s + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad \text{ただし} \quad \mathbf{E}_s = -\text{grad}\varphi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (7)$$

となる。この式の $\mathbf{F}$ が電磁場中を運動する電荷が受ける力を表わし、周知の、一般化されたローレンツ力の表式を得る。見てわかるようにこの式の $\mathbf{E}_s$ は静電場のみならず磁場の変化による電場の項 $\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$ (マックスウェルの式の電場 $\mathbf{E}$ である) を含む。

留意すべきは、この式の $\mathbf{v}$ は周回路の速度であるが、周回路上の電荷は周回路と同じ運動状態にあるから電荷の速度と考えてよい。ファラデー法則は運動する周回路上の空間に電場が誘導されることを表わしているが、図1のように、運動

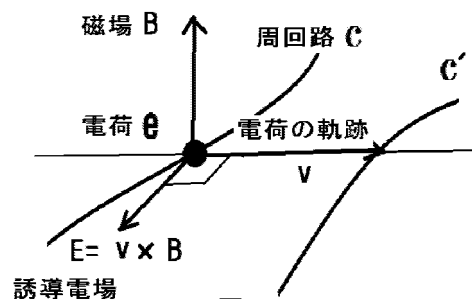


図1

する電荷に対してはその運動に伴って電場が誘導されていると考える。このように磁場内で静止しているときは存在しない電場が、運動状態にある電荷に対しては電場が存在して（誘導されて）電荷に力を及ぼすと考えることが大変考えにくいことではある。しかしいくら考えにくくてもファラデー法則を事実として受け入れて、それが電磁場（の特性）であると認めなければならない。

結論は、ローレンツ力はファラデー法則の誘導電場からの力であり、(5) 式は誘導電場を、(7) 式はローレンツ力を表し、同じ法則であることがわかる。すなわちローレンツ力自体が電磁誘導による力であるから、電磁誘導の”原因”を”説明”するものではない。

4 具体例; 磁場の中を動く導体棒

図2のように、長さ L の導体棒が一定の磁場の中で、磁場に垂直に速度 $\mathbf{v}$ で動くとき、導体棒に誘導される起電力と静電場の電位差（電圧）を求めるためにファラデーの法則の微分形式（5）式を用いる。

いま、磁場は一定だから $\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = 0$ 、導体棒の中では電場 $\mathbf{E}'$ はゼロだから (5) 式は $\mathbf{E}' = -\text{grad} \varphi + (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = 0$ となる。この式を移項して図のQからPまで、QからPの向きに線積分を行うと

$$\int_Q^P (-\text{grad} \varphi) \cdot d\mathbf{r} = - \int_Q^P \mathbf{v} \times \mathbf{B} \cdot d\mathbf{r}$$

P, Q の電位をそれぞれ φ_P, φ_Q とすると、 $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ は $d\mathbf{r}$ と逆向きだから

$$\text{電位差} \quad \varphi_Q - \varphi_P = vBL \quad \text{起電力} \quad (9)$$

よって 電位差（電圧）は起電力に等しく電位はQのほうがPより高い。なお導体内で電場 $\mathbf{E}'$ はゼロでもよいし、ローレンツ力がゼロでもよい。この導き方で起電力と電位差は異なる概念で、それらが等しくなることが明示される。 $(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ をローレンツ力と言っても、誘導電場と言っても同じである。

5 おわりに

電磁誘導をローレンツ力で考えることはわかりやすい気もするが、その説明は同義語反復で、原因の説明にはならない。静磁場の場合に限り、ローレンツ力 $e(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ を用いて起電力を計算することは可能である。静磁場でない場合は項 $-e\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$ を加えたローレンツ力を用いなければならないので高校レベルを超える。その場合、磁束の変化から起電力を考えるほうがわかりやすい。

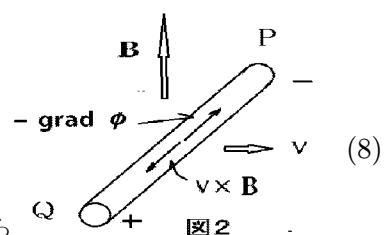


図2

電流と磁場の作用・反作用についての一考察

兵庫教育大学 学校教育学部 石原 諭
E-mail: satoshi@hyogo-u.ac.jp

1 はじめに

秋山 [1] により電流と磁場の作用・反作用について指摘された。本発表では電流と磁場の作用・反作用について考察する。特に定常直線電流と一様磁場の場合について応力テンソルを用いて解析する。

2 荷電粒子と電磁場からなる系の運動量と応力テンソル [2]

荷電粒子と電磁場からなる系を考える。質量 m_i 、電荷 e_i の N 個の荷電粒子の位置を $\mathbf{r}_i(t)$ とする。電磁場 $\mathbf{E}(\mathbf{x}, t), \mathbf{B}(\mathbf{x}, t)$ が与えられたとき、荷電粒子の運動方程式は

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{r}_i(t)}{dt^2} = e_i \mathbf{E}(\mathbf{r}_i(t), t) + e_i \frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt} \times \mathbf{B}(\mathbf{r}_i(t), t), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

である。この式の右辺は電磁場が荷電粒子に作用する力である。一方荷電粒子の運動 $\mathbf{r}_i(t)$ が与えられたとき、電磁場 $(\mathbf{E}, \mathbf{B})$ は Maxwell 方程式により決まる。

$$\nabla \cdot \mathbf{E}(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{\varepsilon_0} \sum_{i=1}^N e_i \delta^3(\mathbf{x} - \mathbf{r}_i(t)), \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \mathbf{0}, \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{1}{\mu_0} \nabla \times \mathbf{B}(\mathbf{x}, t) - \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = \sum_{i=1}^N e_i \frac{d\mathbf{r}_i(t)}{dt} \delta^3(\mathbf{x} - \mathbf{r}_i(t)). \quad (5)$$

ここで、 ε_0 、 μ_0 は真空中の誘電率および透磁率である。

さて荷電粒子の運動方程式と Maxwell の方程式をもとに、運動量保存則

$$\frac{d}{dt} \{ \mathbf{G}_m(t) + \mathbf{G}_f(t) \} = \int_V d^3x \operatorname{div} \mathbf{T}(\mathbf{x}, t) = \int_{\partial V} dS \mathbf{n} \cdot \mathbf{T}(\mathbf{x}, t) \quad (6)$$

が導かれる。ここで $\mathbf{G}_m$ および $\mathbf{G}_f$ は物質および電磁場の運動量ベクトル

$$\mathbf{G}_m(t) = \sum_i m_i \mathbf{v}_i(t), \quad \mathbf{G}_f(t) = \varepsilon_0 \int_V d^3x \mathbf{E}(\mathbf{x}, t) \times \mathbf{B}(\mathbf{x}, t) \quad (7)$$

である。また $\mathbf{T}$ は Maxwell の応力テンソル

$$T_{ij} = \varepsilon_0 \left(E_i(\mathbf{x}, t) E_j(\mathbf{x}, t) - \frac{1}{2} \delta_{ij} E^2(\mathbf{x}, t) \right) + \frac{1}{\mu_0} \left(B_i(\mathbf{x}, t) B_j(\mathbf{x}, t) - \frac{1}{2} \delta_{ij} B^2(\mathbf{x}, t) \right) \quad (8)$$

であり、ベクトル $\mathbf{n} \cdot \mathbf{T}$ は閉曲面 S の単位面積に外部から内部にかかる電磁気的な応力である。

3 電流と磁場の作用・反作用

応力テンソル $\mathbf{T}$ を用いて電流と磁場のあいだの作用・反作用について解析する。電流は定常直線電流で、磁場を一様定常とする。図 1 の様に、一様定常磁場を $\mathbf{B}_0 = B_0 \hat{x} = (B_0, 0, 0)$ 、定常直線

電流を $\mathbf{I} = I\hat{z} = (0, 0, I)$ とする。円筒座標 $\{z, \rho, \phi\}$ を用いると、電流の作る磁場は $\mathbf{B}_1 = B_1\hat{\phi} = \frac{\mu_0}{2\pi\rho}(-\sin\phi, \cos\phi, 0)$ である。以下のようにして作用・反作用の関係を確認できる。

1. 外場 B_0 をつくる荷電粒子も $\mathbf{G}_m$ の総和に含まれている。しかし一様定常な外場 B_0 は、電荷や電流が 0 の場合の Maxwell の方程式を満たすので、形式的には B_0 をつくる電荷や電流が 0 と考えることができる。全荷電粒子を含む積分領域として、 B_0 の電流原を含まず、電流 $\mathbf{I}$ を含む領域を選ぶことができる。
2. 電流をおおう円筒領域 V を考える。 V の内部では $\mathbf{E} = 0$ なので、運動量は電流 $\mathbf{I}$ の持つ運動量 $\mathbf{G}_m$ のみである。
3. 外部磁場 B_0 と電流の作る磁場 B_1 をあわせた全磁場 $\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_1$ をもとに応力テンソルの表面積分を求める。結果は電流の長さを l として

$$\int_{\partial V} dS \mathbf{n} \cdot \mathbf{T}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{I} \times \mathbf{B}_0 l \quad (9)$$

である。この力は、 V の境界 ∂V をかいて、外部の磁場から内部の磁場に作用している。 V を直線電流 $\mathbf{I}$ をぎりぎり取り囲むように選べば、この力は、外部の磁場から内部の直線電流 $\mathbf{I}$ に作用していると解釈できる。これは (1) のローレンツ力を電流で表記しなおした結果を再現している。

4. 逆に V の境界 ∂V をかいて内部の磁場から外部の磁場に作用している力は、注目している系の内部と外部が入れ替わり (図 2) 法線ベクトル $\mathbf{n}$ が逆向きになるので、

$$-\mathbf{I} \times \mathbf{B}_0 l \quad (10)$$

である。つまり (9) と (10) は作用・反作用の関係にある。 V を直線電流 $\mathbf{I}$ をぎりぎり取り囲むように選べば、この力は、内部の直線電流 $\mathbf{I}$ から外部の磁場に作用していると解釈できる。

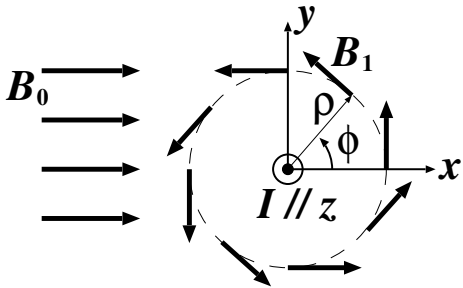


図 1: 電流と磁場の配位

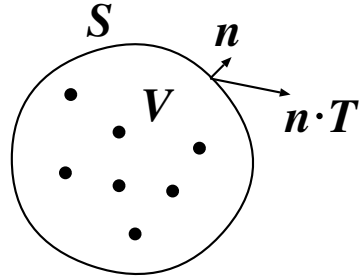


図 2: Maxwell の応力, 点は荷電粒子を表す

4 まとめ

電流と磁場の間の作用・反作用について Maxwell の応力テンソルを用いて考察した。今回の考察では、作用・反作用の関係を導くのに、外部磁場の電流源について仮定が必要である。

参考文献

- [1] 秋山和義, 第 34 回物理教育研究大会講演予稿集 (2017) 「単極回転・単極誘導の実験」
- [2] 砂川重信, 「理論電磁気学 第 3 版」第 2 章, 紀伊之國屋書店 (1999)

ポスターセッション

ポスター発表プログラム

日 時 8月11日(土) 12:20 ~ 13:30 8月12日(日) 12:10 ~ 13:40

P 1会場：312講義室

P1-1 5分のできる演示実験	高見 寿 … 118
P1-2 ICを観る	喜多 誠 … 119
P1-3 音センサーでピンポン玉の反発係数を測定する	渡會 兼也 … 120
P1-4 LEDを用いたニュートン観測実験のすすめ ～ 導入から10年間での維持管理を中心として ～	大久保尚紀 … 122
P1-5 電束電流の作る磁場にビオ・サバールの法則の適用は適切か ーヘルツの実験とコンデンサーを流れる電束電流が作る磁場の検出実験を試みてー	五十嵐靖則 … 124
P1-6 アルミニウムの常磁性と炭素の反磁性の簡易実験	沢田 功 … 126
P1-7 専門基礎実験における映像教材の活用	一戸 隆久 … 128

P 2会場：313講義室

P2-1 文系学生に対する物理学講義の試み	巨海 玄道 … 130
P2-2 認知発達を意識した高校物理授業の必要性とその効果	山下 哲 … 132
P2-3 p-primsの活用事例 ー手回し発電機の手応えについての実践と研究を文脈として	山田 吉英 … 134
P2-4 CLASS (Colorado Learning Attitudes about Science Survey) による学習姿勢の調査と因子分析	江藤 開 … 136
P2-5 CLASS (Colorado Learning Attitudes about Science Survey) を用いた高校生、大学生の物理学習姿勢調査	宗尻 修治 … 138
P2-6 生徒実験とレポートを能動的な授業につなげる	山田達之輔 … 140
P2-7 「課題研究」における課題設定の指導に関する実践の報告 その2 ー全生徒に課題設定指導を行う方法とその効果ー	乃口 哲朗 … 141

5分でできる演示実験

岡山県教育委員会科学教育推進アドバイザー 高見 寿

E-mail takami-h@star.bbexcite.jp

受賞講演で説明した、授業に役立つ実験道具や資料、科学教育の推進に関連したものを展示します。手にとって体験してください。

(1) 「5分でできる演示実験」第1集～第10集

現役時代に、「5分でできる」と称して、実験を集めていました。テーマ数は500以上(写真1)。詳しい説明はついていないのですが、一つひとつの実験に、物理的に深い意味があります。

(2) これをもとにして出版したのが「教室でできる5分間ぶつり実験」(日本評論社)です。

「5分でできる」は詳しい説明はないので、この本で詳しく説明しました。「慣性の法則」「浮沈子」なども、計算で確認しました。

(3) その執筆をきっかけに、「5分物理の会」が発足。今年12月で足かけ10年になり、開催回数100回目を迎えます。大人が、物理や数学、科学全般を語って、楽しく過ごす会です。

(4) 物理計測

かつて、PC98を使ったパソコン計測を開発しましたが、BASIC言語が使えなくなって、この計測システムは消滅しました。最近、PICマイコンを使って、30年前と同じようなことができるようにしました。PICでできる物理計測の紹介(写真2)。

(5) おもしろ実験研究所

地元岡山の山陽新聞に10年間掲載されている「おもしろ実験研究所」。これをまとめた本を紹介します(写真3)。



写真1

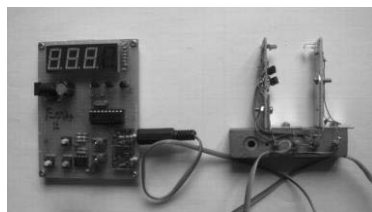


写真2



写真3

(6) 授業関連の資料集

高校物理の授業では、だいたい毎時間、内容に合わせた簡単な実験をしていました。また、関連した資料を配っていました。その資料を展示します。

(7) 授業で使える実験装置をいくつか、展示します。

- ・ピカピカスイッチ 人も電気を通す、という実験。
- ・豆電球50個の直列つなぎ、並列つなぎ
- ・MKS単位系の基本単位セット(1m, 1kg, 1s)

IC を観る

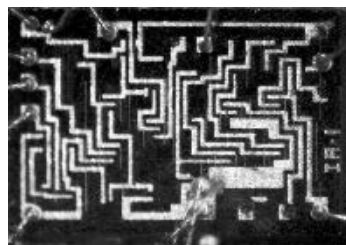
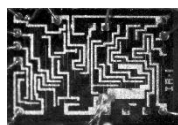
元 慶應義塾高等学校, 喜多 誠

E-mail: makoto.kita@keio.jp

トランジスタが誕生したのが 1947 年、IC が発明されたのが 1958 年。それから 60 年が経過、IC カードはこの世に多く出回っている。その IC そのものを観たいと色々苦心してきた。そのいくつかをここに紹介したい。IC は囲われているか、モールドされているかのどちらかである。①はパッケージの横から切断した。②から④は燃やすことによって、残った IC を取り出した。以下は、それを実体顕微鏡で撮影したものである。この中に複雑な回路が組み込まれていること、そして、その構造美に驚嘆した。下記の 4 点は、左はほぼ原寸大、真ん中がほぼ 10 倍、そして右がほぼ 20 倍のものである。

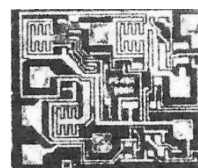
- ① 世界初の IC ラジオの IC(Sony ICR100 全体の回路の中の一部を IC 化したもの) 1967 年

1.5mm × 2.25mm



- ② タイマー IC555 の IC

1.15mm × 1.32mm



- ③ IC カードの IC

(JCB カード有効期限 2013 年 9 月のもの)

2.99mm × 2.03mm



- ④ キャンドル IC (三端子のもの)

1.05mm × 1.00mm



音センサーでピンポン玉の反発係数を測定する

金沢大学附属高等学校, 渡會兼也, 酒井佑士

E-mail watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

通常、小球（ピンポン玉やボール）の反発係数の測定は、ある高さから小球を自由落下させ、落とす前の高さと落とした後に小球がはね返った最高点の高さの比から算出する。高等学校の実験書等を見ると、小球がはね返った後の最高点の高さを目視で測定し、多数回繰り返すことで誤差を減らす工夫がされている[1]。近年はハイスピードカメラの普及により、一昔前よりも簡単かつ精度の良い測定ができる環境になっている[2]。

これまで筆者はカメラを利用した反発係数の測定を授業で行ってきたが、ふと、ボールのはね返る時間を音センサーで測定できれば、気軽に反発係数を求めることができるかもしれない、と考えた。この発想に至ったのは、近年の急速なセンサー機器の普及である。学校現場に導入されているタブレット端末や個人が所有するスマートフォンでも、マイクが内蔵されており、アプリを通じて音波の測定が可能になっている。

本稿では、タブレット端末の音センサーでピンポン玉の反発係数を測定した結果を紹介する。この方法は従来の測定よりも簡易であること、距離の測定が最初の1回で済むこと、などの利点がある。音センサーを利用した反発係数の測定と精度を報告するとともに、ストップウォッチで人間が計測した場合についても紹介する。

2. 原理

反発係数の求め方を述べる。小球をある高さ h_0 [m] から自由落下させる。重力加速度の大きさは g [m/s²]、空気抵抗の影響は無視する。小球を自由落下させたとき、床に衝突する直前の小球の速さを v_0 、床との衝突ではね返った直後の小球の速さを v_1 とする。小球が床との衝突ではね返ってから次の衝突まで力学的エネルギーが保存すると仮定すると、反発係数 e は1回目の衝突後の最高点の高さ h_1 を用いて、

$$e = \frac{v_1}{v_0} = \sqrt{\frac{h_1}{h_0}} \dots (1)$$

となる。この式は一般的な反発係数の測定に使われる式である。

ここで1回目の衝突直後から2回目の衝突までの時間を t_1 とすると、鉛直投げ上げの式から、

$$t_1 = \frac{2v_1}{g} = \frac{2ev_0}{g} = 2e\sqrt{\frac{2h_0}{g}} \dots (2)$$

が得られる。これを e について解けば、

$$e = \frac{t_1}{2} \sqrt{\frac{g}{2h_0}} \dots (3)$$

が得られ、 t_1 と h_0 を測定すれば、反発係数が計算できる。今回は式(3)の時間 t_1 を計測して、反発係数 e を求めることにする。※重力加速度の値は、9.8 m/s² を採用することにする。

3. 実験方法

本校の物理室の教卓とピンポン球（検定球）との反発係数を調べた。以前同じピンポン玉と教卓でハイスピードカメラを利用して求めた際には、 $e=0.915$ が得られている[2]。実験は高さ 8.4 cm の箱を重ねた場所にピンポン玉を置き、水平方向に少し押して落下させる。1 回目の衝突から 2 回目の衝突までの音をセンサーで測定し、(3)式により e を求めた。今回は、①タブレット端末(iPad)の内臓マイクを利用したアプリ(PASCO SPARKvue)、②ストップウォッチ(100 分の 1 秒まで計測可能)を使った。球を落とす高さ h_0 を変え、ピンポン玉が床と衝突した際の音圧レベル(dBC)の時間変化を 10 回ずつ計測した。SPARKvue のサンプリングレートは 1000 Hz とした。衝突時間は iPad 上でグラフをタッチして値を取得した。

4. 結果

右図は反発係数と落下距離の関係である。音センサーとストップウォッチで得られた e の平均値はそれぞれ、 0.897 ± 0.003 , 0.82 ± 0.02 であった。音センサーを利用した測定は今回の高さ程度であれば、ほぼ一定の値が得られることがわかった。

ストップウォッチを使った測定の場合、測定する人の反応速度が不確かさの要因となる。人間が目で認知してから体が反応する時間は典型的には $0.1 \text{ s} \sim 0.2 \text{ s}$ 程度であり、(3)式から e は測定時間に比例するので、 e の不確かさも同じオーダーになる。

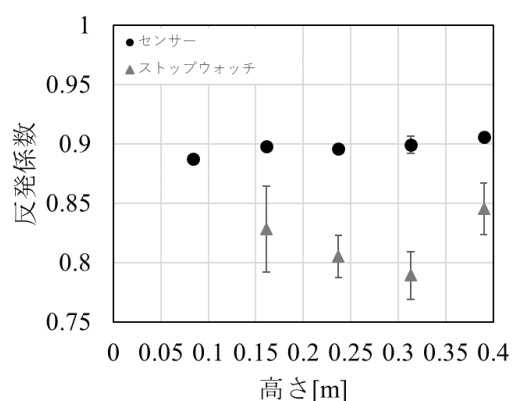


図 落下する高さと反発係数の関係。エラーバーは、標準誤差を表す。音センサーのエラーバーはプロットした点と同程度か、それよりも小さい。

5. 議論・まとめ

音センサーを利用した結果、ハイスピードカメラの映像による測定と同程度の値が得られた。また、10 回データを取得するのにかかる時間は 3 分程度であった。実験が簡単、かつ、スピーディーにできることがこの手法の利点である。

今回紹介した方法は、体育館や屋外でも可能なため、ボール競技における反発係数の見積もりにも利用できる。実際に本校の体育館でバレーボールを高さ $h_0=0.762 \text{ m}$ の机からボールを落下させたところ、反発係数は $e=0.80 \pm 0.01$ 、標準偏差は 0.027 となった。この計測も 5 分程度で終了した。バレーボールやバスケットボールなどのサイズの大きなボールは、視差の影響も大きく、映像による計測が難しい。こういった場合にも今回の方法が有効である。

また、衝突音を 3 回計測すれば、落下距離に依存しない反発係数の測定も可能である。この結果についてはポスターで議論したい。

参考文献

- 1) 『物理実験書』 石川県高等学校教育研究会理化部会編
- 2) 渡會兼也 物理教育 61-1(2013) 2-7.

LED を用いたニュートンリング観察実験のすすめ ～導入から 10 年間の維持管理を中心として～

日大理工¹, 日大短期², 大久保尚紀¹, 伴周一¹, 岡田悟志¹, 杉友隆之¹, 豊田陽己²

E-mail nao@phys.ge.cst.nihon-u.ac.jp

1. はじめに

身近になった LED を大学初年次教育に取り入れる必要性を感じたことから、それまで Na ランプを用いていたニュートンリング観察実験の光源を LED に変更して実験を行った¹⁾。しかしながら、遊動顕微鏡を用いているのは変わらず観察者が限られるなどの問題があり、CCD カメラを用いる実験へと切り替えた²⁾。さらには 3 色切り替え可能な 3 色 LED を用いることで、色（波長）によりリング半径が変わることを瞬時に感じられるようになった³⁾。そして、2009 年に短期大学部で試験導入に成功した結果を報告した⁴⁾。

その後、日本大学理工学部の初年次教育での基礎物理学実験（当時は年間 1,700 人程度が受講）に導入し、8 年間で 12,000 人程度の学生が受講している（班は 2～3 人で形成し 4,000 班以上が実験）。この間に改良した点や、その耐久性についての情報は、実験の導入だけではなく、維持管理計画に関しての有意義な情報であろうかと思い報告する。

2. 装置の概要

現在、学生実験で使用している装置を図 1 に示す。試料台座や CCD 固定台は一体構造となっているが、X-Z ステージに取り付けた LED 光源（EP204K-35RGB を使用）は独立させてある。

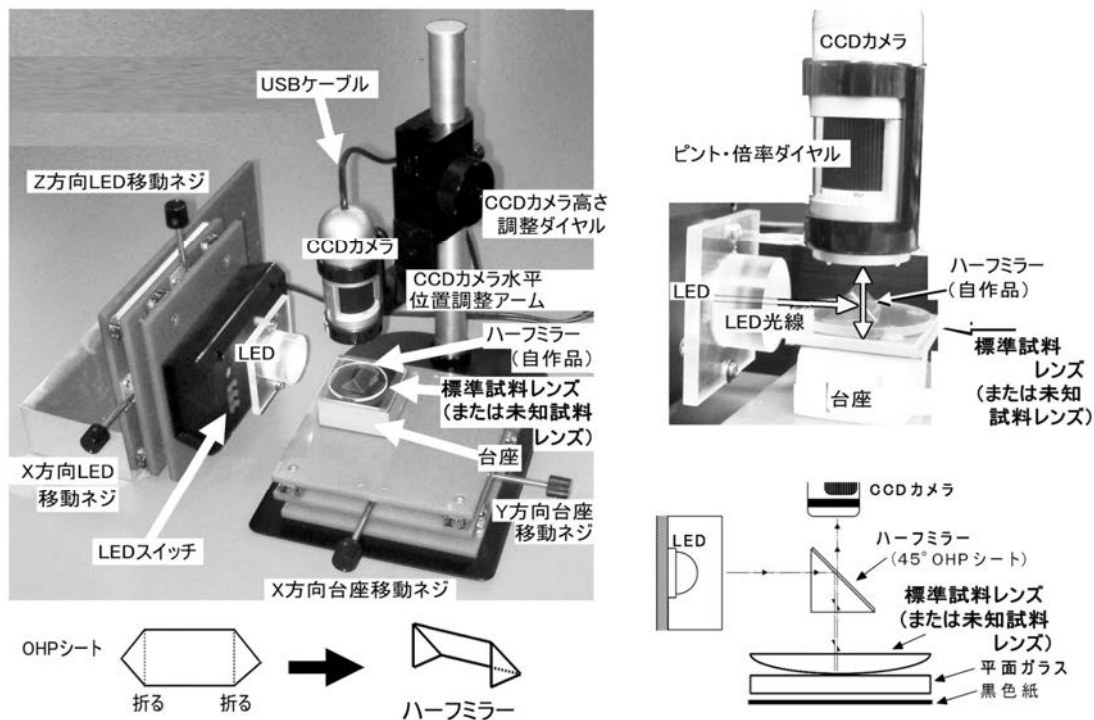


図 1 装置概要図

3. 発生する問題点について

開発当初の装置（前回 2009 年の報告）ではすべてが一体で作成していたが、学生に図 1 にあるようなハーフミラーを自作させると、きっちり 45° にならず、簡易作成の X-Z ステージの調整範囲内では収まらない為に独立とした(2010 年)。

2010 年の導入時に図 1 にあるような CCD カメラ DinoLitePro と高さ調節ダイヤル付きのカメラ固定台を購入（サンコー社製）して使用しているが、上下機構が比較的柔らかい素材を用いたラック・アンド・オピニオン方式である為、摩耗により粘性グリースだけでは支えられなくなる。2011 年には真鍮製の物を専門業者に作らせて順次交換して使用していた。最新の台はねじ溝そのままが移動方向となる方式に変わっており、この問題は無くなったと思われる。

CCD は 2010 年導入後、2014 年に更新、本年 2018 年に更新予定であり、4 年ごとに更新している。本学部では 24 班が一斉に実験できるように用意しており、経年劣化としては、使用頻度の大きい若い番号のテーブルで図 1 のピント調節ダイヤル部分が明らかに重くなってくる。これも回転機構のために中のグリースの劣化などによるものである。そのまま使用をすると過度の力が必要になり、滑りが発生すると倍率メモリと実倍率の間に誤差が生じる。

4. 最後に

上記のような問題があったが、現状で耐久性に一番影響がある CCD の交換タイミングは 4 年で、その間に 2,000 班が受講している。1 装置当たりの使用回数は、2,000 班/24 テーブル = 83 回/装置だが、ほとんどの曜日で 14 テーブル以内であったことから、若い番号のテーブルでは、この倍は使用されている。不具合が 150 回位であると想定するとき、高校での使用では、例えば 1 学年が 8 クラスでは、20 年使用可能である。

曲率半径が既知のレンズではなく、100 円で買った老眼鏡のレンズでも測定が可能で、実際に短大生が同実験装置で測った結果は 120 mm 程度の実験結果が得られている。曲率半径をダイレクトに計測するために Edmund SPHEROMETER No. 53-859 を用いて曲率を求めてみると 114 ~ 127 mm を得ており、実験的に問題が無い。

Na ランプから LED に変更して、干渉が観察できるのか疑問に思う方がいるようだが、3 色 LED として売られている物いくつかについて、スペクトルを計測した結果、 $\Delta\lambda$ は 20 nm 程度であり、コヒーレント長 ($L_c \approx \lambda^2 / \Delta\lambda$) は 10 μm 以上と計算できる。リング 6 本目で光路差は、3 μm 程度であるから十分干渉縞を観察できる。

参考文献

- 1) 大久保尚紀 他：「LED を用いた干渉実験の試み」日本応用物理学会予稿集(2006)
- 2) 豊田陽己 他：「ニュートンリング測定実験における学生の理解度と改善への試み」日本物理学会予稿集(2007 年春の大会)
- 3) 大久保尚紀：「LED を用いた学生実験用ニュートンリング測定装置に関する研究」2009 日本応用物理学会秋の大会予稿集
- 4) 大久保尚紀：「短大初年次実験への新ニュートンリング観察装置導入効果」2010 日本物理教育学会 第 27 回物理教育研究大会予稿集

電束電流の作る磁場にビオ - サバルの法則の適用は適切か

—ヘルツの実験とコンデンサーを流れる電束電流が作る磁場の検出実験を試みて—

東京理科大学 理学部 五十嵐 靖則

igarashi-yasunori@nifty.com

1 はじめに

コンデンサーを流れる電流が作る磁場を求めるのに、ビオ - サバルの法則を適用して電束電流は磁場を作らないとする French 等の論は成立しないことを示す。さらに、ヘルツの実験とコンデンサーを流れる電束電流が作る磁場の検出実験を改めて試みた結果を報告する。

2 問題の所在

「電束電流(変位電流)は電流ではない。」とする主な論者に D. Griffith¹⁾ や A. P. French²⁾ 及び太田³⁾ や兵頭⁴⁾ などがいる。また、彼らの中には、明確に「電束電流(変位電流)は磁場を作らない。」主張する論者は French や太田及び兵頭などである。これまでの論者が電束電流は磁場を作らないとする論の難点は、Biot-Savart の法則の誤った適用にある。コンデンサーを流れる電束電流が作る磁場に Biot-Savart の法則を適用した論者に、石黒⁵⁾、Purcell⁶⁾ 比較的最近では、Griffith¹⁾ などがいる。どこが問題なのかを検討する。

3 Biot-Savart の法則の誤った適用

小林は、その著書⁷⁾ の「§8 静磁場の方程式の解—Biot-Savart 場」で次の様に述べている(pp. 38-43)。

…定常電流分布 $i(xyz)$ がある場合に、全空間についての積分 $X(xyz) = \iiint i(x'y'z') \cdot \text{rot}\{(r-r')/|r-r'|^3\} dv'$ (1.8.5) によって与えられる $X(xyz)$ が静磁場の方程式(1.7.5)(1.7.7)両式を満たすことを確かめた。

[$\text{div} X(xyz) = 0$ (1.7.5), $\text{rot} X(xyz) = 4\pi i(xyz)$ (1.7.7)] …したがって、定常電流分布 $i(xyz)$ がある場合の静磁場は (1.8.5) 式で与えられるとしてよい。ただし、この場合に電流密度の発散がどこでも零であることと、(1.8.4) 式の無限遠での表面積分消えるという条件とが用いられていることを重ねて注意しておく。

$$[\iint_{s(\infty)} \{(r-r')/|r-r'|^3\} (i(x'y'z') \cdot d\sigma') \quad (1.8.4)]$$

Biot-Savart 場 (1.8.5) 式で表されている磁場を Biot-Savart 場と呼ぶ。…しかし、ここで注意しなければならないのは、 $x'y'z'$ 点の周りの体積要素 dv' 内の電流 $i(x'y'z')$ dv' が単独で xyz 点に作る静磁場を ' $dX(xyz)$ ' と書いた場合、' $dX(xyz)$ ' $\neq [i(x'y'z') \times (r-r')]/|r-r'|^3 dv'$ であること。すなわち、この右辺を電流要素 $i(x'y'z') dv'$ が単独で作る磁場であると考えてはならないことである。ここで、(1.8.5) 式の後の注意、すなわち、静磁場が Biot-Savart の表式で与えられるためには、電流分布がどこでも(1.7.2)式を満たしていることと、無限遠での条件とが必要であることを思い出そう。 [$\text{div} i(xyz) = 0$ (1.7.2)]

…定常電流を伝える電線は閉曲線になっているか、或は無限遠から無限遠まで続いていなければならない。

問題の所在ところで述べたように、石黒、Purcell、Griffith、French などは、コンデンサーを流れる電束電流が作る磁場に Biot-Savart の法則を適用して議論し、極板間の電場の変化による変位電流が作る磁場を考慮しなくても、極板間の磁場は電線を流れる実電流の作る磁場で十分であるとし、電場の変化は磁場を作らないので、電束電流を電流と呼ぶとは誤解を誘発するので適切ではない等と述べている。

Purcell は、コンデンサーの充放電は準定常な場合なので、電束電流の作る磁場は小さいので無視できる(電束電流は磁場を作らないとは言っていない。)と論じている。一方、French や太田及び兵頭などは、電場を作るのは電荷のみであり、磁場を作るのは実電流のみであるとし、磁場の変化(電磁誘導)は電場を作っているわけではないし、電場の変化(電束電流)は磁場を作らないと主張している。これらの主張の論拠は、遠隔作用論に基づく電荷や実電流が作る方程式(Biot-Savart の法則やジェフイメコンの式)に基づいた電磁気学理論(電磁場の理論)の誤った理解に基づいている。このことを指摘した菅野の一連の論文⁸⁾ には、電束電流に対する誤解や混乱を正し、物理学の基本的法則を表す基礎方程式の意味を因果関係を説明するものと解するのが物理学的に妥当であるとする優れた見解が述べられている。

4 コンデンサーの極板間に生じる電場の変化による電束電流が作る磁場を検出する実験の試み

(1) 初期に開発した電束電流が作る磁場の検出装置

歴史的には、この実験の最初の試みはホワイトヘッドによってなされた⁹⁾。我が国では、平田によってホワイトヘッドの実験が試みられ、詳細な報告がなされた¹⁰⁾。筆者は、ホワイトヘッドや平田の報告を詳細に分析し、より簡易にして教室で生徒に演示して見せられる装置の開発に取り組んだ経緯がある。その際、平田による実験上の留意点を取り入れるとともに、低周波で、尚且つ空気コンデンサーとし、予想される検出

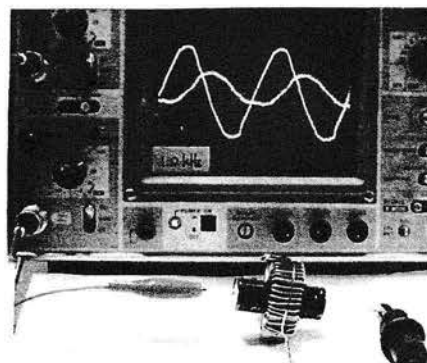
電圧を求め、検出可能な電圧が得られるよう 10^6 倍の増幅度を持つ増幅器 (OP アンプで3段増幅) を自作し、オシロスコープで入力波形と検出波形を観測する方式の実験装置を開発し¹¹⁾、授業で演示して見せた。

それから30年経って、物理教育学会の編集委員会内で、「電束電流は磁場を作らない」という意見が多数を占めていて、横田氏の論文¹²⁾ が却下されたことを知り驚いた。「電束電流は実在し、磁場を作ることは物理学の常識」と考えていた筆者は、何故そのような馬鹿げた議論がなされるのか、今、物理教育学会で議論すべき重要なことはこのようなことではないと考え、議論には意識的に参加しなかった。

その後、学会誌で横田氏の論文を読み、より簡易に、以前に自作した 10^6 倍もの増幅度を持つ増幅器が無くても可能な実験方法・装置を開発し、大学の授業で活用してきた。以下に、その方法を紹介する。

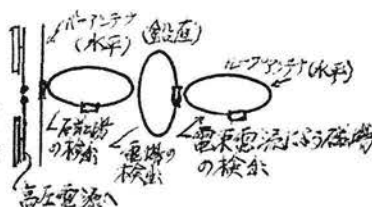
(2) 新しく開発した電束電流が作る磁場の検出装置

1 kHz 前後の 10 mV 程度の正弦波交流電圧を用い、市販の 2,200 μ F (50 V) の電解コンデンサーを用いた。検出コイルは低周波用のフェライトコアに 0.8 mm Φ の導線を 50 回巻いたトロイダルコイルとした。このコイルの中央部にコンデンサーを挿入する方式である。トロイダルコイルで検出した微弱な信号電圧は、同ライナー付自作アンプで増幅 (高調波信号や低周波信号等はカット) し、これを 2 現象シクロスコープの Ch 2 に、コンデンサーに加えた電圧は Ch 1 に接続し両波形を観測する。詳細は省略するが、電線及びコンデンサーをトロイダルコイルでスキャンしても、検出波形の位相と振幅は変化せず、且つ入力電圧の位相と $\pi/2$ の遅れがあることが確認できた (右上写真参照)。



5 ヘルツの実験を試みて

右図の様な装置・配置で実験。放電による電流が作る磁場の検出 (Ne ランプが点灯)。その磁場の変化によって作られる電場の検出 (Ne ランプが点灯)。その電場の変化によって作られる磁場の検出 (Ne ランプが点灯)。磁場の変化が電場を、電場の変化が磁場を作り、交互に電場と磁場が生み出され電磁波として、空間に広がっていく様子が確認できる。この歴史的なヘルツの実験を電束電流は磁場を作らないと主張する論者はどう説明するのか？



6 まとめ

電場を作るのは電荷と磁場の変化であり、磁場を作るのは電流と電場の変化であること。電荷や電流の存在しない真空の空間では、電場は磁場の変化によって作られ、磁場は電場の変化によって作られること。即ち、真空中の電磁場は、磁場や電場が時間的に変化することによって作られ、電場と磁場は相互に作り作られながら電磁波として伝播していく。その際、電磁場のエネルギー密度はポインティングベクトルとして、電磁波とともに空間を移動するとともに、電磁場は運動量を持つ実在として存在していることを確認しておくことは大切なことであると考え。

7 参考文献

- David J Griffiths Introduction to Electrodynamics 4th Ed. 2013 Pearson pp.332-338
- A. P. French Is Maxwell's Displacement Current a Current? American Journal of Physics 38 (2000) pp.274-276
- 太田 浩一 電磁気学の基礎 I シュプリンガー・ジャパン 2007 年 pp.271-276
- 兵頭 俊夫 変位電流は磁場を作るか 物理教育 Vol.60, No.1 (2012) pp.44-51
- 石黒 浩三 電束電流の磁気作用とビオサバールの法則 物理教育 Vol.22, No.4 (1974) pp.10-15
ビオサバールの式に対する電束電流の寄与の考察 物理教育 Vol.23, No.2 (1975) pp.28-32
- Edward M. Purcell Electricity and Magnetism Berkeley Physics Course Vol.2 2nd Ed. McGraw-Hill pp.324-330
- 小林 稔 電気力学 第 I 章 電場と磁場 §8 静磁場の方程式の解—Biot-Savart 場 岩波全書 1977, pp.38-43
- 菅野 礼司 変位電流と磁場の関係について 物理教育 Vol.60, No.1 (2012) pp.32-37
菅野 礼司 変位電流と磁場に関する中村・須藤論文のコメント 物理教育 Vol.61, No.2 (2013) pp.71-75
菅野 礼司 マクスウェル方程式の解釈について 物理教育 Vol.62, No.4 (2014) pp.232-236
- J. B. Whitehead Über den magnetischen Effekt der elektrischen verschiebung Physikalische Zeitschrift 6 (1905) pp.474-480
- 平田 邦男 電束電流のつくる磁場の実験 [I][II][III][完] 科学の実験 Vol.20(1969)No.1, p.94, No.2, p.87, No.3, p.85, No.4, p.86
- 五十嵐 靖則 変位電流検出装置の開発 日本理化学協会 研究紀要 Vol.16 (1984) pp.29-32
変位電流検出装置の開発 物理教育学会物理教育研究大会発表予稿集 1 (1984.8) pp.18-20
- 横田 稔一 コンデンサーを用いた電束電流の測定と教材化 物理教育 Vol.60, No.2 (2012) pp.99-104

アルミニウムの常磁性と炭素の反磁性の簡易実験

香川高等専門学校高松キャンパス 沢田 功

E-mail isawada@t.kagawa-nct.ac.jp

1. アルミニウムの常磁性

小学校と中学校の検定教科書には「アルミニウムは磁石につかない」と記してあるが、高等学校の検定教科書には「アルミニウムは常磁性である」との記述がある。これらをうまく接続できるような実験教材の開発とその3年間の実践報告をする。

体重計や電子てんびんの示す数値はそれらに乗せた物体の重さではなく、物体にかかる垂直抗力の大きさを示す。上から静止している物体を押せば、数値は大きくなり、垂直抗力が増加していることがわかるからである。静止している物体を引き上げようとするれば、数値は小さくなり、垂直抗力は減少する。つまり、状況に応じて、垂直抗力は変化することになる。



左図に示すように、N極S極交互に9つ並べたネオジム磁石（全表面積 9 cm^2 、表面磁束密度は約 0.5 T ）を1円玉の上から徐々に近づけていくと、次第に磁石からの引力が増加する。およそであるが、磁石と1円玉との距離を 0.5 mm に縮めると、電子てんびんの数値は 1.00 g から 0.94 g まで減少する。6%の自重変化を見て、アルミニウム溶接の専門家にはこの簡易実験を評価して頂けた。ポスター会場で実演する予定である。

以下に、3年間の実践記録（土木系の建設環境工学科3年生へのアンケート結果）を示す。

2015年12月 41名中

質問： アルミニウムは 安価な磁石にくっつくと思（ ）。
アルミニウムは高価なネオジム磁石にくっつくと思（ ）。
アルミニウムは もっと強い磁石にくっつくと思（ ）。

わない	わない	わない	う	う	う	わない	う
わない	わない	う	う	う	わない	う	わない
わない	う	う	う	わない	わない	わない	う
15名	6名	7名	11名	1名 注1)	0名	1名 注2)	0名

注1：強すぎたら、何かのせいでつかなくなると思う。

注2：ネオジムは永久磁石、もっと強いのは電磁石、その違いがあるのではと思った。

感想：1) 磁石にくっつかない金属でも実は引っ張られている。2) 1円玉は磁石に引っ張られないと思ったけれど、少しだけ引っ張られていた。3) アルミニウムが磁石に引きつけられていることをどのように測定できるか、実験の方法が興味深かった。

質問：アルミニウムは 弱い磁石（黒板用磁石など）にくっつくと思（ ）。
 アルミニウムは 強い磁石（ネオジム磁石など）にくっつくと思（ ）。
 アルミニウムはもっと強い磁石（研究用電磁石など）にくっつくと思（ ）。

2016年12月 38名中

わない	わない	わない	う	う	う	わない	う
わない	わない	う	う	う	わない	う	わない
わない	う	う	う	わない	わない	わない	う
14名 注3)	8名 注3)	10名	6名	0名	0名	0名	0名

注3：マレーシア政府派遣留学生1名ずつ

2017年12月 40名中

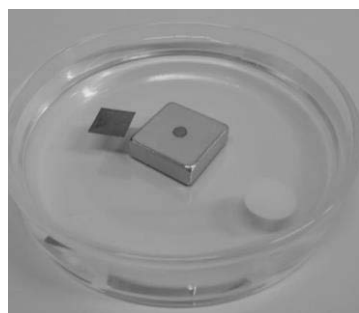
わない	わない	わない	う	う	う	わない	う
わない	わない	う	う	う	わない	う	わない
わない	う	う	う	わない	わない	わない	う
24名 注4)	12名 注4)	3名	1名	0名	0名	0名	0名

注4：モンゴル政府派遣留学生1名ずつ

感想：1) 引力によって1円玉の質量が減少したのは驚いた。2) 1円玉が軽くなったり、炭素が重くなったり、驚いた。3) 常磁性はちゃんと磁石に反応するということがよく分かった。4) アルミニウムが常磁性だということが実験を通して知ることができた。5) 僕も強力な磁石の真下で体重を測れば痩せられるのかしら！6) 実験は目で見えるのも確かによいが、自分でやってみるのがより効果的であった。(注：留学生が代表して、皆の前の教卓で実験をした。)

2. 炭素の反磁性

炭素の反磁性確認も上記のアルミニウムの常磁性確認と同様にでき、例えば、炭素シートが0.27gから0.64gへと増加する。磁石からの斥力(0.37g分)が元々の自重を超えている。つまり、この炭素シートはこのじゅうたん状のネオジム磁石上に浮く。その浮遊感を実験の醍醐味だが、磁石からの斥力による炭素シートの散乱現象の簡易実験を次に示す。



左図のように、シャーレ内にネオジム磁石（表面積 4 cm^2 、表面磁束密度は約 0.4 T ）を1つ置き、磁石が浸るほどに水を張る。そこへ、表面積 1 cm^2 ほどの炭素シートやプラスチックなどを浮かせる。ラザフォードらの金箔による α 線の散乱実験を想起させるような簡易実験をポスター会場で実演する予定である。

脚注 炭素シートは例えば、放熱プレート（3-331-0321 ケニス株式会社）

参考文献 沢田功 大学の物理教育（日本物理学会）18(2012)110-112 22(2016)17-21

専門基礎実験における映像教材の活用

東京高専電子工学科¹，東京高専教育研究技術支援センター第2G²，一戸隆久¹，新田武父²

E-mail ichi@tokyo-ct.ac.jp¹, nittake@tokyo-ct.ac.jp²

1. はじめに

本校では、入学生全員に構成全5学科の基礎的な実験を体験する専門科目「ものづくり基礎工学」(5単位)を実施している。これはどの学科に所属するにしても必要と思われる工学の基礎を体験的に学び、科学技術に関する興味・関心の幅を広げることを目的としている⁽¹⁾。学生の「主体的な学び」につなげるためにも、また学習支援を必要とする学生など多様化する学生一人一人に対応するためにも、実験教材開発と共に教育手法の開発が重要となってきた⁽²⁾。本科目の電子工学分野で実施している実験指導においては映像教材を作成し積極的に活用してきた。本報告ではその授業スタイルについて述べる。

2. 取り組み

電子工学分野の実験テーマとしては次の5テーマを実施している。1) 直流回路の性質， 2) 光エレクトロニクス入門， 3) 電磁力， 4) 電波と通信のしくみ， 5) 増幅の仕組み。これら5テーマのうち「電磁力」については、渦電流を用いた金属板の回転現象の観察，単極モータの製作，ファラデーの法則を用いた LED の点滅実験など実験内容を更新してきた。さらに，教育手法(指導方法)の開発として，パワーポイントによる画像やビデオ映像を用いた実験概要・手順の説明に加えて，書画カメラによるその場中継などを行い，うまく実験できたグループを他グループに見せることにより，学生同士で話し合い・教え合う雰囲気作りに注力した。

3. 結果

平成 26 年度以降の取り組みとして学生が主体的に実験に取り組めるように教育を行ってきた。単極モータの製作実験において完成品のコイルが回転する様子をビデオ映像で初めに学生に見せた。製作手順自体は述べず，電極位置や形状などの工夫点を学生に話し合わせて取り組んでもらった。学生たちは試行錯誤し，失敗の経験を重ねた上で，他のグループの工夫点を聞きながら最終的に全グループが自分たちなりの工夫点を見出した。工夫点を見出す様子は非常に難しく思われたが，授業後のアンケートでは満足感が高い学生も見られた⁽³⁾。授業中，教員は学生目線で解決策の方針と一緒に考えたり，積極的にマイクを向けて工夫点をインタビューしたり，書画カメラで事例紹介したり，学生同士が経験を共有化できるような雰囲気作りをして学生が主体的に取り組めるように配慮した⁽⁴⁾。

これらの取り組みを踏まえて，平成 29 年度からは新たな実験内容として LED 点滅実験を教材開発した。パイプに手巻きしたコイルに LED を取り付け，パイプ中の磁石を振ることで互いに逆向きの LED(赤と緑)を点滅させる内容である。コイル長，巻き数，注意点など手順をパワーポイントで説明した後，製作に取り組んでもらった。コイル完成後の LED 点滅の様子をビデオ映像で見せてイメージさせ，コイルの位置調整，振り方，振る速さなど，自分たちなりの工夫点を見出すよう説明した。コイルを巻くのが面倒と感じる学生も，他のグループで「光った」という声が上がると，自分たちも負けられないという意識が芽生えるようで，集中して取り組む様子が印象的であった。学生はどうしたらうまく

点滅するのかを試行錯誤し、他のグループとも相談しながら全グループが赤色だけでも点滅することを確認している。デジタルオシロスコープの波形観測によると赤色も緑色もインパルス波形が確認されるため、緑色の場合には電流不足のため発光強度が微弱だと推測される。授業時間内では時間の関係で説明だけに留めている。

電子工学科に進級した 2 年次学生に実施した振り返りアンケートから、この実験で感じた印象についての回答(複数回答)で多かったのは Fig. 1 に示したように「興味が湧いた 20%」、「楽しい 25%」、「簡単そうで難しい 25%」、「コイルを巻くのが厄介 18%」であった。また、最も興味を持ったテーマと最も難しかったテーマに「電磁力」を挙げた学生(抜粋)はそれぞれ以下の通りであった。

・「興味を持った」理由：できたときに達成感があった、楽しかった、電流と磁力の相互性が面白かった

・「難しかった」理由：コイルを巻くのが難しかった、大変だった、一番時間がかかった

さらにアンケートで概要説明のビデオ教材があった方が良くと思うテーマを尋ねたところ「電磁力」を挙げた割合は 17%であった。難しかったと感じる学生も少なくないため、製作手順や製作上の注意点について説明したビデオ教材を作成し、事前学習もできるように準備中である。

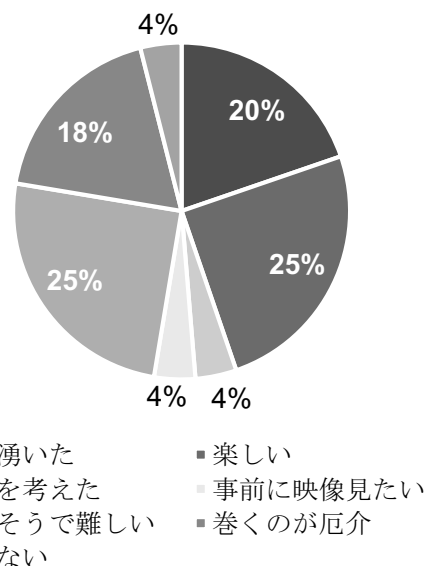


Fig. 1 LED 点滅実験で感じた印象

4. まとめ

専門基礎実験(電子工学分野)における授業内での映像教材の活用事例を紹介した。実験教材の開発とともに教育手法の開発も重要であるため、映像教材を活用し学生一人一人の理解を促す指導法として、ビデオ教材開発も同時に進めていく予定である。

参考文献

- (1) 大塚友彦, 一戸隆久, 加藤格, 福井繁雄, 村田賢俊, 正木進, 平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集 pp. 164-165 (2006 年)
- (2) 一戸隆久, 清水昭博, 新國広幸, 西村亮, 城石英伸, 大塚友彦, 小坂敏文, 工学教育 Vol. 64, No. 4, pp. 53-56 (2016 年)
- (3) 一戸隆久, 大塚友彦, 加藤格, 新田武父, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集 15-a-PA1-30 p. 01-064 (2015 年)
- (4) 一戸 隆久, 大塚 友彦, 加藤 格, 新田 武父, 東京工業高等専門学校研究報告書 第 47 号 pp.40-43 (2016 年)

文系学生に対する物理学講義の試み

久留米工業大学基幹教育センター, 巨海玄道

E-mail geomi@kurume-it.ac.jp

1. はじめに

近年の高度化された科学技術社会において科学リテラシーの涵養は現代人にとって最も必要とされる場所である。そのような視点から物理学の基礎的な側面の学修は大学の初年次学生にとって最も必要とされている。文系に進学した学生にとって物理の学修は中学校以来のものであり、大きな違和感を持って学修することになる。このような場合大学の物理系教員はどう対処すべきであろうか。この対処法は講義する人によってまちまちであり、例えば物理学科の1年生に講義するような教科書を使うものがあれば、初めから数式のオンパレードをやる人もいる。通常この講義を担当する人はその学科の年長者で経験も豊富で・・・という人が選ばれるのが通常である。発表者が選ばれた理由は年長者であることは間違いなかったが、たまたまその会議にいなかったというのが（つまり欠席裁判）最大の原因であった。慣れない中250人の学生を階段教室に集め講義をすることとなった。マイクもなく、暑いので窓を開けて講義をしていたらハトが入ってきて30分近くかけて追い出し、大声をあげての講義で疲労困憊する日が続いた。事務と掛け合い翌年から何とかクラスの学生数を60～70名としてもらいマイクも設置された部屋で講義することとなった。

2. 文系学生に対する講義の例と問題点

以下に発表者が行った文系学生（教育、文学、経済）に対する大まかな講義内容を示す。番号は講義の順序を示し、単位は2単位、週1回の講義で半期15コマの講義であった。教科書は「万人の基礎物理学」[1]を使った。

- (1) 概説・・・物理学とは何か？
- (2) 数学的予備
- (3) 運動学へ入る。速さとは何か？演示実験をやる。記録タイマーを使う。等速運動と加速度の定義をして演示実験をした。
- (4) 前の時間の復習と自由落下。加速度運動の一般式。
- (5) 自由落下演習と投げあげ。力学台車を用いた実験・・・力と加速度の関係を明らかにする。ニュートンの3法則・・・教科書を使う。一般的な運動（終端速度等）を説明する。本の上の羽根の運動。
- (6) ベクトルの初歩。つり合いの問題とモーメント。
- (7) 力のつり合いとモーメントの演習問題。宿題を出した・・・レポート。
- (8) 大根・ソーセージ・きゅうりの実験：モーメントの実験。
- (9) 温度計の原理。熱の問題・・・比熱の演示実験。
- (10) 圧力の説明。大気圧とは何か？卵の実験・・・3班に分ける・・・2班は卵が全部中に

入った。ボイルの法則を簡単に説明。

(11) ボイル・シャルルの法則。卵を食べる牛乳瓶の解題。圧力のアンケート。

(12) 電気抵抗の原理。物質の分類。オームの法則まで。

(13) ジュール熱・・・電熱器を見せる。磁気と磁性体の基礎。電流の磁気作用・・・直線電流とコイルの場合（**演示実験**）。

(14) 前回の復習（簡単に）。電磁誘導・・・磁石は電気を作る。塩ビ管と金属管の実験。渦電流の話。IH調理器・・・コイルで電灯をつけて終わる。

(15) 試験範囲をはっきりと。アンケート実施。

結果として力学7回、熱力学3回、電磁気学4回、というややアンバランスな構成の講義となった。しかし演示実験をやり、その後復習をよくして、物理の原理を教え、最後に演習問題をやって終わると言うのはどのテーマも同じであった。演示実験のテーマは一過性のものではなく、わかり易く、ちゃんと背景に「物理の原理」がある内容を含んだものを選択した。一過性のものはその時は記憶に残るがしばらくすると忘れてしまう。即ちこの講義は受験のためのものではなく学生がこれから生きて行くための実生活の中で役に立つ社会人基礎力の一環としての物理の学修を目的とした。アクティブラーニングの要素も取り入れようとしたが基礎知識が殆どない状態では議論そのものが成り立たないようであった。

3. まとめと今後の課題

本講義は基本的に「目で現象を見てそれを旨くまとめて数式化し、簡単な計算をしながら物理現象を理解する」という原則の基、数年の蓄積を基に出てきた講義方法である。少なくとも中学校までの理科の知識を基に講義を構成していった。このため数年かけてアルバイトの学生を使いながら小学校と中学校の理科の中で物理分野の授業はどのようにして行われているかを徹底的に調べた。中学校までは殆ど数式を使わないが本講義ではもう少し上をめざし、簡単な数式は使えるところまで指導した。要はこれからの日常生活の中で出てくると期待される物理の知識を確実に身に付けることを目的とするため5感を使った演示実験をしながらデータの解析などから簡単は数値の取り扱いを行い結果として物理の公式の習得へと持って行った。例えば圧力の概念の導入など(10)の講義で行ったが日常生活で常に出てくるゆで卵と牛乳瓶を使った為学生は全く違和感を覚えず、更に牛乳瓶にゆで卵が勢いよく入っていく現象を目の当たりにして大きな驚きをもっていた。このような感動とその後の気体の状態方程式を使った解説などから学生は物理現象を時間していたようであった[2]。最後の時間のアンケートや試験の回答結果などを見ると基礎的な知識は身に着いたものと考えられる。

参考文献

[1]巨海玄道ら、万人の基礎物理学、学術図書出版社第2刷り、(2015)

[2]巨海玄道ら、“身近な素材を用いた圧力の教授法の試み”、理科教育学会九州支部講演会、平成28年5月、宮崎

認知発達を意識した高校物理授業の必要性和その効果

京都市立紫野高等学校¹, 京都教育大学² 山下 哲¹, 谷口 和成²

E-mail: haz34840@wood.odn.ne.jp¹, guchi@kyokyo-u.ac.jp²

1. はじめに 高校の物理学習における認知発達の影響

高等学校の物理の学習は比較的身近な現象を定量的に表現し、これを操作することで物理現象の理解を深める形態を取っている。物理の学習においては、これらの量的な表現に関連した変数の取り扱いや比例的な操作は学習の前提とされているが、この操作に習熟していない場合、物理の学習の困難性が際立つこととなる。1980年代の英国の調査において、理科のカリキュラムが前提としている形式的操作と呼ばれる上述の操作に関して、小・中学生の多くが、それが可能な段階に達していないことが明らかとなった。この調査を受けて、英国ではピアジェの提唱する具体的操作期から形式的操作期へと、科学教育を通して児童・生徒の認知発達を加速させるプログラム「CASE (Cognitive Acceleration through Science Education)」が開発され、このプログラムによって児童・生徒の認知発達が促され、科学的推論能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[1]。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[2]。そこで本研究は、認知的な発達段階が高等学校の物理の学習に及ぼす影響に着目し、これを考慮した学習活動を展開することで、認知発達を促しつつ、物理の深い理解を獲得させることをねらいとした。さらに、実践した一連の活動が生徒の学習観に及ぼす影響についても調べた。

2. 認知発達を意識した取組と効果

講演者は2015年度より2017年度まで、高校2,3年生に対して理科の授業の中で継続的にCASEを実施してきた。加えてCASE実施クラスに対しては、CASEのみでなく、「物理基礎」と「物理」の授業の中で、具体的準備・社会的構成・認知的葛藤・ブリッジング・メタ認知といったCASEの授業構成の柱を通常授業にも取り入れた「CASE的な物理の授業」も同時に行った[3]。本取組の効果の検証として実施した「科学推論課題 task II (SRTs II)」による発達段階、およびFCIによる力学概念調査の調査結果を表1に示す。まず、各クラスともその発達段階が伸長していることが分かる。また、力学概念調査(FCI)の結果、特にクラスCにおいてその伸びが顕著であり、2年次に「物理基礎」の学習を始める段階では、過半数の生徒が具体的操作期にとどまっていたことを考慮すると、生徒の発達段階を踏まえた授業を行うことで物理の概念理解が大きく進むことが示唆される。

同時に、生徒の学習観および学習方略への影響について、総合動機づけ診断[4]と個別インタビューによって調査した。総合動機づけ診断からは、学習時の「感情的要因」と「社会的環境」の下位尺度の顕著な上昇が見られた。生徒に対する個別インタビューからも、これら認知的な発達段階の伸長や物理における学習観の変容や学習方略の獲得に対応するコメント、特にCASEの授業構成の柱のうち「認知的葛藤」「社会的構成」に関連した活動に起因すると思われるコメントが多数得られたことから、学習姿勢の改善に効果があると考えられる。これらのことは、認知発達は学習内容の理解のみでなく、学習の動機づけにまで強く影響を及ぼしていることを示唆している。

表 1. CASE 実施クラスの発達段階と力学概念調査の変化

	クラス (人数)	実施授業	実施回数 (全 30 回中)	SRT II 素点変化 (15 点満点)	FCI 素点変化 (30 点満点)
2015 年度	2 年クラス A (21 名)	物理基礎 物理	13 回まで		
	2 年クラス B (15 名)	物理基礎	11 回まで		
2016 年度	2 年クラス C (16 名)	物理基礎 物理	12 回まで	8.56→10.69	7.2→12.06
	3 年クラス A (20 名)	物理 地学基礎	25 回まで	9.45→12.45	11.47→13.47
	3 年クラス B (14 名)	地学基礎	23 回まで	9.36→13.29	
2017 年度	3 年クラス C (16 名)	物理 地学基礎	24 回まで	10.69→13.19	12.06→17.13

3. 認知発達の観点を高校の物理授業に導入するにあたって

以上のように、認知的な発達段階を考慮した授業の取組は、高等学校の物理の学習に対して、学習観の面からも理解度の面からも有効であることを示唆する結果を得た。そこで、この取組を実施するにあたって留意している事柄について以下に述べる。本研究の実施校のように、3 年次の「物理」で扱うようなある程度複雑かつ抽象的な概念を定量的に表現・操作することに課題を感じる生徒が一定数いる場合、学習内容の根幹となる部分が CASE で発達を促す推論形式（シエマ）の延長線にくるように授業設計をする必要がある。そこで本研究では、過去の定期テストの誤答分析を行い、学習内容に関して生徒の多くが持つ素朴概念を特定し、生徒間の共同作業形式の取組を行うことによって素朴概念の解消をはかってから、CASE で発達を促したシエマを使用して各単元の授業を行っている。つまり、認知発達を考慮して授業を行うことは、「生徒が学習のどの段階でつまづいているのか」を教員が把握し、これをシエマのレベルから支援することで、より多くの生徒に物理の学習を実質化させるものであることを強調したい。

本研究は、JSPS 科研費基盤研究 (C) 研究課題「認知科学的アプローチにより問題解決能力を育む高校物理カリキュラムの開発」(15K00975)，および京都鴨沂会の助成を受けて行っている。

参 考 文 献

- [1] P. Adey, M. Shayer, C. Yates, “Thinking Science”, 2001.
- [2] 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.
- [3] 山下哲, 谷口和成, “認知的な発達段階を考慮した高校物理授業の必要性とその効果”, 日本物理学会第 73 回年次大会講演概要集, 24pK510-10(2018).
- [4] 中西良文, 伊田勝憲, “総合的動機づけ診断に関する探索的研究”, 三重大大学教育学部研究紀要 57 巻, 93-100(2006).

p-prims の活用事例

一手回し発電機の手応えについての実践と研究を文脈として一

福井大学大学院教育学研究科¹, 福井大学大学院², 山田吉英^{1a}, 小林和雄^{1b}, 山本修平², 井川悠司²

E-mail yamada.heart@gmail.com^{1a}, kobaykk@u-fukui.ac.jp^{1b}

1. はじめに

筆者らの研究グループは diSessa が提唱した p-prims を用いた概念変容研究を行っている。p-prims はレディッシュ『科学をどう教えるか』でも紹介され (p. 43) その重要性が主張されているが、教育研究や実践への活用は未だ発展途上である。筆者らも効果的な活用の方法については未だ手探りの状態であるが、p-prims についての知識の普及と、相互に深い理解を得るための議論を期待し、多くの方との意見交換をお願いしたい。

2. p-prims に関する基本文献

p-prims の初期の提唱論文として diSessa (1983) がある。これを物理学の認識論として本格的に展開したものが diSessa (1993) で、附録には p-prims のリストが掲載されている。Smith et al. (1993) は構成主義学習論を踏まえ、科学的概念-誤概念、熟達者-初学者、形式-具体の二分法を批判し、両者を連続的に扱う p-prims 論の優位性を主張する。Hammer (1996a, b) は誤概念描像と p-prims 描像を自身の教育実践事例に適用し、教師が学生の推論を解釈する際に起こり得る差異を具体的に示した。Redish (2004) は p-prims 論に Hammer (2000) や Elby との学習期待観に関する研究を加え、また神経科学のメタファーを用いて resource framework として拡張した。Hammer et al. (2005) は resource framework の応用として学習の転移現象を説明している。

日本語の文献には以下のものがある。佐伯 (1995) は教育学の分野で広く読まれた書籍である。物理教育学会誌では新田 (2012) が p-prims 論ほか素朴概念の分類方法を紹介してくれている。教育心理学者による p-prims 論の研究として村山 (2011, 2013, 2015) があり、p-prims 論の理解を助けてくれる。ソーヤー『学習科学ハンドブック』には diSessa による概念変容研究史の章が収められている (2018 年 7 月に第 2 版の翻訳-3 分冊の第 1 巻に所収-が出版)。

3. 筆者らの実践と研究の文脈

筆者らの p-prims に関する実践と研究は、平成 21 年度大学入試センター試験で出題された一手回し発電機の手応えを学習と教育の文脈として扱っている。この問題は a: 豆電球を接続、b: リード線どうしを接続、c: 不導体の棒を接続、の 3 つの場合について、一手回し発電機のハンドルを回す手応えの重さをランキングさせるものであり、評価委員会報告書によれば正答率 7.58% という値を示した。筆者らは 2016 年よりこの問題と学習者のインタラクションについて調査を開始したが、2 年目の 2017 年から p-prims の概念を導入した。教育研究の実践者としての筆者らの実感として「p-prims の導入によって学習者の推論の分析と指導の手立てが増えた」。すなわち誤概念よりきめの細かい単位で学習者の推論を分析・解釈するため、既存の (既知の) 誤概念に該当しない推論も解釈、意味理解することが可能であり、また指導の手立てとして学習者の推論の言語化・概念化を促したり、彼らの (科学的には誤った) 推論の中に科学的推論との共通要素を見出し、価値づけたりするような働きかけが可能となった。(本大会、山本による

口頭発表「概念変容研究における p-prims 活用の検討」で具体的な実践事例を示したい。）

4. 手回し発電機の手応えの文脈に関与すると思われる p-prims

筆者らの実践と研究において作業仮説的に構成された p-prims について、以下の表にまとめた。具体的な事例など、詳しくはポスター発表の際に紹介させていただきたい。

p-prims	diSessa(1993)による規定	我々の解釈と経験的な関連事項および推測
Ohm	エージェントや因果的運動力が抵抗や干渉を経て作用し成果が生じる。「努力や運動力の強さを増せばより多くの成果が得られる」や「抵抗が増せば成果が減じる」というような一連の比例的な関係を刺激し正当化する。この両効果は補償し合うことができる。例えば、努力の増加と抵抗の増加が合わさると成果が元のままに保たれ得る。	・オームの法則ないし電気抵抗の定義式 $V=IR$ のような関数関係を定性的に理解し利用する上で重要な感覚。このような感覚自体は幼児期までには通常備わっているようだが、その感覚を、眼の前の物理現象を記述する適切な法則で用いられる系と変数に対して適用することは自明ではない。 ・抵抗値を一定にした場合の電圧と電流の比例関係は比較的容易に理解されるが、電圧を一定にした場合の電流と抵抗の反比例関係の理解は多くの学習者にとって必ずしも容易ではなく、「電流と抵抗は比例する」に相当する回答がしばしば観察される。 ・電圧を原因に、電流を結果にマッピングするような指導は一定の効果を示すが、電気工学者の書いた本にはそのような因果的な説明を明示的に否定するものもある。
Working Harder	より多くの努力がなされたり、必要であると考えられたりすると、そのことはより多くの抵抗を補償するためであるかのごとく解釈され得る。	・Ohm の p-prim と両立、整合し得る。$V=IR$ において I を一定に保つ場合の R と V の比例関係を感覚的に把握する際には妥当な見方だろう。 ・手回し発電機の文脈においては、$P=IV$ で仕事率 P はモーターを流れる電流 I に比例する。そのメカニズムの理解には、モーターの電流に対する挙動か、モーター内部の磁力に着目する必要があるだろうが、さしあたり現象論的に結果を受け入れやすくする方便として、抵抗 R でなく電流 I を Ohm の p-prim における“抵抗”に割り振るような誘導や説明が可能かもしれない。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費基盤研究(C)研究課題「小中高一貫型探究物理カリキュラムの開発」(16K01033)の助成を受けて行っている。

参考文献

- diSessa, A. A. (1988) Knowledge in Pieces. In Forman, G. & Putfall, P. ed, *Constructivism in the Computer Age*, New Jersey: Lawrence Erlbaum Publishers.
- diSessa, A. A. (1993) Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105-225.
- diSessa, A. A. (2006) (寺本貴啓訳 2009)「概念変容研究の歴史―道筋と断層―」ソーヤー『学習科学ハンドブック』 培風館.
- Hammer, D. (1996a) More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64(10), 1316-1325.
- Hammer, D. (1996b) Misconceptions of p-prims: How may alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions? *Journal of the Learning Science*, 5, 97-127.
- Hammer, D. (2000) Student resources for learning introductory physics. *American Journal of Physics, Supplement*, 68(7), S52-S59.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E. & Redish, E. F. (2005) Resource, Framing, and Transfer. In J. Mestre (Ed.), *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective*, Greenwich, CT: Information Age Publishing, 89-120.
- 村山功(2011)「概念変化についての諸理論」心理学評論, 54(3), 218-231.
- 村山功(2013)「断片的知識論とその教授活動への示唆」教科開発学論集, 1, 55-64.
- 村山功(2015)「概念変化研究からみた教育課程編成の課題―理科教育の事例検討―」静岡大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, 23, 133-140.
- 新田英雄(2012)「素朴概念の分類」物理教育, 60, 17-22.
- Redish, E. F. (2004) A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. In E. Redish & M. Vicentini (Eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*. Bologna: Italian Physical Society, 1-64.
- 佐伯胖 (1995)「「学び」をどう学ぶか」佐伯・藤田・佐藤『学びへの誘い』
- Smith, J. P. III, diSessa, A. A. & Roschelle, J. (1993) Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163.

CLASS(Colorado Learning Attitudes about Science Survey)による 学習姿勢の調査と因子分析

東京学芸大学 江藤開, 新田英雄

E-mail iakote0113@gmail.com

1. はじめに

物理教育実践をする際、まず目標に挙がるのは生徒に物理の内容を理解させることであろう。しかし、それと同等以上に重要なのが、学習を通して自然界の現象について物理的に一貫性のある考えをするような態度を身に付けさせる事である。ところが、物理を学べば学ぶほど物理に苦手意識を持つ生徒が出てくるように、学習量と学習態度は必ずしも対応しない。

こうした生徒の学習理解と学習態度を定量的に評価するために、物理教育研究では研究に基づいた授業評価がなされる。特に学習理解については FCI (Force Concept Inventory) などの概念理解度調査が我が国でも広く用いられている。一方、学習姿勢については定量的な研究があまり進んでいない。そこで本研究では、米国で開発された CLASS (Colorado Learning Attitudes about Science Survey) [1]の和訳版[2]を用い、複数の高校で学習姿勢を定量的に評価した。今回は CLASS スコアと因子分析について、学校間および米国のデータと比較した結果について報告する。

2. CLASS とは

CLASS 以前にも MPEX[3]など物理の学習態度を測定する調査は開発されていたが、質問が学生にとって理解できない専門用語で記述されていることや、面談を伴うなど、改良すべき点があった。CLASS は図 1 のような簡潔な言葉で記述された 42 の質問項目から成っており、生徒はそれに対してリッカート尺度で回答する。質問項目は物理学習に関するもので、学生の回答が物理の専門家寄りか否かでスコアリングする。

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">4. 問題をできるだけ多く解くことが、私にとっては効果的な物理の学習方法です。5. 物理で、あるテーマを学習して分かったと思っても、同じテーマの問題を解くのに苦労します。6. 物理学は、多くの関連性のない内容が集まってできています。 |
|--|

表 1 CLASS 和訳版の質問項目の一部

スコアについて製作者は 8 つのカテゴリを提案しており、図 2 はそれを元に日米のスコアをグラフにしたものである。誤差棒は標準誤差を示している。米のスコアはコロラド大での微積分ベースかつ、伝統的な講義スタイルを採った入門物理カリキュラムの結果である (n=397) [1]。日本でのスコアは国立大学附属高等学校および附属国際中等教育学校における高校 2 年生のものである (n=440)。高校物理基礎の力学分野における調査であるが、グラフの概形など米大学生と類似する点も見られる。一方で、授業前後での推移など全く異なるふるまいもあり、何がこのようなスコアの違いを生み出しているのかを分析していく必要がある。これとは別に、伝統的講義・相互作用型講義問わず、授業前より授業後のスコアが下がるという報告が多くされており、学習態度が向上するような要素を探ることも課題である。

発表では高等学校の結果を中心に、日米国際比較および日本の学校間での比較について詳細を報告する。

3. CLASS の因子分析

CLASS は設計段階から探索的因子分析及び確認的因子分析を用いて、42 の設問から得られる学習態度に関するスコアを8つのカテゴリに分類している。それに対し、Douglas らは CLASS スコアを再度因子分析し、設問を 15+2 間に絞り、3 つのカテゴリで構成された RCLASS を提案している[4]。

我々は、日本における CLASS の構成概念を知る為に、日本の高等学校の調査スコアに対し、独自に因子分析を行った。その結果、CLASS 設計者が想定

しているものとは異なる因子が抽出された。ただし、ここにおける日本の CLASS スコアは国立大学附属高等学校および附属国際中等教育学校における高校 2 年生の事前スコア (n=440) のみを用いている。CLASS・RCLASS・本研究の独自因子は表 1 に示してある通りである。

	CLASS	RCLASS(n=1918)
現実世界とのつながり	28 30 35 37	3 14 25 28 30 37
個人的な興味	3 11 14 25 28 30	
意味を考える努力	11 23 24 32 36 39 42	23 24 29 32
概念的な繋がり	1 5 6 13 21 32	
概念理解の応用	1 5 6 8 21 22 40	
問題解決一般	13 15 16 25 26 34 40 42	5 21 22 34 40
問題解決の自信	15 16 34 40	
問題解決の洗練度	5 21 22 25 34 40	

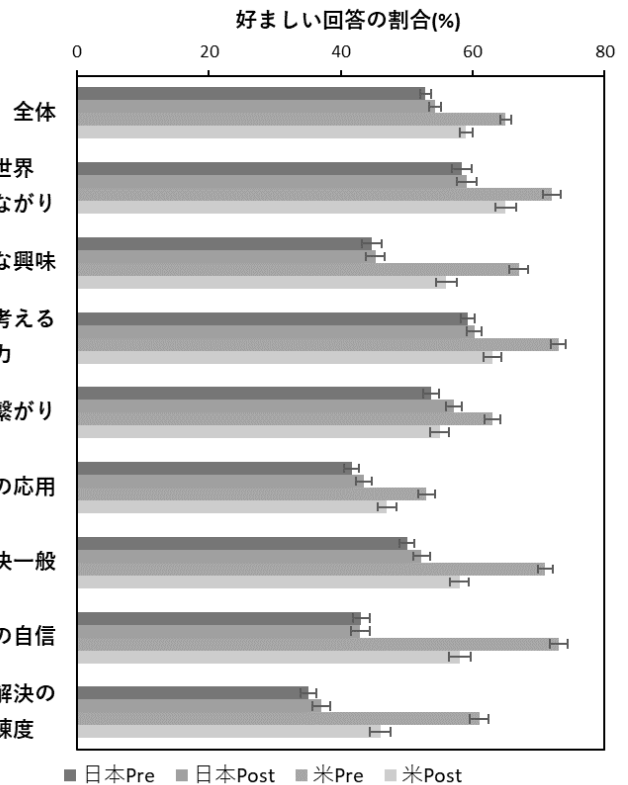


表 2 日米における CLASS スコア

	本研究(n=440)
第1因子	1 3 5 6 11 12 14 25 28 30 32 34 35 36 15 16 19 20 21 22 24 37 38 39 40 42
第2因子	8 14 17 21 26 30
第3因子	29 32 35
第4因子	34

表 1 CLASS の因子分析結果。
枠内の数字は設問番号

発表では日米の因子の比較と、日本の独自因子に関する解釈を報告する。また、附属高校以外の学校を交えた学校ごとの因子比較も行う

参考文献

- [1] W. Adams, *et al.*, Phys. Rev. ST Phys. Edu. Res. **2**, 010101 (2006).
- [2] CLASS 和訳版, <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?I=3&A=CLASS>
- [3] E. F. Redish, *et al.*, Am. J. Phys. **66**, 212 (1998).
- [4] K. A. Douglas, *et al.*, Phys. Rev. ST Phys. Edu. Res. **10**, 020128 (2014).

CLASS(The Colorado Learning Attitudes about Science Survey)を用いた 高校生、大学生の物理学習姿勢調査

広島大学大学院総合科学研究科 宗尻修治, 永井あかり, 加賀栄子

E-mail munejiri@hiroshima-u.ac.jp

1. はじめに

物理学の習得には、学習者の学習姿勢が影響するのではないかと考えられ、学習姿勢に関する研究が行われている。学習姿勢を定量的に測定する方法として、The Colorado Learning Attitudes about Science Survey (CLASS) [1] がある。CLASS は、物理に対する考え方や学習態度に関する 42 の設問に対し、学生自身が同意するか否かを 5 段階で回答する調査方法であり、物理学者らの同意により得られた「専門家的な回答」に一致する回答の割合を得点として算出する。各質問項目は「個人的な興味関心」、「現実世界とのつながり」、「概念理解の応用」など 8 つのカテゴリーにより構成されており、学習者の物理に対する認識を様々な側面から定量的に測定することができる。

最近、学習姿勢と学びの関係を、学習者が事前に持っている知識（これが高いほど学習効果が高いことが知られている）の影響と分離して調べられており、その結果、学習姿勢そのものが学習効果と確かに関係していることが報告されている[2]。

我々は CLASS を用いた研究を始めるにあたり、まず CLASS がどの程度学習者の専攻や学年の違いを特徴づけることができるのかを調べた。次に、力学概念理解調査 (FCI) を CLASS とともにを行い、それらの相関を調べた。

2. 調査対象と方法

調査は日本語版 CLASS[3]を用いて行った。2016 年度は、A 大学において入門物理学を履修する、物理を専門としない理系学部 I（電気系）($N = 75$)、II（化学系）($N = 53$)、III（建築系）($N = 80$)、IV（教育系）($N = 13$)、V（総合系）($N = 15$)の一年生、および、物理学専攻の二年生を対象とした。調査は授業時間中に質問紙を配り 10 分間で回答させた。この授業は I, II, III の学生にとっては必修である。一方、IV, V の学生は自由選択科目として履修している。さらに 2017 年度、2018 年度には、III($N = 87$)、IV・V($N = 93$)、さらに B 高校の 3 年生($N = 68$)について CLASS とともに FCI[4]調査を行った。

3. 結果

図 1 は、2016 年度に行った学部別の結果である。縦軸は CLASS 全体で専門家と同様な回答 (Favorable) の割合を示す。統計的に評価した結果、必修科目として履修している I, II, III 学部は自主的に物理学を選んで履修している IV, V より低いこと、また、化学専攻の II が他より低いことなどが有意な差として現れた。これらの特徴は、調査なしでも予想されたことかもしれないが、CLASS を用いることで、定量的にその差を見ることができた。次に、CLASS と FCI の相関を調べた。図 2 は、CLASS と FCI の両方を調査した高校生、III（必修科目）、IV, V（自由

選択科目) の各グループの CLASS および FCI の平均値を求め、その関係を示したものである。CLASS の得点と FCI の得点に相関がありそうである。これまでにこのような学習姿勢と力学概念理解の関係に関する報告は、国内においてもなされており[5,6,7,8]、それらのデータを合わせることで、学習姿勢と学習効果についてより確かな知見が得られることが期待される。CLASS のカテゴリ別の分析や、期末試験との関係など、さらに詳しい分析は当日発表する予定である。

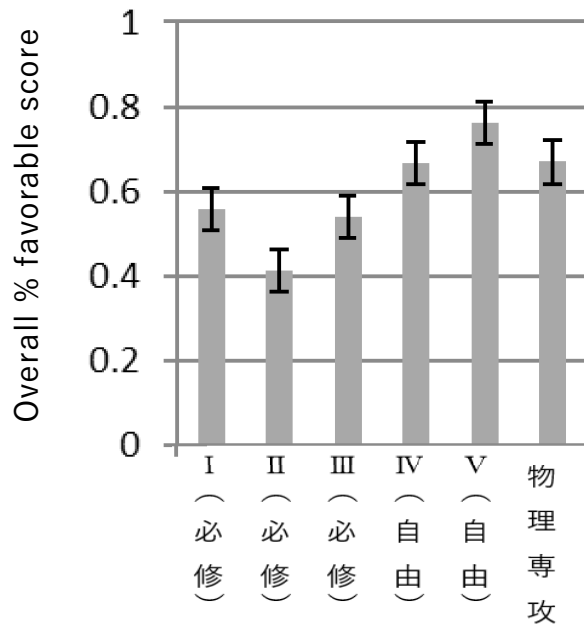


図 1

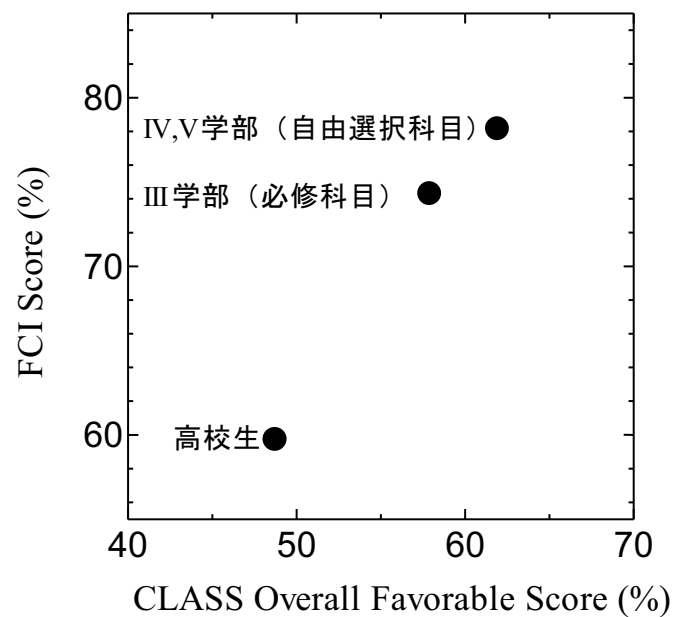


図 2

参考文献

- [1] W. K. Adams et al, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **2**, 010101 (2006)
- [2] M. J. Cahill et al, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. **14**, 010107 (2018)
- [3] Michi Ishimoto and Hideo Nitta, <https://www.physport.org/>
- [4] 石本美智, 植松晴子, 塚本浩司, 新田英雄, 覧具博義「力と運動についての概念調査」日本語第 2 版
- [5] 磯部和宏, 奥山達生, 第 31 回物理教育研究大会発表予稿集 p.33 (2014)
- [6] 金森大和, 新田英雄, 松本益明, 石本美智 日本物理学会 第 71 回年次大会 (2016 年) 22aBB-8
- [7] 中村正人, 右近修治, 長田 剛, 岸澤真一, 鈴木 邦夫, 新田 英雄, 長谷川大和, 宮崎幸一, 山本 明利 日本物理学会 2016 年秋季大会 14aKB-7
- [8] 右近修治, 東京都市大学共通教育部紀要, Vol. 10, 80 (2017)

生徒実験とレポートを能動的な授業につなげる

慶應義塾志木高等学校 山田達之輔

yamada@shiki.keio.ac.jp

1. 生徒実験とレポートを重視した教育

筆者が勤務する高校は大学までの一貫教育の中に位置している。物理のカリキュラムとしては1学年で必修科目として物理基礎（2単位）を学習する。学年の4割近い生徒は2年・3年でそれぞれ2単位合計4単位の物理を理科の必修選択科目として学んでいる。これらの生徒の中で医学，理工学部に進学する生徒は半数以下に過ぎない。従ってリベラルアーツの一環として物理教育を位置付けておりこの観点から実験を重視している。実験においては演示実験も重視するが、それ以上に生徒実験を重視している。2, 3名の生徒が1組となって年間4～5テーマの実験を実験を行い実験レポートも提出する。

2. 生徒実験とレポートを能動的な授業につなげる

実験レポートのメリットとしては以下のことが挙げられる。

- 生徒にとっては授業時間外の学習が促進される。学んだ内容を振り返ることにもつながる。生徒が物理概念を法則への理解を自ら構築し深めるという主体的な学びにつながる。
- 教員にとっては評価の観点を多段階的で多様な観点で行うことができる。また生徒のレポートを読むことによって生徒の理解の仕方や誤った理解を知ることができる。実験を体験することが正確な理解に直結しないことは生徒のレポートから知ることができる。実験を体験させ、生徒の実験レポートを読むことは物理現象や概念についての生徒の理解の実態を知る貴重な手がかりになる。
- 大学生に欠如している論証型レポートを書く力を高校の段階から養成することができる。

筆者は生徒の書いたレポートを授業に生かして活発で対話的な授業と能動的な学び（＝アクティブラーニング）につなげていく手法を模索してきた。具体的な例のひとつとしては生徒がレポートを互いに読みあって評価する（ピアレビュー）といった手法である。生徒が熱心に取り組んだレポートをベースに授業を行うことは予想以上に活発な授業，主体的な学びにつながるのである。こうした手法について紹介するとともに生徒実験とレポートを効果的に実践する上での問題点についても報告する予定である。

「課題研究」における課題設定の指導に関する実践の報告 その2

—全生徒に課題設定指導を行う方法とその効果—

香川県立観音寺第一高等学校 乃口哲朗

E-mail nt8765@kagawa-edu.jp

限られた単位数の中で全生徒に課題設定指導を行う方法

「抱いた疑問を課題に設定するプロセス」を全生徒に体験させ、その中から教員が「課題研究で取り組むのに相応しい課題を選ぶ」ことにより、生徒に疑問から学ぶ体験を充実させ、その中から出てきた課題に取り組むことによりモチベーションを保ちつつ、どのグループも少なくともある水準まで探究を深められるようにする方法である（図1）。本年度より実践している。各 Step の概要を記す。

●Step I 生徒は「課題」、「動機・目的・先行研究調査」、「研究方法」を書き、教員が「何を明らかにしたいのか」、「どのように探究するのか」などについての不十分な個所の指摘、調べておくべき関連事項などの示唆などにより添削を行い、生徒に返却する。これらを繰り返し、清書する。

●Step II 提出されたワークシートの中から実行する8つのテーマを指導にあたる教員が選ぶ。

●Step III 選考された8題の清書を掲示し、どの課題に取り組みたいかの希望調査を行う。

●Step IV 希望調査をもとにグループ編制を行う。

限られた単位数の中で全生徒に課題設定指導を行う方法

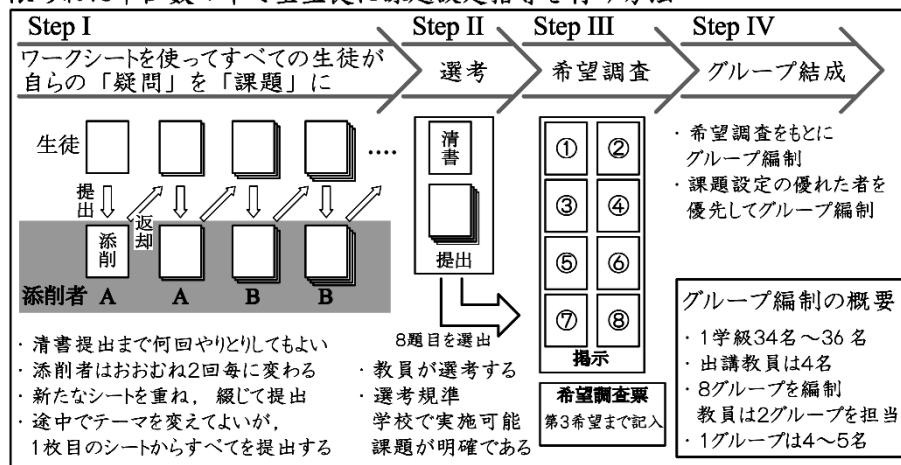


図1 限られた単位数の中で全生徒に課題設定指導を行う方法

実践して見えてきたもの

・探究テーマ発表会での生徒からの質問内容及び応答の変化

探究テーマ発表会において、昨年度と比べて生徒から発せられる質問数が大幅に増え、また、その場で議論が始まるなど、質疑応答の内容も深くなった。この変化は、課題設定ワークシートを用いた課題の設定に関する指導の効果の現れであると考えられる。

・テーマ発表会の段階での研究計画の完成度の向上

研究計画がより具体的になりどの範囲までを研究対象としているかを限定できているグループや、先行研究の調査を行えているグループも現れた。

今後の注目点

- ・研究が本格化する2学期からの生徒の取り組み状況の変容
- ・必要となる助言・指導の性質や、探究の深まりの変化

当日は、ワークシートなどの提示も行う予定である。

距離センサと力センサを内蔵！
ワイヤレスでデータ送信できる力学台車

スマートカート

ME-1240/1241 各 ¥42,000 +税

★シンプル設計

スマートカートとPCやタブレット・スマートフォンまたはSPARKElementがあれば計測ができます。BluetoothでもUSBでも接続できます。

★距離・速度・加速度や力など同時計測が可能

距離の計測では雑音が少なく、Bluetoothでデータを送信するため測定する場所を選びません。また、距離・速度・加速度・力などが同時に計測されるので、距離を横軸にして表示させることも可能です。この他に加速度センサとジャイロセンサを搭載しています。



ME-1240 (赤)

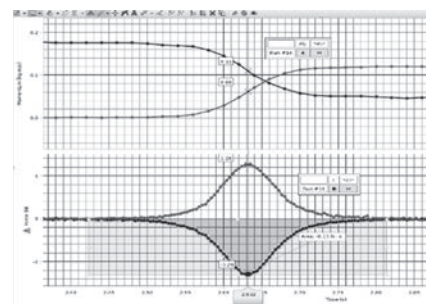


ME-1241 (青)

ワイヤレス(Bluetooth)
でデータ通信

◆◆ 運動量保存の実験例 ◆◆

専用のソフトウェア(Capstone)を利用し、2台の台車の衝突で運動量を表示させたものです。力の時間変化も同時刻で表示させています。力積も計算してあります。



ワイヤレスで広がる実験！

ワイヤレスセンサとPC、タブレット、スマートフォンでいつでもどこでも計測実験ができます。

ワイヤレスセンサー

NEW

握るだけで心拍数の変化がわかる！



ワイヤレス教育用心拍数センサ
(ハンドグリップ式)

PS-3206 ¥27,000 +税

NEW

GPSとの組み合わせも可能！1台で温度・湿度・風速・気圧・照度などを測定できる！



ワイヤレス気象/GPSセンサ

PS-3209 ¥55,000 +税



約-40～125℃の
測定範囲をカバー！

ワイヤレス温度センサ
PS-3201 ¥13,800 +税



屋外での水質測定にも有効！

ワイヤレスpHセンサ
PS-3204 ¥20,000 +税



ワイヤレス圧力センサ

PS-3203 ¥21,000 +税



風船の中にも入れられます

株式会社 島津理化

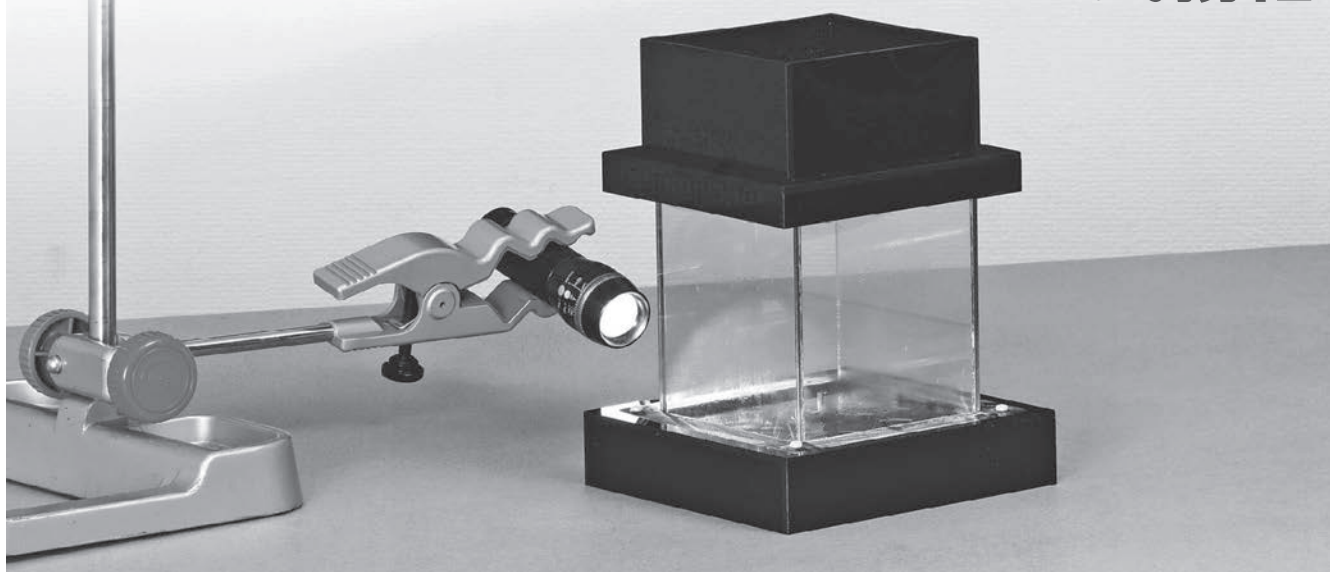
<http://www.shimadzu-rika.co.jp/>

東日本営業部：東京支店 TEL 03-5626-0210
仙台営業所 TEL 022-380-8950
西日本営業部：大阪支店 TEL 06-6375-2551
広島営業所 TEL 082-504-6120
海外事業部：TEL 03-6861-9401

札幌営業所 TEL 011-758-0788
名古屋営業所 TEL 052-571-9166
福岡営業所 TEL 092-271-1418

本社 〒136-0071 東京都江東区亀戸6-1-8

ドライアイス・液体窒素不要！ 繰り返し使えるコールドプレート式霧箱



NaRiKa Original 霧箱 (コールドプレート式)

B10-7764-01 KK-01 ￥23,000 (税抜)

B10-7764-02 KK-02 (静電高圧ゼネコン付き) ￥41,000 (税抜)

- **ドライアイス・液体窒素不要！**
準備するものはエタノール(99.5%)と湯(約50℃)のみ。
- **セッティングが簡単！**
装置組立てはコールドプレートの上に乗せていくだけ。
- **観察範囲が広く複数人での観察ができる！**
有効観察範囲は95×95mm。四方向から観察できます。



▲モナズ石(別売品)による放射線の飛跡観察

霧箱(コールドプレート式)の実験動画を配信中！
ナリカのホームページ <http://www.rika.com> へアクセス！
または、「ナリカチャンネル」で検索！



窪田美紀先生・鎌田正裕先生ご考案

冷蔵庫で凍らせることで、低温※1を約1時間※2保持するコールドプレートを寒剤に用いた霧箱です。25℃の室内で約20分間放射線の飛跡を観察できます。コールドプレートは再度凍らせることで繰り返し使用できます。



【セット内容】

- コールドプレート
- 観察用ドーム
- 温水用水槽
- 高輝度LEDライト
- 霧箱用線源
- 塩ビ棒
- 静電高圧ゼネコン(※B10-7764-02のみ)

※1：-18～0℃。時間によって変化します。

※2：使用環境温度によって変化します。

※エタノール(99.5%)、湯(約50℃)が別途必要です。

※JIS規格におけるフォースター以上の性能を保証された冷蔵庫が別途必要です。

※コールドプレートは-18℃以下で凍らせる必要があります。
完全に凍らせた状態でないと必要な性能を発揮しません。

NaRiKa
SCIENCE IS JUST THERE

(旧 中村理工工業株式会社)

株式会社 ナリカ <http://www.rika.com/>

□本社 〒101-0021 東京都千代田区外神田 5-3-10 TEL.(03)3833-0741(代) FAX.(03)3833-0743
□仙台営業所 〒981-0932 仙台市青葉区木町 6-14 サン・レオ102 TEL.(022)272-8188 FAX.(022)774-1955
□大阪営業所 〒531-0076 大阪市北区大淀中 1-4-16 永田中津ビル5階 TEL.(06)6451-3986 FAX.(06)6451-3925
□福岡営業所 〒812-0014 福岡市博多区比恵町 2-7 博多東エースビル7階 TEL.(092)432-6888 FAX.(092)432-7388

自然界では希少ですが、
食卓では定番になる
かも知れません。



希少糖。

それは、天然素材の糖なのに、
健康に役立つ夢の甘味料です。

希少糖とは、自然界にわずかに存在する糖の総称です。中でも健康に役立つD-プシコースは、いま夢の糖として注目を浴びています。私たちは、香川大学との共同研究開発によってその希少な糖を大量生産することに成功しました。

あなたの食卓の、新しい定番に。希少糖をぜひご体感ください。



希少糖を、
もっと
身近に。



レアシュガースウィートは、ぶどう糖・果糖を主成分とし、希少糖を含有したシロップです。

カロリー控えめで爽やかな甘みを持つ、新しい甘味料。

ダイエットや健康が気になる方におすすめです。



でん粉の総合メーカー
松谷化学工業株式会社



株式会社レアスウィート

2018 年 第 35 回 物理教育研究大会実行委員会

学会会長	村田 隆紀
実行委員長	高橋 尚志（香川大学）
実行委員	石井 泰史（香川県立香川中央高等学校）
〃	石川 優太（香川県立坂出高等学校）
〃	大浦みゆき（香川大学）
〃	岡田 友良（高松第一高等学校）
〃	岡田 直樹（香川県教育センター）
〃	佐藤 哲也（高松第一高等学校）
〃	沢田 功（香川高等専門学校）
〃	白川 達章（香川県立高松商業高等学校）
〃	竹本 恵一（徳島文理大学）
〃	筒井 將隆（香川県立高松養護学校）
〃	藤 博之（香川大学）
〃	本田 一恵（高松第一高等学校）
〃	松本 弘司（香川県立高松北高等学校）
〃	笠 潤平（香川大学）

本大会は公益財団法人高松観光コンベンション・ビューローからの支援を受けております。

日本物理教育学会 第 35 回 物理教育研究大会 発表予稿集

発行日 2018 年 8 月 11 日
編集者 第 35 回 物理教育研究大会 実行委員長 高橋 尚志
発行者 日本物理教育学会 中国四国支部長 笠 潤平
印刷所 株式会社 美巧社
〒760-0063 香川県高松市多賀町 1-8-10
電話 087-833-5811