

2024年度日本物理教育学会年会
第40回 物理教育研究大会

発表予稿集

大会テーマ「みんなが楽しむ物理 ー多様性と向き合う物理教育へー」

2024年8月10日(土)・11日(日)
於:工学院大学新宿キャンパス

主催:日本物理教育学会

共催:工学院大学

後援:文部科学省, 日本物理学会, 応用物理学会, 日本理化学協会

協賛:ナリカ, 新興出版社啓林館, 島津理化, 東京書籍,
第一学習社, フィール・フィジックス (申出順)

会場案内図

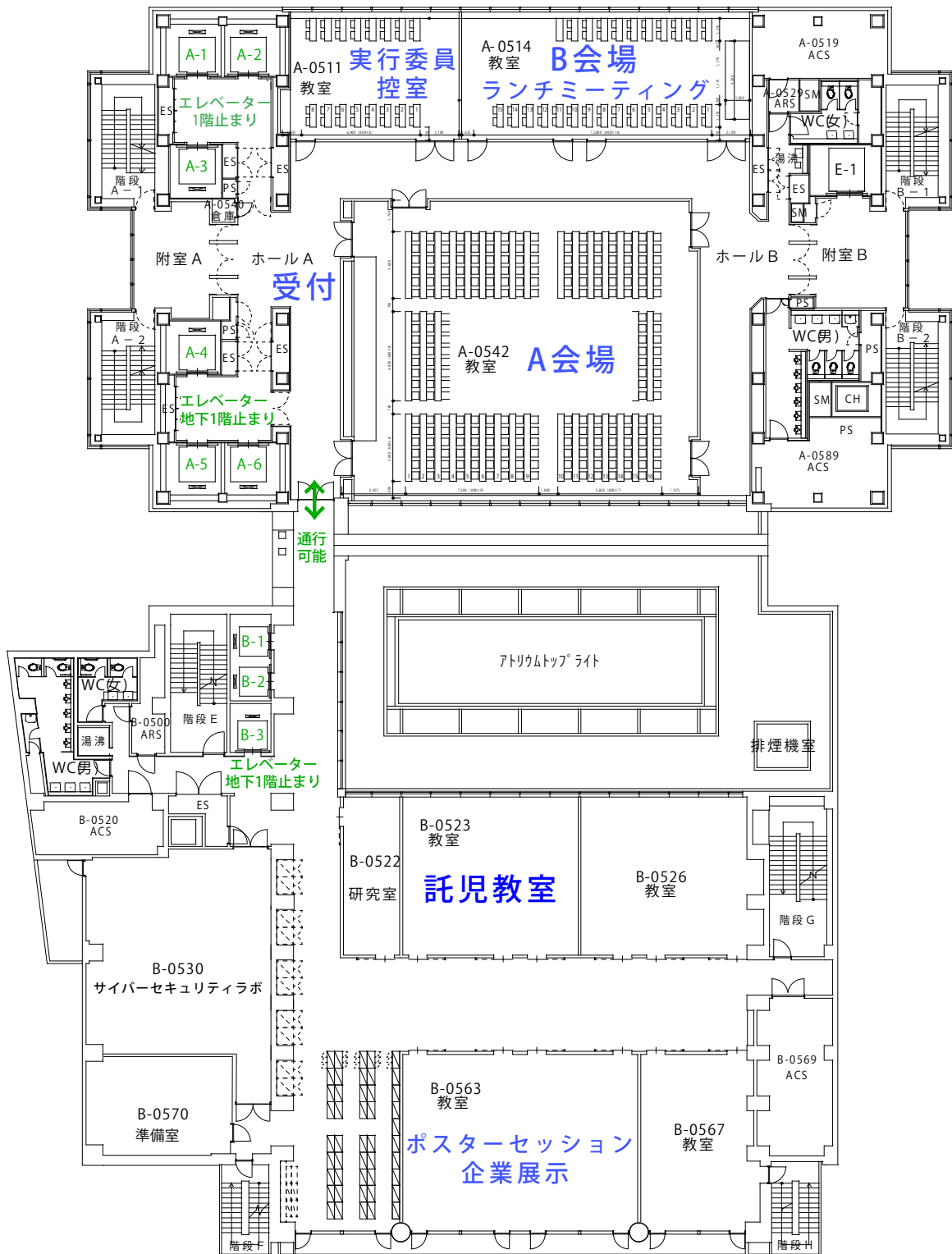
日程

プログラム

会場 工学院大学新宿キャンパス

アクセス：<https://www.kogakuin.ac.jp/campus/access.html>

会場案内図 高層棟・中層棟 5階



2024 年度日本物理教育学会年会/第40回物理教育研究大会 日程

8月10日(土)

- 8:30 ~ 9:00 受付
9:00 ~ 9:10 開会
9:20 ~ 10:50 原著講演1(A会場6本, B会場6本)
11:00 ~ 12:15 原著講演2(A会場5本, B会場5本)
12:25 ~ 12:55 ポスターセッション、企業展示
12:55 ~ 13:55 昼休憩、ランチミーティング
- 13:55 ~ 15:25 特別講演 北原和夫氏「多様性と向き合う物理教育に向けて」
15:35 ~ 16:35 原著講演3(A会場4本)
16:45 ~ 17:45 原著講演4(A会場4本)
17:45 ~ 17:50 諸連絡
- 18:00 ~ 懇親会受付(会場:ホテルローズガーデン新宿)
18:30 ~ 20:30 懇親会

8月11日(日)

- 8:45 ~ 9:00 受付
9:00 ~ 9:15 学会賞表彰式
9:15 ~ 9:55 受賞講演 原 尚志「放射線と福島復興の教育」
千葉 惇「定量的な放射線教育と福島の復興教育の振興
—知識調査を根拠として—」
9:55 ~ 10:35 受賞講演 高橋 幸太郎「より良い高校物理教育を目指して
—高校教員の経験と研究知見に基づいた提案—」
10:45 ~ 12:00 原著講演5(A会場5本, B会場5本)
12:00 ~ 13:00 昼休憩
- 13:00 ~ 14:15 原著講演6(A会場5本, B会場5本)
14:25 ~ 15:40 原著講演7(A会場5本, B会場5本)
15:50 ~ 16:55 大会企画・総合討論
16:55 ~ 17:10 閉会

原著講演プログラム

8月10日(土)

原著講演1A 9:20 - 10:50 座長 平野祐希子

- | | | |
|---------|---|-------|
| 1 A - 1 | 中学理科における力学素朴概念の実態調査と考察 | 佐々木悠朝 |
| 1 A - 2 | 中学生に慣性質量の概念を導入する試み | 南伸昌 |
| 1 A - 3 | 授業支援アプリMetaMoJiを援用した力学の授業 | 石井登志夫 |
| 1 A - 4 | 力学概念指標を用いた連鎖的コンピュータ適応型テストの
妥当性評価に向けた予備調査 | 安田淳一郎 |
| 1 A - 5 | 日本の高校教育課程に則した物理概念調査紙の開発:大規模調査の結果I | 勝田仁之 |
| 1 A - 6 | 日本の高校教育課程に則した物理概念調査紙の開発:大規模調査の結果II | 西村壘太 |

原著講演1B 9:20 - 10:50 座長 伊東正人

- | | | |
|---------|---|-------|
| 1 B - 1 | 力積概念による力学入門教育 | 塚本浩司 |
| 1 B - 2 | 仕事とエネルギーをどう教えるか | 西尾信一 |
| 1 B - 3 | サイクロイド振り子のパラメーター励振 | 岡崎隆 |
| 1 B - 4 | ゴムの力学的・熱的特性と教材化 | 鷲見拓哉 |
| 1 B - 5 | 熱力学と統計力学の布置関係の調査
—高等学校の熱力学・統計力学分野を理論体系として捉える契機として— | 磯部和宏 |
| 1 B - 6 | "thermal equilibrium"の意味は「熱平衡」ではなく「温度平衡」である | 五十嵐靖則 |

原著講演2A 11:00 - 12:15 座長 西尾信一

- | | | |
|---------|---|-------|
| 2 A - 1 | 入学までの学習履歴と大学初年次の物理の理解 | 平野裕一 |
| 2 A - 2 | 大学教育における物理誤概念克服 | 庄司善彦 |
| 2 A - 3 | 工学系学部の研究室における物理教育 | 山本隆夫 |
| 2 A - 4 | 中学校・高等学校理科教員を目指す一般大学に在籍する大学生を
対象とした理科教員を目指す背景, 科学の性質(Nature of Science)
における意識と理科における探究的な学習指導の指導法の在り方 | 石川真理代 |
| 2 A - 5 | PERから見たPCK | 新田英雄 |

原著講演2B 11:00 - 12:15 座長 石井登志夫

- | | | |
|---------|--------------------------------------|-------|
| 2 B - 1 | シャドウグラフ法を用いた水の温まり方の可視化 | 藤森隼一 |
| 2 B - 2 | 夕焼け再現実験器の製作 | 土屋貴嗣 |
| 2 B - 3 | ぶんぶんごまの風切り音の解析と教材化の可能性 | 塙正之 |
| 2 B - 4 | メルデの実験の共振条件—cot 関数の加法定理と井戸型ポテンシャル問題— | 伊東正人 |
| 2 B - 5 | 光の屈折に関する生徒の誤概念の検討 —糖度と屈折率の関係から— | 能代谷賢治 |

原著講演3 15:35 - 16:35 座長 苅谷麻子

- | | | |
|---------|---|------|
| 3 A - 1 | 理系学部進学者の"物理"に対するイメージ調査 | 武藤梨沙 |
| 3 A - 2 | STEAMと科目横断を意識した物理実験授業 | 島野誠大 |
| 3 A - 3 | 学習意欲の向上を目指したワークショップ型授業
—誰もが楽しむ物理学習を目指して— | 大倉由貴 |
| 3 A - 4 | 物理教育のユニバーサル・デザイン | 猪本修 |

原著講演4 16:45 - 17:45 座長 武藤梨沙

- | | | |
|---------|-----------------------------------|-------|
| 4 A - 1 | Python音声グラフィブラリを用いた視覚障害学生支援 | 平野祐希子 |
| 4 A - 2 | 美術に用いられる点描表現を科学的に理解することをねらった教材の開発 | 手塚奏瀬 |
| 4 A - 3 | 物理教育若手夏の学校開催 | 阿孫桂太 |
| 4 A - 4 | 次世代に向けた物理教育の裾野を広げる取り組み | 酒谷貴史 |

8月11日(日)

原著講演5A 10:45 - 12:00 座長 内山哲治

- | | |
|---|------|
| 5 A - 1 子どもの科学的認識に関する定量的評価法・分析法の開発と
授業実践への応用 | 堀井孝彦 |
| 5 A - 2 中学・高校物理における学習方略の活用を促す支援の提案Ⅰ | 石井哲夫 |
| 5 A - 3 中学・高校物理における学習方略の活用を促す支援の提案Ⅱ | 谷口和成 |
| 5 A - 4 物理基礎教科書の課題 | 原眞一 |
| 5 A - 5 国際バカロレアDPIにおける相対性理論の授業実践報告 | 北岡和樹 |

原著講演5B 10:45 - 12:00 座長 板橋克美

- | | |
|--|-------|
| 5 B - 1 地震波の可視化と物理教材としての活用 | 室谷心 |
| 5 B - 2 高2探究実践報告～ESP32をベースにした現代的モノづくり | 今和泉卓也 |
| 5 B - 3 物理を日常の中で実感できるタブレット活用の試み
—写真への力の描き込みを通して見えてきたもの— | 日笠亜依 |
| 5 B - 4 斜面上を動く物体の運動を理解するための
Webアプリケーション教材の開発 | 鈴木駿久 |
| 5 B - 5 スマートフォンの物理実験用アプリ開発を通じた自律的な学びの探求
(アプリ開発の意義と先事館プロジェクトの紹介) | 安達照 |

原著講演6A 13:00 - 14:15 座長 今和泉卓也

- | | |
|--|-------|
| 6 A - 1 誰が物理を楽しむのか？ | 内山哲治 |
| 6 A - 2 探求的な学習の発展のために | 遠藤正昭 |
| 6 A - 3 AL型物理講義への改革の成果と課題
—新大シンポジウム開催10年を振り返って— | 土佐幸子 |
| 6 A - 4 高校物理初学者にとっての構成主義的な学びの有効性と優先性 | 山下哲 |
| 6 A - 5 カリキュラム・マネジメント—成功事例に学ぶ | 尾島 正男 |

原著講演6B 13:00 - 14:15 座長 今井章人

- | | |
|---|-------|
| 6 B - 1 力のつり合いと作用・反作用の識別に特化した概念調査紙DETAの開発と試行 | 伊藤慧 |
| 6 B - 2 中学校における「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の識別に
特化したカリキュラムデザイン | 峯岸晃生 |
| 6 B - 3 「力」の単位における昭和と令和の中学校理科の教科書の比較調査 | 西村 祐紀 |
| 6 B - 4 中学生を対象とした継続的なILDsによる力学概念・課題価値・態度の変化 | 北村貴文 |
| 6 B - 5 高校力学測定実験における生徒の持つ不確かさ概念 | 古結尚 |

原著講演7A 14:25 - 15:40 座長 谷口和成

- | | |
|--|------|
| 7 A - 1 理数探究における強磁場発生装置の開発 | 柴田樹 |
| 7 A - 2 理科に対するイメージ調査 4分野別アンケートの実施 | 岸川浩大 |
| 7 A - 3 物理学における多様な表現の好みと概念理解の関係 | 高野勇太 |
| 7 A - 4 システム概念と集合による物理学の分類 | 石黒亮輔 |
| 7 A - 5 高校物理におけるJiTT事前課題作成のためのチェックリストの開発 | 落合道夫 |

原著講演7B 14:25 - 15:40 座長 伊藤慧

- | | |
|--|------|
| 7 B - 1 授業づくりの会による高校物理電磁気分野の授業検討および概念調査の実施 | 今井章人 |
| 7 B - 2 物理・電磁気学の授業研究 | 阿部敬 |
| 7 B - 3 中学校電気分野におけるプログラミング教育による概念変容 | 板橋克美 |
| 7 B - 4 気圧アナロジーを用いた電圧指導 | 山田吉英 |
| 7 B - 5 圧縮発火器の取り扱いについての提言 | 海老崎功 |

ポスターセッションプログラム

- | | | |
|--------|---|-------|
| P - 1 | FCI個人スコアの統計誤差 | 庄司善彦 |
| P - 2 | 「教師の説明」と「生徒の問題解決」を統合した授業の概要と効果 | 高橋幸太郎 |
| P - 3 | 物理の智慧の活用を促すたとえ話の提案 | 栗田和好 |
| P - 4 | 『現象の解釈シート』から見る、高校物理初学者の「現象の捉え方」の特徴と「現象の解釈」を3年間実施した効果の分析 | 山下哲 |
| P - 5 | 教育実習事前指導における理工系学部ジェンダー・ギャップ教育の実践
—感想文の計量テキスト解析— | 渡會兼也 |
| P - 6 | 熱概念、特に「熱運動」や「熱エネルギー」の用語についての
初学者の理解と混乱の実態を真摯に受け止めよう | 五十嵐靖則 |
| P - 7 | 小学校第3学年理科「風とゴムのはたらき」における
エネルギーの体感を目的とした協働的な授業の提案 | 長岡賢 |
| P - 8 | 縦波のウェーブマシン—縦波の疎密を観察する装置— | 松田慎之介 |
| P - 9 | 『扇風琴』の学校授業への展開可能性 | 真崎琉維 |
| P - 10 | 超音波の光学的可視化による教材開発
—ホイヘンスの原理に基づいた屈折波の説明— | 大橋泰紀 |
| P - 11 | 起潮力と潮汐を結ぶ周期性の概念 | 池田幸夫 |
| P - 12 | 簡易パルス電源を用いたクリップモータ教材の作製 | 一戸隆久 |
| P - 13 | 「地上絵プロジェクト」授業実践紹介
—科学的なものの見方から出発する算数・理科の教科横断的授業— | 阪本悠真 |

発表要旨

特別講演

多様性と向き合う物理教育に向けて

北原和夫

東京工業大学, 国際基督教大学

kitaharakazuo@icu.ac.jp

1. 多様性に向き合う

私自身の物理教育との関わりを振り返ってみると、「多様性」が大きな関心ごとであったように思います。博士課程在学中、ベルギー政府給費生として1971年からほぼ3年間ブリュッセル自由大学に留学。研究室には「非平衡」をキー・ワードに様々な分野の研究者が日々議論をしていました[1]。学位取得後1974-76年MITでポスドクとして過ごしたとき知り合った西欧の研究者はその後欧州物理学会の「物理学生の移動計画 (European Mobility Scheme of Physics Students)」[2]に積極的に関わっていました。彼の情熱に刺激されて、欧州の事例の紹介と共に日本における大学院レベルの講義の単位互換の提案を日本物理学会誌に寄稿したことがありました[3]。

1997年からIUPAP (国際純正応用物理学連合) のC3 (統計物理学分野) の委員となって海外の物理学会の状況が見えてきて気づいたことですが、物理学会の中に物理教育や応用物理、さらに地球物理学なども含めて全体として「物理学会」を構成している国々が多いことでした。一方日本では、日本物理学会の他に応用物理学会、日本生物物理学会、日本物理教育学会などが併立していてそれぞれ独自に活動をしています。それらの間に実質的なつながりができないものかと思っていました。

2. 男女共同参画・物理と社会

2001年に日本物理学会副会長に選出されてすぐに、IUPAP から提案があり、2002年にWomen in Physicsに関する国際会議を開催するので代表を派遣するようという要請がきました。そこで早速応用物理学会と連携して2001年秋に日本の女性物理学者の実情調査を開始して、翌2002年1月に取りまとめ[4]、2002年3月パリで開催された国際会議「Women in Physics」において二つの学会の代表団を派遣し日本の現状を報告しました。その後、日本では2002年10月に「男女共同参画理工系学協会連絡会」(後に人文社会系学協会も参加して「理工系」を外す)が結成され、現在も継続しています[5]。このような男女共同参画など物理と社会に関わることを議論する場として、年会に新たに「物理と社会」というセッションを設けることを2001年の理事会で決定しました[6]。

3. 国際的連携

2002年9月日本物理学会会長となってすぐに、11月に韓国物理学会創設50周年記念式典に招待され、そこで2004年韓国で開催される予定の国際物理オリンピックに日本からの参加を要請されました。帰国後早速、日本物理学会の中に国際物理オリンピック参加に関する作業部会を設けて、既に国際化学オリンピックに代表を派遣していた日本化学会の経験を伺い、まずは2004年7月浦項での国際物理オリンピックにJSTの支援を得て、役員だけの参加をして、国際物理オリンピックの運営現場を見てくることができました。まだ生徒の代表を選抜・派遣するところまでは準備できませんでしたが、ちょうどその頃、IUPAPから2005年を「世界物理年 (World Year of Physics)」とし、世界中の物理学会が物理を社会に広める運動をしよう、という要請がきました。それを機会に物理オリンピックに生徒を派遣する準備をしようということになりました。

特別講演

「世界物理年」を機会に物理を社会に広めようというのは実は IUPAP だけの運動ではなく、ユネスコの動きとも連携していたのです。ユネスコは1999年7月1日「科学的知識の使用に関する世界宣言」[7]を採択しました。この世界宣言は「Science for Knowledge, Science for Peace, Science for Development, Science in Society and Science for Society」を提唱するものでした。それを受けて、日本学術会議は2000年頃から「科学と社会」についての行動計画の検討を始めていたところでした。しかしながら当時の日本物理学会等の雰囲気は「Physics for Physics」という感じであり、他の多くの学術団体もおおよそ似たような雰囲気でした。

そのような状況の中で、私自身の日本物理学会会長の任期満了の直前2003年7月に日本学術会議会員となり、日本学術会議の「科学と社会」の動きに関わることになりました。また「世界物理年」に向けた議論は日本学術会議の「物理学研究連絡委員会」（略称「物研連」）においても取り上げられることになりました。物研連には物理系の諸学会が繋がっており、奇しくも「世界物理年」に向けた準備と、ユネスコの「世界宣言」への対応とが同時進行することとなりました。こうして、Physics for Physics から「Science in Society and Science for Society」の考え方へと広がっていったのです。こうして、「世界物理年」に向けて、日本物理学会、応用物理学会、生物物理学会、物理教育学会、天文学会などの物理系学会に加えて電気学会、機械学会、日本工学会も参加する形で「世界物理年日本委員会」が2004年9月に結成され、2005年にはさまざまなイベントが学協会の連携の中で企画実施されました[8]。

4. 科学技術リテラシー

日本学術会議は「世界宣言」への対応として、まず「理科離れ」に対して科学者がなすべきことを検討し実行するための「若者の理科離れ問題（後に若者の科学力増進）特別委員会」を設置し、2004年4月に声明「社会との対話に向けて」[9]を出し、自らさまざまな社会へのアウトリーチ活動を始めてその経験から得られた知見も含めて、2005年7月に報告書「次世代の科学力を育てるために」[9]を公表しました。この報告書の中で、すべての日本人が身につけるべき科学技術の素養（科学技術リテラシー）を策定することを提唱しました。そして、2005年度科学技術振興調整費によるプロジェクト「科学技術リテラシー構築のための調査研究」（国際基督教大学、国立教育政策研究所、お茶の水女子大学、日本学術会議の共同研究）が実施され、さまざまな行動計画が提案されました[10]。その中の一つとして、2006-07年度科学技術振興調整費「重要政策課題への機動的対応の推進」の調査研究として、「日本人が身に付けるべき科学技術の基礎的素養に関する調査研究」が実施されました[11]。日本学術会議と国立教育政策研究所が執行機関となり、科学者、技術者、教育者、博物館関係者、NPO 関係者、メディア関係者など総計約150名が参加して、わが国のすべての人々に身につけてほしい「科学技術リテラシー」（のちに「科学技術の智」と呼ぶことにしました）すなわち科学・数学・技術に関係した知識・技能・考えかたを策定したのです[12]。既に米国では1987年に AAAS が Science for All Americans を取りまとめて公表し、それに基づく調査活動、広報活動が現在でも進められています[13]。

5. 「協働する知性」の涵養

ちょうど2008年3月「科学技術の智」プロジェクトの成果を記者発表した直後、同年5月に文科省から「大学教育の分野別質保証の在り方」について審議依頼が日本学術会議にきました。同年6月に課題別委員会「大学教育の分野別質保証の在り方検討委員会」が設置され、審議を経て「質保証枠組み検討分科会」、「教養教育・共通教育検討分科会」、「大学と職業との接続検討分科会」を設置し、3つの分科会が相互に緊密な連携を保持しつつそれぞれの課題について審議を進め、2010年7月に報告書

を出しました[14]。そこで提案されたことの一つは、各学問分野について「分野別の参照基準」を策定することでした。各学問分野のコアとなるコンセプトは何か、つまり「・・・学は何を明らかにし、その知識をもって世界にどう寄与しようとするのか」（世界の認識と世界への関与）を明示する文書をつくることです。現在の先端化・細分化した各学問分野のミッションを再確認するとともに、それを他者にも分かりやすいようにすることによって分野を超えた学術の協働を目指すことを、教育の最終段階である大学教育の目標とすべきではないか、という提案です。

この分野別参照基準の策定のプロジェクトを日本学術会議が自ら進め、2023年までかかって33分野の「参照基準」が策定されました。実は、このような動きはすでに英国で進められており「分野別 Benchmark Statements」[15]が策定され、EU 中心の Tuning Project では分野別 Reference Points[16]が策定され、それぞれ学問の進化に従って改訂作業も進められています。日本においても「参照基準」が今後とも学術共同体によって策定され改定されていくことが学術の活性化を生み出すことになると思います。また高校と大学との教育の「架け橋」ともなる可能性があります。

6. 科学オリンピックと科学リテラシー

2004年から物理オリンピックに関わってきました。そして昨年は国際物理オリンピックを東京で開催するところまできました。20年近く関わってきて、随分社会が科学オリンピックに向ける目も変わってきたと思います。一方で、メディアはどちらかというところと世界大会で獲得したメダルのごとが大きく報じられるために、科学オリンピック活動の目的は何かについて、必ずしも人々の理解が共有されていないように思われます。国内選抜は単に優れた高得点者を選ぶためだけなのか、選抜にもれた生徒たちにとって如何なる意味があるのか、その点について明確なコンセプトが提示できなければ、社会の全面的な支持と支援にはつながらないかもしれない。他国ではどのようなコンセプトで人々が動いているのかについて、この2月にエストニアとドイツを調査する機会を頂きました。それぞれ全員金メダルという華々しい成績ではありませんが、中等教育のレベルについては高く評価されている国々です。調査に行って分かったことは、伝統あるエストニア、ドイツでは、様々な教科の様々なレベルの国内オリンピック（国内競技）があります。様々な競技を通して、参加生徒が自らの能力に目覚めることが第一目的なのです。そして自分の能力に目覚め関心が高まった生徒たちには、大学等に教育設備があって、生徒たちがやってきて、質の高い課外活動に自らコミットすることができるようになっているのです。ドイツのキール大学には、Science Outreach Laboratory[17]があり教材等を提供している。エストニアのTartu 大学には Youth Academy があり、国内の様々なオリンピック活動と課外学習の教材を提供しています。さらにエストニアは退職者の再教育によって市民の科学リテラシーの高揚に力を入れています[18]。

7. 結論

現在日本でも探究学習が重視されてきています。自らの力に目覚めて、関心を広げていくとともに、知識を分かち合って協働することによって、新たな知識を構築する。その分かち合いの基盤として「科学技術リテラシー」を共有することが重要ではないでしょうか。ニュートンが残した言葉「I was like a boy playing on the sea-shore, and diverting myself now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me.」すなわち、大きな真理の海原を前にして、人は謙遜になり、他者との分かち合いによってより深い理解に到達しようとする存在であることを自覚することが、教育の基本ではないでしょうか。

参考文献

- [1] 北原和夫 (1999) : プリゴジンの考えてきたこと、岩波科学ライブラリー 67
- [2] <https://www.europhysicsnews.org/articles/epn/pdf/1992/05/epn19922305p100.pdf>
- [3] 北原和夫(1994) : 混合教育と学生流動化, 日本物理学会誌 vol. 49, No. 1, p. 49-51
- [4] パリ会議準備委員会アンケート分析グループ(2002) : (1)「日本物理学会会員アンケート」分析結果報告 I—女性物理学者の研究環境—、(2)同分析結果 II —家庭と仕事—、(3)同分析結果 III —女性物理学者の研究活動— <http://danjo.jps.or.jp/siryu/2001/JPSsurvey-j-1.pdf>
英語版は <http://danjo.jps.or.jp/siryu/2001/JPSsurvey-e.pdf>
- [5] 男女共同参画(理工系)学協会連絡会」については <https://www.djrenrakukai.org/index.html>
- [6] 北原和夫(2004) : 物理学と社会、総合研究大学院大学編「科学における社会リテラシー」、p. 171-185
- [7] ユネスコ世界会議(1999) : 「科学的知識の使用に関する世界宣言」
<https://worldscienceforum.org/contents/declaration-of-the-1999-unesco-world-conference-on-science-110056>
- [8] 世界物理年日本委員会 : https://www.jstage.jst.go.jp/article/jstnews/2/3/2_4/_pdf/-char/ja
- [9] 日本学術会議 (2004) : 社会との対話に向けて、<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-s1012-1.pdf>
- [10] 日本学術会議若者の科学力増進特別委員会 (2005) : 次世代の科学力を育てるために、
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-t1031-9.pdf>
- [10] 平成17年度「科学技術リテラシー構築のための調査研究」の研究成果 (2006) :
<http://science4all.scri.co.jp/wp-content/uploads/2018/12/0-1-1.pdf>
- [11] プロジェクトの概要は、日本学術会議科学と社会委員会科学力増進分科会 (2008) : 21世紀を豊かに生きるための「科学技術の智」、<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-h64-3.pdf>
- [12] 科学技術の智プロジェクト (2008) : 総合報告書、数理科学専門部会報告書、物質科学専門部会報告書、生命科学専門部会報告書、情報学専門部会報告書、宇宙・地球・環境科学専門部会報告書、人間科学社会科学専門部会報告書、技術専門部会報告書 (科学技術の智ラボラトリ
[http://literacy.scri.co.jp/2022/02/15/科学技術の智プロジェクト報告書\(電子書籍版\)/](http://literacy.scri.co.jp/2022/02/15/科学技術の智プロジェクト報告書(電子書籍版)/))
- [13] AAAS(1987): Science for All Americans、<https://www.aaas.org/resource/science-all-americans>
- [14] 日本学術会議 (2010) : 大学教育の分野別質保証の在り方について
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kphyo/pdf/kphyo-21-k100-1.pdf>
- [15] The Quality Assurance Agency: Subject Benchmark Statements, <https://www.qaa.ac.uk/the-quality-code/subject-benchmark-statements>
- [16] Tuning Academy: Reference Points, <https://tuningacademy.org/publications/reference-points/>
- [17] Kiel Science Outreach Laboratory (Kieler Forschungswerkstatt) : <https://www.leibniz-ipn.de/en/for-the-society/further-education-extra-occupational-courses/kiel-science-outreach-lab-kieler-forschungswerkstatt>
- [18] 日本科学オリンピック委員会海外調査ワーキンググループ (2024) : 海外科学オリンピック運営組織の調査報告と日本における科学オリンピックの運営体制について (提言) [準備中]

受賞講演

2023年度 日本物理教育学会賞

原 尚志 氏（福島県立安積高等学校）

千葉 惇 氏（福島県立安積高等学校）

実践題目：「生徒とともに取り組んだ震災後の福島の調査発信活動と、福島復興を織り込んだ放射線教育の実践」

2023年度 日本物理教育学会奨励賞

高橋 幸太郎 氏

（京都府立園部高等学校（現東京大学大学院））

論文題目：「高校物理における学習の動機づけを促す宿題を用いた介入の検討：物理教育第70巻第2号（2022）」

放射線と福島復興の教育

原 尚志

福島県立安積高等学校

hara.takashi(at)fcs.ed.jp

1. はじめに（受賞にあたって）

この度の物理教育学会賞の受賞にあたり、推薦して下さった東北支部の皆様はじめ学会の皆様様に心より御礼申し上げます。これまで受賞されてきた錚々たる先輩方のご活躍を思う時、そんな先輩方と同列に並ぶことはとても出来ないと思う反面、私自身というより震災で被災した故郷の復興のために努力を重ねてきた多くの生徒たち、そして生徒を応援して下さった多数の方々への受賞なのだと思います。さらに、そんな私たちの姿に刺激を受けたと語ってくれた、若手の千葉さんと共に受賞できることも心からの喜びです。

今回の受賞の対象となった活動は、前任の福島高校で生徒と共に行った原発事故後の福島の放射線量に関する調査研究活動です。この場をお借りして改めて当時を振り返り、震災後の福島の高校生の姿の一端をご紹介しますと存じます。

2. 学校の線量調査の実施

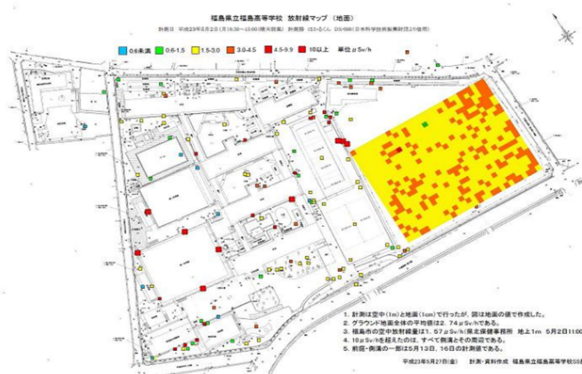
地震が起こったのは、金曜日の6校時の授業中です。長く続いた揺れの収まったタイミングで、生徒と教職員は校庭に避難しましたが、しばらくは余震が続いてそこから動き出すことができませんでした。大きく被災した校舎への立ち入りは明らかに危険で、生徒は校舎に戻らずそのまま帰宅することになりました。夜には原子力緊急事態宣言が発出され、原発周辺地域の住民に避難指示が出されました。福島高校の体育館も避難所に指定され、教職員は避難所の対応をすることになり、生徒には、当面学校再開の見通しが立たないので春季休業とすることが連絡されました。数人の生徒から、ボランティアとして避難所運営を手伝いたいとの申し出がありましたが、原発から60kmほど離れた福島市内でも空間線量は10 μ Sv/h程あって生徒は屋内退避を勧められており、断わる他ありませんでした。実験室のある校舎は立ち入り禁止となり、スーパーサイエンスハイスクールとして理科の課題研究に取り組むスーパーサイエンス部（SS部）は、活動場所を失うことになりました。

4月19日に授業が再開されましたが、空間線量が高いなか生徒の屋外部活動を制限すべきか話題になりました。そこでSS部が自主的に線量計を借り受け、校地内の線量調査を行いました。休日皆で学校に集まって計測し、図のような校内線量マップを作成し公開しました。この結果から、放射性物質は土壌微粒子に固着し雨水とともに地表を移動している、との知見を得ることができました。これをきっかけに部内に放射線班が誕生し、以後土壌粒子の粒径と線量の関係を調査し、高線量の粒子を選択的に排除することで効率的な放射性物質の除染ができるのではないかと、という仮説をたてて研究を進めました。しかし計測器は借り物の簡易空間線量計しかなく、生徒たちの努力にもかかわらず研究はなかなか進展しませんでした。

4月19日に授業が再開されましたが、空間線量が高いなか生徒の屋外部活動を制限すべきか話題になりました。そこでSS部が自主的に線量計を借り受け、校地内の線量調査を行いました。休日皆で学校に集まって計測し、図のような校内線量マップを作成し公開しました。この結果から、放射性物質は土壌微粒子に固着し雨水とともに地表を移動している、との知見を得ることができました。これをきっかけに部内に放射線班が誕生し、以後土壌粒子の粒径と線量の関係を調査し、高線量の粒子を選択的に排除することで効率的な放射性物質の除染ができるのではないかと、という仮説をたてて研究を進めました。しかし計測器は借り物の簡易空間線量計しかなく、生徒たちの努力にもかかわらず研究はなかなか進展しませんでした。

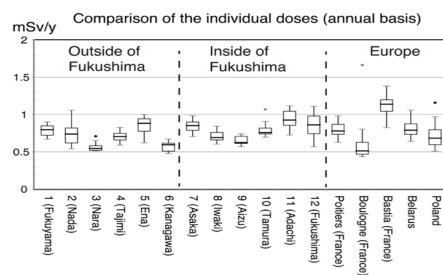
3. D-Shuttle プロジェクト

2013年頃になると、一部の地域を除いて福島県内の空間線量は心配された程高くないと知られる一方で、メディアなどでは「低線量の長期被ばくの影響は知られていない」ということが語られていました。初めて東京大学の早野龍五教授にお会いしたとき、ログの取れる個人線量計D-Shuttleが作られたことを知り、100台程をお借りしたいとお願いしました。国内外約200名による高校生個人線量調査のスタートです。結果を発表すれば注目されることが予想されましたので、返送された計測器のデータを読み込む際、生徒と一緒にドキドキしたことを鮮明に覚えています。



[1] 理科の教育 61-3(2012) 186-188 より

結果的に、福島の高校生の個人外部被ばく線量は、事故による追加被ばくがあっても、日本の自然放射線からの被ばくと大きく変わらないことがわかりました。最初に国内12校の結果を生徒とまとめた論文は「物理教育」に掲載していただき、その後さらに海外の高校生のデータを追加した論文は、イギリスの専門誌に掲載され現在11万件を超えるダウンロード数に達しています。



[2] J. Radiol. Prot. 36 (2016) 49-66 より

4. 国際高校生放射線防護ワークショップ

2013年に国際放射線防護委員会（ICRP）のメンバーであるThierry Schneider先生と出会い、フランスで開催されている高校生放射線防護国際会議で生徒が発表する機会をいただきました。発表した生徒によれば海外の高校生から「君たちは今も福島に住んでいるの？」と何度も訊かれたとのことでした。また海外の高校生でも福島状況を学んでいる生徒ほど、福島の人々は原発事故をどう乗り越えようとしているのか知りたいと考えていることもわかりました。Schneider先生からの提案もあり、2015年からフランスなど海外の高校生が県内の生徒と現地で研修を行う「国際高校生放射線防護ワークショップ」を実施することにし、以後毎年夏には国内外の高校生が福島を訪れ、翌春にフランスでの国際発表会で再会するという研修交流が始まりました。コロナのために海外との交流ができなくなりましたが、夏の福島でのワークショップは昨年まで続けることができました。



衆議院第一議員会館で発表するワークショップ参加者たち 2019/8/6

5. まとめに替えて

原発事故から13年が経過して、福島の課題は科学的な課題から社会的な課題に変化しています。それは1つには県産品への根強い風評をどう払拭するか、これは同僚の千葉さんが熱心に取り組んでいますが、原発事故と福島の被災について正確に知ることは、福島への風評や偏見の払拭につながるはずですが、そして震災で福島への風評がどのように生じたのか明らかになることは、次の風評への対策になることでしょうか。2つめは、原発事故による避難指示を受けた地域の復興をどう進めていくかです。元々過疎を抱える地域でもあるため避難した住民の帰還は尚更難しく、この地域をどう復興していくかという課題は、今後人口の減少が懸念される地方町村にとっても関心の高い話題でしょう。さらに今回の事故では、原発から半径20km圏内に大規模な避難指示が出されました。この避難において、事前に準備された計画がどう役に立ちどう役に立たなかったのか、検証され広く知られることは市民の防災意識を高め、原子力防災に限らず様々な災害時の減災に役立つはずですが。

これらは一見すると物理や理科とは離れた課題ですが、高校生がこのような社会課題の考察を通して、物事を科学的に見つめ判断する力に繋げてくれたらと、心から願ってきました。

コロナ感染症が一息つき、安積高校には教育旅行で福島県を訪れる学校から、生徒同士の交流のお誘いが度々あります。つい先日も首都圏の学校が15名ほどの生徒で訪れ、数時間でしたが被災地の復興やエネルギー関連のテーマで議論をしました。事前学習を十分に行い、現地研修でさらに学習を深め、事後研修の一つとして福島県の高校生と意見交換をする。このような研修交流は、福島の実験と課題を未来に繋げるとても有難い機会です。同時に私たち福島の高校生や教員には、福島の実験と課題の現状を、他県の高校生にわかりやすく伝える力が求められています。不慮の出来事ではありましたが、普通には得られない貴重な出会いが多々生まれ、それが福島の高校生たちと教育に携わる大人たちを育ててくれたことは、決して忘れてはいけません。まだまだ解決の難しい課題ばかり残されていますが、学びから得た偏りのないバランスのとれた視点で、解決に向けた議論が深まることを期待しています。

[1]原尚志、放射線と福島高校SS部の活動、理科の教育 61-3(2012) 186-188

[2] N Adachi et al. Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus—the 'D-shuttle' project—, J. Radiol. Prot. 36 (2016) 49-66

定量的な放射線教育と福島復興教育の振興 ～知識調査を根拠として～

千葉 惇

福島県立安積高等学校

chiba.atsushi@fcs.ed.jp 福島県郡山市開成5丁目25-63

1. 背景と発表の主題

2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下原発事故）後、福島県民の放射線被ばくの大きさについては科学的な報告が多数なされている。国連科学委員会は2020年報告書[1]で「放射線被ばくが直接の原因となるような将来的な健康影響は見られそうにない」としている。しかし残念ながらこのような情報は社会全体に伝わっていないのが現状であり、環境省や三菱総研などの調査[2][3]により近年でも福島県民に対する偏見が残っていることが指摘されている。

著者は2章で述べる中高生への調査を複数回行い、放射線教育の実施割合の低さや欠けている知識を明らかにしてきた[4][5]。また2011年度より、3章で述べるように放射線副読本[6]や環境省などの公的資料をもとに教材を作って授業を行い、生徒研修を実施してきた[4][5][7]。また著者は現在に至るまで、放射線教育の振興のために授業の成果を各所で報告し、被災地を見に行く教員研修を実施してきた。

2. 放射線と福島の状況に関する問題・アンケート

2019年～2020年に福島県内4校997名、県外5校657名の中高生について、放射線についてのテストとアンケート調査を行った[5]。テストについては15点満点で県内平均点7.2～10.0点に対し県外6.2～7.5点と、県内の方が点数の高い傾向があった。図1に示す現在の被ばく量を聞いた問いの解答のように、実際の数値よりも高すぎる解答が多く見られた。したがって原発事故の影響を生徒たちは実際よりも過大評価しすぎていると言える。アンケートは表1に一部の結果を示した。高校入学以前の放射線教育については、小中学校両方で授業を受けていない（または不明）の割合は県内14～29%に対し県外37～84%であり差が見られ、福島県内でも学校ごとの違いが大きいことが分かった。アンケート11,12で問うている健康影響と遺伝影響の可能性については、国際的な機関などが影響を否定している[1]が、「可能性は高い」と「可能性は非常に高い」の回答（以下ネガティブな回答）を合わせた割合は11,12それぞれで県内が12～27%、8～20%に対し県外が38～58%、31～45%であった。中学生はさらに割合が高かった。2011年度に福島県の避難区域に住民登録をしていた大人についての2018年度調査[8]は同様に33.5%、35.9%、東京の大人の2019年度調査[3]は同様に46.5%、41.4%であった。福島県内の高校生全体が大人よりもネガティブな回答の割合が低かったといえる。

3. 放射線と福島復興についての教育

福島の復興と放射線についての授業を毎年、夏に希望者、通常の授業内で10月と3月に3,1年生に行っている[4][5][7]（図2）。例えば昨年度は年間でのべ約200名に授業した。全五章構成、各1時間であり、理科から社会へまたがる科目横断的な内容である。テスト結果を受け、欠けて

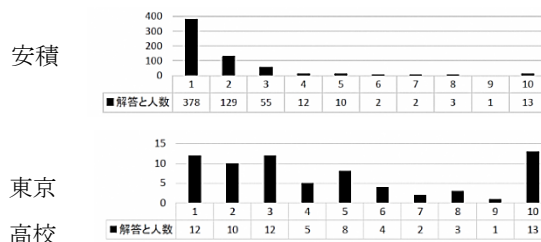


図1 郡山市の生活上の被ばく量が日本の他の地域の何倍か問う問の回答の分布。正解：1倍[5]

表1 アンケートの回答[5]

		福島県内				神奈川	東京	茨城	山口	神奈川
		安積	福島	磐城	ふたば	α高	β高	γ高	δ高	ε中
9 放射線についての授業を高校入学以前に受けましたか？	①受けていないまたは不明・覚えていない	29%	14%	14%	29%	84%	68%	37%	37%	出題なし
	②小学校のとき	12%	13%	11%	6%	14%	20%	2%	3%	
	③中学校のとき	19%	10%	17%	18%	0%	7%	36%	36%	
	④両方	40%	63%	58%	47%	2%	6%	25%	24%	
11 現在の放射線被ばくで、後年に生じる健康被害（例えば、がんの発症など）が福島県の人にどのくらい起こると思いますか？	①可能性は極めて低い	32%	32%	22%	23%	5%	10%	9%	16%	7%
	②可能性は低い	52%	57%	51%	54%	38%	35%	46%	47%	26%
	③可能性は高い	14%	10%	25%	21%	58%	46%	43%	35%	57%
	④可能性は非常に高い	1%	2%	2%	2%	0%	8%	2%	3%	10%
12 現在の放射線被ばくで、次世代以降の人（将来生まれてくる自分の子どもや孫など）への健康影響が福島県の人にどのくらい起こると思いますか？	①可能性は極めて低い	47%	48%	42%	33%	15%	14%	17%	28%	12%
	②可能性は低い	45%	44%	40%	47%	40%	45%	50%	41%	39%
	③可能性は高い	8%	8%	14%	20%	44%	37%	34%	27%	43%
	④可能性は非常に高い	1%	0%	4%	0%	1%	4%	0%	4%	6%

いる知識を伝えた。また、現在福島県民の追加被ばく量は自然放射線量以下であること、被ばく量と生体影響の関係、国の放射性物質の基準値の意味や国際的に見て非常に厳しい基準値であることなどのように、数値をベースに定量的に教えた。さらに風評被害・原発事故処理などの社会的課題、被災地の現状と福島の人々の努力を教え、最後には「東日本大震災の教訓は何か」について考えさせ、発表させた。

本校では生徒と被災地や福島第一原発を見に行き課題を知ったり発信したりする研修[5]、海外の高校生と交流しながら学ぶ活動も行っている（図3）。毎年数十名の生徒が参加してくれている。

授業や調査を通して、以下の点を伝えることが重要であると感じている[5]。①放射線が「うつらない」ことや壁による遮へい効果などの放射線の基本性質。②現在は放射線量が県外や諸外国と同じ程度まで減ったこと、事故直後でも自然放射線量程度の追加被ばくであったことなどの、福島県の放射線量についての定量的な知識。③福島県産品は放射性物質検査を行っており検査基準を超えたものは現在ほぼ0であること。④福島県に暮らす人が放射線を浴びたことによる遺伝的影響は生じえないであろうこと。特に③④は現在の放射線副読本にも記載されており、授業でも伝えやすいのではないかと思います。まだ福島県民の被ばくについては偏見を持たれている現状があるため、全国の学校でぜひ伝えていただきたい。

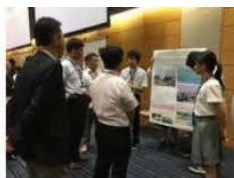


図2 授業の様子（2023年7月）

図3 左は国際放射線防護ワークショップ（2019年8月）、右は伝承館研修（2023年7月）

参考文献

[1]原子放射線の影響に関する国連科学委員会(2023)：UNSCEAR2020年/2021年報告書。
 [2]環境省(2023)：令和4年度放射線健康影響のリスク認知に係るWEBアンケート調査結果(2023年3月実施) <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/portal/communicate/result/r4.html>。
 [3]三菱総合研究所(2019)：東京五輪を迎えるにあたり、福島県の復興状況や放射線の健康影響に対する認識をさらに確かにすることが必要—第2回調査結果の報告(2019年実施)—。
 [4]千葉惇(2019)：福島の復興と放射線についての授業の実践，物理教育,67(4),235-240。
 [5]千葉惇(2021)：福島の復興と放射線についての教育モデルの研究，令和2年度福島県教職員特選研究論文集，23-42。
 [6]文部科学省(2018)：中学生・高校生のための放射線副読本（平成30年10月改訂）。
 [7]千葉惇(2023)：定量的な放射線教育の提案～科学教育の一環として～，物理教育通信,179,21-30。
 [8]第38回福島県県民健康調査検討委員会(2020)：平成30年度「こころの健康度・生活習慣に関する調査」結果報告 <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/21045b/kenkocoyosa-kentoiinkai-38.html>。

より良い高校物理教育を目指して —高校教員の経験と研究知見に基づいた提案—

高橋 幸太郎

東京大学大学院教育学研究科（旧 京都府立園部高等学校）

t.kotaro0428@gmail.com

この度は、私の拙作に日本物理教育学会奨励賞という栄えある賞を授与していただき、誠にありがとうございます。稚拙な表現となってしまう恐縮ですが、「すごい嬉しい！！」というのが私の素直な気持ちです。ただし私の力だけでは、決して受賞に至ることはできませんでした。この賞を受賞できたのは、間違いなく私の修士課程時代の師である京都教育大学の谷口和成先生のおかげです。この場をお借りして感謝の思いを伝えさせていただきます。

さて、本発表は原著講演とは別枠で行われますので、個人的な経験も交えながら私の問題意識とそれに対する方策についてお話しさせていただこうと思います。「こういう実態もあるのでは?」、「こちらの方策の方が良いのでは?」といった視点をもって聞いていただけますと幸いです。

1. 問題意識①：学びに向かう姿勢

私には大学時代に印象的であった出来事が二つあります。一つ目は、大学生にとって単位のために授業を受けることが一般的であるということです。自分の学びのため、と思っていた私にとってこの常識はかなり違和感がありました。大講義室の最後列の右端に座る同期や、単位の取得が約束された途端授業に来なくなる同期などを見て、自分から積極的に参加すればもっと楽しいのに、と感じていました。二つ目は、実地教育で目の当たりにした中高生の授業中の姿です。私が訪問した学校では、机に突っ伏した生徒、私語をする生徒、お絵描きに夢中になっている生徒など、私が憧れていた授業風景とはかけ離れたものが広がっていました。授業が退屈であることは中高生の常識なのかもしれません。

研究上では、このような学ぶ意欲を“動機づけ”という概念で扱っており、さまざまな調査から動機づけの低さが問題視されています。例えば、国際的な調査である国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS) では、日本の中学生の理科の成績は世界トップレベルにもかかわらず、動機づけに関わる項目は平均を下回っていました [1]。

こうした自身の経験と実態を通して、「理科の動機づけをなんとかしたい！」と思うようになり、理科学習の動機づけを高める研究へ取り組むに至りました。

2. 問題意識①に対する方策：動機づけを高める介入

こうした問題意識に対する方策の一つが、今回受賞した論文の研究です。ここではその論文の概要を紹介させていただきます。

2.1 動機づけを高めるための工夫

動機づけの向上を目指した理論の一つに時系列モデル (図1) というものがあります [2]。このモデルは授業を、開始期、展開期、終末期の三つのフェーズに分類し、①それぞれのフェーズに適した支援方略を取ること、②各フェーズの



図1 時系列モデルの概略図

関連を強めること、この二つが動機づけの向上に効果的であるとしています。このモデルからわかることとして、①Interactive Lecture Demonstrations [3] といった物理教育研究で開発された教授法は、学習者の素朴概念が適用できない現象を突きつけるという点で、展開期の支援として効果的であると考えられます。さらに、②ある日の授業の終末期と次の授業の開始期を関連づけることも大切であり、授業と授業を橋渡す宿題も効果的であると考えられます。通常、宿題は授業の復習として位置付けられることが多いですが [4]、授業の連関として位置付けたことは本研究のオリジナリティと言えそうです。

2.2 宿題と授業の例

上述の授業と宿題が高校の物理基礎の授業でどのように展開されたのか、作用反作用の法則の学習を例に紹介します。物理基礎では通常、力のつりあい→作用反作用の法則、の順で学習されます。そのため、力のつりあいの授業の後に、力のつりあいの復習となる問いを宿題として出題しました。問いは、「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せよ」というものでした。この問いに対する生徒の回答例を図2に示します。ここから、正誤はあるものの、生徒それぞれが自分の理解に基づいて、文脈を設定していることがわかります。

そして作用反作用の法則の授業では、宿題とその回答を確認することで前時授業との関連を高めた後、素朴概念を揺さぶるような図3の問題を出題しました。この問題は Interactive Lecture Demonstrations を参考に作成したものです。教師からすると面白いほど生徒の意見が分かれ、その後の生徒同士の討論も盛り上がりました。本研究では、このような授業と宿題を用いた介入を約一ヶ月間続けて行いました。

2.3 成果

こうした働きかけの結果、介入の前後に実施した質問紙調査から、物理に対する動機づけが有意に向上していたことがわかりました。併せてインタビュー調査を実施したところ、ある生徒は「物理基礎の宿題をやるとやらないとで何か違いはあった？」との質問に対し、次のように回答しました。「普通の授業やったら、授業やって次の授業まで 2, 3 日空いて、その 2, 3 日の間に何も復習せんから、授業が始まってから見返して復習みたいなんになると思うけど、宿題やってたら、授業やってその日の終わりぐらいに復習できるから、多分内容はいつもより頭に残って、やりやすいと思います。」ここから、想定した通り、宿題が授業と授業を橋渡す役割を果たしているが伺えます。また、物理への動機づけだけではなく、「宿題に対する動機づけ」も上昇していた点は興味深いです。宿題に取り組むことに価値を見出してくれたのかもしれませんが。

以上が、受賞対象となった論文の概要です。掻い摘んでの説明となりましたが、もし興味を持っていただけたら、一読いただけますと幸いです。

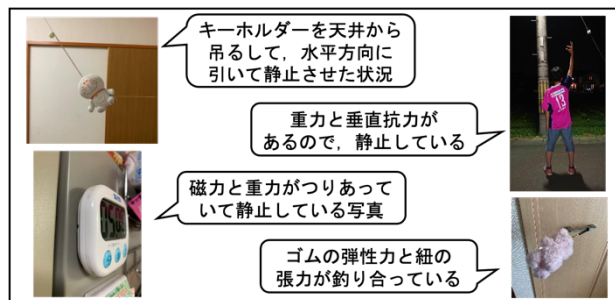


図2 宿題に対する生徒の回答例

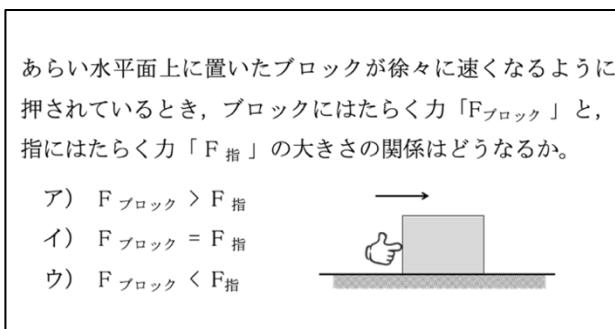


図3 作用反作用の法則の授業の課題

3. 問題意識②：教育現場で実感した自身の研究の限界

さて、ここからお話ししたいのは、この研究の後日談です。実践期間を終えた後も、上述の介入を一年間続けました。介入後、担当生徒の一人から「物理って美しいですね」という言葉を受け、教師冥利に尽きるとはこのことか、と感銘を受けました。しかし、彼は学力が高い生徒でした。学力が低い生徒たちは次のような発言をしていました。「物理は、いつも僕らの期待を裏切ってきてよる。」「物理の授業は好きなんやけど、物理は苦手ねんな。」ほんの一例ですが、こうしたコメントは私の研究の限界を如実に表していると感じました。つまり、参加生徒全員の動機づけを高めるために発見課題を中心とした授業を実施しましたが、そうした授業は学力が低い生徒にとっては依然として難しいものであったということです。思い返してみると、図1のような課題についてグループやクラス全体で討論をしていましたが、授業内容としてはかえって煩雑になってしまった場面が多々あったように思います。授業の討論の終わりには毎回教師からのまとめを行なっていましたが、生徒からすると「で、結局どういう意味?」、

「途中の話はなんだったんですか?」というのが実際だったのかもしれない。

また、教師としても、こうした授業を継続することに難しさを感じていました。それは、高校生には教師から教えた方がいい知識もあるのではないかと強く実感したからです。これまでの物理教育研究では、大学生を対象に発見学習を援用した授業展開が採られてきました。しかし、高校生と大学生の間には、前提となる知識をそもそも学習していない、という重要な差分が存在すると考えます。つまり、高校物理においては、要所で物理教育研究の知見を活用できるが、普段の授業を改善する知見としては不十分である可能性がある、と感じたのです。この視点から、改めて物理教育研究の知見 [5][6] を勉強しましたが、やはり発見学習に依拠した授業モデルがほとんどであることがわかりました。もしかすると、さらに物理教育研究を発展させるには、“教師からの説明”にも注目する必要があるのかもしれない [7]。

4. 問題意識②に対する方策：教育心理学という新たな領域へ

こうした新たな問題意識のもと、別の領域である教育心理学の道へ進むことにしました。なぜなら、教育心理学には、私が抱いた問題意識を解決しうる知見があると感じたからです。紙面の都合上、こちらの詳細については、ポスター発表（「教師の説明」と「生徒の問題解決」を統合した授業の概要と効果）の方で紹介させていただこうと思います。

最後に。今回の発表を通して失礼な言動が多々あったかもしれませんが、「子どもに物理を楽しんで欲しい!」という一心での言動ですので、どうかお許しください。改めて、今回は素敵な賞を授与していただき、ありがとうございました。今後も謙虚な挑戦者として、日々努力していきたいと思っております。

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所 (2019) : 国際数学・理科動向調査 (TIMSS2019) のポイント.
- [2] レイモンド・ウラッドコースキー著, 新井邦二郎他共訳 (1991) : やる気を引き出す授業. 田研出版.
- [3] Sokoloff, D., & Thornton, R. (2004) : *Interactive Lecture Demonstrations*. Wiley.
- [4] Cooper, H., Robinson, J., & Patall, E. (2006) : Does Homework Improve Academic Achievement? *Review of Educational Research*, 76(1), 1-62.
- [5] Meltzer, D., & Thornton, R. (2012) : Resource Letter ALIP-1. *American Journal of Physics*, 80(6), 478-496.
- [6] エドワード・レディッシュ著, 日本物理教育学会監訳 : 科学をどう教えるか. 丸善出版.
- [7] 高橋幸太郎 (2023) : 高校物理における「深い学び」を促す授業の検討. 教育認知科学演習.

原著講演
8月10日

中学理科における力学素朴概念の実態調査と考察

^A佐々木 悠朝

^A芝浦工業大学柏中学高等学校

sasaki_y@ka.shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

生徒は、実生活や経験則から形成されるものの、それらが実際の物理学的理解とは異なってしまふことが指摘される。これらは素朴概念や誤概念と呼ばれている。また物理学習においては中学理科から力学に関する概念形成が進められ、中学生徒の素朴概念の実態把握が必要不可欠と考えられる[1]。

よって本研究では、中学理科での素朴概念の実態調査を行い、誤答に至る思考傾向の把握し、教授法の詮索を狙うことが重要であると考ええる。

2. 調査

2. 1 調査方法

中学3年生の174名（男子126名，女子48名）を対象に，理科Bの「仕事とエネルギー」の単元において，力学的エネルギー保存に関する問題を学習前と学習後に実施した。また，学習後では，その回答に至った考え方について自由記述でアンケートを行った。調査に使用した問題は，位置エネルギーを持った静止物体がレール上を進み，その後斜方投射された際の最高点高さについて，初めのレール上での静止状態の高さと比較し，放物運動の最高点が回答A「初めの高さより高い位置」，回答B「初めの高さと同じ」，回答C「初めの高さより低い位置」の3択で聞いた(図1)。

また，学習時にはエネルギーバーチャート[2]を導入し，各事象におけるエネルギー変化について生徒がどのように考察しているか探った。

2. 2 結果

結果を表1にまとめたように，学習前調査では回答Bが104名(59.8%)，Cが65名(37.4%)となり，学習後では回答Bは90名(51.7%)，Cが82名(47.1%)となった。また学習前と学習後において回答BからCに回答変化した生徒が48名，回答CからBに回答変化した生徒が33名であった。

2. 3 学習後調査における自由記述アンケート

学習後にB(放物運動の最高点が初めの高さと同じになる)と回答した生徒の自由記述には，「振り子と同じ原理で」「最高点で運動エネルギーがなくなるため」といった回答が多くあった。C(放物運動の最高点が初めの高さより低くなる)と回答した生徒には「最高点に達しても横に動き続けるから」と水平方

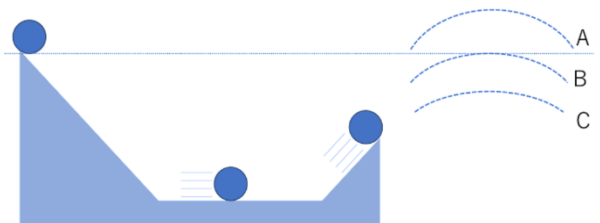


図1 調査に使用した設問図

表1 学習前(Pre)，学習後(Post)の調査結果
学習前(Pre)

		学習前(Pre)			計
		A	B	C	
学習後(Post)	A	0	2	0	2
	B	3	54	33	90
	C	2	48	32	82
	計	5	104	65	174

向の運動から推察できているものが多くあった。また「スキージャンプを思い出した」といった回答も見られた。

3. 考察

回答 B から C に回答変化した生徒 48 名については、放物運動中における最高点での水平方向の運動エネルギーを考慮することができるようになったことが確認できた。自由記述回答では「最高点に達しても横に動き続けるから」や「スキージャンプを思い出した」といった回答が見られ、最高点での水平方向の運動に着目したものが見られた。一方で、回答 C から B に回答変更した 33 名の生徒について、自由記述のアンケートを探ると学習時に行った振り子の運動を参考に行っていることが確認できた。例として「振り子と同じ原理でスタート位置が最高点となるから」「頂上は運動エネルギーがなくなるので」「振り子のときもスタート位置を越えることはないため」といった自由記述回答が見受けられた。

今回の調査の結果から、中学生が放物運動の最高点での運動状態を考えるうえで、最高点での水平方向に運動に着目し正答に至るパターンと、一方で、振り子運動を思考リソースとして比較検討した結果、素朴概念に至ったパターンに分かれたと考えられる。本研究では、これらに加え、エネルギーバーチャートの回答を分析に加え、素朴概念に至った思考を傾向について報告する。

参考文献

- [1]金井 英男(1997)：力学分野における中学生の持つ素朴概念の実態，日本科学教育学会研究会研究報告 11 巻 75-80
- [2]今井 章人ら(2023)：系概念とエネルギー保存式を意識した「仕事・エネルギー」の授業実践，第 39 回物理教育研究大会

中学生に慣性質量の概念を導入する試み

^A南伸昌, ^A夏目ゆうの, ^A瀧本家康, ^B小野佳亮
^A宇都宮大学共同教育学部, ^Bさくら市立片岡中学校
minami@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

現行の中学校第3学年理科 5. 運動とエネルギー (イ) 運動の規則性④力と運動 において、異なる傾きの斜面上の台車の運動を扱うとともに、質量の異なる物体の自由落下の紹介があるが、慣性質量概念には触れないのでこれらが有機的に結びつくことは難しい。現在、Wikipediaにおいても「質量とは、物体を構成する不変な物質の量を指す語で、物体の動かしにくさの度合いであり、重力源でもある。」とあるが、中学理科では冒頭の「物体を構成する不変な物質の量」を提示するのみに留まっており、感覚的にでも慣性質量の概念を認識させておくことは、高等学校以降で上位の科学的概念を獲得するうえでも有効であると考えられる【1】。

筆者らは、現場の教員から出た「同じ傾きの斜面で異なる質量の台車の運動」について中学段階で扱うことはできないのかという疑問を発端に、中学生に慣性質量の概念を導入する、アクティブラーニング型の授業の試行を行ってきた【2】。その中で、理解定着には、演示実験の在り方や、「討論→演示実験観察」だけでなく教師のまとめ方も大切なこと、中学生向けの評価指標の吟味がなことなど、多くの課題が見つかってきた。今回、演示実験方法や調査問題を改善し、実践した結果について報告する。

2. 方法

2024年2月下旬に、栃木県の公立中学校第3学年2クラス(25名と23名、各6班体制)それぞれを対象に、各1校時の授業をオンラインで実施した。大学の実験室と中学校の教室をZoom2回線で接続し、1回線を講義及び演示実験観察に、もう1回線を授業後半のグループディスカッションにおけるブレイクアウトルーム経由での机間指導に用いた。

授業は演示実験も含めて第一著者が実施し、グループディスカッション時の机間指導では、第二、第三著者が支援に入った。ただし、1クラス目の授業では回線の不具合があり、大学教員2、3は支援に入れなかった。

授業は、下の枠内に示すワークシートの【活動1~3】について、個人の予想を選択肢及び理由の記述で答えさせた。そして、「個人で予想→班で検討・見直し→演示実験で確認」のサイクルで学習を進め、【活動4】で「質量とは物体のどのような性質なのか」話し合い、【活動5】で【活動1】の説明を改めて考え、教師のまとめで終えた。

【活動1】傾きを固定した斜面での台車の運動を考えます。台車の質量が2倍になると速さの変化はどうなりますか。

【活動2】3 kgの鉄球と200 gのソフトボールが紐でぶら下げられ静止しています。それぞれにはたらく重力は紐が支えているので、摩擦の影響は無視できます。それぞれを水平方向に同じ大きさの力で押したとき、どちらの方が大きく動きますか。

【活動3】500 gまたは2 kgの台車を、同じ速さで摩擦のある水平面上の箱に衝突させます。押された箱が止まるまでの距離はどう（どちらが長く）なりますか。

【活動2】の演示実験においては、以前の実践において「ぶら下げた＝ふりこ」という刷り込みが質量の役割への意識付けの阻害要因となったことから、紐の長さを長くし、ふりこから意識を離すよう工夫した。また、【活動3】の「同じ速さ」は、学習内容の活用を意識し、【活動1】の「同じ高さから斜面を下ると異なる質量の台車でも同じ速さになる」という結果を利用した。

理解度調査は、瀧本らの実践の設問から作用・反作用に係る設問を削減して用いた【2】。調査は授業実施一週間前の事前調査と実施3日後の事後調査のみで、定着度調査は実施できなかった。

3. 結果と考察

事前・事後調査の正答率は、両組で有意差は生じなかったため、両組合わせて分析を行った。表1に、ワークシート【活動1～3】での正答の場合の理由とその数を示す。番号横の数値は、各活動の正答率（%）を示す。

表1. ワークシート【活動1～3】個人予想における正答の理由とその頻度

活動1 (15)		活動2 (50)		活動3 (71)	
分力の大きさは変わらない	2	質量小だと動きやすい	9	質量大だと力／衝撃／エネルギー大	21
その他	4	軽いから	6	重いから	5
記述なし	1	その他	5	その他	4
		記述なし	4	記述なし	8

【活動1】は正答率が低い上に、正しい根拠を持って回答している生徒はいなかった。【活動2】は慣性質量の概念をイメージしやすい活動となったようだ。【活動3】は正答率が高いが、生徒の意識が力／衝撃／エネルギーに向かい、こちらが意図した「質量が大きいと止まりづらい」に、直接は結び付かなかったと考えられる。

調査問題は事前・事後での規格化ゲインを求めたところ、全体では0.30と、アクティブラーニング型授業としては効果がみられたが、1組目(0.22)と2組目(0.38)で若干差が生じた。1組目は通信機器の不具合の影響もあり、また、1組目の実践を踏まえて2組目のまとめの活動の微修正も行った。この辺りも含め、実際の授業の流れを踏まえた分析を、当日報告予定である。

参考文献

- [1] 金井英男・高野庸(2001):力と運動に関する素朴概念とその改善の試み,科学教育研究,25,274-282.
- [2] 瀧本家康・南伸昌・夏目ゆうの(2022):中学生の質量概念の実態と討論型授業の効果-演示実験を活用して-,第38回物理教育研究大会予稿集,pp.110-111.

授業支援ソフト MetaMoJi を援用した高校物理基礎力学の授業

石井登志夫

埼玉県立与野高等学校

dorayaki@nifty.com

1. はじめに

高校にも一人一台端末が本格導入されて二年目になる。導入はされたものの、それを如何に利用するかはまだ模索段階と言える。勤務校では ChromeBook を入学時に一括購入させており、同時に授業支援ソフト MetaMoJi Classroom^[1] (以後 MetaMoJi と省略) を入れている。職場の端末検討委員会で議論し、現状の多くの授業でプリントに置き換えることが容易で、紙以上に活用することが可能であるという結論であった。

一方、著者は以前より物理の学習には生徒の主体的な活動が必要と認識しており、その実現のために「到達目標学習課題方式」^[2]の授業に取り組んできた。同じ方式の実践者は全国にいるが、大いに広まっているとは言えない。理由は諸々あると思うが、ひとつには授業の組み立てにある程度の熟練を要する点にあると思う。このたび「到達目標学習課題方式」の授業に、支援ソフト MetaMoJi を活用したところ、生徒の思考を活性化したり、授業運営を容易にする効果が見られたので、報告するものである。

2. MetaMoJi の特徴

このソフトは、各種 OS に対応しており、どのような端末でも利用可能である。勤務校の生徒は前述したように ChromeBook だが、職員に指導用に配布されているのは WindowsOS のタブレットである。ソフト上で授業ノートと呼ばれるページを作成することもできるが、他のソフトで作って PDF にしたものをそのまま授業ノートにすることもできる。配布の仕方は、個別、グループ、一斉などの方式があり、今までの授業プリントのように使うには、「個別」で配り、穴埋めなどの書き込みをさせればよい。「グループ」にすれば、予め設定したグループでページを共有し、共同編集させることができる。「一斉」にすれば電子白板のように使うこともできる。

特徴的なのは書き込み方で、スタイラスペンで書き込んだり、キーボードからテキストで書き込むことが自在にできることである。物理や数学の数式をキーボードで入力するのは面倒な場合もあるが、紙のノートのように直接書き込めるのは便利である。また、直線や円、多角形、折れ線など、適当に書き込んだものをきれいな線や、円に自動で修正される機能もあり、これが存外に便利であった。

また、授業中教師が「モニター」を選択すると、生徒全員の画面を見ることができ、進行状況が確認できる。だれがどんな意見を持っているかを把握できるのがよい。アンケート機能を用いると、意見分布を調べることもすぐにできる。こういった授業では不可欠な機能が、端末を介して実現されている。

3. 到達目標学習課題方式の特徴

この方式は 1970 年代に、小学校教諭だった故玉田泰太郎氏が生み出したものである。単元の到達目標を明確に設定し、そこに至る教材の配列を、子どもたちの思考過程に沿うように検討するのが第一段階である。それぞれの授業でもねらいを明確にし、ねらいに到達するような学習課題を設定すると、子どもたちが自分の持っている経験や知識、ここまで学んだことを使って自分の考えを記述する。それ

を発表し、他の意見を聞き、議論する中で、授業のねらいにつながる論点を明確にしていく。そして実験や観察によって、自分たちの力で結論を獲得していくのである。この授業を成立させるためにまず必要なのは適切な授業プランを用意しておくことである。もう一つは、授業の中で子どもたちの意見を的確に組み立てて、ねらいにつなげていく授業者のワザである。後者のワザを可能にしたのが、課題に対する自分の意見を、時間をとってノートに書かせるというポイントである。このポイントを成功させるために、MetaMoJi が使えると考えたのである。

4. 授業の様子

力学の授業では、言葉で意見を述べるだけでなく、グラフや図を用いることも多い。たとえばこちらで用意したある運動のグラフを配布し、そのグラフを元に考えさせる課題がある。電子配布されたグラフなので、生徒は自在にピンチアウトなどして接線を“発見”したり、MetaMoJi の作図機能を用いて接線を書きこんでいた。また区分求積をする問題では、多角形を書き込んで利用したりしていた。力の作図問題でも、矢印をきれいに書き込めるので、こちらから見て成否の判断が容易になった。予稿集の誌面では詳述が難しいが、当日の発表では具体的に述べたい。

今まではノートに書かれた意見を机間巡視で確認し、その後の授業の組み立てを考えていた。いまは手元のモニターで全員の意見を見ることができる。授業のキーになる意見を発見することがかなり容易になった。意味を図りかねる文章は個別に聞きに行くこともある。でも、かなりゆとりをもって、しかし今までよりも短時間で生徒の意見を把握することができるようになった。

アンケート機能を用いた意見分布の把握では、挙手させて数える手間が省ける。教師側の端末からは、だれがどの選択肢に投票したのか参照することも可能なので、発言者の指名に役立った。意見を聞いた後に意見変更を調べることもあるが、そこでもアンケート機能を用い、運営の助けになった。

さいごに結論を文章にして書かせることもこの授業の大切な部分である。今までは、それを読みたいがために、全員にノート提出などさせていた。しかし MetaMoJi ならば、何もしなくてもいつでもどこでも閲覧できる。通勤中の電車の中で自分のスマホを使ってみることもできる。ノートの該当箇所を探してページを繰ることもない。

5. おわりに

全員のノートを容易に見ることができるようになって、授業の問題点も見えてきた。こちらが意図した到達点に達していない意見、結論を書いている生徒が発見しやすくなったためである。今年の方学の方学授業の中では、速度と加速度の用語の混乱も目に付いた。どうしたら授業を改善できるのか、模範解答があるわけではない。生徒が学んだ記録が残り、授業実践の検討ができることもこの授業方式の強みである。今回の実践の結果を見直し、報告をまとめて検討してもらい、また次の実践につなげていきたい。

参考文献

[1] <https://product.metamoji.com/education/> (2024年7月1日参照).

[2] 「到達目標学習課題方式—概念獲得のための授業づくり」石井登志夫, 大学の物理教育 2016年22巻2号 p. 60-63

力学概念指標を用いた連鎖的コンピュータ適応型テストの妥当性評価に向けた予備調査

^A安田淳一郎, ^BMichael HULL, ^C植松晴子, ^D中村琢, ^E前直弘, ^F小島健太郎

^A名古屋大学, ^Bアラスカ大学フェアバンクス校, ^C東京学芸大学, ^D岐阜大学, ^E大阪大学, ^F九州大学
fci.cat.collaboration@gmail.com

1. はじめに

物理教育における学習成果を可視化する手法として、力学概念指標 (Force Concept Inventory, FCI) を始めとした概念指標を用いる方法がある (Hestenes *et al.*, 1992). その利用法としては、一連の授業の前後に FCI を用いた調査を実施し、クラス平均点の変化量を分析するのが一般的である。しかし、この方式では計二回分の授業時間の大半を設問の解答時間に費やす必要があり、これが FCI による学習評価の普及を阻む一因となっている。また、FCI の結果は当該年度の授業効果の検証に活用されることが多く、調査に協力する学習者が受ける恩恵が少ないため、学習者が真剣に設問に解答しないケースがあることも指摘されている。

そこで本研究課題では、FCI の設問の一部を毎回の授業で小テストとして出題し、その解答結果を連鎖的に能力推定に組み込んだ「連鎖的コンピュータ適応型テスト (Computerized Adaptive Testing, CAT)」の開発を目指している。もしこれが実現できれば、連鎖的 FCI-CAT に基づく形成的評価システムを構築可能になり、フィードバックによって学習者の受益を高め、FCI による学習評価の負担感を抑えることが期待できる。

前研究 (安田ら, 2023) では、連鎖的 FCI-CAT のアルゴリズム設計、および数値シミュレーションによるテスト効率性の分析結果を報告した。次の段階として、実調査を踏まえた連鎖的 FCI-CAT の妥当性評価が必要になるが、その方法論は明らかでない。そこで本研究では、後述の試行的な妥当性評価法に基づき、予備調査を実施した。本稿では、予備調査の分析結果を元に、連鎖的 FCI-CAT の妥当性評価法の改善点を検討した結果を報告する。

2. 方法

連鎖的 FCI-CAT の妥当性評価のため、大学生個々人の力学概念理解度の進展を、CAT に基づく量的手法と、インタビューに基づく質的手法で分析し、二つの分析結果の整合性を確認することを試みた。

- ① 調査方法: 2023 年 12 月から 2024 年 2 月までの期間、国立 A 大学の探究型力学授業の受講者 (大学 1 年生) 3 名を対象とし、同授業の後半 5 回分の各授業後に調査を実施した。調査は二段階式であり、①最初に調査協力者が各自の端末から連鎖的 FCI-CAT の設問 10 問に解答するウェブ調査を実施し、②次に、各調査協力者が出題された設問の前半 5 問について、解答理由を説明するインタビュー調査を実施した。インタビューは半構造化 Think Aloud 法に基づき対面形式で行った。
- ② 分析方法: 連鎖的 FCI-CAT の結果と比較するため、インタビュー調査で得られた発話の内容を、以下の試行的な方法により定量化することを試みた⁽¹⁾。
 - A) Judge 法: インタビューで得られた各設問の解答理由の発話全体について、分析者が主観に基づき 1 点から 10 点までの点数を付ける。
 - B) Count 法: インタビューで得られた各設問の解答理由の発話の中で、分析者が正しいと考える部分に○を、誤りと考える部分に×を付け、○×の総数を分母とした○の割合を計算する。

両方法ともに分析者の主観の影響が大きいため、本研究グループの3名が各方法に基づき個別に分析して結果の整合性を確認し、結果に明らかな相違があった際には、その原因を考察した。なお、3名の分析者は本分析の前に、FCIを用いた別のインタビュー調査の発話データを用いて両方法による採点の事前練習を行い、分析方針の共有を図った。

3. 結果

図1は、調査協力者Cについて、連鎖的FCI-CATと発話分析の結果を比較したものである。連鎖的FCI-CATの能力推定値はTest1～Test5の各々で10問の解答に基づき推定したものである（Test2～Test5では直前のテストの能力推定値を付帯情報として利用）。また、JudgeとCountの平均得点率は、各テストの前半5問の採点結果を分析者3名でモデレートし、同5問の平均値をそれぞれ計算したものである。図1のCATの結果より、調査協力者Cの能力値がTest1からTest4までは向上し、Test5では低下したことが読み取れる。この結果とJudgeの結果との整合性は高いものの、Countの結果とはややずれがあるように読み取れる。

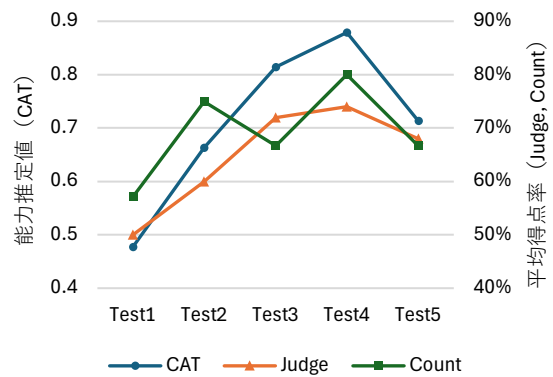


図1. 連鎖的FCI-CATと発話分析の比較

4. 考察

今回の予備調査を通じ、連鎖的FCI-CATと発話分析の結果の整合性を一部で確認できた。一方、発話の内容を定量化する方法については、得点の不確かさを招く様々な要因があることが明らかになった。具体的には、Judgeの不確定要因として、「一連の異なるテストで同じ設問が再度出題された場合、調査協力者が説明を簡略化することがあり、これをどのように評価すべきか」「調査協力者本人の属性、CATによる能力推定値、前問の解答結果など、当該の設問の発話以外の情報が分析者の主観に影響を与える」等の課題が指摘された。また、Countの不確定要因として、「分析者によって発話の文節の切り分け方が異なるケースがあり、芋づる式に誤答が続く場合、どのように文章を分割して×をつけるべきか」等の課題が明らかになった。妥当性評価の本調査では、上記の不確定要因を十分に考慮した上で対策を講じ、可能な限り客観的な採点を行う必要があると考えられる。

注

(1) 発話分析法の検討にあたり、ロンドン大学のBrock先生より、ご助言をいただいた。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP22H01061の助成を受けている。

参考文献

- [1] Hestenes, D. *et al.* (1992): *Phys. Teach.*, 30, 3, 141-158.
 [2] 安田 淳一郎 ほか5名 (2023): *日本科学教育学会年会論文集*, 47 巻, p. 403-404.

日本の高校教育課程に則した物理概念調査紙の開発：大規模調査の結果 I

^A勝田仁之, ^B新田英雄, ^B植松晴子, ^C西村墨太, ^D石本美智, ^B右近修治, ^E興治文子, ^F安田淳一郎, ^G伊藤慧, ^H今井章人, ^I植松桃子, ^J江藤開, ^K尾形総一郎, ^L荻谷麻子, ^M佐々木志帆, ^N柴田樹, ^O清水滉大, ^P竹内透, ^Q長倉健哉, ^R平本健太, ^S峯岸晃生, ^T山本岳

^A筑波大学附属高等学校, ^B東京学芸大学, ^C東京学芸大学附属高等学校, ^D高知工科大学, ^E東京理科大学, ^F名古屋大学, ^G明治大学付属明治高等学校・中学校, ^H早稲田中学校・高等学校, ^I十文字中学高等学校, ^J神奈川大学附属中学校・高等学校, ^K市川学園市川中学校・高等学校, ^L東京学芸大学附属国際中等教育学校, ^M小松市立南部中学校, ^N北杜市立甲陵高等学校, ^O法政大学国際高等学校, ^P東京都立新宿高等学校, ^Q静岡県立伊豆中央高等学校, ^R同志社中・高等学校, ^S渋谷教育学園幕張中学校・高等学校, ^T新潟県立長岡大手高等学校
Katsuda. phys. edu@gmail.com

1. はじめに

本講演は、2件の連続講演の1件目である。発表者らの研究グループ PEPPER では、日本の高校教育課程に則した、標準的な概念調査紙を開発した。物理基礎、物理の全分野(表1)から、それぞれ30問の出題となっており、すべて5択の多肢選択肢式である。各問題は、国際的な物理教育研究(PER)の方法に則って、試行・分析・妥当性評価・改訂をくり返して開発した。また、古典・現代テスト理論の両県から分析を行った。

本講演では、2023年度に全国の高校・大学の協力を得て行なった大規模調査について、全体結果の概要と結果、及び課題について述べる。

表1 「物理基礎」「物理」概念調査紙それぞれの出題項目

「物理基礎」出題項目					「物理」出題項目				
分野	項目	分野	項目	分野	項目	分野	項目	分野	項目
力学	落体	波動	反射	熱	潜熱	電磁気	静電気力	電磁気	電場
	位置		重ね合わせ		熱の移動		電位		
	速度		伝播速度		熱平衡		電位		
	加速度		縦波		比熱		導体不導体		
	力と運動		波源と波形	仕事	コンデンサ				
	作用反作用	電気	電力	運動&位置E	電気回路1				
	つり合い		電流	エネルギー保存	電気回路2				
摩擦力	電池	仕事と運動E	単振動	電流が作る磁場					
	抵抗率	放射線	万有引力	電流が磁場から受ける力					
		半減期	力と運動	ローレンツ力					
				電磁誘導					
				交流					

2. 大規模調査の結果

大規模調査は、年度冒頭に pre, 年度末に post 調査というように、物理基礎・物理のカリキュラム全体に対して pre, post 調査を実施した。結果の概要を表2に示す。物理基礎と物理を合わせて、合計1万件を超える回答を得た。

表2 大規模調査の概要

科目	時期	学校数	有効回答数	正答率(SD)
物理基礎	pre	45	5109	0.33 (0.43)
	post	23	2608	0.43 (0.46)
物理	pre	33	1680	0.28 (0.42)
	post	25	1311	0.46 (0.48)

図1に、物理基礎・物理それぞれの正答数分布を示す。「物理基礎」では、pre, postとも山形の分布となっており、postではpreに比べてピーク値が高得点側にシフトしている。一方で、「物理」では、preは山形の分布だが、postは低得点側と高得点側の2峰型の分布となっている。また、物理基礎に比べて、pre,

post間のピークシフトが小さい。概念獲得の観点で授業効果を捉えると、「物理」については、効果が非常に低い層と、効果が有意な層に、二分される可能性がある。

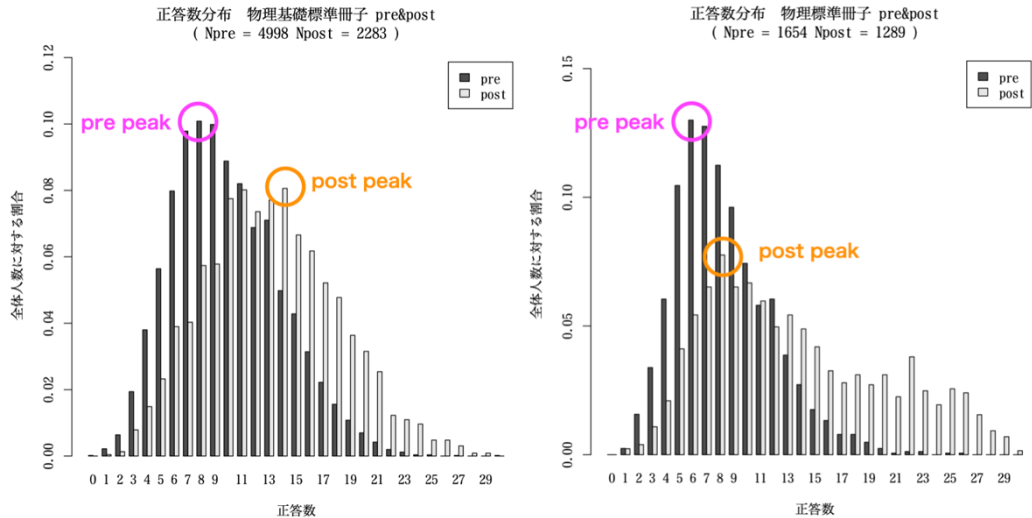


図1 「物理基礎」「物理」の正答数分布。pre分布を濃色、post分布を薄色で示した。

さらに、図2に、「物理基礎」の各設問間の正誤の相関を、pre, postそれぞれについて示した。pre段階の、同分野内の設問間には、弱い正の相関が見られるか、あるいはほぼ見られない。一方で、postに段階になると、同分野内の設問間の正の相関が強まるばかりか、分野を超えた相関が見られるようになった。物理学の学習において、分野を超えて知識や概念が繋がっていくのだと考えられる。

これはもちろん、物理学の学習に困難を抱えている場合、特定の分野だけに閉じずに、全体として学習がうまくいかないということをも示唆する。

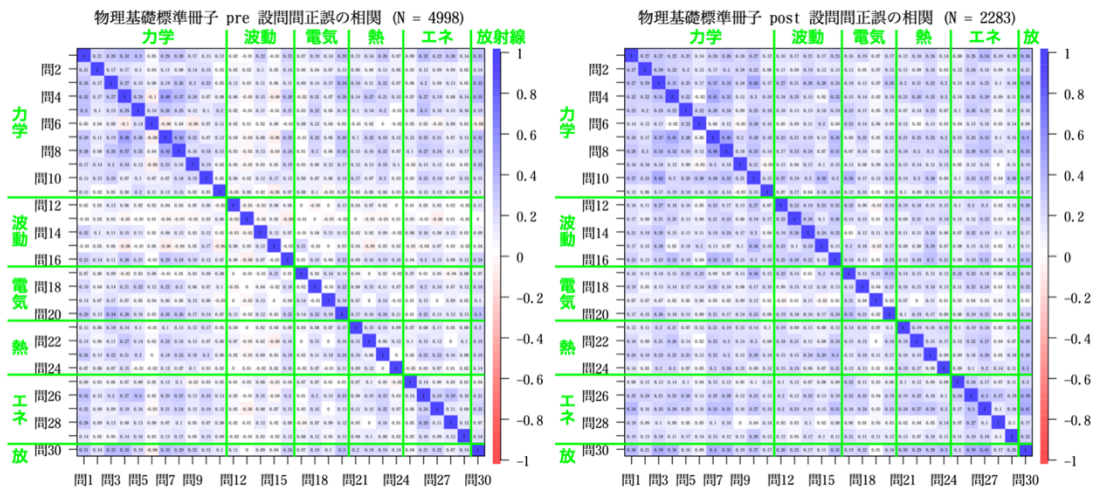


図2 「物理基礎」の各設問の正誤の相関。青(赤)が濃いほど正(負)の相関が強い。

3. 課題

今後の課題としては、まず本成果を論文の形で公表し、多くの物理教育関係者が利用できる状態にすることが挙げられる。なお、本学会誌の投稿規程では、論文は最大でも8ページに制限されているため、調査紙の問題全体を報告することができない。また何よりも、本研究の成果を、実際の授業や教材に反映させていくことが必要である。

参考文献

[1] W. Adams & C. Wieman, International Journal of Science Education, **33(9)**, 1289-1312(2011).

日本の高校教育課程に則した物理概念調査紙の開発：大規模調査の結果 II

^A西村墨太, ^B新田英雄, ^B植松晴子, ^C勝田仁之, ^D石本美智, ^B右近修治, ^E興治文子,
^F安田淳一郎, ^G伊藤慧, ^H今井章人, ^I植松桃子, ^J江藤開, ^K尾形総一郎, ^L荻谷麻子,
^M佐々木志帆, ^N柴田樹, ^O清水滉大, ^P竹内透, ^Q長倉健哉, ^R平本健太, ^S峯岸晃生,
^T山本岳

^A東京学芸大学附属高等学校, ^B東京学芸大学, ^C筑波大学附属高等学校, ^D高知工科大学,
 大学,

^E東京理科大学, ^F名古屋大学, ^G明治大学付属明治高等学校・中学校,

^H早稲田中学校・高等学校, ^I十文字中学高等学校, ^J神奈川大学附属中学校・高等学校,

^K市川学園市川中学校・高等学校, ^L東京学芸大学附属国際中等教育学校,

^M小松市立南部中学校, ^N北杜市立甲陵高等学校, ^O法政大学国際高等学校,

^P東京都立新宿高等学校, ^Q静岡県立伊豆中央高等学校, ^R同志社中・高等学校,

^S渋谷教育学園幕張中学校・高等学校, ^T新潟県立長岡大手高等学校

m121805g@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

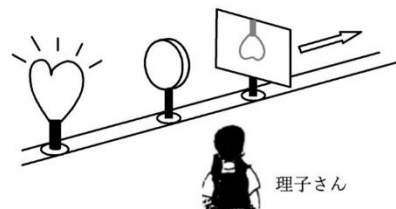
本講演は、2件の連続講演「日本の高校教育課程に則した物理概念調査紙の開発：大規模調査の結果」の2件目である。発表者らの所属する研究グループ PEPPER¹では、高等学校物理基礎・物理それぞれについて、学習指導要領の範囲全体をカバーした標準的な概念調査紙（標準調査）を開発してきた。国際的な物理教育研究（PER）の方法^[1]に則って、各分野における典型的な誤概念を反映した調査問題（物理基礎・物理各30問、5択の多肢選択肢）を開発し、試行・分析・改訂をくり返してきた。妥当性評価についても、生徒インタビューや専門家による評価といった定性的な面と、古典・現代テスト理論に基づく解析といった定量的な面の両面から行った。ここでは、具体的な調査問題について、昨年度実施した大規模調査の結果に基づきながら、成果と課題について述べる。

2. 成果

これまで概念調査に関する先行研究については、“国内でも FCI や FMCE については多くの報告がある。それに比して、他分野の概念調査紙による測定報告は、非常に少ない”^[2] 状況であった。本研究グループで、物理基礎・物理の標準調査を作成し、大規模調査を実施したことで、力学も含めて様々な分野における「よくある生徒の誤った考え」の存在を示唆する調査結果が得られた。例えば、物理標準調査問 16 は、幾何光学の概念調査紙である Fou-Tier

16. 下図のように、ハート型のライト、凸レンズ、スクリーンが一直線上に並んでおり、理子さんがスクリーン上に映ったハートをはっきりと見ることができています。そのスクリーン上のハートは、実物と比べると小さく、上下逆さまになっています。

さて、ハート型のライトと凸レンズの位置は変えないまま、スクリーンを図の矢印の向きに大きく移動させていくと、スクリーン上に映っていたハートはどうなるでしょうか。(1)~(5)のうち、あなたの考えに最も近いものを選んでください。



- (1)スクリーンを遠ざけるにしたがって、スクリーンにはっきり映ったハートが大きくなっていく。
- (2)実物と同じ向きのハートがスクリーンにはっきりと映る。
- (3)スクリーンに映ったハートは、実物と上下逆向きで、だんだん小さくなっていく。
- (4)スクリーン上のハートはだんだんぼやけて、やがて映らなくなる。
- (5)スクリーンに映るハートは何も変わらない。

図 1

¹ Physics Education Practice based on Physics Education Research の略

Geometrical Optical Test(FTGOT)^[3]を参考にして作成した問題(図1)だが、選択肢別の回答率(図2)より、誤答(1)の回答率が事前・事後ともに高いことがわかる。また、合計スコアごとの各問・各選択肢の回答率を表す項目特性図(図3)より、誤答(1)の回答率は合計スコアによらないことがわかる。これらより、「作図において光の集まっている場所にスクリーンを置くとはっきり映る」という認識を持っていない生徒が一定数存在することと、この誤った考えを正しい考えに修正することが非常に困難であると示唆された。多くの生徒は、凸レンズの作図はできるが、そもそも結像するということが理解できていないと捉えられる。中学内容だが、高校でも改めて作図と実際に実験で見られる現象をつなげて理解できるよう支援していく必要があると考えられる。

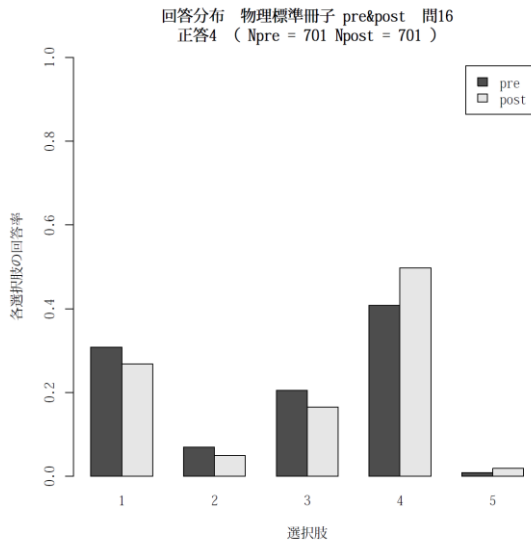


図 2

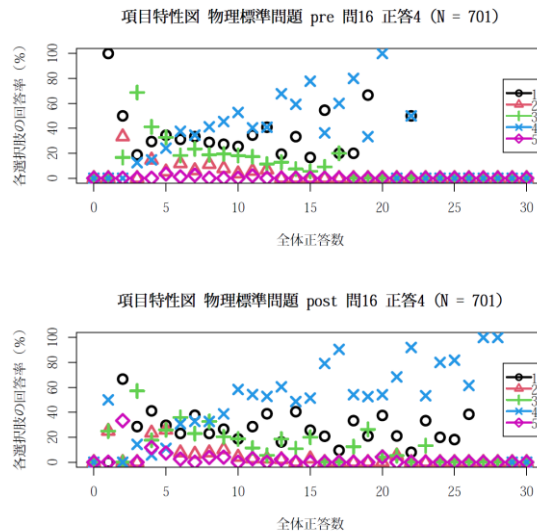


図 3

3. 課題

本発表に関わる部分での本研究の課題は、主に次の3点である。

1 点目、標準調査に収録されている問題と差し替え可能な問題プールの問題数が不十分である。本研究では現代テスト理論による解析と問題作成のプロセスを繰り返すことで、問題の秘匿性や教育課程に合わせたアレンジの難しさといった課題を乗り越えられるという示唆を得たが、現時点で標準調査以外の問題の開発にはほとんど取り組めていない。今後、新たに開発した問題と標準調査を同時に実施し、妥当性を検証するとともに、標準調査の問題との等化を行い、項目困難度の特定が必要である。

2 点目、開発した標準調査の問題と選択肢と対応する誤概念分類表が作成できていないことである。これまでの中・大規模調査の結果や先行研究、生徒インタビュー等のデータを総括し、誤概念分類表として整理することで、より広く標準調査を学校現場での授業評価のツールとして活用できるようになると考えられる。

3 点目、標準調査を用いた授業評価の実践例を十分に示せていない。標準調査と授業との関わりや、授業改善への効果などを今後実践的に示していく必要がある。

参考文献

- [1] W. Adams & C. Wieman, *International Journal of Science Education*, **33**(9), 1289-1312(2011).
- [2] 勝田仁之ら, *物理教育* **69**(3), 157-162(2021).
- [3] D. Kaltakci-Gurela et al., *Research in Science & Technological Education*, **35**(2), 238-260(2017).

力積概念による力学入門教育

—その科学史的背景—

塚本浩司,

千葉科学大学 大学院危機管理学研究科

ktsukamoto@cis.ac.jp

1. はじめに

今日の動力学教育において、その基本方程式は $F=ma$ として導入される。しかし、必ずしもその導入による教育が成功しているとは言いがたい。その原因のいったんは、「加速度概念」のわかりにくさ、あつかいにくさにあるのではないだろうか。そこで力学の入門においては、まずは基本方程式を「力積と運動量の関係式」 $F\Delta t = mv$ の形で導入するべきだと考えている。本発表ではその根拠を、「力概念に関する科学史」にもとづいて考察する。

1. 力積概念の発見

近代力学では、一般的な力学現象における「力」と、衝突現象における「力」が区別されることはない。衝突現象での「力」は、単に作用する時間が極端に短いだけだからである。ところが、科学史的にはそのことは自明ではなかった。

ニュートン『プリンキピア』(1867)以降も、「力」と「力積」の概念はそのときどきで混同して用いられていた。たとえばダランベールは、衝突現象で Ft を「力」としていたし[1]、ラグランジュは、今日の力に相当する量を「原始的力」(elementary of nascent force)と呼ぶいっぽうで、力積に相当する量を「運動物体の有限な力」(the finite force)と呼んでいた。また、オイラーは数式展開において、力積に相当する量を「速度の増加に比例する」としているが、そこに名称は与えていない[2]。英国ケンブリッジなどで 1800 年代に教科書として使用されていた代表的な力学書でも、衝突時にはたらく「衝撃力」(impulsive force)を「瞬時に速度を産みだすもの」として、力積と力を混同していた[3]。

この「力」と混同されていた Ft という量に名称を与えたのは、マッハ『力学史』(1883)によれば、フランスのブランジェである[4]。ブランジェは『力学教程』(1847)の中で、この量に *impulsion* という名称を与えた[5]。

2. 力積概念の拡張

しかも注目すべきは、ブランジェは、この力積という量を〈衝突のような極端に短い時間の現象〉にだけでなく、〈全ての力学現象〉に適用する量として提唱した。ブランジェによると、このようないわば「力積概念の拡張」は、フランスの科学者たち、ポンスレ、コリオリ、ポアソンらによって提唱されたものだった。

しかし、このブランジェらの提案は、その後ほかの物理学者たちにすぐひきつがれたというそうではない。たとえば、ブランジェの本から 50 年ほど後に出版されたツウェット『理論力学の基礎』(1898)には、以下のような記述がある[6]。

多くの著者たちが、衝撃力、あるいは瞬間力という名称を「衝撃力の力積」と言うべきものに

使っている。彼らは衝撃力を、「積分 $\int_t^{t'} F dt$ の F が際限なく大きく、 $t'-t$ が限りなく小さくなったときの極限值」として定義している。いいかえれば、「〈無限小の時間に測定しうる運動量を産み出す無限大の力〉の impulse」を衝撃力として定義している。

3. マクスウェルによる〈力積による基本方程式〉の提唱

英語圏においてこの力積を〈衝突に限らない通常の力学現象にも適用する量〉として明確に定義し、力学の基本を $F=ma$ にかわりに「力積と運動量の関係」においたのが、マクスウェルである。マクスウェルは力学入門書『物質と運動』(1876)の49節「力積について」で、

〈インパルスという言葉 The word impulse〉は、もともとは〈釘をたたくハンマーの場合のように、短い期間に働く力の効果〉をあらわすために用いられたものである。けれども、この場合と他のいかなる場合とを較べて見ても、力の作用に本質的な違いは全くない。それゆえ私たちは、〈インパルスという言葉〉を、上のように定義して使用し、〈その作用が例外的に瞬間的な性質をもった場合〉だけに限らないことにする

と述べ、さらに52節では運動の第二法則と「力積と運動量の関係」を結びつけている[7]。

4. おわりに

現代の物理教育、たとえば高校の『物理基礎』では「力積」についての記載はない。理系向けの『物理』では記載があるが、それは衝突現象のところに限定されている。つまり、ブランジェやマクスウェルらによる「力積概念の拡張」がうけつがれず断絶してしまっている。このことは海外の教科書でも同様だが、唯一『PSSC 物理』(1967)では、「拡張された力積概念」が記述されている[8]。

仮説実験授業の提唱者板倉聖宣は、〈上記で概略的に述べた塚本との共同研究〉も踏まえた上で、「力積概念を中心とした力学入門教育」を構想した。その構想を具体化するにあたって板倉が用いたのが、〈ストローと綿棒を用いた簡便な吹き矢実験〉である[9]。しかし、仮説実験授業の授業書として完成することはなかった。

塚本は板倉のこの構想に基づいた「新しい力学入門教育」を今後研究・開発していきたい。それは、板倉のみならず、ブランジェ、マクスウェル、ポンスレらの仕事を引き継ぐ仕事になるはずである。

参考文献

- [1] 中田良一(2001)：ダランベールの力の概念，日本科学史学会 2001 年度年次大会一般講演予稿集
- [2] Rune Dugas(1988)： *A history of Mechanics*, 339,242
- [3] たとえば Wood(1812)： *The Principle of Mechanics*
- [4] Ernst Mach(1883)： *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung* [邦訳：伏見謙訳『マッハ力学史—力学の批判的發展史』(1869)，このほか邦訳には青木一郎訳(1931)，岩野秀明訳(1976)がある。
- [5] J. B. Belanger (1847), *Cours de Mècanique*
- [6] Alexander Ziwet(1898)： *An Elementary Treatise on Theoretical Mechanics. Part I Kinematics.*(London; Macmillan)
- [7] James Clerk Maxwell(1876)： *Matter and Motion*
- [8] 山内明恭彦ほか監訳(1967)：PSSC 物理・第2版
- [9] たとえば板倉聖宣(1999)：「吹き矢の力学」—「力積」か「仕事」か，たのしい授業, 208, 22-29..

仕事とエネルギーをどう教えるか

西尾信一

日本薬科大学

nishio@zd6.so-net.ne.jp

1. はじめに

仕事は、その定義やエネルギーとの関係について、微妙な問題を含んでいるにもかかわらず、これまで教科書などでは学習者の誤解や混乱を招きかねない説明が以下のようにされてきた。

- ① 仕事を、力と「物体」の移動距離の積として定義する。
- ② 階段の高さとそれをかけ上がる時間を測定し、「かけ上がるときの仕事率」を求める実験を扱う。
- ③ 熱力学第一法則の導入段階で「仕事が熱に変わる」と説明する。

①については、物体が質点と見なせるものであればよいが、内部エネルギーをもつ場合は、エネルギー変化を正しく説明できない。たとえば、動摩擦力を受けながら運動する物体や、抵抗力を受けながら物体にもぐり込む小物体などは、それらの内部エネルギー変化をこの定義の仕事では説明できない。

②についても、①が関わり、その仕事をどんな力がするのかを具体的に説明できない。人体が内部エネルギーをもつ物体だからである。

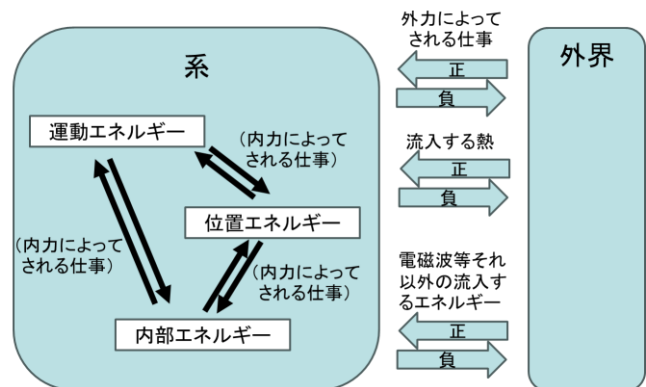
③については、本来なら「ふつう熱によって生じる物体の温度変化や状態変化は、仕事によっても生じる」と説明すべきである。そのような正しい認識があつてこそ、熱力学第一法則は理解できるはずである。

本稿では、高校物理や大学等での入門物理において、仕事とエネルギーをどう教えるべきかを論じる。

2. 教えるべき目標はなにか

力学に留まらないエネルギー全体の統合した理解を目指すよりも、伝統的なカリキュラムにしたがつて、目の前の「質点の力学」や「摩擦熱」だけを「わかりやすく簡単に教えたい」という動機が、これらの説明の元になっているのではないか。しかし、物理学全体や他の科学で必要な「正しいエネルギーの理解」を最終目標とすると、このようなカリキュラムは学習者の誤解や混乱を生むだけではないか。

仕事とエネルギーの関係は、図のようにまとめられるだろう。これを理解することを目標に、力学や熱力学を構成してはどうだろうか。ただし、系内のエネルギー変換において現れることがある「内力による仕事」は整理して理解するのは困難であるから、学習者に提示する仕事は、あくまで系を設定して、その系のエネルギー変化に寄与する外力によるものだけを扱いたい。



3. 教える順序と仕事や系の定義

通常は、仕事の定義から始まるが、中学校理科の学習事項を踏まえて、エネルギーの基本的な特徴（いくつかの種類があり、自然・人工を問わず、さまざまな現象や過程によってそれが変換され、全体としての量は増減せずに保存される）を復習として扱うことから始める。そして、エネルギーは「何かをもつ仕事をする能力」として定義し、その単位に必要なものとして、仕事を導入する。もちろん、その場合の仕事の定義に用いる変位は、てこや滑車などの道具でも使え、熱力学第一法則に使えるように、「物体の変位」ではなく「作用点の変位」である。そして、熱力学第一法則を意識して、その「何か」を「系」とよぶとして、系を定義し、「系に与えられる仕事＝系のエネルギー変化」を説明する。一般的な仕事の定義 $W = Fs \cos \theta$ から導かれる「力がはたらいているのに仕事は0」や「負の仕事」は、このような仕事とエネルギーの関係が理解できてこそ、初めて学習者には納得できるだろう。

系概念は、仕事とエネルギーの本質的な理解に不可欠であるが、これまで力学では軽視されてきた。力をおよぼし合う2物体の例題などを扱う場合に、「着目する物体」などの用語で簡単に扱われるだけである。しかし、英語の **system** は日常用語としてもよく使われ、物理学に限らず科学全般に必要な用語である。熱力学における系を力学でも導入し、それを使って位置エネルギー（ポテンシャルエネルギー）をより正しく教えるべきではないか。

4. 位置エネルギー（ポテンシャルエネルギー）の教え方

伝統的なカリキュラムでは、位置エネルギー（ポテンシャルエネルギー）は重力によるものから導入され、それは「物体がもつエネルギー」として説明される。しかし、この場合のより正しい理解は、重力をおよぼし合う物体と地球全体を系としたときの「系のもつエネルギー」であるし、そのポテンシャルエネルギーの原因となる重力（より一般には保存力）の「場のもつエネルギー」である。そのような見方ができれば、位置エネルギーは力学に限定された概念ではなくなり、電気エネルギーや化学エネルギーにつながるものとなる。

よって、そのような見方がしやすい「弾性力による位置エネルギー」から位置エネルギーを導入し、重力による位置エネルギーは「物体と地球を結ぶ見えないばね」のアナロジーで説明する展開をしてはどうだろうか。それは、原子間の化学結合力に起因する化学エネルギーや、核子間の結合力に起因する核エネルギーにも使えるイメージとなる。

参考文献

- [1] 右近修治:「仕事とエネルギー」概念の検討―「系」選択の重要性―, 物理教育通信 179(2020)6-14.
- [2] 西尾信一: 仕事とエネルギーの指導についての提案, 物理教育通信179(2020)15-20.
- [3] 西尾信一: 仕事とエネルギーの指導～pseudoworkに関連して, 物理教育研究大会予稿集(2019)
- [4] 西尾信一: エネルギーの種類と変換の教育の問題点, 物理教育研究大会予稿集(2021)
- [5] 西尾信一: 仕事をどう教えるか, 物理教育大会予稿集(2022)
- [6] 西尾信一: 人体のする仕事と人体のエネルギー, 物理教育大会予稿集(2023)

サイクロイド振り子のパラメーター励振

岡崎隆, 平久夫, 谷津拓真

北海道教育大学札幌校

taokazaki@ybb.ne.jp

1. パラメーター励振

単振動 (周期 $T_0 = 2\pi/\omega_0$) の運動方程式の右辺に角振動数が二倍の微小振動を加えることにより振幅が次第に増大する「励振」を生じることがある。

$$d^2x/dt^2 = -\omega_0^2(1 - \varepsilon \sin 2\omega_0 t) \cdot x$$

戸田盛和「振動論」1)によれば、これは付加項を外力と見なすと外力 F による仕事が常に正になることがあるためと説明される。 $\varepsilon > 0$, $x \cong \sin \omega_0 t$ のとき $dW = F \cdot dx \propto \varepsilon \sin 2\omega_0 t \cdot \sin \omega_0 t \cdot \cos \omega_0 t \cdot dt \geq 0$ ($x \cong \cos \omega_0 t$ では負で減振)。強制振動と異なり励振が生じる条件は固有振動数 ω_0 に対して二倍の角振動項が付加されることである。この形の運動方程式は「励振の標準形」と名付けられ、以下に述べる振り子の他に LC 回路やメルデの弦振動実験における励振が例示されている。

2. 単振り子のパラメーター励振

重力の下で振動する単振り子の支点を上下に、あるいは振り子の長さを微小振動させると励振が生じる (図 1)。振り子の振動周期 $T_0 = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{l_0/g}$ に対して振り子の長さを二倍の角振動数で振動させると、振れ角 θ が十分小さい近似の下 $x = l\theta$ について「励振の標準形」1) が得られる。

$$l(t) = l_0(1 - \varepsilon \sin 2\omega_0 t); \ddot{x} = -\omega_0^2(1 - 3\varepsilon \sin 2\omega_0 t) \cdot x$$

しかし励振が継続し振幅が増大すると近似は成り立たないため振り子の運動は二次元振動として扱うことが必要となる。振り子が一回振れる間に上下に二回振動するため振り子は八の字軌道を描いて励振する。張力による仕事が励振をもたらしている 2)。励振により振り子の振動周期が延びると、振り子の長さ $l(t)$ の角振動数が $2\omega_0$ のままでは二つの振動のタイミングがずれて励振の条件が満たされなくなる。振幅の増大は頭打ちになり減振に移行、その後振幅の増減が繰り返される (図 2)。 $l_0 = 1.67m$ の振り子の目視計測でこれを確かめた 3)。励振を継続させるためには変化する振り子の周期に合わせて振り子の長さを振動させる必要がある (2005 年度卒業研究、VBA シミュレーション)。ブランコの励振、ボタフメイロの励振 4) でこれらを体験、観察することができる。

3. サイクロイド振り子のパラメーター励振

ホイヘンスが考案したサイクロイド振り子は次のようなものである (図 3) 1, 5, 6)。振り子支点の両側にサイクロイド形状物を置くと振り子の振れに伴って支点の位置がサイクロイド曲線上を移動する。このため振れが大きくなるに従って振り子の実質の長さが短くなり周期の増大が抑制される。振り子の長さ $l_0 = 4a$ とサイクロイドの大きさを調節することにより振動周期一定の解 $\sin \theta = A \sin(\omega_0 t + \alpha)$ が得られる。この性質によりサイクロイド振り子のパラメーター励振では励振の継続が期待できる 2)。Maxima-rk の数値計算結果を図 4 に示す。周期は一定で励振は $\theta_{max} = \pi/2$ まで継続する。

4. 教材としての活用

小学校理科；振り子周期の等時性実験の後、ブランコによる体験を通じて重心移動、膝・足の曲げ伸ばしなどによる励振、減振を試みる。「蛙のぶらんこ」の紹介 1)。

高校物理；近似により考察の対象とならない張力の正体、役割、遠心力について考える。

大学物理；サイクロイド振り子の運動方程式を導き振動解を求め、振動の周期が振幅に依らず一定になることを確かめる。ルンゲクッタ法により微分方程式の数値解を求める。振り子の運動を二次元運動として考察することによって張力の正体を明らかにし、運動方程式からパラメーター励振のエネルギー供給源について考察する 2)。

参考文献

- 1) 戸田盛和 『振動論』培風館 (1968)、『おもちゃセミナー』 日本評論社 (1973)、
江沢洋、中村紘孔一、山本義隆 『演習詳解力学』日本評論社 (2011)、ちくま文芸文庫 (2022)
- 2) 平久夫・岡崎隆 北海道教育大学紀要 (基礎研究編) **73** (2023) 91
- 3) 福屋祥克 (1988), 菊地政芳 (2005) 北海道教育大学札幌校卒業研究
- 4) NHK BS プレミアム『聖なる巡礼路に行くⅡ～スペイン縦断 1500km～. 第一話「異教徒の大地」』
(2023)、YouTube『巡礼の終点、サンティアゴ大聖堂のボタフメイロ』
- 5) 岡崎隆、池田清朗、沢田康太、宮崎隆也、寺島靖香 物理教育 **58** (2010) 49
- 6) 数学見える化プロジェクト 『感じる数学』共立出版 (2022)、北大総合博物館企画展 2022.7

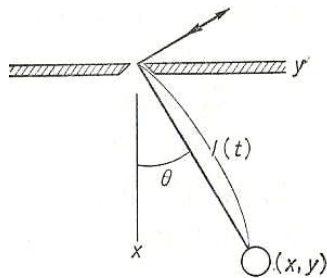


図 1. パラメーター励振『振動論』より

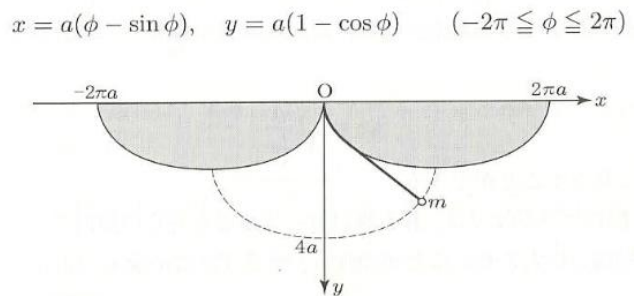


図 3. サイクロイド振り子『演習詳解力学』より

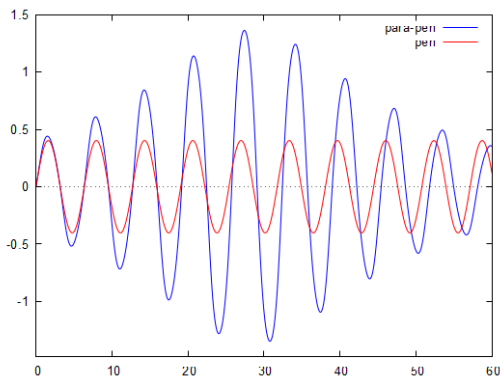


図 2. 振り子パラメーター励振,Maxima rk
 $\omega 0:1 \text{e}:0.2 \text{tmax}:60 \text{v} \theta 0:0.4 \text{e};$

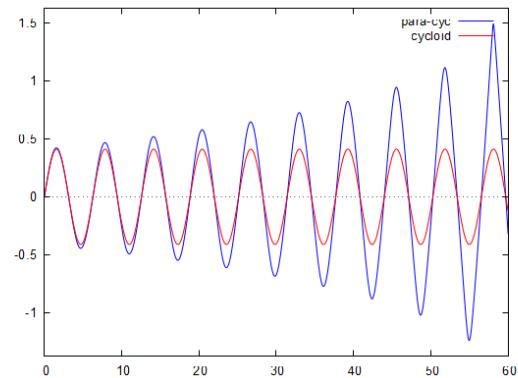


図 4.サイクロイド振り子励振,Maxima rk
 $\omega 0:1 \text{e}:0.02 \text{tmax}:60 \text{v} \theta 0:0.4 \text{e};$

ゴムの力学的・熱的特性と教材化

鷲見拓哉

西大和学園中学校高等学校

ta.sumi@t.nishiyamato.ed.jp

1. はじめに

本研究では、ゴムの力学的特性・熱的特性についての教材化を検討した。

2. 実験方法

本研究では、以下の2つの実験を行った。実験1は、ゴムの弾性力とバネの伸びの関係についての実験を行った。実験2では、ゴムの温度とゴムの長さの関係についての実験を行った。

【実験1】実験1では、ゴム紐におもりを吊るし、おもりの質量とゴム紐の伸びの関係を調べた。髪を結んだり荷物を絞ったりすることに用いるゴム紐2種と、帽子に用いるあご紐を使用した(表1)。

表1 使用したゴム紐の種類

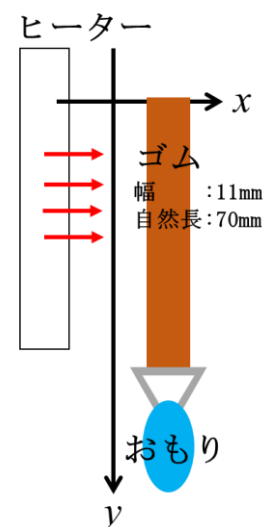
種類	ゴム紐①	ゴム紐②	あご紐
大きさ	直径 2.5mm	直径 2.4mm	幅 7.0mm
材質	ナイロン, 天然ゴム	ポリエステル, 天然ゴム	レーヨン, 天然ゴム

ゴム紐を適当な長さに切断し、ゴム紐の一端を支柱に結び、他端をおもりと結んだ。結び方は、どちらも引っ張っても解けないように、ふた結びにした。おもりは、50g, 500gの2種類を用いた。おもりを1個ずつ順に吊るし、支柱から垂らしたメジャーを用いてゴム紐の長さを測定した。ゴム紐の自然長はゴム紐が曲がるため測定せず、50gのおもりを吊るしたときのゴム紐の長さを基準として、その長さからの伸びを求めた。

【実験2】実験2では、輪ゴムの温度変化による長さの変化を調べた。輪ゴムは幅11mm, 自然長(折径)は70mmであった。輪ゴムを支柱に通し、片方にはカラビナを通した。カラビナには、1kg程度の適当な量の土を入れたポリ袋をさげた。ヒーターの電源をONにして輪ゴムの約3分間温めた後、ヒーターの電源をOFFにして約3分間放置した。この間における輪ゴムの長さの時間変化を、支柱に下げたメジャーを用いて調べた。

3. 結果と考察

実験1の結果は以下の通りであった(図1~4)。いずれも非線形なグラフとなった。特にゴム紐①と②においては、グラフ中に2つの変曲点が見て取れた。すなわち、おもりの質量が50gから150gまでの間では、ゴム紐の長さは二次関数的に増加した。また、おもりの質量が150gから300gまでとそれ以降においては、ゴム紐の長さはおもりの質量に比例した(但しばね定数は異なる)。このことから、ゴム紐の力学的特性は、ゴム紐の伸びる長さによって変化し、3段階に分けることができることを示唆している。



実験 2 の結果は図 5 の通りであった。ゴムは温めると約 1cm 縮み，温めるのを止めると元の長さ程度まで伸びた。このように，教科書に掲載されている金属などとは異なる挙動を見ることのできた。

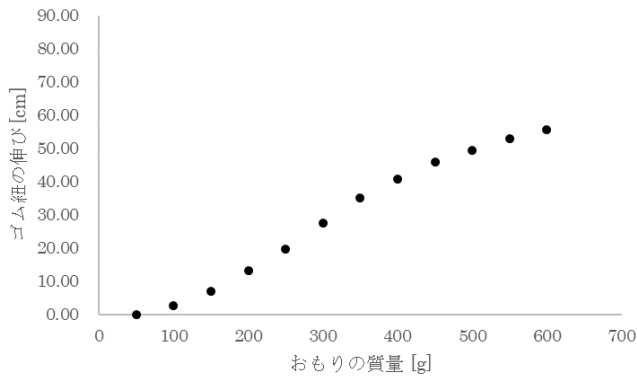


図 1 ゴム紐①の実験結果 その 1

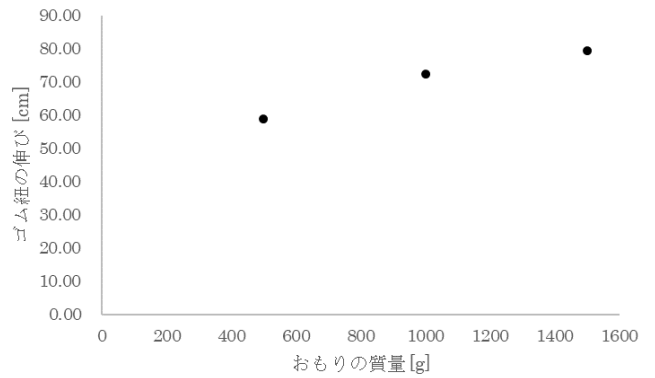


図 2 ゴム紐①の実験結果 その 2

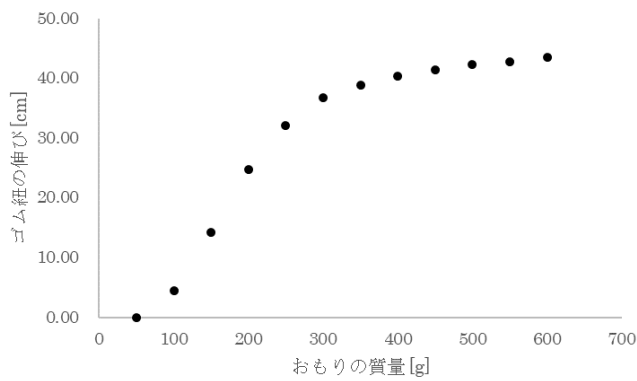


図 3 ゴム紐②の実験結果

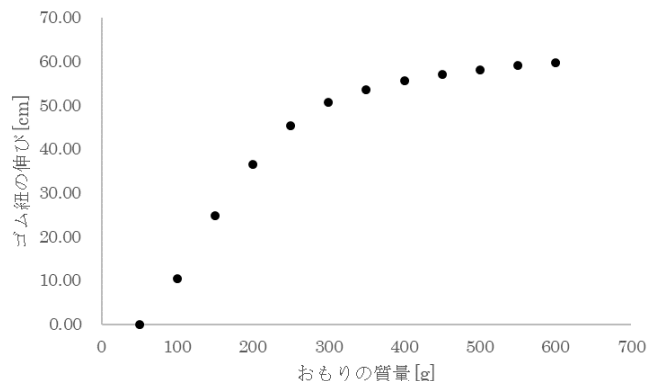


図 4 あご紐の実験結果

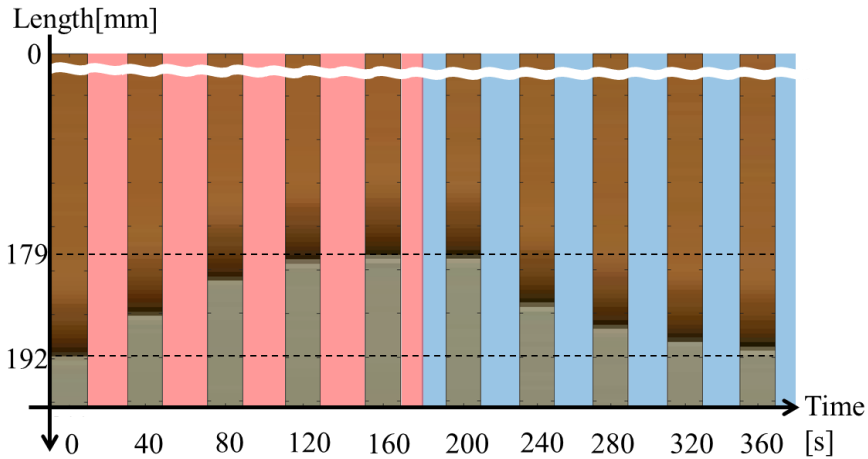


図 5 温度による輪ゴムの長さの時間変化

4. 今後の展望

力学的特性については，ゴムが伸びることによるゴム紐の温度変化を測定するなどして，その詳細をさらに調べたい。また，ゴム紐を用いた振り子や単振動についても教材化の検討を行いたい。熱的特性については，ゴム紐がした仕事の計算や，熱効率の計算などを行うことができないか調べていきたい。さらにこれらについて，通常のカリキュラムに取り入れられるかどうか検討をしていきたい。

熱力学と統計力学の布置関係の調査

—高等学校の熱力学・統計力学分野を理論体系として捉える契機として—

^{AB}磯部和宏

^A慶應義塾女子高等学校, ^B東京工業大学環境・社会理工学院

isobe@z5.keio.jp

1. はじめに

本稿の目的は、熱力学と統計力学の布置関係を明らかにし、高等学校における熱力学・統計力学分野を理論体系として捉えるための契機として意義づけることにある。

平成 30 年告示の高等学校学習指導要領解説の理科編・理数編に「基本的な概念や原理・法則の個々の理解に留まらず、これらに関連させ系統的な理解にまで高め、一貫性のあるまとまりとして全体を捉えられるようになることが重要である」[1]と述べられている。「一貫性のあるまとまり」とは高等学校の物理のスコープ (scope) における理論体系と言い換えられよう。

先行研究においては、菅野は「わが国における教育は理科に限らず、すべての教科内容はばらばらに縦割りにされ、各教科で個別知識を憶えさせるだけで、それら知識を関連づけて体系だった知識として教えることをしない」[2]として、断片的な知識の教授に対する批判を展開している。科学的知識とは概念や法則を単に寄せ集めたものではなく、それらを有機的に関連付けて築かれた理論体系であると指摘されている [3]。知識の体系性は個別の教科に留まらず科目にも依存するため、あらゆる教科を対象とした一般的な議論は困難である。しかし、科学的知識を定量的に扱う高等学校の物理にはそのスコープにおける体系的な知識が存在するといえよう。例えば、広井は高等学校の物理教育における理論体系の必要性を強調している [4]。

2. 高等学校における熱力学・統計力学分野を理論体系として捉える

先行研究において、高等学校の熱力学・統計力学分野は、熱運動という分子運動の説明から始まることから、大学の熱力学と統計力学と一緒に教えている状態にあると指摘されている [5]。実際、学習指導要領では、(オ)「気体分子の運動」というミクロなスケールを対象とした項目の中に、熱力学・統計力学分野がまとめて内包されている。具体的には、㉞「気体分子の運動と圧力」㉟「気体の内部エネルギー」㊱「気体の状態変化」の項目が含まれているが、㉞には統計力学と熱力学、㉟には統計力学、㊱には熱力学が内包されている [1]。このようなミクロとマクロなスケールが目まぐるしく移り変わるシーケンス (sequence) において、高等学校における熱力学・統計力学分野を理論体系として捉えることは多くの高校生にとって困難であるといえよう。さらに、熱力学と統計力学という 2 つの理論体系の間の布置関係に関する言及は存在せず、そのことが高等学校における熱力学・統計力学分野を理論体系として捉えることを一層困難にしている。菅野 [2] が批判するように、結果的に個別の知識の詰め込みに終始してしまうことが危惧される。

それに対して本稿では、熱力学と統計力学という 2 つの理論体系の間の布置関係を明確にすることにより、高等学校における熱力学・統計力学分野を理論体系として捉えるための契機として位置づける。そこで、物理教育に関する論文や大学の物理学の教科書等の文献を調査して、熱力学と統計力学の布置

関係を明示している部分を抽出した。

3. 熱力学と統計力学の布置関係の差異

菅野は物理学の各分野の論理的性格は同じでなく、探究の方法を発展の様相は三つの系列に区分できるとして、熱力学や統計力学の探究の方法を「状態記述」の方法と呼んでいる [3]。「状態記述」の方法に関する説明の中で、熱力学とそれを分子的に基礎づける統計力学¹⁾という表現がなされており、熱力学と統計力学の布置関係が明示されている [3]。同様の布置関係は日本物理教育学会の近畿支部 50 周年記念事業として刊行された、高等学校の物理の副読本『高校基礎物理学』においても確認することができる [6]。他にも、『熱・統計力学の考え方』において、熱力学に対して「すべての自然現象を第一原理にもとづいて理解しようとする物理学の立場からすると、このような方法では満足ができない」として統計力学の重要性が指摘されている [7]。

一方で、学問としての論理性を高めた近年の熱力学の教科書に『熱力学の基礎』や『熱力学－現代的な視点から』がある [5]。『熱力学の基礎』において、統計力学におけるミクロなモデルが現実の自然現象を記述する良いモデルであるならば、マクロな現象についてはすべて熱力学と整合しなければならないことが指摘されている [8]。『熱力学－現代的な視点から』では、統計力学が熱力学を基礎づけるのではなく、熱力学との整合性こそが統計力学を基礎づける、と強調されている [9]。

高等学校における熱力学・統計力学分野を理論体系として捉えるための契機として、熱力学と統計力学の布置関係に関する詳細な考察を当日報告する。

謝辞

本研究は慶應義塾学事振興資金の補助を受けている。

注釈

1) 菅野は『物理学の理論的系譜』において、分子統計力学と統計力学という 2 種類の用語を用いている。熱力学の分子論的基礎としての統計力学を強調するために、分子統計力学という表記が主として用いられているが、それらの使い分けが明確になされているわけではない [3]。そのため本稿では、一般的な表記方法である統計力学という用語に統一した。

参考文献

- [1] 文部科学省 (2018) : 高等学校学習指導要領
- [2] 菅野礼司 (2003) : 自然の階層性からみた物理, 化学, 生物, 地学 物理を基礎とした包括理科を, 物理教育, 51, 4, 290
- [3] 菅野礼司 (2023) : 物理学の理論的系譜, 吉岡書店
- [4] 広井禎 (1972) : もっと理論体系を重視しよう, 物理教育, 20, 1, 76
- [5] 前野昌弘 (2021) : 高校物理と大学物理の熱力学～何が難しい?～, 物理教育通信, 186, 8-19
- [6] 日本物理教育学会近畿支部 (2018) : 高校基礎物理学, 春日
- [7] 砂川重信 (1993) : 熱・統計力学の考え方, 岩波書店
- [8] 清水明 (2007) : 熱力学の基礎, 東京大学出版会
- [9] 田崎晴明 (2000) : 熱力学－現代的な視点から, 培風館

“thermal equilibrium”の意味は「熱平衡」ではなく「温度平衡」である

独創文化研究所 元東京理科大学 五十嵐 靖則

igarashi-yasunori@nifty.com

1 はじめに

熱概念のパラダイム転換により、『熱』は、状態量ではないので、「熱」は、物体や系の内部及びその環境には存在せず、「熱」は、エネルギーの一形態ではなく、エネルギーの移動形態の一つである。』と云うより深い認識段階に達していることについて一昨年報告した¹⁾。熱は物体内に存在しないので、原子や分子等の乱雑な運動を「熱運動」と呼んだり、そのエネルギーを「熱エネルギー」と呼ぶのは適切ではないと指摘してきた²⁾。これらの用語は、“thermal motion”や“thermal energy”の誤った訳語として使用されてきたものである。『熱平衡』という用語は誤概念を誘発しているので、「温度平衡」に修正するのがよい』のタイトルで今春の物理学会で報告した³⁾。今回は、その論を補強することを目的としている。欧米等の物理学者が“thermal equilibrium”の意味について述べた様々な著書とその文章を紹介し、「温度平衡」と訳するのが適切であることを論じる。

2 Caloric 説に基づき、J. Black は、“equilibrium of heat” (熱平衡)の用語を提案した^{3,4)}。

p.74 に、『This is what has been commonly called an equal heat, or the equality of heat among different bodies; I call it the equilibrium of heat, The nature of the equilibrium was not well understood, until I pointed out a method of investigating it. . . .』(下線は五十嵐による)
我が国で、「熱平衡」と呼んでいるものは、この Black の提案した用語を和訳したものと解することができる。

3 “thermal equilibrium”の用語の初見は J. C. Maxwell の “Theory of Heat”か⁵⁾ ?

p.32 の、Chapter II. On Thermometry, or the Theory of Temperature に、『Definition of temperature.- *The temperature of a body is its thermal state considered with reference to its power of communicating heat to other bodies. . . .*』

Cor. *If when two bodies are placed in thermal communication neither of them loses or gains heat, the two bodies are said to have equal temperatures or the same temperature. The two bodies are then said to be in thermal equilibrium. . . .*

Law of Equal Temperatures.- *Bodies whose temperatures are equal to that of the same body have themselves equal temperatures. This law is not a truism, but expresses the fact that if a piece of iron when plunged into a vessel of water is in thermal equilibrium with the water, and if the same piece of iron, without altering its temperature, is transferred to a vessel of oil, and is found to be also in thermal equilibrium with the oil, then if the oil and water were put into the same vessel they would themselves be in thermal equilibrium, and the same would be true of any other free substances. . . .*』(下線は五十嵐による)

Cor. に、『2物体が、エネルギーの交換ができる状態に置かれているのに、熱(エネルギー)のやり取りがないときは、2つの物体は同じ温度を持つ、或は、同じ温度であると云われる。2つの物体は、そのとき、温度平衡(thermal equilibrium)の状態にあると云われる。』の意味で解説されている。次の「等しい温度の法則(Law of Equal Temperatures)」は、後に、熱力学第0法則と認知されることになる、極めて卓越した考えが述べられたもので、ここで、“thermal equilibrium”用語を用いて、具体例を挙げて「等しい温度の法則」が成り立つことを説明している。

4 C. Christiansen は著書“Elements of Theoretical Physics”の「Fourier’s Equation」の節で、“Equilibrium of temperature”の用語を用いて説明している⁶⁾

『If the temperatures of the different parts of a body are different, a gradual change goes on until the temperature of all parts of the body is the same, that is until equilibrium of temperature has been reached. In this statement it is assumed that the body neither receives heat from surrounding bodies nor gives up heat to them. . . .』(下線は五十嵐による)

『物体とそれを取り囲む環境との間で、熱のやり取りが無いという仮定のもとで』という、補足の下に、『物体内に、温度差があれば、物体の全ての部分が同じ温度になるまで、即ち、温度平衡が達せられるまで、徐々に変化が進行する。』とある。

5 A. Sommerfeld 著 “Thermodynamik und Statistik” に見る“thermischen Gleichgewichtes”⁷⁾

p.1 に、『. . . Dem entspricht es, wenn wir die Temperatur durch ein besonderes Axiom einführen, indem wir sagen:

Es gibt eine Zustandsgröße, die Temperatur. Ihre Gleichheit ist Bedingung des thermischen Gleichgewichtes zweier Systeme oder zweier Teile desselben Systems. . . . konnten es nach einem Vorschlag von R. H. Fowler den “nullten Hauptsatz” nennen.』(下線は五十嵐による)

同書の英訳書には、次の様に訳述されている⁸⁾。

p.1 に、『. . . in accordance with its spirit we introduce the concept of temperature by stating the following axiom:

There exists a property - Temperature. Equality of Temperature is a condition for thermal equilibrium between two systems or between two parts of a single system. . . . following a suggestion by R.H. Fowler, we shall refer to it as to the “Zeroth Law” of thermodynamics.』

とある(下線は五十嵐による)。

訳すと、『. . . その精神に従って、温度概念を以下の公理によって導入する。それは:

温度と云う状態量が存在する。温度が等しいことが、互いに thermischen Gleichgewichtes(thermal equilibrium)に

あるための条件である。』となる。そうすると、文脈から“thermischen Gleichgewichtes(thermal equilibrium)”の訳語は「熱平衡」ではなく、「温度平衡」がよいことが分る(即ち、温度が等しいことが、互いに温度平衡にあるための条件である。)。この公理が熱力学第零法則と呼ばれることから見て、「温度が等しい状態にあること(温度平衡の状態)」と解するのが適切であると考えられる。

6 R. Serway 著“Physics for Scientists & Engineers 2nd ed.に見る“thermal contact”と“thermal equilibrium”⁹⁾

p.410 に、『In order to understand the concept of temperature, it is useful to first define two often used phrases, *thermal contact* and *thermal equilibrium*. Two objects are in thermal contact with each other if energy exchange can occur between them in the absence of macroscopic work done by one on other. Thermal equilibrium is situation in which two objects in thermal contact with each other cease to have any net energy exchange due to a difference in their temperature. . . . 』とある(下線は五十嵐による)。

『thermal contact とは、相互の間での巨視的な仕事が無く、相互の間でエネルギーの交換ができる状態を云う。』とあり、『Thermal equilibrium とは、2 物体が thermal contact の状態に置かれていても、温度差によるような正味のエネルギーの交換がない状態のことを云う。』とある。この理解は、「熱」は物体内には存在しないから、「熱の移動」とか、「熱のやりとり」の表現は適切ではないので、「エネルギーの交換」と云う表現を採った最新の物理学の知見に基づいた極めて優れた解説である。

7 C. J. Adkins 著 An Introduction to Thermal Physics に見る“thermal interaction”と“thermal equilibrium”¹⁰⁾

p.2 に、『. . . , whereas in thermal interactions the energy is associated with disordered thermal motions of the atoms of which the system is composed: the random motions of the molecules of a gas or the vibrations of the atoms of a solid. . . . If two systems are placed in contact in such a way as to allow thermal interaction, they are said to be in thermal contact. . . . 』(下線は五十嵐による)。

p.3 に、『. . . If we take two systems and place them in thermal contact we generally find that initially changes will occur in both. Eventually the changes cease, and the systems are then said to be in thermal equilibrium. We introduce the idea of temperature by saying that the condition for the systems to be in thermal equilibrium is that they should be at the same temperature. Conversely, two systems which are already at the same temperature will not undergo change when placed in thermal contact. Equality of temperature is therefore the condition for thermal equilibrium. 』(下線は五十嵐による)。

以上に見る様に、“thermal interaction”は、原子や分子の衝突を通しての微視的にエネルギーを交換することを意味する。そして、“thermal contact”は、そのような微視的なエネルギー交換が可能な状態に置くことを意味している。このような状態に置かれた2つの系がエネルギーのやり取りが終了し、時間が経過しても、温度が一定で変化しなくなった状態を“thermal equilibrium”と呼んでいることが分る。それ故、『温度の等しさ』(Equality of temperature)が“thermal equilibrium”の条件である。』と述べられている。このことから分かる様に、“thermal equilibrium”は、「熱平衡」ではなく、「温度平衡」と解するのが適切であると云える。

8 Sears and Zemansky’s University Physics Young & Freedman 共著 10th ed. に見る“thermal equilibrium”¹¹⁾

p.462 に、『We conclude that two systems are in thermal equilibrium if and only if they have the same temperature. 』とある(下線は五十嵐による)。『2つの系は、それらの温度が等しい時に限り、thermal equilibrium にあると結論する。』とあることから、“thermal equilibrium”は、文脈から考えて、「熱平衡」ではなく、「温度平衡(状態)」と訳するのが適切であることが分る。

9 考察とまとめ

熱概念のパラダイム転換以前(1950年代)は、J. Black などに見るように、熱は物体に所有されていて、高温物体ほど多量の熱を持ち、高温物体から低温物体へ熱そのものが移動し、熱の移動が終わった状態を「熱平衡」と呼んでいた。その名残の一部が、J. C. Maxwell などにも見られるが、しかし、熱概念のパラダイム転換以後は、『熱は状態量ではなく、エネルギーの移動量に付された名称で、熱は“thermal equilibrium”に到る前後においても、物体やその周囲の環境にも存在しないことが明確に認識されて、「熱の移動」などの表現は、適切ではなく、誤解を誘発するので使用されなくなって行った。“thermal equilibrium”の意味は、「温度平衡」で、その条件は「温度が等しいこと、その時に限り、2つの系は温度平衡にある。』』となった。熱概念に対する我が国の初学者の誤解や混乱の実態¹²⁾を真摯に受け止めて戴き、“thermal equilibrium”を「熱平衡」と訳し呼ぶことを中止し、「温度平衡」に修正することを願う。

10 参考文献

- 1) 五十嵐 靖則 「熱概念」のパラダイム転換について 日本物理教育学会第 38 回物理教育研究大会発表予稿集(2022) pp.46-47
- 2) 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 第 1 号(2017. 3) pp.111-120
- 3) 五十嵐 靖則 「熱平衡」の用語は誤概念を誘発しているので、「温度平衡」に修正するのがよい 日本物理学会講演概要集 Vol.79, No.1, 2024, p.2051
- 4) J. Black Lectures on the Elements of Chemistry Mathew Carey 1806, Improvement of our knowledge of Heat by means of the thermometer, pp.66-
- 5) J. C. Maxwell Theory of Heat 9th ed. Longmans, Green and Co. 1888, Dover Pub. 2001, p.32
- 6) C. Christiansen Elements of Theoretical Physics trans. by W. F. Magie Mac.& Co.1897. p.298 Christiansen 氏は N. Bohr の指導教育を務めた。
- 7) A. Sommerfeld Thermodynamik und Statistik Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G 1964 p.1
- 8) A. Sommerfeld Thermodynamics and Statistical Mechanics Tras. by J. Kestin Academic Press 1964, p.1
- 9) Raymond A. Serway Physics for Scientists & Engineers 2nd.ed. Saunders College Publishing 1986, p.140
- 10) C. J. Adkins An Introduction to Thermal Physics Cambridge University Press. 1987, pp.2-3
- 11) Sears and Zemansky’s University Physics Young & Freedman Addison Wesley, 10th ed.2000, p.462, 11th ed.2004, p.642, 12th ed.2008, p.572
- 12) 五十嵐 靖則 熱概念、特に「熱運動」「熱エネルギー」の用語についての初学者の理解や混乱の実態を真摯に受け止めよう 物理教育学会第 40 回物理教育研究大会発表予稿集(2024)

入学までの学習履歴と大学初年次の物理の理解

平野裕一

大阪工業大学教育センター

yuichi.hirano@oit.ac.jp

1. 背景

2009年度に大学への進学率が初めて50%を越え、2023年度には57.7%まで増加している。[1] また、私立大学にあっては、2023年度総合型選抜・学校推薦型選抜による入学者の割合は58.7%[2]となり、学生は多様な選抜により入学している。

大学入学生の高等学校における物理に関する科目の履修履歴と入学時の物理の成績に関する先行研究としては、「物理基礎」の履修の有無について、斎藤[3]が差異は認められるものの大きな影響を及ぼさないことを示し、細川[4]は講義後の評価において差異を認めている。また、齊藤[3]は「受験において暗記に頼る学習をしたため、物理を理解したという実感に至っていない。」と示唆している。

筆者が勤務する大学は理系学部を中心とした大学であるものの、物理を入試科目として課す入試以外に、物理のペーパーテストは課さず高等学校で「物理基礎」や「物理」を履修していることを条件とする入試、物理に関する科目の履修を課していない入試など多様である。このような入試を経て入学した学生の入学時における物理の学力は多様であることが推測される。

本学では、このような状況を踏まえ教育センターという部署を設け、初年度前期の物理の授業「物理学(a)」(以下、「物理学」という。)を担当すると共に、放課後の時限を活用して「物理学」の授業時間内で扱えなかった問題演習を中心とした「基礎力向上講座」を希望学生に開講している。そのような支援の下、学修内容の分野ごとに確認テスト及び期末テストを実施し理解の定着を図っている。

本稿では、「物理学」の受講者を対象としたアンケートにより、学生を大学入試までの学習履歴(物理に関する科目の履修状況及び受験科目としての選択状況)によりA・B・Cに分類し、入学後の分野別成績との関係についての調査を実施し、その結果を報告する。

2. 「物理学」の授業で行った確認テストの結果と考察

「物理学」は力学・熱力学・電磁気学の内容を4つの分野に分け、3回の確認テスト(4回目・8回目・12回目の授業時に実施)テストと期末テストをそれぞれの分野を試験範囲として行う。

表1は「物理学」の学修内容と高等学校の「物理基礎」「物理」の学習内容を比較したものであり、表2は、分野ごとの学生の分類別の確認テストの平均点等を示したものである。

予稿集執筆時点で実施した3回の確認テストの成績については、いずれの分野においても、受験科目としての物理の選択の有無による有意差は認められなかった。

【分野1・2】については、「物理基礎」の学習内容と重複する部分が多く、「物理基礎」の履修の有無による有意差があったと認められた。「物理」の履修の有無については、【分野1】のみ有意差が認められ、ベクトルの概念の理解度に差異があることがその理由として考えられる。

【分野3-1・3-2】については、いずれの内容も「物理」の学習範囲であるが、前述の「基礎力向上講座」への参加を促すことなどにより、高等学校での履修履歴がリセットされ、大学での学修態度が身につけ始めたと考えられる。

表1 「物理学」の学修内容と高等学校での学習内容

「物理学(a)」の内容		「物理基礎」の関連内容	「物理」の関連内容	
1 3	【分野1】 質点の力学①	単位・座標系・ベクトル	物理量の測定と扱い方	平面内の運動
		変位と速度	運動の表し方	平面内の運動
		加速度	直線運動の加速度	平面内の運動
4 7	【分野2】 質点の力学②	力と慣性	様々な力・力のつり合い・ 運動の法則	—
		束縛運動	運動の法則	—
		仕事と運動エネルギー	運動エネルギーと位置エ ネルギー	—
		保存力とポテンシャル・位 置エネルギー	運動エネルギーと位置エ ネルギー	—
8 11	【分野3-1】 温度と熱*	温度、状態方程式	熱と温度	気体の状態変化
		準静的過程・熱力学第1法 則・気体分子運動論	—	気体分子の運動と圧力・ 気体の内部エネルギー・ 気体の状態変化
		熱容量と比熱 理想気体の断熱変化	—	気体の状態変化
		カルノーサイクル	—	—
8 11	【分野3-2】 剛体*	重心・力のモーメント・剛 体のつり合い	—	剛体のつり合い
12 14	【分野4】 静電場	電場	—	電荷と電界
		ガウスの法則	—	電荷と電界・電気容量
		電位	—	電界と電位

※8回～11回の講義は、「温度と熱」を学修する学科と「剛体のつり合い」を学修する学科がある。

表2 分野別平均点と学生の分類による有意差

	A 物理基礎の履修		B 物理の履修		C 物理を受験科目とした	
	あり	なし	あり	なし	はい	いいえ
【分野1】	84.1	54.2	85.3	68.1	83.5	82.9
	$t(185)=3.50, p=5.88E-4$		$t(185)=3.76, p=2.30E-4$		$t(185)=0.189, p=.851$	
【分野2】	89.2	79.2	89.2	87.1	90.1	88.1
	$t(185)=1.74, p=.0834$		$t(185)=0.700, p=.485$		$t(185)=1.03, p=.305$	
【分野3-1】	91.5	82.6	91.7	87.0	91.8	90.7
	$t(139)=, p=.189$		$t(139)=1.20, p=.233$		$t(139)=.412, p=.680$	
【分野3-2】	89.8	—	89.5	92.0	90.5	89.2
	—		$t(42)=.359, p=2.02$		$t(42)=.296, p=.769$	

(注1) 【分野4】を範囲とする期末テストは、予稿集原稿締切り時においてまだ実施していない。

(注2) 網掛け部分が、有意差が認められなかった項目である。

3. 今後の展望

予稿集原稿執筆時点において未実施である【分野4】のテスト結果を踏まえ、高等学校での履修履歴の影響及び本学での学修支援の効果検証について考察を進める。

参考文献

[1] 文部科学省：文部科学統計要覧（2024），

https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/002/002b/1417059_00009.htm（2024年7月8日閲覧）

[2] 文部科学省：令和5年度国公立大学・短期大学入学者選抜実施状況の概要（2023），

https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/2020/1414952_00005.htm（2024年7月8日閲覧）

[3] 齊藤隆仁：高大接続の取り組みを通じた大学初年次学生の理解，物理教育（2019），67-3, 192-196

[4] 細谷哲雄：大学初年次での物理の理解と高校での履修状況の関係，物理教育（2020），68-4, 277-280

大学教育における物理誤概念克服

庄司善彦

高エネルギー加速器研究機構

shojis2nd@yahoo.co.jp

1. はじめに

2024年春の物理学会において山下哲氏の「高校物理初学者にとっての構成主義的な学びの有効性と優先性」は、多くの参加者の問題意識を喚起したように思う。これに関連して本稿では、大学における構成主義を取り入れた物理教育に関するデータを示す。本稿では大雑把に、構成主義の対立概念である行動主義に基づく学びを、伝統的講義形式(TL: Traditional Lecture)による受動的学びとし、行動主義に基づく学びを双方向型講義(IC: Interactive Class)による能動的学びとしておく。本稿で解析するICは、教育学の教員による講義ではなく先進的講義でもない。研究を主要業務とする大学教員が行うICである。

物理学の学習は物理法則の知識（宣言的知識）獲得から始まる。これに続く手順的知識の獲得は、TLでは問題演習だが、ICでは獲得済み知識との整合性を検討する等の作業であり、知識の再構成の幅が広い。教育学の専門家の多くは、構造主機的教育を理想と考えているが、一般にICは学生の高い能力と、長い学習時間を要求しがちである。物理学は歴史が降るほど日常体験から離れ、学生が自らが知識を構成するICは難しくなる。そして対象学生が低学力であれば、初等物理であっても理解に至る困難さは高いだろう。

2. FCI スコアの変化

ICを取り入れた2つの大学講義例の講義前後のFCI[1]スコアの変化を図1に示す。図の横軸は講義前正解数 S_1 と講義後正解数 S_2 の平均正解数 $S_{12} = (S_1 + S_2)/2$ 、縦軸は正解数の増加（net gain） $G = S_2 - S_1$ とした。FCI規格化ゲインは個人に対しては $G_H = G/(30 - S_1)$ 、クラスに対してはクラス平均 $\langle G \rangle$ を使い、 $G_H = \langle G \rangle / \langle 30 - S_1 \rangle$ である。

一例は文理融合型学部の「基礎物理」で $G_H = 0.09$ である。クラスは20~30名で、学生による議論はないがクリッカーを積極的に使う。もう一例は、全学部対象の教養科目「科学的論理思考」で $G_H = 0.13$ である。認知発達を目的として学生同士の議論も行うが、物理に特化した内容ではない。理系クラスは80~100名、文系クラスは20名程度だが、同じ講義内容である。履修者の学習履歴別にプロットすると、講師も内容も異なるが共通の傾向を示す。

先行研究から(1)高校における履修科目が少ないほど G_H が高く[2]、(2) S_{12} が高いほど G_H が高い[3]傾向が予想される。(1)は法則の知識を欠いた状態では正解が出にくく、授業の結果高い G が出やすいからであり、(2)は個人の能力（ローソンテストで測定される論理能力など）への依存性によると考えられる。図1は概ね予測された傾向に合うが、「論理思考」で物理基礎のみ受講し、全国試

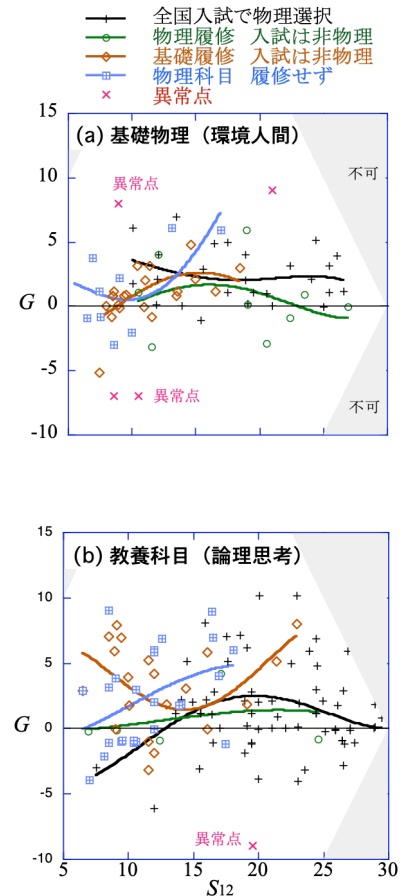


図 1. 講義前後の FCI スコア変

験で選択しなかった学生は、低 S_{12} で高い G_H を出している。彼らの S_1 と S_2 を図2に示す。 $S_1 < 12$ であったスコアが $S_2 \approx 12$ に揃っている。項目別の解析から、理解以前であった項目が理解レベルに達した、誤概念以前の変化であったと推測できる。この講義は最低層への知識伝達効果が高く、中間層への効果は小さかったことになる。

TLはICに劣ると単純に否定すべきではない。L. Baoらによれば[4]、中国では理工系学部新入生のFCI平均点は25.8であり、高校教育は完璧に近い。ICは長めの講義時間を必要とするが、TLでも長い学習時間が誤概念を克服させ、理解の質も高いと思われる。米国でHestenesらは浮力について16名の大学院生にインタビューしたが、十分理解できていた2名はともに中国人留学生であった[2]。この2名は大学入試（高考）対策を重視したTLで中高生活を送ったと思われる。

図3に示すのは科目履修後のFCIスコアの変化である。科学的推論能力を測るローソンテストのスコアは大学在学中も伸び続けているが、FCIスコアもわずかながら伸びている。初年次にニュートン力学を履修した直後のスコアを S_1 とし、 S_2 は図3(a)はほぼ3年半後、図3(b)はほぼ2年後である。 G_H はそれぞれ $G_H=0.12$ と $G_H=0.07$ である。ここでも S_{12} が高いほど G_H が高い傾向が見える。

3. 議論

前の章で、様々な過程におけるFCIスコアの改善を紹介したが、例外を除いて、TLでもICでも、さらに専門教育過程においても、FCIスコアの高い学生のゲインが高い。この結果は、基本能力の育成が重要で誤概念克服に効果があるという示唆でもある。日本の教育システムの中で、最も制限の緩い過程が大学教養であろう。物理系教養科目は物理法則の知識に拘らないICとし、物理法則の理解より、論理能力育の手段とする選択もあるだろう。

そもそも、誤概念克服にどのような意味があるのか。講義を通じて得た物理法則のより深い知識を、今後の実生活で生かせる学生は少数である。Hestenesらは個々の誤概念に拘らず”...one great strength of Newtonian mechanics is that it is a coherent conceptual system, and this can have as much impact on student learning”とする考えを示した[1]。しかし私には、これさえも高すぎる理想だと思われるが、いかがであろうか。

参考文献

- [1] D.Hestenes, et al. (1992) “Force Concept Inventory”, Phys. Teacher 30, 141;
- [2] 覧具博義ら(2018)「物理教育現状調査プロジェクト」関西報告会、2018.11.18、同志社大学。
- [3] V.P.Coletta, et al.(2020)“Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories », Phys.Rev. PER16, 010108.
- [4] L.Bao, et al. (2009), “Learning and Scientific Reasoning”, Science 323, 586.

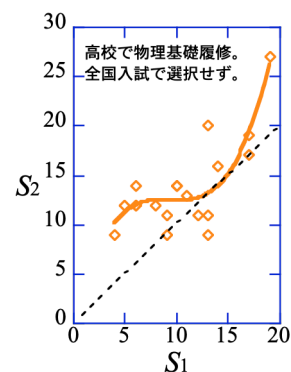


図2. 低スコア層の改善

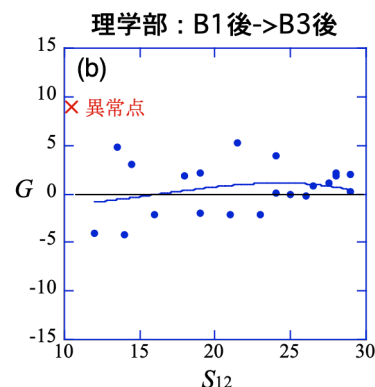
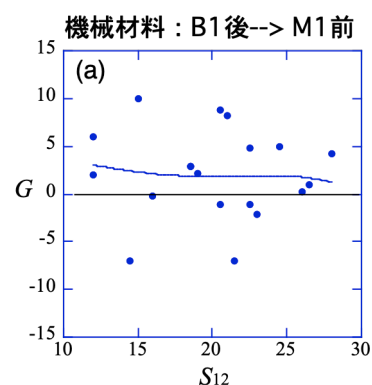


図3. 理・工学部在学中のFCIスコアの伸び。

工学系学部の研究室における物理教育

山本隆夫

群馬大学大学院理工学府

tyam@gunma-u.ac.jp

1. 初めに

工学系学部における物理教育の典型的なスタイルは、初年時の基礎科目としての物理学の講義、演習および実験であろう。もう一つとして、研究室における研究活動、つまり、卒業研究、修士および博士課程の研究活動における物理教育である。ここでは、物理学の知識と考え方を工学においてどのように活用するかを実体験させることができるという利点がある。ただし、主目的である工学教育と融和し邪魔にならないという条件を満たさなければならぬため、環境に恵まれる必要があるとともに教育できる内容に強い制限がかかる。工学においては(もしかして社会においても)ニーズに合わないシーズはいらぬのである。物理学側が譲歩してニーズに合わせなければならぬ。研究活動を通じて教育できたと思える内容は、①大胆なモデル化により普遍構造を記述し導入されているパラメータで多様性を記述するという物理学における基本戦略を体験させる、②測定データを数式化することの有効性を理解させ数式をつかって現象を解析することを実践させる、③基本的な物理描像は理解しておくといろいろとお得であることを納得させる、といったことである。代表的な教育例を3つほど紹介することで教育内容をお伝えする。

2. 教育例

【例1】 振動密度計におけるゾル・ゲル転移の解析[1]：力学モデルの教育

振動密度計は図1に示すようなU字型のチューブ内部を液体で満たしてチューブを加振し共振振動数から液体密度を導出する装置である。ゼラチン溶液の密度を測定した際、温度上昇とともに密度が上昇するという不自然な結果を得たため相談を受けたことがきっかけ

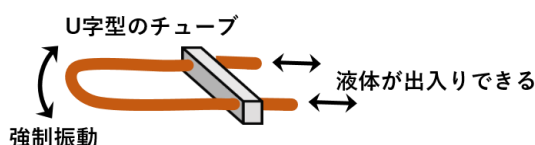


図1：振動密度計の原理

である。不自然なデータとなった原因は、測定装置の製造元が強制振動現象における粘性項を考慮しなかった、または、振幅共振と速度共振(エネルギー共振)の違いを理解していなかったことにある。測定装置を改造して変位と位相の双方を測定可能にし、粘性項のある強制振動でモデル化しなおして正確な密度の測定を可能にした。位相の変化点からゼラチンのゾル・ゲル転移温度の測定も可能になった。初等力学の理解が問題解決に大きく関与している。とくに、「質量」の意味を実感させることができる。また、「共振の種類」といった力学教育ではマイナーな知識が解決の糸口となった。

【例2】 高分子溶液の相分離曲線[2,3]：高分子溶液の相分離の古典論と臨界現象の融合

均一なゲルビーズを容易且つ大量に作製するために高分子溶液の相分離曲線とスピノーダル曲線の理論的予測が必要になった。高分子溶液の相分離現象は主として Flory-Huggins(FH)の自由エネルギーに基いて解析されるが、精度の高い予測をするためには、高分子溶液の臨界点近傍における臨界現象が再現できるように FH 自由エネルギーに臨界揺らぎの効果を入れる必要があった。非解析的な展開係数もつ Landau 展開という手法を導入することで、目的を達成した(図2)。高分子溶液では臨界領域が5°C

程度の温度幅まで及んでいて、まったく純粋物理学的な研究対象であると思われた臨界現象を考慮しないと意味のある予測ができないことに学生共々驚いたものである。

【例3】液・液接触によるゲル形成のメカニズム解明[4,5]：物理学におけるモデル構築方法の教育

図3の写真を示して「これなんでしょう」という質問で教育開始となった。内分泌攪乱物質除去材料開発のためにDNA分子をゲル化する方法の探索中とのことであった。特徴的な長さ(図3中の R と X)間の関係からゲル化のメカニズムを推測することから始める。スケーリング(次元解析)の考え方とそれを用いて介在している物理現象を推察する方法を教育する。抽出(理解している物理現象)が多くないと推察能力が低下することを実感させ勉強への意欲を向上させた(と思いたい)。大胆なモデル化による普遍構造の記述と導入されているパラメータによる多様性への対応という物理学の基本戦略の有効性を示し、初等物理学教育においてなぜ現実離れした(?)話題に終始しているかを納得させることができたと思う。

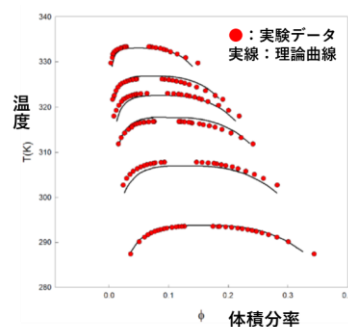


図2：相分離曲線

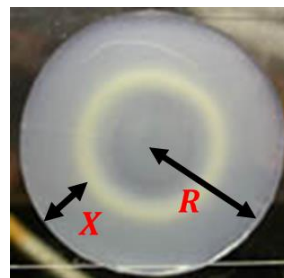


図3：カードランゲル

3. おわりに

テストの点数を取る為のような表層的な理解では工学研究で物理学を活用できない。深く理解することが必要である。それに関連して、「物理学って本当に正しいんですね」、「今ならどんな数学の入試問題も解ける気がします」といった名言(迷言?)を聞くことになった。

前者は実験データが理論と一致したところを出た言葉である。理想化したモデルしか知らなかったため物理学を一種のパズルゲームのように思っていたふしがある。現実を受け止めるためには多様性を表現するパラメータ部分が重要となる。この部分が普遍構造より遙かに複雑で、そして、工学における主役となる。工学の一つの分野で必要な普遍構造はそれほど多くない。工学としては多様性の解析が主となる。その視点からすると、必要な普遍構造の教育をその工学分野の教育に含めてしまえば物理学の教育は工学教育の必須事項ではないのかもしれない。工学教育で必要な物理学の理解は深いかもしれないが狭い領域で十分のようにも思える。

実験で得られるものと理論で表現できるものが異なっているとき、いろいろと理論式を変形して実験で得られるものを表記できるようにしなければならない。その道すがら、高校から大学初等レベルではあるが、線形代数と微分積分を駆使することになる。後者は、その数式変形の困難をくぐり抜け満足な結果が得られたときの言葉である。誰も答を知らない問題の解答を得ることができたとき自分の能力に自信が持てることが分かる。

参考文献

- [1]S.Namai, T.Yamamoto and T.Dobashi, *Colloids Surf. B* **25** (2002) 11-17.
- [2]T.Narita, T.Yamamoto, E.Hosoya and T.Dobashi, *Langmuir* **19** (2003) 5240-5245.
- [3]T.Yamamoto, T.Narita, M.Nobe and T.Dobashi, *Macromolecules* **37** (2004) 3475-3486.
- [4]T.Dobashi, M.Nobe, H.Yoshihara, T.Yamamoto and A.Konno, *Langmuir* **20** (2004) 6530-6534.
- [5]T.Dobashi and T.Yamamoto, *Gels* **4** (2018) 59.

中学校・高等学校理科教員を目指す一般大学に在籍する大学生を対象とした 理科教員を目指す背景，科学の性質（Nature of Science）における意識と 理科における探究的な学習指導の指導法の在り方

^{AB}石川 真理代

^A東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科(博士課程)，^B明治大学
r216001@st. u-gakugei. ac. jp

1. はじめに

近年，公立学校の教員採用選考試験の採用倍率は，1970年代前半に生まれた第二次ベビーブーム世代の就学に合わせて大量採用された教員が定年を迎え，大量退職に伴う採用者数の増加等により低下傾向が続いており，新規学卒者の受験者数についても横ばいまたは減少傾向となっているとの報告がある。また，臨時的任用教員等の講師が確保できずに，各教育委員会において学校に配置することとしている教師の数（配当数）を満たしていない，いわゆる「教師不足」が生じていることが全国的な課題となっている^[1]。そこで本稿では，教員養成大学ではない一般大学に在籍し，特に理科教員を目指すため，「理科教育法」を履修している学生を対象に，教職への志望動機と教員免許状取得を目指す理由について調査し，教職志望意識向上への改善策への手がかりを得ることを目指した。また，実際に理科の授業を行うことに関する自信や，科学の性質（Nature of Science：以下 NOS と略記）に関する意識等について調査し，「令和の日本型学校教育」^[2] 実現に向けた教員養成カリキュラムの研究開発を目指すことにした。

2. 理科教員を目指す学生の志望動機と教員免許状取得に関する家族からの助言の重要性

現在私は大学において，履修開始年次3年生の教職専門科目として「理科教育法」を担当している。そこで，本授業を履修中の将来理科教員を目指している学生に，教職への志望動機について質問すると，小学校における担任や中学校及び高等学校時代の理科教員による影響について語る学生が多数であった。また教員免許状取得を目指す理由については，家族からの助言を理由に挙げる学生が多数であった。このことから，教職に対する学生本人のもつ意思と，家族からの免許状取得への助言の双方が，教職を目指す背景にあることが判明した。

3. 理科の授業を行うことへの自信，印象に残る探究的な活動と高等学校理科の履修状況

理科の授業を行うことに関する自信について質問すると，物理領域に関する自信が化学領域，生物領域，地学領域よりも著しく低い傾向がみられた。そこで，平成21年3月に公示された高等学校学習指導要領^[3]のもとで学んできた調査当時3年次以上の学生たちが，高等学校理科で履修した科目について調べると，理科教員を志すにあたって十分とは言い難い状況であることが判明した。また，印象に残っている理科の探究的な学習について質問すると，実験を伴う授業による体験を説明する学生が多数であり，特に生物領域に関する実験授業について答える学生が多数であった。

理科の中でも，特に物理分野を教えることについて，小学校教員を対象とした各種の調査結果によると，自信が比較的低いことが報告されており，小学校教員が物理分野（小学校理科「エネルギー

一」分野) およびその指導への苦手意識を乗り越えるための、教員養成課程における物理教育の在り方についてはこれまで様々な議論がされている(小林(2021))^[4]。今回の調査を通じ、中学校や高等学校の理科教員を志す学生においても、似た状況があることが判明した。

4. 学生の科学の性質 (Nature of Science) に関する意識と探究的な学習指導との関連

「理科や科学について、大学で学んでいないのでわかりません」これは、過去に高等学校で教育実習を受けていた理科教員を目指す学生が、当時この学生の教科指導を担当していた筆者に語った言葉である。そこで今回、筆者は担当する理科教育法の授業の中で、「科学」と「理科」に関する質問を学生に投げかけるとともに、NOS における意識について調査した。調査には Views on Science and Education Questionnaire (VOSE)^[5]を用いることにした。そして、学生の NOS に関する意識をもとに、探究的な学習指導の際の着眼点を見出すことを目指した。

すると、Scientific methods (科学研究における手法) と Theories and laws (科学法則と科学定理) について、他の issue (項目) よりもやや低い値を示した。将来理科教員を目指す学生の NOS 理解の向上に向け、特に探究的な学習の模擬授業を通じた指導実践等を通じて、科学研究における普遍的な手法は存在しないこと。むしろ様々な方法を適用して科学研究は進められるということを理解していく必要がある。そして、Theories and laws (科学法則と科学定理) については、既に海外における調査でも同様な結果が示されているとおり、国内においても授業の中で明示的に学べるようなカリキュラムへと改善していく必要があることが判明した。

5. まとめ

教職を目指す多くの学生は、既に大学入学前から教職への意思を固めていることが明らかとなった。そのため中学校や高等学校の理科の授業を通じて、授業を受けた生徒が「良き恩師との出会い」や「教職の魅力」を感じとれるよう、教職を目指す学生が教科指導に自信をもてるよう支援を行う必要がある。理科の教科指導を行う際には、物理領域に関する学習内容に重点をおくとともに、探究的な学習の指導とはどのようなものなのか、模擬授業等を通じて学生自身が学ぶ場面をつくり、物理分野を教えることに対して自信をもてるようにしていく。

また、将来理科教員を目指す学生には、積極的に NOS に関する理解を推進することで、教員自身の科学的リテラシーの向上と、延いては国内における理科教育および科学教育の促進を計ることが期待できるものと考えられる。継続して、学生の教職意識の向上を目指すとともに、学生が将来理科教員として活躍できるよう、「令和の日本型学校教育」実現に向けた教員養成カリキュラムの研究開発を目指す。

参考文献

- [1] 文部科学省(2022), 「「教師不足」に関する実態調査」
- [2] 中央教育審議会(2021), 「「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと、協働的な学びの実現～ (答申) (令和3年1月26日)」
- [3] 文部科学省(2009), 高等学校学習指導要領 平成21年3月
- [4] 小林良彦(2022): 大分大学教育学部研究紀要第44巻第1号, 35-41
- [5] S.Chen(2006), Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science, Sci. Educ. 90 (5), 803.

PER からみた PCK

新田英雄

東京学芸大学理科教員高度支援センター (ASCeST)

hi_nitta@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

教員養成において教科専門科目と教職科目が分断されていることは、古くから問題となっている。教授法に関する知識と教科専門の知識との分断によって生じる問題を明確化し、超克しようとした概念として、L. Shulman によって 1980 年代半ばに提案された PCK (pedagogical content knowledge) がある [1]。Shulman は、教員に必要な知識体系として、「教授法の知識」と「教育内容の知識」の 2 種類だけではなく、むしろ重要なのは両者にまたがる部分であると主張し、それを PCK と呼んだ (図 1)。

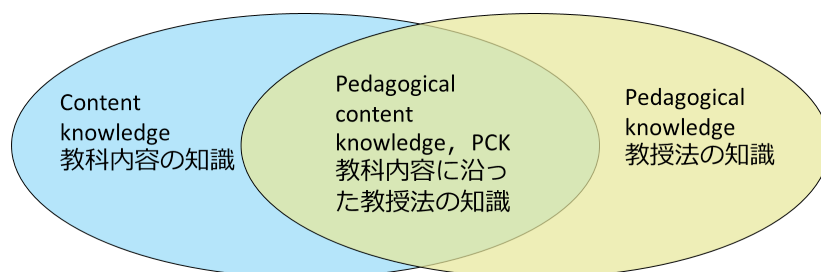


図 1 PCK とは

本講演では、PCK は PER (物理教育研究) の中でどのように位置づけられるのか、また何が期待できるのかについて検討する。

2. PCK と PER

Shulman が PCK を提唱して以来、PCK の解釈は広がり、定義自体がやや不明確なものになっている。ここでは PCK として、教科に沿った

- ① 教育目標,
- ② カリキュラムの知識,
- ③ 学生の考えや発想についての知識,
- ④ 効果的な授業法の知識,
- ⑤ 評価法の知識,

の 5 項目を考える。これらの知識は、物理に限らず、教員として当然持たねばならない知識であるといえる。ただし、物理法則のように不変なものではなく、学生、教員、文化、時代などの背景によって変化していく。そのため PCK は、普遍的な真理を追究するという意味での学術研究の対象としては、扱いが難しい面がある。

一方、PER (physics education research) は、米国物理学会 (APS) において、素粒子論、物性物理学といった物理の各専門分野と並び立つ、物理学の一分野として認められている研究分野である [2]。そのため、PER として認められる研究は、他の物理分野と同様に、新規性はもちろんのこと、定量性、

再現性、予言性を備え、過去の研究に立脚しつつ、新たな発展が期待されるような研究であることが期待される[3]。

良く知られているように、PERの代表的な成果として

- ①物理学学習において学生が共通して持つ困難や素朴概念の抽出、
- ② FCI (Force Concept Inventory)をはじめとした物理概念調査紙の開発、
- ③ 調査紙を利用した、授業効果を比較可能とする定量化、
- ④ 定量的に効果が実証された授業法の開発、

があげられる。

PERの最も重要な成果は、教育効果や学生の理解度などの従来は一般的な定量化が難しかった教育課題を定量化できるようにしたことであろう。FCIのような共通の調査紙に基づき、規格化ゲインといった共通の指標で授業効果を議論することが可能となった。これが、今日のPERの発展や、定量的に教育効果が示されている授業法の普及につながっている[4]。

ただし、FCIなどの概念調査紙で、学生の理解度や素朴概念の保持率は定量化できても、どうやったら学生が理解しやすくなる授業ができるのか、素朴概念を克服させられるのかについての答えは得られない。概念調査紙は「診断」の道具であって、「治療」の方法を提供するものではない。素朴概念を克服して、正しい物理概念を獲得させるための授業法の考案は、また別な研究対象なのである。

3. PERからみたPCK

van Drielら[5]によると、PCKの研究目的のひとつは、教員がどのようにして学問内容を学生に理解できる形に変換しているのかを明らかにすることである。すなわち、上で述べた「治療法」に当たる部分を、教師はどのようにして実践しているのかを研究する。また、PCKの研究によって「車輪の再発明 (reinventing the wheel)」を防ぐことも目的であると述べている[5]。現在のところ、ベテランの教員が把握している、学生の躓きやすい部分とその克服法は未整理のままであり、学会やサークルなどで先輩から学ぶ機会がない限り、知ることは難しい。そのため、いたるところで「車輪の再発明」が生じているのが現状であろう。PCKの「③学生の考えや発想についての知識」や「④効果的な授業法の知識」をPERの手法で研究し、系統的にまとめ上げることができれば、若手の教員も、PCKを踏まえた授業ができるようになる。そうなれば、物理教育の教育効果は飛躍的に向上し、物理離れ、物理嫌いを劇的に減らすことも夢ではないように思われる。

参考文献

- [1] Lee S. Shulman: Educ. Res. **15** (1986), pp. 4-14.
- [2] APS Policy Statements, 99.2 Research in Physics Education
 <<https://www.aps.org/about/governance/statements/physics-education-research>>.
- [3] R. J. Beichner: “An Introduction to Physics Education Research”, in Getting Started in PER, eds. C. Henderson and K. A. Harper (American Association of Physics Teachers, 2009), Reviews in PER Vol. 2, <<http://www.per-central.org/items/detail.cfm?ID=8806>>.
- [4] レディッシュ(日本物理教育学会監訳): 『科学をどう教えるか』(丸善出版, 2012).
- [5] Jan H. van Driel, Nico Verloop, and Wobbe de Vos: J. Res. Sci. Teach. **35** (1998) pp. 673-695.

シャドウグラフ法を用いた水の温まり方の可視化

藤森隼一，伊藤冬樹，神原浩

信州大学教育学部

fujimori_junichi@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

小学校学習指導要領では，第4学年「金属，水，空気と温度」において，水は熱せられた部分が移動して全体が温まることを扱うことになっている¹⁾。水の温まり方については，熱せられた水は表面上に浮上して積層し，それによって境界面が下降するといった「簾モデル」(図1(a))や帯のように回転して熱源へ戻るといった「回転モデル」(図1(b))などが報告されている²⁾。これを可視化する方法として，削り節や示温インクなどの使用が提案されている³⁾。しかしながら，削り節の自重による下降や示温インク溶液の不透明さによる内部の観察の困難さから，水の温まり方については不明な点も多い。気体や液体の流れを可視化する技術として，点光源とスクリーンの間に対象物を置き，対象または周辺の密度差をスクリーンに映し出すシャドウグラフ法(図2)が用いられている⁴⁾。水の密度は，温度によって変化するため，映し出される流れは，移動する水そのものの動きとして扱うことができる。我々は，シャドウグラフ法を用いることで，温められた水の移動そのものを可視化できると考え，水の温まり方を可視化する方法としてのシャドウグラフ法の有効性について検討することを目的とした。

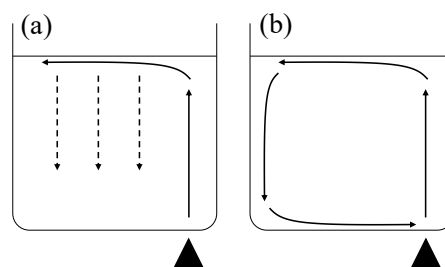


図1 水の温まり方のモデル
(a) 簾モデル (b) 回転モデル

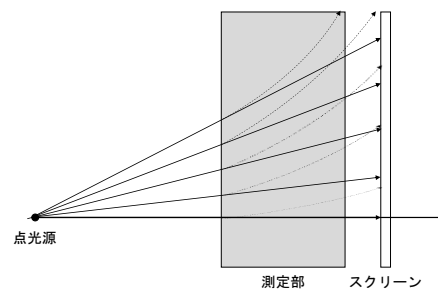


図2 シャドウグラフ法の仕組み⁴⁾

2. 方法

本研究で使用した器具の配置を図3に示す。光源，熱源および水槽にはそれぞれ，懐中電灯，電熱線をコイル状にしたものおよびアクリル水槽を使用した。電熱線は，ナリカ社製 柄付き抵抗 (6V-18W) を使用した。アクリル水槽は，75×100×15 mm の大きさのものを使用した。水を入れた水槽に熱源を固定し，通電した後にスクリーンに映し出された像をビデオカメラで撮影した。測定点A～Eの温度を熱電対により同時に計測し，データロガーによってその時間変化を測定した。

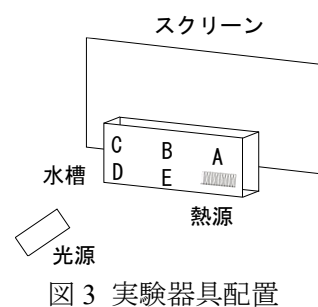


図3 実験器具配置

3. 結果

図4に，スクリーンに映し出された像を示す。18Wで加熱後すぐに上昇するもや状の像が観測された。上昇した像は，水面付近に到達した後，水面を熱源から離れるように移動した。水面付近を移動する距離は，時間の経過とともに長くなり，加熱して1分後には水槽の側面へ到達した。一方，下降する動きは観測されなかったことから，簾モデルに対応する挙動を示していると考えられ



図4 観測された像

る。加熱して約 12 分後には、側面へと到達した像が下降する様子を観測した。その後、水槽側面を下降した像が水槽底面付近を熱源方向へ移動する様子を確認できた。これは回転モデルに対応すると考えられる。

図 5 に、温度変化を示す。各測定点で温度が上昇し始めた時間は、それぞれ、2, 6, 10, 26, 26 秒であった。測定点 D および E における温度上昇が確認された時間と温度の上昇率は同じであることが分かる。加熱時間の経過にともない、各地点の温度差は小さくなり、約 700 秒でほぼ同じになった。この時間は、シャドウグラフ法によって水の下降が観察され始めた時間とほぼ一致した。また、温度は約 1800 秒で約 88 °C であり、ほぼ一定となった。この時間は、対流が観察されたそれとほぼ一致した。

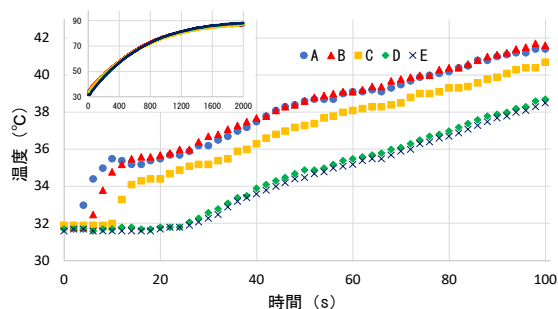


図 5 温度変化

4. 考察

水の密度および粘度の温度依存性を表 1 に示す⁵⁾。表 1 から、水の密度は、温度上昇にともない低下することが分かる。このことは、温められた水は、上部へ移動することを示している。また、水の粘度は温度上昇にともない小さくなることが分かる。このことから、低温の水は高温の水よりも移動しにくいと考えられる。

流管を単位時間に通過する流体の体積（流量 Q ）は、どの断面においても一定であり、式(1)のように示される⁶⁾。

$$Q = u \sigma = \text{一定} \quad (1)$$

ここで、 u および σ はそれぞれ流速および流管の断面積を示す。式(1)より、流速は、流管の太さに依存することが分かる。

以上より、温められた水の動きについて検討する。まず、温められた水は、密度が周囲よりも小さくなるため上昇し、水面付近に達する。上部付近に存在する水は低温であるため、粘性は大きい。そのため移動しにくく、上昇した水は上部に存在する水と衝突し、混合する。これにともなう流管の面積の拡大によって、流速は低下し、水の動きは観測されなくなったと考えられる。時間経過にともない全体の温度は上昇するため、水全体の粘度は低下する。これにともない、温められた水は移動しやすく、熱源から遠い水槽側面に衝突することで、下降流は発生し、全体が移動する対流の発生に至ったと考えられる。つまり、温度によって「簾モデル」または「回転モデル」に対応する動きで温められた水は移動すると考えられる。

引用文献

- 1) 文部科学省：小学校学習指導要領解説理科編，https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2010/12/28/1231931_05.pdf（2024 年 6 月 6 日参照）。
- 2) 相場博明，終原礼士：理科教育学研究 49-3（2009）1-11。
- 3) 村松久和ら（他 9 名）：楽しい理科 4 年，信州教育出版社（2024）。
- 4) 流れの可視化学会：新版 流れの可視化ハンドブック，朝倉書店（1986）。
- 5) 日本化学会：改訂 6 版 化学便覧 基礎編，丸善出版（2021）。
- 6) 巽友正：流体力学，培風館（1982）。

表 1 水の密度および粘度の温度依存性

温度 (°C)	密度 (kg m ⁻³)	粘度 (mPa s)
20	998.2	1.002
40	992.2	0.653
60	983.2	0.467
80	971.8	0.355

夕焼け再現実験器の製作

^A 土屋貴嗣, ^A 丸澤和晃, ^B 原田彩花, ^C 三野弘文
^A 千葉大院教育, ^B 千葉大教育, ^C 千葉大院国際学術
 mino@faculty.chiba-u.jp

1. はじめに

学習指導要領の改訂により, 中学校学習指導要領(平成 29 年告示) 解説理科編から中学校第 1 学年「光と音」の単元において「光の色」に関する学習内容が追加された[1]. そして, 「光の色については, 雨上がりなどに虹ができることを取り上げ, 白色光はプリズムなどによっていろいろな色の光に分かれることに触れる.」としている. また, 改定の要点として「理科を学ぶことの意義や有用性の実感及び理科への関心を高める観点から, 日常生活や社会との関連を重視した.」と記載がある. 以上を踏まえ, 日常の中で体験可能な「夕焼けと青空の色」に着目し, それぞれの色が見える現象の理解を通して「光と色」に関する理解や興味を深める教材の製作を目指した.

夕焼けを再現する実験については, アクリルエマルジョンを滴下した懸濁液を通過する光のスペクトルを測定することで, 距離と共に青色領域の強度が減衰していくことや懸濁液の濃度による色の変化について報告されている[2][3]. また, 夕焼けの再現実験を行っている授業実践は過去にいくつかあり, アクリル板で作製した長さ約 50 cm の水槽に水とワックスなどを混ぜた懸濁液を用いた再現実験や同様の懸濁液を入れた透明なプラスチックコップを複数ならべることで夕焼けの再現をした授業実践などが報告されている[4][5]. しかし, これらの実践で行われている実験では白色光を懸濁液に照射した際の色の変化を観察することには適していると考えられるが, 実際の地球で起きている現象と対応させることが難しく, 大気を通過する距離によって色の変化が起きていることを捉えにくいと考えられる.

そこで本研究では, 使用する懸濁液の濃度と距離での色の変化の様子を観察するとともに, 厚さ 3 mm のアクリル板とアクリルパイプを用いて, 昼と夕方の太陽光の当たり方を同時に確認することができる実験器の製作を目指した.

2. 研究方法と製作

(1) 懸濁液の濃度と色の変化 水槽 (13×13×50 cm) の中に, 4 L の水道水とフローリング用ワックス (5 g, 10 g, 15 g) を滴下し, 白色光 LED ライトを照射した際の色の変化を懸濁液の中に沈めた Go Pro を用いて 1 cm 間隔で撮影を行った (図 1).

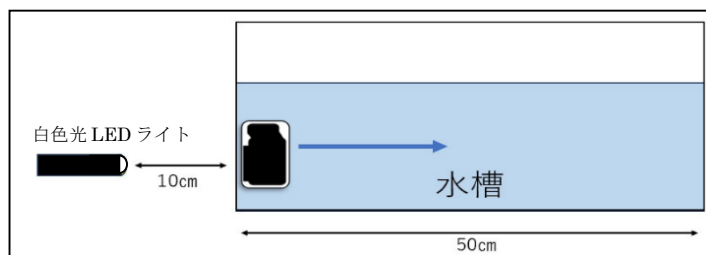


図 1 色の観察の様子

(2) 夕焼け実験器の製作 (1) の測定結果をもとに, 各厚さ 3 mm のアクリル板とアクリルパイプ (外径 220 mm, 幅 100 mm) を用いて図 2 のような水槽を製作した (レーザー加工機で加工したアクリル板と半円形に切断したアクリルパイプをアクリル接着剤で接着した). この水槽では, 右から白色光を当てることを想定しており, 半円部分が地球, 懸濁液が大気を表現する. そして, 白色光に近い半円の右側部分が正午, 90 度回転した半円上部が夕方を表現することになる. また, 溶液の通過距離は正午の部分が 4 cm, 夕方の部分が 15 cm である.

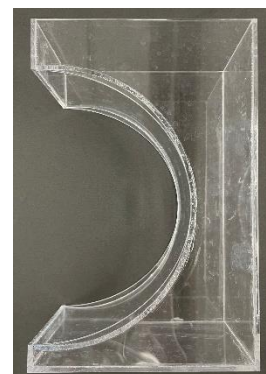


図 2 製作した水槽

3. 結果および考察

(1) 懸濁液の濃度と色の変化 各滴下量 (5 g, 10 g, 15 g) における 1 cm 間隔の写真を表 1 に示す。

	0cm	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm
ワックス(5g)										
ワックス(10g)										
ワックス(15g)										
	10cm	11cm	12cm	13cm	14cm	15cm	16cm	17cm	18cm	19cm

表 1 懸濁液の濃度と色の変化

表 1 より, LED ライトに近いところではライトの色の変化はほとんど確認できず, ライトの周りには青色が広がっていることがわかる. また, LED ライトから離れていくとライトの色がだんだんと赤みを帯びた色へと変化していき, ワックスの滴下量が多いほど色の変化の仕方が大きくなっていることが確認できた. これらの結果より, ワックスを滴下した懸濁液を用いることで, 観察する距離の変化で, 夕焼けと青空を再現することが可能であることがわかる.

(2) 夕焼け実験器 製作した水槽の右側から LED ライトを当てた様子を図 3 に示す.

図 3 の左 (光の向きと直交する向きから見る) では, 正午と夕方において色の違いを見比べることができる. この結果より, 懸濁液を通過する距離 (大気を通過する距離) によって色が変わることを視覚的に捉えることが可能であると考える. また, 図 3 の右 (透過してきた光を見る) では, 空を見ている様子として観察することができる. これにより, 水槽下部では朝焼け, 水槽中央では昼間の青空, 水槽上部では夕焼けとして観察ができるため, 時刻による空と太陽の色の違いを理解しやすい模型であると考えられる.

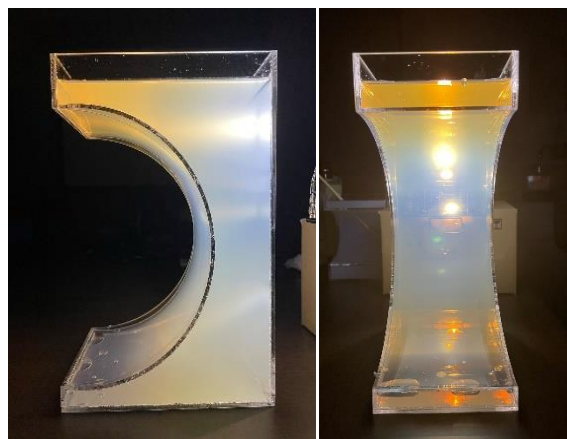


図 3 夕焼けの再現実験

4. まとめと今後の展望

本研究では, 新しく学習指導要領に追加された「光と色」の単元において, 日常体験の中から「夕焼けと青空の色」に着目した. そして, それら空の色を再現するために液中のワックスの量と観測距離を変化させることで透過光の見え方が変化することを写真で示すとともに, 実際の現象との対応関係を地球の形状を意識させ, 理解を促す水槽を製作した. 今後は本研究で製作した水槽を用いた授業実践を検討する.

参考文献

- [1] 文部科学省: 中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編, 学校図書, 2018.
- [2] 長谷川誠, 徳光聖茄: 白色 LED ライトを利用した夕焼け色再現実験におけるスペクトル分析, 物理教育, 第 64 巻, 第 1 号, 24-27, 2016.
- [3] 松井麗樹, 三野弘文: 身近なコロイド水溶液を用いた夕焼け現象の再現実験—濃度別スペクトル計測とその評価—, 千葉大学国際教養学部紀要論文, 187-194, 2020.
- [4] 加藤尚斗ほか 7 名: 小学生向け「空の青さと夕焼け」理科実験授業プログラムの開発とその演示, 第 22 回物理教育研究大会, 132-133, 2005.
- [5] 橋本和恵, 加藤優, 興治文子: 夕焼けの教材開発と中学校理科授業実践, 物理教育, 第 60 巻, 第 3 号, 2012.

ぶんぶんごまの風切り音の解析と教材化の可能性

^A 塙正之, ^A 小林弘太郎, ^A 阪本悠真, ^B 河原駿, ^B 真崎琉維, ^B 小林晋平

^A 東京学芸大学教職大学院, ^B 東京学芸大学教育学部

m243409p@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

ぶんぶんごまは昔ながらのおもちゃであり、日本の子どもたちに広く親しまれてきた。ひもを引っ張ることで回転し、「ぶーん、ぶーん」という心地よい風切り音を響かせるのが特徴である。現代の子どもたちも、そのシンプルで奥深い楽しさを感じるようで、今も変わらず興味を引く存在となっている。これまで当研究室では埼玉県や茨城県の私立小学校の児童を対象に、重心や遠心分離[1]をテーマとしてぶんぶんごまに関する授業を行ってきたが、いずれの場合も子どもたちが熱中している様子を見ることができた。本研究では、ぶんぶんごまの特に風切り音に注目し、教材化の可能性を模索した。ぶんぶんごまの風切り音の高さは、回転数はもちろんのこと、ぶんぶんごまの形状に密接に関わっている。本発表では風切り音の仕組みと教材化の可能性について述べる。

2. ぶんぶんごまの風切り音の解析

ぶんぶんごまの風切り音について我々は、「ぶんぶんごまが回転するとき、ぶんぶんごまの欠けている部分の数だけ空気の疎密が作り出され、音として聞こえているのではないか」という仮説を立てた。例えば、図1にあるような4枚の羽をもつぶんぶんごまを1回転させる間には、空気の疎密が4セット作り出されているということである。この仮説は、ぶんぶんごまの羽が通った後、欠けている部分では空気が薄く(圧力が低く)なり、それを埋めるように連鎖的に空気の疎密が伝播するため音として聞こえるのではないかという直観に基づいている。

この仮説の確からしさを調べるため、図2に示すように、ぶんぶんごまの風切り音をマイクで録音すると同時に、ぶんぶんごまを通過して届く光源からの光の振動の様子を光センサー[2,3]で記録するという実験を行った。光センサーで記録される振動の回数は、ぶんぶんごまの欠けている部分の数と一致するので(図3参照)、もし仮説が正しいならば、マイクで録音される音の振動数と、光センサーで記録される電圧変化の振動数は一致するはずである。実験の結果、スペクトラムアナライザーのピーク振動数は一致し、オシロスコープで見られる振動数も一致した。すなわち、マイクと光センサーで同じ振動数の基本振動が得ら

れていることがわかった。さらに、図4に示すようにぶんぶんごまの羽の数を3枚、5枚、6枚と変えた場合にも振動数が一致した(図5に5枚羽の場合の結果を示す)。このことから、「ぶんぶんごまの欠けている部分の数だけ空気の疎密が作り出され、音として聞こえている」とする仮説は正しいと考えられる。なお、オーソドックスな正方形のぶんぶんごまにおいても、光と音の振動数の一致が見られた(ぶんぶんごま1回の回転につき、4回空気の振動が起こっていた)ため、正方形の角の数が羽の数に対応し、音の高さに関係していると結論付けてよいと考えられる。以上を踏まえれば、回転数を上げたり、

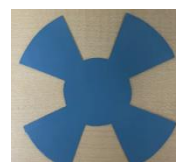


図1. 4枚羽の
ぶんぶんごま



図2. 実験の様子
左から順に光源・ぶんぶん
ごまとマイク・光センサー

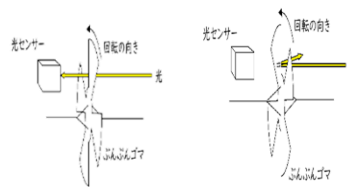


図3. ぶんぶんごまと光の関係

羽の数を増やしたりすれば、風切り音の高さを高くすることができる。事実ぶんぶんごまを回す際、ひもを引いて緩めるという一周期の操作の間に回転数は徐々に増加、そして減少するが、それに合わせて風切り音の高さが次第に高くなっていき、また低くなる。なお、図4のようなぶんぶんごまの場合、羽の数を増やしすぎると、欠けている部分が小さくなり、音の振動数のピークが見られなくなるため注意が必要である。



図4. 実験で利用した
ぶんぶんごま

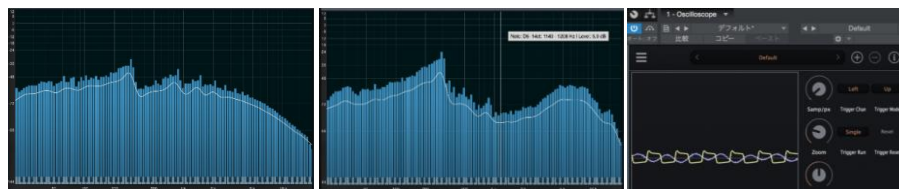


図5. 5枚羽の場合の結果

左から順に、マイク・光センサー(スピーナ)・マイク[青]と光センサー[黄](オシロスコープ)

3. 今後の探究可能性

今回の研究で、ぶんぶんごまの欠けている部分の数に対応した音の振動が発生していることがわかった。ただし、図5からも読み取れるように、スペクトラムアナライザーでは他の特徴的な振動数も見られる。これは、環境音による影響とも考えられるが、他の要因で発生している風切り音の影響であるという可能性も考えられる。実際、欠けている部分がない円形のぶんぶんごまでも、音は小さくなるものの、風切り音が聞こえる。この音の発生原因は未だ不明である。また実験における課題としてオシロスコープの位相が光と音でずれてしまうこともあり、今後の探究の可能性が残されている。

4. 教材化の可能性

上記のようにぶんぶんごまの風切り音に注目することで、波を学習した高校生の興味を引く実験や探究活動が実現できると考える。いくつか例を示す。第一に、ぶんぶんごまの風切り音の高さから、ぶんぶんごまの回転数を求める活動が考えられる。ぶんぶんごまが1回転する間に欠けている部分の数だけ空気の振動が起こるので、鳴っている音の振動数を欠けている部分の数で割ればぶんぶんごまの回転数が求まる。具体的に、「ラ」の音が聞こえた瞬間の図1のぶんぶんごまの回転数は、「 $440 \text{ Hz} \div 4 = 110 \text{ 回/秒}$ 」と算出できる。光センサーが無くても、ぶんぶんごまの巻き数を調べることにより、回転数を概算できるため、その結果と比較することで、得られた回転数の実感が深まるだろう。ひとたび、ぶんぶんごまの最高回転数が求めれば、回転速度も見積もることができる。第二に、異なる形状の羽を重ねて回し、和音を鳴らす活動が考えられる。3枚羽、4枚羽、5枚羽のぶんぶんごまを重ねて回したところ、羽の枚数に対応する異なる高さの三音が鳴ることが確認できた。すなわち、音楽教育と絡めながら、羽の数を調整することで、ねらったトライアドを奏することも可能である。4枚以上重ねる場合でも同様の結果が得られると考えられるため、セブンスコードなどにまで発展させることもでき、ぶんぶんごまの風切り音への理解を皮切りにさまざまな探究や実験が展開できると考える。

参考文献

- [1] M. Saad Bhamla *et al.*, “Hand-powered ultralow-cost paper centrifuge”, *Nature* (2017)
- [2] 真崎琉維 他, 扇風琴の教材化可能性について, 日本物理教育学会, 第40回物理教育研究大会 (2024)
- [3] ELECTRONICOS FANTASTICOS!, <https://www.electronicosfantasticos.com/>.

メルデの実験の共振条件～cot 関数の加法定理と井戸型ポテンシャル問題～

伊東正人

愛知教育大学 教育学部 理科教育講座

mito@aeu.ac.jp

1. はじめに

本講演では、異なる線密度をもつ弦でメルデの実験をしたとき生じる定常波の共振条件を機械インピーダンスから導出し、そこには cot 関数の加法定理の反復性が潜んでいることを指摘する。またメルデの実験と、量子力学で登場する井戸型ポテンシャル問題との対応を紹介し、その実験から共振周波数の実測値と理論値との比較を報告する。

2. 異なる線密度をもつ弦の共振条件と機械インピーダンス

メルデの実験の共振条件の導出は、振動源による境界条件が時間変化する強制振動の波動方程式を解く必要がある [1]。一様な 1 つの弦であれば導出は簡単であるが、線密度が異なる弦の場合、共振条件の導出はかなり面倒な計算を要する [2]。異なる線密度をもつ 3 本の弦を

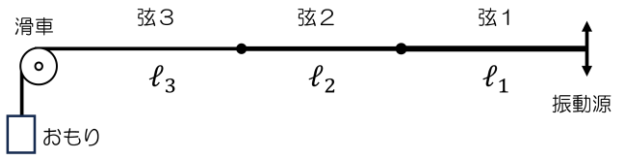


図1：3つの異なる線密度の弦のメルデの実験

図1のように接続したメルデの実験の共振条件を機械イ

ンピーダンスから導出する。弦にはたらく張力を S 、弦 1, 2, 3 の長さをそれぞれ l_1, l_2, l_3 、線密度をそれぞれ ρ_1, ρ_2, ρ_3 とする。振動源からみた入力インピーダンス Z_{IN} は、

$$Z_{IN} = iZ_1^{(0)} \frac{\frac{k_3}{k_2} \cot_1 \cot_2 \cot_3 - \cot_1 - \frac{k_1}{k_2} \cot_2 - \frac{k_1 k_3}{k_2^2} \cot_3}{\frac{k_1}{k_2} \cot_1 \cot_2 + \frac{k_3}{k_2} \cot_2 \cot_3 + \frac{k_1 k_3}{k_2^2} \cot_3 \cot_1 - 1} \quad (1)$$

となる。 $Z_1^{(0)} = \sqrt{\rho_1 S}$ は弦 1 の特性インピーダンスである。振動源の周波数を f 、弦 1, 2, 3 を伝わる波の速さをそれぞれ v_1, v_2, v_3 、波数をそれぞれ k_1, k_2, k_3 とすると

$$2\pi f = v_1 k_1 = v_2 k_2 = v_3 k_3$$

であり、

$$\cot_1 \equiv \cot(k_1 l_1) \quad , \quad \cot_2 \equiv \cot(k_2 l_2) \quad , \quad \cot_3 \equiv \cot(k_3 l_3)$$

とした。定常波が生じる共振条件は $Z_{IN} = \infty$ となる。最も簡単なケースとして、3 本の弦の材質が全て同じで

(3 つの弦の線密度を ρ 、波数を k)、弦の全長を l とすると ($l_1 = l_2 = l_3 = \frac{l}{3}$)、(1) 式は

$$Z_{IN} = i\sqrt{\rho S} \cot(kl) \quad (2)$$

となる。ここで、cot 関数の加法定理

$$\cot(\alpha + \beta + \gamma) = \frac{\cot(\alpha) \cot(\beta) \cot(\gamma) - \cot(\alpha) - \cot(\beta) - \cot(\gamma)}{\cot(\alpha) \cot(\beta) + \cot(\beta) \cot(\gamma) + \cot(\gamma) \cot(\alpha) - 1}$$

を使った。共振条件は $Z_{IN} = \infty$ 、つまり、 $\sin(kl) = 0$ である。よって、 $kl = n\pi$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) なので、長さ l の一様な弦の定常波の波長は $\lambda = \frac{2l}{n}$ となる。これはよく知られた式である。

3. メルデの実験と井戸型ポテンシャル問題とその観察

図2のようなメルデの実験の共振条件を考える。(1) 式において $k_1 = k_3, l_1 = l_3$ とすると、共振条件の $Z_{IN} = \infty$ は Z_{IN} の分母が 0 となるので、

$$\left(\frac{k_1}{k_2}\right)^2 (\cot_1)^2 + 2\frac{k_1}{k_2} \cot_1 \cot_2 - 1 = 0 \tag{3}$$

となる。(3)式の左辺は \cot 関数の2倍角公式を使うと因数分解できるので、共振条件は

$$k_1 \cot(k_1 \ell_1) = k_2 \tan\left(k_2 \frac{\ell_2}{2}\right), \quad k_1 \cot(k_1 \ell_1) = -k_2 \cot\left(k_2 \frac{\ell_2}{2}\right) \tag{4}$$

となる。(4)式は、図3のような量子力学における2重戸型ポテンシャル問題において、 $E > V_0$ の束縛状態におけるエネルギー固有値を決定する方程式と等価である。(4)式の左式は偶パリティ、右式は奇パリティに対応する。

図2のメルデの実験を、おもりの質量 152 g, $\ell_1 = \ell_2 = 0.4$ m, $\rho_1 = 2.94 \times 10^{-4}$ kg/m, $\rho_2 = 1.22 \times 10^{-5}$ kg/m で行った。その結果、生じた定常波の写真が図4 (a) ~ (e) である。図4の表は、(a) ~ (e) のパリティ、共振周波数の実験値と理論値が記載してある。実験値は振動源の発振器の数値、理論値はマセマティカを使って(4)式を数値計算して導出した値である。実験値は理論値とほぼ一致しており、イメージが掴みにくい量子の世界を古典論の弦による定常波で可視化できたのは面白い。

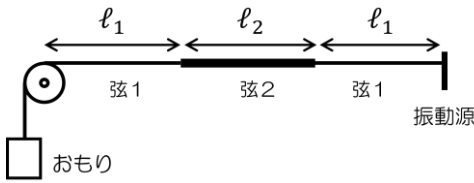


図2：2つの異なる線密度の弦のメルデの実験

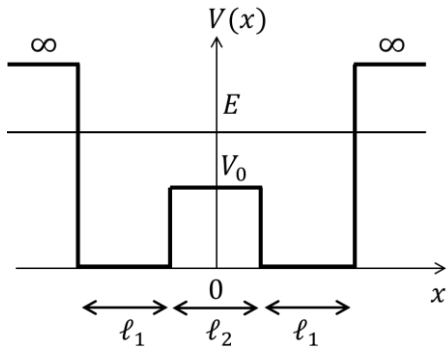
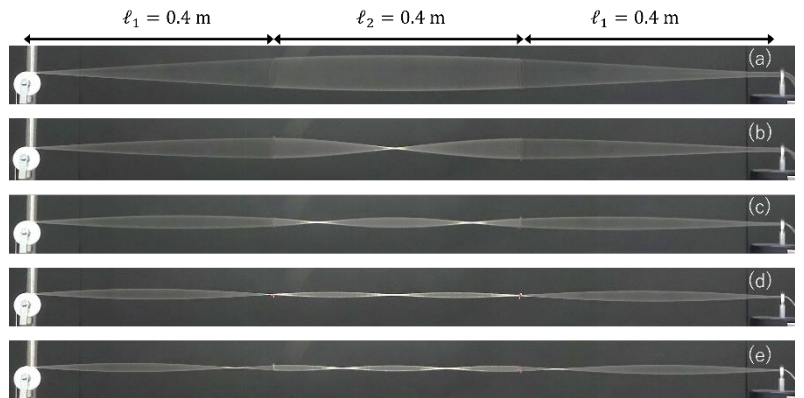


図3：2重戸型ポテンシャル問題



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
パリティ	偶	奇	偶	奇	偶
実験値 [Hz]	17.2	44.0	71.0	88.4	105.3
理論値 [Hz]	17.1	43.5	71.3	89.8	105.7

図4：定常波の写真と共振周波数の実験値と理論値

4. 共振条件と \cot 関数の加法定理

メルデの実験の入力インピーダンス(1)式は

$$\cot(\theta_2) \equiv \frac{k_3}{k_2} \cot_3, \quad \cot(\theta_1) \equiv \frac{k_2}{k_1} \cot(k_2 \ell_2 + \theta_2)$$

として、 \cot 関数の加法定理 $\cot(\alpha + \beta) = \frac{\cot \alpha \cot \beta - 1}{\cot \alpha + \cot \beta}$ を2度使うと

$$\frac{Z_{IN}}{iZ_1^{(0)}} = \frac{\cot_1 \cdot \frac{k_2}{k_1} \frac{\cot_2 \cdot \frac{k_3}{k_2} \cot_3 - 1}{\cot_2 + \frac{k_3}{k_2} \cot_3} - 1}{\cot_1 + \frac{k_2}{k_1} \frac{\cot_2 \cdot \frac{k_3}{k_2} \cot_3 - 1}{\cot_2 + \frac{k_3}{k_2} \cot_3}} = \frac{\cot_1 \cdot \frac{k_2}{k_1} \cot(k_2 \ell_2 + \theta_2) - 1}{\cot_1 + \frac{k_2}{k_1} \cot(k_2 \ell_2 + \theta_2)} = \cot(k_1 \ell_1 + \theta_1)$$

となる。このように、 \cot 関数の加法定理の反復性(入れ子構造)が潜んでいるのは非常に興味深い。

参考文献

- [1]伊東正人：「メルデの実験における弦の振動解とその観察」物理教育 72-2 (2023) pp106-109
- [2]伊東正人：「異なる線密度をもつ弦の振動条件とその観察」物理教育 72-4 (2023) pp243-248

光の屈折に関する生徒の誤概念の検討 ―糖度と屈折率の関係から―

能代谷 賢治

宮城県仙台東高等学校

noshiroya-ke723@gs.myswan.ed.jp

1. 研究目的

本研究は、短時間で簡単に行うことができる吸水性ポリマーを用いた観察実験が光の屈折や屈折率に対する生徒の理解に与える効果を明らかにすることを目的とした。

2. 吸水性ポリマーを用いた観察実験

光の屈折と物質の見え方との関連づけは、生徒が屈折率を理解するための基礎となるのではないかと考えられる。そこで、吸水性ポリマーを用いた観察実験を行った[1]。この実験は糖度と屈折率の関係および吸水性ポリマーの屈折率の変化に着目し、吸水性ポリマーの周囲および吸水性ポリマー自体の屈折率を変化させることができる。なお、糖度と屈折率との関係は国際砂糖分析統一委員会 (ICUMSA) によって明らかにされており、図1に示すような関係がある[2]。

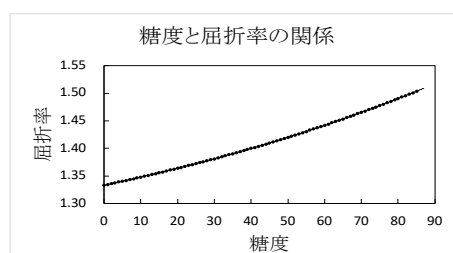
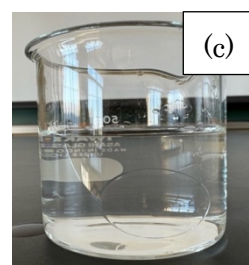
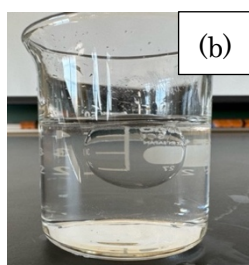
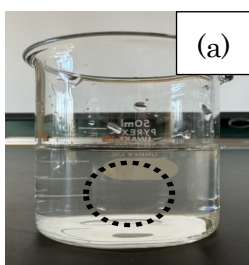


図1 糖度と屈折率の関係
(ICUMSA (1974) を基に作成[2])

吸水性ポリマーの観察実験は3つの段階からなる。第1段階では吸水性ポリマーを水に入れる。この場合、吸水性ポリマーは水中で沈み、目に見えない状態になる(図2)。この段階は生徒に物質が見えなくなる不思議さを経験させるとともに、実験で使用している吸水性ポリマーが水中で見えないことを確認させることを意図して行った。この段階は一部の検定教科書にも演示実験として記載されている。第2段階は、吸水性ポリマーを水中から取り出し、30%砂糖水に入れる。この場合、吸水性ポリマーは砂糖水に浮き、目に見える状態となる。これは吸水性ポリマーと砂糖水の比重および屈折率の違いによって生じる。また、凸レンズで生じる虚像のように後方が拡大されて見える(図3)。第3段階は、吸水性ポリマーを30%砂糖水に2分程度入れておき、再度水に入れる。この場合、吸水性ポリマーは水中で沈み、輪郭のみ目に見える状態となる(図4)。吸水性ポリマーを砂糖水に入れている際、ポリマー表面においてポリマー内部の水が周囲の砂糖水側に放出されるとともに、周囲の砂糖水がポリマー内部に吸収される。これは吸水性ポリマーと周囲の砂糖水の濃度勾配による影響である。



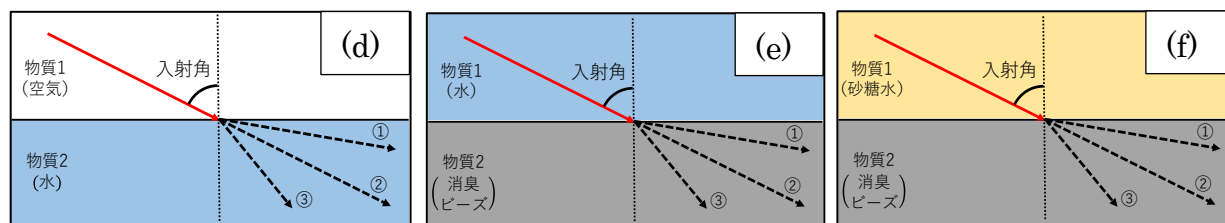
- (a) 図2 吸水性ポリマーを水に入れた様子 (吸水性ポリマーは沈んでおり、目に見えない)
 (b) 図3 吸水性ポリマーを30%砂糖水に入れた様子 (吸水性ポリマーは浮いており、目に見える)
 (c) 図4 吸水性ポリマーを水に再度入れた様子 (吸水性ポリマーは沈んでおり、輪郭のみ見える)

3. 光の直進および屈折に関する理解度調査

本実践の前後に光の性質のうち、直進および屈折に関する理解度調査を行った。本調査では、光の屈折を図としてモデル化した問題（1）～（3）の3問を出題し、Google Formで回答を得た。

（1）の問題は中学校理科の学習内容の確認として出題した（図5）。この問題の正答は③であり、光は屈折角が入射角より小さくなる方向に進行する。（2）の問題は実験の第1段階（図2）と対応しており、水中で物質が目に見えない現象と光の直進とを関連付けて理解できているかを問うている（図6）。この問題の正答は②であり、光は直進する方向に進行する。（3）の問題は実験の第2段階（図3）と対応しており、水中で見えなかった物質が砂糖水中で見える現象と光の屈折とを関連づけて理解できているかを問うている（図7）。この問題の正答は①であり、光は屈折角が入射角より大きくなる方向に進行する。

講演では、令和5年度および令和6年度に実施した理解度調査の結果を基に、吸水性ポリマーを用いた観察実験が光の屈折や屈折率に対する生徒の理解に与える効果を検証する。また、光学分野の学習を進めていく上で生じる生徒の誤概念について、その可能性を検討する。



(d) 図5 空気から水に向かって光を入射させる問題

（1）空気から水に向かって光を入射させます。光は水中でどの向きに進むでしょうか。

(e) 図6 水から消臭ビーズに向かって光を入射させる問題

（2）水から消臭ビーズ（水中では見えない）に向かって光を入射させます。光は消臭ビーズ中でどの向きに進むでしょうか。

(f) 図7 砂糖水から消臭ビーズに向かって光を入射させる問題

（3）砂糖水から消臭ビーズ（水中では見えない）に向かって光を入射させます。光は消臭ビーズ中でどの向きに進むでしょうか。

参考文献

[1] 能代谷賢治(2024)：吸水性ポリマーを用いた光の屈折実験教材の開発と実践, 東北物理教育, 33, 15-20.

[2] ICUMSA(1974)：International Refractive Index Scale of ICUMSA(1974) for pure sucrose solutions at 20°C and 589nm, In OIML(2007)：Automated Refractometers Methods and Means of Verification, TC17/SC2/N3, 20-21.

<https://www.oiml.org/en/tc-sc-pg/committee-drafts/files/tc17-sc2-3cd-refractometers.pdf>
(2024-07-10 Web 閲覧)

理系学部進学者の“物理”に対するイメージ調査

^A武藤 梨沙, ^B林 壮一

^A東邦大学理学部, ^B福岡大学理学部

risa.mutoh@sci.toho-u.ac.jp

1. はじめに

高校で履修できる理科 4 単位の科目は、生物・物理・化学・地学から 1 つまたは 2 つである。2 科目を選択する場合、多くの高校では『化学・物理』、『化学・生物』の組み合わせとなり、『物理』と『生物』の両方を履修できない。大学の進学先が生物系である学生の多くは、『生物』を履修しており、『物理』に対して“苦手”“嫌い”などのようなマイナスイメージを持っている傾向がある。しかし、生物系の学生が学修や研究をする中で、『物理』の知識は極めて重要な要素の 1 つである。本研究では、理系学部進学者の『物理』に対するイメージを調査し、『物理』の印象を変えるための方策について議論する。

2. 調査方法

東邦大学理学部、福岡大学理学部の学生を中心に、Google forms を用いてアンケート調査を行った。また、SNS (X、Facebook) でも回答を収集した。アンケート内容は以下の通りである。ただし、問 1 から問 14 は全て選択式である。問 1 では、生物・物理・化学・地学を好きな順に 1 から 4 まで並べるよう指示した。2024 年 7 月 7 日現在、265 件の回答を得た。本予稿では、現時点での調査結果について記す。

- 問1. 理科の分野(科目)で好きな順番を教えてください
- 問2. 物理を好き・得意/嫌い・苦手と感じた時期を教えてください
- 問3. その理由を教えてください
- 問4. 高校での文理選択を教えてください
- 問5. 高校での物理科目の履修状況を教えてください
- 問6. 物理を履修した/履修しなかった理由を教えてください
- 問7. 物理と聞いてイメージするものを教えてください
- 問8. 小・中学校で学習した内容で好き・得意と感じた分野を教えてください
- 問9. 小・中学校で学習した内容で嫌い・苦手と感じた分野を教えてください
- 問10. (物理選択者) 高校で学習したことのある物理の分野で好き・得意なものを教えてください
- 問11. (物理選択者) 高校で学習したことのある物理の分野で嫌い・苦手なものを教えてください
- 問11. 大学で物理分野(物理学・力学・電磁気学など)の講義を履修しましたか
- 問12. (未履修者) 履修しなかった理由を教えてください
- 問13. (履修者) 大学の講義で物理に対するイメージは変わりましたか
- 問14. (履修者) その理由を教えてください

3. 結果と考察

回答者の 2024 年 4 月 1 日時点での年齢内訳は、18 歳が 35%、19 歳が 31%、20 歳が 22%、21 歳が 6%、22 歳以上が 6%であった。問 1 で、物理を 1 番または 2 番と回答した人は、265 人中 58 人であった。現時点での収集したデータが、著者の所属する生物分子科学科が半分以上を占めているため、このような結果になったと考えられる。現在、その他の学科からも回答を収集しており、この割合は変わる可能性がある。物理を 1、2 番目とした回答者の主な理由は、「計算が得意」「身近にある現象を学べる」「現象がはっきりしている」が上位にきた。いっぽう、物理を 3 番目、4 番目

と回答した人の理由は、「計算が多い」「物理が何をしているのかがわからない」「勉強をしていても楽しさを感じられない」といった回答が上位にきた。これは、物理が好き・得意なのか、嫌い・苦手なのかで物理に対する感じ方が反対であった。問6の高校で物理科目を選択した理由について、物理を未選択の人の多くは、生物や化学を選択したかったため、物理を選択しなかった、と回答しており、積極的に物理を選択しない人は予想よりも少なかった。彼らの物理未選択者の『物理』に対する印象は、「難しそう」が圧倒的で、マイナスイメージが強かったが、「格好いい」「身近にある現象と関連している」と好印象を持つ人もいた(図1A)。物理を選択した人は、「必修であったため」が最多であった(図1B)。また、この物理科目選択者の高校授業での物理に対するイメージは、「難しかった」「計算ばかりだった」といったマイナスイメージが大半であった。問11と問13から、大学の物理分野の講義を履修した人は、183人で、そのうち物理に対する印象が変わった人は50人であった。このうち、41人はプラスイメージへ印象が転換しており、問1で物理をあまり好まないと回答した人が17人含まれていた(図2)。「生物や化学などの他の分野と密接に関わっていることがわかったから」との回答が多かったことから、物理の内容を指導する際に、他分野との関連性について言及することで、物理を嫌い・苦手とする人を減らせるのではないかと考えられる。

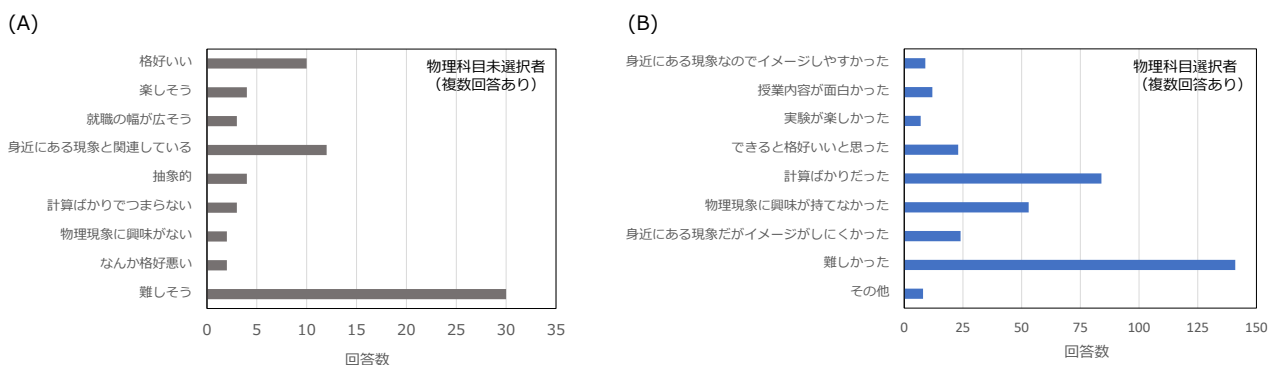


図1 物理と聞いてイメージすること
(A) 高校物理科目未選択者 (B) 高校物理科目選択者

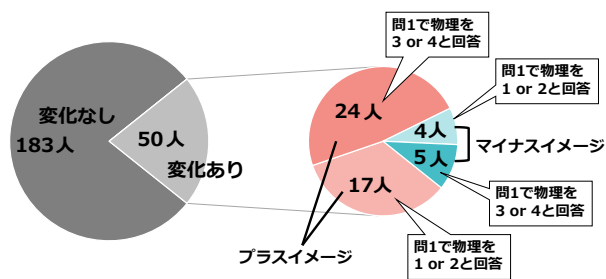


図2 大学で物理分野の講義を受講した後のイメージ変化

4. 今後『物理』のイメージを向上させるために

これまでに、中学生のタイミングで理科を嫌いになることが報告されている^[1]。今回の調査結果でも、物理分野を嫌い・苦手になった時期は、中学3年生以降に増える傾向があった。中学理科では、1つの教科で複数分野を指導できる。この時期に各分野間の学際的な学習をすることで、物理へのマイナスイメージを払拭することができるのではないだろうか。今後、中学校や高校での学際領域についての授業を行い、物理への親和性を高めることが必要であろう。

参考文献

[1] 原田 勇希, 坂本 一真, 鈴木 誠, 理科教育学研究, 58巻, 3号, p319-330, 2018.

STEAM と科目横断を意識した物理実験授業

^A島野誠大, ^A墨野倉伸彦, ^A安藤百合子, ^A和泉利香, ^A渡部智博, ^B内山秀樹

^A立教新座中学校・高等学校, ^B静岡大学

mshimano@rikkyo.ac.jp

1. はじめに

量子力学や相対性理論とつながる題材で、高校生が興味を持ちながら STEAM や科目横断も意識した探究活動のできる次の 2 つの教材・授業開発を 2023 年度から進めている[1]。:

① STEAM を活用した一般相対性理論と高校物理をつなぐ授業の開発

② 物理と生物をつなぐ DNA モデル格子の教材開発とそれを利用した授業の開発

文献 1 では途中経過の報告であったが、本発表ではこれら授業の実践結果について報告する。

2. 開発した教材・授業について

2-1. STEAM を活用した一般相対性理論と高校物理をつなぐ授業の開発

人工衛星の一つで地球の重力を受けている国際宇宙ステーション内部は直感的に無重力であり、これの理解は一般相対性理論の理解にもつながる。また、日本の高校生の「天文」「宇宙開発」に対する関心が高いこと[2]や、人工衛星を題材にした教材が高校生の理科の有用感を向上させたこと[3]から、「国際宇宙ステーションに代表される無重力状態を再現し、加速度センサーを用いて確認せよ」という課題が生徒の興味や一般相対性理論へのつながりに適した課題になると考えた。そこで、2023 年度の「相対性理論に基づく宇宙論と測定」という講座を受講した高校 3 年生 10 名に対してこの課題を課し、この課題や一般相対性理論に関する講義と探究活動を 1 年間通じて行い、その成果をアンケートなどで評価した。その結果、次のことがわかった。:

- (1) 一連の授業は高校生に対して成立するが、相対性理論の「難しい計算」に工夫が必要である。
- (2) 国際宇宙ステーションなどの無重力状態を説明するための慣性力は相対性理論とつながりのよい題材だが、さらにつながりを良くするためには特殊相対性理論の扱いに工夫が必要である。
- (3) 本授業に参加した生徒が物理などに対してすでに興味をもっていた生徒たちだったと仮定すると、一連の活動は高校生にとって興味を持続させる題材であった。
- (4) アンケートで統計的に有意な変容は見られないが、記述内容だけを見ると「宇宙空間が無重力である」と誤解していた生徒の考えを修正する題材となった。

2-2. 物理と生物をつなぐ DNA モデル格子の教材開発とそれを利用した授業の開発

最先端の研究でも利用されている X 線結晶構造解析は、DNA の二重らせん構造の解析でも重要な役割を果たしている。例えば、文献 4 にあるような写真が生物基礎や物理の教科書（例えば文献[5,6]）で見られるが、これまでその回折像の見方について筆者らは生徒に十分な説明をしてこなかった。そこで、文献 7~9 の巻きばねによる実験を参考にして、一重と二重のらせん構造を回折像から定量的に区別することが可能な教材として DNA モデル格子（図 1, 2）を開発し、これを用いて 2023 年度の高校 2 年生の生物基礎と物理基礎で学習内容に連続性を持たせる科目横断的な授業を実践した。

授業の成果をアンケートで評価したところ、生物基礎との学習の連続性による成果を見ることができなかったが、物理基礎で開発した DNA モデル格子で生徒実験をしたことによる知識面の変容や情意面

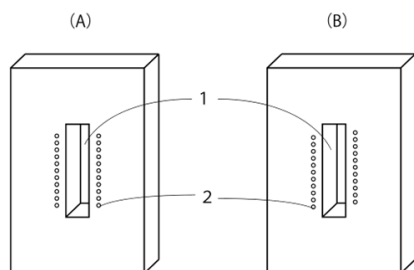


図1. (A) 左右の小さな孔が平行に並んだ二重らせん構造用の DNA モデル格子, (B) 左右の小さな孔が交互に並んだ一重らせん用の DNA モデル格子, どちらもレーザー光を透過させるための大きな孔(1)と細いワイヤーを通すための小さな孔(2)が開いている。

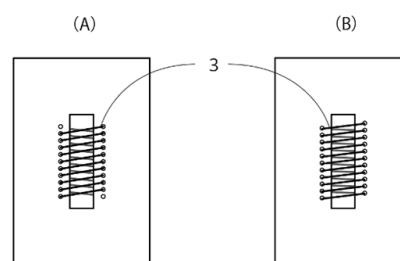


図2. (A) 2本のワイヤーを用い二重らせん状に孔を通した図, (B) 1本のワイヤーを用い一重らせん状に孔を通した図, どちらも細いワイヤー(3)を通したときを表している。

での生物, 化学, 社会とのつながりに対する意識の変容を見ることができた。なお, 生徒実験では, 文献 4~9 と同様に特徴的な X の字を描く回折像が得られ, 特に角度の測定値から, らせん構造の違いを見出すことができた。

3. まとめ

加速度センサーを用い STEAM の要素を取り入れた探究活動を通じて, 一般相対性理論につながる授業展開を考案・実施する授業と, DNA モデル格子という新規教材を開発し, それを用いて生物基礎と物理基礎で科目横断的に展開する授業を実践した。アンケートなどの結果をもとに, 改良を進めていきたい。

4. 謝辞

本研究は, 武田科学振興財団 2023 年度高等学校理科教育振興助成, 埼玉県私立中学高等学校協会, JSPS 科研費 JP20H01742 の助成を受けた。教材開発にあたり本校理科助手の加納氏, 株式会社デジタルファブリケーション協会の梅澤氏に大変お世話になった。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 島野誠大, 墨野倉伸彦, 内山秀樹, 宮崎元気, 2023 年度 日本物理教育学会年会 第 39 回物理教育研究大会 発表予稿集, pp. 107-108 (2023).
- [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] 小林尚輝, 内山秀樹, 山本仁, 神尾誠也, 木下拓史, 島野誠大, 武井大, 松山福太郎, 内山智幸, 内田匡, 石代晃司, 渡辺謙仁, 物理教育, 第 68 巻 2 号, pp. 79-86 (2022).
- [4] R. Franklin and R. Gosling, Nature, 171, 740-741 (1953).
- [5] 浅島誠, 長谷川真理子 ほか 49 名, 生物基礎, 東京書籍 (2023).
- [6] 前田京剛 ほか 29 名, 物理, 東京書籍 (2023).
- [7] 特定非営利活動法人物理オリンピック日本委員会, 物理チャレンジ・国際物理オリンピック 2015 年度報告書 (2015). <https://www.jpho.jp/2015/2015-activity-report-final.pdf>, (2024 年 7 月 7 日参照).
- [8] PhysicsOpenLab (Double Helix & Optical Diffraction Pattern). <https://physicsopenlab.org/2019/10/01/double-helix-optical-diffraction-pattern/>, (2024 年 7 月 7 日参照).
- [9] J. Thompson, et.al., Am. J. Phys., 86, 95-104 (2018).

学習意欲の向上を目指したワークショップ型授業 －誰もが楽しむ物理学習を目指して－

^A大倉由貴, ^B長瀬敦, ^C幅良統

^A愛知教育大学大学院教育学研究科, ^B愛知県立新川高等学校, ^C愛知教育大学
s223s028@aeucc.aichi-edu.ac.jp

1. はじめに

近年, 日本において理科離れ, 物理嫌いが深刻化している現状にある。TIMSS2019 の結果[1]においても, 日本の中学生の理科に対する興味関心は, 国際平均と比較して低スコアであることが指摘されている。また, 理科嫌いな生徒は, 中学校の物理領域の学習によって増加すること, および, 理科嫌いとなる傾向には男女差 (ジェンダー差) が大きく関係していることが報告されている[2]。理科嫌いなまま高等学校に入学し, 物理基礎の授業が開始することは絶望的な状況であるといえる。そこで, 物理基礎において, 物理の学習意欲を向上させられる手立てを講じることが, この状況の解消に効果的ではないかと考えた。そこで, 本研究ではディッキンソン大学の P. W. Laws による Workshop Physics [3]を取り入れた授業カリキュラムを構成した。

2. Workshop Physics とは

Workshop Physics (以下, WP) は, 教師からの講義を実施せず, Activity Guide (以下, AG) を基に探究するワークショップ形式の授業であり, 実践研究により学習効果が極めて高いことが報告されている。WP においては, 学習者がより直感的に観測可能な現象に触れ, 科学的探究能力を身に付けることが物理を学習する上で先決であるといった理念を持つ。その具体化として, 従来の教育では分離されていた講義と実験セッションを結合し, コンピュータツールを活用したアクティビティベースの共同学習環境を形成している。また, AG は物理教育研究によって明らかとされた思考のパターンに留意されて作成されている点の特徴である。

3. 実践概要

愛知県立 A 高等学校, 1年生1クラス 39名 (男子 24名, 女子 15名) を対象に授業実践を行った。実施期間は4月の始めから5月末までの約2か月間であり, 実施単元は物理基礎の「運動の表し方」である。WP の AG を日本語訳し, 日本の50分授業に対応するよう, 「授業の説明と実験器具の取り扱いを習得する授業」, 「加速する運動」, 「減速する運動」の3回の授業に分けて実施した。また, 授業内における概念の変容を捉えるため, One Page Portfolio (OPP シート) [4]を併用し, 毎授業における学習履歴を付けさせることで, 生徒にメタ認知を促した。

概念理解の調査においては FMCE を利用し, 授業による動機づけの効果を調査するために総合動機づけ診断を用いた。FMCE に関しては, 速度と加速度の概念を含む12問をピックアップし, 単元学習前後での概念理解度を分析した。また, 総合動機づけ診断においては, アンケートの尺度のうち, 【効力予期】, 【結果予期】, 【興味価値】, 【利用価値】, 【私的獲得価値】, 【公的獲得価値】, 【感情的要因】, 【社会的環境】について, 各4項目, 計32項目を「非常にそう思う: 5」～「全くそう思わない: 1」で回答させた。各尺度に分けて事前, 事後における動機づけの変化を分析した。同時に, 男女のスコア差の

変化にも焦点をあて分析を行い、WPを取り入れた授業カリキュラムの効果を評価した。

4. 授業実践

WPのAGに記されているセンサー教材として、主にPASCO製の「PASPORT Motion Sensor」「Wireless Motion Sensor」を使用した。また、斜面上における台車の運動を分析するため、PASCOのWebアプリ「SPARKvue」とペアリングし、実験を行った。生徒は、高等学校での初めての実験に苦戦しつつも、仲間とともにAGの質問項目を解決しようとワークショップを進める様子が見受けられた。生徒は実験結果から、加速する運動の $x-t$ 図、 $v-t$ 図、 $a-t$ 図の特徴を見いだすことができていた。

5. 結果と考察

事前事後のアンケート調査の平均値(M)と標準偏差(SD)、t検定を行った際のt値を表2に示す。動機づけ尺度の中でも特に【興味価値】においては1%水準の有意差が認められた。ARCSモデルを参考にしたアンケートの質問項目「本授業の学習はおもしろかった」における好ましい回答割合は、80%程度であった。その回答を選択した理由では、「実験が多くてわかりやすかったから」「実験を自分たちの力ですすめた」といった回答が多く、実験についての記述が18件あったことから、WPにおける実験を自らの手ですすめる経験が【興味価値】のスコア向上に効果的にはたらいていることが示唆された。また、OPPシートでは、「等速直線運動とは違って加速するが、加速のしかたが想像していたものと違って驚いた。」と記述があり、実験結果と予想が異なることで新たな発見があったと述べた生徒が多くいた。WPのAGより、生徒の認知葛藤を促し、物理現象に関する知的好奇心を向上させていると考えられる。また、同じアンケートにおいて男女比較を行った際には、興味価値の質問項目において有意差が認められなくなり、ジェンダー差を埋める一助となることが示唆された。

表2 総合動機づけ診断 事前事後

	事前		事後		t
	M	SD	M	SD	
効力予期	3.327	0.880	3.397	0.951	-0.883
結果予期	4.038	0.644	4.173	0.660	-2.180*
興味価値	2.827	0.905	3.109	1.375	-3.237**
利用価値	3.615	0.651	3.474	0.870	1.785
私的獲得価値	3.538	0.715	3.519	0.948	0.256
公的獲得価値	3.346	1.234	3.218	1.578	1.391
感情的要因	2.756	1.179	2.571	1.305	2.067*
社会的環境	3.385	0.793	3.628	1.035	-2.549*

* $p < .05$, ** $p < .01$

表3 総合動機づけ診断 ジェンダー差検定

質問項目	事前		p値	事後		p値
	男子平均	女子平均		男子平均	女子平均	
10 物理は面白い	3.42	2.63	0.011	3.79	3.07	0.058
11 物理の勉強には興味がわく	3.21	2.50	0.015	3.50	3.00	0.208

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所：「国際数学・理科動向調査 (TIMSS2019) のポイント」(2019) 5.
- [2] 朝倉彬：物理教育 71-3(2023) 202-205.
- [3] P. W. Laws：「Workshop Physics Activity Guide」(John Wiley& Sons, 2004) .
- [4] 堀哲夫：「一枚ポートフォリオ評価 OPPA 一枚の用紙の可能性」(東洋館出版社, 2021)

物理教育のユニバーサル・デザイン

猪本 修

九州産業大学基礎教育センター
inomoto@mail.kyusan-u.ac.jp

1. はじめに

現代の学校教育において、様々な障害をもつ児童・生徒への特別支援教育の確立は喫緊の課題である。特に重要となるのは、従来の隔離型支援から、障害の有無に関わらず児童生徒が共に学ぶインクルーシブ教育への転換である。この実現に向けて、通常学級における教育方法を新たな視点で見直し、インクルーシブ教育の観点に基づいた整備が必要となる。発達障害を持つ児童生徒が通常の学級で円滑に学習できる環境を構築するためには、特に教科教材と教授法のユニバーサルデザイン（UD）化が不可欠である。従来の画一的な教材・指導法では、個々の発達やニーズに合わせた対応が難しく、学習格差の拡大を招きかねない。UD教材・指導法の開発は、このような課題を克服し、すべての子が等しく質の高い教育を受けられる環境づくりに貢献する。具体的には、教科ごとに教科書の内容や指導方法を再検討し、児童生徒の理解度や興味・関心に合わせた教材・指導法を開発する必要がある。視覚や聴覚に配慮した教材、個別学習を取り入れた指導法など、様々な工夫が求められる。さらに、教員の能力向上も重要な課題である。インクルーシブ教育を実践するためには、障害を持つ児童生徒への理解と対応スキルを備えた教員の育成が不可欠である。教員研修の充実や、専門的な知識・技術を習得できる体制の整備が必要となる。インクルーシブ教育の推進は、単に障害をもつ児童生徒への支援にとどまらず、すべての子が個性を発揮し、共に学び成長できる学校環境づくりにつながる。したがってインクルーシブ教育の実現に向けた取り組みを進めていくことが求められる。

2. 物理教育における発達障害の研究動向

特別支援教育に関する研究は活発化しているものの、教科指導に焦点を当てた研究、特に物理教育における具体的な教授法や教材開発に関する研究は十分とは言えないのが現状である。この課題は初等教育・中等教育いずれにおいても共通しており、物理教育を専門とする学術誌においても発達障害を持つ児童生徒への対応を扱った研究論文は限られている。一方、海外では発達障害を有する学習者への物理教育法に関する研究が積極的に進められており、Knight *et al.* (2012) や Smith *et al.* (2013) などの報告が挙げられる。本研究では、こうした海外の研究成果を踏まえつつ、国内の教育事情や学習環境に適応した物理教育における特別支援の指導法について検討する。その目的は、国内外の研究成果を体系的に整理し、物理教育における特別支援指導の現状と課題を明らかにするとともに、国内における物理教育の実践に役立つ、発達障害を持つ児童生徒への個別指導法や教材開発の指針を策定することである。これにより特別支援教育における教科指導方法論の確立と、現代的なニーズに応える質の高い物理教育の手がかりを得ることとする。

3. 発達障害と感覚過敏

特別支援教育の中でも、情緒障害は近年特に注目されている分野の一つである。その中でも、自閉症スペクトラム障害（ASD）は、学習障害や注意欠如・多動性障害と並んで、約1%の児童生徒がその特

性を示すとされる発達障害であり、支援の必要性が強く指摘されている。さらに、部分的に ASD の特性を持つ児童生徒も存在する可能性があり、こうした特性を持つ学習者への支援策は大きな課題となっている。とくに、ASD の学習者にとって、通常学級での円滑な学習を実現するためには、具体的な教科教育法の構築が不可欠である。ASD の学習者に多く見られる特性の一つとして、感覚過敏が挙げられる。そのため、ASD に対応する教材と教育方法を開発する際には、感覚過敏の特性を考慮することが重要となる。具体的には、テキスト教材に含まれる図や写真、グラフ、文章表現について、教科の特性を踏まえつつ、ASD の学習者にも理解しやすいように改善する必要がある。この点において、the Center for Applied Special Technology (CAST) によって提唱された UD の原則に基づく方法論が参考となる。UD は、全ての人が利用可能であるように設計するという理念であり、特別な支援が必要な学習者を含む全ての学習者が対応できるような教材の提供は、重要な指導方針とされている。

4. 展望

物理教育において、インクルーシブ教育の視点に基づいた学習指導方法と教材の体系的な整備は不可欠である。これは、多様な特性を持つ児童生徒が共に学び合い、成長するための学校教育における基本的な考え方である。学習指導上の諸問題を解決し、全ての学習者が積極的に学習を進める環境を整備するためには、理科教材の特性と問題点を明らかにすることが必須である。本研究では、発達障害、特に ASD の特性である感覚過敏に注目し、それに合致した教材の開発を行っている。具体的には、ASD の学習者が理解しやすいように設計された実験・観察教材やテキスト教材の開発を進めている。そのために、UD の考え方に基づいた教材の整備と体系化に重きを置いている。この原則を、実験・観察教材やテキスト教材の開発に適用することで、視覚的に過剰な刺激を避け見やすいレイアウトや配色を工夫する、騒音レベルを低減し、視覚情報と組み合わせた説明を取り入れる、触り心地や素材に配慮した教材を開発するといった感覚過敏に対応する方法の確立が期待できる。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費JP23K02365の助成を受けている。

参考文献

- Knight, V.F., Smith, B. R., Spooner, F., and Browder, D. (2012): Using Explicit Instruction to Teach Science Descriptors to Students with Autism Spectrum Disorder, *J. Autism Dev. Disord.* **42**, 378–389.
- Smith, B. R., Spooner, F., Wood, C. L. (2013): Using embedded computer-assisted explicit instruction to teach science to students with autism spectrum disorder, *Res. Autism Spectr. Disord.* **7**, 433-443.

Python 音声グラフィブラリを用いた視覚障害学生支援

平野祐希子

筑波大学附属視覚特別支援学校

hirano@nsfb.tsukuba.ac.jp

1. 背景

視覚障害のある学生は、視覚障害のない学生に比べて実験すること、結果のグラフを作成すること、グラフを読み取ることなど、物理の学習における全てに時間がかかる。視覚障害学生が図やグラフを学習するときには、点図(図 1[1])や立体コピーなどを用いて触れられる状態にしたり、言葉による説明に変更したりされている[2]。現在、中学校や高等学校の理科実験では、視覚障害のない学生はセンサ等を活用し、モニターですぐに実験結果をグラフの形で確認することができるようになってきている一方で、視覚障害学生、特に強度の弱視や全盲で点字を使用して学ぶ学生は、この恩恵に十分に与ることができていない。よって、視覚障害学生にとっては、実験し、実験結果を確認して次に進むまでにあるハンデが、さらに大きくなってしまったといえる。そこで、グラフを音声で表すことで概形をできるだけ即時にとらえ、このハンデを小さくすることを考えた。

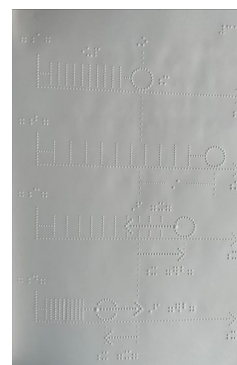


図 1 点図

2. Python 音声グラフィブラリを用いたグラフの音声化

グラフの音声化には Python ライブラリである「audio-plot-lib」を用いる。開発環境は開発者より推奨されている Google Colaboratory を[3]、データは Google Drive に保存した csv 形式のものを使用する。コードを実行すると、実行結果のエリアに x-y グラフとスライダーが表示される(図 2)。このスライダーを動かすと、その位置に応じた x や y の値の読み上げや、y の値を音程にした音の再生ができる。またグラフをなぞることも、マウスポインタのある点の値に応じた音声で再生できる。さらに、自動で連続再生するボタン(図 3)を表示させることもできる[4]。両方を表示させておけば、視覚障害学生はスライダー操作に加えて自動再生を活用することができ、視覚障害のない者はそれらに加えてグラフを見て確認することができる。

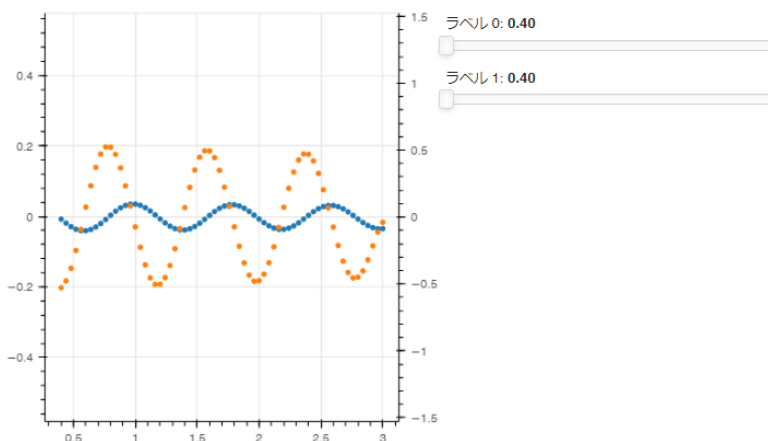


図 2 実行画面の例(位置と速度のグラフとスライダー)



図 3 実行画面の例(自動再生ボタン)

3. 視覚障害学生への授業実践

高校3年生、選択者1名(点字使用)の「物理」において、単振動の変位、速度、加速度の式を導出後、それぞれのグラフを音声で確認した。音声グラフを出力するためのプログラムは事前に用意しておき、保存した csv ファイル名をファイル読み込みの行に入力するだけで実行できるようにした。また、点字使用の数学科教員にも聞き取りやすい再生速度を確認した。視覚障害のない筆者がわかりやすいと感じた速度よりも少し遅めの方が、点を意識しながらグラフを追うことができると良いという意見だった。

授業では、NaRiKa 製 Go Direct センサカートと専用アプリ Graphical Analysis®を用いて、フックの法則に従うばねを取り付けたカートの変位(「位置」として出力)、速度、加速度を記録し、csv 形式で Google Drive にエクスポートしたあと、プログラムを実行した。位置と速度と加速度のそれぞれを自動

再生すると、すべて周期は同じで、位置と速度は位相が $\frac{\pi}{2}$ ずれ、位置と加速度は位相が π ずれているこ

とが確認できた。また山と谷の付近は音の高さの変化が小さく、中間は変化が大きいことから「サインカーブっぽい」、というコメントもあった。この生徒は様々な関数のグラフに触れた経験があり、グラフの形のイメージを強く持っていることも、音の高低と形が結びつけることができた要因だと考えられる。この後、グラフを紙に印刷し、立体コピーをしたものに触れてグラフの形を詳細に確認する(図4)こともしている。

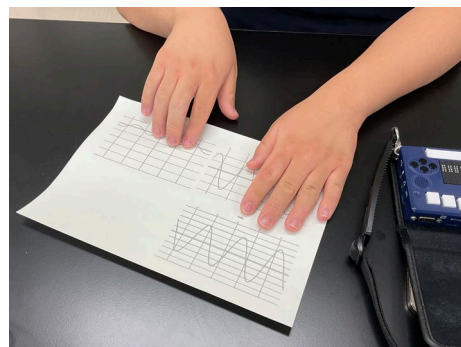


図4 グラフの立体コピーの触読

4. 課題と展望

本稿の方法では、アプリから一度クラウドにエクスポートし、プログラムを実行して音声を再生するというステップがあるため、即時性に課題がある。実験とほぼ同時に音声出力するために、センサとのシリアル通信によってデータを受信し、その値に応じた周波数で同時に音を鳴らすこともしてみたが、細かくデータを取る、またはスムージングすることなどに課題があり、音声だけでグラフの形が分かるほどのものはまだ実装できていない。音声だけではなくグラフが同時に表示されることは、グラフを読み取れる視力はある視覚障害学生が学習したり、視覚障害のない教員がサポートしたりする際に必要なことであり、audio-plot のような形のものは視覚障害のある者、ない者両方のニーズを満たすものになっている。盲学校は点字使用、通常(または拡大)文字を使用する生徒、そしてサポートする教員がおり、ある意味インクルーシブな環境でもあるといえる。盲学校での実践は、多様な学生たち、みんなが物理を楽しむ環境づくりにつながるものと信じて、これらの課題を克服していきたい。

参考文献

- [1]日本ライトハウス編：「啓林館版 高等学校 物理 4」日本ライトハウス, 2023, 51.
- [2]内田智也：サイエンスを民主化せよ ―視覚障害学生への合理的配慮や基礎的環境整備(理系を中心に)―, リハビリテーション・エンジニアリング, Vol. 34, No. 4, 2019, 152-155.
- [3]蓮尾高志：「hassaku/audio-plot」(Github)(2020 年度総務省異能 Vation プログラム 助成), <https://github.com/hassaku/audio-plot-lib> (2024 年 7 月 3 日閲覧).
- [4]蓮尾高志：スクリーンリーダー利用者のためのデータサイエンス入門, <https://hassaku.github.io/accessible-data-science-introduction/chapter-3/audio-plot-lib.html>(2024 年 7 月 3 日閲覧).

「美術に用いられる点描表現を科学的に理解すること」をねらった教材の開発

^A手塚奏瀬, ^B林壮一

^A福岡大学大学院理学研究科応用物理学専攻, ^B福岡大学理学部物理科学科

canase1313@gmail.com

1.背景と目的

現在の日本では、STEAM 教育の研究に関して、Arts をどう扱うべきかという概念の解釈に関する報告[1]が多く、その応用の余地は大きいと考えられる。そこで本研究では、歴史的な名画に用いられる点描表現に注目し、この表現が用いられる科学的な理由や背景を学習者が探究することによって、科学 (Science) と美術 (Art) の融合的な学習を促進することを目的として、教材や授業の開発を行った。

2.点描がもたらす視覚効果

点描表現の代表例として挙げられるのは印象派である。印象派の絵画は絵具を混ぜることなく原色のままキャンバスに並べる。その結果、絵画全体が明るく見える(図 1)。



図 1 : 印象派絵画の例[2]

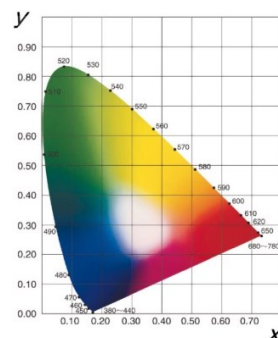


図 2 : 色度図

混色は色の成分を RGB に分けたとき、これら 3 刺激の混合比により求めた平面座標(色度図)によって表される(図 2)[3]。同じ割合の 2 色の混色であれば、得られる色は色度図上の内分点であることが知られている。色は混ぜ合わせていくことにより無彩色(白・グレー・黒などの彩度が無い色)に近づいていくが、これが絵具の場合、無彩色の中でも黒色に近づいていく。絵具を混ぜ合わせていくことにより、絵具が吸収する光の強度が大きくなっていくため(減色混合)である。また、人は複数の波長の光が同時に網膜に入射した場合でも、それを混色として知覚する。点描を用いて網膜による混色をねらった方が、絵具を混ぜ合わせて色素による混色をねらった場合に比べ、絵具を塗った面上の単位面積当たりの光の吸収量が小さくなるため、絵具の混色により絵が暗くなることを防ぐことができる。

また、このように網膜による混色が起こることによって、減色が起こらず、絵具の三原色(シアン・マゼンタ・イエロー)の混色が中途半端な無彩色(グレー等)になっていく様子は、コマを用いた実験で物理教育の観点から報告・考察がされている[4]。

3.作成した教材と授業

以上を踏まえ、点描の視覚効果を実験的に確かめるために、次のような教材と観察実験を考案し実行した。

【教材】

2種類の絵具の色 C_1, C_2 に対して、

- ・ C_1 と C_2 を 1cm 四方の市松模様で A4 サイズの用紙一面に配置したもの(以降市松の混色パネルと呼称)
- ・ C_1 と C_2 を同じ比率で混ぜ合わせた絵具の色 C_3 を A4 サイズの用紙一面に配置したもの(以降無地の混色パネルと呼称)

【観察方法】

市松の混色パネルと無地の混色パネルを、十分に距離の離れた場所から同時に観察する。

【観察結果】

ほぼ同様の色相ではあるものの、市松の混色パネルの方が明度の高い(明るい)色に見える(図 3)。



図 3：実際に混色パネルを 40m 離れた場所から観察したときの様子

下の 2 色を市松模様に並べたものが左上、絵具として混ぜ合わせてできた色が右上となる

上記の観察実験は十分に光量のとれる空間(晴れた日の屋外等)で機能することが確認できた。また、色パネルはパワーポイントを用いて配色したものを印刷して作成した。色パネルの作製にあたって必要な色は、絵具を塗った画用紙をスキャンし、得られた画像の色の平均を取り、その平均色の HEX(RGB 値)を調べることで求めた。スキャンや印刷は本来の色が損なわれるため避けるべきであるが、授業で用いるための量産が必要であったため、上記の工程を行った。

上記の方法で作成した色パネルとワークシート、画像の RGB 値等を調べることのできる色分析アプリである“色しらべ”を用いて、30～40 人規模の文系女子 2 クラスに対して授業を行った。授業は高校二年生の“科学と人間生活”の中の 2 コマで行われ、『印象派絵画では、なぜ点描を用いる必要があったのか。』というテーマで授業を展開した。事前アンケートと事後アンケートを行い、科学と美術、およびそれらの関係についての態度の変容を観察した。ただし、予稿作成時点では、この授業は途中経過(1 限目終了)の段階である。

4.途中経過と展望

事前アンケートと事後アンケートの生徒の態度の変容、および実際に授業を行ってみたいの生徒の反応をもとに、この授業の成果と課題を科学(ひいては物理)教育的観点・美術教育的観点・STEAM 教育的観点から議論していきたい。

参考文献

- [1]辻合華子 2020 科学教育研究 第 44 巻 2 号 93-103 STEAM 教育における“A”の概念について
- [2]Vincent Van Gogh 1888 ローヌ川の星月夜
- [3]石川典夫 2005 日本画像学会誌 第 44 巻 第 6 号 83-92 測色の基礎と実際
- [4]室谷心 2019 物理教育 第 67 巻 第 4 号 241-243 色の混色についての考察

物理教育若手夏の学校開催

^A阿孫桂太, ^B佐々木志帆, ^C谷水里帆, ^D千葉丈翔

^A豊後大野市立千歳中学校, ^B小松市立南部中学校, ^C広島なぎさ中学校・高等学校, ^D宮城県白石工業高等学校

per.sum.sch@gmail.com

1. 夏の学校とは

物理教育若手夏の学校は、日本物理教育学会次世代形成 WG¹ で提案された企画の一つであり、「若手」の物理教員、もしくは物理教育に関心をもつ学生が物理教育研究の知見を深めたり、実践を報告したりする場である。本企画は、教員経験が概ね5年未満の教員と大学院生が中心となり進めている。夏の学校を開催する目的は大きく分けて3つある。1つ目は PER の知見を深め、自身の研究の視野を広げることである。これは学生側からでた意見であり、他の分野の夏の学校でもよく設定されている目的である。2つ目は PER の成果を現場でどのように実践しているのかを知ることである。これは現職の先生方から多く出た意見であり、多忙な教員生活の中でも得た知見を活かしたいという思いが見られた。物理教育若手夏の学校は、学生だけではなく、若手の教員も対象としていることが特徴の一つである。そのため、理論と実践の両方からアプローチする方向性に決まった。そして3つ目は、同世代とのつながりを深めることである。この企画が提案された当初(2022年12月ごろ)は、コロナ禍であり、共に物理教育を学ぶ仲間を著者はほとんど知らなかった。学校をきっかけに、同じ悩みや目標を抱く若手同士が交流し、物理教育を学び、実践していったほしいとの願いを込めた。第1回は、2023年8月17、18日に Zoom を用いたオンライン形式で開催された。参加人数は36人(一時の参加も含める)だった。現在、物理教育学会に所属する25歳以下の会員数は20人を下回っていること²を考慮すると多くの若手が参加してくれたと考えられる。

2. 第1回の取組～1日目～

第1回は、1節でも述べたように、Zoom で2日間、開催された。初日は、表1で示したプログラムで実施した。最初の「物理教育の入門講座」は、表2に示す授業法を伝えるものであった。これは、参加者の方々に2日間の各企画の内容を理解し、より楽しんでもらうことを目的とした。参加者からは「最初に物理教育の基本を知ることができて良かった」といった感想をいただいた。一方で、タイムマネジメントがうまくいかず、時間が多少押ししてしまったことや、参加者が話を聞くインプットの時間が多くを占め、アウトプットの時間をほとんど取れなかったことが課題として残った。2つ目の研究発表では、物理教育に関する様々な内容の物だけではなく、専門

表1 1日目 プログラム

9:30 ~ 9:45	開校式
9:45 ~ 10:30	物理教育の入門講座
10:40 ~ 12:00	研究発表
13:00 ~ 15:00	講座① 「ILDsの理論と実践」
15:10 ~ 16:30	事例検討会①

表2 物理教育の入門講座 プログラム

	講座内容	担当者(敬称略)
1	物理教育入門講座 概要	阿孫
2	ピア・インストラクション	阿孫
3	相互作用型演示実験講義	植松
4	ジャストインタイム教授法	橋本
5	チュートリアル	米野
6	協働による問題演習	谷水
7	リアルタイム物理	松田

的な物理の内容についての発表もあり、参加者全員で多くのアイデアや意見を交流することができた。3つ目の講座①では、京都教育大学教授の谷口和成先生にご登壇いただいた。谷口先生には、ILDsの理論と実践というテーマで講演を依頼した。実際に谷口先生が授業した際の動画等を拝見したり、若手のころに悩んだり不安になったりする部分についての、アドバイスをいただくことができたりと、若手教員、研究者の意欲を高めるとともに貴重な意見をうかがえる時間となった。

3. 第1回の取組～2日目～

2日目は日々の授業での工夫を紹介する「私の実践工夫」から始まった。力学分野の実験や、楽器を用いて波動の分野の理解を深める授業など、様々な分野での実践紹介があった。次に、参加者のアイスブレイクの間として「夏の学校 座談会」の企画が行われた。本企画の前半は、「フェルミ推定」をテーマにし、参加者が断熱性の高い水筒に入った水を2分間振ったときの温度上昇についてグループで議論した。本企画については著者も参加者と一緒に議論に参加したが、他者と交流を深め、物理について思考できる非常に楽しい時間となった。後半はフリートークとしての時間を設けた。テーマとして「物理の時間に生徒にプログラミングをさせることに賛成か、反対か」という質問をした。81%の参加者が賛成しており「惑星運動など実験が難しいところでやる」や「数式を学ぶ意義として、プログラミングする際に必要なことを扱う」などの意見がでた。同じ年代層であるからこそ自由な議論ができる有意義な場になったと考えられる。

夏の学校の最後の企画は東京学芸大学附属高等学校の西村壘太先生による講義である。西村先生にはピア・インストラクション (Peer Instruction, 以下 PI と略す) の実践についてお話していただいた。PIの基本的な話から始まり、授業で用いた際の動画や、実際にPIを体験する機会も作っていただいた。西村先生には、動画が見やすくなるような配慮をしていただいたり、PIを体験するときのタイミングなどを事前打ち合わせしていただいたり、夏の学校を成功にたくさんのお力を貸していただいた。講演のあとは事後検討会としてPIの問題作りを行った。生徒の思考の傾向や、間違いやすい考えなどについて議論することができる有意義な場となった。

4. 第1回の反省と今後への取組

第1回は谷口先生、西村先生を初めとし、次世代WGの先生らなど、多くの先輩教員の支えがあり、実施することができた。しかし、前節でも述べたが、課題も山積している。例えば、参加者の交流が少なくなってしまうことや、運営にあたっての仕事の割り振りがうまくいかなかったことなどがある。第2回では、これらの反省を生かした取り組みが行われている。先日2024年8月9日に開催された第2回の夏の学校の様子については、本講演で発表することとする。第3回以降も、運営側、参加者側、両方が楽しみながら学べる場であり続けてほしい。

参考文献

[1] <https://sites.google.com/view/pesjnext/> (2024年6月9日参照)

[2] 今井章人：物理教育 70-4(2022)254-260

次世代に向けた物理教育の裾野を広げる取り組み

^A酒谷 貴史

^A同志社香里中学校・高等学校

tsakatani@kori.doshisha.ac.jp

1. ワーキンググループ発足の経緯とミッション

日本物理教育学会が抱える課題として、会員数の減少が深刻な問題となっています。この主な原因として、これまで学会を支えてこられた団塊の世代の方たちが退会されていく中で、若手会員の入会数が増えてこないことが考えられます。このような経緯から、2021年に会長に就任された新田会長から拝命を受けた安田淳一郎先生（名古屋大学高等教育研究センター）と今和泉卓也先生（筑波大学附属駒場中高）が中心となって、今後の学会活動の中心となる若手会員の増加と育成を目的として次世代形成ワーキンググループ（以下、次世代WG）が発足しました。[1]

2. グループメンバーの構成

次世代WGのメンバーは主に20代から30代の教員で構成されています。また、さまざまな地域での会員を増やしたり意見を取り入れたりすることを目的に、はじめは各支部や地区から活動に適したメンバーを推薦していただき活動を行っていました。[2] グループの発足から3年目となった現在では、多少の入れ替わりを経て表1のような分布となっています。

表1 次世代WGメンバーの地域分布

支部・地区	北海道 支部	新潟 支部	東北 支部	関東 地区	東海 北陸 地区	近畿 支部	中国 四国 支部	九州 支部
人数	2	1	3	4	3	3	2	1

3. これまでの活動とこれからの活動

次世代WGが発足した当時はコロナ禍ということもあり、Zoomを用いたビデオ会議が主流でしたが、その中でさまざまな活動プランを考えてきました。[2] 現在でも各支部や地域から集まることが困難なため、会議はビデオ会議システムを用いていますが、少しずつ対面形式の活動を増やしています。特に若手教員からの要望として、新しい実験道具を体験してみたいという声があり、教材開発を行っている会社（ナリカ、ケニス）を訪問して体験させていただきました。こういった企画には学会に所属しておられない方々にも案内を出し、広く学会の活動について知ってもらう場としています。この他にも、物理教育について講演していただく“レクチャーシリーズ”や物理教育について語り合う“ざっくばらんに話す会”など、若手教員が教育研究を知る活動も行っています。

参考文献

[1]新田英雄(2022)：物理教育，70-4, p269

[2]今井章人(2022)：物理教育，70-4, p270

協賛企業広告

Go Direct[®]

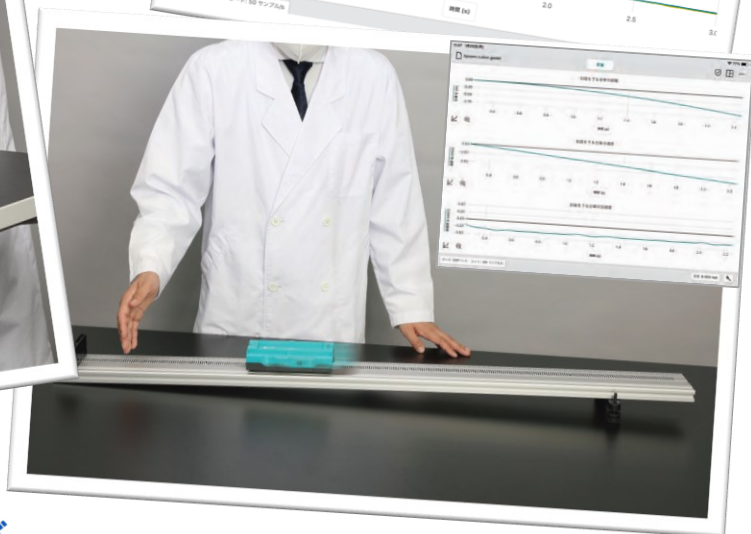
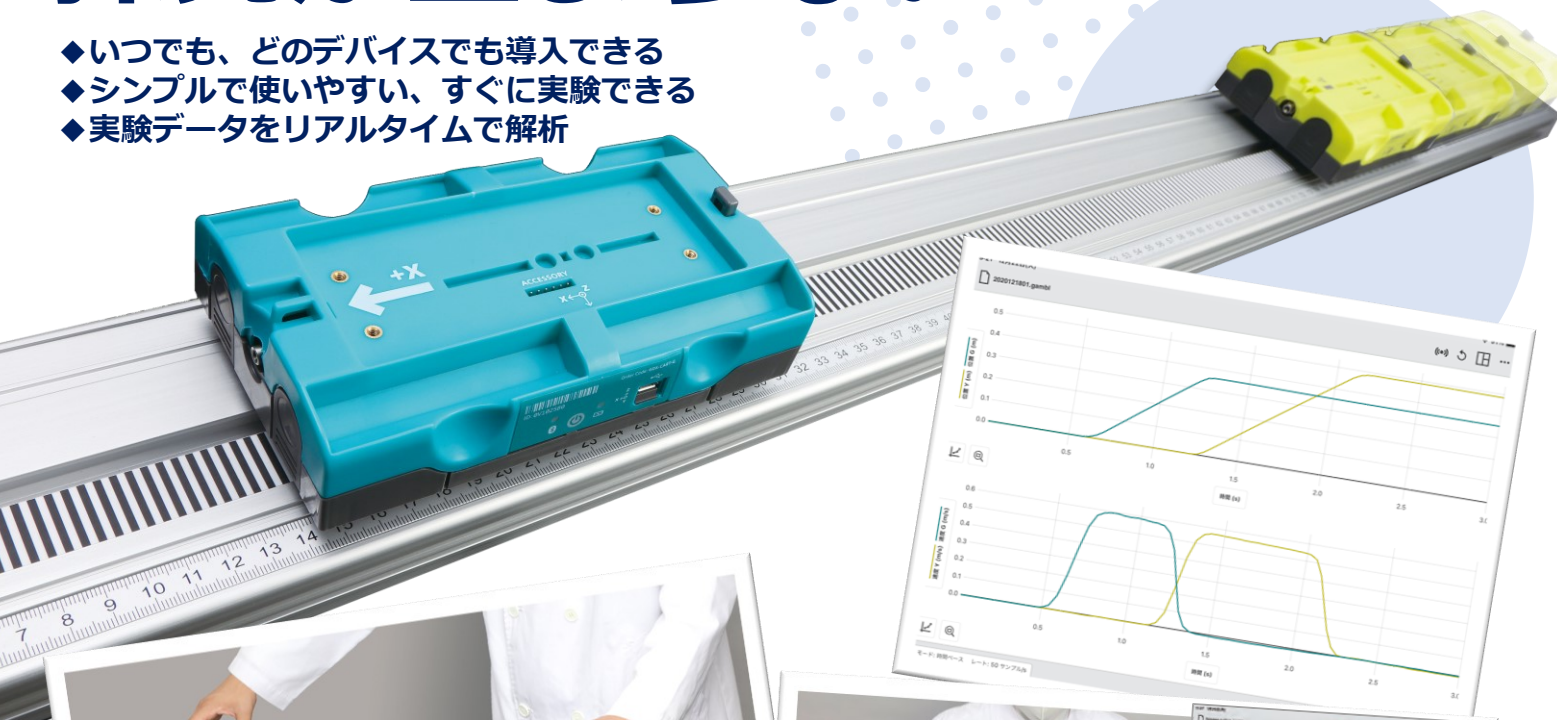
探究が止まらない

マルチOS

使いやすい
ソフトウェア

豊富な
センサ

- ◆いつでも、どのデバイスでも導入できる
- ◆シンプルで使いやすい、すぐに実験できる
- ◆実験データをリアルタイムで解析



1つのセットで力学実験を幅広くカバー ワイヤレス力学システム (Go Direct)

E31-8200-03 DTS-GDX
¥169,600 (¥186,560)

E31-8200-04 DTS-GDXC (ケース付)
¥174,600 (¥192,060)



付属品



専用おもり



反発ばね



フック

など

セット内容

- ワイヤレスセンサカート(緑) GDX-CART-G
- ワイヤレスセンサカート(黄) GDX-CART-Y
- 滑走台(1,200mm、アルミニウム製)

- 専用おもり(125g) 4個
- カセンサ用反発磁石 2個
- 滑車 ●ストッパー

- カセンサ用反発ばね 2個
- センサホルダー
- フック 3個 ●ゴムバンパー 3個

NaRiKa
SCIENCE IS JUST THERE

株式会社 ナリカ

<https://narika.jp/>

大学入試で問われる、「思考力」を完全マスターできる

新課程対応
参考書型問題集

センサー 物理基礎 / 物理 / 総合物理



センサー
物理基礎

3rd Edition

A5判
2色刷
136頁

+

別冊解答
2色刷
104頁

定価 840円
(本体764円+税10%)



センサー
物理

3rd Edition

A5判
2色刷
264頁

+

別冊解答
2色刷
224頁

定価 930円
(本体845円+税10%)



センサー
総合物理

3rd Edition

A5判
2色刷
336頁

+

別冊解答
2色刷
280頁

定価 1,120円
(本体1,018円+税10%)

POINT

1. 3ステップ形式で日常学習から大学入試まで幅広く対応
2. 解き方ではなく考え方を学べる「SP」が充実
3. 「まとめ」のQRコードから学習内容に関するコンテンツが視聴可能
4. スマレクebook (無料) で例題とSTEP2、「思考力を磨く」の解説動画が視聴可能



▲解説動画
サンプルはコチラ

デジタルと紙教材がセットになったハイブリッド教材



KEIRINKAN Simulation BOX δ

デルタ

- B5判・1色刷・32頁
- 定価 550円(本体500円+税10%)

KEIRINKAN Simulation BOXとは

目に見えない現象や、動きの観察で理解が深まる現象をシミュレーションで再現する、啓林館オリジナルのWebアプリケーションです。



▲シミュレーションの
サンプルはコチラ

POINT

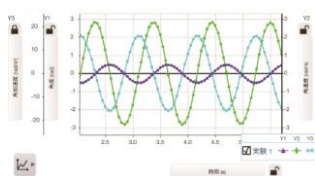
1. シミュレーションの操作と問題演習で物理現象の理解がさらに深まるワークブック
2. 力学から原子分野まで全28個のシミュレーションに対応
3. 本格的な入試演習を始める前の基本事項の確認にも最適
4. PCやタブレットでもお手軽にシミュレーションの操作が可能



実験例

剛体振り子

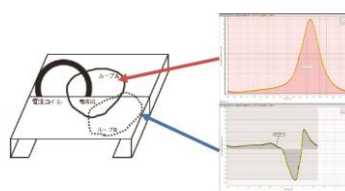
ワイヤレス回転運動センサの三段プーリを外して軸と固定ネジの間に30cm定規を挟み、剛体振り子をつくります。振子を振って各値を測定します。下図は角度・角速度・角加速度の時間的変化を示しています。



実験例

アンペールの法則

ワイヤレス3軸磁気センサ、ワイヤレス回転運動センサ、実験用アクセサリなどを使って電磁気学の基本法則であるマクスウェルの法則の1つ「アンペールの法則」を実験で確認することができます。



様々な実験動画が載っていますので是非ご覧ください！



スマートカートについて



この一台で、力・位置・速度・加速度が測定できるセンサ内蔵型の力学台車

スマートカートとPC, タブレット, スマートフォンがあればいつでも計測できます。(BluetoothでもUSBでも接続できます。)

ICT教材

株式会社 島津理化 - 2/21

1	121 543 携力実験用アクセサリ AE-R	2:00
2	101 366 スマートファン ME-1242 (力学台車スマートカー...	2:03
3	190769 スマートカート用連結ばね	2:22
4	121 660 スマートコースター MK-15	2:33
5	101 395 ワイヤレス温度リンク PS-3222	4:34
6	初心者向け SPARKvueの使い方 (日本語版)	10:01

解説動画 付き問題集!

授業の完全理解から二次・私大入試への橋渡しまで!!

実験問題や新傾向問題, 解説動画を掲載!

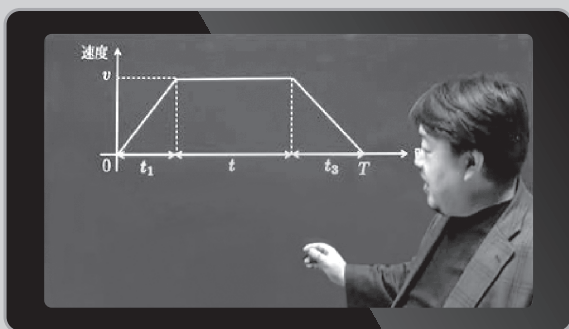
ニューグローバル物理基礎

ニューグローバル物理

ニューグローバル物理基礎+物理

- 教科書の内容の定着のための**基本例題・基本問題**を充実させているので、**1年生から無理なくお使いいただけます。**
- 質の高い**応用問題**で、**入試に対応できる学力**を養います。
- 出題頻度の高い問題には多くの問題を用意し、**繰り返し練習**ができるようにしました。
- 解答編は、解法のポイントや補足説明を加えながら**丁寧に解説**しています。

解説動画サンプル



『ニューグローバル物理基礎』の解説動画より

予備校講師が 講義形式で解説!

裏表紙の二次元コードから、
解説動画を見ることができます。
問題へのアプローチから解答に至るまでの過程が
丁寧に解説されています。



ステップ学習

教科傍用

基礎固め

共通テスト

二次私大

クリアファイル

解説動画

※ご採用校にはクリアファイルを用意しております。

※問題・解答のWordデータを、弊社のWebサイトから提供します。

ニューグローバル物理基礎……………定価770円(本体700円)
ニューグローバル物理……………定価1,140円(本体1,036円)
ニューグローバル物理基礎+物理……………定価1,250円(本体1,136円)

 東京書籍

お問い合わせは高校教育部 Tel: 03-5390-7320

首都圏高校支社 〒114-8524 東京都北区堀船2-17-1 Tel: 03-5390-7467 Fax: 03-5390-6017

ホームページ <https://www.tokyo-shoseki.co.jp> 東書Eネット <https://ten.tokyo-shoseki.co.jp>

原著講演
8月11日

子どもの科学的認識に関する定量的評価法・分析法の開発と授業実践への応用

^A堀井 孝彦

^A東京学芸大学附属世田谷小学校

r156002@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに ー研究の背景と目的ー

教員の労働に関する問題が、各方面で取り上げられるようになった。多くの小学校では、業者作成によるテストが採用されている。これらのテストは、基礎的基本的な学力に関して客観的に測定し、評価するのに適している半面、限られた授業時間内ですべてを実施し、教員が勤務時間内で採点するのが、働き方改革の流れの中では難しいという実態がある。

一方、筆者の勤務校（以下、本校とする）では、長年にわたり自校作成方式のテストを実施している。というのは、児童の学びの実態に寄り添った問題を出題し、児童の学びや授業そのものを評価するためである。自校方式のテストの場合、「児童の学びの実態に寄り添った問題を出題できる」「テストの回数を適正化できる」という利点がある半面、テスト問題の作成に負担がかかるという難点がある。実際に勤務時間内でテスト作成・準備を終えるのは難しい。

そこで、「出題してきた問題の項目困難度を設定し、大規模な問題群を作成する」「この問題群から、項目困難度が設定された問題を抽出して組み合わせることにより、当該学年の学習内容に適合した任意の困難度によるテスト問題を作成する」ことを目指す。こうして児童の学びの実態に寄り添ったテスト問題を作成するとともに、働き方改革が徐々に進みつつある学校という場で、テスト問題作成の負担を軽減できるのではないかと考えた。

2. テスト問題の作成と答えの解釈・判断

本校理科部が作成しているテスト問題では、多肢選択方式による問題と記述式による問題とが、併用されている。例えば、Hestenes et al.(1992)による力学概念調査（Force Concept Inventory, FCI）¹⁾のように、問題群が多肢選択方式による問題だけで構成されている場合、これに添付されている正しい物理概念一覧表、および、素朴概念一覧表を用いることにより、各選択肢がそれぞれどのような概念に基づいて作成されているのかすぐに分かる。そのため学生・生徒等が持っている概念の把握がしやすい。

ところが、記述式問題の場合は、テスト問題として採点する場合も、概念調査として概念を抽出する場合も、担当者による主観的な解釈・評価が影響することがある。そのため、例えば、「基準や規準を明確化しこれらにそくして採点したり判断したりする」「複数の担当者によって合意をしながら答えを解釈・評価する」というような手続きを経て、主観性を回避していく必要がある。

本来ならばこのような方法を取り、十分時間をかけて丁寧に答えを分析・検討していくのが望ましい。しかしながら、児童の学びの実態に寄り添ったテスト問題を作成する際に、テスト問題作成の負担軽減を優先するために、正答：1、誤答：0と数値化し、その結果をもとに1-0データで表して、項目困難度を求めることにする。なお、完全な正答ではない場合にはやや厳しく見積もり、誤答とみなして数値化することにした。

3. データの分析

ここでは、各問題の項目困難度を求めるために、古典テスト理論と現代テスト理論を併用する。特に、後者は1-パラメーターロジスティックモデルと同等の式で表される、Raschモデルを用いて分析することにする。すなわち、被検者の潜在特性値を θ_i 、問題の項目困難度を δ_j としたときに、この問題に対して推定される正答確率を $P(\theta_i, \delta_j)$ とすると、その正答確率は、

$$P(\theta_i, \delta_j) = \frac{\exp(\theta_i - \delta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \delta_j)} \dots \dots \dots (*)$$

と表せる。

1-パラメーターロジスティックモデルの場合、目安として被検者が100名以上必要であるとされているので（豊田，2012）^[2]，これと同様の形の式で表されるRaschモデルの場合も，被検者数がおよそ100名以上必要であるともものと考えていることにする。本校の場合，1学年の標準的な児童人数が，35名学級3クラスで105名である。転出等により，児童人数が100名に届いていない学年もあるが，概ねこの条件を満たしているものと判断する。

校内テストの最初の分析は，2023年11月に本校第5学年児童97名を対象として実施したテスト結果に基づいて行った。各テスト問題の項目困難度を表1，図1に示す。また，潜在特性値と項目困難度との差をパラメーターとしたとき，全問題20問の正答確率を項目特性曲線（Item Characteristic Curves, ICC）を図2に表す。

表1 2023年11月実施第5学年校内テストから求めた項目困難度

項目困難度	問題番号	分析用記号	項目困難度
第1問	(1)	X11	-2.390
	(2)	X12	-2.390
	(3)	X13	-0.468
	(4)	X14	-1.175
	(5)	X15	-1.175
第2問	(1) ①	X21	2.740
	(1) ②	X22	1.692
	(2)	X23	-0.831
	(3)	X24	3.842
	(4)	X25	1.350
第3問	(1) ①	X31	0.758
	(1) ②	X32	1.496
	(2)	X33	-1.638
	(3)	X34	3.018
	(4)	X35	0.496
第4問	(1) ①	X41	-2.390
	(1) ②	X42	-3.528
	(1) ③	X43	-2.390
	(1) ④	X44	2.433
	(2)	X45	0.549

同様に，それ以降の校内テストについても，同じ方法によって項目困難度を求めていく。なお，複数回のテストを行った場合に，それぞれの項目困難度を単純比較することはできないが，複数の問題群に同一問題を組み込んだり，複数の被検者を同一問題に取り組みせたりすることによって，「等化」という方法を用いて項目困難度を調整することができる。

そのため，容易に同一尺度で，多くの問題の項目困難度を定めることができる。

参考文献

[1] Hestenes D., Wells M., and Swackhamer G. (1992) : Force Concept Inventory, THE PHYSICS TEACHER, VOL30, pp141-158.

[2] 豊田 秀樹(2012) : 「モデル数の比較」『項目反応理論 [入門編] 【第2版】』朝倉書店, pp34-35.

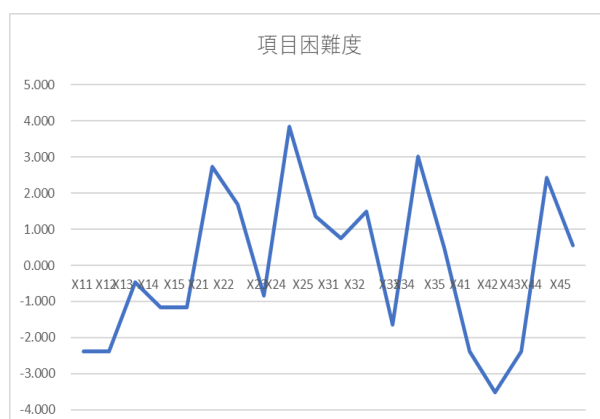


図1 各問題の項目困難度

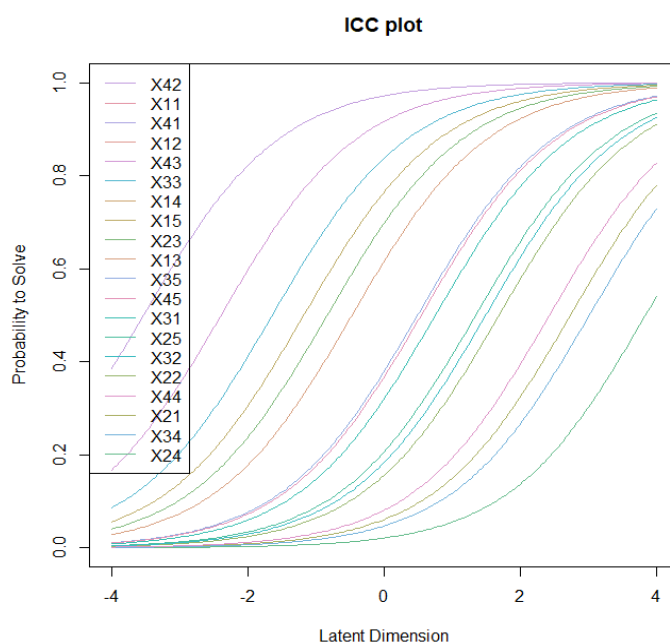


図2 項目特性曲線

中学・高校物理における学習方略の活用を促す支援の提案 I

^A石井哲夫, ^A谷口和成,
^A京都教育大学
 tets141@kyokyo-u.ac.jp

1. はじめに

中等教育において、自ら学んで行く自律的な学習者を育てることが求められている。また自律的な学習には、適切な学習方略が必須とされ、その選択には学習者の信念が関わると言われている。しかしながら現在の高校物理では、どのような学習方略が、どの程度使用されているかは、よく知られていない。そこで、各地の高校に依頼し、学習方略およびそれを支える学習観（信念）の調査を行った。また、それらと概念理解との関係を調べるため、FCI（力学概念調査）を参照した。

2. 調査の概要

2023年5月に、図1の3高校で、学習方略[1]、学習観（信念）[2]、およびFCIの調査を行った。なお、これらの高校では、いずれも「物理教育研究」（PER）に基づく実践がなされている。

図1. 調査の概要

学 校 ()は有効データ数	学年	クラス	学習方略				学習観	FCI	
			選択式		記述式		選択式		
(公) 京都 A 高校	3 年	2☆	(40)		(82)		(42)	(41)	
(私) 千葉 B 高校	1 年	4	(148)		(332)		(139)	pre (148)	post (145)
(国) 東京 C 高校	2 年	3	pre (70)	post (76)	pre (212)	post (205)	—	pre (80)	post (79)

☆物理選択

3. 調査の結果・分析

学習方略は、いずれの学校も「深い／認知的方略」どうしに中程度の相関 ($r = 0.355^* \sim 0.669^{**}$) があり、方略を使う生徒は多様な方略を使用することが分かる。また、概念理解 (FCI) との相関は、学校によって多様であったが、「リハーサル方略」は概念理解に「負」 ($r = -0.163^* \sim -0.368^{**}$) の影響を及ぼすことが分かった (* $p < .05$, ** $p < .01$)。

プレ・ポストのあるC高校で、学習方略が概念理解に与える影響を調査したところ、ポストの「精緻化方略」とFCI-postとの相関が上昇した ($r = 0.207^\dagger, p < .10$)。また、方略調査（記述式）では、テキストマイニングの結果、プレにはなかった「予想を考えて自分で理由を考える」という記述が増加した。これらはPERに基づく授業により学習方略が変化したことを示唆している。講演では、学習方略を支える学習観（信念）の調査についても述べる。

参考文献

- [1] 押尾恵吾 (2017) : 教育心理学研究, 65, 225-238.
 [2] 植阪友理, 瀬尾美紀子, 市川伸一 (2006) : 日本心理学会論文集, 890.

中学・高校物理における学習方略の活用を促す支援の提案Ⅱ

谷口和成, 石井哲夫

京都教育大学

guchi@kyokyo-u.ac.jp

1. はじめに

生徒が自律的な学習者になっていくには、学習の動機づけとともに、効果的な学習方略が必要となる [1]。また同時に、適切な学習観による裏づけがなければ、効果的な学習方略は選択されないだろう [2]。しかしながら、高校生・大学生になると、学習経験（成功体験）が増えて、それまでの学習方略や学習観を変えたり、追加したりすることは次第に難しくなることが推察される [3]。そこで本研究では、中学・高校生の理科および物理の学習に対する学びの各種実態調査を実施し分析するとともに、中学校の理科授業において、効果的な学習方略の自律的活用を支援する指導方略について検討を行った。

2. 調査の概要

2023 年度に、京都府内の公立 X 中学校（2 年生，6 クラス 215 名）に対して、学習方略（選択式・記述式） [3] の事前調査（4 月）と事後調査（3 月）を実施した。物理の理解度として、自治体で実施する「学習確認テスト」の物理分野の成績を参照した（表 1）。以上の結果をもとに、学習方略の変容（種類，使用）および理解度との相関分析，また方略支援について授業者インタビューを行った。

表 1 調査の概要

2 学年 (有効データ数)	学習方略		学習確認 テスト
	選択式	記述式	
事前調査	○(190)	○(352)	○(215)
事後調査	○(186)	○(375)	○(215)

3. 調査結果・分析

分析の結果、選択式の学習方略調査では、実践前後で、全クラスの【リハーサル方略】のみ有意に下降する一方で、D 組のみ【体制化】【精緻化】【教訓帰納】の使用度合が有意に上昇していた（各々， $t(30)=4.0, 4.3, 2.3, p<.05$ ）（図 1）。また、D 組のみの事後において【メタ認知方略】を含む上記の方略の使用度合と理解度に有意な正の相関が確認された。そこで、D 組の授業者へのインタビューの結果、授業中、学習の場面に応じて適切な学習方略をとっている生徒を複数、積極的に取り上げて紹介し（褒め）、自分に合っていると思った（わからない生徒には一緒に考えた）方法を試すように、クラス全体に、年間を通して促していたことが明らかになった。講演では、記述式調査の分析を含めた結果の詳細および D 組の授業者の方略支援の具体的方法について報告する。

本研究は JSPS 科研費 21K02926 の助成を受けて実施している。

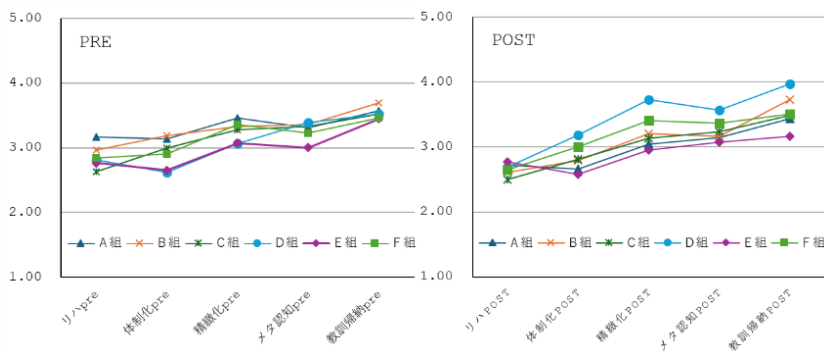


図 1 各クラスの学習方略の使用度（左：事前，右：事後）

参考文献

- [1] 辰野千壽(1997)：『学習方略の心理学 賢い学習者の育て方，第 5 章』63-70，図書文化社。
 [2] 植阪友理(2010)：『現代の認知心理学 5 発達と学習』172-200，北大路書房。
 [3] 谷口和成，石井哲夫，他(2023)：日本物理教育学会第 39 回物理教育研究大会発表予稿集，69-70。

物理基礎教科書の課題

原眞一、遠藤正昭、尾島正男、池田友久、北原和夫

NPO 人間環境活性化研究会

hara_birdhill@nifty.com

1. 教科書はどのように変わったか

2021年に教科書検定が実施されて新たな教科書が使われ始めている。物理基礎の学習指導要領では、物体の運動と様々なエネルギーについての理解と観察実験などの基本的な技能を得ることが目標となっている。この目標がどのように具体化されどのように生徒に指導されるかという観点で新検定教科書^[1]^[2]のいくつかを読んでみた。そこで得た考えを主として仕事に関する部分について述べ、教科書に記述の無い運動量についても述べることにする。

2. 仕事の教え方

力で物体を動かすには瞬間ではなくある時間を必要とする。既に $v-t$ グラフや運動方程式を学んでいるのでその効果を力と時間の積で表すと生徒は納得しやすい。力の向きに物体を移動させたときに仕事をした^[2]といわれてもなにが変わっているのか明記されていないので生徒には納得できない。台車を使って説明しているがその結果台車が動いているかどうかの説明がない。一般常識の仕事と物理の仕事をどう結び付けるかも課題。仕事がどの様な意味を持つか、仕事という概念を用いることで物理現象の解明にどの様に結び付くかを説明せず、力と距離の積が仕事という数式 $W = Fx$ を示されても生徒の理解を得ることは困難と考える。

この点に関して東京書籍^[1]は新しい教科書でそれまでの水平方向での説明から運動の説明で用いた鉛直方向に変えている。鉛直方向に重力に抗して引き上げることでの説明である。これだと仕事と位置エネルギーの関係につながるのだから分かりやすいと考える。米 PSSC 物理^[3]では50年以上前にこのような説明をしている。仕事の概念を伝えることに重点を置くことが重要である。こちらで入手した他の教科書^[2]では仕事の概念を説明する様な改良は見当たらなかった。以下、課題をまとめて記す。

1. 仕事の定義として力と距離の積としてもその意味の記述がなければ理解には至らない。

定義式を暗記して与えられた物理量を代入して試験問題を解くことしかできない。

最初の仕事の説明が後述されるエネルギー保存則につながる必要がある。

2. 台車を使った説明では加速現象が起こるが、明確な記述が東京書籍以外で見当たらない。

静止している物体と運動している物体では力を加えるときの仕事率は異なる。

人間が台車を等加速運動させ続けることは制御の点と限界の点で不可能である。

台車に力を加えて動かし、その後に対抗の力を加えて停止させると仕事がゼロで位置のみの変化となる。仕事を否定するように見える結論となってしまう。

3. 高等学校教師の方々はこれらの教科書を様々な事例で補って説明する必要がある。

台車ではなく、摩擦のある床の上での説明もあるが、エネルギー保存則とは繋がりにくい。重力に抗した仕事の方が理解容易な説明になるはずである。鉛直方向での説明があるものを教科書として採用するか、最低でも資料として鉛直方向での説明を提供して欲しい。前述の通りなぜ仕事という概念を導入したかの説明も明確ではない。物理の基本の一つであり、この説明を丁寧にするこ

とを優先して生徒に理解させてもらいたいところである。もちろん教師の工夫努力もあるとは考えるが、まずは生徒が教科書を予習した段階でも理解できるように取り組みことが必須と考える。

3. 運動量不記載

教科書では仕事の説明の前に力と運動について説明している。先に述べたように $v-t$ グラフも用いている。ここまで説明が進んでいるのであれば力と時間の積（力積）が質量と速度の積（運動量）となることを説明すべきではないだろうか。実質的に運動量を説明しておきながら運動量という言葉を出してない不思議さがある。

運動量と運動エネルギーという同じ運動に対し異なる物理量があることは確かに生徒の理解に混乱をもたらす可能性がある。しかしながら運動量は衝突やスポーツなど日常の場面でも使われるものである。

それでは、どの様に教えていくと生徒の理解が進むのであろうか。一つの案としてはまず運動について数式を出さずに全体の概要を説明する。その中には運動量やエネルギーの概念も入ることとなる。摩擦や熱エネルギーも入ってくる。これにより生徒が感じている運動と学校で学ぶ運動の差を埋める。そして運動全般を定量的に説明する時に運動量やエネルギーといった物理量を用いることが有用だと述べる。そこから数式も用いた説明に入るのはどうであろうか。

4. 教科書における課題

今回は仕事並びに関連した項目についての課題を取り上げた。しかしながら、仕事や運動量に限らずこれからの社会活動において必要となる物理の基礎として何を伝えていくべきかを検討する必要がある。物理は論理的定量的思考の場でもある。教科書には他にも用語、単位表記、図の正確性などの課題がある。社会の技術発展や国際化に対応していない面もある。これらについては別の機会に取り上げたいと考えている。

5. まとめ

学習指導要領の実現に教科書がどこまで応えられているかを仕事を例として外部の眼から観て意見を述べてみた。個々の問題点の修正ではなく、どのような教科書にしてどのように教師の方々が生徒に伝えていくかを考えるきっかけとなればありがたいところである。将来を担う生徒の皆さんの思考力をどのように高めていくかをこれからも検討して提案していきたい。基となるのは生徒の皆さんが主役であることの認識と考えている。自身でも生徒のための教科書を執筆したいと考えているので、どなたか共に進めて行く方が現れて戴ければ幸せなところである。

参考文献

- [1] 2021年検定物理基礎 東京書籍
- [2] 2021年検定物理基礎 新興出版社啓林館、数研出版、第一学習社、実教出版
- [3] PSSC物理(第2版)下 山内恭彦他監訳 岩波書店 1967

国際バカロレア DP における相対性理論の授業実践報告

北岡 和樹

高知県立高知国際高等学校

kazuki7319@g.kochinet.ed.jp

1. はじめに

筆者の勤務校は国際バカロレアの DP (ディプロマプログラム) 認定校であり, DP を選択した 10~20 名程度の生徒を対象に, DP に基づく教育プログラムを実施している。本校では物理 HL (Higher level, 上級レベル) を日本語で開講しており, 理系の大学への進学希望をもつ 5 名程度の生徒が選択している。DP 物理 HL は日本の高等学校学習指導要領における物理基礎と物理に対応する科目ではあるが, 一部日本で扱う内容が扱われていなかったり, 逆に日本では扱わないような内容を扱ったりする。本稿では, 勤務校で行った相対性理論の単元の実践について報告する。

2. 実践報告

授業計画を図 1 に示す。相対性理論の単元は, 2 年間の最後に実施した。相対性理論で学ぶトピックは, 「相対性理論のはじまり」, 「ローレンツ変換」, 「時空図」, 「相対論的力学」(HL のみ), 「一般相対性理論」(HL のみ) の 5 つに整理されている[1]。特殊相対性理論の内容だけではなく, HL では一般相対性理論の内容も扱うこととなっている。本実践の単元の授業計画を図 2 に示す。授業はワークシートを印刷して配布し, スライドを用いて進めた。DP では, 各科目で取り扱う学習内容は, 指導の手引き[1]に記述されている。例えば, 「相対性理論のはじまり」では, 「基準系」, 「時間と空間におけるガリレオおよびニュートンによる相対性原理」, 「マクスウェルと光速の不変性」, 「電荷または電流にはたらく力」について理解することが求められている。

教材を作るにあたっては, 指導の手引き[1]や DP 物理 HL の教科書[2]等を参考にした。

授業では, スライドを提示し, 生徒と対話し

年度	前期 or 後期	学習内容
2021 (高校 1 年生)	後期	・測定と不確かさ ・力学 (物体の運動, 力と運動)
2022 (高校 2 年生)	前期	・運動量と力学的エネルギー ・円運動と万有引力 ・熱物理学 ・波 (波の伝わり方, 音, 光)
	後期	・電気と磁気 ・エネルギー生産
2023 (高校 3 年生)	前期	・原子・原子核・素粒子 ・相対性理論

図 1 : 2 年間の授業計画

学習内容	授業時間数
1.ガリレイの相対性原理・ガリレイ変換	1
2.電磁場の相対性	1
3.時間の遅れ	1
4.空間の縮み	1
5.ローレンツ変換	1
6.速度の合成則・不変量	3
7.時空図	1
8.相対論的力学	1
9.等価原理・重力赤方偏移	1
10.重力による影響	1
11.シュバルツシルト・ブラックホール	1

図 2 : 相対性理論の単元の授業計画 (全 13 時間)

ながら進めることを意識した(図3)。実験は行うことができず、ほとんど講義型の授業になってしまった。講義の後、確認問題(図4)に取り組み、理解度を確認しながら進めた。図4では、実験室とミュオン粒子の静止座標系それぞれから見たミュオン粒子の半減期などを計算して求める。なおDPでは最終試験のときにはいくつか公式等が載っている資料集を持ち込むことができ、公式を暗記する必要はない。

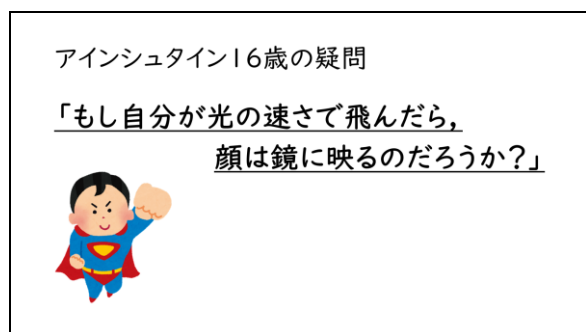


図3：導入の授業のスライド

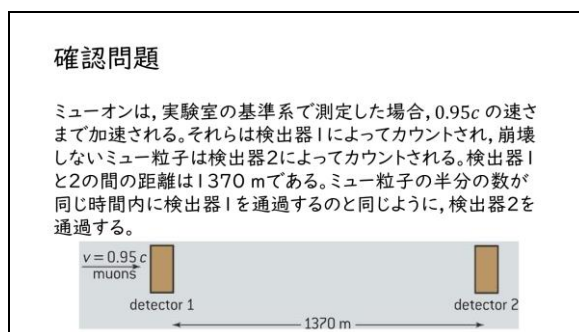


図4：確認問題の例[2]

3. 授業後アンケートの記述

2022年度入学生5名を対象に単元後に行ったアンケートの結果を分析する。単元を学ぶ前に持っていたイメージについての問いには、「すごく難しそう。ブラックホール。」など相対性理論に対して難しいというイメージを持っていたことがわかる。一方で「難しそうだけど、楽しそう」といった回答もあり、興味を持っている生徒もいたことがわかる。「授業を通して、特殊相対性理論について理解できましたか？」という問いには、4名の生徒が「すこしわかった」と回答し、1名は「よくわかった」と回答した。しかし、一般相対性理論に関する同様の問いには、「すこしわかった」が3名、「なんともいえない」が2名、「あまりよくわからなかった」が1名と、一般相対性理論の方が生徒の実感として、理解度が低いことがわかる。また2021年度入学生を対象に、DPの最終試験を終えた後の生徒に実施したアンケートの中では、「最終試験に向けた対策の中で、一番難しかった分野について記述してください。」という問いに対して、「Topic A(相対性理論のこと)については、IBの教科書と大学から配信されている資料の内容に齟齬が多く、IBの教科書以外の教材を参考にすることができなかつたため、一番勉強しにくかったです。」という記述があった。やはり微分・積分などの数学を使わずに学んでいくことは難しかったようである。

4. 最後に

2025年第1回評価から適用される新しいガイド[3]では、「ガリレイの相対性原理と特殊相対性理論」という1つのトピックに整理されており、特殊相対性理論のみを扱うこととなっている。筆者としても、一般相対性理論まで教える必要はないのではないかと考えていたため、改善されたと思う。今後10年くらいは今回出されたカリキュラムが実施されると思われるので、今までの実践を振り返り、今後の実践に向けて検討を進めていく。

参考文献

- [1]IBO:「物理」指導の手引き 2016年第1回評価, 2015.
 [2]David Homer, Michael Bowen-Jones, Oxford university press: OXFORD IB DIPLOMA PROGRAMME 2014 EDITION PHYSICS CORSE COMPANION, 2014.
 [3]IBO:「物理」指導の手引き 2025年第1回評価, 2023.

地震波の可視化と物理教材としての活用

室谷 心

松本大学総合経営学部

muroya@t.matsu.ac.jp

1. 初めに

2024 年の元日、石川県能登地方は大きな地震に見舞われた。地震に頻繁に襲われるわが国では、地震の観測体制が整備されており、現在、全国を約 20km 間隔で均質に覆う観測網である強震観測網 K-NET (Kyoshin Network : 全国強震観測網) と KiK-net (Kiban Kyoshin Network : 基盤強震観測網) の全国計 1749 カ所の観測点で強い地震の揺れ (強震データ) が計測記録されている。各観測点で記録された強震データは防災科学技術研究所のサイトから観測地点の位置情報と合わせてダウンロードが可能である[1]。強震データは Python の ObsPy ライブラリーを使って解析でき、例えば地震による時刻ごとの揺れを地図上に表示することが可能である。本稿では[2]に従って、地震波やその伝達の様子 of 可視化を紹介する。

K-NET ASCII 形式の強震観測データには、鉛直、南北、東西 3 方向の加速度データが、地震ごとにまとめて記録されている。解析と作図のための Python プログラムの例は文献[2]にあり、Google Colaboratory で実行できる。強震観測データ利用のためのライブラリー ObsPy も Colaboratory で利用可能である[3]。

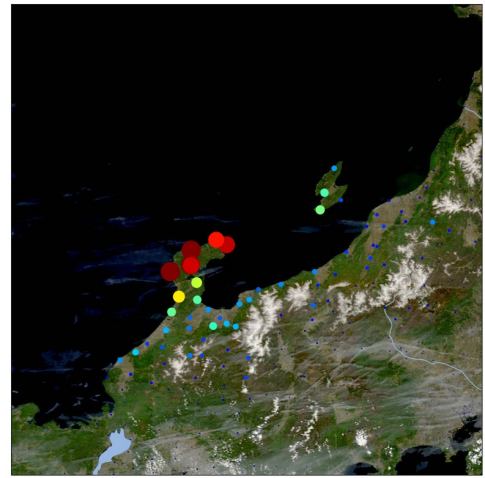


図1 最大加速度分布

2. 能登半島地震[4]

図 1 は今年 1 月 1 日 16 時 10 分に発生した能登半島地震の鉛直方向最大振動加速度のプロットであ

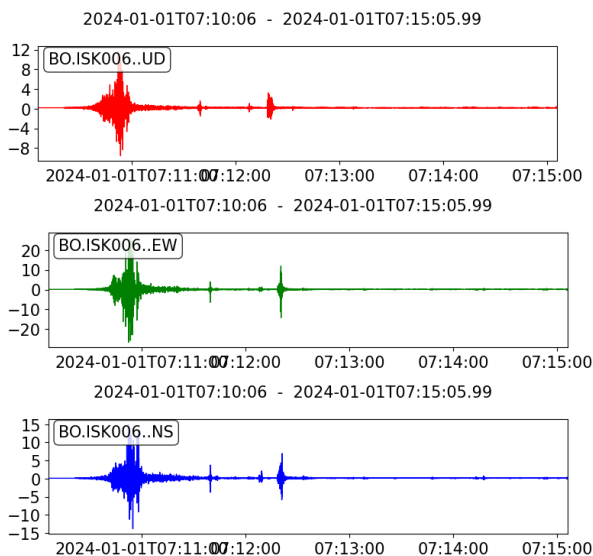


図 2 3 方向の加速度 (石川県富来)

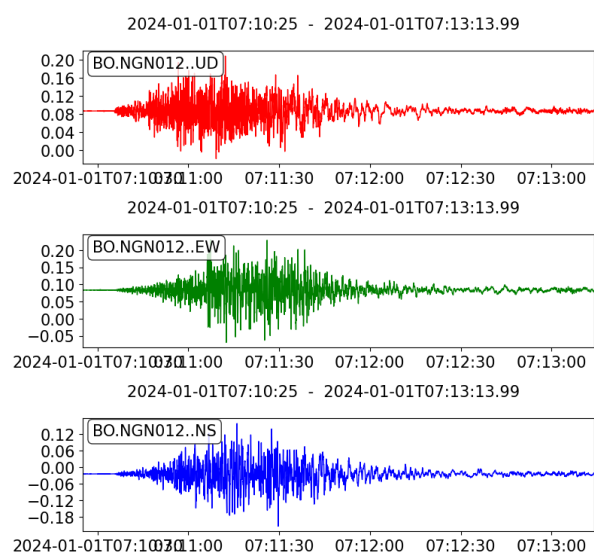


図 3 3 方向の加速度 (長野県松本)

る。能登地方、加賀地方、佐渡で揺れが大きかったことがわかる。図 2、図 3 は震源に近い石川県富来と震源から離れた長野県松本での強震の様子である。同じ地震であっても震源からの距離によって地震波の形やばらつき具合の違いが見て取れる。3 方向の加速度の大きさの違いも興味深い。

図 4 は時間変化で、地震の揺れが時間とともに弱くなりながら遠くに広がっていく様子が見られる。同心円状ではなく、海岸沿いに新潟に向かって進んでいるように見える。

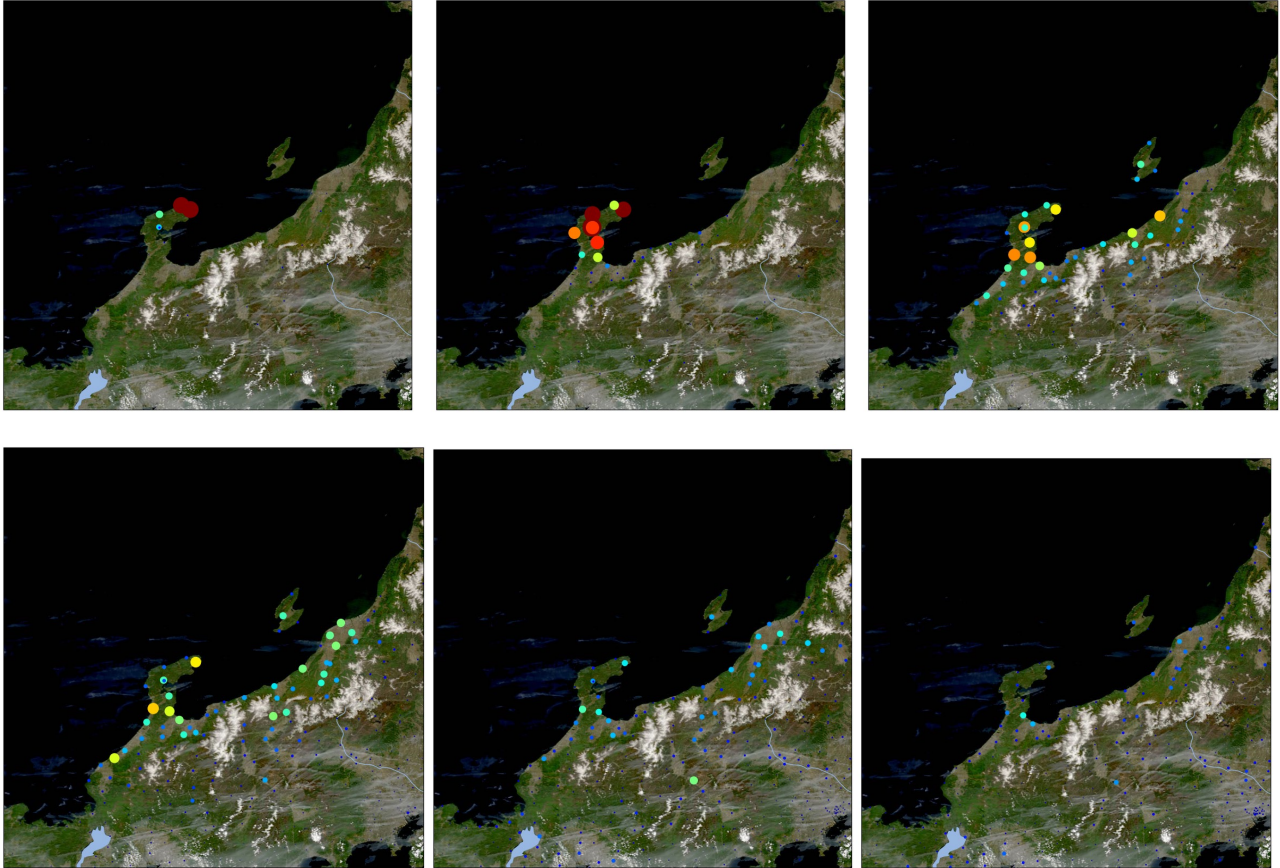


図 4 強震の時間変化，上段左より 20 秒後，40 秒後，60 秒後，下段左より 80 秒後，100 秒後，120 秒後

3. まとめ

本稿で紹介したように、Google Colaboratory の Python 環境で強震データの可視化を容易に行うことができる。巨大地震がいつ起こってもおかしくない日本で暮らしていく者として、地震の実測データを手元で見て、いろいろ考えることは身近な自然科学として興味深い問題である。膨大な量のデータを手軽に扱えて可視化できる現代の ICT 環境を、積極的に科学教育に使っていくことが望まれる。

文献

- [1]防災科学技術研究所強震観測網: <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> (2024 年 7 月 10 日閲覧) データのダウンロードには、ユーザ登録が必要
- [2]平林 IT 技術研究所 : Software Design, 2024 年 2 月号 pp1-5(2024)
- [3]Google Colaboratory では、ObSpy インストール後、利用しているパッケージのバージョンの関係でランタイムの再起動が必要になる。(2024 年 7 月 10 日)
- [4]防災科研 K-NET, KiK-net (NIED K-NET, KiK-net) <https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004>

高2 探究実践報告～ESP32 をベースにした現代的モノづくり

今和泉 卓也

筑波大学附属駒場中学・高等学校

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

1. はじめに ～多様な探究活動のあり方を考える～

センサやマイコンボードなどがより身近になり、エッジコンピューティングや機械学習などが急速な進化を続けているなか、中等教育においてそれらに触れる機会はいまだに少ない、というのが現状ではないだろうか。そういった問題意識などから、新型コロナの流行以前の 2019 年度から、比較的安価(¥1,700 程度)なマイコンボード ESP32 をベースにしたデバイス開発を行う探究活動を高校2年次において実践してきた。原則として生徒たちは1人で開発を行うことにしており、これまで多くの成果物が製作されてきた。一連の探究活動の取り組みや、生徒たちによる成果物の例、生徒たちの振り返り等を紹介する。今後の“多様な”探究活動のあり方を考える機会になればと考えている。

2. 実践を始めた際の「2つの問題意識」

この実践を始める際に、感じていた問題意識は2つある。

(1) 高度な情報化が進むなか、中等教育において生徒たちがそれらを実際に触れられるような機会が少ない。日本の中等教育は後れを取っていないか？

(2) 探究活動において、「仮説」「検証」「考察」といったようなフレームワークに縛られ過ぎているのを感じないか？

果たして、生徒たちは「自分たちのやりたいこと」ができていないのか？
まず(1)については、生徒たちにとって高度過ぎてできないというよりも、学校側の意識あるいは準備がまだ十分でないという側面があると思っている。実践してみれば、それまでこの分野で何も経験したことのない生徒であっても、活動を通して多くの学びを得て、実際に成果物の製作に至ることができた。こういった事例を共有し、様々な取り組みが広がればよいと思っている。

次に(2)については、SSH などの発表会などに参加すると、たまに「そもそもその仮説、いる？」と感じる発表もあり、場合によっては若干の堅苦しさもある。多様な探究活動の1つとして、より自由な形態、雰囲気で行ってみたいと考えた。実践してみると、生徒たちからはこちらが驚くような自由な発想が示された。今後はさらに、これらを存分に引き出せるような機会が重要になってくると思っている。

3. 「仮説」「社会課題」「役に立つ」... とりあえずいいから、好きなものを作ろうよ

探究活動において、社会課題や SDGs などに関連する取り組みは意義深いだが、その一方で「そんなこと言われても...」といったように、ピンとこない生徒も一定数いるだろうと想像する(高校生のときの自分自身もその類だった)。そこで、本実践では「自分のやりたいことをやる」「好きなものを作る」ということを最も大事な基軸とした。つまり、自分の活動が社会の何に役に立つのかは考えなくてよい。

「何の役に立つのか?」「社会にどう還元できるのか?」といったようなワードはいったん OFF にし、生徒自身が“大人”に付度することなく、作りたいものを実際に形にする(そうすると「掃除をしないルンバ」を作った生徒も現れた!)。これまで5年程度実践を重ねてきて、あらためて彼らの多様で創造的な成果物を振り返ると、この“安心できる”雰囲気づくりが何よりも大事だと感じている。

だからといって、作りたいものを作るということ自体が決して楽ではない。部品の選定や回路の組み方、プログラムの改善など、プロセスの中で何度もトライアンドエラーを繰り返す必要がある。マイコンボードを用いた探究活動のメリットは、こうした試行錯誤をスモールステップで行えることにある。粘り強く自分の作りたいものに向けて進んでいくうちに、そのサイクルを重ね、生徒たちはいろいろなことを学んでいく（口頭発表では、生徒たちの振り返りも紹介したい）。また、プログラムに触れたことの少ない生徒が不安にならないよう、重要なのは成果物の絶対的なクオリティではなく、探究活動を始める前の自分と比較してそれだけ成長できたかであって、他者との比較ではないことを活動開始時に伝えておくことも、“安心できる”雰囲気づくりにおいて大事なことだと考えている。

4. アカデミックだけではなく多様なアウトプットを～口頭発表の最後がEL ワイヤダンス動画～

探究活動のアウトプットのしかたについても、もっと多様であってよいと思っている。例年、こちらが言うわけでもなく、自然発生的に文化祭でのステージ発表に向けてデバイスを開発する生徒がいるのだが、外部での発表の際、最後がグラフ等の「結論」ではなく、「ダンス動画」だったりする。マイコン関連の探究活動は、文化祭や部活動などの生徒たちにとって身近なものにも親和性が高く、多くの学校で盛り上がるポテンシャルのあるものだと感じている。STEAM 教育が叫ばれている中、これまで以上にこのような実践の広がりや多様なアウトプットの方が求められていくのではないかと考えている。



図1 Teams で情報やスキルを共有



図2 成果物の例「文化祭での EL ワイヤダンス」

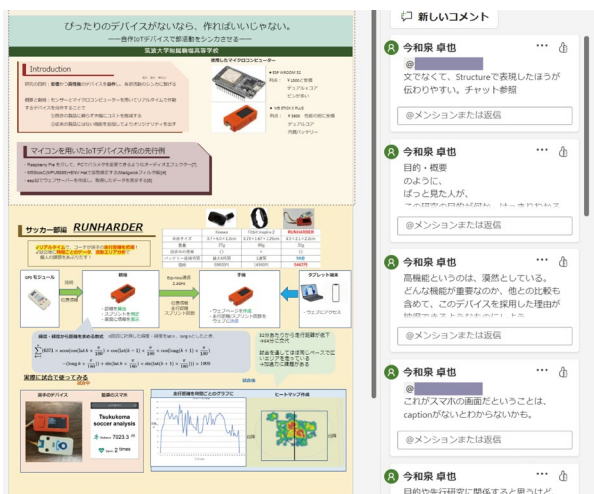


図3 外部発表ポスター(Teams で議論)



図4 文化祭で披露した「ビジュアルポエムの自作」をテーマに外部発表（最後は実演）

参考文献

- [1]岡田直之(2022)：情報処理,63(12),676-680

物理を日常の中で実感できるタブレット活用の試み

～写真への力の描き込みを通して見えてきたもの～

^A日笠 亜依、^B林 壮一

^A福岡大学大学院理学研究科応用物理学専攻、^B福岡大学理学部物理科学科

^Asd231013@cis.fukuoka-u.ac.jp

1. はじめに

物理の授業の中で「物理は身近で、日常にありふれている」という言葉をよく耳にする[1]。しかし、物理基礎や物理の授業で扱われるような、摩擦力が現れたり消えたりする物体や、目に見えない力を矢印で表してその矢印の長さを考える状況など、模式的な物体や状況を現実の日常生活の中で目にはできない。そのため、生徒たちは、先生が「物理は身近にあり、日常にありふれている」などと言いながら模式的な図を描いていることにギャップを感じてしまい、その結果、物理を苦手を感じる人が増えてしまう原因の1つになっているのではないだろうか。

特に、高等学校物理基礎の運動方程式を立てる学習の場面では、模式的に描かれた物体にはたらく力を図から読み取り、それらの関係から運動方程式を立てる方法を学ぶ。このときに描かれる力の矢印は、適切な長さで、適切な位置を始点として、適切な向きで描かなければならない。この力の矢印を適切に物体中に描き込むことができなければ、その先の学習を正しく進めることは困難になってしまう。

そこで、物理基礎の「力」の分野の初回の授業で、「日常の中で物理を感じるができる」ことを意図して、身の周りのものを自分自身で実際に撮影した写真の中に、力を表す矢印を描かせるという課題を課した。本研究では、生徒が提出した課題の結果から見えてくる生徒の「力」に対するイメージを整理し、考察を行うこととする。

なお、この課題を実施した高校では、生徒が一人一台の iPad を所持しており、普段から使い慣れているため、iPad で撮影した写真に直接、力を描き込むという形式とした。

2. 授業展開

授業の中で上記内容の課題を実施したのは九州の公立女子高校であり、3年生2クラスの合計45名を対象とした。

授業の展開：物理基礎の「力学」分野で、はじめの「力」の内容を講義した後の課題として設定した。

この授業の展開は以下の通りであった。

1. 「日常の物体を撮影し、物体にはたらく力を描きこむ」という課題を提示した。
2. 日常で使われている「力」と、物理学で使われている「力」の違いを示し、物理学での「力」の定義を確認した。
3. 「力」の種類（重力、張力、垂直抗力、摩擦力、弾性力、静電気力、磁気力）について説明した。
4. 力の描き込み方を実際の写真（図1）を用いて説明した。



図1

5. 課題を再度提示し、取り組ませた（授業時間内で終わらなかった生徒には宿題とし、次回の授業前までに Google クラスルームに提出させた）。

3. 結果

授業を受けた生徒 45 名の中で 43 名が期限までに課題を提出した。提出された課題を見ると、図 2 のようにほとんどの生徒が机や床の上にある物体についてはたらく力を描きこんでいた。正しく力を描きこむことができている生徒は約半数であった。



図 2

最も多かった間違いとしては、図 3 のように重力と垂直抗力を（物体中の）同じ作用点から、上下に矢印として伸ばすという間違いであった。また、重力と垂直抗力の矢印の向きを逆（重力を上向き、垂直抗力を下向き）に書いている生徒も多く見受けられた。

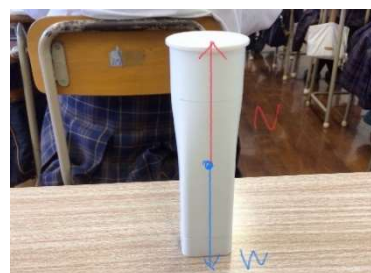


図 3

4. 考察

生徒に日常にある物体にはたらく力を描き込ませたところ、すべての生徒は力を描き込むことができていた。このことから、日常の中に、物理で考える「力」があることを理解しており、ある程度の学習ができていることが確認できた。しかし、重力と垂直抗力の作用点と同じであったり、矢印の向きが異なっていたりと、どのように力がはたらいているのかについての理解は不十分であった。この要因としては、生徒が授業に対して集中できていなかったことや、教員側の説明が不十分であったことも考えられる。しかし、その一方で、最初に述べたような、物理基礎の学習の中での模式的な図と、実際の空間で生じていることに関連性を見いだすことが困難であった可能性も考えられる。

この点については、写真に描かれた力の矢印のさらなる分析が必要であると考えている。

5. まとめと今後の展望

今回、生徒に日常の中で物理を感じてもらうため、「日常の物体の写真を撮り、力を描き込む」という課題を設定した。提出された課題を見ると、すべての生徒が物体にはたらく力を描き込むことができていたが、力がはたらく場所（作用点）やその向きの認識が正しくない生徒が多くいた。この理由として、現段階では、生徒側、教師側の要因が考えられるが、他の要因として、模式的な図と実際の図の間に関連性を見いだすことができていない可能性が示唆された。

今後は、今回の課題の結果の分析を行い、課題自体の内容を改善することだけでなく、生徒が模式図と実物の間に関連性を見いだせるようにするための注意点を検討していきたい。

6. 参考文献

- [1] 田村剛三郎、ほか、「身のまわりのサイエンス」、文部科学省検定済教科書 高等学校新物理基礎（物基 710）、株式会社第一学習社、pp.94-95、pp.112-113、pp.146-147、pp.180-181、令和 5 年 3 月 10 日発行

斜面上を動く物体の運動を理解するための Web アプリケーション教材の開発

鈴木 駿久

栃木県立真岡工業高等学校

suzuki-t28@tochigi-edu.ed.jp

1. 開発の理由

GIGA スクール構想とそれに呼応した各自治体や各学校の取り組みにより生徒1人1人にタブレット端末が配備された。ICT 機器の活用に関する現状としての生徒へのアンケートの中で、生徒は「深く考えて問題を解くことが減る」と感じている^[1]。そのため、生徒が1人1台タブレット端末を使用しながら「思考を深める学習」を行うことのできる教材が求められている。本研究では、生徒が思考を深めながら学習して理解に役立つ教材となることを目指し、生徒の1人1台タブレット端末で使用できる Web アプリケーション教材を開発した。

2. 教材について

本研究では、Web アプリケーションで「なめらかな斜面上を動く物体の運動」の教材を開発した。Web アプリケーションにした理由は、ソフト等のダウンロードが不要のため、URL をクリックすることで容易にアクセスでき授業に導入しやすいためである。また、「なめらかな斜面上を動く物体の運動」を選んだ理由は、本アプリケーションは力の分解の計算を行わずに斜面上を動く物体の運動のポイントを理解できるため、力の分解の計算が苦手な生徒でも学習内容を理解するのに役立つ教材となるためである。

開発した Web アプリケーション教材を図1に示す。図1下記の URL や図2の QR コードからこの教材にアクセスが可能である。図1左の「力の作図」の表にある4つの力にチェックを入れると、それぞれの力が図の中に表示され、力の大きさや向きを自由に操作することができる。また、「正誤判定」をクリックすると、作図が完了している場合は「作図完了」と表示、作図に誤りがある場合は何が間違っているかが表示される(図3)。このことにより、生徒1人1人が考えながら正しく作図できると考えられる。さらに、「スタート」をクリックすると、作図した力の合力の向きに等加速度直線運動を行う機能や、力の大きさをニュートン単位で表示できる機能(「力の大きさを表示」のボタン)があり、実際に物体を運動させたり、力の大きさの関係を考えたりしながら、思考することができる教材となっており、力の大きさの関係を生徒が理解することに役立つ教材となっている。

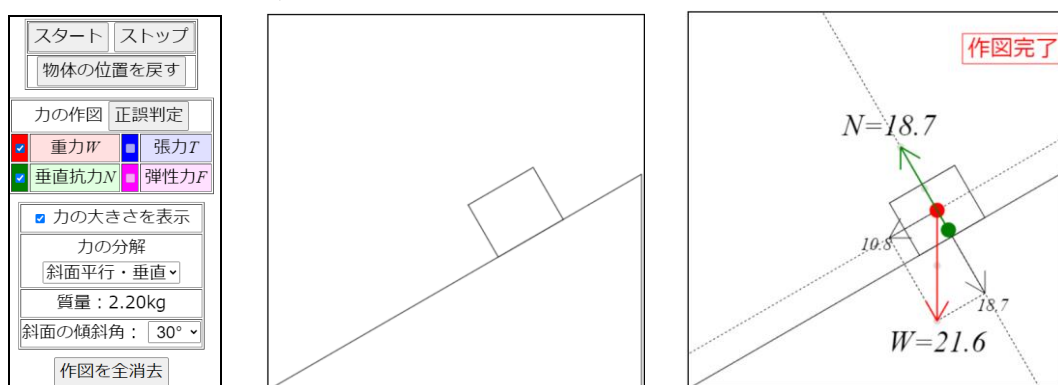


図1 開発した Web アプリケーション教材。操作画面(左)と、表示画面(中央:作図前、右:作図後)。

(http://toshihisa3.starfree.jp/11.2_maF_slope/11.2_maF_slope.html)



図2 開発した教材のQRコード

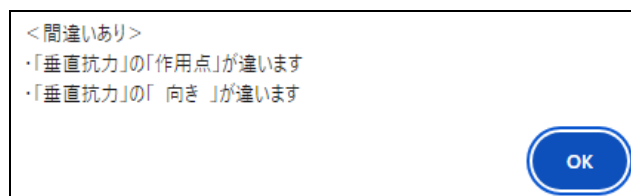


図3 正誤判定機能の例（作図に誤りがある場合）

3. 授業実践

2023年10月25日と26日に1クラスずつ授業実践を行った。授業の様子を図4に示す。この授業の目的は、「なめらかな斜面上を動く物体の運動において、斜面垂直方向の力がつりあっていること」を理解することであり、生徒1人1人にタブレット端末を操作させながら授業を行なった。授業の最後に振り返りを行い、また授業後にアンケートを実施した。「なめらかな斜面上を動く物体の運動のポイントについて理解できましたか？」の質問では97%の生徒が「理解できた」「どちらかといえば理解できた」のいずれかを回答した。このことから、多くの生徒が授業の内容が理解できたことが分かる。また、このWebアプリケーション教材が学習内容の理解に役立ったかについての質問では、99%の生徒が「役立った」「どちらかといえば役立った」のいずれかを回答した。これらのことから、今回開発したWebアプリケーション教材を用いた授業は、多くの生徒にとって学習内容の理解に役立ったといえる。

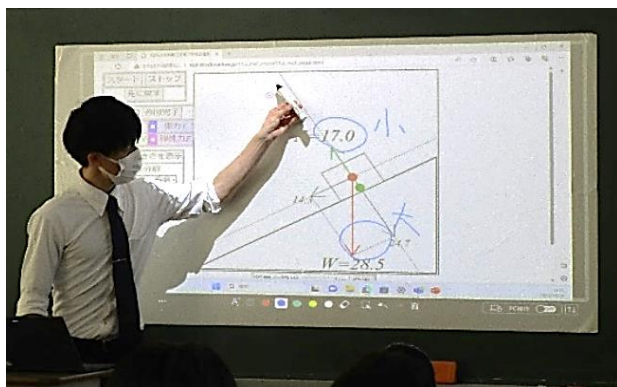


図4 授業風景。プロジェクターで映しながら説明している様子(左)と、生徒が操作している様子(右)。

4. おわりに

生徒1人1人がタブレット端末を操作して学習できる教材は、正誤判定を行ったり、作図した図の運動を確認したりすることで、生徒が深く考えることにつながった。特に、運動を確認する過程で「斜面上を運動するという既知の運動の状態に、力というパラメータを操作しながら近づけていく」という操作によって、生徒が深く考えるような学習内容につながったと考えられる。この操作は実験で行うことはできず、この教材独自の利点であると感じた。今後も、生徒が思考を深めながら学習して理解に役立つ教材を、力学の他の学習内容や別単元で開発していき、物理の学習の理解に役立てていきたい。

参考文献

- [1] 東京大学社会科学研究所・ベネッセ教育総合研究所 共同研究プロジェクト「子どものICT利用に関する調査 2023」結果速報 (<https://www.u-tokyo.ac.jp/content/400226112.pdf>)

スマートフォンの物理実験用アプリ開発を通じた自律的な学びの探求

(アプリ開発の意義と先事館プロジェクトの紹介)

安達 照

大阪工業大学 教育センター

akira.adachi@oit.ac.jp

1. はじめに

スマートフォン(スマホ)のセンサーを利用する物理実験用アプリ(Diracma シリーズ)を独自に開発し、高校や大学の教育実践に応用してきた[1,2]。図1のように、アメリカの"The Physics Teacher"には一般公開されているアプリを用いて、物理実験を行う報告が、年々、増加している[3]。これはアメリカの物理教育研究で、センサーを積極的に用いるアクティブラーニング手法が学術的に長年研究されてきたことも関係していると考えられる。本研究においては、アプリを自作する意義、アプリを自作するための「先事館プロジェクト」等について報告を行う。

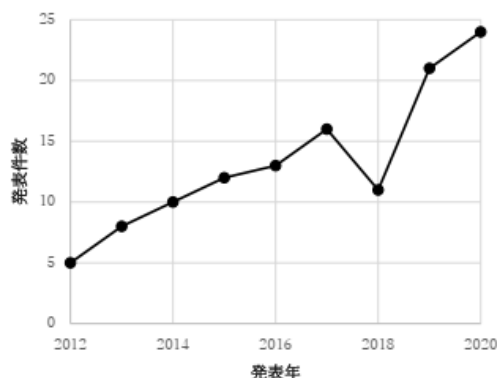


図1 The Physics Teacher で報告されているスマホを用いた物理実験

2. スマホを用いた物理実験

表1は、主な一般公開アプリ(SPARKvue, Phyphox等)とDiracma シリーズとの機能を比較したものである[1]。一般公開アプリにはない機能を自作によって実現し、さらに従来の物理実験にはないスマホならではの物理実験を行うことが可能となっている。Diracma シリーズは下記のようなものがある[1, 2]。

表1 物理実験用アプリの機能比較

		Velocity	2-axes	Jump	Sound Play&Recoed at the same time	External sensor
Diracma series	2014-	○	○	○	○	○
SPARKvue	2012-	×	×	×	×	○
Physics Toolbox	2014-	×	×	×	×	×
Vernier	2015-	×	○	×	×	○
Phyphox	2019-	×	×	×	×	×

現在、GooglePlayではなく、HPからダウンロード可能となっている(ご希望の方は上記のメールで連絡願う)。本活動により、2017年度東レ理科教育賞と2020年度物理教育学会奨励賞を受賞している。

- DiracmaA: 加速度センサーを利用したアプリ。
- DiracmaJump: 加速度センサーを利用し、人のジャンプの高さを測定できるアプリ。
- DiracmaS: オーディオ機能を利用し、音の発生と記録を同時にできるアプリ。
- DiracmaM: 外部センサーの超音波センサーを接続できるアプリ。

3. 物理実験用アプリ開発の意義

高校、大学(1年)で行われる一般的な物理実験には下記のような制約がある(例外もある)。

- 日時、場所、テーマ、方法が決まっている。

- ・教員、学生等による割り込みが多い。

誰でも持っているスマホを用いることで、大がかりな実験装置はなくても、いつでもどこでも実験が可能である。日常的な現象をすぐに観測させることもでき、学校の実験室ではできない多岐にわたる計測も可能となる。このことは、従来の実験方法をスマホを使った物理実験に変えたという単なる教具やテクニックの変化だけではなく、物理教育の本質に関わる変革へとつながる可能性もある。

図2は、RC法（Reflective Connvivial Method）で従来の物理実験、一般公開アプリ、自作アプリを比較した結果を示す。このRC法は、ハイデッカーの技術論、イリイチのコンヴィヴィリティ的視点、ノーマンの認知科学的視点を統合した考え方である[1]。横軸はノーマンの認知科学的視点と、縦軸はイリイチの視点となっている。

現在、一般公開されているアプリ（SPARKvue, Phyphox等）は便利ではあるが、現状では、これらのアプリ（道具）の自作・改良ができない状況にある。将来的には自律的行為を剥奪、いわゆるイリイチのいうコンヴィヴィリティが剥奪されていく可能性がある。例えば、アプリの公開が停止、アプリが有料化、広告、アプリに合わせて教育を合わせていく必要性等の他律的支配が予想される。

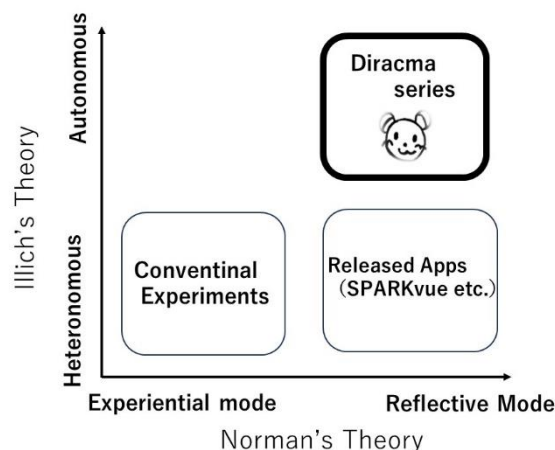


図2 物理実験用アプリのRC法による分析

4. 自律的な学びを取り戻す「先事館プロジェクト」について

「先事館プロジェクト」とは、自主的にアプリ開発を学びたい学生（高校生、社会人等含）を中心に、学校の枠組み、大学の単位に関係なく、非学校化（Deschooling）的に自律的にアプリ開発を学ぶことを目的としている（「先事館」とは江戸後期大坂における私塾の名称で、自律的に当時、最先端の天文学を学んでいた[4]）。

5. まとめ

スマホを用いた物理実験の動向、スマホのアプリを自作することの意義、アプリ開発を自律的に学ぶための「先事館プロジェクト」について述べた。なお、この「先事館プロジェクト」へのご参加は、メールでご連絡願う。本研究の一部はJSPS 科研費基盤研究(C)JP21K02954の助成を受けている。

参考文献

- [1]安達照(2023)：「スマートフォンの自作アプリを用いた物理実験の意義への一考察」, 大阪工業大学紀要, 68巻(2)、9-18頁。
- [2]Akira Adachi(2023)：Physics Experiments using an Automatically Controlled Model Train and Mobile Ultrasonic Sensor for a Smartphone, *The Physics Teacher*, 第61巻、321 - 324頁。
- [3]安達照(2022)：「オンライン授業用のスマホ物理実験 力学編1」, Kindle E-Books。
- [4]安達照(2023)：「江戸時代の大坂における科学教育に関する研究 - 町人学者 間重富の活動 -」, 日本理科教育学会近畿支部大会。

誰が物理を楽しむのか？

内山哲治

宮城教育大学大学院 教育学研究科

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

1. はじめに

高等学校において令和4年度から学習指導要領が年次進行で改訂され、令和6年度に完全に置き換わった。私はこの移行に向けて、令和2年度から宮城県教育庁高等教育課と共に『「授業，総合的な探究の時間及び課題研究につながる探究的な探究的な学びの実践講座」～生徒の主体性の伸長と教員の気づきを高める活動～』という実践支援活動^[1]を行っている。この実践講座では、まず、生徒が主体的になるとはどういうことか？について、教員に考えてもらう。次に、生徒が主体的になるために教員がどう関わればいいのか？について話し、私も生徒の課題研究等の探究的活動に参加して、声掛け等を実践する。

ここで面白いのは、ほぼすべての教員が主体的な生徒のイメージを持っているが、実践できていないことである。「北風と太陽」寓話に例えると、旅人が自ら服を脱ぐように仕向ける太陽と旅人の服を強引にはぎ取る北風のごとくである。またこの実践から分かったことは、教員は指導する立場、生徒は指導される立場というものが暗黙であるが明確に確立されているということである。残念ながら（大学に依存するが）、大学でも、やっと自分の好きな学問を学べる大学でも、自ら学ぼうとする学生は多くないように思う。では、教員が指導せずに児童・生徒が自ら学ぶ姿勢をどの段階・校種で獲得するのか？獲得しても校種が上がって維持されるのか？主体的な生徒の実現には、奥が深そうである。

2. 経験帰納的学習

私は教育学部で物理教育に関わるようになって、理・工学の物理系学科と異なるアウェー感を大いに感じている。私たちは自然界の中に生き、その自然界を表現しようとしているのが物理であるのに、多くの学生は物理に対して生活と一番遠い学問であるような印象を持っている。20年近く前の私の実践例として、幼稚園児や低学年の児童に地面との反発係数 e を1以上にした水平投射のシミュレーションを見せた。すると、みんな一斉に「おかしいよ！」と騒いだ。これは、日常経験として自然を捉えているためだと考えている。ただ、物理学の表現方法として、数式での表現方法(e の定義、その必要十分性、 $e \leq 1$)を知らないだけである。そこで、日常経験をもっと活かして物理（まずは力学）を考えたいと思い、経験帰納的学習として提案した^[2]。簡単に述べると、教員が学習者個人個人の経験を活かして学習内容につなげる学習法である。

先述の生徒の主体性を検討するために、授業を状態関数 C としておく。この状態関数 C の変数として校種、教科、内容は元より教育法、授業法等があるが、共通する変数として教員と学習者が挙げられる。ここで、教員1人、学習者30人のクラスとすると、この状態関数は

$$C \approx C(T, S_1, S_2, S_3, \dots, S_{30})$$

と近似表現できる。

この表現を用いると、旧来の座学・講義は、

$$\cdot \text{教員主導型の学習;} \quad C \approx C(T)$$

で表される。さらに、課題解決型学習は、

$$\cdot \text{生徒が主体的なグループ学習;} \quad C \approx C(S_A, S_B, S_C)$$

S_A, S_B, S_C は、それぞれ学習者30人の中の各グループ

$$\cdot \text{生徒が主体的な個人学習;} \quad C \approx C(S_1, S_2, S_3, \dots, S_{30})$$

で表される。そして、経験帰納的学習は、教員が各学習者の経験に関わるため、

$$\cdot \text{経験帰納的学習}; \quad C \approx C(S_1(T), S_2(T), S_3(T), \dots, S_{30}(T))$$

となる。

次に、経験帰納的学習における授業の変容を見るために、全微分を取ると、

$$dC \approx \sum_{i=1}^{30} \frac{\partial C(S_1(T), S_1(T), \dots, S_{30}(T))}{\partial S_i} dS_i(T) = \sum_{i=1}^{30} \frac{\partial C(S_1(T), S_1(T), \dots, S_{30}(T))}{\partial S_i} \frac{dS_i(T)}{dT} dT$$

と表現される。

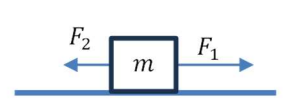
ここで、この $dS_i(T)/dT$ は、教員の関与による学習者個人個人の変容を意味している。ただし、学習者を主体的にするためには、この教員の関与は指導的であってはいけない。

3. 物理を楽しむために

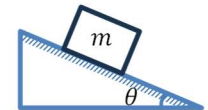
理想的には、教員が学習者個人個人に指導的でなく暗に働きかけることによって、授業変容が見える形を示したが、教員が人間であればクラス全員に対応するのは現実的ではない。現在、私たちは膨大な情報の海の中で生きている。しかし、情報過多は、畢竟、情報ゼロ（収束させられない）である。また、情報過多を取捨選択するツールとして AI（人工知能）があり、教育界にも至る処に AI が入り込んでいく。私の危惧する処では、将来的に教員は AI の操作員になる。そうならないためにも、教員一人一人の教科観が必要だと思っている。これは、教員一人一人が如何に物理学を楽しんでいるかという換えることができる。私は、先の実践講座やこれまでの教員との付き合いの中で、教員自身が物理学を楽しんで、その楽しさを学習者に伝えることが重要であると考えている。

詳細は講演で述べるが、私が担当する授業（物理基盤講義）の力学で、以下の小テストを行った。問 3 で非常に面白いことが起こったので、みなさんも考えていただきたい。高校の先生方には、是非とも高校生に出していただきたい。

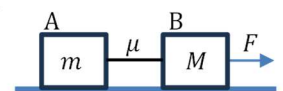
問 1) (15 点) 左図のように、滑らかな水平面に質量 m の物体を静置した(原点)。次に、右向きに F_1 、左向きに F_2 ($F_1 > F_2$) の力を一定の加えて運動させた。(1) 物体に生じる加速度 a を求めよ。(2) 力を加えてから t_1 後の速度 v と変位 x を求めよ。



問 2) (5 点) 左図のように、水平面と角 θ を成す粗い斜面上に質量 m の物体を静置した処、物体が静かに滑り出した。重力加速度を g 、動摩擦係数を μ' として、滑り降りるときの加速度 a を求めよ。



問 3) (10 点) 左図のように、滑らかな水平面に糸でつながれた物体 A と物体 B を静置した。B を右向きに力 F で引いたとき、A と B は同じ加速度 a で運動した。A, B と糸の質量をそれぞれ m, M, μ とし、張力を適切に設定し各々の運動方程式を立てて、以下の場合の加速度 a を求めよ。(1) 糸の質量 μ が無視できないとき ($\mu \neq 0$)、(2) 糸の質量 μ が m, M に比べて非常に小さく無視できるとき ($\mu = 0$)。



最後に、本研究は JSPS 科研費 19K03050, 22K02827, 24K00464 の助成を受けたものである。

参考文献

[1] 内山哲治, 清原和, 「主体的・対話的で深い学び」を実現するための取り組み: 学びの実践講座, 宮城教育大学教職大学院紀要, 2022, pp. 45-51.

<https://mue.repo.nii.ac.jp/records/1505> (2024-07-10 Web 閲覧)

[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, 2013, pp. 160-163.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsgaiyo/71.1/0/71.1_3344/_article/-char/ja/ (2024-07-10 Web 閲覧)

「探求的な学習の発展のために」

遠藤 正昭、尾島 正男、北原和夫
NPO 法人 人間環境活性化研究会
mike0202endo0718@yahoo.co.jp

1. はじめに

私ども人間環境活性化研究会のメンバーは、2018年に日本物理教育学会の会員になり、会誌や研究大会に参加し、企業での“ものづくり”の経験を基に、幾つか提案を行ってきた。

そんな中で昨年の新潟大会では、「探求的な学習」について多くの関心が寄せられているように感じたので、その内容について研究したところ、探求とはまさに企業における改善活動、問題解決のためのアプローチと同じ内容であると受け止められた。そこで我々の体験をベースに、ここに探求的な学習の発展のための提案を述べ、皆様方の参考に供したいと思う。

2. 探求的な学習の内容とねらい

2019年7月発行の新学習指導要領解説版により、探求について以下のように理解した。

2.1. ねらい

学習指導要領には、「総合的な探求の時間」と記載され、その内容は「教科・科目等の枠を超えた横断的・総合的な学習や児童・生徒の興味・関心等に基づく学習」と説明されている。

その意味するところは；

- **総合的な学習**：疑問、課題を解決するために、学んできたすべての教科の知識を活用すること、そしてそのやり方を習得する。その内容は“探求”が重要視される。(Out-put)
- 通常の学習：各教科ごとに、その分野の知識を学び、習得する。(In-put)

即ち、探求的な学習のねらいは、まさに「問題を解決する方法、知識の使い方を学ぶ」ことである。通常の授業で知識を習得 (In-put) し、その知識の使い方(Out-put)を総合的な学習で学ぶ。これによって学んだことが学生の生きる力となり、社会の発展に貢献する力が向上すると理解した。

2.2. 探求的な学習の内容

探求的な学習とは、次の四つの場面や過程が繰り返される一連の学習活動である。

- ① 課題の設定 ②情報の収集 ③整理・分析 ④まとめ・表現

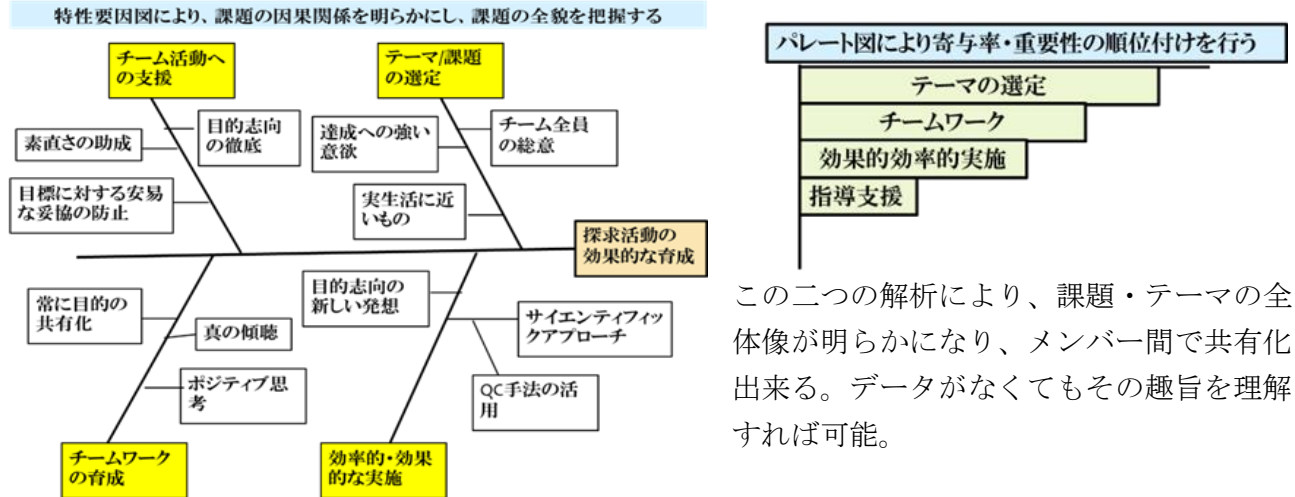
これは、企業の現場の第一線で問題解決を進める手順として広く活用されている「QCストーリー」のステップと全く同様である。

但し、企業ではこのような改善活動/探求活動は、実際に実務を行っている人達自身が行うので、課題の内容やそれらに係る事実関係は熟知している。しかし学生諸君の場合、課題等についてむしろよく知らないのが実情だと思うので、まずは課題に関する調査、検討を充分に行う必要がある。後述の特性要因図を使って因果関係を検討しながら課題の全貌を把握することも有効であろう。

3. 探求的な学習を進めるキーポイント

探求的な学習は、座学ではなく実際に課題を解決するあるいは疑問を解く活動の中で学んでいくものであり、この学習により学ぶことは「課題を解決する力、疑問を解消する力」の向上である。一言で言えば「問題解決能力の向上」である。そこで企業における改善活動を推進してきた体験から、この学習で期待する成果を挙げるキーとなる重要項目を述べたい。

3. 1. 期待する結果と要因の関係 (ISHIKAWA DIAGRAM/特性要因図とパレート図による解析)



3. 2. 探求的な学習の向上に対する重要な要因

- ① **テーマと目標設定**：メンバー全員が「何としてもこの課題を解決したい、その目標を達成したい」と強く願うテーマを選び、その期待する成果を目標として設定することである。この強い思いこそが新しいアイデアを生み、メンバーや関係者の話を傾聴し、異なる意見が新しい発想を生む原動力になる。
- ② **チームワーク**：チームワークとは極論すれば他人の知識や智慧や力を活用することである。他人の意見を傾聴し、それをテコにして自分の考えを越える新しい発想を生み出す、そういう場であって欲しい。「みんなでよく話し合っ」とか「チームワークを良くして」とか言っても何の効果もない、①で述べた目標達成にける熱意・執念こそが、メンバーの心を“謙虚”にさせ、一人一人では思いつかなかった案を生み出していく。
- ③ **サイエンティフィックアプローチ**：この活動では、事実に基づき、出来ればデータを使って、論理的に進めることを学んで欲しい。これを我々は「事実に語らせる」と言ってきた。その為の具体的方法として企業の改善活動で使われている品質管理の手法である「QCの七つ道具」や「QCストーリー」を教育の場でも活用することをお勧めしたい。
- ④ **探求的な学習におけるチーム活動の支援**：先生や管理者が探究活動を支援する場合、企業のOJTと同じで、指導される先生はそのチーム活動がうまくいっているかどうかの判断の物差し(KPI: Key Performance Indicator)を持たなくてはならない。それは人によって異なるが、私は、『どれだけメンバーが素直に事実や異なる意見を傾聴しているか?』、『各メンバーがどれだけ謙虚になっているか?』を物差しにして指導支援行ってきた。

3. 3. 探求的な学習の実施にあたっての便利な手法

問題解決にあたっては、今までの授業の中でインプットしてきた知識や技能をすべて活用するだけでなく、世の中にある「役立つものは何でも使おう」という精神が必要である。企業の改善などに使われている手法等も有効だと思うので、大いに利用して欲しい。

一例として、右図のQCストーリーはプロジェクトを進める手順であり、結果をまとめる時の項目であり、プロジェクト推進のロードマップとして、どのように進め、どのように纏めるかを皆が共有化出来るので、活動推進に有効である。その他、品質管理のツールはインターネット等で簡単に調べられるので、ぜひ活用して頂きたい。

<QCストーリー>

1. 取り上げた理由
2. テーマ選定
3. 現状把握
4. 目標設定
5. 要因の解析
6. 対策案の作成実施
7. 結果
8. 標準化

AL 型物理講義への改革の成果と課題

—新大シンポジウム開催 10 年を振り返って—

土佐幸子

新潟大学教育学部

stosa@ed.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

2012 年に中教審答申[1]で大学教育の質的転換が謳われ、変化の激しい現代社会において「生涯学び続け、主体的に考える力」を育成するために大学においてアクティブ・ラーニング（AL）型の学習が推奨された（図 1）。その後、大学物理講義の AL 型への改革はどのように進んだであろうか。新潟大学理科教育学研究室は 2015 年から毎年 3 月に「レッスンスタディとアクティブ・ラーニングのシンポジウム兼ワークショップ（以下、新大シンポジウムと呼ぶ）」を開催し、AL 型物理講義の理念と手法について様々な角度から光を当て、話し合う場を提供してきた。本発表ではシンポジウム参加者のアンケート回答を基に、この 10 年間の日本の物理教育改革の成果と課題、及び今後の方向を探る。



図 1 大学教育の質的転換の概要 [1]

2. 方法

研究対象とデータ収集：本研究の対象は、新大シンポジウム参加者のうち、2015 年及び 2021～23 年の質問紙調査に回答したのべ 70 名である。重複して参加・回答した数も含まれる。新大シンポジウムのテーマ、講演、模擬授業トピックを表 1 に示す。質問紙調査によるデータ収集は、シンポジウム終了後に、2015 年は紙媒体で、2021 年からはオンラインで行われた。質問項目はシンポジウムの有効性や AL 型講義の実践に関して 4 件法で回答する 5 問と、回答の理由を問う自由記述 4 問から成る。

データの分析方法：4 件法の項目は統計的に分析した。自由記述については質的研究法を用いてコード付けを行い、各回の特徴的なキーワードを特定して比較を行った。

表 1 新大シンポジウム開催の概要

回	年	テーマ	講演	模擬授業
1	2015	レッスンスタディと AL	①チュートリアルの実践と効果 ②ILDs の方法と効果 ③カタチと力学	大学物理エネルギー保存則
2	2016	物理授業の改善を	①科学的推論力と講義実驗	高校物理基礎抵抗率

		話し合う場	②大学力学講義の主体的な学び	
3	2017	物理授業の改善をじっくり	①大学リメディアル教育 ②高校物理のILDs	大学物理ILDsを用いた第3法則
4	2018	誤概念	①FCI大規模調査 ②対話を取り入れた力学講義	高校物理クリッカーを用いた音の授業
5	2019	AL型物理講義	①大学物理教科書開発 ②眼球運動計測を用いた研究	大学初年次AL物理講義
	2020	コロナ感染症拡大のため延期		
6	2021 オンライン	コロナ禍における学生の困難	①物理概念調査紙 ②高校物理認知的発達段階	高校物理電気回路
7	2022 オンライン	主体的な探究活動	Eugenia Etkina氏:探究的な理科学習環境ISLEのワークショップ	—
8	2023 ハイフレックス	学習者の概念理解	David Hammer氏:学生の気持ちに寄り添う物理講義	—
9	2024 [日本物理学会物理教育委員会主催オンライン]	物理授業における探究的な指導	①探究の意義・過程・質の理解 ②高校物理JiT ③大学の探究的な力学講義 ④探究の意味と課題	パネルディスカッション

3. 結果と考察

質問紙調査の結果と考察：

表2 質問紙調査の結果

表2に4件法で回答を求めた結果を示す。どの回も「シンポジウムは有益だったか」の問いに「はい、とても」と全員が回答したことから、シンポ

年	2015	2021	2022	2023
回答数	19	27	11	13
今回のシンポジウムは有益だったか。	4.00	4.00	4.00	4.00
今後、ご自分の授業に今回の手法を取り入れようと思うか。	3.89	3.81	3.73	3.54
物理の学習における困難や指導法について、もっと話し合う機会がほしいと思うか。	—	3.75	3.64	3.54

ジウムに対する参加者の満足度が伺える。特に、講演や模擬授業に参加し、参加者同士で話し合うことができ「新たな視点を得ることができた」「大変参考になった」「勉強になった」という記述がどの回も多く見られた。質的分析法によりコードとして特定できたキーワードは、「学生に寄り添う指導法」「勉強の機会の提供」「同僚と話す重要性」「物理教育観に関する議論ができる場」「思い込みの認識」「現場の制約に対する不安」「模擬授業とレッススタディの有効性」などであった。本シンポジウムが情報提供とディスカッションを通して、高大教員に物理教育の理念と実践について深く考える貴重な場を提供してきたことが示唆された。

4. まとめと今後の展望

質問紙調査の自由記述に関して2015年と2023年を比較すると、AL型の指導手法について、初めて触れる新鮮さから、自分自身も実践し、少しずつ浸透している様子が見られた。しかし、現場の制約がある中で不安や難しさの記述も多く見られた。AL型物理指導法への改革はまだまだ始まったばかりである。本研究では、今後の新大シンポジウムの形態としてラウンドテーブル式を計画している。それぞれのテーブルで情報提供者と参加者が互いの成果や課題を共有し合って、より個に応じたAL型物理指導の議論が展開することを期待している。

参考文献

- [1] 文部科学省：新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～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年

高校物理初学者にとっての構成主義的な学びの有効性と優先性

山下哲

大阪府立北野高等学校

haz34840@wood.odn.ne.jp

1. はじめに

欧米の物理教育研究は、入門物理の学習者が概念理解に至るまでの障害として、認知科学を根拠にしつつ、強固な素朴概念が存在することを問題として提起した。同時に、構成主義を指導原理に素朴概念の解消方法としていくつかの教授法が提案されている。しかしながら、これらは大学生を対象とした実践の中で検証されてきたため、素朴概念の「強固さ」もこれを解消するための方法論としての構成主義の有効性も、当然ながら調査対象となっている一部の大学生に限定されている可能性があり、それらの普遍性は極めて疑わしい。一方で、日本の初等中等教育は欧米の物理教育研究とは異なる動機から全ての教科で構成主義的学びを重視しつつある。構成主義に限定されたことではないが、物理教育における教育方法の有効性を議論するためには、小学生や中学生の段階では理科の学習は厳密には小教科に分かれていないため、領域固有性を考慮してその学習段階で解決すべき課題を抽出し、これに対する教育方法の効果を個々に議論する必要がある。しかしながら、物理教育研究として小学生や中学生を対象として実践された多くの取り組みが、学習指導要領の要請に応えるべく素朴概念の存在と構成主義的な学びの有効性を無制限に受け入れた結論前提の面が強いため、領域固有性や単元間の関係性を無視した特定の単元に対する短期間の実践報告が多く、高校生の学びに対する有効性以前の疑問がある。日本の高校生を対象とした物理教育研究は、欧米の物理教育研究と学習指導要領の影響を受けているために、高校生を対象とした構成主義を経由した学びの課題と限界が区別されて考察されてこなかったと講演者は考える。

物理の初学者としての高校生の学びを考察する際、高等学校の物理の学習内容は入門物理ではあるものの、学びの当事者である高校生は学びについては初学者とは言えず、小学校・中学校での学びの経験に大きく影響を受けていることを忘れてはならない。すなわち、高校生は「物理の初学者」ではあるが、「学びの初学者」ではなく、高校物理を学び始める段階ですでに既有知識や学習習慣といった客観的なものから学習観や動機づけといった主観的なものに至るまで極めて多様である。高校生を対象とした現実的な物理教育研究を行うためには、これらの多様性を踏まえたうえで、最低限身に付けておくべき内容とそれらを用いることで（初めて）学びが機能する内容とで、教育方法は当然のこと、構成主義という方法論の当否についても議論し、別途提案すべきか否かを検討する必要があると考える。本講演では、物理教育研究以外の教育研究から、熟達するまでの学びの段階性やその間における構成主義を経由した学びの優先性について考察したものを紹介し、講演者が現在の物理教育研究が暗に前提としている視点および欠如していると考えられる視点について議論する。

2. リテラシーが理解に及ぼす影響

初等中等教育の中でも、高等学校における物理の学習では、生徒の数学的リテラシーの習熟度が内容の理解度に影響する傾向が強い。科学教育の中で、領域の内容の理解と正確なリテラシーの習得が密接に結びついており、一定のリテラシーを身につけていても熟達者と初学者ではその表現か

ら読み取る内容が質的にも量的にも異なるため、これをサポートする環境の重要性を強調する立場もある[1]。この点、高等学校の物理の学習においてはその初期から、時間や速度・加速度、力といった直接目で見ることはできない抽象的な量をグラフや図を用いて表現するが、前述の様に、高校生の段階ではグラフや図に対する習熟度には大きな広がりがある。講演者の「現象の解釈シート」を用いた指導は、リテラシー獲得を通じて物理の学習をすすめるものであり、「強固な素朴概念」が高校物理の学習前に既に存在しているとすれば、一定の効果が認められている[2]。しかしながら、高等学校における物理教育研究でリテラシーが注目されることは少なく、その影響を正しく見積もる必要があると考える。

3. 学びの段階性・領域性と構成主義を経由した学びの優先性

欧米の物理教育研究は構成主義を指導原理の一つとしていることは前述した通りであるが、現学習指導要領は全教科全科目で「主体的対話的で深い学び」を通じて学ぶことを要請しており、構成主義がその理論的支柱となっている。しかしながら、構成主義に関しては、学習内容に対する十分に高い予備知識を持っている学習者についてのみ効果的であり、予備知識の乏しい初学者については認知的な負荷が高すぎて効果が乏しいという複数の事例からの指摘がある[3]。このことから一部の大學生について効果的であるとされる欧米の物理教育研究の教育方法が、高校生の物理の学びのみでなく、小学生や中学生の理科の学びに妥当するか否かは個別に検証する必要があると言える。この点、構成主義の効果を認めつつ、構成主義的に学ぶために必要な予備知識を事前、あるいは並列に身に着ける段階を、構成主義的学習の段階とは明確に分離して設定するモデルも提案されている[4]。（そして、それは学習指導要領の要請と陽に矛盾しない。）物理教育研究に関するものとして、強固な素朴概念が学習前に存在するのではなく、学習の過程で強固に身につけていく可能性も否定できず、構成主義的な学びが効果的にはたらく以前の段階や、効果的にはたらく範囲外の領域で構成主義を第一の指導原理として用いることは、イデオロギー的な意味合いはあっても、少なくとも高校生に対する現実的な物理教育を行うことに関しては適しない可能性があると考えられる。

講演では、高校生を対象とした物理教育研究における構成主義を目的とするのではなく、これを経由した学びの有効性の範囲とリテラシーや予備知識との優先順位について議論し、構成主義を経由した学びの課題と限界を考察する機会としたい。

参考文献

- [1] Kozma, R.B., Russell, J., Jones, T., Marx, N., & Davis, J. (1996). The use of multiple, linked representations to facilitate science understanding. *International Perspectives on the Design of Technology-supported Learning Environments*, pp. 41-60.
- [2] 山下哲, 『『現象の解釈シート』から見る, 高校物理初学者の「現象の捉え方」の特徴と, 「現象の解釈」を3年間実施した効果の分析』, 日本物理学会 2024 年春季大会講演概要集, 20pN1-9(2024).
- [3] Kirschner, P.A., Sweller, J., & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), pp. 75-86
- [4] Jonassen, D. H. (1991). Evaluating constructivistic learning. *Educational Technology*, 31 (9), pp. 28-33.

カリキュラム・マネジメント—成功事例に学ぶ

尾島正男、遠藤正昭、原眞一、北原和夫

NPO 法人 人間環境活性化研究会

ojm8912@jcom.zaq.ne.jp

1. はじめに

学習指導要領にカリキュラム・マネジメントが記載され、その活用が勧められた結果、多くの学校で実践されているように認識している。私も自分自身企業で TQC（総合的品質管理）を推進してきた体験から、カリキュラム・マネジメントの重要性をよく認識して居り、長崎大会と新潟大会において、その内容と進め方について提言を行ってきた。

カリキュラム・マネジメントとは、学習指導要領でその一般目標として、「教科・領域・学年をまたいでカリキュラムを把握し、学校教育課程全体をマネジメントすることの意義を理解する」と記載している。今回は、実際に上記を理解し、具体的に実践し、成果を挙げられておられる学校をお尋ねし、実情をご説明頂いた内容から学んだことをご紹介します、皆様のご参考に供したいと思う。

2. 日本工業大学駒場高校における実施事例

まず、本校のカリキュラム・マネジメントの歴史的経緯について、校長先生からご説明頂いた内容を以下にご紹介する。本校は大学付属の工業高校としてモノづくり教育で発展してきたが、近年工業科志望は激減し存続の危機を迎え、2008年普通科として再発足した。その時、ただ看板を掛け変えるだけで、生徒が入学を希望してくれるほど甘いものではなく、明確な目標と計画を持って学校経営にあたりたいと考え、まず生徒や保護者の希望調査を行った。

2.1. 生徒、保護者の希望調査結果（お客様のニーズ把握）

調査結果：

- ① 希望する大学に進学したい。
- ② 外国語を習得したい。
- ③ IT技術を習得したい。
- ④ 自分の考えをしっかり持ち、人に発信できる子になって欲しい。

上記内容は大変興味深いもので、①は高校生としては当然の希望であろう。しかし②～④は学力というよりは、「学んだことを実際に活用するための力を身に付けたい」ということで、学習指導要領で言えば「生きる力を身につける」、「社会で役に立つ人間になる」には不可欠なことで、実に賢明で当を得た素晴らしい希望だと感じた。

2.2. 上記に対する学校のアクション

上記に対し校長先生を中心に、教師全員が参画してカリキュラムを検討し、希望する大学に見合ったクラス分けやニーズ・目的にあった英語教育や IT 教育のカリキュラムの策定並びにアクティブラーニングの趣旨に合った授業方法などを計画実施する事にした。加えてこの学校の強みである物づくりの体験や実験、実習も出来るだけ取り入れることとした。

2.3. 成果

これら努力は立派な成果に結びつき、希望通りの大学進学者は増え、昨年は東京都で入学希望者が前年に比べ大きく増えた学校と報道されるまでになった。

2.4. 成功のキーポイント

上記から学んだ成功の要点を以下に列記する。

- ① 学校経営のねらい・目標として、保護者や生徒の希望（お客様のニーズ）を調査し、その結果に基づき目標を設定し、その達成のための学校運営（カリキュラム・マネジメント）を展開したこと
- ② 学校存続の危機感とその改善策を校長先生のリーダーシップの下、全教員が共有化し一致協力して事にあたったこと。
- ③ 上記の新体制発足後も日常の授業の中で、継続的かつ日常的な小改善を重ねていること。

3. カリキュラム・マネジメントに対するご提言

カリキュラム・マネジメントとは決して目新しいことではなく、すべての学校が実際に実施されて居られる学校の運営のことであるが、問題は「そのレベルが現状のままで良いのか？」ということで、学習指導要領はそのレベルアップを強く期待していると理解している。私は最近カリキュラム・マネジメントの抜本的な見直しを要する、三つの事態に直面していると考えている。

- 1) グローバル化が進む中で、各国の進歩は顕著で、日本の国際競争力や大学の国際的なレベル、学生の学力も相対的に低下しつつあり、教育の改善が求められている。
- 2) 少子化により、高校生の数も平成2年の560万人をピークに、300万人強にまで減少してきている。これにより高校の閉鎖や統合も進んで居り、分かり易く言えばマーケットは激減し、現在は生き残りをかけた競争状態になって来ている。
- 3) 従来、教科ごと学科ごとの学びが中心で、縦割りのカリキュラム・マネジメントで運営されてきたものが、「総合的な学習（探求）」の積極的な取り入れにより、教科・科目等の枠を超えた横断的・総合的な学習や児童・生徒の興味・関心等に基づく学習が行われるように、学校全体としての横断的なマネジメントが必要になってきた。これらのインパクトは地域や学校によって異なると思うが、この危機に対処する為、正しい現状認識と適切な目標設定など、カリキュラム・マネジメントの刷新を図って欲しい。

4. ご参考に

最近、私は15年以上前に発刊されたアメリカの教科書で、日本の教科書では「エネルギーとその利用」に該当する箇所以下設問から始まっている文章に気が付き驚いた。

【(問) あなたの州にとって最も効率の良いエネルギー資源は何ですか？

世界で使用されているいろいろなエネルギー資源について、これから学習します。そこで小グループで、あなたの州で最も効率の良いエネルギー資源は何か研究して下さい。それぞれのエネルギー源の長所と短所を明らかにし、あなたの州の包括的なエネルギー戦略を策定して下さい。そしてあなた方のグループの戦略と研究結果を Webのページに載せ、州の住民からフィードバックをお願いするインターネット掲示板 を作って下さい。州民からのフィードバックを活用して、いろんな問題点を再検討し、エネルギー戦略についてのあなた達の提案をさらに改善して下さい。】

アメリカでは、15年以上前からこのような総合的学習・探究活動が行われており、このような形で地域住民との交流が行われているようで、その為にはこのような活動が可能になるようなカリキュラム・マネジメントが行われていると思われます。

参考文献

PEARSON “Physical Science: Concepts in Action Hardcover”. p444,15-3, Energy, Printed in 2011

力のつり合いと作用・反作用の識別に特化した

概念調査紙 DETA の開発と試行

^{AB}伊藤 慧, ^A梅田 貴士

^A広島大学大学院人間社会科学研究科, ^B明治大学付属明治高等学校

itokei@meiji.ac.jp

1. はじめに

学生が「系 (system)」と「環境 (surroundings)」の区別を不明瞭なまま物理の学習を進めた場合、内容の本質的な理解に至りにくい、若しくは誤った認識をもってしまう恐れがある[1]。しかし、国内外を見渡しても、「仕事とエネルギー」の分野における研究報告[2]は存在するものの、静力学において「系の設定」に重きを置いた報告は一部[3]を除き見当たらない。

筆者は、中等教育の初期段階で「系の概念」を導入することが有効なのではないだろうかと考え、「系の概念」の未獲得に伴う“力のつり合いと作用・反作用の混同”に着眼した多肢選択式の概念調査紙 DETA (Differentiation between Equilibrium of forces and Newton's Third law of motion Assessment) を開発した。試行調査として実施した 2022 年度のポストテスト、及び 2023 年度のプレテストの結果、生徒の混同に関する深刻な思考傾向が示唆された[4]。

2. 問題の構成

先行研究[5]を参考に、中学生や高校生ならびに大学生にとって正答率が比較的低下すると予想される問題設定を主軸に DETA を設計した。大問 6 つ、設問数 18 題の構成であり、鉛直方向・水平方向、押し合い・引き合い、静的・動的とパターンを網羅している (表 1)。また、つり合いや作用・反作用に関し、それぞれ「系の設定 (着目物体)」も同時に問う形式になっている。

表 1 DETA の問題構成 (括弧内は小問数)

大問 A (4) : 重なったまま静止する親子ガメ	大問 B (4) : ロープにつかまって静止するサル
大問 C (4) : 押し合ったまま運動する二人の力士	大問 D (4) : トナカイに引かれて運動するサンタ
大問 E (1) : 氷を浮かばせたジュース	大問 F (1) : 両側から引っ張られる 3 つの連結した輪ゴム

3. 試行調査

2023 年度、中学 2 年生 (n=58)、高校 1 年生 (n=47)、高校 2 年生 (n=150) に対して、試行調査としてプレテストとポストテストを実施した。ここでの中学 2 年生は特殊なカリキュラムで、つり合いと作用・反作用の両方を当該学年で学習した。高校 1 年生と高校 2 年生はいずれも当該学年で「物理基礎」を履修した。

尚、選択肢の妥当性を分析するため、選択肢での回答と同時に選択理由を別途記述させた。生徒の思考を分析し、選択肢を 5 つ程度に絞っていく予定である。

4. 結果

3校の各設問のゲインを示す(図1)。全体的な傾向として、つり合いの方が作用・反作用よりも理解が困難であることが明らかとなった。また、作用・反作用に関し、物体が等速度運動をしていても比較的ゲインは大きい一方で、重力が関係する設問では比較的ゲインが小さい傾向が見て取れる。

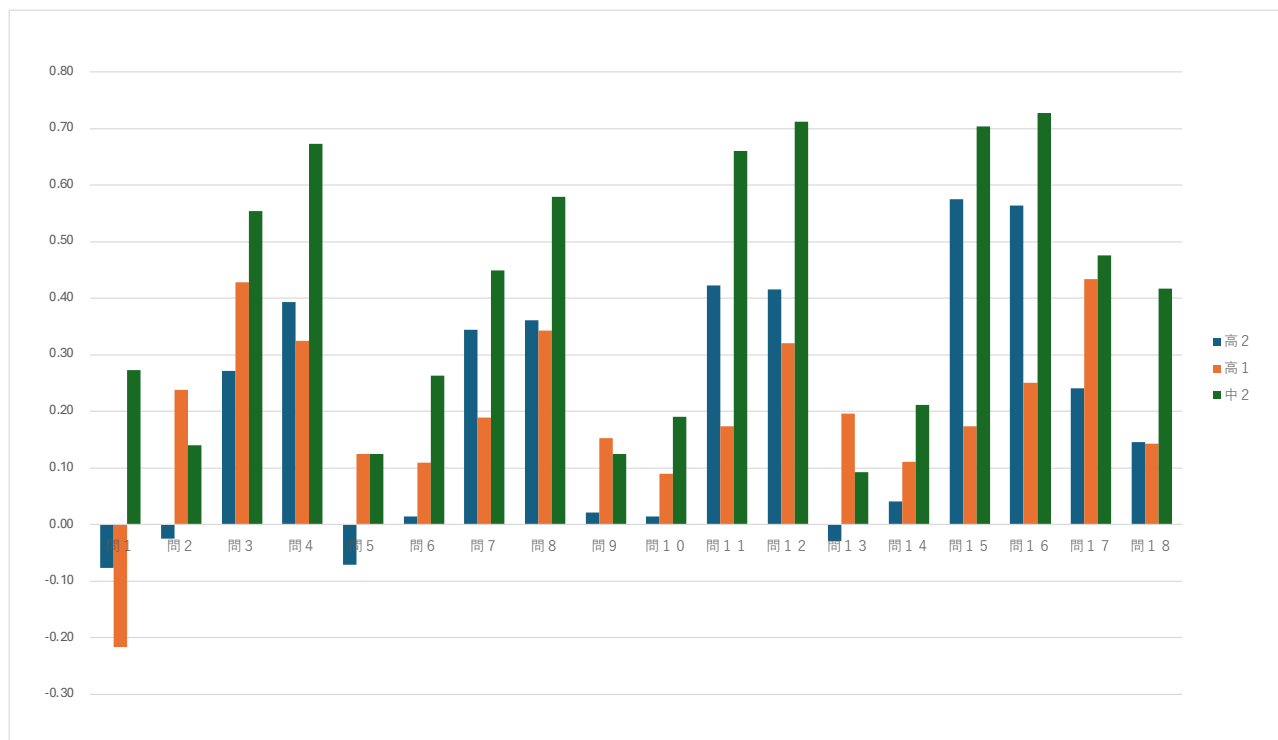


図1 各設問のゲイン

講演では、つり合いや作用・反作用の各問と「系の設定」の両方とも正答した場合のゲインについて議論する。また、授業担当者ごとの授業方略による違いに言及したい。

5. 今後の展望

Think Aloud (思考発話法に基づくインタビュー調査) や専門家による妥当性評価を実施する。2024年度までの結果を以ってDETAの「完成版」を作り、2025年度はさらに調査規模を拡充して実施する予定である。概念の差別化に有効な指導方略を開発したい。その後、動力学に主眼を置いた研究に発展させていく。

参考文献

- [1] 例えば, Beth A. Lindsey, et. al, Am. J. Phys. , **80**, 154-163(2012).
- [2] 例えば, 勝田仁之, 筑波大学附属高等学校研究紀要, **62**, 123-134(2021).
- [3] 山本明利, 北里大学教職課程センター教育研究, **8**, 3-18(2022).
- [4] 伊藤慧, 2023年度日本物理教育学会年会第38回物理教育研究大会発表予稿集, 53-54(2023).
- [5] 例えば, Shaona Zhou, et. al, Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, **11**(3), 589-599(2015).

中学校における「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の 識別に特化したカリキュラムデザイン

峯岸 晃生

渋谷教育学園幕張中学校・高等学校

minegishik1112@gmail.com

1. 背景と目的

力概念獲得における困難点の1つとして、つり合いの関係にある2力と作用・反作用の法則の関係にある2力の混同があげられる[1]。学習者にこの困難点を克服させるために、今日に至るまで、有効的な授業実践の報告[2]がなされている。筆者は、学習者にこの問題点を克服させるためには、有効的な授業実践に加えて、カリキュラムの抜本的な見直しが必要なのではないかと考えた。そこで、中学生を対象として、『「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の識別』を到達目標に掲げたカリキュラムを計画し、それに基づいた授業を実施した。また、計画したカリキュラム及び実施した授業の効果を、明治大学付属明治高等学校・明治中学校の伊藤慧氏が開発している調査問題[3]をもとに、定量的に考察を行った。

2. 一般的なカリキュラムや指導の問題点

2-1 「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の学習時期

現行の中学校学習指導要領に基づき、一般的には、中学校1年生で2力の「力のつり合い」、中学校3年生で力の合成や分解に重きを置いた「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」を学習する。これでは、2力の「力のつり合い」を学習する時期と「作用・反作用の法則」を学習する時期が離れているため、学習者がこれらを混同しているということにも気づかず、正しい概念を獲得する機会もない。

2-2 「作用・反作用の法則」の取り扱い

一般的には、例えば図1のように物体同士が静止している状況で及ぼし合う力について「作用・反作用の法則」を扱う。これでは、「作用・反作用の法則」が成り立つ状況は物体同士が静止しているときだけ、という誤った概念を獲得してしまう可能性がある。

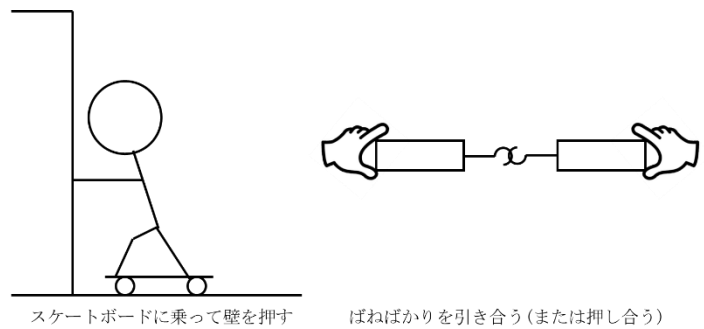


図1 一般的な教科書で扱う「作用・反作用の法則」の状況(教科書や通俗書をもとに作図)

2-3 力を図示する方法

力を図示する方法は、一般的には、例えば図2のような方法がある。図2左のような指導では、描いた力の矢印が箱が受ける力なのか、机が受ける力なのか、判別がつかない。図2右のような指導は、描いた力の矢印が箱が受ける力なのか、机が受ける力なのかは判別はできる。しかし、物体の状況がより複雑になり、受ける力も多くなると、図が煩雑になり判別ができなくなってしまう。

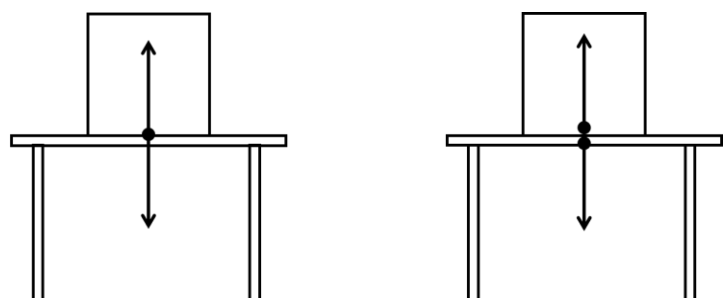


図2 「机の上の箱」の一般的な力の図示(教科書や通俗書をもとに作図)

3. 計画したカリキュラムと実施した授業の特徴

これらの問題点を踏まえ、以下のような点を特徴としたカリキュラムを計画し、授業を実施した。

- (1) 力を初めて学ぶ中学生に対し、全8校時をかけて『力のつり合い』と「作用・反作用の法則」の識別』を到達目的としたカリキュラムを計画し、実施した。
- (2) 全8校時中、前半5校時は徹底的に静止した1物体に着目させ、力の図示をFree-body Diagram [4]を用いて行わせた。後半の3校時で静止した複数物体に着目させ、力の図示をFree-body Diagramを用いて行わせた。力を図示する際には、「〇〇が××から受ける力」と言葉で説明させることを徹底させた。
- (3) 「作用・反作用の法則」を扱った授業では、物体同士が動いていても成り立つ法則であることをまざまざと見せつける教材「輪ばねつき台車」を用いた。
- (4) 授業は主にピア・インストラクション[5]で進行し、課題解説は生徒に行わせた。

4. 調査問題の結果

計画したカリキュラム及び実施した授業の効果を、図3に示す。図3の横軸は、伊藤慧氏が開発している調査問題[3]の設問である。設問1,2,5,6,9,10,13,14,17は「力のつり合い」に関する問、設問3,4,7,8,11,12,15,16は「作用・反作用の法則」に関する問、設問18は「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の両方の概念を問う複合問題である。また、力の矢印を提示しない調査問題は α タイプ、提示する調査問題は β タイプである。調査問題の結果を踏まえた考察は、当日の発表で述べる。

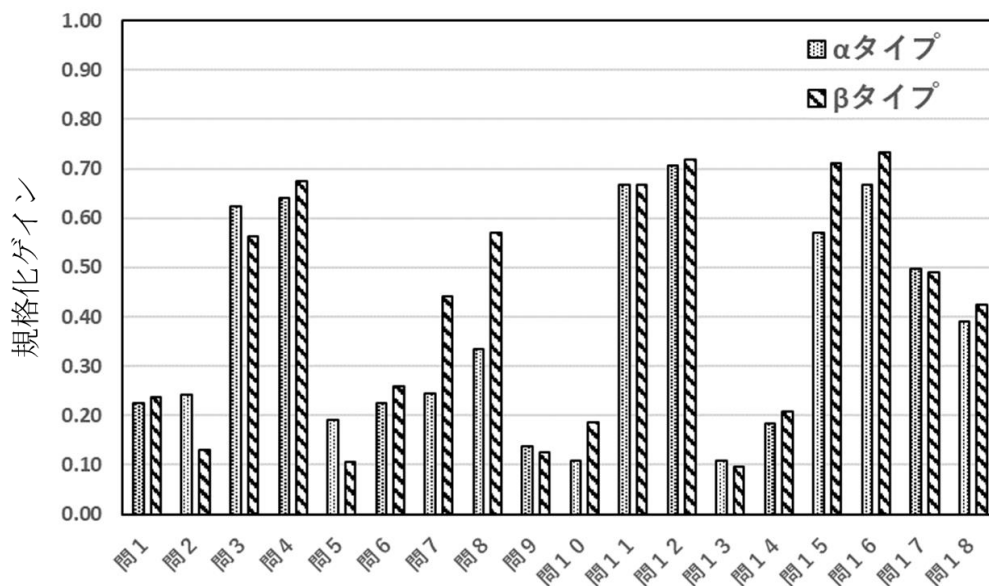


図3 伊藤慧氏が開発している調査問題[3]の各設問ごとの規格化ゲイン

参考文献

- [1] 鈴木亨(2008): 作用反作用の法則の説明論理に見られる誤概念の起源, *物理教育*, 56(4), 272-277.
- [2] 清水裕介(2021): 中学校における作用・反作用の法則の授業実践報告, *物理教育通信*, 184, 51-56.
- [3] 伊藤慧(2023): 中等教育段階における「系の概念」の調査問題の開発ー「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の混同に着目してー, *第39回物理教育研究大会発表予稿集*, 2/3分冊, 53-54.
- [4] 勝田仁之(2021): Free-Body Diagramと質点モデル, *物理教育通信*, 185, 59-65.
- [5] Edward F. Redish(2012): 科学をどう教えるか アメリカにおける新しい物理教育の実践, *丸善*, 203-205.

「力」の単元における昭和と令和の中学校理科の教科書の比較調査

^A西村祐紀, ^B林壮一

^A福岡大学大学院理学研究科応用物理学専攻, ^B福岡大学理学部物理科学科

^Ayuukinishi.0520@gmail.com

1. はじめに

学習指導要領は時代に合わせて、理科の目標及び内容が変化してきている。たとえば、平成29年に中学校学習指導要領解説理科編の一部改訂が行われた。物理分野では、電気による発熱が小学校第6学年から中学校第2学年へ、圧力が中学校第1学年から中学校第3学年へ移行された。また教科書は学習指導要領に準じて作成されているため、学習指導要領の改訂と合わせて新しくなる。そこで昭和の中学校理科の教科書はどのように理科を教えていて、どのように変化して令和の中学校理科の教科書になったのかを調べることにした。

2. 調査目的・調査方法

比較する資料としては、戦後20年が経ち、高度経済成長政策が展開されていた[1]昭和33年の学習指導要領のもとで作成された昭和37年の中学校理科の教科書と、現在使われている平成29年の学習指導要領のもとで作成された令和3年の中学校理科の教科書とした。本調査では、「力」をどのように教えているのかを調べるために、昭和の中学校理科の教科書の「力と仕事」の単元に焦点を当てることにした。「力と仕事」の内容に対応する令和の中学校理科の教科書の内容と比較し調査する。

3. 比較資料

・『新しい科学』（発行会社：東京書籍株式会社）（発行年：昭和37年）

・『探求する新しい科学』（発行会社：東京書籍株式会社）（発行年：令和3年）

表1に、昭和の中学校理科の教科書の「力と仕事」の単元で学習する項目を示した。

表1：『新しい科学』の「力と仕事」

I	力のつりあい（1力 2 2つの力のつりあい 3 3つの力のつりあい 4 斜面 5 摩擦力 6 作用と反作用）
II	力のモーメント（1 てこ 2 輪軸と滑車 3 重心 4 物体の安定）
III	仕事の原理（1 力と仕事 2 仕事の原理）
IV	動力を伝える仕組み（1 ベルトとくさり 2 歯車）
V	材料の強さ（1 固体の変形 2 材料の強さ 3 じょうぶな組みあわせ）

4. 昭和の中学校理科と令和の中学校理科の比較

4. 1 記載内容

令和の中学校理科の教科書には、「力のはたらき」で「①物体の形を変える②物体の運動の状態を変える③物体をささえる」と記載されている。ここで注目すべきなのは、「③物体をささえる」である。学習指導要領解説理科編の「㉞力の働き」で理解する内容としてあげられておらず、高校物理の教科書を覗いてみても力の説明は①と②である。昭和の中学校理科の教科書に「力は、物体をささえたり、物体の運動のようすを変えたり、また、物体の形を変えたりするはたらきをもっている。」と記載がある。この内容をまとめたものが現在の「力のはたらき」になっていると考えられる。また、昭和の中学校理科の教科書は、力の単位を Og の力で表現しており、物体の重さの単位で表すことになっている。 Og の力は後に Og 重に変更され、現在では N (ニュートン)が使われている。

表1のように、力の合力と分力の内容に続けて、斜面や斜面の利用の記載がある。斜面の利用として「まき割り」と「くさび」と「ねじ」が紹介してある。また、ねじの小さい回転の力で、進む方向に大きい力を出すことができる特徴を利用している「ジャッキ」や「まんりき」の紹介をしている。その他の項目等については、当日報告する。

4. 2 生徒実験

表2に、昭和の中学校理科の教科書の「力と仕事」の単元で紹介されている生徒実験を示した。

表2：「力と仕事」の生徒実験一覧

<p>実験1：ひとつの物体に2つの力がはたらいても物体が動かない場合について実験しよう。</p> <p>実験2：物体が面の上で動くとき摩擦力が生じることやそのときの条件について調べよう。</p> <p>実験3：てこのつりあいについて調べよう。</p> <p>実験4：いろいろな形の板の重心の位置を求めてみよう。</p> <p>実験5：物体にはたらく力の大きさと変形の大きさの間にはどんな関係があるか調べよう。</p>
--

昭和の中学校理科の教科書は、結果が記載されておらず、実験をした後にわかることをまとめて、そこから理論を説明している。また、実験を通してグラフや表を作成することはなく、言葉中心の説明をしている。

5. まとめ

記載内容や生徒実験を比較調査したうえでわかったことをまとめて、当日報告する。

参考文献

[1]高度成長の時代へ 1951-172,国立公文書館

<https://www.archives.go.jp/exhibition/digital/high-growth/policy.html>

- ・東京書籍株式会社「新しい科学」(昭和37年)
- ・東京書籍株式会社「探求する新しい科学」(令和3年)
- ・中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編,文部科学省
- ・中学校学習指導要領(昭和33年改訂版),文部科学省

中学生を対象とした継続的な ILDs による力学概念・課題価値・態度の変化

^A北村貴文, ^B谷口和成

^A同志社女子中学校・高等学校, ^B京都教育大学

kitamura@girls.doshisha.ac.jp

1. はじめに

物理概念の理解のために米国で開発されたアクティブラーニングの一つに Interactive Lecture Demonstrations[1] (以下, ILDs) がある。ILDs は認知的葛藤が生じるように適切に配置された演示実験を伴う課題に対して班議論や全体共有を繰り返して理解を目指す展開となっている。授業者一人で実験を見せつつ議論を展開できるため, 日本の中高等教育とも親和性が高く, いくつかの事例が報告されている[2]。ILDs の授業形態は理科特有の実験や物理概念に対する議論活動を中心という点で特異であり, その授業形態がもたらす認知的側面以外の変化も考えられる。

以上を踏まえ, 本研究では中学第三学年を対象として ILDs が継続的に組み込まれた授業計画を考案・実践し, 認知的側面の他に, 理科に対する課題価値の評定, そして主体的な学習態度の変化を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 対象

京都府の私立中学校第三学年の 1 クラス 42 名を対象とした。実施校の第三学年理科は週 4 時数 (1 時数あたり 50 分) を主に化学・生物に関わる分野の 2 時数と, 主に物理・地学に関わる分野の 2 時数で分割して行われ, それぞれが 2 時数連続で構成されている。そのため, 本実践の週あたりの授業日数は 1 日 (2 時数連続) であった。

本実践の期間は, 2024 年 4 月中旬から 2024 年 6 月下旬までの全 20 時数 (2 時数連続×10 日) であった。

表 1 実施した授業と ILDs のセクション

§	内容	ILDs のセクション
1	水圧	(ILDs の構成で実施)
2	浮力	ILDs 「流体静力学」
3	力のはたらき・見つけ方	—
4	力の合成・分解	ILDs 「ベクトル」
5	力のつり合い	—
6	運動の表し方	ILDs 「人の運動」
7	水平面と斜面での台車の運動	ILDs 「台車の運動」
8	力と運動の関係	ILDs 「ニュートン I・II 則」
9	斜面の角度と台車の運動	—
10	物体間での力のおよぼし合い	ILDs 「ニュートン III 則」

2.2 授業の概要

表 1 は本実践における中学第三学年の力と運動の単元における水圧からニュートン III 則までの学習に ILDs を組み込んだ授業計画の概要である。この授業計画に組み込まれている ILDs のセクションは, 流体静力学, ベクトル, 人の運動, 台車の運動, ニュートン I・II 則, ニュートン III 則の 6 つである。中学生の学習内容に適応させるために改変したり, 発展的内容を組み込んだりしている。

2.3 手続き

FMCE[3], 課題価値評定尺度[4], 主体的学習態度尺度[5]による質問紙調査を事前・事後で行った。なお, 成績には影響しないことを教示したうえで回答を求めている。また, ILDs を継続的に組み込んだ

だ長期の教授方略に対する学習者の認識を質的に分析するため、「質問1：理科Bの授業の進め方はその他の授業と比べて違いましたか、それとも同じでしたか。」に対して「1. 違った」から「5. 同じだった」の5段階で回答を求め、「質問2：質問1の回答のように思った理由を書いてください。」に対して自由記述で回答を求めた。加えて、授業の感想を自由記述による回答で求めた。

3. 結果と考察

3.1 課題価値評定および学習態度の変化

分析はいずれの尺度についても事前・事後調査ともに回答し、欠損値がなかった37名を対象とした。表2は課題価値評定尺度および主体的学習態度尺度の α 係数および事前・事後における結果である。獲得価値は α 係数が低いため分析から除外した。各下位尺度について、対応のある t 検定を実施したところ、実践的利用価値、学習方略、主体性、協働性に有意な差がみられた。

3.2 学習者の授業に対する認識

分析は回答した37名を対象とした。質問1に対して「違った」もしくは「どちらかといえば違った」と回答した生徒は約90%であり、他の授業との差異を認識したことがわかる。これに対する回答理由の記述からは、ILDsを継続的に組み込んだ本実践が主体性・協働性を必要とするような活動と認識されていたことが示唆された。

また、授業の感想の記述事例には「みんなで話し合うことで理解が深まったり、わからないことをすぐ聞けたりしてよかった。わからない人に教えることで自分もあらためて考えることができ、学びを深めることができた。」がみられた。これと同様の記述事例もいくつかみられ、主体性・協働性が必要な授業という認識だけでなく、実践され、そして深い学びにつながったと感じていることが示唆された。

発表では、FMCEの事前・事後調査の結果、および質的データをもとに力学概念、課題価値、学習態度の変化についての解釈的な分析を報告する予定である。

表2 課題価値評定尺度および主体性学習意欲尺度の事前・事後調査の結果

	α 係数	事前		事後		t 値	
		M	SD	M	SD		
課題価値評定尺度	実践的利用価値	.738	3.784	0.596	2.883	0.596	-7.013**
	興味価値	.802	2.858	0.586	2.973	0.718	1.138
	獲得価値	.564	3.027	0.550	3.072	0.532	0.600
主体的学習態度尺度	学習方略	.747	3.065	0.651	3.514	0.712	3.699**
	主体性	.694	3.259	0.610	3.714	0.687	4.576**
	協働性	.714	3.551	0.506	3.941	0.611	4.179**

** $p < .01$

参考文献

- [1] D. Sokoloff & R. Thornton (2004) : Interactive Lecture Demonstrations, Wiley.
- [2] 例えば, 山崎敏昭 他 (2013) : 物理教育, 61-1, 12-17.
- [3] R. Thornton & D. Sokoloff (1998) : Am. J. Phys. 66-4, 338-352.
- [4] 解良優基・中谷素之 (2014) : 日本教育工学論文誌 38-1, 61-71.
- [5] 河村明和 (2020) : 学級経営心理学研究 9, 31-38.

高校力学測定実験における生徒の持つ不確かさ概念

^A古結 尚, ^B谷口 和也

^A同志社中学校・高等学校, ^B京都教育大学物理

kogetsu@js.doshisha.ac.jp

1. はじめに

高校物理では生徒が自ら実験を行う機会があまりなく、測定に関するさまざまな概念をもっていると考えられる。たとえば、国際調査において、「実験（測定）を2度以上行った方がよい」と回答する割合が国際平均より下回っている[1]。本研究では、「物理基礎」を受講する私立高校の2年生3クラスの生徒に対して測定についての実践を行った。1クラスの科学的推論能力[2]については図1のようである。これらのクラスにおいて、通常の講義に加えて、3～4名で1班の班実験を2回行った。各実験では班ごとに実験を行い、班ごとに発表を行った後に、個人でレポートにまとめた。

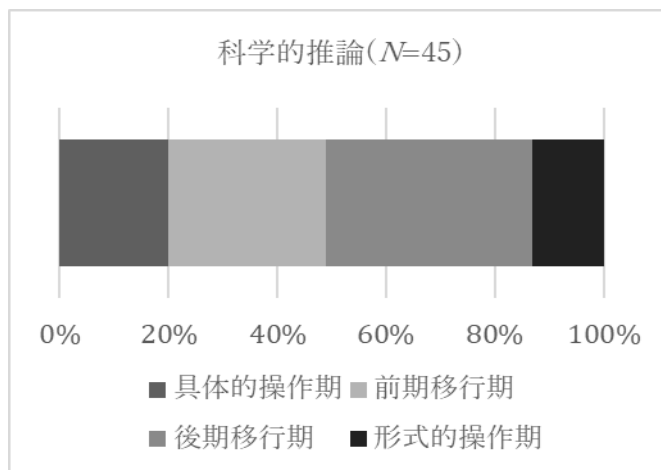


図1 科学的推論

2. 実践

本実践で行った実験は、1回目は斜面上の台車の運動、2回目は力と運動の実験である。実験レポートの結果については、不確かさを定義し、必ず不確かさ、相対的な不確かさを記載するように伝えた。提出されたレポートを見てみると、不確かさに関する記述は全体の約5割にとどまった。記述の内容を分類したところ、大きく3種類に分けられた。1つ目は条件によって不確かさを比較したものであり、2つ目は条件全体の不確かさについて考察したものであり、3つ目は不確かさ一般についての考察であった。これらの記述を科学的推論能力で分けてみると、一般の考察は後期移行期以降の生徒に見られた。このことは、一般的な考え方は科学的推論能力が高くない生徒にとっては難しい概念であると考えられる。

講演では、形成的評価として、実験後に実際の測定回数とその理由と、物理測定概念の評価として行った「物理測定に関する質問紙調査(Physics Measurement Questionnaire (PMQ))[3]」のプレポスト結果について報告するとともに、指導方法についても言及する。

参考文献

- [1] 生きるための知識と技能6, 国立教育政策研究所, 明石書店(2016)
- [2] L. E. Lawson, J. Res. Sci. Teach, 15, 11 (1978)
- [3] A. Buffler, S. Allie and F. Lubben, Int. J. Sci. Educ. 23, 1137 (2001)

理数探究における強磁場発生装置の開発

^A柴田樹, ^B鈴木駿一郎

^A北杜市立甲陵高等学校, ^B山梨県立塩山高等学校

i-shibata@koryoys.onmicrosoft.com

1. 背景

磁場を発生させるには、永久磁石を用いて発生させる方法とコイルに電流を流す方法があることが知られている。前者は永久磁石を構成する材料によって制限され、磁場の強さも数テスラ程度が上限である。それに対して後者は、磁場の強さを任意に制御させることができ、方法によっては永久磁石よりも強い磁場をつくることのできる[1]。

電流を流して強磁場を発生させる方法の中にも、直流電流を流し続けて発生させる定常強磁場と、何らかの装置にエネルギーを蓄えておいて、それをコイルに一気に放出して発生させるパルス強磁場がある[1]。定常磁場で 20 T の磁場を発生させるのには 600 万ワット以上の電力が必要であり、実験室で発生させることは困難である[1]。しかしパルス磁場であれば 40 T 程度の磁場であれば比較的簡単に発生させることができる。そこで、高等学校理数探究の授業の中でパルス強磁場発生装置の開発を行った。

2. パルス強磁場発生装置の開発

限られた授業時間内で作成しなければならないことや予算の観点から、大がかりな装置ではなく、安価、かつ家庭用電源で稼働する小型パルスマグネットシステムの構築を試みた。

小型パルスマグネットシステムの簡易的な回路図を図 1 に示す。なお、本装置は信州大学で製作されたもの[2]を一部改良して製作した。

パルス強磁場を発生させるにあたって、まず家庭用電源 100 V を昇圧機で 400 V (最大値) に昇圧する。次にダイオードで交流を直流に変換し、大容量コンデンサーに充電する。充電が完了したのち、コンデンサーを放電することでコイルにパルス電流が流れ、瞬間的に大きな磁場を生み出すことができる。

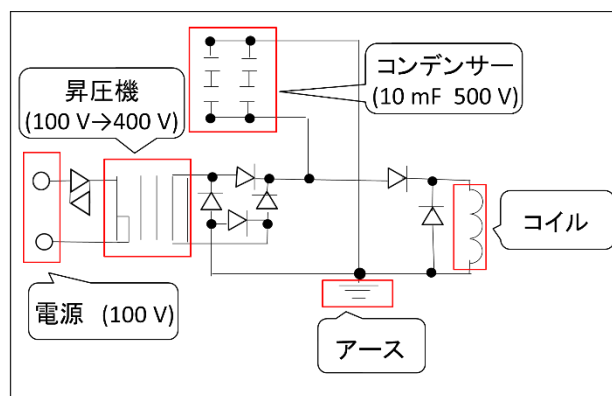


図 1 小型パルスマグネットシステムの回路図

3. 理数探究における利用例

3. 1 小型パルスマグネットシステムの構築 (2022 年度)

2022 年度の高校 2 年生を対象とした理数探究の時間 (90 分週 1 コマ) において、生徒 6 名 1 グループで小型パルスマグネットシステムの構築を行った[3]。永久磁石では作るのが困難である磁束密度約 10 T の磁場をつくることを目標とした。

信州大学から借用したモデル機[2]をもとに、一から装置の組み立てを行った。実際に組み立てた装置を図 2 に示す。

コイルの両端にかかる電圧を測定した結果から、およそ 1 ms の間にパルス磁場が発生していたことがわかった。

また、コイルの形状から求めたコイルのインダクタンスや、コンデンサーの電気容量、抵抗値、電源電圧から理論値を計算すると、本装置では 7.74 T のパルス強磁場を発生させることができることがわかった。

一方で、本装置に発生する大きな電流や強磁場を、瞬間的に測定する方法を確立するまでには至らなかった。

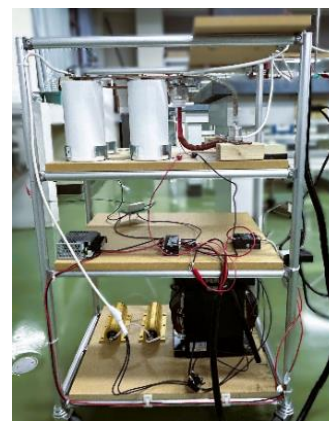


図 2 製作した小型パルスマグネットシステム

3. 2 コイルガンの射出最適条件 (2023 年度)

2022 年度に作成した小型パルスマグネットシステムを用いて、高校 3 年生 1 名が、理数探究の時間でコイルガンの射出最適条件を調べる研究を行った[4]。

コイルガンとはコイル内に発生した磁場で弾丸を加速させ、対象物に発射するものである。コイルの中に磁性体の弾丸をいれて電流を流すと、コイルが磁気を帯びるため弾丸は中央方向に吸引される。実際に、小型パルスマグネットシステムのコイル内に鉄くぎを置き、充放電させると、コイル内の鉄くぎが勢いよくコイルの外に飛び出すことがわかった。

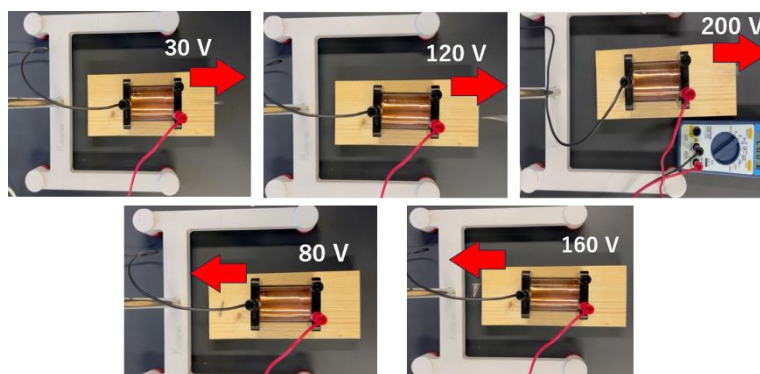


図 3 電圧ごとのコイルガンの射出方向

また、小型パルスマグネットシステムにかかる電圧を変化させると、鉄くぎが飛び出る方向が変化することがわかった。電圧を変化させたときの、鉄くぎが飛び出る方向（矢印の向き）を、図 3 に示す。これは、電圧を変化させることによって、コイルに流れる電流の大きさ、通電時間が変化し、鉄くぎがコイル内を往復する回数が変わるためである。

このように、コイル内に鉄くぎを置いてパルス磁場を発生させるだけでは、鉄くぎはコイルの中で往復してしまう。コイルガンのエネルギー効率をより上げるためには、通電時間を短くして往復の回数を減らしたり、コイルの長さを調整したりする必要があることが示唆された。

参考文献

- [1] 本河光博, 強い磁場をつくる, 岩波書店 (2002) .
- [2] A. Hamasaki and S. Ozeki, "Construction of a Pulsed-Magnetic System for On-Site Use: Application to Liposomes for Biological Membrane Modeling," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 52, no. 7, pp. 1-4, July 2016
- [3] 雨宮巧真, 鈴木駿一郎 他, 小型パルスマグネットシステムの構築, 甲陵高校課題研究予稿集 (2022) .
- [4] 鮫田明空, 柴田樹, 小型パルスマグネットシステムの構築とコイルガンの射出の最適条件, 甲陵高校課題研究予稿集 (2023) .

理科に対するイメージ調査 4分野別アンケート

^A岸川浩大, ^B林壮一

^A福岡大学大学院理学研究科応用物理専攻, ^B福岡大学理学部

^Akishikou56@gmail.com

1. はじめに

現在、日本では「理科離れ」が進行しており、理系に進学する学生が減少している。2018年に行われた全国学力・学習状況調査では中学生を中心に「理科離れ」が鮮明になっているといわれている。また2019年に行われた国際数学・理科教育動向調査(TIMSS2019) [1]では、「理科の勉強は楽しい」という質問に対し理科の勉強は楽しいと答えた生徒の割合が、国際平均が81%に対し、日本の中学生の平均は70%と国際平均を下回った結果が出ている。

分野別に注目してみると、2021年に行われたwebアンケート [2]の結果で『高校生が「好きな教科/科目」は?』では、男子高校生で6位に化学、10位に生物。女子高校生で7位に生物がランクインしているのに対し、『高校生が「苦手な教科/科目」は?』では、男子高校生で5位に物理、7位に化学9位に生物。女子高校生で3位に物理、4位に化学、9位に生物がランクインしている。化学と生物は好きな教科/科目と苦手な教科/科目どちらにもランクインしているが、物理は苦手な教科/科目の男女ともにどちらも上位にランクインしており、物理を苦手だと感じている学生が多いことが読み取れる。

2022年に私が大学生を対象とした調査「大学生の物理に対する認識の調査と考察」[3]によると、その結果「理科が好きですか?」という問いに対し学生は文系で約54%、理系では約90%の学生が好きだと答えているのに対し、「物理は好きかですか?」という問いに対し文系は約30%、理系では約56%と理科が好きかの問いに対して、物理が好きかという問いは、大幅に好きだと答えている学生が少なくなっていることがわかる。

これらの結果から、中学生で理科への関心の低下が始まり、特に高校生以降では物理への関心がさらに低下していることが予想される。よって、本調査では中学生を対象に理科の物理、化学、生物、地学の4分野ごとのイメージ調査を行い、物理とそれ以外の分野のイメージについて調査する。さらに高校生以降で物理を嫌いだと感じる生徒が多くなる理由についても考察する。

2. 調査方法

2.1 調査対象者と調査時期

調査用のアンケート(図1)を作成し、福岡県内の公立中学校1~3年生の生徒を対象として、2024年7月中旬に実施した。3学年ともに4クラス編成されており1クラス30~37名の生徒で構成されている。

理科4分野認識調査
福岡大学 理学研究科 応用物理専攻 2年 岸川 浩大

現在大学院にて、理科の認識についての調査を行っています。この研究を行うにあたり、中学生を対象にアンケートを実施しております。
ご回答して頂いた結果は、学芸発表での論文や修士論文などにしゆする場合があります。それ以外の用途で使用することはありません。学校の成績にも入られません。
ご協力いただけない場合は、白紙のままご返してください。

3. 理科は好きですか。5段階評価で教えてください
好き |—————| 嫌い
5 | 4 | 3 | 2 | 1

4. 物理、化学、生物、地学それぞれで思いつく言葉を書いてください
(出来るだけたくさん)

1. 学生と性別を教えてください。
学年: 1年生 性別: 男性
2年生 女性
3年生 答えたくない
その他()

2. 物理、化学、生物、地学をそれぞれ説明してください

物理

化学

生物

地学

物理

化学

生物

地学

ご協力ありがとうございました。

図1

回収されたアンケート用紙は1年生105名分、2年生120名分、3年

生114名分であった。

2.2 調査方法

アンケートは、理科の授業内で実施した。筆者はその中学校で非常勤講師を務めており、2年生の3クラスを担当している。筆者が担当していない他のクラスでは、他の理科教員の協力を得てアンケートを行った。アンケート実施の際、生徒同士の会話を禁止し、アンケート終了後には他のクラスの生徒にアンケート内容や実施したことについて話さないように強く伝えた。また、同学年内で実施日程を統一した。回答時間は10分間で行った。

なお、あったので、用紙の左上の空欄に氏名を書くように指示した。

図 2

3. 調査結果

生徒が回答したアンケート用紙の1例を図2に示す。個人の特定があるため、生徒の氏名等は隠している。

アンケートの結果と考察は、発表当日に行う。

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所, 国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS2019) I E A 国際数学・理科動向調査
<https://www.nier.go.jp/timss/2019/point.pdf>
- [2] LINE リサーチ, 「高校生の好きな科目、苦手な科目は?」, 2021年9月7日,
<https://lineresearch-platform.blog.jp/archives/38598170.html>, (参照 2024-7-9)
- [3] 岸川浩大, 林壮一「大学生の物理に対する認識の調査と考察」九州の物理教育, Vol18, 19-22 (2023)

物理学における多様な表現の好みと概念理解の関係

A 高野勇太, B 尾崎龍之介, C 長谷川大和, A,D 中村豊, A,D 興治文字

A 東京理科大学大学院理学研究科科学教育専攻, B 東京学館浦安高等学校,

C 東京工業大学附属科学技術高等学校, D 東京理科大学教育支援機構教職教育センター

1723510@ed.tus.ac.jp

1. 研究背景および目的

物理学では、言葉、方程式、数値の表、グラフ、図表など、多様な表現が用いられており¹⁾、多様な表現に関する学習者の理解についての研究²⁾は昨今注目を集めている。

本研究では、物理学の学習者がどのような表現形式で問題をとらえることが好ましいと考えているのか、高校生と理系に進学した大学生を対象に違いや傾向が見られるかについて調査することにした。さらに、これらの表現形式の好みは物理概念の理解が深まるとある一定の表現形式に偏る傾向がみられるのかについて明らかにすることとした。

2. 研究方法

表 1 に示したように、理工系大学 1 年生および複数の高等学校の生徒を調査対象者とした。調査時期は 2024 年 4 月であり、理工系大学では微分積分学を用いる入門物理学の、高等学校では物理基礎または物理の初回授業にて実施した。調査は、質問紙調査と概念理解を問う多肢選択式の問題で実施した。以降、調査対象者の群については表 1 中の略称にて表記する。

まず、物理の問題を解くときの表現形式の好みについて、「文章のみでの表現」「グラフでの表現」「式での表現」「運動図（ストロボ写真）での表現」（以降、単に文章、グラフ、式、運動図とする）の 4 つの順番とその理由を聞いた。

次に、調査対象者の物理概念の理解度を測る指標として、14 問からなる力学の問題を解いてもらった。問題は、Han ら(2015)によって作成された Half-length Force Concept Inventory (HFCD)の問題 B³⁾を、一部改変して作成した。和訳は、石本ら(2011)による FCI の和訳問題⁴⁾を基に作成した。

3. 研究結果および考察

3.1 表現形式の好みの分布

表現形式の好み（1 番目、つまり最も好み）の調査結果について、群ごとの分布を図 1 に示す。群と表現形式の好み（1 番目）について、カイ二乗検定を行った。ただし、調査対象者数が十分多い、大 1 数(物)、大 1 理(物)、高 2 理の 3 群のみを分析の対象とし、他群は除外した。その結果、各群の表現形式の好み（1 番目）の比率差は 1%水準で優位で

表 1 調査対象者

校種・学年・文理など	物理の履修歴	群略称	n
理工系大学数学系学科 1 年	物理まで	大 1 数(物)	n=79
理工系大学理系学科 1 年	物理まで	大 1 理(物)	n=104
理工系大学理系学科 1 年	物基まで	大 1 理(基)	n=24
A 高校 3 年理系	物基まで	高 3 理	n=12
A 高校 2 年理系	未履修	高 2 理	n=65
A 高校 2 年文系	未履修	高 2 文	n=27
B 高校 1 年	未履修	高 1	n=40

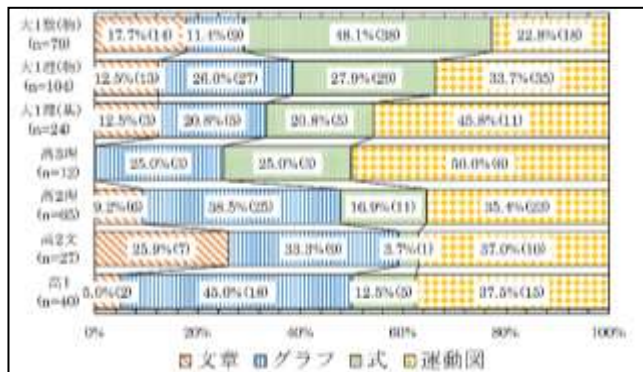


図 1 表現形式の好み（1 番目）の分布

あった ($\chi^2_{(6)} = 26.90, p < .01$)。よって、少なくともこれら 3 群の間では、表現形式の好みの傾向に有意な差があるといえる。

3.2 表現形式の好みを選択した理由

表現形式の好みを選択した理由を分析した。調査対象者ごとの考え方の違いが垣間見えるが、普通の授業などでどのような表現に触れているか、物理に対してどのようなイメージを持っているかなどが伺える。また、表現形式の好み (4 番目、つまり最も好まない) に運動図を選択した者 82 名のうち 16 名が、「運動図は見たことない」、「慣れていない」、「運動図を使った問題をあまりやってきていない」などと記述している。このような記述は大学生にも高校生にも見られた。一方で、中学校の教科書でよく使われていて見慣れているという記述もある。この点から、理科や物理をどのように学習してきたかについても表現形式の好みに影響していると示唆された。

3.3 力学の概念調査問題の得点について

力学の概念調査問題 (14 点満点) の得点について、大 1 数(物)($n = 79$)と大 1 理(物)($n = 104$)の 2 群のみの結果を図 2 に抜粋した。各群の平均点を棒グラフの一番左に示し、右側に表現形式の好み (1 番目) ごとの平均点を示した。表現形式の好み (1 番目) で選んだ 4 つの表現形式について、力学の概念調査問題の得点に対応なしの一元配置分析で群ごとに比較した。その結果として、どの群についても有意な差は見られなかった。従って、どの群についても表現形式の好み (1 番目) は、物理概念の理解度に有意な影響を与えないことがわかった。

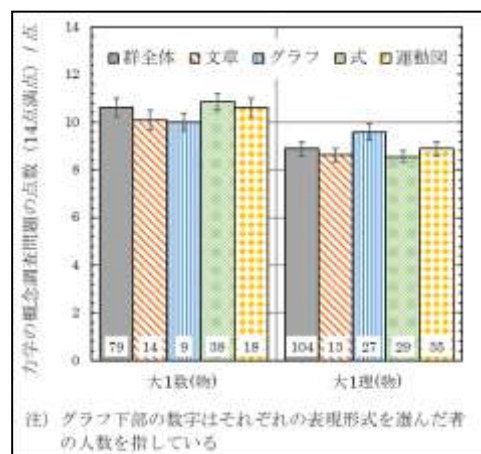


図 2 表現形式の好み (1 番目) ごとの力学の概念調査問題の得点 (抜粋)

4. まとめと今後の展望

本研究では、物理の問題を解くときの表現形式の好みに焦点を当て、2024 年 4 月に理工系大学 1 年生および複数の高等学校の生徒を対象に調査を実施した。

表現形式の好みについては、初学者の高校生と理系を選択した大学生とで傾向が異なることがわかった。また、普段の学習でどのような表現に触れているかが好みに影響することが示唆された。このように学習者には表現の好みがあり、集団の属性に応じて異なることがわかった。

表現形式の好みと物理概念の理解度については有意な差は見られなかった。今回の調査では、大 1 数(物)、大 1 理(物)については十分なサンプルサイズとなっている。その一方で、その他の群ではサンプルサイズが小さく、調査の規模が大きくなれば、結果も変化しうると考える。

なお、今回はそれぞれの授業の初回で調査を行ったが、授業をある程度進めてから調査を行うと好みが変わるとも考えられる。また、表現形式の選択肢や「好み」という聞き方など、調査の項目を修正することでも得られる結果が変わると考えられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24K06392 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) エドワード・F・レディッシュ著、日本物理教育学会監訳:『科学をどう教えるか』(丸善出版) (2012)。
- 2) たとえば、Kohl, P. B., Finkelstein, N. D. : Phys. Rev. ST PER 1, (2005) 010104.
- 3) J. Han, et al. : Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 11 (1), (2015)010112.
- 4) 石本美智ほか: Force Concept Inventory の日本語訳 (第 2 版), (2011) .

システム概念と集合による物理学の分類

^A石黒亮輔

日本女子大学理学部数物情報科学科

ishiguror@fc.jwu.ac.jp

1. 背景

本発表では、数学的背景と物理学の手法から物理学や物理概念を分類し、物理の学習のためのより良いカリキュラム構成の可能性について議論する。

物理学における各分野や物理概念は、一般にそれぞれの分野の歴史や形成過程における研究手法などによってまとめられており、菅野らはさらにそれらを「時空記述の分野」「状態記述の分野」「統一記述の分野」の3系列にまとめそれらの相互間の関係について詳細な考察を加えた[1]。この考察はそれぞれの分野の歴史的背景や意義を再確認し、その観点から物理学全体を俯瞰するためには有意義な議論であるが、物理学全体を把握して初めて物理学の対象が俯瞰できるため初学者には難しい。

教育上その学問の対象が学習の初期から明示出来ないことは問題である。高校物理の範囲では物体や物質、また、音、光、波、熱、電気や磁気に関する性質、原子や素粒子などの分野が物理の対象とされているが、それらに共通する普遍的性質は自明ではなく、また物理学の対象と非対象を区別する確な言葉もあまり見当たらない。この状況では学習者の「そもそも物理学とは何なのか？」という自然な疑問に答えることも出来ない。

本発表では、システム概念を定義し、数学における集合論と測度論を基礎とした熱力学的考察により物理学の対象が「可測集合」と言えることを示し、この観点から物理が自然を記述する手法が「測度の物理」と「場の物理」と呼ぶ2つに分類出来ることを示す。これらによって特に初学者に物理学の対象が何であるかを判断するフレームワークやこの観点に沿ったカリキュラム構成の可能性を示す。

2. システム（系）概念の定義

物理学に限らず、さまざまな分野で「システム」という概念が使われる。このため、誰もが納得する形でシステムを定義するのは難しいが、ここでは、ほとんどすべてのシステム概念に共通する性質である{要素, 要素の集合, 要素間の関係}の三つの組によってシステムを定義する。

3. 物理学の対象としての可測集合

システムを{要素, 要素の集合, 要素間の関係}と定義すると、「考察の対象とする宇宙の一部」はシステムとして分類するより、ある「集合」とする考える方が限定のないより包括的な表現になる。集合記号を用いて表現すると、過去から未来を含む宇宙のすべてを含む集合を Ω とおく。物理学に限らず考察の対象 A はすべて Ω の部分集合であるため

$$A \subset \Omega$$

となる。ただし、一般に言われる物理学の対象としての「考察の対象とする宇宙の一部」は、集合 Ω から無制限に選ばれた部分集合ではないため、ここでは添え字を付けた集合 A_i を物理学の対象とする。物理学の対象 A_i のすべてが満たす性質はある一定の時間連続して存在することである。そうすると自然にある時刻 t の対象 A_i と言う概念が発生し、これを対象 A_i の状態 $A_{i,t}$ と定義する。この状

態 $A_{i,t}$ は対象 A_i の部分集合に対応するため

$$A_{i,t} \subset A_i$$

$$A_i := \{A_{i,t} | t \in \{\mathbb{R}, \mathbb{T}\}\}$$

と表せる。ここで、 $A_i := \{A_{i,t} | t \in \{\mathbb{R}, \mathbb{T}\}\}$ は時間の次元 T を持った実数全体の集合 \mathbb{R} の要素としてのすべての時刻 t にたいする $A_{i,t}$ の集合が A_i という意味である。さらに物理学の対象 A_i はかならず実数と単位によって表されるエネルギー E という性質を持つ。集合 A_i と E の関係は集合 A_i から実数と単位への写像（関数）として表現出来る。対象 A_i のエネルギーは時刻 t における状態量であるため

$$E_{i,t} = E_t(A_{i,t}) = E_t(A_i) \in \{\mathbb{R}, \text{エネルギーの次元}\}$$

となる。さらにこのエネルギー関数 E_t を物理学の2つの対象 A_i, A_j に用いると

$$E_t(A_i \cup A_j) = E_t(A_i) + E_t(A_j)$$

という加法性を満たす。この性質は E_t が「測度」であることを保証する。数学的には測度が定義される集合 A_i は「可測集合」である。つまり、物理学の対象は「可測集合」と言える。

4. 自然を捉える2つの手法による物理学の分類

物理学の対象 A_i を可測集合として捉えると、 A_i の測度 $X(A_i)$ が数学的に裏打ちされた物理学を記述するための基本量と考えられる。このような物理量は、質量、体積、物質量、エントロピー等の熱力学において示量性状態量と呼ばれる量であり、さらには重心の運動量 \mathbf{p}_i 、質量で重み付けされた重心の位置 $m_i \mathbf{r}_i$ も加法性を満たす（ベクトル）測度である。熱力学は示量性状態量（測度）のみで完全な熱力学関数を表現出来ることを主張し、また力学は $\{\mathbf{r}_i, \mathbf{p}_i\}$ の組とハミルトン方程式で記述される。このため、この手法による物理を「測度の物理」として分類する。一般に力学は複数の物体を扱い、熱力学も複数の対象間の法則であるため、測度の物理システムの要素は集合 A_i 、要素の集合は関連するすべての対象の集合 $\{A_1, \dots, A_n\}$ 、物理法則はその測度 $X(A_i)$ で記述されると捉えることが出来る。この観点から考えると力学はあるがままの自然である対象 A_i の一部の測度のみを扱う記述ということが分かる。

物理学が自然を捉えるのもう一つの手法は、対象 A_i を測度ではなく時空座標 (\mathbf{r}, t) できまる場 $\mathbf{a}(\mathbf{r}, t)$ の集合つまり、

$$A_i := \{\mathbf{a}(\mathbf{r}, t) | t \in \{\mathbb{R}, \mathbb{T}\}, \mathbf{r} \in \{\mathbb{R}^3, \mathbb{L}^3\}\}$$

と記述する方法である。ここでいう場 $\mathbf{a}(\mathbf{r}, t)$ の例は波の振幅、電場、磁場、波動関数などである。この場で記述される物理の手法を「場の物理」と分類する。場の物理システムの要素は場 $\mathbf{a}(\mathbf{r}, t)$ であり、その集合 A_i が要素の集合、物理法則は波動方程式、拡散方程式やマクスウェル方程式など場の関係式で表される。

このように数学的に明確な可測集合を物理学の対象として認識し物理学と物理概念を数学的に整理したうえで物理教育を提示することは、初学者にとって有用であろう。また物理概念の中でも、加法性を満たす対象 A_i の測度 $X(A_i)$ は、いわゆる「存在」という概念に関連するだろう。抽象的で見えないと言われがちな物理概念を、実体として存在するものとしての測度をから捉え直すことは教育上有用だと考えられる。

参考文献

[1] 菅野 礼司, 南原 律子 (2014) : 物理学の理論構成 : 各分野の論理と相互関係について, 物理教育, 62, 258-269.

高校物理における JiTT 事前課題作成のためのチェックリストの開発

^{A,B}落合道夫, ^B久保田真一郎, ^B中野裕司

^A福岡女学院中学校・高等学校, ^B熊本大学 半導体・デジタル研究教育機構

mochiai@fukujo.ac.jp

1. はじめに

JiTT (Just in Time Teaching) は、本学会が監訳した『科学をどう教えるか』[1]において講義を基本とする授業方法の一つとして「ピア・インストラクションとコンセプテスト」「相互作用型の演示実験講義 (ILD)」とともに紹介されている。また、米国の教育工学の最新の教科書[2]では反転授業などとともに取り上げられている。JiTT は米国の物理教育から始まったが、現在では多くの国において物理学以外のさまざまな学問分野でも広く用いられている。

2. JiTT の方法

JiTT は図 1 に示す「フィードバックループ」に従って行われる。指導者は授業の数日前に Web 上の LMS(Learning Management System)に授業前学習課題 (以降「事前課題」と呼ぶ) を出題する。学習者は締切までに回答を LMS に提出し、指導者はこれを分析して授業に臨む。授業では、学習者の回答に基づくフィードバックと生徒同士のグループ討論が中心となる。授業の最後には指導者が設定した授業内コンテンツを通じて、事前課題が解決される。

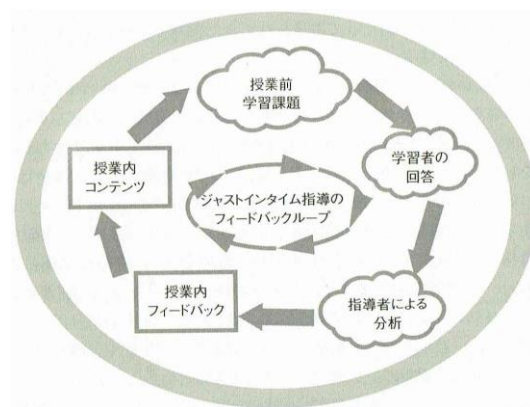


図 1 JiTT のフィードバックループ
(参考文献 2 より引用)

3. 事前課題の例

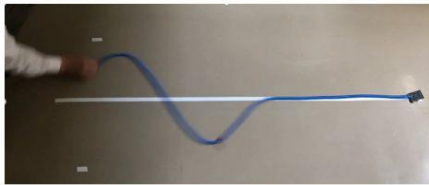
第一筆者は 2022 および 2023 年度に、高校 1 年生対象の必修科目「物理基礎」の年間全授業を JiTT を用いて実施した。その詳細と効果については報告済みである [3][4][5]。実践を通して明らかになったのは、JiTT を効果的に機能させる上で事前課題の内容、質、および出題方法が最重要だということである。筆者が作成した事前課題の例を図 2 に示す。通常、50 分の授業で約 3 題の事前課題を出題する。

事前課題 Just in Time Teaching

下の動画では、床に置いたプラスチックパネの一端を固定し、他端を手で振動させて波を生じさせています。まず動画を再生してみてください。

この動画では手を振動させる周期は約0.6秒でした。では、それを2倍の1.2秒にしたときに生じる波の波長はどうなりますか。ア〜ウから選びなさい。理由も記しなさい。

ア. 長くなる イ. 短くなる ウ. 変わらない



(答はア)

図 2 事前課題の例

4. 事前課題作成のためのチェックリストの開発

JiTT を実践するに際し、効果的な事前課題を作成し出題できるよう 16 項目からなるチェックリストを開発した (表 1)。チェック項目に「はい」が多い事前課題ほど効果的だと考えられる。

開発にあたっては、参考文献[2]に挙げられている事前課題に関する諸原理や、米国 National Science Digital Library の Web サイト[6]に掲載されている JiTT の設計・実施に関する注意点を参考にした。また、鈴木[7]の教材開発方法を応用し、2 名の教育工学専門家と 5 名の物理教育専門家の評価を受けた後、必要な改善を行って完成させた。

表1 JiTT 事前課題作成のためのチェックリスト

本チェックリストはジャストインタイムティーチング(Just in Time Teaching: JiTT)の事前課題を作成する人が、自分の事前課題がどのように作られているか、その形式や内容は適切なものであるかを確認するためのものです。JiTTのこれまでの実践から得られた知見を基にして、教育工学におけるチェックリスト開発の方法に基づいて開発しました。これを用いると、作られた事前課題がどの程度適正であるかを明確にすることができます。

このチェックリストは日本の高校物理の授業での活用を念頭に置いて作成されていますが、他の教育機関の他の教科・科目においても利用可能なものであると考えています。以下の質問に順に回答してください。

■事前課題の形式

1. 1回の事前課題は4題以内である。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
2. 事前課題は短く、扱い易いものである。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
3. 1回の事前課題は15～30分程度で答えられるものである。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
4. 事前課題が複数題ある場合、それらは意図を持って配列されている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ <input type="checkbox"/> 該当しない
5. 必要な場合、学習手順を導くようなワークシートやその完成事例が提供されている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ <input type="checkbox"/> 該当しない

■事前課題の回答様式

6. 事前課題の回答は、自分の言葉で説明するようになっている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
7. 選択肢で回答する事前課題では、どうしてその回答を選んだかを尋ねている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ <input type="checkbox"/> 該当しない

■事前課題の内容

8. 事前課題は学習目標から逆算して考えられており、学習目標に直結した内容になっている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
9. 事前課題の内容は真正な課題(日常的な文脈に置かれた現実性の高いもの)になっている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
10. 事前課題は学習者に専門用語を示す内容になっている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
11. 事前課題は調べただけで回答できる内容ではなく、生徒が自ら考えることによって初めて回答できる内容になっている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
12. 事前課題は学習者に既有知識と経験を思い出させる内容になっている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
13. 事前課題は学習者の前概念/誤概念を予測して作成されている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
14. 事前課題は生徒の能動性を引き出すことを意図して作成されている。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
15. 事前課題はブルームのタキソミーの6分類 ^(注) のいずれかを問うものになっている(複数可)。①知識 ②理解 ③応用 ④分析 ⑤統合 ⑥評価	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ 「はい」の場合その番号()

■事前課題の作成について

16. 事前課題作成に際して、これまでの回答を分析して難易度、所要時間を調整した。	<input type="checkbox"/> はい <input type="checkbox"/> いいえ
---	--

(注)ブルームのタキソミーの6分類

6.0	評価	Evaluation	価値や意味を判断する力
5.0	統合(総合)	Synthesis	部分をまとめて新しい全体をつくり出す力
4.0	分析	Analysis	問題の全体的な構造を明らかにする力
3.0	応用	Application	すでに学んだことを新しい課題場面や具体的状況に適用する力
2.0	理解	Comprehension	変形(表現を変えて自分の言葉で答える)、解釈(与えられた情報間の関係を答える)、外挿(示されていない内容を予想して答える)の3つがある
1.0	知識	Knowledge	様々なタイプの知識があるが、いずれも記憶することが求められる性質のもの

参考文献

- [1] E.F.レディッシュ (2012), 日本物理教育学会監訳: 科学をどう教えるか, 丸善出版.
- [2] C.M.ライゲルースほか(2020), 鈴木克明監訳: 学習者中心の教育を実現する インストラクショナルデザイン理論とモデル, 北大路書房.
- [3] 落合道夫, 中野裕司, 2022年日本物理学会年会第38回物理教育研究大会講演予稿集 p.76.
- [4] 落合道夫, 中野裕司, 2023年日本物理学会年会第39回物理教育研究大会講演予稿集 p.61.
- [5] 日本物理学会 物理教育シンポジウム 第14回(2023), <https://www.jps.or.jp/public/edsympo/2024edsympo.php>.
- [6] <https://serc.carleton.edu/sp/library/justintime/index.html>
- [7] 鈴木克明(2002): 教材設計マニュアル, 北大路書房.

授業づくりの会による高校物理電磁気分野の授業検討および概念調査の実施

^A今井章人, ^B伊藤慧, ^C稲垣惇史, ^D北岡和樹,

^E柴田樹, ^F西村墨太, ^G平野祐希子, ^H山本岳

^A早稲田中学校・高等学校, ^B明治大学附属明治高等学校・中学校,

^C広島県立府中高等学校, ^D高知県立高知国際高等学校, ^E北杜市立甲陵高等学校,

^F東京学芸大学附属高等学校, ^G筑波大学附属視覚特別支援学校,

^H新潟県立長岡大手高等学校

aimaime117@gmail.com

1. はじめに

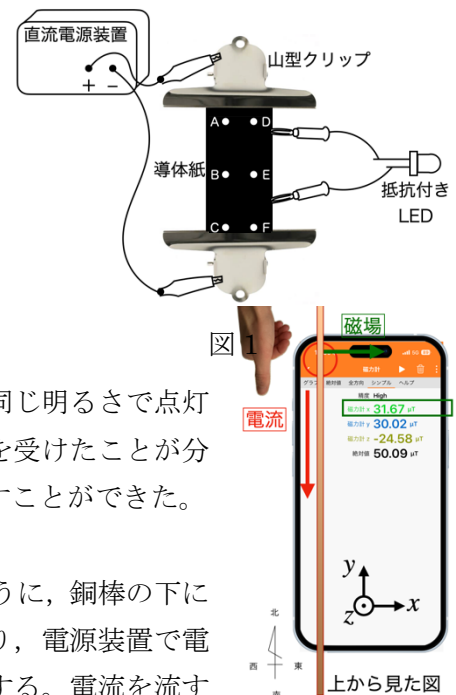
1997年にノースカロライナ州立大学の Lin Ding らによって発表された電磁気学概念調査(BEMA) [1]は, 2014年に土佐によって日本語訳されたものが, Physport[2]にアップロードされている。著者は2018年に高校において BEMA の事前事後調査を実施した[3]。

その調査結果で得られた知見をもとに, PESJ 次世代形成 WG の「授業づくりの会」のメンバーで議論し, 高校物理の電磁気分野の授業計画を立てた。電気分野では, 電位の概念習得を中心に議論し, 新規の実験開発を行い, 実験中心の授業展開を計画した。磁気分野では, 直線電流が作る磁場の定量実験を改良するなど, 電気分野同様に実験中心の授業展開を計画した。授業実践後には, BEMA, 他の電磁気概念調査である CSEM[4], 力学概念指標 (FCI) を実施した。なお, CSEM は授業づくりの会のメンバーで日本語訳したものを使用した。

2. 授業づくりの会における実験開発および改良

2.1 導体紙と LED を用いた静電エネルギーの実験

電位を学習する前に, 静電エネルギーの実験を行うこととした。電気を使って点灯させることでエネルギーを捉えるという点を重要視したためである。図1のように, 導体紙(黒画用紙)を山型クリップではさみ, 電源装置で約10Vの電圧をかける。そこに抵抗付きLEDにリード線をつなぎ, LEDのアノードとカソードにつないだリード線の端子をそれぞれ図のA~F点に当てる。当てる点の組み合わせとLEDの明るさを記録させる。点灯するのは, 電位が高いAやD側にアノードがあるときであり, アノードがCやF側にあるときは点灯しない。AB, AE, BC, BFなどが同じ明るさで点灯することから, 電源(電場)から同じ仕事(エネルギーの移動)を受けたことが分かる。そこから, 2点間の電位差(電圧)が同じであることを示すことができた。



2.2 スマートフォンを利用した電流がつくる磁場の測定

電源装置, 電流計(テスター), 銅棒を直列につなぎ, 図2のように, 銅棒の下にスマートフォンを置く。銅棒からの距離(2cm~8cm)を変えたり, 電源装置で電流(1A~5A)を変えたりして, 磁気センサーで磁束密度を測定する。電流を流す前に, 発生させる(測定する)磁束密度の向き(図2の軸)の値がほぼ0μTになる

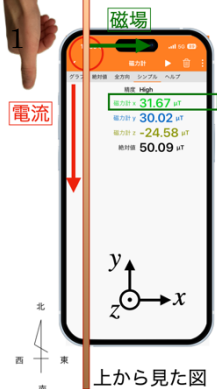


図2

ように向きを調整しておく。電流を流すと、 x 軸の値が変化するので、その値を電流がつくる磁束密度とする。直線電流がつくる磁束密度 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ の関係を、定量的に精度良く確かめることができた。

3. 電磁気概念調査 BEMA, CSEM の結果

事後調査の平均正答率は、BEMA が 0.52, CSEM が 0.59 であった。アメリカの大学生の平均正答率は BEMA が 0.467, CSEM が 0.446 である。単純な比較はできないが、低くはないスコアであると考えられる。ただし、2018 年に著者が実施した BEMA の事後調査は 0.62 であったので、低くなってしまった原因を検証したいと考えている。

正答率の高かった問題は、電流が作る磁場の問題である。スコアが高い順に 5 つの Rank に分け、それぞれの Rank 毎の回答率を示した図（項目特性図）をみると、どの Rank でも高い正答率であることがわかる（図 3 左）。なお、項目特性図の右側（Rank1 側）ほど正答率の高い集団である。正答率が低かった問題は、荷電粒子と磁場の問題である。項目特性図をみると、Rank1 では正答選択肢が最も選択されているものの、どの Rank でも誤答選択肢が多く選択されていることがわかる。電場と磁場の違いが理解できておらず、磁場は「磁石の場」という考えにとどまっていると考えられる。

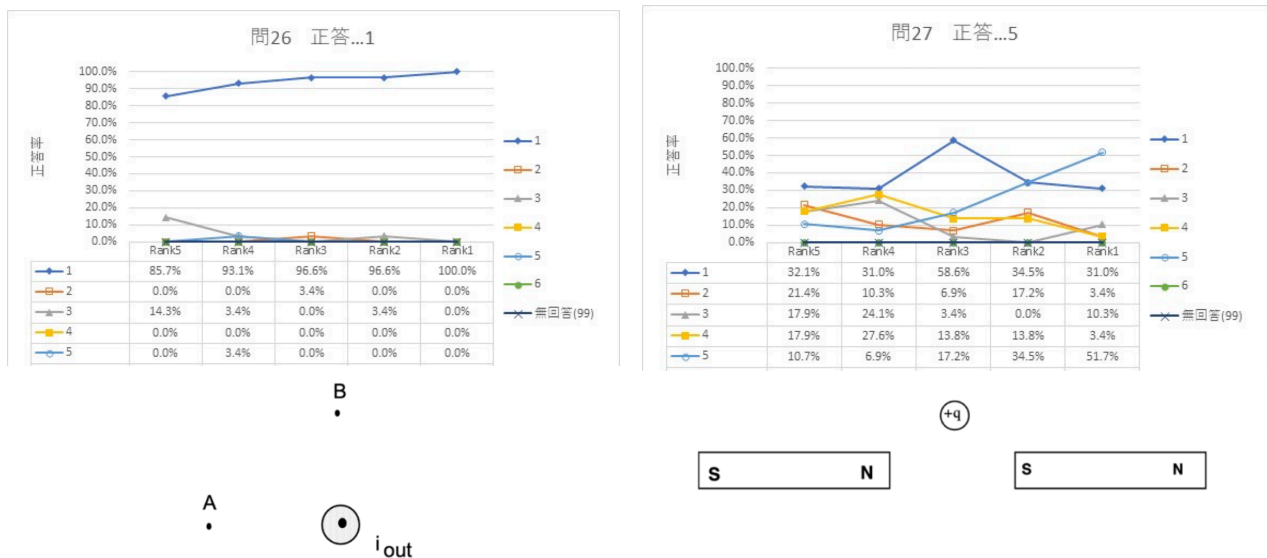


図 3 CSEM の正答率の高い問題（左）と低い問題（右）の項目特性図および問題の図（下）

本研究は日本物理教育学会次世代形成ワーキンググループの企画の 1 つである、授業づくりの会で行ったものである。

参考文献

- [1] L.Ding et al. (2006) : Evaluating an electricity and magnetism assessment tool : Brief electricity and magnetism assessment, Phys.Rev.ST Phys.Educ.Res. 2(1).
- [2] <https://www.physport.org/assessments/> (2024 年 7 月 1 日参照) .
- [3] 今井章人 (2018) : 高校における電磁気学概念調査(BEMA)の実施報告,物理教育通信, 172 号, 38-41.
- [4] D.Maloney et al. (2001) : Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism, Phys.Educ.Res., Am.J.Phys.Suppl. 69(7).

電磁気学の授業研究

^A阿部 敬

^A千葉県立千葉高等学校

Abek1225@gmail.com

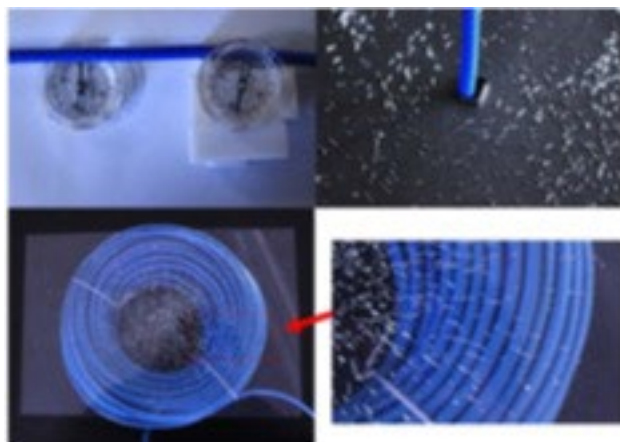
1. はじめに

千葉高校は学校の特色として「重厚な教養主義」をかかげている。「教養」とは何か。最近「教養」がテーマとなっている本やテレビ番組が目につくが、その多くは「常識」や「知識」の方がタイトルに相応しいと感じる。教科書に書かれている原理や説明もそのままでは「知識」であるような気がする。「理論」「実験」「観察」を通して自然現象を理解するのが自然科学という学問だが、知識が自然科学の本質ではないと考えている。

生徒の方も受験勉強で忙しく、どうしても演習や理論・知識の方に重点がおかれがちである。どのように生徒たちを巻き込んで物理の授業を行うのか、その実例として昨年度の3年生の電磁気学(電流と磁場・電磁誘導)の授業の展開を報告する。

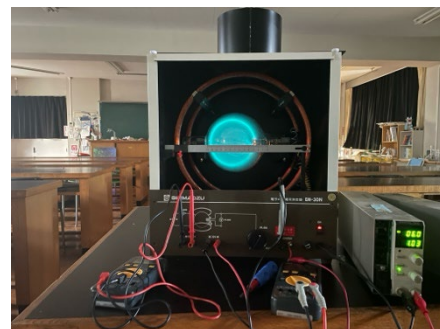
2. 電流と磁場

電流が作る磁場の観察にはナリカのマグチップ(磁界観察用短鉄線)を使用している。小中学校では鉄粉による磁場の観察を行っていない生徒が多い。教科書に写真は載っているが実際には実験していないようだ。ケーブルは杉原氏の「パスカル電線(S-Cable)」[1]が良いが、本校にはないのでLANケーブルとLAN中継コネクタを用いている。普通のLANケーブルの両端をさしこむと、各線が1つずつ隣にズレて接続され8回巻きと同等になる。



平行電流がおよぼし合う力では、細長く切ったアルミホイルを二枚向かい合わせてゆるく固定し、短時間直流の大電流を流す。電源は短絡に強いカーバッテリーを使う。

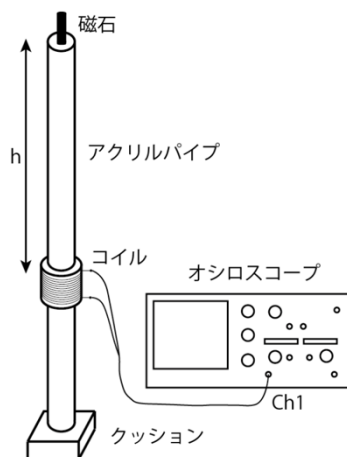
電流が磁場から受ける力はやはりローレンツ力を示したい。最初に硫酸銅水溶液をシャーレに入れ、シャーレの下にドーナツ状のフェライト磁石を置き、中央と外周の電極間に直流電流を通じるとイオンが受けるローレンツ力で水溶液が回転する水流モーターを演



示する。水溶液の動きが見やすいようにチョークの粉を浮かべる。比電荷測定装置が2台あり、クラス単位でも余裕を持って演示をすることができる。比電荷は桁までは導出することができるが、ヘルムホルツコイルの磁束密度の導出は生徒にとっては難しいようだ。

3. 電磁誘導

デジタルオシロスコープで、磁石をコイルの中に落下させる実験を演示する。本校はオシロスコープが10機あるため、班単位での実験を行っている。[3]



4. さいごに

今では様々な参考書や画像が出回っており、簡単に調べることができる。そして調べればなんとなくわかった気になったり、満足してしまう。写真は実験や物理現象のイメージを助けることはできるが、物理ではない。物理は計算でもないし、実験でもない、まして受験でもない。物理は物理であると思う。些細なことでも実験や経験、そして考察(理論)を通して身につけてほしいと思っている。

参考文献

[1] 午後の理科室(パスカル電源), <http://www.eonet.ne.jp/~sugicon/index.html>

[2] 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究機構第27号(2005), 福田敦, ”ケーブルを使った電磁気の実験について”,

<http://www.ricen.hokkaido->

[c.ed.jp/?action=cabinet_action_main_download&block_id=3258&room_id=1&cabinet_id=81&file_id=2591&upload_id=4702LAN,](http://www.ricen.hokkaido-ed.jp/?action=cabinet_action_main_download&block_id=3258&room_id=1&cabinet_id=81&file_id=2591&upload_id=4702LAN)

[3] “電磁誘導の法則の生徒用検証実験”, 三門正吾

https://www.jstage.jst.go.jp/article/pesj/30/2/30_KJ00005894724/_pdf/-char/ja

中学校電気分野でのプログラミング教育による概念変容

^A板橋 克美, ^B嶋崎 稜馬, ^B丸川 和寛
^A崇城大学総合教育センター, ^B呉武田学園武田中学校
itahashi@ed. sojo-u. ac. jp

1. はじめに

自然現象は「原因と結果」により構成されており, それらが積み重なって現象として表れている. 例えば, 電気回路においては, 電圧が抵抗にかかること (原因) により電流が流れる (結果). しかしながら, 生徒たちは電圧をイメージしづらく, 電池が一定の電流源であること (定電流源説) や豆電球で電流が消費される (電流消費説) などの素朴概念を有している[1]. 本研究では, こうした電圧や抵抗, 電流における概念変容に対して, プログラミング教育が有効ではないかと考え, 大学生と中学生を対象としたプログラミング学習を実施した.

2. 理科でのプログラミング教育の在り方

自然現象の「原因と結果」は, プログラムにおける「入力と出力」に対応させることができると考える. つまり, 入力と出力が正しい順序で繰り返し行われることによりプログラムが作動することと, 自然現象の「原因と結果」が積み重なって現象として表れることは1対1対応できると考える. 例えば, 電気回路でのプログラミングでは, 豆電球に導線がつながれた回路に電池を接続する (入力) により, 電位差が生じ (出力→入力), 電子が流れて電流が流れる (出力→入力). このようなプログラミングを行わせることで, プログラミング教育のねらい (プログラミング的思考力の育成と教科の学びをより確実なものにする) [2]を達成したい考えである. ただし, 現行の内容をプログラミングに置き換えるということではなく, 実験を行った上でのプログラミング学習を実施して, 目に見えない自然現象をプログラミングにより明確に捉えるということが必要である. この仮説に基づいて言えば, 現在, 小学校6年生の「電気の利用」を中心に実施されているプログラミング教育は, 自然現象を論理的に説明することが求められる中学校・高等学校の多くの単元において実施するべきであると考え.

3. 電気分野におけるプログラミング教育の実践と効果

第2章での方針に基づき, 大学生と中学生を対象として電気分野において, Scratch を活用したプログラミング教育を実施した. 大学では, 私立 A 大学の教職を目指す2年生23名を対象として2回にわたり令和5年11月に実施した. 中学校では, 私立 B 中学校の2年生を対象に, 令和5年9月から12月の3か月にわたり, 複数回実施した. 中学校での実践の報告は文献[3]に譲り, ここでは, 大学生を対象とした実践について述べる. 学生たちは Scratch に慣れていないため, 1回目に, 概念調査 (プレ), Scratch での基本動作説明やゲームの作成をさせた. 2回目は, 単純回路 (抵抗1つに電池1つを接続した回路), 直列回路, 並列回路の明るさの順番について考える, というテーマで授業を行った. まず, この3つの回路の明るい順を予想させ, 電圧とは何か, オームの法則について復習した. その後, Scratch での単純回路についてのプログラミングを行わせた. ここでは, 図に示すように, 電池を置くことにより電位差が生じる (背景を変える), 電圧の値を設定して電流が流れる, 電力の大きさを計算させて豆電球が光る (明るい豆電球を最前面に置く) といったプ

プログラミングを行わせた。その後、3つの回路で豆電球を光らせ、直列・並列回路での電圧と合成抵抗について復習して、直列・並列回路でのプログラミングを宿題とした。なお、すべてを1から作成するのは不可能なので、必要なブロックを用意しているファイルを渡して、ブロックの順番を考えさせるようにした。

概念調査は Electric Circuits Conceptual Evaluation (ECCE) [4]の内、今回の学習内容に関する前半14問を15分で回答させた。

また、概念調査(ポスト)は1週間後に実施した。回答があった18名の平均ゲインは0.156となった。この内、問4:単純回路と並列回路の豆電球の明るさの比較、問7:単純回路と直列回路の電圧値の比較、問8:単純回路と直列回路の豆電球の明るさの比較、の問題に対するゲイン値が0.4を超えていた。問4と問8については、実験を見たことによる成果だと考えられるが、問7については、プログラミング学習による成果であると考えられる。その理由は、この問を正答できていた学生は宿題の直列・並列回路のプログラムを正しい順序で組むことができていたためである。故に、プログラミング学習において、現象とともに「原因と結果」の見方を働かせながら、電圧概念を正しく構築することができたと言える。

また、中学生を対象とした ECCE (電圧の概念が含まれるため、ポストのみを同年の1月に実施)では、プログラミング教育を実施した実験群 ($N = 27$) と実施しなかった統制群 ($N = 24$) で有意差検定を行ったところ、有意水準 5% で有意な差があることが分かった。すなわち、電気回路概念の変容に対して、プログラミング学習が資する可能性がある。これは力学概念に対するプログラミング教育による実践[5]とも一致する。

4. おわりに

本稿の詳しい内容については講演にて発表する。なお、本研究ではプログラミング教育に伴うプログラミング的思考力の育成は科学的推論力の育成にも資すると考えている。それについては文献[3]を参照されたい。

参考文献

- [1] 谷口一成 (2017) 「相互作用型演示実験講義 (ILDs) の展開と課題」物理教育, 第 65 巻, 第 3 号, 170-175 など
- [2] 文部科学 (2020) 「小学校プログラミング教育の手引 (第三版)」
https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf (Retrieved 2023.1.28)
- [3] 板橋克美 (2024) 「中学生を対象とした電気分野におけるプログラミング教育の実践」日本科学教育学会第48回年会論文集
- [4] D R. Sokoloff Teaching Electric Circuit Concepts Using Microcomputer-Based Current/Voltage Probes
NATO Advanced Research Workshop on Microcomputer-Based Laboratories Part of the NATO ASI Series series
- [4] O. Akist and Eric N. Wiebe 2020 Exploring Force and Motion Concepts in Middle Grades Using Computational Modeling: a Classroom Intervention Study Journal of Science Education and Technology 29 65-82

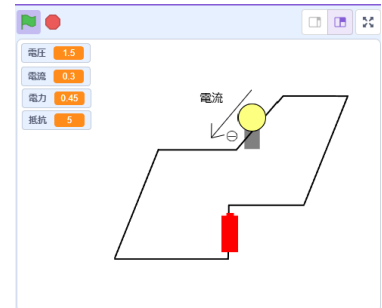
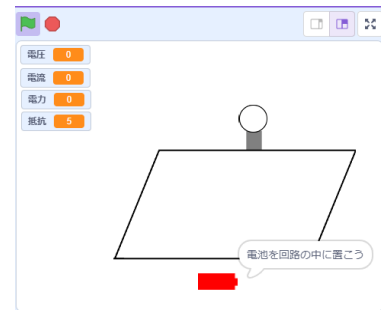


図 Scratch のステージ (出力画面) 上: 電池を置く前, 下: 電池を置いた後

気圧アナロジーを用いた電圧指導

^A山田吉英, ^A小林和雄, ^B五十嵐一梅
^A福井大学教育学部, ^B福井大学教育学部生
 yamada-y@g.u-fukui.ac.jp

1. 小学校教員養成の授業にて

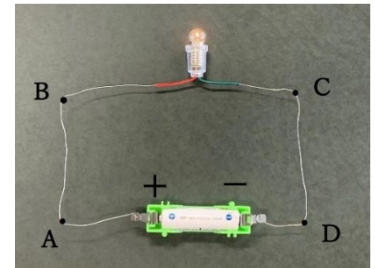
小学校教員養成コース1年生に行った電圧指導について報告する。学生達は電流と電圧の区別が曖昧である。電気、電流、電位、電圧、電力、電気抵抗など、ほぼすべて未分化のようだ。このような学生達に必要なのは「誤概念を引き出す」ことではなく、概念構築に必要な知識要素を提供することであろう。電流や電圧のような抽象的な概念を構築する際、アナロジーが役に立つ（先行研究で指摘されているように注意は必要だが[1]）。近年、ドイツの Burde らは気圧アナロジーを用いた（中学校レベルの）カリキュラムを開発・実践し効果を上げている [2]。本実践ではそのエッセンスを取り入れた。

本実践の目標は「基本的な電気回路の電流・電圧分布の知識を習得させること」だが、学生達は（体感できない）電流や電圧の形式的学習に困難を感じる。まずは「みんなが楽しむ物理」として、筆者らに割り当てられた授業時間「90分2コマ×2回」の前半を「楽しい電気の実験」にあてた。電気を通す意外な物調べ（銀折り紙やアラザンなど）、針金とアルミホイールで作る発泡スチロールカッター工作、回路パズル（豆電球・モーター・電子オルゴールを同時に乾電池1個で働かせよ）といった内容である。電気回路の活動を楽しみながら、導体、回路、直列・並列などの知識を確認する。前半の締めくくりに単純回路（豆電球を乾電池につないだ回路）の電流分布を検討した。

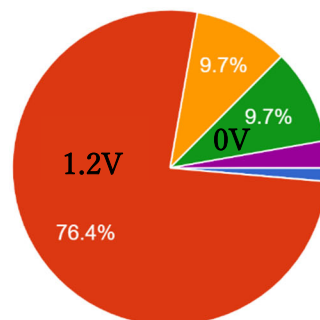
2. 教育学部1年生の電圧の知識状況

後半の電圧指導に先立ち、電圧の知識状況を調査した。「写真の回路の電圧の大きさはどうなっていますか。（電池の電圧は1.2V）」として、AB間、BC間、CD間等の電圧を選択肢から選ばせた。

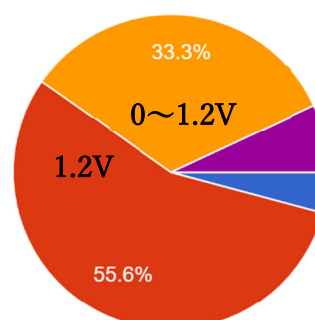
結果はおおむねグラフのようである（データは昨年のものでN=72）。赤色は「1.2V」、橙色は「1.2Vより小さく0Vより大きい」、緑色は「0V」と回答した者の割合である。



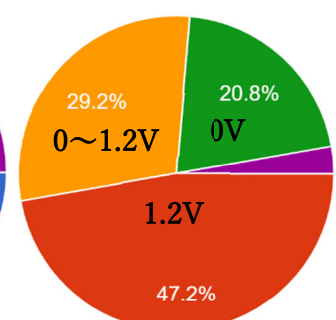
導線部分にもゼロでない電圧を見込んでしまう。先行研究で知られているように、「電圧は電流の性質」であるとか、もっと具体的に「電気



AB間電圧



BC間電圧



CD間電圧

の流れが電気の圧を生む」といったイメージが働いているのだろう。（電流の消費ないし減速のイメージも。）中学校では、「電圧計は並列につなぐ」という決まりは教えているが、電位や電位差の概念を扱わない。「AB間の電圧」の意味を「AとBの間のどこか1点の電圧」と解釈する者も珍しくない。

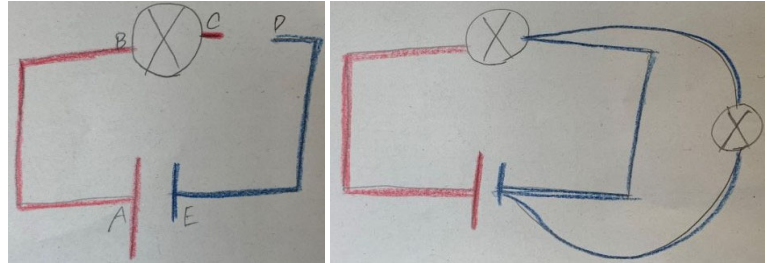
3. Burde らの電位差カリキュラムに基づいて

Burde らのカリキュラムは空気と電気のアナロジーを用いる（1990 年代米国 Steinberg らの The CASTLE プロジェクトのアイデアを引き継ぎ、さらに電位差の扱いに重きを置く）。気圧モデルは水流モデルと比べ、圧縮性流体のイメージから「圧」を想像させやすい。ビーチボールにポンプで空気を送り込み「パンパン」に膨らませた高圧状態を体感させ

ベース	ターゲット
空気	電気
空気圧	電気圧（電位）
気圧差	電圧（電位差）
風	電流
ポンプ	電池

たり、真空保存容器にお菓子の袋を入れて簡易真空ポンプで減圧して袋が膨らむのを見せる。ポンプは空気を作った（消した）のではなく移動させたことを指摘し、「電池は、導体の電気を移動させる自動式ポンプ」とのアナロジーを伝える。そして「電圧とは 2 点の電気圧の“差”である」ことを強調する。膨らんだビーチボールや減圧した真空保管庫を見せて「内外に空気圧の差はあるが、通路がなければ空気の流れはない」ことを確認する。弁を開いて風の音を聞かせ、「電気圧の差があるところに回路ができると電流が生じる」と伝える。このようなアナロジーによって、電圧と電流が独立な量であること、開放電圧の概念、「起電力によって回路に電流が生じる」という因果描像等の知識要素を提供する。

さらに電気圧分布を可視化するツールとして「回路図の色塗り」を導入する（Burde らの重要な着想）。回路図で高圧の場所は赤、低圧の場所は青く塗るように指示する。「回路の中で、電気はどのように分布しているだろう？」、「導線の中に圧力のムラはあるだろうか？」



「電流のあるときとないときの違いは？」等、いくつかの回路を用いて、色を塗って予想し、イメージを話し合い、測定を行い、電気圧分布の事実知識を獲得させる。

4. 展望

学生の反応は良好である。「電圧のイメージは「その場所にかかっている電気の圧」だったけど「2点の電気圧の差」だと知って驚いた。差だと知ると、電圧を測るときは並列につなぐということに納得できたし、もう忘れないと思った。実験予想の前にボールや真空ポンプを使ったことでイメージがつかみやすくなって、予想がしやすくなった。」「高校生の時は電流と電圧のイメージは水の多さと水が落ちる高さのように表して図を描いて考える方法を先生からおすすめされていました。しかし、その方法で自分はあまりイメージをすることが出来なかったもので、この分野を少し苦手感じていました。電流と電圧のイメージをより分かりやすく持つことが出来たので良かったです。」ただし、授業後しばらくすると知識の剥落が生じてしまう。定着にはそれなりの練習量と復習の機会が必要と思われる。

そもそもベースの気圧イメージが困難な学生もいる。中学校の気象教育で「気圧とは空気の重さである」という説明を受けていたり、分子運動論のイメージを与えられる機会が少ないためだろうか。

参考文献

[1] 右近修治、「理科教育におけるモデルとアナロジーー電流回路の水流モデルから考えるー」、理科教室、2018年、2月、pp. 39-44。

[2] J.-P. Burde, T. S. Weatherby, & T. Wilhelm (2022), Putting Potential at the Core of Teaching Electric Circuits, *The Physics Teacher*, 60, pp. 340-343.

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP23K02361, JP24K00464 の助成を受けている。

圧縮発火器の取り扱いについての提言

海老崎功

愛知淑徳大学

iebisaki@asu.aasa.ac.jp

1. はじめに

2024年4月にある科学館のサイエンスショーにおいて、圧縮発火器の破裂により来館者4名が負傷するという事故が起こった[1]。いつもと異なる手法で行うなどによる事故であったが、当該科学館も数日後に事故の詳細を報告し[2]、事後処理は適切に行ったと考えられる。著者はこれと同様の事故を2000年2月に起こし、製造元や販売会社（教材会社）に事故の状況を伝えるとともに、市販装置の改良を促した。そして、この実験は繰り返せば必ず装置の破裂が起こることを、この実験に触れる機会がある度に伝えてきた[3]。特に、製造物責任法（以下、PL法）がおよばない自作器具での実験について、格段の注意が必要であることも伝えてきた。しかし、当時は現在のようにスマートホンやSNSの普及もなく、情報の拡散・共有という点では十分ではなかった。

2. 2000年の事故とその後

(1) 事故の発生

著者は当時、教育センター併設の科学館に勤務していたが、毎週土日や夏休み等に来館者対象のミニサイエンスショーも担当していた。このコーナーには液体窒素製造装置があり、定番実験として液体窒素による「低温の科学」を行っていたが、その実験時には安全のため実験装置等と来館者との間にアクリル製の仕切り（厚さ5mm）を置いていた。ショーでは定番実験ともう1つ、担当者のお薦め実験や得意実験を行うことになっていたが、こちらについては薬品を用いたり、火気を使用したりするもので危険性があると思われるものにはアクリル製の仕切りを使用するが、それ以外の仕切りの使用については担当者の裁量となっていた。著者は低温の科学での断熱膨張との比較で断熱圧縮による現象をダイナミックに演示できる「圧縮発火実験」を市販品（筒部分はアクリル製）を使って繰り返し行っていた。この器具は1997年に購入し、その年度にも数10回使用したが、1998年4月よりミニサイエンスショーコーナーを担当する度に1日3回程度、年間100回を優に超える回数の演示を繰り返した。



2002年2月、いつもと同様に演示していると圧縮した瞬間にアクリル筒の先端が「パン！」という大きな音とともに破裂し、来館者の方に破片が飛び散った。幸いけが人はいなかったが、仕切りは使用しておらず、アクリル筒の近くで見ている来館者がいたら大ケガの危険がある重大事故であった。著者は演示には十分慣れており、アクリル筒が圧縮の瞬間、斜めになり折れて破損したなどではなかった。



この破損は十分予想されることであった。毎回の断熱圧縮でアクリル筒先端は400℃前後にさらされる上、大きな圧力も掛かる。ある程度は大丈夫でも、何度も繰り返せば破裂の危険性は増していく。なお、この事故後、すべての演示実験でアクリル製の仕切りを使用するように改めた。

(2) 事故後の対処

同様な事故がこの後、繰り返されると思い、販売会社を通して製造元（海外）に連絡したところ「そのような事故事例は全世界で1つもない」との返事で放置されかけた。再度、販売会社を通し、破損写真も添付し事故の経緯や、「当然、同様な事故が将来的に予想される」ことを強調し、日本でも浸透してきたPL法についてもふれた内容を連絡してもらった。数ヶ月後、「破裂現象を当社でも確認した。筒先端に強力な飛散防止フィルムを貼付した改良品を作ったので受け取って欲しい」と連絡が来た。販売会社も先端に厚手のビニルチューブを被せた改良品を独自に製作し、製造元のものとおわせ2個が私の手元に届いた。取扱説明書にもそれまでのものに加え「爆発の注意」として4項目が記載された。



これら製造元および販売会社による改良で「破裂の際の破片の飛散は防止できる」と考えられたが、「自身が起こした事故のトラウマ」は相当なものであり、さらなる工夫としてポリカーボネート製の筒にPPフィルムを貼ったものを圧縮発火器の筒の外側に配置するようにした。

3. 提言

市販品のアクリル筒は長さ200mm程度であるが、長い方が効率が高いことから筒の長さが400mm以上の自作品を見たことがある。当然圧縮率は大幅に上がり、その分、破裂が起こる危険も増す。市販品はもちろん、自作器具の場合は特に以下に注意して演示することが大切である。

- ①圧縮発火器は使い続ければいつかは破損・破裂すると心得ておく
- ②毎回の演示では破裂を前提とした安全対策（見学者だけでなく演示者自身も）を講じておく

4. 終わりに

その後、科学館から異動したことで使用頻度が激減し、当時頂いた2つの圧縮発火器は現在も破損することなく使用している。今回は圧縮発火器についての事例について報告したが、同様な事故事例は圧縮発火器以外でも考えられる。それらの情報は全国の理科関係者等で常に共有しなければ事故が再度繰り返される恐れがある。

以前、科学技術振興事業団（現在のJST）のサイエンスレンジャー事業で、事故事例の共有のための冊子制作などを行ったが、情報の拡散という点では十分とはいえない。また、近年の長時間労働問題や人員削減も無関係ではない。科学館だけでなく学校現場でも安全に実験を行う上での注意点などが先輩教員から伝わりにくくなっている可能性は十分にある。あらゆる手段、機会、ネットワーク等を利用して何度も拡散することで新人を含む若手にも伝えていきたい。

参考文献

- [1]北海道 NEWS WEB, <https://www3.nhk.or.jp/sapporo-news/20240423/7000066490.html>
- [2]旭川市のWEB, <https://www.city.asahikawa.hokkaido.jp/science/17/d079613.html>
- [3]海老崎功, 圧縮発火器の危険性と改良について,
<http://web.kyoto-inet.or.jp/people/ebisan/pype2000.htm>

ポスターセッション

FCI 個人スコアの統計誤差

^A 庄司善彦, ^B 宗尻修治, ^C 野村和泉, ^D 斉藤準

^A 高エネ研加速器, ^B 広島大先進理工, ^C 中部大工, ^D 帯広畜産大農学情報基盤

shojis2nd@yahoo.co.jp

1. 序論

Force Concept Inventory (FCI) は物理教育の教育の世界で広く用いられているが、FCIの統計誤差の定量評価はほとんどされていない。Lasryら[1]は講義前正解数 S_1 から講義後正解数 S_2 への回答の変化を S_1 の関数として示したが、彼らの関心は誤差にはなかった。Parmentierら[2]は項目応答理論を使ってこの変化の S_1 依存を定性的に説明したが、観測された変化量は確率的予想より小さかった。項目応答理論が定義する確率は、同一回答者による回答の確率的ばらつきに、多様な回答者のばらつきが加わるからである。本稿の課題は、前者のみの定量的評価である。さらに本稿ではFCIで出現する様々な分布を正規分布で理解する試みを示す。正規分布であればparametric analysisの手法を使うことができ、異常値を解析から除く操作も根拠が明確になる。

2. 分散

解析に用いるのは、2016年兵庫県立大機械・材料工学科で開講された力学講義の前後のFCIへの回答である。この中から前後2回回答し、一般入試で入学した男子学生119名の回答対を使う。横軸を講義前後の平均正解数 $S_{12}=(S_1+S_2)/2$ 、縦軸を正解数の増加 (net gain) $G=S_2-S_1$ として結果を図1にプロットした。FCIの項目数は30である。図は女子学生及び推薦入学の学生の結果も示すが、推薦入学の学生は S_{12} が低く、女子学生は G が低い。ばらつきに寄与する因子を減らすため、推薦入学生と女子学生は解析対象から除いた。

図2は一般入試で入学した男子学生のnet gainの分布を正規分布でフィッティングした結果である。正規分布を仮定すると、-6.2以下あるいは10.5以上の範囲に期待できる回答数はそれぞれ0.5対であり、これらの範囲にある計7点 (図1に×印) は異常点であると疑える。ここでは疑いの段階だが、以後は解析対象から外して解析を進める。

図3には S_{12} に対する G の変化の関数フィットである。定義から $S_{12}=0$ と $S_{12}=30$ で $G=0$ なので、 $S_{12}(30-S_{12})$ と何らかの関数の積になる。この、かける

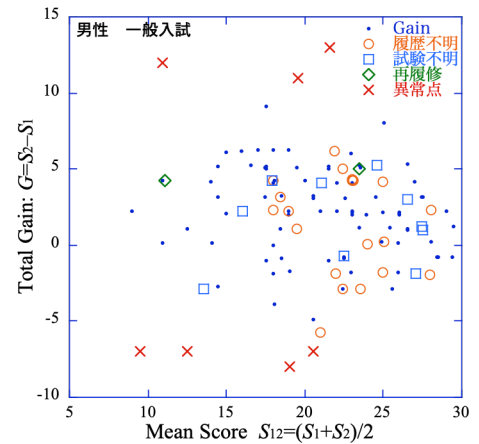


図 1. 正解数 S_{12} と正解数増加 G

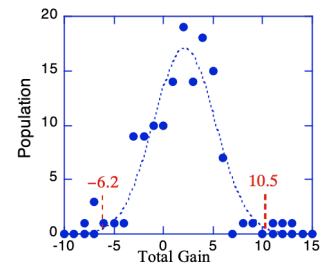


図 2. 正解数増加 G の分布

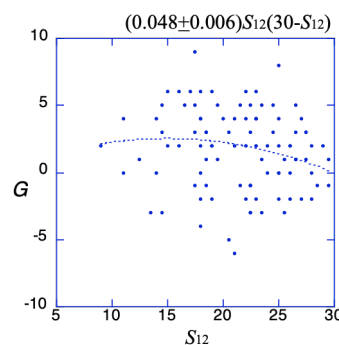


図 3. S_{12} に対するゲイン G

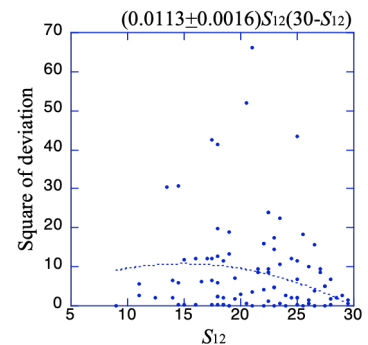


図 4. S_{12} に対する分散

関数を多項式とすると、高次項の寄与は有意な範囲になかったので、定数で再フィットした。

図4は図3で得た G の関数を差し引き、残差の2乗をプロットしたものである。この分布にフィットする関数は、 S_{12} に対する G の分散 (S_1 と S_2 の分散の合計) を与える。こうして得た S の分散は $(0.048/2) S(30-S)$ である。これは二項分布の分散 $S(30-S)$ の30の約7割に相当し、 S の標準誤差 $\sqrt{[0.024S(30-S)]}$ を与える。

それぞれの S_{12} に対して、 G の残差を分散の平方根で規格化したものを図5に示す。図6はこの分布だが、図2の方が正規分布に近い。これは、 G のとりうる値が低い高 S_{12} 部が寄与したためと思われる。

標準誤差を与える式の S はばらつきのない状況での正解率であり、生の正解率に対して「平均への回帰」として知られる統計的バイアスを補償する必要がある。図7(a)に示す、 S_2 を S_1 の関数としてフィッティングした結果は S_1 から期待される S_2 を与える。逆に S_1 を S_2 の関数としてフィッティングした結果は S_2 から期待される S_1 である。これら2つの関数の中央を与える関数 $4.21 + 0.83S$ は、ゲインがゼロの再テストに期待される正解数になる。この関数を使ってバイアスを補正した値を、 S に対して S^* と表記する。図7(b)は S^*_1 と S^*_2 の分布である。

4. 評価指標と正規分布

最後に S^* の他に、分散がスコアに対してほぼ一定となる $T = \sin^{-1}(S^*/15-1)$ と、項目応答理論で使われるRash modelの逆関数である対数比 $Q = \ln(S^*/(30-S^*))$ の使用を検討する。一般入試で入学した工学部男子学生494名の回答を使った、これらの指標評価値分布が図8である。分布を正規分布でフィットした結果、 R^2 値は S^* , T , Q に対してそれぞれ0.861、0.891、0.853であった。 T を使うことで、特に高い S 側で正規分布との一致が改善する。 T のとりうる値は有限であり、図8の点は均一ではない範囲の平均密度である。

参考文献

- [1] N.Lasry, et al., (2014) .“Two steps forward, one step back,” Nature Physics, vol.10, pp.402-403.
- [2] J.-F.Parmentier and B.Lamine, (2015) .“Interpreting gains and losses in conceptual test using Item Response Theory,” HAL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01198565>.

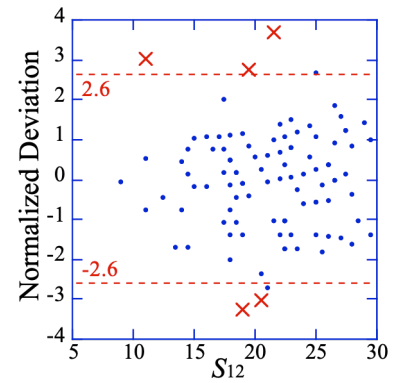


図 5. 規格化されたばらつき

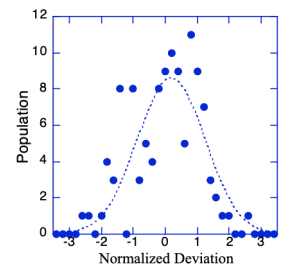


図 6. 規格化されたばらつきの分布

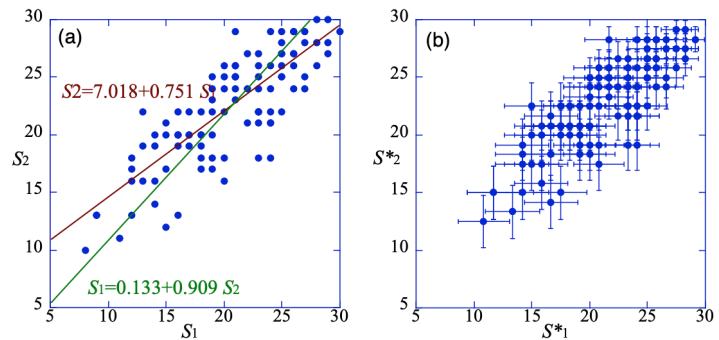


図 7.補正前(a)と後(b)の正解数

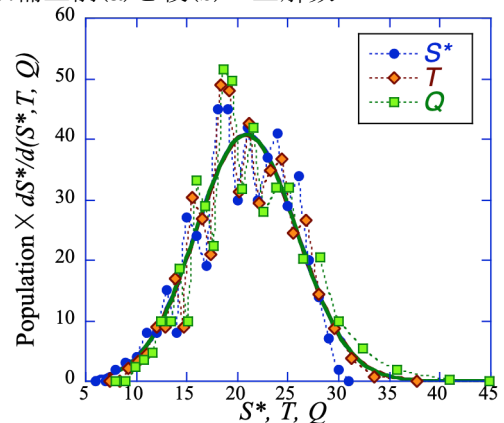


図 8. S^* , T , Q に対する学生分布

「教師の説明」と「生徒の問題解決」を統合した授業の概要と効果

高橋 幸太郎

東京大学大学院教育学研究科

t.kotaro0428@gmail.com

1. 問題の所在

物理学は多くの人から避けられる学問である (cf. [1])。実際、日本の高校生にとっても、「物理基礎」は最も好ましくない科目である[2]。なぜ物理学はこのような扱いを受けるのだろうか。

本稿ではその原因を、「物理の授業内容を理解できないから」と考えた。特に、学力下位層の生徒にとっては深刻な問題であることが予想される。そこで、物理授業における概念理解を促すことが、物理が忌避される問題の解決に役立つと考えた。また、こうした問題の解消は「学習観の改善」としても現れると考えられる[3]。したがって、本稿では、「物理がわからないから暗記に頼るしかない」といった生徒を支援する教授法を実施し、概念理解と学習観に対する効果を検討する。

2. 依拠する理論的枠組み

古くから、教師やテキスト等から新たな知識を取り入れる受容学習型の授業（以下「教師の説明」とする）と、学習者自身が新たな知識を見出す発見学習型の授業（以下「生徒の問題解決」とする）が二律背反的に扱われてきた。しかし、既有知識が多い学習者にとっては「生徒の問題解決」が、少ない学習者にとっては「教師の説明」がそれぞれ好ましく、甲乙つけられないとされていた。こうした状況に対して、学習科学の領域では、両者を統合した授業が既有知識に依らず高い学習効果をもたらすことが示されてきた[4]。さらに近年では、統合の順序性が盛んに検討されている[5]。

本稿では、特に「教師の説明→生徒の問題解決」の順序の授業に注目し、設計特色である理解確認（教師の説明後に生徒自身に説明させる）と理解深化（知識の活用を促す応用的な問題に取り組みせる）を取り入れ[6]、実際の高校物理の授業の中で実施することとした。

3. 方法

3.1 対象

京都府立 X 高校の「物理基礎（3単位）」を受講する高校2年生8名を対象とした。

3.2 測定

ニュートン力学概念の理解度を測定するために、Force Concept Inventory（以下、FCI とする）を実施した。FCI は多肢選択式の設問 30 題で構成されており、1 問 1 点の計 30 点満点で採点される。

さらに、物理に対する学習観を測定するために、[3]を参考に次の質問紙を作成し実施した：「物理が苦手な後輩が『物理の勉強』について質問してきた。『どんな心構えで物理の勉強をしたらいいですか？』あなたならどのようなアドバイスをするか。」

3.3 手続き

20XX 年 4 月から 7 月の全ての授業「物理基礎」において、「教師の説明→生徒の問題解決」の枠組みに基づいて設計した授業を筆者が行った。3.2 節の測定を、4 月（介入前）と 7 月（介入後）の 2 時点で実施した。

4. 実践の例

実践の例として、「空気の抵抗」における授業の展開を簡潔に述べる。まず「教師の説明」として、抵抗力とは何か、終端速度に至るまでの過程、落下する物体の $v-t$ 図の3点について教師から説明を行なった。次に2人1組のペアを作らせ、一方の生徒が終端速度に至るまでの過程を説明し、もう一方の生徒が $v-t$ 図の書き方について説明するように指示をした。最後に「生徒の問題解決」として、図1の問題について4人1組で取り組ませた。

鉄球を落下させたときの $v-t$ 図は図のようになった。

では、ケーキカップを落下させたときの $v-t$ 図はどのようなになるだろうか？図中に概形を描け。

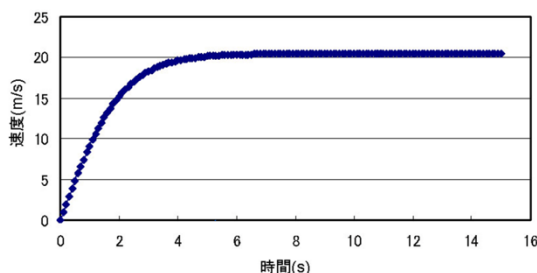


図1 「空気の抵抗」の授業における理解深化

物理教育研究では図1のような発見課題を授業前半に扱うことが多いが[1]、授業後半に扱ったことは物理教育研究における本研究の新規的な一面であると考えられる。

5. 結果と考察

5.1 ニュートン力学概念の理解度への影響

本介入のニュートン力学概念の理解への影響を評価するために、介入前後の調査における FCI 得点に対して、対応のある t 検定を行った。その結果、事後調査の FCI 得点 ($M=18.28, SD=4.98$) が事前調査の FCI 得点 ($M=10.00, SD=3.30$) よりも有意に高かった ($t(7)=6.21, p<.01, d_b=2.20$)。また、授業効果を示す規格化ゲインは.43 であった。ここから、本介入によって生徒のニュートン力学概念の理解は促進されたと考えられる。

5.2 物理に対する学習観への影響

本介入の学習観への影響を評価するために、質問紙に対する回答を比較した。介入前の FCI 得点が最も低かった生徒 O (3点) は、介入前では「暗記を中心におぼえて、わからないところだけ、内容も見ると回答し、介入後では「身の回りにおきることにおきかえて勉強するとわかりやすいよ。頑張れ」と回答した。また、生徒 O に次いで FCI 得点が低かった生徒 I (9点) は、4月には「公式おぼえたらいい。暗記」と回答していたが、7月には「誰かになぜそのようになるかを説明できるようにする。図をかく」と回答した。これらの回答から、心理学的に望ましくない非認知主義的学習観を有していた生徒が、意味理解を重視した認知的学習観に変容しつつあることがわかる[3]。

以上より、本研究では、これまで物理教育研究で軽視されてきた「教師の説明」にも焦点を当て、介入を通して概念理解と学習観に望ましい影響を与えた点に研究としての意義が生じると考える。

参考文献

- [1] Knight, R. (2002) : Five Easy Lessons, Addison Wesley.
- [2] 国立教育政策研究所 (2016) : 平成 27 年度 高等学校学習指導要領実施状況調査.
- [3] 植阪友理(2010) : 学習方略はいかに教科間でいかに転移するか. 教育心理学, 58(1), 80-94.
- [4] Lee, H., & Anderson, J. (2013) : Student learning. Annual Review of Psychology, 64, 445-469.
- [5] Sinha, T. & Kapur, M. (2021) : When Problem Solving Followed by Instruction Works. Review of Educational Research, 91(5), 761-798.
- [6] Takahashi, K., & Uesaka, Y. (to be submitted)

物理の智恵の転用を促すたとえ話の提案

栗田和好

立教大学理学部

k_kurita@rikkyo.ac.jp

1. はじめに

深淵な宇宙の神秘を探る物理学の魅力を伝えたいという思いは我々物理教育にたずさわる者が共有する願いである。一方、学校教育で物理学を学ぶ生徒・学生にとってその知識が将来社会で直接役立つ機会はほとんど無いというのも事実であろう。その相反する要求に対して、物理学を学ぶ過程で身につく考え方や問題解決へのアプローチが今の混沌とした現代世界を切り開いていく智恵に結びつくのだと答えたい。本稿では中高等教育の本質的な目的である智恵の転用に関わる要点の紹介をしつつそれを促すと思われる身近な実践を教育現場の皆さんに提案する。

2. 物理の智恵の転用について

物理学の探求手法の特徴は対象を極限まで単純化して本質をあらわにした理論モデル（仮説）を作成し、その予言を実験結果と定量的に比較して検証することにある。生徒・学生たちはその一部を高校の探求や大学の卒業研究で体験をすることができるかもしれない。しかし、学習の転移（transfer）が自然に生じにくいことを考慮すると、たとえ物理の知識を活用できる智恵に昇華できたとしてもそれを新たな分野に転用できるようになると考えるのは楽観的過ぎるであろう。

そこで知識活用の機会をつくることに加え、何らかの働きかけが必要である。ヒントになるのは様々な問題解決場面で共通に役立つ推論の力である。図1に推論的思考の両輪である帰納と演繹を模式的に示す。帰納は多くの事象から共通な特徴を抜き出す操作であり、逆に演繹はその共通な性質を個々の事象に適用して具体的に分析する操作である。

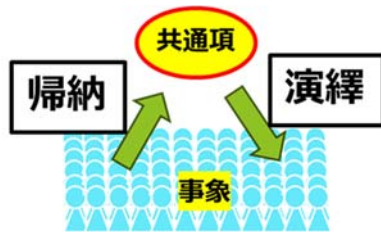


図1 推論における帰納と演繹の模式図



図2 仮説的推論であるアブダクションの気づき[1]

高大での物理では物理の法則を物理現象に適用する演繹的活動が強調されており、帰納的活動が限られている。相互作用的活動の中で推論の両輪を学習者に経験させるためには帰納的活動を意識的に取り入れる必要を感じる。複数の現象から共通項を意識させ、議論を通して物理法則の意味を再構築させるような活動は可能ではないだろうか。学習者が推論の両輪を意識して学びを深める経験は物理的な考え方をより一般化しやすくすると考えられる。

一方、図2に推論の分類図を示す。パースはアブダクションという推論があることを見出した[1]。アブダクションは帰納の一種ではあるが一般的な帰納にはない「仮説」を含んでいる。アブダクションは起きた事象の原因を予想して仮説を立てて進める推論で、まさに物理法則を発見するような科学的創造と合致した考え方である。ビジネスの世界ではこのような考え方が新しく有効な考え方として紹介されている[2]が、物理にとっては何ら新しいことではなく、アブダクションをフル活

用して発展してきた学問である。生徒・学生に機会があるごとにアブダクションが科学的探究から生じた有効な思考法であることを伝え鼓舞するとともに、物理の探求のなかで仮説・検証を行っていくと推論の3要素が絡みながら機能していることに気づかせることが出来るだろう。そのように推論を意識的に学べばそれが物理の枠を超えて有効な考え方であることに気づくのは難くない。

3. 物理で使うたとえ話について

前節では厳密性が要求される推論に関わる提案を行ったが、ここでは厳密さより創造性を重視した類推（アナロジー）について述べる。類推の定義は広辞苑によると「類似点に基づき他の事をおしはかること。（以下略）」である。そしてその利用の目的として1. 自分の理解 2. 他人への説明 3. 新しい発想、の3つが挙げられる[3]。多くの教員は物理の概念を説明するのにたとえ話を使った経験があるはずである。そのたとえ話は類推を含んでおり新しい概念をすでに知っている事物に対応させて理解を促すものである。次節ではいくつかのたとえ話の例を紹介するが、そのようなたとえ話を思いつくことが学習者にとって物理の理解を進め、また他人に説明をするときの有効な道具となり得る。また、たとえ話を思いつくトレーニングは前節で述べた仮説を立てるときに役立つものとする。

4. たとえ話の例の紹介

授業に導入した「たとえ話」の例をいくつか紹介する。

- 1) 3次元極座標とリンゴの皮むき：方位角 θ が π で終わる理由、 $d\phi$ に $\sin\theta$ が掛かる理由
- 2) 全微分と山登り：勾配が一番きつい向きに登らず、右、左に迂回しながら登る例に
- 3) 原子の電子雲と波紋：波紋はどこに有る？という問いから電子の拡がりの説明
- 4) 放射平衡と底抜けバスタブモデル：穴空きバスタブを満たす水流と漏れる量のつり合い

5. まとめ

本稿ではいくつかの提案を行ったので、ここでもう一度まとめておく。1. 知識の活用, 2. 帰納的活動の採用, 3. アブダクションを意識した科学的探究, 4. たとえ話による理解, 5. たとえ話から仮説へ、の5点である。

これらはその効果が検証された提案ではなく、思いつきの範囲を抜け出さない無責任な提案であることは自認している。ただ、多少なりとも興味を抱いてくださった会員諸氏の今後の実践テーマや研究トピックの発想のヒントになればと考えている。若い人の発想の柔軟性が高いことは明らかで、たとえ話をつかった発見的発想の経験は物理に苦手意識を持つ生徒にも励みになる可能性がある。物理教育で智慧の転用を促す実践は意識の持ち方次第で思いのほか身近にあるのかもしれない。物理教育を大切に思っている多くの会員の方々と意見を交換しながら草の根運動的にさらなる可能性をみいだしていけたら幸いである。

参考文献

- [1] C. S. Peirce, Illustrations of the Logic of Science VI, Pop. Sci. Monthly V. 13 (1878).
 [2] R. L. Martin, 「第3の思考法「アブダクション」で経営は変わる」,
<https://dhbr.diamond.jp/articles/-/1779?page=2> 2024/07/09 参照.
 [3] 細谷功, 「アナロジー思考」, 東洋経済新報社 (2011) .

『現象の解釈シート』から見る、高校物理初学者の「現象の捉え方」の特徴 と、「現象の解釈」を3年間実施した効果の分析

山下哲

大阪府立北野高等学校

haz34840@wood.odn.ne.jp

1. はじめに

欧米の物理教育研究は、概念理解の障害となる強固な素朴概念の存在とその解消法としてのアクティブラーニングの有効性を提唱してきた。しかしながら、欧米の物理教育研究が主に大学生を対象としてきたため、学習者の既有知識の水準と密接に関連している概念理解と素朴概念の境界も明確でなく、アクティブラーニングの有効性も年齢・既有知識・期待感・校種間の違い等の違いが考慮されているとは言い難い。すなわち、素朴概念の濃淡や強固さも解消方法としてのアクティブラーニングの有効性も（一部の）大学生のみに妥当する面が強く、高校生の物理の学習に対する具体的な教育方法や教材として提案されているものではない。一方で、初等中等教育におけるアクティブラーニングに関しては現学習指導要領の中で「主体的対話的で深い学び」に対応するものの一つとして重視しようとする向きがある。小学生や中学生の段階では理科の学習は厳密には小教科に分かれておらず、物理教育としてこれを扱うためには領域固有性を考慮してその学習段階で解決すべき課題を抽出し、これに対する教育方法の効果を個々に議論する必要がある。しかしながら、小学生や中学生を対象とした理科教育研究の多くが素朴概念の存在とアクティブラーニングの有効性を無制限に受け入れた結論前提の面が強いため、領域固有性や単元間の関係性を無視した特定の単元に対する短期間の実践報告が多く、義務教育課程の中でさえ年間を通じての有効性には疑問がある。こういった点から、高校生の物理の学習に対する具体的な教育方法に関しても、年間を通じた教材に関しても、義務教育課程の理科教育が方向性を示すことは現状では期待できない。

高等学校の物理の学習にアクティブラーニングの基盤である構成主義が重要であることに異論はないが、他教科と比してより系統的学習の要請が強いため、講演者は、高等学校の物理において構成主義的な意味合いでの学習を成立させるには、成立条件をより厳格に議論・考察する必要があると考える。この点に関して、講演者は2019年度より素朴概念の存在を前提とせず、アクティブラーニングを方法論として陽には用いない、「物理現象を原因と結果の観点から解釈させる」指導を「現象の解釈」と称して行っている。特に2021年度からは、認知的な発達段階に課題を持ち、かつ、物理の学習に対する期待感が低い生徒を対象として、描画を中心とした一連のプリント教材「現象の解釈シート」を作成し、これを用いて指導を行っている[1]。生徒の作成した「現象の解釈シート」を分析することで、素朴概念の濃淡を含めた高校物理の初学者の理解の実態解明を行うとともに、高等学校の物理の学習における具体的な教育方法を蓄積していく端緒の一つとしたい。

2. 高校物理の初学者の「現象の捉え方」の特徴

生徒の取り組んだ「現象の解釈シート」には、異なる年度や他校でも共通して見られる描画パターンがあり、これらを分析することで高校物理の初学者の「現象の捉え方」の一部を知ることができると考えられる。以下では、認知的な発達段階に関係なく「現象の解釈シート」に頻繁に現れる

特徴を2つ紹介する。1つ目に、多くの生徒が考察対称の位置と速度の両方を意識して矛盾なく描画するまでには一定の時間を要することがあげられる。これは高校物理の初学者に「力学の目的が物体の運動状態を記述することである」ことや「物体の運動状態が物体の位置と速度で表現される」ことに対する認識が欠けていることを示していると考えられるが、運動学の単元の構成上、生徒個人では気づきにくい様に思われる。すなわち、等速直線運動の間は速度と変位の区別が致命的でないため、これらが区別できていない生徒には、等加速度直線運動になるまで意識的に区別をする機会に乏しい可能性がある。2つ目の特徴は、座標軸の正負の反転を運動状態の反転（時間反転）として描画の中で表現している（と考えられる）ことである。高校生の段階では普段慣れ親しんだ空間や時間といった「当たり前」の概念も、「物理基礎」という枠組みを与えられることで「当たり前」が揺らいでしまう面があることを示唆していると考えられる。高校物理の初学者の中には上記のような形で物理の「現象を捉えてしまう」生徒が一定の割合存在することを知ったうえで、具体的な教育方法を蓄積していく必要性についてはあまり言及されてこなかった面があると思われる。

3. 「現象の解釈」の効果の検証と素朴概念の濃淡

表1は、2017年度から講演者が指導した高校2年生「物理基礎」の授業実践方法、講座全体のFCIの規格化ゲイン、そして認知的な発達段階に分類したうえでのFCIの規格化個人ゲインが0.3以上の生徒の割合を示したものである。斜字体で示した部分から、FCIの規格化ゲインが認知的な発達段階に強く影響を受けていることが分かる。一方で、「現象の解釈」を行った生徒集団はこれらとは異なり、認知発達が前期移行期より進んでいれば、半数以上の生徒の規格化ゲインが0.3を超えている。とりわけ、2023年度は過去2年間に「現象の解釈シート」で見られた「現象の捉え方」の特徴を考慮して指導した結果、全ての発達段階で半数以上の生徒の規格化ゲインが0.3を超えており、欧米由来の物理教育研究に則った授業実践でなくとも、（強固な素朴概念が存在するならば、）素朴概念の解消が認められる。講演では素朴概念の濃淡についても問題提起する。

なお、本取組は武田科学振興財団の助成を受けて行ったものである。

表1 授業実践方法と規格化ゲインと認知的な発達段階の関係

高校2年生 「物理基礎」	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
	K 高校	M 高校	M 高校	K 高校	K 高校	K 高校	K 高校
授業実践方法	ILDs	ILDs	現象の解釈	講義型	現象の解釈	現象の解釈	現象の解釈
規格化 gain	0.31	0.19	0.39	0.14	0.34	0.33	0.40
具体的操作期	10%	13%	0%	13%	33%	0%	<u>75%</u>
前期移行期	20%	24%	67%	6%	50%	57%	<u>67%</u>
後期移行期	71%	29%	52%	29%	70%	57%	<u>100%</u>
形式的操作期	67%	67%	86%	100%	67%	100%	

参考文献

- [1] 山下哲, “『現象の解釈シート』から見る, 高校物理初学者の「現象の捉え方」の特徴と, 「現象の解釈」を3年間実施した効果の分析”, 日本物理学会 2024年春季大会講演概要集, 20pN1-9(2024).

教育実習事前指導における理工系学部のジェンダー・ギャップ教育の実践

～感想文の計量テキスト解析～

^A 渡會兼也

^A 金沢大学附属高等学校

watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

1. イントロダクション

日本の大学の理工系学部における女子学生の割合は非常に低く、OECD 諸国の中で最下位であることが知られている。この問題は日本の大学理工系学部におけるジェンダー・ギャップ問題（以下では「ジェンダー・ギャップ(GG)問題」と略す)として知られており、本学会誌においても特集記事が組まれている[1]。特に理科教育・物理教育の視点からも、この問題の解決に向けた様々なアクションが必要であると思われる。

今回、筆者は教師を目指す大学生にも GG 問題を認知してもらうことが重要であると考え、筆者が非常勤講師を務める「教育実習事前指導」の講義の中に、GG に関する話題を取り入れることにした。国立大学理工系学部の4年生20名(男子7名、女子13名)を対象に30分程度の講義とワークショップを行い、終了後に400字以上の感想文を提出させた。提出された文章を計量テキスト解析にかけたところ、いくつかの特徴的なクラスターに分類することができた。感想文全体として、教育者としての役割や責任を自覚し、GG問題の解決に向けたポジティブな意見が多く見受けられ、教師教育の教材としても有効であると感じている。今回の発表では、その感想文の分析結果を紹介したい。

2. 方法

教育実習事前指導の講義は、教育実習前の4年生を対象に開講されており、集中講義として勤務校の高校教員3人が担当している。教育実習における心構え、理科の授業の作り方や現場で参考となる事例の紹介などを行っている。今年度は、講義の最後の30分を使い、GGに関する講義を行った。講義内容は、日本の大学における学部別の男女比の資料をはじめ、OECD加盟国における比較、PISA調査の結果、男女共同参画法に基づく政策・大学の取り組み、内閣府の多様な選択を可能にする学びに関する調査統計、高校の進路で何ができるかについて、最後に感想文の提出を課して終了した。レポート課題については、レポートの内容を評価すると自由な意見が出てこない可能性があるため、内容を評価しない旨を学生に伝え、なるべく率直な意見を書いてもらうようにした。

レポート課題の文章に対して KH-Coder ver.3 を用いて計量テキスト解析を行った。KH-Coder は樋口耕一氏が開発したテキスト解析のためのアプリケーションであり、社会学系だけでなく多くの分野で利用されている[2]。こういった方法は感想文などの質的なデータを量的なデータとして扱うことが可能になり、客観的な分析が可能になる。また、計量テキスト解析では得られた結果の解釈に分析者の主観が入り込む余地があるため、同じテキストデータを生成 AI(ChatGPT)にも分析させ、分析者の解釈が妥当なものかを確認した。

3. 計量テキスト解析による結果

KH-Coder による分析結果を紹介する。語数の頻度分布や階層的クラスター解析、共起ネットワーク（図1）などから以下のことがわかった。

①テキストの平均文字数は 427.8 文字で、男子の平均は 413.4 字、女子の平均は 433.5 字であった。男子 1 名は記述がなかったため、その 1 名を除くと男子の平均は 482.3 字となった。男女間で感想文の長さに違いはみられなかった。

②女子学生に特徴的な文章としては、過去の経験談を例に挙げた学生が 46.2%(6 人/13 人)あった。経験談の中には、自身が受けた言葉だけでなく、友人の悩みなども記載されていた。

③女子枠についての意見が 50.0%(10 人/20 人)あり、男子は 4 人(男子の 57%)、女子は 6 人(女子の 46%)であった。これに対しては理解を示す意見もあれば、批判的な意見もあった。

④本講義のような事実の発信をする機会が重要だと述べた学生が 35%(7 人/20 人)おり、男子が 2 人(男子の 29%)、女子が 5 人(女子の 31%)だった。

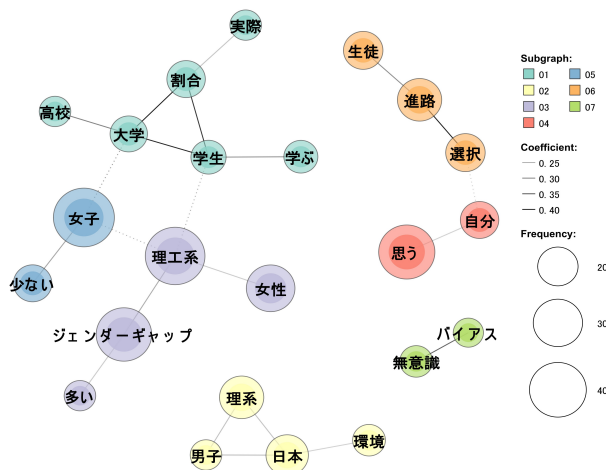


図1 感想文の共起ネットワーク。

4. AI によるセンチメント分析結果

センチメント分析は文章中の感情に関連する語を手がかりにして、文章から感情を判定する分析方法である。ChatGPT のような大型言語モデル(LLM)のセンチメント分析は、大量のテキストデータから感情を自然に学習し、特定の感情辞書を直接参照しない。ChatGPT でセンチメント分析を試したところ、1 文毎にポジティブ・ネガティブ・ニュートラルの判定ができるだけでなく、その根拠も示すことができる。感想文に対してセンチメント分析を行った結果、ポジティブが 10(50%)、ネガティブ 5(25%)、ニュートラルが 4(20%)となった。

文章全体としては、GG 問題に対する関心が高く、教育現場での改善の必要性が強く認識されていることがわかった。また、驚きや認識の変化が多く見られ、これが今後の行動や意識の変化につながる可能性がある。GG 問題に対する理解と、その解決に向けた積極的な姿勢が感じられた。AI の分析は非常に尤もらしい分析結果が得られるが、信頼性をどう担保するかが課題である。計量テキスト解析と AI の分析は相補的に利用するのが良いと考える。

5. まとめ

感想文全体として、教育者としての役割や責任を自覚し、具体的な改善策に向けた意欲も示されていた。こういった活動を様々なレベルで行う必要があり、教師教育の一部としても重要と思われる。

参考文献

- [1] 一方井祐子(2023) : 物理学を学ぶ女性が少ない理由を探る, 物理教育, vol. 71, no. 3, 194-197.
 [2] KH-Coder : <https://kncoder.net/> (2024 年 7 月 1 日閲覧)

熱概念、特に「熱運動」や「熱エネルギー」の用語についての

初学者の理解と混乱の実態を真摯に受け止めよう

独創文化研究所 元東京理科大学 五十嵐 靖則

igarashi-yasunori@nifty.com

1 はじめに

学生が熱概念をどの様に理解しているかを調べる調査を実施・報告してきた^{1, 2, 3)}。今回は、「熱運動」「熱エネルギー」という言葉について、初学者(大学でまだ熱力学を学ぶ前の状態にある1年生など)が、どの様に理解しているかを調べるため、より様々な考えを抽出するために、選択肢を増やししながら、調査を行ってきたこれまでの結果を分析し、比較・考察して初学者の混乱の実態を明らかにし、今後の物理教育に生かす方策を探ることをねらいとした。

2 調査対象と質問紙の概要及び調査結果

各年の4月初めに、A大学の1年生(工業化学科の基礎物理学の受講生)と2年生(物理学科の講義実験の受講生、1年次は熱関係の学習は未履修)を対象に、「熱運動」と「熱エネルギー」の言葉をどの様に理解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。

調査に用いた質問紙の概要(依頼文は省略)を下記に示す。

1 「熱運動」という言葉を貴方はどのように理解しますか。次に示すものの中から自分の理解や考えに最も近いものを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。物質が持つ熱量に応じた無秩序な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をしているので、温度に応じた無秩序な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理解しますか。次に示すものの中から自分の理解や考えに最も近いものを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。物質が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()

出来る限り様々な考えを抽出するために、選択肢の文言は変えずに、選択肢の数を増やししながら、調査を行ってきたので、年度により選択肢の数が異なっている。調査結果を下記の表に示す。

表 調査結果 (表中の斜線は、その年度は選択肢が設定されていないことを示す。また、①、②、③、… は、各年度内での選択者の多い順を示す。)

	2015年			2016年			2017年			2018年		
	工業化	物理	全体	工業化	物理	全体	工業化	物理	全体	工業化	物理	全体
熱運動の言葉の理解	86名	69名	155名	86名	98名	184名	146名	82名	228名	109名	80名	189名
ア この様な運動を熱運動といい、この運動により熱が生まれる。							49名 33.6%	32名 39.0%	①81名 35.5%	45名 41.3%	41名 51.3%	①86名 45.5%
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。	40名 46.5%	31名 44.9%	①71名 45.8%	45名 52.3%	43名 43.9%	①88名 47.8%	18名 12.3%	7名 8.5%	②25名 11.0%	14名 12.8%	6名 7.5%	②20名 10.6%
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。	28名 32.6%	21名 30.4%	②49名 31.6%	26名 30.2%	28名 28.6%	②54名 29.3%	43名 29.5%	14名 17.1%	③57名 25.0%	20名 18.3%	10名 12.5%	③30名 15.9%
エ 熱量に応じ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。							30名 20.5%	28名 34.1%	②58名 25.4%	22名 20.2%	19名 23.8%	②41名 21.7%
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。	16名 18.6%	16名 23.2%	③32名 20.6%	11名 12.8%	18名 18.4%	③29名 15.8%	6名 4.1%	0名 0%	6名 2.6%	8名 7.3%	3名 3.8%	11名 5.8%

カ その他	2名 2.3%	1名 1.4%	3名 1.9%	4名 4.7%	9名 9.2%	13名 7.1%	0名 0%	1名 1.2%	1名 0.4%	0名 0%	1名 1.3%	1名 0.5%	
熱エネルギーの言葉の理解													
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名 26.6%	25名 31.3%	154名 28.6%
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。	47名 54.7%	28名 40.6%	175名 48.4%	50名 58.1%	46名 46.9%	196名 52.2%	20名 13.7%	17名 20.7%	37名 16.2%	15名 13.8%	12名 15.7%	27名 14.3%	
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。	35名 40.7%	37名 53.6%	72名 46.5%	32名 37.2%	48名 49.0%	80名 43.5%	22名 15.1%	15名 18.3%	37名 16.2%	20名 18.3%	22名 27.5%	42名 22.2%	
エ 物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。							32名 21.9%	14名 17.1%	46名 20.2%	11名 10.1%	8名 10.0%	19名 10.1%	
オ 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。							44名 30.1%	21名 25.6%	65名 28.5%	16名 14.7%	8名 10.0%	24名 12.7%	
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を熱エネルギーという。							17名 11.6%	9名 11.0%	26名 11.4%	11名 10.1%	7名 8.8%	18名 9.5%	
キ 温度に応じて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。	4名 4.7%	4名 5.8%	8名 5.2%	4名 4.7%	3名 3.1%	7名 3.8%	9名 6.2%	3名 3.7%	12名 5.3%	7名 6.4%	0名 0%	7名 3.7%	
ク その他	0名	0名	0名	0名	1名 1.0%	1名 0.5%	2名 1.4%	3名 3.7%	5名 2.2%	0名 0%	0名 0%	0名 0%	

3 分析と比較・考察

(2) 2017年について: 2016年の発表の際、「選択肢の数が少ないのでは」との意見があったので、2017年は、「熱運動」の選択肢の力の「その他」の欄に、「原子や分子の無秩序な運動を熱運動といい、この運動により熱が生まれる。」という記述があったのでこれを新たに取り入

(1) 2015年と2016年について: 「熱運動」「熱エネルギー」とも、選択肢の数は4個で、工業化学科と物理学科で多少の違いは見られたが、ほぼ同様な結果が得られた。「熱運動」では、最多はイの「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。」が46~48%、次はウの「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。」が32~48%であった。一方、「熱エネルギー」では、最多はイの「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。」が48~52%、次はウの「熱はエネルギーの一形態なので、熱あるいは熱量のこと。」が47~44%であった。

れ、「熱運動」については選択肢の数を6個に増した。他方、「熱エネルギー」については、エ、オ、カを追加して、選択肢の数を7個に増やして実施した。結果は予想外のものとなった。「熱運動」では、最多はアの「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。」が35.5%、2番目はエの「熱量に応じ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。」が25.4%、3番目はウの「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。」が25.0%、4番目はイの「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。」が11.0%、このイの選択肢は2015年と2016年では最多の46~48%もあったものである。一方、「熱エネルギー」では、最多はオの「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。」が28.5%、2番目はエの「物質が持つ熱のエネルギーを熱エネルギーという。」が20.2%、3番目はイとウで、この選択肢は2015年と2016年では最多の48~52%と2番目の47~44%もあったものである。選択肢の力の「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を熱エネルギーという。」は11.4%で5番目であった。高校の「物理基礎」の教科書などでは「熱エネルギーは内部エネルギーのうち分子などの運動エネルギーを表す」とあるが。

(3) 2018年について: 「熱運動」の選択肢はそのままし、「熱エネルギー」の選択肢を1つ増やし、アとして「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。」を設けた。結果は、「熱運動」では、最多はアが45.5%で、前年より10ポイントも増加した。2番目のエはほぼ前年と同じで、3番目のウは9ポイント減少した。このことは、2017年のウの選択から2018年はアに移動したことが分る(母集団が異なるので、学生そのものが考えを変えたわけではないが)。一方、「熱エネルギー」では、最多は新設のアが28.6%、前年最多だったオは4番目で12.7%と15.9ポイント減少。2番目はウの22.2%、3番目はイの14.3%で、前年より6ポイント増加。カは9.5%の6番目で、1.9ポイント減少。以上見たように、「熱運動」「熱エネルギー」についての初学者の理解は、混乱していることが分る。混乱の要因はこれらの言葉がもつ語感にあるように思われる。「熱運動」の用語は高校の「物理基礎」や「化学基礎」教科書に、必ず出てくる用語であるがその意味が全くと言ってよいほど理解されていないことが分る。又、「熱エネルギー」の用語も、カを選択者は1割で、同様なことが云える。「熱運動によって、熱が生まれる」は、熱の運動論のものであり、「物質が熱を持つ」という考えは、「熱概念のパラダイム転換」⁴⁾以前のものである。初学者の熱概念の理解が進まないのは、「熱運動」等の用語が古い時代のもので、誤概念を誘発するからである。誤解や混乱を起こさないために、誤概念が生じない物理学的に適切な用語の修正が待たれる。

4 参考文献

- 1) 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理解や混乱の実態 物理教育学会第33回物理教育研究大会発表予稿集(2016)pp. 65-66
- 2) 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) pp.71-72
- 3) 五十嵐 靖則 熱概念に対する学生の理解と混乱の実態の実態(4) 物理教育学会第36回物理教育研究大会発表予稿集(2019) pp.42-43
- 4) 五十嵐 靖則 「熱概念」のパラダイム転換について 物理教育学会第38回物理教育研究大会発表予稿集(2022) pp.46-47

小学校第3学年理科「風とゴムのはたらき」における

エネルギーの体感を目的とした協働的な授業の提案

^A長岡賢, ^A阪本悠真, ^A鬼澤宥人, ^A小林弘太郎, ^A埜正之, ^B河原駿, ^B三本木優也,
^B波多野広修, ^B真崎琉維, ^B小林晋平
^A東京学芸大学教職大学院, ^B東京学芸大学教育学部
m233403g@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

エネルギーという言葉は日常で広く使われているが、理科や物理における言葉の使い方とは異なっていたり、目に見えないために定量化が難しかったりするという問題がある。これに対し、筆者らは小学校3年生理科「風とゴムのはたらき」の単元において、児童がエネルギーを体感として理解できるような授業として、複数の教材制作と授業実践を行った。具体的には、児童の個人作業としてスマートボール台の製作や針金を使った振り子の製作を行い、さらに学年全体の活動として巨大な振り子を使った遊びを取り入れた。本稿ではこうした実践のねらいとその際の様子について報告する。

2. 研究の背景

エネルギーについて学校教育で初めて取り扱うのは、小学校3年生理科における「風とゴム」の単元である。平成29年度告示の小学校学習指導要領では、本単元は『『エネルギー』についての基本的な概念等を柱とした内容のうちの『エネルギーの捉え方』に関わるものであり、第5学年『A(2)振り子の運動』の学習につながるものである』とされている[1]。風とゴムの力によって物体が動く様子について観察・比較することで風やゴムの働きを調べる活動を行うものである。

本実践では、風を受けたときやゴムの力を働かせたときの手ごたえなどの体感を基にした活動に焦点を当て、身体感覚を通してエネルギーを理解してもらう方法を考えた。

3. 授業の実践例

3-1 スマートボール台の製作を通して弾性エネルギーを体感する活動

まず、弾性エネルギーを児童に体感してもらうために図1のようなスマートボール台を製作し、完成したもので遊ぶ活動を行った。スマートボール台の外枠や、ボールを発射する機構は全員共通で製作し、それ以外のポケットやレールなどは児童それぞれが工夫を取り入れた製作を行った。

3-2 ミニ振り子を使った位置エネルギーと運動エネルギーの変換を体感する活動

次におもりの役割をなすナットと針金で図2のような振り子を製作し、おもりを床に置いたそりに当てることでそりを動かす活動を行った。これは振り子のおもりを持ち上げることによる位置エネルギーによってそりが動くことを経験してもらい、そのあとに行う特大振り子との接続をスムーズにすることを目的とした活動である。今回は事情によりミニ振り子の製作や児童が遊ぶ時間に十分な時間をとることができなかつたため、この活動がどのような面で効果的かという見取りはできていない。

3-3 巨大振り子を使った，仕事と位置エネルギー・運動エネルギーの変換を体感する活動

最後に体育館へ移動し，エネルギーの調節を体感してもらうために，第3学年全体で特大振り子により段ボールの空箱を特定の場所まで動かす活動を行った(図3)．なお，段ボールが滑りながら動くようにビニール袋を用いてホバークラフトのようにするなど，装置にはいくつかの工夫も行った．

これらの活動の後，エネルギーが様々な姿を持っており，その姿を変えることができること，それらと自分の疲れや活動中の大変さを結び付けるまとめを行った．これにより，エネルギーを身体感覚として理解してもらうことを目指した．



図1：児童が製作した
スマートボール台の例



図2：児童が製作した
ミニ振り子の例

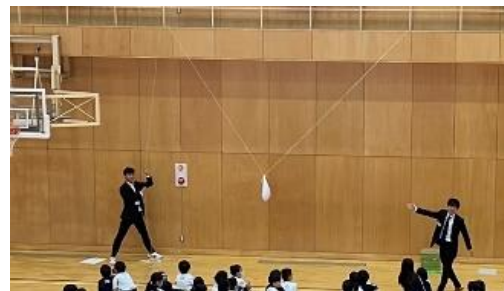


図3：体育館のギャラリーから吊った
巨大振り子

4. 児童の反応とまとめ

今回の活動における我々の目標をあらためて述べると，

1. エネルギーは様々な姿を持っており，姿を変えることもできることを遊ぶ中で理解する
2. エネルギーをゴムやボールに与える過程で，自分の大変さとエネルギーを接続させる

という点にあった．

今回の実践では特大振り子の活動で最も顕著に児童の様子を見取ることができた．教員が何も言わずとも互いに声をかけはじめ，児童全員が高さの調節に関して進んで取り組んでいた．このように児童が主体的に活動していた理由として、試行錯誤することやおもりの高さの体感的な調節，何より活動が児童にとってやる価値があると思われるものであったことが挙げられる．

最後に，児童から感想の手紙をもらうことができたが，そこには「スマートボールのエネルギーをコントロールするのが難しかった」などの記述が見られ，児童がこの活動を通して，エネルギーを体感的に理解することができていたことを見取ることができた．開発した教材を実践した初回としては概ね成功したと考えられる．

5. 謝辞

今回の授業実践にあたり，開智望小学校の3年生担任団の先生をはじめとする皆様，中でも渋谷澁花先生，教頭の樋口努先生には並々ならぬご協力を賜りました．また授業者として，東京学芸大学教育学部物理学教室小林晋平研究室の学生である，佐々木美友さん，寺島直哉さん(当時学部4年)にご協力いただきました．心からお礼申し上げます．まことにありがとうございました．

参考文献

- [1] 文部科学省，小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編
- [2] 金子真理子 他，「未来のカリキュラム」をどう創るか，創風社(2024)
- [3] 文部科学省，高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編

縦波のウェーブマシン-縦波の疎密を観察する装置-

松田慎之介、宗尻修治

広島大学大学院 先進理工系科学研究科

m245375@hiroshima-u.ac.jp

1.背景と先行研究

縦波は横波に比べて視覚化するのが困難でありイメージしにくいとされている[1]。高校で一通り物理を学んだ大学生であっても縦波・音波の伝わり方については正しく理解していないことが分かっている[2]。

波動を視覚化する方法としてウェーブマシンが挙げられる。縦波のウェーブマシンには、実際に縦波を発生させる装置と、実際の波は発生させないで縦波の「かたち」を見せる装置の2タイプがある。前者には、ばねとおもりを複数接続したもの[3][4]や、おもりを次々と衝突させ[5]、波を伝播させるものなどがある。後者には、複数の振り子の振動のタイミングを調整することにより縦波のかたちを作るもの[6]、横波を縦波のかたちに変換するもの[7][8]、紙に書かれた模様を見せるもの[8]などがある。

実際の縦波を発生させるタイプは波の教材としては本質的だが、反射波が生じ、それが入射波と重なり純粋な進行波の観察が困難になるという問題がある。また写真・動画などで見返さないと瞬間的な形や波長、速さなどの波の特徴を捉えることが難しい。一方縦波のかたちを見せるタイプは実際の波ではないが、波の伝わる様子を、速さをコントロールしながら観察できるというメリットがある。

2.アイオワの縦波ウェーブマシン

縦波のかたちを見せるウェーブマシンの歴史的なもののひとつが、アイオワ大学のコレクションの中にある[7]。カムと棒の上下運動を水平方向の運動に変換して縦波の動きを再現するものである。図1は、その機構を確認するために作った単一のカムとカムの上に乗せた振動子（棒）の模型である。円筒状のカムは駆動軸から中心をずらして配置されているため、軸を回転させると上下運動する。そして上に乗った棒も押されて上下方向に運動する。棒は2つの45度傾いたガイドと水平の溝に拘束されているため、棒の他端は水平方向の運動に変換される。文献の装置では、これが横一列に並び、少しずつずれて運動することにより縦波の疎密の動きを作り出す。今回は新しい縦波ウェーブマシン開発への足がかりとして、アイオワ大学のウェーブマシンを再現してその問題点を明らかにし、改善することを目的とした。

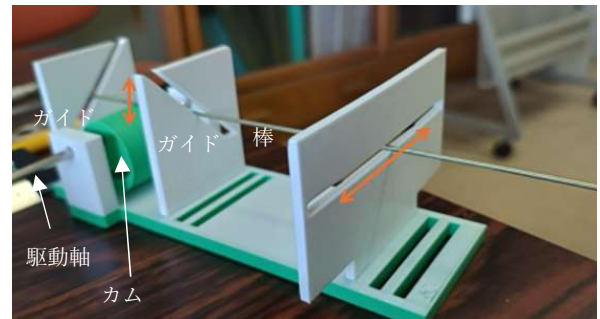


図1：機構解説のための模型

3.製作した装置

カムやガイド製作にはCADソフト (Autodesk社製 Fusion360) と3Dプリンター (Anker社製 AnkerMake M5C) を用いた。



図2：装置全体の外観(横1m×奥行30cm×高さ13cm)

デジタルで図面を作成・管理し、複雑な部品の作成を自動化した。

図2が製作した装置の写真である。駆動軸には29個のカムが45度ずつ回転して並び、横波の形になっている。駆動軸を回すと、上に乗った棒はカムの上下とともに、写真奥の歯に従い傾いて持ち上がる。写真手前側、装置正面から棒の端に取り付けられた球を見ると大きな疎密の動きが観察できる。

アイオワのウェーブマシンからの改良点として、カムの機構を新しくした。オリジナルの装置は全てのカムが駆動軸に固定されていたため、駆動軸を回すと全ての振動子が同時に動き出す。これは実際に波が波源から次々に伝わっていく様子とは異なり違和感を与える。今回の装置では、カムの機構を改良し、駆動軸の回し始めではハンドル側からカムと振動子が順に動き出し、次々に変位が伝播する動きをするようにした。また奥のガイドを溝に変更し製作をより簡易にした。

4.おわりに

今回歴史的な縦波ウェーブマシンのメカニズムを再現する装置を製作した。さらに、改良を加え、波源から変位が次々に伝播する実際の縦波に近い動作が実現できるようにした。現時点ではまだ若干動作がぎこちなく、強度の問題や、長時間動作させ続けると棒がカムから脱落するなど構造に改善の余地がある。今後も製作を続け、授業や博物館など様々な場面での演示に足るクオリティの装置を目指す。

参考文献

- [1] R. D. ナイト(並木雅俊 監訳) (2017): 『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
- [2] 濱田彩日香, 宗尻修治(2022) 「大学1年生を対象にした力学的波動伝播に関するインタビュー調査一問題を解く際の思考過程の分析」, 日本物理学会
- [3] 石井裕基, 梅田貴士, 前原俊信(2015) 「遅い縦波の実験教材の開発」, 日本理科教育学会
- [4] 影島賢巳, 宮城拓海(2024) 「縦波の伝搬と反射を可視化する新しいウェーブマシンの開発」, 物理教育, 72, 1, 1-4
- [5] 石黒浩三(1969), 「伝播機構の解明に重点を置いた波動のモデル実験」, 物理教育, 17, 2, 13-18
- [6] James Flaten; Ronnie Cooper (2005): “Improving Upon Mach’s Wave Machines to Demonstrate Traveling Waves”, Phys. Teach. 43, 304-307
- [7] John D. Daffron, Thomas B. Greenslade, Jr. (2010): “The Iowa wave machines”, Phys. Teach. 48, 200-201
- [8] Thomas B. Greenslade, Jr. (2023): “Some Thoughts about Longitudinal Wave Machines”, Phys. Teach. 61, 202-203
- [9] Thomas B. Greenslade, Jr. (1980): “Apparatus for natural philosophy; 19th century wave machines”, Phys. Teach. 18, 510-517

『扇風琴』の学校授業への展開可能性

^A真崎琉維, ^A河原駿, ^B埜正之, ^A小林晋平

^A東京学芸大学教育学部, ^B東京学芸大学教職大学院

b212337k@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

中学校理科「音」の単位では、音の高さと振動数の関係を扱う。この単位では音叉や弦などを用いた実験が行われる。これらの実験では、オシロスコープを使うことで鳴らした音の振動数の大小関係を確認することができる。我々は、音の高さと振動数の関係をより簡単に体感できる教材として「扇風琴」という楽器を教材用に改良した。本発表では扇風琴の概要およびその特徴や教材化の可能性について述べる。



図1. 扇風琴

2. 扇風琴について

扇風琴は「ELECTRONICOS FANTASTICOS!」[1]が制作した楽器であり(図1), 光源, 等間隔に穴の空いた円盤, 光センサーを搭載した光ピックアップからなる。扇風機の羽根を図2のような穴の開いた円盤に取り替え, 図3のように扇風機の後ろ側から光を当てる。円盤を回転させると, 円盤を通過する光の量が一定の周期で変化する。この状態で光ピックアップを扇風琴の前面で構え, 光センサーでこの光の明滅を感知して電気信号を生み出し, スピーカーに繋げることによって光の明滅と同じ振動数の音が出る仕組みである。

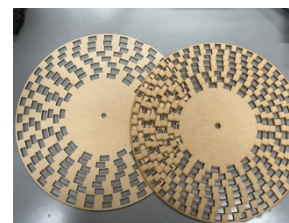


図2. 扇風琴の円盤

扇風琴の円盤の穴の数はレーンごとに異なっていて, 一定の角速度で回転している場合には, 光ピックアップを構える位置を変えると音の高さが変化する。レーンの数を変えればその分だけ音階をつくることができる。

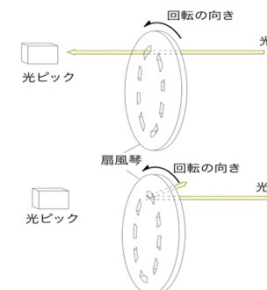


図3. 扇風琴の仕組み

3. 教材化の工夫

扇風琴はそれ自体で大学の教養課程でも使用できる優れた教材であるが, 中高などで教材として活用するには量産に時間がかかることが問題である。そこで我々は円盤の単純化と光ピックアップの回路の単純化という2点を改良した。

一つ目について, 扇風琴は, 扇風機の羽根を図3のような円盤に取り替えて製作するが, レーザーカッターなどが無ければ製作に時間を要する上に扇風機を大量に用意することも難しい。そこで, 図4のように3レーン程度, 厚紙にカッターで規則的に穴を開け, モーターに取り付けた。これによって円盤を用意しやすくなることに加え, 生徒が紙を切って作ることもできるようにした。

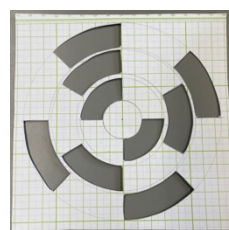


図4. 厚紙で製作した羽根

二つ目について, 光ピックアップの中の回路は単純ではあるが, オペアンプなどを用いているため, 中学校1年の授業で用いるには難しい。また, 光ピックアップを作動させるために電池を使用する必要があるが, コスト面でも問題がある。そこで, 図5のように回路部分を太陽電池に変更した。このとき, 太陽電池の面積が大きいと狙った音を出すことができない為, 中心部分に穴を開けた厚紙を被せた。この光

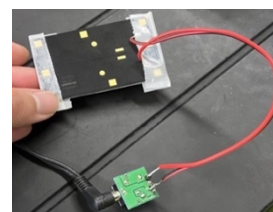


図5. 変更した光ピックアップ

ピックは太陽電池のアウトプットとインプットの部分にイヤホンジャックをはんだ付けするだけで製作することができるため、量産することが可能であり、乾電池を必要としない点でも優れている。

なおこの教材に似た実験として[2]があるが、反射光ではなく通過してくる光を感知している点、モーターを使い一定の速さで回転させることができる点などが異なる。

4. 扇風琴の教材としての長所

扇風琴の教材としての長所は三つある。一つ目は光ピックが拾う信号の振動数の大小関係をオシロスコープなどの補助器具なしで理解できる点である。具体的には、モーターを使って一定の速さで円盤を回転させた場合、単位時間あたりに光が明滅する回数は1周あたりの穴の個数に比例する。そのため、穴の個数が外側にいくほど多くなるように円盤を作れば、外側にいくほど振動数も大きくなり、それに対応して音も高くなるのが容易にわかるのである。

二つ目は、生徒が実験器具を製作して音を鳴らすことができる点である。生徒が円盤の穴の形や個数、太陽電池を覆う紙の面積などを調整することで音の三要素をより主体的な活動を通して確かめることができる。具体的には、振幅と音量の関係については太陽電池を覆う紙の面積、音色と波形の関係については円盤の穴の形をそれぞれ変えることで確認できる。また、音の高さと振動数の関係を調べる方法は前述した通りである。さらに、穴の数を調整することによって、探究活動として音の高さと振動数の関係を定量的に調べることも可能である。

三つ目は音楽性の高さであり、これについては次節の「音楽との教科横断」で言及する。

5. 音楽との教科横断

扇風琴は、円盤の工夫次第でさまざまなスケールの音を鳴らすことができるため、楽器として演奏できる点で、音叉や弦よりも音楽性が高い。理科(物理)の授業では音の三要素について学習するものの、実際に音を奏でて楽しむことは少ない。一方で、音楽の授業においては、音を奏でることはあるが、音の違いがどのような原理で生じるのかということに触れることは少なく、またそういったギャップを埋めるような教材も少なかった。扇風琴によって音の三要素の変化が従来に比べて容易にわかることに加え、前述した音楽性の高さから、物理と音楽の両方の側面から探究を行うことができるようになる。

6. 展望

本研究は扇風琴の教材化の端緒であり、さまざまな面で改良の余地がある。たとえば太陽電池のピックに変更したために扇風琴の音量がとても小さくなってしまい、ジャックノイズなどの雑音が相対的に大きくなってしまいう問題がある。また、中高校生向けの実験・探究活動への利用や理科・物理の授業への応用はまだ実践していないため、学習的効果の検証を今後行う予定である。

6. 謝辞

本研究において ELECTRONICOS FANTASTICOS! の皆様、ならびに東京学芸大学の藤村聡客員准教授には多大なご協力を賜りました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

[1] ELECTRONICOS FANTASTICOS!, <https://www.electronicosfantasticos.com/>.

[2] 白黒模様が音をつくる!?, NGK サイエンスサイト, <https://site.ngk.co.jp/lab/no209/>.

超音波の光学的可視化による教材開発

—ホイヘンスの原理に基づいた屈折波の説明—

¹大橋泰紀, ¹澁谷和典, ¹宮本悠大, ¹嶋谷早也伽, ¹戸部太陽,
¹阿部裕悟, ¹山本健,
¹関西大学システム理工学部物理・応用物理学科
 k598668@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

高等学校において、波動の性質を実験的かつ視覚的に学習するために、水波投影装置を用いることがある。しかし、教育現場で実験の時間的・空間的余裕がない場合、実験結果である静止画を参考に波動の性質の説明を行うことが多い。一方、コンピュータシミュレーションを用いた教材も効果的ではあるが、現実起こった物理現象を学生へ視覚的に伝えることが重要であると考え。我々は、透明媒質中の超音波を光学的に可視化することにより、その動画を波動分野の学習用教材として利用している^[1]。本研究は、「ホイヘンスの原理に基づいた屈折波の説明」の学習を助けるため、水／ガラス界面での超音波の屈折を撮影した。

2. 超音波の光学的可視化

今回用いた Fresnel／光弾性法の光学系を Fig. 1 に示す^[2-4]。水中の超音波の可視化には Fresnel 回折を利用し、ガラス中の超音波の可視化には複屈折を利用した。光源には、短時間発光可能な Xe フラッシュランプを用い、発光及び超音波励起の同期を行うことにより、任意の時間の静止画やスローモーションビデオの撮影が可能となる。

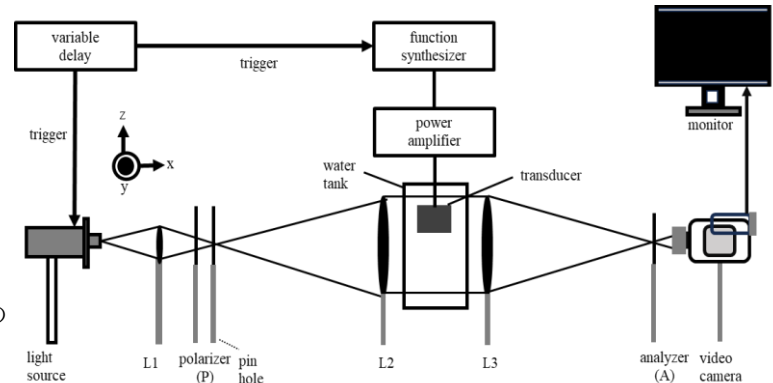


Fig. 1 Optical configuration for Fresnel and photoelastic visualization.

3. 可視化結果

Fig. 2(a)及び(b)は、周波数 1 MHz の超音波が直径 30 mm の振動子で励起されてから 24.2 μ s 経過したときの像である。上部が水、下部がガラスであり、右上部に振動子を配置した。(a)は Fresnel 法のみを用いているため水中の超音波だけを観察している。一方、(b)は Fresnel／光弾性法を用いて可視化した像であり、水中の反射波及びガラス中の屈折波の波面を可視化している。(a)では、入射平面波の境界面の任意の 3 点における超音波到達時間を示している。この 3 点を波源として、異なる半径の素元波を描いた。素元波の半径は、それぞれの波源において「24.2 μ s と到達時間の差」と「ガラス中の横波の速さ (3430 m/s)」との積を図の縮尺を考慮して決定した。図中の L_1 は、ホイヘンスの原理を用いて描いた横波の波面である。Fig. 2(b)では、ガラス中の縦波屈折波 (P) 及び横波屈折波 (S) が確認できる。Fig. 2(a) 及び (b)より、ホイヘンスの原理を用いて描いた横波と、超音波の可視化によって観察された波面が良く一致

していることが分かる。

Fig. 3(a)及び(b)に超音波励起後 22.8 μs 経過したときの像を示す。水中にガラス円柱を置き、垂直に超音波を入射した。Fig. 2と同様、(a)は Fresnel 法のみを用い、(b)は Fresnel/光弾性法を用いて可視化を行った。Fig. 3(a)にホイヘンスの原理を用いて描いた横波の波面(L₂)を示す。(b)では、縦波屈折波と横波屈折波が確認できる。Fig. 3においてもホイヘンスの原理を用いて描いた横波の波面と超音波の可視化によって可視化した波面が良く一致した。

4. まとめ

光学的手法を用いて超音波を可視化し、ホイヘンスの原理に基づいた屈折波への理解を深めるための教材を作成した。伝搬時間、音速及び可視化像の縮尺

より求めた半径を有する素元波を描き、ホイヘンスの原理によって屈折波の波面を決定することができる。また、同じ時間に観察したガラス中の波面と比較することによって、平面だけではなく、曲面における波の屈折を理解することができる。

参考文献

- [1] 山本健, 井上知美, 音村明良, 筒井和幸, 本管正嗣, 浅川誠, 伊藤博介, 鈴木直, 藤井和成, 「超音波を用いた波の干渉を理解するためのビデオ教材開発」日本物理教育学会近畿支部年報, **18**, 12-25, 2012.
- [2] K. Yamamoto, “Optical visualization of ultrasonic waves propagating in a fluid waveguide,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **26**, 378-380, 2005.
- [3] K. Yamamoto, P. Pernod and V. Preobrazhensky, “Visualization of phase conjugate ultrasound waves passed through inhomogeneous layer,” *Ultrasonics*, **42**, 1049-1052, 2004.
- [4] K. Yamamoto, K. Nishimiya, N. Wakatsuki and K. Mizutani, “Optical visualization of coupling modes of leaky Lamb waves with negative group velocity in the solid/fluid/solid tri-layer,” *Acoust. Sci. & Tech.*, **31**, 185-187, 2010.

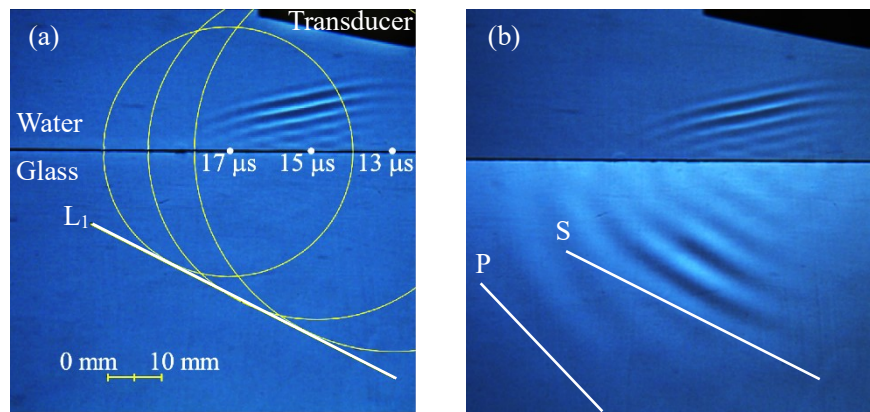


Fig. 2 Optical visualization of ultrasonic waves at water/glass interface. Wavefront of a refracted shear wave drawn based on Huygens' principle (a). Visualized wavefronts of a refracted shear and a longitudinal wave (b).

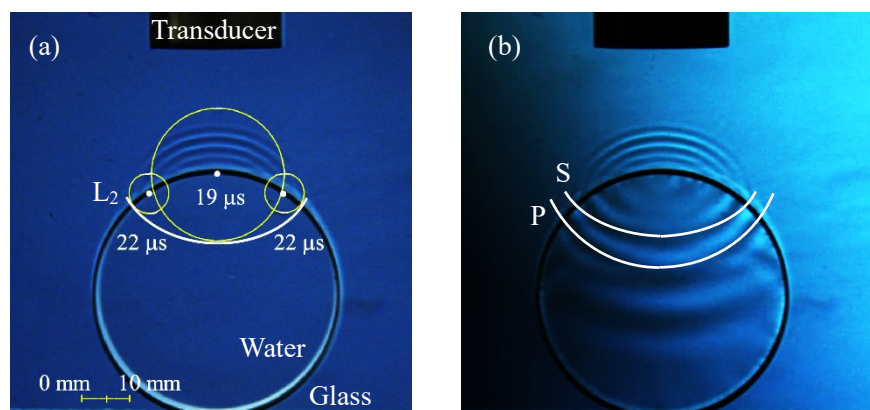


Fig.3 Optical visualization of ultrasonic waves in water and glass cylinder. Wavefront of a refracted shear wave drawn based on Huygens' principle (a). Visualized wavefronts of a refracted shear and a longitudinal wave (b).

起潮力と潮汐を結ぶ周期性の概念

池田 幸夫

広島修道大学ひろしま協創中・高等学校（山口大学名誉教授）

ikedada2329@gmail.com

<研究の概要>

起潮力の周期は自転周期の 1/2, 約 12 時間である。周期性に着目した強制振動潮汐論は, 世界に広く普及している伝統的な潮汐像とは両立しない。その概要は, 以下の通りである。

- ① 水深 22,000m を境に, 海洋潮汐は「逆位相」・「同位相」・「共振（潮汐バースト）」に分類できる。この分類を適用すると, 海洋潮汐は**逆位相**で, 地球潮汐は**同位相**である。
- ② グローバルな海洋面の形は, 楕円→円→楕円→円→楕円・・・と変化する。周期は約 12 時間の楕円振動である。この運動は, 力学的エネルギー保存の法則によって説明することができる。
- ③現在の自転周期の遅れ (0.0024 s/100 年) が続くと仮定すれば, 約 46 億年後の海洋には, 共振による巨大な潮汐 (**潮汐バースト**) が発生するであろう。
- ④固体地球の固有周期は約 1 時間である。ゆえに, 自転周期が 2 時間になると, 固体地球の潮汐バーストはおこる。現在でも地球が存在している事実は, 原始地球に潮汐バーストが起こらなかったことを意味している。したがって, 原始地球の自転周期は 2 時間より長かったはずである。

1. 潮汐説明の矛盾

図 1 のような潮汐説明 (気象庁HP より) が, 世界中で広く認められている。この説明では, 月が南中した地点が満潮となるはずだが, 実際にはそのようなことは起こっていない。太平洋西岸では, 逆に干潮になっているのである。この矛盾は, 以前から指摘されている (谷村など)。

もう一つの矛盾は, 自転によって干満の位置を 1 日に 2 回通るという素朴な説明である。潮汐は 1 日に 2 回起こるので, この説明には「なるほど!」と人を納得させる効果がある。しかし, 力学的にはおかしい説明である。潮汐波の速さ (毎秒約 200m) と, 自転による移動の速さ (毎秒約 460m) を比べれば, その矛盾は明らかである。

2001 年に福住靖治が提唱した強制振動潮汐論は, 二つの矛盾を同時に解消する理論である。その 1 年後には, ロシアの Butikov (2002) も同様の論文を発表している。論文ではないが, 中央大学の学生向けに書かれた流体力学のテキストの中で, 中野徹 (流体力学の専門家) は潮汐は強制振動現象であることを理論的に証明している。私がこの問題に興味関心をもったのは 2010 年頃で, 2019 年と 2022 年には, 本発表の土台となる論文を公開している。参照していただければ光栄である。

2. 起潮力の周期性から導かれる潮汐の運動像

本研究では, 観測データから強制振動を解析的に証明する方法はとらない。潮汐現象に強制振動を仮説として適用して**演繹的**に潮汐像を導き, 実際の潮汐と比較することによって, 潮汐の力学的起源に迫る方法をとっている。問題を単純化するために, 本研究では赤道に沿って地球を一周する運河状の仮想海洋モデルを導入した。明らかになった潮汐の力学的運動像の概要は, 以下の通りである。

(1) 海洋潮汐の分類

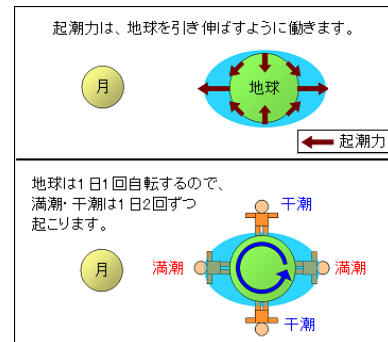


図1 潮汐のしくみ (気象庁HP)

強制振動では、外力の周期 (T) と物体の固有周期 (T_0) が一致したとき、**共振**という激しい運動が起こる。潮汐の場合、外力(起潮力)の周期は約12時間である。海洋の固有周期は水深に依存するので、水深が22,000mのとき、海洋の固有周期は約12時間となる。したがって、水深22,000mを基準に、海洋潮汐の運動は、力学的に3つの型に分けることができる。22,000mより浅い場合には $T > T_0$ となり、**逆位相の潮汐**が起こる。それより深い場合には**同位相の潮汐**が起こり、22,000mに等しい場合には、共振による**潮汐バースト**が発生する。平均水深が約4,000mの海洋の潮汐は逆位相である。つまり、月が南中したところは満潮ではなく干潮となるのである。ちなみに、地球潮汐は同位相である。

(2) 海洋面の楕円振動

図2は、月と位置と海水面との関係を示した模式図である。左端の図のように、海水面が楕円形に変形すると、盛り上がったところの海水は位置エネルギーで下降し、連動して短軸方向では海水面が上昇する。約3時間後に月が45°回転すると、海水面の形は円になる。この円は重力の等ポテンシャル面に一致するが、運動エネルギーが最大となるために、海水面の上下運動はそのまま続き、さらに3時間後には再び楕円形に戻る(図2の真ん中の図を参照)。

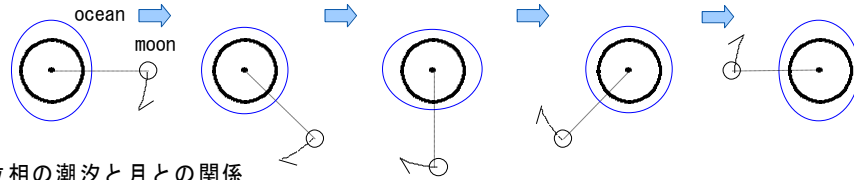


図2 逆位相の潮汐と月との関係

(3) 潮汐バースト

地球の自転周期は100年間に約0.0024秒ずつ遅くなっている。この遅れが続くと、約46億年後の自転周期は約56時間となる。自転周期が56時間するとき、起潮力の周期はその1/2の約28時間である。両者が等しくなると、海洋には共振による潮汐バーストが発生する。

地球の自由振動の解析から、固体地球の固有周期は1時間弱であることが分かっている。したがって、自転周期が約2時間になれば、固体地球の潮汐バーストが起こることになる。固体地球の潮汐バーストは、固体地球を崩壊させる可能性がある。地球は現存している事実は、原始地球の自転は非常に速かったが、周期が2時間以下にはならなかったことを意味している。もしなっていたら、原始地球は潮汐バーストによって、粉々に崩壊したはずだからである。

3 宇宙から捉えた潮汐

人工衛星に搭載した海面高度計によって、潮汐を宇宙から捉えることができるようになった。白黒表示で分かりにくいですが、図3は海面高度の振幅を色分けした画像である。図中に示されている楕円は、海水面の上下動が大きい領域(バルジ)の位置を示すために、筆者が加筆したものである。

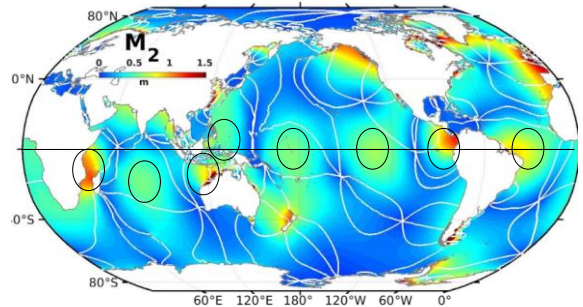


図3 宇宙から捉えた海水面の振幅
楕円は振幅の大きい領域 (https://www.tpxo.net/global)

図3に示されているように。海面の振幅が大きい領域は、赤道に沿って太平洋に4カ所、インド洋に3カ所、東西幅が狭い大西洋では1カ所あり、かつその位置は固定されて移動することはない。陸地による分断を考えない仮想運河モデルでは、バルジの数は4カ所である。したがって、仮想運河モデルと実際の潮汐との間にはバルジの数に大きな相違がある。その原因は赤道に沿った海洋の長さが関係していると予想できるが、原因究明の糸口は今のところ分からない。この問題の理論的研究の進展に期待したい。

簡易パルス電源を用いたクリップモータ教材の作製

一戸隆久^A, 熊澤匠真^B

^A東京工業高等専門学校電子工学科, ^B東京工業高等専門学校教育研究技術支援センター
ichi@tokyo-ct.ac.jp

1. はじめに

小学校5年生の理科で電磁石の性質を学習し, その応用としてモータが紹介されている[1]. エナメル線で作る簡単なモータの一例としてコイルモータ(クリップモータ)が挙げられるが, 直流の場合には整流子が必要となるためエナメル線コイルの片腕側を半面磨きとして半回転後には通電しないように工夫が必要である. 本校では中学校を卒業したばかりの1年生に基礎実験として直流型クリップモータの製作を通じて創意工夫の探求に取り組んでもらっている. 多様な学生の「個」に合わせた学修者本位の教育を展開するために事前学習用ビデオ教材を独自に作成し[2], 授業内で説明してきたが, この半面磨きの必要性をあまり理解できていない学生も見受けられる. 小学校5年生への出前授業においてもその理解は難しいため, 視覚的にわかりやすい工夫が必要であると感じてきた. そこでデジタル IC を利用した簡易型パルス電源を作製しモジュール化することによって, 多様な学習者にも分かりやすい授業補助教材や出前授業教材としても有用なハンドヘルドかつパルス波形観測を基にした視覚的で直感的に理解できるクリップモータ教材の作製を試みた.

2. 作製回路について

本取組みでは小型ブレッドボード上にパルス発振回路を試作し, パルス電源によって駆動するクリップモータを同一ボード上に試作した. 図1に簡易型パルス発振回路の回路図を示す. デジタル IC であるシュミットトリガーインバータ(74HC14AP)を用い, 抵抗 R_1 とコンデンサ C によって発振周波数を決められるパルス発振回路となっている. プロトタイプングとして C を $47\mu\text{F}$ の電解コンデンサ, R_1 をフルスケール $1\text{ k}\Omega$ の可変抵抗とした. 出力に発光ダイオード(LED)を接続し, 点滅を観察することによって発振の様子を視覚化した. 実際に回路を製作する際には, IC 内に6個の素子が配置されているため未使用素子の入力に電気信号を与え, IC の動作を安定させるよう空きピン処理を施している. クリップモータのコイルは $\phi 0.26\text{ mm}$ のポリウレタン被膜線を5回巻きとした. クリップモータを回転させるためには図2の右半分の回路を追加した. クリップとトランジスタの放熱板用ネジ穴を利用してコイルをつるし, コイル径と同程度のネオジウム磁石($6\times 12\times t4\text{ mm}$)を直下に配置した. コイルに流す電

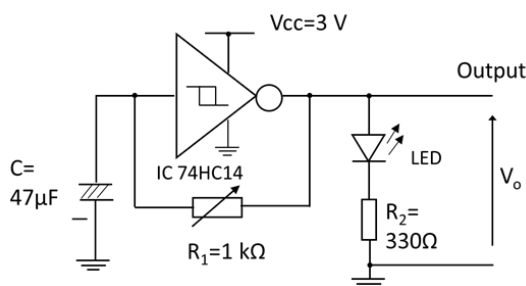


図1 簡易パルス発振回路図

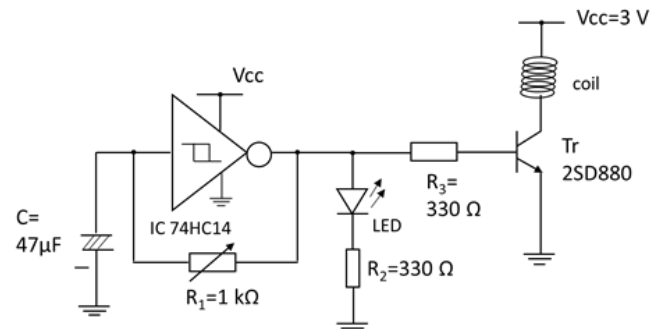


図2 クリップモータ駆動回路図

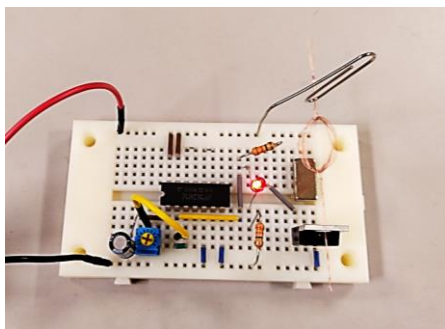


図3 完成したクリップモータ回路の全景

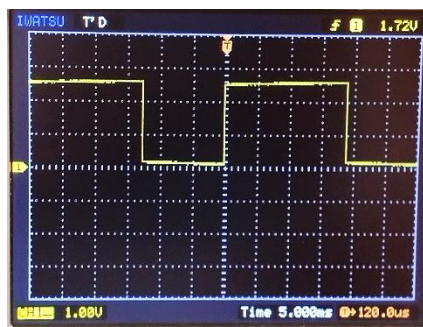


図4 観測したパルス波形の一例

流を考慮し、コレクタ電流の最大定格が 3 A のトランジスタ(2SD880L)を通じてコイルに通電した。本回路は最初のプロトタイピングであり、コイルに流れる電流を制限しないようにエミッタ抵抗を外し、実質的にコイルの抵抗によって電流が決まる仕様にしたため電流が比較的多く流れる。従って、モータ回転を継続すると次第にトランジスタが発熱するため注意が必要である。

3. 教育実践例

当学科に配属された 2 年生に対し 2 名 1 組のグループワークとして実施した教育実践例を以下に述べる。実践した学年はデジタル回路を同時並行で学習しているが、デジタル IC を用いた実習をしていないため不慣れであることを想定し、空きピン処理は事前準備した上でブレッドボードと電子部品を配布した。完成した回路の写真を図 3 に示す。左端の赤と黒のジャンパ線が 3V 電池であり、右端にはトランジスタとクリップにつるしたコイルが回転している様子を捉えた。図 1 の出力端にオシロスコープを接続して観測した電気信号波形の一例を図 4 に示す。可変抵抗 R_1 の値を調節するとパルス幅が変えられ、適切なパルス幅を選択するとクリップモータが回転する。 R_1 の変化によってオシロスコープ上ではパルス幅の変化が確認できるため ON 状態と OFF 状態が視覚的に理解でき、コイルの半回転と同期した場合に回転が継続することが直感的に理解することができる。

4. まとめ

シュミットトリガーインバータを用いた簡易パルス発振回路を電源としたクリップモータ駆動回路を試作した。デジタル IC を利用しているため乾電池 2 本で駆動でき、小型モジュール化することも可能なプロトタイプである。可変抵抗を調節して発振周波数を適切に選び、パルス波形の ON 状態と OFF 状態をコイルの半回転に同期させるとモータが継続的に回転することを視覚的にも直感的にも理解できる教材として期待できる。

謝辞

本取り組みは東京工業高等専門学校名誉教授 小池清之先生にご指導及びご助言を賜り、試作及び教育実践することができました。心より深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 養老孟司, 角屋重樹 他(2019): 検定教科書「未来をひらく小学理科 5」, 教育出版, 132-147.
- [2] 一戸隆久, 新田武父(2019): 実験科目における事前学習用ビデオ教材の活用, 東京工業高等専門学校研究報告書 第 51 号, 35-41.

『地上絵プロジェクト』授業実践紹介

科学的なものの見方から出発する算数・理科の教科横断的授業

^A 阪本悠真, ^A 長岡賢, ^A 鬼澤宥人, ^A 埜正之, ^A 小林弘太郎, ^B 井上拓人, ^B 菊池幸記,
^B 波多野広修, ^B 真崎琉維, ^B 小林晋平
^A 東京学芸大学教職大学院, ^B 東京学芸大学教育学部
m233402p@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

地上絵プロジェクトとは、令和5年度文部科学省「特定分野に特異な才能のある児童生徒への支援の推進事業」の一環として東京学芸大学附属小金井小学校にて2023年11月に実施した活動で、4年生の児童を対象に「校庭にナスカの地上絵を模した巨大な地上絵を描く」という授業である。算数において多くの児童が「比」の理解に困難を感じることはよく知られているが、楽しみながらその解決を図ることと、科学的なものの見方を育成することを目的とし、理科的な側面も含む活動を計画し、実践した。

「科学的なものの見方」には学習指導要領でも重視されている「再現性・実証性・客観性（を重んじること）」が想起されるが、ここではそれを「現象をつぶさに観察することで普遍性と多様性を抽出し、法則へ昇華させることで別の現象・場面に応用していく」と具象化して考えた。これは科学という営みを表現したものであるため、そうした例は数えきれないほどあるが、ここでは比の計算とその応用を取り上げた。紀元前250年頃には古代ギリシャのエラトステネスが、夏至の日の太陽の様子から比の計算を応用して地球の全周長を見積もったことが知られている。また同時代には月食を利用して月の大きさが求められており、さらには月までの距離すらも比の考え方をを用いて見積もられていた。これら一連の「研究」に共通しているのは、太陽の運行や月食といった現象を観測し、その背後にある機構について仮説を立て、何らかの実験によって立証するとともにその他の現象へと応用するという流れである。これは現代における科学的なものの考え方(手法)と同じである。高校の授業ではこの一連の流れをすべて探究的に生徒に実施させる授業も展開されているが、今回私たちは小学生を対象とする授業ということもあり、その一部である「応用する」部分を特に取り上げた。

前述のように比の計算には困難を感じる児童が多いが、これは、概念の難しさもさることながら、理解するための単純な反復練習には面白さを見出せないことや、理科に比べて算数の例題で実例を用いることが少なく、実際の場面に考え方を当てはめるイメージがしにくいことが原因と考えられる。そこで、比の概念を活用するような、そして児童がその活動に価値と面白さを同時に見出せるような具体的な題材として、校庭に地上絵を描く活動を行った。

2. 研究の背景

「比」は、平成29年度告示の学習指導要領では小学校6年生の算数で扱う単元とされている。またこれにつながるものとして、小学校4年生で「倍の見方・割合」などを扱っていたり、そもそも割合の考え方自体が日常生活や社会の中でも多岐にわたって利用されていたりなど、「比」や「割合」は重要かつ身近な内容であるといえる。しかし、子どもたちの比や割合に対する理解には課題が指摘されており[1]、これの解決に向けてたくさんの実践もされてきている[2]。この問題に対して、比の概念について

児童の興味を引く例として A4 サイズのプリントに描かれた図を拡大し、線の長さが 100 倍、あるいは 200 倍の図を校庭に描くという活動を考え、全 4 時間の実践を行った。

3. 授業の実践例

3-1 図の拡大と設計図の作製(1, 2 時間目)

地上絵を校庭に描く活動の準備として、はじめに図 1 のような図形の線を 2 倍, 3 倍に拡大し、方眼紙に描き入れる活動を行った。まず同じ形のまま図を大きくするためには、角度を変化させず、線の長さを全て同じ数だけ倍にする必要があることを確認し、その後、難易度に幅をつくった残り 7 種類の図形を自由に選んで拡大させた。次に、校庭に実際に描く 4 種類の図形(図 2)ごとに班分けをし、各班で設計図の作製を行った。

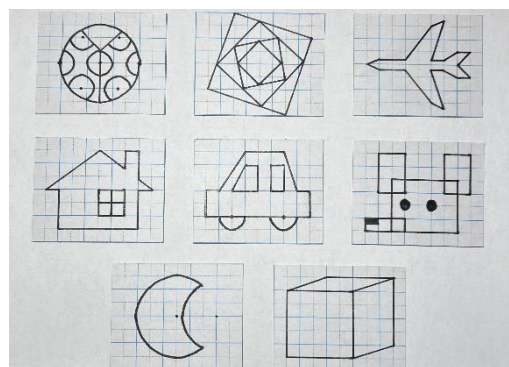


図 1：全 8 種類の図形カード

3-2 地上絵を描く(3, 4 時間目)

各図形の班ごとに分かれ、1, 2 時間目の設計図を基にして、スズランテープやラインマーカー、巻き尺を使って校庭に地上絵を描いた。地上絵が完成した後はドローンで空撮をし、その映像をモニターに映した。

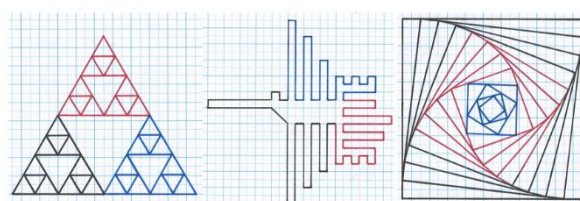


図 2：地上絵用の図(4 種類のうち 3 種)

4. 児童の反応とまとめ

1, 2 時間目の自由に図形を選んで拡大する活動の中で、7 種類の図形の中で難しいものほど児童が関心をもち、積極的に取り組む姿が見られたことは特筆に値する。その子たちの方眼紙には、適切に拡大された図形が描かれており、児童にとっては「簡単なものから段階的に」よりも「基礎を習得したら早速難しいものに挑戦する」形もまた主体的かつ目標とする力の育成に効果があるのかもしれない。3, 4 時間目の活動では、ある班では、活動していくうちに児童の中でやる事が明確になっていき、最終的には指示を出さずとも描き進めていたり、急遽縮尺を変えろという話になった際に、その図の一部の長さをすぐに変更して考えていたりなど、児童が積極的に活動を楽しみながら、比の概念も問題なく習得できていた様子を見取ることができた。今回は附属小学校での活動であり、サポーターとして多くの授業者が入ったものであるため、この授業を汎用化し、それぞれの学校に合った形にどうカスタマイズするか、その際に軸となる本質は何なのかを明らかにすることは今後の課題である。

5. 謝辞

今回の授業実践にあたり、東京学芸大学附属小金井小学校の鈴木秀樹先生、佐藤牧子先生、尾形祐樹先生、4 年 2 組(当時)の児童の皆さんには多大なるご協力を賜りました。また授業者として、寺島直哉さん、佐々木美友さん(当時学部 4 年生)にご協力いただきました。心からお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所, 平成 30 年度 全国学力・学習状況調査 報告書【小学校/算数】(2018)
- [2] 中西 正治, 杉井 誠, 割合の教授法に関する一考察 - 『算数書案 割合』の実証的考察を通して-, 三重大学教育学部研究紀要 第 69 巻 (2018) 195-220 項

2024年度日本物理教育学会年会
第40回物理教育研究大会

発表予稿集

発行日 2024年8月6日

発行者 第40回物理教育研究大会 実行委員会