

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

大会テーマ
「物理教育と平和について考える」

2022年8月11日（木）・12日（金）

於：国立大学法人 長崎大学

（〒852-8521 長崎市文教町1-14）

主催：日本物理教育学会

後援：文部科学省、日本物理学会、応用物理学会、

日本理化学会、長崎県教育委員会、長崎市教育委員会

共催：長崎大学

目次

開催挨拶	1
大会日程	2
会場案内図	3
特別講演	4
原著講演プログラム	9
原著講演	12
ポスター発表プログラム	122
ポスター発表	123

表紙の絵 : Illustrated by Sophia Mauro for The Nautilus Institute, and published under a 4.0 International Creative Commons License.

(日本語要旨「北東アジアにおける核使用の可能性：核リスク削減にとっての示唆」
2022年 1月 : https://www.recna.nagasaki-u.ac.jp/recna/bd/files/Year_1_NU-NEA_Report_J-Summary_220128.pdf の表紙より引用)

第38回 物理教育研究大会の開催にあたって

物理教育研究大会 実行委員会
2022PESJ@gmail.com

皆さま、久しぶりの現地開催となりました。再会を嬉しく思います。

世界的なパンデミックのため、2020年度は開催中止となりましたが、2021年度には東北支部のご尽力によりオンラインで開催され、パンデミックの状況下においても、物理教育にかける皆さまの強靭な意志が感じられる会となりました。

そして、本会からの継続的な支援を得ながら、北海道支部の大会時から数えて3年ぶりの現地開催となりました。対面とライブ配信での参加者の皆さまをはじめと致しまして、大会開催にかかわってくださった全ての皆さまに、心より深く感謝申し上げます。

さて、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のパンデミックは、なかなか収束の兆しを見せませんが、さらに期せずして、世界は不穏な情勢を呈しています。電気代高騰など、私たちの日常生活に与える影響も深刻になってきています。今回の研究大会は、テーマを「物理教育と平和について考える」と設定し、特別講演として、長崎大学核兵器廃絶研究センター（RECNA）の鈴木 達治郎 教授による「直面する『核』の脅威：ウクライナ危機が問うもの」を予定しています。ご承知のように、つい先日の8月9日、長崎は原爆の日を迎えました。現在皆さまが座っておられるこの文教キャンパスの地も、現在から77年前には、一瞬のうちに壊滅し、多くの命が奪われたという悲しい歴史があります。

鈴木教授の特別講演、それから、皆さまの発表を通して、物理教育と平和についてともに考える時間が持てればと思います。

第38回大会は、世界的なパンデミックとウクライナ危機という「平時ではない」なかでの開催となります。物理教育に関する活発な議論がなされ、物理教育の発展に資する充実した研究大会となりますよう、祈念致します。

（この原稿は、7/1に準備しました。現地でお会いできることを願っています）

第38回 物理教育研究大会 (2022年度 日本物理教育学会 年会)

大会テーマ 物理教育と平和について考える
日時 2022年8月11日（木）～12日（金）
会場 長崎大学

大会プログラム

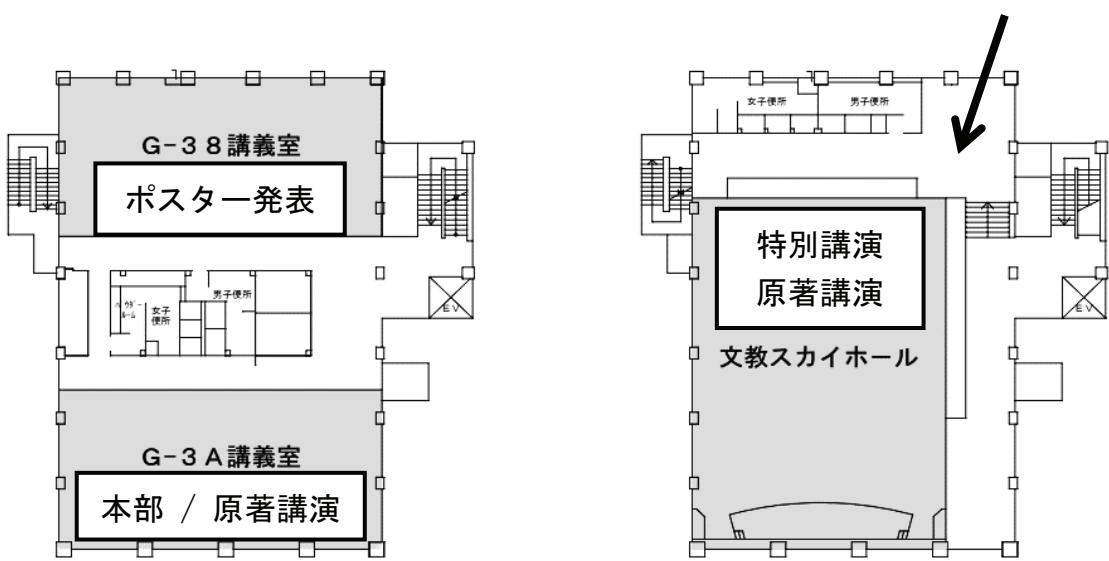
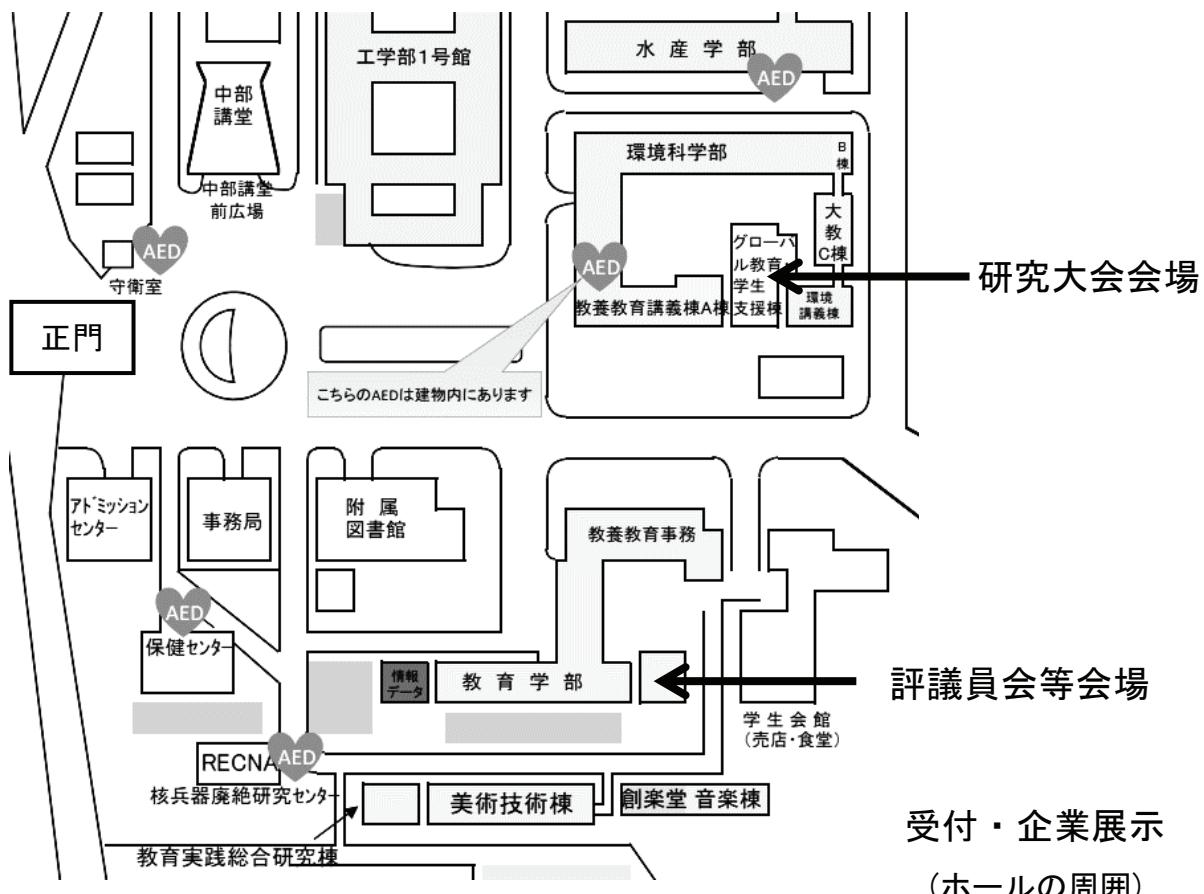
8月11日（木）

- 9:00- 受付（場所 グローバル教育・学生支援棟4階）
9:30-9:40 開会行事
9:40-12:05 原著講演 1（会場 文教スカイホール（4階））
12:05-13:45 昼休み+ポスターセッション（会場 G-38 講義室（3階））
13:50-15:10 特別講演（会場 文教スカイホール（4階））
「直面する『核』の脅威：ウクライナ危機が問うもの」
鈴木達治郎（長崎大学核兵器廃絶研究センター 副センター長・教授）
15:25-18:10 原著講演 2-A（会場 文教スカイホール（4階））
原著講演 2-B（会場 G-3A 講義室（3階））
18:20-18:50 交流イベント（会場 文教スカイホール（4階））

8月12日（金）

- 9:30-12:00 原著講演 3-A（会場 文教スカイホール（4階））
原著講演 3-B（会場 G-3A 講義室（3階））
12:00-13:00 昼休み
13:00-15:30 原著講演 4（会場 文教スカイホール（4階））
15:30-15:40 閉会行事（会場 文教スカイホール（4階））

会場案内図



3階

4階

グローバル教育・学生支援棟

特別講演

「直面する『核』の脅威： ウクライナ危機が問うもの」



講師紹介

鈴木 達治郎 先生

長崎大学核兵器廃絶研究センター 副センター長・教授

講師略歴

- 1951年 大阪生まれ。
1975年 東京大学工学部原子力工学科卒業
1978年 米国マサチューセッツ工科大学修士課程「技術と政策」プログラム修士卒業
1978年 株ボストン・コルサンティング・グループ
1981年 国際エネルギー政策フォーラム主任研究員
1988年 東京大学工学部博士課程取得
1988年 MIT エネルギー・環境政策研究センター客員研究員
1993年 MIT 国際問題研究センター主任研究員
1996年 (財)電力中央研究所 経済社会研究所 研究主幹、研究参事(2009年12月まで)
2006年 東京大学公共政策大学院客員教授(兼務)
2010年 内閣府原子力委員会 原子力委員長代理(2014年3月迄)
2014年 長崎大学核兵器廃絶研究センター(RECNA)副センター長・教授
2015年 同センター長
2019年 同副センター長 現在に至る

直面する『核』の脅威：ウクライナ危機が問うもの

鈴木達治郎

^A長崎大学核兵器廃絶研究センター（RECNA）副センター長・教授

suzukitatsu@nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

世界は今、核兵器使用の可能性が冷戦以後、最も高くなっています。核大国ロシアによるウクライナ侵攻、それに伴う核の恫喝により、核戦争のリスクはまさに現実のものとしてとらえる必要が出てきました。しかし、それ以前にも、米・露の核軍縮交渉の停滞、中国の核軍拡、核保有国すべてが取り組んでいるといわれる「核兵器近代化計画」、そして中東、南アジア、北東アジアの緊張増加、と核兵器をめぐる国際環境は悪化しており、原子力科学者会報が提示する「終末時計」は、すでに戦後最悪と言われる「100秒」という状況でした。一方で、2017年に採択された「核兵器禁止条約」は2021年に発効し、2022年6月には第1回の締約国会議が開催され、核兵器廃絶に向けても新たな動きが出てきました。しかし、唯一の戦争被爆国である日本政府は、核兵器禁止条約に後ろ向きであり、中国・北朝鮮の脅威を理由にますます「核の傘」への依存を強めようとしています。

今回のウクライナ危機は核の脅威をどう拡大させたのでしょうか？拡大する核の脅威に対して、国際社会はどう対応すべきでしょうか？本日はそのような問い合わせにこたえるべく、お話しをしたいと思います。

2. 拡大する核の脅威と核抑止依存のリスク

（1）第三の核時代とは：終末時計「100秒」の意味

人類絶滅までの時間を端的に示す「終末時計」が、2020年についてこれまでの最短であった「2分」をきって、「100秒」となりました。その大きな要因として、なによりも「核戦争のリスク」が挙げられていました。核兵器の歴史を追いかけると、最初の核使用（1945年）から冷戦時代（1990年まで）が核軍拡に象徴される「第一の核時代」、冷戦終了後、核大国間の核軍縮の機運が高まったもののインド・パキスタン、北朝鮮の核拡散や核テロリズムの脅威が増した「第二の核時代」に続き、核大国間の核軍拡が進む一方、核兵器禁止条約が成立した現在は「第三の核時代」とよばれています。そういう状況の中で、ウクライナ危機がきました。まさに混迷する国際情勢の下、核リスクの拡大に国際社会がどう対処するか、という課題に直面しているといえます。

（2）ウクライナ危機が問う深刻な核の脅威

ロシアによるウクライナ侵攻と核の恫喝は、どのような核の脅威を現実化させたのでしょうか。

第一に、通常戦争と「限定核戦争」の境界がますますあいまいになるリスクです。ロシアは通常戦争の延長線上に「核兵器の限定的使用」を想定しているようです。核大国同士の核戦争の可能性は低くなっていますが、「限定核戦争」が核大国同士の核戦争に拡大するリスクも無視できません。第二に、誤解や事故による核戦争のリスクです。地域の緊張が高まり、核兵器使用の準備態勢が一触即発の状態になれば、相手側の動きによっては誤解で核のボタンを押すリスクも高まります。また、ちょっとした事故が核兵器使用につながるリスクも高まっています。第三に、やはり「核兵器を保有したほうが安全保障上有利だ」という概念が広がるリスクです。核保有国は核

威嚇を背景に侵攻がしやすくなり、非核保有国は核保有国に対して、核兵器で対抗するしかない、と思い込むと、核拡散リスクが高まります。

このように、ウクライナ危機は、核兵器のもたらすリスクを確実に高めてしまったのです。

(3) 先端技術のもたらす核抑止の不安定性とリスク

「核抑止」が効力を持つ前提には、いくつかの条件があります。その一つが、核兵器システムの信頼性です。先端技術はその信頼性を向上させる目的で導入され始めていますが、サイバー攻撃に対しては逆に脆弱性が高まることになります。そうなると抑止力に対する信頼性も揺らぎます。その結果、先制攻撃の可能性も高まり、核リスクは高まってしまいます。AI(人工知能)の導入についても、慎重に進めないと、相互の核抑止力の信頼性に依存してきた「戦略的安定性」が崩れてしまう恐れが指摘されています。「核抑止」が効力を持つもう一つの条件が、相手国の意思に対する相互理解です。相手がこちら側からの確実な反撃能力とその意志を感じていないと抑止は働きません。ところが、米ロ間の軍縮交渉が途絶え、中国や北朝鮮との対話もうまく進んでいません。となると、冷戦時代の「相互確証破壊」(MAD) という抑止の考えは、機能しないリスクがあります。

このように、緊張が増し、対話が不十分な状況では、核抑止への依存は、かえってリスクを高めることも認識する必要があります。

3. 北東アジアの安全保障と核の脅威削減に向けて

(1) 北東アジアの4つの未来と核兵器使用リスクの可能性

RECNA では、2020 年に北東アジアにおける核の未来について、シナリオ・プランニングを実施し、4つの未来を描きました。縦軸には「国家がより影響力を持つか、市民社会がより影響力を持つか」、横軸には「国際社会がより協力的になるか、より対立的になるか」で、4つの未来を描きました（図一1）。残念ながら、今の動向はこの中でも「島国志向」（国家がより影響力をもち、より対立的な未来）シナリオに近づいており、将来の不安が高まっています。結果として核戦争のリスクも高まっているといえます。

図一1 2030年4つの未来



(2) 北東アジア非核兵器地帯と包括的な安全保障アプローチについて

RECNA では、引き続き昨年度から「北東アジアにおける核使用リスクの削減」プロジェクトを開始しました。その1年目として、昨年は「北東アジアにおける核使用の可能性：核リスク削減にとっての示唆」という報告書を発表しました。この中で、専門家によるワ

一クショップと論文をもとに、核兵器の先制使用に至る可能性として、25の事例を描きました。図一2は、その事例を「対象が都市部か軍事施設か」と「意図的な使用か意図せざる使用か」に分類したものです。このような事例の分析の結果、重要な示唆としては：①誤解や失敗、事故など「意図せざる」核先制使用の可能性が多くの事例で見られる②核先制使用後の状況展開は極めて不透明③核リスクは多様で複雑な環境のもとで予測が極めて困難、といった教訓が得られました。現時点での提言として：①核保有国間のコミュニケーションの継続とリスク回避のためのホットラインの創設②核兵器使用に関する意思決定プロセスの重複化③核保有国間による先制不使用の合意、などが得られました。

図一2 北東アジアにおける核使用事例の分類



4. 核兵器禁止条約の意義と日本の役割

(1) 核兵器禁止条約（TPNW）の意義と核不拡散条約（NPT）との関係

核兵器禁止条約（TPNW）の第1回締約国会議が2022年6月に開催され、予想以上の参加国・参加団体が登録し、ヒバクシャを含む市民社会の参加も目立ちました。最終的な合意文書も採択され、①核軍縮のプロセスの明文化（核兵器国は条約に参加後10年内に核兵器を廃棄など）②検証問題や被害者支援などでワーキンググループを設置③科学者諮問グループの設置④2022年8月に開催される核不拡散条約（NPT）との補完的な役割の確認、などが決定されました。何よりも、緊迫した核情勢の中で、核兵器の使用や威嚇は国際平和と安全保障にとってリスクを高めるだけだ、という「核抑止」への強い批判は注目されました。しかし、核兵器国や多くの「核の傘国」は参加せず、TPNW推進グループとの対話はいまだに進んでいません。

(2) 「核の傘」国の今後と日本の貢献

その中で、TPNWの締約国会議に一部の「核の傘国」がオブザーバーとして議論に参加したことは対話に向けての第1歩として評価されます。特に、NATO（北大西洋条約機構）の中心国であるドイツや、TPNWに強く反対してきたオーストラリアは、政権交代もあって参加が実現しました。その発言内容については、これまでの主張と大きな差はありませんが、少なくとも参加して対話の道を選んだことは大きく評価できます。

残念ながら、日本政府は「核保有国と非核保有国の橋渡し」をすることを明言しているにもかかわらず、参加をしませんでした。TPNWには、被害者支援や核軍縮の検証など、日本が貢献できる分野が多く、たとえ条約に参加しなくとも、その趣旨に賛同して協力することは可能です。8月のNPT

再検討会議に首相自らが出席することや、来年の G7 サミットを広島で開催すると決めたことは、「橋渡し役」を具体化する良い機会になると期待されます。

5. 科学者の社会的責任について

最後に、科学者の社会的責任とその教育について、述べたいと思います。核兵器と戦争の根絶を目標とする「パグウォッシュ会議」は、「対立を超えた対話」と「科学者の社会的責任」を当初より大きなテーマとしています。その基本的な思想は、「科学者は国家を超えてともに協力・活動することができる」(対立を超えた対話) と「科学技術のもたらす負の影響を最も理解しているのは科学者であり、科学者はそれを世界に知らせ、そのリスク削減に貢献する責任がある」(科学者の社会的責任) としています。

先端技術を開発する科学者・技術者は、その精神に基づき、国家の壁を超えて協力し、対話を通じて対立をなくし、そして科学技術のもたらすリスク削減に貢献することが求められています。そういう視点を科学・技術者の教育にもぜひ生かしていただきたいと思います。

6. まとめ

人類は今、大きな分岐点に立っています。「対立」か「協力」か、「国家」か「市民社会」か。この選択を誤れば、人類にとってその存在を脅かすリスク (existential risk) に人類は敗北してしまうかもしれません。パンデミックや地球環境問題（気候変動）と並んで、核兵器のもたらすリスクもそういったリスクの一つです。人類の未来を守るためにも、科学・技術者の役割は極めて大きいと思います。皆様の今後のご活躍と学会のさらなる繁栄を期待して終わりの言葉とさせていただきます。

参考文献

- [1]吉田文彦他編著、「第三の核時代：破滅リスクからの脱却」、RECNA、Kindle 版、2021 年。
- [2]RECNA, Nautilus Institute, Asia Pacific Leadership Network for Nuclear Non-Proliferation and Disarmament (APLN), “Pandemic Futures and Nuclear Weapon Risks”, 17 December 2020.
https://www.recna.nagasaki-u.ac.jp/recna/bd/files/75_Nagasaki_final_report_20201217.pdf
日本語要旨「パンデミックの未来と核兵器リスク」、2021 年 1 月、
https://www.recna.nagasaki-u.ac.jp/recna/bd/files/75_Nagasaki_scenario_summary_jp_20210127.pdf
- [3] RECNA, Nautilus Institute, Asia Pacific Leadership Network for Nuclear Non-Proliferation and Disarmament (APLN), “Possible Nuclear Use Cases in Northeast Asia: Implications for Reducing Nuclear Risk”, January 2022.
https://www.recna.nagasaki-u.ac.jp/recna/bd/files/Year_1_NU-NEA_Report_E_220128-1.pdf、
日本語要旨「北東アジアにおける核使用の可能性：核リスク削減にとっての示唆」、2022 年 1 月。
https://www.recna.nagasaki-u.ac.jp/recna/bd/files/Year_1_NU-NEA_Report_J-Summary_220128.pdf

原著講演プログラム

8月11日

9:40-10:55 原著講演 1-1 座長：谷口 和成 会場 文教スカイホール（4階）

1-1-1 学生が持つ「仕事とエネルギー」概念 右近修治

1-1-2 重力や摩擦力のする仕事について、高校生はどのように「納得」している 伊藤慧
のか

1-1-3 高等学校「物理基礎」における、「現象の解釈」の有効性とその提案 山下哲

1-1-4 磁場中の電解質溶液流による ローレンツ力可視化教材の教育効果と概念 中村公亮
形成の困難

1-1-5 四面鏡の反射の探究－放物面鏡と球面鏡の違いについて－ 長谷川大和

11:05-12:05 原著講演 1-2 座長：中山 迅 会場 文教スカイホール（4階）

1-2-1 日本型物理概念調査問題の開発 I：研究概要 新田英雄

1-2-2 日本型物理概念調査問題の開発 II：調査問題の開発・物理基礎 西村墨太

1-2-3 日本型物理概念調査問題の開発 III：調査問題の開発・物理 今井章人

1-2-4 日本型物理概念調査問題の開発 IV：試行結果およびインタビュー調査 勝田仁之

15:25-16:40 原著講演 2-1-A 座長：右近 修治 会場 文教スカイホール（4階）

2-1-A-1 誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子 一高校生は、どの 庄司善彦
ような学習で誤概念を克服しているか－

2-1-A-2 高等学校物理基礎における生徒の「u-プリム」解明とその克服法の提案 峯岸晃生

2-1-A-3 物理概念の獲得における学習者の学習方略の影響 谷口和成

2-1-A-4 高校物理におけるメタ認知的方略の使用を促す支援法の検討 高橋幸太郎

2-1-A-5 中学校理科における学習方略の活用を促す授業の開発 藤本滉二郎

15:25-16:40 原著講演 2-1-B 座長：猪木 修 会場 G-3A（3階）

2-1-B-1 協働学習を用いた数理モデル教育による学生の学び 田尾周一郎

2-1-B-2 高等学校の物理問題演習の指導法に関する生徒の意識調査 平野裕一

2-1-B-3 中学校理科教科書の物理領域の内容における「方法」に関する問い合わせの傾
向 中山迅

2-1-B-4 「熱概念」のパラダイム転換について 五十嵐靖則

2-1-B-5 「熱概念のパラダイム転換」以前に使用されていた「熱運動」の用語に 五十嵐靖則
について

16:55-18:10 原著講演 2-2-A 座長：今井 章人	会場 文教スカイホール（4階）
2-2-A-1 非線形性を示す実験的教材による中学生の関数概念の形成	小山和男
2-2-A-2 理科教師サークルにおいて構築された科学的説明の比較 — 論証によ る説明と図(絵)による説明の違いに着目して —	大野栄三
2-2-A-3 相互作用型授業の効果を測る圧力分野の概念調査紙の開発	佐々木志帆
2-2-A-4 個別教育に重点をおいた反転授業 一大学理工系の専門基礎科目への最 適化—	庄司善彦
2-2-A-5 仕事をどう教えるか	西尾信一

16:55-18:10 原著講演 2-2-B 座長：勝田 仁之	会場 G-3A (3階)
2-2-B-1 医療機器と関係付けた学生実験の開発 - CT の原理実験 -	大久保博
2-2-B-2 オンライン授業におけるスマートフォンを用いた物理実験 (超音波セ ンサーを用いた実験動画導入の効果)	安達照
2-2-B-3 オンライン版 Python を活用した高等学校物理の授業実践	能代谷賢治
2-2-B-4 マイコンとセンサーを用いた運動学の ILDs 教具開発と効果検証	南伸昌
2-2-B-5 数学的モデリングとアナログシミュレーション教材	猪本修

8月12日

9:30-10:45 原著講演 3-1-A 座長：牧山 隆洋	会場 文教スカイホール（4階）
3-1-A-1 伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果：ランダム化比較 梅田貴士 試験による検証① 研究計画	
3-1-A-2 伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果：ランダム化比較 宗尻修治 試験による検証②授業実践	
3-1-A-3 一人一台端末による日本型 JiTT の開発と高校物理における実践 柴崎幸貴	
3-1-A-4 高校「物理基礎」に JiTT を用いる試み 落合道夫	
3-1-A-5 探究的な理科学習環境 (ISLE) ワークショップのインパクト 土佐幸子	

9:30-10:45 原著講演 3-1-B 座長：新田 英雄	会場 G-3A (3階)
3-1-B-1 ドップラー効果の時間周波数解析による速度計測と教材化 鶩見拓哉	
3-1-B-2 両面異素材下敷きの開発と 10 年にわたる実践 海老崎功	
3-1-B-3 リゾチームの結晶化を用いた探究型実験テーマの設定 武藤梨沙	
3-1-B-4 新型起電機の開発 秋山和義	
3-1-B-5 物理の授業にもっと Excel ソルバーを使いましょう 室谷 心	

11:00-12:00 原著講演 3-2-A 座長：梅田 貴士	会場 文教スカイホール（4階）
3-2-A-1 対話型力学授業における学生の疑問	栗田和好
3-2-A-2 バネ付き振り子の作製とブランコと力学での仕事	後藤信行
3-2-A-3 ばね定数の動的特性	増子寛
3-2-A-4 コンデンサーの働きが分かる熱力学教材 JAMES の開発	牧山隆洋
11:00-12:00 原著講演 3-2-B 座長：海老崎 功	会場 G-3A (3階)
3-2-B-1 総合的教育マネジメントシステムについて	遠藤正昭
3-2-B-2 教育におけるマネジメントシステムの国際規格（ISO 規格）について	尾島正男
3-2-B-3 生徒が物理の本質を理解できるように	原眞一
3-2-B-4 ドップラー効果の一部修正と光速度不変	高山耕誌
13:00-14:00 原著講演 4-1 座長：土佐 幸子	会場 文教スカイホール（4階）
4-1-1 中学校理科の力と運動の授業と概念定着の関係	中村琢
4-1-2 EBAPS を用いた物理学習における男女差に関する分析 2	苅谷麻子
4-1-3 ハイブリッド型物理授業における主体的な学びの評価の検討	野原大輝
4-1-4 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-	瀧本家康
14:15-15:30 原著講演 4-2 座長：中村 琢	会場 文教スカイホール（4階）
4-2-1 12年間のサイクロ実験—正しい測定？	絹川亨
4-2-2 臨界と半減期の学び方	富塚明
4-2-3 高校生の電気製品使用に関する意識・知識に関する調査	濱田栄作
4-2-4 博物館調査と物理教育における博学連携の可能性	池上咲妃
4-2-5 教員の長時間勤務および教員免許更新制が教員を目指す大学生に与えた影響 についての調査～中・高理科教員希望者と小学校教員希望者との比較調査～	海老崎功

学生が持つ「仕事とエネルギー」概念

^A右近修治, ^B岸澤眞一, ^A中村正人, ^C新田英雄, ^D長谷川大和, ^E宮崎幸一, ^F山本明利
^A都市大, ^B元拓殖大, ^C東学大教育, ^D東工大附属高, ^E元神奈川県立高, ^F北里大
ukons@tcu.ac.jp

1. はじめに

力学で扱う「仕事とエネルギー」に関して、学生が大きな概念的困難を抱いていることが指摘されて久しい。Lawson, McDermott¹⁾らは、大学入門物理コース選択者を対象に、運動エネルギー変化と仕事の関係について履修前インタビュー調査を行ったところ、90%(N=16)近くの学生が、間違っているか、あるいは正答してもその正しい理由を述べることができなかつたことを報告している。同調査は、微積分をベースとした入門物理 11 クラスの選択者(N=985)を対象に、ペーパーテスト形式でも実施された。その履修前正答率は 15% であった²⁾。

2. 仕事とエネルギー概念調査

2021 年度東京都市大学理工学部、建築都市デザイン学部物理学(1)(2)（力学分野）履修者対象にペーパーテスト形式「仕事とエネルギー概念調査（以下 WECE）」を実施した。履修者は機械工、機械システム工、電気電子通信工、建築、都市工、…等 9 学科に亘り 750 名に達するが、その内 2 学科 4 クラス計 N=172 名の協力を得ることができた。教科書は「物理学の基礎[1]力学」³⁾を採用しているが、調査は 7 章「運動エネルギーと仕事」、8 章「ポテンシャルエネルギーとエネルギー保存」終了後 1 週間以内に実施された。WECE は「仕事」「力学的エネルギー」「ポテンシャルエネルギー」等の概念的理解を評価するために開発した概念問題である。問題は「(a) 運動エネルギー変化と仕事」「(b) 1 物体の力学的エネルギー保存」「(c) 2 物体の力学的エネルギー保存」の 3 テーマ、13 個のアイテムから成り、15 分～20 分で回答する。

3. 運動エネルギー変化と仕事

図 1 の WECE(a)①に対しては、93%(N=172) が運動エネルギーは増加 ($\Delta K > 0$) し、この間に粒子になされた仕事が正 ($W > 0$) になると正しく回答している。本調査ではその後、学生への聞き取り調査も実施しているが、①に関して質問すると「速さが 2 m/s から 3 m/s に増加しているので、 K は増えると考えました。粒子

x 軸上を粒子が運動している。①～③の場合について
(a) 粒子の運動エネルギー K は増えるか減るか変わらないか。
(b) このとき粒子になされた仕事 W は正か負か 0 か。
①粒子の速度が 2 m/s から 3 m/s に変化したとき
②粒子の速度が -2 m/s から -3 m/s に変化したとき
③粒子の速度が -2 m/s から 2 m/s に変化したとき

がされた仕事 W は、右側を x 軸の正と考えると正だと思います」等の回答が多く寄せられた。仕事の正負が粒子の進行方向や座標の向きによって決まると考えているようにも取れる。

②については様相が一変した。 $\Delta K > 0$ かつ $W > 0$ の正答は 23% と激減してしまう。72% が $\Delta K > 0$ と正しく回答している一方、 $W < 0$ と誤った認識をしている者も 70% に達した。 $\Delta K > 0$ と正答した者のうちで、正答 $W > 0$ が 23% に対して $W < 0$ は 45% であった。運動エネルギーが増加しているにもかかわらず、された仕事は負であると判断しているのである。

③に対しては、 $\Delta K = 0$ と正しく答えていた学生が 67% いるものの、 $\Delta K = 0$ かつ $W = 0$ の正答は

27%であった。 $\Delta K > 0$ と答えた学生は29%おり、56%が $W < 0$ と、誤った認識をしている。 $\Delta K = 0$ で $W > 0$ と回答した学生は次のように発言をしている。「-2 m/s から 2 m/s に 4 m/s 変化してるので、仕事は正になると思いました」「粒子になされて仕事は正で、これは速度が大きくなっているので、仕事もその分大きな仕事が必要なので選びました」速度が-2 m/s から 2 m/s へと増加したので仕事は正であると判断しているように見える。

WECE と聞き取り調査結果より、学生が仕事の正負を見分ける間違った思い込みは次の3点に集約できる。1. 正の向きに運動すれば正の仕事、負の向きに運動すれば負の仕事がなされる。2. 正の向きに力を受ければ正の仕事、負の向きに力を受ければ負の仕事がなされる。3. 速度が増加すれば正の仕事、減少すれば負の仕事がなされる。このとき学生は-2 m/s から 2 m/s への 4 m/s の変化は速度の増加であり、-2 m/s から -3 m/s への変化は速度の減少であると理解している。1. 2. は Loverude らによる調査結果と整合的である⁴⁾。

4. 1 物体の力学的エネルギー

WECE(b)①②は正、負、0 の3択、③④は正、負、0、何とも言えないの4択問題である。①の垂直抗力 N がする仕事については72%が正、20%が0と回答、②の重力 F_g がする仕事は74%が負、12%が正と回答している。③④については系選択によって正答が異なる。物体だけの1物体系として考えれば、重力も垂直抗力も系外の力であるので、 $W = 0$ 、 $\Delta E = \Delta K = 0$ となる。一方、物体と地球の2物体系として考えれば系外の力は垂直抗力だけなので $W > 0$ 、

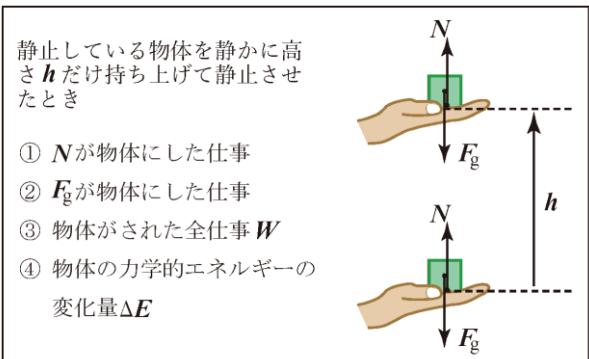


図 2 WECE(b) 1 物体の力学的エネルギー

$\Delta E = \Delta K + \Delta U_g = 0 + \Delta U_g > 0$ となる⁵⁾。 U_g は重力による位置エネルギーである。 $W > 0$ かつ $\Delta E > 0$ の正答は31%、 $W = 0$ かつ $\Delta E = 0$ の正答は12%であった。はたして学生は系選択の違いを自覚して回答しているのだろうか、聞き取り調査した範囲内からは、適切な回答を得ることはできなかつた。系外からの仕事 W と系内の力学的エネルギー $\Delta E = \Delta K + \Delta U$ の関係 $\Delta E = W$ を十分に理解できないまま、学生は問題演習を続けている実態が浮かび上がってくる。WECE(c)の調査結果では、学生がエネルギー保存則を適用する際の系選択のあいまいさがより顕著に表れている。

5. 課題

調査が力学的エネルギー履修直後に実施されたにもかかわらず、 ΔK と W の関係や系選択と $\Delta E = W$ の関係などが十分に理解されていないのは、既存の教材やカリキュラムになんらかの問題点があるからではないだろうか。本研究は、JSPS 科研費 21K02891 の助成を受けて行われている。

参考文献

- 1) R.A. Lawson, L.C. McDermott, Am. J. Phys. 55, 811(1987)
- 2) T. O'Brien Pride, S. Vokos, and L. C. McDermott, Am. J. Phys. 66, 147(1998)
- 3) D. ハリディ, R. レスニック, J. ウォーカー「物理学の基礎[1]力学第6版」, 培風館, 2002
- 4) M. E. Loverude, C. H. Kautz, and P. R. L. Heronc, Am. J. Phys. 70, 137(2002)
- 5) 右近修治, 物理教育通信, No.186, 20(2021)

重力や摩擦力のする仕事について、高校生はどのように「納得」しているのか

明治大学付属明治高等学校・明治中学校 伊藤 慧

satoshi@meiji.ac.jp

1. はじめに

我が国の検定教科書は長年にわたり検討や改良が繰り返されてきた結果、分かりやすく要点がまとめられており、生徒が自学する場合にも使い勝手の良いものとなっている。一方で、教育現場からは未だ検討や加筆すべきではないかと指摘されている箇所もある。教科書の採用率を左右するであろう内容の分かりやすさや紙幅の都合など現実的な障壁は多いが、看過するにはあまりに深刻なものも散見される[1]。中でも、右近は「系の設定」について教授しないこと（若しくは教員の理解不足）によって、重力による位置エネルギーや摩擦力のする仕事に関して、生徒にとって典型的な疑問が湧いたまま解消されないという指摘をしている[2][3]。

具体的には、「物体をゆっくりと持ち上げたとき、手のする仕事と重力のする仕事の大きさは等しく符号は逆であるにも関わらず、なぜ物体の重力による位置エネルギーが増えるのか」や「物体があらい水平面上を運動しているとき、摩擦熱はどこからどのようにして生じるのか」といった類いである。物理の教員ならば誰しも同様の質問を生徒から投げかけられた経験があるはずだ。筆者は、理系の上位「物理」選択者には「系」について講義で紹介するが、混乱を招くのではと恐れ、物理基礎までは敢えて触れていない。前者の質問をしてきた物理基礎の履修者には、適宜「系」の概念を紹介し、対応してきた。後者の質問については（幸運なことに？）生徒から深く突っ込まれた経験はないが、通り一遍の講義で良いものか以前より迷いが生じていた。

検定教科書や市販の多くの参考書では、「系」と「モデル」を確定することなく論理が構成されている。また、それらを曖昧にしたままの講義を行なっている教員が一定数存在するのではないかと推測する。しかし、昨今の国内外における物理教育研究の知見を鑑みると、そのような環境で教育を受けた生徒は教員側が思っている以上に（もしかしたら根源的な部分に疑問を抱くことすらなく）、誤った認識を有してしまっているのではないかと思う[4][5]。まず、小規模であるが調査を実施し、実態を把握してみようと思い立った。

2. 調査の方法

2-1 調査の対象

2021年度および2022年度、都内私立A高校の3年生 ($N=82$) に調査問題を回答してもらった（スマホでGoogleフォームを用いた）。A高校では2年次に「物理基礎」、3年次に「物理」を履修する。2年次の「物理基礎」を担当した教員は2学年で異なるが、いずれも「系の設定」については講義していない。

2-2 調査問題

先述の内容に関して生徒の認識を明らかにすべく、これまでの答案記述などの経験を踏まえ生徒の思考を予想し、2つの調査問題、及びそれぞれ4つの選択肢を作成した（図1）。本設問の妥当性に関して未評価であり、選択肢の網羅性も不透明であるため、5つ目の選択肢として「上記以外（自分の考えを具体的に入力せよ）」を加えた。全ての選択肢に関して、選んだ理由の回答を義務付けた。

[設問 A] Aさんは、質量 m の物体を高さ h までゆっくりと持ち上げました。このとき、物体に蓄えられる「重力による位置エネルギー U 」の大きさに関する以下の記述のうち、あなたの考えに最も近いのはどれですか。

- (1) 物体に対して Aさんは mgh だけ仕事をし、さらに高さ h にある物体は mgh だけ位置エネルギーをもつので、 $U = 2mgh$
- (2) 物体に対して Aさんは mgh だけ仕事をするが、重力は仕事をしないので、 $U = mgh$
- (3) 物体に対して Aさんは mgh だけ仕事をするが、この場合は重力のする仕事を考えないので、 $U = mgh$
- (4) 物体に対して Aさんは mgh だけ仕事をするが、重力は $-mgh$ だけ仕事をするので、 $U = 0$
- (5) 上記以外（自分の考えを具体的に入力せよ）。

[設問 B] 物体が、あらい水平な床の上を直線運動しています。物体には、一定の大きさ F の動摩擦力がはたらきます。以下の記述のうち、あなたの考えに最も近いのはどれですか。ただし、音の発生は無視できるものとします。

- (1) 物体の運動エネルギーが、動摩擦力のする負の仕事により熱エネルギーに変換される。この動摩擦力は物体にはたらくので、熱は物体の表面にのみ生じる。熱は高温物体から低温物体へ移動するため、やがて床へ移動していく。
- (2) 物体の運動エネルギーが、動摩擦力のする負の仕事により熱エネルギーに変換される。この動摩擦力は物体にはたらき、その反作用は床にはたらく。床にはたらく力（反作用）は正の仕事をするため、熱は床の表面にも生じる。
- (3) 物体の運動エネルギーが、動摩擦力のする負の仕事により熱エネルギーに変換される。この動摩擦力は物体にはたらき、その反作用は床にはたらく。床にはたらく力（反作用）は仕事をしないが、熱は物体と床の両方の表面に生じる。
- (4) 動摩擦力は物体にはたらき、その反作用は床にはたらくが、それらはいずれも仕事をしない。しかし、物体の運動エネルギーは、物体と床の両方の表面に生じる熱エネルギーに変換される。
- (5) 上記以外（自分の考えを具体的に入力せよ）。

図 1 調査に使用した問題

3. 調査の結果

重力による位置エネルギーの問（設問 A）と動摩擦力と反作用のする仕事の問（設問 B）について、それぞれ回答割合を集計した（表 1）。2021 年度と 2022 年度で分布に大きな差異は見られなかった。

設問 A, B 共に特定の選択肢に 4 割以上の回答が集まった。一方で、一部不人気の選択肢はあったものの、ある程度回答は分散し、生徒ごとに考え方（自身の納得のさせ方）に差が大きいことが明らかになった。

表 1 調査問題の回答割合

設問A 選択者数	設問B 選択者数		設問B 割合(%)	
	割合(%)	選択者数	割合(%)	選択者数
選択肢 1	2.4	16	19.5	
選択肢 2	19.5	23	28.0	
選択肢 3	45.1	34	41.5	
選択肢 4	13.4	8	9.8	
選択肢 5	19.5	1	1.2	
合	100	82	100	

講演では、選択肢ごとの回答理由の詳細や海外における先行研究との比較についてご紹介したい。また、本調査問題の設定や選択肢などに関してご意見を頂戴できれば幸いである。

参考文献

- [1] 例えは、西尾信一、教科書に紛れ込んだ pseudowork、物理教育通信、No.167, 36-40, 2016
- [2] 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、No.179, 6-14, 2020
- [3] 右近修治、「エネルギー保存則」どう教えるか、物理教育通信、No.186, 20-43, 2021
- [4] 例えは、Beth A. Lindsey, Paula R. L. Heron and Peter S. Shaffer : Student understanding of energy: Difficulties related to systems, *American Journal of Physics*, 80, 154-163, 2012
- [5] 例えは、Lane Seeley, Stamatis Vokos and Eugenia Etkina : Examining physics teacher understanding of systems and the role it plays in supporting student energy reasoning, *American Journal of Physics*, 87, 510-519, 2019

高等学校「物理基礎」における、「現象の解釈」の有効性とその提案

山下哲

大阪府教育センター附属高等学校

haz34840@wood.odn.ne.jp

1. はじめに

物理教育研究により、入門物理の学習者の素朴概念が概念理解の大きな障害になっていることや、その解消方法としてアクティブラーニング有効であることが知られる様になって久しい。しかしながら一方で、素朴概念に関する物理教育研究の知見の多くが、大学生を調査対象として積み重ねられてきたものであるため、学習者の持つ既有知識や学習に対する期待感、あるいは、解消方法であるアクティブラーニングの環境などについて、教育実践の際に前提となる部分を校種間について考慮して具体的な教育方法が提案・蓄積されているとは言い難い。他方、アクティブラーニングは「主体的対話的で深い学び」として新学習指導要領の中でも重視されているが、初等中等教育に対する物理教育研究は、特定の単元に対しての短期間の実践報告が多く、やはり系統的かつ具体的な教育方法が蓄積されている状況にはないと考える。

講演者は複数の高校において、年間を通じて認知的な発達段階を考慮したアクティブラーニング型の学習活動を行うことで、高校物理の学習における、認知的支援と素朴概念解消の効果を検証してきた[1][2][3]。講演者はこれらの実践の中で、物理の学習に対する期待感が素朴概念解消の効果を大きく左右することを指摘し[1][2]、期待感が比較的高い生徒に対して問題演習を行った後に明示的に「現象の解釈」を記述させることができ、素朴概念の解消を大きく改善させることを報告した[3]。これらを受けて本取組では、物理の学習に対する期待感が低い生徒を対象とした、問題演習を通じた「現象の解釈」を中心とする、高等学校「物理基礎」の年間の教材セットの作成と実践を試みた。高等学校の物理の学習において、問題演習は非常に広く活用されている手法であると同時に、本取組の中で対象としている生徒もまた、物理の学習について前提としている既有知識や学習に対する期待感はない生徒群である。こういった点から、本取組を、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. 問題演習を通じた「現象の解釈」の目的と、補助教材「現象の解釈シート」の作成

欧米の物理教育研究の中で、問題演習を行うことが必ずしも素朴概念の解消につながらないことが報告されているが、問題演習に関する本取組の基本的な姿勢は、問題を解くことではなく、「題材となっている現象を原因と結果の観点から解釈すること」であることを生徒に継続的に指導することである。そもそも物理学の目的は、既知の現象から得られた物理法則によって未知の現象を解釈し、あるいは、実験により新たな物理現象を創出することであると言える。こういった観点から考えれば、身近な現象を物理の言語で表現・解釈することは、入門物理を学ぶ方法として妥当であると考える。

本取組においては、生徒が「現象の解釈」を行う支援をするために、入門物理の学習者がしばしば混同する「変位と速度」、「速度と加速度」、「速度と力」などについて、視覚的に描画させる一連のプリント教材「現象の解釈シート」を作成した。本取組が対象としている物理に関する既有知識が乏しい生徒や、認知的な発達段階に課題を抱える生徒は、「現象の解釈シート」を通して、これ

らの物理量を視覚的に学んでいけるように配慮してある。なお、これらの描画はいずれも教科書などで良く見かけるものばかりであるが、これらの描画を用いて、それぞれの描画が同じ内容を異なる表現であらわしていることを意識させつつ、題材となっている物理現象を説明すること、および、その説明を生徒間で共有することを指導の中心とした。ここで、本取組が問題を解くことを目的としていることを強調したい。自力で問題を解くことが難しい生徒には、授業中は友人とともに解くことを、自宅課題については解答を参考にして良いことを伝え、「現象の解釈」は正答を得た後にを行うことを継続的に指導している。

「現象の解釈シート」は授業内外で物理の学習に用い、頻繁に提出を求め、添削を行った上で多く見られた間違いについては授業内で重点的にフィードバックを行っている。

3. 効果の検証

これらの取組を、大阪府立 K 高校 2 年次の「物理基礎」において 2021 年度の 1 年間実施し、2022 年度の 2 年次「物理基礎」においても実施中である。表 1 にこれらの生徒と、比較対象として、本取組を実施していない同高校の 2020 年度の高校 2 年次の「物理基礎」講座の生徒、および 2016 年度の全国調査[4]で得られた、CTSR と FCI の正答率の変容、および FCI 規格化ゲインを示す。表 1 から、素朴概念解消という特定の観点から見ても、2021 年度は効果的に学習が進んだことが分かる。講演では、「現象の解釈シート」の一部詳細と、実践から見えた生徒の思考の傾向について報告し、「現象の解釈」の学習方法としての妥当性を議論する。

なお、本取組は武田科学振興財団の助成を受けて行っているものである。

表 1 高校 2 年次における認知的な発達段階と力学概念の理解度の変容

高 2 物理基礎履修者	人数	CTSR	FCI	FCI
		正答率変容	正答率変容	規格化ゲイン
2016 年度全国調査	400～500	68% ⇒ 75%	34% ⇒ 45%	0.17
2020 年度大阪府立 K 高校	33	55% ⇒ 69%	26% ⇒ 35%	0.14
2021 年度大阪府立 K 高校	26	63% ⇒ 69%	22% ⇒ 49%	0.34
2022 年度大阪府立 K 高校	23	57% ⇒	26% ⇒	

参考文献

- [1] 山下哲、谷口和成、 “ICT 環境を活用した、認知発達に基づく ILDs 型高校物理授業の実践”，日本物理学会 2018 秋季大会講演概要集，9pA232-5(2018).
- [2] 山下哲、谷口和成、 “シェマと物理概念の獲得の関係に注目した、認知発達に基づく高校物理授業の実践”，日本物理学会第 74 回年次大会講演概要集，16pK103-3(2019).
- [3] 山下哲、谷口和成、 “高校物理授業における問題演習を通じた科学的推論能力育成の試み”，日本物理学会第 75 回年次大会講演概要集，18pK28-5(2020).
- [4] 谷口和成、笠潤平、村田隆紀、斎具博義、 “日本の高校・大学生の科学的思考力の現状”，日本物理学会第 72 回年次大会講演概要集，19pC11-6(2017).

磁場中の電解質溶液流による ローレンツ力可視化教材の教育効果と概念形成の困難

^A 中村公亮、^B 長谷川大和、^C 小林昭三、^A 興治文子

^A 東京理科大学、^B 東京工業大学附属科学技術高等学校、^C 新潟大学

1721518@ed.tus.ac.jp

1. 研究背景及び研究目的

初学者にとって電場や磁場といった抽象的な概念とそれらによって荷電粒子に及ぼされる力の関係であるローレンツ力は直観的にはわかりにくい。そこで本研究では、ローレンツ力に関する中高の学習内容の接続を意識した生徒実験の教材の開発とその教育効果の検証を目的とする。

手軽にローレンツ力を可視化する教材として、磁場がかかつた電解質水溶液に電流を流すことで、イオン化した溶液が流動するようすを観察するものがある。図1に示したように、電解質水溶液で満たされたシャーレの下に磁石を置く。シャーレ内の中央と外周にそれぞれ金属を入れ、陽極、陰極として電流を流すとイオンがローレンツ力を受け、電解質水溶液が回転する。古くは1999年頃から開発されているが中高接続や安全性という観点からは十分ではない^[1-3]。たとえば、溶液に硫酸水溶液や硫酸銅(II)水溶液、電極に銅や炭素棒などが用いられており、物理の実験としては廃液処理に課題が残る。近年の先行研究は、生徒が1人で行うマイクロスケール実験がある。内径27mmのシャーレの裏面に直径21mmの円柱形ネオジム磁石を取り付け、溶液に塩化ナトリウム水溶液、陽極と陰極にはアルミニウム箔を用いる。乾電池1つの電源で水溶液が回転するため手軽で大変優れた教材である。ただし、教育効果の検証については、進学校の化学も履修した高校3年生や大学生や高専生などが対象とされており、初学者の高校生を対象としたものはない。

このように、本教材の最大の弱点は電気分解による荷電粒子の流れを見ることから、化学の知識を必要とする点にある。探究学習として発展的に教材を用いる場合には良いのだが、初学者にローレンツ力を教える際の教材としてはハードルが高い。この点を考慮し、本研究で開発する教材は安全性が高く、化学の知識があまりなくても実験結果が分かりやすく、複数の生徒が共同で実験のようすを観察しながらローレンツ力の概念形成を構築できるような中高接続をふまえたものとする。

2. 提案する教材と授業法

中学校で既習の電気ブランコの実験では電流の流れる向きと磁場の向きによって、導線がどのように動くかを観察する。これらの特徴は、生徒が確認できるローレンツ力のはたらく方向は直線的な一方向のみで、一度電気ブランコの導線が動いたら、そのまま静止しているという点にある。それに対して本研究で提案する教材は、イオンにかかるローレンツ力は直線的な一方向であるが、その結果として見られる動きは回転になる。さらに、電流を流し続ける限り、常にイオンが発生し、そのイオンにローレンツ力がはたらき続けるため、ローレンツ力が連続して確認される。図2に示すような、我々の提案するローレ

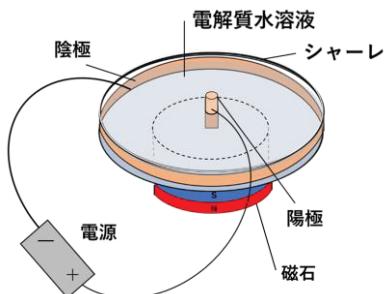


図1 イオン流を用いた教材

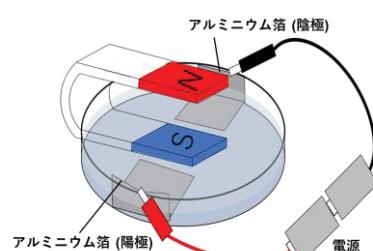


図2 本研究で提案する教材

ンツ可視化教材は電気ブランコの実験から類推できるものとなっている。約 10 cm のシャーレを用い、溶液は安全性が高く身近な塩化ナトリウム水溶液を使用する。陽極と陰極には、アルミニウム箔を採用した。さらに、陽極と陰極で同じ金属を用いることで、化学反応を考えなくても、電流の向きだけに着目することができる。本研究では、電極の形状を板状にしているが、電流の流れが直線状になることで、生徒は中学校の電気ブランコの実験と対応させ、溶液の流動する向きを考えることができる。磁石についても電気ブランコの実験で用いられている U 字磁石を採用した^[4]。

3. 提案した教材による概念理解の検証

提案した教材について 2021 年の 11 月と 2022 年 1 月にかけて調査を行った。対象は生物学を専攻する大学生 4 名と数学と地学を専攻している大学院生 9 名である。全員が高校時代に物理基礎を履修している。調査方法としては、事前調査、実験及び事後調査の順で行った。

事前調査では図 1 の教材と図 1 の円柱状の磁石を U 字磁石に代えた教材の 2 種類について電流を流すと起こる変化を学生に予想させた。図 1 の円柱状磁石を使用した教材については正答が 2 人、誤答が 11 人（白紙あるいはわからないと答えた学生は 8 人）であった。もう一方の U 字磁石を使用した教材については正答が 3 人、誤答が 10 人（白紙またはわからないと答えた学生は 7 人）であった。理系の大学生、大学院生でも正答率が 3 割にも満たなかった。これらのことから高校生が先行研究で開発された教材を用いてローレンツ力を理解することは難しいといえる。

まず中高接続の点を意識させるため実験を行う前に電気ブランコの演示実験を学生たちに見せた後、図 2 で提案した教材について起こる変化を予想させた。結果として正答は 7 人、誤答は 6 人と現象についての見通しが良くなっていることが窺える。学生はその後、実際に提案した教材について実験を行い確認した。図 2 で提案した教材で起こっている現象とローレンツ力の理解が深まった後で改めて図 1 に示したような先行研究の教材について電流を流した際に溶液に起こる変化を学生に説明を求めた。その結果、円柱状の磁石を用いた教材では正答が 8 人、誤答が 5 人となり、U 字磁石を用いた教材では正答が 9 人、誤答が 4 人であった。どちらの教材についても事前調査の予想の段階と比べて正答者数が増えた。これらのことから提案した教材の実験を行うことで先行研究においても概念理解が促進されたといえる。

4. まとめと今後の展望

本研究では、ローレンツ力を可視化した生徒実験用の教材の提案を行った。塩化ナトリウム水溶液の電気分解を用い、電極にアルミ箔を用いたローレンツ力の可視化教材を提案した。中高接続の観点からアルミ箔の配置を工夫し直線状にイオンが流れることと電気ブランコの導線を流れる電流を対応させることで、概念形成を促した。これらは安全性が高く、化学の知識があまりなくとも実験結果が分かりやすく、複数の生徒が共同で実験を観察できるような教材である。

本研究の実践から生徒が電位差を十分に理解していないと放射状にイオンが流れるというイメージがもてない、円柱状の磁石でどのように磁場が発生しているのかイメージがつかみづらいという課題も明らかになった。今後の展望としては、電流と磁場についてのカリキュラムを整理し、生徒が学習する上での困難点を明確化し、その困難点の解決に向けた検討を行う予定である。

参考文献

- [1] 矢野潤 稲田誠, 化学と教育, 第 47 卷第 8 号 (1999) 562–565.
- [2] 柴田恭幸 大山光晴, 物理教育, Vol. 54 (2006) 5–9.
- [3] 仲野純章, 理科教育学研究, Vol. 61 No. 3 (2021) 527–531.
- [4] K Nakamura *et al.*, ICTSS 2021, (2021).

凹面鏡の反射の探究ー放物面鏡と球面鏡の違いについてー

^A長谷川大和, ^B中村公亮, ^C永原健大郎, ^B興治文子

^A東京工業大学附属科学技術高等学校, ^B東京理科大学, ^C東京工業大学

hasegawa@hst.titech.ac.jp

1. はじめに

2009 年告示の学習指導要領では、高等学校における科目「物理」の幾何光学については、「光の伝わり方について理解すること」とあり、その解説[1]によれば、「鏡やレンズの幾何光学的な性質については、基本的な扱い」とし、「鏡やレンズの幾何光学的な性質については、凹面鏡や単一レンズの焦点と光の進路の規則性を扱う」こととなっている。

現行の検定教科書の記述に着目すると、例えば凹面鏡であれば、「主軸に対して平行な光線が凹面鏡で反射した後に、焦点を通過する光線となる。」といった具合である。もちろん、鏡での光線の進み方は、反射の法則に従っているということが前提での記述であるが、反射後に焦点を通過することに重きが置かれている。つまり、焦点を通るという結論ありきで、反射の法則をきちんと確認できていないような記述となっている。

2. 研究目的

今回、理系高校生に 2 つの凹面鏡（放物面鏡と球面鏡）の違いを数学的に探究させることを目的とした。具体的には、放物面鏡の場合、2 つの異なる位置に入射する平行光線が一点（焦点）に集まること、また、球面鏡の場合、入射する平行光線が一点には集まるとは限らない（図 1 のような球面収差[2]が生じる）ことを生徒に調べさせた。

なお、本教材は曲線に対して、接線や法線を考える必要があり、数学の進度との調整を取ることとした。

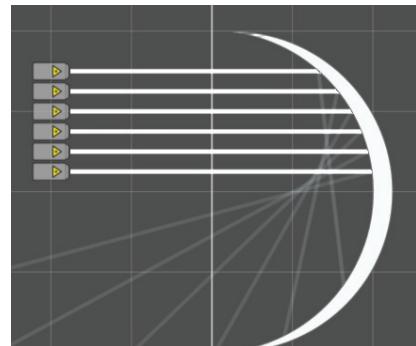


図 1 球面収差 (Algodoo で描写)

3. 調査対象

2022 年 2 月に A 高校の 2 年生の授業において授業実践をおこなった。A 高校では 1 年次に「物理基礎」の力学分野を学習し、2 年次に「物理基礎」の波動分野と「物理」の力学・波動分野を学習する。2 年次 3 学期は光を扱っている。なお、この時期には、数学 II の範囲は既習となっている。

4. 放物面鏡の課題

生徒には、図 2 のような例題 ($y = x^2$ の放物線（放物面鏡）に y 軸に平行な光線が点 $P(1,1)$ に届くとき、光はどこに反射されるか？) を教員がガイドしながら考えてもらった。この例題は、「(1)この放物線上の点 P を通る接線の方程式を求める」と、「(2)点 P を通る接線に対して垂直に交わる法線の方程式を求める」と、「(3)反射光線が y 軸を通る点を点 $Q(0,q)$ とし、点 Q と法線との距離 QR を求める（ q を用いてよい）」、「(4)反射光線上の点 Q に対応する、入射光線上の点 S を考え、入射角 $\theta_1 = \text{反射角} \theta_2$ より、入射光線の線 $x = 1$ と点 R との距離 RS も距離 QR の値に等しい。これより q の値を求める」という 4 つのステップで考えてもらった。

次に、これを踏まえて、図3のような点P'で反射する光線とy軸との交点Q'のy座標はどうなるだろうかを課題として与え、QとQ'が一致することを導かせた。

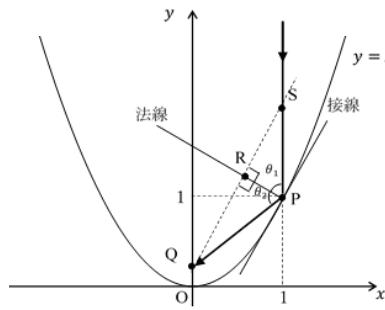


図2 放物面鏡の例題

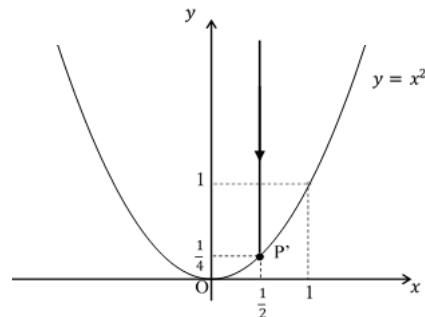


図3 放物面鏡の課題

5. 球面鏡の課題

放物面鏡での反射について学習し、放物面では平行光線2本は光軸上的一点を通過することを確認した後に、球面鏡の反射について例題（図4）と課題（図5）を取りあげた。円の原点が中心でない場合の接線を求めることは難しいので、図形的に考えることをおこなった。この課題をおこなうことで、反射の法則を正しく適用し、平行光線が一点には集まるとは限らないことを導かせた。

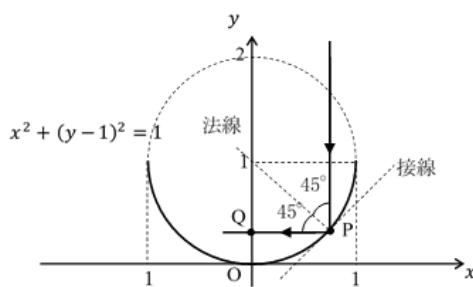


図4 球面鏡の例題

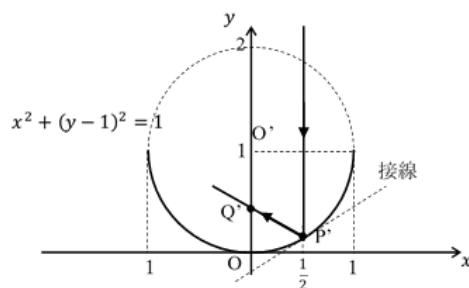


図5 球面鏡の課題

4. 課題評価

例題を踏まえて実施した課題解決の結果については、講演で示す予定である。

5. 終わりに

課題解決後に、自作した放物面鏡や球面鏡での反射の様子を生徒には動画で提供している。また、課題提出時に、本実践について生徒アンケートも実施した。アンケート結果については当日の講演で触れたい。

謝辞

本研究はJSPS科研費21K02890の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 文部科学省、「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」、実教出版. (2009).
- [2] J.D. Cutnell, K.W. Johnson, D. Young, and S. Stadler, ‘*Physics 11th edition*’, Wiley. (2019).

日本型物理概念調査問題の開発 I : 研究概要

^A新田英雄, ^A植松晴子, ^B今井章人, ^C勝田仁之, ^D西村星太, ^E石本美智, ^F右近修治,
^G興治文子, ^H安田淳一郎, ^I伊藤慧, ^J江藤開, ^K尾形総一朗, ^L荔谷麻子, ^M清水滉大,
^N竹内透, ^O長倉健哉, ^P平本健太, ^Q山本岳

^A東京学芸大学, ^B早稲田中学校・高等学校, ^C筑波大学附属高等学校,
^D東京学芸大学附属高等学校, ^E高知工科大学, ^F東京都市大学, ^G東京理科大学,
^H山形大学, ^I明治大学付属明治高等学校・中学校, ^J鶴見大学附属中学校・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法政大学国際高等学校, ^N東京都立新宿高等学校, ^O静岡県立伊豆中央高等学校,
^P神奈川大学附属中・高等学校, ^Q新潟県立長岡大手高等学校

^Anitta@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

本発表は、4件の連続講演「日本型物理概念調査問題の開発」の冒頭部分である。

私たちの研究グループ PEPPER (Physics Education Practice based on Physics Education Research) では、日本の教育課程に即した高等学校物理教育システム（大学共通教育レベルの物理を含む）及びその教育資源一式を、物理教育研究（PER）の手法に基づいて、中長期的に構築していくことを目指している。その第一段階として、高等学校の学習指導要領に基づいた、「物理基礎」「物理」の標準的な概念調査問題を作成している。概念調査紙は、PERの手法で授業効果を分析し、教材開発をしていく際の不可欠なツールであり、最初に整備すべき教育資源だからである。

これまで、本研究に関しては、2019年度の研究大会での連続講演「日本型物理概念調査紙の開発I～V」[1-5]で、本研究の背景と構想及び問題作成のための試行過程とその結果の分析を、2020年度の研究大会での連続講演「日本型物理概念調査紙の試行版I～V」[6-9]で、標準問題として一通り仕上げた「物理基礎」「物理」の問題冊子の実施結果である「物理基礎」1900名以上、「物理」600名以上のデータについての分析を発表してきた。

2. 研究経過

2018年度 上記の目的を実行するための研究グループ PEPPER を発足させ、研究全体の構想と標準問題作成の計画を立てた。

2019年度 基盤研究（B）「概念形成過程の実践的研究と一体化した物理概念調査紙群の開発」として標準概念調査紙の開発を開始し、「物理基礎」標準問題の試作版を作成した。

2020年度 「物理基礎」の試行とその結果を踏まえた修正版の作成、「物理」標準問題の試作版の作成を行った。

2021年度 約2000名の高校生を対象に「物理基礎」のプレ・ポスト調査の実施、約800名の高校生に対しての「物理」試行、そしてその結果の詳細な分析を行った。また、将来的な設問項目の入れ替え等を視野に入れ、Rasch モデルによる分析と設問の困難度の推定を行った。さらに、それらをもとに問題の再検討を行った。

2022年度 4月3日(日)に、本研究の中間報告会であるオンライン・シンポジウム「日本型物理概念調査問題の開発と展望」を実施した。また、「物理基礎」「物理」のプレ・ポストテストの本格実施、インタビュー調査等、完成版に向けた分析・評価を実施しているところである。

なお、本研究における概念調査紙の開発は、一貫して、高等学校および大学初年次相当における物理学習者の概念形成過程を、物理教育研究の成果を取り入れた授業を通じて解明する実践的研究と一体化した形で行っていることを強調しておく。

3. 開発の概略

高等学校「物理基礎」「物理」用の標準調査紙の開発の基本的なデザインとして、学習指導要領の内容をカバーする、約30分で実施できる30問で構成する、選択肢数は5択とする等の枠組みを設定した。また、PERで開発された既存の調査紙の設問から、日本の教育課程によく適合する設問を活用して作成することにした。さらに、「物理基礎」と「物理」に共通の設問を忍ばせ、冊子の違いにおける学力差の目安となるようにした。

オリジナルで作成した設問は、以下の(i)～(iii)の手順で妥当性を評価し、精度を高めた。

- (i) 授業において調査を試行し、選択肢の選択理由を記述させる。
- (ii) 回答選択肢と選択理由を詳細に分析し、設問と回答選択肢が意図したように機能しているかを検討する。特に、偽正答・偽誤答について吟味し、選択肢の妥当性を検証する。
- (iii) 項目特性図を描き、正答率と各選択肢の回答率との対応におかしな挙動がないかを調べる。なお、2021年度からは、調査紙としての妥当性評価にRaschモデルによる項目困難度の推定とインフィット等を用いた検討を加え、調査紙のブラッシュアップを図ると同時に、設問項目の入れ替えが可能な調査法への準備とした。さらに、2022年度は、生徒の考えを詳細に確認する必要があると思われる一部の設問に対して、think aloud方式による調査を行っている。

4. 今後の展望

本年度の課題としては、まず、2023年度の本格調査実施に備えて標準問題の確定版を作成することが挙げられる。また、調査協力者への調査結果のフィードバック方法を、授業改善につながる形でまとめる必要がある。そのためには、調査結果を詳細に分析して、多くの生徒が保持する素朴概念を明らかにして、高校物理の全単元別に分類することなどが今後の課題となる。さらに、調査結果を活用することにより、どのような授業改善が可能となるかを、授業実践によって示していくことも、本研究グループが追究すべき重要な研究課題といえるだろう。

本調査にご協力くださった皆様に、心より感謝申し上げます。なお、本研究は、科研費基盤研究(B)課題番号19H01731の助成を受けています。

参考文献

- [1] 新田英雄, 他, 2019年度日本物理教育学会年会第36回物理教育研究大会講演予稿集 p.96.
- [2] 勝田仁之, 他, Ibid, p.98.
- [3] 西村塁太, 他, Ibid, p.100.
- [4] 荻谷麻子, 他, Ibid, p.102.
- [5] 平本健太, 他, Ibid, p.104.
- [6] 新田英雄, 他, 2021年度日本物理教育学会年会第37回物理教育研究大会発表予稿集 p.62.
- [7] 勝田仁之, 他, Ibid, p.64.
- [8] 西村塁太, 他, Ibid, p.66.
- [9] 今井章人, 他, Ibid, p.68.

日本型物理概念調査問題の開発Ⅱ：調査問題の開発・物理基礎

^A西村墨太, ^B新田英雄, ^C植松晴子, ^D勝田仁之, ^E石本美智, ^F右近修治, ^G興治文子,
^H安田淳一郎, ^I伊藤慧, ^J今井章人, ^K江藤開, ^L尾形総一朗, ^M苅谷麻子, ^N清水晃大,
^O竹内透, ^P長倉健哉, ^Q平本健太, ^R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,
^E東京都市大学, ^F東京理科大学, ^G山形大学, ^H明治大学付属明治高等学校・中学校,
^I早稲田中学校・高等学校, ^J鶴見大学附属中学校・高等学校, ^K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法政大学国際高等学校,
^N東京都立新宿高等学校, ^O静岡県立伊豆中央高等学校, ^P神奈川大学附属中・高等学校,
^Q新潟県立長岡大手高等学校
m121805g@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

本報告は、4件の連続講演「日本型物理概念調査問題の開発」の2件目である。発表者らの所属する研究グループ PEPPER では、高等学校物理基礎・物理それぞれについて試行版を作成し、複数の学校で事前・事後調査を実施した。本発表では、物理基礎の概念調査問題作成の過程について報告する。PER の手法に則り、既存の調査紙の日本語訳と妥当性検証、新規項目作成を通して学習指導要領と合致する標準的な概念調査問題セットを開発した。

2. 調査問題の作成と日本語訳

概念調査問題の作成は、下の①～④のような流れで行った。

- ① 既存の概念調査紙と学習指導要領の分析
- ② ①と生徒の素朴な考え方や誤った理解との関連付け
- ③ 既存の概念調査紙の日本語訳、あるいは、問題を新規作成
- ④ 研究会で妥当性の検討、必要に応じて修正

①では、物理基礎・物理の学習指導要領から、標準的な概念調査問題として問いたい概念を抽出し、日本語での先行研究が実施され、妥当性がある程度確認されている既存の概念調査紙との対応関係を整理した。②は①と並行して、先行研究等でわかっている生徒のよくある素朴な考え方や誤った理解を列挙し、同様に学習指導要領との関係をまとめた。③では、学習指導要領には含まれているものの、既存の概念調査紙が存在しない概念をカバーするため、海外で開発された概念調査紙を日本語訳したり、ピア・インストラクションの問題や研究メンバーの授業課題を参考にして概念問題を新たに作成したりした。そして、これらの妥当性について④研究会で検討を行った。

3. 調査問題の試行と改善

前節で述べたようにして作成された概念調査問題は、下の⑤～⑧のような流れで、実際に高校生を対象とした試行調査の実施と、実施結果についての研究会での議論を踏まえた改善を繰り返すことで、妥当性を高めるようにした。また、妥当性をより高めるために、そして、生徒の素朴な考え方や誤った理解についてより深く調査するために、⑨発話思考法によるインタビュー調査も並行して実施している。

- ⑤ ①～④を経て作成された問題について、解答理由の自由記述を含めた予備調査の実施
- ⑥ 結果の分析
- ⑦ 問題の改善
- ⑧ ⑤～⑦を何度か繰り返す
- ⑨ 必要に応じて面接調査

4. 問題作成の流れ：新作問題の場合（波源や媒質の振動と波形）

物理基礎の標準調査問題の問 16 を例として、問題作成の流れを説明する。波源の振動と波形の関係について問うことをねらいとして、ウェーブマシンの授業課題から作成した（図 1）。

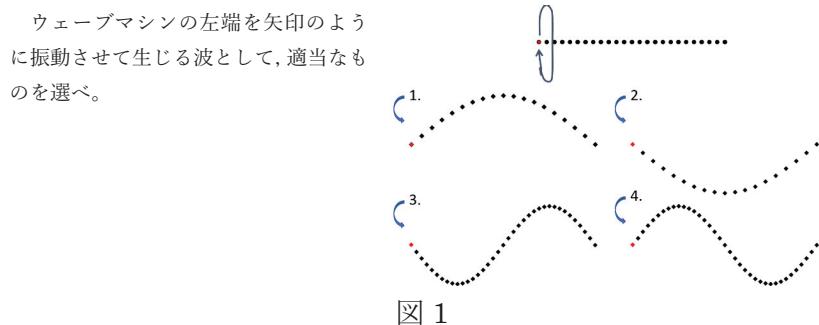


図 1

まず文脈を日常生活に近づけるために、ウェーブマシンではなく、なわとびを題材とした問題設定に変更し、予備調査を実施した。結果より、波源の動かし方を誤解している生徒が一定数いることがわかったため、図中で波源の動かし方を表す矢印の表記を変更した。また、波源は 1 回だけ振動させていることを明記しているにも関わらず、自由記述で複数の波を描いている回答が見られたため、(5)の選択肢を追加することとした（図 2）。昨年度の試行では、選択肢(1)と(2)を回答する割合がどちらも 5%に満たず、誤答選択肢としてあまり機能していないことがわかった。今後はインタビュー調査等を通して、より魅力的な誤答選択肢に改善することが必要である。

16. A さんと B さんは、「横から見た図」のように、地面の上に置かれたなわとびの両側に座ります。B さんがなわとびの片方を動かないように押さえつけ、A さんがなわとびの端を「上から見た図」の矢印（真ん中→左→右→真ん中）のように 1 回だけ振動させました。上から見たとき、なわとびはどのようになっていると考えますか。

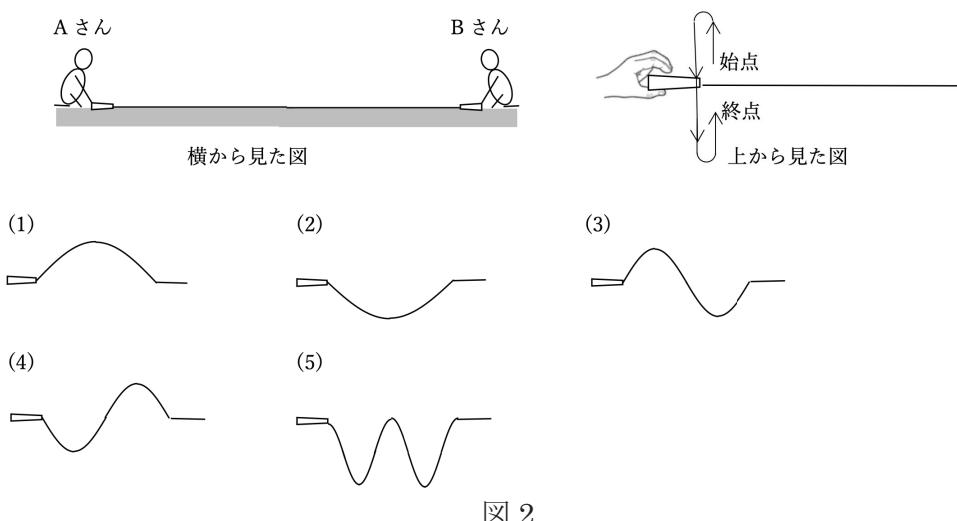


図 2

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

日本型物理概念調査問題の開発Ⅲ：調査問題の開発・物理

^A今井章人、^B新田英雄、^C植松晴子、^D勝田仁之、^E西村墨太、^F石本美智、^G右近修治、
^G興治文子、^H安田淳一郎、^I伊藤慧、^J江藤開、^K尾形総一朗、^L荔谷麻子、^M清水滉大、
^N竹内透、^O長倉健哉、^P平本健太、^Q山本岳

^A早稲田中学校・高等学校、^B東京学芸大学、^C筑波大学附属高等学校、
^D東京学芸大学附属高等学校、^E高知工科大学、^F東京都市大学、^G東京理科大学、
^H山形大学、^I明治大学付属明治高等学校・中学校、^J鶴見大学附属中学校・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法政大学国際高等学校、^N東京都立新宿高等学校、^O静岡県立伊豆中央高等学校、
^P神奈川大学附属中・高等学校、^Q新潟県立長岡大手高等学校

aimaime117@gmail.com

1. はじめに

本報告は、4件の連続講演「日本型物理概念調査問題の開発」の3件目である。発表者らの所属する研究グループ PEPPER では、高等学校物理基礎・物理それぞれについて試行版を作成し、複数の学校で事前・事後調査を実施した。本発表では、高校の上位科目物理の概念調査問題作成の過程について報告する。PER の手法に則り、既存の調査紙の日本語訳と妥当性検証、新規項目作成を通して学習指導要領と合致する標準的な概念調査問題セットを開発した。

2. 物理標準調査問題の概要

本研究で開発した物理の概念調査紙は、全 30 問で、全ての問題が 5 択の多肢選択式テストである。表 1 に示すように、物理の学習範囲を網羅するようにして作成した。2021 年度に行った試行 pre テストは令和 3 年 4 月の物理学習前の生徒を対象として、12 の学校で実施し、有効回答者数は 779 であった。また、試行 post テストは令和 4 年 3 月に、7 の学校で実施し、有効回答者数は 338 であった。

表 1 物理標準問題の構成

問題番号	単元	問う内容
問 1~9	力学	相対運動、放物運動、モーメント、運動量、円運動、慣性力、 単振動、万有引力、運動の 3 法則(物理基礎の範囲)
問 10~12	熱力学	状態方程式、熱力学過程 (等温変化、断熱変化)
問 13~16	波・光	ドップラー効果、ヤングの実験、音波の干渉、凸レンズ
問 17~28	電磁気	静電気、電場、電位、導体・不導体、コンデンサー、直流回路(物理基礎の範囲)、電流がつくる磁場、電流が磁場から受ける力、ローレンツ力、 電磁誘導、交流回路
問 29~30	原子	光電効果

3. 問題作成の流れ①：新作問題の場合（力のモーメント）

図1に示す問3を例として、問題作成の流れを説明する。既存の問題や新作問題を項目(力のモーメント、円運動、単振動など)ごとに列挙し、力のモーメントに関する問題について、狙いを明示する。問3では、作用線上であれば力を移動させても効果は変わらないことを適用して考えられるかをねらいとした。その後予備調査を行った[1]。予備調査では、生徒に回答させるときにその理由を記述させる。この調査で、問題のねらいがずれていたり、偽正答になっていたりした場合は、PEPPERメンバーで議論した上で問題改定を行い、再度予備調査を行う。昨年度の試行では「真下にずらしたとき」「真上にずらしたとき」という選択肢があった。どちらかだけ傾くとは考えにくいためか、ほぼ選択されていなかった。そこで、マフラーと同じ位置で折りたたんだとき(重心は変わるが作用点は変わらない場合)に変更した。

3. ハンガーの左右にマフラーをかけ、静かに手を放したところ、右図のように水平な状態で静止しました。ハンガーを水平に保ったまま、左のマフラーの位置や形をA～Cのようにして、その後静かにハンガーから手を離します。手を離した後、ハンガーが傾くのはどれでしょうか。

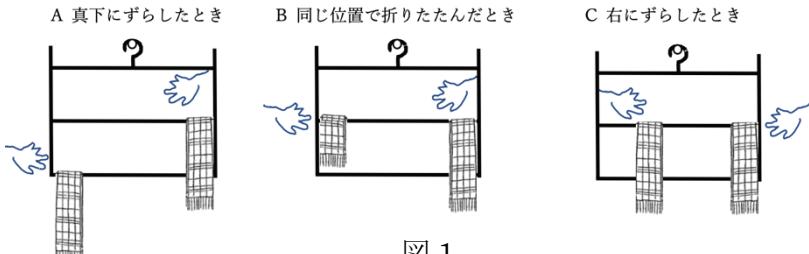
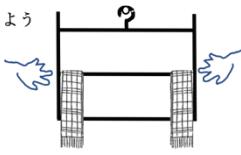


図1

4. 問題作成の流れ②：既存問題を改題する場合（電流が磁場から受ける力）

図2に示す問25を例として、既存問題を改題する流れを説明する。この問題は電磁気学概念調査BEMA[2]がもとになっている。BEMAでは8択の問題である。試験調査の回答分布から、5択に変更し、複数の

高校で予備調査を行った。事前では、互いに逆向きの電流が流れているので、力も打ち消されると考える生徒がいるが、事後ではその回答は減少する。しかし、事後でも力の向きと磁場の向きを混同して誤答を選択する生徒が多くいることが改めて確認できた。昨年度の試験では、導線1、2が横に配置された図であった。生徒が図だけでも配置が分かるように、導線1、2を縦に配置するなど細かな修正を行った。

本研究は、科研費基盤研究(B)課題番号19H01731の助成を受けている。

25. 2本の導線が紙面上に置かれています。導線1には上向きに電流が流れ、導線2には下向きに電流が流れています。導線1のつくる磁場から導線2が受ける力の向きはどれですか。

- (1) 右向き
- (2) 左向き
- (3) 紙面に垂直、裏から表向き
- (4) 紙面に垂直、表から裏向き
- (5) 力を受けていない

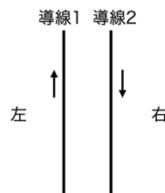


図2

参考文献

- [1] 荊谷麻子、日本型物理概念調査紙の開発IV：「物理」問題の試験結果、第36回物理教育研究大会物理教育学会、2019
- [2] L. Ding, R. Chabay, B. Sherwood, and R. Beichner, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 2(1), 010105 (2006).

日本型物理概念調査問題の開発 IV：試行結果およびインタビュー調査

^A 勝田仁之、^B 新田英雄、^C 植松晴子、^D 西村墨太、^E 石本美智、^F 右近修治、^G 興治文子、
^G 安田淳一郎、^H 伊藤慧、^I 今井章人、^J 江藤開、^K 尾形総一朗、^L 莢谷麻子、^M 清水滉大、^N 竹内透、
^O 長倉健哉、^P 平本健太、^Q 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 東京都市大学、^F 東京理科大学、^G 山形大学、^H 明治大学付属明治高等学校・中学校、
^I 早稲田中学校・高等学校、^J 鶴見大学附属中学校・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 法政大学国際高等学校、^N 東京都立新宿高等学校、
^O 静岡県立伊豆中央高等学校、^P 神奈川大学附属中・高等学校、^Q 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、4 件の連続講演「日本型物理概念調査問題の開発」の 4 件目である。発表者らの所属する研究グループ PEPPER 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を開発している。2023 年度の完成を目指し、調査問題の開発・事前・事後調査の試行・結果の分析と問題改定を繰り返している。

本講演では、物理基礎・物理それぞれについて、2021 年度 pre, post 調査、2022 年度 pre 調査の試行結果（表 1）と分析について報告する。さらに今年度は、インタビュー調査による概念調査紙の妥当性評価も行っている。この結果についても併せて報告する。

表 1 試行調査の実施概要

科目	実施年度	pre,post	学校数	有効回答数	正答率 (SD)
物理基礎	2021	pre	17	2038	0.33 (0.13)
		post	11	1391	0.47 (0.16)
	2022	pre	20	2425	0.34 (0.14)
物理	2021	pre	13	779	0.33 (0.16)
		post	8	407	0.48 (0.19)
	2022	pre	13	890	0.30 (0.13)

2. 古典テスト理論及び現代テスト理論による分析

本研究では、テスト結果を古典テスト理論と現代テスト理論の両面から分析して課題を抽出し、問題改定を行っている。古典テスト理論による分析の例として、図 1 に 2021 年度物理基礎標準調査問題の点双列相関係数を示す。点双列相関係数とは、各設問の正答率と、テスト得点（正答数）との間の相関係数である。この値が低いことは、テスト全体で測定しようとしている能力と、その設問が測定している能力が異なることを意味し、目安として 0.2 を上回ることが望ましい [1]。図 1 を見ると、pre 段階では点双列相関係数が 0.2 を下回る設問がいくつかあるものの、post ではなくになっている。pre 段階では未習内容も含まれることを考慮すると、問題ない結果であると言える。

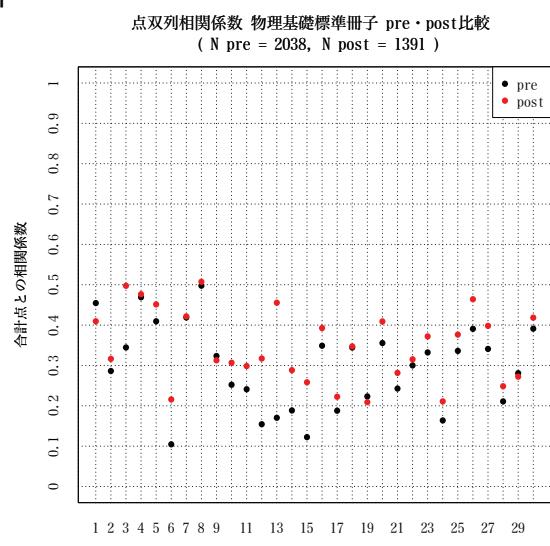


図 1

さらに2022年度の試行では、現代テスト理論、特に項目応答理論[1]を活用した分析を計画している。項目応答理論の枠組みでは、確率モデル（本研究ではRaschモデルを採用）を導入することで、次のような利点がある。

- ・各設問の難易度と、各回答者の能力値が独立に測定できる
- ・難易度や能力値が間隔尺度として測定できる
- ・用途に応じて設問が入れ替えられ、異なる設問構成のテストでも能力値が同一尺度上で比較できる

項目応答理論の枠組みに適合した標準調査問題を作ることで、全国の高校における授業効果が同一尺度上で比較できるようになり、日本における広い意味での物理教育研究の、共通基盤が形成されると考えている。テストの各設問が項目応答理論の枠組みに適合しているかどうかは、*infit-t* 統計量[1]を用いて評価できる。*infit-t* 統計量が -2.0～+2.0 の範囲に収まっていることが望ましく、+2.0 から大きく離れた値を取る設問は、モデルに適合していないと評価される。

2021 年度および
2022 年度の物理標準調査問題各設問の *infit-t* 統計量を、図2に示す。2021 年度の段階では *infit-t* 統計量が +2.0 を上回る設問が多く見られるが、問題改定を経て 2022 年度では 1 問にまで減少している。

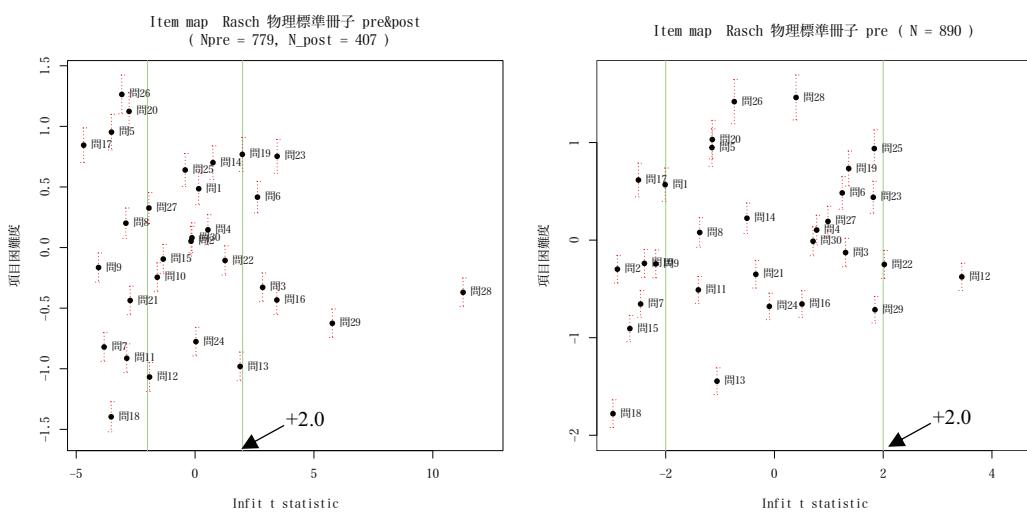


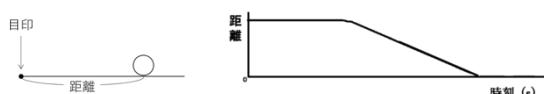
図2 2021(左), 2022(右)年度、物理標準調査問題各設問の *infit-t* 統計量

3. インタビュー調査

概念調査紙の開発において、インタビュー調査の重要性が指摘されている[2]。本研究では、概念調査紙開発において国際的に用いられている、「Think Aloud」の方法（回答者に、頭の中で考えていることをすべて声に出してテスト問題を解いてもらう方法）を採用した。高校生が各設問に回答する際、著者ら開発者が意図した通りに文や図の意味を解釈しているか、著者らの想定していない思考過程による正答／誤答がないか、などの視点から検証した。その結果、複数の設問において改善点が見つかったため、報告する。

図3の設問では、被験者はグラフ縦軸の「距離」を「一定時間ごとの距離」と誤解していた。「目印からの距離」に修正する予定である。

4. 図のように、一直線上を進むボールの運動について目印からの距離を測定しました。その運動のグラフを描くと、次のようになりました。正しい説明を選んでください。



1. ボールは最初、平面に沿って転がる。その後、目印から遠ざかる向きに坂を転がり落ちて、最後に止まる。
2. ボールは最初動かない。その後、目印から遠ざかる向きに坂を転がり落ちて、最後に止まる。
3. ボールは最初、一定の速度で動いている。その後、速度を落として、最後に止まる。
4. ボールは最初動かない。その後、目印に近づく向きに動いて、最後に止まる。
5. ボールは最初、平面に沿って転がる。その後、目印に近づく向きに坂を転がり落ち、動き続ける。

図3 2022 年度物理基礎標準調査問題 問4 (運動学)

参考文献

- [1] 豊田秀樹「項目反応理論[入門編]（第2版）」朝倉書店(2012)
- [2] W. Adams & C. Wieman, *International Journal of Science Education*, 33(9), 1289–1312(2011).

誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子

——高校生は、どのような学習で誤概念を克服しているか——

^A庄司善彦, ^B宗尻修治, ^C野村和泉, ^D齊藤準

^A兵庫県立大高度研, ^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

shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

1. はじめに

一般に、物理初学者が持つ誤概念の克服には、双方向型授業が有効であるとされている。一方で L.Bao らの調査によれば、中国の高校生は完璧に近い誤概念克服を達成している[1]。中国の教育手法は高考といわれる大学入試対策、特に自宅演習である。Bao らはローソンテストスコア S_L と FCI スコア S_F の分布を比較した。ローソンテストは科学的推論能力を、FCI はニュートン力学の理解度を測定する。米中比較の結果、 S_F には大きな差があったが S_L に差は無いことが示された。つまり、入試対策には論理思考能力をのばす「考える」要素はないという結論であった。中国の高校生の学習時間の長さを考慮しても、受験対策が誤概念克服に寄与することは確かであろう。日本の物理教育においても受験対策の比重は重く、この教育の効果を正しく評価する必要がある。

S_L と S_F の相関に加え、FCI ゲイン H_G との相関や、 H_G への双方向型講義の有効性に関する報告は多い。しかし学習形態と S_L の関係については先行研究が少なく、V. Coletta らが「従来型講義では H_G と S_L の正相関が小さいという経験からの印象」を述べた程度である。この現状に対して我々は、誤概念克服に対する入試対策の効果は、学習者の認知発達段階に依存する可能性があると考え、この仮説の検証を JSPS 科研費（課題番号 21K02885）の助成を受けて進めている。この発表は中間報告に過ぎず、データはサンプルサイズが小さいが、学生の個性に適した教育方法の必要性を示唆すると考えている。

2. 調査結果

ここで示すのはプレリミナリーな結果で、兵庫県立大の工学部と人文系に近い学部の S_L と S_F のスコア相関である。ただし S_L と S_F に換えて、正解数÷不正解数の対数を計算し、これを θ_L と θ_F として能力値としている[2]。例えば S_F と θ_F の関係は

$$\theta_F = \ln[S_F / (30 - S_F + \delta_F)], \quad \theta_L = \ln[S_L / (24 - S_L + \delta_F)], \quad (1)$$

である。ここで δ は満点（30 と 24）の能力値を決める補正值で、 θ_F と θ_L の分布がそれぞれ Gauss 分布となるように決める。ここでは工学部を基準とする $\delta_F=2.0$ と 1.6 を採用して計算している。この関数形は $\delta=0$ であれば Rasch Model の逆関数である。スコアに対する微分を取ると

$$d\theta/dS = (30 + \delta_F) / [S(30 - S + \delta)] \quad (2)$$

であり、Hake のゲインを $H_G = dS/(30-S)$ とすれば、 $d\theta \approx 30H_G/S$ である。

学生を学部別に、(a) 工学部、(b) 文理融合学部=環境人間学部、(c) 文系学部=経済系+経営系+看護学部に分けた。さらに学習履歴を高校の履修科目と大学入学共通テストまたはセンター試験の選択科目で以下に分けた。(11) 試験で物理を選択、(13) 高校で物理を履修したが試験で物理系科目を選択しなかった、(22) 高校で物理基礎まで履修し、試験で物理基礎を選択、(23) 高校で物理基礎まで履修したが試験で物理系科目を選択しなかった、(33) 高校で物理系科目を履修しなかった。

ここでは θ_L と θ_F の間に線形関係を仮定する。この妥当性を確認するため、最もサンプル数の多い工学部に対しておこなった相関プロットが図1である。610サンプルに対し、 θ_L 毎に θ_F の平均をプロットしたものが波線であって、直線近似は妥当といえるだろう。線形フィットした結果の実線は、おおむね波線上にある。

図2は入試科目に物理を選択した学生の学部比較である。文系学部の力学理解は工学部と大差なく θ_L 依存が小さいという結果は意外だが、低 θ_L のサンプル数の問題かもしれない。実際、 $\theta_L < 0$ の2点を除くと、フィッティングの結果は工学部のラインにやや近づく。

学習履歴による差を学部毎に示したものが図3である。(11)と(13)の差、あるいは(22)と(23)の差は受験対策学習の差と解釈できる。予想した通り、同じ講義を受講していても、試験を想定した学習か否か、または受験対策自体が誤概念克服への大きな要素になっている。高い θ_L で学習効果が高い傾向が見られるが、これは明確ではない。

(13)、(23)、(33)の差は、受験とは無関係の科目履修の効果である。文理融合学部でその効果が見え、 $\theta_F = -1$ で $d\theta_F = 0.2$ とすると学習効果はHakeのゲインで $H_G = 0.05$ 相当でしかないことになる。

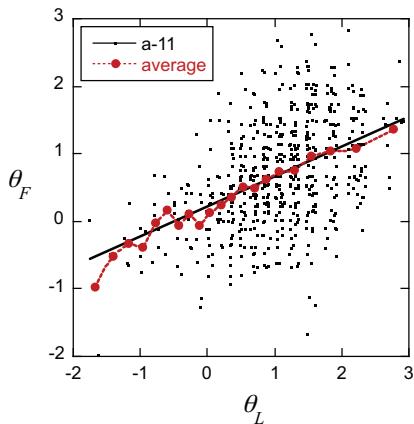


図1 工学部一般入試学生

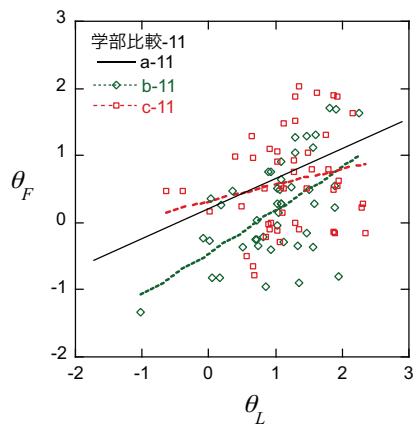


図2 入試科目に物理を選択した学生の学部比較

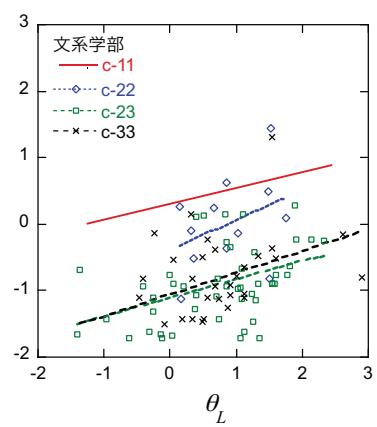
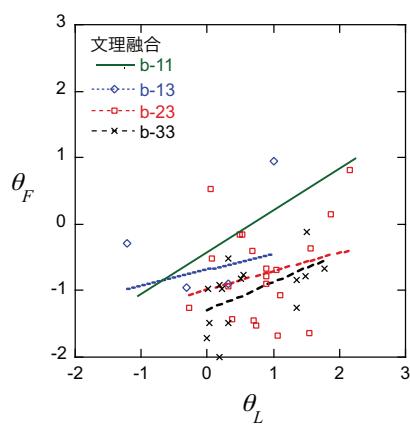
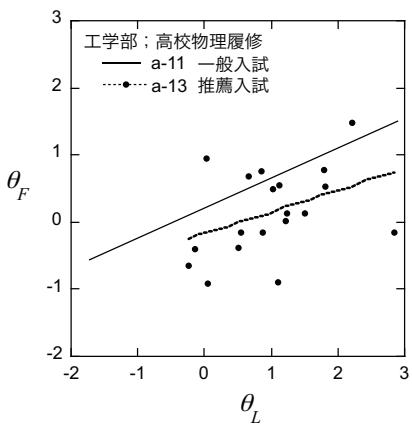


図3 学部毎に見た学習履歴の影響

参考文献

- [1] L. Bao, et al., Science 323 (2009) pp. 586–587.
- [2] 庄司善彦「ローソンテストで測定する大学生の認知発達」大学の物理教育 27 (2021) pp. 31–34.

高等学校物理基礎における生徒の「u-プリム」解明とその克服法の提案

^A峯岸晃生 ^B新田英雄

^A東京学芸大学大学院教育学研究科教育実践専門職高度化専攻 ^B東京学芸大学

minegishik1112@gmail.com

1. 背景と目的

diSessaは、学生が現象を説明する際に、仮定に基づいて論理的に説明しているわけではなく、それ以上説明できず、また説明する必要もないものとして知識化された「現象論的プリミティブ(phenomenological primitive : p-primitive)」の寄せ集めで現象を説明、解釈していると論じた^[1]。

一方、中学校で理科第1分野を学習した生徒は、高等学校物理基礎を学習する前には既にたくさんの物理用語や概念を知っている。しかし、生徒がそれらの物理用語や概念を用いるときは誤った解釈をしていることが多く、正しい理解のともなわない「学ばされた知識」として定着していることが、筆者の教育実践を通じて明らかとなってきた。

そこで筆者は、生徒が現象を説明する際に、中学校で学ばされたが本質的な理解が伴っていない知識「鵜呑みプリミティブ(unomi primitive : u-primitive)」の寄せ集めで現象を説明、解釈している場合があるのでないかと考えた。

本研究は、高等学校物理基礎力学における生徒が抱くu-primitiveの実例を示し、学習時の困難さを把握し、正しい概念習得のための効果的な教育的アプローチを提案することを目的とする。

2. 研究方法と研究結果

生徒には授業冒頭に、物理現象を問う概念調査を選択肢付き記述式で行った。多数の生徒が共通して記述していた説明、解釈を以下にまとめる。なお、運動学・静力学・動力学共通して生徒が抱いていた強固なp-primitiveや素朴概念も明らかとなった。

【力学で共通した強固なp-primitiveや素朴概念】

- オームのp-primitive：原因の大きさと結果の大きさは比例する^[2]
- 動かし続ける力：運動し続けるためには力が必要である^[3]
- 動いている物体はやがて止まる：摩擦力や空気抵抗による影響を物体の性質として考える^[4]

【明らかとなったu-primitive】

『運動学』

①原点のプリミティブ

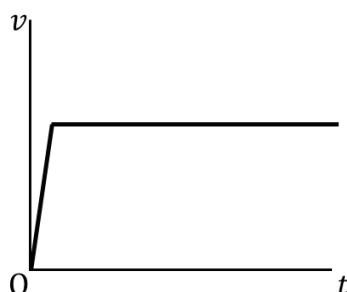
：グラフは必ず原点を通らなければならない

例)平面上を転がるビー玉のv-tグラフ(略図)

②言葉のプリミティブ

：加速度は加速するときだけの物理量

(物理量は常に正^[5])



③速いは早い

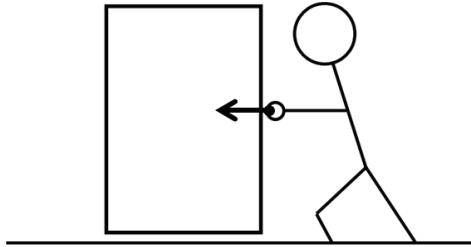
：ある地点での速度が速い方が、
その地点に着くまでの時間は早い

『静力学』

④力は与えるもの

: 力の作用点を力を及ぼした物体に描く

例) 箱を押す力 作用点を手に描いていた

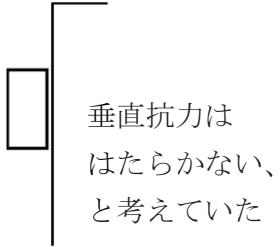
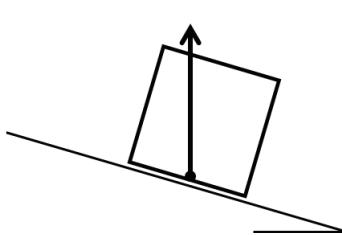


⑤垂直抗力のプリミティブ

: 垂直抗力は鉛直上向き(重力の逆向き)

にしかはたらかない

例) 斜面上で静止する箱、壁につく磁石



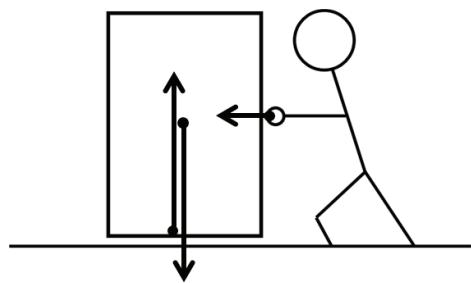
垂直抗力は
はたらかない、
と考えていた

⑥弾性力のプリミティブ：弾性力はばねでしかはたらかない

⑦静止摩擦力のプリミティブ

: 摩擦力は動いているものにしかはたらかない

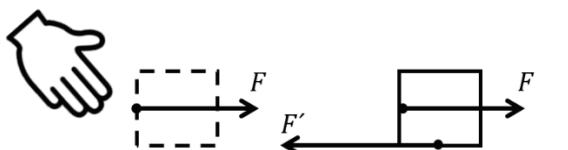
例) 押しても動かない箱 重いから動かない、と考え摩擦力を描こうとしなかった



『動力学』

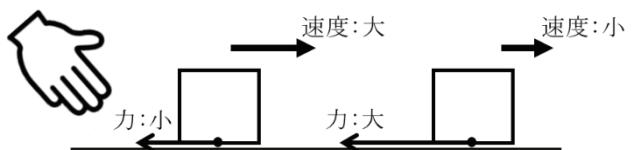
⑧動摩擦力のプリミティブ

⑧-1 : 動摩擦力は最大摩擦力よりも大きい



最大摩擦力 F_0 よりも大きい力 F で押し出された
物体が止まるためには、それよりも大きい力 F'
(動摩擦力) がはたらく必要がある ($F_0 < F < F'$)
と考えていた

⑧-2 : 動摩擦力の大きさは変化する



速度がだんだん遅くなるということは、
動摩擦力がどんどん大きくなっている
ということである、と考えていた

参考文献

- [1][2][3] DiSessa, Andrea A. "Toward an epistemology of physics." *Cognition and instruction* 10.2-3(1993): 105-225.
- [4] Hammer, David. "Student resources for learning introductory physics." *American Journal of Physics* 68.S1 (2000): S52-S59.
- [5] Knight, Randall D. "Five easy lessons: Strategies for successful physics teaching." (2004): 414-414.

物理概念の獲得における学習者の学習方略の影響

谷口和成, 藤本滉二郎, 石井哲夫

京都教育大学

guchi@kyokyo-u.ac.jp

1. はじめに

高等学校学習指導要領では、「知識・技能の習得」, 「思考力・判断力・表現力等の育成」, 「学びに向かう力・人間性等の涵養」の3つの柱で育成すべき資質・能力が整理され, これを踏まえ, 知識を確実に習得し, 主体的に学習に取り組むことが目標の1つとして明記されている[1]。

物理教育においては, 高校で物理を履修しても多くの誤概念を保持することが報告され, これまでも, その改善に向けた「アクティブ・ラーニング型の授業（以下, AL型授業）」研究の結果, 物理概念は他の法則や概念の学習と比較したり, 総合的に考えたりする「振り返り（メタ認知）」の活動によって理解が深まることが報告されている[2]。一方で, AL型授業を実施しても, 学習意欲（動機づけ）によってはその効果が限定的なものになり[3], さらに, 物理の学習において「反復練習（リハーサル方略）」を中心に行なっている学生は, FCIの得点が低い傾向にあることも明らかになった[4]。つまり, 物理概念の形成には, 教授方略や学習に対する動機づけだけでなく, 「効果的な学習方略が使用されること」も必要であることが示唆される。

ここで学習方略とは, 「学習の効果を高めることをめざして意図的に行う心的・操作あるいは活動」と定義される[5]。学習方略研究によると, 学習方略には, 表1に示すような【認知的方略（e.g. リハーサル方略, 体制化方略, 精緻化方略）】,【メタ認知的方略（e.g. メタ認知的方略, 教訓帰納方略）】,【外的リソース方略（e.g. 人的リソース方略, 援助要請）】,【動機づけ調整方略】など様々な種類があり, 教科によって有効な方略が異なるという報告がある[6]。しかしながら, 物理学習において, 概念の獲得に有効な学習方略やその影響についての詳細な調査結果はなく, さらに, 有効な（もしくは不適切な）方略があるとしたら, より良い方略の活用へと認識を変容させる支援について言及した報告もない。

そこで本研究では, これらの課題を明らかにするために, 物理学習における学習者の学習方略を詳細に調査するとともに, それらと力学概念の獲得状況との関係について分析し, さらに, 学習者が授業中にどのような方略を活用して物理学習を進めているかについても分析した。

表1 学習方略の種類とその例

側面	学習方略	下位尺度	例
認知的側面	認知的方略	リハーサル方略	覚えるときには教科書やノートをそのまま繰り返し読む
		体制化方略	新しい内容を学ぶとき, 以前に習ったどの内容と関連するか考える
		精緻化方略	理解しにくいところは自分なりのイメージで補って理解しやすくする
	メタ認知的方略	メタ認知的方略 教訓帰納方略	学んだことを, 自分がどれくらいわかっているか自分に質問する 似たような間違いをしないように, 注意点や対策法を考える
外的リソース方略	人的リソース方略 援助要請	人のリソース方略	勉強するときは, 最後に友達と答え合わせをするようにする
		援助要請	自分で考えてどうしてもわからないとき, 先生に質問する

2. 調査内容

国立大学の物理学基礎実験受講者50名を対象に, 「学習方略」および「力学概念の獲得状況」を

調査した。学習方略については、「学習方略尺度（表2）」を用いて5件法で、さらに、「物理の学習で活用している学習方略（表3）」を、それぞれ自由記述した後、その活用頻度を5件法で調査した。また、力学概念の獲得状況の調査についてはFCIおよびFMCEを実施した。なお、これらのアンケートおよび概念テストはAL型授業の前後に実施し、また、変容の根拠を探るためにAL型授業の事後に「自分の学びやレポート」に関する自由記述式のアンケート②（表4）を実施した。

表3 自由記述アンケート①の内容

アンケート内容	
1	物理の学習を進めるための方法
①	授業中において（とてもよく使う：5～全く使わない：1）
②	家庭学習において（とてもよく使う：5～全く使わない：1）
2	他の教科・科目と比べて特に物理の学習で使用する方法は何か
3	物理の再テストを受ける際、どのように勉強を進めるか

表2 学習方略尺度

下位尺度	
学習方略尺度	リハーサル方略
	体制化方略
	精緻化方略
	メタ認知的方略
	教訓帰納方略

表4 自由記述アンケート②の内容

アンケート内容	
1	自分の学びが進んだと感じたのはどんなときか
2	レポート課題を通して自分にどのような変容があったか
3	レポートを作成する上で実際に活用したもの、および活用した考え方・方法は何か

3. 結果および考察

事前調査における、自由記述式アンケート①の「授業中における物理の学習を進めるための方」の回答において「公式」という単語の出現に着目した。この単語を用いた回答数は多くはないものの、その記述は大きく4つに分類される（表5：A～D）。ここで、A、Bの記述は、「公式の丸暗記」や「問題演習の反復」のような【リハーサル方略】を、C、Dの記述は、公式を「ふり返り」「関連する知識のつながり」を意識している【メタ認知的方略】をそれぞれ物理学習に活用していると解釈できる。そこで、それぞれの記述を書いた学生のFCIの得点の平均値を求める（表5）と、「反復練習（A、Bの記述）」をする学生はFCIの得点が低いことがわかる。サンプル数が少ないため仮説の域を超えないが、【メタ認知的】な学習方略の活用が物理概念の形成につながっている可能性が推測できる。

講演では、この仮説の妥当性を含め、物理概念の獲得状況や学習方略の変容に関する詳細な分析結果を紹介し、物理概念の形成に影響する学習方略およびその活用を促す支援について検討した結果を報告する。

参考文献

- [1]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」(2019).
- [2]山崎敏昭, 谷口和成, 他:物理教育 61, 12-17 (2013).
- [3]齋藤孝, 北村貴文, 谷口和成:日本物理学会2015年秋季大会, 18pAL-4 (2015).
- [4]高橋幸太郎, 谷口和成:日本物理学会2021秋季大会, 21AN1-9 (2021).
- [5]辰野千壽:「学習方略の心理学-賢い学習者の育て方」, 図書文化社 (1997).
- [6]押尾恵吾:教育心理学研究 65, 225-238 (2017).

高校物理におけるメタ認知的方略の使用を促す支援法の検討

^A高橋幸太郎、^B谷口和成

^A京都府立園部高等学校、^B京都教育大学

t.kotaro0428@gmail.com

1. はじめに

今日の理科教育の課題として、学習に対する動機づけの低さが挙げられる[1]。筆者はこれまでに、物理学習の動機づけの向上を目指し、高校物理において Active Learning 型授業をベースに、宿題を積極的に活用する介入を行った。結果、高校生の宿題に対する自律性および物理学習に対する動機づけが宿題や宿題を用いた活動をきっかけに向上していることが明らかとなった[2]。ただし、この検討では授業と宿題の連動による学習成果への影響は未検討、という課題が残されている。

また、近年注目を集める自己調整学習理論では、「学習に対していくらやる気があつても、そのやり方が分からなければ、実際の成績にまでつながりにくい」[3]ことが指摘されており、学習成果を検討する上で、動機づけに併せて学習方略にも着目する必要が示唆されている。ここで、昨年度実施した大学生を対象にした調査[4]では、Newton 力学概念の獲得に関わる学習方略として、「メタ認知的方略」が有効であるという示唆が得られた。

以上より、本研究では以下の 2 点について検討することとする。

- 宿題を積極的に活用した介入の Newton 力学概念への影響について検討する。
- メタ認知的方略の支援法を提案し、その有効性を検討する。

2. メタ認知的方略の支援法

物理教育研究では、さまざまな Active Learning 型授業が開発されており、中でも Interactive Lecture Demonstrations[5]では、授業中の議論において学習者が自身（もしくは他者）の考え方自体を考える場面が見られる。このように自身の考えを俯瞰的に捉える活動はまさに「メタ認知」であり、「メタ認知」を意図的に学習法として取り入れる方略を「メタ認知的方略」という。しかし、授業中の学習者は教師に言われるがまま（もしくは無意識の内）に「メタ認知」をするのみであり、学習者が自分でこれを方略として捉えることは難しい。

ここで、「メタ認知」をしたのちに、有効な学習法であることを教師が伝えることで、学習者はひとつの学び方として「メタ認知」を捉えることが期待され、「メタ認知的方略」の支援になると考えられる（図 1）。

したがって、本実践では、Active Learning 型授業において認知的葛藤を引き起こした後に、メタ認知を促す発問（例：最初はどう考えていた？）をし、その後、方略のひとつとして有効であることを伝えることを意識し、介入を行った。

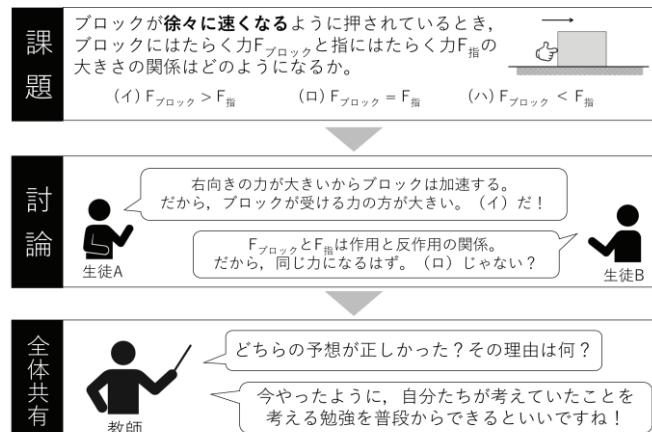


図 1 メタ認知的方略を支援する介入法の例

3. 方法

本実践では、宿題を積極的に活用すること[2]とメタ的な思考を方略として認識させることを意識的に行った。対象は、京都府立A高校の「物理基礎（2単位）」を受ける1年生20名で、今年度4月から7月に表1に示す授業を行い、授業内容に応じて宿題を課した。

本実践では、物理学習の動機づけ、メタ認知的方略の使用頻度、Newton力学の概念理解度をそれぞれ評価するため、「自己効力感尺度」、「学習方略尺度」、「Force Concept Inventory」（以下、FCI）を、実践の前後でそれぞれ実施した。

4. 結果および考察

実践前後における、物理学習の動機づけ、メタ認知的方略の使用頻度およびNewton力学概念の理解度の変化を調べるために、各尺度の事前・事後の結果に対して、対応のあるt検定をそれぞれ行った（表2）。結果、実践の前後で【自己効力感】（ $t(17) = 1.970, p < .10$ ）と【FCI】（ $t(17) = 10.687, p < .01$ ）において有意な上昇が確認された。つまり、本実践によって生徒は物理学習への自信をもつようになり、Newton力学の基本概念を理解しつつあるといえる。また、FCIの評価でよく用いられる規格化ゲイン[6]は0.37であった。

一方、本実践のもうひとつのねらいである【メタ認知的方略】は、実践の前後でわずかながら上昇したもの、その差に有意性は認められなかった（ $t(17) = 0.772, n.s.$ ）。ただし、全体としては有意な向上はしなかったものの、個別でみると向上している生徒も見られた。

発表では、【自己効力感】と【FCI】が向上した理由や【メタ認知的方略】が向上した生徒の特徴等について詳細に述べる。

参考文献

- [1] たとえば、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).
- [2] 高橋幸太郎・谷口和成：物理教育 70-2 (2022) 87-92.
- [3] 伊藤崇達著：「自己調整学習の成立過程－学習方略と動機づけの役割」(北大路書房, 2009).
- [4] 高橋幸太郎・谷口和成・石井哲夫：日本物理学会 2021 年秋季大会, 21aN1-9
- [5] D. Sokoloff, R. Thornton : 「Interactive Lecture Demonstrations」(Wiley, 2004).
- [6] R. Hake : Am. J. Phys. 66-1 (1998) 64-74.

表1 実践期間の授業展開と宿題の有無

回	主な授業内容	宿題	回	主な授業内容	宿題
1	事前調査		12	鉛直投げ上げ	
2	移動距離と変位		13	鉛直投射 演習	
3	速さと速度	○	14	水平投射と斜方投射 慣性の法則	○
4	x - t図とv - t図		15	いろいろな力	
5	合成速度、相対速度		16	力のつりあい (1次元)	○
6	実験：記録タイマー	○	17	作用・反作用の法則	
7	加速度		18	力の分解	
8	等加速度直線運動1・2	○	19	力のつりあい (2次元)	
9	等加速度直線運動3		20	実験：運動の法則	
10	自由落下	○	21	運動方程式	
11	鉛直投げ下ろし		22	事後調査	

表2 実践前後における各下位尺度得点の変化

下位尺度	事前		事後		t値
	M	SD	M	SD	
自己効力感	2.370	0.818	2.667	0.859	1.970 +
メタ認知的方略	3.511	0.562	3.622	0.764	0.772
FCI	0.324	0.148	0.570	0.140	10.687 **

** $p < .01$, * $p < .05$, + $p < .10$

中学校理科における学習方略の活用を促す授業の開発

^A藤本滉二郎, ^A谷口和成, ^A石井哲夫

^A京都教育大学

fujimoto.sciedu@gmail.com

1. はじめに

学習指導要領では育成すべき資質・能力が3つの柱で整理され、それに伴い評価の観点も「知識・技能」、「思考・表現・表現」、「主体的に学習に取り組む態度（第3観点）」の3観点に改訂された。ここで、第3観点の評価では「自らの学習を調整」することが求められ[1]、「自己調整学習」が注目されている。この学習は「動機づけ」、「メタ認知」、「学習方略」の3要素からなり、例えば、知識の習得や思考力の育成には、学習した内容を振り返り（メタ認知）、効果的な方法を用いて学習を進める（学習方略）ことが重要であるとされる[2,3]。一方で、学習者自身が効果的な「学習方略」を選択するための支援に関する研究はほとんどなく、また、教科書の丸暗記や問題集を何回も解き解答を覚えることが、定期考査で得点するために有効な学習方法であると認識している学習者が一定数いることは、多くの教員にとって周知の事実だろう。そこで本研究では、理科の学習において学習者に効果的な学習方略の活用を促すための教育的支援のあり方を実践的に検討している。

2. 学習方略の支援を目指す授業について

定期考査に向けて、適切な学習方略の支援を目指す授業の開発を行った。開発した授業は次の3つの展開で構成される。まず「教員が学習方略を与えるのではなく、生徒同士の話し合いによって学習方略への気づきを促すこと（展開①）」、次に「振り返りシートを用いた試験勉強の振り返りを通して、学習における課題と目標を明確にすること（展開②）」、最後に「どのような学習方略が効果的だったと考えられるのか、試験の結果を踏まえて考察させ、学習方略に関する認識を深めること（展開③）」を目指した（図1）。

ここで、展開①では、考えるきっかけを与えるために、教員が表1に示すような例を示した後、生徒達で話し合い、「どのような学習方法があるか」できるだけ多く挙げさせた。その後、ワールドカフェ方式を用いて他グループが挙げた学習方法を共有させ、できるだけ多くの学習方法を認識させた。ただし、学習方法を認識しただけでは適切な方法を選択することは難しいと考えられるため、それらの学習方法を活用できる場面をグループで議論し、クラス全体でその結果を共有した。最後に、授業内容を踏まえ「どのような場面でどのような学習方法を使いたいか」考えさせた。

また、展開①の後には「授業を受けて、感じたことや考えたこと、考えが変わったこと」の記述を、展開③の授業後には（1）期末考査に向けてどのような勉強方法を行っていきたいか、（2）展開①～③の授業を受けて、学習方法に対する考え方や感じ方に変化はあるか、（3）学習方法について何か相談

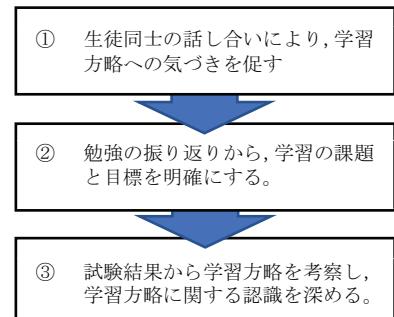


図1 授業実践の流れ

表1 例示した学習方略

学習方略	方略の例
リハーサル方略	習った用語を繰り返しノートに丸写しする
体制化方略	以前習ったどの知識とつながりがあるかわかるように矢印などでつなぐ
メタ認知的方略	学習したことがどれくらいわかつているか自問自答する
教訓帰納方略	問題演習で間違ったところを重点的に勉強する
人的リソース方略	わからないところを友達に質問する

したりアドバイスを受けたりする機会があれば活用したいか、についての記述を求めた。以下に、展開①～③の授業実践を行った結果について、展開①および(1)の記述内容を中心に、その考察および授業実践の課題を示す。

3. 結果および考察

展開①では、授業の最初に「理科の学習方法にはどのようなものがあるか」を質問したところ、「教科書を読む」、「問題集を解く」といった内容しか出てこなかった。しかし、できるだけ多くの学習方法をグループで協力して書き出すように指示すると、各グループ平均して20個程度の方略（細かい違いも含む）を挙げていた。さらに、学習方法を書き出す中で「確かにこれも学習方法か」などの発言があった。つまり、生徒達は様々な学習方法を知っていても、それを「方略」とは認識していないが、生徒同士で話し合うことにより、それを認識したり、新たな学習方法を考え出したりできる可能性を示唆している。実際に書き出された方略は、グループごとに多様で、【教訓帰納方略】や【精緻化方略】など様々な「認知的・メタ認知的方略」を記述したグループ（表2:A）もあれば、書き出された全ての方略が「何を用いて勉強するか」という勉強の道具を記述したグループ（表2:B）、【動機づけ調整方略】を記述したグループ（表2:C）もあり、ワールドカフェ方式により、できるだけ多くの学習方法を認識させた。

また、展開①の授業後には、「計画を立てるくらいならその時間も勉強にまわした方がいい」という考え方から「計画を立てた方が効率的に勉強できるから、ひたすら勉強するよりももっとたくさんのこと学べる」という考えに変わるなど、方略に対する認識の変容があった生徒が複数いた。

その一方で、中間考査までに活用したい学習方法を考える場面（図1：展開①,②）では「問題集を何周もする」、「赤シートを使ってひたすら暗記する」（リハーサル方略）というように、これまでの学習方法からの変容が見られない生徒もいた。この原因のひとつに、これまでに受けた試験では【リハーサル方略】を活用することにより一定の効果が得られていたこと（成功体験）にあると考えられる。したがって、そのような生徒の認識を変容させる一つの方法として、「その方略だけでは解決できない問題・課題に直面させ、実際に活用する方略を変更した結果、それが有効であったと実感させる」など、新しい成功体験をさせることができると考えられる。今後は、中間考査の結果を振り返り、期末考査対策で新たな方略を活用し、その方略が価値づけられるような経験をさせる長期的な支援が必要となるだろう。

講演では、授業における生徒の反応や記述内容の質的分析結果もあわせて、本実践を評価した結果とともに、学習方略の自発的活用を促す支援のあり方について考察したものをお伝えする。本研究はJSPS科研費21K02926の助成を受けて実施している。

表2 書き出された学習方略（一部抜粋）

		書き出した学習方法（一部抜粋）
グループ	A	問題集を解いて、間違えたところを中心に教科書で確認する。 理科の用語をただ覚えるだけじゃなくて意味まで理解する。 授業中考えたことを自分の言葉で説明できるようにする。
グループ	B	徹底演習テキストをする。ワークをする。動画を見る。
グループ	C	(集中力を保つために) しっかり寝る。 疲れたら休憩する。時間を区切って勉強する。

参考文献

- [1]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」(2019)
- [2]山崎敏昭, 他:物理教育 61, 12-17 (2013).
- [3]高橋幸太郎, 谷口和成:日本物理学会2021秋季大会, 21AN1-9 (2021).

協働学習を用いた数理モデル教育による学生の学び

^A田尾周一郎、^B舟橋京子

^A九州大学基幹教育院、^B九州大学比較社会文化研究院

tao@artsci.kyushu-u.ac.jp

1. 背景と目的

九州大学は約 50 年ぶりの新学部として共創学部を 2018 年に新設した。共創学部は、地球規模の課題に取り組む人材を育成することを目標としている。そのため共創学部の教育課程では、自ら設定した課題の解決に向けて他者と「協働」する力を獲得できるよう、協働的な学びを一つの柱としたカリキュラムが組まれている。協働的な学びを象徴する科目として具体的には、共創基礎プロジェクト（2 年次）、共創プロジェクト（3 年次）が開講される。

3 年次の共創プロジェクトで学生は、春・夏・秋・冬の各クオーターに 1 クラスずつ合計 4 クラスを履修し、異なる専門や知識をもつ多様な人々と共同して課題解決に取り組む姿勢やスキルを身につけていく。共創プロジェクトの特徴は、課題を取り扱うこと、グループワークを行うこと、専門の異なる教員 2 名が担当することにある。学生 25 名からなる 1 クラスを 5 グループに分け、各グループで PBL (Problem Based Learning) をを行い、最終な結果は英語でプレゼンテーションする。

物理を専門とする田尾と考古学を専門とする舟橋がペアを組んだ共創プロジェクトでは、昨年度からテーマとして数理モデル（春学期）と縄文・弥生時代の人口（冬学期）を取り扱っている。本発表では、大学における数理モデル教育の例を紹介するとともに、学生の意識の変化や、数理モデルや協働に対する考え方を見していく。このような授業のどの要素が学生の学びに影響を及ぼすのか検討していきたい。

2. 協働学習を用いた数理モデル教育

数理モデル化の能力は、統計的能力とともに大学生の数学的リテラシーの中核をなす能力とされる。理工系の学生たちは伝統的に物理学の問題を通じて数理モデル化の能力を培ってきたが、文系学生に数理モデル教育を行うにあたっては、大綱化時期から言われているように専門基礎教育のコンテキストでは興味を持たせられないことは明らかである。理工系学生のように、自分の専門だから「難しくても勉強すればできる」という意識がないためである[1]。興味を持って取り組ませるためには、彼ら自身の専門や興味関心と結びつける工夫が必要である。

田尾・舟橋で担当した共創プロジェクトでは、微分方程式で記述されるモデルを題材とする。今回のクラスでは 25 名のうち高校での数学Ⅲ履修者が 14 名で、大学入学後の履修状況は微分積分 9 名、線形代数 6 名、物理系科目 8 名と数物系が得意な学生ばかりではなかった。いっぽうで大部分の学生は Python を使ったプログラミングを経験している。このような学生たちに対して、共創プロジェクトで扱う数学的概念やそれらの操作は高校数学Ⅱの知識にプラスアルファすることで理解できる範囲にとどめた。

授業は週 1 コマ 8 週で構成され、第 6 回、第 7 回は発表会と振り返りの時間に充てられる。レクチャー部分では、学生が興味を持つモデルを使い微分方程式によるモデル化とその検証のプロセスを説明した。解析解の導出に拘らず、Python で数値的に解く手順も指導した。個人課題では、

単純な微分方程式で記述されるモデルを扱い、IMRADに基づいた科学レポートを書けるよう、グループで教え合う時間を設けるなどして段階的にトレーニングした。特に必要となる作図について丁寧に説明した。グループ課題では独自のモデルを作成して英語で発表する。モデル作成にあたっては次のように作業を進めるよう指示した。1. モデル化したい現象を見出す。2. モデル化に必要な言葉を定義し、適用範囲を定める。3. 数式を使って現象を記述する。4. 数式を解き、解の意味について質的・量的に把握し、妥当性を検証する。5. モデルを用いて現象の本質を説明する、あるいは予測を行う。発表は時間に余裕を持たせ、振り返る時間を設けている。これは21世紀プログラム「課題研究」の実践から得られた結果にもとづく[2]。

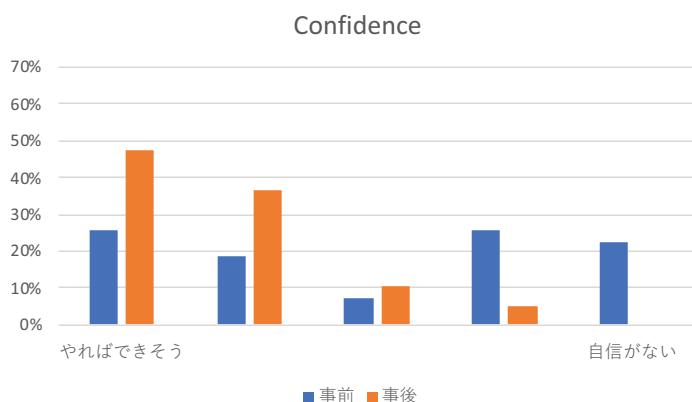


図1 受講前後の自信の程度

4. 学習意欲の調査

このような授業の受講前・受講後で学生の学習意欲がどのように変化するか確かめるため、ARCS モデルにもとづいて、注意 (Attention), 関連性 (Relevance), 自信 (Confidence) に関して 5 段階で調査

した。その結果、図1に示すように自信の面において特に大きな上昇を示した。

協働学習に対する質問項目からは、次のような複数で取り組む意義に関する意見が散見された。

大学に入って一番グループでの活動を意識できた。人によってできることが違うけれど誰しもが何かしらの点で活躍できることを実感できた。共創プロジェクト2以降も頑張りたいと思った。

数理モデルについての質問項目からは、自信を得た結果といえる意見がみられた。

数理モデルは、説得力のある研究を行うために避けて通れないとは思っていたが、今まででは難しそうというイメージで避けてしまっていた。しかし、今回の共創プロジェクトで数理モデリングを経験し、面白いと感じるようになった。時間に伴って変化する値のような科学的なものしか数理モデルにできないと思っていたが、主観的/客観的な疲れの関係をモデル化することもできたため、世の中のほとんどの物が数理モデル化できるのではないかと思った。また難しい数式を知っていないと数理モデルを作ることは不可能だと思っていたが（中略）グラフにしたり比例定数から考察したりすると分かった。

これらを手がかりに授業のどの要素が学生の学びに影響を及ぼすのか検討していきたい。

参考文献

- [1] 長谷川彰 他, 旧教養部カリキュラムに対する学生の意識調査研究, 1995, 大学教育研究年報.
- [2] 田尾周一郎 他, 「課題研究」科目における早期の研究体験の意義について, 2020, 基幹教育紀要

高等学校の物理問題演習の指導法に関する生徒の意識調査

平野裕一

大阪工業大学

hiranosun0321@gmail.com

1. はじめに

高等学校の学習指導要領が改訂され、アクティヴ・ラーニングによる授業改善が求められている。高等学校の物理の授業において、問題演習は重要な要素の一つである。問題演習に関して、今井の概念理解の向上を目的とした大学入試問題の類題を生徒に議論をさせながら取り組ませる実践[1]、瀬々の具体的な状況設定に基づいた演習問題をグループで取り組ませる実践[2]、水口の成績の分散の解消を目的とした教え合い活動を導入した実践などが報告されている。

筆者は、グループでの学習活動になじめない特性を有する生徒が一定数いると考えられることから、解法が記された例題の説明を、①教員による手法（以下、教員講義形式という）、②5人程度の生徒のグループ単位で解法を理解し（まず個人で解答を熟読した後、生徒同士で教えあう）、選ばれたグループが生徒の前で行う手法（以下、生徒発表形式という。）を行い、生徒を対象に手法の是非に関する調査を実施した。

2. 調査の概要

(1) 調査対象

A 県立 B 高等学校全日制

普通科 2 年生 113 名

(2) 問題演習の概要

「改訂版 物理基礎」(数

表 1 指導手法の重点の違いによる群分け

群	人数	教員講義形式で実施した例題の数	生徒発表形式で実施した例題の数
教員講義形式 重点群	37 人 (1 クラス)	5 問	2 問
生徒発表形式 重点群	76 人 (2 クラス)	1 問	6 問

研出版) の運動方程式に関する例題 7 問を、2 つの手法で問題数に違いを設け実施した（表 1）。

3. 調査結果と分析

質問紙法による調査結果を表 2 に示す。全体では、教員講義形式に肯定的な生徒が 40.7%、生徒発表形式に肯定的な生徒が 59.3% であり、教員講義形式重点群の生徒の回答に比べ生徒発表形式重点群の生徒の回答に「どちらかと言えば」を選択した回答が多い点が特徴的であった。なお、重点群の違いによる回答結果について χ^2 検定を行ったが有意差は認められなかった。

次に、教員講義形式に肯定的な生徒群と生徒発表形式に肯定的な生徒群それぞれに対して理由を選択させた結果が表 3、表 4 である。

表 2 指導手法の重点の違いと指導手法に対する生徒の意識 ($n = 113$)

選択肢 群	先生が教える 形式が良い	どちらかと言えば 先生が教える 形式が良い	どちらかと言えば グループで行う 形式が良い	グループで行う 形式が良い	合計
教員講義形式重点群	13 (35.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	24 (64.9%)	37 (100%)
生徒発表形式重点群	12 (15.8%)	21 (27.6%)	29 (38.2%)	14 (18.4%)	76 (100%)
全体	25 (22.1%)	21 (18.6%)	29 (25.7%)	38 (33.6%)	113 (100%)

表3 教員講義形式に肯定的な回答をした理由 (n =61)

生徒が発表するよ りわかりやすい	生徒だけで考えて もわかりにくい	発表するのが苦手	生徒同士で話し合 うのが苦手	その他・無回答
42 (68.9%)	9 (14.8%)	5 (8.2%)	0 (0.0%)	5 (8.2%)

表4 生徒発表形式に肯定的な回答をした理由 (n =52)

生徒同士で教え合 うことができる	自分で考える時間 が確保できる	生徒同士で協力で きる	みんなの前で発表 できる	その他
24 (46.2%)	13 (25.0%)	13 (25.0%)	0 (0.0%)	2 (3.8%)

さらに、生徒の属性として「物理が得

表5 生徒の属性分類

	定期考査成績		
	上位	中位	下位
すごく得意	3		
どちらかと言えば得意	(I) 26	(II) 12	3
どちらかと言えば不得意	8	17	(III) 17
すごく不得意		7	17

表6 教員講義形式に肯定的な回答をした理由 (n =49)

	生徒が発表するよ りわかりやすい	生徒だけで考えて もわかりにくい	発表するのが苦手	その他・無回答
(I)群 [n=13]	11 (84.6%)	0 (0.0%)	1 (7.7%)	1 (7.7%)
(II)群 [n=17]	10 (58.8%)	4 (23.5%)	1 (5.9%)	2 (11.8%)
(III)群 [n=19]	12 (63.2%)	5 (26.3%)	2 (10.5%)	0 (0.0%)

表7 生徒発表形式に肯定的な回答をした理由 (n =43)

	生徒同士で教え合 うことができる	自分で考える時間 が確保できる	生徒同士で協力で きる	その他・無回答
(I)群 [n=16]	6 (60.0%)	5 (31.3%)	5 (31.3%)	0 (0.0%)
(II)群 [n=12]	6 (54.5%)	3 (23.3%)	3 (23.3%)	0 (0.0%)
(III)群 [n=15]	9 (60.0%)	3 (20.0%)	3 (20.0%)	0 (0.0%)

表6では、(II) (III) 群では「生徒だけで考えてもわかりにくい」との回答が 20 数%あったが、(I)群では0 %であった。成績上位層の物理が得意で教員講義形式に肯定的な生徒は、生徒だけでも理解できるが教員が指導することにより、付加価値を求める傾向にあると考えられる。

一方、表7では、群による回答比率の違いは見出すことはできなかったが、「自分で考える時間が確保できる」を選択した回答が 20~30%あることに注目したい。本稿での生徒発表形式には、「生徒個々人で教科書の回答を熟読する」という個人の学習活動が要素としてあり、その点を評価する生徒がいることを示している。

4. 今後の展望

問題演習で扱った例題の類題を事後に実施した定期考査で出題した。その正答率と問題演習の指導手法の関係について今後分析する予定である。

参考文献

- [1]今井章人：物理教育, 69-1, 29-32 (2021)
- [2]瀬々将吏：物理教育, 63-3, 214-219 (2015)
- [3]水口翔太郎ら：教育実践研究(大阪教育大学教育学部附属教育実践総合センター), 11, 1-14 (2017)

中学校理科教科書の物理領域の内容における「方法」に関する問い合わせの傾向

^A中山 迅・^A加治屋 智弥・^B猿田 祐嗣

^A宮崎大学大学院教育学研究科・^B国立教育政策研究所客員研究員

e04502u@cc.miyazaki-u.ac.jp

1. はじめに

中山ら(2014)は、2008年告示の中学校学習指導要領に基づく5社の中学校理科教科書に書かれている「問い合わせ」を抽出し、探究過程の「方法」場面の問い合わせは、4,177件中の24件であったことを報告している。これに関連して、小野ら(2021)は、2017年告示の小学校学習指導要領に基づく小学校理科教科書の問い合わせを分析し、「方法」に関する問い合わせの件数が、前の学習指導要領の時よりも多くなっていることを報告している。そこで、本研究では、2017年告示の現行の中学校学習指導要領に基づく中学校理科教科書の物理領域の内容に注目し、探究過程の「方法」場面の問い合わせについて、件数や内容を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

分析対象は5社の中学校理科教科書(梶田ら, 2021; 有馬ら, 2021; 大矢ら, 2021; 室伏ら, 2021; 霜田ら, 2021)の、物理領域の内容の部分に書かれている「問い合わせ」である。今回は、探究過程の「方法」の場面に書かれている「問い合わせ」を抜き出して集計した。さらに、「問い合わせ」の内容によって「問題・仮説」「方法」「結果」「考察」「活用」に分類した。そして、特に「方法」について問い合わせている問い合わせに着目して、その問い合わせの内容を、カテゴリー分けして集計し、その内容を検討した。

3. 結果

集計結果を表1, 2, 3に掲げる。

物理領域の方法場面には111件の問い合わせがあった。表2から方法場面で「方法」について問うた「問い合わせ」が71件と最も多いことが分かる。

表1 「方法」場面の問い合わせの件数(領域／学年)

領域／学年	1	2	3	計
力学	18	0	37	55
エネルギー全般	0	0	1	1
光・音	22	0	0	22
電磁気	0	31	0	31
電磁気(熱)	0	2	0	2
計	40	33	38	111

表3を見たとき、力学領域で最も多い「測定・検証方法」に関する問い合わせを表4に、電磁気で最も多い「実験計画の立案・条件制御」の問い合わせを表5に掲げる。

表2 「方法」場面の問い合わせの件数(領域／問い合わせの内容)

領域／問い合わせの内容	問題・仮説	方法	結果	考察	活用	計
力学	10	41	1	3	0	55
エネルギー全般	0	0	0	0	1	1
光・音	14	7	0	1	0	22
電磁気	9	21	0	0	1	31
電磁気(熱)	0	2	0	0	0	2
計	33	71	1	4	2	111

表3 「方法」場面の「方法」の問い合わせの件数(種別／領域)

「方法」の問い合わせの種別／領域	力学	光・音	電磁気	電磁気(熱)	計
安全上の留意点	0	0	1	0	1
観察・実験を超えた調査方法	1	0	0	0	1
観察の視点・観点・対象	1	0	0	0	1
器具・薬品等	2	3	2	0	7
記録・表現方法	4	2	0	0	6
実験計画の立案・条件制御	7	0	9	0	16
測定・検証方法	17	1	7	0	25
測定・検証方法(同意要請)	9	1	2	0	12
方法についての理由	0	0	0	2	2
計	41	7	21	2	71

表4 「力学」の「測定・検証方法」の問い合わせ

問い合わせ	学年	出版社
ばねを引く力は、どうやって求めればよいのかな。	1	A
構想 調べ方を考えよう：おもりとばねを使って、ばねを引く力とばねのひの関係を調べるには、どのような調べ方がよいたどうか。	1	A
計画：複雑な形でも実験できるのかな	1	E
ばねの伸びは、どうやって調べればいいかな	1	B
計画を立てよう：力の大きさとばねの伸びの関係を調べるには、どのような実験を行えばよいか考えよう	1	B
やってみよう：力は目に見えないね。どうしたら、物体に加わっている力を見つけられるのかな	1	B
計画：仮説を確かめるためには、どのような実験を行えばよいか	1	C
話し合ってみよう：力の大きさとばねのひの関係は、どのようにすれば調べられるのだろうか	1	C
計画：物体が落ちる速さもはかりたいな。方法はないかな	3	E
計画：そのとき2力の合力はどうやってはかればいいだろう	3	E
計画：浮力をどのようにはかればよいだろう	3	E
計画：浮力の大きさは何によって決まるか、これまでに調べてきたことをもとに、自分の仮説を確かめるために方法を考えよう	3	D
どうやって浮力を求めたらいいのかな	3	B
計画を立てよう：物体に加わる浮力が何と関係しているか調べる実験を考えよう	3	B
計画：どのような装置を組めば、斜面の角度を変えられるかな	3	C
計画：(どのような装置を組み,) どのような測定を行えばよいか	3	C
計画：どのような装置を組み,(どのような測定を行えばよいか)	3	C

表5 「電磁気」の実験計画の立案・条件制御の問い合わせ

問い合わせ	学年	出版社
計画：導線と磁石を使って電流を発生させるにはどのようにすればよいか、これまでに調べてきたことをもとに仮説を立て、仮説を確かめる方法を考えよう	2	D
異なる条件で測定するのかなどを話し合って、実験の計画を立てる	2	B
測定することや調べる条件、班ごとに同じ条件で測定するのか	2	B
計画を立てよう：豆電球の明るさが(何と関係しているかを確かめるために,) どのような実験を行えばよいか話し合おう	2	B
計画を立てよう：豆電球の明るさが何と関係しているかを確かめるために、(どのような実験を行えばよいか)話し合おう	2	B
計画を立てよう：誘導電流の大きさや向きが、何と関係しているか調べる方法を考えよう	2	B
計画：仮説を確かめるためには、どのような実験を行えばよいか	2	C
考えてみよう：また、電流を使って、自分たちの仮説を確かめるには、どのような実験を行えばよいか、実験計画を考えてみよう	2	C
仮説を確かめるためには、どのような実験を行えばよいでしょうか。	2	C

4. 考察

探究の方法を考えさせる問い合わせとして、測定や検証の方法に関する問い合わせや、実験計画に関する問い合わせが多いことが確認された。新学習指導要領に基づく教科書では、探究の「方法」についても生徒に考えさせようとしている。このことから、測定方法などについて生徒に問うことから始めて、時には実験の計画についても生徒に問う授業の取り組みが期待されていると言えそうである。

付記

本研究の一部は JSPS 科研費 20H01747 の助成を受けた。

引用文献

- 有馬朗人, ほか (2021) : 理科の世界 1, 2, 3, 大日本図書.
- 梶田隆章・真行寺千佳子・永原裕子・西原寛, ほか (2021) : 新しい科学 1, 2, 3, 東京書籍.
- 室伏きみ子・養老孟司, ほか (2021) : 自然の探究 中学理科 1, 2, 3, 教育出版.
- 中山 迅・猿田 祐嗣・森 智裕・渡邊 俊和 (2014) : 科学的探究の教育における望ましい「問い合わせ」のあり方—日本の中学校理科教科書における「問い合わせ」の出現場面と種類—, 理科教育学研究, 55(1), 47–58.
- 小野 宦・中山 迅・清水 鈴也 (2021) : 小学校学習指導要領改訂に伴う小学校理科教科書における変化, 日本科学教育学会研究会研究報告, 35(7), 19–21.
- 大矢禎一・鎌田正裕, ほか (2021) : 未来へひろがるサイエンス 1, 2, 3, 新興出版社啓林館.
- 霜田光一・森本信也, ほか (2021) : 中学校 科学 1, 2, 3, 学校図書.

「熱概念」のパラダイム転換について

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

中学校、高等学校理科教科書の熱概念についての混乱の実態¹⁾や、初学者が「熱運動」「熱エネルギー」の用語をどのように理解しているか、の調査結果を報告した²⁾。また、熱力学第一法則の確立について前回報告した³⁾。「熱の本性」の理解には、科学が糸余曲折しながら発展してきた歴史があるが、我が国では、誤概念を誘発する適切でない用語が満ちていて、初学者は熱力学の学習に困惑している状況にある。西欧での、「熱は物質が保持してエネルギーではなく、移動中のエネルギー(エネルギーの移動形態)のこと。」という認識(熱概念のパラダイム転換)は、何時頃始まったのかを明らかにするべく、様々な報告書や著書等を調査した。その結果を報告し我が国の物理教育に役立てたい。

2 Carolic 説による熱学の翻弄 -熱は、エネルギーそのものではなく、エネルギーの移動形態の認識に至るまで-

(1) フランスの化学者ラボアジェによる Carolic

Carolic は重さのない、熱物質(元素の1つとして)が提唱されて、全ての熱現象の動因(driving force)とされ、消滅することなく「Carolic は保存するもの」とされた。

(2) ブラッグは Carolic 説に基づき、「熱」と「温度」の区別をし、「熱量」の概念を導入して「熱量保存論」を提唱

「熱容量」(物質がどれだけ熱量を保持できるかを表す能力の意味)、「比熱」(水の熱容量との比の意味、後に、単位質量当たりの熱容量の意味)の概念の導入や感覚できる熱を顯熱(sensible heat)、感覚できない熱を潜熱(latent heat)などの概念を導入した。

(3) フーリエは熱伝導方程式やその解を研究し Carolic 説を強固な理論にする

物質が熱(Carolic)を保持していて、その保持している熱が温度の低い部分に移動(伝導、拡散)していく現象を数学的に説明する「熱の解析的理論」をフーリエは著すとともに、フーリエ級数を創出。Carolic 説をより強固なものにした。

(4) ラムフードによる熱の運動説とディバーの氷の摩擦実験によるその検証

砲身の掘削実験から熱は仕事から生み出せ、熱は物質ではなく運動と考えられるとする Carolic 説を否定する考えを提唱する。イギリスのハンフリー・ディバーは氷同士を摩擦して熱の発生を確認した。

(5)マイヤー、ジュールによる「熱と仕事の等価性」の発見と「熱はエネルギーの一形態」の認識段階

ジュールは熱の仕事当量に関する実験によって、「熱と仕事の等価性」を初めて証明し、「熱はエネルギーの一形態(Heat is a form of energy)」とする考え方を提唱する。これまで、Carolic の量を測る単位とされていたカロリーは、普通のエネルギーの単位ジュールに換算できることが明らかになった。

(6) 「熱の運動論」の展開と「熱は物質に保持(保有)されている」とする Carolic 説が補強される

チンドルやジュール、クラウジウス等による「熱は分子などの無秩序な運動(分子運動)のエネルギーである」とする「熱の運動論」が展開された。ここに至って、「熱はエネルギーの一形態」とする考え方方と「熱は分子運動のエネルギー」であるとする考え方方が合流して、「熱は物質に保持されている」とする考え方(Carolic 説と同様な考え方)が強固になると云う皮肉な状況に陥る。カルノー、ウイリアム・トムソン、クラウジウス等も当初は、Carolic 説を信奉していた。

(7) 「内部エネルギー概念」の導入と「熱力学第一法則」の数学的関係式は一応完成するが

クリスチャンセンは「内部エネルギー」の用語(概念)を用いて、熱力学第一法則の数学的定式化を完成させた(19世紀末)⁴⁾。ほぼ同じ頃、プランクも内部エネルギーの用語を用いて、熱力学第一法則の定式化に到達していた⁵⁾。いづれも、「内部エネルギーは状態量(状態関数)であること」を明確にしたが、「熱と仕事は状態量では無い。」、「熱と仕事はエネルギーそのものではなく、エネルギーの移動形態(移動中のエネルギー)である。」との言及はなかった。

3 J. Slater による「パラダイム転換」の始まり

スレーターは、著書「化学物理学(Introduction to Chemical Physics)」(1939 年出版)⁶⁾で、熱力学第一法則について言及し、「熱と仕事は、状態量ではないこと」を明確に例示して、「熱や仕事は物質に保持されている物理量ではなく、物体間でやり取りされるエネルギー(エネルギーの移動形態)であること」を明らかにした。ここに、熱概念についての「パラダイム転換」の幕が切って落とされた。スレーターの卓見である。このことを同書8ページに次の様に記している。

It is of the utmost importance to realize that the distinction between heat flow and mechanical work, which we have made in taking about energy in transit into a system, does not apply to the energy once it is in the system. ...
The distinction between heat and work is made in discussing energy in transit, and only there. (下線は五十嵐による)

ここで、スレーターは「熱」と「仕事」の概念的区別について議論し、「熱」と「仕事」は、状態量ではなく、系に出入りす

るエネルギー(移動中のエネルギー)(energy in transit)であることを暗に述べている。このことに遅早く気づき触発されて熱概念を明確にして示したのが M. Zemansky であった⁷⁾。彼は「熱と熱力学」(Heat and Thermodynamics)の第二版(1943年)の第4章の 热力学第一法則 第4.5節 热の概念(Concept of Heat)で、次の様に述べている。(下線は五十嵐)

4.5. Concept of Heat. – Heat is energy in transit. It flows from one point to another. When the flow has ceased, there is no longer any occasion to use the word heat. It would be just as incorrect to refer to the “heat in a body” as it would be to speak about the “work in a body.” The performance of work and the flow of heat are methods whereby the internal energy of a system is changed. It is impossible to separate or differentiate the internal energy into a mechanical and a thermal part.

「熱は移動中のエネルギーである」とこと、また、熱は状態量ではないので「物体の中には熱は存在しない」と等について、「熱とは何か」、「熱力学における熱概念(Concept of Heat)」を明確に述べている。

The American Physics Teacher(Vol.1,1933年～Vol.7,1939年,American Journal of Physics (Vol.8,1940年～Vol.13,1945年)の全巻の全号を緻密に調査したが、熱概念に関する議論は見つけることができなかつた。このことから、Slater や M. Zemansky は「熱概念のパラダイム転換」を興した先駆者と云うことができる。この後、Sears⁸⁾や、Shortley & Williams⁹⁾、Soo¹⁰⁾、Wylen¹¹⁾、Callen¹²⁾、Faires¹³⁾、Crawford¹⁴⁾、Reif¹⁵⁾等が続き、「熱概念のパラダイム転換のうねり」は現在も進行中である。ここで云う「熱概念のパラダイム転換」とは、「熱はエネルギーの一形態」の認識を脱皮・深化して、「熱は(移動中の) 移動形態のエネルギーに付された名称」という認識段階に至ったことを指す。この転換によって、「heat motion」の用語は不適切となり “thermal motion”に修正された※。以下に、パラダイム転換のうねりを見ていく。

4 「ジュール熱」の用語が消え、「比熱」に替わって「比エネルギー容量」の用語の提案などが現れる

Halliday, Resnick の Physics 2nd Ed.1966 年版には “joule heating” の用語を用いた説明があつたが、熱は移動中のエネルギーで、物体が保持するものではないので、3rd Ed.1978 年版ではその用語は消え、“electric energy is transferred into thermal energy (Joule energy).” と修正され、4th Ed.1993 年版では “...energy is transferred to internal thermal energy.” となり、“Joule energy” の用語も消えている¹⁵⁾。また、Cengel と Boles の Thermodynamics 3rd Ed.1998 で、“specific heat” より “specific energy capacity” の方がベターと述べている¹⁶⁾。その理由は、「比熱という言葉はエネルギーが熱の形で保持されたり、熱の形で移動したりすることを意味するから」という。

5 参考文献 ※:(熱は物体内に存在しないので) “thermal motion”は、「温度による運動」或は「温度運動」の意味。

- 1) 五十嵐 靖則 中学・高校教科書に見る「熱」と「熱エネルギー」の用語の混乱について 物理教育学会第30回物理教育研究大会発表予稿集(2003) pp. 50-51
- 2) 五十嵐 靖則 热概念に対する学生の理解と混乱の実態(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
- 3) 五十嵐 靖則 「内部エネルギー概念」の確立と「熱力学第一法則」の数学的定式化の完成について 物理教育学会第37回物理教育研究大会発表予稿集(2021) pp. 16-17
- 4) C. Christiansen Elements of Theoretical Physics Translated by W. F. Magie Macmillan and Co. 1897, pp.266-272, 原著執筆は 1894 以前と推察。
- 5) M. Planck Treatise on Thermodynamics 1st Ed. 1897 Translated by Alexander Ogg Longmans Green and Co. 1903, pp.42-49
- 6) J. C. Slater Introduction to Chemical Physics 1939 Dover Publications, Inc. 1970, pp.8-9
- 7) M. W. Zemansky Heat and Thermodynamics 2nd Ed. 1943 McGraw-Hill Company, Inc. pp. 59-60 p. 60 に Slater の p.9 の中段の熱が状態関数でないことを克明に記した文章を紹介している。3rd Ed. 1951 McGraw-Hill Company, Inc. pp. 63-64 も第2版と同様の記述。
- 8) F. W. Sears Thermodynamics Addison-Wesley Pub. 2nd Ed.1953 p. 44 に “…it follows that the heat Q is different for different processes also and that as a consequence Q is not a function of the state of the system and it is meaningless to speak of the “heat in a system,” or the “heat of a system.” とある。
- 9) G. Shortley and D. Williams Element of Physics 2nd Ed.1955 Prentice-Hall, Inc. pp. 258-259 に “Heat and Work represent energy in transition.” とある。
- 10) S. L. Soo Thermodynamics of Engineering Science 1958 Prentice-Hall, Inc. p. 11 に “Heat is a transitory quantity: it is never contained in a body”
- 11) G. J. Wylen Thermodynamics John Wiley& Sons, Inc. 1959 p. 59 に “Heat is defined as the form of energy that is transferred across a boundary by virtue of a temperature difference or temperature gradient. Implied in this definition is very important fact that a body never contains heat,…” とある。
- 12) H. B. Callen Thermodynamics John Wiley and Sons, Inc. 1960 p. 19 に “Heat, like work, is only a form of energy transfer.” とある。
- 13) V. M. Faires Thermodynamics 4th Ed.1962 Macmillan Company p. 33 に “Heat Q is energy in transition (moving) from one body or system to another solely because of a temperature difference between the bodies or systems.” とある。
- 14) F. H. Crawford Heat, Thermodynamics, and Statistical Physics 1963, Harcourt, brace & World, Inc. p.93 に In fact, we may now speak of heat only as thermal energy in transit to or from the system. We shall no longer speak of “heat in system” but only refer to the internal energy. とある。
- 15) F. Reif Statistical Physics Berkeley Physics Course Vol.5 McGraw-Hill Company, Inc. 1965 p. 35 に “...We shall call thermal interaction, occurs because energy can be transferred from one system to the other system on an atomic scale. The energy thus transferred is called heat.” とある。
- 16) D. Halliday, R. Resnick Physics 2nd Ed.1966 Part 2, p. 784, 3rd Ed.1978 Part 2, p. 688, D. Halliday, R. Resnick, J. Walker Fundamentals of Physics 4th Ed.1993 John Wiley & Sons, Inc. pp. 777-779
- 17) Y. A. Cengel & M. A. Boles Thermodynamics 3rd Ed.1998, McGraw-Hill Company, Inc. p. 141 に “Therefore, the term specific energy is probably more appropriate than the term specific heat, which implies that energy is transferred (and stored) in the form of heat.” とある。

「熱概念のパラダイム転換」以前に使用されていた「熱運動」の用語について

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

「熱の本性」の理解には、紆余曲折しながら深化してきた歴史がある。「熱は物質が保持しているエネルギーではなく、エネルギーの移動形態の一つである(移動中のエネルギーである)」という理解即ち、「熱概念のパラダイム転換」は、何時ごろ始まったのかを著書などを調査した結果を先に報告した¹⁾。今回は、この熱概念のパラダイム転換以前に使用されていた「熱運動(heat motion)」という用語の使用の始まりと、その使用がパラダイム転換により、適切でないため中止され、「温度運動(thermal motion)」に修正された経緯について報告書や著書などを調査した結果を報告する。

2 ヘルムホルツによる「熱運動」という用語の使用が始まる

ヘルムホルツは1847年の著書で²⁾、「エネルギーの保存について」を論じ、23~24頁で、次の様に述べている。

Das, was bisher Quantität der Wärme genannt worden ist, würde hiernach der Ausdruck sein erstens für die Quantität der lebendigen Kraft der Wärmebewegung und zweitens für die Quantität derjenigen Spannkräfte in den Atomen, welche bei einer Veränderung ihrer Anordnung eine solche Bewegung hervorbringen können; der erstere Theil würde dem entsprechen, was bisher freie, der zweite dem, was latente Wärme genannt ist. … (下線は五十嵐による)

訳すと、『これまで、熱量と呼ばれていたものは、今後は、第一は、熱運動の活力(運動エネルギー)の量の表現に、そして第二は、原子の配置の変化に際して、その様な熱運動をもたらすことができる張力(位置エネルギー)の量の表現となる。この第一の部分は、これまで自由熱(顕熱)と呼ばれてきたものに、また第二の部分は、いわゆる潜熱と呼ばれてきたものに対応する。…』となる。

“Wärmebewegung”(熱運動)の用語を最初に使用したのはヘルマン・ヘルムホルツと推察する。その理由は、Joule や Thomson そして Clausius の著作物を見てもその用語は無く、“molecular motion”(分子運動)が使用されているので。

以下に示す様にチンドルの “Heat A mode of motion”³⁾ Ed.1868 にも³⁾、“heat motion”的使用はない。

P.27 に、『The theory, then, which Rumford so powerfully advocated, and which Davy so ably supported, is that heat is a kind of molecular motion; and that by friction, percussion, and compression, this motion may be generated, …』

P.59 に、『The motion of the mass, as a whole, has been transformed into a motion of the molecules of the mass. This motion of heat, however, though intense, is executed within limits too minute, and the moving particles are too small, to be visible. …』 (下線は五十嵐による)

「熱は分子運動の一形態(heat is a kind of molecular motion)」や「この熱の運動」(This motion of heat)という使い方である。

3 スチュワートによる「熱エネルギー(heat energy)」という用語の使用が始まる

スチュワートは著書 “The Conservation of Energy” 1873年で⁴⁾、「エネルギー保存の法則」を論じ、80と114頁で“heat motion”を、107と115~118頁で“heat energy”的用語を使用して、次の様に述べている。

P.80 に、『Heat Motion. 110.(C.) Coming now to molecular or invisible energy, we have, in the first place, that motion of the molecules of bodies which we term heat. …That peculiar motion which is imparted by heat when absorbed into a body is, therefore one variety of molecular energy.』

P.114 に、『158 Besides the case now mentioned, there are other instances in which, no doubt, molecular separation becomes gradually changed into heat motion. …It seems probable that in all such cases these changes are attended with heat, and that they denote the conversion of the energy of molecular separation into that of molecular motion.』

P.107 に、『The temperature may even be high, and there may be immense stores of heat energy in the enclosure, but not a trace of this is available in the shape of work.』

P.115 に、『Now, heat is consumed in this process, that is to say, a certain amount of heat energy absolutely passes out of existence as heat and is changed into the energy of chemical separation. … 160.Heat energy is changed into electrical separation when tourmalines and certain other crystals are heated.』 (下線は五十嵐による)

ここで使用されている “heat energy”的用語の意味は、“quantity of heat”(熱量)又は“heat”(熱)の意味で使用されている。「熱はエネルギーの一形態」とする認識からであり、“heat energy”的用語の使用の初見である。

私は以前、E. Mach が最初に使用したと紹介したが、それは誤りで、Machより Stewartの方が歴史的に早いことが判明したので、この場を借りて訂正したい。この “heat energy”的用語は、“quantity of heat”(熱量)又は“heat”(熱)の意味で1980年代まで使用された。

4 メイヤーは1899年の著書で⁵⁾、「気体の運動論」を“heat-motion”、“heat-energy”的用語を用いて論じる
頁5、172、175、176、180、208、278で“heat-motion”を、頁116、122、129、138、281、348で“heat-energy”的用語を

使用している。例えば 172 では、次の様に述べている。

This transformation into heat, also, is easy to understand. Heat-motion differs from translatory motion only in the particles moving in all possible directions, without distinction, and not, as in the latter case, all in one and the same direction.

5 アインシュタインは「ブラウン運動の理論」1905,1906 年で⁶⁾、“Wärme bewegung”(熱運動)の用語を使用

1905 年論文の序文の最初の段落の書き出しの部分(549 頁)の次に示す記述の中で使用されている。(下線は五十嵐)

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molecular kinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können.

訳すと、『この論文では次のことが示される。熱の分子運動論によれば、液体に浮遊する微視的に見える大きさの物体は、熱運動の分子運動の結果として、これらの運動は顕微鏡で容易に検出できるような大きさの運動として振る舞わねばならない。』となる。

また、1906 年論文の序文の最初の部分(371 頁)と §3 のタイトル(376 頁)の以下に示す記述の中で使用されている。

p.371 に、『... – durch direkte Beobachtung zu der Überzeugung gelangt seien, daß die sogenannte Brownsche Bewegung durch die ungeordnete Wärmebewegung der Flüssigkeitsmoleküle verursacht sei.』

p.376 に、『§3. Über die von der Wärmebewegung verursachten Veränderungen des Parameters α .』(下線は五十嵐による)

6 ローレンツは「電子論」2nd Ed.1909 年で⁷⁾、“heat-motion”(熱運動)の用語を使用

p.10 に、『...The fundamental idea of the modern theory of thermic and electric properties of metals is, that the free electrons in these bodies partake of the heat-motion of the molecules of ordinary matter, travelling in all directions with such velocities that the mean kinetic energy of each of them ...』(下線は五十嵐による)

ローレンツのこのテキストには、“heat-motion”(熱運動)の用語がその他に、p.63, p.67 の計3箇所で使用されている。

7 ジーンズは「気体の力学的理論」4th Ed.1925 年で⁸⁾、“heat-motion”(熱運動)の用語を使用

p.1 に、『In recent years, however, the study of the Brownian movements has provided brilliant visual demonstration of the truth of this conjecture, and actual heat-motion of molecules – or at least of particles which play a role exactly similar to that of molecules – may now be seen by anyone who can use a microscope.』

p.3 に、『This original motion will, in fact, have become replaced by a small vibratory motion of the molecules about their positions of equilibrium- according to the Kinetic Theory, by heat-motion.』(下線は五十嵐による)

8 1930 年代になると “temperaturbewegung” や “temperature motion”、“thermal motion” 等が現れる

(1) Kronig は「分子構造と結晶構造の関係」の 1933 年論文で⁹⁾、“temperaturbewegung”的用語の使用を始める
p.317 に “... die Unregelmäßigkeiten im Potentialverlauf des Kristallgitters zufolge der Temperaturbewegung und eventueller Verunreinigungen berücksichtigt. ...” とある(下線は五十嵐による)。

(2) Slater & Frank は「理論物理学入門」1933 年著書で¹⁰⁾、“temperature vibration”, “temperature agitation” 等の用語の使用を始める
p.474 に “271. Temperature Vibrations of a Crystal. ...These coordinates can now execute simple harmonic vibrations, and the superposition of all these vibrations, each with its appropriate amplitude and phase, is the temperature agitation of the crystal. ...” とある(下線は五十嵐による)。

この様な変化は、熱が状態量では無いこと、従って熱が物質内部には存在しないことが判明してきたので、“heat motion”的用語は適切ではないことが認識され、それに替わる “temperature motion” 等が使用される様になったと考えられる。また、ギリシャ語からの借用語の “thermal” を用いて、“thermal motion”(温度運動)や “thermal agitation”(温度擾乱)等が使用され始めた。この様な変化が「熱概念のパラダイム転換」前夜に始まっていた。

9 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 物理教育学会第 38 回物理教育研究大会発表予稿集(2022) (本予稿集)
- 2) H. Helmholtz Über die Erhaltung der Kraft Ostwald's Klassiker der Exacten Wissenschaften Nr.1 Verlang von Wilhelm Engelmann 1889 pp.23-24
- 3) John Tyndall Heat A mode of motion 3rd Ed.1868 Longmans, Green, and Co. p.27, p.59
- 4) Balfour Stewart The Conservation of Energy Henry S. King & Co. 1873 pp.80-118
- 5) O. E. Meyer The Kinetic Theory of Gases 2nd Ed.1899, translated by R. E. Baynes Longmans, Green, and Co.
- 6) A. Einstein Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen, Annalen der Physik 17(1905)pp.549-560 Zur Theorie der Brownschen Bewegung, Annalen der Physik 19(1906)pp.371-381
- 7) H. A. Lorentz The theory of Electrons 2nd Ed. 1909 Dover Publications, Inc. 1952, p.10, p.63, p.67
- 8) J. Jeans The Dynamical Theory of Gases 4th Ed.1925 Dover Publications, Inc. 1952, p.1, p.3
- 9) R. de L. Kronig Beziehungen zwischen Molekülbau und Kristallbau Handbuch der Physik Zweite Auflage Band XXIV, Springer 1933, pp.253-332
- 10) J. C. Slater & N. H. Frank Introduction to Theoretical Physics 1st Ed.1933 McGraw-Hill, pp.454-455, pp.471-472, p.474, p.478, pp.537-538

非線形性を示す実験的教材による中学生の関数概念の形成

^A 小山和男, ^B 猪本 修

^A 西宮市立深津中学校, ^B 兵庫教育大学

^A ka.koyama@edu.nishi.or.jp

1. はじめに

理科と数学の概念上の相互依存性は強く、学習内容の転移により両教科の理解が相互に深まることは多くの研究で実証されている[1]。一方、中学校理科の物理分野において定量的に扱われる単元が苦手となる場合、数学的な要素に起因することが多くある。その原因の一つとして考えられるのが、物理現象の定量的理解に関数概念が必要となるにも関わらず、数学で学んだ関数の知識が理科にうまく連動されていないことである。

中学校数学における関数の学習では、独立変数（入力）と従属変数（出力）の関係に論理的一貫性があり、変数に用いる文字も x, y と決まっている。一方、中学校理科においては、同じ法則を扱う場合でも、独立変数と従属変数との関係が明確でなかったり、式に用いられる文字が現象によって様々であったりと、一貫性が必ずしも見えない。このような理由により、何が変数で何が系に固有の定数なのか分からなくなってしまうという混乱に陥りやすい。この混乱を解消するために、中学校1年生の関数概念の導入段階の時期から、理科と数学の横断的学習によって関数の学習を深めるという試みが行われてきた[2]。一方で、この導入期における理科と数学の横断的な関数の学習においては、比例・反比例以外の一般の関数を用いた導入教材は見当たらない。そのため、比例・反比例はいろいろな関数の内の一つであることを生徒が認識せず、比例・反比例の特別な性質だけに焦点が当たってしまい、独立変数と従属変数の違いや関数一般の概念がぼやけてしまっていた傾向がある。これが原因となって、その後の理科における関数においても、変数と系に固有の定数の区別がつかなくなるという混乱に陥っていた可能性がある。

以上のこと踏まえて、本研究では、関数概念がまだ定着していない中学校1年生を対象として、理科と数学の横断的学習の中で（反比例以外の）非線形関数を導入教材とすることを試み、その教育的効果を調査する。

2. 研究の方針・計画

数学教育では、関数概念を明確化するために図1のようなイメージ図がよく用いられてきた[3]。ここでは、独立変数 x を関数 f に入れると（入力）、従属変数 y が出てくる（出力）という $y = f(x)$ のイメージがはっきりと明示されている。ここでは、入力から出力への変換機能としての関数（函数）のイメージがボックス（函）として表現されている。本研究では、非線形関数を含む一般的な関数を図1に対応させたボックスを導入教材とし、理科と数学の横断的学習として、同じ教材を両教科で用いる。中学校1年生理科の物理分野で、このようなボックスに対応させやすい実体のひとつは、バネの伸びを利用した上皿式秤である。本研究では、上皿式秤の中身が未

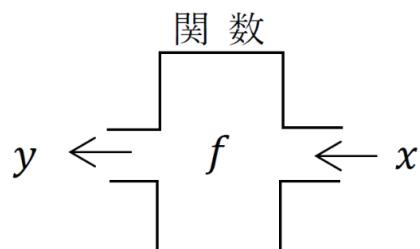


図1. 関数のイメージ

知の場合には“函”を「ブラックボックス」と表現し、数学的表現が未知の関数に対応させる。

小学校・中学校・高等学校の理科で扱われるバネはフックの法則が成立する線形バネであるが、実社会では、荷重と伸びの関係が正比例にならない非線形な押しバネも多く実用化されている。そこで本研究では、線形バネを用いた通常の上皿式秤と非線形バネを用いた上皿式秤の2種類の“函”を関数ブラックボックスとして導入に用い、以下の2点を研究のねらいとする。

(1) 非線形性を持つ教材を関数の導入段階で扱うことによる理科と数学の教育的效果を調べる。

(2) この教材を用いる場合、理科的アプローチと数学的アプローチのどちらを入り口とした方が理解度が高まるかを調査する。

【調査対象】被験者は兵庫県内の公立中学校1年生の3クラス113人。

【期間】授業実践は2022年12月～2023年1月の予定。

【調査方法】調査対象の3クラスは、理科・数学の融合授業の中で同じ教具（バネの伸びを利用した上皿式秤）を用いるが、以下に示すように、順番を変えて実施する。事前・事後質問紙とテスト結果のデータに基づき、各グループの教育効果を比較する。

《Aクラス》はじめに非線形秤ブラックボックスを用いて関数一般の学習をし、次に線形秤ブラックボックスを用いて比例とその性質の学習を深める。最後に、関数概念と比例の性質を駆使しながら、理科としてフックの法則を学習する。

《Bクラス》はじめに線形秤ブラックボックスを用いて比例とその性質の学習を深め、次に非線形秤ブラックボックスを用いて関数一般の学習に進む。最後に、比例の性質と関数概念を駆使しながら、理科としてフックの法則を学習する。

《Cクラス》はじめに理科で、通常通りにフックの法則を取り上げる。その後、フックの法則の応用として上皿式秤の構造を示し、線形バネ入り秤（ブラックではない）関数ボックスとし、数学としての比例の学習を進める。最後に、非線形バネ入り秤を用いて、比例以外の関数を学ぶ。

3. 期待される効果

理科・数学のどちらの教科でも関数を扱う場合は、変数と系に固有の定数を明確に区別して理解した上で、 $[y: \text{出力}] \leftarrow [f: \text{関数}] \leftarrow [x: \text{入力}]$ のイメージを柱とすることが大切である。このイメージがあれば、非線形性を示す未知の関数を扱う場合でも、表とグラフによって、関数としての理解が可能となる。実際、数式で表現できない関数も存在し、広い意味での関数理解に繋がる。

理科学習としては、同じ現象でも視点によって変数と定数の役割が変わることが理解できるようになり、関数概念を必要とする他の現象にも同様な数理的理解に到達できるという効果が期待される。数学学習としては、今後様々な関数に出会ったときにも、それぞれの関数の共通点と違いを明確化して扱えるようになる。このように、理科・数学両教科が相補的に影響し合うことで、関数概念の習得に広がりと深みが増すという効果が期待される。

謝辞 本研究は兵庫教育大学修了生・卒業生連携センター共同研究費の助成を受けています。

参考文献

- [1]石井俊行, 橋本美彦:科学教育研究 40-3(2016)281-291.
- [2]山田貴之, 稲田佳彦, 岡崎正和, 栗原淳一, 小林辰至:理科教育学研究 62-2(2021)559-576.
- [3]遠山 啓:「微分と積分—その思想と方法」日本評論社(1970).

理科教師サークルにおいて構築された科学的説明の比較 — 論証による説明と図(絵)による説明の違いに着目して —

大野 栄三

北海道大学大学院教育学研究院

北海道札幌市北区北11条西 7 丁目 eohno@edu.hokudai.ac.jp

1. 理科教師サークルの活動

理科教師サークルとは、地域の複数の学校に勤務する若手からベテランの理科教師が理科教育に関する关心や問題、熱意などを共有し、理科教育についての知識や技能を、持続的な相互交流を通じて深めていく教師の集団、実践コミュニティ（Community of Practice）である¹。授業を実践する中でなにかの問題に遭遇すると、理科教師サークルでその問題を共有し、解決するための情報交換や議論が始まる。理科教師サークルは学校組織図にない非公式のコミュニティであり、毎月の例会（会場に集まって対面で実施）やインターネット（マーリングリスト、掲示板など）を利用して自由な活動が行われてきた²。

本研究では、理科教師サークルで使われているオンライン掲示板上の議論に注目した。掲示板上で、理科教師は問題を解決するために科学的説明を構築する。本研究が対象とした議論は、化学と生物の両方に関係する問題解決、物理の問題解決の2つである。化学と生物に関係する問題解決では、論証による科学的説明、つまり文章で表現された推論からなる科学的説明が構築された。一方、物理の問題解決では、図(絵)を用いて科学的説明が構築された³。本発表では、これら2つの説明の違いに着目して、科学的説明を構築する理科教師たちの議論を比較する。

2. 論証パターンと図(絵)

哲学者フィリップ・キッチャーは、統合、統一(unification)が科学的説明の実質であることを論じた。説明の目的に合った役に立つ論証(argument)，説得力ある妥当な論証を統合、統一した論証パターン(argument pattern)が科学的説明であるとした^{4,5}。論証パターンは、図式的論証(schematic argument)，図式的論証中にあるダミーの文字を埋めるための代入指示(filling instructions)，図式的論証の分類(classification for the schematic argument)の3つから構成されている。本発表の化学と生物に関係する問題解決の議論の結果、以下の論証パターンが構築された³。

・図式的論証

- 1) X にはポリフェノール類が含まれている。
- 2) そのポリフェノール類は Y である。
- 3) Y は酸化酵素の反応を受けて Z になる。
- 4) Z の色は Y の色とは異なる。
- 5) X を放置しておくと色が変わる。

・代入指示

X には植物の名称が入る。植物の部位は、葉、実、茎、地下茎、根などさまざまである。 Y にはポリフェノール類に属する物質である。 Z は酵素反応の生成物である。

・図式的論証の分類

X と Y が決まれば酸化酵素による反応がわかるので、1) は 2) と 3) の前提である。5) は 1) から 4) より導出される。

理科教師が論証パターンへの代入処理を行い、その有効性を確認するといった穴埋め問題解決がオンライン掲示板上で実行されたのではない。さまざまな植物 *X* で実験を行い検討する過程で構築された説明がこの論証パターンで解釈でき、それがもつ統合力が理科教師たちの納得へとつながったと考えることができるるのである。

物理の問題解決では、光学の問題を解決する議論がオンライン掲示板で展開された。理科教師は、問題解決に必要とされる反射、屈折、全反射といった光学理論については基本的に理解していた。課題は、こうした理論を使って理科教師サークルで共有された光学現象を説明することであった。そのためにいくつもの実験が行われ、光の経路を描いた図(絵)が提案された。オンライン掲示板での説明の構築は、その図(絵)を改訂していく過程であった。本発表では、その背後にある論証パターンについて考察する。

3. 証言の役割

推論を進めるために必要で、かつ欠落している知識が他から証言 (testimony) として提供されることがある⁶。子どもにとっては大人のアドバイス、科学者にとっては学術雑誌の論文などが証言としての役割を果たす。理科教師サークルのオンライン掲示板上の 2 つの問題解決においても、証言が提供されたと解釈できる場面があった。

化学と生物に関する問題解決では、理科教師サークルのひとりのメンバーが、サークル外の専門家に相談することで得られた知見が証言であった。オンライン掲示板では、ポリフェノール類 *Y* が何かについて複数の物質が提案されて議論が錯綜していたが、この専門家の証言によって議論の展開が整理された。物理の問題解決では、メンバーのひとりが行った実験結果が証言としての役割を果たしていた。オンライン掲示板では、水、ガラス、未知の塗布物、空気といった媒質の境界での反射と屈折を、図(絵)で説明することが展開された。当初は、未知の塗布物の影響を考えるために、既知の範囲を厳密に図示する試みが提案されたが解決への道筋は見えてこなかった。その後、あるメンバーが提供した実験結果が決めてとなって、未知の塗布物の問題は解消し、簡略化された図(絵)の作成が可能となった。理科教師サークルの議論は大きく前進した。本発表では、以上の事例をもとに、問題解決や探究の活動における証言の役割について考察する。

参考文献

1. ウェンガー, E. C., マクダーモット, R. T., スナイダー, W. M. (2002). 『コミュニティ・オブ・プラクティス：ナレッジ社会の新たな知識形態の実践』 櫻井祐子訳、翔泳社
2. 大野栄三 (2007). 「教師コミュニティにおけるネットワークを介した共同作業の分析」『2007PC カンファレンス論文集』コンピュータ利用教育協議会、北海道、2007年8月2-4日
3. 大野栄三 (2022). 「理科サークルにおけるオンライン掲示板を利用した研究活動と科学的説明の構築」『北海道大学大学院教育学研究院紀要』第140号、353-376頁
4. Kitcher, P. (1981) Explanatory Unification. *Philosophy of Science*, vol. 48, p. 507-531.
5. Kitcher, P. (1989) Explanatory Unification and the Causal Structure of the World. In Kitcher, P., Salmon W. C. (Eds.), *Scientific Explanation*, Minneapolis: University of Minnesota Press, p. 410-505.
6. McCain, K. (2016). *The Nature of Scientific Knowledge: An Explanatory Approach*. Dordrecht: Springer, ch. 15.

本研究は JSPS 科研費 JP19H01634 の助成を受けたものである。

相互作用型授業の効果を測る圧力分野の概念調査紙の開発

佐々木志帆、植松晴子

東京学芸大学

m213406m@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

学生は物理を学習する際、様々な素朴概念を抱いている。一般的な素朴概念から物理概念へ変容させるための試みの一つとして、相互作用型の授業が提案されている。本大学では Maryland 大学で開発された Open Source Tutorial[1]の教材を用いて、チュートリアル方式の授業を力学分野の内容に関して実施している。その中で、圧力の回には多くの課題がある。そこで圧力の回で用いるワークシートを見直し、理解度の向上を試みている。しかし、圧力の分野に関する論文や調査問題は質点の力学や波動の分野に比べて数が少ない。授業実践による効果を検証し、圧力に関する学生の理解度を測るために調査紙の開発が必要である。本講演では、概念調査紙を開発し、圧力の回を実施する前の学生に調査を行ったため、その開発過程と結果について報告する。

2. 圧力分野に関する誤概念

圧力の分野に関しては、浮力など物体の浮き沈みに関する誤概念が多く調べられている。圧力とは無関係にアルキメデスの原理によって浮力がはたらく、浮力の大きさが水面からの深さによって異なる[2]、といった誤概念や、物体の形状、材質によって浮き沈みが決まるなどの誤概念があることが明らかになっている。静水圧に関しては、容器内の流体に力をかけたとき、その力の方向に最大の圧力がはたらくという誤概念や、狭い空間の方が圧力が大きい、側面からの距離が短いほど圧力は大きい、などの誤概念がある[3]。

3. 圧力の回のチュートリアルの課題

本大学で実施している圧力の回のチュートリアルでは、多くの学生は理解に困難を感じておらず、円滑に議論が進む。しかし、学生の中で圧力と圧力による力の違いを理解できているかという点については懸念がある。圧力に向きがあると考える学生や、面の大きさが等しければある点の圧力による力は一様等方であることを理解しきれていない学生がみられる。さらに、圧力の大きさは水深ではなくある点の真上にある水の量によって決まるという考え方も根強い。しかし、これらの例はどれもワークシートの記述やグループ討論時の発言などから主観的にくみ取った課題意識であり、そのような考えをもつ学生の割合は不明である。よって上記の課題を明確にするため、そして実践により課題を解決できたかを測るために、調査紙の開発を試みた。

4. 調査紙の開発過程

調査紙を作成するにあたり、圧力の分野を扱っている教科書等から問題を抽出した。そして、8つの大問からなる調査紙を開発し、2021年、本授業の受講生を対象に予備調査を行った。

大問 1 から 3 はインドネシアで開発された水圧の理解度を測る調査問題 [4] を日本語に訳して用いた。これらの問いは水中での圧力の大きさを比較する問い合わせである。大問 4 と 5 は Peer Instruction (PI) [5]を参考にした。大問 4 は船の浮き沈みを決める条件を確認し、大問 5 は液体に浮かぶ物体の質量とその物体が押しのけた液体の質量は等しいことを確認する問題である。大問 6 から 8 は本大学で使用しているオリジナルの問題である。大問 6 は 4 つの小問からなり、圧力の大きさが水深ではなく真上にある水の量によって決まるという考え方を保持しているかを見る問い合わせや、ある点での圧力が様々な面に及ぼす力の向きと大きさについて尋ねる問い合わせなどを設けた。大問

7は2つの小問からなり、水が物体に及ぼす正味の力の向きや浮力の大きさが位置によって異なるという考えを保持しているかどうかを調べる問い合わせである。大問8は、浮力は圧力の差によって生じることを理解しているかを確認した。なお、大問4から8はなぜそのように考えたのかという理由も記述してもらった。

予備調査の結果を受け、大問1から3の問題については、機能していない選択肢を削除・変更したり、受講生が取り組みやすい順序にしたりなどの修正を行った。大問4から8は学生の記述を基にすべての問題を選択肢形式に修正した。例として問7-2を挙げる。この問題は水中にある2つのブロックの浮力は液体中の位置によらず一定であることを問う問題である(図1)。予備調査で得られた記述は「その場で静止する。」、「Bと同じ高さまで沈んで静止する。」、「上下に振動する(単振動のような動きをする)。」、「上に浮く。」といった大きく分けて4種類の解答に分類することができた。これらの解答を基に選択肢を作成した。また、記述内容から、文章や状況設定に不備のある問題があることも明らかになった。そこで、問題の文脈を変えたり、状況設定をわかりやすくしたりなどの改善を行った。

7)同じ体積・同じ形のブロックA,B,Cがある。BとCの質量は等しく、Aはそれより大きい。Aは糸で吊るされており、Bは図の位置で静止している。今、水面からの深さがブロックAと等しくなる位置にブロックCをそっと置いた。ブロックCからそっと手を離すとCはどんな運動をするだろうか。

- ①その場で静止する。
- ②Bと同じ高さまで沈んで静止する。
- ③上下に振動する。(単振動のような動きをする)
- ④上に浮く。

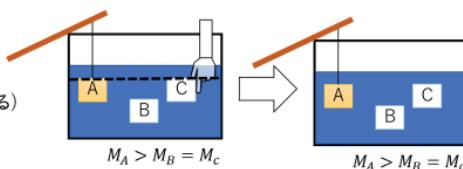


図 1)改善後の問 7-2

表 1)問 7-2 の事前調査結果

その場で静止する。	9.4 %
Bと同じ高さまで沈んで静止する。	61.2 %
上下に振動する(単振動のような動きをする)。	12.9 %
上に浮く。	16.5 %

5. 実践前の調査結果

改善した調査紙を、2022年度の授業の受講者を対象に実施した。なお、今回報告するのは圧力の回実施前の事前調査の結果である。調査の結果、水圧の大きさは水深ではなく、任意の点の真上にある水の量によって決まるという考え方をもつ学生が多いことや圧力による力は一様等方であるとの理解が不十分であることが示唆された。また表1は問7-2の調査結果である。この結果から、浮力が水面からの深さによって変化するという誤概念をもつ学生が多くいる可能性も示された。その他の調査結果については講演で述べる。

参考文献

- [1] PhysPort , [\(physport.org\)](http://Maryland Open Source Tutorials in Physics Sensemaking (physport.org))
(2022年7月)
- [2] M. Loverude, C. Kazutz and P. Heron , “Helping students develop an understanding of Archimedes’ principle. I. Research on student understanding”, Am. J. Phys. 71, (2003)
- [3] 吉岡有文, “静水の圧力の misconception について”, 物理教育研究大会発表予稿集, 第7巻 (1990) 12-13
- [4] C. P. Wijaya , S. Kose , H. Muhardjito , “The diagnosis of senior high school class X MIA B students misconceptions about hydrostatic pressure concept using three-tier.” , Jurnal Pendidikan IPA Indonesia 5(1) (2016) 14-21.
- [5] E. Mazur , “Peer Instruction : A user’s manual” , Pearson Prentice Hall (1997).

個別教育に重点をおいた反転授業

——大学理工系の専門基礎科目への最適化——

庄司善彦

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所

shoji@lasti.u-hyogo.ac.jp

1. はじめに

大学の理工系専門基礎科目で反転授業を行った。クラスの特徴は(1)履修生約 100 名で個人把握困難、(2)基礎能力にばらつきがある、(3)全員が一定基準以上を目指す完全取得学習型、である。実行に際して、反転授業開発者の J. Bergmann と A. Sams[1]が反転授業の特徴の一つとした「個人のペース」を重視し、学生個人の選択を教材選択まで拡大した。学生アンケートが示した講義の特徴は「小さな負担感」であった。

この発想は M. Montessori の幼児教育思想[2]である「子どもは、支援的な学習環境の中であれば、自發的に学び始める」に通ずる。幼児教育を大学教育に言い換えると「学生の個性と自主性を尊重した、自由度の高い教育」であり、これが講義形式の目標になる。

2. 講義進行

講義進行は反転授業方式であり、学生は自宅で講義内容を自習し、講義室では演習問題と教員への質問を行う。ただしここで紹介する講義では、学生に選択肢が用意される。

自宅学習の教材はビデオ講義[3]か pdf テキストのいずれかを選択する。予習用ビデオは必要項目の全てを含むが、スライド動画なので板書講義より進行が速い。従って内容理解のために、学生自身による「まとめ」が必須である。自宅で自習した学生は、講義室講義の開始までに内容のまとめを作って Web 提出する。2021 年度はビデオは 2 種類用意したが、内容に大きな差が無かったので、2022 年度は短めの 1 種類だけを残した。ただし、用意されたビデオとテキストだけでは理解できない学生のために、時間はかかるが丁寧な説明を含む YouTube チャンネルも紹介した。

演習課題として 2021 年度は 1 種類であったが、2022 年度は初級と上級の 2 種からの選択とした。初級用の課題は標準的な基礎計算問題である。答えに誘導する小問が設けられており、問題解決に至る手順的知識が得られる。上級用課題としては、難易度の高過ぎない大学院入試問題からも出される。学生は講義室講義後 4 日以内に解答を Web 提出する。

講義室講義では約 10 分のビデオ講義を視聴し、講義内容の復習とする。残る時間は課題演習にあてる。講義室に残ってグループで課題を解いても良く、個人で解いても良い。回答は Web 提出なので、帰宅して個人で解いても良い。テキストはスマホで閲覧しやすい A5 なので、参照しながら課題を解く学生が多い。学力の低い学生がグループで課題を解く傾向が強い。学生からの質問もあるが、教員から「どう、解けている?」と話しかけることが有効と思われた。

反転授業の主要な失敗原因の一つとされる「予習しない学生」は、「個別化」により失敗原因ではなくなる。提出に遅刻が認められ（減点あり）、サボった学生は個人で取り戻すことができる。遅刻提出者は毎週数名いるが、彼らの多くが単位を取得する。逆に、早期に予習と課題を提出し終える学生も、少数だが存在する。

3. アンケート調査

2021年度の中間試験後に学生を対象にアンケート調査を行った。表1は、予習教材の選択と選択理由である。複数教材の併用割合が3割以上あつたことは予想外であった。また、週によって（講義課題によって）教材の種類を変えた学生もいた。2022年度に紹介したYouTubeの使用は6%であつたが、学生の2割が一度は試聴していた。

図1は反転授業形式の評価で、通常の一方的講義形式との比較で解答を求めた。全体評価で2021年度の「形式は良いが要修正」の選択理由は演習課題にあり、課題を2種用意した2022年度は「他形式より良い」とした学生割合が88%に達した。

図2は自宅学習時間で、予習と課題演習それぞれに対して、何分～何分という形式で回答を求めた。講義外の学習時間は、予習と演習共に30～60分が最も多く、次いで60～90分（12%と19%）であった。長めの体感学習時間に対して、意外にも負担感が小さかった。力学概念理解度テスト（FCI）[4]のスコアが低い学生ほど学習時間が長い傾向があった一方、中間・期末テストのスコアは、学習時間との相関が見られなかった。

5. どう発展させるか？

問題点の一つはグループ学習である。参加者を増やす目的で、2022年度は講義開始から3回を強制参加としたが、4回以降の自由参加では参加者は増えなかった。さらに工夫の必要がある。

もう一つの問題点は演習課題である。これは意図的に予想通りであったが、2022年度の演習課題に使う自宅学習時間は、2021年度の時間の6割程度に減少した。課題の内容は、学習効果と学習時間の2つを決定する、ビデオと同等かそれ以上の重要要素である。

表1 主要な予習教材の選択と理由

主要な予習教材 の選択	ビ デ オ	ビ デ オ 2 本	pd f テ キ ス ト	ビ デ オ & pd f	小 計
（ビデオを見返した）	16	6	8	11	
選択理由	小計	44	14	16	14
短時間で終わる		6	4	6	4
気楽にできる		5	2	1	1
纏めを作り易い		21	4	7	9
理解し易い		14	6	4	6
イメージを把握し易い		12	3	1	5
					21

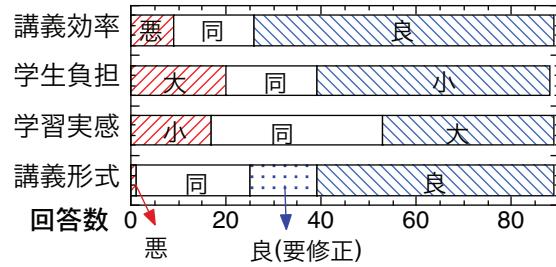


図1.反転授業形式に対する学生評価

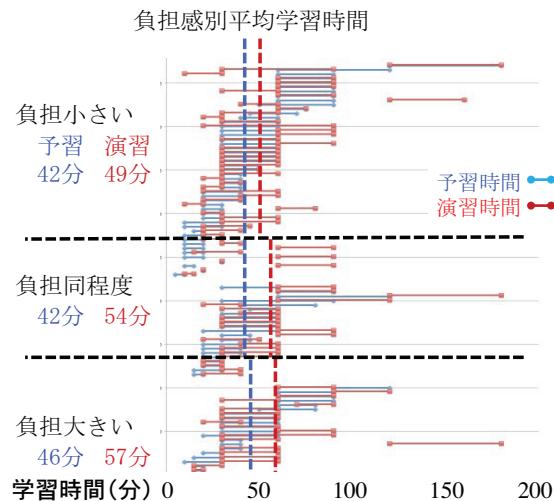


図2 負担感別の講義外学習時間

参考文献

- [1]「反転授業」バーグマン&サムズ、上原裕美子訳、オデッセイコミュニケーションズ
- [2]「モンティソーリ子供の家」2021年公開映画
- [3]<https://www.youtube.com/channel/UCbBn4Y4RmI4aBfTW5AQFp2Q> で試聴可。
- [4]D. Hestenes, M. Wells, & G. Swackhamer, Force Concept Inventory, Phys. Teach. 30, 141 (1992).

仕事をどう教えるか

西尾信一

日本薬科大学

nishio@zd6.so-net.ne.jp

1. 仕事の定義

仕事の定義は、理化学辞典によれば「力学系 S に力 F が作用し作用点が dr だけ変位するとき、スカラー積 $F \cdot dr$ を、その力が S になした仕事という。」である。一方、高校などの入門物理では質点として物体を扱うので、「作用点の変位」は「物体の変位」として説明されている。また、質点として扱えない物体の場合でも、運動方程式から、力と「物体の重心の変位」とのスカラー積は「物体の重心の運動エネルギー変化」に等しいことが導ける。これらからは、仕事は「力を受けている物体の重心の変位」で定義しているという思い込みを生む。

2. てこや動滑車における仕事

仕事の導入に重要な仕事の原理は、てこや動滑車でよく説明される。このときの仕事は「力を受けている物体の重心の変位」ではなく、てこの端やひもの端などの「作用点の変位」で計算する。

3. 摩擦力のする仕事

摩擦のある水平な床の上で初速を与えた物体が、摩擦力によって減速する過程を考えよう。このとき、「仕事とエネルギーの関係式」は次のようになる。

摩擦力と「物体の重心の変位」のスカラー積=物体の運動エネルギーの変化

しかし、物体が内部エネルギーをもつものなら、いわゆる摩擦熱によって物体は温度上昇して内部エネルギーが変化するから、「仕事とエネルギーの関係式」は次のようになる。

摩擦力が物体にした仕事=物体の運動エネルギーの変化+物体の内部エネルギーの変化

つまり、高校の物理教科書などで「摩擦力のする仕事」として計算式が示されているものは、摩擦によって熱くなる現実の物体についてのものではない。この原因是、摩擦力の作用点であるミクロな真実接触点の変位と、物体の重心の変位が異なることである。

物体を質点と見なすモデルで、この過程における運動エネルギーの摩擦による内部エネルギーへの変換を説明すると、次のようになる。

- ① 摩擦力の作用点の変位は正確に物体の変位に等しいので、床から物体にはたらく摩擦力が負の仕事 $-W$ をして、物体の運動エネルギー変化 ΔK が生じる。つまり、 $-W = \Delta K$ である。
- ② 床は必ず大きさをもつので、質点とは見なせない。物体が床におよぼす摩擦力のする正の仕事 W' が、床の内部エネルギー変化 ΔU を生じる。つまり、 $W' = \Delta U$ である。

ここで物体と床がおよぼしあう摩擦力は作用反作用だから $W = W'$ であり、物体と床を合わせた系を考えれば、 $\Delta K + \Delta U = 0$ というエネルギー変換の説明が可能である。

しかし、教科書の熱と仕事の関係を扱う単元では、摩擦熱は接触面の両方が温まる現実のイメージを前提にしているだろう。そのような現実の現象を説明する質点近似でないモデルは、摩擦力のする仕事は物体の変位で計算できず、入門物理で扱うのは適切ではない。摩擦力のする仕事を力学で扱うのをやめるか、物体の質点近似を明示して、上記①②のような丁寧な説明をすべきである。

なお、先の質点モデルの議論でも、物体が床におよぼす摩擦力のする仕事は、「力を受けている物体」である床の変位ではなく「作用点の変位」で計算していることに注意をしておく。

4. 気体のされる仕事

断熱されたシリンダーに閉じ込めた気体を、ピストンで圧縮する過程を考えよう。このとき、気体はピストンに負の仕事 $-W$ をして、ピストンは気体に正の仕事 W' をする。このとき、気体とピストンがおよぼしあう力は作用反作用だから $W=W'$ であり、気体は内部エネルギーが増え、そのぶんピストンとそれにつながったもの全体の系のエネルギーは減る。

この議論でも、ピストンが気体におよぼす力のする仕事は、「力を受けている物体」である気体の重心の変位ではなく「作用点の変位」で計算している。

5. 内力のする仕事

質点系で、質点どうしが接触して直接およぼしあう力のする仕事は、作用反作用の法則と作用点の変位が共通ということから、これまでの議論と同様に仕事の大きさが同じで符号が逆になり、その和は 0 である。つまり、質点系の内力のする仕事の和は 0 である。

一方、離れた質点どうしが保存力をおよぼして、それぞれが異なる変位をして運動エネルギーが増加するとき、内力のする仕事の和は 0 ではないが、それはその質点系内のポテンシャルエネルギーの減少量に等しい。したがって、質点系のエネルギー変化を考える際、内力のする仕事を陽に扱う必要はなく、系内のエネルギー変換として説明すればよい。しかし、人体の力学的エネルギーの変化を筋力のする仕事で説明するような、系のエネルギー変化を内力のする仕事で説明する議論があることがある。これは熱力学第一法則の概念に反するので、妥当ではない。

なお、この議論でも、仕事は「作用点の変位」で計算している。

6. 仕事をどう教えるべきか

入門物理でも、仕事は「物体の変位」ではなく「作用点の変位」で定義していることを明示すべきである。そして、力学でも、仕事の導入時に系の概念を説明した上で、「系へのエネルギーの出入り」として仕事をきちんと位置づけたい。仕事は系を明示して考察すべきで、系と外界とは「系に外力のする仕事」と「外界にその反作用のする仕事」のみやりとりする。内力のする仕事は系内のエネルギー変換に関与するだけで、系のエネルギー変化の原因にはなり得ない。

摩擦力のする仕事は、現実の物体を想定すると計算ができないので扱わないことを推奨する。やむなく扱う場合は、物体を内部構造のない質点として扱った丁寧な説明が必要である。

参考文献

- [1]理化学辞典第 5 版, 岩波書店
- [2]Bruce Arne Sherwood, W.H.Bernard : Work and heat transfer in the presence of sliding friction, Am.J.Phys.52(1984)1001-1007
- [3]西尾信一：「仕事とエネルギー」の指導～動摩擦力のする仕事を扱うのはやめましょう, 物理教育通信 169(2017)58-61
- [4]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
- [5]西尾信一：内力のする仕事, 物理教育通信 186(2021)60-65

医療機器と関係付けた学生実験の開発 – CT の原理実験 –

大久保博, 長澤真樹子, 小田えり子, 國友正信

久留米大学医学部

830-0011 福岡県久留米市旭町 67 番地, ohkubo@kurume-u.ac.jp

1. はじめに

医学部医学科の学生を対象にした学生実験を担当しているが, 実験の実施に際していくつか問題がある。問題点として, 学生の約半数が高校物理を履修していない, 第1学年の前期に実施しているために物理学の講義で学習する前に実験をする項目がある, 医学に関することには興味を示すが物理に対して関心が低い学生が少なくないなどがある。

物理に対しての興味や実験のイメージを持てるように, いくつかの学生実験の題目に医療機器や医学に関する語句を用いている。例えば, コンデンサの充放電の緩和時間に関する実験には「AED の原理 : CR 回路の時定数の測定」という題目をつけ, 学習内容が医学や医療機器と密接に関係することを意識できるようにしている。このような観点から, 比較的操作が簡単で医療機器に関係する学生実験として, CT (コンピュータ断層撮影) の原理を学習することができる実験装置の開発を行った。

2. CT の原理実験装置

密封放射線源や GM 菴を用いた CT の原理実験の例として高校教科書での紹介などがある^{[1][2]}が, 放射線源の管理や被曝の心配を排除するため赤外線を用いた装置を作成した。CT 装置では, X 線源と検出機を対向して配置し X 線の透過強度を測定する。測定をあらゆる方向から行い, さらに位置を変えた測定によって得られた測定物内部の空間的な情報を, コンピュータで解析し内部構造の様子を知ることができる。ここでは, 測定試料の縦と横方向の 2 次元での測定から内部構造を調べることとした。

分光光度計用のセルの隣接する 2 面に赤外線カットフィルムを貼ったセル（吸収セル）とフィルムを貼っていないセル（空セル）を用意し, 各セルを適切に配置した縦横 5 本ずつのセルをまとめたものを測定試料とした。吸収セルは縦横のどちらの方向に対してもフィルム 1 枚分の光吸収の効果を持つことになる。この試料に対して「縦」「横」の 2 方向からの赤外線透過強度を測定し（合計 10 個の測定値）, 吸収セルと空セルの配置を推定する。

実験装置は, 測定試料, 赤外線発光(IR LED) と受光部からなるプローブ, LED への電源供給と受光信号增幅回路および出力端子を備える本体からなる（図 1）。プローブは, 赤外線源としての IR LED と透過強度を測定するフォトダイオード (PD) が対向した構造で, 試料を挟んで測定を行う（図 2）。LED には定電流ダイオードを通して電源を供給し, PD からの透過信号はオペアンプで増幅し同軸ケーブルを使ってテスターで測定する。



図 1. 装置全体像。測定試料とプローブ(左前), 本体(左後), テスター(右)。

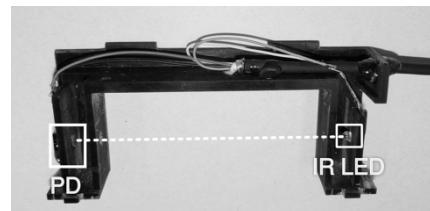


図 2. プローブの構造。IR LED (赤外線 LED) と PD (フォトダイオード) を向かい合わせに配置した。

透過光強度を I ，入射光強度を I_0 ，減衰係数を μ ，光が透過する物質の厚さ（ここでは吸収セルの数）を x とすると，透過強度はランベルトの法則

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

に従って指数関数的に減少する。しかし，IR LEDへの電流（入射光強度に相当する）とオペアンプの信号増幅率，吸収セルのためのフィルムの選択の組み合わせの調節が適切でない場合，得られる結果が(1)式に従わない場合があるため，それらの調節が重要である。

5行5列のセルの様子を10個の測定で決定することは無理な場合が多いため，推定によって吸収セルの配置が一意に決定できるようにセルの配置を設定しておく必要がある。

3. 学生実験の概略と学生の反応

以下の手順で学生実験を行う。

- I. 5行3列セルケース（図3）を使い，吸収セルが0から5の場合の赤外線透過強度を測定する。
- II. 片対数グラフに，透過強度を吸収セルが0のときの強度で規格化した値 (I/I_0) と級数セルの数 n の関係をプロットする。
- III. 配置が不明な5行5列の試料（図4）について縦横方向の合計10回の測定を行い，Iの結果を用いて各行と列に何個の吸収セルがあるかを求める。
- IV. 5行5列の試料の配列を推定する。

実験は，各学生に1セットの装置を準備して行っている。操作が単純である，測定データの処理が不要である，高校物理を履修していないなくても原理が理解できるため，比較的スムーズに実験を行うことができている。ほぼ全学生が試料の配列を正しく推定している。測定試料の蓋を開け自分の推定が正しいことが分かったときには，多くの学生が喜んだ表情をする。

実験手順IIの，片対数グラフを描くことに関しては，講義で解説と演習を行い他の実験でも描いているが，対数目盛りの取り方を間違えるなどのミスをする学生もいる。学生にとっては対数グラフの扱いは易しくないようである。

4. まとめと今後の課題

高校物理の未履修者や物理に興味を示さない学生にも取り組みやすいと思われる医療に関するテーマの実験として，赤外線を使ったCTの原理の理解を目的とする実験装置の開発を行なった。学生アンケートからは好評な実験であることが分かったが，光の透過吸収について理解ができているかの検証が必要であると思われる。

作成した装置は他にも応用が可能である。例えば，測定試料として用いたセルは液体を入れることができるので，溶液の濃度と光吸収に関する実験にも使用できる。また，赤外線LEDを他の色のLEDと交換することで色の違いによる透過吸収の実験も可能である。

参考文献

- [1] 東京書籍「改訂物理」平成29年度検定済2020年度版 458-459
- [2] 新田英雄他 物理教育 52-4(2004) 311-314

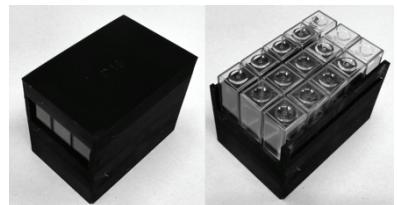


図3. 5行3列セルケース。
測定の時の状態(左)と蓋をとった状態(右)。

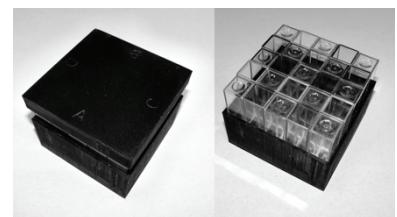


図4. 測定試料(5行5列セルケース)。測定の時の状態(左)と蓋をとった状態(右)。

オンライン授業におけるスマートフォンを用いた物理実験

(超音波センサーを用いた実験動画導入の効果)

^A*安達 照、^B神谷克政、^B石綿良三

^A大阪工業大学、^B神奈川工科大学

E-mail: akira.adachi@oit.ac.jp

1 はじめに

2020 年から本格的にオンライン授業が始まり、物理実験をどのように授業に導入するのかは一つの課題となっている。

我々は、どこでも物理実験が可能となるスマートフォン(スマホ)のアプリ”Diracma”シリーズを開発し、教育実践に応用してきた¹⁾。このアプリを使用した物理実験の一つ、スマホに接続した超音波センサーを用いた実験の動画をオンライン授業に導入し、実験動画が物理の学習(計算問題演習)に及ぼす効果を検証した。

2. LMS(学習管理システム)について

今回の研究で用いた LMS は、Moodle を用了。このシステムは、WEB を通じて学ぶことができ、世界の 242 カ国(サイト数 18 万以上、ユーザー数 3 億以上)で利用されている世界最大級の教育プラットフォームの一つである。

3. 超音波センサーを使った物理実験

等速直線運動、等加速度運動等の 3 つの実験を行った。モバイル物理教育ラボには、本研究の動画も含め種々の授業で使える動画が公開されている²⁾。

(1) 超音波センサユニット

スマホに接続できる持ち運び便利で低価格な超音波センサユニットを用いた(図 1、モバイル物理教育ラボ製²⁾)。スマホと超音波センサーの接続には、アプリ”Diracma”を用いる(本センサー専用アプリ)。学生が自宅で実験することや、教員が自宅からオンライン授業で演示実験を行う

場合にも容易に活用できる。

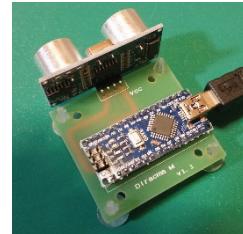


図 1 超音波センサユニットの外観²⁾

(2) 等速直線運動と等加速度運動

図 2 に示すように、水平面上に車のおもちゃ(100 円)を利用した。実験としては、走行用の板を水平にしたときの運動(等速直線運動)と、走行用の板を斜めにした斜面の運動(等加速度運動)を行った。斜面の運動については、斜面を下る場合と、斜面を上る場合の実験を行った¹⁾。

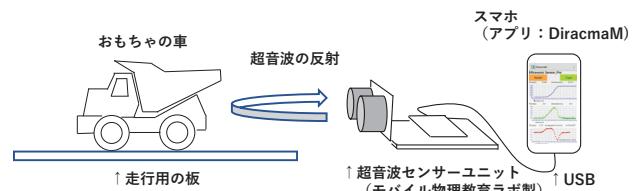


図 2 おもちゃの車を用いた実験概要図

4. オンライン授業の構成

(1) 参加した学習者について

大学入学前の高校 3 年生を対象に行った(約 450 名、2021 年 12 月から 2 月に実施)。

(2) LMS における学習内容

図 3 に示すように、①～④の流れで学習を行う(オンデマンド型授業)。LMS では、①から②を測定編、④を分析編としている。

まず、**測定編**として、超音波センサーの実験動画（①）を見て、 $x-t$ グラフや $v-t$ グラフを予想させる（②）。グラフの予想は、3択になっている。その後、動画にて、関連の物理の知識を学習（③）する。最後に、**分析編**として、グラフに関する計算問題（④）を解くようになっている。



図 3 学習の流れ

図 4 は計算問題の一つの例を示す。このグラフを見て、ある時間間隔における平均速度、移動距離等を計算するようになっている（自動採点）。

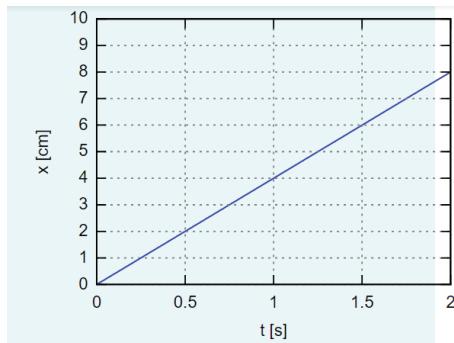


図 4 計算問題のグラフ例

5. 物理実験動画についてのアンケート

LMSによる学習後に、下記のような質問を行った。

- ①先に測定編の実験動画についての問題を行うと、分析編の計算問題は解きやすくなつたでしょうか？
- ②物体の運動から、グラフを予想できるようになりましたか？

図 5 は、上記の①についての結果で、学習者の約 70%は、実験動画を学習することで、計算問題が解きやすくなつていると答えている。

図 6 は、上記の②についての結果で、学習者の約 75%は、グラフを予想しやすくなつたと答えている。

また、学習後の主な感想については下記のとおりとなつた。

- ・実験の動画からグラフを予想するコツを掴んだ。
- ・グラフや数値から、物体がどのように動くかがわかりました。
- ・測定編の問題の、誤答選択肢のグラフになった場合の想像ができるようになった。グラフの種類からどういった動きなのか予測できる。
- ・実際に物体がどのように動いているのかを頭の中で想像しながら問題を解いてみると解きやすかったです。

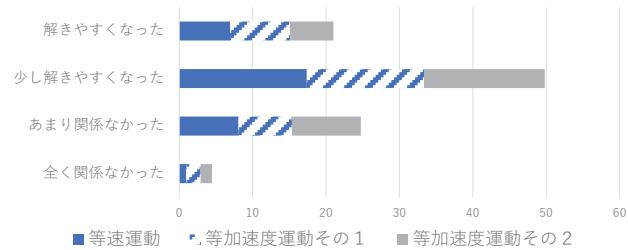


図 5 質問①の結果

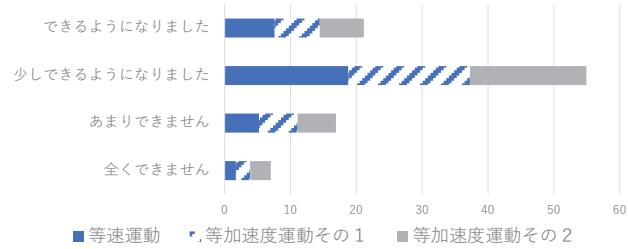


図 6 質問②の結果

6. まとめ

上記のアンケートの結果と感想を合わせて考えると、実験動画を導入することで、運動のイメージを持ちながらグラフの予想ができる、その後の計算問題についても解きやすくなることが推察できる。当日の報告で詳細に述べるが、測定編（物理実験）の正答率が高いほど、分析編（計算問題）の正答率の平均値が高いことからも物理実験導入の重要性が示唆される。

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：理科の教育 70(2021)6.
- 2) 「モバイル物理教育ラボ」のサイト：
<https://sites.google.com/view/diracma888/>

オンライン版 Python を活用した高等学校物理の授業実践

^A能代谷賢治、^B内山哲治

^A宮城教育大学大学院 教育学研究科 専門職学位課程 高度教職実践専攻

^B宮城教育大学大学院 教育学研究科

i21037@students.miyako-u.ac.jp

1. はじめに

平成 29・30 年の学習指導要領改訂によって、小・中・高等学校におけるプログラミング教育の充実が求められている。このプログラミング教育は、全ての学習の基盤となる資質・能力の 1 つである「情報活用能力」(世の中の様々な事象を情報とその結びつきとして捉え、情報及び情報技術を適切かつ効果的に活用して、問題を発見・解決したり自分の考えを形成したりしていくために必要な資質・能力) の育成に寄与している^[1]。プログラミングを行う際には、自らが意図した行動をコンピュータに行わせるために論理展開が必要である。一方、物理では目に見える自然現象の裏に隠された本質を見極めるために論理展開が必要である。物理とプログラミングは、この論理展開の必要性という点において親和性が高いと言える。

プログラミング教育の充実は、各学校における情報端末の整備によって支えられる。小・中学校では GIGA スクール構想の実現に向け、児童生徒に対し 1 人 1 台の情報端末が貸与されている。しかしながら、小・中学校で貸与された情報端末の OS は 3 種類 (ChromeOS, WindowsOS, iPadOS) に大別され^[2]、自治体ごとに異なり乱立状態にあると言える。また、貸与されている情報端末は各学校内で一括管理されている場合が多く、アプリケーション等のインストールも容易ではない可能性がある。高等学校では、令和 6 年度に 1 人 1 台の情報端末環境の整備が完了される予定である^[3]。しかし、各自治体の公費で整備を進める場合と生徒に用意した端末を持ち込ませる場合があり、高等学校内でも情報端末および OS が多様化する可能性がある。

そこで、我々は高等学校物理でのプログラミング導入を想定して、物理の学習内容を生徒に深く考えさせる授業展開を検討した。

2. Google Colaboratory

Google Colaboratory (Colab) は Google 社が教育・研究を目的として開発した、Web ブラウザ上で Python を実行できるサービスであり、利用に際して Google アカウントでのログインを必要とする。Colab を教育現場で使用するメリットは 3 つ存在する。1 つ目は、「無料で、端末を問わず活用できること」である。Colab は主要な Web ブラウザ (Google Chrome, Microsoft Edge, Safari 等) 上で Python を実行することができ、PC 端末やスマートフォン等にインストールする必要がない。2 つ目は、「プログラムの保存・共有が容易であること」である。Colab はログインした Google アカウントと連係し、作成したプログラムが Google ドライブに自動で保存される。また、プログラムを他のユーザと簡単に共有でき、共同編集することもできる。3 つ目は、「ライブラリ（汎用性の高い複数のプログラムのまとめ）が充実していること」である。Colab は Python を実行するサービスであるため、Python のプログラムを殆どそのまま活用できる。つまり、Python の豊富なライブラリを活用することができるということである。数値計算を行う NumPy や、グラフ描画を行う matplotlib、回帰分析等を行う scikit-learn などのライブラリは、既に Colab にインストールされている。

3. Colab を活用した授業実践

令和 3 年度 9 月に宮城県内の高等学校において、普通科 2 年生を対象に Colab を用いた物理授業を実践した。授業単元は「万有引力」であり、授業のねらいは太陽系惑星の観測データ（軌道長半径 a [AU: 天文単位] と公転周期 T [year]）から Python プログラムを用いてケプラーの第三法則を生徒に導出させることであった。授業実践で使用したデータ等は図 1 に示す QR コードおよび参考文献^[4]からダウロ

ードすることができる。



図1 本教材のQRコード

表1 Python プログラムのテキストファイル

処理順序	ファイル名	プログラム内容
1	import module.txt	ライブラリの読み込み
2	load data.txt	データの読み込み
3	process data.txt	データの処理(演算)
4	fitting data.txt	近似直線の算出
5	evaluation.txt	近似直線のR ² 値の算出
6	make graph.txt	グラフの作成・表示

授業を実践する上で行った工夫は以下の通りである。

○教材作成

- ・Python プログラムを 6 つのテキストファイルに分割（表 1）
- ・Colab の操作マニュアルの作成・事前共有
- ・単位の異なる太陽系惑星の観測データ（軌道長半径 a [m] と公転周期 T [day]）の準備

○授業中の発問

- ・「データの点と近似直線を示したグラフを表示させるためには、6 つのテキストファイルをどの順序で実行させれば良いか。」
- ・「軌道長半径 a と公転周期 T に演算を行い、近似直線の R^2 値(決定係数)を可能な限り 1 に近づけなさい。」
- ・「教科書にはケプラーの第三法則の定数 k がほぼ 1 になるという記述があるが、どうしてか。」
- ・「1 天文単位とは何か。なぜ、天文単位を用いているのか。」

講演では、Colab を用いた本教材や授業における生徒の様子等の詳細を述べる。

4. 生徒に深く考えさせるための教師の工夫

生徒は、太陽系惑星の観測データ（軌道長半径 a [AU:天文単位] と公転周期 T [year]）からケプラーの第三法則 $T^2 = ka^3$ を導出する学習活動において、講義形式の授業よりも考えている様子が伺えた。

ケプラーの第三法則を生徒が導出した後の大まかな授業展開は以下の通りである。

- ・生徒は、分析結果と教科書の記述を比較し、定数 k がほぼ 1 になることを受け入れていた。
- ・単位の異なる太陽系惑星の観測データ（軌道長半径 a [m] と公転周期 T [day]）を同じ Python プログラムを用いて生徒に分析させ、その結果を比較させた。
- ・生徒は、ケプラーの第三法則の定数 k がほぼ 1 でなくても良いことに気づいた。
- ・我々は、「教科書にはケプラーの第三法則の定数 k がほぼ 1 になるという記述があるが、どうしてか。」と発問した。

◎生徒は、ケプラーの第三法則の定数 k がほぼ 1 となるのは、地球を基準としている場合だと理解した。

◎で示した箇所は、生徒が無意識に受け入れた教科書の記述を吟味し、本質を理解している様子だと捉えられる。この観察結果から、高等学校物理の万有引力单元に Colab を用いたプログラミングを導入することによって、ケプラーの第三法則に関して生徒に深く考えさせることが可能であると判断した。

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

参考文献

- [1]文部科学省、教育の情報化に関する手引。
https://www.mext.go.jp/content/20200608-mxt_jogai01-000003284_004.pdf (2022-07-20 Web 閲覧)
- [2]文部科学省、端末利活用状況等の実態調査（令和 3 年 7 月末時点）(確定値).
https://www.mext.go.jp/content/20211125-mxt_shuukyo01-000009827_001.pdf (2022-07-20 Web 閲覧)
- [3]文部科学省、高等学校における学習者用コンピュータの整備状況について（令和 4 年度見込み）。
https://www.mext.go.jp/content/20220324-mxt_shuukyo01-000020467_001.pdf (2022-07-20 Web 閲覧)
- [4]本教材のダウンロード URL (Google ドライブ)
<https://drive.google.com/drive/folders/1vaHMDvWjM-JmgdPyGbIj5-EKgJYeyvSl?usp=sharing>

マイコンとセンサーを用いた運動学の ILDs 教具開発と効果検証

^A南伸昌, ^A瀧本家康, ^A夏目ゆうの, ^B渡邊剛士

^A宇都宮大学共同教育学部, ^B栃木県立宇都宮清陵高等学校

minami@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

相互作用型演示実験講義（Interactive Lecture Demonstrations : ILDs）は、ワークシートと演示実験を中心に据えたアクティブ・ラーニングの一形態で、力学分野の誤概念修正に有効な授業方法である[1]。ILDsにおいては、視覚的に捉えることが難しい力や運動の様子などを、ICT教具を用いて可視化することがポイントとなる。しかし、データを可視化するための市販の教具は比較的高価であることが ILDs 普及の敷居を上げている。また、演示実験後に教員が「正解」を教えるのではなく、実験結果に基づく生徒同士の議論を通じて現象の理解を深めるという授業手法に対して、生徒だけでなく教員自身の馴染みがないことも、実施する上での障壁となっている。

本研究グループでは、高校物理基礎の「運動の表し方」単元における教具を、マイコンと超音波距離センサーを用いて安価に製作し、教材化を図ってきた[2]。本研究ではその動作の紹介と、高等学校2年生に、既習事項の復習という位置付けで実施した、本教材を用いた ILDs 授業の結果を報告する。

2. 作成した教具

位置の計測には超音波距離センサーUS-015（秋月電子）を用い、センサーからの信号を変換し、PCへ入出力するマイコンには、汎用性が高いArduino Uno（スイッチサイエンス社）を用いた。US-015はアクリル板に固定したブレッドボードに立て中心を滑走台の中心に合わせ、力学台車が滑走台の何処にあっても再現性良く位置の計測ができるよう、センサーの高さを調整した。プログラムはArduino IDE[3]で制作し、センサーから物体までの距離は読み込んだ数値をそのままPCに出力し、物体の速度はプログラム上で算出した。

台車を等速度運動させるためにプラレールの気動車を用い、等加速度運動させるための牽引装置として、錘の落下を糸と滑車で力学台車に伝達する装置を組んだ。位置及び速度の出力信号は、エクセルのデータストリーマーを用いてリアルタイムで表示した。加速度はリアルタイムで示すのではなく、速度の時間変化からエクセル上で算出してグラフ化した。等加速度運動の、位置、速度、加速度の測定例を図1に示す。

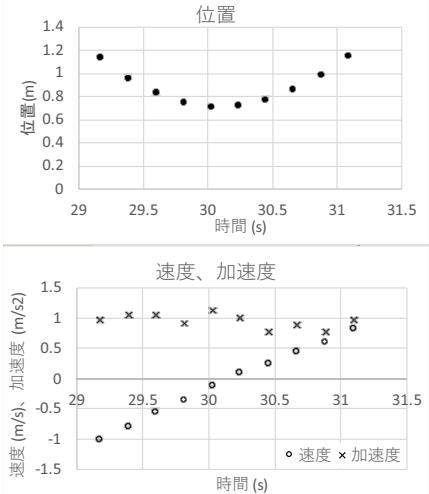


図1. 測定例

3. 高校での実践

本教具を用いた ILDs 授業を、令和3年12月に栃木県立A高等学校2年生1クラス（19名）に、力学分野全体の復習の一環としての位置付けとして、1時間で実施した。授業は高等学校教諭が実

施した。ワークシートは ILDs prediction sheet – kinematics2-motion of carts から、内容や手順、時間を考え、demonstration 4, 5 以外の 6 つの課題を用いた[4]。授業は、課題ごとに「個人の予想→回答の自信度→班で話し合っての予想の修正→演示実験の観察→班で結果の共有」という ILDs の基本的な流れに沿って実施した。demonstration 8 (鉛直投げ上げ) は ICT を用いた演示実験は行わず、実際に物体を放り上げ、口頭での説明で代替した。生徒の理解度を測るために、授業の前後及び実施から 1 ヶ月程度後に、FMCE の該当する設問等による、事前・事後・定着度調査を行った。ワークシートや調査問題は、対象の高校生が理解しやすいよう、高校教諭と相談して表現を工夫した。一例を図 2 に示す。

理解度調査は、「速度」と「加速度」については FMCE の車の運動のグラフ問題を用い、「位置」についてはそれらと同様の内容となるよう、新規に作成した。

6. センサーから遠ざかる向きに、車が一定の力を常に受けています。車をセンサーに向かって少し押すと、減速しながら進み、一旦静止し、遠ざかる方向に加速します。その場合の「時間と速度」及び「時間と加速度」の関係を予想し、グラフに記入しなさい。

自信:

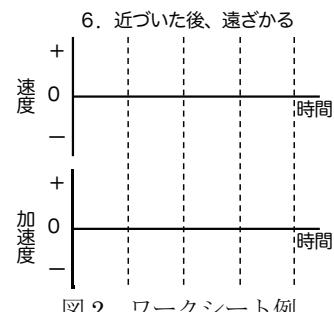


図 2. ワークシート例

4. 結果と考察

ワークシートの設問の正答率と自信の推移を図 3 に示す。全体に共通する「速度」に着目すると、力を受けて運動の向きが変化する demonstration 6 が正答率、自信とも最も低くなっている。誤答は速度の変化を加速度の変化として表現したものが多く、単元学習後も速度と加速度の概念上の混同が根強いことが示唆される。「自信」については、始めは高く、時間が進むに連れて低下し、ある時点から上昇傾向に転じるという変化が見られた。これは、他の実践でも示唆されているように、本授業実践を通じて、正しい概念獲得に向けての認知的葛藤を生じさせることができたと解釈できる[5]。

表 1 に理解度調査で得られた、位置、速度、加速度各区分の平均正答率（%）を示す。こちらからも、加速度に関する理解が不充分であることが分かる。当日は、誤答の傾向を元に、授業の進め方の検討も行いたい。

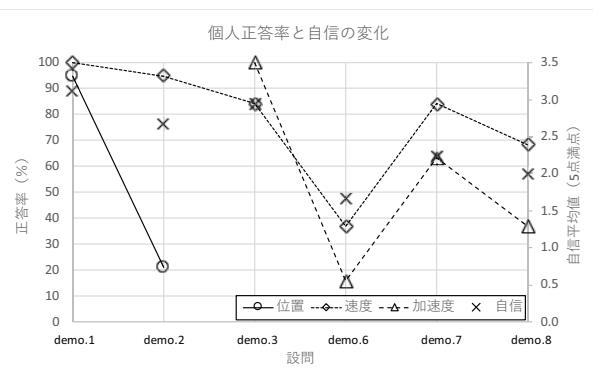


図 3. 個人正答率と自信度

表 1. 平均正答率 (%)

	事前	事後	定着度
位置	75	73	78
速度	81	75	77
加速度	19	32	33

参考文献

- [1] D. Sokoloff and R. Thornton: Interactive Lecture Demonstrations, 2004, Wiley.
- [2] Arduino UNO と FSR402 を用いた力を可視化する教具の開発, 物理教育通信 183, pp. 76–81, 2020.
- 第 37 回物理教育研究大会予稿集, pp. 24–25. 2021.
- [3] <https://www.arduino.cc/en/software>
- [4] D. Sokoloff and R. Thornton: Interactive Lecture Demonstrations, 2004, Wiley.
- [5] 北村貴文, 他, 物理教育 第 68 卷, pp. 169–174, 2020.

数学的モデリングとアナログシミュレーション教材

猪本 修

兵庫教育大学

inomoto@hyogo-u.ac.jp

1. はじめに

理科教育あるいは物理教育において自然現象を数量的に取り扱い、現象を数学的に定式化することは、その性質や規則性を理解する上で不可欠である。実験または観察を通して自然現象を理解するには、実験結果に基づいて法則性を「発見」するプロセスが必要である。これには数学的モデリングの方法論が有効であり、現象に対する仮説の設定、実験の計画と遂行、結果の定式化と解釈、考察を繰り返し行いながら理解を深めることができる。本研究では学校教育においてしばしば取り上げられる過渡現象に着目し、それを微分方程式としてモデル化する授業方法を検討した。具体的には熱平衡に関わる簡単な実験を取り上げて、測定結果からニュートンの冷却則を「発見」するための一連の方法を提案した。この実験と考察は数学教育においても効果的であり、学習内容を活用する上で役割を果たすものと考えられる。

2. 数学的モデリングについて

理科教育および物理教育における数学的モデリングが果たす役割は大きく、理科と数学の双方の学習にとって意義が大きい(椿, 2016)。このことは、物理教育においては現象の理解が数学的表現によって深められるとともに、モデリングのプロセスを経ることによって自然に対する観察眼と考察力が強化されることによる。また同時に、異なる現象を複合的・統合的に捉え、物事を抽象化する機会が得られることによる。一方で数学教育においては、モデリングを通して自然現象や社会現象との関連性が理解されるとともに、例えば方程式とその解が現象として可視化され、解釈しやすくなることによる(デヴィッド・バージェス、モラグ・ボリー, 1990)。

ここでは高校数学IIIにおける積分法の応用の单元に焦点をあてるとしている。この单元では変数 $y(x)$ についての最も簡単な微分方程式の初期値問題 $dy/dx = kx$, $y(0)=y_0$ を学習する(ただし k は正または負の定数)。この型の微分方程式は自然現象や社会現象に広く見られ、係数の符号に応じて平衡値に緩和するか無限大に爆発するかのいずれかを表現する。またこの微分方程式の右辺を少し変更するだけで、例えばアロステリック効果など生物学的現象も対象となりうる。こうしたことから、数学教育としては自然現象との結びつきによってその学習内容がより豊かなものになると期待される。また物理教育としては熱平衡などの過渡現象を数理的に理解する上で有効な手がかりとなり、モデリングの手続きを通して現象の法則性を「発見」したり、その物理的解釈を深めたりすることができるようになる(佐伯、氏家, 2003; 佐伯、氏家, 2006)。

そこで本研究では、主として物理教育の視点から、過渡現象の数学的モデリング手法の検討とその教

材化を提案することとする。とくに過渡現象の測定によってその法則を実験的に「発見」し、それを微分方程式として定式化を行い、その物理的解釈を行うことで、従来の学習に比べて理解がより深められることを示すこととする。

理科教育における過渡現象としては、高校化学における化学反応と化学平衡、高校物理における空気抵抗を受ける物体の運動、熱の移動と平衡、コンデンサーの充電・放電、原子核の崩壊において取り扱われる。これらのうち化学反応は中学校3年理科(酸化反応と質量の保存)でも、また小学校4年理科(ものの温まりかた)でも触れられる。このように過渡現象は時間変化を伴う現象の一つとして多くの単元で学習するが、この現象がなぜ単調変化であるのか、また、なぜその特性が指数関数的であるのか、さらに高校数学IIIの積分法の応用との関係性については、ほとんど説明がなされていない。

そこで、過渡現象は理科のさまざまな単元に関わる一般的な現象であることから、高校数学IIIとの関連性を意識することで、物理教育における数学活用の検討、あるいは数学教育における観察・実験の検討が可能となる。過渡現象の中でもニュートンの冷却則は測定と解析が容易であり、これを教材として活用することが物理教育・数学教育の双方において有意義であると考えられる。

引用文献

- デヴィッド・バージェス、モラグ・ボリー（1990）：微分方程式で数学モデルを作ろう、日本評論社（垣田高夫、大町比佐栄訳）。
- 佐伯昭彦、氏家亮子（2003）：数学的モデリング過程における学習者の実データ解析方法－「お湯の冷め方」実験での数学的モデルの解釈・評価・より良いモデル化－、日本数学教育学会誌、85, 3, 12-21.
- 佐伯昭彦、氏家亮子（2006）：「微分方程式」の学習における学生の「関心・意欲・態度」の変容～自然現象を取り扱った「微分方程式」の学習～、日本科学教育学会年会論文集、30, 55-58.
- 椿広計（2016）：モデリングとその教育について、科学教育研究、40, 2, 119-126.

伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果：

ランダム化比較試験による検証① 研究計画

^A梅田貴士、^B宗尻修治

^A広島大学大学院人間社会科学研究科、^B広島大学大学院先進理工系科学研究所

tumeda@hiroshima-u.ac.jp

国立大学の工学部向け授業として開講されている伝統的な力学授業を対象として、ピア・ディスカッションの効果を定量的に調べるための研究について報告する。研究方法としてランダム化比較試験を採用する。毎回の授業で4回程度実施する問題演習パートにおいて、ピア・ディスカッションを実施する実験群クラスと、教員による解説のみを行う対照群クラスでの比較を行う。

本発表は連続発表の1番目である研究計画に関する報告として、研究動機、研究方法の詳細について報告する。

1. はじめに

日本学術会議における提言「物理学における学問分野に基づく教育研究（DBER）の推進」[1]に述べられているように、大学物理教育においてアクティブ・ラーニング（AL）型授業の推進が求められている。物理教育研究（PER）によって、様々な AL 型授業方法の開発が行われ、研究によって有効性が明らかになっているにもかかわらず、国内外を問わず多くの大学での物理教育において、AL 型授業の組織的な導入は思うように進んでいないと言われている[1]。

AL 型授業の組織的な導入が思うように進まない理由の1つとして、筆者は、授業目標に対する誤解があるので無いかと考えている。PER で提唱される AL 型授業方法が、物理の概念理解だけを目標としているように受け取られ、問題解答能力を重視し、授業で扱う物理学の内容を減らしたくない教員の興味を引けていないという可能性がある。このような教員に対し AL 型授業方法への興味を持たせ、自分の授業に取り入れようと思わせるには、伝統的な物理授業で重視している能力に対して AL 型授業がどのくらい有効なのかを定量的に示した研究が必要であると考えた。

長期的には、深い概念理解に基づく問題解答能力の育成のように、PER で提唱されている物理教育の目標がどのように大学の物理教育を改善していくか、上記のような視点でエビデンスを積み重ねていく必要がある。そのために、最初に取り組むべきは、もっとも基本的で、導入の難易度が低い AL 型授業方法のひとつであるピア・ディスカッション（学生同士の議論）の効果を伝統的授業において、定量的に測定する研究であると考えた。

ピア・インストラクションの問題解決スキルに対する有効性については様々な研究[2]で報告されているものの、コンセプテストのような概念理解を問う問題に対するピア・ディスカッションではなく、従来型の例題演習に対するピア・ディスカッションを実施した効果を定量的に調べた研究は見当たらなかった。また、伝統的な授業や、ピア・ディスカッションを導入しただけの授業でどのくらい学習効果があるのかという精度の高い・定量的なデータは、様々な AL 型授業の有効性を明らかにする研究の基礎データとしても重要になると考えている。

2. 研究目標

本研究では、大学における伝統的な物理学授業において、講義の中にピア・ディスカッションを導入した場合の効果を定量的に調べることを目標とする。伝統的な物理学授業で重視している能力に対する効果を調べるために典型的な中間・期末試験問題の解答に及ぼす影響に注目する。

3. 研究方法

本研究目標を達成するには基本的には、ピア・ディスカッションを導入した授業と、していない授業を比較する必要がある。できるだけ交絡要因を排除した比較を行うための方法として、ランダム化比較試験と呼ばれる方法がある。これは、ある学生集団に対してランダムに割り付けられた2つのクラスを作り、新しい試みを取り入れた授業を実施する実験群クラスと、従来の授業を行う対照群クラスでの結果に対して、比較分析する方法である（図を参照）。

教育の文脈においてランダム化比較試験を実施する場合、通常は研究に賛同する学生を募り、その中からランダム割り付けを行う必要があるが、十分な数の学生を集めるのは困難である。今回の研究では、既存の状況を利用する自然実験として実施する。具体的には、ランダム割り付けが行われている既存の授業があり、既存のシラバスの範囲内で研究を実施する。

ピア・ディスカッションの効果を調べるために、その他の交絡要因を最小限にするために、2つのクラスで可能な限り条件を揃える必要がある。基本的方針としては、伝統的力学授業の講義中に、解説パートと問題演習パートを準備する。解説パートはまったく同じ解説を行う。問題演習パートでは、まず学生は一人で問題解答に取り組む。実験群クラスでは、その後ピア・ディスカッションを行い、最後に教員の簡易的な解説を行う。一方、対照群クラスでは、教員による詳細な解説を行う。その他は、可能な限り同じ条件となるように授業計画を作成する。

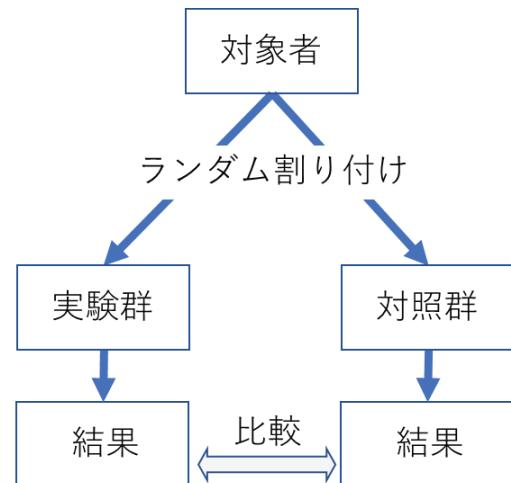
4. 倫理的配慮

学生に対して研究参加への任意性を担保するために、研究の趣旨説明と、調査データは匿名性を保つ形で解析され個人の回答が特定されることが無いこと、調査データ提供の同意の有無が授業の成績評価上およびその他の利益・不利益が無いことを口頭および紙面で確認した。また、本研究に対して、広島大学大学院人間社会科学研究科の研究倫理審査を受け研究の承認を得ている。

その他の研究計画に対する詳細は本発表において紹介する。授業実践の詳細については同発表タイトルの連続発表2番目の予稿と発表を参照して欲しい。

参考文献

- [1]日本学術会議, 提言『物理学における学問分野に基づく教育研究(DBER)の推進』, 2020年.
- [2] T. Vickrey et al., "Research-Based Implementation of Peer Instruction: A Literature Review", CBE 14, 1-11 (2015).



図：ランダム化比較試験の流れ

伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果：

ランダム化比較試験による検証② 授業実践

^A宗尻修治、^B梅田貴士

^A広島大学大学院先進理工系科学研究科、^B広島大学大学院人間社会科学研究科

munejiri@hiroshima-u.ac.jp

国立大学の工学部向け授業として開講されている伝統的な力学授業を対象として、ピア・ディスカッションの効果を定量的に調べるための研究について報告する。研究方法としてランダム化比較試験を採用する。毎回の授業で4回程度実施する問題演習パートにおいて、ピア・ディスカッションを実施する実験群クラスと、教員による解説のみを行う対照群クラスでの比較を行う。

本発表は連続発表の2番目における授業実践に関する報告として、授業実践の概要、調査データや、授業実践における結果の詳細について報告する。

1. 授業実践の概要

授業実践は、国立大学工学部1年生向け、教養教育として開講される微積分ベースの伝統的な力学の授業を対象として行った。この授業は4学期制の授業として開講され、90分1コマの授業が毎週2コマ連続で行われ、8週間で15コマを終えるものである。また、この授業は工学部のすべての専攻の1年生を対象として9クラス開講され、共通のシラバスに基づき同様の内容を扱うことになっている。内容の基準となる教科書も指定されている。

今回の実践は、この工学部の中のある一つの専攻の学生約80名を対象とした。学生は事務的に学生番号によって半数ずつ2クラスに振り分けられ、この2クラスの授業は同一時間に行われる。したがって、この2クラスは異なる教員が担当することになる。この2クラスの一方を実験群、もう一方を対照群として実践を行った。

授業内容は、力学概念の理解に特化したものではなく、伝統的な力学の内容である。15コマの授業で、運動の記述（座標系、ベクトル、極座標など）、運動の法則、振動（単振動、減衰振動、強制振動）、運動量と角運動量、仕事とエネルギーを扱う。また必要な数学として、ベクトルの内積および外積、線形微分方程式、線積分、偏微分などを扱う。

授業は2クラスとも、3もしくは4名掛けの固定式の机と椅子のある講義室で行われ、座席の指定を行った。授業はパワーポイントを利用してPC画面をプロジェクタでスクリーンに投影する形式で実施した。2つのクラスとも共通のパワーポイント資料を準備し、授業は大まかに教員が一方的に解説する解説パートと、学生が問題演習に取り組む問題演習パートから構成される。解説パートは教員のセリフも全て2クラスで統一した。問題演習パートでは、まず学生が一人で取り組む時間をとる。実験群では、その後、学生同士が相談・議論するピア・ディスカッションの時間を設けた後、教員の簡易的な解説を行った。対照群クラスでは、ピア・ディスカッションを実施せずに、教員による詳細な解説を行うことを基本方針として授業を実施した。実験群での座席指定では、ピア・ディスカッションを行う班の構成人数は3名、もしくは4名とし、後述する事前の概念調査問題の得点率が偏らないように配置した。なお、ピア・ディスカッションには1名の大学院生をTAとして配置した。対照群にはTAはつけていない。

2. 調査データ

授業の到達度は、期末試験と、途中で実施する確認テストで調査を行った。これらは主に記述式で行われ、問題の多くは授業の中で実施する問題演習パートで扱った問題から出題される。このことは学生にも周知しており、問題演習に取り組む動機付けとした。その他に、事前テストとして、初回の授業ガイダンスの前に、Force Concept Inventory(FCI)、CLASS、ローソンテスト(LCTSR)を実施した。これらは主に、学生の学習準備状況を把握するため、および、2クラスの学生集団に差がないことを確認するために実施した。また、毎回の授業後に授業アンケートとして、当該回の授業における、講義パートの難易度、理解度、説明のわかりやすさ、演習パートの難易度、理解度をそれぞれ5件法で問い合わせ、さらに自由記述の感想などを回答させた。

3. 問題演習の進め方

90分の授業中に、毎回4問程度の問題演習を行った。授業中の解説パートの内容を踏まえた問題を出題し、はじめに数分間各自で問題に取り組む。その後、クリッカーを使用し、問題解答に対する自信度などを解答させる。その後、対照群クラスでは教員による詳細な解説を行った。実験群クラスでは、ピア・ディスカッションを実施し、各班の中で各自の解答の確認や、議論を数分間行わせる。その後、もう一度クリッカーで議論後の自信度について再投票などをさせた後、簡易的な解説を行った。両方のクラスで、問題演習パートにかける時間は同程度になるように注意した。

4. 事前テストおよび理解度アンケートの結果

2クラスのFCI、LCTSRおよびCLASSのall categoriesについて、事前テストのスコア平均値を表1に示す。2クラスのスコアはよく一致しており、ランダム化比較試験実施の条件は整っていると思われる。

表1 事前テストのスコア（平均値±標準誤差）

	N	FCI	CLASS all categories	LCTSR
対照群	41	22.4±0.5	59.8±2.4	9.7±0.3
実験群	39	22.0±0.7	60.5±2.3	10.0±0.2

図1に第2回から12回までの講義パートの理解度のアンケート結果を示す。縦軸は5件法における「強くそう思う」を5点、「全くそう思わない」を1点などと点数化したものである。両クラスにおける理解度はおおむね一致している。

確認テスト(小テスト)、事後テスト(期末試験、FCI、CLASS)についての実験群と対照群の比較については当日報告する。

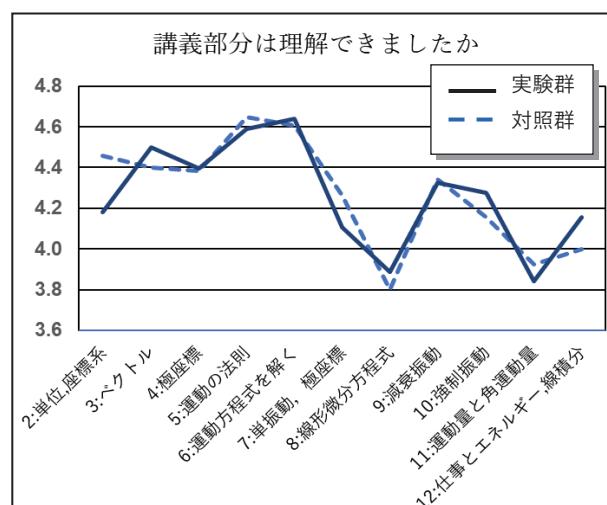


図1 授業後のアンケート結果の例

一人一台端末による日本型 JiTT の開発と高校物理における実践

^A 柴崎幸貴, ^B 猪本修

^A 西南学院中学校・高等学校, ^B 兵庫教育大学大学院学校教育研究科

k. shiba48@gmail.com

キーワード JiTT, 高校物理, LMS, ICT, 作用反作用の法則

1. はじめに

Novak らによって 1999 年に開発された学習者を中心とした相互作用型授業法であるジャストインタイムティーチング (JiTT) は、授業前学習課題を学習管理システム (LMS) を利用して分析し、授業においてフィードバックすることにより学習者との相互作用を促し、学習者を中心とした授業を展開する授業法である^{[1][2]}。学習者の素朴概念との葛藤を促すように計画された身近な現実に基づく事前課題を授業の 1~24 時間前に実施することにより、学習者の批判的思考や素朴概念が想起されている瞬間を捉えて、授業でフィードバックするスタイルから Just in Time の名称がついている。

授業では、フィードバックを含む講義と学習者中心のディスカッションがおこなわれる。授業内コンテンツとしては、ILDs, PI, PBL 等の利用や、生徒実験の組み込みも効果的である。また、学習状況を確認する課題や振り返りによるメタ認知が重視されており、学習者にあわせた調整をおこない次の授業前課題へつなぎフィードバックループを形成することにより学習者を中心とした教育を実施することを目的としている。

JiTT は、物理学に特化した授業法ではなく、生物学^[3]などさまざまな分野での実践報告がなされている。Formica ら^[4]は、North Georgia College と State University の物理学入門コースの学生 222 名に対して 5 学期間に渡る実践をおこない、JiTT と伝統的な講義における FCI のゲインを比較し、JiTT の 37.6 に対して伝統的な講義は 17.9 であることを報告している。特に作用反作用の法則に関する問題である No. 2, No. 11, No. 13, No. 14 について、正誤パターンを詳細に分析し JiTT が作用反作用の法則について概念習得に対して効果があったと結論づけている。

JiTT は、Web ベースの学習管理システム (LMS) を基盤としており、閉じられたネットワークで管理されたパソコン教室を中心として ICT 環境を整えていた日本の高等学校においては、授業者、学習者ともに端末を使える時間と場所が制限されていたため導入は困難な状況にあった。しかし、現在 GIGA スクール構想により端末の配備や通信環境とともに時間と場所を選ばずに使用できる LMS も構築されつつある。

Novak らが開発した物理学の JiTT リソース^[5]は、PC によるキーボードからの入力に依存しており、作図やグラフを使用できず、学習者の思考に制限がかかると考えられる。手書きによる書き込みやノートテイキングの有効性については、e ラーニングにおいても研究されており、安藤ら^[6]により、手書きは、書き込みにかかる外的認知負荷が少ないことやタブレットは、聴覚チャンネルと視覚チャンネルの同期を取りやすいため、コンテンツへ直接書き込む場合、学習者の理解と記憶保持が高いことが報告されている。また、日本の小学校、中学校においては、タブレット端末の普及が概ね完了しており、小学校の児童と中学校の生徒は学習におけるタブレットの使用経験を

有する状態で高等学校に進学する状況になっている。

今回、1人1台端末による日本の高等学校におけるJiTTの開発を目的として、作用反作用の法則に関する授業を試行しCLASSによる分析をおこなった。その結果を報告する。

2. 研究手法

本研究ではLMSとして、日本国内の多くの小学校や中学校や高等学校で利用されているGoogle Workspace for EducationのGoogleClassRoomを使って、事前課題と授業内コンテンツ、振り返りを実施した。授業内容は先行研究において効果が確認されている作用反作用の法則を取り上げ、授業内コンテンツでは、力学台車を用いて台車間にはたらく力の大きさを図る実験^[7]を導入した。

さらに、CLASSによる分析と事前課題および事後課題を記述式でおこないその内容から素朴概念に着目し、授業の効果を検証した。

3. 課題と展望

GIGAスクール構想により1人1台端末が利用できる環境になってきているとともに専門的な知識がなくても利用できるLMSが普及し、利用者のフィードバックにより日々、システムが更新されている現在、LMSを利用した授業法を実践し、開発する意義を見出すことができた。

学習者のレベルに応じた課題の開発が重要であり、JiTT研究者によるネットワークを構築して、学習課題の共有を図っていきたい。アメリカ版のJiTTリソース^[8]を今の時代や日本に合うように再構築することも同時に進めていきたいと考えている。

参考文献

- [1] Gregor M. Novak 「World Wide Web Technology as a New Teaching and Learning Environment」
International Journal of Modern Physics C, Vol. 8, No. 1, 19–39 (1997)
- [2] Michael Prince and Richard Felder 「The Many Faces of Inductive Teaching and Learning」
Science Teaching, Vol. 36, No. 5, 14–20 (2007)
- [3] Kathleen A. Marrs and Gregor Novak
「Just-in-Time Teaching in Biology: Creating an Active Learner Classroom Using the Internet」
Cell Biology Education Vol. 3, 049–061 (2004)
- [4] Sarah P. Formica, Jessica L. Easley, and Mark C. Spraker
「Transforming common-sense beliefs into Newtonian thinking through Just-In-Time Teaching」
PHYSICS EDUCATION RESEARCH 6, 020106 –020106 (2010)
- [5] http://jittdl.science.iupui.edu/JiTT_RESOURCES/physics/index.html
(2022年7月18日参照)
- [6] 安藤雅洋, 植野真臣「e ラーニングにおけるタブレットPCを用いた書き込みの効果分析」
日本教育工学会論文誌 35(2), 109–123 (2011)
- [7] 兵頭俊夫「見て体験して物理がわかる実験ガイド」 学術図書出版社
- [8] http://jittdl.science.iupui.edu/JiTT_RESOURCES/ (2022年7月9日参照)
- [9] E・F・レディッシュ「科学をどう教えるか」 丸善出版
- [10] C.M. ライゲルース「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

高校「物理基礎」にJiTTを用いる試み

^A落合道夫, ^B中野裕司

福岡女学院中学校・高等学校^A 熊本大学大学院教授システム学専攻^A

熊本大学教授システム学研究センター^B

ochiaimichio@gmail.com^A

1. はじめに

学習者中心の教育を実現する指導法としてジャストインタイムティーチング（JiTT）がある。JiTTは1999年頃に米国の大学の物理教育界で開発され以降発展してきた。現在は全学問分野で用いられている指導法であり、その効果は実証されている。この方法を高校「物理基礎」（波動分野）において実践してみた。本稿では、JiTTを紹介した後、事前課題の出し方、ICTの利用、フィードバックなどについての実践上の工夫およびその効果について報告する。

2. JiTTとは

近年日本の小中高等学校では、主体的・対話的で深い学びの重要性が言われている。そこでは従来の一斉講義型の教育から、児童・生徒が自ら学ぶ学習者中心の教育への転換が促されている。JiTTはそのような教育方法の一つとして米国の高等教育機関での物理教育において開発された[1]。『科学をどう教えるか』[2]においても「講義を基本とする方法」として「ピア・インストラクションとコンセプテスト」および「相互作用型の演示実験講義（ILDs）」と並んで紹介されている。JiTTは現在全ての学問分野で用いられるようになっている。JiTTはインストラクショナルデザインの一形態とも考えられ、教育工学の世界でも注目されている。米国の教育工学の大学院レベルの教科書であり邦訳もされている『インストラクショナルデザイン理論とモデル』[3]においても学習者中心の教育を実現する一つの方法として、一章をあて取り上げられている。

3. JiTTの方法

JiTTはWebを用いた事前課題とそれへのフィードバックを中心に組み立てられた授業とを融合させる方法である。教師は授業開始前までに事前課題をWeb上のLMS（Learning Management System）に掲載する。生徒は授業の数時間前までにその課題を解き、LMS上で回答する。教師は授業前にそれらを読み、生徒の回答を分析する。

授業は生徒の回答へのフィードバックを中心に組み立てられる。またそれ以外のコンテンツも用いられる。例えば、演示実験、クリッカーを利用した質問、学習者相互のディスカッション、グループでの能動的活動などである。

日本でも「反転学習」は広く知られている。「反転学習」では新しく習う内容を授業前にビデオ講義として視聴し、授業時間内には講義はなされず、空いた時間をディスカッションなどに当てることが多いが、JiTTでは授業前に取り組むのは「事前課題」であり、授業時間内にはそれへのフィードバックを中心とした講義がされるといった違いがあるといわれている[4]。

4. 実践例と実施上の工夫

以下の(ア)～(オ)はJiTTのフィードバックループを構成する要素であり、JiTTはこれに則って

行われる。(オ)の後は再び(ア)に戻る。本発表ではその実践例と実施上の注意を紹介する。

(ア)事前課題 および (イ)生徒の回答

事前課題作成の際には「学習コンテンツを現実の文脈に添わせることによって学習者の関心を引き出そうとすること」「現実世界の課題に基づいていること」などが重要だとされている。高校物理の教科書や問題集に掲載されているものにはそういうものはあまり見当たらないので自作することになる。その例を図1に示す。選択肢の中には誤概念を含ませる工夫が必要である。

1回の授業につき、このような事前課題を2~3題、授業の数日前にLMS(ロイロノートを用いた)上に提示する。生徒は授業開始前までにLMS上で回答する。授業ではクラス全員の回答画面を示しながら思考の可視化・共有化することで、ディスカッションを活性化することができる。

(ウ)教師による分析 (エ)授業内フィードバック

教師は生徒の回答を授業前に分析し、授業内でフィードバックするための準備をする。JiTTでは、授業内活動において以下の点に注意することが求められる。「フィードバックを取り入れた相互作用型授業を開発すること」「授業を形作るときにユニークな学習者の反応をそれと分かるように用いること」「さらに深く理解させるために、学習者中心のディスカッションを活用すること」。LMS画面を提示することでこれらを展開していく。

(オ)授業内コンテンツ

JiTTの授業内活動はフィードバック以外に様々なコンテンツや教授アプローチと組み合わされて実施されることが推奨される。高校物理の場合、ピア・インストラクション、相互作用型演示実験講義(ILDs)などもその一つである。実際、上の事前課題の場合は、小グループでの話し合いの後、再度選択肢を選び直すクリッカー投票し、その後水波投影機を用いた演示実験で正解を示すという方法を用いた。

5. 今後の展開

高校物理にJiTTを導入することにより期待される効果は2つある。生徒の能動性や意欲・関心が高まること、及び、物理の概念を正しく獲得できるようになることである。前者の調査は『物理についての意識調査CLASS』[5]を用いて行う。後者の調査は『「力と運動」の概念調査用紙FCI』[6]を用いて行う。

参考文献

- [1] G. Novakほか (2004) Just-in-Time Teaching ~ Blending Active Learning with Web Technology, <https://www.physport.org/curricula/jitt/>
- [2] E. F. レディッシュ (2012) 「科学をどう教えるか」 丸善出版
- [3] C. M. ライグルースほか編 (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ト理論とモデル」 北大路書房 (2020)
- [4] 土佐幸子 反転授業の長所と短所を探る—「反転」ではなく「事前」授業を—, 大学の物理教育20, 61-64 (2014)
- [5] W. K. Adamほか (2004) Colorado Learning Attitudes about Science Survey (CLASS), <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=CLASS>
- [6] D. Hestenesほか (1992) Force Concept Inventory (FCI), <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=FCI>

授業04 事前課題1

銭湯の湯船にお湯が入れてある。波は立っていない。棒で水面を周期的に叩くと波ができた。波の伝わる速さを速くするためにどうすれば良いか。下から選び、理由も記しなさい。

- a. より強い力で叩く
- b. より長い周期で叩く
- c. より短い周期で叩く
- d. 速さを変えることはできない
- e. その他

図1 試行したJiTTの事前課題例

選択肢の中には誤概念を含ませる工夫が必要である。

探究的な理科学習環境（ISLE）ワークショップのインパクト

土佐幸子

新潟大学教育学部

stosa@ed.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

高等学校においても新学習指導要領[1]が実施となり、「主体的・対話的で深い学び（アクティブ・ラーニング）の視点からの授業改善」が強調された。さらに理科学習においては、図1にあるように、①自然事象に対する気付き→②課題の設定→③仮説の設定→④検証計画の立案→⑤観察・実験の実施→⑥結果の処理→⑦考察・推論→⑧表現・伝達、という科学の方法に則った探究過程が明示された。しかし、伝統的に情報伝達型の授業が多い高校において[2]、生徒主体の探究型授業の実現は容易ではない。大学においても状況は同様である。

そこで本研究では、米国ラトガース大学エトキナ教授による探究型理科指導に関するワークショップを、日本の参加者のために開催し、参加者に与えたインパクトを分析することによって、日本における探究型理科授業実践の課題点と展望を探った。

2. 方法

研究対象とデータ収集：ワークショップは2022年3月にオンライン同期型で開催された。エトキナ教授は「探究的な理科学習環境を提供するプログラム（ISLE アイル）」の開発と普及に長年携わっている[3]。2時間半のワークショップの副題は「生徒・学生を科学者のように主体的な探究活動に取り組ませるための方略」であり、生徒・学生に探究的・協働的に概念構築を促す方略を、参加者自身が学習者となって体験的に学ぶものであった。高校・大学の理科教員15名と大学院生2名の計17名が参加した。収集したデータはビデオ録画、ワークショップ中に協同で記入したスライド、事後アンケート回答である。

ワークショップの実践内容：ワークショップでは、まず、ワイングラスに水が注がれ、グラスの外側に水滴がつく様子の動画の視聴と、観察したことを簡単な言葉で述べることが求められた。このとき「結露する」などの科学用語を用いずに、「グラスに水滴がついた」のように見たままを表現する。そして、水滴がどこから来たのかのメカニズムについて、ワイルドな説明を考えるように求められた。「ワイルド」というのはどんなに突飛でもよいということである。参加者から出されたのは、①グラスの中の水が壁面を通して染み出た、②水はグラスの外側の空気から来た、③水はワイングラスのガラスの中から来た、④水は水面から来た、の4つの説明だった。さらに、複数の説明が挙げられたときに科学者がすることは検証実験（テスト）だという合意の下、この4つのどれかを除外するテストを考え出すように求められた。冷たい水を注いだワイングラスを台ばかりに載せると、目盛りがだんだん増えていくはずとの発言があり、その実験は4つの説明の内、②のみを支持し、他の3つを除外するものだという合意を得た後、冷水入りワイングラスを載せた電子天秤の目盛りが増える動画を視聴した。他の検証実験としては、冷蔵庫で冷やした冷たいグラスに水

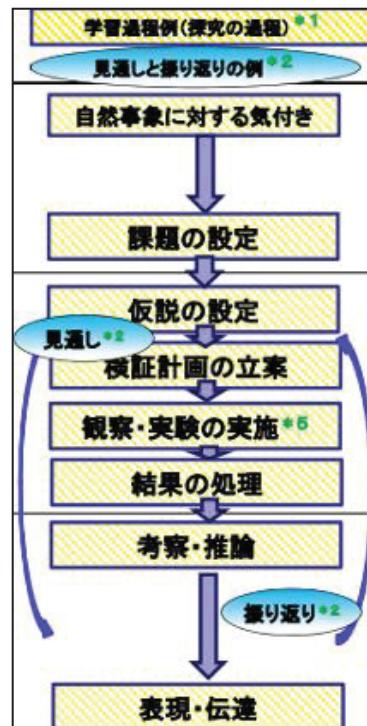


図1 高等学校理科における探究過程[1]

滴がつくかどうかを見る実験（図2）や冷たい油をグラスに注ぐ実験が紹介された。このように回りくどく活動を行うのは、科学者のように考えることの重要性を伝えるためであり、答えを見つけたかったらインターネットを検索すればいい今の世の中において、考えることの重要性を認識してほしいとの話があった。次に、消毒用アルコールをコピー用紙につけて放置すると、アルコールが次第に消えることを各自が手元実験で観察した後、ワイングラスの場合と同様に、観察の記述、仮説設定、実験計画の立案を小グループに分かれ、共有スライドに書き出す形で進めた。実験結果の予想の後、実験動画を視聴して、わかったことを皆でまとめた。ワークショップ後半では、ISLE プログラムがどのように生徒・学生の学びを促すかについて、理論的枠組みの説明がなされた。ISLE の過程を図3に示す。

3. 結果と考察

事後アンケートにおいて、「ワークショップは大変有益だった」との回答率は 100% だった ($N=11$)。その大きな理由は、科学者が用いる仮説検証型の過程を体験することを通して、生徒が自分の言葉で現象を語り、概念構築を行うアプローチの重要性を実感したところにあったと考える。特に、仮説を実験によって除外していくというのは、多くの参加者にとって新鮮であり、戸惑いも見られたが、「モデルを否定するという経験は授業の中でなかったので、とても衝撃的でした。」と述べた参加者もいた。このように ISLE アプローチの重要性を認識しながらも、カバーしなければならない内容の多さや時間的制限などの理由により、日本の高校・大学の授業で取り入れることの難しさを述べた参加者も多かった。

4. まとめと今後の展望

今回のワークショップでは、仮説検証型の活動を実際に体験することを通して、参加者の多くが新たな視点を発見した。現象の説明や計算が、教員が教えたようにできることを期待するのではなく、物理教育に求められているのは、物理学者のように考えることを促すことだ、と参加者は強いメッセージとして受け取った。その後、ISLE のアプローチが探究的な中学校授業の実践や教員研修につながって発展している。しかし、ISLE のアプローチを取り入れた授業実践をするには、まず教員が探究型の指導技術を獲得する必要があり、日本型の指導プログラムの開発が急務である。

参考文献

- [1] 文部科学省：高等学校学習指導要領解説【理科編、理数編】，2018 年
- [2] 文部科学省：新しい学習指導要領の考え方，2017 年
- [3] E. Etkina and A. Van Heuvelen, "Investigative Science Learning Environment – A Science Process Approach to Learning Physics," in Research-Based Reform of University Physics, edited by E. F. Redish and P. J. Cooney (American Association of Physics Teachers, College Park, MD, 2007)



図2 冷たいグラスについての水滴（エトキナ教授資料）

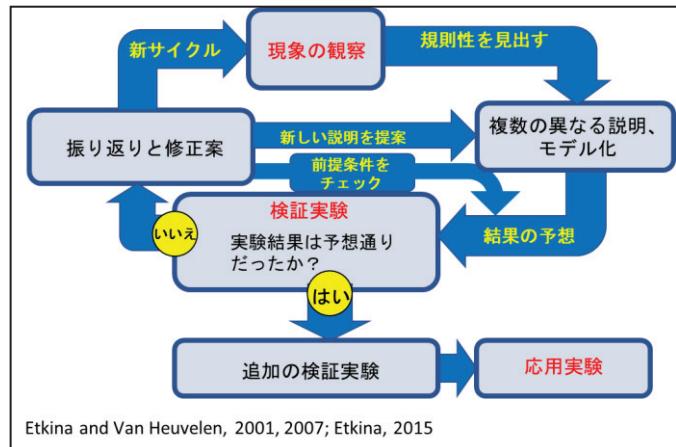


図3 探究的な理科学習環境を提供するプログラム (ISLE アイル) の過程 (和訳：土佐)

ドップラー効果の時間周波数解析による速度計測と教材化

A 鶴見拓哉, B 猪本修

A 西大和学園中学校高等学校, B 兵庫教育大学大学院学校教育研究科

ta.sumi@t.nishiyamato.ed.jp

1. はじめに

生徒自身が測定器具を組み立て、データを分析し考察するにあたって、ICT を活用することは有用である。著者らはこれまでに、生徒のディジタル端末を用いた力学・電磁気学 分野の実験教材を提案している [1]。

これまでにドップラー効果に関する生徒実験について、オシロスコープやパソコンなどを用いた実験装置が多数開発されてきた。しかし、装置が複雑であったり解析が難しかったりするため、生徒実験として取り組むことは容易ではなかった。そこで本研究では、可聴音のドップラー効果による速度計測を行う簡便な実験教材を開発した。

2. 方法

実験装置は、コンデンサーマイクとその增幅回路、A/D 変換器 (Digilent 社 Analog Discovery 2)、Windows 端末とその端末上で動作するアプリケーションからなる (図 1) [1]。アプリケーションは、WaveForms Software Development Kit (SDK), Python, Kivy を用いて開発した。



図 1 実験装置の概要

実験装置は図 2 のようであった。実験方法は、ブザーを取り付けた板を 2 本のタコ糸に吊るし、時計回りにねじって手を放した。これによって、ブザーを反時計回りに等速円運動させた (図 2)。回転するブザーの音をコンデンサーマイクで集音し、増幅した後 A/D 変換器を介して端末に取り込み、アプリ上で測定解析した。

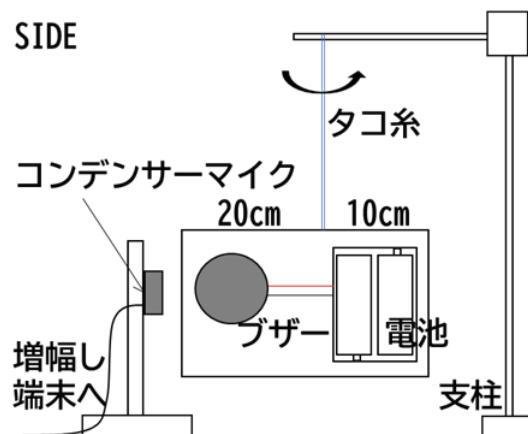


図 2 実験装置を横から見たときの模式図

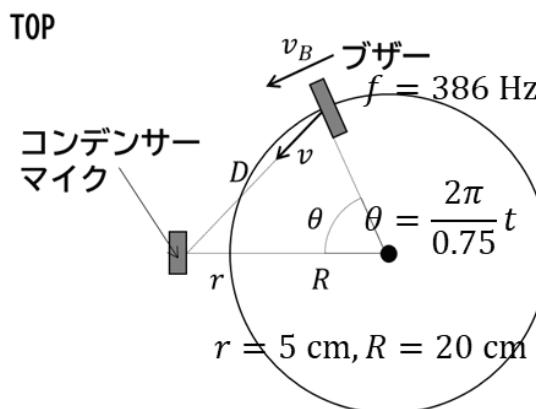


図 3 実験装置を真上から見たときの模式図

図 2 のように、円運動の半径を R 、コンデンサーマイクにブザーが最接近したときの距離 r 、コンデンサー円運動の中心に対するコンデンサーマイクとブザーのなす角を θ とした。このとき、ブザーとコンデンサーマイクの距離 D は、

$$D = \sqrt{2R(R+r)(1-\cos\theta) + r^2}.$$

これより、ブザーのコンデンサーマイク方向の速度 v は、ブザーの等速円運動する速度を v_B とすると、上記の距離 D を用いて、

$$v = \frac{(R+r)\sin\theta}{D} v_B.$$

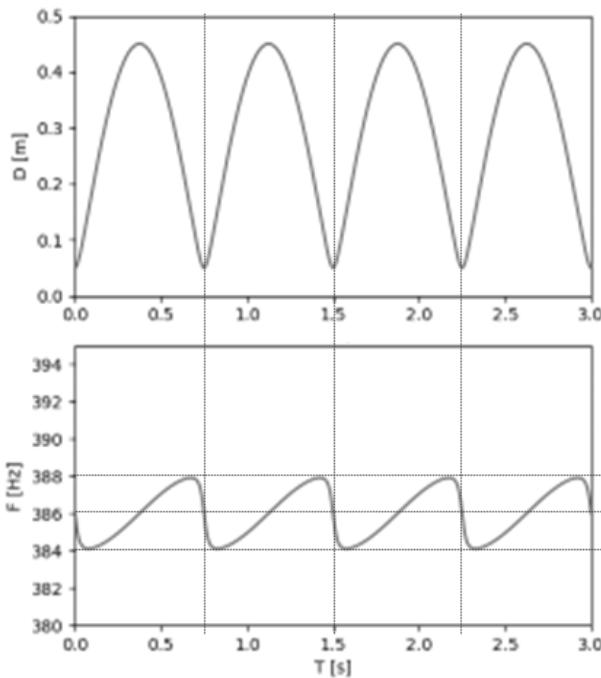


図 4 シミュレーションの結果

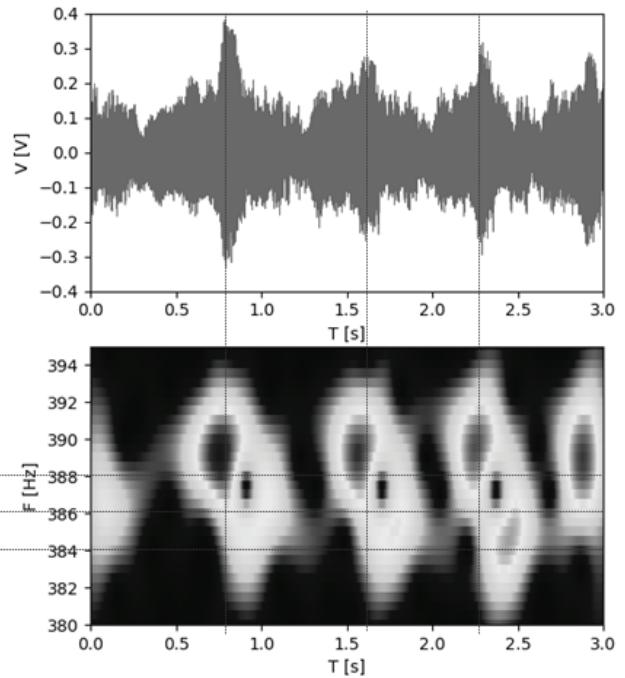
上：距離 D ，下：周波数 F 

図 5 実験結果

上：出力電圧 V ，下：周波数プロット

これらより、ドップラー効果によって聞こえる周波数 F は、ブザーの周波数を f 、音速を V とすると、上記の速度 v を用いて、

$$F = \frac{V}{V - v} f.$$

測定データに対する時間周波数解析は、ウェーブレット変換により行った。

3. 結果と考察

実験条件は、 $R = 20$ cm, $r = 5$ cm, $f = 386$ Hz であった。このとき、ブザーとコンデンサーマイクの距離 D とドップラー効果によって聞こえる周波数 F のシミュレーションの結果は、図 4 のようになった。最大周波数と最小周波数の理論値は、それぞれ 388 Hz と 384 Hz であった（表 1）。実験結果は、図 5 のようになった。上は、横軸が時間、縦軸が增幅されたコンデンサーマイクの出力電圧である。下は、

時間周波数プロットである。ただし、横軸が時間、縦軸は周波数（着目した周波数帯域）であり、カラースケールは時間に対するパワースペクトル密度の大きさに対応する。赤色ほどその周波数成分が多く含まれ、逆に青色ほどその周波数成分は含まれていないことを示す。図 5 より、最大周波数と最小周波数の測定値は、それぞれ 389 Hz と 385 Hz であった（表 1）。理論値との比較より、本実験系において、ドップラー効果による周波数変化を精度よく測定可能であることが分かった。

以上から本実験系を用いて、逆に周波数変化を測定することによって、精度よくブザーの速度を求めることが可能であると考えられる。講演では、異なる実験系において、車のクラクションのドップラー効果から車の速度を測定した結果[2]も報告する。

謝辞

本研究は、国立大学法人兵庫教育大学修了生・卒業生連携センターの助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 鶴見拓哉, 猪本修: 物理教育 70-1 (2022) 12-15.
- [2] 猪本修, 鶴見拓哉: 物理教育 (投稿中).

表 1 最大・最小周波数の理論値と測定値の結果

	理論値	測定値
最大周波数	388 Hz	389 Hz
最小周波数	384 Hz	385 Hz

両面異素材下敷きの開発と 10 年にわたる実践

海老崎功

愛知淑徳大学

iebisaki@asu.aasa.ac.jp

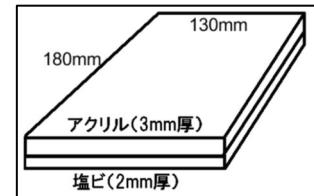
1. はじめに

静電気実験用に両面が異素材の下敷きを開発し、それを用いた実験授業を行ってきた。この器具は片面がアクリル板（以下、アクリル）で、布で擦ると正に帯電し、もう片面が塩化ビニル板（以下、塩ビ）で負に帯電する。初期の開発品は両方の素材とも無色透明であり、板の両端のみを接着することで板の間にアルミ箔や実験の資料等を封入することができる。この工夫により「電気くらげ」や「逆電気くらげ」だけでなく、平行板コンデンサの実験も簡単に行えるようにした。この器具を今年度（2022 年）大学の授業で用い、小・中・高・大すべての実践が整ったので報告する。

2. 工夫のきっかけ

2005 年に東レ理科教育賞（奨励作）を受賞した「静電気の引力斥力の実験」の開発が、この実践の原点となっている。これは中学理科教科書にも掲載されている「電気くらげ（ポリエチレンのひもで作ったクラゲ様のものを負に帯電させ、同じく負に帯電した塩ビ管などの反発で浮かす）」が、面白実験で終わるおそれがあったものを、逆に静電気の引力を使って吊り下げ型で浮かすタイプを考案し、静電気を深く考察できるようにしたものである。ある時は反発して浮き、またある時は引力のために吊り下げ型の浮遊とするにはアクリルと塩ビを使う。ひもをアクリルの上に置いてティッシュ等で擦ればひもは負に帯電し、塩ビの上に置いて擦ればひもは正に帯電する。

次に、「電気くらげ、逆電気くらげ」の実験が容易にできる器具を開発し、教員研修などで体験してもらう実践をおこなった。アクリルと塩ビの同サイズの板を両面テープで貼り合わせ、2 枚重ねのプラ板を作ってもらい、様々な静電気実験にチャレンジしてもらうという教員研修を京都市（2007 年）や福井県坂井市（2009 年）等で実施した。

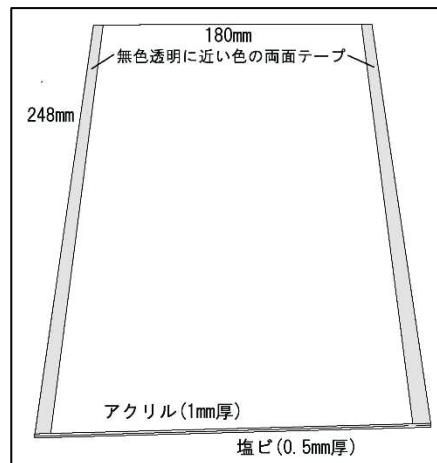


この 2 枚重ねのプラ板は、 $180 \times 130\text{mm}$ の白色アクリル（3mm 厚）と白色塩ビ（2mm 厚）を両面テープ（板の四隅 $10 \times 10\text{mm}$ の部分のみ）で貼り合わせたものである。電気くらげ、逆電気くらげ、アルミ箔コンデンサや静電気ベルの絶縁台など多用途に使用できる。また、四隅を両面テープで仮止めしているだけなので、表面が大きく傷ついた場合は剥がして裏返し、再度両面テープで貼り付ければ長く使用できる。これを「多用途下敷き」と名付けた。

3. 両面異素材下敷きの作製

多用途下敷きを使っていくつかの実験をおこなったが、アクリルが高価なため大きな面積のものを大量につくるのが難しく、電気くらげができる最低限のサイズにしていた。そのため、多用途といつても「電気くらげ」「逆電気くらげ」「静電気ベルなどの絶縁台」などに用いる程度であった。また、上の実践では 2~3mm 厚の板を貼り合わせたためにふつうにノートに挟んで使う「下敷き」という発想はなかった。しかし、2010 年にプラスチックメーカーに問い合わせて、種類は白色または無色透明に限られるが 1mm 厚のアクリルが入手できることがわかり、ふつうの下敷きに応用でき

ると考えた。文房具の下敷きとして応用できれば、実験器具として場所を取らずに保管でき、しかも大量生産することによって安価にできないかと考えたからである。そして日常使っている下敷きで「髪の毛をくっつける」だけではない、本格的な静電気実験が数種類できることになる。塩ビは0.5mm厚程度のものが簡単に入手できるため、これらで試作品を作ることにした。下敷きの色については、「両面とも白色」「表が白色、裏が透明」「両面とも透明」のパターンを考えた。試作にあたって、実際に小中学生の意見を聞いたところ、「ノート用の下敷きとして使いやすいのは両面とも透明」ということであった。その理由として「下敷きの下が見えると学習しやすい」「風で飛びやすいプリントの上に置いて見ることができる」など、複数の具体例をあげてくれた。また、「下敷きの中に紙がはさめる」というアイデアから、左右のみ両面テープを使用した試作品が完成品した。この特注素材を100セット分注文したところ、1セット当たりの材料費は500円程度となった。この程度のロットだとまだ高価であるが、以前の「多用途下敷き」と比較すると同面積あたりの価格は半分程度になった。



4. 市販品について

大量生産すると1枚あたりの価格が安くなると考え、実際に教材メーカー（ケニス株式会社）と協力して開発を進めた。その際、プラスチックメーカーから「貼り合わせ面が見えない有色のものを利用すること」を薦められた。したがって、1mm厚の透明アクリルと0.5mm厚の白色塩ビを用い、全面接着する方法を考えた。これだと見栄えも良く、また、厚みだけでなく、色により素材が確認できる。前に書いた「透明下敷きの利点」はなくなるが、まずはこれで製品化することになった。そして、2011年5月頃よりカタログに載り、「発電板」として市販されるようになった。

5. 両面異素材下敷きを使った実践（一例）

- ①2011年3月（北陸電力科学館）小学校高学年から中高校生、小中学校教員、科学館職員など計70名参加。試作品を使用した静電気実験を初めて実施。再現性や安全性などのデータを採取した。
- ②2011年7月（京都市中学校研修会）中学校理科教員60名以上が参加。
- ③2013年1月（京都市小学校研修会）コンデンサを指導することへの不安がある教員を中心に小学校教員18名が参加。両面異素材下敷きを使って平行板コンデンサの実験等を体験した。
- ④2013年8月（青森県高等学校研修会）実際にコンデンサを指導したことがある高校物理教員18名を含む21名が参加。本実践の一部を体験してもらった。
- ⑤2013年11月～（京都市立西京高等学校附属中学校）2年生120名を対象に授業で実施。
- ⑥2016年4月～（京都市立西京高等学校）3年物理選択者を対象に授業で実施。
- ⑦2022年6月～（愛知淑徳大学文学部教育学科）理科教育ゼミや初等理科の授業で実施。

参考文献

- [1]海老崎功、逆電気くらげ、物理教育学会誌 VOL. 53NO. 4、物理教育学会、pp. 323-325、2005
- [2]海老崎功、静電気の引力斥力の実験、東レ理科教育賞受賞作品集第37回、pp. 24-27、2006

リゾチームの結晶化を用いた探究型実験テーマの設定

武藤 梨沙

東邦大学・理学部

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

1. はじめに

多くの理系学部では、1年次から3年次に基礎から専門に至るまで複数の実験実習科目が設定されている。それらは、予め実験手順が示されており、実験結果が1つに決まるものが多い。そのため、学生は、実験の内容を把握していくなくても実験を行うことができ、結果を得ることができる。私は、基礎科目、専門科目の実験実習を担当ってきて、学生にとって実験は単なる作業になっており、学生の教育的指導ができていないと感じていた。また、レポートの考察では、「理論値と同値を得た」「実験が成功した」などが散見されており、自らの考えを書くことができていないものが多いと感じていた。これらを改善するために、実験手順にある程度の自由度を持たせたテーマを選定することで、学生の積極性を引き出し、レポート内容を向上させることができるのでないかと考えた¹⁾。

2. 実験テーマの選定

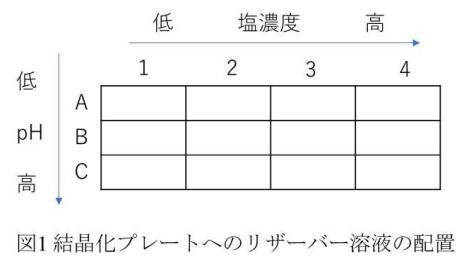
2021年度前期に、私が担当していた専門科目の実験において、実験開始前に考察に対する調査を行った。その結果、約70%の学生が考察を書くことが苦手であると回答した($n = 27$)。2021年前期の実験内容を一部変更し、「学生に興味のある事象を探させ、その事象の数値を収集し、結果から今後の推移をシミュレーションさせる」という探究型の実験テーマを設定した。実験終了後に実施したアンケート結果とレポートの考察内容から、学生主体でのデータ取得と分析を行う実験テーマでは、自分の言葉で考察を書くことができるという結果を得た¹⁾。この結果を踏まえ、2021年度後期では、「タンパク質の結晶化」を新たに実験テーマとして導入した。タンパク質の結晶化を行うために必要な実験試薬を提示し、それを学生自身に選定させ、得られた実験結果をもとに、単一結晶を得るためにリザーバー条件をどのように変更すればよいのかを学生に考えさせた。実験テーマの効果を比較するために、従来の実験テーマ「浸透現象シミュレーション」も行った。これは、コンピューターを用いてフラクタル次元を求めるというものである。

3. 実験の概要

卵白由来リゾチーム(100 mg/mL)を材料に、結晶化条件を探索し、単一結晶を得ることを目的とした。タンパク質の結晶化は、タンパク質試料と結晶化試薬(リザーバー溶液)を混合することで行われる。タンパク質は、リザーバー溶液に含まれる沈殿剤や高濃度の塩によって、試料の溶解度が下がり、pHや温度などの条件が揃うと結晶となる。本実験では、pHの異なる緩衝液を11種類、塩を2種類、沈殿剤を2種類準備した(表1)。結晶化方法は、シッティングドロップ蒸気拡散法を用いた。結晶化の実験は、3日間に分けて行った。1日目は、リザーバー溶液の作製および結晶化を行った。2日目は、結晶観察を行い、その後、単一結晶を得るためのリザーバー溶液の条件を考え、再度結晶化を行った。3日目は、結晶観察を行い、結果をまとめる日とした。1日目に作製するリザーバー溶液は、沈殿剤と塩を1種類ずつ、緩衝液を3種類選ばせた。そのうち、沈殿剤は濃度を固定し、塩の濃度を4条件設定し、合計12種類のリザーバー溶液を作製させ、グリッド状になるように結晶化プレートへ充填した(図1)。

表1 結晶化に用いたリザーバー溶液

リザーバー溶液	種類
緩衝液	酢酸ナトリウム緩衝液 (pH3.6, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5) MES-NaOH (pH6.0, 6.5, 7.0) Tris-HCl (pH7.5, 8.0, 8.5)
塩	NaCl, NH ₄ (SO ₄) ₂
沈殿剤	グリセロール, 2-propanol



4. 結晶化の実験結果

以下に学生が作製した結晶化ドロップの例を示す。最適な結晶化条件が見つかれば、結晶化を初めて行う学生であっても単一の結晶を得ることができた(図 2A)。1 回目の結晶化で図 2B のように結晶ができていない場合や沈殿が生じていた場合は、沈殿剤や緩衝液の pH をどのように変更すれば結晶が得られるのかを考えさせた。結晶が多く生じた場合や結晶にひびが入っていた場合も同様に、リザーバー条件の変更を検討させた。

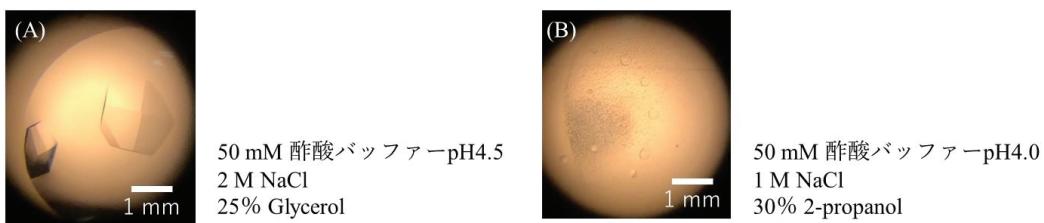


図2 結晶化ドロップの例

5. 考察の評価

学生のレポートの考察について、過去の文献の一部を改変し、次の 5 つについて評価した^{1, 2)}。①～⑤について、満たしている場合は 1 点、満たしていない場合は 0 点として、受講生 21 人のレポートを 0 点から 5 点で数値化した。

- ① 実験結果や事実をもとに自分の考えを記述しているか。
- ② 具体的な理由・根拠を挙げて考えを記述しているか。
- ③ 結果と考察が矛盾していないか。
- ④ 参考文献を調べ、その内容と実験結果を比較して考えを記述しているか。
- ⑤ 感想、反省、気持ちが混ざっていないか。

結晶化の実験では、80%以上の学生が①、②、⑤を満たしており、平均点は 3.5 であった。④を満たしていた学生は 2 人で極端に少なかった。参考文献を引用している学生は多かったが、ほとんどは実験結果と結び付けられていなかった。この点は、今後のレポート指導で改善すべき点である。いっぽう、浸透現象シミュレーションの実験では、①が約 47%、⑤が約 62%にとどまり、平均点は 1.6 となった。これらの実験を比較すると、探究型テーマのレポートは、内容量と質ともに向上することがわかった。今回行った結晶化の実験のように、学生自身が能動的に実験に関われるような実験テーマの設定は、学生の思考力を伸ばす上で重要であるといえる。

参考文献

- [1] 武藤梨沙「大学生の実験科目における考察の現状と課題」九州の物理教育, Vol.7, 32-33 (2022)
- [2] 飯田寛志, 後藤頤一「中学校理科実験における考察記述の論理的表現に関する一考察-相互評価表を用いた授業実践を通して-」理科教育学研究, 251-266 (2019)

新型起電機の開発

秋山和義

元兵庫県立神戸高等学校

quork@kba.att.ne.jp

1 はじめに

起電機とは電荷に力学的仕事を加えて、コンデンサーに、積算的に静電エネルギーを蓄え、高い電圧にする装置である。今度、新たに誘導型の起電機を開発した。その原理は静電誘導によって2枚の金属円盤に正負の電荷を誘導・分離した後、引き離すことで力学的仕事を加えて静電エネルギーを高めてコンデンサーに蓄える方法である。コンデンサーに電荷を蓄えるにしたがって電圧も上昇する。この起電機によって正と負の電荷を同時に蓄えて外部に供給できる。電圧は通常の状態で5千~5万V程度、好条件ときには最大6万V以上にも達する。この起電機を用いて得た高電圧を、球ギャップの火花放電を用いて測定でき、新たな静電気の実験ができるようになった。本起電機自体が静電エネルギーを理解するための教材になるだろう。

2 新型起電機の原理と構造

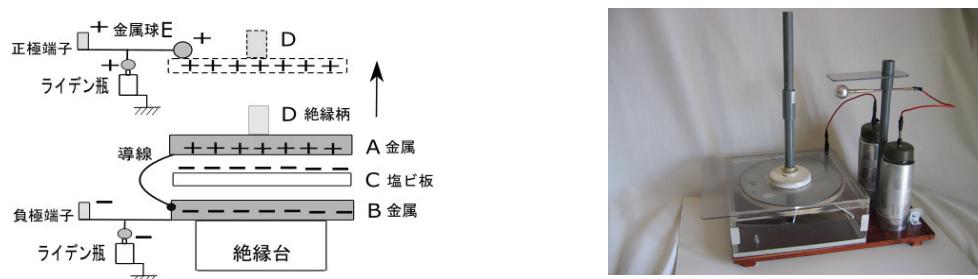


図1 静電誘導で分けた正負の電荷を引き離して電位差を大きくする

図1のようにあらかじめ紙で摩擦して塩ビ板Cの上面に負電荷を与え、塩ビ板を金属板A、金属板Bを導線で接続してはさむ。すると静電誘導によってAには正電荷、Bには負電荷が現れる。導線はBには固着してあるがAには固着せずに接触させている。絶縁柄Dを手で持ち上げて、ライデン瓶をつけた金属球EにAを接触させるとAの一部の正電荷がEに移りライデン瓶が充電される。ライデン瓶の極板は正の電位となり起電機の正極となる。この操作を繰り返すと段階的にライデン瓶の電荷が増大し、電位も上がる。そのとき、EB間の電場が強くなるので金属板Aが金属球Eに接触するとき、常にEの電位よりAの電位が高くなりAの正電荷が一部Eに供給される。すなわちE、B間の電圧が上がってもそれに応じて電荷を汲みあげることができる。図1の金属板Bもライデン瓶に接続して、操作ごとに負の電荷が供給され負の電位が大きくなるので負極とする。これは電荷保存則から明らかである。この操作では正、負電荷は同時に供給され、正負極の電圧はE、B間の電位差であり塩ビ板Cの”電位”（不導体のゆえ等電位ではない）は無関係である。最大極間電圧はライデン瓶の耐電圧またはコロナ放電で失われる電気量と、汲み上げる電気量のつり合いで決まる。

図1写真の金属板A、Bは半径10cmまたは14cmの円盤、Aは高さ20cmの幅を上下させる。Cの塩ビ板は厚さ3mmであり、ライデン瓶は直径6.5cm、長さ20cmのpet樹脂円筒容器で、内側と外側にアルミ

ホイルを張りつけたものである。

3 新型起電機と球ギャップによる電圧の測定

本起電機はコンデンサー（ライデン瓶）を備えており、球ギャップによる火花放電を用いた電圧測定が可能である。放電電圧とギャップの関係は、既知の資料^[1]より球径 3.2cm に補正して得た値を元に近似曲線式から、Kv 単位の詳細な表を作つて求めた。起電機の往復回数と電圧の関係を 1 万 V 単位で次の図 2 (表) で示す。球ギャップの測定は図 (3) のようなゲージを作つて行う。なお有効数字は 2 桁とみなす。

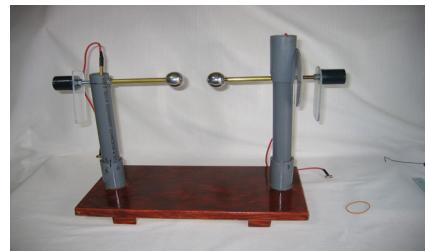


図 2 放電球ギャップ

往復回数 (回)	12(8)	27(15)	45(28)	67(36)	96(56)
放電電圧 (V)	10000	20000	30000	40000	50000
ギャップ(mm)	3.0	6.0	10.0	13.5	18.0

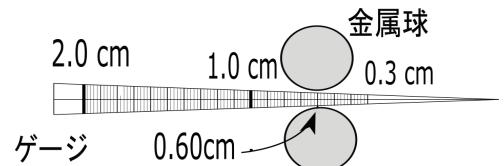
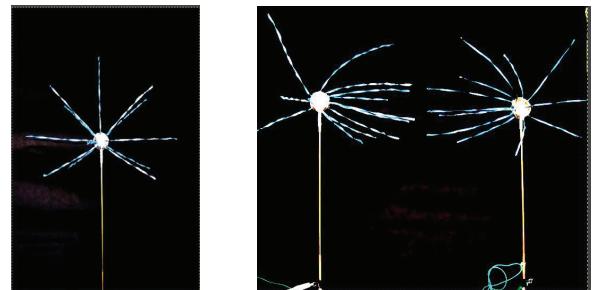


図 3 表は球径 3.2cm の球ギャップの火花放電間隔と電圧、往復回数の関係で、往復回数の () 内の値は円盤 A の半径が 14cm ときの値で面積が 2 倍になると回数は半減する。往復回数には数回のバラツキがある。それは接触面が常に同じではないこと、また、塩ビ板 C の帯電状態が異なることにもよる。

静電気の実験で本起電機を用いるときは球ギャップを設けることで、電圧を確認または制御することができる。例えば箔検電器の開き角に応じた電圧の測定ができる。

4 起電機を用いた実験例

起電機を用いて大型の静電モータを回すこと、長さ 50cm の箔検電器を開かせることなどの演示実験ができるが、一例として図 3 のような力線のモデルの演示実験を示す。コンデンサーを付属させると 30 分程度は維持できる。箔の長さは 15cm、双極子の間隔は 30cm である。



5 おわりに

図 4 点電荷と双極子の立体力線モデル

本起電機を用いることで、静電エネルギーが力学的仕事から得られる過程を知ることができる。単なる摩擦電気による実験では静電エネルギーが作られる過程が不明瞭で、摩擦力に対する仕事が静電エネルギーになるとの誤解さえ生まれる。また箔検電器の箔が開き、静電モータが回る現象を静電気力だけで説明するのは不充分で、エネルギーの供給を考える必要がある。雷の大きなエネルギーは摩擦または誘導で生じた電荷に上昇・下降気流が行う力学的仕事がその由来であろう。本起電機は静電エネルギーの理解にも役立つと教材になると考える。

参考文献

- [1] ムーア 「静電気の話」 初版 (河出書房, 1977) p240

物理の授業にもっと Excel ソルバーを使いましょう

室谷 心

松本大学大学院総合経営研究科

muroya@t.matsu.ac.jp

1. はじめに

Microsoft Excel には、ソルバーと呼ばれるアドインプログラムがある。経営学でいう what-if 分析のツールで、ある条件下で目的関数の値を最大化したり最小化したりするような変数の組を、数値的に求めるツールである[1]。高校の商業科の分野では、全商情報処理検定 1 級の範囲に含まれている[2]。情報科では、「『情報II』教員研修用教材第 3 章主成分分析のところで紹介されている[3]。経営学の分野ではよく知られたアドインであるが、物理の授業での活用例はいまだあまり多くはないようなので、ここで紹介したい[4]。

2. 準備と使い方

ソルバーは Microsoft Excel のアドインプログラムで、デフォルトの状態では機能していない。オプションのメニュー（図 1）から追加することで、データタブの分析メニューに追加される。

ソルバーを起動すると、パラメータ設定ウィンドウが出てくる（図 2）。目的セルが最大化や最小化をしたい評価関数の入っているセルである。変数セルが、最適解を与えるパラメータセットのセルで、複数のセルを指定できる。制約条件の対象の部分には、変数間の制約や拘束条件を設定する。整数制限や非負制限もここで行うことになる。解決方法はパラメータ検索の逐次法のアルゴリズムと、収束条件の設定である。

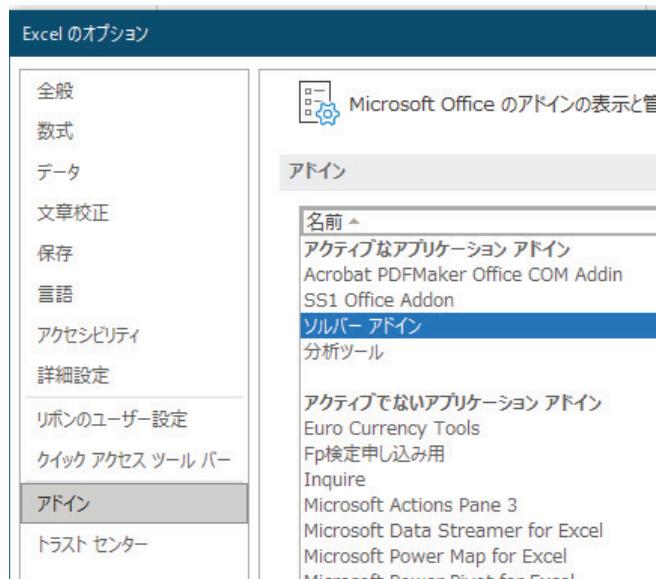


図 1. オプションのアドイン追加メニュー

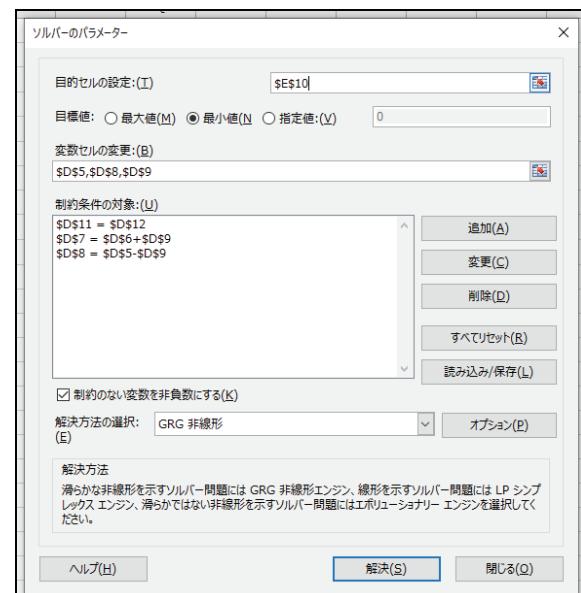


図 2. ソルバーのパラメータ設定ウィンドウ

3. 使用例

ICT 機器の普及で、実験のデータ処理に Excel を使うことが多いのではないかだろうか。Excel は簡単に測定点をプロットしてくれて、近似曲線まで描いてくれるが（図 3），授業ではパラメータの

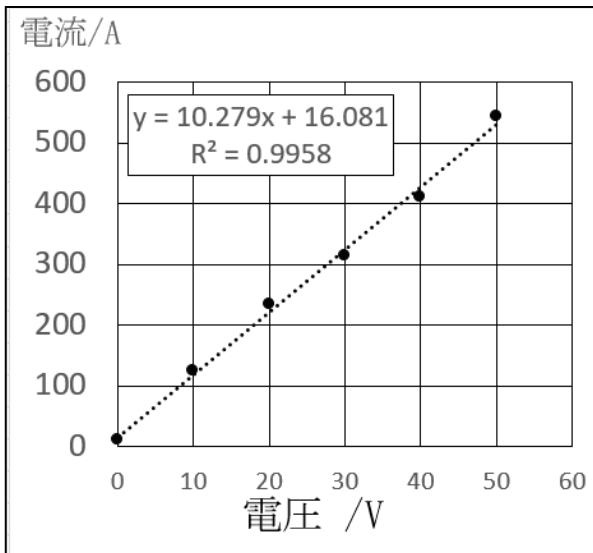


図 3. エクセル近似曲線の例

A	B	C	D
切片	傾き	近似曲線と の差の2乗和	実測値の偏 差の2乗和
1 16.08108	2 10.2791	3 781.324797	185686.366
		R^2	0.99579223

図 4. 近似曲線の設定セル

決め方や近似の精度である R^2 の説明に苦慮するのではないだろうか。最小二乗法の原理に則ったセルを用意し、例えば変数セルとして図 3 の(A2:B2), 最小とする目的セルとして C2 を指定してソルバーを動かせば、グラフに作られた近似曲線の切片と傾きが求まり、 R^2 の確認も可能となる[1]。つまり微分を使う計算の代わりに、ソルバーで最小二乗近似曲線を求め、近似の精度の確認も可能である。さらに数値的な実験として近似曲線の切片や多項式近似の次数、指數関数や対数関数の利用などの考察も可能である。

4. 発展的活用

微分方程式の問題を積分形にして極大・極小問題として扱うといえば、だれでも思いつくものとして作用積分の変分原理による力学の問題がある[5][6]。また、電気回路の問題も発熱量最小の法則から解くことも可能である[7]。通常の授業の枠内でこれらの問題を扱うのは難しいと思われるが、“探求”であったり、“情報IIのデータ分析”的枠を利用すれば、ファインマン物理学[8]にあるような、学習者の視野の拡大にもなるのではないかと期待している。

ソルバーの中身である「解決方法」の部分は“謎の部分”として残ることになるが、変数と目的関数の部分はセルに式で埋めるので、ICT 機器の積極的な活用が推奨されている中で、ブラックボックスになりすぎない数値的扱いのツールとして、ソルバーを物理の授業で使ってみてはいかがでしょうか。

参考文献

- [1] 荻田正雄, 上田太一郎, 中西元子：“最適化の実践らくらく読本”，同友館（2006）。
- [2] 公益財団法人 全国商業高等学校協会：“情報処理検定試験出題範囲”，
<http://www.zensho.or.jp/puf/download/exam/range/info.pdf>（2019年10月17日閲覧）。
- [3] 文部科学省：“高等学校情報科「情報II」教員研修用教材”，
https://www.mext.go.jp/content/20200702-mxt_jogai01-000007843_004.pdf。
- [4] 室谷心：“情報の授業にもっとソルバーを使いましょう”，日本情報科学会第13回研究会報告書，pp9-12(2019)。
- [5] 室谷心：“Excelを使って変分原理を教えよう”，応用物理学会，物理教育に関するシンポジウム第17回（みやじま杜の宿）予稿集，pp8-17（2006）。
- [6] A. ゾンマーフェルト：“力学”，講談社（1969）。
- [7] 青野修：“合成抵抗”，大学の物理教育，19, pp101-102（2013）。
- [8] R.P. ファインマン：“ファインマン物理学 III”，p275, 岩波書店（1969）。

対話型力学授業における学生の疑問

栗田和好

立教大学理学部

k_kurita@rikkyo.ac.jp

1. はじめに

大学で学生たちが物理学を学ぶ意義はその学修を通して科学的に考える力を身につけることにあると考えている。それには物理学を学ぶプロセスにおいて自ら疑問を持ち、それを乗り越えるために様々な対話を主体的に行い、深い理解に到達する経験を積むことが重要である。

そこで、これまで初年次春学期の必修授業において、対話型授業を実践してきた。その形態は基本的に反転型の授業である。ビデオ教材の代わりに教科書の指定範囲を読んでもらい、理解する努力をしたうえでWEB上の問題を予習に課す。その問題の最後には必ず予習時に生じた疑問や質問を書かせることにしている。授業時間にはそこに現れる共通な疑問点について議論に向かないものは教員のコメント加え、議論によって理解が深まると考えられる疑問については3~4名程度のグループで討論を行わせる。授業の最後にはその回に学んだ内容のまとめとグループワークでも解決しなかった疑問について記述させ、未解決問題をすくいあげている。

2. 疑問のパターン

2017年度から担当している初年次春必修科目力学1は今年で6年目を迎えた。その6年間、同じ教科書を使い、同じ予習課題を課したところ学生から出てくる疑問が毎年ほぼ同様のパターンを示すことがわかってきた。再履修者の割合は全履修者数の1割に満たないので、毎年異なる受講生達であるにもかかわらず、出てくる疑問の上位は驚くほど固定している。その疑問の多くは高校数学、物理において公式の示す意味を理解せずに使ってきた弊害と思われるものである。例えばベクトル概念の欠如、微分積分の意味の不理解、数学と物理の専門用語の読み違いや読み飛ばし、数式の新たな表記に対する戸惑い、定義に対する疑問、空間イメージが不得意などである。

大学の初学者向けの新しい教科書は疑問が生じないように、事前に丁寧な説明を加えわかりやすさを追求している傾向が強い。しかし、教科書を読む学生からの反応を見ると、わかりやすい説明を事前に用意するよりも、つまづきに対する葛藤を生む新たな問い合わせにより、格闘の上に獲得された理解こそ学生の思考力の鍛錬になると感じている。

3. まとめ

学生のつまづきを知ることにより有効な働きかけを事前に計画することが可能である。そのような支援によって獲得される深い理解へのアプローチは学生が科学的思考力を身に着けるよい機会となる。より多くの科目においてそのような学生の疑問をデータベース化できればその可能性は広がっていくであろう。

参考文献

- [1] Eric Mazur et al., “Interactive Teaching DVD”, Derek Bok Center ed., Addison-Wesley, Boston, 2006.

バネ付き振り子の作製とブランコと力学での仕事

後藤信行

長崎大学 Jr.Dr 育成塾

yp582885@rg8.so-net.ne.jp



図1 バネ付き振り子

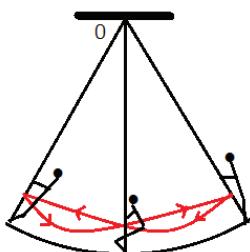


図2 ブランコ

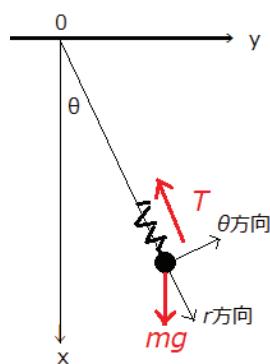


図3 極座標表示

図1のように、重りとバネを用いてバネ付き振り子を作った。これを固定点から吊るし、鉛直に静止した状態から、重りを真下に引っ張って放すと、一般に重りは上下方向に一定の振幅で振動する。しかし、糸の長さを変えながら、重りに同様な運動を与えると、適当な長さでは、上下振動が減衰し始め、その分、振り子の揺れ振動が生じて、それが増幅する。その後、連成振動のように二つの振動が交互に生じる。つまり、一方の振動が最大になり、他方の振動が止まると、止まった方の振動の位相が反転し、今度はその振動が増幅し、それにつれ、最大となっていた振動が減衰を始める。通常の連成振動では同じ長さの二つの振り子が同じ周期で交互に振れるが、バネ付き振り子では、二つの周期比が1:2のとき美しい連成振動が出現する。

筆者は中学生のとき、理科の時間に連成振動子を見て大いに興味を持ったが、通常の連成振動子とともにバネ付き振り子を小中学生に作らせれば、その運動を観察し、なぜかと考えるだけでも有意義であろう。もし、物理を履修した高校生が対象なら、ブランコの原理を説明する手助けにバネ付き振り子の連成振動が役に立つ。最初にバネを下に引っ張ったときにバネに蓄えられたエネルギーが、上下振動から揺れ振動に移り始めると、エネルギー保存則から上下振動の振幅は小さくなる。しかし、図2のようなブランコでは、上下方向の振動に人の筋力からエネルギーが絶えず補給されるので、上下方向の振動が減衰することなく揺れ振動を増大させることができる。さらに対象が大学生なら、計算ソフトを用いてバネ付き振り子の動画を作成することもできよう。図3のように質量mの重りの座標を極座標(r, θ)で表すと、 r および θ 方向の運動方程式は、(1)式： $m(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) = mg \cos \theta - T$ および(2)式： $m(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}) = -mg \sin \theta$ となる。 T は重りに働く張力である。糸の長さとバネの自然長の長さの和を l 、バネ定数を k とすると、伸びと張力は比例するので、さらに(3)式： $k(r - l) = T$ が付け加わる。(1)～(3)式は、 r と θ および T の三つを未知数とする3元連立方程式であり、あとは計算ソフトに任せれば三つの未知数を時間の関数として計算し実験結果を再現してくれる。

図3において張力 T は、その作用点は天井の0点だから、作用点の動かない束縛力であるが、我々は力が束縛力か否かを気にせず、運動法則に基づいて運動方程式を作る。重りが横ブレせず、上下にのみに振動する場合、単なる

バネ振子となり、また横揺れだけでバネが伸び縮みしなければ単なる振り子である。どちらの場合も張力は重りに働き、その大きさも変化しているが、運動方程式には現れず仕事をしない。しかし、両者の結合系であるバネ付き振り子では、張力がエネルギーを創り出さないことに変わりはないが、張力を通してバネ振子と振り子の運動とが相互作用をしている。張力 T は(1)式に現れているのは明らかだが(2)式にも現れている。(3)式から $\dot{T} = k\dot{r}$ となり、 \dot{r} に姿を変え、(2)にも \dot{T} が含まれる。張力は動径方向と変位角方向の二つの運動に関わることによって、一方の運動に負の仕事をし、他方に正の仕事をして、系全体のエネルギーを保存させながら、二つの運動間のエネルギーの移動を制御している。

バネ付き振り子のバネはエネルギーを創出できないが、バネの代わりに人が乗っているブランコでは、人の筋力が仕事をして力学的エネルギーを生み出している。筋力が人の屈伸運動に対して仕事をし、ブランコを吊るしている鎖の張力は人の屈伸運動に負の仕事をすると同時に揺れ振動に正の仕事をすることによって揺れ振動が増大する。

力学の唯一の基礎理論は運動法則を基本原理とするニュートン力学であるが、40 年程前にアメリカで発表された論文¹⁾は、「車の駆動輪が道路から受ける抗力はその作用点が動かないで仕事をすることができない。車の並進運動のエネルギーは、抗力による仕事ではなく、Pseudowork による。」という。しかし、Pseudowork 論文は、力学での仕事を熱力学での仕事と取り違えているため、運動法則から始まらず、エネルギー保存則と Pseudowork とから始まるドンブリ勘定の力学になり、その結果、車のエンジンが創り出した力学的エネルギーが、どのようにして並進運動のエネルギーなるかを説明できず、Pseudowork なる得体の知れない仕事を導入せざるを得なくなっている。芥川文学のカンダタが、蜘蛛の糸を登るときも、カンダタの筋力が創りだしたエネルギーでカンダタは変形運動をするが、変形運動から並進運動にエネルギーが移動するのも、蜘蛛の糸の張力が、カンダタの変形運動に負の仕事をし、同時にカンダタの重心を引き上げるのに正の仕事をするからである²⁾。

高校物理教科書の力学の章には、物体に力が働き、物体が変位したとき、力が物体の運動になした仕事は、力と物体の変位との内積と定義されている。しかし、束縛力と仕事に関して、物理学会と物理教育学会からの返答は、「初心者向けに易しく簡潔な記述が求められる教科書では、物体と書かれても、物体一般に対する仕事の定義ではなく、物体を質点に限定したときの仕事の定義だと解釈しなければならない。物体一般に対する仕事の正確な定義は、力とその作用点の変位との内積であり、束縛力は作用点が動かないで仕事をしない。」とのことである。物事を定義することの必要性は、他と明確に区別することによって混乱を避けるためである。物体と書かれてもそれを質点と解釈しなければならない定義に意味がないことは力学以前の問題であろう。

運動法則を基本原理とする力学に、物理教科書の仕事は適用できないのだろうか。力学にも、エネルギー保存則を基本原理とする熱力学の仕事を適用して束縛力のする仕事を排除すべきだろうか。束縛力が仕事をしてもエネルギー保存則に反しない。ニュートンの運動法則は、作用点の変位の有無で力を区別していない。運動法則に則った仕事は、力と物体の変位の積であり、作用点の変位とは無関係でなければならない。バネ付き振り子は、広く小学生から大学生までの力学授業にとって有用な教材であるだけでなく、その運動は束縛力のする仕事の可否を巡る力学の根源的な問にも明確に答えていよう。

1) Bruce Arne Sherwood, Pseudowork and real work : Am.J.Phys.51(7),597-602,July1983

2) 後藤信行、「蜘蛛の糸」仕事をしたのはカンダタの筋力か？：日本物理学会誌,71卷(2016)2号

ばね定数の動的特性

増子 寛

元 麻布高等学校

masukohiroshi@gmail.com

1. はじめに

図1のように、スマートカート^{*)}の力センサに単一ばねを取り付け、ばねの反対側の端を固定して、いわゆる片持ちはねでカートに単振動をさせる。カートの力センサでばねがカートに及ぼす力を、カートの位置センサから、カートの変位、速度、加速度、を同時に計測して表示させることができる。また、カートの変位に対して、ばねがカートに及ぼす力を表示させると、その傾きから図2のようにばね定数 k が計測できる。ここで計測できるばね定数には、カートを静かに変位させたときに求まる値 k_s （静的ばね定数）と、カートを単振動させたときに求まる値 k_d （動的ばね定数）とが存在する。 k_s と k_d の存在をどう考えるのか、本稿では、ばねの質量の影響として考察した。カートの質量を一定にしてばねを変えることができれば、振動数のみに対する効果を検証できるが、本稿では行っていない。

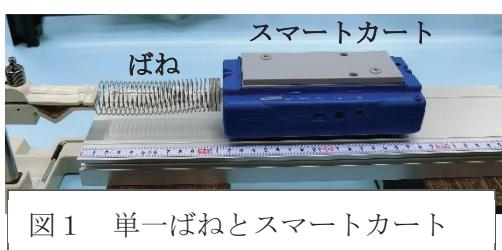


図1 単一ばねとスマートカート

2. k_s と k_d の差

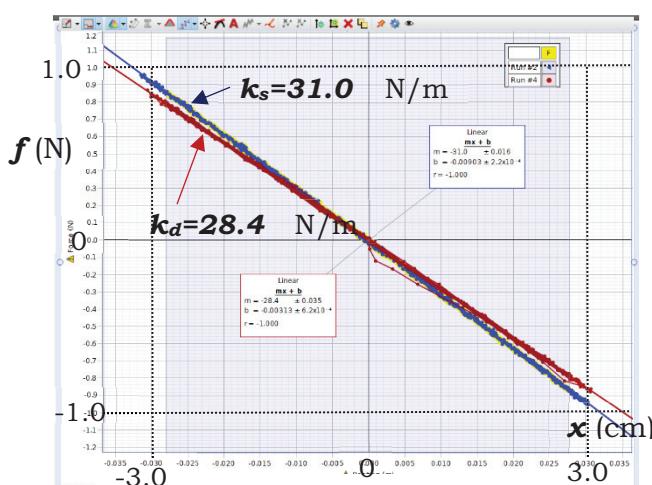


図2 k_s と k_d の違い

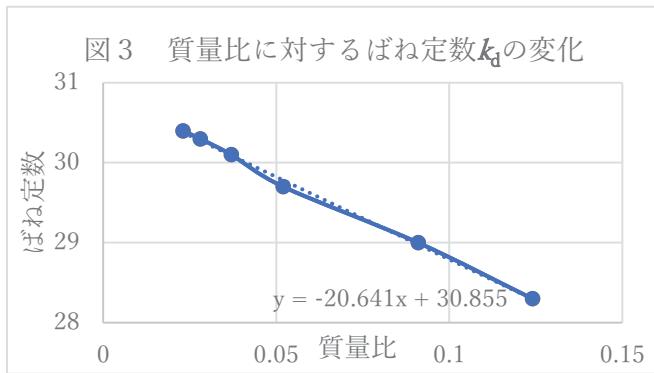


図3 質量比に対するばね定数 k_d の変化

図2は、カートの質量を 0.2514 kg としたときの、静かにばねを変位させた時と単振動をさせた時の、カートの変位 x に対するカートの力センサの表示値 f のグラフである。グラフの傾きから k_s は 31.0 N/m、 k_d は 28.4 N/m と読み取れる。カートの質量を変えてそれぞれ単振動をさせ、 k_d を測定した。それらの測定値を、ばねの質量 m とカートの質量 M との比を横軸にとってグラフにしたもののが、図3である。カートの質量を変えることは、同じばねを使っているので、振動数を変えることでもある。ただし本稿では、ばね定数の違いをばねの質量の影響として考えたので、振動数への言及はしていない。もちろんカートの質量を変えた場合でも k_s は同じ値である。

グラフを測定範囲に限定して直線で近似すると、質量比 $m/M=0$ では $k_d=30.9$ N/m となり、 k_s に近い値となる。質量比 0 とは、ばねの質量が 0 か、カートの質量が無限大かのどちらかである。

*) Pasco 社製(販売島津理化)力センサと距離センサを搭載した台車。ブルートゥースでデータを送信。

3. ばねとカートに作用する力の関係

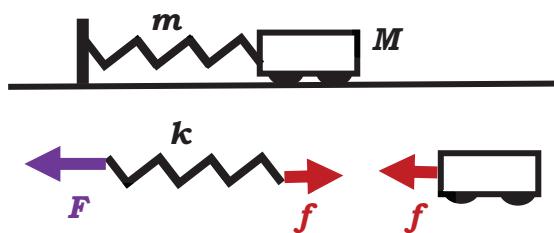


図4 ばねとカートに作用する力の関係

質量 M のカートに質量 m のばねを装着して、ばねの片側を固定する。ばねとカートの間に作用する力を f 、ばねが固定された点から受ける力を F とする。カートを静かに動かしているときは、 $F=f$ である。カートが単振動しているときは、 $F>f$ となっていなければならぬ。表示される k_d は f をカートの変位 x で割った値であるから、必然的に k_s より小さくなる。 M が大きくなれば、 F と f の差が小さくなり、 k_d が k_s に近づいてくる。

4. ばねの固定点に作用する力 F の測定



図5 ばねの両側を力センサに装着したもの

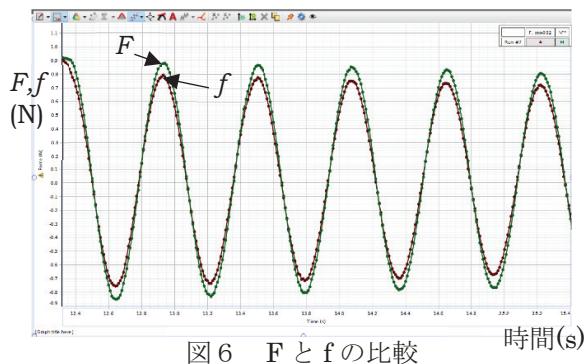
図6 F と f の比較

図4の関係を検証するために、ばねの両側を力センサに装着できるように改造して、固定した力センサとカートを結んだ(図5)。固定された力センサとカートの力センサの表示を同時刻で表示させたものが図6である。図6から、 F と f の位相のずれは見られない。しかし、2つのワイヤレスセンサからの送信信号を時間差なく受信するかという保証はない。この場合数 ms 以上の時間の遅れは測定できなかつたということになる。 f のピーク値が F のそれに比べておよそ 10% 減少している。この差は、カートのみをばねに装着した場合の k_s と k_d の違いを数値的に説明できる。当然カートの質量を増やしていくれば、ピーク値の差は小さくなっていく。また、 F をカートの変位で割った値 k は振幅に関係なく k_s にほぼ等しい値を取る。

5. k_d を計算で求めるモデルの検証

k_d を計算で求めるモデルを検討した。図4のばねの質量をいくつかに分割して、運動方程式を立てる方法や、エネルギーで計算する方法など試みたが、実験結果を説明する満足なモデルは見いだせなかつた。その理由としては、計算を楽にするために、分割したばねの部分の変位が直線的に変化したことではないかと考えている。例えば、ばねの長さを3分割し、質量を2分割した場合、固定点に近い1/2の質量の振幅はカートの振幅の1/3で、速さも1/3になり、カートに近いほうの1/2の質量は振幅と速さ共に2/3、といった具合である。実際にばねの各部分の変位がどのような形で変化しているのか、より緻密な検証が必要のようだ。

このばねを用いてカートの質量を変えて実験した場合、周期はおよそ0.5秒から1秒前後の値になる。これに対して、 k_s を用いて周期を計算した値と、 k_d を用いて計算した値を比べると、0.02秒程度の差が生まれる。この差をどう処理するかは現場の状況次第といえよう。

コンデンサーの働きが分かる熱力学教材 JAMES の開発

^A 牧山 隆洋

^A 弓削商船高等専門学校

makiyama@yuge.ac.jp

1. はじめに

高校物理の熱力学の単元で使用する教材の開発と授業案について発表をする。ジェームズ・ワットの蒸気エンジンは工学的・技術史的にも価値のあるエンジンであるが、発表者は本校の技術職員とともに、ワットのエンジンの心臓部であるシリンダー・ピストン・コンデンサーを含む機構を製作した。授業で演示できるように製作し、学生の興味を高める教材を目指し、授業効果などを測れる授業案について発表する。

2. 教材開発

本校の技術職員とともに製作している。シリンダー・ピストン・コンデンサーを含む機構を、真鍮や銅などの素材を旋盤・はんだ作業などで製作中である。コンデンサーの働きにより、ピストンがうまく作動すれば、ピストンの先に連結する重りが持ち上がる仕組みとなっている。



製作中の蒸気エンジン JAMES の一部（シリンダ・ボイラ）

3. 授業案・ねらい

高校物理分野の熱力学の単元で使用できるように授業を設計し、本発表で説明をする。対象は勤務校（弓削商船高等専門学校）の2年生とする。ピストンの動きに伴い、重りも動くため、仕事をしている様子をはっきりと確認することが出来る。授業の前後でアンケートを行い、熱力学における知識・理解したことをまとめることとする。

「総合的教育マネジメントシステムについて」

遠藤 正昭、尾島 正男、原 真一、池田友久

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は、約 30 年前に設立され、人間と環境の調和を図り、持続可能な社会の構築に何らかの貢献を果たしたいと考え、活動を実施して参りました。そして 2015 年には教育プロジェクトをスタートさせました。その動機は、「今やグローバル化が進み、世界は一つ、学生も学校も世界という舞台で活躍していかなければならないのに、日本の大学の地位や学生の学びの意欲が世界に遅れをとっている、何としても教育の改善、改革が必要である」という現役の先生方の懸念に共感し、我々も何とか先生方のこの改善、改革にご協力したいと考えたしだいです。

上記の世界に置けるレベルを見てみると、「2022 年世界大学ランキング」¹⁾ は、ベスト 30 位の中に日本の大学は 0 校、ベスト 100 位の中に僅か 2 校が入っているだけです。国際的な学習到達度調査「PISA2018」²⁾ では、日本は数学的リテラシー 6 位、科学的リテラシー 5 位、読解力 15 位です。いずれにしても、我々が期待しているレベルとは大きな乖離があります。

そんな中、日本物理教育学会のある先生から、本学会監修の E. F. Redish 著「科学をどう教えるか」³⁾ の購読を勧められ、原書も購入して内容の詳細を勉強し議論を重ねた結果、今日皆様にご提案する様な結論を得ました。

2. この図書の印象に残った内容

2.1. 教育の基本的考え方

- ① 「学生に培って欲しい資質・能力」 / 「学生に学んで欲しいこと」 = “目標”
- ② 「目標を達成するためのプロセス」 = “授業”
- ③ 物理において目標を達成するために開発したベストなプロセス = “物理スイート”
- ④ これは品質管理の考え方そのもので、「明確な目標を設定し、良い結果を得る為にはプロセスを良くしなければならない、プロセスの良否は結果で判断する」という事です。

2.2. 物理スイートの要点

- ① “学ぶ” ということは：知識を憶える、記憶するという事ではなく、“知識を活用して問題を解決する力をつける” ことである。
- ② 先生は学生に正解を教えようとするのではなく、学生が自ら考え正解を導き出すように、手助けをする。
- ③ 学習の要点：基本的な考え方・コンセプトをしっかりと理解すること。
- ④ 明確な目標の下、計画-実施-チェック-アクション、PDCA をまわす。

2.3. 上記の考え方は、著者の目指す方向であり、目標であるが、少なくとも当時のアメリカにおいては、現実とのギャップは大きく、改善が必要である。

3. この図書の示唆すること

3.1. 著者の主張をそのまま展開すると、学校教育の目標は学習指導要領に記載されて居り、「よい

社会を創る：生徒が未来社会を切り開くための資質・能力を一層確実に育成する」である。次にこの目標を達成するためのプロセスを考えてみると、物理だけではなく、学校のすべての学科が共に協力し合い改善を図っていくことが必要で、学校全体としての総合的なマネジメントが必要であることは議論の余地がない。

4. 私達からの提案

4.1. 総合的教育マネジメントの向上/確立

学校教育の目標達成のために、具体的な目標を設定し、それを学科別、学年別等にブレークダウンし、その達成のためのプロセスと結果を、適時適切にチェックしながら、改善を進める。このような総合的・継続的な活動を学校全体で行うべきである。

この具体的な展開に当たっては、国際標準化機構（ISO）において、既に ISO21001 が設定されて居り、その認証制度共々に活用することをお勧めしたい。

4.2. 教育における“現場力の強化”

物づくりの世界の主役は“現場”、人づくりも同じで“教育現場”（先生、学生、教科書、教材、教室等の環境）が弱ければ良い人材は育たない。現場強化のための重点施策を、物づくりのセンスで先生方への四つの質問の形で、以下に取り纏めた。

- ① 昨年度、先生の担当のクラスの学生さんの資質・能力の向上について、どのような目標を立て、実施され、結果は如何でしたか？ またその評価の方法は？
- ② 上記昨年度の結果に基づき、今年度の目標は？ 授業内容、授業方法等についてどのような改善を実施されましたか？ あるいは計画されていますか？
- ③ 物理の各章の授業について、学生さんに学んで欲しいと期待する「学びの内容とレベル」を設定されていますか？ その結果をどんな方法で評価され、最近の結果は如何ですか？ もし多くの学生の結果が期待より低かった場合どんなアクションを執られますか？
- ④ 上述の学びの結果を良くする為に、評価のやり方や授業の改善等について、学校内のチーム活動として、上司や同僚あるいは他の学科の先生方との話し合いや協力はどのようにされて居られますか？

5. 物づくり現場での改善活動の実例

5.1. 産業界では、いろんな現場で改善活動が行われております。これは 50 年以上前に日本で誕生した「QC サークル」と呼ばれる小集団による改善活動で、今では世界中で実施されて居ります。ここではアメリカの工場に於ける 20 年近く前の改善活動の実例を紹介します。

5.2. QC サークル活動のキーポイント（強い現場の要点）

- ① 具体的で明確な目標の設定。（結果を自分たちで評価できる）
- ② 目標を達成するためのプロセスを自分たちが管理できる。

計画 (P) 、実施 (D) 、チェック (C) 、処置 (A) を自分たちで回す。

参考資料

- 1) タイムズ・ハイヤー・エデュケーション 「2022 年世界大学ランキング」
- 2) 経済協力開発機構 国際的な学習到達度調査「PISA2018」
- 3) エドワード・F・レディッシュ 「科学をどう教えるか」 日本物理教育学会監訳 丸善出版 (2012)

教育におけるマネジメントシステムの国際規格（ISO 規格）について

尾島正男、遠藤正昭、原眞一、池田友久

NPO 法人 人間環境活性化研究会

ojm8912@jcom.zaq.ne.jp

1. 教育におけるマネジメントシステムの国際規格（ISO 規格）の背景

近代社会の進歩の鍵は製品や業務について、基準を決め、これに従う標準化した統一規格の発展にあります。実際に、企業・業界・国家・国際ごとの規格の階層が存在して、その頂点に国際規格 ISO や電気についての国際規格 IEC が存在しています。皆さん良くご存じの ISO9001 は 35 年前に品質に関するマネジメントシステム規格として多くの団体や企業が導入・取得しました。続いて環境配慮の ISO14001 や労働安全の ISO45001 等マネジメント（管理）に関する多数の規格が制定されて社会や経営の改善に貢献してきました。ここ 10 数年間に学習や教育のマネジメント規格が導入されました。まず ISO29990（学習サービス）、続いて ISO29991（語学学習サービス）等は学校教育は除外されて、学習塾・語学学習社等が対象でした。4 年前 2018 年 5 月に制定された ISO21001（教育サービスマネジメント規格）は全学校教育・非公式教育等の総てを対象となっております。内容は PDCA を活動の柱とし、ビジョン（方針）・目的・目標の設定から、開発・訓練・監視・測定・不適合の改善等、広範囲に且つ詳しく実施すべき事項が明記されています。日本では人材育成が急務であり、この規格を教育界にも導入して成果を上げて頂きたいと思います。

2. ISO 規格（マネジメントシステム）が教育界に何故必要か

既に品質・環境・安全の ISO 規格が、広く導入されてきた背景には、これら目標の達成には、会社の総ての階層の人々の参画が必要で、これ等規格の導入により、目標達成のために全社を取り纏めるマネジメントシステムの構築が出来、好結果に結びついてきたからです。

事業は人なり、人材の育成こそが社会発展の基礎という認識が高まり、また実際にも品質・環境・安全の改善の為、最も重要な要素は「人」であるという理解が背景にあって、ISO21001 が制定されたものと思います。即ち、教育の場でも、学校全体で明確な目標を掲げ、これを達成する為の工程・仕組みを設定し、授業の結果が目標どおりかどうかを評価して改善に繋げるという継続的な活動が必要で、それらを進めるためのマネジメントシステムが ISO21001 に規定されたわけです。

3. ISO21001(教育サービスマネジメント)規格の要求事項とは

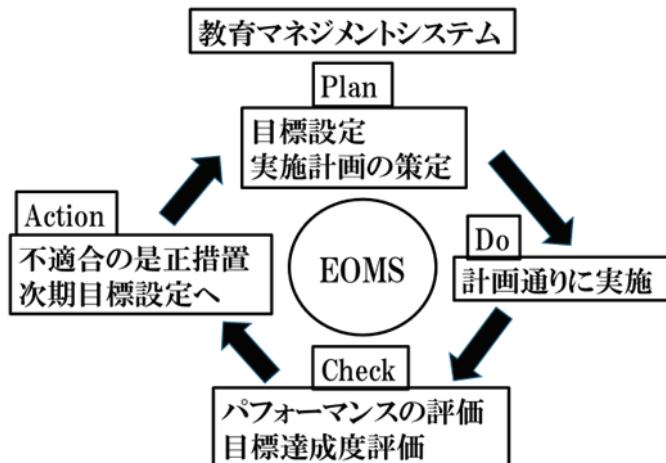
ここで ISO のマネジメントシステム全般に共通する最重要原則は、既に述べた PDCA です。

即ち、ルールを決め（Plan）、実行して（Do）、成果を見て（Check）、修正する（Action）という事です。更にもう少し詳しい要求事項は、品質や環境と共に以下のとおりです。

- ◆組織；学生や保護者のニーズや期待を整理して、組織内の役割分担を決める。
- ◆リーダーシップ；トップ自身のコミットメントの明示。
- ◆計画；学生の学びや育成したい資質についての具体的な目的・目標の設定とその達成計画策定。
- ◆支援；教員や関係者の能力育成と内部・外部のコミュニケーション活性化。
- ◆運用；システム運用にあたっての計画・管理のやり方の標準化、ルール化。
- ◆パフォーマンス評価；授業等のパフォーマンスの監視、測定、分析、評価、並びに計画の達成状

況・有効性の判断を内部監査やマネジメントレビューにより実施。

4. ISO21001 の教育サービスマネジメントとは



前項で述べた各種要求事項を取り纏めたものを、EOMS (Educational Organization Management System) と言い、要約すれば左図のようになります。

少し図を補足しますと；

Plan ; ①教職員、管理者、事業者の組織化。②ビジョンの明示。③達成を味わえるような具体的な目標設定。④各人の責任・役割の明確化。

Do ; ①計画通り実施。

Check ; ①各活動のパフォーマンス評価。②目標に対する達成度の評価。

Action ; ①不適合の結果に対する是正措置。②次期の目標設定への情報提供。

目標に対する達成度の評価。③学生、保護者の期待、ニーズに対する満足度の評価。

Action ; ①不適合の結果に対する是正措置。②次期の目標設定への情報提供。

5. ISO21001 規格の認証取得の方法と、認証取得出来た場合のメリットについて

5.1. 認証取得の効果と必要性がトップの意志、教職員、利害関係者の理解と合意で決定されていること。先ず自社の準備態勢

- 1) 推進体制の確立。(管理責任者のリーダーシップと各部門選出の推進メンバーの決定)
- 2) ISO21001:2018 規格の要求事項の理解。
- 3) マネジメントシステムの構築手法の理解と決定。(勉強会開催・専門研修機関への参加等)
- 4) EOMS の構築・運用。(EOMS の体制の確立、サービス方針の策定、教育サービスマネジメントプロセスの構築、EOMS の文書の制定、導入教育の実施)
- 5) 内部監査とマネジメントレビュー。
- 6) 認証審査の受審・・・「認証取得」。

5.2. ISO21001 の認証合格・取得のメリット

- 1) 内部的メリット : ①体系的な管理体系が導入でき、優れた組織運営ができる。②トップ・教職員・事務局が一体となって諸問題の解決に取り組んだ結果、より優れた教育方法・カルキュラム等が導入でき、学生、保護者の満足度が著しく向上する。③トップの示したビジョンや目標が明確となり、コミュニケーションも良くなり、学校が活性化する。
- 2) 外部的メリット : 世間・関係者に分かり易く「安心」と「信頼」を提供できて。国内外からの高い評価を受ける。

参考文献

- [1]打川和男 「ISO29990 の基本と仕組みがよくわかる本」 秀和システム (2015)
- [2]日本品質保証機構 「ISO マネジメントシステムが一番わかる」 技術評論社 (2021)
- [3]ISO21001 : 2018 「Educational organizations-Management systems for educational organizations-Requirements with guidance for use」

生徒が物理の本質を理解できるように

原眞一、遠藤正昭、尾島正男、池田友久

NPO 人間環境活性化研究会

hara_birdhill@nifty.com

1. 理解困難な教科書

理科が好きだった生徒が高校の物理でつまずいたということを聞いている。この原因を明確にして今後の理科教育を改善して行かなければならないと考え、教科書の記述からその原因を探る。個人的な体験であるが物理の授業の仕事の説明で理解しにくかった記憶がある。そこでこの仕事を例として教育の課題を検討することとした。対象は、「物理基礎」(2011年及び2016年検定)とした。比較に1966年発行の「物理」及び原本1965年出版の「PSSC 物理第2版」を使用した。

2. 仕事の概念が学び取れるか

半世紀前の高校教科書では、仕事は摩擦に抗して物体を動かすときの力と距離の積で説明していた。摩擦がないと仕事は無しとなる。現在の教科書でも、力と距離の積に仕事という名前を与えているがその概念は記されていない。PSSC 物理ではロープウェイを例にして仕事がエネルギー移動を測る良い方法であるという結論に達したとしている。この説明は物理の考え方沿っている。また、現在の教科書では摩擦の有無が書かれてない。摩擦がない場合には力をあたえることで物体は加えられた仕事に相当する速度で動いていくことになるがその記述がない。これでは生徒が状況を描くことは困難である。PSSC 物理では摩擦なしと明記されていて、運動

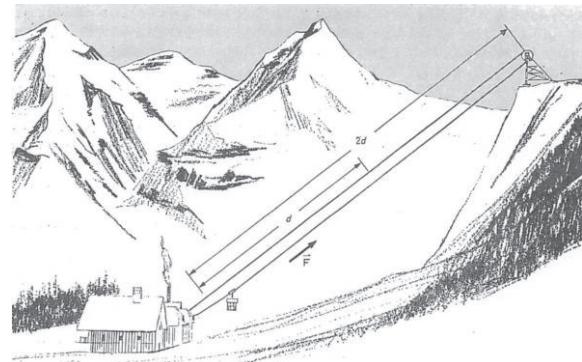


図1 PSSC 物理における仕事の説明

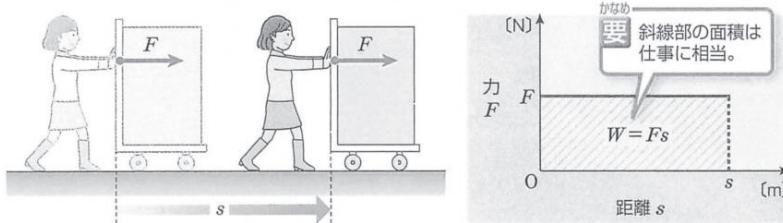


図2 物理基礎教科書における仕事の説明例

仕事という物理の重要な概念を簡単な説明で終わらせてているのには疑問がある。力と距離の積にどの様な意味があるのかについての生徒が理解できる説明が必要である。概念の理解をせずに数式の利用方法を学んだところで役には立たない。教科書の説明をそのまま解釈すれば、与える力より摩擦力が小さいと物体は加速していく。動いている物体に力を加えるには静止している物体の時より大きなエネルギーを必要とし、台車を一定の力で押すためには投入するエネルギーを増加し続ける必要がある。この思考実験は実際には困難である。物理は再現性のある実験結果の基に成り立つのであり、教科書のこのような表現は物理の思考方法と整合せず生徒の理解を妨げる。学校の先生方の物理基礎教科書の使い方は不明であるが、教科書自身生徒の本質概念の学びを促進する内容が

エネルギーに変換されたとしている。摩擦はエネルギー保存則に直接つながりにくい。仕事、位置エネルギー、運動エネルギーなどの力学的エネルギーを説明し生徒が学び取れた後に摩擦や熱エネルギーを伝えることで生徒の理解は進む。

必要である。本質概念の理解が問題解決能力の向上に結び付く。

教科書では、まずニュートンの法則についての説明が必須である。現在の物理基礎では第二法則から来る運動量（力積）が教えられていない。運動量の概念を理解させたうえで、エネルギーとは何かを生徒が理解できるまで説明することが肝要である。エネルギーが物体を動かしたり生物が生きていくための基となるものということを運動する物体、重力、バネ、太陽光、食料、燃焼、発電等の例を提示して概念を伝える。一度に理解させるのは困難かもしれないが、伝える必要がある。

次に重力による位置エネルギーを説明し、その中でエネルギーの一つである仕事を力と距離の積であることを説明する。数式を用いた説明以上にエネルギー及び仕事の概念を運動量と共に説明をしていくのが良い。物体を重力に抗して静かに引き上げることで運動量は増加せずに位置エネルギーを確保させる。この位置エネルギーは物体の落下により運動エネルギーに変換される。バネで吊り下げる事と組み合わせればバネによる位置エネルギーとの換算も容易である。

PSSC 物理では仕事の定義を単に書くのではなく、物理量の定義の思考方法まで説明している。生徒にいかに理解させるかを優先させていている。

3. これからの教科書

今回は、教科書に書かれている仕事について取り上げた。これは教科書での課題の一部に過ぎない。例えば運動量を学ばなければ走る時の腕の振りも理解できない。温度とは何かについても熱運動の激しさを表す物理量とあるだけで、分子単位、原子単位での振動を含めた運動エネルギーの指標との説明がない。温度に関しては「物質の三態」と書かれていて、超臨界が記されていない。これでは現代社会で超臨界が利用されていることを教えることができない。現代の高効率火力発電では水蒸気ではなく超臨界水を用いている。

他にも、用語、単位、図などに 1 冊当たり数十カ所に及ぶ間違いがある。多くの専門家が作成したとは考えられない水準である。デジタル化が取りざたされているが、まずは生徒が本質概念を理解できるよう、かつ間違った知識を付けぬようにすることが必要である。

現在、生徒に問題解決能力をつけさせようと動き出していると認識している。学校で学んだことを基にして生活の中で観察する習慣を身に付けたら理解が向上する。座学と観察あるいは実験を繰り返すことで知識が身に付いていく。自主的に参考文献を読ませることも有益である。

日本の教科書は A5 300 ページ程度の小さいものであるが、例えば PSSC 物理は訳本で A4 600 ページに及ぶ。内容の多くは数式ではなく文章による説明である。現在の中国の教科書も PSSC 物理と同等以上の内容で書かれている。デジタル化することで通学カバンの苦勞から解放される良い機会でもあるので教科書を概念が学べるように充実していくべきである。

4. まとめ

以上、教育に直接関与しない外部から意見を述べた。個々の点の修正を求めるのが趣旨ではない。これからの中では、学校や教科書等の関係者のみで教育を構築するのではなく、それ以外の意見を尊重していく必要がある。高校物理でつまずいた生徒や担当教師の意見を聞くことは必須である。そして自ら積極的に社会に対して発信して評価してもらい常に改革していくことこそ肝要である。

参考文献

- [1] 2011 年検定物理基礎（数研出版、東京書籍、啓林館、第一学習社、実教出版）
- [2] 2016 年検定物理基礎（東京書籍、啓林館）
- [3] 1966 年発行物理 B（大原出版）
- [4] PSSC 物理第 2 版 山内恭彦他訳、岩波書店 1967

ドップラー効果の一部修正と光速度不変

高山 耕誌

近商エステート株式会社

takayama@kinsyo.co.jp

1. はじめに

光速度不変の原理を理解するにあたり光もドップラー効果を伴うのでその理解は重要であるがそのドップラー効果の解釈において音源（光源）が静止しており（周波数はF）観測者が速度uで動く場合、観測者が観測する周波数fが音源（光源）に観測者が遠ざかる場合少なくなり、近づく場合増えると

する公式 $f = \frac{V-u}{V} F$ （遠ざかる場合） $f = \frac{V+u}{V} F$ （近づく場合） の間違いである。

結論から申し上げるとこの場合観測者が観測する周波数fは音源（光源）から発せられる周波数Fと同じであり観測者の速度uによって変わることはない。

2. 思考実験例 音源が静止で観測者が動くドップラー効果の場合

設定として音源からの音速Vを340m/sとし音源からの波長λを0.4m、音源の周波数Fを850Hzとし観測者の速度をuとし観測者が音源から受ける周波数をfとする。光速度不変の原理にも適用できるように空気等の媒質が観測者の運動により波形が変化を受けないものとして考える。

① 観測者が速度uの34m/sで遠ざかる場合

図1は観測者が進む距離と音波が進む距離を0.1秒ごとの単位で表したものである。

最初の0~0.1秒の間に観測者は3.4m進み音波は34m進む。この0~0.1秒間をさらに10分割し説明する。0.09秒時のVの先端位置は30.6mで観測者先端位置は3.06mであるから残り0.01秒で観測者は0.34m進む間にVは0の位置から3.4m進むので3.4m分の周波数8.5Hz分を押し出し観測者を追い抜いている。そして0.09秒時30.6mの位置にあったVの先端は1秒時には34mの位置に来ている。

まとめると0.01秒間で観測者が移動してカウントされていない周波数分も全てカバーするので34m分の周波数85Hzを0.1秒間に受けることになる。

同様に0.1~0.2秒の間に観測者は3.4mから6.8mの3.4m進み音波は3.4mの位置から34m進む。以降音波の計測位置は観測者の移動位置に伴い6.8m、10.2m、13.6m、、、30.6mと移動し各々その位置から34m進む事を繰り返し得た各々の0.1秒間分の周波数を10回合計すればよい。

図1

音源が静止し観測者が音源から遠ざかる場合 V(340m/s) λ(0.4m) F(850Hz) u(34m/s) f(観測者の受ける周波数)

時間/距離	0	3.4	6.8	10.2	13.6	17	20.4	23.8	27.2	30.6	34	u(m/0.1s)	V(m/0.1s)	f(Hz/0.1s)
0~0.1		3.4										3.4	34	85
0.1~0.2			3.4									3.4	34	85
0.2~0.3				3.4								3.4	34	85
0.3~0.4					3.4							3.4	34	85
0.4~0.5						3.4						3.4	34	85
0.5~0.6							3.4					3.4	34	85
0.6~0.7								3.4				3.4	34	85
0.7~0.8									3.4			3.4	34	85
0.8~0.9										3.4		3.4	34	85
0.9~1.0											3.4		34	85
合計												34	340	850

今までには0~0.1秒の間に観測者が進む3.4mの移動中に受ける音の波をカウントせず見かけ追い

抜いたように見える距離分のみの 30.6m の周波数 76.5Hz を 0.1 秒間の周波数とし 76.5×10 の 765Hz が 1 秒間の周波数と計算しているが本来カウントすべき観測者の移動距離分の周波数を除して省略しているので正しくは除された 1 秒間の観測者移動距離分 34m の受けた周波数 85Hz も加え 765Hz でなく 850Hz になり周波数は変化しない。

② 観測者が速度 u の 34m/s で近づく場合

図 2 も観測者が進む距離と音波が進む距離を 0.1 秒ごとの単位で表したものであるが図 1 と観測者の移動方向が逆向きになり観測者の基準点も逆向きに表示している。

図2

音源が静止し観測者が音源に近づく場合

V (340m/s) λ (0.4m) F (850Hz) u (34m/s) f (観測者の受ける周波数)

時間/距離	34	-30.6	-27.2	-23.8	-20.4	-17	-13.6	-10.2	-6.8	-3.4	0	u (m/0.1s)	V (m/0.1s)	f (Hz/0.1s)	
0~0.1										3.4			3.4	34	85
0.1~0.2										3.4			3.4	34	85
0.2~0.3										3.4			3.4	34	85
0.3~0.4										3.4			3.4	34	85
0.4~0.5										3.4			3.4	34	85
0.5~0.6										3.4			3.4	34	85
0.6~0.7										3.4			3.4	34	85
0.7~0.8										3.4			3.4	34	85
0.8~0.9										3.4			3.4	34	85
0.9~1.0	3.4												3.4	34	85
合計													34	340	850

現在ドップラー効果の一部修正が行われていない時点では観測者 0 秒地点の 0m 地点からの計測だと 0.1 秒で音波の先端までの距離は 0m 地点より 34m 音波は進むとして観測者が進んだ距離 3.4m を加えて 37.4m 受けるとし 93.5Hz の周波数とされているがこの解釈は間違いであり修正する。

観測者が受ける 0.1 秒間の周波数は音源に 3.4m 近づいたことで音波先端距離は 0 地点より 34m ではなく 30.6m である。(距離を縮小した図でもって物差しを左から右にスライドすれば分かりやすいと思われる。開始 0m 地点から 0.1 秒時の計測終了地点は開始地点の 0m 地点でなく観測者の 0.1 秒後の観測地点 -3.4m が計測終了地点となる。0m 地点が計測終了地点であれば 0m 地点から 34m となるが -3.4m 地点が計測終了地点だから $34m - 3.4m = 30.6m$ であるから 0m 地点からの音の先端位置は 30.6m になる) その 30.6m に観測者が進んだ距離 3.4 を加えて 34m 分の周波数 85Hz を受ける。

以降音波の計測位置は観測者の移動位置に伴い -6.8m、-10.2m、-13.6m、-30.6m と移動し各 0.1 秒間分を 10 回合計する 1 秒間では $85Hz \times 10$ の 850Hz となりこの場合も周波数は変化しない。

3. 光速度不变の原理の証明へ

音の場合は空気による媒質の影響を受けるので計算通りになると限らないが光及び電磁波は媒質の影響を受けないので計算通りの結果となる。

音源(光源)が静止し観測者がその音源(光源)にどのような速度で遠ざかろうが近づこうが観測者の受ける波長及び周波数は元となる音源(光源)の波長及び周波数と同じであり変化しないからこそ光速度不变であり、修正前のドップラー効果の解釈となる計算方法による値では波長は変わらないものも周波数が変化するので光速度は不变とはならない。

よってここで説明したようにドップラー効果の一部を修正する事によりあらゆる速度で運動する観測者から観測しても光速度は変化せず不变となる光速度不变の原理が証明できたといえよう。

中学校理科の力と運動の授業と概念定着の関係

^A 中村琢、^B 高橋亮

^A 岐阜大学、^B 岐阜大学教育学部附属小中学校

nakamura@gifu-u.ac.jp

1. はじめに

物理教育研究においてニュートン力学には、学習者がもつさまざまな素朴概念が報告されており、伝統的な講義形式の授業では正しい概念の系統的な理解が難しいという研究もある。大学初年次生対象に、力学の授業を8年間実施した筆者も、学習者の強固な素朴概念が授業を難しくする原因の一つになっていると感じている。これらの問題を改善するためには、学習者に素朴概念の矛盾に気づかせ、葛藤させる場面を授業の中に取り入れることが有効であり、正しい概念が獲得できることが確認されている。

高等学校の物理基礎では、ニュートンの運動の3法則を、数式を用いて学習する。また、中学校では、定性的ではあるものの、物体に一定の大きさの力が加わり続けると、速さがだんだん速くなること、慣性の法則、作用・反作用の法則を学習する。大学初年次生でも、依然として素朴概念があるのは、中学校と高等学校の理科授業で解消に至らなかつたためと考えられる。

中学校の理科授業においても、体系的な力学概念の定着を志向した授業を実践すれば、正しい概念の獲得がされると考える。体系的な理解のためには、知識の積み上げが必要であり、既習の概念を用いて思考していく授業が求められる。本研究では、中学校第3学年の理科授業で、体系的な概念の理解のための学習内容および順序の検討と、授業を実践した。

2. 方法

公立の中学校第3学年の4クラス、135名を対象に実践した。半数の2クラスに、授業のつながりを意識した授業（以下、授業1）を実施し、もう一方の2クラスに、従来通りの教科書の流れで授業（以下、授業2）を実施した。力学概念調査（Force Concept Inventory、以下FCI）を用いて事前事後および、記述式調査問題（自作）を用いて力学概念の定着状況を調査した。

3. 結果

（1）授業内容と指導の流れ

授業順	従来型授業（授業1）	新たに作成した授業（授業2）
①	物体の運動の記録・記録タイマーを使って運動の速さを測定	速さの概念。いろいろな速さで歩く。
②	力が働くときの運動。水平面上を進む台車の速さを測定。	瞬間・平均の速さ。人の歩く速さを測定する。初速ゼロで加速する人の速さを測定する。
③	瞬間・平均の速さ。②の測定値を用いた考察。	速さの定義とグラフ表示。走る人とバイクの運動を記録する。数学科とコラボレーション。
④	だんだん速くなる運動。斜面を下る台車の速さを測定。自由落下。	加速の表し方。数学科とコラボレーション。
⑤	だんだん遅くなる運動。斜面を上る台車の速さについて考える運動。摩擦力。	加速する運動。加速するときにかかる力。
⑥		力が働くときの運動。
⑦		物体の運動の記録。

実施した授業の流れを表に示す。従来型の授業1は1回の授業時間内で新たな課題を設定し、課題を解決していくことをねらいとした授業である。新たに作成した授業2は、授業のつながりを重視し、既習事項を使って思考する課題を設定した。どちらの授業も11-12時間の授業数であり、時間差はない。授業2では、③、④の授業で、未学習の二次関数の部分を数学科教員とのコラボレーションで実施した。ここではグラフの読み方と物理的な考察を行った。

(2) 力学概念調査

FCIの結果は下表のようになつた。クラス2およびクラス3は授業1を受講し、クラス1およびクラス4は授業2を受講した。授業1、授業2ともそれぞれ2クラスを、同一の教員が授業担当であった。

表中のPre、Postは事前、事後のFCIの結果を指す。Pre30やPost30などの30はFCIの全30問の結果を示し、Pre22やPost22などは、今回の授業実践で扱つた内容に合う22問を抽出した問題群に対する結果を示す。

クラス	Pre 人数	Post 人数	Pre30 正答率	Post30 正答率	Gain30	Pre22 正答率	Post22 正答率	Gain22
1	32	33	29.3	45.9	0.23	28.0	46.3	0.25
2	35	36	29.8	43.1	0.19	29.2	44.4	0.22
3	35	35	28.0	45.6	0.24	26.5	45.3	0.26
4	29	31	30.2	46.9	0.24	24.8	48.8	0.32

(3) 記述式調査

記述式調査では、授業で扱うのと類似の設定で、FCIにはない問題で力学概念の理解度を問うた。問題は4問あり、問1：速さの定義を説明する問題、問2：斜面を下る自転車の速さについての記述を問う問題、問3：平面を全速力で進む自転車がある地点からペダルを漕ぐのをやめたときの速度について記述を問う問題、問4：斜方投射されたゴルフボールに働く力の向きと大きさを矢印で記入する問題、である。いずれの問題も事前と事後を比べると有意に正答率の向上が認められた。また、授業1と授業2での比較では、問1、問3、問4で有意な向上が確認された($p<0.01$)。

4. 考察

今回の授業実践で授業1、授業2とともに、学習者が小グループで課題を追究し、実験・観察により解決に至る学習者主体の授業形式をとっており、FCIの規格化ゲインの結果はどちらも差がなく、能動型参加の授業の傾向を示した。

記述式調査問題では授業2は授業1と比べて正答率が有意に向上したのは、既習事項を積み上げていく授業の設計によるものと考えられる。他方、授業の内容については、授業①、②、③までは違いがあったが、④以降の、「力と運動の関係」の部分は、授業1と授業2の差は小さかったことから、今回の授業はFCIでは、差が見られなかつたと考える。問1の正答率は、授業1が62.5%、授業2は91.5%と大きな差となつた。これは、授業2で、学習者自身が身体を使って動いたり、測定したりすることに加え、毎時間のまとめを学習者が記述し、前時の内容を使って思考させる場面に富んでいたことの効果と考えられる。

授業1では力学台車と打電式記録タイマーを使った授業が多くあり、実験と考察が1時間で收まらないことも、概念定着を難しくする原因の一つであると考えられる。

今回の実践から、単元構想の工夫と授業の順序の変更により、誤概念の改善が見込めることが示唆された。

EBAPS を用いた物理学習における男女差に関する分析 2

^A 茅谷麻子, ^B 新田英雄

^A 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科, ^A 東京学芸大学附属国際中等教育学校

^B 東京学芸大学

kariya@u-gakugei.ac.jp

1. 背景

物理教育において、力学を中心に、女子学生の方が男子学生より概念理解調査紙の正答率が低いことが明らかにされている[1]。力学分野と電磁気学分野では男女差の値の違いがみられる[1]ことから、男女差は物理の各分野で異なる可能性が考えられる。また、物理教育においては、相互作用型授業が講義型授業よりも学生の理解度を促すという研究結果が広く確認されている[2]。しかし、相互作用型授業の男女差の縮小に対する効果については、見解が一致していない[3]。男女差縮小のためには、単に相互型授業をするだけでは不十分であり、男女差の要因、分野ごとの違いなど、男女差の背景を詳細に探り、その知見をもとに授業や教材を開発していく必要があると考えられる。

そこで本研究では、力学だけでなく、データのない波動分野における概念理解度の男女差を調査するとともに、学習姿勢調査、科学的認識やジェンダーステレオタイプに関する意識の調査も行った。本研究は、これらの複合的な調査結果を、調査対象者に対して行われた授業実践の内容も踏まえて多角的かつ詳細に分析することで、概念理解度の男女差の背景を探ることを目的とする。

2. 方法

2.1 調査紙

2.1.1 Mechanical Wave Conceptual Survey (MWCS)[4]

波に関する概念理解を測定することを目的として開発された標準的な調査紙で、選択式の設問 22 間で構成される。数式は用いず、定性的に考える問から構成されている。

2.1.2 The Colorado Learning Attitudes about Science Survey(CLASS)[5]

物理学・物理学習に対する考え方や態度を明らかにすることを目的とした調査紙で、選択式の設問 42 間で構成される。また、各問題は因子分析に基づき 8 つのカテゴリーに分類されている。

2.1.3 The Epistemological Beliefs Assessment For Physical Science(EBAPS) [6]

自然科学に対する認識を明らかにすることを目的とした調査紙で、選択式の設問 30 間で構成される。また、問題が問うている内容によって、問題が 5 つの軸に分類されている。

2.1.4 ステレオタイプに関する調査

「以下の教科・科目に関する考え方について、自分の考えに最も近いものをそれぞれ 1 つ選んでください。」と提示し、物理をはじめとする 8 教科の名前を並べ、それぞれの科目に対して「とても男性に向いている」「どちらかというと男性に向いている」「向き不向きに男女は関係ない」「どちらかというと女性に向いている」「とても女性に向いている」の 5 択のうち 1 つを選ぶ形の質問を用いた。この質問は先行研究[7]を参考に著者が作成した。

2.2 調査対象

調査対象は A 中等教育学校の 5 年生（高校 2 年生に相当）の物理基礎履修者で、プレ・ポストテストのデータがすべてそろっている男子 31 名、女子 42 名である。

2.3 調査実施時期

2021 年度 3 学期の授業では波動分野を扱った。表 1 に示すように、この単元の前後に当たる時期に各調査を実施した。

表 1 : 調査実施時期

	MWCS	CLASS	EBAPS	ステレオタイプ
プレテスト	3 学期頭	2 学期末	2 学期末	未実施
ポストテスト	3 学期末	3 学期末	3 学期末	3 学期末

2.4 授業法

本実践においては、先行研究[8][9]を踏まえて、男女差縮小や初学者支援のための試みとして、日常生活の文脈や、知識同士の「つながり」を意識させるような促しを取り入れた。

3. 結果

表 2 に本研究で得られた波の概念理解度の男女差と、先行研究で示されている力学や電磁気での男女差のデータを示す。波動分野における男女差は力学よりも、電磁気分野と類似していると考えられた。また、CLASSにおいては、現実世界とのつながりや知識同士のつながりに関わるカテゴリーにおいて、プレからポストにかけて女子のスコアの上昇傾向が見られた。さらに、EBAPS を用いた重回帰分析からは、学習方略や努力を有効と考える生徒ほど概念理解度が高いと示唆された。ステレオタイプに関する調査結果からは、数学や物理について、他教科よりも「男性に向いている」という考えを持つ生徒が多く、「男性に向いている」と考える生徒の割合は女子の方が多いことが明らかになった。

発表では、分析で明らかになった概念理解度と他の要素との関連や、力学分野で得られたデータとの比較も含めて報告する予定である。

表 2 : 分野別の概念理解度の男女差

調査分野	力学	電磁気	本研究（波）
プレ男女差[%]	13.0	3.7	3.4
ポスト男女差[%]	11.6	8.5	12.1

※男女差=男子の正答率-女子の正答率
※力学と電磁気は先行研究[1]のデータ

参考文献

- [1] A Madsen et al, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 9, 020121. (2013)
- [2] R. Hake, Am. J. Phys. 66, 1. (1998)
- [3] L. McCullough, Getting Started in PER, Vol. 2 (2018)
(<https://www.compadre.org/Repository/document/ServeFile.cfm?ID=14686&DocID=4868>).
(2022.7.17 参照)
- [4] A. Tongchai et al, Int. J. Sci. Educ. 31 (18), 2437. (2009)
- [5] W. K. Adams et al, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 2, 010101. (2006)
- [6] A. Elby et al, EPISTEMOLOGICAL BELIEFS ASSESSMENT FOR PHYSICAL SCIENCE (EBAPS) (<http://www2.physics.umd.edu/~elby/EBAPS/home.htm>) (2022.7.17 参照)
- [7] A. Miyake et al, SCIENCE, Vol 330, Issue 6008, pp.1234- 1237 (2010)
- [8] スーザン・A・アンブローズ著, 栗田佳代子訳 “大学における「学びの場」づくり—よりよいティーチングのための 7 つの原理”, 玉川大学出版部 (2014)
- [9] P Murphy et al, Girls in the physics classroom: a review of the research on the participation of girls in physics., Institute of Physics, London, UK. (2006)

ハイブリッド型物理授業における主体的な学びの評価の検討

^A野原大輝, ^B谷口和成

^A京都教育大学附属高等学校, ^B京都教育大学

dnohara@kyokyo-u.ac.jp

1. はじめに

今年度から実施されている高等学校学習指導要領[1]では「主体的に学習に取り組む態度」の指導と評価が導入された。そこでは、従来のように知識・技能を育成するだけでなく、生徒自ら学習の方法や成果を振り返り、学習を調整しようとする力の育成を目指した働きかけとその評価が求められる。近年では、高等学校においてもアクティブ・ラーニング(AL)の手法を用いて生徒の「主体的・対話的で深い学び」の実践例は多く報告されているが、生徒の主体性と学びの評価およびその評価と指導の一体化が確立されているとはいはず、多くの学校で困難に陥っていることが予想される。

昨年度は、2020 年度から 2021 年度にかけて全国の学校でオンライン型の授業が普及したノウハウを活用し、対面・非対面のハイブリッド型の物理授業を実践した[2]。その結果、概念理解に一定の効果が確認されたと同時に、生徒の物理学習に対する動機づけにも有効に働いたことが示唆された。さらに、多くの高校で時間の制約上、生徒が主体的に活動する時間の確保が課題とされている[3]が、その時間を標準時間内で十分に確保することができた。今年度は、昨年度の実践の成果をふまえ、対面・非対面のハイブリッド型物理授業に加えて、生徒が自らの学びを可視化して振り返り、評価することができるよう、対面授業の最後に一枚ポートフォリオ(OPP)[4]を活用した振り返りの時間を導入して、生徒が主体性を持って学習に取り組めるよう支援し、主体的な学びの評価について検討することとした。

2. 実践の概要

時期：2022 年 4 月～7 月

対象：国立大学附属高校 2 年理系物理基礎 1 講座 31 名

学習内容：物理基礎 力学分野

毎週、非対面（予習と復習）と対面授業を対応させた学習計画表を提示した（図 1）。対面授業における中心課題（AL を促す問い合わせ）に関連する基本事項の説明動画（講義型）を事前課題（予習）として 22 本配信し、各回の対面授業においてそれと連動させた AL 型授業を実践した。動画の視聴は必須としなかったものの、生徒は予習として事前に授業者が作成した動画を 1 回の授業あたり 1 本（7 分～9 分）視聴して対面授業に参加していた。

実践の評価としては、力学概念調査（FCI）を 4 月上旬（事前）と 7 月上旬（事後）に実施し、あわせて実践後に事前課題と対面授業に関する意識と学習の取り組み状況および OPP シートについての意識調査を実施した。

2 年生男子 / 244 講座 物理基礎 (担当: 野原大輝) No.2		2022.4.25-2022.4.29	
★ 課題概要 第 1 条 運動の表し方 内訳: p.10-p.11		評価標準	
回	西科学者	内訳 (動画名)	内訳
2	p.10	・平行の運動 関係の速度 ①https://www.be-on.net/01002522	p.11 ～ p.12 ・瞬間の速度 ～問 7
4/25 (火) 5 回	p.11 p.16	・スケルトン ②https://www.be-on.net/01002522	・直線上の運動の合成 ～説明、図 9、
3	p.14	・平行の運動 ～	p.13 ～問 10 ・平面上の運動の合成
4	p.19	・加速度 ③https://www.be-on.net/01002522	～問 11 ・平面上の相対速度 ～問題 1、問題 1 ・加速度 ～問 13、問 14 ・等速直線運動と相対速度の計算
4/27 (木) 1 回			
1-2 回			

※各回を実験して、授業用ノートに記入していくこと（定期試験の日に提出あり）。
○問題
質問と結果受け付けさせていただきます。以下の URL または QR コードから Google フォームにアクセスして質問してもらいます。 QR コードを通過して送信します。
詳しくは下記であります。
<https://forms.gle/3mzLkTfDnX2UWqyLmt>



図 1 学習計画表

3. 実践の結果と考察

FCI の実践前後の結果を表に示す。事前・事後ともに欠損のないデータ (N=31) より、事前・事後の平均値(%) から規格化ゲイン $\langle g \rangle$ を算出すると

$\langle g \rangle = 0.30$ となり、概念理解に一定の効果が得られたことを示唆する結果を得た。

図 2 は、実践後の学習の取り組み状況 (①②) と意識調査の結果 (③) を示している。図 2 より、63.3% の生徒にとって動画配信が予習への意識づけとなっていると考えられる。また、76.6% の生徒が動画による予習が「授業で役に立った」と回答し、さらに、その理由を自由記述で求めたところ、「どのように予習すればよいかわかりやすい」「授業で先生が言ったことが分かりやすくなる」

「予習内容の知識を使った授業が多いから」などの回答が確認された。つまり、授業者によって作成した動画が、事前に授業のねらいを生徒に把握させることができるとともに、AL を展開する際に最も重要である適切な葛藤を起こさせることに有効であることが示唆された。

図 3 は生徒の OPP シートの記入例である。単元の学習前と単元終了時に学習内容について記述する欄と毎回の授業の振り返り（学習の履歴）が一目で把握できる構造になっている。また、本実践の工夫として、“本時の掟”という形でその時間の学習内容で気をつけることや最も大事な考え方を端的に振り返る欄を設けた。本時の掟ははじめに個人で考えた後、班で 1 つにまとめてオンラインで教員に提出し、教員が全ての班（全 9 班）の掟を毎時間全員にオンラインで共有した。実践後に OPP シートについての意識調査を実施したところ、「自分で今どこがわかつていないのか明確になる」や「自分の分析をするために活用した」などの回答が確認され、学習の結果だけでなく学習の過程や自分の状態を認識した振り返り（メタ認知）を促すことにも有効であることが示唆された。

表 FCI 事前・事後の統計

	N	最小値	最大値	平均値(%)	$\langle g \rangle$	標準偏差
FCI事前	31	4	16	9.1(30.3%)	0.30	3.62
FCI事後	31	6	26	15.4(51.4%)		4.40

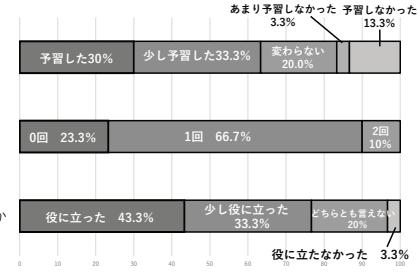


図 2 意識調査の集計結果 (N=30)

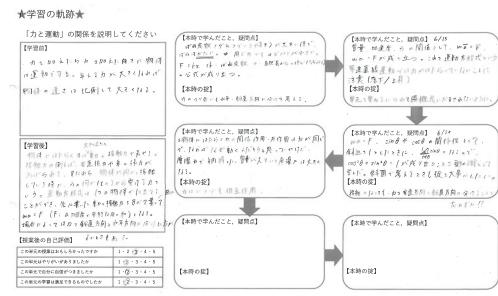


図 3 生徒が作成した OPP シート

4. まとめ

昨年度と今年度のハイブリッド型物理授業の違いは、学習計画表を事前に生徒に配布し、毎時間 OPP シートを活用して振り返りを行うことで生徒の主体的な学びを促したこと、さらに評価と指導の一体化を目指したものである。講演では実践の詳細と生徒の動機づけの変容、評価の方法について報告する。

参考文献

- [1]文部科学省、高等学校学習指導要領、平成 30 年。
- [2]野原大輝、谷口和成、辻秀人、第 37 回物理教育研究大会予稿集、pp. 76–77, 2021.
- [3]高等学校の教育課程等に関する資料（データ集）、文部科学省、平成 27 年。
- [4]堀哲夫、新訂一枚ポートフォリオ評価 OPPA、東洋館出版社、2013.

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-

瀧本家康, 南伸昌, 夏目ゆうの
宇都宮大学共同教育学部
ieyasu@a.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

質量は物体の慣性の大小を表す量であり, 物体の運動を考える上で非常に重要な量である。しかし, 高校生や大学生を対象とした質量概念の調査結果からは, 特に慣性質量の概念について著しい誤概念を有していることが明らかとなっている[1][2]。その中でも特に, 「摩擦のない水平面上や無重量空間では, 物体の動かしやすさに質量の大小は関係なくなる」という顕著な誤概念が根強く残ることが指摘されている[3]。こうした質量概念を完全に獲得させることは困難であるという指摘は, これまでにも数多く報告されているが, そのような中で質量の概念形成のための授業において, 概念理解を聞く問題を生徒に考えさせて答えを予想させ, 意見交換と実験から質量概念を発見的に理解させる展開が有効であることを[4]は示している。質量概念の中でも慣性質量について中学校段階で感覚的にであっても認識させておくことは, 上位の科学的概念を獲得する上でも有効である[5]。特に, 物体の運動について定量的に学習し始める中学校の段階から, ある程度正しい質量概念を獲得していくことが求められる。しかし, 中学生を対象として, 摩擦のない水平面上や無重量空間における物体の動かしやすさと質量の大小の関係についての意識の実態を調査した研究はないとともに, [4]が示した予想や意見交換を通じた授業展開の有効性が中学生にも適用できるかどうかについては十分に検討されていない。

そこで, 本研究では, 中学3年生を対象として, 質量概念の獲得状況についての実態を明らかにするとともに, ILDs的な手法を用いることが中学生に対して物体の動きにくさとしての慣性質量の概念を獲得させるにあたって有効であるかどうかについて検証することを目的とする。

2. 方法

質量概念の中でも, 「摩擦のない水平面上や無重量空間では, 物体の動かしやすさに質量の大小は関係なくなる」という誤概念については, [3][4]や[6]が調査を行っている。具体的には, 「無重力の宇宙空間における異なる質量の物体を同じ向きに同じ大きさの力で押したときの運動の違い」を回答させる問題を通して, 高校生の多く(70%程度)が「無重力空間では質量の違いは物体の運動に影響しないため, 2つの物体は同じ速さになる」と考えていることを明らかにしている。

本研究では, [3]および[6]で使用された調査問題を参考に, 授業実践の事前, ならびに定着度調査を実施することで, 質量概念の実態と定着度を捉えた。調査は同一の問題を使用し, [5], [7]を参考に, 無重力の宇宙空間に浮いている質量が異なる2物体に対して, 同じ力を同じ時間だけ作用させたときの運動の様子の違いを回答させた。また, 「質量とは何か」について自由記述で記載させ, 調査対象者が有している質量概念を捉えた。

実践は, 2021年10月21日に, 県立中学校第3学年105名を対象に行った。「力と運動」のまとめとして50分の授業を中学校教諭ではなく筆者らが行った。授業は[4]を参考に, 予想, 討論, 演示実験観察を組み合わせた展開とした。また, 無重力空間におけるモデル実験として鉄球とソフトボールを用いて実験装置を準備し, 両者を同じ力で押したときの動き方や手応えの違いを体感的に捉えさせた。

3. 結果

図1に「紐でぶら下げた3kgの鉄球と200gのソフトボールを水平方向に同じ大きさの力で押したときの運動の様子」についての調査結果を示す。予想の段階では「2両方とも同じ」という解答が最も多く58.8%，正答率は36.0%である。討論後には、正答率が53.2%に上昇しているが、まだ45.6%の生徒が「2」を解答している。その後、演示実験観察・体験を経ることで、正答率が98.9%まで上昇したが、この結果からは、討論だけでは正しい理解にたどり着けない場合があるとともに、演示実験観察後に討論を再び行うことによって正しい理解に至ることが示唆される。

この課題に関連した事前事後調査として、「宇宙空間に浮かぶ体重100kgと50kgの人と同じ力で1秒間押したときの運動の様子」を聞いた。事前では86%が「ウ両方同じ」とあると解答し、正答率は10%であったが、事後においても正答率は26%にとどまり、依然74%が「ウ」と解答している(図2)。

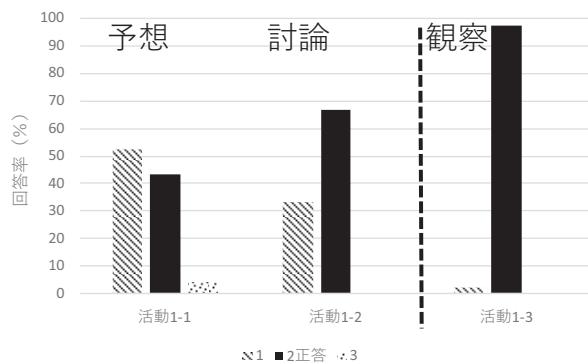


図1 調査結果（赤が正答）

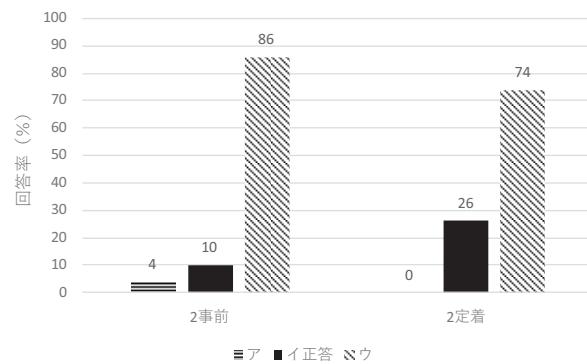


図2 事前/定着度調査結果（赤が正答）

4. 考察と今後の展望

本実践の結果からは、討論や演示実験観察を経て一時的に正しい質量概念を獲得した生徒であっても、しばらく時間が経つと、再び誤った概念に戻ってしまうため、繰り返し概念獲得の機会を設ける必要があることが示唆された。そのため、発表や討論を取り入れた場合であっても生徒の議論だけに任せるのではなく、結論を明示することにより記憶の定着を図る方略の有効性の検討も必要である。

参考文献

- [1]綿引隆文(2021) :大学工学部の初年級学生における質量の概念形成の実情, 物理教育, 69, 151-156.
- [2]綿引隆文(1992) :生徒の感じかたを大切にする授業の試み:慣性の大小を表す質量概念の形成, 物理教育, 40, 29-33.
- [3]綿引隆文・湊淳・小澤哲(2005) :高校における質量概念形成の実態と問題点, 物理教育, 53, 23-30.
- [4]綿引隆文・湊淳・小澤哲(2005) :質量概念の授業実践と概念形成過程についての考察, 物理教育, 53, 133-140.
- [5]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.
- [6]綿引隆文(2011) :概念理解を問うセンター試験問題の試作と調査結果, 物理教育, 59, 261-266.
- [7]沖野信一・山岡武邦・松本伸示(2021) :質量の科学的概念の構築をめざした教授方略に関する事例的研究—メタ認知的支援の違いによる効果の検証を通して—, 理科教育学研究, 62, 389-401.

12年間のサイコロ実験—正しい測定？

絹川 亨、船津 周一郎

神戸大学・大学教育推進機構

kinuigawa@phoenix.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

サイコロ振りやコイン投げは統計誤差を学ぶ実験として馴染み深く、発表者（絹川）も12年前、他大学での実施例[1]を簡単化して模倣し始めたが、すぐに行き詰った；他の教員の協力もあまり得られず、自分一人では多人数（～100名）に細かく目を配るのも困難となった。しかし、参加者全員のデータを即座に集計して見せれば教育効果も高いだろうとの期待もあって、中古PC60台を専用LANでサーバーとつなぐことで実現した。一方、各学生が本当に正しく測定しているのかどうかは依然、不安材料のままである。今回は協力者を得て、少しの拡張（インターネット集計と動画利用）を行って、蓄積した過去データの解析による“測定結果の正しさチェック”も試みた。

2. 実際の授業

[概要] 2コマ（180分）の授業時間のうち、前半は誤差論講義に費やして、後半では得た知識をサイコロ振りの測定結果に適用することで、講義と実験の相乗効果を狙った。

[測定] 文献[1]を参考にして、サイコロが6個入った容器を32回振る実習を用意した。具体的には、各回に出た1の目が出たサイコロの個数を X として、それをワークシートに書き込む作業を行う。全測定は5分以内に済むので集中力を維持しやすくなっている。なお、容器内のサイコロが6個なのは、(1の目が出る確率が1/6) = (X の最確値 = 1)と単純明快だからである。

[解析] 最確値（平均値） X_m や（標本）標準偏差 σ の計算、さらには X のヒストグラム作成など、ワークシートを順番通りに完成させると、誤差論の理解を深めるように工夫を凝らした。逆に、漫然と手計算を進める弊害も予想されて、以下のような考察課題を与えている。

[2つの課題] 以下の課題の理解こそ、サイコロ実験を導入した最大の目的と言って良い。

(i) 最確値（平均値） X_m とその統計誤差 σ_m

$$\sigma_m = \sigma / \sqrt{n} \quad (\text{ただし, } n \text{ は測定回数}) \quad (1)$$

という関係式を誤差論では数理的・演繹的に与えていて、レポート作成ではほぼ毎回利用することも伝えている。しかし、これだけでは大半の学生には馴染めないのが実情で、考え方を逆転して教えられないか、というのがこの課題である；標準偏差 σ は測定データ自体のバラつき具合を表すが、 σ_m はどういう量と結びつくのだろうか。つまり、経験則としての中心極限定理の学習を狙っている。

(ii) 1の目が出る確率は本当に1/6（すなわち、 $X_m=1$ ）なのか

高校数学では先驗的に1/6と教えてるので、実験前にはYesと答える学生が大半であろう。そこで、誤差論の知識を利用して様々な分布や統計量も示して、誤った確信を一歩ずつ切り崩していくのがこの課題である。印象に強く残るような経験を通して、誤差論の定着を図っている。

[集計結果]

図1はクラス全員の（32回分の平均値） X_m をヒストグラムに整理した実例で、授業終盤の見せ場となる。（各自の氏名、 X_m 、 σ_m ）を表示してからヒストグラムにデータを1名分ずつ足すことで、

全員が参加意識を持つように工夫している。さらに、(最確値の誤差 σ_m)～(ヒストグラムの広がり幅)を数値的に確認して、課題(i)の解答へと誘導している。そして、最終結果が図2である。820名分の過去データから得られた両対数グラフで、紫色の実線が式(1)からの予想である。集計データは式(1)の経験則として正しいこと、すなわち、中心極限定理の実験的な検証を示している。

3. 最近の工夫と長年の不安

コロナ禍でのICT環境整備に乗って、我々も2つの工夫を追加した；動画利用とインターネット集計。まず、動画利用では、電磁石でサイコロ振りを機械化・自動化して延々と撮影して、その録画を測定用資料とした。現在は通常実験に戻したが、欠席者用に重宝している。また、インターネット集計はGoogle Formで容易に可能で、実験室以外での実施に(WiFiがあれば)道が開けた。

以上がリモート化による工夫だが、それで長年の不安、すなわち、“本当に正しい測定を学生はやっているのか”が減ってはいない。むしろ、モニター画面の背後で学生が何をやっているのか、の不透明感は増したのでは無いだろうか。

チャンとしない測定は、即、間違ったデータを含んだ集計結果に結びつく。我々の実験では $X_m > 1$ を見せるのがヤマ場なのだが、少数の間違いでも全体が台無しになった経験もあった。主な要因は2つと考えている；単純な(計算や記入)ミスと不十分なサイコロ振り。不十分なサイコロ振りとは、上下に振るのが3回以下だと直前に出たXの値に次の値がやたら近くなることを意味する。現在は試行錯誤を経て、様々な対処法を組み合わせて、間違いデータによる被害を抑え込んでいる。

12年間の実施ということで、この機会に「結果が統計的に異常かどうか」を調べてみた。具体的には、各実施クラスに対しては、参加者が十分に多数なのでt検定の考え方を適用してみた。一方、各学生のデータは確率論からの予想値を計算して、その値が異常に低い結果の存在を調べてみた。現在のところ、授業中の印象とは違って「全て統計誤差の範囲内で説明可能」と考えている(詳細は当日発表)。

参考文献

- [1] 東大テキスト委員会編 基礎物理学実験 p. 23-26 (学術図書 2008)。

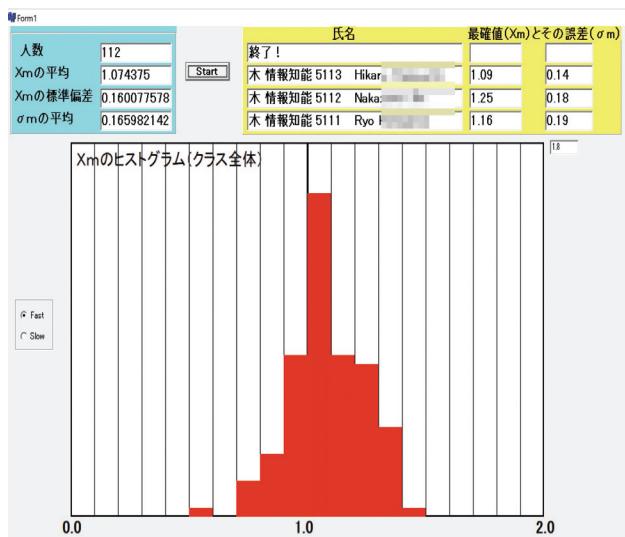


図1 最確値 X_m のヒストグラム。
H29年度後期(木)クラス112名による実例。

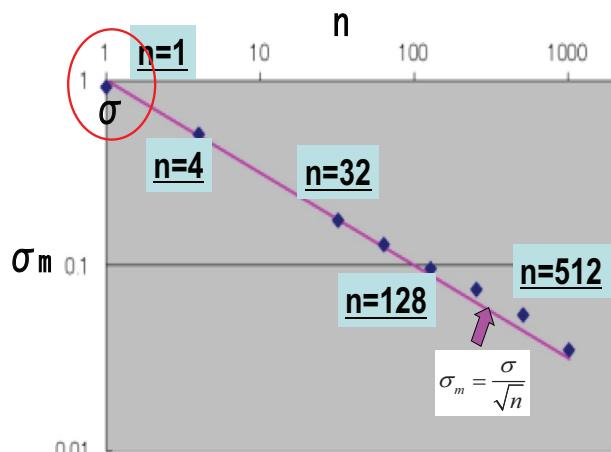


図2 実測データと $\sigma_m = \sigma / \sqrt{n}$ 式(1)の比較検証。
実線：式(1)による予測、◆：実測データ(820名分)の集計結果。

臨界と半減期の学び方

富塚 明

長崎大学環境科学部

tommy@nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

核兵器や原子力発電の仕組みを理解する上で、連鎖反応、臨界、半減期などの知識は不可欠といえる。しかしこれらはなかなか難しい概念である。この間、大学の教養教育科目（「平和講座」、「核と平和を科学する」など）で、とりわけ物理や化学を十分に学んでいない学生への講義の中で行ってきた、これらの概念を理解させるための工夫や、それを踏まえた発展的内容を紹介する。

2. 核分裂連鎖反応

核兵器や原子力発電には ^{235}U 、あるいは ^{239}Pu といった核分裂性物質（以下、核物質）が不可欠である。1個の核物質原子核の分裂で発生するエネルギーは約200 MeV ($\sim 7.5 \times 10^{-12} \text{ cal}$)と非常に小さい。このエネルギーを利用するには大量の核分裂を、核兵器であれば一瞬で、原子力発電であれば持続的に起こさせる必要がある。この仕組みが連鎖反応である。

連鎖反応のすごさを実感してもらうために次のような質問をする。「まず元日にお年玉として1円をもらう。そして翌日は前日の倍額をもらうというルールを続けたら3月22日にはいくらになるか」—これは単純なたし算なので誰でも計算できる。数学的には「初項1で公比2の等比級数の和」であり、10日で約1,000倍 (2^{10}) に増加する。1月20日には100万円を超え、30日には10億円を超える。これを続けていくと3月22日には1兆円の2兆倍 (2.4×10^{24} 円) にもなる。

これは1個の核分裂で生じた中性子のうち2個が必ず次の世代の核分裂を引き起こすという条件の下で81世代の核分裂が繰り返されたとき、その分裂総数が 2.4×10^{24} 個になることを意味する。そして1kgの核物質がすべて核分裂を起こしたことに相当する。このときに発生するエネルギーは約20兆カロリーで、およそ長崎原爆の核爆発力(yield)である。

核分裂で発生する中性子の平均エネルギーは約2 MeVであり、その速度は光速度の1/10程度である。また中性子は電荷を持たないため、次の核分裂までの平均自由行程は0.2m、時間は 10^{-8} s程度である。そのため81世代の核分裂に要する時間は100万分の1秒程度（一瞬）となる。

3. 臨界、未臨界、超臨界

次に1回の核分裂で生じた中性子のうち平均 k 個が次の世代の核分裂を引き起こすものとして、核分裂数が k の値によってどう変わるか、スマートフォンなどで次のような計算をさせる。

$$(1.0001)^{100,000} = 22,015$$

$$(1.0000)^{100,000} = 1$$

$$(0.9999)^{100,000} = 0.000045$$

このように $k=1$ だけが核分裂が安定して持続する唯一の状態(臨界状態)であることがわかる。これに対して $k < 1$ は核分裂が終息する安全な状態(未臨界)、 $k > 1$ は核分裂が爆発的に進行する危険な状態(超臨界)である。このことで実際の核兵器の運用にあたって大きな制約が課せられる。

核物質には必然的に自発核分裂を起こすものが含まれるため、常に内部で中性子が発生している。そのため核物質は必ず未臨界状態で保管し、運搬する必要がある。逆に言えばこの状態では爆発させることができない。したがって爆発させる直前に未臨界から一気に超臨界へと変化させ、かつそ

の瞬間に強制的に中性子を投入する必要がある。広島型原爆では未臨界のウランをもう一つの未臨界ウランに打ち込んで合体させて超臨界を生み出した。長崎原爆では未臨界のプルトニウムを爆薬による圧縮（爆縮）で高密度にして超臨界を生み出した。

連鎖反応で次々に発生するエネルギーは核物質を膨張させるため超臨界の程度はしだいに弱まっていく。そして未臨界状態になった段階で連鎖反応は停止する。

4. ブースター型原爆

$k = 2$ の超臨界状態では最後の 4 世代の核分裂数が全体の約 94% を占める。膨張速度を抑えて超臨界状態を長く続けられればそれだけ核爆発力を大きくできるため、核物質の外側に「慣性」を利用して天然ウランが配置される（タンパー）。

また最初から大量の中性子を発生できれば初期の核分裂過程を省略でき、同じ核爆発力を得るのに世代数（時間）を短縮できるため、タンパーを薄くでき、全体の軽量・小型化につながる。この大量の中性子発生は爆縮型原爆で超高温・超高压になる中心部において重水素・三重水素ガスを核融合させることで実現している（ブースター）。核爆発力は注入するガスの量で調整が可能で、ブースターなしの場合と比較して最大で 10 倍ほど増強させることができる。

5. 放射能の半減期

放射能とは、ある原子核がひとりでに別の原子核に変わる（変身する）性質で、1 秒間あたりの変身数をベクレル(Bq)という単位で表現する。これが放射能の強さであり放射性原子核の数に比例する。個々の原子核は余分なエネルギーを放射線として放出することで安定化に向かい、放射線を出しきると放射能はなくなる。この変身は確率現象であって、個々の原子核がいつ変身するかはわからない。放射能の半減期とは、原子集団を考えた時、その放射能の強さが半分に減少するまでの平均時間をいうのであって、個々の原子にはあてはまらない。半減期の 10 倍の時間が経過すると、核分裂連鎖反応の時とは逆に、放射能の強さはおよそ 1,000 分の 1 に減衰する。

東京電力福島第一原発事故で放出されたセシウム 137（半減期は約 30 年）は約 4 kg で、その放射能は $15 \times 10^{15} \text{ Bq}$ と推定されている。半減期の 10 倍の 300 年が経過しても $15 \times 10^{12} \text{ Bq}$ の放射能を持っている。半減期の 50 倍の 1,500 年後によくやく 15 Bq となる。つまり 1,500 年経ってもまだ変身せずにいる原子核が存在することになる。

6. 原子炉の制御

核兵器と異なって原子炉では次世代の核分裂までの時間は 10^{-5} s 程度なので 1 秒間に 10^5 世代の核分裂が起きている。通常は臨界状態の原子炉が突然 $k = 1.0001$ の超臨界になったとする。1 秒後の出力は約 2 万倍に増加し、これを物理的に制御することは不可能である。

核分裂で発生する中性子には、核分裂後即座に発生する即発中性子以外に、核分裂生成物の β 壊変に伴って、核分裂から平均 13 秒程度遅れて（ β 壊変の半減期）生ずる遅発中性子が 0.65% 程度ある。この遅発中性子のおかげで 1 秒後の出力は 0.12% しか増大せず、制御は十分に可能となる。

参考文献

- [1] Robert Serber: *The Los Alamos Primer: The First Lectures on How to Build an Atomic Bomb* (UNIV OF CALIFORNIA PR, 1992).
- [2] 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書 VI-1 (平成 23 年 6 月、原子力災害対策本部) https://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/pdf/houkokusyo_full.pdf

高校生の電気製品使用に関する意識・知識に関する調査

^A浜田栄作、^B宮西涼子

^A琉球大学教育学部、^B浦添市立沢崎小学校

e-hamada@edu.u-ryukyu.ac.jp

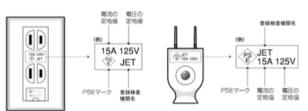
1. はじめに

独立行政法人製品評価技術基盤機構が公表する「事故情報データベース」について 2007 年度から 2018 年度までの事故情報を検索すると、39,860 件（2021/1/16 時点）の事故情報が得られ、年間数千件程度の製品事故が発生していることになる。そのうち、消費者の誤使用や不注意が原因と考えられる製品事故は、毎年一定の割合（1~2 割程度）で発生し、どの年度も家庭用電気製品と燃焼器具が高い割合を占めている。公表されている電気製品事故の原因について、頻出語を抽出したところ、コードの損傷によるスパークの発生、コンセント部と電源プラグ部の埃等によるトランシング現象、水滴や埃等の製品への侵入による電気回路の短絡（ショート）を要因とする火災や焼損の被害が発生している^{1, 2)}。これらの製品事故には、使用者の意識や行動に加え、科学的知識も関係していると考えられる。そこで、過去の事故事例をもとに電気製品事故に関する知識・意識について、高校生を対象にアンケート調査を実施し、分析を行なった。

2. 電気製品仕様に関するアンケート調査

【意識・行動】

- A) 製品を初めて使用する前に警告情報や注意書きを読んでいますか。
B) 普段の生活において、あなたがする又はするであろう行動について伺います。
- コンセントや電源プラグ、テーブルタップの定格表示を確認してから接続する
 - コードを束ねたり丸めたりしないで伸ばして使用する
 - コンセントに電源プラグの刃（栓刃）を奥まで差し込んでから使用する
 - 電源プラグの刃（栓刃）が歪んでいる場合は使用しない
 - コンセントに差した電源プラグを長期間そのままにせず、定期的に掃除や点検をしている
 - 電源プラグを、コンセントから抜くときにはコードを引っ張らず電源プラグを持って抜く
 - コードが家具などで踏みつけられたり、ドアに挟まれた状態では使用しない
 - コードを被覆するビニールの一部が剥がれたり、裂け目がある場合、製品の使用をやめる
 - 濡れた手で電気製品や電源プラグに触れない
 - 洗濯機や冷蔵庫など水回りで使用する電気製品にはアース線を接続している



C) 次の質問にあてはまる回答を 1 つ選んで ○ で囲んでください。

- 定格値が 15 A のテーブルタップに次の電気製品をつないで使用するとき、適切な範囲で使用できる組み合わせは次のうちどれか。電源は 100 V とする。
 - ノートパソコン(22 W)
 - 電気ストーブ(800 W)
 - オープンヒーター(1,000 W)
 - ヘアドライヤー(1,200 W)
 - 電気ケトル(1,250 W)
- テーブルタップに複数の電気製品をつなげるとき、電気製品の数が増えると電源（コンセント）からテーブルタップへ流れる電流はどうなるか
- 「電源プラグとコンセントの隙間にほこりがたまり、そのほこりが空気中の湿気を吸い込むことでプラグの刃（栓刃）の間に電気が流れ、発火する現象」のことを何というか
- 「誤った配線や故障などが原因で、電圧の異なる 2 つの電線が接触するか、2 線間の負荷の抵抗が異常に低下することによって、電線に過大な電流が流れる」ことを何というか
- コードの一部が断線するとコードの抵抗はどうなるか
- 抵抗の大きさが異なる抵抗器に、それぞれ同じ電圧を加えた時、より発熱するのはどれか
- 電流が流れるものはどれか
- アース線の役目として正しいものはどれか

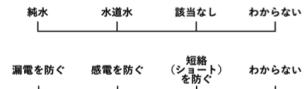
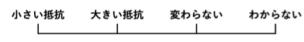
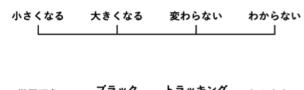


図 質問項目

2 校の公立高等学校の 1 年生を対象に、計 11 間の【意識・行動】に関する質問、計 8 間の【知識】に関する問題のアンケートを作成した。質問項目は製品事故の傾向と中学校技術（東京書籍、教育図書）・理科の教科書（東京書籍、啓林館）、経済産業省が作成した「製品安全ワークブック」

を参考に作成し、【意識・行動】と【知識】に分けて質問した（図1）。なお、【意識・行動】については、A)は「必ず読む・まあまあ読む・あまり読まない・全く読まない」、B)は「強く意識している・まあまあ意識している・あまり意識していない・全く意識していない」の4件法で行った。【知識】については「わからない」を含む4択の問い合わせで調査を行った。沖縄県内のK高等学校1年生（普通科249名、履修状況：化学基礎、生物基礎）には令和3年12月9日から23日にかけてアンケート調査（Googleフォームを利用）を実施した。県外のO高等学校1年生（普通科187名、履修状況：化学基礎、地学基礎）には令和3年12月に質問紙を用いてアンケート調査を実施した。なお、両校の生徒とも物理基礎は履修していない。

3. 結果・考察

【意識・行動】の結果について、【強く意識している】【まあまあ意識している】が全体の3割程度以下、つまり意識が低いと思われる回答はB-1、5、10であった。意識が低かったB-1の「コンセントや電源プラグ、テーブルタップの定格表示を確認してから接続する」は、定格値を超えて製品を使用し続けると発熱・発火につながる事故と関連しており、B-5の「コンセントに差した電源プラグを長期間そのままにせず、定期的に掃除や点検をしている」は、トラッキング現象と関連している。B-10の「洗濯機や冷蔵庫など水回りで使用する電気製品にはアース線を接続している」はアース線を接続せずに製品を使用し、短絡（ショート）や感電といった被害の製品事故と関連しており、「事故情報データベース」における家庭用電気製品事故の主な要因に関する高校生の意識は低いことが明らかになった。

アンケート調査の【知識】について、正答率はすべての問い合わせ5割程度以下であった。県内外の高校で比較すると、全ての問い合わせ県外高校の正答率が高く、8問中7間に有意差が見られた。

【意識・行動】の選択肢について【意識していない】と【意識している】の2つに分け、それについて知識の正答率を比較したところ、【意識・行動】B-1「コンセントや電源プラグ、テーブルタップの定格表示を確認してから接続する」という問い合わせに対し、【知識】C-1「定格値が15 Aのテーブルタップに次の電気製品をつないで使用するとき、適切な範囲で使用できる組み合わせは次のうちどれか」という電力計算の問い合わせと、C-2「テーブルタップに複数の電気製品をつなげるとき、電気製品の数が増えると電源からテーブルタップに流れる電流はどうなるか」という問い合わせは、意識が高いと知識の正答率も高いという結果が得られた。

科学知識と日常生活や社会との関連が学習指導要領等においても重視されていることから、製品事故事例やその発生原因と科学知識がつながるような理科学習が今後必要と考える。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費19K02788、22K02553の助成を受けた。

参考文献

- [1]宮西涼子、濱田栄作、理科教育における消費者製品安全教育の展開について、日本理科教育学会全国大会発表論文集、19、402（2021）
- [2]宮西涼子、濱田栄作、製品事故の現状から考察する消費者製品安全教育と理科教育、日本理科教育学会九州支部大会発表論文集、47、28-29（2021）

博物館調査と物理教育における博学連携の可能性

^A池上咲妃、^B林壮一

^A福岡大学理学部物理科学科 3年、^B福岡大学理学部物理科学科

^Asp200208@cis.fukuoka-u.ac.jp、^Bsochi@fukuoka-u.ac.jp

1. はじめに

「理科離れ」が問題視されるようになって久しい。しかし、依然としてこの問題の解決には至っていない。理科離れの理由として、子どもたちが生活するうえで自然現象と触れ合う機会が減っていることが挙げられるのではないか¹⁾と私は考えている。自然現象と触れ合う機会とは、例えば、マッチで火をつける動作が減っていることなどが例に挙げられるだろう。また、本来、自然科学が対象としているものは、身の回りのすべての自然現象であるが、多くの人が科学を教科「理科」の枠組みに当てはめて考えているように思われる¹⁾。「全国学力・学習状況調査の結果を用いた理科に対する意欲・関心等が中学校段階で低下する要因に関する調査研究²⁾」によると、中学生で理科に対する意識が低くなっていた。このことは、中学校以前、つまり、幼稚園・保育園や小学校の時の理科に対する経験や意識が、理科離れを形成していると考えてよいだろう。そのためには、子どもたちが小さいうちから、自然現象に触れ合い、理科に対する興味関心を高められる機会を得る必要がある。その手段のひとつとして、博物館・科学館に注目した。

2. 博物館の分野別の分類

全国科学博物館協議会³⁾に加盟している博物館全 218 カ所の常設展示を、以下のように分類した。まず、物理分野、化学分野、生物分野、地学分野、宇宙分野の 5 つの分野に分けた（表 1）。さらに、物理分野の展示については、高校の学習内容に沿って、力学、電磁気、波動、熱、原子の 5 領域に分類した。なお、鉄道や防災、遊具などの展示のみの施設は対象としなかった。

〈分類の際のキーワードの例〉

化学：周期表

生物：標本、感覚、人体、生命、昆虫

地学：化石、鉱物、地層

宇宙：プラネタリウム、惑星

物理（力学）：エネルギー、振り子、力

物理（電磁気）：磁石、電気

物理（波動）：鏡、音、色

物理（熱）：気球

物理（原子）：放射線

表 1

分野	割合 (%)		
化学	5.50		
生物	42.2		
地学	40.0		
宇宙	29.30		
物理	力学	81.0	
	電磁気	54.80	
	波動	66.70	
	熱	11.90	
	原子	21.40	

生物分野や地学分野に関する展示を行っている博物館は約 40% であった。それに対して、物理分野に関する展示は約 20%、化学分野に関する展示は約 5% であった。化学分野の展示割合が低いのは、体験型のものが多く常設展示が少なかったためである。次に、物理分野の領域別に注目すると、力学領域 81.0%、電磁気領域 54.8%、波動領域 66.7%、熱領域 11.9%、原子領域 21.4% で常設展示が行われていることが分かった。それぞれの領域における展示の例を挙げると、力学領域では、滑車や周期を比較できる振り子についての展示、電磁気領域では、静電気や磁界、電磁石についての展示、波動領域では、音の高低で比較できる波や光の屈折・反射についての展示など、学校の授業と直接関連するようなものが多く見られた。

3. 博物館利用の実態と展望

以上の調査結果から、物理分野の熱領域や原子領域の展示割合が低いことが分かる。これらの領域は、蒸気機関や熱気球、X線や放射線を用いた実験など、安全性や費用、装置の大きさなどの面から、学校で実際に実験するには難しい内容である。理学部や工学部など理系学部に進学すれば、このような装置を見ることがあるが、そうでなければ、その規模の大きさを想像することもできないのではないだろうか。だからこそ、これらの領域の実験や展示を博物館・科学館で行ってほしい。

また、学校での学習と直接結びつく展示が多いことから、学校の授業の一環として博物館・科学館を利用することで、授業で十分に行われていない観察や実験を行えるのではないかだろうか。また、学習環境が変わることで、子どもたちの興味も高まり、積極的に学ぼうとする姿が見られるだろう。しかし、実際に授業で利用するには、移動時間、費用など様々な課題があり、実現するのは簡単なことではない。博物館・科学館を利用するとの利点は、实物を見たり、体験したりできることにある。そこで、実際に博物館・科学館を訪れることができなくても、学校と博物館が連携できるようなシステムをつくる必要がある。例えば、資料の貸し出しや、出前授業、遠隔での授業が考えられる。このような活動を実施するためには、学校の教員が、博物館・科学館について知る必要がある。そこで、定期的に教員が博物館・科学館を訪れる事のできる日を設け、どのような資料を借りることができるか、どのような授業を行うことができるかなどの情報を得る機会を作ったり、教員同士で議論できるシンポジウムを開催したりすることが必要だろう。

一方、大学で開催した実験教室の際に、参加した子どもたちとその保護者を対象に実施したアンケートでは次のような結果が得られた。(保護者は)「理科に興味があるか?」に対して、「ある」と答えた割合は 64.0% (16人)、「なし」と答えた割合は 32.0% (8人) だった。また、(参加した子どもたちに対して)「保護者は博物館・科学館に行くか?」に対して、「ある(ときどきも含む)」と答えた割合は 64.3% (28人)、「なし」と答えた割合は 35.7% (10人) だった。これらの結果から、保護者が理科に興味があれば、博物館・科学館に行く傾向があると言えるのではないだろうか。子どもたちが科学に興味を持つためには、身の回りに科学に興味を持つ大人がいたり、身近に自然があつたりすることが影響すると考えられる。つまり、子どもたちだけでなく、大人だけで楽しめたり、気軽に遊びに行けたりするような博物館・科学館にするとよいだろう。

4. おわりに

実際に博物館に行ってお話を聞いたところ、博学連携としてパンフレットを学校に配布するだけの博物館・科学館もあった。しかし、学校の教員のための開館日を設けたり、授業で利用できるようにワークシートを作成したりしている博物館・科学館もあった。大人にも受け入れられるような博物館・科学館にすることによって、子どもたちが自然現象に触れ、理科という教科の枠を超えて科学に対する興味が高まることを期待している。

参考文献

- 1) 池上咲妃, 林壮一, 幼稚園の先生向けの実験教室の実施に向けて, 九州の物理教育 Vol. 7 (2022), pp. 21-24
- 2) 「全国学力・学習状況調査の結果を用いた理科に対する意欲・関心等が中学校段階で低下する要因に関する調査研究」https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2015/08/24/1361058_02.pdf
- 3) 全国科学博物館協議会 <http://jcsm.jp/>

教員の長時間勤務および教員免許更新制が教員を目指す大学生に与えた影響についての調査～中・高理科教員希望者と小学校教員希望者との比較調査～

^A海老崎功、^B川村康文
^A愛知淑徳大学、^B東京理科大学
iebisaki@asu.aasa.ac.jp

1. はじめに

近年、教員の長時間勤務問題が大きく取り上げられている。また、2022年7月に廃止されたが教員免許更新制も現職教員をさらに多忙にさせると不評であった。これらのことは教員採用試験倍率の低下や教員不足等の問題と無関係ではない。著者らはこれらについてこれまで2つの大学の理科教育法等の授業（中高の教員免許取得を目指す）で影響の調査を行ってきた。2022年度はこれらに加え1つの大学の理科教育法の授業（小学校教員免許取得を目指す）での調査も行った。これら2つの調査結果について報告する。

2. 2021年度までの調査

著者らは2012年度より京都府の総合大学および東京都の理系総合大学で、教職課程を選択した受講生に対し、理科教育法の授業中などで、いくつかのアンケート調査を行ってきた。その中で、2019年頃から受講生の教職に対する意識に変化が見られるようになり、アンケート項目にその変化の原因を探るためのものを追加し調査した。

(1) 2017年度と2019年度の教職希望調査

将来の教職希望について京都府の総合大学で2017年度は17人、2019年度は21人について事後調査として行ったものを比較したところ、2017年度は平均3.5、2019年度は平均2.9であった（数値が大きいほど「教職に就きたい」ことを表す）。検定の結果、教職課程の理科教育法を選択した受講生について、わずか2年間で将来の教職希望が有意に低下したということを示していた。

これらの原因についてはアンケート調査の他の項目から、教員の長時間労働問題、いわゆる「ブラック化」が教職の魅力を低下させる大きな原因であることが読み取れた。そして、その問題が未だ根本的な改善がされない現状では他に職業の選択肢がある学生が教職を敬遠するのも無理がないことかも知れないと指摘した。2020年度も継続調査を予定していたが、新型コロナウィルスにより授業形態が対面授業からオンライン授業（オンデマンド）に変更されたため断念した。

(2) 2021年度の教職希望調査

調査対象は、京都府の総合大学の1回生10名、2回生10名、3回生3名の計23名、および東京都の理系総合大学の1回生1名、3回生33名、4回生1名の計35名、総計58名である。どちらも2021年10月に、同一の質問紙を用いて調査した。アンケートは17の項目からなるが、そのうち本研究と関連する項目は8個であり、そのうち1項目のみ5%水準での有意差が認められたが、その他の項目については本研究での分析に直接関係がない残りの9項目を含めても、2つの大学の受講生の間に有意差は認められなかったことから調査結果を統合し、標本数を58として分析した。将来の教職希望の平均は3.4であり2019年に比べ上昇したが、これは改善ではなく教職の労働環境が厳しいと指摘される中で、教職を強く希望する群がより多く受講し、教職希望が弱い群の一部が受

講しなかった可能性がある。そのため、将来の職業として教職希望が強い群（選択肢 4、5 を回答）と、教職希望が弱い群（選択肢 1、2 を回答）に分けてデータを再編し分析した。

その結果、教職希望が強い群は弱い群より「教師の長時間勤務問題と免許取得は関係がある」という項目が有意に高かった。免許取得を決める際に教師の長時間勤務問題について多少なりとも考慮した結果とはいえないだろうか。

教員免許更新制が廃止されることについては「喜ばしいこと（自分にとって好都合）と思う」「教職希望に関する」「免許取得と関係ある」の 3 項目ともすべて教職希望が強い群の方が有意に低く、教員免許更新制の廃止は、教職希望が強い群ほど自分に無関係と考えていることが読み取れた。言い換えると、教職希望が強い群では教員免許更新制の廃止問題以前に、教員免許更新制そのものの有無程度では教職希望や免許取得希望の意思はゆるがないということである。この結果からも教職希望が強い学生の強い使命感や職業意識を感じられる。教職を希望し、教育現場を取り巻く問題などは無関係とばかりに使命感をもち、教員免許取得を目指す学生は次々に育っていると考えられ、継続調査および大学での対応策検討の必要性を強く感じた。

3. 2022 年度（前期）の調査

愛知県の総合大学の文学部教育学科 2 回生（一部 3 回生も含む）113 名について、2022 年 6 月にアンケート調査を実施した。この学部はほとんどの学生が小学校教員免許取得および将来、教職に就くことを目標として受験、入学してくる。教員免許取得は必ずしも必須ではなくいわゆる「ゼロ免」でも卒業は可能であるが、その数はごく少数にとどまることもあり、将来の教職希望の平均は 4.2 と高かった。そして、先の教職希望が強い群と比較しても、同程度以上に長時間勤務問題や教員免許更新制の有無など無関係と考える学生が育っていると考えられた（表 1）。

表 1 教職の希望が強い群と教育学科学生の平均値の比較

調査項目	中高理科の教職希望が 強い群（2021 年）	小免許取得が前提の 学生（2022 年）	表の数値
長時間勤務と教職希望	3.8	3.3	大ほど関係ある
長時間勤務と免許取得	2.5	2.2	大ほど関係ある
更新制廃止と自分	3.6	3.6	大ほど好都合
更新制廃止と教職希望	1.7	1.6	大ほど関係ある
更新制廃止と免許取得	1.6	1.5	大ほど関係ある

4. 今後の調査予定

愛知県の総合大学の文学部教育学科 1 回生約 110 名については後期の授業中に調査を行う予定である。また、これまで同様、京都府の総合大学および東京都の理科系総合大学については後期に継続調査を実施する予定である。

参考文献

- [1] 海老崎功・川村康文・遠山一郎、教員の長時間労働および教員免許更新制の廃止が理科教員を目指す大学生に与える影響についての調査、人間教育学研究 8 号、pp. 47-55、2022

ポスターセッションプログラム

8月11日 12:45—13:45

- | | | |
|---|--|-------|
| A | 自作システムによる実験室のオゾンガス消毒 | 絹川亨 |
| B | 慣性を考えよう（子ども実験教室の報告） | 原田啓一 |
| C | 新型起電機の演示実験 | 秋山和義 |
| D | 音の伝播の概念理解に関するインタビュー調査 | 濱田彩日香 |
| E | 高校1年生が「物理基礎」を学ぶ過程での誤概念の変化
—その後の
「物理」選択者と非選択者の比較— | 河野杏樹 |
| F | 実験・シミュレーション動画を予習に組み込んだ一方向授業 | 板橋克美 |
| G | フックの法則を学修する自宅実験可能な配布キットの開発と授業実践 | 大久保尚紀 |
| H | 相互情報量を用いた概念調査の分析 | 柴田 樹 |
| I | 時系列のデータを音声化するウェブアプリケーションの開発 | 渡會兼也 |
| J | 量子力学的な斜方投射運動の計算機実験 | 植松桃子 |
| K | 『アドバンシング物理A S』第7章「量子的振る舞い」授業実践の試み | 阿部春樹 |
| L | 週末実験課題”Weekend Mission”を導入した高密度な探究的学习プログラムの開発 | 小川慎二郎 |
| M | 言語活動による物理的思考力の定着化の試み -女子高生にも積極的に
物理の授業を楽しみながら理解をしてもらうために- | 朝倉彬 |

自作システムによる実験室のオゾンガス消毒

絹川 亨、船津 周一郎

神戸大学・大学教育推進機構

kinuigawa@phoenix.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

今年度より物理学実験の授業を完全対面の形に戻したが、TAによるサポートも(希望者不足で)足りず、教職員が何かと多忙となっている。そこで、この2年間に準備した自作システムによる消毒法を、授業後に自動的に実行して後片付けを出来るだけ省力化した；無人の夜間に実験室を閉め切って、低濃度オゾンガスで適切な時間だけ満たす。

一般に、オゾンガスを使う消毒法では簡便（空気中での放電だけで薬剤不要） 確実（気体が隙間にも拡散浸透） 低価格（発生器はネット通販で5千円以下） が期待できるが、今回の自作システムでは定量的という特徴を附加した。システム各部の詳細は、（2回あった）物理学会での発表資料[1]を参照してもらって、今回は”本当に大丈夫か”という検討事項を中心に説明する。

2. 基本的な構成と方針

自作システムの基本構成は図1のように単純で、安価なオゾン発生器、電気化学的な濃度センサー[2]、(Arduino UNO+リレー) の制御器の3つから成る。利便性を高めるため、ArduinoとPCをシリアル通信で結ぶと、PCのリモートデスクトップ機能で遠隔制御・モニターも可能となる。

基本方針は2つである；(i) 出来るだけ低い濃度のオゾンガスを出来るだけ長時間保持する、(ii) 消毒終了は $CT = C(\text{濃度 ppm}) \times T(\text{分})$ で定量的に判断する。方針(1)は室外に万一漏れても危険な限度(0.1ppm)を超えず、時間をかけて部屋全体にガス拡散させるためである。方針(2)は2つの医学的なデータ[3][4]をもとに消毒の過剰も不足も避ける意味がある。より詳しくは医学的には通常、対象ウィルスはオゾン分子との1回衝突で不活性化されると考えて、実測したウィルスの減衰曲線は指數関数的 $\text{EXP}[-\alpha CT]$ (α は適当な定数) であるとして片対数グラフで提示される。そこで、前述の2つの医学データを精査したところ、いずれも $CT \sim 180$ でコロナウィルスの残留は0.1%以下を示唆して、この値を消毒終了の目標値とした。具体的には、0.25ppmで $CT = 180$ ならば1.2時間、ロスタイルを考慮しても1.5時間以下で終了となる。すなわち、前日の18時に消毒開始すると、翌朝9時には終了というスケジュールである。

3. 実施方法とその再検討

実施方法の詳細も[1]で公表しているので、以下では新たに検討した事項を列挙する。

- (1) 消毒失敗の可能性？ 可能性が高いのはオゾン発生器の不調や故障であろう。そこで、ガラス管や金属板の放電電極を使った故障の少ない製品を、各部屋に複数台設置するようにした。つまり、1台が壊れても残りで消毒を継続する戦略である。2年間の運用で1度だけ自作のガラス管発生器が故障したが、授業前に次亜塩素酸水を霧状に噴霧して対処した。
- (2) システムの暴走？ 停電後の通電開始などで、オゾン発生器が予期せず起動したことがあった。そこで、ハード的なスイッチONだけでなく、シリアル通信でON命令も来ないと起動しないようにした。また、センサー出力電圧に不調を感じると停止するようにも変更した。

- (3) 室内にダメージ? 低濃度オゾンは医療施設で長年使用されていて、概ね大丈夫と知られているが、天然ゴムだけはすぐに割れるので注意を要する。特に、古いエアコン内部では使用の可能性が高いので消毒中は停止させ、代わりにサーキュレーターでの送風が無難である。
- (4) 濃度は正しい? [2]のセンサーを使用したデジタル測定モジュール[5]が手に入ったので、その出力値で自作システムを感度較正している。マニュアルによると、相対的な誤差は±15%、測定精度は±0.02ppm ということで、実用的にも簡便さからも十分と考えている。

4. 結果

典型的な消毒結果が図2で、オゾン濃度の時間変化を示している。このグラフを見ると、開始7時間後に発生器が一時的にOFFとなっているが、これは0ppm-baselineが正しいかどうかを、濃度の指標的減衰から確認するために意図的に停止した結果である。また、濃度をかなり一定に保持できている。その理由は、発生器をリレーで単にON/OFFする以上の調整を行なっているからである。すなわち、通電時間のDuty比まで可変としていることによる。

5. まとめ

2年以上の運転を経て、自作でも問題は少ないと考えている。ただし、初期の頃は濃度制御ゼロでタイマーのみの時間制限だけであったため、室内の鉄製品を錆びさせたり、室外にオゾンが漏れて危険な濃度(0.1ppm)を超えたとき、信頼性の低いセンサーを使って濃いオゾンガスを吸い込んで咳き込むなどの失敗を経験した。コロナ禍後、オゾンガスによる消毒は医療器具に対しての医学的な報告が多数あるが、部屋全体(室内の機器・器具も含めて)の定量的な消毒は、おそらく、初めてではないかと思われる。その意義には批判もあるが、実験後のゴミ山(特に、使い捨て手袋やペーパータオル)を片付ける身で感じるのは、“消毒済みで安心”というものが率直な感想である。

参考文献

- [1] 2021年秋と2022年春の発表資料はresearchmap《絹川 亨》からダウンロード可能。
- [2] SPEC Sensors LLC, ULPSM-03 968-046.
- [3] <https://www.naramed-u.ac.jp/university/kenkyu-sangakukan/oshirase/r2nendo/ozon.html>
- [4] <https://www.fujita-hu.ac.jp/news/j93sdv0000007394.html>
- [5] SPEC Sensors LLC, DSG-03 968-042.

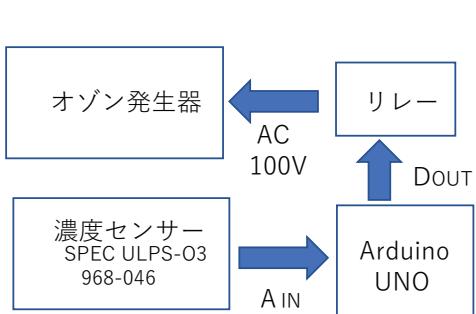
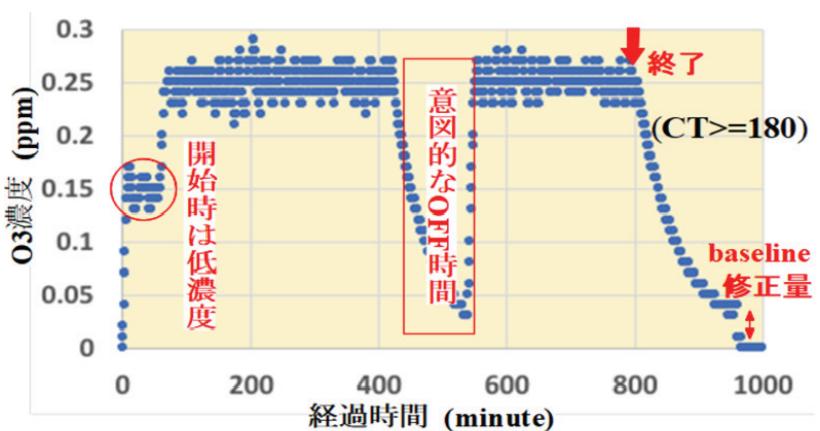


図1 基本構成

図2 Lab内O₃濃度の時間変化

慣性を考えよう（子ども実験教室の報告）

元長崎県高等学校教員 向陽高校看護専攻科非常勤講師 原田啓一
 E-mail: 2r0m1s4@eri.bbiq.jp

1. はじめに

これまで子ども実験教室のため、4つの講座「サイホンを考えよう」「虹を考えよう」「静電気を考えよう」「回転を考えよう」を作り実施してきた。今回、5つ目の講座「慣性を考えよう」を作り、子ども実験教室で3回実施した。いずれの講座も、非常勤講師の物理授業のため作成した器具に、子供向けの器具と、身近な自然現象を入れた器具を加えたもので、実験を通してその現象を考えさせている。実験教室の講義時間は約2時間、科学の祭典では長机2個分の広さで行っている。

ここでは「慣性を考えよう」を作ったきっかけ、展開方法、製作した器具などを報告する。授業で用いていた器具は少なかったので、ほとんど新しく製作した。新奇な器具は少ないが、見逃していた現象に気づくことも多く、自分自身の勉強になった。

2. きっかけ

理科サークル「九州物理教育研究グループ（九物研）」月例会で、「慣性の法則は、運動方程式 $ma = F$ の加速度 $a = 0$ の場合になるので、第1法則に慣性の法則を取り上げる必要はない。第2法則と第3法則から、授業の展開している先生がおられる」と話題提供があった。その時は聞き流したが「慣性の法則が分かると完成だぞ」と馴染みながら、慣性の大切さを教えてきた私には大きな問題提起であった。そこで著書「物理ノート三訂版」に、慣性について自分なりの考えを、問答形式で書き加えた。問答集を書き上げる中で、子ども達に慣性の法則の大切さを実体験させたいと強く思うようになった。つまり、物体に働く外力がない時は、静止している物体はいつまでも静止の状態を続けようとする（ここでは静止慣性と名付ける。この言葉は講座では使わない。次も同じ）、並進運動している物体はその速さで直線運動をしようとする（速度慣性）、回転している物体はその角速度で回転を続けようとする（回転慣性）ことである。そこで、この3つことを教える講座を作ることにした。運動量や角運動量保存の法則には触れないようにしている。

3. 講座の展開

講座は、表1の指導案（抜粋）に沿って行っている。まず平面滑走台に舟形の滑走体（舟滑走体と名付ける）を静かに乗せ、静止慣性を導入する。静止慣性を受け入れることによって説明できる現象を、子ども達自らが実験を行い、実体験する。次に平面滑走台で舟滑走体を動かし速度慣性を導入する。速度慣性を受け入れることによって説明できる現象を、子ども達にも参加を促し、共同で教卓実験を行う。最後に、平面滑走台で舟滑走体を回転させ回転慣性を導入する。回転慣性を受け入れることによって説明できる現象を、回転軸に注目させながら教卓実験を行う。実施状況を次の通りである。コロナ感染症対策で、実施回数や参加者は伸びなかった。また科学の催しも少なかった。

2021.10.23(土) 10:00～12:00 長崎市科学館実験教室 子ども4名 保護者3名 計7名

2022.1.22(土) 10:00～12:00 大村市子ども科学館実験教室 子ども6名 参観者10名

2022.5.21(土) 10:00～12:00 長崎市科学館実験教室 子ども7名 保護者5名 計12名

過程	活 動 内 容	用意する物
導入 1	(1) 静止慣性の導入 1, 平面滑走台 … 舟滑走体の静止	平面滑走台・舟滑走体
展開 2 30分	(2) 静止慣性の体験 1, だるま落し 2, ピンヘ鉛筆落とし 3, 紙で吊された物体の慣性力 4, ワイングラスのシート引き	だるま落とし 6班分 鉛筆落し 6班分 紙引き実験 6班分 ワイングラス実験器
展開 3 10分	(3) 速度慣性の導入 1, まさつ力説明… 舟滑走体の停止 2, 平面滑走台 … 舟滑走体の運動 3, CD滑走体の運動	平面滑走台・舟滑走体 平面滑走台・舟滑走体 CD滑走体 6班分
展開 4 20分	(4) 速度慣性の演示 と体験 1, 発車の時の乗客 停車の時 2, 発車の時の吊した物体 停車の時 3, 発車の時の水中のウキ 停車の時 4, レール上の金属球の運動	台車・平面台車 慣性振り子実験器 慣性ウキ実験器 レール実験 6班分
展開 5 5分	(5) 回転慣性の導入 1, 平面滑走台 … 舟滑走体の回転 2, 回転体 2個	平面滑走台・舟滑走体 回転体 2個
展開 6 15分	(6) 回転慣性の演示 と体験 1, 回転体の支持ひもの切断 2, 回転体の軸を傾ける実験	支持ひも付き回転体 回転体 2個
展開 7 10分	(7) 速度慣性と 回転慣性の共存 1, 平面滑走台 … 重心で回転 2, 平面滑走台 … 重心以外で回転	平面滑走台・舟滑走体 回転軸が重心以外
展開 8 10分	(8) 遠心力 1, 遠心力の説明 2, 回転台で、吊した物体・水中のウキ	ひも付きボール 回転台・張力・ウキ

表 1 指導案（抜粋）

4. 器具について

教卓実験器具を約10点、班ごと（6班）に子ども自身が行う班別実験器具を5点、準備した（表1参照）。平面滑走台（60×90cm）の表面には2cm間隔で直径1.5mmの穴を1276個空けている。これにプロアで送風された風を送り、舟滑走体を浮かせている。この平面滑走台が、この講座を支える実験器具になっている。

5. 終わりに

慣性の法則を、ニュートンの運動の法則の中だけに留めてきた自分自身に後悔をしている。力が釣り合っているとき、いつまでも回転できることを認識することは、電子のスピンや、地球自転を認識するためにも大切と思う。九物研の例会では、第1法則の重要性は慣性系を定義している所にある・回転まで慣性を拡大して良いのか・運動量保存や角運動量保存の法則とどう折り合うのか等、多くの助言をもらった。

参考文献

- [1]九州の物理教育 Vol. 1 2015年3月発行 物理実験の器具作り 原田啓一
- [2]九州の物理教育 Vol. 6 2021年3月発行 自然と物理実験 原田啓一
- [3] 第32回物理教育研究大会発表予稿集 2015年度 物理実験の器具作り 原田啓一
- [4]物理ノート三訂版 第5編第4章「慣性」 2020年4月発行 著者 原田啓一

新型起電機の演示実験

秋山和義

元兵庫県立神戸高等学校

quork@kba.att.ne.jp

1 はじめに

新型起電機(図1)を用いてできる実験を紹介・演示する。この新型起電機は静電誘導によって2枚の金属板に正・負の電荷を誘導してその金属板を引き離すことで仕事を加えて静電エネルギーを高めてコンデンサーに蓄える装置で、誘導型起電機に属する。これはウイムスハースト起電機、ディロッド起電機等と同様の原理でより簡単化したものである。なおコンデンサーの電圧が上昇するに従って加える仕事を増し、積算的に静電エネルギーが蓄えられて電圧が上昇する。本起電機は正極端子、負極端子を備え、正、負単独、または同時に電荷を供給でき常時5千V以上4~5万V以上最大6万Vの電圧を出力できる。摩擦電気と比べて比較的高電圧で大概の静電気の実験が可能である。しかし、本起電機の原理そのものが本質的な静電気の実験である。

ライデン瓶(コンデンサー)を備えているので火花放電が激しく起こり、様々な静電気の実験で球ギャップによる電圧測定が可能になった。高電圧のため実験では感電に注意が必要である。感電すると強いショックを受けていやな思いをするが命に危険ということはない。それはバンデグラフやウイムスハースト起電機と同様である。



図1 起電機

2 新型起電機による実験

2.1 球ギャップによる放電電圧(スパークオーバー電圧)の測定

ギャップ	Cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	2.0
電圧	kV	31	33	36	38	41	43	45	48	50	52	54

図2 ギャップ長とスパークオーバー電圧表

球ギャップとは高電圧の測定に使用される一对の球電極のギャップ(間隔)をいう。球電極の直径、そのギャップの長さを一定にすると放電を起こす電圧(火花電圧)は、ほぼ一定となる。この性質を利用して、測定したい電圧を球ギャップに加えて、放電(正確には火花放電)を開始するときのギャップの長さを測ると、電圧を知ることができる。この方法は実用にもされ、日本工業規格でも定められている。図2の表は資料(ムーア著「静電気の話」)に基づいて、直径3.2cmの球に補正した値である。なお、厳密には気温、湿度、空中イオン等にも影響される。測定ではギャップ長を一定にして電圧を徐々に上げるか、電圧を一定にしてギャップ長を変化させて放電開始を知る。放電開始は火花と音で知ることができる。ギャップ

長さの測定には楔形のゲージを自作して用いた。有効数字は2桁で誤差は数パーセントと考える。

2.2 3種類の紙箔検電器と電圧

この3種の検電器の電圧と角度を図(3)中に示す。円盤型は箔の長さを10cm~50cmまで変えることができて鉛直下方から真上まで開くので教室の後ろからでもよく見える。カップ型は生徒の自作用、教卓型は教師が教卓上で説明しながら箔検電器の実験ができる。

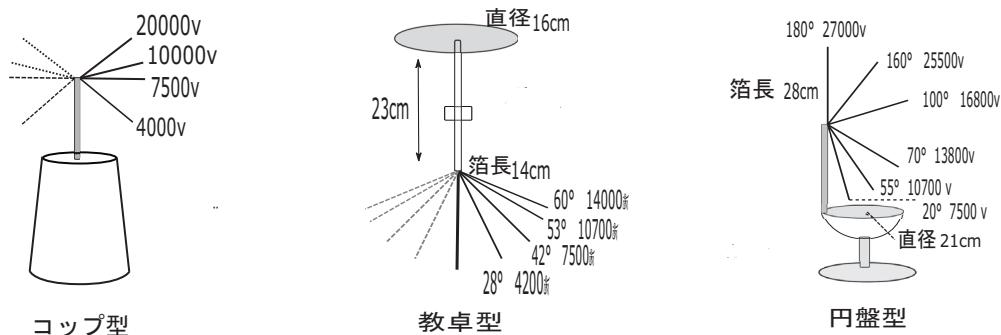


図3 3種類の紙箔検電器電圧

2.3 力線の演示、静電モータなどその他の実験

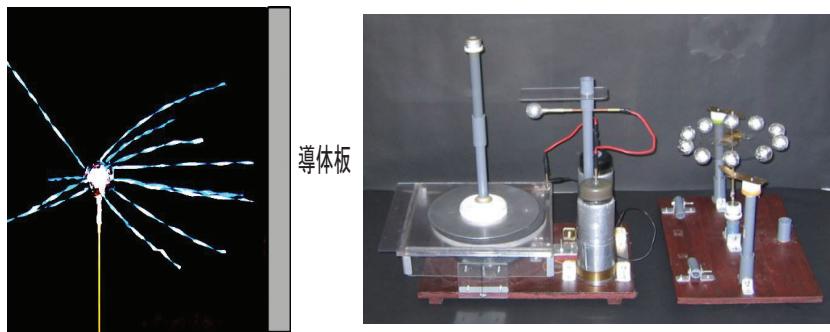


図4 点電荷と導体の壁の電気力線、起電機と静電モータ

写真(図4)は電気力線と起電機で回るモータの実験である。起電機は発電機に相当して仕事が加えられ、その仕事が静電エネルギーになりモータを回す。この実験では仕事がどこで、いかに行われ、静電エネルギーがどこに蓄えられ、どのように力学的エネルギーに変わるかの関係を示す。

3 おわりに

静電気力は自然界の物質をつくる基本的な力である。しかし静電エネルギーもまた基本的である。従来の静電気の実験は静電気力で考えることが中心であるが、箔が開くのは静電気力の働きであると同時に箔を開かせるエネルギーも必要である。そのエネルギーはどのようにつくられ存在するのであろうか。エネルギーの大きさの指標が電気量および電圧と考えられる。静電気の学習ではエネルギー的考察から電圧概念を知ることが必要である。静電気の実験はある調査によれば日本の学校で最も多く行われているそうである。そうなら、実験もエボナイト棒の摩擦電気から一步深化させる必要がある。本起電機の実験で力学的仕事から静電エネルギーを作り出す過程を学ぶことができると思う。

音の伝播の概念理解に関するインタビュー調査

濱田彩日香, 宗尻修治

広島大学大学院 先進理工系科学研究科

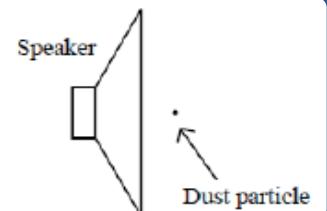
m224025@hiroshima-u.ac.jp

背景:力学的波動を深く理解することは物理学の他の高度な内容の学習にとっても重要である。一方で、入門レベルの波動・音波の伝播には理解が困難な概念が含まれており、学習者はしばしば波動伝播に関して誤った概念を保有していることが明らかにされている[1, 2]。本研究では、高校で物理を学び終えた大学1年生が、力学的波動伝播についてどのように理解し、どのような推論を用いて問題を解くのかを明らかにすることを目的とする。

対象学生と調査方法:調査対象の学生は、A大学で微積分をベースとした入門物理学を履修する1年生から募集した。その結果、15名の学生にインタビューを行うことができた。全員高校で物理を一通り学んでおり、大学入試においても物理を選択している。インタビューは1対1の半構造化形式で行い、問題を解きながら考えていることを言語化してもらう思考発話方式を用いた。インタビューで使用した質問項目は、Xieら[1]の多肢選択式テストをもとに、Wittmannら[2]の選択肢を加えた波動伝播に関するものとした。これは、空气中や水中の音の伝わり方、弦を伝わる波の速さ、波形の理解など、波の伝わり方に関する15問で構成されている。学生の素朴な考えを聞くために、はじめは選択肢を見せないで、自由に発言してもらい、その後、学生の考えに最も一致している選択肢を選んでもらう形式とした。学生の考えをより深く聞き出すために適宜質問を行ったが、その際回答を誘導しないように注意を払ってインタビューを行った。

結果:ここでは15問のうち音の伝播に関する次の問についての結果を示す。

問: 小さなほこり(Dust particle)が、音を発生していないスピーカーの前に浮かんでいる。スピーカーがONになり、一定の高さの、大きな音が鳴りはじめた。ほこりの粒子(Dust particle)は、どのように動くか。[1]



この問に対する回答選択肢は表1に示すAからEの5つである。正解は「A: 音が鳴り始める前とほぼ同じ位置の周りを前後(紙面上では左右)に往復運動する。」である。高校物理では、「波は媒質の振動が伝わるだけで、媒質そのものは波とともに進まない」[3]と明確に説明され、また、音は縦波であることも学ぶ。したがって、この問は、これらを理解していれば正解を選ぶことができると思われる。表1に15人の学生が選んだ選択肢、および、その選択肢を選んだ理由をまとめた。なお、複数選択を認めているので、ここでは16の説明を記述してある。

まとめ:15名中8名の学生がほぼ正しい説明ができ、正解の選択肢Aを選んだ。一方で、音が縦波であるという知識を持たない学生が少なくとも15名中5名いた。また、音は縦波であるという知識は持っていても、選択肢Bを選び、横波のように振動すると考える学生

もいた。そのような学生は「縦波」という知識はあっても、縦波の具体的な現象と結びついていないと思われる。また、「式で計算するのはできるけど、説明ができない」、「言葉にするのが難しい」という声もインタビューの中で聞かれ、音の伝搬に関して、「どう動くか」「どのような様子になるか」といった状況を説明するような間に苦手意識を持っていることが分かった。知識や式を使って答えられない場合、正しい考えと誤った考えの混在した独自のモデルを形成して説明する学生がいることもわかった。

表1：15名の学生の選んだ選択肢と、それを選んだ理由の説明

選択肢 A：音が鳴り始める前とほぼ同じ位置の周りを前後（紙面上では左右）に往復運動する。（8名）
<ul style="list-style-type: none"> 空気分子はその場で振動しているだけなので、埃も同じであると考えると移動しない。（3名） 音は縦波なので前後に振動する。水の上にものを落としても移動しない。（2名） 音は縦波であるので前後に振動する。スピーカーに手を当てた時風が吹かないで、埃は離れていかない。 音は疎密波で、疎になつたり密になつたりすることで、結果として波が伝わっているように見える。空気はその場で単振動しているので、移動はしていない。
選択肢 B：音が鳴り始める前とほぼ同じ位置の周りを上下（紙面上では上下）に往復運動する。（6名）
<p>【音は縦波であるという知識は持っているが、選択肢 B を選んだ学生の説明】</p> <ul style="list-style-type: none"> 埃が空気分子の上に乗っていると考えると、机を叩くと机の上の物体が、上に振動するから、空気分子の振動によって埃は上に振動する。 スピーカーから音が鳴り始めると、埃に力が働いて、少し動くが、音が鳴り始めると平衡状態のようになるので、移動した場でそのまま振動を続ける（慣性のようなイメージ）。スピーカーの前に砂を広げた実験を見たことがある、縦に振動していたから埃も同様に振動すると考えた。
<p>【音は横波であると考えている学生の説明】</p> <ul style="list-style-type: none"> 海にいる自分を考えた時に、波の進行方向に対して自分は上下に振動するだけなので、埃の粒子も同様に振動する。 ボールが水の上に落ちて、水を振動させるとボールは上下に振動するから。 音は横波であり、スピーカーは空気の振動で伝わるから、埃も同じように振動する。空気の振動を可視化した感じになる。波は、媒質の振動が周りに伝わることで伝わるので、埃も離れていかない。 音は横波なので、サインカーブの波形に合わせて上下振動する。
選択肢 C：スピーカーから離れていく。（1名）
<ul style="list-style-type: none"> 音は縦波だから空気の振動に合わせて振動する。振動しながら離れていくことで相手に音を伝える。（A も選択）
選択肢 D：サインカーブ（正弦波）を描いてスピーカーから離れていく。（1名）
<ul style="list-style-type: none"> 音が相手に伝わることは、音によって空気分子が相手のもとに移動しているからと考えた。音は横波である。
選択肢 E：そのほか。（0名）

参考文献

- [1] L. Xie et al., Phys. Rev. Phys. Educ. Res. **17**, 020122 (2021)
- [2] M. C. Wittmann et al., Phys. Teach. **37**, 15 (1999)
- [3] 高等学校 改訂 物理基礎, 第一学習社 (2017)

高校1年生が「物理基礎」を学ぶ過程での誤概念の変化 —その後の「物理」選択者と非選択者の比較—

^A河野杏樹, ^B加賀栄子, ^A宗尻修治

^A広島大学大学院 先進理工系科学研究科, ^B同大学院総合科学研究所

munejiri@hiroshima-u.ac.jp

1. はじめに

力学概念調査(FCI)は、力学の概念理解の調査のために世界で広く用いられている多肢選択式テストである[1]。その誤答選択肢から、学習者の持つ誤概念を診断することもできる。これまでに、インペタスや活性力に関する誤概念の克服は特に難しいことなどが報告されている[例えば、2]。

我々は、ある私立女子中高一貫校の生徒を対象として、力学概念調査を実施してきた。この学校では高一で約7割の生徒が物理基礎を学び、そのうち約6割が高二以降で物理を学ぶ。物理を選択しない生徒は主に文系の生徒、または理系であるが物理を選択しない生徒のいずれかである。物理基礎のあと物理を選択するかどうかの理由は、各生徒に尋ねなければ分からぬ。しかし、物理を選択する生徒としない生徒を比べると、物理基礎を学んでいる段階で持っている力学概念には違いがあるかもしれない。

本研究の目的は、物理基礎を学ぶ生徒の内、その後物理を選択した生徒と選択しなかった生徒が、物理基礎を学習している高一の時点でそれぞれどのような誤概念を持っているか詳細に調べ、両者に差があるかどうかを明らかにすることである。特に克服が難しいとされているインペタスや活性力に関する問や誤概念が、物理選択者と非選択者の間でどう異なるかについて注目する。

2. 方法

本研究では、2013年度から2015年度における高校一年の生徒を調査対象とした。高一の初め(4月)と終わり(2月)にFCI調査を行っている。その中から、4月、2月ともに受けており、いずれのテストにおいても未回答の問が2問以下であった生徒301人分のデータを分析に用いた。301人中、高二以降で物理を選んだ生徒は167人、選ばなかった生徒は134人であった。

全体のスコア、および、問ごとに、物理選択者と非選択者の正答率に差があるかを調べた。また誤答であった場合に、その誤答の種類に差があるかについても調べた。以下、差の検定によるP値が0.05以下となった項目について述べる。また、FCI各問が関係する概念と誤概念の内容については、文献[1,2]の表現を用いている。

3. 結果

表1に、物理選択者、非選択者および全体の4月と2月の全30問のスコア平均値と、4月と2月それぞれの時点における両者の平均値の差の検定のP値を示している。全30問のスコアは4月当初から物理選択者と非選択者の間に差があることが分かった。

次に、問別に正答率の差を調べた。

(1) 4月と2月のいずれも差がある問

4月当初から物理選択者と非選択者の間で正答率に差があり2月の時点においても差がある問があった。それらは問1(重力)、問9(ベクトルの和)、問10(運動の第一法則)、問19(位置と速度の区別)、問20(速度と加速度の

表1 物理選択者と非選択者の平均値(正答率)
±標準誤差と、差の検定のP値

	全体 N=301	物理選択者 N=167	非選択者 N=134
4月	8.18±0.18 (27.3%)	8.77±0.26 (29.2%)	7.44±0.23 (24.8%)
差の検定 P値<0.001			
2月	14.15±0.33 (47.2%)	15.85±0.46 (52.8%)	12.04±0.39 (40.1%)
差の検定 P値<0.001			

区別) の5問であった。

(2) 4月は差がないが2月になると差が生じる問

物理基礎を本格的に学ぶ前は物理選択者と非選択者の間で差があるとは言えないが、学ぶ過程で正答率に差が生じる問があった。それらは、問7, 17, 24, 25(運動の第一法則), 問11, 17, 25(重ね合わせの原理), 問13(重力), 問16(第三法則), 問18(固体との接触に関する力の種類), 問26(第二法則), 問27(摩擦に関する力の種類), 問30(空気抵抗に関する力の種類)の11問である。問25以外は、誤答選択肢にインペタスや活性力の誤概念が含まれている問であった。4月の時点では物理選択者も非選択者もインペタスや活性力に関する誤答選択肢を同じくらい選んでいるが、2月の時点では物理選択者の方がインペタスや活性力に関する誤概念を克服している割合が高いことが分かった。

(3) 誤答選択肢の中で、選ばれる選択肢の割合が変化した問

問27は、一定の力で箱を水平に押していた時に、いきなり力を加えるのをやめた後の箱の運動について問う問題である。正答は選択肢3で「直ちに減速し始めて停止する」である。誤答の中で多くの生徒が選ぶ選択肢は、選択肢1「直ちに止まる」、選択肢2「しばらくの間一定の速さで進んでいるが、やがてゆっくりと止まる」

である。選択肢1は「運動は活性力の存在を示唆している(活性力)」と「質量は物体を止める(抵抗)」という2つの誤概念を含み、選択肢2は「インペタスの散逸」と「質量は物体を止める(抵抗)」の2つの誤概念を含む。

物理選択者の4月と2月の各選択肢の選択割合は、誤答選択肢1が0.25から0.16、選択肢2も0.23から0.14へと減り、また、正答選択肢3は0.42から0.55へと増えている。一方、非選択者は、正答選択肢3は0.44から0.36へやや下がる(差の検定P=0.17)。このとき誤答選択肢1が選ばれる割合は0.29から0.15に減少し、誤答選択肢2の選ばれる割合が0.17から0.28に増えている。選択肢1の割合が減り、選択肢2の割合が増える変化は、Morrisの項目反応曲線[3]の結果と同様であり、ニュートン力学の理解度が向上するにつれて、選択肢1から2、2から正当選択肢3へ移っていくものと解釈される。しかし、個人の選ぶ選択肢の変化を追跡すると、必ずしもそうなっていないことがわかった。物理選択者のうち4月に正答3を選んだ生徒の15%ずつが2月で誤答1と誤答2を選んだ。一方、非選択者は、4月に正答3を選んだ生徒の13%が2月に誤答1に、32%が誤答2に移っていた。つまり、非選択者の2月に誤答2が増えるのは、正当からインペタスを含む誤答に移る生徒が多いためであることがわかった。物理非選者の方が、一旦正当を選んでいても誤答に移るLossの割合が高いことが分かった。

参考文献

- [1]新田英雄, 塚本浩司(2011), FCI(Force Concept Inventory)とは何か, 大学の物理教育 17, 16
- [2]右近修治(2016), 誤概念診断ツールとしてのFCI, 東京都市大学共通教育部紀要 9, 67
- [3]Gary A. Morris et al. (2012), Am. J. Phys. 80, 825

実験・シミュレーション動画を予習に組み込んだ一方向授業

板橋 克美

崇城大学総合教育センター

itahashi@ed.soho-u.ac.jp

1. はじめに

大学初年次での物理教育は、教養教育としての側面だけでなく、基礎教育としての側面も併せ持つことが多い[1]。特に、理工系大学では後者の面が強く、基礎的な物理学の知識・概念を大学初年次で理解させ、専門科目を理解するための礎を作る必要もある。その中で、十分な知識と強固な概念を形成させるために、アクティブラーニング（以下、AL）と、講義形式をどのように併用する必要があるか、ということが課題となってくる[2, 3]。

一方、コロナ禍に入り、多くの教育機関でオンライン授業が余儀なくされたことを受け、オンライン授業の手法が浸透してきている。オンライン授業はオンデマンド型や同時双方向型など多様な方法があるが、多くの大学、各教員が講義科目、実験科目の両方で様々な工夫を行い、概念形成や知識の教授に努めている。筆者も昨年度までオンデマンド型授業を主として、学習管理システムやテレビ会議システム、ICT機器を用いて講義内容を模索してきた。

本研究では、これらのオンライン授業の手法を活用して、一方向授業とAL型授業の併用の在り方について考察することを目的とする。本稿では、昨年度までのオンライン授業での実験・シミュレーション動画を、対面授業の予習として用いることで、概念変容にどの程度効果があるのか、成績評価に関わる試験との相関はあるのかについて検証する。

2. 本年度の授業方針

崇城大学（以下、本学）では、1年次前期「基礎物理学」と後期「物理学」で基礎的な物理学の内容を学習する。筆者が担当する非物理系学科（生物学や応用化学を主専攻する学科）のクラスでは、学科の要請に応じ、「基礎物理学」で代数ベースの熱、電磁気、波動を、「物理学」で微積分ベースの力学を学習する。これらの科目では、複数回の小テストと2回の定期試験で成績評価を行う。

本学では、オンライン授業はオンデマンド型が原則となっており、昨年度まで上記科目もオンデマンド型授業で行った。非物理系学科では、高等学校で物理学を履修していない学生も多いため、自然現象として意識させるために、授業の内容に関連した実験やシミュレーションの動画（以下、関連動画）を、講義動画の前に見るように促した。その例を図1に示す。本年度の「基礎物理学」



図1 理想気体の法則のシミュレーション動画（左）、定圧変化における実験動画（右）。左図では、コロラド大学ボルダー校が開発したPhETを用いており、右図では、島津理工のPASPORTシリーズの圧力センサーとSPARKvueを用いて解析を行っている。

は対面で行っており、その中でもこの関連動画を用いている。授業内容の現象を改めて確認させることを目的として、関連動画は授業前まで公開を締め切り、授業前に予習として視聴させた。なお、授業前の休憩時間など短時間でも見ることができるように、2~7分程度の動画となっている。

3. 授業の効果

毎回の関連動画の学生の視聴数をカウントし、それらと概念変容や成績評価との相関について考察する。概念変容の測定には、Wattanakasiwich らによる TCS (Thermodynamics Concept Survey) [4] を、筆者が日本語訳したもの用いた。TCS は温度と熱の移動、理想気体の法則、断熱変化やサイクルに関する問い合わせなどの 35 問で構成されているが、ここでは、各状態変化での理想気体の法則と熱力学第一法則の問題を中心とした全 21 問を 20 分で回答させた。令和 4 年 4 月の第 1 回目の授業時に事前テストを、熱力学の範囲が終了した令和 4 年 5 月末の第 6 回目の授業時に事後テストを実施した。これらのテストの結果より、Hake ゲイン[5]を算出した。また、第 6 回目にこれまでの授業の中で取り扱った問題を出題した、小テストも実施している。なお、授業中には、教科書[6]の例題の解説と、それに関連した問題の演習を行わせている。

TCS の正答率は、事前が 39.7%，事後が 44.4% となり、平均ゲイン値は 0.0971 となった。一方向授業としてのゲイン値としても少し低い。次に、第 1 回目から第 5 回目までの視聴回数（1 回あたりの平均 30.4 人（65 人中））に対する TCS のゲイン値との相関は 0.06、小テストとの相関は 0.364 となった。すなわち、講義の関連動画は、概念変容にはあまり効果はなかったものの、成績評価に関わる試験には多少の効果があったと言える。先に述べたように、関連動画、講義内容、演習の問題はすべて連動しているため、授業者の意図や目的に沿った結果となったと言える。一方で、一方向授業の概念変容への限界も示唆される結果となった。

4. おわりに

一方向授業と AL 型授業の併用の在り方を探るため、今回は実験・シミュレーション動画を活用した一方向授業を実施し、概念変容等を調べた。その結果、動画の視聴回数と成績評価や問題演習の成果との相関は見られたものの、概念変容に対する関連動画の効果は弱いことが明らかとなった。やはり学習者自身による能動的・主体的な活動、そして討論での学習者同士の相互作用が概念変容にとって必要と言えるであろう[5]。今後、AL 型授業と一方向授業との併用の在り方を考えていく。その中では、学習者がもつ誤概念の強弱（概念変容が容易か否か）について調べるとともに、反転授業[7]などを取り入れるなどした授業形態を模索していく。

参考文献

- [1] 酒見龍裕他, 大学の物理教育 **24**, (2018), 24–28
- [2] 関川準之助, 函館工業高等専門学校紀要第 **52** 号, (2018), 93–99
- [3] 梅田貴士, 日本物理学会誌 **73**–12 号, (2018) 870–873
- [4] P. Wattanakasiwich et al. Int. J. Inno. Sci. and Math. Educ. **21** (2013) 29
- [5] R. Hake Am. J. Phys. **66**, (1998) 64
- [6] 町田光男・三浦好典 (2019) 「理工系の基礎物理学」, 学術図書出版
- [7] ジョナサン・バーグマン, アーロン・サムズ, 上原裕美子訳 (2014) 「反転授業」オデッセイ コミュニケーションズ 黒田勝介, 情報管理, **56**–10 (2014) 677

フックの法則を学修する自宅実験可能な配布キットの開発と授業実践

^A大久保尚紀, ^A伴周一, ^A岡田悟志, ^A杉友隆之, ^B豊田陽己, ^B梅津光一郎

^A日大理工, ^B日大短大

ohkubo.naoki@nihon-u.ac.jp

1. はじめに

2020年度のオンライン授業における日本大学理工学部1年次設置の基礎物理学実験では、登校できない状況下でも学生が自宅等で実際に手を動かして実験ができるように、実験装置・器具・試料・解説等をまとめた実験キットを作成し受講生全員に配布して授業を行った^[1]。対面授業も可能になった現在では、一部の実験は受講者全員に回収することなく配布可能な実験キット化して実施している。今後のパンデミックに備えた持続的な実験授業の体制構築のために、実験キットを作成可能な実験テーマの拡充について検討を行った。従前の対面授業では基礎物理学実験の初回に実験リテラシ（数値・誤差の取扱い、ノギスなどの使い方、グラフの書き方などを学修）として、マイクロメータを用いて紙の厚さ測定し、厚さ対枚数のグラフの傾きから紙の厚さを導出させていた。しかし、この単なる厚さ測定という内容が受講生にとって物理学の実験と思えず、履修率の低下の一因となっていると考えていた。学修モチベーションを高めるため実験リテラシにも自ら装置を組上げ・測定が行える実験が必要と考え、作成が容易で直線性のよいデータの得られるフックの法則の実験を実験キット化して導入した。フックの法則の実験に関する先行する授業実践^[2]では、適当なばらつきがあるので、初張力を無視してバネ定数を出しているが、我々が実験リテラシとして導入した実験では、初張力も含めた学修内容とした。

2. 実験キットに関して

これまで作成した我々の実験キットは、消毒作業や点検修理など運営上の様々な観点から配布・実験後の回収はしない。そのためコスト重視であるが、有効数字3桁を確保する実験にするため、定規で測定可能な 100 mm 程度伸びるバネ E063-04（吉川商工製）を用いた。このバネはバネ定数 0.0020 kgf/mm (2.0 g 重 /mm)、最大荷重 0.241 kgf、初張力 0.029 kgf (29 g 重) である。図1のようにバネにたこ糸をつけ、たこ糸と小さなビニール袋を結ぶ。バネの他端は太めのストローを通してから適当なフックに掛け、ストローもビニールテープで固定する。最初に（おもり無し状態）ストローに0点のマークを書き、おもりを入れる度にマークをつけさせる。すべてのおもりを入れ終わった後、おもりを取り除くと0点に戻ることを確認させる。ストローを外して変位量を定規で測定させた。

このバネ、ストロー、たこ糸、袋をフックの法則実験用のキット(120 円/人)として配布し、他の実験とも共用するキット資材としてビニールテープ・デジタル秤 (520 円程度／使用する 4 テーマ=130 円程度) も併せて配布した。

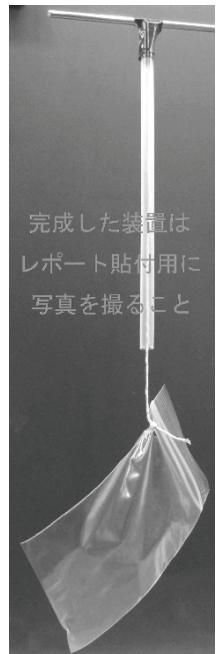


図1 学生に作成させる装置

3. 教育実践と学生の結果

2021年度はテストケースとして、基礎物理学実験において全く登校ができない学生および教職課程の理科コースの学生に試験的に自宅での実験をさせた。おもりは自宅にある 30 g 程度のおもり

を 10 個探して実験するように指示した（バネ規格の最大荷重以上であるがフック則が成立するのを確認済み）が、レポートなどから、おもりの入れ方・振動などで弾性限界を超える事がわかった。

2022 年度は対面実験のリテラシとして導入し、上記のキットを配布した。実験室には支持台、はさみ、油性ペン、約 25 g のネジを 10 個を貸出品として用意して実験させた。

主に大久保担当の水曜日の学生実験結果(156 人)の平均値はバネ定数 1.959 g 重/mm (19.19 N/m)、初張力 16.00 g 重であった。バネ定数は比較的よく再現されており、その分布（階級幅 0.2）の中央値はも規格値に近い 19.2~19.4 N/m であった（図 2）。

学生の実験結果から求めた初張力(平均)は規格値と倍近い違いがあるが、この規格値は設計上の最大値と考えられる。我々が行った予備実験 3 回の結果も 25 g 重以下で直線からずれるものもあったが他の 2 つは 20 g 重の前後で直線に一致していた。おもり 1 つの実験結果のずれが発生していたとしてもわずかであることから、16 g 重程度の初張力は学生実験として妥当な結果と判断できる。この結果はバネの初張力の存在と伸びの線形性について重要な学びにつながるものと考えている。

併設の短期大学部では、この実験キットを使った実験を実験リテラシではなく、前期の物理実験 I の 1 テーマとして実施した(2022 年)。短大の実験リテラシではマイクロメータによる紙の厚さを測りグラフ作成を学修している。そのため、このテーマではグラフ作成の学修にかける時間が不要で、実験を追加できる。2021 年度のテストケースで実施した浮力を応用した実験と振動周期を測定の経験から、容易に実施可能なバネによる振動周期測定を追加実験として導入した。そこでおもりの質量 m を変えて複数回実験させ、数種の周期 \bar{T} を求めさせた。その結果とバネの伸びー荷重グラフより求めた k を用いて算出した周期 $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ と比較検討させた。これらの相対誤差は 3.2 % 程度と良好な結果となり、得られた結果がよい一致したことで学生の感動も大きかった。

4. 最後に

限られた費用で作成する実験キットとしては、十分な学修が可能な教材である。学会当日には、他の曜日の実験データも含めて紹介し、可能な限り実演して見せる予定である。

参考文献

- [1] 大久保尚紀 他, 大学の物理教育 27, pp.81-84 (2021)
- [2] 石橋研一 他, 秋田大学教育文化学部教育実験研究紀要 37, pp. 69-80 (2015)

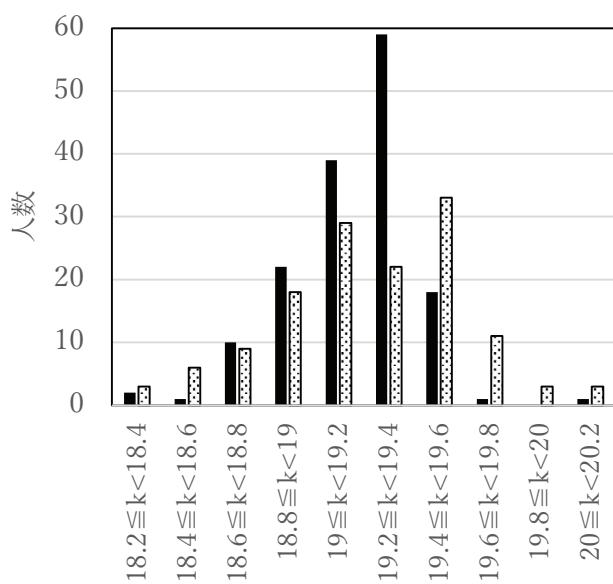


図 2 レポートから得られたバネ定数の分布

- 学生の実験データ表から最小自乗法で計算した k [N/m]
- 学生がグラフから求めた k [N/m]

相互情報量を用いた概念調査の分析

^A柴田樹, ^B新田英雄

^A東京学芸大学大学院教育学研究科, ^B東京学芸大学

m213407k@st.u-gakugei.ac.jp

1. 背景

エントロピーは、熱・統計力学や Shannon の情報エントロピーなど、様々な研究分野で用いられている。物理教育においても、FCI(力学的概念調査)などの多肢選択式問題からなる調査紙の解答分布の偏りを測定する指標として有用なことが、これまでの研究からわかっている[1]。

エントロピーの更なる有用性を検証するために、本研究では相互情報量に着目する。相互情報量とは、2つの確率変数の相互依存の尺度を表す量である。従来、2つの設問の関係を分析するためには相関係数が用いられてきたが、たとえば5つの選択肢を持つ FCI のような調査紙の場合、個々の回答選択肢同士の相関係数は $5 \times 5 = 25$ 個もの値で表されるものであり、単一の指標にはならない。一方で相互情報量を用いると、誤答も含めた回答分布全体をもとに、1つの数値で2つの設問全体の関連性を定量化することができる。

2. エントロピーと相互情報量

Shannon のエントロピーは

$$H(A) = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

で定義される[2]。エントロピー $H(A)$ は生起確率 P_1, P_2, \dots, P_n で与えられる n 個の事象の集合 A があるときの不確実性を表している。概念調査における解答分布を確率分布とみなし、エントロピーを適用すると、ここでの事象とは「ある問におけるクラスの解答」であり、生起確率 P_n は「選択肢 n を選ぶ確率」となる。

相互情報量 $I(A, B)$ は、2つの確率変数の間の相互依存の度合いを表す指標であり

$$I(A, B) = H(B) - H_A(B)$$

で定義される。ここでエントロピー $H(B)$ は生起確率 P_1, P_2, \dots, P_n で与えられる n 個の事象の集合 B についてのエントロピーである。

また、 $H_A(B)$ は

$$H_A(B) = - \sum_{i,j} p(A_i) p_{A_i}(B_j) \log_2 p_{A_i}(B_j)$$

で定義される、事象 A について知った後になお残る事象 B についてのエントロピーである。事象 A を「問 A におけるクラスの解答」とし、事象 B を「問 B におけるクラスの解答」とすると、 $p(A_i)$ は問 A において選択肢 i を選択する確率であり、 $p_{A_i}(B_j)$ は問 A において選択肢 i を選択した中で、問 B において選択肢 j を選択する条件付き確率である。なお、条件付き確率の定義から

$$I(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B) = I(B, A)$$

が証明される[2]。

3. 分析

3. 1 方法

相互情報量を用いて、Force Concept Inventory (FCI) における 2 つの設問間の関連性を定量化した。FCI は、選択式の設問 30 間で構成される力学の基礎概念の理解度を測定するための調査紙で、物理教育研究の分野で最も広く使われている概念調査紙の一つである[3]。データは 2011 年から 2018 年と 2021 年の 9 年間にわたり、国立大学附属の高校 2 年生 928 名を対象に行った事前・事後テストのデータを用いた。

3. 2 結果

FCI 事前・事後テストにおける、設問 30 間 × 30 間の間のそれぞれの組み合わせ、全 870 通りの相互情報量を求めた。図 1 はこれらの組み合わせの中で最も相互情報量が大きかった事後テストにおける問 21 と問 23 の解答分布である。

解答分布をみると、正答選択肢の組み合わせである「問 21 で選択肢 5、問 23 で選択肢 2」のほかに、「問 21 で選択肢 2、問 23 で選択肢 3」や「問 21 で選択肢 3、

問 23 で選択肢 2」といった誤答選択肢を含む組み合わせに解答分布が集中していることがわかる。

これらの結果をもとに FCI の素朴概念分類表[3]を参照すると、「問 21 で選択肢 2、問 23 で選択肢 3」という組み合わせを選んでいる生徒は「CI3 最後に働いた力が運動を決定する」という 2 間の選択肢に共通した素朴概念を持っていることがわかる。また、「問 21 で選択肢 3、問 23 で選択肢 2」という組み合わせを選んでいる生徒については、問 23 については正しい概念を習得しているが、問 21 については「CI2 力の折衷が運動を決定する」という素朴概念を持っていることがわかる。

このように複数の間における相互情報量を計算することで、正答選択肢の組み合わせのみならず誤答選択肢の組み合わせまで含めて、2 つの間の関連性を定量化することができる。相互情報量が相対的に高い設問の組み合わせの解答分布を詳しくみることで、授業後にも素朴概念が強く残っているものを判別することができると考える。発表では、上記の例以外の間の組み合わせにおける解答分布と、それらの選択肢が共通して持つ素朴概念について報告する。

参考文献

- [1]尾形総一朗、新田英雄、エントロピーを用いたピア・インストラクションの分析、物理教育研究大会予稿集（2021 年度）.
- [2]甘利俊一、情報理論、ちくま学芸文庫（2011）.
- [3]Hestenes, Force Concept Inventory, THE PHYSICS TEACHER (1992).

FCI-FCI	Q21					Q23 回答率	
	1	2	3	4	5		
Q23	1	1.6%	2.7%	4.5%	0.9%	2.6%	12.3%
	2	3.6%	0.3%	20.3%	4.1%	24.0%	52.3%
	3	1.3%	10.8%	2.6%	0.9%	2.9%	18.4%
	4	2.7%	1.2%	3.7%	2.3%	4.7%	14.5%
	5	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%	1.7%	2.5%
Q21 回答率		9.6%	15.2%	31.1%	8.1%	36.0%	100.0%

受験者
928

相互情報量
0.292

図 1 : FCI(事後テスト)における問 21 と問 23 の相互情報量および解答分布

正答選択肢、素朴概念を含む選択肢		Q21	Q23
A	正答	5	2
I2	元からあったインベタスの損失（または回復）	1	1,4,5
I4	徐々に（または遅れて）蓄えられるインベタス	4	4
CI3	最後に働いた力が運動を決定する	2	3
I3	インベタスの散逸		4
CI2	力の折衷が運動を決定する	3	

図 2 : 問 21 と問 23 の選択肢における正答選択肢と素朴概念を含む選択肢

図 2 : 問 21 と問 23 の選択肢における

正答選択肢と素朴概念を含む選択肢

時系列のデータを音声化するウェブアプリケーションの開発

渡會兼也

金沢大学附属高等学校

watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

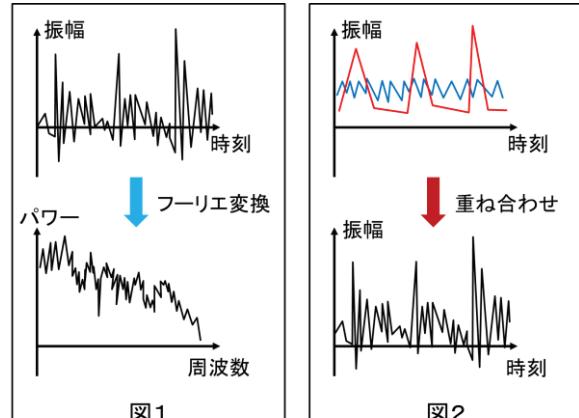
1. はじめに

音波を分析するアプリケーション（以下アプリと省略）は数多く存在し、高校物理の授業でも利用されているが、その分析手法はフーリエ変換など大学レベルの知識が必要となり、高校生には十分に理解されていない。

我々は数値データから波形を作り、重ね合わせた波形を WAV や MP3 などの音声ファイルに変換することで、大学レベルの知識を前提とせずに分析手法を理解できると考えている。本発表では、Web アプリの開発経過を報告し、多くの人と議論することでアプリ開発に役立てたいと考えている。

2. 研究の背景

現在、音波を分析・解析するアプリは数多く存在する。例えば、音波のデータを入力すると、波形だけでなく、フーリエ変換、パワースペクトルを表示可能なアプリは、パソコンだけでなく、スマートフォンでも手軽に入手できる。これらのアプリは多くの高等学校の物理授業でも利用されているが、分析にはフーリエ変換など大学レベルの知識が必要となり、高校生には十分に理解されていないと思われる（図 1）。



我々は音波データの分解と逆過程、つまり数値データから波形を作り、それを音波として再生できれば、大学レベルの知識を前提とせずに理解できると考えた。高等学校の物理では、身近な音が複数の波の重ね合わせで表現できることを学ぶが、実際には表計算ソフトを利用し、波動の式を重ね合わせた波形を見せる程度に留まっている（図 2）。もし、実際に重ね合わせた波形を音波として聞くことができれば、実感を伴った理解が可能となる。

本研究は、時系列の数値データ（例えば、csv）を WAV や MP3 などの音声ファイルに変換するアプリを開発し、ウェブ上での公開を目的とする。多くの生徒や先生に利用してもらい、音波の合成に対する理解を深める教材としたい。例えば、ある楽器と似た音を出すにはどんな関数を組み合わせたら良いだろう、といった課題や音波の干渉やうなりを再現するには、どんな関数の組み合わせになるか、等の探究的な学びが可能となる。またこのようなアプリは、あらゆる時系列データの音声表現が可能にする。例えば、宇宙線の粒子数の時間変化を音波に変換できれば、宇宙線が特徴的な音を奏でる可能性もある。実際に開発したアプリを授業で利用し、探究的な活動（生徒実験）の実施を考えている。

3. 研究開発の流れと進行状況

プログラミング言語 Python を用いて開発を行う。Python には数値データからバイナリーデータ

への変換 (wav 形式への変換) など、利用できるパッケージがすでに存在し、それらを利用することで比較的容易にコーディングできる。図 3 は、振動数が 300Hz, 400Hz, 500Hz のサイン波を重ね合わせた音波を再生・波形の可視化・wav ファイルの書き出しを行っている。Python のパッケージを利用することで非常に短いコードで wav ファイルを作ることができる。

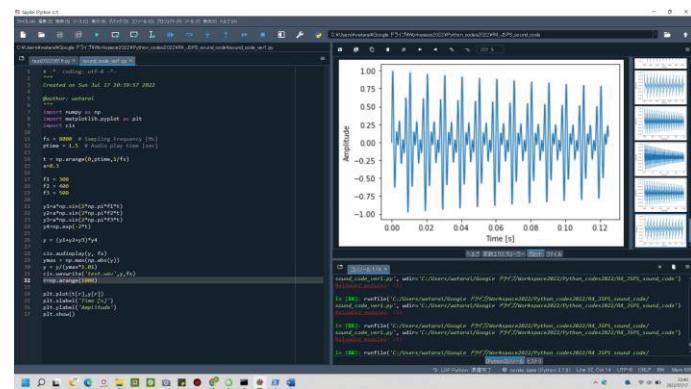


図 3 Python の開発環境

開発のタイムスケジュールは以下の通りである。※現在は④と⑤の段階

- ・一学期(4-7月) : 資料・情報収集。①正弦波の音声化・可視化 ②正弦波の重ね合わせと音声化・可視化 ③音響工学の専門家と議論 (北海道大学 青木直史氏)
- ・夏季休業(8月) : ④学会での情報収集と中間報告 ⑤Web アプリの開発着手
- ・二学期(9-12月) : ⑥授業実践、あるいは生徒探求課題の実施。アプリの修正。
- ・三学期(1-3月) : ⑦Web アプリの完成 ⑧実践結果を学会等で報告

4. Streamlit による Web アプリの開発

Streamlit は、Streamlit 社が開発した Web アプリケーションのフレームワークである。Streamlit は Python のコードにそのまま記述可能であり、コード開発と同時に Web アプリを開発できるというメリットがある。

サンプルコードを利用し、Web から読み込んだ wav ファイルを読み込み、波形の表示とスペクトル解析を行うコードを作成してみたところ、非常に簡単に Web アプリを作ることができた(図 4)。将来的には、csv などの数値データをウェブ上で読み込ませた後に、上記のコードで音声化し、分析とファイルの再生が可能なページを作成する予定である。

まだ研究を始めたばかりなので、色々と助言をいただけます。

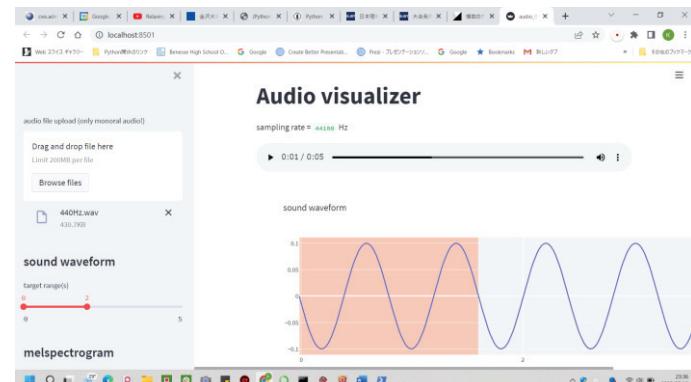


図 4 Streamlit による Web アプリの試作画面

※本研究は JSPS 科研費(奨励研究:課題番号 22H04180)の助成を受けています。

参考文献

- [1]青木直史 サウンドプログラミング入門——音響合成の基本と C 言語による実装 技術評論社
- [2]伊藤克亘, 花泉弘, 小泉悠馬 共著 Python で学ぶ実践画像・音声処理入門 コロナ社
- [3]Tyler Richards, Getting Started with Streamlit for Data Science: Create and deploy Streamlit web applications from scratch in Python, 2021 Packt Publishing

量子力学的な斜方投射運動の計算機実験

^A植松桃子、^B新田英雄

東京学芸大学

w212002n@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

量子力学が扱う微視的な世界では、古典論の物理概念を直接適応させることはできない。これは、不確定性原理のため粒子の位置と運動量が同時に定まらず、運動を確率的にしか表せないためである。ただし、一般に、量子波束を用いれば、同一条件下における古典論的な粒子の振る舞いと量子論的な振る舞いを比較できる。

本研究では、量子波束の自由落下運動の研究^[1]などの研究をもとに、運動を2次元に拡張し、量子論的な粒子の斜方投射運動及びその後の跳ね返り運動についての数値実験を、重ね合わせの原理を用いて形成した量子波束を用いて行った。また、量子波束の運動と古典的な放物軌道との対応を、カラーマップで視覚的に表し、両者を比較した。

2. 理論

2.1. Schrodinger 方程式

本研究では、地表付近において、任意の高さから斜方投射され、その後地表面と弾性衝突をする量子力学的粒子の運動を考える。x軸を地表面とし、鉛直上向きの方向にy軸をとり、重力加速度の向きを-y方向とすると、このときのポテンシャルは

$$V(y) = \begin{cases} mgy & (y \geq 0) \\ \infty & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

(m:粒子の質量、g:重力加速度)となる。よって、波動関数を $\psi(x, y, t)$ とすると、 $y \geq 0$ では $\psi(x, y, t)$ は次の Schrödinger 方程式を満たしている ($\hbar = h/2\pi$, hはPlanck 定数)。

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) + V(y) \right\} \psi(x, y, t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(x, y, t) \quad (2)$$

2.2. 波動関数

Schrodinger 方程式を解くと、x方向の波動関数 $X(x, t)$ 、y方向の波動関数 $Y(y, t)$ は

$$X(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} C_k \exp[i(kx - E_k t/\hbar)] dk \quad (3)$$

$$Y(y, t) = \sum_{n=1}^{\infty} D_n \frac{\text{Ai}\left(\frac{y}{L} - \varepsilon_n\right)}{\sqrt{L} \frac{d}{d\lambda} \text{Ai}(\lambda)|_{\lambda=-\varepsilon_n}} e^{-iE_n t/\hbar}, \quad L = \left(\frac{\hbar^2}{2m^2 g}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$X(x, t)$ は1次元自由粒子の波束と一致する。Ai(y)はAiry 関数と呼ばれる特殊関数である。

2.3. 波束の合成

初期波束には、時刻 $t = 0$ のとき、中心が $x = x_0$ 、偏差 σ_0 のGauss 関数を用いた。 x 成分としては

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt[4]{\pi\sigma_0}} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_0}\right) \exp(ik_0 x) \quad (5)$$

(3), (4)の重ね合わせの係数 C_k と D_n は、各初期波束 $G_x(x)$, $G_y(y)$ からそれぞれ求めることができる。

3. 結果

3. 1. 波束のストロボ写真的表現

図1は、投射した波束の xy 空間における分布を、一定の時間間隔ごとに確率密度関数の大きさに応じてカラーマップで表したものである。図中の破線は、同一条件下で投射した古典粒子の軌道である。左が水平投射運動、右が斜方投射運動をする波束を表す。

水平投射も斜方投射も、古典論的粒子と概ね似たはね返り運動をするが、波束の広がりによって、その概形が時間経過とともに変化していることがわかる。

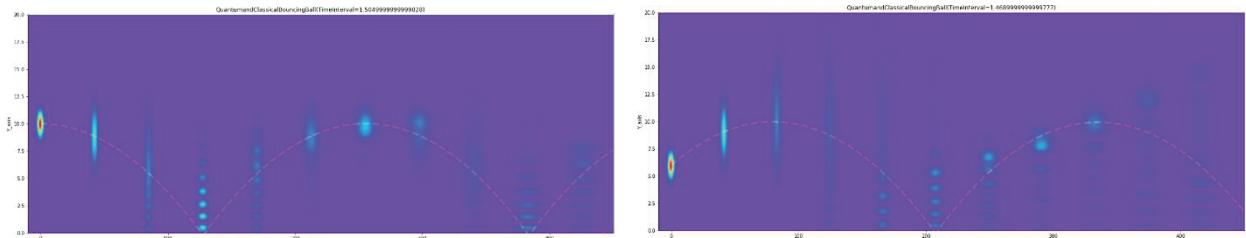


図1. 落下する波束の空間分布。色が濃いほど粒子を見出す確率が高い。一定の時間間隔ごとの波束を重ね合わせることで、落下波束のストロボ写真のように表せる。横軸：位置座標 x 、縦軸：位置座標 y

3. 2. y 方向の波束の時間変化

図2は、 y 方向についての波束の分布の時間変化を表したカラーマップである。図中の黒い実線の時刻における波束の形を、右脇に示した。水平投射された波束を上段に、斜方投射された波束を図3に示す。

初速度のない落下(図2)は、地表面 $y = 0$ ではね返った後、波束の形が概ね初期状態に戻っているのに対し、上向きの初速度が与えられた波束(図3)は、はね返った後、波束が幾つかの小さな塊に分かれ、空間全体に広がっていることがわかる。

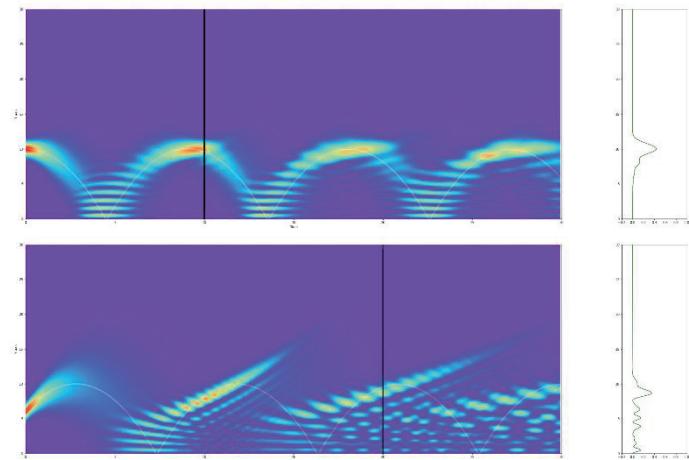


図2. y 方向での波束の分布の時間変化。上段、下段は初期波数がそれぞれ $k_0 = 0, 2$ のときである。横軸：位置 x 、縦軸：位置 y

4. 結論

量子波束の位置の期待値は運動をはじめた直後は古典粒子の運動と概ね一致したが、鉛直方向の初速度によって波束の広がり方などに違いが見られた。重力中の投射運動は古典力学では基本的だが、対応する量子力学的な投射運動はあまり論じられていないかった。本研究のように両者の運動を視覚的に表現することで、量子力学的な運動の定性的な理解を深められると期待できる。

参考文献

- [1] Julio Gea-Banacloche: A quantum bouncing ball. *Am. J. Phys.* **67**, 776 (1999).

『アドバンシング物理AS』第7章「量子的振る舞い」授業実践の試み

^A阿部春樹, ^B舟橋春彦

^A京都大学大学院人間・環境学研究科, ^B京都大学国際高等教育院

abe.haruki.88c@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

一般に量子力学の教育は実験結果の解釈として粒子と波動の二重性を押し付けるところから始まる。2000年に英国で開発された高校物理の教科書『アドバンシング物理AS』[1][2]第7章は、経路積分法に基づく「量子的振る舞い」を提唱した。量子力学入門教育の開発に当たり、特異な戦略を採用した注目すべき存在である。だが国内外で公刊された第7章の授業実践報告が見当たらない。そこで第7章の内容や授業者に準備された Teacher's Guide, 付帯のシミュレーションを検討して教案を具体化し、高校物理履修を前提としない文系向け講義科目及び理系の教職課程科目で授業実践を試みた。本発表では具体的な教案と得られた感想の事例報告を行う。

2. 『アドバンシング物理AS』第7章「量子的振る舞い」

『アドバンシング物理AS』が提唱した「量子的振る舞い (Quantum Behavior)」を概観する。先立つ第6章「波の振る舞い」で、波の様子を説明するために「位相子 (phaser)」という回転する矢印が導入される(図1参照)。時間・空間に応じて変化する波の位相因子 (phase factor) を図示したものであり、波の重ね合わせはこの位相子のベクトル和により表現される。

第7章「量子的振る舞い」でも、この位相子というユニークな考え方が重要となる。初めに「光はかたまりとして不規則に到達する」ことが強調される。一方で光には重ね合わせという基本的な性質があることから、「波動の計算だけを取り入れて、波のことは忘れよう」と唱えられる。光子が全ての可能な経路を経ると考えることで、各経路に対応する位相子の総和により確率振幅が算出されるものとし、その二乗から到達確率が求められる。これは経路積分に他ならない。量子の世界への入門教育にとって新しい描像として「**量子的振る舞い**」を導入している。一見奇妙なこの考え方方が日常の現象を説明し得ることが具体例を通して紹介される。この一連の議論の展開は R. P. Feynman の講演録「QED: The Strange Theory of Light and Matter」[3][4]に倣っている。

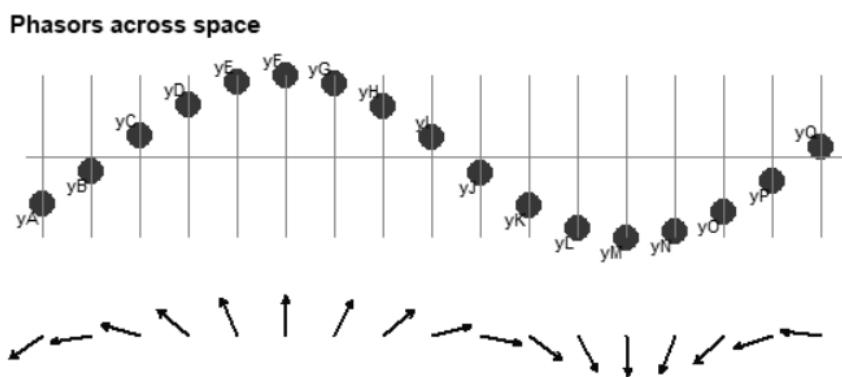


図1 別売りのCD教材に用意されたシミュレーションActivity 300S [5]

空間に広がる波の各点に対応する位相子が時々刻々と回転する。

3. 授業実践と得られた感想

2つのクラスを対象に授業実践を試みた。文系向けで主に学部1回生が受講する京都大学の2021年度全学共通科目「みんなの物理II」(30分+90分+90分)と、同じく京都大学の2021年度教職課程科目「理科教育法II」(90分+90分+90分)である。受講生数は共に15人弱だった。「みんなの物理II」は高校物理の履修を前提としておらず、仮想的な高校生として考えられる。「理科教育法II」は受講生に海外の先進的な教科書を紹介するという枠組みで受講してもらった。

授業後に得られた感想の抜粋を表1に紹介する。具体的な教案については発表で報告する。

表1 実践授業で得られた感想の抜粋

光子一粒一粒が光を形成していて、考えられるすべての経路を通るというのは、まだ完全には納得できないが、その性質を受容することで、量子的振る舞いについて少し理解できた (みんなの物理II, 教育学部1回生)
想像することができない、観測することしかできない現象についてなぜそうなっているかを考えることは困難であり、そうなっているのだから仕方ないと受け入れつつそれを一般化できる理論を検討するという科学の姿勢を感じます (みんなの物理II, 教育学部2回生)
講義前は波のイメージが強かったので、量子的ふるまいで光の諸性質を説明できるというのは新しい視点を得た気持ちです (理科教育法II, 農学部4回生)

4. おわりに

『アドバンシング物理AS』は大学受験を志向したAレベルの教科書でありながら、「物理という科目について、この科目を学び続けるかどうかに関わりなく、有益な視点を与え、また、あなたが将来選ぶかもしれないほかの事柄についての見方も示唆」[2]することを目指している。受講生に求めた感想から、理論の予想が奇妙であっても実験結果を尊重して受け入れる、という科学の姿勢への理解と受容を読み取れた。進路を問わず科学のものの考え方を伝えようという『アドバンシング物理AS』の目的の実現が垣間見えた。

第7章「量子的振る舞い」は教科書という形式に落とし込む都合上、問題意識を喚起する問い合わせを繰り返した講演録『QED』の本質的な特徴を失っている。予想を立てて実験を積み上げることは科学の中核であり、科学教育において指導原理となり得る。『QED』を底本とし、板倉聖宣が考案した仮説実践授業の方法論に倣い予想と実験を積み上げる授業案の開発研究を進めている[6]。

参考文献

- [1] J. Ogborn, M. Whitehouse :「Advancing Physics AS」 Institute Of Physics (初版2000, 第2版2008) .
- [2] J. オグボーン, M. ホワイトハウス (笠耐, 西川恭治, 覧具博義監訳) :『アドバンシング物理AS』 シュプリンガー・ジャパン (2004) .
- [3] R. P. Feynman :「QED: The strange theory of light and matter」 Princeton Univ. Press (1985) .
- [4] R. P. フайнマン (釜江常好, 大貫昌子訳) :『光と物質のふしぎな理論 わたしの量子電磁力学』 岩波現代文庫 (2007) .
- [5] J. Ogborn, R. Marshall, I. Lawrence :「Advancing Physics AS Student Standalone CD-ROM」 Institute Of Physics (2008) .
- [6] 阿部春樹, 舟橋春彦 :光の粒子性を押し立て古典論の限界に触れる量子力学入門教材の開発研究 人間・環境学30卷, 237-249 (2021) .

週末実験課題”Weekend Mission”を導入した 高密度な探究的学習プログラムの開発

小川慎二郎

早稲田大学高等学院

s-ogawa@waseda.jp

【概要】

授業前に生徒が「どのようなことを次の授業で何を学ぶのか」と期待を高まらせ、教員は「生徒がどのような考え方を持って授業に臨むのか」を把握することのできるプログラム開発の報告をする。このプログラムは同時に、学校の理科の授業で学ぶ内容が「日常の生活と関連している」「先の人生でも使うことができる」といったポジティブな印象を生徒が持つことのできるという利点や、実験方法を生徒が自分で考える機会を持つことができるという利点もあり、今後の物理教育において大きな意味を持つと考えられる。

【背景】

物理の学習効果を大きく高めるには、教員が生徒の考え方を把握し、生徒の認識を変容させるにはどうしたらよいかという戦略を練る機会が必要である。また、生徒が自ら試行錯誤し、納得できる証拠を得ることも、同様に重要なプロセスである。これらの方法についての研究は物理教育研究として広く行われており、書籍としてもまとめられている^[1]。しかし、時間数の制限や学習システム上の限界により、これまででは効果的なプログラムの実現に困難があった。ところが、コロナ禍におけるオンライン学習システム（LMS : Learning Management System）の普及（本校はMoodleを利用）により、授業の密度を限りなく引き上げることのできる本研究のようなプログラム開発が可能となった。

【成果】

中学1年に配当されている理科4単位を、従来は生物2単位+物理化学2単位としてカリキュラムを編成していたが、今年度は試行的に物理化学をさらに化学1単位+物理1単位と分けて実施している。従来は光学分野の学習を物理分野の重要単元と捉え、16時間程度を配当していたが、この試行を機に1学期に8回程度の授業回数で光学に関する内容を学ばせるためのプログラムを開発し、実施した。

このプログラムのポイントは、家庭における準備実験（週末実験課題“Weekend Mission”）の実施である。例えば水曜日に授業が実施されるとすると、その前の日曜日を期限として家庭で実験をして、その結果と説明をウェブ上で報告させる。その後、教員も生徒も全員の報告（生徒からは匿名）の分布や内容を閲覧できるようにすることで、授業への生徒の期待度や教員の心構えを高めることができた。

さらに、家庭で自分の身の回りのものを用いて実験を行い、その器具も手元に残るため、学んだことをその後も何度も活用することができるようになり、科学の有用感向上という利点も得ることができた。私立学校としては、家庭で週末に生徒が実験をすることにより、家族もそれに関

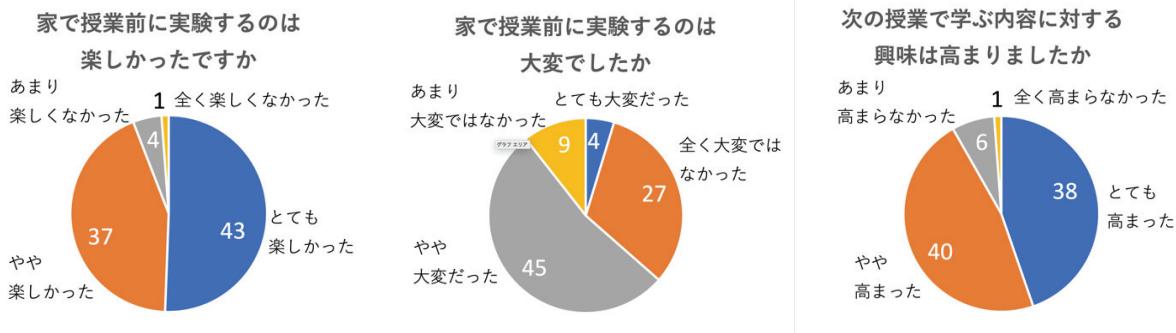
ポスターセッション

わることが想定され、学習プログラムへの理解や教育方針への評価の向上という副産物も得ることができたと考えられる。

プログラム全体の流れは次のようなものである。

- 1 (前時) 実験の説明や学んだことの記入をする
- 2 (前時) 週末実験課題に必要な器具を受け取り、簡単な予想をする
- 3 (家庭) 1で記入した説明やまとめをLMSで提出する
- 4 (家庭) 週末実験課題に取り組み、結果と説明をLMSに記入する
- 5 (家庭) 全生徒の結果の分布や説明の記述を全員で共有する
- 6 (本時) 3で提出したものについての講評を受ける
- 7 (本時) 5で共有した分布や説明を確認する
- 8 (本時) 週末実験課題を演示し、フェアな実験方法や実験結果の確認をする
- 9 (本時) 週末実験課題から発展した発問を受け、実験に取り組む
- 10 (本時) 理論的背景や考え方の紹介を受け、1の取り組みをする

このプログラムにより、授業の密度が格段に高まり、意欲と緊張感を持って授業時間過ごすことができた。以下に生徒の反応の一部を紹介する。



研究大会における発表では、実際のプログラム、および生徒の反応の詳細を報告する。

【課題】

また、1単位の内容に多くの時間を費やさせているのではないかという心配があったが、生徒からはあまりそのような反応は出なかった。しかし、基本的にオンラインのLMSを利用しているため、オンラインのやり取りが得てではない生徒にとっては、活動はしているのに提出ができないなどの弊害が生じていた。実際には提出できていなくても他生徒の提出を見る能够があるため、それなりの学習効果が得られることを期待したが、その確証はない。

引き続きプログラムの開発を持続することで、様々なタイプの生徒がそれぞれ学習効果を高めることができているかどうかを検証する必要があるだろう。

【参考文献】

- [1]E. F. Redih 「科学をどう教えるか」 2012 (丸善出版)

言語活動による物理的思考力の定着化の試み

-女子高生にも積極的に物理の授業を楽しみながら理解をしてもらうために-

朝倉 彬

お茶の水女子大学附属高等学校

asakura.akira@ocha.ac.jp

1. はじめに

高等学校の現在の学習指導要領では、理科「基礎付き科目」については3科目を必修化とされながら「物理基礎」の履修者は普通科では65.7%の履修率と以前の教育課程と比較して大幅に増加した。一方で「物理基礎」を学習する生徒が増えたため、いわゆる「物理嫌い」の生徒も増加したこととも容易に想像できる。簡易的な調査だが2021年でのweb調査において、対象人数500人ほどのうち「物理が苦手」と感じている女子高校生は46.2%で（数学、英語について3位）、男子生徒の28.1%よりもはるかに多く、回答者が全員履修している科目でないにも関わらず、苦手を感じている割合が高い。本校も事前アンケートで物理が苦手と認識している生徒が一定数いることを確認している。

物理の思考や教授方法として、一般化された原理や法則を数式・方程式として、図示やグラフで可視化し、実験等で実体験を重ねて組み合わせていくことで理解を深めることが一般的に用いられている。さらに、学習した後の一般的な評価として行われるペーパテストでは、それらの再現性を確認していることが多い。これらの活動には少なからず数学的な知識・技能的部分も必要となり数学も苦手としている生徒としてはさらに物理を敬遠されている要因にもなる。また物理教育での主たる言語活動は実験のレポート作成が一般的であるが、苦手意識が強い生徒はその手前においての学習手段が必要になると思われる。

本研究では、力学分野において思考の助けではよく用いられる物理を基本的に学習した後の一般的な評価として行われるペーパテストの代わりに、個人またはグループ活動で言語活動に力点を置いた授業を実践し効果を検証した。理解の過程をFree-Body Diagram等の図などを一切用いず言語のみで表現することで、法則に関する思考もより洗練されること、数式等の記述の排除や理解がしにくい部分を共有することもグループワークに組み込むことにより物理に苦手意識が強い生徒も積極的に学習に取り組める方法の一助になりえるかを検証した。

2. 授業展開内容

本授業は「物理基礎」の力学分野において、一般的な説明等を行なった後で「力のワークショップ」として1時間授業を実施した。

まず個人的に「運動している物体にかかる力の向き」「水平投射の軌跡」「重なった2物体」「バネの弾性力、ひもの張力」について、Free-Body Diagram等図示することを実施した。その後答え合わせを行なった後、グループごとにそれぞれ「中学生に説明を行うためには?」という問いかけを共通として、理解を深めるためにどのように説明を行うかを言語のみで表現するためのディスカッションをしてもらい発表してもらいクラス内で共有した。その後、個人的にそれぞれの問い合わせの理解度と、力学を理解するための思考を言語のみで表記してもらった。

3. 検証結果

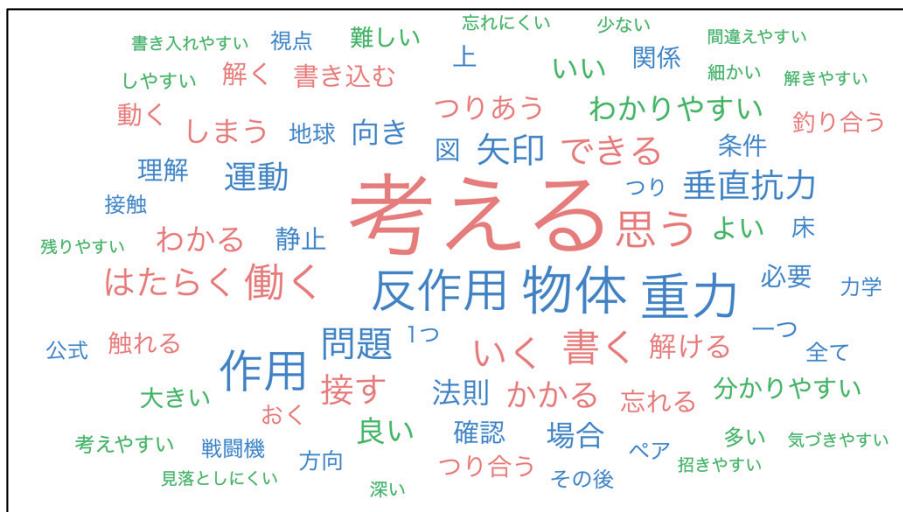
上記の授業で言語化された文章について、グループごとの回答の分析と、個人での思考においての文章においてそれぞれ簡易的なテキストマイニングを実施した。

グループディスカッションを通して言語化を実施することで、「遠隔力」や「作用・反作用」「慣性の法則」など、見落としやすい内容や法則の理解の重要性を表す表現がどのグループにも一様に出現したことがわかった。「速度の向きは力の向きに惑わされない」など素朴概念を否定するような具体的である記述も見てとれた。また、グループ活動で、物理に苦手意識を持っている生徒も自分の理解ができていない部分を積極的に共有することで、より良い説明を作成することに参画できるため実験とは異なる役割分担を持たせることができ、授業パフォーマンス変化が現れた。この変化は、実験活動だとグループ内で固定化してしまう役割に対して、変化を生じることを示唆している。

一方で、個人的にまとめる文章になると「作用・反作用の重要性」の記述については多くの生徒で見られたが、グループディスカッションでよく出ていた「慣性の法則」や「重力の作用・反作用」などの記述は非常に少なくなっている一方で「力のつりあい」での記述が増えており、生徒の力学での思考において「力のつりあい」を考えることが重要視されていることを改めて窺えた。

4. 今後の展開

今回は言語活動の実践内で理解の評価を行なったが、この活動から物理学的思考を伸長させることができるのか、この活動で物理学に苦手意識をもつ生徒に改善が見られるのかを継続して検証したい。さらに、どのような言語活動が効果的なのか、別の分野でもこのような活動が適応可能なのかを探っていきたい。



個人回答のテキストマイニング結果（大きさは出現頻度順）

参考文献

- [1] 文部科学省「平成 27 年公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査（高等学校における科目の履修状況（平成 25 年度入学者抽出調査））」
- [2] ラインリサーチノート「高校生の好きな科目、苦手な科目は？」
<https://research-platform.line.me/archives/38598170.html> (2022 年 7 月 20 日閲覧)

2022年 第38回 物理教育研究大会 実行委員会

学会会長	新田 英雄
実行委員長	福山 隆雄 (長崎大学)
実行委員	今村 清寿 (熊本県教育庁) 江藤 徹二郎 (久留米工業大学) 巨海 玄道 (元九州大学、元久留米工業大学) 大久保 博 (久留米大学) 緒方 則彦 (長崎県立大村高等学校) 落合 道夫 (福岡女学院中学校・高等学校) 河辺 哲次 (元九州大学) 小島 健太郎 (九州大学) 後藤 信行 (長崎大学 Jr. Dr 育成塾) 小林 良彦 (大分大学) 柴崎 幸貴 (西南学院中学校・高等学校) 島ノ江 純 (明光学園中学校・高等学校) 副島 雄児 (九州大学) 田尾 周一郎 (九州大学) 富塚 明 (長崎大学) 中田 智大 (筑前町立夜須中学校) 林 壮一 (福岡大学) 武藤 梨沙 (東邦大学) 森 保仁 (佐世保工業高等専門学校)

第38回 物理教育研究大会
(2022年度 日本物理教育学会 年会)
講演予稿集

発行日：2022年8月5日
発行者：日本物理教育学会第38回物理教育研究大会実行委員会
印刷所：株式会社ミッションサポート