



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

発表予稿集

大会テーマ「児童生徒が学びたくなる物理とは？」

※パネル討論 (10 日 13:35～)：物理基礎は生徒が学びたくなる科目になっているのか？

※大会企画・
総合討論 (11 日 15:00～)：学びたくなる物理への改革を学校および地域単位でどのように進めるか



2026 年 8 月 10 日 (月)・11 日 (火)

於：岡山大学津島キャンパス

主催：一般社団法人 日本物理教育学会

共催：日本物理教育学会中国四国支部

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，
岡山県教育委員会，岡山市教育委員会，岡山大学教育学部

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



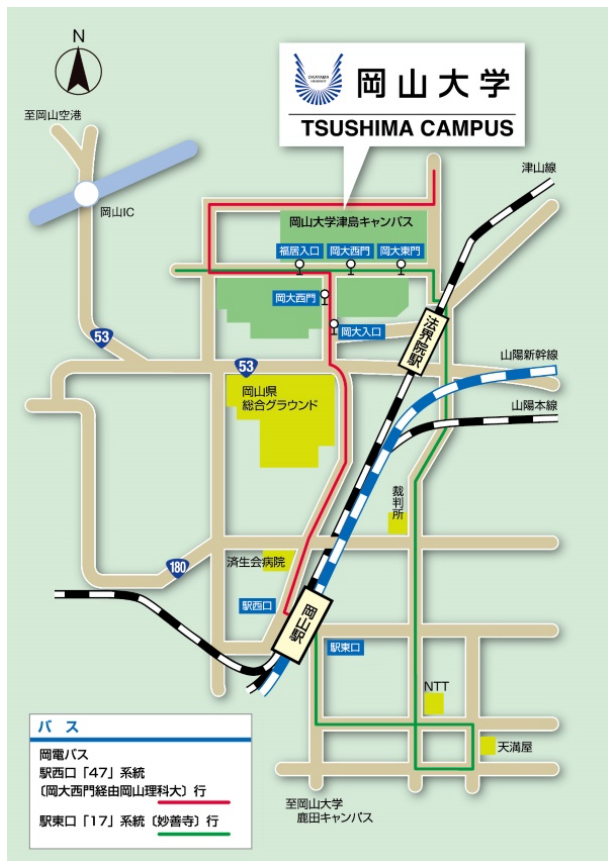
2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

会場案内図

日程

プログラム

岡山大学津島キャンパスへのアクセス



印刷用PDFファイル 

会場の教育学部講義棟は、
「東門」から入って右手
にあります

大学までの岡電バスは、10日は
お盆期間中のため土日祝ダイヤ
での運行になります。

JR

津山線「法界院」駅：徒歩約10分

タクシー

岡山駅:運動公園口（西口）広場2Fタクシー乗り場から約7分

JR岡山駅 → 岡電バス

<http://okayama-kido.co.jp/bus/jikoku.html>

1. 岡山駅運動公園口（西口）バスターミナル22番乗り場から【47】系統「岡山理科大」行きに乗車
2. 「岡大入口」、「岡大西門」、「福居入口」又は「岡大東門」で下車

本線は時間帯により「岡大東門」には停車しない場合があります。
なお、「岡大東門」へはキャンパス外周を廻った後に到着します。

※所要時間約7～10分

1. 岡山駅後楽園口（東口）バスターミナル13番乗り場から【17】【67】系統「妙善寺」行きに乗車
2. 「岡大東門」、「岡大西門」または「福居入口」で下車

※所要時間約30分

1. 岡山駅後楽園口（東口）バスターミナル7番乗り場から【16】系統「津高台団地・斗ハイツ」行き、【26】系統「岡山医療センター国立病院」行き、【36】系統「辛島」行き、【86】系統「運転免許センター」行きに乗車
2. 「岡山大学筋」で下車→大学まで徒歩

※所要時間バス約10分 徒歩約7分

岡山空港（航空機） → 岡電バス

<http://www.chutetsu-bus.co.jp/rosen/rimu jin.htm>

1. 岡山空港2番乗り場から「岡山駅運動公園口（西口）」行に乗車
2. 「岡山大学筋」で下車、徒歩約7分

※ノンストップ便は「岡山駅」で下車、岡山駅からの各種交通機関を利用

山陽自動車道

1. 岡山ICで降り、岡山市内方面へ国道53号線を直進
2. 右手に岡山県総合グラウンドの木々が見え始めたら約600メートルで岡山大学筋に
3. 岡山大学の標識を左折すれば、時計台が正面に見え、岡山大学に到着します

岡山大学(津島キャンパス) 經由 岡山理科大学線 47 岡山駅西口 ▶ スポーツセンター 岡山大学 ▶ 岡山理科大学※**ご注意** 岡山大学鹿田キャンパスには行きません。医学部、歯学部に行かれる方は、岡山駅東口バスターミナル③番のりば④番のりばへ、お越し下さい。

平日運行

月曜日～金曜日

※岡山駅西口②のりば

岡山駅西口②	済生会病院前	スポーツセンター前	岡大西門	妙善寺	福居一丁目	津島東三丁目	岡山理科大学
7.20	7.21	7.23	7.27	=	7.29	7.32	7.40
7.35	7.36	7.38	7.42	=	7.44	7.47	7.57
7.55	7.56	7.58	8.02	=	8.04	8.07	8.17
8.11	8.12	8.14	8.18	=	8.20	8.23	8.33
8.28	8.29	8.31	8.35	=	8.38	8.43	8.48
8.47	8.48	8.50	8.54	=	8.57	9.02	9.07
9.05	9.06	9.08	9.12	=	9.15	9.20	9.25
9.21	9.22	9.24	9.28	=	9.31	9.36	9.41
9.37	9.38	9.40	9.44	=	9.47	9.52	9.57
9.55	9.56	9.58	10.02	=	10.05	10.10	10.15
10.15	10.16	10.18	10.22	=	10.25	10.30	10.35
10.37	10.38	10.40	10.44	=	10.47	10.52	10.57
11.00	11.01	11.03	11.07	=	11.10	11.15	11.20
11.24	11.25	11.27	11.31	=	11.34	11.39	11.44
11.48	11.49	11.51	11.55	=	11.58	12.03	12.08
12.10	12.11	12.13	12.17	=	12.20	12.25	12.30
12.35	12.36	12.38	12.42	=	12.45	12.50	12.55
13.00	13.01	13.03	13.07	=	13.10	13.15	13.20
13.25	13.26	13.28	13.32	=	13.35	13.40	13.45
13.50	13.51	13.53	13.57	=	14.00	14.05	14.10
14.15	14.16	14.18	14.22	=	14.25	14.30	14.35
14.40	14.41	14.43	14.47	=	14.50	14.55	15.00
15.00	15.01	15.03	15.07	=	15.10	15.15	15.20
15.22	15.23	15.25	15.29	=	15.32	15.37	15.42
15.45	15.46	15.48	15.52	=	15.55	16.00	16.05
16.05	16.06	16.08	16.12	=	16.15	16.20	16.25
16.25	16.26	16.28	16.32	=	16.35	16.40	16.45
16.42	16.43	16.45	16.49	=	16.52	16.57	17.02
17.00	17.01	17.03	17.07	=	17.10	17.15	17.20
17.20	17.21	17.23	17.27	=	17.30	17.35	17.40
17.47	17.48	17.50	17.54	=	17.57	18.02	18.07
18.08	18.09	18.11	18.15	=	18.18	18.23	18.28
18.28	18.29	18.31	18.35	=	18.38	18.43	18.48
18.53	18.54	18.56	19.00	=	19.03	19.08	19.13
19.15	19.16	19.18	19.22	=	19.25	19.30	19.35
19.40	19.41	19.43	19.47	=	19.50	19.55	20.00
20.25	20.26	20.28	20.32	20.40			

岡山理科大学	津島東三丁目	妙善寺	岡大西門	スポーツセンター前	済生会病院前	岡山駅西口
		7.17 7.35	7.19 7.37	7.23 7.41	7.25 7.43	7.32 7.50
●7.43	7.45	=	7.50	7.54	7.56	8.05
●7.57	7.59	=	8.04	8.08	8.10	8.19
●8.17	8.19	=	8.24	8.28	8.30	8.39
●8.33	8.35	=	8.40	8.44	8.46	8.55
		8.45	8.47	8.51	8.53	9.00
8.48	8.50	=	8.53	8.57	8.59	9.08
9.07	9.09	=	9.12	9.16	9.18	9.25
9.25	9.27	=	9.30	9.34	9.36	9.43
9.41	9.43	=	9.46	9.50	9.52	9.59
9.57	9.59	=	10.02	10.06	10.08	10.15
10.15	10.17	=	10.20	10.24	10.26	10.33
10.35	10.37	=	10.40	10.44	10.46	10.53
10.57	10.59	=	11.02	11.06	11.08	11.15
11.20	11.22	=	11.25	11.29	11.31	11.38
11.44	11.46	=	11.49	11.53	11.55	12.02
12.08	12.10	=	12.13	12.17	12.19	12.26
12.30	12.32	=	12.35	12.39	12.41	12.48
12.55	12.57	=	13.00	13.04	13.06	13.13
13.20	13.22	=	13.25	13.29	13.31	13.38
13.45	13.47	=	13.50	13.54	13.56	14.03
14.10	14.12	=	14.15	14.19	14.21	14.28
14.35	14.37	=	14.40	14.44	14.46	14.53
15.00	15.02	=	15.05	15.09	15.11	15.18
15.20	15.22	=	15.25	15.29	15.31	15.38
15.42	15.44	=	15.47	15.51	15.53	16.02
16.05	16.07	=	16.10	16.14	16.16	16.25
16.25	16.27	=	16.30	16.34	16.36	16.45
16.45	16.47	=	16.50	16.54	16.56	17.05
17.02	17.04	=	17.07	17.11	17.13	17.22
17.20	17.22	=	17.25	17.29	17.31	17.45
17.40	17.42	=	17.45	17.49	17.51	18.03
18.07	18.09	=	18.12	18.16	18.18	18.30
18.28	18.30	=	18.33	18.37	18.39	18.48
18.48	18.50	=	18.53	18.57	18.59	19.08
19.13	19.15	=	19.18	19.22	19.24	19.31
19.35	19.37	=	19.40	19.44	19.46	19.53
20.00	20.02	=	20.05	20.09	20.11	20.18
		20.43	20.45	20.49	20.51	20.56

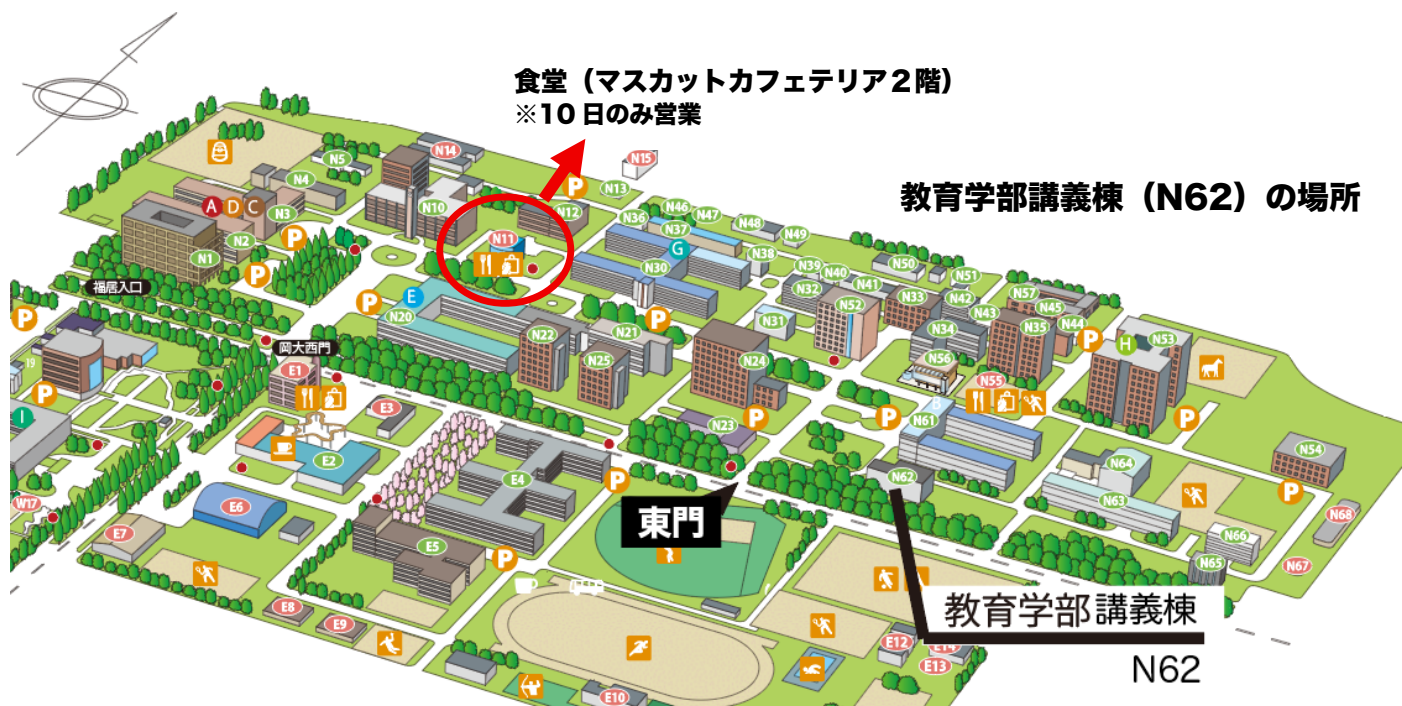
●は福居1丁目經由で運行

土曜・休日運行 土曜日・日曜日・祝日・振替休日

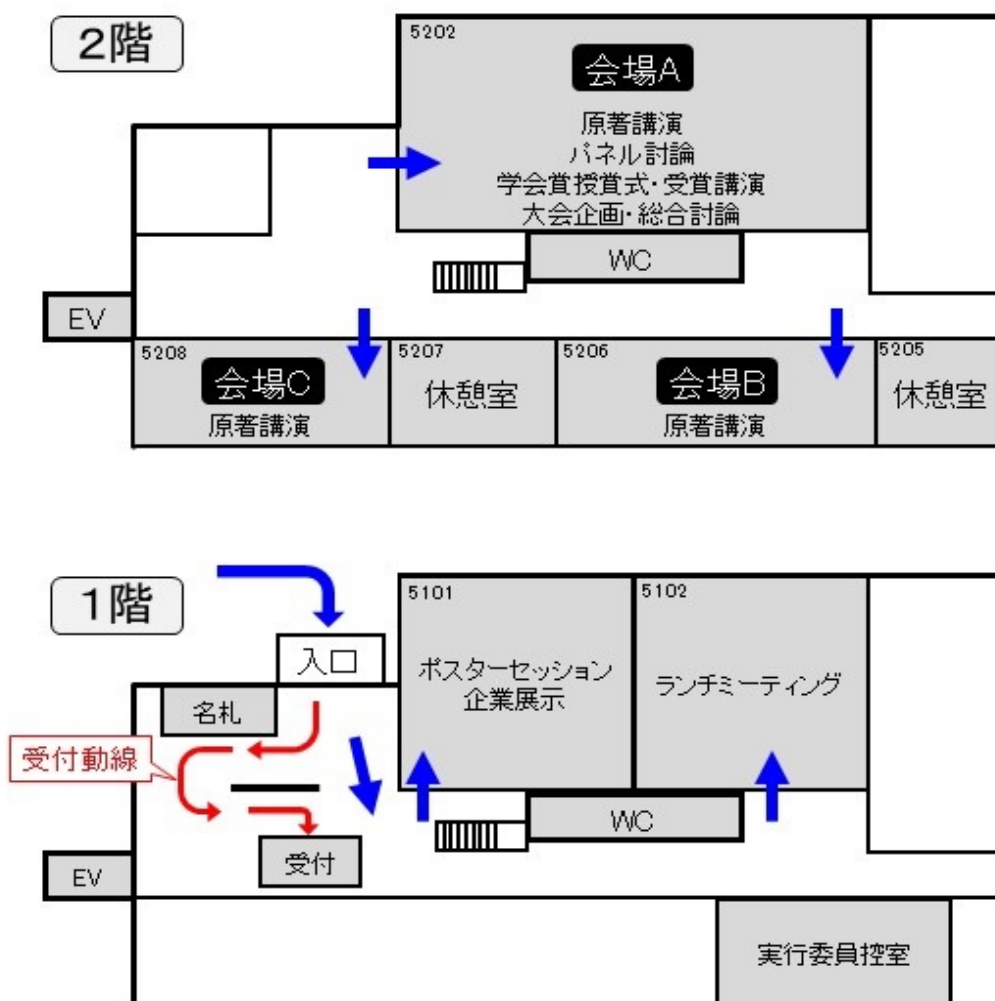
8月10日～お盆期間は、こちらの土日祝ダイヤ

岡山駅西口②	済生会病院前	スポーツセンター前	岡大西門	妙善寺	福居一丁目	津島東三丁目	岡山理科大学
7.20	7.21	7.23	7.27		7.29	7.32	7.40
7.45	7.46	7.48	7.52		7.54	7.57	8.05
8.05	8.06	8.08	8.12		8.14	8.17	8.25
8.30	8.31	8.33	8.37		8.39	8.42	8.50
8.50	8.51	8.53	8.57		9.00	9.05	9.10
9.15	9.16	9.18	9.22		9.25	9.30	9.35
9.40	9.41	9.43	9.47		9.50	9.55	10.00
10.05	10.06	10.08	10.12		10.15	10.20	10.25
10.30	10.31	10.33	10.37		10.40	10.45	10.50
10.55	10.56	10.58	11.02		11.05	11.10	11.15
11.20	11.21	11.23	11.27		11.30	11.35	11.40
11.45	11.46	11.48	11.52		11.55	12.00	12.05
12.10	12.11	12.13	12.17		12.20	12.25	12.30
12.35	12.36	12.38	12.42		12.45	12.50	12.55
13.00	13.01	13.03	13.07		13.10	13.15	13.20
13.25	13.26	13.28	13.32		13.35	13.40	13.45
13.50	13.51	13.53	13.57		14.00	14.05	14.10
14.15	14.16	14.18	14.22		14.25	14.30	14.35
14.40	14.41	14.43	14.47		14.50	14.55	15.00
15.05	15.06	15.08	15.12		15.15	15.20	15.25
15.30	15.31	15.33	15.37		15.40	15.45	15.50
16.00	16.01	16.03	16.07		16.10	16.15	16.20
16.30	16.31	16.33	16.37		16.40	16.45	16.50
17.10	17.11	17.13	17.17		17.20	17.25	17.30
17.55	17.56	17.58	18.02		18.05	18.10	18.15
18.45	18.46	18.48	18.52		18.55	19.00	19.05
19.40	19.41	19.43	19.47		19.50	19.55	20.00
20.25	20.26	20.28	20.32	20.40			

岡山理科大学	津島東三丁目	妙善寺	岡大西門	スポーツセンター前	済生会病院前	岡山駅西口
		7.20	7.22	7.26	7.28	7.35
7.40	7.42	=	7.45	7.49	7.51	8.00
8.05	8.07	=	8.10	8.14	8.16	8.25
8.25	8.27	=	8.30	8.34	8.36	8.45
8.50	8.52	=	8.55	8.59	9.01	9.10
9.10	9.12	=	9.15	9.19	9.21	9.30
9.35	9.37	=	9.40	9.44	9.46	9.55
10.00	10.02	=	10.05	10.09	10.11	10.20
10.25	10.27	=	10.30	10.34	10.36	10.45
10.50	10.52	=	10.55	10.59	11.01	11.10
11.15	11.17	=	11.20	11.24	11.26	11.35
11.40	11.42	=	11.45	11.49	11.51	12.00
12.05	12.07	=	12.10	12.14	12.16	12.25
12.30	12.32	=	12.35	12.39	12.41	12.50
12.55	12.57	=	13.00	13.04	13.06	13.15
13.20	13.22	=	13.25	13.29	13.31	13.40
13.45	13.47	=	13.50	13.54	13.56	14.05
14.10	14.12	=	14.15	14.19	14.21	14.30
14.35	14.37	=	14.40	14.44	14.46	14.55
15.00	15.02	=	15.05	15.09	15.11	15.20
15.25	15.27	=	15.30	15.34	15.36	15.45
15.50	15.52	=	15.55	15.59	16.01	16.10
16.20	16.22	=	16.25	16.29	16.31	16.40
16.50	16.52	=	16.55	16.59	17.01	17.10
17.30	17.32	=	17.35	17.39	17.41	17.50
18.15	18.17	=	18.20	18.24	18.26	18.35
19.05	19.07	=	19.10	19.14	19.16	19.25
20.00	20.02	=	20.05	20.09	20.11	20.18
		20.43	20.45	20.49	20.51	20.56



会場図 教育学部講義棟 (N62)



- ※ 最初に各自の名札を受取り、受付カウンターで受付をしてください。
- ※ 会場内にゴミ箱を設置しません。各自お持ち帰りください。
- ※ Wi-Fi は eduroam のみで専用のアクセスポイントはありません。

2026 年度 日本物理教育学会年会 / 第 42 回物理教育研究大会 日程

8 月 10 日 (月)

8:30－9:00	受付
9:00－9:10	開会 (A 会場)
9:20－10:35	原著講演 1 (A 会場 5 件, B 会場 5 件)
10:45－11:45	原著講演 2 (A 会場 4 件, B 会場 4 件, C 会場 4 件)
11:55－12:35	ポスターセッション・企業展示 コアタイム
12:35－13:35	昼食・ランチミーティング
13:35－15:00	パネル討論 討論テーマ:「物理基礎は生徒が学びたくなる科目になっているか」 登壇者: 橋本省二 (高エネルギー加速器機構), 新田英雄 (東京学芸大), 酒谷貴史 (同志社香里中学校・高等学校), 花光隆太郎 (北海道伊達開来高等学校)
15:10－16:25	原著講演 3 (A 会場 5 件, B 会場 5 件, C 会場 5 件)
16:35－17:50	原著講演 4 (A 会場 5 件, B 会場 5 件, C 会場 5 件)
18:10－18:40	懇親会受付
18:40－20:30	懇親会

8 月 11 日 (火・祝)

8:45－9:00	受付
9:00－9:10	学会賞授賞式 (A 会場)
9:10－9:50	学会賞受賞講演 (A 会場) 渡會兼也 (金沢大学附属高等学校) 講演題目:「物理教育の現代化に向けての先駆的な取り組み」
10:00－11:15	原著講演 5 (A 会場 5 件, B 会場 5 件, C 会場 5 件)
11:25－12:05	ポスターセッション・企業展示 コアタイム
12:05－13:30	昼食
13:30－14:45	原著講演 6 (A 会場 5 件, B 会場 5 件, C 会場 5 件)
15:00－16:45	大会企画・総合討論 テーマ:「学びたくなる物理への改革を学校および地域単位で どのように進めるのか」 事例報告: ①岡山県および岡山県教育委員会, ②香川県高松第一高等学校
16:45－17:00	閉会 (A 会場)

プログラム一覧

(大会ページ内ファイルに飛びます)

原著講演プログラム

8月10日(月)

原著講演 1 A-1 (A 会場) 9:20-10:35 座長：高橋尚志

A-1-1	物理学習についての意識調査紙開発およびジェンダー差の研究 I：研究概要	新田英雄	16
A-1-2	物理学習についての意識調査紙開発および男女差の研究 II：追加項目の検討	荻谷麻子	18
A-1-3	物理学習についての意識調査紙開発および男女差の研究 III：試行調査結果の分析	勝田仁之	20
A-1-4	物理学習についての意識調査紙開発および男女差の研究 IV：設問項目別分析	竹内 透	22
A-1-5	物理基礎における男女差に関する研究—数値問題と文字式問題の得点差に着目して—	木下大宙	24

原著講演 1 B-1 (B 会場) 9:20-10:35 座長：笠潤平

B-1-1	プラスチックプラスチックレンズを使った望遠鏡の仕組みを探る授業実践	海老崎功	26
B-1-2	凸レンズの実像形成における「上下左右逆」の理解困難性と認識変容～目玉型模型教材のデザインがもたらす観察視点のナッジ効果～	谷本薫彦	28
B-1-3	凸レンズが作る実像への理解と興味を促すイカの眼モデルの開発と利用—生物から始める学びたくなる物理の試み—	寺島幸生	30
B-1-4	中学校理科における凸レンズによる像の概念理解を促す教材の開発	青木 凜	32
B-1-5	球凸レンズの焦点の考察を題材として論理的思考を楽しむ	長尾辰哉	34

原著講演 2 A-2 (A 会場) 10:45-11:45 座長：右近修治

A-2-1	BEMA 回答パターンにみられる類推適用傾向と定型適用傾向 ～多次元尺度構成法とチュートリアル物理における発話分析による検討～	今井章人	36
A-2-2	物理教育における学習姿勢調査の妥当性評価	間瀬正矩	38
A-2-3	RealTimePhysics による学習姿勢と動機付けの変容	板橋克美	40
A-2-4	高等学校物理実験における「楽しさ」の要因分析：アンケート調査に基づく検討	石田光宏	42

原著講演 2 B-2 (B 会場) 10:45-11:45 座長：勝田仁之

B-2-1	幾何光学分野における誤概念分類表の作成と調査問題の検討	佐々木志帆	44
B-2-2	斜方投射問題における図形的解法のススメ	伊東正人	46
B-2-3	「作用・反作用」と「つり合い」との差異化を図る教材の開発-作用点を意識した力の表現-	南 伸昌	48
B-2-4	力の同定における役割変換の構造 —作用・反作用モデルと力のつり合いモデルの接続—	古結 尚	50

原著講演 2 C-2 (C 会場) 10:45-11:45 座長：宗尻修治

C-2-1	静電場をわかりやすく伝える方法～ポテンシャルの概念を用いて～	池永 寛	52
C-2-2	物理基礎における電位概念の扱いに関する一考察	高橋信幸	54
C-2-3	特殊相対性原理の理解にまで踏み込んだ、電磁場中の荷電粒子の運動の解析の教材化	澤田行弘	56
C-2-4	マイコン Raspberry Pi Pico を測定装置としたコンデンサーのスイッチ切り替え実験の実践	稲垣貴也	58

原著講演 3 A-3 (A 会場) 15:10-16:25 座長：植松晴子

A-3-1	高等学校物理におけるピア・インストラクションの概念変容過程	伊藤紀章	60
A-3-2	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改善	飯川大輔	62
A-3-3	中学校理科における学習方略の活用を促す振り返り活動の検討	藤本滉二郎	64
A-3-4	アクティブラーニング型授業における自律的な動機づけを促す心理的プロセスの検討	加藤 滉	66
A-3-5	生成 AI を活用したアクティブ・ラーニング型授業の「擬似実践」空間の開発	立川瑛梨佳	68

原著講演 3 B-3 (B 会場) 15:10-16:25 座長：新田英雄

B-3-1	エネルギーの系とモデル	西尾信一	70
B-3-2	「聴いて」捉える振り子の運動 —音声化を活用した視覚障害教育の実践—	平野祐希子	72
B-3-3	"thermal equilibrium"は"temperature equilibrium"と同一である	五十嵐靖則	74
B-3-4	教科書における潮汐説明の再検討	池田幸夫	76
B-3-5	物理実験にイベントベースカメラという選択	内山哲治	78

原著講演 3 C-3 (C 会場) 15:10-16:25 座長：今井章人

- C-3-1 慣性の法則をどう教えるか—A.B.エイロンズと R.D.ナイトの物理教育研究に関する文献を手がかりに— 磯部和宏 80
- C-3-2 等速円運動と単振動の数理的連関における概念構築の授業デザイン —TrAP による定量解析と Physics Exam Lab での活用— 小田朋宏 82
- C-3-3 「乗客視点」のリアルタイム投影を可能にする卓上型慣性力実験機の開発と教育的効果 中川雅斗 84
- C-3-4 慣性の概念形成を意識した円運動の実践報告 川島健治 86
- C-3-5 液体中を落下する球体の終端速度の測定 十河凜太郎 88

原著講演 4 A-4 (A 会場) 16:35-17:50 座長：荻谷麻子

- A-4-1 高等学校物理基礎におけるコンセプトマップを導入したリフレクション活動の実践 武井士恩 90
- A-4-2 大学物理講義におけるグループ討論を活かす方略 土佐幸子 92
- A-4-3 高校生は物理と日常生活をどのように関連づけるか —自由記述の横断的・縦断的分析— 飯高匡展 94
- A-4-4 学生が物理学をどう捉えるかに働きかける授業 —Open Source Tutorials を参考にして— 植松晴子 96
- A-4-5 チュートリアルを通じた学生の物理学に対する捉えの変容 -OPP シートの記述分析を通して- 竹内太軌 98

原著講演 4 B-4 (B 会場) 16:35-17:50 座長：平野祐希子

- B-4-1 空撮 VR 動画の物理教育利用の可能性 秋山綱紀 100
- B-4-2 物理教育用 Web アプリケーション教材の量産開発～100 日間で 100 個の Web アプリ作成チャレンジを通して～ 鈴木駿久 102
- B-4-3 電子の波動的理解へ繋ぐ超伝導教材の開発とカリキュラム構築への展望 山口智輝 104
- B-4-4 教師が教えたい物理 ～実験装置作りの勧め～ 豊田将章 106
- B-4-5 シンプルな物理シミュレーション教材の開発 薮 哲郎 108

原著講演 4 C-4 (C 会場) 16:35-17:50 座長：谷口和成

- C-4-1 コンデンサー学習におけるスキーマの状態の評価
—認知負荷・確信度・真剣度の観点による検討— 平野進一 110
- C-4-2 「物理教育研究の方法」を用いないで教育された高校生の「いわゆる概念理解」② 山下 哲 112
- C-4-3 国際比較を取り入れた単振り子実験が高校生の重力加速度の概念理解に与える影響
—福島高校とタイ王国 PCSHS Mukdahan との共同授業を通して— 菊池啓一郎 114
- C-4-4 中学校理科における力や慣性及び質量概念の統合的な理解の研究
—小惑星探査機はやぶサの正確な軌道制御の文脈の活用を中心として— 小林和雄 116
- C-4-5 衝突実験による円周率の測定 長尾桂子 118

8月11日（火・祝）

原著講演 5 A-5（A会場） 10:00-11:15 座長：室谷心

A-5-1 高等学校における物理概念形成を目指すアクティブラーニングに取り組んだ女子学習者の非認知的側面に関する検討	北村貴文	121
A-5-2 JiTTにおいて理解が成立するプロセスの研究 ～JiTT 事前課題への回答をデータにした M-GTA による質的分析による～	落合道夫	123
A-5-3 楕円軌道上を運動する物体の速度・加速度についての生徒の思考の観察	笠 潤平	125
A-5-4 探究科目での仮説実験授業の活用事例 ～「探究する脳ミソ」を立ち上げる～	野坂卓史	127
A-5-5 高等学校物理の原子分野における教師の認識に関する事例的分析	越智拓也	129

原著講演 5 B-5（B会場） 10:00-11:15 座長：白幡泰浩

B-5-1 物理チャレンジにおける実験課題と理論問題分析ー2025 第 1 チャレンジを中心にー	阿部 敬	131
B-5-2 「子ども科学オリンピック」子どもも大人も学びたくなる物理を目指して	高木崇安	133
B-5-3 オープンキャンパスにおけるグループ実験についての一考察	川村康文	135
B-5-4 科学系 SF プロトタイピング「SF を作って科学を学ぼう！」の実践	山崎詩郎	137
B-5-5 国際宇宙ステーションを活用したプログラミング教育と物理教育への応用	荒金恭一	139

原著講演 5 C-5（C会場） 10:00-11:15 座長：栗田和好

C-5-1 物理学実験における学生の多様性配慮 I 学びの整理と受講者が抱える困難の調査	大橋咲栄	141
C-5-2 物理学実験における学生の多様性配慮 II 振り子の実験における環境整備	日下部真央	143
C-5-3 物理を身近な現象と関連づける大学生への探究的指導の実践	鈴木康文	145
C-5-4 カリキュラム マネジメントから見た大学初年次の物理教育についての考察	平野裕一	147
C-5-5 大学初年次学生の力学概念理解と多様な表現による困難	興治文子	149

原著講演 6 A-6（A会場） 13:30-14:45 座長：興治文子

A-6-1 総合的な探求の時間の高大連携	栗田和好	151
A-6-2 数理・データサイエンス・AI 教育と高大連携の新展開	高橋尚志	153
A-6-3 DeepLabCut を用いた力学実験の教員養成課程における実践	小林良彦	155
A-6-4 MEXCBT を活用した科学的に探究する学習の授業モデルの開発 I 研究概要	小林一人	157
A-6-5 MEXCBT を活用した科学的に探究する学習の授業モデルの開発 II 授業実践	西村里太	159

原著講演 6 B-6（B会場） 13:30-14:45 座長：井上賢

B-6-1 探究活動におけるモデル構築と表現協調ーコンデンサー実験の再構成を例としてー	右近修治	161
B-6-2 中学エネルギー分野の WLC 型授業におけるダイアグラムの活用と効果	小川慎二郎	163
B-6-3 熱量の保存と熱損失を学ぶ粉ミルク調乳実験の実践	能代谷賢治	165
B-6-4 エネルギー概念を育成する教材・教具を活用した授業実践	松永 武	167
B-6-5 粒子の動きを通して溶液の均一性を理解する教材の開発と実践	夏目ゆうの	169

原著講演 6 C-6（C会場） 13:30-14:45 座長：梅田貴士

C-6-1 通信制高校における理科・物理教育の課題把握に向けた基礎的調査	櫻井一充	171
C-6-2 振り子における強制振動とパラメータ励振の観察とシミュレーションによる体験	藤本茂雄	173
C-6-3 ニュートンビーズ（鎖の噴水現象）の非定常力学過程の解析と数値計算	夏目雄平	175
C-6-4 Video 画像を用いた次元解析理解	室谷 心	177
C-6-5 ペイントクラック形成の定量的分析ー底面の粗さおよび厚さの影響ー	森山あかり	179

ポスターセッション

8月10日(月) コアタイム 11:55-12:35

P-1	「物理基礎」における科学史を活用した指導に関する予備的研究： NOS と MIF 素朴概念に注目して	松原憲治 188
P-3	Nelson Science 7 や IGCSE 物理に見る熱概念	五十嵐靖則 192
P-5	高校物理選択者の間に男女間の学力差は存在するか ―5 年間の定期試験データの統計解析―	渡會兼也 196
P-7	数学的モデリングの逆問題アプローチ実践	高須雄一 200
P-9	Building Thinking Classrooms を取り入れた高校物理の協働学習の授業実践	内田紘人 204
P-11	高校物理における生成 AI を用いたシミュレーション教材開発プロセスの提案	盛田義弥 208
P-13	電圧の授業、どう組み立てていますか？ ―手回し発電機を用いた授業実践の検討―	山田吉英 212
P-15	モデル構築を通じた力学の学習過程 ――バレージャンプの質点ばねモデルから剛体リンクモデルへ――	三阪寧々 216
P-17	回路素子の物理的挙動に着目した放課後電子工作講座の実践 ―タイマーIC を用いた電子楽器作りを題材として―	駒崎寛和 220
P-19	文系出身学生を迎え入れる工学系学部における教養系物理学実験 ―実感を伴う理解に向けた設計方針の提案―	岡野 諭 224
P-21	高松一高型アクティブ・ラーニングの成果と課題―FCI の分析より―	小谷猛房 228
P-23	実像、虚像を「目で見える」仕組みを「見る」ことができる教材の開発と授業実践 -「目の模型」の開発と活用-	南 伸昌 232
P-25	中学校電気回路における多重表現を通じた回路モデル形成の試み	柴田 樹 234
P-27	生成 AI を活用した事前添削による実験レポート改善の効果	斉藤 準 238
P-29	大学での〈教養としての物理〉の試みは「物理嫌い」とどう向き合っているか	阿部春樹 242

8月11日(火・祝) コアタイム 11:25-12:05

P-2	授業開きリーフレットによるジェンダーギャップへのステルス介入	山本 岳 190
P-4	物理学実験における読み取り誤差指導の再検討と不確かさ概念導入	中野美紀 194
P-6	強制振動が明らかにした新しい潮汐像	池田幸夫 198
P-8	物理教師、実験用ウェブアプリを作る。	今和泉卓也 202
P-10	慣性質量に関する演示実験授業における概念変容の校種間比較	夏目ゆうの 206
P-12	POE 学習法を取り入れた運動解析ソフト活用授業の実践と学習効果の検証	山路泰平 210
P-14	二つの Web カメラを用いた 3 次元座標観測による初等的な力学実験教材の構築	近藤隆司 214
P-16	量子計算の基礎を楽しみながら学ぶことができるブロッホ球型デバイス開発	井門孝治 218
P-18	超音波距離センサーを使った運動の法則の実験を効果的にするための工夫	白井友洋 222
P-20	課題研究と物理授業との相互環流―ルーブリックによる評価から見える生徒の変容―	佐藤哲也 226
P-22	高校物理「等加速度直線運動」における Productive Failure の授業実践 ―複数表象の関連づけを通じた数学的意味づけの形成―	出口英二 230
P-24	「きぼう」ロボットプログラミング競技会	荒金恭一
P-26	大学入試問題の品質保証に向けたローカル LLM の活用可能性 ―数学・理科問題における 誤字検出を対象とした基礎的検討―	田尾周一郎 236
P-28	力と運動状態の対応を問う演習教材の開発とその教育効果	長尾桂子 240
P-30	複数物体系における加速度運動の概念理解 ―概念調査紙 SEBO の開発と試行調査―	伊藤 慧 244



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

パネル討論

テーマ：

物理基礎は生徒が学びたくなる科目になっているのか？

日時：8 月 10 日（月） 13：35～15：00

場所：A 会場

登壇者：

橋本省二（高エネルギー加速器研究機構）

新田英雄（東京学芸大学）

酒谷貴史（同志社香里中学校・高等学校）

花光隆太郎（北海道伊達開来高等学校）

※ 会場参加者とリアルタイム Q&A システムを用いて一緒に議論します。

物理基礎は生徒が学びたくなる科目になっているのか？

「学習指導要領がいけないんだ。あるいは大学入試が悪い。など、他にもいろいろな意見を伺いました。しかし、一つとして現状のままだという声は聞いていません。」

(橋本省二「当事者は私たち自身」より)

高等学校の「物理基礎」は、多くの生徒にとって、物理をまとまった形で学ぶ最後の機会になります。それだけに、この科目が生徒に何を残しているかは、物理教育が社会に対して果たしている役割そのものにかかわります。しかし現状はどうでしょうか。限られた時間の中で決められた内容を扱いきること追われ、物理が生徒にとって「わかりにくく、覚えることが多く、自分とは関係のない科目」になってはいないでしょうか。

本大会のパネル討論では、新田英雄会長がかねて提起されてきた「物理基礎はこのままでよいのか」という問い[1]を、正面から取り上げます。企画の直接のきっかけは、橋本省二氏による二つの論説 [2,3] でした。そこでは、系統的な積み上げという物理教育の前提そのものを問い直す、踏み込んだ提起がなされています。私たちはこれを、現行の枠組みの中での個別の改善案としてではなく、「根本から考え直すとしたら物理基礎はどうあるべきか」という問いとして受け止めたいと考えました。

当日は、まず四名のパネリストから、それぞれ 10 分程度の話題提供をいただきます。橋本省二氏（高エネルギー加速器研究機構）には、上記の論説で伝えたかったことについて。新田英雄氏（東京学芸大学・本学会会長）には、「物理基礎はこのままでよいのか」という問題意識について。酒谷貴史氏（同志社香里中学校・高等学校、次世代形成担当理事）には、次世代形成ワーキンググループでの座談会等の議論で出された意見について。花光隆太郎氏（北海道伊達開来高等学校）には、公立高校の現場から見た「物理基礎」へのご意見について、お話いただきます。

その後、会場の皆さんを交えて議論を行います。扱う内容の精選と配列、探究や日常生活との接続、大学入試との関係、教員の力量形成など、論点は多岐にわたることが予想されます。一回の討論で結論の出る問いではありませんが、学会として「物理基礎」をどう捉え、何を目指すのか、議論の出発点としたいと思います。全国からの、一人でも多くの物理教育関係者の積極的な参加を呼びかけます。

参考文献

- [1] 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 巻 3 号 (2023) p. 206-209.
- [2] 橋本省二：「思いは伝わっているか」，日本物理学会誌 79 巻 2 号 (2024) p. 51.
- [3] 橋本省二：「当事者は私たち自身」，大学の物理教育 30 巻 2 号 (2024) p. 51.



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

受賞講演

2025 年度 日本物理教育学会賞 奨励賞

渡會 兼也 氏（金沢大学附属高等学校）

対象題目：

「物理教育の現代化に向けての先駆的な取り組み」

日時：8 月 11 日（火） 9：00～9：50

場所：A 会場

物理教育の現代化に向けての先駆的な取り組み

渡會 兼也

金沢大学附属高等学校

watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

この度は、日本物理教育学会奨励賞という過分な賞をいただき、大変光栄に存じます。受賞理由として「物理教育の現代化」というお言葉をいただきましたが、正直なところ、私自身は「現代化とは何だろうか」と自問しているのが本音です。本稿では、研究者から高校教員へと転身したこれまでの歩みを振り返り、何が評価していただけたのかを皆様と共に考えてみたいと思います。

2. 葛藤の中での転換点

私は 32 歳の時、宇宙物理学のポスドク研究員から高校教員になりましたが、最初の数年間は「隙あれば研究の世界に戻りたい」という未練を抱えていました。転機となったのは、関西大学での物理教育の研究会でした。そこで物理教育という研究分野があることに衝撃を受け、本格的に研究に取り組み、論文発表や教材開発に取り組むようになりました。

3. 時代に即した試行錯誤

私の取り組みは、その当時の学校や生徒の状況に即して、利用可能な技術をどう活用するかという試行錯誤の連続でした。2009 年には、まだ携帯電話が主流だった生徒の環境に合わせてメールによる学習支援を行い、その後はハイスピードカメラを「観察」だけでなく、授業内での「測定ツール」として活用する方法を提案しました。また、スマートフォンのセンサーを用いた反発係数の測定や、共通テスト導入時の問題集作成など、時代の要請に合わせてテーマを変えてきました。近年はテキストマイニングや生成 AI を用いた分析に取り組んでいますが、これは様々な挫折経験から、「原理がわかるユーザー」として既存の技術を徹底的に使い倒すというスタンスに行き着いた結果だと考えています。

4. 考察と結び

私にとっての「現代化」とは、特別な先端技術を導入することではなく、その時代に生徒が手にしている道具を、物理学の本質へ接近するための「眼」としていかに活用するかを問い続けることだったのかもしれない。研究者時代には強みにならなかった「多分野への興味」も、高校教員としては独自の立ち位置として、教育研究に活かされているように感じます。

研究者時代の師から常に「論文を書かないのは研究していないのと同じである」と言われていました。多忙な環境においても現場での知見を文章として残し、見知らぬ誰かと共有することの重要性は自分の研究スタンスでもあります。今回の受賞はゴールではなく、まだ山ほどある「やりたいこと」に向かって突き進むための、新たな出発点にしたいと考えております。最後に、私の研究活動に関わるすべての方に感謝申し上げます。ありがとうございました。



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

原著講演

8 月 10 日 (月)

物理学習についての意識調査紙開発およびジェンダー差の研究 I：研究概要

^A新田英雄, ^A植松晴子, ^B荻谷麻子, ^C勝田仁之, ^D柴田樹, ^E竹内透, ^F西村墨太, ^G山本岳
^A東京学芸大学, ^B香川大学, ^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筑波大学附属高等学校, ^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
 hi_nitta@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

物理教育におけるジェンダー差の問題は、海外において物理研究者の進路を選ぶ女子学生が少ない原因の究明を動機に研究されてきた。PER から、特に力学分野を中心に、男子に比べて女子学生の方が概念理解度の平均値が低いことが示されてきた[1,2]。一方、これまでの研究から、物理教育におけるジェンダー差を縮小するには、概念理解だけでなく「物理に向き合う姿勢」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が示唆されてきた。

私たちの研究グループ PEPPER (Physics Education Practice based on Physics Education Research) では、高校の学習指導要領「物理基礎」「物理」に適合した物理概念調査紙（以下、標準調査紙）を開発し、全国の高校生・大学生を対象とした大規模な調査を行ってきた[3]。かねてより FCI をはじめとした海外の PER で開発された調査紙は、日本の高校では学習範囲との兼ね合いから使いづらくことが指摘されていたが、このことが新たな物理概念調査紙を開発した要因である。

一方、上述のように、ジェンダーギャップの縮小には概念理解だけでなく学習姿勢などの意識調査を組み合わせる必要がある。そのような調査紙としては、CLASS, MPEX などが知られているが、これらも、質問項目の内容や問題数などの観点から、日本での調査に最適とは言えない。そこで本研究では、引き続き概念理解調査を進めるとともに、日本の生徒の調査に適した物理への学習姿勢や意識に関する質問紙の開発を行い、ジェンダーギャップの原因を多角的に分析する手法を確立し、その解消法を見出すことを目標とする。

2. 物理概念理解に見られる男女差

概念調査紙の男女別正答率を用いて、 $G = \langle \text{男子学生の正答率} \% \rangle - \langle \text{女子学生の正答率} \% \rangle$ でジェンダーギャップ値を定義する。標準調査紙を用いた 2023 年度の G を表 1 に示す。物理基礎プレテストおよびポストテストの男女の人数はそれぞれ男子 2588 人、女子 1968 人および男子 1380 人、女子 996 人であり、物理プレテストおよびポストテストの男女の人数はそれぞれ男子 1310 人、女子 440 人および男子 1052 人、女子 286 人である。

表 1 標準調査紙によるジェンダーギャップ

	物理基礎	物理
プレ G	8.13	4.34
ポスト G	4.81	10.76

物理基礎のジェンダーギャップは授業後に減少しているが、物理ではその減少を上回る増加となってしまう。この結果は、男子の規格化ゲインが 0.25 であるのに対し、女子が 0.16 に留まっていることの現れである。なお、物理基礎においては男子および女子の規格化ゲインはそれぞれ 0.14 および 0.17

である。このことから、物理における男子のゲイン増加には、受験勉強などの授業以外での学習成果が反映されている可能性が考えられる。

3. 物理学習への意識に見られる男女差

これまで、さまざまな機会で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」[4]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、22 科目の中で物理が最も嫌われており、さらに男女別のデータの差が最大であることを指摘してきた[2]。表 2 は、文献[4]の科目別データから、「○○の勉強が好きだ」という問いに対して「そう思う」「どちらかといえばそう思う」を合わせた数値を男女別に示したものである。また g は、男子の値から女子の値を引いた数値を表す。

表 2 科目別の「○○の勉強が好きだ・どちらかといえば好きだ」の男女別割合 (%)

	英語	数学	国語	物理	化学	生物	地学
男子	39	48.5	49.6	35.6	41.8	43.8	51.9
女子	43.1	38.4	60.2	13.6	27.3	45.7	39.5
g	-4.1	10.1	-10.6	22	14.5	-1.9	12.4

表 2 から、物理の「勉強が好きだ・どちらかといえば好きだ」とする女子生徒の割合は、他科目と比較して突出して低いことがわかる。2 番目に低い化学と比較しても半数しかいない。また、男女差 g においても物理が最大となっており、女子の物理嫌いの状況が深刻であることを示唆している。文献[4]には、「好き嫌い」以外にも「役立つ・役立たない」などの意識調査結果もあるが、それらも物理は他科目に比べて低い。物理教育に携わる者は、これらの結果を深刻に受け止め、カリキュラム改革、授業改革に道をつけていかねばならない。また、より詳細な分析のための意識調査紙の開発も必要である。

4. おわりに

これからの時代には生徒の多様性に対応できる教育が求められる。男女の違いを代表的な多様性の 2 極と捉えるならば、ジェンダーギャップの縮小に向けた授業づくりは非常に重要となる。ジェンダーギャップを克服できないようでは、生徒の多様性を包み込むような物理教育の確立など不可能と考えられるからである。

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] 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] 新田英雄(研究代表者): 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」(2025).
- [4] 「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

物理学学習についての意識調査紙開発および男女差の研究Ⅱ：追加項目の検討

^A 荻谷麻子, ^B 新田英雄, ^B 植松晴子, ^C 勝田仁之, ^D 柴田樹, ^E 竹内透, ^F 西村墨太, ^G 山本岳
^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 筑波大学附属高等学校, ^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
 kariya.asako@kagawa-u.ac.jp

1. はじめに

本講演は、4 件の連続講演「物理学学習についての意識調査紙開発および男女差の研究」の 2 件目である。発表者の所属する研究グループ PEPPER (Physics Education Practice based on Physics Education Research) 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、全国の主に高校生を対象とした大規模な調査を行ってきた[1]。

PEPPER では 2025 年度から、学習者の認知的・情意的側面に焦点をあてた研究に取り組んでおり、現在は新たな意識調査紙の開発に取り組んでいる。この意識調査紙は、物理学学習における男女差の背景要因を明らかにし、その改善に向けた示唆を得ること、および、困難を抱える学習者への支援に向けた示唆を得ることを目的に作成を進めている。

新たな意識調査紙に用いる項目の検討に向けて、今年度は、CLASS (Colorado Learning Attitudes about Science Survey) に新たな調査項目を追加し、より多面的に学習者の意識を調査し、その分析を行った。本発表では、新たに追加した項目の内容とその理論的背景について報告を行う。

2. 期待-価値理論

本研究では Eccles らによる「期待-価値理論」[2]を用いた。期待-価値理論は、動機付け理論の代表的な理論の 1 つであり、学習者の課題選択やパフォーマンスは「期待 (成功予期)」と「価値」によって決まると想定している理論である。ここで、「期待」は対象分野や対象課題に対して自分自身が成功する見込みを意味する。また、「価値」は「興味価値」「獲得価値」「利用価値」「コスト」の 4 側面から構成されている。つまり、ある課題や分野に対して、「自分自身が成功できそう」と思っているほど、「自分にとって価値があり、損失が少ない」と思っているほど、パフォーマンスが向上する、または、その分野を選択する傾向が強まる、と捉える理論である。

元々、期待-価値理論は理数系のコース選択やキャリア選択に関する性差の背景を解明することを目的として開発されたものである[2]。また、この理論では社会で共有されるステレオタイプや周囲の大人の信念が内面化されるプロセスなど、社会環境からの影響が重要視されている[2]。以上より、物理学学習における男女差を検討する上で期待-価値理論は有効な枠組みであると考えられたため、本研究ではこの理論に基づき調査項目を検討した。

3. CLASS に追加した項目

PER で広く用いられている態度や信念を測定する調査ツールの一つとして CLASS が挙げられる。PEPPER グループの研究でも CLASS と物理概念調査紙の関係性などについての分析を行った[3]。CLASS は概念理解度調査だけでは分からない、学習者の認知的・情意的側面を測定することが可能である。一方で、本研究では期待-価値理論の観点から CLASS の項目を検討したが、CLASS には価値

に直接対応する項目は見られなかった。そのため、今年度の研究では、CLASS からだけでは得られない新たな知見を得ることを狙いとし、CLASS に価値（興味価値、獲得価値〔私的獲得価値、公的獲得価値〕、利用価値、コスト）を問う項目などを追加した。

また、期待-価値理論においては個人が抱く期待や価値は、様々な社会環境から影響を受けて形成されると捉えられている。これを踏まえ、本研究では「価値」そのものだけでなく、期待や価値の背景にも着目し、それらについて検討するための項目も追加した。

追加項目には、先行研究（例えば[4][5][6][7]）で用いられている項目を一部変更したもの、新たに作成した項目が含まれる。

以下に、価値の各側面を問うために追加した項目例を示す。

【興味価値】物理の勉強のことを考えると、わくわくすることがあります。（[4]の一部変更）

【利用価値】物理の勉強をすることは、将来、仕事の役に立つと思います。（[4]の一部変更）

【私的獲得価値】物理を勉強することは、自分にとって重要です。（[4]の一部変更）

【公的獲得価値】物理の勉強ができると他者から尊敬されると思います。（[5]の一部変更）

【コスト】物理の勉強には、あまりに多くの時間がかかります。（[6]の一部変更）

以下に、期待や価値の背景について検討するために、追加した項目例を示す。

【能力観】物理で成功するためには、生まれつきの能力よりも努力の方が大切だと思います。（[7]の一部変更）

【成功体験に対する認識】これまでの自分は、物理の勉強でうまくいった経験が多いです。

【社会的なステレオタイプに対する認識】物理は、性別によって向き・不向きがあると考えられていると思います。

【周囲の大人の期待に対する認識】私の周囲の大人は、私が物理を得意になることを期待しています。

本研究は、JSPS 科研費 JP25K00853 の助成を受けている。

引用文献

- [1]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」
- [2] Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2024) : The development, testing, and refinement of Eccles, Wigfield, and colleagues' situated expectancy-value model of achievement performance and choice. *Educational Psychology Review*, 36, 51.
- [3]勝田仁之(2025)：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,第 41 回物理教育研究大会発表予稿集,25-26.
- [4]中西良文・伊田勝憲（2006）：総合的動機づけ診断に関する探索的研究，三重大学教育学部研究紀要，57, 93-100.
- [5]伊田勝憲(2004)：高校生版・課題価値測定尺度の妥当性検討：自意識および達成動機との関連から，名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要(心理発達科学),51, 117-125
- [6]三和秀平・解良優基（2024）：日本語版 Expectancy-Value-Cost Scale の作成，心理学研究，95 巻 6 号,402-410.
- [7] A. Elby et al : EPISTEMOLOGICAL BELIEFS ASSESSMENT FOR PHYSICAL SCIENCE (EBAPS). Available at: <http://www2.physics.umd.edu/~elby/EBAPS/home.htm> (2026.6.15 参照)

物理学学習についての意識調査紙開発および男女差の研究Ⅲ：試行調査結果の分析

^A勝田仁之, ^B新田英雄, ^B植松晴子, ^C竹内透, ^D荻谷麻子, ^E柴田樹, ^F西村墨太, ^G山本岳

^A早稲田大学高等学院, ^B東京学芸大学, ^C筑波大学附属高等学校, ^D香川大学,

^E東京学芸大学附属国際中等教育学校, ^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

katsuda.phys.ed@gmail.com

1. はじめに

本講演は、4件の連続講演「物理学学習についての意識調査紙開発および男女差の研究」の3件目である。本発表では、前講演で紹介した調査問題の試行結果を報告する。まず集計方法および調査概要を説明する。続いて、結果を報告する。

2. 集計方法および調査概要

前講演で紹介したように、本研究で開発した物理学学習についての意識調査紙は、既存調査紙であるCLASS[1]の全42項目に、期待価値理論[2]に基づいて開発した27項目と、数学との関連について問う1項目を加えた、計70項目からなる。(以降、後者2つを合わせた28項目をまとめて「開発項目」と呼ぶ) 項目例：問8. 物理の勉強ができると他者から尊敬されると思います。

すべての項目について、回答者は「1. まったく同意しない, 2. 同意しない, 3. どちらともいえない, 4. 同意する, 5. 強く同意する」の5件法で、自身の考えに最も合う選択肢を回答する。また、文の意味がよくわからない場合は回答欄を空欄のままに、文の意味は分かっているけれどはっきりした意見がない場合は選択肢3を選択するように指示されている。

CLASSの集計方法に倣い、前述の1, 2(4, 5)の選択肢をまとめて“Disagree”(“Agree”)とし、3の選択肢は“Neutral”とすることで、3段階の尺度に変換した。さらに、CLASSの各項目については、“favorable”となる選択肢が原作者たちによって示されている。(例：問3 4. 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。は“Disagree”がfavorableな回答。)

本研究においては、各項目の回答分布を、学校種やジェンダーごとに分類して分析したほか、項目間の相関分析も行った。その際、CLASSの各項目については、favorableな回答を「1」、その他の回答を「0」と数値化して、開発項目については、Agree(1), Neutral(0.5), Disagree(0)と数値化して相関分析を行った。また、ジェンダー差を調べるため、男性(M)を「1」、女性(F)を「0」としてジェンダーも変数に加えた。なお、開発項目については、favorableな回答が設定できるかどうかの検討や、あるいは設問の妥当性評価が、今後の課題となる。

本研究の試行調査は、2026年度4月に行い、その概要は表1の通りである。中学生、高校生、大学を対象に実施し、履修科目に対応させ「中学理科」「高校物理基礎」「高校物理」「大学物理」に分類して集計した。但し、現段階ではまだ男性大学生のデータが得られていないため、大学生についてはジェンダー比較ができない。そこで本報告では主に、中学生と高校生を対象とした分析結果を報告する。

3. 試行結果

本講演では、全体データの分析、特に相関分析について報告する。図1に、開発項目について項目間の相関をヒートマップにまとめたものを示す。「中学理科」と「高校物理基礎」の科目ごとのデータを、

表 1 : 2026 年 4 月の試行調査概要, および有効回答者数

科目	学校数	男性(M)回答者数	女性(F)回答者数	計
中学理科	2	149	71	220
高校物理基礎	5	242	175	417
高校物理	5	252	80	332
大学物理	1	0	106	106
計	13	643	432	1075

ジェンダーごとに分類して縦に並べた。項目は、期待価値理論の各カテゴリ（荻谷による前講演を参照）ごとに並び替え、図中には「興味」～「背景」と略して示した。また、これら3カテゴリは、「コスト」と負の相関関係にあり、その傾向は中学理科よりも高校物理基礎で顕著となる。とりわけ女子にその傾向が強い。本研究は、JSPS 科研費 JP25K00853 の助成を受けている。

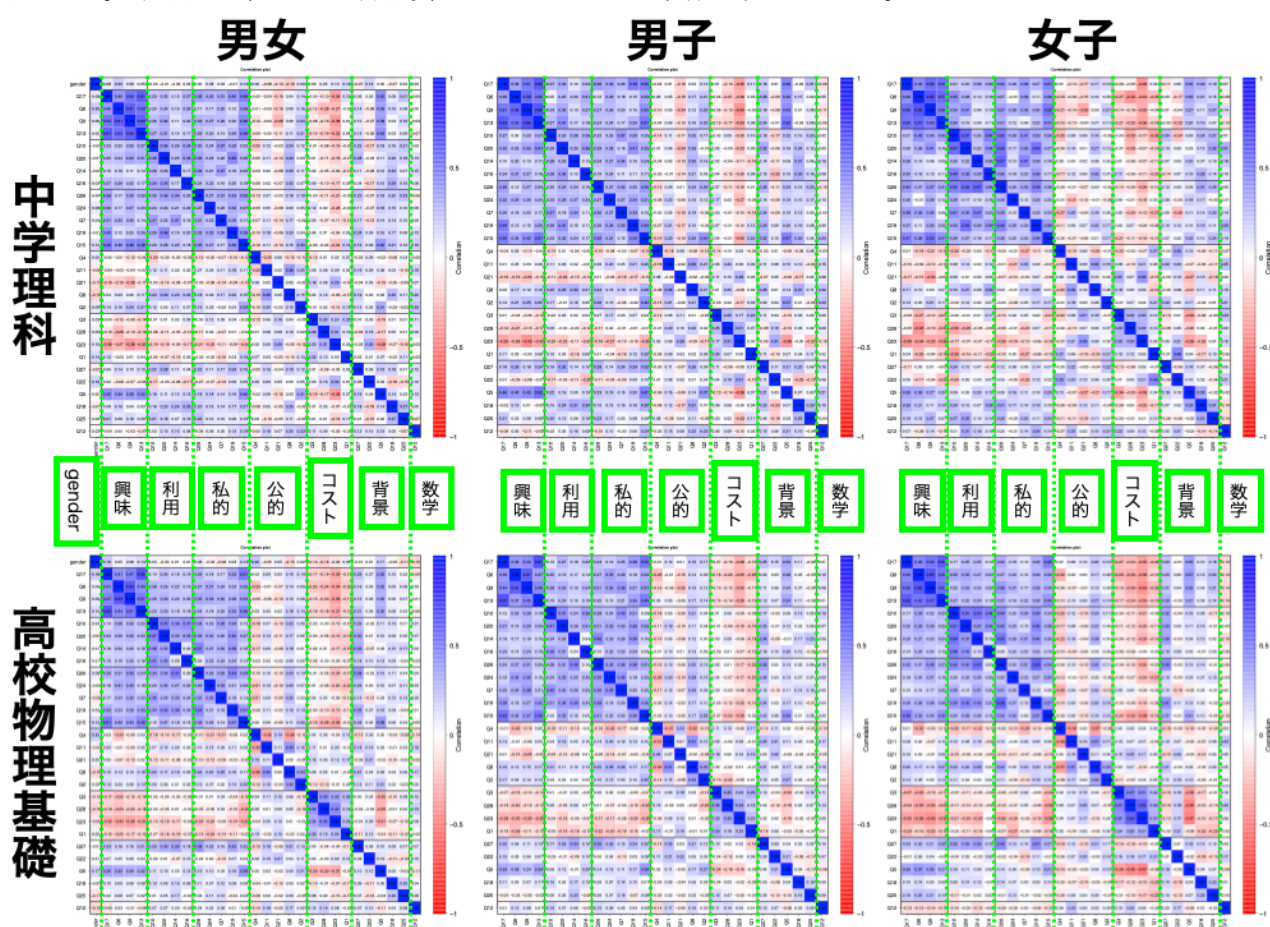


図 1 : 開発項目の相関分析 (項目間の相関をヒートマップにまとめた)

参考文献

- [1] Adams W. K., et al. (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] Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2024) : The development, testing, and refinement of Eccles, Wigfield, and colleagues' situated expectancy-value model of achievement performance and choice. *Educational Psychology Review*, *36*, 51.

物理学習についての意識調査紙開発および男女差の研究Ⅳ：項目別分析

^A竹内透,^B新田英雄,^B植松晴子,^C勝田仁之,^D荻谷麻子,^E柴田樹,^F西村墨太,^G山本岳^A筑波大学附属高等学校,^B東京学芸大学,^C早稲田大学高等学院,^D香川大学,^E東京学芸大学附属国際中等教育学校,^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

shinjukutakeuchi@gmail.com

1. はじめに

本講演は、4 件の連続講演「物理学習についての意識調査紙開発および男女差の研究」の 4 件目である。本発表では、主に高校物理基礎履修者を対象として、期待価値理論に基づき追加した各項目の回答分布を男女で比較した結果を報告し、そこから得られる教育的示唆について考察する。

2. 高校物理基礎における期待価値理論に基づく各項目の男女差分析

高校物理基礎履修者（5 校、417 名[男子 242 名、女子 175 名]）を対象に行った調査結果について、期待価値理論に基づく各項目についての男女の回答分布を χ^2 検定を用いて比較した（表 1）。いずれも効果量は小程度以下ではあったが、有意な男女差がみられた項目があった。

表 1 高校物理基礎における期待価値理論に基づく各項目の男女差（ χ^2 検定）

カテゴリ	No.	項目	p 値	効果量 V
興味価値	17	物理の勉強のことを考えると楽しい気分になります	0.001	0.186 (小)
	13	物理の勉強のことを考えると、わくわくすることがあります	0.022	0.139 (小)
	9	物理の勉強には興味がわきます	0.240	0.084 (極小)
	6	物理は面白いです	0.610	0.049 (極小)
利用価値	14	この先さらに勉強していくために、今、物理を勉強することは重要です	0.115	0.103 (小)
	20	物理の勉強をすることは、将来、仕事の役に立つと思います	0.470	0.060 (極小)
	10	物理の力を身につけることは将来のためになります	0.519	0.056 (極小)
	16	物理の勉強内容は生活に生かせると思います	0.930	0.019 (極小)
私的獲得価値	15	物理を勉強している自分は、自分らしいと感じます	0.013	0.144 (小)
	7	物理の勉強をすると自分がもっと成長できると思います	0.178	0.094 (極小)
	26	物理を勉強することは、自分にとって重要です	0.216	0.085 (極小)
	24	物理の勉強は、自分で進んで勉強する価値があります	0.691	0.043 (極小)
	19	物理の勉強をすることになりた自分に近い近づけます	0.760	0.036 (極小)
公的獲得価値	4	物理の勉強ができて、自慢にならないと思います	0.001	0.204 (小)
	8	物理の勉強ができると他者から尊敬されると思います	0.004	0.167 (小)
	21	物理の勉強が得意だと、自分らしくないと思われそうだと感じます	0.312	0.074 (極小)
	2	物理の勉強が得意だと周囲からできる人として見られると思います	0.365	0.071 (極小)
	11	物理の勉強ができると、人よりも優れていると感じます	0.544	0.054 (極小)
コスト	28	物理の勉強には、あまりに多くの時間がかかります	0.004	0.165 (小)
	3	物理で良い成績をとるためには、他の教科よりずっと多くの努力が必要です	0.049	0.122 (小)
	23	物理の勉強は、精神的に負担に感じます	0.100	0.106 (小)
	1	物理の勉強が得意になるためには、他の多くのことをあきらめないといけません	0.595	0.052 (極小)
期待・価値の背景	27	私の周囲の大人は、私が物理を得意になることを期待しています	0.001	0.187 (小)
	5	これまでの自分は、物理の勉強でうまくいった経験が多いです	0.004	0.181 (小)
	25	物理で成功するためには、生まれつきの能力よりも努力の方が大切だと思います	0.072	0.114 (小)
	22	物理は、性別によって向き・不向きがあると考えられていると思います	0.191	0.090 (極小)
	18	物理の授業がわからなくなっている人は、勉強のしかたを工夫することで状況を大きく変えることができると思います	0.329	0.076 (極小)

※ 効果量は Cramer's V 。判定基準： $V < 0.10$ ＝極小， $0.10 \leq V < 0.30$ ＝小， $0.30 \leq V < 0.50$ ＝中， $V \geq 0.50$ ＝大。太字は $p < .05$ 。

興味価値では、Q6「面白い」、Q9「興味が湧く」では男女差はみられず、男女ともに同意する傾向がみられた。一方、Q17「楽しい気分になる」、Q13「わくわくする」では有意な男女差がみられ、女子では「非同意」が、男子では「同意」が有意に多かった。

利用価値では有意な男女差はみられなかった。

私的獲得価値では、Q15「物理を勉強している自分は、自分らしいと感じる」のみ有意な男女差がみられ、女子で「非同意」が、男子で「同意」が有意に多かった。

公的獲得価値では、Q8「物理ができると他者から尊敬される」で女子では「同意」が、男子では「中立」が有意に多かった一方、Q4「物理ができていても自慢にならない」で女子では「非同意」が、男子では「同意」が有意に多かった。その他の項目で男女差はみられなかった。

コストでは、Q28「時間がかかる」、Q3「他教科より多くの努力が必要」において女子の方が高く認識する傾向がみられ、特にQ28で女子では「同意」が、男子では「非同意」が有意に多かった。

背景要因では、Q27「周囲の大人からの期待」において女子では「同意」が、男子では「中立」が有意に多かった。Q5「成功体験」では、女子で「非同意」が、男子で「中立」「同意」が有意に多かった。

3. おわりに

高校物理基礎履修者では、利用価値には男女差はみられなかった。一方、興味価値では「面白い」「興味が湧く」といった認知的側面では男女差がみられなかったものの、「楽しい」「わくわくする」といった感情的側面では女子の方が否定的な傾向がみられた。また、女子は物理を勉強している自分を「自分らしい」と感じにくく、成功体験を低く認識する一方で、他者からの評価や周囲からの期待、学習コストを高く認識する傾向がみられた。いずれの項目においても効果量は小さく、男女差は限定的であったが、これらの知見は、今後の物理学習における指導や学習支援のあり方を検討する上で示唆を与えると考えられる。

本研究は、JSPS 科研費 JP25K00853 の助成を受けている。

参考文献

- [1]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」
- [2] Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2024) : The development, testing, and refinement of Eccles, Wigfield, and colleagues' situated expectancy-value model of achievement performance and choice. *Educational Psychology Review*, 36, 51.

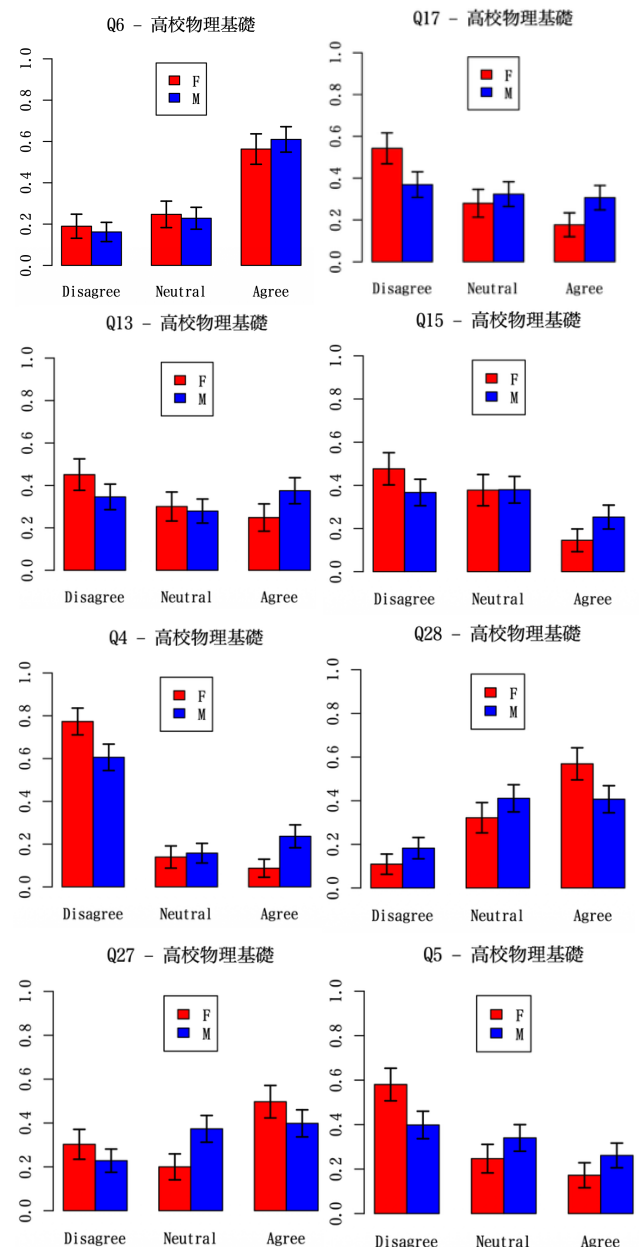


図 1 高校物理基礎における特徴的な回答分布

物理基礎における男女差に関する研究

—数値問題と文字式問題の得点差に着目して—

木下大宙, 梅田貴士, 仁王頭明伸
広島大学人間社会科学研究科
m260195@hiroshima-u.ac.jp

1. はじめに

物理教育研究において、学習成果に見られる男女差（ジェンダーギャップ）は国際的に重要な課題として認識されている。特に物理概念の理解度を測るテストでは、女性の得点が男性よりも有意に低い傾向にあることが報告されている[1]。こうした男女差は、単一の要因では説明できず、複数の認知的、心理的、社会的要因が複合的に関与していると考えられている。Madsen らは、物理概念テストに関する 26 件の研究をレビューし、その結果、数学力や自己効力感の違い、物理は男性向きであるというステレオタイプなど多様な因子が学習成果に影響することを報告している[1]。

一方で、物理学習においては「文字式を用いた表現」の理解が学習者にとって困難であることも指摘されている。Torigoe らは、アメリカの大学の初年次物理において、同一内容の問題であっても、数値問題に比べて文字式問題では正答率が著しく低下することを明らかにした[2]。しかし、この出題形式の違いが男女の得点差に影響を及ぼしているかについては、先行研究で十分には検討されていない。

そこで本研究では、物理基礎における数値問題と文字式問題という出題形式の違いが、正答率に及ぼす影響、およびその男女差を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

本研究は、同一内容の数値問題と文字式問題における得点の差（形式差）が男女で異なるかを検討した。形式差を求めるために、男女比および事前テストの得点が同程度となる 2 つのグループ（A・B）に、同一内容の数値問題と文字式問題をそれぞれ解答させた。そして、形式差に表れる男女差を分析する。

調査は、某国立大学初等教員養成課程の理科に関する授業で実施した。授業前に、受講者を 2 つのグループ（A・B）に分けるため、性別と物理の学習状況に関する事前アンケート、および物理基礎の問題を問う事前テストを実施した。

授業では、物理基礎に関するテストを実施した。テストは、全受講者が解答する共通問題 4 問と、出題形式を入れ替えたグループ別問題 10 問で構成した。共通問題は、グループ間の成績差を調整するために用いた。グループ別問題は、10 問について数値問題と文字式問題の 2 形式（計 20 問）を作成し、A・B それぞれのグループに出題形式が各問題で反転するように 10 問ずつ割り当てた。これにより、問題内容の違いによる影響を抑え、出題形式の違いが正答率および男女差に及ぼす影響を分析した。

3. 結果と考察

3.1 正答率の形式差について

共通問題 4 問の正答率を男女別にグループ間で比較したところ、男性においてグループ間で成績差が見られた。そこで、グループ間の成績の等質性を担保することを目的として、B グループの男性の成績

上位者 3 名を除外し、再分析を行った。調整前後の人数と共通問題の正答率を表 1 に示す。また、グループ別問題の平均正答率を図 1 (左) に示す。男女ともに数値問題の方が文字式問題より正答率が高い傾向が確認された。形式差の平均は、男性が 9.7%pt, 女性が 3.6%pt と男性の方が女性よりも大きくなった。ただし、表 1 に示すように、男性の人数が少なかったため、データの分散が大きくなっている。そのため、男女間の形式差の比較については、慎重に解釈する必要がある。

表 1. 調整前後の人数と共通問題の正答率

	調整前		調整後	
	人数	正答率	人数	正答率
男性 A	13	53.8%	13	53.8%
男性 B	17	61.8%	14	53.6%
女性 A	39	56.4%	39	56.4%
女性 B	37	56.8%	37	56.8%

さらに、問題ごとに形式差を算出し、分析を行ったところ、分数の計算や波の作図、物体の運動から感覚的に正答を推測できる問題では、形式差が正の値となる一方、選択肢に公式が直接表れる問題では、形式差が負の値となるなど、形式差の大きさは問題内容に左右されることが明らかになった。

3.2 アンケート結果について

テスト問題の最後の設問として、どちらの出題形式が難しいと感じたかを問うアンケートを行った。その結果を図 1 (右) に示す。男女ともに文字式問題の方が難しいと感じる割合が高い傾向が確認された。一方で、難しいと感じた出題形式について、形式による差は男性が 25.8%pt, 女性が 27.5%pt と明確な男女差は見られなかった。

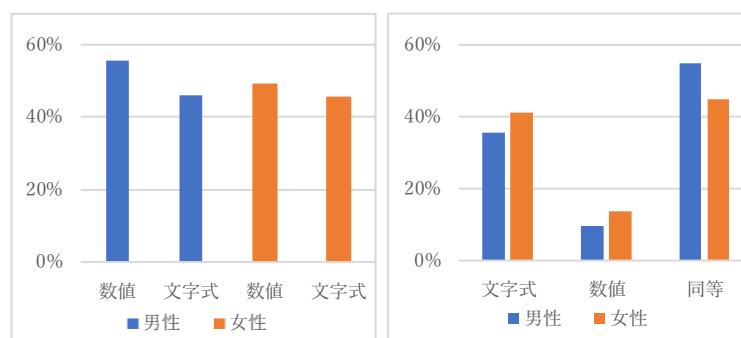


図 1. 出題形式別の平均正答率(左)

難しいと感じた出題形式の割合(アンケート) (右)

4. まとめ

正答率およびアンケート結果の分析から、出題形式による差は男女ともに確認された。しかし、その差の男女差については、明確な傾向は認められなかった。また、形式差が正の値になりやすい問題と負の値になりやすい問題の特徴については一定の知見が得られた。

今回の研究における課題として、回答者数が十分でないこと、特に男性の人数が少ないことが挙げられる。これらを踏まえた統計的な分析は今後の課題とする。

参考文献

- [1] Adrian Madsen, Sarah B. McKagan, and Eleanor C. Sayre, Gender gap on concept inventories in physics: What is consistent, what is inconsistent, and what factors influence the gap?, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 9, 020121 (2013)
- [2] Eugene Torigoe and Gary Gladding, Same to Us, Different to Them: Numeric Computation versus Symbolic Representation, AIP Conf. Proc. 883, 153-156 (2007)

プラスチックレンズを使った望遠鏡の仕組みを探る授業実践

海老崎功

愛知淑徳大学

iebisaki@asu.aasa.ac.jp

1. はじめに

2種類のプラスチックレンズ(凸凹各1種類)だけを使い、単レンズカメラ、ケプラー式望遠鏡、ガリレイ式望遠鏡の科学工作を工夫し、当時の職場である科学館の実験学習や教員研修、各地の実験教室で実施してきた[1]。2種類のレンズだけでこれらの工作・実験を行うためにレンズをそれぞれ2枚重ねたものも準備し焦点距離を変える工夫をした。2022年度から大学教職課程の理科において、この類似内容としてレンズの選択や配置を指示せず、2つのレンズの組み合わせやレンズ間の距離を試行することでケプラー式望遠鏡およびガリレイ式望遠鏡2種(高倍率、低倍率)の仕組みに迫る実践を行ってきた。使用器具や展開方法もあわせ報告する。

2. 実践の概要

(1) 使用レンズ

授業で使用したのは大和科学教材研究所の亚克力製レンズ「とつレンズA型(直径55mm, 焦点距離340mm)」と「おうレンズ(直径18mm, 焦点距離 95mm)」である。これらのレンズをそれぞれ2枚重ねにして周囲をぐるりと製本テープで巻いて止めることでレンズは焦点距離がそれぞれ約半分(約170mm, 約47.5mm)になる。以下、凸レンズ1枚のものをA, 2枚重ねのものをB, 凹レンズ1枚のものをC, 2枚重ねのものをDとする(図1)。一人に与えられるのはA~D各1つずつであり同じレンズを対物・接眼レンズの両方に使うことはできない。

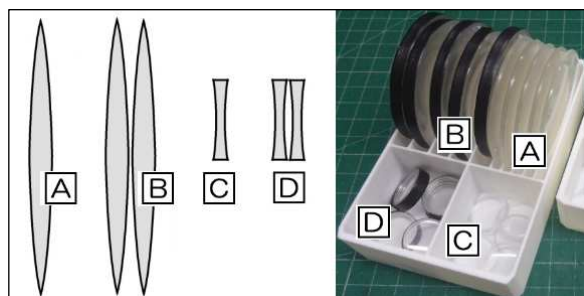


図1 使用レンズ(左:1人分, 右1班)

(2) 受講者の物理履修状況

高校理系物理履修者はケプラー式望遠鏡の仕組みについて学習済みである。それ以外は中学校理科で発展的内容として取り扱っていなければ望遠鏡のしくみは学習しない。2025年度受講生の高校での履修状況を以下に記す(有効回答150人)。

■物理基礎 履修者125人(83.3%) ■物理 履修者28人(18.7%)

(3) 授業の概要

当該授業は愛知県の総合大学の教職課程「初等理科」で実施した。受講者のほとんどは2022年度~2024年度は文学部教育学科, 2025年度以降は教育学部教育学科のそれぞれ1年生である。

①凸レンズA, Bについて、それぞれのだいたいの焦点距離を理科室天井の照明(LED電球)を使って調べる。Bの焦点距離がAの約1/2になっていることを確認する。

②A~Dのレンズのうち2種を使って3つの望遠鏡のしくみを考える。それぞれの望遠鏡で見える像についてはスライド等で丁寧に示してある。レンズの端を指で持ち、それぞれの望遠鏡の仕組みにおける接眼レンズ, 対物レンズを特定する。この際、小・中学生へ同様の実践を行うことを想定し、

物理学の知識として光路図や結像などを考えて試行するのではなく、レンズの組み合わせや対物レンズと接眼レンズの間の距離を変えて試行しながら探ることを中心に活動する（図2）。班内での会話は禁じていないが個別実験であり、実験時間はレポート記入込みで20分とした（図3）。4種のレンズの対物・接眼レンズの組み合わせは12通りしかなく時間配分は適切と考えるが、2022年度からの毎回の授業ではかなりの受講生が時間一杯まで組み合わせを試行していた。

なお「ガリレイ式望遠鏡（低倍率）」については2通りの正答があるが、1つだけの記載で良いと事前に伝えてある。



図2 実験の様子

3. 実践の結果

(1) 正答率

それぞれの望遠鏡のレンズの組み合わせの正答数および正答率を以下に示す（有効回答139人）。

- ケプラー式望遠鏡 正答70人 正答率50.4%
- ガリレイ式望遠鏡（低倍率）正答90人 正答率64.7%
- ガリレイ式望遠鏡（高倍率）正答58人 正答率41.7%

※満点（3つ正答）45人 満点率32.4%

課題4 A（凸レンズ）、B（Aを2枚重ねたもの）の焦点距離の関係についてまとめて下さい。				
Aの焦点距離はBの焦点距離の2倍になる。				
課題5 あてはまるレンズをA、B、C、Dで記入してください。				
ケプラー式	対物レンズ	A	接眼レンズ	B
ガリレイ式（低倍率）	対物レンズ	A	接眼レンズ	C
ガリレイ式（高倍率）	対物レンズ	A	接眼レンズ	D
				A: 凸レンズ B: Aを2枚重ねたもの C: 凹レンズ D: Cを2枚重ねたもの

図3 レポート（記載例）

(2) 授業の評価

すべて組み合わせても12通りしかないものから正答を導くことを考えると正答率は低いように思われるが「対物・接眼レンズを逆に記入する」というような誤答パターンは見られず、実験の様子からレンズを空中に手で固定してしっかり調べる操作が苦手のようなのであった。レンズを前後に動かすのが早すぎ、ピントが合うかどうかしっかり調べていないように思われる状況も見られた。

4. 終わりに

正答率が低い原因として個別実験であることも大きい。このような実験では班で意見を交流し、互いに像の見え方等を確認しながら正答を導くことも大切である。この点からこのような試行錯誤を伴う実験を小・中学校等で行う場合は班別実験を選択する方が良いのではないだろうか。

参考文献

[1]海老崎功(2009):プラスチックレンズを使った教材の開発,京都市青少年科学センター報告, VOL. 40, pp. 70-73

凸レンズの実像形成における「上下左右逆」の理解困難性と認識変容

～目玉型模型教材のデザインがもたらす観察視点のナッジ効果～

谷本薫彦，稲田佳彦
岡山大学学術研究院教育学域
ktanimoto@okayama-u.ac.jp

1. 背景

中学校理科における凸レンズの結像に関して，学習指導要領や教科書の記述の変遷を整理した結果，従来の「観察場所指定なし」から，学習者の混乱を軽減するために「観察場所を指定する」方向へ教科書が記述を工夫してきた実態を明らかにした[1]．しかし，ここでは記述分析や教員への調査に留まっており，学習者が光学台実験において具体的にどのような認識の混乱を抱えているかという，学習者側の質的な実態分析は十分に行えていなかった．そこで，凸レンズの像は「上下左右逆」という暗記的な知識を保持している理科教育専攻の大学生を対象に質的分析を行う．本研究の目的は，①暗記知識と目の前の物理現象との間で直面する混乱の実態，②目玉型模型教材の提示が，言語的指示なしに適切な実験設計（視点固定やスクリーン選択）を自発的に促す可能性の検証，の2点である．

2. 調査方法と結果

＜調査方法＞理科教育専攻の大学生4名（学生 a.b.c.d）を対象に，個別インタビューおよび行動観察を実施した．調査は以下の2つのステージを連続して行った．

（1）**ステージ1（光学台実験）**：凸レンズ，光学台，選択可能な2種（白不透明／半透明）のスクリーンを用意した．光源には，裏側から文字の向きを視認できない，スリット文字「と」が発光するタイプ（写真1左）を採用し，「装置を用いて凸レンズによってできる像との関係を調べて説明してください」と指示した．その後，スクリーンの選択理由，観察位置，「と」の模型（写真1右）提示前後の変容を記録した．



写真1 光源とスリット「と」

（2）**ステージ2（教材介入）**：ステージ1の後，観察場所の指定が明記された最新の教科書を提示した．その後，網膜部が半透明半球スクリーンとなっている3Dプリンタ製の「目玉型模型教材」（写真2）を提示し，窓外の景色を観察させた．観察場所に関する言語的指示は一切与えず，問いに対する発話や，その後の光学台における実験設計の変容を記録した．



写真2 目玉型模型教材

＜調査結果＞結果を2つのステージに分けて記述する．

（1）**ステージ1（従来の光学台実験における混乱）**：結果を表1に示す．「と」の模型を渡し，「本当に上下左右逆か」を問いかけると，以下の混乱が確認された．学生 a, b：スクリーンの像の隣に模型を置き，上下左右と反転させて比較した．しかし，実像と左右が逆の形になることに強い違和感を抱き，「左右までひっくり返すと像と合わなくなる」として，「反転しているのは上下だけ」と知識を誤って修正し

た．学生 d：途中で光源後方へ移動し、「ここから見たら『と』自体が左右逆」という見え方の相対性に気づく姿を見せた．しかしその後、「凸レンズを中心にして，上下左右が逆になると言いたい」と発話し，最終的に「レンズの影響そのものとしては，上下しか反転しない」という独自の論拠に至った．学生 c：光学台の側方に位置したまま，模型を置いた段階で左右の反転関係を指摘した．模型を上下に反転させて像と一致することを確認し，「上下左右逆」の認識を維持した．

表 1 光学台実験における観察位置と認識の変容

学生	スクリーン	像を観察した位置	結像後の認識	「と」の模型を提示後
a	不透明（白）	光源の後方（レンズ側を向く）	上下左右逆	上下のみ逆（左右は不変）
b	不透明（白）	光学台の側方（中央付近）	上下左右逆	上下のみ逆（左右は不変）
c	不透明（白）	光学台の側方（中央付近）	上下左右逆	上下左右逆（知識を維持）
d	不透明（白）	光学台の側方（中央付近）	上下左右逆	上下のみ逆（独自の論拠）

(2) ステージ 2（教科書および模型教材提示による行動変容）

教科書提示への反応：教科書の記述を確認した学生らは自分が暗記していた知識が正しいことに安堵し，自らの立ち位置（視点）が固定されていなかったために混乱した事実気づいた．一方で，言葉による視点固定の誘導に対しては，「これだと（授業での）説明がさらに増えてしまいますね」と言及した．

目玉型模型教材提示への反応：景色を映させると，「これなら（生徒が）上下左右が逆になっていると発言しそう」と述べた．その後，光学台の半透明スクリーンを指して「だから半透明スクリーンがあったのか」と発話し，スクリーンの意図に気づいた．

3. 考察と展望

(1) 知識の暗記と「光線の屈折」に基づく現象理解の乖離：ステージ 1 で 3 名が誤った結論に至った要因は，「上下左右逆」という知識を光線の屈折（光学的な光の道筋）と結びつけず，言葉として丸暗記していたためと考えられる（佐久間・定本, 2010）．「上下」と異なり，「左右」は観察者の身体の向き（見る位置）で基準が変化する．不透明スクリーンを前方から覗き込む位置では身体が光源と対面するため左右が逆転するが，この視点のブレを自覚していない学習者は，「と」の模型と対比させた結果，暗記的知識が揺らぎ，「上下のみ逆」と誤修正してしまう．学生 d は，誤解に誤解を重ね，暗記的知識と目の前の現象を整合させるために，独自の論拠を構築せざるを得なくなっていた．

(2) 教材デザインによる空間的視点の「ナッジ」効果：言語的指示のみで視点の固定を強制することは，教員の説明コストを増大させる．従来の光学台の実験装置は，像が映るというという日常経験から，不透明スクリーンを選択し，レンズ側から観察する「スラッジ（負の環境デザインによる自発的行動誘導）」と言える．これに対し，開発した目玉型模型教材は「ナッジ（環境デザインによる自発的行動誘導）」として有効に機能する．本教材は「目玉」の造形と半透明球体スクリーンという構造により，言語的指示なしに学習者を自発的にスクリーンの真後ろへと誘導できる可能性がある．視点が光の進行方向と一致した結果，空間反転の認知負荷が軽減され，学生の「だから半透明スクリーンがあったのか」という気づきを促した．教材デザインによる身体的視点の固定は，説明コストを最小限に抑えつつ，物理現象の実感を伴った本質的な実像理解へ導く上で，有効なナッジになると考える．

参考文献

[1] 谷本薫彦・稲田佳彦 (2026)：「凸レンズの像の左右理解に関する混乱の要因分析：教科書分析と教員アンケートによる探究的な学びへの提案」『岡山大学教師教育開発センター紀要』第 16 号別冊．

凸レンズが作る実像への理解と興味を促すイカの眼モデルの開発と利用

—生物から始める学びたくなる物理の試み—

寺島幸生，南皓太，岸田映里子，蔡智恒

鳴門教育大学

yterashima@naruto-u.ac.jp

1. 研究の背景と目的

凸レンズによる光の屈折や結像のしくみは，中学校第1学年理科や高校物理で学習する内容であり，各社教科書には眼の構造や虫眼鏡の機能などのレンズに関連する身近な事象が紹介されている．しかし，教科書や板書だけでは平面的な図解にとどまり，生徒にとっては拡大・縮小や上下左右が反転する像の実態を理解しにくい．光学台は物体・レンズ・像の位置関係や実際に見える像を視覚的に示すのに有効な物理教材であるが，個々の生徒が扱うにはサイズが大きく高価な実験器具であるため，多人数で同時に使用することが難しい．レンズの学習内容を含む光と音に関する単元は，中学生にとって興味を持ちやすいが理解しにくいという実態が，生徒・教師双方への質問紙調査の結果から指摘されている[1]．高校生の科学への意識と学習に関する調査[2]では，物理が好きな生徒の割合は他教科・科目に比べて少ない一方，動植物や人体に興味を持つ生徒が多いという「物理嫌い／生物好き」の傾向が報告されている．

以上の物理教育の課題や生徒の選好傾向を踏まえ，本研究では，生徒が興味を持ちやすい生物を題材に，個々の生徒が簡便な教材教具を用いて物理を体験的に学習することができれば，より学びたくなる物理が実現できるのではないかと考え，レンズの学習用題材として，イカやタコが持つカメラ眼の構造に着目した．本発表では，教材として開発したイカの眼モデルとそれを利用して実践した授業の概略[3]を紹介し，本教材および学習活動の教育的効果と今後の課題・展望について議論する．

2. 教材「イカの眼モデル」の開発

イカやタコの眼は，ヒトの眼のように水晶体（凸レンズ）の厚みを変えて焦点距離を調節する代わりに，水晶体と網膜の距離を調節することで網膜上に実像を結び，対象物を視認している．本研究で用いた「イカの眼モデル」は，水晶体をシート状プラスチック製凸レンズ（シートレンズ）で，網膜をトレーシングペーパーで，水晶体と網膜の距離を変えられる視覚器（カメラ眼）の外形を紙製の筒でそれぞれ再現している．実際の材料と試作例を図1に示す．高校物理の教科書[4]には，簡易カメラの製作として類似の教材が紹介されている．

具体的には以下の手順で作製した．市販の黒画用紙を内筒用 190 mm × 255 mm と外筒用 190 mm × 270 mm の各サイズに切り出し，各紙ともに長辺を角筒状に折り曲げてのりしろ部を両面テープで貼り合わせ，内筒が外筒内に収納されスライド伸

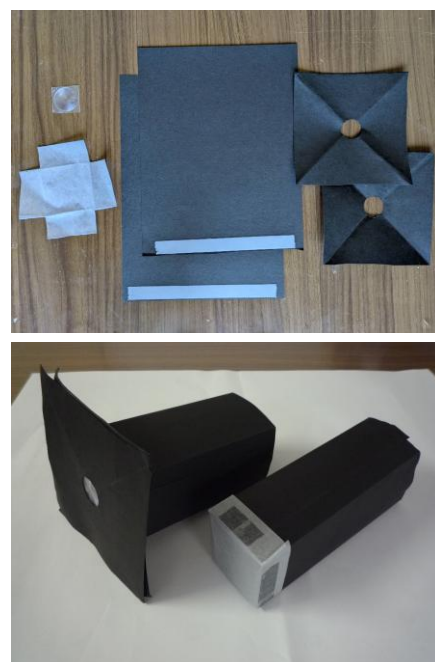


図1 イカの眼モデルの材料(上)と試作例(下)

縮する 2 重の筒（水晶体と網膜の距離を調整できる視覚器に相当）を作製した．内筒の一方の正方形開放面（約 60 mm 角）にのりしろを含めて切り出したトレーシングペーパー（約 70 mm 角）を貼り付けて網膜のモデルとし，外筒の一方の開放面には，教材用シートレンズ（ケニス，D-27T，直径 27 mm 丸凸，厚さ 0.3 mm，焦点距離約 30 mm）1 枚を，中央に直径約 25 mm の穴をあけた正方形の黒画用紙片 2 枚（約 150 mm 角）の間に挟んだものを貼り付けて水晶体のモデルとした．



図 2 教材を作製する生徒の様子

3. 授業実践の成果と今後の課題・展望

台湾南部の台南市立 A 中学 2 年生 27 名を対象に，上記のイカの眼モデルを生徒自身が作製・使用しながら，凸レンズによってできる実像の性質について学ぶ授業（1 コマ 45 分）を，以下の要領で実践した．教師はイカやタコの眼の構造（断面の模式図）をヒトの眼の構造と比較しながら提示して紹介し，イカやタコの眼がどのようにピントを調整しているのか模型を作って調べようという本時の学習課題を設定した．凸レンズを通る光の進み方や実像のできるしくみについて復習した後，各生徒に上述の材料，両面テープ，はさみ，作製手順を記したワークシートを各々配布し，生徒自身で本モデルを作製して像を観察する学習活動を展開した．生徒は隣の生徒と相談・協力しながらモデルを組み立て（図 2），教室内や身近な物体にレンズを向けてレンズとトレーシングペーパーの距離を調整しながら焦点が合う位置を探し，トレーシングペーパーに映る実像を観察した．途中で，教師の助言により，見えた像の向きだけでなく，レンズの下半分を手や紙などで覆った場合の像の見え方についても確認した．

授業前後に実施した生徒対象のアンケート調査の結果，凸レンズによってできる実像の見え方に関する理解が全体的に深化していることが確認された．特に，レンズの下半分を覆った場合の見え方を問う問題の正答率が大幅に向上し，レンズの下半分を隠しても見え方が暗くなるだけで像は欠けないことを，多くの生徒が理解したことが明らかになった．一方，上下だけ反転し左右が反転しない誤答も一定数確認されたことから，上下左右が反転した実像をより確実に視認できるような教材や活動の工夫が必要と言える．大半の生徒が本授業の学習有用感や面白さ，難易度について肯定的に捉えており，今回の教材と授業は，凸レンズが作る実像への理解と興味を促す一定の効果があつたと評価できる．

上記と同様の学習活動を，日本の教員養成大学の理科教員志望学生を対象に実施した結果，大学生においても，台湾の中学生の場合と同様の教育的効果が確認された．このことから，本教材を学習者自身が作製して像を観察する一連の学習活動は，中学生だけでなく理科教員を目指す大学生においても有効であると考えられる．

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所教育課程研究センター(2005)：平成 15 年度小・中学校教育課程実施状況調査質問紙調査集計結果－理科－．
- [2] 国立青少年教育振興機構(2025)：高校生の科学への意識と学習に関する調査－日本・米国・中国・韓国の比較－．
- [3] 南皓太，岸田映里子，蔡智恒，寺島幸生(2025)：イカの眼モデルを用いたレンズによる光の屈折と眼の構造に関する学習，鳴門教育大学国際教育協力研究，第 19 号，155-161．
- [4] 高木堅志郎・植松恒夫ほか 16 名(2012)：物理，191，新興出版社啓林館．

中学校理科における凸レンズによる像の概念理解を促す教材の開発と実践

青木凜, 梅田貴士, 仁王頭明神
 広島大学大学院人間社会科学研究科
 m263290@hiroshima-u.ac.jp

1. はじめに

中学校理科や高校物理の幾何光学分野では、凸レンズによってできる像が取り扱われているが、像の位置や大きさの変化が強調される一方で、像形成に関する概念形成が不十分であることが指摘されている。例えば、像の位置や大きさを問う際、「像の概念」の理解が前提とされているが、学習者はこの前提を満たしていないことが明らかにされている¹⁾。また、高校生の9割以上が凸レンズを通る光の作図を正しく行える一方で、作図の意味までは十分に理解していないことも指摘されている²⁾。これらは、作図が形式的な操作にとどまり、光の進み方や像の形成との関連が十分に捉えられていないことを示唆している。

以上の課題を踏まえ、本研究では中学校理科における凸レンズの学習に着目し、典型的な作図とその物理的な意味を関連づけた理解を促すことを目的とした教材を開発し、その有効性を検証した。本研究では、講義型授業よりも学習効果が高いとされるアクティブラーニングの一手法であるチュートリアル方式に着目し、教材を構成した³⁾。チュートリアル方式の授業では、すでに獲得している知識と新たな概念との葛藤を利用し、ワークシートを用いたグループ学習活動を基本とする授業方法である³⁾。

2. ワークシートの開発

本研究で使用するワークシートは、福井大学の山田氏が作成したワークシートを参考にして作成した⁴⁾。ワークシートの前半では、運動視差を利用して虫めがねによってできる像の位置を特定する活動を設定した。運動視差とは、観察者が視点を左右に動かした際に、近くの対象ほど視野内で大きく動いて見える現象である。この運動視差を利用し、凸レンズに映る像とレンズの位置関係を把握させることで、学習者に「像には明確な位置が存在する」という概念を理解させることを目的とした(図1)。ワークシートの後半では、凸レンズによってできる像の作図の理解を目的とした問いを設定した。解説には、物体の上端からの乱反射光線を無数の矢印で表した図を提示した。これは、中学校理科の光学分野において学習する作図で用いる3本の代表的な光線は、実際には無数に存在する光線の一部であることを視覚的に理解させるためである。また、ワークシート内には要所に解説を挿入し、学習者が段階的に知識を獲得できるよう配慮した。

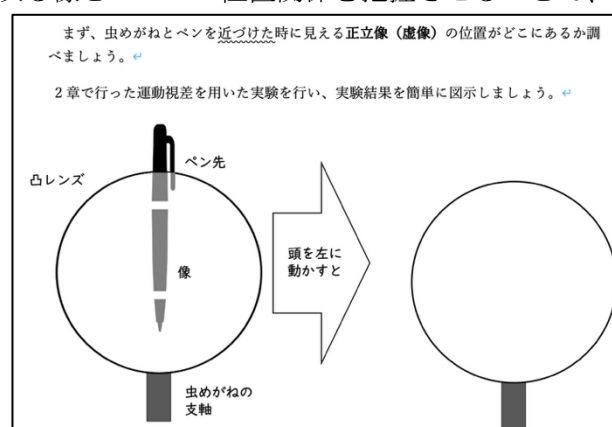


図1：運動視差を利用して像の位置関係を特定する活動でのワークシート

3. 研究方法

実践では、国立大学教育学部の初等教員養成課程に在籍する146名を対象とし、60分の授業を1回行

った。また、実践の評価を行うため、授業の前後に事前事後テストを実施した。評価問題は、凸レンズに関する概念調査である ROC-CI (Ray Optics in Converging Lenses Concept Inventory) を基に、その一部を抜粋・編集して作成した⁵⁾。また、各問題に対して 5 段階の自信度を回答させる形式の多肢選択式問題を追加した。

4. 結果・考察

事前テスト・事後テストの各問の正答率を図 2 に示す。本研究の平均正答率から算出される規格化ゲイン g は 0.24 であった。規格化ゲインが特に低かった問 7、問 9、問 11 は、凸レンズを通過する光線の一部を遮った場合の像の変化を問う設問であり、これらがワークシートで扱わなかった内容である。その他の設問については、平均で $g=0.49$ のゲインが得られ、中程度の有効性が認められた。また、解答の自信度に関する CRI (Confidence Rating Index) 分析の結果から、事前テストでは推測的であった解答が、事後テストでは理解に基づいて判断した回答へ移行した可能性が示唆された。一方、WH (Wrong answer with High confidence) 率のわずかな増加から、潜在していた誤概念が学習過程で顕在化したと考えられる。以上のことから、本実践は学習者の像形成に関する概念理解の促進に一定の効果があったと評価できる。

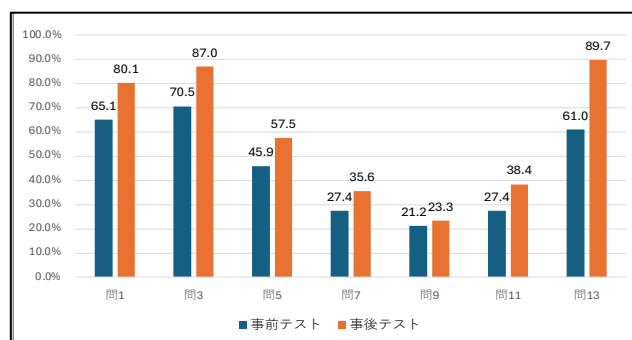


図 2：事前テスト・事後テスト各設問の平均正答率
(N=147)

5. まとめ

本研究では、チュートリアル型授業を通して、凸レンズによる像の典型的な作図とその物理的意味を関連づけた理解を促す教材を開発した。本研究における全体の規格化ゲインは低ゲインにとどまったものの、ワークシートで十分に扱わなかった内容を含む設問が平均値を押し下げた可能性が高く、さらに CRI 分析から推測的解答から理解に基づく判断への移行が示唆されたことから、像形成に関する概念理解の促進に一定の効果があったと評価できる。

参考文献

- [1] 「『レンズと像』に関するルールの適用はなぜ難しいのか」(2006)：麻柄啓一・岡田いずみ, 教授学習心理学研究, 2(1), 12-22.
- [2] 「凸レンズが作る実像・虚像に関する作図能力と理解状況」(2011)：山下修一, 理科教育学研究, 51(3), 145-157.
- [3] 「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」(2012)：E. F. Redish, 丸善出版
- [4] 「Developing Physics Education Research-Based Curriculum for Japanese University Students」(2014)：Yoshihide YAMADA, JPS Conference Proceedings, 1, 017025.
- [5] 「Development and validation of the ray optics in converging lenses concept inventory」(2022)：Wörner, S., Becker, S., Küchemann, S., Scheiter, K., Kuhn, J., Physical Review Physics Education Research, 18(2), 020131.

球凸レンズの焦点の考察を題材として論理的思考を楽しむ

長尾辰哉, 山本隆夫
群馬大学大学院理工学研究科
nagao@gunma-u.ac.jp

1. はじめに

児童生徒がどんな場合に物理に興味をもってくれるかというテーマは、物理教育に携わる者にとっては大事な課題である。大学生相手なら、物理にかかわって、大金を稼ぐという実利を得ているロールモデル(が存在するならそれ)を紹介するのは有効であろう。しかし、児童生徒が相手であれば、もう少しロマンを語っても大丈夫そうである。インパクトのあるデモ実験を見せたり体験させたりすることは直接的でわかりやすい。しかし、理論を専門とする筆者らとしては、見せ場が論理的な意外性であったり、ユーレカ体験であったりという地味なイベントになる。本講演では、球面凸レンズにおける焦点に対し、球面収差を題材に、現行の教科書へのコメント、発展課題としての現象の考察から得られる意外性の面白さについて考察した結果を報告する。なお、現行の高校物理の教科書から5社を選び[1]、参照した部分において、5社中N社の教科書が該当する場合、(N/5 該当)と略記する。

2. 高校物理の教科書は自習書ではない

高校物理の教科書は自習書ではないという建前は理解するが、初学者が頼りにする拠り所であることは間違いない。その意味で以下のことは指摘する価値があると思われる[2]。現行の教科書では、(1)凸レンズとは、中心部が周辺部より厚い形状のレンズとされ(4/5 該当)、(2)球面で構成されたものの記述もある(3/5 該当)。その上で、(3)光軸に平行な入射光線がレンズを出てから光軸を横切る点が一点になることを指して焦点を定義している(5/5 該当)。球面収差に関する記載は皆無である。(1)と(3)とは完全な矛盾とは言い切れないが、(2)は明確に(3)と矛盾する。このような表現になる理由は、球面凸レンズの球面収差について触れたくないという一点で腑に落ちる。(1)と(3)を合わせた選択は、間違ったことを積極的に述べていないメリットはあるが、正しい自然記述をわかりやすく行うという本質的な目的には必ずしもそぐわないように思える。これに対し、球凹面鏡に対する説明では、全ての教科書において、光軸に平行な入射光が一点に収束しないことが注釈で述べられている(5/5 該当)。球面凸レンズも同じ扱いでよさそうに思える。現状では、凸レンズには球面収差に相当する事実がない、あるいは、焦点が厳密に定義できる形状のものだけを凸レンズと定義する、こういったメッセージを与えかねない。高校卒業後にこの話題に戻ることない高校生に送りたいメッセージであろうか。

3. 結論と意外性

球面凸レンズを半径 R の2つの球の重なりで定義する。屈折率 $n(>1)$ の素材でできた凸レンズの厚さを D とし、 $d = D/R$ とする。入射光を光軸と平行とし、レンズに入射時の入射角、屈折角を各々 α, α' 、レンズから出る際の入射角、屈折角を各々 β', β とする。このとき、レンズから出た光が光軸を横切る点と、レンズ中心からの距離を f とすれば次式が導かれる。

$$\frac{f}{R} = \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha - \alpha' + \beta - \beta')} - (1 - d) \cdots (1)$$

前提として、この式は、入射光が凸レンズの外に脱出できる場合にのみ成立する。さらに、焦点が存在するという描像は、この式の値が、焦点位置の公式に相当する $\alpha \rightarrow 0$ のときの極限值にほぼ等しくなる入射角の範囲が広い場合にのみ有効となる。現行の高校教科書では、凸レンズは光軸に平行な入射光に対し、焦点があることを前提としているため、焦点描像が有効な条件に対する記載は見受けられない。以下では(1)式の考察に関連して出会う意外性について列挙する。

意外性1：(1)式では、 f は定数ではなく α の関数だから、厳密な意味で、入射光は一点には集光しない。「理想的な球形」でレンズを作っても不可能である。経験上、球面収差の話題を出すと、理想的な球が現実には作れないから焦点描像が成り立たなくなると思う学生が多い。

三角関数に対しては公式が無限に作れるから、(1)式から f が一定にならないことを解析的に示すのは少し面倒である。文献[2]ではいくつかの例を数値計算で示した。しかし(1)式において、 $\alpha \ll 1$ として三角関数に近似を施すと、定数項に加え、 α^2 に比例した補正項が導かれる。故に、どう変形しようと f は定数ではない。

意外性2：厳密に正しい(1)式では明快でない現象を、近似式に置き換えることにより示すことができた。

高校教科書ではあらわに述べられていないが、実際には、 n が大きくなると、レンズの出口において全反射の事例が生じるため、レンズから脱出できない光線に対しては(1)式がはっきりと破綻する。その場合、例えば凸レンズの断面全体に光軸と平行な入射光を当てると、レンズの端近くに入射する光から、レンズを脱出できなくなるため、光軸上(1)式の点に到達する光が減り、その辺りが暗くなる。

意外性3：厚いレンズ($\frac{1}{2} < d < 1$)では、さらに n を増加させると、(1)式にしたがって焦点付近に集光する光とは別に、光軸から遠ざかる向きにレンズから脱出する光が観測される。レンズ内通過の段階で、光線が光軸を横切するためである。

焦点描像の有効性の判断材料として、例えば、(1)式に対し $\alpha \rightarrow 0$ の極限をとった焦点の公式の値に対し、どの範囲の入射角がほぼ等しい f の値を与えるかで区別することが考えられる。例として焦点公式からのずれが一割となる最大入射角の大小を目安とし、 n, d を変化させて、焦点描像の有効性を量的に確かめてみた。数値計算の結果、その変化は n や d の変化に対し、単調ではないことが確認できる。これはさらに地味な意外性なので、予稿では略し講演で報告する。

4. まとめ

球面凸レンズの焦点の考察は、原理は単純で使用する数学も高校レベルであるため、難易度的に躓くことは少なく、高校生のやる気次第で発展課題として本稿で述べた意外性などが生徒自身の手で検証できる恰好の題材となりうる。ひいては教科書において、独学者が困らないような配慮が加わればさらに扱いやすくなるものと思われる。

参考文献

[1]植松恒夫ほか(2022)：『高等学校 物理』 啓林館、前田恵一ほか(2022)：『物理』 実教出版、國友正和ほか(2023)：『物理』数研出版、田村剛三郎(2023)：『高等学校 物理』第一学習社、三浦登ほか(2023)：『改訂 物理』東京書籍。

[2]長尾辰哉, 山本隆夫(2025) “高校物理の教科書における近似の考察-球面凸レンズの焦点を例にして” 大学の物理教育, 31, pp. 97-100.

BEMA 回答パターンにみられる類推適用傾向と定型適用傾向

～多次元尺度構成法とチュートリアル物理における発話分析による検討～

A, B 今井章人, C 大向隆三, C 小倉康

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 埼玉大学
aimaimel17@gmail.com

1. はじめに

大学初年次レベルの電磁気学概念理解を測定するために開発された BEMA (Brief Electricity and Magnetism Assessment) は、国際的に広く活用されている概念調査であり、アメリカ物理教師学会 (AAPT) の Web ページ PhysPort で公開されている[1]。BEMA は静電気力、電場、電位、直流回路、磁場、電磁誘導などの基礎概念を調査の対象としており、Eaton らは BEMA の回答データに対して探索的因子分析を行い、回答の背後に、ローレンツ力、磁場、電位差、クーロンの法則、電場などの複数の概念領域に対応する因子構造が存在する可能性を報告している[2]。

筆者らは 2025 年度に BEMA の日本語訳を用いた大規模調査を実施した。調査対象は高等学校物理の電磁気分野履修後の理系高校生と大学の電磁気学履修前の大学初年度生合わせて 1,100 名である。そのデータの分析を行い、項目特性図[3]に基づく分析を行った。その結果、多くの設問では図 1 のように、到達度の上昇に伴って正答率が段階的に増加した (G 型)。一方、一部の設問では図 2 のように、中位群までは正答率が低く、中上位群から上位群にかけて急激に正答率が上昇する傾向となった (H 型)。H 型に分類できる設問は、単なる知識量の増加ではなく、電場、電位、磁場、力などの概念間関係を再構成する過程と関わっている可能性がある。しかし、項目特性図は主として設問の性質を明らかにする手段であり、同一到達度群に属する学習者の内部に、どのような回答構造の違いが存在するかまでは十分に示さない。特に、中上位群は上位群へ移行する直前の段階に位置づけられると考えられ、この群の内部構造を明らかにすることは、電磁気学概念理解の質的転換を捉える上で重要である。

本講演では、中位～中上位群の学生の着目し、BEMA の回答パターンを多次元尺度構成法によって探索的に分析し、その結果に基づいて考察した類推適用傾向と定型適用傾向について報告する。また、その思考がチュートリアル方式による演習授業内でどのような発話が見られたかを報告する。

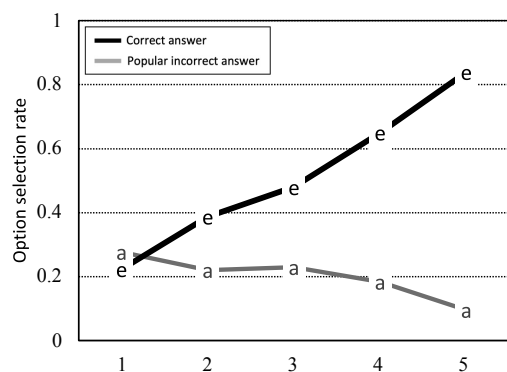


図 1 G 型の項目特性図

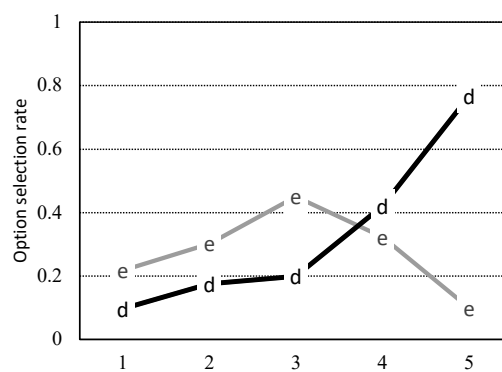


図 2 H 型の項目特性図

2. 階層的クラスタ分析および多次元尺度構成法

BEMA 回答データ ($N=1,100$) に対して、ユークリッド距離および Ward.D2 法による階層的クラスタ分析を行ったところ、図 3 のようなデンドログラムが描かれた。得点分布および統合距離の変化を踏まえ、本研究では 4 クラスタ解を採用した。

多次元尺度構成法 (MDS) は、対象間の距離行列に基づいて、それらを低次元空間上に配置する手法である。BEMA の回答を正答 1、誤答を 0 とする回答パターンを保持すると考え、低次元空間内に各学習者を配置することで、正答パターン類似度に基づく学習者間の相対的位置を可視化した。MDS1 は、主として正答数の違いを反映する軸であると考えられた。一方、MDS2 と総得点との相関係数は、全体では 0.15 にとどまったが、クラスタ 3 に限定すると 0.67 であった。そこで、クラスタ 3 における各項目の正誤と MDS2 との関係を検討し、その特徴について解釈を行った。

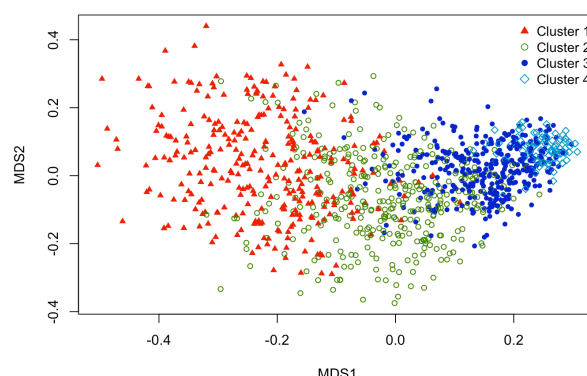
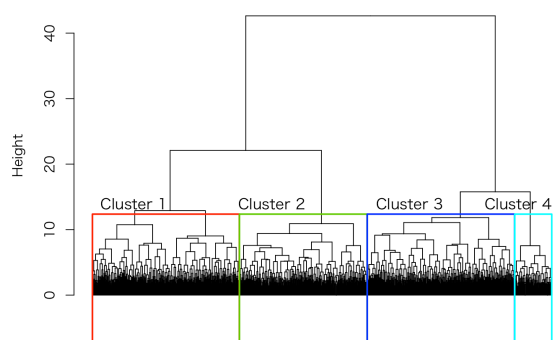


図 3 ユークリッド距離によるデンドログラム 図 4 Jaccard 距離に基づく MDS1 と MDS2 の関係

3. MDS2 の解釈と類推適用傾向・定型適用傾向

MDS2 との相関が相対的に高い正の値を示した問 2, 20, 23, 負の値を示した問 21, 22, 24 に着目した。MDS2 正側の設問は、既習の公式や規則をそのまま当てはめるだけでは正答が難しく、複数の物理概念や現象間の関係を把握し、既習場面で成立する関係構造を新たな場面へ類推的に適用することが求められる。一方、MDS2 負側の設問は、定型的な解法によって正答しやすい設問であった。これらの設問では、局所的な規則を問題場面に即して適用することが有効であり、他の場面で成立する関係構造を過度に類推的に持ち込むと誤答につながる場合がある。したがって、MDS2 は、問題解決における思考特性を反映する軸とし、正側ほど類推適用傾向が、負側ほど定型適用傾向が相対的に強くなる連続的な軸であると暫定的に解釈した。

4. おわりに

統計分析によって見いだされた適用傾向と、チュートリアル物理における発話とを対応づけて検討することにより、中位～中上位群の学習者に見られる類推適用傾向と定型適用傾向の特徴を考察する。

参考文献

- [1] <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=BEMA> (2026 年 6 月 10 日参照) .
- [2] Eaton, P. (2019) : Comparing exploratory factor models of the Brief Electricity and Magnetism Assessment and the Conceptual Survey of Electricity and Magnetism, Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 15, 020133.
- [3] 豊田秀樹(2012) : 項目反応理論 [入門編] (第 2 版) , 朝倉書店, 1-22.

物理教育における学習姿勢調査の妥当性評価

^A間瀬正矩, ^B中村琢, ^A坂下裕也

^A岐阜大学大学院教育学研究科, ^B岐阜大学教育学部

mase.masanori.y4@s.gifu-u.ac.jp

1. はじめに

学習者が物理学習に対してもつ期待観や学習姿勢は、授業への取り組み方や学習成果に大きな影響を与えることが知られている。そのため、学習者の期待観を把握し、授業前後でどのように変化したかを評価することは、授業改善に向けた重要な情報となる。また、授業方法や学習環境の違いが期待観に及ぼす影響を明らかにすることは、より効果的な授業設計を検討する上でも有用である。

物理期待観調査 (Maryland Physics Expectations Survey : MPEX) [1]は、学習者の物理学習に対する期待観や学習姿勢を 34 項目の質問で測定する代表的な質問紙であり、「独立性」「整合性」「概念」「現実性」「数学との関連」「努力」の 6 カテゴリーから構成されている。しかし、授業前後に 34 項目すべてに回答を求めることは学習者の負担が大きく、授業実践の中で継続的に活用する上では課題もある。

一方、授業実践の立場からは、学習者の期待観を簡便かつ適切に把握できれば、授業方法や学習環境の改善に有用な情報を得ることができる。そのためには、各質問項目が本来属するカテゴリーの特徴を適切に反映しているかを検証し、質問項目の妥当性を明らかにすることが重要である。

そこで本研究では、授業方法や学習者集団の異なる複数の授業において実施した MPEX の調査結果を用い、各カテゴリーを構成する質問項目の回答傾向を比較した。カテゴリー内における回答傾向の一貫性を検証することにより、各質問項目の妥当性について検討することを目的とした。

2. 方法

調査対象は、2022～2025 年度の、大学初年次および 2 年次を対象とした力学分野の講義であり、すべて同一の授業者が担当した。授業形態は、演示実験型 2 授業、探究型 6 授業であった。各授業の概要を表 1 に示す。探究型授業（授業 A～D, F, G）では、複数の関連する複数の問題を含む大きな課題を提示し、実験方法や課題に取り組む順序など、課題解決全般を学習者自身が自由に思考し、課題解決に取り組むものである。演示実験型授業（授業 E, H）は、教員が実演や動画などで課題を提示し、学習者はその課題に対し、グループで議論し解決する。授業 H では、一部の単元において、実験書に基づいた実験活動を取り入れた。

表 1 調査対象の授業概要

授業名	年度	科目区分	授業形態	授業名	年度	科目区分	授業形態
授業 A	2022	教養科目	探究型	授業 E	2023	教員養成	演示実験型
授業 B	2023	教養科目	探究型	授業 F	2024	教員養成	探究型
授業 C	2024	教養科目	探究型	授業 G	2025 前学期	教員養成	探究型
授業 D	2025	教養科目	探究型	授業 H	2025 後学期	教員養成	演示実験型 (実験活動あり)

3. 結果

「独立性」に属する 5 項目のうち、項目 13, 17, 27 の問題文を表 2 に、これら 3 項目と「独立性」カテゴリーの全項目を平均した好ましい回答割合の授業前後の変化量を表 3 に示す。

カテゴリー平均では、授業 E を除くすべての授業で好ましい回答割合が増加した。

項目 13, 17 について、実験活動のない授業 E では好ましい回答割合が減少または変化なしであったが、その他の全授業で増加した。

項目 27 は、教養科目の授業（授業 A~D）において好ましい回答割合は増加傾向にあり、教員養成課程科目（授業 E~F）では授業形態に関わらず、維持または減少する傾向が示された。

4. 考察とまとめ

カテゴリー平均や項目 13, 17 の結果は、学習者主体となる探究型授業や、課題意識を持って物理現象に関わる実験活動が、学習者を受動的な学習姿勢から、自ら学び理解しようとする姿勢へと変化させる可能性を示している。これは、先行研究の知見や物理教員の経験的な実感と整合するものである。

一方、項目 27 の結果では、授業形態ではなく、科目区分によって傾向に違いが見られた。これは、同様の授業形態であっても、学習者集団の違いによって期待観の変容の仕方が異なる可能性を示唆している。また、カテゴリーの意図する期待観を適切に測定できていない可能性も考えられる。この原因としては、学習者集団によって問題文の解釈の仕方が異なることや、問題文の内容や日本語訳が本来測定しようとしていることとずれていることなどが考えられる。

これらの結果は、同一カテゴリーに属する項目であっても、変化の傾向や変化に影響を与えている要素が異なることを示している。今後は、カテゴリー内の回答傾向の一貫性について、日本語訳の影響を含め分析する必要がある。その上で、カテゴリーの意図に沿った項目を精選することで、より簡便に用いることができ、かつ授業効果を明確に表すことができる指標として再構成することを目指す。

表 2 「独立性」に属する 3 項目の問題文

13	この授業における私の成績は、主に私が教科書や問題集などにどれだけ慣れているかによって決まる。洞察や創造性はほとんど関係ない。
17	非常に少数の特別な人たちだけが物理を本当に理解することができる。
27	たいていの試験問題や宿題を解くとき、私はその問題の背景にある概念について意識的に考える。

表 3 好ましい回答割合の変化量

授業名	好ましい回答割合の変化量[%]			
	独立性	項目 13	項目 17	項目 27
授業 A	8.9	14.8	11.1	11.1
授業 B	9.6	8.7	13.0	30.4
授業 C	8.8	18.8	25.0	6.3
授業 D	29.1	18.2	18.2	45.5
授業 E	-4.2	-18.2	0.0	-6.1
授業 F	7.4	7.9	18.4	-5.3
授業 G	10.0	11.1	22.2	-2.8
授業 H	13.3	18.2	21.2	0.0

参考文献

- [1] E. F. Redish, J. M. Saul, and R. N. Steinberg, “Student Expectations In Inductory Physics,” Am. J Phys.66 212-224(1998)
- [2] エドワード・F・レディッシュ (2012) : 科学をどう教えるか, 丸善出版.

RealTime Physics による学習姿勢と動機付けの変容

板橋 克美

長崎大学教育学部

itahashi@nagasaki-u.ac.jp

1. はじめに

米国で開発されたアクティブ・ラーニングを主体とする授業手法、教材群である物理スイートやその他の相互作用型物理授業が日本でも数多く実践されている[1, 2]。そこでは、物理概念の形成の調査のみならず、学習姿勢の変容や動機づけの影響なども数多く調べられている[3, 4, 5, 1]。本研究では、工学系を中心とした私立 A 大学の状況や専門学科との連携[6]を考慮し、実験講義の中で行われるセンサーを活用した RealTime Physics (RTP) を初年次専門基礎科目の中で実施した。本発表では、RTP の実施による学習姿勢と動機づけの変容、相互の関係について述べる。

2. 授業実践

授業は、私立 A 大学の機械工学科とバイオ・化学系学科の 2 つの学科で開講される初年次物理科目で実施した。受講者数や詳細な内容を表 1 に示す。なお、この大学では、入学時にプレースメントテストを実施し、その結果により、一般コースと基礎コースに分かれた習熟度別学習が行われており、対象は両学科とも基礎コースである。実践の効果を測定するため、物理概念獲得の調査として Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE)[7]、学習姿勢や態度の調査として Colorado Learning Attitudes about Science Survey (CLASS) [8]、加えて総合的動機づけ診断[9, 1]を実施した。

RTP は、大学の実験科目の中において、物理現象に集中させて概念獲得に主眼が置かれた授業手法である[10]。そのため、通常の学生実験とは異なり、データ処理や誤差解析等は行わず、センサーやコンピューターを活用した構成になっている。工学系の学生が対象となるこの科目では、物理未履修の学生も多いことから、手を動かすことが有効と考え、この RTP を講義科目の中に組み込むことにした。なお、授業は、前回の振り返りを行い、課題に対する予想をし、各班で実験に取り組んだ後、考察としてワークシート (WS) 内の設問に取り組み、全体で共有という形になっている。授業後には、各人で授業の振り返りと宿題・自学自習に取り組ませた。授業中の実験課題は文献[10]を参考にして、各回 2 つの課題を基本として実施した。図 1 に WS の例を示す。

表 1. 本研究の対象となる授業の概要

対象	化学・バイオ系学科 選択科目	機械工学科 必修科目
人数	37名 (男26 女11)	37名 (男37 女0)
内容	運動学 + エネルギー (単振動, 運動量含)	運動学 (2次元運動まで)
履修歴	物理まで 8 物理基礎のみ 21 履修なし 9	物理まで 17 物理基礎のみ 16 履修なし 3
プレース メントテスト	正答率: 46.4 %	正答率: 45.2 %
FMCE	pre post	※postのみ 授業の最終回 第3回 授業の最終回
動機付け診断 CLASS調査	初回と最終回に pre と post を実施	

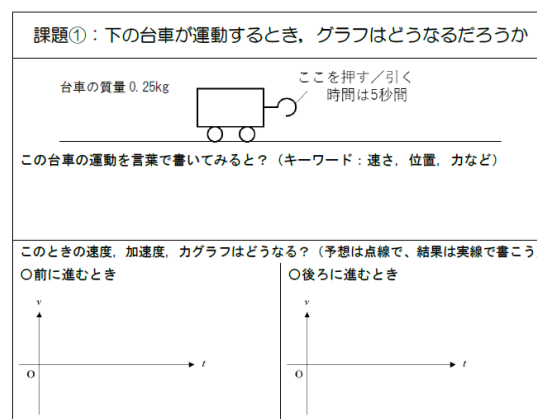


図 1. 授業の WS 例

3. 結果と考察

ここでは、主に、CLASS と動機づけの変容について述べる。図 2 の(a)と(b)に機械工学科とバイオ・化学系学科における CLASS の項目ごとの事前から事後の変化を示した軌跡付き散布図を示す。機械工学科では、多くの項目で左上の矢印、すなわち、好ましくない回答の減少と好ましい回答の増加がみられ、RTP によって学習姿勢や態度が上昇したと言える。とくに、「現実世界とのつながり」の項目は大きな向上を示している。バイオ・化学系学科においても、この項目は左上の矢印を示している。RTP では、予想をした後に、実験を行って即時に実験結果がグラフとなることから、物理現象が現実世界と結びついていることを実感できたと言えるだろう。また、動機づけ診断の結果についても、「感情的要因」と「社会的環境」の下位尺度項目において平均値が、機械工学科で $3.90 \rightarrow 3.37$ と $2.32 \rightarrow 2.83$ となり、有意水準 5% で有意差が認められた。これは相互作用型演示実験講義による結果[1]と一致している。

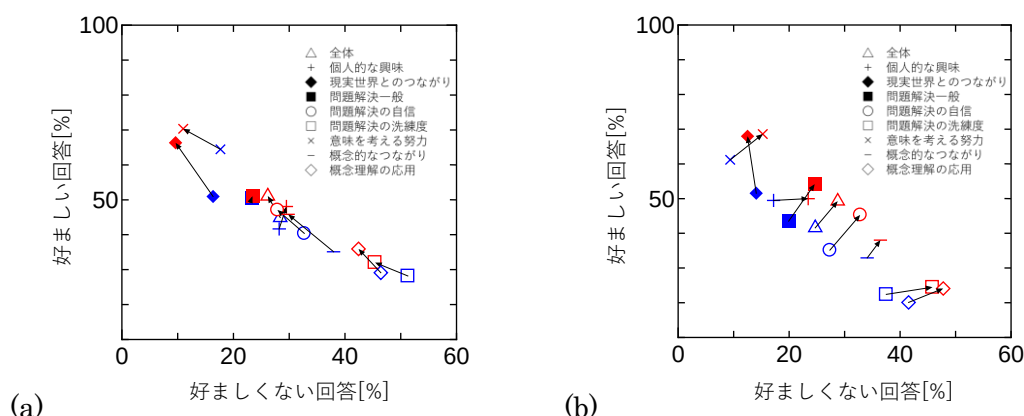


図 2. (a) 機械工学科と (b) バイオ・化学系学科における CLASS の事前と事後の結果. 横軸が項目における好ましくない回答, 縦軸が好ましい回答の割合を示す。矢印は事前から事後への変化を表す。

3. おわりに

発表では、CLASS と動機づけ診断の結果の詳細を述べるとともに、両学科の違いについて結果から考察する。本研究は、科研費研究の基盤研究 (B)「メンター制を活用したアクティブ・ラーニング型大学物理講義への変革推進研究 (課題番号: 24K00464)」での多くの先生方からの授業参観・助言を基に授業改善を行いました。改めて多くの先生方にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 北村貴文, 谷口和成: 物理教育 63-2 (2015) 98-103.; 谷口和成: 物理教育 65-3 (2017) 170-175.
- [2] 植松晴子: 大学の物理教育 17 (2011) 129-132.; 植松晴子: 物理教育 63-1 (2015) 2-7.
- [3] 西村壘太, 新田英雄: 物理教育 66-4 (2018) 243-248.
- [4] 落合道夫, 久保田真一郎, 中野裕司: 物理教育 73-1 (2025) 10.
- [5] 平本健太, 新田英雄: 物理教育 62-3 (2014) 167-170.
- [6] 板橋克美, 内田浩二: 大学の物理教育 30 (2024) 90-93.
- [7] R. Thornton and D. Sokoloff: Am. J. Phys. 66-4 (1988) 338-352
- [8] W. K. Adams, et al.: Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 2 (2006) 010101
- [9] 中西良文, 伊田勝憲: 三重大学教育学部研究紀要 57 (2006) 93-100.
- [10] D. Sokoloff et. al. RealTime Physics: Active Learning Laboratories, Module 1: Mechanics Wiley (2011).

高等学校物理実験における「楽しさ」の要因分析：アンケート調査に基づく検討

^A 石田光宏

^A 昭和女子大学 全学共通教育センター 非常勤講師
226069@swu.ac.jp

1. はじめに

国際的な学力調査（TIMSS2023）によると、日本の小・中学生の理科の平均得点は、国際的にみて高水準で推移しているが、「観察・実験の結果などを解釈し、説明する力」などに課題があることが指摘されている[1]。また、「理科の勉強は楽しい」や「理科を勉強すると、日常生活に役立つ」という設問に対して肯定的に回答した生徒の割合が、国際平均を下回っている（前者は中学生のみ）[2]。

講演者は高等学校で物理を担当していた際、実験を重視した授業を行ってきた。本研究では、物理実験の「楽しさ」に着目し、生徒へのアンケート調査を通して、どのような特徴が生徒の興味を喚起するのかを明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

アンケートは、講演者が高等学校理科教諭として勤務していた年度末に実施した。設問は「授業で行った実験の中で、楽しかった（印象に残った）ものを選び、その理由を記述する（ただし2019年度は記述なし）」というシンプルな形式とした。実施した主な物理実験一覧を表1に、アンケート対象校・年度・学年等を表2に示す。

表1 講演者が実施した主な物理実験一覧

分野	実験名称	実験概要	分野	実験名称	実験概要
力学	自由落下から重力加速度の測定	記録テープをつけたおもりを自由落下させ、重力加速度を求める。	波動	気柱共鳴による音の振動数測定	気柱共鳴装置と音叉を使い、水位を変化させながら共鳴点を探し、音叉の振動数を求める。
力学	静止摩擦係数の測定	ばねばかりで物体を引く、斜面を滑らせるという2種類の方法で静止摩擦係数を求める。	波動	回折格子を用いた光源の波長測定	回折格子を用いてレーザー光やスペクトル管から出る光の波長を測定する。
力学	力学的エネルギー保存則	振り子の最下点の速度を測定し、力学的エネルギー保存則が成立しているか確認する。	波動	レンズの焦点距離の測定	光源と凸レンズの距離を変えながら、レンズと像までの距離を測定し、レンズの焦点距離を求める。
力学	力のモーメントの確認	スタンドに固定した金属板におもりを付け、金属板が回転しない位置を複数見つける。	電気	箔検電器の観察	箔検電器に帯電体を近づけたりすることで、箔の様子から電気の存在や動きを理解する。
力学	単振り子から重力加速度の測定	単振り子の周期を測定し、糸の長さとの関係から重力加速度を求める。	電気	等電位線の作成	導体紙に正負二つの電極を置いて電圧をかけ、マルチメーターを使って等電位線を描く。
力学	ブラックホールの質量計算	研究に使われたデータから、銀河系中心の超大質量ブラックホールの質量を求める。	電気	コンデンサーに蓄えられた電気量の計算	コンデンサーを入れた回路を組み、流れる電流と経過時間から、コンデンサーに蓄えられた電気量を求める。
熱力学	比熱の測定	湯と水を混合させ、熱量保存則を確認する。熱量保存則より金属の比熱を求める。	電気	電気回路の実験	電池、抵抗、電流・電圧計等を使って回路を組み、マルチメーターで電流・電圧を測定する。
熱力学	熱気球の作成と浮上温度の測定	ゴミ袋とろうそく等で簡易的な熱気球を作成し、浮上するときの温度を予想・測定する。	電気	電池の内部抵抗と起電力の測定	回路に流れる電流と電池の端子電圧を測定し、電池の起電力と内部抵抗を求める。

表2 物理実験アンケート実施校概要

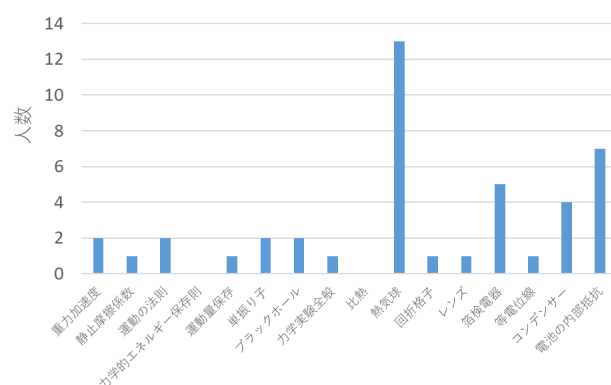
	アンケート実施校	実施学年	実施年度	内容
グループ1	A市立B高等学校（理数科, 理系）	3年生	2019	理数物理
グループ2	A市立C高等学校（普通科, 理系）	2年生	2022, 2024, 2025	物理、物理基礎
グループ3	A市立C高等学校（普通科, 文系含む）	2年生	2024, 2025	物理基礎

3. アンケート調査結果と考察

グループ1（高3理系）では最も印象に残った順に「熱気球の作成と浮上温度の測定（以下：熱気球）」「電池の内部抵抗測定（以下：内部抵抗）」「箔検電器の観察（以下：箔検）」という結果であった（図1上）。グループ2（高2理系）では熱気球を実施できた2024年度のみ、グループ1と同様、熱気球が2位におよそ2倍の差をつけて最も人気が高かった（図1右上）。熱気球以外だと、「気柱共鳴による音の振動数測定（以下：気柱）」「力のモーメントの確認（以下：モーメント）」「箔検」が上位を占めた。気柱に関しては物理基礎のみの学習で、実験数が少ないグループ3（高2文系含む）でも安定して上位に入った（図1右下）。

以上の結果と、生徒のコメントを分析した結果、次のようなことが分かった。「熱気球」のように、生徒の予想を超える動きのある実験が強く印象に残るようである。これは音が鳴ったり、水位が変わることへの興味が記載されていた「気柱」とも共通している。「モーメント」を選んだ生徒は、試行錯誤できる範囲が広いという理由が主なものであった。このようなバランス感覚は意外と日常生活で培われていないのかもしれない。「箔検」は見えない電気の流れが見えることに面白さを感じたというコメントが多かった。これはグループ1の内部抵抗とも共通するものだと予想する。

高3理系 設問：3年間で印象に残った実験を1つ選んでください（N=43）



高2理系 設問：授業で行った実験の中で、楽しかったと感じたものを選んでください。その他は演示実験や動画などなんでも良いです。

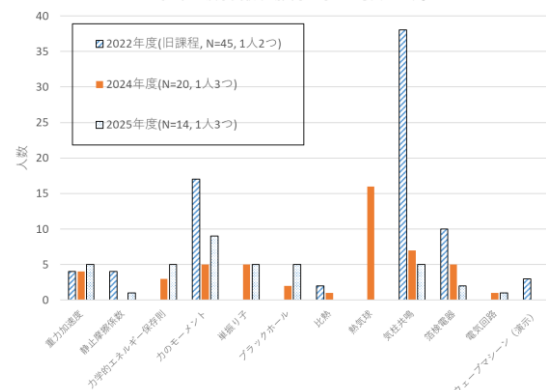
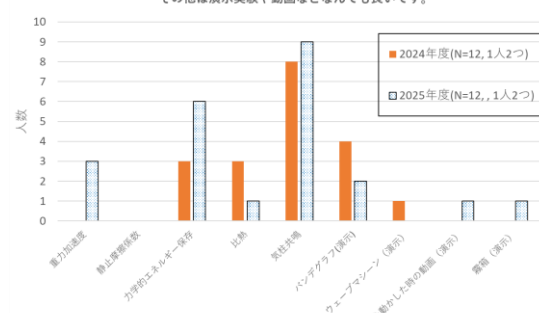


図1 物理実験アンケート結果。Nは調査数を表す。

（上）グループ1の結果（右上）グループ2の結果

（右下）グループ3の結果。なお、年度によって行えなかった実験もあり、空白が0人とは限らない。

高2文系含む 設問：授業で行った実験の中で、楽しかったと感じたものを選んでください。その他は演示実験や動画などなんでも良いです。



4. まとめ

本研究の結果を踏まえ、今後も生徒（学生）が楽しめる実験や教材開発に勤しむ次第である。卒業後、物理に関わらない生徒も、物理実験で培った探究力や試行錯誤した経験を社会で活かしてほしい。

参考文献

- [1] 文部科学省(2019)：平成30年度告示 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/11/22/1407073_06_1_2.pdf
- [2] 文部科学省(2023)：国際数学・理科教育動向調査 TIMSS2023の結果（概要）
<https://www.nier.go.jp/timss/2023/gaiyou.pdf>

幾何光学分野における誤概念分類表の作成と調査問題の検討

佐々木志帆, 安田淳一郎

名古屋大学

sasaki.shiho.r4@s.mail.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

光の現象は学習者にとって身近な存在であり, 生活にも密接に関わっている. また, 光の学習は「理科」の教科が始まる小学校第3学年で扱われる内容であり, 中学校, 高等学校と繰り返し学ぶことからその重要性が示唆される. しかし, 光学の中の特に幾何光学の分野では, 多くの誤概念が報告されている[1]. 報告されている誤概念は個別の事例提示にとどまるものであったり, 日本の教育課程と一致していない内容を含む海外の報告であったりなど日本の教員が指導に活用することが難しい. そこで, 本研究では, 日本の教育課程を踏まえ, 教員が授業設計に活用可能な幾何光学に関する誤概念分類表の作成を試みた. また, 作成した分類表を基に, 学習集団の理解度の傾向を把握するための調査問題の検討も行った.

2. 分類表の作成過程

幾何光学の誤概念分類表を作成するにあたり, 現在明らかにされている誤概念の収集を行った. 査読付き論文のみで調査した結果, 50以上の誤概念が報告されていた. そこで, 本研究では, Kaltakci D. *et al.* (2016)を中核文献として採用することとした. 中核文献として選んだ理由は, 当文献が, 誤概念を特定するまでの手順を詳細に記述していたためである. また, 当文献で開発された調査紙 (Four-tier Geometrical Optics Test, 以下 FTGOT とする) の作成過程も明記されており, Physport ではシルバーランク (研究検証の中で2番目に高い評価) の称号を得ているためである. 以上の中核文献に加え, ナイト(2017)及び Wörner S. *et al.* (2022)を補完として取り入れた[2][3]. これらの文献は, 教員の参考書として用いられていることなどを理由に引用した. 以上の文献から得られた誤概念の数は22となり, 依然として教員が参照するには数が多いと考えられる. そこで, 学習指導要領との整合性が取れているか, という視点や繰り返し学習しているにも関わらず, 誤概念が報告されている内容はないか, などの視点からさらに選定を行った. 後者について, 例えば, 凸レンズは小学校, 中学校, 高等学校で繰り返し扱われる一方, 球面鏡は高等学校ではじめて扱われる内容である. そのため, 学習機会が多いにも関わらず誤概念が報告されている凸レンズを優先的に分類表に残すこととした.

以上の過程を経て, 最終的に10の誤概念を分類した. 分類する際には先行研究に記されていた誤概念の詳細やインタビュー調査での学習者の発言を基に, どの内容の定着が不足しているのかを特定し, 共通する特徴をもつ誤概念ごとにまとめた. 例えば, スクリーンがないと像ができない, という誤概念について, 学習者は「実像はスクリーン上でのみ見ることができる. スクリーンが動くとき像が大きくなったり小さくなったりする」と考えていることが先行研究から明らかになった. このことからスクリーンの役割に関する理解が不十分であると推定し, 同様の特徴をもつその他の誤概念とまとめて, 「スクリーンの役割」という枠組みを作成した. 最終的に「光線モデル」「像の概念」「スクリーンの役割」「鏡に映る像の範囲」という4つの要素にまとめた. 4つの項目及び誤概念の名称などを吟味し, 誤概念分類表を作成した.

分類表を作成するにあたり、文章のみではその概念が十分に伝わりにくい可能性を鑑み、各誤概念を、図を用いて視覚化し、説明資料として提示することを試みた。図1がその例である。また、分類表の妥当性を高めることを目的に、説明資料を用いて中高大の教員が参加する研究会での議論や幾何光学分野の専門家へのインタビューを実施した。その際、幾何光学の基礎となる「光源」に関する概念理解の重要性が示唆された。光源に関する項目はある特定の誤概念が存在するわけではなく、学習者の理解が曖昧になっていることが複数の文献で指摘されていたため、誤概念分類表とは別に、基礎概念表として整理することとした(表1、表2)。この基礎概念分類表は、幾何光学の単元に入る際に学習者が優先的に理解すべき内容を把握するために活用されることを期待している。また、誤概念分類表は、学習集団がどのような誤概念を抱いているのかを把握し、その誤概念に焦点化した発問や実験を取り入れるなどの活用を期待している。



図1)作成した教員向け資料

3. 調査問題の検討

前節までに述べた分類表を基に調査問題の検討を行った。誤概念を抽出する際に中核文献とした Kaltakci D. *et al.* (2016) の概念調査紙 (FTGOT)の中で、誤概念分類表で取り上げた誤概念が該当している問題を抽出した。なお、FTGOTは1つの問いに対して4つの設問で構成される調査紙になっている。4層構造にすることで、学習者の解答理由や自信の度合いを測ることができる。しかし、設問の数が増えるため、回答者の負担になる可能性もある。この点においては、今後調査紙を開発するにあたり、慎重になる必要がある。また、問題を吟味する際は、日本の学習者にとってあまり見かけない状況の設問については文脈を変えたり、削除したりなどの調整を行った。

4. おわりに

本研究では、日本の教員の指導に資することを目的とした幾何光学の誤概念分類表の作成及び概念調査問題の検討を試みた。分類表においては、全部で5つの項目に整理された。調査問題においては、設問の形式や文脈などの観点から問題の検討を行った。

今後、検討した調査問題を基に、日本版の調査紙の開発を進めていく。この概念調査紙は、教員が自身の実践を評価するためのツールとして利用されることが期待される。

参考文献

- [1] Kaltakci D. *et al.* (2016): Identifying pre-service physics teachers' misconceptions and conceptual difficulties about geometrical optics, *Eur. J. Phys.*, 37, 4, 1-30.
- [2] ナイト (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.
- [3] Wörner S. *et al.* (2022): Development and validation of the ray optics in converging lenses concept inventory, *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 18, 2, 1-22

表1)作成した基礎概念表

大項目	困難さの名称
光源モデル (M)	M1) 発光体と反射体の未分化
	M2) 大きさのある光源

表2)作成した誤概念分類表

大項目	誤概念の名称
光線モデルの限定的な利用 (LM)	LM1) 3本の線のみのモデル
	LM2) 1本の線のみのモデル
	LM3) 遮蔽物による像の欠如
像の観測 (OI)	OI1) 虚像は見えない像
	OI2) 焦点距離は観測不可能
スクリーン (S)	S1) 実像の形成にスクリーンが必要
	S2) スクリーン移動による像の拡大
鏡に映る像の範囲 (RM)	RM1) 鏡の正面のみが映る範囲
	RM2) 観測不可能にする遮蔽物
	RM3) 平面鏡との距離と映る範囲

斜方投射問題における図形的解法のススム

伊東正人

愛知教育大学教育学部 理科教育講座

mito@aecc.aichi-edu.ac.jp

1. はじめに

物理を履修する高校生にとって，“斜方投射問題＝計算問題”であろう。最高点の高さ，水平到達距離，水平到達距離の最大値，最適角などを公式から導出する計算力が要求される。本発表では，斜方投射問題の解法は公式による計算だけではなく，図形的解法から物理量を視覚的に捉え図形的性質からでも計算できることを紹介する。

2. 斜方投射問題を解くための作図方法

図1のように，斜方投射（初速度 v_0 ，発射角 θ ）された物体の位置 P は，発射点 O から発射方向に速さ v_0 で等速直線運動した距離 $v_0 t$ の線分 OA の点 A から自由落下の距離 $gt^2/2$ だけ垂直に下した点である。一方，斜方投射の速度図を描く。図2のように，速度平面 (v_x, v_y) に初速度ベクトル $\vec{v}_0$ ，点 P の速度ベクトル $\vec{v}_P$ を描くと，速度図は v_y 軸に平行な線分 $\overline{A'B'} = gt$ となる。このように， $\triangle O'A'B'$ ができる。次に，座標平面 (x, y) において $\vec{v}_0$ の方向に原点 O から直線を引く。その直線と，物体の点 P を通り x 軸と直交する直線との交点を A とする。直線 AP 上に， $\overline{AP} = \overline{PB}$ となる点 B をとり， $\triangle OAB$ を作ると， $\triangle OAB \sim \triangle O'A'B'$ となる。よって，線分 OB の方向は位置 P の物体の速度ベクトル $\vec{v}_P$ の向きと同じになる。この $\triangle OAB$ を斜方投射図と呼ぶ。また，物体の水平到達距離 $\overline{OC} = v_0 v_P \sin(\angle AOB) / g$ となる。この斜方投射図を利用して，様々な設定の斜方投射問題の解法を示す。

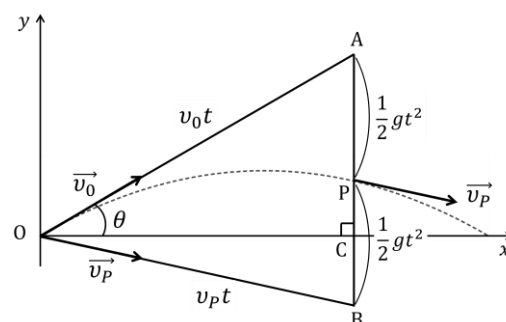


図1：斜方投射図（点線は斜方投射による放物線）

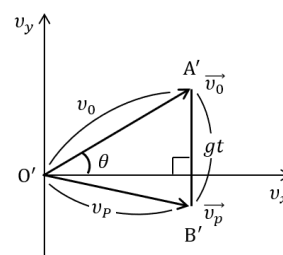


図2：斜方投射の速度図

3. さまざまな問題設定の図形的解法

3つの問題設定の斜方投射図から，水平到達距離 L ，最大水平到達距離 L_m ，最適角 θ_m を求める。物体の初速度ベクトルを $\vec{v}_0$ ，時刻 $t = T$ で到達点に達する直前の速度を終速度ベクトル $\vec{v}_1$ とする。

<水平面からの斜方投射問題>

「水平面の点 O から物体を初速度 v_0 ，角度 θ で投射し水平面の点 P に到達した」とする。斜方投射図は図3左の $\triangle OAB$ となる。水平到達距離は二等辺三角形 $\triangle OAB$ の高さになるので， $L = v_0^2 \sin(2\theta) / g$ となる。 L が最大になるのは， $\angle AOB = \pi/2$ のときで（図3右）， $\triangle OAB$ ， $\triangle OAP$ は直角二等辺三角形となる。よって， $L_m = v_0^2 / g$ ， $\theta_m = \pi/4$ となる。このとき，半径が L_m で点 P を中心とする $\triangle OAB$ の外接円が存在する。

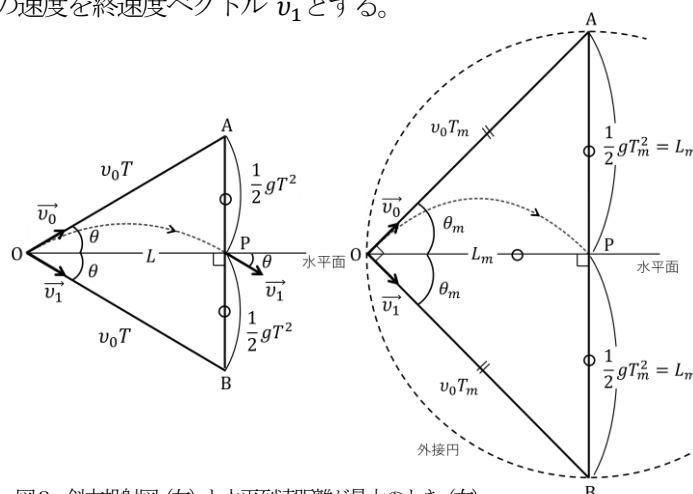


図3：斜方投射図（左）と水平到達距離が最大するとき（右）

B-2-2

<高さのある位置からの斜方投射問題>

「水平面から高さ h の点 O から物体を初速度 v_0 、水平から角度 θ をなす方向に投射し、水平面の点 P に到達した」とする。斜方投射図は図4左の $\triangle OAB$ となるので水平到達距離は $L = v_0 v_1 \sin(\theta + \phi) / g$ となる。力学的エネルギー保存から $v_1 = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$,

$$\overline{OC} = \overline{OA} \cos(\theta) = \overline{OB} \cos(\phi) \text{ から}$$

$$L = \frac{v_0}{g} \left\{ \frac{1}{2} v_0 \sin(2\theta) + \cos(\theta) \sqrt{v_0^2 \sin^2(\theta) + 2gh} \right\}$$

となる。 L が最大するとき、 $\angle AOB = \pi/2$ のとき

(図4右), $\triangle OAB \sim \triangle CAO$ なので,

$$\overline{AB} : \overline{OB} = \overline{AO} : \overline{OC} \text{ から}$$

$$L_m = \frac{v_0 \sqrt{v_0^2 + 2gh}}{g}, \quad \tan(\theta_m) = \frac{\overline{OA}}{\overline{OB}} = \frac{v_0}{\sqrt{v_0^2 + 2gh}}$$

となる。このように、 L の最大値を微分計算せずに図形的性質だけから計算することができる。また、 $\tan(\theta_m) < 1$ なので、最適角は 45° より小さいことがわかる。このとき、点 P を中心とする $\triangle OAB$ の外接円が存在する。

<斜面への斜方投射問題>

「水平面と角度 α をなす斜面の最下点 O から、水平面と角度 $\theta (> \alpha)$ をなす方向に物体を初速度 v_0 で投射して斜面上の点 P に到達した」とする。斜方投射図は図5上の $\triangle OAB$ である。水平到達距離ではなく斜面上の到達距離 r を求めるので、 $\overline{OA} = v_0 T$, $\overline{AP} = gT^2/2$, $\angle OAP = \pi/2 - \theta$, $\angle OPA = \pi/2 + \alpha$ から、 $\triangle OAP$ に対して正弦定理を適用すると

$$r = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \frac{\cos(\theta) \sin(\theta - \alpha)}{\cos^2(\alpha)}$$

となる。最大到達距離 r_m のとき水平到達距離も最大なので、 $\triangle OAB$ は直角三角形となる。図5下のように、半径 r_m で点 P を中心とする $\triangle OAB$ の外接円が存在するので $\triangle OAP$ は二等辺三角形となる。 $\angle OAP = \angle AOP = \pi/4 - \alpha/2$ となるので、最適角は

$$\theta_m = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}$$

となり、 45° より大きいことがわかる。直線 AB と水平面との交点を C とすると、 $\triangle OAB \sim \triangle CAO$ なので、 $\overline{AO} : \overline{AB} = \overline{AC} : \overline{AO}$ から $\overline{AC} = v_0^2/g = r_m \sin(\alpha) + r_m$ なので、最大到達距離は

$$r_m = \frac{v_0^2}{g} \cdot \frac{1}{1 + \sin(\alpha)}$$

となる。また、上式は斜方投射における包絡線の極座標表示である。

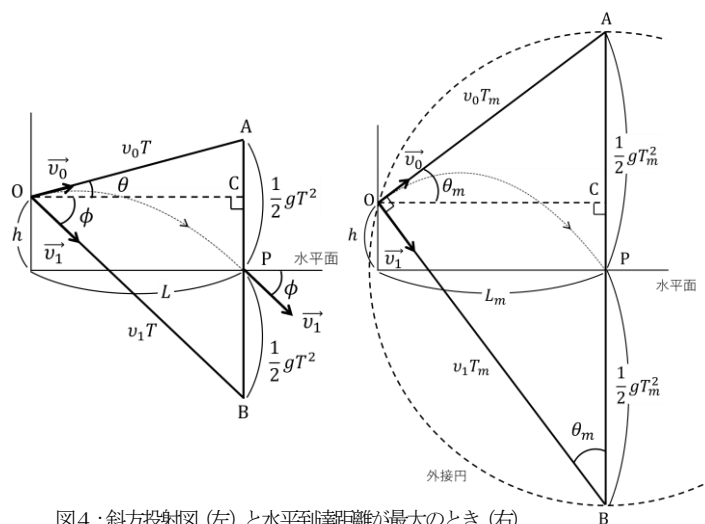


図4:斜方投射図(左)と水平到達距離が最大するとき(右)

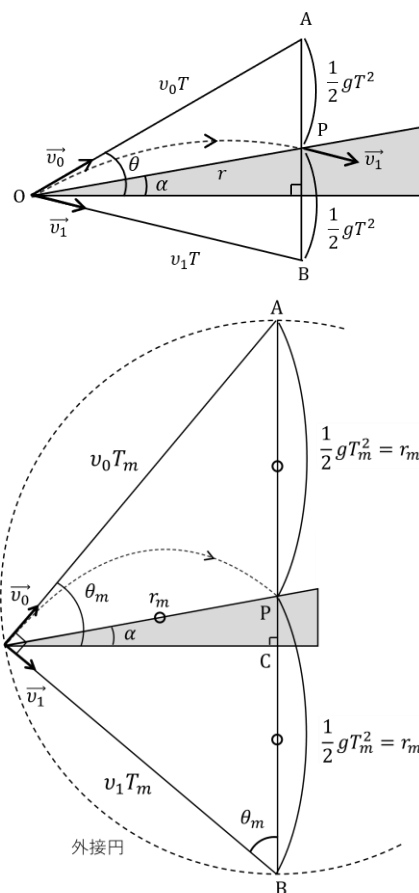


図5:斜方投射図(上)水平到達距離が最大するとき(下)

4. まとめ

斜方投射問題の図形的解法(斜方投射図)を物理授業に導入することで、物理現象や物理量を図形的に捉える思考力を身に付けることができるであろう。斜方投射はまだ奥深く探究できる教材である。

「作用・反作用」と「つり合い」との差異化を図る教材の開発

-作用点を意識した力の表現-

^A南伸昌, ^A安藤誠也, ^A瀧本家康, ^A夏目ゆうの, ^B高橋秀明^A宇都宮大学共同教育学部, ^B栃木県立栃木女子高等学校

minami@a.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

相互作用型演示実験講義 (ILDs) は, ICT を活用して目に見えない力を可視化することにより力学分野の誤概念を修正する有効な手法であり, 力の第3法則についても多数の実践報告がある[1~3]。しかし, 運動の状態に依らず作用・反作用の法則が成り立つことを示しても, 作用・反作用とつり合いの概念が未分化の生徒は「運動しているのになぜ?」という認知的葛藤が解消されないままである可能性があり, その解消のために摩擦力の明示による「橋渡し」を取り入れたアプローチの提案がなされている[2]。本研究室でも, 第3法則のILDsにおいて摩擦力を考えさせることにより, 作用・反作用とつり合いの差異化を明確にする授業実践を試みている[4]。

2. 本研究室における昨年度の実践結果

2025年7月, 物理基礎「運動とエネルギー」履修後の県立A高等学校2年生48名に対して第3法則のILDsの実践を, 2校時続きで行った。1校時目はILDsオリジナルの設問1-3[1]の, 「手が箱を押す力: $F_{手 \rightarrow 箱}$ 」と「箱が手を押す力: $F_{箱 \rightarrow 手}$ 」の関係について, 「予想→話し合い→演示実験→話し合い」の流れで学習した後, それぞれの場合について, $F_{手 \rightarrow 箱}$ と「箱の底面にかかる摩擦力: $F_{摩擦}$ 」との大小関係を扱った。但し, $F_{摩擦}$ は装置構成上難しいことなどから梅田2016のようにリアルタイムで表示することはせずに, 事前に測定した値をグラフ中に直線で示し, $F_{手 \rightarrow 箱}$ との違いを演示で示した。2校時目にはILDsオリジナルの設問4~8を, 一部修正して実施した。

理解度調査は, FMCE から「①質量の異なる車同士の衝突」, 「②質量の同じ車同士の衝突」, 「③トラックを質量の小さな車が押す」, 「④体重の異なる少年同士の押し合い」の4群, FCI から「⑤上昇するエレベーターにかかる力」, そしてつり合いについて, 図に示すように, 「⑥摩擦のない水平面で連なった箱を等速(6-1)/加速(6-2)で押す」, 計6群の設問を設けた。事前/事後/定着度調査における, 各群の完全正答率の変化を表1に示す。

規格化ゲインは事前→事後で0.692, 事前→定着度で0.615と, ILDsによるアクティブ・ラーニング

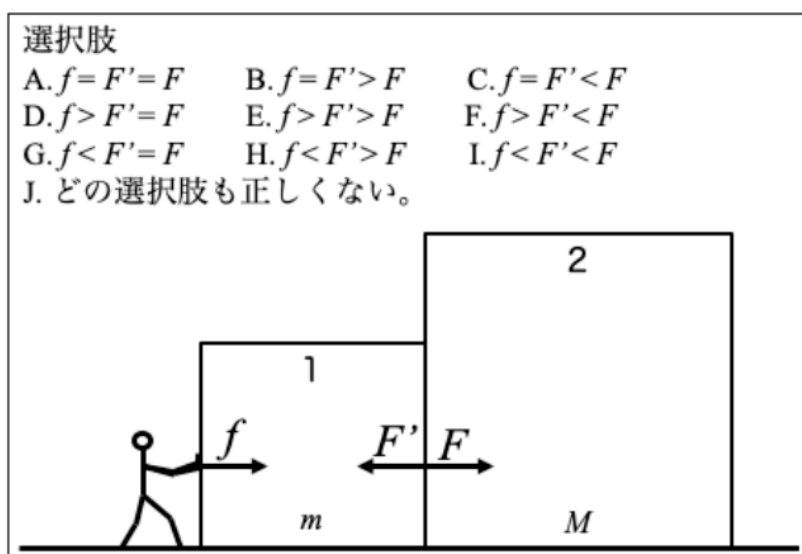


図 問6

グの効果は十分に認められたが、⑥については事前調査より事後、定着度調査の方が低い点数となった。その内訳を表2に示すが「6-2 加速」のみ正答率が大きく低下しており、「A. $f = F' = F$ 」が主な誤答であった。

表1 理解度調査(回答群ごとの平均点)

完全正答率	1群	2群	3群	4群	5群	6群
事前	0.25	0.25	0.25	0.50	0.55	0.30
事後	0.95	0.95	0.75	1.00	1.00	0.15
定着	0.95	0.95	0.60	0.95	0.85	0.20

6-2 について正答 (D) から誤答 (A) に変わ

った生徒を対象に、その理由を問う記述式調査を行ったところ、「授業中のグループの人たちとの話し合いや、実験などの結果を見て一定の速度の場合も、加速している場合も、力はつり合っていると考えました。」に代表されるように作用・反作用とつり合いの概念が未分化で、本授業により「どのような場合も2力は等しい」という新たな刷り込みを生じたことが分かった。同様の状況は、他の高等学校(2校)における同様の事業実践でも確認できた。

表2 ⑥の内訳 (正答率%)

問	6-1	6-2
事前	57.1	51.4
事後	93.1	24.1
定着	83.3	38.1

3. 力の表現と学習者の認識

学習者に新たな刷り込みが生じた理由として、本実践で扱った3力、 $F_{手 \rightarrow 箱}$ 、 $F_{箱 \rightarrow 手}$ 、 $F_{摩擦}$ 自体の、特に作用点についての理解が不十分であることが考えられる。大学生に対して「指が箱を押す力」と「箱が指に押される力」の作用点を問う予備的な調査を行ったところ、高校や大学での物理の履修状況に拘わらず、前者の正答率が有意に低くなる結果が得られた。それを踏まえて力の表現を能動態「手が箱を押す力」から受動態「箱が手に押される力」にし、後者と「手が箱に押される力」は2物体間の作用・反作用、等速の場合は「箱が手に押される力」と「摩擦により箱が受ける力」は1つの物体に働く2力のつり合いの関係となることが直感的に理解しやすくなる授業改善を行った。この改善により、手(棒)と箱に取り付けた圧力センサーの読みについてもそれぞれ「手が箱に押される力」と「箱が手に押される力」となり、直感的にイメージしやすくなると考えられる。

4. 今後の展望

改訂した授業案に沿って、2026年7月に県立A高等学校で授業実践を行い、その事前、事後調査についての検証結果を当日報告する予定である。

参考文献

- [1] D. Sokoloff et al. (2004): Interactive Lecture Demonstrations (Wiley, 2004).
- [2] 北村貴文ほか(2020): 初学者に対する ILDs を組み込んだ「作用・反作用の法則」の教授法の効果, 物理教育, 68, 169-174.
- [3] 梅田貴士(2021): 「橋渡し」を取り入れた ILDs の有効性: ニュートンの第3法則の学習を事例として, 物理教育, 69, 129-136.
- [4] 荒川明輝ほか(2025): 「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 -, 日本物理教育学会年会物理教育研究大会発表予稿集, 第41回, 155-156.

力の同定における役割変換の構造

—作用・反作用モデルと力のつり合いモデルの接続—

^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

作用・反作用と力のつり合いは、高校力学における基本概念[1]である。しかし、多くの生徒は両者を混同し、作用・反作用の力をつり合いの力として捉えることが知られている。従来は、作用・反作用は異なる物体にはたらく力、力のつり合いは同一物体にはたらく力として区別されてきた。しかし、この説明は力の分類基準を与えるものであり、同一の物理現象に対して異なる力の記述が現れる理由を十分に説明していない。

本研究では、この問題を「力の同定」の観点から再検討する。力は本来、物体間の相互作用として存在するが、力学的記述では対象の選択や拘束条件に応じて外力や拘束反力として表現される。本研究では、相互作用、外力、拘束反力を独立した概念としてではなく、同一の相互作用が異なる役割を担う「役割変換」として捉え、作用・反作用モデルと力のつり合いモデルの接続を検討した。

2. 教材開発

教材には、図1のように、ばねで接続された二物体系を用いた。一方の物体Aを木片で固定した場合（図1（左））と、木片を取り除いて両物体を自由に運動させた場合（図1（右））の各場面について、ばねが縮んでいる場合の自由体図を作成させた。

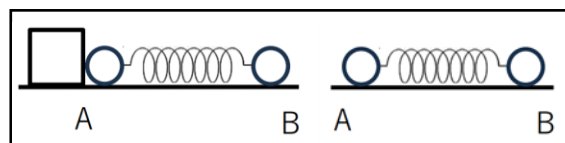


図1（左）木片で固定した場合、
（右）両物体を自由に運動させた場合

さらに、両場面の自由体図を比較しながら、木片で固定された場合について、「はたらく力の関係としてどのようなことが言えるか」を班および個人で考察させた。特に、固定された物体に作用する力がどのように扱われているかに着目させ、対象の選択によって力の記述が変化することを議論させた。本教材では、対象に応じて力を同定する活動を重視した。

3. まとめと考察

本教材を理論的に解釈すると、作用・反作用モデルと力のつり合いモデルは、同一の相互作用を異なる観点から記述する局所有効モデルとして位置付けられる。自由運動の場合には、AとBの相互作用は作用・反作用として記述される。一方、Aを固定すると、Aの運動は記述の対象から外れ、相互作用の一部が背景化される。このとき、木片による拘束反力が導入され、ばねの相互作用はBにはたらく外力として記述される。すなわち、固定操作によって新たな力が生じるのではなく、同一の相互作用が対象の選択と拘束条件に応じて外力や拘束反力として再同定される。この過程を、本研究では「役割変換」と呼ぶ。以上より、作用・反作用と力のつり合いの混同は、接続関係を記述するモデルと境界条件を記述するモデルの混同として捉えられることが示唆された。また、力の同定活動は、学習者が両モデル間を移行し、統合的な力概念を構成するための媒介となる可能性が示された。本講演では、本教材を用いた実践の詳細についても報告する。

参考文献

[1] 文部科学省、『高等学校指導要領』, 東山書房(2019)

電場をわかりやすく伝える方法～ポテンシャルの概念を用いて～

池永 寛

広島市立沼田高等学校

ikenaga-hi30@e-g.city.hiroshima.jp

1. はじめに ～電場・電位は難しい～

『「電位」の概念は初めて学習する高校生には受け入れがたいものである。』^[1] という指摘に、多くの人が同意するであろう。高等学校物理における電磁気学は、電場・電位の概念から学習が始まるため、導入段階で生徒がつまずき、「電磁気嫌い」を生み出しかねない状況にある。

これは高校生だけの問題ではなく、指導する教員にとっても難易度の高い分野である。電場、電位、電圧、電位差、電位降下などの概念を、いかに分かりやすく関連付けて指導するかについては、多くの教員が試行錯誤を重ねているのが現状である。

一方、大学の物理教員からは、「オームの法則はむしろ教えない方がよい」という意見が聞かれることもある。高校で学習するオームの法則の扱い方が、大学における電気回路の学習において、かえって理解の妨げとなる場合があるためである。

本発表では、高校において電場・電位を分かりやすく指導することを目的として、筆者が 35 年以上の教員経験の中で試行錯誤を重ねながら構築してきた授業実践を紹介する。電場・電位を難しいと感じる高校生や、指導に困難さを感じる教員が少しでも減ることを願うとともに、本実践について多くの意見をいただき、議論を深める機会となれば幸いである。

2. 教科書における電位・電場の学習の順番 ～学習指導要領の順番～

現在の教科書^[2]における学習順序は、いずれも学習指導要領にほぼ準拠している。高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）の「電気と電流」では、次の順序で内容が示されている。

ア 電荷と電界 電荷が相互に及ぼし合う力を理解すること。また、電界の表し方を理解すること。

イ 電界と電位 電界と電位との関係を静電気力による位置エネルギーと関連付けて理解すること。

ウ 電気容量 コンデンサーの性質を理解するとともに、電気容量を電界や電位差と関連付けて理解すること。

エ 電気回路 電気回路に関する実験などを行い、電気回路における基本的な法則を理解すること。

各教科書とも、この順序と内容をほぼ踏襲している。まずクーロンの法則から静電気力を学び、点電荷による電場を導入した後、電気力線やガウスの法則について説明している。電場の説明は主として点電荷による電場を扱い、一様な電場については比較的簡潔な扱いとなっている。

続いて、一様な電場における電位差を導入し、その後、点電荷による電位を説明する構成となっている。ここでは、電位が距離に反比例するポテンシャルとして示されるが、この概念は万有引力による位置エネルギーと同様、高校生にとって理解が容易ではない。

その後、コンデンサーの学習に入り、一様な電場を用いて電位や電場との関係を扱う。さらにコンデンサーの接続を学習した後、電気回路ではオームの法則を導入し、ジュール熱、合成抵抗などを学習し、最後にキルヒホッフの法則を扱う構成となっている。

複数の教科書を調査した結果、おおむねすべてがこの順序を採用していた。これは学習指導要領およ

び学習指導要領解説に基づくものであると考えられる。

しかし、この順序で授業を進めると、電場・電位と電気回路を関連付けて理解する機会が、すべての学習内容を終えた後になってしまう。その頃には、生徒は電場・電位と回路中の電圧との対応関係を十分に結び付けられなくなっていることが多い。

また、指導においても、回路中の電圧を「電気の圧力」と説明し、空間中の電位差を「高さの差」として説明するなど、両者を異なる概念として扱う場面が少なくない。その結果、生徒は両者を別々の概念として理解してしまう傾向がある。

3. 「電場」「電位」をどのように伝えるか。～授業の順番と伝え方～

本発表では、教科書の構成を見直し、空間中の電場・電位と電気回路における電位とを関連付けながら学習を進める授業実践を紹介する。現在実践している授業の流れは、次のとおりである。

まず、摩擦電気、帯電および電流の概念を簡潔に扱った後、オームの法則を用いて起電力と電位降下を導入する。続いて、電気回路を題材として、電位、電位差、起電力および電位降下の概念を説明し、回路中の電位を色分けして可視化することで理解を促す。

その後、一様な電場に着目し、電場と電位の関係、電場中の電荷にはたらく力、電位差と仕事、さらに電気力線と等電位線について学習する。電場を、「単位距離当たりの電位の変化量（電位勾配）」、「単位電荷にはたらく力の大きさと向き」、「単位面積当たりの電気力線の本数」という三つの視点から統一的に理解させることを重視している。その後、この考え方を点電荷による電場へ拡張し、ガウスの法則まで扱う。

続いて、コンデンサーを電場・電位の観点から捉え、キルヒホッフの法則との関連を意識しながら、コンデンサーの接続や過渡現象について学習する。

電気回路の学習では、まずキルヒホッフの法則を導入し、その後、抵抗の接続やホイートストンブリッジなどの具体例へ展開する。最後に、ジュール熱や電気エネルギーについて扱い、さらにミクロな視点からの理解へと発展させる。

本実践では、電位を「ポテンシャル」として一貫して捉えることにより、電場や電荷にはたらく力だけでなく、電気回路における電圧についても統一的に理解できるよう工夫している。また、その際に活用している実験装置や教材についても、具体例を交えながら紹介する。

4. 最後に

本発表で紹介した内容は、授業実践の一例である。本実践を参考に、それぞれの教育現場で実践・検証を行い、その成果や課題を共有していただければ幸いである。

筆者は、教科書の構成や学習順序にとらわれることなく、生徒の理解を重視した授業づくりを目指してきた。電場・電位と電気回路を切り離して扱うのではなく、「電位」という共通概念を軸に学習を構成することで、生徒の理解は大きく深まると考えている。今後も、本実践に限らず、授業改善に関する実践を広く共有し、よりよい物理教育の実現につなげていきたい。

参考文献

- [1] 榊原隆得(2025):「生徒に伝わるための工夫」授業さいこう 124_物理教育第 73 巻第 2 号(2025)
- [2] 第一学習社令和 7 年発行「高等学校物理」ほか

物理基礎における電位概念の扱いに関する一考察

^A高橋信幸, ^B妹尾凌太, ^C小林尚美, ^C川村康文

^A岡山理科大学教育推進機構, ^B岡山理科大学理学部, ^C環太平洋大学次世代教育学部
n-takahashi@ous.ac.jp

1. はじめに

2026年3月時点での高校1・2年生651名を対象に中学校理科の学習内容の好き嫌いを5段階法でアンケート調査し、好きを1、嫌いを-1とした好嫌度を求めたところ、電気はレンズに次いで嫌いである結果が得られた。日常生活に欠かせない電気についての学習内容が嫌いである現状は改善すべき課題と考えられた。高校に入学して最初に電気を学ぶ主な機会は物理基礎であろう。文部科学省の調査^[1]によると、履修割合は物理基礎が約6割、物理が約2割である。多くの高校生が学ぶ物理基礎では電気への興味関心を高め、好きになる工夫が望まれる。

物理基礎では電圧を水流モデルの高低差で説明し電位差の用語を扱う教科書も存在するものの、電位についての記載はない。物理基礎電気分野では中学校で学んだオームの法則の活用をはじめ、抵抗率、電流が自由電子の流れであること、発電と送電、電力などを扱うが、電圧については中学校の学習内容よりも理解を深めない。本研究では、小中高の電気についての学習の流れを踏まえ、電圧を電位や電位差に触れて説明し、電圧への理解を深める指導方略について考察する。

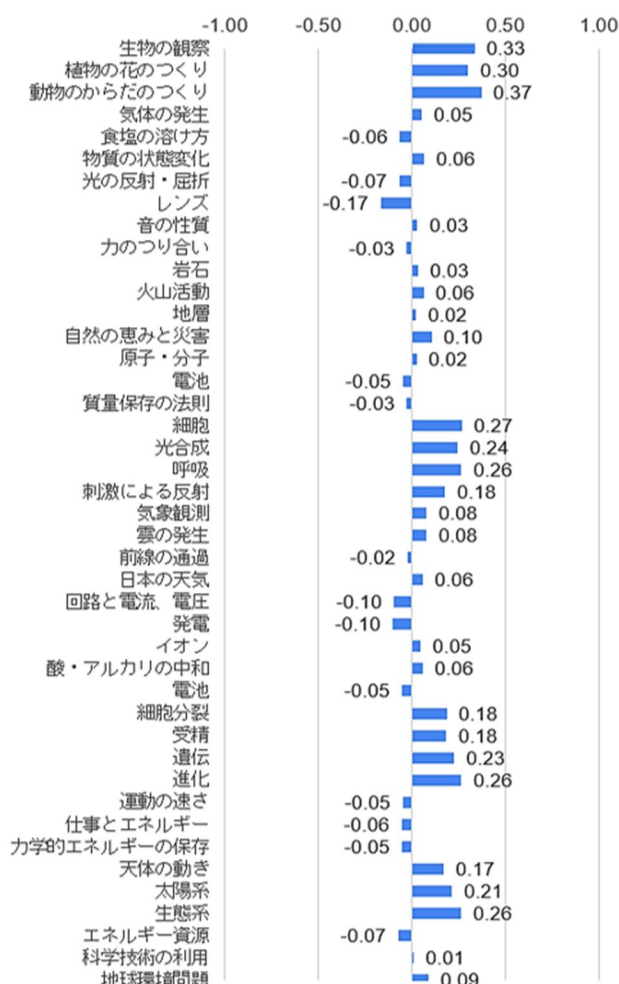


図1 中学校理科学習項目の好嫌度(n=651)

2. 小中高における電気の学習内容と電圧・電位の扱い

小中高における電気の学習内容を表1に整理した。電流と抵抗については小学校から学ぶのに対し、電圧は中学校で「電流を流そうとするはたらきの大きさ」として定義され、そのまま高等学校の物理基礎でも扱われる。一方で電位は高等学校物理基礎では扱われず、生物基礎で扱われる。勿論物理では扱うものの、学習順序として生物基礎が先に来る可能性が高い。小学校では乾電池の直列接続と並列接続を扱うが実験で結果が異なることを学ぶに留まり、電圧に触れない。小学校6年では電気が作ったり、蓄えたり、変換したりできることをエネルギーの用語を用いずに学ぶ。

Dimitris Psillosら(1988)^[2]は、電圧の概念は重要だが理解が難しいこと、14～15歳には電位や電位差を扱わず電圧のみとするのがよいこと、電圧の定義は電流や抵抗と関連させるより電池がもつ性質(潜在能力)で「2つの端子の間」にあるものとする説明がよいと示した。一方で、小・中学校におい

表 1 小中高における電気の学習内容

学習内容	電流	抵抗	電圧	電位	発電	電力	送電	エネルギー変換
小学校「理科」	○	○	×	×	○	○	○	○
中学校「理科」	○	○	○	×	○	○	○	○
高等学校「物理基礎」	○	○	○	×	○	○	○	○

て電圧や電位を扱う指導方略も研究されてきた。小学校で電圧を扱う指導について、栗田ら(2022, 2023)^[3]^[4]は小学校4年生を対象にデジタル電圧計で乾電池の電圧を測定し探究的に学ぶ授業を行い、電圧の概念形成に向けて体験型理解と思考型理解の両面に取り組めたことを示した。中学校で電位を扱う指導について、沖野ら(2025)^[5]は、電圧の理解を深めるため、中学校2年生を対象にした短絡(ショート)を扱う授業を開発・実践し、回路の電位を考えて未知の電位差を考察できるようになった生徒が一定数いたことを確認した。横田ら(2026)^[6]は、小学校4年生を対象に、電流、電圧、抵抗の三者を関係づけながら電流の働きの概念を構築する探究的な学びがICTの活用で実現できたことを報告した。

3. 物理基礎における電位概念の扱い

物理基礎では中学校までの学びを深めるのが適切と考える。電気分野では、中学校にて電圧に絞って学習を行い、物理基礎では電位を扱って電圧への理解を深める指導が可能ではないかと考えられた。電位についての理論的理解は物理で扱い、探究的な学習により物理基礎では体験的理解を目指すのが適切と考えられた。物理基礎では、力学分野で運動エネルギーと位置エネルギーの変換や仕事、力学的エネルギー保存を学ぶ。電流や電圧・電位は目に見えないが、水流モデルにより力学的モデルに例えることで理解を深める指導が定着している。そこで、高低差のある斜面を滑る球の運動で水流モデルを表現し、電位、電位差、電圧を目に見えるものとして体験的理解を促す指導方略が考えられた。今後このような指導のための教材開発を行い、授業実践により教育効果の検討を進めていきたい。

参考文献

- [1] 文部科学省(2015):平成27年度公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査(平成25年度入学者抽出調査)。
- [2] Dimitris Psillos, Andrée Tiberghien & Panagiotis Koumaras(1988): Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits, International Journal of Science Education, 10 (1), 29-43.
- [3] 栗田克弘・津守成思・秋山広之・柴田勝・重松宏武(2022):小中学校の関連を意識した新しい理科学習教材の開発と授業実践研究～小学校における「電圧」の導入について～, 山口大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 54, 1-12.
- [4] 栗田克弘, 津守成思, 秋山広之, 竹田崇志, 田中聡, 柴田勝, 重松宏武(2023):小中学校の関連を意識した新しい理科学習教材の開発と授業実践研究 II: 小学校における「電圧」の授業実践について, 教育実践総合センター研究紀要, 56, 97-106.
- [5] 沖野信一, 山岡武邦, 松本伸示(2025): 中学校理科に電位概念を導入する事例的研究, 理科教育学研究 65 (3), 597-608.
- [6] 横田幸大, 加納岳拓, 國仲寛人, 岡野 昇(2026):電気分野における小学校理科と中学校理科の架け橋となる探究的な学びに関する実践的研究, 日本教科内容学会誌 12 (1), 33-44.

特殊相対性原理の理解にまで踏み込んだ 電磁場中の荷電粒子の運動の解析の教材化

澤田行弘

埼玉県立越谷東高等学校

sawadaa3@yahoo.co.jp

1. はじめに

電場と磁場の両方が存在する空間における荷電粒子の運動は一般に複雑なものとなる。そういった事情もあってか、教科書等では荷電粒子が電場から受ける力と磁場から受ける力（ローレンツ力）が釣り合って等速度運動する場合くらいしか扱わない。しかしながら、直交する一様な電場と一様な磁場の下、電場に平行かつ磁場に垂直な平面内のみを荷電粒子が運動する場合は、直交する 2 方向の運動方程式が必要になるものの、それらに簡単な座標変換を施すことで解くことが可能である。

今回はこの系について、微分やグラフの知識を使って少し回り道をすることで生徒に考えさせる場面を増やした解析方法を示す。またこの系は、観測者の運動により『電場が消える』と考えざるを得ない状況を含んでおり、高校物理を通した相対論への入口として絶好なので、それについても説明する。

2. 直交する一様な電磁場中における荷電粒子の運動

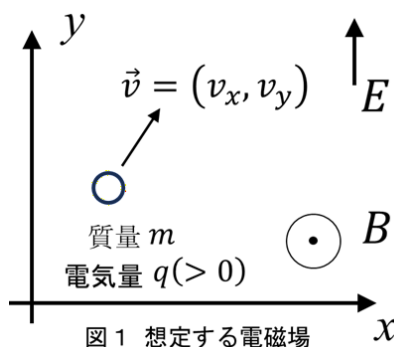


図1 想定する電磁場

図1に示すように、+y方向に一様な大きさ E の電場、+z方向に一様な大きさ B の磁場が存在し正の電荷を持った粒子が $x-y$ 平面内を運動する。この場合の荷電粒子の運動方程式は

$$m \frac{dv_x}{dt} = qv_y B \quad (1) \quad m \frac{dv_y}{dt} = -qv_x B + qE \quad (2)$$

ここで $v'_x = v_x - E/B$ の変換を行うと、速度 $(E/B, 0)$ で運動する観測者が荷電粒子を見た場合の運動方程式に変換され解析が容易になるが、ここでは別の方法を紹介する。

(1)と(2)の両辺を2乗して辺々を加えると、

$$m^2 \left(\frac{dv_x}{dt} \right)^2 + m^2 \left(\frac{dv_y}{dt} \right)^2 = (qv_y B)^2 + (qE - qv_x B)^2 \quad (3)$$

(3)の左辺は荷電粒子に働く合力の大きさ F の2乗なので、(3)の両辺を $q^2 B^2$ で割って整理すると

$$F^2 / (qB)^2 = (v_x - E/B)^2 + v_y^2 \quad (4)$$

(4)の左辺が定数ならば(4)は円を表すので、(1)を考慮して試みに(4)の両辺を時刻 t で微分してみると

$$\frac{1}{q^2 B^2} \frac{d}{dt} F^2 = \frac{2}{m} \frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{2} m (v_x^2 + v_y^2) - qE(y - y_0) \right\} \quad (5)$$

となる。(5)の右辺の $\{ \}$ 内は荷電粒子の力学的エネルギーなので（静電気力による位置エネルギーの基準を $y = y_0$ としている）時間と共に変化をしない。従って F^2 は定数（ $F^2 \neq 0$ で話を進め、最後に余裕があれば $F^2 = 0$ の場合を話す）で、(4)は半径が F/qB で中心が $(E/B, 0)$ の円を表していることになり、速度 $(E/B, 0)$ で運動する観測者が荷電粒子を観測すると速さ F/qB で等速円運動をすることが分かる。ここで図1において静止した観測者が荷電粒子を観測する場合を考える。初期条件は色々考えられるが

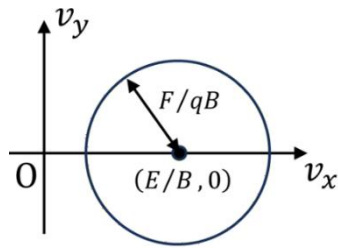


図2 荷電粒子の速度成分

時刻 $t = 0$ で荷電粒子が原点 $(x, y) = (0, 0)$ に静止しているとする。これは図2において、 $v_x - v_y$ 平面上の円が原点 $(v_x, v_y) = (0, 0)$ を通ることになるので、半径 $F/qB = E/B$ となり荷電粒子にはたらく合力の大きさが $F = qE = q \times E/B \times B$ と求まる。この場合の荷電粒子の軌道は良く知られたサイクロイドとなる。

3. 生徒に投げ掛ける質問の例

- ① (3)の左辺はどのような物理量を表すか。
- ② (4)は左辺が定数であれば $v_x - v_y$ 平面上の円であるが、定数かどうかをどのように確かめるか。
- ③ (4)が円であると分かったとして、この式から荷電粒子の運動について何が分かるか(以下具体例)。
 - ★速度 $(E/B, 0)$ で運動する観測者から見た荷電粒子は、速さ F/qB で等速円運動することに気付けるか。
 - ★荷電粒子の速度ベクトルを、静止した観測者から見た場合と速度 $(E/B, 0)$ で運動する観測者から見た場合について図2に示せるか。また、静止した観測者から見た荷電粒子の軌道はどんな図形か。
 - ★速度 $(E/B, 0)$ で運動する観測者から見た荷電粒子にはたらく力は何という力か。

($F = qE$ で止めておくと混乱が予想されるが、生徒の力量を試すには面白いかもしれない)。
- ③の最後の質問で「ローレンツ力」と判明した後に「電場が無い」ことに気付いてくれると面白い。

4. 特殊相対性理論と特殊相対性原理について

今回想定している状況においては、荷電粒子の速さ v が光速 c に比べて非常に小さいので、(1)と(2)は特殊相対性理論の $(v/c)^2 \rightarrow 0$ における極限としての古典論の表式となっている。従って観測者が運動する場合においては、まず初めに運動方程式が『ローレンツ変換』に対して共変的であるための条件を挙げるべきで、この場合には x 軸に沿って速さ V で移動する観測者が観測する電場 E'_y と磁場 B'_z が

$$E'_y = (E - VB)/\sqrt{1 - \beta^2} \quad (6) \quad B'_z = (B - \frac{V}{c^2}E)/\sqrt{1 - \beta^2} \quad (7)$$

となるということがその条件である ($\beta = V/c$ とおいた)。しかしながら今回は、 $V = E/B$ かつ $\beta^2 \ll 1$ 、つまり観測者の移動速度の大きさが光速に比べて非常に小さい状況を想定しているので、 $E'_y = 0$ かつ $B'_z = B$ となり磁場の大きさは変化せず『電場が消える』という結果になる。なお、今回のテーマとしている特殊相対性「原理」の理解は、「 x 軸に沿って等速で運動している観測者が荷電粒子を観測した場合、これまでに学んだ運動の法則に則って考えると、荷電粒子がローレンツ力のみを受けて等速円運動をしており、『電場が存在しない』と考えざるを得ない」から出発し、観測者の運動状態により電場・磁場の大きさが変化するという特殊相対性理論の入り口を理解してもらうことを目的としている。

5. おわりに

今回示した方法は遠回りしている感が拭えずそれなりの数学の力も要求されるが、その代わりに円の方程式から自然に座標変換(観測者の運動)という「視点の変化」に辿り着けるという点で、(1)と(2)のペアに最初から座標変換を施すよりも生徒に納得感を持ってもらえると考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 奨励研究 JP26H00080 の助成を受けている。

マイコン Raspberry Pi Pico を測定装置とした

コンデンサーのスイッチ切り替え実験の実践

稲垣 貴也

広島大学附属中・高等学校

tinagaki@hiroshima-u.ac.jp

1. はじめに

理科の授業では、生徒の思考を促すために実物を持ち込み、現象を見せたり、生徒実験をとおして現象を実感させたりすることがよく行われる。その際、現象をリアルタイムで数値化したりグラフ化したりすることで、生徒の思考をさらに促すことが可能である。このようなことができる測定装置は色々と販売されているが、現在では安価なマイコン及び測定素子が販売されており、それらを活用することで安価な測定装置を作ることが可能となっている。

一方、令和4年度からの高等学校学習指導要領では、共通必修科目「情報Ⅰ」が新設され、全ての生徒がプログラミングの学習をすることになった。各学校における情報の授業ではプログラミング教育を行っているが、習得したプログラミング技術を他教科で活用する機会は少ない。情報活用能力の育成においては、情報科と他の各教科・科目等とが相互に関連を図ることが重要である[1]とされており、情報科以外の教科においてプログラミングを用いる教材を開発することの意義は大きい。このような状況の中、理科における資質・能力の育成だけではなく、教科間連携の促進及び生徒課題研究等の研究力向上に資することを目的に、教科「情報」と連携して MicroPython (Python ベース) でプログラムするマイコン Raspberry Pi Pico (ラズベリーパイピコ) を用いた理科マイコン教材(測定装置)の研究開発を進めているところである。今回、すでに情報の授業で Python を学習している高等学校3年生を対象に、マイコン Raspberry Pi Pico2 を用いた生徒実験を実施した。その取組について報告する。

2. 方法及び生徒実験の概要

本実践の対象は、所属校の高等学校3年生40名(物理選択生徒)である。成果と課題等の分析は実験レポート及びアンケート調査によって行う。

生徒実験の概要：図1の回路において、コンデンサーの充電・放電(複数回のスイッチ操作： S_1 をON→OFF、 S_2 をON→OFFを繰り返す)を行いながら回路の電位を測定して(数値及びグラフをリアルタイムで表示して)、コンデンサーに加わる電圧の変化について考察する。電位の測定はマイコン Raspberry Pi Pico2 のADC(アナログ-デジタル変換)機能を用いる(C_1 に加わる電圧は $V_1 - V_2$ となる)。使用するコンデンサーは、 $1000\mu\text{F}$ 、 $2200\mu\text{F}$ 、 $3300\mu\text{F}$ から3つ選ぶ(重複選択可、各班の任意とする)。また、コンデン

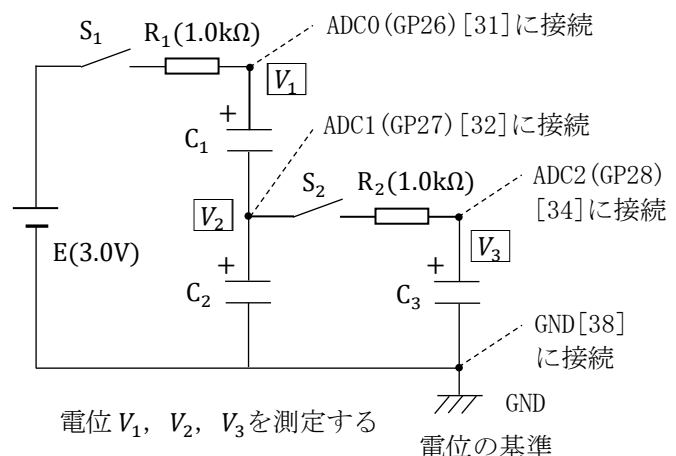


図1 回路, Raspberry Pi Pico2 との接続

サーを含む任意の回路について、事前に回路の電位（最大3か所）を測定する実験計画を立て、図1の実験が終わった班から実施する。

生徒実験では、4人を1班として10班を編成した。本実践では、マイコンを測定装置として実験を行うことができたか、また、マイコンを用いたことによる成果と課題、今後の情報科との有機的な連携に向けたプログラムに関する意識調査を目的とした。なお、ここでのアンケートの結果は、現時点での有効回答数32を元に分析したものを示す。

```
from machine import ADC, Pin
import time
x0 = ADC(Pin(26))
y0 = ADC(Pin(27))
z0 = ADC(Pin(28))
while True:
    start_time = time.ticks_ms() # 今回は使わない
    x = x0.read_u16()
    y = y0.read_u16()
    z = z0.read_u16()
    x_v = x / 65535 * 3.3
    y_v = y / 65535 * 3.3
    z_v = z / 65535 * 3.3
    print("{:.2f}, {:.2f}, {:.2f}".format(x_v, y_v, z_v))
    time.sleep(0.2)
```

図2 測定で用いたプログラム

3. 結果と考察

実験レポートの記録では、ほとんどすべての班が複数回のスイッチ切り替えを行い、電位（コンデンサーの電圧）がある値に収束する様子を記録できていた。また、実験レポートにおける生徒の考察（自由記述）では、「スイッチを切りかえるたびに電圧の変化の大きさが小さくなった」、「スイッチの切り替えを繰り返すと、…電荷の移動がほとんど起こらなくなり、電圧は一定の値に収束する」などの記述が見られ、マイコンがコンデンサーの充放電を理解するための測定装置として機能していたことが伺えた。

（班毎の任意の実験計画およびその実験の様子等については、当日報告する。）実験の難易度に関するアンケート結果（1：「易しい」から5：「難しい」の5段階）では、概ね4が4割、3が3割、2が2割（平均3.3）であった。難しかったこと（大変だったこと）（自由記述）では、「回路を組むこと」や「回路図のとおりにつなぐこと（配線）」が概ね6割で最も多く、「マイコンを動かすこと」、「プログラムを理解すること」など、マイコンに関することについては、概ね2割であった。また、使用したプログラムに関するアンケート（「マイコンを用いた測定実験を行う上で、どの位プログラムを理解していますか？」0：「理解できなくてよい」、1：「少し」から5：「とても」）では、ほとんど全ての項目で1割から2割の回答があり、生徒たちのプログラムへの興味・関心の度合いや測定装置がブラックボックスになっていることに対する許容度が広範囲にわたることが分かった。今後、2年生が情報の授業でPythonを学習し、物理の授業で（Pythonベースでプログラムする）マイコンを用いる測定実験を行う予定であることを示したうえで、「情報」の授業で学習していると良いと思うことを質問したところ、「物理で使う関数（プログラム）」など、使うプログラムに関する内容が挙げたが、「特になし」という回答も複数あった。今回、使用するプログラムの概要は説明したが、マイコンをテスターやマルチメーターのように与えられた測定装置と捉え、使えれば良いと感じる生徒も複数いたといえる。今後は情報科と連携しながら、生徒自身がプログラムを書きかえてマイコンの制御を行うなど、プログラミングの活用が理科における課題解決につながる取組を行っていきたいと考えている。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP26H00089 の助成を受けている。また、情報の授業内容の把握等のため、情報の授業を担当する奥屋玲香教諭（情報科）に協力いただいた。

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 総則編

高等学校物理におけるピア・インストラクションの概念変容過程

^A伊藤 紀章

^A北海道札幌啓成高等学校

nori.ito2019@gmail.com

1. 問題と目的

ピア・インストラクション (PI ; Mazur, 1997) は、概念理解を問う ConcepTest に個人で回答した後、学習者同士で討論し、再度回答する授業方略である。PI では討論後の正答率向上が報告されてきたが (Crouch & Mazur, 2001), 正答率の上昇が個人内での概念理解の再構成をそのまま意味するとは限らない。後藤・新田 (2019) は、高等学校物理基礎における PI の発話プロトコルを分析し、議論を「PI 成立型」「未解決型」「分裂型」「PI 失敗型」等に分類するとともに、議論後正答率と生徒の理解度が必ずしも対応しないことを示した。

これに対し本研究では、議論の型の分類にとどまらず、班内でどのような推論が言語化され、それが個人の既

有概念にどのように受容・再構成されるかに注目する。筆者は前報において、高等学校物理基礎「電気回路」単元の PI 実践から、概念変容過程をグループ作用 G (Group) と個人作用 I (Individual) の対構造として捉える G/I 仮説モデルを提案した。G/I 仮説モデルでは、班内の作用として意見の不一致 (G1) と推論の言語化 (G2) を、個人内の受容条件として低い自己確信・既有概念への揺らぎ (I1), 理解可能性 (I2), 妥当性 (I3), 有用性 (I4) を仮定する (Posner et al., 1982 の 4 条件の再定式化)。代替説明が既存の知識要素 (p-prims ; diSessa, 1993) と整合しない場合、受容は成立しにくいと考える。本発表では、同モデルを、力のつり合いと作用・反作用を区別する課題に適用し、その説明可能性と修正点を検討する。

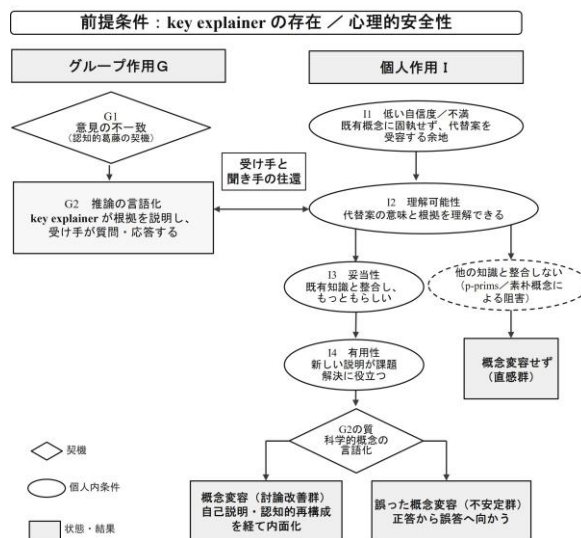


図1 概念変容過程の G/I 仮説モデル

2. 方法

研究1 (前報) では、公立高校 2 年「物理基礎」の 11 名を対象に電気回路単元で PI を実施し (ConcepTest24 問, 3 時点測定), 対照的な討論場面の逐語記録から G/I 仮説モデルを生成した。

研究2では、同じく物理基礎を履修する 23 名を対象に、力のつり合い (3 問), 静止接触場面の作用・反作用 (3 問), 衝突場面の作用・反作用 (3 問), 押し合い場面の作用・反作用 (3 問) の ConcepTest 計 12 問を実施した。各問題で直感回答, 学習事項に基づく個人回答, 討論後回答を求め, 選択肢変化と理由記述を分析した。討論前後の選択肢変化から正答化, 誤答化, 誤答固定を判定し, 該当班を抽出して討論音声の逐語記録を作成した。逐語分析を通して, 誤答固定班の一部に科学的 G2 と誤概念的 G2 が同時出現する競合型, および科学的説明が個人に受容されない受容不成立型を識別した。

3. 結果

研究2の12問全体では、直感回答の正答率は 62.2%, 学習事項に基づく個人回答の正答率は 84.8%,

討論後正答率は 94.4%であった（分析可能な延べ 270 回答）。変化事例は、正答化 29, 誤答化 3, 誤答固定 12 であった（残る 226 件は正答を維持）。類型別には、力のつり合い型で 67.6%から 89.7%, 衝突場面の作用・反作用で 83.8%から 92.6%へ上昇した。一方で、正答率が高い状況でも、理由記述や討論発話には重力と垂直抗力の混同や、損傷・運動状態から力の大きさを判断する推論が確認された。推論の言語化（G2）の質に着目した主な逐語分析事例を表 1 に示す。

受容不成立の事例（D 班・問 3）では、作用・反作用の力の大きさが等しいことについての科学的説明が出されたにもかかわらず討論後も 3 名が誤答を維持しており、科学的 G2 の出現は変容の十分条件でないことを示す。

表 1 研究 2 における主な逐語分析事例

事例	G2 の型	主な発話・相互作用	解釈
A 班・問 1	誤概念的 G2	「全部に作用・反作用」「一直線上でつり合う」	重力と垂直抗力の誤ったペア同定を支える
F 班・問 1	科学的 G2	「作用・反作用は違う物体」「床と物体の相互作用」	作用対象の識別により、つり合いと作用・反作用を区別
D 班・問 3	受容不成立	等大性の説明に対し、「威力」「損傷」直感が残る	科学的説明が出ても、個人に受容されなければ変容に至らない

注) 班名は理論的サンプリングで抽出した討論班の記号。問 1 は床上で静止する物体にはたらく重力と垂直抗力の関係、問 3 は大型トラックと小型自動車の衝突時に互いに及ぼす力の大きさを問う問題である。

4. 考察

以上の結果は、PI 討論における概念変容が、正答者や key explainer（説明を主導する生徒）の有無だけでは説明できないことを示している。表 1 に示すように、同じ問 1 でも A 班と F 班では G2 の質が異なり、変化の方向を左右していた。すなわち、G2 の有無だけでなく、G2 の質が概念変容の方向を規定する。D 班・問 3 が示すように、G2 の言語化それ自体は変容の十分条件ではなく、個人がそれを受容可能かどうか鍵となる。

また、全体正答率は討論前から高いが、正答者の理由記述にも誤概念的推論が確認されており、正答率のみでは概念理解を評価できないという本研究の前提を支持する。後藤・新田（2019）が示した議論型分類に対し、本研究は、議論中に言語化された推論が個人内の概念変容条件にどのように働くかを記述する点に特徴がある。本研究は少人数の事例研究であり、統計的一般化を目的としない。今後は、G2・I 条件のコード化基準の精緻化と評定者間信頼性の確認を通して、本モデルをさらに精緻化する。

参考文献

- [1] Crouch, C. H., & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69, 970-977.
- [2] diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.
- [3] 後藤敬祐・新田英雄 (2019) ピア・インストラクションにおける生徒間相互作用の分析. *物理教育*, 67(4), 227-234.
- [4] Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall.
- [5] Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception. *Science Education*, 66, 211-227.
- [6] 伊藤紀章 (2026) ピア・インストラクションにおける概念変容の条件—高等学校電気回路単元の事例研究と仮説モデルの提案—. 日本教授学習心理学会第 22 回年会発表予稿.

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改善

^A飯川大輔, ^B伊藤紀章, ^C花光隆太郎^A北海道静内高等学校, ^B北海道札幌啓成高等学校, ^C北海道伊達開来高等学校

iisanbookurakun@gmail.com

1. はじめに

本研究は、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」による、討論を通じた能動的学習法「ピア・インストラクション (PI)」[1][2]の実践報告である。昨年度は Google フォームと演示実験を併用し PI 問題の正答率は向上したが、診断問題において PI 問題で扱った現象を正しく適用できない生徒が残るという課題が浮き彫りとなった。そこで今年度は、「問題数・選択肢の精選」および「日常生活に即した内容への刷新」を行い、生徒の概念理解への影響を検証した。

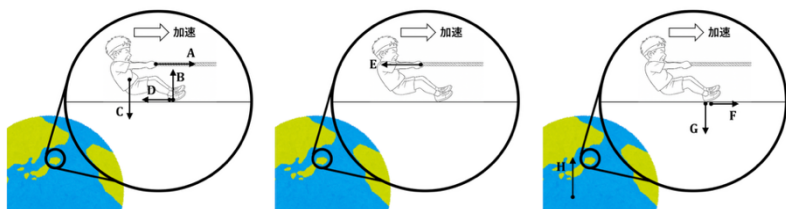
2. 実践結果

2.1 作用・反作用の法則

力の矢印が「作用・反作用」か「つりあい」か問う問題において、問題数を精選し、より日常生活に即した内容とした。

○問題図と Google フォーム画面 (ラジオボタン) の一例

図は綱引きで負けて引きずられているときにはたらく力を物体ごとに分けて示している。力のつりあいの関係にある力の組み合わせとして正しいものを、次の中から**全て**選べ。ただし、Hは地球の重心から人物に向けてはたらく力である。



- ☐ ① A と D
☐ ② A と E
☐ ③ C と H
☐ ④ D と F
☐ ⑤ E と F
☐ ⑥ つりあっている力はない

表 1: PI 問題の平均正答率[%]

討論	問題 1		問題 2		問題 3	
	つり合い	作用・反作用	つり合い	作用・反作用	つり合い	作用・反作用
討論前	29%	45%	37%	67%	45%	6%
討論後	46%	40%	58%	88%	74%	14%

○診断問題と各学校の正答率[%]・規格化ゲイン g

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

AさんとBさんが腕相撲をしたところ、Aさんが勝った。このとき、腕を回そうとする肘の関節での力を比較すると、

Aさんの力 > Bさんの力であった。

では、手のひらに着目したとき、AさんとBさんが押し合う手のひらの力の大きさの関係はどうだろうか。

- ① Aさんの押し力 = Bさんが押し力
 ② Aさんの押し力 > Bさんが押し力
 ③ Aさんの押し力 $\geq$ Bさんが押し力
 ④ Aさんの押し力 < Bさんが押し力

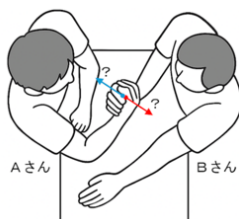


表 2: 診断問題の正答率と規格化ゲイン g

学校(人数)	事前	事後	規格化ゲイン
進路多様校 D(13 人)	62%	46%	-0.40
進路多様校 E(11 人)	45%	45%	0.00
進路多様校 F(29 人)	28%	22%	-0.07

2.2 電流と電気抵抗

「電流は抵抗の数や大きさが多ければ小さくなる」という誤概念を標的に、選択肢の精選を行った。解答時には昨年度同様、演示実験による検証を実施した。

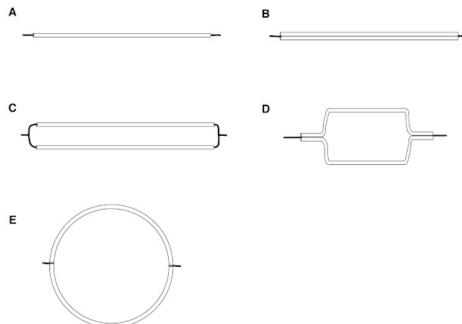
○問題図と Google フォーム画面（ラジオボタン）の一例

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。A～Eの抵抗値の大小関係として正しいものはどれか選べ。

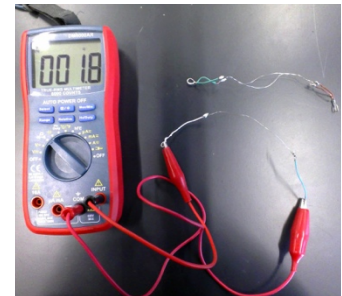
- ☐ A $A > B = C = D = E$
- ☐ B $A = B = C = D = E$
- ☐ C $A < B = C = D = E$
- ☐ D $A > B > C > D > E$

表3：PI 問題の平均正答率[%]

討論	問題 1	問題 2	問題 3
討論前	38%	45%	70%
討論後	80%	60%	96%

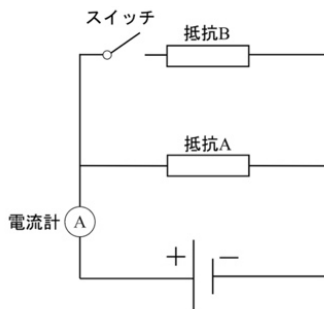


○解答時に選択肢を検証する演示実験を実施



○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。

表4：診断問題の正答率と規格化ゲイン g

学校(人数)	事前	事後	規格化ゲイン
進路多様校 D (13 人)	8%	46%	0.42
進路多様校 E (10 人)	10%	78%	0.75
進路多様校 F (61 人)	22%	31%	0.12

3. まとめ

今年度の実践では、分野によって結果が大きく分かれた。「電流と電気抵抗」では、選択肢の精選により、昨年度から継続している演示実験の視覚的効果がより引き出されたと考えられる。特に進路多様校 D ($g=0.42$) や E ($g=0.75$) では、昨年度を大幅に上回る学習効果が見られた。一方、「作用・反作用の法則」では、問題設定の刷新にもかかわらず、規格化ゲインは依然として低く、一部でマイナスとなった。昨年度と比較しても顕著な改善は見られず、「作用・反作用の法則」における根強い誤概念を払拭するには、PI 問題と診断問題をいかに接続させるかという、授業プロセス自体のさらなる検討が必要である。今後は、より効果的な発問構成や、実験を効果的に組み込んだ授業デザインの探究を継続していく。

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)

中学校理科における学習方略の活用を促す振り返り活動の検討

^A 藤本 滉二郎, ^B 谷口 和成

^A 京都教育大学附属京都小中学校, ^B 京都教育大学
fujimoto@kyokyo-u.ac.jp

1. はじめに

学習者が正しい物理概念を形成することを目指して様々な実践的研究がなされ、アクティブ・ラーニング（以下、AL）として効果的に授業実践すること（教授方略）や、生徒が能動的に授業に参加すること（動機づけ）の重要性が示唆されてきた[1-2]。一方で、学習者が適切な学習方法を意図的に活用する「学習方略」もまた、学習を効果的に深めるための重要な要因のひとつである[3]。しかし、大学生を対象にしたAL型授業では、学習方略の活用度合が変容しにくいことも確認されている。その原因として、大学生は経験的に、有効とされる方略に大きなコストを感じていたり、その有効性を実感していなかったりすることが推察されている[4]。

ここで、中央教育審議会は、これからの学校で「自らの学習の状況を把握し、主体的に学習を調整する」ことの重要性を示したように[5]、自己調整学習への注目が高まっている。Zimmerman は、自己調整学習を「予見、遂行、自己内省」の3つの段階からなる循環プロセスとして捉え、目標達成に向けた努力が高い自己効力を生じさせないと、学習者はその方略を使い続けられないとしている[6]。

そこで我々は、学習効果の高い方略を自ら選択できる学習者の育成を目指し、自身の学習方略を確立する途上にある中学生を対象に、その修得と活用に関する支援を実施してきた[7]。本研究では、定期考査に向けた学習に着目し、学習方略の有用性への気づきを促すため、学習方法の振り返り活動に着目して支援を検討するとともに、振り返り活動が生徒の学習方略に与えた影響や、生徒が持つ学習方略およびその変容の仕方について分析することを目的とする。

2. 方法

2-1. 実践の概要

発表者が担当する学年（表1）において、年4回の各定期考査後に、学習方法を省察する活動を実践した。特に、振り返り活動に重点を置いたのは2024年度以降である。

表1 担当学年

年度	担当学年
2022	第1学年(N=86)
2023	第2学年(N=86)
2024	第2学年(N=93)
2025	第2学年(N=92)
2026	第3学年(N=93)

具体的な活動として、「展開①：活用した学習方法、自信を持って解答できた問題の把握」、「展開②：グループでの展開①の共有」、「展開③：変容や課題の明確化」、「展開④：今後の学習で活用したい方略のまとめ」を設定した。記入されたワークシートについては、次回の定期考査の約2週間前に返却し（展開

①）、前回の反省や計画（予見段階の内容）を確認させた上で、次の考査に向かえるようにした（図1）。また、各展開のねらいを自己調整学習のプロセスに沿って整理したものおよび、実践の留意点を表2に示す。

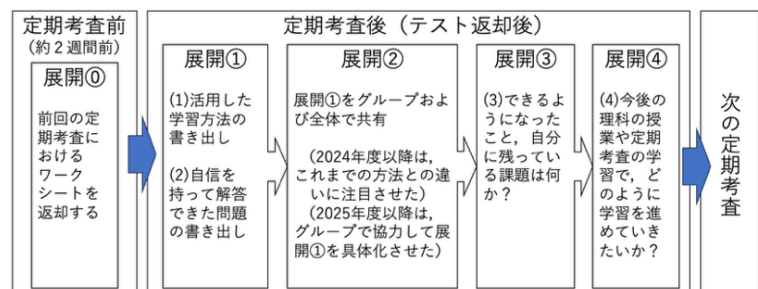


図1 実践の流れ

表2 実践のねらいおよび留意点

各展開のねらい		実践全体の留意点
展開①	過去に行った“予見段階”の内容を思い出させ、今回の“遂行段階”の参考にさせる。	・ 教員はあくまでファシリテーターとして、振り返りの指示・共有をする。 ・ 教員が良いと考える学習方略を押し付けないようにする。 ・ 学習者が実践した学習方略を否定しない。 ・ 納得できたこと・自分にも当てはまると感じたことは色を変えてメモさせる。 ・ グループで具体的でないと感じた部分、意味が理解できなかった部分を質問するよう促す（2025年度から実施）。
展開②	“遂行段階”を記録するとともに、“自己内省”の具体的な材料をつくる。	
展開③	“遂行段階”の記録をさらに具体化させるとともに、学習方略に関する新たな視点を取り入れる。	
展開④	“自己内省”を記録するとともに、次回の定期考査に向けた“予見”の具体的な材料をつくる。	
展開⑤	次回の定期考査に向けた“予見段階”を内省の記憶が新鮮なときに行っておく。	

2-2. 実践期間中の調査について

本実践は、2022・2023年度における支援を“振り返り”に絞って改変し、2024年度以降に実施したものである。2024年度以降については、発達段階が活用する学習方略に及ぼす影響を考慮するため科学的推論テスト（CTSR）を実施した。また、定期考査の振り返り時に学習時間も調査した。

3. 結果および考察

2026年度第1回考査後の、展開①における記述から得られた学習方法（90件）を対象に、KH Coderによるテキストマイニングを用い、考査得点の上・中・下位群（平均点±標準偏差を基準とした）との対応分析を行った。その結果、【上・中位群(N=72)】は「振り返り」や、「誤答の分析・理解のし直し」を行っているのに対し、【下位群(N=18)】は「暗記」や「単なるリハーサル」に頼る傾向がみられた。また、得点上位群において、学習方法と学習時間で対応分析したところ、長時間（平均値以上）かけている生徒は「とにかく問題を解く（リハーサル方略）」のに対し、短時間（平均値未満）で効率よく学習を進める集団は、「授業内容を思い出す（振り返り）」、「誤答に関連する知識をまとめる（体制化方略）」などを行っていることが明らかになった。

以上より、学習方略の振り返りにおいて、考査得点に焦点を当てることは、振り返りや苦手分野の理解に対する気づきを促すことが示唆された。一方で、得点との関係を強調しすぎると、適切な学習方略よりも勉強量を重視してしまう懸念もある。今後は、学習効率など、考査得点以外の視点も取り入れた振り返りを実施していく必要がある。

参考文献

- [1]山崎敏昭, 他 (2013): 物理教育 61, 12-17.
- [2]北村貴文, 谷口和成 (2015): 物理教育 63-2, 98-103.
- [3]谷口和成, 他 (2022): 日本物理学会 2022 年秋季大会 13aW321-2.
- [4]吉田寿夫, 村山航 (2013): 教育心理学研究 61, 32-43.
- [5]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）』.
- [6]自己調整学習研究会 (2012): 『自己調整学習 一理論と実践の新たな展開へー』北大路書房.
- [7]藤本滉二郎, 他 (2023): 日本物理学会 2023 年春季大会 23aN1-5.

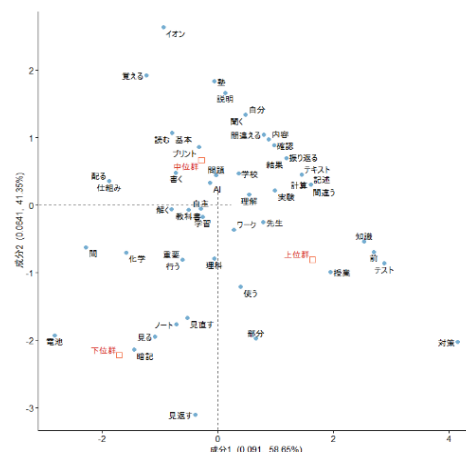


図2 学習方略と得点の対応分析

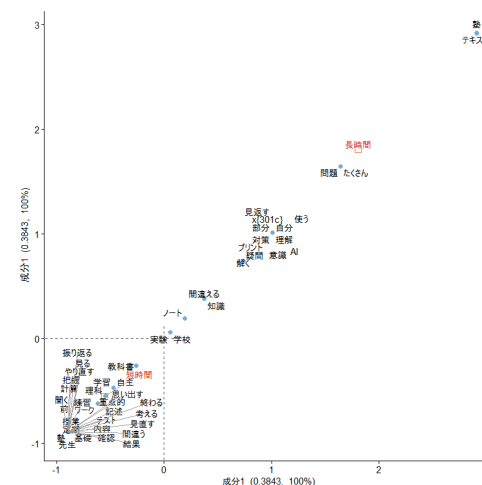


図3 得点上位群における学習方法と学習時間の対応分析 (N = 17)

アクティブラーニング型授業における

自律的な動機づけを促す心理的プロセスの検討

^A加藤 滉, ^B古結 尚, ^A石井 哲夫, ^A谷口 和成

^A京都教育大学物理, ^B同志社中学校・高等学校

kou.tonnura@gmail.com

1. 研究背景と目的

近年、予測困難な社会において主体的に課題を発見・解決する資質・能力の育成が求められている。その実現に向けて、学習者の主体的な学びを支える要因の一つとして学習への動機づけがある。自己決定理論ではこの動機づけを自律性の程度によってとらえており自律性の高い動機づけほど主体的な学びや深い理解につながることを示されており、基本的心理欲求の充足により自律的な動機づけが形成されるとされている [1]。アクティブラーニング型授業では、学習者が主体的に学習に参加し、教材や他者との対話を通して概念理解を深めることが期待されている。しかしながら、教員の支援が学習者の動機づけをどのような心理的プロセスを経て自律的な方向へ変容させるのかについては、十分に明らかになっていない。

そこで本研究では、自己決定理論をアクティブラーニングにおける動機づけの変容を解釈する枠組みとして位置付け、アクティブラーニングの一形態である Interactive Lecture Demonstrations (ILDs) の受講者を対象に、教員の支援が基本的心理欲求を介して自律的な動機づけに及ぼす影響を検討した。また、授業映像の分析結果と対応づけることで、教員の支援が授業場面においてどのように機能していたのかについても検討した。

2. 方法

本研究では、2025 年度に本学で開講されたアクティブラーニングの一形態である ILDs を取り入れた本学の物理学基礎実験の受講者のうち、調査結果に欠損のない 42 名を対象とした。授業前後に、「欲求支援・阻害行動尺度 [2]」、「基本的心理欲求尺度 [3]」、「自己決定理論における動機づけの質問紙 [4]」を用いた質問紙調査を実施し、学生が認識した教員の支援、基本的心理欲求の充足の程度、および動機づけについて測定した。動機づけについては、相対的自律性指数 (Relative Autonomy Index : RAI) [5] を算出し、自律性の程度を統合的に評価した。

得られたデータを基に、自己決定理論における「教員の支援→基本的心理欲求→自律的動機づけ」の枠組みに基づく構造モデルを作成し、構造方程式モデリング (SEM) を用いて教員の支援が基本的心理欲求を介して自律的な動機づけに及ぼす影響を検討した。さらに、構造方程式モデリングによって示された作用機序を授業場面に即して解釈するため、授業映像の分析を行った。動画分析では、教員の声かけや授業構造に着目し、基本的心理欲求の充足や自律的な動機づけにつながる支援を抽出するとともに、質問紙調査および SEM の結果と対応付けることで、教員の支援が学習者の動機づけに及ぼす影響について総合的に検討した。

下位尺度	項目例
自律性支援	物理基礎実験で先生は、私の好きなように選択させてくれる
有能感支援	物理基礎実験で先生は、私のスキルを改善するように促してくれる。
関係性支援	物理基礎実験で先生は、私を含むグループが行うことに関心を持ってくれる。

図 1 欲求支援・阻害行動尺度 項目例

下位尺度	項目例
自律性欲求	物理基礎実験の授業で、私は、やりたいことを自由に選んでいると感じている。
有能感欲求	物理基礎実験の授業で、私は、たいいていのことをうまく行う自信があると感じている。
関係性欲求	物理基礎実験のグループ内で、親密な関係を築いていると思う。

図 2 基本的心理欲求尺度 項目例

3. 結果と考察

自己決定理論に基づく「教員の支援→基本的心理欲求→自律的動機づけ」の構造モデルを SEM により検証した結果、班の仲間との関係性欲求は自律的動機づけへ直接影響するのではなく、自律性欲求を媒介して自律的動機づけへとつながることが示された。このことから、アクティブラーニングにおいては、学習者同士の良好な関係性が形成されることで、自ら学習に取り組もうとする意識が高まり、自律的な動機づけへと発展する可能性が示唆された。

さらに、授業映像の分析を行った結果、教員による問い返しや肯定的な声かけに加え、学習者の理解状況や動機づけの状態を踏まえて班活動の価値を位置付ける支援が継続的に行われていたことが確認された。これらの支援により、学習者が疑問や誤答を安心して共有できる心理的安全性が形成され、班内で互いに支え合いながら議論する関係性が構築されていた。その結果、班活動を通して自ら考えることの価値を実感し、自律性欲求の充足を介して自律的な動機づけにつながったと考えられる。

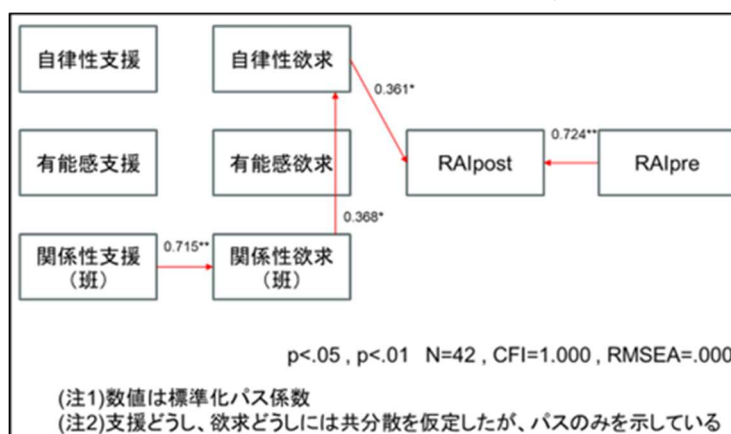


図 3 自己決定理論に基づく 支援行動－欲求－動機づけモデル

参考文献

- [1] Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000): American Psychologist, 55, 68-78.
- [2] 肖雨知, 外山美樹 (2020): 心理学研究 90-6, 581-591.
- [3] 西村多久磨, 鈴木貴 (2016): Japanese Psychological Research, 58, 320-331.
- [4] 西内舞, 川崎弘作 (2017): 日本教科教育学会 40, 59-68.
- [5] Grolnick, W. S., Ryan, R. M. (1989): Journal of Educational Psychology, 81, 143-154.

生成 AI を活用したアクティブ・ラーニング型授業の「擬似実践」空間の開発

立川瑛梨佳, 谷口和成
京都教育大学

erika010123@icloud.com

1. はじめに

学習者は物理を学習する以前から、日常生活等での経験を通して形成された「素朴概念」を有しており、それが物理概念の理解の妨げになる可能性が知られている[1]。そこで、米国の物理教育研究（PER）では、その存在をふまえ概念理解や変容を促す手法として、アクティブ・ラーニング（AL）型授業が開発され、その有効性が報告されている[2]。

一方で、日本における AL 型授業の現状において、「議論が想定外の方へ進むことへの不安」等の理由から、教員が実践に踏み出しにくいという課題が指摘されている[3]。この課題を解決するためには、多様な素朴概念をもつ学習者集団を対象に授業運営を経験できる環境が有効であると考えられる。しかし、実際の教育現場で学習者を複数名集めて繰り返し模擬授業を実施することは現実的ではない。

そこで本研究では、そのような機会を提供する「擬似実践（シミュレーション）」空間の構築を目指し、現在 AI 学習者の作成・検討を行っている。講演では、AL 型授業の同じ場面において、実際の学生の反応（動画）と開発した AI 学習者の反応（シミュレーション結果）を比較、分析した結果を紹介し、本開発の現状を報告する。

2. 研究方法

2.1 AI 学習者の作成

本研究では、生成 AI として ChatGPT を用い、ユーザーが独自の GPT を作成できるカスタム GPT 機能を利用して AI 学習者を作成した。カスタム GPT では、AI が応答生成時に参照する情報を登録する「Knowledge」と、AI の振る舞いを規定する「指示文（プロンプト）」が設定できる。そこで AI 学習者の作成に当たって、「Knowledge」には素朴概念の分類表[4]など学習者が保持する知識や物理学習に対する学習者の態度（CLASS[5]を参照）等を参照し、学習者の知識・

学びの特徴を設定できるようにした。「プロンプト」には特徴の決定手順や指示に対する応答規則を設定した。さらに、生成 AI の応答はプロンプト設計に大きく依存することから指示の解釈が一貫して安定した応答が得られるように調整を行った。

2.2 題材の選定

シミュレーションにおける学習テーマとして、力学分野「運動の第 3 法則」を選択した。この学習には、「作用・反作用と力のつり合いとの混同」や MIF 誤概念など、複数の素朴概念・誤概念の存在が明らかになっており、開発した AI 学習者の評価が容易であるためである。また、本学は代表的な AL

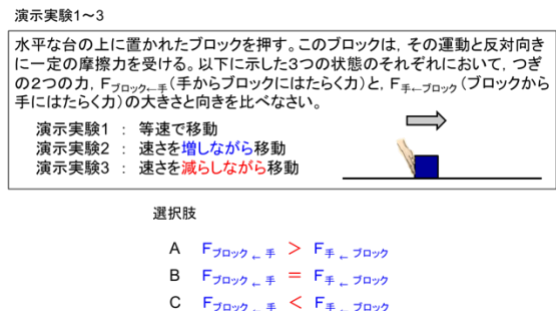


図1 提示した課題

型授業である ILDs を 10 年以上にわたって実践し、高い授業効果を挙げてきており[3]、授業者の豊富な経験と膨大な数、時間の授業動画があることから、本学における ILDs 型授業の展開[2]（図 1）を採用した。AL の核となる班編成として、3 人班を 5 班編成し、各班に物理履修者の特徴を持つ学習者を 1 名配置すること以外は、履修歴と学びの状況の組合せはランダムに配置した。

3. 結果と考察

開発した AI 学習者を対象としたシミュレーション結果の一例を図 2 に示す。これは、演示実験 1（図 1）における、各班が出した「回答とその理由」を示している。この回答から、①から②に意見を変容させている様子や、②と①で対立している様子などが確認でき、多様な議論をシミュレーとできる可能性が示唆された。また、「同じ大きさなら、なぜ動いているのかが納得できない。」などの MIF 誤概念からくる発言や「一定の速度

1班	選択肢：②	理由：一定の速さで動いているから、力がつり合っているはずで、手とブロックの間でも同じ大きさの力が働くと考えた。最初①を選んでいてBは、「押している側が強い力を出している」と思っていたけど、動きが変わらないなら同じかもと考え直した。
2班	選択肢：①と②で分かれた	理由：DやFは「押している側の方が強い力を出している」と考え①を主張したが、Eは「一定の速度＝力がつり合っている」として②を主張し、意見がまとまらなかった。
3班	選択肢：②	理由：「一定の速度」という条件から力のつり合いを重視し、手とブロックの力も同じ大きさだと考えた。Iは最初③だったが、「押し返す力も同じくらいあるのでは」と考えを変えた。
4班	選択肢：①と②で分かれた	理由：JとLは「押しているからFの方が大きい」と考え①を維持したが、Kは「運動が変わらないなら同じ」として②を主張し、最終的に一致しなかった。
5班	選択肢：②	理由：MやOを中心に「作用・反作用っぽい関係で同じ大きさ」と考えがまとまり、Nも「最初は①だと思ったけど、押し返されている感じを考えると同じかも」と変化した。

図 2 すべての班の討論結果のリスト

だから加速度は 0。前にやった第 2 法則から、正味の力は 0 になると思った」などの「運動の第 2 法則」を根拠とした回答も確認された。これらの素朴概念／誤概念は、大学における実践において表出することが報告されており、実際の学習者集団をシミュレートできている可能性も示唆された。

一方で、大学における実践では、演示実験 2 や 3 において、実験結果が提示された後も「運動の第 2 法則」を適用する学習者や MIF 素朴概念を持つ学習者が「なぜ運動の第 2 法則が成り立たないのか」や「なぜ同じ力なのに動くのか」などの疑問を残したまま、十分に納得できていない状況であることが報告されている[3]。しかしながら、本シミュレーション結果では、演示実験 2 の段階で、数名の AI 学習者が「力がどこにはたらいっているかを分けて考える必要がある」など、はたらく力に着目した発言をし、各班の再討論で考えが修正される展開となり、結果としてクラス全体が正答へと収束する（自己解決する）傾向が確認された。この要因の一つに、今回のシミュレーションは AL 型授業の実践経験がない授業者が行ったため、学習者の疑問を十分に引き出せなかった可能性が考えられる。今後は AL 型授業の実践経験が豊富な教員によるシミュレーションを実施し、ファシリテーションが議論の展開に与える影響を検証することにより、AI 学習者の評価と改善を図る必要がある。

参考文献

- [1] エドワード・F・レディッシュ (2019) : 『科学をどう教えるか』 丸善出版.
- [2] 北村貴文, 谷口和成 (2015) : 物理教育 63-2, 98-103.
- [3] 今井章人, 新田英雄, 安田淳一郎共編 (2025) : 『物理教育の理論と実践』 102-124, 株式会社オーム社.
- [4] 新田英雄 (2012) : 物理教育 60-1, 17-22.
- [5] K. A. Douglas (2014) : physical Education Research 020128, 1-10.

エネルギーの系とモデル

西尾信一

日本薬科大学

nishio@zd6.so-net.ne.jp

1. はじめに

エネルギーは、熱力学第一法則で示されるように、本来「系がもつ stock」と「系に出入りする flow」で理解すべきものである。位置エネルギーは、本来は保存力をおよぼし合う複数の物体を系として定義されるものであり、重力による位置エネルギーは重力をおよぼし合う物体と地球を合わせた系のもつエネルギーである¹⁾。しかし、伝統的な教授法では、着目した1つの物体がもつエネルギーとして扱われている。

このため、自由落下する物体について書き下した方程式が $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ と書かれていたら、この式は「重力が物体にした仕事は、物体の運動エネルギーになる」というエネルギー原理（仕事-エネルギー定理）であるとも、「物体の位置エネルギーが、物体の運動エネルギーに変換される」という力学的エネルギー保存則であるとも解釈することができる。また、力学的エネルギー保存則の一般的説明も、保存力を特別扱いした条件付きのものとなる。これらは学習者の概念理解の混乱を生み、熱力学第一法則に整合する本来のエネルギー原理の理解とも相容れない。

本発表では、系概念に基づくエネルギー理解を改めて整理し、系とモデルとの関連を議論し、よりよい指導法の可能性を探りたい。

2. 電気エネルギーの系

伝統的な教授法では、着目した1物体がもつエネルギーという見方は、電気エネルギーでより強化される。電場の中に置かれた1個の点電荷が、位置によって決まる位置エネルギーをもつという理解のしかたは、位置によって決まる力を受けるという電場の概念と整合性がよい。位置で決まる電場と対比して、やはり位置で決まる電位を導入するのにも好都合である。

しかし、電気エネルギーも本来は系がもつものである。電場の源となる電荷と、その電場中の電荷を合わせた系が、それらの電荷配置で決まる位置エネルギーをもつ。そのことはコンデンサーの静電エネルギーでわかりやすいし、実験で導入することもやりやすい。

なお、電気エネルギーについては「電場がもつ」という別の見方もあるが、それは「系がもつ」という理解と矛盾はなく、やはりコンデンサーで説明しやすい。たとえば、充電して電源から切り離れたコンデンサーの極板間距離を増やすと、両極板の正負の電荷は遠ざかって配置による位置エネルギーは増えるし、極板間の電場のある空間の体積は増える。

3. 化学エネルギーの系

化学エネルギーは、ふつう石油や天然ガスなどの1つの燃料物質がもつという見方で扱われる。しかし、化学エネルギーもまた系がもつものである。物質は他の物質と化学反応をすることにより、他のエネルギーに変換できる。その化学反応が起こる前の段階では「潜在的にもつエネルギー」としか言えないという意味では、まさに系内の配置変化が起こる前に「潜在的にもつエネルギー」と

して定義された位置エネルギー（ポテンシャル・エネルギー）と同じとらえ方ができる。

さらに、燃料物質であれば酸素と合わせた系がもつエネルギーが、燃焼という化学反応を前提とした化学エネルギーになるが、このエネルギーは燃料物質よりも実は酸素が主役であるという²⁾。だとすると、われわれが燃料物質に価値を見いだすのも、酸素が周囲に大量にあって簡単に利用できる環境にいるからに過ぎないということになる。

4. 系とモデルの区別

伝統的な教授法で、エネルギーが1つの物体・電荷・物質がもつという「1物体モデル」「1電荷モデル」「1物質モデル」として扱われてきた理由はいろいろ考えられる。まず、運動方程式を元にエネルギー原理として導入される最も基本的なエネルギーである運動エネルギーは、まさに1物体がもつものである。また、着目する対象は、複数要素を含んだまとまりよりも、ただ1つの方がはるかに簡単でイメージしやすい。そして、1物体モデルは力学的エネルギー保存則を適用する問題の説明をしやすく、1電荷モデルは電位の導入に好都合で電気回路の説明もしやすい。

また、系概念だけでエネルギーの指導を完結させることは、通常のカリキュラムでは困難である。たとえば、自由落下する物体のエネルギー保存を物体-地球系で扱うと、物体と地球が引き合って双方が動くということになるが、その際の地球の運動エネルギーを無視してよいことは、たとえ速さが微小でも質量が桁違いなのだから、けっして自明ではない。

大事なことは系とモデルを区別することである。エネルギーは系がもつという概念理解を基本に据え、学習者が「1物体という系」「1電荷という系」がもつエネルギーと誤解しないように注意するなら、「1物体モデル」や「1電荷モデル」を捨てる必要はない。

重力による位置エネルギーなら、最初に物体-地球系で位置エネルギーを導入し、このエネルギーは「（地球のことを考えずに）落下する物体がもつという簡単なモデルで扱っても立式に支障はない」とすれば、従来の1物体モデルで議論することができる。

電気力による位置エネルギーなら、最初に電荷系で位置エネルギーを導入し、このエネルギーは「（電場をつくる電荷のことを考えずに）電場の中にある点電荷がもつという簡単なモデルで扱ってもよい」とすれば、従来の1電荷モデルで議論することができる。

5. おわりに

エネルギー学習の到達目標は、やはり熱力学第一法則と整合する「系概念に基づくエネルギーの変換と保存」としたい。それを前提とするなら、系内のエネルギー変換や系外とのエネルギーの出入りを、概念図やエネルギー・バー・チャートで定性的に説明することを先行させ、その後に1物体モデルなどを提示して、数式で定量化するという流れがよいのではないかな。

また、系とモデルを明示した指導法は、とくに電気エネルギーで教育的である。「電荷系のもつエネルギー」「電場のもつエネルギー」「電場中の電荷がもつエネルギー」という多様な見方・モデルを示すことにより、物理におけるものの見方やモデルの目的、適用範囲、階層構造なども認識できる。

参考文献

- [1] 西尾信一，右近修治(2025)：仕事をどう教えるか，物理教育，73-4，247-252.
- [2] 西尾信一：化学エネルギーをどう教えるべきか(2024)，物理教育通信，198，43-48.

「聴いて」捉える振り子の運動 —音声化を活用した視覚障害教育の実践—

平野祐希子

筑波大学附属視覚特別支援学校

hirano@nsfb.tsukuba.ac.jp

1. 背景

視覚障害のある生徒の運動する物体の様子の手え方は、視覚障害のない生徒と大きく異なる。例えば坂道を下る台車は、音を聞いているだけでも加速していくことがわかる。この場合は台車が坂道に沿って運動することが自明で、見なくても位置や速度がある程度手えられるため、視覚障害のない生徒が「見て」手える情報と大差はないともいえる。しかし、例えば投げ出されたボールや振り子など、音があまり出ない物体の運動の場合は、視覚障害のある生徒が速さの変化を手えることは難しい。触れて知ろうとしても、多くの実験においては運動自体が変化してしまっておりわかりづらい。また、センサ等で位置や速度を測定して画面に映し出された結果を、視覚を用いずに自ら確認することもできない。

筆者は、運動の様子の手声化、測定結果を読み上げるようなシステムの開発などといった方法を活用して、視覚障害のある生徒が自ら実験し、その結果を確認できるよう工夫してきた。本講演では、振り子を用いた力学的エネルギー保存の法則、単振動における振り子の周期の測定の授業について報告する。

2. 振り子を用いた力学的エネルギー保存の法則の確認 —音声ビースピの開発と活用—

振り子の最下点での速さの測定には、「ビースピ」を用いることができる。ビースピはセンサの間を通過した物体の速さを画面表示する道具であるが、視覚障害のある生徒は数値を自ら確認することはできない。そこで、ビースピのように速さを測定し、数値を手声で読み上げることができる装置(図 1)を製作した。装置には、赤外線 LED とフォトトランジスタを 2 組、4.5 cm の間隔をあけて向かい合わせに配置した。1 組の間を物体が通ってからもう 1 組の間を通るまでの時間を Arduino で測定して速度を計算し、PC 側ではその値を画面表示するとともに手声で読み上げる。赤外線 LED とフォトトランジスタには、外部からの光を遮るために黒いチューブをつけた。実験装置の全体像は図 2 のようになっている。視覚障害のない生徒たちが用いる装置[1]と同様、振り子の後ろの板に 5 cm ごとに高さを示す線を引いた。この線には触れてわかるようにテープを貼ってある。

読み上げ手声の合成に時間がかかるので、今回のように長さ 30 cm 程度の振り子の運動を測定するときは、しばらくすると読み上げが遅れてきてしまう。しかしこの実験であれば、最初の 1 回でもわかれば十分である。LED とフォトトランジスタの指向角が $\pm 15^\circ$ であること、これらを手で配置していることを考慮すると高い精度は求められないが、結果は表 1 のようになった。生徒にとっては、読み上げ速度はさらに早くても十分聞き取れるようであった。今後は生徒の手声を参考に、データ表示・読み上げができる間隔をさらに短くしたい。

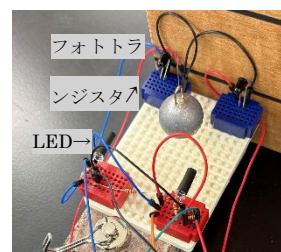


図 1 音声ビースピ

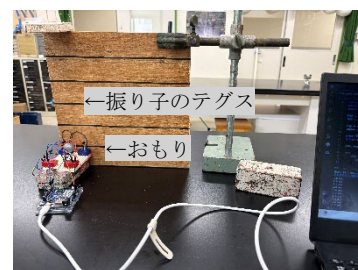


図 2 実験装置全体

表 1 振り子最下点の速さ

高さ h	v の平均値	$\sqrt{2gh}$
0.05 m	1.0 m/s	0.99 m/s
0.10 m	1.4 m/s	1.40 m/s
0.15 m	1.7 m/s	1.71 m/s
0.20 m	2.0 m/s	1.98 m/s

3. 単振り子の周期測定

高校3年生、選択者2名(1名は印刷文字使用、1名は点字使用)の「物理」において、単振り子の周期を測定し、ひもの長さを導出する実験を行った。装置は図3のように、天井にあけた穴の奥からおろしたひもの先に、5.45 kgの砲丸をつるしてある。まず、鉛直方向からの角度 θ が十分に小さいときにおもりが単振動とみなせること、

$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ となることから周期 T を測定すればひもの長さ L がわかることを確認し、装置全体を触れて構造を理解してから実験した。当然、ひもの長さは触ってもわからないので、「どれだけ長いのだろう」と考えながら実験してもらえたようだ。

最下点には図4のように、「感光器」を置いた。感光器はセンサに入る光の量に応じて出力される音の高さが変わるもので、盲学校の理科の実験で多く用いられる。目の前を物体が横切ると光が遮られて音が低く変化するので、最下点に到達した瞬間がわかる。10往復にかかる時間は2名の平均値 33.9 s を採用し、ひもの長さは $L = 2.9 \text{ m}$ と計算された。筆者がひものを固定した点からおもりまでの長さをメジャーで測った値とほぼ一致した。

筆者にとってもこの実験は、目で見えて実験するより、感光器の音を聞いた方が簡単で正確な値が出ることが多い。速く動いているものがある点を横切る瞬間を、目で見えて正確に捉えることは意外と難しく、音でリズムを取って測定する方が簡単なのかもしれない。



図3 単振り子



図4 感光器

4. 課題と展望

現在、障害があってもなくても同じ場所で学ぶことが良いこととされ、インクルーシブ教育が推進されている。しかし、視覚障害のある生徒たちは他の生徒と同じ方法で同じことを学ぶのは不可能である。本校では長年、盲学校の専門性と設備を活かした教育を追究してきたが、インクルーシブの環境を選ぶ生徒たちに何ができるかも大きなテーマである。

今回製作した音声ビースピは、速度を音声で読み上げると同時に画面にも表示できる。私たち教員をはじめ視覚障害のない人にとっては、音声だけだと不安がある。一方で画面表示さえできれば、音声は邪魔になることはない。よって、障害の有無にかかわらず活用できるものになっているといえる。

振り子の周期測定についても、見ると同時に音声による補助があったら、視覚障害はないが動くものを見るのが苦手な生徒にとっても、やりやすくなるはずである。盲学校以外には感光器はないが、これも今回のようにマイコンやセンサを用いれば、物体が前を横切るタイミングをとらえる程度の音声化はできる。音声を用いた周期の測定は、視覚障害のある生徒とない生徒双方にとって、実験しやすくなる提案のはずである。

インクルーシブ教育は、障害のある生徒とない生徒がただ一緒にいるだけでは実現しえない。各教科の専門性と、障害種に合わせた工夫があってこそのことである。盲学校だからできる、視覚障害教育の専門性を活かした研究を今後も続けていきたい。

参考文献

[1]兵頭俊夫監修：「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―」学術図書出版社, 28-30.

“thermal equilibrium” は “temperature equilibrium” と同一である

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、物体や系の内部及びその周囲の環境にも存在せず、『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てきた^{1), 2)}。また、欧米等の著書から “thermal equilibrium” の意味について様々な事例を紹介してきた^{3), 4)}。欧米等の物理学書を更に調査した結果、新たに、『“thermal equilibrium” と “temperature equilibrium” は同一であること、“thermal equilibrium” は「熱平衡」ではないこと』が明らかになったので報告する。

2 Slater, Frank 共著 “Introduction to Thermal Physics”⁵⁾ に見る “thermal equilibrium” の意味

p.368 の第 222 節 に、次の様にある。

『222. The Canonical Ensemble.—More suitable than the micro canonical ensemble for discussing temperature equilibrium proves to be a slightly different one called the canonical ensemble. . . . This ensemble has not only the property of remaining unchanged with time, if the system can left to itself, but also of remaining unchanged if the system can interchange energy with another of the same temperature. This is evidently necessary for thermal equilibrium, and the canonical ensemble is the only one in general which has this property. . . .』(下線は五十嵐による)

訳すと：『温度平衡を議論するには、ミクロカノニカル集団よりも、カノニカル集団の方がより適切であることが判明した。 . . . この集団は、もし系そのものが放置される場合は時間が経過しても変化しない性質を持つだけでなく、同じ温度の他の系とエネルギーの交換ができる場合でも、変化しない性質を持つ。これは明らかに、thermal equilibriumのために必要であり、カノニカル集団だけが、一般的にこの性質をもっている。 . . .』となる。

文脈から、thermal equilibrium は、temperature equilibrium(温度平衡)と同一(同じ意味)であることが分る。

3 D. ter Haar 著 “Elements of Statistical Mechanics”⁶⁾ に見る temperature equilibrium

(3.1) p.46~の Chapter III Quantum Statistics の p.50~の §2 Planck’s Radiation Law. の p.53 に、次の様にある。

『 or $\rho = aT^4$, (3.210) Where a is given by the equation $a = 8\pi^5 k^4 / 15h^3 c^3 = 7.56 \cdot 10^{-15} \text{ erg degree}^{-4} \text{ cm}^{-3}$. (3.211) . . . Equation (3.210) is called the *Stefan-Boltzmann law*, which states that the total energy density in a radiation field in temperature equilibrium is proportional to forth power of the temperature. . . .』(下線は五十嵐による)

訳すと：『或は、 $\rho = aT^4$, (3.210) ここで、 a は、 $a = 8\pi^5 k^4 / 15h^3 c^3 = 7.56 \cdot 10^{-15} \text{ erg degree}^{-4} \text{ cm}^{-3}$. (3.211) の式で与えられる。 . . . (3.210)式は、シュテファン・ホルツマンの法則と呼ばれており、温度平衡にある放射場における全エネルギー密度は、温度の 4 乗に比例することを述べるものである。』となる。

一般的なテキストでは、『the total energy density in a radiation field in thermal equilibrium is proportional to . . .』と記述されている。

(3.2) p.98~の Part 8 Ensemble Theory の Chapter V Petit Ensembles の p.106 の §3. The Macrocanonical Ensemble. の p.106~107 に、次の様にある。

『 §3. The Macrocanonical Ensemble. We mentioned in the preceding section the following theorem. The macroscopic behavior of a system at equilibrium at a temperature T will be described correctly by taking the average behavior of a system in a macrocanonical ensemble with a modulus Θ which is related to T by the equation

$\Theta = k T$ (5.301) That this is a sensible way of describing the behavior of a system in temperature equilibrium is due to the following two facts: . . .』(下線は五十嵐による)

訳すと：『前節で次の定理に言及した。温度 T で平衡している 1 つの体系の巨視的な振舞は、 $\Theta = kT$ (5.301) の式で T と関係付けられる母数 Θ を持ったマクロカノニカル集団の中の体系の平均的な振舞を考えることによって正確に記述される。これが、温度平衡にある 1 つの体系の振舞を記述する合理的な方法であるということは、次の 2 つの事実に基づいている。 : . . .』となる。

(3.3) p.98~の Chapter V Petit Ensembles の p.128~の §8 The Relationship between Ensembles and Actually Observed Systems. の p.130 に、次の様にある。

『 The second case which we wish to consider is that of a system in temperature equilibrium. . . - corresponds indeed to the behavior of a system at equilibrium at a given temperature as we saw in §3. . . .』(下線は五十嵐による)

訳すと、『考察したい第2の場合は、温度平衡にある体系である。... - §3 で見た様に、実際、与えられた温度での平衡にある1つの体系の振舞に対応する、ということも使用する。...』となる。

(3.4) p.98~の Chapter V Petit Ensembles の p.128~の §8 The Relationship between Ensembles and Actually Observed Systems. の p.131 に、次の様にある。

『 We have thus proved the important fact that *any part of an isolated system in statistical equilibrium can be represented by a macrocanonical ensemble*. The analogy with the Maxwell distribution is not accidental, since we have there just an example of a subsystem (one atom) in an isolated system (the gas). We may add that in a similar way one can prove that a subsystem of a larger system in temperature equilibrium will also behave like the average system of a macrocanonical ensemble. 』

(下線は五十嵐による)

訳すと、『この様にして、統計的平衡にある1つの孤立した体系の任意の部分は、マクロカニカル集団により表すことができる という重要な事実を証明できた。マックスウェル分布との類似は偶然のことではない。なぜならば、マックスウェル分布の場合は、ちょうど孤立した体系(気体)の中の部分系(1つの原子)の1例になっているからである。また、温度平衡にある1つの大きい体系の中の部分系は、マクロカニカル集団の中の平均的な体系と同じ振舞をするということが、今と同様な方法で証明できることを付け加えておく。』となる。

(3.5) p.98~の Chapter V Petit Ensembles の p.128~の §8 The Relationship between Ensembles and Actually Observed Systems. の p.132 に、次の様にある。

『 We discussed one side of this question, namely, that *in a system in temperature equilibrium energy fluctuations occur*. ... In an isolated system we must expect temperature fluctuations. 』 (下線は五十嵐による)

訳すと、『この問題の一面、即ち、温度平衡にある体系においてはエネルギーの揺らぎが起る という問題は既に論じた。... 孤立した体系における温度揺らぎを期待しなければならない。』となる。

D. ter Haar のこの著書では、“thermal equilibrium”の用語は一切なく、全て “temperature equilibrium”を使用して論が展開されている(注記: macrocanonical ensemble と呼んでいるものは、今日では単に canonical ensemble と呼んでいるものである)。

4 J. C. Maxwell 著 “Theory of Heat”⁷⁾ に見る “thermal equilibrium”の意味

p.32~の Chapter II. On Thermometry, or The Theory of Temperature. に、次の様にある。

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

Law of Equal Temperatures.— Bodies whose temperatures are equal to that of the same bodies have themselves equal temperatures. ... 』 (下線は五十嵐による)

訳すと、『補足: 2つの物体が *thermal communication* の状態に置かれていて、どちらの物体も熱を失ったり得たりしなければ、その2つの物体は等しい温度或は同じ温度にあると云われる。このとき、この2つの物体は温度平衡にあると云われる。...

等しい温度の法則—温度が等しい物体同士は、互いに等しい温度を持つ。... 』となる。

章のタイトルが “On Thermometry”とあるので、「温度の測定」にかかわる基本的な事項が記述されていることと、『2物体が「等しい温度」を持つ 或は、「同じ温度」を持つ ので、2つの物体は “thermal equilibrium”の状態にあると云われる』とあること等から判断すると、“thermal equilibrium”の意味は「温度平衡(temperature equilibrium)」と理解するのが適切だと思われる。

5 まとめ 「“thermal equilibrium”は“temperature equilibrium”と同一である」ことが明確になった。我が国では“thermal equilibrium”を「熱平衡」と訳しているが、この訳語は初学者に誤概念を誘発しているので、「温度平衡」に修正することを願う。

6 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 「熱運動」は旧い時代の“heat motion”の訳語であり、“thermal motion”は「温度による運動」或は「温度運動」と訳するのがベターである 日本物理学会講演予稿集 Vol.78, No.2 (2023. 9), (第78回年次大会 DVD 版、物理教育分科会), p.2248
- 3) 五十嵐 靖則 「熱平衡」の用語は誤概念を誘発しているので「温度平衡」に修正するのがよい 日本物理学会講演予稿集 Vol.79, No.1, (2024.3) (DVD 版) p.2051
- 4) 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
- 5) J. C. Slater and N. H. Frank Introduction to Theoretical Physics McGraw-Hill Book Co., Inc. 1933, p.368
- 6) D. ter Harr Elements of Statistical Mechanics Holt, Rinehart and Winston 1954, p.53, p.130, p.132
- 7) J. C. Maxwell Theory of Heat Dover Publications, Dover edition 2001, p.32

教科書における潮汐説明の再検討

池田 幸夫

(崇徳学園崇徳中・高校非常勤講師 山口大学名誉教授)

ikedada2329@gmail.com

1 問題の所在

潮汐は、月と太陽の起潮力が引き起こす身近な自然現象の一つである。潮汐現象を力と運動の関係として捉える道を開いたのは、ニュートンの名著「プリンキピア」である。山本義隆(1981)は、「ケプラーも含めて、ニュートン以前には誰ひとり成功しなかった(半日周期の)問題を解明した」として、ニュートンの業績を高く評価している。

平衡潮汐説とよばれているニュートン流の潮汐論は、高校地学の教科書や科学啓蒙書、さらに大学の力学や地球科学の教科書にも普通に掲載されており、世界で広く共有されている。

気象庁がHPに公開している「潮汐の仕組み」はその中の一つである(図1)。

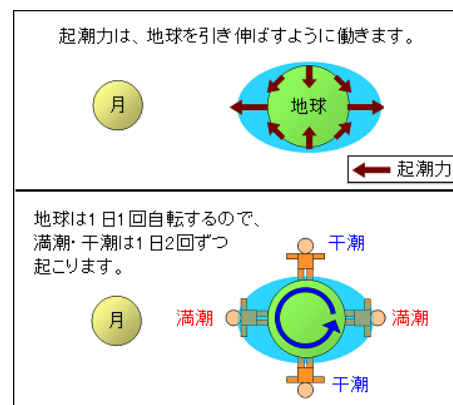


図1 潮汐のしくみ (気象庁HP)

平衡潮汐説の説明は、次のような2つの部分からなる。

- (1) 月が南中した側とその反対側では起潮力が最大になり、海水が引き上げられて満潮になる。
- (2) 自転によって満潮の位置を1日に2回通るために、干満は1日に2回起こる(半日周期)。

平衡潮汐説によれば、月が南中した地点が満潮になるはずだが、そのようになるところはほとんどない。日本の太平洋沿岸では、月の南中と満潮の間には約6時間ものずれがある。この不一致は、海洋の地理的・物理的条件の複雑さによるという説明に、多くの人は納得しているように思われる。

一方、自転によって満潮の位置を1日に2回通るという(2)の説明に対しては、疑問が提起されたことはほとんどなかった。しかし、この説明にも問題がある。24時間で地球を1周するためには、毎秒460mの対地速度が必要であるが、この高速を可能にするメカニズムが示されていないからである。

確かに、一見すると図1は分かりやすい。谷村省吾氏(名大)の言葉をかりれば、「分かったつもり」になりやすいのである。私自身も若い頃にはそうであった。年を重ねて50代の後半、山口大学教育学部の古川浩先生(物理学)から「起潮力は周期的に作用する外力だから、潮汐は一種の強制振動現象だよ」と、教えていただいたことがある。この助言に、私は「なるほど、そうか!」と、一気に視界が明るくなったように感じたことを、今でもよく覚えている。本発表では、伝統的な潮汐理解に関する(2)の問題点を明らかにし、対案として強制振動による説明を提案する。

2. 潮汐理解の力学的矛盾

(1) 起潮力の周期性

起潮力は約12時間の周期で作用している。これは自明である。これを命題形式で書くと、次のようなアリストテレス流の三段論法が成り立つ。

命題Ⅰ：起潮力は約12時間の周期で作用する周期的外力である。 [真]

命題Ⅱ：海洋には固有周期がある(約30時間)。 [真]

ゆえに、命題Ⅲ：周期的な起潮力を受けて、海洋は強制振動を起こす。 [真]

この証明には数学的な厳密性はないが、論理的には問題なく成立する。したがって、強制振動潮汐論を仮説として導入し、潮汐現象を演繹的に考察することは理にかなっている。仮説演繹法と呼ばれているこの方法は、フィールドワークを重視する地質学ではよく使われている。学生時代の恩師、故小島丈児先生が残した「理論は自然を見る光である」という言葉は、この方法論の特徴をよく言い表している。

強制振動で最も興味深い現象は**共振**である。海洋の固有振動周期と起潮力の周期が一致したときに、共振が起こる。起潮力に対して海洋が共振すれば、無限大の振幅をもつ巨大な潮汐が発生するであろう。この巨大潮汐を、私は「**潮汐バースト**」と呼んでいる (IKEDA, 2022)。

水深に比べて波長が長い波は浅海波とよばれている。水深を h 、重力加速度を g とすると、浅海波の速さは $\sqrt{gh}$ で与えられる。この式より、1日地球を1周するためには、海洋の水深は約 22,000m でなければならない。水深が 22,000m のとき、潮汐波の速度と月影の移動速度 (460m/s) が等しくなるので、22000m を基準に、潮汐は次の 3 つの型に分類することができる (IKEDA 2022)。

① $h < 22,000\text{m}$: 逆位相の潮汐 ……月の南中と干潮が一致

② $h = 22,000\text{m}$: 共振 ……潮汐バースト

③ $h > 22,000\text{m}$: 同位相の潮汐 ……月の南中と満潮が一致

太平洋の平均水深は約 4,200m、最も深いところでも約 11,000m である。これを仮想海洋の水深とすれば、海洋潮汐は**逆位相**であり、月が南中したところが干潮になる。ちなみに、速度が非常に大きい固体地球の地球潮汐は**同位相**である。結論として、図 1 の (2) の説明が成り立つためには、水深 22,000m 以上の深い海が必要である。

(2) 潮汐の運動像

気象庁の「潮汐の仕組み」では、月が南中する地点とその反対側で海水が引き上がられて満潮となり、自転によって 1 日に 2 回満潮を通過すると説明している。地球に固定した座標系でこの問題を表すと、静止した地球の周りを月と潮汐波が 1 日で一周することになる。したがって、一周するためには、潮汐波の対地速度は毎秒 460m となる。

しかし、この超高速を可能にするメカニズムについては説明がない (現時点では確認できていない)。潮汐波は水深に比べて波長が長い浅海波である。海洋の平均水深を約 4,200m とすると、その速さは約 200m/s 程度であり、自転によって満潮の位置を 1 日に 2 回通るという説明は成り立たないのである。

私は、この問題を解消する鍵は強制振動にあると考えている。水深が 22,000m より浅い運河状海洋に発生する逆位相の潮汐は、力学的エネルギー保存の法則に従って、海洋面が楕円と円を繰り返す楕円振動である。グローバルな海洋面の楕円振動については、イギリス在住の天文学者 TOKIEDA (2013) も、自身の著書の中で言及している。詳細は、下記の拙著 (2022) を参照していただければ幸いである。

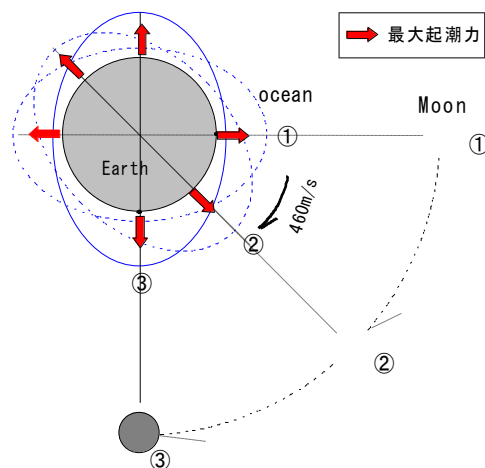


図2 自転を止めた場合の同位相の潮汐運動 (図1の下図に対応)

文献

IKEDA, Yukio ; Dynamic Pictures of Tidal Movements Predicted by the Theory of Forced Oscillation, Bulletin of the Faculty of Education, Yamaguchi University, vol. 71. 2022.

物理実験にイベントベースカメラという選択

内山哲治

宮城教育大学大学院 教育学研究科

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

1. はじめに

自然科学を学ぶ上で、自然そのものが解を提示してくれる実験は非常に効果的である。昨今の探究的な学びにおいても、教育現場としては実験を通して物理を学ばせたいという思いも強いと思う。しかし、実験をするには、その実験専用の機材を用いることが多い。さらに、その実験機材が高価であることも多い。最近では、スマートフォンのアプリケーションも優秀で、実験機材として使われていることも多いが、ソフト的には安価であっても、ハード的には多くの実験に汎用的に使いづらい専用装置が多い。そこで、今回、技術開発・性能評価という分野で開発・使用されているイベントベースカメラを用いて、物理実験を行ったので紹介する。

2. イベントベースカメラ

イベントベースカメラ（イベントベースビジョンカメラ、イベントカメラ）とは、画面全体を一定の周期で撮影する従来のカメラとは異なり、画素ごとに「明るさの変化（動き）」だけを検知して超高速で記録する次世代のイメージセンサーである。人間の目の網膜が「動くもの」にだけ反応する仕組みに似ており、網膜（ニューロモルフィック）ビジョンセンサーとも呼ばれる。主な特長としては、以下が挙げられる。マイクロ秒単位で反応するため、弾丸の飛行や高速回転するプロペラもぶれずに捉えられる（超高速・低遅延）。動かない背景の情報は送信しないため、データ量と処理電力を劇的に削減できる（省電力・データの軽量化）。また、夜間の暗闇から直射日光の当たる場所まで、明暗差が激しい環境でも同時にくっきり認識できる（高いダイナミックレンジ）。

開発は、ソニーセミコンダクタソリューションズがフランスの **Prophesee** 社と共同で行っており、トヨタをはじめとして自動運転やドローン制御、工場の自動化などで高速に流れる製品の検品など多岐に亘る分野で使用されている。販売はセンチュリーアークス、理科教材としてナリカでも扱われている。

3. 物理実験

端的にイベントベースカメラの特長を述べると、時間変化した画素だけが信号を送る。これは、時間変化を伴うことが多い自然現象を捉えるには最適である。つまり、時間変化に関する自然現象に対して、汎用的に使用できることを意味する。今回は、2023年の大学入学共通テスト（物理）[1]で出題されたような、お弁当のおかず入れに使うようなアルミカップを落とす実験を行い、粘性抵抗と慣性抵抗の境界を調べる実験や、水面上の波紋・干渉縞の観察を行ったので紹介する。なお本研究は、JSPS 科研費 22K02827 の助成を受け実施されたものである。

参考文献

[1] 2023年の大学入学共通テスト（大問2）：https://www.toshin.com/kyotsutest/2023/butsuri_question_2.html

慣性の法則をどう教えるか

—A. B. エイロンズと R. D. ナイトの物理教育研究に関する文献を手がかりに—

磯部和宏

慶應義塾女子高等学校

isobe.z5@keio.jp

1. はじめに

高等学校〔以下、高校〕や大学の入門物理コースにおいて、力学分野が最初に扱われる事例は枚挙に暇がない（例えば、[1][2]）。力学分野においては、ニュートンが確立した運動の三法則が枢要な役割を果たしている。

その第一法則である慣性の法則をどう教えるかについては、かねてから日本国内の物理教育に携わる研究者たちの関心を集めてきた。そこで問題となってきたのは、慣性系の導入問題である。高校物理において、慣性の法則は慣性系の学習を通して教えられるべきであるとの主張や[3]、「物理基礎」の教科書に踏み込んで慣性の法則の教授に際して慣性系に言及していないことに対する批判がなされてきた[4]。しかし、それらは物理教育研究（Physics Education Research, [以下、PER]）の文脈に基づくものではない。世界の PER が日本の高校や大学を中心とした物理教育の改善を促し、日本の PER が世界の PER と比肩するレベルになったといわれる昨今[5]、慣性の法則をどう教えるかについても 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。この問いは、物理教育に携わる日本国内の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、本稿では議論の中心に慣性の法則を据え、代表的な物理教育研究者であるエイロンズ（Arons, A. B.）、ナイト（Knight, R. D.）らに関する文献を分析することにより、慣性の法則をどう教えるかを考察する。そして、エイロンズやナイトが展開してきた PER は、「物理基礎」において、慣性の法則の教授に際して慣性系を導入すべきではないという知見を提示していることを示す。「物理基礎」において、先述した先行研究が主張しているような運動の三法則の中の第一法則としての文脈において慣性の法則を教授することは、多くの学習者にとって認知負荷が高いことを示しているのである。

2. エイロンズ、ナイトらの物理教育研究における慣性の法則の位置付け

PER の代表的な研究者であるレディッシュ（Redish, E. F.）は、2003 年に書籍 *Teaching Physics with the Physics Suite* を公刊し、日本物理教育学会が 2012 年にその書籍を『科学をどう教えるか』というタイトルで日本語に翻訳した。『科学をどう教えるか』は、2026 年 1 月 15 日時点において第 7 刷となっている[6]。このように今日の日本の PER の発展を促したレディッシュは、同じく PER の代表的研究者であるエイロンズが 1997 年に公刊した *Teaching Introductory Physics* を入門物理コースの全物理教師必携の書であると称賛している[7]。レディッシュが賛辞を送るエイロンズは、1986 年 8 月 24 日から 29 日の間に東京の上智大学で開催された物理教育国際会議において、12 のワークショップのうちの 1 つを担当し、「高校における新しい教育方法」と題して、学習者が誤解しやすい物理概念を 7 テーマ提示しながらワークショップを催している[8][9]。それらのテーマの半数以上は、ニュートン力学の重要な素朴概念に関するものであり、なおかつ、それらは今日の物理教育研究者にとっても興味深い問題である。素朴概念に関する古くて新しい問題が 40 年近く前から PER において論じられてきたことが読み取れる。そ

の中で最初に挙げられているテーマは、学習者の「移動距離、変位、位置の混乱」である。では、学習者が位置について深く理解できていない状況で、慣性系を理解するというのは可能なのだろうか。このようにレディッシュが支持しているエイロンズが提示した素朴概念に関するテーマを一つとってみても、慣性系を「物理基礎」において教えることは、決して容易ではないどころか、多くの困難が待ち受けているということが推察されるのではないだろうか。

エイロンズの PER に続いて、PER の代表的な研究者のナイトは、2004 年に *Five Easy Lessons-Strategies for Successful Physics Teaching* を公刊した。この書籍は過去 25 年間の PER から得られた知見とそれに基づく教育実践への処方箋を提示している[10]。このことを踏まえれば、1980 年代以降のエイロンズの PER から得られた知見も内包しているとみられる。ナイトはその書籍の中で、物理の初学者に対しては、慣性の法則または慣性系は第二法則を教える上で不要であると断じているのだが[10]、これは前述した、エイロンズの PER が初学者にとって慣性の法則を慣性系の文脈で教えることの困難さを示唆していることと整合しているのである。したがって、高校における入門物理コースといえる「物理基礎」を履修する学習者は物理の初学者であることを踏まえれば、「物理基礎」における慣性系の教授に否定的なのはエイロンズの PER だけではない、ナイトの PER もまた然りなのである。

3. おわりに

本稿は、PER に基づく知見に焦点を当てて、慣性の法則をどう教えるかを考察したが、その内実はエイロンズやナイトらの PER の文脈に位置付けることにより慣性の法則の教授について論じたものであった。しかし、PER の文献は彼ら以外のものも含めて多種多様であり、エイロンズやナイトらの展開してきた PER という枠組みを拡張することができる。すなわち、慣性の法則の教授を巡る議論をより広範な PER の文脈に位置付けることが期待される。そして、そのようにして PER から得られた知見を、物理の教授と学習に関わる実践的課題の解決へと接続し、それにより学習者に物理についてのいかなる豊かな学びをもたらし得るのかを探索することが求められる。

謝辞

本研究は慶應義塾学事振興資金の補助を受けている。

参考文献

- [1]前田恵一ほか(2022) : 『物理基礎』, 実教出版.
- [2]Hewitt, P. G. (2023) : *Conceptual physics* (Thirteenth edition, Global edition.). Pearson.
- [3]細田宏樹(2009) : 高校物理で扱う「慣性の法則」の問題点, 大学の物理教育, 15, 116-119.
- [4]牛尾健一(2025) : 教科書における「慣性の法則」の問題点, 物理教育, 73, 48-51.
- [5]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(2025) : 『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, 182.
- [6]https://pesj.jp/2026doc/NL2026_1.pdf (2026 年 4 月 15 日確認)
- [7]Redish, E. F. (1997) : *Teaching Introductory Physics*, by Arnold B. Arons. *Physics Today*, 50, 7, 61-62.
- [8]笠耐(1987) : 「物理教育の動向」に関する国際会議, 日本物理学会誌, 42, 2, 114-118.
- [9]アーロンズ A.B., 喜多誠(1987) : W4 高校における新しい教育方法—生徒が誤解をしやすい事柄について—, 物理教育, 35, 39.
- [10]Knight, R. D. (2004) : *Five Easy Lessons -Strategies for Successful Physics Teaching*. Addison Wesley.

円運動と単振動における数理的連関の理解を目指して

TrAP による定量解析と Physics Exam Lab との連携

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. 数理的連関における概念構築の必要性

高校物理において、「等速円運動」と「単振動」は、速度や加速度が時間とともに刻一刻と変化するため、生徒がつまずきやすい大きな山場の一つである。授業では、数学的な難しさを避けるために「等速円運動の影をスクリーンに投影したものが単振動である」という射影モデルが説明に使われる。しかしこれでは、生徒にとって現象のつながりが実感できず、意味を理解しないまま「形式的な数式操作」になってしまうという課題があった。

本年度の大会テーマである「児童生徒が学びたくなる物理」を実現するためには、単に視覚的パフォーマンスによるおもしろい実験を見せるだけでなく、生徒自身が「数式の裏にある理論の美しさ」に自発的に納得できる仕掛けが必要だと考える。そこで本実践では、独自開発したブラウザ型動画解析アプリ「TrAP」を用いた単振動の定量解析授業の実践を報告する。さらに、この授業デザインと教材を広く全国の現場に共有させるための「Physics Exam Lab」での活用について報告する。

2. 「Tracking Analysis for Physics」を用いた定量解析の授業デザイン

本実践では、通常授業の中で、一見別々に見える「円運動」と「単振動」が、数理的に美しく融合するプロセスを生徒自身の手で可視化していくことを目指した。

「なぜ単振動が円運動の射影で記述できるのか」という本質的な問いに迫るため、生徒の端末から手軽にアクセスできる「TrAP」を使用する。このアプリの最大の特徴は、あえて自動追跡機能を載せず、生徒がフレームを送りながら「手動でプロットする」仕様になっている点である。デジタル機器をブラックボックスにせず、自分の手で地道にデータをサンプリングしていく活動を通して、生徒の中に強い主体性が生まれることを期待している。

こうして集めた座標データを表計算ソフト上で処理することで、円運動のデータから美しい単振動の正弦波（関数性）が自然と立ち上がる瞬間を体験させ、数理的なつながりへの納得感を演出した。

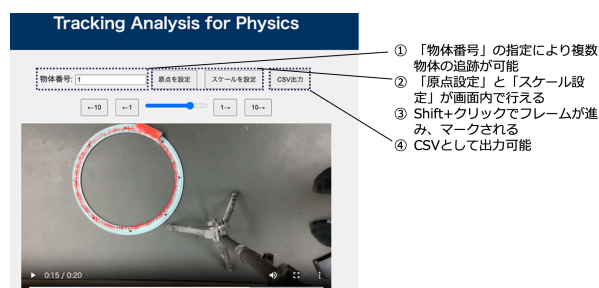


図 1 : Tracking Analysis for Physics の操作画面イメージ

3. 生徒のリフレクションと概念構築の深化

授業後の自由記述（リフレクション）を基に、その変容プロセスについて分析・考察を行う。

① 数理的整合性に対する深い納得と構造の理解

「物体の円運動は、成分をとると変位、速度、加速度が時間の三角関数で表せて、単振動になるということが大切だと思った。単振動の一般式を出すときは、 t に0と周期 T を代入すると値を求めることができたが、ただ式に代入するだけではなく、単振動は円運動の射影であると捉えるとより分かりやすいと思った。」

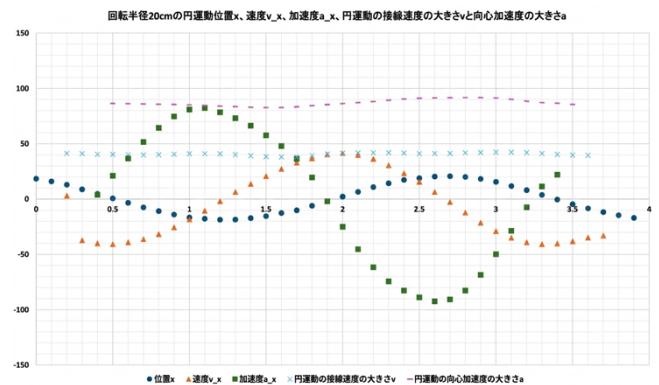


図2：円運動のデータから得られたグラフ

【考察】 この記述は、数式への数値代入という形式的な操作から脱却し、単振動を円運動の成分（ x 軸方向の射影）として捉え直すことで、両者の数理的なつながりを構造的に理解できたことを示している。自ら測定したデータによって「射影モデル」の幾何学的・数理的な必然性を自発的に捉え直した変容である。

② 物理量間の時間変化における連関の捉え直し

「単振動における変位・速度・加速度の関係について学んだ。変位が0のときは速度が最大になり加速度が0になること、反対に速度が0のときは変位と加速度が最大になることから、それぞれが互いの関係しながら周期的に変化していることが理解できた。」

【考察】 変位・速度・加速度の位相のズレは、頭の中だけではイメージしにくいものである。しかしこの生徒は、それぞれの物理量がバラバラに動いているのではなく、「互いの関係性を見出しながら周期的に変化している」という動的なつながりを、グラフの可視化を通して一体的に捉えている。これこそ、物理を学ぶ中で生徒が「知的な楽しさ」を感じている現れだと言える。

4. Physics Exam Lab との連携

「実際に触って測って理解する」という筆者の授業実践の思想、および開発した動画解析ツール「TrAP」は、1つの学校の枠組みを越えて全国の物理教育の現場へ共有・展開していくため、一般社団法人国際物理オリンピック 2023 記念協会が手がける「Physics Exam Lab®」と連携している。広く公開することで、全国の教員や生徒が手軽にアクセスし、(Exam)と「実験探究 (Lab)」を地続きにし、知的に楽しい物理教育を全国に普及させていく持続可能なアプローチが可能となる。

5. 総括と今後の展望

無機質に見えた数式などが、自らの手によるデータ生成によって鮮やかな現実の現象として結びつき、数理の合理性を実感できた時「学びたくなる」瞬間の一つになり得る。今後も現場発の楽しい実践と、それを支えるプラットフォームとの活用を並行しながら、物理教育の発展に前向きに寄与していきたい。

参考文献

[1]一般社団法人国際物理オリンピック 2023 記念協会: “Physics Exam Lab”, <https://apps.ipho2023-commemorative-association.jp/> (2026年7月10日閲覧)。

「乗客視点」のリアルタイム投影を可能にする卓上型慣性力実験機の開発と

教育的効果

中川雅斗

市川学園 市川中学校・高等学校

ms.nakagawa@ichigak-net.ed.jp

1. はじめに

高校物理の力学において、「慣性力(見かけの力)」は生徒が直感的に理解しにくく、特に浮力と慣性力が同時にはたらく系においては、生徒の素朴概念(ミスコンセプション)が顕著に現れる。川村(1996)により慣性力実験機の開発と実践が報告されている[1]。川村(1996)の装置は全長1,200 mmと大型で準備に時間を要するのに加え、スペースの限られる物理準備室の保管場所を大きく圧迫してしまう。また、「外部視点(慣性系)」からしか現象を観察できないため、初学者である生徒自身が、頭の中で「乗客視点(非慣性系)」へと視点を変換して思考する必要があった。

そこで本研究では、卓上で手軽に実験でき、かつスマートフォン等の ICT 機器を用いて、「乗客視点」の映像をリアルタイムでスクリーンに投影できる新たな慣性力実験機を開発し、その教育的効果を検証した。

2. 開発した教具「力学台車 NEO 慣性力実験機」

2.1 モジュラー設計

本研究で開発した教具は、3D プリンターで作製した「力学台車 NEO」をベースとし、実験オプションを交換できるモジュラー設計を採用した(図 1)。自由落下や投げ上げ、浮力と慣性力等、目的に応じた装置のみを換装して普通教室の教卓上でも容易に実験が可能である。また、現場導入における普遍的な疑念である耐久性と安全性に対しても、質量100 kgの荷重や反復落下に一切歪まない堅牢性を実現し、落下を防ぐ「バンパー付きプリークランプ」を実装することで、実用性の高い仕様とした。



図 1 慣性力実験機
実験ごとにパーツを付け外しでき、
実験内容に集中できる

2.2 ICT を活用した「乗客視点」のリアルタイム投影

本機最大の特長は、台車上にスマートフォンを固定し、Apple TV や Zoom 等を用いて、台車からの「乗客視点(非慣性系)」の映像をプロジェクターや大型モニターへリアルタイムに投影する機能を実装した点である(図 2)。これにより、生徒は目の前で運動する台車を「外部視点(慣性系)」から直接観察しつつ、スクリーン上の「乗客視点(非慣性系)」の映像を即座に対比・観察することが可能となった(図 3)。視点の変換を初学者である生徒の想像に頼るのではなく、ICT を用いて視覚的に提示することで、直感的な理解を促し、生徒の素朴概念の払拭を強力にサポートすることができる。



図 2 慣性力と浮力
浮力と慣性力の様子を水面の傾きと
同時に乗客視点で観察できる



図 3 授業風景

Apple TV を用いて iPhone の画面を表示している。
生徒は見たままに非慣性系について議論することができる。

3. 教育実践と教育的効果

3.1 高校生を対象とした実践(概念変容の検証)

対象：高校2年生 理系選択者 56名

3Dプリンターで作製した「力学台車 NEO 慣性力実験機」を用い、簡易的なピア・インストラクションを取り入れた ILDs 型授業を実践した。特に、ICTを活用して「外部視点(慣性系)」の他に、スマートフォンによる「乗客視点(非慣性系)」を大型スクリーンに投影し、視点の相対化を促すとともに、非慣性系への負担を減らした。

図2のような、素朴概念が顕著に現れる「風船の挙動」に焦点を当てた定量分析結果は図4のとおりである。事前の正答率は17.9%(10名)に留まったが、授業直後の事後調査では83.9%(47名)へと大幅に上昇し、約4ヶ月後の遅延調査では48.2%(27名)となった。事前一事後間のマクネマー検定では極めて有意な差が認められ($\chi^2(1) = 37.0$, $p < .001$), 規格化ゲインは $\langle g \rangle = 0.80$ と驚異的な教育効果を示した。これは、Hake(1998)が示す伝統的講義の平均($\langle g \rangle \approx 0.23$) [2]を大きく凌駕しており、乗客視点での観察が認知負荷の軽減に有効に機能したことを強く示唆している。生徒の自由記述からも、「非慣性系で慣性力のはたらく意味がはっきり理解できた」「見かけの力が見れるようになった」など、視点の相対化による納得が確認された。

一方、正答率は事後の83.9%から遅延調査では48.2%へと低下しており、概念の一部退行がみられた。それでもなお、事前一遅延間で有意差が維持された($\chi^2(1) = 15.0$, $p < .001$)ことは、非慣性系における素朴概念の根強さと、本実践による効果の一定の持続性を併せて示している。

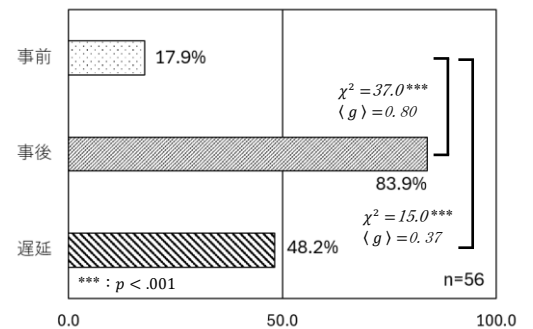


図4 慣性力のはたらく風船についての概念調査結果

遅延調査は事後調査から約4ヶ月後に行った事前一事後、事前一遅延どちらにおいても有意差が見られた。

3.2 高校1年生(物理基礎)への波及効果と教授法の汎用性

教授法やシステムの汎用性を検証するため、物理基礎を履修する高校1年生(84名)に対しても同様の ILDs 型授業を展開した。授業の進度上、等加速度直線運動や相対速度、合成速度を中心に考えるように促し、慣性力という言葉を用いずに現象をイメージできる説明を行うように心がけた。

生徒の自由記述からは、「物理がどんどん抽象的になって現象がイメージしにくくなって困っていたが、とてもわかりやすい実験でイメージをもつことができた」「事前に予想をして、それを共有しあい、そのうえで実際の実験を見て考察するという流れがとても頭に入りやすく楽しかった」等の記述が得られた。

本機による乗客視点の導入と POE(予想—観察—説明)サイクルの徹底は、学年や既習状況を問わず、初学者の心理的障壁を打破し、主体的・対話的で深い学びを促すプラットフォームとして機能することが示唆された。

4. おわりに

本研究では、モジュラー設計と ICT を活用した新たな「慣性力実験機」を開発した。検証の結果、高校生(高校2年生 理系 物理選択者・高校1年生 物理基礎履修者)の概念構築やイメージ形成に極めて有効である一方、長期的定着には演示にとどまらない生徒自身の試行錯誤の環境が必要であることが示唆された。

今後は、本機の安価で量産しやすい強みを活かし、グループワーク等で生徒自身が直接操作できる「生徒実験用デバイス」としての活用や授業デザインの開発を進める。なお、教育現場での広い活用を願い、3D プリント用データおよび詳細な作製マニュアルを web で無償公開している(図5)。他の単位でも、ICT と実験を融合させた直感的な教具開発を進めたい。



図5 3D プリントデータとパーツリスト、マニュアル(Google ドライブ)へのアクセス QR コード

参考文献

- [1] 川村康文(1996) : 「慣性力実験器」の作製およびそれを用いての学習効果の測定, 理科教育, 36, 13-24.
- [2] Hake, R. R. (1998) : Interactive-Engagement Versus Traditional Methods, Am. J. Phys., 66

慣性の法則を意識した円運動の授業実践

川島健治

法政大学中学高等学校

k-kawashima@hosei.ed.jp

1. はじめに

等速直線運動している物体の進行方向に対して垂直に力が加わったとき、進行方向の速度ベクトル $\boldsymbol{v}_0$ に、力を加えることによって新たに速度ベクトル $\boldsymbol{v}_{add}$ が付け加わり、進行方向の速度ベクトル $\boldsymbol{v}_0$ と新たに付け加わる速度ベクトル $\boldsymbol{v}_{add}$ の合成した $\boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{v}_{add}$ の向きに進む。

物体の進行方向に対して垂直に一定の力が加わりつづけると、物体は等速円運動する。等速円運動を理解するには上記の速度の合成 ($\boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{v}_{add}$) の考え方を理解している必要がある。

一方、高校生は、生活経験から力が加わると元の速度ベクトル $\boldsymbol{v}_0$ が消えてしまうと思う生徒も大勢いる。そこで、力を加えても元の速度ベクトル $\boldsymbol{v}_0$ が、消えてしまわないことを教える実践を 2023 年～2025 年おこなった。

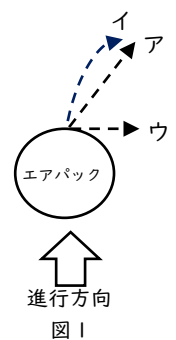
2. 到達目標学習課題方式

1970 年代に東京の公立小学校の教員であった玉田泰太郎は、単元の到達目標を設定し、到達目標に近づくため授業プランを作成し実践した。玉田は、まず課題を提示し、生徒に自分の予想をノートに書かせ、児童の意見分布を確認し、各意見ごとに理由を発表させ、児童の意見を聞いたあとに再度自分の予想をノートに記入させ、再度意見発表させたのち、実験をして課題の正当を確認し、最後に「わかったこと」をノートにまとめさせ、それを発表して終わるという流れの授業を毎時間繰り返す授業をおこなった。このような授業のことを到達目標課題方式という^{1,2}。

私も玉田のように到達目標を設定し「課題→自分の予想→人の意見を聞いて→実験→わかったこと」を 1 時間ごとに繰り返す授業を行った³。

3. 具体的な授業実践

風を下向きに発生させることで摩擦力を小さくできる装置であるエアパックを押し等速直線運動をさせる。課題「等速直線運動したエアパックの進行方向に対して垂直に横から右向き力を加えるとエアパックはどのように動くか」(図 1)を生徒に考えさせる。あるクラスでは、アの意見が 24 人、イの意見は 0 人、ウの意見が 11 人であった。アの意見の理由は、「エアパックが進んでいる力とエアパックが手から受ける力の合力で、アになる。」「ななめに進む。カーリングのストーン同士がぶつかるとき、ななめに進むから」「合力は斜めだから」「(速度の合成の図を書いて)手で押されたときも等速



に動いているから」などがあつた。力と速度が混同している表現もあるが、速度の合成を考えている意見や、カーリングの様子を思い描いた意見がでる。一方、ウの意見は「合力0のときは、物体は静止または等速直線運動であり、エアパックの等速直線運動が打ち消されるから」「運動は等速＝静止だから、横から押したとき、静止状態から押されたときと同じ運動になるはず」「等速＝静止と変わらない→静止の時に押すのと変わらないはず」「まさつが無いから、合力0ってことは前に進む力も無いと思うか

ら」「サッカーでカットされたらその方向に飛んでいく」「押された方向に進む！エアホッケーをして、横に行く」と、ガリレオの相対性理論の等速と静止は等しいという考えから力が加わった方向に動くと考え意見や、サッカーやエアホッケーで動いている物体を横から力を加えると力が加わった方向に物体が動くという生活経験からの意見がだされる。

その後、実験をして答えがアの方に行くことを確認したのち、課題「等速直線運動をしているエアバックに横から右向きの風を当て続けると、エアトラックはどのように動くか」と聞くと、今度はイが34人、ウが1人となった。ウの意見は、「直接力が加わらないから、まっすぐ進むと思う」、一方イの意見は、「一定の力が加わりつづけるから等加速になる。」「一定の強さであてつづけるから等加速」「イだと思う。同じ力をずっと与えつづけたら等加速度になる」「押され続けたため力の合成による矢印の形が変わると思ったから」「等速と等加速運動がまざった感じ」「物を落とすときの重力が風が変わったと考える。」などの意見が出る。イの最後の意見は、事前に学習した水平投射のことを指している。

これらの学習後に、課題「図2のように床に置かれた円形のレール上を転がるボールがある。レールのない部分にはいると、ボールはどのように動くか」と考えさせると、あるクラスではア：0人、イ：31人、ウ：0人、エ：1人、オ：1人、その他：1人の予想であった。イの意見として「イになると思う。最後ボールにかかる力の向きは上になるから。遠心力がなくなり、等速に運動する。」「遠心力がはたらき終わって、まっすぐ進む」「まっすぐ進む。レール上にあるとき、ボール自体はどの瞬間もまっすぐ進もうとしている。レールがなくなってまっすぐ進む」「レールのなくなったところからまっすぐに転がると考える。レールがあったから円を描いてただけで、速度の方向は前だと思う」「まっすぐとんでいく！レールの力で曲がっただけで、レールから外れてしまえば、まっすぐなのでは？」などである。エの意見は、「遠心力でまわって、外にはじき飛ばされると思った。」、オの意見は「レールからそれてしまうと思う。レールに戻りそうだったけど、スピードがなければ戻らなそうだから」、その他の意見は「速さによる。ゆっくりだとイ、はやすぎるとア」である。

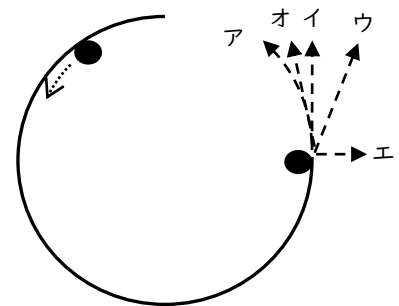


図2

このように、進行方向に垂直に力がはたらく学習をしておく、このようなレールの課題に正しく答えられるようになるのである。

4. おわりに

図2のような実験をすると、多くの生徒がもとの運動を続けようとして「ア」のようになるという考えが出ることもあるが、進行方向に垂直に力がはたらく学習をしておく、このような意見がほとんど出なくなることもわかる。

参考文献

- [1] 「理科の授業づくり入門」編集委員会（2008）「理科の授業づくり入門：玉田泰太郎の研究・実践の成果に学ぶ」 日本標準
- [2] 石井登志夫(2016)：「到達目標学習課題方式—概念獲得のための授業づくり」，大学の物理教育 2016年 22巻 2号 p. 60-63
- [2] 川島健治（2026）：「慣性から始める円運動の授業」2026年 科学教育研究協議会東京支部春の研究集会レポート

液体中を落下する球体の終端速度の測定

^A十河凜太郎,^B林壮一

^A福岡大学大学院理学研究科(M2), ^B福岡大学

^Asd251004@cis.fukuoka-u.ac.jp, ^Bsoichi@fukuoka-u.ac.jp

1. はじめに

空気中を落下する物体の終端速度を物理教育に活用する研究が行われている[1,2]。しかし、空気中では終端速度になるまでに比較的大きな距離が必要であるため、学校現場で終端速度そのものを観察することは容易ではない。一方、水などの液体中では、物体には液体から上向きの浮力が働くとともに、空気中よりも大きな抵抗を受けるため、比較的小さい距離で終端速度に達することが分かっている。そのため、重力、浮力、抵抗力のつり合いによって一定の速度で運動する様子を観察しやすく、終端速度を扱う教材として有効であると考えられる。また、液体の種類や濃度の濃さを変えることで抵抗力の違いを比較できるため、物体の運動に及ぼす液体の性質の影響を探究的に学習できる教材としても期待できる。

そこで本研究では、液体中を落下する鋼球の終端速度に着目し、終端速度を測定するための実験装置および測定方法を検討することを目的とした。

2. 実験方法

直径 10 mm の鋼球を、液体を満たしたアクリルパイプ内へ自由落下させた。アクリルパイプには 10 cm 間隔で目印を付け、鉄球が落下する様子を iPad のスローモーション機能で撮影した。鋼球がアクリルパイプにつけた 10 cm 間隔の目印を通過した時刻を iPad のスローモーション動画から読み取り、その時刻と目印の位置との関係から $x-t$ グラフを作成した。各条件について得られた $x-t$ グラフを 1 次近似し、その傾きを終端速度とした。

液体は水、砂糖水溶液、食塩水溶液、グリセリン水溶液を用い、それぞれについて測定を行った。

3. 実験結果

表 1 各液体における終端速度

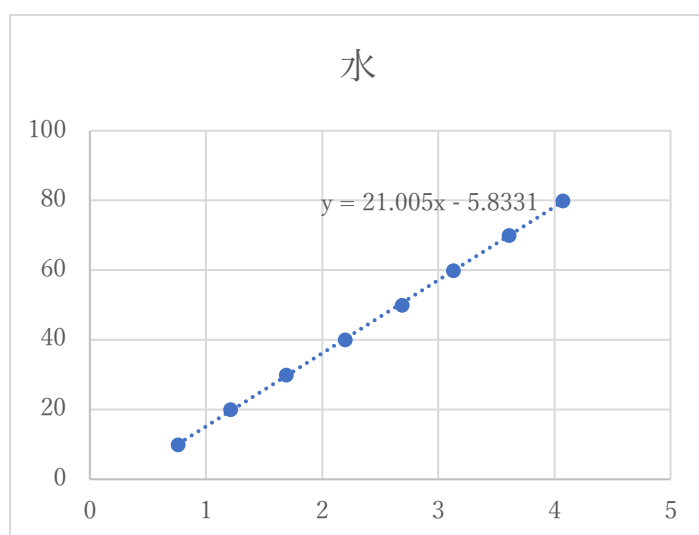


図 1 水のグラフ

液体	濃度 (%)	終端速度 (cm/s)
水	-	21.01
砂糖水溶液	5	10.40
砂糖水溶液	10	10.38
食塩水溶液	5	10.41
食塩水溶液	10	10.21
グリセリン水溶液	10	10.47
グリセリン水溶液	20	10.38

水における鋼球の位置と時間の関係を図 1 に示した。位置と時間の関係は相関関係となり、近似直線の傾きから終端速度を求めた。液体別の終端速度を表 1 に示した。水では終端速度が約 21 cm/s となり、砂糖水、食塩水、グリセリン水では約 10.2~10.5 cm/s であった。また、同一種類の液体では、濃度が低い方が終端速度はわずかに大きい傾向であった。

4. 考察、まとめ

本研究では、液体中を落下する球の終端速度を測定するための実験装置および測定方法を検討した。測定の結果、水中ではアクリルパイプ上部から 10 cm ~ 80 cm の範囲では速度がほぼ一定となり、球は終端速度に達していたと考えられる。このことから、本研究で用いた測定方法は終端速度の実験に有効であったと考えられる。

参考文献では、空気中では作用する抵抗力は速度の 2 乗に比例することが示されている。本研究では液体中における抵抗力の終端速度依存性を直接検証したものではないが、終端速度では球に働く重力 mg から浮力 F_b を差し引いた力と抵抗力 kv^2 が釣り合うことから

$$mg - F_b = kv^2 \quad (1)$$

と表されると考えられる。

ここでの ρ は球の密度、 ρ' は液体の密度、 V は球の体積、 k は抵抗係数、 v は終端速度である。

また、重力と浮力はそれぞれ

$$mg = \rho Vg \quad (2)$$

$$F_b = \rho' Vg \quad (3)$$

と表せるため、

$$(\rho - \rho')Vg = kv^2 \quad (4)$$

となる、この式より、液体の密度や抵抗係数の違いによって終端速度が変化すると考えられる。本研究において、水よりも砂糖水溶液、食塩水溶液およびグリセリン水溶液で終端速度が小さくなり、同一種類の液体では濃度が低い(ρ' が小さい時)方が終端速度はわずかに大きい傾向が見られた。これは、(4)の式より、 ρ' が小さい時、抵抗力は大きくなり、それに見合う終端速度になったため速くなったと考えられる。

今後は球の大きさやアクリルパイプの内径を変更した実験を行い、液体中における抵抗力と終端速度の関係についてさらに詳細に検討したい。

参考文献

- [1] 日笠亜衣(2024) : 高等学校における終端速度の学習を分かりやすくする実験の提案,
福岡大学大学院英学研究科修士論文
- [2] 土田理(1995) : 空気中を自由落下する物体における終端速度の推定, 物理教育, 第 43 巻,
第 1 号, pp. 18-21.

高等学校物理基礎におけるコンセプトマップを導入した

リフレクション活動の実践

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

物理学学習における本質の一つは基礎概念の適切な構造的な理解であるが[1]，初学者は，断片的な知識の習得や公式の暗記に終始する傾向があり[2]，自身の理解不足を自覚できず，自発的なメタ認知は困難であると考えられる。そのため，学習者自身の理解を客観的にモニタリングし，概念間の繋がりを意識する明示的な指導が必要である。

そこで，学習過程の振り返りと客観的な自己評価を促す明示的支援として，堀が開発した「One Page Portfolio Assessment (以下，OPPA)」に着目する。OPPA は，学習者が単元ごとに1枚のOPPシートに学習履歴を継続的に記録し(図1)，自身の概念変容を把握するリフレクション活動の一つである[3]。

しかし，従来のOPPAを物理学学習に導入するには課題が残る。多くの概念を包含し，状況に応じた法則の選択が求められる高等学校物理において，従来のOPPAでは概念間の相互関係や単元の全体像までを把握・評価することは困難である。そこで本研究では，従来の



図1 OPPシートの概要 (左：表面，右：裏面)

OPPAの要素の一つである「本質的な問い」の代替として「コンセプトマップ(以下，CM)」を組み込んだ，物理学学習のための新たなリフレクション活動を提案する。これにより，OPPAの利点は維持しつつ，体系的な概念構造の構築を直接的に支援・可視化することが可能となる。本稿では，CMを組み込んだOPPAによるリフレクション活動の試験的導入の結果から判明した課題について報告する。

2. 研究方法

実践は，私立高等学校の第1学年において物理基礎を履修する生徒7名を対象に，2025年12月から2026年3月の4ヶ月間実施した。対象単元は，「熱」，「波の性質」，「音波」，「電磁気」の計4単元であり，生徒1人につき，4枚のOPPシートを作成し，2026年3月中旬に，1人あたり15分程度のインタビューを実施した。

リフレクション活動では，CM作成を行うが，物理におけるCM作成は認知的負荷が高い[1]。そこで足場かけとして，授業ごとに作成する小規模なCM(以下，ミニマップとする)を導入し，単元全体のCM作成時には，必ず組み込む概念を提示し，生徒同士の協働を許容した。実施手順として，毎時間の授業終了5分前に各授業の振り返りの記入とミニマップの作成を行い，各単元の学習終了後は，50分間で単元全体のCM作成と学習の振り返りを記入させた。

分析には，生徒・保護者双方の同意を得た生徒6名の1人あたり4単元分4枚のOPPシート，およびインタビュー記録を使用し，Kinchinら(2000)のCMの質的評価手法をもとに，生徒の作成したCM

を概念理解の深度ごとに「Spoke 型」, 「Chain 型」, 「Net 型」の基本構造に分類し, 概念構造の体系化レベルを診断した[4]。また, インタビュー記録と CM の特徴の比較から, 本活動の認知的負荷の実態や活動自体の設計の見直しを行った。

3. 実践結果

試験的導入のデータを分析した結果, 本実践に向けた指導方略に関して, 2 点の改善点が抽出された。

1 点目は, 適切な概念構造の構築に向けた足場かけの不足である。分析対象者の CM を分析した結果, 学習者の習熟度によって構造の差異が確認された。対照的な事例として, 物理に強い拒否感を示さなかった生徒の CM は, 深い理解を示す「Net 型構造」を部分的に有していたが(図 2 左を参照), 物理に対して強い拒否感を示していた生徒の CM は, 「Spoke 型構造」, 「Chain 型構造」が混合した構造となっており(図 2 右を参照), 体系的な理解が不十分であった[4]。また, インタビューから, 生徒が概念間の関係性を意味づけることに困難を感じていることが判明した。

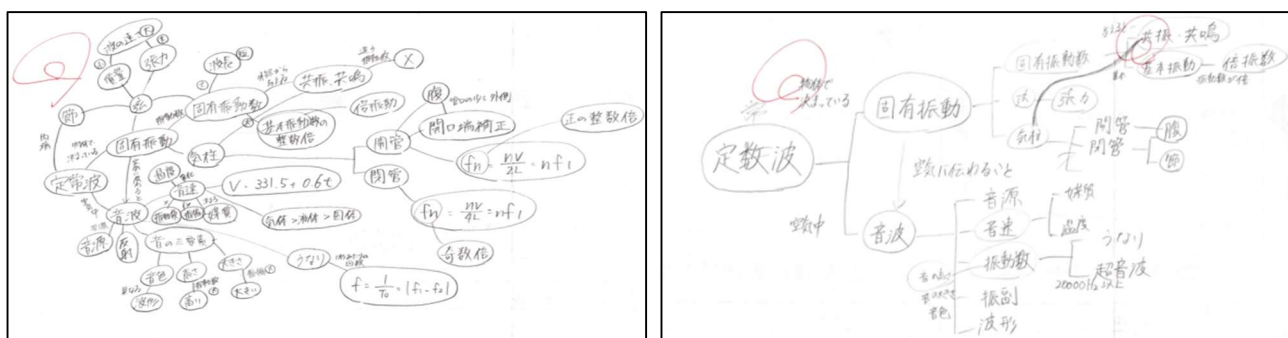


図 2 物理に対して拒否感が強くない生徒の CM (左) と拒否感が強い生徒の CM (右)

2 点目は, 本活動の目的と「学習の振り返り」における指示文の整合性の欠如である。生徒が「学習の振り返り」における自身の概念変容に関する記述に窮し, 抽象的な表現に留まる傾向が見られた。これは本活動の目的と指示文との間に差異が生じ, 書きにくさを助長したと考えられる。

4. 今後の展望

試験的導入から得られた示唆に基づき, 本実践では「足場かけの追加」, 『学習の振り返り』における指示文の改善を行う。CM 作成に関する追加の足場かけとして, 関係性の記述を支援するため, 「リンクワード」の典型例をシート内に提示する。次に, 「学習の振り返り」の指示文の改善として, 単元全体の内容に関して, 「特に理解できた点」と「理解できなかった点」について, 理由を含めた記述を求める指示文へと変更し, 生徒が自身の学習状況を言語化し, 学習を効果的に振り返らせる。

先述の改善点を踏まえ, リフレクション活動の再設計を実施し, 私立高等学校第 1 学年の生徒数名を対象に本実践およびインタビュー調査を行う。その後, 開発したリフレクション活動の教育的効果, 効果的な指導方略の 2 点について検証を行う。

参考文献

- 1) Lindstrøm, C., & Sharma, M. D. (2009). *Phys. Rev. ST - Phys. Educ. Res.*, 5(1), 010102.
- 2) Hammer, D. (1994). *Cogn. Instruct.*, 12(2), 151-183.
- 3) 堀哲夫 (2019) 「新訂 一枚ポートフォリオ評価 OPPA 一枚の用紙の可能性」, 東洋館出版社
- 4) Kinchin, I. M., et al. (2000). *Educ Res*, 42(1), 43-57.

大学物理講義におけるグループ討論を活かす方略

土佐幸子

新潟大学教育学部

stosa@ed.niigata-u.ac.jp

1. はじめに

中教審答申[1]によって大学講義のアクティブ・ラーニング（AL）化が推奨されて以来、グループ討論を含む講義が増えた。2022年のデータ[2]によると、話し合いを含む講義を行っている大学は全国178大学のうち96%に達する。しかし、グループ討論を含めばAL型の学習が実現し、学生の学びが深まるというわけではない。AL型の学習を通して学生の学びを深めるには、教員の働きかけやグループ構成、授業内容の組み立て方など様々な要因が影響する。だが、そのような効果的な指導方略が明らかになっているわけではなく、大学教員は試行錯誤を続けている。特に、大学物理の初年次講義において、米国で開発された手法の利用など、AL化を通して学生の学びを深める研究と実践が多くなされているが、近年顕著になる学生の多様化とも相まって、効果的な指導法を見出すのは難しいという声が聞かれる。

本研究では大学教員同士がペアを組み、互いに講義を参観し合って協議することにより、授業改善を行うメンター制を2024年度から試行している[3]。参加教員が物理講義を担当する学部と学生は多様であり、必ずしも同じ方略がどの場合にも効果的ではないかもしれないが、多くのデータを調べることによって、グループ討論を活かす方略のヒントが見つかることが期待される。

2. 方法

データ収集：本発表では、2024年7月から2026年6月までの2年間に収集した29の大学講義を対象とする。データ収集はビデオ録画と研究者のフィールドノートによって行われた。29講義のうち、教育学部15、理学部7、工学部5、その他2であり、講義の名称はさまざまであったが、いずれも初年次物理講義であった。内容は力学、電磁気学、熱力学、光学、物理数学であり、どの講義にもグループ討論が含まれていた。

データの分析方法：講義データからそれぞれの講義に取り入れられている指導方略をコード化し、データ全体について繰り返し分析を行って方略を特定した。また、方略が含まれる講義数を調べた。

3. 結果と考察

観察した29の講義について、繰り返し分析を行ったところ、9つの指導方略が特定された。その結果を表1に示す。「A）多様なレベルの学習者によるグループ構成」は学籍番号順や学生が自由にグループを構成するのではなく、講義開始時の診断的調査等の結果を基に、学力が混合されるようにグループを構成し、互いに学ぶ可能性を高める方略である。クラス内の学生にランダムに説明に行く手法もこのカテゴリーに含まれる。半数以上の講義でこの方略が取り入れられていた。「B）グループ構成の定期的変更」は定期的にグループ構成をシャッフルし、グループ構成の固定化を避ける方略である。毎回、3回ごとなど、シャッフルの頻度は様々であり、講義数は17%であった。「C）グループごとの小ホワイトボード使用」はグループの討論で挙がっていることを言葉、絵、式などで表し、可視化する方略である。講義数は21%であった。「D）理解できていない人がペンを持つ」

は、ホワイトボードを使用するときに理解できていないと自負する学生にペンを持って書かせ、わからなさを出させる方略である。この方略を取り入れた講義は 3 例と少なかった。「E) グループごとの学生実験やシミュレーション」は、グループごとに用具を用いて実験を行わせたり、PhET などのシミュレーションを用いて疑似的に現象を観察させたりする方略である。38%の講義がこの方略を取り入れていた。「F) 授業最後の学習評価」は講義の最後に「確認テスト」などと称して、学生に理解を問う質問に答えさせ、提出させる方略である。その講義内の内容を学生がどの程度理解できたのかを把握する材料になる。この方略を取り入れていた講義は 4 例と少なかった。「G) 具体例を含める」は抽象的な物理法則だけでなく、応用例や日常の例を含める方略である。これも 3 例と少なかった。「H) 考えを深めるような教員の問いかけ（全体/グループ）」は、全体あるいはグループごとに、教員が学生の困難を助けたり考えを深めたりするような問いかけを行う方略である。この方略を取り入れている講義数は 5 例にとどまった。最後に、「I) グループ相互の討論」はグループ内だけでなく、グループ同士の討論を促す方略である。この方略は新しい視点を得たり、グループ討論が膠着したりしている場合に有効だと考えられるが、講義数は 2 例と少なかった。

表 1 大学初年次物理講義で観察された指導方略と講義数及びその割合 (N=29)

指導方略	講義数	割合 (%)
A) 多様なレベルの学習者によるグループ構成	16	55
B) グループ構成の定期的変更	5	17
C) グループごとの小ホワイトボード使用	6	21
D) 理解できていない人がペンを持つ	3	10
E) グループごとの学生実験やシミュレーション	11	38
F) 授業最後の学習評価	4	14
G) 具体例を含める	3	10
H) 考えを深めるような教員の問いかけ（全体/グループ）	5	17
I) グループ相互の討論	2	7

4. まとめと今後の展望

分析結果から、大学初年次物理講義において、グループ構成を考慮した討論や実験は多く含まれており、グループ活動が積極的に進められていることが明らかになった。しかし、教員が一方向的に説明をする状況も多く観察され、学生の困難や素朴な疑問が解決しないまま講義が終了する場合が少なくなかった。また、大学物理の内容が難しく、教員の手助けが不足している状況も多く見られた。高校物理未履修者など多様な学生がいる中で、どのように学生の学びを支援していくことができるか、可能な手立てについての議論を重ねていきたい。

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：ピアメンター制による大学物理教員の指導に関する意識への効果，日本科学教育学会年会論文集，49(0)，395-396，2025 年

高校生は物理と日常生活をどのように関連づけるか

－自由記述による横断的・縦断的分析－

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

高校物理では、日常生活や社会との関連を図りながら物理現象への理解を深め、理科の見方・考え方を養うことが重視されている（文部科学省，2019）。また、瀧本（2018）は、高校生の約 7 割が日常の自然現象は物理学の理論に従って生じていることに納得している一方、興味をもつ分野には力学への偏りがみられることを報告している。しかし、生徒が物理と日常生活をどのような観点や具体例によって関連づけるのかを、自由記述に基づき複数年度で横断的・縦断的に検討した研究は、これまで十分に行われていない。そこで本研究では、高校生を対象とした質問紙調査の自由記述を分析し、物理と日常生活との関連づけの特徴を横断的に検討するとともに、対応する生徒の回答の変化を縦断的に検討することを目的とする。

2. 方法

調査対象は、千葉県内の私立高等学校の 3 年生（2020 年度 38 名，2022 年度 44 名，2025 年度 51 名）および 2 年生（2024 年度 38 名）であった。横断的分析には、各年度の 3 年生のデータを用いた。縦断的分析には、2024 年度に 2 年生として調査に参加し、高 3 時点の調査と対応づけることができた 38 名のデータを用いた。調査は、3 年生には 12 月，2 年生には 3 月に実施した。質問項目は、Q1「物理は日常生活とどこか関係しているところがあると思いますか」（4 件法：とても思う，少し思う，あまり思わない，全然思わない）および Q2「Q1 のように考えた理由を記入してください」（自由記述）であった。Q2 の自由記述は、記述内容に基づいて帰納的にコード化し、物理と日常生活との関連づけに関するカテゴリーおよび物理分野に分類した。複数のカテゴリーまたは分野に該当する記述は、重複して計上した。

3. 結果と考察

Q1 の回答分布を表 1 に示す。いずれの年度においても、「とても思う」または「少し思う」が大半を占めた。対応生徒 38 名について、高 2 時点から高 3 時点への回答の遷移を表 2 に示す。「とても思う」は 24 名から 31 名に増加した。

表 1 物理と日常生活の関連に関する回答分布（横断）

	2020	2022	2025
とても思う	27 (71.1)	30 (68.2)	41 (80.4)
少し思う	11 (28.9)	11 (25.0)	8 (15.7)
あまり思わない	0 (0)	3 (6.8)	2 (3.9)
計	38 (100)	44 (100)	51 (100)

注) 表 1 および表 2 では、「全然そう思わない」は該当者が 0 名であったため省略した。表 1 の括弧内は割合（％）を示す。

Stuart-Maxwell 検定の結果、回答分布は肯定的な方向への変化が有意傾向であった ($\chi^2(2) = 5.92, p = .052$)。

表 2 物理と日常生活の関連に関する回答遷移（縦断，n=38）

高 2 \ 高 3	とても思う	少し思う	あまり思わない	計
とても思う	21	3	0	24
少し思う	6	2	0	8
あまり思わない	4	1	1	6
計	31	6	1	38

表3 関連づけカテゴリーの出現数（横断）

カテゴリー	2020	2022	2025	記述例
日常の現象・経験への関連づけ	20	26	23	電車とかバスとかで慣性力を感じる。／救急車のサイレンの音のドップラー効果とか。／お風呂での屈折など、日常の現象を説明できるから。
物理法則・理論による現象の説明可能性	18	16	17	物理法則が支配しているから。／日常の現象を数式的に解析できるため。単振動など。／自分の周りで普段起こる事柄がほとんど物理で説明できるから。
技術・道具・社会生活への関連づけ	15	16	13	技術は物理的な知識から生まれたから。／電気とかを日常でたくさん使うから。／高速道路の速度検知に使うドップラー効果など。
学習を通じた理解・見方の変化	10	13	19	教科書などで、日常生活と結びつく面を見たから。／身の回りの未知の現象に気づいて、なぜそれが起こるか考えるということを以前よりしやすくなった。／問題に出てきたことが日常で起きたときに重なって見える。
日常との関連の捉えにくさ	7	6	6	電気・熱に関する現象は、『物理だ』と思う機会があまりない。／考えればこれはそうなるかなと思うけれど、日々意識して生活はしていないから。／遠い宇宙の話は、スケールが大きすぎて日常生活とは離れていると感じる。
計	70	77	78	

表4 物理分野の出現数（横断）

分野	2020	2022	2025	記述例
力学	22	20	11	電車・バスで感じる慣性力、吊り革の傾き、ジェットコースター、歩行、自転車をこぐこと、スポーツやボールの運動、バケツを振り回すこと、体重計、エレベーター、ホチキス、ドア、缶のふた、クレーンゲーム
電磁気	8	7	10	スマートフォン、パソコン、スマホの充電、電子レンジ、ドライヤー、家庭で使う電気、交流回路、ACアダプター、送電、変圧器、電磁誘導、GPS、ICカード、電子機器
波動	9	10	9	救急車のサイレン、夜に遠くの電車の音が聞こえやすいこと、花火の光と音の時間差、音楽、浴槽の波紋、水面の干渉、薄膜による虹色、虹、ホースの水に見える虹、お風呂で足が短く見える現象、鏡・カーブミラー、眼鏡、光ファイバー、レイリー散乱、ドップラー効果を用いた物体の速度測定
熱	1	5	2	フライパンで油がはねる現象、冬に眼鏡が曇ること、結露、足元が温まりにくいこと、電子レンジ、ドライヤー、ガス、比熱
原子	0	2	1	原子力発電、原子物理が技術に活用されていること
計	40	44	33	

自由記述の横断的分析の結果を表3に、物理分野別の出現数を表4に示す。対応生徒38名の関連づけカテゴリーおよび物理分野の縦断比較を、それぞれ表5、表6に示す。横断的には2025年度の「学習を通じた理解・見方の変化」がやや多く、力学がやや少なかった。縦断的には学習を通じた理解・見方の変化と電磁気の記述が増加した（電磁気は高3で履修）。

表5 関連づけカテゴリーの縦断比較（n=38）

カテゴリー	高2	高3
日常の現象・経験への関連づけ	18	19
物理法則・理論による現象の説明可能性	15	11
技術・道具・社会生活への関連づけ	5	9
学習を通じた理解・見方の変化	8	14
日常との関連の捉えにくさ	6	4
計	52	57

以上より、高校生は物理と日常生活を、日常の現象・経験、法則・理論による現象の説明、技術・道具・社会生活との関係、学習を通じた理解・見方の変化など、複数の観点から関連づけていることが明らかになった。

表6 分野の縦断比較（n=38）

分野	高2	高3
力学	10	10
電磁気	0	7
波動	10	7
熱	0	2
原子	0	0
計	20	26

参考文献

- [1] 文部科学省(2019)：高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編 理数編，学校図書，東京。
- [2] 瀧本家康(2018)：「すつとびボール」を用いた運動量保存則の授業実践とその教材有用性，物理教育，66，258-261。

学生が物理学をどう捉えるかに働きかける授業

—Open Source Tutorials を参考にして—

^A植松晴子, ^B竹内太軌, ^{A,B}松本益明

^A東京学芸大学教育学部, ^B東京学芸大学教職大学院

uematsu@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

学習者の素朴概念を科学的なものに変容させるには、学習者自身の能動的関与を促す相互作用型授業が有効であることがよく知られている。研究に基づいて開発されたさまざまな授業法の多くは、学習者の素の考えを引き出し(Elicit)、科学的に導き出せる結論や実験結果との矛盾に直面させ(Confront)、議論を通じて解決する(Resolve)構造が共通しており、概念変容に成果を上げている[1]。また授業効果には、教員が提供する授業法や環境、学習者の持つ学習方略とともに、物理の授業に対する期待や学びの態度などの学習姿勢が影響するが、学習姿勢の変容を授業で促すことは容易ではなく、逆効果を生むことさえ珍しくないことも明らかになっている[1][2]。

学習姿勢を測る調査紙 Colorado Learning Attitudes about Science Survey(CLASS)は、各問の記述に同意するか否かという回答の望ましさを、専門家のものを基準として測る。問の中には、物理学やその学びをどう捉えているかという認識論的信念(Epistemological Belief)に関するものが含まれている。物理学における認識論的信念として、その構造が一貫した体系(Coherence)か断片的知識の寄せ集め(Pieces または Weak Coherence)か、その内容が公式の背後にある概念(Concepts)か公式・記号操作(Formulas または Apparent Concepts)か、その学びが自分の理解を再構成する能動的プロセス(Independent)か情報を受け取ること(By Authority)かという軸が提唱されている[3]。こうした学習者の認識論的信念を授業の中で直接見出すことは難しいものの、学習者が物理学やその学び方として捉えているものが教員と異なっていれば、相互作用型授業の効果は限定的である。また、専門家が行っているように、観察や実験の結果に基づき、物理学の知見を活用して論理的に思考し、自ら結論を出すようになることは、物理学を教える多くの教員が望ましいと考えるのではないだろうか。それは、近年重視されている Nature of Science の理解や、新学習指導要領で「科学とは何か」を取り入れる動きとも通ずるものと考えられる。

では、学習者が物理学をどのように捉えているかということに、どうすれば授業で働きかけられるのだろうか。本講演では一つのアプローチとして、学習者の認識論的信念に注目した授業法である Open Source Tutorials (OSTs)[4]と、日本の大学での実践を通じて筆者らが修正を加えた教材を紹介する。

2. Open Source Tutorials の特徴

メリーランド大学で開発された OSTs は、学習者のグループによる能動的学習で、基になったワシントン大学の Tutorials for Introductory Physics(TIP)[5]と同様に、演習の位置づけで行われる。物理教育研究の成果を活かして設計された問題に取り組む Elicit, Confront, Resolve の構造は TIP と共通しているが、Hammer や Elby らの研究に基づいて、学習者の日常感覚や直観から始まる文脈で認知的配慮を加えた点が特徴的な授業法である[6]。

例えば、ニュートンの第3法則を扱う回では、初めにトラックと軽自動車の衝突の際に及ぼし合う力の大きさを直観的にどう考えるか確認する。次に、質量の異なる2台の台車を用いて衝突時の力を測定する実験を行う。「質量の小さいものの方が大きな力を受ける」という学習者の直観と「2つの台車が及ぼし合う力の大きさは等しい」という実験結果との矛盾に直面させ、その解決を学習の動機とする。ただ実験結果を受け入れさせる、というのではなく、学習者の直観を衝突時の速度変化に適用することを提案し、「質量の小さいものが受ける影響が大きい」という直観は誤りではなく、影響を力ではなく速度変化と結びつければ物理法則から導かれる結論と矛盾しないことに気づかせる流れになっている。日常感覚や直観と物理法則や実験結果から導かれる結論との矛盾をすりあわせる過程を「直観の絞り込み(Intuition Refinement)」と呼び、この過程を振り返らせることに重きを置いている。素朴概念から科学的概念への変容を促すという目的とともに、自分の素の考えを活用してより説得力のある結論を導くことの重要性に対して強いメッセージがある。

各回の宿題は伝統的な演習問題とは異なり、定性的に論理を問うものがほとんどである。正答を求めるだけでなく、どのような誤答が考えられるか、どのように考えるとその誤答に至るのか、誤った学習者にどう働きかけ納得させるか、という問もたびたび登場する。

3. 日本での実践を踏まえた教材の工夫

国立教員養成系のA大学では、2011年より継続的にチュートリアル形式の授業を実践している。学生グループの議論を聞きファシリテータとして関わると、Weak Coherence, Apparent Concepts, By Authority に当てはまると思われる考えに多く出会う。OSTs が示す学び方は、学生に概ね好意的に受け取られるものの、上述の自分の直観について考えるという例に見られるような、それまで出会ったことのない間に戸惑い、すぐには自らの直観を手掛かりに物理学的な考えを構築するという教材の意図が伝わらないことも多い。また、一通り実践しただけでは新しい学び方はなかなか定着しない。そこで、直観について考える機会を増やすとともに、科学的に正しい結論と矛盾するときには、まずその矛盾を認識させてから解決に進むように、繰り返し働きかけている。また、グループでの議論や宿題では、「正答」を示すだけでなく、なぜその結論が正しいと言えるのか、周囲の人を納得させられる説明を徹底して求めている。

本講演では、OSTs が重視する認識論的側面を踏まえ、日本の大学における実践を通じて修正した教材とその意図を紹介する。これらの教材を用いた授業実践において、学生が物理学とその学び方をどのように捉え、それがどのように変容したかについては、次の講演で報告する。

参考文献

- [1] 『物理教育の理論と実践』 今井章人他編，一般社団法人日本物理教育学会監修，オーム社(2025年)
- [2] 『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)
- [3] D, Hammer, Cogn. Instr. 12(2) (1994), 151-183
- [4] https://www.physport.org/curricula/MD_OST/ (アクセス日：2026年7月)
- [5] “Tutorials in Introductory Physics”, L. McDermott, P. Shaffer, Pearson(2001), “Tutorials in Introductory Physics Updated Preliminary 2nd Edition”, L. McDermott, P. Shaffer, Pearson(2012)
- [6] A. Elby, Am. J. Phys. Supp. 69-7(2001), S54-S64.

チュートリアルを通じた学生の物理学に対する捉えの変容

-OPP シートの記述分析を通して-

^A 竹内太軌, ^{A,B} 植松晴子, ^{A,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

現在中央教育審議会の理科 WG において、中学校及び高校で、科学(的)とは何かや、学問分野にとられない科学的思考・方法の基本や研究倫理、理科の学習と研究・社会とのつながり等について学ぶ「科学ガイダンス（仮称）」を新設する[1]ことが検討されている。物理や理科を通じて生徒が「科学」とは何かについて理解を深めていくことの重要性が増してくるのではないかと考える。また、学習者は物理や学習に対して様々な認識論的信念を持っている。Weak Coherence（弱い整合性）、Apparent Concepts（見かけ上の概念）、By Authority（権威依存）によって特徴づけられた対象者は、全員が少なくとも1つの質問に対して何らかの根本的な誤概念（fundamental misconception）を示した。学習者の認識論的信念が問題解決行動や概念理解と関連する可能性が指摘されている[2]。

国立の教員養成系大学において、大学 1 年生を対象として行われているチュートリアル[3]の受講を通して、学生が「物理(力学)に対する捉え」をどのように変容させているのかを明らかにすることを本研究の目的とした。本実践の基本にある Open Source Tutorials では、認識論的側面が強調されており、直観の絞り込み(intuition refinement)が特徴の 1 つである。相互作用型授業を行うことで、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。

2. 方法

学習過程の可視化と変容の明確化を図るため、チュートリアルの講義に、思考や認知過程の内化・外化を促す OPP(One Page Portfolio)シート[4]を取り入れた。従来毎回のチュートリアルのワークシートに記入していた振り返りを 1 枚の用紙(OPP シート)にポートフォリオ形式で記入してもらい見取りのツールの 1 つとした。学生の「物理(力学)に対する捉え」を表出させるため、OPP シートにおける受講前・受講後の共通の設問として、設問(1)「力学(物体にはたらく力と運動に関する学問)はどのようなことを考えるものだと思いますか。」、設問(2)「現実の現象や実験結果を解釈するために、物理学の知見(概念や法則)をどのように使うとよいと考えますか。」という問いを設定し、チュートリアルの受講前、受講後に回答してもらった。この記述に対し、探索的な分析から、分類カテゴリーを設定し、それらの変容に着目し分析を行った。「学習前・中・後を振り返ってみて、何が分かりましたか？今回の勉強を通してあなたは何がどのように変わりましたか？そのことについてあなたはどのように思いますか？感想でも構いませんので自由に書いてください。」という設問を設定し、自己の変容を捉え、記述してもらった。この結果についても質的に分析を行った。また、「今日の授業で、私が大事だと思うこと」、「今日の授業で、疑問点やすっきりしないこと」の 2 点について記入をもらい、ワークシート、宿題とともに毎回の提出物とした。

3. 結果と考察

設問(1),(2)の記述についての分析から、「物理(力学)についての捉え」について様々な要素が抽出された。分類の詳細については、発表で紹介する。設問(1)については、「運動そのものへの注目」から、「力と運動の関係や法則への注目」への移行が見られた。「因果関係の説明、予測中心の考え方」から、「モデル化・理論的な一般化志向」への変容も見られた。このことから、学生は力学を単なる計算や予測の手段としてではなく、現象をモデル化し統合的に理解する枠組みとして捉えるようになったと考えられる。設問(2)については、受講後「直観との比較」に関する記述が大幅に増加した。Open Source Tutorials に特徴的な変容であると考えられる。特にこの記述は、FCI の gain が高い群、低い群に関わらず見られる記述であり、物理について理解を深める手段として、学生にとって価値のあるものとして位置づけられたと考えられる。これらのことから、チュートリアルを通じて学生は物理に対する捉え自体を変容させていると考えることができる。また、FCI のスコアは伸びないが、「物理に対する捉え」を変容している学生が存在していることが分かった。

自己の変容を捉える設問についての分析については、FCI の gain が高い群と低い群に分け、記述内容の比較を行った。gain が高い群、低い群に関わらず、「教育への活用志向」の記述が見られる。これは教員養成系大学ならではの傾向であり、将来教員として、どのように指導をしていくのかという学生の指導観にも影響を与えていることが示唆される。変容についての記述の欄においても直観と物理法則のすり合わせや、日常生活と物理法則のつながりについての記述が多く見られ、チュートリアルを通じて、これらの方法について、効果や価値を感じていると考えられる。gain が低い群については、「チュートリアルの効果」について、「直観の否定」や数式を解く「問題演習志向」のような認識についての記述も見られるのに対し、gain が高い群では、「チュートリアルの効果」、「学習過程の省察」などチュートリアルの方式についての肯定的な記述や、チュートリアルの特徴的な学習過程を捉え、自分の理解の変容に関する記述がされている点が特徴的である。また、「自己の理解度に対するメタ認知」、「自己の物理に対する認識についてのメタ認知」についての的確に捉えることができている点が特徴として挙げられる。

4. まとめ

FCI のスコアが伸びていない学生も含め、多くの学生がチュートリアルを通じて「物理に対する捉え」自体を変容させていることが分かった。また、OPP シートの分析から gain が高い群や gain は低い物理に対する捉えの変容が見られる群は、学習過程の内省を効果的に行っていることが示唆された。

今後は、「物理に対する捉え」の変容が物理の概念理解度にどのように関係しているのかという視点を含め、さらに詳細に分析を行ってきたい。

参考文献

- [1] 文部科学省(2026)：各教科等 WG における資質・能力の構造化等に関する検討のポイント等, 12. https://www.mext.go.jp/content/20260601-mxt_kyoiku01-000050151-3.pdf(参照日:2026年7月1日)
- [2] Hammer, D. (1994): Epistemological Beliefs in Introductory physics. *Cognition and Instruction*, 12(2), 151-183.
- [3] 植松晴子(2015)：チュートリアル方式の授業実践を通して実感する米国物理教育研究の成果, 物理教育, 63, 2-7.
- [4] 堀哲夫(2019)：「新訂 一枚ポートフォリオ評価 OPPA 一枚の用紙の可能性」, 東洋館出版社.

空撮 VR 動画の物理教育利用の可能性

秋山綱紀

金沢工業大学 数理工教育研究センター

akiyama.k.af@neptune.kanazawa-it.ac.jp

1. はじめに

著者はこれまでに、2 台の 360 度カメラを用いて実写の物理実験動画を撮影して、立体視動画や 360 度見渡すことができる、いわゆる VR (Virtual Reality) 動画を編集して、独自ウェブサイト公開してきた[1,2]。撮影環境においても、陸上を走る台車にカメラを固定したり[3]、防水が必要な水中撮影をしたり[4]、真空中での撮影などを試してきた。

一方で、ドローンや自由落下物に市販の 360 度カメラを固定しようとする、過積載や安全面、ドローン本体が写り込む問題が解決できず、構想することこそあれ、空撮 VR はまだ実現できていなかった。空撮が可能になると、撮影できる物理現象の可能性がさらに広がる。

2. 世界初の 360 度カメラ搭載の商業用ドローン

Antigravity 社から 2025 年末にリリースされた Antigravity A1 (以下、本ドローン) は、世界初の 360 度 8K カメラが搭載された商業用ドローンである。その主な特長を挙げると[5]、

- ・カメラからの映像を付属の VR ゴーグルを用いて一人称視点でもリアルタイム視聴できる。
- ・操作方法も、フリーモーションモードという直感的な操縦方法に切り替えることができる。
- ・予め設定した経路を飛行させたり、プログラムされた曲芸飛行をしながらの撮影、移動物体の追尾機能 (ディープトラック) もある。
- ・飛行中に全方位の障害物を検知したり指定高度に近づくと警告がなされ、登録されたスタート位置への自動帰還が可能、規定重量オーバーを検知すると飛行できないなどの安全設計である。
- ・撮影した動画は各種 SNS (YouTube VR, Instagram など) に最適なサイズでの出力が可能で、スマートフォンのみで完結するような AI (Artificial Intelligence : 人工知能) による簡易自動編集や、専用編集 PC アプリを用いた特殊編集もでき、Adobe 社の Premiere などの動画編集ソフトによる本格的な編集にも対応しているようだ。

3. 試験運用方法

我が国では、100 g 以上の無人航空機を飛ばすには、国土交通省への機体登録が必要である。また、飛行禁止空域内における飛行や、夜間や目視外の飛行などの条件によっては、安全面の措置をしたうえでフライト申請をする必要がある[6]。特に、本ドローンでは、ゴーグルを着用した一人称視点の飛行となるため、目視外の飛行に該当するので注意されたい。

一方で、屋内で飛ばす分には特に申請は必要がない。ただし、屋内では衛星通信接続がなされないせいか、本ドローンでは、スタート位置への自動帰還や予めプログラムされた曲芸飛行などは不可能で、単に上下移動と水平面内の回転しかできなかった。

購入した本ドローンを用いて、物理実験の撮影を試みた。本稿執筆までに試してみたのは、機体の登録に時間がかかったので、屋内飛行だけである。機体の登録と識別番号の表示が終わったので、今後は

屋外での撮影にも臨みたいと考えている。

4. 試験運用結果

試験飛行後に最初に試みたのは、自由落下物の追尾である。スケーラーを鉛直方向に垂らして、自由落下物と並行に追尾できれば、落下物の位置を測定する視点の動画が撮影できると考えた。高所からの自由落下における終端速度の検証をする際に、終端速度に近づく過程の実験データが得やすくなる。

図1に、撮影した動画のYouTube VRにおけるスクリーンショットを示す。結論だけ述べると、ドローンの羽が生み出す風が想像以上に強く、約1メートル離れて撮影しても、風の影響で自由落下とはいいいがたい運動となってしまう。



図1 ドローンで撮影した自由落下物の追尾実験

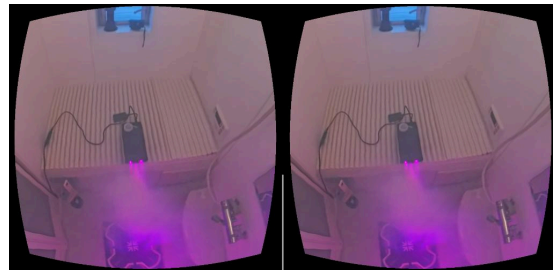


図2 ドローンで撮影した気流の観察実験

次に、このドローンが生み出す風を活用して、気流の可視化を試みた。ドローンが上昇・降下する際に、どのような気流が生じるのかを、 Fogマシンで生成した煙によって可視化する。

図2に、撮影した動画のYouTube VRにおけるスクリーンショットを示す。結論だけ述べると、風が強烈過ぎて、どのような気流が生じているのかは明確に視認できなかった。

ちなみに、著者はスカイダイビングによる自由落下を撮影する構想を、物理実験動画撮影を始めた当初から持っているが、360度カメラを安全に瞳孔間距離に固定するという部分で躊躇している。本ドローンにおいては、安全面を考慮してか、飛行中に動力を強制的に切めることは容易ではなかった（正確に言えば可能ではあるが、動力を回復させて安全な飛行状態に復帰させることは不可能なようである）。

5. まとめと今後の方針

世界初の商業用360度カメラ搭載ドローンによる物理実験動画の撮影を検討したところ、撮影困難な事項や制限などが判明した。今後は、これらの知識を糧に、動画編集によって生み出される可能性の検討や、屋外であれば可能になるアイデアも幾つか構想中なので、引き続き空撮視点の効果的な物理実験動画の撮影を模索していきたい。

参考文献

- [1] Koki AKIYAMA et al. (2022) : Introduction of Experimental Stereoscopic/360° Videos of Free-fall Motions Using VR Goggles and Smartphones to Physics Education, Proceedings of I-SEEC & ICTSS 2022, I03-2.
- [2] 秋山綱紀ほか(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] 関口陽人ほか(2023) : 放物運動の立体視動画のeラーニングウェブサイトへの導入, 2023年度工学教育研究講演会講演論文集, 288-289.
- [4] 秋山綱紀ほか(2024) : 水中視点の立体視/VR動画のeラーニングウェブサイトにおける公開, 第79回年次大会講演概要集, 79(2), 3060.
- [5] antigravity 社(2025) : <https://www.antigravity.tech/jp/drone/antigravity-al>
- [6] 国土交通省(2021) : 航空法における無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルールについて.

物理教育用 Web アプリケーション教材の量産開発

～100 日間で 100 個の Web アプリ作成チャレンジを通して～

鈴木 駿久

栃木県立真岡工業高等学校

toshify0129@gmail.com

1. 開発の背景と目的

近年、生成 AI の発展に伴い、物理教育現場ではマイコンのプログラムコード生成や作問添削などにおいて生成 AI の多様な活用が模索されている。私はこの生成 AI を物理教育用 Web アプリケーション教材（以下 Web アプリ教材）の効率的な開発に利用した。インターネット上には PhET^[1]をはじめとして多くの物理アニメーション教材が存在するが、授業者の授業デザインに合わせた Web アプリ教材を作成することで、各授業や生徒の実態に合わせた授業を展開することが可能となり、「生徒が学びたくなる物理」につながると考えられる。私はこれまで Javascript のプログラミングによる Web アプリ教材の開発を行ってきた^[2]が、手動でのコーディングによる Web アプリ教材作成は難易度が高く、1 つの Web アプリ教材の開発に膨大な時間を要するため、物理の授業全体を網羅する Web アプリ教材を作成することには至らず単発の実践に留まるという課題があった。そこで本研究では、私の開発経験と生成 AI (Gemini) によるコード生成能力を合わせることで、2026 年 3 月 9 日～6 月 16 日までの 100 日間で 100 個の Web アプリ教材を連続開発する「量産開発」を試みた。この量産開発を通して、物理の全単元において授業者自身がニーズに合致した教材を容易に自作が可能であると考えられる。

2. 開発した教材の概要と分類

100 日間で開発した Web アプリ教材は以下のサイトからアクセス可能である。開発した Web アプリ教材は以下の (1)～(3) の 3 つのタイプに大別される。



図 1. 100 日間連続 Web アプリ作成チャレンジで開発した教材とその QR コード

(https://hs-physics.com/6.12_web_challenge_home/6.12_web_challenge_home.html)

(1) 物理現象の可視化を目的としたアニメーション教材

教科書や板書などの静止画では捉えにくい運動を動的に再現し、教員・生徒間の正確なイメージ共有を可能にする。また、単に運動を示すのみでなく、物体の運動とエネルギーの関係を視覚化する「エネルギーバーチャート」(図2)のような教材等も作成しており、生徒の理解に役立つ教材となるように工夫している。



図2. 落下運動とエネルギーバーチャート

(2) 主体的な学びを促すインタラクティブ教材

生徒自身が手を動かしながら思考を深める教材である。具体例として、媒質の単振動と波の式の関係を学ぶ「進行波をつくろう！」(図3)や、クイズ形式で知識定着を図る「放射性崩壊の崩壊系列」などを開発した。1人1台端末環境を活かした個別最適な学習に効果的であると考えられる。



図3. 単振動と波の式の間を学ぶ教材

(3) 端末をそのまま実験で活用できる Web アプリ教材

準備の時間や予算の都合で実験機器を班の数だけ揃えるのが困難な場合でも、生徒個人の端末で動作する Web アプリ教材を活用することで実験を行うことができる。音の波形と周波数を解析する Web アプリ教材 (図4) や、ファンクションジェネレーターの Web アプリ教材などを開発した。

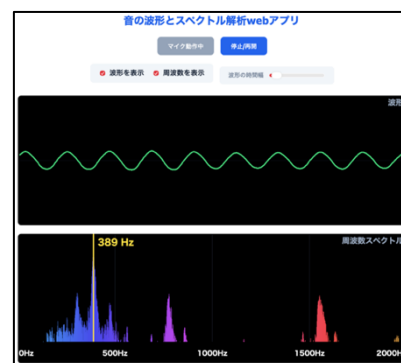


図4. 音の波形と周波数を解析する Web アプリ教材

100 個の Web アプリ教材を量産開発する際に、現場での実用性を担保して授業で導入しやすくするため、以下3つの工夫を行なった。まず1つ目に、タブレットやスマートフォンなどのマルチデバイスに対応したレスポンスデザインで構築することで、どのデバイスでも使いやすい Web アプリ教材となるようにした。2つ目に、操作画面が複雑にならないように、多くの機能を入れない工夫やシンプルなレイアウトにした。そして3つ目に、教科書などでよく使われるモデルや運動についての教材を多く作成した。

3. まとめと今後の展望

本チャレンジにより、生成 AI を活用することで授業者の授業デザインに合わせた実用的な Web アプリ教材を短期間で量産することが実証された。この取り組みを通して、多くの教員が Web アプリ教材を自作する文化の醸成に貢献できればと思っている。また、私自身としても物理の授業全体を網羅するように Web アプリ教材を作り続けていきたい。なお、当日は Web アプリ教材の全容を紹介するとともに、これらを使用した高校生・大学生を対象とする利用アンケートの結果を報告する予定である。なお、本取組の一部は武田科学振興財団の助成を受けて行ったものである。

参考文献

- [1] PhET <https://phet.colorado.edu/ja/> (2026 年 7 月 7 日閲覧)
 [2] 鈴木駿久 (2024) : 斜面上を動く物体の運動を理解するための Web アプリケーション教材の開発, 第 40 回物理教育研究大会発表予稿集, pp. 102-103

電子の波動的理解へ繋ぐ超伝導教材の開発とカリキュラム構築への展望

^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. 教材としての超伝導とカリキュラム構築

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^[1]。

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り、高校物理の教材化の有用性を検証してきた。昨年度の実践の結果からは、超伝導は内容として「難しい」「理解しきれない」と生徒が感じつつも、高い学習意欲を誘発する教材であることが明らかとなっている^[2]。そこで我々は、この超伝導という教材が持つ特性を活かした、より効果的な指導法やカリキュラムへの活用法について模索している。

2. 目的

本研究では、昨年度報告したカリキュラムの有効性の再検証、および教材特性のより深い分析を目的とした。カリキュラムの概要は「超伝導の観察」「BCS 理論の定性的理解（協働学習）」「電子の波動的性・超伝導と量子について」の3つの学習活動から構成されており、全5時間で行った。なお、実施時数については学校の実情に応じて一部削減したが、実践の構成及び内容に大きな変更は加えていない。その上で、本研究では「光電効果」との比較に焦点を当てた新たなアンケート項目を追加し、量子論の導入教材としての特性を検討した。

3. アンケート結果

超伝導の全授業を実施した後に行ったアンケートでは、昨年度と同様に難易度、理解度及び学習意欲について調査した。その結果、超伝導は「難しい」と回答する生徒が多かったことや、「理解できた」と回答した生徒の割合も必ずしも高くなかった。その一方で、「楽しかった」「さらに学習したい」という学習意欲については、全生徒から肯定的な回答を得ることができた。これらの結果は昨年度と同様の傾向であった。

さらに、超伝導の授業実施後に、教科書に沿った量子分野の授業を行った。その後、「量子の二重性を理解する上で、超伝導と光電効果のどちらが分かりやすかったか」を調査した。その結果、超伝導を選択した生徒が光電効果を選択した生徒を上回った（図1）。

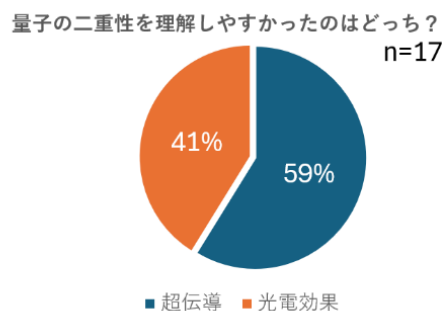


図1 「光電効果との比較」に焦点をあてたアンケート

4. 量子分野の導入教材

本実践の結果から、超伝導は電子の波動性を理解するための教材として有効である可能性が示唆された。

高校物理において、量子論は主として光電効果などを通して導入されることが多い。しかしながら、光は歴史的にも波動説と粒子説の双方が議論されてきた経緯があり、生徒にとって粒子性の受容が必ずしも大きな認知的転換につながらない場合がある。

一方、電子は高校段階では粒子として扱われることが多い。そのため、超伝導における電気抵抗ゼロを認識し、その説明を試みる過程で、従来の粒子的描像（ドルーデモデルによる散乱）のみでは説明が困難な現象に直面する。「なぜ電子が原子核と衝突（散乱）しないのか」という問いに対し、電子を空間的に広がった「波」として捉え、電子が巨視的に同位相で秩序だった状態を形成することで、抵抗ゼロという現象を説明することが可能となる。これは、電子の波動性や量子論の必要性を、生徒に認識させる契機となり得る。

本発表では、超伝導を起点として、この古典論の破綻から電子の波動的理解へスムーズに接続する教材系列の構築について報告する。なお本研究は、JSPS 科研費 19K03050、22K02827 の助成を受け実施されたものである。

参考文献

- [1] 寺尾悠、ビギナーのための超電導、近代科学社 Digital、2024、P16－38
- [2] 山口智輝、内山哲治、「つなぐ」教材としての超伝導学習～高校教育への導入～、2025 日本物理教育学会 発表予稿集 3D-1 (2025)

教師が教えたい物理 ～ 実験装置作りの勧め ～

^A豊田 将章, ^B渡邊 靖文

^A大阪大学大学院理学研究科, ^B近畿大学附属高等学校

Toyoda.masaaki.sci@osaka-u.ac.jp

1. はじめに

「児童生徒が学びたい物理」は、少なくとも受験問題の解法を細大漏らさず提供するという方法では実現できない。「受験のための物理」についつい傾きがちな日常を通して私が見出した解決法は、「多様な条件設定に対応し、シンプルに現象を観察することができる実験装置を開発」であった。今回の発表では、「我慢できないくらい人に見せたい弦定在波実験装置」のしくみと、装置の普及のために行った実践の内容を報告する。

2. 背景と目的

弦の振動に関する実験では、振動数を変えたとき固有振動数と一致したときにのみ定在波が発生することや、振動が伝播する速さは弦の張力および弦の線密度に相関することについては検証を行うことができる。しかし、視覚的に観察できるのは振動する弦が作る残像で、各瞬間の弦の波形を観察することはできない。現に生じている定在波の波形を生徒に描かせると、多くの生徒は正弦曲線ではなく、見た目を反映したふくらみを持つ像を描く。直接経験に重きを置くことは重要であるが、誤概念を定着させるようでは本末転倒である。問題解決には次の2つの方法が考えられる。①ハイスピードカメラで撮影した動画をスロー再生して観察する。②ストロボ光源の点滅する光を弦に当て、残像効果を利用してリアルタイムで波形や動きを観察する。今回紹介する装置では、後者の方法を選択し装置に反映させた。

弦の振動数に合わせて点滅するLEDの光を当てると、スローモーションのような弦の動きを観察することができる。その際、デューティ比を大きくすると幅を持つ残像になり、その幅から弦の速さを知ることができ、小さくすると鮮明な1本の曲線のように見え、各瞬間の波形の変化が観察できる。

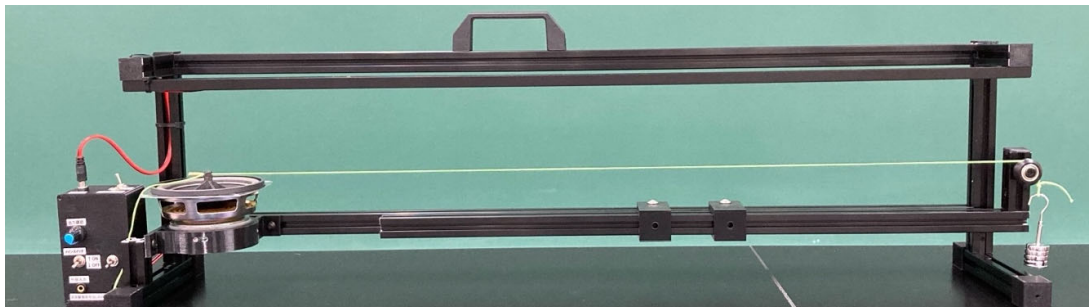


図1 研修会で製作した装置

図1は、第54回東レ理科教育賞を受賞した前世代の装置^[1]の改良版である。幾つかの研究発表会で同型の装置を紹介したところ、「生徒に見せたいので装置の作り方を教えて欲しい」という要望を受けて研修会のテーマにしたときのものである。スピーカーに弦の一端を直付けして他の共振要素を排除し、弦の固有振動を特定しやすくしている点と、弦の上部に設置した高輝度のテープLEDによる点滅光で弦を照らすようにした点がこの装置の特徴である。装置左端のBOX内に、波源駆動用アンプとLED制御用スイッチング回路を設置しているため、正弦波系の信号で波源駆動するためのタブレット端末と、LED光源を点滅させる矩形波信号発生器、DC電源の3つを装置に接続するだけで直ぐに利用できる。

3. 結果

図2は、研修会当日に用意した部品類である。2020規格のアルミ材を使用すると、既成のジョイント部品が豊富に出回っているため、骨格を容易に構築できて便利である。その他の部品類については3Dプリンターで製作した。工作機械を使って部品を製作する場合と違って、複雑な形状の部品を容易に作成できるだけでなく、端材を発生させないことも有益な点である。因みに、1セットあたりの材料費は1万円以下であった。

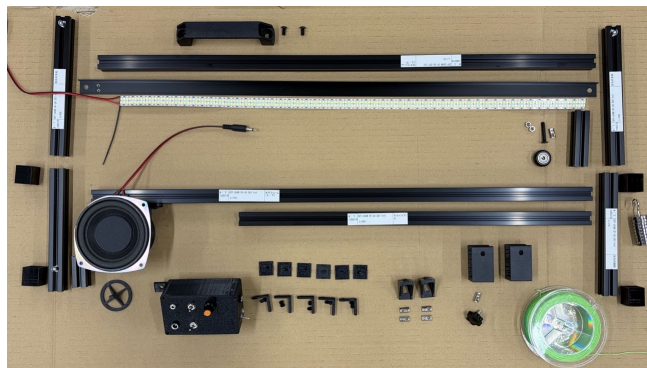


図2. 装置の部品



図3. 2026年2月21日に実施した研修会で装置を製作している様子

装置の完成後、次の①～④の手順で動作確認を行っていただいた。

- ① タブレット端末を優先接続して定在波が安定して発生するかどうか。
- ② Bluetooth 接続で①と同様に動作するか。
- ③ 光源を点滅発光させるタイミングを調節して弦の動きが止まって見えるかどうか。
- ④ 矩形波のデューティー比を調節して残像の幅（振動する速さに比例）を調節できるかどうか。

「自分で組み立てた装置が果たして狙い通りの動作をするのか？」緊張の面持ちで1項目ずつチェックを行い、全項目をクリアしたときの破顔の表情は、それぞれに個性的でとても印象的であった。「経験したことのない現象を目の当たりにしたときに覚えた感動を、生徒にも感じて欲しい」という動機を持って授業に臨めば、自ずと生徒の興味・関心の喚起につながると信じている。

4. おわりに

前出の研修会は、大阪私立中学校高等学校理科教育研究会の活動費を利用して実現した。また、今回紹介した「改良版弦定在波発生装置」は、公益財団法人武田科学振興財団の研究助成によって前任校の大谷中学校・高等学校で多くの試行錯誤を経て得られた成果である。この紙面をお借りしてご厚意感謝感謝申し上げる。これからの時代を担う先生方には、実現させたい目標を少しでも早く実現させるためにも、これはと思う研究助成に応募して多くの試行錯誤を重ねていただきたい。

現在勤務する大阪大学には、本格的な工作機械を備えた施設があるので、今後も興味・関心を引く実験装置の開発を続ける一方、これまでの経験を活かして実験装置作りに興味を持つ先生方の装置作りを補助したいと考えている。興味をお持ちの方はぜひご一報いただきたい。

参考文献

- [1] 東レ理科教育賞 受賞者・受賞作一覧(2022), 「遠隔操作可能なストロボ内蔵型弦の振動実験装置の開発」 <https://www.toray-sf.or.jp/awards/education/pdf/R04-03Toyoda.pdf>

シンプルな物理シミュレーション教材の開発

^A藪哲郎, ^B辻寧英

^A奈良教育大学 教育学部, ^B室蘭工業大学 大学院工学研究科

yabu@cc.nara-edu.ac.jp

1. はじめに

物理シミュレーション教材はすでに多くの優れた教材がネットで公開されている。代表的なものとして PhET[1], 8gwifi.org[2], ブラジルのロンドニア連邦大学のサイト[3]などがある。筆者らは他のライブラリに依存しないシンプルな物理シミュレーション教材を開発し、Web で公開している[4]。筆者らが開発したものは (1) 外部のファイルを必要とせず単独で動作し、シンプルなので内容の理解が容易であり、改造もしやすい (2) 1次元波動のシミュレータは伝搬速度が場所によって設定可能、という特長を持つ。

2. 作成した教材とその利用法

以下のシミュレータを作成した。

(1) 物体の運動のシミュレータ …… xy 平面における物体の運動をシミュレートする。3つのバージョンがある。

(1a) 地球上の重力のシミュレート：加速度は下向き一定で g 。地面に当たると反発係数 e でバウンドする。(1b) 万有引力のシミュレート：加速度の向きは原点方向で大きさは $1/r^2$ に比例する。(1c) ローレンツ力のシミュレート：加速度の向きは速度ベクトルと垂直な方向で大きさは速度に比例する。

(2) 単振り子のシミュレータ ……単振り子をシミュレートする。初速を設定可能。図1に示す。

(3) 1次元波動のシミュレータ …… 1次元の波動方程式をシミュレートする。境界として「固定端」「自由端」「無反射端」「強制振動」が選べる。さらに、波の速度を場所ごとに設定可能。

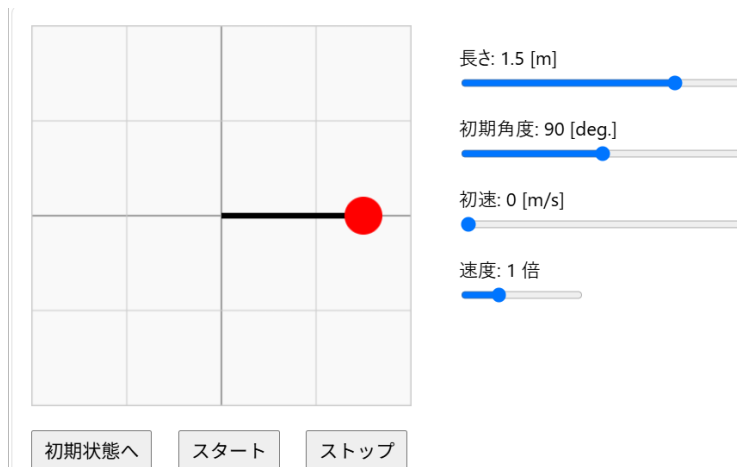


図1 単振り子のシミュレータ

上記のシミュレータを使って下記の式や性質を学習することができる。

● 初速 v_0 角度 θ で投擲するとき $x(t) = v_0 \cos \theta \cdot t$, $y(t) = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$ が成立する

(実験 1) シミュレータ (1a) 用い、地上から斜め上へボールを投擲する場合、斜め 45 度に投げると最も遠くに到達することを確認し、そのことを上記の式から導出する。

● 位置エネルギーが全て運動エネルギーに変わるとき $mg h = \frac{1}{2}mv^2$ が成立する

(実験 2) シミュレータ (1a) において、地面でボールがバウンドした後の頂点の高さが落下開始点の $1/2$ になる場合、反発係数 e はいくらか？ という問題を解くことで、上式が成立することを確認する。

(実験 3) シミュレータ (2) において、振り子を真横の位置から初速をつけて振り下ろすとき、振り子が $3/4$ 回転して回転運動を続けるには初速をいくらにすればよいか？ という問題を解く。

- 円軌道を描くとき重力=遠心力より $\frac{G}{r^2} = \frac{v^2}{r}$, ローレンツ力=遠心力より $e v B = m \frac{v^2}{r}$ が成立する

(実験 4) シミュレータ (1b) で円軌道を描くための初速を求める。

(実験 5) シミュレータ (1c) で初速を 1/2 にすると円軌道の半径がどうなるか考える。

- 単振り子の周期は振れ角が小さいとき $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ で近似できる

(実験 6) シミュレータ (2) を動作させてストップウォッチで測定した周期が理論とほぼ一致することを確認する。

- 波動の性質の学習

(実験 7) シミュレータ (3) で以下のことを学習する。

- ・ 固定端、自由端において波が反射するときの位相変化と端点における振幅
- ・ 共振現象 …… 片方を固定端、片方を強制振動させる場合、強制振動の波長が $2L/n$ (L は弦の長さ, n は整数) のとき、共振が起こり振幅が無限に大きくなる。波長が共振波長から少しでもずれると、弦の振動は極小と極大を繰り返す
- ・ 速度が異なる媒質に波が入射する場合の透過波・反射波の振幅と位相 …… 速度が遅い媒質から速い媒質へ透過するときと、その逆では、反射波の位相が逆になることを学習する。
- ・ ブラッグ反射 …… 波の速度が異なる媒質を周期的に並べ、その層の厚さを波長の 1/4 に設定すると、その波長は透過せず、そこから波長が外れるほど透過率が大きくなる。

3. 数値計算の手法について

物理シミュレーションの Web サイトを見ると、ほぼ全てのサイトが 4 次のルンゲ・クッタを使っていて、4 次のルンゲ・クッタは非常に高精度であるが、エネルギーが保存されないので、周期現象を多数回計算すると振幅の減少が起こる。本教材はシンプレクティック・オイラー法を用いた。シンプレクティック・オイラー法はプログラムが非常にシンプルであるにも関わらず、エネルギーの保存性が非常に良い。物理シミュレータであまり利用されていない理由は、ルンゲ・クッタはどのような問題に対しても微係数を求める関数を 1 個作ればよいのに対して、シンプレクティック・オイラー法は、扱う現象ごとに変数の計算順序をカスタマイズする必要があり、それが厄介なためと思われる。たとえば万有引力のシミュレートでは $(x,y) \rightarrow (v_x,v_y) \rightarrow (x,y)$ という更新順序が適切なのに対して、ローレンツ力のシミュレートでは $v_x \rightarrow v_y \rightarrow v_x$ という順序が適切である。

4. おわりに

物理教育のための物理シミュレーション教材を開発した。シミュレータの html ファイル、授業用のパワポスライドを[4]のサイトで公開している。御活用いただけたら幸いである。

参考文献

- [1] PhET Interactive Simulations: <https://phet.colorado.edu/ja/> (accessed 2026/6/17)
- [2] Physics Tools & Labs: <https://8gwifi.org/physics/> (accessed 2026/6/17)
- [3] SimuFisica: <https://simufisica.com/ja/> (accessed 2026/6/17)
- [4] 物理シミュレーション: <https://denki.nara-edu.ac.jp/~yabu/edu/simu/index.html> (accessed 2026/6/17)

コンデンサー学習におけるスキーマの状態の評価 —認知負荷・確信度・真剣度の観点による検討—

^{A,B} 平野進一, ^A 石原諭
^A 兵庫教育大学, ^B 立教大学
shirano@hyogo-u.ac.jp

1. 背景と目的

物理教育では、学習者が授業前後にもつ素朴概念や誤概念を把握し、科学的概念への変容を促す（概念変容）研究が蓄積されてきた。素朴概念や誤概念は、学習時の理解を妨げたり、学習後の理解を学習前のものに戻してしまったりするため、それらの有無が授業設計に大きく関わってくる。概念変容は、学習によって学習前に持っている概念体系がどのように変化するかを表している。電磁気学分野では、例えば、文献[1-3]のような報告がされている。一方、正誤の背後にある知識構造を捉える研究として、概念間のつながりを可視化する概念マップ・学習マップの利用や、語句連想により物理概念の結び付きを探る方法が提案されている[4, 5]。これらを踏まえ、学習者の理解状態、特に正誤の背後にある知識構造を捉え、授業改善や教材改善に繋げていける評価的枠組みが作れないか、ということに本研究の問題意識がある。

人間は、知識、それに付随した行動や関係する事柄を構造化して内部に記憶している。この認知構造をスキーマと呼ぶ。本研究の目的は、コンデンサー学習における理解状態を、正誤得点だけでなく、スキーマの状態および概念間の結びつきとして記述し（以後スキーマ状態、概念間リンクとそれぞれ呼ぶ）、認知負荷・確信度・真剣度との関係から検討することである。ただし、本年度は、スキーマ状態や概念間リンクの探索段階でもあり、学習者の回答に基づいて何がどこまで評価できるか、またその評価が授業改善・教材開発にどこまで接続できるかを調べる研究として位置付ける。

高校電磁気学のうち、コンデンサー単元を分析対象とする。コンデンサーは直流回路の延長に位置付く一方で、電流の時間変化、極板間の電場と電圧、静電エネルギー、電池接続時と孤立時の条件の違いが現れる単元である。また、それまで足場かけとして存在していた水路モデルでは説明として適さない、あるいは無理がある場面が度々現れる。したがって、既習の回路概念と、高校電磁気学で導入した電場・電位・静電エネルギーなどの新しい概念との接続状況を調べる絶好の題材となっていると考えられる。

2. スキーマ状態の操作的定義

スキーマは、直接測定するのは難しい。物理学習では、授業で理解しなければならない物理的知識や考え方は、ある程度ははっきりしたものと考えられる。このような理解の中核となるスキーマを操作的に定義し、それらを学習者の回答に表れた概念の使用、概念間の関係付け結びつけ、および条件判断の一貫性から推定していく。回答の中心にある説明枠組みを主コード、補助的に現れる説明枠組みを副コード、概念間の結びつきを概念間リンクとして記録する。

主コードは、操作的に定義したスキーマが形成されていく中で、回答の中心にある思考モデルを評価するものである。例えば、コンデンサーの充電過程において、電荷分離まで理解できていれば、電荷分離モデル、静電エネルギーの蓄積まで理解できていれば、電場エネルギーモデルとコード付する。副コードは、学習者の理解の過渡的状況や誤った理解状況を暫定的に評価するのに用いる。日常的直観や断片的な既習知識に基づく「既有スキーマにもとづく説明」、公式や用語は現れるが関係付けが弱い「公式的理解」、一部の概念は結び付くが条件の区別が不安定な「部分的関連付け」のように整理していく。また、電池接続時と孤立時の混同や、電場・電位差・電荷の関係の取り違えのように、分析上重要な誤った結び付きは「誤った関連付け」として記録する。概念リンクについては、電荷分離と電位差、電位差と電場、電場と静電エネルギーの関係などを、重点的に評価する概念間関係として設定する。自由記述からは、これらに加えて学習者自身が自ら用いた関係付けも記録していく。これらの分類は仮説的なものであり、実際の回答と照ら合わせて、修正・統合していく。

3. 調査・分析方法

調査は、大学2年生を対象とする高校電磁気の授業内で行う。コンデンサー単元を90分×2回の授業で扱い、授業前後および授業末に表1の測定を行う。主コード・概念間リンクを元に各テストを作成する。選択式、穴埋め式、自由記述を組み合わせ、時点ごとの確信度と真剣度を5件法で尋ねる。認知負荷は、単元全体および主要概念ごとに主観評定として測定する[6, 7]。

表1 調査時点と主な分析観点

時点	時間	主な問題内容	主な分析観点
事前テスト	10分	コンデンサーの定義、蓄えられる量、充電のイメージ	正誤、既有スキーマ、概念リンク
第1回授業末チェック	1問	電荷分離・電位差・電場に関する確認問題	授業直後のつまずき、補強点
中間テスト	15分	充電の流れ、 $Q=CV$ の意味、電場に蓄えられるエネルギー	正誤、主・副コード、概念リンク
第2回授業末チェック	1問	電池接続時・孤立時など、条件判断に関する確認問題	条件の区別、誤った関連付け
事後テスト	20分	単元の総合確認、誤った関連付けを測る問題	単元後のスキーマ状態、自己評定との対応

分析では、第一に、各時点の正誤得点を算出し、授業前、授業末、中間、事後の変化を確認する。第二に、自由記述と図示に対して主コード・副コードを付与し、既有スキーマにもとづく説明、断片的理解、部分的関連付け、条件を踏まえた関連付け、誤った関連付けがどの時点で現れるかを整理する。第三に、重点的に評価する概念間関係の成立と、自由記述に現れる学習者自身が自ら表現した概念間リンクを用いて、正誤得点が同程度であっても説明構造が異なる答案を比較する。

さらに、認知負荷、確信度、真剣度との対応を検討する。たとえば、正答しているが概念間の関連付けが少ない回答、誤答であっても部分的な関連付けが見られる回答、確信度が高いにもかかわらず誤った関連付けを含む回答などを区別し、学習支援上の示唆を得る。また、必要に応じて、高校段階でコンデンサーを既習であった学生と未習または記憶が曖昧な学生を分けて分析する。

4. 期待される知見と授業改善への接続

本研究により、コンデンサー単元において、学習者がどの概念でつまずき、どの概念間の関係を形成することで状況判断が可能になるのかを具体的に記述できると期待される。一方で、本年度は探索的段階であるため、分析指標がどの程度安定して機能するか、またスキーマ状態としてどこまで解釈可能かも検討対象である。

この研究は、単なる理解度の把握に留まらず、次の授業で補強すべき概念関係、水路モデルの限界を扱う場面、提示すべき対比課題、フィードバックの焦点を明確にする材料となる。発表では、実施後の回答例を用いて、スキーマ状態のコード化例と、授業改善・教材開発へ接続する分析結果の一部を報告する予定である。

参考文献

- [1] 麻柄 啓一 (1998) : 科学教育研究, 22 (4), 215-222
- [2] 古屋 光一, 戸北 凱惟 (2001) : 科学教育研究, 25 (2), 90-101
- [3] 古屋 光一 (2002) : 科学教育研究, 26 (2), 131-143
- [4] Beatty, I. D. and Gerace, W. J. (2002): American Journal of Physics, 70(7), 750-758.
- [5] L. Ding, R. Chabay, B. Sherwood, and R. Beichner (2006): Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 2, 010105
- [6] 園山裕之・御園真史・栢野彰秀 (2015) : 教育臨床総合研究, 14, 111-125.
- [7] Sweller, J. (1988): Cognitive Science, 12(2), 257-285.
- [8] Paas, F. G. W. C. (1992): Journal of Educational Psychology, 84(4), 429-434.

「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」②

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「いわゆる素朴概念」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]。こういった指摘はそのまま日本の物理教育研究にも当てはまると考えられ、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希望的観測に基づく評価が無責任に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。講演では「いわゆる素朴概念」が強固であるとする主張に対してもその前提から検討すべき点があることを報告する。

2. 「いわゆる概念理解」と「いわゆる素朴概念」の性質

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、「いわゆる素朴概念」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」で高校物理を学習してきた高校1年生と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、FCIの規格化ゲインを用いて十分とされる学習効果が見られた。これは「いわゆる素朴概念」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、「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「いわゆる素朴概念」と「いわゆる概念理解」の性質について概要を述べる。調査対象集団の中では、事前・事後調査の間で同一選択肢によって誤答する割合は1年生より2年生の方が高かった。これは「いわゆる素朴概念」は学習前から保持され、その解消が強固であるとする欧米の物理教育研究の主張と矛盾する面がある。素朴概念が強固になるプロセスが学習の中に存在する可能性があるとともに、「いわゆる素朴概念」を当てはめる範囲が広すぎる可能性も考えられる。また、調査対象校の在籍生徒の多くが高い学習意欲と比較的多様な学習スキルを保持している面を考慮すると、「いわゆる概念理解」については構成主義的に学習する効果よりもむしろ、予備知識や既有知識、および新たな知識を吸収し定着させる耐性の影響の方が支配的である可能性があり、「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いる。逆に、学習に対して長けていない学習者に対して「いわゆる素朴概念」が強固になる前の段階で「概念」のみを取り出して理解させようとすることは効率的でもなければ、教育的でもないと考えて良い。欧米および日本の物理教育研究は、（無作為抽出されたわけではない）主に大学生を対象として、内容的には既習範囲であるほぼ日本の高等学校の「物理基礎」の「いわゆる概念理解」を議論しているが、「物理基礎」相当の内容の学習に対して、大学生は初学者と扱うには無理があると言わざるを得ない。「初学者」という分類もあいまいにしつつ、「いわゆる素朴概念」についても「いわゆる概念理解」についても明確な定義が行われず、その範囲が広げ続けている現状下で、いまなお物理の学習に残された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.

国際比較を取り入れた単振り子実験が高校生の重力加速度の概念理解に与える影響 —福島高校とタイ王国 PCSHS Mukdahan との共同授業を通して—

^A菊池 啓一郎, ^BNiwat Worasan

^A福島県立福島高等学校, ^BPrincess Chulabhorn Science High School Mukdahan,
Thailand
kikuchi.keiichiro@fcs.ed.jp

1. はじめに

近年、コロナ禍を契機としてオンラインツールが急速に普及し、授業中に海外の学校と接続して交流することが容易になった。一方、高校1年次の物理基礎では、教科書には重力加速度は場所によって異なることが、札幌 9.8048 m/s^2 、沖縄 9.7910 m/s^2 などの具体例とともに示されている[1]。しかし、生徒にとっては教科書に記載された知識として理解するにとどまり、その違いが生じる要因について実感を伴って理解する機会は多くない。本実践では、日本の福島県立福島高等学校とタイ王国 Princess Chulabhorn Science High School (PCSHS) Mukdahan の高校生が、同一条件で単振り子実験を行い、求めた重力加速度をオンラインで共有・比較した。日本測地学会が示す測地基準系 1980 での正規重力式[2]を用いて計算すると、福島県福島市（北緯約 37.75° ）とタイ王国 Mukdahan（北緯約 16.57° ）の標準重力は、それぞれ約 9.7997 m/s^2 、約 9.7845 m/s^2 であり、その差は約 0.015 m/s^2 である。本研究の目的は、国際比較を取り入れた実験活動が、教科書で学んだ「重力加速度は場所によって異なる」という知識を、生徒がより実感を伴って理解することにどのようにつながるかを明らかにすることである。

2. 実践の概要

本実践は、福島県立福島高等学校1年生 282 名（7 学級）とタイ王国 PCSHS Mukdahan の高校生 140 名（7 学級）を対象として実施した。授業は、①単振り子実験（福島高校 4 人 1 班、PCSHS Mukdahan 2 人 1 班）、②交流準備、③オンラインによる実験結果の共有・比較、④振り返りの 4 段階で構成した。単振り子実験では、両校で共通の実験方法を用いた。振り子の振れ角を 5° 以内とし、100 周期の時間（ $100T$ ）を班員全員で測定した後、その平均値から周期 T を求めた。また、支点からおもりの中心までの長さ L は、最小目盛り 1 mm の物差しを用いて測定し、次式を用いて重力加速度 g を算出した。

$$g = 4\pi^2 L / T^2 \quad (L: \text{振り子の長さ}, T: \text{周期})$$

実験に際しては測定精度を高めるため、班員間で測定値を比較し、100 周期の数え間違いを確認できるようにした。また、事前に「タイと日本の緯度の違いによる重力加速度の差を検出すること」を授業の目標として提示し、精度の高い測定を行うよう指導した。その後、オンライン会議システムを用いて両校を接続し、生徒同士が学校生活や物理の学習内容を紹介した後、単振り子実験の結果を共有した。各校の全生徒の測定結果を集計したところ、福島高校では平均 9.830 m/s^2 、PCSHS Mukdahan では平均 9.795 m/s^2 であった。さらに、IQR 法（ $\pm 1.5 \times \text{IQR}$ ）により外れ値を除外したところ、福島高校では平均が 9.819 m/s^2 、PCSHS Mukdahan では平均が 9.793 m/s^2 となり、約 0.026 m/s^2 の差が認められた。授業のまとめでは、この差異の要因について生徒に考察させた後、地球の自転に伴う遠心力の影響によって、重力加速度が緯度によって異なることを説明した。授業後には Google フォームによる事後アン

ケートを実施し、重力加速度に対する理解の深化や学びについての自己評価および自由記述を収集した。

3. 結果

事後アンケートには 352 名（福島高校 216 名，回答率 76.6%，PCSHS Mukdahan136 名，回答率 97.1%）が回答した。「今回の活動を通して、重力加速度に対する理解は深まりましたか」という質問に対し、「とてもそう思う（5）」および「そう思う（4）」と回答した生徒は 318 名（90.3%）であり、平均値は 4.41 であった（表 1）。また、自由記述では、「タイと日本で値が異なっていたことに驚いた」「なぜ違いが生じるのか考えることができた」「緯度によって重力加速度が異なることが分かった」「誤差の原因について考えることができた」といった記述が多くみられた。特に、「教科書では場所によって重力加速度が異なることを知識として学んでいたが、自分たちの実験結果として差が現れたことで実感をもって理解できた」という趣旨の記述がみられた。また、一部の生徒は、「地球の自転による遠心力の影響によって重力加速度が変化することが理解できた」と記述していた。これらの結果から、多くの生徒が国際比較による実測値の差異に着目し、その要因を考察する過程を通して、重力加速度に対する理解の深化を実感したことが示された。

表 1 重力加速度に対する理解の深化に関する事後アンケート結果

評価	日本 n=216	タイ n=136	全体 n=352
1（全く深まらなかった）	3 (1.4%)	0 (0.0%)	3 (0.9%)
2	4 (1.9%)	0 (0.0%)	4 (1.1%)
3	18 (8.3%)	9 (6.6%)	27 (7.7%)
4	86 (39.8%)	42 (30.9%)	128 (36.4%)
5（非常に深まった）	105 (48.6%)	85 (62.5%)	190 (54.0%)
4・5の合計	191 (88.4%)	127 (93.4%)	318 (90.3%)

4. 考察・まとめ

本実践では、日本とタイの生徒が同一条件で単振り子実験を行い、得られた重力加速度を比較した。その結果、福島とタイの間で約 0.026 m/s^2 の差が認められた。この差異は、教科書に記載されている「重力加速度は場所によって異なる」という知識を、生徒自身が得た実験データとその差異を考察する契機となったと考えられる。事後アンケートでは、日本では 88.4%、タイでは 93.4% の生徒が重力加速度に対する理解の深化を実感したと回答した。また、自由記述では、「なぜ値が異なるのか考えた」「緯度によって重力加速度が異なることが分かった」「誤差の原因について考えることができた」などの記述がみられた。これらのことから、国際比較による実測値の差異が、生徒にその要因を考察させる契機となり、重力加速度を単なる数値としてではなく、その成り立ちについて捉え直す機会となったことが示唆された。本実践は、オンラインツールを活用することで海外校との共同実験を比較的容易に実施できることを示すとともに、国際比較を取り入れた実験活動が、教科書知識を実感を伴う理解へと深化させる有効な授業方法の一つとなる可能性を示した。

参考文献

- [1] 國友正和ほか：「新編 物理基礎」，数研出版株式会社，2021.
- [2] 日本測地学会：「測地学テキスト 2-2 重力」，<https://geod.jpn.org/web-text/part2/2-2/index.html>（2026 年 6 月閲覧）.

中学校理科における力や慣性及び質量概念の統合的な理解の研究

-小惑星探査機はやぶサの正確な軌道制御の文脈の活用を中心として-

^A 小林 和雄, ^B 山田 吉英

^{A, B} 福井大学

kobaykk@u-fukui.ac.jp

1. はじめに

次期学習指導要領の改訂に向け、「中核的な概念の統合的な理解」が、深い学びに関する新たなキーワードになっている[1]。このキーワードに基づき、学習指導要領の抜本的な見直しが検討されている。しかしこれまでの学習指導要領の内容項目でも、枝葉末節的なものを扱ってきたわけではなく、精選された中核的な概念を扱ってきたはずだ。例えば力、慣性、質量なども力学における中核的なものであろう。そうであれば、問題の所在は、それらの統合的な理解とは、現行の学習指導要領における理解とどこが、どう違うのか、その具体的な理解のイメージを、現場の教師が実現可能なレベルで示すことにある。現行の中学1年力学の導入単元は、静力学中心に構成されている。また、力のはたらきは、物体の形を変える、物体を支える、物体の運動の状態を変える、の3つとされている。この運動の状態というのは、運動の速さや向きのことである。しかし現行の中学校理科では3年まで慣性を扱わない。これでは、「自然界の運動のデフォルトである等速直線運動からの逸脱（変化）を生起させる原因が力」という動力学の力概念の統合的な理解は難しくなる。

そこで本研究では、中学校1年力学の導入単元における力や慣性及び質量概念の統合的な理解の促進を目指し、小惑星探査機はやぶサの軌道制御の文脈を活用した指導方略に関する議論を進める。

2. 小惑星探査機はやぶサの正確な軌道制御の文脈の中学校理科における力学学習への導入

力学における諸概念を統合的に理解するためには、自然界の運動の本来の姿いわゆるデフォルトが現れる宇宙空間における物体の運動を考えることが有効である。なぜなら、重力や空気抵抗、摩擦力を必ず受ける地球上の運動は、来の姿と違う姿を人間に見せるからである[2]。そこで、本研究では、小惑星探査機はやぶサの宇宙空間における軌道制御の文脈で、中学校理科における力学の統合的な理解を促進する指導方略の開発を試みる。板倉（1988）は、定性的な扱いにとどめれば、動力学の視点を初学者である中学校1年生の段階に導入することは、生徒の力学の本質的な理解を促進して力学への関心をたかめ、力学を学びたくなる生徒を育成するのに有効であると指摘している[3]。本研究の指導方略も、基本的には中学校1年の力学の導入単元で実施することを想定しているが、中学校3年でも実施可能であることを既に確認している[4]。

力学学習における様々な誤概念も、重力や空気抵抗、摩擦力の影響を受けた姿に繰り返し出会う経験を通して構築される。例えば、「物体の運動方向には必ず力がある」(MIF: Motion Implies a Force) [5]、「速く動かすには大きな力が必要だ」、「動いているものは必ず減速し静止する」「大きくて重いものは小さくて軽いものより大きな力を及ぼす」などである。飯田（2022）は、生徒が繰り返し出会う経験を通して構築される生徒の自然に対する直観的な見方・考え方を経験的・常識的自然観と呼んでいる[6]。

また、動力学の諸概念が、生徒が学びたくなるようなものであるためには、それらを学ぶ目的や意義を実感できるものにする必要がある。動力学の目的は「注目物体が受ける力（合力）と運動の関係から、

注目物体がいつ、どこにいるのかを正確に予測したり、軌道を制御したりすること」である。小惑星探査機はやぶサのイトカワやリュウグウへの正確な軌道、姿勢制御は、まさにこの動力学の目的を達成した典型的な事例と言える。また、真空であり、尚且つ空気抵抗や摩擦がほとんどない宇宙空間の力と運動について考える力学学習は、自然界における運動のデフォルトである等速直線運動への統合的な理解を促進すると考えた。

3. 力や慣性及び質量概念の統合的な理解を目指す指導方略の概要

単元の導入は、魔法の力では静止している力学台車は動き出さないことの確認によって、生徒を力学

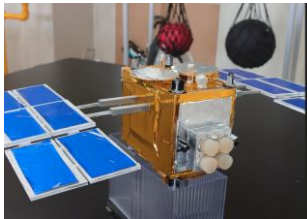


図1 はやぶサ2の3Dモデル

の世界に誘い込む。次に、力学で扱う力の種類と力のはたらきを伝える。更に力学の目的を伝え、はやぶサの正確な軌道コントロールのビデオを視聴させ、力学を学ぶことによって何ができるようになるのかを知る。次時は、前時で学習した運動のはたらきの「運動の状態を変える」について、力のはたらきがなければ運動の状態が変化しないことを様々な実験で確認する。肉眼で観察して運動の向きや速さが変化していないように見えても、空気抵抗や摩擦力が必ず

はたらく地球上では、減速してやがて静止することを確認する。慣性を考えるとき、深宇宙を秒速 30 km 近い速度で航行するはやぶサにはたらく力は限りなくゼロに近いという意味の極限ゼロであり、極微小な力のはたらいているため、等速直線運動から毎秒数 mm ずつ軌道がずれる。それを軌道修正するためにイオンエンジン等を使っていることを、模型(図1)を使いながら説明する。4つのイオンエンジンの、どのエンジンを噴射するかによって、はやぶサの運動の状態が変化することから、力の矢印を描くとき、作用点の位置が重要であることを伝える。第3次では、力学台車が一定の力を受けたとき、必ず等加速度運動をすることを実験で確かめる。日常生活では一定の力で摩擦や空気抵抗が虚無ゼロに近いものを動かすという経験はないことや、摩擦や空気抵抗によってキャンセルゼロになり、加速しなくなっていることを伝える。摩擦や空気抵抗が極限ゼロの真空の宇宙では 600 kg のはやぶサが 3 g 程度の力で加速することを伝える。第4次では宇宙飛行士の体重測定が慣性質量を活用して測定していることを、実験で確かめさせ、慣性質量の存在と大きさを実感させる。

実際の授業で活用した教材・教具、生徒の反応などの詳細は口頭で発表する。

付記 本研究の一部は JSPS 科研費(基盤研究 C、課題番号 23K02361)の助成を受けて実施している。

参考文献

- [1] 石井英真(2025)、課程企画特別部会、評価特別部会 資料1-2「目標・内容の構造化・表形式化等について」、2—25 頁。https://www.mext.go.jp/content/20251014-mxt-kyoiku-000045376_03.pdf
- [2] 広井楨(1989)、『力学は宇宙船に乗って プロジェクトサイエンスシリーズ 3』、コロナ社。
- [3] 板倉聖宜(1988)、「授業書〈速さと距離と時間〉〈力と運動とその解説〉」、仮説実験授業研究会、板倉聖宜編『授業書研究双書 力と運動・速さと距離と時間』、国土社、31-37 頁
- [4] 小林和雄(2026)、「中学校理科における慣性及び慣性質量に関する研究—MIF 誤概念の抑制を目指す指導方略の開発—」、『日本科学教育学会研究会研究報告 40』、日本科学教育学会、87-92 頁。
- [5] Jhon Clement(1982), "Students' reconceptions in introductory mechanics", American Journal of Physics, 50 (1), pp.66-71.
- [6] 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。

衝突実験による円周率の測定

^A長尾桂子, ^{A,B}坂野悠我, ^A篠原隆, ^C松田雄二, ^{A,D}高見寿^A岡山理科大学理学部, ^B広島大学大学院先進理工系,^C新居浜工業高等専門学校機械工学科, ^Dおもしろ実験研究所

nagao@ous.ac.jp

1. はじめに

2つの物体と壁の間で繰り返される弾性衝突の回数が, 円周率 π の桁と一致することが知られている. 2物体の質量比を $1:100^n$ ($n=0, 1, 2, \dots$) に設定すると, 衝突回数は π の小数第 n 位までの数字に一致する. たとえば質量比 $1:100^3$ では衝突回数が 3141 回となり, $\pi = 3.141$ が得られる. ただし, この一致は摩擦や空気抵抗などのエネルギー損失を無視できる理想状態においてのみ成立するものであり, 現実の実験で本当に π が得られるかは自明ではない. 本研究では, この性質を実際の物理実験によって検証することを目的とし, 質量比 $1:100$ ($n=1$) の系で衝突回数 31 回, すなわち π の小数第 1 位 (3.1) を再現した. 本講演は, 参考文献[1]にもとづく.

2. 理論的背景

質量 m, M ($m \leq M$) の 2 物体 P, Q が壁との間で弾性衝突を繰り返す系を考える (図 1). すべての衝突が弾性衝突であれば, 運動量とエネルギーがともに保存される. ここで速度変数を $V_1 = \sqrt{M} v_1$, $V_2 = \sqrt{m} v_2$ と定義し直すと, 運動量保存則は (V_1, V_2) 平面上の直線, エネルギー保存則は円として表される. したがって系の状態は, 常にこの直線と円の交点 (状態点) に位置する. 物体間の衝突は状態点を円周に沿って移動させ, 壁との衝突は V_1 軸に関する反転に対応するため, 各衝突は状態点を円周上で一定の角度 α ずつ進める操作として幾何学的に記述できる (図 2).

質量比 $1:100$ の場合, この角度は

$$\alpha = \arccos(99/101) \approx 0.199$$

となる. 円周上に等角度 α で状態点を配置し, 衝突が停止する幾何学的条件 (両物体が壁から遠ざかり, Q の方が P より速くなる条件) を課すと, 状態点の総数は 32 個となる. 衝突回数は状態点の数より 1 つ少ないため, $k = 32 - 1 = 31$, すなわち 31 回となり, π の小数第 1 位が得られる. なお一般の質量比 $1:100^n$ に拡張すると, n が大きい極限で衝突回数は $10^n \pi$ に対応することも示せる [2, 3].

3. 実験装置

予備実験の結果, 系における最大のエネルギー損失源は, 物体と床の間の摩擦であることがわかった. そこで本研究では, 物体を糸で空中に吊るす吊り下げ型の装置を開発し, 床との摩擦を排除した. 装置

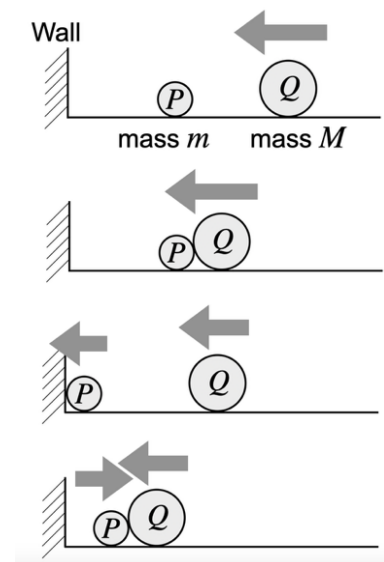


図 1: 衝突の模式図

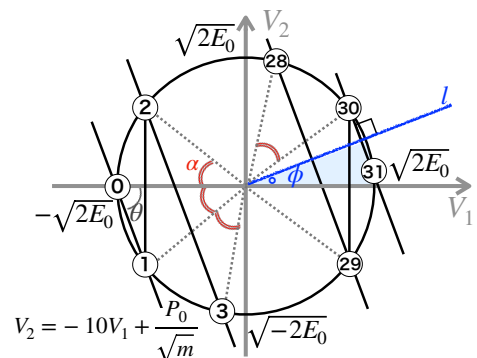


図 2: 位相空間上の状態点

設計にあたっては、衝突点のぶれを避けるため片方の物体の衝突面を平面とすること、重い物体が円弧ではなく直線に沿って運動するよう吊り糸を十分に長くすること、糸の伸縮によるエネルギー損失を抑えるため糸の材質を選定すること、などの工夫を施した。衝突物体には真鍮シリンダー（重い物体）、卓球ボール（軽い物体）、アクリル板（壁）を用いた（図 3、図 4）。

4. 実験方法と結果

実験では、重い物体 H を軽い物体 L から一定距離だけ離して静かに解放し、 H が L に、続いて L がアクリル板に衝突する過程をスローモーションカメラで撮影して衝突回数を計数した。この試行を計 30 回繰り返した。実際の衝突の様子を、動画として参考文献[4]に示す。衝突回数の最大値は理論値と一致する 31 回、平均値は 30.57 回、標準偏差は 0.80、最小値は 28 回であった。最大値が理論値 31 回に一致したこと、および平均値が理論値に近く標準偏差が小さいことは、本装置が理論値を比較的安定に再現できることを示している。

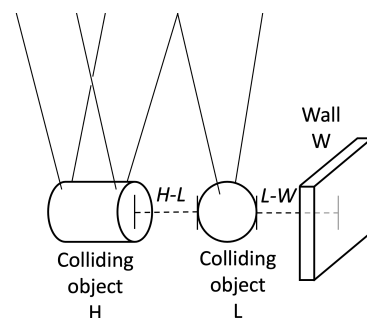


図 3：実験装置の概要の模式図

5. まとめと今後の展望

本研究では、数学的手法ではなく物理実験によって、 π を小数第 1 位まで求めることに成功した。摩擦を抑制する吊り下げ型装置を開発した結果、質量比 1:100 において理論値である 31 回の衝突を測定できた。これは、 π の小数第 1 位 (3.1) に対応する。

特筆すべき点として、実験における衝突の終了が「位相空間の幾何学的構造」によるものか「エネルギー散逸」によるものかを区別した。最終衝突後も両物体が十分な運動エネルギーを保持していたことから、観測された有限回の衝突は散逸ではなく幾何学的構造に起因すると考えられる。本実験は、摩擦や空気抵抗のない理想環境と現実環境との違いを考えるうえで、良い教材となるだろう。

今後の展望としては、質量比を 1:10,000 に高め、 π を小数第 2 位 (3.14) まで推定する展開が考えられる。ただし、このためには約 100 kg 級の重量物を使用することとなり、安全面・技術面での新たな課題への対処が必要となる。

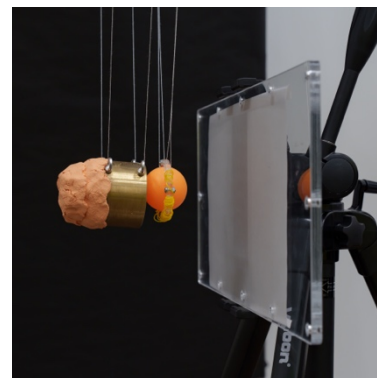


図 4：実験装置

参考文献

- [1] Keiko I. Nagao, Yuga Sakano, Takashi Shinohara, Yuji Matsuda, and Hisashi Takami, Eur. J. Phys. 46 045006 (2025).
- [2] G. Galperin, Regular and Chaotic Dynamics, vol. 8, no. 4 (2003).
- [3] 高見 寿, 物理教育通信, 183, 82-92 (2021).
- [4] Measuring Pi with Real-World Collisions – Experimental Proof
https://youtu.be/jjWg_GH_sLY?si=ZicaddbbusTheTXf,
 Experiment to Measure Pi
<https://youtu.be/0sKfW7Sagog?si=xydKTp6GTm2MXW6q>





2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

原著講演

8 月 11 日 (火)

高等学校における物理概念形成を目指すアクティブラーニングに取り組んだ

女子学習者の非認知的側面に関する検討

北村 貴文

同志社女子中学校・高等学校

kitamura@girls.doshisha.ac.jp

1. はじめに

これまでの多くの報告で、高校生の物理概念形成に対する米国で開発されたアクティブラーニングの有効性が示されている[1]。一方、日本の中等教育においては、「知識及び技能」と「思考力、判断力、表現力等」の認知的側面の目標に加えて、「学びに向かう力、人間性等」という情意・態度・メタ認知に関わる非認知的側面といえる目標が設定されている。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）[2]（以下、H27 実施状況調査）では、物理の学習における女子高校生の非認知的側面の支援に大きな課題が見られる結果となっており、認知的側面と非認知的側面の両側面をうまく支援する教授方略について模索していく必要がある。

以上を踏まえて、女子高校において実施した物理概念形成を目指すアクティブラーニングの一つである Peer Instruction[3]（以下、PI）を組み込んだ教授方略による女子学習者の非認知的側面に対する現れについて、H27 実施状況調査の結果との比較を通して検討する。

2. 方法

京都府内の女子高校の高校 2 年生 4 クラスと高校 1 年生 1 クラスの生徒（1 クラスは 44～45 名で構成）を対象として、PI の手法を組み込んだ教授方略による物理基礎の授業を実施した。物理基礎は週 2 時数（1 時数あたり 50 分）で実施され、実践期間は 2026 年 4 月中旬から 2026 年 7 月上旬までの全 19 時数であり、「運動の表し方」、「様々な力とその働き」に対応する学習範囲となっている。

基本的な授業展開は「①前時の復習⇒②本時の学習内容の解説⇒③コンセプテストを課題とする PI の手続きに沿ったピア活動⇒④演習問題⇒⑤まとめ」であった。なお、③の場面だけではなく、①や④の場面においても、ピア活動を推奨して進めている。また、第 11 回以降の授業内容については、④の場面の演習問題について、予習もしくは復習ができるように解説動画を配信している。

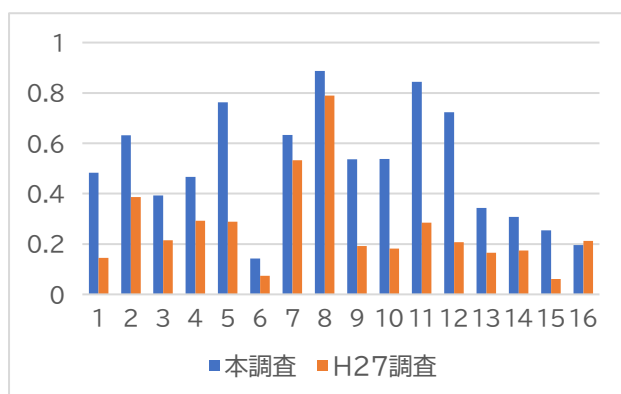
対象の物理基礎に関する非認知的側面を、H27 実施状況調査の質問項目を用いて検討した。H27 実施状況調査は男女別の選択比率とその人数が公表されており、女子高生の非認知的側面に着目した比較が可能である。H27 実施状況調査から非認知的側面の検討に必要な項目であること、また、回答時の生徒の負担を考慮して可能な限り項目数を限定し、表 1 の全 16 項目に関して回答を求めた。回答方法については、H27 実施状況調査と同様であり、19 回目の授業の最後、もしくは 20 回目の授業の開始時に実施した。また、この調査結果を解釈するために、「物理基礎の授業の進め方はよかったですか。あなたの考えに一番近いものを 1 つ選び、マークしてください。また、その理由も書いてください。」（「1：よかった」～「5：よくなかった」および理由の自由記述）に対する回答を求めた。なお、調査においては、学校の成績に影響しないこと、回答に対する拒否権があること、クラスと出席番号の記入欄があるが、これについても回答は任意であることを説明して実施した。

表1. 質問紙調査における質問項目

理科の学習や将来に関すること
1. 物理の勉強が好きだ
2. 物理の勉強は大切だ
3. 物理で勉強したことは、どんな仕事についても生かせることがある
4. 物理の勉強をすれば、私の普段の生活や社会生活の中で役立つ
5. 物理を勉強すれば、私は、疑問を解決したり予想を確かめたりする力がつく
6. 将来、物理の勉強を生かした仕事をしたい
7. 物理の勉強は、自然や環境の保護のために必要だ
8. 科学は国の発展にとって非常に重要だ
物理の授業に関すること
9. 物理の勉強に関することで、自分の考えで、自然の事物や現象をとらえるようにしていますか
10. 物理の勉強に関することで、分からないことや興味・関心をもったことについて自分から調べようとしていますか
11. 実験や観察以外の授業で、課題に対して班やグループで協力して取り組むようにしていますか
12. 実験や観察以外の授業で、課題に対する自分の解き方や考え方が適切かどうかを振り返るようにしていますか
13. 物理の授業で、他の教科や科目との関連を意識していますか
14. 物理の授業で学習したことを、日常生活や身近な現象の理解に生かしていますか
15. 物理の授業で、自分の考えや分かったこと、調べたことを積極的に発表していますか
16. 自然や科学についてのテレビ番組やWebページ、書籍などをよく見て（読んで）いますか

3. 結果と考察

図は表1の質問項目に対する肯定的回答の割合の比較、表2は「物理基礎の授業の進め方はよかったですか」に対する回答結果であり、表2からは学習者がPIを組み込んだ教授方略を肯定的に捉えていることがわかる。講演では、これらの結果をもとに、PIを組み込んだ教授方略に取り組んだ女子学習者の非認知的側面についての詳細な分析を報告する予定である。



番号は表1の項目番号に対応

図. 肯定的回答の割合の比較

表2. 物理基礎の授業の進め方に対する回答

授業の進め方に対する肯定的回答の割合
.906
理由の記述事例（原文ママ）
・分からない人がいれば立ち止まってみんなで考えたり、みんなで教え合ったりできるので、楽しくて理解しやすい構造になってよかったです。 ・わかりやすく、また細かく確認してくれるので、理解が深まったから。話し合いでお互い教えあうのもとても良かった。 ・物理は難しいけど、友達と協力しながら答えを見つける授業スタイルは楽しく、友達関係を深められるから。 ・解説のスピードが速いため、じっくり考えたい私にはちょっと大変だった。

参考文献

- [1] 例えば、高橋 春美・新田 英雄(2009):ピア・インストラクションを導入した力学授業, 物理教育, 57(4), 297-302.
- [2] 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/kaiatsu/shido_h27/h27/10h27seito_butsuriKiso.pdf (2026.7.8 閲覧)
- [3] Eric Mazur(1997): Peer Instruction A User's Manual, Pearson-Prentice Hall.

JiTT において理解が成立するプロセスの研究 ～JiTT 事前課題への回答をデータにした M-GTA による質的分析～

^{A, B}落合道夫, ^B久保田真一郎, ^B中野裕司

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

1. 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で開発された相互作用型授業の教授法であり[1]、本学会監訳の『科学をどう教えるか』[2]でも紹介されている。現在では、教育工学およびインストラクショナルデザインの分野においても有効な教授設計法の一つとして位置付けられており[3]、米国をはじめとする諸外国において、物理学に限らず幅広い分野で実践されている。

JiTT は、フィードバックループと呼ばれる循環的なプロセスに沿って実施される(図1)。授業前に Web を用いて「授業前学習課題」(以下、「事前課題」という)を出題・回収し、指導者は「学習者の回答」を分析した上で対面授業を行う。対面授業では、学習者の理解状況に応じて回答内容を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。

第一著者は、高等学校「物理基礎」において2年間にわたり JiTT を実践し、その教育効果について報告してきた[4][5]。さらに、JiTT を実践する際の「心構え」についても報告している[6]。

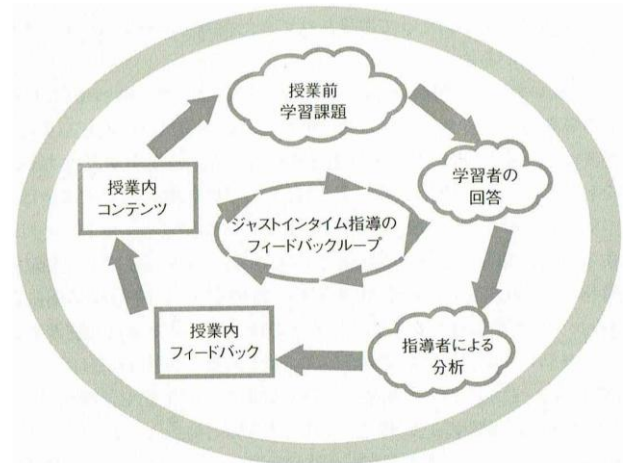


図1 JiTTのフィードバックループ
(参考文献[3]より引用)

2. 「物理基礎」での JiTT 実践

第一著者の「物理基礎」における JiTT では、1コマ(50分)の授業につき約3題の事前課題を課している。図2にその一例を示す。事前課題は授業の少なくとも2日前までに出题し、授業前日に締め切る。授業開始までに提出された全生徒の回答を分析し、その結果を踏まえて対面授業を設計・実施する。図3に、生徒から提出された回答の一例を示す(引用許可取得済み)。

JiTT 事前課題の例

Just in Time Teaching

夏の暑い日、学校から帰ったあや子さんは、エアコンのスイッチを入れましたが、故障していました。耐えられない暑さです。仕方が無いので冷蔵庫の扉を全開にして部屋を冷やそうとしました。部屋は冷えますか。色カードで答えなさい。どうしてそのカードを選んだのかも書きなさい。

- ア. 冷える
- イ. 暑くなる
- ウ. 変わらない



図2 授業前学習課題の例

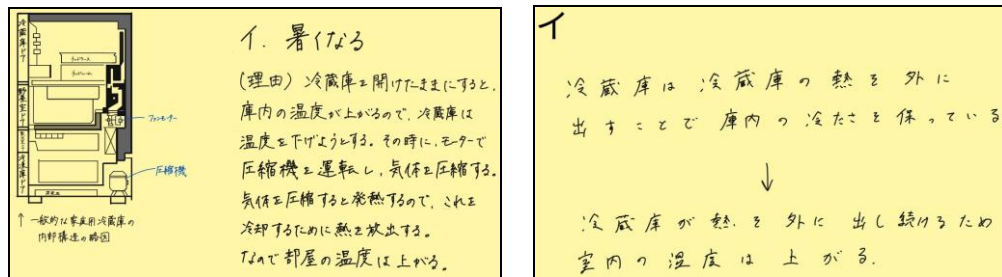


図3 生徒からの回答例

3. M-GTA とは

M-GTA（修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチ）は、木下康仁によって開発された質的研究法であり、社会学、看護学、教育学など、人間の行動や認識、相互作用を対象とする研究分野で広く用いられている[7]。インタビューや自由記述などの言語データを分析し、複数の記述に共通する意味を抽象化した「概念」を生成するとともに、その関係性を整理することで、人間の行動や認識が変容するプロセスを理論化する手法である。分析の成果は、概念間の関係を視覚的に示す「結果図」と、そのプロセスを文章で記述する「ストーリーライン」としてまとめられる。

4. 本発表の目的

本発表の目的は、図2に示す事前課題に対する21名の生徒の回答と、授業後に実施した自由記述アンケート「事前課題の答えが分かった（納得できた）のは、いつ、どのような場面でしたか。また、そのときの気持ちを書いてください。」への回答をデータとしてM-GTAによる質的分析を行い、この事前課題における生徒の理解成立プロセスを明らかにするとともに、その知見を基に事前課題の分析の在り方について検討することである。

通常、事前課題の回答分析は、時間的制約から分析者（指導者）の経験や直感に依存て行われることが多い。一方、M-GTAを用いることで、生徒の理解成立プロセスや、その契機を体系的に捉えることが可能となる。この知見は、日常的に行われる事前課題の回答分析の質の向上にも資すると考えられる。

本発表では、分析から得られた「結果図」と「ストーリーライン」を示し、生徒の理解が成立するプロセスを考察するとともに、JiTTにおける事前課題分析の視点について検討する。

JiTTにおける事前課題分析にM-GTAを適用した研究は見当たらず、本研究はその分析視点を提示する点に特徴がある。

- [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、鈴木克明監訳 (2020) : 「学習者中心の教育を実現する インストラクショナルデザイン理論とモデル」 (北大路書房) .
- [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.
- [7] 木下康仁 (2020) : 「定本 M-GTA : 実践の理論化をめざす質的研究方法論」 (医学書院) .

楕円軌道上を運動する物体の速度・加速度についての生徒の思考の観察

笠 潤平

香川大学教育学部（非常勤）

ryu.jumpei@kagawa-u.ac.jp

1. はじめに

昨年7月に高校生の問題解答過程の事例研究を行った。この研究は、物理教育研究（PER）を踏まえた専門的力量を持つ物理関連分野担当の初等中等教員を育成するためには教員養成および現職教員研修にどんなプログラムが必要かを明らかにする研究の一環である。※ 本事例研究のテーマは、「チュートリアル方式」の教材を用いたグループ学習における高校生の学習過程の調査である。また、併せて「チュートリアル方式」の授業におけるファシリテーターの指導についての検討も目指した。

2. 研究の背景と意図

- 物理教育研究によると、（とくに講義にたよる）伝統的な授業によって学習者が物理学の基礎的内容に対する、科学的な概念にもとづく理解を得ることは授業者側の想像以上に困難であるとされている。一方で、学習者の能動的関与を中心にした授業方法は、学習者自身による概念的理解の構築に役立つとされている。[1][2] [3][4]
- 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][4]
- 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]

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プログラム案に、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。今回の事例研究はその準備の一環として行われた。

3. 研究方法

授業方法 物理教育研究の中で言われるチュートリアル方式の授業とは、講義・演習・学生実験をひとまとまりとする米国の大学の物理カリキュラムの中での演習の時間を利用して、少人数のグループがファシリテーターによる点検や指導を受けつつも自分たちで、用意されたシートの指示に従って、たいていは小実験による検証を含む一連の問題群を解いていくことを通じて、物理学の内容の概念的理解を構築していくことを意図した授業方法である。この授業方式はワシントン大学の McDermot らによって開発され、その後、他の大学でも用いられるようになった。

教材 McDermott らの『入門物理におけるチュートリアル』(*Tutorials in Introductory Physics*(2001)) の「力学」(Dynamics) の「2次元の運動」(Motion in two dimensions) の「速度」、「加速度」関連の節を訳して用いた。[5] 事前テスト問題も訳して用いた。(ホームワークは用いていない。) この教材では小実験は用いられず、シートの指示に従って、変位ベクトルの作図、時間を小さくしていったときのその極限についての洞察、速度ベクトルの差の作図、その極限についての洞察などを要求する問題を協同で解いていくことによって授業が進む。この教材は、伝統的授業後の、平面上の運動の速度、加速度概念についての学習者の持つ誤りの詳細な調査にもとづき開発されている。[6]

授業対象者 高松第一高校 3 年生男子 2 名女子 3 名。「物理基礎」既習で「選択物理」履修中（等速円運動は既習）これらの参加者に対しては、学級担任を通じて、本人および保護者の同意書を事前に得た。また謝礼に代えて大学の慣例に従って調査協力時間に応じた図書カードを配布した。

授業者 ファシリテーターは筆者自身が務めた。

授業時期および時間数 2025 年 7 月の平日放課後に男子 2 名のグループに対して 2 回（延べ 3 時間）、女子 3 名に対して 2 回（延べ 3 時間：ただし 1 回目は 3 名のグループに対して行い、2 回目は 2 名が参加し、残り 1 名の第 2 回は 1 回目の授業の振り返りとインタビューに費やした。）

場所 高松第一高校会議室

記録 了解を得て、授業およびその後のインタビューの様子を動画撮影し、事前テスト答案、授業に使用した問題・解答シート、作図用方眼紙、事後テスト答案は回収した。

観察 記録した動画に現れた学習者の発言と反応、ファシリテーター（筆者）の発言を観察した。

5. 結果と考察

事前テストでは、楕円上の運動の加速度について、等速円運動やケプラーの法則の学習の記憶から楕円の中心や焦点向きに描くなど、正確な理解や原理的なアプローチを示したものはいなかったが、授業後、ほぼ全員が楕円やより複雑なピーナツ型の軌道上での等速および速さが変化する運動の即度速度、加速度について正しい向きと大きさの理解を示した。これはおそらく日本の高校での物理学習者の通常理解をはるかに上回る。この教材で行われているのは、速度、加速度の操作的定義から、2 次元平面内の運動の速度、加速度の基本的理解を一步一步構築することである。そのアプローチが十分に学習者の正しい概念的理解を構築する可能性が示された。一方、ファシリテーターの振舞いの観察からは改善点が見いだされた。もっぱら教えこみではなく足場かけや問いかけをしていたが、やや過干渉であった。

6. 終わりに

物理教育研究の流れの中では本研究は McDermott らによる徹底的で、オリジナリティに富む研究に対する小規模の追試に過ぎない。だが、日本でこの教材のアプローチを追試した経験は寡聞にして知らず、またその教材が魅力的なので、その内実を実際に確かめて紹介することと、ソクラテス的問いについての洞察を得るための本研究を行った。協力していただいた高松第一高校、同校本田一恵教諭、生徒の皆さんに感謝いたします。

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] 笠潤平, 新田英雄他編「物理教育の理論と実践」第 7 章, オーム社, 2025
- [5] McDermott, L., Shaffer, P., *Tutorials in Introductory Physics*, Pearson Education, 2001
- [6] Shaffer, P., McDermott, L., *A research-based approach to improving student understanding of the vector nature of kinematical concepts, Am. J. Phys.*, 73(10), 2005

※ 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研究への協力の同意と所属機関の研究倫理審査のもとに行われた。

探究科目での仮説実験授業の活用事例 - 「探究する脳ミソ」を立ち上げる -

^{A,B}野坂卓史, ^C舟橋春彦

^A福井県立敦賀高等学校, ^B京都大学大学院人間・環境学研究科, ^C京都大学国際高等教育院

m-nosaka-gb@fukui-ed.jp

1. はじめに

現在、高等学校では生徒の探究的に学習活動を行う科目が設けられており、「総合的な探究の時間」「理数探究基礎」「理数探究」などがある。「探究」は「研究」とは異なり、新規性の追求よりも、主に活動の過程を大切にしている。著者の1人はこれまで前任校を含めて探究の指導に長年携わってきた。現在、勤務校が変わり2年目となるが、探究指導について前任校同様の困難が在る。探究活動の困難は初手の生徒が探究テーマを見つけるところにある。現在、勤務する高校で担当している第2学年に実施する「理数探究」では、「問い」との向き合い方の経験が生徒によって差が大きく多くの生徒が課題設定でつまづいている。

生徒が「問い」と向き合う経験を増やす方策として、「理数探究」の前段階の第1学年「理数探究基礎」に「仮説実験授業」を取り入れた。仮説実験授業は、板倉聖宣が科学的認識の過程に基づいて具体化した「探究体験プログラム」と言える。この「探究体験プログラム」で先ず何より「考えるに値する」と思える良問と遭遇する。実験の結果の予想と議論の積み上げを体験することから探究サイクルを生徒自身が意識するのではないかと考えている。

2. 「理数探究基礎」「理数探究」について

高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説には次のように述べられている。

「理数探究基礎」は、探究の過程全体を自ら遂行するための進め方等に関する基本的な知識及び技能を身に付け、新たな価値の創造に向けて挑戦する意義の理解、主体的に探究に取り組む態度等を育成する科目である。「理数探究」は、「理数探究基礎」などで身に付けた資質・能力を活用して、自ら設定した課題について主体的に探究することを通じて、これらの資質・能力をより高めていく科目である。特に「理数探究」においては、

- ・ 生徒が自身の知的好奇心や興味・関心に基づき主体的に課題を設定する
- ・ 探究を進める中でのアイデアの創発、挑戦性をより重視する

など、生徒がより主体的、挑戦的に探究することを目指している。その際、探究の成果としての新たな知見の有無や価値よりもむしろ、探究の過程における生徒の思考や態度を重視し、主体的に探究の過程全体をやり遂げることに指導の重点を置くこととしている。

ここでも述べられていることは、「理数探究基礎」は探究の過程や進め方・手法について学び、「探究する脳ミソ」を立ち上げることである。のちの「理数探究」で生徒自らが主体的に課題を設定し探究活動を進められるようにするという位置づけである。

3. 「研究」と「探究」の位置づけ

高等教育機関や企業などで行われる「研究」については、主に新たな価値を追求しているのに対して、高等学校で設定されている「探究」については2.において引用した高等学校学習指導要領内でも書かれているように、生徒が探究する過程と生徒自身がやり切った経験を大切にしている。この「探究」の過程の意識的経験がその後の生徒自身のキャリアにまで接続している。

4. 仮説実験授業と探究の「問い」について

仮説実験授業は、問題・予想・討論・実験と読み物で構成されている。その学びが主体的なものとなるようオシツケの排除に心を砕き上記の構成で具体化され、再現性のある授業実践が可能になっている。授業書の良問とその解決をお手本とし科学の考え方や捉え方を体験することで、これから「理数探究」で主体的に学び始める生徒が自身の「探究する脳ミソ」を立ち上げてくれることを期待している。仮説実験授業の「問題」は「選択肢」を含めて「問題」となっている。「選択肢」はすなわち対立仮説のセットである。対立仮説が伴わない「問い」は解決すべき内容（実験）が存在しないので「問い」とはいえない。ある仮説とそれに対立する仮説が存在することに注目し「問いの立て方」の指導方法が具体化できる。これから探究活動を始める生徒が仮説実験授業を通して、「問いの立て方」が上達する（多くの者は初めて意識するようになる）のではないかと期待している。

5. 対象・実施方法

5.1 対象

福井県立敦賀高等学校 文理進学科 1年生 60名 / 実施科目：「理数探究基礎」
高等学校でこれから探究活動はじめる入門者ばかりである。

5.2 授業内容

「サイエンスシアターシリーズ」の1点として出版されている単行本『温度をはかる-温度の発明発見物語-』（仮説社、2002）を底本に、仮説実験授業に倣った運営ができる授業書案を編集した。これにより、温度計発明発見の歴史を題材にした「考えたい問題（配列）」を生徒に提示することができ、各問題の選択肢を通じて対立仮説を意識しつつ（予想と実験）を積み上げるという探究の過程を体験する授業を、複数クラスにわたって再現性よく実践できる。

第1講は「空気温度計」、第2講は「液体温度計」、第3講は「固体温度計」、第4講「浮力を用いた温度計」、第5講は読み物「温度計発明発見物語」の順に実施した。

5.3 実施方法

文理進学科の1年生60名を第1グループ(30名)、第2グループ(30名)の2グループに分け、第1グループをA教諭が、第2グループをB教諭が担当し実施した。授業書案を使って仮説実験授業の運営方法に沿って実施することで、2クラスに同等の授業が提供できる。

5.2で述べた第1講から第5講まですべてで5校時分(50分×5回)を使用した。

5.4 授業評価について

授業を実施後に、Google フォームで、生徒に授業の評価と感想を書いてもらう。この授業を受けて楽しかったかどうかを5段階{5：とてもたのしかった。4：たのしかった。3：どちらでもない。2：つまらなかった。1：とてもつまらなかった。}で評価する設問と、授業に関して思ったことを何でも自由記述してもらう設問を設けた。

6. 発表について

当日の発表では、当該の授業書案の一部を紹介し、授業を受けた生徒の評価や感想、そのうち特に「問い」の向き合い方について書かれた記述などをピックアップし報告する。

参考文献

- [1] 文部科学省 高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 平成30年7月 16頁
- [2] 板倉聖宣『温度をはかる-温度の発明発見物語-』仮説社 2002年

高等学校物理の原子分野における教師の認識に関する事例的分析

^A越智 拓也, ^B木村 優里, ^C米田 典生, ^D磯崎 哲夫
^A成蹊大学, ^B東京科学大学, ^C大阪教育大学, ^D広島大学
 takuya-ochi@st.seikei.ac.jp

1. はじめに

原子論や量子論などの現代物理学を学習することは、生徒にとって大きな価値をもつ [1]。日本の高等学校学習指導要領理科編において、現代物理学を取り扱っている大項目「原子」（以下、原子分野とする）は、現行の学習指導要領に至るまで、必修や選択の扱いが学習指導要領改訂によって変化してきた [2][3][4]。これらのことは、高等学校における原子分野に対する価値の不安定さを示している。そのため、指導にあたる教師が原子分野をどのように認識しているかにも大きく依存すると考えられる。

翻って、カリキュラム・ポリシーの視座から見ると、カリキュラムや教科書に示された教育内容である「意図されたカリキュラム」(intended curriculum) が教室での授業において実際に取り扱われた「実施されたカリキュラム」(implemented curriculum) に転置される過程では、媒介者である教師によってどのようにカリキュラムが認知されるかが重要である。本研究では、高等学校の理科教師で、物理を専門としている教師が、原子分野をどのように捉えているか、すなわち原子分野の「認知されたカリキュラム」(perceived curriculum) [5]の内実を検討することを目的とする。

2. 方法

本研究では、上述の目的に迫るために、物理を専門とする2名の高等学校理科教師に対するインタビュー調査を実施した。調査の実施時期は2026年3月であり、以下の3つを主な質問項目とする40-60分程度の半構造化インタビューを実施した。

- 高等学校において原子分野を学習することは、生徒にとってどのような価値があるとお考えですか。
- 高校生に原子分野を指導する上で工夫されていることやこだわっていることにはどのようなことがありますか。
- 高校生に原子分野を指導する上で困難や限界に感じられていることにはどのようなことがありますか。

調査参加者は両名とも中堅教師（教職年数5年以上20年未満）であり[6]、それぞれ理学と教育学の修士号を有している。本発表では、2名の教師へのインタビュー調査を事例的に分析し、その結果を報告する。なお、調査にあたっては、十分な趣旨説明の上、参加への同意を得た。また、本研究は第1著者の所属機関の研究倫理委員会の承認を得て実施している（承認番号：SREC 25-17）。

3. 結果

分析を通して、「i 教師自身が感じる現代物理学の魅力」、「ii 科学史を用いたアプローチ」、「iii 実験結果をアブダクティブに考えさせること」という3つの視点に結果を整理した。

i 教師自身が感じる現代物理学の魅力

2名の教師ともに、原子分野を指導することには、他の分野とは明らかに異なる魅力があると感じている。特に、科学がどのような営みをしているかということを、生徒に実感させやすい分野であると捉えていたことは特徴的である。

ii 科学史を用いたアプローチ

教師らは、原子分野の学習する順序が、原子物理学の発展する歴史的な順序と一致しているため、科学者がどのように新しい理論を発見したのかという文脈で学習させることが効果的であると捉えている。科学史の流れに基づくからこそ、ストーリーを作りやすく、生徒の思考の流れに沿いやすいものとして捉えている。

iii 実験結果をアブダクティブに考えさせること

原子分野は、他の分野と比べて、仮説を立てて実験したり、生徒が直接実験したりすることが難しいことを教師らは感じている。そのため、シミュレーションや既にある実験結果を用いることで、実験結果から現象の仕組みを説明することを重視するようなアプローチを用いている。これについて教師らは、力学や電磁気学のような古典物理学の分野において、仮説を立て、それを検証するようなアプローチとは異なり、原子分野に特徴的なものとして捉えている。

4. おわりに

本研究では、高等学校物理の原子分野における教師の認識について、2名の教師へのインタビューを事例的に分析した。本稿では紙幅の都合上詳述できなかったが、先に示した結果の背景には、それぞれの教師の奉職からのキャリア形成や他の教員からの影響、大学での専攻分野、さらにこれらの影響も受けながら形成された物理教育観など、多様な要因が複雑に関連している。今後は、これらのことを視点としながら他の教員の事例についても検討し、原子分野の認知されたカリキュラムと、それに影響を与える要因について詳細に分析していく。

附記 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP25K17111 および JP26K00548 の助成を受けている。

参考文献および註

- [1] 例えば, Stadermann, H. K. E., & Goedhart, M. J.: International Journal of Science Education 42-6 (2020) 997-1016.
- [2] 文部科学省:「高等学校学習指導要領」国立印刷局(2004)。
- [3] 文部科学省:「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」実教出版(2009)。
- [4] 文部科学省:「高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編」学校図書(2019)。
- [5] OECD: *Curriculum (re)design: A series of thematic reports from the OECD Education 2030 project* (2020).
- [6] 本研究では、以下の文献の区分に倣って、教職年数20年以上を熟練教師、教職年数5年以上20年未満を中堅教師として区分した: 磯崎哲夫・米田典生・中條和光・磯崎尚子・平野俊英・丹沢哲郎: 科学教育研究 31-4 (2007) 195-209.

物理チャレンジにおける実験課題と理論問題の分析

ー2025 第 1 チャレンジを中心にー

^A阿部敬, ^B朝倉彰, ^C荒木美菜子, ^D近藤一史, ^E佐藤誠, ^F鈴木勝, ^F須田順子, ^G橘孝博
^H田中忠芳, ^I中屋敷勉, ^J並木雅俊, ^K長谷川大和, ^L増子寛, ^M室谷心, ^N渡會兼也
^A千葉高, ^Bお茶の水女子大属高, ^C戸田翔陽高, ^D元埼玉大, ^E元津山高専, ^F電通大, ^G早大
^H金沢工大, ^I元岡山操山高, ^J元高千穂大, ^K東京科学大附高, ^L元麻布中・高, ^M松本大
^N金沢大附高

Abek1225@gmail.com

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 2026 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。

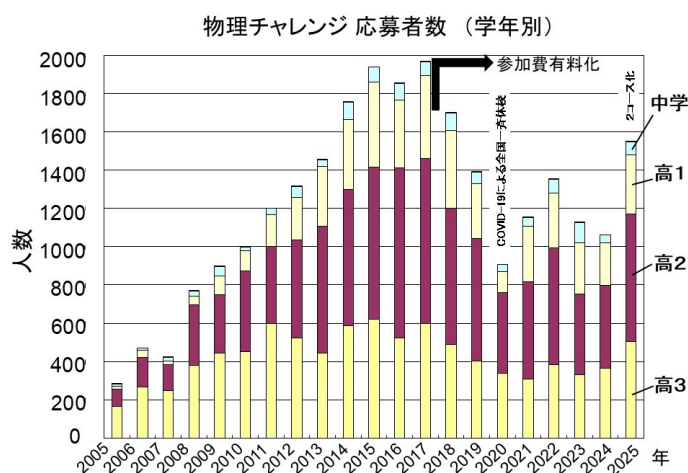


図 1 物理チャレンジ応募者の推移[1]

2. 物理チャレンジ 2025 の参加状況

本発表では, 物理チャレンジ 2025 における, 第 1 チャレンジの参加者分布、実験課題と理論問題コンテストについての分析を行う。2024 までは応募者全員が「実験課題レポート」と「理論問題コンテスト」の 2 つのチャレンジをする必要があったが, 2025 は新しい試みとして, これまで通り「実験課題レポート」と「理論問題コンテスト」を行う「総合コース」と、「理論問題コンテスト」のみの「理論コース」の選択制とした。また,

「総合コース」への参加を促すため, 実験課題に実験賞を設けた。実験賞は「最優秀賞」・「優秀賞」・「優良賞」・「奨励賞」の 4 賞とし, 優れた実験課題レポートを提出した多くの参加者を表彰した。

参加申込者数は, 「総合コース」530 名 (うち女子 131 名), 「理論コース」981 名 (うち女子 196 名) の合計 1547 名 (うち女子 327 名) であった。高校生の学年別分布をみると「総合コース」で高 1 が 32%、高 2 が 46%、高 3 が 16%、「理論コース」で高 1 が 42%、高 2 が 40%、高 3 が 13% であり、高校 1 年生

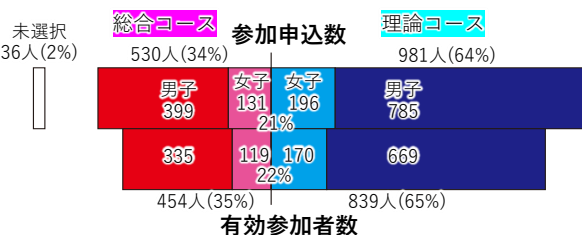


図 2 物理 2025 チャレンジ応募者の分布

には「総合コース」が、逆に高校3年生には「理論コース」を選択する傾向が見られた。女子の参加者は全体で21%（「総合コース」25%、「理論コース」20%）と増え、例年の18%よりも大きく目立った。

3. 実験課題の分析

2025年の実験課題は「音の速さを測ってみよう」であった。2012年のテーマも「音速を測ってみよう」であったが、募集要項に「さまざまな条件(温度・媒質など)で音の速さがどう変わるのかを調べてみましょう。」とあるように、空気を伝わる音の速さを測定するだけでなく、音速を決めるパラメーターに注目してほしいという思いが込められている。最近は専門的な道具がなくても、ICT機器(スマートフォン)の機能やアプリが充実し、データを簡単に取れるようになった。提出されたレポートの中にもスマートフォンを音源として利用したり、逆に音の大きさを測定するマイクとして利用したりとスマートフォンを活用したレポートも見られた。各々のユニークな試みが見られ、創意・工夫を凝らしながら挑戦者が物理を楽しんでいる様子が窺える。488件のレポートの中から実験最優秀賞3件、実験優秀賞2件、実験優良賞15件、実験奨励賞85件を選定した。小学3年生からもレポートが提出され、そのチャレンジ精神を讃え実験特別賞として表彰された。

4. 理論問題の分析

理論問題コンテストは、IBT形式（オンライン上で解答する形式）で実施した。「総合コース」「理論コース」とともに解答時間60分、設問数27問の多肢選択式で行い、問題は前半は共通の基礎総合問題、後半の応用問題は各コースで違った問題が出題された。難易度は「理論コース」の方が高く設定されている。試験範囲は、高校教科書の内容を基本としているが、参考書の持ち込みを認めており、どちらのコースでも教科書の内容がそのまま出題されることはない。幅広く出題し、参加者に深く考えさせるものを出题している。考えを問うようなものを出题することで、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。

5. 終わりに

第1チャレンジが2コース選択制となり、2025年から実験課題レポートを必要としない「理論コース」が新設された。物理チャレンジの2コース選択制は、参加しやすい環境を作るだけでなく、参加者各々が自分の得意分野(強み)を活かすチャンスである。しかし、第1チャレンジ部会としては実験も理論も楽しんでほしいという気持ちがあり、決して理論の方が重要というわけではない。

第1チャレンジ部会のメンバーが工夫を凝らして作成した実験課題や理論問題を覗いてみると、教科書や参考書では見えてこない新しい物理の一面を知ることができることと思う。これからも物理チャレンジの参加者全員が物理とのつながりが“楽しい”と思えるものを提供できるよう、私たちはチャレンジを続け、その魅力を伝えなければならない。

物理チャレンジの実験レポートを読むと「実験が面白かった」との感想や、先生方・保護者への感謝を記した記述が数多く見られる。中学校・高等学校の先生方には、生徒の物理への興味・関心を育み、何よりも物理を楽しんでもらうために多大なご協力を頂いている。この場を借りて深く感謝申し上げる。

参考文献

[1] 物理チャレンジWEBサイト：<https://www.jp-pho.jp/index.html>(2026年7月7日閲覧)

「子ども科学オリンピック」子どもも大人も学びたくなる物理を目指して

高木 崇安

ニコニコ科学研究所

takagi11765@yahoo.co.jp

1. はじめに

ニコニコ科学研究所は、親子向けに22年間、実験教室を実施している香川県の任意団体です（代表の高木が四国電力勤務時代に始めました）。親子に「実験・発見・科学は楽しい」と感じてもらい、強い技術力と優しさを兼ね備えた国を作ってほしいという思いで活動しています。教育の専門家ではありませんが、「児童生徒が学びたくなる物理」を拝読し、開発・実施している3つのコンテンツシリーズ「子ども科学オリンピック」「おひざで科学 大人も科学」「詩と科学」の中から「子ども科学オリンピック」をご紹介します。

2. 「子ども科学オリンピック」とは

「子ども科学オリンピック 二宮忠八に挑戦」を例に紹介します。サイエンスアゴラ（場所：日本科学未来館近隣テレコムセンター、主催：科学技術振興機構）で実施しました。

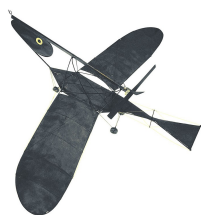
内容は、科学者・発明家・技術者を紹介しながら、関連する物理現象を5つ競技化し、ポイントを競います。大人も子どももハンディなしで競い、上位3名に金銀銅メダルを授与します。

二宮忠八は、四国愛媛県宇和島出身の技術者です。小さな頃から空を飛ぶことに興味があり、ぶんぶんゴマやよく飛ぶ凧を作ったりしました。当時は、徴兵制度があり香川県で訓練中に、カラスが羽をバタバタさせずに飛んでいる姿を見て、固定翼で、プロペラがゴムで回転する「カラス型飛行器」を考案し、1891年（明治24年）4月29日丸亀で、ゴム動力で滑走 約3m→離陸→飛行約10m、高さ1m→着陸 を成功させました。その後、有人飛行機の設計にとりかかりましたが、上司に飛行機の重要性が理解されず、また、個人ではエンジンを買う費用がないなどで、1903年に先にライト兄弟が有人飛行を成功させました。（非常に悔しい思いを抱いたと推察される。）なお、イギリスの王立航空協会では、ライト兄弟よりも前に「飛行の原理を発見した人物」として紹介され、その優れた先見性をたたえられています。また、昔の国語の教科書には二宮忠八が載っています。「ひこうき」という言葉も忠八が考えました。

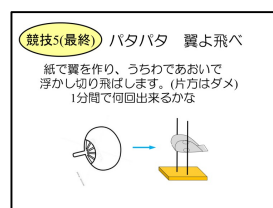
オリンピックでは、忠八の生涯や飛行機のしくみなども交えパワーポイントで進行しました。



二宮忠八



カラス型飛行機



サイエンスアゴラ



進行 PP

実施状況

3. 競技化した5つの物理現象

身の回りの事象の不思議さを感じるとともに、身近なもので実験できる内容となっている

No	内容	ポイント	説明した定理など
1	ティッシュを小さく切りトレイに敷き、ブンブンゴマを回転させて1分間に何枚外にはじき出せるかを競う。	ブンブンゴマ回転部の吸引力を利用	ベルヌーイの定理
2	1円玉を吹いてコップに1分間で入れる枚数を競う。	少し離し、水平に吹く	ベルヌーイの定理 飛行機の翼の浮く仕組み
3	ストローの先を4つに割いて発泡スチロール球を浮かす。息を調整し、発泡スチロール球を小さなバスケットゴールに1分で何回入るかを競う。	ゆっくり息を吹き浮かし、ゴールで一気に吹き飛ばす	ベルヌーイの定理
4	小さな吹きゴマをトレイの中で吹き浮かしトレイの外に飛ばす。1分間で外に出した数を競う。	センターに一気に息を吹きかける。	ヘリコプターの浮く仕組み
5	飛行機の翼の形を紙で作り、うちわであおいで揚力を発生させて持ち上げて飛ばします。1分間で何回飛ばせたかを競う	丁寧に作る	ベルヌーイの定理 コアンダ効果

4. ニコニコ科学研究所のコンテンツの科学リテラシーへの考察

科学系博物館における「科学リテラシー涵養活動」の体系^[1]の強調事項で活動を考察した。

4つの目標	世代	内容
感性の涵養	幼児～小学校低学年	科学や技術に親しむ体験を通じて、身のまわりの事象の不思議さ等を感じる ←①
知識の習得・概念の理解	小学校高学年～中学校期	科学や技術に親しむ体験を通じて、生活で直接関わる科学知識を身に着ける ←②
科学的な思考習慣の涵養	高等学校・高等教育期 子育て期	多くの不思議な情報の中から科学的な知識に基づいて疑問を探究し結論を導く ←③
	壮年期	生活及び社会上の課題に対し、学んだことを総合的に活かし、科学的な考え方を持って結論を導く。 ←⑤
社会の状況に適切に対応する能力の涵養	子育て世代	社会との関わりをふまえて、学んだことを表現し、人に伝える。 ←④
	壮年期	地域の課題を見出し、その解決に向けてよりよい方向性を見出す。 ←⑤
	熟年期・高齢期	地域の課題を見出し、その解決に向けてよりよい方向性を見出し、判断する。 ←⑤
	熟年期・高齢期	自身の持っている知識・能力を、社会の状況に応じて適切に効果的に次の世代へと伝える。 ←⑤

① コンテンツは、幼児～小学校低学年の「感性の涵養」を目指し、全員が体験、身近なものを使いの身の回りの不思議を感じ、親しめるようにオリンピックなどの競技方式としている。

② 科学者・技術者の紹介(二宮忠八)で、科学や技術の分野に興味や尊敬感を持ってもらったり、技術の使われ方(飛行機)を紹介し生活に直接かかわっていることを理解してもらう。

③ 高校生を対象に実施した時は、疑問を探究し結論づける場面が見られた。

④ 親子で取り組む(オリンピックは競う)ことで、いろいろと工夫し新たな発見がある。

⑤ 実施するスタッフの多くは社会経験が豊富で科学の大切さを参加者に伝えている。

参加者がスタッフになることも多く、地味な活動ではあるが「子どもも大人も学びたくなる物理」を作っていると考えている。

5. ぜひお声がけ下さい

少しの練習で実施可能。

↓メールアドレス

興味があれば問い合わせください。 takagi11765@yahoo.co.jp ↑HP ↑インスタ ↑関連図書

参考文献 [1] 「科学リテラシー涵養活動」を創る～世代に応じたプログラム

開発のために～(プログラム集) 国立科学博物館 H23年3月 →



オープンキャンパスにおけるグループ実験についての一考察

^A川村康文, 小林尚美

^A環太平洋大学大学次世代教育学部

yasufumikawamura1959@gmail.com, naomikobayashi1966@gmail.com

1. はじめに

オープンキャンパスにおいて、教育学科の学科体験企画として理科実験を行っている。オープンキャンパスでは、いろいろな学校から参加してもらっている。参加した高校生同志が知り合いの場合もときどきあるが、一般には1つの高校から1名のみ参加していて、体験企画の部屋に入っても知り合いがまったくない状態で参加している。場合によっては保護者とともに参加している場合も多く、高校生同志での会話もほとんどみられない。このような状況のなかで理科実験を行うにあたって、各個人に1つずつ実験材料を渡して実験をしてもらうのと、4人を1グループにして、その4人に対して実験材料を1つ渡して実験をしてもらうのとで、オープンキャンパスに参加した学生の参加度に差があるかどうかに関心をもった。3月に行ったオープンキャンパスでは、各個人に1つずつ実験材料を渡し実施した。次の5月に行ったオープンキャンパスでは、4人を1グループにして、その4人に対して実験材料を1つ渡し実施した。

3月回では、高校生が、個人個人で実験をしていて、やり方がわからなくなった場合は、まわりの先生に質問していた。進度もまちまちであった。5月回では、高校生が4人で1つの実験材料で実験を行った。このとき、やり方がわからなくても周りの先生に質問するのではなく、高校生同志でいろいろ意見を出し合って実験を進めていた。オープンキャンパスは確かに当該大学に好印象をもってもらうために行っているという側面があるが、一方で、それまで実験の体験が少ない高校生に、当該大学を志望しようがしまいが、実験を実体験してもらい、少しでも物理や理科の学習内容の理解を深めてもらうというサイエンス・コミュニケーションを成立させたいと考えている。

2. 学科体験実験教室

2026年6月14日のオープンキャンパスでは、ストローウエーブマシンを工作してもらって、波動現象について触れる理科実験を行った[1]。当日は、4人で1グループとして行ってもらった。

ストローウエーブマシンの実験材料は、ストロー40本とストローを並べる図を描いた下敷き、セロハンテープとした。個別実験であれば、さらにストローウエーブマシンの両端を固定するための支柱が必要となり、ブックエンドやペットボトルに水を入れたものを支柱とするなどの準備が加わる。



3. みられた行動からのサイエンス・コミュニケーション

個別実験の場合は、自分個人の学びとして、一人で黙々とストローウエーブマシンで、固定端反射や自由端反射や、定在波を作るなどを行うのが、これまでの著者の経験から、オープンキャンパス以外の実験教室でも通例であったが、4人グループの場合は、はじめて出会った関係ではあっても、固定端であることや自由端であることを、相互に確認しながら実験を行っている様子が観察できた。また、定在波がうまくできていなかったグループでは、相互にうまくできていない理由を話し合っ、何度かのトライの後に成功することができ、「やったー！」などの声も小さな声ながら、相互に掛け合っていた。実験を成功させた実感を共有している姿に出会えた。

4. アンケートからみられた結果

アンケートは、学科体験企画の授業時間が25分という短い時間での実験であったため、軽微なものとなるように配慮し、次の4項目を質問した。「1. 今日の実験は、おもしろかったですか?」、「2. 今日の実験は、ためになりましたか?」、「3. 今日の実験は、一人で行うのと、グループで行うのとでは、どちらで行う方がよいと思いましたか?」、「4. その理由を教えてください。」であった。

「1. 今日の実験は、おもしろかったですか?」では、参加者23名全員がおもしろかったと答えていた。

「2. 今日の実験は、ためになりましたか?」でも、参加者23名全員がためになったと答えていた。今回は、アンケート項目として質問しなかったが、このことから、当日、オープンキャンパスに参加した高校生の多くは、これまでにストローウエーブマシンの実験を経験してこなかったと類推できる。

「3. 今日の実験は、一人で行うのと、グループで行うのとでは、どちらで行う方がよいと思いましたか?」では、23名中、22名の96%がグループで行う方がよいと答えていた。また1名(4%)は、どちらでも良いとしていた。

「4. その理由を教えてください。」では、いろいろな回答があった。

最も多かったのが、「協力してできるから」の7名。続いて、「両端から振動を送るので、グループでの方がよいと思った」の4名。さらに続いて、「グループでした方が、分からないときに頼れるから」の3名。「相談しながらの方が楽しいし、コミュニケーションも取れるので」の3名。「理解が深まるから」の3名。また、「違う視点での考え方を共有できる、人それぞれ気づきが違うから」と肯定的であった。一方、1名は、「どちらでも良い」として、その理由を「一人でもできなくはないと思ったから」としている。

初対面の高校生たちがほとんどのなかで、グループで実験を行ってもらう場合、小学生とは違って、恥ずかしがったりなどして、実験がスムーズに進まないかもと案じたが、いまどきの高校生はコミュニケーション力もあり、初対面であってもグループ実験が成立することがわかった。

参考のため当日お手伝いをしてくれた学生4名のアンケート結果も紹介したい。面白かったが100%、ためになったも100%、グループでの方が良いも100%、その理由では、みんなでやった方法が、協力してできるしコミュニケーションもとれると、肯定的であった。

参考文献

[1]川村康文(2014)：理科教育法 独創力を伸ばす理科授業, 講談社, 84-85.

科学系 SF プロトタイピング「SF を作って科学を学ぼう！」の実践

山崎詩郎

東京科学大学理学院物理学系

yamazaki.s.aj@m.titech.ac.jp

1. 背景

SF 映画は楽しく科学を学べる最高の教材といえる [1]。我々は、SF 映画「インターステラー」の科学解説を 140 回行い [2]、SF 映画「TENET テネット」の字幕科学監修と科学解説を行い [3-8]、近年は映画「オッペンハイマー」の原案本監訳と科学解説を行ってきた [9-11]。一方で、近年 SF プロトタイピングという手法が流行している。これは、SF を考えながら既存の考え方を超えた新しいアイデアを出す手法で、主に企業を対象に技術開発等のために行われている。

2. 概要

我々は、これらを融合して、主に中高生を対象に科学を学ぶために行う SF プロトタイピングを開発し、書籍“PICK UP STEAM「SF をつくって科学を学ぼう！」”を発売した [12] (右図)。その流れとしては、まず前半で科学についてよく調べてそこにもしものを加え、それを元に後半から SF を考える。最後に、400 文字の SF 小説、イラスト、科学解説の 3 つを発表するなど、STEAM 教育の要素も取り入れている。当日はその実践の具体的な内容を紹介する。



参考文献

- [1] 応用物理「科学者も本気でアウトリーチ」91, 644 (2022)
- [2] 理科の探究 2018 年 4 月号「SF 映画から学ぶ相対性理論超入門」、文理 (2018)
- [3] 「TENET テネット」公式映画パンフレット、松竹 (2020)
- [4] ブルーボックス web「SF 映画の科学」連載、講談社 (2020)
- [5] 文藝別冊「物理学で楽しむ「TENET テネット」の時間」、河出書房新書 (2021)
- [6] 「クリストファー・ノーランの映画術」、玄光社 (2021)
- [7] Newton 2021 年 8 月号「タイムトラベル映画を科学する」、ニュートンプレス (2021)
- [8] Pen 2024 年 6 月号「SF のトンデモ技術を、物理学者が徹底検証」、CCC メディアハウス (2024)
- [9] 「オッペンハイマー」上・中・下、早川書房 (2024)
- [10] 中国新聞「オッペンハイマー 科学で解説」(2024/8/26)
- [11] 長崎新聞「原作監訳の物理学者に聞く」(2024/9/12)
- [12] PICK UP STEAM「SF をつくって科学を学ぼう！」、トモノカイ (2022)

国際宇宙ステーションを活用したプログラミング教育と物理教育への応用

—「きぼう」ロボットプログラミング競技会を事例として—

荒金 恭一

宇宙航空研究開発機構 有人宇宙技術部門 宇宙環境利用推進センター
arakane.kyouichi2@jaxa.jp

1. はじめに

「きぼう」ロボットプログラミング競技会 (Kibo Robot Programming Challenge: Kibo-RPC) は、国際宇宙ステーション (ISS) 内で運用されているフリーフライヤーロボット Astrobee (NASA) および Int-Ball 2 (JAXA) のプログラミングを通して課題解決を行う国際的な教育プログラムである。参加者は実際に ISS で運用されるロボットの制御プログラムを開発し、最終的には軌道上の実機環境で成果を競う。本プログラムはプログラミング教育や国際交流の側面が注目されているが、その学習内容には力学や回転運動、微小重力環境など物理学と密接に関係する要素が多く含まれている。本稿では Kibo-RPC の概要を紹介するとともに、物理教育教材としての可能性について考察する。

2. 大会概要

ISS は地上約 400 km 上空を周回する有人宇宙実験施設であり、「きぼう」は日本が運用する実験棟である[1]。Kibo-RPC は、ISS で運用されているロボットを題材とし、アジア・太平洋地域宇宙機関会議 (Asia-Pacific Regional Space Agency Forum: APRSAF) のきぼうを利用した協カイニシアチブ (Asia Beneficial Collaboration through “Kibo” Utilization: Kibo-ABC) の活動の一つとして実施されている[2]。2020 年の第 1 回大会では 7 か国・地域 313 チームが参加したが、2025 年の第 6 回大会では 35 か国・地域 738 チーム、3,082 人が参加する国際的な教育プログラムへ発展している。

大会はシミュレータを利用した予選会と、ISS 上の実機を利用した軌道上決勝大会から構成される。参加者は飛行制御、経路最適化、画像認識などを実装したプログラムを開発し、その性能を競う。近年は AI を念頭にした画像認識技術を活用した課題が導入されており、制御工学や情報科学との融合的な学習も行われている。[3]

3. Kibo-RPC と物理教育

Kibo-RPC の特徴は、物理学で学ぶ概念を実際のロボット制御に結び付けながら学習できる点にある。まず、ロボットの移動制御にはニュートン力学の理解が必要である。参加者は位置、速度、加速度の関係を考慮しながら飛行経路を設計するため、運動方程式を具体的な問題として扱うことになる。

また、Astrobee や Int-Ball 2 の姿勢制御では剛体の回転運動が重要となる。ロボットを意図する方向へ向けるためには角速度、トルク、慣性モーメントなどの概念を理解する必要があり、教科書で学ぶ回転運動が実際の工学システムの中でどのように利用されているかを体験的に学ぶことができる。

さらに、ISS は微小重力環境にあるため、地上とは異なる運動特性を考慮した制御が必要となる。重力の影響が小さい環境での運動を考察することで、慣性や運動量といった力学概念をより本質的に理解できる可能性がある。

加えて、ロボットの姿勢表現にはクォータニオンが利用されている。これは高校物理の範囲を超える内容ではあるが、大学初年級以降の数学や情報科学との接続を考える上で興味深い題材となる。

特に教育的価値が高いと考えられるのは、シミュレーションと実環境との差異を体験できる点である。予選ではシミュレータ上で高得点を獲得したプログラムであっても、実環境では必ずしも同じ結果になるとは限らない。参加者はこの差異を分析する過程で、モデル化の限界、測定誤差、外乱の影響などについて考察することになる。これは物理学における理論モデルと実験結果の関係を学ぶ上でも有効な教材となり得る。

4. 参加者の学習成果

大会後のアンケートでは、多くの参加者が高い満足度を示している。参加者からは、

- ✓ チームマネジメント能力やリーダーシップ能力の向上
- ✓ 問題解決能力および時間管理能力の向上
- ✓ 国際的なコミュニケーション能力の獲得
- ✓ 宇宙飛行士やエンジニアとの交流による学習意欲の向上

などが報告されている。

これらは単なるプログラミング技能の習得に留まらず、プロジェクトマネジメントや探究活動に必要な計画力や協働力の育成につながっていると考えられる。また、物理学・工学・情報科学を横断的に扱う STEAM 教育の実践例としても位置付けることができる。

5. 結論

Kibo-RPC は宇宙工学や国際交流を目的とした教育プログラムとして発展してきたが、その学習内容にはニュートン力学、剛体の回転運動、微小重力環境、シミュレーションと実環境の差異など、物理教育と密接に関連する要素が数多く含まれている。

したがって Kibo-RPC は、物理学の概念を実践的かつ探究的に学習するための教材として活用できる可能性を有している。今後は競技会参加者の学習効果を定量的に評価し、物理教育における教材としての有効性を検証していく予定である。

参考文献

- [1] 宇宙航空研究開発機構（JAXA）：国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟，
<https://humans-in-space.jaxa.jp/kibo/>（2026 年 7 月閲覧）
- [2] アジア・太平洋地域宇宙機関会議（APRSAF）：
Kibo-ABC (Asian Beneficial Collaboration through “Kibo” Utilization) ,
<https://www.aprsaf.org/initiatives/kibo-abc/>（2026 年 7 月閲覧）
- [3] 宇宙航空研究開発機構（JAXA）：「きぼう」ロボットプログラミング競技会（Kibo-RPC），
<https://jaxa.krpc.jp/>（2026 年 7 月閲覧）

物理学実験における学生の多様性配慮

I 学びの整理と受講者が抱える困難の調査

^A大橋咲栄, ^A日下部真央, ^B深澤優子, ^C茂野仁美, ^B鈴木康文

^A大阪教育大学教職大学院, ^B大阪教育大学理科教育部門, ^C大阪教育大学特別支援教育部門
j259315@ex.osaka-kyoiku.ac.jp

1. はじめに

変化が激しく予測が困難な社会において、様々な価値観や多様性を認めつつ協働して困難を乗り越える能力の育成が必要とされている。そのような資質・能力を育成するためには多様性を配慮し、協働できる環境を整備する必要がある。大学においても多様なニーズに対応できる教育体制の構築が求められており、大学教育の質を保ちながら学生の個性に応じた積極的な支援を行う土壌が整いつつある。特に、講義科目においては配慮についての知見が蓄積、確立されつつあり、適切な支援や代替措置等で学修者の学びの権利が守られている。一方、理工系の実験や実習科目では身体感覚器、運動器の活用が求められることが多いため、支援が遅れている状況がうかがえる。本研究では大学の物理学実験における多様性配慮を検討する。従来の実験では、暗室での光の実験や音のうなりや共鳴のように、視覚や聴覚といった「身体感覚器」に頼る実験方法が一部にある。「見える」「聞こえる」という身近な現象と理科や物理とを結びつける機会ではあるが、暗闇での実験や同じ音を聞き続けることに苦痛を覚える大学生も多い。また、最近は光や音の刺激に配慮や支援を必要とするケースも増えており、加えて、数を数えることや、温度計や電流計など計器類の読みとり、2つのことを同時に操作することに困難を抱えるものもある。このような経験を背景に、実験方法を変更する必要性が生じてきた。そこで、本研究では実験の目的や測定すべき物理量など実験の趣旨を変えずに学べるユニバーサルデザインの実験教材の開発をめざす。

2. これまでの環境整備

近年、実験中にガラス製の容器、温度計などを破損する事故が急激に増加した。このため、割れない容器や電子温度計の導入などを進めてきた。また、実験後の後片付け、器具の整理整頓が不十分な例も多く見られたため、実験の手順書に何をどのように片付けるのかを明記した。これらの対応は器具の破損や紛失を防ぐ措置であったが、受講生の目線に立ったものではなかった。

その後、困難なく実験を進めるために何が必要か、実験科目の開講時に受講生から聞き取りを行ない、一部の環境整備を行った。まず、教室の天井照明の蛍光灯のちらつきが気になり、測定に集中できないという声を受け、照明器具を変更するよう要請していたが、それが受け入れられ改修工事によりLEDの照明器具に変更された。また、切る作業がある実験には左利きと右利きの両方に使いやすいハサミやカッターを準備した。他、簡単な工夫として、温度計の乾球と湿球から湿度を読み取る温湿度計の近くには、メモ用紙を置き、短期的な記憶力が弱く、読み取りが困難な学生の補助とした。実験装置では、暗室を必要としない光の実験（レンズの焦点距離測定）、小さい音でも測定ができる音の実験教材（気柱の共鳴）の装置改良を行った。暗室を必要としないレンズの焦点距離測定については新たな測定方法を開発し報告している[1]。これらの環境整備は、学生からの声

を受け、または気づいた際に都度実施してきたが、今後予想される学生の多様性の広がりに対処するため、本研究では実験で得られる学びの整理を行うとともに、受講者が抱える困難の調査を行っていく予定である。

3. 実験における学びの整理

物理学の実験科目は一般に、高等学校や大学の講義で学んできた現象やそれを説明する理論を実証的に結びつけ、深い理解につなげることを目的とするものである。また、それとともに、実験器具や装置の取り扱い方、得られた測定データを分析する手法、結果をまとめて論理的に報告する表現力を養う。この前提をもとに、実験科目で実施している各実験テーマについて、採用している実験テキスト[2]をもとに、学びの整理を行っている。整理にあたって、実験テーマごとに求めたい物理量や現象と実際に測定する物理量、それに必要な器具と測定手順、結果の分析方法に分けた。このうち、求めたい物理量や測定する物理量は実験の目的にあたるため、変更できない。また、必要な器具と手順については、器具の使用手法や測定技術の習得を期待する場合は変更できないが、それを期待しない場合、器具の変更や手順の変更は可能である。結果の分析方法も同様である。このように学びを整理し、整備可能なものを抽出した。

4. 受講者が抱える困難の調査

実験遂行の困難には環境に依存した困難と、未知の知識や技能を獲得する困難が予想され、これらは異なる性質のものである。前者は設備・備品のハード面で克服でき、学びの整理で抽出したものに對してどのような支援や変更が有効かを調査項目に入れる。後者は葛藤の状況から自身の能力を見直して向上を目指すために必要なものだが、学びのプロセスの一部に困難がある場合はハード面だけでなくソフト面での支援も必要である。学びのプロセスに依存した困難の調査では、実験を実施前の①準備学習、実験の時間内での②測定・③結果の整理・④考察、終了後の⑤レポート作成に分ける。これら5つのシーンで、どのような学びのプロセスに困難があるかを調査するための項目を設定している。

講演では3. 学びの整理と4. 受講者が抱える困難の調査についての具体例を挙げ報告する。

参考文献

- [1] 深澤優子, 大橋咲栄, 鈴木康文: 凸レンズを通して見る実像に着目した光学教材の開発, 近畿の物理教育 32 (2026) p7-10.
- [2] 吉田卯三郎 他: 六訂 物理学実験 三省堂 (1979) .

物理学実験における学生の多様性配慮

Ⅱ 振り子の実験における環境整備

^A 日下部真央, ^A 大橋咲栄, ^B 深澤優子, ^C 茂野仁美, ^B 鈴木康文

^A 大阪教育大学教職大学院, ^B 大阪教育大学理科教育部門, ^C 大阪教育大学特別支援教育部門
j259326@ex.osaka-kyoiku.ac.jp

1. はじめに

視覚や聴覚といった感覚は障害の有無にかかわらず多様であり、色や音の変化を記録する能力も、生徒や大学生の学習背景や経験によって幅がある。色覚に着目すると日本人男性の約 95%, 女性の約 99% が一般色覚であるが、それ以外は色覚特性とされ、見分けやすい色が一般色覚と異なる。児童生徒が学ぶ学校の理科実験は色の識別や変化の観察、音の変化など、視覚や聴覚に頼る部分がある。さらに一步進んだ大学の理科系の実験では、それらが時間的に変化する様子を瞬時に読み取り、適切に記録する必要があることも多い。発表者らは、実験による学びの本質を担保しつつ、感覚能力の差による実験実施のハードルを取り除くことを目指し、ユニバーサルデザインの実験方法や実験教材への変更や改良を進めている。実験内容により活用する感覚が異なるため、実験テーマごとに配慮すべき項目を点検し、必要な配慮を検討する必要がある。例えば、色が特に重要な要素となる炎色反応実験では、炎色の背景の色を適切に設定することにより、色覚特性者も色が見分けられることが報告されている[1]。

本研究では大学での振り子の実験における環境整備について報告する。振り子の長さで 1 往復する時間（周期）の測定から重力加速度を求める実験は、大学初年次の基礎実験の実験テーマとして採用されることが多い。振り子の実験は、小学校第 5 学年でも学習単位として取り扱われ、大学生にとってもなじみがある。一方、周期の測定は望遠鏡を使って振り子が基準の位置を通り過ぎる回数を 200 回近く数え、10 回ごとにストップウォッチを押す必要があり、学生にとって負担が大きく測定ミスも生じやすい。

2. 振り子の装置の改良

振り子の実験は、周期という物理量を測定することにより、その地の重力加速度を求めることが目的である。周期を測定する手段としてはセンサーを使うことも考えられるが、振れる数を数えて時間を測るという作業が最も単純でわかりやすく、その後の測定データの扱いについても理解がしやすい。しかし、学生によっては振り子が基準の位置を通り過ぎるのを、望遠鏡を使って片目で正確に確認する作業は難しく途中で数がわからなくなり、測定をやり直すことも多い。本研究では、まず、望遠鏡をカメラとモニターに置き換えた。装置の写真を図 1 に示す。図のようなフレームを組み立て、振り子を置く台を作った。針金の一端に振り子の支点となるエッジ、他端におもりを取り付け、エッジを図の台に置いて、単振り子とした。おもりに取り付けられた針金を通り過ぎるのを確認するための基準線の正面にカメラをおき、その様子をモニターに映し出した。こうすることで、目線を固定しなくても針金と基準線が重なる瞬間を読み取ることができ、振り子が振れる回数を数えやすくした。この改良によって、周期の測定をやり直す学生の数が大きく減ったが、数え間違いやストップウォッチの押し間違いによる周期の値のずれは依然として存在した。

次に、数え間違いやストップウォッチの押し間違いを減らすために、ストップウォッチ機能を搭載したカウント補助ツールを作製した。このツールはマイコンに CdS 光センサーを接続して制御し、振り子が振れた数をモニター横に置いた 7 セグ表示機に表示させるとともに、音声でも数を伝えられるようにしたものである。押し間違いは、主にストップウォッチのボタンが小さく「確かに押した」という感覚が弱いためにおこると考えられる。ツールに搭載したストップウォッチのボタンのサイズや形状についても検討し、改良後、今年度の実験科目で活用していく予定である。

3. 補助ツールの評価と今後

カウント補助ツールは、おもりが CdS 光センサーの上を通過する際にセンサー周辺の照度が下がることを利用して作製し、数百回のカウントでエラーが生じないことを確認した。実際の実験での使用を想定し、

多少の環境光の変化があってもカウントできるよう、適切な設置方法を検討している。講演では、ストップウォッチの計時機能評価やボタンの形状についての検討結果とともに報告する。

参考文献

[1] 渡辺 尚, 須藤大貴: 代表的な色覚特性を考慮した炎色反応実験の提唱～理科・化学実験のユニバーサルデザイン化～, 宮城教育大学紀要, 57 (2022) p157-163.

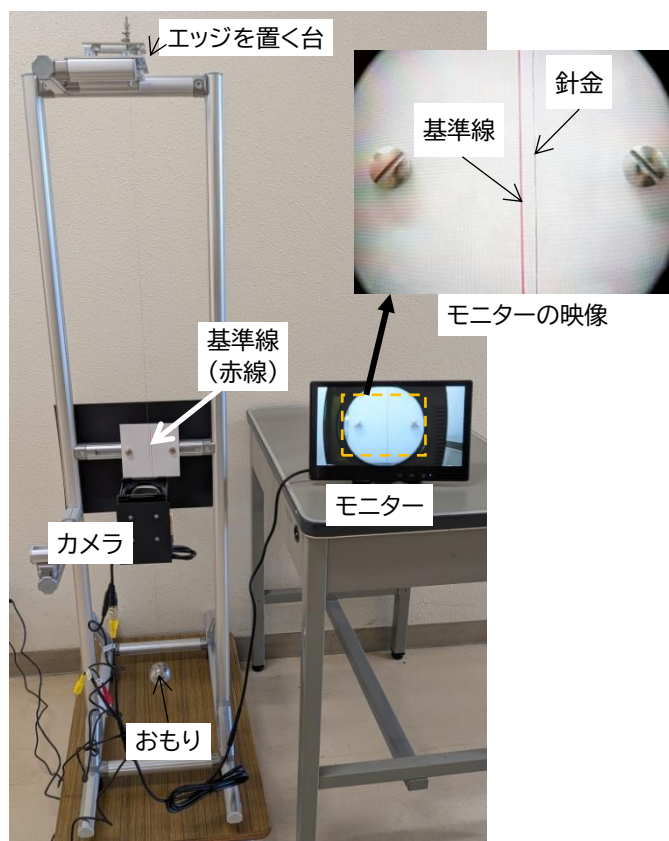


図1 改良した振り子の実験装置

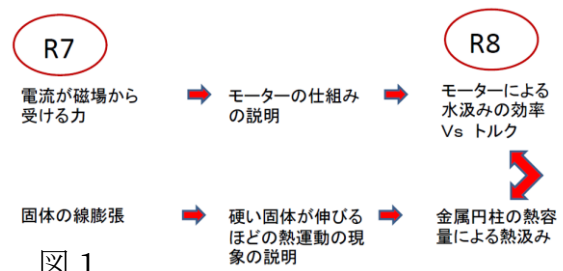
物理を身近な現象と関連づける大学生への探究的指導の実践

鈴木康文，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

我々は約 10 年前までに担当する課程の中高教員免許のための必修授業である物理学関係の多くの科目の授業のあり方を大きく変えた^{[1]~[3]}。物理系と生物系の学生が混在し，同一の達成目標を要求される必修科目で，可能な限り多くの受講生の学習意欲を保持することが目的である。その一つとして，物理学に関する基礎的講義科目（合計 4 単位）にはミニ実験を課すグループワークを取り入れた。このうちの 2 単位分の講義（電磁気・熱・現代物理分野）については，目的を変えていないが，学生にはあらかじめ用意した実験データを与えて，ワークシートに図示や考察を行う形に換えている。近年は，身近な現象と関連づけることを意識して 1 タームに 1 つずつの課題を設定している。たとえば，令和 7 年度は「電流が磁場から受ける力」と「固体の線膨張」を扱い身の周りの道具や風景と関連づけた。令和 8 年度には最後にクイズを設けて「モーターの効率」と「金属による熱の輸送」を扱った。クイズに関しては面白い物理クイズ集など興味関心を与えるための多くの実践例があるが^{[4], [5]}，我々が扱うクイズは，クイズ中心に展開するものではない。探究心が視野を狭める中で，最後にふと ひらめきを促すものになるよう構成した。

本講演ではこのグループワーク実践を中心に，実施の目的や意図に照らながら述べる。受講生は毎年度交代するため，受講生の視線から年度のつながりを検討する意味は薄い，授業者としては図 1 に示すような継続性を持たせたテーマ設定にし，前年度を振り返り，連続性を持たせる説明を追加した。

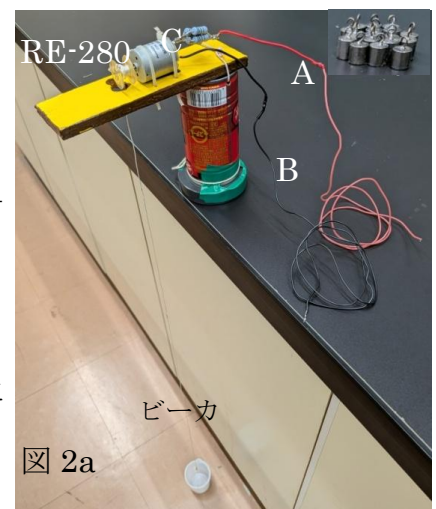


2. 令和 8 年度のテーマ

例として令和 8 年度のグループワークに提示したデータの測定装置を図 2 に示す。ワークシートについては，本概要では省略する。

2-1 「モーターの効率」用

図 2a に「モーターの効率」用の測定装置を示す。モーター（RE-280）に糸巻を付けた。糸巻きからの糸の下端にビーカを取り付け，その中に水をいれ，水を机上まで持ち上げるという仕事を行う。なお，机上には質量 50g のおもりを 20 個置いている。汲みあげる水の量を $5.0 \sim 50 \text{ cm}^3$ の間で変化させ，なるべく加速を伴わないように持ち上げるときの電源の電圧 V_{AB} ，モーターに直列に接続した抵抗の両端の電圧 V_{AC} を電圧計で測定し，結果を表で与えた。ここから



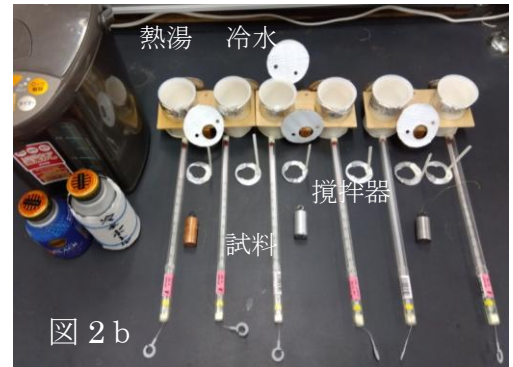
数個のデータ（持ち上げた水+容器の質量[g]）に対してモーターに加えられた電圧とモーターに流れた電流を求め，モーターに与えた電力を計算させた。物理学実験等の授業であれば，持ち上げるのに要した時間は PC 等を用いて正確に測定すべきであるが，当該のワークでは負担軽減のため簡

略化し、それぞれの水量での測定を何度か行い、いずれの水量に対しても所要時間が同一であったと仮定して処理すべきデータセットとして提示した。次にモーターの効率（モーターがした仕事[J]/モーターに与えた電力量[J]）を求め、図示させた。これはモーターのトルクの間数として示されることが多いため、効率が最大になるときのトルクを求めるようにした。

クイズは「この実験セットを用いて 700cm³ の水を机上に持ち上げたい。1 回では無理なので、何回か繰り返すことになる。最も少ない電力量で持ち上げるにはどういう工夫をしたらいいか。身近なところで使われている方法がある。その方法を推察し、こういったところで使われているか例示せよ。」といったものであった。

2-2 「金属による熱の輸送」用

図 2b に「金属による熱の輸送」用の測定装置を示す。直径が同じ 3 つの金属円柱（鉄、銅、ステンレス）の高さを、熱容量を同じにするという条件制御に従って計算させた。求めた高さの円柱を用意し、熱湯に温度計を入れ、冷水ボトルの中から金属を取り出して熱湯に入れたという設定である。素早く攪拌し、有意に温度低下する間、5 秒ごとに温度を測定し、金属を取出し、迅速に冷水に入れた。3 種類の金属につき、この熱湯の温度の測定結果を示した。金属を冷水に入れた後も、冷水を攪拌し、有意に温度上昇する間、5 秒ごとに温度を測定し、冷水の温度の測定結果を示した。これらの温度変化を図示させた。金属円柱が熱湯から汲み取った熱量と冷水に放出した熱量を計算させた。材質による熱の運び方に対する考察のため、材質に依存する熱的性質として、各金属の熱伝導率を調べるよう指示し、熱伝導率 λ [W/mK]（または熱拡散率 $\alpha = \lambda / c \rho$ [m²/s]）を横軸にし、縦軸に金属が運んだ熱量を図示させた。



クイズは「金属が運んだ熱量はその熱伝導率（または熱拡散率）に依存したか、それとも、ほとんど依存しなかったか。依存したならば、どんな依存性が見えたか。この結果を理解するために、今回の実験で熱の移動を律速している現象が何かを考察せよ。」といったものであった。

3. まとめ

電磁気・熱・現代物理分野を取り扱う講義で近年行ったグループワークについて報告する。特に今年度（令和 8 年度）に行った 2 つの実験を中心に述べる。受講生は実験を行うわけではなく、これらの実験の目的や様子の講義を受けて、操作の意味などを理解し、与えられた実験結果を図示し、結果の意味を探究・考察するものである。探究の最後にひらめきを促すものになるようなクイズを付けた。受講生には特にアンケート調査等を行っていないが、意欲的に取り組めた様子であった。

参考文献

- [1] 鈴木康文, 深澤優子 「教員養成系（理科）での物理系の必修授業の改革実践 2. 講義, 実験科目：大筋」 日本物理学会 2016 年秋季大会概要集 2016. 9
- [2] 鈴木康文, 深澤優子 「教員養成系（理科）での物理系の必修授業の改革実践 3. 講義科目：グループワーク」 日本物理学会第 72 回年次大会概要集 2017. 3
- [3] 鈴木康文, 深澤優子 「教員養成系（理科）での物理系の必修授業の改革実践 4. グループワーク改善の教材」 日本物理学会 2017 年秋季大会概要集 2017. 9
- [4] <http://www3.u-toyama.ac.jp/phys/quiz> 「面白い物理クイズ集（吉田勝一・物理実験室）」（2026 年 5 月閲覧）
- [5] <http://www3.shinshu-u.ac.jp/special/phys-special> 「スペシャルコンテンツ | 物理学コース」（2026 年 5 月閲覧）

カリキュラムマネジメントから見た大学初年次の物理教育についての考察

平野裕一

大阪工業大学 教育センター

yuich.hirano@oit.ac.jp

1. 大学の教学マネジメントと授業改善

大学のカリキュラムマネジメントについて中留は、「大学の教育理念（教育目標）を実現するために、教育活動の内容・方法（カリキュラム）上の連関性と条件整備活動（マネジメント）上の協働性の対応関係を、組織構造と組織文化を媒介としながら、P-D-C-A サイクルを通して組織的、戦略的に動態化していく営み」[1]と定義している。

2020 年、教学マネジメント指針[2]が策定され、大学に対して、教学マネジメント（教育目的を達成するために行う管理運営）の一環としてのカリキュラムマネジメントが求められている。

同指針では、教育課程編成・実施の方針（カリキュラム・ポリシー（CP）：教育課程，教育内容・方法，学修成果の評価方法などの基本方針）を策定することとされている。同指針は管理運営という観点での指針であり、「大学全体のレベルー学位プログラムレベルー授業科目レベル」という階層性が見られる（図1）。

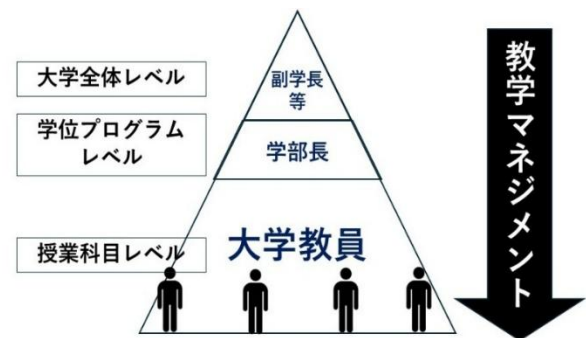


図1 教学マネジメント指針におけるカリキュラムマネジメント実現の階層性

授業を担当する教員（授業科目レベル）には、能動的学修（アクティブ・ラーニング）の活用の推奨や学生が学修意欲を保ち主体的に学修するような指導が求められ、授業改善が促されている。

また、同方針では、教員の授業内容・方法の改善・向上のための組織的な取組として、ファカルティ・ディベロップメント（FD）活動が推奨されている。

2. 個業性に基づく授業改善から、FDを通じた教学マネジメントへの参画

筆者は、大学1年次の物理学の講義（科目名：物理学a）を担当し、授業改善の実践（2024年度および2025年度）について本学会で報告を行ってきた[3][4][5]。

この授業実践においては、

- ・高等学校における物理科目の履修の有無と複数回行ったテストの成績との間に有意差が認められ、とりわけ、運動学と力学の分野において有意差が顕著であったこと
- ・その是正のための方策として、「高等学校で扱う物理の基礎概念を確認する教材の活用」や「高等学校での物理科目未履修者生に対して、授業の復習方法（学修の仕方）を学生同士で共有する時間の授業内での確保」などの取り組みが重要であること

が明らかになった。ただし、本実践は筆者の個業に依るものであり、属人性の高い行為と言わざるを得ない。

2025年9月、筆者は本学のFD活動で、「高等学校から見た大阪工業大学」との演題での講演を行う機会を得た。その講演の中で、入学生の物理の学力の多様化やそれに対応した授業改善について述べ、本学での初年次の物理教育における学修者本位の教育について言及した。

また、授業改善の実践を通して得られた知見を元に、2027 年度から使用する教科書の編纂を行い（後述）、シラバスの改訂を予定している。

3. カリキュラムマネジメントの観点からの筆者の実践の省察

このような取り組みについて、田村による「ダブル・ループのカリキュラムマネジメントサイクルにより整理」[6]を用いて整理を試みた（図2）。

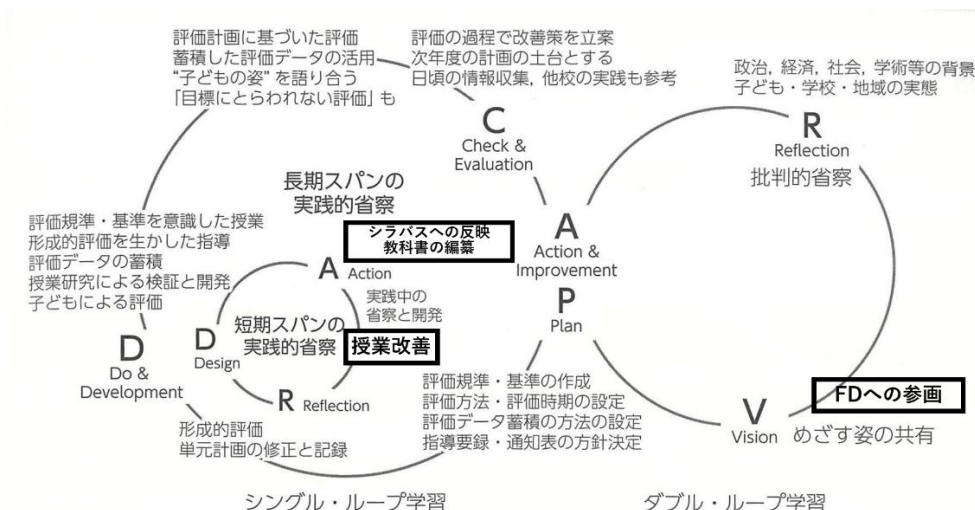


図2 ダブル・ループのCMサイクルによる整理（田村による図に筆者が加筆）

4. 個業から協働的取り組みへの展望

本学では、現在、物理学 a の授業を 8 名の教員が共通の教材（教科書および演習問題プリント）を用いて担当している。その内の 3 名の教員が、物理学 a の授業内容に即した教科書の編纂作業を行っている。執筆した原稿についての検討を週 1 度の頻度で行っているが、受講する学生の特性（高等学校での物理科目の履修状況や入学後の学修状況など）を踏まえたものであり、PCK（Pedagogical Content Knowledge：教授法と教科内容の一体化した知識）[7]に基づく協働の場となっている。この教科書は 2027 年度からの使用を予定しており、初年次の物理教育における学修者本位の教育の実現に寄与したい。

参考文献

- [1] 中留武昭(2012)：大学のカリキュラムマネジメントー理論と実際ー，東信堂
- [2] 中央教育審議会大学分科会(2021)：教学マネジメント指針
- [3] 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
- [4] 平野裕一(2025)：入学後の学習支援と大学初年度の物理の理解，第 41 回 物理教育研究大会発表予稿集，2H-3
- [5] 平野裕一(2025)：多様な学力の学生を対象とした大学初年次の物理教育，大学の物理教育 31 巻 2 号，p. 46-49
- [6] 田村知子（2022）：カリキュラムマネジメントの理論と実践，日本標準，p. 95 図 6.7
- [7] 今井章人，新田英雄，安田淳一郎 編(2025)：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，p.3 図 1.1

大学初年次学生の力学概念理解と多様な表現による困難

^A興治文子, ^A谷口喜太郎, ^{A,B}長谷川大和, ^C市川寛子

^A東京理科大学理学部, ^B東京科学大学附属科学技術高等学校,

^C東京理科大学教養教育研究院

okiharu@rs.tus.ac.jp

1. 研究背景および研究目的

物理学では、同一の概念を文章、数式、グラフ、ベクトル図、運動図など複数の表現（multiple representations、MR）によって記述する。これらの表現を相互に関連付けて理解することは、物理現象を深く理解するために不可欠である[1]。しかし、多くの学習者は個々の表現を個別に理解していても、異なる表現間を対応付けることに困難を示すことが報告されている[2]。こうした課題を調査するため、Nieminen らは、力学概念を異なる表現形式で出題し、学習者が表現を越えて一貫した概念理解を有しているかを評価する調査問題を開発した[3]。また、近年の物理教育研究では、多様な表現を相互に変換・統合する能力が概念理解の重要な要素であることが指摘されている[3,4]。

一方、日本の高等学校では学習指導要領においても、グラフや数式、図を活用して現象を考察する力が重視されている[5]。しかし、高校までに学んだ力学概念が、大学入学時点でどの程度表現を越えて理解されているかについては、十分な知見が蓄積されているとは言い難い。また、高校における物理履修歴の違いが、多様な表現による概念理解にどのような影響を及ぼすかについても明らかではない。

そこで本研究では、大学初年次学生を対象として、多様な表現で構成した力学概念テストを実施し、表現形式による理解の困難を明らかにするとともに、高校までの物理履修歴との関係について分析することを目的とした。

2. 研究方法

Nieminen らが開発した調査には、力学の基本概念について、同一概念を文章、運動図、ベクトル図、グラフ、数式など異なる表現形式が含まれている。この概念調査を用い、2026年4月にA大学理学部に所属する大学1年生78名を対象に調査を行った。

調査では各設問について正答率を調べるとともに、同一概念に対する異なる表現間の回答を比較し、表現形式による理解の違いを分析した。さらに、高校までの物理履修歴（履修無し、物理基礎のみ、物理基礎と物理）によって回答傾向を比較し、履修歴が概念理解および表現間の一貫性に及ぼす影響について検討した。

3. 結果および考察

力学概念調査問題27問に対して、調査対象78名の平均得点は15.95点（SD = 8.37）であった。高校で「物理基礎」と「物理」を履修した学生（n = 56）の平均得点は17.27点（SD = 8.13）、「物理基礎」のみ履修した学生（n = 12）は8.42点（SD = 6.16）であり、前者が有意に高い得点を示した。なお、高校で物理を履修しなかった学生および未回答の学生は除いている。

次に、表現形式別の正答率を表1に示す。棒グラフや運動図がやや高く、グラフやベクトル表現はやや低い傾向がみられた。

表 1 表現形式別の正答率

表現形式	問題数 [問]	平均の正答率 [%]
棒グラフ (Bar chart)	5	62.8
運動図 (Motion map)	4	62.5
文章 (Verbal)	9	58.4
グラフ (Graphical)	4	57.4
ベクトル (Vectorial)	5	55.1

さらに、同一概念について表現形式ごとの正答率を比較した。その結果、ニュートンの第 3 法則を扱う椅子に座った人の押し合いの問題では、棒グラフ (78.2%)、文章 (76.9%)、ベクトル (71.8%) と、表現が変わっても正答率に大きな差は認められなかった。一方、重力を扱う鉄球の問題では、棒グラフでは 70.5% が正答したものの、ベクトルやグラフではそれぞれ 55.1%、50.0%、と低い正答率を示した。

以上より、表現形式そのものが概念理解に影響を及ぼすというよりも、同じ概念であっても表現形式による影響の大きさは概念や問題内容によって異なることが示唆された。

4. まとめと今後の展望

本研究では、大学初年次学生を対象として多様な表現で構成された力学概念テストを実施し、高校での物理履修歴および表現形式が概念理解に及ぼす影響について検討した。その結果、高校で「物理」を履修した学生は高い得点を示したものの、同一概念であっても表現形式によって正答率が大きく変化する問題が認められた。特に、概念によって表現形式の影響の程度が異なることが示され、概念理解を評価する際には、多様な表現を用いた評価の必要性が示唆された。

今後は、高校時代の物理学の履修状況による同一概念の表現依存性についてさらに分析を進め、また同一概念に対する表現間の解答の一貫性 (representational consistency, RC) を定量的に明らかにする。これらの結果を基に、高校での物理学習において多様な表現を相互に関連付ける学習活動や評価方法の在り方について検討を進めたい。

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

参考文献

- [1] D. F. Treagust, R. Duit, H. E. Fisher (2017) : Multiple Representations in Physics Education, Springer.
- [2] 尾崎龍之介, 長谷川大和, 興治文子 (2023): 物理教育, 71, 87-94.
- [3] P. Nieminen, A. Savinainen, and J. Viiri (2010) : Phys. Rev. STPER 6, 020109.
- [4] 一般社団法人 日本物理教育学会監修 (2025): 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.
- [5] 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】.

総合的な探求の時間の高大連携

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。理科教育の目的は科学的探究を通じた問題解決能力と科学的思考力を身につけるためといわれている。しかし、我々の生徒・学生の卒業時にそれがどれほど達成されているであろうか。個人的な意見ではあるがその達成度の個人差は大きく、社会にその素養・能力を浸透させるという学校教育の目標としてはほぼ達成されていないと評価せざるを得ない。

探究活動はいわば物理学の十八番であるが、初学者はそれとはかけ離れた「物理は暗記科目」という誤概念とも言える壮大かつぬぐい難い誤解があるようだ。高校で必修化された「総合的な探求の時間」はその大いなる誤解を解き、物理学の智慧を知らしめる絶好の機会ととらえたい。情報があふれ変化のスピードが増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探究活動の意義は極めて大きく、物理学の復権に大きく寄与する可能性がある。本稿ではそれを推進していくための新たな高大連携のかたちを提案する。

2. 物理学の智慧とは

まず「智慧」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「智慧」の違いは「知識」が知っていることなのに対して「智慧」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は正解がある問題の解法アプローチを通してガイドされたトレーニングを重ねて育まれると予想される。アプローチの学びの目的は正解に達することではなく、正解に達するまでのアプローチがそれほど悪くなかったといった評価ができるようになることである。

3. 智慧を社会へ浸透させるために

現代社会で重要な素養・能力と考えられて高校の必修科目にまで取り入れられた探究活動はなぜ社会に受け入れられていないのか、そしてその難局から抜け出すためには何が必要かを述べたい。

学習されたことが新たな分野の学習に生かされることを転移という[1]。学習者は物理を学ぶ際に教科書や問題設定で現れるコンテキストと結びつけて学んでいる。異なるコン

テキストで、過去に異なる場面で学んだ事が役立つと思いつくことができないことはしばしばあり、過去の転移研究では転移は起こりにくいと結論づけられている。一方、転移が起こったと思われる例は様々あると指摘する研究者もあり、転移を狭く捉えて過ぎていた可能性が意識されだしている。転移の新たな捉え方は、先行する学びの経験が後に学ぶことの準備になっていて、前の学習がされていない時より、効率的に新たなことを学べるようになっていくという研究がなされているという。具体的にどの学びが何処に影響したのかといった転移の微細構造を追うことは難しいと考えられるが、物理の学びが新たな学びの習熟しやすさを加速するとすると、学習者にとって物理の学びは大きな励ましになることは確実であろう。

4. 新たな高大連携の提案

2022 年に「総合的探究の時間」が高校の必修科目に導入されてから慌ただしい時期を乗り越えて探究支援がひと段落を迎えたところといわれている。探究活動を本業としている大学教員による出前授業、高校生と大学生の相互の学びを目指した学生の探究活動派遣、大学での発表会開催と審査委員としての大学教員からの直接フィードバックなどの高大連携を見聞きする。

本稿では探究担当教員と大学教員が対等な立場で様々な場面で協働する新たな形を提案したい。大学教員は大学で探究活動を日々の研究指導という形で実践している。一方、高校教員は初学者に接して教育を行うプロである。大学教員は大学生や大学院生と接する際の教育的視点を学び、高校教員は探究的活動の指導を通して物理学の知恵を高校生に伝えやすくなる win-win の関係を目指すのである。連携の機会と共に探究活動の計画、運営、評価、発表、振り返りまで様々な段階があるが、互いのペースに合わせて通しての連携も部分的連携も可能ではないだろうか。互いに議論試合、共に悩み、励まし、共に喜ぶ同志としての連携である。

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した探究活動で、物理学の神髄を広めていきたいというのが本意である。本稿は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できることから始めていこうという本気の提案である。

参考文献

- [1] 大島 純，千代西尾 祐司 編「主体的・対話的で深い学びに導く 学習科学ガイドブック」，北大路書房（2019）．
- [2] Dan Rothstein，Luz Santana，「たった一つ変えるだけ」，新評論（2015）．
- [3] Charles R. PEARCE，「だれもが〈科学者〉になれる!」，新評論（2020）．

数理・データサイエンス・AI 教育と高大連携の新展開

^{A, B} 高橋尚志, ^{A, B} 白幡泰浩

^A 香川大学教育学部物理学教室, ^B 香川大学大学教育基盤センターDS 部会
takahashi.naoshi@kagawa-u.ac.jp

1. はじめに

日常生活を送っていて、少し前まではデータサイエンス、今は生成 AI、これらの単語を耳にしないことは無いだろう。特に生成 AI が登場して以来この数年、AI を活用するのが当たり前の世の中となったと言っても過言は無い。思い出すと、その出始めの何年か前は、まだまだ如何に生成 AI を使わせないかという抑制的な空気も大学などの現場にはあったが、その後は最早いかに上手に利活用する・させるのが課題となっている。目を大学と高等教育政策に転じると、大学ではここ数年で大学は「理系にシフト」し、特に「文系」学部が情報系・データ系の学部学科へ転換したり新設されたりしてきている。

そういった中、物理教育 73-4 で国策として推し進められた大学高専における数理・データサイエンス・AI 教育について概括し、その後 DX ハイスクールを中心に高校との連携を強く求められた様子などが特集された[1-4]。本稿では、起点となった AI 戦略 2019 から昨年特集の組まれた時期までをサーベイし、その後の展開での到達点および今後の方針などについて報告する。

2. AI 戦略 2019 から 2025 年度まで

2000 年代に STEM あるいは STEAM 教育がクローズアップされてきたが、我が国では科学技術の側面に光が当たり、数学的な側面についてはベースとして論理的な思考を養うものとしての重要性は語られるものの、特に注目が高まり広がりを持つことは余り見られなかった。ところが、2010 年代も中頃に至ると、ビッグデータを活用することができる人材が圧倒的に不足していると産業界からの悲鳴が聞こえてきて、数学や統計学などの専門家を養成する欧米諸国の大学に比べ日本では伝統的な数学科を除けばほとんどそういうニーズに对应していないとの論が官邸からも聞こえてきていた。その頃には、数理・データサイエンス教育を推進することを目的にした大学のコンソーシアムが発足し、国も大規模な予算を投入し支援し始めたのが 2017 年であり、その後、官邸主導で明確な数値目標を伴う国家戦略「AI 戦略 2019」が打ち出された。この辺りの経緯については、前述の特集[1]をご覧頂きたいが、国をあげてのデータサイエンス推しで、その後 AI もスローガンに加えられ、数理・データサイエンス・AI 教育（以下 MDA 教育）一色となった感がある。

大学に入学する学生のすべて、数字にして 50 万人がそのリテラ

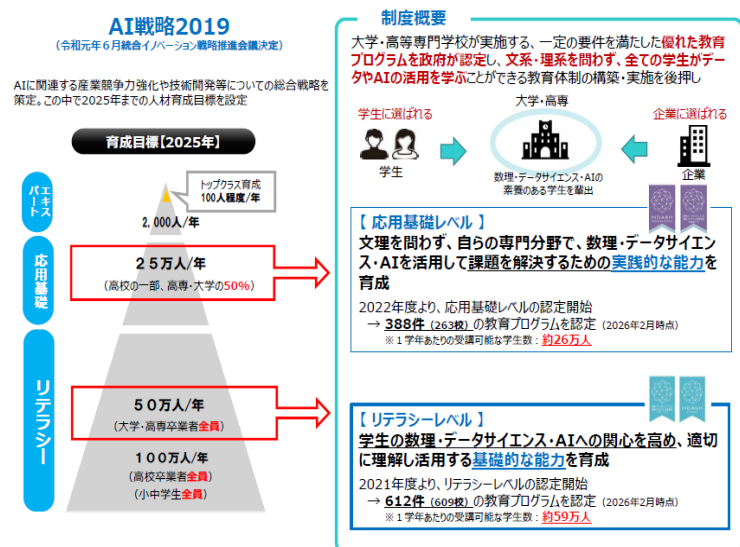


図 1 MDA 教育プログラム認定制度

シーレベルの教育を受けるプログラムを作り、さらに国立や理工系といわれる分野でその半数の 25 万人が一段高レベルの応用基礎レベルのプログラムにアプローチできるようカリキュラム整備を行うことが求められた。各大学は既存の授業科目も活用しつつ教育プログラムを整え「5, 6」、国は認定制度を新設し、リテラシーレベルと応用基礎レベルに相応しいプログラムにいわばお墨付きを与えることを行い、数値目標達成の後押しをした。これと並行して、大学といえば「私立文系」と言われるほどの我が国の現状を政策的に理系シフトさせるために大胆な支援策が施され、データサイエンスを中心とした理工系の学部学科が乱立するに至っている。

その結果、目標達成年度として設定された 2025 年度までに、学生が学ぶことのできるリテラシーレベル 50 万人、応用基礎レベル 25 万人が達成された。実際にそれらの学生数が学修したということではない点に注意して欲しいが、全大学高等教育機関の半数がコンソーシアムに参加し、目標を達成したことは特筆に値するであろう。一方で、目指しながら達成できていないものや新たな課題がいくつか明瞭に浮かび上がってきているのもの事実である。教育プログラムが作られたは良いが、その持続可能性も含めた実質化や、初等中等教育、とりわけ高大の（単純な接続とは異なる）連携[4]、産業界や地域社会との連携が次なる強化点となる。

3. 2026 年度以降の強化点

さて、一旦目標が達成されたことにより、2025 年度まではこの事業に係る経費は毎年の概算事項となっていたが、2026 年度より基幹経費化され、今後のこの事業については一定規模を維持しつつ継続的に進めることになった。

打ち出された方針は、基幹経費化後コンソーシアムの基本的な活動は変わらないとしながらも、大きくは普及・展開から教育の質向上に向けた取組にエフォートをシフトすることが第一にあげられている。これは、実質的な教育の質向上につながるものとするのが求められるということである。そしてもう一つ、大学間の連携強化から、高校や産業界も含めた連携強化に対象を拡大し、高校から大学、産業界への MDA 教育の橋渡しの役割を担うということである。特に全国 9 ブロックに分割しブロックごとの活動を強化することから軸足を都道府県または近接地域単位での高大連携の枠組みを形成・強化することが打ち出された。この方針のもと、いくつかの可能な県や大学での取組がなされ始めている。

参考文献

- [1]河合玲一郎(2025)：数理・データサイエンス・AI 教育強化拠点コンソーシアムの活動紹介, 物理教育, 73, 267-272.
- [2]佐々浩司(2025)：気象のデータサイエンス, 物理教育, 73, 273-276.
- [3]小林哲也(2025)：リーディング DX スクール事業における物理・物理基礎の授業実践物理教育, 73, 277-280.
- [4]有田大作(2025)：長崎県における高等学校情報科教員を対象とした高大連携研修事業, 物理教育, 73, 281-276.
- [5]高橋ら(2023)：香川大学における数理・データサイエンス・AI 教育強化事業, 香川大学教育研究, 20, 55-66.
- [6]Naoshi TAKAHASHI et al., Trial of a New University Curriculum for Mathematics, Data Science, and AI Education, Journal of Physics, Journal of Physics: Conference Series 3203 (2026) 012049.

DeepLabCut を用いた力学実験の教員養成課程における実践

^A 小林 良彦, ^B 小野澤 晃, ^B 近藤 隆司
^A 大分大学教育学部, ^B 大分大学理工学部
 yoshikoba@oita-u.ac.jp

1. はじめに

作用・反作用の法則は、学生が理解しにくい物理概念の一つである [1]. 西ら [2] は、力学台車の先端にネオジム磁石を取り付け、その引力で台車を運動させることで作用・反作用の法則と運動量保存則を定量的に示す教材を開発し、記録タイマーによる解析を行うとともに、画像解析による発展を展望した. 近藤ら [3] は、水面に浮かべた磁石の運動を撮影し、その動画を機械学習によって解析するソフト DeepLabCut で解析する教材を開発した. この教材は、力学の理解を深めるだけでなく機械学習を体験できるものでもあり、多様な学部教育への波及も展望されていた.

そこで発表者らは、教員養成課程の授業において、この機械学習教材を活用した授業実践を行った.

2. 授業実践の概要

本授業実践は、大分大学教育学部 3 年生 13 名を対象に、以下の概要で実施した. なお、受講生は 3 ~ 4 名のグループに分かれ、実験・解析に取り組んだ.

第 1 週：衝突動画の撮影、ピクセル座標から実座標への変換 (Excel 使用)

第 2 週：DeepLabCut を用いた動画解析 (磁石の座標の読み取り)

第 3 週：解析結果のグラフ化 (Excel 使用)

第 4 週：解析結果のグラフ化 (Excel 使用) の続き

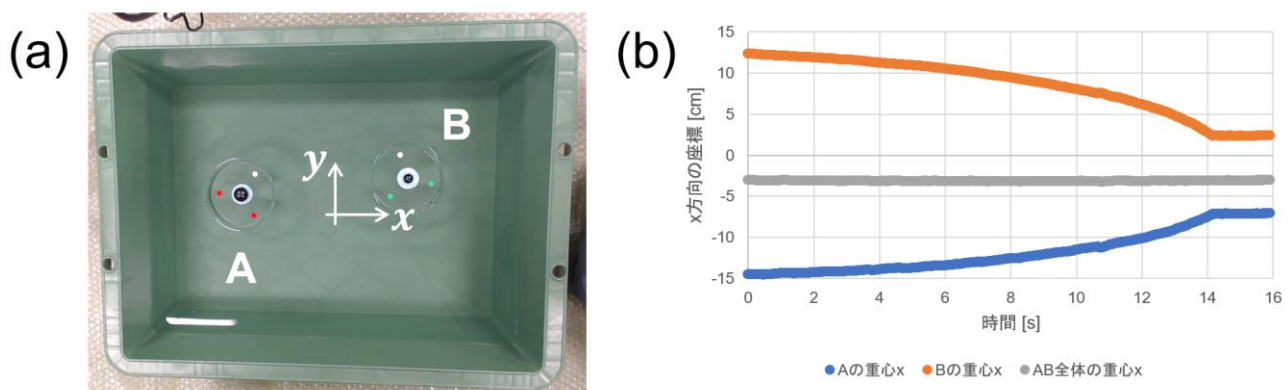


図 1(a) 撮影された衝突動画の一部. (b) 座標の時間変化のグラフ.

第 1 週・第 2 週の授業では、受講生は手順がまとめられたオンライン資料 [3] を参照しながら実験および解析に取り組んだ. 教員は各グループの進捗を確認しながら、実験・解析に関する助言を行った. なお、第 2 週の冒頭では、DeepLabCut の簡単な紹介も行った.

第 3 週の冒頭では、教員が、第 1 週・第 2 週の振り返り、機械学習および DeepLabCut の概要、Excel を用いたデータ解析の手順に関する講義を行った. その後、各グループは、第 2 週までに取得したデー

タを基に、作用・反作用の法則や運動量保存則に関するグラフの作成に取り組んだ。教員は各グループの進捗を確認しながら、Excel の操作に関する助言を行った。第 4 週は、第 3 週の続きの作業を行った。

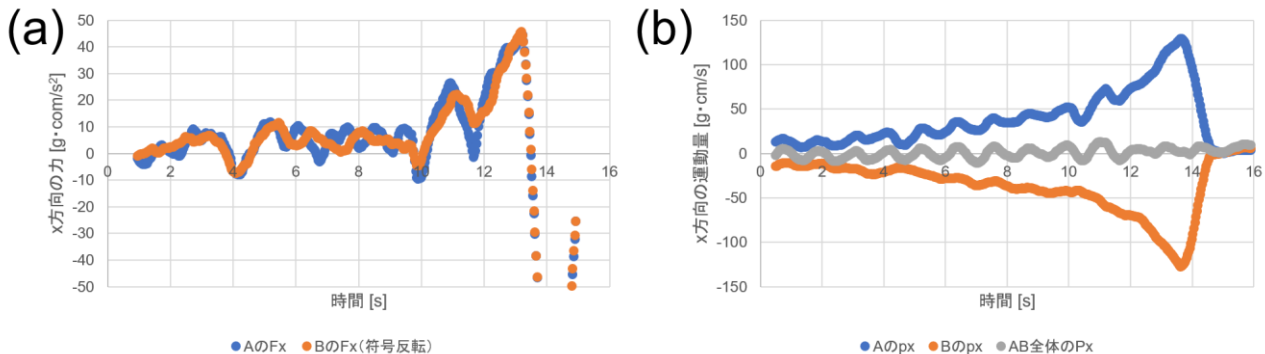


図 1(a) 作用・反作用の法則を表すグラフ。(b) 運動量保存則を表すグラフ。

3. 成果と課題

本授業実践により、機械学習による動画解析を用いて、作用・反作用の法則や運動量保存則を数値やグラフとして自ら確認する機会を受講生に提供することができた。授業終了時のアンケートでは、「とても難しい内容に感じたが、作用反作用の法則が実験によって証明されていくのを体感出来て興味深かった」などの感想が寄せられた。また、「これまで知らなかった Excel の解析や機械学習についての理解を深めることができました」といった感想も含まれていた。これらの感想は、本授業実践が Excel を用いた解析や機械学習を学ぶ機会として意義を持つことを示唆している。

一方で、アンケートでは、「水面から磁石の押さえを取り去るときに磁石自身や水面を動かさないようにすることが難しかった」というコメントも寄せられた。実際に、第 1 週の動画撮影が非常に難航したグループがあり、よりスムーズに撮影できるような工夫が必要である。また、「今何を計算しているのかを理解すること」が難しかったというコメントもあった。実際に、各回の作業では何度も助言を行う必要があった。今回は受講生 13 名という比較的小規模な授業で実践を行ったが、より多くの受講生を対象とする場合には、教員による補助が不足する可能性がある。

4. まとめと展望

磁気相互作用による作用・反作用や運動量保存について、機械学習を用いた動画解析を通して学ぶ力学実験教材 [3] を、教員養成課程における授業で活用した。本授業実践は、将来教員となる学生に対して、作用・反作用の法則や運動量保存則を実験・解析を通して学ぶ機会だけでなく、Excel による解析や機械学習に触れる機会を提供することができた。今後は、アンケート結果を踏まえた授業実践を行っていく。加えて、DeepLabCut を活用した他の実験教材の開発にも取り組んでいく予定である。

参考文献

- [1] R. D. ナイト著, 並木雅俊 監訳 (2017): 物理を教える: 物理教育研究と実践に基づいたアプローチ, 丸善出版.
- [2] 西慶悟・新田英雄 (2007): 磁力による作用反作用及び運動量保存の実験, 物理教育, 55(2), 135–137.
- [3] 近藤隆司・片山健夫・大森雅登・高橋将徳・小西美穂子・長屋智之 (2026): 機械学習を利用した実験教材の開発と評価, 工学教育, 74(3), 15–18.

MEXCBT を活用した科学的に探究する学習の授業モデルの開発 I

研究概要

^A 小林一人, ^B 西村壘太, ^C 工藤寛之, ^D 志田敬, ^E 杉野正彦, ^F 二本松佳樹

^A 国立教育政策研究所, ^B 東京学芸大学附属高等学校, ^C 青森県立弘前高等学校,

^D 岩手県立一関第一高等学校, ^E 愛知県立安城南高等学校, ^F 元和歌山県立田辺高等学校

kobayashi-kazuto@mext.go.jp

1. はじめに

本講演は、2 件の連続講演「MEXCBT を活用した科学的に探究する学習の授業モデルの開発」の 1 件目である。発表者の所属する研究グループでは、文部科学省の CBT (Computer Based Testing) プラットフォーム MEXCBT の活用について研究を 3 年間にわたり行っている。まず、学習指導要領実施状況調査を想定し、50 分間の学力調査を施行したところ、生徒から普段 ICT を活用した授業を行っていないと調査だけが CBT に変わってもやりづらいという意見が見られた。そこで、2 年目からは授業で活用できる科学的に探究する活動を促す CBT 教材の作成を行ってきた。本発表ではこれまでの研究の背景と流れを報告する。本研究は JSPS 科研費 JP26K06438 の助成を受けている。

2. CBT とは

CBT とは Computer Based Testing の頭文字を取ったもので、コンピュータを使用して実施する学力調査・試験の方式である。文部科学省では、GIGA スクール構想による 1 人 1 台端末環境を踏まえ、児童生徒がオンライン上で学習やアセスメントを行う公的 CBT プラットフォームとして MEXCBT を整備している。CBT は単に「紙の問題を画面に映す」だけでなく、動画・音声・シミュレーション・操作ログ・自動採点・即時フィードバックなどを活用できる点に特徴がある。文部科学省資料でも、CBT 化のメリットとして、問題の多様化、自動採点による迅速な返却、操作ログ等を用いた多角的分析、特別な配慮が必要な児童生徒への対応などが挙げられている。

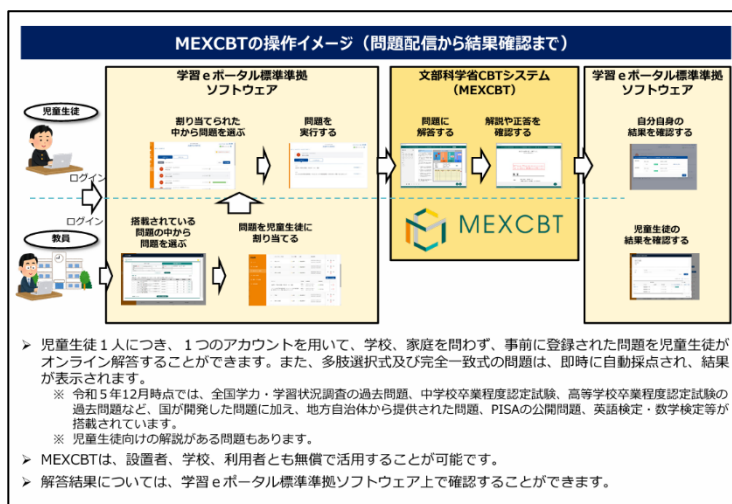
PISA (OECD 生徒の学習到達度調査) は 2015 年から CBT に移行、TIMSS (国際数学・理科教育動向調査) は 2019 年調査より従来の PBT に加え、一部 CBT が導入されるなど、国際的な学力調査において CBT 化が進んでいる。日本国内でも小学校や中学校で毎年実施されている全国学力・学習状況調査において、令和 7 年度調査より中学校理科において CBT が導入され、令和 9 年度以降、CBT に全面移行する予定である。また、国内外の資格検定試験等においても CBT 化が進んでおり、英検 S-CBT や TOEFL iBT などが CBT で実施されている。



「文部科学省 CBT システム (MEXCBT : メクビット) について」より抜粋

3. MEXCBT について

文部科学省 CBT システム（MEXCBT：メクビット）とは、文部科学省が開発した小・中・高等学校等の子供の学びの保障の観点から、児童・生徒が学校や家庭において、学習やアセスメントができる CBT システムである。国や地方自治体等の公的機関等が作成した問題約 4 万問を活用可能であり、高等学校物理基礎については、高等学校卒業程度認定試験の過去問題が収められている。令和 6 年 11 月現在で公立小学校の 90%以上、公立中学校のほぼすべてがアカウントを登録済みである。



「文部科学省 CBT システム (MEXCBT：メクビット) について」より抜粋

各学校ではテスト作成サイトを用いて問題をアップロードすることも可能であり、問題共有バンクで全国の学校で共有することも可能である。問題を生徒に解かせる場合には学習 e ポータル標準準拠ソフトウェアを活用する必要がある。教員が予め問題共有バンクの中から、生徒に解かせる問題を設定する必要がある。また、MEXCBT は、設置者、学校、利用者とも無償で活用することが可能で、問題共有バンクを活用できることがメリットであるが、アカウント発行や問題作成で学校の設置者の手続きが必要であり、このことが高等学校において、活用のハードルとなっている。

4. これまでの研究の流れ

国立教育政策研究所では令和 5 年度より 3 年間に渡り、「E-Assessment に関するもの」B 枠に係る実践研究に関する問題作成委員会を開催し、MEXCBT による高等学校物理の問題作成に取り組んできた。

まず、1 年目は 10 年に 1 回程度実施される学習指導要領実施状況調査を想定し、MEXCBT による学力調査が高等学校物理基礎において可能なのか検証を行った。これまで、紙の調査では問えなかった実験動画を活用した問題作成も行い、青森県と鳥取県の公立高等学校で実証を行った。この研究で、学力調査を行うことは可能であるとの結論を得た。ここで、生徒へのアンケートで見えてきた課題が、CBT に対して理解は得られているものの、日頃の授業と回答の仕方に大きな違いがあることに戸惑いがあったという意見が見られた。

そこで 2 年目以降では、MEXCBT を活用した授業改善に取り組むこととした。MEXCBT の最大のメリットである問題共有バンクを活用し、「科学的に探究する学習」を行う授業モデルを提案するものである。2 年目は CBT ならではのアニメーションなどの活用で授業改善が見込める波動分野について重点的に取り組んだ。さらに、3 年目は分野を広げ、CBT の流れに従って生徒が活動を進めることで「科学的に探究する学習」を行うことができる教材づくりを目指した。新たに「科学的に探究する学習」を授業に取り入れようとするときのたたき台として活用してもらうことをねらいとした。

参考文献

[1] https://www.mext.go.jp/content/20250131-mxt_syoto01-000013393_1.pdf (20260710 確認)

MEXCBT を活用した科学的に探究する学習の授業モデルの開発Ⅱ

授業実践

^A西村 聖太, ^B小林 一人, ^C工藤 寛之, ^D志田 敬, ^E杉野 正彦, ^F二本松 佳樹

^A東京学芸大学附属高等学校, ^B国立教育政策研究所, ^C青森県立弘前高等学校,

^D岩手県立一関第一高等学校, ^E愛知県立安城南高等学校, ^F元和歌山県立田辺高等学校

m121805g@st.u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

本講演は、2 件の連続講演「MEXCBT を活用した科学的に探究する学習の授業モデルの開発」の2 件目である。発表者の所属する研究グループでは、文部科学省の CBT (Computer Based Testing) プラットフォーム MEXCBT[1]を活用し、高校生がグループで実験映像の観察や議論を行う探究的な物理の授業モデルの開発と実践に取り組んでいる。本研究グループで作成した物理基礎「音の波形」を A 高校 2 年生、「熱と温度」を B 高校 1 年生にそれぞれ実践した (A, B は仮称)。本発表では、授業の概要と、生徒への自由記述アンケートの結果、及び、授業を担当した教員 (探究的な授業を実践した経験は少ない) の振り返りを報告し、MEXCBT の活用が科学的に探究する学習を実現する授業の成立に有効であるかについて検討する。本研究は JSPS 科研費 JP26K06438 の助成を受けている。

2. 音の波形

教材「音の波形」の大まかな流れは図 1 の通りである。楽器から出る音を聞いたり (図 1①), 実験の様子を映像で観察したり (図 1④⑥), 外部の web サイトへ遷移し[2], 実験動画から得られたスペクトルから倍音を重ね合わせて音を再現する活動を行うなど (図 1⑦), CBT で提示された課題を生徒がグループで議論しながらチュートリアル的に進める形で実施した (図 2 は図 1⑥の一部抜粋)。授業後に実施した自由記述アンケートでは、「今回コンピューターを使って実際に音をきいたり、アプリを使って楽器の音を再現したりして、目や耳を使ってとてもわかりやすかったです」「自分のペースで進められるのがとても良いです」といった回答があり、CBT のメリットが活かされた授業であったと言える。

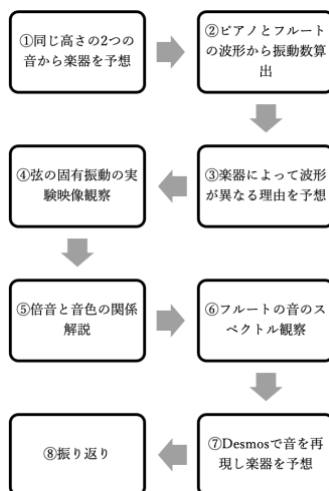


図 1

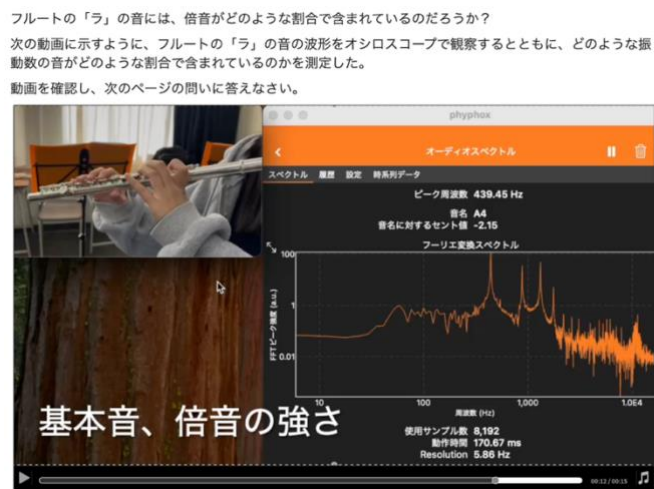


図 2

3. 熱と温度

教材「熱と温度」の大まかな流れは図3の通りである。「音の波形」と同様に、センサーを活用した実験の様子や温度-時間グラフを観察したり(図3②)、金属に付着したお湯や室温の影響など実験操作に関わる深い内容まで、生徒がCBTのメリットを活かし、ステップバイステップで学びを深めていく様子が伺えた(図4は図3⑤の一部抜粋)。授業後に実施した生徒への自由記述アンケートでは、「仮説をしっかりと理由を考えて立てることが理解に繋がると感じた」「スライドの指示に話し合いがしやすく、さまざまな意見が出るような工夫がなされていてよかった」といった回答があり、生徒が探究の過程に沿って学習を進めていることや、CBT形式が生徒同士の議論を促進していることの示唆が得られた。

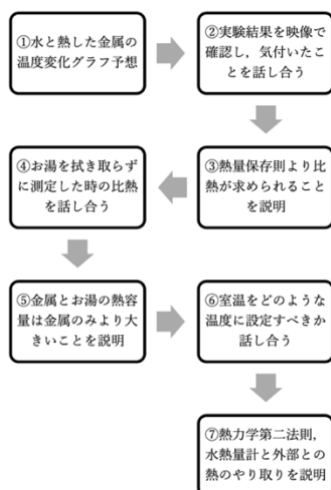
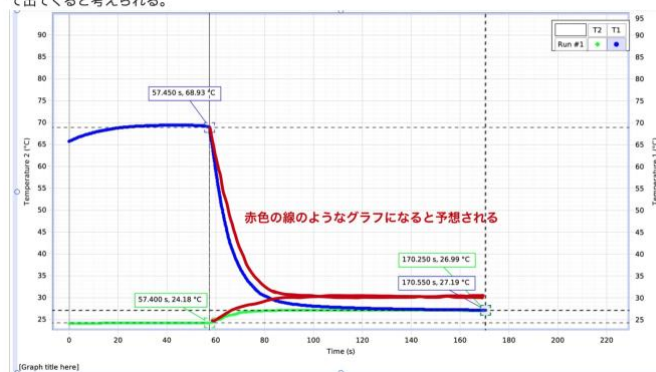


図3

金属にお湯が付着すると、金属とお湯の熱容量は金属のみの熱容量よりも大きくなるので、温度が下がりにくくなる。したがって、温度変化のグラフにおいて熱平衡のときの温度が、お湯を拭き取った場合に比べて高くなる。その結果、熱量の保存の式より高温物体の温度変化の値が小さくなり、低温物体の温度変化の値は大きくなる。このことより、金属の比熱の値を計算するとお湯を拭き取った場合より比熱が大きい値として出てくると考えられる。



以上のフィードバックをグループで共有し、内容を確認しよう。

図4

4. おわりに

生徒へのアンケートより、CBTのメリットを活かした教材で授業実践したことで、探究の過程に沿った学びが促されたり、生徒同士の議論がより活発になったりする可能性が示唆された。今回授業実践を行ったA・B高校の2名の授業者は、いずれも相互作用型授業や探究的な授業、生徒実験を伴う授業の実践経験が少なく、A高校の授業者は「単元で身に付けた知識を能動的に活用し、探究的な学びを展開できるような教材の開発に努めた。開発の過程を通して、単元終末における学習者の具体像(目指す姿)を明確化でき、毎時の授業における教師側の指導意図をより強く持つことができたようになった。」、B高校の授業者は「チームで教材を作成していく過程で、探究する過程を自分自身が深掘りできた。また、普段の授業ではなかなか実現できない、実験や話し合いを通した探究活動をCBTを用いて実践することができ、今後も活用してみたいと思った。」と教材開発および授業実践を振り返っていた。これより、MEXCBTを活用することで、授業者の経験に依らず「構造化された探究」[3]が実現可能である可能性が示唆されたと言えるだろう。今後は、効果検証の方法を検討と、並行して、他の単元でも同様のMEXCBTを活用した授業モデル案を作成、実践する。効果検証と修正を行いつつ、文部科学省MEXCBTでの全国公開を行う。

参考文献

- [1] https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/mext_00001.html (20260622 確認)。
- [2] <https://www.desmos.com/?lang=ja> (20260622 確認)。
- [3] 松原憲治: 日本科学教育学会研究会研究報告 37-5(2023)pp. 65-70。

探究活動におけるモデル構築と表現協調 —コンデンサー実験の再構成を例として—

右近修治

東京学芸大学

gukons@u-gakugei.ac.jp

1. 探究活動をモデル構築過程として捉える

近年、物理教育において探究活動の重要性が強調されている。しかし、探究活動は単に生徒に自由に調べさせる活動でも、実験操作を増やす活動でもない。デューイの探究論[1]に即していえば、探究とは、何が問題で、何を根拠に判断すればよいか定まらない状況を、観察、仮説、推論、検証を通して整理していく過程である。物理においては、この不確定さは、しばしば、観察された現象をどのようなモデルで捉えればよいか定まらないこととして現れる。

物理の探究活動では、測定値を集め、表やグラフにまとめるだけでは十分ではない。観察された現象をどのようなモデルで捉えるか、そのモデルがどこまで有効か、どこで修正を必要とするかを検討することが重要である。この観点から注目されるのが、モデリング・インストラクション（Modeling Instruction : MI）である[2]。MIでは、物理を公式の適用としてではなく、現象を説明し、予測し、制御するためのモデルを構築・検証・修正する活動として捉える。

また、モデルは数式だけで構成されるものではない。実験装置、図、表、グラフ、数式、言語表現などを相互に対応づけて初めて、物理的意味をもつ。本発表では、このような複数の表現を結びつけて用いる活動を表現協調と呼ぶ[3]。以下では、具体的なコンデンサー実験を題材に、探究活動をモデル構築と表現協調の過程として再構成する考え方を検討する。

2. 題材としてのコンデンサー実験

題材とするのは、2025年物理チャレンジ第2チャレンジで出題された平行平板コンデンサー実験である[4]。この実験では、2枚の金属板の間に厚さの異なるテフロンシートを挿入し、電気容量を測定して比誘電率を求める（図1）。

この課題の特徴は、テフロンシートの厚さをそのまま極板間隔とみなす教科書モデルだけでは、測定結果を十分に説明できない点にある。極板とテフロンシートの間に空気層を仮定し、実験系を層状構造として捉え直すこ

とで、 $1/C-d$ グラフの傾きと切片を物理量と対応づけて解釈できる。本実験は、測定、図式化、数式化、グラフ解釈を結びつける探究教材として有効である。

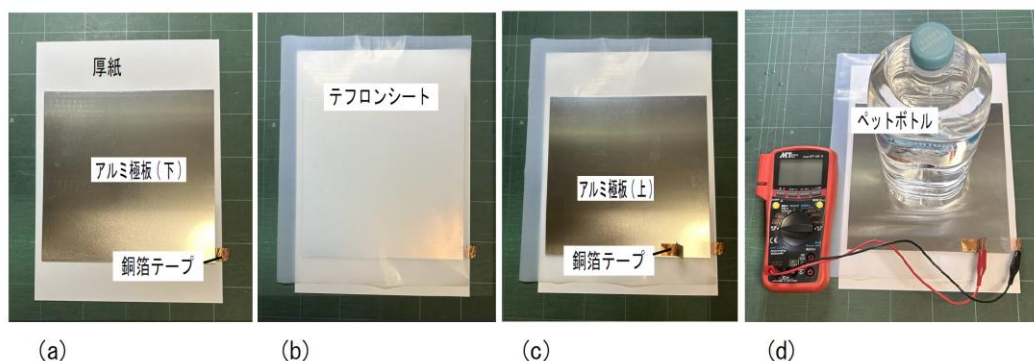


図1 (a) 厚紙の上にアルミ極板を置き、(b) その上にテフロンシート、(c) アルミ極板、(d) 2 L 水入りペットボトルを載せて荷重、DMMによる両極板間の電気容量測定

3. コンデンサー実験の探究活動への再構成

表 1 に、コンデンサー実験を探究活動として再構成する流れを示す。この構成では、はじめに平行平板コンデンサーの教科書モデルを実験状況に適用する。しかし、押さえ方や加圧条件によって測定値が変化することから、教科書モデルだけでは実験結果を十分に説明できないことに気づかせる。

次に、この不一致を手がかりとして、極板とテフロンシートとの間に空気層が存在するという仮説を導入する。実験系を「極板—空気層—テフロン—空気層—極板」という層状構造として図式化し、それを直列コンデンサーの数式表現へ変換する。さらに、測定結果を $1/C-d$ グラフとして表し、グラフの傾きと切片をモデル中の物理量と対応づける。

表 1 コンデンサー探究活動の流れ

Step	活動	モデル構築・表現協調の焦点
1	教科書モデルに基づいて電気容量を測定する	$C = \epsilon_r \epsilon_0 S/d$ を実験状況に適用する
2	押さえ方・加圧条件による測定値の変化を観察する	教科書モデルとの不一致に気づく
3	極板とテフロンとの間の空気層を仮定する	実験系を層状構造として図式化する
4	層状構造を直列コンデンサーモデルで表す	図式表現を数式表現へ変換する
5	$1/C-d$ グラフから傾き・切片を読み取る	グラフ・数式・実験装置に対応づける
6	測定方法とモデルの限界を検討する	モデルの有効範囲と修正の必要性を考える

このように再構成すると、コンデンサー実験は、図・数式・グラフを往還しながら物理的意味を読み取る活動となる[5]。

4. 考察——モデル構築と表現協調

表 1 のように実験過程を捉え直すと、コンデンサー実験は単なる測定実験ではなく、モデルの適用、限界の認識、修正、再構築の過程として位置づけられる。最初に用いる平行平板コンデンサーの教科書モデルは、実験状況を理解する出発点となる。しかし、加圧条件による測定値の変化は、そのモデルの限界を示す。この不一致から空気層モデルが導入され、測定方法の検討を通して、モデルを検証する。

この過程は MI の考え方とよく対応している。生徒は、現象を観察し、モデルを構築し、実験結果と比較し、必要に応じてモデルを修正する。また、この過程は表現協調の活動でもある。実物装置を観察し、見えない空気層を図として表し、直列コンデンサーの数式に変換し、測定値を表に整理し、 $1/C-d$ グラフを作成し、その傾きと切片を物理量として説明する。このように、異なる表現を相互に対応づけることによって、実験結果の整理は概念理解へと接続される。

探究活動の設計において重要なのは、生徒が自由に試行すること自体ではなく、観察事実とモデルの不一致に気づき、モデルの限界を検討し、表現を変換しながら物理的意味を構成することである。コンデンサー実験は、このようなモデル構築と表現協調を具体化する教材として有効である。

引用文献

- [1] Roberto Gronda, *Dewey's Philosophy of Science*, Springer, 2020.
- [2] 笠 潤平：「第 7 章 物理教育研究に基づく、講義が中心ではない授業」，今井章人・新田英雄・安田淳一郎編『物理教育の理論と実践』，オーム社，263-287（2025）．
- [3] 右近修治：「第 2 章 授業方法(1)―物理を伝える表現―」，今井章人・新田英雄・安田淳一郎編『物理教育の理論と実践』，オーム社，44-101（2025）．
- [4] 物理オリンピック日本委員会：「物理チャレンジ 2025 第 2 チャレンジ 実験問題」，
<https://www.jpho.jp/challenge/media-download/960/058f0737a1e2be15/PDF/>（参照 2026 年 6 月 3 日）．
- [5] 右近修治：「コンデンサーの基礎実験—MI と表現協調の観点から探究課題への接続可能性を探る—」，『物理教育通信』No. 205，物理教育研究会（APEJ）（2026，投稿中）．

中学エネルギー分野のWLC型授業におけるダイアグラムの活用と効果

小川慎二郎
早稲田大学高等学院
s-ogawa@waseda.jp

1. はじめに

エネルギーは、抽象的で目に見えないうえ、日常語と科学用語の間に矛盾が多く、指導が難しい概念とされる[1]。特に「エネルギーは食べ物や燃料のように使い切られる」という誤概念は根強く、力・仕事・仕事率との混同も生じやすい。英国ヨーク大学科学教育グループ(UYSEG)とSalters' Instituteが開発したBest Evidence Science Teaching (BEST)は、こうした誤概念研究にもとづき、エネルギーを「見えない実体(quasi-material substance)」として捉え、「蓄積(store)」と「移動手段(pathway)」という2つの概念で系統的に記述する枠組みを提案している[2]。エネルギーの形態を列挙する従来の変換モデルに比べ、この枠組みは保存則の理解に資すると評価されている[3]。

筆者は、この枠組みを土台に中学3年物理分野の授業を設計し、四角(蓄積)と矢印(移動手段)から成るダイアグラムを、定性から仕事・力学的エネルギー保存則などの定量計算へ橋渡しする共通の道具として用いた。本発表では、この授業設計と、標準問題・自由記述・概念調査(CLASS・LCTSR・EBAPS)の3種のデータによる多角的な効果検証の結果を報告する。

2. 方法

2.1 授業デザイン

対象は中学3年生(複数クラス, 118名程度)。BESTの診断的問題(誤概念に対応した選択肢)を日本語化して導入に用い、実験サーキットや討論を含む応答活動を経て、エネルギーの蓄積と移動手段を表現するためのエネルギー伝達ダイアグラム(図1)を生徒自身が作図する構成とした。

平面運動・落下運動・振り子等を題材に、ダイアグラムの形式を保ったまま位置・運動エネルギー・仕事・仕事率の定量計算へ拡張した。年間を通じた週末課題(WLC)ではスポーツ等における動きを分析させた。なお、用語は高校以降への接続を優先し、「運動エネルギー」「位置エネルギー」を用いた。年度の終わりには、家庭内の現象(電熱線による加熱、石焼桶鍋、入浴時の熱平衡等)についてエネルギー分析をする課題に取り組ませた。

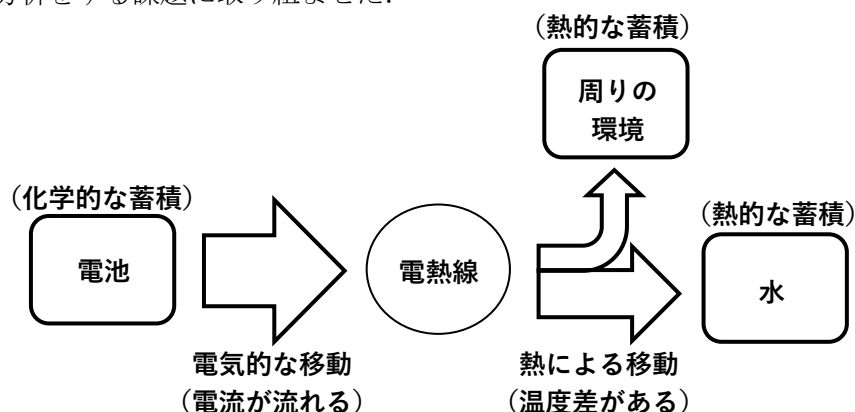


図1 エネルギー伝達ダイアグラムの例(電熱線) 四角=蓄積, 丸=変換, 矢印=移動手段

2.2 評価方法

①標準問題: 物理概念問題を4月(Q1~30)・2月(Q21~30)に実施し、両時点回答者108名についてQ21~30の正答数の伸び・対応のあるt検定・効果量dz・正規化ゲイン(g)[4]を算出した。

②自由記述: 授業後の感想(121名, 分類可能109名)を「難易度」「楽しさ」「進め方」「実用性」の4観点で肯定・否定に分類した。

③概念調査：科学に対する信念 CLASS[5]・科学的推論力 LCTSR[6]・科学に関する認識論的信念 EBAPS[7]を4月・2月に実施し、両時点回答者（CLASSは79名、他は出席番号で紐付け）を対応のあるt検定で比較した。

3. 結果

3.1 標準問題

事前平均3.86点（38.6%）から事後平均5.08点（50.8%）へ、平均+1.22点の有意な上昇が見られた（ $p \approx 5.2 \times 10^{-8}$ ）。効果量は $d_z = 0.56$ （中程度）、正規化ゲイン $\langle g \rangle = 0.199$ （Hake[4]の基準でLow帯）であった。上昇74名・不変13名・低下21名。仕事の原理・力学的エネルギー保存を扱った問25～27で伸びが大きく（最大+34.3pt）、例示にとどめた問21はわずかに低下した。事前得点（Q1～20）と正規化ゲインの相関は $r \approx 0.01$ であり、習熟度によらず学習効果がほぼ均等に生じたことを示唆する。

3.2 自由記述

肯定的な記述内容153件に対して、否定的な記述は50件であり、約3:1の割合であった。「授業の進め方」（肯定70・否定12）、「物理を学ぶ楽しさ」（肯定49・否定1）、「物理の実用性」（肯定31・否定0）といった観点での記述はいずれも肯定が優勢であった。「難易度」のみ否定（難しい）37・肯定（簡単）3と否定（難しかったと答えた件数）が優勢であったが、「難しい」と記述した37名のうち29名は楽しさ・進め方等の肯定面も併記しており、難易度のみを否定的に記述したのは8名にとどまった。

3.3 概念調査

CLASS（79名）は総合得点が事前→事後で-3.2点（ $p = 0.08$ ，有意傾向）とやや低下した。LCTSRは-0.8点の有意な低下（ $p < 0.01$ ）で、特に「変数の制御」設問が-21.1%（ $p < 0.001$ ）と最も大きく低下した。EBAPSは全体では変化がなかったが、下位尺度では「学習の本質」+5.1点（有意上昇）と「実生活への応用」-5.5点（有意低下）の分裂的な結果となった。標準問題の正規化ゲインとの相関は全般に弱く、有意なのはEBAPSの「知識の構造」変化（ $r = +0.20$ ）と「学習能力の源泉」変化（ $r = -0.20$ ）のみであった。

4. 考察

標準問題の有意な上昇と、自由記述の「進め方」「楽しさ」「実用性」への高い肯定率は、本実践が概念理解と学習動機の両面で一定の効果を持ったことを示す。事前得点によらず学習効果が生じた点、身近な現象を教材化したことで「実用性」評価が否定ゼロだった点は、物理教育で伸びにくいとされる実生活との関連性認識[5]への肯定的材料といえる。

一方、CLASSとLCTSRの有意な低下は、探究重視の授業でも生じうると報告されており[5]、本実践固有の失敗とは言えないが看過もできない。EBAPSの分裂（「学習の本質」上昇×「実生活への応用」低下）は自由記述の「実用性」評価と一見矛盾するが、両者は測定の本質が異なり補完的な情報と考えられる。「物理は日常とどう結びつくか」という問いは授業内で十分に解決されていない可能性があるだろう。「難しい」とのみ記述した8名への足場かけ、CLASS・LCTSRの低下要因の分析が今後の課題である。

参考文献

- [1] Driver, R. et al. (1994): Making Sense of Secondary Science, Routledge.
- [2] UYSEG & Salters' Institute: Best Evidence Science Teaching (teacher notes).
- [3] Millar, R. (2014): School Science Review, 96(354), 73-83.
- [4] Hake, R. R. (1998): Am. J. Phys., 66(1), 64-74.
- [5] Adams, W. K. et al. (2006): Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res., 2, 010101.
- [6] Lawson, A. E. (1978): J. Res. Sci. Teach., 15(1), 11-24.
- [7] Elby, A. et al.: EBAPS, PhysPort assessment database.

熱量の保存と熱損失を学ぶ粉ミルク調乳実験の実践

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

高等学校物理におけるジェンダーギャップは長年指摘されている我が国の重要な教育課題であり、教科書・教材・活動（観察，実験）などにおけるジェンダー・ステレオタイプの精査が求められている[1]。特に，女子生徒が物理に対して苦手意識や心理的障壁を持ちやすい要因の1つとして，教科書や実験の題材が日常生活経験から乖離している点が考えられる。例えば，熱分野における「比熱容量の測定」で行われる金属塊の実験は，熱のやりとりが単純で理解しやすい一方，無機質に感じられて生活に根ざした課題解決や知的好奇心に直結しにくい側面があると思われる。本研究は，日常生活経験に根ざした熱量の保存の実験として「粉ミルクによる調乳」を題材とした教材を開発・実践し，文系生徒や女子生徒の物理への心理的障壁低減，および科学的探究力の育成に対する効果を明らかにすることを目的とした。

2. 粉ミルクによる調乳方法と理論計算

乳児に与えるミルクは人肌（約 40 °C）が適温である。しかしながら，40 °Cの水で粉ミルクを溶かすと，粉ミルク中の「サカザキ菌」や「サルモネラ菌」が殺菌されず，乳児に対して影響を与える場合がある。それに伴い，世界保健機関（WHO）および国連食糧農業機関（FAO）のガイドラインでは，70 °C以上の熱湯で調乳することが感染リスクを大幅に減少させると示されている[2]。一般的な粉ミルクによる調乳方法は，Ⅰ．消毒した哺乳びんに粉ミルクを規定量加える。Ⅱ．煮沸後冷ました 70 °C以上のお湯をできあがり量の 2/3 ほど加え，振って溶かす。Ⅲ．煮沸後のお湯または水をできあがり量まで加える。Ⅳ．哺乳びんを水に浸すなどして冷ます。の4段階の手順で行われる [3]。これらの手順を見ると，手順Ⅱ．およびⅢ．におけるお湯と水の質量を理論計算することによって，手順Ⅳ．を行わずに調乳可能だと推測できる。本実験では 70 °C以上を維持して殺菌しつつ，最終的に人肌のミルクを効率よく調乳する方法を検討した。

本実験において，粉ミルクは明治ほほえみを使用し，哺乳びんはペット用哺乳びんを用いた（図 1，2）。以下では，40°Cのミルクを 40 mL 作る場合に必要なお湯および水の質量を，熱量の保存から理論的に算出する。室温を 25 °Cとし，お湯の温度を 100 °Cとする。なお，空気との熱のやりとりは無視できるものとし，水の比熱容量を 4.2 J/(g・K)，密度を 1.0 g/mL とする。また，粉ミルク 5.4 g は水に溶ける際の脱気によって 3.9 mL になる。必要なお湯の質量を x [g]，必要な水の質量を y [g] とすると，ミルクの総水分量の関係式および熱量の保存の関係式より，以下の連立方程式が立てられる。



図1 本実験で使用した粉ミルク
(質量：5.4 g，比熱容量：1.6 J/(g・K))



図2 本実験で使用したペット用哺乳びん
(質量：12 g，比熱容量：1.8 J/(g・K))

$$\begin{cases} x + y = 40 - 3.9 \\ x \times 4.2 \times (100 - 40) = (5.4 \times 1.6 + 12 \times 1.8 + y \times 4.2) \times (40 - 25) \end{cases} \quad \text{※各物理量の単位は省略}$$

計算すると、 $x = 12 \text{ g}$ 、 $y = 24 \text{ g}$ となる。つまり、 100°C のお湯を 12 g 、 25°C の水を 24 g 加えれば、調乳手順Ⅳ.を行わずに効率よく調乳できる。また、 100°C のお湯 12 g を粉ミルクの入った哺乳びんに加えたときの温度は 72°C となり、 70°C 以上の殺菌条件も同時に満足している。

3. 高等学校物理基礎における授業実践

2026 年度に国立大学附属高等学校において粉ミルク調乳実験を実践した。本実践の対象は普通科の高校 3 年生 22 名である。対象者は 2 年次に物理基礎を履修しており、3 年次には文系生徒を対象とする理科基礎科目を履修している。本実践では 1 班あたり 4～5 名の 5 班を編成した。本実践は全 2 時間の授業であり、1 時間目は熱量の保存に関する講義と 2. で示した理論計算、粉ミルクによる調乳の実験計画の立案を行った。理論計算では、「 40°C の赤ちゃん用ミルクを 40 mL 作りたい。条件は 2 つで、①粉ミルクを 70°C 以上のお湯で加熱し、殺菌すること。②操作途中で加熱したり、冷却したりしないこと。この 2 条件を満足するように、赤ちゃん用ミルクの作成手順を示せ。」と課題を提示した。2 時間目は生徒が実験計画に基づいて実際に粉ミルクによる調乳実験を行い、各手順における温度を記録した。実験時の室温は 24°C 、お湯の温度は 98.2°C であった。2. で示した計算を実際の測定温度で行うと、お湯および水の質量はそれぞれ 14 g 、 23 g となり、お湯を粉ミルクに加えたときの温度は 73°C となる。

4. 実践結果と生徒のアンケート

1 時間目の理論計算において、必要なお湯および水の質量を導き出せていたのは全 5 班中 4 班であった。しかしながら、2 時間目の実験において、最終的な調乳に成功したのは全 5 班中 3 班に留まった。この結果は、実験操作の速さや攪拌の仕方の違いによって現実の系における熱損失の大きさが変化することを示す形となった。また、授業のワークシートからは、「今回の実験を通じて、日常の何気ない“赤ちゃんの粉ミルク作り”という行為の中に、物理（熱量保存の計算や時間経過による放熱）、化学・生物（細菌の熱死滅温度と殺菌条件）、そして家庭科（安全な育児・保育技術）の要素が密接に結びついていることを深く学んだ。」や、「実際の実験では操作にかかる時間のわずかな数秒の差で大きく温度が変動してしまう点が難しかった。1 回目での温度低下という失敗から、時間をかけずにすぐ測る・混ぜるという動的な操作の工夫が実験精度を左右することに気づき、班で手際を合わせて工夫したことで、3 回目に誤差を 0.75% まで減らすことができた。この実験から、科学的な理論値を現実再現するためには、単に計算を正確にするだけでなく、熱の移動という時間的な変化を予測して、実験の手順や手際を最適化させる観察力と実践力が身についたと感じる。」といった、理想と現実のギャップや放熱の時間的変化に着目した洞察が見られた。これらの記述より、本実験は日常の調乳という題材を教科横断的な視点で扱うことにより、文系生徒や女子生徒に対する物理への心理的障壁を下げるだけでなく、科学的な探究力を養う上で有効であると示唆された。

参考文献

[1] 稲田結美(2021)：学校理科教育におけるジェンダーの問題と課題，学術の動向，26-7，30-35.

[2] 世界保健機関（WHO）及び国際食糧農業機関（FAO）（2007）：

乳児用調製粉乳の安全な調乳，保存及び取扱いに関するガイドライン．

[3] 株式会社明治：わかりやすい粉ミルクの作り方．（2026-07-10 Web 閲覧）

https://www.meiji.co.jp/baby/club/category/study/milk_powder/st_milk_powder281.html

エネルギー概念を育成する教材・教具を活用した授業実践

^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

中学校の教育課程において、エネルギーは理科や社会科、技術・家庭科等で扱う教科等横断的な学習内容であり、中学校理科におけるエネルギー概念は各領域を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、手ごたえなどの**実感**を伴った**理解**も必要であると考えます。本稿は、エネルギー概念を育成する教材・教具を活用した授業の実践報告である。

2. 授業実践

第1次は、山口大学教育学部の重松と学生を講師とした出前授業を行い、エネルギーの変換を実感できる装置の作製および様々な装置を使って体験を重視した授業を行った。第2次は、生徒自身が課題を設定し、課題解決学習を行った。

（1）エネルギー変換を実感できる装置の作製および体験（第1次：全2時間）

① エネルギー変換実感装置の作製

出前授業1校時目は、重松がエネルギー変換や本時に使用する素子等の基本的な内容の講義を行った後、生徒の選択により、「光電池を使ったエネルギー変換実感装置」または「LEDを使ったエネルギー変換実感装置」の作製を行った。

図1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。図2は、LEDに光を当てることで電子オルゴールを鳴らす装置（LEDを使ったエネルギー変換実感装置）である。通常LED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。

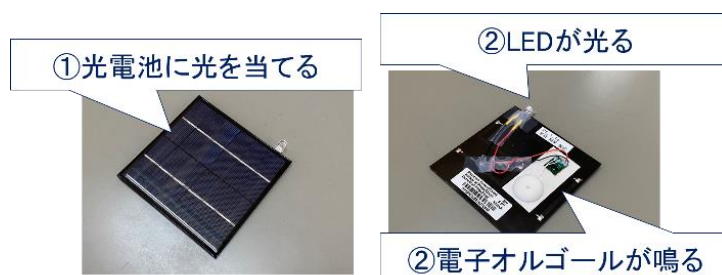


図1 光電池を使ったエネルギー変換実感装置
(光 → 電気 → 光・音)

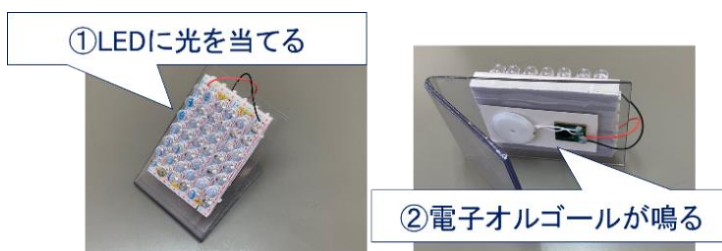


図2 LEDを使ったエネルギー変換実感装置
(光 → 電気 → 音)

② 様々な装置を使ったエネルギー変換の体験

出前授業2校時目は、その他のエネルギー変換実感装置を使って体験活動を行った。

図3は、手回し発電機で発生させた電気をコンデンサーに蓄え、蓄えた電気で模型自動車が動く装置である。その他、圧電素子やペルチェ素子を使った装置等でエネルギー変換を体験した。

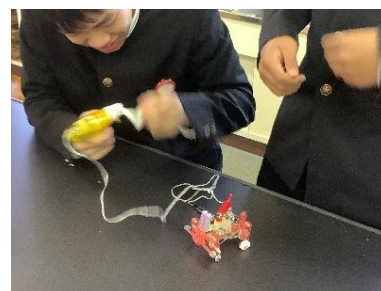


図3 エネルギー変換の体験

(2) エネルギーの変換に関する課題解決学習（第2次：全9時間）

様々な体験によって生徒の学習意欲を喚起した後、課題解決学習を行った。

① 課題と仮説の設定

光電池、ペルチェ素子、手回し発電機、風力発電機など光や熱などの様々なエネルギーを電気エネルギーに変換させる器具と、その電気の大きさを比較するためのモーターや電球、デジタル蓄電器などを準備し、自由にエネルギー変換を体験させ、探究してみたいことを模索させた。各自で課題の設定を行った後、課題別に2～5人のグループを編成した。表1は、生徒が設定した課題と仮説の例である。

表1 生徒が設定した課題と仮説の例

課題	「どのようにすれば光電池の発電量(蓄電量)を大きくすることができるか」
仮説	「光の強さを強くすれば発電量(蓄電量)は大きくなるであろう」
課題	「光電池の発電量(蓄電量)は何に関係しているのか」
仮説	「光を当てる角度に関係しているであろう」 「光の色に関係しているであろう」
課題	「どのようにすれば風力発電機でより発電できるか」
仮説	「強い風を当てるとより多く発電するであろう」

② 方法の検討と実験および考察

仮説の検証に向け、各グループで方法を検討、実験を実施、考察を行った(図4、図5)。その過程では、適宜、学習者向け生成AIを活用し、実験方法や結果の妥当性、追加の実験の必要性についての検討を行った。学習のまとめでは、調査結果をまとめ発表した。



図4 実験の様子(1)

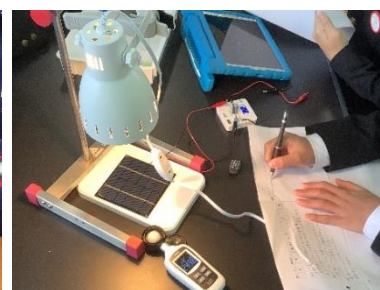


図5 実験の様子(2)

謝辞

本研究は、令和6年度、令和7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.
- [2]松永武・重松宏武・池田幸夫(2025)：エネルギー概念を育成する教材・教具の作製および活用，第41回物理教育研究大会発表予稿集，63-64.

粒子の動きを通して溶液の均一性を理解する教材の開発と実践

^A夏目 ゆうの, 川田 智生, ^B武藤 佑波

^A宇都宮大学共同教育学部, ^B鹿沼市立北中学校

natsumey@a.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

学習指導要領の中学校理科第一分野では、「物質の水への溶解を、粒子モデルを用いて微視的に捉えさせ、粒子のモデルで均一になる様子について説明させる」ことが求められている。しかし、児童・生徒の多くが「溶液中の溶質粒子は下部に多く存在している(下部モデル)」という素朴概念を持つことが明らかになっている[1]。

これまでに下部モデルを払拭し、溶液の均一性を理解するうえで効果的な教材提案や授業実践がおこなわれてきた。菊池らはコロイド溶液を導入した授業を提案し、実践した[2]。また北村らは、溶質粒子と溶媒粒子を模した色の異なる2種類のBB弾をサンプル瓶にいれ、それを攪拌する活動を提案した[3]。ともに溶液の均一性の理解に一定の効果が認められた一方、「粒子の大きさと水分子の熱運動との関連性は希薄である」や「温度を上げると溶ける量が増えることが説明できない」などが指摘されている。

そこで本研究では、生徒の「粒子は沈む」という素朴概念を出発点とし、粒径の異なる粒子の動きを連続的に観察することで、粒径に応じて、粒子の動きが重力による沈降が優勢な状態から水分子の衝突によるランダムな動きが優勢な状態へと変化すること

(図1)をとおして、真溶液中の溶質粒子が均一に分散する描像の形成を促す教材を開発・実践した。

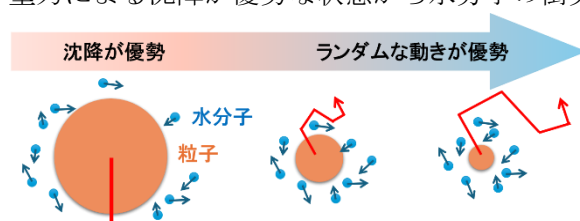


図1 粒径に応じた粒子の動きの変化（模式図）

2. 教材について

(1) ろ過実験

溶質粒子の大きさの違いを比較する活動として、ろ過実験を行った。孔径 $0.20\ \mu\text{m}$ と $0.80\ \mu\text{m}$ のプラスチック製のメンブレンフィルター(DISMIC 25CS, ADVANTEC)を用い、各試料のろ過の可否を比較することで、粒子の大きさを比較させた。

試料には、真溶液としてお酢ドリンク（黒酢で活力、伊藤園）、コロイド溶液として乳酸菌飲料（ピルクル 400, 日清食品）、標準試料として直径 $0.50\ \mu\text{m}$ ビーズの分散液(Polybead Carboxylate Microspheres, polysciences. Inc, 以下、異なる粒径のビーズについても同製品を使用した)の3種類を用いた。お酢ドリンクは両方のフィルターを通過し、 $0.50\ \mu\text{m}$ ビーズ分散液は $0.80\ \mu\text{m}$ のみを通過、乳酸菌飲料はいずれも通過しなかった。これらの結果から、粒子の大きさは、お酢ドリンク、ビーズ分散液、乳酸菌飲料の順に大きいことが判断できるようにした。

(2) 動画視聴

溶液中の粒子の動きを捉える活動として、顕微鏡で撮影した粒子の動きの動画を視聴した。まず、直径 $0.50\ \mu\text{m}$ と $1.0\ \mu\text{m}$ のビーズ分散液を比較し、いずれもランダムに動くことと、粒径の小さい $0.50\ \mu\text{m}$ の方がより激しく動くことを確認した。次に、直径 $6.0\ \mu\text{m}$ のビーズ分散液を観察し、粒子が徐々に沈降する様子を確認した。最後に、 $80\ ^\circ\text{C}$ および $4\ ^\circ\text{C}$ における粒子の動きを比較し、水分子の熱運動と溶質粒子の動きとの関係を考察した。

3. 実践とその結果

下記2校の中学校の第1学年、計5クラスで授業実践を行った。授業実践時において、いずれの学校も「物質の三態」は既習であり、「ものの溶け方」は未習であった。

- ・A校（学力選抜のある公立中学校）：2025年9月24日実施、93名（3クラス）
- ・B校（公立中学校）：2025年10月9日実施、35名（2クラス）

実践後に、授業および実験の難易度について5段階（1 易～5 難）で調査したところ、いずれの学校も2.1～3.0と3.0以下の値を示し、難易度はおおむね適切であったと言える。

授業実施の前後に計5問の概念調査を実施した。問1では(1)真溶液 (2)コロイド溶液 (3)懸濁液における溶質粒子の分布、問2ではろ紙を用いた真溶液のろ過、問3では溶質の粒子の大きさを問うた。

事前・事後の両方に回答した生徒を対象に分析した結果、平均点はA校で2.5点から3.0点、B校で2.0点から2.8点へ向上した。また、Wilcoxon

の符号付順位検定（両側検定、有意水準5%）の結果、両校とも有意な向上が認められた。表1に設問別正答率を示す。問1(1)（真溶液）の正答率は、A校で48%から78%、B校で27%から50%へと向上した。また、問1(2)（コロイド）の正答率も、A校で58%から68%、B校で58%から92%へと向上した。

表 1 設問別正答率（%）（A校 N=50, B校 N=26）

設問	A校事前	A校事後	B校事前	B校事後
問1(1): 真溶液	48	78	27	50
問1(2): コロイド	58	68	58	92
問1(3): 懸濁液	90	84	77	85
問2: ろ過	24	34	4	15
問3: 粒径	30	32	35	35

問1(1)の回答理由の自由記述を見ると、ある生徒は事前調査で「水よりも砂糖の粒は重いため、水に溶けて見えなくなっても粒は沈んでいると考えたから」という理由で下部モデルの選択肢を選んでいた。一方、事後調査では「砂糖は溶けると細かい物質になり、中の水とぶつかりあって動き回るから」と記述し、均一モデルを選択していた。このように、下部モデルから、溶質粒子と水分子との衝突に着目し微視的に捉えた均一モデルへの変容がうかがえた。

4. おわりに

本研究では、生徒の「粒子は沈む」という素朴概念を出発点とし、粒径の異なる粒子の動きを連続的に観察することで、粒子の動きが沈降からランダムな動きへと変化することに着目させ、真溶液中の溶質粒子が均一に分散する描像の形成を促す教材を開発・実践した。

その結果、概念調査の平均点および設問別正答率の向上が認められた。また自由記述からは、下部モデルから、溶質粒子と水分子との衝突に着目し微視的に捉えた均一モデルへの変容がうかがえた。以上より、本教材は溶液の均一性に関する描像形成を支援する教材として有効であることが示唆された。

参考文献

- [1] 宗近秀夫（2000）：小・中学生の溶解概念に関する実態調査，理科教育学研究，40(3)，13-22.
- [2] 菊地洋一，斉藤友哉，久坂哲也，佐々木聡也，菊池永（2021）：コロイドを効果的に用いる中学校の溶液の学習，理科教育学研究，62(1)，247-259.
- [3] 北村一浩，小池守，武藤拳気，原知秀，山際清史，小畑直輝（2025）：水溶液の均一性の理解に役立つ教材の開発に関する研究，理科教育学研究，65(3)，631-645.

通信制高校における理科・物理教育の課題把握に向けた基礎的調査

櫻井 一充

環太平洋大学 経済経営学部

kazumitsu.sakurai@ipu-japan.ac.jp

1. 研究背景と研究目的

通信制高校の教科指導は、添削指導、面接指導および試験により行われる。制度創設当初の生徒像は自学自習する勤労青年であったが、近年は多様な入学動機・学習歴をもつ生徒が増えている [1, 2]。文部科学省は、通信制課程にも全日制・定時制課程と同等の学習が求められることを踏まえ、学習時間・内容の適切な設計、記述式を含む添削課題と誤答内容等に応じた解説・助言、少人数面接指導、添削指導・面接指導・試験の関連付け、観察・実験・実習に必要な施設・設備の確保等を示している [3]。

国内研究では、生徒の学力・学習進度の個人差、自学自習や学習継続への支援、面接指導の設計に際して参照できる情報源の限定、面接指導とその前後の自学自習との接続、学習ブランクを有する生徒への支援等が論点となっている [4-7]。また、数学や保健体育では、教科特性に応じた教材・指導方法や教育環境上の課題が検討されている [7, 8]。物理についても、一校の実践報告において、個々の生徒への指導の困難と、一部科目における低い単位取得率が報告されている [9]。しかし、本稿で確認した国内研究の範囲では、学校類型や教科を横断し、複数の教科教育上の困難について、現職教員が認識する深刻度を同一の枠組みで把握した研究は確認できなかった。

一連の研究は、通信制高校における「物理基礎」および「物理」の教材とその運用が備えるべき要件を明らかにすることを目指す。その第一段階として、現職教員への質問紙調査とインタビュー調査により、既知の困難に対する深刻度認識を把握するとともに、既存研究では捉えられていない困難を探索する。本報告では、その基礎となる質問紙第1版の設計過程と構成を示す。

2. 質問項目の作成方針と質問紙の構成

国内の法令・行政資料と、通信制高校の学習支援、面接指導、教科指導に関する実証研究を収集し、教科目標の達成または学習の継続を妨げ得る状況についての記述を抽出した。その際、教科教育上の困難を生徒の経歴や特性そのものに帰属させるのではなく、生徒の学習状況、添削指導・面接指導等の指導過程、各教科の特性、教員配置や施設・設備等の条件との関係によって、教科学習の継続や質の確保が難しくなる状況として捉えた。回答負担を考慮し、6領域各5項目、計30項目とした。

表1. 質問紙第1版の構成

領域	項目番号	内容
A 生徒の学習状況・自学自習	1-5	基礎学力差, 学習ブランク, 教材の自力理解, 学習習慣, 学習の継続
B 添削指導・レポート課題	6-10	課題の質, 思考・表現, 個別フィードバック, 提出管理, 後続指導への活用
C 面接指導・スクーリング	11-15	時間的制約, 進度差, 学習の連続性, 自宅学習との接続, 安心と学習水準の両立

D 教科特性・学習活動	16-20	観察・実験・実習・実技, 設備・教材, 安全, 対話・協働, 教科の見方・考え方
E 評価・試験・単位認定	21-25	添削・面接・試験の総合評価, 観点別評価, 試験との連動, 学習過程, 単位修得要件と教科内容理解の両立
F 教員体制・学校組織・ICT	26-30	業務負担, 情報共有, 生徒支援との連携, ICT活用, 継続的改善

また, 未知の困難を探索するため, 通信制高校の教科教育上, 重要だと考えるその他の困難, 最も深刻だと考える困難 3 件までとその理由, 困難が現れた具体的な場面や生じやすい条件について, 自由記述を設けた。

3. 回答形式および自由記述について

質問紙では, 「深刻度」を教科学習の成立・継続または質の確保への影響の大きさと定義した。各項目について, 回答者の勤務校および担当教科における深刻度を 5 件法で尋ね, 「該当しない／判断できない」を別に設けた。本質問紙は項目別の深刻度把握を目的とし, 困難が現れる具体的な場面・条件や対処については, 自由記述と後続インタビューで補足する。

4. 今後の調査計画

質問紙第 1 版について, 通信制高校教員および教科教育研究者による内容妥当性の検討を行う。さらに, 少人数の通信制高校教員を対象とする認知的インタビューによって, 各項目の解釈, 重複, 回答のしにくさ, 学校類型による意味の相違および回答時間を確認し, 項目を修正した上で, 現職の通信制高校教員を対象とする Web 質問紙調査を実施する。

参考文献

- [1] 高等学校通信教育規程（昭和 37 年文部省令第 32 号）。
- [2] 文部科学省(2022)：「令和の日本型学校教育」の実現に向けた通信制高等学校の在り方に関する調査研究協力者会議（審議まとめ）。
- [3] 文部科学省(2023)：高等学校通信教育の質の確保・向上のためのガイドライン（令和 5 年 2 月）。
- [4] 加藤圭太・澁川幸加・森田裕介(2024)：公立通信制高校における面接指導の設計・実践の実態と課題に関する予備調査, 日本教育工学会研究報告集, 2024(3), 264-271.
- [5] 土岐玲奈(2016)：公立通信制高校のエスノグラフィー—生徒の学習と教員による支援の困難性に焦点を当てた事例研究—, 日本通信教育学会研究論集, 2016, 17-32.
- [6] 土岐玲奈・保阪亨(2012)：学習にブランクのある生徒に対する学習支援の現状と課題—通信制高校における調査から—, 千葉大学教育学部研究紀要 60, 191-195.
- [7] 加藤圭太・森田裕介(2025)：通信制高校の数学教師が必要性を認識する専門的知識の一検討—フォーカス・グループによるデータ収集と TPACK フレームワークを用いた質的データ分析を通して—, 科学教育研究, 49(4), 345-362.
- [8] 松本悠・神谷拓(2024)：通信制高校における保健体育科の授業と教育環境の実態調査, 日本体育・スポーツ・健康学会予稿集, 74, 543.
- [9] 遠藤浩・坂井章(2000)：新潟高校通信制の物理, 物理教育, 48(4), 326-330.

振り子における強制振動とパラメータ励振の観察と

シミュレーションによる体験

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

振り子が強制振動を生じるとき、振り子への周期的な外力での加振に対して、振り子は外力と同じ周期で振動する。一方、パラメータ励振は系のパラメータが周期的に変化する際に生じる励振機構である。パラメータ励振の例としては「ぶらんこ」が挙げられる[1]。ぶらんこをこぐときは、ぶらんこの周期の半分の周期で重心を上下させることで揺れを次第に大きくすることができる。この場合、ぶらんこの支点から重心までの距離が周期的に変化することになる。

また、強制振動とパラメータ励振の双方の現象を観察することのできる系として「メルデの実験」がよく知られている[1, 2]。メルデの実験では音叉に紐を接続し、音叉を振動させることで紐に定常波が生じる。このとき、音叉の U 字に開いた方向と紐の張られた方向が平行なときに強制振動が観察でき、これらが垂直なときにパラメータ励振が観察できる。

本講演では、振り子の運動における強制振動とパラメータ励振を観察するための簡易な実験の紹介とともに、パラメータ励振の体験を想定したシミュレーションの作成について報告する。

2. 振り子の振動

質量 m のおもり、長さ l_0 の糸からなる振り子を考える (図 1)。このとき、おもりの運動は $\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega_0 t)$ で表される単振動となる。ここで、 ω_0 は系の固有振動数であり $\omega_0 = 2\pi\sqrt{g/l_0}$ と表される。ここで g は重力加速度である。

ここで、周期的な外力 (角振動数を Ω とする) を加えることを考える。

図 1 の (a) ように振り子の揺れる方向から加振する場合を考える。この場合、系の固有振動と同じ振動数を持つ周期的な力を加えることで、振り子の振れを大きくすることができる ($\Omega = \omega_0$)。

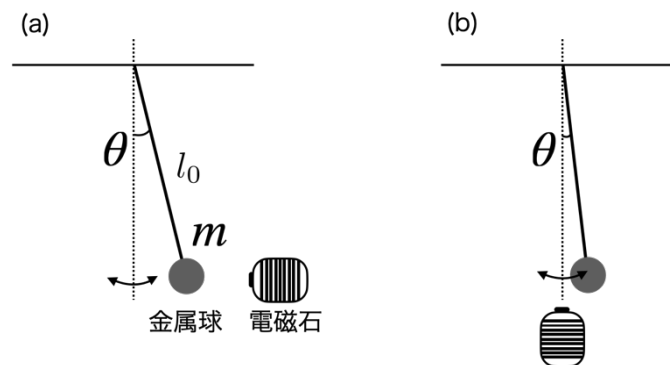


図 1. 金属球のおもりを交流電流の流れる電磁石で加振した振り子。

また、図 1 の (b) のように振り子の振れる方向と直交した方向から加振する場合を考える。この場合、系の固有振動の 2 倍の振動数を持つ周期的な力を加えることで、振り子の振れを大きくすることができる ($\Omega = 2\omega_0$)。この状況は、周期的な外力により糸の長さが周期的に変化するとしてモデル化できる。そこで、糸の長さの周期的な変化を $l(t) = l_0[1 + \varepsilon \sin(\Omega t)]$ と表す。ここで ε は正の微少量 ($0 < \varepsilon \ll 1$)、 Ω は糸の長さの変化の周期に関連した角振動数である。このように糸が周期的に変化すると考えた場合に $\Omega = 2\omega_0$ 、つまり、糸の伸縮の周期が振り子の周期の半分となるとき、振り子の触れ角 $\theta(t)$ は次のように表される[3]：

$$\theta(t) = \left(1 + \frac{3}{4}\varepsilon\omega_0 t\right)\theta_0 \cos(\omega_0 t) - \frac{5}{16}\varepsilon\theta_0[\sin(3\omega_0 t) - 3\sin(\omega_0 t)].$$

このように、触れ角 $\theta(t)$ が時刻 t に比例して増加する。

3. シミュレーション

パラメータ励振の例としては冒頭でも紹介した「ぶらんこ」があり、遊具を通じて無意識のうちにパラメータ励振を体験している可能性があるが、ここでは、パラメータ励振の体験に主眼をおいた体験型のシミュレーションを考える。具体的には、ボタンをクリックすることによって振り子の糸の長さを変化するようになっており、振り子の動きに合わせてタイミングよく糸の長さを変化させることで振り子の触れを大きくするというものである。プログラムの実行画面を図 2 に示す。

同様の操作性を持つおもちゃとして「蛙のぶらんこ」が紹介されている[4]。このようにパラメータ励振を同じ操作性で体験するものとして、本シミュレーションは蛙のぶらんこの Web アプリケーションとも言える。

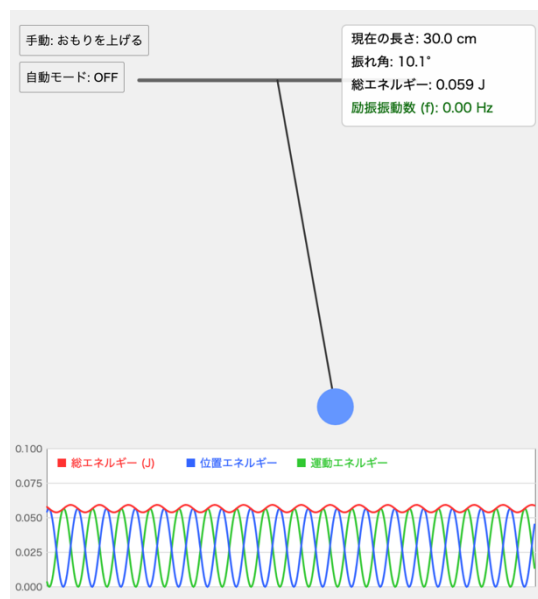


図 2. パラメータ励振を体験するプログラムの実行画面。

参考文献

- [1] 戸田盛和 (1968) : 「振動論」, 31-39, 培風館.
- [2] 数研出版編集部 (2012) : 「新課程 視覚でとらえるフォトサイエンス物理図録」, 68, 数研出版.
- [3] 藤本 茂雄, 三野 弘文 (2026) : 「振り子におけるパラメータ励振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, 10, 125-134.
- [4] 戸田盛和 (1973) : 「おもちゃセミナー」, 31-41, 日本評論社.

ニュートンビーズ（鎖の噴水）の全過程解析と数値計算 ～先端が床に着く前後の動力学

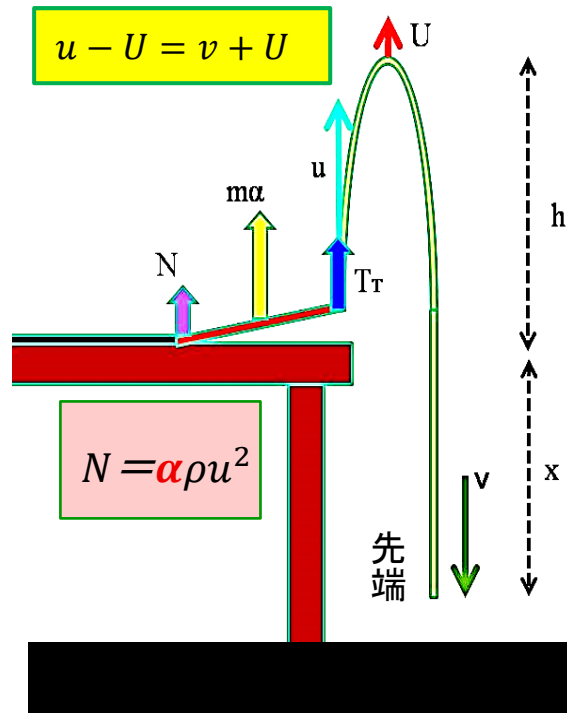
千葉大学国際教育センター 夏目雄平、学習院大学理学部 高橋利宏^A

yh.natsume@gmail.com

1. はじめに

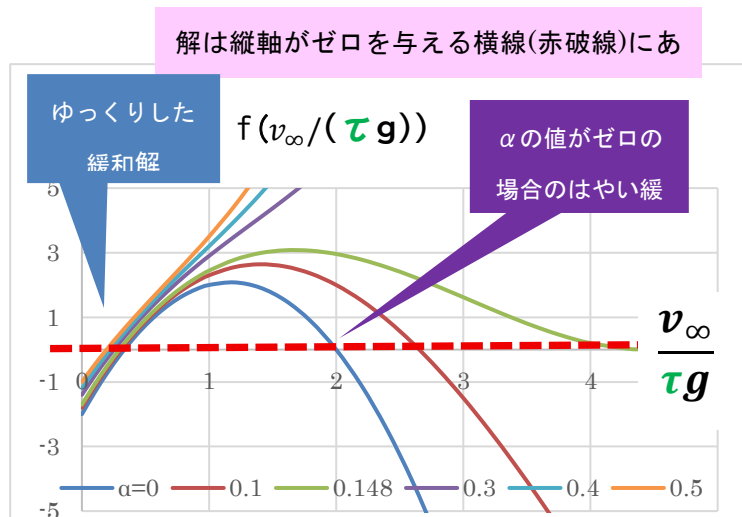
Newton Beads (the Chain Fountain)として知られている鎖の上昇現象は「力学とは何か？ 条件に応じて解を選ぶ問題」というテーマを含んでいる「教育的課題」である。

我々は、これまでに右上図のように、台の上の鎖（線密度 ρ ）の「形状の上端」が速度 U 、加速度 A を持って上昇していく非定常過程を、鎖の上昇側（速度 u ）と下降側（速度 v ）に関する2つの連立微分方程式を作り、それを解析し、 A と重力加速度 g との比 A/g の値を評価した[1, 2]。そこでは、机から立ち上がる際の「異常抗力 N 」が、鎖の基礎パーツ（長さ b ）の慣性モーメント $I=JM(\frac{b}{2})^2$ となる J を使って $\alpha=(1-J)/2$ で定義されるパラメータ α に支配され、 $N=\alpha\rho u^2$ で与えられる。本研究ではさらに床への衝突から定常状態へ至る過程まで解析を拡張した。



2. 探求の進展

床についてからの定常速度 v_∞ への緩和時間 τ の指数緩和過程を1次までとって上昇部と下降部を解くことで、無次元量 $v_\infty/(\tau g)$ が、係数が α で与えられる3次方程式 $f(v_\infty/(\tau g))=0$ の解として与えられることを見出した。右下図は異なる α の値について関数 $f(v_\infty/(\tau g))$ をグラフに表したものである。ここで、鎖の立ち上がり調べると、 α が有限値からゼロに近づく

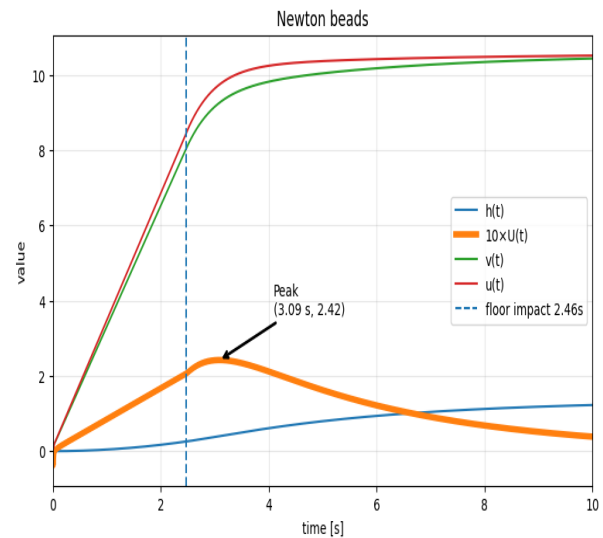


「上昇解」と、そもそも初めから α がゼロの「自由落下解」はつながっていない。このような「解の断絶」は流体力学の境界層問題（粘性による渦の存在が本質だが、初めから粘性ゼロなら存在しない）などでは知られているが、鎖系の上昇問題において起こったことは興味深い。なお「上昇解」に関しては既にある定常状態の議論[3]を非定常状態へ拡張したものになっている。

3. 数値シミュレーション

以上の理論的解析を踏まえて、この連立方程式の数値シミュレーションを行って、今までの考察を計算で再現させる試みをした。例を左上図に示す。机は床から 10m の高さにあつて、 $\alpha=0.2$ ($J=0.6$) である。床への衝突は 2.46 秒後に起こるが、 U の最大値はやや遅れて 3.09 秒後に起こる。鎖の高さ $h(t)$ の上昇はさらに遅れる。この過程は、鎖と床との衝突が完全非弾性的で（用いた連立方程式では）床に衝突した鎖はその後、本体にはなんの力も及ぼさないという考え方が仮定されている。

このことは（次の 4 で述べるように）状況によっては成立条件に微妙な問題が含まれている。



横軸は時間（秒）。縦軸の単位は m、および m/s。U は 10 倍されている

4. おわりに（発展課題）

机からの上昇時には、2 で述べたように「異常抗力」が重要であり、無限小であっても存在することが必須の条件であった。（初めから完全にゼロの場合の解とは違う）

この完全非弾性過程での「解（選択）構造の問題」が、先端の床への衝突ではより複雑に現れる。すなわち、変形可能な長い鎖がその長手方向に運動しながら床に衝突するとき、その鎖は床から押し返されるように想像されるが、むしろ床の中へ引き込まれることがある[4]。そのような床からの「異常引力」が上端上昇速度 U の増加の継続を与えている。これも、また無限小であっても存在することが必須の条件である。力学教育の本質は、単に数式を操作することではなく、現実世界の情報を数式に結び付け、得られた複数の解の中から適切な解を選択する能力を養うことにある。

参考文献

- [1] 夏目雄平、高橋利宏；日本物理学会 2025 年秋 17aB157-2。夏目雄平、高橋利宏；“ニュートンビーズ（鎖の噴水）でたぐり出し点から鎖が登っていく非定常過程の考察～非弾性的連結が頂点速度を加速する”、物理教育通信 (APEJ) 第 201 号, p. 22～28。
- [2] 夏目雄平、高橋利宏；日本物理学会 2026 年春 23aN1-1。夏目雄平、高橋利宏；“ニュートンビーズ（鎖の噴水）現象の全過程解析～非弾性衝突による異常抗力による上昇加速度の発生／床への衝突”、物理教育通信 (APEJ) 第 203 号, p. 8～15。
- [3] J. S. Biggins, M. Warner, *Understanding the Chain Fountain*: Proceedings of The Royal Society A Vol. 470, No. 2163 p. 20130689 (2014). Abu-Nuwar, Emad, Graduate Reserch Thesis & Dossertations. 4921. これは以下で見ることができる； <https://arxiv.org/pdf/1310.4056>
- [4] A. Grewal, P. Johnson, A. Ruina, *Chain that speeds up, rather than slows, due to collisions*:----, *American Journal of Physics*, 79(7), 723-729 (2011). DOI: 10.1119/1.3583481.

Video 画像を用いた次元解析理解

室谷 心

松本大学総合経営学部

muroya@t.matsu.ac.jp

1. 動画解析ソフト Tracker online

物理教育に供するビデオ画像解析のアプリとして、Tracker が知られている[1]。もともとは Java で記述され PC にインストールして使うアプリであったが、JavaScript に移植されブラウザから online でも利用可能である[2]。実験の様子を動画に撮り、自由落下や単振子の運動の様子を解析する動画を YouTube で見るができる[3]。Tracker の解説では、実験の様子を撮影する際の注意として、物差しを動画の面中に固定することが最初の段階で強調されていることが多いが、実験を意識していない動画の場合、ふつうは画面中に固定された物差しは無く、物体の動きから“大きさ”を視聴者が感じることになる。映画やテレビの特撮で怪獣の巨大さや微生物の小ささが感じられるかという問題である。

2. 特撮映像と物理法則

吉福康郎「やさしい力学教室」[4]では、特撮映像を物理的に見るためのポイントが解説されている。そこで議論されているのは、次元解析に基づいて物理量をスケールさせる話で、“力学教室”なので、次元は長さ、時間、質量の3つで、これらの大きさをスケール変換した際の法則の変化に基き、物理現象の動きから物体が巨大に見えたり極小に見えたりする理由が解説されている。

例えば、放物物体の重心の鉛直方向の運動は放物線 $y = \frac{1}{2}gt^2 + v_y t + y_0$ で記述される。物体の大きさや質量に依らず、すべての物体の重心がこの方程式に従う。従って、物体の物理的な大きさと、物体の質量にも初期条件にもよらない $\frac{1}{2}gt^2$ 項との比較で、我々は物体の大きさを感じることになる。

Tracker を使ってこのポイントを突いた議論が Rhett Allain によってなされている[5]。文献[5]によれば、Apple TV の Monarch Legacy of Monsters season II のオープニングでキングコングがジャンプするシーンを Tracker をつかって解析すると、キングコングの重力加速度はキングコングの身長を長さの単位(1mk、モンキー)として -3.7 mk/s^2 になり、地表面の重力加速度 -9.8 m/s^2 と一致させると、キングコングの身長は 1.32m という“キング”コングらしくないサイズになる。重力加速度による落下距離は $\frac{1}{2}gt^2$ なので、動画の中のキングコングの身長(1mk)を物理サイズに換算するときには、動画の世界の時間間隔と実世界の 1 秒、動画の世界の重力加速度と地表面での重力加速度が同じであることが、この解析の前提である。

3. 特撮映像と物理法則

物理教育の中で Tracker を利用する際には、普通はものさしを画像中に入れ、動画を実験の測定結果として使うことが標準的だと思う。しかし Allen[5]のようにビデオ画像に対して物理法則から検討を加えることは次元を持った量のスケール変換と物理法則の関係をより深く理解する問題設定の一つと考えられる。例えば、YouTube には内村航平氏のオリンピックでの体操競技の動画がある[6]。文献[5]に倣って、内村選手の身長を長さの単位として(1ut、内村)とすると、ビデオ解析の結果オリンピック会場の重力加速度は -3.17 ut となり、地表面での重力加速度を使うと内村氏の身長は 155 cm と推定される。

YouTube には Apollo の宇宙飛行士を撮った月面の動画もある[7]。月面の宇宙飛行士についても同様の解析を行うと（長さの単位は宇宙飛行士の身長で 1an (astronaut) とする）月面での重力加速度は -0.57an/s^2 になる。地球表面の重力加速度を使うと宇宙飛行士の身長は 0.12m になってしまう。宇宙飛行士の身長を 1.8m とすると、月面での重力加速度は 2m/s^2 で地球表面の 5 分の 1 程度の値と推定される。

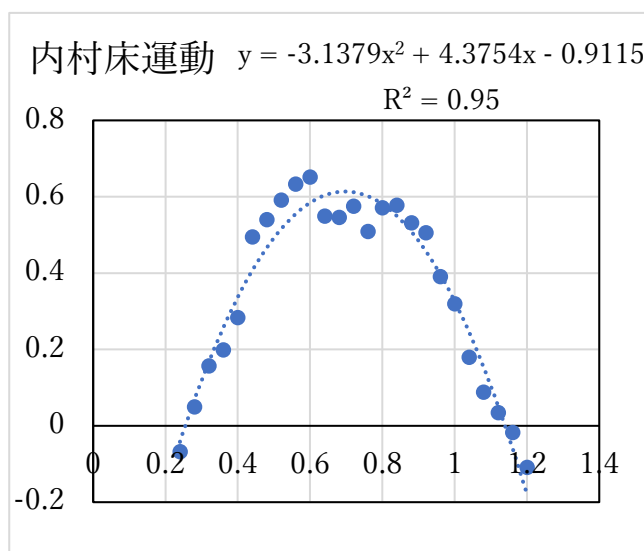


図 1 内村選手の放物運動
 縦軸の単位は 内村

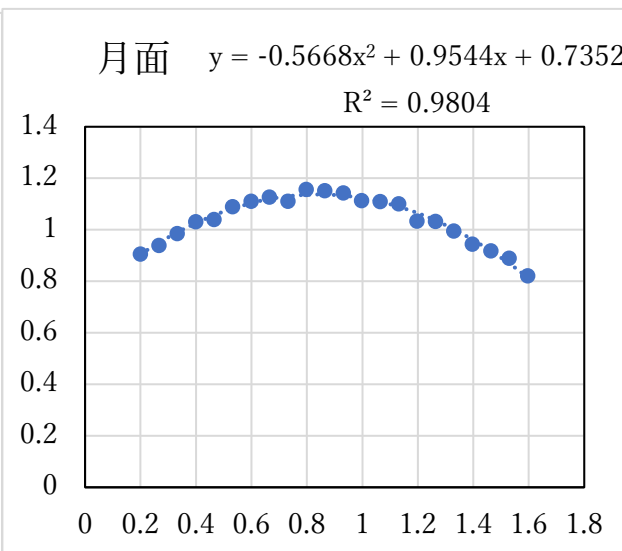


図 2 月面の宇宙飛行士の放物運動
 縦軸の単位は astronaut

4. まとめ

Allain[5]に従って、ビデオ解析アプリ **Tracker** を用いて、物理法則から動画中の現象のサイズ推定を行った。ここでは放物運動だけ議論したので、質量の影響が入ってこなかったが、生物の密度はほぼ一定だと思えば質量は体積に比例して長さの 3 乗でスケールし、筋肉の構造が同じであれば力の大きさは断面積に比例して長さの 2 乗でスケールする。体を揺さぶる際の慣性モーメントは円筒とモデル化して良いだろう[4]。**Tracker** を用いて、特撮や AI の作った画像の尤もらしさを物理的に検討することは、力学理解の良い教材になると期待できる。

参考文献

- [1] 長谷川大和 他 (2021) : **Tracker** を用いた運動分析, 日本物理学会 2021 年秋季大会 概要集, 23pN1-2.
- [2] Tracker, <https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/> (2026 年 7 月 8 日参照).
- [3] Douglas Brown, Getting Started with Tracker, <https://www.youtube.com/watch?v=La3H7JywgX0> (2026 年 7 月 8 日参照).
- [4] 吉福康郎「やさしい力学教室」, 講談社ブルーバックス B-334 (1977).
- [5] Rhett Allain, , How Big is Kong? A Lesson in Video Analysis and Scaling Factors, <https://rjallain.medium.com/how-big-is-kong-a-lesson-in-video-analysis-and-scaling-factors-8d6ad1327640> (2026 年 7 月 9 日参照) .
- [6] YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=HLqVJavwJ4A&t=103s> (2026 年 7 月 8 日参照).
- [7] YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=cwZb2mqId0A&t=6s> (2026 年 7 月 8 日参照).

ペイントクラック形成の定量的分析～底面の粗さおよび厚さの影響～

^A森山あかり, ^B林壮一^A福岡大学大学院理学研究科応用物理学専攻 2 年, ^B福岡大学理学部物理科学科^Asd251007@cis.fukuoka-u.ac.jp, ^Bsoichi@fukuoka-u.ac.jp

1. 実験の背景および目的

アクリルガッシュ（以下、絵の具）は中学校や高等学校の美術教育において広く用いられている画材であるが、その物性については十分に解明されていない。第一著者のこれまでの研究では、絵の具の収縮によるひび割れ（以下、ペイントクラック[1]）を 2 次元的に捉えた解析を行った結果、支持体の吸水性の違いと乾燥時の湿度の違いがひび割れパターンに影響すると分かった[2]。また、ペイントクラックを一次元に展開してひび割れ間隔に注目した定量的に評価する実験手法を提案し、絵の具の厚さや顔料の種類がひび割れパターンに及ぼす影響について検討した。結果、絵の具の厚さが大きいほど、直交しやすい規則的な T パターンのひび割れ[3]が見られ、ひび割れ間隔も大きいことが分かった。また、厚さが小さいほどひび割れ間隔は小さくなり、測定不能な不規則な Y パターンのひび割れも多くみられた。

また、伊藤らのマッドクラック（泥層の表面に発生するひび割れ）の先行研究によると、底面の摩擦を低減した容器の中の泥層では T パターンが卓越する結果が出たことが報告されている。

そこで本研究では、絵の具を流し込むレールの底面の粗さに着目し、底面の粗さがひび割れパターンに及ぼす影響を調べた。本研究を通してペイントクラックの形成機構の理解を深めるとともに、芸術表現の拡張や教科横断的な学び、探究活動への応用可能性について検討することを目的とした。

2. 方法

2. 1 実験道具

■絵の具（ターナー色彩）カーミン（有機顔料）

■レール作成に使用したもの

配線モール（マサル工業 テープ付 オプトモール 0 号）、厚紙、透明フィルム、マスキングテープ

2. 2 実験方法

①試料の作成

- (1) 幅 6.0mm, 長さ 280.0mm の配線モールを用いて 1 次元レールを作成した。
- (2) 厚紙を重ねることでレールの厚さを調整した。
- (3) 最上部に紙やすりを敷いて粗さを 5 段階（＃120、＃240、＃320、＃600、＃1500）に変えたレールに加え、最上部にプラスチックシートを敷いたレールを作成し、計 6 段階で粗さを調節した。
- (4) 両端部はマスキングテープで封止した。
- (5) 各レール内に絵の具を流し込み、擦り切りによって表面を平滑化した。

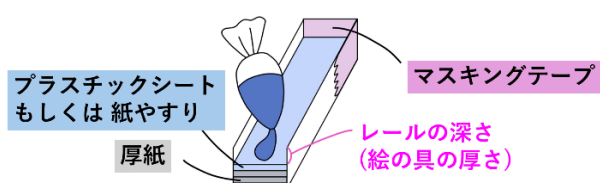


図1 レールの断面図のようす

②乾燥

前報と同様の方法で試料を乾燥させた。

③乾燥後のひび割れ間隔の測定

前報と同様の方法でひび割れ間隔を測定した。

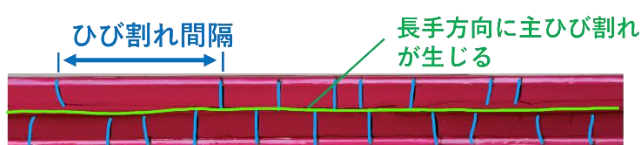


図2 乾燥後のひび割れの一部拡大図

3. 結果

底面の粗さとひび割れ間隔の関係を図3に示した。

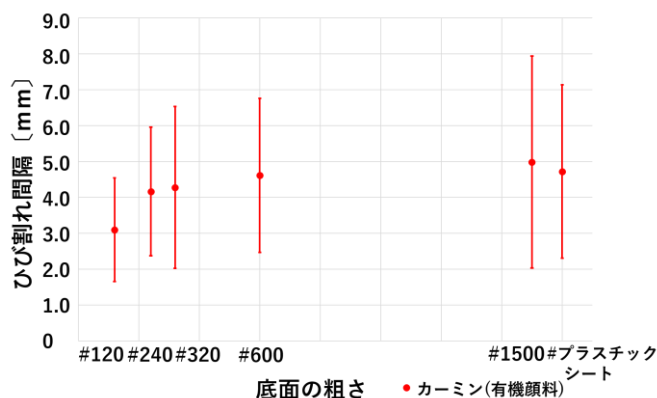


図3 底面の粗さとひび割れ間隔の関係

4. 考察

4. 1 底面の粗さとひび割れ間隔

底面がなめらかになるほど、ひび割れ間隔は大きくなる傾向が見られた。最も粗い#120では、ひび割れ間隔の平均値は3.0mmであった。一方、#240～#1500の間では、ひび割れ間隔の平均値は4.2mm～5.0mm程度であり、#120と比較してひび割れ間隔が大きくなった。

4. 2 ひび割れ間隔における摩擦の影響

底面の滑らかになるほど、ひび割れ間隔が大きくなった要因として、乾燥収縮時における底面との摩擦の影響が考えられる。底面との摩擦が小さい場合、絵の具は収縮に伴ってレールの長手方向へ移動しやすく、収縮応力が集中しにくいいため、ひび割れの発生が減少し、ひび割れ間隔が大きくなったと考えられる。一方、底面との摩擦が大きい場合には、絵の具の移動が拘束されるため、収縮応力が蓄積しやすく、多数の細かなひび割れが形成されたと考えられる。

4. 3 底面の粗さとひび割れパターン

実際のひび割れを観察すると、底面にプラスチックシートを敷いて滑らかにした試料では、主ひび割れに直交する規則的なTパターンのみが観察された。一方、#1500以降の粗い紙やすりを用いた試料では、不規則に分岐するYパターンも部分的に観察された。そのようなパターンは測定対

象外とした。このような底面の粗さとYパターンの発生頻度との関係については、本実験では明確な傾向は確認できなかったため、今後の課題であると考えている。

5. まとめ

本研究では底面の粗さがペイントクラック形成に及ぼす影響を検討した。その結果、底面がなめらかになるほどひび割れ間隔は大きくなる傾向が見られ、底面との摩擦がペイントクラック形成に影響する可能性が示唆された。この結果は、伊藤らの先行研究の結果とも一致しており、ペイントクラックがマッドクラックの研究の根拠となり得ることを示している。本研究の成果は、絵の具の物理的な特性を生かした芸術表現の拡張や、理科と美術を関連付けた教科横断的な学び、探求学習への応用が期待される。

謝辞

本研究を進めるために、福岡大学理学部物理科学科をご退職された小隈龍一郎先生に、多大なご助言とご指導をいただきました。ありがとうございました。

参考文献

- [1] アクリルガッシュのひび割れを定量的に評価するための実験手法の提案（一次元に展開する場合）(2026)：森山あかり，日本物理教育学会九州支部「九州の物理教育」Vol. 11, p.7~9
- [2] アクリルガッシュの乾燥過程におけるひび割れの定量的分析(2025)：森山あかり，日本理科教育学会 中国支部大会発表論文集 第74号, p.23
- [3] マッドクラックのパターン形成実験(1998)：伊藤寛之・宮田雄一郎，地質学雑誌 第104巻 第2号，pp.90~98



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

大会企画 ・ 総合討論

テーマ：

**学びたくなる物理への改革を
学校および地域単位でどのように進めるか**

日時：8 月 11 日（火） 15：00～16：45

場所：A 会場（教育学部講義棟 2 階 5202 教室）

事例報告登壇者：

- ・ 定金 龍輔（岡山県総合教育センター）
- ・ 佐藤 哲也，小谷 猛房，本田 一恵，石川 優太（高松第一高等学校）

※ 会場参加者とも一緒に議論します。

※ このセッションは一般公開で実施します。学会員も非学会員も参加費無しで参加可能です。1 階で受付を済ませてからご参加ください。

学びたくなる物理への改革を学校および地域単位でどのように進めるか

「...一つひとつの授業の改善については 膨大な数の試みが個別に考案されてきたが、もっと視点を広げて、最も成功する教授法を大規模に展開するという課題に取り組んでいるものはなかった。...」

(カール・ワイマン『科学立国のための大学教育改革』「はじめに」より)

カール・ワイマン教授は、伝統的な講義中心の授業に対する、専門分野に基づく科学教育研究 (DBER) を踏まえた授業の優位性を前提に、2つの大学で、授業改革を学部全体に組織的に広げる取り組みを実践し、その経緯と成果および教訓をその著書や数多くの講演で報告しています。[1,2] そこから私たちが学べる第一の教訓は、物理教育改革の恩恵を真に多くの学生・生徒に届けるためには、個人の努力のみによるその先生の授業改革だけにとどまらず、大学の学部あるいは学校の教科ないし科目担当者全員の共同的努力による授業改革を検討し進めるべきだということです。少なくともそれが、物理教育の改革の次の課題の一つになることは明らかであると思われます。

そこで、本大会の大会企画では、中国四国地域において特色ある物理教育改革の組織的な取り組みをされている学校・地域の2つの事例の当事者を招待し、それぞれの取り組みの内容を具体的に報告いただき、その経験を全国から参加される物理教育関係者の皆さんと共有し、実効性があり持続可能な組織的な物理教育改革をどのように実現するかをともに考えたいと思います。中国四国地方および全国からの、一人でも多くの物理教育関係者の積極的な参加を呼びかけます。

1 つ目は、岡山県全体の高校をまたがる物理教育・科学教育の活性化の地域的な取り組みの事例報告です。岡山県は、物理チャレンジの参加人数が長く東京に次いで多かったことでも知られていますが、同時に、スーパーサイエンスハイスクールを中心に、全県で課題研究・探究活動が盛んなことも同県の重要な特徴です。それ以外にも特筆すべき取り組みがいくつかなされています。岡山県ではどのように推進されているのでしょうか。

2 つ目は、香川県高松市立高松第一高等学校の物理科の授業改革の取り組みです。同校はスーパーサイエンスハイスクールの指定を 2010 年に受けましたが、同校の物理科は、同事業の当初から物理教育研究に基づく物理授業改革や FCI 等によるその成果の評価を行っています。そのきっかけは何だったのでしょうか。また、それはどのように行われているのでしょうか。

取り組みを紹介していただき、皆さんと意見交換しながら考える場にできたらと思います。

参考文献

- [1] Carl Wieman (2017) : *Improving How Universities Teach Science*, Harvard Univ. Press, 2017 (邦訳 大森他, 『科学立国のための大学教育改革』, 玉川大学出版部, 2021)
- [2] Carl Wieman (2017), 「カール・ワイマン博士に学ぶ:エビデンスに基づく科学教育」・UTokyo Global Faculty Development Symposium,2017, <https://www.youtube.com/@UTokyoChannel>

岡山県の物理教育にかかる事業

定金 龍輔

岡山県総合教育センター

riyuusuke_sadakane@pref.okayama.lg.jp

1. 岡山物理コンテスト

岡山県では、科学が大好きな生徒たちの思考力や判断力を磨き、国際科学オリンピックという高い目標へ導くための「科学オリンピックへの道」事業を推進しています。その中核を担うのが「岡山物理コンテスト」です。

本コンテストは、中学生・高校生を対象に、身近な物理現象から応用問題まで、幅広く筆記問題に挑戦する個人競技です。問題は選択式のA問題と記述式のB問題で構成されており、単なる知識の確認ではなく、「こんなところにも物理があるんだ」という問題に挑むことで、生徒たちの知的好奇心を刺激しています。令和7年度には250名を超える参加者が集まるなど、年々関心が高まっており、県北の津山高校にも会場を設けることで、県内全域から挑戦できる体制を整えています。

コンテストの問題は県内の物理教員で実行委員会を組織し作成していますが、実行委員会は単なる問題作成の場ではなく、物理教員のネットワーク形成の場ともなっています。

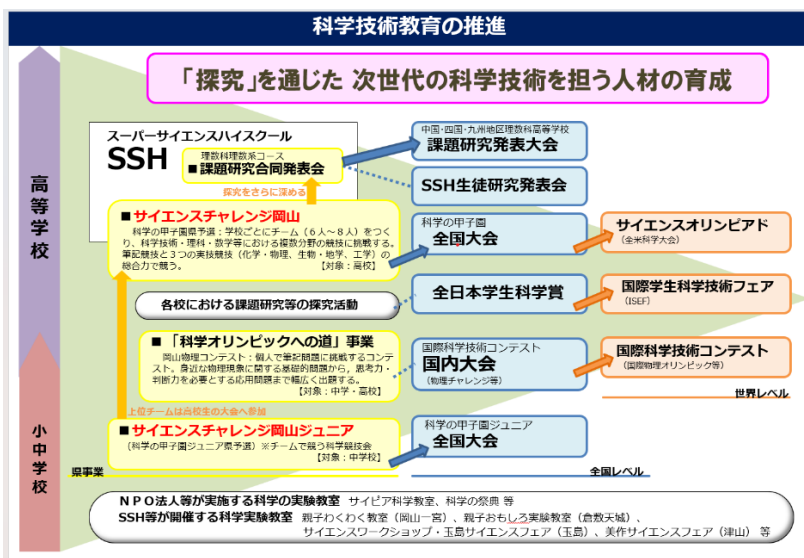
実績面では、これまでに国際物理オリンピックでの金メダル獲得や、国内の「物理チャレンジ」での金・銀・銅賞受賞者を輩出しており、岡山から世界へ通じる確かな道筋が作られています。さらに、次なる挑戦を後押しするため、コンテスト参加者が「物理チャレンジ」に申し込む際の参加費支援も行っています。

今年で16年目となる事業ですが、高校生の時にこの大会に参加した者が物理教員となっているなど、長く続いているからこそ表れている事業の成果もあります。

2. サイエンスチャレンジ岡山

個人の力を試す物理コンテストに対し、チームの総合力と協働性を重視するのが「サイエンスチャレンジ岡山」です。これは「科学の甲子園」の岡山県予選を兼ねた、学校対抗の科学競技会です。

この事業の最大の特徴は、理科（物理・化学・生物・地学）、数学、情報の複数分野にわたる課題に対し、チームで知恵を出し合い、分担・相談しながら解決を目指す点にあります。競技は筆記だけでなく、化学・物理、生物・地学、工学の3つの実技競技があり、実験や工作を通じた実践的な課題解決力が試されます。令和7年度には、サイエンスチャレンジで優勝した岡山朝日高校が全国大会である「第15回科学



の甲子園全国大会」で優勝し、本事業の成果が結実しました。

また、中学生対象の「サイエンスチャレンジ岡山ジュニア」の成績上位チームも高校生の大会に参加するなど、校種を越えたシームレスな科学の交流が生まれています。

本事業は、企画・運営において、県立 SSH 4 校（岡山一宮高校、倉敷天城高校、玉島高校、津山高校）と協力体制ができていることに加え、サイエンスチャレンジの成果を SSH 校の理数科の課題研究発表会へ繋げるなど、単発のイベントに終わらせない、複数年を見通した探究的な学びのサイクルを構築し、SSH 校の成果の普及の場にもなっています。

3. STEAM教育

岡山県が現在最も力を入れているのが、理数教育をさらに広範な視点へと発展させた「STEAM 教育」の推進です。岡山県の STEAM 教育には 2 つの重要な視点があります。

- ・「つなぐ、つながる」：各教科の学習と探究活動、地域連携等を一つにつなげ、学びを「自分ごと」化すること。
- ・「Action」：最新技術や生成 AI も活用しながら、考えたことを具体化し、他者と協働して新たな価値を創造する「実践」を大切にすること。

具体的な取組として、高校生向けの STEAM 教育セミナーやワークショップを開催し、生徒が「自分には何かを変える力がある」というワクワク感を得られる機会を提供していきます。また、教員向けのフォーラムや研修を通じて指導力の向上を図るほか、岡山県がこれまでに推進してきた、自分の中で「夢」を育みながら、それに挑戦していく経験を通して、「意欲」や「自信」などの「自分を高める力」を養う「夢育」や PBL（Project Based Learning）の情報を一元化した WEB プラットフォームを構築し、生徒や教員がいつでも専門機関や最新の教材にアクセスできる環境を整備することを目指しています。

これらの取組を通じて、生徒自身が授業で学ぶ教科・科目のおもしろさ・強みを認識することにつながることを期待しています。

4. 終わりに

岡山県の理数事業は、単に知識を蓄えることだけを目的とはしていません。これからの予測困難な時代において、他者と協力し、最新技術も使いこなしながら、これまでにない価値を生み出す力を育むことが真の狙いです。

物理コンテストで個の専門性を極め、サイエンスチャレンジで協働の楽しさを知り、そして STEAM 教育を通じて社会とつながる。これらのステップを通じて、子どもたちが「学ぶ楽しさ」を実感し、未来を自らの手で創造していくための基盤を、岡山県はこれからも全力で支えてまいります。

参考サイト

- [1] 岡山県教育庁 高校教育課, 「科学オリンピックへの道」事業, サイエンスチャレンジ岡山, STEAM 教育, <https://www.pref.okayama.jp/soshiki/321/>
- [2] 岡山県教育庁 義務教育課, サイエンスチャレンジ岡山ジュニア, <https://www.pref.okayama.jp/soshiki/322/>
- [3] 科学技術振興機構 (JST), 科学の甲子園, <https://koushien.jst.go.jp/koushien/>

学びたくなる物理への変革を学校及び地域単位でどのように進めるか

－高松第一高等学校（香川県）の取組－

^A佐藤 哲也, ^A小谷 猛房, ^A本田 一恵, ^A石川 優太

^A高松第一高等学校

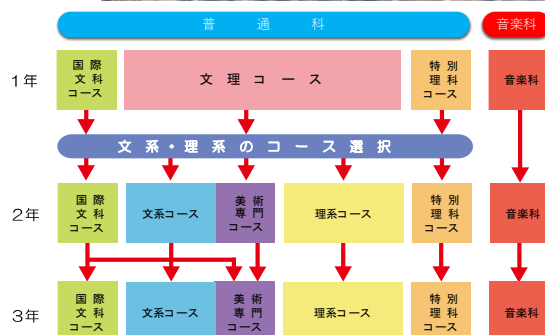
satoute@taka-ichi-h.ed.jp

1. 学校紹介

本校は、旧制高松第一中学校（昭和3年創立）と高松実科高等女学校（大正5年創立）が統合されて、昭和23年に高松第一高等学校となり今日に至っています。香川県内唯一の市立高校として、独自の歴史と伝統を築き上げてきました。卒業生は44,500人を超え、広く政治、経済、教育、芸術、医療、科学技術など、様々な分野で活躍しています。

高松市の中心部にあり、交通の便がよい上に、閑静な環境に恵まれています。2021年9月に新校舎棟が完成しました。校舎棟は全てのHR教室にプロジェクタとスクリーンを完備し、各種の特別教室のほかにプレゼンテーションステップ、アクティブラーニングラボ、マルチメディア教室、パソコン教室があります。さらに音楽ホールや17のレッスン室、16の練習室などを備えた音楽科棟もあり、大変充実しています。理科関連の施設設備は、物理実験室2、化学実験室2、生物実験室1、地学実験室1、課題研究室1、各準備室、暗室、薬品室です。また、新体育館が2023年8月に完成しました。

設置学科は、普通科と音楽科の2学科です。普通科には、進路に合わせて科目選択ができるコースを設置しており、学年でさらに分かります。



2. 香川の物理教育と授業改善のきっかけ

香川では物理教員が、毎月1回土曜日の午後に、本校物理実験室に集まって、授業中の実験や教材開発、授業実践事例などについて話し合う会を開いています。この流れは、1960年代に香川県理科教育センターが設置され、そこからの流れをくんでいます。私たちが生まれる前から香川には自己研鑽のシステムができていたこととなります。その研究班を牽引していたのが矢野淳滋先生です。また、現在退職後も毎回新しいネタを紹介してくれている村尾良明先生もその一人です。現在の研究班では、高校教員だけでなく、香川大学、徳島文理大学、香川高等専門学校の先生方も参加され、日本一小さい県ならではのつながりの中、アットホームな雰囲気の中で物理の話をしています。研究会の様子は、香川県高等学校教育研究会 理化部会 物理研究班のページ (<https://www.kagawa-edu.jp/kakori02/>) をご覧ください。

このような高大連携が活発になったのは、川勝博先生が香川大学教育学部教授として香川にいられて

からです。その頃から私たちは、高校の現場だけでなく、大学での研究や海外で取り上げられている物理教育のトピックスに触れたり、国際会議に参加する機会を得たりしながら、視野を広げていったように思います。

そして、2006(平成18)年8月に香川大学で開催された「物理教育 ASPEN (Asian Physics Education Network) ワークショップ 2006 & 第9回リフレッシュ理科教室(香川会場)ー学生生徒児童主体の学習をひきだすためにー」では、「Physics Suite」シリーズの著者の一人であるオレゴン大学の David R. Sokoloff らによって、いくつかの授業実践例が紹介されたワークショップに参加しました。また、同年8月に東京で開催された「物理教育国際会議 2006ーすべての人のための物理教育をめざしてー」でも、Sokoloff やメリーランド大学の Edward F. Redish の講演・ワークショップに参加しました。これらをきっかけに、従来型の一方的な教員による教授型授業から、双方向的な生徒の能動的な活動を中心とした授業への転換に向けて、研究を始めようというのがきっかけとなりました。

3. 授業改善と課題研究の取組(ポスター発表もぜひご覧ください)

このような流れの中で、2010年度に文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクールの指定を受けました。今年度で17年目の取組となります。予算規模の大きい事業でしたが、コンセプトは「お金がなくなっても生徒に還元できるものを残そう」でした。そこで私たちがたどり着いたのが、「アクティブ・ラーニングを取り入れた授業改善」と「生徒の主体性・自主性を引き出す課題研究」への取組を軸として展開することでした。特に、授業改善への取組は、個を高めることと教科内全体の意識を高めること、若手教員の柔軟性とベテラン教員の知識や経験との融合や相乗効果をねらっています。約30年の本校物理教員の配置は表1のとおりです。ベテランから若手への継承もできればと考えています。

みなさんの学校・地域の取組についても、この機会に共有できればうれしいです。

▼表1 高松第一高等学校の物理教員

	H	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	R	1	2	3	4	5	6	7	8
G 先生																																	
小谷																																	
佐藤																																	
T 先生																																	
本田																																	
石川																																	
O 先生																																	
Y 先生																																	
M 先生																																	
時間講師																																	
主な出来事		川勝博先生 香川大学へ		I C P E 桂林	高橋尚志先生 香川大学へ		G I R E P ルンド			矢野淳滋先生 逝去	A S P E N 高松・I C P E 東京	笠潤平先生 香川大学へ		物理研究班を本校で実施	S S H 第Ⅰ期指定						S S H 第Ⅱ期指定		第1回物理基礎実験講習会	第2回物理基礎実験講習会		S S H 第Ⅲ期指定	新校舎棟落成	第3回物理基礎実験講習会	第4回物理基礎実験講習会		S S H 第Ⅳ期指定	第5回物理基礎実験講習会	



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

ポスターセッション

8 月 10 日、11 日

「物理基礎」における科学史を活用した指導に関する予備的研究：

NOS の理解と MIF 素朴概念に注目して

松原憲治

国立教育政策研究所 教育課程研究センター・基礎研究部

kmatsuba@nier.go.jp

1. はじめに

中央教育審議会の理科ワーキンググループでは、物理基礎などのいわゆる基礎を付した科目に「科学ガイダンス（仮称）」を導入することが議論された。「科学ガイダンス（仮称）」では科学（的）とは何か、科学な方法、研究倫理、科学と社会や職業とのつながりなどを扱うことが想定されている[1]。このような科学の営みやその機能に関する内容は、科学教育研究の分野で Nature of Science（科学の本質、以下 NOS と表記）と呼ばれており、諸外国の科学カリキュラムで科学教育の重要な目標の一つとして位置づけられている[2]。NOS を含む科学カリキュラムでは、内容知識や方法知識だけでなく科学についての認識論的な知識や考え方を身につけることが期待されており[3]、科学の学習内容との関連付けや明示的な指導が重要とされる。NOS の理解を深めるための指導法には、主に、社会的・科学的課題（Socio-Scientific Issues）を用いた指導、科学史を用いた指導、生徒による探究活動がある[4]。科学史を用いた指導は NOS の獲得と定着を目的とする場合に親和性が高く[5]、物理基礎において科学史を活用した指導に注目することは今日的な課題である。本稿では、物理基礎の新たな学習項目として議論されている科学ガイダンス（仮称）での学習を射程に、NOS の理解に向け、科学史を活用した指導の可能性を検討することを目的とする。

2. 物理の学習における科学史の活用

まず、物理の学習において科学史を活用する意義について整理する。物理教育で科学史を積極的に取り入れたカリキュラムでは、1970 年に米国で開発された高校カリキュラムである Harvard Project Physics が注目されよう。このカリキュラムの「第 10 章 エネルギー」を対象とした研究では、科学史を活用した意図として 5 点を抽出し、そのうち物理学と人間生活との関連、物理学と社会との関連、知識の暫定性の 3 点について、NOS の観点である「科学的知識の特徴」、「科学と社会との関連性」と共通する部分を見出せると分析した[6]。

近年ではヘブライ大学の物理・科学教育研究者 Galili が、物理の学習における科学史の活用の意義について、教科内容の深い理解、反復（recapitulation）現象、物理の本質（the nature of physics）、物理の文化の 4 点を、現在受け入れられているものとして挙げている[7]。科学史の活用は、個々の断片的知識がどのような背景や文脈の中で生まれたのかを理解することを助け、「教科内容の深い理解」につながると主張する。次の「反復の現象」については、個人の科学的概念の形成・発達と科学史における科学概念の形成・発達の間には一定の類似性が存在するとの仮定を基にしている。生徒の素朴概念と歴史上の誤理論には類似性があるとし、科学史は概念変容（conceptual change）を支援するツールと考える。例えば、教師は科学史の誤った考え方を知ること、生徒の素朴概念を理解したり、想定したりできると考えるのである。McCloskey によれば、物体の落下運動に関する人々の直感的な考えは、14 世紀の

ジャン・ビュリダンらによるインペトゥス (impetus) 理論と驚くほど類似しているという[8]。3点目の「物理の本質」は、科学知識の暫定性、反証可能性、自己修正性など、通常の授業では明示的な指導がなされてない要素が、歴史的な文脈を見ることが自然に理解できるとする。最後の「物理の文化」は、物理学の文化的・社会的な側面についての理解に関するものである。3点目と4点目の視点は物理領域におけるNOSの要素と言ってよいだろう。

このように、内容理解、概念変容、NOSの理解において、物理の学習で科学史を活用する意義が展開されている。一方、実際に授業で科学史を用いる場合、従来型の体系的な物理概念の指導に比べ、時間がかかることも認めなければならない。科学史の活用を検討する際には、その労力をかけるだけの価値があるかという視点が重要になるだろう。その学習が物理における必須の科学概念を扱うものであり、かつ、概念理解が生徒にとって容易ではない場合、その労力は正当化しやすい。

3. MIF 素朴概念に対する科学史の活用の可能性

物理教育の領域における重要な実践及び研究テーマの一つはMIF素朴概念である。MIFはMotion Implies a Forceの略であり、この素朴概念は「運動中の物体には運動方向に力が働いている」という現代の科学的概念として誤った認識をもたらす。言うまでもなく、物体の運動は物理教育で極めて重要な学習内容である。他方で、中学校理科や物理基礎ではMIF素朴概念の修正の難しさを示唆した研究報告[9]もあるなど、MIF素朴概念の抑制は容易ではない。これらのことから、物理基礎における科学史の活用では、その労力を正当化できる程度妥当な選択肢として、物体の運動を対象とすることが考えられる。例えば、運動維持の原因に関して、アリストテレスの自然哲学、中世インペトゥス論、ガリレオの力学などの展開を追うことが考えられる。科学史が概念変容を支援するツールとなるならば、MIF素朴概念の抑制を目指す指導方略の一つとして可能性を見出すことができるだろう。

謝辞 本研究は、科研費基盤研究 (B) 課題番号 24K00472 の助成を受けている。

参考文献

- [1] 中央教育審議会：「理科における ICT 活用及び高等学校・理科の科目について」，教育課程部会理科ワーキンググループ（第4回）配布資料，令和8年1月20日，理科WG資料1 (2026)。
- [2] N. G. Lederman: “Nature of Science: Past, Present, and Future,” in Handbook of Research on Science Education, edited by S. K. Abell and N. G. Lederman (Routledge, 2007), pp. 831–879.
- [3] 松原憲治 他：「日本の科学カリキュラムにおける Nature of Science の意義に関する予備的考察：諸外国の科学カリキュラムと理科の見方・考え方に着目して」，国立教育政策研究所紀要，155，123–136 (2026)。
- [4] D. Allchin et al.: “Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Cases, and Contemporary Cases in Classroom Practice,” Science Education, 98, 3, 461–486 (2014).
- [5] 井川拓洋：「NOSの指導法に関する理論的検討(1)」，日本理科教育学会全国大会発表論文集，18，70 (2020)。
- [6] 磯田佑美，梶山耕成，三好美織，磯崎哲夫：「『科学の本質』を取り入れた理科カリキュラムの研究（1）—Harvard Project Physicsの分析を中心として—」，日本理科教育学会全国大会発表論文集，12，459 (2014)。
- [7] I. Galili: “History of Physics as a Tool for Teaching,” in Connecting Research in Physics Education with Teacher Education, edited by M. Vicentini and E. Sassi (International Commission on Physics Education, 2008).
- [8] M. McCloskey: “Intuitive Physics,” Scientific American, 248, 4, 114–122 (1983); M. McCloskey: “Naive Theories of Motion,” in Mental Models, edited by D. Gentner and A. L. Stevens (Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1983), pp. 299–324.
- [9] 原田勇希，坂本一真，鈴木誠：「高校『物理基礎』と『物理』によるMIF素朴概念の修正効果」，物理教育，66，2，81–86 (2018)。

授業開きリーフレットによるジェンダーギャップへのステルス介入

山本 岳

新潟県立長岡大手高等学校

yamamoto.gaku@nein.ed.jp

1. はじめに

PISA2022 および全国学力・学習状況調査によれば、理科の成績に有意な性差は認められない。しかし、中学校理科の成績上位層でも「理科の勉強は得意だ」と回答した割合は男子 42.2%、女子 22.6%^[1]と開きがあり、共学校における理系選択率は男子 23.4%に対し女子 15.7%^[2]にとどまる。学部生の女子比率も、大学全体では 46.1%だが物理関係学科では 14.3%しかいない^[3]。このような背景の中、授業開きで行ったリーフレットによる介入の設計と、実践を通じた現時点での所感を報告する。

2. 物理アイデンティティ (Physics Identity)

Hazari ら^[4]は、「私は physics person である」という自己認識を中心とする物理アイデンティティが、物理系キャリアの選択を予測することを示した。同研究では、Performance（できるという実感）と Competence（できるという自信）が統計的に分離できないことも示されている。さらに Lock ら^[5]は、Performance/Competence が Interest（興味）と Recognition（認められていること）を介して間接的に物理アイデンティティに寄与することを示した。能力の認識がキャリア選択を直接は予測しないというこの知見は、前節の成績と進路選択の乖離とも整合的である。

3. 介入の焦点

(1) 期待－価値理論

Eccles らの期待－価値理論 (EVT) は、学習者の選択と行動を、「成功期待」（うまくやれる見込み）と「主観的課題価値」（取り組みの個人的意味）から説明する。後者は興味価値、達成価値、利用価値、コストに区分される。同理論はその後、ジェンダー等のステレオタイプを含む文化的環境も子どもの認知を介して自己認識の形成に影響することを明示した SEVT へと発展した^[6]。このうちリーフレットで介入しうる焦点として、ステレオタイプの低減、主観的課題価値の喚起、成功期待の向上に注目した。

(2) 「認められ感」と values affirmation

ただし同理論には、物理アイデンティティの Recognition に相当する因子が明確には設定されていない。Kalender ら^[7]は、perceived recognition（本稿では「認められ感」と呼ぶ）を独立した一側面として分析し、女子学生では教員等からの「認められ感」が自己効力感や所属感と結びつき、男子と異なる経路で物理アイデンティティの形成に作用することを示した。また、Miyake ら^[8]は、自己の重要な価値観を記述する values affirmation 課題により、大学物理の試験成績の男女差が大幅に縮小したと報告している。これらを踏まえ、認められ感の喚起と values affirmation も介入の焦点に加えた。

4. 介入の手段：授業開きリーフレット

介入の手段としては、授業開き（新しく担当する科目の最初に行うガイダンス的な授業）でリーフレットを配布し、説明・宣言・約束を行うこととした。これには、手元に残る形にして断続的に話題にす

る目的もある。設計にあたって、性差の存在を認識させるだけで女性のパフォーマンスが低下しかねない¹⁰⁾というステレオタイプ脅威の知見を踏まえ、ジェンダーに言及しない(ステルス介入)こととした。各要素と介入の焦点との対応を表1に示す。このうち「物理を活かせる職業の例」には、効果的とされるロールモデル提示の代替という意図がある。また「保護者向けメッセージ」は、生徒自身の目に入ることで、周囲の大人がステレオタイプを持つ場合でもその影響を低減することを期待して設けた。

表1 リーフレットの要素と介入の焦点

リーフレットの要素	介入の焦点
成長マインドセット	ジェンダースtereotypeの低減, competency belief の喚起
物理の授業の進化	物理のステレオタイプ(説明と計算だけ)の低減
あなたの価値観を大切に	values affirmation (ステレオタイプと Personal Identity の相反の許容)
質問してもいいのかな?	help seeking (質問への心理的障壁の低減, 所属感の向上)
物理を活かせる職業の例	職業のステレオタイプの低減, 利用価値の喚起
こんな授業にします(宣言)	成功期待と認められ感の喚起
保護者向けメッセージ	周囲の大人の信念・期待に関する生徒の認知の改善

5. 実践を通じた所感と今後の課題

稲田[10]は、理科学習におけるジェンダーギャップ改善の観点を(1)教師教育、(2)教授方法・学習環境、(3)学習内容、(4)キャリア教育に整理している。本リーフレットは主に「学習環境」と「キャリア教育」への作用を期待して作成したが、実践を通して強く表れたのは、むしろ作成者自身のふるまいの変化、すなわち「教師教育」としての側面であった。具体的には、①生徒の授業への「所属感」を高めるための声かけを意識するようになったこと、②特定の生徒へのふるまいが他の生徒を萎縮させかねないと認識したこと、③benevolent sexism (やさしい差別)への省察が生じたこと、④たとえ褒め言葉でも固定マインドセットを助長しかねない発言を控えるようになったこと、などである。

また、リーフレット作成時点では、help seeking は学習を深めることと所属感の向上を狙って設定した。しかし、help seeking にはスキルが必要であること、質問という行為自体が EVT という「コスト」に相当する側面を持つことは検討できていない。生徒側の受け止めの調査と併せ、今後の課題としたい。

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] 国立教育政策研究所(2025): 令和7年度全国学力・学習状況調査.
- [2] 日本理科教育振興協会(2025): 令和7年度高等学校理系文系進路選択に関する調査.
- [3] 文部科学省(2025): 令和7年度学校基本調査
- [4] Z. Hazari, G. Sonnert, P. M. Sadler and M.-C. Shanahan (2010): J. Res. Sci. Teach., 47.
- [5] R. M. Lock, Z. Hazari and G. Potvin (2019): Phys. Rev. Phys. Educ. Res., 15.
- [6] J. S. Eccles and A. Wigfield(2024): Educ. Psychol. Rev., 36.
- [7] Z. Y. Kalender et al. (2019): Phys. Rev. Phys. Educ. Res., 15.
- [8] A. Miyake et al. (2010): Science, 330.
- [9] S. J. Spencer, C. M. Steele and D. M. Quinn(1999): J. Exp. Soc. Psychol., 35.
- [10] 稲田結美(2008): 理科教育学研究, 49.

Nelson Science 7 や IGCSE 物理に見る熱概念

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^{1,2,3)}。Nelson Science 7 や IGCSE 物理のシラバス等では、『熱概念』はどの様に取り扱われているかを調査した。その結果、我が国の中学校理科の教科書とは異なり、『熱はエネルギーそのものではなく、エネルギーの移動や伝達のことであり、伝導や対流及び放射は、熱ではなく、エネルギーの移動の形態である。』と明確に説明されていること等が分かった。我が国の物理教育が1日も早く世界標準に追いつくことを願い報告する。

2 Nelson Science 7 ⁴⁾ に見る「熱概念」

(1) 『 7.2 Explaining Hot and Cold 』の節が p.185 から始まり (Chapter 7 Heating and cooling は p.180 から始まる)

p.186 の本文に、『 To heat an object means to transfer energy to the particles of that object. Heat is not a thing or substances that an object can contain. Instead, heat is the transfer of energy from warmer things to cooler things.

You should be careful about how you use the word “heat”. In an investigation, you may be instructed to “Heat the water in the beaker by placing it on a hot plate”. You should not, however, say, “Water absorbs heat when it is placed on a hot plate”. A substance cannot absorb heat. When water is heated, it absorbs energy, not heat. 』とある。

同ページの左の空きスペースには、次の様に記されている。『 Heat : the transfer of energy from the particles of a warmer object to the particles of a cooler object 』とある。(以上、下線は五十嵐による)。また、p.197 には、

『 Heat is the transfer of energy from warmer substances to cooler substances 』とある。(以上、下線は五十嵐による)。

上で見た様に、『物体を加熱することは、その物体の粒子にエネルギーを伝達することを意味する。』こと、『熱は物質に保持されるものではないこと。熱は、温度の高い物から温度の低い物へのエネルギーの移動であること。』また、『実験で、ビーカーの中の水を、ホットプレートの上に載せて加熱するとき、決して、水が熱を吸収した と云ってはいけない。物質は熱を吸収できない。水を加熱するとき、水はエネルギーを吸収するのであって、熱を吸収するのではない。』など、『熱』とは何かについて、『熱は、温度の高い物から温度の低い物へのエネルギーの移動を指す言葉であり、熱そのものが移動するのではない。』と、『熱概念のパラダイム転換による新しいパラダイムに基づく(熱はエネルギーそのものではなく、エネルギーの移動形態の1つ)、丁寧な説明がなされている。

(2) 8.1 Thermal Energy Transfer の節が p.202 から始まり、p.203 の本文に、

『 Thermal energy naturally moves from a substance with a higher temperature to a substance with a lower temperature. This energy will continue to move until the temperatures of the two substances are the same.

Thermal energy can be transferred in several ways. 』とあり、以下、8.3 Conduction 8.4 Convection

8.5 Convection 8.7 Radiation の節が展開されている。

『Thermal energy は、高温物質から低温物質へ自然と移動する。このエネルギーは、2つの物質の温度が同じ温度になるまで移動を続ける。 Thermal energy は様々な仕方で移動できる。』とあり、この後、伝導、対流、放射 の節が展開される。

(3) 8.3 Conduction の節が p.206から始まり、p.206 の本文に、

『When you cook an egg sunny side up in a pan on a hot stove, there is a transfer of thermal energy. The thermal energy transfers from the hot stove between and through the pan. The energy then moves from the pan and into cold egg (Figure 1). ...』とあり、p.207の本文に、『 Conduction is the transfer of thermal energy through a substance, or between substances in contact. This energy transfer is caused by the collision of particles. ... 』とある様に、『伝導とは、物質内部、或は接触している物質間を(熱ではなく) thermal energy が移動する(現象である)。』と説明されている。

(4) 8.4 Conduction and Geological Processes の節が p.208 から始まり、p.208 の本文に、

『 The Sun is a major source of thermal energy on Earth’s surface. Another large hidden source of thermal energy is geothermal energy with Earth. ... 』

同ページの左の空きスペースには、次の様に記されている。『 Geothermal energy : energy contained below Earth’s surface 』

『Geothermal energy とは、地球表面下に蓄えられている (熱ではなく)、エネルギーである。』と注記されている。

(5) 8.5 Convection p.210 から始まり、本文に、

『 In substances such as water and air, thermal energy can be transferred from one area to another. This transfer of energy relies on the fluid, characteristic of such materials. ...』

... Thus, convection is the transfer of thermal energy caused by the flow of a fluid's particles (a gas or liquid). ...』とあり、

『水や空気のような物質においては、thermal energy が1つの領域から他の領域に移動できる。このエネルギーの移動は、流体で起こり、その物質に特有な特性に依存している。... 従って、対流は、流体の粒子(気体や液体)の流れによって(熱ではなく) thermal energy の移動が引き起こされる(現象である)。...』と説明されている。

(6) 8.7 Radiation p.214 から始まり、本文に、

『 ... We use the term **radiation** to describe the transfer of radiant energy in the form of electromagnetic rays.

radiant energy : energy that travels in the form of electromagnetic waves through empty space; includes visible light, ultraviolet rays, and infrared rays.

Radiation : the transfer of radiant energy by means of electromagnetic waves. ...』とあり、

『放射と云う用語は、電磁波の形で放射エネルギーの移動を記述するために使用する。

放射エネルギーとは、真空の中を伝わる電磁波の形で伝わる(熱ではなく)エネルギーである。

放射とは、電磁波による(熱ではなく)放射エネルギーの移動である。』と説明されている。

又、p.224 の 8 Summary の Looking Back には、次の様に記されている。

『 Energy may be transferred by conduction, convection, and radiation. 』とあり、

『エネルギーは、伝導、対流、放射 によって伝達される。』と締めくくられている。以上の説明から、伝導、対流、放射 の現象は、熱の移動の形態ではなく、エネルギーの移動の形態であることが明らかである。

3 IGCSE 物理のシラバス^{5,6)} に見る「熱概念」

p.970 に、Content overview Candidates study the following topics として、次の6つの項目が示されている。

1 Motion, forces and energy 2 Thermal physics 3 Wave 4 Electricity and magnetism

5 Nuclear physics 6 Space physics

「熱概念」に関する項目は、2番目の 2 Thermal physics で、その細目は、以下の通りである。

2.1 Kinetic particles model of matter 2.1.1 States of matter 2.1.2 Particle model 2.1.3 Cases and the absolute scale of temperature

2.2 Thermal properties and temperature 2.2.1 Thermal expansion of Solids, liquids and gases

2.2.2 Specific heat capacity 2.2.3 Melting, boiling and evaporation

2.3 Transfer of thermal energy 2.3.1 Conduction 2.3.2 Convection 2.3.3 Radiation 2.3.4 Consequence of thermal energy transfer

中でも、2.3 Transfer of thermal energy の 2.3.1 Conduction の Supplement 4 には、『4 Know that there are many solids that conduct thermal energy better than insulators but do so less well than good thermal conductors 』とある。また、2.3.2 Convection の Core 1 には、『1 Know that convection is an important method of thermal energy transfer in liquids and gases 』とある。また、2.3.3 Radiation の Core 2 には、『2 Know that thermal energy transfer by thermal radiation does not require a medium 』とある。

Conduction, Convection, Radiation これら全ての現象は、「熱(heat)」ではなく、thermal energy が移動することであるが、我が国では、“thermal”を「熱(の)」と誤解し、“thermal energy”を「熱エネルギー」、「thermal expansion」を「熱膨張」、「thermal conduction」を「熱伝導」、「thermal radiation」を「熱放射」とそれぞれ誤訳して使用している。温度差によって移動した thermal energy を熱(heat)と呼ぶのであって、熱が移動するのではない。移動するのは thermal energy(温度によって持つエネルギー: thermal energy is energy possessed by a body in virtue of its temperature⁷⁾)と云う理解が大切。

4 考察とまとめ キーワードは “thermal energy” である。訳が困難ならば、「サーマルエネルギー」とすることを提案する。

5 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 「熱運動」は古い時代の “heat motion” の訳語であり、“thermal motion” は「温度による運動」或は「温度運動」と訳するのがベターである 日本物理学会第78回年次大会(2023年)講演概要集 R13 分科会 DVD版 p.2248

3) 五十嵐 靖則 中学校理科教科書に見るエネルギーと熱概念の混乱の実態 日本理科教育学会第73回全国大会発表論文集第21号(2023)p.315

4) Nelson Science & Technology Perspective 7 2009 Nelson Education Ltd. pp.186-224

5) Syllabus Cambridge IGCSE Physics 0625 Cambridge Assessment International Education 2022, pp.5-39

6) 五十嵐 靖則 「…我が国の高校生は IGCSE の物理試験に合格できるか」日本物理学会講演概要集 Vol.80, No.1, (2025) R13 DVD版 p.1692

7) G. W. Castellan Physical chemistry 3rd Ed. 1983, Benjamin/Cummings Pub. p.93

物理学実験における読み取り誤差指導の再検討と不確かさ概念導入

中野美紀

神戸大学高等教育推進機構

miki.nakano@port.kobe-u.ac.jp

1. 背景

物理学実験において測定値の信頼性評価は重要な学習内容である。現状では、初等・中等教育から大学初年次教育にかけて、「最小目盛りの 1/10 まで読み取る」「読み取り誤差は最小目盛りの $\pm 1/2$ とする」といった慣習的な指導が広く行われている。しかし、これらの基準はアナログ機器の読み取りを前提にした経験則であり、デジタル機器の測定値読み取りには必ずしも適合しない。また、これらの扱いは確率分布や測定器の仕様との関係が明確に説明されないことが多く、学生が「有効数字」「測定精度」「不確かさ」の違いの概念理解を混乱させる可能性がある。

本研究では、読み取り誤差指導の現状を整理するとともに、実測データに基づきその妥当性を検討する。さらに、GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) に基づく不確かさの概念を従来の誤差論に置き換えることを提案する。

2. 異なる分解能を持つ測定器による測定実験

異なる分解能を持つ測定器を用いて同一物体の長さ測定を行い、得られた測定値の平均値およびばらつきを比較した。

測定対象：円筒形物体（長さ約数 cm）

測定器：

- (1) 最小目盛り 10 mm アクリル定規
- (2) 最小目盛り 1 mm アクリル定規
- (3) 分解能 0.05 mm ノギス

測定回数：24 名が各条件で各 1 回測定

条件：

- ・内挿なし（目盛り値のみ）
- ・内挿あり（最小目盛りの 1/10 まで）

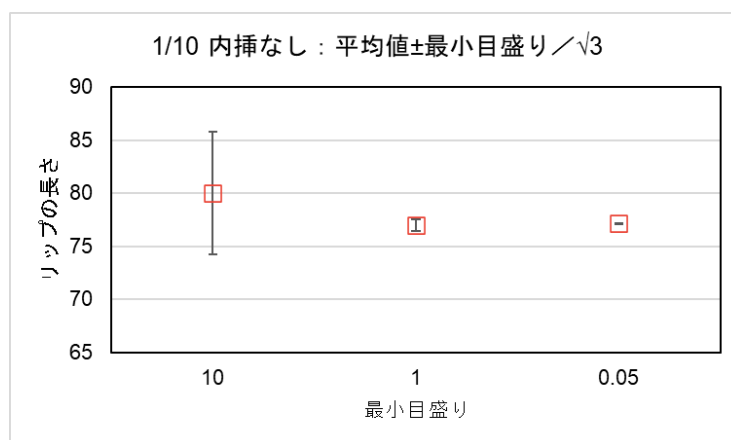


図 1. リップクリームの長さ測定

測定結果の分布を図 1 に示す。縦軸に測定値、横軸に使用した測定器の最小目盛りを示している。

- (1) 内挿なしの場合、各測定値は不確かさの範囲で一致した
- (2) 測定値の平均は分解能の高い測定器の値に近づいた
- (3) 内挿を行っても一致度の明確な改善は見られなかった

また、ノギス測定では機械的ばらつきの影響が観察され、分解能のみから精度を評価できないことが示唆された。

3. 不確かさの観点からの再整理

従来の「1/10 読み」や「 $\pm 1/2$ 」の規則は、測定値のばらつきを適切に表現していない可能性が

ある。国際的には、測定の信頼性は「誤差」ではなく「不確かさ」で表すことが標準となっており、GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) に基づく評価が広く用いられている。不確かさはタイプ A (統計的) とタイプ B (非統計的) に分類され、読み取りに起因する不確かさはタイプ B 不確かさとして扱われる。

タイプ B 不確かさは、最小目盛りや仕様書の精度を矩形分布と仮定して

$$u_B = a/\sqrt{3}$$

として標準不確かさに換算することが一般的である。一方、タイプ A 不確かさは繰り返し測定から得られる統計的ばらつきに基づいて評価される。実際の不確かさ評価では、両者を区別した上で

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

として合成される。

このように確率分布を明示することで、異なる起源の不確かさを適切に比較することが可能となる。

4. 提案：大学初年次実験における新しい指導方針

以上の考察を基に、本研究では以下の指導方針を提案する。

1. GUM に基づく不確かさ評価の考え方を導入し、タイプ A・B の不確かさを区別して評価する
2. 読み取り誤差をタイプ B 不確かさとして扱う
3. 不確かさの大きさを比較し、支配要因を考察させる
4. 有効数字を不確かさに基づいて決定する
5. 最小目盛りの 1/10 までの内挿は原則として行わない

これにより、学生が機械的な誤差計算ではなく、測定値の信頼性や限界を根拠とともに説明できる能力の育成が期待される。

参考文献

1. ISO/IEC Guide 98-3 : Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM).
2. 今井秀孝 (編) : 「測定における不確かさの表現のガイド [GUM] ハンドブック」, 日本規格協会
3. 槇原研正 (著) : 「測定の不確かさとその周辺」, 日本規格協会
4. Taylor, J. R. (著), 林茂雄・馬場涼 (訳) : 「計測における誤差解析入門」, 東京化学同人

高校物理選択者の間に男女間の学力差は存在するか

—5 年間の定期試験データの統計解析—

^A 渡會 兼也

^A 金沢大学附属高等学校

watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

教育現場には「物理学は男子生徒が得意な教科である」という根強い認識（バイアス）が存在する。筆者自身も過去に他教員から「物理は男子の方が点数が取れるから、女子には厳しいのではないか」という発言を耳にしたことがある。果たして、この現場の教員が抱く「経験則」は正しいのだろうか。もし、この認識が誤ったステレオタイプであり、実際には女子生徒も同等のパフォーマンスを発揮しているのであれば、この誤解が女子生徒の物理離れを助長する「隠れたカリキュラム」となっている可能性がある。本研究の目的は、女子生徒の物理選択者比率が比較的高い本校の過去 5 年間にわたる定期試験データを用いて、物理の学力における性差の実態を統計的に明らかにすることである。実際の成績データを用いてこの経験則を検証することは、ジェンダーギャップの議論を前に進める上で重要であると考ええる。

2. 分析方法

本研究では、過去 5 学年分（G1～G5）の第 3 学年における物理選択者（男子 215 名、女子 160 名、計 375 名）の定期試験データ（計 19 回分）を使用した。実施時期によって難易度が異なるため、各テストの素点を当該学年の偏差値に変換し、集団内での相対的な位置関係として評価した。

男女間の成績比較には、等分散性の仮定を緩和し偽陽性のリスクを低減させる Welch の t 検定、およびサンプルサイズに依存しない実質的な差の大きさを評価する効果量（Cohen's d ）を用いた。さらに、平均値は外れ値の影響を受けやすいため、分布位置の差を評価する Mann-Whitney の U 検定と、得点のばらつき（分布形状の違い）を検証する Levene 検定を併用し、分析の頑健性を高めた。

3. 分析と結果

5 年分のデータを解析した結果、G3 年度を除く 4 年

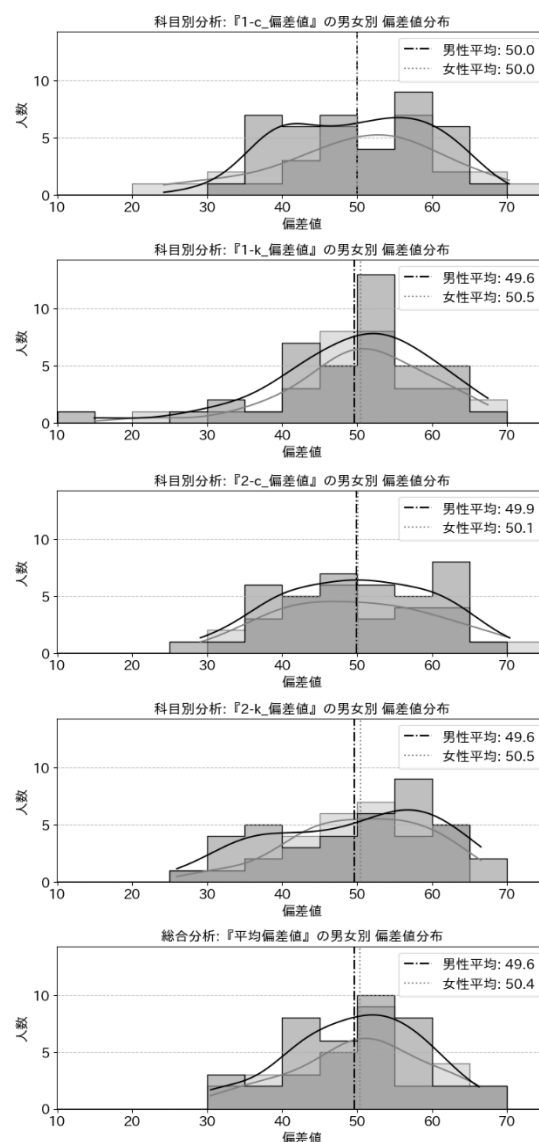


図1 代表的な年度（G4）の試験における偏差値分布

間（G1、G2、G4、G5）において、Welch の t 検定および Mann-Whitney の U 検定のいずれにおいても、統計的に有意な男女差は認められなかった。効果量（Cohen's d）も概ね $-0.1 \sim +0.3$ の範囲に収まり、実質的に無視できる大きさであった。また、Levene 検定の結果からも、男女の得点のばらつき（分散）に有意な差は確認されなかった。これは、「男子は高得点層と低得点層に二極化し、女子は平均付近に固まる」といった俗説とも矛盾する。唯一、G3 年度のみ中程度の効果量（ $d=0.63$ ）をもつ男子優位の有意差が見られた。この

年度のみ差が生じた理由は当該学年の集団特性等が考えられるが、はっきりした原因はわからない。5 年間のうち 4 年間で一貫した傾向が確認された事実に鑑みれば、本校の定期試験レベルにおいて構造的な性差は存在しないと考えられる。

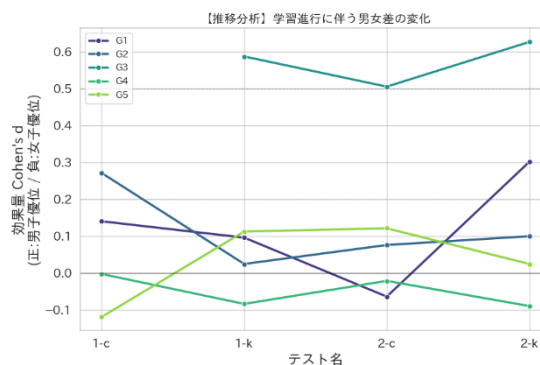


図2 効果量の時系列変化

表1 様々な分析による統計量のまとめ（*は $p<0.05$ を示す）

年度	t 検定(p 値)	Cohen's d	U 検定(p 値)	Levene 検定(p 値)	総合判定
G1	0.567	0.130	0.642	0.862	有意差なし
G2	0.567	0.129	0.634	0.420	有意差なし
G3	0.014*	0.625	0.009*	0.763	男子優位
G4	0.743	-0.079	0.740	0.990	有意差なし
G5	0.833	0.050	0.823	0.632	有意差なし

4. 考察と課題

客観的なデータでは性差が見られないにもかかわらず、なぜ現場の教員には「男子の方が点数が取れる」というバイアスが生じるのだろうか。最も直接的な要因として「基準率の無視」が考えられる。一般的な高校では物理選択者に占める女子の割合が極めて低い。そのため、上位層に男子が多くなるのは確率的に当然であるが、教員は絶対数の偏りを能力の差へとすり替えて認識してしまう。さらに、高得点層の男子生徒は記憶から想起されやすいため、「利用可能性ヒューリスティック」によって「物理ができる生徒＝男子」という連想が強められ、客観的なデータとは乖離した経験則が自己強化的に維持されていく構造が生まれる。

本研究は学力水準が比較的高い国立大附属高校 1 校のみデータであるため、公立高校とは集団特性が異なる可能性がある。また、今回は定期試験のみの成績であるため、異なる評価形式では結果が異なる可能性もある。本研究の結果のみで「高校物理全般で性差なし」と主張できないが、こういった試みを積み重ねることで、バイアスか否かを明らかにすることは必要であると考えられる。

参考文献

- [1] 新田英雄（2023）：物理教育にみられる定量的な男女差，物理教育，71(3)，206-209.
- [2] 一方井祐子（2023）：物理学を学ぶ女性が少ない理由を探る，物理教育，71(3)，194-197.
- [3] Kahneman, D., & Tversky, A. (1973) : On the psychology of prediction, Psychological Review, 80(4), 237-251.

強制振動から明らかになった新しい潮汐像

池田 幸夫

(崇徳中・高等学校非常勤講師 山口大学名誉教授)

ikedat2329@gmail.com

1 強制振動

月が南中した地点とその反対側では、月の起潮力によって海面が引き上げられて満潮になる。ニュートン流のこの説明は、広く世界中で共有されている。しかし、この説明には力学的な矛盾がある。起潮力は約 12 時間周期で作用する周期的外力であるにもかかわらず、その周期性が考慮されていないからである。一般に、周期的な外力を受けると、物体は強制振動を起こす。これをアリストテレス流の三段論法で記述すると、その矛盾はわかりやすいであろう。

命題Ⅰ：起潮力は約 12 時間周期で作用する [真]

命題Ⅱ：海洋には固有周期がある (約 30 時間) [真]

ゆえに、命題Ⅲ：周期的外力が作用すると、物体は強制振動を起こす [真]

本研究は、上記の考えに基づいて潮汐現象を再検討する試みである。これは、強制振動の光 (理論) を使って、潮汐現象を根本から見直す試みでもある。

潮汐が強制振動であることを、初めて理論的に明らかにしたのは福住靖治である。2001 年に「物理教育」に発表した彼の論文は、潮汐研究のターニングポイントとも言うべき重要な論文である。その翌年には、ロシアの Butikov (2002) も同様の論文を発表している。さらに、公開された年は定かでないが、流体力学の専門家である中野徹は、流体力学の理論から導いた、強制振動潮汐論を公にしている。また、2013 年には、イギリス在住の数学者 Tokieda (時枝正) が、自身が編集に関わった著書「Tides in Astronomy and Astrophysics」の中で、強制振動潮汐論の可能性に言及している。

私自身が強制振動に関心を持ったのは、2010 年頃のことである。論文として発表したのはかなり遅れて 2019 年と 2022 年である。上記の 4 氏の主眼が理論的・数学的証明であるのに対して、私は、潮汐を強制振動現象として見直すと、どのような運動像を描くことができるか、という課題を演繹的に考察する研究スタイルをとっている。このポスターセッションでは、15 年以上をかけて得られた成果として、「水深による潮汐の分類」、「潮汐の力学的運動像」、および「潮汐バーストの概念」等について報告し、強制振動潮汐論に興味と関心が広がることを期待している。

2 強制振動の性質

まず、強制振動の基本的な性質をまとめておこう。強制振動の大きな特徴は、物体の運動が外力の周期 (T) と物体の固有振動周期 T_0 に強く依存していることである。

- ① 周期 …… 外力の周期に等しい。
- ② 振幅 …… 外力の周期と物体の固有周期の大小関係によって、振幅の向きと大きさが決まる。両者が等しいとき、振幅は無限大となる (共振)。
- ② 振動の向き …… 物体の固有周期 T_0 と外力の周期 T によって、振動の向きは次のようになる。
 $T_0 < T$: 物体の運動の向きは外力の向きと同じ (同位相) (図 1)
 $T < T_0$: 物体の運動の向きは外力の向きと逆 (逆位相) (図 2)

地震防災の観点から、長周期地震動による高層ビルの揺れに対する関心が高まっている。地震動によ

る建物の揺れは、身近な強制振動現象のひとつ（図1と2）。注目すべきことは、図2の逆位相である。地震動の揺れの周期 T が建物の固有周期 T_0 より短い場合には、地面が右に揺れると、建物の上部は左に移動し、逆に地面が左に揺れると、右に移動する。もう一つの特徴は、どこかの高さに変位0の「無変位点」ができることである。潮汐においても、これと同僚の運動が起こるのである。

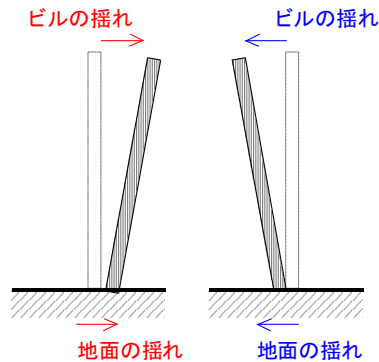


図1 同位相の揺れ方

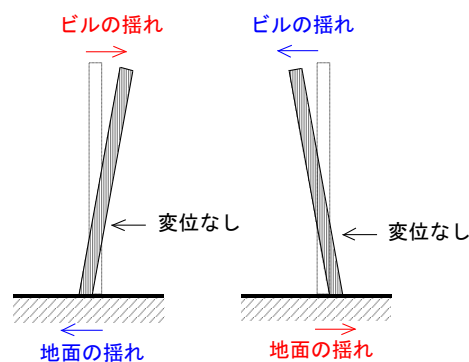


図2 逆位相の揺れ方

2. 強制振動から導かれる潮汐像

(1) 水深による潮汐の分類

海洋を伝わる潮汐波は浅海波である。浅海波の速度は水深 h の平方根に比例する。海洋の場合、水深 22,000m において 460m/s となり、自転による月影の移動速度に一致する。このとき、共振が発生するのである。このことから、水深 22000m を基準に、潮汐を3つの型に分類することができる（図3）。

(2) 同位相と逆位相の潮汐の力学的運動像

水深が 22,000m より深い海洋では、潮汐波の速度が 460m/s より大きく、潮汐波は1日で地球を一周する。このばあい、半日周期の説明が成り立つ。

bは逆位相の潮汐である。潮汐波が移動するのではなく、海面が上下に動いて、地球全体の海面の形が楕円→円→楕円→円・・・と楕円と円を繰り返す**楕円振動**を繰り返し、逆位相の関係を保ち続けるのである。

(3) 潮汐バーストの概念

地球の自転は、潮汐摩擦によって 100 年間で約 0.0024 秒ずつ遅くなっている。遅れがこのまま続くと、約 45 億年後に自転周期が約 30 時間になり、海洋の固有周期と等しくなる。したがって、太陽系が存在し続けるならば、約 45 億年後に共振による巨大潮汐（**潮汐バースト**）が発生するのである。

潮汐バーストの概念は、固体地球にも適用可能である。固体地球の固有周期を約 1 時間である。ゆえに、自転周期が 2 時間になると、固体地球は共振を起こす。原始地球の自転速度は 10 時間より速かったと考えられているが、潮汐バースト概念は「2 時間より速いことはあり得ない」ことを示している。もし 2 時間より速い場合には、2 時間になった時に潮汐バーストによって、原始地球は崩壊したはずだからである。

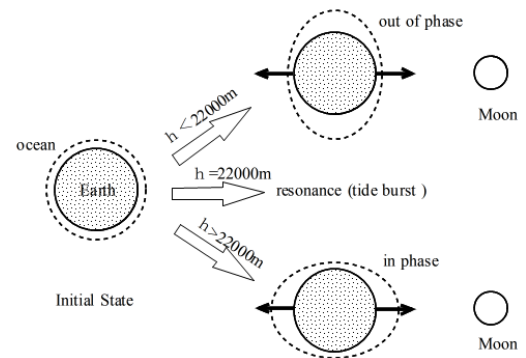
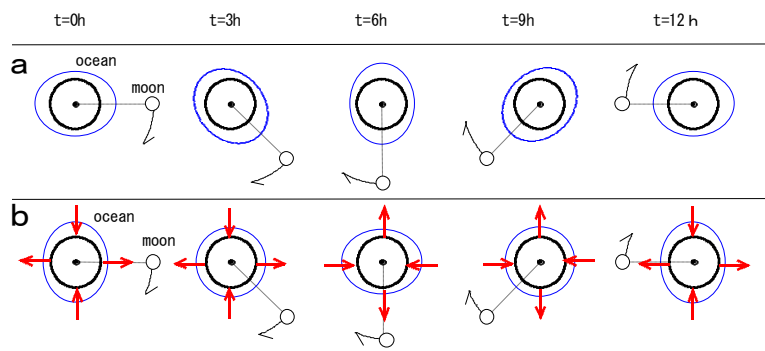


図3 水深による潮汐の分類

図4 運河状の仮想海洋における潮汐の運動像 a: 同位相, b: 逆位相
矢印は海面の上下動を表す

数学的モデリングの逆問題アプローチ実践 ～グラフから考える物理現象～

高須 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

現行の学習指導要領（2017 年・2018 年改訂）では、主体的・対話的で深い学びの核として「数学的モデリング」が重視されている。これは、現実の事象から問題を見出し、数学的表現（数式やグラフ）に落とし込んで解決・評価する一連のプロセスである[1]。近年、ICT の普及により手描きのグラフ描画などの負担が軽減され、グラフの解釈や評価という高次の思考に時間を割くことが可能となった。

しかし、学校現場の実態は、入試制度の壁や時間的制約、教科書の枠組み（カリキュラムの制約の他に、例えば「答え」が決まっていることなど）から、「公式を参照し、整ったグラフを描いて完成」という解法パターンの習得に終始しがちであると考えられる。特に日本の理数教育においては、数学の「抽象的な記号処理」と理科の「具体的な現象解釈」との分断が大きな課題として指摘されている[2]。数学での関数の性質を抽象的に学び、理科で具体的なデータの測定を個別に行う縦割り型の学習では、数式の背後にある実体の具体的な意味を、実感をもって理解することは難しい。

高校までの受動的な学習から、能動的な科学探究へのスムーズな移行を促すには、数学の抽象性と理科の具体性とを結びつける領域横断的なアプローチが必要である。そこで、本研究では「数式や条件を与えられてグラフを描く」という従来の順問題アプローチを反転させ、「与えられたグラフから背景にある現実の測定プロセスを逆算させる」という逆問題アプローチに基づくワークショップ（WS）型授業を、大学初年次教育において実践し、その教育的効果を検証した。

2. ワークショップの設計と方法

(1) WS の実施概要

以下の要領で実施した。

◆対象：医学部医学科 1 年生 118 名

◆時期：2026 年 4 月

（物理・化学系の講義 15 コマを受講した直後）

◆時間：65 分

◆課題：図 1 のような測定結果の模式図に当てはま

る現象を、下記の条件のもとで各々 4 種類挙げよ。

条件 1) 独立変数（横軸）と従属変数（縦軸）に相当する物理量を挙げること。

条件 2) 直前の講義 15 コマで扱った測定を優先すること。（困難な場合は自由に選んでよい）

条件 3) 軸は線形に限定しない。交点もゼロ点に限定しない。

条件 4) 物理的に意味のある量への変換（対数軸化や変数変換など）を認める。

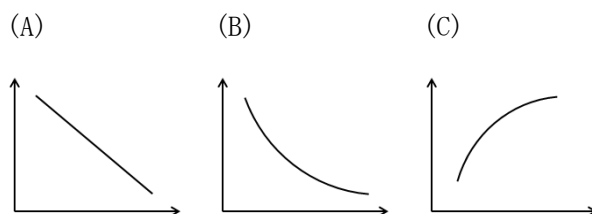


図 1 測定結果の模式図

(2) WS の流れ

森の協調学習（Think-Pair-Share）の考え方[3]を応用し、次の 3 ステップを展開した。

- ◆ステップ1（個人ワーク：30分）個人での作業。各々につき4種類挙げることで、および原則として講義で扱った測定に限定するという高い負荷を課した。講義の復習も想定。
- ◆ステップ2（グループワーク：30分）6人組の班でアイデアを持ち寄り、次のテーマで検討：各グラフに対して、「誰もが思い付く標準的な測定」と「誰も思い付かないレアな測定」を挙げる。（メタ認知の発現を想定）
- ◆ステップ3（個人最終回答：講義後入力）グループ討論を経て他者の視点を得た上で、再度自分なりの「標準」と「レア」を最終回答する。

3. 結果と考察

(1) 個人ワークにおける初期発想

ステップ1における全グラフへの回答率は6割程度であり、4種類すべての測定を提示できた受講生は回答者の約3割であった。想定どおり、受講生には高い負荷であったことがうかがえた。有効回答の分類では、(A)では物理(34.8%)や医学・生物(21.6%)、(B)では化学・熱力学(35.0%)が上位を占めた。(C)では生化学・医療(21.8%)の他、感覚(15.0%)といった多様な現象が挙がった。

(2) グループワークによる多角化とメタ認知

ステップ2のグループワークでは活発な討論が行われ、回答率は100%となった。班ごとの分類結果では、例えば、(B)の「標準」ではボイルの法則(76.2%)、「レア」では逆二乗則(25.0%)、フーリエ級数の強度、材料力学(10.0%)が挙がった。(C)の「標準」ではミカエリス・メンテン型酵素反応(23.8%)、比熱の温度変化や充電過程(28.6%)、「レア」では振り子の周期と糸の長さ(23.8%)、植物の光合成などの飽和現象(9.5%)などが挙がった。

(3) 最終回答における変容

講義後に提出された最終回答(有効回答105件)の分類は、概ねグループワーク討論での分類と一致した。同一班で同様の回答が散見されたことから、討論を通じてモデルと現象とを結びつけたイメージが共有され定着したと考えられる。また、自由記述のアンケートからは、「討論して初めて標準かレアかを客観視できた」「摩擦による速度変化と血中濃度変化という異なる現象が同じグラフで表されると気づいた」など、抽象(モデル)と具体(現象)とを往復するメタ認知の広がりや、数理やモデリングに関する捉え方の変化(パラダイムシフト)が認められた。

4. まとめ

本WSの実践より、逆問題アプローチを用いた一連の教育プロセスは、受動的学習から能動的学習への変容を促し、主体的かつ多角的な数理モデリング能力を引き出す上で有効であった。ただし、本実践では、いくつかの数理的誤認が散見された。今後は、これらの数理的誤認を克服するような工夫の検討が必要である。

参考文献

- [1] 森田大輔, 奥田航真, 渋谷良太 (2024): 日本における数学的モデル化に関する近年の研究動向, 第一工科大学研究報告, 第36号, 86-101.
- [2] 佐藤海都, 福田博人 (2025): 理科と数学それぞれの資質・能力におけるSTEMリテラシーとそれらの関連性, 日本科学教育学会研究会研究報告, 第40巻, 第3号, 67-72.
- [3] 森理宇子 (2020): 初年次教育における協同学習の効果, 東京経済大学 人文自然科学論集, 第146号, 133-151.

物理教師、ウェブアプリを作る。

^A 今和泉 卓也

^A 筑波大学附属駒場中・高等学校

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

1. 数年前では考えられなかったすごい時代です

昨今の生成 AI の急速な進展によって、教師個人が自分の授業に合わせて Web 教材やマイコン教材などを開発することが驚くほど簡単な時代になってきた。これまでは一部の専門的な知識を持つ教師だけが行ってきた取り組みを、現代においては誰しもが行えるようになってきた、ということである。

「百聞は一見に如かず」という言葉があるように、見て体験したほうがはやいと思うので、自作（というか、自分で作ったのか？）の Web アプリを紹介する。どれも生徒たちが能動的に実験あるいは思考できるように工夫してみたつものものである。

2. 作品例

作品例は以下の通り。すべてブラウザ上で動作し、Chromebook でも使えるように配慮されている。



図1 端末だけで「音波の干渉」生徒実験【Easy Oscillo】



図2 管中の音波を USB マイクとスピーカーで探索【TubeScope】



図3 楽しく周期表をゲーム感覚で学べる【周期表アプリ】



図4 測定器の7セグを撮影した動画から値の変化を自動データ化【7SEG Reader】

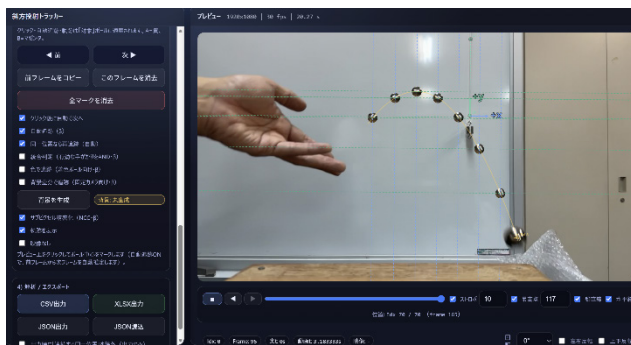


図5 スロー動画で斜方投射を簡単に解析
【らっかトラッカー】

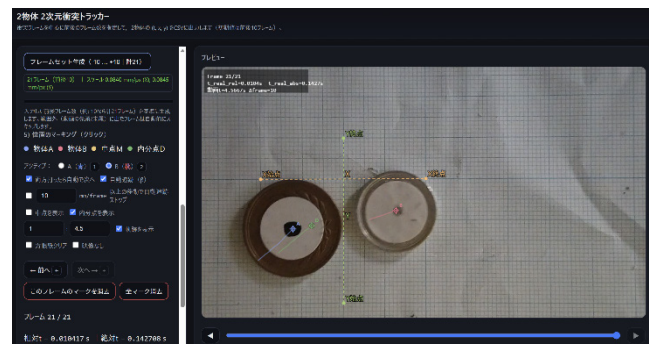


図6 コイン2次元衝突解析で運動量保存
【2次元衝突トラッカー】

本研究は JSPS 科研費 JP22H00085, JP26H01983 の助成を受けたものです。

また、開発にあたっては、大阪教育大学附属高校池田校舎の小田朋宏先生の取り組み[1]や多くの先生方のご意見が大変参考になりました。心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 小田朋宏, 「池附の物理」 <https://sites.google.com/ikeda-g.oku.ed.jp/odaphys20200827/home>
(参照 2026.7.10)
- [2] 今和泉卓也, 「i-Physics」(開発したアプリ群を掲載) <https://ssl.xrea.com/phys.g2.xrea.com/>
(参照 2026.7.10)



Easy Oscillo



周期表アプリ

Building Thinking Classrooms を取り入れた高校物理の協働学習の授業実践

内田 紘人

滋賀県立河瀬高等学校

st24242618@ms.pref-shiga.ed.jp

1. はじめに

私は小林(2015)の高校物理授業[1]. をモデルに実践を続けていたが、メインのグループワークの時間に生徒が活性化しないことに行き詰っていた。そこで、Liljedahl(2016)が提唱する、数学の授業における BTC 理論 (Building Thinking Classrooms) [2], を取り入れて、グループワークを活性化することに挑戦した。その経過と結果について述べる。

2. 方法

(1) 挑戦前の状況

- ①対象生徒は、2025 年度の高校 2 年生、理系物理選択者 2 クラス 38 名である。
- ②2 学期までのグループワークは、席は自由と指示していたが毎回固定メンバーのグループ席になっていた。そのまま、説明を聞き、その後の問題演習のグループワークの際も席の移動はほとんど起こらなかった。どうしても分からなくて困っているグループに「こんなときはどうすればいいですか？」と聞くとたまに、「他のグループに聞きに行く」と答えてから聞きに行くことはあったが、その頻度は非常に低く、教師に促されない限り起こらなかった。

(2) BTC 理論の挑戦の内容

- ①BTC 理論の導入にあたって推奨されている 3 つのツールキットを導入した。
 - (a) 毎授業でランダムな 3 人グループを、くじ引きにより作成した。
 - (b) 「垂直の消せる作業面(VNPS)」、すなわちキャスター付きの大きなホワイトボードや黒板と、筆記具 1 本 (ホワイトボードマーカーもしくはチョークホルダー) を各班に使用させた。
 - (c) 毎回、カリキュラムに則った、適切な思考課題を与える。
- ②毎回の授業の、生徒の動きは以下のような流れである。
 - (a) 教師の短時間の説明を聞いた後、グループ毎に教室内に複数設置された「垂直の消せる作業面 (VNPS Vertical Non-Permanent Surfaces)」の前に立った状態で集まる。
 - (b) 教師が示した演習問題や、教科書に掲載されている式の導出問題などを、VNPS に、班で 1 本だけある筆記具を用いて取り組む。筆記具は 1 人で独占せず、1 問ごとに持つ人が交代する。
 - (c) 生徒が書いた答案を用いた教師のまとめを聞いた後、リフレクションカードを記入する。

3. 結果

これまでより生徒のグループワークが活性化した。

- (1) 毎回異なるグループで問題を解くことで、生徒の役割が固定化されず、達成すべき内容目標に向かって 3 人で議論をしながら協働学習することができた。2 学期まではあまり積極的に議論に参加できなかった生徒が、マーカーで数式を書きながら熱心に議論する様子も見られた。
- (2) 2 学期までは教師の説明後、一旦静かに各自問題を解く雰囲気があったため、初歩的な場所で躓いている生徒が質問しづらかった。しかし、教師の説明後すぐに VNPS の前に立つようになったことで最

初から議論が活発になり、教師の説明を聞いても分からなかった箇所を3人で相談してから、協力して思考課題に取り組むように変化した。

(3) 自由席の時は人数が多くても良かったため、6人以上の班では全然議論に参加できない生徒（大抵の場合はその班の中で理解度が低い生徒）が複数存在していた。しかし、ランダムな3人グループを指定して、筆記具を順番に回すようにしたことで、誰もが議論に参加するようになった。

(4) 班で解いた式がVNPSに大きく書いてあることで、議論に行き詰ったときにぐると教室内を見渡して、他の班が書いた数式を見ながらヒントを得たり、気になる記述をしている班の所に歩いて行って質問したりという様子が見られた。これは、VNPSに書いている点と、演習中常に立っている点、別の班に仲の良い友人がいる点などが合わさって、他の班の考え方を知って立ち歩いて他の班まで質問しに行くという行動へのハードルを大きく下げたと言える。

4. 両方の授業形態に対する生徒の認識の違い

3学期の最後に生徒にアンケートを行った（回答数31件）。主に、1・2学期の自由席でプリント演習メインの授業形態と、3学期のランダム三人グループでVNPSメインの授業形態の、両方の良かった点を答えさせた。また、3年生ではどちらの授業形態で授業を受けたいかを答えさせた。以下にその回答を分析して、私がタグ付けしたものをまとめる。

(1) 1・2学期の自由席でプリント演習メインの授業形態の良かった点

- ①個別最適化された進度による十分な演習量の確保 ②問題演習の習慣化
- ③安心安全の場の創出による質問のしやすさ

(2) 3学期のランダム三人グループでVNPSメインの授業形態の良かった点

- ①人間関係の広がりと多様な視点の発見による積極的な対話
- ②説明後すぐに立って議論し始めることによる質問のしやすさ
- ③他のグループとの意見交換のしやすさ ④本質的な教科書内容理解と思考の深まり
- ⑤主体的に考えられる授業構造（身体的・意識的）

(3) 3年生ではどちらの授業形態で授業を受けたいか

- | | | |
|---------------------------|-----|-----|
| ①3学期のランダム三人グループでVNPSメイン | 19人 | 61% |
| ②1・2学期の自由席でプリント演習メイン | 8人 | 26% |
| ③どちらでもよい・折衷案（自由グループでVNPS） | 4人 | 13% |

5. 今後の展望

定期テストにおける点数については、目に見えるほどの大きな飛躍は見られなかったことから、定期テストの成績向上のための追加の取り組みについて考える必要がある。BTC理論の中にはそのための方策として「学習単位を構成する成果のリストを配布する」「グラフィックオーガナイザー（知識やアイデアを視覚的に表現するツール）に授業のまとめを記録する」といった手段が記載されている[3]ことから、その点についても次は挑戦していきたい。

参考文献

- [1]小林昭文(2015)：アクティブラーニング入門，産業能率大学出版部
- [2]Peter Liljedahl(2016)：Building Thinking Classrooms: Conditions for Problem-Solving
- [3]Peter Liljedahl(2025)：ピーター・リリヤドール（著），梅木卓也（監訳），有澤和歌子（監修）
「考える教室」をつくる—授業はここまで変えられる，新評論

慣性質量に関する演示実験授業における概念変容の校種間比較

夏目 ゆうの，中畑 颯太，瀧本 家康，南 伸昌

宇都宮大学共同教育学部

natsumey@a.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

力学分野における「力と運動」に関する概念は，物体の運動を理解するうえで基盤となる。しかし，この概念について中学生は「運動している物体には運動方向に力が働き続ける」「物体の速さは働く力が大きいほど大きくなる」といった素朴概念をもち，容易には変容しないことが報告されている[1][2]。また，大学生においても「物体の速さは働く力の大きさのみで決まる」という誤概念が根強く存在し，その背景には物体の運動の変化しにくさを表す「慣性質量」の概念が十分に形成されていない可能性が指摘されている[2]。

これらの先行研究では，力と運動に関する誤概念の改善を目的とした授業実践や教材開発が行われているものの，同一の授業実践を異なる校種の学習者に実施し，慣性質量の理解や概念にどのような変容がみられるかを比較した研究は見当たらない。

そこで本研究では，中学生と大学生を対象として，質量の異なる物体の運動を扱う同一の演示実験授業を実践し，その前後の概念調査の結果を比較することで，校種による慣性質量の概念形成の特徴を明らかにするとともに，その違いから授業実践の効果について検討することを目的とする。

2. 実践

本実践は，物体の質量と運動の関係について，生徒が演示実験ごとに「個人予想・話し合い・実験観察・再整理」を行う 50 分間の授業として構成した。中学 3 年生 95 名，大学 1 年生 44 名を対象に実施し，いずれも授業は 3～4 人一組の班を編成し，以下の 5 つの活動を通して質量の性質を検討させた。活動 1 では，図 1 のように 1kg と 500g の台車が同じ傾きの斜面を下る速さを比較させた。活動 2 では，1kg と 500g の静止した台車に同じ力を加えたときの進む距離（動きにくさ）を比較させた。活動 3 では，1kg と 500g の運動中の台車に同じ力を加えたときに進む距離（止まりにくさ）を比較させた。活動 4 では，これまでの活動を踏まえて「質量とはどのような性質か」を班で話し合い，概念の言語化を促した。最後に活動 5 として，ここまでの活動を基に，活動 1 の斜面における質量の異なる台車の運動を説明させ，観察事実と質量の性質を関連付けて整理させた。

1kg または 500g の台車

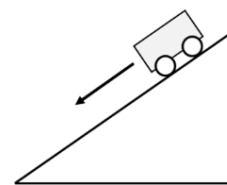


図 1 活動 1

各活動における個人予想および班での話し合い後の予想の正答率を表 1 に示す。班での話し合いを通して，両群とも各活動の

正答率は向上した。また，中学生では活動が進むにつれて，個人予想・話し合い後ともに正答率が上昇した。

表 1 対象学年別の各活動における予想の正答率の比較 (%)

活動	中学生		大学生	
	個人予想	話し合い後の予想	個人予想	話し合い後の予想
活動 1：斜面の運動	27	37	52	100
活動 2：動きにくさ	57	69	77	98
活動 3：止まりにくさ	74	88	74	91

3. 概念調査

中学生と大学生における本授業実践による概念変容を比較するため、4つの共通の設問からなる事前・事後調査（4点満点）を実施した。有効回答数は中学生70名、大学生42名である。

事前調査の平均点は中学生2.09点、大学生2.38点であり、Wilcoxonの順位和検定を行った結果、有意差は認められなかった（ $p=0.176$ ）。このことから、学習経験の多小に関わらず、授業前には校種間で明確な差はなかったといえる。授業実践後には、大学生では全設問で正答率が上がり、事前平均2.38点から事後平均3.00点へ有意に向上した（ $p=0.004$ ）。一方で、中学生は事前平均2.09点から事後平均2.29点へと微増したものの、有意な向上は認められなかった（ $p=0.114$ ）。加えて、事後調査では大学生の平均点が中学生より有意に高かった（ $p=0.0016$ ）。

そこで、中学生だけ概念形成が十分でなかった要因を分析した。図2に中学生の調査問題の設問別正答率の変化を示す。設問1-1で事後において正答率が低下していることが分かる。設問1-1では、同じ高さから同時に落とした1kgと2kgの鉄球にはたらく重力の大きさを、設問1-2では、その落下の速さを問うた。設問1-1の回答を、回答者別にみると、事前には正答「2kgの鉄球に、大きな力がはたらく」を選んでいてもかわらず、事後に誤答「二つの鉄球には、それぞれ同じ大きさの力がはたらく」を選んだ生徒が全体の28.4%いた。回答理由を述べた自由記述をみると、「質量が異なっても同時に落下する」という実践の活動1の観察結果を重視するあまり「同時に落下するので、はたらく重力も同じである」と解釈する知識の誤変換が生じていた。

さらに両校種において、4つの設問に対する回答理由の自由記述を分析した。その結果、大学生では「止まりにくい」「変わりにくい」など慣性質量に関わる概念的・抽象的な語彙や2倍などの定量的表現が多く用いられたのに対し、中学生では「重い」「ぶつかる」など現象レベルの語彙が中心であった。

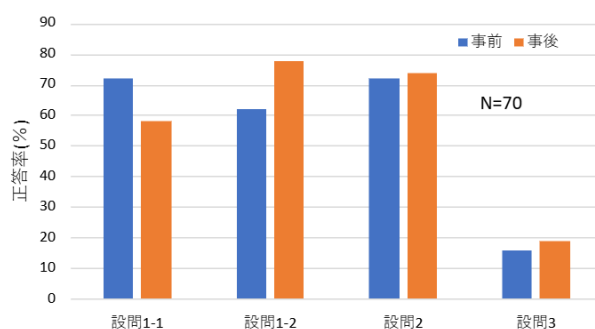


図2 中学生の概念調査の設問別の正答率

4. おわりに

中学生と大学生を対象として物体の運動を扱う同一の授業を実践したところ、授業中の各活動を通して、中学生・大学生ともに、演示実験の運動の様子を予測した正答率が向上した。しかし、事後調査では大学生は慣性質量の概念理解が有意に向上したのに対し、中学生では概念形成が十分には認められなかった。中学生では「質量が異なっても同時に落下する」という観察結果を「はたらく重力も同じである」と誤って一般化する知識の誤変換がみられ「重力は質量に比例して大きくなる。しかし慣性質量も同じ割合で大きくなるため、加速度は同じになる」という、力と慣性質量、慣性質量と運動を関係づけた理解にはいたらなかった。以上より、中学生が現象の理解から慣性質量の概念理解へと至るためには「同時に落下する」という現象と「重力の大きさ」および「慣性質量」との関係を明示的に扱い、現象の観察から概念の抽象化へと段階的に導く教材や指導法の工夫が重要であると考えられる。

参考文献

- [1] 金井英男(1997)：「力学分野における中学生の持つ素朴概念の実態」，日本科学教育学会研究会研究報告，11(5)，75-80.
- [2] 金井英男, 高野庸(2001)：「力と運動に関する素朴概念とその改善の試み」科学教育研究，25(4)，274-282.

高校物理における生成 AI を用いたシミュレーション教材開発プロセスの提案

盛田 義弥

石川県立小松高等学校

morita@ishikawa-c.ed.jp

1. 序論

物理教育において、シミュレーション教材は、直接観察が難しい現象や抽象的な物理モデルを可視化するための有効な手段とされている。また、学習者が条件を変えながら現象を探索できる点にも特徴がある。たとえば、PhET に代表される相互作用的シミュレーション教材は、物理概念の理解を支援する教材として広く用いられており、PhET シミュレーションの活用が学習者の概念理解を高めることが報告されている[1]。一方で、既存のシミュレーション教材は有用である反面、授業者が扱いたい特定の場面や授業展開に応じて、新たな教材を作成したり既存教材を改変したりすることは容易ではない。

近年、生成 AI の発展により、プログラミングを専門としない授業者であっても、対話を通してシミュレーションプログラムを生成し、教材を試作することが可能になりつつある。物理教育の中でも、生成 AI を用いてシミュレーション教材を迅速に作成する試みが報告されており、AI によるコーディングが新たな教材開発の手段となる可能性が示されている[2]。国内でも、高校・大学を問わず既に同様の試みを行っている授業者は少なくないのではないかと。しかし、授業者が授業で実際に用いることを想定して生成 AI と協働し、シミュレーション教材を開発する際に、どのような開発プロセスが有効かは、十分に整理されているとはいえない。特に、物理教育用の教材では、物理モデルの妥当性だけでなく、表示の分かりやすさ、授業中の操作性などを考慮する必要がある。

そこで本研究では、高校物理の授業で用いるシミュレーション教材を、ChatGPT および Codex を用いて試作し、その過程を通して、AI を活用した教材開発における開発プロセスを整理することを目的とする。

2. 方法

本研究では、高校物理の内容に関する複数のシミュレーション教材を試作した。教材開発の方針として、生徒がシミュレーション上で変数を操作し、その中で物理的な原理・原則を見出せるような教材開発を目指した。教材開発には、OpenAI が提供する対話型生成 AI である ChatGPT と、コード生成・編集支援を行う Codex を用いた。ChatGPT は、筆者の教材アイデアを言語化し、Codex へ渡すプロンプトを生成するために用いた。Codex は、その内容をもとにシミュレーション教材を実装するために用いた。なお、Codex は主にデスクトップアプリ版を使用した。また、実装する教材は HTML, CSS, JavaScript を用いた単一の HTML ファイルとして作成し、外部 API に依存せず、ブラウザ上で動作する形とした。生成された教材については、筆者がブラウザ上で動作を確認し、表示や操作、物理的な妥当性を確認した。その後、必要に応じて ChatGPT との対話により修正方針を整理し、Codex に修正指示を与えることで教材を改善した。また、作成した教材は GitHub Pages 上で公開可能な形とした。

3. 開発プロセスの整理

約10個の物理シミュレーション教材を試作する中で、教材開発の流れを整理した。整理した開発プロセスを図1に示す。まず、筆者が授業で扱いたい教材アイデアを ChatGPT に音声入力等で説明し、どのようなシミュレーション教材にするかを対話的に具体化した。その後、ChatGPT に Codex へ入力するためのプロンプトを生成させ、そのプロンプトを Codex に入力することで、シミュレーション教材を生成した。

生成された教材については、別セッションの Codex に動作検証を行わせ、検証結果のレポートを確認した。さらに、筆者自身も実際に教材を操作し、表示、操作、物理的な妥当性、授業のねらいに沿っているか等の観点から修正点を確認した。その後、修正内容を Codex へ指示し、教材を改善した。完成した教材は、GitHub Pages 等で公開することで、生徒へリンクとして共有できる。また、単一のHTMLファイルとして作成しているため、ファイルそのものを配布することも可能である。

当初は試行錯誤を伴ったが、上記のように開発手順を整理してからは、筆者の教材アイデアが1つのシミュレーション教材として完成するまで、筆者の開発環境ではおおむね2時間程度で開発できるようになった。特に、生成された後の教材の修正に時間を要するが多かったため、Codex へ入力するプロンプトを ChatGPT との対話を通して教材の目的、操作変数、表示内容を十分に具体化することが重要であることが分かった。また、その際にタイピングだけでなく音声入力を用いて教材アイデアを詳しく説明することは、開発時間の短縮に有効であった。

4. 結論

本研究では、高校物理の授業で用いるシミュレーション教材を生成AI（ChatGPT および Codex）で試作し、教材開発のプロセスを整理した。その結果、授業者の教材アイデアを ChatGPT との対話によって言語化し、Codex でコーディングすることで、プログラミングを専門としない授業者であっても授業意図に応じたシミュレーション教材を短時間で開発できることが分かった。

一方、本研究は教材開発プロセスの提案に留まっており、授業実践による学習効果の検証はまだ行っていない。今後は、開発した教材を授業で活用し、これまでに開発されたシミュレーション教材のような生徒の概念理解への効果が得られるかを検証する必要がある。

参考文献

- [1] Banda, H. J., and Nzabahimana, J. (2021) : Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature, *Physical Review Physics Education Research*, 17, 023108.
- [2] Ben-Zion, Y., Zarzecki, R. E., Glazer, J., and Finkelstein, N. D. (2025): Leveraging AI for Rapid Generation of Physics Simulations in Education: Building Your Own Virtual Lab, *The Physics Teacher*, 63, 424-427.

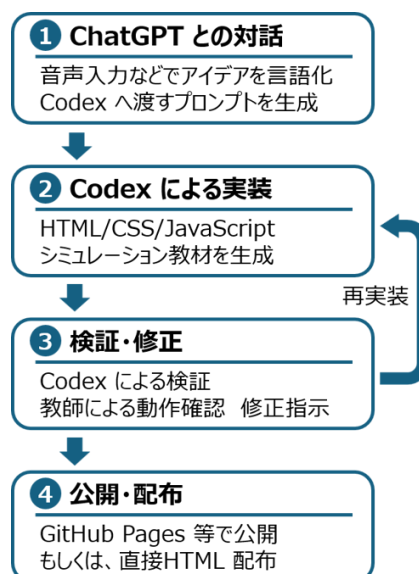


図1 生成AIを活用したシミュレーション教材開発のプロセス

POE 学習法を取り入れた運動解析ソフト活用授業の実践と学習効果の検証

^A 山路泰平, ^B 長谷川大和, ^C 谷口喜太郎, ^{A,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, ^B 東京科学大学附属科学技術高等学校,

^C 東京理科大学理学部第一部科学コミュニケーション学科

1726522@ed.tus.ac.jp

1. 背景・目的

運動学の学習では、運動現象をグラフや数式と関連付けて理解することが重要である。しかし、学習者は運動グラフ理解に困難を抱えていることが知られている[1, 2]。

この課題に対し、Hake は Interactive Engagement (IE) 型授業の有効性を示し[3], Vaara and Sasaki はその考え方に基づき、Prediction-Observation-Explanation 学習法 (POE 学習法) と運動解析ソフトを組み合わせた大学における物理授業での有効性を報告している[4]。一方、高校生を対象に、生徒一人ひとりが運動解析ソフトを用いて主体的にデータ解析を行う学習活動については十分な検討がなされていない。

そこで本研究では、高等学校「物理基礎」の運動学習を対象に、POE 学習法を取り入れた運動解析ソフト活用授業を実践し、動画解析活動が運動学概念の理解に及ぼす影響を検証することを目的とした。

2. 方法

2.1 授業実践

私立 A 高等学校第 2 学年の物理基礎受講者を対象に、「物理基礎」の運動分野において 2026 年 5 月に授業実践を行った。実践は、自由落下・鉛直投げおよび水平投射を題材とし、POE 学習法を取り入れて実施した。実験群 (45 名) では、生徒が運動解析ソフト「運動くん Web」[5]を用いて動画を解析し、予測・観察・説明の過程を通して運動現象とグラフとの対応関係について考察した。一方、統制群 (42 名) では、教員が提示した解析結果やグラフを用いて同内容を扱い、指導内容以外の条件は可能な限り統一した。授業の前後には、概念理解および学習態度の変容を把握するため、各種調査を実施した。概念理解の評価には運動グラフ理解概念調査を、学習態度の評価には質問紙調査を用いた。

2.2 調査方法

授業の教育効果を検証するため、授業前後に概念調査および学習態度調査を実施した。概念調査には、Beichner が開発した運動グラフ理解概念調査 TUG-K (Test of Understanding Graphs in Kinematics) を用いた[2]。本研究では、先行研究で正答率が低く、学習者の理解が困難であることが示された設問のうち、授業内容に対応する速度 - 時間グラフおよび位置 - 時間グラフに関する 4 問 (問題番号: 4, 8, 18, 24) を選定した。

学習態度調査には、Colorado-Learning-Attitudes-about-Science-Survey (CLASS) を用いた。本研究では、CLASS の分類のうち「現実世界との関連性 (Real World Connection)」に着目し、当該カテゴリーに属する設問を中心に 15 問 (問題番号: 3, 8, 12, 13, 14, 19, 21, 24, 26, 28, 32, 35, 37, 38, 42) を選定して実施した。

概念調査の結果は正答率および規格化ゲインを算出し、実験群と統制群の比較を行った。また、学習態度調査については、各設問の回答傾向を分析し、運動解析ソフトを活用した学習活動が物理学習に対

する態度に及ぼす影響を検討した。

3. 結果と考察

概念調査の結果を表 1～4 に示す。問 1（問題番号 4）では、実験群の規格化ゲインは 0.400、統制群は 0.286 となり、実験群の方が高い傾向がみられた。一方、問 2（問題番号 24）では実験群の事前正答率が 0.889 と高く、授業前から多くの生徒が正答していたことから、規格化ゲインによる評価は天井効果の影響があったと考えられる。問 3（問題番号 8）は問題文の条件設定にあいまいなところがあり、概念理解を適切に評価する設問として改善の余地があることが明らかとなった。問 4（問題番号 18）では、両群とも規格化ゲインは小さく、位置－時間グラフの解釈や速度の読み取りに関する理解の改善は限定的であった。

以上より、運動解析ソフトを活用した POE 学習は、速度－時間グラフの理解には一定の効果を有する可能性が示唆された。一方、位置－時間グラフの解釈やグラフ間の対応付けについては、更なる指導上の工夫が必要であると考えられる。

また、本研究では各設問の規格化ゲインを中心に結果を整理したが、授業効果をより適切に評価するためには、事前・事後得点を考慮した統計的検討が必要である。さらに、学習態度調査については、授業後の質問紙を授業時間外に実施したため回答率が低く、十分な分析を行うことができなかった。

今後は、得られている結果を基に、運動解析ソフトを活用した学習活動による理解の深化について統計的に検討する予定である。

表 1 問 1 の正答率と規格化ゲイン

	実験群 (N=36)	統制群 (N=42)
P_{pre}	0.444	0.500
P_{post}	0.667	0.643
g	0.400	0.286

表 2 問 2 の正答率と規格化ゲイン

	実験群 (N=36)	統制群 (N=42)
P_{pre}	0.889	0.762
P_{post}	0.889	0.857
g	0.000	0.400

表 3 問 3 の正答率と規格化ゲイン

	実験群 (N=36)	統制群 (N=42)
P_{pre}	0.306	0.286
P_{post}	0.333	0.238
g	0.0400	-0.0667

表 4 問 4 の正答率と規格化ゲイン

	実験群 (N=36)	統制群 (N=42)
P_{pre}	0.417	0.452
P_{post}	0.389	0.476
g	-0.0476	0.0435

参考文献

- [1] Lillian C. McDermott, Mark L. Rosenquist *et al.* (1994) : Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics, Am. J. Phys., **55**, 503-513.
- [2] Robert J. Beichner (1994) : Testing student interpretation of kinematics graphs, Am. J. Phys. **62**750-762.
- [3] Richard R. Hake (1998) : Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, Am. J. Phys., **66**, 64-74.
- [4] Riikka-Liisa Vaara, Daniel Guilherme Gomes Sasaki (2019) : Teaching kinematic graphs in an undergraduate course using an active methodology mediated by video analysis, LUMAT International Journal on Math Science and Technology Education, **7**(1), 1-26.
- [5] 運動くん Web, <https://www.undou-kun.net/> (2026.7.7 閲覧).

電圧の授業、どう組み立てていますか？

—手回し発電機を用いた授業実践の検討—

山田吉英

福井大学教育学部

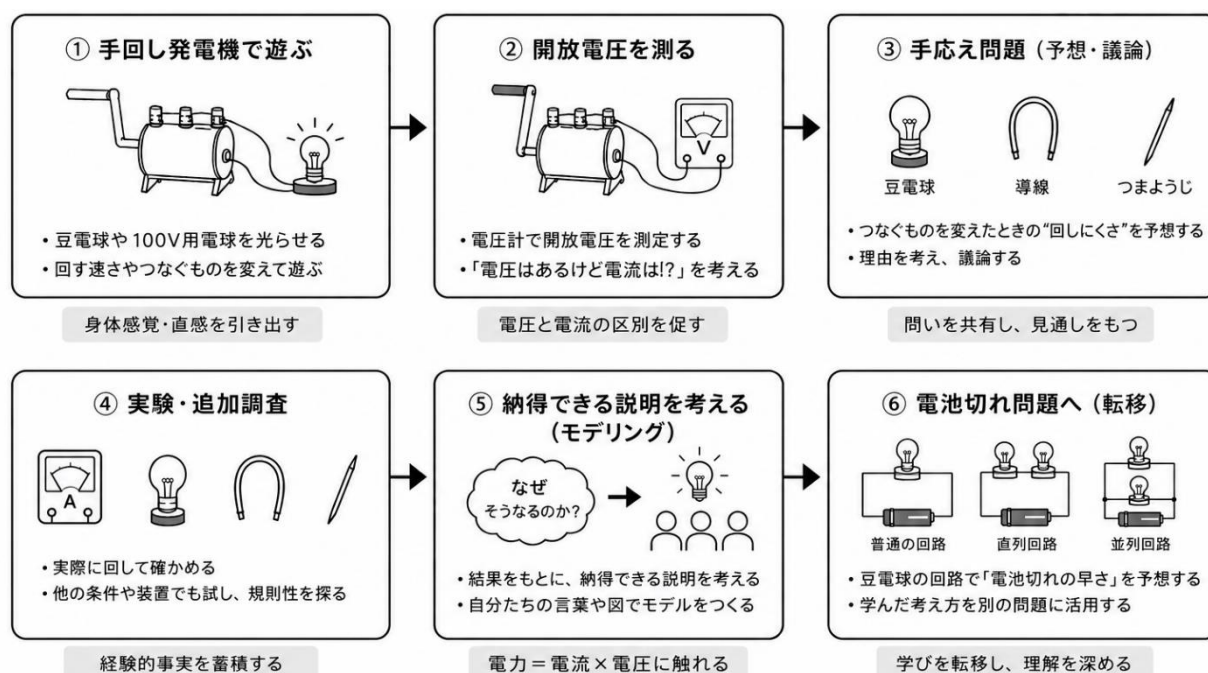
yamada-y@g.u-fukui.ac.jp

1. 問題意識

小学校教員免許取得を希望する大学1年生を対象に、電気回路の授業（90分×2コマ×2日）を行っている。小学校理科には電気を扱う単元が複数含まれるが、電圧・抵抗・電力やオームの法則は扱われず、電流を中心に学習が構成されている。教員養成での限られた授業時間の中で、どの概念まで扱うべきかは難しい課題である。学生の中には乾電池に触れることさえためらう者もあり、実験や体験の不足を感じる場面も少なくない。頭が動き始めるには、まず電気そのものに興味を持てる体験が必要である。

ここ数年の授業改善の結果、電流の概念までは、楽しみながらイメージを広げる授業を提供できるようになってきたように感じるが、電圧を楽しく教えることは難しく、試行錯誤を続けている。機械的に測定するだけになってしまったり、電位差の概念が抽象的でわからないと困らせたり、アナロジーを押し付けるような教え方になってしまう。試行錯誤の結果、「このあたりが落としどころではないか」と感じる授業設計ができてきたので、授業の組み方について議論したい。鍵になると期待するのが、手回し発電機の手応え問題[1]である。本発表では、教材そのものではなく、教材をどこに配置するかという授業設計について議論したい。

2. 授業の流れ



3. 授業中の問い

活動3 手回し発電機の手応えはどのように決まる？

手回し発電機を回す手応え（ハンドルの回しにくさ）は、つなぐものを変えるとどうなる？

豆電球をつなぐ場合を基準にして、導線をつなぐ場合、つまようじをつなぐ場合を予想しよう。ただし、ハンドルはいつも同じ一定の速さで回すものとします。



(1) 予想：ハンドルの手応えランキングは、**回しにくい順**に

1. 豆電球 = 導線 = つまようじ （どれでも同じ）
2. 豆電球 > 導線 = つまようじ （豆電球だけ回しにくい）
3. つまようじ > 豆電球 > 導線 （つまようじは回しにくい、導線は回しやすい）
4. 導線 > 豆電球 > つまようじ （導線は回しにくい、つまようじは回しやすい）
5. その他「

」

例年、学生からは以下のような意見が出る。

「電気の通りにくさ（抵抗）を考え、予想は3、あるいは4、あるいはその他」

「端子間の経路の長さを考え、予想は2」

「光らせるか、光らせないかで、予想は2、あるいはその他」

「ハンドルに戻る電流が関係する？（再利用できるので楽、あるいは戻ってきってしまうの負担増）」など。

4. 現時点での課題

今回の実践では、手回し発電機を起点とする活動によって、学生は身体感覚を伴いながら電圧や電流についての議論を始めることができた。一方で、実験結果をどの時点で説明モデルの構成へ接続するかについては、なお検討を続けている。

ポスター発表会場で先生方のご意見を伺いたい。

「先生なら、この活動をどこに置きますか？」

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP24K00464 の助成を受けています。

参考文献

- [1] 金井英男（2000）：電流・抵抗に関する中学生の持つ素朴概念, 科教研報, 14(5), 59-62.

二つの Web カメラを用いた 3 次元座標観測による

初等的な力学実験教材の構築

^A近藤隆司, ^B後藤善友^A大分大学理工学部, ^B別府大学短期大学部

ryuji-kondo@oita-u.ac.jp

1. はじめに

力学の講義で最初に学ぶ放物運動やニュートンの運動の法則などをテーマとした学生実験の教材は少ない。それは定量的な内容のテーマの構築が難しかったことが理由と推測する。しかしながら、昨今は機械学習を利用したソフトウェア等を利用することで、現象を撮影した動画から物体の座標が容易に得られるようになってきている。本研究では、二つのカメラを用いて 2 方向から同時に撮影した動画から、運動の 3 次元座標を検出しそれによって運動が平面内におさまらない現象を対象とした力学分野の実験テーマの開発を試みた。初期投資が小さく、維持費用もほぼ必要のないことも重要と考えている。

2. 開発した教材

テーマとした現象は放物運動と空中衝突である (図 1)。二つの小球を用いるが、片方は横方向に打ち出されて放物運動をする。もう片方は鉛直に落下する。この二球は同時に運動を開始して、図 1 は二球が空中で衝突したときの軌跡である (撮影の時間間隔は均等ではない)。衝突する場合には、その多くにおいて、運動は平面内におさまらず 3 次元的な計測が必要となる。



図 1 放物運動と空中衝突の軌跡



図 2 2 台の USB カメラの配置

図 2 のように 2 台の USB カメラを配置した。動画は 1280 x 720 画素でフレームレートは 150 fps であり、シャッター速度は 800 分の 1 秒であった。録画にはカメラメーカーが作成したアプリを利用した。撮影された動画から両球の 픽셀座標を得るには、DeepLabCut[1]を利用した。このソフトは元々動物の動きを解析するために開発されたもので、機械学習を利用して特徴のある部位の検出をする。これによって動画のフレームごとに小球の 픽셀座標が得られる。録画に使用したアプリはほぼ同時に両方のカメラの測定を開始するが、記録された動画ファイルの総フレーム数は異なる。つまり同時刻の画像が得られない。両カメラのフレームの時間的なずれを推定するために、鉛直に落下する小球の位置を

利用した。この小球は毎回同じ直線上を運動する。その鉛直線上にメジャーを吊り下げて（図2），メジャー上の適当な位置に複数個所印を付け，両方のカメラで静止画像を撮影した。その静止画像上の印の縦方向のピクセル座標を両カメラで比較するときわめて良い線形関係にあった。この線形関係を利用して両カメラのフレームの時刻のずれを推定した。ある撮影では5.6フレーム程度のずれが生じていたが，このように整数値ではないずれの場合（ほとんどの撮影がそうであるが），フレーム間を補間して，ピクセル座標値を決定した。これら左右のカメラのピクセル座標値から3次元空間での座標値を求める。その方法は参考文献[2]にある手順に従った。空中で衝突しない場合と衝突した場合の計測例をそれぞれ図3と図4に示す。

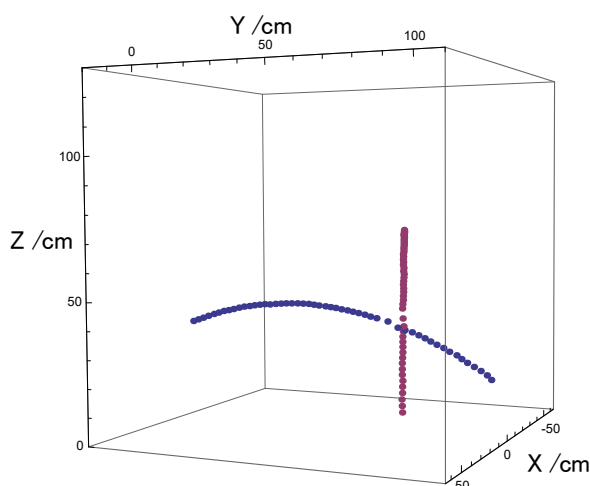


図3 両球の軌跡（衝突しない場合）

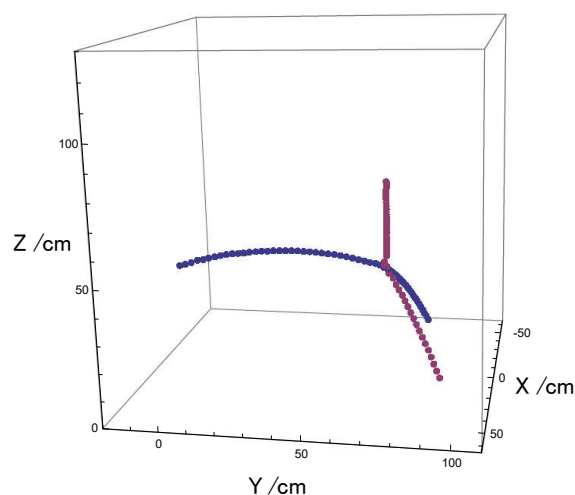


図4 両球の軌跡（衝突した場合）

図4では空中での衝突によって小球の進行方向が変化しているのが見て取れる。両球の軌跡は平面内におさまっていないので，3次元的な計測が有効となる例である。図3の方で顕著であるが，両球が接近した場合に小球の座標の検出ミスが生じていて，測定値が疎となっている。これは両球が同じ外観であったため接近した場合に取り違えが生じていたと考えられる。小球の色を変えるなどの差異をつくる工夫が必要だったと思われる。

3. まとめ

実際にこのような教材を導入する上での要点をまとめる。二つのカメラによる同時計測という点で，改善すべき点があり，例えば録画ソフトを自作する必要があるかもしれない。また費用に関していえば，本研究で対象とした空中衝突の実験装置は比較的購入に費用がかかるものではあるが，3次元的な運動という点では対象となりうる現象は他にも多くのものが考えられる。USBカメラは2台合わせて3万円程度のものである。ソフトウェアには費用はかからないが，DeepLabCutを動かすことが可能なパソコンは必要となる。しかしこれらの機材はほぼ維持費が必要ない。他に考慮すべきこととして，実施に必要な時間がある。カメラパラメーターの決定から初めて3次元的な座標の検出までのすべての内容を実施しようとするれば，通常の学生実験の枠内にはおさまらないと思われる。著者のひとりの近藤が担当する講義において試験的に本内容を実施してみた。講演ではその結果も合わせて報告したい。

参考文献

- [1] <https://deeplabcut.github.io/DeepLabCut/README.html> (参照日 2026.07.09)
 [2] https://www.kri.sfc.keio.ac.jp/report/gakujutsu/2007/3-5/HMA_DLT.pdf (参照日 2026.07.09)

モデル構築を通じた力学の学習過程

——バレエジャンプの質点ばねモデルから剛体リンクモデルへ——

^A 三阪寧々, ^B 宗尻修治

^A 広島大学総合科学部, ^B 広島大学院先進理工系科学研究科
nenemisaka@hiroshima-u.ac.jp

1. 背景・目的

物理教育においては、物理世界を数学的にモデル化する活動を中心に位置づけることの重要性が指摘されてきた[1]。本発表はその考え方を背景に、発表者自身がバレエジャンプという具体的な身体運動を対象として、力学モデルを構築・修正してきた過程を紹介するものである。発表者は、はじめに質点ばねモデルを用いて重心運動、床反力、エネルギー変換などを扱い、その後、腕の振り上げや膝の屈伸、それらにともなう回転を扱うために剛体リンクモデルへと発展させた。この過程で、モデルが扱う現象の広がりに応じて、必要となる力学概念を順次取り入れてきた。

バレエのジャンプは、一般的な垂直跳びと比較すると関節の可動域や空中姿勢などに様々な身体的制約がある。特に腕については、一般的な垂直跳びは腕を後ろから真下を通して回し上げながらジャンプするが、バレエのジャンプは美しさやバレエの型という観点から、腕を後ろから振るのではなく、真下から上に向かって振り上げてジャンプする。そこで本研究はバレエのジャンプに着目し、ジャンプと腕の関係を題材にする。

ジャンプは床を押すことで身体の重心を上方へ移動させる運動であり、力学的には重力、床反力、重心の速度や高さなどが関係する現象である。一方で実際の身体運動としてのジャンプでは、膝や股関節、腕など多くの関節が同時に動き、多数の筋や神経が関与する。そのため、そのまま力学的に扱うには複雑であり、腕振りが跳躍に与える力学的効果を分離して評価することが難しい。そこで本研究では、身体運動を単純化したモデルとして表し、ジャンプのシミュレーションを行う。

2. 質点ばねモデル

最初のモデル化として、上下方向に並んだ3つの質点を2つのばねでつないだ質点ばねモデルを考えた(図1(a))。このモデルでは、身体を上下方向に動く質点列として、脚の働きを、ばねの復元力と質点間に作用するアクチュエータとしての内力で表した。各質点にはこれらの力に加え、重力、減衰力、最下の質点にはさらに床反力がはたらくものとし、各質点の上下方向の運動方程式を数値的に解くことで、重心運動とジャンプの高さを調べた。この段階で必要となる力学概念は、位置、速度、加速度、力、運動方程式、重心など、主に質点の力学の範囲に含まれる。これにより、床反力がなくなる瞬間に離陸することや、内力を発揮するタイミングによって離陸時の速度や最高到達高が変化することを確認できる。

3. 剛体ばねモデル

質点ばねモデルでは、腕の回転を扱うことができない。そこで次の段階として、足、胴体、腕の3セグメントからなる剛体ばねモデルを考えた(図1(b))。脚の部分が足と胴体をつなぐ鉛直方向のばねとして表されており、脚の働きは質点ばねモデルと同様にばねと内力で表した。また、腕をトルクによって

回転する剛体として扱っているため、モデルの理解には質点の力学に加え、腕の回転運動や角運動量、慣性モーメントなどが必要となった。身体の高さと腕角度を変数とする 2 自由度の運動方程式をあらかじめ導き、それを直接解いた。

この段階では、腕を入れる、という目的のため、脚を鉛直ばねとして残したまま、腕を回転する剛体棒として追加した。これにより、腕の振り上げトルク、慣性モーメント、角度変化が重心運動及び床反力に与える影響を扱えるようになった。

4. 剛体リンクモデル

実際のジャンプは、脚はばねのように伸び縮みするのではなく、膝や股関節の伸展トルクによって跳んでいる。そこで、剛体ばねモデルの次段階として、人の身体をすね、大腿、体幹、腕に分けて表した剛体リンクモデルを用いた (図 1(c))。すねと大腿のリンクが膝関節、体幹と腕のリンクが肩関節を表している。脚を鉛直ばねから 2 つの剛体へ置き換えたことで、膝の屈伸や膝関節トルク、初期姿勢保持トルクなどを扱う必要が生じた。ここでは一般化座標を用いたラグランジュ方程式によって計算を行った。離陸前は床との接触を拘束条件としており、未知量として一般化加速度と、拘束力つまり床反力を同時に求めた。

剛体リンクモデルを考えることで、脚、体幹、腕を一般化座標で表し、関節トルクを与え、拘束力を考えることができるようになった。また、拘束条件がある力学はラグランジュ方程式が有効であることが確認できた。

5. まとめ

本発表では、各モデルが扱える現象と、そこで必要となる力学概念との対応関係を示した。質点ばねモデルでは、力、運動方程式、重心運動、エネルギー変換を扱い、腕を加える段階では回転運動、トルク、慣性モーメントが必要となった。さらに身体をリンク系として表すことで、一般化座標、拘束条件、床反力、身体全体の角運動量へと学びが広がった。バレエジャンプを説明するためにモデルを修正する過程が、必要な力学概念を段階的に獲得していく過程となることを示した。

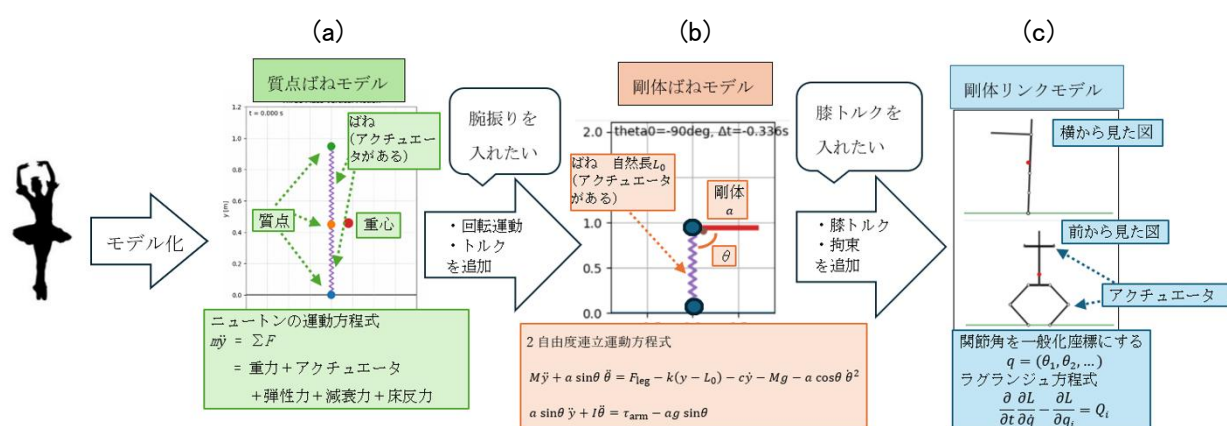


図 1：ジャンプモデルの段階的发展

参考文献

- [1] D. Hestenes (1987) : Toward a modeling theory of physics instruction, *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.

量子計算の基礎を楽しみながら学べるブロッホ球型デバイスの開発

井門 孝治, 萬 伸一

理化学研究所 量子コンピュータ研究センター

koji.ikado@riken.jp

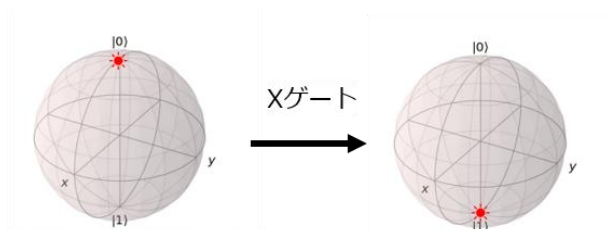
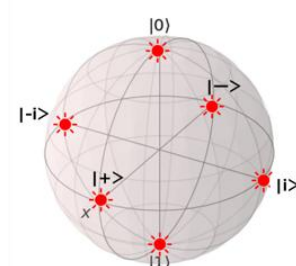
1. はじめに

量子状態を視覚的に表示するものとして、ブロッホ球が知られている[1]。量子状態を視覚的かつ直感的に理解するための教育用ブロッホ球型デバイスを開発した。開発したデバイスは、LEDを用いてブロッホ球上の量子状態を表示する装置と、球体を回転させることで量子ゲート操作を立体的・動的に表現する装置である。これらにより、量子力学に不慣れな初学者や小中学生でも、量子ビットの状態変化や量子ゲート操作を楽しみながら学習できることを目指した。

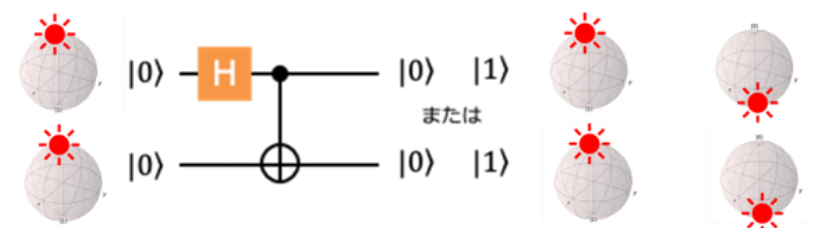


2. LEDによる量子状態表示デバイス

量子コンピュータで実行される基本演算は、量子ゲートと呼ばれる。単一量子ビットに対する1量子ゲートは、ブロッホ球上の1点を別の点に移す変換とみなすことができる。6つの特徴的な量子状態 $|0\rangle$ $|1\rangle$ $|+\rangle$ $|-\rangle$ $|i\rangle$ $|-i\rangle$ の位置に、LEDを配置することで量子ゲートを理解できる装置を開発した。例えば、量子状態 $|0\rangle$ に対してXゲートを作用させると、状態は $|1\rangle$ に変化する。これは次式で表される、 $X|0\rangle = |1\rangle$ 。LEDの点灯位置を変化させることで、量子ゲートによる状態変化を直感的に理解することができる。



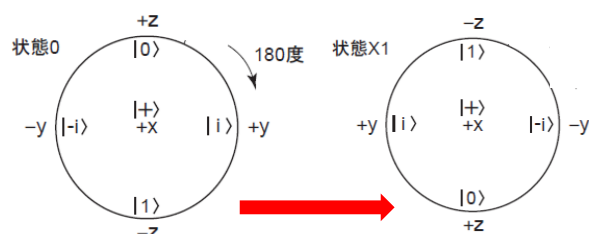
また、デバイスを複数組み合わせることで、量子もつれや量子テレポーテーションの実演も可能となる。例えば、2つのデバイスを用いて、一方にアダマールゲート、もう一方にCNOTゲートを作用させることで、量子もつれ状態を視覚的に示すことができる。



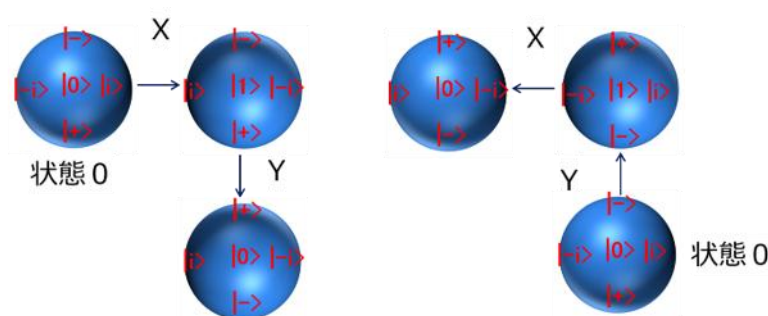
さらに、ブロッホ球デバイスを3個にすることで、量子テレポーテーションの実演が可能となる。

3. 量子ゲート操作を表現する球体型ロボット

量子ビットの任意の量子状態の変化をより立体的に理解するために、ブロッホ球型の三次元球を回転させるデバイスを開発した。本デバイスでは、量子ゲート操作に応じて球体に対応する軸の周りに回転する。量子ゲートの実行の様子を動的に表現することができる装置である。例えば、Xゲート操作では、球体はx軸の周りに正方向へ180度回転し、初期状態 $|0\rangle$ に対応する表示が $|1\rangle$ に対応する位置へ移動する。このようにして、量子ゲートによる状態変化を動的に観察することができる。



さらに、複数の量子ゲートを連続して実行した場合、量子ゲートの適用順序によって結果が異なることを立体的に理解できる。XゲートおよびYゲートを実行したとき、どちらを先に実行するかによって結果が異なることを理解できる。



特に、パウリ演算子に関する以下の関係を視覚的に示すことができる。

$$\begin{aligned} X^2 &= I, Y^2 = I, Z^2 = I \\ XY + YX &= YZ + ZY = XZ + ZX = 0 \\ XY &= iZ, YZ = iX, ZX = iY \end{aligned}$$

これにより、量子ゲート間の非可換性や反交換関係を、数式だけでなく動的な回転運動として理解することが可能となる。

4. まとめ

本研究では、量子計算の基礎を楽しみながら学習できるブロッホ球型デバイスを開発した。LEDを用いた量子状態表示デバイスにより、量子状態や量子ゲートによる状態変化を視覚的に理解できることを示した。また、球体型ロボットにより、量子ゲート操作を立体的かつ動的に観察できることを示した。本デバイスは、量子力学の理論に不慣れな初学者や小中学生に対して、量子計算の基礎概念を直感的に伝える教育教材として有効であると期待される。今後は、より多様な量子アルゴリズムの実演や、教育現場での実践的な活用について検討を進める予定である。

参考文献

[1] Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang 他(2004)：量子コンピュータと量子通信，オーム社。

回路素子の物理的挙動に着目した放課後電子工作講座の実践

—タイマーICを用いた電子楽器作りを題材にして—

駒崎寛和

江戸川学園取手高等学校

komazaki.hirokazu@e-t.ed.jp

1. はじめに

近年、高等学校における電子工作を活用した実践は数多く報告されているが、その多くはプログラミング教育への偏重や、手順通りに組み立てるのみの工作教室に留まっている[1]。これらは汎用性が高く導入しやすい反面、高校生が回路素子の本質的な挙動を学ぶ機会としては不十分な現状にある。高校生には、コンデンサーや半導体といった回路素子の物理的挙動を論理的に理解する能力が十分に備わっていると考えられる。

そこで本研究では、回路素子の物理的挙動に着目した電子工作の講座を開講し、日常生活の電子機器に物理法則がどのように応用されているかを深く探究させることを目的とした。ただし、生徒の能力差や予算等の制約から、全員を対象とした一斉授業での実施は現実的に困難である。そのため、意欲のある希望者を対象とした放課後の全6回の補講という形式を採用した。本講座では、タイマーIC555を用いた発振回路による楽器製作を主軸に据え、モノづくりの興味を物理概念の理解へつなげる実践を試みた。

2. 教材および環境の選定

環境面においては、試作や回路変更が容易なブレッドボードを採用した。配線位置の細かな指示をあえて排すことで、生徒が回路のつながりを主体的に試行錯誤できる環境を整えている。

本実践の核心となる回路素子にはタイマーIC555を選定し、周期的な発振を行う無安定モード回路によって矩形波を発振させた。「タイマーICを用いて音を鳴らす、LEDを点滅させる」という生徒のモノづくりへの興味から、現象が起こる理由を考察させ、回路素子の物理的な動作原理の理解を促すカリキュラム設計を目指した。具体的な使用部品の一覧は表1の通りであり、園芸用ワイヤーはジャンパーワイヤーとして用いた。

表1 使用部品

部品名	単価	個数
タイマーIC	30	2
ブレッドボード	370	2
LED	10	3
電池ボックス 単3 x 3	110	1
電池 単3 x 3	110	1
ダイナミックスピーカー	280	1
半固定抵抗 20k Ω	20	10
タクトスイッチ	15	10
電解コンデンサー100 μ F	15	3
電解コンデンサー10 μ F	10	2
セラミックコンデンサー1 μ F	20	1
セラミックコンデンサー0.1 μ F	25	1
園芸用ワイヤー	110	1

3. カリキュラムの設計

本講座は、物理基礎を履修している高校1年生の希望者を対象とした、放課後の補講として行った。生徒がモノづくりの達成感を得るプロセスの中で、回

路素子の物理的挙動へと興味が向くよう、全 6 回（各回 45 分）のカリキュラムを構成した。講座の前半で回路の基本と RC 回路の過渡現象を集中的に扱い、後半ではそれらを統合してタイマー IC の発振原理や音の性質（振動数）の考察へと発展させる構成とした。各回の具体的な内容は以下の通りである。

- 第 1 回～第 2 回：電流・電圧の基本やオームの法則の復習を行う。また、ブレッドボードや半固定抵抗といった基本的な素子の操作に習熟させ、回路作成そのものに慣れさせる。
- 第 3 回～第 4 回：コンデンサの充放電を導入し、RC 回路における電圧の時間変化の概形を捉えさせる。ここでは独自のワークを導入し、教員の発問や誘導を通して、時定数の概念からタイマー IC555 の内部挙動を電荷の移動と結びつけてモデル化し、論理的に理解させる。
- 第 5 回～第 6 回：構築した発振回路を用い、発振回路が音へとつながることを体感させる。さらに、前中期のワーク等で見出した振動数の法則を活用して狙った振動数の音を出させ、楽器へと昇華させる。

4. 実践報告

本実践は執筆時点で全 6 回中 5 回までを終了しており、これまでに得られた生徒の変容や指導上の工夫、課題について中間報告を行う。なお、最終回の具体的な実施結果や事後アンケートに基づく総括については、大会当日のポスター発表にて改めて報告する。

実践の初期段階において、生徒はブレッドボードの仕様に慣れておらず、回路図の意図に反する配線を行うケースが散見された。45 分という限られた時間内で全員を完成へ導くため、配線ミスに対しては教員が直接的に誤りを指摘・修正する指導を行い、効率的な進行を図った。

高校 1 年生にとって RC 回路の過渡現象や時定数によるモデル化は難解な領域であるが、導入した独自のワークによるモデルステップの問いに対して、生徒は概ね狙い通りに取り組むことができていた。

第 5 回までには LED の点滅や発音を実際に体感させ、生徒の興味を大きく高めることができた。試行錯誤に時間を要したため全体の進捗はやや遅れ気味であるが、最終回ではこれまでの知見を活用し、狙った振動数の音階を作る楽器化に挑戦する。

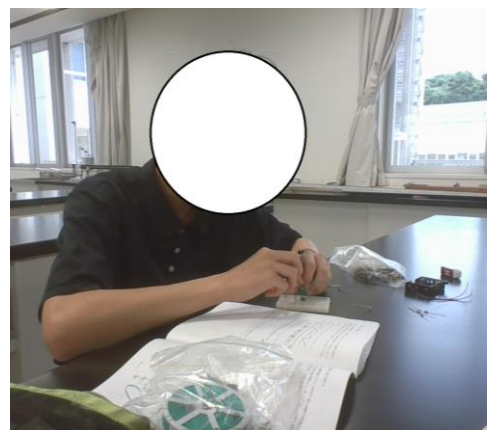


図 1 授業風景

5. まとめ

本実践は単なる回路の完成に留まらず、適切なワークや課題設定を通して、電荷の移動から音階に及ぶ物理概念を修得させるカリキュラム設計の可能性を示したと言える。今後は、今回の実践で得られたモノづくりの興味を物理概念の理解へつなげるアプローチを、通常授業へ還元・応用する方法を検討する。あわせて、最終回の実践結果や事後アンケートの詳細な分析を進め、学会当日の発表に備えたい。

参考文献

[1] 木村尚仁，碓山 恵子，小島 洋一郎，伊藤 隆介，(2020)：教育用電子楽器「フォトミン」を用いた科学啓発講座の実践と効果，工学教育，68 巻，6 号，p. 6_62-6_67.

超音波距離センサーを使った運動の法則の実験を効果的にするための工夫

^A 臼井友洋, ^B 鯉渕崇

^A 北海道雄武高等学校, ^B 福島県立白河高等学校

usu-tomo@hokkaido-c.ed.jp

1. 研究の背景と目的

マイクロコンピュータ *Arduino* と超音波距離センサーを用いた力学実験の最近の先行研究より、超音波距離センサーで得られた距離のデータから、加速する物体の距離 x -時間 t グラフや速度 v -時間 t グラフを作成することは物体の運動に関する生徒理解に効果的であることが分かっている¹⁾。

本発表は、マイクロコンピュータ *M5StickC Plus* と超音波距離センサーを用いて、物理基礎の運動の法則の単元の生徒実験を勤務校の北海道雄武高校で3年間行なった結果について報告する。これまで、著者らはプログラミング活動を含む生徒実験の教材開発として *M5StickC Plus* の活用や実験環境の整備について報告を行ってきた²⁾。3年間のマイクロコンピュータ（以下、マイコン）を活用した実践を通じて授業計画の改善を行う中で、マイコンの操作を簡易化して生徒が試行錯誤を繰り返せるようにすることや、得られたデータの整理やグラフの作成といった生徒の活動を重視することが運動の法則の理解につながる事が分かった。

2. 実験方法について

2.1 マイクロコンピュータ *M5StickC Plus* とプログラミング開発環境 *UIFlow*

M5StickC Plus は価格が約 4,180 円である比較的安価なマイコンであり、現在は *M5StickS 3* が後継機として販売されている。本体には 1.14 インチのディスプレイが搭載され、測定中の値を直接確認することができる（図 1-左）。プログラミングはクラウド上で動作できる *UIFlow* で作成しており、本実践では小学校のプログラミング教育や中学校の技術等で用いられている *Scratch* に似たブロック形式でプログラムの作成を行った（図 1-中央）。

2.2 生徒実験

図 1 に実験の様子を示す（図 1-右）。台車の後方に CD ケースを取り付け、前方に力学バネを付けた。CD ケースは超音波の反射板の役割を果たしており、水平な机上に固定した超音波距離センサーは CD ケースとの距離から台車の移動距離を測定している。台車を引く力 F の大きさは力学バネのメモリを見て調整し、質量 m の大きさは台車に載せる質量 500 ml のペットボトルの本数を変えている。



図 1. 左. *M5StickC Plus* の全体写真 中央. 使用したプログラミングの一部の画面 右. 実験の様子

3. 結果

表1に、令和5年度から3年間実施した運動の法則の実験における生徒の活動と、特に重視した活動の場面についてまとめた。マイコンを導入した初年度の令和5年度は情報科と教科横断的に繋がりプログラミング活動を重視し、一から超音波センサーを制御して測定するまでのプログラムを生徒が作成した。生徒の振り返りでは、理科の実験で *Scratch* に似たプログラミング活動ができた点や超音波距離センサーを活用できた点について関心が高かった。一方、プログラミング活動に負担を感じる生徒もいて、得られたデータを活用しグラフの考察から運動の法則を理解するところまで十分に繋げることができなかった。このことから令和6年度以降プログラミングについてはブロックの流れと超音波距離センサーの原理の説明にとどめ、初めからマイコンにプログラムを書き込み、生徒はマイコンのボタンを押すだけで測定を始められるようにした。また、測定後に結果がディスプレイに表示されるように設定し、表示されたデータを生徒がスプレッドシートに入力してグラフ化し、考察する活動の時間を増やした。

年度	人数	生徒の活動		
		活動1 プログラミング	活動2 測定（データの取得）	活動3 データの整理・グラフ化
		プログラムの作成	超音波センサーの活用	Googleスプレッドシートの活用
R5	21	◎	○	○
R6	10	※作成はせず内容の説明のみ	◎	◎
R7	8	※作成はせず内容の説明のみ	◎	◎

表1. 年度別の活用場面（○：実施した活動、◎：特に重視した活動）

表2に、令和7年度に実施した運動の法則の実験に関するアンケート結果を示す。質問1から、1授業時間内における測定回数が最大10回の生徒がいることが分かった。本実験で運動の法則($F = ma$)の関係を確認するには質量 m と力 F の大きさを変化させながら複数回測定を行う必要があるが、マイコンの操作を簡易化したことで試行錯誤を繰り返す活動に繋げることができた。質問2と質問3は、ほぼ全ての生徒が「分かった」の回答であった。運動の法則は3つの変数（力 F 、質量 m 、加速度 a ）を含むが、授業では力 F と加速度 a または質量 $1/m$ と加速度 a における2つの変数の関係がそれぞれの比例関係であることを理解できるように心掛けた。各班で測定データをスプレッドシートに入力し、比例関係を示す直線的なグラフを得ることができており、運動の法則($F = ma$)の理解に繋げることができた。

質問1：1時間の授業の中で何回測定を行うことができましたか？

回答：6回 2名、7回 1名、8回 1名、9回 1名、10回 2名

質問2：力 F 加速度 a の関係が「比例関係」であることが分かりましたか？

回答：分かった 7名 分からなかった 0名

質問3：質量 $1/m$ と加速度 a の関係が「比例関係」であることが分かりましたか？

回答：分かった 6名 分からなかった 1名

表2. 令和7年度 生徒授業アンケートの結果（回答生徒数 7名）

4. まとめ

M5StickC Plus と超音波距離センサーを運動の法則の生徒実験に活用し、3年間実施した結果についてまとめた。マイコンの操作を簡易化することで試行錯誤を繰り返せるようにしたことや、得られたデータ整理やグラフ作成の活動を重視することで、運動の法則に対する理解をより深めることができた。

参考文献

[1] 安達照(2019)：物理教育, 第67巻, 第1号, p31-p34

[2] 臼井友洋、鯉渕崇(2023)：日本物理教育学会北海道支部会報, vol.51, p18-p21

文系出身学生を迎え入れる工学系学部における教養系物理学実験

—実感を伴う理解に向けた設計方針の提案—

岡野 諭

日本大学生産工学部教養・基礎科学系

okano.satoshi@nihon-u.ac.jp

1. はじめに

近年、大学教育では文理横断・文理融合教育の重要性が指摘されており、学問分野を横断した学びのあり方が問われている[1]。このような流れの中で、工学系学部においても、入試制度や募集広報において文系出身学生の受け入れを積極的に打ち出す例が見られる。こうした状況では、工学系学部で文系出身学生が在籍することを、例外的な状況ではなく、カリキュラム設計上の前提として、ひいては科目設計上の前提として捉える必要がある。本発表では、文系出身学生を迎え入れる工学系学部の教養教育における物理学実験の設計方針を提案する。

2. 文理混在状況における物理学実験の課題

文系学部の学生を対象とした自然科学実験や物理実験については、その構想や実践がこれまでにいくつか報告されている[2, 3]。一方、本構想が対象とするのは、文系出身学生と従来の理系出身学生が同一科目内に混在する、工学系学部の初年次物理学実験である。このような文理混在状況では、入学前の物理学習経験の差への対応が必要になるだけでなく、従来の物理学実験でも指摘されてきた問題が、より顕在化しやすくなると思われる。本構想では、これらを以下の三点に整理する。

課題① 教育目標の不明確さ

物理学実験の各テーマは、概念理解、測定、不確かさの扱い、装置操作、データ解析、モデルとの比較、報告書作成など、さまざまな作業や過程を経て完結する。そのため、科目全体として学生に何を体験させたいのかが見えにくくなることがある。Wieman と Holmes は、実験教育の効果検証の文脈において、実験科目の教育目標の不明確さを主要な困難として指摘している[5]。

課題② 前提知識の差

従来の理系進学者を暗黙の標準として実験内容を設計すると、入学前の物理学習経験が十分でない学生にとって、実験の目的や測定の意味が見えにくくなる。一方で、物理を履修してきた学生にとっても、実験が既知の式を文字通り確認するだけのものに見えるならば、実験を行う意義や納得感は得られにくい。

課題③ 実験の作業化

物理学実験では、限られた時間内で測定、データ処理、レポート作成を終える必要があるため、指導書や教員の指示が詳細になりやすい。とりわけ、本構想のように入学前の物理学習経験が十分でない学生を含む科目では、手順や注意点をより手厚く示す必要が生じやすく、その結果、実験の目的や測定の意味を考えるよりも、手順をこなすことが中心になってしまう可能性がある。こうした学生実験の作業化への懸念と、それに対応する実践例は文献[4]にみられる。

3. 科目の位置づけと課題への対応方針

本構想では、工学系学部初年次の物理学実験を、専門教育への準備に主眼を置く科目ではなく、教養教育の一環として位置づけ、そのもとで、上に挙げた各課題に対して以下のように対応する：

まず、課題①への対応として、本科目の中心目標を、学生が「物理法則を実感を伴って理解すること」と定める。そのうえで、この目標が抽象的な理念にとどまらないよう、各実験テーマには、「見る」「測る」「表す」「結びつける」「説明する」という一連のステップを共通して組み込む。学生は、現象を観察し、関係する量を測定し、測定結果を表やグラフに表し、そこに現れる関係を物理法則と結びつけ、最後に何が分かったのかを自分の言葉で説明する。このように、教育目標を実験手順の構造として具体化することで、実験ごとに何を経験させるのかを明確にする。

次に、課題②への対応として、各テーマでは、理解したい物理法則や物理量間の関係に現れる量を、できるだけ直接測定できる構成を採用する。また、測定する量の種類が多く、複数の変換や解析を経なければ結論に到達できない発展的な実験は除外する。測定対象と理解すべき法則との対応を単純にすることで、学生が測定や解析の結果を物理法則と結びつけやすくなると考えられる。

最後に、課題③への対応として、学生が手順を追うだけで実験を終えないよう、測定や解析が過度にブラックボックス化しない構成を重視する。デジタル測定器や表計算ソフトを用いる場合であっても、その前段階として目盛りを読む測定やグラフを手書きする段階を必ず組み入れる。これにより、学生が装置やソフトウェアの出力をそのまま受け取るのではなく、測定値がどのように整理され、どのように物理的意味へ結びつくのかを理解する機会を確保する。

4. 実験テーマの具体化と今後の展望

今後は、波動、光、振動、熱、電気回路、測定誤差などの基礎的内容を対象に、本稿で述べた方針に基づく個別の実験テーマを作成する。各テーマの具体化にあたっては、原理が単純であること、測定結果が比較的安定して得られること、学生が実験の仕組みを自己充足的に理解できることを重視する。高度な装置や複雑な解析によって結論に到達させるのではなく、現象と測定、結果と物理法則の関係が学生に見通せる範囲でテーマを構成する（関連する実践例として、講義内の演示実験を扱った安田らの報告がある[6]）。そのうえで、授業内での試行を通して、実施可能性や内容・手順の妥当性を検討していく。

参考文献

- [1] 文部科学省 中央教育審議会大学分科会大学振興部会（2022）：文理横断・文理融合教育の推進について（審議経過メモ）。
- [2] 池田昌隆，佐藤久志，山本タ可，小野寺彰（2008）：文系学生のための基礎自然科学実験の試み，大学の物理教育，14，42-44；高橋尚志（2018）：文系向け『自然科学基礎実験』の取り組み，大学の物理教育，24，14-18。
- [3] 慶應義塾大学日吉キャンパス「物理学実験 | 文系学生実験 | 科学的思考力を育む文系学生の実験の開発」<https://www.sci.keio.ac.jp/gp2010/practice/physics/>（参照日：2026年6月12日）。
- [4] 梅津郁朗ほか（2020）：学生実験の作業化への懸念と対応，物理教育，68，268-272。
- [5] C. Wieman and N. G. Holmes (2015): Measuring the impact of an instructional laboratory on the learning of introductory physics, American Journal of Physics, 83, 972-978.
- [6] 安田淳一郎ほか(2011): 物理学講義における系統的演示実験の試み, 大学の物理教育, 17, 121-124.

課題研究と物理授業との相互環流

ールーブリックによる評価から見える生徒の変容ー

^A佐藤 哲也, ^A小谷 猛房, ^A本田 一恵, ^A石川 優太

^A高松第一高等学校

satoute@taka-ichi-h.ed.jp

1. はじめに

本校は、2010 年度に文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクールの指定を受け、今年度で 17 年目の取組となる。当初より、「アクティブ・ラーニングを取り入れた授業改善」と「生徒の主体性・自主性を引き出す課題研究」への取組を軸として展開してきた。本発表では、課題研究の指導とルーブリックによる評価から見た生徒の変容を中心に実践事例を報告する。また、アクティブ・ラーニングによる物理の授業やパフォーマンス課題としての生徒実験（パフォーマンス評価も含む）への相互作用についても併せて報告する。

2. 課題研究の流れ

特別理科コースの生徒を対象に、学校設定科目「Introductory Science（1 年次 2 単位：以下 IS）」「Advanced Science I（2 年次 2 単位：以下 AS I）」「Advanced Science II（3 年次 1 単位：AS II）」を開設し、課題研究を実施している。IS では、前半に本校教員による「実験の基本操作」、「変数の制御」「データの信頼性と妥当性」に関する講義・実習を実施し探究の手法や科学的なものの見方・考え方を身につけさせ、課題研究に段階的に移行できるように計画している。表 1 は 3 年間の課題研究の流れを示したものである。

3. ルーブリックによる評価

課題研究の評価については、H25 年度に香川大学教育学部と連携して開発したルーブリックを、一部改良して利用している。プレゼンテーションに対するルーブリック評価は、2 年次の第 1 回、第 2 回、3 年次の第 4 回の中間発表と最終発表の計 4 回実施している。

評価項目は、表 2 のとおりである。評価の段階は、「不十分 (1)」、「もう少し (2)」、「ほぼ十分 (3)」、「十分 (4)」の 4 段階で行っている。それぞれの評価基準は文章表記されている。生徒には、評価項目

▼表 1 3 年間の課題研究実践プログラムの流れ

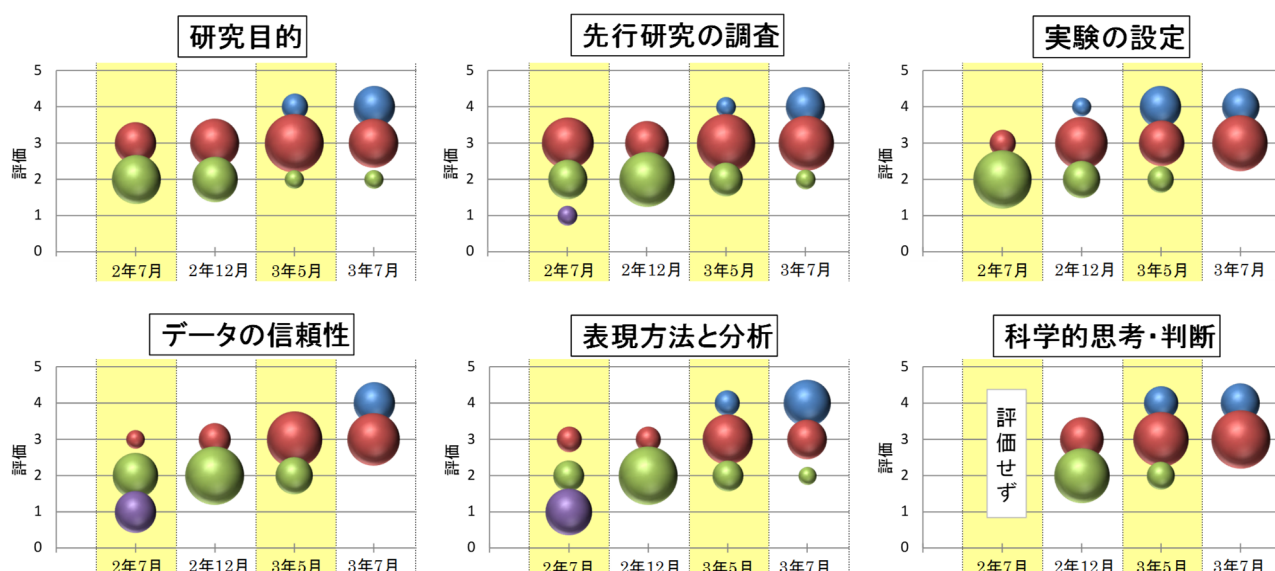
1年生 「IS」	1学期	・実験の基本操作 ・3年生課題研究成果報告会を聞く ・香川県高校生科学研究発表会を聞く
	2学期	・ミニ課題研究（物化生数） ・英語による化学の授業(CBI) ・大学教員による実験実習
	3学期	・情報教員による講座（Power Point, Excel） ・大学教員による実験実習 ・企業や研究所での研修
2年生 「AS I」	1学期	・四国地区SSH生徒研究発表会を聞く ①オリエンテーション ②課題研究テーマ検討・グループ分け ③課題研究テーマ決定・研究開始 ・「実験ノート」の書き方」講義 ④第1回中間発表会 ・3年生課題研究成果発表会を聞く ・香川県高校生科学研究発表会を聞く ・関東合宿（研究所等訪問）
	2学期	⑤第2回中間発表
	3学期	⑥第3回中間発表会（ポスター発表） ・英国海外研修（大学・博物館等訪問、現地生徒との交流・課題研究発表）
3年生 「AS II」	1学期	・四国地区SSH生徒研究発表会 ⑦第4回中間発表会 ⑧課題研究成果発表会 ・香川県高校生科学研究発表会 ・学会等発表
	2学期	・学会等発表 ⑨論文提出

とそれぞれの評価基準の文章表記を事前に提示しており、どのような研究や成長が求められているのかを知った上で発表に臨んでいる。

また、第1回から最終発表まで、同一のルーブリックで評価している。図1は、3年生の物理分野の班Aの第1回から最終発表までの各項目の評価結果の推移を示した一例である。縦軸が評価の段階、横軸が発表時期、バルーンの大きさが各評価をつけた教員の人数を示している。ほぼすべての項目において少しずつ評価が上昇している。1年半の課題研究期間において、生徒が積極的に議論し、計画的に研究に取り組み、データの整理やその表現について工夫を重ねていった様子が捉えられたと考えている。また、各発表会の評価結果はバルーングラフで生徒にフィードバックし、改善点や今後の研究計画について指導担当教員とディスカッション、その後の調査・研究につながるように活用している。

▼表2 プレゼンテーション用ルーブリックの評価項目

① 課題設定	○研究目的, 課題の科学的把握・理解 (科学的な意義ある探究) ○先行研究の調査, これまでの研究結果の理解
② 実験	○実験の設定 ○データの信頼性
③ 研究の分析・表現	○表現方法と分析
④ 結果の科学的見解	○科学的思考・判断
⑤ 今後の取り組み	○具体的な今後の予定
⑥ 自己評価と課題 (最終発表のみ)	○手順の評価 ○証拠の信頼性 ○結論の信頼性



▲図1 R7年度3年生 物理分野 班A 評価の変容

4. 課題研究と物理授業との相互作用

本校の物理授業では、多くの生徒実験を実施しており、レポートをパフォーマンス課題として評価している。生徒実験には、実験方法を教師側から示す通常の実験と、実験計画を生徒が考えて実施する実験がある。特に課題研究で意識している入力変数と結果の変数の関係を明らかにするという視点が、実験計画を立てるときに役立ち、レポートを作成するときさらに理解を深め、課題研究と授業の双方に影響を与えていると考えている。

参考文献

- [1] 令和7年度指定 スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書 第1年次(2026):高松第一高等学校。

高松一高型アクティブ・ラーニングの成果と課題—FCI の分析より—

^A佐藤 哲也, ^A小谷 猛房, ^A本田 一恵, ^A石川 優太^A高松第一高等学校

satoute@taka-ichi-h.ed.jp

1. はじめに

本校は、2010 年度に文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクールの指定を受け、今年度で 17 年目の取組となる。当初より、「アクティブ・ラーニングを取り入れた授業改善」と「生徒の主体性・自主性を引き出す課題研究」への取組を軸として展開してきた。本発表では、物理の授業での具体的な実践事例を報告する。また、過去 10 年間の FCI のデータからその成果と課題について考察する。

2. チームによる授業改善

本校の授業改善への取組の特徴は、全教科内で 3～4 名のチームをつくり、取り組んでいる点である。個を高めることや教科内全体の意識を高めること、若手教員の柔軟性とベテラン教員の知識や経験との融合や相乗効果をねらっている。物理チームも 4 名の教員で構成されており、新たな授業プランについては、導入分野決定後、それぞれが自分の考える授業プランを持ち寄って、放課後や空き時間、教科会を利用して検討している。ポイントは以下の 4 点である。

- ① 単元目標や授業の目標を明確にすること
- ② 既習内容をもとに予想・仮説を立てられるような問いを立てること
- ③ 実験・観察で確認できること
- ④ 考察やまとめの場面で生徒同士が思考を深めることができること

また、アクティブ・ラーニング型授業を、目的別に下記の 3 つのタイプに分類している。

- ① 典型的な誤概念のリサーチに基づいて設定した課題を与え、話し合い活動等を通じて既習内容を整理させながら、正しい概念形成を目指す授業
- ② 新しく登場した現象を説明するために、授業者の適切なガイドの下、既習内容を整理させながら新たな知識の獲得を目指す授業
- ③ 調べたいものを調べるための実験を自ら計画し、実験する。実験スキルや結論から得られる新たな知識だけでなく、変数を意識した実験デザイン力の習得を目指す授業

▼表 1 実践授業例

- ・ 物体の運動（斜面の上り下り）
- ・ 物体の運動（鉛直投げ上げ）
- ・ ばねにはたらく力と伸びの関係
- ・ 作用反作用の法則
- ・ 浮力
- ・ 空気抵抗を受ける落体の運動
- ・ 摩擦力
- ・ 力学的エネルギー保存の法則
+ 斜方投射
- ・ 力のモーメント
- ・ 2 物体の斜め衝突
- ・ 単振動
- ・ 単振り子
- ・ 波の性質
- ・ 波の反射、屈折、回折
- ・ 波の干渉
- ・ 弦の固有振動
- ・ 電圧計の仕組み
- ・ 電気抵抗（非直線抵抗）
- ・ コンデンサーの充放電
- ・ コンデンサーを含む直流回路

3. FCI（力と運動に関する概念調査テスト）の結果

物理のアクティブ・ラーニングによる効果の評価法については、概念理解度調査テストとして「Force Concept Inventory（力と運動に関する概念調査テスト：FCI）」を実施した。各問題の誤答選択肢は学生・生徒の間に普遍的に存在する素朴概念・誤概念をあぶり出すよう設計されており、概念の理解度・定着度や学習効果を次式で算出される規格化ゲインで評価する。

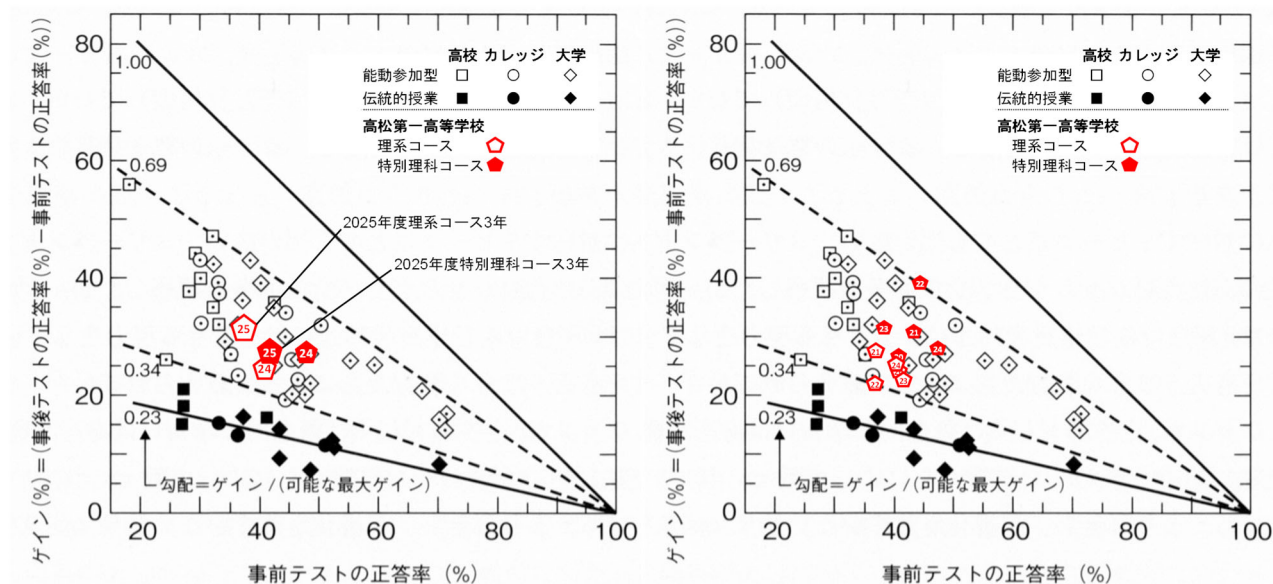
$$(\text{規格化ゲイン}) = \frac{(\text{ポストテストのクラス正答率}) - (\text{プレテストのクラス正答率})}{1 - (\text{プレテストのクラス正答率})}$$

本校の調査実施時期は、プレテストが物理学学習前の2年生4月、ポストテストが力学分野の学習終了後の3年生9～1月である。

この結果を、「FCIを用いたアメリカの高校・大学物理教育の大規模調査 (Hake 1998)」の結果と比較する。図1はこの調査結果が掲載されている Edward F. Redish 著の「Teaching Science with the Physics Suite (WILEY)」の日本語版「科学をどう教えるか (丸善出版)」[1]より抜粋したグラフである。アメリカでの調査では能動参加型 (アクティブ・ラーニング型) 授業を実施した場合のゲインは 0.34～0.69 と高い数値を示すが、伝統的授業の場合はそれに全く及ばないという結果が示されている。

また、日本国内における 2014～2016 年の全国調査「国際共通の評価ツールを用いた我が国の物理教育の現状調査と改革指針の探究 (JSPS 科研費 26282032)」[2]によると、プレテストの正答率の全国平均は 34%と、本校の結果よりもやや低いが大きな開きがないのに対して、ポストテストの正答率が 52%にとどまり、規格化ゲインの全国平均は 0.27 (推定値) と学習前後の効果があまり得られていないという結果が報告されている。また、調査では、講義中心型の授業よりもアクティブ・ラーニング型の授業の方が、ゲインの高いクラスの割合は高くなっているが、アクティブ・ラーニングを実施していると申告があった学校でもゲインの低いところも多いという報告もある。

それと比較すると、本校のゲインの高さが日本国内では突出していることが分かる。特別理科コース・理系コースとともに、アクティブ・ラーニングを取り入れた授業を展開しており、現在進めている授業改善や課題研究等の取組の成果の一つと考えられる。さらに、形式だけのアクティブ・ラーニングではなく、生徒の思考を深める活動をどのような問いを立てて授業設計し展開するのかが重要であることを示している。



▲図1 FCIの事前テストと事後テストのクラス平均の分布 [Hake 1998] に本校のデータを追記
(左: 2024・2025年度, 右: 第Ⅲ期5年分(2020～2024年度))

参考文献

- [1] 科学をどう教えるか(2012), 日本物理教育学会 監訳, 丸善出版
- [2] 国際共通の評価ツールを用いた我が国の物理教育の現状調査と改革指針の探究 (JSPS 科研費 26282032)

高校物理「等加速度直線運動」における Productive Failure の授業実践

—複数表象の関連づけを通した数学的意味づけの形成—

出口英二

福岡県立福岡工業高等学校

deguchi-e@fku.ed.jp

1. 研究の背景と目的

物理の学習では、物理現象を表、グラフ、式などの複数の表象を関連づけながら理解することが重要である。「等加速度直線運動」では、運動の様子を複数表象（表、変位—時間 ($x-t$) グラフ、速度—時間 ($v-t$) グラフおよび運動を表す式）によって表現し、それらを関連づけて解釈することが求められる。しかし、多くの生徒にとって、表、グラフ、式を相互に関連づけて解釈することは容易ではない。例えば、 $x-t$ グラフの傾きを速度として解釈すること、 $v-t$ グラフの面積を変位として解釈することには継続的な困難が報告されている^[1]。このような困難の一因として、物理における数学の多面的な役割が挙げられる。Redish は数学を単なる計算の道具ではなく、現象を意味づけ、推論するための言語と位置付けている^[2]。また、Palmgren らは物理における数学が推論や意味づけ、モデリングなど多面的な役割を担うことを示している^[3]。したがって、物理学習では、数学を用いて計算するだけでなく、複数表象の関係を解釈し、現象を意味づけて説明できることが重要である。

複数表象を生成・変換・関連付けながら利用する能力である表象コンピテンス (Representational Competence: RC) は、物理の概念理解や問題解決に重要であることが示されている^[4]。しかし、高校物理において、生徒がどのような学習経験を通して表象間の関係を理解し、数学を意味づけの道具として利用できるようになるのかは、十分に明らかにされていない。

こうした能力の育成を支援する教授法として、近年、Productive Failure (PF) が注目されている。PF では学習者がまず困難な問題に取り組み、失敗を経験することで、自らの知識の限界や矛盾に気づき、その後の知識構築が促進される^[5]。さらに、PF は概念理解や知識転移を促進することが報告されている^[6]。PF に関する研究は、数学教育を中心に理科教育や物理教育への展開も試みられているが、国内の物理教育において PF を理論的枠組みとして位置付けた授業実践報告は十分に蓄積されていない。

物理教育において、PF は学習者が複数の解法や表現を生成・比較・検討する活動を通して、自らの考えの限界や表象間の関係に気づき、新たな見方や解釈を構築することを促し、現象を意味づけることを支援する可能性がある。しかし、PF が高校物理において複数表象の関連づけを通した数学的意味づけの形成にどのように寄与するのかは、十分には明らかにされていない。

そこで本研究では、高校物理「等加速度直線運動」において PF の設計原理を取り入れた授業を実施した。理解度テスト、質問紙調査および自由記述を分析することにより、PF が複数表象間の関連付けや数学的意味づけの形成にどのように寄与するかを検討する。特に、生徒がどのような活動を通して表、グラフ、数式を関連付け、現象理解を深めたのかを明らかにし、物理教育における PF 活用の可能性について考察する。具体的には以下の研究課題 (Research Questions: RQ) を設定した。

RQ1: PF の設計原理を取り入れた授業は、数学的意味づけ・表象間の関連づけを促進したのか

RQ2: PF によってもなお、理解が困難であった数学的意味づけ・表象間の関連づけは何か

RQ3: 数学的意味づけや表象間の関連づけの形成に有益であったと認識した活動は何か

2. 研究の方法・実践設計

学校現場で実施可能な授業とするため、既存の授業の中に埋め込む形で、工業高校 1 年生 40 名を対象に PF の設計原理を取り入れた「等加速度直線運動」の授業を 2 コマ時間構成で実施した。本実践の開始前に「分からなくても自分の考えを言葉や図、式で表現すること」「間違いや、自信のなさも表現することで学びにつながることを説明し、自分の考えを表現することを促した。

第 1 時限：教師による解法の提示に先立ち、斜面を下るミニカーの運動を演示した後、生徒が運動を観察した上で、速度や位置の変化を複数の表象 (v - t グラフ、 x - t グラフ、数式) によって予測しワークシート 1：WS1 (図 1) に自分の考えをまとめさせた。運動観察後に各表象を予測させることで、学習者の興味や疑問を喚起し、既有知識を活用した試行錯誤を促すことを意図した。その後、ペアで互いの考えを説明し合う活動を行った。その際「考えの違いを比較すること」「相手の考えの理由を理解すること」を意識するよう指示した。最後に、分からなかったことや疑問に感じたことを WS1 に記入させた。

第 2 時限：生徒は第 1 時限で生成した自らの考えと標準的な表現を比較し、教師がその結果を踏まえて WS2 (図 2) を用いて、具体的な数値をもとに表、グラフ、数式の対応関係を整理した。その後、ペアやグループで考えを確認し合い、等加速度運動を再解釈することを通して複数表象間の関係性を関連付けながら理解の再構成を促した。最後に教科書の例題 (式計算、グラフから加速度と距離を求める) に取り組ませ学習内容の統合を図った。

このように、指導の前に問題解決課題に取り組ませ、生徒が複数表象を生成・比較した後、それらを関連付けながら理解を再構成する活動を行うことで PF の設計原理を取り入れた授業を実施した。

本研究では、理解度テスト、質問紙および自由記述をもとに、PF の設計原理を取り入れた授業が複数表象の関連付けと数学的意味づけの形成に及ぼす影響を検討する。さらに、物理教育における PF を活用した授業設計の可能性と課題について考察する。

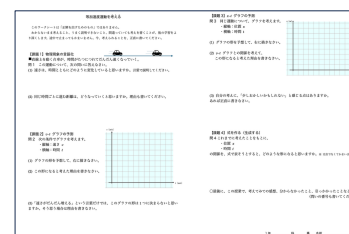


図1 授業ワークシート 1

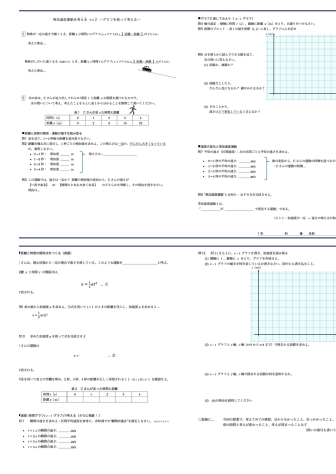


図2 授業ワークシート2

参考文献

- [1] McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., van Zee, E. H. (1987): *Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics*, American Journal of Physics, 55(6), 503-513.
- [2] Redish, E. F. (2006): *Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses*, arXiv, physics/0608268.
- [3] Palmgren, E., Kokkonen, T., Bruun, J. (2025): *Roles of mathematics in physics education: A systematic review*, Physical Review Physics Education Research, 21(2), 020602.
- [4] Kohl, P. B., Finkelstein, N. D. (2006): *Effects of representation on students solving physics problems: A fine-grained characterization*, Physical Review Special Topics: Physics Education Research, 2(1), 010106.
- [5] Kapur, M. (2008): *Productive Failure*, Cognition and Instruction, 26(3), 379-424.
- [6] Kapur, M. (2016): *Examining Productive Failure, Productive Success, Unproductive Failure, and Unproductive Success in Learning*, Educational Psychologist, 51(2), 289-299.

実像，虚像を「目で見える」仕組みを「見る」ことができる教材の開発と授業

実践-「目の模型」の開発と活用-

^A南伸昌

^A宇都宮大学共同教育学部

minami@a.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

中学校 1 年生の理科で「ものの見え方」を学ぶが，例えば「凸レンズを半分隠した場合のスクリーン上の像の変化」など，根強い誤概念があることが知られている[1]。このような誤概念の解消が難しい理由として，現行の指導内容が，光がどのように進むのかという幾何光学の学習中心で，「目で見える」という日常の体験との結び付きが弱いことが挙げられる。例えばイギリスでは，「目でどのように見えているのか」ということを意識させた上で幾何光学を学ぶことにより，実感を持って学びを進めていることが報告されている [2]。

ただ，目は，特にそのスクリーンに当たる網膜が体の内部にあるので，直接その機能を確認することが難しい。「目で見える」ことを実感させるためには，適切なモデルの使用が必要となる。市販の医学教育用の眼球モデルは目の構造を知るためのもので，通常実物の 3 倍以上の大きさで「自分の目」との実感を持つことは難しい。また，レンズやスクリーンの機能を備えたものは，数十万円程度と高価である。ガチャ玉等の透明プラスチック球を用いたモデルの提案[3]や製品があるが，ピント調整機能を付与することは難しく，目の機能の再現実験には適さない。今回，物体から出た光が目で結像する様子を，第 3 者の視点で観察できる実物大の教具「目の模型」を開発し，実像と虚像との違いを明確に認識できる教材を開発して，公立中学校 1 年生に授業実践した結果と成果とについて報告する。

2. 目の模型

目の構造は現行の教科書では中学 2 年での学習事項であるので，目で知覚している現象を中学 1 年生が実感を持って認識できるように，「目の模型」は眼球と同じサイズで，分かりやすい機能を持つことが求められる。人間の眼球の大きさは大凡 25 mm であり，そのサイズでスクリーンに結像させるためには焦点距離が 20 mm 程度の凸レンズが必要となる。市販品のピークルーペ (×15) は焦点距離 25 mm，レンズ部の外径 27~29 mm，長さ 21 mm の凸レンズとみなすことができ，2 千円弱と価格的にも手頃である。

スクリーンをピークルーペと一体化させ，かつ焦点距離の微調整が可能となるためには，内径 30 mm，長さ 25 mm 程度の円筒形の容器が必要となる。一般的なフィルムケースの内径は 29.5 mm なので，長さ 25 mm にカットし，底部を，縁を 4 mm 程度残して円形に切り抜き，半透明のトレーシングペーパーを貼り付け，鏡筒・スクリーンとした。ピークルーペとフィルムケースの隙間には，ピークルーペに幅 30 mm の紙テープ

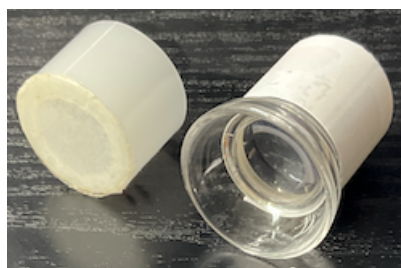


図 1. 鏡筒とピークルーペ

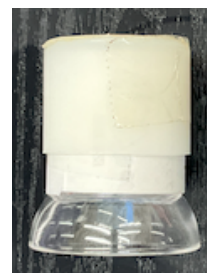


図 2. 目の模型

を適量巻くことにより鏡筒の内側にフィットさせ、凸レンズとスクリーンとの間の距離を滑らかに、安定して調整できるようにした（図 1）。これにより、レンズから 5 cm 以上の距離にある物体にピントを合わせられる、全長 30 mm 程度、外径 31 mm の「目の模型」とすることができた（図 2）。

3. 授業実践：「目の模型」による虚像・実像の観察

授業は、凸レンズによる物体の結像の仕組みの復習をし、目の機能を凸レンズ（水晶体）とスクリーン（網膜）の組み合わせで説明できることを示した（図 3）。その際、光は限られた光線として進むのではなく、光束として進むことを強調した。そして、「目の模型」を紹介し、目の構造及び機能を再現できることを説明して、風景を観察した（図 4）。これにより網膜上に結像することを第 3 者の視点から確認し、目でも実際に結像していることを実感できるようにした。

この「目の模型」を用いて、虚像も網膜上には結像すること、そして網膜上の像は凸レンズを入れる前のものよりも大きくなり、大きな虚像が「見えている」ことを、第 3 者の視点で確認した。図 5 は光源の像が「目の模型」の網膜に結像した様子を示している。向かって右側は光源を目で見ているときの、網膜に映った光源の像であり、左側は凸レンズを入れて見える拡大像（虚像）が網膜に結像したものを表している。スクリーン上での赤と青の光の中心間の距離は、凸レンズを入れることにより見た目でも大きくなったことは分かるが、実際に計測すると右が 7 mm、左が 8 mm と、数値化により、網膜上の像が大きくなることをより強く実感できた。

4. 受講者の感想と評価

本授業実践後の、受講者の主な感想は次の通りである。

「水晶体が凸レンズと同じ役割だということを実感した。」「目の模型では目が分かりやすい模型になっていてとてもおもしろかったです。」「自分たちの目は、こんなにも簡単なつくりでできていることに、おどろきました。」

目の構造は中学 2 年の学習事項であるが、適切なモデルを用いることにより無理なく理解できた様子が見える。

授業の前後で「凸レンズを半分隠した場合のスクリーン上の像の変化」等の理解度調査を実施したが、その結果も合わせて当日報告する。

参考文献

- [1] F. M. Goldberg et al. (1987): An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror, Am. J. Phys. 55 (2), 108-119.
- [2] 奥田雅史ほか(2008): 日・英の中学校理科教材の比較-光の単元-, 物理教育, 56, 320-326.
- [3] 小嶋孝夫: がちゃポンで目の模型, <https://proto-ex.com/data/574.html>.

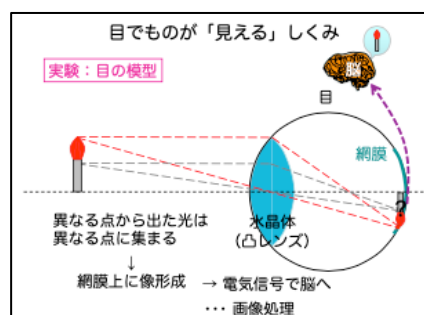


図 3. 目でものが見える仕組み



図 4. 「目の模型」での見え方



図 5. 虚像の見え方

中学校電気回路における多重表現を通した回路モデル形成

柴田 樹

東京学芸大学附属国際中等教育学校

ishibata@u-gakugei.ac.jp

1. はじめに

中学校理科の電気回路では、電流や電圧、抵抗など、直接目で見ることのできない物理量を扱う。そのため、生徒がこれらの量をどのように捉え、相互に関係付けながら回路全体を理解するかが重要となる。直流回路に関する概念調査 DIRECT では、電流が回路素子によって消費されると考える見方や、電池を一定量の電流を送り出す装置として捉える見方、回路の一部の変化が回路全体に及ぼす影響を十分に考慮しない局所的な推論など、電気回路に関する特徴的な誤概念が報告されている[1]。

こうした目に見えない電気現象の理解を支援するため、電気回路の学習では水流アナロジーなどが用いられることがある。アナロジーは、未知の現象を既知の現象と対応させ、直感的な理解を促す点で有効である。一方で、特定のアナロジーのみを強く提示することによって、生徒自身がもつ多様な表現や考え方が十分に生かされない可能性もある。

そこで本研究では、特定のアナロジーに生徒の理解を当てはめることを中心とせず、豆電球の明るさの観察、実物の回路、回路図、言語による説明、電流・電圧の測定値、グラフ、数式などの多重表現を相互に関連付けながら、生徒が電流・電圧・抵抗の関係を回路全体として捉える回路モデルを形成することを目指した。

2. 授業設計

本実践の対象は、中等教育学校第2学年の生徒111名である。本校では国際バカロレアの中等教育プログラム(MYP)を実施しており、各教科において探究的な学習を重視している。理科においても、生徒は前年度から継続的に実験を中心とした授業に取り組み、予想を立て、実験によって検証し、その結果を考察する学習経験を積んでいる。

授業課題の設定にあたっては、McDermott らによる *Tutorials in Introductory Physics* および *Physics by Inquiry* の課題を参考にした[2][3]。教師から結論を与えるのではなく、学習者が予想を立て、他者との議論や実験を通して自らの考えを検証し、必要に応じて説明を修正する過程を重視した。

本実践では、原則として1時間の授業につき一つの課題を設定し、次の流れを基本とした。まず、生徒一人ひとりが課題に対する結果を予想し、Plickers を用いてクラス全体の予想を集計する。次に、班内で互いの考えとその理由について議論し、再度 Plickers によって予想を集計する。その後、クラス全体で異なる考え方やその根拠について討論し、最後に生徒実験によって結果を確かめる。さらに、得られた実験結果についてクラス全体で解釈し、当初の予想や説明を見直した。

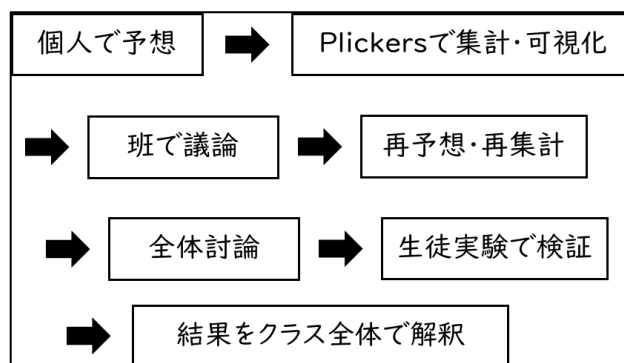


図1 授業の基本的な流れ

3. 単元の展開

単元の導入では、豆電球 1 個、導線 1 本、乾電池 1 個を用いて、豆電球を点灯させる課題を設定した。その後、豆電球や乾電池のつなぎ方を変化させ、豆電球の明るさがどのように変わるかを定性的に比較する実験を繰り返した。

まず、豆電球の明るさの違いという直接観察できる現象を出発点とし、「なぜ明るさが異なるのか」という問いから電流に着目させた。続いて、電流だけでは明るさの違いを十分に説明できない場面を扱うことで、電圧という新たな物理量に着目させた。その後、電流計および電圧計の使い方を学び、回路の各部分における電流と電圧を実際に測定した。さらに、電流と電圧の関係を調べる実験からオームの法則を扱い、最後に電力の学習へとつなげた。

授業タイトル	授業時数
豆電球のつなぎかた	1
豆電球を増やすと？（直列）	2
豆電球を増やすと？（並列）	1
電流の大きさを測ろう	1
電圧の大きさを測ろう	1
電流計・電圧計のつなぎ方／短絡	1
豆電球を増やすと全体の抵抗は？	1
電流と電圧の定量的関係	2
豆電球の明るさと関係するのは電流？電圧？	3
身の回りの電力表示を探せ！	2

このように、本単元では、はじめから電流・電圧・抵抗の定義や公式を与えるのではなく、まず明るさに着目した定性的な実験を繰り返し、生徒自身の予想、言語表現、回路図、実験結果を相互に関連付けた。その後、測定値、グラフ、数式へと表現を広げながら、電流・電圧・抵抗を個別の知識としてではなく、回路全体の振る舞いを説明・予測するための回路モデルとして形成することを目指した。

このように、本単元では、はじめから電流・電圧・抵抗の定義や公式を与えるのではなく、まず明るさに着目した定性的な実験を繰り返し、生徒自身の予想、言語表現、回路図、実験結果を相互に関連付けた。その後、測定値、グラフ、数式へと表現を広げながら、電流・電圧・抵抗を個別の知識としてではなく、回路全体の振る舞いを説明・予測するための回路モデルとして形成することを目指した。

4. 授業効果の評価と今後の課題

本実践では、水流アナロジーなどの特定の表現をあらかじめ与えることを中心とせず、豆電球の明るさという直接観察できる現象を起点として、予想、議論、実験、結果の解釈を繰り返す授業を行った。その過程で、生徒自身の言語表現や図、実物の回路、回路図、測定値、グラフ、数式などを往還させることにより、電流・電圧・抵抗の関係を回路全体として捉える回路モデルの形成を目指した。

本発表では、DIRECT を参考にした概念調査、生徒記述、定期テストの結果を分析し、多重表現を通じた授業が生徒の回路モデル形成にどのように寄与したのかを報告する。特に、議論や実験を通して生徒の予想や説明がどのように変容したのか、また、定性的な理解と定量的な問題解決がどのように関係するのかについて、言及する。

参考文献

- [1] P. V. Engelhardt and R. J. Beichner (2003) : Students' understanding of direct current resistive electrical circuits, American Journal of Physics, 72, 98-115.
- [2] L. C. McDermott and the Physics Education Group at the University of Washington (1996) : Physics by Inquiry, Vol. II, John Wiley & Sons.
- [3] L. C. McDermott and P. S. Shaffer (2002) : Tutorials in Introductory Physics, Prentice Hall.

大学入試問題の品質保証に向けたローカル LLM の活用可能性

—数学・理科問題における誤字検出を対象とした基礎的検討—

^A 田尾周一郎, ^B 村井浄信

^A 岡山大学学術研究院共通教育・グローバル領域, ^B 岡山大学学術研究院社会文化科学学域
tao@okayama-u.ac.jp

1. はじめに

大学入試問題における出題ミスは、受験生の進路選択に直接影響を及ぼすだけでなく、大学入学者選抜の公平性・公正性に対する信頼を損なう重大な問題である。2017 年度入試では、京都大学および大阪大学の理科（物理）において出題ミスが判明し、追加合格等の対応が行われた。大阪大学の事例は、日本物理教育学会近畿支部の「物理教育を考える会」において最初の指摘がなされた [1]。これらの例では、ミス発覚後の対応の在り方も含めて社会的な議論を呼んだ。

このような入試ミスは、特定の大学や教科に限った問題ではない。西郡・倉元は、新聞記事に現れた入試ミスを対象として、そのパターンと影響を分析している [2]。この研究では、入試ミスを単なる偶発的な失敗としてではなく、入学者選抜におけるリスクマネジメントおよび品質保証の課題として捉えている。

入試問題の作成においては、作問者による確認に加え、作問者以外の点検者による確認、試験実施後の検証など、複数段階のチェック体制が求められている。文部科学省も、試験問題について、試験実施前だけでなく試験実施中および実施後にも、作題者以外の者を含めて二重、三重に点検することを求めている [3]。しかし、人的確認に依存する限り、見落としを完全に排除することは難しい。

こうした内部的な点検体制に加え、入試問題および解答例等の公表は、大学入試の透明性および検証可能性を確保する観点から制度的にも位置づけられている。2024 年の学校教育法施行規則改正により、同規則第 172 条の 2 に定める大学の教育研究活動等に関する公表事項として「入学者の選抜に関すること」が追加され、2025 年 4 月 1 日から、試験問題、解答又は解答例、出題の意図等が明示的に公表対象となった。入試問題の公表は、社会的な検証可能性を高め、出題ミスの早期発見にも資する。一方で、出題後の検証だけでは、受験生への影響を未然に防ぐことはできない。したがって、出題前の段階で問題文を点検し、誤りを検出する支援手法の開発が重要となる。

生成 AI、とりわけ大規模言語モデル（Large Language Model: LLM）は、文章校正、誤り検出、情報抽出などのタスクにおいて高い能力を示しており、教育分野においても活用が検討されている。数学・理科の問題を対象とした研究では、LLM に問題を解かせ、その正答率や推論過程を評価する試みが多く見られる。一方で、問題を解く能力と、問題文そのものに含まれる誤字や不備を検出する能力とは同一ではない。入試問題の品質保証という観点からは、LLM を解答者としてではなく、問題文を点検する補助的な確認者として用いる可能性を検討する必要がある。ただし、公表前の入試問題は機密性の高い文書であり、クラウド型 LLM をそのまま利用することには制約がある。そこで本研究では、ローカル環境で動作する LLM に着目し、入試問題の点検支援に向けた基礎的検討として、誤字検出の性能評価を行う。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ローカル LLM が大学入試問題の点検支援、特に誤字検出にどの程度利用可能であるかを評価することである。具体的には、以下の四点について検討する。第一に、ローカル LLM は入試問題中に埋め込まれた誤字をどの程度検出できるのか。第二に、モデルの違いによって検出性能に差が生じるのか。第三に、ローカル LLM による推論時のパラメータ設定は検出性能に影響するのか。第四に、複数のローカル LLM を組み合わせることにより、誤字を補完的に検出できるのか。これらの検討を通して、ローカル LLM による入試問題点検支援の可能性を明らかにする。

3. 評価基盤の構築

ローカル LLM の誤字検出性能を評価するためには、共通条件で比較可能な評価データが必要である。しかし、大学入試問題を対象とし、誤字検出性能を評価するための標準的な公開ベンチマークは、著者らの調べた限り確認できなかった。

そこで本研究では、公開されている大学入試問題を収集し、その問題文に人為的な誤字を埋め込むことで評価データセットを構築した。ここで誤字は「変位」を「変異」と置き換えるなど、同音異義語を用いて作成した。これにより、どの位置に、どのような誤字が存在するかを既知とした上で、各モデルの検出性能を比較できるようにした。評価にあたっては、検出の有無だけでなく、誤検出や見逃しも含めて分析できるよう、複数の指標を用いる。この評価基盤により、モデル間の差異、推論条件の影響、複数モデルを組み合わせた場合の相互補完性を比較検討することが可能となる。

4. 今後の展望

現在、複数のローカル LLM を対象として、誤字検出性能の比較、推論パラメータの影響、および複数モデルを組み合わせる手法の有効性について解析を進めている。最終的には、ローカル LLM を入試問題の点検支援に用いる場合に、どのような運用条件が現実的であるかを整理することを目指す。

ただし、本研究が対象とする誤字検出は、入試問題の品質保証全体から見れば第一段階に過ぎない。実際の出題ミスには、問題文の条件設定、数式の整合性、図表の妥当性、単位の扱い、内容の正確性、採点基準との対応など、多様な種類が含まれる。本研究は、ローカル LLM のみによって入試問題の品質保証を完結させることを目的とするものではない。むしろ、人間による最終的な点検を前提としつつ、その前段階または補助段階として、機械的に検出可能な誤りを拾い上げる支援手法を検討するものである。

今後は、誤字検出に加えて、表記ゆれ、数式、図表、理論的整合性など、より高度な出題ミスへの適用可能性を検討する必要がある。また、大学入試問題だけでなく、高等学校の定期試験、教材プリント、演習問題などの校正支援にも応用できる可能性がある。入試問題の品質保証という課題を出発点としながら、教育現場全体における試験・教材作成の支援へと展開していくことが、今後の重要な課題である。

参考文献

- [1]越桐國雄(2018)：近畿支部の「物理教育を考える会」と大学入試問題，物理教育，66 巻 2 号，108-112.
- [2]西郡大・倉元直樹(2009)：新聞記事からみた「入試ミス」のパターンとその影響の検討，東北大学高等教育開発推進センター紀要，4 号，39-48.
- [3]文部科学省(2026)：令和 9 年度大学入学選抜実施要項.

生成 AI を活用した事前添削による実験レポート改善の効果

^A 齊藤 準

^A 帯広畜産大学 人間科学研究部門

jsaito@obihiro.ac.jp

1. 背景と目的

生成 AI が広く一般化し、物理教育における活用も大きく進んでいる [1]。生成 AI を批判的・創造的に活用することで、高い学習効果の得られることが期待される一方、AI に依存することによる能力形成への悪影響も明らかとなりつつある [2, 3]。適切な学びを促進するためには、生成 AI の統制的な活用をデザインする必要がある [4]。

そのような活用事例として、本報告の前報となる [4] においては、教員があらかじめ設計したプロンプトのもとでのみ動作する生成 AI によって、提出前の実験レポートを事前添削する仕組みを開発・運用し、その効果検証を試みた。結果として、添削を活用した学習者の方が、そうでない学習者よりも、レポートの添削対象部分である実験結果やその考察に対する教員評点が有意に高く、一定のレポート改善効果が見られた。しかし、添削結果の具体的な活用程度や内容については明らかではなく、生成 AI の活用による効果と、添削を受けて改稿を試みようとするそもそもの意欲や能動性の反映とを、区別するには至らなかった。

そこで本研究では、提出前に添削を受けたレポートと実際に提出されたレポートを比較し、添削前後の改稿程度やその評点との関係等から、レポート改善への生成 AI の寄与をより詳細に分析する。

2. 方法

実践対象は、獣医農畜産学系の単科大学において、[4] の次年度となる 2026 年度 2 年次基礎教育の物理学実験科目とした。本稿の分析範囲に対応する履修学生数は 74 名であった。事前添削のシステムは、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 [4] で開発した仕組みを一部改修し、学生が添削を受けたレポートもデータとして蓄積できるようにした。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、GPT-5 nano を使用した。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、同意の得られたデータのみを分析対象とした。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項目として、特に物理量の適切な表記に基づく「結果」の信頼性と、実験で取得したデータの科学的な検討に基づく「考察」の妥当性について添削することを指示した。本システムの AI に対して、学生はプロンプトを与えることができない設計とした。

添削前後のレポートと添削内容は Moodle 内に取得・蓄積した。このうち、研究協力への同意があったデータについて、添削前後のテキスト分量やそれらの差分、差分と添削内容との類似度、およびそれらと評点との相関等を求めた。これにより、添削の反映状況やその効果を定量的に評価した。

3. 結果

ここでは予備的な結果として、添削前後でのレポートを比較した際の、テキストの置換率

(change_rate), および AI による添削テキストと置換テキストとの類似度 (similarity_ratio), さらに「結果」と「考察」の評点 (c3 と c4) について, 分布とピアソンの相関係数を求めたところ, 図 1 のようになった。

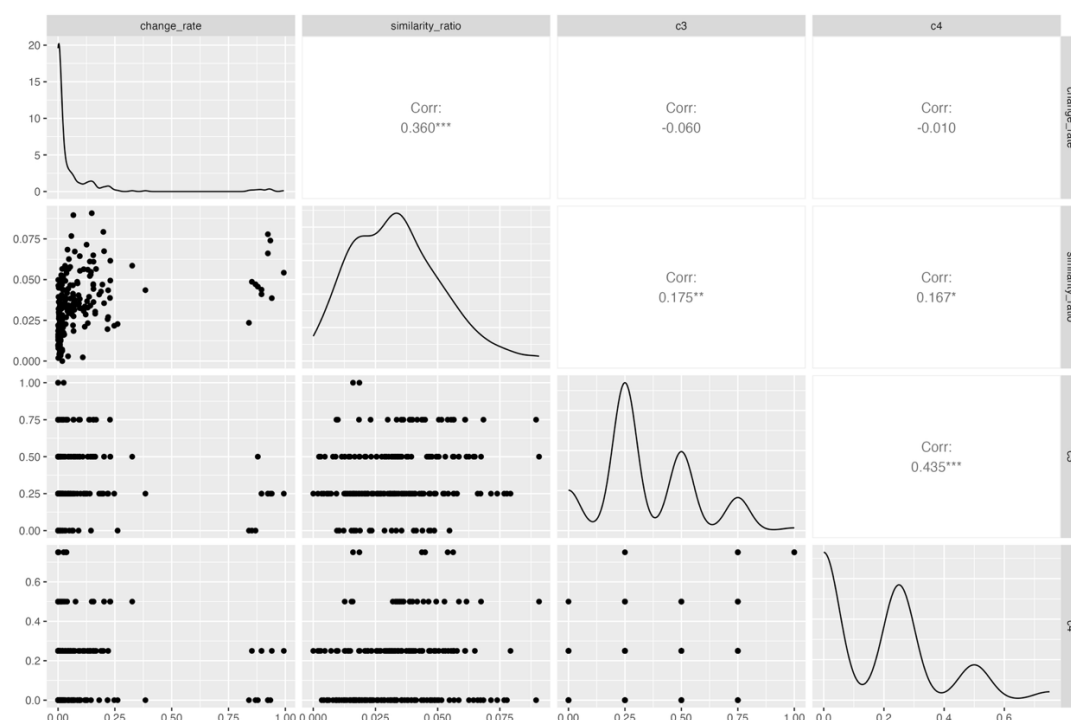


図 1

4. 考察

予備的な結果に対する検討にとどまるが, 置換率と類似度との間に弱い正の相関が見られたことから, 添削後に改稿されたレポートは, AI による添削結果が一定程度ではあるが確かに利用されていることがわかる。また, 評点は, 置換率とは相関しないが, 類似度とはごく弱いながらも正に相関したことから, AI による表現の導入がスコアの向上に寄与した可能性が示唆される。

したがって, これらの学習効果に与える影響等の検証にはより詳細な分析が必要であるが, 本実践における生成 AI 活用の様子を, 本手法により定量的に評価可能であることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 渡會 兼也, 遠藤 龍介 (2025): 物理教育と生成 AI (特集), 物理教育, 73(3), 199.
- [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 (2026): AI に関する現状と検討課題について,
https://www.mext.go.jp/content/20260213-mxt_kyoiku01-00004732__06.pdf
- [4] 斉藤 準 (2025): 生成 AI を活用した事前添削による実験レポート改善支援の試み, 日本物理教育学会北海道支部会報, 53, 24-27.

力と運動状態の対応を問う演習教材の開発とその教育効果

^A長尾桂子, ^{A, B}高見寿

^A岡山理科大学理学部, ^Bおもしろ実験研究所

nagao@ous.ac.jp

1 はじめに

力学の学習者にとって、力と物体の運動の関係は必ずしも容易に理解できるものではなく、混乱や取り違えがしばしば見られる。典型的な誤概念として「物体の速度が 0 であれば力は働いていない」「物体が運動しているなら常に力が働いている」などが知られている。こうした誤概念の変容には、教員が正しい概念を提示するだけでは不十分で、まず学習者自身が自らの理解の誤りに気づくことが重要とされる。本研究では、力と運動状態の対応を問うことで学習者に誤概念への気づきを促す演習教材（演習シート）を開発した。本稿ではその教材の設計と、力学概念調査 FCI [1] を用いた教育効果の検証について報告する。

2. 教材

以下の (1)～(4) の場合について、1、2 の間に答えよ。

1. 力の作用する点に●を書き、力の矢印を書け。

- ◆ 重力は物体の重心に働き、地球の中心に向かう
- ◆ 他の物体と接しているとき、力は接触点に働く。物体なら、押される向き（へこむ向き）。糸なら、引かれる向き（はがれる向き）。

2. x方向、y方向の物体に働く力と物体の状態を、以下の選択肢からそれぞれ選べ。

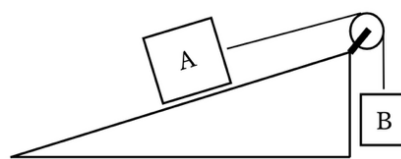
【力】

- A 働いていない
B 働いていて、つりあっている
C 働いていて、つりあっていない

【運動】

- a 静止
b 等速運動
c 加速運動

(4) 滑車でつながって静止している 2 つの物体



A…(斜面に平行) 力： 運動：
(斜面に垂直) 力： 運動：

B…(x方向) 力： 運動：
 (y方向) 力： 運動：

図 1：本研究で作成した演習シートの例

開発した演習シートの核心は、ひとつの力学的状況について「力の状態」と「運動の状態」を別々に答えさせ、両者の整合を学習者自身に問う点にある。学習者は、様々な状況（静止した物体、糸で引かれる物体、滑車でつながれた 2 物体など）について、次の 3 つの問いに順に答える（図 1）。

第 1 問では、物体に力が働く作用点に●を書き、力の矢印を描き入れる。このとき「重力は重心に働き地球の中心を向く」「他の物体と接しているとき力は接触点に働く」といった作図の原則を明示し、力の図示そのものを丁寧に扱う。第 2 問では、各方向について物体に働く力を「働いていない／働いてい

て、つりあっている／働いていて、つりあっていない」から選ぶ。第 3 問では、物体の運動状態を「静止／等速運動／加速運動」から選ぶ。

この教材の要点は、第 2 問（力）と第 3 問（運動）の選択肢が運動方程式 $\mathbf{ma} = \mathbf{F}$ を通じて紐づいていることである。この関係に従えば、「力が働いていない-加速運動」「つり合っている-加速運動」「つり合っていない-静止」「つり合っていない-等速運動」の 4 つの組み合わせは物理的に起こり得ない。ところが力と運動について誤った直感を持つ学習者は、まさにこの矛盾した組み合わせを選んでしまう。学習者が自分の解答がこの禁止された組み合わせになっていることに気づくとき、外から誤りを指摘されるのではなく、自らの回答の内部矛盾として誤概念を自覚できる。これが本教材の中心的なねらいである。

演習シートは授業の自宅課題として課し、次の授業で答え合わせを行った。その際には単に正答を示すのではなく、選んでではない組み合わせがなぜ物理的に成立しないのかを運動方程式に立ち返って説明し、学習者が自らの誤りの原因まで理解できるよう指導した。

3. 実施と評価方法

本教材は、私立 A 大学理学部物理学科 1 年生向けの力学の授業（2021～2023 年度および 2025 年度）で実施し、全 15 回の授業のうち 6 回を演習シートによる自宅課題とした。教育効果の評価には、ニュートン力学の概念理解を測る標準的な調査である力学概念調査 FCI (Force Concept Inventory) の日本語版を用いた。FCI は 30 問の 5 択問題からなり、各設問の誤答選択肢には既知の誤概念が対応づけられている。授業の初回と最終演習後の 2 回 FCI を受験させ、複数年受講者と 2 回目欠席者を除いた有効なべ回答数は 123 名であった。FCI30 問のうち、力と運動状態の対応を直接問う 12 問を重点的に分析し、授業前後の正答・誤答の変化を Exact McNemar 法（有意水準 $\alpha = 0.10$ ）で検定した。

4. 評価結果

分析した 12 問のうち、設問 5, 7, 11, 13, 22 の 5 問で、誤答から正答への改善が正答から誤答への改悪を有意に上回り、教材による学習効果が確認された。一方、事前正答率がもともと高い設問群では改善の余地が小さく、事前正答率が低い設問 17, 18, 25 では改善と改悪が拮抗して有意な効果が得られなかった。これらの設問の選択肢分布を調べると、"force causes acceleration to terminal velocity"（力が働けば終端速度まで加速し続ける）や "only active agents exert forces"（能動的な主体だけが力を及ぼす）といった、力と運動の対応に関わる根強い誤概念が演習後も残存していた。特に後者では、力の合成・分解の理解不足に起因する混乱も見られた。

6. まとめと今後の展望

本研究では、力と運動状態の対応を学習者自身の解答の内部矛盾として問うことで、誤概念への気づきを促す演習教材を開発した。FCI による評価では、力と運動の対応を問う 12 問中 5 問で有意な学習効果が確認された一方、一部の設問では根強い誤概念が残存することも明らかになった。

参考文献

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

大学での〈教養としての物理〉の試みは

「物理嫌い」とどう向き合っているか

^A阿部春樹, ^B舟橋春彦

^A神戸大学戦略企画室, ^B京都大学国際高等教育院

abe.haruki@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

高校生の「物理嫌い」がよく知られている[1]. どのように克服され得るだろうか. 複数の国立大学のシラバスと政策文書等とを比較したところ, 〈教養としての物理〉とも言える共通性が見られた. 「教養」は多義的な概念であり, 近年の大学教養教育では初年次教育や高度教養教育など, 従前の枠組みを超えた展開も見られる. 理系に進む者に限らず誰もが学ぶに値する〈教養としての物理〉の実践が望まれる. 知識習得にとどまらず, 物理の世界観を体験的に学び, 異なる分野の考え方を受け止める態度の形成が期待される. 調査対象とした 49 大学のうち, 仮説実験授業を活用して〈教養としての物理〉を講じる A 大学の受講生の感想文を検討する.

2. 政策文書から見る〈教養としての物理〉

中央教育審議会の答申[2]では, 大学における教養教育に「専門分野の枠を超えて共通に求められる知識や思考法などの知的な技法の獲得や, 人間としての在り方や生き方に関する深い洞察, 現実を正しく理解する力の涵養」を求めている. 日本学術会議による報告[3]を参照すると, 「物理学・天文学を学ぶことで, 涵養される市民性」として, 「批判的思考力」「自然の判断」「全宇宙的視点」「実験やセミナーにおける共同作業」を挙げている. これらを踏まえると, 〈教養としての物理〉には, 物理学の考え方を通じて批判的に物事を捉える力を養い, 自己の認識を客観的な視座から検証する態度を身に付けることが期待されている, と考えられる.

上記の答申は, 高等学校における教養教育にも「物事を科学的に調べる能力, 科学的なものの見方や考え方を体得すること」を期待し, 科学教育・理科教育の推進を掲げている. しかし, 現状の「物理嫌い」を思うと, 高校物理では〈教養としての物理〉が十分に実践されていないと言える.

3. 調査方法

Web 上で公開されているシラバスを利用して, 国立大学の〈教養としての物理〉の試みを調査した. 国立大学 81 校 (大学院大学を除く) のうち, 「総合」47 大学と「女子」2 大学の計 49 大学を対象とした (区分は文部科学省資料[4]による).

シラバス検索では, 「教養教育」「全学共通」等の全学的に開かれた科目を対象とし, 「物理」「科学」「自然」などをキーワードに検索した. その上で, 理系向けの専門教育ではなく, 最も前提知識を要求しないと考えられる科目を抽出した.

4. 調査結果

それぞれの試みの正否を評価するものではないことを予め申し添えた上で, 特筆すべき共通性を紹介

する。多くの大学では、物理学のものの見方・考え方や専門分野を超えて求められる共通の思考法の習得を目的や到達目標に掲げていた。また、身近な現象を題材とする授業、予想と実験を通して理解を深める授業が多く見られた。レポートや小テストにより評価する科目も多く、思考の過程を重視する傾向があった。

特に個性的な事例を取り上げる。A大学（近畿）では、板倉聖宣が確立した仮説実験授業の授業書を用いて、文系学部生を対象に「理系の専門基礎としての体系的な物理教育の一環ではない」「科学入門教育を意識した〈教養としての物理〉」を提供している。B大学（北海道・東北）では、物理学に関する書籍を読むだけでなく、授業を通して得た知見をエッセイとして執筆する。また、授業の目的として、受講生それぞれの専門の相対化を目指すことが明示的に示されている。

このうちA大学の事例を対象に、感想文から上記下線部の共通性がどのように受け止められているか検討した。「自分の考えとは異なり、納得いかないことが覆しようのない事実だということは物理には多いように感じた。このことを通じて物事を客観的に見ることの大切さを改めて確認できた。（2020年度、法学部、1回生）」「自分の直感をただ鵜呑みにするのではなく、『実際に実験して確かめる』という工程を踏む大切さを学べた。これは、周囲に踊らされず自分の体験や他者の（正しい）判断等を煽ぐという、現代に生きる上で大切なことを考えさせられるきっかけになった。（2020年度、文学部、1回生）」など、物理学の世界観を受け止めている様子が読み取れた。身近な現象を対象とし、予想と実験を重視する授業形態は、受講生に直感と現実との差異を体験させ、自己の認識を批判的に検証する態度の形成につながったことが示唆される。

5. 発表について

物理に限らず「理科離れ」の問題が唱えられて久しい。「暗記偏重の授業形態」や「科学の成熟に伴い、科学技術を当たり前ものだと思うこと」が「理科離れ」の原因の一つと言われている[5]。〈教養としての物理〉はそれらの要因を自ずと回避する。〈教養としての物理〉が、知識伝達中心とは異なる形で物理に出会う・出会い直す機会を提供し、「物理嫌い」を克服し得ると考えている。調査対象の大学のシラバスから代表的な視点を共有し、A大学の実践について当該受講生の感想文から種々の反応を見ていく。

参考文献

- [1] 国立教育政策研究所(2015)：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（参照日 2026.07.10）.
- [2] 中央教育審議会(2002)：新しい時代における教養教育の在り方について，
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/020203.htm（参照日 2026.07.09）.
- [3] 日本学術会議(2016)：大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 物理学・天文学分野，
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h161003.pdf>（参照日 2026.07.09）.
- [4] 文部科学省(2024)：国立大学法人等の現状について，
https://www.mext.go.jp/content/20241216-mxt_hojinka-000037292_01.pdf（確認：2026/7/9）.
- [5] 長沼祥太郎(2015)：理科離れの動向に関する一考察—実態および原因に焦点を当てて—，科学教育研究，Vol.39 No.2，114-123.

複数物体系における加速度運動の概念理解 — 概念調査紙 SEBO の開発と試行調査 —

^{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

筆者はこれまで、力のつり合いと作用・反作用の理解度、およびそれらの識別の度合いを測定する調査紙 DETA (Differentiation between Equilibrium of forces and Newton's Third law of motion Assessment) を開発し、調査を進めてきた[1]。DETA では、つり合いの理解が作用・反作用よりも全体として困難であること、また、その一要因として着目物体を1つに特定することが容易ではないことが示された。特に、つり合いでは等速直線運動の場面、作用・反作用では重力が関与する場面で正答率が低く、生徒が力学概念を場面に応じて安定して適用できていない実態が示唆された。これらの結果は、静止や等速運動の場面において、着目物体の区別や力の関係の整理が十分ではないことを示している。では、加速度運動、とりわけ複数物体が関与する場面では、生徒は着目物体を適切に区別し、第2法則や作用・反作用の法則をどのように用いているのであろうか。

複数物体系における加速度運動について、学生が加速度、内力・外力、糸の役割などに関して顕著な困難を示すことを McDermott らが報告している [2]。しかし、複数物体系における概念理解と運動方程式の立式との関係を系統的に整理した先行研究は見当たらない。

2. SEBO の開発

本研究の目的は、DETA で得られた知見と先行研究を踏まえ、複数物体系の加速度運動に関する概念調査紙 SEBO (Survey of Equations of motion for multiple Bound Objects) を開発することである。現在はまだ開発段階であるが、試行調査を経て完成版を整備する予定であるため、その途中経過を報告する。SEBO では、複数物体系の運動方程式における典型的な場面を扱い、概念理解と立式能力を切り分けて把握することをねらいとしている。具体的なリサーチクエスチョンは、次の2点である。

RQ①: 複数物体系の問題において、生徒は各物体にはたらく力の特定、着目物体の区別、加速度の拘束条件などに関して、どのような誤りや不整合を示すか。

RQ②: 複数物体系の運動方程式の立式の正否は、力の特定、着目物体の区別、加速度の拘束条件などどのように関連するか。特に、立式ができる生徒にもどのような概念的不安定さが残るか。

SEBO は、RQ①②を明らかにすることを目的とし、いずれも多肢選択式の α タイプと β タイプの2本構成にする予定である。

α タイプは概念問題であり、複数物体系の運動方程式を適切に立式できるならば、本来その前提として理解しているはずの内容を問うものである。したがって、単なる反復演習によって正解に到達することが難しい、一般的な概念調査紙に近い性格をもつ。これに対して β タイプは、複数物体系の運動方程式の立式と連立解を問う問題であり、教科書や問題集に見られる定番的設定を基に構成している。こちらは、共通テスト型の問題に近く、反復演習によって一定の得点が可能である一方、概念理解とのずれを検討できるように設計している。

実施計画としては、 α タイプをプレ・ポストの双方で実施し、 β タイプをポストのみで実施することを想定している。これにより、授業前後での概念獲得度を α タイプのゲインによって評価することが可能である。また、ポスト時点では α タイプと β タイプの結果を対応づけ、概念理解と立式能力との関連を検討することができる。

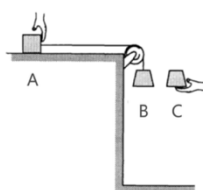
3. SEBO (α タイプ) の構成

今回の発表では、SEBO のうち α タイプに焦点化して報告する。 β タイプについては、今後あらためて報告したい。試行調査に用いた SEBO (α タイプ) の問題概要を表 1、大問Ⅲの一部を図 1 に示す。

表 1 SEBO (α タイプ) の問題概要

大問	状況設定	主に問う内容
I	水平面上で、糸で連結され引かれる 2 物体	2 物体にはたらく張力の大小関係
II	水平面上で、接したまま押される 2 物体	2 物体を押す力の大小関係
III	糸と滑車で連結された 2 物体（一方は水平面上にあり、他方は吊るされる）	静止状態との張力の比較や加速度の大きさ
IV	糸と滑車で連結された 2 物体（2 物体ともに吊るされる）	2 物体の加速度や合力の大小関係

Ⅲ. 図のように、なめらかな水平面上に置かれた質量 100 g の物体 A に軽い糸をつけ、軽い滑車を通して他端に質量 200 g の物体 B をつるしました。最初、A を手で支えています。その後、静かに手をはなしました。糸は十分に長いものとします。



問 5. 物体 A が手で支えられて静止している状態と、手をはなして物体 A が右向きに動いている状態では、糸が物体 A を引く力はどちらの方が大きいでしょうか。

[選択肢]

- ① 等しい。糸が物体 A を引く力は、常に物体 B の重さに等しいから。
- ② 等しい。物体 B の重力と糸が物体 B を引く力はつり合っており、同じ大きさの糸の力が物体 A を引くから。
- ③ 静止している状態。そのとき、物体 B にはたらく糸の力の方が、物体 B の重力よりも大きいから。
- ④ 静止している状態。動いている状態では、物体 B の重力の方が、物体 B にはたらく糸の力の方よりも大きいから。
- ⑤ 動いている状態。そのとき、物体 B にはたらく糸の力の方が、物体 B の重力よりも大きいから。
- ⑥ 動いている状態。そのとき、物体 B の重力の方が、物体 B にはたらく糸の力の方よりも大きいから。
- ⑦ それ以外。理由を付けて回答してください。

図 1 SEBO (α タイプ) の大問Ⅲ（一部）

4. 試行調査

2025 年度に、中学 3 年生と高校 3 年生を対象として、SEBO の試行調査を実施した。その結果、複数物体系の加速度運動に関して、いくつかの顕著な概念的困難が確認された。たとえば、作用・反作用の法則に関する誤解、静止状態における力のつり合いを加速度運動の場面にも誤って援用する傾向、大問Ⅲの設定において糸でつり下げられた物体は自由落下すると考える傾向、束縛運動する 2 物体は別々の加速度をもつと考える傾向などである。発表では、実際の回答割合や確認された誤概念の詳細に触れる。

参考文献

- [1] 伊藤慧，梅田貴士：第 40 回物理教育研究大会発表予稿集（2024）116-117.
- [2] L. C. McDermott, P. S. Shaffer, M. D. Somers: Am. J. Phys. **62**（1994）46-55.



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回 物理教育研究大会

協賛企業広告

今までの測定を劇的に変える

「リアルタイムグラフ」体験。

すぐグラフシリーズ

詳しくはこちら



MOVIE



MOVIE



電源も通信も、
USBに接続するだけで準備完了



記録タイマー *d* (光学デジタル式)
C15-1708 ￥9,500 (￥10,450)

USB温度センサ sugu-T
A05-6180 ￥7,500 (￥8,250)

最小表示
0.01g

USB質量センサ sugu-M
A05-3830 ￥15,000 (￥16,500)



NaRiKa
SCIENCE IS JUST THERE

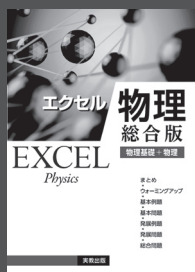
株式会社 ナリカ <https://narika.jp/>

□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

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]

A5判 340頁 (別冊解答 320頁)
定価 1,100円 (税込)



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
New Edition

B5変型判 184頁 (別冊解答 192頁)
定価 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

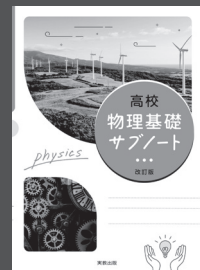
アクセスノート物理基礎
改訂版

B5判 96頁 (別冊解答 48頁)
定価 790円 (税込)

アクセスノート物理
改訂版

定価 930円 (税込)

2027年春
発行予定



学習のまとめに最適

高校物理基礎サブノート
改訂版

B5判 80頁 (別冊解答 48頁)
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



Physics Exam Lab

物理入試ラボシリーズ®

入試問題を
触る、測る。

共通テスト・大学入試の物理問題を、実験として体験する教材シリーズ。

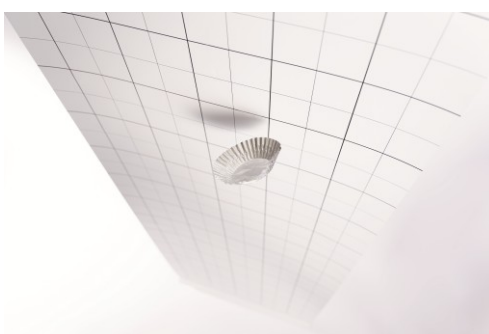
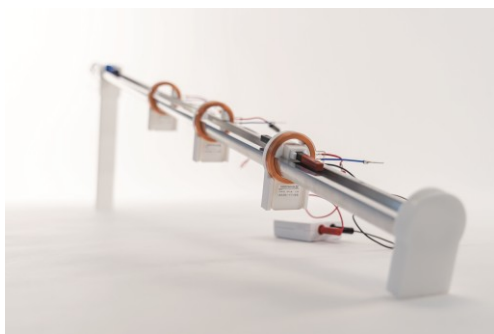
Physics Exam Lab 物理入試ラボシリーズ® は、共通テストや大学入試で実際に出題された物理の問題を出発点に、現象を自ら測定し、データを解析する実験教材シリーズです。

問題文の背後にある物理現象を実験で確かめることで、公式や解法にとどまらない理解を促します。

入試問題がそのまま
実験教材に！

測定・解析まで含めた
「探究的設計」

高校の授業・大学初年次
の教育に最適！



本シリーズは、一般社団法人 国際物理オリンピック2023記念協会の監修・企画により開発され、設計・製造販売を島津理化が担当しております。今後も続々と新製品発表の予定です。

一般社団法人 国際物理オリンピック2023記念協会
Physics Exam Lab 物理入試ラボシリーズについて



AI 時代における物理教育

AIが試験問題において国際トップクラスに匹敵する成績を達成する時代が到来している。既知の物理法則の適用を問う筆記試験においては、AIが人間の高校生を大きく凌駕しうる。

だからこそいっそう鮮明になるのは、物理教育の本質的な価値である：それは答えを導くことではなく、自然を自らの手と目で問い質す経験にある。数式を解く能力をAIに委ねられる時代だからこそ、現象を目撃し、装置を組み立て、測定の不確かさに向き合い、驚きと疑問を自らの感覚で掴むという、本質的に人間的な科学体験がより重要となる。

IPhO 2023記念協会が推進する Physics Exam Lab は、実際に手を動かす実験(tangible science)を通じて物理を学ぶプログラムであり、その意義はAIの台頭によってますます高まっている。人間がAIと共存する科学教育の未来において、Physics Exam Lab のような「触れる科学」の場は、次世代の若者を育む不可欠な基盤となるであろう。

東京大学名誉教授 早野龍五



りかなび

探求を加速させるデータロガー



〔使用例〕

特長
1

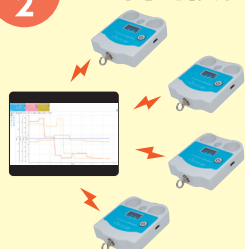
ディスプレイ
表示搭載

表示画面搭載



特長
2

4台同時接続



特長
3

WEBアプリ対応



※iOS端末はダウンロード版のみ

ダウンロード
不要

力 速度 加速度 ジャイロ

運動を
見える化



スマートカー

ScienceCube

サイエンスキューブ (ワイヤレスセンサ)

●スマホやタブレットに無線で接続

タブレットとBluetooth接続が可能なワイヤレスセンサです。

●本体のディスプレイに測定値表示

本体にはPC やタブレットとの未接続状態でも測定値を表示するディスプレイを搭載しています。※スマートカーは除く

Windows ☐ ChromeOS ☐ Android ☐ iOS ☐

〔共通仕様〕

- 通信方式：Bluetooth ●電源：充電電池 (USB充電方式)
- 対応OS：Windows 7以降 iOS 11.0以降
- Android 4.0以降 ChromeOS 最新版推奨
- 付属：USB ケーブル (Type-C)

コード	品名	価格
1-109-0635	温度計	¥23,800 (¥26,180)
1-109-0645	電圧計	¥26,000 (¥28,600)
1-109-0646	電流計	¥26,000 (¥28,600)
1-109-0651	検流計	¥24,000 (¥26,400)
1-109-0647	圧力計	¥29,000 (¥31,900)
1-109-0637	力・加速度センサ	¥33,000 (¥36,300)
1-109-0638	距離センサ	¥38,000 (¥41,800)
1-109-0652	スマートカー	¥68,000 (¥74,800)
1-109-0656	フォトゲート	¥29,000 (¥31,900)
1-109-0649	磁力計	¥29,000 (¥31,900)
1-109-0659	音圧計	¥35,000 (¥38,500)

コード	品名	価格
1-109-0658	熱電対温度計	¥36,000 (¥39,600)
1-116-0456	照度計	¥29,000 (¥31,900)
1-109-0667	放射線測定器	¥73,000 (¥80,300)
1-109-0668	静電容量計	¥34,000 (¥37,400)
1-109-0636	pH計	¥34,000 (¥45,100)
1-109-0648	導電率計	¥41,000 (¥45,100)
1-109-0653	CO ₂ 濃度計	¥65,000 (¥71,500)
1-109-0654	酸素濃度計	¥78,000 (¥85,800)
1-109-0669	比色・濁度計	¥42,000 (¥46,200)
1-109-0657	心電計	¥38,000 (¥41,800)
1-109-0666	気象観測器	¥63,000 (¥69,300)



<https://school.rikanavi.com/>

りかなび

検索



発見、ときめき！理科学機器のケニスです。

ケニス株式会社

○本社 大阪市北区天満2丁目7-28
○東京支社 東京都江東区佐賀1丁目2-8
○福岡支店 福岡市博多区東比恵3丁目16-3
○広島支店 Tel.(082)537-2511
○札幌営業所 Tel.(011)746-1061

Tel.(06)4800-0721
Tel.(03)3630-8121
Tel.(092)473-6600
Tel.(022)302-5460

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

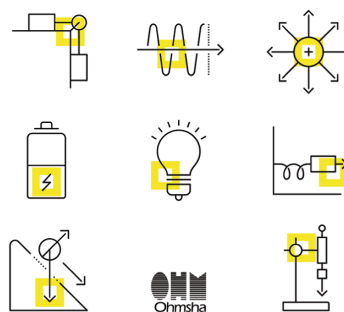
物理教育に関わる方々の必携の一冊！

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きます。従来、「どこで生徒・学生がつまづくのか」「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、経験を積み重ね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。

物理教育の 理論と実践

「物理がわかる」を育むアプローチ

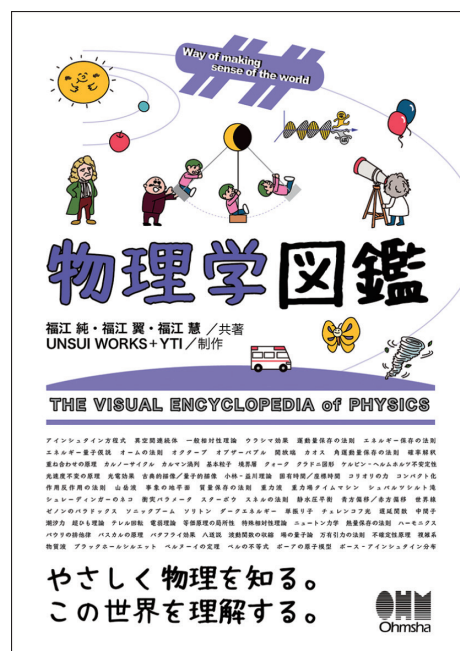
一般社団法人 日本物理教育学会 監修
今井 章人・新田 英雄・安田 淳一郎 共編



【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、「はあ、なるほど」とか「ほおー、そうか」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)

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
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

見て体験して物理がわかる実験ガイドー 演示実験・生徒実験集ー
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 DVD付

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
一高校物理から大学物理への橋渡しー
[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〉
響田克彦・蓬田和夫・紺野 忠 共編
B5 296 頁 2700 円

増補改訂版 シップマン **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
ー力学・熱学・電磁気学ー 〈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

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

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

演習で学ぶ力学の初歩 第2版
鷹野重之・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

根底からわかる力学
佐々木進・大野義章 共著 B5 256 頁 2000 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

物理の基礎（力学）
田中忠芳 著 192 頁 電子書籍のみ

大学で学ぶ力学の基礎
一数学的基礎から仕事までー
山崎 大 著 B5 208 頁 2300 円

な～るほど！のシリーズ
伊東敏雄 著
力学 A5 280 頁 2000 円
熱学 A5 160 頁 1300 円
波と光 A5 168 頁 1400 円
現代物理 A5 176 頁 1600 円

電磁気学演習
田村忠久 著 B5 160 頁 1600 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

〒113-0033 東京都文京区本郷 5-4-6
TEL 03-3811-0889（代）
FAX 03-3811-2464

株式 学術図書出版社
会 社

全国どこか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 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。

基本・定番問題の定着と思考力の育成で、大学入試に備える

大幅改訂
参考書型問題集

センサーシリーズ



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%)

2026年度 改訂



センサー
物理
4th Edition

A5判
2色刷
304頁

+

別冊解答
2色刷
352頁

定価 960円
(本体873円+税10%)

2026年度 改訂



センサー
**物理基礎
+ 物理**
4th Edition

A5判
2色刷
392頁

+

別冊解答
2色刷
440頁

定価 1,170円
(本体1,064円+税10%)

4th Editionの改訂POINT

- ① 問題配列や内容を大幅に見直し！
Step2までで教科書の演習，Step3で共通テスト・2次試験の入試を網羅できる
- ② 新しく「Step up 例題」，「応用例題」を設置！
スモールステップの学習で自学自習がはかどる
- ③ 別冊解答編も大幅改訂！
ページ数が約1.5倍になり，段階を踏んだ丁寧な解説や豊富な別解，振り返りに役立つ「Check!」などで学習をサポート
- ④ 紙面に掲載のQRコードから豊富な解説動画を視聴できる！

高校生・中学生の全国物理コンテスト 物理チャレンジ のご紹介

「物理チャレンジ」は、物理オリンピック日本委員会 (JPhO) が主催する高校生・中学生を中心に 20 歳未満で大学などの高等教育機関に入学する前の生徒を対象とした全国規模の物理コンテストです。

「物理チャレンジ」は 2 つのステップがあり、第 1 ステップの第 1 チャレンジ (予選) は、実験課題と理論コンテストに挑戦します。第 2 ステップの第 2 チャレンジ (本選) は、第 1 ステップの成績優秀者およそ 100 名による合宿形式で、実験問題と理論問題に取り組みます。第 2 チャレンジでは、高校 2 年生以下の生徒を対象に、翌年の物理オリンピック国際大会の代表候補者の選抜を行います。

第 1 チャレンジ :

第 1 チャレンジは 2 つのコースが用意されています。いずれのコースから、第 2 チャレンジに進出できます。「理論問題コンテスト」は IBT 試験で実施し、自宅等から参加できます。

- 総合コース : 「実験課題レポート」と「理論問題コンテスト」の両方に参加
- 理論コース : 「理論問題コンテスト」のみ参加

第 1 チャレンジに参加すると

- ・コンテストの成績をお知らせします。両コースとも「理論問題コンテスト」上位者には達成度の指標 (ランク) をお伝えします。
- ・優秀レポート提出者に対して表彰を行います。(2025 年実績では受賞者 105 名、レポート提出数の 22%)
- ・成績優秀者に対して特別賞を授与します。

第 2 チャレンジ (本選) :

第 1 チャレンジの成績優秀者、およそ 100 名による 3 泊 4 日の合宿形式の「理論問題」・「実験問題」のコンテストです。

第 2 チャレンジに参加すると

- ・コンテストのほかに、研究施設見学、講演などの物理イベントが予定されています。
- ・参加者の成績優秀者 (50%程度まで) に対して表彰を行います。
- ・成績優秀者に対して特別賞を授与します。



2024 年の第 2 チャレンジでの研究施設見学 (SPRING-8)

物理チャレンジのスケジュール

実験課題の発表
(1 月)

参加申込み
(4 月 ~ 5 月)
※個人申込みと学校一括申込みがあります。

実験課題レポート
の提出締切
(5 月末)

第 1 チャレンジ
理論問題コンテスト
(7 月)

第 2 チャレンジ
開催 (8 月)

翌年の
物理オリンピック
国際大会へ

「物理チャレンジ」・「物理オリンピック」
についての詳細は Web ページ
<https://www.jpho.jp/>
をご覧ください。



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

改訂 ニューグローバル物理

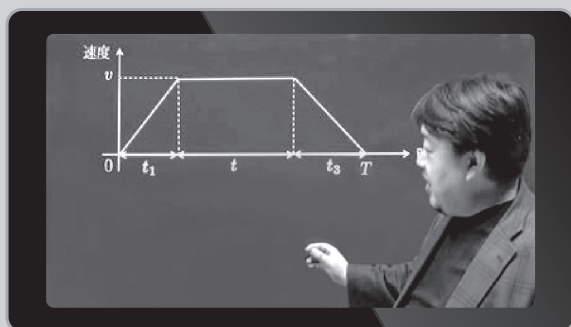
2027年
4月改訂

改訂 ニューグローバル物理基礎+物理

2027年
4月改訂

- 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。
- 応用例題、応用問題、実験問題、総合問題**(共通テスト対策、2次・私大対策)で、入試に対応できる**学力**を着実に養います。
- 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、読んで理解が深まる**関連コラム**を新設しています。

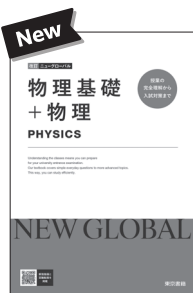
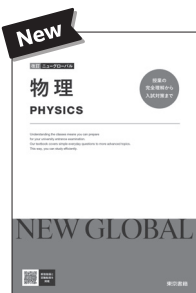
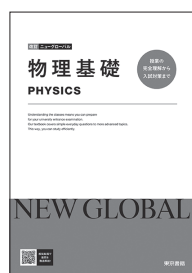
解説動画サンプル



『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。



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)
改訂ニューグローバル物理 …… 定価1,250円(本体1,136円)
改訂ニューグローバル物理基礎+物理 …… 定価1,400円(本体1,273円)



お問い合わせは高校教育部 Tel: 03-5390-7320
中国支社 〒732-0814 広島市南区段原南1-3-53 広島イーストビル Tel: 082-568-2577
ホームページ <https://www.tokyo-shoseki.co.jp> 東書Eネット <https://ten.tokyo-shoseki.co.jp>



2026 年度 日本物理教育学会年会
第 42 回物理教育研究大会
発表予稿集

発行日 2026 年 8 月 5 日

発行者 第 42 回物理教育研究大会 実行委員会