

2019年度 日本物理教育学会 年会  
第36回物理教育研究大会

# 講演予稿集

大会テーマ

中学・高校・大学をつなぐ物理教育  
～すべての生徒・学生のために～



2019年8月8日（木）～9日（金）

北星学園大学

〒004-8631 札幌市厚別区大谷地西2-3-1

主催 日本物理教育学会

後援：文部科学省 一般社団法人日本物理学会 公益社団法人応用物理学会  
日本理化学協会 北海道教育委員会 札幌市教育委員会  
北海道高等学校理科学研究会

## 目 次

大会案内	4
会場案内	5
<b>特別講演</b> (8月8日(木)13時30分～14時50分 C館 50周年記念ホール)	
笹木 敬司「光のピンセット」	8
<b>全体討論</b> (8月9日(金)15時40分～17時30分 C館 50周年記念ホール)	
「中学・高校・大学をつなぐ物理教育～すべての生徒・学生のために～」	14
<b>原著講演1</b> (8月8日(木)9時20分～12時 C館 50周年記念ホール)	
9時20分～10時35分 座長：新田 英雄 (東京学芸大学)	
授業内グループワークの効果について： 栗田 和好	18
ルーブリック形式の課題による『学び合い』を取り入れた授業デザイン： 梅田 貴士	20
物理授業へのルーブリック導入の効果の検証： 高瀬 大	22
認知発達手法によるシエマ獲得を基調とした文系生徒に対する高校物理授業の実践： 山下 哲	24
認知的支援によりグラフの有用性の理解を促す中学校理科授業の実践： 松谷 佳樹	26
(休 憩)	
10時45分～12時 座長：栗田 和好 (立教大学)	
道徳的諸価値に着目した小学校物理分野の対話的授業デザインとSTEMの支援： 澤柿 教淳	28
大学生に対するILDs力学分野の課題－概念地図法による授業分析－： 石井 哲夫	30
ILDsにおける力学概念理解に影響する諸要因の検討： 谷口 和成	32
ラオスでの物理教員養成支援： 永田 敏夫	33
フィンランド教育学から見たアクティブラーニングの課題： 山田 大隆	35
<b>原著講演2A</b> (8月8日(木)15時10分～18時20分 C館 50周年記念ホール)	
15時10分～16時40分 座長：高橋 尚志 (香川大学)	
仕事とエネルギーの指導～pseudoworkに関連して： 西尾 信一	38
日常生活の中の素材を用いた圧力の教授法： 巨海 玄道	40
熱概念に対する学生の理解と混乱の実態(4)	
－アンケート調査の結果を物理教師はどう捉えたらよいか－： 五十嵐 靖則	42
理工系入門力学教育における問題解決方略－多様表現の活用－： 右近 修治	44
レッスンスタディによる大学物理講義改善： 土佐 幸子	46
階層化された講義用テキストと連動する教育支援ツールによる物理学教育の試み： 遠藤 大二	48
(休 憩)	
16時50分～18時20分 座長：西尾 信一 (日本薬科大学)	
物理学のグループ学習における話し手と聞き手の役割分担が	
理解深化に与える影響： 小島 健太郎	50
工学院大学学習支援センターを利用する学生の特徴： 細谷 哲雄	52
社会に出て実際の仕事に必要な基礎教育を： 池田 友久	54
物理が社会や日常生活に如何に役立っているかの教育を： 遠藤 正昭	56
学校科学教育における国際単位系導入の課題： 原 眞一	58
学習における現象論的考察と経験帰納的学習の活用： 内山 哲治	60

**原著講演2B** (8月8日(木)15時10分～18時20分 C館7階 C700)

15時10分～16時40分 座長：増子 寛 (島津理化)

スマートフォンを活用した諸運動の生徒実験： 今和泉 卓也	62
スマートフォンに複数のマイクを接続した音圧分布測定 (気柱共鳴実験)： 安達 照	64
ラズベリーパイと距離センサーを用いた単振動の実験： 佐々木 徹	66
簡易気体体積計によるシャルルの法則の検討： 喜多 雅一	68
加法混色、減法混色、中間混色、色の混合について： 室谷 心	70
「光と音の性質」をつなぐ教材開発： 三好 美恵	72

(休憩)

16時50分～18時20分 座長：室谷 心 (松本大学)

天体用CMOSカメラを用いた近紫外線、近赤外線教材化： 足利 裕人	74
高校物理教材としての人工衛星電波受信実験の実践： 小林 尚輝	76
電荷の移動をシミュレーションする教材の開発 ～開発のプロセスと授業実践の検討～： 稲垣 惇史	78
太陽電池出力の負荷依存性： 増子 寛	80
自作時計の製作と授業への応用： 牧山 隆洋	81
国立高専技術職員としての物理とのかかわりの紹介 －電子の比電荷の管球劣化の事例を通して－： 佐藤 昌也	82

**原著講演3** (8月9日(金)9時20分～12時 C館 50周年記念ホール)

9時20分～10時35分 座長：細川 敏幸 (北海道大学)

学力評価の有意性に関するモデル計算： 佐々木 伸	86
逐次計算手法の教育的効果とその課題について： 小林 卓矢	88
大学工学部における物理リメディアル教育の報告： 岸澤 眞一	90
力学概念指標を用いたコンピュータ適応型テストの開発： 安田 淳一郎	92
高校3年間の力学概念理解度調査～個人の選ぶ選択肢の推移分析： 宗尻 修治	94

(休憩)

10時45分～12時 座長：岸澤 眞一 (拓殖大学)

日本型物理概念調査紙の開発Ⅰ：概要： 新田 英雄	96
日本型物理概念調査紙の開発Ⅱ：予備調査： 勝田 仁之	98
日本型物理概念調査紙の開発Ⅲ：問題作成： 西村 墨太	100
日本型物理概念調査紙の開発Ⅳ：「物理」問題の試行結果： 苅谷 麻子	102
日本型物理概念調査紙の開発Ⅴ：「物理基礎」問題の試行結果： 平本 健太	104

**原著講演4** (8月9日(金)13時20分～15時30分 C館 50周年記念ホール)

13時20分～14時20分 座長：足利 裕人 (公立鳥取環境大学)

正射影をやめた単振動の授業～1次元運動の仲間入りをさせた実践～： 加藤 賢一	108
高校物理における自己調整学習を促す宿題の検討： 高橋 幸太郎	110
科学観の構築を目指した生徒実験の試み： 古結 尚	112
「探究の過程」を意識した授業プランの検討： 野原 大輝	114
(休 憩)	

14時30分～15時30分 座長：右近 修治 (東京都市大学)

中学生を対象にしたILDs「電気回路分野」の実践とその可能性についての検討： 北村 貴文	116
原子核物理に関する中高生向け模擬講義のテキストマイニングを用いた効果検証： 小林 良彦	118
教科横断的な教育内容としての「放射線」の扱い： 林 壮一	119
落下するエレベーターから生還できるか： 佐藤 実	120

**ポスターセッション**

(8月8日(木)12時30分～13時30分/8月9日(金)12時30分～13時20分 C館2階 ラウンジ)

「カオス科学」の教材化と授業における活用： 福山 隆雄	122
「温度概念」を育む授業構成の試案： 五十嵐 靖則	124
ひらひらと落下する物体のランダムな運動の解析： 梶山 裕二	126
超音波センサーを使った音速の測定： Sieng Thavy	128
超小型LEDストロボによる力学実験の試み：自由落下とバネ振り子への応用： 絹川 亨	130
差音の研究—うなりと似て非なる現象—： 竹内 透	132
ビデオ教材による専門基礎実験の事前学習効果： 一戸 隆久	134
ジグソー法の手法を活用した物理実験の取り組みについて： 伴 周一	136
ピア・インストラクションのエントロピーによる分析： 尾形 総一郎	138
仮説実験授業提唱原著論文英訳選集刊行	
The first English edition of the collected papers of Dr. Itakura, HEC advocate： 舟橋 春彦	140
地震学分野の知識の発達段階に関するエピステモロジー的考察： 岩堀 卓弥	142
明治大学商学部における東日本大震災をテーマとした包括的物理学教育： 洞口 拓磨	144
物理学の勉強やってみた： 川村 明	146

## 2019年度 日本物理教育学会 年会

### 第36回 物理教育研究大会

2019年8月8日(木)～9日(金)

北星学園大学 (〒004-8631 北海道札幌市厚別区大谷地西 2-3-1)

大会テーマ：中学・高校・大学をつなぐ物理教育 ～すべての生徒・学生のために～

日程概要：

8月8日(木)

8:30～	受付
9:10～ 9:20	開会 大会テーマ趣旨説明
9:20～ 12:00	原著講演1
12:00～ 13:30	昼食・ポスターセッション
13:30～ 14:50	特別講演
15:10～ 18:20	原著講演2 A&原著講演2 B
18:40～ 20:40	懇親会

8月9日(金)

8:50～	受付
9:20～ 12:00	原著講演3
12:00～ 13:20	昼食・ポスターセッション
13:20～ 15:30	原著講演4
15:40～ 17:30	全体討論

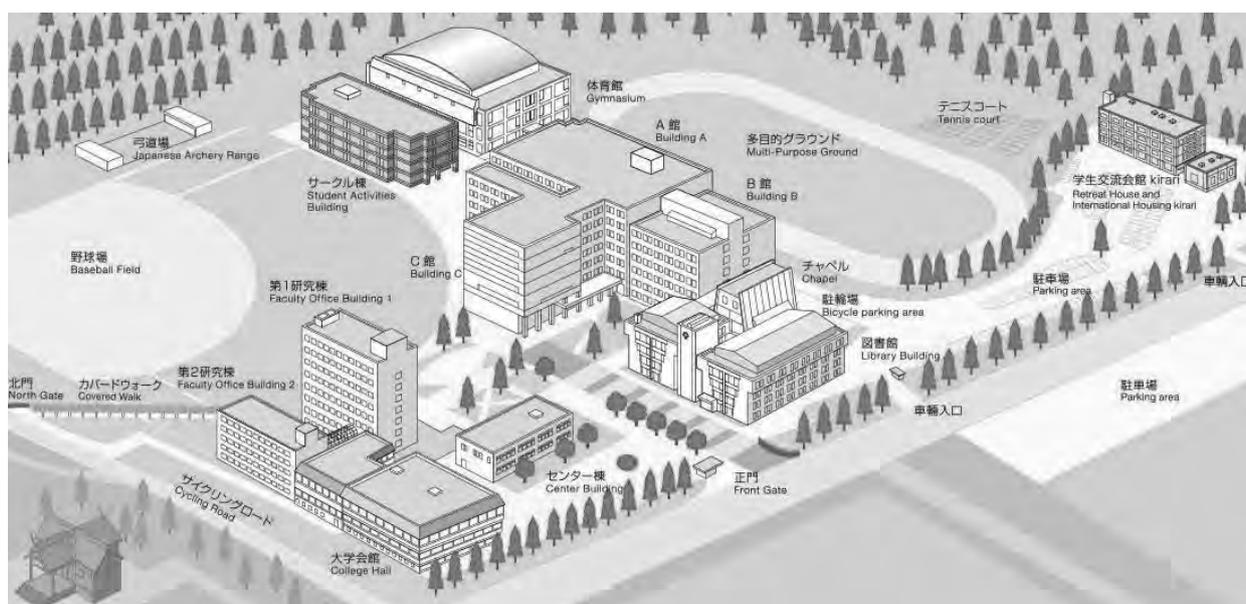
会 場：

特別講演・全体討論	→ C館 50周年記念ホール
原著講演1・2 A・3・4	→ C館 50周年記念ホール
原著講演2 B	→ C館7階 C700
ポスターセッション	→ C館2階 ラウンジ
企業展示	→ C館1階 ホワイエ
懇親会	→ 大学生協

## 会場（北星学園大学）案内

札幌市営地下鉄・東西線、大谷地駅で下車。

大谷地駅からのルートは <https://www.hokusei.ac.jp/access/> をご覧ください。北門からカバードウォークに続く道に出ます。大会会場はC館です





# 特別講演

# 光のピンセット

笹木 敬司

北海道大学 電子科学研究所

sasaki@es.hokudai.ac.jp

## 1. 光圧研究の黎明期

光が物質・物体に照射されたときに力（光圧）が発生する現象は、19世紀後半にマクスウェルによって理論的に予測され、1900年代初頭にはニコルス、ハル、レベテフらにより精巧な実験で実証されたが、その力は極めて微弱であるため、光圧を利用した研究・技術開発は長く進展が見られなかった。ブレイクスルーとなったのは、様々な光科学・光技術と同様に、1960年のレーザーの発明である。その10年後の1970年にベル研究所のアーサー・アシュキン (Arthur Ashkin) は、レーザー光でマイクロメートルオーダーの細い高強度光ビームが形成できることを利用して、常温の水中で透明なマイクロ粒子をビームに沿って光圧で動かす実験に初めて成功した<sup>1)</sup>。アシュキンのアイデアは、極微弱な光圧でも1個のマイクロ粒子に集中させれば、粒子に作用する重力・粘性抵抗や熱的な力に打ち勝って運動を制御できるというものである。この実験に用いたのは1本のアルゴンレーザーのガウスビームであり、光が粒子で散乱されて発生する光圧（散乱力）によってビームの進行方向に粒子が押されて動く現象が観察されている。この実験でさらに重要な発見は、粒子をビーム中心の光強度の高い方向に引き寄せる光圧（勾配力）の存在を明らかにしたことである。この2つの光圧成分（散乱力と勾配力）によりマイクロ粒子がビームにガイドされながら流れる現象が観られる。この1970年の論文でアシュキンは、もう一つ革新的な光圧技術として、対向レーザービームによる3次元的な粒子トラッピングを提案している<sup>1)</sup>。2本の集光ガウスビームを対向させ、集光位置を少し離して配置すると、2つのビームの光強度が光軸上の場所に依存するため、粒子に両方向から働く散乱力のバランスが変化する。ある位置で押し合う力が釣り合い、その位置から粒子が離れると引き戻す方向に散乱力が作用する。また、散乱力と垂直方向には勾配力が働き、光軸上に引き寄せられるため、マイクロ粒子を3次元的に捕捉することができる。この対向ビームトラッピングは、次章で説明する原子捕捉・原子冷却技術として活発に研究が進められ、アシュキンの共同研究者であるスティーブン・チュー (Steven Chu) が「レーザー光による原子の冷却・トラップ法の開発」の業績で1997年のノーベル物理学賞を受賞している。

## 2. 光ピンセットの幕開け

アシュキンの最高の発明は、1986年に発表した「集光レーザーによるマイクロ粒子トラッピング法」である<sup>2)</sup>。論文では「Single-beam gradient force optical trap」と呼んでおり、1本のレーザービームを高い開口数 (NA: numerical aperture) のレンズで強く絞り込むと、焦光スポット付近ではビームの進行方向（光軸方向）にも勾配力が散乱力を上回り、光強度の高い焦点近傍に粒子を3次元的に捕捉できるという技術である（図1）。後にアシュキンはこの捕捉法を「光ピンセット (optical tweezer)」と呼んでいる。光ピンセットは市販の高倍率（高開口数）対物レンズを備えた光学顕微鏡にレーザーを導入することで容易に実現でき、前述の2本の対向ビームで挟み込むように捕捉する手法に比べて格段に操作性に優れた技術である。また、回折限界まで絞り込んだ集光スポットによって、より小さい粒子のトラッピングが可能となり、論文では粒径 26 nm のシリ

カビーズの捕捉に成功したことが述べられている。

この画期的な光ピンセットの発明および後述するバイオ分野への応用の業績に対して 2018 年のノーベル物理学賞がアシュキンに贈られた。受賞時にアシュキンは 96 歳（最高齢でのノーベル賞受賞）であり、光ピンセットを発明した 1986 年時点で既に 64 歳であった。ノーベル賞の多くは若い頃の研究業績が対象になる中、64 歳での発明が受賞に繋がったことは、講演者のようなシニア研究者を大いに勇気づけてくれた。講演者の回顧録であるが、「光ピンセット発明の 5 年後にベル研究所のアシュキン博士の研究室を訪問したときのことは今でも忘れられません。アシュキン博士は一人で実験されているご様子で、実験室に案内されると手作りの顕微鏡システムで光ピンセットを実演してくださいました。優しく穏やかな口調で本当に楽しそうに説明しながらも真剣な目で顕微鏡を覗き込むお姿を鮮明に覚えています。その頃既に 70 歳近くだったアシュキン博士の好奇心に溢れる目には感動と共に深い尊敬の念を抱きました。」

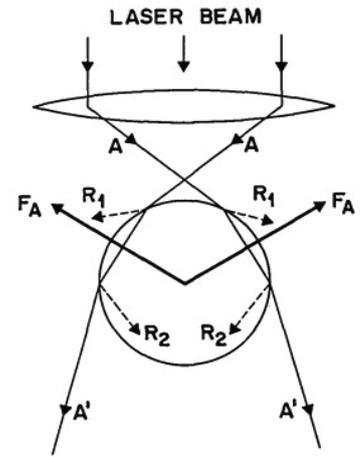


図 1 単一集光レーザービームによる微粒子トラッピングの原理<sup>2)</sup>

### 3. 光ピンセットの展開

光ピンセットの応用については、数多くの解説論文があるが、ここではアシュキンの発明の数年後に筆者らが行った研究について紹介する。1990 年頃、光物理・光化学の世界ではフェムト秒レーザーの登場で光反応の素過程を解明する研究が盛んになる一方、マイクロ空間に視点をおいた研究が萌芽期にあり、微小空間に特有な光物理化学反応の解明や、マイクロ反応場を創製して微小物質を配置・配列・輸送して自在にプロセスを制御する技術の開発が試みられていた。

最初の光ピンセット応用研究は、光学顕微鏡下でレーザー光の干渉縞を形成することにより、多数の微粒子を同時捕捉して縞状に配列した実験である<sup>3)</sup>。さらに配列パターンを自在に制御する目的で、集光レーザービームをコンピュータ制御の電動ミラーで高速にスキャンするレーザー走査マイクロマンipュレーション法が開発された(図 2)。このシステムにより、ポリマー微粒子を任意の形状に配列する光パターンニングや(図 3)<sup>4)</sup>、配列した微粒子をパターンに沿って輸送する光フロー制御を実現している<sup>5)</sup>。また、屈折率の低い微粒子やマイクロ金属粒子を円形走査ビームで取り囲むように捕捉・操作する技術も開発されてい

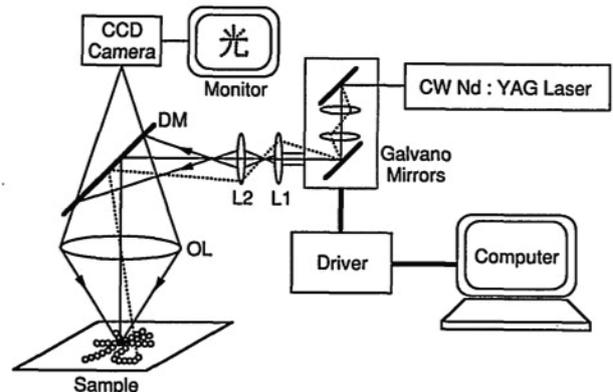


図 2 レーザー走査マイクロマンipュレーションシステム<sup>5)</sup>

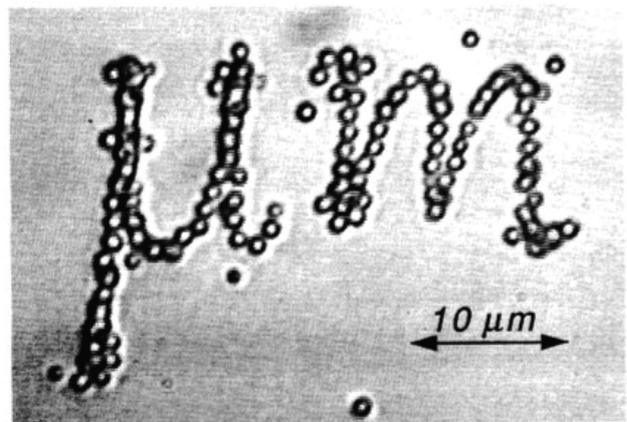


図 3 走査レーザービームによる微粒子の配列パターンニング<sup>4)</sup>

る<sup>6)</sup>。さらに、操作用近赤外レーザーに加えて紫外レーザー光を顕微鏡に導入し、光反応分子を含有した液滴、高分子鎖、ミセル、液晶、コロイド粒子などを捕捉して紫外光励起で反応を誘起し観測する実験や、捕捉した高分子微粒子に紫外パルス光によるアブレーションで穴を貫通させることにも成功している<sup>7)</sup>。また、2本の直交偏光ビームを用いて2つの微粒子を捕捉し、光重合により接着して微小構造体を組み立てる光アセンブリングや、微小構造体を2本のビームで回転や振動など自在に操作する光マイクロマシン駆動も実現している<sup>8)</sup>。

#### 4. 超精細光ピンセット

空間パターンニングに伝搬光を用いる限り、波長スケールより微細な光配列構造形成や光集積化は実現できない。そこで最近注目されているのがプラズモニックトラッピングである。金属のナノ構造体に光を照射すると、光電場と電子集団振動のカップリングにより、ナノサイズの空間に高強度な光の場（局在プラズモン場）が形成される。これは光ナノアンテナ効果あるいは光ナノフォーカシングと呼ばれる現象である。この局在プラズモン場は極めて大きい電場勾配を持つため強力な光圧を発生し、ナノ粒子に対しても熱運動を抑制して捕捉・操作することが可能である。すなわち、金属ナノ構造で光をナノ空間に捕集して閉じ込め、そのナノ凝集した光の力でナノ粒子を捕捉するというアイデアである。これまでに、金属ボウタイ構造を用いた量子ドット、金属ナノ粒子、バクテリアのトラッピング、ナノアンテナアレイ構造による2次元粒子クラスター形成やソーティング等、様々なプラズモニックトラッピングの研究例が報告されている<sup>9-11)</sup>。ここでは、金属ナノギャップ構造を用いた超解像光トラッピングの実証実験を紹介する<sup>12)</sup>。

図4に、超高分解電子線描画装置を用いたリソグラフィにより作製した金ダブルナノギャップ構造体の電子顕微鏡写真を示す。4つのナノブロックを2個ずつ重ね、20 nmのギャップでペア構造を形成している。2つのギャップの中心間距離は80 nmであり、ブロックの一边は130 nm、厚さは50 nmに加工している。この金ダブルナノギャップ構造体に波長1064 nmのレーザー光を照射して局在プラズモンを励起し、水中の単一ポリスチレン粒子（粒径100 nm）を捕捉する。ブラウン運動の解

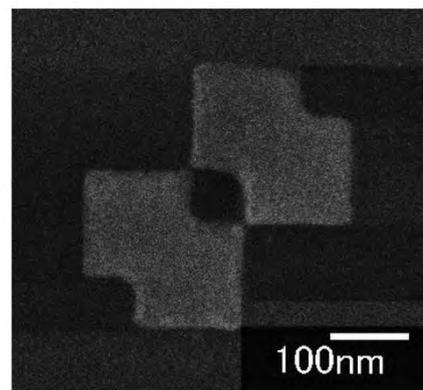


図4 金ダブルナノギャップ構造体の電子顕微鏡写真。ギャップサイズは20 nm、2つのギャップ間距離は80 nm。

析から得られた2次元光圧ポテンシャルを図5(a)に示す。近接した2つのポテンシャル井戸が明瞭に観測されており、電磁界シミュレーションにより求めた近接場強度分布（図5(b)）とよく一致している。図5(c)は、(a)の点線上の1次元位置揺らぎヒストグラム（ポテンシャルの指数変換）をプロットしたものである。80 nmの間隔でダブルトラップサイトが現れており、照射レーザー光の波長1064 nmの1/10以下の分解能が実現されている。この実験の場合、単一ナノ粒子が常温の熱エネルギー(kT)より小さい障壁を越えてダブルトラップサイト間をホッピングしている状態を観測していることになる。この金属ナノ構造体で2つのナノ微粒子を同時に捕捉すると2個が並んで捕捉される様子も確認している。また我々は、照射光学系やレーザー波長を調整することにより、2つのナノギャップの電場強度比を変化させてダブルポテンシャル井戸の形状を制御することも散乱型近接場顕微鏡<sup>13)</sup>を用いた実験から明らかにしている。

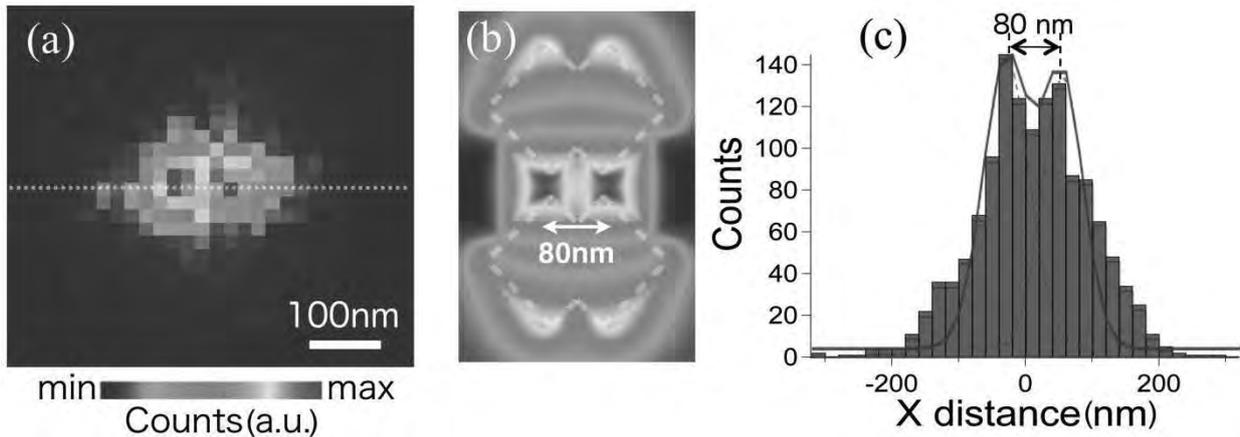


図5 (a) 単一ポリスチレン粒子 (粒径 100 nm) に作用する 2次元光圧ポテンシャル。(b) 電磁界シミュレーションにより求めた近接場強度分布。(c) (a)の点線上の 1次元位置揺らぎヒストグラム。曲線は 2つのガウス分布でのフィッティング波形。

## 5. おわりに

講演では、光ピンセットの発明者であるアシュキンの光圧研究の足跡を紹介する。光ピンセットの発明当時、我々は論文を読んでも光の力で物が捕まるとは信じられなかった。ところが、実際に実験して集光スポットに微粒子がずっと引き寄せられ捕捉された瞬間の驚きと感動、それは 30 年経った今でも鮮明に覚えている。この素晴らしい光ピンセット技術を開発し光圧研究の分野を開拓したアシュキンがノーベル物理学賞を受賞されたことに心からお祝いを申し上げたい。

## 参考文献

1. A. Ashkin, Phys. Rev. Lett. 24, 156-159, 1970.
2. A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm, S. Chu, Opt. Lett. 11, 288 (1986).
3. H. Misawa, M. Koshioka, K. Sasaki, et al., Chem. Lett. 1991, 469 (1991).
4. K. Sasaki, M. Koshioka, H. Misawa, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 30, L907 (1991).
5. K. Sasaki, M. Koshioka, H. Misawa, et al., Opt. Lett. 16, 1463 (1991).
6. K. Sasaki, M. Koshioka, H. Misawa, et al., Appl. Phys. Lett. 60, 807 (1992).
7. H. Misawa, M. Koshioka, K. Sasaki, et al., J. Appl. Phys. 70, 3829 (1991).
8. H. Misawa, K. Sasaki, M. Koshioka, et al., Appl. Phys. Lett. 60, 310 (1992).
9. M. Righni, P. Ghenuche, R. Quidant, et al., Nano Lett. 9, 3387 (2009).
10. Y. Tanaka, K. Sasaki, Opt. Express 19, 17462 (2011).
11. Y. Tanaka, S. Kaneda, K. Sasaki, Nano Lett. 13, 2146 (2013).
12. Y. Tanaka, M. Komatsu, H. Fujiwara, K. Sasaki, Nano Lett. 15, 7086 (2015).
13. Y. Tanaka, H. Misawa, K. Sasaki, et al., Opt. Express 19, 7726 (2011).



# 全体討論

# 「中学・高校・大学をつなぐ物理教育 ～すべての生徒・学生のために～」

横関直幸

市立札幌藻岩高等学校

yokozeki@dg7.so-net.ne.jp

## 1. はじめに

北海道支部では「中学・高校・大学をつなぐ『物理教育シンポジウム』」を2010年から2018年まで9回にわたり開催してきた。本研究大会の全体討論では、北海道支部の約10年にわたる研究活動の成果を紹介しつつ、「すべての生徒・学生のための物理教育」について議論していきたい。

## 2. 研究大会テーマと全体討論の趣旨説明

2009年(平成21年)3月に告示された現在の高等学校学習指導要領では、理科の必修科目について以下のように示された。

*理科のうち「科学と人間生活」、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」及び「地学基礎」のうちから2科目  
(うち1科目は「科学と人間生活」とする。)又は「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」及び「地学基礎」  
のうちから3科目*

このことを受けて、物理基礎の履修率が大きく上昇することが予想された。「物理は理工系希望者だけがやればよい」、「工学系の生徒は生物をやらなくてもよい」、「高校の理科は、理系は2科目、文系は1科目で十分」、といった考え方が長年にわたり高校現場の中で増幅していった状況を、何とか打破できるのではないかと期待も膨らんでいた。

しかし一方で、多くの高校生が物理基礎を履修することに対して課題や心配も指摘された。「物理は難しいので全員には無理」、「大学入試があり、授業を易しくできない」、「物理教師が足りない」など、否定的な意見は、物理教師も含めて根強く存在した。

文系と理系、あるいは学力差が著しい生徒が混在しているクラス(集団)では「物理基礎」は教えられないという意見に対して、「物理基礎」については新しい授業デザインの創造が求められた。しかし、「数式をまったく用いない物理」と、「数式を用いて難解な内容を理解する物理」のどちらをやるのかという、単純な選択を議論していても、その答えは見つけられない。例えば「 $2x=6$ 」という方程式すら使わないとすれば、私たち物理教師自身が授業の内容を必要以上に制限することになるだろう。逆に「物理基礎」を次につながる4単位「物理」の単なる入門として考えているだけでは、生徒に大きな失望を与えてしまうことになる。

中学校では、様々な学力の生徒が混在し、生徒の学習意欲も個々の生徒ごとに大きく異なっている。その中で中学校理科では、水圧、浮力、交流、力の合成・分解、仕事と力学的エネルギー保存、慣性の法則、作用・反作用の法則、モーターと発電機、電気抵抗の接続など、多くの物理分野を学習する。中学校の実践の中に物理基礎の授業をデザインするヒントがあるに違いないというのが、北海道支部でシンポジウムを始めたきっかけである。2010年からの6年間は、中学校の先生方より様々な視点から多くの示唆をいただいた。「高校1年生全員に物理基礎を是非学ばせてほしい」という応援だけでなく、「こういうことで物理が嫌いになる」という貴重な指摘も数多くいただいた。

2016年からの3年間は、大学初年度の物理教育について、高校で物理を履修していない学生がいる現状をふまえて提言をいただき、議論してきた。

今回の全体討論では、高等学校「物理基礎」の授業デザインの創造を議論の柱として、文系・理系の分類を超えた物理教育のあり方について考えていきたい。

### 3. 中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」(北海道支部主催)

◇【第1回(2010年)】中学校理科で学ぶ内容の変化

「2力のつりあいが3年次へ移行」、「水圧、浮力、フックの法則が復活」、「力の単位N(ニュートン)の使用」、「仕事、熱量、放射線などの扱い」、「計算の扱いがクローズアップ」

◇【第2回(2011年)】中学校での指導内容(物理基礎との比較)

「水圧と浮力」、「交流」、「力の合成と分解」、「仕事と力学的エネルギー」、「慣性の法則」、「作用反作用の法則」、「モーターと発電機」、「抵抗の接続」、「高校生全員が物理基礎を学ぶことについて」

◇【第3回(2012年)】中学校での指導内容(物理基礎との比較)

「温度と熱」、「熱容量と比熱」、「熱量の単位 cal と J」、「音波」、「縦波と横波」、「電圧と電流」、「抵抗の接続」、「電力と電力量」、「交流」、「電磁誘導」、「放射線」、「物理基礎の全員履修について」

◇【第4回(2013年)】概念形成について

「速さの計算と『はじき』」、「力のつりあい」、「力のつりあいと作用反作用」、「電池と豆電球の回路」、「電流回路の計算と概念形成」、「短絡(ショート)を含む回路」、「等加速度直線運動の公式」、「物理基礎の現状と課題」

◇【第5回(2014年)】物理基礎で扱う生徒実験、言語活動の充実(アクティブ・ラーニング)

「等加速度直線運動」、「3力のつりあい」、「一定の力を加え続ける運動」、「仕事とエネルギー」、「力学的エネルギーの保存」、「比熱の測定」、「気柱の共鳴」、「抵抗の接続」、「ジュール熱」、「授業や実験における、生徒の話し合いや討論」、「多くの生徒が学ぶ物理基礎」

◇【第6回(2015年)】アクティブ・ラーニング(以下A・L)

「基調講演:アメリカのA・L研究」、「A・Lの定義と賛否」、「A・Lについて考えていること」、「理科におけるA・L型授業」、「A・L的な生徒実験への取り組み」、「大学からみた中高のA・L」

◇【第7回(2016年)】大学初年度の物理教育

「初年次における物理の導入教育と効果的な授業の模索」、「工学部・保健医療学部における物理導入教育の実践例」

◇【第8回(2017年)】大学初年度の物理教育

「物理学、エネルギーの物理学、環境物理学、エントロピーから見た科学」、「物理の目を見た医学・生物」

◇【第9回(2018年)】大学初年度の物理教育

「多様な学生への対応を目指した反転授業導入の試み」、「物理導入教育の概要と実践例」

### 4. 全体討論の目的

「物理は難しいので、すべての生徒が理解はできない」

「物理を大学入試科目とする生徒がおり、授業を易しくすることはできない」

「物理教師が足りない(物理は担当できないという理科教師が多い)」

・・・だから、「すべての生徒・学生が物理を学ぶことは無理」

高等学校の現場においてよく耳にするこれらの意見に対して、大会参加者一人一人がどのような立場なのかを意見交換(討論)し、様々な考え方を共有することを全体討論の目的としたい。



# 原著講演 1

# 授業内グループワークの効果について

栗田和好

立教大学理学部物理学科

k\_kurita@rikkyo.ac.jp

## 1. はじめに

ユニバーサル化されたと言われている日本の大学で学生が物理学を専門科目として学ぶ意義は何であろうか。ほんの一握りの研究者志望学生がいるものの、ほとんどの学生は専門とは直接関係のない職に就いていく。そこで、学生の学びの目標を「科学的な考え方の修得」に設定して授業を行っている。物理学はよく敷居の高い学問と呼ばれるが、その考え方の修得には質疑応答を繰り返して議論を深めていく対話を通じた学びの経験が必須であると考え。その考え方の修得のプロセスの中で学び方を一般化してくれたらという思いで試行錯誤を繰り返している。

現在、専門必修の初年次春期科目である力学1を担当しており、可能な限りの対話を取り入れている。今回は授業内で行っているグループワークによる問題解法に焦点を当てて現状報告を行い、多くの皆さんからのフィードバックをいただければと願っている。

## 2. 授業展開とその目的

対象とする授業は物理学の1年生向け必修科目の力学1である。多様な資質と意欲を持った学生が入学してくる環境では、中位レベルの学生に合わせた「講義」が惨憺たる結果になることは、経験しつくした。そこで、Eric MazurのDVD<sup>[1,2]</sup>に紹介されている授業運営を基本に金長らの実践例<sup>[3,4]</sup>を一部取り込み、自分なりの修正を加えた現在の授業展開が以下である。

- ① 毎回の宿題はシラバスに書かれた次回のテーマについて教科書を読んで理解した上でblackboard(商用の学習管理システム)上の3つの質問に答えることである。問3は必ず疑問や質問を問うもので、記述式である。授業の前に教員がすべての質問に個別に答えたのちそのやり取りをファイルにまとめ、学生にQ&Aとして公開する。教員は学生が躓きやすいところに説明を絞ることができ、問題演習の時間を確保できる。教科書を読んで理解するプロセスを「著者との対話」、学生からの質問に教員が答えるプロセスを「教員との対話」と位置づけ、学生に伝えている。
- ② 教員は授業の最初に宿題と前回の小テストで起きた混乱や残った疑問に絞って解説を行う。
- ③ 授業の中身は主に小グループに分かれて議論しながらグループ問題に取り組む作業にあてる。教員が協同的グループ問題解決<sup>[3,4]</sup>において役割分担を要求し議論を促す。グループに1枚のワークシートを配布し提出させる。この作業は「グループメンバーとの対話」と位置付けている。
- ④ 最後にラーニングログと命名したシートにその週に学んだことのレジюме、納得したこと、まだ不安に感じているところを記入の後提出させる。この振り返りのプロセスを「自己との対話」と位置付けている。
- ⑤ ラーニングログ記入時にはさらにblackboard上の相互評価機能を使い、ルーブリックを使ったグループワークでの自分のパフォーマンスを自己評価させる。また、自己評価を提出

したグループメンバーは他者評価も入力できるため、その記入も宿題の一部とした。他者を評価することにより、評価主体としての視点を養い、自己評価の精度を上げることを狙っている。

- ⑥ ラーニングログの裏は小テストになっており、グループ問題の一部または簡易バージョンを自力で解かせ、その点を成績(15%程度)に含める。グループワークでしっかり議論に参加しないと問題に答えられない可能性が高いため、グループワークの時間内に疑問を解決しておこうという意欲を喚起する。

### 3. グループワークのこれまでの成果と今後

グループワークを取り入れて、学生の活発な参加を促すようになってからもう 10 年目である。当初、物理学科の学生はグループディスカッションに慣れておらず、特に人前で間違えることを恐れて議論の時間だといくら促しても黙り続けるグループばかりで、学生たちはただ時間が通りすぎるのを待っている様子だった。そこで、議論を促す力を身に付けるために他学部のリーダーシッププログラム (BLP) の技法を真似し、人に論理的に説明することこそが企業が求めるコミュニケーション力であることを学生に伝える等努力を重ね、それが改善されてきた。ここ 2~3 年はどうにかグループワークで議論がなされ、問題解法を通じた理解が進むようになってきたと感じている。

そのおかげか以前の課題であった、①宿題にしても自習をしてこない学生が多い、②議論を促しても黙っている、③教員がしゃべりだすと学生が居眠りする、④わからないことをほったらかしにする などの問題は解決または軽減することができた。また、教員から説明を受けるよりも、同じようなところにつまずきやすい同年齢の仲間の説明の方がわかりやすいという声もきかれた。

一方、およそ 80 名が履修している力学 1 では、3~4 名で構成される 25 グループが同時に議論を開始する。議論の手助けをする TA が 2 名存在しているものの、教員も含めて 3 名の机間巡視では各グループでの議論の質に対するフィードバックがほぼ不可能な状況である。その状況を少しでも打開するために今年度から開始したのが、blackboard を用いた自己評価・他者評価である。

### 4. まとめ

科学的に考える力を養うために導入したグループ活動がこれまでやらせっぱなしになっていた。その授業内グループワークの議論の質をモニターし改善策を講じるために自己評価・他者評価を開始した。最後の授業ではその効果についてアンケートを取りその結果を報告する予定である。

### 参考文献

- [1] Eric Mazur et al., “Interactive Teaching DVD”, Addison-Wesley, Boston, 2006.  
[2] G. Novak, A. Gavrín, W. Christian, and E. Patterson, “Just-In-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology”, Benjamin Cummings, San Francisco, 1999.  
[3] 金長正彦 概要と参考文献, <http://www.ne.rikkyo.ac.jp/~kurita/upec> (2019/7/7 アクセス)  
[4] 金長正彦 物理教育 65-3, (2017), 161-165.

# ルーブリック形式の課題による『学び合い』を取り入れた授業デザイン

梅田 貴士

広島大学大学院教育学研究科

tumeda@hiroshima-u.ac.jp

## 1. はじめに

この発表では、大学での物理授業において、アクティブ・ラーニング（AL）を実現するための授業デザインについてのアイデアを紹介する。

## 2. 授業デザインの基本方針

本研究では、大学の物理授業において、学生に物理概念の深い理解をさせる授業方法の確立を目指している。（当面は大学を前提とするが、基本的には高校の物理教育でも同様だと考えている。）そして物理概念の深い理解を達成するにはALが必要であると考えている。つまり本研究の目的は「大学の物理教育におけるALの実現」である。最終的には自分の授業だけでなく、大学物理の授業改革の実現を目指しており、そこまで視野に入れて研究方針を考えたい。

大学物理教育における授業改革を視野に入れた場合、系統的な学習と相性の良い授業デザインが重要であると考えている。さらに、「自力で物理の専門書が読めるようになる」という力の育成も授業で行いたい。そこでテキストを前提とした授業デザインを考えることにする。ここでテキストとは物理学の専門書、高等学校の教科書、教員が自作した授業用テキストなどを総称したものとす。テキストというのは、単体で完成している必要があるために、系統的に書かれている。また、様々な目的やレベルに対応したテキストが存在するために、どのようなレベルの授業にも対応することが可能になる。このような方針のもとで、授業デザインを考えたい。

## 3. ルーブリック形式の課題による『学び合い』の授業

この研究で考えるALは「主体的・対話的で深い学び」であると考えて、授業のスタイルとして『学び合い』<sup>[1]</sup>を参考にする。『学び合い』は上越教育大学の西川純氏が提唱している方法で、主に小中学校での採用例が多く、理科に限らず全ての教科で実践されている。授業の最初に、目標となる課題が提示され、後は子ども（学習者）らが自分たちの裁量で課題達成を目指す、という教員が講義をしない授業形態である。『学び合い』ではクラスの中で「一人も見捨てない」という価値観の共有が事前に行われており、この価値観の下で協力し合って学習を進めることになる。この研究では、基本的には、『学び合い』の「子ども（学習者）観」「授業観」「学校観」の考え方を踏襲することとする。

この方法で授業を行うためには、前提としているテキストの内容の中で、コアとなる内容に関する課題の設定とその提示の仕方が重要となる。これだけは理解してほしいという内容を厳選し、さらに、その内容について、どこまで理解することを要求するのか、学生に伝わるように提示する必要がある。そこで、ルーブリック形式での課題の提示を考える。ある課題として理解させたい内容について、数段階の理解度レベルを設定する。その理解度レベルに到達したことを判断するための条件を、具体的に記述された文章として提示するという、ルーブリック形式で課題を設定する。例えば「慣性系と非慣性系」の内容について次ページ表のような課題が設定できる。

表：高等学校物理の教科書を用いた授業での課題例（一部省略）

慣性系と非慣性系	レベル	配点	説明	進捗
慣性系と非慣性系の違いや、それぞれの立場から物体が受ける力を考えられるようになる。また、遠心力が見かけの力であることを説明できるようになる。 実施時間：35分程度	1	2	慣性系と非慣性系の違いを説明できる。	
	2	4	慣性系と非慣性系の立場から物体が受ける力を考えることができる。（たとえば練習①など）	
	3	5	遠心力が見かけの力であることが説明できる。（他の班の人に説明し納得してもらえたらサインをもらう。2名分のサインを集める。）	

#### 4. 目標、指導、評価の一体化

このルーブリック形式の課題一式が「授業の目標」をそのまま明文化したものになる。授業の評価では、これらの課題をそのまま試験問題として出題する。このルーブリック形式の課題一式を課題シートとして事前にすべて公開することにより、この課題シートがそのまま授業のシラバスにもなっている。これによって、インストラクショナル・デザインで言うところの、授業の「目標、指導、評価の一体化」が実現できる。

さらに、期末試験の前に、学生に各課題の達成度（レベル別課題達成度）を自己評価させ、自己評価リストを作成してもらおう。そしてこの自己評価リストによる得点を自己評価点とする。（課題のレベル別の得点は課題シートに明記しておく。表を参照。）期末試験では全課題の中から一部をそのまま出題し、以下のように採点（自己評価点の修正）を行い、成績とする。

- ・自己評価で○でも試験で間違えた場合、（大きく）減点する。
- ・自己評価で×の問題は不正解でも減点しない（正解の場合は加点する）

期末試験に出題されなかった課題については自己評価点そのまま成績となる。これによって、期末試験に出題されない課題も評価に反映させることができる。自己評価リストの作成は、自身の内容理解度に関する振り返りであり、作成したリストは学習ポートフォリオにもなっている。

#### 5. 反転授業

この授業デザインでは、時間数の制限から、テキストの中でコアの部分だけを取り扱う必要がある。さらに、そのコアの部分を授業中に議論するための事前学習が必須となる。また、授業では扱わない内容については授業外学習で行う必要がある。これらはいわゆる反転授業と呼ばれるものになっている。課題を議論するのに必要なテキストの事前予習箇所の指示や、内容確認の事前オンラインテスト、さらに事前学習用の解説動画などによる学習者のサポートが必要となってくる。また、どうしても事前学習で対応できない部分は一斉授業による対応が必要になるだろう。

#### 6. 実践例の報告と今後の課題

現在、この授業デザインによる授業を試行しており、その結果についても報告する予定である。この試行結果を踏まえて、この授業デザインの可能性と課題点について議論を行いたい。

謝辞：この研究は JSPS 科研費 19K03171、17H00820 の助成を受けて行われている。

参考文献：[1] 西川純氏のウェブサイトを参照 <https://jun24kawa.jimdo.com/>

# 物理授業へのルーブリック導入の効果の検証

<sup>A</sup>高瀬大、<sup>A</sup>植松晴子、<sup>B</sup>西村墨太

<sup>A</sup>東京学芸大学、<sup>B</sup>東京学芸大学附属国際中等教育学校

m181809x@st.u-gakugei.ac.jp

## 1. はじめに

学習指導要領改訂に伴い、思考力・判断力・表現力の育成と評価がより重視されるようになった<sup>①</sup>。学習評価の手法も従来のペーパーテストによる評価だけでなく、思考力・判断力・表現力などを評価できるような様々な手法が実践されている。これらの資質・能力の育成のためには、生徒にパフォーマンス課題（さまざまな知識やスキルを総合して使いこなすことを求めるような複雑な課題<sup>②</sup>）に取り組みせ、評価は生徒の作品や実演で行うことが多い。しかし、パフォーマンス課題は、ペーパーテストのように○か×かで評価することは難しく、評価者間の一貫性は確保しにくい。そこで近年、より客観的に評価するための手法としてルーブリック評価が注目されている。

ルーブリックとは、成功の度合いを示す数値的な尺度あるいは評語と、それぞれの数値や評語にみられる認識や行為の質的特徴を示した記述語からなる評価基準表である<sup>③</sup>。ルーブリックは基本的に、課題の提示とともに生徒に配布されるため、「授業の到達目標など教員の意図を生徒に伝えやすい」ということや、「生徒の能動的な学習を促すことに適している」ということ、評価基準が明確なため、「評価にぶれが生じにくい」ということなどが特徴として挙げられている<sup>④</sup>。しかし、これらの特徴が機能しているのかということは未だ十分に検証がなされていない。

本研究では、ルーブリックを高等学校「物理基礎」の授業で実施した探究学習に取り入れることにより、生徒のルーブリックに対する認識を深めさせ、「教員の意図が生徒に伝わったかどうか」について検証することを試みた。生徒のルーブリックに対しての認識が深まったかどうかを検証するために生徒にアンケート調査を実施した。さらに、教員の意図が生徒によく伝わることで、学習効果が高まり、知識・概念の獲得がより進むと期待されるため、レポートの評価結果と FCI (Force Concept Inventory)<sup>⑤</sup>やアンケートの回答との関係を調査した。その結果、アンケートの回答、FCI とともにレポートの評価結果とは相関が見られなかった。

## 2. 研究概要

本研究は、平成 30 年 5～6 月に、東京学芸大学附属国際中等教育学校 5 年生（高校 2 年生相当）「力と運動」の単元を対象として実施した。生徒には、自分の興味関心のある身の回りの運動を一つ選び、運動方程式を用いて物体に加わる力の大きさや向きを結論づけるような実験を行い、レポートにまとめるという課題を課した。具体的な授業の内容や、使用したルーブリックについては文献<sup>⑥</sup>で詳しく述べられている。

本研究では評価規準として、「探究」「実験観察の技能」「データ処理」「評価」という観点を設定し、生徒から提出されたレポートをルーブリックによって評価した。さらに、レポートの評価結果とルーブリックに関してのアンケート調査・FCI のスコアとの相関をそれぞれ分析した。

### 2.1. ルーブリックについてのアンケート調査

ルーブリックについての意識や、自分の学習に活かそうと感じているか調査するためにアンケー

トを作成し、実施した。アンケートでは“ルーブリックが自分の学習に役立つものと感じているか”、“ルーブリックの内容は理解できると感じているか”、“授業を通してルーブリックの内容を理解できたか”、“自分のレポート作成に活かそうと感じたかどうか”等を問うた。回答は選択式で、5（そう思う）、4（どちらかといえばそう思う）、3（どちらともいえない）、2（どちらかといえばそう思わない）、1（そう思わない）の5段階で行った。

## 2. 2. アンケート調査結果の分析の視点

まず、レポートの評価結果とアンケートの回答との相関を分析した。ルーブリックに対して好意的な回答からは、よりルーブリックを自分の学習やレポートの作成に活用するようになり、評価の高いレポートを書くようになると期待される。

次に、レポートの評価結果とFCIのスコアとの相関を分析した。高評価のレポートを書けることが概念獲得に繋がることが期待される。また、対象とした授業が運動方程式を扱う授業のため、FCIの問題の中から運動方程式に関わる問題を抜き出しより詳細な分析を行った。

## 3. 結果

アンケート調査より、半数以上の生徒が、授業後にルーブリックに関しての理解が深まり、学習に役立てようと思うようになったという示唆が得られた。

しかし、レポートの評価結果とアンケートの回答、および、レポートの評価結果とFCIのスコアの間には、いずれも相関が見られなかった。FCIの運動方程式に関わる問題を抜き出し、分析したところ、「運動の向きに力が必要である」という誤概念が強く残ることが示唆され、レポートの評価結果から知識・概念の定着を評価できているとは断言できなかった。

## 4. まとめ

アンケートの回答より、ルーブリックを授業の中に取り入れていくことで、その授業の目的が何かということを生徒に意識させることには一定の効果が得られることが示唆された。しかしレポートの評価結果とアンケートの回答やFCIのスコアとの間に相関は見られず、ルーブリックに対しての意識が高いことが高いレポート評価につながるというわけではないこと、ルーブリックの項目を高い規準で満たすようなレポートを書けるということと概念が獲得されるということは同じではないということが明らかとなった。

## 参考文献

- [1] 文部科学省「新しい学習指導要領の考え方ー中央教育審議会における議論から改訂そして実施へー」  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/\\_icsFiles/afieldfile/2017/09/28/1396716\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afieldfile/2017/09/28/1396716_1.pdf) 閲覧日 2019.7.5
- [2] 西岡加名恵, 石井英真, 田中耕治編「新しい教育評価入門 人を育てる評価のために」, 株式会社有斐閣, 10, 45(2015).
- [3] 田宮憲「ルーブリックの活用とその意義」 高等教育開発センターフォーラム Vol.1: 125-135(2014).
- [4] D.Hestenes, M.Wells and G.Swackhamer, "Force Concept Inventory" *Phys. Teach.*30, 141 (1992).
- [5] 西村墨太 物理教育 67-2, 113-116(2019).

# 認知発達手法によるシエマ獲得を基調とした、文系生徒に対する高校物理授業の実践

京都市立紫野高等学校<sup>1</sup>，京都教育大学<sup>2</sup> 山下 哲<sup>1</sup>，谷口 和成<sup>2</sup>

E-mail: haz34840@wood.odn.ne.jp<sup>1</sup>, guchi@kyokyo-u.ac.jp<sup>2</sup>

## 1. はじめに 認知的な発達段階と高校の物理学習に対する影響

認知的な発達段階は、科学的な推論を行うためのスキルであるシエマ（推論形式）の熟達の程度によって分類され、これらシエマを用いた操作およびその対象が具体的・経験的なものから形式的・抽象的なものに広がることによって認知発達が起こるとされる。理科の学習は小学校高学年から中学校にかけて段階的かつ加速度的に具体物の操作を伴わない、抽象的思考を必要とする内容に移っていくが、理科の授業の中でシエマの獲得や活用そのものが目的とされることは少ない。このため、シエマの獲得が不十分である生徒やその活用に課題のある生徒は、科学的な推論を行うことなく学習内容を断片的な知識として捉えてしまうため、学年が進むほど理科の学習に困難性を感じるようになる。したがって、理科の学習を実質的に成立させるためには、生徒の科学的推論能力を把握することと、これに課題がある場合にはシエマの獲得をサポートする必要があると言える。こういった問題意識に対して、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]。

講演者は高校の物理授業において、生徒の認知的な発達段階を考慮し、これを伸長させることで高校物理の深い理解を得させる目的で、CASEの指導構成の柱を、高校の物理授業においても活用した「CASE的な物理授業」を行ってきた[2]。同時に、入門物理の学習者にとって、素朴概念が概念理解の大きな障害になっていることが知られている中で、高校生の物理の概念理解を支援する目的で「Interactive Lecture Demonstrations (ILDs)」を併せて用いてきた[3]。なお、素朴概念の解消が形式的操作期の生徒ほど顕著であり、具体的操作期の生徒には限定的であることから[4]、入門物理の学習において認知的な発達段階に対する考慮の必要性は極めて高いと言え、講演者は認知的支援を基礎として概念理解を促すことの必要性と効果を報告してきた[3]。

## 2. 文系生徒の認知的な発達段階と、これを考慮した授業展開

2011年度の学習指導要領の改定により、高校理科においては「物理基礎」・「化学基礎」・「生物基礎」・「地学基礎」の中から3科目を履修することが中心となり、物理を学習する高校生の人数が大きく増加する中で、より多様な生徒に対する指導方法について模索と議論が続いている。講演者は2018年度、高校2年生の文系生徒対象の「物理基礎」の授業の中で、認知的支援に基づいた概念理解を目的として、「CASE的な物理授業」とILDsの実施を行ったため、これを報告する。本取組における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[5]を2018年4月にプレテストとして、2019年3月にポストテストとして実施した。表1に2016年度の全国調査[4]と、講演者がこれまでに調査した高校2年生のCTSRとFCIの正答率の変容、およびFCIの規格化ゲインの一覧を示す。表1における「京都市立M高校」のコース1・2が本取組の対象であり、コース1とコース2

表 1 高校 2 年次における認知的な発達段階と力学概念の理解度の変容

高 2 物理基礎履修者	人数	CTSR 正答率変容	FCI 正答率変容	FCI 規格化ゲイン
2016 年度全国調査	400～500	68% ⇒ 75%	34% ⇒ 45%	0.17
京都市立 K 高校 普通科(型)・物理選択者	34	69% ⇒ 79%	34% ⇒ 60%	0.39
京都市立 K 高校 普通科(型)・生物選択者	24	60% ⇒ 79%	28% ⇒ 43%	0.20
京都市立 F 高校 工業科	16	54% ⇒ 64%	24% ⇒ 40%	0.21
京都市立 M 高校 普通科文系 コース 1	113	53% ⇒ 65%	23% ⇒ 36%	0.17
京都市立 M 高校 普通科文系 コース 2	30	60% ⇒ 72%	23% ⇒ 42%	0.24

は生徒の希望に基づいて異なるカリキュラムで学習している。表 1 よりコース 1・2 ともにプレテストの段階では素朴概念の保持率は極めて高く、全国平均を大きく下回っていることが分かる。また、形式的操作期に達している生徒の割合はコース 1・2 ともに 1 割に満たず、認知的な発達段階の観点からは大きな課題をもって物理の学習を始めていると言える。文系生徒のこういった課題に対して、本取組の「CASE 的な物理授業」においては特に「比・比例(除法)」と「面積(乗法)」のシエマを強く意識させることと、各単元で生徒による半定量的な小実験を数多く実施することを通じて、その他のシエマの獲得を支援した。本取組の効果としては、素朴概念の解消率が認知的な発達段階に強く影響される点を考慮すると、両コースとも規格化ゲインは十分ではないものの相対的に高く、シエマに獲得に向けた支援の効果を読み取ることができると考える。講演においては、学習観の変容と欲求段階の観点も合わせて報告する。

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] 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] 山下哲, 谷口和成, ” ICT 環境を活用した, 認知発達に基づく ILDs 型高校物理授業の実践”, 日本物理学会 2018 年秋季大会講演概要集, 9pA232-5(2018).
- [4] 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).
- [5] 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”, 三重大学教育学部研究紀要 57 巻,93-100(2006).

# 認知的支援によりグラフの有用性の理解を促す中学校理科授業の実践

<sup>A</sup>松谷佳樹、<sup>B</sup>谷口和成

<sup>A</sup>京都教育大学附属京都小中学校、<sup>B</sup>京都教育大学

myoshiki@kyokyo-u.ac.jp<sup>A</sup>

## 1. はじめに

理科学習の目標のひとつに「科学的に探究する能力の育成」があり、探究における代表的な分析手法として「グラフ化」がある。実験結果をグラフ化することにより、傾向や規則性を見出すことが容易になるという利点があるが、北村・栗田[1]は、グラフを正しくかけることや、グラフを用いて、内挿法・外挿法により未知の測定点を予測することは、中高生にとって困難であると報告している。また、堀[2]は中学生と大学生を対象に「フックの法則」に関する調査問題を実施し、英国の結果と比較すると、日本の学習者は「ばねの伸びとおもりの重さは比例する」と考えていながらも、半数以上が折れ線や曲線のグラフをかきことを明らかにしている。

近年では、山田ら[3]によってグラフの作成・読解能力を高める指導法が提案されているが、グラフを作成することに重点が置かれており、「なぜグラフを作成するのか」といったグラフの有用性に対する学習者の思考過程は、あまり意識されていない。実際、中学校第1学年「力の大きさとばねの伸びの関係」単元において、実験結果をグラフ化して2変数が比例の関係にあることを見出す学習として初出するが、教科書にはグラフのかき方と、実験方法の中に「実験結果をグラフに表す」と記載されているのみで、グラフ化する意味を考えると学習が進められる展開となっている。

またこの学習においては、「比・比例性」の考え方の活用が必須となるが、この考え方は、ピアジェによれば「推論パターン(シエマ)[4]」のひとつであり、その発達は生徒の認知的な発達段階に依存するとされる。ここで、中学校第1学年の時期は、具体的操作期と形式的操作期の生徒が混在している[5]ことをふまえると、このシエマが十分に発達していない状況で、グラフ化を通して、現象の一般化を要求していることになる。つまり、グラフ作成の難しさに加えて、「比・比例性」に対する認知的な困難も抱えていることになり、そのような生徒が分析においてグラフが有用であることを認識することは困難であることが容易に想像される。

そこで本研究では、「力の大きさとばねの伸びの関係」単元において認知的な支援を行うことにより、グラフ作成はもとより、グラフを活用する価値を見出させることをねらいとした。

## 2. 開発した授業の構成

授業の展開(表1)は、英国で「認知発達を促す(CA)」ことを目的に開発された、CASE(Cognitive Acceleration through Science Education)プログラム[6]の授業構成を参考とした。

具体的には、はじめに通常の実験を行い、グラフのかき方について実験結果を用いて指導する(【具体的準備】)。ここで、グラフのかき方を理解させることが後の説明の際にグラフを用いて説明できるかどうかにつながるため、丁寧な導入を行う。その際、外挿法を使った問題を考えさせることで、グラフの利点についての気づきを促す。

次に、別のばねを使った時の結果(表2)を与え、どちらのばねの方が強い(のびにくい)か理由と共に説明することを求める(個人予想【認知的葛藤】)。ここで、具体的操作期の生徒は、ばね

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	● 実験結果から、どのような関係が導き出せるかグラフをかき、考察する
展開①	認知的葛藤	● 追加実験の結果を見て、より強いばねはどちらか、考える
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
ふり返り	メタ認知	● 外挿の考え方に対しふり返りを促す

ののびだけに注目してしまう一方で、形式的操作期の生徒は、加えたおもりの「質量あたり」のばねののびに注目し、結果を公平に比較することができる。したがって、この両者の考え方の違いを全体で討論（【社会的構築】）することにより、ばねの強さはグラフの傾きに関係することや相手にわかりやすく伝える方法を共有し、グラフの有用性に対する気づきを促す。

ふり返りでは、課題を解決するために必要になる外挿の考え方に對し、どのような考え方が役に立ったか、自分の考えがどのように変化したか等、具体的なふり返りを促す（【メタ認知】）。

### 3. 実践の概要

本校7年生3クラス(85名)を対象に、2019年2月上旬に行った。授業効果の評価としては、英国APU(Assessment of Performance Unit:学力調査室)が行った「Science in Schools Age13: Report No.1」[7]を参考に作成した調査課題(たとえば、設問(A):ビーカーの体積と、ろうそくの火が消えるまでの時間を記録した表を見て、どのような関係にあるか。また、どのように考えてそう判断したか)を1月下旬(プレ)と3月上旬(ポスト)に実施し、表3に示す基準で解答を分類した。

表2 ワークシートの実験結果

生徒の実験結果(例)					与えた実験結果			
おもりの質量[g]	20	40	60	80	おもりの質量[g]	50	100	150
力の大きさ[N]	0.2	0.4	0.6	0.8	力の大きさ[N]	0.5	1.0	1.5
ばねののび[cm]	3.8	7.8	11.7	16	ばねののび[cm]	6.1	12.6	19.0

表3 調査問題への解答の分類基準

カテゴリー	略号	記述の内容
グラフ使用群	A	グラフを用いて説明を試みる
数式説明群	B	計算により、あたり量を求めて説明を試みる
	C	何かしらの関係性を見出そうと計算する
定性的説明群	D	言葉による定性的な説明を試みる
説明不可群	E	わからない、無記入

### 4. 結果と考察

設問(A)の実践前後の結果を図1に示す。実践の前後で、わずかではあるが、A「グラフ使用群」が増加しており、その理由の自由記述の例(図2)からも、グラフの有用性への気づきが促されていることが示唆される。

また、授業ではほとんどの生徒が個人予想の段階で「より強いのは追加したばねである」と解答していたが、討論を通して考え方を共有したのち、再度そう考えた理由の記述を求めたところ、「おもりの重さをそろえて比較する」といった「条件制御」の考え方(シエマ)を用いた解答へ変容した。つまり、本時の展開が生徒のシエマの発達を促している(認知的支援となっている)ことを示唆している。

講演では、実践授業の様子とワークシートの詳細、調査問題の分析結果について報告する。

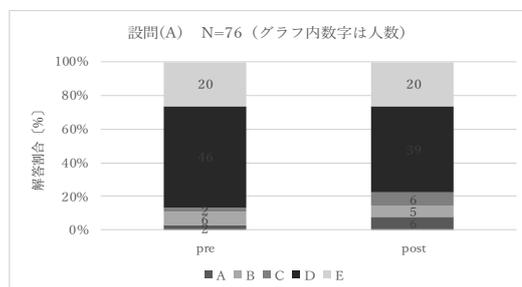


図1 調査問題の解答分布

討論後の考え  
より強い(のびにくい)ばねは(はじめのばね・追加したばね)

【理由】 君がグラフで比較して、びっくりした。僕は表を比べた  
がよりわかりやすく、はっきりとしていて、いいなと思った。考えは変わって  
なくて、追加したばねの方が強いと思う。

図2 生徒の記述の例

### 参考文献

- [1] 北村太一郎, 栗田一良, 日本理科教育学会研究紀要 24-2, 55-62(1983).
- [2] 堀哲夫, 日本理科教育学会研究紀要 30-1, 11-22(1989), 等.
- [3] 山田貴之, 古川俊輔, 小林辰至, 上越教育大学研究紀要 37-1, 193-204(2017).
- [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] 野ヶ山康弘, 谷口和成, 京都教育大学教育実践研究紀要 13, 63-71(2013).
- [6] Philip Adey, Michael Shayer, Carolyn Yates 『Thinking Science』 Nelson Thornes Ltd. (1989).
- [7] Department of Education and Science Assessment of Performance Unit 『Science in Schools Age13: Report No.1』(1980).

# 道徳的諸価値に着目した

## 小学校物理分野の対話的授業デザインと STEM の支援

澤柿教淳

松本大学教育学部学校教育学科

長野県松本市新村 2095-1

### 1. はじめに

小学校理科において、自然に親しむことや自然を愛する心情に関わる内容は、常に学習指導要領の目標に位置付けられてきた<sup>1)</sup>。ただ、「生命の尊さ」等の道徳的諸価値と関連付けた単元は、これまで生物領域で主に扱われる傾向にあった。これに関して、近年の STEM 教育の視座からは、「教科横断的な内容と科学的知識の実践に関する学習環境を提供する STEM 教育に着目することが有効」<sup>2)</sup>、「S/T/E/M のうち、E(工学)にかかわる活動を組み込むことが重要」<sup>3)</sup>とされ、その場合、道徳的諸価値は、多面的、対話的な解決に働くものと考えられる。

そこで、物理単元と道徳との関連を図った授業をデザインし、児童が発揮する道徳的諸価値が物理単元の問題解決をどのように支えるのか、あるいは妨げるのか、その実態を実践的に検証し、明らかにしたいと考えた。

### 2. 研究の方法

本論では、小学校第 3 学年理科「光の性質」に相当する物理単元の内容(表 1)に、「交通安全」(「生命の尊さ」、「規則の尊重」等)という道徳的な視点を加えて構想し<sup>4)</sup>、STEM の支援として位置付けた(表 2)。分析対象には、個の問題解決のフェーズ、及び、他者との対話的な問題解決のフェーズを取り上げた。物理単元の問題解決とその過程で発揮された道徳的諸価値との関連をとらえる方法として「Hy-brid 評価軸」<sup>5)</sup>を援用した(表 3,図 1)。

表 1 光の性質に関する主な内容

鏡などを使い、光の進み方や物に光が当たったときの様子を調べ、光の性質についての考えをもつことができるようにする。

ア 日光は集めたり反射させたりできること

イ 物に光を当てると、物の明るさや暖かさが変割ること

表 2 道徳的な視点を加えた構想と STEM の支援との位置付け

○「科学的知識の実践」を視野に入れながら、「生命の尊さ」や「親切・思いやり」等の道徳的諸価値に触れて鏡の角度を操作したり、反射材の材質を選んだりすることを通して、科学的な知識や技能をどのような手段で実社会の場面に活用するとよいのかを多面的に判断したり、対話的に解決したりすることができる。

### 3. 実践の結果と考察

フェーズ1では、物理の知識・技能等と道徳的諸価値とが相互に作用して、追究活動の方向性を決定したり、新たな問題成立の契機となったりする様相を捉えることができた。

フェーズ2では、物理の知識や技能をミニチュアタウンに応用する際に生じた問題に対し、互いの道徳的諸価値を働かせることで対話的に解決するという過程が確認できた。

フェーズ3では、ミニチュアタウンの中で生じた道徳的・心情的な対立に対し、物理の知識や技能を発揮することでよりよく解決した様相を捉えることができた。

以上から、小学校理科物理分野の単元において、個々が発揮した道徳的諸価値は、科学的(S)に導き出された技術(T)について、実社会の場面ではどのような手段(E)で活用するとよいのかを多面的に判断したり、対話的に解決したりするように働くなど、STEMの支援の有効性が示唆された。

表3 Hy-brid 評価軸で整理した K 児の追究活動 (一部抜粋)

①	K児の主な追究活動	理科としての評価	発揮された道徳的諸価値
①	家からガムの包装紙を持ってきて反射材に利用する。	知・技 学・人	希望と勇気・努力と強い意志 個性の伸長
②	ピンク色の紙と黄色の反射材のどちらが安全か確かめる。	知・技 学・人	個性の伸長
③	CD盤が最もよく反射しにじ色に映ることに気付く。	知・技 学・人	希望と勇気・努力と強い意志 生命の尊さ
④	反射材に適した物を見つけた喜びと反射した光の美しさに心を奪われる。	学・人	真理の探究 感動・畏敬の念
⑤	放課後も研究用ミニチュアタウンの中を歩き回って安全を確認する。	思・判・表 学・人	真理の探究
⑥	休日に父親と近所のカーブミラーを実際に調査する。	知・技 思・判・表 学・人	真理の探究 家族愛・家庭生活の充実
⑦	CD盤は歩行者には反射し過ぎではないかという疑問をもち始める。	思・判・表 学・人	善悪の判断・自律・自由と責任 正直・誠実 親切・思いやり 公正・公平・社会正義

図1 Hy-brid 評価軸-追究活動版- K 児の追究活動 (一部抜粋)

Hy-brid 評価軸-追究活動版		K 児の追究活動 No.						
道徳的諸価値		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
主として自分自身に関すること	善悪の判断 / 自律 / 自由と責任	←	←	←	←	←	←	●
	正直 / 誠実	←	←	←	←	←	←	●
	節度 / 節制	←	←	←	←	←	←	←
	個性の伸長	●	●	←	←	←	←	←
	希望と勇気 / 努力と強い意志	●	←	●	←	←	←	←
主として人との関わりに関すること	真理の探究	←	←	←	●	●	●	←
	親切 / 思いやり	←	←	←	←	←	←	●
	感謝	←	←	←	←	←	←	←
	礼儀	←	←	←	←	←	←	←
	信頼 / 友情	←	←	←	←	←	←	←
主として集団や社会との関わりに関すること	相互理解 / 寛容	←	←	←	←	←	←	←
	規則の尊重	←	←	←	←	←	←	←
	公正 / 公平 / 社会正義	←	←	←	←	←	←	●
	勤労 / 公共の精神	←	←	←	←	←	←	←
	家族愛 / 家庭生活の充実	←	←	←	←	←	←	●

### 参考文献

- [1] 例えば、「昭和 22 年度学習指導要領理科編(試案)」  
http://www.nier.go.jp/guideline/index.htm 閲覧日 2019. 4. 10
- [2] 松原憲治, 高阪将人「資質・能力の育成を重視する教科横断的な学習としての STEM 教育と問い」(2017), 科学教育研究, Vol. 41. No. 2, pp150-160.
- [3] 新井健一「これまでの STEM 教育と今後の展望」(2018), STEM 教育研究 Vol. 1, pp3-7.
- [4] 澤柿教淳「うつつして守ろう交通の安全(光の進み方)」(2009), 初等理科教育 Vol. 43 No. 6, 農文協, pp. 50-52.
- [5] 澤柿教淳「『Hy-brid 評価軸』を用いた評価に関する研究-『総合的な学習の時間』における『自己の生き方』に関わる評価規準の設定の試み-」(2017), 松本大学教育総合研究創刊号, pp. 55-66.

# 大学生に対する ILDs 力学分野の課題－概念地図法による授業分析－

石井哲夫, 谷口和成

京都教育大学 物理

guchi@kyokyo-u.ac.jp

## 1. 評価ツールによる定量的評価の問題

一般に, ILDs[1]をはじめとする物理教育研究(PER)に基づく授業では, 評価テストを用いた定量的評価が行われる。中でも授業前後の得点率差から導かれるゲインは, 授業効果の証拠として重要な位置を占めている。しかし, ILDs のように科学的概念への変容に向けて良く練られた設問群も, 自身の文脈を持っており, 評価テストもまた文脈を持っている。仮に, 高いゲインが得られたとしても, ILDs の文脈に依存した理解にとどまるならば, さらに一般的な理解への支援が必要だろう。本報告では, 評価テストに加えて, コンセプトマップおよび記述式調査を用いて授業分析を行い, ILDs 力学授業に対する課題を検討した。

## 2. ILDs の実施と FMCE による評価

教育系大学 1 年生の物理実験において, 2 クラス(計 50 名)を対象に, ILDs の運動学(KIN1, KIN2)とニュートン力学(N1・N2 および N3)のユニット(全 3 回)を実施した[2]。

学生の学習歴は, 高校「物理」履修者 60%, 「物理基礎」までの履修者 26%, 物理履修なし 14%である。

FMCE による概念理解の評価は, 表 1 の通り, ゲインは  $g = 58.5\%$  となり, 一定の成果を得た。

表 1 FMCE の結果 (N=50)

	pre 得点率[%]	post 得点率 [%]	gain [%]
FMCE	40.9%	75.5%	58.5%

## 3. コンセプトマップの作成

ILDs 終了 1 週間後に, 力学学習の「振り返り」としてコンセプトマップ(概念地図)を作成した。実施時間は個人作成を 15 分, その後のグループ討論に基づくグループ作成を 20 分とした。

表 2 に示す中心ラベルと, 6 個のラベルを指定し, ここに, 重力と磁気力という ILDs に登場しないラベルを含めた。また, ラベルは自由に追加可能とし, ラベルを結ぶときには, リンクの意味を示す命題を記入することとした。

表 2 コンセプトマップの指定ラベル

中心ラベル	物体の運動
与えたラベル	運動の第 1 法則, 運動の第 2 法則 運動の第 3 法則, 衝突, 重力, 磁気力

## 4. コンセプトマップの分析

コンセプトマップの定量的な分析法としては, ラベル(ノード)数, リンク(エッジ)数, 階層数の得点化等の方法があるが, ここではラベル間の距離を比較し, ラベルどうしの近縁関係を評価する方法を採った。すなわち, 各リンクの長さを 1 と仮定し, ラベル間の距離を「最短経路問題」(ダイクストラのアルゴリズム)として捉えた。

例えば図 1 で, 「重力」と「第 3 法則」の最短距離を 5 とカウントした。階層数が大きくなれば距離も増大するが, ラベル間の距離の差のみに着目し, 距離自体は考慮しなかった。

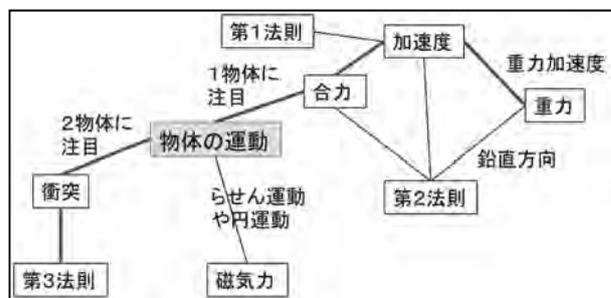


図 1 学生のコンセプトマップ(個人)の一例

[分析 1] 「衝突」と「運動の 3 法則」との距離  
「衝突」ラベルは, 75%の学生が「第 3 法則」

のみに隣接させており、「衝突」と各法則との平均距離  $L_1 \sim L_3$  は、図2のようになった。対応のある t 検定の結果、 $L_1$  と  $L_2$  には有意差がなく、 $L_1$  と  $L_3$ 、 $L_2$  と  $L_3$  には、それぞれ有意差が見られた ( $t(47)=9.5^{**}$ ,  $t(47)=10.4^{**}$ ,  $**p<.01$ )。

3人1グループ (N=17) で作成したコンセプトマップにおいても、「衝突」ラベルは、全グループで「第3法則」のみに隣接した。これは、ILDs 力学において、衝突現象が第3法則ユニットのみに現れることに関係すると考えられる。

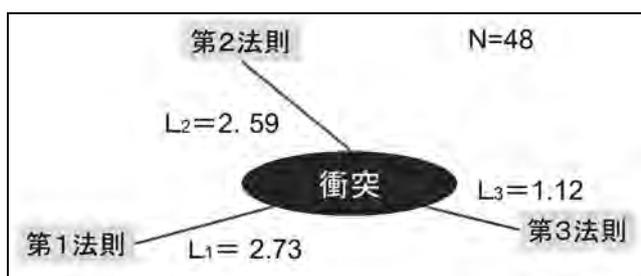


図2 衝突ラベルと各法則ラベルとの平均距離

[分析2] 「磁気力」「重力」と「第3法則」との距離

磁気力と各法則との平均距離  $LM_1 \sim LM_3$  と、重力と各法則との平均距離  $LG_1 \sim LG_3$  は、図3に示す通りとなった。対応のある t 検定の結果、磁気力に関する  $LM_1 \sim LM_3$  に有意差は見られなかったが、重力に関しては  $LG_2$  と  $LG_3$  間のみ有意差が見られた ( $t(44)=2.73, p<.01$ )。

つまり、「重力」は第2法則と結びつきやすく、第3法則とは結びつきにくい概念であることがわかる。これは、ILDs 力学における重力が、加速度の原因としてのみ登場することと無関係ではないと考えられる。

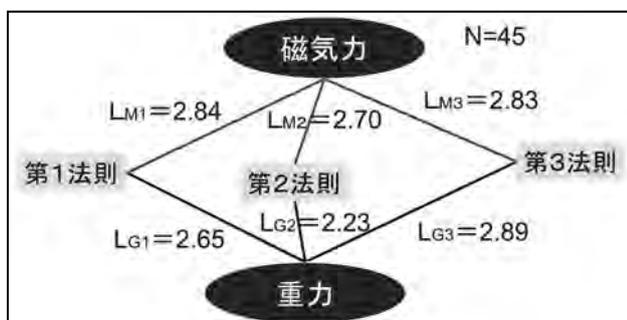


図3 磁気力、重力と各法則との平均距離

## 5. 記述式調査の結果と分析

ILDs 終了1週間後に実施した記述式調査で

は、高校「物理基礎」に登場する設問を中心に、多肢選択の回答と、選択理由の記述を求めた。

問「ニュートンは、なぜリンゴが落ちるのかを考えています。地球とリンゴにはたらく力を正しく述べているのは、ア～ウのどれですか？」

- ア. 地球はリンゴを引くが、リンゴは地球を引かない。
- イ. 地球はリンゴを引く、リンゴは地球を引く。ただし2つの力は同じ大きさではない。
- ウ. 地球はリンゴを引く、リンゴは地球を引く。2つの力は同じ大きさである。

図4は、上記設問例の回答分布である。

ここで、正答(ウ)は高校「物理」履修者のみであった。ただし、理由を含めた正答(ウ○)は6名のみであったことに留意する必要がある。また、理由記述に「落ちる」という動詞を含むものが16名いたが、「落ちる」が第3法則に結びついた例は、一例もなかった。

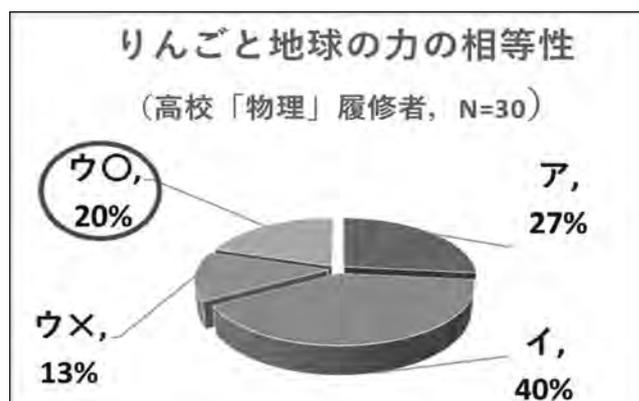


図4 りんごと地球の力についての回答分布

## 6. ILDs 授業の課題

ILDs は概念変容に有効であるが、高校「物理」を履修した学生であっても、「衝突→第3法則」、「重力→落下→第2法則」といった理解が残っている。こうした状況を踏まえ、「重力→第3法則」等の普遍的な理解のための展開が必要と考える。

### 参考文献と注

- [1] Sokoloff, D.R. and Thornton, R.K., *Interactive Lecture Demonstrations: Active Learning in Introductory Physics*, 2004, Wiley.
- [2] ILDs 授業後は毎回レポートを課しており、学生が自身の概念変容を振り返ることによって、概念理解の定着を図っている。

## ILDs における力学概念理解に影響する諸要因の検討

京都教育大学<sup>1</sup>，香川大教育<sup>2</sup>，東京農工大<sup>3</sup>

谷口和成<sup>1</sup>，彦野冬馬<sup>1</sup>，笠潤平<sup>2</sup>，覧具博義<sup>3</sup>，村田隆紀<sup>1</sup>

E-mail guchi@kyokyo-u.ac.jp<sup>1</sup>

同じアクティブ・ラーニング（以下 AL）型授業を受けても、学習者によって概念理解度が異なる原因について、学習者の科学的推論力の差異を中心に検討している。この視点について Coletta らは、科学推論力（CTSR [1]で評価）に注目し、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）との関係を調査した結果、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]。そこで本研究では、日本において同様の調査を行っている「物理教育の現状調査プロジェクト」[3]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 らの成果を参考に同様の分析、検討を行った結果、これまでに、全体的な傾向として、(1) FCI のプレ・ポストの得点は CTSR の得点と正の相関があること、(2) 規格化ゲインは科学推論力に依存しないこと、ただし、認知発達の視点に着目すると、(3) 前期移行期以前の集団については、授業効果が科学推論力に依存する傾向があること、等を明らかにしている [4]。

本稿では、(2)の結果に注目し、本学の ILDs 型授業 [5]の效果に影響するその他の要因として、高校時代の物理授業および生徒実験の経験およびスタイル等についてアンケート調査を行い、その関係について分析した。対象は、2014～17 年に ILDs 型の授業を受けた理科領域専攻の 1 回生、計 157 名（うちアンケート対象 133 名）である。なお、この間の規格化ゲインは平均 0.36 ( $\sigma = 0.05$ ) であり、CTSR の正答数によるピアジェに基づく、具体的操作期 + 前期移行期、後期移行期、形式的操作期の割合は、それぞれ 8%、37%、55%である [4]。

アンケート調査結果について、物理授業中の話し合いの活動の有無で授業スタイルを【講義型】と【AL 型】に分類して、分析を行った。その結果、高校で物理を履修した学生（114 名）の約 8 割（90 名）が講義型の授業であり、規格化ゲインを比較したところ、AL 型の授業を受けた学生の方が有意に高いことが明らかになった（右図）。ここで、話し合いの有無は必ずしも AL 成立の基準にはならないが、少なくとも授業中に自分と他者の考えを意識（比較）する経験が、本学で AL 型授業を受ける際の「慣れ」

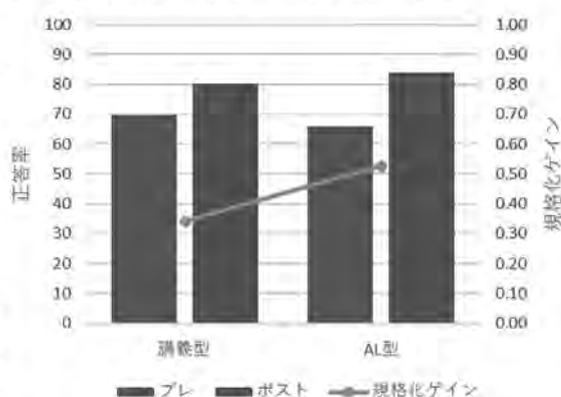


図 授業形式による授業効果の違い

となって授業効果に影響を与えた可能性がある。講演では、その詳細に加え、高校での物理実験の経験やスタイル、その他の要因との関係についての分析結果も交えて報告する。

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

### 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，覧具博義，他，第 35 回物理教育研究大会発表予稿集，46-47 (2018).
- [5] 谷口和成，大学の物理教育 23-3, 132-137 (2017).

# ラオスでの物理教員養成支援

<sup>A</sup>永田敏夫、<sup>B</sup>Saykham Phommathat、<sup>B</sup>Syhalath Xaphakdy

<sup>A</sup>元 JICA シニア海外ボランティア 2015-2 ラオス、<sup>B</sup>ラオス国立大学教育学部  
0k0t.nagata@gmail.com

## 1. はじめに

JICA 海外協力隊は、途上国の経済・社会の発展、復興への寄与、異文化者間における相互理解と共生、ボランティア経験の社会への還元を目的としているが、現地人のカウンターパートと二人三脚で先方の自立支援を目指して課題解決に当たる。任地要請事項の『ラオス国立大学におけるマルチメディアを活用した物理基本実験授業の構築』<sup>[1]</sup>を補完する国内教員養成校巡回『サイエンスキャラバン』を行い、ラオス物理教員養成支援に関わる実践をしたので報告する。

## 2. ラオスでの理科教員養成課程

ラオス国立大学教育学部と同国内 8 教員養成校には理科教員養成課程がある。国立大学では、養成課程に実験科目が設定されていないが<sup>[2]</sup>、各養成校では、物理、化学、生物実験室が整備されており、2016 年度教育スポーツ省教員養成局から実験機材が補充され、実験科目が設定されている学校もある。新実験機材活用に関わる教育省主導の研修も開始されていた。また、ラオスに派遣されていた前任の青年海外協力隊員が、理科教育部門でサイエンスフォーラオというユーチューブチャンネルにラオス語で基本実験の動画を現地教員と協働でアップロードし実験指導の強化に着手し始めていた<sup>[3]</sup>。このため、国立大学教員の指導技術向上と教員養成校の実験機材有効活用を支援する巡回講座『サイエンスキャラバン』を行うこととした。

## 3. サイエンスキャラバンの実施

キャラバンは、基本実験講座と科学の祭典講座の 2 部構成とした。物理教育研究会の基本実験講習会<sup>[4]</sup>を参考にしながら、協力隊員から得た配布実験機材目録を基に、39 項目の実験希望タイトルを設定し、事前にタイトルの選択と決定を依頼した。基本実験の習熟、科学祭典で子供たちに科学実験の魅力を伝達、ラオス人同士の情報交換の活発化、教材自作意欲の高揚、情報発信の日常化等、設定課題解決の具体化を目指した。

### 基本実験講座

全体 4 日日程のうち、1 日目は、スタッフと共に、実験タイトルについて確認し、機材を準備する。4 人 1 グループで、異なる 5 テーマを 5 グループ同時展開で行い、実験目標、機材、手順、結果整理、考察という展開手法作成を目指すものとした。2 日目には、学生実験を行い、写真や動画も用いてパワーポイントで実験報告を行わせた。

### 科学の祭典指導者講座

3 日目からは科学の祭典講座を、現地で入手できる身近な材料で行うスライム等簡単な 10 実験

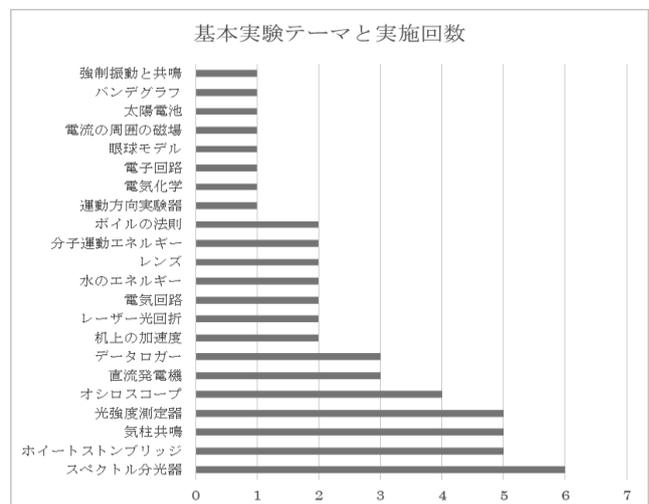


図 1 物理基本実験テーマと実施回数

で実施した。養成校の学生を担当を決め、準備や実験について説明した。4日目は、出前先の附属小学校や各県に設置されている児童センターで、3日目に講習を受けた学生やセンタースタッフがジュニアリーダーに教え、そのリーダー達が小さな子供たちに科学の祭典を行う形を基本とした。ただし、附属小学校の場合には、ジュニアリーダー型ではなく、全体1日日程で行う場合もあった。

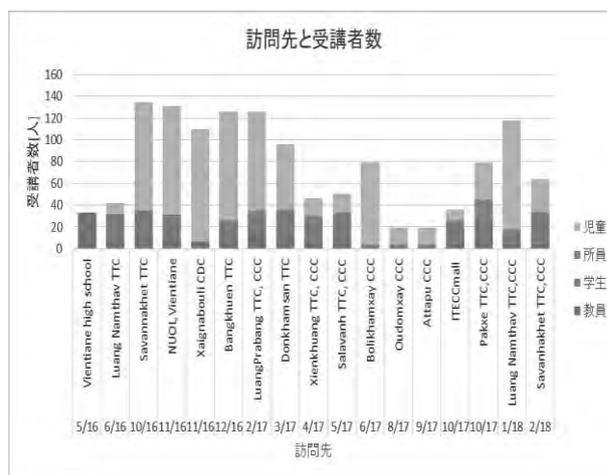


図2 訪問先と受講者数

#### 4. 実施結果

大学間の連絡はラオス人同士で行うようになり、国立大学事務局と同行教員の連携も進んだ。養成校

によっては、附属学校の教員に実験講座参加を呼び掛けているところもあった。児童センターも協力隊員の在籍しているところばかりではなく、養成校が調整して実現したところもあり、連携強化が図られた。実施した基本実験テーマは図1のとおりで、受講者は勿論、同行スタッフの指導技術向上に寄与できた。訪問先は、図2にある、12県、8養成校、4附属小学校、8児童センター、1ショッピングモールに及び、科学の祭典は子供たちばかりでなく学生や教員の興味も引いていた。

訪問先養成校での教材自作実践や学生による授業補助体制に刺激を受け、国立大学の中でも、休日や放課後の課外活動に、自作教材開発や補助学生養成活動の動きが生まれたりした。更に、情報交換について、日本の教員養成大学大学院構想を支援するグループが継続的に開催する国際数理解科教育会議で<sup>[5]</sup>、国立大学スタッフが発表するなど情報発信の体験を進めることもできた。

#### 4. おわりに

JICAの協力隊員派遣は人的資源の提供が基本だが、JICAボランティアと同行ラオス人スタッフ2名の交通費と、科学の祭典実験消耗品の一部は、大学から依頼しJICAに支援を受けた。ただし、自立支援の観点から、科学の祭典消耗品の一部は、同行ラオス人スタッフが旅費の一部から寄付したり、先方センターが準備したりした。ラオスでは一般的に公的講習受講者に日当を支給しているが、この活動では支給せず、先方の昼食やお茶等の接待は不要とした。児童センターでは施設設備にJICAからの支援を期待する声もあったが、受講者の感想は非常に好意的で、講座の歓迎、再訪の期待も多かった。車での移動で事業継続を模索する動きが国立大学に生まれたのは、成果だった。

#### 参考文献

[1] T.Nagata et.al., “Beginning physics experiments class using multimedia in National University of Laos”, International Journal of Education and Pedagogical Sciences, 3249 Vol.10 No.9 (2016), World Academy of Science, Engineering and Technology

[2] Ministry of education and sports of Laos, “Academic physics teacher curriculum for secondary teachers (from 1 to 7 year)” written in Lao, pp6-8, (2013), Department of Education Laos,

[3] サイエンスフォーラオユーチューブチャンネル [https://www.youtube.com/channel/UCtP6trBtpjTd-tdQlO\\_mB2w](https://www.youtube.com/channel/UCtP6trBtpjTd-tdQlO_mB2w)

[4] 増子寛「高校物理の授業に役立つ基本実験講習会」物理教育 41 65 No.1(2017)

[5] 齋藤昇「開発途上国の自立的改善を促す教員養成大学大学院創設方略についての学術調査研究成果報告書」(2018.6.15) 科研費研究成果報告書

# フィンランド教育学から見たアクティブラーニングの課題

北海道大学総合博物館（元酪農学園大学教職センター理科教育学） 山田大隆

札幌市中央区北20条西15丁目7-5 E-mail:[yamada2196@gmail.com](mailto:yamada2196@gmail.com)

## 1. はじめに（学力向上問題への考察と教授学習方法論改善）

2020年度から高等学校学習指導要領改訂に伴ない、教育手法に大学教育では常態となっているLTD（討論学習アクティブ・ラーニング）方法が大幅に取り入れられた。

現在、平成元年に始まる「ゆとり教育」、週5日制問題の帰結として、義務教育課程での学力低下問題、延長での学力問題（2006年問題）が指摘され、その改善として、学校週6日制（土曜授業復活）が実施され定着（主に私学）している。国際基礎学力問題で主流のOECDのPISA調査では、2000、03、06、09年までは、フィンランドは読解力（国語力）で00、03、06年で、1、1、2位、科学的リテラシー（常識）で3、1、1位、数学的リテラシー（常識）で4、2、2位であった。注目の日本は読解力で8、14、15位、科学的リテラシーで2、2、6位、数学的リテラシーで1、6、10位で、この急降下が衝撃的で、ゆとり教育の方法的失敗が原因とマスコミを賑わした。その後、学習指導要領の部分的改訂が実施、脱ゆとり教育の国家現場一丸の努力がなされ、06年を底にV字回復で00年の水準に戻りつつあるが、教育方法刷新の課題は未解決のままである。フィンランド教育の各国教育界に提起した課題は、学習者の主体的学習力の育成、教師の水準高揚（基礎学力=修士課程を最低基準、教育技術革新）、国家の教育行政改善（教育予算の拡大と確保、教員研修制度充実、教育系大学と現場、教育行政機関の連携）であった。日本からも多くの現場教師、行政官がフィンランド視察を行ない、その結果を県行政、現場の教育力改善に取り入れ、成果（秋田県等）を生んでいる。資源小で教育立国、技術立国を標榜する日本では、この教育実現の古く新しい課題を真剣に検討する時期に来ている。筆者は高校現場教育、大学教育（教員養成課程）の連結から日本物理教育学会北海道支部、北海道数学教育研究会（日本数学教育学会北海道支部会）の活動に永く参加し、発表し、討論を重ねてきた。今回はその集約として、教育方法の新時代（脱ゆとりだが、従前の知識伝達型教育方法からの脱却として）に適合する、フィンランド教育学が示した学習者の自主的学習力向上方法としての、アクティブラーニング方法の、日本での有効的方法内容を考察し、期待される望ましい方向性を提言する。

## 2. フィンランド教育学の特徴

### （1）フィンランド生徒の学力（応用学力世界一）の特徴

フィンランドの子どもも学力はPISAによると、平均値が高い、習熟度の低い子どもの割合が少ない、女子生徒の学力が高い、が指摘され国際的によく知られる。この子どもの学力育成に歴史的に国家教育行政がどう関わり、教師がどう対応したか。ヘルシンキ大学教育学部を中心とするフィンランドの9国立大学での国家的教師養成がどうなっているか、を現地視察で具体的（教育行政者懇談、学校現場視察）に知ることは重要である。

- (2) フィンランド教育の優秀性の内容 (鈴木らの10校の小中学校訪問結果)
- a) 学校と教室の規模 (人口550万人、使用面積は日本並み、平均小70、中150人)
  - b) 授業と学びの様式の特徴 (プロジェクト型、共同学習方式が徹底)
  - c) 遅れた生徒に対する手厚い指導体制の完備 (平等、質を統一的に追及、競争主義の廃止) で、学力下位生徒は少ない (廊下に机を出し、教師が徹底して学習補助に務める)。

(3) フィンランド教育の教訓

- a) 教育省と国家教育委員会の2国家教育機関での中央の教育行政が執行
- b) 地方教育委員会の活躍 (学校格差の今の現状は、国家と地方の教育委員会の連携)
- c) この国の教育の優秀性は、1992年以降の空前の経済不況の克服過程で育成

(4) フィンランドにおける科学教育理論 (ヘルシンキ大化学教授ラボーネン2010年) 教育学的知識内容 (PKS), 一般的教育学的知識 (GPK), 研究創造的消費的知識 (RES), 学術的一般的教育学的知識、教育学的知識 (PCK)、学級経営と組織化、教授モデル創出と戦略、学級のコミュニケーション、教師のイベントとヒストリーテリング

3. 物理教育におけるアクティブラーニングの総括 (2016~2019年)

(1) 今日何故アクティブラーニング重視なのか (アメリカ教育学ラーニングピラミッド) フィンランド教育学とアクティブラーニングの共通性と展開課題

(2) 北海道のアクティブラーニング研究の全国的先進性の歴史

(3) 北海道のアクティブラーニング教育実践の成果と具体的内容 (地方支部会誌解題)

(酪農学園大学化学科でのLTD授業の実践結果、北海道数学教育研究会での予備校アウトプット学習分析、高校数学授業でのルーブリック評価結果、高校物理での反転授業結果)

(4) 北海道でのアクティブラーニングの事例としての物理ピア・インストラクション

(5) ディープ・アクティブラーニングの意義と教育方法論としての可能性

4. まとめ (大学教育で必須方法の意味、中等教育での教授項目不足の問題点、知識伝達型学習と議論中心型学習 (LTD) のバランス、教師研修の必要性、予備校での理解度調査研究との連携、新学習指導要領に適合した新しい思考力評価方法の創出)

引用文献

- (1) 山田大隆「酪農学園大学教職課程研究」第10号 (2013. 3.) p57~87
- (2) 同 「日本理科教育学会北海道支部会誌」第19号 (2008. 3) p8~10
- (3) 庄井良信、中島博 (編著)『フィンランドに学ぶ教育と学力』(明石書店、2005)
- (4) E. レディッシュ (日本物理教育学会)『科学をどう教えるか』(丸善、2012)
- (5) 鈴木誠『フィンランド理科教育—高度な学びと教員養成』(明石書店、2007年)
- (6) 同 『学習意欲の処方箋』(東洋館出版、2002年)
- (7) 大野栄三「第15回北海道大学、ソウル大学ジョイントシンポジウム分科会と招待講演、理科教員養成課程の日韓比較とヘルシンキ大学教員養成課程」(「北海道大学教職課程速報」第1巻、(2011) p43~57)
- (8) 小林昭文『アクティブラーニング入門』(産業能率大学出版、2016年)

# 原著講演 2A

# 仕事とエネルギーの指導～pseudowork に関連して

西尾信一

日本薬科大学

nishio@zd6.so-net.ne.jp

## 1. はじめに

仕事は、力と作用点の変位との内積で定義される物理量である。しかし、力の作用する対象が質点ではなく大きさがある物体の場合、力と物体の重心の変位との内積（これは pseudowork とよばれている<sup>[1]</sup>）を仕事として「仕事＝エネルギー変化」の関係を扱っているケースが、教科書の説明や演習問題などで見られる。これは学習者の仕事とエネルギーの関係の理解に混乱をもたらすので、指導に留意して、なるべく使用を控えることを提案する。

## 2. pseudowork とエネルギーの関係

質点の力学では、運動方程式を作用点の変位で積分して、よく「エネルギー原理」とよばれる「外力のした仕事＝質点の運動エネルギーの変化」の方程式を導く。一方、質点系で運動方程式を重心の変位で積分すると、次のようなエネルギー原理に似た方程式が得られる<sup>[1][2]</sup>。

外力のした pseudowork＝重心の運動エネルギーの変化

重心の力学的エネルギーについて考えるだけなら、この方程式を知っていると便利な場面はあるし、後で述べるように多くの生徒や教師がそれを使っているのが現状である。しかし、次節で具体例を示すように、この方程式では「系に外から与えた仕事＝系のエネルギー変化」という最も基本的なエネルギー概念を説明することはできない。物理的に正しい理解にはつながらない数学的な関係式という意味では、鉛直ばね振り子の力学的エネルギー保存を、（重力による位置エネルギーを無視して）つりあいの位置からの変位で形式的な弾性エネルギーを求めて立てる方程式のようなものと言えよう。

## 3. pseudowork と仕事との違い

仕事は系のエネルギー変化を正しく説明するが、pseudowork は重心の運動エネルギーしか説明できない。そのことを確認すべく、例を2つ挙げる。

### 例1 水平ばね振り子（おもりと軽いばね全体を系とする）

ばねの固定点からばねにはたらく外力がする pseudowork は、重心の運動エネルギー（＝おもりの運動エネルギー）の変化に等しい。もちろん、この外力の作用点は動かないから、外力が系に与える仕事（＝エネルギー流入）は0である。実際に起こっているのは、系の中でのばねの弾性エネルギーのおもりの運動エネルギーへの変換である。

### 例2 粗い斜面を滑らずに転がる円柱

重力がする pseudowork と斜面から円柱にはたらく静止摩擦力のする pseudowork の和は、重心の運動エネルギーの変化に等しい。静止摩擦力は作用点に変位しないので、仕事は0である。実際に起こっているのは、重力がする仕事、円柱の全運動エネルギー（＝重心の運動エネルギーと重心のまわりの回転運動のエネルギーの和）の変化になるというエネルギー流入と変換である。

## 4. 教科書などで pseudowork が仕事として扱われている例

### 例1 階段を駆け上がる仕事

階段を駆け上がる時間を測定することによって仕事率を求める生徒実験が、教科書で紹介されてきた。しかし、このときの仕事は、階段から人の足にはたらく垂直抗力による pseudowork である。実際に起こっているのは、外力である垂直抗力の仕事は0で外からのエネルギー流入はなく、重力が人にした負の仕事が人体内の化学エネルギーの変化になる、あるいは化学エネルギーが重力による位置エネルギーに変換されるということである。

### 例2 動摩擦力や抵抗力がする仕事

教科書では、動摩擦力のする仕事のぶんだけ物体の力学的エネルギーが失われることが紹介されるが、この仕事は pseudowork である<sup>[1]</sup>。また、物体に弾丸がめり込んで止まる場合の、抵抗力がする仕事を使ってめり込む長さを求める演習問題があるが、それも同様である。たとえば、粗い水平な床をすべり動いて減速して止まる物体の場合、動摩擦力は負の pseudowork (大きさは摩擦力×物体の変位) を物体に与え、物体はそのぶん運動エネルギーを失う。しかし、実際に起こっているのは、床から物体にはたらく動摩擦力がする負の仕事 (動摩擦力の作用点の変位は一般に物体の変位よりも小さく、この仕事の大きさは**摩擦力×物体の変位よりも小さい**<sup>[2]</sup>) が物体の運動エネルギーの変化 (負) と物体の内部エネルギーの変化 (正) になるというエネルギー流入と変換である。このとき、同時に物体は床に正の仕事をして、それが床の内部エネルギーの変化 (正) になる。物体と床全体を系とすれば、物体の運動エネルギーの減少分が、物体と床の内部エネルギーの増加分になるエネルギー変換が起きている。

## 5. pseudowork を使わない指導を

階段を上る人や動摩擦力を受けて運動する物体など、pseudowork を本来の仕事として説明しているエネルギー変換は誤った説明である。そもそも、一般にある系のエネルギーが変化するとき、その原因はもちろん仕事による場合もあるが、熱や光などの場合もある。変化するエネルギーが力学的エネルギーの場合、仕事で説明したくなるのは理解できるが、物理的に誤った説明をあえてして、学習者のエネルギー概念を混乱させる必要はないだろう。非弾性衝突で生じる熱 (正しくは内部エネルギー) を求めるときに失われる運動エネルギーを計算するように、もしも摩擦熱を求めたければ、たんに運動エネルギーの減少量を計算するだけでよい。力学的エネルギーの変化を仕事で説明したければ、手で押す力のように、動摩擦力以外の作用点が明確に決められる力を扱えばよい。また、動摩擦力による減速を定量的に扱いたければ、pseudowork と重心の運動エネルギーとの関係式ではなく運動方程式にすればよい。

## 参考文献

- [1] Claude M. Pechina : Pseudowork-energy principle, Am. J. Phys. 46(1978)295-296
- [2] Bruce Arne Sherwood : Pseudowork and real work, Am. J. Phys. 51(1983)597-602
- [3] Bruce Arne Sherwood, W.H. Bernard : Work and heat transfer in the presence of sliding friction, Am. J. Phys. 52(1984)1001-1007

# 日常生活の中の素材を用いた圧力の教授法

<sup>A</sup>巨海玄道、<sup>B</sup>野田常雄、<sup>C</sup>野口聡仁

<sup>A</sup>久留米工業大学、<sup>B</sup>教育創造工学科、<sup>C</sup>ものづくりセンター  
geomi@kurume-it.ac.jp

## 1. はじめに

圧力は熱学分野で温度とともに物質の状態を支配する重要なパラメーターの一つであるが日常生活をおくる上で温度に比べてあまり馴染みがないと言うのが正直なところである。しかし圧力鍋に代表されるように圧力は我々の日常生活の中でいたるところで出現しており、その理解は現代人にとって必要な科学知識の一つとなっている。また自然科学分野では圧力は物質の状態を変化させ、物質の新しい側面を開拓し、そのことにより新しい学問分野を切り開くための有効な手段として知られている[1,2]。大学や高校における物理教育において圧力の概念の導入法は内外の教科書によって異なっている[3]。本研究は最近の若者の理科離れが顕著な中でまた基礎学力の不足が見られる大学初年次教育の中で、圧力に対してどのような導入法が適切なのかを模索した。最近の多くの高校生や大学初年次学生は理科の学習が日常生活とあまりにもかけ離れているという印象を持っているようである。その中でも特に物理はその傾向が強い学問分野であり、暗記科目の一つとして考えられ、大変な誤解を生んでいる。しかし圧力は現在自然科学の研究分野ばかりでなく、我々の日常生活の中に深く入り込んでおり、その理解は自然科学の成果が日常生活にいかに取り入れられているかを理解するよい例を提供する。本研究はこのような視点に立ちなされ、初等・中等教育あるいは大学初年次教育レベルで身近な素材を用いた「圧力」の導入法について紹介したい。

## 2. 実験方法について

### 2.1) ゆで卵を使った圧力実験

この実験は1で述べたように物理という学問が日常生活と遠く離れている分野であると考えている学生・生徒達の先入観を除去するのに最適な教材の一つであると言える。物理の演示実験はそれを見る学生の興味を単に引くだけでなく、その現象の物理的背景がわかり易いことが必要である。そのような意味でこの実験は以下で述べるように典型的なものと言える。ただ多人数のクラスでは牛乳瓶、ゆで卵、水浴のための容器、その他の装置の準備にはかなりの時間が必要であり、単純な実験の割には手がかかる。本演示実験・講義はこれまで熱学の分野で1～2年生（文系又は理系）を主としたクラスで行われた。

### 2.2) 実験方法の概要

2つの牛乳瓶を用意し、以下のようなプロセスでゆで卵を牛乳瓶の上に置く。

- 1) ゆで卵は慎重に殻を取る。傷がつくとそこから空気が漏れることになる。
- 2) ここでは次の2つの牛乳瓶を用意した。

A) 80°Cの温湯につけた牛乳瓶、B) 50°Cの温湯に入れた牛乳瓶

- 3) 牛乳瓶の上に卵を置いた後、自然冷却させる。この時の室温は20°Cであった。

（このプロセスは後に述べるように、いくつかのバリエーションがあり、それによって卵の振る舞いも違ってくるので注意を要する）

### 3. 実験結果

#### 3.1) “卵を食べる”牛乳瓶

はじめに図1にゆで卵を載せた直後の牛乳瓶A, Bの状態を示す。卵はこの状態では載せられたままで特に瓶の中には入っていない。ところが空気中にそのまま放置する(場合によっては適宜うちわ等で牛乳瓶の冷却を早めた)と次第に卵は牛乳瓶の中へと入っていく。この時、学生たちは大きな歓声を上げ驚いていた。実験を始めて約20分後のA, Bの様子を図2に示した。いずれも卵は瓶の中に入っているが、Aの方が顕著であり約半分近く入っている。

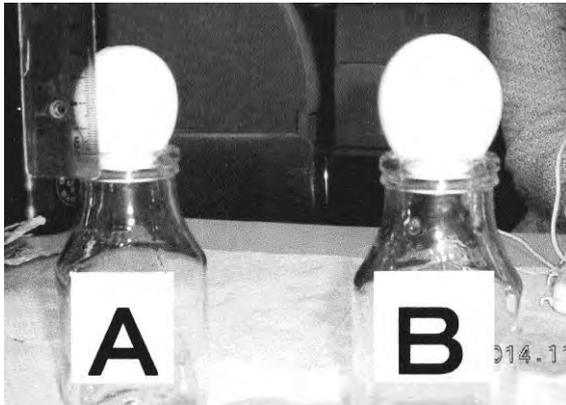


図1. 卵を牛乳瓶に載せた直後



図2. 20分後のA, Bの状態。

この後、放置しているとA, B共に入り方は緩慢となる。特にBは約7分後にはほとんど飽和状態となったがAは30分たってもなお入り続けた。牛乳瓶の直径(3cm)と卵の直径(4cm)が大きく違ったために最終的にはゆで卵は壊れて瓶の中に落ちた。

#### 3.2)前節の結果の簡単な解析

この結果の解析は状態方程式を使い、簡便な圧力・温度測定装置とパソコンを使って行った。瓶内の温度が80℃から20℃へ下がることにより圧力が下がり瓶の外の圧力と差が出来ることで説明した。殆どの学生は納得したようであった。

### 4. 簡単な考察とまとめ

このような演示実験をしたクラスのアンケートを取ったのでここで紹介する。15回の講義で双方向を持たせた大小の実験を行った。即ちこれらの実験は全て学生による演示実験であった。代表的なテーマとしては、1) 比熱、2) 熱量保存則、3) コイル(金属管の中を落ちる強力磁石)、4) 物質の3態、5) 卵を食べる牛乳瓶、等であった。学生が興味を引いた実験は5)が60%と最も高く、次いで3)の17%、1)と2)がそれぞれ8%程度となった。卵を食べる牛乳瓶は意外性と全て日常生活で見られる素材を使ったものであるためこのような結果が出たのだろうと考えられる。いずれにせよこの実験は簡単な理想気体の状態方程式を知っておけばよく物理的肉づけもそう難しくないので初年次学生あるいは初等・中等教育でも使えるものと考えてよい。

### 参考文献

- [1] “高圧技術ハンドブック”(丸善,2007)。
- [2] Y.Uwatoko *et al.*, *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, Vol.42, Chapt.254 (2012).
- [3] 例えば以下のような教科書を見よ: “物理基礎” p.67 (数研出版、2012)、“物理” p.98 (数研出版、2014)、Serway “Physics” p.422 (Saunders College Pub. 1995)

# 熱概念に対する学生の理解と混乱の実態 (4)

— アンケート調査の結果を物理教師はどう捉えたらよいか —

独創文化研究所 元東京理科大学 五十嵐 靖則

[igarashi-vasunori@nifty.com](mailto:igarashi-vasunori@nifty.com)

## 1 はじめに

中、高等学校理科教科書の熱概念に対する混乱は目に余るものがある<sup>1)</sup>。熱概念がどのように進化してきたか、欧米のテキスト等を調査し報告してきた<sup>2), 3)</sup>。学生が「熱運動」「熱エネルギー」の言葉をどのように理解しているか、これらの言葉によって誘発される誤概念を抽出すべく選択肢を工夫しながら調査を実施してきた。その結果は、我々物理教師に改善を強く迫るものである。

## 2 アンケートの調査対象と調査項目及び選択肢

2016年、A大学の「工業化学科の基礎物理学(1年生)」と「物理学科の講義実験(2年生)」に、2017~18年は、それに加え「理科教育論1(3年生)」の受講生を対象に、それぞれ4月初めに次に示す質問項目を設定して「熱運動」「熱エネルギー」という言葉をどのように理解をしているかを調べるために質問紙法によるアンケート調査を実施した。以下に調査に用いた質問紙の概要(依頼文は省略)を示す。尚、初年度は選択肢の数を4にしたが、「熱運動」の選択肢で「その他」の選択者が1割弱おり、その中に、「『無秩序な運動によって熱が生まれる』という」予想外の記述があった。そこで、2017年はその意見を採り入れるとともに、誤概念を抽出できるよう、選択肢を増やした。2018年は「熱エネルギー」の項目の選択肢に、この考えを採り入れて、選択肢を1つ増やし(下記の2のア)、その他の選択肢は変更せず実施した。それぞれの調査対象の各学科の人数は、これまでに報告した調査資料を参照されたい<sup>4), 5), 6)</sup>。各年度の%値はそれぞれの母集団の数が異なるので、各学科の平均値を平均して求めたものである。

1 「熱運動」という言葉を貴方は、どのように考えますか。次に示すものの中から正しいと考えるものを1つ選んでその記号に○を付けてください。

- ア 『物質を構成している原子や分子は、無秩序な運動をしている。原子や分子のこのような運動を熱運動といい、この運動により熱が生まれる。』
- イ 『物質を構成している原子や分子は、熱を持っていて、無秩序な運動をしている。原子や分子のこのような運動を熱運動という。』
- ウ 『物質を構成している原子や分子は、熱によって無秩序な運動をしている。原子や分子のこのような運動を熱運動という。』
- エ 『物質を構成している原子や分子は、熱量に応じて無秩序な運動をしている。物質が持つ熱の量に応じた原子や分子の運動を熱運動という。』
- オ 『物質を構成している原子や分子は、温度に応じて無秩序な運動しているので、温度に応じた原子や分子の運動を熱運動と呼ぶのは、適切ではない。』
- カ その他 ( )

2 「熱エネルギー」という言葉を貴方は、どのように考えますか。次に示すものの中から正しいと考えるものを1つ選んでその記号に○を付けてください。

- ア 『物質を構成している原子や分子は無秩序な運動をしている。原子や分子のこのような熱運動によって熱が生まれるので、この熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。』
- イ 『物質を構成している原子や分子は、熱によって無秩序な運動をしている。熱による無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。』
- ウ 『熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。』
- エ 『物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。』
- オ 『物質を構成している原子や分子は、熱量に応じて無秩序な運動をしている。物質の持つ熱量に応じた無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。』
- カ 『内部エネルギーのうち、原子や分子の運動エネルギーと分子間の位置エネルギーの和を熱エネルギーという。』
- キ 『物質を構成している原子や分子は、温度に応じて無秩序な運動をしているので、温度に応じた無秩序な運動エネルギーを熱エネルギーと呼ぶのは適切ではない。』
- ク その他 ( )

## 3 調査の集計結果

表1 集計結果 (表中の①、②、③・・・等の番号は、各項目で選択者の数が多かった順を示す。)

		2016年度 184名	2017年度 296名	2018年度 244名	全体 724名
1 「熱運動」という言葉の理解	ア 原子や分子の無秩序な運動を熱運動という。この運動により熱が生まれる。		40.4% ①	45.4% ①	(42.9)% ①
	イ 熱を持っていて無秩序な運動をしている。このような運動を熱運動という。	(48.1%) ②	10.4 ④	9.2 ④	(14.6) ④
	ウ 熱によって無秩序な運動をしている。このような運動を熱運動という。	29.4 ①	22.9 ③	14.5 ③	(22.3) ③
	エ 熱量に応じて無秩序な運動をしている。熱量に応じた運動を熱運動という。	(48.1/2)=(24.1)	24.1 ②	20.1 ②	(22.8) ②
	オ 温度に応じて無秩序な運動をしているので熱運動と呼ぶのは適切ではない。	15.6 ③	1.9 ⑤	9.2 ④	(8.9) ⑤
	カ その他	6.9 ④	0 ⑥	1.6 ⑥	(2.8) ⑥
2 「熱エネルギー」という言葉の理解	ア 熱運動によって熱が生まれるので、熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。			29.0% ①	(29.0)% ①
	イ 熱による無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。	(52.5%) ②	18.8% ③	15.7 ③	(20.3) ④
	ウ 熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。	43.1 ①	20.9 ②	20.9 ②	(28.3) ②
	エ 物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。		17.9 ④	6.3 ⑦	(12.1) ⑤
	オ 物質が持つ熱の量に応じた無秩序な運動エネルギーを熱エネルギーという	(52.5/2)=(26.3)	25.4 ①	14.3 ④	(22.0) ③
	カ 内部エネルギーのうち分子の運動エネルギーと分子間位置エネルギーの和のこと。		10.5 ⑤	6.9 ⑥	(8.7) ⑥
	キ 温度に応じて無秩序な運動をしているので、熱エネルギーと呼ぶのは適切ではない	3.9 ③	4.3 ⑥	7.0 ⑤	(5.1) ⑦
	ク その他	0.5 ④	2.2 ⑦	0 ⑧	(0.9) ⑧

## 4 調査結果の分析と考察 —「熱運動」と「熱エネルギー」という言葉の理解の分析と考察—

表2 「熱運動」と「熱エネルギー」という言葉の理解(クロス集計) (「その他」の選択肢の記載を省略したために、各年度及び全体欄の%は表1と異なる。)

1 「熱運動」という言葉の理解		2 「熱エネルギー」という言葉の理解		2017年度(296名)	2018年度(244名)	全体(540名)	
ア 原子や分子は無秩序な運動をしている。この運動により熱が生まれる。	ア 熱運動によって熱が生まれるので、熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。			名	22.1%①	名	(22.1)% ①
	イ 熱による無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。	10.2%②	114		5.7 ③	110	8.0 ③
	ウ 熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。	11.3 ①			6.1 ②		8.7 ②
	エ 物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。	5.1		%	2.9		4.0
	オ 物質が持つ熱の量に応じた無秩序な運動エネルギーを熱エネルギーという	6.4 ③	39.3		3.3	45.1	4.9
	カ 内部エネルギーのうち分子の運動エネルギーと分子間位置エネルギーの和	4.3			4.1		4.2
	キ 温度に応じて無秩序な運動をしているので、熱エネルギーは適切ではない。	2.0	①		0.8	①	1.4
イ 熱を持っていて無秩序な運動をしている。このような運動を熱運動という。	ア 熱運動によって熱が生まれるので、熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。			名	2.0	名	(2.0)
	イ 熱による無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。	2.0	32		1.6	34	1.8
	ウ 熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。	1.8			2.5 ①		2.2 ②
	エ 物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。	3.5 ①		%	2.0		2.8 ①
	オ 物質が持つ熱の量に応じた無秩序な運動エネルギーを熱エネルギーという	2.7	10.4		1.6	9.8	2.2 ②
	カ 内部エネルギーのうち分子の運動エネルギーと分子間位置エネルギーの和	0.2			0		0.1
	キ 温度に応じて無秩序な運動をしているので、熱エネルギーは適切ではない。	0.2	④		0	④	0.1
ウ 熱によって無秩序な運動をしている。このような運動を熱運動という。	ア 熱運動によって熱が生まれるので、熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。			名	1.2	名	(1.2)
	イ 熱による無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。	4.5 ②	72		3.7 ②	37	4.1 ②
	ウ 熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。	4.1			4.5 ①		4.3 ①
	エ 物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。	6.6 ①		%	1.2		3.9
	オ 物質が持つ熱の量に応じた無秩序な運動エネルギーを熱エネルギーという	4.5 ②	22.5		1.2	15.2	2.9
	カ 内部エネルギーのうち分子の運動エネルギーと分子間位置エネルギーの和	2.6			2.0		2.3
	キ 温度に応じて無秩序な運動をしているので、熱エネルギーは適切ではない。	0.2	③		1.2	③	0.7
エ 熱量に応じて無秩序な運動をしている。熱量に応じた運動を熱運動という。	ア 熱運動によって熱が生まれるので、熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。			名	2.5	名	(2.5)
	イ 熱による無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。	2.2	70		2.5	50	2.4
	ウ 熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。	3.7 ②			5.3 ②		4.5 ②
	エ 物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。	2.7		%	0.4		1.6
	オ 物質が持つ熱の量に応じた無秩序な運動エネルギーを熱エネルギーという	10.9 ①	23.7		7.8 ①	20.5	9.4 ①
	カ 内部エネルギーのうち分子の運動エネルギーと分子間位置エネルギーの和	3.1 ③			1.6		2.4
	キ 温度に応じて無秩序な運動をしているので、熱エネルギーは適切ではない。	1.1	②		0.4	②	0.8
オ 温度に応じて無秩序な運動をしているので、熱運動と呼ぶのは適切ではない。	ア 熱運動によって熱が生まれるので、熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。			名	0.8	名	(0.8)
	イ 熱による無秩序な運動のエネルギーを熱エネルギーという。	0	7		1.2	20	0.6
	ウ 熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。	0			2.0		1.0
	エ 物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。	0		%	0.4		0.2
	オ 物質が持つ熱の量に応じた無秩序な運動エネルギーを熱エネルギーという	1.0 ①	1.9		0	8.2	0.5
	カ 内部エネルギーのうち分子の運動エネルギーと分子間位置エネルギーの和	0.2			0		0.1
	キ 温度に応じて無秩序な運動をしているので、熱エネルギーは適切ではない。	0.7	⑤		3.7 ①	⑤	2.2 ①

①「熱運動」について：表1から、「原子や分子は、熱を持っていて、或は、熱量に応じて無秩序な運動をしている。」とか、「無秩序な運動によって熱が生まれる。」と理解している学生が極めて多いことが分る。選択肢アイウエは旧い時代の「熱の分子運動論」の考え方である<sup>2)</sup>。現在、欧米では「熱運動」という用語は廃止され、代わって「温度運動」(thermal motion, 或は thermal agitation, 或は temperature motion)が使用されている。物質内に「熱」は存在しないので、誤解や混乱を防止するために、heat や wärme 等を選び、ギリシャ語から借用した thermal を用いている。thermal の意味は「温度による」或は「温度の」である。我が国ではこれを「熱」或は「熱の」と誤訳している。このことに関連して、Riedi 氏は次の様にコメントしている。

「The most directly accessible thermal concept is not heat but rather temperature...」<sup>3)</sup> (Thermal Physics by P. C. Riedi Oxford Univ. Press 1988 p.28)

②「熱エネルギー」について：表1から、2018年度に「熱エネルギー」の選択肢に「ア 熱運動によって熱が生まれるので、熱運動のエネルギーを熱エネルギーという。」を追加すると、このアを選択した学生の割合が29.0%と最多となったが、このアを選択者は、主に前年度選択肢エとオを選択した学生と同じ様な考えの学生であろうと推測できる。また、表1から、「熱エネルギー」という言葉の理解が分れ混乱していることが判明する。混乱の主要な原因は、thermal energy を「温度エネルギー」と訳すべきところを、「熱エネルギー」と誤訳し、旧い時代の「heat energy」(熱)の訳語の「熱エネルギー」を廃止せず使用しているためと考えられる。③物理教育の課題：日常語である「熱」という言葉を物理学用語として「熱運動」、「熱エネルギー」を用いているが、これらの言葉は上で見えてきた様に誤概念を誘発し、初学者を混乱させている。我々は概念を表す言葉を用いて思考し、科学を創造・駆使して自然を理解するので、「用語が誤って不適当に定められると知性は支障を蒙ると言わざるを得ない。

## 5 参考文献

- 五十嵐 靖則 中学・高校教科書に見る「熱」と「熱エネルギー」の用語の混乱について 物理教育学会第30回物理教育研究大会発表予稿集(2013)50-51
- 五十嵐 靖則 熱概念の進化と日本の理科・物理教育の今後の在り方について 東京理科大学 教職教育研究 No.1 (2017.3)111-120
- 五十嵐 靖則 「熱運動」という用語は物理学的に適切か Riedi 氏の著作の紹介がある 物理教育学会第35回物理教育研究大会発表予稿集(2018)108-109
- 五十嵐 靖則 「熱運動」と「熱エネルギー」の用語についての学生の誤解や混乱の実態 物理教育学会第33回物理教育研究大会発表予稿集(2016)65-66
- 五十嵐 靖則 熱概念に対する学生の理解の実態 物理教育学会第34回物理教育研究大会発表予稿集(2017)71-72
- 五十嵐 靖則 熱概念に対する学生の理解と混乱の実態(3) 日本物理学会講演要集 Vol.73, No.2 (2018.9) (VDV 版) 物理教育分科会

# 理工系入門力学教育における問題解法方略—多様表現の活用—

<sup>A</sup>右近修治, <sup>B</sup>岸澤眞一, <sup>A</sup>中村正人, <sup>C</sup>新田英雄

<sup>D</sup>長谷川大和, <sup>E</sup>宮崎幸一, <sup>F</sup>山本明利

<sup>A</sup>都市大, <sup>B</sup>拓殖大, <sup>C</sup>東学大教育, <sup>D</sup>東工大附属高, <sup>E</sup>元神奈川県立高, <sup>F</sup>北里大

ukons@tcu.ac.jp<sup>A</sup>

## 1. はじめに

大学理工系入門物理教育の目指す目標の一つとして、問題解法スキルの育成を挙げることができる。運動方程式を立て、微分方程式を解き、その解を検討することができるようにならなければ、工学基礎としての物理教育の役割を果たすことはできない。

学生の問題解法スキルの解明とその育成に関してはすでに長い研究史がある[1]。こうした研究の到達点の一つとして少なくとも言えることは、通常の学生が単に伝統的な講義を受けるだけで、自然に問題解法スキルが身につくわけではないということである。

従来から、学生の問題解法スキルの育成に多様表現を活用することが効果的であることが知られてはいるが[2]、こうした観点は我が国で必ずしも共有されてはいない。もちろん、こうした効果の検証的な研究もほとんどない。果たして多様表現を活用した教材が、問題解法スキルの育成に効果的であろうか。東京都市大学工学部必修科目物理学(2) (力学) 履修者の中から協力者を募り、多様表現を活用した教材の有効性を調査し、その調査結果について報告する。

## 2. 物理教育における多様表現

物理では情報を的確に伝えるため、文章、図解、写真、グラフ、表、等々の多様表現 (Multiple Representations) を駆使している。ファインマン・ダイアグラムなどはその典型例である。また、多様表現は学生に問題解法スキルを獲得させるための強力な手段でもある。物理教育における多様表現に関する研究史は古く、文献[2]などからその概略を知ることができる。

Ainsworth[3]によれば、多様表現には次の3つの機能がある。(1) 複数の多様表現を活用することにより、これらが互いに補間し合って情報をより正確に伝えることができる (Complementary Roles)。(2) 多くの多様表現を同時に提示することにより、解釈を絞ることができるようになる (Constrain Interpretation)。こうして (3) より深い理解に到達することができる (Construct Deeper Understanding)。

さて、演習問題の伝統的な形式は、与えられた条件から何かの物理量を求めるというものである。その解法の過程において、物理法則や公式、条件の論理的表現、数式表現、図解表現、ベクトル図解表現、グラフ表現等を駆使する。教員が学生に演習問題を課す目的は、こうした過程を通して深く物理を理解させることであって、解の結果そのものを得るためではない。しかし学生の意識は、とにかく解を得ることばかりに集中してしまう。そうした学生の取る問題解法方略は plug and chug (公式への数値代入) とならざるを得ない。

Van Heuvelen[4]らは学生に、計算結果の答えにではなく、思考のプロセスに着目させ、これと向き合わせるために多様表現間の変換を課題として提示した。例えば、与えられた物理図解からベクトル図解を描かせる、与えられたグラフや代数方程式から、与えられた問題はどのような問題であったのかを考えさせるというように。報告によれば、その効果は決定的であった[4]。

### 3. 「仕事とエネルギー」における多様表現

「仕事とエネルギー」の単元で特に強調すべき点は、まず考察の対象とする「系」を確定することである。「系」を確定しない限り、系内の力学的エネルギーや熱エネルギー（内部エネルギー）と系外からの仕事の関係を書き下すことができない。しかし多くの学生は「系」に着目することの重要性を必ずしも理解していない。図1は「系」と仕事、エネルギーの関係を図解したものであるが、これが多様表現としての概念図である。この概念図を数式で表現すれば図2のように表されるであろう。これが数式表現となる。

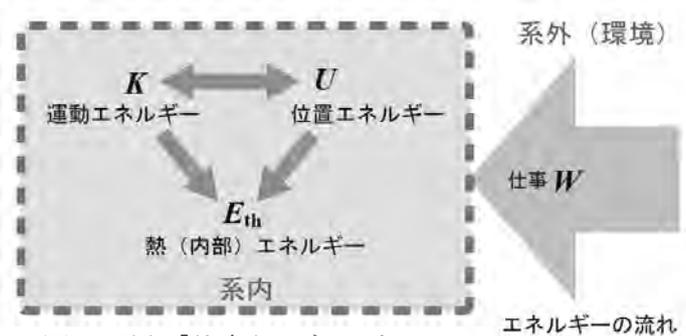


図1 系と「仕事とエネルギー」

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{th} = W$$

図2 数式表現

Van Heuvelen らは図2の数式表現の関係を棒グラフの関係

として表現する方法を考案し、バーチャートと名付けた。図3はそのバーチャート[5]の実例である。学生は与えられた課題に対して「系」を確定し、「系」が時間変化する前後で、力学的

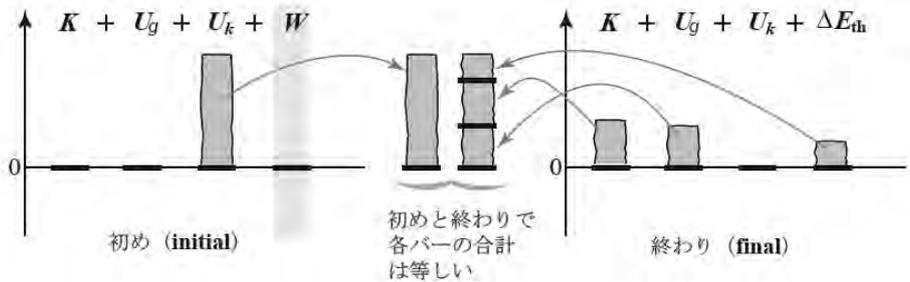


図3 バーチャート

エネルギー、熱エネルギー、仕事がどのような関係にあるのか、バーチャートを描いて定性的に理解することが求められる。その後、これに対応した数量的関係式を書き下す。こうした一連のプロセスに学生の注意を向けるため、与えられたバーチャートや数式から元の問題を推測させる問題 (Jeopardy Problem) を工夫した。

### 4. 都市大学調査

30名ほどの協力者に多様表現を活用した教材 (A4, 20頁) を配布し、これを学習してくることを求め、一定期間の後、問題を解いてもらう調査を7月に実施した。その調査結果について報告する。

本研究は、科学研究費補助金「基盤研究C」(課題番号 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。

### 参考文献

[1] Hsu, L., Brewster, E., Foster, T. M., Harper, K. A. *Am. J. Phys.* 72, 1147-1156 (2004).  
 [2] Treagust, D. F., Duit, R., Fischer, H. E. *Multiple Representations in Physics Education* Springer (2017).  
 [3] Ainsworth, S. E. *Learning and Instruction* 16, 183-198 (2006).  
 [4] Van Heuvelen, A., Zou, X. *Am. J. Phys.* 69, 184-194 (2001).  
 [5] Knight, R. D. *Five Easy Lessons Strategies for Successful Physics Teaching* Addison Wesley (2004): 並木雅俊監訳, 興治文子, 鈴木勝, 副島雄児, 谷口和成, 安田淳一郎, 山本隆夫訳『物理を教える 物理教育研究と実践に基づいたアプローチ』丸善出版(2017).

# レッススタディによる大学物理講義改善

新潟大学教育学部，土佐幸子

stosa@ed.niigata-u.ac.jp

## 1. はじめに

変化の激しい現代社会において，主体的に課題を解決する能力をもった人材育成のために，大学でもアクティブラーニング型の教授法が推奨されている<sup>1)</sup>。しかし，研究者である大学教員が自分の講義を改善したいと思っても，周りに教育的な指導者はおらず，実現は難しい。本研究は，講義改善を希望する教員と教育研究を専門とする教員が連携し，レッススタディ<sup>2)</sup>という形態に則って，ウェブ会議を活用し，大学物理講義の改善を図ることの有効性を探ることを目的とする。本研究において，1) 学生の概念理解にどのような変化が見られるか，2) 教員の教授法に関する意識とテクニックにどのような変化が見られるか，そして3) レッススタディの活動は大学の物理講義改善に効果的か，の3点を有効性を測る観点とした。

## 2. 研究方法

### 2. 1 研究対象と時期

ある国立大学における「科学的なものの考え方」という一般教養科目において，2015年から2019年までの5年間，レッススタディを通して実践した講義を対象とする。この講義の受講生は工学部1年生を中心とした複数学部，及び複数学年の学生約40名である。5月末から7月末までの11回の講義でニュートンの3法則を中心に力学の基礎を学習する。表1に11回の講義内容の概要を示す。レッススタディにおいては，事前に授業者から送付された講義スライドと会議メモを基に，ウェブ会議を通して授業者と教育研究者による検討が行われた。検討には学生TAも参加した。講義実践後，次の会議ではその実践内容と次回の講義内容の検討を行うという形で毎週行われた。検討においては，物理の内容と指導法の2本立てで議論が交わされた。また，各年度において1回は教育研究者が実施大学を訪問し，授業参観と対面による議論を行った。

### 2. 2 分析方法

学生の概念理解を測るために初回と最終回にFCI概念調査<sup>3)</sup>を実施し，事前・事後調査の規格化ゲイン<sup>4)</sup>を求めた。教員の教授法に関する変化については，ウェブ会議及び授業参観のフィールドノート，授業者が作成した会議メモと講義スライドをデータとして，質的分析を行った。

## 3. 結果

表2に年度ごとのFCI概念調査による規格化ゲインを示す。2014年から2年間はゲインが急激に上昇した

表1 講義内容

回	講義内容
1	ガイダンス，事前調査
2	速度，加速度
3	速度，加速度，力，ニュートンの第2法則
4	ニュートンの第2法則，第1法則
5	ニュートンの第2法則，第1法則
6	自由落下，鉛直投げ上げ，水平投射
7	静止摩擦力，最大摩擦力，動摩擦力
8	最大静止摩擦力，動摩擦力，ニュートンの第3法則
9	等速円運動
10	復習，演習
11	定期試験，事後調査

表2 日本のある力学講義におけるFCI規格化ゲイン

年度	2014	2015	2016	2017	2018	2019
学生数	26	35	37	32	40	11
規格化ゲイン	0.04	0.26	0.50	0.32	0.47	—

ことがわかる。2017年は興味をもてない学生が最後までいたことなどにより、ゲインが前年より下がっているが、2015年よりは高い値である。2018年は再び上昇した。

指導法に関する結果として、フィールドノートの分析結果より、各年度の特徴を表3に示した。レッスンスタディを始めたばかりの2015年度の指導は、教師伝達型で内容を一方的に提示していた。2016年度から徐々に学生同士の話し合いを含めたり、ホワイトボードを用いてグループごとの考えを書いて表現したりする手段が取り入れられた。また、内容の提示において、中心概念に焦点を当て、学生から挙げられる複数の考え方を考慮する指導が取り入れられた。2019年度の講義には、学生の理解を図るために、その場の判断で計画していない活動を含める様子が見られた。しかし、その一方で、もともと伝達型の講義形式であったところに学生主体の指導法を被せた授業構成であるため、伝達型の講義形式のまま、学生の考えに沿った展開が考慮されていない場面も見られ、協議を通して修正を加えることも多かった。

表3 5年間の指導法の特徴

年度	指導法の特徴
2015	・内容を提示，教師伝達型 ・内容を学期内に終わらすには時間不足
2016	・講義に学生同士の話し合いを含める ・予定した計画に沿った指導
2017	・中心概念に焦点を当てる ・ホワイトボードを効果的に利用 ・予定した活動
2018	・複数の考え方を考慮する ・期待する解答がある
2019	・低位の学生の考え方を配慮する ・その場の判断で計画していない活動を含める

#### 4. レッスンスタディが大学物理講義改善にもたらす効果

表2の結果から、年度を追うごとに規格化ゲインが高くなる傾向にあり、学生の概念理解度が増加傾向にあることがわかる。また、表3の記述から、教師主導型から学習者主体型に、指導法が変化してきている様子が見られる。これらの結果から、本研究においてレッスンスタディが大学物理講義改善に効果をもたらしていることが示唆された。

#### 5. 今後の展望

レッスンスタディは、他者と協同することによって学習を促すという状況主義的学習論<sup>5)</sup>を理論的基礎としている。1人では難しいことでも、協同することにより可能になる場合は多く、大学の講義改善において、レッスンスタディを取り入れることが実質的な変革をもたらすことが期待される。しかし、教授法の改善は一朝一夕には実現しない。レッスンスタディが終了しても学生の理解に沿った講義改善を持続していくには、さらに継続した活動が求められる。また、どこの大学にいても授業改善に取り組めるように、全国的な組織の編成も期待される。

#### 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) 土佐幸子：「日米の大学物理講義の改善に効果を発揮するレッスンスタディ—米国における教員研修形態としての意味付けを基に—」物理教育，日本物理教育学会，66(2)，pp.144-147（2018）。
- 3) D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer: “Force Concept Inventory” Phys. Teach. 30, 141 (1992).
- 4) R. R. Hake: “Interactive-Engagement versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses” Am. J. Phys. 66, 64 (1998).
- 5) J. Lave, and E. Wenger: “Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation” Cambridge University Press (1991).

# 階層化された講義用テキストと連動する教育支援ツールによる物理学教育

## の試み

<sup>a</sup> 遠藤大二、<sup>b</sup> 矢吹哲夫

<sup>a</sup> 酪農学園大学獣医学群、<sup>b</sup> 北星学園大学経済学部・全学共通科目部門

[dendoh@rakuno.ac.jp](mailto:dendoh@rakuno.ac.jp)

### 1. はじめに

大学での教育は、各大学のカリキュラムポリシーに基づいて構成され、ディプロマポリシーに基づいた人材育成を目的とする。ディプロマポリシーは大学ごとに異なるが、多くの場合、課題解決能力と、知識だけに頼らない思考能力の養成が含まれる。例えば獣医学教育では、多くの知識を学んだうえで、知識に基づいた思考展開による課題解決能力が最も求められる。この際の思考の展開を教育過程で実現するための手法の一つとして、コンピュータ等を用いた教育支援ツールでの改善が期待される。その思考過程の実現においては、少ない法則を学び、その理解までの思考過程と法則の利用を通じて思考能力を養成する物理学での教育がモデルとなり得る。演者らは、基本的には多くの科目や教育課程に応用可能な工夫として、自発的な思考を自然に誘導する物理学の教育方法の開発が重要であると考えて教育手法の開発に取り組んでいる。

### 2. 獣医・農学・食品・環境系専門科目と物理学教育での知識と思考

獣医・農学・食品・環境系の専門科目では、疾病、環境劣化等の発生機序や治療方法、修復方法などについて、完全で統一的な法則が存在するわけではない。そのため、多くの事例について、個々の知識を充実させたうえで、類似事象に対して応用可能な思考力を養成する。そのため、法則的事項に関する成立過程についての教育ステップは比較的限られている。それに対し物理学では、基本法則が全ての関連する自然現象に適用可能であるため、その法則の成立過程と利用方法について、多くの時間をかけることができる。

獣医学等の教育支援ツールでは、知識構造の記憶と理解に主眼が置かれるが、物理学の教育では、法則を感覚的に受け入れた上でその法則の成立過程を理解するという丁寧なステップが必要であり有効である。

### 3. 構築された知識の理解に慣れた学習者が思考を展開する方法と適切な教育支援ツール

物理学的法則を学んで理解する過程では、学習者は①一般的な知識に基づいた事例の感覚的受容、②物理学的法則に思考を限定するための事例の限定、③事例で例示した現象での法則性と例外の思考、そして④自然界全体で成立する法則の理解、という順で進むことにより、法則を理解することが最も効果的である。

### 4. 思考展開に適した階層化講義テキストの構成

テキストとして階層を設定した教科書を準備した。--テキストの例示--

まず、「力」と「加速度（速度変化速度）」という2つの概念（言葉）の関係から<慣性の法則>（運動第1法則）が成立することの理解を階層性に着目して整理する。

#### ★基底階層（第1階層）

○日常言語のレベルでの力とは何か？

力は状態変化の原因である。力 ⇔ 状態の変化

例として「団結力」を取り上げると、「ある人間集団（組織）」が

【皆バラバラの志向性をもった状態】から【一致した志向性をもった状態】に状態変化する際に<団結力>が働く。

#### ★第2階層

○物理的力は物体のどのような状態変化の原因であるか？→運動状態の変化の原因である。

物理的力 ⇔ 運動状態の変化



# 物理学のグループ学習における話し手と聞き手の役割分担が 理解深化に与える影響

<sup>A</sup>小島健太郎、<sup>B</sup>原田恒司

<sup>A,B</sup>九州大学 基幹教育院

<sup>A</sup> kojima@artsci.kyushu-u.ac.jp, <sup>B</sup> harada@artsci.kyushu-u.ac.jp,

## 1. はじめに

学習者同士で物理学の問題について議論したり教え合うグループ学習は、物理学の相互作用型授業の基本的な要素の一つと言える。例えば、ピア・インストラクション (PI) では、多肢選択式の問題について学習者が議論し、理解を深めて行く。PI の有効性は、FCI などのプレ・ポストテストによる定量的な評価によって主に議論されてきた<sup>1)</sup>。しかし、授業前後のプレ・ポスト評価は、クラス全体の平均値や合計得点に着目する 경우가多く、個々の学習者のレベルでは、グループ学習がどのように物理学の理解を促すことにつながっているかを捉えることは難しい。

発表者らは、これまで複数年にわたって、物理学の問題を議論する PI に基づいたグループ学習を導入した教育実践を行ってきた<sup>2)</sup>。物理学の問題や概念についての理解度、解答への自信などは、学習者それぞれによって違いがある。それを反映し、グループ活動の様子も一様ではなく、全員で活発に議論するグループもあれば、一人が他のメンバーに一方向的に教えるような活動になるグループもある。こうした学習活動の違いが、個々の学習者の理解を深めることにどのように影響を与えるかを捉えることができれば、グループ学習の支援や効果的な教育手法を考える上で、重要な知見となるだろう。

そこで、本研究では、グループ学習において自然に生じる話し手と聞き手の役割分担に注目する。役割分担が生じた場合、グループ内の話し手と聞き手が行なう活動は大きく異なる。その活動の差異が、グループ活動を通じた理解の深まりに違いや影響を与えるのかについて、教育実践とアンケート調査をもとに検討していく。

## 2. 教育実践の概要

以下の内容は、九州大学の初年次文系学生を主な対象とした入門レベルの物理科目「身の回りの物理学 A」における 2019 年度の春学期および夏学期の教育実践に基づく。授業は全 8 回で構成され、初等的な力学および熱力学を扱う。授業は、動画教材での予習を前提とした反転学習の形態で実施し、授業時間内は、予習内容の確認テストを行なったのち、PI 型のグループ学習を実施した。

発表者らは、これまでの PI に基づく授業実践をふまえて、グループ学習のためのワークシートを開発し、利用した。ワークシートは、学習者が解くべき問いに加え、「問題を解くうえで鍵となる物理学の基本的な知識 (法則や定義など)」、「それらを問題を解くためにどのように使うか」、「問いに対する答え」を記入させる形式になっている。ワークシートに記入後、学習者は 3-4 名のグループで、問題の解答について議論する。問題によっては、議論の前後にクリッカーで解答を収集することもある。毎回の授業終了後、WEB 上のシステムを用いて、授業の振り返りと、後述するアンケートへの回答を収集した。

### 3. アンケート調査とデータの概要

アンケート調査は、予習やグループ学習の実態を把握する目的で実施し、「グループワークでは活発な意見交換ができましたか？（活発度）」「グループワークに取り組むことで、理解が深まりましたか？（理解深化）」をそう思う(5)-そう思わない(1) の5択で訊ねた。また、「グループワークでの役割を説明役と聞き役に分けたとき、グループの他のメンバーと比べて、あなたは以下のうちどれに最も近いですか？(役割)」という項目を設定し、表1 に示す5択で訊ねた。加えて、予習ビデオの理解度（予習理解度）も回答させた。

春学期(6 回分, N=211)および夏学期(3 回分, N=176)で、のべ N=387 の回答を得た。図1 に、各項目への回答を、回答者の割合で示している。発表時には、夏学期のデータを追加した分析結果を示す予定である。

表1：役割の回答選択肢と対応する番号

聞き役よりもかなり説明役をした	5
聞き役よりもどちらかという説明役をした	4
聞き役と説明役の両方を同じくらいした	3
説明役よりもどちらかという聞き役をした	2
説明役よりもかなり聞き役をした	1

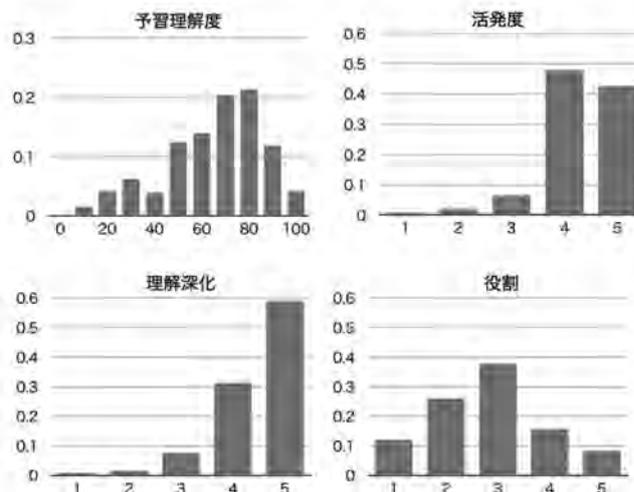


図1：アンケート結果

### 4. 分析結果と考察と今後の展望

現在までに得られているデータの相関分析を行ったところ、予習理解度と役割、および活発度と理解深化に相関が見られた。また、役割で5または1を選んだ学習者群に着目し、理解深化の回答値を比較したところ、有意な差は見られなかった。

説明役の学習者は、グループ学習の場面で他者から新たな情報や知識を受け取るのではなく、主に与えていると推測される。にも関わらず、説明役の学習者が、聞き役と同程度に理解を深めたと答えていることは興味深い。この結果は、グループ学習の場面で、知識が少ない学習者が教わっているだけではなく、説明をしながら理解を深めていく学習が起こったことを示唆している。協調過程の分析を行った先行研究では、学習者は説明する過程で自らの知識を整理・統合したり、他者との視点の違いを解消するため高度で抽象的な理解に至りうることを示されている<sup>3)</sup>。今後は、自己評価アンケート以外の方法も用いて、物理学のグループ学習で、個々の学習者がどういう過程を経て理解を深めているのかを、より詳細に把握していきたいと考えている。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K16173, 19K03172 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- 1) C. H. Crouch, E. Mazur: American Journal of Physics 69, 970-977 (2001).
- 2) 小島健太郎, 原田恒司: 「ピア・インストラクション型講義の実践とグループワーク改善の取り組み」第34回物理教育研究大会予稿集発表予稿集(2017), 45-46; 「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」第35回物理教育研究大会発表予稿集(2018), 74-75.
- 3) 三宅なほみ, 三宅芳雄, 白水始: 「学習科学と認知科学」認知科学 (2002)9 巻, 3 号, 328-337.

# 工学院大学学習支援センターを利用する学生の特徴

細谷 哲雄

工学院大学 学習支援センター 講師

kt13620@ns.kogakuin.ac.jp

## 1. はじめに

工学院大学では、学生が「より楽しく、確実に」学べる環境を整えるために、学習支援センターを2005年4月に設立した。センターでは、大学での専門的な学習の前提となる基礎科目（数学・物理・化学・英語）を中心に、入学前に十分習得できなかった科目と大学の講義内容とを有機的に結びつけて授業する基礎講座と、個別（グループ対応も可能）の疑問に応える個別指導を行っている。この学習支援センターを物理で利用する学生の動向を、成績も含めて分析したところ、いくつかの特徴がみられたので報告する。

## 2. 工学院大学学習支援センターの仕組み

学習支援センターは、工学院大学内の教育支援機構の一部門として設置しており、学部、大学院の組織とは独立の組織である。運営管理者は学部・大学院教員ならびに事務職員であるが、学生対応するメインスタッフは、それを専門とする常勤講師として雇用されている。講師の構成は数学6名、物理5名、化学2名、英語1名である。

学習支援センターは、大学1、2年生が活動する八王子キャンパスに設置されている。主な業務は学生の質問に答える「個別指導」と、基礎に自信のない学生のために実施する「基礎講座」である。今回の報告では「個別指導」に限って報告する。

個別指導は時間割が決まっており、月曜日から土曜日まで、午前11時5分から午後6時20分まで50分の対応時間が毎日7セット用意されている（土曜日のみは6セット）。学生は直接指導場所に訪れて申し込むこともできるが、ネットでも申し込むことができる。ネットでの申し込みが主である。個別指導の記録は毎回記録することになっており、指導後サーバーに保存される。

## 3. 今回利用したデータ

大学サーバーおよび授業担当者より取得した、学習支援センター利用履歴、習熟度テスト、物理学1（物理学A）、物理学2（物理学B）の4つを分析に利用した。習熟度テストは大学入学後に学生全員を対象に実施するテストである。物理学1は建築学部を除く学科の生徒に課せられる必修科目であり、おもに運動学の部分を対象とする。物理学2は物理学1に引き続き履修する科目であるが、生命化学科等の物理を主に使わない学科では必修科目となっていない。工学院大学では年間を4分割するクォーター制をとっており、物理学1・物理学2とともに、どのクォーターでも受講可能であるように時間割が組まれている。大多数の学生は、物理学1を学部1年生第1クォーター（5月末試験）で履修し、物理学2を学部1年生第2クォーター（7月末試験）で履修する。

## 4. 学習支援センターの利用状況

2018年度の年間利用者は延べで10675名であった。利用分野内訳は以下の通りである。この数は例年大きく変わるものではない。

利用延べ人数	数学	物理	化学	英語
基礎講座	2080	904	857	510
個別指導	2324	2476	1159	365

年間を通じて、個別利用の多い時期は試験のある5月、7月、10月であり、その他の月の倍程度の利用数であるが、後期試験のある1月は冬休み直後であることもあり、混雑はない。

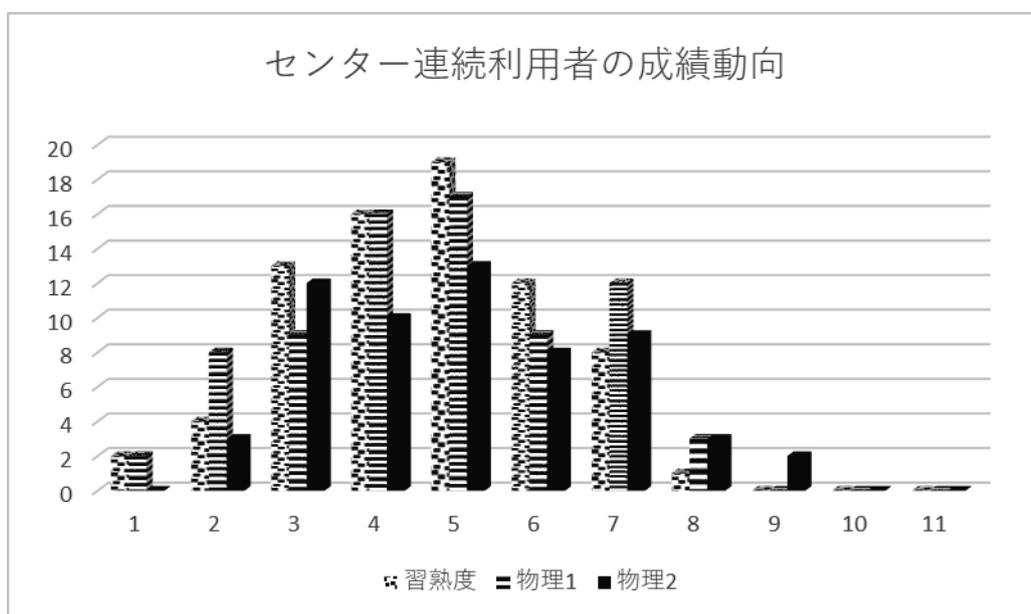
### 5. 学習支援センターを物理で利用する学生の入試形態

工学院大学では一般入試のほかに推薦入試等多くの入学機会を設定しているが、学習支援センターを利用する学生の多くは推薦入試で入学した学生である。次の表は、2018年度の1年生の利用率である。

入学区分ごとの利用率	在籍数に対する割合
一般入試	9.9%
推薦入試	27.3%
合計	19.9%

### 6. 学習支援センターを物理で利用する学生の成績動向

学習支援センターを利用する学生は、設置の意図通り入学時点での学力があまり高くないものが多い。しかし、続けて利用している学生には学力の向上が認められた。次のグラフに2018年度入学者の入学直後に実施される「習熟度テスト（物理）」、第1クォーターに実施される「物理学1」、第2クォーターに実施される「物理学2」について、成績を得点ごとに11段階に分けその分布を示す。この表に見られるように、物理学1の試験では、成績下位者が多くなったが、物理学2の試験では分布が分散化し、上位層が形成されはじめていることがわかる（横軸は成績ランク11段階、縦軸は人数）。この他にも、センター利用時期と成績に相関があることや、成績が回を追うごとに向上している学生にセンター利用者が目立って存在していることなどがわかった。



### 7. まとめ

学習支援センターは推薦入試で入学してくる学生に、基礎力涵養と学習自立の機会を与えていることがわかった。また、成績中下位者を中心に存在する、熱心な学生の学習サポートにも対応できていると思われる。推薦入試等による入学生がますます増加していく今後の高等教育機関においては、同様の取り組みが効果的であり、必要であると思われる。

# 「社会に出て実際の仕事に必要な基礎教育を」

NPO 人間環境活性化研究会 遠藤 正昭・原 眞一・<sup>1</sup>尾島 正男・<sup>1</sup>池田 友久

GZN02100@nifty.ne.jp

## 1. はじめに

私たちは社会人として、これまで経験してきたことなどを踏まえ、現在、日本と海外の理科教科書、特に高校・物理の教科書との比較、調査、検討を実施しています。その結果、物理は社会や日常生活において重要であり、生徒は、しっかりと学ぶべき教科であるということを認識しました。

日本の高校の物理の教科書には、定理・公式について詳しく記載されています<sup>1)</sup>。一方、米国および英国の中等教育における物理の教科書において、定理・公式に加え、科学的研究の進め方や実験やフィールド調査および実験について詳細に記載されていることは優れている点であると考えました。

## 2. 物理の教育における“実験”および“フィールド調査”の重要性

疑問から入り仮説をたて実験やフィールド調査で検証するという基本的なアプローチについて、物理実験を実施する際、安全に関しては充分注意すべきこと、また、実験結果については、統計学的データ処理を行うことなどについての説明が詳細に述べられています。以下、具体的な、説明の箇所のみを抜粋します。

### (1) Scientific Approach

科学的な手法について以下のように説明し、その詳細としてバラツキ等についても説明しています。

『科学者は常に決まったステップを踏んでいるわけではないが、研究そのものはしばしば同じような形で進められる。これらの研究の手順のパターンは Scientific Method : 科学的手法と呼ばれる。科学的手法に見られる共通のステップを下図に示した。』

### (2) 学生・生徒が自ら行う科学的研究について<sup>3)</sup>

『あなたの科学の勉強の過程で、あなたが実施すべき一連の手順が記載された実験実施要領を指示されることがあるでしょう。あるいは自分自身で調査研究の手順を立案する事もあると思います。そのいずれの場合でも、有意義な疑問を明確にし、仮説を作り、慎重に実験をおこなうよう、科学的方法に基づいた研究計画を作成してください。そして研究計画に基づき、手順をリストアップし、データを記録し、結論を報告するようにして下さい。』<sup>3)</sup>

### (3) 実験活動の安全

『実験活動とフィールド調査の際には、注意事項一覧表と安全シンボルによって起こり得る安全上の問題について事前チェックを十分に行ってください。』

あなたは、常にあなた自身とあなたの級友を保護し、安全を確保する責任があります。安全な実験活動の実施は、実験室とフィールドの調査時の災害からあなた、あなたの級友およびあなたの先生を守ることになるのです。』<sup>3)</sup>

### (4) 実験室の安全標準書

『実験またはフィールドの調査の前に、慎重に標準書全体を読んで下さい。』

どのような安全シンボルや注意書きがあるかも調べて下さい。出来れば、MSDS からの追加情報も含めてください。標準書の全ての質問・チェック事項に回答し、先生に承認してもらって下さい。

応急手当の手順についても十分理解して下さい。いつも、たとえどんなに小さなことでもどんな事故でも、必ず先生に報告して下さい。』<sup>3)</sup>

### (5) MSDS (Material Safety Data Sheets)

『あなたが実験室で化学薬品を使うか、フィールドで何らかの物質に触れるときは、あなたは素材の安全な使用とその物質の取り扱いについて知っておかなくてはなりません。

学生と先生は、物質安全性データシート (MSDS) をレビューし、すべての物質の可燃性、腐食性、および毒性などの具体的な危険を知っておく必要があります。その上で適切な安全装置と適切な事前注意を選択して下さい。なお、すべての化学のメーカーは、生産するそれぞれの化学薬品について最新のMSDSを供給することを法律によって義務づけられています。』<sup>3)</sup>

## 2. おわりに

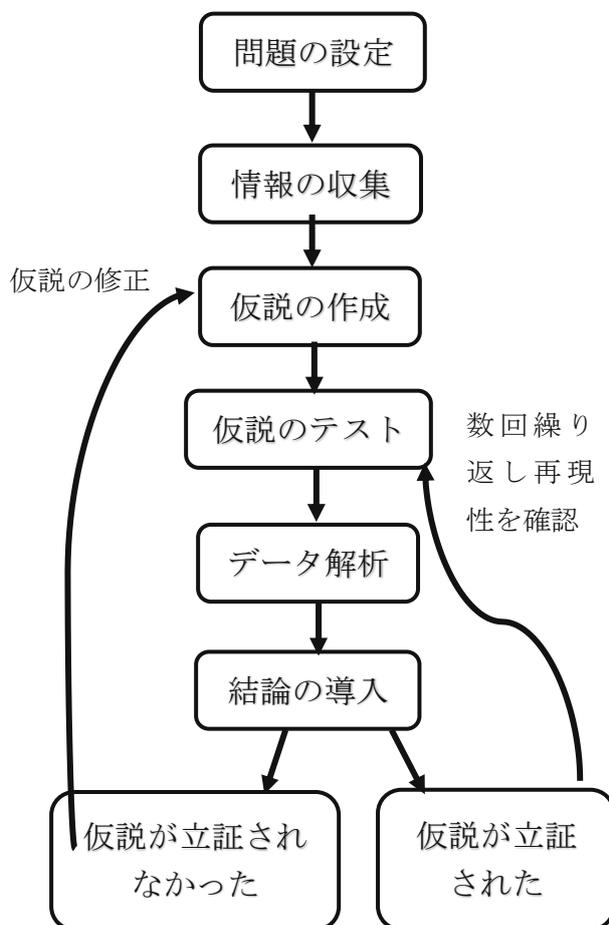
以上のような科学・物理を学ぶ上での基礎的な事項が中等教育において学んでいけば、社会人になって、実際の実務を行う際、充分に対応できるようになると思います。また、グローバルに活躍する際にも必須であると考えます。そして、アカデミアにおける教育・授業および研究活動においても、必要不可欠な基本的な知識・スキルです。米国および英国の物理の教科書が参考になり、日本の物理教科書および教育の場における改善に繋がれば幸いです。

(参考文献・引用文献)

[1] 物理基礎改訂版、啓林館、2018.2.21 他

[2] 米国の教科書: Physics、McGraw-Hill、Education、2015

[3] 英国の教科書: OCR gateway GCSE、Physics OXFORD、UNIVERSITY PRESS



# 「物理が社会や日常生活に如何に役立っているかの教育を」

遠藤 正昭<sup>1</sup> (発表者)、尾島正男、原眞一、池田友久

NPO 法人 人間環境活性化研究会

[mike0202endo0718@yahoo.co.jp](mailto:mike0202endo0718@yahoo.co.jp)<sup>1</sup>

## 1. 物理は決して難しいものではないと 80 歳になってはじめてわかった

私は学生時代から物理は難解で、とっつきにくく、特殊な世界の話だと勝手に決めつけていました。しかし今回この教育プロジェクトの中で、改めて物理の教科書を読んでもみると、私の認識が間違っていた、我々の社会や日常生活にとって物理は欠かせないものだと感じるようになりました。それでさらにイギリスやアメリカの教科書を読んでもみると、物理は本当に大事な学科で、高校位までは全生徒必須にすべきだと思うようになりました。長年に亘る自分の不明を恥じている次第です。

## 2. 物理とは何か、物理教育の目的は

そもそも物理とは何か、その定義を理解しようと思い、教科書を読んでもみると、日本の教科書ではあまりはっきりしません。しかしアメリカの教科書では、物理は「エネルギーと物質並びにその両者の関係を研究する」と明確に記載して居ります。また、科学的な作業のステップや統計的なデータ処理、さらには安全など基本的な事項の説明に多くのページを割いて居りますし、各セクションでも日常生活に密着した事例を挙げて、分かり易く説明して居ります。

## 3. 日本の教科書と英米の教科書との比較

日本の教科書は定理・公式の説明が多く、それも垂直とか直線とかの単純なモデルだけでなく、応用を含めて詳しく説明し、実験は公式通りに実際の結果になるかの確認実験が殆どです。

英米の教科書はまずわれわれの日常生活で起きている事象を取り上げ、その内容を説明しそれがどうして起きるかという説明の中で定理・公式を説明し、物理がいかに我々の社会や日常生活に密着しているかを説明します。そこで我々のプロジェクトでは、今、世界的に関心の深い大きな社会問題である「地球温暖化」と「原子力発電」を取り上げ、日本と英米の教科書でどのように説明しているか、比較検討を行ってみました。以下にその概要を報告します。

## 4. 地球温暖化について

この問題は世界的な大問題であるので、温暖化の齎すもの/影響、温暖化のメカニズム、再生可能エネルギー、の3点に着目して、いろんな日本の高校の物理の教科書を読みました。結果は教科書の出版社によって若干違いますが、殆ど記載がなく我々選んだ本では皆無でした。

一方、これらについてイギリスの教科書は実に詳しく書いており、以下に紹介したいと思います。

- 地球温暖化の影響；『我々は生活の中でより多くのエネルギーを消費し、温室効果ガスである二酸化炭素をより多く生成している。これが森林伐採と相まって、大気圏中の二酸化炭素量を増やしてきた。温室効果は我々の惑星を温暖化し、気候変動を起こしつつあり、その速さは加速している。しかしながらそれが全て人為的なものであるかどうかは明らかでない。また、少数の科学者達は地球温暖化が人為的なものだとは信じておらず、地球の通常の寒暖サイクルの一部と考えている。』

- 地球温暖化のメカニズム；『我々の惑星の周囲には大気圏がある。ほとんどの電磁波はこの大気圏を透過するが、ある範囲の波長のものは吸収される。大気圏中のある種のガスは、赤外線を吸収しこの熱が大気圏外に放射されることを防いでいる。このプロセスを“温室効果”（greenhouse effect）という。この効果がなければ我々の惑星は凍ってしまうであろう。この温室効果は以下の3つステップによる。
  - ① 太陽からくる短い波長の電磁波は大気圏を透過する。
  - ② この電磁波は地球に吸収され、地球を暖める。そして長い波長の赤外線を放射する。
  - ③ 大気圏中のガスは波長の長い赤外線を吸収する。そして大気圏を暖める。』
- 再生可能エネルギー；  
太陽光、水力発電など7つの再生可能エネルギーについて説明した後、補足として『いずれの再生可能エネルギーも供給面で不安定であり、技術的な信頼性も十分とは言えない。この供給の不安定さを解消する方法は、再生可能エネルギーを使ってポンプで水を高地にある貯水池に汲み上げ、これによって水力発電を行うことによって平準化することであろう。しかしそのために数百の揚水発電設備が必要になるであろう。』

## 5. 原子力発電について

『原子力発電は再生可能エネルギーではないが、地球温暖化の原因である二酸化炭素の排出はない。従って多くの国が抜本的な省エネを進めると共に、原子力発電と再生可能エネルギーによって、地球温暖化対策を図ろうとしている。』 また原子力発電のプラス面とマイナス面について、生徒に対し以下の質問を投げかけ、その回答に対するコメントを以て、教育しようとしている。

<質問 1 >

フランスでは電気の使用量の約80%を原発に依存している。イギリスでは20%が原発から供給されており、残りの殆どは化石燃料使う火力発電から供給されている。化石燃料を燃やす火力発電と比較して、原子力発電の有利な点と不利な点の概要を述べなさい。

<解答 1-1 >

原子力発電には反対です。もし原発で事故があれば、チェルノブイリのように数百万の人に影響が出る。化石燃料の発電所で事故があっても、害は少ない。原発では原子爆弾に使われるプルトニウムを生成する。

## 6. まとめと提言

学問は何のためにあるかといえば、知的好奇心を満たし人類の知的財産を拡大させ、社会の平和と発展をもたらすことによって、人々の幸せをもたらす為であると思います。その為には物理の定理・公式のみならず、広く社会や日常生活との係わりや問題点についても、その実情と事実を説明すべきだと思います。何故ならそれこそが学生や研究者の疑問や問題意識を高め、新しい研究への意欲を啓発することに繋がると思うからです。

参考文献：Spectrum Physics key stage 3 science CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

OCR gateway GCSE physics OXFORD UNIVERSITY PRESS

AQA Physics 2nd Edition OXFORD UNIVERSITY PRESS

物理基礎、啓林館他

# 学校科学教育における国際単位系導入の課題

原 眞一<sup>1</sup> 遠藤 正昭 尾島 正男 池田 友久

NPO 人間環境活性化研究会

hara\_birdhill@nifty.com<sup>1</sup>

## 1. 国際単位系の導入

日本は、国際単位系 (SI) をその前身のメートル法の頃から導入している。そして ISO での国際単位系制定に合わせ日本工業規格に導入してきている。現在、ISO/IEC 80000 国際規格群制定に伴い JIS 規格群が制定されてきている。学校教育においては小学校から高等学校までの教科書での SI 採用が 1995 年に完了したとされている。

しかしながら、実際に教科書を調べると SI に従わない事例が存在していることが明らかとなった。これでは児童生徒に間違っただけを教えることとなる。更に困った問題は、現在指導的な立場にある専門家の多くも SI に無関心であることにある。上梓されている基礎物理に関する専門書で正しい単位表記をしているものは少数である。

## 2. 学校教育での課題

以下、具体例を基に現在の教科書の課題を述べる。

① 科学で重要な定量性を国により異なる言語や専門分野に限らず容易かつ確実に伝達するのに SI が必要なことが述べられていない。社会生活でも例えば原油の量を報道するときバレルが説明なく使われるため、受け手は数字が持つ印象しか持てず意味が伝わらない。

② SI では、物理量は数値と単位の積と決められている。単位は基準となる量である。積であることは教科書にも記されているが、その意味するところは書かれていない。教科書における単位の使用法もこの原則に従っていない。グラフや表で単位を ( ) の中に記しているのが当たり前となっているが、この使用法は否定されている。原則を使わないために矛盾した表現となったのが

$$T = t + 273$$

の式である。T 及び t は熱力学温度の次元を持つので数値と単位の積である。一方、273 は単なる数値で数式は成立していない。これを正しい式と教えるのは問題である。正しくは、

$$t / ^\circ\text{C} = T / \text{K} - 273.15$$

と各項を数値にし、次元を揃えてから加減計算する。

③ 物理量の記号の後に必ず「質量  $m$  [kg]」の様に単位を書く教科書がある。「その物理量もつ単位を明示した方が分かりやすい場合、示した。」とあるが、解答例にまで適用しているので常に単位を [ ] で示すことが正しい使い方と思わせてしまう。単位と物理法則は無関係である。逆に、

$$T = 600 \text{ [K]}$$

と記しているものもある。この場合の K は説明ではなく 1 K という物理量であるので

$$T = 600 \text{ K}$$

でないと間違いである。物理量が数値と単位の積という原則を理解していない。

④ 音速を求める式を

$$V = 331.5 + 0.6 t \quad V: \text{音速 [m/s]}, t: \text{温度 [}^\circ\text{C]}$$

と記している教科書がある。式に単位がなく不成立だが他に異なる問題がある。331.5 m/s は温度

0 °Cにおける音速であり、基準とした温度 0 °Cとの差に係数を乗じて加える。この時セルシウス度を使うと数値が 0 だから不要という考えはあってはならない。物理法則は単位に関係なく成立しなければならない。例えば

$$V = 331.5 \text{ m/s} + 0.6 \text{ m/(s} \cdot \text{K)} \times (t - 0 \text{ } ^\circ\text{C})$$

と表記して温度の差を乗ずることを明記しなければならない。

⑤ コンマは小数点と定義されている。日本や英語圏ではピリオドを小数点としている。そこで両者とも 3 桁区切りに使うことは禁止されている。教科書では誤使用はないが、3 桁区切りに推奨されている小スペースを使用する表記も殆どなく解説もない。実社会でもコンマの誤使用が続いて、フランスやドイツ等との間で混乱がある。また、数値と単位の間にも角度の° ’ ” 以外小スペースを入れることになっているが、教科書の表記は明確でなく、解説も見当たらない。

⑥ 物理量は斜字体で表記されている。しかしながら他のアルファベットやギリシャ文字に斜字体を用いるか否かについては明記されていない。差  $\Delta$  や円周率  $\pi$ 、 $\alpha$  線などは量ではないので直立体なのだが、斜字体が誤使用されている。

⑦ 絶対温度、比熱、重さなど、規格外の用語が使われている。それぞれ熱力学温度、比熱容量、重量である。比熱は水に対する比であるので比重と同様に無次元である。重さの力の意味での使用は小学校で質量の意味で学んだ生徒を混乱させる。また、力の従来単位として学校教育以外では殆ど見かけない記号 kgw を使用している。JIS にある重量の非 SI 単位は kgf である。

⑧ 「物理量の単位を省略して数値のみで表すことがある。」と記している教科書がある。このような表記は規格では認められていない。「1 ~ 2 m」は間違いで「1 m ~ 2 m」と書くというほど単位の表記は必須である。数式で単位を省略すると次元の確認が困難になるなどの弊害もある。教育の上でも省略せずに単位を書いて正確な計算をさせ、物理の理解を進めるべきである。

### 3. これからの取り組み

以上、個別の問題点を掲げたが一つ一つ直していくのが趣旨ではない。科学教育、特に物理教育を骨格からいかに教えていくべきかを議論したいと考える。SI は指導層自身も体系的に学ぶ機会がない。教科書を SI に従って作成することで指導層にも伝えたい。

現在の SI も決して完璧ではない。使いづらい部分もある。しかし規格通りに使うことをしてみないことにはその改良の声も出てこない。例えばこの拙文の中で「物理量 = 数値 × 単位」の表現をしていないのは数式への文字使用が禁止されているからである。「距離 / km」なる表記も許されていない。しかし、地理の表現まで 距離  $L / \text{km}$ 、所要時間  $T / \text{h}$  などと量記号を付ける必要があるのか疑問である。といっても 距離 (km)、所要時間 (h) のようなかつこで単位を付ける表現は不明確であり、自然科学でなくても好ましくないと考える。SI を正確に普及させるためにも使いやすい規格にするよう提案して行きたい。

### 参考文献

- [1] SI 単位と物理・化学量 1974 M.L.McGlashan 関集三他訳 化学同人
- [2] 量及び単位—第 1 部：一般 JIS Z 8000-1:2014 及び JIS Z 8000 シリーズ
- [3] 物理基礎 2015 数研出版、実教出版、第一学習社、啓林館、東京書籍
- [4] 改訂物理基礎 2017 東京書籍
- [5] 物理基礎改訂版 2016 啓林館

# 学習における現象論的考察と経験帰納的学習の活用

内山哲治

宮城教育大学

tetsu-u@staff.miyakyo-u.ac.jp

## 1. はじめに

われわれは、地元の公開研究会や教育委員会、高等学校理数科課題研究・生徒理科研究会等の指導助言や審査等を通して、小中高における学校現場の理科教育に関わっている。特に、教育委員会および現職教員と協働し作成する提案授業（われわれの担当は小と中の理科）[1]では、秋に提案授業の実践公開と検討会、年明けに授業力レベルアップ研修として、提案授業の振り返りを現職教員に公開で行う。ここでわれわれが述べることは、提案授業を教員それぞれが自分のクラスに対してその通りに行っても、決してうまく行かないことである。なぜなら、提案授業を行った教員の知識・技量および提案授業を受けた児童・生徒の質は、それぞれの学校・クラスで異なるからである。

このことは、学校現場で学習指導案を作成されている教員は周知であると思われる。学習指導案の流儀はいくつかあるかも知れないが、単元について整理することは重要であり、主に3つの観点（教材観、生徒観、指導観）が述べられるようになってきている。簡単には、教材観は学習する内容、生徒観は生徒の実態・学習態度等、指導観は指導に当たって留意すること等となっている。つまり、学習指導案を作成するにあたって、教員が持つ教材観および指導観と生徒の実態である生徒観を整理し、授業を構成しているからである。現実的に考えて、通常の授業で常に学習指導案を作成されることは少ないと推測するが、3つの観点が重要であることは認識されていると思われる。

また、われわれはこれまで経験帰納的学習[2]と称して、教員が学習者個人個人に働き掛ける学習法を提案、実践してきた。上記に照らすと、3つの観点のうち特に生徒観を重視してきたことになる。

## 2. 現象論的考察

われわれは、以前、学生も含めた学習者に対する物理学習において、二流体モデル[3]を参考に物理への抵抗と粘性抵抗を対比させ、教員の手が必要な状態（物理に抵抗あり）は常流動状態で、教員の手が不必要な状態（物理に抵抗なし）は超流動状態であると解釈し、前者は経験帰納的学習が有効で、後者は課題解決型学習に移行可能であるとした[4]。今回は、生徒観を学習における状態変数として考察した。実際には、偏差値レベルの異なる2つの高等学校において、物理学習におけるアンケート調査を行い、生徒観の違いによるモチベーションを調べた。当日の発表では、上記の3つの観点において、生徒観の重要性について述べる予定である。

なお、本研究はJSPS 科研費 19K03050 の助成を受けて実施されたものである。

## 参考文献

[1] 仙台市確かな学力研修委員会

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

[3] L. Landau, “Theory of the Superfluidity of Helium II” Physical Review **60** (1941) 356.

[4] 内山哲治, 「物理教育におけるハーズバークの動機付け」第72回年次大会(2017) 20aC11-6.

# 原著講演 2B

# スマートフォンを活用した諸運動の生徒実験

<sup>A</sup>今和泉卓也

<sup>A</sup>筑波大学附属駒場中・高等学校

imaizumi.takuya.gf@un.tsukuba.ac.jp

## 1. はじめに

都立高校などをはじめ、多くの高等学校で生徒のスマートフォンの学内への持ち込みが容認される動きがある。物理の生徒実験においても、スマートフォンを活用すれば、今まで容易にはできなかった実験が比較的簡便に行える可能性がある。そういった実験の企画・実践は、「次なる世代の物理生徒実験」を考える上で非常に重要であると考えられる。しかし、「情報機器ゆえハードルが高い」ということにはなっては本末転倒であるので、だれでも気軽に行える（特殊な工作を必要とせずに実行できる）生徒実験をいくつか提案する。また、それを実践した結果もあわせて報告する。

## 2. その1「エレベータ」

アプリ「SPARKvue」<sup>1</sup>を用いると、簡便に3軸の加速度の時間変化を記録することができる（教室の机の上にスマートフォンを置き、このアプリで測定すると鉛直方向に  $9.8\text{m/s}^2$  で一定であることがすぐさま確認される）。上昇しているエレベータで、加速度を測るとどんな値になるか、議論させた後、実際にエレベータに乗って実験させた（「慣性力」というものを、実感したうえで考えたいと考えた）。

エレベータの床に1kgの台車を乗せたばかりとスマートフォンを置き、エレベータが移動しているときの加速度を「SPARKvue」で測定させ、その様子を別のスマートフォンで撮影した。その後、教室で撮影した動画を確認し、なぜ加速度の値が変わったのかなどを議論した。はかりの指示値の変化量と加速度の変化量から「 $F=ma$ 」の関係があることも認められた。



図1 エレベータの加速度の測定

## 3. その2「円運動」

「水切りボウル」（容器にレタス等を入れ、フタをしてハンドルをぐるぐると回すと内部の容器が回転し、そのときの遠心力で水気を一気に飛ばすことができるキッチン用具）の内部容器の側面にスマートフォンを固定して、やはりアプリ「SPARKvue」を用いることで円運動の加速度について調べる生徒実験を行った。

円運動の加速度の向きや大きさについて学ぶ前に行った。向きや大きさについて、予想した後に、実際に実験を行った。



図2 スマートフォンを内部容器に固定

班で測定したデータ（半径・容器の回転周期・速さ・角速度・加速度）を全体で共有した後、加速度がどのように決まるかを考える。これまで4年間実践してきたが、加速度の値が他のデータとどういう関係にあるのかを議論させると、すべてのクラスで、必ず期待される結論に到達できた。

#### 4. その3「斜方投射」

フリーソフトの Kinovea<sup>2</sup> というツールに注目し、スマートフォンのスローモーション撮影とこのソフトを活用した斜方投射の生徒実験を実践してみた。途中、物体の軌跡をマウスでクリックしながらデータ入力、というような地道な作業はなく、自動で追跡してデータ化してくれるため、生徒たちへの負荷も小さくでき、悪くない手法だと感じた。

「2次元の運動のデータを、1次元運動に関する学習を踏まえて、生徒たちに考えさせ、自由に解析させたい」という思いが起点にあった。生徒にとってソフトウェアによる自動追跡は、こちらが順序立てて教えればそこまで難はなかったが、そこから得られたボールの運動  $(x, y, t)$  の Excel データを活用して、生徒自身が考えてデータ解析し、グラフ描画までに持っていくのは容易ではなかった。力学台車と記録テープを用いた実験（1次元の運動）において、そのデータから、5打点ごとの変位や速度を求める流れを学んでいたにもかかわらず、「自由に解析せよ」という指示の下では、速度のグラフを作成しようとした生徒は少数であった。



図3 「Kinovea」による自動追跡

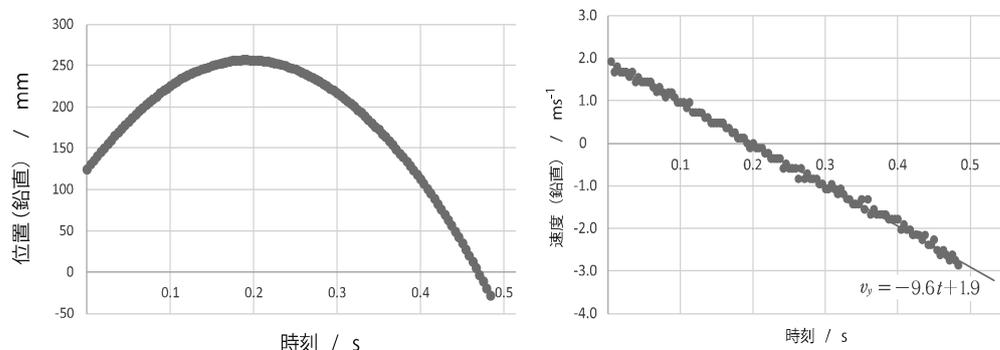


図4 斜方投射のスロー動画の解析から得られたデータをもとに作成されたグラフ

#### 5. おわりに

生徒アンケートでは、スマートフォンを用いた実験は、学習内容の理解において有効だったという解答が多かった。ただその一方で、簡便という点も裏を返せば、測定がブラックボックス化しやすいということでもあり、この種の実験ばかりでは適切ではないと考える。伝統的な実験とうまくミックスできるとよい。そのためには、この種の実験の特性をより深く知っていく必要がある。

#### 参考文献

- [1] SPARKvue <https://www.pasco.com/prodMulti/sparkvue-software/index.cfm>
- [2] Kinovea <https://www.kinovea.org>

# スマートフォンに複数のマイクを接続した音圧分布測定

## (気柱共鳴実験)

東京都立桐ヶ丘高等学校 安達 照

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

### 1 はじめに

スマートフォン（スマホ）を用いて、どこでも簡単に物理実験が行えるアプリケーション（アプリ）Diracma シリーズ（DiracmaA、DiracmaJump、DiracmaS、DiracmaM 等）を開発し、種々の物理実験に応用してきた<sup>1-6)</sup>。

音波は身近なものであるが、目に見えないため、音波を視覚化するためにいろいろな工夫がなされきたが、現場ではより簡単に見ることができる実験方法が期待されていた。アプリ DiracmaS は、音波全般に用いることができ、一つの小型マイクを用いて開管の気柱共鳴（スマホからの音波発生利用）における音圧分布を測定した<sup>5)</sup>。共鳴中の管内にマイクを 1cm ずつ移動させながら順に測定し、理論と一致した結果を得られていた。簡単な装置で音波の定常波を視覚化できるが、細かく測定すると時間を要した。そのため、実際の授業では基本振動や 2 倍振動における音圧分布の最大値や最小値に対応する 5ヶ所のみを測定していた。

本研究では、5つのマイクを同時に使用して、管内の 5か所の音圧分布測定を 1回で測定でき、音圧分布を棒グラフですぐに可視化できるようにした。スマホに 5つのマイクを接続するために、前に報告したスマホと超音波センサーを接続した方法を用いている<sup>6)</sup>。5つのマイクの出力を一旦、小型マイコンへ入力し、このマイコンからスマホへデータをシリアル送信している。スマホに接続した 5つのマイクとスピーカを用いて、気柱共鳴における管内の音圧分布

を測定するアプリ DiracmaMPD を開発し、基礎的な検討を行った。

### 2. 実験装置の概要

#### (1) マイクとマイコンについて

マイク（Grove 音センサー、LM386 アンプ付、734 円）と小型マイコン（ArdiunoNano、1.7cm × 4.5cm、416 円）の接続については、図 1 に示すようにアナログ入力端子 A0～A4 にマイクの音圧データを入力している。なお、マイコンからは、マイク 1 から 5 に対応する音圧データを、マイクを識別する記号で区切りながら順次、スマホにシリアル送信している。マイコンとスマホ（Android 系 4.0 以上であれば動作するが、メーカーによっては意図的に機能を削除されているものもある）はホストケーブルで接続する。

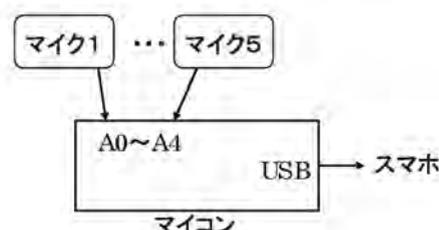


図 1 マイコンとマイクの接続

#### (2) アプリ DiracmaMPD

図 2 ように、本アプリは、マイコンからのデータを受信すると、棒グラフで表示するようになっている。6 秒間の測定後に、各マイクで受けた音量データの最大値が表示され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。

・動作確認端末：

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

Sony Xperia402SO(OS 6.0),

Unihertz Atom(OS 8.1)

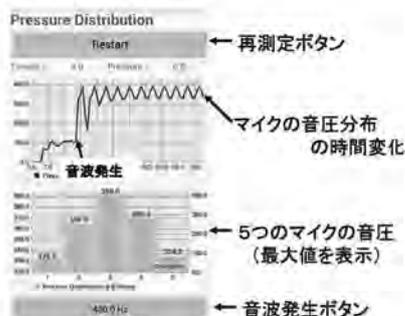


図 2 アプリ DiracmaMPD の起動画面

### 3. 音圧分布測定への応用

#### (1) 実験方法

図 3 のように、開管（長さ 31.8 cm、半径 4.5 cm、印刷機のマスター芯などの廃材）の中にマイクを導入している。開管内に、等間隔に 5 つのマイクを設置している。管の端から約 10cm 離れたところに、スピーカ（1.5 W、300 円）を設置し、スマホから任意の振動数の音波を発生できるようになっている。ちなみに、音波発生はスピーカだけでなく、音叉でも実験は可能である。

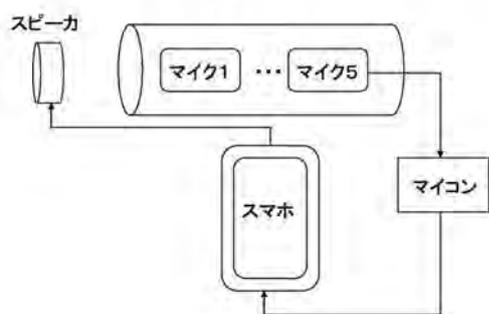


図 3 音圧分布測定実験の概要図

#### (2) 実験結果及び考察

図 4 は、開管の基本振動数で共鳴させているときの音圧分布である。中央部（3 のグラフ）を最大値とし、管の両端部に向かって徐々に小さくなる分布を示している。ちなみに、曲線は理論式<sup>5,7)</sup>から求めたものである。

次に、図 5 は、2 倍振動数のときの音圧分布である。管の中央、両端部（1, 3, 5

のグラフ)で小さくなっており、2ヶ所で最大値（2 と 4）になっている。

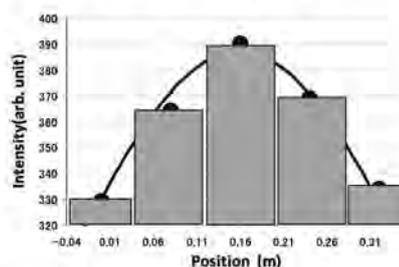


図 4 基本振動のときの音圧分布

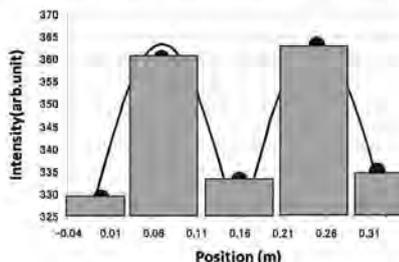


図 5 2 倍振動のときの音圧分布

### 4. まとめ

アプリ DiracmaMPD を用いることで、スマホにマイコン経由で接続した 5ヶ所のマイクの信号を読み込み、気柱共鳴している開管の中の音圧分布を一度に測定することが可能となった。比較的、低いコスト（6000 円以下）で測定装置が簡単に構築できるようになった（アプリも無料公開予定）。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP19H00087 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、物理教育研究大会発表予稿集 (2017)41.
- 4)安達 照、応用物理教育, 42(1)(2018)57.
- 5)安達 照、東レ理科教育賞受賞作品集 (2017)6.
- 6)安達 照、物理教育, 67(1)(2019)31.
- 7)福山 豊、物理教育, 33(1)(1985)19.

# ラズベリーパイと距離センサーを用いた単振動の実験

<sup>A</sup>佐々木 徹

<sup>A</sup>北海道紋別高等学校

tosasaki@hokkaido-c.ed.jp

## 1. はじめに

本研究では、水平に押しばねを固定、他端におもりとして力学台車を取り付ける。その力学台車を水平に単振動させ、その変位の時間変化を距離センサーで測定し、ラズベリーパイ上に記録する。記録したデータをラズベリーパイ内臓のマセマティカで解析し、周期を求める。ばね定数の測定は、力学台車をばねばかりでさまざまな力で押し縮め、そのときの変位から求める [1]。

本研究における実測で求めた周期は、測定に用いるデータ数が多いことから3桁の高精度で求めることができた。一方、力学台車の運動やばね自身の質量などさまざまな補正を単振動の周期の公式に適用することで実測での周期と近づけることができた。

## 2. 本研究で扱っている力学モデル

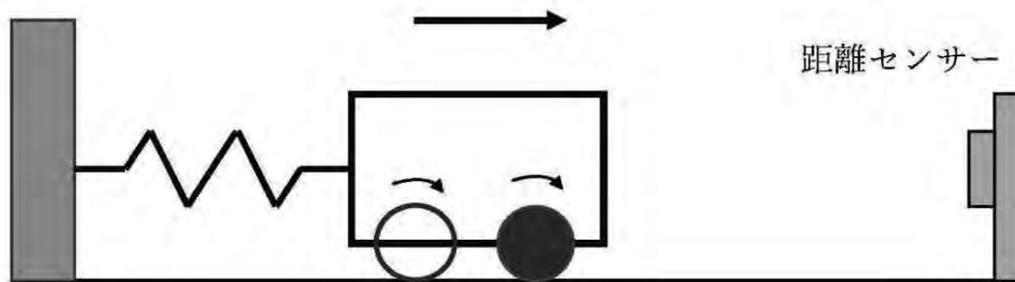


図 1

図 1 のように水平に質量  $M$  [kg]、ばね定数  $k$  [N/m] の押しばねを固定し、他端に質量  $m$  [kg] の力学台車を取り付ける。この力学台車には 3 つの車輪が付いて、3 つの車輪は合計  $I$  [kg・m<sup>2</sup>] の慣性モーメントを持っている。また、この車輪の半径は  $r$  [m] とする。今、ばねを  $x_0$  [m] 押し縮めた状態から静かに離し、図 1 のように自然長を速度  $v_0$  [m/s] で通過している状態に変化したとする。レイリーの方法 [2] より、ばねの弾性力による位置エネルギーと図 1 のようなばねが自然長のとき移動中の力学台車とばねの運動エネルギーが等しいとおくと

$$\frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}\left(m + \frac{M}{3} + \frac{I}{r^2}\right)v_0^2$$

が成り立つ。この式から補正を含んだ単振動の周期の公式を

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m^*}{k}}, \quad m^* = m + \frac{M}{3} + \frac{I}{r^2}$$

と導出した。

## 3. 実験サンプル

力学台車の質量は 1052 g、使用した押しばねの材質はクローム鋼線、形状（線径 3.5 mm×外形 43 mm×全長 200 mm）、質量：230 g の実験サンプルを用いた。

#### 4. 実験結果その1 (実測による周期)

図2は距離センサーで測定した  $x-t$  グラフ上のプロット点であり、839個のデータからなる。

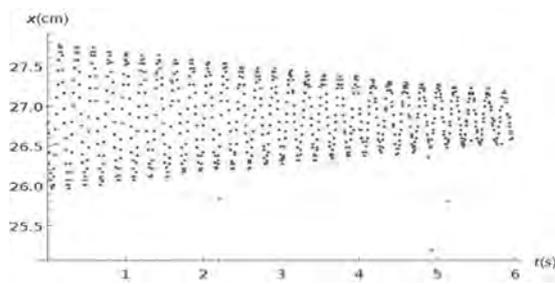


図2

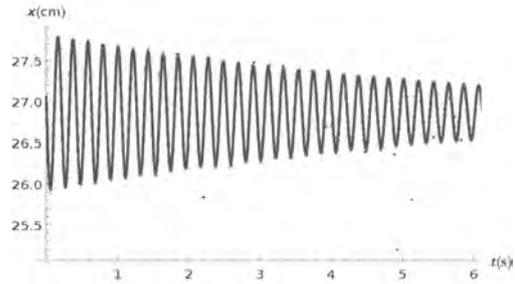


図3

図3は図2のプロット点を最も再現する理論曲線を図2に重ねたもので減衰振動の曲線となっている。理論曲線は  $x = y + a \cdot \exp(-b \cdot t) \cdot \sin(2\pi/T(t - \theta))$  の関数で5個のパラメーター ( $y$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $T$ ,  $\theta$ ) をマセマティカの NonLinearModelFit(...) というコマンドでフィットした結果得られた [3]。周期  $T$  の具体的な値は  $T = 0.211127(0.0000276463)$  [s] であった。( ) 内は標準誤差である。

#### 5. 実験結果その2 (補正された公式による周期)

3.の実験サンプルのデータ以外で測定して決定しなくてはならないデータに、ばね定数と慣性モーメントがある。ばね定数は  $22.5^\circ\text{C}$  の値で  $k = 1063.8 \text{ N/m}$  であった。車輪の慣性モーメントは、力学台車を斜面に沿って下らせることで決定し、値は  $\frac{I}{r^2} = 0.070 \text{ kg}$  であった。

以上を踏まえて、補正された公式による周期は  $T' = 0.2109 \text{ s}$  と求められた。

#### 4. まとめと展望

本研究ではラズベリーパイと距離センサーを用いて減衰振動の周期を求めた。測定精度はデータ上4桁である。また、補正を考慮した単振動の周期の公式から導かれた値は実測による周期と3桁の精度で一致した。

単振動と減衰振動の周期における違いはフィッティングパラメーター  $b$  による効果に現れ、測定精度4桁以上で現れる。なお、測定で用いたデータの数が少ないときは、振幅の減少が摩擦力によるクーロン減衰か減衰振動か判断が付かなかったが [1] [2]、本研究で減衰振動であると結論づけられた。

周期の公式に加えるべき補正として、ばね自身の質量を考慮しないといけない [4]。加えて、本研究では力学台車の車輪の慣性モーメントも考慮しなくてはならない。この慣性モーメントの測定はまだ測定回数も少なく、測定方法も確立していない。さらに、本研究でばね定数を測定している中、ばね定数には無視できない温度依存性があることが分かった。

今後は、プラスチック製などのさまざまなばねのサンプルでの実験、力学台車以外のおもり場合の実験などが考えられる。

#### 参考文献

- [1] 佐々木 徹 日本物理教育学会北海道支部会報 「物理教育研究」 Vol. 46
- [2] William Tyrrell Thomson 著 小堀与一訳 機械振動入門
- [3] Sal Mangano 著 松田裕幸訳 Mathematica クックブック
- [4] 小暮陽三, 川又茂浩 物理教育 1972 20 2号

# 簡易気体体積計によるシャルルの法則の検討

喜多雅一

岡山大学大学院教育学研究科

kitam@okayama-u.ac.jp

## 1. はじめに

温度による気体の体積変化(シャルルの法則)を測定する教具は多数検討されている[1-6]。これらの中では、ガラスキャピラリーに流動パラフィンを組み合わせたものが精度よく絶対零度に相当する $-273^{\circ}\text{C}$ を実験的に得る方法として優れている[1,2,4]。ガラス注射器を用いたものもあるが高価であり、精度もよくない[3,5]。本発表では、これまでの研究ではシャルルの法則用の測定教具を、身のまわりにある廃品等(PET ボトルや点滴チューブなど)を活用して、アフリカなどの途上国でも作成でき、小学生から高校生までが簡単に自作でき(すなわち特に訓練を受けていない教員でも作成できる)、もっとも簡易にまた視覚的にわかりやすい教具作成を検討した。また飽和水蒸気圧の推定も同じ装置でできる。温度変化を伴わない気体発生量(例えば貝殻中の炭酸カルシウム量を貝殻と塩酸の反応によって決定する)についても同様に簡便に測定できたので、それらについても報告する。原型は2008年からのJICA STEPSAM2で開発した教材である。

## 2. 簡易 Gasometer の作成

500 mL の炭酸飲料の容器の形が変形しにくいPET ボトル2 個を用意し、一方にはあらかじめ200 mL, 400 mL の標線を油性ペンで印を付ける。測定用PET ボトルのキャップには外径2 mm の穴を一つ開け、気体の体積変化を感知するPET ボトルのキャップには外径2 mm の穴を2 つ開け、一方の穴と測定用PET の穴をポリスチレンチューブでつなぐ。またもう一つの穴にもポリスチレンチューブをつなぎ、これは気体の体積変化測定用PET ボトルの内部のそこまでチューブを到達させ、チューブの反対側末端は水の入った50 mL メスシリンダーのそこに到達させる。このチューブ内は水で満たす。測定時は気体の体積変化測定用PET ボトル内の水位とメスシリンダーの水位は一致させる。概要を図1に示した。



図1 気体体積測定器

(ポリエチレンチューブ(内径1 mm, 外径2 mm)で、左は気体を導入し、もう一方の右のチューブは水で満たされている)

## 3. (1) 温度による空気の体積変化並びに(2) 飽和水蒸気圧に由来する気体の体積変化の測定

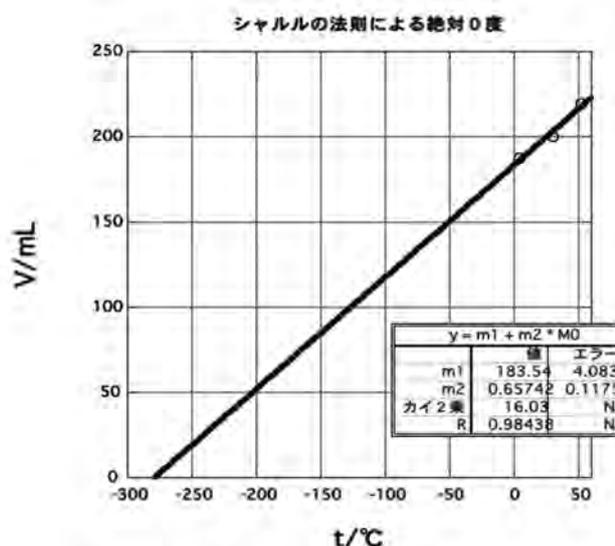


図2 シャルルの法則

#### 4. 結果と考察

簡単な気体体積測定器を使った測定実験によって、精度はあまりよくないが視覚的にシャルルの法則を確認でき、体積0に外挿することで絶対0度が得られることも理解できる。または温度による水蒸気圧変化に関しても視覚的かつ定量的に扱える。図3のメスシリンダーの水位と飽和水蒸気圧には良い相関がえられた。

内部を良く乾燥させた PET ボトルで 200 mL または 400 mL の線まで恒温槽の水に浸けた。氷水で 3.9°C、室温 30.0°C、熱水 52.0°C での 10 分間で変化がしなくなったので、体積変化を読み取り、プロットしたところ、-270°C 付近で体積が 0 となった(図 2)。

また右の PET ボトルの 200 mL まで水を入れ、恒温槽の水の水位をこれに合わせた。10 分後に水の蒸気圧の変化がメスシリンダーに現れているとして、メスシリンダーの水位を読んだ。結果を図 3 に示す。

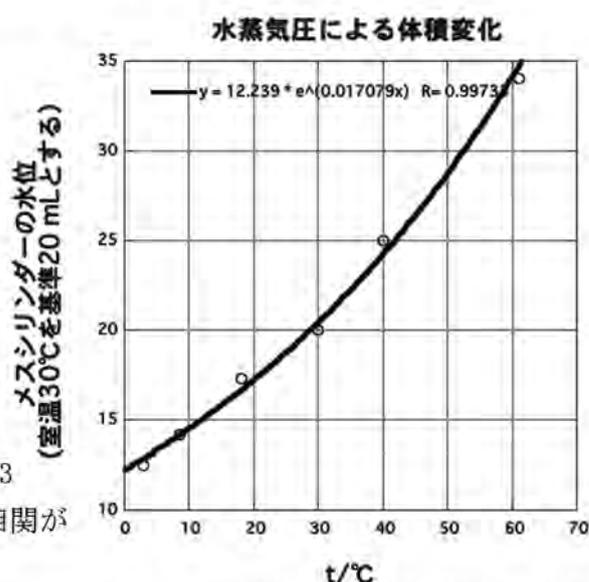


図3 温度による水蒸気圧の変化

#### 参考文献

- [1] 田中謙介, 「シャルルの法則の検証」, 東レ理科教育賞(2009)
- [2] 小池守, 高見澤一男, 小林辰至, 高津戸秀, 「シャルルの法則を学ぶ授業事例—空気温度計の作成から絶対零度の産出までを通して—」, 科学教育研究, 29, 213-218(2005)
- [3] 田口哲, 「外挿法で絶対零度に挑戦する—三角フラスコと注射器を用いたシャルルの法則の確認実験」, 化学と教育, 48, 808-810(2000)
- [4] Mark G. Rockley and Natalie L. Rockley, “A Charles’ Law Experiment for Beginning Students”, Journal of Chemical Education(JCE), 72, 179-181(1995)
- [5] Ronald S. Strange and Frank T. Lang, “A Precise determination of Absolute Zero”, JCE, 66, 1054-1055(1989)
- [6] Taweetam Limpauparb, Siradani Kanithasevi, Maytouch Lojanarungsiri, and Puh Pakwilaikiat, “Teaching Boyle’s Law and Charles’ Law through Experiments that Use Novel, Inexpensive equipment Yielding Accurate Results”, JCE, 96, 169-174(2019)

# 加法混色、減法混色、中間混色、色の混合について

室谷 心

松本大学総合経営学部

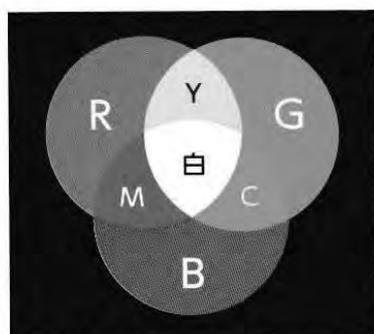
muroya@t.matsu.ac.jp

## 1. はじめに

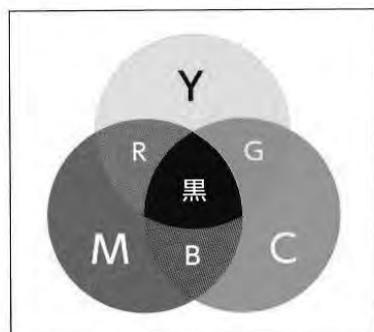
色については3原色があり、光の場合に加法混色、顔料の場合に減法混色に従うことがよく知られている。マルチメディアデータのデジタル表現の基礎として、高校の情報の教科書に記載されており[1](図1)、光の性質の単元で虹の7色とともに載せている物理の教科書もあるようである。色に関しては、明るさの自由度を規格化した色度図で表される。色度図上には3原色という特別な点は存在せず、混色は色を表す点の間の内分点で表される[2]。

## 2. 色度図

2009年の本研究大会での霜田氏の演説発表にあったように[3]、光の色は3原色の光源からの光の混合で作られ、色度図上は光源の色に対応する3点の内分点として表される(図2)。色度図の外縁が外側に膨らんでいることから、3原色の混色では表現できない色があることや、一時期あるメーカーが宣伝していたように4つ目の点を取って色空間を広げるような工夫ができる。もともとはRGB3色の光の混合という3次元空間から明るさの自由度を規格化した2次元空間であり、色度図上



(a) RGBの混合(加法混色)



(b) CMYの混合(減法混色)

### ◆図A 加法混色と減法混色

図1 三原色[1]

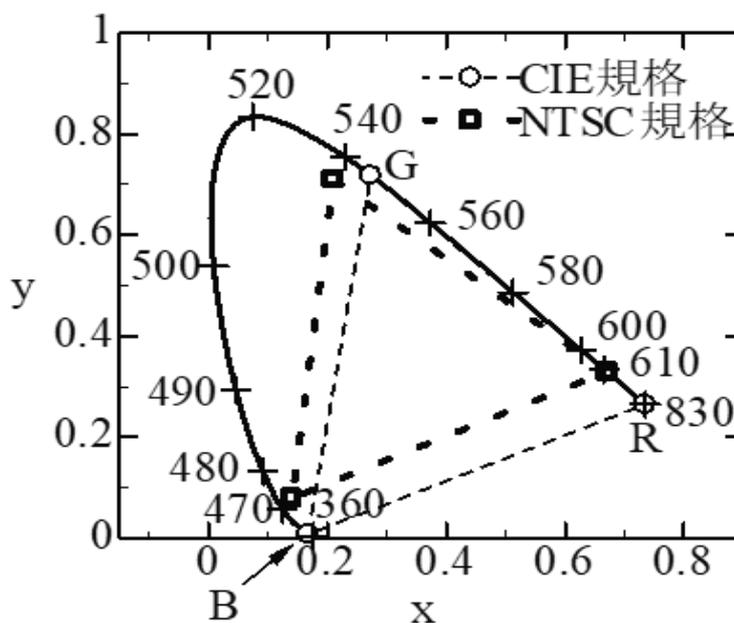


図2 xy系での色度図.

実線は単色光の色を表し、クロスのプロットの脇の3桁の数字は光の波長(nm)を表す。図中の三角形はCIE規格の三原色(破線)とNTSC規格(点線)[4]。

は、黒、グレー、白が同じ点で表されている[4]。

### 3. 中間混色

右のように、RGB と CMY で同心円をそれぞれ 3 色に塗り分けたコマを回転させてみると、実際のコマの回転を目視したものと、画面上で回転させたものとは、見え方は同じになる。画面上では加法混色に、実際のコマでは減法混色になりそうに思うが結果は同じで、

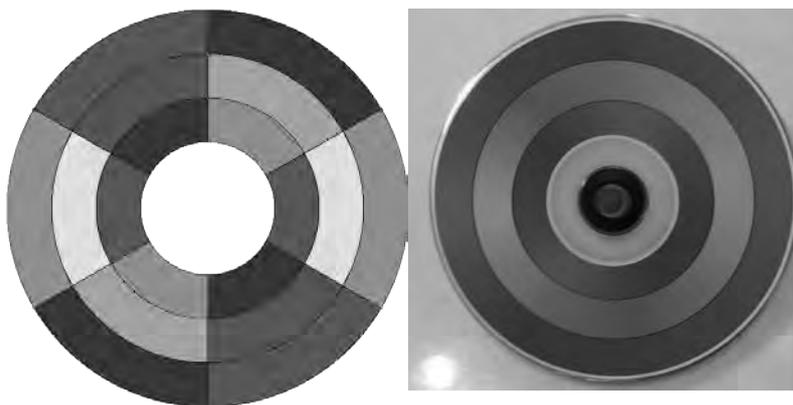


図3 3色混色実験用のコマの塗り分け。外側から RGB、CMY、RGB の3色で塗り分けてある(左)。印刷したコマを実際に回転させた様子(右)。

どの同心円もグレーになり、RGB に塗り分けた同心円の方が、CMY に塗り分けた同心円よりも暗いグレーになる。これは中間混色といわれるもので、回転円盤や点描、織物のようなマクロな物体の色の混合の場合の混色として知られている[5]。色度図上で混色は内分点で表されるので、RGB の混色も CMY の混色も黒から白の間のグレーになることで矛盾はない。明度の問題は色度図では欠落してしまっている光の強さの自由度の問題である。画面上で CMY の混色の方が明るいグレーになるのは、RGB 3 つの素子のうち 2 つがオンになっているためであり、1 つしかオンになっていない RGB の混色よりも明るくなることは容易に理解できるが、回転するコマの場合を理解するには、コマに塗られた顔料の明度を考える必要があり、直感的には難しい。

### 4. 3原色とはなんであったのか？

RGB であっても、CMY であっても、色度図上は混色を内点としてあらわすための 3 角形の頂点であり、本質的な違いはない。加法混色と減法混色の違いは光で考えた時に混色によって光の放出エネルギー量が増加するか、吸収エネルギー量が増加するかの違いであって、色の違いではない。人の錐体の分光吸収スペクトルでは、RGB の 3 つの波長の場所にピークが見られるが[6]、色度図上での面積最大化を考えれば、現在の RGB や CMY とは違った組み合わせでの 3 角形を考えることも可能であろう。

### 参考文献

- [1] 坂村健：「高等学校情報の科学」、数研出版（2019）。
- [2] 室谷心、水谷雅志：「実際のスペクトルとの差異を意識した光の 3 原色の扱い—色度図の積極的利用—」日本情報科教育学会誌 3(30-33) (2010)。
- [3] 霜田光一：「色度図対応 3 原色混合実験器」、2009 年度日本物理教育学会予稿集 (82-83) (2009)。
- [4] 室谷心：「3 原色と黒体輻射」、物理教育、60 pp110-114(2012)。
- [5] 中田満雄、北畠輝、細野尚志：「デザインの色彩」、日本色研事業株式会社（1999）。
- [6] 大田 登：「色彩工学」、東京電機大学出版局（2008）。

# 「光と音の性質」をつなぐ教材開発

三好美恵<sup>A</sup>、喜多雅一<sup>B</sup>

<sup>A</sup>内子町立五十崎中学校<sup>B</sup>、岡山大学大学院教育学研究科

kitam@okayama-u.ac.jp

## 1. はじめに

平成29年7月告示の小学校，並びに中学校学習指導要領解説理科編[1, 2]において，エネルギー領域では，小学校第3学年「光と音の性質」(光の反射・集光，光のあてかたと明るさや暖かさ，音の伝わり方)，中学校第1学年「光と音」(光の反射・屈折(光の色を含む)，凸レンズの働き，音の性質)のようにほぼ同じ内容が配置されることになった。光音響効果は，光エネルギーの変調が音に変換される現象で，1990年以降近赤外光レーザーを生体組織に照射し，超音波で生体組織のイメージングを行う技術が開発され，乳がん，前立腺がん，脳血栓の診断や皮下脂肪の厚さの測定などにその原理を使った医療機器が開発されている[3]。光音響効果の発見はグラハム・ベルにより1880年の光電話(フォトフォン)と言われている。これは太陽光を鏡で反射する際に鏡に音声振動の変調を加え，その光が数十メートル離れた受光部(パラボラ)で音声再生される。音楽音源をLED光に変調させ，聴診器で

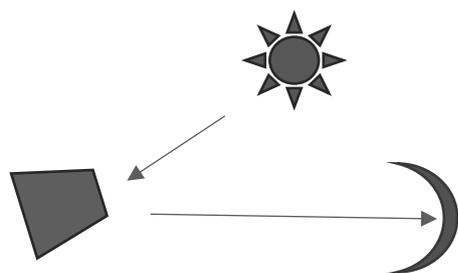


図1 グラハムベルのフォトフォン

検出し，またデジタル増幅する演示が既に報告されているが[3]，我々の実験では単に黒い塩ビ板を付けた聴診器で，LEDストロボ光源の点滅の音を聞く単純な形にしている。

今回は中学校の探究教材として，光音響効果の観察やそのメカニズムを追究する教材を紹介する。中学校において研究授業として行った。

## 2. 光音響効果の観察とその結果

加速度の写真撮影などに用いるLEDストロボ装置(ケニス)などを用いれば，点滅時間を自由に変えられる。一定の周期でLEDストロボ光を聴診器の集音部(黒い塩ビ板に換えたもの)にあてると音が発生し，LEDストロボ光の周波数が，音の周波数になることを直接自分の耳で確かめることができる。またLEDストロボ光が当たっているときの黒い塩ビ板(または，黄色，緑，青，白色の塩ビ板)の温度変化をサーモグラフで観察することにより，光-音変換のメカニズムを解明する活動とした。



図2 使用した器具

外気温が 25.0℃ のとき、LED ストロボ光をあてると黒い塩ビ板はあたっている箇所のみ 27.0℃ になったが、白色板では外気温のままであった。温度上昇は黒>青~緑~赤>黄>白~0 であり、LED ストロボ光による聴診器の音の大きさに対応していた。また、クリアファイルや色画用紙のような柔らかい素材では光音響効果は検出できない。一方アルミニウムに黒色を塗装した金属板では明瞭に聞こえた。アルミニウムそのものでは金属光沢のため、光音響効果は観察されなかった。

### 3. 中学校における本教材の活用

中学校で扱うエネルギー変換で、あまり触れられていない光から音への変換例として有意義である。すなわち、電気が光、音に変換されることを小学校で学習している。光が電気に変換されることも学習している。この教材で光が音に変換されることを体験する。光を物体が吸収すると熱に変わり、熱を吸収した物体が膨張する。膨張する際に空気を振動させて音を作るという一連の現象が起こっていることを様々な方法で中学生であれば検証することが可能である。赤外線カメラ、サーモグラフで光照射で表面温度の変化をモニターでき、温度が上昇、下降する様子が見える。また聴診器の音を増幅できる心音増幅器を用いれば、クラス全員が光音響効果の音を共有、確認できる。合わせてオシロスコープに取り込めば、点滅の周期と音の周期、音の大きさを振幅としてモニターすることができ、光-熱変換の効率やそれによる空気振動の大きさも調査することができる。中学校ではグラハム・ベルが現代社会に与えた影響などを調べて発表するなど、科学技術の発展の歴史についても興味を喚起させることができる。

### 4. 中学校における授業実践

光エネルギーから音変換の効率を調べる活動を授業の主たる活動とした。

**実験 1** 光をたくさん吸収する色は何かを音を使って調べよう。

- <方法> ① 聴診器にいろいろな色のプラスチックの板を張る。  
 ② 聴診器に光をあてて、音を聴く。  
 \* 光の点滅間隔を適当に調節すること。  
 ③ 色のプラスチックの板を変えて、音の大きさを比べる。

**結果**

プラスチックの板の色	赤	青	黄	緑	白	黒	銀
音の大きさ							
大きく聞こえたもの							

### 参考文献

- [1] 文部科学省:小学校学習指導要領(平成 29 年度公示)解説, 文部科学省, 2017, p33-35  
 [2] 文部科学省:中学校学習指導要領(平成 29 年度公示)解説, 文部科学省, 2017, p29-32  
 [3] D. I. Nikitichev, et al., “Music-of-light stethoscope: a demonstration of the photoacoustic effect”, Phys. Educ. 51(2016)045015(9 pages)

# 天体用 CMOS カメラを用いた近紫外線、近赤外線教材化

足利裕人

公立鳥取環境大学

ashikaga@kankyo-u.ac.jp

## 1. はじめに

高等学校物理教科書の光の章には、紫外線と赤外線の記述が見られる<sup>[1]</sup>。しかし、教材として専用の高価なカメラの準備は困難であるため、軽い扱いになっている。一方、天体写真の世界は、比較的low価格の高感度非冷却 CMOS カメラによる電子観望の時代になってきた。撮像素子は近紫外線から遠赤外線に感度を持ち、構造が単純なため分解・改造が容易で、紫外線や赤外線を透過するレンズと、実験目的の波長成分の各種フィルターとの組み合わせにより、安価な近紫外線・近赤外線カメラを構成することができる。本研究では天体用 CMOS カメラを用いて、安価に近紫外線や近赤外線を撮影する装置の教材化を示し、光の単元の充実をめざしている。

## 2. カメラの構成方法

図1に紫外線カメラの構成部品を示す。カメラには、天体写真用の ZWO 社製 ASI224MC<sup>[2]</sup>を用いた。このカメラは撮像素子に SONY の CMOS IMX224 を採用し、非常に低いリードノイズと IR 領域での高感度を持つ。レンズは紫外線透過率の高い、引き伸ばし機用 Nikon EL-NIKKOR 50 mm を使用し、ヘリコイドとマクロチューブを接続して焦点調節を可能にした。紫外線透過可視光線カット、遠赤外線カット用フィルターにそれぞれ HOYA U330、KENKO DR655 を用いた。また、赤外線撮影用には KENKO の R72 を用いた。撮影用ソフトは SharpCap を用いた。



図1 紫外線カメラの構成部品

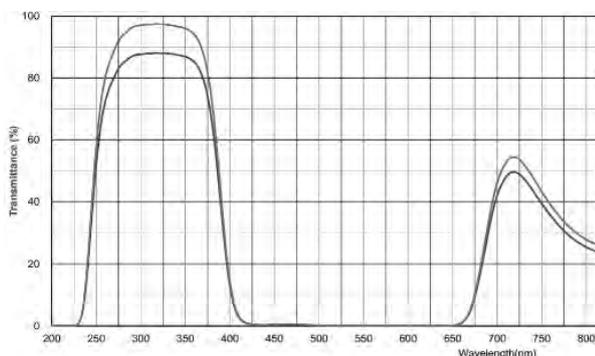


図2 HOYA U330 の特性曲線

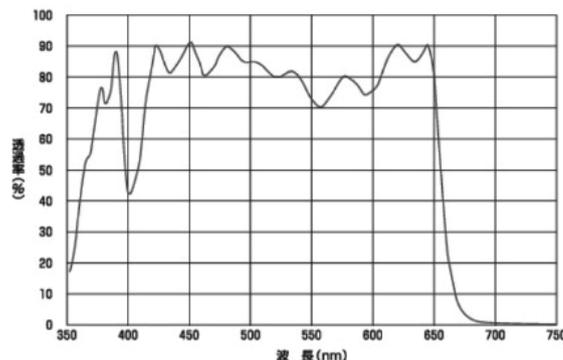


図3 KENKO DR655 の特性曲線

## 3. 撮影方法と教材の例

カメラはパソコンに USB 接続し、図4のようにピント位置、輝度やコントラスト等を SharpCap の画面で確認しながら調整できる。図5は、モンシロチョウの雌雄を可視光と LED ブラックライト

による 370nm の近紫外光で撮影した写真である。図 6 は同様にして撮影した、花卉が蜂や蝶を刺激するネクターサインの例である。これらは、近紫外光が見える昆虫の目の見え方の実現でもある。図 7 は異なる色のフェルト布によって、近紫外線、可視光線、近赤外線での反射の強さに違いが出るかを実験したものである。波長にあまり依存しないことが分かる。また、図 8 は薄雲がはっきり映る近赤外線写真の例である。

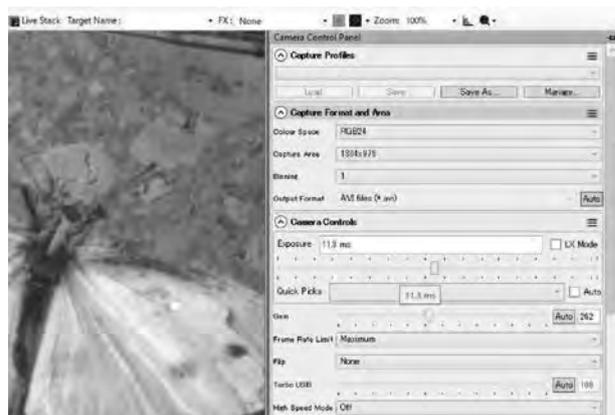


図 4 SharpCap の操作画面



図 5 モンシロチョウの雌雄の例

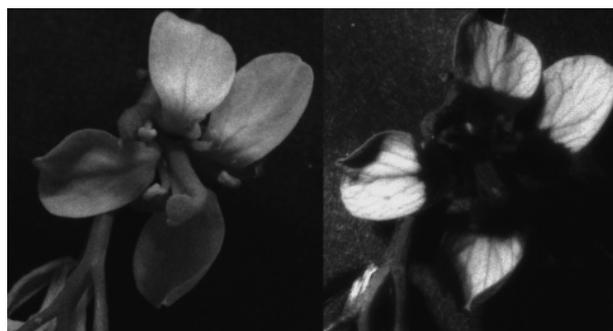


図 6 黄カラシナのネクターサイン

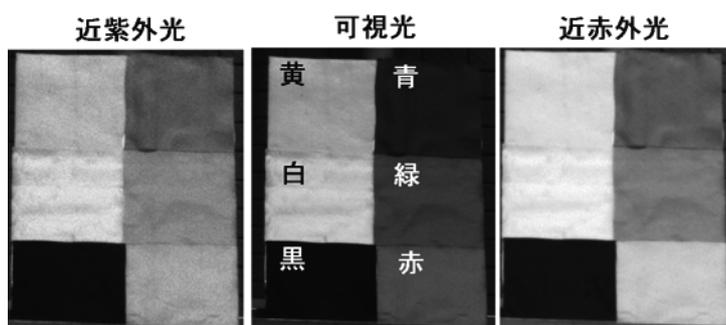


図 7 フェルト布の色と反射光



図 8 近赤外線写真で写る薄雲のようす

#### 4. おわりに

天体用 CMOS カメラの撮像素子は小さいため、惑星や星雲が焦点距離の長い望遠鏡を使わなくても大きく拡大される。また、赤外線領域の感度が高いため、水素の H $\alpha$  線を出す星雲等の撮影に良く使われている。マクロレンズとして顕微鏡のように使ったり、紫外線望遠カメラとして金星表面の雲を撮影したり、応用範囲は広い。紫外・赤外写真の教材の充実が楽しみである。

#### 参考文献

- [1] 植松他, 高等学校物理, 啓林館, (2017) 178
- [2] ASI224MC <https://astronomy-imaging-camera.com/product/asi224mc>
- [3] U330 [https://www.hoyacandeo.co.jp/japanese/products/eo\\_pdf/U330.pdf](https://www.hoyacandeo.co.jp/japanese/products/eo_pdf/U330.pdf)
- [4] DR655 <https://www.kenko-tokina.co.jp/imaging/filter/revision/4961607080924.html>

# 高校物理教材としての人工衛星電波受信実験の実践

<sup>A</sup>小林尚輝, <sup>B</sup>内山秀樹

<sup>A</sup>静岡大学大学院教育学研究科, <sup>B</sup>静岡大学教育学部

kobayashi.naoki.14@shizuoka.ac.jp

## 1. はじめに

2013年の調査[1]では日本の高校生の理科への有用感はいくつかの国の中で最も低い。その一方で同年に行われた別の調査[2]では「天文」「宇宙開発」に対する日本の高校生の関心は他分野に比べて高い。そこで我々は高校生が興味を持てる宇宙から出発し、科学技術や社会と物理との関わりを明らかにしつつ学習でき、理科(物理)の有用感が増す教材として人工衛星電波受信実験に注目した。

高校物理における人工衛星の教材化については浅井氏による研究[3]があり、人工衛星のビーコンを受信して万有引力の法則や電波のドップラー効果を検証する実験が考案されている。我々は浅井氏の研究から進めて、実際の高校授業での使用を目的とした受信実験の教材開発を行った。さらに科学教室と高校授業の中で実践し、授業前後のアンケート・テストから受講者の理科への有用感や物理分野の理解の向上に対する本教材の有効性を検証した。



図1 衛星電波受信実験の様子

## 2. 人工衛星電波受信実験

現在多くの大学等で開発されている超小型人工衛星にはアマチュア無線の帯域でビーコンを送信しているものがあり、安価なアマチュア無線の機材で受信できる。指向性のある八木アンテナ等で衛星を追跡しながら受信を行うことで、目に見えない人工衛星の位置と動きを確認できる(図1)。

人工衛星の電波受信は高校物理の多くの単元と関連がある。高校物理では惑星や人工衛星が、太陽(人工衛星の場合は惑星)との万有引力によって楕円軌道上を運動することを学習する。人工衛星の公転軌道を近似的に円とし、人工衛星が地球の周りを等速円運動しているとすると人工衛星の速さが決まる。さらに人工衛星が地球上の観測者から見て天頂を通る時は、地平線から昇り反対側の地平線に沈むまでの時間を容易に計算できる。受信実験では実際にその時間(高度700kmの人工衛星の場合約14分)で人工衛星が頭上を通過することを体験し、自分たちが計算した通りの速さ(～第1宇宙速度)で衛星が地球の周りを回っていることを確認できる(浅井氏の論文[3]も参照)。

人工衛星の出す電波とそれを受信するアンテナには波と電磁波に関する物理が深く関わっている。高校物理で学習する弦の固有振動や音の共鳴と同様に、金属棒も電流の固有振動が起こす。本実践で使用したアンテナは435MHz帯の電波に最適化されており、アンテナの導波器の金属棒の長さはおおよそ(弦の固有振動の場合と同じく)その半波長程度となっている。また、金属棒の向きによって電波を受信できなくなることから電波が横波であることがわかる。受信実験の際には受信周波数が人工衛星の動きによって変化していくことからドップラー効果が確認できる。

本研究では2019年現在入手しやすい機材で受信実験の教材開発を行い、それをういて科学教室と高校授業の中で実践を行った。

### 3. 受信実験の実践

2016～2018年に5校の実施先で全6回科学教室形式の実践を行い、中高生計74人が参加した。また2018年に2校の高校で正課の授業における実践を行い、計76人が参加した。実践では主に受信実験に関わる物理内容の講義、受信実験を行い、一部の実施先ではアンテナの製作も行った。また、本教材の教育効果を検証するため実践の前後に受講者にアンケートを行った。高校授業の実践のうち1校では、実践の約1ヶ月半後に実験参加者と非参加者の両方に人工衛星の速さや周期を求めると、受信実験の内容と関連のある4問の力学のテストを実施し、その結果を比較した。

### 4. アンケート・テスト結果

実践後に行った教材の満足度に対する質問では科学教室・高校授業いずれの受講者からも各実施内容に対し肯定的な回答が得られた。ここから受信実験は、天文や人工衛星に対する興味が高い科学教室受講者以外の、一般の生徒にも受け入れられる実験だと考えられる。

実践の前後に行った理科の有用感に関する質問では、科学教室の受講者は実践前から肯定的な回答が多く、前後での有意な変化は見られなかった。高校授業の受講者は実践後に肯定的な回答が増えて前後で有意な差が見られた。自由記述欄にも「物理や数学が身近な現象に深くかかわっていることを知れた」「普段学んでいる物理が人工衛星というスケールの大きいものに使われているのがすごいと思った」といった回答があった。受信実験を通して、現代社会を支える実用的な技術（人工衛星）との関連を実感し、受講者の理科（物理）への有用感が増していると考えられる。

また、実践の前後に、物理内容の理解について受講者自身の主観的な意識を問う質問をした。いずれの受講者も実践前後で回答に有意な向上が見られ、自由記述欄には「授業で学んでいた内容が実際の実験で目で確認でき内容の理解が深まった」「高校の物理の内容とはまた異なる切り口でここまで習ったことを見直せた」といった声があった。受信実験を通して受講者の主観では物理内容の理解が深まったと感じているようであった。

また高校授業の実践のうち1校で行ったテストでは、実験参加者の方が実験非参加者より高得点であった。しかし追加で行ったアンケートより、実験の参加者は非参加者と比べ物理が好きな生徒が集まっていたため、テストの差はこの影響もあると考えられる。

### 4. 今後の展望

高校授業で人工衛星電波受信実験が簡単に実施できるよう、必要な情報をまとめたWebサイト[4]の作成を現在進めている。Webサイトでは、高校物理との関連を示した指導ガイド、詳細な実験手順、機材の入手・使用法、受信予報作成のためのExcelファイル、対象人工衛星のリスト等を公開する予定である。

### 参考文献

- [1] 国立教育政策研究所：「中学校・高等学校における理系進路選択に関する研究」（2013）
- [2] 国立青少年教育振興機構：「高校生の科学等に関する意識調査」（2014）
- [3] 浅井文男：物理教育 46-5（1998）246-250.
- [4] <https://www.shizuoka.ac.jp/jushin-jikken/>（最終閲覧日2019年5月5日）

# 電荷の移動をシミュレーションする教材の開発

## ～開発のプロセスと授業実践の検討～

稲垣惇史，梅田貴士

広島大学大学院教育学研究科

d194760@hiroshima-u.ac.jp

### 1. はじめに

高等学校では「電荷」という内容を扱い、帯電や静電誘導、誘電分極を学習し、金属球や箔検電器での電荷の移動について、思考し判断できるようになる。電気分野は力学分野よりも抽象的でその概念を捉えることは難しい<sup>[1]</sup>とされ、国立教育政策研究所の高等学校教育課程実施状況報告書によれば、「静電誘導と電荷同士に働く力の特徴の知識理解に基づき、論理的思考により結果を判断することができる」という項目では、設定通過率 55%に対し、32.4%と低く、生徒の思考・判断力の低さがわかる<sup>[2]</sup>。

電荷は見るができないため、電荷の学習には電荷を+や-の「粒子」として、モデルやイメージ図で描かれることが多い。教科書や既存の教材は、基本となる場面がモデル化され、描かれている。電荷が移動する場面は、導体棒や箔検電器の帯電の組み合わせや近づける順番を変えただけでもいく通りも考えられ、状況が複雑になれば判断は難しくなる。学習者は、基本となる場面を基に、複雑な場面について考え、正しいかを検証し、より精緻化されたモデルを創造することができるようになり理解を深めていくと考えられる。しかし、今までの教材では全ての場面についてのモデルが示されているわけではないため、学習者だけで正しいかどうかを検証することは困難である。これを実現するには、多様な場面に対応したモデルを提示することができる教材が有効であると考えた。そこで、本研究では、その教材の開発と、開発した教材により電荷の概念の育成にどのような影響があるかを検証することにした。

### 2. 教材の概要

電荷は、クーロンの法則に基づき、互いに及ぼしあう力によって移動する。これをコンピュータを用いて計算させ、シミュレーションすることにした。シミュレーション教材の開発には、マルチプラットフォームに対応した Unity を用いることにした。

開発したシミュレーション教材(図 2-1)は、正電荷を赤色の円、負電荷を青色の円で表現しており、それぞれの電荷の位置はクーロンの法則に従って常に計算し続けているので、実験器具を移動させたり、帯電の量を増減させても、それに応じて電荷の位置が再計算される。また、導体間での電荷の移動だけでなく、静電誘導や、箔検電器の振る舞い、アースなどのシミュレーションも可能である。



図 2-1

図 2-1 の左上に導体棒や箔検電器等の実験器具のボタン(図 2-2)があり、ボタンを押すと実験器具が生成されて、それを任意の位置にドラッグすることで自由に場面を設定できる。



図 2-2

図 2-1 の右上のプロパティパネル（図 2-3）では、実験器具に重力を与えるか否か、固定するか否かのチェックボックスがあり、実験器具のそれぞれに性質を持たせることができる。また、 $+$ 、 $-$  のボタンを押すと、導体に電荷を帯電させることができる。不要な実験器具は削除することも可能である。



図 2-3

### 3. 授業実践

電磁気について履修済の 3 年次生 27 名を対象に事前テスト（10 分）、シミュレーション教材を用いた実習（25 分）、事後テスト（10 分）、アンケート（5 分）を行った。

事前、事後のテストの内容は、センター試験の過去問や、マーク形式の模擬試験の問題から選定し、箔検電器、金属球の接触、電気力線に関する問題を計 6 問用意した。

シミュレーション教材を用いた実習は、生徒ひとりに 1 台のパソコンを用意して行った。

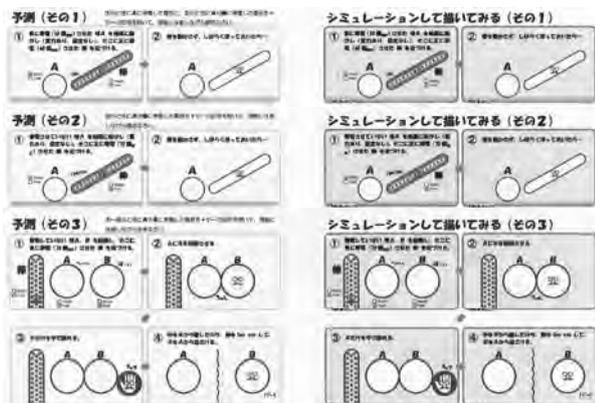


図 3-1

プリント（図 3-1）の左面で、場面（問題）を与え、その状況で電荷がどのように帯電しているかの予想を立てさせ、プリントに記入させた。その後、それと同じ場面で電荷がどのよう

に力を受け移動し、帯電するか、シミュレーション教材を用いてモデル化させ、それを観察し、プリントの右面に記入させた。

アンケートは、シミュレーション教材の使用感に関して、1（Bad）～5（Good）の 5 段階評価と自由記述による評価を行った。

### 4. 授業内容とテストの内容の検討

50 分の中での授業だけでは、短いという印象を受けた。シミュレーション教材を用いた実習の時間が十分に確保できておらず、プリントを終わらせることができず、理解を深める前に事後テストを受けてしまった生徒もいた。これでは、シミュレーション教材の効果を十分に検証できたと言い難い面が残された。最低でも 50 分×2 程度の時間は必要に思えた。

事前、事後テストの全体の正答率は事前 37.7% から、事後 46.9% まで向上した。これについて、対応のある  $t$  検定を行ったところ、 $t$  値 2.11,  $p$  値 0.045 で、 $p < 0.05$  であり、有意な上昇がみられた。しかし、箔検電器、金属球の接触、電気力線を問題内容ごとに検定するには問題数が少なかったように思えた。また、「電荷の移動や振る舞い」といったものを網羅できていたのかが疑わしい。問題数を増やして、細かく分野ごとの検証が行えるようにしていかなければならない。

### 5. 今後の展開

アンケートの結果から、シミュレーション教材の使用感を改善し、前述した授業やテストの検討を踏まえ、再び授業実践し、その結果が得られていれば合わせて報告する予定である。

### 6. 脚注・引用文献等

- [1] 物理教育 Vol.59 No.1 p.46-49 (2011) 抽象的概念の獲得に向けてアンケートを用いた授業実践
- [2] 国立教育政策研究所 教育課程研究センター 教育課程実施状況調査（平成 14 年度）ペーパーテスト調査結果 p.9 表 5-3 物理 IB

# 太陽電池出力の負荷依存性

増子 寛

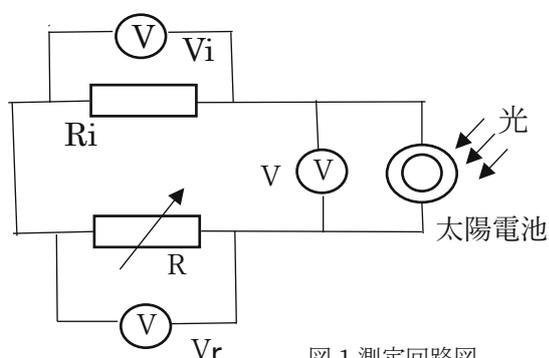
元 麻布中・高等学校

masuko@kdp.biglobe.ne.jp

## 1. はじめに

いわゆる「太陽電池」は、乾電池など一般の化学反応によって起電力を発生させる電池とは全く異なる「電池」であることは自明である。教材用に市販されている太陽電池について、それにあてる光量を一定にしたとき、負荷抵抗に対する出力電圧と出力電流の依存性を報告する。

## 2. 測定回路図



測定に使用した回路図を図1に示す。使用した太陽電池には、最大出力 0.57W, 最大出力動作電流 410mA, 最大出力動作電圧 1.4V, 最大電流 (短絡電流) 450mA, 最大電圧 (開放) 電圧 1.7V という表示がある。

図1の回路図のように、太陽電池、電流 I のモニター用抵抗  $R_i$ 、負荷用可変抵抗  $R$  を直列に接続した。太陽電池と光源との距離を一定にして、太陽電池両端電圧  $V$ 、 $R_i$  両端電圧  $V_i$ 、 $R$  両端電圧  $V_r$  を計測した。

$R$  には 0~100 $\Omega$  の 10 回転ポテンショメータを用いた。電圧測定にはすべて Pasco ワイヤレス電圧センサを用いた。これらのデータをもとに、 $R$  に対する  $V$  の変化と、 $R$  に対する  $i$  の変化をグラフ化した (図2)。 $R_i=0.5\Omega$  である。

## 3. 負荷抵抗 $R$ に対する出力電流と出力電圧の変化

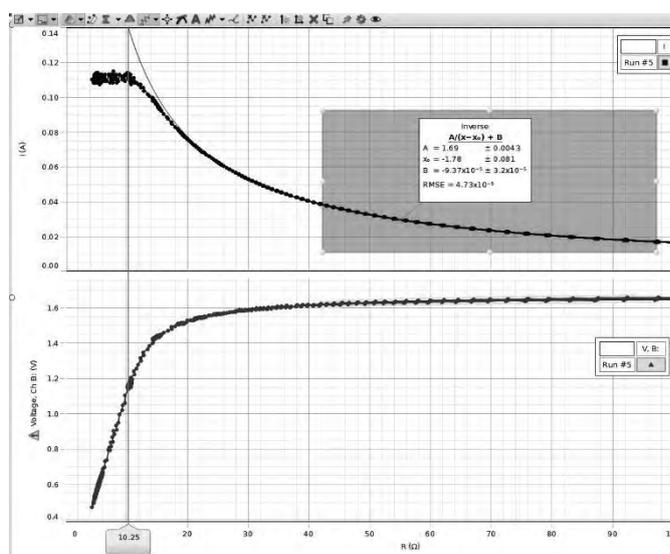


図2  $R$  に対する電圧と電流の特性

図2は同じ  $R$  の値に対する上のグラフが出力電流  $I$  で、下のグラフが出力電圧  $V$  である。負荷抵抗が小さいうちは、太陽電池は定電流源としてふるまい、負荷抵抗に比例して出力電圧が上昇する。一方負荷抵抗が大きい場合は、定電圧源のようにふるまい、電流は抵抗の増加とともに  $1/R$  で減衰する。両者の中間領域、すなわち定電流領域から定電圧領域に移る過程の領域は、出力電流は減少を始めるが出力電圧は上昇を続ける。

太陽電池でも使い方によっては定電圧電源としての機能を持つ。一方、定電流領域が現れるのは、太陽電池にあてる光量を比較的少なくした場合に限られる。

# 自作時計の製作と授業への応用

牧山 隆洋

弓削商船高等専門学校

makiyama@gen.yuge.ac.jp

## 1. はじめに

時計は物理実験にとって必要不可欠な装置である。高校物理では「振り子の等時性」が取り扱われるが、ホイヘンスの時計は取り扱われることはない。しかしながら、ホイヘンスの時計は、脱進機などが導入された時計であり、今日の時計の構造の基礎となる時計であり、物理教育として魅力的な研究対象である。

## 2. 製作について

CADによる製図を本校ロボコン部学生と協力して行い、本校実習工場のレーザー加工機を用いて製作する。さらに、量産した時計を用いて、本校の専攻科1年生を対象にした授業を試みる。

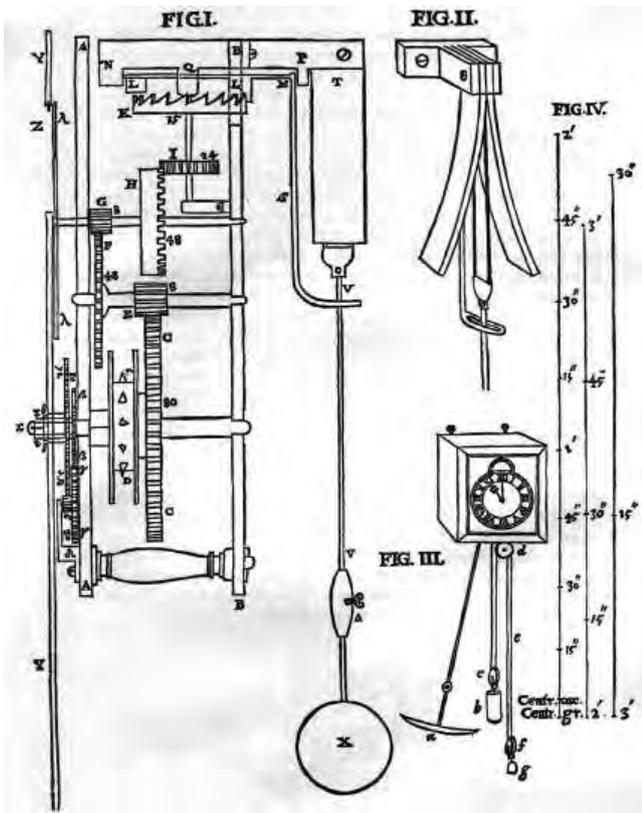


図 ホイヘンスの時計[1]

## 参考文献

[1] Horologium oscillatorium, Christiaan Huygens

# 国立高専技術職員としての物理とのかかわりの紹介

## —電子の比電荷の管球劣化の事例を通して—

佐藤昌也

一関工業高等専門学校 技術室

masaya@g.ichinoseki.ac.jp

### 1. はじめに

著者は国立高専の技術職員である。国立大学・国立高専における技術職員の業務は多岐にわたるが、主な業務は実験・実習や研究の補助、装置や機器の保守等である。技術職員と教員の大きな違いは、技術職員は教員とは異なり授業を持たない。

著者は、技術職員という職種の社会における認知度は低いと思っている。著者は、業務の一つに物理実験を担当している。自らの技術職員としての物理とのかかわりを、いくつかの失敗・改善事例を提示することで紹介し、国立大学・国立高専の技術職員という職種への理解を得たい。

そのひとつとして、著者が担当している電子の比電荷の実験の管球の劣化を招いた事例を下に紹介する。この事例紹介が、電子の比電荷の実験に携わる方々の役に立てば幸いであると同時に、経験豊富な諸先輩から忌憚のないご指摘・ご指導をいただきたい。

### 2. ゲッターの不活性による真空度の劣化

本校では平成 27 (2015) 年度までは物理実験を行っていたが、カリキュラム改定により平成 28 (2016) 年度の 1 年間は物理実験を行わなかった。翌、平成 29 (2017) 年度に物理実験が復活したが、年度始めに電子の比電荷測定器を立ちあげたところ全 3 台ともビームが弱く、比電荷の値が悪くなっていた。実験装置は島津理化の EM-30N を使用している。

物理実験が 1 年間休止になる前の平成 27 (2015) 年度の最後の測定は 2016 年 2 月に行い、その時の比電荷の平均値は  $2.26 \times 10^{11} \text{C/kg}$  であった。しかし 1 年後に実験を再開した平成 29 (2017) 年度初めの 2017 年 4 月に予備実験を行ったところ、電子ビームの出が悪くなっており、コイル電流が 2.00A、加速電圧が 250V、300V の条件でしか測定できなかった。比電荷の値はそれぞれ、 $3.57 \times 10^{11} \text{C/kg}$ 、 $3.15 \times 10^{11} \text{C/kg}$  であり非常に悪くなっていた。

使用していないにもかかわらず、なぜこのような状態になったのか、メーカーに問い合わせたところ、1 年以上も通電していなかったのが原因であることが判った。真空機器内の不純物のガスは真空度を低下させる原因となる。それらのガスを吸収する物質がゲッターと呼ばれるものである。定期的に使用していれば、これらのガスはゲッターによって吸収され、真空度を保つことができる。

電子の比電荷の管球のコネクタ側の内壁には鏡状の金属膜が付着しており、これがゲッターである。比電荷の管球にはバリウムゲッターが用いられており、蒸発することで管内の不純物ガスを吸着する[1]。使用時にはヒーターの熱が伝わりゲッターが活性化されるが、1 年以上も通電しておらず、その間に真空度が悪化し、ゲッターでの真空度の回復が不可能なほど管球が劣化してしまっただと考えられる。

### 3. He イオンのスパッタリングによるカソードの劣化

もう一件の事例は管内の He イオンによるカソードのスパッタリングによる劣化である。先の管球の劣化で、管球を 3 本新調した。同平成 29 (2017) 年度の物理実験は前期の 5・6 月だけであり、管球の延べ使用時間は約 10 時間程度であった。半年に一度は通電するべきとのメーカーからのアドバイスから、250V の加速電圧で 3 時間ほど放置した。その後、比電荷を再測定したところ、わずか 3 時間ほどの稼働で  $2.3 \times 10^{11} \text{C/kg}$  に悪化した (図 1)。

この原因について次のように考える。管内の加速された電子が、電子ビームの軌道を発光させるために封入された He ガス分子に衝突すると、He の核外電子を弾き飛ばし、He はプラスにイオン化する。He の電離エネルギーは 24.6eV であり、比電荷の実験装置の加速電圧で十分にイオン化する。He イオンは電界から力を受けてカソードに向かい、カソード表面をたたく (スパッタリング)。カソード表面には、熱電子を放出するための Ba 酸化膜が塗布されているが、この被膜が He イオンでたたかれて消失し、電子ビームが出なくなってしまう。

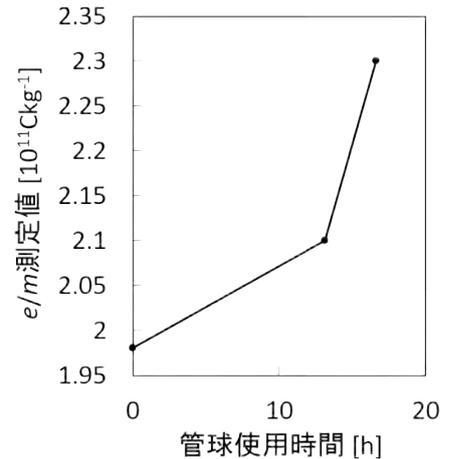


図 1 管球使用時間— $e/m$ 測定値

### 4. 管球の取り扱いについての検討

以上のことから著者が考える、電子の比電荷測定器の管球の取り扱いの注意点を下にまとめる。

- A) 定期的に通電しゲッターを活性化して、管内の真空度を保つ。
- B) 高電圧を長時間かけっぱなしにしない。管球の寿命は有限であり、待機中は電圧を下げるか電源を切ることが寿命を延ばすことにつながる。

### 5. まとめ

著者は母校 (一関高専) で電気工学を専攻したが真空管の取扱いについてはほとんど知識・経験がなく、それ故に上記の失敗を招いてしまった。もちろん、自分の勉強の努力が足りないことは否定しない。しかしながら、失敗から貴重な知識・経験が得られ、それらを伝え共有することが大事だと考え、あえてこのような事例を紹介した。

技術職員として機器のメンテナンスは日常業務であるが、未熟な著者は上に述べたように試行錯誤の毎日である。だが、不具合の原因を突き止め改善できたときなどは、頑張ってきてよかったと思えることもある。今後も日々経験を積み重ねて参るので、引き続きご指導をいただければ幸いです。

### 参考文献

- [1] 矢沢 清弘:「管球に用ひられるゲツタについて」, 真空工業, 3 巻, 11 号(1956), p. 1-10, DOI <https://doi.org/10.3131/jvsj1954.3.1>,
- [2] 山内 有二, 田口 貴史, 広畑 優子, 日野 友明, 柳澤 一郎, 西川 正名, 新野 高房:「ヘリウムイオンによる多結晶銅のスパッタリング」, 真空, 45 巻 8 号(2002), p. 661-664, DOI <https://doi.org/10.3131/jvsj.45.661>



# 原著講演 3

# 学力評価の有意性に関するモデル計算

佐々木伸<sup>1</sup>、鈴木久男

北海道大学大学院理学院

t-sasaki@particle.sci.hokudai.ac.jp<sup>1</sup>

## 1. はじめに

大学入学者選抜改革として、大学入試センター試験に代わり大学入学共通テストが来年度から始まる。このテストでは新たに記述式の問題を導入することによって、基礎知識や技能に加えて思考力や表現力の評価を行うことを狙いとしている[1]。しかし依然として思考力や表現力の土台となる基礎学力が重要であるということに疑いを挟む余地はない。また、新たな試験が導入されるとはいえ、多くの大学の入試において学力試験の点数が大きなウェイトを占めるという状況も変わらないだろう。

それでは、学力試験の点数は受験生の学力を正確に表しているのだろうか。現実的には、緊張のせいからミスをすることや、試験の出題内容の多くがたまたま得意な範囲であるといったような、学力以外の要素で得点のばらつきが生じる。このばらつきによる影響は特に試験の合格ライン近辺の学力を持つ受験生にとって大きいことが予想される。そこで我々はモデル計算を行い得点のばらつきを解析的に求め、その結果を文部科学省の大学入学者選抜改革推進事業の一環として2017年から2018年にかけて実施された模試の結果と比較する。

## 2. 模試データ

学力以外の要因による得点のばらつきを見るためには、2回の試験で受験生の学力が変わっていないことを保証する必要があるため、同じ集団に同じレベルの試験を短期間に2回受けてもらう

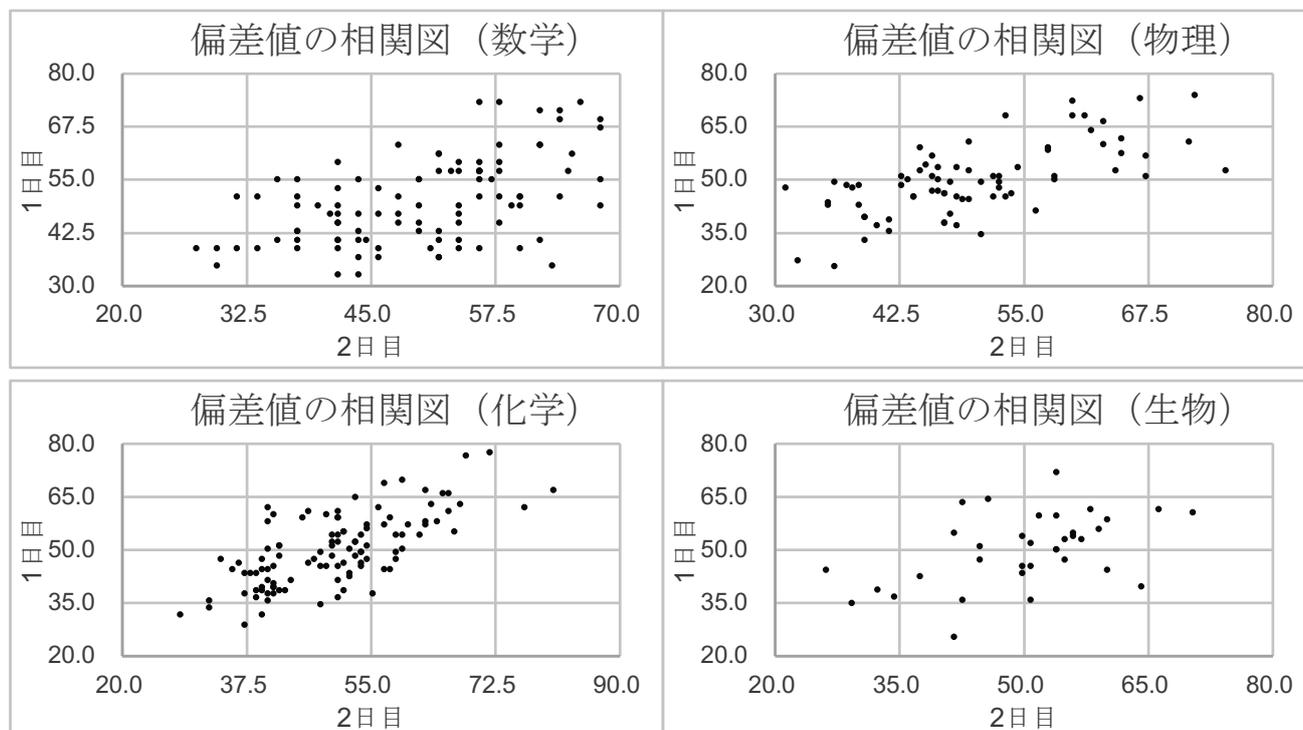


図 1

必要がある。我々は、文部科学省の大学入学者選抜改革推進事業の一環[2]として 2017 年から 2018 年にかけて実施された模試の結果を用いる。この模試では、同じ高校生の集団に数学と理科（物理、化学、生物から 2 科目）の試験を 2 日連続で行った。各科目 2 回ずつ試験を行っているが、1 日目と 2 日目では平均点が異なるため、素点の差ではなく偏差値を用いて比較することにする。図 1 は各科目の偏差値の相関図であり、相関係数は数学、物理、化学、生物の順におよそ 0.5、0.6、0.7、0.5 となった。

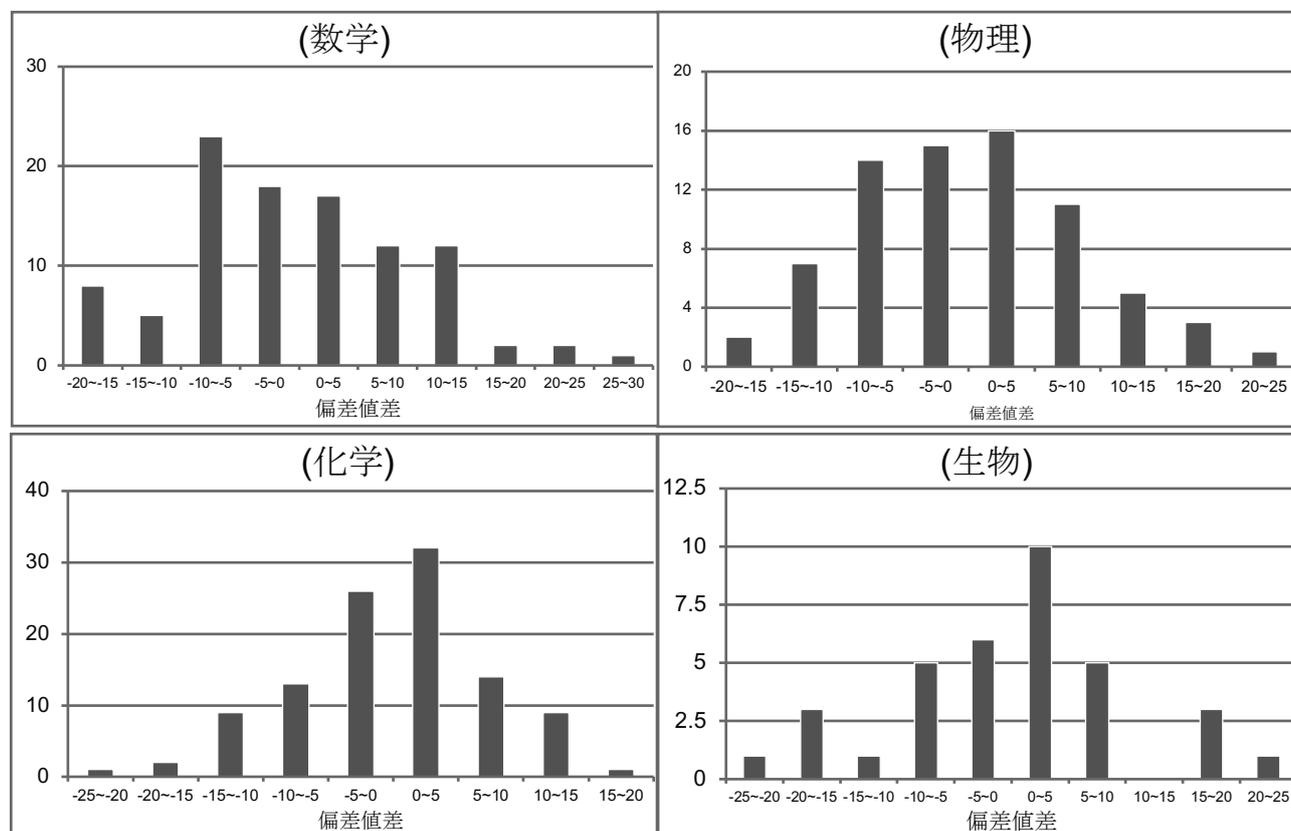


図 2

2 回の試験の偏差値差分布は図 2 のようになった。各科目の標準偏差は順に 9.8、8.3、7.8、10.3 であり、学力が変わらずとも偏差値が 10 弱程度は変わりうるということがわかる。

### 3. モデル計算

試験の出題内容によって得点がどの程度ばらつきうるのかという点についてモデル計算を行う。受験生の集団の学力の分布を仮定し、その集団に対して試験を行った際の得点分布を解析的に導出する。また学力分布を変えずに 2 回試験を行った場合の得点差の二乗平均を計算することで、得点のばらつきを定量的に評価し、前述の模試の結果と比較する。

### 参考文献

- [1] 文部科学省 大学入学共通テスト実施方針
- [2] 文部科学省 大学入学者選抜改革推進委託事業成果報告会 資料 04 理数分野

# 逐次計算手法の教育的効果とその課題について

<sup>A</sup> <sup>B</sup> 小林卓矢、<sup>A</sup> 石原諭

<sup>A</sup> 兵庫教育大学教科教育実践開発専攻理数系教育コース、<sup>B</sup> 兵庫県立加古川東高等学校  
m18155e@hyogo-u.ac.jp

## 1. 問題の所在

高校現場で3校12年間にわたり様々な生徒を見てきたが、どんなに頑張っても物理を学習しても努力が報われない生徒が必ず存在することに指導の限界を感じていた。物理の「適性」を持たない生徒にはどのような指導をすべきか。その答えは生徒の「思考」にあると考える。物理が苦手な生徒の「思考」や「学習姿勢」を、物理に適性を持つ生徒たちのそれらに寄せていくこと、それを第一に目指すべきではないだろうか。物理の「概念形成」こそが、入試対策より重要であると考えを改めるようになった。ではどのようにして概念形成を促せばよいか。真っ先に考えたのは、以前からその有益性に注目していた「ファインマン物理学 I」[1]である。物理の本質的理解には大変有効な教材であると考えているが、高校現場では通常扱わない。ファインマンは[1]の9章において、数値解法的に単振動運動を分析し、二次元運動である惑星の公転運動にまで議論を広げている。この数値解法手法「逐次計算法」を高校物理に導入することで教育的な効果が得られないだろうか。

## 2. 研究の方法

3日間の補習授業「単振動の様子を逐次計算で追う」を、兵庫県立K高校3年生34名を対象に2019年4月に実施した。授業の流れとしては、まず微分概念とオイラー法、修正オイラー法について説明した。次に位置・速度・加速度が微積の関係であることから、逐次計算表の埋め方を解説した。そして単振動運動について逐次計算を適用し、表の値をプロットしたグラフから、単振動の周期が(公式を用いずに)求められることを説明した。逐次計算の教育的効果を確認する手段として、MPEX メリーランド大学物理期待観調査[2]を補習前後に実施した。34の質問に5~1(強く同意

する、同意する、どちらでもない、同意しない、全く同意しない)の5段階で回答し、それぞれの質問の望ましい回答に合致するかどうかで、生徒の持つ学習姿勢の評価(5~1点、MPEXポイント)ができる。前年度2018年度のK高校3年生38名のMPEXの結果より、上位成績者に顕著に見られた傾向から10質問(4、6、10、16、18、20、24、25、29、30)をピックアップした。図1にその質問内容と望ましい回答、質問の評価の観点を示す。また、評価の観点の具体的な内容を図2に示す。

4. 「物理の問題を解く」ことは、問題についての公式や方程式を当てはめ、数値を代入することである[D]「概念」  
6. 公式の導出や証明を理解することに多くの時間を費やしている[A]  
10. 物理法則は私が経験する現実世界とはほとんど関係ない[D]「現実性」  
16. 授業や教科書にある公式の導出や証明は、問題を解いたり良い成績をとるためにはあまり役立つ[A]「整合性」  
18. 物理を理解するため、学習している単元内容と個人的な経験とを関連付けることがときどきある[A]「現実性」  
20. 考案で公式を覚えていなければ、その問題を解くことは絶対にできない[D]「数学上の関係」  
24. 考案の結果を見直すことは、物理をより深く理解することにはつながらない[D]「努力」  
25. 物理を学ぶことは、自分の日常生活の出来事を理解するうえで役立つ[A]  
29. 物理で求められていることは、知っておくべきすべての知識を暗記できるかどうかである[D]「概念性」  
30. 世界の仕組みを論理的に理解する方法を学ぶことが、物理の授業から得られる最も大切なことである[A]

最も望ましい回答を [A] (強く同意する) [D] (全く同意しない) で表示  
評価の観点について 「概念」「数学上の関係」「努力」「現実性」「整合性」を表示

図1: MPEX10 質問 (Redish1998)

**概念**・・・公式暗記ではなく現象の根本理解を目指している  
**数学との関連**・・・現象の説明に数学が有効な手段であると考え  
**努力**・・・効果的に知識を取り込みそれを活かそうと努力する  
**現実性**・・・物理は現実の物事と関連し役立つものであると認識している  
**整合性**・・・物理法則には関連があり一貫性があると認識している

図2: 評価の観点 (Redish1998)

この10質問を用いて、2019年度の補習授業における逐次計算手法の教育的効果を調べた。

## 3. 結果

補習前後の回答の平均値変化を表2に示す。

表2: 回答平均値 (MPEX ポイント) の変化

質問番号	4	6	10	16	18	20	24	25	29	30	平均
授業前	3.48	3.12	4.2	4.2	3.95	3.28	3.72	3.96	4.08	3.5	3.76
授業後	3.88	3.2	4.52	3.88	4.04	3.88	3.84	4.04	3.96	3.68	3.882
増減	0.4	0.08	0.32	-0.32	0.08	0.6	0.12	0.08	-0.12	0.08	0.122

10質問のうち8質問でポイントが増加した。補習による大きな効果が認められた質問は4、10、20、効果が見られなかった質問は16、29であった。16、29の評価の観点は「整合性」である。すべての回答をF(好ましい傾向の回答群、5と4)、N(どちらでもない回答3)、U(好ましくない傾向の回答群、2、1)に分類したもの(A/Dプロッ

ト図) を図3に示す。図3では、2018年度上位成績者を+、今回の補習受講者の結果を矢印(補習前後を始点と終点で表す)で示した。補習の結果、望ましい方向(左上)に近づいたことが分かる。

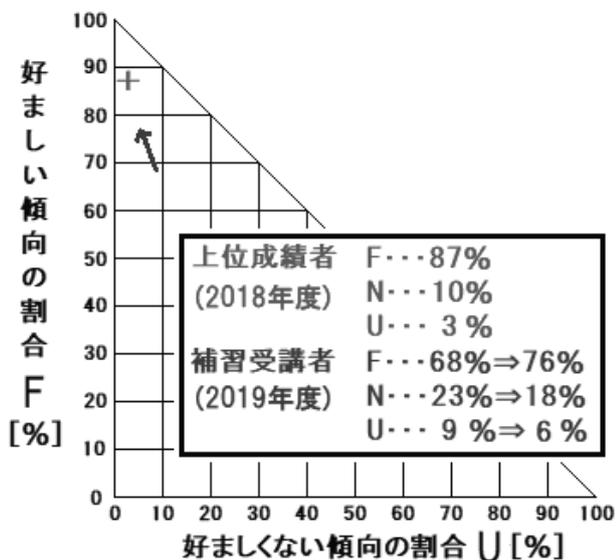


図3: A/Dプロット図(補習前後)

また、評価の観点別で示したものを図4に示す。「概念」、「数学との関連」が大きく改善する一方、「整合性」には効果があらわれなかった。

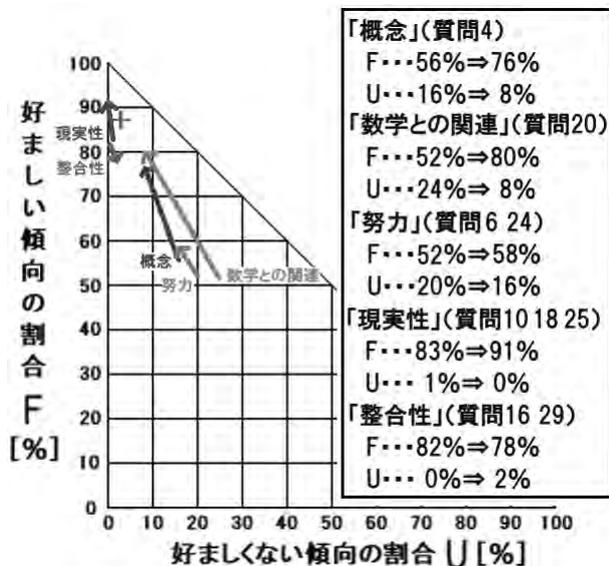


図4: A/Dプロット図(評価の観点別)

#### 4. まとめと今後の展望

第一に、逐次計算手法導入による教育的効果を確認した。補習前後の回答の比較から、逐次計算を高校物理に導入することの効果が見られた。特に「概念」、「数学との関連」の観点において著しい効果が見られた。

第二に、「整合性」の観点において逐次計算は有効でないことが分かった。効果があらわれなかった理由として、図5の物理学学習の関連図を基に述べる。物理現象の理解の流れが、**基本法則** ⇒ **公式** ⇒ **現象理解**であるのに対し、逐次計算を用いれば**基本法則** ⇒ **現象理解**と公式を経由しないことから、「整合性」の意味するところである「公式同士の関連・物理法則の一貫性」を意識できなかったことに原因があると考える。しかし、基本法則と概念のみで運動が記述できる逐次計算手法は、他で経験できないものでもあり、物理ならではのおもしろさが実感できる本質的な教育手法であると考えている。

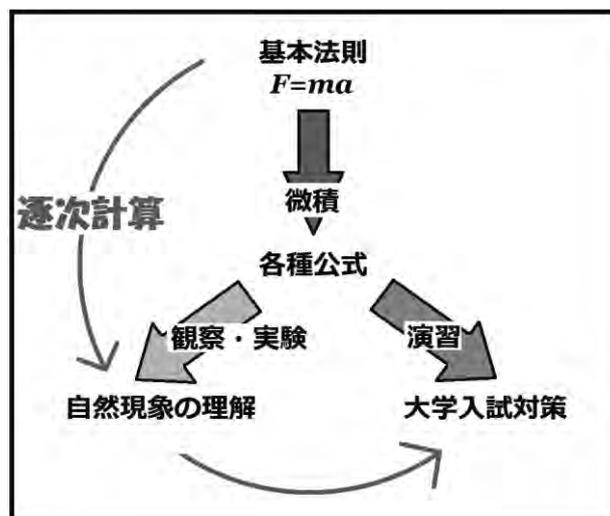


図5: 物理学の学習と逐次計算の位置づけ

今後の展望として、逐次計算手法の弱点である「整合性」の観点を強調するような(逐次計算以外の)授業案・新教材の導入について検討していきたい。候補としては、ファインマン物理学の原本を要所に取り入れる指導、公式の意味を掘り下げる授業案、などを検討している。また、自然現象から逐次計算の考えを用いて、基本法則である運動方程式を逆に導出する授業の教育的効果についても調べたい。今後、MPEXについても対象を広げ研究・実践を続けたいと考えている。

#### 参考文献

- [1] ファインマン、レイトン、サンズ (1963): ファインマン物理学 I 力学、岩波書店。
- [2] エドワード・F・レディッシュ (2012): 科学をどう教えるか、丸善出版。

# 大学工学部における物理リメディアル教育の報告

岸澤眞一<sup>1</sup>, 長谷川大和<sup>2</sup>, 覧具博義<sup>3</sup>

拓殖大<sup>1</sup>, 東工大附高<sup>2</sup>, 東京農工大<sup>3</sup>

E-mail: skishiza@ner.takushoku-u.ac.jp<sup>1</sup>

## 1. はじめに

「物理教育の現状調査プロジェクト」では、2014年度から2016年度にかけて大規模な「力学概念調査」(FCI), および科学的思考力・推論力を測定する「ローソン教室テスト」(CTSR)を実施し,その分析結果を発表してきた。今回はこの調査で得られた知見を参考にしながら,筆者の一人(岸澤)が勤務する大学における物理リメディアル教育について報告する。

## 2. リメディアル教育の位置付け

工学部の1年生向け物理は,機械系・電子系は必修,情報系は選択(ただし多くの学生が履修)である。前期後期とも週当たり1回(1コマ90分)の授業があり,前期に力学,後期に電磁気学を履修する。従来はこのカリキュラムであり問題にならなかったようであるが,最近の入試の多様化により,高校時代に物理や数学をあまり学習してこなかった学生も入学するようになってきた。そのような学生を支援するため,2007年に「学習支援センター」が設立された。このセンターのおもな業務は,基礎講座と呼ばれる講義形式の授業,および学生と個別に対応する学習相談である。今回は前者の基礎講座について報告する。物理の基礎講座では,同じ内容の授業が週3回(1回90分)開設されており,学生はそのいずれかを自由に選ぶことができる。1回の参加人数は数人から15人程度である。この授業は正規の授業の補習という位置づけであり,単位はつかない。高校時代物理未履修または物理基礎までしか履修していない学生を対象に基礎から教えるので,学習項目は正規の授業の半分程度である。

## 3. 基礎講座受講者の状況

基礎講座を履修した学生のFCIプレテストの正答率は約30%である(表1)。プロジェクトで調査したデータ[1]と比較すると,物理を全く履修していない高校生や,高校時代に物理を履修していない大学生のプレテストの正答率と等しいかやや低い値である。FCIで60%を下回る学生・生徒は概念理解が不十分で,学習に際しては誤概念を考慮することがとりわけ重要であるとされている[2]。また,科学的思考力・推論力を調査するCTSRの平均正答数は,24問中13~14であり,学習において特に注意が必要とされる具体的操作期に該当する正答数10以下の学生の割合は25%程度である。プロジェクトの調査によれば,正答数の度数分布は高校,大学ともに19~20にピークがあり,具体的操作期の割合は高校,大学とも被験者全体の10%程度であった[3]。以上のことから,基礎講座の授業では,誤概念を意識し,具体的で経験を重視した授業を構成する必要があることが示唆される。

## 4. 基礎講座の授業構成

授業では学生同士の話し合い(社会的相互作用)を重視しているので,4人前後の班を作っている。基本的な内容である速度・加速度の定義,力の合成とつり合い,運動の法則などについては教員が説明を行い,続いて学習項目に関連した課題を提示する。課題は選択肢方式が多い。課題への取り組み方は以下の通りである。

- ① 出題された課題について個人で考える。なぜそう考えたのかを言葉で書くように促す。

- ② 挙手により意見表示を行う。その際、できるだけ理由を挙げてもらう。
- ③ 人の意見を参考にし、班の中で討論する。
- ④ 再度挙手により意見表示をする。
- ⑤ 教員が解説を行う。可能ならば実験、動画等を提示しながら説明する。

1 コマの授業は、基本の説明→課題への取り組み→理解確認問題→ふり返しシートの記入で構成されている。提示する課題は、既習事項や自身の経験をもとに考えることができ、なおかつ、つまずきやすく認知的な葛藤をもたらすようなものを選んでいく。1 コマで提示する課題の数は3~4程度である。学生の認知的な発達段階を考慮して具体的な物を提示するよう心がけるとともに、言語、式、数値、グラフ、図などの多様な表現を積極的に利用して、多面的で深い理解ができるよう努めている。なお、このような授業形式は先人の研究に倣ったものであり、特に目新しいものではない。

## 5. 授業の評価

基礎講座に継続的（授業時数の2/3以上）に参加している学生のFCIのポストテストの平均正答率は50%程度で、FCIのゲインは0.2~0.3である(表1)。次のような学生の感想から、授業のねらいはある程度までは達成されたと考えられる。

「物理基礎講座の授業方式は、グループ学習を行っており、出された課題についてまず自分で考え意見を発表し、班員の意見を聞き自分の意見との違いを考えて授業を進めるので周りの人がどう考えているのか知ることができたので物理学に対する考えが深まりました。自分の考えを言葉にして相手に伝えることは案外難しく、またあまり伝える機会がないのでそういった経験もできたので良かったです。」

## 6. おわりに

本来ならば、リメディアル教育のような変則的な授業ではなく、基本的な概念理解から数式を中心にした量的な理解へと橋渡しをする授業を正規のカリキュラムに組み込むべきであろうが、時間的、人的な制約から現状では難しいだろう。リメディアル教育を通して得られた知見を今後どのように大学の物理教育に生かしていけるかが今後の検討課題といえよう。この研究はJSPS 科研費 26282032 の助成を受けて行われている。

表1 物理基礎講座受講者のFCIおよびCTSRのデータ

年度		2016	2017	2018
継続的受講者数		19	15	20
FCI	プレテスト(%)	33.7	28.0	28.2
	ポストテスト(%)	47.0	49.7	51.6
	規格化ゲイン	0.21	0.30	0.33
CTSR	正答数の平均(24点満点)	14.4	14.6	12.5
	正答数10以下の人数	4	4	5

## 参考文献

- [1] 岸澤真一他：「2014 物理教育の現状調査・力学概念調査からの分析(1)：全体の概況」第32回物理教育研究大会講演予稿集(2015), 57-58
- [2] D. Hestenes, et al. "Force Concept Inventory" The Physics Teacher, 30,141-158 1992
- [3] 谷口和成他：「2014-2016 物理教育の現状調査報告Ⅲ－科学的思考力の現状－」, 第34回物理教育研究大会講演予稿集(2017), 19-20

# 力学概念指標を用いたコンピュータ適応型テストの開発

<sup>A</sup>安田 淳一郎, <sup>B</sup>前 直弘, <sup>C</sup>Michael Hull, <sup>D</sup>谷口 正明

<sup>A</sup>山形大学, <sup>B</sup>関西大学, <sup>C</sup>ウィーン大学, <sup>D</sup>名城大学

fci.cat.collaboration@gmail.com

## 1. 背景

学習成果を測定するための評価指標の中で、国際的に最も広く普及している指標の一つが力学概念指標 (Force Concept Inventory, FCI) である [1]。FCI は学習者の Newton 的力学概念の理解度を測定するための指標であり、五肢択一式の設問 30 問で構成される。FCI を実施する際には、用紙の配付・回収や、受験者への説明の時間を含め、約 40 分の時間が必要となる。この所要時間は、過密な授業スケジュールに追われる教員にとっては負担に感じられるものであり、教員が授業で FCI を実施することをためらう一つの原因となっている [2]。FCI の所要時間を短縮する試みとして、Han ら [2] は、FCI を概念項目の構成が同等になるように二分割したテスト (Half-length FCI) を開発し、分割されたテストの平均点がオリジナルの FCI の平均点と 3% 以内の違いしかないことを示している。

## 2. 研究目的・方法

本研究の目的は、Han らの研究と同様であり、テストの精度を可能な限り維持しつつ、FCI の所要時間を大幅に短縮することである。本研究では、もう一つのアプローチとして、コンピュータ適応型テスト (Computerized Adaptive Testing, CAT) の方法を提示する。

CAT において、受験者はコンピュータを用いて解答する。CAT の特徴は、受験者の解答に応じて出題される設問が最適化されることである [3]。たとえば、受験者が 1 問目に正答した場合、2 問目ではより難易度の高い設問が出題される (図 1)。一方、受験者が 1 問目に誤答した場合、2 問目ではより難易度の低い設問が出題される。このように、受験者の能力と設問の難易度のミスマッチを減らすことにより、テストの解答時間を大幅に減らすことができる。

CAT は、項目反応理論 (Item Response Theory, IRT) に基づいている [3]。通常のテストでは、2 名の受験者が 2 つの異なるテストに解答するとき、両テストの難易度が異なる場合は、テスト結果を比較することはできない。一方、IRT では、事前に設問の項目パラメータが推定されていれば、2 名の受験者が異なるテストに解答した場合でも、テスト結果を比較することができる。CAT では受験者の解答に応じて出題される設問が変わるため、IRT に基づいて結果を比較する必要がある。

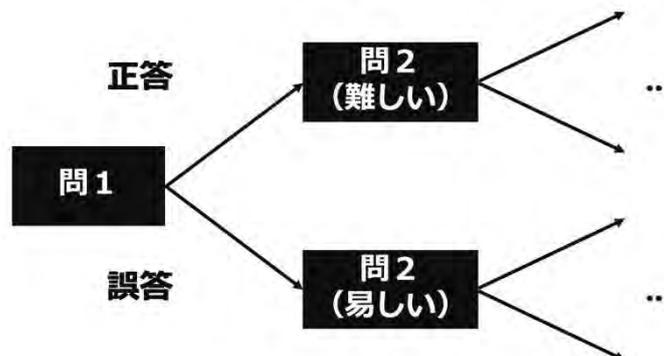


図 1. CAT における出題形式の例

### 3. 分析方法

本研究ではとくに、FCI を用いて CAT を開発する場合の、最適な構成条件について分析した。1つ目の分析として、4つのIRTモデル（1～4パラメータ・ロジスティックモデル，1~4PLM）に基づいてFCIの項目パラメータを推定した。1~4PLMの項目パラメータの数は各々1，2，3，4つである。分析においては、2015年から2018年までに国内の1つの国立大学，4つの私立大学で実施したFCIの解答データ（2882名分）を用いた。本分析で推定したFCIの項目パラメータは、先行研究[4]の結果と比較し、FCIの項目パラメータの不変性について検討した。2つ目の分析として、FCIがIRTで必要とされる仮定（次元性，局所独立性，適合性）を満たすか否かを確認した。仮にFCIのいくつかの設問がIRTの仮定を満たさない場合には、その設問をCATで出題される設問から除外する等の方策が必要になる。3つ目の分析として、上記の1~4PLMの中で最もCATに最適なモデルがどれかを、ベイズ情報量基準（Bayesian Information Criterion, BIC）[5]に基づいて検討した。

### 4. 結果

分析結果の一例として、1~4PLMについてBICを算出した結果を図2に示す。BICの値が小さいほど、そのモデルが最適であることを表す。図2より、1PLMのBICは他の3つのモデルのBICと比べて明らかに大きいため、1PLMは最適なモデルでないと判断された。2~4PLMのBICはほぼ同じ値であるが、パラメータ数の少ないモデルの方が数値計算に要する時間が短い等の理由から、2PLMが最適なモデルとして判断された。

本発表では、これらの分析結果のほか、FCIを用いたCATにおいて最適な出題設問数について分析した結果や、CATの実装方法についても報告する予定である。

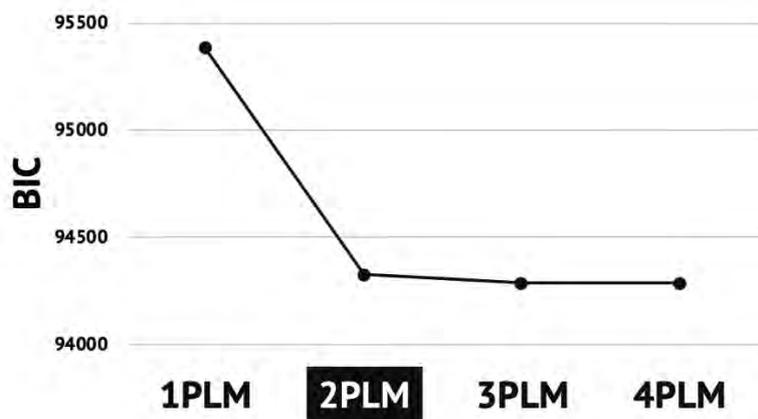


図2. 1~4PLMにおけるベイズ情報量基準の分析結果

#### 参考文献

- [1] D. Hestenes, M. Wells, and G. Swackhamer: Phys. Teach. 30(1992)141-158.
- [2] J. Han, L. Bao, L. Chen, T. Cai, Y. Pi, S. Zhou, Y. Tu, and K. Koenig: Phys. Rev. ST. Phys. Educ. Res. 11(2015) 010112.
- [3] D. Magis, D. Yan, A. A. von Davier: *Computerized Adaptive and Multistage Testing with R*, Springer, Cham (2017).
- [4] M. Planinic, L. Ivanjek, and A. Susac: Phys. Rev. ST. Phys. Educ. Res. 6(2010), 010103.
- [5] G. Schwarz: Ann. Statist. 6(1978)461-464.

# 高校3年間の力学概念理解度調査～個人の選ぶ選択肢の推移分析

宗尻修治, 加賀栄子  
広島大学大学院総合科学研究科  
munejiri@hiroshima-u.ac.jp

## 1. はじめに

我々は2013年度から2018年度まで、広島市内の高校にて Force Concept Inventory (FCI) [1] を用いて力学概念理解度調査を行ってきた。調査は毎年、高校1年の4月(I), 2月(II), 高校3年の4月(III), 11月(IV)に実施しており、各個人の選ぶ各問の選択肢が高校3年間の4回のテストでどのように変化しているかについて調べ、力学概念の理解の進み方を明らかにしたいと考えている。今回は、4回の調査をすべて受け、120問(30問×4)の回答の空欄が1以下であった214人を対象にして、 $214 \times 4 = 856$ のデータを分析して得られた結果の例を紹介する。本調査校の生徒は1年次に物理基礎、2,3年次に物理を学び、授業は主に伝統的な講義形式で行われている。

## 2. 結果の例 (Loss に着目した例)

図1にFCI正答率の変化を示す。正答率はIの29%からIVの69%まで上昇していく。しかし、各個人の選ぶ選択肢は必ずしも着実に誤答から正答に移っているわけではない。一旦正答を選んでも次のテストで誤答に移ることもある。図1には、正答した問い(項目)のうち次のテストで誤答に移った割合(Loss)および、誤答のうち正答に移った割合(Gain)も示してある。たとえば、IIIからIVにおけるLossは15%であり、IIIの正答項目約19項目のうち、約3項目は、次のIVのテストで誤答に移っている。Lossは事前テストのスコア(総得点)が上昇するにつれて低くなる[2,3]。Parmentier[3]らは、Lossと事前テストのスコアとの関係を項目反応理論による確率的なモデルで説明した。この方法では、Lossは次式で与えられる。

$$\text{Loss} = \frac{\langle P_i(\theta_{\text{pre}})(1 - P_i(\theta_{\text{post}})) \rangle}{S_{\text{pre}}} \quad (1)$$

ここで、 $P_i(\theta)$ は能力値 $\theta$ を持つ被験者が項目 $i$ に正答する確率を表す関数、 $S_{\text{pre}}$ は事前テストのスコア、 $\langle \rangle$ は全30問の平均を意味する。我々は $P_i(\theta)$ の関数形として次式に示す2パラメタロジスティックモデルを用いて、

$$P_i(\theta) = \frac{1}{1 + \exp[-1.7a_i(\theta - b_i)]} \quad (2)$$

856人の能力値 $\theta$ と、項目識別力、項目困難度を表すパラメタ $a_i, b_i$  ( $i = 1 \sim 30$ )を決定し、(1)式によりLossを計算した。その結果、図2に示すようにLossの実測値と事前テストスコアとの関係を定性的に再現することができた。図3, 4は、識別力パラメタと困難度パラメタの、Loss(IIIからIV)との関係を示す。Lossは、識別力が高いか、難易度が低い問題で小さいことが分かる。図5はFCIの各項目のLossを事前テストのスコア別に比較したものである。多くの項目では、スコアが高くなるとLossは小さくなるが、中にはその順序が逆転している項目もある(問2, 15, 21, 29など)。

項目反応理論による正答確率は、特定の個人の正答確率であるという解釈と、同じ能力値をもつ集団の正答確率であるという異なる解釈が可能である。後者の解釈では、各個人は正答または誤答を確定的に確率1で選ぶと考える。この場合、確定的に選択肢を選んでいるため、Lossは正答確率から見積もられる値より小さくなると予想される。後者の存在を確かめるため、ある時点で同スコアの集団を、その時点までに継続して正解を選んでいる項目数の大小で分けた。その結果、継続して正解している項目数が多い集団の方が、Lossは小さいことがわかった。

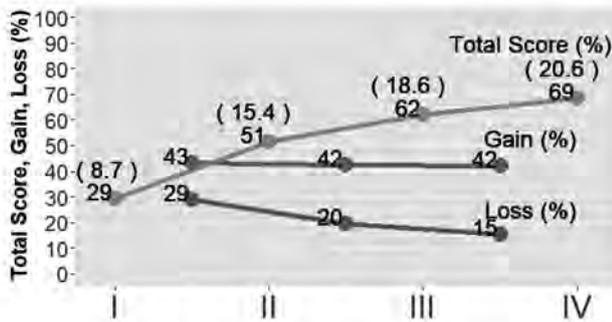


図 1. FCI Score, Gain, Loss の推移

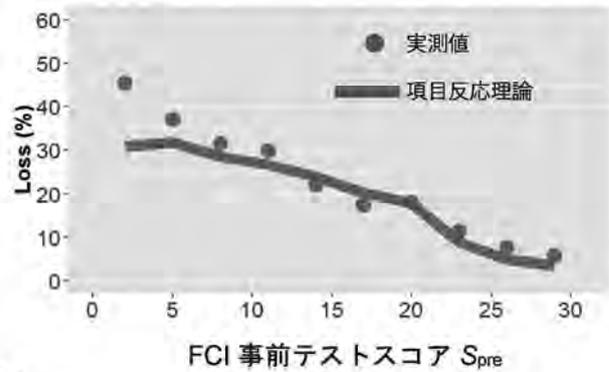


図 2

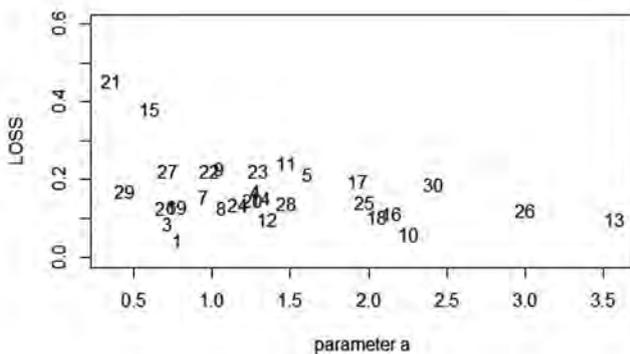


図 3. FCI 各問の項目識別力と Loss (Ⅲ→Ⅳ) の関係

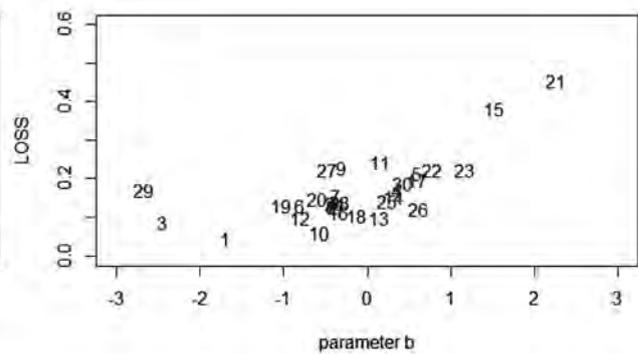


図 4. FCI 各問の項目困難度と Loss (Ⅲ→Ⅳ) の関係

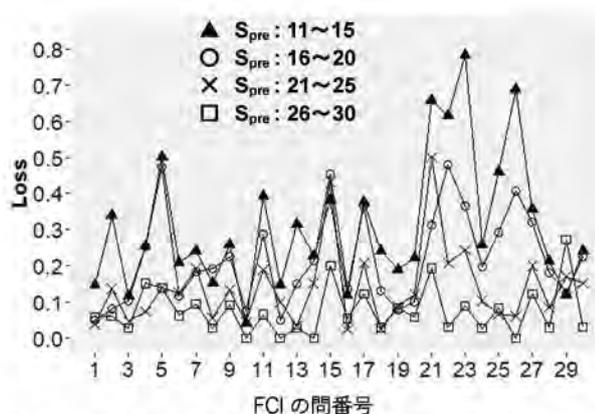


図 5. FCI 事前テストスコア  $S_{pre}$  別の各問の Loss

- [1] 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
- [2] N. Lasry, J. Guillemette and E. Mazur, *Nature Physics* **10**, 402 (2014).
- [3] Jean-François Parmentier and Brahim Lamine, arXiv:1509.03878

## 日本型物理概念調査紙の開発Ⅰ：概要

<sup>A</sup>新田英雄, <sup>A</sup>植松晴子, <sup>B</sup>勝田仁之, <sup>C</sup>西村墨太,

<sup>D</sup>石本美智, <sup>E</sup>右近修治, <sup>F</sup>安田淳一郎

<sup>G</sup>今井章人, <sup>H</sup>平本健太, <sup>I</sup>苅谷麻子, <sup>J</sup>清水滉大, <sup>K</sup>長倉健哉

<sup>A</sup>東京学芸大学, <sup>B</sup>筑波大学附属高等学校, <sup>C</sup>東京学芸大学附属国際中等教育学校,

<sup>D</sup>高知工科大学, <sup>E</sup>東京都市大学, <sup>F</sup>山形大学

<sup>G</sup>早稲田中学高等学校, <sup>H</sup>神奈川大学附属中学高等学校, <sup>I</sup>法政大学第二中学高等学校,

<sup>J</sup>法政大学国際高等学校, <sup>K</sup>神奈川県立横須賀大津高等学校

<sup>A</sup>nitta@u-gakugei.ac.jp

### 1. はじめに

本発表は、「日本型物理概念調査紙の開発Ⅰ～Ⅴ」の連続講演の冒頭部分である。

物理教育研究において、FCI[1]をはじめとする概念調査紙（以下、単に「調査紙」）は極めて重要な役割を果たしている。実際、相互作用型授業の実践的研究において、調査紙は授業効果を分析する際の不可欠なツールであり、いわば自然科学研究における測定器の役割を果たしている[2]。しかしながら、これまでの研究から、現在の調査紙には以下の課題があることが明らかになってきた。第1に、PERで開発された既存の調査紙は日本の教育課程に適合していないことである。調査紙に未習事項が含まれていたり、逆に既習事項が含まれていなかったりするために、授業内容に沿った的確な概念理解の調査が困難であることが主に高校教員より指摘されてきた。第2に、FCIやFMCEといった詳細な素朴概念の研究結果に基づいた調査紙が開発されている力学分野に比べ、他分野の調査紙の整備があまり進んでいないことである。そのため、物理概念理解に関する研究は、力学分野および電気回路を中心とした電磁気学に偏っており、他分野では進展が遅れているのが現状である。第3に、同一の調査紙を使い続けていることである。例えばFCIは4半世紀以上も使われ続けている。設問の秘匿性を確保する手段が明示され、その必要性が認識されてはいるものの、いずれは調査紙を改訂しなければならないはずである。しかし、そのような試みはほとんどなされていない。そこで本研究では、高等学校の物理基礎・物理および大学の物理入門講義など、日本の教育課程に適合する新たな概念調査紙群を開発することを目指す。その際、素朴概念を克服して物理概念を形成していく認知過程の研究が不可欠となるので、調査紙の開発と概念形成過程の研究を一体化した形で実施する。

### 2. 概念問題の作成

#### 2-1. 高等学校および大学初年次の物理学習者の持つ素朴概念を明らかにする

質の高い概念調査紙の開発には、生徒・学生の物理概念形成過程と素朴概念についての深い理解が不可欠であり、一体化した形で研究を進める必要がある。そこで、多様な高大の研究協力者による授業実践の中で、下に述べる手法を用いて概念形成過程を調査し、多くの生徒・学生が共有する素朴概念を明らかにしていきたいと考えている。その際、以下の研究手法を用いる。

- ① 実践で見出された主要な物理概念ごとの概念形成過程をフロー図化する。データは、相互作用型授業に用いられる議論シートや理由の記述、ピア・インストラクション等における生徒の議論プロトコル、面接調査等のPER手法から得る。
- ② 抽出された素朴概念を、高等学校学習指導要領に沿った学習単元別の分類表にする。

上記①, ②のプロセスは, 授業実践を通じたデータ取得と分析を繰り返すごとに行い, それによって素朴概念分類表と概念形成過程のフロー図を見直し, 改善するものである。これは終わりのない作業となるので, 科研費補助金を受ける予定の5年間で一応の区切りをつけ, 素朴概念分類表をウェブ等で公開し, 広く物理教育関係者に利用してもらえようようにしたいと考えている。

## 2-2. 高等学校および大学初年次の物理概念調査紙群を作成する

最初に, 開発する概念調査紙で評価の対象とする獲得すべき物理概念を, 平成30年公示高等学校学習指導要領の物理基礎・物理に沿って, 学習単元別の表に整理分類する。大学初年次教育で学生が獲得すべき物理概念についても同分類表に合わせて整理する。作成した物理概念表と2-1で作成した素朴概念分類表および概念形成過程のフロー図を組み合わせ, 概念調査問題の設問項目を選択肢問題の形式で作成する。選択肢は, 多くの生徒が持つ素朴概念から構成する。その際, 既存の概念調査紙, ピア・インストラクションの設問などのPERで開発された概念中心の設問を吟味し, 物理概念表に対応しているものは, 必要な修正を施した上で, 積極的に新たな調査紙の設問項目として取り入れていく。

作成した設問項目は, 次の(i)~(iii)の手順で完成させる。

- (i) 授業において調査を試行し, 選択肢の選択理由を記述させる。
- (ii) 回答選択肢と選択理由を詳細に分析し, 設問と回答選択肢が意図したように機能しているかをチェックする。特に, 誤った理由で正答を選んでいないか(偽正答), 正答できる生徒が問題を誤って解釈したために誤答を選んでいないか(偽誤答)を吟味し, 選択肢の妥当性を調べる。
- (iii) 設問の妥当性が確認されるまで(i)と(ii)のループを繰り返す。

なお, 試行では選択肢を選んだ理由を記述させているが, 生徒の記述が言葉不足で理由が判然としないものが散見される。設問項目の妥当性を面接調査によって確認する必要があるだろう。

なお, 設問の作成と妥当性を検証する作業は, 昨年度(2018年度)末より力学分野において作題を始め, 今年度当初より試行できるようにした。その際, 問題の検討は本研究の共同研究者を小グループに分けて分担を決めて集中的に行ってきた。詳細は連続講演II~Vで述べる。

## 3. 現代テスト理論による項目困難度, 能力値, ゲインの導入

通過率, 得点, Hake ゲインは順序尺度である。したがって, 数値間の比較に順序づけ以上の意味を持たせるのは困難である。すなわち, 成績やゲインを差, 比率をとって「AさんよりBさんの方が成績の伸びが大きい」とか「アクティブラーニングの方が伝統的授業よりも2倍以上の効果がある」などといった数値的な比較に意味を持たせることは一般にできない。現代テスト理論を用いれば, 被験者の能力値と調査紙の各設問の困難度を独立に求めることができる。また, 現代テスト理論の導入は, 調査紙の部分利用や問題の入れ替えを行うためには不可欠と言える。そこで本研究ではRaschモデルを主として現代テスト理論を用いて調査結果を分析していく手法を確立する。

本研究は, 科研費基盤研究(B)課題番号19H01731の助成を受けている。

## 参考文献

- [1] D. Hestenes, et. al, “Force concept inventory”, Phys. Teach. **30** (1992) 141.
- [2] 新田英雄「研究領域としての物理教育」日本物理学会誌, **71** (2016) 40.
- [3] H. Nitta and T. Aiba, The Physics Educator, **1** (2019) 1950005.

## 日本型物理概念調査紙の開発Ⅱ：予備調査

<sup>A</sup>勝田仁之, <sup>B</sup>新田英雄, <sup>B</sup>植松晴子, <sup>C</sup>西村墨太,

<sup>D</sup>今井章人, <sup>E</sup>荻谷麻子, <sup>F</sup>清水滉大, <sup>G</sup>長倉健哉, <sup>H</sup>平本健太

<sup>A</sup>筑波大学附属高等学校, <sup>B</sup>東京学芸大学, <sup>C</sup>東京学芸大学附属国際中等教育学校,

<sup>D</sup>早稲田中学校・高等学校, <sup>E</sup>法政大学第二中・高等学校, <sup>F</sup>法政大学国際高等学校,

<sup>G</sup>神奈川県立横須賀大津高等学校, <sup>H</sup>神奈川大学附属中学高等学校

katsuda.phys.edu@gmail.com

### 1. はじめに

本発表は、「日本型物理概念調査紙の開発Ⅰ～Ⅴ」の連続講演の一部である。発表者らの研究グループでは、日本の高等学校「物理基礎」「物理」の枠組みに則した概念調査紙を開発している。

本報告では、その予備調査として、海外で開発された既存の概念調査紙を和訳したので、その紹介をする。併せて、和訳した概念調査紙を用いて、発表者らの勤務校の生徒を対象に行った概念調査の結果と、そこから見えてきた日本型調査紙作成への課題および指針を述べる。

### 2. 既存の概念調査紙、および国内での調査実績について

既存の調査問題は、多くの学習者が共通して抱える素朴概念に焦点をあてて作られている。作成の過程では、多数の被験者を対象に、インタビュー調査や記述式のテストを行い、素朴概念の分析を行う。問題形式は、最終的に多肢選択肢式に落としこまれることが多い。また、問題文はできるだけ身近で日常的な文脈にすることで、学習者のありのままの思考を引き出す努力がなされている。

海外で開発された概念調査紙の多くは、米国物理教員協会(AAPT)が運営する web サイト「PhysPort」[1]で一元的に管理されている。これらの概念調査紙のうち、力学分野の「FCI」[2]「FMCE」[3]や、電気回路の「ECCE」[4]「DIRECT」[5]などについては、日本国内でも多くの調査と報告がなされてきた。

一方で、日本の高等学校「物理基礎」および「物理」に含まれている、熱、波動、光、(回路を除く)電磁気学といった分野については、国内での調査報告は非常に少ないか、ゼロである。また、力学についても、静力学、二体の運動、摩擦力、相對運動、仕事とエネルギー、運動量、万有引力、剛体のつり合い、放物運動、円運動、単振動といった内容は、FCIやFMCEには含まれていない。

しかしながら、上記の分野の多くについて、既に海外での調査問題は開発されている。そこで本研究グループでは、海外で開発された既存の調査紙を和訳し、国内の高校でも利用可能にしようとしている。まずは、予備調査として、著者たちの勤務校の生徒を対象に予備調査を行なった。

また、海外の既存の調査紙にも適切な問題がない分野については、本研究グループで独自に調査問題群を開発し、国内で普及させることを最終的な研究目標としている。その試行結果については、後に続く講演Ⅲ～Ⅴで行う。

### 3. 本研究グループで和訳した概念調査紙と予備調査の結果

本研究グループではこれまでに、以下の概念調査紙を和訳し、予備調査として試行した。熱の「TCE」[6]、力学的エネルギーおよび運動量の「EMCS」[7]、波動の「MWCS」[8]、万有引力についての「NGCI」[9]。予備調査すべての結果を報告する余裕はないが、本発表では熱の「TCE」および力学的エネルギー・運動量の「EMCS」の結果を紹介する。

#### 4. 予備調査から見えてきた日本型調査紙作成への課題および指針

既存の概念調査問題を和訳した予備調査を行うだけでも、授業者の想像を超える素朴概念を、多くの生徒が抱えていることが明らかになり、授業への示唆は大きかった。その一方で、大きく分けて3つの課題が見えてきた。

- (1) 出題の範囲が、日本の教育課程を網羅しきれていない、あるいは逸脱していることがある
- (2) 問題の文脈が、日本人になじみのない状況となっていることがある
- (3) 和訳における言葉の選択

(1), (2) は、先述したように、本研究グループで独自の問題を作成していく上での指針を与えるものである。すなわち、日本の教育課程を網羅するような出題範囲であると同時に、多くの日本人、特に現代の高校生が想像しやすい日常的な文脈での問題を作成するということである。

(3) について、例えば「力積」という言葉に対応する英語は「impulse」であるが、「impulse」は「衝撃」という意味で日常でも使われている。また、原文の文脈を保とうとして直訳すると、意味のとりづらい日本語になってしまうことが多々ある。実際、予備調査において生徒から「問題文の意味がわからない」という回答が複数見られた。このような状況において、日本人にとってわかりやすい表現に意識してよいかどうかは、国際比較などを行う際には難しい判断となるが、本研究グループでは当面、日本人にとってわかりやすい表現とすることを優先することとする。

本研究は、科研費基盤研究 (B) 課題番号 19H01731 の助成を受けている。

#### 参考文献

- [1] *PhysPort*, <https://www.physport.org/assessments/> (2019.06.29.取得)
- [2] D. Hestenes, et. al, “*Force concept inventory*”, *Phys. Teach.* 30 (3), 141 (1992)
- [3] R. Thornton and D. Sokoloff, “*Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula*”, *Am. J. Phys.* 66 (4), 338 (1998).
- [4] D. Sokoloff, “*Teaching Electric Circuit Concepts Using Microcomputer-Based Current/Voltage Probes*”, presented at the NATO Advanced Research Workshop on Microcomputer-Based Laboratories, Amsterdam, Netherlands (1992).
- [5] P. Engelhardt and R. Beichner, “*Students' understanding of direct current resistive electrical circuits*”, *Am. J. Phys.* 72 (1), 98 (2004).
- [6] H. Chu, et. al, “*Evaluation of Students' Understanding of Thermal Concepts in Everyday Contexts*”, *Int. J. Sci. Educ.* 34 (10), 1509 (2012).
- [7] C. Singh and D. Rosengrant, “*Multiple-choice test of energy and momentum concepts*”, *Am. J. Phys.* 71 (6), 607 (2003).
- [8] A. Tongchai, et. al, “*Developing, Evaluating and Demonstrating the Use of a Conceptual Survey in Mechanical Waves*”, *Int. J. Sci. Educ.* 31 (18), 2437 (2009)
- [9] K. Williamson, et. al, “*Development of the Newtonian Gravity Concept Inventory*”, *Astron. Educ. Rev.* 12 (1), 1 (2013).

## 日本型物理概念調査紙の開発Ⅲ：問題作成

<sup>A</sup>西村墨太, <sup>B</sup>新田英雄, <sup>B</sup>植松晴子, <sup>C</sup>勝田仁之,

<sup>D</sup>今井章人, <sup>E</sup>荻谷麻子, <sup>F</sup>清水滉大, <sup>G</sup>長倉健哉, <sup>H</sup>平本健太

<sup>A</sup>東京学芸大学附属国際中等教育学校, <sup>B</sup>東京学芸大学, <sup>C</sup>筑波大学附属高等学校,

<sup>D</sup>早稲田中学高等学校, <sup>E</sup>法政大学第二中・高等学校, <sup>F</sup>法政大学国際高等学校,

<sup>G</sup>神奈川県立横須賀大津高等学校, <sup>H</sup>神奈川大学附属中学高等学校

m121805g@st.u-gakugei.ac.jp

### 1. はじめに

本発表は、「日本型物理概念調査紙の開発Ⅰ～Ⅴ」(以降, 発表Ⅰ～Ⅴ)の連続講演の一部である。本研究グループでは, 物理教育研究で開発された FCI[1]などの従来の調査紙から離れ, 日本の教育課程に適した独自の新たな概念調査紙を開発することを目的としている。我々は, 「物理基礎」「物理」[2]では扱われるが, 既存の概念調査紙ではカバーされていない学習内容を中心に, 新たな概念調査問題を作成, 試行している。本発表では, 概念調査問題開発の具体的なプロセスと試行例として慣性力に関する試行結果を紹介する。また, 生徒・学生の持つ素朴概念を一覧表としてまとめた素朴概念分類表の第一案も, 合わせて紹介する。

### 2. 概念調査問題作成のプロセス

本研究では, まず力学分野の概念調査問題の開発に取り組んでいる。手順は下記の通りである。

#### 【作成】

- (i) 発表者らのうち中・高等学校教員で分担し, 既存の概念調査紙やピア・インストラクション (PI) [3]の設問, 発表者らが授業で実施している課題などを, 必要な修正を施し, 設問項目として作成する。先行研究等で実施実績の少ない設問は自由記述形式とし, 生徒の多くが共有する素朴概念を抽出する。選択肢形式でも必ず理由を記述させる。
- (ii) 研究会を開催し, 担当者の作成した案にコメントをし合い, 必要に応じて設問項目や選択肢を修正する。

#### 【試行と改善】

- (i) 上記で作成した設問項目を事前・事後調査の一部に含めたり, 授業中の課題として試行したりする。生徒には選択肢問題であっても, 解答の理由を記述させる。
- (ii) 解答選択肢と選択理由を詳細に分析し, 偽正答と偽誤答 (発表Ⅰ) を中心に, 選択肢の妥当性を調べる。必要に応じて面接調査や PI のプロトコル分析を行い, 設問の妥当性を検証する。
- (iii) (i)と(ii)のループを繰り返す。

### 3. 素朴概念分類表の整備

質の高い概念調査紙の開発には, 生徒・学生の物理概念形成過程と素朴概念についての深い理解が不可欠であり, 授業実践と一体化した形で研究を進める必要がある。そのため, 発表者らによる授業実践の中で, 概念形成過程を調査し, 多くの生徒・学生が共有する素朴概念を明らかにすることも重要となる。そして, 物理概念形成過程をフロー図化し, 素朴概念は平成 30 年度公示の高等学校学習指導要領[2]に沿った学習単元別にまとめた素朴概念分類表にまとめる予定である。本発表では, 力学分野について作成した素朴概念分類表の第一案を紹介する。

#### 4. 試行例：慣性力

円運動する物体に生じる力を、慣性系から観測した場合と、非慣性系から観測した場合とで問う慣性力（遠心力）に関する設問について紹介する。試行調査は、4月の事前調査の一部として実施した。発表では、研究会での議論を経て、発表者らの授業課題として、円運動する物体に加わる力を描かせる設問も実施したので、その試行結果も合わせて報告する予定である。

【第一回調査の問題と試行結果例（対象：「物理基礎」履修済、「物理」履修前の高校3年生31名）】

問1：Aさんは、回転する円盤の上に座って一定の速さで回っている。静止している地上のBさんから見た、Aさんにはたらく水平方向の力の向きはア～エのどれか。図1は左図が斜めから見た図で、右図が上から見た図である。

問2：Aさんは、回転する円盤の上に座って一定の速さで回っている。一緒に円盤の上に座って一定の速さで回っているCさんから見た、Aさんにはたらく水平方向の力の向きはア～エのどれか。図2は左図が斜めから見た図で、右図が上から見た図である。

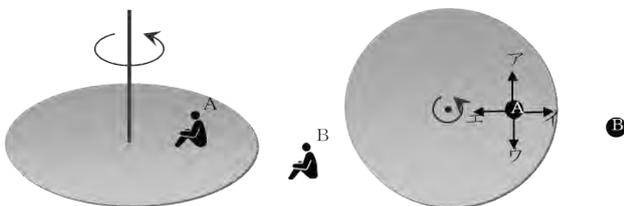


図1：第1回調査 問1の図

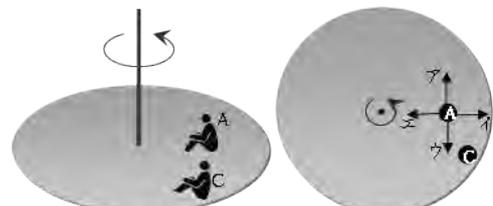


図2：第1回調査 問2の図

<選択肢（問1と2で共通）>

1. 水平方向に力を受けていない
2. ア
3. イ
4. ウ
5. エ
6. その他

表1：試行結果

選択肢	1	2	3	4	5	6
問1	10%	32%	16%	6%	35%	0%
問2	55%	19%	16%	0%	6%	3%

主な誤答（カッコ内の数字は対応する選択肢）として、問1では“力を受けているのはAさんではなく円盤である(1)”，“常に接線の向きに力を受ける(2)”，“回転しているので外に向かって力がはたらく(3)”などがあつた。問2では“進行方向に力がはたらく(2)”，“回転盤の上から見ると遠心力がはたらくから(3)”，“Cさんとの位置関係は変わらないが、回転している以上、向心力はある(5)”といった記述が見られた。また、問1では“そうでなければ静止できなさそう”，“エの力がなければAさんは円盤の外へ放り出されてしまう”，問2では“力を受けているのはAさんではなく円盤である”といった記述から、誤った考えから正答している生徒がいることがわかつた。

試行結果より、観測者が円盤の外側（慣性系）と円盤の上（非慣性系）のどちらの座標系から物体の運動を観測しているのかということを区別し、物体が受ける力を正しく考えることができていない生徒は、一定数存在することがわかつた。

本研究は、科研費基盤研究（B）課題番号19H01731の助成を受けている。

#### 参考文献

- [1] D. Hestenes, et. al, “Force concept inventory”, Phys. Teach. 30 (3), 141 (1992).
- [2] 文部科学省: 高等学校学習指導要領（平成三十年告示），文部科学省, (2018).
- [3] E.Mazur: “Peer Instruction: A user's manual” Person-Prentice Hall (1997).

## 日本型物理概念調査紙の開発Ⅳ：「物理」問題の試行結果

<sup>A</sup> 荻谷麻子, <sup>B</sup> 新田英雄, <sup>B</sup> 植松晴子, <sup>C</sup> 勝田仁之,

<sup>D</sup> 西村墨太, <sup>E</sup> 今井章人, <sup>F</sup> 清水滉大, <sup>G</sup> 長倉健哉, <sup>H</sup> 平本健太

<sup>A</sup> 法政大学第二中・高等学校, <sup>B</sup> 東京学芸大学, <sup>C</sup> 筑波大学附属高等学校,

<sup>D</sup> 東京学芸大学附属国際中等教育学校, <sup>E</sup> 早稲田中学高等学校, <sup>F</sup> 法政大学国際高等学校,

<sup>G</sup> 神奈川県立横須賀大津高等学校, <sup>H</sup> 神奈川大学附属中学高等学校

asako.kariya@gmail.com

### 1. はじめに

本発表は、「日本型物理概念調査紙の開発Ⅰ～Ⅴ」の連続講演の一部である。発表者らの研究グループでは、日本の高等学校「物理基礎」「物理」[1]の枠組みに則した概念調査紙を開発している。

現在、日本で広く使われている力学分野の調査用紙には「FCI」[2]「FMCE」[3]が挙げられるが、これらの調査用紙では日本のカリキュラムに含まれる内容がカバーしきれていない。そのため、本研究グループでは、発表者らが授業などで実施している課題、書籍[4] [5]などを参考に、カバーされていない分野の概念調査問題を作成した。そして、作成した問題が概念調査問題として適切であるか、また、日本の高校生がどのような考えを持つのか調査するために、試行を行った。本報告では、「物理」力学分野の概念調査問題として作成した問題の中から、剛体のつりあいに関する問題とその試行結果を中心に紹介する。

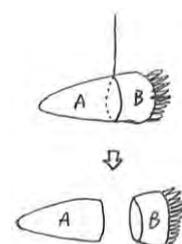
### 2. 試行例：剛体のつりあい

本研究グループでは、剛体のつりあいに関する問題として、初めに3つの設問を作成し、4月に試行調査を行った。調査の結果、「重心は質量を二分する点である」「つりあっているとき、物体は水平な状態になる」といった考えや、力のモーメントにおける腕の長さを間違えて考える傾向などが見られた。

【試行問題と試行結果の例（対象：「物理基礎」履修済み、「物理」履修前の高校3年生）】

図のような位置で、にんじんを糸でつるしたらつり合って静止した。糸の位置でにんじんを切って、AとBに分け、それぞれの重さを比べると、どちらが重いか。

- (1) A
- (2) B
- (3) どちらも同じ



選択肢	(1)	(2) 正答	(3)
割合 (%)	6	55	39

(1)の主な理由

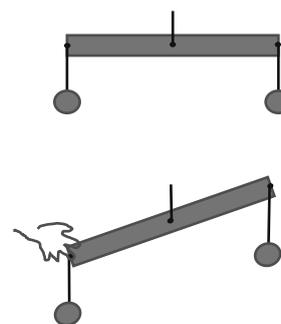
- ・腕の長さとおのりの大ききの比が、(逆比ではなく、) そのままの比になるから。

(3)の主な理由

- ・重さが同じだからつりあっている。
- ・重心は断面にあり、重心は質量を2分する点だから。

図のように左右に同じ重さのおもりをつけたところ、つりあって静止した。  
この状態から手で動かして斜めにし、そっと手を放すとどうなるか。

- (1) 時計回りに回転し、棒が平行になる。
- (2) 時計回りに回転し、棒が縦になる。
- (3) 反時計回りに回転し、棒が縦になる。
- (4) 斜めのまま静止する。
- (5) 棒が振動する。



選択肢	(1)	(2)	(3)	(4) 正答	(5)
割合 (%)	52	0	3	19	26

(1)の主な理由

- ・ つり合いの位置に戻ろうとする。
- ・ 両側のおもりの位置エネルギーを等しくする。

(5)の主な理由

- ・ 安定した状態に戻ろうとするが、棒が水平になったときの速度はゼロにならないから振動する。
- ・ 押されていた手に対する反作用が上向きにあるから上に動く。

### 3. 試行の結果を受けて

上記の4月の試行の結果を通じ、生徒の持つ考えが一部明らかになったが、さらに文脈を変えたときに、生徒の考え方がどのように変化するかについても検討することになった。そのため、題材を変えて同じ概念について問う問題を新たに設置した。また、ねらいとずれていることが明らかになった問題については、新たな問題を作成した。こうして作成した修正版を使い、1学期終了時に再度、調査を行った。本発表では1学期終了時に行われた2回目の試行の結果も含めて紹介する。

本研究は、科研費基盤研究 (B) 課題番号 19H01731 の助成を受けている。

### 参考文献

- [1]文部科学省, 高等学校学習指導要領 (平成三十年告示), 文部科学省, (2018).
- [2]D. Hestenes, et. al, “Force concept inventory”, Phys. Teach. 30 (3), 141 (1992).
- [3]R. Thornton and D. Sokoloff, “Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula”, Am. J. Phys. 66 (4), 338 (1998).
- [4]P. Hewitt, “Conceptual Physics”, 7th ed, HarperCollins College Publishers (1992).
- [5]E. Mazur, “Peer Instruction: A user's manual”, Person-Prentice Hall (1997).

## 日本型物理概念調査紙の開発 V : 「物理基礎」問題の試行結果

<sup>A</sup>平本健太, <sup>B</sup>新田英雄, <sup>B</sup>植松晴子, <sup>C</sup>勝田仁之,

<sup>D</sup>西村墨太, <sup>E</sup>今井章人, <sup>F</sup>苅谷麻子, <sup>G</sup>清水滉大, <sup>H</sup>長倉健哉

<sup>A</sup>神奈川大学附属中学高等学校, <sup>B</sup>東京学芸大学, <sup>C</sup>筑波大学附属高等学校,

<sup>D</sup>東京学芸大学附属国際中等教育学校, <sup>E</sup>早稲田中学高等学校,

<sup>F</sup>法政大学第二中・高等学校, <sup>G</sup>法政大学国際高等学校, <sup>H</sup>神奈川県立横須賀大津高等学校

m111811w@st.u-gakugei.ac.jp

### 1. はじめに

本発表は、「日本型物理概念調査紙の開発 I～V」の連続講演の一部である。本研究グループでは、物理教育研究で開発された FCI[1]などの従来の調査紙から離れ、日本の教育課程に適合した独自の新たな概念調査紙を開発することを目的としている。我々は、「物理基礎」「物理」[2]では扱われるが、既存の概念調査紙ではカバーされていない学習内容を中心に、新たな概念調査問題を作成、試行している。試行問題は発表者らが授業で実施している課題、既存の概念調査問題、書籍[3][4][5]などを参考にしながら作成し、修正を施したうえで試行した。本発表では、静力学と放物運動に関する試行結果を紹介する。

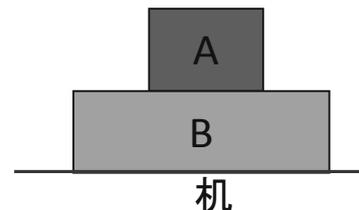
### 2. 試行例：静力学

静力学では、力のつりあい、作用反作用に関する問題等を作成、試行した。力のつりあいと作用反作用の問題では、力のつりあいと作用反作用の区別ができていない回答理由が多くみられた。

【試行問題と試行結果の例（対象：物理基礎履修済みの高校2年生）】

机の上に、箱 A、B が重ねて置かれています。机が箱 B を押す力の反作用として最も適切なものはどれですか。

- (1) 箱 B が机を押す力
- (2) 箱 A と箱 B が机を押す力
- (3) 箱 B にはたらく重力
- (4) 箱 A と箱 B にはたらく重力の和
- (5) 上のどれでもない



選択肢	(1) 正答	(2)	(3)	(4)	(5)
割合 (%)	15	18	17	42	8

(2)の主な理由

- ・ 机の上に A と B 2つの箱が乗っているから質量も足さなければならないから。

(3)の主な理由

- ・ A が B に与えるのはかかっている重力、B が上向きに働く力と打ち消しあい、B の重力だけが机にかかるから。
- ・ 逆向きの力で、力がかかる場所が同じだから。

(4)の主な理由

- ・ 反作用とは同じ大きさの力でないといけいないので、A と B の和と同じでないといけいないから。

(5)の主な理由

- ・ 箱 A に対しても力が働くから。など

### 3. 試行例：放物運動

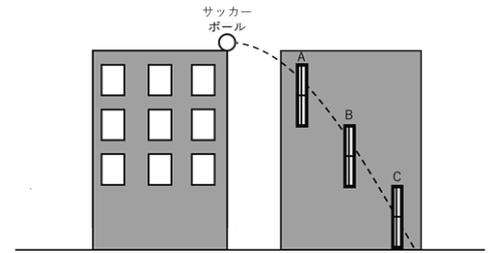
放物運動では、水平投射の水平方向の運動、平均の速さに関する問題等を作成、試行した。水平投射の平均の速さを問う問題では進行方向に力を受けているといった理由が見られた。

【試行問題と試行結果の例（対象：物理基礎を履修前の高校1年生）】

ビルの屋上で遊んでいたらサッカーボールが飛び出してしまい、放物線を描きながら隣のビルの窓 A、B、C を通過した。

ボールが通過する間の平均の速さが最も大きい窓はどれか。

- (1) 窓 A
- (2) 窓 B
- (3) 窓 C
- (4) すべての窓で同じ
- (5) これだけではわからない



選択肢	(1)	(2)	(3) 正答	(4)	(5)
割合 (%)	20	5	51	10	13

(1)の主な理由

- ・ 蹴った時の力が働いているから。
- ・ 窓 A が一番近い位置にあるから。

(2)の主な理由

- ・ ちょうどボールが加速しているところだと思うから。

(3)の主な理由（正答）

- ・ 下に行くほど落下速度が速くなるから。

(4)の主な理由

- ・ ボールの速さは変わらないから。など

本研究は、科研費基盤研究（B）課題番号 19H01731 の助成を受けている。

### 参考文献

[1] D. Hestenes, et. al, “Force concept inventory”, Phys. Teach. 30 (3), 141 (1992).

PhysPort, <https://www.physport.org/assessments/> (2019.06.29.取得)

[2] 文部科学省: 高等学校学習指導要領（平成三十年告示）, 文部科学省, (2018).

[3] E.Mazur: “Peer Instruction: A user's manual”Person-Prentice Hall (1997).

[4] ポール・G. ヒューイット(2011) 『傑作！物理パズル 50』松森靖夫訳, 講談社.

[5] David Halliday. “Fundamentals of Physics” Wiley (2002).



# 原著講演 4

# 正射影をやめた単振動の授業～1次元運動の仲間入りをさせた実践～

加藤賢一

北海道芦別高等学校

tk4araqk@hokkaido.ac.jp

## 1. はじめに

本実践は、前勤務校である札幌真栄高等学校での授業をもとにしている。真栄での H30 年度の 2 年生は、1 年次に物理基礎 2 単位、2 年次に物理 4 単位、3 年時に物理 3 単位と、潤沢に時間があった。しかし、そのことが逆に苦痛でもあった。ありあまる時間を学力の高くない生徒に教科書の内容をそのまま教え問題演習をするのは無理があり、かといってすべてを自主編成するのも難しい。感覚に訴える波動が比較的、授業がやりやすいのに対し、力学と電磁気は教えるのが難しく、底辺校での実践記録も少ない。力学と波動の結節点である単振動は以下のような問題を抱えていた。**①サイン・コサインが不得意な生徒が多い。②一般論における復元力が分かりにくい。質量のない影の運動と、同じ運動をする物体に働く力は、それ自体イメージしにくい。さらに  $-Kx$  の比例定数  $K$  は単なる数学的なものであり、物理的なイメージがしにくい。そこで、いったん教科書を離れ、力学とは何か？と自問自答した。力学の主題は運動方程式であり、力と加速度の関係性を学ぶことである。解である  $x = A \sin \omega t$  を押し付けるのをやめ、入試に頻出の周期の計算に拘るのをやめた。単振動の瞬間瞬間での  $\Delta v$  と力(合力)の関係性を、運動を学ぶ道具である記録タイマーのデータ  $\Delta v$  から考えさせる実践である。他の 1 次元運動との比較も行う。**

## 2. 授業の流れ

- ① 平面での力学台車の運動ではテーブルの段差  $\Delta v = 0$  (厳密にはやや減速)  $\rightarrow F = 0$
- ② 斜面での力学台車の運動は、角度が大きいほど、 $\Delta v$  がより大きいのは、なぜか？  
合力の作図から考える。
- ③ 斜面での木片による動摩擦力を加味した運動。 $\Delta v$  は③の台車より小さい理由を、合力を求めて考える。
- ④ 斜面上で大きな空気抵抗を受ける段ボールの運動  $\Delta v$  がだんだん小さくなる理由を、合力から考える。
- ⑤ 力学台車の両端にバネをつけて単振動。 $\Delta v$  はどうして変化するか。(次ページ参照)

## 3. 長所と今後の課題

- ① 受験に関係ない学校ではサインの扱いを減らし、単振動を 1 次元運動に還元し、実験による運動方程式の定性的な理解を重点とし、授業がやりやすくなった。Physics for all.
- ②  $\Delta v$ 、 $\Delta t$  などの微分量を、記録タイマーで実感できる。
- ③ 進学校においても、使える実践である。一連の実験の  $v-t$  グラフを予測させ、議論してから実験を行うと面白いだろう。単振動と終端速度にいたる運動との比較も面白い。
- ⑥ H30 年 12 月の北海道支部の発表会では、斜面上で空気抵抗と動摩擦力をうけ終端速度に至る運動では、動摩擦力が一定かどうか再確認したほうがよいとアドバイスをもらった。

## 参考文献

- [1] 新力学入門 山本義隆 p12 力学的物体 p26 空気抵抗のある時 p46 単振動
- [2] 渡辺「単振動の指導」 物理教育学会 Vol. 27 No4. (1979) p219-222



# 高校物理における自己調整学習を促す宿題の検討

高橋幸太郎<sup>1</sup>, 谷口和成<sup>2</sup>

京都教育大学大学院<sup>1</sup>, 京都教育大学<sup>2</sup>

t.kotaro0428@gmail.com

## 1. はじめに

次期学習指導要領では、アクティブ・ラーニングの視点からより具体的な「主体的で対話的で深い学び」が提起され、それに伴い評価も3観点（知識・技能，思考・判断・表現，主体的に学習に取り組む態度）に改められた。特に，3観点目については「自らの学習を調整しようとする側面」を評価することが求められており[1]，「自己調整学習」の必要性が高まっている。

高校数学においては，生徒自身が主体的に学習する習慣を確立するような「宿題」をデザインし，2年に及ぶ長期的な検討を行ったところ，宿題を課さなくとも主体的に学習する習慣が生徒には身についたという報告がある[2]が，高校物理においてはこのような報告は見られない。

そこで本研究では，高校物理において生徒の自己調整学習を促進するような宿題を実践的に検討している。

## 2. 宿題の概要

自己調整学習とは「学習者が“動機づけ”，“学習方略”，“メタ認知”の3要素において自分自身の学習過程に能動的に関与していること」と定義されている[3]。つまり，「自分ならできる」，「やればできる」といったモチベーションから学習に取り組み，モニタリングによって，適宜，学習方略を修正していく学習が自己調整学習といえる。そこで本研究では，生徒を自己調整学習者に育てることを目標とし，自己調整学習の理論を参考に「授業の振り返り」と「学習方略の実践」を宿題の要件として設定した。

「授業の振り返り」では，〈リフレクション〉と〈問題〉の2項目を設け，短時間で取り組めるものとした。具体的には，〈リフレクション〉では「気付いたことや不思議に思ったこと」，「わからなかったことや難しかったこと」等についての自由記述型の問い，〈問題〉では「授業で学習した内容を活用する」ような問いとし，単なる演習問題にならないように注意した（詳細は表3を参照）。

「学習方略の実践」では，考查期間に教員が提示した4つの学習方略（表1，2）[4]の中から最低1つを選択し，その方略を用いて宿題等の問題演習に取り組むものとした。なお，生徒の自律性を満たすため，学習方略の選択や宿題の演習問題の量は生徒が自由に選択できるようにした。表1，2は，それぞれ1学期の中間考查（5月），期末考查（7月）に提示した学習方略とその説明を示している。

表1 中間考查に提示した学習方略とその説明

テーマ	説明	方略
反復	言葉の定義を何度も何度も思い浮かべよう	【リハーサル方略】
関係づけ	自分が既に知っていることと関係づけよう	【関係づけ方略】
協力	友達と教え合ったり，問題を出し合ったりしよう	【社会的方略】
目標設定	小さいゴールを決めよう	【めりはり方略】

表2 期末考查に提示した学習方略とその説明

テーマ	説明	方略
想起	授業でどんなことをしたか思い出そう	【一般的認知方略】
まとめ	学習内容それぞれの要点をまとめよう	【復習・まとめ方略】
整理	演習ノートに絵やイラストを加えよう	【整理方略】
想像	テストでうまくいったときのことを考えよう	【想像方略】

また、生徒が宿題に取り組みやすくするため、スマートフォン(以下、スマホ)で取り組めるように工夫した。たとえば、Googleが提供している「フォーム」とQRコードを用いて、スマホ活用型の宿題を作成し、生徒自身のスマホで撮影した写真を提出させるといった、これまでにない幅広い課題を出題することが可能となっている。生徒のスマホに映る宿題の問いと入力画面の例を図1に示す。

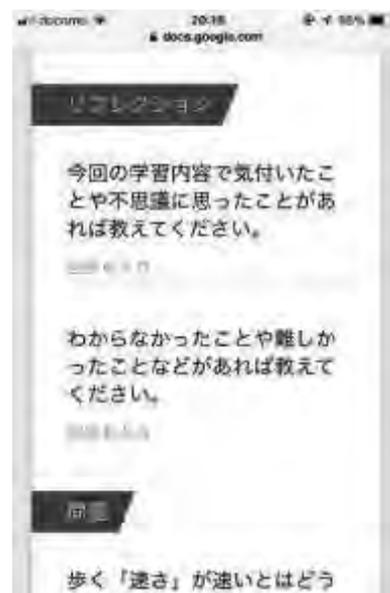


図1 スマホに映る宿題の問いと入力画面

### 3. 力学分野における宿題の検討

本研究では、京都府立高等学校2年生1講座(6名)を対象に、「物理基礎」(2単位)において表3に示すような宿題を出題している。たとえば、「速さ」の授業における宿題の〈問題:歩く“速さ”がはやいとはどういう意味か〉では次のような解答があった。「1sあたりに進む距離が長い」、「歩く速さは、1秒間にどれだけ長い距離を歩けるか、ということ。1秒間に歩ける距離が長ければ長いほど、『歩くのが速い』といえる。」このように、生徒によって表現が異なることから、授業で学習した内容を自身の言葉で説明していることがわかり、単なる問題演習では得られない学びを経験していると期待できる。さらに、生徒による表現の違いを次回授業時に扱うことで、学習した内容をより多角的に振り返ることができると考えられる。

また、〈リフレクション〉では、次のような解答があった。「序盤では力の分解がいまいちわかっていませんでしたが、後半で理解しました。」、「M君の式代入への直感が素晴らしかった。私は順序だてて考え方に沿った式をチョイスしましたが、これでも出来る、とより多面的に問題に取り組む姿勢がとれたと思います。」このような生徒の解答は授業当日の22時頃に送信されているため、自宅において授業の振り返りを行っていると考えられる。このように生徒の取り組み状況を把握することも本研究における宿題の特徴であるといえる。講演では、授業内の生徒の議論や宿題の記述などをもとに、自己調整学習の視点から考察した生徒の変容について報告する。

表3 授業の概要と宿題の質問内容

授業概要	宿題の質問内容
速さ	歩く“速さ”がはやいとはどういう意味か。
自由落下	軽い木球と重い銅球(大きさ同じ)を同じ高さから同時に落とすとどちらが先に落ちるか。
力のつりあい	身の回りにあるものを使って“力がつりあっている”状況を再現し、スマートフォンで撮影する。
作用・反作用	“力のつりあい”と“作用反作用の法則”の違いを説明した動画を撮影する。
運動方程式	講座番号が奇数番の人は問題集の大問45、偶数番の人は大問46に取り組み答え合わせまでする。

### 参考文献

- [1] 中央教育審議会答申, 2019, 「児童生徒の学習評価の在り方について (報告)」
- [2] 花園隼人, 2013, 「高等学校数学科における宿題に関する研究」
- [3] 伊藤崇達, 2008, 「『自ら学ぶ力』を育てる方略 — 自己調整学習の観点から —」
- [4] 伊藤崇達, 2018, 「自己調整学習の成立過程 学習方略と動機づけの役割」

# 科学観の構築を目指した生徒実験の試み

<sup>A</sup>古結尚、<sup>B</sup>谷口和成

<sup>A</sup>同志社高等学校、<sup>B</sup>京教大物理

kogetsu@js.doshisha.ac.jp

## 1. はじめに

探究的な活動における実験では生徒の主体的な活動が可能だが、概念的な理解だけでなく、モデルの限界や仮説の暫定性などの科学観が伴っていないことが少なくない。そこで、実際に実験を行う前後でモデルについて考える機会を設けることにより、科学的モデルについての概念が定着し、科学観が構築することを目指した。

## 2. 生徒実験の試み

対象の生徒は、3年生選択科目「理科研究」3講座 64名である。授業時数は週2単位である。生徒のうち約5割は「物理基礎」のみ履修しており、残りの生徒は選択科目「物理」を履修中である。1班3～4名、各講座6～7班で構成されている。実験の後で班ごとの発表と、個人のレポートを行った。班ごとの発表では、ロイロノートを用いて発表スライドを作成してもらい、4分発表、1分質問という形式で行った。レポートについては、班で作成したスライドを基にして、班での考察とともに、発表で他の班の意見を聞いた点を追加して作成してもらった。

1学期に、表1のように生徒実験を3つ行った。

実験1では、精度と誤差について理解を深めるために、スーパーボールの体積の測定を2通りの方法で行った。測定の方法については、各班で議論して行うことになった。2通りの方法で測定した結果が、誤差も含めた値がどのような関係かを考察した。

実験1	精度と誤差
実験2	運動の解析
実験3	輪ゴムの性質

表1 実験内容

実験2では、カメラと画像解析ソフトを用いて、運動の解析を行った。測定対象や、どのような運動を対象にするか、はたらく力がどのようなになるかを議論してから実験を行った。解析によって得られたグラフを用いて、はたらいっている力について考察した。

実験3では、輪ゴムで任意の重さの物体を量ることを目的として、おもりを用いてどうすればいいかを議論した。また、おもりの重さと伸びがどういう関係になるかを議論した。その上で、グラフを描いて、どのような関係かを考察した。また、はさみやペンなどの物体を実際に輪ゴムに吊るして、はかりで測定した実際の値との関係を考察した。

## 3. 評価と考察

評価として、科学観調査 Maryland Physics Expectations Survey (MPEX) [1]、科学的モデルについての調査 Students' Understanding of Models in Science (SUMS) [2]を用いた。MPEXは5検法の質問が34問で構成されており、下位尺度として「独立性」「一貫性」「概念」「現実とのつながり」「数学的なつながり」「努力」の6つで構成されている。それぞれの下位尺度については、「独立性」は「独立して学び、自分自身の理解を構築する責任を負う」、「一貫性」は「物理学はつながりのある一貫した枠組みとして捉えることができる」、「概念」は「根本的な考えや概念の理解を強調する」、「現実とのつながり」は「物理学で学んだ考え方はさまざまな現実の状況において関連があり有用

である」、「数学的なつながり」は「物理現象を表現する便利な方法として数学を捉える」、「努力」は「情報を利用できるように努力し理解しようとする」である。SUMS は 5 検法の質問が 27 問で構成されており、5 つの下位尺度で構成されている。それぞれの調査を年度の初め（プレ）と 1 学期の終わり（ポスト）に行った。

MPEX については、図 1 のように、総合点について有意差があった。下位尺度については、「一貫性」「概念」「現実とのつながり」「数学的なつながり」で有意差があった。

SUMS については、総合点でもいずれの下位尺度でも有意差はなかった。実験 3 でグラフの関係について線形や曲線のモデルを予想、考察していたのだが、それをモデルだという認識が薄く、つながりができなかつたように思われる。

また、1 学期の終わりに授業の振り返りを行った。内容としては、実験方法や、測定量の間関係性について実験前後で考えたことについて「実験が学習の役に立ったか」「発表が学習の役に立ったか」という内容について 5 検法で尋ね、理由を自由記述で書いてもらった。さらに、「どのような意義があるか」という内容について自由記述で書いてもらった。その結果、実際に行った実験よりも、発表の方が学習の役に立ったという意見が見られた。実験方法や関係性を考えるには、まとめた内容を聞くことによって客観的に捉えることが必要だということがわかった。また、自由記述では「予想や仮説を立てることによってより深い考察ができる」という意見もあった。実験する前に議論を行う重要性を把握している生徒も見られた。

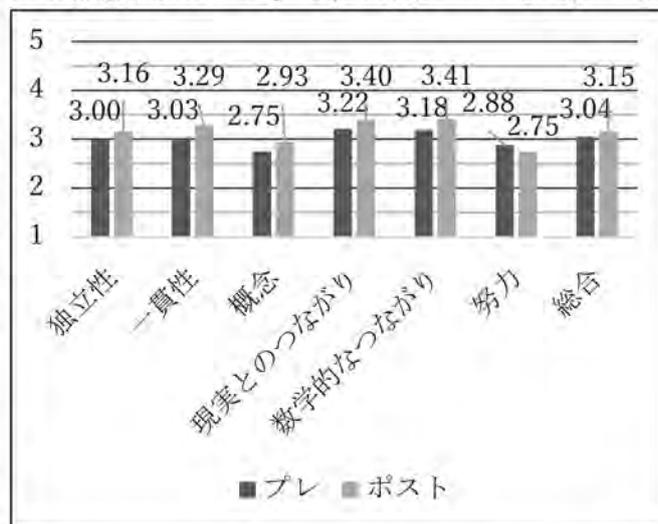


図 1 MPEX による評価

#### 4. 今後の課題

今回の生徒実験を通じて、科学観について一定向上が見られたが、概念が定着することによって自己評価が厳しくなり、一時的に下がるという結果もある。その観点からすると、今回の科学観の変容については暫定的である可能性もある。また、科学的モデルについては定着が見られなかった。今後は、科学的推論におけるモデルの意義について、積極的にはたらきかける展開を検討し、その活動をとおした科学観の変容の可能性を探っていく予定である。

#### 参考文献

- [1] Edward F. Redish, Richard N. Steinberg and Jeffery M. Saul, “Student Expectations in Introductory Physics”, Am. J. Phys. 66, 212-224 (1998).
- [2] David F. Treagust, Gail Chittleborough and Thapelo L. Mamiala, “Students’ understanding of the role of scientific models in learning science”, Int. J. of Sci. Edu. 24(4), 357-368 (2002).

# 「探究の過程」を意識した授業プランの検討

京都教育大学大学院<sup>1</sup>, 京都教育大学<sup>2</sup>

野原大輝<sup>1</sup>, 谷口和成<sup>2</sup>

E-mail din85035@kyokyo-u.ac.jp<sup>1</sup>

## 1 はじめに

次期高等学校学習指導要領理科<sup>1)</sup>では、探究の過程を通して理科の見方・考え方を養い、創造性豊かな人材の育成が重視され、大学入試改革と共に現行の学習指導要領<sup>2)</sup>から改訂される。その改訂に伴い「理数探究」という科目が新設され、「探究活動」の充実が強調される。しかし、現状はほとんどの普通高校では教科書に基づいた基礎学力の向上が重視される傾向にあり、授業時数が不足する等の理由により探究活動は実施されておらず<sup>3)</sup>、スーパー・サイエンス・ハイスクール(SSH)採択校で実施されている「課題研究」の実践において主に実施されているのみである。しかし、「理数探究」が選択科目となるために、現行の課程と同様に、理数科やSSH採択校のような高校でのみの実施に留まることが危惧されている。

そこで本研究では、次期課程が目指す資質・能力を育成できる、時間の制約の中で普通高校等での全面的実施が可能な「探究の過程」を意識した授業プランを検討することにした。

## 2 探究の過程および育みたい能力

本研究において「探究の過程」を先行研究や資料<sup>4)</sup>を参考に7つの段階に分け(図1)、育みたい能力を暫定的にその中の6つ(STEP2~7)に分類した。単元を分析することにより、1つの普通授業(50分授業)の中に単元に適した要素をいくつか抽出し、最終的に複数の通常授業で6つの能力を育むことを目指している。

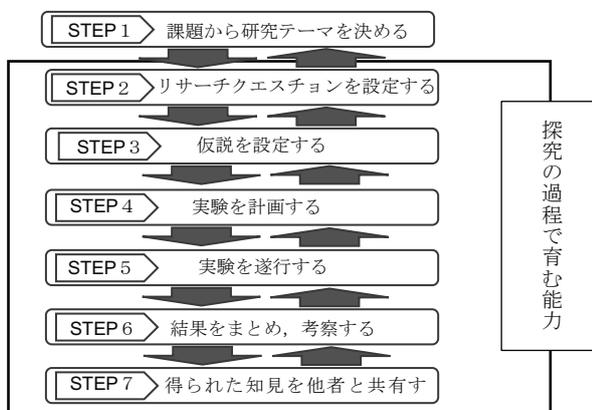


図1 探究の過程における7つの段階と本研究において育みたい能力

## 3 授業の開発

### 3.1 電池の内部抵抗を題材にした展開

現状の教育現場で比較的实施されている生徒実験<sup>5)</sup>である「電池の内部抵抗」を題材に1つの通常授業(50分授業)の展開を探究の過程の視点で検討した。はじめに教科書調査<sup>6)</sup>を行ったところ、すべての教科書において、始めから内部抵抗の存在が与えられ、それを確認する「検証実験」になっていることが明らかになった。

そこで、STEP3~6の能力の育成に迫る生徒実験を通して、高校「物理」の普通授業の展開を開発した。

### 3.2 運動の第2法則を題材にした展開

運動の第2法則を見出す実験として、力と加速度の量的関係、質量と加速度の量的関係の2つを調べる実験方法が教科書<sup>7)</sup>に掲載されているが、その方法はすでに変数制御され、さらに分析方法まで記載されているなど、確認実験的傾向が強い。

そこで、「それぞれが加速度に関係する」という仮説を共有する場面までを一斉授業の形態で行った後、それらを検証するための実験を班で計画、実行し、班および全体での討論を通して、運動の第2法則まで生徒が見出す、STEP4~6に焦点をあてた生徒実験を開発した。

### 3.3 熱平衡、比熱を題材にした展開<sup>8)</sup>

教科書<sup>7)</sup>の展開では、図とグラフのみで熱平衡と熱量の保存が説明されるのみで、これらの概念の理解や気づきを促す実験はない。また、単元終了時に、異なる金属の比熱を求める実験が設定されるが、それまでの知識を適用するだけの表面的な理解のみで学習を終えてしまうことが危惧される。

そこで、単元導入時から熱平衡と比熱、熱量の保存を実験化(3段階構成)し、次の実験に移る前に予想を立て、実験をし、結果から概念を考察する流れを繰り返す中でSTEP3,5,6の育成に迫る。さらに、生徒間で考察した内容を全体共有することによるSTEP7へのはたらきかけも目指す。

## 4 大学生への実践

### 4.1 電池の内部抵抗を題材にした実践

## テーマ「乾電池の不思議」

本学一般教養科目「物理学」の受講生 22 人を対象に電気分野の学習のまとめの位置付けとして、比較的古い乾電池を電源にし、並列に豆電球を増やすとだんだん暗くなる現象から、電池の内部抵抗に迫る実践を行なった(3.1 節参照)。なお、受講生は本実践の前までに AL 型の授業により、「オームの法則」のふり返りとともに「定電流電源」の誤概念は修正済みである。

### <結果および考察>

受講生が持つ電池、電流、回路に対する概念の理解状況と、班でどのような仮説を設定し、全体討論後のその変容を把握するために、ワークシートに記述された内容の分析を行った。

全体討論の場で行われた仮説として、「電流に上限がある」や「流れる電流が減った」などの電流に着目した定性的、感覚的な記述が多い中(9/22 人)、「内部に抵抗がある」という論理的な仮説もあった(2/22 人)。それぞれの発表について班ごとに検討した結果、「内部抵抗」の存在を仮説として設定した学生は増加したものの、10 人に留まり、仮説として全体共有するには至らなかった。その要因として、抵抗が直列並列に複合的に接続された回路の困難さや、「化学電池の起電力は一定」という前提知識の不理解が挙げられた。

表 全体討論前後の仮説内容の変容

	討論前	討論後
電流に着目した仮説	9 人	6 人
電池の内部に抵抗があると仮説	2 人	10 人

しかしながら、この授業に対する満足度を 5 件法で問うと、学生は混乱したにも関わらず平均は 3.9 という結果だった。その理由を記述させたところ、「今までの知識を活用しながら思考力を鍛える活動として面白かった」や、「身の回りにあるものを扱っていて興味深かった」などの肯定的な記述が見られた。知識や考え方を教員が一方的に指導、提供するのではなく、議論を交わしながら教科書の学習内容に迫る活動にメリットを感じており、高校生にとっても肯定的な活動になる可能性を示唆している。

## 4.2 運動の第 2 法則を題材にした実践

### テーマ「加速度を決定する物理量を探る」

本学理科領域専攻 1 年次の必修科目である「物理学基礎実験」受講生 27 人を対象に学生実験の位置付けで実践を行なった。学生は、本実践の前までに、加速度の概念について、ILDs 運動学および動力学により、定性的な理解を促すはたらきかけを受けている。

そこで、本時の導入において、授業者が台車に

はたらく合力を変化させた加速度の測定を行ない、「どうやら加速度は合力によって決定されるようだ」という仮説を共有した(ILDs のふり返り)。その後、合力と加速度の量的関係を探るための実験計画(ICT を活用)を行い、計画に基づき実験の遂行、結果及び考察までの課題を与え、STEP4~6 の育成に迫った。

### <結果および考察>

与えた課題(仮説)に対して学生たちが考案した実験の方法は、力の与え方に工夫があるものの、全ての班で類似していた。しかし、実験結果について、力と加速度のグラフを作成し、比例を見出した班は 3 つの班に留まった。そもそも、自ら計画した実験を適切に実行できない(それに気づいていない)班や、グラフを作成せずに結論を導く班など、探究以前のレベルにおける、実験の遂行能力、結果の解釈、考察する能力に課題があることが明らかになった。これらは、基本的な科学の方法であり、高校での実践の際は、この実態を意識したはたらきかけが必要だろう。

## 5 まとめ

時間の制約が大きい普通授業において、探究の過程を導入するには、探究的な課題に入る前の準備を確実にし、与えた探究的な課題の解決に対してのみ困難に直面するような土台を作らなければならない。また、本実践の題材および展開には、生徒や学生にとって、探究に取り組む以前の困難が存在することがわかった。

今後は、それらの修正とともに、探究の過程(STEP2~7)を部分的に導入することが可能な、その他の単元の検討およびカリキュラム化、特に、STEP2「リサーチクエスチョンの設定」を生徒の活動で引き出す展開の検討を行う。さらに、探究活動の評価方法の開発を行っていく。なお、電池の内部抵抗および熱を題材にした実践は、8 月の初旬に本学附属高校の生徒を対象として実践する予定である。講演では、その結果についても報告する。

## 参考文献および注

- 1) 文部科学省、高等学校学習指導要領解説理科編理数編、平成 30 年。
- 2) 文部科学省、高等学校学習指導要領、平成 21 年。
- 3) 文部科学省、高等学校の教育課程等に関連する資料(データ集)、平成 27 年。
- 4) 岡本尚也、『課題研究メソッド』、啓林館、2017。
- 5) 山崎敏昭、谷口和成、他、高校物理実験の実態 II、物理教育、第 59 巻、第 2 号(2011)。
- 6) 高木堅志郎・植松恒夫ほか、『物理』、啓林館 2018。
- 7) 高木堅志郎・植松恒夫ほか、『物理基礎』、啓林館 2018。
- 8) アドバンス物理研究会に参加して開発を行っている

# 中学生を対象にした ILDs「電気回路分野」の実践とその可能性についての検討

<sup>A</sup>北村貴文、<sup>B</sup>谷口和成

<sup>A</sup>同志社女子中学校・高等学校、<sup>B</sup>京都教育大学

kitamura@mail.girls.doshisha.ac.jp

## 1. はじめに

米国で開発された大学生を対象とするアクティブラーニングに Interactive Lecture Demonstrations<sup>1)</sup> (以下、ILDs) がある。ILDs は多くの学習者が所持している誤概念を中心に構成されたさまざまな課題を、演示実験を通して議論することで、概念理解を目指している。この学習過程の「演示実験を確認」する過程は、視覚情報を通した生徒間議論が可能という観点から、中学生を対象とする場合においても導入する意義があると思われる。

ここで、電気回路分野では、同じ電池から出る電流の量は同じという誤概念 (以下、定電流電源説) がある。本発表では、大学生を対象として考案された ILDs の「電気回路分野」を中学生に実践した結果について、定電流電源説を中心としてその効果と改善点について検討する。

## 2. 本実践の概要

本実践の対象は、京都府の私立中学校 3 年生 2 クラス (各 41 名) の電気回路に関する通常の学習を終えた直後の生徒であった。2017 年 5 月に ILDs の電気回路分野「電気回路の導入」と「直列回路と並列回路」を実施した。

本実践では、グラフの読みとりの難しさから、誤概念に対する議論にたどり着かない可能性を考慮し、演示実験はセンサー機器ではなく、図のような回路ボードで実施した。

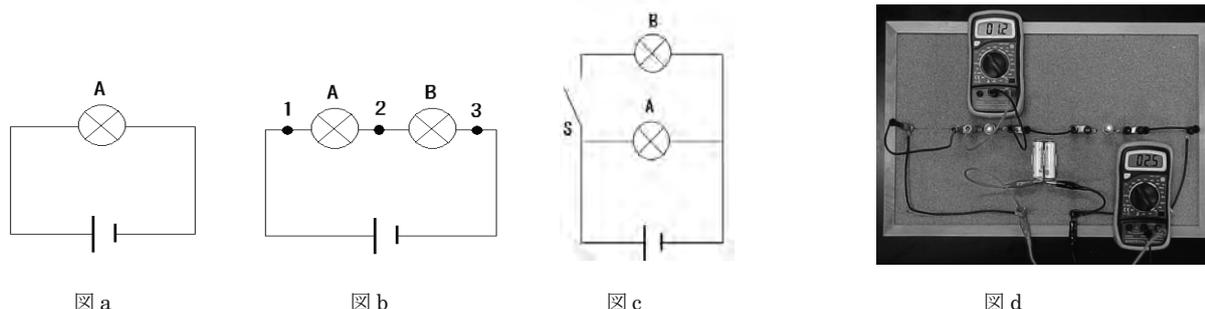
また、議論を活発化させるために、解答を選択肢とし、議論前後の解答分布をクリッカーの集計機能で全体に示した。授班構成は 4~5 名とし、①課題提示、②クリッカーでの個人予想、③予想解答表示、④班議論、⑤クリッカーでの再予想、⑥演示実験と映像による結果の確認、⑦班・全体議論の展開で、1 つの演示実験につき 4~7 分程度で実施した (全 15 実験)。全演示実験が終了後に、さらに議論が必要なものや生徒間議論で理解できなかった課題について、再度、教員を含めて議論した。なお、授業時間の関係上、クリッカーの投票は 30 名の投票終了後教員が呼びかけを行い、その 10 秒後に締め切った。

## 3. 成果と今後の可能性についての検討

生徒間議論の効果を、課題ごとといった授業の細部をとらえる指標となることを目指している PI ゲイン<sup>2)</sup> (以下、 $G_{PI}$ ) を用いて検討した。同一回路内での電流の大きさや電圧の比較課題は  $0.28 \leq G_{PI} \leq 1.00$  と議論効果が高く、議論後正答率はすべて 80% 以上だった。

定電流電源説に関する課題の生徒間議論の効果は、図に示した通り  $G_{PI} \leq 0.10$  であり、多くの課題で  $G_{PI}$  が負の値となった。つまり、生徒間議論の過程では多くの場合で正しい概念から遠ざかってしまう結果となった。

ここで、Electric Circuits Concept Evaluation<sup>3)</sup> の並列回路と直列回路における定電流電源説についての課題を中心とした概念テスト (以下、ECCE 簡易テスト) を実践前 (以下、事前テスト) と 5 日後に実施 (以下、事後テスト) した。この課題の結果を踏まえて考察する。



ILDs における定電流電源説に関する直接の課題	議論前		議論後		GPI
	N	正答率	N	正答率	
図 a の電池と図 b の電池を流れる電流の大きさ	75	0.25	75	0.12	-0.18
図 a の豆電球 A と図 b の豆電球 A にかかる電圧	73	0.25	71	0.14	-0.14
図 c のスイッチを閉じて、図 a の豆電球 A と図 c の豆電球 B の明るさ	70	0.14	69	0.00	-0.17
図 c のスイッチの開閉による電池を流れる電流の大きさ	70	0.27	70	0.34	0.10

図. 定電流電源説に関する演示実験課題と生徒間議論の効果

定電流電源説についての課題について、ECCE 簡易テストの事前テストの各課題正答率は 12~39% と非常に低く、定電流電源説は学習者の大多数が所持する誤概念であった。一方、事後テストの各課題正答率は 14~60% であり、誤答者が正答者より多い課題もあったが、全課題での事前・事後テストの比較から、改善を支援できる可能性がみられた (マクネマー検定:  $p < .10$ )。

授業後の自由記述によるアンケート調査では「みんなで同じところで間違えていて、自分もよくわからなかったけれど、最後の説明を聞いて納得しました」という記述があり、生徒間議論で誤概念を共有した後の、衝撃的な演示実験結果を踏まえた全体議論という過程が誤概念の改善を支援したことが示唆される。この記述と事後テストの結果を踏まえると、生徒間議論のみでは誤概念は広がり、これまでの演示実験を踏まえた考察過程に至れなかったと推察できるが、演示実験を踏まえた ILDs 全体の過程での効果は見られたといえるだろう。

また、生徒の自由記述からは「今日やった問題はいちいちオームの法則を使わないといけないですか?」という記述が複数みられた。これは、演示実験後の全体議論の中で、オームの法則で説明することを試みた生徒がいたことが理由と思われる。このような記述は、ILDs にある課題のような定性的な課題に対して感覚的な思考が先行し、既知の法則や規則と照らし合わせて考えることへの不慣れさを示唆しており、この点を中心として、教員がファシリテートしていく必要があるといえる。また、共通する誤りを見つけさせて、どうして誤っていたのかを、詳細に検討させる機会をもつ必要もあるだろう。

## 引用文献

- 1) D. Sokoloff & R. Thornton : Interactive Lecture Demonstrations (Wiley, 2004).
- 2) 兼田真之, 新田英雄 : 物理教育 57-2 (2009) 103-107.
- 3) Edward F. Redish : Teaching Physics with the Physics Suite(2003).

注) 本稿は北村貴文, 谷口和成 : 物理教育 66-4 (2018) 253-257. を再構成したものである。

# 原子核物理に関する中高生向け模擬講義の

## テキストマイニングを用いた効果検証

<sup>A</sup>小林 良彦

<sup>A</sup>九州大学 基幹教育院 次世代型大学教育開発センター

kobayashi@artsci.kyushu-u.ac.jp

### 1. はじめに

原子核物理に関する中高生模擬講義の実践と受講生へのアンケート調査の結果について発表する。特に今回の発表では、アンケート調査で得られた自由記述回答のテキストマイニングによる分析結果について説明する。

なお、本発表は2018年9月に開催された第67回九州地区大学教育研究協議会にて報告した内容[1]を修正・改良したものである。

### 2. 模擬講義の実践について

発表者が担当した模擬講義は、九州大学に見学に来る中高生向けのプログラムにおいて実施された。その内容は、発表者が専攻している原子核物理に関するもので、①自己紹介、②原子・元素・原子核に関する基礎知識説明、③プリント教材を用いた復習・演習、④中性子過剰核の研究紹介、から成る。③で用いるプリント教材には内容の要点だけでなく、②で説明した内容の復習問題と応用問題も掲載した。その応用問題は同位体の存在を感じてもらうものにし、④の準備の役割も担うものとした。④の研究紹介では、宇宙における元素合成と中性子過剰核の関係について説明した。

### 3. 受講生へのアンケート調査について

模擬講義の効果を明らかにするべく、模擬講義終了時にアンケート調査を行った。アンケート調査で得られた自由記述回答はテキストデータに整理し、テキストマイニングソフト（IBM SPSS Text Analytics for Surveys 4.0.1）を用いて分析を行った。具体的には、頻出後の抽出や、使用される単語の共起具合を調べた。今回のアンケート調査では中学2年生91名分と高校1年生231名分の「模擬講義から学んだこと」と「模擬講義の感想」に関する自由記述回答を得た。

アンケート調査の結果からは、中高生とも「原子」や「元素」について、また、元素名が「陽子」の「数」で決まることを学んでいる様子が伺えた。また、中学2年生の方が、学校の授業内容を復習しつつ、研究の話まで、より深い理解をしている様子も伺えた。

### 参考文献

[1] 小林良彦：第67回九州地区大学教育研究協議会発表論文集 p145-p147（2019）

# 教科横断的な教育内容としての「放射線」の扱い

林 壮一

福岡大学 理学部物理科学科  
福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1  
soichi@fukuoka-u.ac.jp

## 1. 研究の背景

来年（令和2年、2020年）の4月に小学校から実施される学習指導要領には、『現代的な諸課題に関する教科等横断的な教育内容（小学校総則付録6）』として、以下の13項目の具体的な課題が提示してある。①伝統や文化に関する教育、②主権者に関する教育、③消費者に関する教育、④法に関する教育、⑤知的財産に関する教育、⑥郷土や地域に関する教育、⑦海洋に関する教育、⑧環境に関する教育、⑨放射線に関する教育、⑩生命の尊重に関する教育、⑪心身の健康の保持増進に関する教育、⑫食に関する教育、⑬防災を含む安全に関する教育

これらの課題のうち、小学校、中学校の理科に関連した課題は⑧⑩⑪⑫⑬の5項目と、小学校では理科と関連させずに中学校で理科と関連させている課題は⑦⑨の2項目である。⑨の放射線については、小学校の国語科、社会科、道徳と関連させており、中学校では、国語科、理科、技術・家庭科、保健体育科、道徳と関連させた内容として提示している。そこで、小学校や中学校の理科以外の教科で、放射線はどのように扱われているのか調査した。

## 2. 小学校や中学校の理科以外の教科（国語科と社会科）での放射線の扱い

小学校と中学校の現行学習指導要領と次期学習指導要領に、どのように『放射線』や『原子』が記載されているかを調べたところ、小学校社会科で現行次期ともに「原子爆弾」や「原子力」が記載され、「放射線」は次期にのみ記載があることを確認した。中学校では、現行次期ともに「原子爆弾」が記載され、やはり「放射線」は次期にのみ記載されていることを確認した。

そこで、文部科学省の検定を受けている現行の小学校の国語科と社会科の教科書と中学校の国語科と社会科の教科書、全81冊を調査したところ、29冊の国語科や社会科の教科書に記載されていることを確認した。具体的な記述について報告する。

## 3. 問題点と今後の課題

放射線に関する教科等横断的学習内容として、次期学習指導要領には、国語科での「話や文章に含まれている情報の扱い方」や、小学校社会科で「電気の供給」と関連させ、正しい情報を発信し受け取ることを推奨しているように書かれている。しかし、現行の教科書の記載では、放射線に関する偏った情報を発信しているように思えてしまう。2020年4月から使用される教科書での放射線の扱いについて注視したい。

## 参考文献

- [1] 小学校学習指導要領（平成29年告示）解説 総則編 平成29年7月
- [2] 文部科学省検定教科書 小学校国語、小学校社会、中学校国語、中学校社会（各社）

# 落下するエレベーターから生還できるか

佐藤実

東海大学清水教養教育センター

minoru@tokai-u.jp

## 1. はじめに

落下するエレベーターに乗っている人が地表に激突する直前にジャンプすれば助かる、という都市伝説がある。物理の教員であれば、この言説に対して即座に何通りかの反論を思いつくに違いない。だが、運動量やエネルギー、加速度を一切使わずに説明して欲しい、と要求されたとしら、想定した反論のなかに対応可能なものはあるだろうか。2019年4月に放送されたテレビの特番[1]での話題として落下するエレベーターからの生還方法について検証した経験から、限定的な物理の知識しかもたない方々にできるだけ正しく伝えるにはどうすればよいかについての検討をした。

## 2. 経緯など

はじめにテレビ局から連絡があったのは、放送予定の半年ほど前だった。さまざまな都市伝説のうち、原理的・倫理的に実証不可能なものをCGで検証するという番組をつくりたいので、ブルジュ・ハリファと同じ高さ828mから落下するエレベーターに乗っている人が地表に激突する直前にジャンプすれば助かるかを検証して欲しい、とい依頼だった。民放にしては余裕があり、担当者も真摯に取り組んでいるようなので、依頼を受けた（実際この番組の放送後に他局から同じような依頼があったが、それは放送10日前だった。そちらはさらに無茶な要求があったので断った）。

検証自体は、いくつかの条件をつけて状況を単純化することで難しくはなかったが、生還が不可能な理由を説明するのが困難だった。バラエティ番組なので、できるだけ「易しく」説明して欲しいという。何度か言い換えて、できるだけ平易に説明したつもりなのだが、それでもまだ「難しい」という。結局わかったことは、運動量、エネルギー、加速度という言葉が出てくると「難しい」と感じるらしいこと、速度と力ならばわかるらしいこと、だった。

ただ、速度に関しては日常的に使われている語と物理で使われる語との間にそれほど大きな乖離があるとは思えないが、日常的に使われる力については物理でいうところの運動量やエネルギー、仕事率などの概念も含むことが予想されるので、力で説明するのは避けるのがよさそうだと判断した。しかし、速度では落下するエレベーターからの生還の可否についての説明はできそうもない。

結局、同じ程度の速度域での交通事故や鉄道事故からの生還例を挙げることで、お茶を濁すこととなった。もちろん、エレベーターのケージの破壊と車両の破壊、乗っている人の姿勢など、状況が異なることは承知の上である。

## 3. おわりに

テレビ番組の制作スタッフとのやりとりではあったが、正しい物理を伝える困難さを改めて感じた。授業中の説明でも、日常的理解との乖離について目を配ることが重要だと思われる。

## 参考文献

[1] [https://www.tbs.co.jp/program/kuusoujitugenfile\\_20190403.html](https://www.tbs.co.jp/program/kuusoujitugenfile_20190403.html)

ポスターセッション

# 「カオス科学」の教材化と授業における活用

福山 隆雄

長崎大学 教育学部理科 物理学教室

fukuyama-takao@nagasaki-u.ac.jp

## 1. はじめに

私たちの身のまわりには多種・多様な非線形現象が存在するが、その中でも「カオス現象」は、物理学のみならず、数学、化学、生物学、経済学など、多くの分野で注目を集めてきている。筆者は、カオス現象が示す特徴である初期値敏感性や、カオスへ至るルート（周期倍分岐現象）などに着目した教材を開発し、大学教養科目や大学初年次科目、放送大学面接授業、高校向け出張授業等において活用してきている。

本発表では、高等教育および後期中等教育におけるカオスの科学に関する教材化、および、開発した教材を用いた実践から得られた成果について報告する。

## 2. 受講者へのカオスの概要説明

講座の最初に、2重振り子の力学的挙動の観察、ニュートン力学から複雑系科学（例えばカオスの発見[1][2]）へと至る歴史、実験等におけるカオスの観測例などの説明を通して「カオスとは、簡単な法則（方程式）に支配されているにもかかわらず、長時間にわたって観測すると生じる予測できない複雑かつ不規則な運動」と位置づける。

## 3. 初期値敏感性に関する教材化

カオスの特徴として、初期条件のわずかな差が将来の結果に大きな違いをもたらす、という初期値敏感性が挙げられる。

ここで、下記(1)、(2)について、図1のようなワークシートを用いて、初期条件  $X_0$  のわずかな違い（1%の差）が最終的にどのような結果をもたらすのか、電卓を使って  $X_{10}$  まで計算し、最初の差がどのように変化するか、個人単位での計算を通して考える。

$$(1) X_{n+1} = 3X_n \\ (X_0 = 0.100, X_0 = 0.101)$$

$$(2) X_{n+1} = 3.7 \times (1 - X_n) \times X_n \\ (X_0 = 0.100, X_0 = 0.101)$$

受講者による計算を通して、(1)について1%のまま差は拡大せず、(2)について10%程度まで拡大するという結果が得られる。

$X_0$	$X_0 = 0.100$	1%差	$X_0 = 0.101$
$X_1$			
$X_2$			
$X_3$			
$X_4$			
$X_5$			
$X_6$			
$X_7$			
$X_8$			
$X_9$			
$X_{10}$	①		
①と 何%違うか	0%		

図1：初期値敏感性に関する計算用シート

#### 4. カオスへ至るルート（周期倍分岐現象）に関する教材化

初期値敏感性の計算で用いた方程式（ロジスティック写像） $X_{n+1} = a \cdot (1 - X_n) \cdot X_n$  について、 $X_0 = 0.1$  の初期条件のもと、パラメータ  $a$  を変えつつ  $X_{20}$  まで電卓で計算し、グラフ化を通して時系列の変化について考える。図2および図3は、受講生によって作成されたグラフを示す。

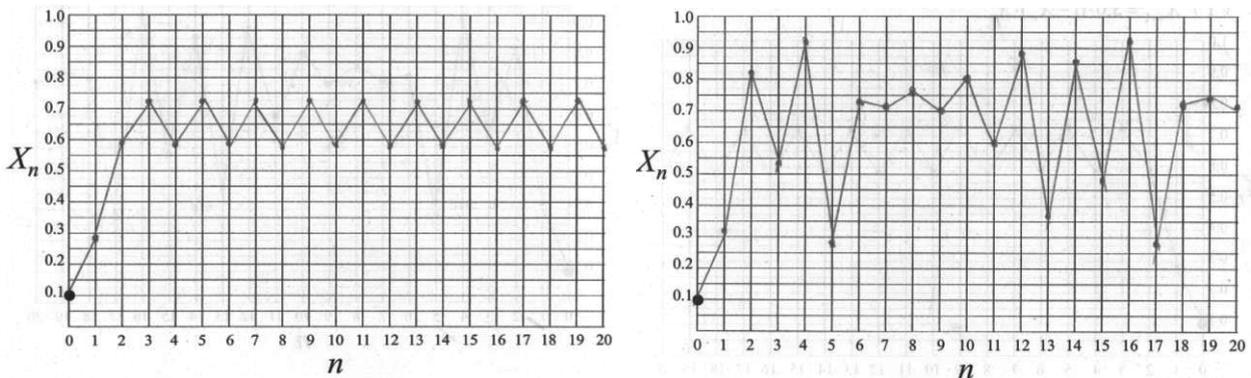


図2：受講生によって作成されたグラフ。左：周期状態 ( $a = 3.0$ )，右：カオス状態 ( $a = 3.7$ )。

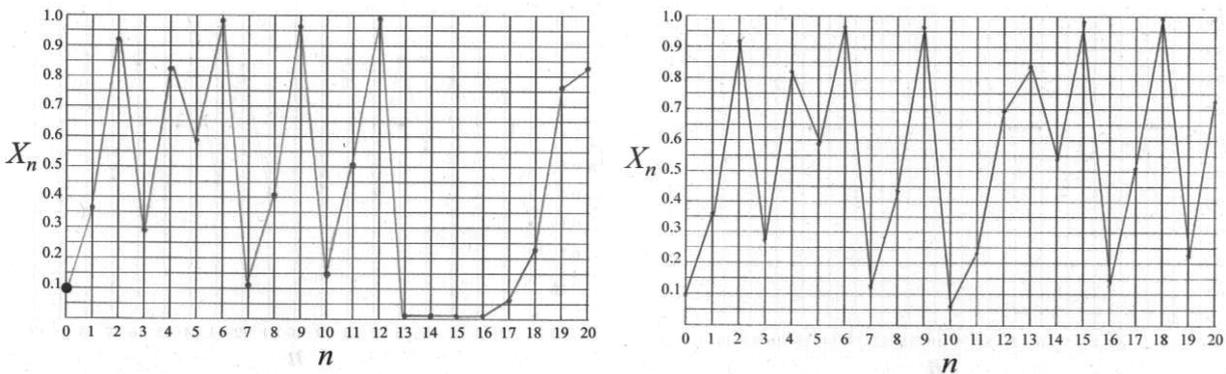


図3：異なる受講生によって作成されたグラフ。左右ともにカオス状態 ( $a = 4.0$ )。

講座中に実物投影機を用いて、作成したグラフを全員で共有することによって、周期状態から徐々に周期が増えてカオス状態へと至ること（図2）、同じパラメータのもと作図をしてもカオス状態では様子が異なること（図3）などについて、実感を伴って学ぶことが可能である。

#### 5. まとめ

今回、初期値敏感性、および、カオスへ至るルートに着目をして、カオス科学の教材化を試みた。作成した教材は、実際に高等教育および後期中等教育における授業で活用してきている。近年ではスマートフォンの普及によって、受講生の全員が気軽に電卓を使用できるため、容易に実施可能となった。今後は、開発したカオス科学教材の教育効果について検証を試みたい。

#### 参考文献

- [1] 上田 暁亮, 電気学会論文誌 A, 第 98 巻, 167-173 (1978)
- [2] Lorenz, E. N., Journal of Atmospheric Sciences **20**, 130-141 (1963)

# 「温度概念」を育む授業構成の試案

独創文化研究所 元東京理科大学 五十嵐 靖則

[igarashi-yasunori@nifty.com](mailto:igarashi-yasunori@nifty.com)

## 1 はじめに

我が国の物理教育は、温度概念に関わる分野で欧米などと比較して半世紀ほど遅れている。それは我が国では「温度概念」に正面から取り組む教育研究がなされていないからである。例を1つ挙げると、我が国では「熱エネルギー」という用語を、「熱」の意味に使用するとともに、同時に「内部エネルギー」の意味にも使用しているのである。古い時代の物理で、「熱はエネルギーの一形態である」との認識に至り、エネルギー保存則が確立すると、マッハなどがエネルギー一元論の立場から、これまで「熱」と呼んできたものを「heat energy」(熱エネルギー)と呼ぶことを提案し、これが広まった。しかし、「熱」は、エネルギーそのものではなく、「エネルギーの移動形態」(非状態量)であることが明確になり、欧米では次第に使用されなくなった。単に、「heat」或は「quantity of heat」に戻された。ところが我が国では未だに「熱エネルギー」の用語が「熱」の意味に使用されている。しかも、「熱はエネルギーの一形態である」という過渡的な理解に止まっていて、「熱はエネルギーの移動形態である」という理解は高等学校物理でもほとんど触れられていない<sup>1)</sup>。一方、欧米では環境問題など物理学、化学、生物学、地学等の壁を越えて、エネルギーを論じなければならぬため、物理学での「internal energy」(内部エネルギー)の概念が広すぎるために、そのうちの温度に比例する部分(主に、分子の乱雑な運動エネルギー)を「thermal energy」(温度的エネルギー)と呼び、原子間結合エネルギー(化学変化で出入りするエネルギー)を「chemical energy」(化学エネルギー)と呼び内部エネルギーを構造化して使用している。ところが、我が国では、「thermal」を「熱」と誤訳して、「thermal energy」を「熱エネルギー」と訳し、使用している。しかし、先にも触れた様に、「heat energy」(熱エネルギー)なる用語が我が国では未だに存在し使用されているため、混乱状態にある<sup>2)</sup>。これらの用語は修正されずに放置されたままになっている。「thermal」の意味は Riedi 氏のコメントが参考になる<sup>3)</sup>。

一方、「heat motion」(熱運動)用語は、物質内に熱は存在しないので、乱雑な分子運動を「熱運動」と呼ぶことは物理学的に適切ではないので、早い時代(1940年代)には廃止され、それに代わって、「thermal motion」或は、「thermal agitation」或は「temperature motion」(温度運動)が使用されている<sup>4)</sup>。しかし、我が国ではこの「thermal motion」を「熱運動」と誤訳して使用している。最近では、この誤訳の「熱運動」が高等学校学習指導要領理科の中に、指導項目の1つとして出てくる始末である<sup>5)</sup>。ここに、我が国の理科教育・物理教育の大きな課題の一つがある。

そこで試案ではあるが、以下にその改善策を提案する。授業構成案作成に際して 次の3点を目指した。①誤概念を誘発する用語は廃止し、新しい用語を使用する、②学習者の思考を促進する、③正しい物理学理論が形成できる。

## 2 力学から温度物理学 (Thermal Physics) へ

力学から温度物理学への授業構成の概要を以下に示す。

### (1) 摩擦力や非弾性衝突による力学的エネルギーの減少

【例1】 摩擦力が作用している場合、物体の運動エネルギーは減少し、やがて静止する。

【例2】 非弾性衝突が起こると、衝突物体の運動エネルギーは減少する。場合によっては静止する。

### (2) 力学的エネルギーの行方 - 内部エネルギー (温度エネルギー) への転換 -

【古代の火起こし器の紹介(演示実験)】

摩擦力に抗してなした仕事 ⇒ 原子や分子の乱雑な運動エネルギー ⇒ 化学エネルギー

〔力学的エネルギーの減少〕 〔内部エネルギーの増加: 温度上昇〕 〔燃焼、発火〕

【内部エネルギー】 内部エネルギーは、物体の全エネルギーから巨視的な力学的エネルギーを差し引いた残りのエネルギーで、物体の内部に蓄えられている微視的なエネルギーのこと。原子や分子の乱雑な運動エネルギーや分子間位置エネルギー、原子間結合エネルギー(化学エネルギー)、原子核の結合エネルギー(原子核エネルギー)、電子や原子核のスピンエネルギー等が含まれている。

【注記】 理想気体の場合は、分子間位置エネルギーは無視できるので、単原子の場合は、分子の乱雑な並進運動エネルギーのみとなる。乱雑な並進運動エネルギーの平均値は温度であるから、このときの内部エネルギーは「温度エネルギー」と一致する。多原子気体の場合は 分子内回転・振動運動エネルギーが温度エネルギーに加わる。

固体や液体、実在気体の場合は、この温度エネルギーに分子間位置エネルギーが加わる。

固体や液体の場合の内部エネルギーのうち、絶対温度に比例する部分を温度による(温度的)エネルギー(thermal energy)と呼ぶことがある。従って、thermal energy には分子間位置エネルギーは含まれていない。

### (3) 温度とは何か

温度は、原子や分子等の乱雑な並進運動エネルギーの平均値を表している。

絶対零度では、原子や分子等の乱雑な並進運動エネルギーの平均値は零となる。しかし、量子力学的な零点運動(零点振動)は存在している。零点運動は、乱雑な運動ではないので エントロピーには寄与しない。

【分子の乱雑な運動を可視化する演示実験(拡散現象を利用したインクのしずくが拡散する様子の観察)】

[温度の高いコップの中のお湯]⇒ 攪拌しないのに、インクの滴は素早く拡散し、短時間で一樣になる。

[温度の低いコップの中の水]⇒インクの滴はゆっくり降下し、なかなか拡散しない。一樣になるのに時間がかかる。

【温度エネルギー(temperature energy)】 絶対温度に比例する原子や分子等の乱雑な運動エネルギー。

#### (4) 温度平衡

時間が経過しても、系の温度が一樣で変化しない状態をいう。巨視的なエネルギーの移動がない状態。

微視的には、系内のどの部分も、分子等の乱雑な並進運動エネルギーの平均値は等しい状態になっている。

【異なる温度にある物体の接触あるいは、混合による温度変化】高温物体から低温物体へエネルギーが移動し始める。接触面を通して、高温物体の分子の乱雑な運動エネルギーが、低温物体の分子に、衝突を通して、伝達される。この衝突過程を通して、高温物体の分子の乱雑な並進運動エネルギーは減少し、温度が降下していく。低温物体の分子の乱雑な並進運動エネルギーは増加し、温度が上昇していく。やがて、両物体の分子の乱雑な並進運動エネルギーの平均値、即ち温度が等しくなると、正味のエネルギー移動はなくなり、両物体のどの部分の温度も等しくなる、即ち温度平衡状態(旧い物理で「熱平衡状態」と呼ばれていた)になる。

#### (5) 物質の比エネルギー容量

物質の比エネルギー容量とは、物質 1 [kg] 当たりの温度を 1 [K] 高めるのに何 [kJ] のエネルギーを必要とするかを表すもので、記号で  $C$  [kJ/kg·K] で表すと、 $C = Q$  [kJ] /  $m\Delta t$  [kg·K] ① である。ここで、 $m$ : 物質の質量 [kg]、 $\Delta t$ : 温度差 [K]

【注記】 比エネルギー容量は、旧い物理では比熱容量(比熱)呼ばれていたものである。

#### (6) 温度力学の第一法則

内部エネルギーを変化させる原因を「仕事」と「熱」として、エネルギーの保存則を表したものを温度力学第一法則という(旧い物理では熱力学第一法則と呼ばれていた)。内部エネルギーの変化を  $\Delta U$ 、仕事を  $W$ 、熱を  $Q$  とすると、次の関係式が成り立つ。 $\Delta U = W + Q$  ②

【注記】 内部エネルギーは物体が所有するエネルギーで、状態量である。これに対して、仕事や熱は物体に所有されているエネルギーではなく、エネルギーの移動量であり、状態量ではないことに留意することが大切である。

【注記】 「熱」は物体の内部には存在しないことに留意する。「熱」はエネルギーそのものではなく、その移動形態に付された名称に過ぎないことに留意する。

【気体の等温変化】[温度(内部エネルギー)を一定に保つために、気体の圧縮と膨張に際しては、温度エネルギー(旧い物理では、熱の形で、エネルギー)を取り除いたり、加えたりする必要がある。]

【気体の断熱変化】[断熱膨張による温度降下の演示実験] 雲の発生の実験

[断熱圧縮による温度上昇の演示実験] 圧火実験器による発火の実験(ディーゼルエンジンの点火原理)

#### (7) 電気抵抗でのエネルギー転換(電磁氣的エネルギーの温度エネルギーへの転換)

電場から電子に与えられた電磁氣的エネルギーが、衝突を通して電子から金属イオンに伝達され、金属イオンの格子振動のエネルギー(乱雑な並進運動エネルギー)の増加に変換され、抵抗体の温度が増加する。

電源から抵抗体(電気抵抗  $R$ ) に供給された電力(単位時間当りに電源から供給される電磁エネルギー)  $P$  は、電源の電圧を  $V$ 、電源から流れ出る電流を  $I$  とすると、 $P = IV$  ③

このエネルギーは、抵抗体(電気抵抗  $R$ ) で、温度エネルギー(抵抗体の内部エネルギー)に変換とされる。

その単位時間当たりの温度エネルギーエネルギー  $P$  は、オームの法則から、 $P = I^2 R = V^2 / R$  ④

である(旧い物理学ではこれを「ジュール熱」と呼んでいた)。電熱器などでは、この温度エネルギーを調理や暖房などに利用している。

【注記】 電源が化学電池の場合の、温度エネルギーまでのエネルギー変換は次の様になる。

化学エネルギー ⇒ 起電圧(電磁エネルギー) ⇒ 伝導電子の運動エネルギー ⇒ 温度エネルギー

### 3 参考文献

- 1) 五十嵐 靖則 高等学校学習指導要領理科と教科書に見るエネルギー概念の扱いの変遷(4) 日本理科教育学会第 68 回全国大会発表論文集(2018.8)391
- 2) 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
- 3) P. C. Riedi Thermal Physics 2<sup>nd</sup> Ed. Oxford University Press 1988, P.9 に、"thermal concept is not heat but rather temperature,..." とある。
- 4) 五十嵐 靖則 「熱運動」という用語は物理学的に適切か 日本物理教育学会第 35 回物理教育研究大会発表予稿集(2018.8)108-109
- 5) 五十嵐 靖則 「熱運動」の用語は物理学用語として適切か 日本物理学会講演概要集 第 68 巻 第 2 号 第 2 分冊 (2013.9) 349

# ひらひらと落下する物体のランダムな運動の解析

梶山裕二

岐阜聖徳学園大学教育学部

kajiyama@gifu.shotoku.ac.jp

## 1. はじめに

空中をひらひらと落下する木の葉のように、軽い物体のランダムな運動（以下、ひらひら運動）は、原理的にはニュートンの運動方程式によって記述されるが、現実的には各瞬間にランダムにはたらく力の向きや大きさを知ることは不可能である。この研究では、このランダムな力の詳細を知ることなく統計的に取り扱うことで、ひらひら運動をある種のランダムウォークによって記述することが可能であることを示す。また本研究の手法の物理教育上の有用性を議論する[1]。

## 2. 理論と実験方法

ひらひら運動を定量的に解析するため、室内にビニールハウス（図1）を作成して一定方向に吹く風の影響を排除した。床からの高さ  $H = 285 \text{ cm}$  の点から直径  $D$ 、質量  $M$  の円形の紙片を水平に保った状態から静かに落下させ（図2）、その運動の様子をハイスピードカメラ（CASIO EXILM EX-SC200）で真下と横から撮影した。撮影した動画（Windows Movie Maker と Free Video to JPG Converter）から紙片の  $0.1 \text{ s}$  の座標  $(x_i, y_i, z_i)$  を読み取り、そこからステップ  $i$  毎の歩幅  $r_i$ 、角度  $\theta_i$ 、落下距離  $\Delta z_i$  を測定する（図3）。特に角度  $\theta_i$  は図3にあるように、 $i-1$  番目の位置から  $i$  番目の位置へ移動した延長線からの  $i+1$  番目の位置の角度として定義している。

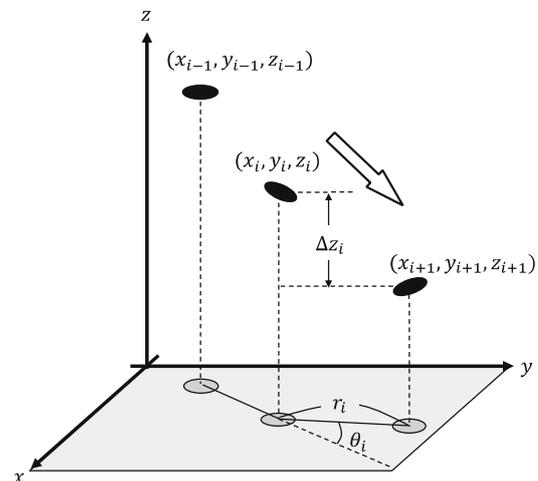
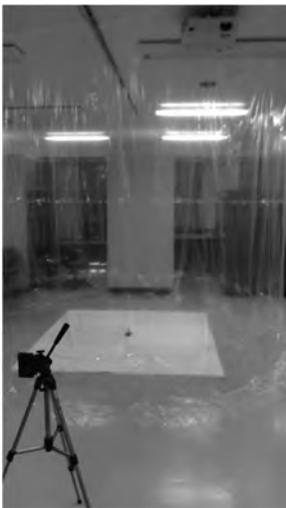


図1：実験の様子。 図2：セットした紙片。 図3：座標  $(x_i, y_i, z_i)$  と  $(r_i, \theta_i, \Delta z_i)$  の定義。

紙片のひらひら運動についての直径  $D$  依存性と質量  $M$  依存性を調べるため、今回は表1、2にあげた紙片を落下させた。その紙片の種類およびデータ  $(r_i, \theta_i, \Delta z_i)$  のセット数は表1、2の通りである。ここで落下数とは、例えば表1の  $D = 4.0 \text{ cm}$ （画用紙）では、27回の落下実験から503セットのデータが得られた、という意味である。

$D$ [cm] (種類)	4.0 (画用紙)	6.0 (和紙)	8.0 (ビニール)	10 (お花紙)
データ数(落下数)	503 (27)	536 (20)	568 (15)	815 (20)

表 1 :  $M = 0.14$  g の紙片。

$M$ [g] (種類)	0.089 (お花紙)	0.14 (ビニール)	0.31 (折り紙)	0.56 (画用紙)
データ数(落下数)	612 (20)	568 (15)	504 (20)	504 (20)

表 2 :  $D = 8.0$  cm の紙片。

### 3. 結果と考察

以下では、表 1 の紙片のひらひら運動についてのみ議論する。得られた $(r_i, \theta_i, \Delta z_i)$  の分布は図 4-1、4-2、4-3 の通りである。これより、それぞれの量の分布の形が紙片の直径によって異なっていることがわかる。

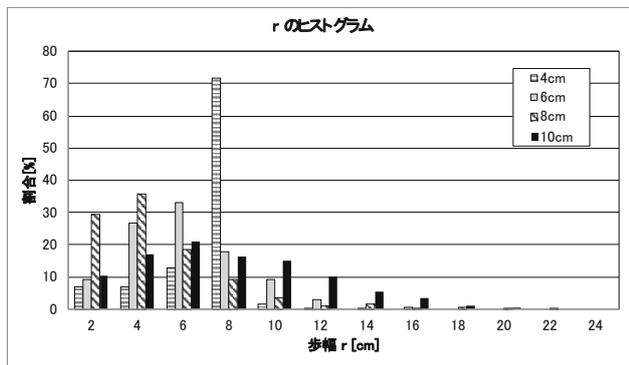


図 4-1 : 歩幅  $r$  のヒストグラム。

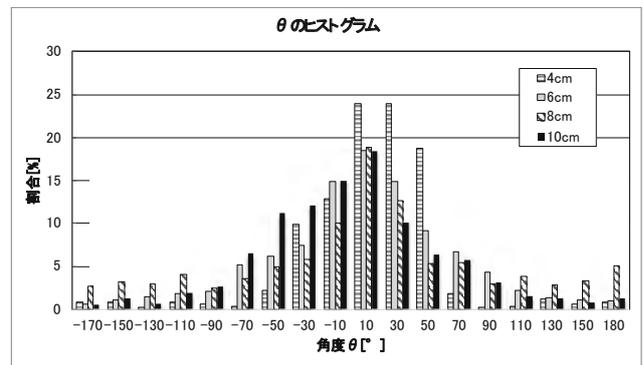


図 4-2 : 角度  $\theta$  のヒストグラム。

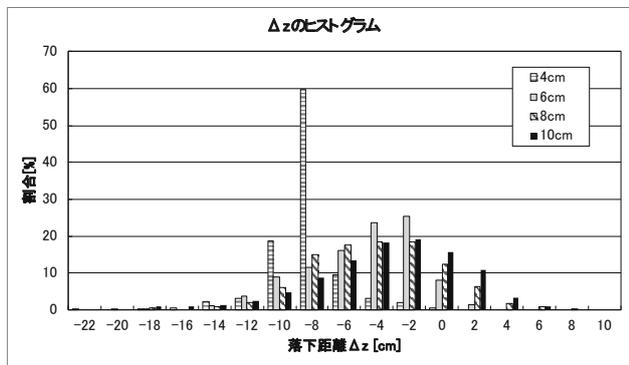


図 4-3 : 落下距離  $\Delta z$  のヒストグラム。

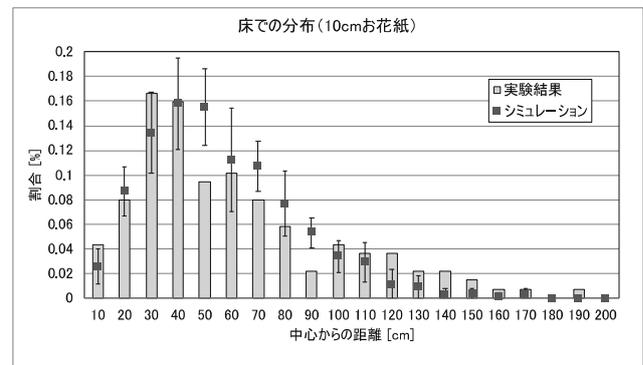


図 5 : 床での中心からの距離。

次にデータから得られた分布を仮定し、 $(r_i, \theta_i, \Delta z_i)$  を重み付きランダムウォークとして運動をシミュレーションした。図 5 は直径 10cm のお花紙が床に着地したときの中心からの距離を実験結果とシミュレーションを比較したものであり、多少のずれはあるものの、概ね再現できていると考えられる。これより、ひらひら運動が重み付きランダムウォークで記述できることがわかる。

### 4. 謝辞

本研究は、平成 29 年度岐阜聖徳学園大学研究助成金を受けた。

### 参考文献

- [1] 岐阜聖徳学園大学教育実践科学研究センター紀要第 19 号 投稿予定

# 超音波センサーを使った音速の測定

Sieng Thavy, 喜多 雅一  
岡山大学大学院教育学研究科  
siengthavy16@gmail.com

## 1. はじめに

空気中や水中での音速の測定は多数報告されており、例えばスマートフォンからアプリで一定周波数(500, 1000, 2000 Hz)の音を発生させ、気柱管の長さを変化させ、 $\lambda/2$ を求め、音速を求めている[1]。同時に別の Spectrum View というアプリで nodes の可視化も行っている。防滴型の超音波センサーを利用し、空気中と水中の音速を測定している [2]。市販の超音波検査機を使って、大豆油中の音速の温度変化[3]や、ここでは文献[2]を参考に最も簡単な超音波センサーを用いた計測により、音速を測定し、空気中と水中で音速がなぜ違うのかを物質の粒子概念と結びつける教材を検討した。媒体が違くと音速が異なるというのは中学校理科ならびに高校物理で事実として扱う内容である。

## 2. 超音波センサーによる音速の測定

40 kHz 超音波センサーを用いる文献[2]の手順でノギスを用い(図1)、オシロスコープで温度変化をさせながら空気中と水中の音速を決定した。

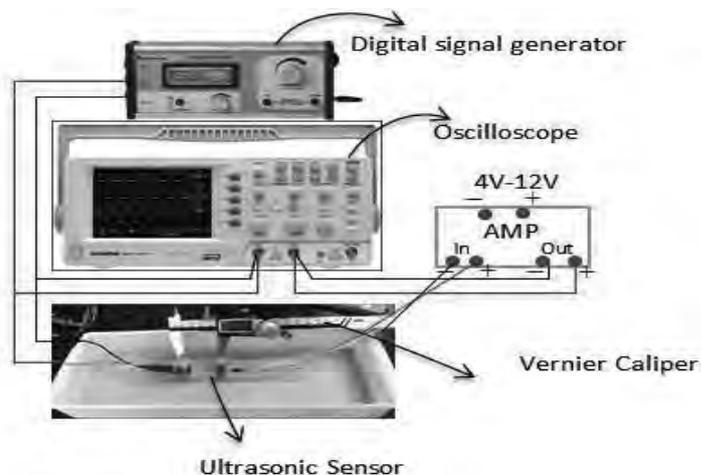


図1 装置図

## 3. 測定結果と考察

空気中と水中の音速の測定結果を表1, 2と図2に示した。それぞれの計算値は  $V_{\text{air}}=331.5+0.6t$ , Greenspan-Tschiegg の実験式を用いて計算した。

表1 空気中の音速

t/°C	10	25.0	29.0
$V_{\text{air}}/\text{m s}^{-1}(\text{exp})$	339	345	353
$V_{\text{air}}/\text{m s}^{-1}(\text{calc})$	337	346	348

表2 水中の音速

t/°C	11.6	16.5	18.8	19.8	20.4	21.6	25.75
V <sub>water</sub> /m s <sup>-1</sup> (exp)	1440	1458	1497	1528	1535	1544	1598
V <sub>water</sub> /m s <sup>-1</sup> (calc)	1451	1469	1478	1482	1485	1488	1499

空気中の音速については、実測値と計算値は良く一致している。一方、水中の音速は温度依存性の傾きも異なり、16°C付近を除いて、かなり文献値と異なっている。今のところ原因は不明である。

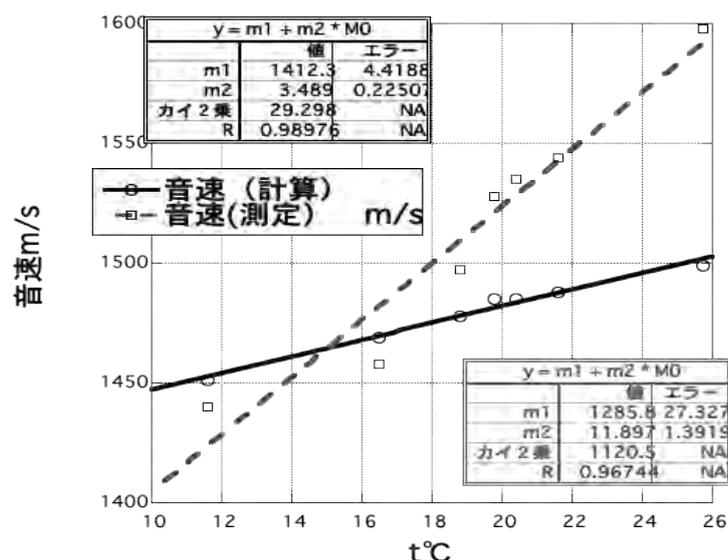


図2 水中の音速

空気中も水中も温度が上昇すると音速が大きくなっている。これを粒子モデルで説明可能で無ければ、本教材の意義が失われる。

ここでは、温度の効果は気体でも液体でも、高温ほど粒子の運動が速く、音の波(粒子間の衝突による伝搬)が速く伝わると解釈でき、粒子モデルで説明できる。また気体と液体では粒子間のつまり具合が全く異なり、衝突回数が著しく異なるため、音速が液体で速いと解釈できる。

#### 4. 中学校理科ならびに高校物理での探究教材として

教育学部理科教育講座の大学生並びに修士課程の院生に「空気中と水中のどちらが音速が早い？またその理由を説明しなさい。」と問うても水中の音速が空気中のそれと比べて早いと答えられる学生や院生は少ない。また理由については誰も答えられない。これらの内容は中学校理科で扱っているにもかかわらず、空気中や水中で音が疎密波として伝わっていることや振動が粒子を通して伝わることを探究的に扱われていないため、理解できていないと考えられる。

そこで、我々は中学校理科の内容で空気中の音が真空になると伝わらなくなる[4]、気体での音の伝わり方と液体での音の伝わり方の測定実験と同時に状態変化の粒子モデルと連動させて考察することを試みた。実際に空気中と水中の音速を測定し、そこでの考察を利用して金属中での音速を予想させる。

授業実践については、発表で報告する。

#### 参考文献

- [1] Ahmet Yavuz and Burak Kaan, “Detecting interferences with iOS applications to measure speed of sound”, Physics Education, 51, 015009(2015)
- [2] 高木貢, 「超音波を用いた実験教材の開発」, 東レ理科教育賞(2009) (1999)
- [3] P. A. Oliveirs, et. al., “Speed of sound as a function of temperature for ultrasonic propagation in soybean oil”, Journal of Physics, 733, 012040(2016)
- [4] 東京書籍 中学校理科, 物理基礎

# 超小型 LED ストロボによる力学実験の試み：自由落下とバネ振り子への応用

<sup>1</sup>神戸大学 大教推進機構、<sup>2</sup>神戸大学 物理学科、<sup>1</sup>絹川亨、<sup>1</sup>安廣佑介、<sup>2</sup>園田英徳

E-mail kinugawa@phoenix.kobe-u.ac.jp

## 1. はじめに

速度や加速度を学習する教材開発を目指して、赤外リモコンで正確に無線制御された超小型 LED ストロボ自体を“質点”とする試みを行っている。見たままの軌跡を安価な USB カメラで撮影して、保存動画から静止画を切り出して、その画像解析を行うという基本アイデアである。定量的な運動解析の例として、自由落下とバネ振り子への応用について現状を報告する。

## 2. 自由落下（電池より安全で低抵抗の Supercapacitor で短時間だけ電力供給）

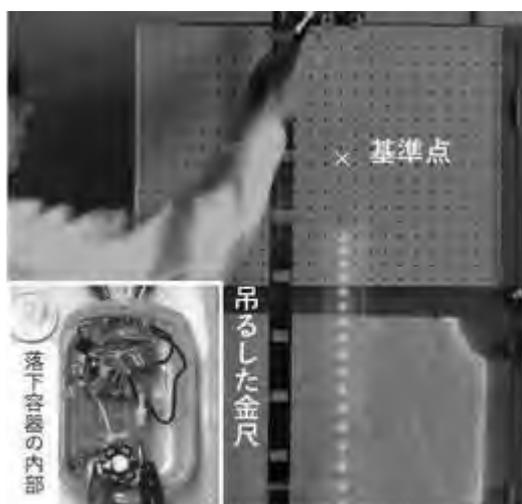


図1 LEDstroボの自由落下  
30fps 発光周波数 100Hz 時間幅 1/8 ms

赤外リモコンで発光周波数と時間幅を正確にデジタル制御した超小型 LED ストロボ容器を落下させて、安価な USB カメラで動画撮影した。保存動画は Python+OpenCV3.0 で静止画に分解し、落下軌跡が写っているフレーム(図1)を目視で選んだところ、加速度運動が輝点間の間隔から判別できた。

重力加速度 $g$ の算出は以下のように行った。まず、各輝点の中心位置をフォトタッチソフトで画素座標として目視で測り、画素数と実際の距離との比例係数は、軌跡の真横に写った金尺を基準として決めた。一方、輝点の時間間隔は、LED 電流の時間変化をオシロスコープでデジタル記録して求めた。

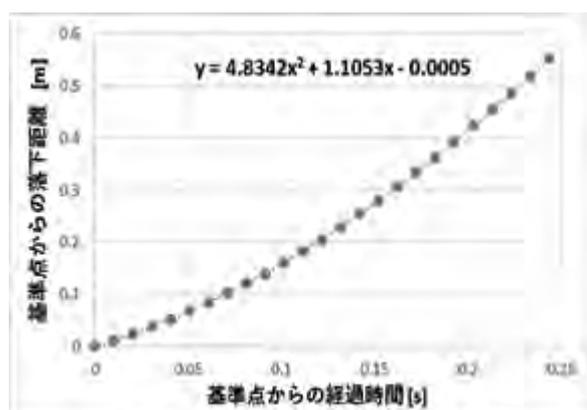


図2：自由落下距離の時間変化

以上の手順で自由落下距離の時間変化をプロットしたのが図2である。さらに、2次式でフィットすると暫定値  $g=9.67\text{m/s}^2$  となって、商用重力加速度計で得た  $9.79671\text{m/s}^2$  との差は-1.3%となった。落下容器の質量を錘の追加で倍増してもほぼ同じ値であったので、主な誤差要因は空気抵抗ではなく、画素数と実際の距離との比例係数が精度不十分と推測して、その決定過程を再検討している。

## 3. バネ振り子

### (有線で長時間に渡って電力供給)

自由落下と同様な手法をバネ振り子にも適用した(図3)が、主な違いは2点である。(1)有線での電力供給：バネ振り子の減衰振動は2分以上も続くため、有線で LED への電力供給を行った。まず、島津理化製バネ振り子の錘(500g)に小型 LED(直径 3mm)を粘着テープで貼りつけた。次に、(自由落下と全く同じ)赤外リモコン駆動のスイッチング回路から配線を LED まで延長して点

減電流を流したが、Supercapacitor には充電を続けて長時間運転を可能とした。また、配線自体が運動に影響したり視野を遮ったりしないように、直径 1.5mm の細線を用いた。(2) 中心座標の自動決定：2分間の撮影で輝点の数は  $10^3$  個を超えるため（目視ではなくて）Python+OpenCV3.0 で画像処理プログラムを自作して、輝点の中心座標を自動的に決定してみた。その結果、自動決定された輝点の縦方向座標を、経過時間の関数としてプロットしたところ、図4のグラフのように、バネ振り子が減衰振動する様子が発光周波数 10Hz 及び時間幅 0.5ms で記録された。また、グラフからバネ振り子の周期を求めると 720ms となって、指数関数的な減衰時間は 162 秒であった。実測したバネ定数と錘の質量から計算した周期は 714ms で（配線質量を考えると）実測値と良く一致した。

今回の中心座標の自動決定では、LED 以外の背景を出来るだけ暗くする、1枚の静止画に存在する輝点は1個以下、といった撮影条件が必須で、あまり汎用的とは言えず、今後の改良が強く望まれる。

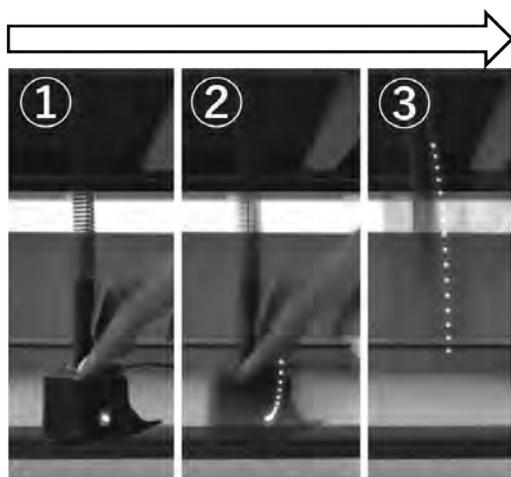


図3 LEDストロボ付きバネ振り子  
30fps 発光周波数 100Hz 時間幅 0.8ms

詳細は当日発表に譲るが、余裕があれば、究極の小ささの“質点”を実現する方法や、安くシステムを組む選択肢、学生の勉強になるような解析方法、過大な発光と発熱の防止策、などについても言及したい。

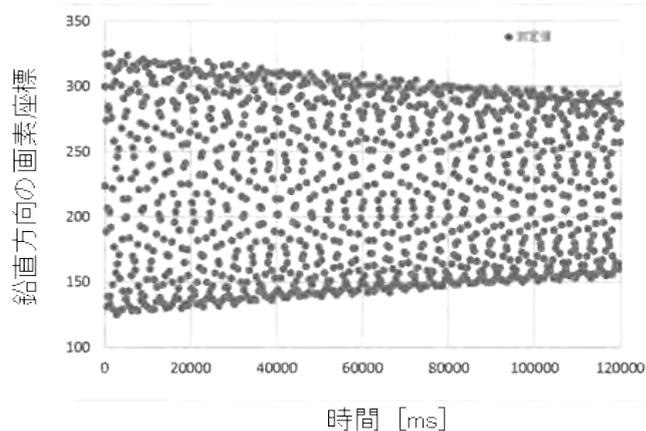
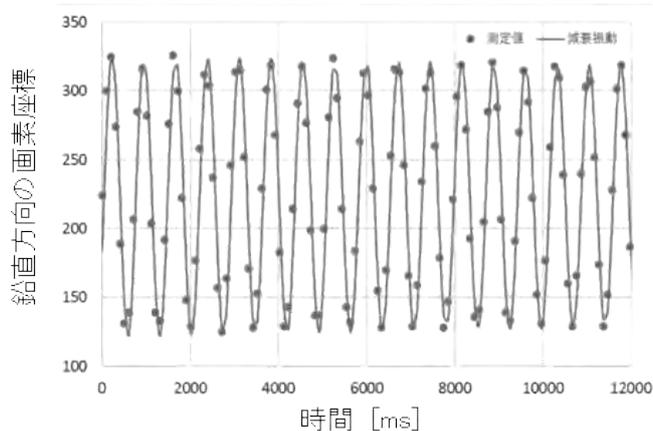


図4 バネ振動の時間変化

縦軸はLEDストロボの画素座標(鉛直方向)を表す。

撮影条件：30fps 発光周波数 9.954Hz 時間幅 0.5ms。

左：12秒間に渡る測定値と減衰振動の理論式による最良の近似曲線。

右：測定時間120秒での減衰振動の全体像。

# 差音の研究—うなりと似て非なる現象—

<sup>A</sup> 東京学芸大学 竹内透 新田英雄

b152324m@st.u-gakugei.ac.jp , hi\_nitta@u-gakugei.ac.jp

## 1. はじめに

2つの異なる周波数  $f_1, f_2$  ( $f_1 > f_2$ ) の音を同時に強く鳴らしたとき、 $f_1 - f_2$  の周波数の音が聞こえる。この現象を差音といい、発見者の Tartini の名前にちなんで Tartini Tones と呼ばれる。また他にも、周波数  $f_1 + f_2$  の和音や、 $2f_1 - f_2$ 、 $2f_2 - f_1$  の音も聞こえることがある。差音やこれらの音は結合音とよばれる現象の一種である。差音はうなりと同じ式で表されるが、異なる現象であるといわれる。差音は物理的に存在する音であるが、実証するのは難しく、そのうえ聴力を鍛えた人でなければ聴き取ることが難しいため、実際は存在しない音であるという誤解が根強い。差音を含む結合音は、しばしば外界に音波が存在しないのに聞こえる主観音であると説明されている[1]。本研究では、うなりと差音の違い、及び差音が物理的に存在することを明らかにし、学校で用意できる実験道具を用いて差音を検出することを試みた。

## 2. 差音の歴史

差音は、1714年にイタリアのバイオリニスト Tartini によって、バイオリンで2つの音を同時に強く弾くと差の音が聞こえることから発見された。当時から差音はうなりであるという説があったが、Helmholtz は差の周波数音のみならず音の和の周波数音などの結合音も微弱ながら聴き取れることから、うなり説では説明できないとした。また、Helmholtz は動物実験を通して、結合音は聴覚器官の非線形応答によって発生し、耳の外側でも結合音を生成できる可能性を主張した。1895年にイギリスの Rucker と Edser は空気中で結合音の検出できることを実証した[2]。その後、有限振幅音波の理論との統合により、1960年に Westervelt が差音のパラメトリックアレイについて報告した。現在ではオーディオスポットライトや、海底探査に応用されている。

## 3. 差音とうなりの違い

うなりは、2つの近い周波数をもつ音波の合成波の振

幅変調のエンベロープを認識することで聴こえる現象である。一方、差音は媒質の非線形な相互作用によって、2つの周波数の差の音が実際に発生する現象である。差音が発生する原因の多くは、蝸牛内部の基板振動の非線形性にある。よって、耳の中で発生することがほとんどだが、以下で説明する有限振幅音波の場合、耳の外側でも発生する。

## 4. 有限振幅音波とは

有限振幅音波とは、振幅が微小とみなされない場合の波のことをいう。日常生活における音波はその振幅は微小であり、ほぼ線形理論にしたがっているが、一般的に音圧が 120 dB を超えると有限振幅波が発生し、非線形現象が観測される。

有限振幅音波の瞬時音速  $c_f$  は、

$$c_f = c_0 + \beta u \quad (2.1)$$

で表される[3]。 $c_0$ は音速、 $\beta$ は非線形係数という媒質特有の係数である。初期波形を角周波数 $\omega$ の正弦波として  $u = U_0 \sin(\omega t)$  とおくと、そこから  $x$  離れた位置における音波は瞬時音速が  $c_f$  なので

$$u = U_0 \sin \left[ \omega \left( t - \frac{x}{c_f} \right) \right] \quad (2.2)$$

と与えられる。式(2.1)を式(2.2)に代入し、 $|\beta u| \ll c_0$ を利用して  $U = u/U_0$ 、 $r = \omega(t - x/c_0)$ 、 $\sigma = \beta \omega x U_0 / c_0^2$ の無次元変数を導入すれば、

$$U = \sin(r + \sigma U) \quad (2.3)$$

にまとめることができる。この式はベッセル関数を用いて次のように書き換えられる。

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2J_n(n\sigma)}{n\sigma} \sin(nr) \quad (2.4)$$

式(2.4)をFubiniの解といい、波形がひずむことによって多くの高調波が発生することがわかる。

実在の流体中での有限振幅音波のモデル式について考える。実在の流体には粘性や熱伝導性があるため、連続の式と、Eulerの運動方程式に粘性、熱伝導性による力の項が加わった Navier-Stokes の式を用いる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (2.5)$$

$$\rho \left[ \frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right] = -\nabla P + \eta \nabla^2 u + \left( \frac{2}{3} + \eta_B \right) \nabla \nabla \cdot u \quad (2.6)$$

この2つの式を用いると、2次の非線形性を有する非線形な波動方程式が得られる [5]。

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c_0^2} \left( 1 - \frac{\delta}{c_0^2} \frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\frac{\beta}{p_0 c_0^4} \frac{\partial^2 p^2}{\partial t^2} - \nabla^2 L - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 L}{\partial t^2} \quad (2.7)$$

右辺の2次の音源項  $p^2$  の存在から、和音や差音などの結合波に対応する2次波が発生することがわかる。

非線形性は、音圧だけでなく周波数や伝播距離に依存するので、120 dB を超えない場合でも非線形現象を観測することができる。

## 5. 実験

### 5.1 掃引音を用いた聴き取り

周波数掃引音を使うことで差音や結合音を比較的容易に認識することができる [4]。スピーカの混変調を防ぐために二つのスピーカを用意する。二つのスピーカを 5 cm ほど離して設置し、1.5 m 離れた場所でスピーカから出る音を観測する。片方から 2.0 kHz の正弦波と、もう片方から 2.0 kHz から 2.5 kHz まで5秒間上昇していく周波数掃引音を連続して流す。掃引する周波数を  $f_1$ 、2.0 kHz の正弦波を  $f_2$  としたとき、ピッチが下降する  $2f_2 - f_1$  成分と、低い音から上昇していく  $f_1 - f_2$  成分を観測することができた。

### 5.2 検出実験

コンデンサマイク (FIFINE K670)、スピーカ (Tronsmart ELEMENT MEGA)、ノート PC、を用いて検出を行った (図1)。スピーカとマイクを 1.5 m 離れた位置に配置した (図2)。スピーカからの歪を少なくするために 1.25 kHz と 2.00 kHz の正弦波を左右にふった音源をスピーカからステレオ再生した。スピーカの直前で 125 dB の音圧レベルで再生をした。無料の音波解析ソフト wavespectra を用いてマイクに入力された音を FFT 分析し、30 秒間のピーク値を観測した。



図1：実験道具



図2：配置の様子

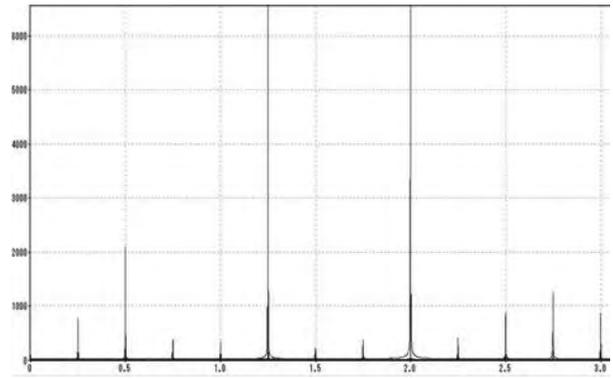


図3. FFT 分析の結果

## 6. 実験結果

分析を行った結果、原音である  $f_1, f_2$  の 1.25 kHz, 2.0 kHz の周波数はもちろん、 $2f_1 - f_2$  や  $2f_2 - f_1$  である 0.5 kHz と 2.75 kHz に大きいピークが見られ、 $f_1 - f_2$  である 0.75 kHz の差音の周波数にも小さくはあるがピークが検出された (図3)。他にも  $mf_1 \pm nf_2$  ( $m, n$  は正の整数) で表される様々な組み合わせの結合音の周波数が検出された。マイクの周波数特性は 200 Hz から 5 kHz でフラットであり、スピーカはステレオ再生にしている。混変調成分も発生しているので断定はできないが、差音を検出することができた。

## 7. 結論

差音が大気中や耳の中で物理的に実在することは、先行研究から明らかである。差音や結合音は主に蝸牛内部の基底板の非線形振動で発生しており、有限振幅音波によって耳の外部にも発生する。学校で用意できる道具で検出することも可能だった。また、周波数掃引音を使えば誰でも容易に差音を知覚できるため、探求的な授業で教材として扱うこともできると思われる。

## 参考文献

- [1] 小橋豊「音と音波 (復刊版)」裳華房 (2018 年)
- [2] Robert T. Beyer, "Nonlinear threads in the coat of acoustics" J. Acoust. Soc. Jpn. (E) **18**, 3 (1997)
- [3] 鎌倉友男「大気中の有限振幅音波の伝播」日本音響学会誌 62 巻 1 号 (2006 年)
- [4] 蘆原郁「結合音-存在しない音が聞こえる-」日本音響学会誌 61 巻 5 号 (2005 年)
- [5] 鎌倉友男「非線形音響-基礎と応用-」コロナ社 (2014 年)

# ビデオ教材による専門基礎実験の事前学習効果

一戸隆久<sup>A</sup>、新田武父<sup>B</sup>

<sup>A</sup>東京高専 電子工学科、<sup>B</sup>東京高専教育研究技術支援センター第2グループ

ichi@tokyo-ct.ac.jp<sup>A</sup>

## 1. はじめに

本校では、入学初年度のカリキュラムを共通教育としており全員が全学科の基礎的な実験を体験的に学習する専門科目「ものづくり基礎工学」(5単位)を実施している。必ずしも学生の興味が高いわけではない分野でも取り組める程度の内容にしているが、自主的に学ぶ姿勢を身につけるためにも、また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を開発することの重要性が高まってきている<sup>(1)</sup>。本報告では、電子工学分野における1テーマについて実験概要のビデオ教材を作製し事前学習を促す取り組みについて述べる。

## 2. 取り組み

電子工学分野では実験5テーマのうち、「電磁力」について実験内容の更新とともに教育手法(指導法)を工夫してきた<sup>(2,3)</sup>。近年の実験内容「ファラデーの法則を用いたLEDの点滅実験」について、コイルを巻く様子や点滅実験の様子などの概要をビデオ教材化し、事前に周知して実験前の予習を促した。ビデオ教材は実験当日に示すパワーポイントの図や写真、先輩の実験風景の映像を約3分にまとめた。学生へのビデオ教材提供形態はYoutube(一般向けには非公開)を利用した。実験当日の実験終了後に振返りアンケートを実施し、学生の反応を調査した。

## 3. 結果

振返りアンケートは6項目で構成され、前半は取組姿勢や機器取り扱いの習熟度など自己評価(選択式)とし、後半は実験で感じた印象評価(複数回答)と視聴したビデオ教材についての改善提案(自由記述)とした。取組姿勢や計測機器取扱の習熟度についての自己評価では「熱心」や「理解できた」とする評価は、以前の学生に比べると減少し、「やや熱心」や「やや理解できた」が増加した。授業の様子は以前の学生たちと変わらないと感じるため、最近の学生の自己評価は控えめで過小評価気味であると感じられる。

概要ビデオの視聴については前日から3日前くらいに周知したにも関わらず、88%の学生が事前視聴したことが分かった。概要ビデオのわかりやすさについての回答は、「分かりやすい」が32%、「なんとなく分かった」が53%であった。どちらでもないは11%であった。当日の実験で感じた印象を質問(複数回答可)したところFig. 1に示されるように、「楽しい」の回答が22%であり、「簡単そうで難しい」19%、「現象を深く考えた」17%、「興味わいた」16%、「巻くのが厄介」13%、「予習で見ていて良かった」11%と続いた。巻くのが厄介で簡単そうに見える割に難しいと感じるのは学生の本音と思われる一方、特筆すべきは肯定的な回答が比較的多かった点である。ビデオ教材を視聴

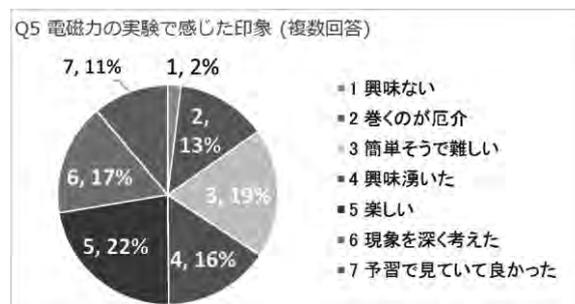


Fig. 1 学生アンケート結果

して自分なりに改善点を提言するよう求めた質問(自由記述)には「このままで十分」15%、「ナレーションの挿入」14%、「文字説明の挿入」10%が挙げられた一方、「画質・撮影技術」に関する提言が圧倒的に多かった(28%)。実習風景の映像は撮影角度や手元のクローズアップという具体的な指摘も多かった。実習風景はやや暗い映像となり顔が判別しにくい点では同意書等が不要なため指導者としては好都合であったが、学生の厳しい指摘が集中した。ビデオ教材への学生の反応は極めて高く、ソーシャルメディア等で多様な映像に接している現代学生ならではの視点で建設的な提案が多かった。

本校では2年生進級時に各学科に正式配属されるため、電子工学科に進級した2年生約40名に同様の振り返りアンケートを実施し、ビデオ教材導入前後の世代で比較した。1年次のクラスによって「電磁力」の実験テーマ実施時期が夏から秋と異なるため最大で半年ほど期間が空いてしまっている学生もいることを念頭において比較する必要があるが、先述した実験の印象において「現象を深く考えた」の割合がビデオ教材導入前4%に対し、導入後は9%であった。「楽しい」や「興味わいた」の回答割合がやや減少したが「現象を深く考えた」が倍増している点は有意な相違であると言え、ビデオ教材導入効果の高さを示唆している。また、最も興味を持ったテーマ及び最も難しかったテーマを質問したところ「電磁力」のテーマに興味を持ったと回答した割合がFig. 2に示されるようにビデオ教材導入後の世代で倍増した。一方、難しかったとする回答割合は微増程度であった。ビデオ教材導入による学習効果としては、実験手順を事前に見ているおかげで現象を深く考え、興味を持つ学生の増加につながったと思われる。また、各種メディアによって目の肥えた現代学生らしい視点でビデオ教材への改善提言も建設的な意見が目立った。

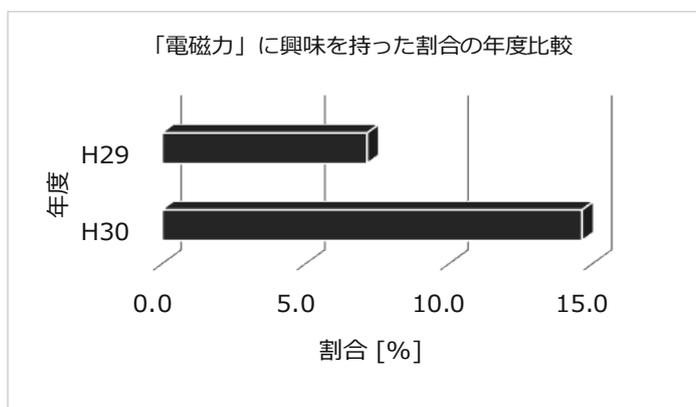


Fig. 2 ビデオ教材導入前後における学生の評価比較

#### 4. まとめ

電子工学分野における1テーマ「電磁力」について、実験の概要ビデオ教材を作製し事前学習を促す取り組みを行った。ビデオ教材導入による学習効果としては、実験手順を事前に見ているおかげで現象を深く考え、興味を持つ学生の増加につながったと思われる。また、各種メディアによって目の肥えた現代学生らしい視点でビデオ教材への改善提言も建設的な意見が目立った。

#### 参考文献

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 一戸隆久, 新田武父, 日本物理教育学会第35回物理教育研究大会発表予稿集 pp. 128-129 (2018年)

# ジグソー法の手法を活用した物理実験の取り組みについて

<sup>A</sup>伴周一, <sup>A</sup>大久保尚紀, <sup>A</sup>岡田悟志, <sup>A</sup>坂元啓紀, <sup>B</sup>梅津光一郎, <sup>B</sup>豊田陽己

<sup>A</sup>日本大学理工学部一般教育物理学系列, <sup>B</sup>日本大学理工学部併設短期大学部一般教育  
ban.shuichi@nihon-u.ac.jp

## 1. はじめに

大学初年次物理実験においてパラメータを変えた測定から関係性・法則性を学ぶ実験は、装置数や時間の制約から特徴的な部分の実験しか行えない。また相図を作成するように全体像をまとめ上げる実験は、学生にとっても無意味に思える実験データを忍耐強く多数積み上げる事が必要となるため、思考停止・単なる作業をしているだけの実験になる事がある。そのためこのような全体像にまとめ上げていくような実験はなかなか実施できない。そこで、ジグソー法の手法を活用することで全体像を網羅するような物理実験を試験的に実施した。異なる条件で行った実験の「限られた結果・情報」を学生に持ちよらせ、関係性・法則性を見いだすために必要な実験を議論させる。その議論の結果を受けた実験をそれぞれ行わせ、再度結果を持ち寄り議論し再び必要な実験を行わせる。このような行程を繰り返し、最終的に全体像をとりまとめていく。ジグソーパズルの最初の数ピースを提供した後は、ピースを自ら考え・創造しながら・組み上げるイメージの実験である。また比較のため、同じ内容を一人で全てを行う実験グループと2名一組で実験を行う実験グループを学生に選択させ実験を行わせた。これら3つの実験スタイルの学びの違い・特徴について報告を行う。

## 2. 授業科目・受講生

授業科目は日本大学理工学部併設短期大学部ものづくりサイエンス総合学科1年後期設置の物理実験Ⅱ（選択科目・1単位）である。2時限連続授業で、実験内容によって2回連続で一つの実験テーマとしてまとめさせている。受講生はほぼ1年生であり、前期に物理実験Ⅰ（選択科目・1単位）を受講した学生である。例年30～50名が受講し、2クラス入れ替え制で実験を実施している。

## 3. 実験テーマ

本実験テーマは最終の1回で実施したアルキメデスの原理・浮力・密度を学ぶ実験であり<sup>[1]</sup>、熱電物質の合成から測定、放射線測定、音速測定、音の干渉、剛体の慣性モーメントなどの選択テーマの一つとして導入した（年度によって変更）。1クラス目は3名×3班がジグソー法を活用した実験を行い、4名が一人で全てを行う実験（1名×4班）を行った。2クラス目は3名×3班がジグソー法を活用した実験を行い、4名が2名一組×2班で実験を行った。

実験自体は極めてシンプルで、固体試料の空気中での質量測定、液体中に宙吊りに沈めた時の質量測定及びそのときの液体の質量変化（増加）測定の3つを行わせ、実験結果からアルキメデスの原理・浮力・密度を学ぶものである。パラメータとしては固体試料の材質・密度の違い（アルミニウム、真鍮、銅、ステンレス、PET、超硬合金／ドリルの歯の母材）、固体試料の体積の違い（形状：円柱、高さ4種、但し超硬合金は1種）及び液体の材質・密度の違い（水、ガムシロップ／砂糖水・水で薄めて使用、サラダ油）である。1人実験では全員36種類、2人実験では41種類及び44

種類の実験を実施した。ジグソー法の手法を活用した実験グループは9種類以上の測定を各3班で行い、合計約30種類の測定を行った。

#### 4. ジグソー法の手法を活用した実験

ジグソー法の手法を活用した実験グループの実験プロセスを図1に示す。実験1から実験3の間に他班メンバーとの討論・自分の班での討論が入り、議論を進めながら全体像を作り上げていく。図2に学生が作製したデータシートの一例を示す。実験結果のまとめからジグソー法の手法を活用した場合、討論の効果が大きく、全員が一定の理解と概念を獲得していた。また1人実験や2人実験では徐々に実験に飽きて後半作業化するのに対して、ジグソー法の手法を活用した班は全体像が見えてくる後半徐々にモチベーションが上がる傾向にあった。

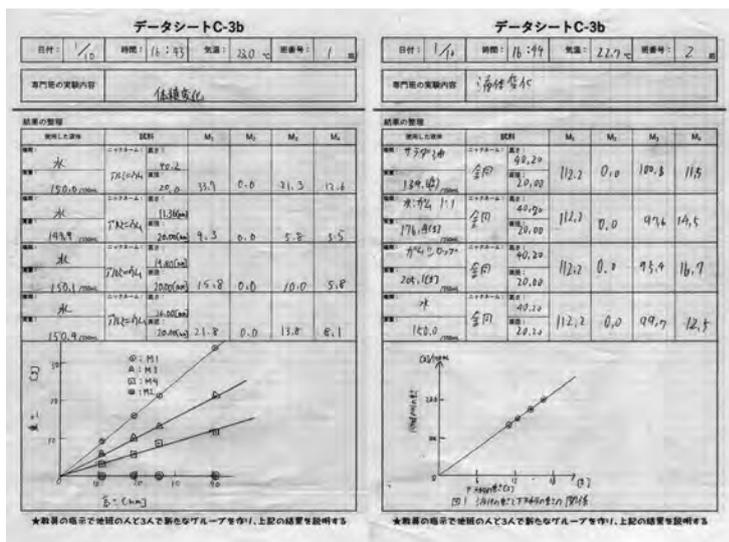


図2 ジグソー法を活用した実験/学生が作製した実験データシートの一例

#### 5. まとめ

ジグソー法の手法を活用して、パラメータを多種多様に变化させた実験を行わせた結果、実験を作業化せずにモチベーションを上げながら実験を行わせることができた。

#### 参考文献

[1] 第67回 工学教育研究講演会講演論文集 (掲載予定)

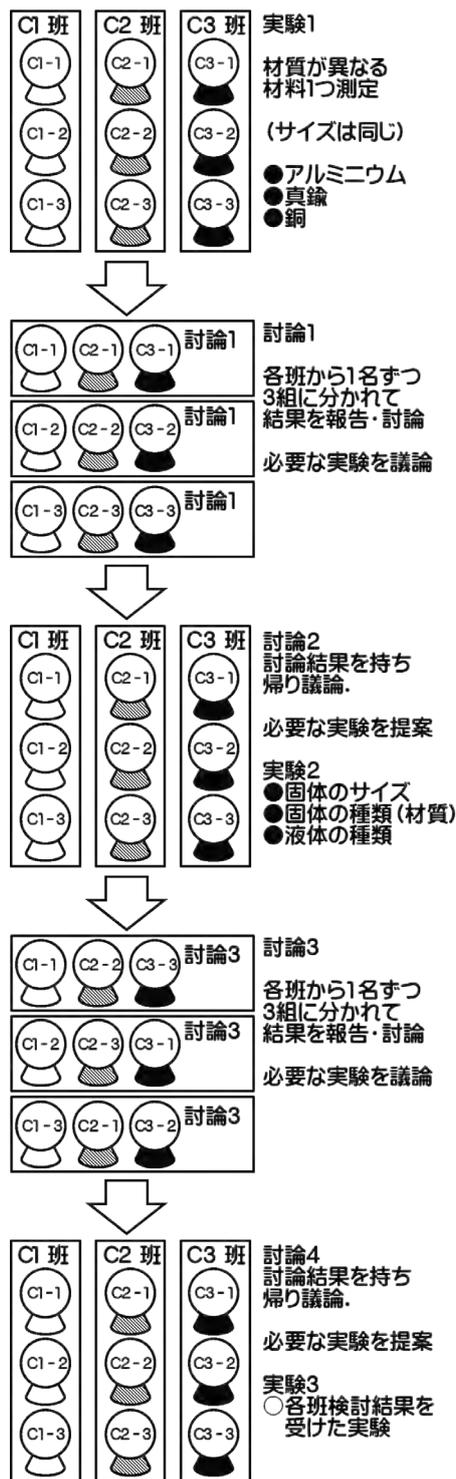


図1 ジグソー法を活用した実験のプロセス

# ピア・インストラクションのエントロピーによる分析

尾形総一郎，新田英雄

東京学芸大学

m193406n@st.u-gakugei.ac.jp

## 1. はじめに

エントロピーには熱・統計力学だけでなく，Shannon によって導入された情報エントロピーなど，様々な研究分野で用いられている。広い意味でエントロピーとは，秩序・無秩序の度合いである。この意味では，エントロピーは人間の知識構造や考え方の秩序を表す指標となり得ると考えられる。このような観点から，Singh らは，情報エントロピーを教授・学習過程の指標とすることを提案した[1]。また，佐藤は FCI の解析にエントロピーを用いた[2]。

アクティブ・ラーニング型授業の一つにピア・インストラクション（以下 PI とする）がある。PI を分析するための指標としてすでに PI 効率というものがある。この指標は PI の効果を表す指標として有効な量であり，設問の難易度や種類に依らず，効果の比較を行うことができる。

PI 効率は「正答がどれだけ増えたか」という観点から議論の効果を表す指標と言える。しかしながら，議論の効果は正答率だけで測れるものではなく，実際，議論によって正しくない考え方に収束していくことがあるのではないか。このような収束性もある種の秩序の構築ととらえることができ，その指標としてエントロピーが使えるという仮説を立てることができる。

そこで本研究では，エントロピーを用いて PI で出題された問題の結果を分析することにより，PI の効果を測定する新たな指標としてエントロピーを導入する可能性を具体的に検討した。

## 2. エントロピー

ここでは，情報エントロピー

$$H(A) = - \sum_n P_n \log_a P_n \quad (1)$$

を用いた。ここに，例えば，A は「PI 問題に対するクラスの回答」という事象であり， $P_n$  は「設問 1 の選択肢  $n$  を回答する」という事象の確率を表す。式(1)から明らかなように，選択肢数が 4 の PI 問題において，確率 1 である回答が選択される場合は

$$H(A) = -1 \times \log_4 1 + 0 + 0 + 0 = 0 \quad (2)$$

である。つまり完全に秩序だっている状態のエントロピーは 0 となる。一方エントロピーが最大になる場合は最も無秩序な場合であるから，すべての選択肢が等しい確率で選択される場合である。選択肢数が 4 の PI 問題の場合， $P_n = 1/4$

$$H(A) = - \sum_n \frac{1}{4} \log_4 \frac{1}{4} = \log_4 4 = 1 \quad (3)$$

となる。この場合，エントロピーは

$$0 \leq H(A) \leq 1 \quad (4)$$

を満たす。

### 3. 分析方法

情報エントロピー(4)式を用いて、PI 問題の結果を分析した。エントロピー変化、正答率変化はそれぞれの値の<Post>-<Pre>（{議論後} - {議論前}）で計算した。データは2018年度A国立附属高校 a 組, b 組, c 組で実践されたPI 問題と2016年度に同校で実施され班ごとの議論を分類したPI 問題を用いた。Post を行っていないPI 問題は除いた。

### 4. 結果

各PI 問題の回答分布を確率分布とみなしてエントロピーを計算した。議論の前と後のエントロピーを比べると議論後の方が、エントロピーの平均が下がった(図1)。このことから議論によって回答に秩序性が生まれたということが出来る。

図2は、縦軸がエントロピー変化、横軸が正答率変化の散布図を表す。正答率変化が大きくなるとエントロピー変化も大きくなっていく傾向がある。なお、クラスごとの散布図を比較したとき、そのばらつき度合いが議論による回答の収束性の大小、つまり議論のまとまりやすさと関係している可能性がある。クラスごとの散布図は当日発表する予定である。

さらに、2016年度のデータに関して、プロトコル分析に基づく議論の分類[3]ごとにエントロピーや正答率の平均をとり、比較したところ「PI 成立型」、「リーダー主導型」、「未解決型」には大きな違いをみつけることはできなかったが、「失敗型」、「分裂型」には特徴がみられた(表1)。詳しい分析結果は当日発表する予定である。

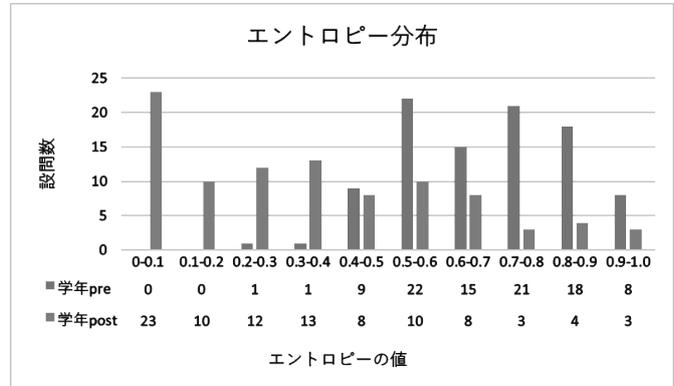


図1

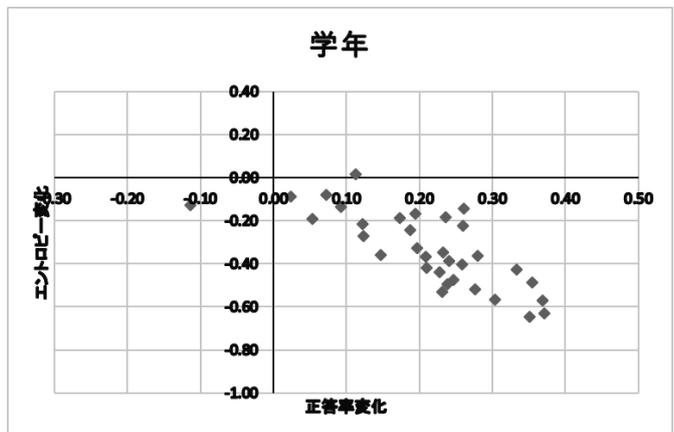


図2

表1

PI の分類型	成立	リーダー	未解決	分裂	失敗	全体
平均 ΔH	-0.56	-0.62	-0.28	0.07	-0.19	-0.36
平均 Δ 正答率	0.54	0.67	0.48	0.23	-0.22	0.36
平均 H <sub>post</sub>	0.01	0	0.24	0.5	0.36	0.18
平均 H <sub>pre</sub>	0.58	0.62	0.52	0.43	0.55	0.55

### 参考文献

- [1] Vijay A.Singh, Praveen Pathak, Pratyush Pandey, “An entropic measure for the teaching-learning process”, Physica A 388(2009)
- [2] 佐藤実, “FCI エントロピーと概念図”, 日本物理学会第70回年次大会(2015年)概要集, 24aCK-8
- [3] 後藤敬祐, “ピア・インストラクションにおける生徒間相互作用の分析”, 東京学芸大学修士論文(2016)

## 仮説実験授業提唱原著論文英訳選集刊行

The first English edition of the collected papers of Dr. Itakura, HEC advocate

<sup>A</sup> 舟橋春彦、<sup>B</sup> 小林真理子、<sup>C</sup> 竹内三郎、<sup>D</sup> Alexander Clemmens

<sup>A</sup> 京都大学国際高等教育院、<sup>B</sup> 『科学と方法』英訳刊行委員会事務局、<sup>C</sup> 仮説社、<sup>D</sup> Patro Information  
funahashi.haruhiko.3w@kyoto-u.ac.jp

従来型の一斉授業への反省に立ち、各国のいろいろな科学教育研究の取組みが国内に紹介され注目されているが、日本に仮説実験授業という独創的な授業科学の理論と実践がある[1]。仮説実験授業の海外への紹介は、波多野誼余夫ら[2]による認知心理学の立場からのものや授業実践の報告などがこれまでもいくらかあったが、仮説実験授業提唱の原著論文の英訳公刊は本書『*Hypothesis-Experiment Class (Kasetsu)*』[3]が初めてである。海外からの原著訳出の要望によりやく応えることが出来た。

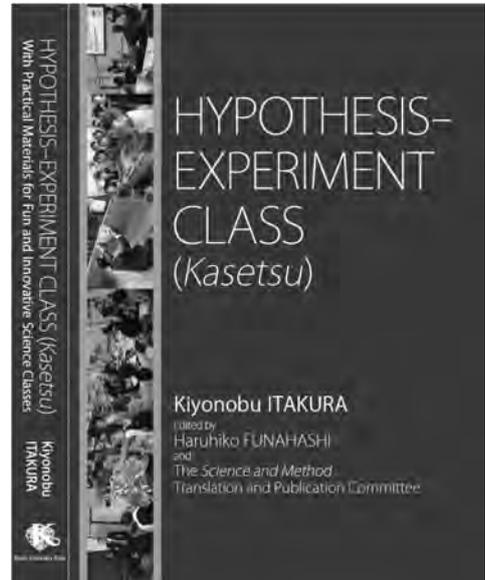
仮説実験授業は、板倉聖宣によって提唱された「科学的認識の成立過程」の理論に基づく「科学の最も一般的基礎的な諸概念・諸法則・諸理論を体得させると共に科学的認識を発展させる方法を体得させようとする科学教育」の内容と方法である。その核心は、問題→予想→議論→実験の過程を積み上げ、概念・法則を学んで行くと共に、考え方自体も身に付けて行く点にある。具体的には《授業書》と呼ぶ教科書・ノート・読み物と教師用ガイドも含む統合的な教材に従って授業運営される。完成までに多くの実験授業を重ね、再現性のある成果を得るまで検討し、仮説実験授業と不可分の《授業書》となる。

本書は、仮説実験授業提唱の原著論文と位置付けられるべき「科学的認識の成立過程」と「仮説実験授業とは何か」の2編(初出『理科教室』1966年)の英訳文を中心に構成され、この2編によって仮説実験授業の理論と方法論が詳述される。果たしてその授業を行うとどうなるのか、仮説実験授業の初期の実践に基づく重要な知見に触れた「民主主義教育としての仮説実験授業」と「仮説実験授業についての覚え書」の2編を合わせ、計4編の論文集となっている。さらに、《力と運動》など代表的な授業書の英訳版も付録に例示し具体的な理解を助けている。

仮説実験授業は、「科学的認識の成立過程」に示された認識論＝“すべて認識というものは、実験によってのみ成立する”に基づき、「仮説実験授業とは何か」に示された《授業書》という方法論によって再現性を問うことが出来るようになり、〈授業という現象〉を研究対象に扱う科学＝授業科学を確立した。科学的な実験結果としてその成果が蓄積されている。本書刊行により、海外の科学教育関係者も原著論文に立ち返って、仮説実験授業を検討・継承することが可能になった。

### 参考文献

- [1] 板倉聖宣(1969)『科学と方法』季節社
- [2] Inagaki, K. & Hatano, G. (1977) ‘Amplification of Cognitive Motivation and Its Effects on Epistemic Observation’, *American Educational Research Journal*, 14, (4), 485-91
- [3] Itakura, K. (2019) *Hypothesis-Experiment Class (Kasetsu)*, ed. Funahashi, H. *et al.*, the joint publication of Kyoto Univ. Press and Trans Pacific Press, ISBN: 9784814002108



## Contents

Preface	vii
Acknowledgements	x
Biography of Dr. Kiyonobu Itakura	xii
About the editorial committee members	xiv

### A Collection of Articles and Essays by Kiyonobu Itakura

1 The Process of Establishing Mental Recognition in Science	3
2 What is the Hypothesis–Experiment Class? History and Classroom Management	18
3 Hypothesis–Experiment Class as Democratic Education	53
4 Memorandum Regarding Hypothesis–Experiment Class	57

### First Appearances and Research History

### Further Reading

### The *Kasetsu* Class Album

### Appendices: HEC Classbooks (*Jugyōsho*)

1 Objects and their Weight	83
2 Force and Motion (I)	147
3 If You Could See an Atom	181
4 How Many Legs?	223

## 1 The Process of Establishing Mental Recognition in Science

### 1.1 Conditions for establishing mental recognition

*Recognition* (of a physical object or scientific truth) is established only through testing and experiment.

Here we use the terms 'testing' and 'experiment' in general to refer to human activities that act on an object or event with investigative intent, and 'experiment' specifically to refer to any activity that aims for recognition of the object or event itself.

The above proposition is our attempt to distinguish *recognition* from mere 'perception.' When the retina produces an image from light bouncing off an object, we could call this 'perception' but not 'recognition.' True mental *recognition* of an object requires the perceiver to conduct some action with intent to confirm something about the object.

For example, many people gaze up at the Moon but probably do not consider or wonder about how it waxes and wanes. They may stare at the Moon and perceive its shape, but if they do not try to

\* Translator's Note: The idea of 'recognition' central to the author's thinking does not connote the meaning 'praise from or acceptance by peers' but is epistemological in nature and refers to the cognitive process of perceiving something and knowing what that something is. We have occasionally translated it as 'scientific knowledge' when the context allows for it to clearly indicate the epistemological nature of 'knowing' and there is no danger of the phrase being interpreted to mean 'current scientific facts.'

## 2 What is the Hypothesis–Experiment Class? History and Classroom Management

### 2.1 About the name HEC

*Hypothesis–Experiment Class* (*Kasetsu–Jikken Jugyō* in Japanese, hereafter HEC) refers to the science education materials and method based on the theory proposed by the author in 'The Process of Establishing Mental Recognition in Science.'

This type of class is called *Hypothesis–Experiment* because it fully embodies the philosophy previously introduced that hypotheses and experiments are the foundation of scientific knowledge.

It is further called a 'class' and not a 'program' because scientific knowledge is social in nature, as stated in 'The Process of Establishing Mental Recognition in Science.' That is our foundation for crafting the Hypothesis–Experiment concept as a group-based 'class' for science education in school and not as a 'program' for an individual learning science.

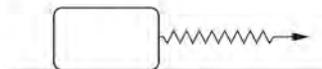
Lastly, HEC classes are not simply a classroom 'method,' because they require specific content about which students can hypothesize and subsequently investigate in experiments in order to discover some general theory for themselves. Furthermore, this type of class is made possible by the *HEC Classbook*

## Force and Motion

### Part One: Force and Acceleration

#### Problem 1

Here is a block weighing \_\_\_ g.



How many gram-force (gf) do you need to move the block horizontally on a smooth desk?

#### Expectation

- It will take a force of exactly \_\_\_ gf.
- It will take a force greater than \_\_\_ gf.
- It will take a force less than \_\_\_ gf.

#### Discussion

Why do you think so? Share your thoughts, then do the experiment.

#### Results

# 地震学分野の知識の発達段階に関するエピステモロジー的考察

<sup>A</sup>岩堀卓弥、<sup>B</sup>矢守克也

<sup>A</sup>慶応義塾大学湘南藤沢キャンパス（日本学術振興会特別研究員）、<sup>B</sup>京都大学防災研究所  
iwahori@sfc.keio.ac.jp

## 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 Hhofer(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、学校教育各年代の発達段階に応じて参加型学習で身につけるべき力についての考察を行う。

## 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(Hoffer, 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、発展中の仮説か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事を 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) こと事も述べている。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) こと事を踏まえると、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事に意義があると考えられる。

メタ認知の各段階の発達段階の詳述、および各段階の接続の条件整理が今後の課題である。

#### 参考文献

- [1] Barbara K. Hofer (2004): Epistemological Understanding as a Metacognitive Process: Thinking Aloud During Online Searching, Educational Psychologist, 39:1, 1 43-55
- [2] 岡本拓夫・齊川清一・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—, 日本地震学会モノグラフ, 日本地震学会, 4, pp144-147.
- [3] 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
- [4] 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,

# 明治大学商学部における東日本大震災をテーマとした包括的物理教育

<sup>A</sup> 洞口拓磨、<sup>B</sup> 江崎隆清、<sup>B</sup> 松山楓、<sup>B</sup> 引野航介、<sup>B</sup> 入賀裕紀、<sup>B</sup> 栗原一馬、

<sup>C</sup> 水谷怜、<sup>C</sup> 藤森菜津子、<sup>C</sup> 湯浅桃子

<sup>A</sup> 明治大学商学部、<sup>B</sup> 明治大学商学部 2 年、<sup>C</sup> 明治大学商学部 3 年

horaguchi@meiji.ac.jp

## 1. はじめに

明治大学商学部では、社会の中に実存するさまざまな課題を読み解き、その解決策を企画・実行し、成果をまとめ報告するという一連の実践的な課題解決プロセスを、地域連携や産学連携といった学外との協力関係を活用しながら経験してもらい、課題発見力、企画構想力・課題解決力、情報発信力といった社会の中で求められている能力の育成を目指す正課科目として「特別テーマ実践科目」を開講している[1]。その科目の一つとして 2018 年度より「東日本大震災を学ぶ」をテーマに、必要最低限の物理学における知識を駆使して、震災の事実を後追いするだけでなく災害に対峙したときの実践的な科学的想像力の育成を目標とした授業を開講している。本発表では、東日本大震災という多様な社会的側面を持つ現実的事実を、商学部という文系の学生に対する包括的物理教育に落とし込んだ結果について、学生からのフィードバックも踏まえ報告する。

## 2. 授業構成について

授業は、特別テーマ実践科目 A として春学期に 1 4 回、特別テーマ実践科目 B として秋学期に 1 4 回開講され、それぞれ別科目として扱われるが実質通年授業として設計されている。特別テーマ実践科目では、学生が授業内での成果をまとめ、学期末に外部から有識者や実務経験者を招き成果報告会を行うことが他の講義科目とは最も異なる特徴である。この科目のうち「東日本大震災を学ぶ」をテーマに行う授業は、講義・実験/実習・グループワーク・プレゼン練習からなる学生の総合的な学びを目指した構成となっている。

講義では、原発事故の本質を理解するための“手段としての物理学”を 20 世紀の科学史を通して講義するとともに、東日本大震災からの復旧と今後の展開について科学的視点から考察している。特別テーマ実践科目 A では、東日本大震災に至るまでの経緯を学び、座学・実習双方から科学に対する理解を深めることを主軸としている。一方、特別テーマ実践科目 B では、東日本大震災後の展開を通じて、これまでの学習を基に学生が社会的な課題を取り上げ、より包括的で主体的に取り組めるよう配慮している。

## 3. 実験・実習について

実験及び実習は、時間と設備の制約上、学生が取り組んでいるテーマの理解を直接的に助け、かつ身近な物品を使用した分かり易いものとした。具体的には、ハムスター用のトイレ砂を用いた液化化現象の実験、釣り用の鉛製の重りを用いた鉛蓄電池、ステンレス製のスプーンとアルミホイールを両手に持つことで生じる電位の測定など多岐に渡る。また、実習としては福島県の放射性物質の除染状況を調べ、除染がない場合を理論式から予測し、除染がある場合には予測よりも放射線量が少ないことを Microsoft Excel でグラフ化し確認することを行った。また、福島産の米に対する風評被害対策として、福島産の米粉を用いたカップケーキを作り、学生と共に試食した。この米粉は

実際に線量計を用いて、放射能汚染がないことを学生に目の前で確認させている。これらの実験及び実習で得た成果は、科学的知識や被災地に対する理解だけでなく、実際に手を動かし自分たちで作業したという自信が成果報告会でのプレゼンテーションに好影響を及ぼしたと推測している。

#### 4. 成果報告会について

成果報告会は学期ごとに1回ずつ開催され、特に2018年度秋学期には学生が主体的に関わり次の3つのテーマについて発表することが出来た。

- 「原発事故からの復興と地震対策の未来」～廃棄物処理技術の進展と地震予知～
- 「原発事故による放射能汚染と福島の人評被害について」
- 「原発事故後の電力事情と再生可能エネルギーの安定化に向けて」

授業の中盤はグループワークを中心とし、アクティブラーニングに適した教室を確保するなどして学生主体の授業を行った。グループワークでは、各々が自分たちの発表や他グループの発表に対する「予想質問集」を作成し、その質問に答えられるよう発表スライドを作りこむ作業を中心に行っている。東日本大震災という大災害を前に悲観的な情報を選びがちだが、実際にデータに基づいて作業を進めるうちに、福島における復興が徐々にだが確実に進んでいることを学生が前向きに実感したことは非常に大きな成果だった。また、成果報告会では聴衆から多くの質問を受け、自分たちの発言によって被災地に対する印象を左右するかもしれないという強い責任を感じたことは、これから社会に巣立つ学生にとって非常に貴重な体験だったと考えられる。

#### 5. おわりに

商学部という文系の学生に、東日本大震災という未曾有の災害を知るためとはいえ、包括的な物理教育を試みることは、極めて大きなチャレンジだった。東日本大震災は非常に多くの科学的・社会的側面を持つ災害である。このような課題に対し、工夫はしたが妥協しないカリキュラムは、当初学生にとっては非常に大変な内容であったに違いなく、実際にそのような感想を述べている。しかし、一度視点を大きく広げてしまえば、より多くの理解を得られたこともまた事実である。そのような意味で、この授業はまさに学生とともに作り上げた授業であり、学生の隠された意欲と主体性が最終的な成果報告に結実したのだと思っている。

また、東日本大震災というテーマを扱う以上、科学的・社会的双方の観点からも授業に妥協は許されなかった。この授業を通して学生の被災地に対する理解が深まり、ささやかではあるが復興の一助になれば幸いである。

#### 参考文献

[1] 明治大学商学部 特別テーマ実践科目、

[https://www.meiji.ac.jp/shogaku/tokushoku/spt\\_practicum/spt\\_index.html](https://www.meiji.ac.jp/shogaku/tokushoku/spt_practicum/spt_index.html)

# 物理の勉強やってみた

川村明

four.clover.pig@gmail.com

## 1. 要約

化学専攻で修士の学位がありながら、なかなか専門性を活かした就職ができない上、一度社会に出てしまうと専門の勉強ができにくいと考えていた。物理の論文を読みたいという目標を立てて、専門書を読んだりセンター試験に挑戦するも、時間はかかっても不得意な分野の基礎からやり直すしかないと気づかされた。

## 2. 序文

非正規雇用を転々としていた結果、コアとなる専門性が持てない状態だったため、生活のレベルを引き上げるには勉強が必要、と思い立ったものの、日々の雑事に追われて時間が取れず、疲れ果てて寝てしまう毎日だった。経済力も時間も制限された社会人が改めて学ぶにはどうすればいいか、工夫が求められた。

## 3. 目標

学力の基礎として、学生時代比較的好きだった物理をやり直し、論文が読める程度になりたい。また、北大医学部を受験できるくらいのレベルになってみたい。どこか学会で発表をしてみたい。

## 4. 今回の発表

勉強のやり直しを思いついた2017年には当時学習塾の採点のアルバイトだったため、小～中学レベルの内容を学ぶことができた。その後臨時雇用により水質検査業務につき、仕事の合間に小学理科をやり直した。予備校のセミナーに参加し、受験生向けの問題を解くなどした。青少年の科学の祭典にて児童向けのブースを運営した。また、勉強へのモチベーションを上げるため、応用物理学会に入会した。更に図書館から材料化学の本を貸借して読み始めるも、数学の公式がわからなくて根本から理解ができなかった。理解を深めるため、ノートに内容をまとめ、図書館を使った調べる学習コンクールに応募するなどした。

次の勤務地が引っ越しを伴った為、勉強に回す時間が取れなくなった。また、予想に反して引っ越しが終わって働き始めてからも思うように勉強できる余裕がなかったが、わずかな時間で北海道大学の一般市民向け統計力学のセミナーに参加し、講師が推薦する本を読むなどした。受験勉強もできていない状態でセンター試験を受験し、正答率は国語は3/4ほどだったのに対し、化学・物理は2割程度に留まった。

ある程度予測はしていたが、あまりに低い正答率のため、今後の為にもある程度工学基礎知識を蓄えたく、科学史に沿って学びなおしている。社会人の学びなおしの為にあると便利と思われる事とは1図書館の一般向けの貸与の条件緩和、2一般市民向けの生涯学習の内容の高度・専門化、3勉強したい社会人と学生同士のゆるい学習会（図書館などで時間拘束のないボランティアの学習サポーターとして参加する）等があると助かります。

参考文献 [1] 第35回物理教育研究大会 発表予稿集

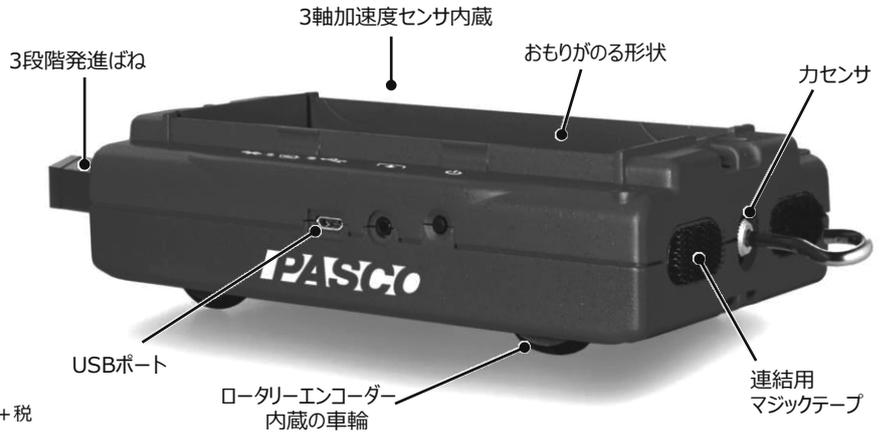


この1台で力・速度・加速度・  
距離(位置)が計測可!

センサ内蔵型の力学台車です。

# スマートカート

ME-1240(赤) / 1241 (青) 各 ¥42,000 +税



## シンプル設計

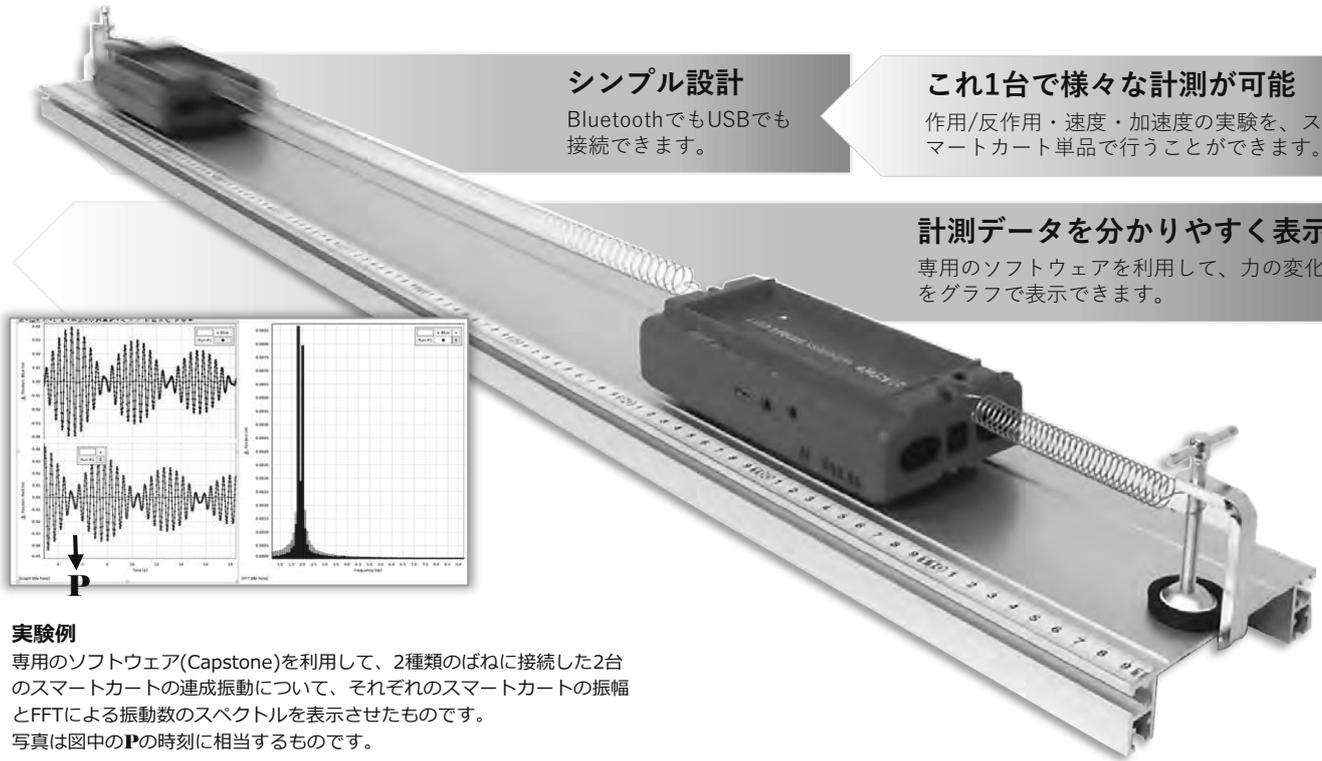
BluetoothでもUSBでも  
接続できます。

## これ1台で様々な計測が可能

作用/反作用・速度・加速度の実験を、ス  
martカート単品で行うことができます。

## 計測データを分かりやすく表示

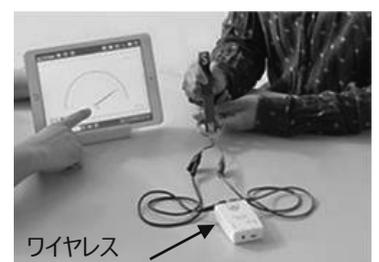
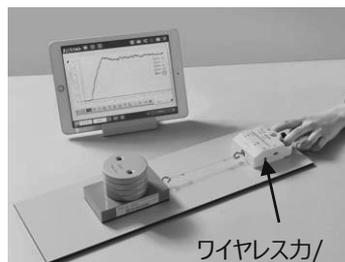
専用のソフトウェアを利用して、力の変化  
をグラフで表示できます。



## ワイレスで広がる実験!

いつでもどこでも計測実験ができます。

# ワイレスセンサー



## 株式会社 島津理化

<https://www.shimadzu-rika.co.jp/>



資料請求はこちらから ➡

東日本営業部：東京支店 TEL 03-6854-0210 札幌営業所 TEL 011-758-0788  
仙台営業所 TEL 022-380-8950  
西日本営業部：大阪支店 TEL 06-6375-2551 名古屋営業所 TEL 052-571-9166  
広島営業所 TEL 082-504-6120 福岡営業所 TEL 092-271-1418  
海外事業部 : TEL 03-6854-0261

本 社 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-32 出版クラブビル

# 押しても引いても計測OK! デジタルタイプのニュートンばかり



センサを利用して、力の値をデジタル表示。

従来のばねばかりよりも手軽に力の値を測定できます。

また、押し引きどちらにも対応しているので、いろいろな実験に使えます。

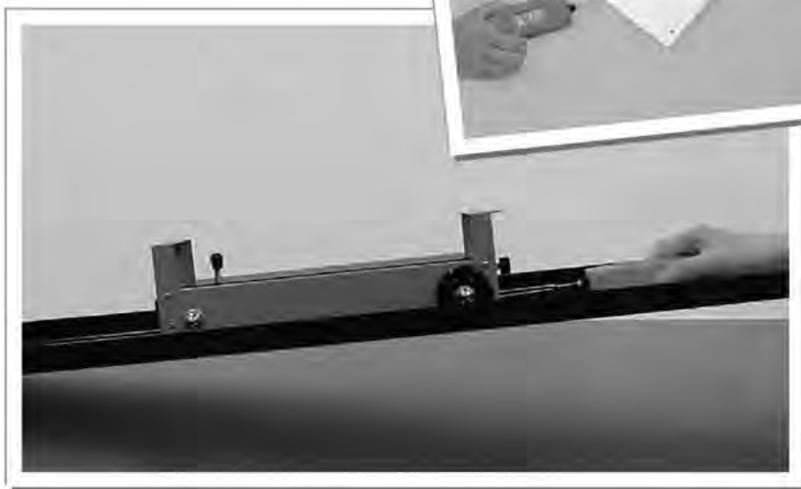
## ニュートンメーター GN-1

**A05-4065**      **¥3,900** (税抜)

- 幅広いレンジでの測定が可能のため、実験に合わせてばねばかりを選ぶ手間がなくなります。
- デジタル表示のため、読み取りスピードがアップ。ホールド機能でさらに便利です。
- フックを取り外せば、押す力の測定も可能です。
- 0点調整がワンタッチ
- Nとgの表示切替え可能

### 仕様

- 測定範囲：0 ~ ±19.99N (0 ~ ±1,999g) (センサ部分にフックを取付けた場合引く力 (+)、ゴムダンパーで押した場合は押し力 (-))
- 表示最小単位：±0.01N (±1g)
- 使用温度範囲：0 ~ 40℃
- ディスプレイ：LCD
- 大きさ：99×45×41mm (突起部含まず)
- 電源：単4乾電池2個 (別売)
- 機能：単位表示切替え、低バッテリー表示 (インジケータ点滅表示)、オートパワーオフ (電源 ON から 20 分経過で電源 OFF)、ホールド機能



**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

## 2019年度 第36回物理教育研究大会 実行委員会

日本物理教育学会 会長 村田 隆紀

実行委員長	矢吹 哲夫	(北星学園大学)
実行副委員長	大野 栄三	(北海道大学)
実行副委員長	星野 宏司	(北星学園大学)
実行委員	石川 昌司	(立命館慶祥高等学校)
	大坂 厚志	(北海道札幌月寒高等学校)
	今野 滋	(東海大学)
	齋藤 隆	(北海道医薬専門学校)
	佐藤 革馬	(札幌山の手高等学校)
	菅原 陽	(立命館慶祥高等学校)
	鈴木 久男	(北海道大学)
	中谷 圭佑	(北海道科学大学高等学校)
	永田 敏夫	(元 JICA 海外シニアボランティア)
	長谷川 誠	(公立千歳科学技術大学)
	森山 正樹	(札幌市立白石中学校)
	山田 大隆	(北海道大学総合博物館)
	山本 睦晴	(北海道札幌西高等学校)
	横関 直幸	(市立札幌藻岩高等学校)
	四方 周輔	(サイエンス・スパークス)

日本物理教育学会  
第36回物理教育研究大会 講演予稿集

発行日： 2019年8月8日

発行者： 日本物理教育学会第36回物理教育研究大会実行委員会

印刷所： 社会福祉法人北海道リハビリ印刷事業部

つなぐと世界が  
見えてくる。



DREAM

SKILL



点と点が線になるように、

夢や情熱は、知性やスキルにつながり、

あなたの世界を広げるでしょう。

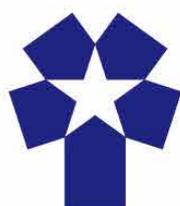
Shine like stars. 星のように輝いて。

あなたの夢は、私たち北星の夢です。



PASSION

INTELLIGENCE



Hokusei Gakuen University

北星学園大学

北星学園大学短期大学部

札幌市厚別区大谷地西2丁目3番1号 TEL 011-891-2731(代表)

【地下鉄東西線大谷地駅1番出口徒歩5分】



北星学園大学大学院

【文学研究科】言語文化コミュニケーション専攻

【経済学研究科】経済学専攻

【社会福祉学研究科】社会福祉学専攻/臨床心理学専攻

北星学園大学

【文学部】英文学科/心理・応用コミュニケーション学科

【経済学部】経済学科/経営情報学科/経済法学科

【社会福祉学部】福祉計画学科/福祉臨床学科/福祉心理学科

北星学園大学短期大学部

英文学科/生活創造学科