2025 年度 日本物理教育学会年会
第 41 回 物理教育研究大会

発 表 予 稿 集

改訂 0806

大会テーマ　「 次世代につなぐ物理教育 ～ 物理実験の果たす役割 ～ 」



2025 年 8 月 11 日（月）・12 日（火）
於：大阪教育大学天王寺キャンパス

主催：一般社団法人 日本物理教育学会

共催：大阪教育大学，日本物理教育学会近畿支部

後援：文部科学省，日本物理学会，応用物理学会，日本理化学協会
大阪府教育委員会，大阪市教育委員会

協賛：ナリカ，島津理化，新興出版社啓林館，学術図書出版社，実教出版
東京書籍，オーム社，物理オリンピック日本委員会，第一学習社
（申出順）

会場案内図

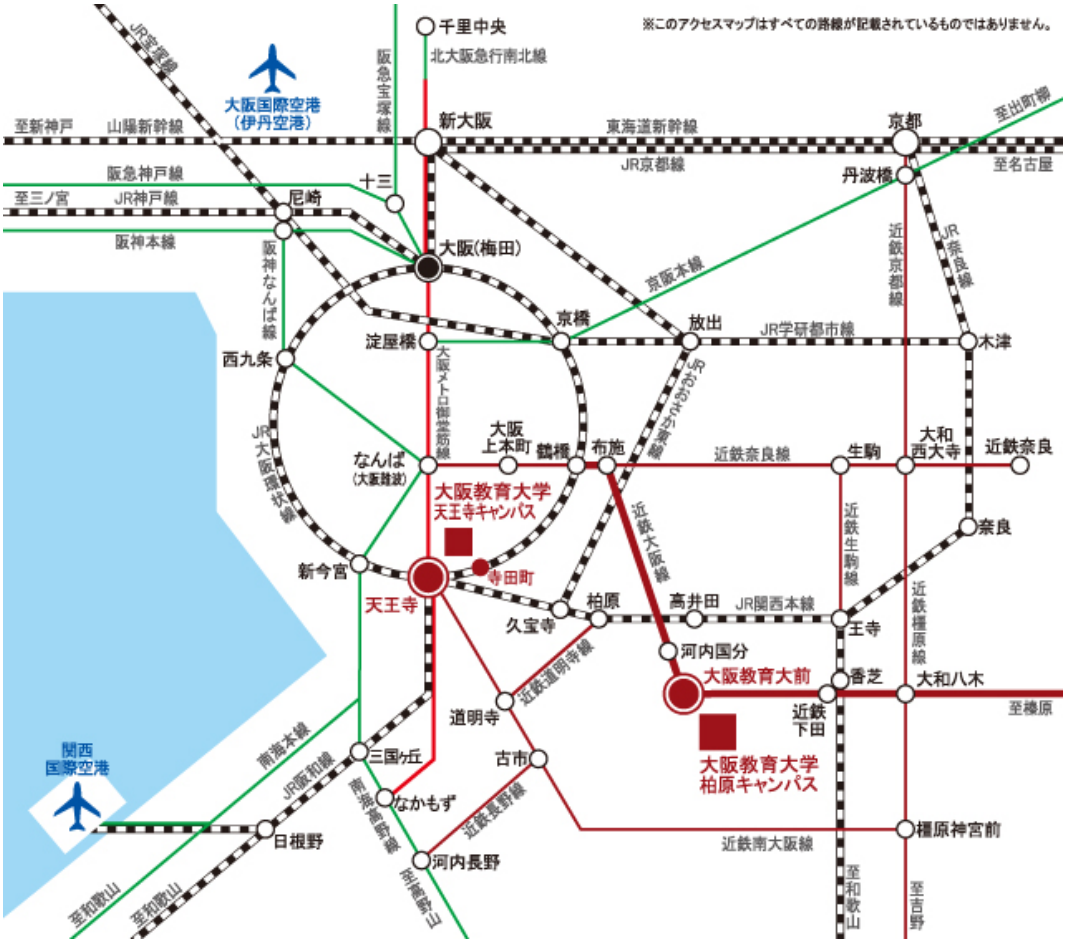
日程

プログラム

大阪教育大学天王寺キャンパスへのアクセス



〒543-0054　大阪市天王寺区南河堀町 4-88
JR 天王寺駅，地下鉄天王寺駅，近鉄大阪阿部野橋駅下車，徒歩約 10 分。
JR 寺田町駅下車，徒歩 5 分。



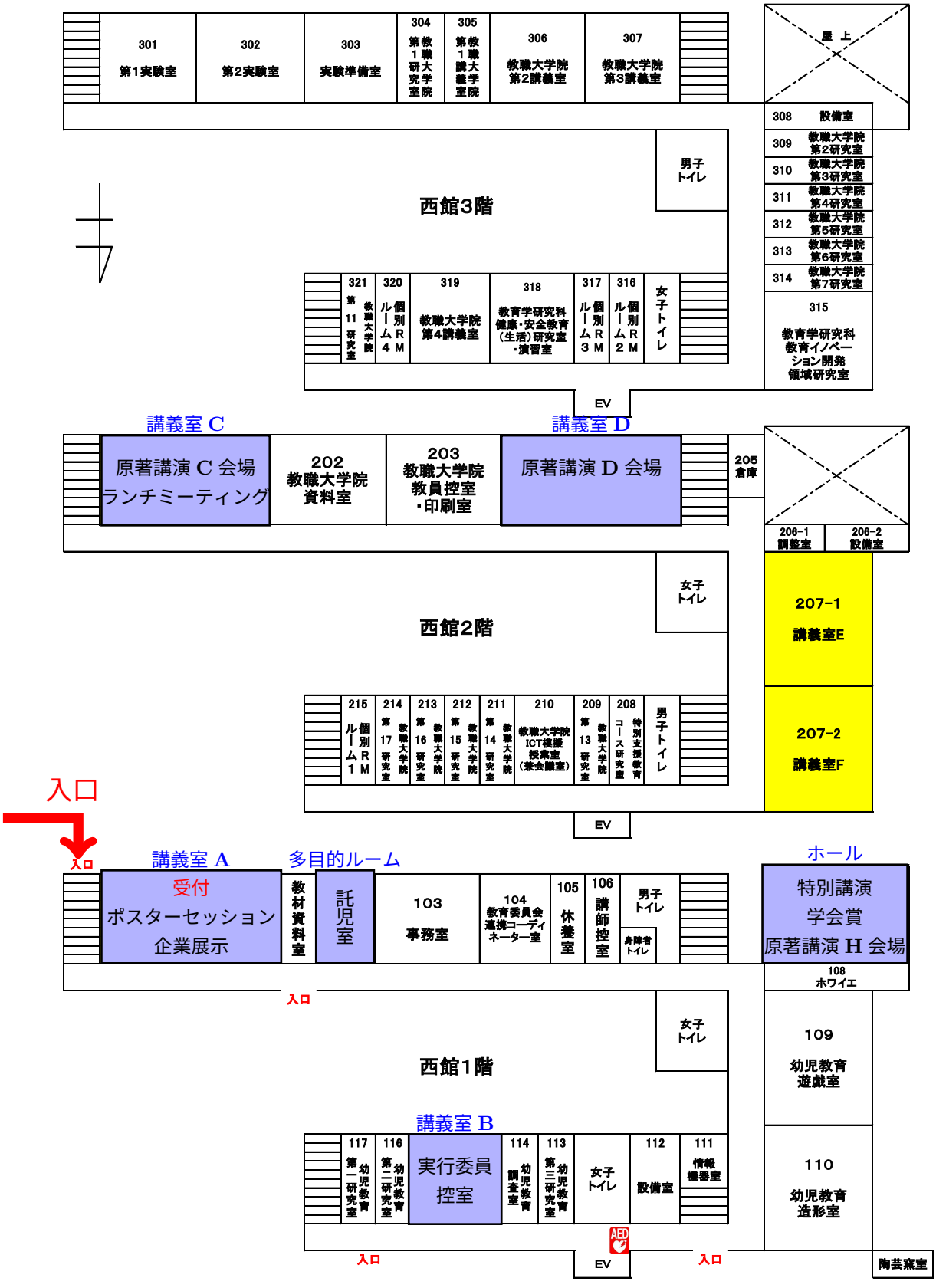
会場案内　大阪教育大学天王寺キャンパス　西館１階・２階

この図は下が北です。前ページのアクセス図とは南北が逆です。

運動場側

館内配置図

2024.10.23



道　路　側

2025 年度日本物理教育学会年会/第 41 回物理教育研究大会 日程

8 月 11 日（月・祝）

8：30～ 9：00　受付
9：00～ 9：10　開会（H 会場）
9：20～10：35　原著講演 1（H 会場 5 件，D 会場 5 件）
10：45～11：45　原著講演 2（H 会場 4 件，D 会場 4 件）
11：55～12：20　ポスターセッション・企業展 示コアタイム（A 会場）

12：20～13：20　昼食・ランチミーティング（C 会場）

13：20～14：50　特別講演（H 会場）小林昭文氏「物理授業改善を通して、校内と日本の科学的授業改善をリードしましょう！」
15：00～16：15　原著講演 3（H 会場 5 件，D 会場 5 件）
16：25～17：40　原著講演 4（H 会場 5 件，D 会場 5 件）
17：40～17：45　諸連絡（H 会場，D 会場）

18：00～18：30　懇親会受付：会場：KNEADERS CAFE BAR GRILL（ニーダーズ カフェ・バー・グリル）
18：30～20：30　懇親会

8 月 12 日（火）

8：45～ 9：00　受付
9：00～ 9：15　学会賞授賞式（H 会場）
9：15～ 9：55　受賞講演 1（H 会場）植松晴子氏 「教員になる学生に物理学を通して学んでほしいこと」
9：55～10：35　受賞講演 2（H 会場）豊田將章氏 「実験装置の改良を生徒とともに行う“見える学習”による自発的学びを深める独創的な物理教育の実践」
10：45～11：45　原著講演 5（H 会場 4 件，C 会場 4 件，D 会場 4 件）
11：55～12：20　ポスターセッション・企業展示 示コアタイム（A 会場）

12：20～13：20　昼食

13：20～14：20　原著講演 6（H 会場 4 件，C 会場 4 件，D 会場 4 件）
14：30～15：30　原著講演 7（H 会場 4 件，C 会場 4 件，D 会場 4 件）
15：40～16：45　大会企画・総合討論（H 会場）
16：45～17：00　閉会（H 会場）

原著講演プログラム

8 月 11 日（月・祝）

			ページ
原著講演 1H　9:20∼10:35　座長：落合　道夫			
1H–1	物理教育におけるジェンダーギャップの定量化とその克服法の開発に向けて	新田　英雄	21
1H–2	芸術要素を取り入れた物理教材開発に向けての研究 ー空間的視点取得の観点からの検討 ー	苅谷　麻子	23
1H–3	様々な校種・学校における CLASS を用いた学習姿勢調査の結果と比較	勝田　仁之	25
1H–4	高等学校力学分野におけるチュートリアル方式の授業実践：概要	植松　晴子	27
1H–5	高等学校力学分野におけるチュートリアル方式の授業実践：結果の分析	西村　塁太	29
原著講演 1D　9:20∼10:35　座長：池永　寛			
1D–1	高曲面水槽とシミュレーションを併用した夕焼け再現の授業実践	土屋　貴嗣	31
1D–2	核分裂連鎖反応で考察する中性子とは	堀井　孝彦	33
1D–3	子どもの物理的認識に関する定量的評価法・分析法の開発と授業実践への応用	高山　耕誌	35
1D–4	科学書におけ “thermal” の意味は「熱」ではなく、「温度」の意味である	五十嵐　靖則	37
1D–5	物理基礎教科書の改善提案	原　眞一	39
原著講演 2H　10:45∼11:45　座長：西村　塁太			
2H–1	力学念指標を用いた 連鎖的コンピュータ適応型テストの妥当性評価	安田　淳一郎	41
2H–2	理科教員志望の学生および高校生向けの概念的理解を問う問題の作成と試行	笠　潤平	43
2H–3	入学後の学習支援と大学初年次の物理の理解	平野　裕一	45
2H–4	感覚量と物理量の関係を探究する初年次教育の実践ー探究と協働を支える「実験すること」の価値に着目してー	田尾　周一郎	47
原著講演 2D　10:45∼11:45　座長：栗田　和好			
2D–1	振動模様による音の高低の可視化教材の開発	夏目　ゆうの	49
2D–2	縦波や音波を，変位の波として扱うのは間違いである	藤田　利光	51
2D–3	両端を固定した弦の振動における節の形成	藤本　茂雄	53
2D–4	『フィゾーの実験』を BB 弾を用いて体験可能にするモデル教材の開発	手塚　奏瀬	55
原著講演 3H　15:00∼16:15　座長：苅谷　麻子			
3H–1	葛藤課題はいつ提示すべきか？：授業前半と後半の比較を通じて	髙橋　幸太郎	57
3H–2	等加速度直線運動の公式に関する一考察 ―R.D. ナイトの物理教育研究書『Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching』に焦点を当てて―	磯部　和宏	59
3H–3	中学校理科における慣性質量概念の指導方略	小林　和雄	61
3H–4	エネルギー概念を育成する教材・教具の作製および活用	松永　武	63
3H–5	力学講義における探究学習と学習者の学習姿勢との関係	坂下　裕也	65
原著講演 3D　15:00∼16:15　座長：土佐　幸子			
3D–1	「つなぐ」教材としての超伝導学習〜高校教育への導入〜	山口　智輝	67
3D–2	摩擦帯電型ナノ発電機	瀬々　将吏	69
3D–3	電気回路分野における「色分け法」を取り入れた授業の研究	武井　士恩	71
3D–4	教科書における「慣性の法則」の問題点	牛尾　健一	73
3D–5	慣性力は難しい？ 〜慣性の法則と慣性力の伝え方〜	池永　寛	75
原著講演 4H　16:25∼17:40　座長：髙橋　幸太郎			
4H–1	見えない力をどのようにイメージしているか 〜物理初学者にとっての最初の困難〜	日笠　亜依	77
4H–2	授業づくりの会によるピア・インストラクション型授業の実践	飯川　大輔	79
4H–3	表現形式が学習者の問題解法に与える影響	髙野勇太	81
4H–4	高校生の物理学習におけるつまずきの類型化 – 自由記述を含む質問紙調査に基づく分析 –	飯高　匡展	83
4H–5	高校「物理基礎」における Just-in-Time-Teaching の実践的検討 ― 事前課題の類型化と授業内コンテンツのデザイン ―	落合　道夫	85
原著講演 4D　16:25∼17:40　座長：瀬々　将吏			
4D–1	「残留磁化」は電磁石にクリップをつける実験で扱える	阿部　幸夫	87
4D–2	レンズを通して見える実像に注目した光学台の作製	深澤　優子	89
4D–3	アナロジーによる物理イメージの伝達	栗田　和好	91
4D–4	高校生の物理学習におけるつまずきの類型化 – 自由記述を含む質問紙調査に基づく分析 –	飯高匡展	93
4D–5	物理教育シンポジウムがもたらす効果	土佐　幸子	95

原著講演プログラム

8 月 12 日（火）

			ページ
原著講演 5H　10:45~11:45　座長：平野　祐希子			
5H–1	数値／文字の出題形式の違いによる学習者の理解度の違いに関する研究	板橋　克美	98
5H–2	動画や音声を用いた物理の問題作成～授業やテストなどでの活用へ向けて～	今和泉　卓也	100
5H–3	生成 AI を用いた物理の答案採点	田 﨑　稜	102
5H–4	物理チャレンジにおける実験課題と理論問題の分析ー 2024 第 1 チャレンジを中心にー	長谷川　大和	104
原著講演 5C　10:45~11:45　座長：谷口　和成			
5C–1	データ提示方法の工夫（運動学を例にして）	川島　健治	106
5C–2	単振り子の円運動から放物運動への移行問題に対する解法の数理的考察	伊東　正人	108
5C–3	万有引力の学習を題材とした体験型シミュレーション支援器具の開発とその有用性の検証	駒﨑　寛和	110
5C–4	手こぎボートのオールのてこ	西尾　信一	112
原著講演 5D　10:45~11:45　座長：今井　章人			
5D–1	「物理教育研究的方法」を用いないで教育された高校生の 「いわゆる概念理解」①	山 下　哲	114
5D–2	誤概念ー修正か資源かー	右近　修治	116
5D–3	起潮力と潮汐を結ぶ周期性の概念	池田　幸夫	118
5D–4	「中学生 AI」とともに物理の基礎的な概念理解を獲得する授業実践	朝 倉　彬	120
原著講演 6H　13:20~14:20　座長：板橋　克美			
6H–1	高校物理における動画解析教材の開発と実践的検証：Tracking Analysis for Physics の構築と活用事例	小田　朋宏	122
6H–2	等速円運動の学習における視覚障害学生支援	平野　祐希子	124
6H–3	XR 技術を用いたウェブコンテンツを紹介するチャットボットの開発	秋山　綱紀	126
6H–4	反転授業とリメディアル教育に対応した，高校物理のデジタル教材の紹介	千頭　一郎	128
原著講演 6C　13:20~14:20　座長：伊東　正人			
6C–1	高校物理における探究の実践ー理数探究 出前授業型	川村　康文	130
6C–2	AL 型授業における社会的に共有された学習の調整を促す支援の検討	佐藤　希成	131
6C–3	ILDs におけるアクティブ・ラーニングの深化／持続を促す動機づけ支援	谷口　和成	133
6C–4	静電振り子の探究活動を取り入れた電磁気の導入の実践	北岡　和樹	135
原著講演 6D　13:20~14:20　座長：能代谷　賢治			
6D–1	高校物理電磁気分野の概念調査とチュートリアル方式の授業実践	今井　章人	137
6D–2	力のつり合いと作用・反作用の識別を支援する授業実践および概念調査紙 DETA による評価	伊 藤　慧	139
6D–3	力学の概念変容を促す理科授業デザインの実践的研究 – 教員志望学生の素朴概念の実態と「ものづくり」からのアプローチ –	鈴木　昭夫	141
6D–4	不確かさ概念定着のための高校物理授業の開発	古 結　尚	143
原著講演 7H　14:30~15:30　座長：今和泉　卓也			
7H–1	教科等横断的な授業実践：力の合成分解と橋の強度	片山　泰庸	144
7H–2	エネルギー保存則から慣性モーメントを教える実験教材を用いた大学初年次の物理学授業実践	鈴木　康文	146
7H–3	学習方略の変容を促す教師の事例的分析	岡本　大輝	148
7H–4	教員志望学生の高校物理の学習経験	寺島　幸生	150
原著講演 7C　14:30~15:30　座長：西尾　信一			
7C–1	力学実験用のモーター式定力装置の開発	井 上　陸	152
7C–2	人の吸引でボウリング球が浮上する装置の開発と 18 年の実践	海老崎　功	153
7C–3	「作用・反作用」と「つり合い」との差異化を図る教材の開発　－物体に働く力と摩擦力の可視化ー	荒川　明輝	155
7C–4	斜面を転がる球体の回転エネルギーに関する実験　-回転エネルギーはどのくらい大きいのか-	西村　祐紀	157
原著講演 7D　14:30~15:30　座長：右近　修治			
7D–1	電磁気授業づくりの会による電場・電位の授業検討	柴 田　樹	159
7D–2	磁場 H と磁束密度 B の関係を理解するためのチュートリアルの研究	中 留　瞬	161
7D–3	高校物理における逆二乗則の共通性を見出す光照度実験の実践	能代谷　賢治	163

ポスターセッション

コアタイム　8 月 11 日/12 日　11:55~12:20

			ページ
P–1	ハルバッハ配列の磁石がモーターの回転に与える効果を検証する実験の一考察	影森　徹	166
P–2	水素スペクトル管の改良とインバータ回路の自作	絹川　亨	168
P–3	水流モデルで十分か？：気圧アナロジーによる電圧指導の実践的検討	山田　吉英	170
P–4	九谷焼で作る重力ポテンシャル形状と実験教材の開発	渡會　兼也	172
P–5	力学概念における男女差に関する調査 - 高等学校での学習履歴と学習姿勢に注目して -	竹内　太軌	174
P–6	MIF 誤概念（Motion Implies a Force）を防ぐ指導方略の検討―中学校理科力学分野における速度ベクトルの活用を中心にして―	齋藤　頼紀	176
P–7	簡易パルス電源駆動クリップモータ教材を用いた授業実践	一戸　隆久	178
P–8	静電気モーターの教材可能性としての提案	千賀　愼一	180
P–9	科学館におけるプチ探究展示～電気・光・電磁波で信号を送る	池辺　靖	182
P–10	高校物理における波の式理解の実態と課題–円運動・単振動・波の関連概念に対する理解度意識調査から–	出口　英二	184
P–11	英語圏に見る、「電流による発熱 (ジュール熱)」の用語の使用中止に至る流れ	五十嵐　靖則	186
P–12	物理学実験学生アンケート解析：コロナ禍を挟んだ意識変化	中野　美紀	188
P–13	ここがヘンだよ物理教育～理科の教科書に対する数学教育からのコメントを基に～	髙須　雄一	190
P–14	中学生における力学概念実態調査（力と運動量の混同の可能性）	佐々木　悠朝	192
P–15	Google フォームを利用した物理探究ゲームの開発	稲田　佳彦	194
P–16	生成 AI を活用した事前添削による実験レポート改善の試み	斉藤　準	196
P–17	高校物理におけるアンペールの力の式を定量的に見出す実験教材の開発	盛田　義弥	198

特別講演

小林 昭文 氏 (授業改善アドバイザー)

「物理授業改善を通して、校内と日本の科学的授業改善をリードしましょう！

【特別講演者　プロフィール】



現在、株式会社 AL & AL 研究所の代表取締役社長。そのキャリアは、25 年間にわたる埼玉県立高校教諭から始まっている。高校教諭として、コーチング、メンタリング、カウンセリングといった理論を早期から生徒への対応に取り入れ、またエンカウンターグループやアクションラーニングを授業に応用し、アクティブラーニング型授業を開発して注目された。高校教諭退職後は、河合塾教育研究開発機構の研究員を経て、産業能率大学経営学部の教授を務める。2020 年 3 月に教授職を退職してからは、フリーランスとして全国各地の学校で授業改善支援をしている。研修講師としても多数登壇しており、一人の教員の授業改善が学校全体の改革へと続く流れを作ることを特長として支援活動を行っている。「アクティブラーニング入門」「アクティブラーニング入門 2」「アクティブラーニング入門 3」(いずれも小林昭文著/産業能率大学出版部) を始めとした著書も多数。最新刊は「担任学入門〜まんがで身に付く担任スキル（小林昭文著/（株）FCE)」。この本は全国の高校に無料配布されている。

Youtube チャンネル：https://www.youtube.com/@akifumi_kobayashi

物理授業改善を通して、校内と日本の科学的授業改善をリードしましょう！

小林昭文
株式会社 AL&AL 研究所代表　元埼玉県公立高校教諭
akikb2@hotmail.com

１．はじめに

物理学の新発見は即座に世界中で追試が行われます。そして、どこで誰が実験しても同じ結果が出ます。これが「科学的な研究」です。　それに比べて、「授業改善の研究」は多くの「良い授業」が雨後の筍のように発表され、書籍化されるものの、「再現性に乏しい」のが現実です。やがて忘れられて、また別の「新方式授業」が喧伝され、人が引き付けられ、再現できずに失望する。この繰り返しが、明治以降、150 年近くの間、繰り返されているように思われます。

要するに「非科学的」なのです。教職においては教科授業のみならず、担任としての活動、部活動顧問としての活動、生徒指導や進路指導等の活動などのあらゆることが、非科学的です。成功するかどうかは偶然に左右されているように見えます。その結果、多くの教員は教師として成功するかどうかは、素質・運・根性・努力次第だと感じることになります。教員の質の低下、人数不足、人気の低下等の根本原因はここにあると私は感じています。

とはいえ、私の高校物理授業も同じでした。定年前の最後の勤務校での物理授業は「成績向上・居眠り皆無・赤点消失・進度向上・選択者数倍増」等の効果を 6 年間上げ続けました。その授業を講演し、本に書き、TV に出演し‥と伝達活動を続けたにも拘わらず、ほとんど再現性はありませんでした。恥ずかしいことに、一時期は、失敗する先生たちが下手すぎるなどと責任転嫁をしかけたこともあります。

しかし、物理学を中心として「科学者になる訓練」を受けてきた身としては、このまま引き下がるわけにはいきませんでした。自分の研究のしかたのどこかに間違いがあるのではないか‥。ここを乗り越えなくては、6 年間成功し続けた高校物理授業の成果という「事実」さえ埋もれてしまうという危機感がありました。大げさに言えば、私が生きてきた足跡が消されてしまうという不安でした。

その結果が「授業者スキル」「担任スキル」の発見につながり、いくつかの学校や多くの個人の先生たちの実践のお陰で、授業改善を理論的に進めるとうまく行くことを確信することができました。そうこうしているうちに、ある高校物理の先生が私の授業を再現してくれました。それも私以上の方法を付加した上で、です。

これらの成果を今回の講演の中に盛り込みました。ようやく「経験主義が横行する授業改善」を「科学的な授業改善」に転換できると感じるところまできました。この感覚を一番理解してくれるのは物理の先生たちなのだろうと思います。ご理解いただいた上で、物理授業から「科学的授業改善の輪」を広げたいものです。ぜひぜひ、ご協力して下さい。

２．欠落していたのは技術論（スキル）論

私の授業が再現されないことを痛感し始めた時に考えたのは「どこかで研究方法が間違えていたはず」ということでした。そして気が付いたのは私がその当時、全国に呼ばれて見せていただいていた授業は「研究授業」「公開授業」「師範授業」などでした。要するに、普段の授業ではない特別の授業です。「これは事実ではない」と感じました。そこで、それ以降は、多くの学校でのイベントの前後の「普段の授

業」=「ありのままの事実」を観察し始めました。

そこでわかったのは「評判の良い先生たちが共通して行っていること」でした。これが「授業者スキル=基本スキル＋基本パターン」に結実しました。要するに、これまでの授業研究に欠けていたのは「スキル論」の視点だったということです。この視点に立つと、その授業のどこが良くて、どこが欠けているかが即座にわかるようになりました。それを変えるだけで、成績が良くなる授業も続出しました。これらの詳細は講義動画でご確認ください。

3. 地域・校種・教科・科目を超えた「共通言語」の獲得

上記の成果を上げるとともに私に起きた不安がありました。なぜ、150 年近くの間、誰も気が付かなかった問題に私は気が付いたのか？という疑問です。私が「天才」というのは簡単ですが、それは科学的ではありません。そこで気が付いたのは以下です。私はアクティブラーニング・ブームのお陰で、少し有名になり、全国のあらゆる校種のほぼ全ての教科授業を見学させていただいたということです。

逆に言えば、授業改善研究をする人たちはおおむね自分の専門科目の授業だけを見ているということです。他教科をみることはほとんどなく、まして他校種・他地域をみることもありません。この点、私はラッキーでした。これにより、私はこれらの仕切りを超えた共通性=一般性=本質を把握でき、言語化できました。

別言するなら、「共通言語」を獲得したということです。逆に言えば、「教師スキル理論」で学んだ人たちは、自分の校種・専門教科を超えて、全ての教科の授業改善指導ができるようになるということです。さらに言えば、教科科目別・校種別に細分化に指導者を育成する必要もなくなるということです。

このことは管理職の指導力を支えることにもなります。多くの管理職の皆さんは全教員の授業改善指導に苦労されています。それは自分の専門科目以外を見るときに、何を見れば良いかわからないからです。やむなく、熱意・態度・服装・話し方などを評価する方も多いようです。指導を受ける教諭の側も、抽象的な指摘はあまり役に立たず、管理職が代わると全く異なる評価を受けるという問題も出てきます。これらの問題も解決できるとも感じています。

4. 一緒に共同研究をしましょう。

私のこれらの話は、物理を教えている先生たちにはすんなりと理解してもらえるものだろうと期待しています。物理の先生=科学者としての共通基盤があるからです。更に、「新しい授業」は「物理ではできない」という理解が巷には広がっていることもメリットです。物理でできると、「私の教科でもできるかも」という人が多いのです。私の知り合いにはそういう方がたくさんいます。

これらの利点を活かして、物理の先生たちが中心になって、「授業改善の輪」を広げたいものです。どうぞ、興味のある方は声をかけてください。遠隔地でも今はインターネットを使って話すことは簡単です。私が研究して積み重ねたノウハウはいくらでも提供します。どうぞ、お気軽に声をかけてください。皆さんとご一緒に、物理の授業改善を中心に、日本中に「科学的授業改善」の輪を広げましょう。

参考文献

[1]「担任学入門」(2024) :小林昭文著,㈱FCE

[2]YouTube ページ ：https://www.youtube.com/@akifumi_kobayashi

受賞講演

2024 年度　日本物理教育学会賞

植松 晴子 氏 (東京学芸大学)
実践題目：「相互作用型物理授業の実践による物理教育研究の素養を持つ大学生・大学院生の育成」

豊田 將章 氏 (大谷学園大谷中・高等学校)
実践題目：「実験装置の改良を生徒とともに行う “見える学習”による自発的学びを深める独創的な物理教育の実践」

受賞講演 植松晴子氏

教員になる学生に物理学を通して学んでほしいこと

[A]植松晴子
[A]東京学芸大学
uematsu@u-gakugei.ac.jp

１．はじめに

令和４年の中央教育審議会答申には,『令和の日本型学校教育』を担う教師として,「変化を前向きに受け止め、教職生涯を通じて学び続ける」「子供一人一人の学びを最大限に引き出す役割を果たす」「子供の主体的な学びを支援する伴走者としての能力も備えている」という姿が示されている[1]．教員養成課程に所属する大学生１年生の意識を把握するため,A 大学において理科教室に在籍する１年生に「よい授業とはどのようなものか」を入学直後に尋ねた結果を集計した．図は，2023 年から 2025 年に物理学を専門とする初等教育コースと中等教育コースの学生計 71 名の記述を筆者が分類したものである．興味や楽しさを喚起することと並んで，生徒主体であることを挙げる学生が多いことが分かる．大学１年生の授業観は，主に自身の経験に基づいていることを考えると，中学校・高等学校でも「生徒主体」の授業が実践されていることが推測される．ただし，学生が「生徒主体」を良い授業の要素と捉える理由としては,「お互いに教え合うことで，自分の理解できていないところが明確になったり，相手がわからないところがわかるようになったりする」と，理解についての実感があるものがみられる一方で,「授業に対する興味関心を引くことができる」「授業中に寝てしまう生徒も減る」といった間接的な効果を挙げるものも少なくない．大学の授業で議論の機会を設けると，それぞれの考えを述べるだけに終わって有効な議論にならないこともある．コロナ禍の影響は否定できないが，話し合いが有効だと話す割には，議論の進め方の知識をもち実際に議論を通じて学びが進んだ経験のある１年生は限定的であるようにみえる．子どもの学びを最大限に引き出したり子どもの主体的な学びを支援する教員としての素養を身につけるために，大学在学中に，教育について学び教育実習等の活動を行って授業観を広げていくことを期待しつつ，教科専門の教員としては，物理の具体的な授業の体験の中で学習者主体の意義を認識してもらいたい．そこで，相互作用型授業としてチュートリアル方式のものを実践し，受講生(学部２または１年生)が，議論を通じて理解を深める経験を積み新しい授業観を得ることを目指している．また，ティーチング・アシスタント(TA)として参加する大学院生と学部４年生には，学生間の相互作用のファシリテーションを行うことで，相互作用型授業を実践する教員に近い立場を経験する機会を提供している．

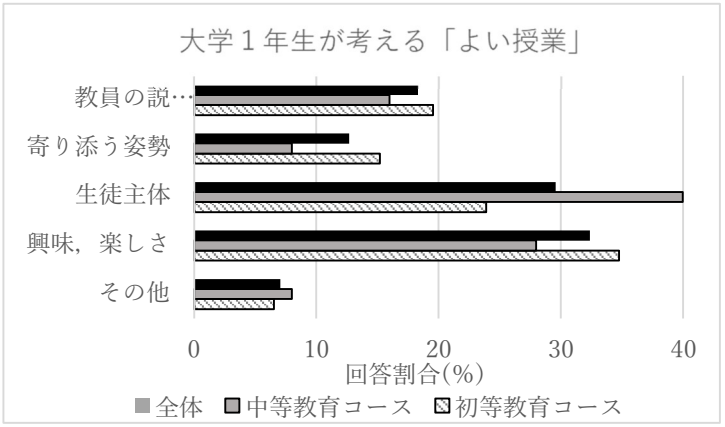


図　教員養成大学の 1 年生が考える「よい授業」の要素．2023 年～2025 年に物理学を専門とする学生に尋ねたもの．

２．相互作用型の物理授業

本実践のチュートリアル方式の物理授業は，米国で物理教育研究(Physics Education Research, PER)

に基づいて開発されたものを基本としている[2][3][4]．情報を与える過程としては他の講義科目を前提としており，チュートリアルは演習に替わるものとして学生のグループワークだけで進行する．研究に基づいて設計されたワークシートに従うとはいえ，グループワークは学生の反応によって多様な進展が起こりうる．

学生を一つのシステムと捉え．その応答を理解することはPERの重な視点である[5]．ここでいう「システム」は，学生集団の平均的な傾向だけでなく，個々の学生が示す独自の理解過程や反応の多様性も含んでいる．力学概念指標(Force Concept Inventory)[6]のような標準化された調査紙は，学生集団の平均的な振る舞いを知り授業改善を図るための強力なツールであるが，十分ではない．個々の学生には，それぞれ納得できる過程や困難に独自のものがある．こだわって明らかにしたい点もさまざまである．チュートリアルでの学生グループの議論では，そうしたダイナミクスを目の当たりにする．文献[5]に挙げられた物理の授業で起こることを理解する 5 つの原理(構成主義，文脈，変容，個別性，社会的学習)のすべての生きた例が多様な形で見られるのである．

本実践の基本にあるOpen Source Tutorials[3]は，認識論的側面が強調されている．学生の素朴な考えを引き出し(Elicit)，科学的に結論されることとの矛盾に直面させ(Conflict)，それを解決(Resolve)することで理解を図る点は他の相互多様型授業と共通しているが，実験結果や一貫した論理の説得力で科学の正しさを受け入れさせるというよりは，素朴な考えを活かして科学的な結論とすり合わせる考え方(intuition refinement)を提案し，その考え方にしたがって正しい結論を導いたことを学生自身に自覚させるところが特徴的である[7]．初期段階で誤りにつながった素朴な考えに着目して，すり合わせ方を授業内であからさまに扱うことは，通常あまりないのではないだろうか．高く動機付けられ的確な学習方法を習得した学習者であれば，おそらく授業外に一人で辿っていた過程であろうが，このような考え方の提案が手助けになる学生は少なくない．自分の素朴な考えを封じ込めて正解を覚える学習方法しか持っていない学生には，物理概念とともに習得してほしい学習姿勢である．

3．TAの働き

グループワークでの学びを有効にするために，TAによる適切な支援は欠かせない．TAには1コマ90分(または100分)の授業の前に，2時間のトレーニングを行っている．トレーニングでは，ワークシートを進めながら学生の反応をシミュレーションし，想定できる誤った考えについて学生が正しい方向に議論を進められる支援やタイミングを検討する．TAのほとんどは物理学を専門とする大学院生と学部4年生であるが，生物学等の他専攻の大学院生にも参加を呼び掛けている．物理を専門とする者が見落としがちな学習者視点を異なる立場から指摘したり，素朴な疑問を提供したりすることで，TA間の議論を活発にする貴重な役割を担っている．

本実践での学習内容について必要な情報はすでに与えられているので，TAが教える場面はない．ワークシートの設計にしたがって学生が理解を進めるように，適切な質問をしたり議論を確認したりするのが役割である．学生の多くは「正解」を導くことに重きを置いており，自分の素朴な考えを意識していなかったり隠したりすることがあり，引き出すには工夫が要る．また，思考を進める質問や提案が有効であるが，これも誘導に過ぎないようにしないと学生が自分で思考を進めることにならない．学生の反応は多様でマニュアル化できることには限りがあり，TAはワークシートの各場面についてトレーニングで共有した支援の例を手掛かりに，個々の学生に向き合うことになる．TAに対する一般的な助言としては，TAより学生に多く話させることと，個々の学生に心から関心をもって耳を傾けることである．彼らの発言は，修正するというより正しい考えへの足掛かりとするべきものであり，TAや教員が学生につい

ての理解を深めるための貴重な材料である．

授業後には，90 分程度の報告会を行う．任意参加ではあるが，ほとんどの TA が参加し，全体の進行，学生の応答，ファシリテーションで困ったこと，学生グループの様子等について活発な意見交換が行われる．注意が必要なグループや次回以降に有効なファシリテーションを共有できる有効な時間である．TA が観察したり聞き取ったりしてきたことは，他の TA や教員にとって重要な情報であり，筆者自身，毎回学ぶことが多い．

授業の進行やワークシートの記述について，トレーニングや報告会で TA から有益な提案が出されることもある．授業の協議となって大変助けられている．

4．受講生，TA に期待すること

本実践で扱う内容のほとんどは，高校物理の範囲である．しかし，グループワークでの議論を見ると，パターン・マッチング的に演習問題を解くことはできても概念理解が不十分であることが分かる．学生自身がそのことを認識する様子もみられる．また，素朴な考えから概念変容が起こっても，異なる文脈では再び元の素朴な考えが表れることがあり，両者が共存している．素朴な考えが反射的に生じるのは認知的に自然なことであり，否定すべきものではない．ゆっくり考えて科学的に正しいものを選べるようになることが望ましい．概念理解に加えて，自分の素朴な考えを封じ込めて「正解」を覚えこむ学習姿勢を変容させたい．素朴な考えを整理して現象を説明する最も説得力のあるもの(＝科学的な結論)に達する過程を体験し，習慣づけてほしい．学生全員が教員や研究者になるわけではなく，教員を目指す学生も物理を教えるとは限らないが，観察された現象や実験から既有知識を活用して最も説得力ある結論を導くことは，これからの社会を生きる上で必要な素養であると考える．次世代の子どもを育てる教員であれば，なおさらである．

TA の学びは最も大きい．物理概念の理解が一層深まり，ファシリテーションについても学ぶ．PER の知見を肌に感じた経験を活かして，周囲への影響力をもつ物理教員になってほしい．

学生も TA も，基本的内容と考えていたことにもまだ奥深いものがあることを，本実践の授業を通じて実感していると思う．学びに終わりはなく，生涯学び続ける姿勢を育むことを何より期待している．

参考文献

[1] 中央教育審議会答申『令和の日本型学校教育』を担う教師の養成・採用・研修等の在り方について(令和 4 年 12 月)

[2] “Tutorials in Introductory Physics”, L.McDermott, P.Shaffer, Pearson(2001), “Tutorials in Introductory Physics Updated Preliminary 2nd Edition”, L.McDermott, P.Shaffer, Pearson(2012)

[3] https://www.physport.org/curricula/MD_OST/（アクセス日：2025 年 7 月）

[4] 植松晴子，大学の物理教育，17-3(2011)，129-132.

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

[6] D.Hestenes, M.Wells and G.Swackhamer, Phys.Teacher 30-3(1992)141-158.

[7] A. Elby, Am.J.Phys.Supp.69-7(2001), S54-S64.

受賞講演 豊田將章氏

「実験装置の改良を生徒とともに行う“見える学習”による自発的学びを深める独創的な物理教育の実践」

豊田 將章
私立大谷中学校・高等学校
toyoda@osk-ohtani.ed.jp

１．はじめに

この度は，日本物理教育学会賞という名誉ある賞を頂戴し，感慨一入である。他の賞とは異なり，自ら応募して選考いただいたものではなく，これまでの私の教育活動を総合的にご評価いただき，選出していただいた賞であるだけに，一際価値あるものと受け止めている。

これまでを振り返ると，最初の 10 数年は教材プリントの整備，続く約 10 年は Microsoft Excel の VBA と散布図を活用したアニメーション生成教材の作成に取り組んだ。そして 40 代前半からは，日本物理教育学会・近畿支部が主催する「青少年のための科学の祭典大阪大会（サイエンス・フェスタ）」への出展を機に，生徒を巻き込みながら，物理現象への興味・関心を引き寄せる実用的な実験装置作りを行うようになった。本稿では，これまでの取り組みを振り返り，現在感じていることについて述べる。

２．装置開発の背景

勤務校に着任した当初は物理基礎が必修ではなく，実験機材も十分とは言えない状況であった。その後，高校１年で物理基礎が必修化されたが，高校２年で物理を選択する生徒が少なく，十分な予算が配分されないため，装置購入の機会をただ待つだけでは環境が整わなかった。

この「備品の拡充」と「物理選択者の増加」という 2 つの課題の解決策として，「サイエンス・フェスタへの出展に照準を定め，生徒とともに装置作りを行う」ことが有効という結論に至った。サイエンス・フェスタの特徴は，生徒が主体となって実験と説明を行う点にある。幅広い年齢層の来場者に応対するため，生徒は相手の理解度に合わせた説明を行う必要があり，わずか２日間という短い期間に，演示と説明のスキルを大きく高めることができる。

幸いにも，本校科学部には中高合わせて 50 名を超える好奇心旺盛な部員が所属しており，「授業に役立つ画期的な装置を作って後輩に残そう！」と呼びかけると，多くの賛同が得られた。こうして，優れた研鑽の場への出展を目指した装置作りの活動が始まった。

なお，装置製作に必要な工具や材料の調達には資金が必要であるが，これについては現在採択を受けている公益財団法人武田科学振興財団の理科教育振興助成をはじめ，過去には中谷医工計測技術振興財団や科学技術振興機構からの支援，大阪私立中学校高等学校理科教育研究会の研究費，東レ理科教育賞の受賞賞金などで賄ってきた。金銭的助成もさることながら，「採択されたからには良い成果を残さなければ」という意識がモチベーション維持にもつながった。

これまで製作した装置のほとんどは，助成金で導入したボール盤，ベルトサンダー，スライド丸鋸，バンドソーの４種の機器で製作しており，近年では３Ｄプリンターを積極活用している。これから装置製作に取り組む方には研究助成でこれらの器具を準備することを勧める。

３．装置開発のねらいと教育効果

装置づくりに際しては，主に次の 5 つを目標とした。

①理論に忠実な動作をすること

②動作原理がわかりやすいこと

③現象の本質を素朴に直感できること

④操作が容易であること

⑤運搬・設置が容易であること

自作装置は改変が容易であり，発想が浮かぶとすぐに反映できるという利点がある。1 世代目の装置は，まず狙った現象を再現することを目指し，その後は運用しながら不具合を確認し，上記 5 項目をより多く満たすよう歴代科学部員の手で改良を重ねてきた。

活動初期は工具や材料の使い方も知らない生徒に対し，「どのような装置を作るのか」，「どの部品をどう組み合わせればよいのか」，「どの工具をどのように使えばよいのか」など，一つ一つの対応におおくの手間と時間を要した。先行きに不安を感じることもしばしばであったが，数年のうちに経験を積んだ上級生が下級生を指導するようになり，活動は軌道に乗った。以後は既存装置の改良を行う班，新装置を選んで製作する班など，複数班に分かれて活動している。

装置名	特　徴
※クント管	音源部の工夫により，理論に忠実な動作を実現。振幅の大小と密度変化の大小の可視化を実現。
渦電流の実験装置	磁石近傍を転がる金属円板の挙動により渦電流の向きの特定し，レンツの法則の検証可能にした。
超伝導の実験装置	焼結させた YBCO に2つのコイルを巻き，相互誘導を利用して超伝導転移する温度を検出可能にした。
水面波実験装置	光源に 20W の LED を使用して普通照明下での観察が可能。波源に同期した発光により，瞬間の波面の様子が観察可能3Dプリンター用ガントリープレートの利用により，波源間隔や水深の変更を容易化。
バンデグラフ起電機	電源の内蔵化と素材の最適化により，場所を選ばず，高温多湿の環境下でも安定して静電気を発生。
※水圧実験装置	支持部を曲げ加工して浮力のモーメントを0にした。膜にゴム手袋を利用し，メンテナンスを安価にした。
電場の可視化装置	電極の配置を工夫し，油に浮いたおが屑の模様から様々な条件下での電場の様子を観察可能にした。
弦定在波発生装置	LED を光源とするストロボスコープを備え，弦を静止またはスローモーションで観察できるようにした。
※圧縮発火器	小型化と燃焼空間の最適化により，小さな子供でもティッシュペーパーの発火実験が成功可能に。
※レンズの実験装置	LED 光源とスクリーン素材の最適化により，普通照明下でも全方向から鮮明な像が観察可能に。
霧　箱	スターリング冷凍機を活用し，ドライアイスなしで−60℃の環境を実現。広い空間で飛跡の観察が可能に。
粉塵爆発実験装置	0.1g 以下の粉末試料をほぼ完全燃焼させる。室内で実験が可能に。
ばねを使った縦波・横波定在波発生装置	スピーカーでばねに縦波の定在波を発生させる。LED を光源とするストロボスコープを備え，発光周期とデューティー比の調整によってスローモーションや静止など多彩な見え方で観察が可能。
開管の気柱共鳴装置	水面の上げ下げする方式から，音源内蔵のピストンをハンドル操作で移動させて気柱の長さを変更する機構を導入。これにより，管口を純粋な開口端として機能させ，水面の上げ下げの応答遅れを解消。

表１　これまでに製作した主な装置（※はメーカーのカタログモデルとして製品化）

製作に携わるほとんどの生徒にとっては，まだ学習していない現象を説明するための装置であるため，取り組みがうまく進まないときに原因を掴めず落胆することもしばしばである。しかし，それでも匙を投げ出すことなく活動を続けるのは，上級生や他の研究班の成功例を目の当たりにして「次は自分たちの番」という思いに加え，水たまりに一筋の溝を掘るだけで澱んでいる水が流れ始めるのと同様に，僅かなきっかけを提供するだけで不具合の原因に気づく機会が数多くあり，気付きを得た瞬間の“発見の喜び”が諦めずに続けるための主たる下支えになっている。

学びのプロセスにおいて，気付きのきっかけを提供することは重要で，普段の指導の中で特に大切にしているところである。

４．開発した装置の紹介

＜バンデグラフ起電機＞[1]



図１　バンデグラフ起電機

最近では「バンデグラフといえば大谷科学部！」と言われるほど，よく認知していただいている装置である。図１，上部の球体電極はIKEA 製のミキシングボウル，台座部分はフライパン，ベルトはヨガなどで使用するゴムベルトと，装置の多くを身回りにあるもので構成している。装置作りに取り組み始めてからの約 15 年経つが，その間，歴代の部員の手によって改良を重ね，延べ 19 台の装置が誕生した。その間に気づいた“使いづらさ”の解消を目的として改良を進めてきた。主な改良点を以下に記す。

・ガラス製のローラー作りにくい　→　アクリル樹脂をコーティングした塩ビ管と置換
・AC 電源による束縛をなくしたい　→　電源の内蔵化
・静電気が発生し過ぎて困る　→　PWM 制御器を追加して出力調節
・湿度が高いとき静電気が起きない　→　ローラーの素材や表面処理を工夫
・動作音が大きく恐怖感が増す　→　旋盤でローラーを削り，偏心を解消
・電池の残量を知りたい　→　電池残量計の追加
・上下間の距離を変えたい　→　装置を分割し部品交換を可能に
・ON・OFF を遠隔操作で行う　→　リモートスイッチの導入
・出力調節も遠隔操作で行う　→　無線式の PWM 制御器を導入
・ローラの回転が速すぎる　→　ギアとベルトを介した駆動に変更

上記のような改良を重ねた結果，最新の装置は絶対湿度の値が大きい高温多湿の環境下でも十分な静電気量を発生するようになった。リモコン操作で静電気の発生量を調節できることなどが好評で，科学イベントや本校の授業や授業だけでなく，貸し出し依頼を受けて貸し出した先でも好評を博している。

＜縦波の定在波発生装置＞

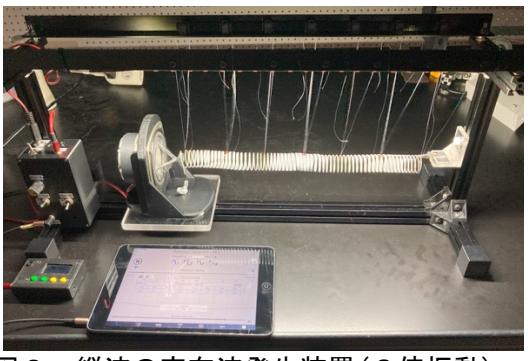


図２　縦波の定在波発生装置（３倍振動）

図２の装置は，公益財団法人武田科学振興財団の研究助成を得て，中学３年生の科学部員が約１年をかけ，0.6mm 径の SUS304 のステンレス硬線でばねを作るところから製作を始めた装置で，ばねを吊り下げる糸の調整を容易にする機構や，装置上部のフレームにテープ LED を光源とするストロボスコープを設置している点が既製の装置にない特徴である。図２は，右端を固定した状態で３倍振動が起きているときのもので，基本振動は 7.00Hz，n 倍振動のときの振動数は $7.00\times n$〔Hz〕と理論通りであった。右端が自由端の場合についても実測したところ，基本振動は 3.50Hz，$2n+1$ 倍振動のときの振動数は $3.50\times(2n+1)$〔Hz〕であった。光源を適当な周期で点滅させると，スローモーションのような動きをリアルタイムで観察できる上，デューティー比の調整によってばねに生じた定在波の様々な特性を知ることができる。この装置の導入によって，固有振動で振動する気柱内の空気の粗密をイメージすることが容易になると考えている。完成までに多数の試行錯誤を行なうことになったが，研究助成がなければ実現できなかっただけに，有り難みを身に染みて感じている。

＜１次元滑走台（エアトラック）＞

図３は，断面が１辺 40mm の正方形のアルミ製角パイプを用いて製作した１次元滑走台の２号機である。約 20 年前に初代の滑走台を製作した際は，型枠を作って２液性の硬化樹脂を流し込んで滑走体を作成したのであるが，同じものを複製するのが困難で，着手から完成までに数か月を要した。しかし，３Ｄプリンターを利用して製作した２号機では，ボール盤や電動丸鋸などの加工機械を使わず，スライサーソフト上で設計をしてプリントするだけで容易に複製ができるため，２週間程度で完成した。部品の質量を予めスライサーソフト上で確認できる点や，形状と質量共に個体差が極めて小さいことがわかった。今後，３Ｄプリンターは装置製作に欠かせないアイテムになることが容易に推測できる。

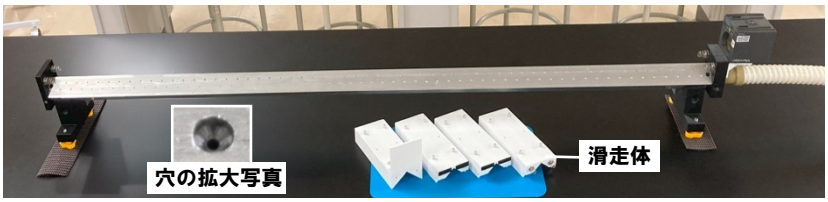


図３　滑走台の全景（中央の白い滑走体を３Ｄプリンターで作成）

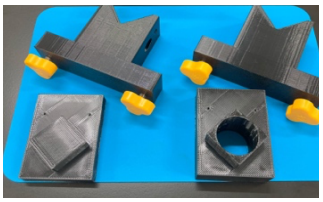


図４　パイプの両端と脚の部品

５．おわりに

毎年２月，大阪府下の先生方を対象に装置作り研修会を企画し，製作した装置を持ち帰っていただいている。この研修会で気づいたのは，50 代以上の先生は手慣れた作業をする一方，比較的若い先生は慣れない様子で作業が進まない傾向があることだ。特にオシロスコープの使用では顕著で，「教員になってから半田付けをしていない」，「オシロスコープを使ったことがない」という声も聞く。しかし，物理教諭らしく，手慣れた先生が不慣れな先生をサポートし，全員が装置を完成させるのが恒例である。

このことは，不慣れでも少しのきっかけと適した環境があれば，装置製作に取り組めることを意味している。装置を製作し，授業やイベントでの意見を改良に反映させる営みは，関わる人を自然と共同作業者にし，現象に深く触れる機会を増やす。初めから高い完成度は不要で，むしろ完成度が低い方が多くの意見を引き出せると考えている。まずは何かを自作し，生徒に披露することが肝心である。

一昨年あたりから他校の先生が頻繁に本校を訪れ，バンデグラフ起電機，クント管，圧縮発火器，電場の可視化装置，真空落下実験機などの制作を行い，自校で活用されるようになった。特にバンデグラフ起電機の製作をされた先生は，毎月１～２回の割合で１年弱の期間をかけて完成させるという熱心さであった。作業の間，私は傍で作業を見ていたのであるが，どなたもボール盤や卓上旋盤で次々と思い通りの部品を作ることが余程楽しいらしく，嬉々として作業をされているのが印象的であった。

装置づくりを始める際に問題となるのは資金の調達であるが，前出の財団以外にも多くの財団の研究助成があるので，活動内容に合致する研究助成を探して申請することをお勧めする。３Ｄプリンターがあれば目的に適う部品の多くを作ることができるのでまずこれを導入するとよい。材料や部品の調達は品揃えが豊富な AliExpress が便利である。発注から到着までに時間を要するが，国内通販会社では調達できない商品を扱っているため，自費で購入する際はこれを多用している。

今年度が現役教諭としての最後の年であるが，残りの期間だけでなくその後も装置作りに取り組み，できるだけ多くの先生に装置製作の楽しさを伝え，生徒の興味関心を高める機会を提供していきたい。

参考文献

[1]元年度東レ理科教育賞第 51 回受賞作品集 P.1~5

原著講演

8月11日

1H-1

物理教育におけるジェンダーギャップの定量化とその克服法の開発に向けて

[A]新田英雄，[A]植松晴子，[B]勝田仁之，[C]苅谷麻子，[D]西村塁太，[E]山本岳
[A]東京学芸大学教育学部，[B]早稲田大学高等学院，[C]香川大学教育学部，[D]東京学芸大学附属高等学校，[E]新潟県立長岡大手高等学校
hi_nitta@u-gakugei.ac.jp

１．物理教育におけるジェンダーギャップとは

物理教育におけるジェンダー差の問題は，特に海外において 20 世紀から継続的に研究されてきた重要な課題である[1,2]。多くの研究によって，男子学生に比べて女子学生の方が，平均的に物理学に対する理解・意欲が低いことが示されてきた[1,2]。また他の自然科学分野と比較しても，物理学における女性専門家の割合は特に低く，この傾向は長年にわたり課題として指摘されてきた。

物理の概念理解に関しては，近年，Madsen らが，米英の 13 大学における FCI などの調査結果を示した論文をメタ分析し，

$$G = \langle \text{男子学生の正答率\%} \rangle - \langle \text{女子学生の正答率\%} \rangle$$

で定義されるジェンダーギャップ値Gを導入して分析した（$\langle \cdots \rangle$は平均を表す）。その結果，Gの平均値が，力学ではプレテストで平均 13%，ポストテストで 12%であることを見出した[3]。Madsen らは，ジェンダーギャップが生じる原因もメタ分析をしたが，明確な原因は見出せなかった。また，ジェンダーギャップを縮小させるための確かな授業法も，やはり見出せなかった。

日本においても，高校生の FCI データに，10%程度のジェンダーギャップが存在することが示されている[4]。また，金森らは「誤概念保持率」を導入して FCI のジェンダーギャップの大きい項目を調べたところ，インペタス誤概念（MIF 誤概念）を女子生徒が持つ割合が大きいことを見出した[5]。一方で，学校の定期考査における男女の平均点には有意な差は認められず，成績だけではジェンダーギャップの存在を捉えにくいことが示唆された[5]。

一方，国立教育政策研究所の平成 27 年度「高等学校学習指導要領実施状況調査報告書」における生徒質問紙の項目「○○の勉強が好きだ」（○○には科目名が入る）において，物理基礎の肯定的な回答者は，「そう思う（10.1%）」「どちらかといえばそう思う（16.0%）」を合わせて 26.1%に過ぎず，22 科目中最低であった。さらに，回答を男女別に分けたデータによると，女子生徒の場合，「どちらかといえばそう思わない」が 15.4%，「そう思わない」が 65.1%であり，合わせて 80.5%もの女子生徒が，「物理基礎」の勉強は好きだと思っていない。この否定的な結果は，22 科目の中で突出している[2,6]。これらの調査結果は，物理教育におけるジェンダー差を縮小するには，概念理解のみならず，「物理に向き合う姿勢（以下，学習姿勢）」におけるジェンダーギャップにも着目する必要があることを示唆している。

そこで本研究では，物理教育におけるジェンダーギャップの解明に向けて，概念理解と学習姿勢の複合的な調査を行い，その定量的な分析結果に基づきながら，ジェンダー差の克服につながる授業法・教材等を見出すことを目標とする。

２．調査結果に見るジェンダーギャップ値

物理教育の研究グループ PEPPER は，日本の高等学校の学習内容に即した概念調査問題「物理基礎」，

「物理」を開発し，延べ１万人以上の大規模調査を行った[7]。その調査結果を男女別に分析すると，ジェンダーギャップが計算できる。「物理基礎」全設問に対しては，プレテストで$G = 8.1\%$，ポストテストで$G = 4.8\%$であった。このことから，授業によってジェンダーギャップは減少する傾向にあるといえる。さらに分野ごとにジェンダーギャップを求めてみると，下表のようになった。ただし各分野の設問数は異なり，力学 11 問，波５問，電気４問，熱４問，エネルギー５問，放射線１問である。

	力学	波	電気	熱	エネルギー	放射線	全体
プレ G	11.47	2.08	6.60	7.79	6.18	18.75	8.13
ポスト G	7.92	2.23	1.17	5.10	2.59	7.98	4.81

３．今後の展望

ここでは概念調査問題のジェンダーギャップ値についてのみ述べたが，学習姿勢調査との複合的な分析が重要である。また，Kariya らの研究から，中位以下の女子には望ましい学習姿勢は認識できているが自分にはそれができないと思い，あきらめてしまっている傾向がみられる。この結果は，女子生徒の自己効力感を向上させるような教育的支援が，望ましい学習姿勢の定着に寄与する可能性を示している。その他の調査結果から得られた様々な示唆を授業実践に応用して，効果を検証していくことが，ジェンダーギャップの縮小につながると考えられる。

これからの学校教育には学生の多様性への対応が求められるが，ジェンダーは学生の多様性のひとつとして捉えることができるであろう。その意味で，ジェンダー差の解消を目指すことは，多様な学習者に受け入れられる，「すべての人のための物理教育」を構築していく上で不可欠な一歩と考えられる。

本研究は，科研費基盤研究（B）課題番号 25K00853 の助成を受けている。

参考文献

[1] L. McCullough, ″An Overview on Research on Gender and Under-Represented Ethnicities in Physics Education″ in Getting Started in Physics Education Research, Reviews in PER Vol. 2, edited by Charles Henderson and Kathleen A. Harper (AAPT, College Park, MD, 2009), DOI:10.1119/RevPERv2.4.1.

[2] 新田英雄「物理教育にみられる定量的な男女差」物理教育 **71**（2023）pp.206-209.

[3] A. Madsen, S. McKagan, and E. Sayre: Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **9**（2013）020121.

[4] 新田英雄, 植松晴子, 森口真靖「物理教育に潜むジェンダーギャップ」大学の物理教育 **20(S)**（2014）S53-S56.

[5] 金森大和, 新田英雄「FCI とピア・インストラクション型授業にみられるジェンダー差」物理教育, **65**（2017）pp.139-144.

[6] 「平成 27 年度 高等学校学習指導要領実施状況調査」
https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h27/index.htm

[7]PEPPER 研究会, PEPPER シンポジウム発表資料（2024）.

[8] Kariya Asako and Hideo Nitta, An Analysis of Gender Differences in Physics Learning Using the Epistemological Beliefs Assessment for Physical Science, The Phys. Teach. **62**, (2024) pp.62-65.

1H-2

芸術要素を取り入れた物理教材開発に向けての研究

―空間的視点取得の観点からの検討―

[A]苅谷麻子,[B]新田英雄, [B]植松晴子,[C]勝田仁之,[D]柴田樹,[E]西村塁太
[A]香川大学, [B]東京学芸大学,[C]早稲田大学高等学院,[D]東京学芸大学附属国際中等教育学校,
[E]東京学芸大学附属高等学校
kariya.asako@kagawa-u.ac.jp

１．視点取得

心理学においては「自分の視点を異なる立場や位置に移動させ，その視点にある他者の心的状態である思考や感情を推測すること，その視点から見える世界を推測すること」を視点取得と呼んでいる[1]。さらに視点取得のうち、「物理的な環境や対象の配置に関する他者の視点を理解すること」に貢献するものを、空間的視点取得と呼んでいる[1]。空間的視点取得は、理科学習との関連が指摘されており、例えば月の満ち欠けの学習と関連した研究も行われている[2]。

２．物理における空間的視点取得の重要性

日本の教育課程に沿った概念理解標準調査紙の開発と実施調査及びその分析を通じて、物理の力学分野では、相対運動や慣性力に関する設問の正答率やゲインが他の問題と比較して低いことが明らかになった[3]。相対運動や慣性力の理解には、慣れた視点とは異なる視点から物体の運動を捉える必要があり、これらの分野でつまずきが多い要因として、空間的視点取得に課題がある可能性が考えられる。

このように空間的視点取得は、物理の学習に関わる重要な要素と考えられる一方で、生徒にとって困難さを伴うものであり、学習のつまずきの要因の１つであると考えられる。そのため、空間的視点取得をより意識した授業法や教材を検討していくことは、つまずきやすい分野の学習を支援する手法の構築に貢献する可能性がある。

３．芸術における空間的視点取得の重要性

空間的に視点を変化させて現象を捉えることは、物理分野だけでなく芸術分野においても活用されている手法であり、美術教育においても、空間的視点取得に関わる内容が扱われている。中学校学習指導要領解説 美術編には「平面に表す構想では，視点の工夫や形の線の強弱，〔中略〕など表現してみたい構成を試み，自分の思いに近い表現の構成や構図をつくっていくようにする。」とある[4]。また、中学校美術の教科書には「視点の冒険」という章を設定しているものもあり、そこでは日常生活とは異なる視点の構図の作品や、複数の視点を１つに再構成している作品などが紹介されている[5]。

４．教材開発の方向性

２、３を踏まえると、物理教育と芸術教育で共通して「空間的視点取得」は重要なものと捉えられ、「空間的視点取得」を軸とした物理と芸術の融合教材の作成が可能と考えられる。なお、芸術と物理の両方の要素を取り入れた授業の実践例は既に報告されており（例えば [6][7]）、その効果も示されている。

本研究では以下 2 点の仮説に基づき、空間的視点取得に着目した、芸術要素を取り入れた物理教材開発を行う。

第一に、空間的視点取得をより意識した物理授業は、慣性力や相対運動など、つまずきの多い分野の概念理解度向上に寄与すると期待できる。

第二に、芸術要素を取り入れることは、物理の男性的なイメージを緩和させる可能性がある。様々な学問分野に対するジェンダーイメージの調査では、物理は男性に向いていると考える人の方が女性に向いていると考える人よりも多い一方で、美術は女性に向いていると考える人の方が多いことが示されている [8]。「物理は男性に向いている」というステレオタイプが、物理における女子のパフォーマンスにネガティブな影響を与えることも示唆されているが[9]、物理に芸術的な要素を取り入れることはこうした考えの緩和につながり、性別に関わらず、多くの生徒が物理に意欲的に取り組める学習環境の構築に資する可能性がある。実際に芸術要素を取り入れた大学の STEM コースが女子の STEM への意欲を高めた事例も示されている[10]。

５．今後の展望

今後は、教材を具体化及び実施し、その効果分析を通じて、上記仮説の検証を行うことを目指す。

引用文献

[1]小沢日美子(2024).「『心の理論』の発達　空間的視点取得から社会的視点取得－そのプロセスと臨床的視点」, 福村出版.

[2]久保田善彦, 中野博幸, 小松祐貴(2020).「月の満ち欠けの学習における空間的視点取得の特徴」, 理科教育学研究, 61 巻, 3 号, 429-442.

[3]PEPPER 研究会(2024).「『物理』問題について」, PEPPER シンポジウム発表資料.

[4]文部科学省(2017) .「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説　美術編」, 89-90.

[5]村上尚徳 他(2021).「美術 2・3 上　学びの実感と広がり」, 日本文教出版株式会社, 12-13.

[6]小川慎二郎(2018).「工学分野における物理と美術の融合プログラムの開発」, 第 35 回物理教育研究大会予稿, 58-59.

[7]手塚奏瀬, 林壮一(2025).「美術に用いられる点描表現を通した、『理科と美術の教科横断を意図した教材』の開発と、その授業実践」, 日本科学教育学会研究会研究報告, 39 巻, 3 号, 39-42.

[8] Ikkatai, Y. et al. (2020). Gender-biased public perception of STEM fields, focusing on the influence of egalitarian attitudes toward gender roles. *JCOM* 19(01), A08.

[9] Marchand, G. C., & Taasoobshirazi, G. (2012). Stereotype Threat and Women's Performance in Physics. *International Journal of Science Education*, *35*(18), 3050-3061.

[10] Wajngurt, Clara & Sloan, Pessy. (2019). Overcoming Gender Bias in STEM: The Effect of Adding the Arts (STEAM). *A Journal of Scholarly Teaching,* 14, 13-28.

本研究は、科研費基盤研究（B）課題番号 25K00853 の助成を受けている。

1H-3

様々な校種・学校における CLASS を用いた学習姿勢調査の結果と比較

[A]勝田仁之，[B]新田英雄，[B]植松晴子,[C]苅谷麻子,[D]柴田樹,[E]西村塁太
[A]早稲田大学高等学院，[B]東京学芸大学,[C]香川大学,
[D]東京学芸大学附属国際中等教育学校，[E]東京学芸大学附属高等学校
katsuda.phys.edu@gmail.com

１．はじめに

本研究においては，様々な校種・学校を対象として，調査紙「CLASS」[1] を用いた学習姿勢調査を行っている。CLASS についての詳細は，次節で紹介する。著者らの所属する研究グループ PEPPER では，高校の教育課程に適合した物理概念調査紙を開発し，全国の高校生を対象とした大規模な調査を行ってきた[2] が，新たな研究テーマとして，学習姿勢調査を行うこととした。その動機は，大きく以下の 2 つである。

① 相互作用型授業をはじめとする，伝統的な講義形式の授業に比べて概念獲得に有効とされる授業クラス内においても，概念獲得がうまくいく学習者と誤概念が克服されない学習者がいる。その原因を明らかにし，クラス内の概念獲得に困難を抱える学習者への支援の手がかりを得たい。

② 物理学習における男女差克服への支援の手がかりを得たい。

２．学習姿勢調査紙 CLASS

本公演では，現在分析中のデータを用いて研究報告を行う。そこで本予稿を，学習姿勢調査紙 CLASS とはどのようなもので，データをどのように見れば良いのかを，共有することに充てたい。

Colorado Learning Attitudes about Science Survey（以下、CLASS）は、物理に対する学習者の態度や信念（attitudes and beliefs）を測定する調査ツールであり、アメリカ・コロラド大学ボルダー校の Wendy K. Adams らによって開発された[1]。

CLASS が測定するのは、FCI [3] をはじめとする物理概念理解度とは異なり、学習者が物理学にどのような姿勢を持っているか、すなわち「物理学をどう捉え、どのように学ぼうとしているか」といった認知的・情意的側面を測定することを目的としている。

CLASS は全 42 問から構成され，回答者はそれぞれの設問文の内容に対し，「５強く同意する」～「３どちらともいえない」～「１全く同意しない」の５つの選択肢から 1 つを選ぶ。設問文は例えば「Q6. 物理学は，多くの関連性のない内容が集まってできています。」といったものである。採点においては，５と４をまとめて「同意」，３「中立」，２と１をまとめて「不同意」の３段階に改めた上で，同じ質問を物理学の専門家にした際の回答と一致する（favorable）か否か（unfavorable）で採点する。

採点結果は，9 つのカテゴリに分けて集計され，複数カテゴリにまたがる設問も存在する。それぞれのカテゴリにおける favorable 回答率が，その回答者のスコアと見做される。また，問 4, 7, 9, 31, 33, 41 は集計対象から外される。9 つのカテゴリを，表１にまとめた。

さらに，2024, 2025 年度に中１～高３まで全 14 クラス，のべ 1162 名に実施した CLASS の結果を，図１に示す。測定データはクラスごとの平均スコアを示し，図１（左）は各設問ごとの favorable rate，図１（右）は集計カテゴリごとの favorable rate を示す。クラス間を比較すれば，スコアの高低の違いは現れているものの，どのクラスもほぼ同じような挙動となっていることが見てとれる。

表１　CLASS 採点における 9 つのカテゴリ

略称	項目名	意味	該当設問
RWC	Real World Connection	現実とのつながり	28, 30, 35, 37
PI	Personal Interest	個人的興味	3, 11, 14, 25, 28, 30
SME	Sense Making Effort	意味を考える努力	11, 23, 24, 32, 36, 39, 42
CC	Conceptual Connections	概念的つながり	1, 5, 6, 13, 21, 32
ACU	Applied Conceptual Understanding	概念理解の応用	1, 5, 6, 8, 21, 22, 40
PSG	Problem Solving General	問題を解くこと一般	13, 15, 16, 25, 26, 34, 40, 42
PSC	Problem Solving Confidence	問題を解く自身	15, 16, 34, 40
PSS	Problem Solving Sophistication	問題を解く洗練度	5, 21, 22, 25, 34, 40
Overall	Overall	全体	集計対象全問

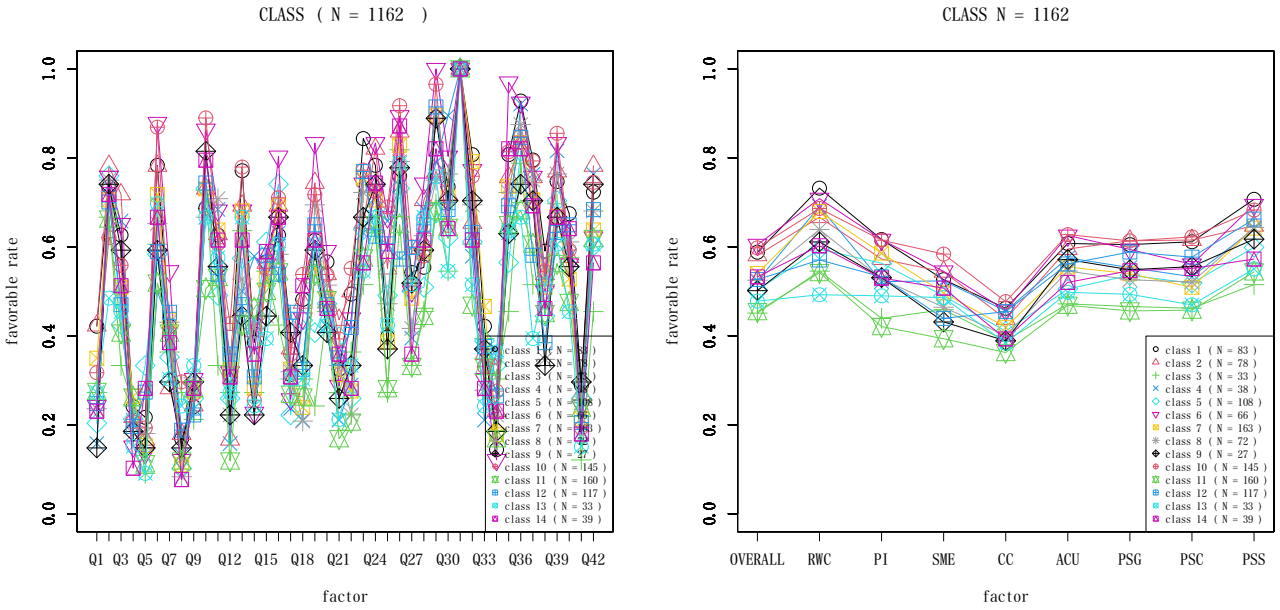


図１　中１～高３まで全 14 クラスに実施した CLASS 結果。
各設問ごとのスコアを左に，カテゴリごとに集計したスコアを右に示した。

講演では，さらに詳しい CLASS データの分析結果や，概念理解度との関係についても，報告する予定である。

本研究は、科研費基盤研究（B）課題番号 25K00853 の助成を受けている。

参考文献

[1] Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D., and Wieman, C. E. (2006)：*New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey*. Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **2**, 010101.

[2] 新田英雄(2025)：科研費基盤研究（B）課題番号 19H01731「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」成果報告書

[3] Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992)：*Force Concept Inventory.* The Physics Teacher, **30**(3), 141-158.

1H-4

高等学校力学分野におけるチュートリアル方式の授業実践：概要

[A]植松晴子，[B]西村塁太，[C,D]佐々木志帆，[A]新田英雄
[A]東京学芸大学、[B]東京学芸大学附属高等学校，[C]小松市立松東みどり学園，[D]名古屋大学教育発達研究科博士後期課程
uematsu@u-gakugei.ac.jp

１．はじめに

相互作用型物理授業が学習者の概念変容に有効であることはよく知られている．国内外で開発された授業法の実践例が報告されているが，米国で物理教育研究(Physics Education Research, PER)に基づいて開発されたものの多くは，米国の大学での実践を想定しており，カリキュラム，授業時間，TA の有無，学習姿勢や文化的背景等，環境が異なる日本で実践する際には，配慮が必要である．ことに高等学校では，授業時間の制約とカバーする内容への要請が大きく導入を難しくしている．著者らは，日本の大学でチュートリアル形式の授業を行っており，その実践を通じて教材に修正を重ねている．本講演は，大学での実践を基に日本の高等学校にチュートリアル方式の授業を適用した報告である．

２．チュートリアル方式の授業

チュートリアル方式は，初めに L.C.McDermott と Washington 大学の物理教育研究グループによって開発された相互作用型授業の一つである[1]．後にさまざまな形のものが開発され，Maryland 大学の物理教育研究グループによる Open Source Tutorials(OSTs)は，ワークシートやインストラクターズ・ガイドなどがインターネット上で公開されている[2]．著者らは OSTs に実践校の実状に合わせた改変を加えて実践を続けている．

チュートリアルは従来の演習に替わる授業で，学生が 3～4 名のグループでワークシートに取り組む．ワークシートは，PER に基づいて，日常生活や体験などから学生がもつ素朴な考えを引き出し，科学的な概念や法則との矛盾に向き合わせ，生じる認知的葛藤をグループでの議論で解決するように設計されている．議論に必要な情報は講義等ですでに与えられている前提であり，教員や Teaching Assistant(TA)は，議論のファシリテーションを行うのみで何かを教えることはしない．

3．日本の大学での実践を通じて明らかになったこと

オリジナルの教材は，アメリカの大学の 50 分授業に対応しているが，日本の大学の実践では全部やり終えるのに 70～80 分を要する．また，実践を継続する中で明らかになった学生の困難があり，それらを支援したり内容の不足を補ったりするために，追加の問が必要なことも明らかになっている．例えば仕事とエネルギーのチュートリアルは，オリジナルの教材が 1 回であったところ，系やエネルギー収支を意識すること，運動エネルギーと運動量の違いなどを含んで 3 回分になっている．

大学生には，演習の授業といえども「正解」を与えられることを期待し，自分の素朴な考えを切り捨てて「正解」を覚えこもうとする傾向が見られる．根拠に基づいて論理的に結論を得るというより，パターンマッチング的に問題を解こうとするため，類題にしか対応できない．OSTs は，認識論的側面が強調されており，概念変容とともにそういった学習姿勢に働きかけようとするのに有効である．素朴な考えから結論を導く過程のどこに誤りがあったのか，どのように考えれば納得して科学的に正しい結論を受け入れられるのかを正面から扱っており，大学での著者らの実践では学習姿勢の向上が確認されてい

る．

4．高等学校での授業プラン

本講演での実践の対象としたのは，国立 A 高等学校の文系進学を予定している 3 年生 23 名(男子 14 名，女子 9 名)である．物理基礎の範囲の演習を中心とした講座の受講生で，彼らは並行して化学基礎・生物基礎・地学基礎のいずれかを履修している．A 高等学校では，物理基礎(2 単位)が 2 年次の必修科目となっており，受講生全員が力学・波動(平面上の波や光を含む)・力学的エネルギー・電気回路・放射線を学習済みである．したがって，演習の位置づけであるチュートリアルの実践に適している． 2 年次の物理基礎は 3 名の教員が担当し，いずれも生徒実験中心の授業方式であった．3 名のうち 2 名の教員は，PER に基づく相互作用型授業(主にピア・インストラクション型授業)の活動も導入していて，受講生の多くはグループ・ディスカッションに慣れている．チュートリアル方式の進め方や生徒に期待する活動については，授業担当教員から折にふれ伝えた．

グループは 3〜4 名編成の計 6 グループとし，2 年次のクラスに偏りがない構成をとった．2 年次のクラスによって，系のエネルギー収支やエネルギー変換を表現するために用いる棒グラフ(エネルギー・バーチャート)や系の考え方の扱いに差があったが，グループ内での共有で解決することを期待した．チュートリアルでは，ファシリテーター1 名あたり 10 数名の生徒が望ましいと言われており，今回の実践では著者の 2 名がファシリテーションにあたった．大学院生が TA として参加した回もあった．

扱った内容は，物理基礎の力学に範囲に該当する「加速度の表現」「作用反作用の法則」「運動の法則」「仕事」「エネルギー」の 5 回分で，実施期間は 2025 年 4 月から 2025 年 5 月である．50 分の授業時間に合わせるために，ワークシートの問を一部削除した．多様な学習履歴の大学生にはスモールステップや繰り返しの問いが必要であるが，比較的均質な生徒集団には必ずしもあてはまらないと判断した．また，素朴な考えと科学的概念とをすり合わせる過程は含むものの，その過程を振り返ってメタ認知を促す問は省略した．仕事とエネルギーについては，内容を整理して仕事を中心とする内容 1 回とエネルギーを中心とする内容 1 回に再編成した．

実践結果と分析については，次の講演で紹介する．

参考文献

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

[2] https://www.physport.org/curricula/MD_OST/ (2025 年 7 月)

本研究は，科研費基盤研究 (B) 課題番号 25K00853 の助成を受けている．

1H-5

高等学校力学分野におけるチュートリアル方式の授業実践：結果と分析

[A]西村塁太，[B]植松晴子，[C,D]佐々木志帆，[B]新田英雄
[A]東京学芸大学附属高等学校，[B]東京学芸大学，
[C]小松市立松東みどり学園，[D]名古屋大学教育発達研究科博士後期課程
m121805g@st.u-gakugei.ac.jp

１．はじめに

本講演は連続講演の 2 件目である。著者らによって日本の大学で実践されているチュートリアル方式の授業実践を基に，日本の高等学校にチュートリアル方式の授業を適用した。授業実践の概要は連続講演の 1 件目である植松の発表で述べている。本講演では，チュートリアル方式の授業の教育効果について，授業前後での概念調査とアンケート調査の結果に基づき分析する。なお，授業対象である高等学校 3 年生 23 名のうち，概念調査とアンケート調査の全てに回答した 20 名（男子 12 名，女子 8 名）についての結果を述べる。

２．チュートリアル方式の授業による力学概念の変容

実践対象としたのは国立 A 高等学校の学校設定科目「理科基礎演習（物理基礎分野）」で，主に文系学部への大学進学を希望している高等学校 3 年生向けの物理基礎の演習科目である。本実践の範囲は物理基礎の力学分野である。そこで，Force Concept Inventory(FCI)[1]30 題のうち，上位科目の物理の範囲である 2 次元平面内での運動を除いた 15 題（問 1,3,4,13,15,16,17,19,20,25,26,27,28,29,30）を授業実践の前後で実施することで，生徒の力学概念の変容を調べた。事前調査は授業実践前に実施し，事後調査は 5 回分のチュートリアル方式の授業実践と，圧力に関するピア・インストラクション型授業 1 回，そして中間考査を終えた後に実施した。回答時間はいずれも 15 分間程度とした。

事前事後調査の正答率，及び，Hake の規格化ゲイン[2]は表 1 の通りだった。回答人数 20 名と少ないサンプル数であるため，あくまで示唆的な結果とするべきかもしれないが，チュートリアル方式の授業実践が力学の概念変容に有効であり，特に女子生徒にとって効果的であると考えられる。なお，女子生徒と男子生徒の事前調査の正答数分布は，シャピロ・ウィルク検定で正規性ありと判定され（有意水準 5%),Q-Q プロットでも十分な正規性が認められた。女子生徒と男子生徒の事前調査の回答分布について，対応のない t 検定を行ったところ，有意水準 5%で統計的に有意な差はなかった（効果量$d = 0.38$で低い効果であったと考えられる[3])。

表 1　FCI の事前事後調査の結果

	事前正答率	事後正答率	規格化ゲイン
女子	0.59	0.83	0.57
男子	0.52	0.68	0.35
全体	0.55	0.74	0.43

図 1 は設問ごとの事前事後調査における平均正答率を表している。問 17，25，26 で事前調査に対する事後調査の伸びが顕著だった。問 17 と 25 では文脈は異なっているが，いずれも等速で運動する物体に加わる力の大小関係について問うている設問であり，3 回目に実施したチュートリアル「運動の法則」では鉛直方向で扱った内容を水平方向にしたものであったためと考えられる。一方で，問 25・26 に続く問 27 では，事前調査に比べて事後調査の方が正答率は低くなっていた。上記の「運動の法則」のチュ

ートリアルで，上向きに運動している物体に加わる力の合力が下向きになり，徐々に減速しながらやがて静止する場面が出てくるが，その場面で多くの生徒が理解するのに困難を感じている様子であった。未消化のまま事後調査を迎えてしまったものと予想される。ただし，男子生徒は事前調査で問 27 は全員正答，事後調査で正答率 0.83 とやや下がってしまったものの高い値を取っているのに対して，女子生徒は事前調査で正答率 0.50，事後調査で正答率 0.63 とやや上がっているものの低い値を取っていることは興味深い。

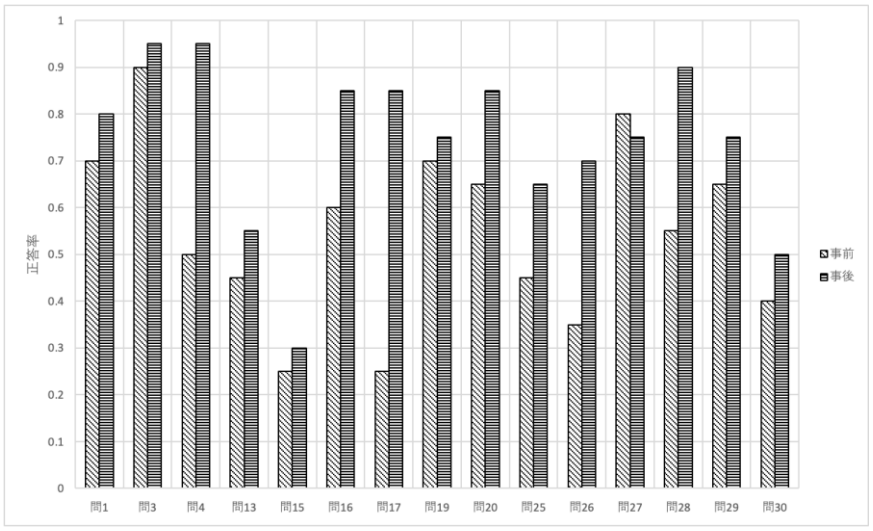


図 1　FCI 各設問の平均正答率

３．アンケート調査の結果

アンケート調査は授業実践後，中間考査を実施した直後の授業内で，全て自由記述形式で実施した。“チュートリアル形式の授業全体を通して，良かったこと，学びになったことはどのようなことですか？”という質問には，**「当たり前だと思っていた直観的思考に直接的に修正を計ってくれる学習として非常に効果的だったと思います。」「意見を交換することで、自分の意見の欠けているところや、間違っている理由を明確にできた。また、他の人の意見で間違っているところについて考えることで、物理法則への解像度が上がった。」**といった回答のように，直観と科学概念の矛盾により生じる認知的葛藤を，グループでの議論で解決していくチュートリアルの設計に触れているものが見られた。また，“課題だと感じたこと，改善した方がよいと思ったことはどのようなことですか？”という質問には，**「みんなで話し合って、全員よくわからなくて議論が袋小路になってしまう時もあったので、そういう時こそ自分たちで『なにがあやふやか？』をはっきりさせるべきであった。」「みんなで話し合って出した答えが合っているか分からないのが不安。」**といった回答のように，教員による解説がないことの意味を理解しつつも，正答がないことへの不安も感じているようであった。このことは，“その他の授業とどのようなところが異なると感じましたか？”という質問に対する**「先生がただただ教えるだけ、話すだけの授業より、とにかく考える力が刺激される授業なので、考えよう、納得しようと思いますし、何より楽しめる授業形式であると思います。」「誰かの考えが間違っていたり、自分と違う観点で物事を見ている人がいる時こそ１番楽しくて、良かったと思う。」**といった回答からも伺えた。

参考文献

[1] D.Hestenes, M.Wells and G.Swackhamer, Phys.Teacher **30-3**(1992)141-158.

[2] R.Hake: Am.J.Phys **66-1**(1998)64-74.

[3] 柳川浩三: R による教育・言語・心理系のためのデータサイエンス入門 オーム社(2023).

本研究は，科研費基盤研究（B）課題番号 25K00853 の助成を受けている。

1D-1

曲面水槽とシミュレーションを併用した夕焼け再現の授業実践

[A]土屋貴嗣，[B]丸澤和晃，[C]三野弘文
[A]千葉市立本町小学校，[B]千葉大学大学院教育学研究科，[C]千葉大学大学院国際学術研究院
takatsugu.t75@gmail.com

１．はじめに

学習指導要領の改訂により，平成 29 年告示の中学校学習指導要領解説理科編から「第 1 分野（1）身近な物理現象（ｱ）光と音」の単元において「光の色」の学習が新たに追加された[1]．本単元では，雨上がりに虹ができることや白色光がプリズムなどでいろいろな色の光に分かれることに触れるとされているが，検定教科書 3 社において「物体色」についての説明なども記載されている．平成 28 年 12 月に出された中央教育審議会答申においては，TIMSS2015 の結果より理科を学ぶことに対する関心・意欲や意義・有用性に対する認識についての肯定的回答者の割合が諸外国よりも低いことも報告されている[2]ことから，現行の学習指導要領においては，日常生活や社会との関連を重視することにより，理科を学ぶことへの意義や有用性の実感及び理科への関心を高めることを目指している[1].

そこで本研究では，新たに追加された「光と色」の単元において日常生活の中で体験可能であり，不思議に感じやすい「夕日や青空」の色の仕組みを題材とした授業実践を通して，理科への興味関心を高めるとともに，シミュレーション教材の有用性について明らかにすることを目的として授業実践に取り組んだ.

２．使用した教材

本研究では，アクリル板を加工して地球表面の曲線を再現した局面水槽と，光の散乱というミクロな視点の理解を助けることを目指したシミュレーションの 2 つの教材を併用することで，中学生でも夕日や青空が色づく仕組みを考察できると考えた.

曲面水槽の製作については前年度（第 40 回研究大会）に報告をしている[3]ため，本稿では説明を省き現象の画像だけ掲載する（図 1）.

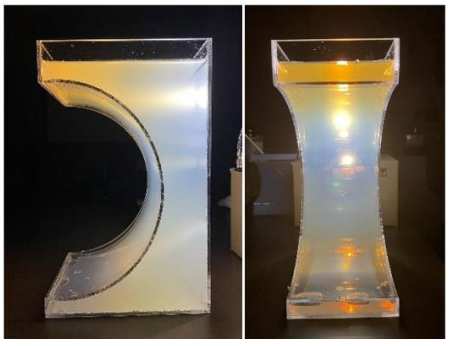


図 1　曲面水槽に光と照射した様子
（溶液には水とフローリング用ワックスを使用）

シミュレーションの制作では，プログラミング言語である JavaScript を使用し，ビジュアル面に特化した p5.js ライブラリを使用した．制作したシミュレーション教材では，太陽光の中から代表して RGB の 3 つの光を描画し，画面の右側から左側に向かって絶えず光が照射されるようになっている（図 2）．そして，地球表面の大気中で光が散乱されることにより，お昼と夕方の位置にいる人に届く光の量が変化することが一目でわかるような構造となっている．また，お昼と夕方の人に届いている光の量を太陽から照射される光の量に対する割合で表示することで，両者に届いている光の差を数値として確認することもできるようにしている．本教材では，光が散乱される様子を可視化しているため，曲面水槽の観察と併用することで水槽の観察だけでは理解の難しい光の散乱というミクロな現象を理解させることが可能となる．また，RGB の各色成分の散乱度合いをシミュレーションの使用者が自由に変更できるため，各色成分の散乱度合いを実験的に操作する中で，地球環境で起き

ている夕日や青空の仕組みについて考察することが可能となるような教材であると考えている．

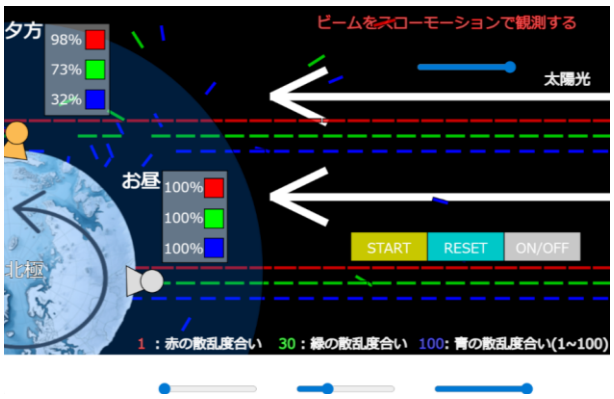


図 2　制作したシミュレーション教材

3．授業実践と結果

授業実践は，国立大学付属中学校の第 1 学年 2 クラス（計 58 名）を対象として，50 分 1 回の授業を実施した．本授業を実施する前に，光の直進や反射，屈折，光の色については学習済みである．

授業では，曲面水槽を用いて現象の全体像を捉えた後，シミュレーション教材を自由に操作させた．また，授業の始めと終わりには同様の内容でアンケート調査を実施し，夕日や青空の色について持っていた考えが授業を通してどのように変化したのかを調べた．

質問内容は以下に示す通りである（④と⑤は終わりでの調査でのみ質問をした）．

質問①	太陽から出ている光の色は何色だと思いますか．{自由記述法}
質問②	夕日が赤色（オレンジ色など）に見えるのはなぜだと思いますか．太陽の色に着目しながら，あなたの考えを書いてください．{自由記述法}
質問③	昼間の空が青色（水色など）に見えるのはなぜだと思いますか．あなたの考えを書いてください．{自由記述法}
質問④	シミュレーションは，夕日が赤色（オレンジ色など）に見えることの理解に役立ちましたか．{5 件法}
質問⑤	④の理由を教えてください．{自由記述法}

自由記述での回答結果については，KH Coder を用いて共起ネットワークを作成した．質問②の授業後の回答では，夕日の色の仕組みとして「青色-光-散乱」などに強い共起性が確認できる（図 3）．実際の回答でも「青色や緑色の光が散乱されてなくなることで赤色に見える」などの回答が確認できることから，夕日の仕組みとして青系統の光が散乱されることに注目することができていることが分かる．また，質問④においては全ての生徒が現象の理解においてシミュレーション教材は役に立ったと回答していることからも，本研究で制作した教材は有効であったと考えられる．

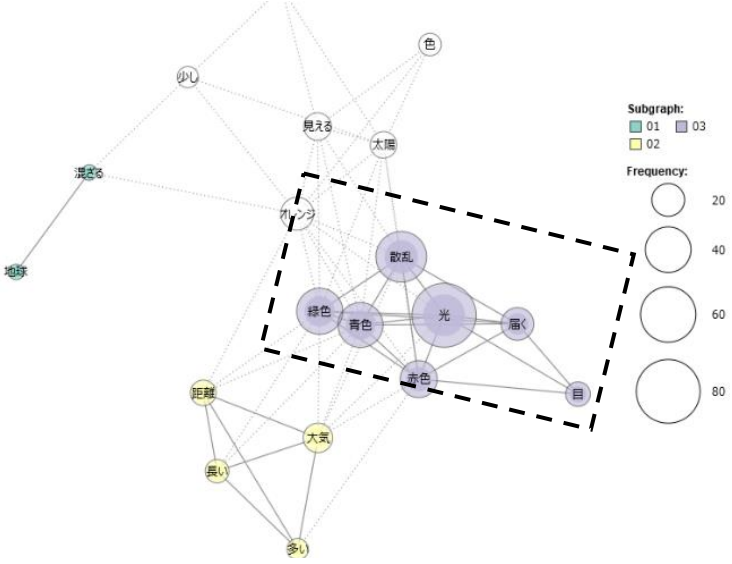


図 3　夕日の仕組みに関する記述解答の結果

参考文献

[1] 文部科学省(2018)：中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説理科編，学校図書株式会社.

[2] 中央教育審議会(2016)：幼稚園，小学校，中学校，高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）.

[3] 土屋貴嗣ほか 3 名(2024)：夕焼け再現実験器の製作，第 40 回物理教育研究大会 発表予稿集，2B-2.

1D-2

子どもの物理的認識に関する定量的評価法・分析法の開発と授業実践への応用

堀井　孝彦
東京学芸大学附属世田谷小学校
r156002@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに－近年の物理教育－

近年，世界各国の高等学校や大学の物理教育において，生徒・学生が学習する事前と事後に同一の標準的な調査問題を用いて，その正答率を比較することにより，授業を評価したり分析したりする方法がしばしば採り入れられるようになってきた。その標準的な概念調査問題の代表的な例としては，Hestenes ら（1992）による力学概念調査（Force Concept Inventory,FCI）が挙げられる。FCI は力学領域における授業評価の指標として，頻繁に用いられており，数多くの先行研究が存在する。例えば，Hake（1998）は，FCI の事前調査と事後調査との正答率から規格化ゲインという値を定義した。規格化ゲインは，FCI をはじめとした概念調査により授業評価を行った場合の定量的な基準として非常によく用いられている。これまでに行われてきた数々の先行研究により，高等学校や大学の生徒・学生は多くの素朴概念を持っているということが示されている。これらの素朴概念の形成は，生徒や学生の幼少期の日常生活にまで遡る。子どもが持つ素朴概念やは，非常に変容しづらいことがよく知られており，特に 1980～1990 年代にかけて，多数の研究が行われてきた（例えば，Osborne and Freyberg，1985，White，1990 など）。このような素朴概念は理科系の大学生でさえ持っていると指摘されており，（例えば Climent, 1982）。小学校理科の範囲であっても，物理概念の獲得や物理に関する知識・技能の習得を阻がいすることがある。その半面，近年の物理教育では，能動的な学習を通して素朴概念が物理概念へと変容経てこそ，確かな概念形成ができるという見方が主流である（例えば，Redish，2003）。そのため，物理分野についての学習が始まる時点からの授業改善が必要である。

2. 小学校における物理教育と調査問題作成の意義

日本の小学校教育において，物理分野の学習が始まるのは，小学校第 3 学年の理科学習が始まるときである。小学校理科に関する調査問題としては，例えば，わが国が行っている，全国学力学習状況調査理科が存在するが，これは，物理分野に特化したものではなく，概念の獲得や知識・技能の習得に関して重点的に問うたものでもない。そこで，小学校理科物理分野に特化した，概念の獲得や知識・技能の習得に関して重点的に問う調査問題を，新たに作成することにした。調査問題の作成にあたって小学校理科物理分野に関する数々の先行研究から引用しながら，「力と運動」「電気と磁石」「物の性質」等の領域に分けて，小学校理科物理概念一覧表をつくるところから始めた。そして，自らの授業実践や勤務校で過去に作成した校内テストで出題した問題とこの一覧表を照合しながら多肢選択方式による調査問題案を「力と運動」「電気と磁石」「物の性質」に分けて作成した。その後，被検者の回答理由記述や回答状況等に基づいて，問題を数次にわたって見直し，30 問の検証版調査問題を作成した。この段階において，ひとまず研究対象を「力と運動」に絞り込んだ。

3. 調査問題の分析方法－現代テスト理論の導入－

検証版調査問題においても，それまでと同様に児童の回答理由記述に基づいた定性的な分析を行うとともに，正答率等の古典テスト理論に基づいた定量的な分析を行った。さらには，現代テスト理論の 1 つとしてよく知られている Rasch モデル（Rasch,G.,1960/1980）を用いて分析することにより，問題の項目困難度を推定し，あらかじめ難易度が設定された問題群を出題することにし，確定版調査問題を作成した。

Rasch モデルには，各問題の項目困難度と被検者の能力値を同時に推定できるという，有用な特性がある。そこで被検者の能力値パラメーターθ_iと問題の項目困難度パラメーターδ_jを，横軸の同一直線上に正答確率を縦軸にとる。Rasch モデルにおいても，項目反応理論（IRT）においても，横軸の値は，潜在特性値（latent-trait）と呼ばれている。Rasch モデルの場合，正答確率$P(\theta_i, \delta_j)$は，被検者の能力値パラメーターθ_iと項目困難度パラメーターδ_jとの差を変数として，次の式（3-1）のように表される。また，この式を

$$P(\theta_i, \delta_j) = \frac{\exp(\theta_i - \delta_j)}{1+\exp(\theta_i - \delta_j)} \quad \cdots (3-1)$$

グラフにすると，図 3−1 のような項目特性曲線（Item Characteristic Curves,ICC）という曲線群で表される。ただし，この図 3−1 は，確定版 Ver.5 の前々の試行版 Ver.3 から抽出作成したものである（堀井，2022）。これらは被検者の能力値と問題の項目困難度との差を，1 つのパラメーターとしたとき，その正答確率を表す曲線を，横軸方向，もしくは，縦軸方向に平行移動しただけの曲線群である。例えば能力値が 0.000 の被検者は，問題 X9 の正答確率が 80%を超えているのに対して，X12 の正答確率は 50%を少し超える程度である。また，X10 と X11 に対する正答確率はともに 50%を切っていることが分かる。一方，正答率が 50%の問題に対する潜在特性値が，当該の問題の項目困難度を表しているので，これらの 4 問において，X9 が最も項目困難度が低く平易であることが分かる。

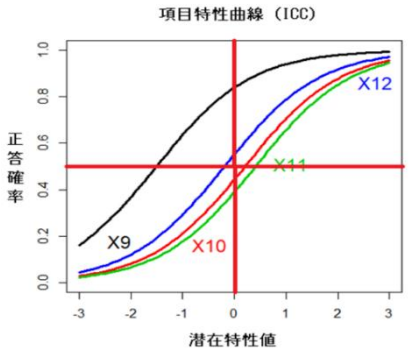


図 3−1　Rasch モデルの項目特性曲線

4. 授業実践への応用

筆者の勤務校，国立大学附属 S 小学校の第 6 学年児童を対象として，確定版調査問題を用いて事前調査を行った。その事前調査の分析・検討の結果を，2019 年度第 6 学年「てこの規則性」の授業実践における学習指導計画の修正に用いるとともに事前調査－事後調査の比較によって開発した調査問題の有用性と妥当性を分析・検討した。その際，回答が有効であった 33 名について　，前述の Hake の規格化ゲインを，指標として用いることによって，「てこの規則性」の内容に関する 10 問についての定量的な授業分析・評価が可能なことが示された。また，事前調査の結果は，詳細な授業の計画を行う上で有用であるということが分かった。

5. その後の研究の進捗状況－働き方改革に向けて－

小学校における，テストの実施方法は主に 2 通りある。一方は，1 つの単元を終える毎に実施する単元別テストである。公立小学校の多くで実施され，教員も児童も学習直後にその成果をすぐに評価できるという利点がある。他方は，多くの中学校や高等学校と同様の方法であり，学期末にテストを実施するものである。前者は回数が多くなり，その実施にも時間と手間がかかるので，専門業者が作成した問題を用いることが多い。後者は自校作成方式の問題を用いることも多い。勤務校では，授業とテスト内容とが合致していることが望ましいという考えから後者の方法を採っている。しかしながら，学期に 1 回であっても，テストの作成に時間と手間を要することから，本研究を日頃の授業実践に還元・応用する目的で，Rasch モデルを用いてテストを分析し，項目困難度を求めて，次年度以降に再利用可能な難易度が数値化された問題を集めている状況にある。この取り組みによって，テスト問題を作成する際の働き方改革につながるのではないかと考えている。

1D-3

核分裂連鎖反応で考察する中性子とは

高山　耕誌
近商エステート株式会社
takayama@kinsyo.jp

1.はじめに　現状の物理理論では核分裂連鎖反応の説明は不可能

なぜ中性子が陽子と電子がくっ付いた複合粒子であるのかは原子炉での核分裂連鎖反応が起こる事で証明されます。
中性子が単一粒子で電荷を持たない粒子ならウラン原子の原子核に中性子がそもそも当たらないし、万一当たったにしてもその当たったウラン原子核から飛び出した中性子がさらに別のウラン原子核に次々と当たり連鎖反応していくという説明は原子と原子核の割合(100 億分の 1 以下)から考えても不可能だといえます。

2.核分裂連鎖反応を可能にする理由

だが現実には核分裂連鎖反応により原子力発電が行われているのは現代物理学での中性子(プラス 2/3 電荷の u クォーク一つとマイナス 1/3 電荷の d クォーク二つの内部構造)でなく陽子と電子がくっ付いた複合粒子を中性子とすれば 100 億分の 1 以下であっても 100%隣のウラン原子核に次々と当たり連鎖反応することができます。

3.陽子に二つの電子がくっ付く事により負電荷を帯びた負帯中性子が不可能を可能にする

陽子の片方に電子がくっ付いた中性子のもう片方に電子がくっ付く事により中性子は陽子の前方と後方に電子二つがくっ付いたマイナスの電荷を帯びる（以降負帯中性子と呼ぶ）ことによりクーロン引力によりプラス電荷のウラン原子核にほぼ確実に 100%衝突し、衝突したウラン原子核から飛び出した中性子も同じようにほぼ確実に別の原子核に衝突し連鎖反応できるのであって現代物理学でいう中性子では連鎖反応は不可能だと断言します。

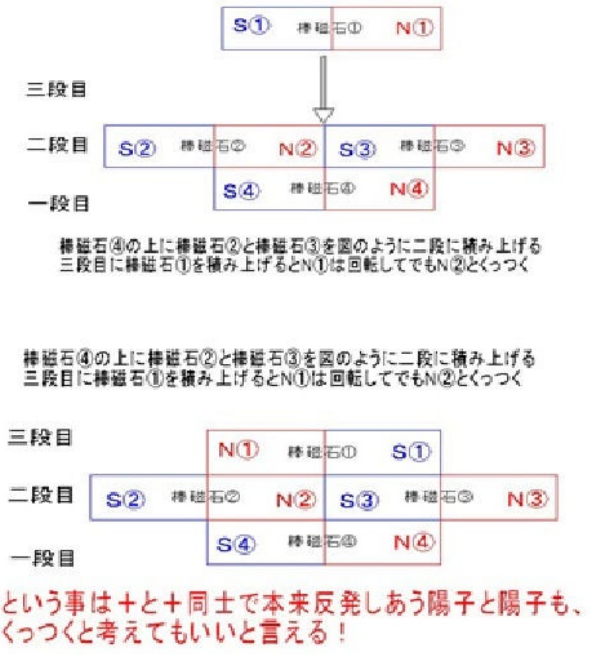
4.負帯中性子はウラン原子の軌道電子から電子を奪い取りその他の軌道電子を押しのけ原子核に衝突する

原子核に衝突して飛び出すのは負帯中性子でなく片方のみ電子とくっ付いた中性子だがすぐに軌道電子から電子を奪い取り負帯中性子となる。負帯中性子は質量が大きいので軌道電子の斥力により跳ね返される事はなく跳ね返されるのは質量の小さい軌道電子であり負帯中性子はウラン原子核への道筋を遮る各軌道電子を押しのけて道を開け原子核に真っ直ぐ突き進み確実に衝突します。

5.核力による原子核の形成

原子核を固めている力を核力というがこの論文では中性子は陽子と電子がくっ付いた複合粒子であるとしているので現代物理学でいう核力での説明は否定しますが核力という言葉は気に入っていますので陽子と電子のプラス電荷とマイナス電荷による結合力を核力として説明します。
この場合原子核は陽子と電子は隣り合わせで＋－＋－＋－、、、と数珠繋ぎのように結合します。
ただこの場合の原子核の結合では＋と－の陽子と電子の数が同数になり原子核はプラス電荷を帯びな

い事になりますが－＋－と挟まれた＋の陽子に＋の陽子がくっ付き例えば炭素原子核陽子 12 個電子 6 個で質量 12 プラス 6 の電荷を持つ炭素原子核のモデルができます。



ここでなぜ電子二つに挟まれた陽子に陽子がくっ付くかの疑問ですが磁石による実験で陽子を N 極電子を S 極と仮定し、図のように組み合わせた磁石の 3 段目は 2 段目 N 極の真上に回転しながら N 極が重なるのは電子二つに挟まれた陽子の真上に陽子がくっ付く事ができる事を示唆していると思われる。(通常 N 極同士 S 極同士がくっ付く事はない同様に陽子同士電子同士がくっ付く事はない

この磁石実験は YouTube に動画をアップしていますので右ＱＲコードを読み取り動画を確認ください。

このように陽子と電子の結び付きパターンで全ての元素の原子核のモデリングが可能となります。(中性子を単体粒子とする現代物理学では原子核のモデリングはできません)

6.核力の定量的な計算

原子核を固めている力がクーロン力であるとするのはクーロン定数と$E = mc^2$の（c^2は光速度の二乗)数列と一致する点があげられます。

光速度 299792458m/s を二乗すると 898755778796 になりこの数列はクーロン定数 89875 の数列(クーロン定数も正確に計算すれば 89875578796 になる)の$E = mc^2$のc^2はクーロン定数であると考えられクーロン力が原子核を固めている力(電磁力)である事を示唆しています。

$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon 0 \mu 0}}$ なら $c^2 = \frac{1}{\varepsilon 0 \mu 0}$ でありクーロン定数κの公式は$\kappa = \frac{1}{4\pi\varepsilon 0}$ なので

$\mu 0$ と4πが等しいのであれば光速度の二乗は$\boldsymbol{c^2 = \frac{1}{\varepsilon 0 \mu 0} = \kappa = \frac{1}{4\pi\varepsilon 0}}$でクーロン定数$\kappa$と等しくなります。

本来は力の方程式$F = mc^2$であればＦ＝ｋ$\frac{q1\,q2}{r^2}$と同じ力をあらわす数式であるところエネルギー保存則よりポテンシャルエネルギーをあらわすため$E = mc^2$としたので$E = mc^2$はクーロン力により原子核を固めている核力エネルギーを定量的に計算できる核力方程式であると言えます。

c^2がクーロン定数であり電磁力で原子核を固めているポテンシャルエネルギーの式であるとすれば質量欠損により消滅した核力のポテンシャルエネルギーと同等のエネルギーが熱エネルギー等の運動エネルギーに変換されたにすぎず質量を構成する核子となる陽子及び電子自体が消滅する事ではないので$E = mc^2$をこのように理解すればエネルギー保存則だけでなく質量保存則も守られます。

7.まとめ　超統一理論への布石

陽子と電子のみで万物が構成されと考えれば原子から宇宙まで全ての物理現象は説明でき重力を含む四つの力の超統一理論が完成します。

1D-4

科学書における“thermal”の意味は「熱」ではなく、「温度」の意味である

独創文化研究所　元東京理科大学　五十嵐 靖則
igarashi-yasunori@nifty.com

1 はじめに

熱概念のパラダイム転換により、『「熱」は、状態量ではないので、「熱」は、物体や系の内部及びその環境には存在せず、「熱」は、エネルギーの一形態ではなく、エネルギーの移動形態の一つである。』と云うより深い認識段階に達していることについて報告した[1]。熱は物体内に存在しないので、原子や分子等の乱雑な運動を「熱運度」と呼んだり、そのエネルギーを「熱エネルギー」と呼ぶのは適切ではないと指摘してきた[2),3)]。今回は、欧米等の物理学者等が“thermal”について述べた著書から、“thermal”の意味は、「温度(の)」或は「温度的」と訳すのが適切であることを明らかにする。

2 Adkins 著 “An Introduction to Thermal Physics”[4] に見る “Thermal Physics” の意味

p.1 の第1章に、次の様にある。『**1 Temperature　1.1　INTRODUCTION**　Thermal physics is the study of those properties of materials which are affected by temperature. ・・・』(下線は五十嵐による)　「Thermal physics とは、**温度によって影響を受ける**物質の特性を研究する学問分野である。」と記されている。決して「**affected by heat (熱によって)**・・」とは記されていない。“Thermal physics” は「熱物理学」ではないことが分る。「温度的物理学」略して「温度物理学」の意味である。

3 Fishbane, Gasiorowicz, Thornton 共著 “Physics for Scientists and Engineers” [5]に見る “thermal system”の意味

p.464 に、『 We call a physical system a thermal system whenever we are interested in its temperature-dependent properties, ・・・』(下線は五十嵐による) とある。「物理系の**温度依存的な性質に関心があるとき**、我々はその物理系を“thermal system”と呼ぶ。」と記されているので、“thermal system”を「熱的系」と訳すことは適切ではない。「温度的系」略して「温度系」と訳すのがよい。

4 Serway 著 “Physics for Scientists & Engineers” 2nd Ed. [6] に見る “thermal contact”の意味

p.410 に、『 Two objects are **in thermal contact** with each other if energy exchange can occur between them in the absence of macroscopic work done by one on other.・・・』(下線は五十嵐による) とある。

「2つの物体が互いに“thermal contact”にあるとは、相互に巨視的な仕事がない状態で、相互にエネルギーの交換が可能なことを意味する。」と記されている。微視的なエネルギー交換は**温度を異にする物体を接触させること**によって起るので、「温度的接触」略して「温度接触」の意味で、決して「熱的接触」や「熱接触」ではない。

5 Knight 著 “Physics for Science and Engineers”1st Ed. [7] に見る “thermal interaction”の意味

p.521 に、『 **Heat** is the energy transferred between a system and the environment as a consequence of a *temperature difference* between them. ・・・The process itself, whereby energy is transferred between the system and the environment via atomic-level collisions, is called a **thermal interaction.** *Heat* is the energy transferred during a thermal interaction. 』(下線は五十嵐による) とある。

「**熱**は系と環境との間の温度差の結果、その間で伝達されるエネルギーである。・・・系と環境との間で、原子レベルの衝突を介してのエネルギーの移動過程を thermal interaction という。*熱* は thermal interaction を通じて伝達されるエネルギーである。」と記されている。このことは、「温度差があると、両者の間で原子レベルでの衝突に優劣が生じ、衝突を介して高温物体から低温物体へエネルギーが伝達される。」ことになり、先に見た「温度接触」の結果、「エネルギーの伝達が起こり」、このとき伝達されたエネルギーを熱と呼ぶに過ぎない。従って、thermal interaction とは、温度差が駆動力となりエネルギーが伝達されるのであって、熱は駆動力ではないので、「熱相互作用」ではなく、「**温度相互作用**」の意味である。

6 一連の文章に“thermal energy”と“ heat energy”があり [8]、両者の意味は異なるが どの様に訳すのか

上で見た Knight 著の p.523 に、次に記す説明文がある。『■ Temperature is a state variable that quantifies the “hotness” or “coldness”of a system. We haven't given a precise definition of temperature, but it is related to the thermal energy *per molecule*. A temperature difference is a requirement for a thermal interaction in which heat energy is transferred between the system and the environment. 』(下線は五十嵐による)。　『温度とは、系の熱さや冷たさを量的に表した状態変数である。我々は温度の定義を精密に示してはいないが、それは 1 モル当たりの thermal energy と関係している。温度差は、温度相互作用に対して必要で、そこでは系と環境との間で heat energy が伝達される。』と訳せるが、ここでの「**heat energy**」は上で見たように、「**熱**」の意味であり、「**熱エネルギー**」と訳すのが理に適っている。一方の「**thermal energy**」を、これまで我が国で訳されている「**熱エネルギー**」でよいのかどうか？

「温度は系の状態変数である」と述べられ、また「温度は 1 モル当たりの **thermal energy** と関係している」とも述べられている。この後者の意味は「**内部エネルギーのこと**」ではないのか。そうだとすると、「**thermal energy**」は「**内部エネルギー**」である。従って、「**thermal energy**」の訳語は、「**熱エネルギー**」ではなく、「**温度によるエネルギー**」簡略に「**温度エネルギー**」が理にかなっている。

7 再び、Adkins 著 An Introduction to Thermal Physics[9]に見る“thermal interaction”と“thermal equilibrium”の意味

p.2 に、『..., whereas in thermal interactions the energy is associated with disordered thermal motions of the atoms of which the system is composed: the random motions of the molecules of a gas or the vibrations of the atoms of a solid. ...If two systems are

1D-4

placed in contact in such a way as to allow thermal interaction, they are said to be in thermal contact. … 』(下線は五十嵐による)。

"thermal interaction"は、原子や分子の衝突を通しての微視的にエネルギーを交換することを意味し、"thermal contact"は、微視的なエネルギー交換が可能な状態に置くことを意味している。従って、先にも見たように、"thermal interaction"は、「熱相互作用」ではなく、「**温度相互作用**」であり、"thermal contact"は、「熱接触」ではなく、「**温度接触**」と訳すのがよいと考える。

8 Çengel, Boles 共著"Thermodynamics"[10]に、"heat transfer"との混同を避けるために"thermal energy"を使用

p.17 に、次の様に記されている。『…The only two forms of energy interactions associated with a closed system are **heat transfer** and **work**. An energy interaction is heat transfer if its driving force is a temperature difference. Otherwise it is work, as explained later.…In daily life, we frequently refer to the sensible and latent forms of internal energy as *heat*, and we talk about heat content of bodies. In thermodynamics, however, we usually refer to those forms of energy as **thermal energy** to prevent any confusion with *heat transfer*. 』(下線は五十嵐による)。『閉鎖系においてのエネルギー相互作用は、**熱伝達と仕事の2つの形態しかない。**駆動力が温度差の場合のエネルギー相互作用は熱伝達である。後で説明する様に、その他は仕事である。……日常生活では、我々はしばしば、顕在的な形態と潜在的な形態の内部エネルギーを熱と呼び、物体の保持する熱について語る。しかしながら、熱力学では、その様な形態のエネルギーを、*熱伝達* との混同を避けるために **thermal energy** と云う。』とあり、『熱力学では、「heat transfer (熱伝達)」即ち、**「heat(熱)」との混同を避けるために、「thermal energy」の用語を使用するのだ。』と説明**している。わざわざ、「heat(熱)」という言葉を避けて「thermal energy」を使用しているので、「thermal energy」を「熱エネルギー」と訳すことは著者の意図に反することになる。「温度的エネルギー」略して「温度エネルギー」と訳すのが適切ではないか。

9 Castellan 著"Physical Chemistry"3rd Ed. [11]に "random motion"を"thermal motion"と呼ぶ理由が示されている

p.56 に、次の様に記されている。『…Thus, $RT=(2/3)N_A\langle\varepsilon\rangle$ (4.13) Let U be the total kinetic energy associated with the random motion of the molecules in one mole of gas. Then $U=N_A\langle\varepsilon\rangle$ ($\langle\varepsilon\rangle=(1/2)m\langle c^2\rangle$), and $U=(3/2)RT$ (4.14) Equation (4.14) is one of the most fascinating results of the kinetic theory, for it provides us with an interpretation of temperature. It says that kinetic energy of the random motion is proportional to the absolute temperature. For this reason, the random or chaotic motion is often called the *thermal motion* of the molecules. At absolute zero of temperature, this thermal motion ceases entirely.…』(下線は五十嵐による)。

『乱雑な運動の運動エネルギーが絶対温度に比例している。**この理由から**、乱雑な運動を分子の ***thermal motion*** と呼ぶ。』とある。旧い時代の「熱の運動論」ではないから、分子集団が熱を持っているわけではないので、「**thermal motion**」を「熱運動」と訳すのは時代錯誤も甚だしいと云うべきであろう。著者の理由を示しての丁寧な説明から、「温度運動」と訳すのが適切と考える。

10 Blundell, Blundell 共著 "Concepts in Thermal Physics" 2nd Ed.[12]に見る "thermalization"の意味

p.33 に、『…The process that leads to thermal equilibrium is called thermalization. …』(下線は五十嵐による)。『thermal equilibrium に至る過程を、thermalization と呼ぶ。』とある。thermal equilibrium の状態は、系とそれを囲む環境が至る所同じ温度になることであって、熱が等しく分配されることではないので、「thermalization」を「熱化」と訳すのは合理的でなく、「温度化」と訳すのがよい。

11 Ogborn, Whitehouse 編 "Advancing Physics A2"[13]に 何故"heat"ではなく"thermal"なのかの理由が示されている

p.100 に、『We have decided to call the constant c the specific thermal capacity.(Its more usual name is specific heat capacity, that suggests the old idea that 'heat' is the energy inside matter.)』(下線は五十嵐)。"heat"ではなく、"thermal"を使用する理由が述べられている。

12 "Nelson Physics 11"[14]に、『"thermal energy"と"heat"を区別すること』の必要性と大切さが示されている

p.276 に、『**Distinguishing between Thermal Energy and Heat**… However, **heat** is a term used in science to describe the transfer of thermal energy from a warmer object to a colder one.… In science, thermal energy, not heat, is responsible for an object's warmth or coldness.… Always use the word "heat" to mean the transfer of thermal energy, not the thermal energy itself.』(下線は五十嵐による)。

thermal energyとheatを区別すること と題して、『科学では、heat(熱)という用語は、温かい物体から冷たい物体へ thermal energy の移動を説明するために使用する。…科学では、温かさや冷たさの原因は、heat ではなく、thermal energy である。』と説明しているので、**"thermal energy"は、"heat"ではない、即ち "heat energy"ではないことが分る。**更に、**『温かさや冷たさの原因は、heat ではなく、thermal energy である。』との説明から、"thermal energy"の"thermal" は「熱」の意味ではないことが明らか**である。

13 まとめ

上で見た様に、科学書で使用されている"thermal"と云う言葉は、「熱」ではなく、「温度(の)」と云う意味であることが判明する。

14 参考・引用文献

1)五十嵐 靖則 「熱概念」のパラダイム転換について 日本物理教育学会第 38 回物理教育研究大会発表予稿集 (2022) pp.46-47

2)五十嵐 靖則 熱概念の進化と日本の理科・物理教育の今後の在り方について 東京理科大学教職教育研究 第 1 号 (2017. 3) . pp.111-120

3)五十嵐 靖則 "thermal equilibrium"の意味は「熱平衡」ではなく、「温度平衡」である 日本物理教育学会第 40 回物理教育研究大会発表予稿集(2024) pp.45-46

4)C. J. Adkins An Introduction to Thermal Physics Cambridge University Press. 1987, p.1

5)P.M. Fishbane, S, Gasiorowicz, S.T. Thornton Physics for Scientists and Engineers Prentice-Hall, Inc. 2nd Ed.1996, p.464, 3rd Ed.2005,p.492

6)R. A. Serway Physics for Scientists & Engineers Saunders College Publishing, 2nd Ed. 1986, p.140

7) R. D. Knight Physics for Scientists and Engineers Addition Wesley 1st Ed. 2004, p.521, 3rd Ed. P.476

8)R. D. Knight Physics for Scientists and Engineers Addition Wesley 1st Ed. 2004, p.523, 3rd Ed. p.477

9)C. J. Adkins An Introduction to Thermal Physics Cambridge University Press. 1987, pp.2-3

10) Y. A. Çengel, M. A. Boles Thermodynamics McGraw-Hill 4th Ed. 2002, p.17, Y. A. Çengel, M. A. Boles, M. Kanoglu 9th Ed. 2019, p.56

11) G. W. Castellan Physical Chemistry Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. 3rd Ed.1983, p.55-56

12) S . J. Blundell, K. M. Blundell Concepts in Thermal Physics Oxford University Press, 2nd Ed. 2010, pp.32-33

13) J. Ogborn, M. Whitehouse Advancing Physics A2 Institute of Physics Publishing 2001, p.100, J. Ogborn, R. Marshall, 2008, p.111

14) Nelson Physics 11 : Preparation University Nelson Education Lid. 20011, p.268, Chapter 6. Thermal Energy and Society, p.276

1D-5

物理基礎教科書の改善提案

原眞一，遠藤正昭，尾島正男，池田友久，北原和夫
NPO 人間環境活性化研究会
hara_birdhill@nifty.com

１．教科書の目的

教育はサービスであり，生徒はお客であるとの考えを基に，現在高等学校で使われている教科書の改善を考える。高等学校学習指導要領では，日常生活や社会との関連を図りながら，物理の理解や観察実験などの技能を身に付けるとされている。物理基礎は技術者や研究者だけでなく普通に生活していく中での基礎的なものを提供して行くものと考える。ボール投げや競走などのスポーツ，自宅を持とうとした時の建設依頼，家具や自動車等の購入，日曜大工の計画や作業などで常に物理的な思考が有益となる。更には公共事業などが妥当かどうかの判断にも物理的な思考が有効な場合がある。

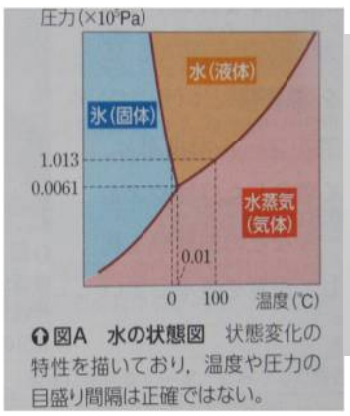
この視点により生徒の皆さんに有効な教育を進めて行くように改善すべきものを考える。高校生にとっての物理を学ぶ第一の目的は，力学，熱，電磁気等の物理の基礎を理解することにある。現在発行されている教科書[1]がこの目的を達することに向かっているか記述を検証してみる。

２．具体的な改善点の代表例

教科書の記述には今まで例として提示した通り力学などに改善すべき点がある。今回は物質の三態など熱に関する記述で例を示す。

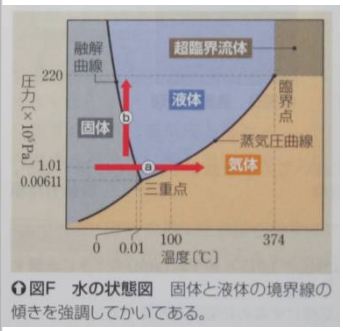
こちらで確認した教科書ではいずれも「物質は，固体・液体・気体のいずれかの状態を取る」と記されている。ここで述べている固体は加熱で融解して液体となるところから結晶質と考えられる。しかし，実際には身近にもガラスや可塑性プラスチックなど融解現象を伴わずに液体となる非晶質が存在している。ガラス細工では加熱して軟化した材料を用いているがこの段階でも液体ではない。ポリ塩化ビニルなどの可塑性プラスチックも固体同様に見えるが，加熱すると軟化して液体とも固体ともいえない状態となる。また，固体と見える室温での可塑性プラスチックも年単位では収縮などの変形が認められる。これは固体では起きない変化である。金属でも結晶の場合と非晶質の場合が存在する。非晶質を固体としても不都合ないとする考え方は日常では通用するが学問ではない。

また，液体と気体との境は高温高圧下で消滅し，それを超える状態では液体とも気体ともいえない状態，つまり超臨界状態となる。これも三態のどれにも該当しない。化学基礎教科書[2]の水の状態図には画かれているが物理基礎教科書では説明がなく双方を学ぶ生徒に混乱を与えてしまう。超臨界水は実際に現在の火力発電で使われている。水を高圧下で加熱することで沸騰することなく高温状態にし，エネルギー変換効率を高めている。教科書の火力発電のさし絵は水蒸気使用とあり誤解してしまう。水以外でも現在では超臨界二酸化炭素は有用な溶媒や洗浄液と



❶図A　水の状態図　状態変化の特性を描いており，温度や圧力の目盛り間隔は正確ではない。

図１　物理基礎掲載の水の状態図　数研出版



❶図F　水の状態図　固体と液体の境界線の傾きを強調してかいてある。

図２　化学基礎掲載の水の状態図　数研出版

して使われている。利用は技術分野に留まらず，顔料作製など美術の分野にも広がってきている。この様な社会の変化に対して，教科書の内容が追いついていないと考える。

物質が三態以外にも各種あることを生徒の皆さんに伝えていきたい。現在は粒子径が 100 nm あるいはそれ以下の扱い不明な物質も多種出てきているのでそこも含めて伝えたい。

こちらで確認した教科書５冊全てにおいて氷及び水を加熱した時の温度変化を描いた図が画かれている。その図では 100 ℃まで温度が直線的に上昇し，100 ℃に達すると温度変化が停止している。空気の存在しない１気圧の密閉容器で実験したのであればこの通りかもしれないが，単に１気圧と書かれていれば生徒は空気中の実験と考える。空気中の水蒸気の分圧が飽和水蒸気圧に達していない限り蒸発は起こる。加熱された水は 100 ℃に近づくと飽和水蒸気圧の上昇に伴い蒸発が盛んになり，温度上昇率は低下し，勾配はなだらかに 100 ℃に接近すると考えられる。教科書の図をそのまま読み取ると温度が 100 ℃になるまでは水の蒸発は起こらないことになる。一方で教科書ではその後の説明で道路表面の温度が蒸発熱により低下すると説明している。温度変化の図から説明するのは困難ではないだろうか。物理学は観察事実に拠りどころを求めつつ追及すること[3]とある。観察結果と矛盾せず正確で分かりやすい説明をしたい。

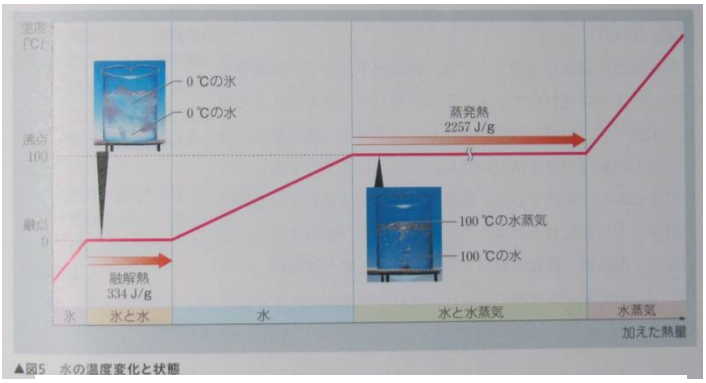


図３　教科書掲載の水の温度変化の例　東京書籍

熱に関しては物質の三態などの説明以外にも疑問な点がある。用語では「絶対温度」や「比熱」などの定義されていない語句を用いている教科書がある。これらは「熱力学温度」及び「比熱容量」である。教科書によって名称が異なるのも問題で，正規の名称に統一すべきと考える。$T = t + 273$ なる国際単位系の規則を無視した表現は参照した全ての教科書で記されている。T 及び t は物理量であり数値と単位の積である。単位で除さない限り数値である 273 との計算は次元が異なるので不可能である。また，セルシウス温度が熱力学温度で定義されていることから左辺は T ではなく t とする $t = T - T_0$（T_0 = 273.15 K）[4]あるいは t /℃= T /K − 273.15 と記すことになる。物理では法則を数学的に扱うのでそこで用いる文法である国際単位系を正しく伝えたい。

３．まとめ

個別の課題を指摘するのが目的ではない。これは前回の力学での内容と同じである。いかに生徒にやさしく楽しく正しく物理の基本を学んでもらい，将来の生活や仕事に役立ててもらえるような教育を進めるために教科書も作成したいというのが趣旨である。丁寧に説明するために授業時間が不足するようであれば，本質でない部分を外して行くことも考えたいところである。

教科書作成は個人で可能な話ではないので教科書出版社や物理教育の先生方のご協力を得たい。

参考文献

[1] 2021 年検定物理基礎　東京書籍，新興出版社啓林館，数研出版，第一学習社，実教出版
[2] 2011 年検定化学基礎　数研出版
[3] 朝永振一郎「物理学とは何だろうか　上」岩波新書　1979
[4] 量及び単位－第５部：熱力学 JIS Z 8000-5 :2014　日本規格協会

2H-1

力学概念指標を用いた連鎖的コンピュータ適応型テストの妥当性評価

[A]安田淳一郎，[B]Michael M. HULL，[C]植松晴子，[D]中村琢，[E]前直弘，[F]小島健太郎
[A]名古屋大学，[B]アラスカ大学フェアバンクス校，[C]東京学芸大学，[D]岐阜大学，[E]大阪大学，[F]九州大学
fci.cat.collaboration@gmail.com

１．はじめに

物理教育研究では，学習成果を可視化する方法の一つとして，力学概念指標（Force Concept Inventory, FCI）を始めとした概念指標が用いられている[1]. FCI は力学概念理解度を測定する評価テストであり，多肢選択式の設問 30 問で構成される．その利用法としては，一連の授業の前後で FCI を用いた調査を実施し，クラス平均点の変化量を分析するのが一般的である．しかし，この方式では計二回分の授業時間の大半をテストの解答時間に費やす必要があり，これが FCI による学習評価の普及を阻む一因となっている．

そこで本研究課題では，FCI の設問の一部を毎回の授業で小テストとして出題し，その解答結果を連鎖的に能力推定に組み込んだ「連鎖的コンピュータ適応型テスト」の開発を目指している．コンピュータ適応型テスト（Computerized Adaptive Testing, CAT）とは，コンピュータが受験者の解答に応じて出題する設問を最適化するテスト方式で，能力の測定精度を維持しつつ出題数を大幅に短縮できる．本研究課題では，さらに付帯情報（collateral information）として，ある小テストの項目選択や能力推定に，直前の小テストで得られた能力推定値を組み込むことにより，テスト効率性の向上を試みている．テスト効率性の目標値としては，測定精度を可能な限り維持しつつ，各小テストの設問数を 5〜10 問程度に抑えることを目指している．もしこれが実現できれば，連鎖的 FCI-CAT に基づく形成的評価システムを構築可能になり，フィードバックによって学習者の受益を高め，FCI による学習評価の負担感を抑えることが期待できる．

これまで著者らは，連鎖的 FCI-CAT のアルゴリズム設計，数値シミュレーションによるテスト効率性の分析結果[2]，連鎖的 FCI-CAT の妥当性評価の予備調査の結果[3]について報告してきた．本稿では，予備調査の結果に基づき検討した，妥当性評価の本調査の設計，およびその分析結果について報告する．

２．研究の方法

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

2024 年 11 月から 2025 年 1 月までの期間，国立 A 大学の探究型力学授業の受講者（大学 1 年生）3 名を対象とし，同授業の後半 5 回分の各授業後に調査を実施した．調査は二段階式であり，①最初に調査協力者が各自の端末から連鎖的 FCI-CAT の設問 10 問に解答するウェブ調査を実施し，②次に，各調査協力者が出題された設問の前半 5 問について，解答理由を説明するインタビュー調査を実施した．インタビューは半構造化 Think aloud 法に基づき，初回は対面，以降はオンラインで行い，授業者とは異なる研究者が聞き取りを担当した．

予備調査の結果から，連続的な 5 回の調査の後半で，調査協力者がインタビューに慣れて，解答理由の説明を一部省略してしまうことが明らかになっていた．そのため本調査では，調査協力者にテストで

以前と同じ設問が出題された場合でも，改めて最初から考えて解き，解答理由を説明するよう促した．

連鎖的 FCI-CAT の結果と比較するため，インタビュー調査で得られた発話の内容を，以下の方法により定量化した．

(1) Judge 法：各設問の解答理由の発話全体について，分析者が主観に基づき 1 点から 5 点までの点数を付ける．

(2) Count 法：各設問の解答理由の発話の中で，分析者が正しいと考える部分に〇を，誤りと考える部分に×を付け，〇と×の総数を分母とした〇の割合を計算する．

両方法ともに分析者の主観の影響が大きいため，予備調査の結果に基づき，分析の客観性を高めるための方針を整理し，本調査の分析で適用した．分析に際しては，本研究グループの 3 名が調査協力者 3 名分の発話データすべてを独立に採点した．採点後，モデレーションを行ったが，その前後で 3 名の分析者の採点結果に変更はなかった．

3．結果と考察

分析者 3 名の採点結果の評価者間信頼性を，級内相関係数（intraclass correlation coefficient, ICC）を用いて分析した．その結果，Judge 法および Count 法のいずれにおいても，ICC の値は 0.9 以上となり，三者間の採点結果の信頼性が高いことが示唆された．

図 1 は，調査協力者 B について，連鎖的 FCI-CAT と発話分析の結果を比較したものである．CAT の能力推定値は，各テスト 10 問の解答に基づき推定したものである．また，Judge と Count の平均得点率は，各テストの前半 5 問について，分析者 3 名の採点結果の平均値をそれぞれ計算したものである．図 1 左の CAT の結果より，調査協力者 B の能力値が test1 から test5 まで向上し続けたことがわかる．また，図 1 右の Judge と Count の結果を比較することで，Judge と Count の結果の整合性が高いことが読み取れる．CAT と Judge，および CAT と Count の結果の相関係数は，いずれも 0.85 以上と高い相関を示した．しかし，図 1 より CAT と Judge/Count の結果を比較すると，test4 以降で Judge/Count の平均得点率が向上しておらず，両者のずれが見て取れる．この理由の一つとして，平均得点率の天井効果が影響している可能性が考察された．

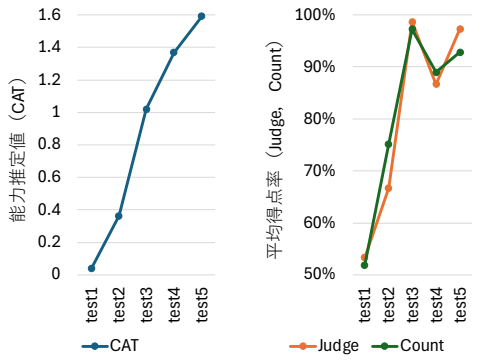


図 1　連鎖的 CAT と発話分析の比較

以上の結果を踏まえると，CAT の能力推定値の中位領域では CAT による能力推定値と発話分析の結果の整合性が認められ，少なくともその領域では，連鎖的 FCI-CAT が妥当であることが示唆された．

謝辞

発話分析法の検討にあたり，ロンドン大学の Brock 先生より，ご助言をいただいた．また，本研究は JSPS 科研費 JP 22H01061，JP 23K22332 の助成を受けている．

参考文献

[1] Hestenes, D. *et al.* (1992): Phys. Teach., 30, 3, 141-158.

[2] 安田 淳一郎 ほか 5 名 (2023)：日本科学教育学会年会論文集，47，403-404.

[3] 安田 淳一郎 ほか 5 名 (2024)：日本科学教育学会年会論文集，48，565-566.

2H-2

理科教員志望の学生および高校生向けの概念的理解を問う問題の作成と試行

笠　潤平
香川大学教育学部
ryu.jumpei@kagawa-u.ac.jp

１．はじめに

昨年度から本年度７月までに、筆者と筆者の研究室の学生(宇都木瑛人、越智遥香)は、一連の３つの大学生・高校生の問題解答過程の事例研究を行った。これらの研究は、物理教育研究（PER）を踏まえた専門的力量を持つ高校・中学校・小学校で物理に関連する分野を教える教員を育成するために必要な教員養成教育および現職教員研修の内容や方法を明らかにするプロジェクトの一環である。※ ３つの事例研究のテーマは、１）小中理科教員志望学生の小中物理分野の概念的理解の調査とその向上のための教材開発、２）高校生の物理の問題解答過程の調査、３）「チュートリアル方式」の教材と指導の下での高校生の学習過程の調査で、本発表はこのうち主に１）についての報告である。

２．研究全体の背景と意図

- 物理教育研究によると、伝統的な授業によって学習者が自然現象の科学的な概念にもとづく理解を構築することは一般に（授業者の想像以上に）困難であるとされている。[1][2]
- また、物理教育研究において、学習者が抱える物理学の理解上の困難を明らかにする方法として非常に有効とされているのは「発話思考（thinking aloud)」と呼ばれる方法である。[3]
- また、学習者の概念的理解の構築の支援として有効とされているのは、「聞くことによって教える（teach by asking)」あるいは「ソクラテス的な問い」という方法である。[1]

そこでわれわれのプロジェクトでは、物理教育研究を踏まえた専門的力量を持つ教員の育成のために、伝統的な授業の結果として概念的理解に困難を持つ学習者に対する「発話思考」を通じた観察と「聞くことで教える」指導の機会を取り入れることとする。事例研究はその準備の一環として行われた。

３．研究１：小中理科教員志望学生の小中物理分野の概念的理解の調査とその向上のための教材開発

背景　本来、理科の教師は、授業で扱う自然現象について、自分自身が科学的な概念による概念的理解を持っていることが望まれる。このことは高校段階の理科教育においては一般に当然のことと認められる。この段階では、現象の描写やそのしくみの説明に科学的概念が用いられ、生徒の科学的な概念的理解の構築の支援が教師に求められるので、教師自身が深い概念的理解を有することが必要である。だが、中学校段階では、教科書と学習指導要領を検討すると、現象の「説明」が、科学的な概念によっているかという点ではしばしば中途半端であり（たとえば電流回路の水流モデルによる「説明」[4])、さらに小学校段階では、ほとんどの場合、自然現象がなぜそのように起きるかの理解は目指されていない。(たとえば、タネの発芽の条件は、一般に水と空気と適温の存在ということを条件制御という方法を学びながら確かめるが、それぞれがなぜ必要かという問題には触れられない。同様に振り子の周期がおもりの重さと振幅に無関係で糸の長さには関係するのはなぜなのかを考えさせることはない。)

そのため、小中学校の教員を目指す学生が、将来教える自然現象について、科学的概念にもとづいてその現象が起きる理由を説明する力量を身につける必要性を感じにくいことが危惧される。

そこで、本事例研究では、香川大学の教育学部理科教育領域の教員志望の学生を対象として、科学的な概念にもとづく概念的な理解を構築しているかどうかをいくつかの典型的な例について調べ、さらにその理解の構築を助けるような問題とその説明、および指導方法について、調査と問題の作成と説明と指導の試行を行った。

方法　この事例研究は、(主として宇都木によって、) 2024 年度に香川大学教育学部教員養成課程理科領域の 4 年生 7 名に対してなされた。対象者に対しては、1) 高校までおよび大学入学後の物理学および物理授業の好悪や学習の仕方についてのインタビュー、2) いくつかの見慣れた現象についての物理学的な見地からの概念的考察を求める問題の解答過程の発話思考による調査、3) 問題の解答過程についての補足的質問が行われた。用いた問題は、１）作用反作用の法則と力のつり合いの区別の理解に関する問題(いわゆる"Horse and Cart problem")、２）振り子の周期と摩擦のない斜面上を滑り降りる物体の加速度が、おもりおよび物体の質量によらないことの概念的な説明をそれぞれ求める問題、３）電気回路における「電圧」の物理学的な説明を求める問題である。これらの問題は、筆者の経験をもとに今回の調査にふさわしい題材を選び作成した。インタビューおよび問題解答の様子は撮影し分析した。（その後、解答過程の分析による学習者の困難の同定にもとづいて、概念的理解を支援するような解答・解説の作成をいくつか行った。作成された解説を理科教員志望の 3 年生の学生に読んでもらい、理解の助けになるか評価してもらった。）

調査結果　本稿では紙数の関係で以下に調査結果の概要のみを述べる。

1) 作用反作用の法則と力のつり合いの区別の理解に関する問題("Horse and Cart problem")

解答者 7 名のうち、与えられた状況全体をほぼ正しい力学的な枠組みの下で、各物体にはたらく力とその反作用の関係の理解を示しながら説明できたのは 2 名のみであった。どの力がどの物体に働くのかがあいまいである学生も見られた。

2) 振り子の周期と摩擦のない斜面上を滑り降りる物体の加速度が、おもりおよび物体の質量によらないことの概念的な説明をそれぞれ求める問題

解答者 7 名のうち、振り子の周期が質量によらないことを自由落下と関連づけて説明しようと試みたものは 4 名いたが、運動方程式（運動の第 2 法則）にもとづいて説明できた解答者はいなかった。斜面の問題は 5 名のみに問うたが、そのうち物体の運動の加速度が質量によらないことを想起できたものは 4 名いたが、物理学的に説明できたものは 2 名だった。また、斜面の運動の問題と振り子の運動の問題が同質であることに言及したものは 1 名（先の 2 名とは別人）のみだった。

3) 電気回路における電圧について物理学的な説明を求める問題

解答者 2 名のうち、2 名とも中学校理科教科書に掲載されている水流モデルによって回路の電圧の説明を試みたがイメージを述べるにとどまり、回路における電荷の持つ電気的な位置エネルギーの差という物理学的な観点から正しく電圧の意味や用いたアナロジーの根拠を説明できなかった。[4]

参考文献

[1] McDermott, L., *Proceedings of the GIREP Conference (2006)*, 2007

[2] Hake, R., *Am. J. Phys.* 66, 64–74, 1992

[3] 新田英雄, 新田英雄他編「物理教育の理論と実践」第 1 章, オーム社, 2025

[4] 右近修治, 新田英雄他編「物理教育の理論と実践」第 2 章, オーム社, 2025

※　本研究は、科研費基盤研究 C「物理教育研究を踏まえた専門的力量を持つ中高教員育成プログラムの研究開発」(2022～25, 課題番号 22K02947, 代表者 笠潤平)の援助を受けて調査対象者および関係諸機関の理解のもとに行われている。

2H-3

入学後の学習支援と大学初年度の物理の理解

平野裕一
大阪工業大学教育センター
yuichi.hirano@oit.ac.jp

１．はじめに

筆者は，本学で開講している大学初年次の「物理学(a)」の 2024 年度受講者を調査対象として，高等学校における物理基礎及び物理の履修の有無と，入学後の「物理学(a)」で実施した運動学（第 1 回），力学（第 2 回），熱力学または剛体（第 3 回），静電場（第 4 回））をそれぞれ試験範囲としたテストの成績との関係を分析し，運動学と力学の分野において有意差が認められたことを 2024 年度の本大会で報告した[1]。また，筆者が 2024 年度に担当した 4 講座の中には，「物理基礎」を履修せず中学校の理科の知識のままで入学した学生が 10%を超える講座が 1 講座あり，指導の工夫改善が求められる状況であった。当該 1 講座において，前期途中から高等学校で学習する物理の用語や法則を確認させるための「基礎チェックシート」（以下シートという。）を作成し授業中に使用し，テストの直前にはペアワークで疑問を解消する時間を授業中に設けるなどの対応を行った。その結果，最終的な単位習得率においては，他の講座と遜色のない結果となった。

2025 年度，筆者が担当する「物理学(a)」は 6 講座となった。6 講座の内，物理基礎を履修せず入学する学生が 10%近くになる講座が 2 講座（講座 D，E），その比率が増加した講座が 2 講座（講座 A，B）あった（表 1）ことから，今年度は年度当初より 6 講座すべてにおいてシートを使用することとした。ただし，講座 D，E ではシートの回答まで筆者が解説し，他の講座では学生が授業中に行う自習教材として取り扱った。

その結果，1 回目のテストの成績において，講座平均点と履修歴の有無による差異は見られず，むしろ，高等学校において物理基礎を履修していない学生の多い講座 D，E の成績が高いという結果が得られた（表 2）。

表１　高等学校で物理基礎を受講していない学生の比率（%）

年度	講座Ａ	講座Ｂ	講座Ｃ	講座Ｄ	講座Ｅ	講座Ｆ
2024	1.9	1.6	0	12.2	—	—
2025	4.3	4.8	0	8.1	11.1	0

表２　第１回テストの講座別平均点（100 点満点）

年度	講座Ａ	講座Ｂ	講座Ｃ	講座Ｄ	講座Ｅ	講座Ｆ
2024	85.5	88.1	86.2	65.3	－	－
2025	86.0	78.9	78.4	80.7	88.5	79.2

※テストは 2024 年度，2025 年度ともに同一問題で実施

２．調査概要

そこで，第 1 回～第 3 回のテスト前の学習方法について調査を行い，テストの平均点との有意差の有無を調べることとした。その結果を表 3 に示す。第 3 回（剛体）のシートの復習の有無の違い以外では，学習方法 4 項目を行った学生群の平均点が，行っていない学生群を上回っており，第 3 回（剛体）以外では多くの学習方法の採用と成績の間に有意さが認められた。なお，剛体分野の結果が他の分野の傾向と異なるのは，問題演習を特に重視して授業を行ったことが原因と考えられる。

また，3 回のテストの平均点と学習方法 4 項目を行った学生の割合の変化を図 1 に示す。第 1 回から第 2 回にかけてすべての学習方法の採用率が上昇したが，第 3 回は維持または低下（特にシートの復

表 3　学習方法とテストの平均点との有意差

学習方法	第 1 回（運動学）		第 2 回（力　学）		第 3 回（熱力学）		第 3 回（剛　体）	
	はい	いいえ	はい	いいえ	はい	いいえ	はい	いいえ
授業内容の復習	**83.3**	74.8	**89.4**	81.6	**88.5**	77.2	**90.6**	86.9
	$t(48)=2.05, p=.0228$		$t(37)=2.64, p=.00602$		$t(31)=2.28, p=.014$		$t(21)=.774, p=.224$	
シートの復習	**82.9**	81.2	**89.9**	86.3	**89.6**	83.4	89.1	**90.7**
	$t(235)=.698, p=.242$		$t(194)=2.07, p=.020$		$t(159)=2.48, p=.00704$		$t(91)=.544, p=.294$	
演習問題の復習	**83.7**	59.5	**89.1**	76.7	**87.5**	79.8	**90.4**	77.5
	$t(21)=4.37, p=.000269$		$t(11)=2.20, p=.025$		$t(11)=.959, p=.179$		$t(3)=.668, p=.276$	
演習問題の解き直し	**85.3**	74.8	**89.4**	86.1	**88.9**	80.0	**92.1**	84.4
	$t(153)=3.99, p=5.16E\text{-}5$		$t(97)=1.57, p=.060$		$t(60)=2.51, p=.00742$		$t(34)=2.03, p=.025$	

（注 1）上段の数値は，テストの 100 点満点の点数の平均を示す。
（注 2）第 3 回は講座によって，異なる分野（熱力学と剛体）を範囲としてテストを実施した。
（注 3）電磁気学（静電場）を範囲とするテストは，予稿集原稿締切り時においてまだ実施していない。
（注 4）網掛け部分が，有意差が認められなかった項目である。

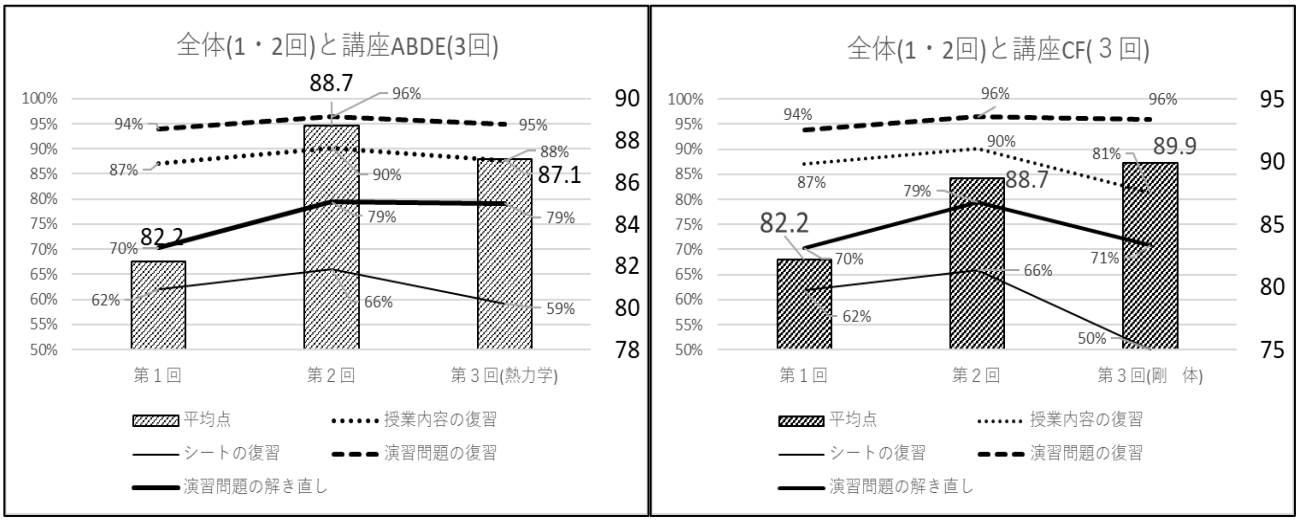


図 1　テストの平均点と学習方法の採用率の変化

習）が見られた。

3．まとめと今後の展望

2024 年度の課題であった高等学校における物理基礎未履修者の運動学や力学分野での学習のつまずきは，2025 年度当初からのシート導入により一定回避することが確認された。また，調査項目として挙げた学習方法 4 項目がテストの成績に一定の有意差があることがわかった。予稿集原稿執筆時点において未実施である静電場のテスト結果を待たずして結論づけるのは早計ではあるが，第 3 回のシートの復習の採用率の大幅低下については，「講義」→「問題演習」→「テスト」の形態に対して，学生の学習方略と学習時間が確立し[2]，暗記という浅い処理から理解という深い処理への移行[3]の影響の可能性を指摘しておきたい。大会発表時には，静電場のテスト結果等を含めて報告を予定している。

引用・参考文献

[1]平野裕一(2024)：入学までの学習履歴と大学初年次の物理の理解，第 40 回 物理教育研究大会発表予稿集，2A-1
[2]久保信子(1999)：大学生の英語学習における動機づけモデルの検討―学習動機，認知的評価，学習行動およびパフォーマンスの関連―，教育心理学研究，47，p. 511-520
[3]村山航(2003)：テスト形式が学習方略に与える影響，教育心理学研究，51，p. 1-121

2H-4

感覚量と物理量の関係を探究する初年次教育の実践

—探究と協働を支える「実験すること」の価値に着目して—

田尾周一郎
岡山大学学術研究院共通教育・グローバル領域
tao@okayama-u.ac.jp

１．はじめに

2025 年度より、岡山大学では初年次教養教育カリキュラムを刷新し、全学部の 1 年生が履修する共通教育科目「知の探研（たんけん)」を新設した。本科目は、「多様な学問的思考を持つ学生同士が協力しながら、自ら行動を起こすために学び続ける実践者として課題を発見し、課題解決に挑む姿勢と能力を獲得すること」を目的として設計されている。

この科目新設を含む一連の改革は、高等学校における新学習指導要領の完全実施（2022 年度～）と時期を合わせて展開された。新課程では、特に「総合的な探究の時間」の制度化と「情報 I」の必履修化が大きな変更点として挙げられる。これにより、探究的な学びやデータ活用の経験を重ねた学生が大学に進学してきており、2025 年度の新入生はこのような新課程を経た「探究第一世代」と位置付けられる。大学の初年次教育においても、こうした層の学習経験を踏まえた対応が求められている。

２．「知の探研」の概要と設計

「知の探研」は、1 年次の第 1・第 2 学期（または第 1・第 3 学期）に開講される必修科目であり、全学部の学生 2400 人が履修する。第 1 学期はオンライン授業、第 2 および第 3 学期は教室授業として展開される。教室授業では、学部混成の小クラス（定員 50 名）を 6 名程度のチームに分け、学期の前半・後半で異なるテーマに取り組む構成を取る。異なる学問領域の問いに触れることで、学生は自らの専門分野にとらわれず、幅広い視野と柔軟な思考を培うことを目指す。

本科目で重視されているのは、(1) 学びのプロセスに主体的に関与する力、(2)多様な他者と協働して課題に取り組む力、の 2 点である。学生は、チームで問いを立て、調査・検討・検証・省察していく中で、「なぜ学ぶのか」「どのように学ぶのか」といった学びの意味を、自らの経験を通して構成していく。この、他者と協力しながら学びを深めるプロセスこそが、本科目の中核となっている。教員はテーマ設定のほか、ファシリテーターとして、学生の主体性やチームの協働を引き出す役割を担う。

３．物理を題材とした探究：ウェーバー・フェヒナーの法則を通じて

本発表では、知の探研において筆者が担当した「感覚を捉える」をテーマとする小クラスの実践事例を報告する。そこでは、ウェーバー・フェヒナーの法則を手がかりに、照度・温度・質量などの物理的刺激と主観的な感覚量との関係性を、学生自らが実験的に検討することを課題とした。

学生は、6 名程度のチームに分かれ、各自の関心に基づいて対象を定め、仮説の構築、実験の計画・実施、データ分析、成果発表というプロセスを協働的に進めた。例えば、「紙やすりと触覚」に関心を持ったチームでは、粗さの異なる紙やすり（研磨剤の面積密度の違い）を複数用意し、指先の触覚で識別可能かどうかを検証する実験を実施した。実験結果が必ずしも当初の想定通りとはならないチームも

あったが、失敗の許容や想定外の結果への対応も重視し、各自が得られた経験をもとに省察を深めるよう促した。

この実践では、身近な疑問や感覚的な気づきを出発点に、仮説構築・実験・分析・発表までを協働的に経験する中で、試行錯誤を通じて理解を深め、学びの意味を構成する姿勢が育まれていた。

４．協働と省察のプロセス

こうした取り組みの中で、学生はチーム内で積極的に意見を交わし、互いに異なる視点をもち寄りながら活動を進めた。ふり返りの記述には、「学部によって視点が違うのも面白かった」「協力することに苦手意識があったけれど、考えを改めたい。」など、協働を通じた気づきや認識の変容がうかがえる。

このように、探究的な学びが協働的に進められることで、知識の習得にとどまらず、対話を通じた意味の構成や、多様な他者との相互作用による視野の広がりが生じていた。とりわけ、異なる視点を擦り合わせながら共通の成果を生み出す経験は、単なる学習活動を超えて、現代社会を生き抜くための実践的な力の涵養にもつながっていると考えられる。

５．おわりに

今回の実践を教育理論的に整理すれば、ジョン・デューイの経験に基づく教育理論や、D. A. コルブによる経験学習理論との親和性が確認される。いずれの理論も学習とは単なる知識の受容ではなく、経験を通じて意味を構成する過程であり、学習者の能動性、対話性、省察を中核に据えている。

岡山大学においては、専門教育科目において各学部・学科ごとの体系的な学びの機会が確保されている。一方、全学共通科目として開講された知の探研は、より横断的かつ実践的な形で「学問すること」と「協働すること」に焦点をあてた構成となっている。この両者は、互いに補完し合う関係にある。とりわけ、筆者の授業においては、実験することを調査手法として用いることで、学生が具体的体験を通じて問いを立て、他者とともに検証し、理解を共有するプロセスに参画することが可能となった。この「実験すること」は、単に科学的知識の定着を目的とするのではなく、むしろ学問に向かう姿勢そのものへの入り口として機能していた点に大きな意味がある。

また、協働的な活動は、学びの深化のみならず、現代社会における組織的・実践的な課題解決能力の育成にもつながる。多様な背景を持つ他者と対話を重ね、合意形成を図りながら共通の成果を生み出す経験は、学生にとって大きな成長の機会となっていた。

このように知の探研は、初年次段階において横断的かつ協働的な学びを提供し、学生が体験的に「学問すること」と「協働すること」を身につけるための科目として位置付けられる。今後は、こうした経験が学生の学習観や進路選択、大学における学び全体にどのような影響を及ぼすのか、継続的な観察と検討が求められる。

2D-1

振動模様による音の高低の可視化教材の開発

夏目　ゆうの[1]，成井　歩夢[2]
宇都宮大学共同教育学部[1]，日立市立日立特別支援学校[2]
natsumey@a.utsunomiya-u.ac.jp

１．はじめに

全国の聴覚特別支援学校中学部の理科教員を対象に実施した調査では，「音」に関する指導の困難さが明らかになっている[1)]。特に，聴覚障害のある生徒が音を学ぶ際には，「音の高低」に関する視覚情報が必要であることが指摘されている[2)]。

クラドニ図形に代表される音の可視化手法は以前から知られているが，クラドニ図形は振動数に比例してその模様が変化するわけではなく[3)]，また高出力な音源を必要とすることが多かった。そのため，音の高低を視覚的に理解する教材としては適さず，各自や各班がそれぞれの実験器具を用いて同時並列的に実験を行うことも想定しにくかった。

そこで本研究では，聴覚障害のある生徒を含むすべての学習者に向けて，音の高低を視覚的に理解できる実験教材を目指し，①振動数に比例して模様が変化すること，②個別実験が可能な構成であることの２点を重視して開発を行った。

具体的には，金属製ボウル，薄膜，Bluetooth スピーカー，粒子を組み合わせ，音の振動数に応じて膜上に模様が現れる，安価で簡便な実験系を構築した。さらに，中学校での授業実践を通じて，本教材が波の性質の理解を深める有効な手段であり，生徒の関心を高めることを確認した。

２．実験系の構成

図 1 のように，Bluetooth スピーカーを金属製ボウルの底部に設置し，縁にラップを張って粒子をまく構成とした。phyphox アプリで様々な振動数の音を発生させ，模様の変化を観察した。機材の組み合わせを比較検討した結果，小型スピーカー・小型ボウル・ラップ・加工塩の構成が，安価で模様も明瞭に観察できる最適な組み合わせであった。

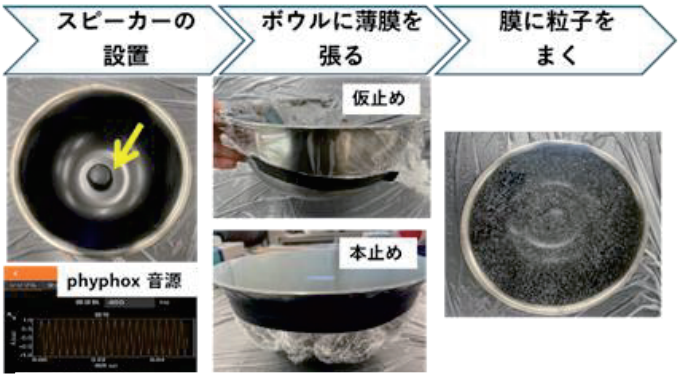


図１　実験系

３．振動数と模様の関係

図２に，300 Hz から 2000 Hz までの複数の振動数における，粒子の模様を示す。振動数が上がるにつれて，膜上に現れる粒子の模様が徐々に細かくなる傾向が確認された。

よく見ると波打つ模様とともに，同心円状（450，1000 Hz など）と平行線状のパターン（500，650 Hz など）が振動数に応じて交互に現れることがわかる。このことから，①金属ボウルの固有振動と②弾性膜の固有振動が重ね合わさることで，波打つ同心円状に加えて，波打つ線が平行に並ぶパターン

が形成されたと考えられる。

なお，実験時の装置 1 台の適切な音量は約 70 dB で，複数台同時使用時でも音量は日常生活で経験する範囲内（最大約 85 dB）であった。ただし，感覚過敏などへの配慮として，授業時には必要に応じて耳栓の使用が望ましい。

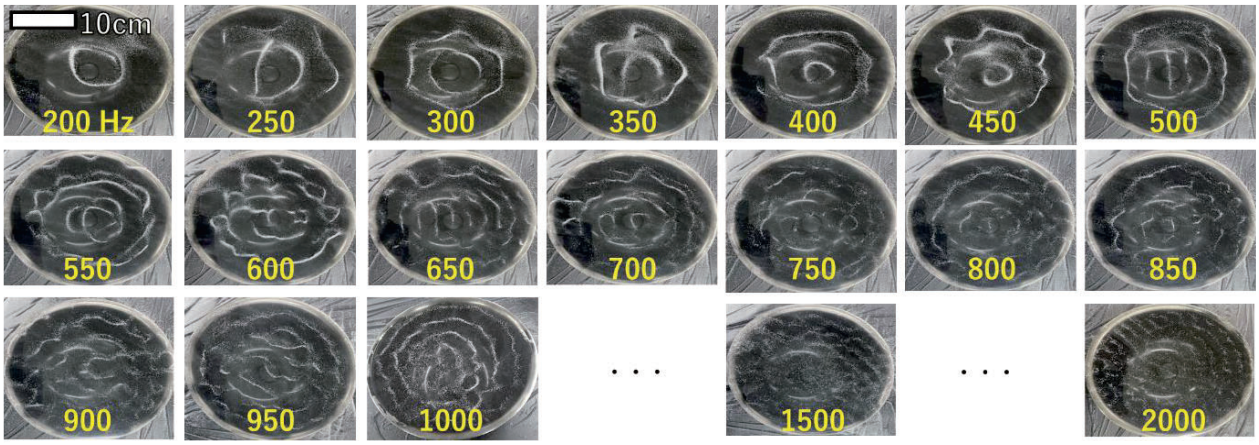


図 2　振動数と形成される模様

４．授業実践と評価

2024 年 12 月に公立中学校 1 年生 42 名を対象に授業を実施した。3〜4 人のグループに分かれて実験装置を製作・観察を行った。実験前の予想では，定常波の「大きく振動する部分（腹）」「全く振動しない部分（節）」に着目させ，振動数を増やすとこれらの数がどう変わるかを考えさせた。約 9 割の生徒が，振動数が多くなると波の数が増えるため「腹」の数も増えると予想した。実験後には，多くのグループでその予想を裏付ける観察結果が得られた。授業後に実施した 5 段階評価のアンケート結果では，「授業は楽しかった」が全員 5 点，「もっと音について学びたい」も平均 4.5 点以上と，高い満足度が得られた。

５．おわりに

本研究により，音の高低を模様として可視化する教材を安価に構築し，中学校での授業に実践できることが示された。音量も 70 dB 前後と実用的な範囲に収まり，複数班での同時実施も可能であった。今後は膜素材のさらなる改良や，聴覚障害のある生徒を対象とした授業デザインの構築，音の三要素（高低・大小・音色）に応じた教材の拡張を目指す。

参考文献

[1] 林田真志, 谷本忠明, 川合紀宗：「特別支援学校（聴覚障害）中学部における理科教育上の取り組みについて」広島大学大学院教育学研究科附属特別支援教育実践センター研究紀要 8（2010）, 15-20.
[2] 加藤優, 平賀瑠美, 若月大輔, 安啓一：「聴覚障害児を対象とした環境音学習のための音響特徴量の可視化に関する基礎的検討」研究報告アクセシビリティ 1（2018）, 1-4.
[3] 小橋豊：「音と音波」裳華房（1969）.

2D-2

縦波や音波を，変位の波として扱うのは間違いである

藤田利光
(元)和歌山大学教育学部
toshi-f@maia.eonet.ne.jp

１．はじめに

高校物理の教科書は，縦波を，バネを伝わる縦波の変位を**図 1** (a)のような矢印の列で示して変位波で扱い，付随的に，○と●で示した**疎・密**や圧力の**低圧・高圧**が伝わる**疎密波**，**圧力波**（以下，「圧力波」と総称する。）でもあると述べている。著者は文献[1～5]で縦波や音波の扱いを検討して，縦波も音波も変位波の扱いでは正しく記述できないこと示して，縦波の本質は圧力波にある，と結論した。[3,5] 文献[6]では，高校物理の縦波や音波の教材は**圧力波**を基本に書き改めるべきことを，根拠を示しながら論じた。本発表はその概要である。

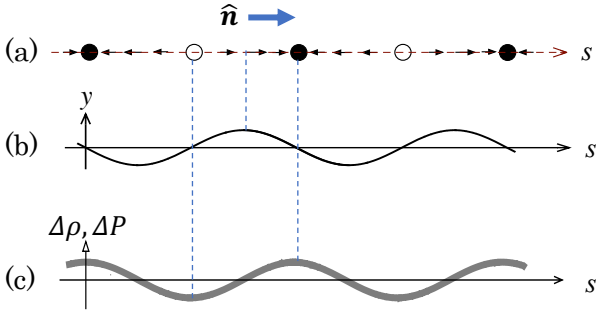


図 1　縦波とグラフ表示

２．縦波の表示

① **スカラー波表示**：射線の向きの単位ベクトルを $\hat{\boldsymbol{n}}$，射線上の原点からの距離を s，時間を t とすると，**図 1** のように縦波の変位 $\vec{\boldsymbol{d}}(t,s)$ は $\hat{\boldsymbol{n}}$ 方向のベクトルだから，一般的に次のように表せる：

$$\vec{\boldsymbol{d}}(t,s) = \hat{\boldsymbol{n}}(s)D_{\hat{\boldsymbol{n}}}(t,s) \qquad (1)$$

ここで，$D_{\hat{\boldsymbol{n}}}(t,s)$ は変位の $\hat{\boldsymbol{n}}$ 方向成分で，曲線 s 上を $\hat{\boldsymbol{n}}$ の向きに伝わる波動関数である。$y = D_{\hat{\boldsymbol{n}}}(t,s)$ としてグラフ表示すれば (b)を得る。密度と圧力の増減は一致するから，それぞれ平均密度 ρ_0 および平均圧力 P_0 からの微小変化，$\Delta\rho \equiv \rho - \rho_0$ や $\Delta P \equiv P - P_0$ をグラフ表示すれば (c) のようになる。次に述べる横波表示と区別するため，$y = D_{\hat{\boldsymbol{n}}}(t,s)$ および (b) のグラフを縦波の**スカラー波表示**と呼ぶ。

② **横波表示**：**図 2** のように，x 軸の正の向きを右向きとして，正の向きの単位ベクトルを $\hat{\boldsymbol{x}}$ とする。

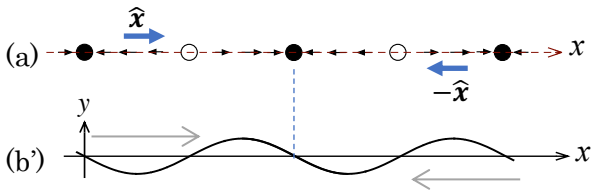


図 2　縦波の横波表示

図 2 (a)にある，射線の向きが $\hat{\boldsymbol{x}}$ の縦波の変位は(1)式から次のように表せる：

$$\vec{\boldsymbol{d}}(t,x) = \hat{\boldsymbol{x}}D_{\hat{\boldsymbol{x}}}(t,x) \qquad (2)$$

同様に，射線の向きが $-\boldsymbol{x}$ の縦波の変位は次のようになる：

$$\vec{\boldsymbol{d}}'(t,x) = (-\hat{\boldsymbol{x}})D_{-\hat{\boldsymbol{x}}}(t,x) = \hat{\boldsymbol{x}}\{-D_{-\hat{\boldsymbol{x}}}(t,x)\} \qquad (3)$$

(3)式の右辺の $\{-D_{-\hat{\boldsymbol{x}}}(t,x)\}$ は，$D_{-\hat{\boldsymbol{x}}}(t,\ x)$ の前のマイナス符号に注意すると，$-\hat{\boldsymbol{x}}$ の向きに進む縦波の変位ベクトルの $\hat{\boldsymbol{x}}$ 方向成分（x 成分）と言ってよい。これから，向きの基準を $\hat{\boldsymbol{x}}$ として，変位ベクトルの x 成分を $u(t,x)$ とすれば，直線状の縦波の変位は射線の向きに関係なく，次式で表せる：

$$\vec{\boldsymbol{d}}(t,x) = \hat{\boldsymbol{x}}u(t,x) \qquad (4)$$

x 軸に沿って $y = u(t,x)$ のグラフを描けば (b')のようになる。これがいわゆる縦波の**横波表示**である。

③注意点：(ｱ)図 1 (c)の圧力波のグラフが与えられれば，射線の向きに関係なく，直ちに媒質の各点での変位と疎密の様子(a)が描けて，射線の向きが与えられればスカラー波表示のグラフも描ける。(ｲ) (3)式から(4)式を導く説明から，横波表示は単一で直線状の縦波しか表せないことがわかる。(ｳ) 射線の向きを与えないとスカラー波表示や横波表示から圧力波のグラフは得られない。(ｴ)スカラー波表示は射線向きの変位を正としているから，射線の向きが逆なら図 1 (b)のグラフは上下が反転する。これに対して，横波表示はx軸の向きの変位を正としているから，図 2 (b')のグラフは射線の向きが逆でも形状は変わらない。(ｵ)横波表示では，x軸の正の向きには●・山・○・谷の順序で進み，負の向きには●・谷・○・山の順で進むから，位相の順序が一意的でない。また，x軸を逆向きにすると山と谷が入れ替わる。

３．空間的な位相の分布

図 3 (a)は，空間の一点から等方的に広がる圧力波の等位相面（波面）のようすである。(b)は，図 1 と 2 の(a)と同じく，x軸上の変位と疎・密の並びである。(c)はスカラー波表示で，左右に広がる波の変位は，射線の向きが正である。(d)は密度や圧力のグラフで，山頂が密で高圧，谷底が疎で低圧の位相に対応する。(e)は横波表示で，左右に進む波の位相が波源の位置で不連続になる。(f)はx軸以外の向きに伝わる縦波の位相である。

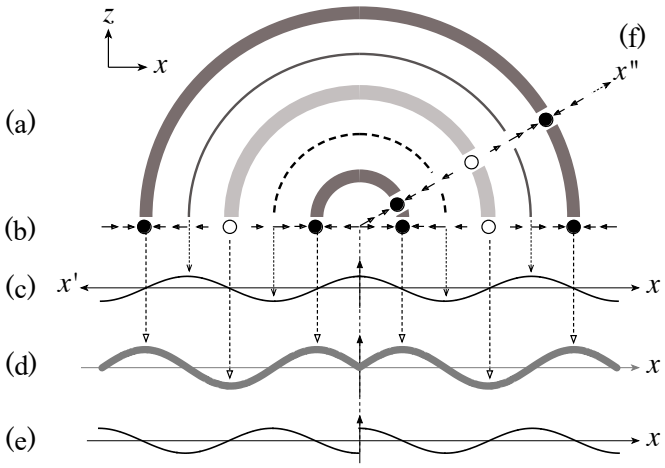


図 3　縦波の説明図の例

(a)では，スカラー波表示の位相と圧力波の位相は重なるが，変位はベクトルだから，変位の射線方向成分が同じ位相であってもベクトルの向きが違えば同位相とは言えず，変位波に関して言うなら同心の球面に波面の意味は全くない。

４．結論

直線状の縦波でないと横波表示は使えない。また，横波表示の位相は一意的でない。一方，スカラー波表示では気柱共鳴は扱えない。縦波の変位波では波面が定義できないから，**ホイヘンスの原理**による屈折や反射の説明など論外で，水面波との類推も誤解しか生まない，等々。こうした不都合は，変位による縦波の記述が本質を外しているからである。縦波は，変位に着目した圧力波の別名で，圧力波の圧力勾配が下がる向きに駆動されてこそ変位の縦波なのである。第２章③(ｱ)で述べたように，圧力波の様子から縦波の変位は推測できて，上のような不都合は生じない。圧力波を基本に再構成するなら，縦波や音波は，今までと違って，系統的でわかりやすい格好の波の教材になるだろう。

参考文献

[1]藤田利光，岩間徹，山崎敏昭：「教材としての音波について」 物理教育 67 (2019) 159.
[2]藤田利光：「縦波の位相に関する誤解について」大学の物理教育　27 (2021) 146.
[3]藤田利光：「縦波の『横波表示』の適用限界」大学の物理教育　28 (2022) 151.
[4]藤田利光：「『縦波の位相』の正しい理解のために」物理教育 71 (2023) 56.
[5]藤田利光：「縦波は，横波表示では正しく扱えない」物理教育 73 (2025) 52.
[6]藤田利光：「縦波や音波に関する学習指導要領の記述の基本的な欠陥」物理教育（投稿中).

2D-3

両端を固定した弦の振動における節の形成

藤本茂雄
千葉大学国際未来教育基幹
sfmt@chiba-u.jp

１．はじめに

定常波を生じる弦の振動として，メルデの実験や両端を固定した弦の振動実験がある．また，これらの共振状態および非共振状態についてシミュレーションも含めて議論されている[1-4]． 本講演では，両端を固定した弦の振動における節の形成について，外力を与える位置を変化させたときの影響，特に3倍振動などのように複数の節が生じる場合に着目したシミュレーション結果を報告する．

２．両端を固定した弦の振動

両端を固定した長さ L の弦の振動実験の模式図を図 1 に示す．弦の水平方向を x 軸として，時刻 t での弦の変位を $y(x,t)$ と表す．弦は両端で固定され $y(0,t)=y(L,t)=0$ である．また，振動体によって弦の一点 $x=x_0$ に加えられる角振動数 ω の周期的な外力を $f(x,t)=f_0\sin(\omega t)\delta(x-x_0)$ と表すと，弦の変位 $y(x,t)$ は次のように表される[5]：

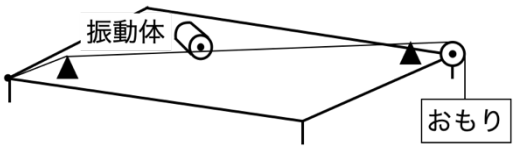


図 1．両端を固定した弦の振動の実験．

非共振状態（$\omega \neq \omega_n$）

$$y(x,t)=\frac{2f_0}{L}\sum_{n=1}^{\infty}\sin(k_n x_0)\left[\frac{\sin(\omega t)}{\omega_n^2-\omega^2}-\frac{\omega}{\omega_n}\frac{\sin(\omega_n t)}{\omega_n^2-\omega^2}\right]\sin(k_n x)$$

共振状態（$\omega=\omega_n$）

$$y(x,t)=-\frac{f_0}{\omega_m^2 L}[\omega_m t\cos(\omega_m t)-\sin(\omega_m t)]\sin(k_m x_0)\sin(k_m x)$$

$$+\frac{2f_0}{L}\sum_{n\neq m}\left[\frac{\sin(\omega_m t)}{\omega_n^2-\omega_m^2}-\frac{\omega_m}{\omega_n}\frac{\sin(\omega_n t)}{\omega_n^2-\omega_m^2}\right]\sin(k_n x_0)\sin(k_n x)$$

ここで，弦を伝わる波の速さを c とすると $\omega_n=ck_n=nc\pi/L$ $(n=1,2,\cdots)$ である．

３．節の形成

基本振動から2倍振動への変化の過程の議論については，メルデの実験を対象としたものとして[1,2]，両端を固定した弦の振動を対象としたものとして[3,4]がある．図 2 にも基本振動から 2 倍振動への変化の過程を示している．ここでは n 倍振動の固有振動数が $\nu_n=100n$ Hz （$n=1,2,\cdots$）となるようにパラメータを設定した．力を加える位置を変化させた場合の比較として，図 2 左列には $x_0=L/5$ の場合の結果，図 2 右列には $x_0=2L/5$ の場合の結果を示している（図中の三角形が外力を加えた位置）．左の列の結果では，参考文献 3 で指摘されているように，外力を加えた位置から見て遠くの端点（いまの場合 $x=L$）から半波長の位置に節が確認できる．一方，右の列の結果では振動数が $\nu=150$ Hz あたりから節が形成されている．また，どちらの場合も振動数が増加に対して節の位置は左から右へと移動している．

図 3 では，2 倍振動から 3 倍振動への変化を示している．この場合，最終的に $x=L/3$ と $x=2L/3$ に 2 つの節が生じる．図 2 と同様に，図 3 左列には $x_0=L/5$ の場合の結果，図 3 右列には $x_0=2L/5$ の場

合の結果を示している．振動数を大きくしていくと，$x = L/2$ に位置していた 2 倍振動の節は，3 倍振動の節に当たる $x = 2L/3$ に向けて右側に移動している．これらは右端から半波長の場所に位置している．一方，3 倍振動が生じたときに $x = L/3$ に位置する節の移動はこれまでの形成過程と異なる．外力を $x_0 = L/5$ に加えている場合は，振動数が大きくなるとともに左から右に移動しているが，外力を $x_0 = 2L/5$ の位置に加えている場合は振動数が大きくなるとともに$x = L/3$ よりも右から左に移動し，最終的に 3 倍振動の節である $x = L/3$ に到達している．このように，図 2，図 3 より，外力を与える位置によって変位の大きさが異なるだけでなく，外力と与える位置と節との位置関係により，節の形成過程も異なっていることが確認できる．

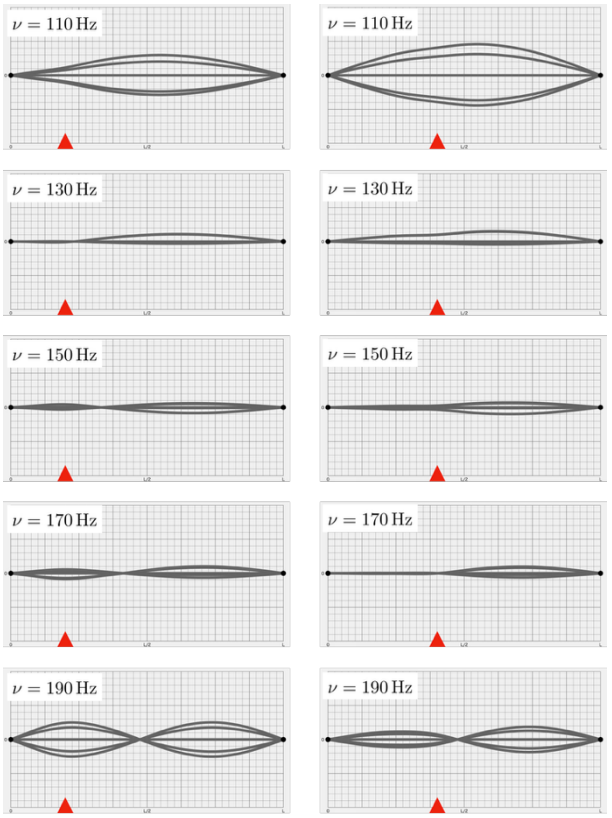


図 3. 基本振動から 2 倍振動への変化．力を加える点は，左列では$x_0 = L/5$，右列では$x_0 = 2L/5$.

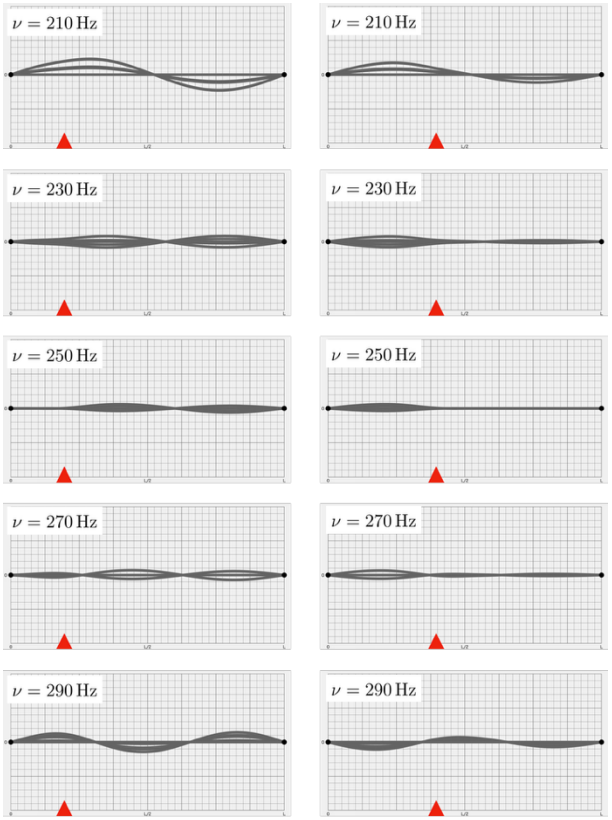


図 2. 2 倍振動から 3 倍振動への変化．力を加える点は，左列では$x_0 = L/5$，右列では$x_0 = 2L/5$.

参考文献

[1] 福山豊，阿部由美子，広瀬美恵子，富山哲之（1986）:「電磁音叉における弦の共振現象」物理教育 34-4，237-241.

[2] 伊東正人（2023）:「メルデの実験における弦の振動解とその観察」物理教育 71-2，106-109.

[3] 福山豊，森田まゆみ（1989）:「磁石と交流電流による弦の共振現象」，長崎大学教育学部教育科学研究報告 13 35-42.

[4] 福山豊，阿比留慎一（1990）:「磁石と交流電流による弦の共振現象 II」，長崎大学教育学部教育科学研究報告 15 1-9.

[5] 藤本茂雄，三野弘文（2024）:「両端を固定した弦における振動のシミュレーションプログラムの開発」，千葉大学国際教養学研究，8，85-95.

2D-4

『フィゾーの実験』を BB 弾を用いて体験可能にするモデル教材の開発

[A]手塚奏瀬，[B]林壮一
[A]福岡大学大学院理学研究科応用物理学専攻，[B]福岡大学理学部物理科学科
[A]canase1313@gmail.com，[B]soichi@fukuoka-u.ac.jp

１．研究の背景および目的

現行のほとんどの物理の教科書では，光の分野において回転歯車を用いたフィゾーの光速度測定実験(以降フィゾーの実験と記載．)が紹介されており，物理選択の高校生の多くがその内容に触れている．しかし，この実験を実施するためには直線距離で約 8.6km のスペースが必要であり，また，歯数が 720 歯の回転歯車など，フィゾーの実験でしか見かけないような道具なども必要となる[1]．そのため，フィゾーの実験は地上規模で光速を求めた最初の実験としては教育的価値がある一方，実物を見る機会がなくイメージすることが難しいという側面もある．そこで著者らは，ほぼ等速で動く BB 弾を光に見立て，スケールを小さくするモデルを作成し，フィゾーの実験の主旨を体験可能にすることを目的とする教材を作成した．なお，先行する教材としては物理演算ソフト等を用いてデジタル上で再現するようなものは存在していたが[2]，本研究のようなモデル化した教材の例は現時点では確認できなかった．

２．『フィゾーの実験』の概要

教科書等ではフィゾーの実験を図 1 のように説明している[3]．図 1 において観測される光が最も暗くなるとき，歯車を通過した光が再び歯車に戻ってくるまでの時間 $t=\frac{2L}{c}$（L は反射鏡と歯車の距離，c は光速)の間に歯車は $\frac{1}{2N}$ 回回転する．回転数 n と歯車の歯数 N を用いて時間 t を表すと $\frac{1}{2Nn}$ となり，等式 $\frac{2L}{c}=\frac{1}{2Nn}$ より，次の式①が導かれる．

$$c=4NnL \quad \cdots ①$$

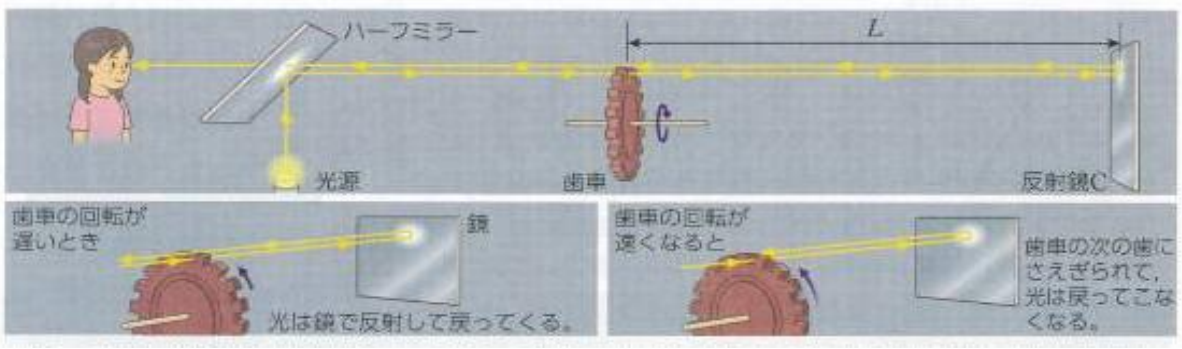


図 1　東京書籍によるフィゾーの実験の説明[3]

３．開発した装置とその使用方法

この教材で，光子を BB 弾で代用するときに難点になるのが，ミラーとハーフミラーで起こる光の反射や透過である．これらの現象を BB 弾で再現することが難しいため，これらの要素を取り除くことを意図して図 2 のような構造にした．この装置では，ミラーを置く代わりに同形の歯車 2 つを軸でつなぎ，歯の凹凸の位置を揃えて連動させることで，2 つの歯車が中点を境に鏡合わせになる状態を再現した．このような構造によって，歯車間の距離を $2L$ とすればフィゾーの実験と同じ式を得ることができ

る．今回の実験では，回転歯車の歯数が $N = 4$，歯車間の距離が $2L = 0.103$ m である．また，電源装置を用いてモーターの電圧を調整することで， 回転数を約 1.0～4.0 Hz の範囲で操作可能にした． なお，回転数は，ある電圧で回転している歯車とタイマーをスマートフォンカメラのスローモーション機能を用いて同時に撮影し，歯車が 5 回転したときの経過時間から求めることとし，電圧を 1.0 ～ 4.5 V で 0.5 V ごとに変化させた．以上の結果より，電圧と回転数の関係から回帰直線の式を導出し，それを使用した．実験装置は，傾斜をつけたアクリルパイプの中に BB 弾を落とし加速させた後，水平なアクリルパイプ中を BB 弾が等速で動くようにした．水平なアクリルパイプは，回転している 2 つの歯車の部分にある程度の隙間があり，BB 弾が歯車に遮られるとそこでパイプから落ちるようになっている．実験では BB 弾を 1 球ずつ試行し，合計 30 g (約 120 球)分を 1 セットとして行った．2 つの歯車を通過した BB 弾の重さ(以下，観測量とする)を調べ，得られた観測量から光の明るさに替わる値となる通過率(観測量 g/30g)を定義し，回転数に対する通過率の変化を測定した．通過率はフィゾーの実験で観測する光の明るさに相当するため，通過率が最も低くなるときの回転数を n_1 とすると，前述したパラメータを用いて BB 弾の速度 v を式②で表すことができる．

$$v = 4Nn_1L = 4 \times 4 \times n_1 \times \frac{0.103}{2} \quad \cdots ②$$

4．結果と考察

以上の装置を用いて行った実験における BB 弾の通過率と回転数の関係を図 3 に示した．回転数が 1.63 ～ 2.04 Hz の範囲で通過率が 0.01 以下となることが多くなり，この範囲の中央値 1.84 Hz を n_1 として式②に代入すると，BB 弾の速度 v は 1.52 m/s となった．また，歯車部分を BeeSpi υ に置き換えて BB 弾の速度を計測したところ，BB 弾の速度は平均 1.58 m/s となり，その差は今回の装置で測定した結果と比べると 4 %程であった．装置の詳細や測定方法については発表当日に紹介する予定だが，今回開発した装置を用いて BB 弾の速度を概ね正しく測定することができ，また歯車の回転数を上げていくと観測光が暗くなり，更に回転数を上げていくと明るくなっていくというフィゾーの実験のおおまかな挙動は再現できたと考えられる．ただし 1 球ずつ通過させて確率的に計測している関係で実験に時間がかかるなど，生徒実験に活用するためには，まだ多くの課題が存在する．引き続き開発を進めていきたい．



図 2　実際に作成した装置

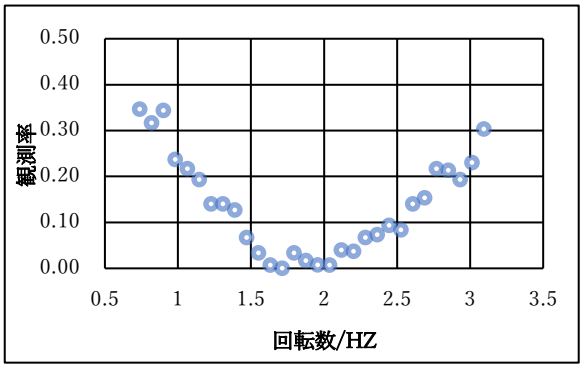


図 3　通過率と回転数の関係

参考文献

[1]霜田光一(2017)：歴史をかえた物理実験，丸善出版，p．68-69

[2]例えば Junchi Lab(2022)：https://junchilab.official.jp/page_data/illu28.html
2025 年 07 月 12 日アクセス

[3]前田京剛ら(2024)：文部科学省検定教科書　物理，東京書籍，p．192

3H-1

葛藤課題はいつ提示すべきか？：授業前半と後半の比較を通じて

髙橋 幸太郎
東京大学大学院 教育学研究科
t.kotaro0428@gmail.com

１．問題意識

「あ，なるほど！」「そういうことか！」と物理を学ぶ子どもの姿は，目指すべき学習者像のひとつであろう。一方で，７割弱の高校生が物理を否定的に捉える[1]など，理想像との距離は遠いように思われる。こうした生徒を育成するには，言うまでもなく授業が重要となる。しかし，実際にはどのような授業を実施すれば良いのだろうか？

物理教育研究では，葛藤課題が物理概念の理解に有効であることが示唆されてきた[2]。例えば，髙橋・赤松 [3] は，「大きさ・形が同じ鉄球と木球を同じ高さから同時に落とすと，どちらが先に地面に着くか」といった葛藤課題を授業前半で扱い，後半で教師が説明する授業を実施し，その授業効果の高さを実践的に示した。しかし，こうした授業は葛藤課題の出来栄えによって授業展開が左右されてしまうため，「葛藤課題が思いつかない」といった悩みは重大な実用上の問題となりえる。

こうした問題に対し，Instructional Science における受容学習と発見学習の統合順序に関する議論は注目に値する [4]。なぜなら，葛藤課題を授業前半ではなく後半で扱うことも効果的な授業になる可能性を示唆しており，葛藤課題を設計する際の視点を増やすことが期待されるからである。言い換えれば，授業前半の葛藤課題は学習内容を発見させる（もしくはそのヒントを与える）内容であることが望ましいとされるが，後半の葛藤課題なら学習事項を活用する問題が望ましいと考えられる。このため，葛藤課題を扱うタイミングによって課題設計の視点が異なる。つまり，もし授業後半で葛藤課題を扱うことも悪くないことを実証できれば，「葛藤課題が思いつかない」という問題に対して，「課題設計の視点を変えてみる」という提案ができうると考えた。

そこで本研究では，葛藤課題を扱うタイミングによって授業効果の差異が生じるかを検証する。具体的には，物理教育研究の知見を参考に設計した葛藤課題を，授業前半で扱う群と授業後半で扱う群に分け，介入後の物理概念の理解度を比較する心理学実験を行った。

２．方法

２．１． 参加者

東京都の国立・公立中学校に通う２年生 96 名が参加した。申込時に収集した学校の成績を基に乱塊法を用い，３つの群へ無作為に配置した。３つの群とは，葛藤前半群，葛藤後半群，葛藤後半’群であった。紙幅の都合上，本紙では第１群と第２群についてのみ述べる。

２．２． 題材

本研究の介入授業は「熱の移動」を題材とした。具体的には，熱の移動と温度変化，熱の移動と状態変化，熱伝導率，の３つの内容を扱った。これらは中学３年理科および高校物理基礎での学習事項であるため，本研究の参加者にとっては未習の内容であった。

２．３． 測定

介入授業の理解度を測定するために，介入後に事後テストを実施した。事後テストでは，介入で扱っ

た現象の機序を説明させる類型（例えば，28℃の水に手を入れた時に手の温度が下がる理由は？）と，介入で扱わなかった現象の機序を説明させる転移（例えば，打ち水をすると涼しく感じる理由は？）の二種類を設けた。

2．4． 手続き

本研究は，東京大学における「夏休み 学習ゼミナール」の中で実施したものであり，このゼミナールは５日間に渡って行われた。まず，実験１月前に事前アンケートとして学校の成績を尋ね，成績をもとに各群への無作為配置を行った。次に，実験１日目にセミナールの主旨説明やアイスブレイクを行った。そして，２~４日目に群ごとの介入授業を３回分実施した。最後に，５日目に事後テストを実施した。

2．5． 介入授業の例

介入授業の例として，実験２日目における葛藤前半群の授業を簡単に紹介する。授業前半では，「部屋に置いてある毛布でイルカ人形を包みました。人形の温度はどうなるでしょうか？」という問題，グループ協議，動画による答え合わせ（**図 1**），なぜ人形の温度が高くなると予想してしまったのかについて議論，の順で展開した。

授業後半では，２物体間の温度差によって熱が移動すること，熱の出入りによって温度が変化すること，これら２点について実例を交えながら授業者が説明した。その後，受けた説明内容について，参加者同士で説明し合う活動を設けた。



図１ 葛藤課題で用いた動画の様子

3．結果と考察

５日間の学習ゼミナールのうち，１日でも遅刻もしくは欠席をした参加者を除外し，合計79名（男子：43名，女子：36名）を分析対象とした。

本研究における記述統計量を**表１**に示す。それぞれの事後テストの得点を従属変数に事前比較を実施したところ，いずれの課題についても群間に有意な差は見られなかった（類型：$p = .40$; 転移：$p = .99$）。つまり，葛藤課題を授業後半で扱うことも，学習者の理解を促す上で有効である可能性が示唆された。

表１ 本研究の記述統計量

		葛藤前半群	葛藤後半群
N		27	25
類型 (max. 11)	*M*	7.63	8.32
	SD	2.27	1.86
転移 (max. 7)	*M*	3.52	3.48
	SD	1.42	1.53

参考文献

[1] 国立教育政策研究所 (2017) :平成 27 年度高等学校学習指導要領実施状況調査 結果のポイント. https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h27/h27/h27csr_point.pdf (2025/7/12 閲覧).

[2] Meltzer, D., & Thornton, K. 2012 : Resource Letter ALIP-1: Active-Learning Instruction in Physics. *American Journal of Physics*, 80(6), 478-496.

[3] 髙橋幸太郎・赤松大輔 (2024) ：高校物理における概念変容を促す授業実践の効果検証と自己効力感の調整効果の検討. *日本教育工学会*, 48(2), 411-421.

[4] Takahashi, K., & Uesaka, Y. (prepared).

3H-2

等加速度直線運動の公式に関する一考察

—R.D.ナイトの物理教育研究書『Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching』に焦点を当てて—

[AB]磯部和宏
[A]慶應義塾女子高等学校，[B]東京科学大学環境・社会理工学院
isobe.z5@keio.jp

１．はじめに

日本の高等学校「物理基礎」の等加速度直線運動の公式は 3 つある。各出版社の教科書によって物理量の表現は多少異なるが，等加速度直線運動の速度 v，位置 x，速度 v と位置 x の関係式から成る。ここでは，等加速度直線運動を題材とした物体の運動の基本的な表し方の理解が求められている[1]。

物体の運動を表す際には，速度 v，位置 x の 2 つがとりわけ重要な概念であるとかねてより論じられてきた[2][3][4][5]。その考えを等加速度直線運動に適用すれば，先述した 3 つの公式の重要度にも差異が生じる。しかし，それらの考えは物理教育研究（Physics Education Research，以下 PER）の文脈で論じられていない。昨今の PER の概念指標（concept inventory）を用いた国内外の授業改善効果を鑑みれば，等加速度直線運動の公式についての議論も，PER の文脈で論じられることが期待されるのではないだろうか。また，等加速度直線運動の公式についての議論は，PER にどのような貢献ができるのだろうか。これらの問いは，PER の文脈において概念を議論している研究者の間で等閑視されてきたように思われる。

以上の問いを念頭に，本稿では概念に関する議論の中心に等加速度直線運動の公式を据え，この公式を代表的な物理教育研究者であるナイト（Knight, R. D.）の著書『Five Easy Lessons-Strategies for Successful Physics Teaching』（2004 年）に焦点を当てて分析する。そして，ナイトが総括している PER から得られた知見[6]が多くの生徒にとって等加速度直線運動の 3 つの公式の理解が困難であることを示唆しているにも関わらず，ナイトはそのような問題意識を活用できていない可能性があると論じる。PER の問題を扱った書籍や論文は多数あるが，その書籍は『物理をどう教えるか—物理教育研究と実践に基づいたアプローチ』（以下，『物理をどう教えるか』）（2017 年）と題して和訳されている。現時点において，『物理をどう教えるか』は，PER の成果をまとめた希少な和書として手に取りやすいものの 1 つであり，等加速度直線運動の公式に関する議論を PER の文脈に最初に位置付けるのに適していると思われる。

２．ナイトの物理教育研究書から考える等加速度直線運動の公式のむずかしさ

ナイトが総括している PER の成果は，多くの生徒にとって等加速度直線運動の 3 つの公式を理解するのは困難であることを示唆している。ナイトは PER の文脈から，多くの生徒がそもそも関数についての理解が不十分であり，位置 x を時刻 t の関数として認識することのむずかしさを指摘している[6]。したがって，高等学校「物理基礎」において 1 次元の運動として最も難易度の高い等加速度直線運動について，その位置 x が時刻 t の関数であると認識することもむずかしいことが推察される。また，多くの学生が $\int v dt$ において v は時刻 t に依らない定数であるかのように認識してしまうために，v を積分記号の前に出してしまうことも指摘されている[6]。それゆえに，等加速度直線運動の速度 v についても時刻 t の関数として認識できている生徒は多くないだろう。さらに，高等学校「物理基礎」を履修する多様な生徒たちは，等加速度直線運動の速度 v と位置 x の公式に加えてもう一つ存在する，と言う状況に直面

している。このような状況においては，多くの生徒は速度 v，位置 x に対する理解が曖昧なまま，それらの公式を等加速度直線運動の問題に当てはめて解くというパターン認識に終始していることが危惧される[7][8]。多くの生徒が速度 v，位置 x を t の関数として認識できないままに，等加速度直線運動の速度 v，位置 x，さらにはそれらの関係式を表す公式に問題文で与えられた数字を代入しているに留まることをナイトは PER の文脈から示唆している。

ところが，ナイトは等加速度直線運動の公式のうち，速度 v，位置 x だけでなく，速度 v と位置 x の関係式の理解を目標に掲げているのではないだろうか。ナイトは『物理をどう教えるか』の中で，次のような問題を提示している。「30m/s で走っている車が傾斜 20° の斜面を燃料を使わずに上る。逆戻りを始めるまでに，車は坂道をどのくらいの距離進むか」[6]。この問題では，時刻に関する情報が全く与えられていないため，ナイトは等加速度直線運動の速度 v と位置 x の関係式を用いた解法を提示している[6]。ナイトは学生のパターン認識[7][8]を危惧して，放物運動における到達距離の式の暗記を推奨していない[6]。したがって，パターン認識[7][8]のみによって本問題を解決することを推奨しているとは考えにくい。ナイトは等加速度直線運動の 3 つ目の公式である速度 v と位置 x の関係式を生徒に理解させることを望んでいるとして，何を持って理解とみなすのだろうか。前段落で論じたように，ナイトは等加速度直線運動の 3 つの公式の理解のむずかしさを PER の知見に基づいて示唆しているが，そのような問題意識が抜け落ちてはいないだろうか。ナイトは PER の知見に基づく問題意識を十分に活かすことなく，等加速度直線運動の 3 つの公式を理解させることを目論んでいる可能性がある。

４．おわりに

本稿は，ナイトの著書『Five Easy Lessons-Strategies for Successful Physics Teaching』に焦点を当てて，等加速度直線運動の公式を PER の文脈に位置付けた。しかし，PER の文献は多種多様であり，ナイトの著書による分析という枠組みを取り払うことができる。等加速度直線運動の公式を巡る議論を PER に関する他の文献を含めた文脈に位置付けることにより，さらに広範な PER の文脈でその公式について論じ，それは PER にどのような貢献ができるのかを検討することが期待される。

謝辞

本研究は慶應義塾学事振興資金の補助を受けています。

参考文献

[1]文部科学省(2018)： 高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説　理科編理数編.

[2]広井偵（2013)：久村先生、私も考えました，物理教育通信，152，61−63.

[3]磯部和宏（2020)：等加速度直線運動の公式の取り扱いと力学の目標，物理教育通信，182，17−21.

[4]磯部和宏（2021)：英国パブリックスクール Winchester College における等加速度直線運動の公式の取り扱い，物理教育通信，184，14−19.

[5]菅野礼司，南原律子(2023)：物理学の理論的系譜，吉岡書店.

[6]ナイト，R. D.，並木雅俊監訳，興治文子，鈴木勝，副島雄児，谷口和成，安田淳一郎，山本隆夫訳（2017)：物理を教える―物理教育研究と実践に基づいたアプローチ，丸善出版．Knight, R. D.（2004)：*Five Easy Lessons -Strategies for Successful Physics Teaching*. Addison Wesley.

[7]綿引芳之(2021)：古典力学　力学の基礎（第 2 版)，学術研究出版.

[8]新田英雄(2025)：次世代の物理教育を考えよう，物理教育，73，1.

3H-3

中学校理科における慣性質量概念の指導方略

[A]小林和雄
[A]福井大学
kobaykk@u-fukui.ac.jp

１．はじめに

飯田（2022）が指摘するようにニュートンの万有引力の発見によって「質量」は、慣性の測度としての質量（慣性質量）と、万有引力の源としての質量（重力質量）の二重の意味を持つことになった[1]。中学校１年理科の教科書では、「場所が変わっても、その物体をつくっている物質の量は変わらない。場所が変わっても変化しない物質そのものの量を質量という。」そして質量の単位にはｇやｋｇが使われ、上皿天秤を用いると、質量をはかることができると説明されている。しかし「重さ」という言葉は本文中から吹き出しの中に移り、令和７年度版では重力になって消えている。「重さ」という言葉は質量、重力、重量など様々な意味で使われており、日常生活では、その単位は質量と同じｇ、ｋｇが使用されているため、力学初学者の中学生にとってその区別は難しい。また、地球上で 100ｇの質量にはたらく重力の大きさをおよそ 1Nとするような重力質量の意味で、力の大きさの単位を導入しており、筆者はこのことが慣性質量の意味の理解を阻害し、高校や大学での動力学の躓きにつながっていると考えている。滝川（1986）は、ニュートンの運動の第二法則のＦ＝ma 自体は難しくないが、具体的に物体が運動している場合について考えようとするとき、この式の力Ｆと質量ｍの両方の理解にその難しさがかかわっていると指摘している[3]。中学校以降の理科において慣性質量概念の形成を試みた先行研究はいくつかあるが、学習者が学習前に持っている経験的・常識的自然観を完全に覆すことは未だできていない[たとえば 4, 5, 6, 7]。

本研究では、これら先行研究で慣性質量概念の形成に効果的であったとされる多様な問題や教材、あるいはそれらを上手く組み合わせた指導方略を開発することを目的とする。

2. 開発中の中学校理科における慣性質量概念の指導方略（概要）

慣性質量概念のような形成が難しい概念は、これさえやればできるといった「定まった授業プラン」があるわけではなく、意欲的な教師が学習者の中にある経験的・常識的自然観をみとり、それを基に試行錯誤しながら理解を図る問題の作成と授業方略開発の研究を共同作業化していくしかない。

本研究の主な主張は、力学学習への入り口である中学校一年生の力と運動単元の段階から、「質量」を「場所が変わっても変化しない物質そのものの量」のようなイメージしにくい表現ではなく、「物体の運動を変化させない性質の量」というイメージしやすい表現を使う。つまり、初めからニュートン力学の定義にもどって、慣性質量を導入するということである。そして質量 1ｋｇの物体を１秒間に 1m 毎秒の速さに変化させる力の大きさを 1N（ニュートン）と定義する。

ここで大事なのは、中学校の段階では定性的な理解を図る問題や実験のみを実施するということだ。仮説実験授業の「力と運動」の授業書でも指摘されているように、定量的な緻密さにこだわらなければ、中学校１年生段階でも思い込みを克服するような楽しい力学の実験はたくさんある。また力の導入の時に、そもそもなぜ力と運動の関係について学ぶのかという、力学を学ぶ意味や意義について、現行のン中学校の理科の教科書に記述がない。力学の目的は、注目物体がいつ、どこで、どのような速さ、向き

で運動するのかを予測、制御、説明することにある。そのために、力は「物体の運動を変化させるもの」だと捉える必要があると教える。そして注目物体がいつ、どこで、どのような速さ、向きで運動するのかを予測、制御、説明するためには、注目物体が受ける力の矢印をすべて描き出してみる活動が必要になる。記録タイマーで分析すると、データーの処理が複雑すぎて、苦手な生徒は力学がきらいになる。また　力学台車は記録テープと装置の間に摩擦があったり、装置の構造上分析できる運動が限定されてしまったりして使いにくい。その点、運動の軌跡を連続的に移せるストロボ写真やスローモーションビデオなどでいろいろな運動を調べるのも面白い。このとき、たとえばストロボ写真に速度の矢印を向きと速さの大きさに注目しながら描きこみ、向きや速さが変化していれば力が働いている、向きも速さも変化していなければ力が働いていないという活動を徹底的に繰り返す活動が考えられる。

また、摩擦がない世界として宇宙ステーションの実験動画を見せ、重力がなくなっても物体の運動を変化させない性質の量、すなわち質量はなくならないことを確認する。地上で摩擦がない状態は作れないが、できるだけ小さくすることはできることも教える。そして、力学滑走台、力学台車、エアーホッケー、人が乗れるホバークラフトなどで、力と運動の関係を、定性的に調べる。本研究では質量 20ｋｇのメディシンボールをロープで廊下につるし、押してみて運動を変化させるためには力が必要であることを体感させたり、ホバークラフトに乗った状態で、20ｋｇのボールを押すことによってその反作用で自分も力を受けて運動が変化したりすることを体験する。またエアーダスターを噴射する力によってものはうごくことも実験で確かめる。磁石の力や電気の力で運動が変化するような実験も楽しい。例えばスイングバイゲームなども面白い。摩擦がない状態を phET などのシミュレーションアプリで遊んでみる活動も楽しい。詳細は口頭発表する。

3. おわりに

現在試行錯誤で慣性質量概念の形成を促進する問題やその実験装置を開発している。どれも大学生が楽しそうに実験している。定量的数学的な分析はできるだけ行わず、定性的な実験に限定して、経験的・常識的自然観を覆すような事実に出合わせることが、このアプローチの成否の鍵をにぎる。筆者はこのような効果的なものを上手く組み合わせるベスト・ブレンド・アプローチ（ＢＢＡ）と呼称する。

付記　本研究の一部は JSPS 科研費（基盤研究 C、課題番号 23k02361）の助成を受けている。

参考文献

[1]飯田洋治 (2022)、『なぜ力学を学ぶのか 常識的自然観をくつがえす教え方』、日本評論社, 141 頁。:
[2]東京書籍 (2012、2016. 2025)、『新しい科学 1』
[3]滝川洋二、『授業分析による自然認識の過程の研究　-運動法則の理解と質量概念の形成を事例として-』、国際基督教大学教育学博士論文概要第二報、157 頁。
[4]『授業書　力と運動　改訂第 4 版』、仮説実験授業研究会。
[5]土佐幸子、島影樹 (2019)、『質量に関する中学生の誤概念の特徴　-大学生の誤概念の比較を基に-』、新潟大学教育学部研究紀要、第１２巻　第２号。
[6]夏目ゆうの　他３名 (2022)、『中学生の質量概念を深める授業実践』、宇都宮大学共同教育学部教育実践紀要、第９号。
[7]吉埜和雄、興治文子 (2017)『「質量」をどう教えるか　-ニュートンの質量の定義に戻って-』、新潟大学教育学部研究紀要　第１０巻　第２号。

エネルギー概念を育成する教材・教具の作製および活用

[A]松永武，[B]重松宏武，[C]池田幸夫
[A]防府市立小野中学校，[B]山口大学教育学部，
[C]崇徳中学校・高等学校（山口大学名誉教授）
059478@hofu.ed.jp

１．はじめに

中学校理科において，エネルギー概念は各領域に横断する基本的な概念である。しかしながら，生徒にとっては理解しにくい概念であるため，様々な物理量や数式を使った理論的な理解とともに，視覚や聴覚などの実感を伴った理解も必要であると考える。本稿は，エネルギー概念を育成する教材・教具の作製と授業での活用に関する実践報告である。

２．作製した教材・教具

本実践では，重松が考案したエネルギーの変換を実感できる教材・教具を中心に作製を行った[1]。

（１）エネルギーの変換を実感できる装置

図１は，手回し発電機を回すことでプロペラ付きモーターが回転し，台車が動く装置である。「運動エネルギー」→「電気エネルギー」→「運動エネルギー」へと変換し，プロペラが空気を押した反作用により台車が動くしくみである。図２は，光電池によって発電した電気でＬＥＤが光ると同時に電子オルゴールが鳴る装置である。「光エネルギー」→「電気エネルギー」→「光エネルギー」と「音エネルギー」へと同時に変換させることが可能である。動く（動かす），光る，音が鳴るなど，生徒が実感しながら理解を深めることをねらいとした教材・教具である。

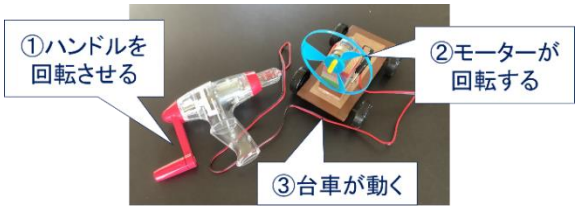


図１　エネルギー変換実感装置（１）
（運動 → 電気 → 運動）

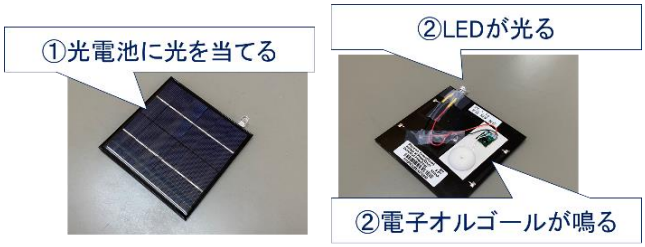


図２　エネルギー変換実感装置（２）
（光 → 電気 → 光・音）

（２）逆のエネルギー変換が可能なことを実感できる装置

図３は，ＬＥＤに光を当てることで電子オルゴールを鳴らす装置である。通常は，「電気エネルギー」→「光エネルギー」に変換する装置であるが「光エネルギー」→「電気エネルギー」へと逆のエネルギー変換をさせることが可能な装置でもある。

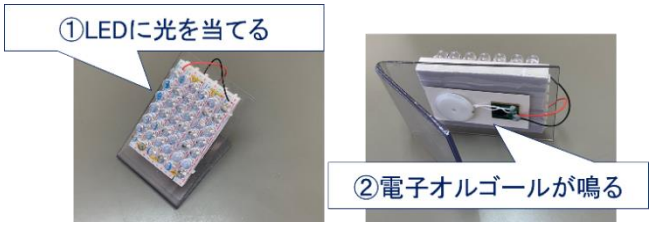


図３　エネルギー可逆変換装置（１）
（光 ⇔ 電気 ）

図４は，電子オルゴールを振動させることでＬＥＤが光る装置である。通常は，「電気エネルギー」→「振動エネルギー」に変換する装置であるが「振動エネルギー」→「電気エネルギー」へと逆のエネルギー変換をさせることが可能な装置でもある。エネルギーは逆の変換も可能であることを実感しながら理解を深めることをねらいとした教材・教具である。



図４　エネルギー可逆変換装置（２）
（振動 ⇔ 光 ）

（３）使う器具によって必要なエネルギーの大きさは違うことを実感できる装置

図５は，手回し発電機をモーター，ＬＥＤ，豆電球のいずれかに接続する装置である。接続した器具によってハンドルの重さが変わることで，必要なエネルギーの大きさの違いを実感しながら理解を深めることをねらいとした教材・教具である。

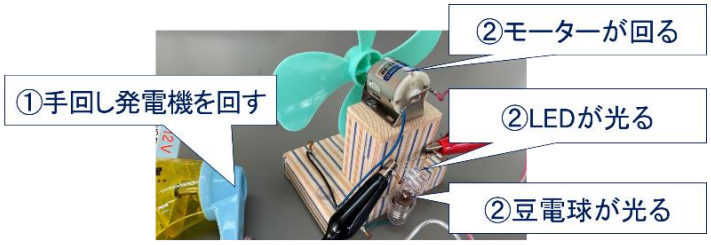


図５　エネルギーの大きさ実感装置

３．理科部生徒による作製

自作教材を授業で使用する際，教員が事前に作製することがほとんどである。教員が作製する場合，正確に効率よく量産できるという利点があるが，複数を準備する場合，業務の負担が増してしまうという問題点が生じる。学習する生徒自身に作製させる場合は，学習意欲の高まりが期待できるとともに，装置の原理や作り方を理解できるという利点があるが，時間や材料の確保が困難な場合がある。本実践では，部活動（理科部）の生徒が教材・教具を作製した。また，作製の際には，大学教授，学生を招聘することで，質の高い，きめ細かな指導が可能であった。



図６　理科部生徒による作製

４．授業での活用

部活動生徒が作製した教材・教具は，中学校第３学年「エネルギーの変換」の授業で活用した（図７）。



図７　授業での活用

謝辞

本研究は，令和４年度，令和５年度中国地域エネルギー環境教育研究会「エネルギー環境教育等に関する研究・実践活動への助成制度」の助成を受けた。

参考文献

[1]重松宏武 他(2017) ： エネルギー・環境をテーマとした教材開発、研修及び実践Ⅱ， 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要，44，123-131.

3H-5

力学講義における探究学習と学習者の学習姿勢との関係

[A]坂下裕也，[B]中村琢，[B]間瀬正矩
[A]岐阜大学大学院教育学研究科，[B]岐阜大学教育学部
sakashita.yuya.b7@s.gifu-u.ac.jp

1．はじめに

大学初年次の物理教育では，受講者の専門や関心の多様性により，学習への主体的な関与が乏しくなる傾向がある。特に，学習者が受動的となる講義形式では，物理学習への動機づけや期待観が低下することが先行研究で指摘されている。

本研究では，力学を扱う教養講義において，学習者が小グループで課題を探究する形式の授業を複数年にわたって実施し，学習理解と学習態度への効果を検証した。具体的には，力学概念理解を測定するFCI（Force Concept Inventory）と，物理に対する期待観・学習姿勢を定量的に測定する MPEX（Maryland Physics Expectations Survey）[1]およびCLASS（Colorado Learning Attitudes about Science Survey）[2]の3指標を用いて評価を行った。

また，比較対象として，同一授業者が実施した教員主導型（演示実験型）の授業も分析に加え，授業形態の違いが，学習者の力学概念理解や学習姿勢に与える影響について考察した。

2．方法

調査対象は，2023〜2024年度に実施された4つの大学初年次および2年次の講義であり，すべて同一の授業者が担当した。探究型授業（授業 A〜C）では，学習者が与えられた物理課題に対して自由に実験方法を構想し，仮説・検証・考察を行う活動を中心に構成された。一方，演示実験型授業（授業 D）では，教員が実験動画を提示し，学習者はそれに基づく課題に対してグループで議論を行ったが，課題・手順・議論内容はすべて教員が提示した。

すべての授業で，FCIおよびMPEXを授業初回（Pre）および最終回（Post）に実施し，探究型授業ではさらにCLASSも併用して，学習者の期待観や態度の変容を多面的に評価した。

各授業の概要を表1に示す。

表1　調査対象とした4授業の概要

授業	年度	受講者の学部	授業形態	受講者数	測定指標	FCIゲイン
授業A	2023	工学部初年次中心	探究型	25	FCI，MPEX	0.50
授業B	2024	教育学部2年次	探究型	30	FCI，MPEX，CLASS	0.43
授業C	2024	工学部初年次中心	探究型	17	FCI，MPEX，CLASS	0.52
授業D	2023	教育学部2年次	演示実験型	37	FCI，MPEX	0.40

3．結果

FCIの規格化ゲインにおいては，探究型授業（A〜C）では，いずれも0.43〜0.52の高い得点が得られたが，演示実験型授業（D）は，0.40と相対的に低い傾向を示した。また，MPEXおよびCLASSによる学習期待観・態度の変化についても，探究型授業では全体的に好ましい方向への変容が確認された。

MPEX と CLASS の間には相関係数 0.73 の高い一致も見られた。

図 1 には，探究型 3 授業の全受講者（72 名）を統合した MPEX の Pre/Post 変化を示す。図 2 は探究型 3 授業の CLASS の各カテゴリーにおける Pre/Post の変化を示し，特に「日常生活とのつながり」「個人的な興味」「意味を考える努力」「概念的なつながり」の項目で有意な向上が見られた。対照的に，図 3 に示す演示実験型授業では，MPEX における期待観スコアが全体的に低下する傾向を示した。

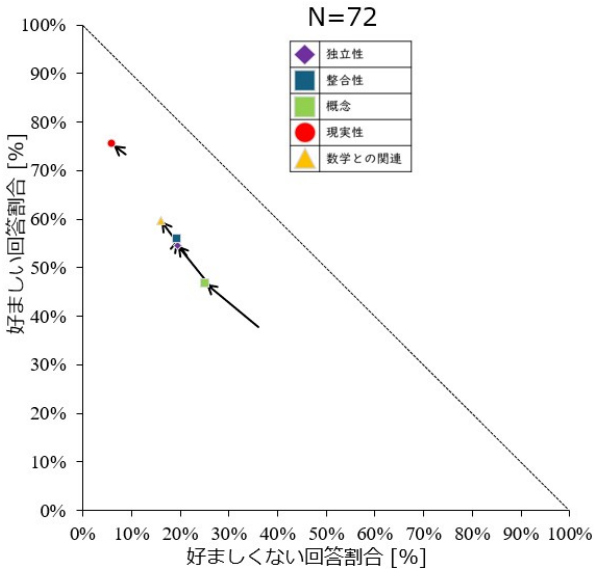


図 1：探究型 3 授業の MPEX 変移

4．考察とまとめ

これらの結果は，探究学習による学習者主体の活動が，物理概念の定着のみならず，学習姿勢や期待観の向上にも寄与することを示している。特に，演示実験型授業と比較することで，探究型授業の能動性・自律性が，物理学の概念を理解するための努力を惜しまなくなるといった意識の育成につながることが明瞭となった。

また，MPEX と CLASS を併用した分析により，期待観や学習姿勢の多面的な変容を可視化できた点は，本研究の方法論的な意義である。

学習者にとったアンケートにおいて，「物理を履修していない人に専門的な用語を使用せず，説明することが難しい」ことや「今までの学校の授業では，何を使ってどのようにするのかあらかじめ指定があり，それの準備をしていたので，（自由にやるという授業のやり方に）とまどった」といったコメントが見られた。今後は探究学習の中で生まれる学習者間の対話や，課題設定の自由度がどのように期待観や学習姿勢の形成に関わるのかを，より質的に掘り下げることが求められる。

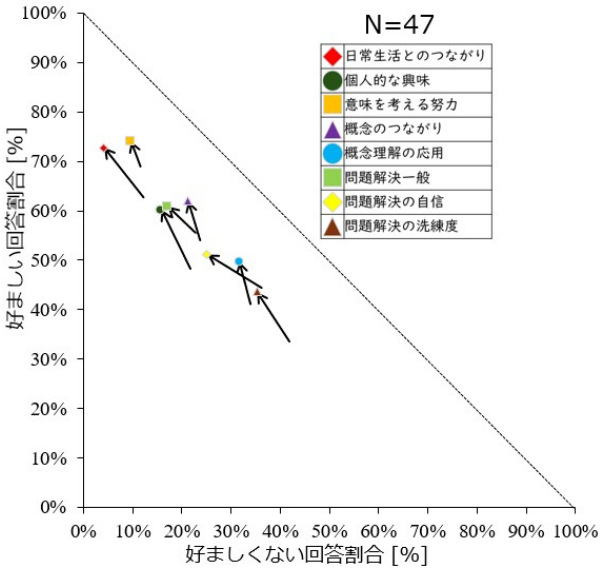


図 2：探究型 2 授業の CLASS 変移

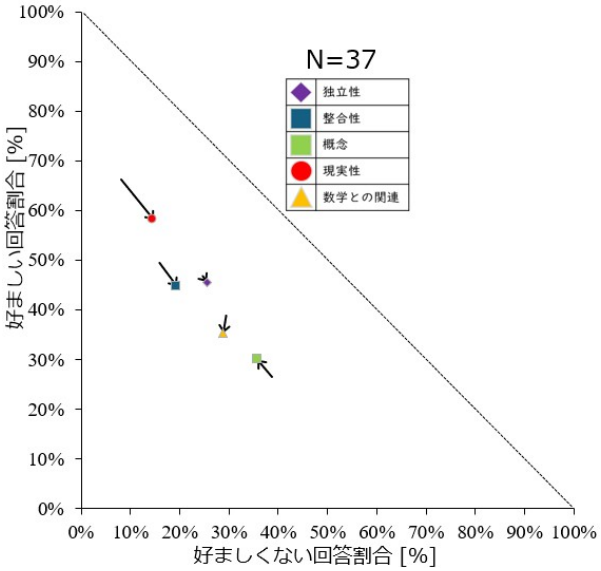


図 3：演示実験型授業の MPEX 変移

参考文献

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

[2]W. K. Adams, et al., Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 2, (2006) 010101.

3D-1

「つなぐ」教材としての超伝導学習～高校教育への導入～

[A]山口智輝、[B]内山哲治
[A]宮城県名取高等学校、[B]宮城教育大学大学院　教育学研究科
yamaguchi-to829@gs.myswan.ed.jp

1. はじめに

中央教育審議会答申（平成 28 年 12 月）では、予測困難な時代の到来を予見しており、その時代を生き抜く資質として、生きる力の概要を更新した。それに伴って、教育現場でも授業をはじめ様々な活動で抜本的な改革の必要性に迫られている。特に授業改革では、「主体的・対話的で深い学び」の実現を目指し、高等学校学習指導要領で示されている視点[1]に基づき、授業づくりを行うことが奨励されている。しかしながら、学習指導要領で示されている視点は多岐にわたる上に、具体性に欠ける。そこで我々は、表１に示す３つの「つながり」が高校物理において主体的・対話的で深い学び実現のポイントとなると仮定した。そして、これら３つのつながりを満足する教材(現象)として、超伝導に着目し、教材化・授業実践を行ったので、本発表にて報告する。

表１　主体的・対話的で深い学びを実現するためにポイントとなる３つのつながり

つながりの対象	効果	満足するための条件
過去の学びと 新たな学び	過去の学びが新たな学びとどのようにつながっているかを意識することで、知識の深化や学習への動機付けが図れる。	分野横断的な現象
自分と他人	多様な視点を得ることや即時的なフィードバックを受けながら、より深い理解や思考を促進できる。	協働活動
高校の学びと 大学の学び	自己キャリアを形成するにあたって、現在の学びと進学後の学びの関連性を認識できる。	大学で取り扱う現象

2. 超伝導の教材化とその課題

超伝導は、金属や金属間化合物を冷却した際、特定の温度以下で電気抵抗がゼロになる現象と、外部磁場を排除し、超伝導体内部の磁場がゼロになるマイスナー効果（磁気浮上）が観測される現象のことを指す。また、超伝導体内にごく一部常伝導体が混入する第二種超伝導体では、常伝導体の部分に磁場が侵入するピン止め効果が確認できる[2]。

これらは、主に大学で学ぶことが多いが、基本事項として「分子の熱運動」「電磁気」「量子」など、高校で学習する各分野と密接な関係がある。そのため、超伝導を協働活動と絡めながら取り扱えば、３つのつながりを意識させることができ、主体的・対話的で深い学びが実現できると考えた。しかしながら、超伝導は大学で本格的に学ぶ場合が多く、超伝導の理解に必要な予備知識の範囲も広い。そのため、高校生対象に教材化する場合は、難易度の設定に工夫が必要である。

3. 授業実践とアンケート結果

今回は超伝導が示す、「抵抗がゼロになること」と「マイスナー効果（ピン止め効果)」の２つの振る舞いを教材とした。これらのポイント[3]を、既習事項と関連させながら定性的に考えさせること

で、2 つの振る舞いの理解を目指した。

実践は、宮城県名取高等学校において３年生物理選択者(全２４名)を対象に、全９時間のプログラム（表２）を組んで行った。また、授業後アンケートの結果、ほとんどの生徒が超伝導に興味・関心を持ちながら、主体的に学習できたことがわかった。また、既習事項と関連させながら、新たな知見を学ぶ活動を通して、深い学びも実現できたと考えられる。ここから、主体的・対話的で深い学びを実現させるためのポイントとして、３つのつながりを意識することは効果的だったと考えられる。また、３つのつながりを創出する教材の一つとして、超伝導が有効であることがわかった。更なる詳細については、発表時に述べることとする。

表２　超伝導に関する学習プログラム

位置付け	内容
導入部 (内山)	超伝導の発見、抵抗ゼロの確認(動画)、マイスナー効果・ピン止め効果の観察
展開部 (山口)	協働学習：「抵抗ゼロ」を考える（４班） 協働学習：「マイスナー効果・ピン止め効果と臨界電流」を考える（４班）
まとめ (内山)	超伝導の歴史、クーパー対について、量子的な説明

4. 今後の展望

今回超伝導を学ぶことを通して、主体的・対話的で深い学びを実現した。また、そのことに加え、超伝導は様々な科学的側面を有しており、その他の教育活動への応用の可能性も秘めていると我々は考えている(表３)。そのため、今後は超伝導が高校現場にもたらす価値を一つ一つ模索・検証していきたい。また、実践数や受講生徒がまだ少ないため、広く実践協力を依頼していきたい。本研究は、JSPS 科研費 19K03050、22K02827 の助成を受け実施されたものである。

表３　超伝導の応用が可能と考えられる教育活動

応用先	理由
探究活動	材料科学との関連性もあり、「化学」との科目横断的なつながりがある[4]
STEAM 教育	超伝導体作製やその測定実験は工学的な要素も強い。高校の実験室で実験ができればSTEAM 教育の教材化も可能[5][6]
キャリア教育	超伝導は、主に大学で学ばれる分野であるため、高大接続に一役買う

参考文献

[1] 文部科学省、【総則編】高等学校学習指導要領(平成 30 年告示)解説、P117－121

[2] 寺尾悠、ビギナーのための超電導、近代科学社 Digital、2024、P16－38

[3] 村上雅人、はじめてナットク！超伝導原理からピン止め効果の応用まで、講談社、P15－88

[4] 千葉丈翔、内山哲治、超伝導を用いた教科横断型物理教育の検討、日本物理教育学会(2023)

[5] 千葉丈翔、内山哲治、高等学校における超伝導体作成を目指して、東北物理教育 32(2022)、18-23

[6] 千葉丈翔、内山哲治、高等学校における超伝導体作成を目指して(2)、東北物理教育 33(2023)、9-14

3D-2

摩擦帯電型ナノ発電機

瀬々将吏
秋田県立横手高等学校
zeze-syoji@e-akita.ed.jp

1．はじめに

日本の高等学校で実施される自然科学分野の生徒研究において、「発電」は人気の高い題材である。地球温暖化などの環境問題への高い関心から、化石燃料を用いない発電方法――太陽光、水力、風力、地熱、バイオマス――等を用いた研究がなされている。これらの発電の原理はおおよそ高等学校までの理科で取り扱われているものであり、教材として価値の高いものである。

本発表では、これまで日本の生徒研究でほとんど取り扱われてこなかった、「摩擦帯電型ナノ発電機」（TriboElectric NanoGenerator, TENG）[1]について紹介する。この発電は高等学校「物理基礎」「物理」で扱われる摩擦帯電と誘電分極を基本的な原理としている上、様々な物質の静電気的な性質の理解のために「化学基礎」「化学」の内容も重要である。また、比較的新しい研究分野であり、急速な発展が続いており、生徒研究においても新奇性のある課題設定の余地がある。これらのことから、TENG は生徒研究に適した題材であると考えている。

2．TENG の動作原理

TENG の 4 種の「動作モード」のうち、垂直接触-分離モードの動作原理を説明する。2 枚の金属極板の内側に異種の誘電体のシートを貼り合わせる。金属極板に導線を接続し、これを負荷に接続することにより交流電源として働く。図 1-II で互いの誘電体が接触し圧力が加わることにより帯電する。PMMA（アクリル）とカプトン（ポリイミド）の帯電列上での位置関係により、前者は正に、後者は負に帯電する。図 1-III では両極板を遠ざけている。このときに上下の金属極板には正負の電荷が誘導され、図の上向に電流が流れる。再び電極を近づけると（図 1-VI）、誘導された電荷は減少し、下向きに電流が流れることになる。

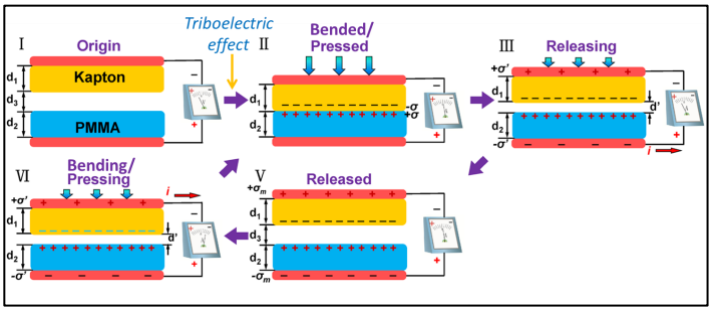


図 1：垂直接触-分離モードの動作原理
Wikipedia 「ナノ発電機」より転載

2012 年に初めて Wang らのグループが作成した TENG [2]は、4.5 cm×1.2cm の極板で、誘電体に PET とカプトンを用い、最大出力は 3.45 W/m² 程度であった。その後の研究により出力が向上した。特に、誘電体にナノ加工を施し、有効表面積を増やすことにより帯電量を増加させることができる。

一般に TENG の出力は他の発電方法に劣るが、装置が単純で軽量なことが利点である。そのため、エネルギーハーベスティングやセンサーとしての活用が期待されている。

3．実践事例

最先端の研究で高度な素材開発が進められる一方で、簡単に手に入る素材を用いた TENG の動画が

YouTube 上にアップロードされている。例として、[3] の動画では、紙、透明テープ、アルミホイルで作成された非常に簡単な TENG が紹介されている。部屋の照明を落とした状態で LED の点灯を確認することができる。

筆者が過去に指導した研究 [4] [5] では、銅、アルミテープ、シリコーンなどの素材を用いた TENG を動作させ、オシロスコープに接続して出力電圧を測定した。

これらの TENG の出力は低く、室内照明下で LED の点灯を確認することはできていない。さらなる高出力化が課題である。

4．測定

オシロスコープによる TENG の出力測定を考える。TENG の特徴は、出力インピーダンスが極めて高いことである。それを具体的に説明してみる。簡単のため、TENG を平行板コンデンサーとみなしてみる。コンデンサーの電気容量を C、動作振動数を f すると、TENG の出力インピーダンスは

$$Z = \frac{1}{2\pi f C}$$

で与えられる。TENG のサイズを一辺 10cm、極板間の平均距離を 0.5 cm とする。人の動作からエネルギーを取得することを想定し、$f = 1.0\,\mathrm{Hz}$ とすると、Z は $0.18\,\mathrm{G\Omega}$ である。高校物理の教科書 [6] にあるように、負荷の消費電力が最大になるのは、内部抵抗と負荷が同じ、つまり入力インピーダンスと出力インピーダンスが等しいときである（インピーダンスマッチング）。オシロスコープを用いた測定ではこれを考慮して適切な負荷抵抗を用いる必要がある。

オシロスコープからは負荷間の電圧波形が得られる。最大出力（電力）は、負荷のインピーダンス Z' と最大電圧 V_0 より、$P_0 = V_0^2/Z$ として求めることができる。一方、電流の直接測定は高価な電位計や厳重なノイズ対策が必要となりハードルが高い。

参考文献

[1] Z. Wang, L. Lin, J. Chen 他: Triboelectric Nanogenerators (2016) Springer

[2] F. Fana,Z Tian, Z. Wang: Flexible triboelectric generator!, Nano Energy (2012) 1, 2, 328-334

[3] Wisconsin Mrsec: Tapping Triboelectric Nanogenerator, https://www.youtube.com/watch?v=C8_jYtzsf4k

[4] 淡路紗恵子、佐々木奏音、鈴木太一 他：摩擦で電気をつくる、横手高校、2023

[5] 壽松木拓真、高橋暖、髙橋馳広 他：摩擦で電気を作る、横手高校、2024

[6] 物理、数研出版、2022

3D-3

電気回路分野における「色分け法」を取り入れた授業の研究

武井士恩，梅田貴士，仁王頭明伸
広島大学大学院人間社会科学研究科
m256277@hiroshima-u.ac.jp

1はじめに

電気回路の学習においては，電位差の理解が不十分であり，電流を中心に回路を分析する傾向が指摘されている[1]。特に国内では，電流の概念から学習が始まるカリキュラムが一般的であり，それにより，電位差の理解が後回しになることが懸念されている。このことは，電流に関する誤概念の形成とも関連していると考えられる[2]。

代表的な誤概念として，電池が常に一定の電流を流すとする「電池定電流誤概念」，電流が回路内で消費されて減少すると考える「電流消費誤概念」などが挙げられる。なかでも電池定電流誤概念を抱える学習者は多く，講義形式の授業ではその解消が困難であることが報告されている[2]。

こうした状況を踏まえ，電位差に対する理解を深めることが，電気回路全体の理解を促進し，誤概念の解消にも寄与すると考えられる。そこで本研究では，電位差を中心とした回路分析を可能にする手法として，等電位の導線を色分けする「色分け法」に注目した[1]。この手法によって，電位差の生じている箇所が視覚的に明示され，各素子に流れる電流や回路全体の電流の理解が容易になると期待される。

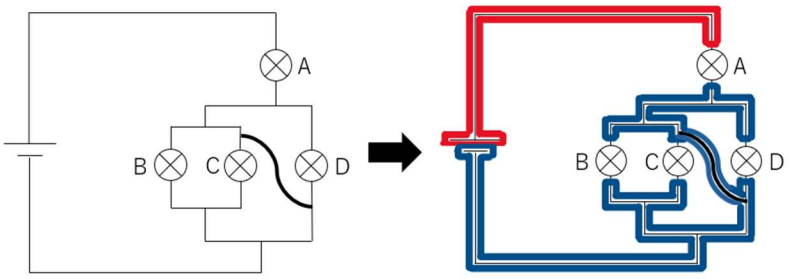


図 1 左の電気回路に対して，等電位となる導線の色分け法を行った様子

本研究では，色分け法を取り入れた授業として，チュートリアル方式を採用し，学習者が電位差を中心に電気回路を分析できるようになること，および電流に関する誤概念の解消も図ることを目的とする。チュートリアル方式の授業とは，学習者が少人数のグループで対話的に物理概念を探究する授業形式であり，入念に設計されたワークシートを用いて協働的に問題に取り組むことで，概念の定着と深化を促すことを目指している。

2．研究方法

本研究で用いるワークシートは，メリーランド大学が誤概念の解消を目的として開発した Open Source Tutorials[4]を参考にして独自に作成した。内容は，電気回路分野について既習済みの高校生レベルを想定して構成した。

ワークシートの前半では，学習者の電位差に関する基本的な理解を求める。その後，等電位の導線部

分を特定する色分け法について説明する。色分け法の説明前後では，同一の電気回路分野の応用問題を設定することで，色分け法の有用性を実感できる構造となっている。設定した問題の回路図は，図 1 で示している。この応用問題は，回路内の電球に流れる電流や明るさについて問う内容であり，色分け法と合成抵抗の考え方を組み合わせることで，解答の導出が可能である。また，後半には，電気回路分野の演習問題をいくつか設定した。この演習問題は，全て解くことを目的としておらず，チュートリアルで学習したことを定着させることを目的とした。

実践は，国立大学教育学部の中等理科教員養成コースに在籍している学生，または理科教員を志望している学生 27 名を対象に 90 分の授業を 1 回行った。

授業実践の評価は，2 つの方法で行った。第一に，電気回路分野における電位差の正しい理解については，ワークシートにおける学習者の記述内容の変化から分析した。具体的には，ワークシートの色分け法説明前後で設定した電気回路の応用問題に対する学習者の記述内容の変化から，学習者が適切に電位差を中心に電気回路を分析できているかを評価した。

第二に，電池定電流誤概念の解消に関しては，プレテスト・ポストテストを行い，その結果から規格化ゲインを算出した。算出した規格化ゲインを森田(2020)が作成した電池定電流誤概念の解消を目的としたチュートリアルにおける規格化ゲインと比較し，評価を行った[4]。

3. 結果

ワークシート内の電気回路問題は，色分け法説明前ではグループでの議論後に 8 グループ中 2 グループが完答していた。それに対して，色分け法説明後には 7 グループが完答していた。また，全てのグループで色分け法説明後に色分け法を用いた解答の記述が見られたことから，チュートリアルによって，学生が電位差を中心に電気回路を分析できるようになったことが示唆された。

続いて，プレテスト・ポストテストの各問の正答率を図 2 に示す。図 2 には電池定電流誤概念に関する問題のみを抜粋している。本研究の平均正答率から算出される規格化ゲインは 0.28 と算出された。本研究で開発したチュートリアルは電池定電流誤概念の解消にある程度の有効性を示したものの，先行研究の規格化ゲイン 0.57 と比較すると十分な効果は得られなかった[5]。

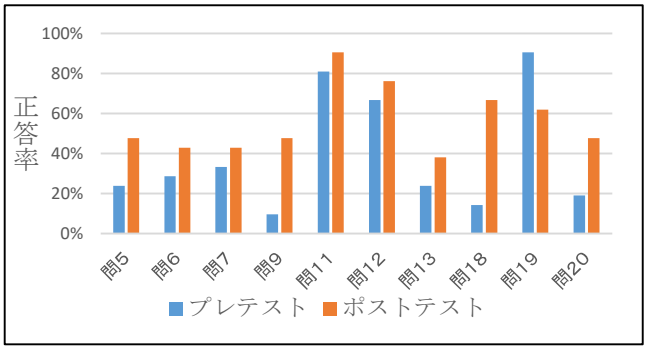


図 2 プレテスト・ポストテスト各問の平均正答率

参考文献

[1] Jan-Philipp Burd, Thomas Wilhelm, Teaching electric circuits with a focus on potential differences, PHYSICAL REVIEW PHYSICS EDUCATION RESEARCH 16, 020153 (2020)

[2] 北村隆文，谷口和成，中学生を対象にした ILDs「電気回路分野」の実践，物理教育，第 66 巻(2018)第 4 号，pp.253-257

[3] PhysPort https://www.physport.org/methods/method.cfm?G=OST_Tutorials (2025 年 1 月 16 日閲覧)

[4] 広島大学教育学部自然系コース 2020 年度卒業論文 森田康平 定電流誤概念の解消を目的としたチュートリアルの開発と実践

3D-4

教科書における「慣性の法則」の問題点

牛尾健一
駿台予備学校
eoku@hera.eonet.ne.jp

1. はじめに

「慣性の法則」は，現在の「物理基礎」の教科書すべてで，例えば次のように表現されている[1]。

表現 A:「外部から力を受けないか，あるいは外部から受ける力がつり合っている(合力が$\vec{0}$の)場合には，静止している物体はいつまでも静止を続け，運動している物体は等速直線運動を続ける」

一方，今から 50 年以上遡った時代の高校物理の教科書の中には，次のような表現も多く見られた[2]。

表現 B:「外から力がはたらかないならば，はじめ静止していた物体はいつまでも静止し，運動していた物体はいつまでもその速度を保って直線運動をする」

これらの事実は，「あるいは外部から受ける力がつり合っている(合力が$\vec{0}$の)場合」(以後，この引用部分を「合力$\vec{0}$の場合」と略記する)が，過去 50 年以上のときを経て，すべての出版社の教科書に付け加えられるようになり，表現 B が完全に駆逐されてしまったことを示している。

このような状況に対し，ここでは，「合力$\vec{0}$の場合」の部分が本来の「運動の第一法則」とはまったく相容れないものであることを説明し，何故にこれが教科書に付け加えられてきたのかを推察する。その上で，高校生にとって望ましい「慣性の法則」の明解な表現とはどのようなものかを探りたい。

2.「慣性の法則」の現代的な解釈から見える「合力$\vec{0}$の場合」の奇妙さ

物理学辞典[3]やいくつかの文献[4]を調べてみると，「慣性の法則」の一般的な解釈は，次のようなものと言えそうである。運動の第一法則である「慣性の法則」とは，表現 B が成立する基準系である「慣性系」が存在することを原理として主張する法則であり，この「慣性系」に対して運動の第二法則と第三法則が成立するものとされる。そして，ニュートン力学では，様々な力の法則やそれらの合成則は，第二法則の運動方程式と観測事実に基づくものである。このような論理的な体系のもとでは，「合力$\vec{0}$の場合」の部分は，運動の第二法則で定義される力の和が$\vec{0}$となる場合に演繹される一つの命題(定理)に過ぎず，その演繹の基礎となる「慣性の法則」を構成する原理の一部とはなり得ない。それゆえ，表現 A は，「慣性の法則」とは到底言えない内容を含んだ，まことに奇妙な「慣性の法則」なのである。

3. 何故に表現 A が高校の教科書で支持されたのか

それは、第一に，教科書では，力の概念が「慣性系」に基づくことなく別の流儀で導入されるからではないか。このようなことは，中学において「地上で静止する観測者から見た力のつり合い」に基礎を置く「力の法則」と「力の合成則」の学習で行われている[5]。そして，その学習内容がそっくりそのまま「物理基礎」の教科書に受け継がれている[6]。そのため，「慣性系」のもとで体系的に導入されるはずの力は不要となり，有名無実化した表現 B に「合力$\vec{0}$の場合」が追加されたのではないかと推察される。

第二には，「慣性系」が理想化された極限的概念であり，原理として「慣性系」の存在を主張する表現 B が分かり難いことから，「慣性系」の代わりに，身近で分かり易い「地上に静止する観測者の立場」を基準系とする力学の体裁をとるようになり，「合力$\vec{0}$の場合」が追加されたのではないかとも思われる。

４．果たして表現Ｂは学習に適したものか

以前，筆者は表現 A の問題点を指摘し，「高校生にニュートン力学をより深く学んでもらう可能性を残すには，昔に戻る方がよいのではないかと考える」とし，プリンキピアの「法則Ⅰ」に近い表現Ｂへの回帰が望ましいと主張した[7]。しかし，表現Ｂを読んだ高校生のうちの何％が，２で述べた現代的な解釈を自らするだろうかと考えてみると，何とも心もとない。そして，教育上は，表現Ｂも決して適切なものではないように思われてきた。因みに，教科書の「運動の第２法則」は，現在では運動方程式の形にまとめられ，プリンキピアの「法則Ⅱ」の表現[8]から大きく変化している。一方,「慣性の法則」は，様々な解釈の余地を残す「法則Ⅰ」の形が保たれ，その結果，表現 A のような厄介な変種も現れたと言えそうである。いっそのこと,「慣性の法則」も表現を変えて，もっと明解なものにできないだろうか。

５．「慣性の法則」の明解な表現に向けて

高校の段階で「慣性の法則」の内容を明らかにするには,「慣性系」の機能を前面に出していくのがよいと考える。例えば,「慣性の法則」の表現は,「外部から影響を受けない物体が，静止あるいは等速直線運動を続けるような基準系が存在し，この基準系を慣性系と呼ぶ」などとしてみてはどうだろうか。ただし，これを導入するには，同時に学習者に次の事柄に目を向けさせることが大切である。

① 運動を定量的に記述するためには，比較対象となる基準系が不可欠であり，利用できる基準系は無数に想定できる。このことから，どのような基準系を選択するかが重要な問題となる。

② ニュートンは，様々な基準系の中から「慣性系」を選び出し，広く宇宙を視野に入れた力学の基盤とした。その結果, 彼は惑星の運動から万有引力の法則を導き出すことにも見事成功したのである。

③ 一つの「慣性系」に対して任意の速度で等速直線運動する基準系は，すべて「慣性系」である。よって,「慣性系」の選択には大きな自由度があり，これが様々な運動に対応することを容易にした。

④ 地上に固定した基準系は，地球が置かれた特殊な環境のために，厳密には「慣性系」とは言えない。しかし，適当な近似のもとでは「慣性系」とみなすことができ，中学で得た力の法則も有効となる。

６．まとめ

教科書で「慣性の法則」とされる表現 A は, ニュートン力学の論理のもとでは矛盾を含むことを示し，それが教科書で支持される理由についても推測を試みた。さらに,「慣性の法則」を明解に表現するため, 力学の学習に「慣性系」を積極的に導入することを提案した。これにより,「ガリレイの相対性原理」など, 重要であるにも関わらず高校では触れられない話題にも, 自然に繋がっていけるように思われる。

参考文献

1） 数研出版「物理基礎」令和 3 年検定済（2022）70.

2） 啓林館「物理Ⅰ」昭和 50 年検定済（1976）36.

3） 培風館「物理学辞典」(1984) 396.

4） 内山龍雄：「相対性理論」岩波書店（2015）1.

5） 啓林館「未来へひろがるサイエンス 1」平成 27 年検定済（2018）210.

6） 数研出版「物理基礎」令和 3 年検定済（2022）54.

7） 牛尾健一：物理教育 73-1 (2025) 48-51.

8） アイザック・ニュートン(中野猿人 訳・注)：「プリンシピア第Ⅰ編」講談社（2019）43.

3D-5

慣性力は難しい？～慣性の法則と慣性力の伝え方～

池永　寛
広島市立沼田高等学校
ikenaga-hi30@e-g.city.hiroshima.jp

１．慣性力は難しい

「慣性力の理解ができていないのが現状」など教育現場における調査結果[1]からも「慣性力は難しい」と言われている。「慣性力は難しい」理由は、生徒の理解ができていないのと同時に、教師自身がどのように伝えたら生徒の理解を深めることができるのかということに手探りで教えている感がある。

なぜ、「慣性力が難しい」のか、その大きな原因の一つとして「慣性の法則」の教科書等の記述および教師による伝え方に問題があるのではないかと筆者は感じている。問題点とその改善方法について考察し、実際の授業でどのように「慣性の法則」および「慣性力」を扱っているかをお伝えしたい。

２．慣性の法則と慣性力について

慣性の法則について多くの教科書[2]では次のように記述されている。「物体が外から力を受けないとき、あるいは、受けていてもそれらの力の合力が０であるとき、静止している物体は静止し続け、運動している物体は等速直線運動を続ける。」「物体には、そのときの運動状態を保ちつづけようとする性質がある。これを物体の慣性という。」「身近な例」として「コイン落とし」や「バスや電車に乗車しているときの人の動き」を図[2]など用いて説明をしている。特に例としての「バスや電車に乗車しているときの人の動き」は、ほぼすべての教科書において図入りで解説がなされている。



(b)　急停止　バスの中の人は，運動の状態を保ち続けようとして，前向きに倒れそうになる。

慣性の法則は、「外力の作用を受けない物体は等速度運動を持続するという法則」であり、「ニュートン力学において、物体の運動を記述する座標系（慣性系）を選ぶ基準を指定するものと考えることができる。」[3] すなわち、慣性の法則は、「力がはたらいていないときの時空は等方であり一様である」とした「慣性系」を決める法則である。ニュートン力学以前の「力が働かなければ物体は静止する」という概念を払拭するための法則である。慣性の法則の本質はニュートンの第二法則「運動の法則」における $F=0$ の場合としての記述ではない。ニュートンの第二法則から完全に独立しており、第二法則が成立するための「前提」としての「慣性系」を決定している法則が「慣性の法則」である。

それに対して、加速している系などでは、慣性の法則が成り立たない。慣性の法則が成り立たない系が「非慣性系」である。「非慣性系においても、慣性力を考慮すれば、慣性の法則が成り立つとみなせる。」[4]というのが「慣性力」の考え方である。また、「非慣性系で運動方程式を立てる場合は、慣性力を考慮する必要がある。」[4]として、「非慣性系」においても、慣性力を運動方程式の中でも扱うことができるようにしているのである。ちなみに物理基礎のニュートンの運動法則の中で慣性の法則を学習してから物理の円運動のあたりで慣性力を学習するまで約１年の月日が流れていることが多い。

３.「慣性の法則」の「バスの例」について

ここで前述の慣性の法則の身近な例として用いられている「バスの例」を振り返ってみよう。加速もしくは減速しているバスの中での系は「慣性系」「非慣性系」のどちらの系であるか。自明である。そう「非慣性系」である。「慣性系」を定義するはずの「慣性の法則」の単元においてその「身近な例」としてほぼすべての教科書において図入りで解説しているのが、「非慣性系」である「バスの例」なのである。生徒が混乱するのは、無理もない。

４.「慣性の法則」「慣性力」をどのように伝えるか。

「慣性の法則」を伝えるということは、「慣性系」を伝えることである。「慣性力」を伝えることは、「非慣性系」を伝えることである。筆者が授業の中で実践している内容をお伝えしたい。

実際の授業では、「力学」に入るところで次のような導入をしている。

①発問「力は何色ですか？どんな形をしていますか？」

「力が働いていることはどうしたらわかりますか？」　→ＰＩ

②発問「力が働いていないときには、物体はどうなっていますか？」　→ＰＩ

③「力が働いていないときもしくは合力がゼロのときは、物体は速くも遅くも向きも変えたりしない。」ということを生徒の答えから導き出す。　→ＰＩ

④「慣性の法則」の説明。エアートラックなどの実験を紹介しながら。

⑤発問「では、力がはたらくということは物体の運動はどうなるでしょうか？」　→ＰＩ

⑥「力がはたらくときには、物体は速くなったり遅くなったりする。速くなったり遅くなったりする割合がわかれば、力がわかる。速くなったり遅くなったりする割合を表すのが、加速度というもの。

⑦「加速度と力は比例関係にある。ちなみに質量も関係している。」→運動方程式の紹介

⑧「加速度がわかるためには、速度というものを理解する必要がある。」

⑨「速度とはなにか、そしてその変化量である加速度がわかれば、力学がわかるってこと」

「速度・速さとはいったい何なのか。まずは、そこからはじめましょう！」

「慣性力」は円運動の単元において「遠心力」の学習の前に伝えている。紙面に限りがあるので、具体的な内容は原著講演の中でお伝えしたい。そのときの生徒の反応についてもできればお伝えしたい。

５．最後に

今回お伝えした内容は、授業の一例である。各自で実践していただいて、その効果を共有できれば、うれしい限りである。また、「慣性の法則」「慣性力」に限らず様々な単元で生徒がわかりにくく、教師が伝えにくい分野がある。教科書の順番や内容にこだわらず授業展開を考えながら工夫し授業をしている。その他の分野においても共有できる機会があれば共有したい。

参考文献

[1] 勝田仁之ほか(2024)：2024 年度日本物理教育学会年会第４０回物理教育研究大会原著講演「日本の物理教育課程に則した物理概念調査紙の開発：大規模調査の結果Ⅰ」

[2] 第一学習社令和 6 年発行「高等学校物理基礎」p64

[3] 岩波理化学辞典第 3 版増補版 p279　慣性の法則の項

[4] 第一学習社令和 6 年発行「高等学校物理」p76-77

4H-1

見えない力をどのようにイメージしているか

～物理初学者にとっての最初の困難～

日笠　亜依、林　壮一
麹町学園女子中学校高等学校、福岡大学理学部物理科学科
a.hikasa@kojimachi.ed.jp　、soichi@fukuoka-u.ac.jp

１．はじめに

昨年の物理教育学会全国大会にて、物理基礎の力学分野の「力」の初回の授業で日常の物体の写真を撮り、その写真に力を描きこむという課題を通して、生徒たちがどのように「力」を理解しているのかについての報告[1]を行った。報告では、生徒が１時間の授業でどれだけ理解ができるのかは、授業を受ける生徒と、教員の力量による可能性もあるが、その他の要因として、日常の身の回りにある物体にはたらいている力と、演習問題などで使用するイラストで考える場合との間に、関連性を見出すことができていないのではないか、という点が示唆された。今回は、第一著者の異動に伴って、昨年の報告の追跡調査を行う。

２．授業展開

今回、授業の中で上記内容の課題を実施したのは、東京都の私立女子高校であり、 第１学年４クラス合計 128 名を対象とした。４クラスあるうちの１クラス（特進コース）で第一著者が実施しており、残りの３クラス（2 クラスは中高一貫クラス、1 クラスは高校から入学してきたクラス）は別の教員が実施した。



図１

授業の展開を以下に示した。なお、授業の展開は 4 クラスとも同様にしており、第一著者の授業の進め方は、昨年からほとんど変更しなかった。変更点は、①授業の最初に課題（写真の中に力の矢印を描き入れる課題）があることを提示しなかったこと、②図１のような机の上に物体を置いた例を挙げず、糸が物体を引っ張っている状態の図を例に挙げたこと、③課題に取り組ませる前に、図 2、3 のようなイラストを用いた演習問題を実施したこと、の３点であった。

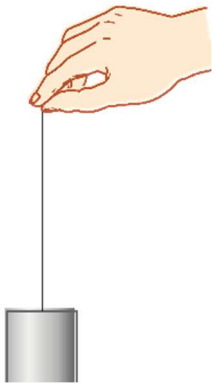

図２


図３

授業の展開：物理基礎の「力学」分野で、最初の「力」の内容を講義した直後に課題を実施した。

この授業の展開は以下の通りであった。

１．日常で使われている「力」と、物理学で使われている「力」の違いを示し、物理学での「力」の定義を確認した。

３．「力」の種類（重力、張力、垂直抗力、摩擦力、弾性力、静電気力、磁気力）について説明した。

4．力の描き込み方を演習問題にあるようなイラストを用いて説明した。

5．課題を提示し、取り組ませた。授業時間の関係で、宿題として、次回の授業前までにロイロノートに提出させた。

3．結果

提出された課題は現在確認中だが、第一著者が課題を実施したクラスで、力を正しく描きこむことができていたのは約半分の生徒だった。また、第一著者が担当していないクラスでは、7 割程度の生徒が机や床の上に置いた物体にはたらいている力を描きこんでいたが、第一著者が担当していないクラスの授業で、どの程度の内容の説明を行ったかの細部の確認が取れていないため、発表時までにまとめる予定である。また、その際には、作用点や作用線、力の矢印の長さなどにも注目して、どれくらいの人数がどのような力の描き込みをしていたのかについて集計したものを報告する予定である。図 3 は提出された課題の 1 例である。

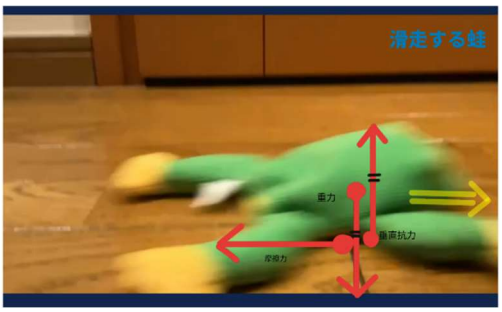


図 3

4．考察

第一著者が課題を実施したクラスでは、授業内に地面からの垂直抗力がはたらくような図は示していないにも関わらず、机や床に何らかの物体を置いた写真に正しく力を描けている生徒が約半数であった。昨年の結果（全くの不正解が約 1 割で、「正解」、「力の名称の間違い」、「力の作用点の間違い」が、ほぼ同数であった）よりも、今年の課題の正解率が高くなっているように思われる。例えば、生徒の学習に対するモチベーションの差や、授業者の経験、学年の差、卒業後の進路の違い、地域差などさまざまな理由が考えられる。

発表当日は、生徒が描いた図をもとに、間違いに見られる傾向やどのような勘違いから、完全な不正解になっているのかを考察した結果を報告する予定である。

5．まとめと今後の展望

福岡の学校と、東京の学校の違いを様々痛感しているが、特に、授業の実施の状況に大きな違いがあるように感じている。具体的には、福岡の学校では、学期の期末試験後であっても普段通りの授業を行っており、授業がきちんと成立しているが、東京の学校では、期末試験後には授業らしい授業が実施できないことがわかった。そのため、授業後にもう少し踏み込んだ調査を実施したいと漠然と考えていたが、それができないことがわかり、少し驚いているところである。そのようなことが、上記の結果の違いに何らかの形であらわれているのかもしれないと感じた。

今後は、継続的にデータを取れるような精緻化することと、学校で学習している物理が身近にあることをどのように実感させる方法があるか、継続的に考えたい。

6．参考文献

[1] 日笠亜依、林壮一、物理を日常の中で実感できるタブレット活用の試みー写真への力の描き込みを通して見えてきたものー、2024 年度日本物理教育学会年会/第 40 回物理教育研究大会

4H-2

授業づくりの会によるピア・インストラクション型授業の実践

[A]飯川大輔，[B]伊藤紀章，[C]花光隆太朗
[A]北海道静内高等学校，[B]北海道岩内高等学校，[C]北海道伊達開来高等学校
iisanbookurakun@gmail.com

１．はじめに

1997 年ハーバード大の Eric Mazur が開発したピア・インストラクション(PI)[1]は，生徒が自ら考えたり，議論したりする能動的な学習活動を取り入れた授業法である[2]。日本物理教育学会北海道支部若手研究会の「授業づくりの会」において，この授業法を用いて，２種類の授業を作成した。初めに，診断問題として，陥りやすい誤概念を問う選択肢問題を回答させた。その後，いくつかの問題を PI の流れで実施し，他者の視点を取り入れながら考えを深めさせた。最後に改めて診断問題と同じ問題を回答させ，活動前後の変容を比較した。また，全ての問題において，逐一回答の変化を全生徒で共有できるよう，Google フォームで実施した。この実践結果を各学校で比較した。

○実践した PI 型授業の流れ

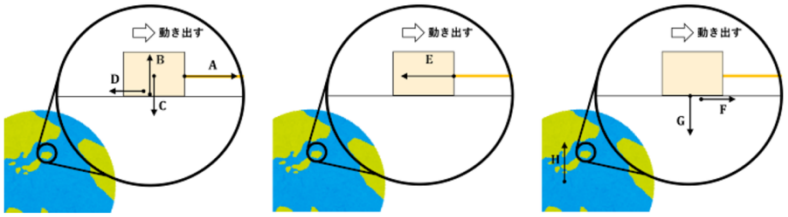
① 選択肢問題を回答する。（相談はさせない。）
② それぞれの選択肢の回答の割合を全生徒に共有し，生徒同士で問題について討論する。
③ 同じ問題を再回答する。
④ 回答の割合を全生徒に共有し，変容を比較する。
⑤ 正解を告げ，解説する。

２．実践結果

2.1　作用・反作用の法則

力の矢印が作用・反作用とつりあいの力の関係のどちらになるかを選択する問題を出題した。「作用・反作用の関係がつり合いの関係と同様に動き出す時や加速度運動するときは成り立たない」という誤概念の払拭を図った。

○問題図と Google フォーム画面（ラジオボタン）の一例





○全学校の平均正答率[%]

討論	問題１						問題２						問題３					
	AB	AE	BH	CF	CED	CBD	AD	AE	BC	CH	DF	EF	AD	AE	BG	CH	DF	EF
討論前	79	68	18	63	27	33	69	71	75	35	28	59	44	76	73	63	43	85
討論後	92	96	6	77	35	18	72	89	95	37	25	78	80	91	92	84	49	96

討論	問題４					
	AB	BE	CDE	CF	DH	EG
討論前	41	85	48	78	65	33
討論後	59	95	61	85	86	38

※見方
例えば，「AB」は A と B の力の矢印を表し，数字がこの矢印が何の関係になっているかの正答率を表している。一例として載せている上図の問題は「問題３」である。

4H-2

○診断問題と各学校の正答率[%]

Hake の規格化ゲイン g＝(事後正答率－事前正答率)／(１００－事前正答率)

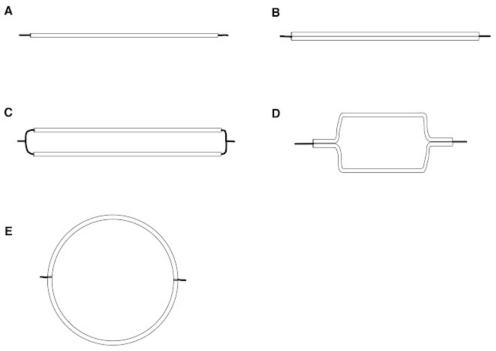


学校(授業生徒数)	事前	事後	規格化ゲイン
進路多様校 D(8 人)	0	34	0.33
進路多様校 E(17 人)	31	24	-0.11
進路多様校 F(70 人)	54	39	-0.08

2.1　電流と電気抵抗

電流や電気を選択する問題を出題した。「電流は抵抗の数や大きさが多ければ，小さくなる」という誤概念の払拭を図った。

○問題の一例



Aは１本、BCDEは2本の10cmのニクロム線を用意し、図のような形にして、電気抵抗を測定した。それぞれの組み方において、電気抵抗の大きさが一番大きいものと小さいものを選べ。 *

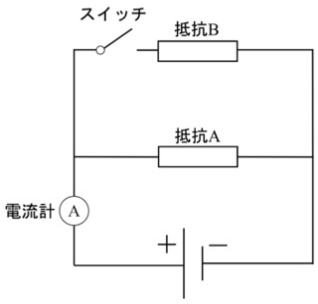
	A	B	C	D	E	CとE	BとCとDとE
電気抵抗が一番大きいもの	○	○	○	○	○	○	○
電気抵抗が一番小さいもの	○	○	○	○	○	○	○

○全学校の平均正答率[%]

討論	問題１	問題２	
		抵抗大	抵抗小
討論前	43	31	24
討論後	82	56	33
討論	問題３		
		抵抗大	抵抗小
討論前	92	89	
討論後	100	97	

○診断問題と各学校の正答率[%]・規格化ゲイン g

図の回路のスイッチが開いているときに比べて，スイッチが閉じられたときに，電流計に流れる電流の大きさはどのように変わりますか？



○ ①抵抗A,Bの抵抗値に関わらず増える。
○ ②抵抗A,Bの抵抗値に関わらず減る。
○ ③変わらない
○ ④抵抗Aよりも抵抗Bの抵抗値が大きければ増える。
○ ⑤抵抗Aよりも抵抗Bの抵抗値が小さければ増える。

学校(授業生徒数)	事前	事後	規格化ゲイン
進路多様校 D(10 人)	10	10	0
進路多様校 E(18 人)	22	43	0.27
進路多様校 F(27 人)	19	44	0.32

３．まとめ

IP 型での問題を重ねるごとに正答率が上昇していく様子が見られた。しかし，診断問題は電流と電圧の関係を見間違えたなど，PI 問題と診断問題の現象の結びつけが出来なかった生徒が一定数見られた。今後，授業づくりの会で協議を重ね，そのような生徒への PI 型の問題の工夫を重ねていきたい。

本研究は日本物理教育学会北海道支部若手研究会の企画の１つである，授業づくりの会で行ったものである。

参考文献

[1] MAZUR E. (1997) : Peer Instruction: A user's manual. Pearson-Prentice Hall.
[2]新田英雄(2011)：ピア・インストラクションとは何か，シリーズ「物理教育は今」，The physical Society of Japan(JPS)

4H-3

表現形式が学習者の問題解法に与える影響

[A] 髙野勇太，[B] 長谷川大和，[C] 興治文子
[A] 東京理科大学大学院理学研究科科学教育専攻 博士後期課程
[B] 東京科学大学附属科学技術高等学校，[C] 東京理科大学教育支援機構教職教育センター
1725701@ed.tus.ac.jp

１．研究の背景と目的

物理学では，文章，グラフ，式，図など，多様な表現[1]が用いられており，表現間の変換が初学者にとっては難しいことが知られている[2]。物理学の深い理解には，物理現象を多様な表現を用いて理解する必要があり，さらにそれら多様な表現間の変換ができることが不可欠である。物理教育研究における多様な表現間の変換について，問題解法による分析を行った先行研究は数多くある一方で，表現形式の好みに着目した先行研究は数少ない[3][4][5]。物理現象がどのような形式で表現されているかにより，状況の理解しやすさが学習者によって異なると考えられる[3]。そこで本研究では，力学分野の問題において，表現形式を選択できたかどうか，つまり好みの表現形式で問題を解くことができたかどうかで，正答率が変わるかどうかについて検証した。併せて，学習者の属性により，表現形式の好みや正答率などにどのような違いがみられるかを検討した。

２．作成した問題について

力学分野の多肢選択式問題で，選択肢が複数の表現形式で示されたものを 2 問作成した。問 1 は，質量の異なる金属球の自由落下に関する問題で，力学概念調査問題の文献[6]問 1，文献[7]問 1 を参考に作成した。問 2 は，床が水平でない場合の斜方投射に関する問題で，(1)で斜面方向(x軸)の速度，(2)で斜面に対して垂直な方向(y 軸)の速度についてあてはまるものを選択肢から選択する形式である。選択肢は，問 1 は文章，グラフ，式，運動図の 4 種類，問 2 は文章，グラフ，式の 3 種類で，表現形式は異なるが，選択肢が意味する内容は同じになるように用意した。

３．研究方法

作成した問題を用いて，理工系大学の 2 つの学科にて，2023 年 5 月(問 1)，7 月(問 2)の 2 回に分けて調査を行った。有効回答数は表 1 の通りである。高校にて 4 単位物理を履修した者のみを対象とし，他は除外した。

表 1　調査対象と有効回答数

学科	有効回答数				
	合計	問 1		問 2	
		実験群	統制群	実験群	統制群
数学系	67	35	32	34	33
化学系	96	47	49	47	49
合計	163	82	79	81	82

学科ごとに，調査対象を実験群，統制群に分割した[8]。実験群の者に対しては，希望の表現形式を問い，その表現形式の問題を渡した。他方，統制群に対しては，予め指定した表現形式の問題を渡した。

なお，問 2 のみ回答の理由を自由記述させた。また，作成した問題の他に，「文章のみの表現」「グラフでの表現」「式での表現」「運動図（ストロボ写真）での表現」の 4 つについて，好みの順番を聞いた。

４．結果と考察

問題，表現形式，群ごとの正答率を図 1，図 2 にまとめた。表現形式によりサンプルサイズが小さい点に注意が必要であるが，問題によっては，表現形式や群間で正答率に差がみられた。

数学系学科においては,グラフ形式について 3 問すべて共通で実験群よりも統制群の方が正答率が高かった。グラフ形式の問題を解くことを希望した学生よりもランダムにグラフ形式が配られた学生の方が正答できたことを意味するが，これは，数学系学科の学生が想像するグラフの問題と，今回の問題にずれがあったことが一因と考えられる。

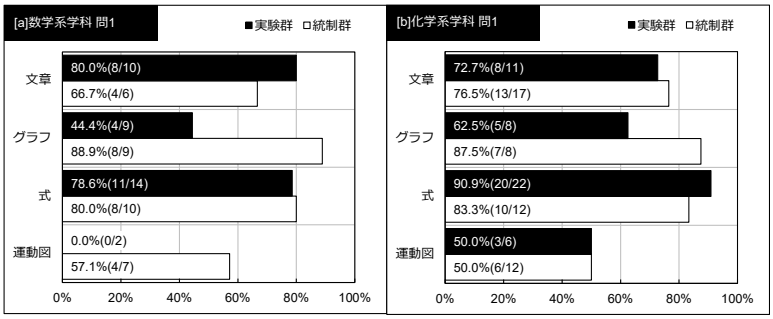


図 1　問 1(5 月実施) 学科・表現形式・群ごとの正答率
かっこ内は「正答者数／対象者数」

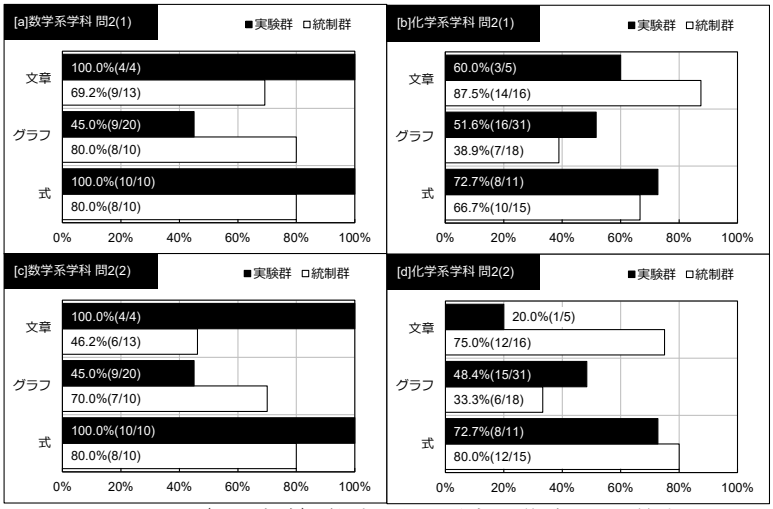


図 2　問 2(7 月実施) 学科・表現形式・群ごとの正答率
かっこ内は「正答者数／対象者数」

問 2(1)は全体の 65.0%が正答した一方，20.9%にあたる 34 人が「速度一定」を意味する誤答選択肢 a を選択した。表現形式ごとでは，文章を選択した者の 7.9%(3 名), グラフの 29.1%(23 名)，式の 17.4%(8 名)であった。さらに，この 34 名の理由欄を見ると，12 名が「x軸方向は等速（一定）だから」，3 名が「x軸方向は力（重力の影響）を受けないから」と記述されていた。問 2(1)は斜面方向にx軸をとっているため，x軸方向は加速度$-g\sin\theta$（θは斜面の角度）の等加速度運動をするが，斜方投射であるという点のみ着目し，x軸方向は等速直線運動と考えてしまった者が一定程度いることがわかる。

５．まとめと今後の展望

本研究により，学習者が好む表現形式で問題を解けたとしても，必ずしも正答率が上がるわけではないことが明らかとなった。特にグラフ形式については，数学系学科の学生が想像するグラフと，今回出題したグラフに乖離がある可能性が示唆された。これは，力学で用いられるグラフを学習者がどのように理解するかを検討するうえで重要であるといえる。

今後は，学習者が多様な表現をどのように捉えているかについて，より詳細に調査し明らかにしていきたい。

謝辞　調査に協力いただいた方々へ感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 24K06392 の助成を受けたものです。
附記　本発表は，筆頭著者が修士論文[9]としてまとめたものの一部に，新たな観点を加えて分析したものである。

参考文献および注

[1]　エドワード・F・レディッシュ(著)，日本物理教育学会(監訳)：『科学をどう教えるか』，丸善出版，(2012).
[2]　P. Nieminen, *et al.*：　Phys. Rev. ST PER **6**, (2010) 020109.
[3]　Kohl, P. B., Finkelstein, N. D.：Phys. Rev. ST PER **1**, (2005) 010104.
[4]　Kohl, P. B., Finkelstein, N. D.：Phys. Rev. ST PER **2**, (2006) 010102.
[5]　Kohl, P. B., Finkelstein, N. D.：Phys. Rev. ST PER **2**, (2006) 010106.
[6]　D. Hestenes, *et al.*：The Phys. Teach. **30** (1992) 141-158.
[7]　P. Nieminen, *et al.*：Phys. Rev. ST PER **6**, (2010) 020109.
[8]　ただし，実験群，統制群への分割は，問 1，問 2 それぞれ独立して行った。
[9]　髙野勇太：東京理科大学大学院理学研究科科学教育専攻 2024 年度修士論文（2025）.

4H-4

高校生の物理学習におけるつまずきの類型化

－自由記述を含む質問紙調査に基づく分析－

飯高匡展
市川学園市川中学校・高等学校
m.iidaka@ichigak-net.ed.jp

１．はじめに

高校生の物理学習における「つまずき」に関する研究はこれまでも実施されてきた。たとえば，宇田川・山崎ら(2001)は，力学に関する問題を作成し，複数校に共通するつまずき（例：力の向きに進むのが当たり前）を明らかにしている[1]。また，新田(2012)は，素朴概念に関する先行研究に基づき，生徒の素朴概念の分類を行っている[2]。一方で，物理を履修し終えた高校生を対象に，自由記述を含む質問紙調査を通じて，全分野にわたる物理学習上のつまずきを収集・分析した研究は，筆者の知る限り存在しない。自由記述形式を用いることで，生徒が実感するつまずきを，主観的・情意的側面も含めて把握できると考えられる。そこで本研究では，自由記述を含む質問紙調査を実施し，高校生の物理学習におけるつまずきの実感を質的に分析・類型化することを目的とした。得られた知見をもとに，今後の指導内容の重点化や教材設計の改善を図り，生徒の理解や興味の促進につなげることを目指したい。

２．方法

調査対象は，千葉県内の私立高校 3 年生（2020 年度：38 名，2022 年度：44 名）である。いずれも同一の進学校の生徒であり，両年度とも学力水準は概ね同等で，授業担当者も高校 1 年次よりほぼ共通していた。調査は両年度とも 12 月に実施した。質問紙は 8 項目（Q1～Q8）から構成されるが，本発表では Q7 に焦点を当てる。Q7-1：「物理の学習で行き詰まったことはありますか」(4 件法：①よくある，②ときどきある，③あまりない，④全然ない)。Q7-2：「Q7-1 で①か②と答えた人にお尋ねします。物理のどんなところで行き詰まりますか（自由記述)」。なお，2020 年度は上記の設問で実施したが，2022 年度には Q7-2 に「できれば具体的な単元・題材なども挙げてください」との文言を追記した。

３．結果と考察

Q7-1 の結果は，2020 年度：①「よくある」47%，②「ときどきある」45%，③「あまりない」8%，2022 年度：①57%，②36%，③5%，④「全然ない」2%。両年度に統計的な有意差は見られなかった（Fisher の直接確率計算法（両側検定))。

Q7-2 の自由記述は，KJ 法により類似性に基づきコード化し，表 1 に示す 10 類型に分類した。1 人の記述から複数の類型が抽出された場合は，それぞれをカウント対象とした。分類の妥当性を担保するため，筆者以外の高校物理教員 3 名にも分類の検討を依頼し，その意見を反映した。2022 年度において「特定単元でのつまずき」の記述が顕著に増加したのは，設問に「できれば具体的な単元・題材なども挙げてください」と追記した影響と考えられる。「特定単元でのつまずき」および記述数が 0 の項目を除いた上で，年度間の類型数を比較したところ，有意差はなかった。さらに，特定分野別のつまずきの記述数を表 2 に示す。原子分野を除くと，年度間の有意差はなかった。これらの結果から，同一授業者・

同一学校という環境下においては，生徒のつまずきの類型が概ね安定していることが示唆された。ただし，本研究は特定の授業者による授業を継続的に受けた生徒を対象としており，事例研究的性格が強いため，結果の一般化には慎重を要する。

今後は，分析対象の拡充，他の設問項目や物理概念テストとの相関分析などを通じて，つまずきの構造をより明らかしていくことも考えられる。また，今後の質問紙調査の質問項目の改善についても検討したい。また，つまずきのタイプに応じた配慮や指導方略（例：可視化支援など）についても，物理教育研究の知見と照らし合わせながら検討を進めていきたい。

表 1　物理学習におけるつまずきの類型と記述数

類型	2020	2022	記述例
現象のイメージ困難	11	13	実際に見たり感じたりすることがあまりないものを扱うとき。例えば電荷の移動など。
自己の考え方との不一致による困難	4	5	日常生活で培った自分の直感にそぐわない分野。
問題文の読解・状況把握の困難	4	5	問題の状況設定が複雑なときに，一つ一つ情報を整理して考えていくことができずに，焦って芋づる式で間違えることが多くてたまにいやになってしまう。
新概念・新単位への戸惑い	2	3	電磁気など，新概念が一気に来る時。新しい単位の量を学習したとき。例えば，誘電率とかを初めて学習した時とか。
解法方針のつまずき	3	2	問題の取り掛かりの最初で,何をしていいかわからない時がある。
正負・向きの理解困難	1	3	仕事とエネルギーで正負で混乱してしまうことがあった。 単振動，今でも苦手です，向きがありますので。
厳密さの欠如による困難	2	0	厳密な部分があやふやで，正確な議論ができないとき。
高校範囲外への困難	0	2	高校範囲を超えてしまう内容。
特定単元でのつまずき	14	40	表 2 に掲載
その他	4	2	上記に分類されないもの
計	45	75	

表 2　特定分野別のつまずきの記述数と記述例

分野	2020	2022	記述例と要点
電磁気	5	12	抽象性・可視化の困難「現象が可視化できず，イメージのわかないところ。特に電気分野のコンデンサー関係。」／概念・単位・符号の理解困難「コイルの単元など，正の向きがどっちかとかプラスマイナス逆になるとか。」／構造的理解・思考の整理の困難「なんとなく，他の単元よりも考え方にまとまりがないと感じます。」
力学	4	12	法則の意味・適用条件の困難「なぜその立式をするのか分からないとき。例えば，力学の保存則。」／観測者視点（座標系）の違い「向心力，遠心力の理解。観測者の設定の仕方。重心系から見ることの重要性。」／イメージが湧かない「複雑なことも聞かれるので，イメージがわかないと詰まる。」
波動	2	6	光の単元に関してが 4 件と多数「光の干渉，現象が実感しづらいし，位相の変化と屈折率とか考慮することが多くてこんがらがる。」
原子	0	7	現象のイメージ困難・直感との乖離「日常的な感覚で理解しにくい。」「光の粒子と言われましても，という感じ。やっぱり可視化しづらいものは苦手になりがち。」
熱	2	3	抽象的で捉えにくい現象・式の理解困難「定積・定圧変化などのそれぞれの現象の違いと式の理解」／多数の変数の整理の困難「文字が多く，変数の整理をしなければならないとき。」
計	13	40	

参考文献

[1] 宇田川・山崎ら(2001)：物理のつまづきに関する調査研究：その 1 つまづき解消に向けて(How to teach「学習法」)，物理教育，49 巻 2 号 196-209.

[2] 新田(2012)：素朴概念の分類，物理教育，60 巻 1 号 17-22.

4H-5

高校「物理基礎」における Just-in-Time Teaching の実践的検討
― 事前課題の類型化と授業内コンテンツのデザイン ―

[A]落合道夫,　[B]久保田真一郎,　[B]中野裕司
[A,B]福岡女学院中学校・高等学校,　[B]熊本大学 半導体・デジタル研究教育機構
mochiai@fukujo.ac.jp

1．Just-in-Time Teaching とは

Just-in-Time Teaching（以下、JiTT）は、米国の大学における物理教育の中で誕生した教授法である[1]。本学会が監訳した『科学をどう教えるか』[2]において紹介されており、相互作用型授業の一つに位置づけられる。現在では、JiTT は米国をはじめとする諸外国において、物理学にとどまらず、全学問領域に広がっている[3]。

JiTT は、フィードバックループと呼ばれる円環的なプロセスに沿って実施される（図 1）。授業前に Web を活用して学習課題を出題・回収し、指導者はその回答を授業前に分析した上で、対面授業に臨む。対面授業では、生徒の回答を踏まえてフィードバックしながら、必要な「授業内コンテンツ」を提供する。

第一筆者は、2 年間にわたり高等学校の「物理基礎」において JiTT を実践してきた[4][5]。さらに、実践に際しての心構えについても報告している[6]。

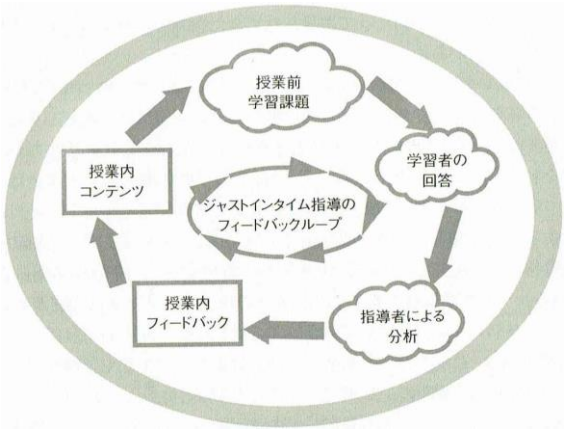


図 1　JiTT のフィードバックループ
（参考文献[3]より引用）

2．事前課題の類型化と授業内コンテンツのデザイン

「授業内コンテンツ」は、心理学的構成主義および社会的構成主義に基づき、科学的かつ探究的な学びを促すものである必要がある。そのため筆者は、「グループ討論」から「まとめ」に至るまでの 5 つのステップで構成された授業内コンテンツをデザインした（表 1）。それらの進行手順を図 2 に示す。

	コンテンツ				
	グループ討論	再投票	演示実験による決着	生徒実験による決着	まとめ
A型	○	○	○	×	○
B型	○	×	○	×	○
C型	○	○	×	×	○
D型	○	×	×	○	○
E型	○	×	×	×	○
F型	×	×	×	×	○

表 1　授業内コンテンツの 5 つのステップ

また、この進行手順に対応するかたちで、授業前学習課題は A～F 型の 6 つに分類される。それぞれの型に対応した代表的な授業前学習課題を図 3 に示す。なお、本文中で用いる「事前課題」は、図 1 における「授業前学習課題」と同義であり、筆者の授業における表現である。

このような「事前課題の類型化」および「授業内コンテンツの構造化」は、授業を設計・改善するうえで教師にとって有効な枠組みを提供するものであり、授業デザインに関する知見として意義を有すると考える。さらに、これらを用いて実践の枠組みを明示することにより、他の教員が JiTT を再現・応用しやすくなり、授業改善の一助となることを意図している。

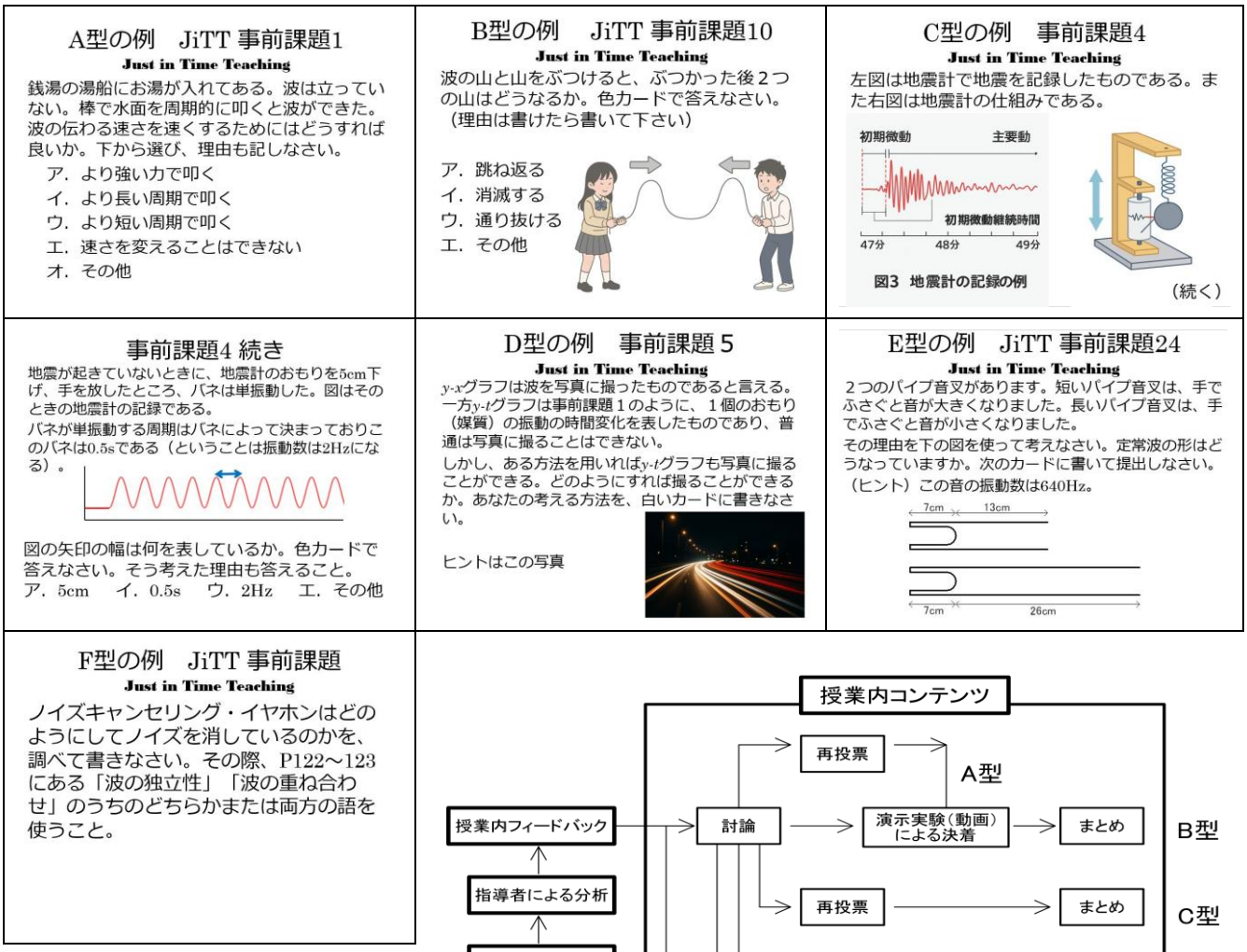


図３　事前課題の代表例

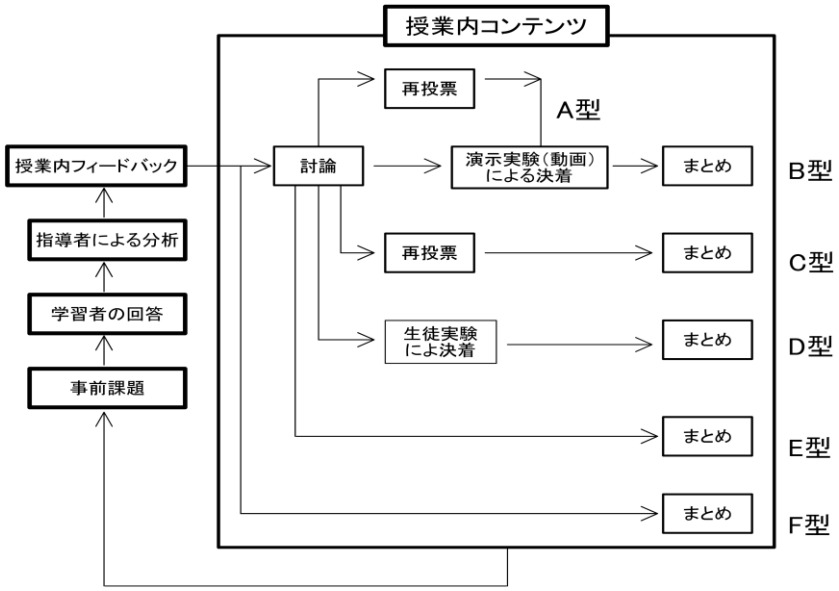


図２　授業内コンテンツの５つのステップの進行手順

参考文献

[1] G. M. Novak et al. （1999）："Just-In-Time Teaching: Blending Active Learning with Web Technology"（Addison-Wesley Professional）.

[2]E.F.レディッシュ（2012）：「科学をどう教えるか」（丸善出版）.

[3]ライゲルース他編（2020）：「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）.

[4]落合道夫（2024）：高校「物理基礎」においてジャスト・イン・タイム教授法（JiTT）を活用した探究の事例紹介, 大学の物理教育, 30-2, 58-61.

[5]落合道夫、久保田真一郎、中野裕司（2025）：ジャスト・イン・タイム教授法を用いた 高校「物理基礎」の実践とその効果, 物理教育, 73-1, 10-15.

[6]落合道夫（2025）：主体的な学びを支える物理教育の「心構え」－JiTT を中心に－, 物理教育, 73-2 136-139.

4D-1

「残留磁化」は電磁石にクリップをつける実験で扱える

阿部幸夫
阿部科学教育アーカイブス(三重大学教育学部)
abekagku@gmail.com

1　はじめに

磁石は，児童・生徒にとって，科学に対する興味の入り口としてふさわしい教材だと思う。小学校３年生では永久磁石，５年生ではソレノイドに鉄心を入れて電磁石を学習する。私も少年期に「永久磁石ってどうやって作るの」「電磁石と磁石は本当に同じなのか」という疑問を持った１人だが，高校物理の中にもその答えはなかった。この疑問に今日の先生はどうお答えになっているのだろうか。小学校で扱う電磁石の実験の工夫によってその疑問に答えられないだろうか。その工夫について提案する。

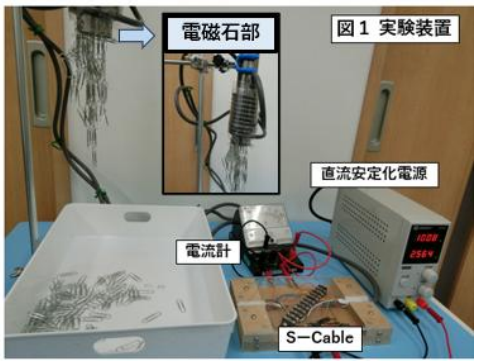


図１ 実験装置

2　電磁石にクリップをつける実験

(1)実験方法

表１の材料を使って図 1 のような電磁石の実験装置を組み立て,電流を増加または減少させながら鉄心の下部面についたクリップの数（質量）を測定する。鉄心は *40mm* 径の軟鉄棒に S－Cable（10 芯）を 10 回巻いた。授業では行わなくても，本稿の作成に当たり，確認のため鉄心の上部に磁気センサーを置いて，磁場の大きさも測定した。

表1　材料一覧

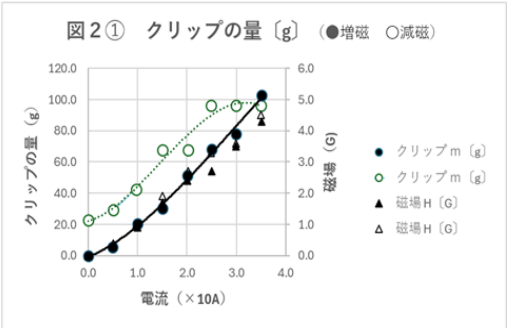
準備物	品名	規格	個数	備考
装置	直流安定化電源	30V-5A	1	LONGWEI製
	電流計	DC5A	1	NARIKA製
	鉄製スタンド	60cm支柱	1	YAMANAKA
	S－Cable	10芯線	1	正逆スイッチ付き
	磁気センサー	PS－2112	1	島津製作所
部品	クリップ	鉄	200	100円ショップ
	鉄棒(材質S45C)	40 φ ×25cm	1	重いので取扱注意
	トレー	プラスチック	2	100円ショップ
その他	島津Airlink(アプリSparkvue)			

①電流を 0.5A ずつ増加させ，鉄心についたクリップの数（質量）を測定する。ただし，吸着したクリップはすべて取り外し，質量を測定したのち，0.5A 電流を上昇させ，再度クリップをつけなおす。鉄心だけの磁化の状態を知るためである。

②電流を減少させるときは、電流を 3.5A まで上げ，クリップをできるだけつけてから，電流を 0.5A 刻みで下げつつ，途中で落下したクリップの質量を測定して，該当する電流値でついているクリップの質量を調べる。鉄心の磁力の保持の様子を知りたいからである。

(2)実験結果

実験結果を図２①に示す。再現性の確認のため実験は６回行ったが，類似した傾向を示した。紙面の関係上，本稿掲載は３回分のグラフにとどめた。●○がクリップの質量（左縦軸〔g〕）、▲△が鉄心上部の磁場の強さ（右縦軸〔G〕）である。実線は電流を増加した時、点線のグラフは電流を減磁した時の結果である



（傾向に鑑み 3 次関数をフィット）。グラフからは，次のことが読み取れる。
①電流を大きくしていくと，電磁石は強くなっていく。
電流を下げていくと電磁石は弱くなっていくが電流が $I=0$ となっても、「磁石の強さ」は
② 0 にはならず，クリップをつける力は残っている。
③鉄心上部での磁場の測定値は，同じ大きさ電流でもクリップのついているほうが大きな値が出ている。吸着されているクリップが鉄心の役割をしている影響かと思われる。

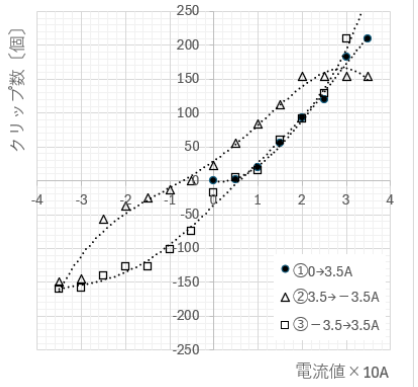
(3)考察

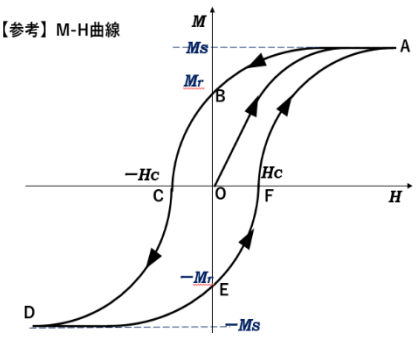
物理学上の「磁化」についてであるが，小学校 5 年生で学習する「電磁石の強さ」をクリップの数（質量）で測定して「磁化」に置き換えるのは無理がある。しかし，電流の強さや巻き数が大きくなれば電磁石の磁力は強くなることを示すことができる。高校でも中空ソレノイドの磁場は $H=nI$（近似式），磁束密度は、$B=\mu_r\mu_0 H$ という式が紹介されているだけで，小学生の持つ「なぜ」には答えられていない。本実験は「３まとめ」で触れるように，結果は疑似的 M-H 曲線であるにしても，永久磁石のでき方（残留磁化）について説明できる教材と考える。

３　まとめ　～クリップ実験の限界はあるが・・・～

一般に，外部磁場による磁性体のレスポンスは，磁化曲線（【参考】M-H 曲線）または B-H 曲線によって議論される。実験では，磁性体を鉄心とする相互誘導の装置を作り交流を流してオシロスコープで表示する。図 3 は，今回の実験装置で S‐Cable に極性を切り替えるスイッチを加え，電流値が０A になったところで直流の向きを変えて極性を変えた実験結果である。極性が逆になった場合も残留磁化は生じていることが分かる。ただし，極性を変えた後のクリップ数は負としてカウントしている。縦軸をクリップ数で磁化 M を，横軸に電流をとって外部磁界 H を代替えさせているが，類似傾向は見られる。厳密に磁性の原因に踏み組むと，ビオサバールの法則や磁気スピンまで，大学の磁気物性を待たなければならない。しかし，5 年生のクリップと電磁石を使った実験は磁性を学ぶ入り口としても適切な教材であると評価できる。それだけに児童生徒の「なぜ」に答えたいが，奥が深く悩ましいところだ。その分，生徒・児童個々に応じて対話しながら共に考えていける面白いテーマであると思っている。

図３　クリップ数ー電流曲線





参考文献

わくわく理科５　大隅良典　石浦章一　鎌田正裕著　　新興出版啓林館　2014 年
物理学基礎　原康夫著　学術図書出版　2016 年

4D-2

レンズを通して見える実像に注目した光学台の作製

[A]深澤優子，[B]大橋咲栄，[A]鈴木康文
[A]大阪教育大学教育学部，[B]大阪教育大学教職大学院
yukofu@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

１．はじめに

物体から出た光がレンズを通るときの進み方は中学校第一学年で学ぶが，凸レンズを通した物体の目での見え方は，実像について触れてはいるものの，その説明の多くは虚像に重点がおかれる。高等学校物理においても同様で，凸レンズを通る光の進み方の作図や焦点距離の計算が中心となる。我々は，中学校，高等学校の理科教員免許に必要な物理学実験科目を担当しており，「レンズの焦点距離」を実験テーマの１つに選んでいる。実験を指導する中で，凸レンズが結ぶ実像はスクリーンを介してのみ見ることができると認識している学生が多いこと，さらに，実像が結ばれる位置からレンズから離れる向きへスクリーンの位置を移動させると，スクリーン上の像の大きさが大きくなると考える学生も一定数いることに気づいた。スクリーンをレンズから離すと「像が大きくなる」という考え方は，光の進み方の作図で，実像の位置で集まった光がその後広がることから連想したものと推察される。文献１でも，高校で物理を選択した理系学生であっても，凸レンズを通る光の作図はできても意味まではわかっていないという傾向が見られたと報告しており，作図の経験が逆に誤った考えを生じさせている可能性もある。このような経験から，光の進み方と実際のものの見え方に実感を持って関連性を見出せるような体験ができる実験が必要と考え，実像の見え方に注目した光学台を作製した。

作製にあたり，大学生の光やものの見え方に対する考え方の実際を知るため，大阪教育大学の理科教育学コースの学生を対象としたアンケート調査を行った。調査は物理の基礎的な内容を学ぶ講義の中で実施し，回答者 57 名は一部に 2 年次以上を含むが主に 1 年次の学生である。調査時，講義の進度は光に関する内容には達しておらず，学生は中学校や高校で学んだ知識や経験で回答した。詳細は省くが，凸レンズの実像がスクリーンに結像しているとき，スクリーンを外して光軸上からレンズを見るとどのように見えるかという問いに「像は見えない」と答えた学生は 14%，「わからない」が 7%であり，「スクリーン上と同じ向きで同じ大きさの像が見える」と正しく回答した学生は 19%だった。また，スクリーンをレンズから離すと像はどう変化するかの問いには 60%の学生が「像は大きくなる」と回答した。これは正しく回答した学生の 25%を上回り，これまでの経験を裏付けるものになった。

２．光学台の作製

「実像の見え方」に注目し，凸レンズを通して見える実像の大きさを，カメラを使って測定することでスクリーンを用いずに焦点距離を測定した。図１のように，光学台に物体（光源），凸レンズ，PC に接続したカメラを配置し，カメラで撮った実像を PC のディスプレイに映した。光学台のスケールで測ったカメラの位置を L [mm]，定規で測ったディスプレイ上の実像の大きさを l [mm]とし，実像が生じる位置を L_r [mm]とする。物体の見かけの大きさは物体と観察者との距離の逆数に比例して小さくなることから，比例定数をαとして次の式が導かれる。

$$l = \frac{\alpha}{L - L_\mathrm{r}}\text{，変形して，}L = \frac{\alpha}{l} + L_\mathrm{r}$$

この式からカメラの位置を変えて実像の大きさを測り，縦軸を L ，横軸を $1/l$ として図にプロットし，近似直線を求めれば，切片のL_r ，すなわち，実像が生じる位置が求まり，レンズの式から焦点距離がわかる。

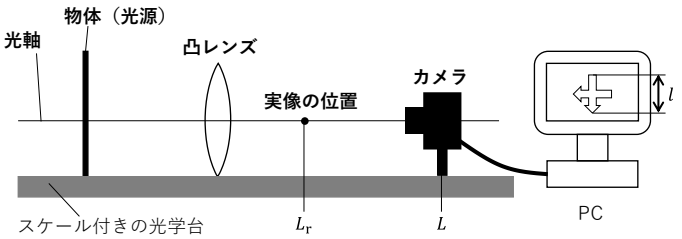


図１　測定の概要

作製した光学台は，光源，直径 50mm で焦点距離が約 100mm の凸レンズ，狭角 Web カメラ（400-CAM103，サンワサプライ）とそれらを並べ，距離を測るためにスケールを貼った長さ 1400mm のアルミフレームからなる。光学台の光源は図２(a)のように，黄色の LED を十字に並べ，縦線の上端右に青色 LED，横線の左端上に緑色の LED を配置して実像が上下左右反転することがわかるようにした。十字の大きさは縦横 30mm である。実際の実像の位置を確認するためにスクリーンも準備した。図２(a)～(c)はそれぞれ，光源とカメラの位置を固定して撮影した(a)の光源と，(b)はそこにレンズとスクリーンを挿入し，(c) は(b)からスクリーンを外して撮影したものである。これらを示すことで，学生にスクリーンにあらわれる実像と，スクリーンなしで見る実像の向きや大きさが変化しないことを実感させることができる。今回は光源やスケール付きの台などを手作りしたが，通常の光学台にカメラを置くことができれば同様の実験は可能である。



図２　光源とその実像の見え方

３．測定

作製した装置を使って，実像が現れる位置を測定した。光源を 50.0mm，レンズの位置を 450.0mm に固定したとき，スクリーンで観察した実像の位置は 581.0mm（焦点距離は 99mm）であった。スクリーンを外し，カメラの位置を 800 から 1100mm まで 50mm 刻みで変えて PC ディスプレイに映した実像の長さの測定結果を図３に示す。図３の切片は 585mm（焦点距離 101mm）となり，スクリーンの位置とほぼ一致した。レンズの位置を変えて同様の測定を行ったが，スクリーンの位置とのずれは 10mm 以内であった。今回使用したレンズの直径が小さいため，実像がレンズの直径と同程度やそれ以上になると，レンズ周縁部の曲面で像がひずみ，測定が困難であった。また，LED の輝度が高く映像が白とびすることがあった。これらの調整が必要である。

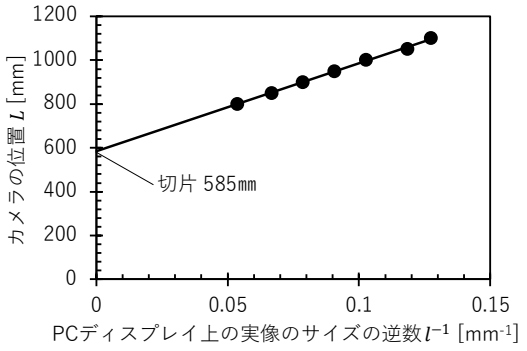


図３　測定結果

４．まとめと今後

物理学実験科目での活用を目指し，スクリーンを使用しないで焦点距離を求めるための光学台を作製し，測定が可能であることを確認した。今後はレンズの選定や LED の明るさ等の微調整とともに，物理学実験で使用する際の指導法を探り，学生らへの教育的な効果を確認する予定である。

参考文献

[1]山下修一(2011)： 理科教育学研究 51(3)，145-157.

4D-3

アナロジーによる物理イメージの伝達

栗田和好
立教大学理学部
k_kurita@rikkyo.ac.jp

１．はじめに

高校生や大学生が学校教育で物理学を学ぶ意義とは何だろうか。物理学の面白さを理解できるようになることは確かにその後の人生を豊かにしてくれると考えられるので十分な意義があると思われる。また、科学的思考力を身につけるためといわれているが、変化のスピードが加速している現代社会を生き抜くための基盤的な素養としてその習得は必須なものになっていると考える。

一方、我々の生徒・学生 の卒業時の修得度を評価してみるとどうであろうか。物理を楽しむ指標や科学的思考力の修得度の基準が定められているわけではないので印象の域を出ないが、個人的には社会に出てその素養を伸ばしていくには不十分と評価せざるを得ない。本稿では主として科学的思考力に話を絞り若者が現代社会を生き抜く基盤的素養を活用していけるような具体的・現実的な働きかけについて提案しようと思う。

２．物理学の智恵の活用

まず本稿で使う「智恵」という言葉に込めた意図を述べる。物理学の法則を知っていることや公式を記憶していることをここでは「知識」と呼ぶ。「知識」と「智恵」の違いは「知識」が知っていることなのに対して「智恵」はその本質を理解して活用することができるという意味である。特に正解が無かったり、分かっていない問題のアプローチについて予想を立てながら進める態度を「智恵」に込めている。

一般に物理学の探求手法の特徴は対象を極限まで単純化して本質をあらわにした物理モデル（仮説）を作成し，その予言を実験結果と定量的に比較して検証することにある。生徒・学生たちはその一部を高校の探求活動や大学の卒業研究で体験をすることができるかもしれない。しかし，たとえ得た知識を物理学の問題解決に活用できるようになったとしてもそれを物理とは異なる分野で使えるとは限らない。なぜならば人は多くの場合に与えられた状況設定（コンテクスト）に依拠して学びとるため、そのコンテクストから離れたところでその智恵の有効性に思い当たることがないためであると推察する。

そこで物理学の学びを通して社会を生き抜く基盤的素養としての科学的思考力を修得する過程には２段階の目標があると考えられる。最初の段階の目標は物理学の知識を活用して物理学の課題解決に役立てることであり、２段階目の目標は物理学が長い歴史の中で培ってきた人類の叡智を自然科学以外の分野に活用することである。

３．アナロジーについて

前節では物理学の智恵の活用が意味するところを述べたが，具体的かつ実現性のある働きかけとして創造性を重視したアナロジー（類推）の活用を提案したい。アナロジーの利用の目的として１．自分の理解　２．他人への説明　３．新しい発想，の３つが挙げられる[1]。多くの教員は物理の概念を説明するのにたとえ話を使った経験があるはずである。そのたとえ話はアナロジーを含んでおり新しい概念をすでに知っている事物につなげて理解を促すものである。以下には大学の授業で実際に使用したアナロジーをいくつか紹介して、生徒・学生に説明する例を示すが、同様のアナロジーを思いつくためのアイディア出しを小グループで行わせるなどの活動は、自分の理解を深め、新しい発想に気づくきっかけを与えるのではないかと推察する。また、生徒にアナロジーを使った説明を促すことで理解度を推し量ることも可能であろう。その意味で、アナロジーを活用するトレーニング は本質を理解するのに役に立つだけではなく、異分野の相互関係が類似した課題をつなげてくれる可能性が期待できる。ただし、注意したいのはどんな場合でもアナロジーが役に立つわけではなく、時に適用範囲を逸脱した誤用もありうるので、その限界も意識した活用が必要であろう。

４．アナロジーを使った説明の紹介

授業で説明に使ったアナロジーの例を紹介する 。 突飛なアナロジーは小話的な驚きがあり、生徒・学生の興味を引き出すのに役立っていると感じている。

１）極座標とリンゴの皮むき：方位角 θ が π で終わる理由，$d\phi$ に $\sin\theta$ が掛かる理由

２）原子の電子雲と波紋：波紋はどこに有る？という問いから電子の拡がりを説明

３）電子の制動放射とぬれ雑巾：

５．まとめ

現代社会を生き抜く基盤的素養としての科学的思考力の習熟を目指す本稿の提案は現段階では羊頭狗肉のそしりをまぬかれない。また、その効果が検証されたものでもなく，思いつきの範囲を抜け出ない無責任な提案であることは自認している。ただ、難しいから何もしないということではなく、本質的に大切な要点に直接的に働きかける具体的で実現可能な実践から学ぶ態度が重要である。生徒・学生さらには教員の発想の柔軟性を促進するためにもアナロジーを活用した物理教育は大きな可能性を秘めていると考える。若い人の発想の柔軟性が高いことは明らかであるが，アナロジーを使って抽象的物理概念を身近な例につなげる経験は物理に苦手意識を持つ生徒にも励みになる可能性がある。物理教育を大切に思っている多くの会員の方々と意見を交換しながら草の根運動的に壮大な目標の実現可能性をみいだしていけたら幸いである。

参考文献

[1]細谷功，「アナロジー思考」，東洋経済新報社（2011）．

4D-4

生徒の主体的な学びを育むための理科学習指導
-「運動とエネルギー」単元の自由進度学習を通して-

[A,B]松尾健也，[B]福島洋二，[A]石原諭
[A]兵庫教育大学大学院，[B]大野城市立平野中学校
p24070i@hyogo-u.ac.jp

１．研究の背景および目的

中央教育審議会は，「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す，個別最適な学びと，協働的な学びの実現～(答申)を示した．この答申では，知識・技能の習得にとどまらず，思考力・判断力・表現力等の育成や，学びに向かう力，人間性の涵養が重視されている．とりわけ「主体的に学習に取り組む態度」の育成が，これからの時代に求められる資質・能力の一つとして位置づけられている．学習者が自ら課題を見つけ，学び方を選択し，振り返りを通して自己の成長を実感できるような学習環境の整備は，この態度を育む上でも重要である．[1]

このような現状を踏まえると，すべての子どもが自らの学びを深め，成長できる環境整備が必要である．その実現に向けた具体的な方策として，ICT の活用や少人数指導体制の整備により，「個に応じた指導」を学習者の視点から再構築し，「個別最適な学び」と「協働的な学び」を一体的に充実させる取り組みが進められている．

特に，本研究ではこれらの視点を融合した授業形態としての「単元内自由進度学習」を行うことは意義があると考え，本主題の設定に至った．

２．方法

1．対象と期間

本研究は，公立中学校第３学年２クラス（８４名）を対象とした．授業計画の立案から実施，記録，観察，ならびにデータ収集までの全過程を第一筆者が担当した．生徒一人ひとりが自分のペースで学びを進められるような環境づくりを重視し，ICT を活用した自由進度学習の実践を行った．授業は 2025 年６月下旬～2025 年７月上旬にかけて行った．

2．学習単元の指導方法

単元名は中学校理科第３学年エネルギー分野「運動とエネルギー」である．本単元では，理科の見方・考え方を働かせて，物体の運動とエネルギーについての観察，実験などを行い，力，圧力，仕事，エネルギーについて日常生活や社会と関連付けながら理解させるとともに，それらの観察，実験などに関する技能を身に付けさせ，思考力，判断力，表現力等を育成することが主なねらいである．[2] 授業計画を表１に示す．

第１時では，まず初めに教員によるガイダンスを行い，今後の見通しを立たせる．第２時から第８時まで単元内自由進度学習を進める．学習プリントや板書を予め ICT に掲載し，生徒がそれぞれ自由な進度で活用することができるようにする．途中，第５時ではチェックテストを行い，生徒の習熟度を測定する．第９時では，運動とエネルギーに対しての単元テストを行い，全体の総括を行う．生徒の進捗状況を確認するために，終わった学習プリントをロイロノートに写真を投稿させる．

表１　本研究における単元の指導計画

時	学習活動
1	・教師によるガイダンス，アンケート
2 3 4 5 6 7 8	・理科における仕事について理解する ・２種類の滑車の仕事を求めることができるようになる ・仕事率を求めることができるようになる ・チェックテスト（第５時） ・位置エネルギーがどのようなエネルギーか理解する ・運動エネルギーがどのようなエネルギーか理解する ・位置エネルギーと運動エネルギーの関係性について理解する ・理科における様々なエネルギーについて理解する
9	・単元テスト，アンケート，振り返り

３．調査

主体的に学習に取り組む態度の変容を把握するために，平澤・久坂［3］が作成した評価指標を参考にして，事前事後調査を第１時のガイダンス時と第９時の授業内で実施した．調査は，「粘り強い取組を行おうとする側面」（表２）と「自らの学習を調整しようとする側面」（表３）の２側面で構成されている．また，自由進度学習に関する事後調査を北濱・小林［4］が作成した評価指標を参考にして，自由進度学習の実施後の第９時の授業内で実施した．（表４）

本調査にはMicrosoft Formsを使用した．５件法を用い各項目について肯定的な回答から順に５点～１点を付与して単純集計によって分析を行った．また，回答は理科の成績と一切関係のないこと，得られた結果は研究の目的以外では使用しないことを文面と口頭で伝えた．

表２　粘り強さ尺度の調査

質問項目
1. 理科の授業で，難しいと感じることがあっても投げ出さず，問題や課題と向き合っている
2. 難しい課題に直面したとき，投げ出さず最後まで取り組もうとしている
3. 授業を通して明確な答えが分からなくても，納得できるまで学習しようとしている
4. 授業の中であまり理解できなかったところは，授業後に自分で理解しようと努力している
5. 常に学習課題や解決したい疑問を意識しながら授業に取り組もうとしている
6. 自分の考えが他者に伝わるように，根気強く説明したり，説得したりしようとしている
7. 話し合いでは，より良い考え方を求めて深く考えようとしている
8. 答えや考えが思い浮かばないとき，自分なりにわかるところまで表現し考えようとしている
9. 他のことに興味や関心が移ったりせず，１つのことを徹底的に追及しようとしている

表３　自己調整尺度の調査

質問項目
1. 理科の授業でわかったことが，日常生活やこれからの学習にどのように活用できるか考えるようにしている
2. 理科の授業後に，今回学んだことに対して新たな疑問点などを見つけるようにしている
3. 学習内容や身の回りの現象に対して新たな疑問点などを見つけるようにしている
4. 友だちと自分の意見を比較しながら，より良い考えを生み出そうとしている
5. 授業前と授業後で，自分の考えがどのように変わったか考えるようにしている
6. 課題を解決するときは，目標を明らかにしてから取り組もうとしている
7. 理科の学習を通して，どのような力を身に付けたいか考えるようにしている
8. 理科の学習を通して，どのような力を身に付いたか振り返るようにしている
9.　理科の学習中に自分が分からないことは何かを考えるようにしている

表４　自由進度学習の調査

質問項目
1. 自由進度学習の方が学びやすいと感じる
2. 自由進度学習の方がわからないところを自分がわかるまで取り組むことができる
3. 自由進度学習の方がわからないところを友だちに相談することができる
4. 自由進度学習の方が友だちに学習内容について教えることができる
5. 自由進度学習の方が先生に学習内容について質問することができる
6. 自由進度学習の方が学習に集中することができる
7. 自由進度学習の方が実験の予想を立てることができる
8. 自由進度学習の方が実験の計画を立てることができる
9. 自由進度学習の方が実験に取り組むことができる
10. 自由進度学習の方が実験結果をもとに考察することができる
11. 毎時間取り組む内容を自分で決めることができた
12. 自分で立てた目標の達成に向けて取り組むことができた
13. 自分で立てた目標が達成できたかを振り返ることができた
14. 学習の手引きは学習の見通しをもつのに役に立った

参考文献

［1］文部科学省（2021）:「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す，個別最適な学びと，協働的な学びの実現～答申.

［2］文部科学省（2017）：中学校学習指導要領解説 理科編，52.

［3］平澤傑，久坂哲也（2021）：中学校理科における「主体的に学習に取り組む態度」の評価指標の開発，理科教育学研究，62，１，149-157.

［4］北濱康裕，小林祐紀（2023）：中学校理科において自由進度学習を取り入れた授業設計が主体的に学習に取り組む態度と学習内容の理解に及ぼす影響スライド作成アプリを活用したデジタルワークシートを用いて，茨城大学教育実践研究，42，221-234.

4D-5

物理教育シンポジウムがもたらす効果

土佐幸子
新潟大学教育学部
stosa@ed.niigata-u.ac.jp

１．はじめに

2012 年に中教審答申[1]で大学教育の質的転換が唱えられて以来、全国の大学でアクティブ・ラーニング（AL）型の講義が積極的に実践されるようになった。2022 年の資料［2］によると、全国 178 の大学のうち 96%が、学生同士の話し合いなどを含む AL 型の講義を提供しているという。しかし、大学物理の講義において、話し合いを含めれば学生が内容を理解できるかというと、そう簡単ではなく、効果的な指導方略について、教員が互いの実践方法を共有したり、議論したりする機会の重要性は高い。このような状況にあって、新潟大学理科教育学研究室は、講演と模擬授業を含む物理教育シンポジウムを 2015 年から継続的に開催してきた。AL 型物理指導法に関する情報共有と議論の機会を提供することを通して、シンポジウムが教員の意識を高めることに貢献してきたことが示唆されている［3]。本発表では 2025 年 3 月に開催された物理教育シンポジウムに焦点を当てる。参加者（N=20）から挙げられた物理講義に関する困りごとは、多方面に及ぶ。それらの改善策に関する議論を通して、どのような方向が全体として見出され、参加者の学びとなっていったかについてデータを基に探ると共に、シンポジウムがもたらした効果について考える。

２．方法

データ収集：本発表では、2025 年 3 月開催の新大シンポジウムで収集されたにホワイトボードの記述と事後アンケート回答をデータとする。シンポジウムに参加したのは 20 名の高校及び大学の物理教員である。ホワイトボードは、困っていることと改善策について（図 1）と、シンポジウムを通しての学びについて、それぞれ 4 グループから集めた 8 枚の記述である。事後アンケートの項目はシンポジウムの有効性に関して 4 件法で回答する問いと、有効性と形態について問う自由記述 2 問から成る。

データの分析方法：ホワイトボードの記述とアンケート回答の自由記述について、質的研究法を用いてコード付けを行い、困りごとの傾向と参加者の意識変化を探った。

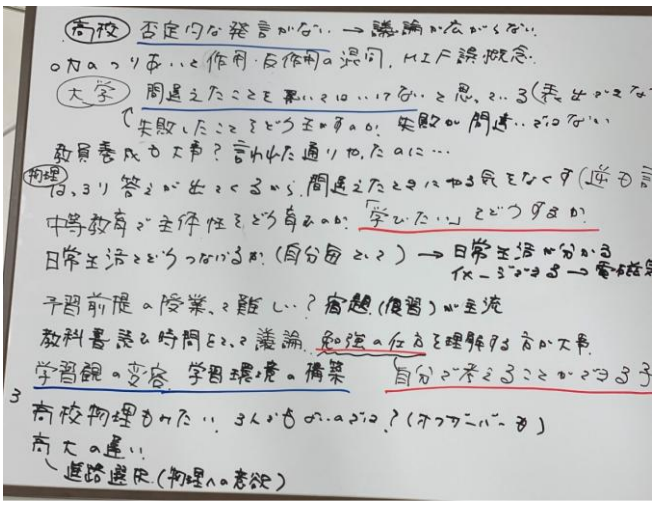


図 1　困っていることと改善策に関するホワイトボードの記載例

３．結果と考察

ホワイトボードとアンケート回答の分析結果と考察：8 枚のホワイトボードの記述について、コード付けを行った結果、10 のコードが特定された。困っていることに関するボードと、学びに関するボードについて、コードごとに出現数を表した棒グラフを図 2 に示す。困っていることについて、教科内容と指導法に関する指導方略、及び高校物理の履修状況や予習をしてこないなど、

学生に関する事柄が多く挙げられた。一方、シンポジウム終盤の学びに関する記述では、教員自身の態度に関するものと指導方略に関するものが多くを占めた。特に、「教師にできることは環境の整備、学習観を変えること」、「学生が自ら考える学習環境をいかに構築するかが最大のテーマ」というように、学習者主体の学習において教員は支援者である、とする視点が多くの参加者に捉えられた様子がうかがえる。また、指導方略に関しては、学習者に自分の学びについて自覚を促すメタ認知の重要性が多く挙げられた。

アンケートでは 95%が「とても有意義だった」と回答した。その理由に関する自由記述の分析では、「いろいろな実践方法」(9)、「指導方略の見直し」(7)、「悩みの共感」(3)、「期待する学習者の姿」(2)、「教師の成長」(1) の 5 つのコードが特定された。括弧内の数字は出現回数を示す。

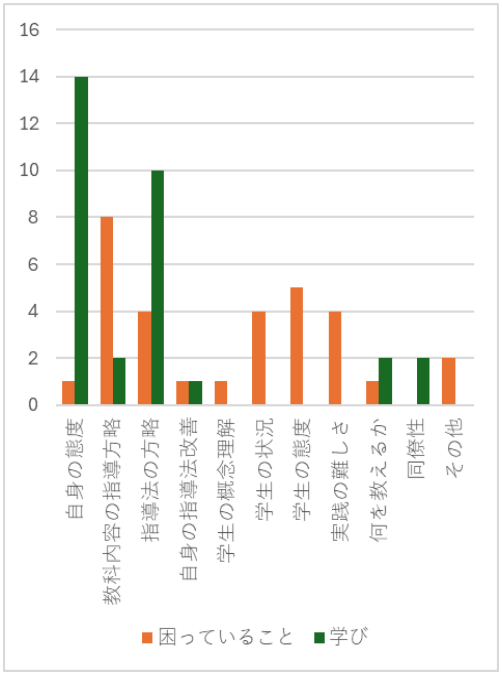


図 2　ホワイトボードの記述に関するコードと出現回数

4．まとめと今後の展望

シンポジウムの効果について、1 番目に多様な実践方法を共有する機会となったことが挙げられる。自分一人では思いつかないような指導方法を、実際に使って講義を行っている様子を聞き、自分でもやってみようという気持ちになる。2 番目には指導方略の見直しが挙げられる。学生に自分の良い学びを自覚させるメタ認知の重要性や外的動機付けを効果的に用いる例などについて聞くことにより、自身の指導方略を見直す機会を提供したと思われる。さらに 3 番目として、教員の意識にもたらしたインパクトが挙げられる。シンポジウムを通しての学びについて、多くの参加者が、学習者主体の授業をどのように支援できるかを考えることが教員の役割であると書いていた。これはシンポジウムに教員の意識変革をもたらす効果があったことが示唆されたと考えられる。

加えて、本シンポジウムのように時間をかけてじっくり話す機会を設ける重要性が挙げられる。学会などでは発表における質疑応答の時間は限られており、十分な議論の時間が確保されていない。また、学会の発表や講演などでは、成功例を聞くことが多く、悩みや困っていることを聞くことが少ない。教員の「生の声」を聞けたのが有意義だったとアンケートで述べた参加者もいた。具体的な問いかけや展開は、トピックや学生によって異なるため、一般的な処方箋を提示することは難しいが、実践例の提示によって、具体性を帯びた議論が可能になったと言えよう。

本研究では、シンポジウムの成果を踏まえ、教員同士が講義を見合うメンター制の導入により、学生の学びを深める指導方略についてさらに知見を蓄えることを進める。

付記・謝辞　本研究は JSPS 科研費 24K00464 の助成を受けている.

参考文献

[1] 文部科学省：新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～（答申），2012 年

[2] 文部科学省：令和 4 年度の大学における教育内容等の改革状況について，2022 年

[3] 土佐幸子：AL 型物理講義への改革の成果と課題－新大シンポジウム開催 10 年を振り返って－，日本物理教育学会 2024 年度年会予稿集，2024 年

原著講演

8月12日

5H-1

数値／文字の出題形式の違いによる学習者の理解度の違いに関する研究

板橋　克美
崇城大学総合教育センター
itahashi@ed.sojo-u.ac.jp

１．はじめに

平成 27 年度の国立教育政策研究所の高校生を対象とした調査によれば，「各科目の学習（勉強）が好きか」という質問に対して，「物理基礎」の肯定的な回答の割合は 26%程度にとどまっており，他教科に比べて極めて低いことが報告されている[1]。また，文献[2]において，「数学では物理ほど文字が乱立した式は出てこない」との指摘がある。確かに，中等教育での数学では，具体的な数字を当てはめて計算していくことがほとんどであり，それに対して，高等学校「物理基礎」の最初の単元で，等加速度直線運動の式 $v = v_0 + at$ のように，加速度を a，速度を v，初速度を v_0，時間を t のように，物理量を文字でおくことになる。加えて，筆者が授業をしていても授業アンケートで学生から「物理の問題は文字で出題されるから難しい」という旨のコメントもあり，数値／文字の出題形式の違いが物理の困難性に起因しているのではないかと考えた。本研究では，物理の問題における，数値か文字での出題形式（以下，数値／文字）に着目し，「物理の問題に対して学習者は数値と文字のどちらで出題された方が正答しやすいのか，また，正答率は学習者の認知段階に依存するのか」という問いに対する答えを明らかにすることを目的とする。

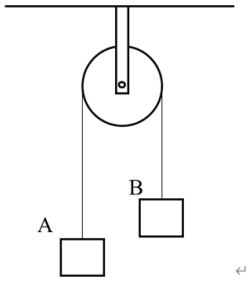
２．調査問題と調査の方法

調査問題は表に示す 2 種類のパターンに対して，2 問ずつ用意し，それぞれの問で数値と文字で示されたテスト①と②を用意した。パターン 1 は連立方程式の問題で，問 1 が運動方程式，問 2 が力のつり合いである。パターン 2 は二次方程式の問題で，問 1 が 1 次元の運動，問 2 が位置エネルギーである。これらパターン 1 と 2 のテスト①もしくは②をランダムに配布し，被験者一人につき 2 パターンのテスト（計 4 問）を解かせた。ここで，それぞれの問いに対して，(1)〜(3)までで自由体図を書かせる問や文字／数値での立式の問などを用意し，最後の(4)で張力や加速度などの物理量を文字／数値で求めさせた．図に出題例を示す。また，認知段階の調査についてはピアジェの認知段階の研究を基にして Lawson が開発した Classroom Test of Scientific Reasoning（CTSR）[3]の和訳版を学生全員に回答させた。

表．パターン 1 と 2 ならびにテスト①と②における出題内容と出題形式

	パターン１：連立方程式		パターン２：二次方程式	
	問１ 運動方程式	問２ 力のつり合い	問１ 鉛直投げ上げ	問２ 位置エネルギー
テスト①	数値	文字	数値	文字
テスト②	文字	数値	文字	数値

問 1
図のように，なめらかに回る軽い滑車に軽くて伸びない糸をかけ，糸の両端に質量 5.0 kg，2.0 kg の小物体 A，B をつけて静かにはなした。A と B の加速度の大きさを a，糸が引く力の大きさを T，重力加速度の大きさを 9.8 m/s² とする。



（1）上の図の中に A と B に働く力をすべて図示せよ。ただし，それらの力には何の力か言葉と数式を両方書いておくこと。

（2）A と B はそれぞれどちら向きに動くか。

（3）A と B の運動方程式をそれぞれ立てよ。ただし，力と加速度は動く向きを正とする。

（4）加速度の大きさ a と糸が引く力の大きさ T をそれぞれ求めよ。

図．出題例（パターン 1、テスト①の問 1）

なお，数値の問題において，計算結果はすべて割り切れるように設定している．

調査対象者は私立 A 大学・国立 B 大学の 1 年生を対象に実施した。実施時間パターン 1 と 2 を合わせて 30 分程度，CTSR を 30 分で実施した。また，対象者へは謝礼を支払った。

分析に関しては，数値／文字が解きやすさに影響していることを調べるために，(4) の正答率を調べ，(4) の正誤に対して，カイ二乗検定とフィッシャーの直接確率検定を実施する。また，正答率CTSRとの相関についても検証する。

３．おわりに

今年度の調査結果，ならびに CTSR との相関などについては、講演にて報告する。これらの結果を通して、入試問題における出題形式に関する指針を得ることができる他，数学教育と物理教育の連携，とくに中等教育におけるこの 2 つの間の橋渡しとして何が必要かについて議論することができると考えている。

参考文献

[1] 国立教育政策研究所 「平成 27 年度高等学校学習指導要領実施状況調査の結果のポイント」
Retrieved from https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h27/h27/h27csr_point.pdf（accessed 2025. 1. 17）

[2] 熊倉啓之 数学教師から見た物理　大学の物理教育 38（1996）38

[3] A. E. Lawson（1978）： The development and validation of a classroom test of formal reasoning， J. Res. Sci. Teach.，15-1，11-24　和訳版：笠潤平・谷口和成（2013）物理教育研究大会予稿集 30

5H-2

動画や音声を用いた物理の問題作成 ～授業やテストなどでの活用へ向けて～

今和泉 卓也
筑波大学附属駒場中学・高等学校
imaizumi.takuya.gf@un.tsukuba.ac.jp

１．生徒１人１台端末時代における「物理の問題」の可能性を考える

中学校や高等学校において、ここ数年で 1to1（生徒１人１台端末）による学習がかなり広まっており、端末を用いた授業実践も多数報告されている。このような流れの中、問題演習やテストにおいても、端末を用いた事例がそのメリットを生かした形で事例が広く共有されていくことが望ましいだろう。すでに令和 7 年度全国学力・学習状況調査の中学校理科の調査問題[1]では、CBT 化がなされており、動画の問題が出題されている。今後、高校でも実施されていく流れになるであろう。

こういった局面において大事になってくると考えるのは、ペーパー問題あるいはペーパーテストをそのままデジタル上に焼き直すのではなく、端末の特性を生かした（ペーパーでは実現困難な）物理の理解に資する事例を提案していくことである。ペーパーで行う場合と端末で行う場合で明らかにそれぞれの“得意分野”は異なっているのだから、これまでのペーパーによる形式にとらわれず（可能な限り自由に物理を愉しむ姿勢をもって）、端末だからこそ実現できる新たな問題を考案していくことは意義深いと考えた。

このような背景もあって以前から、勤務校において端末を用いた定期試験を行いたいという想いを持っているが、実際に行うとなると、校内のネットワーク帯域不足、BYOD 端末の場合の生徒間“端末格差”、試験監督の負担など、障壁はまだ数多く存在しているのが現状であり、私自身は未だ実施できていない。だが、CBT ではなく現行のペーパー形式においても、プロジェクタやスピーカーを用意すれば、音声や動画の問題を出題すること自体は可能である。そこで、複数年度にわたって勤務校において音声ならびに動画の問題を出題し、その結果も検討してみたので報告する。

このような DX 教材を開発・実践し、その結果をクリティカルに検討して改善を重ねていけば、いずれ端末を用いた問題演習などが主流となった場合にも、物理の理解に資する問題をスムースに導入できるだろう。長い時間を経て凝り固まってしまった“演習問題的演習問題”をいったんほぐして、本質的な物理の理解に資する問題へと改善するチャンスであるとも思う。

２．実際に作成した音声問題・動画問題

今回作成したのは、音声の問題と動画の問題である。

まず、音声問題（リスニング問題）であるが、やはり端末の特徴として、音波が出力できるということがある。そこで、既知の周波数のサイン波と未知のおんさによるうなりを聞かせて、おんさの周波数を見積もらせるという問題を出題した（図１）。従来のペーパー形式でのうなりの問題だと「周波数の差を求めればよい」という“解法”を暗記してしまえば、うなりという物理現象を経験したことがなくとも、与えられた問題情報から操作的に求まってしまう。だが、実際に音声として聞かせることでまさに物理現象としてとらえる必要性が出てくるため、うなりがどういう現象なのかを経験したことのない生徒は解くことが難しくなる。

1　「リスニング問題」

問１　おんさに関する音声を聞き、その後の問いに答えなさい。なお、**おんさはそれぞれ２回ずつたたかれます。**

ア　340Hz 以上 345 Hz 未満
イ　「345 Hz 以上 349 Hz 未満」あるいは「351 Hz より大きく 355 Hz 以下」
ウ　「349 Hz 以上 350 Hz 未満」あるいは「350 Hz より大きく 351 Hz 以下」
エ　350 Hz ちょうど
オ　355 Hz より大きく 360 Hz 以下

図１　実際に出題した物理リスニング問題（左）と問題音声（右：QR コード）

また、動画問題では力学分野と波動分野を出題した。波動問題では、授業で行った実験中に生徒たち自身が撮影した定在波などの波の特徴的なようすを表した動画を用いた問題を作成した。とりわけ波動分野においては、１次元的な波動現象でさえも２変数関数となり、紙面上に表現するのは難しい。しかし、動画となればそれは容易で、例えば「次のうち、定在波はどれか？」というシンプルな問いが出題できる（シンプルとはいえ、紙だけでの出題では難しい）。

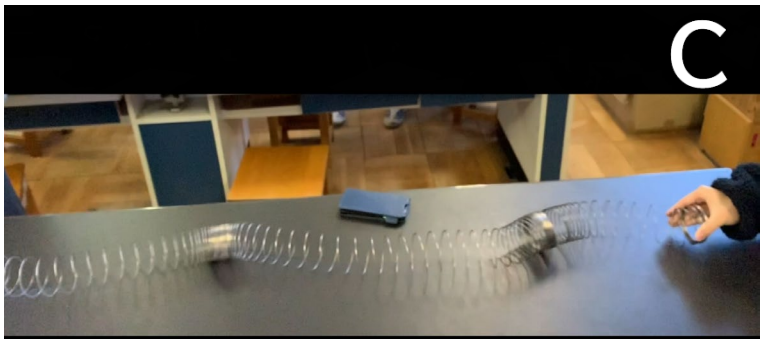


図２　定在波を問う動画問題の一場面

３．おわりに

自然科学である物理においては、高校でも実験を大切にした指導が重要であることはいうまでもないだろう。だがその一方で、周囲の先生の話を聞いたり、実際にいくつかの学校を訪問したりする中で、いまだ演習に偏った授業が展開されている学校が少なくないと感じている。1to1 時代を契機にして、演習問題の在りようをアップデートし、物理がわからなくても式を代入すれば解ける問題から物理をわかっていないと解けない問題へと質的に転換できれば、かえって実験の重要性が伝わっていくのではないかと思っている。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22H00085，JP21K18136 の助成を受けたものである。

参考文献

[1] 国立教育政策研究所,令和７年度全国学力・学習状況調査（中学校理科調査問題）
https://www.nier.go.jp/25chousa/pdf/25mondai_chuu_rika.pdf（参照 2025-7-12）

5H-3

生成 AI を用いた物理の答案採点

田﨑稜，梅田貴士，仁王頭明伸
広島大学大学院人間社会科学研究科
M251757@hiroshima-u.ac.jp

１．はじめに

近年の物理教育研究では，効果的な学習を行うには，学習内容の理解度に対して学期途中に形成的評価をすることが重要だと考えられている。評価手法として，多肢選択式問題は，効率的かつ簡便に学習者の知識を評価できる一方で，思考過程を把握することが難しい。これに対して，論述式問題は，生徒自身が自らの考えを整理し，問題で問われている物理法則から解答方針を立てる経過段階を論理的に表現する力を問うことができる。

また，形成的評価はその場で採点を行い，生徒に迅速なフィードバックをすることが理想的である。しかし，従来の教師が採点する論述式問題では，採点作業には膨大な時間と労力が必要である。そこで本研究は，生成 AI を活用した自動採点システムに着目した。自動採点システムでは，迅速かつ効率的に採点を行い，個別学習の支援ができる。

近年，このような問題を解決するための自動採点技術が注目されている。なかでも，小論文の採点などを対象としたエッセイスコアリングは長い研究の歴史を持ち，特に近年は生成 AI を活用した手法に大きな期待が寄せられている。しかし，物理学で自動採点を導入する際には，数値，数式，図，グラフが含まれる複雑な手書きの解答用紙を採点する必要がある。また，問題によっては多様な解法が存在する場合がある。したがって，これら物理学分野の答案の特性を考慮した自動採点方法を検討する必要がある。

以上を踏まえ，物理における論述式問題に対して生成 AI を活用した自動採点の可能性を検証することを本研究の目的とし，物理の論述式問題に対して，生成 AI が採点した結果と，人が採点した結果がどの程度一致するかについての検証を行った。

２．研究方法

2.1　問題選定

記述式問題では，2023 年度広島大学前期日程の物理基礎・物理入試問題から，大問 1 の力学問題を採用した。この大問は 5 つの小問で構成されており，問 1 および問 2 は解答として式のみを記述させる形式であるのに対し，問 3 から問 5 は式だけでなくその導出過程も記述させる形式となっている。

さらに，作図を含む答案に対する分析も行うため，独自に作成した図示問題を追加した。これは，先述の力学問題と関連付けたものであり，「斜面上で静止している物体に作用する力を図示・説明させる」ことを課す内容とした。

2.2　採点ルーブリックの作成

生成 AI の性能は，与えられるプロンプト（指示文）に大きく依存する。本研究でのプロンプトは，まず生成 AI に「力学の教師として採点せよ。」と役割を明示し，専門的かつ一貫した評価を促した。次に，エネルギー保存則の適用や位置・運動エネルギーの扱いなどを評価する段階的な加点方式を含む採点基準と例を各問題に設定し，部分的な正当性や思考過程も拾えるようにした。さらに，出力形式を「評

価項目・解説・フィードバック・点数」に統一し，採点根拠を可視化して分析・比較を容易にした。

2.3　採点手順

生成 AI の採点方法として，手書きの答案をスキャンし，ChatGPT-4o（2024 年 12 月時点のモデル）による画像読み取り技術（視覚言語モデル）を用いて， LaTeX 形式に変換した解答を採点する。画像読み取り部分のプロンプトでは模範解答をあらかじめ ChatGPT に読み込ませることで，精度が向上することを確認した。LaTeX は数式や文章を正確に表現できる形式であり，理工系分野で広く使用されている。手書き解答を LaTeX 形式に変換することで，生成 AI が数式を正確に処理しやすくなり，誤認識を減少させることにつながる。同じ採点基準に従って，ChatGPT-4o を用いて 5 回，人間の採点は 4 名が独立に行い，その平均値を最終的な得点とした。

３．結果と考察

論述式問題（12 名分）および図示問題（8 名分）の解答に対する採点結果を図に示す。論述式問題は大問 1 の 5 問からなり，合計 15 点満点，図示問題は 9 点満点である。図中の横軸と縦軸は，それぞれ人間と生成 AI による採点結果を示しており，得点はいずれも人間 4 名，生成 AI 5 回分の採点結果の平均値である。グラフ中の直線は線形回帰分析の結果を示す。また，同一点に複数のデータが存在する場合は，それに応じてシンボルの大きさを変えて可視化している。

論述式問題における採点結果については，生成 AI と人間の採点の間に相関係数 0.86 の適度な相関が確認された。一方，図示問題では相関係数が 0.47 と低く，両者の評価の一致度は明らかに劣っていた。特に，図示問題においては，生成 AI が明らかに誤りを含む解答に対して満点を付与する事例が複数確認された。

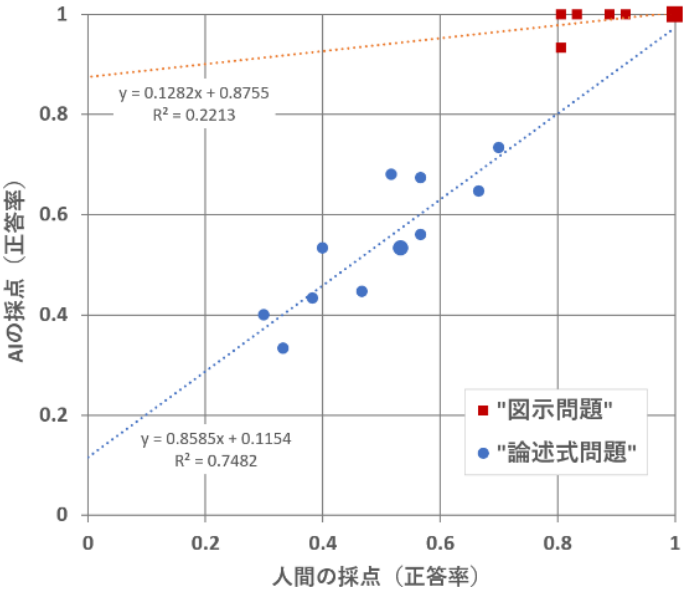


図 1　人間の採点と生成 AI の採点の相関

４．まとめ

当初の想定を上回る精度で，手書き回答の読み取りが可能であることが確認された。これは，一度 LaTeX 形式でテキストデータに変換する手法に加え，事前に LaTeX 形式の模範解答を生成に提示することで参照情報を与えたことが，効果的に作用したと考えられる。

このように，懸案だった手書き解答の読み取りが概ね解決されたことから，作図を伴わない論述式問題では，生成 AI が比較的良好な採点能力を示した。一方で，図示問題では，誤りを含む解答にも生成 AI が満点を付ける例があり，図の読み取りには課題が残ることが明らかとなった。

参考文献

[1]D. Ramesh and S. K. Sanampudi(2022), Artif. Intell. Rev. 55, 2495-2527

[2]Ton Wan and Zhongzhou Chen(2024): Phys. Rev. Phys. Educ. 20, 010152

[3]Gerd Kortemeyer(2023) : Phys. Rev. Phys. Educ. 19, 020163

5H-4

物理チャレンジにおける実験課題と理論問題の分析

―2024 第 1 チャレンジを中心に―

[A]長谷川大和，[B]阿部敬，[C]荒木美菜子，[D]大塚未来，[E]近藤一史，[F]佐藤誠，[G]鈴木勝
[H]橘孝博，[I]田中忠芳，[J]中屋敷勉，[K]並木雅俊，[L]増子寛，[M]室谷心，[N]渡會兼也
[A]東京科学大附高，[B]千葉高，[C]戸田翔陽高，[D]早大本庄，[E]元埼玉大，[F]元津山高専
[G]電通大，[H]早大，[I]金沢工大，[J]岡山操山高，[K]元高千穂大，[L]元麻布中・高，[M]松本大
[N]金沢大附高
hasegawa@sth.isct.ac.jp

１．はじめに

公益社団法人物理オリンピック日本委員会[1]（The Committee of Japan Physics Olympiad, JPhO）は，初中等教育段階の児童・生徒に対して物理学への興味・関心の喚起や，将来の科学技術人材の育成を推進することを目的とした団体である。「全国物理コンテスト 物理チャレンジ」は既に 2005 年の国際物理年[2]から 20 回以上の開催を続けており，現在は物理チャレンジ 2025 第 2 チャレンジの開催直前である。物理チャレンジは，才能育成（国際物理オリンピック（IPhO）やアジア物理オリンピック（APhO））への日本代表団派遣事業の選抜）の要素もあるが，まずは純粋に物理を楽しんでもらうことも委員会としては大事と考えている。

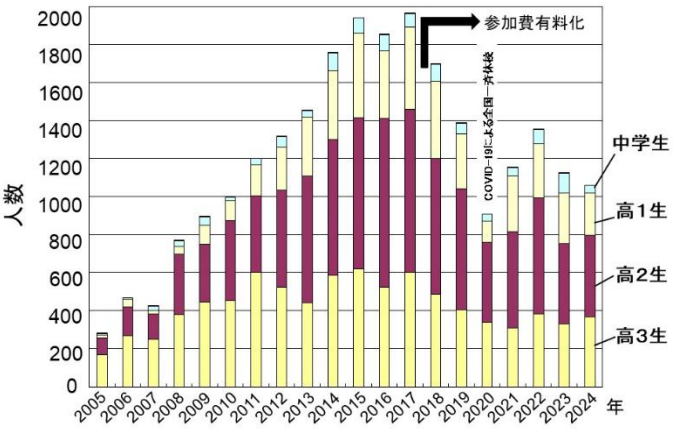


図 1　物理チャレンジ応募者数

２．物理チャレンジ 2024 の参加状況

本発表では，物理チャレンジ 2024 における，第 1 チャレンジの実験課題と理論問題コンテストについての分析を行う。今年度より，物理チャレンジの第 1 チャレンジが 2 つのコース「総合コース（実験課題レポートと理論問題コンテストの両方にチャレンジ）と「理論コース（理論問題コンテストだけにチャレンジ)」となったが，現在は第 2 チャレンジ開催直前であることより，その詳細については触れないこととする。

参加状況は表 1 の通りである。第 1 チャレンジの実験レポート提出期限が 5 月末，理論問題コンテストが 7 月上旬という，中高生にとっては 1 学期の中間試験や期末試験と重なる時期であるが，第 2 チャレンジを 8 月下旬（夏季休業期間中）におこなうためにやむを得ない日程となっている。

表 1　物理チャレンジ 2024 の参加状況

項目	人数	男性割合	女性割合
実験レポート提出	901 人	82.2%	17.8%
理論問題提出	905 人	82.7%	17.3%
両方提出	827 人	82.7%	17.3%
第 2 チャレンジ進出	102 人	91.2%	8.8%

３．実験課題の分析

実験課題としては，運動学の範囲から「身のまわりの運動を調べてみよう」とした。過去の課題と比べると，かなり漠然としたタイトルなので，実験課題の補足を提示したり，スマートフォンの動画機能やセンサー機能などを利用したりすること（動画撮影から速度・加速度を求める）などのガイドを WEB サイト[1]に掲示した。運動学の範囲としたことで，中学生や高等学校で物理基礎を学び始めた高校 1・2 年生でも十分に取り組みやすいものとなった。901 通の中から実験優秀賞 6 件，実験優良賞 5 件を選定した。参加者から提出された実験レポートの内容は講演で触れる。

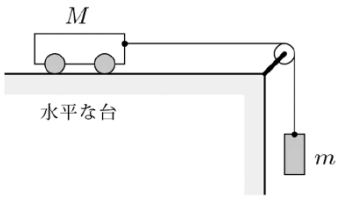
４．理論問題の分析

理論問題コンテストは，IBT 形式（オンライン上で多肢選択で解答する形式）で実施した。

理論問題を作成するにあたっては，第 1 チャレンジ部会で検討を重ねているが，参考書などを持ち込むことを認めていることより，幅広く出題し，参加者に深く考えさせるものを出題している。考えを問うようなものを出題することで，参加者にとって物理の醍醐味を味わってもらおうと試みている。

参加者が誤った概念を持っているような問題も出題することもある。図 2 は，典型的な誤概念を問うようなものである。いくつかの問題についての正答率や誤答の傾向などについては講演で触れる。

図のように，質量Mの台車にひもを取り付け，滑車を通して質量mのおもりを吊るした。ただし，台は水平で，台と台車の摩擦は無視できるものとし，重力加速度の大きさをgとする。このとき，台車を引く力の大きさの説明として，最も適切なものを，下の①～④の中から 1 つ選びなさい。



①台車をおもりの重力で引いているので，力の大きさはmgである。(57.9%)
②台車とおもりをおもりの重力で引いているので，力の大きさはmgより大きくなる。(4.5%)
③台車とおもりをおもりの重力で引いているので，力の大きさはmgより小さくなる。(29.4%)
④台車の質量とおもりの質量との大小関係で，力の大きさはより大きいか小さいかが決まる。(8.0%)

図 2　理論コンテスト問題例（(　　) 内は選択率）

５．終わりに

第 1 チャレンジで実施していることは才能育成といった面よりは裾野の拡大，すなわち物理への興味・関心の喚起といった面の方が大きい。実験課題の設定や理論コンテストの作問については，高校物理の範囲を大幅に逸脱しないように，第 1 チャレンジ部会のメンバーでチェックしている。高校での物理基礎・物理の履修者数や大学入学共通テストでの物理の受験者数を踏まえると，物理チャレンジ参加者はもっと増えても良いはずであると我々は考えている。

物理チャレンジの実験課題レポートを読むと，謝辞のところに「〇〇先生のアドバイスに感謝いたします」との記述が多く見られる。このような取り組みにご協力いただいている中学校や高校の先生方には，我々からも深く感謝申し上げます。

参考文献

[1] 物理チャレンジ WEB サイト：https://www.jpho.jp/index.html(2025 年 7 月 1 日閲覧)
[2] 北原和夫，並木雅俊.(2005)：2005 世界物理年によせて:物理チャレンジ 2005 報告，日本物理学会誌，vol.60（11），p.841.

5C-1

データ提示方法の工夫（運動学を例にして）

[A]川島健治
[A]法政大学中学高等学校
k-kawashima@hosei.ed.jp

１．はじめに

運動学で$x-t$ 図や $v-t$ 図のグラフの理解を目指した学習を石井登志夫氏[1,2]の実践を参考に、本校の微分や積分を学習していない高校 2 年生を対象に 2023 年度、24 年度、25 年度に行った。これらの学習は、3 つの授業（1）$x-t$ 図の接線の傾きが瞬間の速度を表す、（2）$v-t$ 図の傾きが加速度を表す、（3）$v-t$ 図の面積が移動距離を表す、にて行った実践の中で、生徒に提示する$x-t$ 図や $v-t$ 図の提示内容の違いによって、生徒の読み方が変化したことを報告する。

２．$x-t$ 図の提示方法

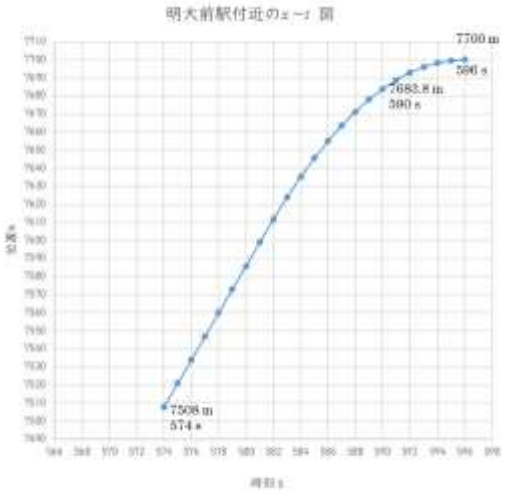


図 1　2023・24 年度 $x-t$ 図

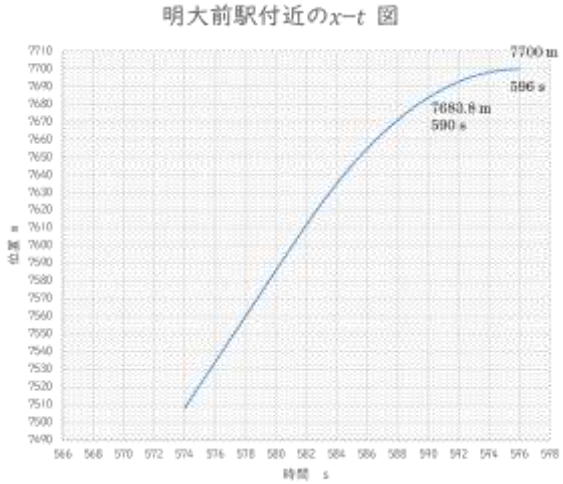


図 2　2025 年度 $x-t$ 図

2023･24 年度、図 1 のような井の頭線快速電車の$x-t$ 図と各時刻の位置を表にしたもの（表は省略）を提示し、590 s での瞬間の速度を求める方法を学習者が考える実践を行った。このとき、学習者は「589 s～590 s の平均の速度が瞬間の速度になる」「590 s～591 s の平均の速度が瞬間の速度になる」「589 s～591 s の平均の速度が瞬間の速度になる」「590 s での位置 7683.8 m をつかって、7683.8 m÷590 s で求める」というような意見がでて、どれも具体的な数値を使って答える意見が多く出された。図 1 を提示し、各時刻の位置を表にしたものは提示しない場合でも、同様な意見が出され、接線に着目する学習者はいなかった。図 1 のグラフ上の大きい点に目が行くため、この値を使うと考えてしまう。

一方、2025 年度は図 1 と同じデータをもとに作成した図 2 を表示し、各時刻の位置を表にしたものを提示せずに、590 s での瞬間の速度の導出方法を求める方法を考える実践を行った。2025 年実践では、「590 s での位置 7683.8 m をつかって、7683.8 m÷590 s で求める」という意見のように具体的な数値を使った意見がでるものの、「グラフの接線が瞬間の速度になる」という意見が多く出るようになった。

このように、グラフの提示方法の違いによって、生徒の思考が変化することが分かった。

３．$v-t$ 図の提示方法

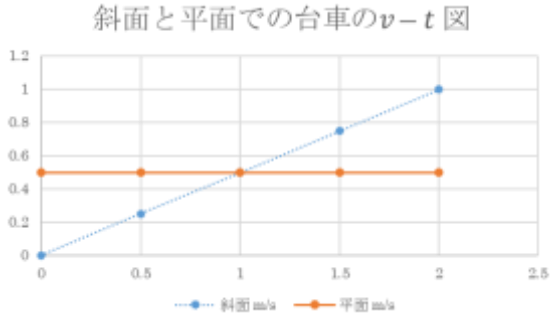


図３　2023・24 年度 $v-t$ 図

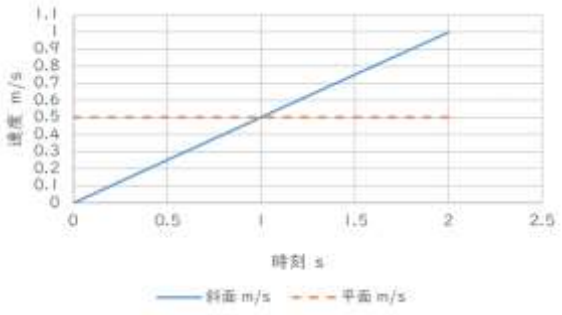


図４　2025 年度 $v-t$ 図

2023･24 年度、0.5 m/s で等速直線運動する運動と、斜面を下る等加速度直線運動の$v-t$ 図（図 3）と各時刻の速度を記載した表（表は省略）を提示し、0.5 m/s で等速直線運動する物体は 2 s 間で 1 m 進むことをスマートカート（Pasco 社）で確認したのち、斜面を下る台車の移動距離を考えさせる授業を行った。学習者は、「平均の速さ 0.5 m/s×時間 2 s = 1 m」「0.5 s×0.25 m/s + 0.5 s×0.5 m/s + 0.5 s ×0.75 m/s + 0.5 s×1.0 m/s = 1.25 m」「0.25 m/s + 0.5 m/s + 0.75 m/s + 1.0 m/s = 2.5 m」「m / s² = 0.5 s = 2 なので m / 4 = 0.5 から m = 2 となるので移動距離は 2 m」というように、具体的な数値を使った意見が多くでる。

一方、2025 年度は図 3 と同じデータをもとに作成した図 4 を表示し、各時刻の位置を表にしたものを提示せずに、斜面を下る台車の移動距離を考える授業を行ったところ、「平均の速さ 0.5 m/s×時間 2 s = 1 m」「三角形の面積　1 m/s×2 s÷2 = 1 m」「m / s² = 0.5　s = 2 なので m / 4 = 0.5 から m = 2 となるので移動距離は 2 m」というような意見がでる。データの表示方法を変えるだけで、$v-t$ 図の三角形の面積が移動距離になるのではないかと考える生徒がでるようになる。

４．おわりに

上記の実践の他に、$v-t$ 図から加速度を読み取る実践を行った。各時刻の速度が記載されていない表を渡すと、学習者はその値を使って色々考えるが、表がない場合グラフの形に注目するようになることがわかった。

一つ一つのデータ（数値）に着目してほしい場合はデータを見せたり、また図 1 や図 3 のように大きな点を表示するなどし、図から読み取ってほしい場合はデータを見せない、大きな点を表示しないなど、データの提示方法を工夫すると、授業のねらいに即した学習ができる。このことを利用して、データを提示した方がよい場合とはどのようときなのか、考えたい。

参考文献

[1] 石井登志夫(2024)：授業支援ソフト MetaMoJi を援用した高校物理基礎力学の授業, 物理教育学会　第 40 回研究大会　口頭発表 1A-3.

[2] 石井登志夫(2024)：「MetaMoJi」を使った“運動の表し方”の授業, 物理教育通信 197 巻 22-29

5C-2

単振り子の円運動から放物運動への移行問題に対する解法の数理的考察

伊東正人
愛知教育大学　教育学部　理科教育講座
mito@auecc.aichi-edu.ac.jp

1．はじめに

図1のように「鉛直面内で支点Oを中心に回転運動できる単振り子（糸の長さ ℓ ）がある。支点Oの真下の最下点でおもり（小球）に初速度を与え，糸が張った状態で小球が上昇して位置Aで糸がたるんだとする。その後，糸が張るときの小球の位置Bを求めよ」という問題に，一度はお目にかかった事があると思います。 x 軸上の点Pに対して，糸がゆるむ角度 $\angle$AOPと糸が張るときの角度 $\angle$BOP の関係は

$$\angle \mathrm{BOP} = 3\angle \mathrm{AOP} \quad \cdots ①$$

となる。この非自明かつ奇妙な関係式は3倍角公式として物理の受験業界ではある程度知られた公式である。しかし，“なぜ3倍なのか？”，“3倍に何か意味があるか？”という素朴な疑問が生じる。本講演では，式①のさまざまな解法を紹介しその数理的考察を行う。

2．解法とその数理的考察

図1の問題は，単振り子による回転運動から一様重力場による放物運動へ移行する問題に帰着する。x 軸からの角度 α の位置Aで糸がゆるむと（糸の張力0），そのときの小球の速さ v_0 は

$$v_0 = \sqrt{g\ell \sin(\alpha)} \quad \cdots ②$$

となる。計算過程を簡潔にするため，物理量を無次元した座標，時間，v_0 を $X = x/\ell, Y = y/\ell, T = t\sqrt{g/\ell}$，$V_0 = v_0 / \sqrt{g\ell}$ とする。g は重力加速度の大きさである。糸がゆるむときの時刻を $T = 0$ とすると，糸が張るまでの小球の座標は，

$$V_0 = \sqrt{\sin(\alpha)} \quad \cdots ③$$

として

$$\begin{cases} X = -V_0 T \sin(\alpha) + \cos(\alpha) \\ Y = -\dfrac{1}{2}T^2 + V_0 T \cos(\alpha) + \sin(\alpha) \end{cases} \quad \cdots ④$$

となる。また，糸が張る条件は

$$X^2 + Y^2 = 1 \quad \cdots ⑤$$

である。座標Bを求める4つの解法を示す。

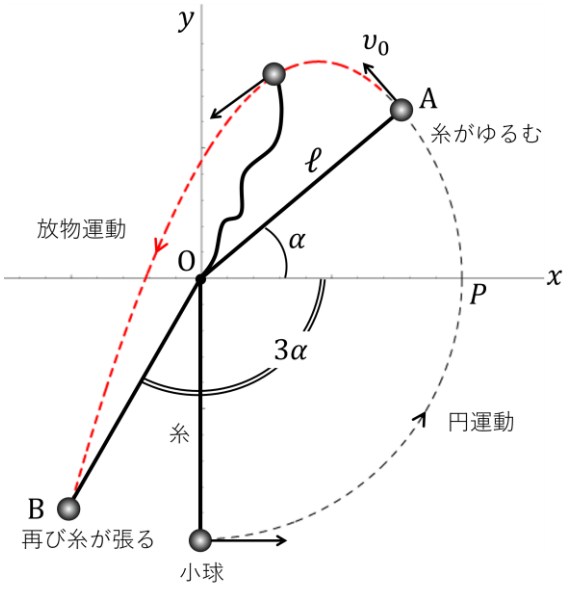


図1：円運動から放物運動への問題

（1）連立方程式の解法

座標Bは放物線と単位円との交点なので，式④と⑤の連立方程式を解く。少々面倒な計算によって

$$\text{座標B} = (\cos(-3\alpha), \sin(-3\alpha)) \quad \cdots ⑥$$

となる。式⑥から式①となる。“計算したら答えが出た”という解法である。

（2）放物線と円の位置関係による解法

図1の問題において，放物線と円の位置関係から交点Aは接点である。よって，放物線と円の交点は4次方程式の解なので，$X = \cos(\alpha)$ は3重根になる。式③と式④から得られる放物線は

$$Y = -\frac{1}{2\sin^3(\alpha)}(X^2 - 2\cos^3(\alpha)X + 3\cos^2(\alpha) - 2) \quad \cdots ⑦$$

となる。式⑤から Y を消去した X の４次方程式はＢの X 座標を $\cos(\beta)$ とすると，次のように因数分解できるはずである。

$$X^2+\left[\frac{1}{2\sin^3(\alpha)}(X^2-2\cos^3(\alpha)X+3\cos^2(\alpha)-2)\right]^2-1=\frac{1}{4\sin^6(\alpha)}(X-\cos(\alpha))^3(X-\cos(\beta))=0\cdots⑧$$

上式から $\cos(\beta)=4\cos^3(\alpha)-3\cos(\alpha)=\cos(3\alpha)=\cos(-3\alpha)$ となる。そのときの Y 座標は式⑦から $4\sin^3(\alpha)-3\sin(\alpha)=\sin(-3\alpha)$ となる。よって $\beta=-3\alpha$ となり，式①となる。

（3）斜方投射の物理と図形を融合した解法

図１の問題の放物線は，位置Ａから OA に対して垂直に式③の初速度で飛び出した斜方投射の軌跡である。図２のように，式⑦の放物線を C_1，式⑤の単位円を C_2 とする。座標Ｂを斜方投射の性質と図形を利用して求める。時刻 T における C_1 上の点は，C_2 に対する点Ａの接線上の距離 V_0T の点から鉛直下向きに距離 $T^2/2$ 下がった点である。点Ｂに達する時刻を T_B とすると，$\overline{AC}=V_0T_B, \overline{BC}=T_B^2/2$ となる。$\angle AOP=\alpha, \angle AOB=\gamma$ とすると，$\overline{AB}=2\sin(\gamma/2)$，$\angle ABC=\gamma/2-\alpha$ となる。点Ａから線分 AC に下した垂線を AD とすると，△ABD に対して

$$\overline{AD}=\overline{AC}\sin(\alpha)=(\overline{BC}-\overline{AC}\cos(\alpha))\tan\left(\frac{\gamma}{2}-\alpha\right)\cdots⑨$$

が成り立つので，

$$T_B=2V_0\frac{\sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\gamma}{2}-\alpha\right)}\cdots⑩$$

さらに，$\overline{AC}\sin(\alpha)=\overline{AB}\sin(\gamma/2-\alpha)$ なので，式③と式⑩から

$$\gamma=4\alpha\cdots⑪$$

となる。よって，$\angle BOP=\gamma-\alpha=3\alpha$ となるので式①と同じになり，△ABC は二等辺三角形になる。

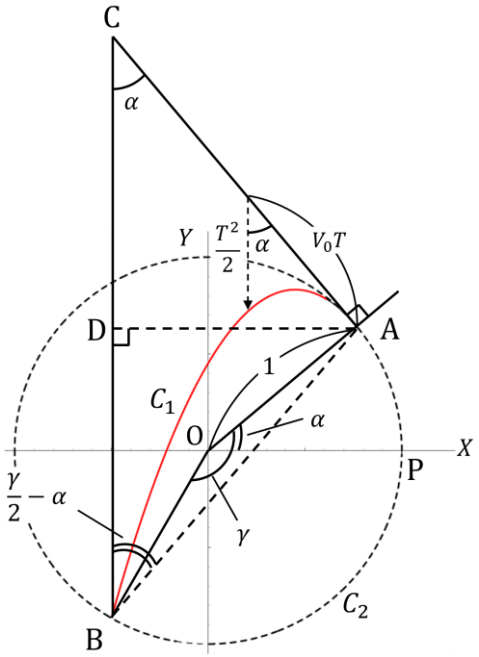


図２：（3）の解法による作図

（4）糸がたるむ条件の図形的意味からの解法

糸がたるむときの式③の速度は，図形的に眺めると特別な値であることを図３に示す。式⑦から放物線の最高点の X 座標は $\cos^3(\alpha)$ である。一方で，A から x 軸に下した垂線を Aa とし，点 a から OA に下した垂線を ab，点 b から x 軸に下した垂線を bd とすると，d の X 座標は $\cos^3(\alpha)$ となる。よって，Aから斜方投射された小球が最高点に到達したときの水平距離は $\overline{ad}$ と等しくなる。また，$\overline{AD}=4\overline{ad}$ となるので，２つの三角形の相似比は△adb∽△ADB＝1:4 となる。よって，$\angle ABD=\alpha$，$\angle AOB=4\alpha$ から，$\angle BOP=3\alpha$ より式①となる。

以上，４つの導出方法を示したが，どれも“計算したら３倍になった”ということである。なぜ３倍なのかという問いに答えていない。

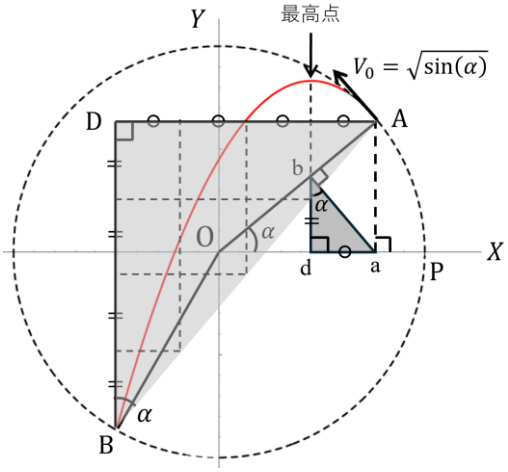


図３：糸がたるむ条件の図形的意味

４．まとめ

本問題の解法は様々な視点からのアプローチが可能である。特に，一様重力場における斜方投射の物理と初等幾何を組み合わせた解法は理数探究授業で扱える適切な題材と思われる。式①の３倍公式の意味の解明については，本講演までに間に合えば報告する。

5C-3

万有引力の学習を題材とした体験型シミュレーション支援器具の開発とその有用性の検証

駒﨑 寛和，髙橋　潤
江戸川学園取手中・高等学校
komazaki.hirokazu@e-t.ed.jp

１．はじめに

シミュレーションを用いた実験は、現実には実施が難しい状況や、空気抵抗や摩擦を無視した理想的な環境における運動を調べるのに有効である。しかし、学習者にとって教員が用意したシミュレーションは内部構造が見えないブラックボックスとなりやすく、現実に起こる現象との関連性を実感しにくいという課題がある。そこで本研究では、万有引力を受ける物体の軌道をシミュレーションと連動させて体感できる装置として、体験型シミュレーション支援器具を開発した。これにより、シミュレーションを単なる映像ではなく、実際の体験と結びつけることで、学習者が現象への理解を深めることが期待される。本研究では、このような体験型のシミュレーション支援器具を活用することで、学習者がより実感を持ってシミュレーションと向き合い、現象の理解を深められるかどうかを検証する。

２．方法

２．１　対象

茨城県の私立高等学校の高等部二学年の生徒を対象に、３つのクラスで異なる授業方法、検証方法を実施した。すべてのクラスで万有引力を含む力学の分野の授業は終了している。シミュレーションを使った授業の前後で、万有引力を受ける物体の軌道に関するプレテストとポストテストを実施した。

２．２　シミュレーションの概要

地球表面から小球を水平に投射し、その小球が万有引力だけを受ける場合の軌道を表示するシミュレーションを、ゲームエンジン Unity を用いて作成した（図 1)。初速度は、スライドバーで直接入力する方法と、体験型シミュレーション支援機器を用いて入力する２通りの方法で入力できるようにした。小球の軌道に応じて以下の結果を表示するようにした。



図１　シミュレーション画面。軌道と結果が表示されている。

・小球の初速度が第一宇宙速度よりも小さく、地球に接した場合、爆発音とともに墜落と表示される。
・小球の初速度が第一宇宙速度よりも大きく、第二宇宙速度よりも小さい場合、軌道とともに第一宇宙速度突破と表示される。
・小球の初速度が第二宇宙速度よりも大きい場合、軌道とともに第二宇宙速度突破と表示される。

２．３　体験型シミュレーション支援器具の概要

パンチングマシーンの根本に加速度センサーを取り付け、センサーの角速度を Arduino UNO を通してコンピューター内のアプリケーションに接続できる体験型シミュレーション支援器具を作成した（図 2)。パンチングマシーンがパンチされたことを検知すると、パンチングマシーンの最大角速度に比例し

てシミュレーション内の小球の初速度を与えるように設定した。



図２　体験型シミュレーション器具

２．４　授業の概要

本授業は授業の一部の活動として実施した。クラス１とクラス３には体験型シミュレーション支援器具を用いた授業を行い、クラス２ではシミュレーションのみを使った授業を行った。いずれのクラスでも詳細な説明はしなかった。体験型シミュレーション支援器具を用いた授業では、シミュレーションの概要と支援器具の使い方を説明し、生徒に一人一回体験させた。シミュレーションのみを用いた授業では、シミュレーションを一通り見せた。

２．５　検証方法と用いたテスト

本授業の前後で、万有引力を受ける物体の軌道に関する自作テストを行い、そのゲインを評価基準に用いた。このテストは、万有引力を受ける物体の軌道を問う問題であり、初速度を徐々に増加させたとき、どのような軌道になるかを選択肢から選び、並び替える問題である。回答形式が複雑なため、比較的イメージしやすい例題と問１と設け、その後問２として出題した。

３．　結果と考察

各クラスにおけるスコアや規格化ゲインを表１に示す。支援器具を用いていないクラス２よりも、支援器具を用いたクラス１の方が規格化ゲインは大きくなった。これは体験型シミュレーション器具が学習者の記憶の定着を助けていることを示唆している。

この授業に関してアンケートを行った結果、シミュレーションのみを行った授業では「実際に初速度を上げてボールが動いていく様子を見ることで、万有引力というものをイメージしやすくなった。」などの視覚に関する感想が多く上がっていた。支援器具を用いて行った授業では、視覚に関する感想に加え、「実際に自分達で初速度を与えて、それが可視化されるのがとても良かった。自分で実感できるのが想像しやすくなるので良かったです。」などの実感に関する感想も上がった。その一方で、なぜシミュレーションのような軌道になるのかがわからないという感想もあった。シミュレーション支援器具を使うことでシミュレーションだけの授業よりも、現象を実感する機会を提供できた。依然としてシミュレーションの問題点である「なぜそうなるのか」に言及できない点は依然として課題である。

表1　各クラスにおけるテストの正答率と規格化ゲイン

	クラス１	クラス２	クラス３
人数	29人	30人	46人
体験型シミュレーション支援器具	あり	なし	あり
プレテスト日	2月12日	2月21日	2月12日
授業日	2月20日	2月25日	2月21日
ポストテスト日	3月3日	3月15日	2月21日
授業日からポストテスト日までの日数	11日	18日	0日
プレテスト正答率	24.0%	10.7%	27.5%
ポストテスト正答率	53.6%	36.3%	82.6%
規格化ゲイン	0.39	0.29	0.76

5C-4

手こぎボートのオールのてこ

西尾信一
日本薬科大学
nishio@zd6.so-net.ne.jp

１．はじめに

中学受験で、手こぎボートのオールについて、てことしての支点や作用点を問う問題が定番として出題されている。そして、その正解は、栓抜きなどと同様な「作用点が支点と力点の間にあるてこ」（第２種てこ）という解釈であり、オールの水をかくところ（オールブレード）は支点で、作用点はオールがボートと接するところ（オールクラッチという部品と接する点）なのである。この正解の説明例としては、次のようなものがあった。

① 力点と作用点はともに移動するが、支点は移動しない。オールブレードは水中で固定され、移動するのはオールクラッチがつけられたボートの方である[1)]。

② 力点は原因となるところで、作用点が結果を生むところである。オールは手で力を加えて水をかくことが目的ではなく、ボートを動かす道具である[2)]。

この流布された正解は、力学教育の観点からは不適切なものである。

２．手こぎボートの力学

力学では、観測者の立場（座標系）を明確にすることは重要だが、特定の立場だけが正しいわけではない。説明①も説明②も、地面あるいは水に固定された座標系を前提としているが、ボートに固定された座標系による説明を間違いだとする力学的な理由はない。そもそもオールという道具を使うのは、ボートをこいでいる人なのだから、その人の立場を観測者とすることはけっして不自然ではない。この観測者にとっては、オールのてこの静止した支点はクラッチであり、移動する作用点はオールブレードである。

そして、人・オール・ボートは一体となって動くのだから、それら全体を系として説明する方が、ボートの運動を説明する力学としてはよりシンプルである。オールブレードが水を後方に押す力があると、同時にその反作用がオールブレードにはたらき、止まっていたボートは前方に動き出す。これは、壁に向かい合ったスケーターが壁を押すとき、スケーター自身が後ろに加速して動き出すのとまったく同じである。作用反作用の法則と「静止した物体が力を受けると動き出す」という中等教育レベルの力学の理解を問う課題として扱える。もちろん小学生にこれらの法則を教える必要はないが、上記のスケーターのような例で説明すれば、子ども達にもじゅうぶんに理解可能だろう。

以上のように、この問題では誤答とされている「クラッチが支点で、オールブレードが作用点」という解釈は、誤まりどころか、力学としてはより適切なものである。

３．流布されている正解の問題点

力学では、着目する系を明確にし、その系が受ける外力をすべて検討してその合力で考えることが重要である。説明②によれば、ボートをこぐ人は、その人がオールにおよぼす力を原因として、その人自身が乗ったボートを動かすという結果を生むことになる。これは「物体系全体の運動を決定するのは外力であり、内力は影響をおよぼさない」という力学の基本概念に反する理解である。

人・オール・ボートの全体を系とすると、人がオールにおよぼす力も、オールがボートのクラッチにおよぼす力もいずれも内力だから、この系を動かす力にはなり得ない。この系を水からの抵抗力に逆らって動かすのは、オールが水から受ける力である。

そして、異なる系を設定したとしても、正解とされる解釈による「オールがクラッチにおよぼす力」だけに注目した議論は、力学としては誤りである。考察する物体系をオール以外の人・ボートにしたり、ボートだけに限定したりしても、それらの運動を決定するのは外力の合力であり、「オールがクラッチにおよぼす力」はその外力の一部に過ぎない。ボート・人を系とすると、その系を動かすのは、オールからクラッチが受ける力だけでなく、オールから人（の手）が受ける力がある。ボートのみを系とすると、その系を動かすのは、オールからクラッチが受ける力だけでなく、人（の尻や足）から受ける力がある。

この問題と正解を最初に考案した人は、オールを第２種てことして扱えば、人がオールに与える力をてこの原理で拡大できて、ボートこぎの力学的説明として都合がよいと思ったのかもしれない。しかし、実際に人・オール・ボート全体を動かす力は、オールを第１種てことして扱って得られる「オールが水を押す力」の反作用である。しかも、手がオールに力をおよぼす力点から支点のクラッチまでの距離は、クラッチから作用点のオールブレードまでの距離よりも短いから、この第１種てこは「力を小さくする」はたらきをするのである。通常の手こぎボートのオールのてこは、力を得するためのものではない。

以上のように、流布されている「オールブレードが支点」とする正解は、学習者の力学理解を混乱させるだけで不適切であり、ボートのオールのてこの支点･作用点を問う問題を中学入試やそのための受験対策などで扱うこと自体をやめるべきである。なお、この問題に限らず、一般に、ボートや自転車など人が動かす乗り物や、歩行などの人体そのものの力学は簡単ではない[3]ので、それらを教材や問題の題材にするときは十分な注意が必要である。

４．小学校でのてこの扱い方

てこを小学校理科で扱うこと自体は、実用的価値があり、中高で学ぶエネルギー保存則につながるので意義がある。しかし、力点および作用点という「てこ用語」は、中等教育以上の力学教育では使わないし、物理用語の作用点の学習時には混乱の元ともなる。力点も作用点も、物理用語では「力の作用点」に他ならないからである。また、道具としてのてこは、てこの原理だけで説明すべきものでもない。とくに第３種のてこは、力としては得ができない代わりに、力点の変位・速さより作用点の変位･速さが大きくなり、それが有用性につながる。

そもそも、力点・支点・作用点というてこ用語を重要用語として子どもにおぼえさせ、それでてこを３種類に「正しく」分類させることは、小学校以降の理科教育全体を見通したとき、果たして必要なことなのだろうか。力点･作用点のはたらきとしての区別が必要なら、「入力の作用点」「出力の作用点」などの用語を使えばよい。また、てこの原理を教えるだけなら、力を得できる第１種や第２種のてこだけを扱えばよい。カリキュラムの抜本的再検討をしてもよいのではないだろうか。

参考文献

[1] 個人ブログ https://harimatosettsu.blog.jp/archives/18463095.html .（2025 年 7 月 11 日閲覧）
[2] 中学受験動画 https://www.youtube.com/watch?v=AhrqEZ41TqM .（2025年7月11日閲覧）
[3] 西尾信一：自転車をこぐ力？－乗り物や人の力学の盲点－，理科教室，59(5)，73-76（2016）.

5D-1

「物理教育研究的方法」を用いないで教育された高校生の「いわゆる概念理解」①

山下哲
大阪府立北野高等学校
haz34840@wood. odn. ne. jp

１．はじめに

欧米の物理教育研究は，入門物理の学習者が概念理解に至るまでの障害として，強固な素朴概念が存在することを問題として提起すると同時に，「いわゆる概念理解」にいたるための素朴概念の解消方法として「物理教育研究的（授業・学習）方法」とでも言うべき一連の教授法を提案してきた。欧米の物理教育研究においては，これらの「物理教育研究的方法」の正当性を構成主義的認知科学に則っていることに，その有効性を「物理教育研究的方法」が研究的に開発されていることにより主張している。しかしながら，構成主義が学習のどの段階で有効であるかについては議論があるばかりでなく，構成主義が多分にイデオロギー的であり，初学者には効果がないとする指摘（認知的負荷理論や熟達化反転効果）も数多くなされている[1,2,3]。研究的に開発されているという主張に対しても，調査対象集団が無作為抽出されていないことに疑問が呈されている状態である[3]。講演者も多年，日本における物理教育研究が結論前提の面が強く，調査対象集団が大学生にほぼ限定されているにも関わらず，他の校種まで議論を一般化している状態を指摘してきた[4]。この点，日本の物理教育研究が大きく影響を受けている Redish が，自ら編纂した Physics Suite について自らの著書の中で「科学者や技術者になることをめざしてはいるが物理学者になるとは限らない学生に対して素養としての物理教育を提供するサービス・コースとしての物理教育」のためのものであることを明記している点[5]に対して，日本の物理教育研究は全くと言って良いほど顧みていないと講演者は考える。日本においては，義務教育課程はもとより，物理を学習する高校生の大多数は科学者や技術者になることをめざしてはいない。

多くの不整合や前提条件を含んでいると言わざるを得ない「物理教育研究的方法」であるが，少なくとも日本においては非常に多様な文脈の中で，全ての学習者に対して効果があるとの評価が拡散されている様に思われる。同時に，明確に定義されていない「いわゆる概念理解」の範囲も広がり続けている様に感じることも多い。本講演では，「物理教育研究的方法」には明確な熟達化反転効果が認められること，すなわち「いわゆる概念理解」が習得型学力に分類される性質を持っていることを報告したうえで，素朴概念が強固であるとの主張を再検討する必要性について議論する。

２．「いわゆる概念理解」の性質と獲得の要件

講演者は高校生を対象とした物理の学習に対する取り組みを行ってきたが，上述のような問題意識から，講演者は日本の高校生を物理の内容面についての初学者と捉えるだけでなく，授業方法を含めた学習方法が，生徒の大まかな学習姿勢や，その背景となる在籍校の特徴あるいは限界を踏まえたものとなっていることの必要性を強調してきた。その意味で，講演者の実施した取り組みにおいて学習した学習者は，欧米由来の「物理教育研究的手法」を用いずに教育された学習者であり，

欧米由来の物理教育研究の立場からは，素朴概念の強固さを根拠にその解消が期待できないとされる学習者であるとも言える。

本公演の中で主に調査対象集団としたのは，欧米の物理教育研究の言うところの「伝統的な授業方法」で高校１年生から高校物理を学習してきた理系・物理選択の高校２年生である。（なお，調査対象校は極めて学習意欲の高い，進学実績の面でも有名な高校である。）この生徒集団について，CTSR による認知的な発達段階調査に合わせて，FCI による力学の概念調査を行った。調査結果としては，欧米の物理教育研究の基準である FCI の規格化ゲインを用いても十分な素朴概念の解消が見られた。これは素朴概念の解消が教育方法によるものではないことを示すものであり，「伝統的な授業方法」で学習した学習者であっても，要件を満たせば「いわゆる概念理解」を得ることができる好例であると言える。以下では「いわゆる概念理解」獲得の要件と「いわゆる概念理解」の性質について考察する。

本公演の調査対象集団は，高校１年次にすでに「物理基礎」に相当する範囲を学習済みであり，その上で２年次で理系・物理を選択した生徒集団である。必然的に高校物理に対する苦手意識が相対的に低く，進学校であることから広い意味での学習意欲も高い部類に属する。こういった前提条件の中で２年次で「物理」を学習することは，予備知識に自信のある学習者に「物理基礎」の復習の機会を与えたことと，意味合いとしては矛盾しない。欧米（および日本）の物理教育研究は，主に大学生を対象として内容的にはほぼ日本の高等学校の「物理基礎」の範囲内の「いわゆる概念理解」の獲得に対して，構成主義に則った方法による学習に必要性を主張してきた。しかしながら「いわゆる概念理解」の獲得には「物理教育的方法」に則って学習するころよりもむしろ，学習者の層と学習内容が新規でないこと（十分な予備知識をもっていること）が要件として挙げられるとする方が合理的な説明が可能である。これは「いわゆる概念理解」が習得型学力に分類される性質を持つものであることを強く示唆しており，予備知識が乏しい状態で「概念」のみを取り出して理解することが効率的でもなければ，教育的でもないと考えて良い。講演では，いまなお物理の学習に取り残された学習者（予備知識の習得に困難を抱える学習者）が個人としてではなく層として存在することに対して，欧米（および日本の）物理教育研究は解決策を提示していないことを問題として提起したい。

参考文献

[1] Jonassen, D. H. (1991). Evaluating constructivistic learning. Educational Technology, 31 (9), pp. 28-33. [1] Jonassen, D. H. (1991). Evaluating constructivistic learning. Educational Technology, 31 (9), pp. 28-33.

[2] Kirschner, P.A., Sweller, J., & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. Educational Psychologist, 41(2), pp. 75-86

[3] Sweller, J., Kirschner, P.A. & Clark, R.E. (2007). Why Minimally Guided Teaching Techniques Do Not Work: A Reply to Commentaries. Educational Psychologist, 42, pp. 115-121

[4] 山下哲，“高校物理初学者にとっての構成主義的な学びの有効性と優先性”，日本物理学会 2024 年春季大会講演概要集，20pN1-10(2024).

[5] Redish，Edward F.，科学をどう教えるか，p. 274，丸善出版，2012.

5D-2

誤概念—修正か資源か—

右近修治
東京学芸大学教育学部
gukons@u-gakugei.ac.jp

１．「誤概念」は誤っているのか？

物理教育研究（PER）によれば，生徒は物理を学ぶ以前に，日常経験に基づいて自然に形成された直感的な概念である「素朴概念（naïve conception）」をすでに持っている[1]。これは，科学的理解と矛盾するものを強調する文脈では「誤概念（misconception）」とも呼ばれている。素朴概念は，物理概念の正しい理解を妨げる要因となるため，教育においてはこれらの既有概念を再解釈させる工夫が必要とされる。素朴概念や誤概念から科学的概念への移行過程は，一般に “conceptual change（概念変化）” と呼ばれている[2]。

West and Pines 編著『Cognitive Structure and Conceptual Change』の邦訳『認知構造と概念転換』[3]では，原著における “concept” と “conception” の区別を尊重し，前者には「概念」，後者にはカタカナの「コンセプション」の訳語があてられている。訳者によれば，“conception” はいわゆる「概念」というよりも「見方」や「考え方」に近く，意味を正確に対応させる適切な日本語が存在しないため，音訳を採用したという。一方，「誤概念（misconception）」という訳語には，このような訳語上の配慮が十分に反映されていないようにも見える。

Posner らによる conceptual change 理論は，トマス・クーンによる科学史におけるパラダイム転換の枠組みを，学習者が新たな科学概念を獲得する過程に当てはめたものである[2]。彼らは，ニュートン力学の概念をもつ学習者が特殊相対性理論を受け入れる過程を分析し，この変化が合理的に進行することを示した。その際，概念変化が生じるためには，①既存の概念に不十分さを感じる，②新概念が理解可能である，③新概念がもっともらしく思える，④新概念が有効である，という 4 つの条件（いわゆる Posner の 4 条件）が満たされる必要があるとした。

訳書[3]では “conceptual change” に対して「概念転換」という訳語を用いているが，2000 年前後からは「概念変容」や「概念変化」といった表現も一般化しつつある。これは，“conception” を「概念」と呼ぶことに対する躊躇もあるだろうが，当時現れた，そもそも「概念」とは何か，に関する多くの論説も影響しているのだろう。Toulmin や diSessa [4]らの主張によれば，学習者が事前にもつ理解は，科学的概念のような体系だった構造ではなく，場当たり的で断片的な知識の寄せ集めにすぎない。この見方に立つと，事前知識を一括りの「誤った概念」などとするのではなく，むしろ「素朴概念」や「断片的知識（e.g., p-prims）」と捉える方が妥当である。

たとえば，ボールの投げ上げ運動に関する初学者の説明として，「手から与えられた力が重力に打ち勝ってボールを上昇させ，その力は徐々に減衰し，頂点で重力とつり合い，以後は重力が勝って落下する」といったものがある。これは，正誤を判断しにくい直感的な断片知識の連鎖であり，まとまった一つの「概念」とは呼びがたい。このような文脈では，「誤概念」よりも「素朴概念」の語が好まれる。

したがって，「素朴概念」か「誤概念」か，「概念転換」か「概念変容」かといった言葉の違いは，単なる表現上の問題ではなく，教員が学習者の既有知識をどのように捉え，学習にどう関与していくのかという，根本的な学習観の違いをも内包しているのである。

２．誤概念修正モデルを越えて

West と Pines は，編著書[3]の序論において，学習者の既存の認知構造と，学校で教えられる科学的知識（学校知）との相互作用に着目することで，より深い学習理解への道筋を探ることができると述べている。そこでは,「上向きにつるを伸ばす植物」（直感的知識）と「下向きにつるを垂らす植物」（学校知）との絡み合いのメタファーを用いて，概念的な学習について説かれている。しかし，この「絡み合い」のあり方こそが問題であって，そこに本質的な論点がある。

誤概念を上から垂れてくる植物によって修正する学習モデルに対し, そのオルタナティブとして,「応答的授業（Responsive Teaching）」[5]が注目されている。これは，生徒の思考内容そのものに注意を向け，それに応じてリアルタイムに対応する授業実践であり，その背後には，科学概念は生徒の直感的な日常知を洗練させたものであるという科学観がある。誤概念とは，正しい直感に基づく未洗練な資源（resource）であり，生徒の持つ日常的知識や経験（概念的・認識論的リソース）を出発点として，これを活用・洗練させて科学的思考を形成していくことが目指すべき目標である[6]。

では，どのような手立てにより，素朴概念の洗練が行われるのか。それは，Ⅰ．多重表現の活用，Ⅱ．メタファーやアナロジーの活用，Ⅲ．科学実験の活用，の三つに集約される。ⅠとⅡについては，文献[1]に詳しい解説がある。これらを学習環境の中に組み込み，生徒自らが活用できるようになれば，日常知を洗練する強力な手段となるだろう。また, Ⅲで想定している実験は, 伝統的なレシピ実験ではなく，予想と観察を往復する探究型の演示・生徒実験である。

このような手立てと強い親和性をもつ実践として，Etkina らによる探究的科学学習環境（ISLE: Investigative Science Learning Environment）[7]，Bunge の科学哲学に基づく Hestenes のモデリング理論[8]を教育実践に取り入れたモデリング・インストラクション（MI: Modeling Instruction）[9]などが挙げられる。

参考文献

［1］日本物理教育学会（監修), 今井 章人, 新田 英雄, 安田 淳一郎（編集），物理教育の理論と実践: 「物理がわかる」を育むアプローチ，オーム社，2025 年

［2］Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A., Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, 66, 211-227. (1982).

［3］L. H. T. West and A. L. Pines (Eds.), Cognitive Structure and Conceptual Change,New York: Academic Press (1985), 邦訳：新藤 公夫(監訳)，認知構造と概念転換，東洋館出版社，1994 年

［4］R.K.ソーヤー (著, 編集), R. Keith Sawyer (著), 森 敏昭, 秋田 喜代美 (監修, 翻訳), 学習科学ハンドブック 第二版 第 1 巻: 基礎/方法論，北大路書房，73-90，2018 年

［5］ Edited by Amy D.Robertson ,Rachel E.Scherr ,David Hammer , Responsive Teaching in Science and Mathematics ,Routledge(2016)

［6］ Edward F. Redish and David Hammer , Reinventing College Physics for Biologists: Explicating an epistemological curriculum, *Am. J.Phys.*,vol.77,No.7, 2008

［7］ Eugenia Etkina, David T. Brookes, Gorazd Planinsic ,Investigative Science Learning Environment When learning physics mirrors doing physics, Morgan & Claypool Publishers (2019)

［8］David Hestenes , Toward a modeling theory of physics instruction , *Am. J.Phys.*,vol.55,No.5, 1987

［9］American Modeling Teachers Association , Physics Mechanics: version 3.1 , Socratic Brain (2019)

5D-3

起潮力と潮汐を結ぶ周期性の概念

池田　幸夫
（崇徳中・高校　　山口大学名誉教授）
ikeda2329@gmail.com

1　問題の所在

ニュートンが確立した潮汐の力学的運動像は，広く世界中で共有されている。ＨＰに公開されている「潮汐の仕組み」において，気象庁は潮汐を次のように説明している。

① 月の側とその反対側で海面が引き上げられて満潮となる。

② 地球の自転によって，干潮と満潮は１日に２回起こる。

高著「重力と力学的世界」を著わした山本義隆（1981）は「（潮汐の）半日周期の問題は，ケプラーも含めて，ニュートン以前には誰一人成功しなかった」と述べて，ニュートンの業績を高く評価している。一般の知識人だけでなく，専門家にとっても，この説明は受け入れやすいのであろう。谷村省吾はこのような状況を「分かったつもり」と表現している。

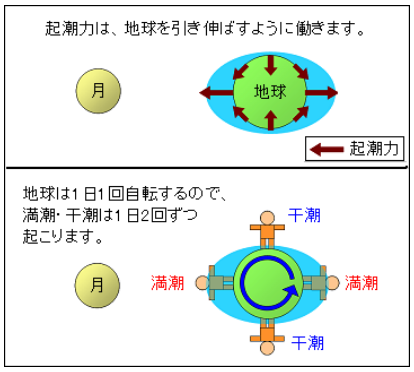


図1　潮汐の仕組み（気象庁HP）

広く普及している説明には，次のような力学的な問題点がある。

① 明らかに約 12 時間の周期で作用している起潮力の周期性が考慮されていない。

② １日で地球を一周するためには，毎秒 460ｍの相対速度（対地球）が必要であるが，この高速を保証する潮汐の力学的なメカニズムは示されていない。

起潮力の周期性に基づいた強制振動の概念を導入すれば，この疑問は合理的に解消する。

2. 強制振動潮汐論

潮汐が強制振動現象であることは，命題形式の三段論法によって，次のように証明できる。

命題Ⅰ：起潮力は周期約 12 時間の周期的外力である。

命題Ⅱ：海洋は固有周期をもつ（水深 4000ｍで約 30 時間）。

命題Ⅲ：ゆえに，周期的な起潮力が作用すれば，海洋は強制振動を起こす。

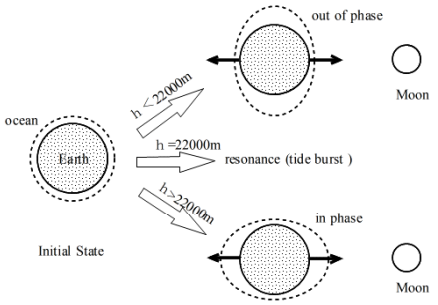


図2　水深による潮汐の分類

強制振動の理論に基づいて，演繹的に導いた潮汐像は以下の通りである。

（1）水深による潮汐の分類

水深が 22,000ｍのとき，海洋を進む潮汐波の速度は約 460m/s である。この速度は，地球上を移動する月の速度に等しい。強制振動では，外力の周期が物体の固有周期に等しいとき，共振が起こる。したがって，起潮力の周期と海洋の固有周期が一致すれば，海洋には共振による巨大潮汐が発生する。この巨大潮汐が「潮汐バースト（Ikeda，2022）」である。また，22,000ｍより浅い場合には「逆位相の潮汐」が，深い場合には「同位相の潮汐」が発生する（図 2）。平均水深約 4000ｍの海洋に発生する潮汐は逆位相（位相差は 90°），固体地球の潮汐（地球潮汐）は同位相（位相差は 0°）である。

（2）潮汐の力学的運動像

同位相と逆位相の力学的運動像は，図３と４に示されている。逆位相の潮汐（図４）では，月が南中

している A 点は干潮，90° 離れた B と D が満潮となる。B 点と D 点の海水は重力に引かれて降下し，連動して A 点と C 点の海水面は上昇する。そのため，3 時間後に月が②まで移動したとき，地球全体の海水面の形は円となる。このとき，海水面は重力の等ポテンシャル面に平行であるが，力学的エネルギー保存の法則に従って海水の上下運動はそのまま続き，3 時間後には月は B 点の上空に移動して，A 点と C 点が満潮，B 点と D 点が干潮となる。以上のように，周期的外力を受けた潮汐の運動は，楕円と円を繰り返す楕円振動（楕円→円→楕円→円→楕円→・・・）と考えることができる。

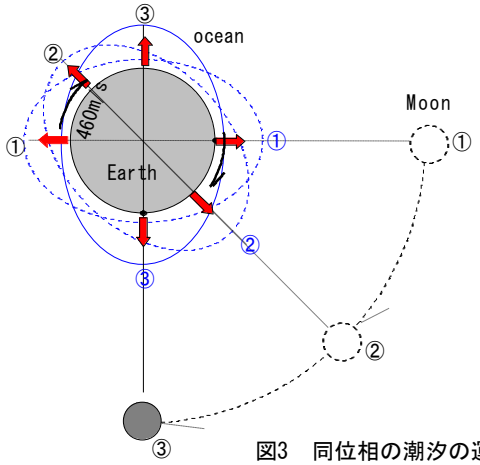


図3　同位相の潮汐の運動像

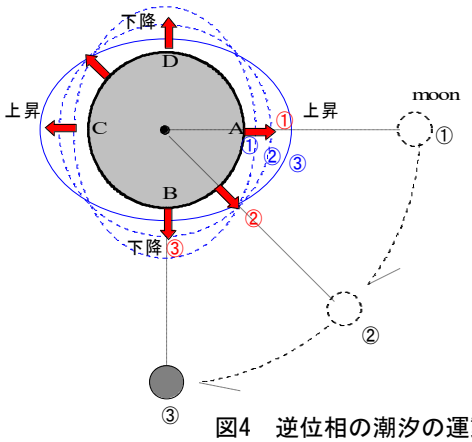


図4　逆位相の潮汐の運動像

（3）潮汐バーストの概念

強制振動で最も興味深い現象は共振である。共振は，外力（起潮力）の周期と海洋の固有周期が一致したときに起こる。潮汐摩擦によって，地球の自転速度は 100 年間に 0.0024 秒ずつ遅れているので，この遅れがこのまま続けば，約 50 億年後の自転周期は約 60 時間となる。起潮力の周期は自転周期の半分の約 30 時間である。したがって，この周期は水深 4000ｍの海洋の固有周期と一致するため，海洋には共振が発生するであろう。理論的に予測したこの巨大潮汐を，私は**潮汐バースト**と呼んでいる。

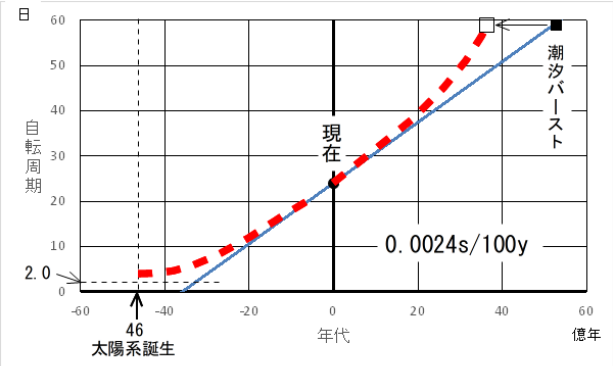


図5　自転周期の遅れから推定した
原始地球の自転周期

自転周期の遅れから推測できることは，原始地球の自転が非常に速いことである。固体地球の固有周期は 54 分（約 1 時間）であることから，自転周期が約 2 時間のとき，固体地球は共振を起こすであろう。地球が現存している事実は，「原始地球の自転周期は 2 時間より速くなかった」ことである。

潮汐摩擦は，主に潮汐によって自転にブレーキがかかる現象である。起潮力の周期と海洋の固有周期との差が大きい原始地球においては，潮汐の振幅は小さくなるはずである。したがって，潮汐摩擦の効果は小さく，自転周期の遅れはほとんどなかったであろう。潮汐の振幅には月との距離の影響も大きいので，単純に結論を出すことはできないが，潮汐現象を強制振動に基づいて考察してゆけば，原始地球の自転周期を力学的に推定する新しい道が見えてくるであろう。

5D-4

「中学生 AI」とともに物理の基礎的な概念理解を獲得する授業実践

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

物理教育においては，学習者が日常経験に基づいた素朴概念や誤概念を保持しており，これが科学的理解の妨げとなることが知られている．これらを乗り越えるためには，さまざまな教育実践がされている．吉野他（2003）では，素朴概念をフィードバックすることによって学習者自身が自らの素朴概念に気づくことが効果的であるとの指摘や，髙橋・赤松（2024）では，物理概念と誤概念の対立と周辺概念との関連付けで前後構成し，周辺概念に関する復習 （宿題）を入れることで物理概念の理解度と自己効力感が実践の前後で向上が見られる研究などがある．筆者も高校授業において，中学生に説明するつもりで物理的状況を言語化するワークショップ型授業を実践報告した（朝倉，2022）．本研究は，その先行実践を踏まえ，生成系 AI（ChatGPT）を“中学生レベルの知識を持つ仮想学習者＝「AI 中学生」”として設定し，グループで作成された説明が「中学生にとって理解可能かどうか」を判定させるという新たな要素を加えた授業実践である．学習者は AI 中学生のフィードバックを通じて，自らの説明が物理的に正確でかつ他者に伝わる形になっているかを客観的に捉え直すことができること，また，物理の学習において生成系 AI の利用が学習者にとって有用性を検証した．

２．方法

本授業は国立附属高校 2 年生の「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「問題 1：運動している物体にかかる力の向き（図 1）」「問題 2：重なった 2 物体の力のかかり方（図 2）」について，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「中学生にも伝わるような説明文を協働で作成し，クラス内で共有した．完成した説明文は，OpenAI 社が提供する ChatGPT（使用モデル：GPT-4o）に「中学生役」として提示し，自然な日本語で理解の可否をフィードバックさせた．さらに，別プロンプトでは AI 教師としての講評と，5 段階評価によるスコアも生成した．なお，生徒の個人正答率は，問題 1 は 81%，問題 2 は 62%である．

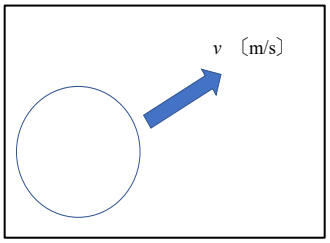
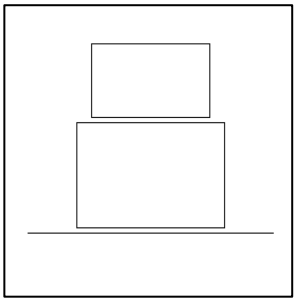


図 1 問題 1


図 2 問題 2

３．実践事例と検証

3.1　実践事例

問題 1 についての実践事例を以下に示す．

事例 1
生徒の回答：
接触していなくて，働けるのは重力だけである．
中学生（AI）の感想：
短いけど，言いたいことははっきりしていて分かりやすかった．「重力だけが働ける」って言い切ってあるのがすごくスッキリした．でも，「どうして重力だけ？」って理由があるともっと安心できた気がする．
教師（AI）のフィードバック：

結論を的確に，簡潔に伝えている点はとてもよいです．特に，「接触していない」と「重力だけが働く」という二つの要素をしっかりつなげて考えているのは，力の判断基準として正確な理解ができている証です．ただし，短すぎるために「なぜ重力だけが働けるのか」や，「接触していない＝他の力がない」という背景が少し省略されすぎています．読み手が納得するには，もう 1 文程度の補足があるとベストです．
総合評価：4.2 / 5

事例 2
生徒の回答：
空中に浮いている物体でも重力は働いている．物体が動いているからといって，その方向に力が働いているわけではない.
中学生（AI）の感想：
「動いてる方向に力があるとはかぎらない」ってのがはっきり書いてあって，なるほどって思った．前にも出てきたけど，また確認できてよかった．難しいことを簡単に言ってくれてる感じがして読みやすかった！
教師（AI）のフィードバック：
とても良い回答です．「空中でも重力はある」という確認と，「運動の向きと力の向きは別」という誤概念の修正，2 つのポイントがしっかり入っています．文章も簡潔で，読みやすく，内容が明確です．特に，「動いている＝力が働いている」ではないという誤解は多くの生徒が抱えるものなので，それを明言している点は，他の生徒の理解にも大きく貢献します．欲をいえば，「じゃあ力があるときってどういうとき？」（＝速さや向きが変わるとき）という補足があると，理解がさらに深まります．
総合評価：4.8 / 5

3.2 検証結果と考察

本授業後に，生徒は AI 中学生の応答に対して「中学生らしさ」の観点から評価を行った（表 1，n=78）．口調や簡易な物理用語も知らないということもあり，中学生よりも低年齢であると判断した回答が多く見られた．一方で，的確に生徒の回答を理解（わかならいところを「わからない」という）しているなどから学習者自身（高校生）と同程度と感じると回答した．「AI 中学生」の「中学生らしさ」のスコアは 5 点満点中 3.3 点となった．

表 1 中学生らしさの評価

項目（スコア）	割合
1. 本当に中学生だった！（5/5）	22%
2. 小学生くらいに感じた（3/5）	50%
3. 自分たちと同程度（3/5）	22%
5. 大人っぽすぎる（1/5）	3%
4. 幼すぎる（1/5）	0%
6. 先生のように感じた（0/5）	2%

次に，本授業を通して力学の理解と AI 利用に関する興味関心の評価を示す（表 2，n=78）．「AI 教師のフィードバックを通して，どの説明がわかりやすいのか，どう表現すれば伝わるのかを考えるきっかけになり，物理の考え方に対する興味も深まった」「自分の頭も整理できた」「AI の使い方が理解できた」と，力学の理解および AI への興味関心の割合が 70%以上と非常に高かった．一方で力学の理解の深まりがないと答えた中には「先生がいるからこそ AI が間違ったことを言っていたとしても修正が効くし，とても面白いと思いました．」と既存の学習の重要性について言及するコメントも見られた．概念変容を促すこと，客観的評価や言語による顕在化に関して，生成系 AI の利用は物理学習と親和性は高く，今後の物理教育に生成系 AI の利用に関しても一部留意をしつつ，進めていくことが重要であることが示唆された．

表 2 力学の理解と AI の興味関心

項目	割合
力学の理解は深まり，AI にも興味関心が高まった.	73%
力学の理解は深まったが，AI とはちょっと距離を置きたいと思った.	16%
力学の理解は深まっていないが，AI には興味関心が高まった.	11%
力学の理解は深まっていないし，AI ともちょっと距離を置きたいと思った．それは主に物理で利用したことが原因だ.	1%

・吉野巌・川端健裕・川村麗衣・長内晋子(2008), 素朴概念の修正におけるフィードバックとメタ認知的支援の効果：中学校数学授業における実践的研究，北海道教育人学紀要（教育科学編），55(2), 1-11
・髙橋幸太郎・赤松大輔(2024), 高校物理における概念変容を促す授業実践の効果検証と自己効力感の調整効果の検討, 日本教育工学会論文誌 48(2)，411-421
・朝倉彬(2022), 言語活動による物理的思考力の定着化の試み-物理の授業を楽しみながら理解をしてもらうために-，第 38 回物理教育研究大会予稿，147-148

6H-1

高校物理における動画解析教材の開発と実践的検証

Tracking Analysis for Physics の構築と活用事例

小田朋宏
大阪教育大学附属高等学校池田校舎
tomohiro_oda@ikeda-g.oku.ed.jp

１．はじめに

高校物理における運動の理解は、物理学習の基礎でありながら、位置・速度・加速度といった抽象的な物理量に抵抗感を持つ生徒も多く、学習の定着には課題がある。生徒の思考過程を可視化し、仮説と観察、データと理論の往還を促す「見える化」された教材の整備が必要であると考えた。

近年、直線上の運動に関しては、モーションセンサなどの普及により、観察・実験の手法が多様化してきている。しかし、平面内の運動や複数物体の相互作用を扱う場面では、適切な教材や実験装置が限られ、準備やデータ処理の煩雑さが授業実施の障壁となっている。このような現状において、動画解析による「見える化」は、複雑な運動現象を視覚的に理解させ、探究的な学びを支援する上でも極めて有効な手段である。

一方で、既存の動画解析ツールの多くは、操作が複雑であったり、オンライン環境や特定の機器に依存していたりと、教育現場での活用にはハードルがあった。こうした課題を踏まえ、現場のニーズと制約を直視し、授業時間内で完結可能な実用的かつ操作性の高い動画解析教材「Tracking Analysis for Physics」を開発した。本発表では、その操作性ならびに実際の授業における活用事例を紹介する。
あわせて、本教材が高校物理における運動教材の新たな選択肢となりうる可能性と今後の展望について述べる。

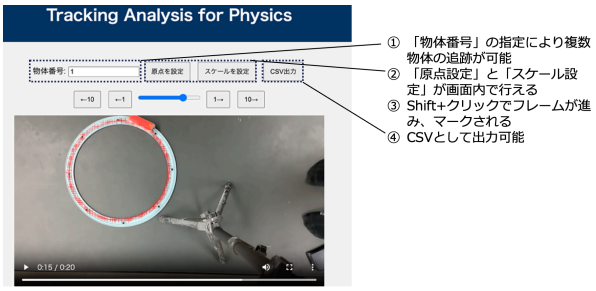


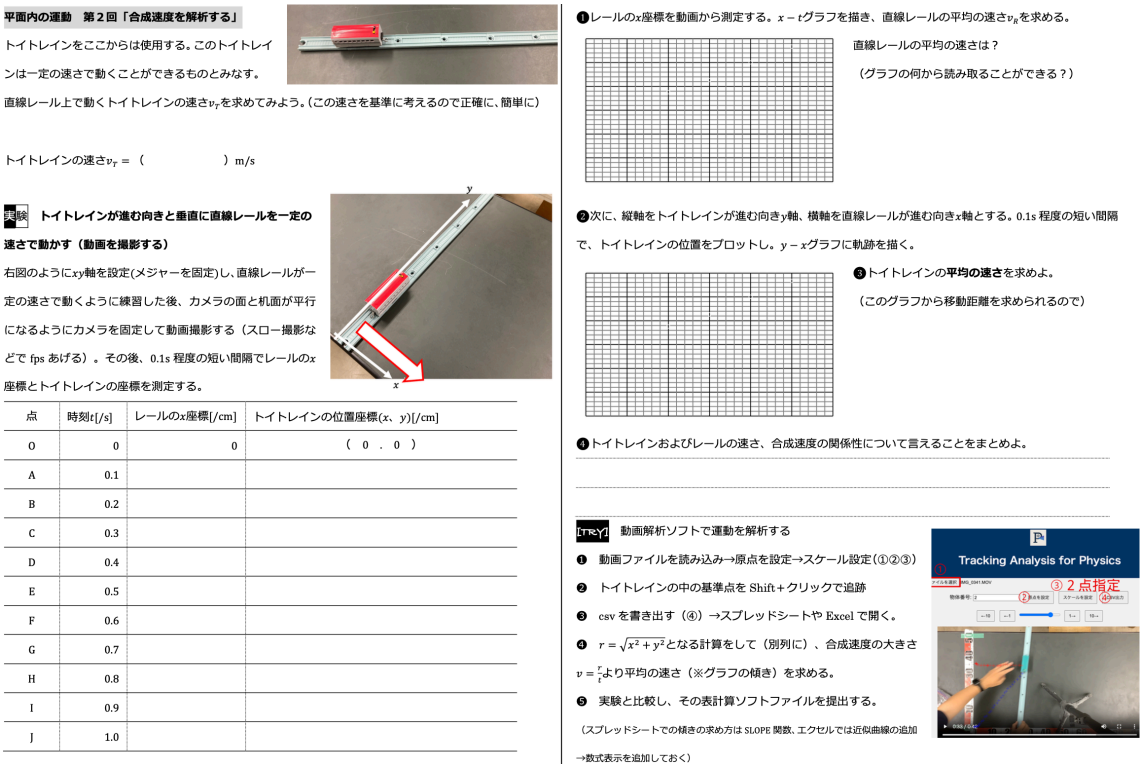
図 1：Tracking Analysis for Physics の操作画面イメージ

２．「Tracking Analysis for Physics」の概要

本教材は、操作を極限までシンプルにし、初回利用でも数分以内に基本操作とトラッキングを完了できる。動画の読込から追跡、CSV 出力までが一連で完結する構成となっており、授業内での活用に適した設計となっている。また、開発にあたっては、機能を限定的にすることで、シンプルさを追求した。位置データは CSV 形式で出力でき、Excel やスプレッドシート等での二次分析も容易である。さらに、複数物体を同一フレーム上で色分けして追跡できるため、衝突や合流・分岐などの解析も行いやすい。インストール不要でブラウザ上で動作する動画解析ツールであり、授業時間内で完結する探究的活動への応用を可能とする。

3．授業での活用事例と初期的評価

本ツールは高校２年生の「物理」の授業において、任意課題として試験的に導入した。平面内の運動「速度の合成」にて動画を読み込んで解析させた。生徒は自らの手でデータを取得し、そのグラフを解釈することで、数式では表現しづらい運動の特徴や変化を可視的に理解する機会を得た。「目で見えるから納得できた」「操作が簡単だった」「(実際に行った) 紙面上での解析や理論と同じ結果がみられて面白かった」などの意見もあり、分析意欲や表現力を高める教材としての一定の教育効果が確認できた。



平面内の運動　第２回「合成速度を解析する」

トイトレインをここからは使用する。このトイトレインは一定の速さで動くことができるものとみなす。

直線レール上で動くトイトレインの速さv_Tを求めてみよう。(この速さを基準に考えるので正確に、簡単に)

トイトレインの速さv_T ＝（　　）m/s

実験 **トイトレインが進む向きと垂直に直線レールを一定の速さで動かす（動画を撮影する）**

右図のようにxy軸を設定(メジャーを固定)し、直線レールが一定の速さで動くように練習した後、カメラの面と机面が平行になるようにカメラを固定して動画撮影する（スロー撮影などで fps あげる）。その後、0.1s 程度の短い間隔でレールのx座標とトイトレインの座標を測定する。

点	時刻t[/s]	レールのx座標[/cm]	トイトレインの位置座標(x、y)[/cm]
O	0	0	（ 0 ． 0 ）
A	0.1		
B	0.2		
C	0.3		
D	0.4		
E	0.5		
F	0.6		
G	0.7		
H	0.8		
I	0.9		
J	1.0		

❶レールのx座標を動画から測定する。$x-t$グラフを描き、直線レールの平均の速さv_Rを求める。

直線レールの平均の速さは？

（グラフの何から読み取ることができる？）

❷次に、縦軸をトイトレインが進む向きy軸、横軸を直線レールが進む向きx軸とする。0.1s 程度の短い間隔で、トイトレインの位置をプロットし。$y-x$グラフに軌跡を描く。

❸トイトレインの**平均の速さ**を求めよ。

（このグラフから移動距離を求められるので）

❹トイトレインおよびレールの速さ、合成速度の関係性について言えることをまとめよ。

動画解析ソフトで運動を解析する

❶ 動画ファイルを読み込み→原点を設定→スケール設定(①②③)

❷ トイトレインの中の基準点を Shift＋クリックで追跡

❸ csv を書き出す（④）→スプレッドシートや Excel で開く。

❹ $r=\sqrt{x^2+y^2}$となる計算をして（別列に）、合成速度の大きさ $v=\frac{r}{t}$より平均の速さ（※グラフの傾き）を求める。

❺ 実験と比較し、その表計算ソフトファイルを提出する。

（スプレッドシートでの傾きの求め方は SLOPE 関数、エクセルでは近似曲線の追加→数式表示を追加しておく）

図２：(自作プリントより) 平面内の速度の合成

4．今後の展望

今後も開発を継続し、センサ教材との連携、解析モデルの高度化、インターフェースのさらなる改良を行っていく。表１の活用事例について解析案を提示し、より多様な教育現場での実践・評価を重ね、物理教育における「見える化」と「思考の往還」を支えるツールとして、教育効果の実証を進めたい。

さらに、本発表を通じて、多くの現場教員や研究者との意見交換の中から汎用性と改良可能性を高め、教材の普及に貢献することをめざしている。

表 1　活用事例案

分野	現象カテゴリ	具体例
力学	斜方投射	角度をつけて投げた物体の放物線運動の解析
力学	円運動	回転盤での円運動（射影など）
力学	衝突運動	台車同士の弾性/非弾性衝突
力学	振動運動	振動、単振り子
力学	相対運動	成分分解と合成運動の観察
波動	横波・縦波	波の伝播速度
波動	反射・干渉	反射や重ね合わせ、定在波
熱	熱膨張	加熱された金属棒の長さ変化の計測
原子	放射線の飛跡	霧箱にて軌跡の長さや方向の解析

参考文献

[1]小田朋宏（2025）「トイトレインで探る運動の世界」，第 73 回全国理科教育大会予稿集

6H-2

等速円運動の学習における視覚障害学生支援

平野祐希子
筑波大学附属視覚特別支援学校
hirano@nsfb.tsukuba.ac.jp

1．背景

等速円運動の速度や加速度は、活字の教科書では図 1[1]のような図を用いて解説されている。1 つの図の中に変化前後の物体の速度ベクトルや位置が示されており、視覚的にはわかりやすいが、点字教科書に載せるには工夫が必要である。例えば図 1 では $\Delta\vec{v}$ と $\vec{a}$ が重なっているが、これらをそのまま凸凹で描いてしまうと、触って判別することはできない。また、色や太さなどの違いを表すことも難しい。点字教科書ではこのようなことに配慮してアレンジされた図(点図)があり、図 1 は図 2[2]のように表現されている。様々な物理量とその変化などを全て表現しようとすると、図の枚数が増えることもある。そもそも点図は理解するのに時間がかかるため、実際には図 2 のように情報を減らすアレンジをすることが多い。さらに、多くの高校ではアニメーションなどを教員が製作して補足することもできるが、視覚特別支援学校(盲学校)ではそのようなものには頼れない。このように、図や動画を見ることのできない学生には大きなハンデがある。

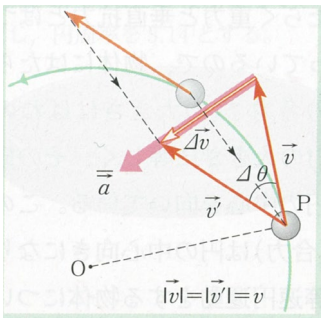


図 1　活字教科書の図

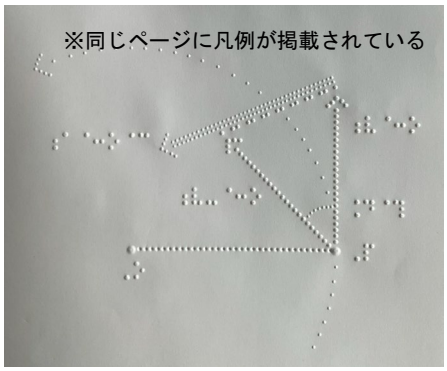


図 2　点字教科書の図

2．補助教材・加速度の音声読み上げ

本校では長年、カプセルペーパー(立体現像機に通すと、黒く印刷された部分に熱が加わって盛り上がる)を用いた補助教材(図 3)を使ってきた。運動する物体とその速度ベクトルのそれぞれが描かれた円盤を両手で同時に動かし、変化の様子を確認する。線がたくさん交差したり、重なったりしている点図よりも、触って理解するにはわかりやすい。しかし、目盛りを合わせながら回すことと、動きを確認することを同時に行うのが難しい生徒も多かった。小林真氏(筑波技術大)が 3D プリンタで制作した補助教材(図 4)[3]はこの問題を解決するためのもので、物体と速度ベクトルの動きが歯車で同期するようになっている。

また、実験は視覚障害のない学生と同じものを、少しの工夫を加えて行った。さらに等速円運動をしている物体に加速度センサを取り付け、数値を音声で読み上げることでほぼリアルタイムに知ることができるプログラムも用意した。

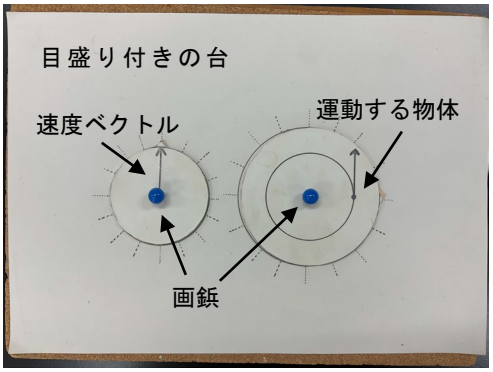


図 3　カプセルペーパーを用いた教材

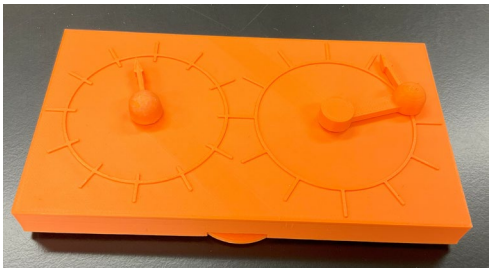


図 4　3D プリンタによる教材

３．授業実践

高校３年生、選択者１名(弱視)の「物理」において、管に通した紐の先にボールをつけて床と平行になるように振り回し、等速円運動を簡単に体験させたあと、等速円運動の変位、速度、加速度について図４の補助教材を用いて考えさせた。以前の教材よりも操作がシンプルな分、ベクトルの変化の確認に集中できているように感じた。物体とベクトル部分を濃い色・背景を薄い色にしたり(3D プリンタの出力時にフィラメントの色を変えることで対応可)、目盛りも濃い色にしたり(マジックで色を塗るなどはできる)といった視認性を高める工夫をすると、弱視の生徒にとってさらに使いやすそうだった。

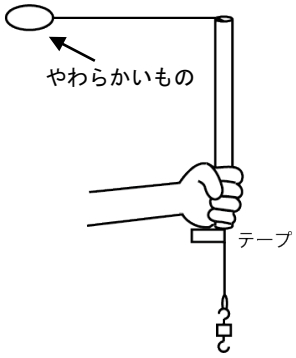
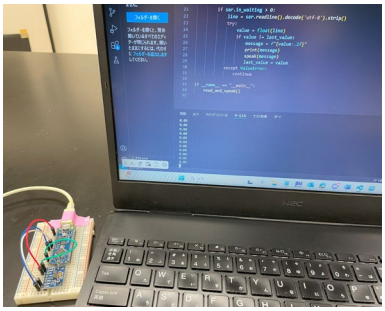


図５　実験の工夫

向心力と物体の質量、回転半径、周期の関係を調べる実験は、けが防止のために柔らかいものを物体に使用したり、半径を合わせるための目印にテープを貼ることで触ってわかるようにしたり(図 5)と、少しの工夫を加えるだけでできる。また向心加速度を測るために、スピーカー付きのマイコン＋加速度センサを振り回してデータを読み上げさせることを考えた。しかし、けが防止のために装置にスポンジをつけると、音がほとんど聞こえない。そこで、断線の危険はあるが、ケーブルで接続したまま装置を振り回し、パソコンで読み上げる形式にした(図 6)。測定値は、実験中は 2 秒に 1 回読み上げられたものを確認し、終了後にはシリアルモニタに表示されたものを理論値と比較した。


図６　加速度測定

４．課題と展望

盲学校の専門性と設備を活かした教育を研究することは大切である。一方、インクルーシブ教育の進む今、盲学校を選ばない生徒も多くいる。そこで視覚障害のない生徒たちと共に学ぶ生徒たち、そして教師の支援をすることもまた、盲学校の使命である。例えば、今回は補助教材を 3D プリンタで制作している。盲学校以外にはあまり置いていない立体コピー機よりも、生徒にとってはむしろ 3D プリンタの方が身近になっていくかもしれないと考えてのことでもあった。インクルーシブな環境では、視覚障害のない生徒たちが図を見ている中で、見えない生徒にはこのように支援をすることもできる。

また、視覚障害者向けの音声読み上げ機能のついた測定機器はどれも大変高価であり、盲学校以外に在籍する生徒たちはほぼ使うことはできない。すると、自分自身で測定値を確認することは難しくなる。その点で、パソコンと(その類の測定機器類に比べれば)安価なマイコンやセンサ類を用いて測定する方法は、盲学校以外の生徒たちにとってもチャンスを広げる手段になり得ると考えられる。一方で、音声での読み上げ機能を持たせたプログラムは動作が重くなりがちである。今回は加速度の大きさがほぼ一定であるため、2 秒に 1 回という頻度での測定値読み上げでも十分だったが、その他の実験で色々な物理量を測定するときには不十分なことも多くなるだろう。視覚障害者がリアルタイムで測定値を知る方法についても、さらに研究していきたい。

参考文献

[1]植松恒夫ほか編：「高等学校　物理」啓林館, 令和 4 年検定済, 65.
[2]日本ライトハウス編：「啓林館版　高等学校　物理 3」日本ライトハウス, 2023, 91.
[3]小林真(2025)：　3D プリンタで作る模式図を伝えるための「動く触覚教材」, ヒューマンインタフェース学会研究会報告集, Vol.27, No.1, pp.9-12.

6H-3

XR 技術を用いたウェブコンテンツを紹介するチャットボットの開発

[A]秋山綱紀，[B]山村雪季，[A]西岡圭太，[A]中村晃
[A]金沢工業大学基礎教育部，[B]金沢工業大学工学部
akiyama.k.af@neptune.kanazawa-it.ac.jp

１．はじめに

Virtual Reality (以下, VR)や Augmented Reality (以下, AR)は XR（Cross Reality, Extended Reality）と総称される最先端の Information and Communication Technology（ICT）技術であり，仮想オブジェクトと現実がどの割合で実装されているのかに応じて呼称が変わる[1]. 近年は動画やゲームにも導入され，デジタルネイティヴである学生たちには馴染み深くなりつつあるようだ.

これらの技術は教育においても数多く導入されてきている．利点としては，(1)危害を受ける可能性がある現象を安全に観察できること，(2)実物に触れることが難しいものを体験できること，(3)通常は観察できない（しにくい）角度・視点からじっくり観察できること，(4)見えない（にくい）概念を可視化できることなどがある．物理教育では(4)の観点のコンテンツが多数存在している[2].

主に検証されている教育効果は，学習者の興味や関心，学習意欲の向上であり，物理学においては，摩擦や運動に対する理解度の向上も示されている[3].

２．VR コンテンツも紹介する AI チャットボットの開発

我々のグループは，KIT 物理ナビゲーションという物理の e ラーニングウェブサイトを開発している[2]．このサイトでは，2019 年度から物理実験動画を無料公開しており，2022 年からは立体視動画やいわゆる VR 動画のものも無料公開し始めた[2]．また，IBM 社の Watson Assistant を用いて，2023 年度に KIT 物理ナビゲーションに掲載されている物理実験動画も紹介するチャットボットを開発した[4]. これは，2021 年度に開発された KIT 数学ナビゲーションの「微分」に関するページを紹介するチャットボットをもとに拡張されてきた，現在も運用されている KIT STEM ナビゲーションのチャットボットに，物理実験動画を紹介する機構を追加したものである[4].

本講演では，チャットボット開発において追加した要素を説明する．また，既に物理教育の実践現場でも活用しており[4], 学生たちからの評価も取得しているため, その結果も時間が許す限り報告したい.

３．AR コンテンツも紹介する AI チャットボットの開発

新たに AR コンテンツの開発とウェブ実装が実現したので報告する．我々は， Blender を用いて 3DCG モデルを試作して, iPhone 用として usdz ファイル, Android 用として glb ファイルで出力した. 次に，model-viewer を用いてウェブサイト上に表示できるようにした[5]．アプリ等をインストールする手間はなく，いつでも誰でも体験できる点が WebXR の魅力である.

Android 端末でアクセスした例を図 1 に示す．ドラッグすることで回転させることができ，様々な角度からソレノイドコイルに生じる磁力線の様子を観察できる．また，拡大・縮小して観察することもできる[5].

さらに，スマートフォンでアクセスしたとき（PC では次に述べる機能は基本的に使えない），図 1 の右下の赤枠で囲ったようなアイコンが表示される．このアイコンをタップして，画面に表示される指示

に従って操作すると，図２のようにカメラを通して 3DCG モデルが現実世界に重畳表示できる（これがいわゆる AR である）．今回試作した 3DCG は表示サイズが大きくなり過ぎたため，少し難易度は高いが，うまくカメラを持ったまま移動すれば，背面に回り込んだり下からのぞいたりして観察することができる．

この図１のページ[5]を紹介する機能を前述の物理実験動画も紹介するチャットボットに追加した．

※あくまでも試作段階であり，ウェブサイトの構造などはこれから調整するため，今回紹介したページは今後移動させる可能性がある．



図１　ウェブサイト上における 3DCG の表示

４．まとめと今後の課題

物理の VR や AR コンテンツを自作して，それを紹介するチャットボットを開発して，いつでも誰でも授業に活用できるように，無料一般公開中である．まずは XR コンテンツの増産が急務である．

本講演までの間にウェブサイトの構造（各物理概念説明ページに付属させる形にするか，AR コンテンツだけをまとめる形にするかなど）を協議・調整して，AR コンテンツの提供方法を確定させる．また，それに応じてチャットボット内の紹介方法も最適化する予定である．

授業内においては，チャットボットを通して XR コンテンツにアクセスする形で活用していく．VR コンテンツの方は，教育実践例を蓄積させて教育効果などのデータ分析を継続する．新規開発した AR コンテンツの方は，授業内で活用可能な 3DCG を増やして，教育実践につなげていきたい．



図２　スマートフォンカメラを通した AR 表示

謝辞

本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費補助金（課題番号 22K13768, 25K0665012）の助成を受けて行われたものである．VR コンテンツの作成に関わった多くの学生スタッフに感謝する．

参考文献

[1]P. Milgram and F. Kishino(1994) : A taxonomy of mixed reality visual displays, IEICE Transactions on Information Systems, E77-D(12), 1321-1329.

[2]秋山綱紀，高鳥萌，堀晴菜，西岡圭太（2023）：e ラーニングウェブサイトへの 3D/VR 物理実験動画の導入，KIT Progress，31，74-83.

[3]S.A. Sotiriou and F.X. Bogner(2008) : Visualizing the Invisible: Augmented Reality as an Innovative Science Education Scheme, Advanced Science Letters, 1, 114-122.

[4]秋山綱紀，西岡圭太，中村晃（2023）：立体視/360 度動画をウェブ上で紹介する仕組みの構築と活用事例，日本科学教育学会研究会研究報告，38(2)，311-314.

[5]https://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/physics/movie/AR/　（参照日 2025.7.12）

6H-4

反転授業とリメディアル教育に対応した，高校物理のデジタル教材の紹介

千頭一郎
鹿児島工業高等専門学校
chikami@kagoshima-ct.ac.jp

１．はじめに

筆者は鹿児島県の高等学校の教員として30年近く勤務してきた．2001年に赴任した離島の高等学校では，物理選択者の数は1学年6～20名程度と少ないものの，難関国公立大学を受験する生徒と，分数の計算すらおぼつかない生徒が混在するクラスを担当した．そこで高校物理のワークブックを作成して，それぞれのペースで学習させることにした．ワークブック作成のポイントは次の３点である．

①　自学自習ができるようにする．
②　発展的な内容を盛り込み，成績上位者が飽きないようにする．
③　文字式や三角関数，ベクトルなどの数学を理解できるようにする．

①は学力差の大きい生徒に対応するためである．②の発展的な内容とは，難易度の高い演習問題や高校物理で扱わない内容である．成績上位者を飽きさせないだけではなく，生徒全体の興味・関心を高めることや，ワークブックを大学で学ぶ物理との橋渡し教材にすることをねらいとして，発展的な内容を加えた．筆者が担当するクラスでは理工系の学部への進学者が多いことや，大学進学後も分からないことがあるとワークブックを読み直すという卒業生がいることから，目的は達成されていると思われる．

物理が分からない，あるいは物理の問題が解けないには４つの段階がある．「Ⅰ現象が分からない」，「Ⅱどの法則（公式）を用いればよいか分からない」，「Ⅲ使っている数学が分からない（計算できない）」，「Ⅳ答えの意味が分からない」の４段階である．③は「Ⅲ使っている数学が分からない」に対応するためである．なお，ブログでは「高校物理のための数学」の章を設けて，数学について確認したり，学習したりできるようにしている．

ワークブックを用いた授業の進め方は，今でいうアクティブラーニング形式で，互いに教え合えるような環境を作ったところ，コミュニケーション能力の高い離島の生徒には大変有効であった．

基本的に授業方法は変えずに，それぞれの高校でのニーズに合わせて教材開発を行い，2014年からデジタル教材を開発，2020年からYouTube動画を公開して，生徒が主体的･対話的な学びにより，意欲的に学習できる環境を整えてきた．現在，筆者が使用する教材は，デジタル教科書に相当する「テキスト」，生徒が学習内容を書き込める「ワークブック」，授業の内容を簡単に説明するYouTube動画の三つである．この3つの教材は，ブログ「C16高校物理」（https://blog.c16physics.com/）で公開しており，現在の勤務校である鹿児島工業高等専門学校(鹿児島高専，以下高専)の学生のみならず，高校生や大学生がブログを用いて学習しているようだ．実際に，ある大学では教員採用試験対策として使用しているという報告を受けている．

以下，筆者の開発したデジタル教材とYouTube動画の授業での活用例と，リメディアル教育への応用について述べる．

２．高等学校での反転授業の実践

鹿児島市の中心部にある，鹿児島県内屈指の進学校で2019年から反転授業をはじめた．進学校ということもあり，問題集の問題を毎日２題程度演習する宿題を生徒に課していたが，この宿題を予習に置き換えた．予習の範囲は前時の授業の最後に指示して，授業がある日に予習プリントを提出させて，可能であれば授業前に生徒の予習の状況を確認してから授業を行った．

反転授業を始めるにあたり，ワークブックを改訂した．改訂の目的は，物理法則や現象を言葉できちんと説明する能力を育成するためである．そのために，それまでのワークブックに記載していた法則や現象の説明を削除して，「運動の法則とは何か」というような問いかけに対して，生徒が自分の言葉で書き込めるようなスペースを多くした．予習の状況を見て，法則や現象を正しく理解していない記述が多く見られるときは，授業の冒頭で全体に対して説明するようにした．

反転授業のいいところは，授業が「分からない」から始められる点である．通常の授業では，生徒は「何を学ぶか分からない」からスタートするが，反転授業の場合は「ここが分からない」や，「ここからが分からない」，「そもそも現象が分からない」というように，生徒は質問できる状態，あるいは質問できなくても何を学ぶかは分かった状態で授業に臨める．この差は大変大きく，基本的な授業の構成「前時の復習→本時の導入→展開→まとめ(または演習)→次時の予告」のうち，「前時の復習→本時の導入」の部分を省略することができる．そのため，予習である程度内容を理解できた生徒には，演習問題を与えることで，時間を無駄にすることなく内容への理解を深めさせることができる．一方，内容の理解が甘いと思う生徒には，教室の前(黒板の近く)へ移動させて，分かった点と分からなかった点を確認しながら，内容を理解させる授業を行う．対象となる人数が少ないので，細やかな指導ができることから，生徒からの評判は良かった．

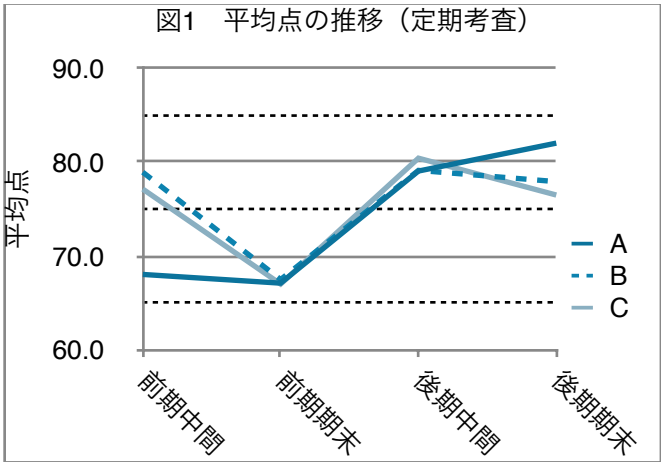
３．高専での授業

昨年度（2024年度）から高専に勤務し，高専１・２年生の物理を担当した．高専１・２年生の物理は，高校物理と同じ内容である．

昨年度の前期は，高校で実践したような反転授業を試みたが，１週間に１回(２年生は２回)しか授業がないことに加え，そもそも高専の学生は学習習慣が身に付いていないものが多いので，予習の状況は芳しくなく，学生からも不評であった．

そこで昨年度後期からは，授業の解説を簡単に行い，その後ワークブックが終わった学生には，問題演習に取り組ませるスタイルに変更して，自宅学習に頼らず90分の授業の中で学習させるようにし

た．演習問題は，Lv0～Lv3までであり，Lv0では法則や公式を確認する１題１答形式の問題，Lv1は基本的には単元の知識だけで解ける問題，Lv2はLv1よりはやや難易度が高く，問題によっては既習範囲の知識も必要なものを扱っている．Lv3は大学入試程度の問題である．意識の高い学生の中には，授業までに予習を進めてくるものもおり，授業時間を多く演習するために割り当てていた．私の担当するクラスでは，学習の成果が前期期末考査から現れ，前期中間考査では10点以上離れていたクラスごとの平均点が，5点以内に収まるようになった（図１）．



４．リメディアル教育への応用

高等学校の教員として理系教育や進路指導に携わってきたが，物理や微積（数Ⅲ）などを十分に学ばずに大学へ進学する高校生が多いことから，リメディアル教育の必要性を感じた．高専は高等学校から大学１・２年生までの年代が学ぶ学校である．物理や微積を一から教える高専の教育には，リメディアル教育を充実させるためのヒントがあると考えている．

現在，高専１年生で行っている授業を元に，１回90分の授業で高校物理の力学分野を全て学ぶ指導計画（表１）を立てた．対象は物理を全く学んでいない学生である．基本的に２回の授業を１セットとして考え，単元の内容を説明して，その後簡単な問題（Lv0程度）の演習を行う「説明と演習」の授業と，単元を理解するための演習（Lv1,Lv2程度の問題演習）を行う「演習と確認テスト」の授業に分けている．高専での最近の調査で，主体的･対話的な学びにより学習したクラスの方が，授業内容の定着がよいことが示唆されていることから，主体的･対話的な学びにより授業を進めるとともに，筆者の開発したデジタル教材やYouTube動画を用いれば，学力差の大きい学生に対応した，リメディアル教育が展開できるのではないかと考えている．

学期	週	内容	学期	週	内容
前期	1	「 物理を学ぶための準備」説明	後期	1	前期の復習
	2	「速度」説明と演習		2	「仕事と力学的エネルギー」説明と演習
	3	「速度」演習と確認テスト		3	「仕事と力学的エネルギー」演習
	4	「加速度と鉛直線上の運動」説明と演習		4	「仕事と力学的エネルギー」演習と確認テスト
	5	「加速度と鉛直線上の運動」演習と確認テスト		5	「運動量」説明と演習
	6	「鉛直面内の運動」説明と演習		6	「運動量」演習と確認テスト
	7	「鉛直面内の運動」演習と確認テスト		7	「等速円運動」説明と演習
	8	「力のつりあい」説明と演習		8	「等速円運動」演習と確認テスト
	9	「力のつりあい」演習と確認テスト		9	「単振動」説明と演習
	10	「運動の法則」説明と演習		10	「単振動」演習
	11	「運動の法則」演習と確認テスト		11	「単振動」演習と確認テスト
	12	「いろいろな力」説明と演習		12	「万有引力」説明と演習
	13	「いろいろな力」演習と確認テスト		13	「万有引力」演習と確認テスト
	14	前期の復習		14	後期の復習
	15	考査		15	考査

表1：鹿児島工業高等専門学校では，１年次は「単振動」と「万有引力」，「力のつりあい」のうち「力のモーメント」，「いろいろな力のうち「水圧と浮力」は扱わない．また８週目と９週目の間に中間考査が入る．

参考文献

[1]千頭一郎(2019)：言語活動を中心とした授業実践について～デジタル教材「高校生のための物理学」の紹介と活用,鹿児島県理科部会誌，N0.61，40-41.

6C-1

高校物理における探究の実践—理数探究出前授業型

[A]川村康文
[A]環太平洋大学次世代教育学部
Yasufumikawamura1959@gmail.com

１．はじめに

SSH が定着して久しい。平成 14 年度から第 1 期の SSH が始まったが，著者は当時，京都教育大学附属高校の物理教師で，まさに SSH の第 1 期生といえよう。その当時から，色素増感太陽電池の教材開発研究，サボニウス型風車風力発電機の教材開発研究，自転車発電の教材開発研究を行っていて，これを複合したエネルギー環境教育教材の開発とその教育実践を通して博士論文を書き上げた。その後，信州大学教育学部で，また後に，東京理科大学理学部物理学科へと異動し，昨年 65 歳の定年を迎えた。その間，科学の甲子園の全国大会では総合問題の出題者として，クリップモータカーF1 選手権と，文科省のマル秘とされる委員などを経験し，いよいよ，本当の高校生相手の理数探究の授業をもってみたいなという期待に燃えている。

２．これまでの SSH 校での出前授業

自分自らが SSH 校の高校教員であったので，まずは，自校でのシラバス作成が必要であった。国立大附属の高校としては，当時 7 時間目というのは論外であったかと認識していたが，SSH のクラスでは，7 時間目を設定してもらい，「科学技術」という 1 単位の増設単位の授業を設定してもらった。この授業では，生徒に実験技術のローテクを学んでもらい，大学等の卒論や修論，博論あるいは研究者になっていく際に，これはできませんとかやったことがないので他の方にお願いして下さいなどの文言がでないように，生徒自らが主体的・能動的に動けるようにとの思いからの授業であった。外部からのボランティアにも入って頂き，ときどき，すごい研究をされている大学研究者の膝を突き合わせた講演会も行い，研究者をみじかに感じ取ってもらった授業であった。

この経験は，大学に異動してからも役立ったと感じている。これまで，多くの SSH 校や SSH でなくても，理科実験を生徒に直接体験させてあげたいという思いの高校や小中学校に出向き，上記の 3 題目はもちろんそれ以外の実験などを出前授業してきた。しかし，自分の本務校でない学校のため，1 日のみの授業であった。この当時，まだ理数探究は学習指導要領での設定はなかった。

３．ある SSH 高校で理数探究の授業をさせてもらえた

現在，ある SSH 校で，理数探究の授業を，1 月に平均 2 回させて頂いている。毎週でもよいとのお話を頂けたが，まだ文科省系の会議などもあり，やむなく間が空いてしまう状況である。

本研究では，再び，高校生とともに，色素増感太陽電池，サボニウス型風車風力発電機，自転車発電の研究を始めた。

昨年度は特にそうであったが，SSH 校の全国生徒発表会では，色素増感太陽電池とサボニウス型風車風力発電機の研究発表が増えていた。本研究も，彼ら彼女らの研究発表と肩を並べられるように，担当させて頂いている高校生のみなさんと探究活動を加速させていきたと考えている。

6C-2

AL 型授業における社会的に共有された学習の調整を促す支援の検討

佐藤希成，石井哲夫，谷口和成
京都教育大学
ki246064@kyokyo-u.ac.jp

１．はじめに

現在，学校教育では、予測困難な社会を生き抜く力として，児童生徒が自己調整しながら学習を進めていく能力の育成が求められている[1]。この自己調整学習のプロセスは個別学習の場面に限らず，集団でのグループディスカッションにおいても進むとされており，「ともに主体的に学びあう」状態については「社会的に共有された学習の調整（Socially shared regulation of learning：SSRL）」という概念で研究が進められている[2]が、どのようなプロセスでその認識が育まれるのかといった，学習前後の変容に着目した研究は少ない。ここで，協働的な学びを伴う AL 型授業のひとつとして物理教育研究(PER)により開発された ILDs がある[3]。本学ではグループおよび全体での議論などを積極的に取り入れた，学生が能動的に参加できる展開にアレンジした ILDs 型授業により、これまでに物理概念の獲得に対する高い効果（規格化ゲイン 0.5 程度）をあげてきた[4]。つまり、本学における ILDs 型授業では，学習者は個人単位での学びの調整（自己調整学習）だけでなく，集団としての学びの調整（社会的に共有された学習の調整）のプロセスが生じることが予想される。

そこで本研究では，他者との対話を通じて主体的に学びあう協働的な学びにおける教員の支援のあり方を検討するために，大学生を対象とした協働学習を伴う AL 型授業において，集団での学びの調整が実際に行われているかを調査した。

２．方法

2.1 概要

国立大学の教員養成課程において，「物理学基礎実験」の 2024 年度の受講者である 51 名を対象に，事前・事後で質問紙調査を行った。対象の講座は理科の教員免許の取得を目指す学生が初年次に受講する科目であり，ILDs の力学分野の 4 つのユニットと電気回路分野の 2 つのユニットの全 6 コマを実践した。

2.2 手続き

授業の事前・事後に「物理の学習に対する動機づけ」，「社会的に共有された学習調整尺度」，物理学習におけるグループ活動に関する記述調査，力学概念を測定する FMCE[5]を実施した。

「物理の学習に対する動機づけ」は，自己決定理論に基づいた大学生の物理学習に対する動機づけを測定するために，西内 川崎(2017)を基に 5 件法で問う尺度を作成した[6]。また，「社会的に共有された学習調整尺度」は，伊藤 梅本(2017)を基に作成された 6 件法で問う尺度を用いた[7]。

表 1 社会的に共有された学習調整尺度の質問項目（一部）

下位尺度	質問項目
社会的に共有された認識	お互いの知識や情報を活用して課題に取り組んでいる
社会的に共有されたモニタリング	お互いの考えやアイディアを確認しあいながら進めている
社会的に共有された努力調整	お互いに励まし合いながら取り組んでいる

物理学習におけるグループ活動に関する記述調査は，協働学習の意義について（最大３つ）と，その意義を実感した授業内の場面について，いずれも自由記述形式での回答を求めた。また，授業中の様子を撮影したビデオ記録から，教員による協働学習に対する支援場面について抽出し，発話プロトコル分析を行った。

３．結果と考察

授業の事前・事後での FMCE の規格化ゲインは〈g〉＝0.61 であったことから，実践された授業は学習者のもつ誤概念の改善に一定の効果があり，学習者が主体的に物理の学習に取り組んだことが示唆された。また，物理学習におけるグループ活動に関する記述調査によって得られた 148 件の有効回答について，テキストマイニングの手法[8]を導入して階層クラスター分析（方法：Ward ，距離：Jaccard， 最小出現数：６）を行った結果，「自分では思いつかない意見や考えを知ることができる」や「他の人に説明する力がつく」などを含む 7 つのクラスターが得られた（図１）。これらは，学習者は協働学習の意義について，「他者との交流によって自分とは異なる意見を聞くことができること」や「自分の意見や考えを言語化して他者に伝えること」であると認識しているということを示唆している。つまり，学習者は授業内でのグループディスカッションの場面において，自分の考えを表出することや，他者の意見を聞くことが重要であるという認識を持って学習に取り組んでいる可能性がある。

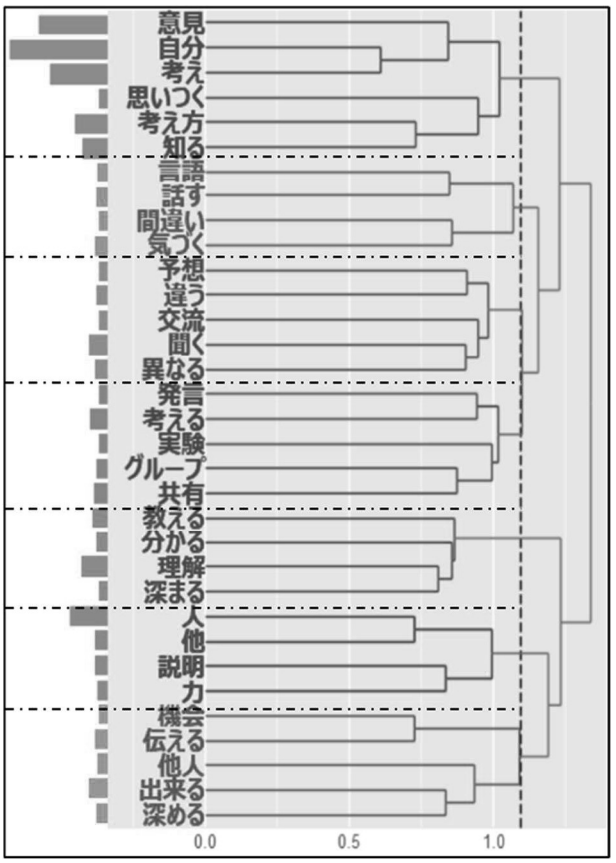


図 1 協働学習の意義に関する自由記述のクラスター分析

発表では，これらの詳細な分析に加え，対象の授業の発話プロトコルや量的データの分析に基づき解釈される，教員による支援の検討結果について報告する予定である。

参考文献

[1]文部科学省(2021)：「『令和の日本型学校教育』の構築を目指して（答申）」.
[2]西口利文，植村善太郎，伊藤崇達(2020)：グループディスカッション，金子書房.
[3]D.sokoloff & R.Thornton(2004)：Interactive Lecture Demonstrations, Wiley.
[4]谷口和成(2017)：物理教育，65，170-175.
[5]R.Thornton & D.Sokoloff(1998)：Am.J.Phys.66-4，338-352.
[6]西内舞，川崎弘作(2017)：日本教科教育，40，59-68.
[7]伊藤崇達，梅本貴豊(2017)：京都教育大学紀要，131，61-68.
[8]樋口耕一(2020)：社会調査のための計量テキスト分析【第２版】，ナカニシヤ出版.

6C-3

ILDs におけるアクティブ・ラーニングの深化／持続を促す動機づけ支援

谷口和成，[A]尾上拓海，石井哲夫
京都教育大学，[A]関大院理工
guchi@kyokyo-u.ac.jp

１．はじめに

学習者のアクティブ・ラーニングを促す授業のひとつに，米国物理教育研究で開発された ILDs がある。これまでに，教職志望の大学生に対して実践した結果，誤概念の改善や物理概念の定着のみならず，その授業構造による動機づけ・学習方略・学習観の変容などの授業効果が報告されている[1-3]。一方で，ILDs は学習者の能動的な態度が必要な授業であり，概念理解を促すには，学習者に自らの考えを表明させ，それに基づいて討論させる授業者の役割に課題があることが指摘されている[4]。そこで，概念理解度が高い ILDs 型授業における授業者と学習者を対象に，学習意欲を高めるための教授方略を検討した。

２．方法

国立教員養成系大学の「物理学基礎実験」受講者 50 名を対象に，ILDs 型授業全 6 コマ（力学分野 4 コマ，電気回路分野 2 コマ）を実施した。概念調査として FMCE と ECCE，学習意欲の評価として「①自律的動機づけ尺度[5]」と「②総合的動機づけ診断[6]」による質問紙調査を授業の前後で実施した。

ここで，自己決定理論[7]では，3 つの基本的心理欲求を支援的する働きかけを行うことによって，それらの欲求が充足され，自律的動機づけが高まるとされる。そこで，授業者の支援が学習者の基本的心理欲求（有能感，自律性，関係性）に与える影響を検討するため，事後において「③欲求支援行動尺度[8]」，「④基本的心理欲求充足尺度[9]」による質問紙調査，さらに授業全体に対する振り返りとして，「⑤自由記述による調査」と「⑥回顧インタビューによる調査」を行った。

３．結果および考察

実践前後で自律的動機づけがどのように変化したか検討するため，「自律的動機づけ尺度」の実践前後の回答に対して対応のある t 検定を行った結果，《内発的動機づけ（$t(49)=2.353, p<.05$）》の下位尺度において有意な上昇が見られた。この要因を調べるため，授業を通じて活発に活動していた学生 A に対するインタビュー調査を行った結果，「ILDs の課題に対して【班での予想段階の不一致】が生じるが，

表１　授業前後における下位尺度の変容

	N=49	事前		事後				
	下位尺度	*M*	*SD*	*M*	*SD*	*t*	*p*	
総合的動機づけ診断	効力予期	3.204	0.782	3.383	0.787	1.612	.114	
	結果予期	3.648	0.703	3.796	0.645	1.308	.197	
	興味価値	3.255	1.103	3.398	1.002	1.218	.229	
	利用価値	4.005	0.778	4.260	0.685	2.549 **	.014	物理を勉強することは、将来、仕事の役に立つと思う
	私的獲得価値	3.939	0.793	4.214	0.732	2.888 **	.006	物理を勉強すると、なりたい自分に近づける
	公的獲得価値	3.000	0.789	3.015	0.830	0.136	.893	
	感情的要因	3.296	1.029	3.163	0.997	-0.948	.348	
	社会的環境	3.005	1.003	3.173	1.088	1.026	.310	
自律的動機づけ尺度	内発的動機づけ	3.294	0.791	3.520	0.783	2.353 **	.023	好奇心が満たされるから
	同一化的動機づけ	3.854	0.765	3.935	0.737	0.918	.364	
	取り入れ的動機づけ	2.571	0.927	2.724	0.877	1.407	.166	
	外的動機づけ	1.986	0.804	2.041	0.627	0.684	.498	*p<.10, **p<.05

全員が解決できるような【授業者の働きかけ】によって【全員での討論活動が継続する】中で，様々な【気づき】と共に【驚き】の感情が得られ，【楽しい】と感じるようになった」ことが示唆された。

また，「総合的動機付け診断」の実践前後の回答に対して対応のある t 検定を行った結果，《利用価値（$t(49) = 2.549, p < .05$）》，《私的獲得価値（$t(49) = 2.888, p < .05$）》の 2 つの下位尺度において有意な上昇が見られた。同じく活発に活動していた学生 B のインタビュー調査を行ったところ，【授業者の働きかけ】によって，【（誤りも含めた）すべてを学びの足がかりにする教員になりたい】という将来の自己像が定まり，そのために必要な【学習者のつまずきを知る】ために【この学習が必要だ】と思うようになっていることが示唆された。

そこで，学習者の学びを自律的にする【授業者の働きかけ】を明らかにするために，①③④の下位尺度を用いて，自己決定理論に基づき先行研究[1,10]から構成したモデルのもと，共分散構造分析を行った。その有意な結果を図 2 に示す。インタビュー調査および授業動画の分析を行った結果，ILDs で授業者が正のフィードバック（間違いを価値づけたり，発言を褒めたり等）を与えるほど，学習者は「うまく学習を進められる」と感じ，事後の外的動機づけが減少し，「主体的に物理を学ぶ」ようになった可能性が示唆された。また，ILDs でグループや全体での発言を要求する際に，発言することの他者の学びへの効果等について，授業者が論理的な根拠を説明するほど，「グループ内で親密な関係が築けている」と感じ，事後の【取り入れ的動機づけ】が向上し，「物理を学ぶべきだからする」ようになった可能性が示唆された。

以上のように，概念理解度が高い授業では，学習者の「基本的心理欲求」に働きかける支援により，物理学習に対する動機づけに一定の望ましい影響を与えている可能性が明らかになった。

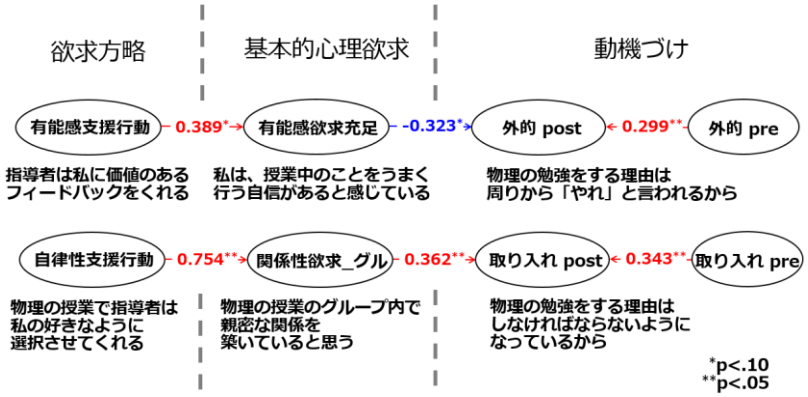


図 1　授業前後における下位尺度の変容（有意な結果のみ）

参考文献

[1] 北村貴文，谷口和成（2015）：物理教育 63-2, 98-103.
[2] 髙橋幸太郎，谷口和成（2024）：物理教育 72-2, 115-120.
[3] 谷口和成，石井哲夫（2023）：日本物理教育学会第 39 回物理教育研究大会，4a-1.
[4] 山崎敏昭，藤本滉二郎，谷口和成，他（2013）：物理教育 61, 12-17.
[5] 岡田涼，中谷素之（2006）：教育心理学研究 54, 1-11.
[6] 中西良文，伊田勝憲（2006）：三重大学教育学部研究紀要（教育科学）57, 93-100.
[7] Deci, E.L., & Ryan, R.M. (1985)：Intrinsic motivation and self-determination, New York: Plenum Press.
[8] 肖雨知，外山美樹（2020）：心理学研究 90, 581-591.
[9] Nishimura, T., & Suzuki, T. (2016)：Japanese Psychological Research, 58, 320–331.
[10] 嶋信宏（1991）：教育心理学研究 39, 440-447.

6C-4

静電振り子の探究活動を取り入れた電磁気の導入の実践

北岡和樹
高知県立高知国際高等学校
kazuki7319@g.kochinet.ed.jp

１．はじめに

筆者の勤務校は国際バカロレアの DP（ディプロマプログラム）認定校であり，国際バカロレアのプログラムに則った探究的な授業を実施している。本校の DP 物理 HL（上級レベル）で行った実験レポートの取り組みについて振り返ったところ，データ処理の手法や誤差の扱いに関する評価の観点については，授業中の実験や課題に取り組むことを通して，平均評点の上昇がみられた。しかし，考察や結論に関する評価の観点については，平均評点がほとんど変わらなかった[1]。そこで，生徒自身が仮説を立て，実験方法等を考える実験を導入することで，考察や結論の質は向上するのではないかと考え，実践を行った。

２．実践報告

DP 物理 HL 選択者 5 名（男子 3 名，女子 2 名）を対象に行った実践について報告する。DP 物理 HL の授業は 1 年後期から始まり，扱う内容は物理基礎と物理，それに加え一部日本の高校では扱わない内容が含まれる[1]。授業計画を図 1 に示す。今回は電磁気の単元の最初に行った静電気現象の授業について報告する。

学年	学習内容
1 年（後期） ＊11 月開始	測定と不確かさ 力学（物体の運動，力と運動）
2 年（前期・後期）	力学（運動量と力学的エネルギー，円運動） 熱 波
	電磁気 エネルギー
3 年	原子 相対性理論 【個人研究】

図 1：2 年間の授業計画

電磁気の単元のイメージ図，「静電気現象」の授業計画を図 2，3 に示す。授業では，最初に静電気に関する演示実験や生徒実験を行った後，静電振り子（図 4）の演示実験を見せた。生徒にはこの現象のメカニズムに関する仮説を立て，仮説を検証するための実験を計画させ，結果をレポートにまとめる課題を提示した。

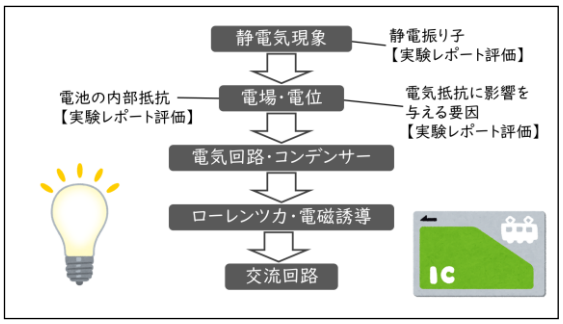


図 2：電磁気の単元の学習の流れ

時数	授業内容
1-2	静電気
3	導体と不導体
4	静電振り子
5-8	静電振り子の探究活動【総括的評価課題】

図 3：「静電気現象」の授業計画



図 4：静電振り子の実験

3．実施した総括的評価課題のルーブリック・生徒のレポート分析・今後の展望

評点	手引きにおけるレベルの説明
0	下記のいずれの水準にも達していない。
1～2	・研究課題に関連する結論が述べられているが，提示された分析によって裏づけられていない。 ・結論において，表面的にではあるが，一般に受け入れられている科学的文脈との比較を行っている。
3～4	・研究課題に関連した結論が詳しく述べられているが，提示された分析と完全に一致しているわけではない。 ・一般に受け入れられている科学的文脈との適切な比較をいくらか踏まえて，結論が詳しく述べられている。
5～6	・研究課題に関連した結論の正当性が示されており，提示された分析とも完全に一致している。 ・一般に受け入れられている科学的文脈との適切な比較を通して，結論の正当性が示されている。

図 5：「結論」の評価規準のルーブリック[2]

評点	本課題のレベルの説明
0	下記のいずれの水準にも達していない。
1～2	・レポートは研究方法の一般的な欠点または限界を述べている。 ・研究に対する現実的な改善案が述べられている。
3～4	・レポートは研究方法の欠点または限界を具体的に詳しく述べている。 ・研究に対する現実的な改善案を，研究方法の欠点または限界に関連させながら詳しく述べている。
5～6	・レポートは研究方法の具体的な欠点または限界がもたらす相対的な影響を説明している。 ・研究に対する現実的な改善案を，研究方法の欠点または限界に関連させながら説明している。

図 6：「評価」の評価規準のルーブリック[2]

生徒が提出してきたレポートを，ルーブリック（図 5・6）を用いて評価し，その後テキストマイニングのソフトウェア KH Coder を用いて分析した。生徒 A のレポートについて形態素分類した語数は 3416 で，分析に使用した語数は 1443 であった。また生徒 B のレポートについて形態素分類した語数は 2971 で，分析に使用した語数は 1324 であった。

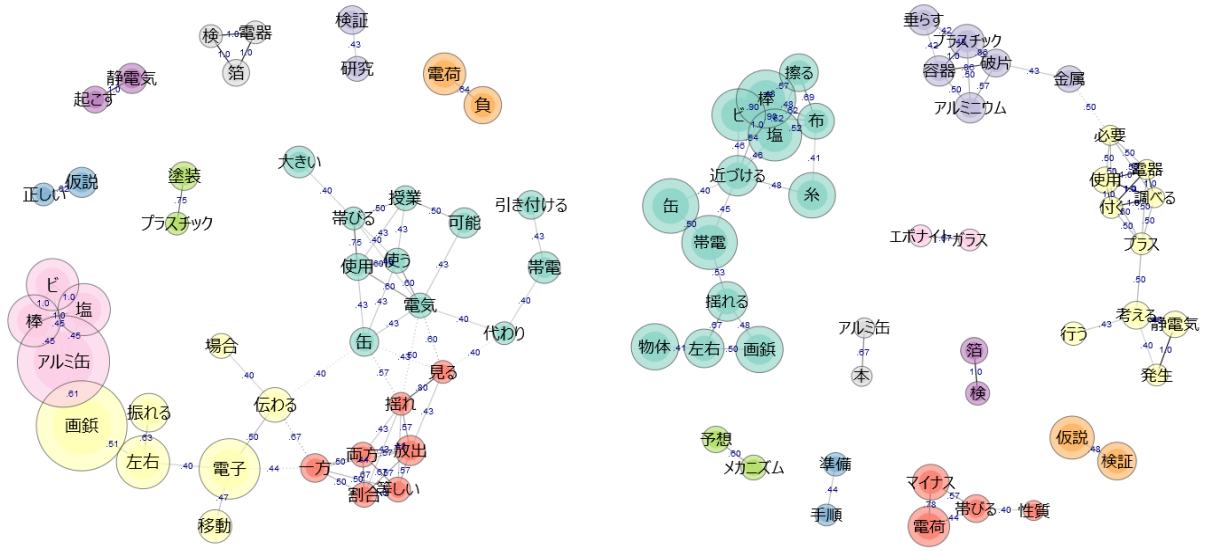


図 7：レポートの共起ネットワーク（左：生徒 A，右：生徒 B）

今後は力学など他の単元においても生徒が仮説や実験方法から考えるような課題を検討する。また本実践は少人数の生徒を対象に実施した授業である。今後は同様の実践を他のクラスにおいても実施する。

参考文献

[1]北岡和樹(2024)：「国際バカロレアディプロマ・プログラム物理の授業実践の成果と課題」，物理教育 72-3.

[2]IBO：「物理」指導の手引き　2025 年第 1 回評価（2023）.

[3]北岡和樹(2025)：「静電振り子の探究活動を取り入れた電磁気の導入の実践」，物理教育 73-2.

[4]PhysPort：Brief Electricity and Magnetism Assessment(BEMA).

6D-1

高校物理電磁気分野の概念調査とチュートリアル方式の授業実践

[A,B]今井章人，[C]植松晴子，[D]大向隆三
[A]東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科，[B]早稲田中学校・高等学校，
[C]東京学芸大学，[D]埼玉大学
aimaime117@gmail.com

1．はじめに

学習者が主体的・対話的に参加する授業形態の一つに、チュートリアル方式[1]がある。これは、4 名程度の学習者がグループとなり、議論を通じて物理概念を協働的に獲得する形式であり、高校・大学の物理教育現場で活用され、その教育効果も報告されている[2][3]。

高校の電磁気分野における概念理解の実態把握のため、本研究では Ding らが開発した電磁気学概念調査（BEMA）[4]の日本語訳版を用い、予備調査を実施してきた。2025 年 4 月以降は、高校および電磁気学履修前の理工系大学生を対象に調査を再度行い、高校生の概念獲得状況を詳細に分析している。

本講演では、電磁気分野における概念理解が困難な箇所に着目し、チュートリアル方式による演習授業の実践結果について報告する。

2．高校物理電磁気概念調査

日本の理系高校生が電磁気分野でどのような概念を獲得しているかを明らかにするため、BEMA 日本語訳版を用い、高校および電磁気学未履修の理工系大学生を対象に調査を実施した。2025 年 4 月から 5 月にかけて、463 名から回答を得た。各設問の正答率を図 1 に示す。

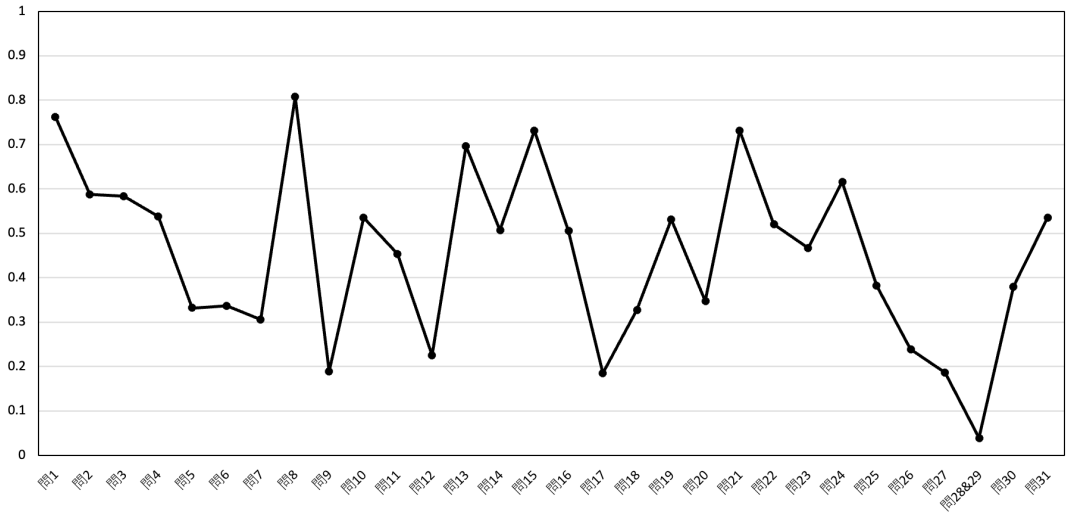


図 1　BEMA 各問題の正答率

さらに、得点の高い順に H, MH, M, LM, L の 5 群に分けて各群の回答傾向を分析することで、選択された誤答の特徴を明らかにできる。図 2 は問 18 の項目特性図である。問 18 では、スコアの高い群ほど誤答（選択肢 d）を選ぶ傾向がみられた。正答（b）の選択率はスコアの低い群（L や LM）では約 45%である一方、スコアの高い群（H, MH）では 20～30%にとどまり、誤答（d）は 50～55%まで増加している。この問題は、図 3 に示すようなガウスの法則に関する設問であり、ガウス面（円柱）内の電荷を問うものである。

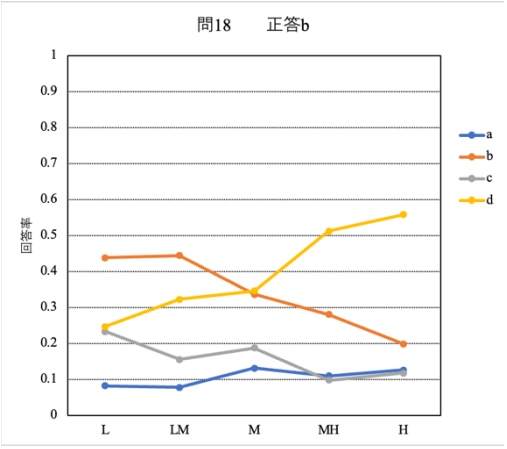


図 2　BEMA 問 18 の項目特性図

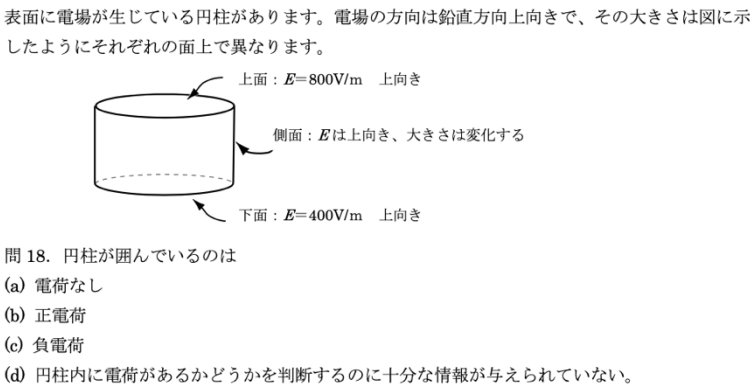


図 3　BEMA 問 18 の問題

3．チュートリアル方式の授業実践

全 6 回（各 120 分、計 720 分）の授業で『Tutorials in Introductory Physics』（以下、チュートリアル）の電磁気分野 68 ページ分を日本語訳し、授業課題として活用した。対象は高校物理電磁気分野を履修済みの高校生であり、ファシリテーターは教員 1 名、生徒は 4 人ずつの班に分かれて課題に取り組む。課題内容は基本的に原著に準拠し、実験に関しては一部、実施しやすい方法にアレンジした。

チュートリアル方式を導入した理由としては、(1)力学分野などで先行実践例があり、日本の高校や大学でも高い教育効果が報告されていること、(2)課題のうち 8 ページが「場」「フラックス」「ガウスの法則」に関する内容であり、2.で示したようにガウスの法則の理解に課題が見られるため、その克服が期待できること、が挙げられる。

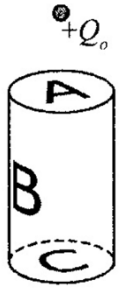


図 3　ガウスの法則の課題の図

4．おわりに

講演では、高校でのチュートリアル電磁気分野の実践結果について報告する。

参考文献

[1] P. S. Shaffer, L. C. McDermott (2012) : Tutorials in Introductory Physics Updated Preliminary Second Edition 2011-2012, Pearson, 87-158.

[2] 加賀栄子, 宗尻修治 (2020) : チュートリアルのワークシートを用いた高校物理の授業実践と評価, 物理教育, 68-2, 87-92.

[3] 植松晴子 (2011) : チュートリアル方式による物理授業の試み(教育実践), 大学の物理教育, 17-3, 129-132.

[4] 今井章人 (2018) : 高校における電磁気学概念調査(BEMA)の実施報告, 物理教育通信, 172 号, 38-41.

6D-2

力のつり合いと作用・反作用の識別を支援する授業実践
および概念調査紙 DETA による評価

[AB]伊藤 慧，[A]梅田 貴士
[A]広島大学大学院人間社会科学研究科，[B]明治大学付属明治高等学校
itokei@meiji.ac.jp

１．はじめに

「力のつり合い」と「作用・反作用」の混同は，古くから広く指摘されており，それらを区別させることを目的とした授業実践の報告も複数存在している[1][2][3]。一方，筆者は「系の概念（着目物体）」が未獲得であることが，これらの混同を引き起こす一因であることに着目し，多肢選択式の概念調査紙 DETA (Differentiation between Equilibrium of forces and Newton's Third law of motion Assessment) を開発した。2022～2024 年度にかけて実施した試行調査および Think Aloud 形式のインタビュー調査の結果からは，生徒において両者を混同する深刻な思考傾向が存在することが示唆された[4][5]。

そこで本研究では、DETA により明らかとなった混同の実態を踏まえ、学習者が「力のつり合い」と「作用・反作用」の違いを適切に区別できるようになることを目的とした授業を新たに設計・実践した。

２．授業の対象と概要

先行研究[1]で使用された調査問題を参考に，着目物体への意識を促し，「力のつり合い」と「作用・反作用」の識別を図ることを目的とした授業を考案した。授業の対象は，2025 年度における私立中学校３年生の５クラス（N=163）である。本実践では，従来通りの授業を行った後，後述する活動を含む授業を３コマ連続（各 50 分）で実施した。授業で扱った課題の多くは，２つの力の組が「２力のつり合い」「作用・反作用」「どちらでもない」のいずれに該当するかを判断させる形式で構成した。加えて，生徒は２人１組でばねはかりを用いた実験に取り組み，その後，４人１組の小グループで初めに提示した課題について議論する時間を設けた。授業の終盤には，生徒による発表と教員による解説を行なった。

３．１コマ目の授業構成

図１のように，２本のばねはかりでリングを両側から引っ張る場合（左）と，２本のばねはかりで互いに直接引き合う場合（右）を比較させる課題を提示した。



図１

ばねはかりで引っ張る力を大きくした際に，２本のばねはかりの指示値を比較する実験の後，冒頭で提示した課題の正解を共有した。そのうえで，なぜ一方が「２力のつり合い」，もう一方が「作用・反作用」に該当するのかについて議論させ，複数のグループに議論内容を発表させた。この活動を通して，両概念の本質的な違いである「着目物体のちがい」に自然と目を向けざるを得ない状況をつくり出し，授業の１コマ目において概念の定着を図った。

４．２コマ目と３コマ目の授業構成

図２に示すように，２本のばねはかりで中央のばねを両側から引っ張る場合や，天井に固定したばねの先端におもりを吊るす場合などの問題を提示した。前者は，「力のつり合い」と「作用・反作用」に複合的に関わる問題であり，後者は重力が関連するタイプの問題である。いずれも，DETA の試行調査において生徒が困難を示すことが明らかになった設定である。

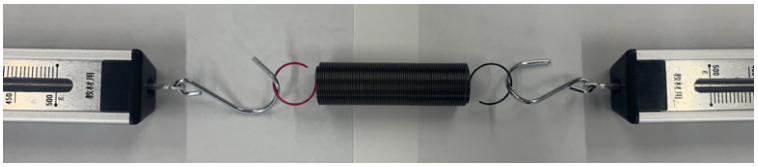


図２

１コマ目と同様の実験を行った後，それぞれの力の組が「2 力のつり合い」「作用・反作用」「どちらでもない」のいずれに該当するのかを議論させた。さらに，後者の課題については，ばねを糸に取り替えた場合に答えが変わるかどうかについても議論させた。

５．評価

実験群３クラス（N=95）と統制群２クラス（N=68）に分け，いすれの群にも，作用・反作用の法則を扱う前に DETA のプレテストを実施した。実験群ではポストテストの前に本実践を行い，統制群ではポストテストの後に実施した。DETA は「力のつり合い」と「作用・反作用」の識別や，着目物体に対する理解の定着度を測定するための評価ツールである。図３に，力と着目物体の特定に関する「組み合わせ正答率」のゲインを示す。本発表では，その詳細について議論する。

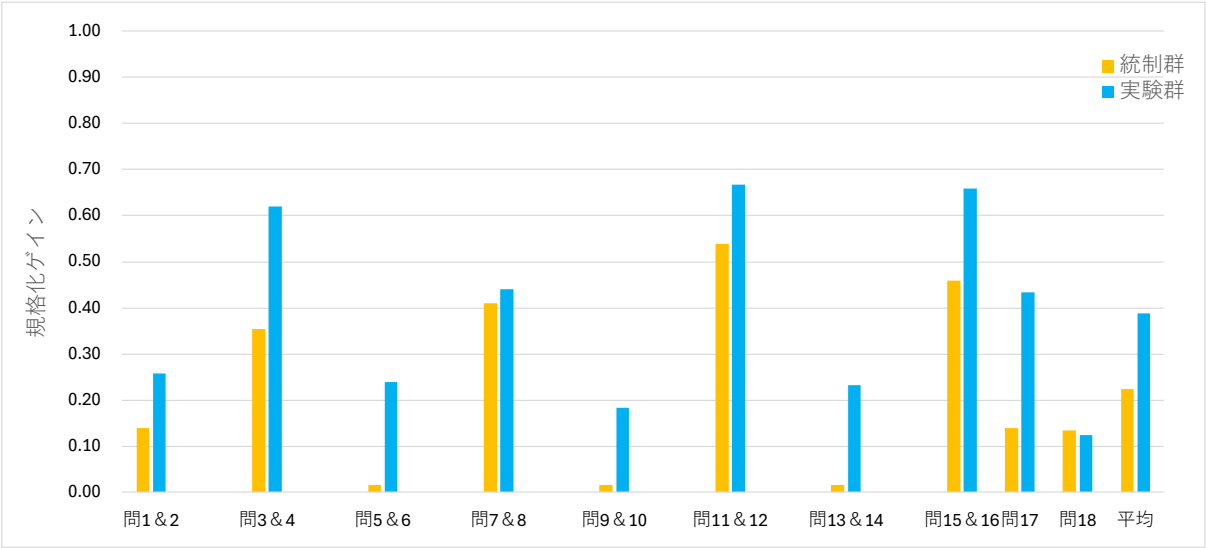


図３　「組み合わせ正答率」のゲイン

参考文献

[1] 山本正輝，日本理科教育学会研究紀要，**21**(1)，35-42(1980).
[2] 南伸昌，第 39 回物理教育研究大会発表予稿集，55-56(2023).
[3] 峯岸晃生，第 40 回物理教育研究大会発表予稿集，118-119(2024).
[4] 伊藤慧，第 39 回物理教育研究大会発表予稿集，53-54(2023).
[5] 伊藤慧，梅田貴士，第 40 回物理教育研究大会発表予稿集，116-117(2024).

6D-3

力学の概念変容を促す理科授業デザインの実践的研究

－教員志望学生の素朴概念の実態と「ものづくり」からのアプローチ－

鈴木昭夫
福島大学人間発達文化学類
aki33suzuki@educ.fukushima-u.ac.jp

１．目的

物理学史において極めて重要な位置づけを持つ振り子の運動は，小学校第５学年理科の教材の１つとして学習指導要領に位置づけられている。一方，この単元の学習に関わる頑固で簡単には覆らない子ども達の論理としての「素朴概念」に関わって，多くの授業実践，先行研究が行われている。また，教員養成の理科授業においては，振り子の運動の規則性の理解を深めながら指導力を育成する授業実践[1]や素朴概念の特性を生かした授業設計と実践を目指すための調査研究[2]なども行われている。

本研究は，教員志望学生の振り子の運動の規則性に関わる素朴概念の実態を中心に，分析し考察するとともに，「ものづくり」の視点を導入した授業実践の評価をもとに，力学の概念変容を促す授業デザインと今後の実践の方向性を検討することを目的としている。

２．方法

2.1 調査対象及び調査内容

本学専門科目「理科学習指導論Ａ・Ｂ・Ｃ」（前期・後期），2022 年，2024 年のべ６回の授業において，学生 221 名（2 年次）にアンケート調査を実施した。調査内容，設問 1～設問 5 は以下の通りである。

設問１：物体の重さと落下運動（選択肢 4，自由記述），設問２：斜面から平面への物体の運動（選択肢 4，自由記述），設問３：Ｖ斜面による物体の往復運動（選択肢，自由記述），設問４：ブランコの周期要因（選択肢 6，複数回答可，自由記述），設問５：振り子のおもりの落下運動（図示，自由記述）

2.2「ものづくり」授業評価の分析

本学専門科目「理科の実験指導Ａ・Ｂ」（後期），2024 年度の学生 20 名を対象とし，その振り返りについて計量テキスト分析を行う。また，「ものづくりで育つ力」[3]については，学生の自己評価をもとに分析する。

表１　選択肢①～⑦・理由 A･B･C

①ひもの長いブランコに乗る
②ひもの短いブランコに乗る
③体重の重い人が乗る
④体重が軽い人が乗る
⑤ブランコのふれ幅を小さくする
⑥フランコのふれ幅を大きくする
⑦それ以外（自分の考え）
A.今まで同じような場面を見たことがある
B.学校で習ったから
C.その他

３．アンケート調査の結果と考察

設問４　ブランコが 1 往復する時間を短くするために，①～⑦から選び（複数回答可），そう考えた理由（表 1）の回答を求めたところ，図 1 の結果となった。最も多い②が選択された数は全回答数の 39.9%，その理由として，小 5 で学習した振り子の運動と関係づけて理由が述べられていた。しかし，②のみを選択した学生は 27 人で，全回答者数の 12.3%であった。次に，⑤が 34.5%で，⑥を大きく上回った。③と④の重さにかかわる回答は，それぞれ 12.9%，9.1%でほぼ同数に近かった。また，①～⑦まで選択し回答した理由では，A 38.8%，B 40.2%，C 20.0%であった。B がわずかに多い理由は，

②が多い理由と重なっている。比較的Aが多い理由は，これまでの生活におけるブランコ遊びの体験からこの設問に回答している。（※本稿は，特に小5「振り子の運動」に関わる設問4について掲載した。）

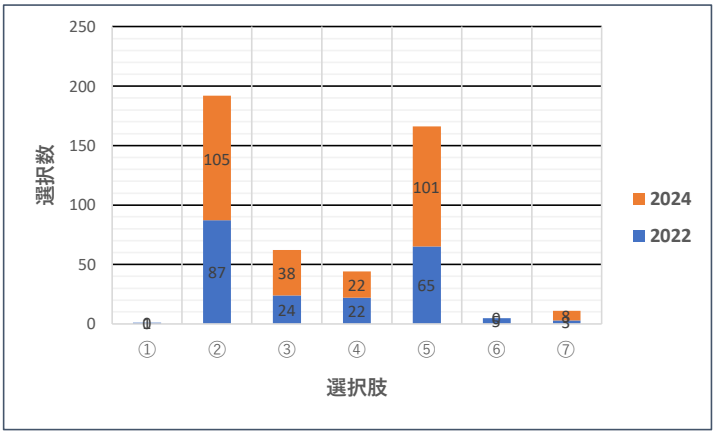


図1　「設問4」の調査結果

4.「ものづくり」授業の実際

4.1 授業「理科の実験指導A・B」の概要

小学校の実験を実際に行い，実験に関わる基本的な力量を身につけることをねらいとし，授業回数7回（エネルギー領域－物理分野－）のうち，ものづくりは2回配当している。教材作成(1)制作の時間は，「ふりこの動きを利用したおもちゃづくり」のねらいを説明し製作活動を行う。教材作成(2)発表の時間は，一人15分以内とし，自己評価・相互評価及び個人，全体での振り返りを行う。

4.2 結果と考察

「ものづくりで育つ力」について学生の自己評価（3つ選択）の結果を表2にまとめた。特に，③と①，②を合わせて約6割近い回答を得た。学生の振り返りのなかに，ものづくりが実感を伴った深い理解につながり，自らの授業にものづくりの活動を取り入れてみたいなどの記述が多くみられた。学生の形成的振り返り（2回），総括的振り返りについて共起ネットワーク分析を行った。その結果，①「学習集団（共同体）の果たす役割や学び合い」，②「ものづくりによる教材開発の価値と意味づけ」，③「制作物の活用場面の構想」，④「制作途中における工夫や試行錯誤」，⑤「発表会での新たな気づきや学び」の5つのサブグラフに分けることができた。一方，「難しい」「苦戦」などの語は，「制作・活用する」の文脈で述べられていた。

表2　「ものづくりで育つ力」学生評価の結果

①制作物にかかわる知識・実感してわかる（16%）
②知識を適用する力（18%）　③発想する力/創造性（25%）
④計画する力(13%)　⑤調整する力/活動を振り返る力(11%)
⑥続ける力（2%）　⑦他者とかかわる力（4%）
⑧制作物への思い入れ/物への感性/達成感/成就感（11%）

5. まとめ

教員志望学生の振り子の運動を中心とした力学に関する素朴概念に関する調査結果から，学生が近い将来教える立場になることを考えると，この概念変容については，物理教育の本質にも関わる重要な課題であることを改めて認識することができた。よって，学生の概念変容を促す理科授業デザインとして，「学生が自らの素朴概念に気づき，学びの可視化（ものづくり）を図りながら，学生（学習者）同士の対話や学び合いを通して，自らの素朴概念の変容に気づかせる」視点は有効であると考える。

引用文献

[1]松本益明（2017）「実験を通じて振り子実験の指導力を育成する授業」『教員養成における理科の資質・能力の育成を目指す授業プログラムの開発』東京学芸大学紀要自然系69，59-63

[2]鹿江宏明・鈴木盛久（2015）「小学校教員養成における理科指導の授業設計と実践(1)-小学校教員を志望する学生を対象と「素朴概念」の実態調査-」『比治山大学・比治山大学短期大学部教職課程研究1』，173-180

[3]角屋茂樹・林四郎・石井雅幸編（2009）『小学校理科の学ばせ方・教え方事典（改訂新装版）』教育出版，142-143

6D-4

不確かさ概念定着のための高校物理授業の開発

[A]古結　尚，[B]谷口　和成
[A]同志社中学校・高等学校，[B]京都教育大学物理
kogetsu@js.doshisha.ac.jp

１．はじめに

高校物理では生徒が自ら実験を行う機会があまりなく，測定に関するさまざまな概念をもっていると考えられる。たとえば，国際調査において，「実験（測定）を２度以上行った方がよい」と回答する割合が国際平均より下回っている[1]。本研究では，不確かさ概念の向上を目的とした統計教材を開発し，その実践を通して，生徒の理解の変容を科学的推論能力との関連から検討することを目的とした。

２．方法と実践

開発したサイコロを用いた測定実験教材の展開は次のとおりである。授業の開始時に，不確かさを「｜測定値－平均値｜の最大値」，相対的不確かさは「(不確かさ／平均値）×100[%]」と定義する。その後，サイコロ 10 個を振り，各出た目の個数を記録し，これを 10 回繰り返して（計 100 回の測定）１セットとし，これを３セット実施する。その後，３セットの平均値を求めて棒グラフとして表し，最大値・最小値をひげとして頻度分布を描画させる。ここでは，不確かさをグラフ中で可視化して理解を深めることを目的とし，300 回分の全体頻度分布を描くのではなく，100 回×３セットの平均値に最大値・最小値のひげを加える形で，探索的データ解析[2]における箱ひげ図に類似した表示を行っている。なお，レポート作成時には，不確かさおよび相対的な不確かさについて考察を促した。

実践は，私立高校２年生の「物理基礎」を履修する２クラスの生徒を対象に行った。科学的推論能力は，Lawson のクラステスト[3]を実施して評価した。これらのクラスにおいて，通常の講義に加えて３～４名の班に分かれて班実験を行い，班ごとに発表した後，個人でレポートを作成させた。本実践では，開発したサイコロを用いた測定実験とともに，斜面上の台車の運動，力と運動の実験を行った。３つの実験ともに，不確かさおよび相対的な不確かさについて考察を促した。

３．結果

評価として，物理測定概念「物理測定に関する質問紙調査(PMQ)[4]」を用いた。PMQ では，素朴概念である点概念(P)と正しい概念である集合概念(S)に分類され。PMQ の pre，post を実施し比較したところ，図１のように「同じ平均で異なる広がり」について正しい概念(集合概念(S))をもつ割合について向上傾向が見られた(p =.072 †)。

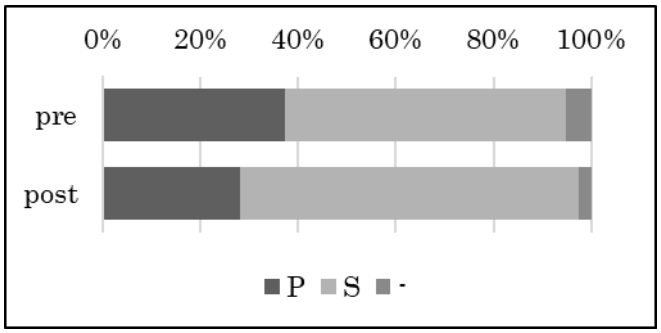


図１　概念の変容(P:点概念,S:集合概念,-:その他)

本講演では，科学的推論能力との関係についても報告する。

参考文献

[1] 生きるための知識と技能６，国立教育政策研究所，明石書店(2016)
[2] J. W. Tukey, Addison-Wesley (1977)
[3] L. E. Lawson, J. Res. Sci. Tearch, 15, 11 (1978)
[4] A. Buffler, S. Allie and F. Lubben, Int. J. Sci. Educ. 23, 1137 (2001)

7H-1

教科等横断的な授業実践：力の合成分解と橋の強度

[A]片山　泰庸
[A]栃木県立今市工業高等学校
katayama-h01@tochigi-edu.ed.jp

１．はじめに

本校の生徒は多くが卒業後、工業に関連した分野に進学・就職する。工業を支える上で、物理が工業分野へどのように応用されているかを知ることは必要不可欠である。しかしながら、物理の授業においては、物理法則の理解や現象の記述に重点が置かれている。そのため、物理が工業分野で活用されていることを知る術は少ないのが現状である。本校生徒の実態として、勉強に対して苦手意識を持つ者が多く、「難しい・わからない」と感じると取り組まなくなってしまったり、諦めてしまったりする場面が見受けられる。しかし、そういった生徒からの意見として、「実験がしたい」という意見も寄せられている。そこで、物理学と工業分野を関連付けた実験を行うことにより、実際の物理現象に触れ、それがどのように役立っているか実感させることができれば、物理に対する興味関心をさらに高めることができると考え、本実践を実施した。

２．実践の概要

本実践では、物理分野における「力の合成と分解」および工業分野における「トラス構造」を題材に、ストローでより強度の高い橋を作る実験を行った。実験の事前学習として、力の合成分解の復習および、材料（ストロー）の物理的な特性、三角形の構造（トラス構造）の原理について、ストローで実際のモデルを作り、演習を通して学習した。

事前学習を２時間行った後、ストローを使って強度の高い橋を作る実験を行った。実験は、以下の制約のもとで行った。

① 使用できるストローは１０本以内
② 使用できるテープの長さは１２０ｃｍ以内
③ 橋の長さは２０ｃｍ以上
④ 橋の幅は３ｃｍ以上
⑤ ストローを束ねただけの構造は不可

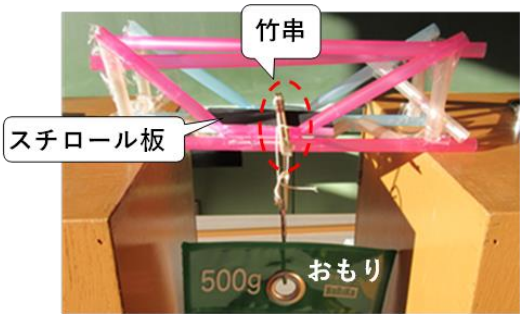


図１．強度測定装置

図１に実験装置の図を示した。２つの木箱の間に橋を架け、竹串とスチロール板を橋の中央部分に取り付け、そこにおもりをつるすという形で強度測定を行った。おもりは０．５ｋｇずつ増やしていき、１０秒間橋が耐えればクリアとした。橋の設計及び製作に３時間、強度測定に１時間をとり、合計４時間で実験を行った。

３．実験の様子

生徒の取り組みは良好で、座学の授業では勉強に気持ちが向かない生徒も、前向きに参加していた。中には、専門科目で学習した知識（筋交い、木組み）を応用させて橋を作る生徒や、１回目の強度試験

の結果を踏まえて、さらなる改善を試みる生徒も見受けられた。生徒が作成した橋の多くは、トラス構造を使っていた。しかし、三角形の形状や組み込み方には様々な違いが見受けられた。筋交いを多く取り入れた橋や、木組みの要領でストロー同士をはめて強度を高めた橋、ストローを切らずに曲げて三角形の構造をつくり、接合部の強度を高めた橋など、様々な工夫が凝らされていた。最も強度の高かった橋は、4.5ｋｇまで耐えることができた。図２に生徒が作製した橋の一例を示した。

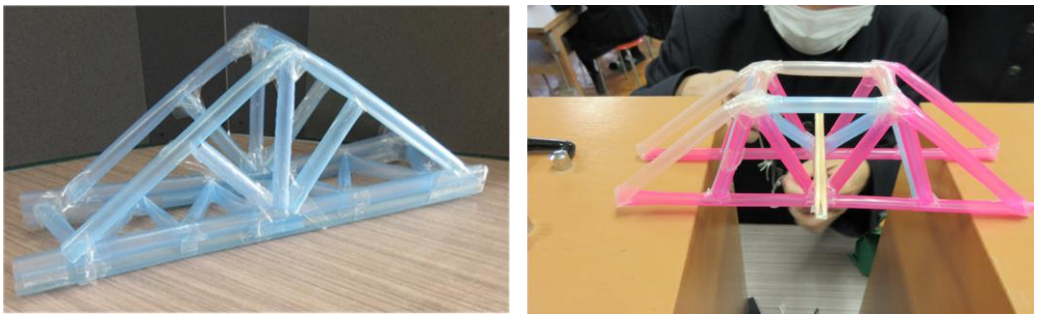


図２．生徒が作製した橋の一例

４．生徒の考察（抜粋）

①強度の高いグループの橋を見て、気付いたことは何か？

・おもりを下げたときに力が加わる場所のストローは、引っ張られるような構造になっていた。

・ストローを縦向き（上下方向）に使用して、下向きの荷重に強い構造にしていた。

②実験の結果を踏まえて、自分たちの橋を改善するとしたら、どのように改善するか？

・テープをもっと上手に使えば良かった。端の部分のテープが少し弱くなっていたからもっと強くすれば良かった。橋の中に上手く三角形を作ることによってもっと橋を強くすることができた。

・おもりの力を分解しやすくなるように、力の向きと力を分解したい向きをよく考える。

③実験でわかったことをまとめよう。

・今までは感覚でわかっていたが、実際作ると難しく、いろいろな形を考え、どの形にはどんなメリットがあるのかということを、少し詳しく知ることができた。次回があれば、今回のことを参考にし、もっとアップグレードさせて挑みたい。だが、セロハンテープが足りなくなってしまったので、ちゃんとコストを理解して取り組むようにしたい。

５．今後の展望

今後は、工業科と連携し、実験で作製した橋の強度をより詳細に分析する活動も取り入れていきたい。例えば、本校では、３次元 CAD ソフトウェアの SOLIDWORKS を用いた実習が行われている。実験で作成した橋を SOLIDWORKS でモデル化できれば、橋に荷重を加えたときに、どのように変形の力が加わるか、どこに力が集中するかなどをシミュレートできる。教科の枠を越えて、他教科の教員とも連携して実験を進めていきたい。

参考文献

[1] ”Hands-on Activity Straw Bridges”. Teach Engineering,
https://www.teachengineering.org/activities/view/cub_brid_lesson01_activity2（参照 2022-12-26）

[2] 西山由紀子・角和博・菊地章・伊藤陽介（2020）技術教育の初期段階におけるストローブリッジコンテストを通した２重スパイラル展開の提案. 日本産業技術教育学会誌, 62, 29-39.

7H-2

エネルギー保存則から慣性モーメントを教える実験教材を用いた大学初年次の物理学授業実践

鈴木康文，森山孝和，宮下聡真，深澤優子
大阪教育大学教育学部
susuki@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

１．はじめに

力学の基本的な考え方を学ぶのに，質点（質点系）の力学の理解は重要である．一方，大学に入って生活に身近な物理現象を探究する知識をもつために物理学を学ぶのであれば，剛体の回転運動に関する学習を回避すべきではない．剛体の力学は我々の生活に身近であり，質点の力学を学んだだけでは得られない自然現象に対する探究の基礎になる．たとえばタイヤの回転さえもこの例である．剛体の回転運動を学ぶためには，学習者はその中で最も基本的な慣性モーメントの概念をもつ必要がある．過去には高校で慣性モーメントを扱っていた時代があり，細い棒，円板，円筒または球に対して，代表的な回転軸の周りの慣性モーメントを学習した[1]．しかしその後，慣性モーメントは扱われなくなり，大学で初めて学ぶ内容になっている．それゆえ大学初年次の学生たちにはイメージしにくくなっている．加えて基礎的な物理学の入門書では，少し分厚い教科書でも，これを取り扱っていないものも多くなっている[2,3]．本研究では力学的エネルギー保存則を通して慣性モーメントを求める教材を作成し，これを用いて本学の１回生に対する物理学ＩＢの講義で授業実践を行った．本講演ではこの実践を中心に述べる．

２．製作した実験装置

図１に今回製作した円板の慣性モーメント測定装置を示す．図 1a のように２枚の円板を回転軸の両側に取り付け，図 1b の斜面のレールを転がり落ちるときの速さを測定するものである．円板は半径 160mm，厚さ 2mm である．この円板には，いくつかのおもりを付けることができるように規則的な位置に穴をあけた．斜面のレールは，鉄製アングルの上に木板を乗せ，その木板にビニルテープで保護したアルミ製のレールを敷いた．始点の高さを変えることで，傾き角を 0～35° の範囲で変えた．ゆっくり転がし始め，終点でビースピを用いて円板の平行移動の速さを測定した．

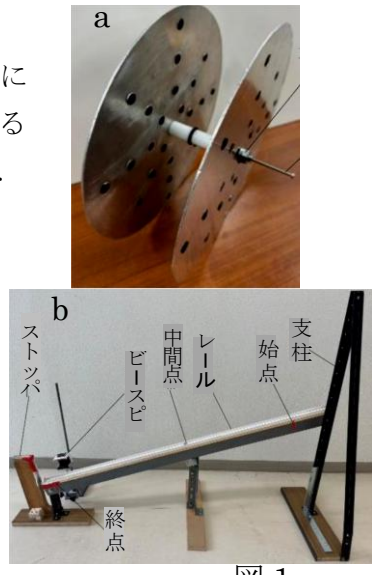


図 1

３．製作した装置を導入した授業展開

本年 7 月に『物理学ＩB』（1 回生開講の選択科目）で本実験装置を用いた 40 分程度の授業を行った．この講義科目では，力学・波動分野の概論を学び，選択科目の『力学』の学習へ繋げる．ここ数年間は慣性モーメントを扱わなかったが，「はじめに」に記した動機により，本年取り上げた．

導入として以下の説明を行った．『回転中心からの距離 $\vec{r}$ の位置に力 $\vec{F}$ を与えたとき，物体が受ける力のモーメントは $\vec{N} = \vec{r} \times \vec{F}$ で表される．「てこ」などを例にすれば，これがつりあったとき「てこ」は傾かない．つりあわなかったとき，回転の加速度 $\dot{\omega}$ が生じる．質点の力学で質点に働く力がつりあ

わなかったとき，その力は，慣性を表す質量 m に反比例すると加速度を生じさせるのと同じように，つりあわない分の力のモーメントは，慣性を表す指標である慣性モーメントと角加速度の積 $I\dot{\omega}$ になる．物体に力のモーメントが働かないとき，慣性の法則とよく似ており，止まっているものは止まり続け，回っているものは同じ軸の周りに等速で回転を続ける.』続いて，いろいろな慣性モーメントの計算式の例の紹介を行い，回転軸が変わると値が異なることに触れた．慣性モーメントを体積積分で解析的に求める計算式は導入しなかった.

展開として，エネルギー保存の法則を用いた説明の方が，運動方程式を用いたものより体感しやすいと認識しているため，回転の運動エネルギーから入るようにした．力学的エネルギー保存則に着目し，次の式の紹介や演示実験を行った.

まず以下の説明を行った.『並進運動の運動エネルギーは速さ v の 2 乗に比例するのでその類推から回転運動のエネルギーは角速度ω の 2 乗に比例するとして，その比例係数を αとおく．質量を m，重力加速度を gとし，初速 0 で，時間 t の間に，Δhの高低差を転がって落下した速さ　の物体に対する力学的エネルギー保存の法則から，$mg\Delta h = \frac{1}{2}(mv^2 + \alpha\omega)$ が得られる．滑らずに転がるので摩擦はあるが，エネルギー保存則の上では無視できるほど小さいとした．滑らないので，r をシャフトの半径とし，$\omega = \frac{v}{r}$ である.』

次に演示実験として，まずは軸だけを転がし，落ちる速さを体感した上で，次に円板を付けて転がした．落ちる速さが極めて遅くなることが，見て明らかである.

授業では実際の速さの測定は割愛し，あらかじめ測っておいたΔh と v の測定値を提示し，上式 を用いて α の値を求めた．未知数 α が慣性モーメント I の計算式から求めた計算値に一致することで，慣性モーメントは回転運動のエネルギーに $\frac{1}{2}I\omega^2$ の形で入ることを述べた．さらに回転運動を含む運動方程式で慣性モーメントが果たす役割についての説明を展開した.

実践は 35 分で終了し，アンケートを行った．アンケートは学習管理システムの moodle 上で行った．アンケート結果の分析については当日発表する.

４．まとめ

剛体の力学に触れることは身近な物理現象の探究に不可欠である．そのために，慣性モーメントの存在を理解することが必要である．まず，複雑な運動の取り扱いを避け，小学校からなじみのあるてこや輪軸といった固定軸の周りの回転運動に戻った．$I\vec{\omega} = \vec{N}$ を通して慣性モーメントと質量がともに運動の慣性を表すことを説明した．本教材を用いて具体例な回転運動を観察し，そのエネルギーを与える指標を導入した．力学的エネルギー保存の法則から，回転のエネルギーが慣性モーメント I を用いて $-I\omega^2$ と与えられることを示した.『力学』の授業においても，このような 30 分程度を使った演示を用いて慣性モーメントの理解を終えた後，一般的な剛体の運動を取り扱う授業に結びつけるのが有効であろう.

参考文献

[1] 伏見康冶他(1979)，文部省検定済み教科書 改訂版 高等学校 物理Ⅱ　数研出版

[2] 原　康夫　著（2015）第 3 版　物理学入門　学術図書出版社

[3] Jim Breithaupt 著　狩野　覚　他訳　（2012）　原著第 3 版　基礎コース 物理学　東京化学同人

7H-3

学習方略の変容を促す教師の事例的分析

岡本大輝，山田和歩，石井哲夫，谷口和成
京都教育大学
ki246063@kyokyo-u.ac.jp

１．研究背景と目的

文部科学省が提唱する「令和の日本型学校教育」では，生徒が自己調整をしながら学習を進めていくことが求められる[1]。自己調整（学習）の中でも，学習の効果を高めるために意図的に学習方法を選択・活用する「学習方略」は学びの質を左右する重要な要素のひとつであり，教師は授業や学習指導の場面で，生徒が多様な学習方略を身につけ，適切に活用できるように支援することが求められる。学習方略はさまざまな分類があり，たとえば表 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 M/C 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，情報収集方略，図表の活用方略)】などが挙げられる。ここで，認知的方略とメタ認知的方略に着目すると，暗記を目的とする【リハーサル方略】よりも理解を目的とする【体制化方略】や【精緻化方略】，さらに自己点検を行う【メタ認知的方略】の方が，学習成果に結びつきやすいことが報告されている[2]。

2023 年度の調査によると，京都府内の公立中学校の A 教諭による理科授業では，年度の前後で【リハーサル方略】の活用が減少し，一方で【体制化方略】【精緻化方略】【メタ認知的方略】の活用が増加することが確認された[3]。また，A 教諭へのインタビュー調査の結果，生徒の学習活動を見取り，授業中に，自分なりに考えた方法で学習している生徒の方法を全体に紹介して，他の生徒が自分に合っている方法を試してみるように促すという支援を行っていることが明らかになった。

そこで本研究では，2024 年度も引き続き A 教諭の理科授業を対象とし，授業中に実際に A 教諭が全体に向けて行っている言葉かけ（以下「発話」とする）を調査し，学習方略の獲得と適切な活用を促す支援について検討した。

表1　学習方略の種類と例

学習方略	下位尺度	例
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を考える
	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 M/C 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
	教訓帰納方略	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	友人を利用して学習を進める
	情報収集方略	参考書やインターネットを使って調べる
	図表の活用方略	図や表を積極的に使う

２．調査の概要

2024 年度に，A 教諭の担当クラスの 119 名を対象に，学習方略の変容を明らかにするために学習方略に関する自由記述式および選択肢式[4]のアンケート調査を事前（4 月）と事後（1 月）に実施した。選択肢式の調査では，【リハーサル方略】【体制化方略】【精緻化方略】【メタ認知 M/C 方略】【教訓帰納方略】の活用について 5 件法で問い，自由記述式の調査では，理科の授業中に行っている学習方法を最

大 3 つまで記述を求めた。また，A 教諭の支援の実態を明らかにするために，A 教諭の担当クラス 1 クラスを対象に授業動画を撮影し,「光の現象」に関する計 7 時間の授業について発話プロトコル分析を行った。さらに，教員の支援と生徒の認識との整合性を検証するために,「教員からの印象的な声かけ (表 2)」に関する自由記述式の調査を行った。

表2 「教員からの印象的な声かけ」質問の内容

アンケート内容
1 授業中の先生からあなたへの声かけ
• それはどのような声かけでしたか
• その声かけを聞いてどう思いましたか
2 授業中の先生からあなた以外の人への声かけ
• それはどのような声かけでしたか
• その声かけを聞いてどう思いましたか

3．結果および考察

学習方略の選択肢式調査の分析では，事前・事後の各下位尺度の尺度得点に対して対応のある t 検定を行った。その結果,【リハーサル方略】のみならず【体制化方略】【精緻化方略】の得点も有意に低下し（$p<.05$），有意に上昇する傾向がみられたのは【教訓帰納方略】だけであった（$p<.10$）。その理由を探るために，自由記述式調査を分析した結果，事後において「ペアワークで話す」といった【人的リソース方略】,「教科書や解説を読んで理解する」等の【情報収集方略】, また「絵や図をわかるようにかく」等の【図表の活用方略】に分類される記述の割合が増加していた。これらの結果から，生徒はどのように思考・記憶するのかという【認知的方略】よりも，何を活用して学習するかという【外的リソース方略】をより意識的に用いるようになったことが考えられる。

そこで，学習方略の変容が生じた要因を明らかにするために，授業中の A 教諭の発話に着目し，その内容を分析した（表 3)。その結果，授業の中で生徒個人が使用している学習方略を全体に共有し，その有効性を認め価値づける発言が見られた。こうした支援は，ほかの授業や単元においても継続的に行われており，実際「教員からの印象的な声かけ」に関するアンケート調査において，他の生徒への声かけとして「ふり返りの書き方やノートの書き方をほめていた」といった記述が見られ,「その声かけを聞いてどう思いましたか」という問いには,「真似してみようと思った」といった回答があった。つまり，生徒は教員による学習方法の共有や価値づけを適切に受け取り，他者の学習方法を参考にして取り入れようとしていることが明らかになった。講演では，A 教諭による授業中の支援について具体的に紹介し，その支援と学習方略の変容との関連について考察する。

表 3 学習方略への働きかけがみられた場面のプロトコルの一例

場 面	A 教諭の発言
【第4時】 光の屈折の導入	生徒 A とかやってたんやけど，境界面ってあるやんって，教科書ば一ってめくって，で，これ指差しながら「これこれ」みたいな。これ，わかりやすいです。
【第7時】 光源からの距離と像の大きさの関係の説明	素晴らしかったのは生徒 C。やっぱり（ノートに）書きながら説明してる。あれ，めっちゃわかりやすい。（中略）生徒 D は，ちゃんとわからん人のとこ，自分から声かけに行ってたし，これもめっちゃいいです。
【第8時】 光の屈折による海中からの見え方の説明	生徒 E は，あれやな，生徒 F がわかってないなと思ったら声かけるし（中略），わからんのかなって「どやろ」って声かけてみる，確かめてみる。これができるのも強いです。やっぱさすが。

参考文献

[1]文部科学省(2021) ： 中教審答申 228 号.

[2] Wolters, C. A.(1998) ：Journal of Educational Psychology，90，224-235.

[3]谷口和成，石井哲夫(2024) ： 日本物理教育学会第 40 回物理教育研究大会予稿集，91.

[4]押尾恵吾(2017) ： 教育心理学研究 65，225-238.

7H-4

教員志望学生の高校物理の学習経験

寺島幸生
鳴門教育大学
yterashima@naruto-u.ac.jp

１．研究の背景と目的

教員は児童生徒の主たる指導者・支援者であり，教員自身の学習経験や教科内容に関する理解は，児童生徒の学習意欲や内容理解にも強く影響すると考えられる．理科教育において，理科を含む全科を指導する小学校教員，中学校・高校の理科教員は，指導技法だけでなく理科の学習内容を正しく理解しておく必要がある．教員養成系大学・学部においては，教員志望学生が将来学校現場で理科を正しく教えられるよう，必要な知識・技能や指導技法を確実に体得できる教職教育が求められる．

これまで教員志望学生を対象とした各種調査が実施され，小学校教員養成課程の理科非専修学生の理科指導への強い苦手意識[1]，教科内容への知識不足，実験・観察の経験不足等[2]が指摘されている．教員志望学生の小中学校理科の内容理解度に関する調査から，大学生も小中学生が苦手な問題を苦手とする傾向があり，小中学生と類似する課題を抱えている実態が報告されている[3]．また，教員志望学生には理科の内容領域によって理解度に大きな差があり，物理や地学を化学や生物よりも苦手とする傾向や，高校理科の履修科目が各領域の内容理解度に影響している可能性，特に苦手とする物理の問題等が指摘されている[4,5]．

物理の内容理解度に関する調査に比べて，教員志望学生の高校物理の学習経験等に関する調査は比較的少なく，その実態は十分に解明されたとは言い難い．本研究では教員志望学生の物理の学習経験や学習意識に関する質問紙調査を実施した．この調査の目的は，教員志望学生の物理の学習経験の一端を把握し，小中高校の理科教育および高校から教員養成課程に至る物理教育の今後の在り方について検討するための基礎資料を得ることである．本発表では，調査結果の概要を報告しながら，高校および教員養成における物理教育の現状と課題について指摘する．

２．調査方法

国立の教員養成大学である A 大学学校教育学部において，小学校教員養成課程で必修の教科に関する科目「初等理科」を受講する学生（標準履修年次 1 年）を対象に，高校物理の学習経験等に関する調査を，Web 回答フォームを用いて実施し，計 147 名から回答を得た．主な調査項目として，高校物理の履修状況，教科書の内容量や難易度，各単元の内容の難易度，最も印象に残っている高校物理の学習内容，物理教員の主な授業形態や使用教材，授業や学校行事における理科に関する教育活動，物理に関する興味・関心の強さなどについての質問を設けた．

３．結果と考察

高校の物理系科目の履修状況として，回答者の約４割が「物理基礎」のみ履修，約３割が「物理」まで履修，残りの約３割は未履修であった．「物理基礎」履修者の約半数が同教科書の内容量を「ちょうどよい」と回答したが，難易度については半数以上が「難しい」と回答した．「物理基礎」で学習する「等速直線運動」，「力学的エネルギー」などの内容に関しては，「理解しやすい」の回答が比較的多く見られ

たが,「圧力・水圧・浮力」,「熱と仕事」,「静電気の基本的性質」などでは「理解しにくい」の回答が比較的多く得られた. 最も印象に残っている学習内容として,「等速直線運動」,「自由落下」,「ドップラー効果」などの記述が比較的多く見られた.

高校物理の担当教員が授業で主に使用した教材・教具として,「グラフ・表」,「イラスト・写真」が比較的多く,「プレゼンテーションスライド」は比較的少ない傾向が確認された. 学生の約７割が「教科書以外の教材・教具を利用することで物理への理解が深まると思う」と回答する一方,「教科書以外の教材・教具を物理の授業でもっと利用してほしい」と回答した学生は半数に満たなかった.

物理の授業に限らず理科に関する授業や学校行事の経験として,「科学者や技術者の特別講義・講演会」,「大学や企業, 博物館, 科学館等の見学・体験学習」,「野外調査や自然体験」,「生徒自身で学習や探究の成果を発表する」などを高校在学中に１度以上経験した割合はいずれも約３割にとどまり, これらの学習を全く経験しなかった学生が多数である実態が明らかとなった.

物理の学習内容に対する興味・関心に関して, 関心が強い：弱いの回答比は約３：７であり, 物理の学習内容への関心が低い学生が多数を占めた.

４. まとめと今後の課題・展望

今回の調査により, 教員志望学生における高校物理の学習経験や物理への意識等の一例を得た. 被験学生の多くにとって, 高校物理は学習内容が難しく興味・関心を持てる科目ではない実態が確認された. 一般に教員養成系大学・学部の学生の多くは, 理科なかでも物理を敬遠しがちだと言える. 今回調査したＡ大学では, 例年卒業生の約９割が小中学校の教員となるが, 高校理科なかでも物理の教員になる学生は少数である. しかし, 小学校教員は理科を含む全科を担当し, 中学校理科教員は物理に関する内容も授業で教えることになる. 物理の内容理解や興味・関心が不十分な教員が, 児童生徒に理科や物理を教えるとき, 彼ら自身の理解や興味・関心の低さが児童生徒の学びにも悪影響を及ぼし, いわゆる理科嫌い・物理嫌いが教員から児童生徒へ継承されてしまう恐れがある.

全国の教員養成系大学・学部では, 現代の教育諸課題に対応すべく新しい教育プログラムや科目が毎年追加され, いわゆるカリキュラムオーバーロードになっている. このような教育課程の過積載の状況下で, 理科特に物理に関する専門科目や単位数を単純に増やすことは現実的に困難である. 教員志望学生の理解度や興味・関心の特性を正確かつ具体的に把握した上で, 彼らが抱える課題を限られた科目・時間の中で確実に克服・補完できるような効果的かつ効率的な物理教育が教員養成に求められている.

参考文献

[1]独立行政法人科学技術振興機構理科教育支援センター(2011):「理科を教える小学校教員の養成に関する調査」報告書.

[2]下井倉ともみ, 土橋一仁, 松本伸示(2014):理科を専攻としない学生を対象とした「小学校理科を教える自信」に関する調査－理科内容学の視点から－, 科学教育研究, 38(4), 238-247.

[3]寺島幸生(2017):全国学力・学習状況調査を用いた教員志望大学生の理科の学力調査, 鳴門教育大学研究紀要, 32, 454-463.

[4]寺島幸生(2017):TIMSS2011 を用いた小学校教員志望大学生の理科の学力調査, 日本教育大学協会研究年報, 35, 25-36.

[5]寺島幸生(2017):TIMSS2011 を用いた小学校教員志望学生の物理の学力調査, 大学の物理教育, 23(1), 35-38.

7C-1

力学実験用のモーター式定力装置の開発

井上 陸,　石原 諭
兵庫教育大学大学院 学校教育研究科
p23065g@hyogo-u.ac.jp,　satoshi@hyogo-u.ac.jp

1　はじめに

高等学校の物理教育において，運動の第２法則を検証する実験では，力学台車に一定の力を加えて速度変化を測定する．一定の力を加える方法としては，ゴム紐，滑車と重り，斜面，モーター [1]，ブロアー [2] などを使う方法が知られている．また近年は定力装置の市販教材もある．定力装置では，力の比が 1:2:3 の３段階に限られ，第２法則の検証にはより多くの力の比が望ましい．力を細かい段階で調節できるような定力装置を開発することを研究目的とした．

2　開発

力の発生源としてはモーターを用いることとした．力を一定にするためにはモーターを定電流で駆動する必要がある．電流の制御にはマイコンを用いたデジタル回路を用いる方法と，オペアンプを用いたアナログ回路を用いる方法がある．本研究ではアナログ回路を採用した．制御電圧をオペアンプで VI 変換することにより，モーターの駆動電流を制御する．

図 1 は試作装置の力を力学台車に加えたときの運動の測定例である．測定には高等学校にあわせ，記録テープを用いた．(a) では等加速度運動が測定できている．(b) では制御電圧 V に応じて，加速度が増加しているが，正比例ではない．力が簡単な整数比になるように，制御電圧の比の調節が必要である．

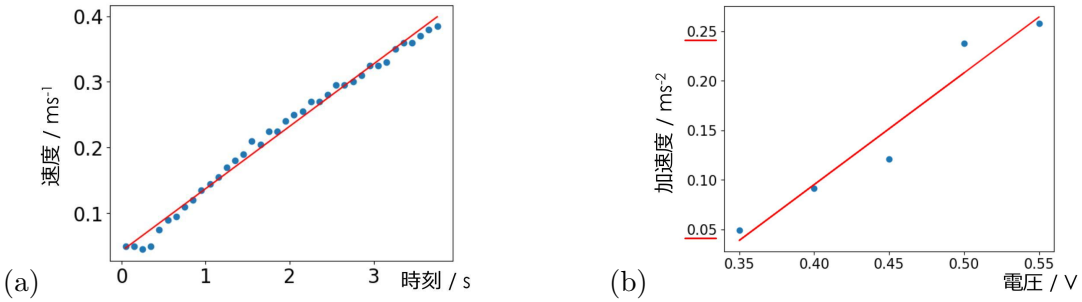


図 1　開発中の定力装置を用いた測定例：(a) 速度，(b) 加速度

3　まとめ

モーターを用いた定力装置の試作と評価ができた．装置の改良と教材化を進め，高等学校の授業実践により教育効果の検証を進める計画である．

参考文献

[1] 石黒浩三 (1976): 伸びの長さに関係なく張力が一定のひもの改良, 物理教育, **24**, 169–171.
[2] 渡辺文夫 (1989): ブローで定力を加え続ける $ma = F$ の実験, 物理教育, **37**, 16–19.

7C-2

人の吸引でボウリング球が浮上する装置の開発と 18 年の実践

海老崎功
愛知淑徳大学
iebisaki@asu.aasa.ac.jp

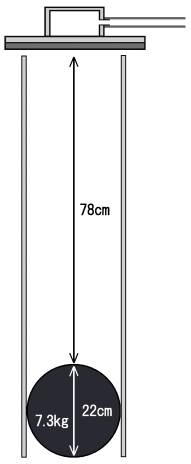
１．はじめに

2007 年に小学校 6 年生および中学校 1 年生対象の科学館実験室学習用に人の吸引のみでボウリング球（7.3kg）が浮上する装置を開発した。それまでボウリング球を浮上させる装置としては掃除機やブロアなどの吸引を利用する物が知られていたが，人の吸引で浮上させる装置は世界初のものであった。この装置はその後も中・高校での授業や科学部の活動，科学イベント，教員研修などで使用してきたが，2024 年に大学での実践によりそれらが一段落したこともあり本装置および実践の概要について，これまでのいくつかの報文とは少し異なる視点も交え報告する。

２．装置の開発

(1) 装置の概要

ボウリング球に透明円筒を被せ筒上部から掃除機やブロアで吸引することにより浮上させる装置はいくつかの実践例があり科学館の展示物にもなっている。本装置はそれらとは異なり人の吸引のみで浮上させるものである。それも大人数の吸引による「力技」のようなものではなく，たった 1 人の吸引でも無理なく浮上させることができる装置である[1]。

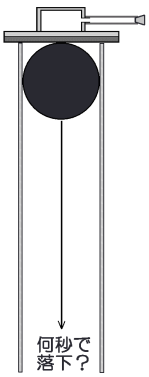


(2) 人の吸引で浮上させるための理論

ボウリング球（16 ポンド=約 7.3kg）を浮上させるには，計算上，球の上下に約 20hPa（＝約 0.019 気圧）の気圧差を作ればよい。人の吸引（減圧能力）には個人差があり小学校高学年以上であれば 100～600hPa 程度である。20hPa 下げつつ吸引することは簡単である[1] [2]。

(3) 浮上より落下に注目

装置製作時には，いかにしてボウリング球を浮上させるかを考えがちだが，著者は全く違う視点で開発を開始した。ポイントは「ボウリング球の落下」である。理論上，約 20hPa の気圧差を作ればボウリング球は浮上し，その気圧差を作るのは容易なのだから，浮上させる（吸引する）部分には特別な工夫は不要で吸引中に落下させない工夫こそが必要である。具体的にはボウリング球をブロアで最上部まで吸い上げ，その後，最下部まで 78cm 落下するのに要する時間を測定した。その時間よりも早く筒上部の空気を吸い切ることができればボウリング球は人の吸引で浮上すると考えた。

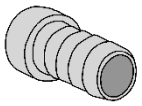


(4) 間隙のジレンマ

ボウリング球の落下時間を稼ぐには球と筒の間隙を極小にする必要がある。しかし間隙が小さすぎるとボウリング球のわずかな傾き等で引っかかり動きが止まってしまう。大きすぎると落下スピードが増し吸引が追いつかなくなる。掃除機等を利用した先行事例では間隙を小さくするのにセロハンテープをボウリング球の赤道部分に巻いたり，あるいは球全体をラップフィルムで包んだりという工夫が見られたが，スムーズに上昇するものは例外なく落下スピードも速い，つまり間隙があ

る程度大きい物ばかりであった。セロハンテープを巻くと間隙を小さくできるが，上昇時の筒との摩擦が大きく，スムーズに上昇しないばかりかすぐに引っかかり，また吸引力に頼って無理に上昇させると今度はそこから上昇も落下もせず固まって動かせなくなってしまう状態になる。

(5)間隙を埋める素材



ボウリング球と筒の間隙を埋める素材については開発当初から目処があった。セロハンテープのように表面が滑らかな物は筒に着くと摩擦が大きく張り付くような状態になる。気密性を保ちながらも摩擦の小さい素材についてはゴム管やビニルチューブを差し込むジョイントを参考にした。段差が複数ある構造のため管のスムーズな着脱が可能で気密性も十分である。この部分が一様に滑らかであると摩擦が大きく管の着脱がとても大変になる。ボウリング球と筒の間隙を埋める素材もこのような滑らかではない構造が必要である。スコッチメンディングテープ（住友スリーエム）はマットフィニッシュ（つや消し加工）であり間隙を埋める素材として最適であると考えた。この素材の使用により最上部から最下部までのボウリング球のスムーズな落下時間として 120 秒を実現した。

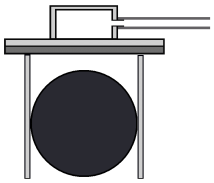
(6)吸引のためのチューブや逆止弁の工夫

吸引用の管やチューブは太く短いほど抵抗が小さく吸引しやすい。ボウリング球の落下を防ぐために逆止弁は必須であるが，当初，管の直径に合わせた大きな自作弁（厚さ 0.5㎜，ラテックス製）を用いていたが，動きが緩慢で大きく，その間のボウリング球の落下が無視できなかった。これを防ぐために大きな弁の使用をやめ，機敏に動く小さな弁を 16 個配置することで改善した。

(7)1 人用装置以外の工夫

1 人用装置が完成したら，あとは何人用でも製作可能である。吸引口を増やすことで 5 人用，7 人用，8 人用の装置を製作した。多人数用装置は吸引量が大きくなるため浮上速度が大きくなった。

(8)ボウリング球の膨張（収縮）対策



屋外やスポットライトが当たるステージ等では温度によるボウリング球の膨張（収縮）が無視できない。またボウリング球だけでなくアクリル筒の膨張もあるため，実演寸前の間隙の微調整が必要になる。このため 1m の筒を 24.7cm と 75cm に分割し，短い筒を間隙微調整用とした。この筒で 3cm ほどの浮上を試行し，その時の状態でメンディングテープを半周～2 周程度外すか，巻き足すかなどの調整を行い，本番の実演は長い筒（75cm 等）で行うようにした。

３．終わりに

この装置を用いた実践例は現在まで多数あり[2]，開発後 20 年となる 2027 年頃に成果をまとめる予定であった。2024 年に大学祭において将来教員を目指す学生のみでこの装置を用いたサイエンスショーを行い SNS にもアップしたところ，ある大学教員から「理科教育の新しい世代が育っていますね。すばらしい！」との評価（いいね！）を頂き，今回の研究大会テーマ「次世代につなぐ物理教育～物理実験の果たす役割～」と合致すると考え，今回の報告となった。

参考文献

[1]海老崎功(2008)：ボウリング浮上メカ，京都市青少年科学センター報告，VOL.39，pp.63-64

[2]海老崎功(2012)：気圧差で重量物を浮上させる実験装置の開発と実践，東レ理科教育賞受賞作品集第 43 回，pp.26-30

7C-3

「作用・反作用」と「つり合い」との差異化を図る教材の開発

-物体に働く力と摩擦力の可視化-

[A]荒川明輝, [B]南伸昌, [B]瀧本家康, [B]夏目ゆうの
[A]東京都立葛飾総合高等学校, [B]宇都宮大学
Haruki_Arakawa@education.metro.tokyo.jp

１．はじめに

物理教育において、「作用・反作用」と「力のつり合い」の混同は、学習者に見られる問題の一つである。本研究では、それを解消するための教具を開発し、授業実践によって開発した教具を評価することを目的とする。

２．従来の研究

本研究室では従来、力の第３法則の実感を目的とした、相互作用型演示実験講義の実践／検証を行ってきた。しかし、「作用・反作用の法則」の再認識はできるが、「力のつり合い」との違いを説明できない課題などが明らかになってきた。そこで、事前に実測した動摩擦力をグラフに示しておいて、「手で箱を押す力」との大小関係を示し、「作用・反作用」と「つり合い」の差異化を図る授業プログラムの開発を行ってきた。しかし、手で押す力の再現性の低さなどが、学習効果に与える負の影響が大きく、安定した力で箱を押す機構の構築が必要となった。

３．定力加速装置の作成

本研究では運動の再現性を高めるために、重りの落下運動を利用して一定の力を箱に加え続けることのできる「定力加速装置」と箱を滑らす「水平面」とが一体になった装置を開発した(図 1)。

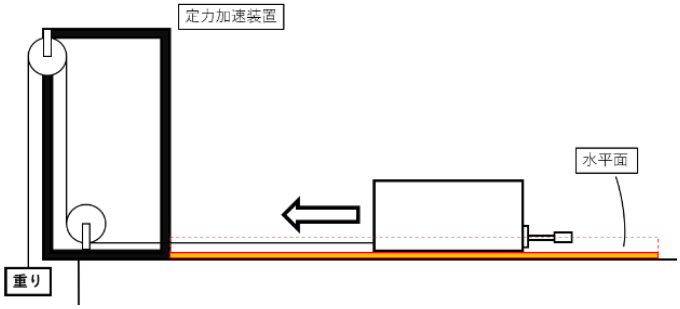


図１　開発した装置(概形)

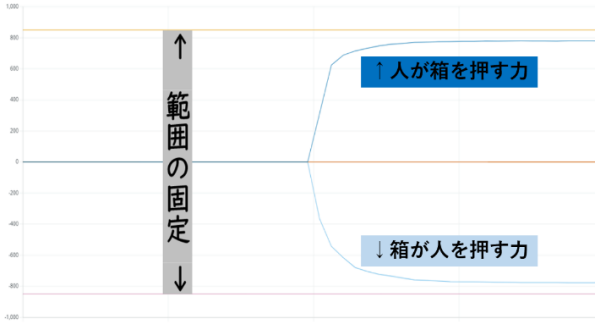


図２　力を表示しているグラフ 1(等速運動)

定力加速装置では、おもりにかかる重力を、定滑車２つを通して横／水平方向の力に変換し、ロープで押し板を引っ張る。押し板で押し棒を押すことにより、箱を重りの質量に応じた一定の力で押すことができる。等速や加速、減速等の運動の種類の変更は、重りの質量を調整することで行う。押し棒と箱には両方が向かい合うような形で圧力センサー(FSR402)が取り付けられており、棒が押し込まれることでそれぞれの圧力センサーが「人(押し棒)が箱を押す力」と「箱が人(押し棒)を押す力」を検知することができる。力の表示は、Arduino IDE のシリアルプロッターを用いて行った。図２は、等速度で箱を押している際の例で、２つの力を上下で示している。

４．授業実践概要

開発した教具を用いて栃木県立 A 高等学校(2 年生 44 名、90 分)において授業実践を行った。授業の効果を評価するため、同一の理解度調査問題(FMCE 等)を用いて事前調査、事後調査、定着度調査を実施した。授業は、全 9 問で構成されたワークシートに沿って、「個人での予想 → 班内での話し合い → 演示実験」という流れで進められた。ワークシート・理解度調査問題は、先行研究で使用されたものを一部改良し使用した。ワークシートの構成を表 1 に示す。また、授業の最後に「本日の活動の中からつり合いを探す活動」および「授業を受けて分かったことを自由記述させる時間」を設けた。

表 1　ワークシートの構成

ワークシート	構成
設問1~3	摩擦のある水平面上に置かれた箱を手で押し、
設問4	等速運動、加速運動、減速運動をさせる場面
設問5	二人の人(A,B)が手で互いに押し合っている場面
設問6	車Aが止まっているもう一方の車Bを押す場面
設問7	質量の大きな車Aと質量の小さい車Bが 同じ速さで衝突する場面
設問8	質量の大きいトラックTが停まっている 質量の小さい車Cにぶつかる場面
設問9	質量の小さな車Cが停まっている 質量の大きなトラックTにぶつかる場面

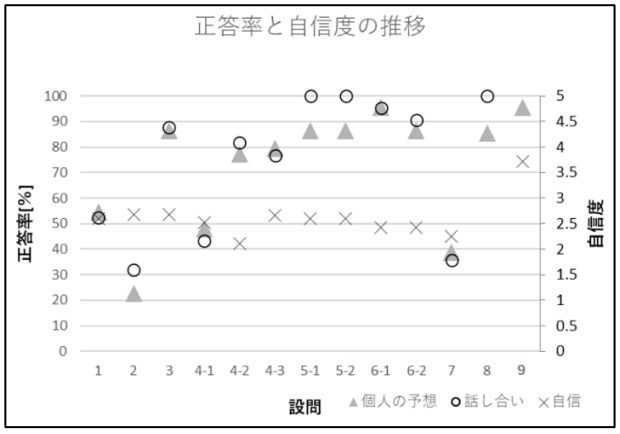


図 3　ワークシート 正答率と自信度の推移

５．結果と考察

図 3 に示すようにワークシートの設問 2 から設問 3、設問 4-1 から設問 4-2、設問 7 から設問 8 にかけて、「個人の予想」の正答率が大きく向上した。この結果は、「作用・反作用の関係は加速運動中でも成り立つ」ということや「加速運動をする際は箱に加わる正の正味の力が必要」というような前の設問で得られた理解を基に、次の問題を考えることができたためと考えられる。また、話し合いを経たことで全体的に正答率が上昇した。授業の感想（自由記述）における、「個人で考えた後に友達と意見を共有して、理解を深めることができた。」などの記述からも、話し合いの有効性が裏付けられた。

理解度調査問題においては、全体的に事前調査から事後調査にかけて正答率が大幅に上昇し、定着度調査においても高い正答率が維持されていた。事前→定着度の規格化ゲインは 0.81 であり、この値は ILDs 型の授業の効果が認められる目安の 0.3 を上回っている。すなわち、本研究の授業実践は生徒の力学的概念形成とその理解、及び定着に一定の効果があったと言える。

ただ、「押す力」と「摩擦力」を比較する演示実験への評価は相対的に低く、そのためか、最後の自由記述欄においても摩擦力への言及は僅かで、摩擦力とつり合いや等速・加速・減速運動との関係について着目させることには課題が残った。

６．結論

本研究では、様々な運動状態において「作用・反作用の法則」の成立を実感させ、「力のつり合い」との混同を解消することを目指し、定量的に力を再現・観察できる教具を開発した。高校 2 年生を対象とした授業実践を通してその有効性を検証し、規格化ゲイン 0.81 という高い値を得ることができた。今後は、摩擦力と箱に働く力との関係が分かりやすくなるよう、装置構成やグラフの見せ方の改良を行い、教育的効果の向上を図りたい。

7C-4

斜面を転がる球体の回転エネルギーに関する実験

-回転エネルギーはどのくらい大きいのか-

[A]西村祐紀，[B]林壮一
[A]福岡大学大学院理学研究科 2 年，[B]福岡大学理学部物理科学科
[A]yuukinishi.0520@gmail.com，[B]soichi@fukuoka-u.ac.jp

１．はじめに

中学校 3 年生の理科や高校の物理基礎で、「力学的エネルギーは、並進の運動エネルギーと位置エネルギーの和が一定に保たれる」ことを学習する[1] [2]。しかし実際に実験を行うと、摩擦がはたらいたり、物体が回転したりしているため、並進の運動エネルギーと位置エネルギーの和を一定に保つことは難しい。

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad I：慣性モーメント$$
$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\cdot\frac{2}{5}mr^2\cdot\omega^2$$
$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{5}mr^2\cdot\left(\frac{v}{r}\right)^2$$
$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{5}mv^2 = \frac{7}{10}mv^2$$

球体の力学的エネルギー保存の式　(1)

例えば、鹿児島大学の陳麗らは、レールを用いたおもりの水平投射実験において、(1)の式のような力学的エネルギー保存の式を用いて実験を行い、剛体の回転エネルギーの関与について考察を行っている[3]。また、弘前大学の山本らは、アルミレールを用いた斜面を転がる球の運動について、球の加速度の傾斜各依存性を測定し、すべり運動や転がり摩擦について考察している[4]。これらの実験では、共通してレールを用いた斜面が使用されている点が特徴的である。

そこで本実験では、球体を転がす際に用いられているレールに注目した。レール上を転がることで球体に与える影響をエネルギー保存則から実験また考察するとともに、平面上で転がした際との比較についても行っていきたいと考える。

２．実験方法及び計算方法（レール）

2.1 実験器具

本実験で使用した実験器具は、[3] [4]のようなレールを再現するために四角柱の木材を用いた。木材を図 1 のように 1cm の間を空けてレールをつくり、そのレールの下端にビースピ v を設置した。

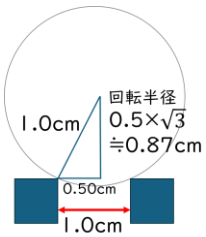


図 1 回転半径

2.2 実験方法と計算方法

本実験では、3 種類の実験方法及び計算方法で回転エネルギーの計測を行った。

① ビースピ v による速度測定と回転エネルギーの算出

レール下端につけたビースピ v を用いて球体の並進速度を測定し、(1)のうちの回転エネルギーの項を用いて回転エネルギーを(2)の式で算出を行った。

$$\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{2}{5}mr^2\cdot\left(\frac{v}{r}\right)^2 = \frac{1}{5}mv^2 \quad (2)$$

② レール間隔による回転半径の導入

図 1 より、直径 2cm の球体が 1cm の幅のレール上を転がるため、回転半径が球体の半径よりも短くなると考えた。そこで、(2)の角速度を求

$$\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{2}{5}mr^2\cdot\left(\frac{v}{r_{rot}}\right)^2 = \frac{1}{5}mr^2\cdot\left(\frac{v}{r_{rot}}\right)^2 \quad (3)$$

r_{rot}:回転の半径

める半径を、回転半径r_{rot}にして(3)の式の計算を行った。

③ 動画解析による回転数と角速度の測定

球体が斜面を転がる様子を動画撮影し、回転数と時間を測定することで角速度を求めた。得られた回転数 n と時間 t から平均の角速度$\bar{\omega}$を(4)の式で算出した。ただし、

$$\bar{\omega} = \frac{2\pi n}{t} \quad (4)$$

この角速度は平均値であるため、球体が転がり落ちる最下点における角速度を推定するために、以下の仮定を行った。「加速度が一定であるならば、最下点における角速度は、平均の角速度の約 2 倍に相当する。」この仮定に基づき、角速度の算出を行った。最下点の角速度を用いた回転エネルギーの式を(5)に示した。

$$\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}\cdot\frac{2}{5}mr^2\cdot(2\bar{\omega})^2 = \frac{1}{5}mr^2\cdot\left[2\cdot\left(\frac{2\pi n}{t}\right)\right]^2 \quad (5)$$

3．レールの場合の実験結果と考察

実験を 40 回行い、その平均結果を図 2 に示す。図 2 は、並進の運動エネルギーと回転エネルギーと、位置エネルギーから並進の運動エネルギーと回転エネルギーを引いた差の値を縦棒グラフで表した。図 2 より②回転半径を導入して計算した場合と③動画解析によって角速度を測定した場合の結果が位置エネルギーと近い値をとることがわかった。したがって、レールの場合の回転エネルギーは、球体の半径を使って計算するのではなく、実際の接触点に基づいた回転半径を使って角速度や回転エネルギーを計算する必要があることがわかった。また、斜面を転がる球体のエネルギーは、並進の運動エネルギーと回転エネルギーで、位置エネルギーの 90%以上を占めており、位置エネルギーから並進の運動エネルギーと回転エネルギーを引いた差はわずかであった。したがって、レール上を転がる球体においては、エネルギー損失は、並進の運動エネルギーと回転エネルギーに比べて小さいと考えられる。一方で、②の回転半径を用いた回転エネルギーの計算は、煩雑になるため難しい。そこで、平面上を転がすことで、球体の半径をそのまま用いて回転エネルギーを求めることが可能かどうかを検討するために、実験装置の改良を試みている。

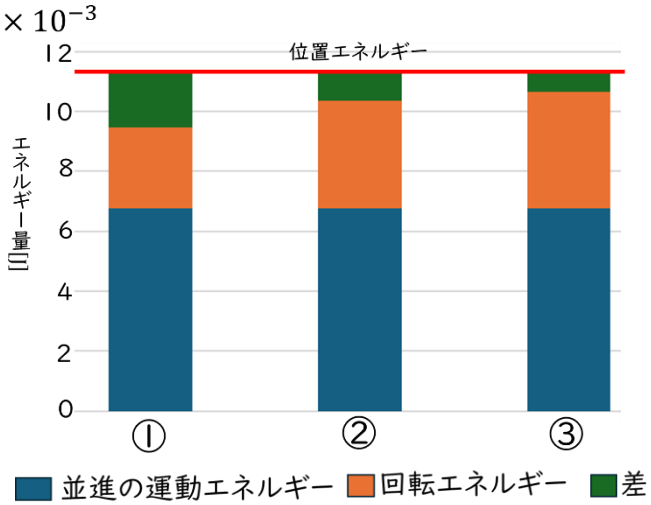


図 2 エネルギーの内訳

4．実験方法及び計算方法（平面）

本実験の使用器具及び結果・考察については、発表当日に報告する予定である。

参考文献

[1]新しい科学 3　　:東京出版. (2021)
[2]物理基礎　　:東京出版. (2024)
[3]陳麗ほか　　:「力学的エネルギー保存則の実験における回転エネルギーの関与」, 鹿児島大学理学部紀要 54, (2021)
[4]山本逸郎ほか　　:「斜面から転がる球の運動-高校物理の教科書に記載されている実験を題材にして-」, 物理教育　第 59 巻　第 3 号, (2011)

7D-1

電磁気授業づくりの会による電場・電位の授業検討

[A]柴田樹，[B]今井章人，[C]伊藤慧，[D]北岡和樹，[E]佐々木志帆，[F]西村塁太，[G]山本岳
[A]東京学芸大学附属国際中等教育学校，[B]早稲田中学校・高等学校，
[C]明治大学付属明治高等学校・中学校，[D]高知県立高知国際高等学校，
[E]名古屋大学教育発達研究科博士後期課程，[F]東京学芸大学附属高等学校，
[G]新潟県立長岡大手高等学校
ishiata@u-gakugei.ac.jp

１．はじめに

電磁気分野における「場」の概念は高校物理において重要であるが，その定着は困難であることが知られている[1]。特に電気力線については，授業後にも電気力線から電場ベクトルの方向や強さを正確に読み取ることができておらず，生徒がその意味を理解するには工夫が必要である。本研究では，昨年度に実施した BEMA[2]の結果を出発点とし，PESJ 次世代形成 WG「電磁気授業づくりの会」において授業改善を検討した。授業づくりの会では，電場・電位の導入順序や電気力線の扱い方，直感的理解を支える視覚的表現のあり方について主に議論した。これらの検討を踏まえ，アナロジーや観察活動を活用した授業を設計・実践した。

２．電磁気授業づくりの会における授業実践開発

2024 年末に実施した BEMA の主に問 14～16 の結果から，生徒は空間上のベクトルが何を表すか理解できておらず，電場と電位の関係を$V = Ed$の数式としてのみ捉えている傾向があることがわかった。電位と電場の方向・強さの関係を図から読み取る力や，電場が電位勾配として生じるという概念的理解が不十分であり，視覚的表現に基づく指導の必要性が示唆された。

これらの結果をふまえて，「電磁気授業づくりの会」において授業実践を検討した。特に，電場・電位の導入順序や電気力線の扱い方を中心に議論を行った。まず，電磁気分野全体を通して，場の概念の定着の難しさが共通の課題として認識された。特に電気力線については，生徒の直感的な理解を支援する視覚的表現として位置づけて指導を工夫することで，電場・電位の概念をより確実に理解させることができると考えた。

例として，電気力線を流体力学における「流線」と対応づけ，水の流れを用いたイメージ形成を促すこと，さらに電場を可視化して観察する実験を導入することが提案された。また，電場の湧き出しをイメージするために蛇口から流れ出した流水の観察や，3D のベクトル場シミュレーターを用いた観察も有効な手立てとして挙げられた。

今年度実践した授業では，「場」のイメージ形成を重視し，電場と電位を数式で定義する前に直感的な理解を促すことを狙いとした。導入においては，アナロジーとして水の流れを電場，水の位置を電位に対応させ，流体の流れから「押し流される力」や「高低差によるエネルギーの変化」といった感覚をもとに電場・電位の概念へつなげた。このアナロジーを視覚的に補強するために，ChatGPT を活用して作成

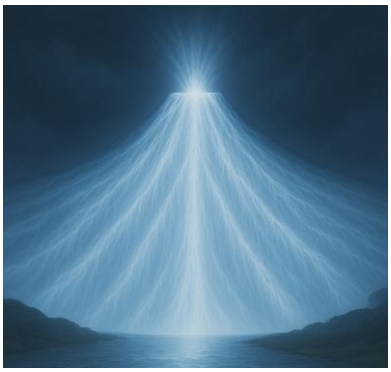


図 1　ChatGPT で作成した電場・電位のイメージ

した水流のイメージ画像（図１）を提示し，生徒がイメージを具体化しやすいよう工夫した。

さらに，概念の抽象性を補うために，授業づくりの会で共有された観察活動を取り入れた。「電場」の導入では，ジオラマの芝生パウダーを用いた帯電体周囲の電場の様子を観察する実験を行い，場の存在を視覚的に実感できるようにした。また「電位」の導入では，帯電したバンデグラフに放電管を近づける実験を行い，帯電体の周囲にエネルギーが存在することを，放電管が点灯する現象を通じて確認させた。これらの活動を通じて，数式に入る前段階で「電場とは何か」「電位とは何か」について，生徒が実感を伴って理解できるよう配慮した授業設計とした。

３．電磁気概念調査(BEMA)の結果および総括的評価課題の記述

授業の総括的評価課題として，等電位線の実験（図２）を探究活動として行った。ネオジム磁石や銅テープなどを用いて任意の形の電極をつくり，観察から得られた結果から等電位線や電気力線をレポートにまとめる課題を課した。レポートには，「電気力線が密な部分では電場が大きく，疎な部分では小さい」といった記述や，「電気力線の本数が曖昧なので，一意に定まるような定義が必要だと感じた」との考察がみられ，ガウスの法則の本質に自発的に迫ろうとする様子がうかがえた。また，「角やとがった部分では等電位線が大きく曲がり，電場が強くなる」という記述もあるなど，導体表面の曲率と電場の関係を見出せそうな生徒も見られた。これらの記述は，避雷針など実用例にもつながる気づきであると考える。

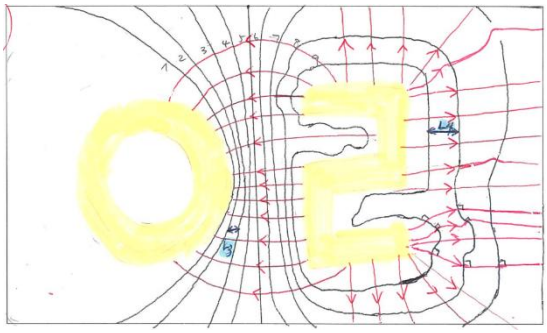


図 2　生徒の作成したレポートの例

また，授業後に BEMA を実施した。今回は BEMA の中から，静電気および電場・電位に関する設問（問 1～7，問 14～16）を抜粋して行った。図 3 中に示す国立 A 高校は本授業を実践した学校であり，市立 B 高校は授業づくりの会に参加していない教員が講義型授業を行っている学校，私立 C 高校は授業づくりの会に参加する教員が指導する学校である。中でも問 14～16 は電場と電位の関係を問う設問であり，A 高校の正答率は市立 B 高校を上回った。一方，電場ベクトルの重ね合わせを扱う問 5，問 6 については全体的に正答率が低く，今後の指導における課題があると考えられる。

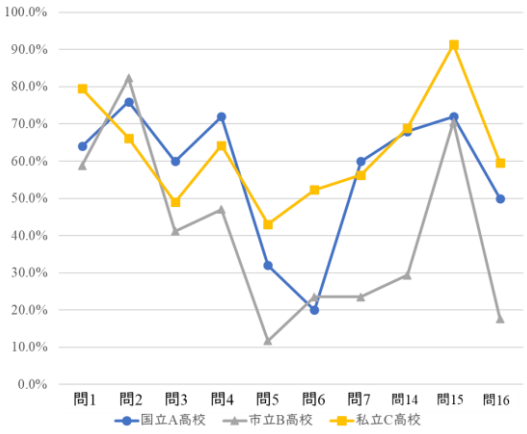


図 3　各問の BEMA の正答率

参考文献

[1] ナイト，R. D.（著），並木雅俊・興治文子・鈴木勝・副島雄児（訳）(2017)：物理を教える―物理教育研究と実践に基づいたアプローチ，丸善出版.

[2]L.Ding et al.(2006) :Evaluating an electricity and magnetism assessment tool :Brief electricity and magnetism assessment, Phys.RevST Phys. Educ.Res. 2(1).

7D-2

磁場Hと磁束密度Bの関係を理解するためのチュートリアルの研究

中留瞬，仁王頭明伸，梅田貴士
広島大学大学院人間社会科学研究科
nakashun040587@gmail.com

1. はじめに

高校物理では，磁場を表す物理量として磁場Hと磁束密度Bの二つの物理量が登場する[1]。磁場Hと磁束密度Bは，いずれも「磁場」を表す物理量であるが，それぞれの物理的意味と役割は異なる。磁場Hと磁束密度Bの導入や扱いに関して，教育的な観点からさまざまな見解が存在している。原・広井(2014)は，磁気現象を二種類の磁場で表すことは，生徒の磁場についての理解を促進するのではなく，かえって混乱や不必要な学習負担を生じさせていると指摘しており，磁束密度Bのみに焦点を当てたシラバス構成を提案している[2]。一方で，北野(2015)は，磁場Hを排除することで，かえって記述が複雑になり，理解が困難になる可能性を指摘し，磁場Hの物理的意味を適切に伝える方法を模索する必要があると主張している[3]。しかしながら，現状の高校物理教育では電磁気学の全体像を教えるのが不可能[3]であり，磁場Hと磁束密度Bの類似性や違いが分かる状態になっていない[1]，という点については，一定の意見の一致がある。いずれの見解が採用される場合であっても，高校物理を一通り学習した大学生や高校物理の教員が，磁場Hと磁束密度Bの物理的意味とその関係について正しく理解することには，教育的に大きな意義があると考えられる。

高校物理の教科書では，磁性体中における磁場Hと磁束密度Bの関係として$B = \mu H$(μ:透磁率)の関係式が登場するが、これは磁化の線形応答を仮定した近似的な表現である。特に強磁性体では磁化の非線形性やヒステリシス効果が無視できないため，一般には，$B = \mu_0(H + M)$(μ_0:真空の透磁率，M:磁化)と記述される。しかし，学習者のみならず教員においても，磁場Hと磁束密度Bの関係を単なる比例関係としてとらえ，両者の関係が十分に理解されないまま，形式的な計算や公式の暗記にとどまる傾向がある[4]。

また、磁場Hを視覚的に表すのに用いられる磁力線と磁束密度Bを表す磁束線も十分に区別されずに扱われることがあり，学習者にとって混乱の要因となっている。特に，小学校理科から扱われる「磁石」は，身近な教材として磁場について学習の導入に用いられているが，磁場の様子を図示する際に磁力線と磁束線の混同が生じやすい。図 1-1 に示すように，磁力線は N 極から S 極に結ぶように描かれ，磁場の発生源を示すのに対し，磁束線はループ状に閉じるように描かれ，磁束の循環的性質を表している。磁石内部における磁力線と磁束線の違いは磁石のような強磁性体で$B = \mu H$の比例関係が成り立たないことに起因している[3]。高校物理では，磁性体中の磁場における磁場Hと磁束密度Bの関係を，比例関

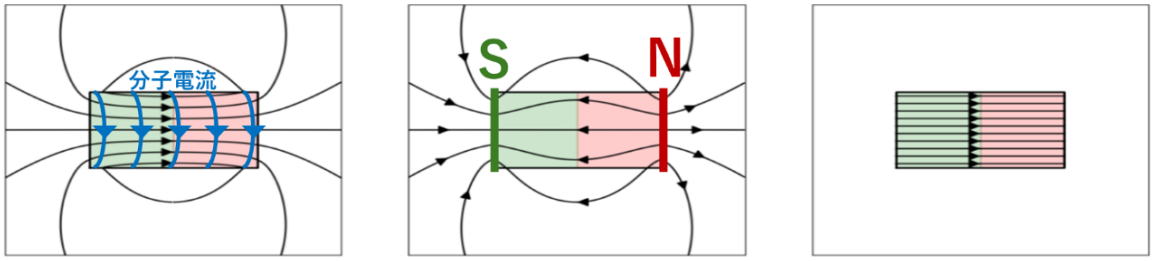


図1-1　磁石が作る磁束密度$\boldsymbol{B}$と磁場$\boldsymbol{H}$と磁化$\boldsymbol{M}$の様子（左：磁束線　中央：磁力線　右：磁化を表す線）
磁束密度$\boldsymbol{B}$と磁場$\boldsymbol{H}$はループ電流モデルと磁極モデルに対応

係として学習するため，磁束線と磁力線の様子を同一視してしまう可能性がある。

以上を踏まえ，磁場Hと磁束密度Bの概念やその関係性を正しく理解するための授業の開発を試みた。また，高校物理の範囲を一部超える内容を含むため，磁場に関する高度な理解が求められる教員養成段階の学習者を主な対象とすることが適切と考えた。そこで，本研究では，教員養成段階の学習者を対象に，磁石について，磁場Hと関連する「磁極モデル」と，磁束密度Bと関連する「ループ電流モデル」の二つの異なる視点を通して，磁場Hと磁束密度Bの物理的意味とその関係について正しく理解させることを目的とした。

2. 研究方法

本授業の形式として，伝統的な講義型の授業と比較して高い効果があることが示されている，アクティブラーニング型の「チュートリアル」と呼ばれる授業手法に着目した[5]。チュートリアルとは，伝統的な演習を，研究に基づいて注意深く設計されたワークシートを用いるグループ学習活動で置き換えたものである。チュートリアルにおける授業は，概念形成と定性的な推論を強調したワークシートを用いて，グループでの議論を中心に進められる。

学習活動で用いるワークシートは，メリーランド大学が開発した Open Source Tutorials を参考にし，全 5 章で作成した。第 1 章では，「なぜ磁場を表す物理量が 2 つ存在するのか」という素朴な問いを出発点とし，学習者の興味関心を持たせることを目的とした。また，アンペールの法則やローレンツ力などの高校物理の既習事項も確認した。第 2 章では，「磁極モデル」と「ループ電流モデル」の二つの異なる視点を比較的に用い，学習者の認知的葛藤を促した。各モデルがどのように磁場を生じさせるのかを図や説明を通して考察し，磁力線と磁束線に対応する 2 つの異なる「磁場」の存在について視覚的に認識することをねらいとした。第 3 章では，磁性体中における磁場Hと磁束密度Bの関係式$B = \mu_0(H + M)$を題材とした。常磁性体・反磁性体・強磁性体といった磁性体ごとに磁化Mの寄与を具体的に扱い，磁束密度Bが単純に磁場Hに比例しない場合が存在することを図や計算を用いて示した。第 4 章では，有限長の磁石を題材に，関係式$B = \mu_0(H + M)$を基に磁力線と磁束線，磁化Mを表す線（図 1-1 参照）の関係を視覚的に分析した。磁場Hが磁極から湧き出すベクトル場として表される一方で，磁束密度は循環的なベクトル場として描かれることを示し，両者の違いを明確に区別できるように設計した。第 5 章では，これまでの学習内容を統合し，磁場に関する理解が適切に定着しているかを確認することを目的とした。磁場を考えるうえで磁場Hと磁束密度Bの双方が有用であること，また，状況に応じて使い分ける視点を育てることを目的とした。

授業実践は 90 分授業で，広島大学理科教員養成課程の 2 年生を対象に実施予定である。授業実践後にはアンケートと事後課題を設定しており，その結果から本教材の教育的効果や改善点なども検討する。本研究の成果および詳細な分析結果については，当日の発表にて報告する予定である。

参考文献

[1]広井禎，吉岡裕幸(2015)：H と B からみた高校磁場学習の現状と課題，物理教育，第 63 巻 1 号
[2]原康夫，広井禎(2014)：日本の高校物理の磁場も B だけがよい，大学の物理教育，20 巻 S 号
[3]北野正雄(2015)：磁場は B だけではうまく表せない，大学の物理教育，21 巻 2 号 p.73-76
[4] 溝上俊彦(2013)：$F = k_m \frac{m_1 m_2}{r^2}$ の謎-磁場 H から磁場 B への展開-，新興出版社啓林館
[5]E.F.Redish(2012)：日本物理教育学会監訳「科学をどう教えるか アメリカにおける新しい物理教育の実践」，丸善出版

7D-3

高校物理における逆二乗則の共通性を見出す光照度実験の実践

能代谷賢治
東京学芸大学附属高等学校
nossy383@u-gakugei.ac.jp

1．はじめに

逆二乗則は物理量の大きさがその発生源からの距離の二乗に反比例する基本原理であり，様々な物理現象の中で見出される。その基本原理には，等方性と三次元空間が密接に関わっている。高等学校物理の中では万有引力や静電気力，磁気力などが距離の二乗に反比例することを扱っており，逆二乗則を実験的に確かめる方法が報告されている[1,2,3,4]。また，光照度の逆二乗則を実験的に確かめる方法についても報告されているが，その実践報告は少ない[5]。

近年では，学校現場での ICT 活用が積極的に行われており，実験機器が生徒の ICT 端末と接続され，実験結果を即座に表示・分析できる環境になっている[6]。

これらを背景として，本研究では高等学校物理において ICT を活用しながら生徒が光照度の逆二乗則を明らかにする実験教材の開発を目的とした。また，生徒が逆二乗則に従う他の物理現象と関連付けながら逆二乗則の共通性（等方性・三次元空間）を見出す授業展開について検討する。

2．光センサを活用した光照度実験

本研究では，生徒が照度の逆二乗則を実験的に明らかにするために「PocketLab 物理モデル」（以下，PocketLab）を用いた。PocketLab は 10 種類のセンサを内蔵するコンパクトな計測器であり，専用アプリで端末と Bluetooth 接続することによって，内蔵センサの計測値・グラフがリアルタイム表示できる製品である。本研究では搭載されているセンサのうち，光強度（照度）センサを使用した。

図 1 は PocketLab を用いた光照度実験の様子を示している。生徒は ICT 端末と接続した PocketLab を光源から 5.0 cm から 30.0 cm まで 2.5 cm ずつ遠ざけて照度を測定する。

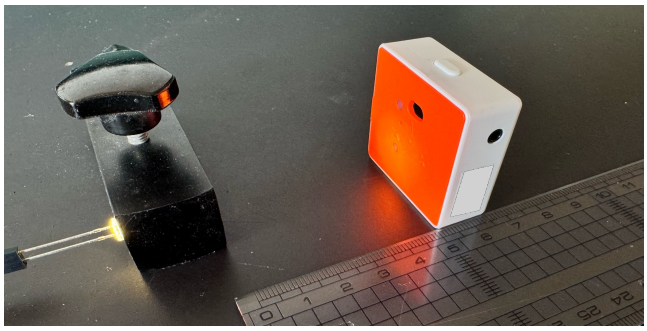


図 1　PocketLab を用いた光照度実験

支柱クランプのねじ穴に LED 光源を挿入し，照射された光の照度を PocketLab で測定する。

3．高等学校物理における授業実践

2．で示した光照度実験を令和 6 年度に宮城県内の高等学校において実践した。本実践の対象は，物理を履修する高校 3 年生 50 名である。

本実践を行うにあたり，光の強さと光源からの距離の関係について事前調査を行なった。この調査は

生徒が日常的に感じている光の強さと距離の関係を明らかにすることを目的とした。事前調査の結果を図 2 に示す。この結果から，約半数の生徒は日常生活の中で，光の強さが光源からの距離に反比例していると感じていることが分かる。

授業実践の結果，照度が距離の二乗に反比例した班が 10 班中 2 班（50 名中 9 名に相当する）であり，残りの 8 班は距離の一乗に反比例した。

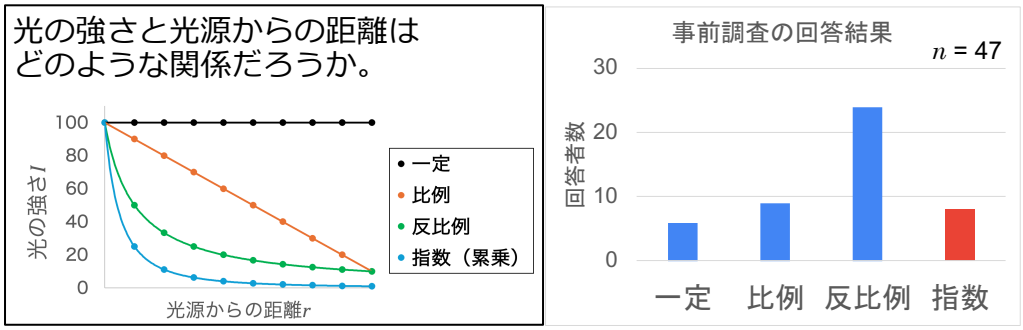


図 2 事前調査項目とその回答

光源での光の強さを 100 としたとき，光の強さと光源からの距離の関係について，一定，比例，反比例，指数（累乗）の 4 択で回答を得た。また，回答結果のうち，逆二乗則に従う回答（指数）を赤で示している。

4．光照度実験の改良に向けて

授業実践の結果から光照度実験の誤差要因を検討したところ，実験台からの反射による影響が考えられた。そのため，LED 光源から PocketLab までの実験台上に「真・黒色無双」（可視光を 99.4%吸収する塗料）を塗布したシートを追加し，実験を行なった。その結果が図 3 である。実験結果から，光源に近い領域では実験台からの反射の影響を受け，測定される照度が高くなっていることが分かった。

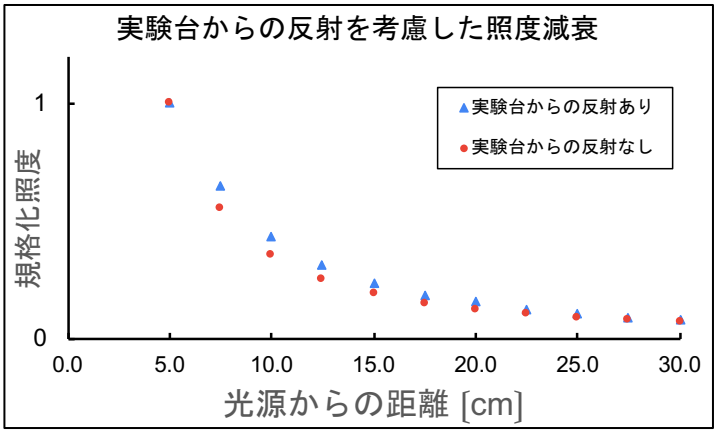


図 3 実験台からの反射を考慮した照度減衰

各測定結果は光源から 5.0 cm の照度を 1 として規格化している。

参考文献

[1]髙木伸一(2005)：SSH の実践例～栃木県立宇都宮高等学校, 物理教育，53-3，231-234.
[2]米田隆恒(1998)： 電子天秤による静電気力の測定, 物理教育，46-5，251-253.
[3]岡崎隆・遠藤太郎 (2002)： クーロンの法則と静電気力を考える, 物理教育，50-5，321-323.
[4]西條敏美(1985)： 磁気振動による磁気力の逆二乗法則に関する簡単な生徒実験－クーロンの実験(1785)の復元的方法－, 物理教育，33-1，12-14.
[5]遠藤隆 (1990)： 照度と距離の関係の測定, 物理教育，38-3，222.
[6]文部科学省 (2024)： 高校学校段階における学習者用端末の整備状況について（令和 6 年度当初）. https://www.mext.go.jp/content/20240806-mxt_jogai02-000020467_01.pdf（2025-07-12 Web 閲覧）

ポスターセッション

P-1

ハルバッハ配列の磁石がモーターの回転に与える効果を検証する実験の一考察

早稲田大学本庄高等学院　影森徹

本授業の目的は、探求的な活動を通して、①磁力線の性質を理解すること、②ハルバッハ配列を学ぶこと、③ハルバッハ配列のモーターでの効果を検証するために実験装置を各自で考え作ること、④収集したデータの統計学的な考察方法を知ることである。高校 3 年生の物理の授業を 2 時間使い行った。

1. 実験の目的

- ハルバッハ配列の磁石が通常配列よりも一方向に磁場を集中できることを利用し[1]、モーターの回転にどのような効果が生じるかを実験で明らかにする。(図 1 -1,2,3)

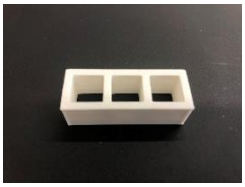


図 1-1　磁石ケース

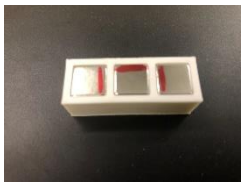


図 1-2　ハルバッハ配列

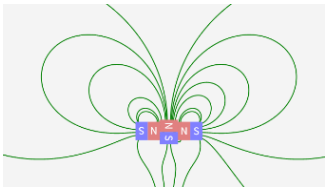


図 1-3　磁力線
(Javalab[2]を使用した)

- 実験装置は自作する。
- 測定結果を統計的手法で比較し、有意な差があるかを検証する。

2. 実験準備・装置(図 2 -1,2)

- クリップモーター　一式
- 磁石（通常配列とハルバッハ配列を各 1 セット）
- Arduino と赤外線センサーやフォトインタラプタなどの回転数測定装置
- パソコン

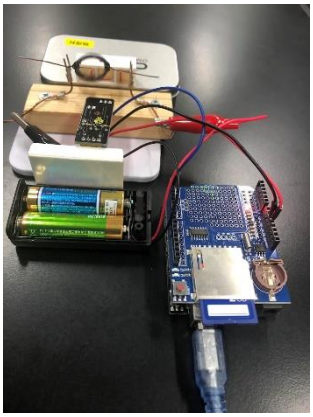


図 2 -1　測定装置

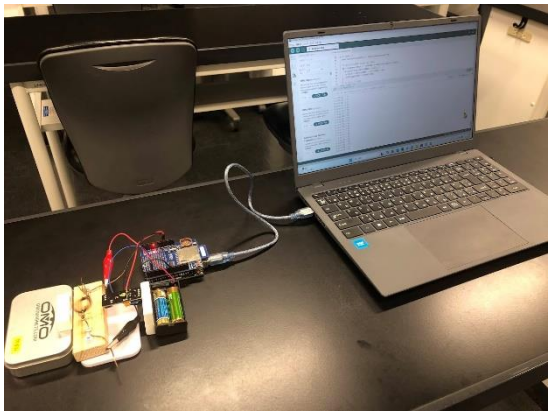


図 2-2　測定装置　（一人用）

P-1

3. 実験手順

① 通常配列磁石を使ってクリップモーターを組み立て、回転数を Arduino で測定・記録する。

② ハルバッハ配列磁石を使って同様に測定する。

③ 測定データは各回、100 回転ほどのデータを収集する。

④ 測定データをエクセル等にまとめる。

4. 測定装置（Arduino）の構成

- IR センサー（赤外線障害物探知センサー[3]）で一定時間ごとに反射波を検出する。
- Arduino でパルス数を一定時間ごとにカウントし、回転数を計算する。

5. 統計的な比較方法

- 2 つの条件（通常配列・ハルバッハ配列）の回転数を折れ線グラフで表す。
- t 検定（対応のない 2 標本の t 検定）を用いて、平均回転数に有意差があるかを検証する。
- 有意水準（片側 5%）を設定し、p 値がこれを下回れば「有意な差がある」と判断する。

補足：授業のポイント

- ハルバッハ配列の磁場の可視化（シミュレーション）。
- 実験データのグラフ化（回転数の比較、分布の可視化）。
- 統計的検定の考え方や意味の解説。
- 実験結果から科学的な結論を導くプロセスを強調。

参考文献

1．例えば、ハルバッハ配列 - NeoMag 用語集
https://www.neomag.jp/mag_navi/glossary/glossary_main.php?title_name=%E3%83%8F%E3%83%AB%E3%83%90%E3%83%83%E3%83%8F%E9%85%8D%E5%88%97

2．磁氣（じき） シミュレーション - Javalab
https://javalab.org/ja/category/electricity_ja/magnetism_ja/

3．例えば、赤外線センサーで障害物を検知: テクニカルガイド Tecnobits
https://tecnobits.com/ja/%E8%B5%A4%E5%A4%96%E7%B7%9A%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%81%A7%E9%9A%9C%E5%AE%B3%E7%89%A9%E3%82%92%E6%A4%9C%E7%9F%A5%E3%81%99%E3%82%8B%E3%83%86%E3%82%AF%E3%83%8B%E3%82%AB%E3%83%AB%E3%82%AC%E3%82%A4%E3%83%89/

P-2

水素スペクトル管の改良とインバータ回路の自作

絹川亨、中野美紀、園田英徳
神戸大学大学教育推進機構
k0103663@gsuite.kobe-u.ac.jp

神戸大学での現状

神戸大学の１、２年生向けの物理学実験では、2000 年より「水素原子のスペクトル」という実験テーマを続けている。その学習目標として Balmer 公式の確認[1]を掲げているが、近年では実験に不慣れな学生でも９０分間の説明と９０分間の実技で楽に達成できるようになってきた。その大きな要因の一つは、旧式の回折格子分光計（島津理化　V-10）に感度の高い CCD カメラを特注で取り付けて、裸眼では暗くて見えにくい（短波長で高次の）スペクトル線もモニター画面で明瞭に確認できるようにしたことにある（図１）。そして、水素原子のスペクトル管とその電源も、開始当初は米国の Edmond 社からそれぞれ５千円程度と手頃に購入できたことも、実験装置の保守継続に大きく寄与してきた。しかしながら、Edmond 社のスペクトル関連製品が医学教育製品メーカー 3B Scientific 社に引き継がれてから、水素スペクトル管は３．５万円/本、その電源は１０万円以上とかなり高額になった。さらに昨年、水素スペクトル管５本を発注したが、納品まで半年以上も待つ事態となった。そこで、スペクトル装置１０台を維持し続けられるかどうかを、我々は試作を通して検討することとなった。

[1] 学生には以下のサイトの図１のようなグラフを書いて、Balmer 公式を確認させている。
https://www.3bs.jp/physics/experiment/atom-expt/ue5020100.htm

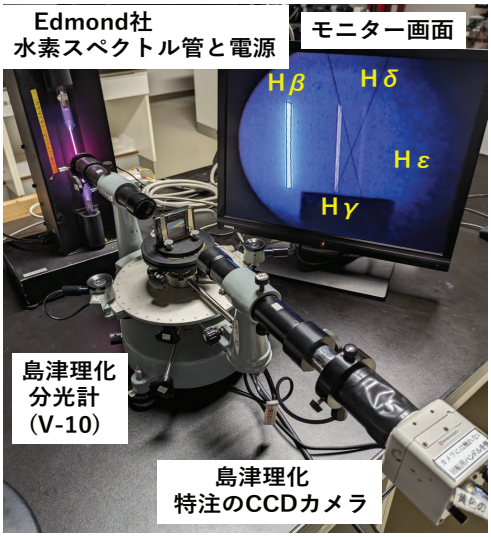


図１ 神戸大学での実験風景

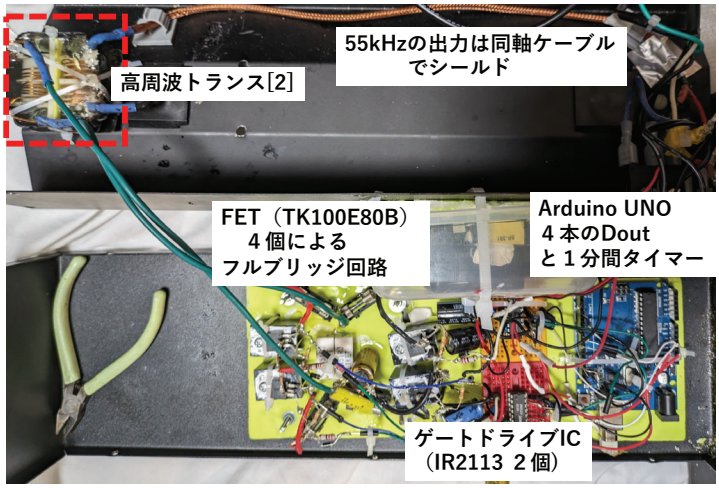


図2　自作インバータ回路；Edmond社製品の筐体内部に空きスペースを作って実装した。

前段階の研究

究極的な目標は、水素スペクトル管を長寿命化して、その電源とともに安価に手に入れることであるが、その前段階として、放電用インバータ回路を自作して、安価な水素スペクトル管を光らせることから始めた。具体的には、通販サイト AliExpress で探し出した、放電用の高周波トランス[2]と原子物理学教育用の６本セットのスペクトル管[3]から H_2 のラベルが貼られたものを使った。

[2] MP-2057 点火ブースターコイル、高電圧パッケージ、60w 1215 円
https://ja.aliexpress.com/item/1005006436141687.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.16.30f8585aCrfHdT&gatewayAdapt=glo2jpn
[3] スペクトルチューブ水素ヘリウム発光スペクトル．原子物理学教育器具 ６本組 10682 円
https://ja.aliexpress.com/item/1005007268252836.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.11.30f8585aCrfHdT&gatewayAdapt=glo2jpn

インバータ回路の自作

最初は[4]のような文献が参考になったが、現在は実測を手がかりにして試作を進めている。例えば、Edmond 社の現有装置を調べたところ、AC100V を単純に商用周波数 60Hz のまま 4,5kV までトランスで昇圧して放電を誘起し、40W 程度のパワーを消費することが分かった。そこで、自作回路は余裕を持って 100W の出力を目指したが、これは[1]のトランスでは最大 100V 最大 3A の直流電源を用意してスイッチングすれば余裕で実現できるだろうと見積もった。また、スイッチング周波数も実際にスペクトル管を発光させて調べた結果から 55kHz 辺りが明るいという目視観察から決めた。図２はこのように試作した回路の一例であるが、Edmond 社の装置筐体の内部に空きスペースを作って収めるようにしている。

[4] トランジスタ技術 SPECIAL NO.98 パワー・エレクトロニクス回路の設計 (2008) CQ 出版。

水素スペクトル管の延長

現有の Edmond 社製の水素スペクトル管は全長 28cm に対して、[2]の安価な製品は 25cm と分かった。そこで図３のように、[3]のスペクトル管の両端に、図３の真鍮棒を 15mm の長さでエポキシ接着剤を使って固定して、Edmond 社の装置でも動作させられるようにした。

予備的な結果

[2]の高周波トランスを使った自作回路と[3]の安価な水素スペクトル管を延長したもの用いて、図４のように短波長の Hδ線さらには Hε線が明瞭に見える有望な結果も得られた。しかし、残念ながら短い時間でスペクトル管が劣化した；明らかに不純物が混ざったと見られて、水素管の赤い発光(Hα)ではなくて白いピンク色に変化した。これを避ける可能性として、無電極放電も検討している。当日ポスターではより詳しく報告する予定。



図３ 安価なスペクトル管 [3]
(左) 加工なし、(右) 真鍮棒での延長あり。

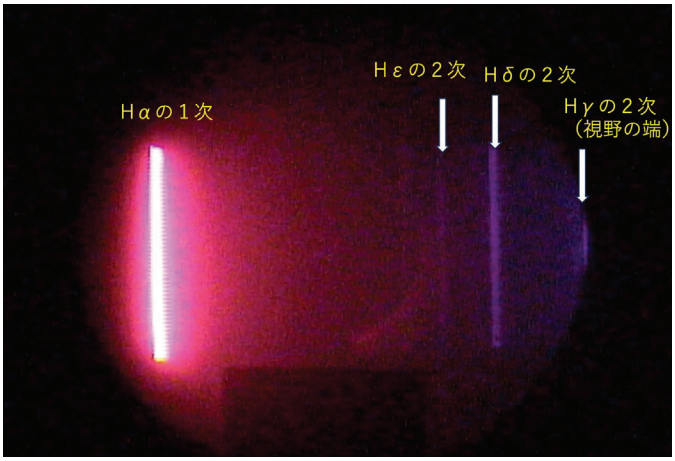


図４ 安価な[2][3]で得られた予備的な結果

P-3

水流モデルで十分か？：気圧アナロジーによる電圧指導の実践的検討

山田吉英
福井大学
yamada-y@g.u-fukui.ac.jp

１．はじめに

電圧は中高理科でも理解困難な概念である。導入しやすい水流モデルは広く使われているが、電圧を「流れの強さ」と誤認させやすい（オームの法則 $V = IR$ の式もその誤解を補強する）。本研究では、Burde ら（2022）を参考に、水流モデルを補完する形で気圧アナロジー（空気圧モデル）を導入した授業実践を行い、その有効性と限界、教材設計への示唆を検討している。

２．水流モデルが招く誤解と改善の指針

水流モデルでは「水の流れ＝電流」「水の高さ＝電圧」とされるが、学生の反応を見ると「高さ＝電圧」という対応には納得が得られていない。「流れが押し流す力＝電圧」と捉える方が自然な者も多く、「開放回路では電圧も存在しない」などの誤解が見られる。電流・電圧・抵抗という 3 量の相互独立性が軽視されがちであり、改善には操作定義よりも意味理解に立ち返った概念整理が求められる。

３．実践の概要

3.1. 授業構成：2 週にわたる概念転換の試み

実践は小学校教員免許取得のための必修授業（オムニバス形式）内で実施した。180 分×2 週にわたり、以下の構成で展開した。

・第 1 週：豆電球と電池、導線等を用いた簡易回路の提示と予想・対話
・第 2 週：実測値をもとに電圧分布を可視化し、事実確認と気圧アナロジーの試用

受講生約 70 名を、各回 3 グループ（各 20〜25 名程度）に分けて実施した。

3.2. 第 2 週：空気圧アナロジーとその意図

第 2 週は「気圧と風」の関係をもとに、「電圧＝電気圧の差」「電流＝その差による流れ」というモデルを提示した（電気圧とは電位の方便的翻訳用語である）。ビーチボールや真空保管庫などを用い、「詰まり具合」や「袋の膨らみ」を通して、2 点間の“差”として電圧を捉える足場を築こうとした。正解探しではなく多様な発想と対話を重視した。

４．学生の反応：省察作文（授業振り返り）からの再構成

本稿執筆時点では第 1・第 2 グループで実施済みである。いずれも「電圧＝電流の力？」という先入観が揺さぶられ、「電流が流れないのに電圧があるの？」「電圧って“流れ”じゃないんだ」といった戸惑いが多く見られた。一方で、「電圧＝高さの差」「風が生まれる気圧差のようなもの」といった再構成の兆しも確認された。

第 2 グループでは気圧アナロジーの受容が特に顕著であった。「滑り台の高さが速さに影響するように…」と表現する学生も複数見られたが、これは物理基礎を履修済みの学生によるグループ内解説の影

響も考えられる。

また多くの学生が「子どもに説明するとしたら？」という視点で自らの理解を再構成しようとしていた。このような「問い」や「もやもや」を正解で閉じず、他者と共有する中で、彼らは少しずつ“理解の地図”を描こうとしていた。

５．考察

5.1. 空気圧モデルの訴求と限界

空気圧モデルは電圧＝差という構造の可視化には一定の効果があるが、抽象度が高く、十分な説明と接地がなければ伝わりにくい。そもそも気象教育でも気圧の概念形成は難しい課題であり、このモデルも決して「万能」ではない。

5.2. モデル転換と「応答的な（responsive）指導」の役割

学生の当惑や表現に即応して補助的アナロジーや別解釈を提示する「応答的な（responsive）指導」の実践が重要である。モデル転換は完成された教材で自動的に起こるものではなく、教室内の即興的な関わりと、安全に思考を共有できる対話的な場づくりを前提とする。

5.3. 柔軟に組み替えられる教材と教師の構え

昨年度から使用しているワークシートは一定の効果を示したが、教師が即興的に利用・改変できる「柔らかい教材」の必要性が示唆された。「科学的に十分な理解を前提にして教師になる」というシナリオは現実的ではなく、今後は教材整備よりも、教師自身の構えや応答力の育成を目指すべきである。理解を深める鍵は、汎用的なモデル提示ではなく、モデルと現象のずれに応答できる教師の力量形成にある。

６．結論

電圧概念の理解にはモデルの再構成が欠かせない。空気圧アナロジーは水流モデルの限界を補う一助となったが、その効果には導入の丁寧さと応答的支援が不可欠である。完成された教材ではなく、組み替え可能な補助教材と応答的な教師による授業設計が求められる。

本ポスター発表では、学生の生の声を紹介し、彼らが理解を揺らがせ立て直す過程、そして我々教師自身の「アナロジーをどう使い分けるか」、そしてあまり馴染のない「気圧アナロジー」そのものについて、模造紙とマーカーペンを用いた対話形式で共有したい。

ぜひ当日、現場で直接語り合いましょう。それが「応答的な教師」の姿であると思うから。(←発表ポスター作りません宣言。)

参考文献

J.-P. Burde, T. S. Weatherby, & T. Wilhelm (2022), Putting Potential at the Core of Teaching Electric Circuits, *The Physics Teacher*, 60, pp.340-343.

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP24K00464 の助成を受けている。

P-4

九谷焼で作る重力ポテンシャル形状と実験教材の開発

[A]渡會兼也，[B]利岡光一郎
[A]金沢大学附属高等学校，[B]九谷光仙窯
watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

１．はじめに

高校物理における万有引力の単元では，天体や人工衛星の運動が主なトピックとして扱われるが，その特性から生徒実験が困難である。生徒が手を動かす活動としては，調べ学習から天体データのプロットやコンピュータシミュレーションなどを行うことが多い。筆者はこの単元で生徒が行う実験・観察の教材を模索していたときに，科学館や博物館で展示されている「Spiral Bank」に出会った。「Spiral Bank」は重力ポテンシャルに似た曲面上をコインが回転運動をしながら中央の穴へと引き込まれていく様子を視覚的に観察でき，その物理的特性がもたらす美しさによって多くの来館者を魅了している。これを教育現場で活用することで，実験的な学びの選択肢を拡大することができると考えた[1]。この曲面形状の再現を考えたとき，ろくろによる形成が可能ではないかという発想があった。勤務校のある石川県は伝統工芸が盛んな土地柄で，焼き物であれば九谷焼という伝統文化がある。渡會が九谷焼の工房で働く利岡に相談したところ，やってみましょう，ということになった。

本研究では，重力ポテンシャルの形状を伝統工芸である九谷焼の技術を応用して再現し，美的な教材の開発を試みた。この装置は，物理学の抽象的な概念を視覚的に理解させるだけでなく，科学と芸術の融合を体現する学びの場を提供する可能性がある。本ポスターでは，この装置の設計プロセスおよび試作結果について報告し，さらに STEAM 教育の観点から新たな教材としての可能性について議論したい。

２．方法

筆者らは 2024 年 4 月より，重力ポテンシャルの形状を再現するための設計を開始した。ポテンシャル形状は渡會が設計し，形状やサイズについて利岡と協議を重ねた。利岡が実際に九谷焼による成形をしている間，渡會は Design Spark Mechanical を用いて 3D-CAD データを作成，さらに 3D プリンタにより試作品の出力等を行った（図 1 参照）。

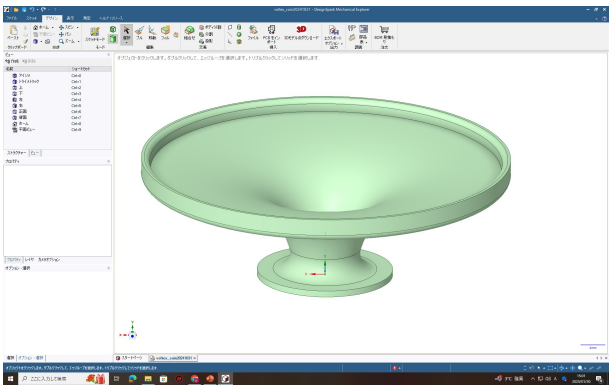


図１　３D-CAD による形状の一例

九谷焼の製作工程は，ろくろによる水挽きと削りによる成形，乾燥後の素焼き（約 800℃），施釉，本焼（約 1,300℃），および上絵付けという順に進行する。完成までの当初予定は半年程度であったが，特殊な形状ゆえに成形に時間を要し，本焼は翌年 3 月，上絵付けは 6 月に完了した[2]。

重力ポテンシャル形状は外側に行くほど曲率が小さく，薄くなるため，粘土の自重により変形しやすく，成形の維持が難しいことが分かった。この問題は，3D プリンタによる造形でも同様に発生した。実際には，内側の曲率のみを正確に再現すれば機能面では十分だが，九谷焼の器としての美しさを損なわれてしまう。利岡は機能と美の両立を試み，成形を行った。

３．結果

図 2 に示す器が，完成した九谷焼製の重力ポテンシャル形状である。上絵付けまで施された本作は，教材としての機能だけでなく器としての美しさを兼ね備えている。ビー玉を転がしたところ，心地よい音を響かせながら螺旋状の軌道を描いた。初速度の与え方を適切に調整しないと，玉がすぐに中心へ落下したり，外縁部を逸脱したりするため，安定した軌道を得るには繰り返し練習が必要である。

半径ごとの深さを約 8 点測定したところ，2 次関数による近似が可能であることが確認された。今後はさらに精密な形状測定を行い，ビー玉やコインを転がした際の運動解析も行う予定である。さらに，本教材を用いた生徒実験や観察活動，今後の探究学習等での活用を計画している。

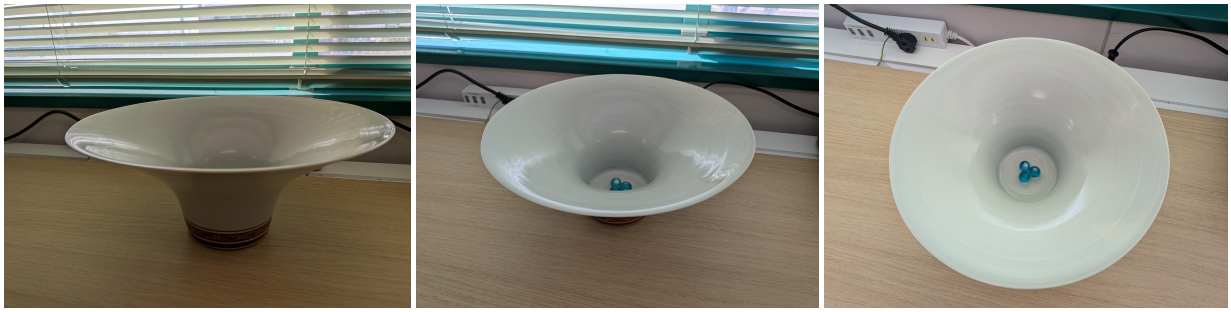


図２　完成した九谷焼の器。ビー玉を転がすと心地よい音を響かせながら螺旋状に回転する。

４．考察とまとめ

重力ポテンシャルの形状を陶器で再現する試みは，予想以上に困難を伴った。特に外縁部を薄く成形すると，自重による変形が生じやすく，その成形には高度な技術が要求される。これはろくろ成形だけでなく，3D プリンタを用いる場合も同様の課題が残る。今後，他の陶芸家に制作を依頼する際には，技術的な難易度から費用が増大する可能性や，そもそも制作が実現可能かといった問題が予想され，陶器による教材の量産は難しいことが明らかになった。

しかしながら，本研究を通じて物理教材と伝統工芸との融合の可能性を感じることができた。近年の STEAM 教育の実践を見ると，Science（科学），Technology（技術），Engineering（工学），Mathematics（数学）の要素に対して，Art（芸術）の比重は相対的に低い傾向にある。伝統工芸はまさに「Art」を体現する教育活動の実現に寄与するものであり，STEAM 教育との親和性が高いと言える。物理教材の制作に工芸の視点を取り入れることで，教員や生徒は職人の卓越した技術と美意識に触れ，伝統工芸の価値を肌で感じることができる。また，職人にとっても，物理的・数学的な要請に基づいた造形は新たな挑戦となり，創作意欲を刺激する。このように，物理学と伝統工芸が互いの価値を理解し合うことは，日常生活における理系的な思考の重要性や，伝統の継承，そして後継者不足といった社会課題への理解を深めるきっかけとなる可能性を秘めている。

謝辞

本研究は 2024 年度武田科学財団研究助成を受けています。

参考文献

［1］渡會兼也，中村公弘（2024）『くるくるコイン貯金箱に吸い込まれるコインの運動解析』高校教育研究　第 75 巻，pp15-20.

［2］渡會兼也，利岡　光一郎（2024）『九谷焼で作る重力ポテンシャル形状と実験教材の開発』令和 7 年日本物理学会春季年会　講演予稿集.

P-5

力学概念における男女差に関する調査

- 高等学校での学習履歴と学習姿勢に注目して -

[A]竹内太軌，[B]松本益明
[A]東京学芸大学教職大学院，[B]東京学芸大学教育学部
m253411x@st.u-gakugei.ac.jp

１．背景と目的

近年，物理概念の理解度を測る物理概念調査において，男子学生の成績が女子学生の成績を上回る状況が国内外の研究で多く報告されている[1]。Madsen らが英米の大学の物理授業で行った概念調査では，平均で約 13 %もの正答率の差があり，その差をジェンダーギャップ値 G＝<男子学生の正答率>ー<女子学生の正答率>で定義している[2]。また，国内における高等学校の生徒を対象とした 2015 年度の調査において「物理の学習が好きだ」という項目をはじめ，物理の勉強の重要性や有用性、物理の勉強の理解度など様々な項目において，男子と女子の間で差があることが示されている[3]。

このように，ジェンダーギャップの存在が指摘されているが，なぜ生じるのか，どのような授業が効果的であるのかについて明らかになってはいない。力や運動についての素朴概念(誤概念)は様々な日常経験に基づいて獲得されるものであり，非常に強固なものである。また，高等学校における物理の学習において，力学概念は物理を学ぶ上で一番初めに学習をする分野であり，力学分野におけるジェンダーギャップの解消，有効な学習姿勢，学習方略の検討は高等学校において物理学を学ぶ上で学習者が感じる障壁の解消につながっていくのではないかと考える。そこで，本研究では，学習履歴や学習姿勢に着目し，力学概念における男女差について調査することを目的とした。

２．方法

本研究では，2018， 2019 年度の東京学芸大学「基礎物理学」受講者，2023, 2024 年度の東京学芸大学「物理学概論Ⅰ」受講者を対象に実施した力学概念調査(FCI)，物理の学習姿勢に関する調査(CLASS)のデータ解析を通して，男女差について分析を行った。すべての年度において FCI はマークシート形式で実施された。FCI は，講義の初回(pre 調査)と講義の最終回(post 調査)で実施したが，回答データは講義前後で 1 セットとし，どちらも回答した学生のデータを有効回答として扱った。CLASS は講義の初回(pre 調査)に実施した。表 1 に対象となる学生の内訳を示す。総数が 469 人であり，男女の割合は，女子学生が 42.4 %(199 人)，男子学生が 57.6 %(270 人)である。また，高等学校で物理基礎まで履修した学生が 42.2%(198 人)，物理まで履修した学生が 51.8 %(243 人)である。講義はピアインストラクションの形式で行われている。力学の概念理解度や学習姿勢における男女履修別の群間の差を検討するため，平均値の差の有意性について t 検定を行った。t 検定は 2 つの独立した群の平均値を比較する際に広く用いられる統計的検定である。検定の有意水準は 5%と

表 1　対象となる学生の高等学校での履修状況

高等学校での履修状況	男子学生(人)	女子学生(人)	合計(人)
物理基礎まで履修	91	107	198
物理まで履修	167	76	243
科学と人間生活を履修	0	2	2
未履修	12	14	26
合計	270	199	469

し，p 値が.05 未満の場合に有意差があると判断した。また，力学の概念理解度と学習姿勢の関連性について調べるため，変数間の相関係数を算出し，その関係の強さと方向を分析した。

３．調査結果と考察

表 2 に FCI の学習履歴別の得点率の平均(M)と標準偏差(SD)と CLASS の好ましい回答の割合(表中では Favorable と表記している)を示す。

FCI について、pre 調査においては，物理基礎まで履修した群，物理まで履修した群のいずれにおいても男子学生と女子学生の得点率平均の差に統計的に有意な差が認められた($p < .05$)。post 調査においては，物理基礎まで履修した群，物理まで履修した群のいずれにおいても男子学生と女子学生の得点率平均の差に統計的に有意な差が認められなかった。(物理基礎まで履修した群 $p = .24$，物理まで履修した群 $p = .13$)

表 2　FCI・CLASS の学習履歴別平均

	pre		post		CLASS
	M	SD	M	SD	Favorable
物理基礎男子	49.1	16.6	64.5	18.6	46.8
物理基礎女子	39.0	14.5	61.2	20.4	46.4
物理男子	77.0	15.5	75.7	16.6	63.0
物理女子	68.0	16.3	72.0	18.1	61.0

CLASS について，学習履歴別に見ると，物理基礎まで履修した群において，「現実とのつながり(RWC)」，「個人的興味(PI)」，「意味を考える努力(SME)」の項目は女子学生の方が好ましい回答をしている割合が高く，物理まで履修した群においては，「個人的興味(PI)」，「意味を考える努力(SME)」の項目は女子学生の方が好ましい回答をしている割合が高くなっていた。物理基礎まで履修した群，物理まで履修した群の男子学生と女子学生の好ましい回答の割合について，同様に t 検定をおこなったところ，どちらの群においても男子学生と女子学生の間で好ましい回答をしている割合に統計的に有意な差は見られなかった。また，物理基礎まで履修した群に比べ，物理まで履修した群の方が好ましい回答をしている割合は平均で約 16 %高くなっていた。高等学校で物理を履修していた学生は，CLASS において好ましい回答をしている割合が高いことが分かる。

力学概念の理解度と学習姿勢の関係性について検討するため，FCI のスコアと CLASS の好ましい回答の割合について相関分析を行った。物理基礎まで履修した群においては，男子学生は相関係数 $r = .33$，女子学生は $r = .29$であり，物理まで履修した群においては，男子学生が $r = .38$，女子学生は $r = .35$ となった。相関係数の有意性評価を行ったところ，好ましい回答の割合については物理基礎まで履修した群，物理まで履修した群の男子学生，女子学生ともに有意な相関が認められた。

４．まとめ

本研究では，高等学校における物理の学習履歴に着目し，男女差について分析を行った。

大学生を対象とした FCI について，高等学校における物理の学習履歴というバックグラウンドを揃えることで従来指摘されている男女差が小さくなることを確認することができた。CLASS について，高等学校で物理を履修していた学生は，好ましい回答をしている割合が高いことが分かった。

参考文献

[1]新田英雄：物理教育第 71 巻第 3 号，208 (2023).

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

[3]国立教育政策研究所：平成 27 年度高等学校学習指導要領実施状況調査生徒質問紙調査(物理基礎) https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h27/h27/10h27seito_butsuriKiso.pdf (2025.3.11 取得).

P-6

MIF 誤概念（Motion Implies a Force）を防ぐ指導方略の検討

―中学校理科力学分野における速度ベクトルの活用を中心にして―

[A]齋藤頼紀, [B]山田吉英, [B]小林和雄
[A]福井大学教育学部, [B]福井大学
ka220302@g.u-fukui.ac.jp

1. はじめに

Clement は力学の学習において、運動の継続には同じ方向に継続的な力が存在するという MIF 誤概念（Motion Implies a Force）が多くの人に存在すると指摘している [1]。この誤概念が形成される要因として、飯田は学習者の「常識的自然観」や「経験的自然観」が根強いと述べている [2]。中島・堀は、「速度」・「加速度」と「力」、「慣性」と「慣性力」の区別がついていないことや、高校の教科書で「力」を先に学習しないことで「速度」と「力」を結び付けて考えることが難しくなると指摘している [3]。また、中学校では運動方程式や速度ベクトルには触れられておらず、力の矢印のみが用いられている。

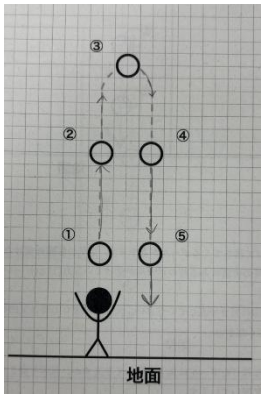
そこで本研究では、中学校段階で「力は速度を変化させる」ということを強く意識させるため、速度と力を結び付けて考えることで MIF 誤概念の形成を予防するための中学校の力学単元における授業案を構築し、その有効性を探ることを目的とする。

2. 予備調査

MIF 誤概念がどのように形成されているのかを把握するために、以下の 3 群に対してアンケート調査を行った。

A 大学教育学部 1 年生：65 名、B 大学の理系学生：19 名、 A 大学理科専攻 4 年生：13 名

自由落下、鉛直投げ上げ、放物運動の 3 つの運動に対し、物体に働く力と速度を矢印で表してもらうという内容で行った。運動のイメージをしやすくするためにボールを使って演示を行い、それを見た後に答えてもらった。



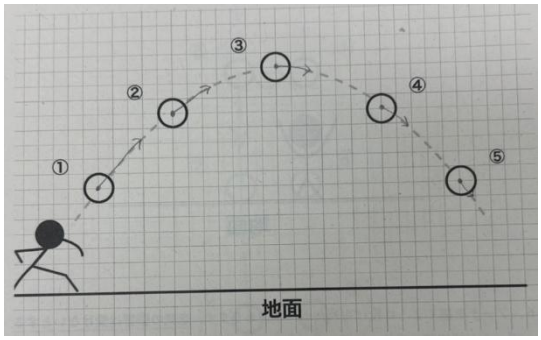


図 1　力の矢印の回答例（左：鉛直投げ上げ　右：放物運動）

結果には以下の傾向が見られた。

・高校で物理を学習していない文系の学生も速度ベクトルの向きは力ベクトルと比べると比較的正確に捉えられていた。
・力と速度の混同が多く、力の矢印を運動方向に描く（MIF 誤概念）例が多数見られた。
・特に鉛直投げ上げ・放物運動では、頂点の力が 0 になると認識している傾向があった。
・ 一部では、速度ベクトルが運動の軌道に沿って描かれる表現がなされた。

これらの結果から、学習者は速度ベクトルの視覚的イメージは持ちやすいが、力ベクトルとの区別がついていないことが明らかになった。

3. 考察

調査結果は、MIF 誤概念が速度と力の混同に起因していることを支持する。また、速度ベクトルは運動の様子と一致するため、視覚的に把握しやすく、学習者の理解にとって有効な手がかりとなり得る。したがって、中学校理科の授業においては、力の導入に先立ち、速度ベクトルの理解とその変化の観察を中心に据えた授業構成が有効と考えられる。

4. 授業案の概要

本研究で提案する授業では、以下のステップを踏んで力の理解を促す。

1. ストロボ写真の観察

物体の運動の様子をストロボ写真で視覚的に捉える。

2. 速度ベクトルの導入

各時点での物体の速度を矢印で表し、速度の変化（大きさや向き）を確認する。

3. 力の導出

「速度ベクトルの変化＝力が働いていることの証拠」という前提を共有し、速度の変化から力の存在や向きを導く。

このように、直接的に「力」を描かせるのではなく、「速度ベクトルの変化」から間接的に力を捉えさせる構成とすることで、MIF 誤概念の形成の予防を試みる。

5. 今後の展望

提案する授業案（ストロボ写真と速度ベクトルを用いた授業）を A 大学の理科専攻 4 年生（アンケート参加）を対象に一度実施した。授業では、ストロボ図に速度の矢印を書き込んで、速度変化を確認するところ（授業案の２）までを実施した。結果、「ストロボ図が扱いやすく、速度変化が分かりやすかった。」や「瞬間の速さのイメージを定着させるツールとして活かすことができる。」という意見を頂いた。

今後は授業案の改善を進めるとともに中学校現場への応用を視野に入れた授業実践・教材開発を行っていく必要がある。また、PER（物理教育研究）の先行研究や先行教材を検討しながら筆者自身の力学理解を深める必要もある。実際に中学生を対象に授業を行って、速度変化から力を導くという視点を中学校段階で持つことができ、MIF 誤概念の予防に繋がるかを検証していきたい。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費（基盤研究 C、課題番号 23K02361）の助成を受けている。

6. 参考文献

[1] J.Clement(1982), “*Students’ preconceptions in introduction mechanics*”,American Journal of Physics,50(1),pp.66-71

[2] 飯田洋治(2023)「なぜ力学を学ぶのか　常識的自然観をくつがえす教え方」日本評論社,1-10 頁。

[3] 中島雅子、堀哲夫(2000)「中学生及び高校生の力学概念の理解に関する基礎的研究-放物運動の物体に働く力を事例にして-」, 5-10 頁。

P-7

簡易パルス電源駆動クリップモータ教材を用いた授業実践

一戸隆久[A]，熊澤匠真[B]
[A]東京工業高等専門学校電子工学科，[B]東京工業高等専門学校教育研究技術支援センター
ichi@tokyo-ct.ac.jp

１．はじめに

本校１年生では実験・実習主体の専門科目「ものづくり基礎工学」を実施している．これは，通年で１年生全員に５テーマずつ５学科すべての専門基礎を体験的に学習する機会と位置付けている．当学科では電気的測定と電子回路製作を主眼とした５テーマを実施しているが，特に電磁現象については苦手とする学生も少なくないため，実験を通して理解を深められるようその内容を改善してきた[1, 2]．電磁現象を用いた応用例としてよく取り上げられる直流モータについても，整流子の役割が分かりにくいため，できるだけ視覚化する工夫が必要である．そこで，パルス電源を用いて電流が流れる時間と流れない時間をオシロスコープで波形観測することによって視覚的で直感的に理解できるクリップモータ教材の作製を試みてきた[3]．本稿では教材をさらに改良し，実際に授業実践した取り組みについて述べる．

２．作製回路について

ものづくり要素を取り入れるため，小型ブレッドボード上にデジタル IC を用いた簡易型パルス発振回路を製作し，パルス電源駆動型クリップモータ教材を同一ボード上に製作した．簡易型パルス発振回路の回路図を図１に示す．この動作原理はデジタル IC としてシュミットトリガーインバータ(74HC14AP)を用い，可変抵抗 R_1 とコンデンサ Cによって時定数 R_1Cの遅延を与え，R_1 を調整することによりパルスの周波数を決める．教材開発の過程で試行錯誤を繰り返し Cは 10 μF の電解コンデンサ，R_1はフルスケール２ｋΩ の可変抵抗とした．さらに同じインバータを直列接続することによりパルスのデューティー比を約 50%に設計し，オシロスコープでパルス波形を観測した際に半周期ずつ ON 状態と OFF 状態が交互に並ぶ「視覚化」を意図した回路として改良した．図１の回路によるパルス出力波形の一例を図２に示す．この波形は周期８ ms (周波数 125 Hz)で観測した結果であるが，R_1 を調整して周波数を変化させてもデューティー比はほぼ 50%のまま，つまり半周期ずつ ON と OFF を繰り返す波形となっていることが確認できた．図１のパルス電源で駆動するクリップモータ教材の全体回路図を図３に示す．ここで，

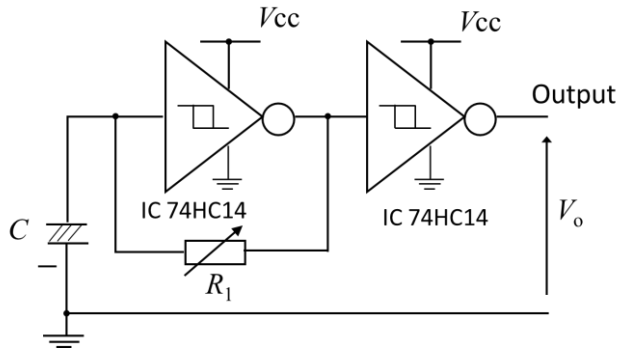


図１　設計したパルス発振回路の回路図

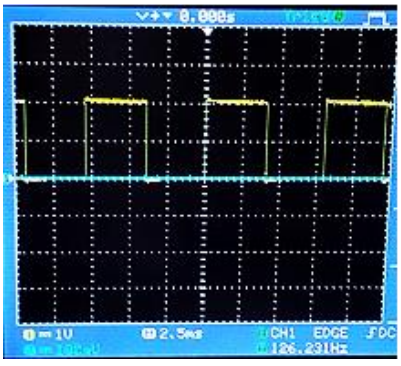


図２　オシロスコープで観測したパルス波形の一例

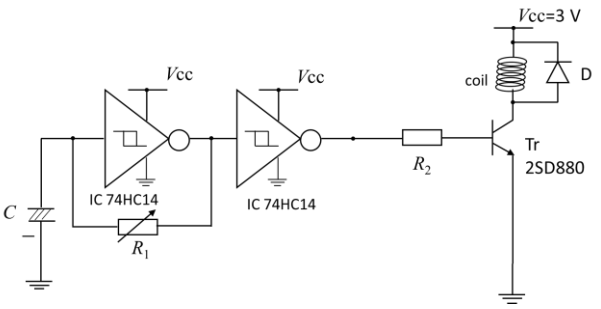


図 3　パルス駆動クリップモータ教材の回路図

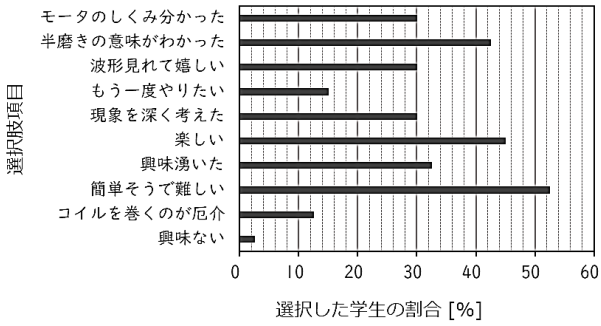


図 4　学生振返りアンケートの結果

コイルと並列に逆起電力防止用ダイオードを接続した点が改良点となっている．また授業時間内に実験を終了させるための工夫として，個人差が出やすいクリップ電極，ダイオード，トランジスタ及びネオジウム磁石の配置を一体基板化しブレッドボードに差し込むだけで済むように改良した．

３．授業実践後の学生の振返りアンケート評価

2 名 1 組のグループワークとして授業実践し，学生に自己点検のための振り返りアンケート評価を行った結果を以下に述べる．アンケート項目はネガティブ要素とポジティブ要素を取り混ぜて 10 項目とし，学生自身の印象に近いものを複数選択可とした．図 4 にアンケートの集計結果を示す．複数回答選択式のため受講生のうち各項目を選択した学生の割合として表示した．受講生の半数が「簡単そうで難しい」との印象で最も割合が高かった．これはコイルの軸のバランス，水平性，被覆線の磨き方など複数の要因があり，なかなか回せずに「難しい」と感じた学生が多かったと見える．一方，「楽しい」，「半磨きの意味が分かった」，「興味が湧いた」，「現象を深く考えた」，「モータのしくみが分かった」を選択した割合がそれぞれ 3 割から 4 割だった点はオシロスコープを用いて半周期ずつ ON-OFF を繰り返す様子が視覚的に印象付けられ，直流モータにおける整流子の役割と同等の被覆線を半分磨きにする意味を理解するのに役立ったと判断できる．

４．まとめ

簡易パルス発振回路を用いて半周期ずつの ON-OFF を繰り返す様子をオシロスコープで観測し，パルス駆動クリップモータを製作するテーマとして授業実践した．直流モータにおける整流子の役割と同等な被覆線の半分磨きを理解するために，デューティー比 50%のパルス波形観測が有用であることが学生の振返りアンケートから示唆された．さらに楽しく，興味が湧く実験教材となっており現象を深く考えることにもつながったと言える．

参考文献

[1] 一戸隆久，大塚友彦，他（2015）：専門基礎実験における学生の主体的な学びの実践例，東京工業高等専門学校研究報告書 第 47 号，40-43.

[2] 一戸隆久，新田武父（2019）：実験科目における事前学習用ビデオ教材の活用，東京工業高等専門学校研究報告書 第 51 号，35-41.

[3] 一戸隆久，熊澤匠真（2024）：簡易パルス電源を用いたクリップモータ教材の作製，第 40 回日本物理教育研究大会，発表予稿集 P-12.

P-8

静電気モーターの教材可能性としての提案

千賀愼一
（元）北海道函館中部高等学校
ghitomi54@gmail.com

１．はじめに

モーターといえばおそらく磁石とコイルで構成され電池で駆動するものを想起する学習者にとって、静電気モーターの回転は新鮮な印象を与えるであろう。これを単に面白実験に終わらせることなく、この 2 種類の「モーター」を比較することによって「〈電気的に〉回転するもの」の作動原理を理解すれば、そのバリエーションにまで思い至らせさらに実際に作製へと促すことができるのではないか、このセッションでの意見交換を期待したい。

２．電池駆動のモーターとフランクリンモーターの作動比較

2 種類のモーターの外部磁極（電極）と回転子を具体的に並べるとつぎのようになる。

電池駆動のモーター

外部磁極	回転子
(I)磁石	(A)コイル（電磁石）
(II)電磁石	(B)磁石
(III)回転磁場	(C)導体（コイル）

静電気モーター

外部電極	回転子
(i)帯電体	(a)導体片
(ii)高電位電極	(b)　？
(iii)回転電極（電場）	

どちらのモーターも回転子に現れる磁極または電荷（電極）と外部の磁極または電荷との引力および斥力を連続的に切り替えることによって回転を続ける。

この「切り替え」のためにそれぞれ「仕組」が必要である。

電池駆動のモーターでは、例えば、(I)磁石　を固定し、回転子に　(A)コイル（電磁石）を選択すると　回転子の磁極（磁束）の向きの「切り替え」の「仕組」として「整流子」が工夫された。理屈としては固定する側を逆に (A)コイル（電磁石）　の方にしても回転させられるが (I)磁石 の向きを変える「仕組」のために別の「モーター」を使うことになりかねない。(II)電磁石 ならば何らかの電子回路を使えば切り替えられるであろうがそうする意味が認められない。

フランクリンモーターでは、(i)帯電体（コンデンサーにつないだ電極）を固定し、回転子は (a)導体片（円筒の円周にそって間隔をあけて貼り付けた金属片）となる。導体片の一つは始め (i)帯電体 の電荷（正電荷とする）によって静電誘導であらわれた電荷（負電荷、電子）のために (i)帯電体（電極）か

ら引力を受け、引き付けられ、近付くと放電により電荷（正電荷）を受けて（実際は電子を奪われ正に帯電する)、斥力を受けることになり回転子は回転を継続する。次に間隔を空けて貼られた隣の導体片が同じようにして引力と斥力を受けて回転を継続する。この場合は引力と斥力の切り替えは自動的に行われるが、この放電が「仕組」に相当する。

しかし回転子（円筒）上の正に帯電した導体片が一回りして再び (i)帯電体（電極）に近づくと斥力によってブレーキがかかるので回転子の回転は止まってしまう。回転させ続けるためには (i)帯電体（電極）から遠ざかったあとで導体片に電子を与えて帯電していない状態に戻すための「仕組」が必要となる。そのための接地された電極をもう一つ配置（ふつうは(i)帯電体（電極）の反対側に置く）すればよい。

このようにこれら二つのモーターは磁気と電気の違いはあっても同じようなやり方で回転している。

３．2 種類のモーターから導かれる作動原理から未知のモーターへの発想へ

上記に挙げた外部磁極または電極と回転子の組み合わせからいろいろな「仕組」を持ったモーターが考えられるので、学習者に自由に発想するよう促すと興味深いアイディアが出てくる可能性がある。リニアモーターもこの延長上にある。静電気型のリニアモーターはどのようなものになるかなど。実際に製作するにあたって失敗したとしても、また実用になるかどうかも問題にしない。

新しい認識は非連続的、非論理的な発想、思いつき、飛躍などから得られる。それは成功するより失敗する方が多いかもしれないけれど、失敗からは学ぶことも多いことを知れば、新しいことに怖れることなく挑んでいけるのではないか。成功例だけを効率よく学ぶことに慣れた学習者に失敗することの価値にも目を向けさせることになるかもしれない。

４．おわりに

光量子仮説にしても、中間子理論にしても、大陸移動説にしても、始めはみんな「そんなバカなことがあるものか」と片付けられてきた。しかしその発想の飛躍はやはり基本となる理論や事実に基づいていた。

ここに挙げた例が、基本に立ちながら大胆に発想するための演習の一つになれたら幸いである。

最後にフランクリン型でない静電気モーターを一例として会場で提示したい。

P-9

科学館におけるプチ探究展示～電気・光・電磁波で信号を送る

池辺　靖
板橋区立教育科学館
y-ikebe@itbs-sem.jp

１．はじめに

知識は人々の心の中にのみ存在する観念論を前提として、学習者が能動的に内面の再構築を行って自ら知識を構成する能動的学習を行うこと、すなわち構成主義的な学び[1]を実現させることは、科学館における達成目標の一つである[2]。来館者の自由な展示観覧という条件下で、このような構成主義的な学びを実現させるものとして、ハンズオン展示やインタラクティブ展示といった手法が、これまで提案されてきたが、来場者に学んで欲しいターゲット内容をテキストやグラフィックで解説するのではなく、個々の来場者が試行錯誤を繰り返す過程で、気づきを得て自分ならではのモデルを構築することが出来るような探究型展示の開発が常に求められている。

板橋区立教育科学館は、未就学児から小学校低・中学年児童とその親を主な来館者層とし、中高生以上一般を含む多様な市民をターゲットとした多角的な事業を実施しながら、市民が相互に学びあう機会を実現するコミュニティーセンターの実現を目指して活動している。そのような科学館の文脈の中で、中学生のサイエンスクラブの活動で、探究型展示物を「電気・光・電磁波で信号を送る」をテーマに制作した。本発表では、その展示物の内容と、実際に来場者がどのように体験したのかを報告する。

２．サイエンスクラブでの電気・光・電磁波通信の探究

2024 年度の中学生を対象として実施している「いたばし地域クラブ・サイエンスクラブ」において、電子工作の基礎を習得しながら、通信について学ぶことを目的とした活動を実施した。IC メロディに電池で電圧を与え、出力端子から出される電気信号を、スピーカーで再生するものを基本回路（図 1）とし、まずはブレッドボード上で回路を組む方法で各自再現した。次に IC メロディの出力を LED に入力して電気信号を一旦光信号に変換し、さらにその光を太陽電池で受けて再度電気信号へ変換してスピーカー出力する回路（図 2）の再現をおこなった。ここでは光に変換された信号を、光ファイバーであるいはレンズで平行光線化することによって少し離れたところにある太陽電池へ信号を送る体験を通じて、光通信の原理を学んだ。

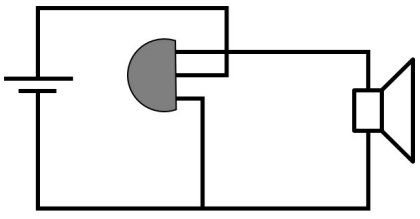


図 1

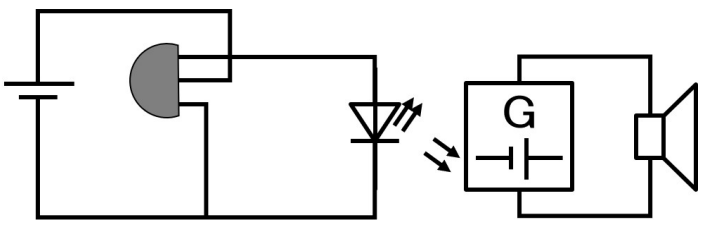


図 2

ついで、電磁誘導の原理の発見につながった「ファラデーコイル」を、針金を軸材としてエナメル線を 200～300 回巻く形で再現するとともに、そのファラデーコイルに IC メロディの出力を入れ、反対側のコイルから誘導起電力によって生じた信号をスピーカーで再生することも体験した（図 3）。さらに、発振器を制作しコイルのアンテナで生じさせた電磁波をロッドアンテナ等で検出する実験をおこなった。

それをICメロディへの応用として、1MHzの水晶発振器をICメロディの出力でドライブし、生じさせた電波をAMラジオによって検波してメロディを再生することを行った（図4）。

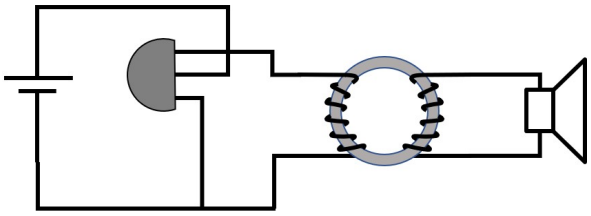


図3

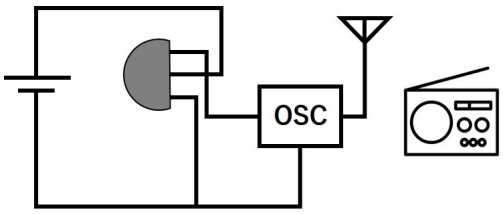


図4

３．探究展示「トランス・パーツ・メロディ」の作成

上記の電気・光・電磁波通信の探究をステップバイステップで進めたサイエンスクラブのメンバー達は、年度末に行うサイエンスクラブの活動発表として、自分たちの学んだことを追体験できるようなツールを作成することとした。具体的には、図1～4の電子回路をいくつかの基本パーツに分け、それぞれの基本パーツを、信号系は3.5mmモノラルプラグ&ジャックで、電源系は2.1mmDCプラグ&ジャックで自由に接続できるように制作した。制作したA～Iの基本ブロックを図5に示す。そのうちGのラジオは既製品、また光や電磁波への変換を行うと信号が大きく減衰してスピーカーからの微小な音が聞き取りづらいため、増幅機能を適切な場所に挿入できるようにアンプHも用意した。制作したツールはクラブのメンバーによって「トランス・パーツ・メロディ」と名づけられた。

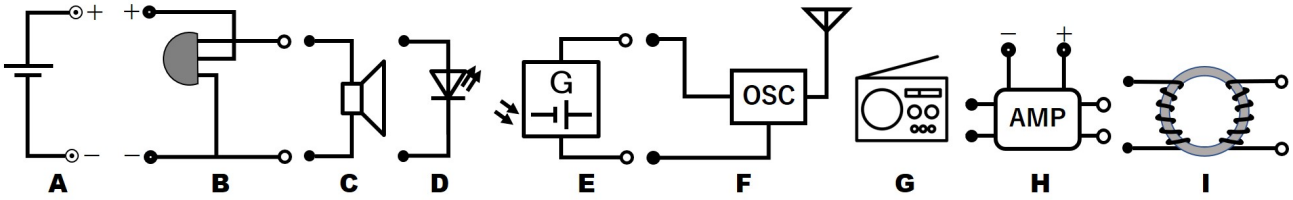


図5

４．教育科学館への設置

「トランス・パーツ・メロディ」を教育科学館内の飲食も可能な多目的スペースに、だれでも自由に遊べるおもちゃの一つとして設置した。「あそびかたルール」として“パーツをくみあわせてメロディをならしてみよう！”と呼びかけるのみとして、詳細な説明はあえてせず、接続可能な組み合わせをユーザーが自由に試しながらメロディの鳴る接続パターンを探索するなかで、それぞれのパーツの機能やメロディの鳴る仕組みを自ら理解することを期待した。教育科学館の持つ典型的な来館者層に、未就学児～小学校低学年の親子があるが、その場合の例として、子供は、手当たり次第にプラグとジャックを接続しようと試み、それを背後から見守る親がパーツの機能を徐々に理解し、親が子どもをガイドしながら、より複雑な接続の実現を目指した働きかけが行われる観覧行動パターンが観察された。今後は、観覧行動のよりシステマティックな観察により、ツールの改善につながる知見を得る。

参考文献

[1]ジョージ・ハイン(2010）： 博物館で学ぶ, 同成社.

[2]池辺ら(2010）:評価しながら進める常設展示の基本構想―地球環境分野における試み, 日本科学未来館・展示活動報告, vol. 2, p1-26.

P-10

高校物理における波の式理解の実態と課題

-円運動・単振動・波の関連概念に対する理解度意識調査から-

[A]出口英二
[A]福岡県立福岡工業高等学校
deguchi-e@fku.ed.jp

１．はじめに

「自然の事物・現象に関わり，理科の見方・考え方を働かせ，見通しをもって観察，実験を行うことなどを通して，自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を育成すること」[1]を達成し，生徒の学習の質を一層高めるために「主体的・対話的で深い学び」の視点で，授業者は日々授業改善に取り組んでいる。著者も限られた授業時間数の中で，大学入試対策問題演習の時間の確保をしつつ，演示実験，生徒実験，話し合い活動，教え合いを授業に取り入れている。

力学については国内の物理教育研究が進み，主体的・対話的で深く学びが生まれる授業が行われているが，波の学習，特に波の式を学ぶことについての研究は多くない。著者は波が時間経過とともにどのように変化し伝播するのか，異なる位置においてどのような変化が起きているのか，をイメージしながら見方・考え方を働かせるために，動画シミュレーション [2] [3]を用いて授業を行ってきたが，生徒の理解状況は大きくは改善されていないと感じている。

これまでの指導法を見直し，改善するためには，生徒状況をより把握する必要がある。物理基礎学習者の学習意識や内容理解度の実態分析により，波の基本的物理量間の関係性に対する理解度が低いことが明らかにされている [4]。この結果も参照し，高校物理学習者の，波の式の利用，解法の定着度，説明できるかの理解度の意識調査を行なった結果を報告する。

２．授業者から見た高校物理における波の学習について

学習指導要領の内容の取り扱いについて，物理の「(2)波」において「波の表し方については，正弦波の式及び関連して位相を扱う。」 [1]と記されており，波の表し方については位相も，生徒にとっては理解することが難しいとされている。

波の式については， $v=f\lambda$ の関係式の利用はできるが，式の成り立ちを理解できておらず，説明ができない生徒もいた。特に，波は位置と時刻２つの変数をもつ関数であることが，波の概念を理解することをより難しくしている。正弦波を表す式 $y(x,\ t)=A\ \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)$ については，式の成り立ちを理解した上で説明できる生徒は少なく，多くの生徒は形式的に式を利用しているだけだ，と仮説を立てた。また，円運動，単振動と波を結びつけて理解できていない生徒には，正弦波を表す式の理解はより困難になることが推察される。

３．意識調査の方法

調査対象は卒業生のほとんどが大学に進学する県立高等学校普通科で，１学年で物理基礎２単位，２学年で物理２単位を終え，波の式の学習が終えた３学期末から新学期が始まる春休みの間に，オンライ

ン回答フォームを利用して調査を実施した。「波の学習」に対する意識調査を 5 クラス 178 名を対象に実施し，169 名から回答を得た。解答の際には，端末で他のアプリケーションを用いて調べることができないロックモードで実施し，生徒には，回答内容が成績評価には無関係であること，回答内容を研究データとして名前が分からない状態にして発表することを示した。

質問調査の項目の作成は，高校物理を指導するベテラン教員と中堅教員の 2 名で検討して行った。表 1 に示す質問項目を定め，説明できるかどうかを質問し理解度の意識を調査した。「よくできる」を 4，「全くできない」を 1 として，調査対象者に 4 段階で評価させた。

4．結果と考察

質問項目に対する答えを数値化し，説明できる・できないを基準とした理解度の意識の全体平均と，正答がある質問に対する正答率を表 1 に記す。比較的値が小さかった質問は，問 14，11，15，3，7 であった。比較的値が大きかった質問は問 5，6，12，8，13 であった。三角関数についての理解はあっても，数学的波の式が 2 変数関数であること，式の導出の難しさ，波の基本的な考え方が分かっていないことが波の式の理解に至っていない原因となっていることが示唆されたため，さらに詳細な分析を行い，当日報告する。

表 1

問	質問項目	平均値
1	円運動の概念（意味，考え方）　等速円運動について，運動の特徴など，図や式も使って説明できる	2.60
2	振動の概念（意味，考え方）　単振動について，運動の特徴など，図や式も使って説明できる	2.57
3	円運動と振動の関連性（意味，考え方）　円運動と振動の関係性など，図や式を使って説明できる	2.40
4	単振動と波の関連性（意味，考え方）　単振動と波の運動の関係性など，図や式を使って説明できる	2.54
5	波の要素：速さ v，波長 λ，振動数 f，周期 T などの概念（意味，考え方）　それぞれの要素が何を示すのか，説明できる	3.03
6	波長 λ，振動数 f，周期 T などの計算　文字式の計算，数値計算ができる	2.99
7	$v=f\lambda$ などの速さ，振動数，波長の関係を表す式（意味，考え方）　この式の導き方（成り立ち）を説明できる	2.49
8	$v=f\lambda$ などの速さ，振動数，波長の関係を表す式を用いた計算　文字式の計算，数値計算ができる	2.96
9	（波の速さ）×（波の周期）　は何を表すか？	正答 68.05％
10	$y(t)=\sin\omega t$ のグラフが書ける	2.63
11	時間と空間の両方を含む波の式 $y(x,\ t)=A\sin 2\pi[\,t/T-(x/\lambda)\,]$ の意味，考え方　波の伝わり方（位置と時刻，変位について）を説明できる	2.32
12	数学で学習した，三角関数の性質	2.98
13	数学で学習した，三角関数の周期的な性質	2.65
14	時間と空間の両方を含む波の式 $A\sin(\omega t+\Phi)\ \rightarrow A\sin 2\pi[\,t/T-(x/\lambda)\,]$ の導出	2.22
15	時間と空間の両方を含む波の式 $y(x,\ t)\ =A\sin 2\pi[\,t/T-(x/\lambda)\,]$ を用いた計算 文字式の計算，数値計算ができる	2.38
16	時間と空間の両方を含む波の式 $y(x,\ t)=A\sin 2\pi[\,t/T-(x/\lambda)\,]$ で位置 x の時刻 t のときの位相は何か	正答 30.77％

参考文献

[1] 文部科学省(2018)：高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説　理科編 理数編.

[2] 湯淺弘一(2025)：高校物理のイメージ教材.
参照先: https://www.miyazaki-catv.ne.jp/~yuasa1436/index.htm

[3] University of Colorado Boulder(2025)：PhET.
参照先: https://phet.colorado.edu/ja/simulations/filter?subjects=physics&type=html

[4] 川﨑友紀子，寺島幸生(2024)：波の基本的性質の理解において物理基礎学習者が直面する課題
-アンケート調査と授業実践から-. 鳴門教育大学.

P-11

英語圏に見る、「電流による発熱(ジュール熱)」の用語の使用中止に至る流れ

独創文化研究所　元東京理科大学　五十嵐 靖則
igarashi-yasunori@nifty.com

1 はじめに

熱概念のパラダイム転換により、『「熱」は、状態量ではないので、物体の内部やその周囲の環境には存在せず、「熱」は、エネルギーの一形態ではなく、エネルギーの移動形態の一つである。』と云うより深い認識段階に至っていることを報告してきた[1]。今回は、英語圏で使用されてきた物理学のテキストを中心に、「電流による発熱(ジュール熱)」の用語の使用が中止されて行く事実を、幾つかの代表的なテキストの記述内容の変遷を辿り、この用語は姿を消し、今や死語となっていることを紹介し、我が国の物理教育が1日も早く世界標準に追い着くことを願い報告する。

2 Halliday,Resnick 共著 "Physics" に見る「Energy Transfers in an Electric Circuit」

(1) Halliday,Resnick 共著 "Physics Part Ⅱ"2nd Ed.1966 年に見る「Energy Transfers in an Electric Circuit」[2]

p.783 に、『 31-5 Energy Transfers in an Electric Circuit 』の節が始まり、p.783 に、『The electric potential energy that they lose is transferred to the resistor as heat. … This effect, which is thermodynamically irreversible, is called *Joule heating*. $P=i^2R$ (31-16), $P=V^2R$ (31-17)』 **p.785 に、**『 Eq. 31-16 and 31-17 apply only to the transfer of electrical energy to heat energy in a resistor. Equation 31-16 and 31-17 are known as *Joule's law*. 』(下線は五十嵐による)。ここでは、「抵抗器で熱に変換される」や「ジュール加熱」や「熱エネルギー」や「ジュールの法則」等の用語が使用されているが、12 年後に改訂された 3rd Ed.では「ジュール加熱」等の用語は消えている。

(2) Halliday,Resnick 共著 "Physics Part Ⅱ" 3rd Ed.1978 年に見る「Energy Transfers in an Electric Circuit」[3]

p.687 に、『 31-5 Energy Transfers in an Electric Circuit 』の節が始まり、『 If the device is a resistor, we assert that the energy appears as thermal energy in the resistor. …』(下線は五十嵐による)。 **p.688 に、**『 The electric potential energy that they lose is transferred to the resistor as thermal energy. … $P=i^2R$ (31-16), $P=V^2R$ (31-17) … Eq. 31-16 and 31-17 apply only to the transfer of electrical energy to thermal energy in a resistor. Equation 31-16 and 31-17 are known as *Joule's law*. … electrical energy is transferred into thermal energy(Joule energy).』(下線は五十嵐による)。改訂された 3rd.Ed.では、「抵抗器で熱エネルギー(heat energy)に変換される」から「抵抗器で thermal energy に変換される」と修正されている。新たに「ジュールエネルギー(Joule energy)」の用語が追加使用されている。要するに、「ジュール加熱(Joule heating)」や「熱エネルギー(heat energy)」の用語の使用は中止された。15 年後に改訂された 4th Ed.では、Walker が加わりタイトルは以下の様に変更され、「Joule's law」や「Joule energy」の用語の使用は中止されている。

(3) "Fundamentals of Physics" 4th Ed.1993 年に見る「Energy and Power in Electric Circuits」[4]

p.777 に、『 28-7 Energy and Power in Electric Circuits 』の節が始まり、p.778 に、『If the device is a resistor, the energy is transferred to internal thermal energy, revealing itself as a temperature rise of the resistor. … $P=i^2R$ (28-21), $P=V^2R$ (28-22). Eq. 28-21 and 28-22 apply only to the transfer of electric potential energy to thermal energy in a resistor.』(下線は五十嵐による)。「Joule's law」や「Joule energy」の用語は姿を消した。以後、5th Ed.1997年、6th Ed.2001年、7thEd.2005 年、8th Ed.2008 年、10th Ed.2014 年とほぼ同じ記述になっている。

3 Serway 著 "Physics for Scientists & Engineers" に見る「Electrical Energy and Power」

(1) Serway 著 "Physics for Scientists & Engineers" 2nd Ed.1986 年に見る「Electrical Energy and Power」[5]

p.608 に、『 27-5 Electrical Energy and Power 』の節が始まり、p.609 に、『…We can express the power dissipated in alternative forms $P=I^2R=V^2/R$ (27.15) When I is in amperes, V in volts, and R in ohms, the SI unit of power is watt (W). The power lost as heat in a conductor of resistance R is called *joule heat* but is often referred to as I^2R loss. … 』とある(下線は五十嵐による)。しかし、p.614 の Summary には次の様に記されている。『… $P=I^2R=V^2/R$ (27.15) The electrical energy supplied to a resistor appears in the form of internal energy (thermal energy) in the resistor. … 』とある(下線は五十嵐による)。訳すと、『抵抗器に供給された電気エネルギーは内部エネルギー(温度エネルギー)の形態をとり抵抗器に現れる。』となる。本文では、『抵抗 R の導体で熱として失われる電力はジュール熱と呼ばれるが、I^2R 損失と呼ばれることもある。』と記されている。1996 年の 4th Ed.も本文はほぼ同じで、Summary の文も同一で変更はないが、2000 年の 5th Ed.では、Beichner が加わり、本文の説明が修正されている。

(2) Serway, Beichner 共著"Physics for Scientists & Engineers"5th Ed. 2000 年に見る「Electrical Energy and Power」[6]

p.856 に、『… Because the rate at which the charge loses energy equals the Power P delivered to the resistor (Which appears as internal energy). … , we can express the power delivered to the resistor in the alternative forms $P=I^2R=(\Delta V)^2/R$ (27.23) The power lost as internal energy in a conductor of resistance R is called *joule heating*[6], this transformation is also often referred to as an I^2R loss.…』とあり(下線は五十嵐による)、**注6)に、**『 It is called joule heating even though the process of heat does not occur. This is anther example of incorrect usage of the word heat that become entrenched in our language.』と記されている(下線は五十嵐による)。その後、2004 年に 6th Ed.が出版(Beichner に替わって Jewett が加わる)。2008 年に 7th Ed.が出版され、「internal energy に変換」されることを明確にしている。

(3) Serway, Jewett 共著"Physics for Scientists & Engineers" 7th Ed.2008 年に見る「Electrical Power」[7]

p.763 に、『 27-6 Electrical Power 』の節が始まり、p.764 に、『… The rate at which the system lose potential energy as the charge passes through the resistor is equal to the rate at which the system gains internal energy in the resistor. … , we can express the power delivered to the resistor in the alternative forms $P=I^2R=(\Delta V)^2/R$ (27.21) The process by which power is lost as internal energy in a conductor of resistance R is often called joule heating [5], this transformation is also often referred to as an I^2R loss. …』とあり (下線は五十嵐による)、注5)に、『 It is commonly called joule heating even though the process of heat does not occur. When energy delivered to a resistor appear as internal energy. This is anther example of incorrect usage of the word *heat* that become entrenched in our language.』と記されている(下線は五十嵐による)。5thEd.の注記よりも詳しく、『一般にはジュール加熱と呼ばれてはいるが、この過程では熱は発生していない。「熱(heat)」という言葉の誤った使用例であり、実際は、抵抗器で internal energy に変換される。』と注している。その後の 2014 年の 9th Ed.でも、7th Ed.と変化はない。

4 Richards, Sears, Wehr, Zemansky 共著 "Modern University Physics" を見る

(1) Richards, Sears, Wehr, Zemansky 共著 "Modern University Physics" 1stEd.1960 年 に見る「Joule's law」[8)]

p.438 から、『 Chapter 22 Current and Resistance 』の章が始まり、p.450 に、『 22-7 Joule's law 』の節が始まる。p. 451 に、『…In the special case in which the circuit between **a** and **b** is a pure resistance R, all of the energy supplied is irreversibly converted to heat, and in this special case the potential difference V_{ab} is given by $V_{ab}=iR$, Hence $P=iV_{ab}=i\times iR$, or $P=i^2R$ (22-10) (p. 452 へ続き)
To bring out more explicitly that in this special case the energy appears as heat, we may set $P=dH/dt$, where dH is the heat developed in time dt, Equation (22-10) then becomes $dH/dt=i^2R$ (22-11) If the conductor is linear, i.e., if R is a constant independent of i, Eq.(22-11) states that the rate of development of heat is directly proportional to the square of the current. This fact was discovered experimentally by Joule in the course of his measurements of the mechanical equivalent of heat, and it is known as *Joule's law*. …』 (下線は五十嵐による) とある。

(2) Sears, Zemansky 共著"University Physics"4th Ed.1970 年 に見る「Work and Power in Electrical Circuits」[9)]

p.388 から、『 28 Current, Resistance, and Electromotive Force 』の章が始まり、p.391 に、『 28-3 Theory of Metallic Conduction 』の節が始まる。『…At each collision, the electron is assumed to lose any energy it may have acquired from the field and to make a fresh start. The energy given up in these collisions increases the thermal energy of vibration of the positive ions. …』(下線は五十嵐による) の記述があり、『場から受け取ったエネルギーは衝突の際陽イオンに渡され陽イオンの振動の thermal energy(温度エネルギー)が増加する。』との説明がある。p.400 から、『 28-7 Work and Power in Electrical Circuits』の節が始まり、p.401 に、『 1. Pure resistance … $P=V_{ab}I=I^2R$ (22-10) …The circulating charges given up energy to the atoms of the resistor when they collide with them, and the temperature of the resistor increases unless is a flow of heat out it. We say that energy is dissipated in the resistor at a rate I^2R. …』(下線は五十嵐による) とあり、「Joule's law(ジュールの法則)」や「converted to heat(熱に変換された)」、「development of heat(発熱)」等の用語は姿を消している。その後、1982 年の 6th Ed.の際 Young が加わり、1987 年に 7th Ed.が出版されるが、この節の記述の変更はない(節のタイトルのみ変更)。その後、9thEd.の 1996 年に著者は Young と Freedman の２人に交代し、『電荷の持っていたエネルギーは原子と衝突の際、原子に渡され「internal energy(内部エネルギー)の増加になる。』と明確に語られる。

(3) Young, Freedman 共著"University Physics"9th Ed.1996 年 に見る「Energy and power in Electric Circuits」[10)]

p.815 から、『 26-6 Energy and Power in Electric Circuits 』の節が始まり、p.816 に、『Pure resistance… $P=V_{ab}I=I^2R=(V_{ab})^2/R$ (power delivered to a resistor) (26-18) Current enters the higher-potential terminal of device, and Eq.(26-18) represents the rate of transfer of electric potential energy into the circuit element. What becomes of this energy ? The moving charges collide with atoms in the resistor and transfer some of their energy to these atoms, increasing the internal energy of the material. Either the temperature of the resistor increases or there is a flow of heat out of it, or both. In any of these cases we say that energy is *dissipated* in the resistor at a rate I^2R. …』とある(下線は五十嵐による)。

(4) Young, Freedman 共著"University Physics"12th Ed.2008 年 に見る「Energy and power in Electric Circuits」[11)]

p.863 から、『 25.5 Energy and Power in Electric Circuits 』の節が始まり、p.863 に、『…This situation occurs in the coils of a toaster or electric oven, in which electrical energy is converted to thermal energy. …』とあり(下線は五十嵐による)、『thermal energy に変換される』とある。13th Ed.2014 年も同様の記述になっている。p.864 の、『Power input to a Pure Resistance』は、9th Ed.と同じ記述である。

5 Knight 著"Physics for Scientists and Engineers" 1st Ed.200 年に見る「Energy and power」[12)]

p.970 に、『The net result is that the battery's chemical energy is transferred to the thermal energy of the resistor, raising their temperature.…』とあり(下線は五十嵐による)、「joule heat や Joule's law」等の用語は見当らない。3rd Ed.2013 年も同様で「thermal energy に変換」とある。

6 考察とまとめ

熱概念のパラダイム転換により、熱についての理解が深まり、正しい理解は、「熱ではなく、内部エネルギーに変換される。」となり、1990 年代には、「熱の発生」や「ジュール熱」等の用語は姿を消し、「内部エネルギー」や「thermal energy」に修正変更されたことが分る。

7 参考文献

1)五十嵐 靖則 「熱概念」のパラダイム転換について 日本物理教育学会第 38 回物理教育研究大会発表予稿集(2022)pp.46-47

2)D. Halliday, R. Resnick Physics Part I , II 2nd Ed.1966, John Wiley & Sons, Inc. pp.783-785

3)D. Halliday, R. Resnick Physics II 3rd Ed.1978, John Wiley & Sons, Inc. pp.687-688

4)D. Halliday, R. Resnick, J. Walker Fundamentals of Physics 4th Ed.1993, John Wiley & Sons, Inc. pp.777-778

5)R. A. Serway Physics for Scientists & Engineers 2nd Ed.1986, Saunders College Publishing, pp.608-614

6)R. A. Serway, R. J. Beichner Physics for Scientists & Engineers 5th Ed.2000, Saunders College Publishing, p.856

7) R. A. Serway, J. W. Jewett Physics for Scientists & Engineers 7th Ed.2008, Saunders College Publishing, pp.763-764

8)J. A. Richards, F.W. Sears, M.R. Wehr, M.W. Zemansky "Modern University Physics" 1stEd. 1960, Addison Wesley, pp.438-452

9)F. W. Sears, M. W. Zemansky University Physics 4th Ed.1970, Addison Wesley, pp.388-401

10) H. D. Young, R. A. Freedman Sears and Zemansky's University Physics 9th Ed.1996, Addison Wesley, pp.799-816

11) H. D. Young, R. A. Freedman Sears and Zemansky's University Physics 12th Ed.2008, Addison Wesley, pp.846-864

12) R. D. Knight Physics for Scientists and Engineers 1st Ed.2004, Person Education, Inc. , pp.961-970

P-12

物理学実験学生アンケート解析：コロナ禍を挟んだ意識変化

中野美紀、鈴木洋介、絹川亨
神戸大学大学教育推進機構
miki.nakano@port.kobe -u.ac.jp

研究の動機

本研究では、過去 10 年間にわたる物理学実験受講者のアンケート結果を整理・分析することで、学生の実験に対する意識や評価がどのように変化してきたかを明らかにすることを目的とする。特に、2020 年のコロナ禍を経て、教科書やレポートのデジタル対応や、実験動画の提供など教育環境に大きな変化が生じた。このような教育手法の変化が、学生の実験に対する理解度、満足度、学習態度にどのような影響を与えたのかを検討することは、今後の物理学実験教育の改善に資する重要な課題である。

研究の目的

本研究の目的は、物理学実験に対する学生の受講後の評価・感想の変化を、コロナ禍前後で比較・分析することで、教育手法の変化が学生の学習体験に与えた影響を明らかにすることである。特に、オンライン化や動画教材の導入が、学生の理解度や満足度にどのような効果をもたらしたかを検証する。

研究方法

本研究では、2015 年度から 2024 年度までの物理学実験受講者を対象としたアンケート結果を収集・整理した。アンケート項目には、実験内容の理解度、授業満足度、レポート作成に関する意見、個々の実験に関する評価などが含まれる。これらのデータが、特にコロナ禍を経てどのように変化したか比較分析を行った。さらに近年のアンケート結果を用いて、アンケート項目間のクロス集計を行い、学生の満足度に何が一番影響するか考察した。

結果

（1） 受講者数とアンケート回収率

本学の物理学実験の受講者は、後期はほとんど工学部のみ。前期は理・農・保健・国際人間科学部である。人数の増減は本研究のアンケート解析期間である 2015 年から 2024 年の間ほぼ一定であった。ただし、アンケート回収状況は年度により差がある。特に 2022 年度、2023 年度は回答数が少ないため、結果の解釈に考慮が必要がある。

（2） コロナ禍による授業形態の変化に伴う学生の意識変化

本学では、コロナ禍の影響により 2020 年度は完全オンライン、2021 年度は対面とオンラインを組み合わせたハイブリッド授業を実施した。2023 年度より対面授業に戻った。2023～2024 年度は、満足度がコロナ前よりも上昇。特に「非常に満足」「満足」の割合が 50%を超える。ただし、2022～2023 はアンケート回答者数が少ないため、過剰評価になっている可能性がある。コロナ禍では作成時間が長くなる傾向が見られたが、近年は短縮傾向がみられる。これは全ての実験でレポートテンプレートを用意した影響が大きいと考える。

個々の実験テーマでも全ての項目で、コロナ後で学生の満足度が上昇している。教科書のデジタル化や動画の整備が影響しているのかもしれない。コロナとは直接関係ないが、細かな手順の簡略化や機器の改善の影響もあると考える。ただし、これらの結果は、回答者数の少なさから過剰評価になっている可能性がある。

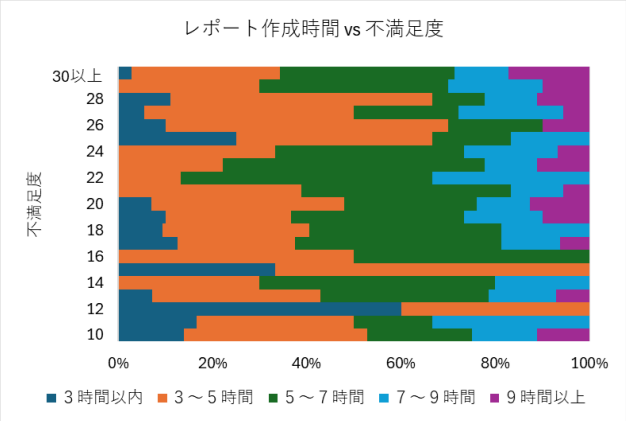
（3） アンケート解析(2020～2024：クロス集計)

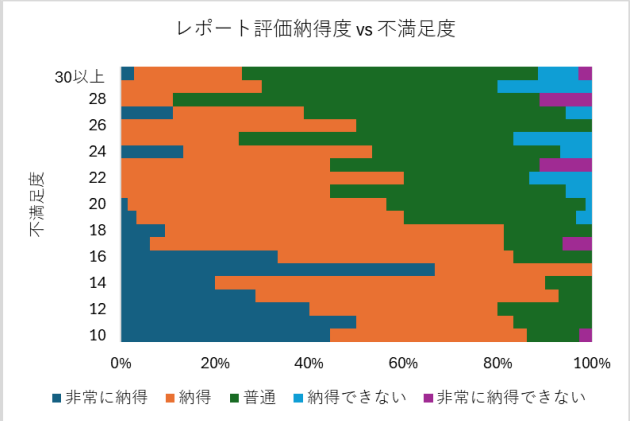
2020 年度以降は、項目ごとに集計する前の一次データが残されていたため、物理学実験全体に対する満足度と個々の項目とのクロス集計を行い、どのような項目が実験全体の満足度を高めるために重要か調査した。

所属・学科による満足度の差は、実験内容よりも、もともとの物理に対する興味を反映しているように見受けられる。また、興味がないのにむりやり必修で履修させられた学生の満足度は低い。

実験全体の満足度が低い学生は、個々の実験テーマに対しても満足度が低い。ただし、全体の感想で「非常に苦しかった」と答えた学生のうち 2 名は、全てのテーマで「非常に勉強にならなかった」と回答した一方で、4 名の学生がすべての実験テーマで「非常に勉強になった」と回答した。

レポート作成時間が長い学生・レポート評価に納得できない学生の授業に対する満足度は低い。ただし、個々の実験に対する満足度を積み上げた場合、レポートの作成時間との間には明確な相関はなかったが、レポートの評価に対する納得度との間には明らかな相関があった。本研究の結果から、少人数であるが苦しくても勉強になったとポジティブな感想を持つ学生がいる一方、評価に納得できるかどうかが、授業の満足度を高めるうえで重要な要素であることが明らかになった。





P-13

ここがヘンだよ物理教育

～理科の教科書に対する数学教育からのコメントを基に～

髙須　雄一
聖マリアンナ医科大学医学部
ytakasu@marianna-u.ac.jp

１．はじめに

2018 年に高校の学習指導要領が改訂された[1]。この改訂で理数科が新設され，理数科目として「理数探究」が導入された。我々は，この改訂の前から「理数教育とどうあるべきか」をテーマとして，理科（科学）と数学との関連について研究してきた[2]。

数学と理科（特に物理）とは相性がよさそうに見えるが，実際は適切に運用しなければ単なる 2 つの別々の科目に過ぎない。Huntley は，数学と科学との関係を 5 つの関係から成る連続体モデルとして表した[3]。5 つの関係とは「数学のための数学」「科学による数学」「数学と科学」「数学による科学」「科学のための科学」である。つまり，適切に運用しないと，「科学による数学」や「数学による科学」のように，単に両科目を混合したり，学習の導入に利用したりするにとどまることになる。理数教育の最終的な目標は，中央に位置する「数学と科学」の関係を理数教育に落とし込むことである。この実現のためには，お互いの科目を十分によく理解していなければならない。しかし，現場の教員にとって，他科目の教科書を十分に分析することは強いストレスであり，苦痛ともいえる作業である。

本報告は，数学と物理との関連について調べた際に見出された両科目間のギャップについてまとめたものである。本研究は，このギャップを解消し，数学と科学とを適切に融合させて理数教育を有意義に運用することを目標とする。

２．物理の立場から数学教材を見た場合

物理現象を題材にした数学教育の実践例を紹介する。2 次関数は中学 3 年の数学で学習する。そのための題材として鉛直振り子を扱う。振り子の周期 T は近似的に次のよう表せる：

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

ただし，L は振り子の糸の長さ，g は重力加速度である。ここで，$\pi = 3.1415...$ と $g = 9.8$ を代入すると，$2\pi/\sqrt{g} = 2.0070899... \fallingdotseq 2$ より，$T = 2\sqrt{L}$ を得る。両辺を 2 乗して

$$L = \frac{1}{4}T^2 \quad \cdots(*)$$

となる。これより，生徒に糸の長さ L が周期 T の 2 次関数であることを気付かせ，さらに，さまざまな周期に対してその周期の振り子を作るための糸の長さを算出させたり，さまざまな周期に対する糸の長さをグラフにプロットさせたりして 2 次関数であることを理解させる。

この教材は比較的簡単に机上実演や生徒自身での実験ができ，しかも 2 つの変数（T と L）の測定が容易であるため，身の周りの現象を数学的に扱える適切な題材なのである。また，(＊)式は，係数が 1/4 であり，計算する上でもグラフを作成する上でもとても使いやすい数式である。

物理教育の立場からこの教材を見ると，若干の違和感を覚えないだろうか。(＊)式は，Tが独立変数，Lが従属変数と読める。一方，高校物理で学習する鉛直振り子については，周期Tは重力加速度gと糸の長さLで定まる，と学習する。つまり，Lが独立変数，Tが従属変数である。(＊)式では鉛直振り子の運動が何によって定まるのかが曖昧になる。

しかしながら，この実践例は，実は小学5年生の理科で学習する内容を支持する形になっている。小学5年生の理科では「条件制御」を学習するために振り子を題材にして「周期が1秒になる振り子を作ろう！」という授業が行われている[4]。児童はさまざまな長さの糸を用いて，さまざまな周期の振り子を作り，糸の長さLを制御して周期Tを定めることを学習する。ここでは，Lが独立変数であり，Tが従属変数なのである。中学理科で(＊)式を学んだ生徒は，周期1秒の振り子を作るために，前式に$T=$1秒を代入して$L = 0.25$ m を容易に求めることができる。このとき，小学校で学習した振り子の周期の制御を想起させることができれば，「鉛直振り子」という題材は物理現象と数学的表現とが適切に結びつ理想的な理数連携教材なのである。この事例の本質は，高校物理の教科書だけを分析していても見えてこないだろう。生徒が「鉛直振り子」を用いてこのような体験をしていることを知れば，高校物理で何をすべきかが明確になると考える。

３．数学の立場から物理教材を見た場合

ここでは，中学3年第1分野の「電気分野」における算数・数学的な説明に関して，数学の立場から見たときの違和感について紹介する。 中学校の教科書では，オームの法則を説明する際に$I=V/\mathrm{R}$ あるいは$V=RI$と説明する。この2つの式は，各々「VはIに比例する」「IはVに比例する」という見方を反映させた式である。一方が他方に比例することは，式を変形すれば自明であるから，数学ではどちらか一方で十分である。物理では何故，2つの式を明記するのか。さらに，抵抗Rの定義として$R=V/I$という式も併記されている場合がある。3つもの式が必要なのか。

また，これらの式を用いて値を求める際に，比の形式で等式を立てたり（$a:b=c:d$），それを分数の形（$a/b=c/d$）にしたりすることがある。いわゆる「比例式」の応用である。比例式は中学1年で学習する。しかし，定着度は低く，生徒は容易に分数の計算にたどり着かない。逆に分数を比例式の形式にすることも生徒にとって難易度が高い。このような分野であることを物理の教員は理解すべきであろう。逆に，適切な理数連携が実現できれば，比例式の定着度の低さを，オームの法則で補うこともできるかもしれない。

４．まとめ

数学教育と物理教育との間において，理数連携のために埋めなければならないギャップについて紹介した。現場の教員にとって，他教科の教科書分析は極めてハードルが高い。本報告はハードルを下げるための情報である。少ない情報であるが，数学と物理との間がシームレスに接続できることを期待する。

参考文献

[1]文部科学省(2018)：高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説.
[2]安藤秀俊 編(2025)：理数教育の充実に向けて−理科と数学の関連はどうあるべきか−，東洋館出版社.
[3]M. A. Huntly(1998) : Design and Implementation of a Framework for Defining Integrated Mathematics and Science Education, School Science and Mathematics, 98-6, 320-327.
[4]石井敏行(2024)：理解を深める理科授業，電気書院.

P-14

中学生における力学概念実態調査（力と運動量の混同の可能性）

佐々木　悠朝
芝浦工業大學柏中学高等学校
sasaki_y@ka.shibaura-it.ac.jp

１．概要

本研究は、中学 1 年生に見られる MIF（Motion Implies a Force：運動中の物体には力が作用している）誤概念[1]の実態と、その背景要因を明らかにすることを目的とする。103 名を対象に調査を実施した結果、学習後においても約半数（50.49%）の生徒が MIF 誤概念を保持していた。自由記述の分析からは、「力」と「運動量」あるいは「力積」の混同が見られた。特に、「力の残留感」や「勢い」といった運動量に由来する概念を、力と誤認する傾向が顕著であった。これらの結果を踏まえ、本研究では中学校理科において運動量を定性的に導入し、「運動の勢い」として力と区別する指導の必要性を提案する。これは、高校物理における運動量の理解を深める前提として、中学校段階での素朴概念への適切な対応の重要性を示唆するものである。

２．はじめに

物理の初学者は、日常経験や直感に基づき、物理的には正確でない独自の概念を構築する傾向がある。中でも、「運動中の物体には運動方向に力が作用している」とする MIF 誤概念は、物理教育において広く認識されている代表的な誤解の一つである[1]。本研究では、中学 1 年生を対象に、MIF 誤概念の保持率とその変容を明らかにするとともに、自由記述と図示データの分析を通して、誤概念の背景要因を探る。さらに、教育的示唆として、より効果的な力学概念の形成を支援する指導法の提案を行う。

３．方法

調査対象は中学 1 年生 103 名であり、「力による現象[2]」単元の学習前後に以下の手順で調査を実施した。

・Pre テスト(図 1)：授業冒頭に、①加速②等速③減速するショッピングカートの場面を提示し、それぞれの場面で働く力を矢印で図示させたうえで、説明とその理由を記述させた。特に等速運動における力の有無について、「ある／ない」の選択と自由記述を求めた。

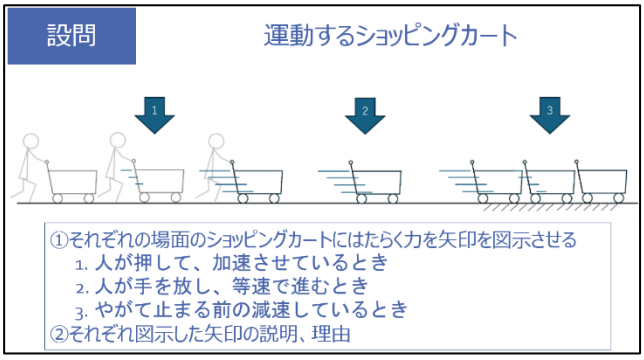


図 1　Pre・Post テストで用いた問

・学習活動：NHK for School の教材「力のはたらき方を分類」[3]を用い、「物を変形させる」「支える」「動きを変える」という力の三分類を学習した。特に、「動きを変える力」が「速さ」または「向き」の変化に関わることを明示的に強調した。

・Post テスト：学習直後に、事前調査と同一の設問を再度実施し、理解の変容を測定した。

４．結果・分析

表　Pre テスト・Post テストの結果

	学習後「思う」	学習後「思わない」	総計
学習前「思う」	47	27	74
学習前「思わない」	5	24	29
総計	52	51	103

学習後に MIF 誤概念を保持していた生徒は 52 名（50.49%）であり、学習前から 21.35 ポイントの改善が見られた。学習前に誤概念を保持していた 74 名のうち、27 名（36.5%）が誤概念を修正し、47 名は依然として MIF 誤概念を保持していた。

自由記述の内容を分析した結果、生徒が MIF 誤概念を保持する背景には、複数の誤概念的理解が存在することが明らかとなった。第一に多く見られたのは、「力の残留感」や「勢い」といった表現に代表される、運動量を力として捉える理解である。たとえば、「押した力がまだ残っている」「勢いで進んでいる」といった記述は、運動が継続していることを、何らかの力が作用し続けている証拠と捉える認識を示しており、運動量の概念と力の区別がなされていないことがうかがえる。

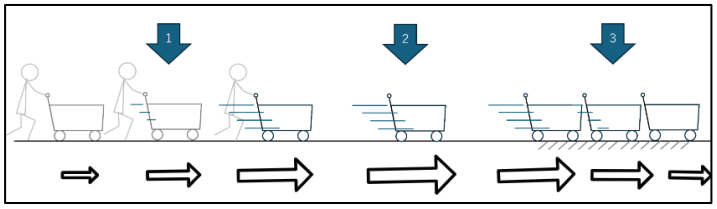


図 2　力と運動量の混同が示唆される図示の例

第二に、衝突や停止といった場面における「衝撃」の認識も多く見られた。これは、力積の経験的理解と結びついたものであり、「キャッチするときに衝撃がある」「止めるときに大きな力が必要」といった表現からは、運動の変化を伴う瞬間的な力（力積）を、「運動中に継続して働く力」と混同している様子が読み取れる。こうした経験的な感覚が、力の継続的な作用という誤概念につながっている可能性がある。

さらに、図示の傾向からは、力のベクトルを正確に表現できていない例が一部に見られた(図 2)。とくに等速運動の場面で、実際には力が作用していないにもかかわらず、進行方向に向かって矢印を描くなど、運動量ベクトルと力ベクトルを混同している可能性が示唆された。これは、力学的な物理量の区別に関する理解が不十分であることを意味しており、誤概念の定着を助長している要因と考えられる。

５．結論

本研究により、中学 1 年生の段階において MIF 誤概念が依然として高頻度で保持されていることが明らかとなった。その背景には、「力」と「運動量」あるいは「力積」との概念的混同が存在する。こうした誤概念は、日常的な経験則や直感に基づいて形成されるものであり、従来の理科学習内容では十分に是正されないことが多い。したがって、中学校段階において運動量の概念を定性的に導入し、「力」との違いを明示する指導は、生徒の物理理解を深化させるうえで有効であると考える。

参考文献

[1]J. Clement(1982) : Students’ preconceptions in introductory mechanisms,Am. J. Phys, 50-1, 66-71.

[2]啓林館：「未来へひろがるサイエンス 1」理科 705

[3]NHK for School：「力のはたらき方の分類、
https://www2.nhk.or.jp/school/watch/clip/?das_id=D0005301314_00000*

P-15

Google フォームを利用した物理探究ゲームの開発

[A]稲田佳彦，[A]兪澧韜，[A]清水綜一，[B]佐藤順一
[A]岡山大学，[B]岡山県立玉島高等学校
y-inada@okayama-u.ac.jp

１．はじめに

本研究では、職業科学者の高度な知見を一般市民が理解して活用できるように AI を含む ICT が手助けをする次の時代のシチズンサイエンス（市民科学）を見据えて、オンラインゲーム学習を組み込んだ科学教育の新しいプラットフォームを構成することを目指している。オンラインのゲーム空間と実空間での実験観察を組み合わせて探究学習を支援する教育ゲームを構成する。職業科学者が議論を通じて科学的に検証し新たな知見を確立する場である「職業科学者コミュニティ」とゲームの「アフィニティ空間」との類似性に着目し、職業科学者が行なっている「議論を通じて科学的に検証し判断し新たな知見を確立する」過程の面白さを実感できるゲームを目指している。ゲームを利用して主体的・対話的で深い学びを構成できる可能性も念頭に、授業への波及効果も探りながら、科学的な議論を通じて新たな知見を確立する基礎科学の面白さを楽しむ文化の醸成につなげたい。

２．ゲームの構造

開発を目指すゲームでは、アフィニティ空間の利用を含んだゲームの構造とアフィニティ空間の関係性を図１のように設定している。これは、藤本や Gee らが報告するアフィニティ空間の概念[1,2]に、物理探究ゲームで必須の実空間での観察実験を組み込んだものになる。ゲーム本体はオンラインでのゲーム空間と日常生活の中に潜む現実の現象を対象にした観察実験をセットで構成する。オンラインのゲーム空間では，RPG 形式でクエストが示され、必要に応じて観察実験の技能を鍛える道場や知識を得る図書館や古文書などが配置される。技能や知識の獲得度合いはゲームの進行の判定に利用され、条件を満たせば、獲得した技能と知識を利用して生活の中に潜む現象を観察実験するクエストが示される。そして、実際に観察実験を実行した後、その結果を、オンラインゲーム空間を通じてアフィニティ空間で共有し、議論を通じて科学的に検証し判断しながらゲームが進行する。このような構造で、プレイヤーがゲームをしながら実験に必要な知識と技能を身に着け、実験の面白さを体験できると期待している。さらに、得た結果をアフィニティ空間で他者と共有して議論し、知見を確立する営みを疑似体験できると期待している。

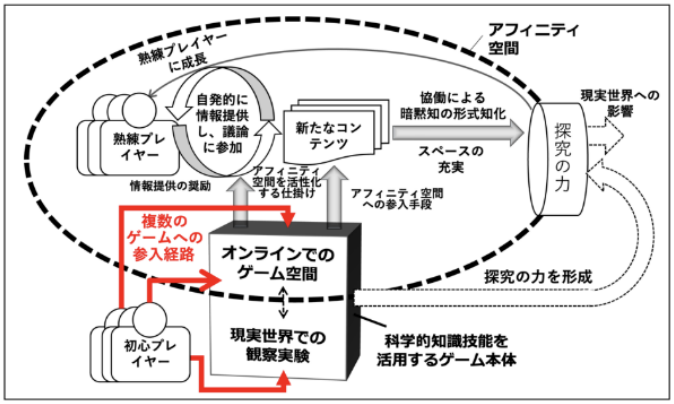


図1.物理探究ゲームの構造とアフィニティ空間の関係図

３．実践

これまでに、図 1 のゲーム構造を Google サイトと LINE グループで構成したり、Google フォームと Google ドキュメントで構成したりして予備的な実践を行った。

中学生や高校生を対象にした実践では、プレイヤーである生徒たちがゲーム中に光とスペクトルに関する情報を収集し、「研究所」のステージで観察実験のクエストを受けることになる。手作りの直視分光器を使い「謎の光源」を解明したり、できるだけ多くの光のスペクトルを集めるミッションをこなす。プレイヤーが主役になり、ゲーム中の選択肢を選択しながらストーリーを進める RPG 形式になっている。Google フォームのセクション機能でストーリーの進行を構成し、ゲームへの没入感を高めるために，設定した世界観を表現する多くのイラストを配置した。イラストは、世界観に合うように生成 AI [3, 4]を活用して作成している (図 2)。アフィニティ空間での交流を促進する仕掛けとして、アフィニティ空間に相当する場所である「冒険家協会」へのリンクを随所に設置した。さらに、チームメンバーは全員別々の職業を与え、ジグソー法の様に提供する情報やスキルに差をつけて協働を促している。詳しい構成は当日に報告する。



図 2.襲われた村(イラストの一例)

実践は、県立校高校 2 年生約 90 名を対象に、物理の光の単元の導入時に行った。事後に、ゲームのストーリー、チームメンバーとの情報交換、直視分器を使った観察実験の 3 項目について、面白いか否かとその理由についてアンケート調査した。また、Google ドキュメントで構成したアフィニティ空間での会話も試みた。

4．結果と考察

アンケートの分析から、Google フォームを利用した簡易的な RPG でも、面白いストーリーを組むことは可能であり、適切な実験やミッションを設定すれば、実空間での観察実験とオンライン空間での展開や情報共有を組み合わせた活動を「面白い」と実感できることが明らかになった。しかし、実空間でチームを組む場合、対面で議論できることが、オンラインでの交流の動機づけを阻害することは避けられない。チームメンバーを離してゲームを開始するという制約を加えたものの、対面で活動することを止めることは難しいこともあり、アフィニティ空間の分析を行うためには、プレイヤーが離れた状況での実践が必要である。分析結果の詳細は当日に報告する。

本研究は JSPS 科研費 24K06413 の助成を受けて実施している。

参考文献

[1] 藤本徹：ゲーム学習の新たな展開，放送メディア研究，2015，12 巻，p. 233-252

[2]] James Paul Gee：Situated Language and Learning A Critique of Traditional Schooling，London: Routledge，2004，p. 70-81

[3]midjourny：https://design.yczktek.com/art/?bd_vid=8452894267390989577,2024/1/28 アクセス

[4]文心一格サイト https://yige.baidu.com/creation?source=33257746,2024/1/28 アクセス

P-16

生成 AI を活用した事前添削による実験レポート改善の試み

斉藤 準
帯広畜産大学 農学情報基盤センター
jsaito@obihiro.ac.jp

1．はじめに

生成 AI が社会的に普及するなか，教育・学習場面での活用に関する議論や知見の共有も進んでいる。教員が生成 AI を使用して課題の作成や採点を行うことなどはその一例であり，それらによって教員負担の軽減や実践の高度化・効率化が期待される [1]。一方で，学習者が直接生成 AI を使用する場合には，その結果の批判的吟味・創造的拡張なしには，能力形成への影響が懸念される [2, 3]。

本研究では，提出前の実験レポートに対し，教員が定めたプロンプトの元で動作する生成 AI によって，学習者が事前添削を受けられる仕組みを開発・運用する。これにより，個別最適で即時的なアドバイスを提供できれば，学習者による直接的な AI の使用をコントロールしつつ，レポート作成に関する学習動機や成果の改善が期待される。事後フィードバックに関する類似の取り組みは [4] 等に見られる。

2．研究方法

実践対象は，獣医農畜産学系の単科大学における，2025 年度 2 年次基礎教育の物理学実験科目とした。履修学生数は 71 名であった。事前添削のシステムとして，本科目が使用している学習管理システム（LMS）の Moodle 上で，学生が実験レポートを提出する際に，ボタン一つで生成 AI によるアドバイスを受けられる仕組みを開発・実装した。生成 AI のサービスとしては ChatGPT API を用い，モデルには画像入力に対応可能で，性能，応答スピード，費用等を勘案して主に gpt-4.1 を使用したが，比較のため o4-mini 等の他モデルも一部に使用した。利用状況・結果の分析に対する同意の有無は，学生が本システム利用時に選択可能とした。生成 AI に与えるプロンプトには，本科目担当教員がレポートを採点する際に特に重視する表 1 の項目について添削させる指示を記載した。

表 1　プロンプトの例

重視する評価項目／観点	対応するプロンプト内の表現
結果／適切な単位の記載と桁数の整合性	The numbers of significant digits for physical quantities are consistent and the quantities have appropriate units in the "Results" section.
考察／データに基づく科学的記述	The content in the "Discussion" section is scientific and based on the results of the experiment, not on general inferences.

以上のシステムを試行として学生に提供し，その利用状況・結果等のうち，同意を得られたものを対象として，1) 利用状況の集計，2) 実験レポートの量的・質的評価，3) 生成されたアドバイスの質的評価，および 4) 参考になったか，結果を反映させたか（いずれも 5 件法）を尋ねる簡易な記名式利用者アンケートを実施し，分析を試みた。本稿執筆段階ではシステム実装・試行後の日が浅いことから，実際に提出・回答された少数のレポートやアンケート結果のみを対象に予備的評価を行った。

3．結果

1) 試行開始からの 2 日間で，のべ 20 件の同意ありの利用があった。この間，提出されたレポートは 28 件であった。一方，4) 利用者アンケートの回答は 7 件にとどまり，「とても参考になった」4 名中，レポートに「かなり反映させた」が 2 名，「少し反映させた」と「まったく反映させなかった」がともに 1 名で，「少し参考になった」2 名はともにレポートに「半分程度反映させた」，参考になったかならなかったか「どちらともいえない」1 名はレポートに「半分程度は反映させた」と回答した。

2) 事前添削利用者とそうでない学生とで，レポートの評点に有意な差は見られなかった（$t(21) = .038$, $p = .970$）。質的にも，結果・考察の両観点について，事前添削利用者の中にもそうでない学生の中にも，科目担当教員から見て適切，要修正の両方のレポートが混在しているようであった。

3) 同じレポートに対する gpt-4.1 と o4-mini との生成フィードバックを質的に比較すると，単位や有効数字に関しては，両者ともそれぞれ一部に不完全さが残ったものの，科目担当教員が物理量に関して着目する細かな，かつ本質的な点も相当程度適切に指摘された。一方，考察については，前者が表面的な定量性や簡易な論拠も科学的に適切と評価したのに対し，後者はそれらを深掘りするための具体例を提案する傾向が見られた。

4．考察

本予備調査ではサンプルサイズが小さく，利用者アンケートの結果，および評点に与える影響ともに，統計的な議論は今後の課題であるが，利用状況から見て，今後サンプルの増加は期待される。アンケート結果は概ね肯定的であったが，本システムの非利用者も含めたより詳細な検証も必要である。

生成された回答についても，質的・量的両面からさらなる検証が必要であるが，大まかな指示のみを含むプロンプトであっても，担当教員が実験レポートの評価で目を配る項目について，相当程度カバーされることが確認された。生成された回答の蓄積に基づいて評価を重ねることにより，教員採点と同じ観点・基準に近づけるため，あるいはより学習効果を高めるために適したプロンプトを開発することも重要である。

本研究の方法は，科目・授業の実情に応じて柔軟に改訂することができる。学習者が不適切な形で生成 AI を使用することを避けつつ，学習者にとって有効な活用事例を提供するものとして，実践・検証を継続したい。

参考文献

[1]斉藤 準（2024）：生成 AI の活用による教育改善の課題と可能性−記述の自動採点を題材として−，大学教育学会第 46 回大会発表要旨集録，46，263-264.

[2]大森 不二雄・斉藤 準・松葉 龍一・喜多 敏博（2023）：大学生の ChatGPT 利用状況と能力形成への影響の認識―批判的思考力・文章力等への影響を学生自身はどう認識しているか，クオリティ・エデュケーション，13，1-50.

[3]文部科学省初等中等教育局（2024）：初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン，https://www.mext.go.jp/content/20241226-mxt_shuukyo02-000030823_001.pdf

[4]西出 崇・中村 文彦（2025）：生成 AI を用いた数学系科目における演習問題の採点および添削手法の開発と学生へのフィードバック，日本教育工学会研究会報告集，2025(2)，325-331.

P-17

高校物理におけるアンペールの力の式を定量的に見出す実験教材の開発

盛田　義弥
石川県立小松高等学校
morita@ishikawa-c.ed.jp

１．研究の目的

直線電流は外部の磁場から力（アンペールの力）を受ける。この力は、電流のまわりに磁場が生じていることを発見するきっかけとなるなど電磁気学において重要な要素である。しかし、高校物理の授業において、アンペールの力の大きさ Fを表す式 $F=IBL$ は天下り的に教えられているのが現状である。これまでに、アンペールの力の式を高校生が実験によって見出すことを目的とした装置の開発はいくつか報告されている[1][2]。しかし、実験に大型で強力なネオジム磁石を用いるなど、装置の取り扱いに注意が必要な点や、外部磁場の強さを変えることができない点などの課題があった。そこで、高校生自らが実験を通してアンペールの力の式を定量的に見出せる実験装置を新たに開発し、その有効性を検証することを目的として本研究に取り組んだ。

２．研究方法

本研究で開発した実験装置を図１に示す。直線電流に対する外部磁場は 500 回巻フィールドコイルを平行に並べたもの（ヘルムホルツコイルと呼ぶ）で発生させた。ヘルムホルツコイルによって発生する磁場は一様な磁場であり、その強さはヘルムホルツコイルに流す電流の大きさで決まる[3]。そのため、この実験装置では磁束密度の大きさを任意で変化させることができる。

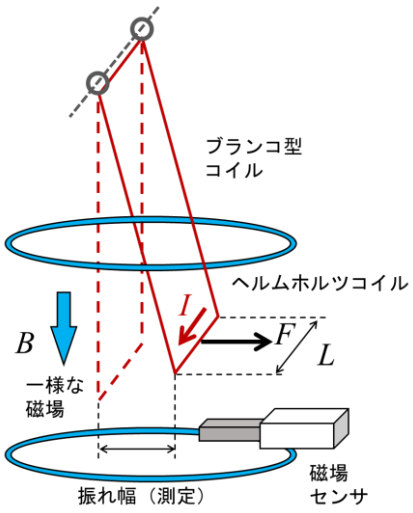


図１　開発した実験装置

また、この装置では、ブランコのように吊るしたコイル（以下、ブランコ型コイルと呼ぶ）を用いて磁場中に直線電流を流した。ブランコ型コイルの巻き数は 15 とした。直流電源装置を用いてブランコ型コイルに電流を流すため、電流の大きさは任意で変化させることができる。電流を流した状態でヘルムホルツコイルによって外部磁場を発生させると、アンペールの力が作用してブランコ型コイルが振れる。このときの力のモーメントのつり合いを考えることで、ブランコ型コイルに作用したアンペールの力の大きさを測定することができる。

さらに、ブランコ型コイルの横幅を変えることで、磁場中の直線電流が流れる部分の長さとアンペールの力の大きさの関係を調べることができる。横幅の異なるブランコ型コイルを作成した。

３．結果

本研究で開発した実験装置を用いて、アンペールの力の大きさと電流の大きさとの関係を調べた。

その測定結果を図 2 に示す。図中の直線は、データに対して適用した線形回帰直線である。アンペールの力の大きさと電流の大きさの間には比例関係があることを見出すことができる。この実験では、ヘルムホルツコイルで 29.8 G の磁束密度の磁場を生じさせて行った。そのため、ブランコ型コイルの横幅 L が 10 cm のとき直線の傾きは理論上 2.98×10^{-4} になると考えられるが、実験結果の傾きは 2.4×10^{-4} であった。このことから、実際に測定したアンペールの力の大きさは理論値よりも小さいことが分かる。L が 5 cm のブランコ型コイルについても実験を行った結果、傾きが 1.1×10^{-4} であった。ブランコ型コイルの横幅 L が 10 cm のときを 5 cm のときと比較して、傾きがおおよそ 2 倍になっていることが確かめられた。

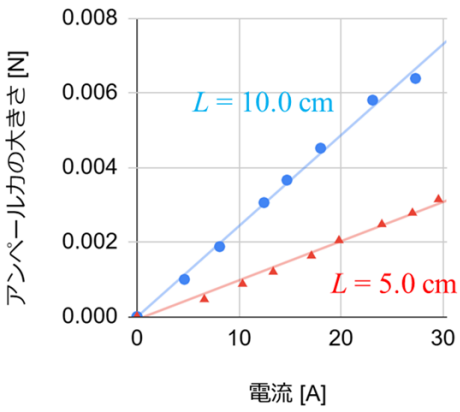


図 2　電流とアンペールの力の大きさの関係

また、アンペールの力の大きさと磁束密度の大きさとの関係を調べた。その測定結果を図 3 に示す。このとき、ブランコ型コイルには 24 A の電流（15 巻きコイルに 1.6 A の電流）を流した。図 2 と同様に、アンペールの力の大きさと磁束密度の大きさの間には比例関係があることを見出すことができた。このときも、ブランコ型コイルの横幅 L が 10 cm のときを 5 cm のときと比較して、傾きがおおよそ 2 倍になっていることが確かめられた。

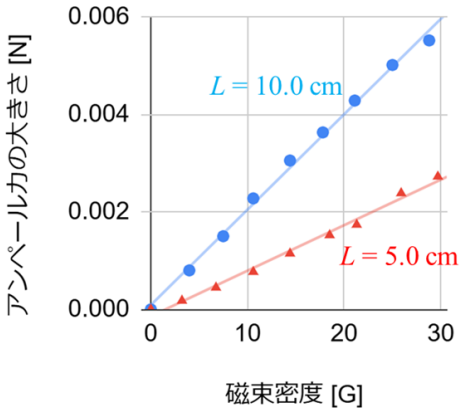


図 3　磁束密度の大きさとアンペールの力の大きさの関係

4．結論と今後の課題

本研究では、高校生が実験を通してアンペールの力の式を定量的に見出せる実験装置の開発を行った。得られた実験結果から、この装置を用いることで高校生がアンペールの力の大きさが磁束密度の大きさ、直線電流の大きさ、ブランコ型コイルの横幅にそれぞれ比例することを定量的に見出せることが十分期待できると分かった。一方で、測定したアンペールの力の大きさが理論値よりも小さくなることが結果から明らかになった。この原因について考察し、力の大きさの測定手法について検証が必要である。また、今後の展望として、実際に本装置を用いて研究授業を行い、高校生が実際に得たデータの検証や、この実験によってアンペールの力を学ぶことの有効性を調べたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24H02530 の助成を受けたものです。

参考文献

[1]加堂大輔，松浦壮(2017)：ローレンツ力に関する学生実験の実践方法, 慶応義塾大学日吉紀要自然科学, **61**，19-36.

[2]小室孝志（1998）：“電流ブランコ型”電磁力測定器の制作, 物理教育，**46**，136-138.

[3]増子寛（2020）：平行に置かれた 2 つのコイルに挟まれた空間の磁場分布, 物理教育通信，**181**，45-49.

協賛企業広告

特許出願中

測定からグラフ化までが早い、新方式記録タイマー！



置き換えるのは記録タイマーだけ！
授業方法、実験方法や器具を
変える必要はありません。

記録タイマーd（光学デジタル式）

NaRiKa Original

C15-1708

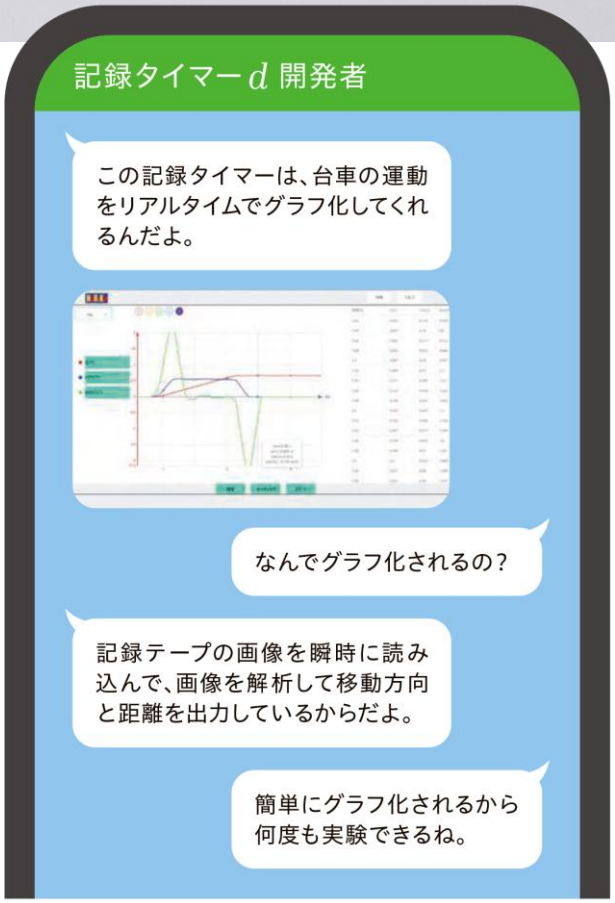
¥9,500（¥10,450）



村尾美明先生ご指導

光学イメージセンサが、通過する
記録テープの移動距離を測定し、
お使いの端末に記録します。専用のWebアプリを用いて
測定値の確認とグラフ作成を行います。

【仕様】
- 測定方式：光学イメージセンサ方式
- 測定距離：0～50m（※記録テープの長さによる）
- 出力：USB2.0　●電源：USB給電　●大きさ：85×60×40mm
- 測定項目：距離(m)／時間(s)　●対応OS：Windows10／11、ChromeOS
- 付属品：記録テープ1巻



NaRiKa SCIENCE IS JUST THERE

株式会社ナリカ https://narika.jp/

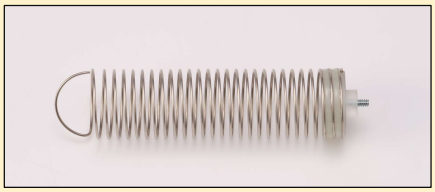
□本　　社 〒101-0021 東京都千代田区外神田 5-3-10 TEL:03-3833-0741 FAX:03-3836-1725
□仙台営業所 〒981-0932 仙台市青葉区木町 6-14 サン・レオ102 TEL:022-272-8188 FAX:050-3156-7469
□大阪営業所 〒531-0076 大阪市北区大淀中 1-4-16 永田中津ビル5階 TEL:06-6451-3986 FAX:06-6451-3925
□福岡営業所 〒812-0014 福岡市博多区比恵町 2-7 博多東エースビル7階 TEL:092-432-6888 FAX:092-432-7388

SHIMADZU
Excellence in Science

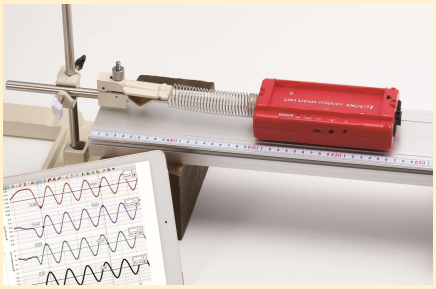
スマートカートを使う実験に便利なアクセサリ



単振動ばね　￥9,000(税抜)



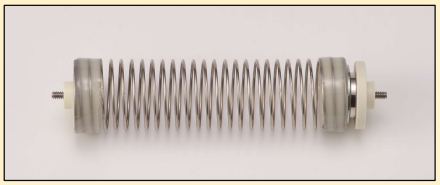
高校物理の「単振動」に対応



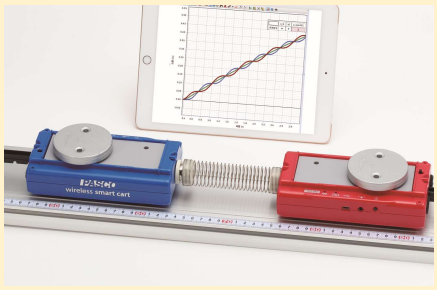
スマートカートの力センサにばねを取りつけて、変位・速度・加速度などを確認

元麻布高等学校　増子寛先生ご考案

連結ばね　￥15,500(税抜)



スマートカート2台をつなぐ



ばねの両端にスマートカートを取り付けて「連成振動」の実験が可能

元麻布高等学校　増子寛先生ご考案

トリガードロッパ

ME-1249　￥42,000(税抜)

■水平投射の実験や運動量保存の実験が可能！



ベクトルディスプレイ

ME-1246　￥43,000(税抜)

■力・速度・加速度のベクトルを視覚的に理解できる！



慣性実験アクセサリ

ME-1245　￥86,000(税抜)

■慣性の法則の実験に最適！



島津理化が運営する無料コミュニティサイト

しまづりか実験広場

理科教員のための実験共創コミュニティ

ICT(PASCO)、プログラミング(MESH)、顕微鏡、IB(国際バカロレア)について、先生方で実験を共有し意見交換を行えるコミュニティサイトです！



ご登録していただいた方には、ノベルティとして授業で使える
安全眼鏡を5個プレゼント!
※無くなり次第終了となります。



ご登録(無料)はこちらから ▶▶▶
https://shimadzu-rika.commmune.com/view/signup/email/L8IgLR7NQ?groupIds=23283

株式会社 島津理化

理化教育事業部
東京都千代田区神田神保町1-32　出版クラブビル

大学入試へ向けた，「基本と思考力」を完全マスターできる

2025年度 改訂 参考書型問題集 センサーシリーズ

2025年度 改訂



センサー 物理基礎 4th Edition

A5判 2色刷 160頁 ＋ 別冊解答 2色刷 160頁

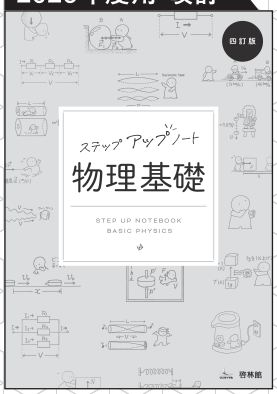
定価 880円
(本体800円+税10%)

4th Editionの改訂POINT

1. **日常学習から大学入試まで**スモールステップで**無理なく取り組める**
2. **共通テスト8割を目標に**問題内容を**ブラッシュアップ**
3. **解答冊子の内容を**生徒の目線から**手厚く大幅改訂（56頁増）**
4. **基本例題と問題，Step up例題，「思考力を磨く」の解説動画が**QRコードから無料で**視聴可能**

「まるちゃん」と一緒に物理の基礎固め

2026年度用 改訂



ステップアップノート 物理基礎 四訂版

- B5判・2色刷・本冊96頁＋別冊解答48頁
- 定価未定

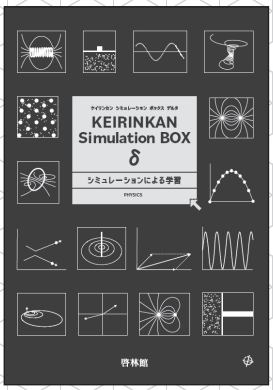


POINT

1. 3ステップ+見開き構成の演習書き込み式ノート
2. まるちゃんが動く物理現象動画が無料で視聴可能に

※2026年度用改訂商品は制作中につき，発刊計画や内容等は変更になる場合があります。

シミュレーションと問題演習のハイブリッド型ワークシート



KEIRINKAN Simulation BOX δ（デルタ）

- B5判・1色刷・32頁
- 定価 550円 (本体500円+税10%)

◀シミュレーションのサンプルはコチラ

POINT

1. **1人1アカウント**でシミュレーションが利用可能
2. 力学から原子分野まで**28個のシミュレーション**
3. シミュレーションの**操作と問題演習の組み合わせ**で理解が深まる
4. **OS**や端末によらず，**ブラウザ対応で動作**
(**Google Chrome, Microsoft Edge**に対応)

知が啓く。 啓林館
https://www.shinko-keirin.co.jp/

本　　社　〒543-0052 大阪市天王寺区大道4丁目3番25号　TEL.06-6779-1531 FAX.06-6779-5011
東京支社　〒113-0023 東京都文京区向丘2丁目3番10号　TEL.03-3814-2151 FAX.03-3814-2159
北海道支社　〒060-0062 札幌市中央区南二条西9丁目1番2号サンケン札幌ビル1階　TEL.011-271-2022 FAX.011-271-2023
東海支社　〒460-0002 名古屋市中区丸の内1丁目15番20号ie丸の内ビルディング1階　TEL.052-231-0125 FAX.052-231-0055
広島支社　〒732-0052 広島市東区光町1丁目10番19号日本生命広島光町ビル6階　TEL.082-261-7246 FAX.082-261-5400
九州支社　〒810-0022 福岡市中央区薬院1丁目5番6号ハイヒルズビル5階　TEL.092-725-6677 FAX.092-725-6680

2024 年秋～ 2025 年の新刊案内（書名・頁数・本体価格は予定です）

根底からわかる力学　佐々木進・大野義章 共著　B5　256 頁　2000 円

万人の基礎物理学 第5版　巨海玄道・野田常雄・上床美也・酒井　健・中西剛司・中村理央 共著　B5　272 頁　2400 円

自然科学の基礎としての **物理学** フルカラー
原　康 夫 著　B5　208 頁　1900 円

物理学入門 第 3 版 Web動画付 フルカラー　新装版
原　康 夫 著　B5　280 頁　2000 円

基礎からの物理学
原　康 夫 著　B5　368 頁　2200 円

基礎物理学 第 5 版 Web動画付 フルカラー　新装版
原　康 夫 著　B5　328 頁　2200 円

物理学基礎 第 5 版 Web動画付 フルカラー　新装版
原　康 夫 著　B5　384 頁　2400 円

Basics of Physics
（『第 5 版　物理学基礎』の英訳版）
HARA Yasuo 著
KAWAIZUMI Fumio・UEMATSU Tsuneo 共訳
B5　424 頁　2600 円　フルカラー

物理学
原　康 夫 著　A5　384 頁　2200 円

物理学通論　Ⅰ・Ⅱ
原　康 夫 著　A5　各 2200 円

ワンフレーズ 力学 2 色刷
原　康 夫 著　A5　160 頁　1500 円

数学といっしょに学ぶ 力学 2 色刷
原　康 夫 著　B5　160 頁　1500 円

基礎からの力学
原　康 夫 著　B5　144 頁　1300 円

基礎からの電磁気学
原　康 夫 著　B5　128 頁　1300 円

物理学演習問題集 力学編
原　康夫・右近修治 共著　B5　64 頁　300 円

理工系の基礎物理 **力　学　新訂版**
原　康 夫 著　B5　240 頁　2000 円

理工系の基礎物理 **電磁気学**
原　康 夫 著　B5　200 頁　2000 円

科学者と技術者のための物理学 フルカラー
Raymond A. Serway 著　松村博之 訳
Ⅰa　力学・波動　B5　372 頁　2500 円
Ⅰb　力学・波動　B5　240 頁　1300 円
Ⅱ　熱力学　B5　144 頁　1800 円
Ⅲ　電磁気学　B5　392 頁　3200 円

医療系の基礎としての物理
大林康二・廣岡秀明・崔東学・古川裕之・吉村玲子 共著
B5　280 頁　2200 円　フルカラー

薬学の基礎としての物理
薬学準備教育ガイドライン準拠
大林康二・廣岡秀明・崔東学・古川裕之・吉村玲子 共著
B5　192 頁　1900 円　2色刷り

物理学概論
―高校物理から大学物理への橋渡し―
[力学編] 近藤　康 著　B5　192 頁　1900 円
[熱・波・電磁気・原子編]
近藤　康・新居毅人 共著　B5　192 頁　1900 円

大学生のための物理入門 第2版
粕谷俊郎・高岡正憲・成田真二・水島二郎・和田　元 共著
B5　256 頁　2400 円

理工系の 基礎物理学 第3版
町田光男・三浦好典 共著
B5　288 頁　2700 円　2 色刷

工科系の 基礎物理学 〈2 色刷〉
譽田克彦・蓬田和夫・紺野　忠 共編
B5　296 頁　2500 円

増補改訂版 シップマン自然科学入門 **新物理学**
J. T. Shipman 著　勝守　寛 監訳
B5　280 頁　2200 円　フルカラー

大学生のための 基礎物理学
―力学・熱学・電磁気学―　〈2色刷〉
大槻東巳 著　B5　192 頁　1900 円

日常の中の物理学
齊藤史郎 著　A5　160 頁　1600 円

考える力学 第2版
兵頭俊夫 著　A5　360 頁　2000 円

力学 増補版
植松恒夫 著　A5　256 頁　2000 円

力学のサボり方
小田将人 著　A5　160 頁　1600 円

大学初年次で学ぶ 物理のコツ
浅賀圭祐・秋山永治 共著　B5　192 頁　2000 円

演習で学ぶ力学の初歩 第2版
鴈野重之・中村賢仁・三澤賢明 共著
A5　152 頁　1650 円

力学の基礎
力学教科書編集委員会 編　B5　128 頁　1300 円

物理学演習テキスト
渡部隆史 著　B5　176 頁　2000 円

身近に学ぶ 力学入門 第2版
伊東敏雄 著　A5　176 頁　1500 円

な～るほど！の 力学
伊東敏雄 著　A5　280 頁　2000 円

な～るほど！の 熱学
伊東敏雄 著　A5　160 頁　1300 円

な～るほど！の 波と光
伊東敏雄 著　A5　168 頁　1400 円

な～るほど！の 現代物理
伊東敏雄 著　A5　176 頁　1600 円

電磁気学演習
田村忠久 著　B5　160 頁　1600 円

工学基礎 物体の運動
森田博昭・安達義也・加藤宏朗・金子武次郎 共著
A5　160 頁　1500 円

量子力学入門
星野敏春 他著　A5　160 頁　1650 円

テキスト 量子力学
川村嘉春 著　B5　192 頁　2100 円

見て体験して物理がわかる実験ガイド―演示実験・生徒実験集― DVD付
東京大学教養学部附属教養教育開発機構　兵頭俊夫 監修　B5　192 頁　1900 円

〒113-0033　東京都文京区本郷 5-4-6
ＴＥＬ　03-3811-0889（代）
ＦＡＸ　03-3811-2464

株式会社 学術図書出版社

全国どこの書店でもご注文いただけます．
献本ご希望の方は営業部へご連絡下さい．
表示は本体価格です．

社員募集中　書籍編集に関心を有し，向上心・探究心旺盛な人材を求めます．
LaTeX，Mathematica の操作に堪能な人，大歓迎．

URL　https://www.gakujutsu.co.jp
表示価格は本体価格です．

2026年
3月
発行予定



学びを「深化」させ，
確かな学力を育む

実教出版の
物理基礎
物理

授業のニーズに合わせて選べる
基礎・基本の定着から入試対策まで



2次・私大入試にまで対応

エクセル物理［総合版］

定価 1,100 円（税込）

編修中

共通テストレベルまで段階的に学習

ベストフィット物理基礎 NewEdition

予価 890 円（税込）

編修中

教科書内容の理解と定着～
共通テストの基礎固め

アクセスノート物理基礎
改訂版

予価 790 円（税込）



アクセスノート物理

定価 900 円（税込）



学習のまとめに最適

高校物理基礎サブノート
改訂版

定価 670 円（税込）

実教出版株式会社
https://www.jikkyo.co.jp/

〒102-8377 東京都千代田区五番町5　TEL:03-3238-7777
大阪支社 TEL:06-6397-2400 ／九州支社 TEL:092-473-1841

解説動画付き問題集！

授業の完全理解から二次・私大入試への橋渡しまで!!

実験問題や新傾向問題，解説動画を掲載！

改訂ニューグローバル物理基礎

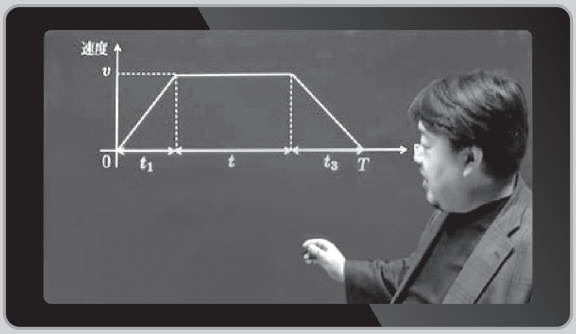
2026年4月改訂

ニューグローバル物理

ニューグローバル物理基礎＋物理

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

解説動画サンプル

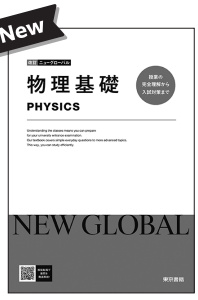


『改訂ニューグローバル物理基礎』の解説動画より

予備校講師が講義形式で解説！

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

New







ステップ学習　教科傍用　基礎固め　共通テスト
二次私大　クリアファイル　解説動画

※ご採用校にはクリアファイルを用意しております。
※問題・解答・解説のWordデータと紙面PDFを，弊社のWebサイトから提供します。

改訂ニューグローバル物理基礎……定価850円（本体773円）
ニューグローバル物理……定価1,140円（本体1,036円）
ニューグローバル物理基礎＋物理……定価1,250円（本体1,136円）

東京書籍

お問い合わせは高校教育部　Tel：03-5390-7320
関西圏高校支社　〒532-0004　大阪市淀川区西宮原1-4-10 大阪東書ビル　Tel:06-4967-1356
ホームページ　https://www.tokyo-shoseki.co.jp　　東書Eネット　https://ten.tokyo-shoseki.co.jp

Ohmsha books information!

物理教育の理論と実践
「物理がわかる」を育むアプローチ

一般社団法人 日本物理教育学会 監修／今井章人・新田英雄・安田淳一郎 共編
A5判／296頁／3,850円／ISBN 978-4-274-23376-0



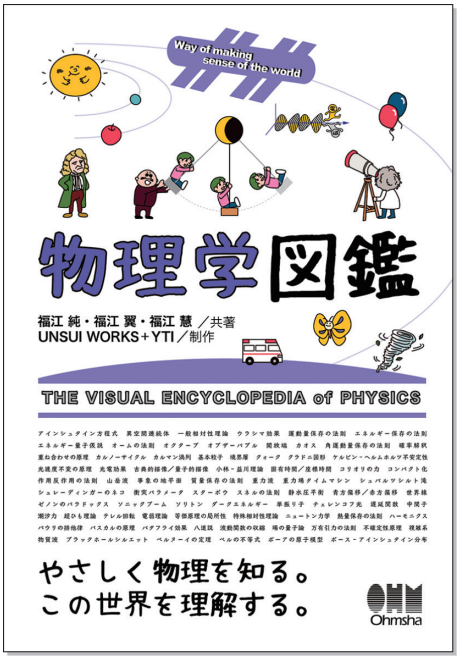
物理教育に関わる方々の必携の一冊!

物理教育研究（PER）が21世紀に入り大きく発展し、定量性、再現性、予言性のある研究成果が急速に積み上げられてきています。これにより、生徒・学生の概念理解度や授業効果を定量的に測れるようになり、効果的な授業方法も開発されるようになっています。従来、「どこで生徒・学生がつまずくのか」「教育効果の高い授業法はどのようなものか」といったことは、経験を積まなければ獲得できなかったとされています。しかし、PERの成果を応用すれば、新任の教員でも経験を積んだベテラン教員と同等以上の授業が展開できます。長年にわたり解決の糸口が見えていない「理科離れ」「物理嫌い」に対する打開策を見出しつつあるPERの知見をわかりやすく紹介することで、物理教育の共通認識を広めつつ、より良い授業・講義や教材づくりに資する、広く物理教育に関わる方々の座右の書となるものです。

【主要目次】

第 1 章　「物理がわかる」を育む～物理教育研究への招待～
第 2 章　授業方法(1)物理を伝える表現
第 3 章　授業方法(2)相互作用型授業の実践方法
第 4 章　授業研究～レッスンスタディと物理授業改善～
第 5 章　概念獲得に向けた教材研究の実践例
第 6 章　物理教育研究に基づく学習評価
第 7 章　物理教育研究に基づく、講義が中心ではない授業

物理学図鑑



福江 純・福江 翼・福江 慧 共著／UNSUI WORKS+YTI 制作
A5判／336頁／3,520円／ISBN 978-4-274-22770-7

物理を知って、初めて自分の住む世界が理解できる!

本書では、現代の物理学全体を俯瞰しつつ、さまざまな物理学の分野から基礎的なテーマ、興味深い話などを厳選して、宝石箱のように詰めこみました。「図鑑」といっても写真を数多く掲載するのではなく、現象の特徴的な側面を捉えたイラストにより、物理学の考え方を目で見てイメージしやすいものとするというコンセプトです。そのため、正確さや厳密性に欠ける部分もありますが、まずは物理学のおもしろさを感じていただくことを優先しました。興味のおもむくまま、どのページからでも読めるよう構成しています。寝転がってパラパラとあちこちを拾い読みして、“はぁ、なるほど”とか“ほぉー、そうか”などと感じながら、幅広く、奥深い、ブツリワールドを愉しんでいただければ幸いです。

【主要目次】

物理学は難しい?
-原理から考えればさほど難しくはない
第 1 章　力学(ニュートン力学)
第 2 章　振動と波動
第 3 章　光　学
第 4 章　電磁気学
第 5 章　熱力学・統計力学
第 6 章　流体力学
第 7 章　特殊相対性理論
第 8 章　一般相対性理論
第 9 章　量子論と量子力学
第10章　素粒子論

オーム社 | 〒101-8460 東京都千代田区神田錦町3-1 TEL 03(3233)0853 FAX 03(3233)3440 www.ohmsha.co.jp （価格は税込）

2025 年度 日本物理教育学会年会
第 41 回物理教育研究大会

発表予稿集 改訂 0806

発行日　2025 年 8 月 6 日
発行者　第 41 回物理教育研究大会　実行委員会