# 2023年度 日本物理教育学会年会 第39回 物理教育研究大会

# 発表予稿集

1/3 分冊

## 大会テーマ 「探究学習を実現する物理教育」

2023年8月11日(金)・12日(土)

会場:新潟明訓中学校・高等学校

(所在地:新潟県新潟市江南区北山1037番地)

主催:日本物理教育学会

共催:新潟明訓中学校•高等学校

後援:文部科学省、日本物理学会、応用物理学会 新潟県教育委員会、新潟市教育委員会

### 目次

大会	日程	• •	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	•	•	1
会場	(校	舎)	案	内	図	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2
特別	講演	予稿	ī -	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	4
ポス	ター	セッ	シ	3	ン	プ	口	グ	ラ	ム	•	•	•	•		•	9
ポス	ター	セッ	シ	3	ン	<del>予</del> ;	稿		•	•	•		•	•	•	•	10
原著	講演	プロ	゚゙゚゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙゙	ラ	ム	(	1	日	目	)	•	•	•	•	•	•	22
原著	講演	予稿	ij (	1	日	目	)		•	•	•	•	•	•	•	•	23
原著	講演	プロ	゚゙゚゙゙ヷ	ラ	ム	(	2	日	目	)	•	•	•	•	•	•	73
原著	講演	予稿	ī (	2	日	目	)			-				-		•	74

### 2023年度 日本物理教育学会年会

### 第39回 物理教育研究大会

大会テーマ: 探究学習を実現する物理教育

特別講演: 「大学物理講義における反転授業:公式のあてはめから探究的な思考へ」

新潟大学理学部 大野義章 教授

全体企画: 1. 探究学習を実現する物理教育の実践(会場校生徒参加の研究授業)

(授業者:新潟明訓中学校·高等学校 井元 潤 教諭)

2. 研究授業の振り返り

3. 全体討論

大会日程: 8月11日(金)

8:30 ~ 9:00 受付 9:00 ~ 9:10 開会

9:10 ~ 10:25 原著講演 1 (a会場5本)

10:35 ~ 11:50 原著講演 2 (a会場5本、b会場5本)

12:00 ~ 12:30 ポスターセッション(c会場6本)、企業展示(3社) 12:30 ~ 13:30 昼休憩(引き続きポスターセッション、企業展示も可)

13:30 ~ 15:00 特別講演

15:10 ~ 16:10 原著講演3 (a会場4本、b会場4本)

16:15 ~ 16:45 原著講演 4 (a会場2本)

16:45 ~ 16:50 諸連絡 18:30 ~ 懇親会

8月12日 (土)

8:45 ~ 9:00 受付

9:00 ~ 10:50 全体企画

11:00 ~ 12:00 原著講演5 (a会場4本、b会場4本)

12:00 ~ 12:30 ポスターセッション、企業展示

12:30 ~ 13:30 昼休憩(引き続きポスターセッション、企業展示も可)

13:30 ~ 14:30 原著講演6 (a会場4本、b会場4本) 14:40 ~ 15:40 原著講演7 (a会場4本、b会場4本)

15:50 ~ 16:10 閉会

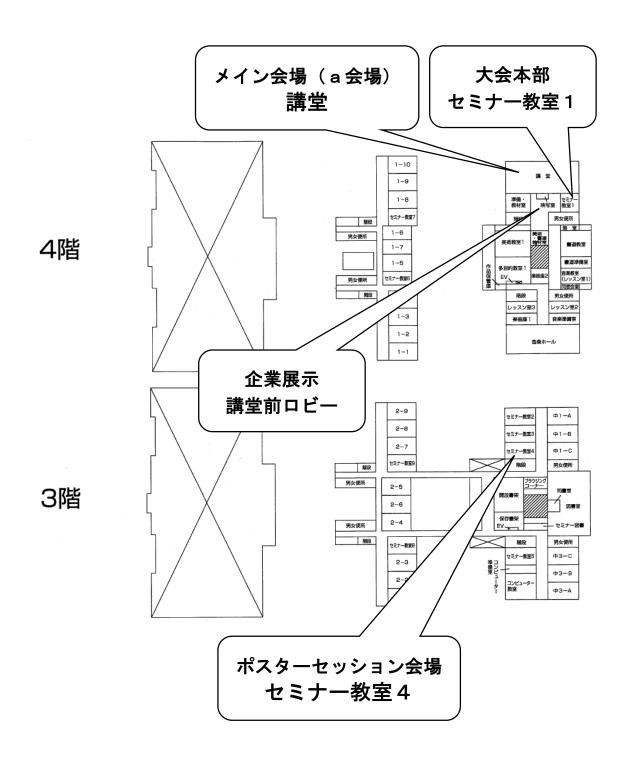
会場: 新潟明訓中学校・高等学校

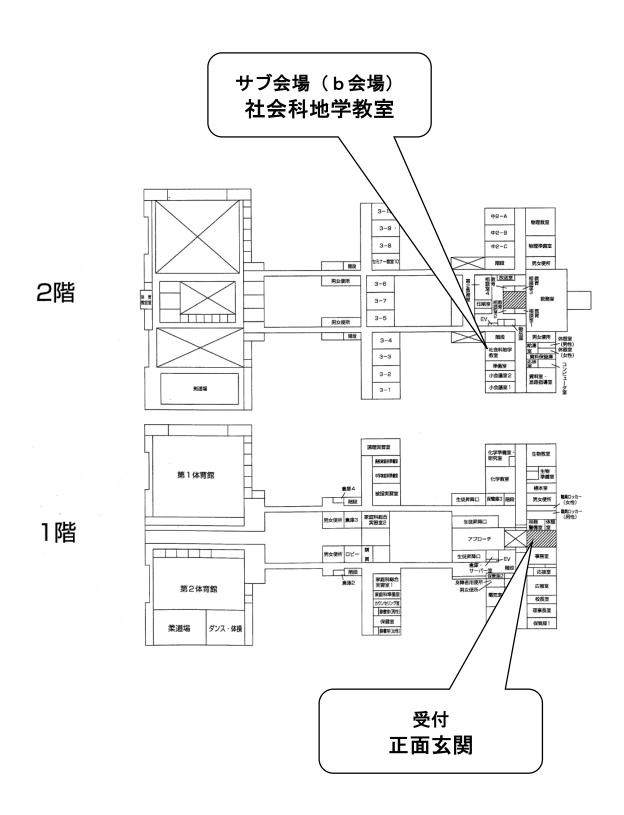
(所在地:新潟県新潟市江南区北山1037番地)

a会場・・・講堂

b会場・・・社会科地学教室 c会場・・・セミナー教室 4 企業展示・・講堂前ロビー

### 会場(校舎)案内図





# 特別講演予稿

演題: 「大学物理講義における反転授業:

公式のあてはめから探究的な思考へ」

講師: 新潟大学理学部 大野義章 教授

### 大学物理講義における反転授業:公式のあてはめから探究的な思考へ

大野 義章

新潟大学 理学部理学科 物理学プログラム y. ono@phys. sc. ni i gata-u. ac. jp

### 1. はじめに

近年、学生の学力の多様化により、大学の専門講義科目において到達目標の達成が困難な学生が増えつつある。特に新潟大学理学部では2017年の理学科1学科への改組によって、それ以前の物理学科では必須だった物理と数学が選択科目となり、その傾向がより顕著となった。一方で、専門講義科目の履修内容は学士課程の根幹であると同時に大学院の修士・博士課程の基盤としても必要不可欠であり、履修内容の削減は極力避けたい。そこで、一斉講義により実施されてきた物理講義科目に「反転授業」を導入し、対面授業を少人数グループワークによるアクティブ・ラーニング型に変革した。これにより、履修内容や水準を維持しつつ多様化する学生に、よりきめ細かく対応し、知識の定着や理解の深化を図るとともに、公式のあてはめから探究的な思考へと変化させることを目指した。さらに、問題解決能力や表現・コミュニケーション能力、協調性や積極性の向上も期待した。この取り組みは、2019年度から学長教育助成の支援を受けて[1-3]、反転授業による授業改善研究会(現在構成員11名)を中心に進めている。本講演では登壇者が担当する物理学基礎AIと統計力学IIの反転授業について報告する[4,5]。

### 2. 物理学基礎 AI と統計力学 II における反転授業

反転授業 (Flipped Classroom) とは、授業内と授業外の役割を「反転」させ、通常、授業内で行われる説明型の講義を、動画視聴による事前学習として授業前に課し、授業時間にはグループワークを中心に能動的な学習を行う形態を指す[6]。アクティブ・ラーニングが講義科目ではなかなか拡がらない理由として、準備の大変さや履修内容を削減せざるを得ないなどが考えられるが、「反転授業」は比較的小さな労力で、履修内容を全く減らすことなく実施することができる。

従来の一斉講義の代わりに、学生は授業前にオンライン事前学習動画により予習し、ノートを作成して授業に臨む。授業時間には、抽選により 4~6 名程度の少人数グループに分かれて問題演習を行う。1年次第1タームの物理学基礎 AI はいわゆる質点の力学で、受講者約100名(うち45名程度が将来物理学プログラムに進む)が18グループ程度に分かれる。また、3年次第3,4タームの統計力学 II の内容は相平衡や量子統計力学で、受講者約45名(全員物理学プログラム)が10グループ程度に分かれる。どちらの科目も1,2限の連続開講で、180分授業として実施している。おおまかな授業の流れは以下の①~⑥の通りであるが、グループによって進度はかなり異なり、午後の授業開始時間ぎりぎりまでグループワークを続けるグループもあった。

- ①前回の授業や今回の事前学習動画の補足説明(約10分)
- ②抽選によるグループ分けと、机とホワイトボードの配置換え。(約10分)
- ③発表を担当する問題(毎回全員必ず発表する)を相談して決める。(約10分)
- ④相談しながら問題を解く。(約90分)
- ⑤問題の解答をホワイトボードで発表・質疑応答する。(約50分)
- ⑥ふりかえりを行う。(約 10 分) → 次回の①で補足説明

当日配布される演習問題は、(a)事前学習動画ほぼ そのままの基本問題 2~3 間、(b) 設定などを変えた応 用問題 1~2 問、(c)事前学習動画には無い発展問題 1 ~2 問の全5問程度で、問題によりかなり難易度は異 なるが、③で発表を担当する問題を決める際には、互 いにほぼ初対面の物理学基礎 AI のグループでも最初 に自己紹介をするなどして、各自の適性に応じた分担 を相談して決めていた。また、④⑤で問題を解いたり 発表したりする際には、従来の教室全体での講義や演 習とは異なり、学生同士が活発に相談・議論し、学び・ 教え合い、教員や大学院生の TA にも積極的に質問し た (図1)。 さらに、特に(c)の発展問題に関連して、 スマホを使ってインターネットで独自に調べた内容 を発表したり、設問には無い課題を設定して議論した りする様子も見られた。例えば、強制振動に関連して 免震構造の原理を説明させる問題では、問題文で与え られた前提条件「建物の固有周期は高いほど長い」や、 問題文にはふれられていない「長周期地震動」に関し て調べたり議論したりし、これらに関する質問も多か った。また、統計力学 II の浸透圧に関連して、生理 食塩水や血液透析について調べた学生もかなりいた。

試験の成績は従来型の授業に比べて顕著に改善し、低得点者の割合の減少と高得点者の割合の増加が見られた(図2)。2019年度は、減衰・強性振動の2回のみ反転授業を試行し、残りの12回は従来型で実施したが、例年は得点の低かった減衰振動の問題への解答の劇的な改善がこの年度の試験結果の改善に繋がった(図3、6月実施)。この傾向は、約半年後の物理学基礎 AII で実施された AI の内容の復習テストにおいても示されており(図3、11月実施)、反転授業の効果はその直後だけでなく長期的に定着しているものと考えられる。

統計力学 II の試験の成績についても従来型の授業に比べて改善が見られ、特に不合格となる低得点者の割合が顕著に減少した(図4)。理学科への改組後の2019年度は、高得点者の伸び悩みはあるものの、低得点者の減少傾向は改組前(物理学科)の2018年度と同様に見られた。なお、2020年度から3年間は、コロナ禍によりオンラインおよびハイフレックス型の





図 1 物理学基礎 AI のグループワークの様子 (2019 年度)。上は④、下は⑤に対応。

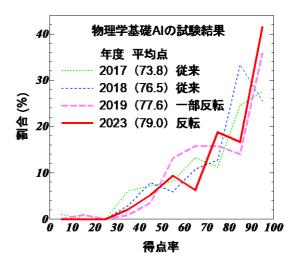


図2 物理学基礎 AI の試験結果の年度比較

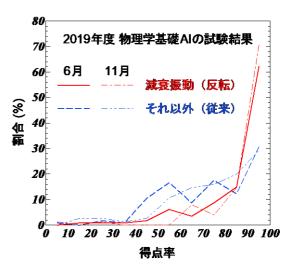


図3 2019 年度物理学基礎 AI の試験結果(6 月と11 月に実施)の反転と従来型の比較

反転授業を行っており(次節参照)、従来通りの筆記 試験は実施しなかったため、成績を直接比較するこ とは難しい(2023年度は筆記試験を実施(図2))。

表1に示した授業評価アンケート結果では、「授業を受講して変化した行動や態度」として、論理的思考力、意見の表現や交換、他者との協働、自発的学習、計画性、忍耐力などを挙げた学生が、従来型(一部反転)の2019年度と比較して全て反転授業で実施した2020年度では大幅に増えた。他にも、出席率の約10%の向上や自宅学習時間の約70%の増加などの顕著な改善が見られた。なお、予習や問題演習で学生の負荷は大幅に増えたと考えられるが、「授業を履修して総合的に満足している」と答えた学生はともに90%以上で、ほとんど変化はなかった。

### 3. オンラインとハイフレックス型の反転授業

2020年度から3年間はコロナの影響により、少人 数グループワークを Zoom のブレイクアウトルーム (参加者を少人数グループに分ける機能) を用いて オンラインで実施した(図4)。前述したように、対 面によるグループワークでは学生同士の非常に活発 な議論が見られたが、Zoom によるグループワークは、 完全にグループ内に閉じることやホワイトボード機 能の使い勝手の悪さなどから対面ほどの議論の活発 さは無かった。しかし、分かるまでとことん話し合 う様子が見られ、かなりのグループが時間を延長し てグループワークを行い、中には数時間も延長する グループもあったが、これは教室を使用する対面で は難しく、場所や時間の制約を受けないオンライン ならではの利点といえる。試験は従来の筆記試験に 代えて、受講者が 1 人ずつブレイクアウトルームに 分かれ、口頭試問や記述式試験の形式で実施した。 実施方法や試験内容が異なるため、従来の筆記試験 との成績の直接比較は難しいが、不合格となる低得 点者の減少は対面の反転授業と同様に見られた。

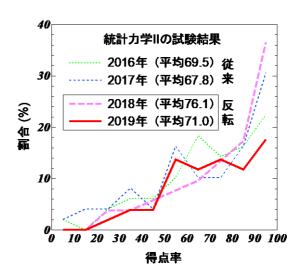


図4 統計力学Ⅱの試験結果の年度比較

授業を受講して変化した行動や態度 (複数回答可)	2020 (反転)	2019 (一部 反転)
新しい知識・技能や考え方が身についた	87.1%	83.0%
物事について論理的に考えるようになった	52.9%	37.7%
自分の意見を表現したり他者と意見を交換 したりするようになった	55.7%	23.6%
異なった考えをもつ他者とも柔軟に協働する ようになった	38.6%	11.3%
自分で調べたり、勉強したりするようになった	50.0%	31.1%
計画的に物事を進めるようになった	24.3%	9.4%
多少の困難があってもやるべきことをやり遂 げるようになった	34.3%	12.3%

表 1 物理学基礎 AI の授業評価アンケート結果。アンケートの回答率は 2019、2020 年度と もに 90%。

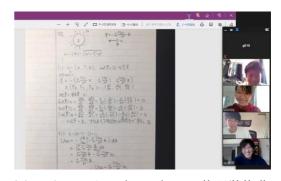


図 4 オンライン (Zoom) での物理学基礎 AI のグループワークの様子 (2020 年度)

2022 年度は、コロナの収束とともに非対面を原則としつつ、感染対策に十分に配慮した上で対面 授業も実施可能となった。そこで、授業中に対面とオンラインのグループワークを同時並行で実施 するハイフレックス型とし、学生が選択できるようにした。また、事情によりグループワークへの 参加が困難な学生への対応として、個室のブレイクアウトルームで問題演習を行う1人グループも 選択可能とした。物理学基礎 AI での選択状況(原則として固定)は、対面 67%、オンライン 28%、 1 人グループ 5%、また、統計力学 II では選択を固定 せず、選択状況が日によって異なるが、大雪により対 面授業が全学休講となり大多数の学生がオンライン で参加した日を除くと、平均で対面 76%、オンライン 16%、1 人グループ 8%であった。

従来とは試験の実施方法が異なるものの受講者全員が同じ試験を受けたため、対面、オンライン、1人グループの成績の相対比較は可能となる。物理学基礎AIでは、対面の方がオンラインよりも平均点が1割程度高く、高得点者の割合も高かった(図5)。同様の傾向は、統計力学IIでも見られた。また、1人グループは、元々この科目が苦手な学生が主に選択していたと考えられ、平均点は61.8点と低く高得点者もいなかったものの、TAによる懇切丁寧なサポートを受けるこ

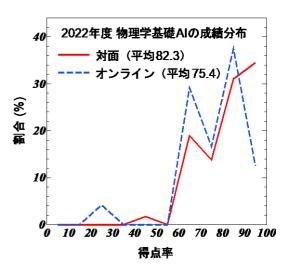


図 5 2022 年度物理学基礎 AI の試験結果の対面とオンラインの比較

とにより、ほとんどの学生は合格できた。なお、原則対面授業となった 2023 年度の物理学基礎 AI でも、個人の事情や悪天候に対応できるようにハイフレックス型で実施し、オンラインや 1 人グループも自由に選択できるようにしたが、両者をあわせた出席者は多い日でも 10%以下であった。

### 4. おわりに

グループワークで問題演習を行う反転授業は、実験や実習と比べて容易に予算もかけずにアクティブ・ラーニングが導入できる。実際、新潟大学でも上述の反転授業による授業改善研究会を中心に 10 科目以上に拡がりつつある。講義時間をほぼ全て問題演習にあてられるため、少人数グループでじっくり時間をかけて問題を解いたり議論したりすることができ、さらに各自のスマホを使って独自に調べたりグループで独自に問題を設定するなど、探究的な学習にも繋げられる。大学物理と同様に問題演習が重要な高校物理でも、反転授業による授業改善は有効であると考えられる。

- [1]2019 年度学長教育助成制度採択課題「反転授業による専門講義科目のアクティブ・ラーニング化」報告書、令和元年度学長教育賞 (https://www.niigata-u.ac.jp/news/2020/75548)
- [2]2020 年度学長教育助成制度採択課題「反転授業による専門講義科目のアクティブ・ラーニング化とその評価・改善」報告書(https://www.iess.niigata-u.ac.jp/gakucho-zyosei.html)
- [3]2022 年度学長教育助成制度採択課題「ハイフレックス型反転授業によるポストコロナ時代の授業改善」報告書、令和 4 年度学長教育賞(https://www.niigata-u.ac.jp/news/2023/416969/)
- [4]2020 年日本物理学会第 75 回年次大会 大野義章他「力学および統計力学における反転授業の実践Ⅱ」講演概要集(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsgaiyo/75.1/0/75.1\_2992/\_article/-char/ja/)
- [5]2020年日本物理学会第75回年次大会 チュートリアル講演 大野義章「統計力学における反転授業の実践 内容を減らさず負担を増やさずアクティブラーニングで授業改善」講演概要集(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpsgaiyo/75.1/0/75.1\_2943/\_article/-char/ja/)
- [6] 土佐幸子「反転授業の長所と短所を探る―「反転」ではなく「事前」授業を ―」大学の物理教育 20,61 (2014) (https://www.jstage.jst.go.jp/article/peu/20/2/20\_KJ00009411184/\_article/-char/ja/)

### ポスターセッションプログラム

### 8月11日、12日 12:00~12:30 ポスターセッション 会場(セミナー教室4)

P1	「現象の解釈シート」から見る,高校物理初学者の「現象の捉え方」の特徴	山下	哲	 10
P2	テキストマイニングによる物理実験レポートの感想分析	渡會	兼也	 12
P3	力学概念調査データの分析~自信度のジェンダーギャップ~	濱田	彩日香	 14
P4	理工系大学における基礎教育課程と専門教育課程が連携した授業実践	板橋	克美	 16
P5	霜田式"光の3原色混合実験器"の安価で容易な作成	室谷	心	 18
P6	静止系および等速度慣性系の2つの観測系における運動の見え方の違いに関する誤概念の調査と分析	松本	益明	 20

### 「現象の解釈シート」から見る、高校物理初学者の「現象の捉え方」の特徴

山下哲 大阪府教育センター附属高等学校 haz34840@wood. odn. ne. jp

### 1. はじめに

物理教育研究により、概念理解の障害となる強固な素朴概念の存在や、その有効な解消法としてのアクティブラーニングが知られる様になって久しい。しかしながら、物理教育研究が主に大学生を対象としてきたため、既有知識と密接に関連している概念理解と素朴概念の境界も明確でなく、アクティブラーニングの有効性も校種間の違いを考慮したうえで、具体的な教育方法や教材として提案されているとは言い難いと言わざるを得ない。一方で、初等中等教育の教科教育研究に関しては、アクティブラーニングは新学習指導要領の中で重視されてはいるものの、特定の単元に対する短期間の実践報告が多く、年間を通じての有効性には疑問があるのみでなく、具体的な教育方法に関しても年間を通じた教材に関しても提示されているとは言えず、高等学校の物理の学習に要求される系統的学習の要請には応えられていないと考える。

高等学校の物理の学習に、アクティブラーニングの基盤である構成主義が重要であることに異論はないが、他教科と比してより系統的学習の要請が強いため、講演者は、高等学校の物理において構成主義的な意味合いでの学習を成立させるには、成立条件をより厳格に議論・考察する必要があると考える。この点、講演者は 2019 年度より問題演習を通じて「物理現象を原因と結果の観点から解釈させる」指導を「現象の解釈」と称して行っており、素朴概念の解消や学習観の変容の点から一定の効果が認められている[1]。2021 年度からは、認知的な発達段階に課題を持ち、かつ、物理の学習に対する期待感が低い生徒を対象として、高等学校の物理を構成主義的に学習する支援をするために、視覚的に描画させる一連のプリント教材「現象の解釈シート」を作成して、これを行っている[2] [3]。2023 年度からは「現象の解釈シート」を他校でも実施しており、その中で共通して見られる描画パターンがあることも明らかになってきた。これらを分析することで、高校物理の初学者の素朴概念の実態解明にも貢献することができると期待されるとともに、今後、高等学校の物理の学習における具体的な教育方法を蓄積していく端緒の一つとしたい。

### 2. 問題演習と補助教材「現象の解釈シート」

欧米の物理教育研究の中で、問題演習を行うことが必ずしも素朴概念の解消につながらないことが報告されているが、「現象の解釈」の基本的な姿勢は、問題を解くことではなく、「考察の対象として、題材となっている現象を原因と結果の観点から解釈する」ことであり、問題演習は考察の題材を収集する手段に過ぎない。一方で、物理現象を記述・解釈するためには、教科書等で見られる様な数的表現を用いた言語化が必要であるが、講演者は、認知的な発達段階に課題のある生徒は数的表現を用いた言語化に困難を感じていることが多いと考えている。こういった生徒に数的表現を一定程度習得させるために、「現象の解釈シート」を高等学校「物理基礎」の力学全範囲について作成した。その例として、図1に等加速度直線運動の単元の「現象の解釈シート」を示す。

入門物理の学習者はしばしば「変位と速度」,「速度と加速度」,「速度と力」などを混同するが, これらは「現象の解釈シート」内のコマ送り図やベクトル図に明瞭にあらわれてくることが多く, 「現象の解釈シート」は授業内外で物理の学習に用い、頻繁に提出を求め、添削を行った上で多く 見られた間違いについては授業内で重点的にフィードバックを行っている。

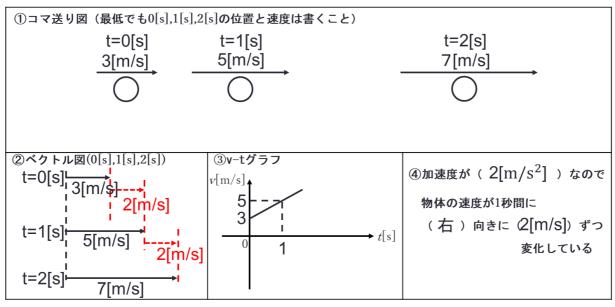


図1 「現象の解釈シート」の例(等加速度直線運動)

### 3. 高校物理の初学者の「現象の捉え方」の特徴

「現象の解釈シート」を用いた指導を行っていく中で、異なる年度や他校でも共通して見られる 描画パターンがあり、これらを分析することで、高校物理の初学者の「現象の捉え方」の一部を知ることができると考えられる。最も顕著に現れる特徴として、認知的な発達段階に関係なく、多くの生徒が考察対称の位置と速度の両方を意識して矛盾なく描画するまでには一定の時間を要することがあげられる。これは高校物理の初学者に「力学の目的が物体の運動状態を記述することである」ことや「物体の運動状態が物体の位置と速度で表現される」ことに対する認識が欠けていることを示していると考えられるが、運動学の単元の構成上、生徒個人では気づきにくい様に思われる。すなわち、等速直線運動の間は速度と変位の区別が致命的でないため、等加速度直線運動になるまで意識的に区別をする機会に乏しい。(おそらく多くの生徒が物理現象を顧みることなく、等加速度直線運動の単元をいわゆる「等加速度直線運動の3公式」を機械的に用いることのみで切り抜け、結果的にその後の物理への苦手意識を育てているのではないか。)「現象の解釈シート」を用いた指導では、等速直線運動の段階で、生徒に明示的にこれを指摘することが可能である。講演では、ベクトルの正負、時間発展に対する捉え方の特徴や、具体物の操作の必要性等について報告する。なお、本取組は武田科学振興財団の助成を受けて行っているものである。

- [1] 山下哲,谷口和成, "高校物理授業における問題演習を通じた科学的推論能力育成の試み", 日本物理学会第75回年次大会講演概要集,18pK28-5(2020).
- [2] 山下哲, "高等学校「物理基礎」における,「現象の解釈」の有効性とその提案", 第 38 回物理教育研究大会予稿集, 16-17(2022).
- [3] 山下哲, "高等学校 物理基礎における,『現象の解釈』を目的とした教材活用とその効果", 日本物理学会 2023 年春季大会講演概要集, 25aN1-4(2023).

### テキストマイニングによる物理実験レポートの感想分析

### 渡會兼也

金沢大学人間社会学域学校教育学類附属高等学校 watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

### 1. はじめに

テキストマイニングとは、テキスト情報から意味のある情報をマイニング(採掘)する技術である。筆者は数年前から自分の授業評価アンケートの自由記述文を AI テキストマイニングで分析し、授業の改善に役立てている[1]。テキストマイニングの利点を一言で言えば、「大量の文章」を「客観的に分析できる」点である。この技術は教育現場の様々な場面で利用できる。

高校物理における実験不足は積年の課題である。実験の重要性・意義は明らかだと思われているが、多くの教師が実験を選択しないのはなぜだろうか。様々な理由があるだろうが、調べてみると、教師が実験の意義や重要性を述べた文献は多く存在するが、生徒が実験により何を学んでいるか、を明確に示した報告は殆どないことに気がついた。生徒が実験から何を学んだかを分析することで実験の意義を再認識できれば、実験を実施する教師の増加に繋がるかもしれない。

本研究では、勤務校で実施したコインの衝突実験レポートの感想をテキストマイニングにより分析することで、生徒が何を考え、何を学んだのかを明らかにする。それにより、高等学校物理における実験の意義を再認識する機会としたい。

### 2. テキストマイニングについて

テキストマイニングを行う際に基本となるのが形態素分析である。形態素とは、文章をこれ以上 区切ることができない最小の単位(形態素≒単語)であり、様々な研究機関が形態素分析エンジン を開発している。テキストデータを上記のソフトウェアにかけた後に、形態素の出現頻度や相関な どを統計的に分析する。可視化についても多くのソフトウェアがあり、「KH-Coder」[2]のような無 料のアプリや「ユーザーローカル」などのウェブサービスもある。

KH-Coder は樋口耕一氏が開発した,無料で使用可能なテキストマイニングのアプリケーションである[2]。多くの機能を備えており、これまで多くの研究成果を生み出している。今回は分析技術の普及を考え、無料かつ、多くのユーザーがいる KH-Coder を利用する。

### 3. 分析と結果

今回,分析したのは2021年,2022年の6月に勤務校の2年生物理選択者に実施した「コインの衝突実験」のレポートである。この実験は方眼紙の上で五円玉を衝突させ,五円玉の移動距離から,その運動量の保存を確認する実験であり,高校や大学などでも実践されている。本校の場合は,最初の授業で二人一組の班で実験をさせ,その結果を教員が作った表計算ソフトで集計し,クラス全員で共有する。次の授業で,集計結果のグラフを示し,グラフの見方や統計量を説明する。その中で,実験結果が理論予想とずれるのはどういうことか?誤差の原因は何だろうか?といった考察を促す問いかけをして,最後にレポートを提出させる展開になっている。

この実験後に書かれたレポートの感想欄での記述を分析した。生徒の実験レポートは 2 年分 (N=166人) あり、記述文を手入力でテキストデータにした。KH-Coder で前処理を行った結果、総

抽出語数は 4751 語 (1761 語を使用), 異なり語数は 671 語 (488 語を使用), 文の数は 244, 段落は 152 であった。

共起ネットワークは、文章の中に出現する語の組み合わせの高いものをネットワークで結んでいく分類方法である。図1が共起ネットワーク分析の結果である。共起ネットワークでは、語と語の繋がりが重要で、どの場所にあるか、や語と語の距離は重要な情報ではない。この図ではネットワークが大きく9つの集団(サブグラフ)に分けることができ、こちらで①~⑨の番号を付けている。

①の『誤差・班・大きい』という語は自分たちの 実験結果に対する誤差に関する記述が多く,他班と の比較から自分たちの班の結果を顧みる姿勢が伺 える。また,「原因」という語は,様々な文脈で使わ

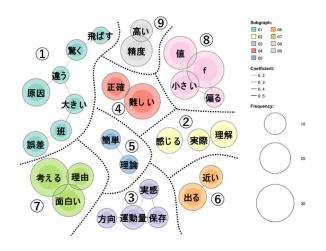


図1 共起ネットワークによる分析。最小出 現語数は6語。Jaccard 係数は0.15以上のも のを表示している。また、丸の大きさはその 語の出現頻度の大きさを表す。

れているが、実験が理論からずれる原因がわかった、あるいは、原因を考えるのが難しかった、などの記述が多かった。②の『実際・理解』という語は、実際に理解に繋がった、実際に数値を出すことで理解できた、という記述で使われている。③の『運動量・保存・実感』は、そのまま運動量の保存を実感した、という記述で使われている。④の『正確・難しい』は、実験を正確に行うのが難しいという記述であった。⑤の『簡単・理論』は、簡単な実験で理論を確かめることができた、簡単な実験だが正確にやるのは難しい、などの記述を反映している。⑥の『近い・出る』は、真値に近い値が出る、あるいは自分の班の結果が平均値に近い、などで自分の実験の結果に対する記述であった。⑦の『面白い』の周囲には、大きく分けると、(a)実験結果が理論と同じになって面白い(b)実験の考察、理由が面白い(c)簡単に運動量保存が考えられて面白いといった文章だった。実験自体の話と考察が面白いということになるだろう。⑧は実験で得られたf値の分布が1より小さい方に偏る、という記述であり、この実験の考察のポイントとなった部分である。⑨の『精度・高い』には3種類の文章が含まれており、(a)精度が高い実験を行うのは難しい (b)次の機会は精度を高い実験をしたい (c)自分の班の実験の振り返り・反省 であった。

このような分析から、生徒の感想の中に含まれる驚きや学びを分類することができる。

### 4. まとめ

実験レポートの感想文を分析することで、生徒の学びを特徴づけることができた。従来のように 教員が感想文を読めば大体わかることだが、テキストマイニングという手法によって、客観的に生 徒の学びを明らかにしたことに意義があると考える。

- [1] 授業評価の記述文を簡単に分析する方法, 渡會兼也, 物理教育, 2020 年, 第 68 巻, 3 号, p209-210
- [2] KH-Coder のウェブページ https://khcoder.net/
- [3]樋口耕一著:社会調査のためのテキストマイニング、ナカニシヤ出版

### カ学概念調査データの分析 ~自信度のジェンダーギャップ~

A濱田彩日香、A宗尻修治、B梅田貴士、C野村和泉、D斉藤準、E庄司善彦 A広島大大学院先進理工系、B広島大大学院人間社会、C中部大工、

D带広畜産大農学情報基盤、E兵庫県立大高度研

m224025@hiroshima-u.ac.jp

### 1. はじめに

現在、ジェンダーギャップの解消は様々な分野で課題となっている。物理教育分野においてもジェンダーギャップが存在し、その解決に向けての研究調査が行われてきた。中でも力学概念調査 (FCI) を用いた研究は多数あり、日本においても報告がなされている [1]。

今回我々は、大学1年生を主な対象として FCI 調査を行い、FCI の各問いへの回答に対する根拠の度合い(自信度)を同時に取得した。本研究では、そのデータを用いて FCI スコアと自信度の関係にジェンダー差があるかを調べた。

### 2. 方法

調査には、日本語版第 2 版 FCI[2]を用いた。取得した学生のサンプル数は約 300 であり、その専攻は、工学系、理学系、情報系、教育系、文系の学生など多様であった。FCI の各問いの回答に対する自信度は、「A:自信がある。確実な理論的根拠がある。」「B:確実とはいえないが、一応の根拠がある。」「C: 根拠というより、自分の感覚による。」「D: 分からないので、当てずっぽう。」の4段階で回答させた。それぞれ A=4、B=3、C=2、D=1 としその合計点(以降「自信」と表記)を分析に使用した。ジェンダーの明確な情報が得られないものは欠損値として取り扱った。

### 3. 結果

### (1) FCI スコアのジェンダーギャップ

今回の調査データには、高校での物理の履修状況が異なる学生が含まれる。FCI スコアは、物理の履修歴に影響されると予想されるため、以下では、高校で「物理」まで学んだと回答した学生のデータのみを用いた結果を報告する。 $\mathbf{表} 1$ に、それらの FCI スコアを男子学生 ( $\mathbf{M}$ ) と女子学生 ( $\mathbf{F}$ ) で比較した結果を示す。スコアにはジェンダーギャップが見られた。また、同様の集団に対して「自信」の結果を $\mathbf{表} 2$ に示す。

#### (2) 回帰分析

図1に FCI スコアと「自信」の散布図を示す。このデータをもとに、以下のダミー変数d

$$d = \begin{cases} 1 & (M) \\ 0 & (F) \end{cases}$$

を用いた回帰分析を行った[3]。カテゴリー間で切片および傾きが異なる重回帰モデル式は以下のように表される。

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \alpha_0 d_i + \gamma_1 d_i x_i + E_i \tag{1}$$

また、各カテゴリーのモデル式は以下のように表される。

(M) 
$$Y_i = \beta_0 + \alpha_0 + (\beta_1 + \gamma_1)x_i + E_i$$
 (2)

$$(F) Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + E_i (3)$$

表1 「物理」まで学んだ学生の力学概念調査 の平均点±標準誤差と差の検定のp値

(全体)N=292	(M) $n = 225$	(F) $n = 67$				
$22.58 \pm 0.27$	22.98 ± 0.29	21.22 ± 0.6				
	p < .01					

表 2 「物理」まで学んだ学生の「自信」の平均±標準誤差と差の検定のp値

(全体) <i>N</i> =292	(M) n=225	(F) n=67				
94.39 ± 0.93	96.32 ± 1.04	87.93 ± 1.87				
	p < .01					

全データ (N=292) についてこのモデルで分析した結果を**表** 3、図 1 に示す。2 本の回帰直線はおよそ 15 点でクロスし、高得点層では F の「自信」が M に比べて低い結果となった。今回のデータでは FCI の低得点層のデータ数が少ないため、FCI スコア 15 点以上のデータだけで、同様の分析を行った。この場合、 $\gamma_1$ は有意な値として得られなかったため、カテゴリー間で傾きが共通( $\gamma_1$  = 0) としたモデルを用いて再分析した。その結果を**表** 4 と図 2 に示す。この範囲では FCI のスコアによらず、MよりもFの方が「自信」が低いことがわかった。さらに、専攻別に詳しく分析した結果などは当日報告する予定である。

表3 ダミー変数を含む回帰分析の推定結果

	推定値	標準誤差	t 値	p値
切片 β <sub>0</sub>	71.46	7.46	5.30	< .01
傾き β <sub>1</sub>	0.82	0.35	2.35	.019
$\alpha_0$	-18.55	9.03	-2.05	.041
$\gamma_1$	1.11	0.41	2.70	< .01

図1: FCI スコアと「自信」の散布図と 回帰直線

表 4 ダミー変数を含む回帰分析の推定結果

	推定値	標準誤差	t 値	p値
切片 $\beta_0$	45.84	5.30	8.65	< .01
傾き β1	1.89	0.22	8.55	< .01
$\alpha_0$	7.17	1.99	3.61	< .01

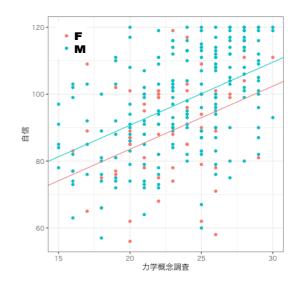


図2: FCI スコア 15 点以上の学生の FCI スコアと「自信」の散布図と回帰直線

- [1] 新田英雄、植松晴子、森口真靖、大学の物理教育、20(2014), S53
- [2] 石本美智,植松晴子,塚本浩司,新田英雄,覧具博義,「力と運動についての概念調査 日本語版第2版」, https://www.physport.org/
- [3] 豊田秀樹 編著、回帰分析入門-Rで学ぶ最新データ解析、東京図書

### 理工系大学における基礎教育課程と専門教育課程が連携した授業実践

<sup>A</sup>板橋 克美, <sup>B</sup>内田 浩二 <sup>A</sup>崇城大学総合教育センター, <sup>B</sup>崇城大学工学部機械工学科 itahashi@ed. sojo-u. ac. jp

### 1. はじめに

理工系大学において、高い専門性と工学的素養を持ち合わせた技術者を輩出することは責務である。そのために、専門教育課程では、多くの専門科目が開講され、高度な内容を学び、それを実践していくプログラムが組まれている。しかしながら、物理に対する理解や知識が十分でなく、その時点まで到達できない学生がいることもまた事実である。そうした学生たちに対して、十分な基礎学力を養う必要があり、とくに大学初年次物理であれば、微積分やベクトルを用いたニュートン力学を教え、その内容を本質的に理解させる必要がある。

本研究では、いわゆる教養科目を担当する基礎教育課程と専門科目を担当する専門教育課程が連携し、互いの授業内容を十分に理解しながら授業実践を行った。本稿では、それぞれの大学初年次の授業に関して概要を述べ、連携体制について議論する。

### 2. 専門教育課程での授業実践

機械工学科では、工業力学や熱力学、自動車工学など様々な機械工学に関する専門科目が開講されている。本学では、在学生の状況を鑑み、1年生前期に「数理補習」と呼ばれる独自の科目を開講している。この中では、①単位換算と単位チェック、②力の合成と分解、③式とグラフ、④グラフによる速度・加速度の関係、この4つに関して本質的に理解することを目的に、4つのフェーズに分けて講義を行っている(表1)・フェーズごとに、第1週目にその内容の説明を行った後、第2週目に確認試験を実施し、合格(90%以上)であれば演習を終了とし、不合格であれば復習する。その次の週に、試験の解説と再び確認試験を行うという流れになっている。

「数理補習」では基礎教育課程で学んだ内容に関して、単に解き方を覚えるのではなく、本質的な理解をさせるために、講義の概要と演習問題、その解説を充実させている。とくに、なぜこの数式処理をしなくてはいけないのか、数式や微積分の意味は何なのか、を理解することに主眼に置いている。これにより、大学におけ

表 1. 基礎物理学 (基礎教育課程) と数理補習 (専門教育課程) での各回での授業内容

基礎物理学	数理補習
(基礎教育課程)	(専門教育課程)
物理量の単位	
ベクトル	第1フェーズ:
力のつり合い I	単位換算と単位
力の合成と分解・	チェック
力のつり合い II	
位置と速度	第2フェーズ:
速度と加速度	力の合成と分解
慣性の法則	
運動の法則	
作用・反作用の法則	第3フェーズ:
中間試験	式とグラフ
運動方程式とその解Ⅰ	
運動方程式とその解 II	第4フェーズ:
落体運動 I	グラフによる速
落体運動 II	度・加速度の関係
中間試験	
	(基礎教育課程)         物理量の単位         ベクトル         力のつり合い I         力の合成と分解・力のつり合い II         位置と速度         速度と加速度         慣性の法則         運動の法則         作用・反作用の法則         中間試験         運動方程式とその解 I         薬体運動 I         落体運動 II

る「学修」を促し、専門科目を理解するための基盤を作ることができると考える. ただし、あくま

で「補習」であり、この科目の出席については任意となっている。しかし、科目の重要性については学科内や後述の「基礎物理学」の講義の中でも伝え、出席を促すようにしている。

### 3. 基礎教育課程での授業実践

機械工学科の基礎教育課程における「基礎物理学」 は必修科目で、年間を通して力学を学習することに なっている(表1).本年度から、2章で述べた専門教 育課程での「数理補習」での授業内容を受け、実験を 中心とした授業を展開することにした。実験を講義科 目の中で取り入れることで専門科目との連携を図るこ とや物理に対する学習姿勢が改善されることはすで に報告されている[1].

表1に示すような内容において、つり合いや運動を物理的な現象として意識させること、そして、概念的な理解を促進させることを目的に実施している。ここでは、SokoloffによるRealTime Physics(以下、RTP)の手法を取り入れながら、実験を中心とした授業を実施した[2]。図1に第3回と第5回におけるワークシートを示す。学生たちは、この課題の解決に向けた実験の仮説を立て、その仮説に基づいて実験を行い、自身たちの仮説を検証する。また、この中では、RTPの理

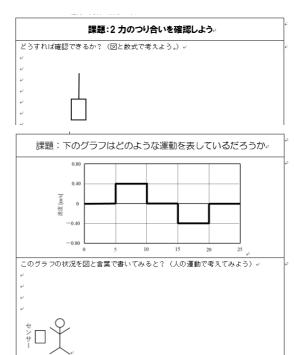


図1. 第3回(上)と第5回(下)での基 礎教育課程で使用したワークシート

論に基づいて即時の結果と現象を確認することができるように,力・加速度センサーや位置センサーを活用した.

### 4. おわりに

専門教育課程と基礎教育課程が連携した授業実践について概要のみを報告した. 授業の詳細やこれらの授業実践を通した、合格率や概念および内容の理解度等については講演にて発表する.

専門教育課程と基礎教育課程の連携で最も重要な点は、学生の実態を把握し、適切な講義を行うために、互いの講義を参観することであると考える。本年度も数回の授業参観を実施して意見交換を重ねた他、中間試験等の結果についても適宜情報を交換した。とくに、学生のつまずきや不足している学力の他にも、思考面や学習態度などの質的な面での学生の情報交換は、授業を展開していく上でも必要であると考える。今後は、こうした連携体制をより一層強化するとともに、物理や専門科目だけでは充実させることができない、基礎教育課程での数学教育も踏まえた議論をしていきたいと考える。

- [1] 大村訓史・前原利信:「実験を取り入れた物理学講義による学生の物理学に対する姿勢・考え方の変化」, 広島工業大学紀要研究編 17 (2018), 9-12
- [2] D. R. Sokoloff, R. K. Thornton, and P. W. Laws: "RealTimes Physics: Active Learning Laboratories, Module 1", Willey (2011)

### 霜田式"光の3原色混合実験器"の安価で容易な作成

<sup>A</sup>室谷 心 <sup>A</sup>松本大学総合経営学部 muroya@t. matsu. ac. jp

### 1. 色度図対応 3 原色混合実験器

本年 5 月 29 日に逝去された本学会名誉会長霜田光一氏の演示発表を 2009 年 8 月物理教育学会 年会(早稲田大学本条高等学院)で拝見し[1]、発光ダイオードを使った美しい実験に感心した。霜田氏の実験器は木の板をくり抜いて作った物であったが、工作の手間を減らし、100 円ショップで買えるものを利用して安価で容易に作れる簡易版を作ってみた[2].

霜田氏の講演から 10 年余りが経過し、当時の先生の講演をご存じない方も増えたと思うので、 ここで実験器を紹介したい。

### 2. 色度図

従来「美術」の授業で扱われることが普通であった色彩の問題は、画面上の色の指定やカラー印刷との関係で、最近は「情報」の授業の中で取り扱われる題材である。そこでは光の 3 原色が重要な "基礎理論"であり、ホームページの色の指定やプログラム中で設定される画面表示の色は、赤 (R) 緑 (G) 青 (B) の 3 色の光の強さを指定することによって決まる 3 次元空間内の点である. 等色実験によって確立した RGB の 3 色光による等色曲線には、重みを表す関数の値が負になる部分があり、グラスマンの加法則を使って基底を変換した xyz 座標系が良く使われる. 色だけを表すため明るさの自由度を括りだし、xyz を x+y+z=1 で規格化して x-y の 2 次元平面上で色を表した図を色度図という[3].

### 3. 霜田式 "光の3原色混合実験器"

霜田氏の実験器は2枚の木の板に丸く穴をあけ、一枚の板の穴の中に3色の発光ダイオードを置き、もう一方の板の穴の上にピンポン球を置いて光を拡散混合させるものであった。霜田氏のような木工は大変なので、ここでは100円ショップで手に入るパーツを利用して安価に容易に組み立てることを目指した。

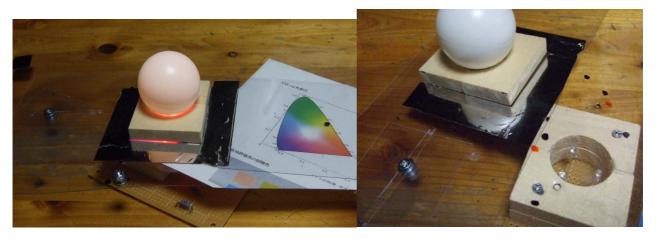


図1 作成した霜田式光の3原色混合実験器

図 2 LED 部分使用 LED は表 1

図1の可動部は透明カードケースのプラスチック板を利用し、アーチブロック木片を透明プラスチック版にねじ止めした。アーチブロックはピンポン球との組み合わせにちょうどよい大きさであった(図2)。木片の周囲から光が漏れないように、同じく100円ショップで購入したアルミテープをプラスチック版に張り、遮光面積を広くした。ピンポン球台と同様に、足どうしを接着したアーチブロックをこんどは2段にして発光ダイオードを囲むように回路基板に固定し、その上からもう一枚の透明プラスチックボードをネジ止めした(図2)。プラスチック板どうしは一方の板に溝をあけ、四角いプラスチック版で挟んでねじ止めしてスライドできるようにした。

表1、使用した発光ダイオード

品暗	規格
発光ダイオード (青)	OSUB3131P
発光ダイオード (赤)	OSUR3131P
発光ダイオード (緑)	OSUG3131P

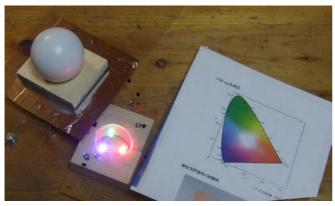




図3 LED 発光の様子

図4 色度図との対応

図3が点灯しているLED(使用LEDは表1)で、RGBなので黄色はないが、ピンポン玉を上手に重ねると、黄色く光る(図4)。図4の色度図は[3]中の図を適当に拡大し実験器のプラスチックボードの可動盤上の黒い点の動きと合わせたものである。

色度図を自分で作るには文献[4]を参照ください。

- [1] 霜田光一: 2009 年度日本物理教育学会予稿集、pp30-31 (2009).
- [2] 室谷 心:松本大学地域総合研究、11(1)、181-185 (2010).
- [3] 大山 正:色彩心理学入門、中公新書(1994); 大田 登:色彩工学、東京電機大学出版局(2008).
- [4] 室谷 心:物理教育60、pp110-114(2012).

### 静止系および等速度慣性系の2つの観測系における運動の見え方の違い

### に関する誤概念の調査と分析

A板垣海斗、中原優、竹内太軌、松本益明 A東京学芸大学教育学部 masuaki@u-gakugei.ac.jp

### 1. 背景と目的

生活や経験によって形成される力学誤概念は、力学に対する正しい概念的理解を妨げる。講義形式の授業よりも、学生教員間等の相互作用を基本とした授業の方が、誤概念の改善に効果的であるとの結果が得られており、ピアインストラクション法[1]を用いた授業を行ってきたが、2018年度におこなった力学概念調査[2]では、誤概念 K4「自分を中心とした観測系で観測してしまう」について、学修後の改善率が悪かった。力学概念調査には K4 に関する問題は 1 問しかなく、設問表現の妥当性に問題があるという先行研究がある[3]ため、我々は誤概念をより適切に測るために、新たな K4 に関する選択式や記述式の問題を新たに作成して調査をおこない、力学概念調査の結果と比較して解析した。

### 2. 調査に使用した問題

図1から図3に使用した問題を示す。図1は等速 運動する車から時刻 t=2 sにおいて、進行方向に 直角に水平に撃ち出した弾を上空の静止系から観 察したときの軌道及びt = 3sおよびt = 4sのとき の弾の位置を問う問題で使用した図であり、記述式 で自由に軌道を描かせた後、結果を解析して図1中 のAからF及びそれ以外に分類した。上空から見る ことにより重力の影響を考えずに物体の運動につい て考えることができる。図2は電車の窓から物体を 進行方向に垂直に打ち出したときの軌道を問う問題 であり、等速度の慣性系から打ち出した弾の水平運 動を同じ慣性系から見たときの見え方を問う問題と なっている。図3は等速直線運動する台車から落下 する物体を静止系から観察する問題であり、力学概 念調査にある問題と同様、重力の影響も含む問題であ るが、選択式ではなく自由記述式の問題とすることに より、軌道だけではなく、等速直線運動を続ける車両と の位置関係についても調査することができる形とし た。図3中の記号は図1中の分類に対応している。

### 3. 調査

調査対象は、ある大学における 2022 年度の理科系の

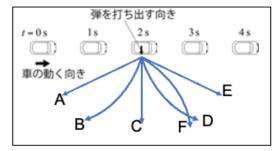


図1 上空の静止系から観察したときの軌道の問

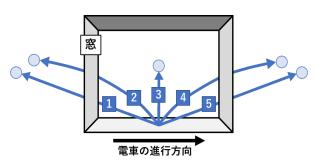


図2 等速の慣性系から観察したときの軌道の問

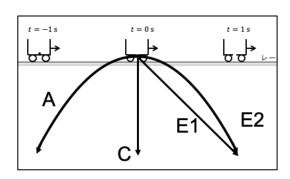


図3 重力の影響下での落下における軌道の問

学生 43 名である。図1と図2については3年間にわたり約360名についても調査しているが、コロナ禍でオンラインということもあり、ここには掲載しない。ただし、概ね同じような分布であった。調査の時系列は次のようになる。まず、学期のはじめに力学概念調査(概念 pre)を行い、授業におけるピアインストラクション用概念テストとして図2の選択問題を行い解説した。中間試験においては、図1の記述式調査を行い解説した。最後に期末試験において図3の調査を行い、力学概念調査(概念 post)も行った。従って、調査としてだけでなく、課題として利用したものも含まれており、解説を行ったことが最終的な結果に影響している。概念 pre 調査、図3と図1の調査、および概念 post 調査の結果を表1に示す。分類分けには図1のAからFの軌道を用いており、それらで分類できない回答については除いてあるため、合計は必ずしも100%になっていない。またE1およびE2は、上から見た図である図1では同じEの軌道であるが、図3のように横から見たと

きにそれぞれ直線的および放物線的に落下していく選択肢である。表2には図2の間の調査結果を示す。これはピアインストラクション法で議論前と議論後に回答を集めた結果であり、その後解説を行った。この調査を行ったのは概念 pre 調査と図1の調査の間であり、討論により正答が増加し、進行方向前方に物体が進む回答は減ったが、後方に進む回答はほとんど変更しないか若干増加した。図2のような状況は日常生活の中で経験する可能性があるものであり、空気抵抗の影響で後方に飛んでいく様子を見た経験から推測する因果ス

表1 静止系から観察した間での回答分布を時系列に並べたもの(単位:%)

分類	概念 pre	図 1	図 3	概念 post
A	32. 6	2.3	4. 7	16. 3
В	I	0.0	1	ı
С	23. 3	14.0	25.6	25. 6
D	_	0.0	-	-
E1	9. 3	58. 1	44. 2	34. 9
E2	34. 9	90.1	9.3	23. 3
F		2. 3		

キーマによりこれらの回答を選ぶ割合が多くなっていると考えられる。この調査は「自分を中心とした観測系で観測」した場合の物体の軌道を問う問題であり、これを元に静止系から観察した軌道を考察するのが一般的と思われる。この解説を聞いた後で行われた図1以降の問では進行方向後方に進むと考えるAとBを選択する学生が非常に少ない結果となり、前方に進むEを選択する学生が非常に多くなった。ただし、授業で取り扱った問では重力を無視したためか、図3の問や概念調査でも重力を無視して直線的な軌道になるとした学生が非常

表2 図2の問の調査における分類結果(%)

軌道	討論前	討論後
1	39. 5	37. 2
2	18.6	23. 3
3	25. 6	37. 2
4	7. 0	2. 3
5	9. 3	0

に増えてしまった点は反省点と言える。表 1 の分類の中で誤概念 K4 を保持していると考えられる 回答は C であり、図 1 の問の調査結果では若干少ないが、それ以外ではほぼ 25 % 程度で一定となっており、改善が見られていない。つまり観測系が変わったにも関わらず「自分を中心とした観測系で観測」した場合と同じ結果になると考えているように思われる。2023 年度には大学で物理を学修する前の学生に対して図 1 から図 3 の間の調査と力学概念調査を同時に実施することができたため、当日にそれらの結果も加えて議論する。

- [1] E. Mazur: *Peer Instruction: A user's manual*, Pearson prentice Hall (1997).
- [2] D. Hestenes, M. Wells and G. Swackhamer: The Physics Teacher 30 (1992) 141.
- [3] 安田淳一郎、植松晴子、新田英雄: 物理教育 59 (2011) 90.

2023年度日本物理教育学会年会 第39回物理教育研究大会 発表予稿集

発行日 令和5年8月7日

発行者 第39回物理教育研究大会 実行委員会

印 刷 新潟明訓中学校・高等学校

# 2023年度 日本物理教育学会年会 第39回 物理教育研究大会

# 発表予稿集

2/3 分冊

## 大会テーマ 「探究学習を実現する物理教育」

2023年8月11日(金)・12日(土)

会場:新潟明訓中学校・高等学校

(所在地:新潟県新潟市江南区北山1037番地)

主催:日本物理教育学会

共催:新潟明訓中学校•高等学校

後援:文部科学省、日本物理学会、応用物理学会 新潟県教育委員会、新潟市教育委員会

### 原著講演プログラム(1日目)

### 8月11日(金)

9:10	~10:25 原著講演 1 座長:大山 光晴 会場(講堂)			
1a-1	流体圧に潜む背理矛盾を氷解する物理教育史的考察と現代的再創生	小林 昭三	•••	23
1a-2	物理の知恵を社会の知恵に	栗田和好	•••	25
1a-3	運動エネルギーの変化と仕事の関係式 ー数式表現の直感的理解の観点からー	右近 修治		27
1a-4	霜田光一先生の仕事 その進め方	広井 禎		29
1a-5	霜田式電磁気学	新田 英雄	•••	31
10:35	~11:50 原著講演 2-a 座長:井上 賢 会場 (講堂)			
2a-1	電位の概念を理解させるためのモデルを測定値からARを用いて表示する教材の開発	稲垣 惇史	•••	33
2a-2	科学系部活動を通じた光の干渉実験の教材化	坂尾 俊介	•••	35
2a-3	超伝導を用いた教科横断型物理教育の検討	千葉 丈翔	•••	37
2a-4	高校物理における生徒の試行錯誤を促す釘実験の実践	能代谷 賢治	•••	39
2a-5	鉄道模型の運動を用いた物理実験(新しいヒューマンインターフェースの開発、等加速度運動への応用)	安達 照		41
10:35	~11:50 原著講演2-b 座長:梅田 貴士 会場(社会科地学教室)			
2b-1	メルデの実験の厳密な振動解と演示方法	伊東 正人		43
2b-2	量子力学という高度な題材への仮説実験授業の方法論の拡張一物理への興味・関心を育むことを目指した授業の提案―	阿部 春樹		45
2b-3	1to1活用(数値simulation)で生徒が偶然適用するsymplectic数値積分法	今和泉 卓也		47
2b-4	高等学校「物理基礎」における,「現象の解釈」の有効性とその提案②	山下 哲		49
2b-5	「ローレンツカによる起電力の説明」の課題について	五十嵐 靖則		51
15:10	~16:10 原著講演3-a 座長:新田 英雄 会場(講堂)			
3a-1	中等教育段階における「系の概念」の調査問題の開発 - 「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の混同に着目して-	伊藤 慧		53
3a-2	「つり合い」と「作用・反作用」の差異化を意識した高校物理のILDs実践	南 伸昌	•••	55
3a-3	圧力分野の相互作用型授業の検証	佐々木 志帆		57
3a-4	ペアワークにおける二者の視線行動の観察	奥野 琳太郎		59
15:10	~16:10 原著講演3-b 座長:今井 章人 会場(社会科地学教室)			
3b-1	高校「物理基礎」にJiTTを用いる試み 2	落合 道夫		61
3b-2	事前実験課題を課した電気回路分野のJiTT型STEAM教育プログラム	小川 慎二郎		63
3b-3	科学テキストにおける反駁文や図の読解時の眼球運動データ分析~天体運動と季節の変化を例にして~	萩原 秀人		65
3b-4	力学講義における探究活動と反転授業	中村 琢		67
16:15	~16:45 原著講演 4 座長: 麩沢 祐一 会場 (講堂)			
	物理学習におけるメタ認知的方略の活用と概念理解	谷口和成		69
	探究的な物理授業とは?	土佐幸子		71
	2000 000 0000 0000	<u> </u>		

### 流体圧に潜む背理矛盾を氷解する物理教育史的考察と現代的再創生

<sup>A</sup>小林 昭三、<sup>B</sup>興治文子 <sup>A</sup>新潟大学教育学部、<sup>B</sup>東京理科大学教育支援機構教職教育センター kobayasiakizo@gmail.com

### 1. はじめに

流体圧現象に潜む背理的な諸現象や矛盾を根本的に解明し、より深い概念形成をもたらすようなアクティブ・ラーニング(AL)授業法[1]を考察する。特に、最新の AI 活用・ICT 活用を基礎にする AL 型授業を実現するために、100 均店の身近な素材を工夫することで簡易で最適な実験教材作りのようなモノ作り的実験工夫を重視する。例えば、「何でも吸盤の吸着と剥離」と「何でもポンプで加圧と減圧」のモノづくりを吸盤の着底・着壁(底面・斜面・横壁・天上壁)の状態でグラフ浮力背理の氷解をもたらす。更に、「なんでもサイフォン作り」によって、「サイフォン原理の間違いが 350 年以上も前から存在していた」[2]という最近の「サイフォン流動原理の誤解や諸論争」を抜本的に氷解する。その際、アルキメデスやパスカルが活躍した時代に遡り、圧現象をめぐる鍵実験と物理教育史的考察を深める。気づかず見過ごされてきた根本に立ち返って、圧現象の深い概念形成をもたらす AL 授業法を具現化する。

### 2. 万能サイフォン作りで挑むサイフォン動因(パスカル圧力差)の AL 型探究学習法

水銀サイフォンの動因をめぐるパスカルによる原理的な考察を書き残したパスカルの原著<sup>[2]</sup>に潜む真相をより深く読み解いて、以下の様な現代的実験検証法で再創生して新展開した。圧力 2 気圧(パスカルは水深 10m に設定)を含む流体中の大気、水、水銀、油、等の流体が相互に織りなすサイフォン流現象を以下で論じる。容器内の流体とサイフォン管内の流体の種類とその役割を上手く変えて、相互の領域での圧力基準値(内圧設定)を明瞭化して、その相互の圧力差が生むサイフォン流動因の概念形成を目指す。パスカルは、「2 気圧水中での水銀サイフォンという」思考実験的設定を経て、2 気圧水圧中の水銀を油に代えたサイフォンならば「逆向き油サイフォン流」になるとの見通しを推定していた<sup>[2]</sup>。私達は「如何なるサイフォンを如何なる溶液中に如何に配置するか」、例えば「水中の油や空気」のサイ

フォン等で「何でもサイフォン」の設定を試行した。 我々は何でもサイフォンにへのモノ作りにより、パラドックス的サイフォン動因での明快な実験的検証法を再創生した。この万能的サイフォン装置作りにより、流体圧差をめぐるパラドックシカルな現象の解明・氷解実験実演機会を何度か持った。その万能サイフォンの原理は「水中で大気入りビニール袋型サイフォン(両端は空気入り風船)をサイフォン管で通管する」工夫で、水中に沈めた深さ圧の差ヵのサイフォン流動因を生むのである。更に、同様な応用は、教訓茶椀で逆流の圧差を生む

ような AL 授業法の新提示案である。

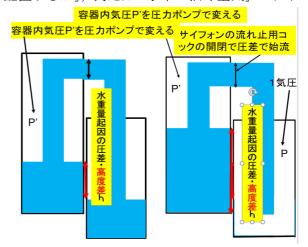


図 1. 2 容器の内気圧 P', P間の万能サイフォン

図1の「万能サイフォン管」では、基準内気圧 P' と Pなる、2つの容器と「その容器をつなぐサイフォン管」を考察する。閉じた 2 容器間の内圧 P' Pの圧差 P-P' と水高差 hの和で流れる「万能サイフォン流動」の原因を問う AL 授業法の試行である。例えば、「サイフォン水銀流の動因は何だろうか?次

の①~③から一つを選択し理由を述べよ。①サイフォン水流作動原因は水分子鎖の張力か? ②水流端の圧力差か? ③その他」。左右容器の気体部連通なら内圧 P'Pを等圧(=2atm で左右容器間圧差ゼロ) 条件下では、水高度差 h の頂上部の圧力差のみでのサイフォン流動因は次節の図 2 と同じ結果となろう。

### 2.1 パスカルのサイフォン原理は間違いか?

「サイフォン流体はなぜ動く?」との問いと、その問に対する「サイフォンの作動原理の理解法をめぐる解説論述」には、根本的な誤解や混乱が目立つ。曖昧な解説スタイルの広がりも著しく無視できない状況にある。特に「物理学や力学教科書(大学教育)や一般向けの科学入門書のサイフォン現象の解説に多くの間違いがある」という分析が宮地により指摘された<sup>[2]</sup>。宮地等は「サイフォン原理の間違いが350年以上も前から存在していたことが明らかにされた」と明記した<sup>[2]</sup>。

しかし、実は、次の内容解説のようなパスカル原著<sup>[2]</sup>の記述を注意深く 読むと、「サイフォンは空気圧による押し上げによる」という「パスカル の 350 年以上も前から存在するサイフォン原理の間違い」との決めつけは 誤解だった。それはパスカル原著の根本的誤読で生じていた。宮地は重大 な誤読から「水分子の鎖(チェーン)の張力説によるサイフォン作動原理 で、パスカルの 350 年来の間違いを正した」との思い込みに陥った<sup>[2]</sup>。 「身近な手作りサイフォンの簡易実験法」を次の図1に示して、宮地等の

「身近な手作りサイフォンの簡易実験法」を次の図1に示して、宮地等の 根深い誤解を氷解させる。水中下10メートル水銀柱サイフォン・パスカ



ル科学論文集 116 頁核心部を、図 2 によって以下で簡潔に示す。 図 2. 水深 10m 水銀サイフォン [2] 水中・空中サイフォン (水銀・空気・油・CO<sub>2</sub>) 流等で、図 2 のパスカル水銀サイフォンを再構成する。 水深 <math>10mでは、水銀高 76 cmに上昇(d, a, c)し、連通し水銀サイフォンが水銀は下部容器に落ちる。

### 3. 逆向きサイフォン流現象を生む万能サイフォン他による AL 型授業法の再創生

文献[2]のパスカル原著に提示したパスカルの水銀サイフォン構想を,2気圧水中の「空気や油サイフォン管設定」にすれば、「逆向きのサイフォン流現象」を実現できる。我々の万能サイフォン(図1)で」水10m分のポンプ加圧しパスカル方式空気サイフォンへと応用可能である。これで、水中10mでの水銀サイフォン動因検証法(図2)をより簡明なAL型授業へと再構成できる。パスカル原著『23示唆の油サイフォンの方法や、更なる私達の空気サイフォン他のサイフォン動因検証法で「鎖張力説』』は破綻する」。水より軽い空気/油で満され、等しい内圧P`Pの二容器間でのサイフォン上部圧力差 hの場合、空気/油はどう流れるか? 水銀と正反対に;重力と逆方向の低部から高部に空気や油が上昇し上の容器に流れ込む。鎖張力が全く無い空気が逆流する明白な結果により、鎖張力説』』は破綻する。このサイフォン動因をパスカルは見抜き正しく推定した。見過ごされてきた「パスカル原著の基本的推定」を、空気サイフォンや油サイフォン装置を作って実験的にも確証した。他の史的価値ある学習内容を現代的に再創生する幾多の実例(吸盤作りとICT活用型AL授業)も考案した。圧力差を応用した実験器具作りや逆流弁の原理、真空ポンプ作り、ゴム弁付けと圧力差での圧着、等を実演してきた。更に、多彩なICT(圧力計や圧力センサー)活用実験(吸盤の圧着・剥離と落下・浮上現象)等で、より深い圧力概念形成効果を生むAL型授業法を探究した。

### 参考文献

[1] 小林昭三, 興治文子:授業筆記や学会誌等で解明する科学教育 150 年の史的新実相とその現代的再 創成, 2020PCC 論文集, CIEC, pp. 207-210(2020), 同:「Graf の浮力背理と流体圧力をめぐる能動的深い学 び-明治期授業の解読による」, 2021PCC 論文集 PDF, pp. 189-192。

[2] パスカル原著: 『パスカルの科学論文集』松波信三郎訳・岩波文庫 1953 初版・1984 年版: (120 頁 2 段落 3 行目部分)。及び,宮地裕司: サイフォンの科学史(仮説社・2012) の問題提起。

### 物理の知恵を社会の知恵に

<sup>A</sup>栗田和好 <sup>A</sup>立教大学理学部 k\_kurita@rikkyo.ac.jp

### 1. はじめに

改めて物理教育の目指すものについて考えてみたい。PER の成果として学習者は自然に対する真っ白なイメージをもって授業に参加するのではなく、自らの限られた自然とのかかわりと言語(特に専門用語としての言葉)の範囲で自分なりの自然観を紡いできており、ちょっとやそっとの働きかけではびくともしない強固な誤概念を持ち込んでいる。教員がどんなに自分の自然観を伝えようとしても学習者はそれを受け入れようとせず、時にはゆがんだ形で受け入れてしまうことすらある。 [1]

PER はさらに、その問題を解決するには相互作用的授業が有効であることを見出した。我々はその知見の元、いかに正統な自然観を学習者に吸収させるかに主な努力をはらっていると認識している。[2]

### 2. これまでの知見

一方、一般社会においては、物理では公式などを記憶する科目でそれを覚えていても社会に出てから直接使う機会はなく、努力の大変さに比べ点数はなかなか上らずコスパの悪い嫌いな科目の筆頭に挙げられる始末である。[3]

もちろん本学会の教員がそのような授業に甘んじているとは考えていないが、社会全体の物理に対する理解の浅薄さは絶望的と言わざるをえない。そもそも指導要領の高校物理の目標は科学的に探究する資質・態度を育てることにあるとうたわれているが、果たして上述の誤解を解決することはできるのだろうか。

そこで、物理学の知識ではなく、物理学の知恵を獲得することの有効性を社会全体に理解しても らう必要があると考える。

### 3.2つのレベルの知恵の共有

物理の知恵の普及についてその目標は2つのレベルがあると考えている。最初のレベルはより多くの生徒が履修する物理基礎の目標で、物事をデータをもとに定量的に評価・判断できる国民を育てることである。必要な場面としては、がんの治療法の選択が上げられよう。複数ある治療法から自己の命を懸ける治療法の選択を迫られる経験は、上記の素養を持たない者にとっては拷問に等しいと考えられる。その他にも国の政策を客観的に判断できる国民であれば複雑かつ変化の速いグローバル社会の中でで持続可能な生き方を選択していく教養の根幹を形成することにつながるであろう。

もう一つのレベル、高校物理またはその先の大学での物理の学習の目標は、物理の知恵を他の分野の問題解決に利用できる素養・能力にまで育てあげることである。心理学の分野では「転移」 (transfer)と呼ばれる現象で、古くは Thorndike の研究から自然には起こらないことが知られてきた。一方、佐伯らは転移は起こっているのだが、研究の手順の中で網を張っておくところには起こ

っていないだけであると主張している。

そこで、物理の理解を促すだけでは知恵の活用は限られたものになることはほぼ確実であることは結論できる。では、どのようにその知恵の他分野への活用を促すことができるのだろうか。そこで提案したいのが、問を起点に葛藤・格闘・獲得の「さんか(参加=engagement)サイクル」の活用である。つまり、疑問からその意義を見出し、誤概念を乗り越える自己を見つめ、客観的に自分の学びを開拓していくその態度を育てるのである。学んでいる教材である物理を「思考の軸足」として様々な学びに自分を振り向けていく探求的な態度こそが物理教育の目的と考えることができる。

### 4. まとめ

現在は荒唐無稽な私論に過ぎないと考えているが、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具体的な実施方法などを考案していけたらと切に願っている。

- [1]R. Osborne and P. Freyberg, Learning in Science, The implications of children's science, Heineman 1985.
- [2]レディッシュ他「科学をどう教えるか」丸善2012.
- [3]例:新田英雄、物理教育レクチャーシリーズ「物理教育研究への招待」第1回資料 2023.
- [4]E.L. Thoendike and R.S. Wooodworth, Psychological Review Vol. 8 1901.
- [5]佐伯 胖他「心理学と教育実践の間で」東大出版会 2013.

### 運動エネルギーの変化と仕事の関係式 一数式表現の直感的理解の観点から一

<sup>A</sup>右近修治,<sup>B</sup>岸澤眞一,<sup>C</sup>中村正人,<sup>A</sup>新田英雄,<sup>D</sup>長谷川大和,<sup>E</sup>宮﨑幸一,<sup>F</sup>山本明利 <sup>A</sup>東学大教育,<sup>B</sup>元拓殖大,<sup>C</sup>都市大,<sup>D</sup>東工大附属高,<sup>E</sup>元神奈川県立高,<sup>F</sup>北里大 gukons@u-gakugei.ac.jp

### 1. はじめに

すでに多くの研究が示しているように、学生は物理の授業を受ける以前に、身の回りの物理世界に関する経験に基づいた、直感的、あるいは常識的な物理的知識や概念を持っている。本来、これらの知識や概念は我々人類がこの世界で生存していくために必用なものであったはずである。しかしながらそうした中に誤概念、あるいは素朴概念と呼ばれる強固な思い込みが含まれていることが指摘されて久しい。MIF 誤概念はその代表例である。教師による指導で運動の法則を教え込み、その場では学習したかに見えても、教科書を離れて日常生活に戻ったとたん、物体の運動を支配する法則は MIF 誤概念に戻ってしまうのである。そこで、生徒や学生から誤概念を「引き出し」それと「向き合わせ」「解決させる」(elicit, confront, resolves) 手法 1)に関する研究が蓄積されてきている。ところで「解決させる」とはどのようなことか。結局は誤概念を否定することなのだろうか。あるいは何か上手に折り合いをつけるということなのだろうか。

一方で、生徒や学生が理解を深めるために事前に持っている生産的資源(productive resources)としての概念的資源(conceptual resources)や認識的資源(epistemological resources)を物理の学習に活用する道も模索されている  $^{20}$ 。素朴概念と深い関わりを持つ生産的資源については不明な点も多いが、少なくとも科学革命以前から人類は様々な問題解決をしてきたことは否定できない事実である。

### 2. 数式表現の直感的理解

Bruce Sherin<sup>3)4)</sup>は、学生が数式表現を概念的に理解する認識的資源として記号型(symbolic forms)が存在するのではないかという仮説を提出している。Sherin によれば、記号型は概念スキーマ (conceptual schema) と記号テンプレート (symbol template)によって構成されている。概念スキーマ はまさにその数式によって表現されているアイデアであり、記号テンプレートはそれを数式により 具体的に表現するための枠組みである。

等加速度運動で、時刻tにおける速度vは加速度をa、初速度を $v_0$ として

$$v = v_0 + at \tag{1}$$

と表わされる。この関係式を学習する学生は初速度 $v_0$ にatが足されるという構造に物理的意味づけを与え、この数式と物理概念とを結びつけることに、それほどの困難を感じない。そうした構造が基体+変化(Base+change)の記号型で、記号テンプレートは

 $Base+change: \square = \square \pm \triangle$ 

である。Sherin は学生が問題を解く際にどのようにして立式したり、数式をどのように解釈したりするかの観察事例を分析することにより、こうした記号型のテンプレートを21個見いだしている。記号テンプレート自体は、物理的に真か偽かとは直接関係がない。言うまでもなく(1)の関係式の

正しさを保証するのは運動の法則であり、記号テンプレートではない。しかし、物理の学習者が(1) の関係式と出会ったとき、直感的に抵抗なく受け入れることであろうことは容易に想像できる。数式表現の直感的理解は、立式の過程においても積極的に関与している。数式を活用する場面での記号型の活躍を Sherin は数多く報告している。

### 3. 学生の運動エネルギーと仕事の関係理解

さて我々研究グループは、新たに開発した「仕事とエネルギー概念調査」(WECE: Work and Energy Concept Evaluation)を用い、2021 年度、2022 年度に亘って東京都市大学理工学部初年度生必修物理学(力学)履修者を対象として、仕事とエネルギー履修後に運動エネルギー変化 $\Delta K$ と仕事Wの関係 $\Delta K = W$ がどこまで理解されているかを調べた。2 年間で計 371 名分の調査資料及び、15 名分の聞き取り調査記録(1 人平均 30 分)を得た。同必修物理学の授業は 1 回が 100 分の講義と 100 分の演習とからなり、テキスト  $^5$ の「7 章 運動エネルギーと仕事」「8 章 ポテンシャルエネルギーとエネルギー保存」の 2 章には 5 回分の授業を充てている。 $\Delta K = W$ の関係式はこれら 2 章の土台となる関係式であるが、得られた調査結果は予想を超えて深刻なものであった。「x軸上を粒子が運動し

ている。粒子の速度が-2 m/s から-3 m/s に変化したとき粒子の運動エネルギーKは増えるか減るか変わらないか。またこのとき粒子になされた仕事Wは正か負か 0 か」の WECE 調査問題に対し、 $\Delta K > 0$ と正答した者が 77%、 $\Delta K > 0$ かつW < 0が 48%、全体でW < 0は 65%であった。 $\Delta K > 0$ かつW > 0の正答は 25%であった 0。聞き取り調査では、物理基礎で既習の

	ΔK>0	Δ K<0	Δ K=0	NA	計
W>0	25.1	4.0	0.0	0.0	29.1
W<0	47.7	17.3	0.3	0.0	65.2
W=0	4.3	0.8	0.0	0.0	5.1
NA	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
計	77.1	22.1	0.3	0.5	100.0

$$\frac{1}{2}m{v_{\rm f}}^2 - \frac{1}{2}m{v_{\rm i}}^2 = W$$

の数式表現と関連付けて回答する学生も少なくはなかったが、公式を当てはめているだけで、意味 を説明できた学生や直感的な解釈を行った学生は少なくとも 15 名の中にはいなかった。

### 4. 直感的理解が困難な数式表現

何を公式として数えるかにもよるが、物理基礎の力学分野(流体除く)には 20 個程存在するようである。しかしながらこれらを直感的理解のしやすさという観点から見ると、大きな違いがあるのではないだろうか。直感的に納得できなければ、ただ暗記するしかない。

 $\Delta K = W$ の関係式に、これほどの困難が生じている原因は何だろうか。その原因が解明できれば直感とすり合わせる道はどこかに見つかるはずである。記号型の視点は1つの手がかりを与えてくれると思われる。この研究はJSPS 科研費 21K02891 の助成を受けて行われています。

- 1) Lillian Christie McDermott, Am. J. Phys. 82 (8), August 2014
- 2) David Hammer, Am. J. Phys. Supple. 68(7), July 2000
- 3) Bruce L. Sherin, Cognition and Instruction, 19(4), 2001
- 4) Bruce L. Sherin, Journal of Research in Science Teaching, 43(6), 2006
- 5) D.ハリディ, R.レスニック, J.ウォーカー「物理学の基礎[1]力学第6版」, 培風館, 2002
- 6) 中村正人他 6 名, 日本物理学会 2023 年春季大会 25PN1-7

### 霜田光一先生の仕事 その進め方

### 広井 禎

(元) 筑波大学附属高等学校

E-mail: fghiroi@ba2.so-net.ne.jp

### 「6つの事例〕

### 1. 著書『エレクトロニックスの基礎』

工学部電気の方が書く電子工学の本にはない特色がある。 いまだに、電気の方以外の電子工学の本は、見たことがない。

### 2. 研究テーマ「レーザー」

1951 年頃学会では「メーザーは成功の見込みがない」とささやかれていた。 タウンズの発言を傾聴する人は希少。霜田先生は質問しアドバイスした(1953 年)。 「メーザーの概念は、理学の人だけでは生み出しにくいものだった。 工学分野で馴染み深い電磁波増幅の概念と結合させたことによって誕生した。」

### 3. 学部での講義「電場と磁場とが直交する電磁波|

「著者が従来の電磁気学に疑問を持ったのは 60 年も前のことである。 大学の講義で、平面電磁波の電場と磁場が直交することをマクスウェルの式から導き だすことができなかった。もちろん電場と磁場が直交する電磁波がマクスウェルの式 を満たしていることは容易に証明できる。」(これがきっかけで電磁気学を再考する)

### 4. 研究会「179回続く高校物理の研究会」

1978 年、科研費特別研究 (PSSC に端を発する k 高校 b 物理 g 現代化 k 研究班)終了。研究班メンバー有志が、霜田光一先生を中心に、研究会「続 KBGK」を始める。2015 年(第 179 回)まで霜田先生が司会・お知らせ執筆・郵送を担当する(約 40 年間)ここで、会員(高校教員が多い)が発表することを、しっかり聞き取っていた。

### 5. こどもたちと

モーターなどをつくる。回ったときのうれしさ。回らないときの困惑。 こどもの声「ボールが運動するって本当ですか?」

### 6. 逝去前日も研究

2022 年 4 月から、「対称性の自発的破れ」と「微細構造定数  $\alpha$  」、の研究に絞る。 「 $\alpha$ 」は「c と e と h 」で決まる。

(これを否定して)αは定数、それからhなどが定まるという構想。 コロナ禍の中ひとりで考察していると堂々巡りする(ホームズはワトスン相手に語る)

. . . . . . . . . . . . . . . . . . .

### [参考]

### A:略歴

1920年10月5日、埼玉県で誕生

1943年3月、東大理学部物理学科卒業

1948年6月、東大理学部助教授 (1981年4月東大名誉教授)

1981年4月、慶応大理工学部教授(1986年4月客員教授)

2008年11月、文化功労者顕彰

2010年12月、日本学士院会員

2023年5月29日、逝去

### B:著書から

『エレクトロニクスの基礎』裳華房(1956 初版 1963 全訂版 1983 新版) 共著『大学演習電磁気学』裳華房(1956 初版 1980 全訂版) 『レーザー物理入門』岩波書店(1983 第 1 刷、現在 29 刷) 『歴史をかえた物理実験』丸善(1996 第 1 刷、2017 新装版)

### C:電子書籍

『霜田光一に聞く 電波と光の最前線開拓』アドコム・メディア (2021) 1000 円 購入は電子書籍ストア「コンテン堂 https://contendo.jp/」にアクセス (会員登録してログイン⇒出版社から探す⇒アドコム・メディア)

#### D:「物理教育 | 誌から

- ① vol.20-1 電磁誘導の説明や混乱や誤解について
- ② vol.25-3 ローレンツ力の反作用はどこにあるか
- ③ vol.33-1 レーザーとエレクトロニクスによる物理教育
- ④ vol.44-3 粒子説で説明できない光電効果
- ⑤ vol.53-4 光速の原理と電荷保存則からマクスウェルの式を導く
- ⑥ vol.69-4 生まれ変わるプランク定数
- (7) vol.70-2 ボールが運動するって本当ですか

### 霜田式電磁気学

<sup>A</sup>新田英雄 <sup>A</sup>東京学芸大学理科教員高度支援センター hi\_nitta@u-gakugei.ac.jp

### 1. はじめに

通常の大学学部の電磁気学では、実験事実を土台に静電場・静磁場から始める場合が多いだろう。 次いで、動的な場合を扱い、4つのマクスウェル方程式系に至る。その後、電磁場の波動方程式を 導くことで、だいたい半期の電磁気学は時間的に終わってしまうのではないだろうか。このような 電磁気学の授業だと、運動する電荷による電磁波の放射を扱う余裕はないだろう。私は、上記のよ うな授業展開をしながら、電磁波は現代文明を支える基幹的な物理現象であるのに、電磁気学を学 んでも電磁波の発生のメカニズムにまでたどり着けないのは、何とも残念なことであると思ってい た。

文献1の霜田論文「光速の原理と電荷保存則からマクスウェルの式を導く」は、遅延ポテンシャルから始めて、電磁気学を構築するという内容である。霜田論文を読んだ私は、この内容に基づくならば、従来の電磁気学のカリキュラムを転換して、半期の授業でも電磁波の放射までを扱える可能性があるのではないかと考えた。そこで、文献1のアイデアを取り入れて、2007年の東京学芸大学における半期の授業「電磁波・光の科学」(2、3年生向け)で実践した。

### 2. 「霜田式電磁気学」の概要

文献 1 の冒頭で,霜田は「光速の原理と電荷保存則を前提とする公理論的電磁気学をつくってみた」と述べている。ここで光速の原理とは,「電荷と電流が時間的に変化したとき,その効果は真空中を光速cで伝わる」 [1] ことを指している。はじめに,原点におかれた時間的に変化する微小球が持つ電荷Q(t)の効果の伝搬を考え,それがスカラー波として表されるとする。空間の等方性と光速の原理から,原点から距離rにある点におけるスカラー波の効果は,Q(t-r/c)/rに比例すると考える(これは遅延スカラー・ポテンシャルと同じである)。また,電流に対しても,同様なベクトル波の存在を仮定する(これは遅延ベクトル・ポテンシャルと同じである)。もちろん,これらの遅延解を前提とすれば,ローレンツ・ゲージにおけるスカラー場とベクトル場の,電荷密度と電流密度という源のある波動方程式が満たされるのだから,マクスウェル方程式が再現されるのは当然といえる。

### 3. 実践した授業の構成

「電磁波・光の科学」の受講生は、電磁気学の基本をすでに学んだ学生がほとんどであった。そこで、文献1のアイデアを利用するものの、波動方程式から出発した方が良いと考え、そこから遅延解を簡単に導く流れにした。また、波動方程式や相対性理論が未習なので、それらも扱った。最後に電磁波の放射に関するラーモアの公式を導いた。具体的には、以下の通りである。

- (1) マクスウェル方程式系の電磁ポテンシャルの式への書き換え
- (2) ゲージ不変性、特にローレンツ・ゲージ
- (3)1次元波動方程式の解

- (4) 3次元波動方程式と球面波の解
- (5) スカラー・ポテンシャルの遅延解
- (6) ベクトル・ポテンシャルの遅延解
- (7) 電磁ポテンシャルの波動方程式からマクスウェル方程式を導く
- (8) 電磁場のエネルギーと運動量
- (9) 特殊相対性理論の基礎、共変形式、共変形式のマクスウェル方程式
- (10) 電磁波の放射, ラーモアの公式

この授業内容において、(5)(6)が霜田式電磁気学の出発点に相当する。そこで、ここから出発して(1)~(4)を逆にたどることができることを確認するのが(7)である。つまり、霜田式電磁気学の立場からすれば、(1)~(4)は不要である。ただし、(5)から出発する場合は、静的極限において、原点に点電荷がある場合の静電ポテンシャル(クーロン・ポテンシャル)になるべきという考え方を使い、実験事実のクーロン場と結びつける方がよいように思われる。

なお、文献1のように光速の原理に限定せず、特殊相対論を前提とするならば、ミンコフスキー 時空における共変的な電磁場テンソルあるいはローレンツ・ゲージでの4元ベクトル・ポテンシャ ルの波動方程式、および4元電流密度から出発することで、最もコンパクトに電磁気学を展開でき る。このことは、特殊相対性理論を一通り学んだ者ならば、よく知るところであろう。文献1の立 場は、巨視的な電磁場の実在性から出発したい、というものだと思われる。

### 4. おわりに

授業「電磁波・光の科学」は、大学の学部改組の影響を受けて 2007 年を最後に消滅した。そのため、複数回の実践は残念ながらできていない。しかしながら、遅延ポテンシャルから出発すれば、相当の計算は必要であるものの、半期の授業でも電磁波の放射式までたどり着けることを示すことができたと考えている。もちろん、静電場から始め、実験事実を踏まえながらマクスウェル方程式へと進む一般的な電磁気学の展開に問題があるというつもりはない。ただ、今日の社会を支える電磁波の放射理論にたどり着けないようでは、現代の電磁気学の授業としては、十分でないように思う。

文献 1 の最終章での,霜田の次の言葉は大変印象的である。「これまで,電磁気学の基礎であるという理由でクーロンの法則やビオ・サバールの法則を教えていたが,大学でマクスウェルの式を学ぶ準備としてそれがいらなくなったら,中等教育の電磁気でクーロンの法則などが必要だろうか?物理学者や電気技術者にならない生徒にとって,クーロンの法則などは一生必要になることも、教養のたしになることもないだろう。」

私は、電磁気学は、電荷の受ける力としての電場の定義とクーロンの法則から始まるのが当然だと思い込んでいた。クーロンの法則の必要性を疑う余地があるなど、考えたこともなかった。 霜田先生の発想の柔軟さとスケールの大きさを、改めて今、感じている。

### 参考文献

[1] 霜田光一: 物理教育 53-4(2006) 319-322.

# 電位の概念を理解させるためのモデルを測定値からARを用いて表示する教材の開発

<sup>A</sup>稻垣惇史、<sup>B</sup>梅田貴士 <sup>A</sup>広島大学大学院教育学研究科、<sup>B</sup>広島大学大学院人間社会科学研究科 d194760@hiroshima-u. ac. jp

# 1. はじめに

理科の授業において、概念の理解を促すためにモデルを用いることがある。そのモデルは、図やアニメーション、シミュレータなどを用いて提示される。ときには、実験を行い、測定値をもとに作図したり、表計算ソフトなどにデータを入力したりしてモデル化することも考えられる。シミュレータは、条件を調整すれば、瞬時にモデル化することができるが、理論値などで仮定した値を用いているため"仮説的なモデル"とも言えるだろう。一方、測定値をもとに作られたモデルは、現実味を帯びるという利点はあるが、測定してからモデル描写までに時間がかかってしまう。それぞれに一長一短あるため、一概にどちらが良いとは言い切ることはできず、授業の内容や目的によって、その優位性は変わってくる。筆者はシミュレータを用いた授業実践について研究[1][2]してきたが、根底として「実験したい」という思いがあるため、次の①~③を満たすものが開発できないかと考えた。

- ① 生徒実験を前提とし、実験器具の設置、測定を生徒に行わせたい
- ② 仮定した値ではなく、測定値をもとに概念の理解を促すモデルを描写したい
- ③ リアルタイムに、且つ、実験しているその空間にモデルを表示させたい

今回は、電位の概念の理解を促すモデルを拡張現実(AR)によって表示する教材の開発を行い、 それを用いた授業を実践した。

### 2. 教材について

実験で使用する端末は iPad (第9世代) とし、電圧の測定は Bluetooth 対応の電圧計 (M5STACK-K016-Pに M5STACK-U087 を接続)を用いた。開発した教材の動作は、次の①~③である。

- ① 電圧計の端子(テストリードの先端部)を測定対象に接触させ、電圧を測定する。
- ② その様子を iPad で撮影し、電圧計の端子をトラッキングして、その位置における電圧を電圧 計から Bluetooth を介して受信する。
- ③ 受信した値をもとに、電圧を高さとして表現したモデルを、iPad で撮影している実験の様子 に付加して画面に映し出す。

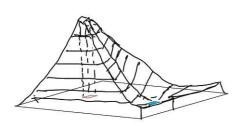
端子のトラッキング、測定値の受信、ARでのモデルの描写などの機能をもった iPad 用のアプリは、Unity を用いて開発し、AppStore で公開している[3]。

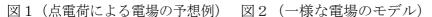
# 3. 授業実践

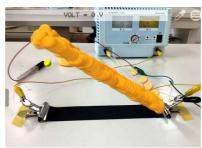
はじめ、電位についての授業の導入で、電位の概念について簡単に説明した後、一様な電場と点電荷による電場(正・負の2つを配置)について、電位のモデルがどのようになるか考えさせ、描かせた(図1)。それぞれの電場は、導体紙を用いて作成した。電圧計の使い方やアプリの使い方などを説明したのち、生徒2人一組で実験させた。描写されたARのモデルをスクリーンキャプチャ(画像やビデオ)して、ロイロノートでデータを提出させた(図2、3)。

次に、導線の部分に銅箔テープを、抵抗の部分に導体紙を用いて図4のような回路を作成した。

導線での電圧降下や、抵抗での電圧降下がどうなるかなどいくつか観点を用意し、それをもとに回 路における電位のモデルがどのようになるか考えさせ、描かせた(図5)。電場の実験と同様に、 生徒に実験させ、データを提出させた(図6)。







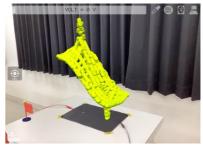


図3 (点電荷による電場のモデル)

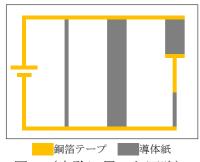


図4 (実験に用いた回路)

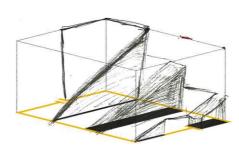


図5 (回路のモデルの予想例)

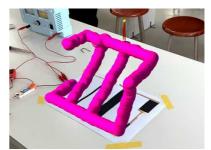


図6(回路のモデル)

# 4. 授業後の所感と今後の展開

電場の実験では、生徒は描写されたARのモデルに驚いた様子で、回り込んだり、上からのぞき 込んだりいろいろな角度からモデルを観察する姿が見られた。測定値をもとにモデルを描写してい るため、測定のスキルが必要で、正しく測定できないと何が何だかわからないモデルができてしま う。どうやったら電場の様子を観察することができるのかを工夫しながら測定する生徒の姿が見ら れ、何度も測定をやり直してモデルを作り直していた。回路の実験では、測定が比較的容易だった ようで、できたモデルに各班の差はほとんどなかった。また、並列、直列接続における抵抗での電 圧降下の様子など、シミュレータと遜色ないモデルが作成でき、生徒の理解に役立ったように思う。

どちらの実験もシミュレータのようにきっちりとしたモデルは見られないが、仮定した値では得 られない"現実的なモデル"が作成できるのが魅力である。また、自分たちが予想したモデルに対 して、測定して検証しているので「明らかになった」という感触が強い。

教材の有用性などについては、確かな結論まで至っていないが、「いい手応えだ」という直感は ある。今回は、電位のモデルを描写する教材の開発を行ったが、『実験×ARモデル』という教材 は他にも広く応用ができる。これらの教材を開発していき、新たな授業スタイルの1つとして提案 をしていきたい。

- [1]「電荷の移動をシミュレーションする教材の開発と授業実践」 物理教育(2021年69巻2号)
- [2]「水面波の干渉をシミュレーションする教材の開発と授業実践」 物理教育(2022年70巻2号)
- [3] [AR Volt Meter] https://apps.apple.com/jp/app/ar-volt-meter/id1670043300

# 科学系部活動を通じた光の干渉実験の教材化

坂尾 俊介 鳥取県立鳥取西高等学校 sakao\_su@g. torikyo. ed. jp

# 1. 背景

光の干渉の学習の一環で、市販の回折格子を用いた格子定数の測定実験を行っていたところ、ある生徒から「自然界に回折格子となるものはないのか。あれば、干渉を利用してその格子定数を測定できることになるのでは。」という質問が挙がった。一方で、当時、顧問に就任したばかりの自然科学部物理班において、部員たちは研究テーマを持っておらず、活動は活発と言えなかった。そこで、部員たちに授業で挙がった質問を紹介し、研究テーマとして「光の干渉」を提案したところ、部員たちは大変興味を示し「自然界に回折格子となるものはないのか」、「あるとしたらその格子定数は正確に測定できるのか」を問いとして研究活動を始めるに至った。研究指導にあたっては、研究成果を教材として授業に還元することも意識した。この事例は、授業での質問と科学系部活動の研究成果とが融合し教材に発展したものである。

# 2. 回折格子としての羽毛

羽毛は羽弁と綿状羽枝からなっており、羽弁をつくる羽枝と 小羽枝が規則正しく並んでいて [1], これらの羽枝が回折格 子としてのはたらきをする (図1)。例えば, この現象を応用 した「羽毛レントゲン」[2][3]では, 羽毛の羽弁の部分を 通して光を観察すると,干渉により手指が実際より細くなった 像が観測される。一方, 羽毛の格子定数を定量的に測定した研

究を文献として見つけることができなかった。そこで、干渉光で羽枝の格子定数の測定を試みた。試料は、生徒会活動で余剰になっていた「赤い羽根共同募金」の赤い羽根を用いた。なお、赤い羽根は鶏の羽である[4]。

羽毛の格子定数の測定は、 $\mathbf{図2}$ のように行った。 光源は He-Ne レーザー(波長  $\lambda$ =632.8nm)を使用し、 羽毛とスクリーンの距離 L は 2.000m とした。羽枝に よる干渉光の明点( $\mathbf{図3}$ )は、方眼紙にプロットした。 スクリーン上に映し出された干渉光の明点の間隔  $\Delta x$ を測定し、回折格子の干渉条件式(1)より、羽毛の羽枝 の間隔、即ち羽毛の格子定数 d の算出を行った。

$$d = \frac{L\lambda}{\Delta x} \qquad (1)$$

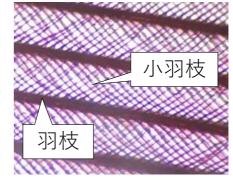


図1 羽毛の羽枝と小羽枝

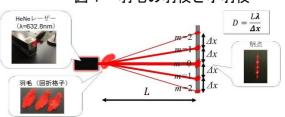


図2 測定装置の概観

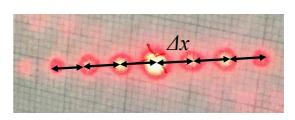


図3 羽枝による干渉光

干渉光の明点の間隔より求めた羽枝の格子定数 d の精度を検証するため, 試料 58 点の測定結果を, 一般的な光学顕微鏡のミクロメータを用いる方法での測定値と比較した。

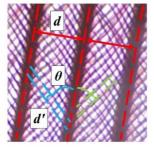
表 1 に各測定方法による羽枝の格子定数の平均値を示す。

# 3. 小羽枝による干渉

図3の羽枝の干渉光を交点として、それらの周辺に X 字型を成す別の干渉光群(図4)が観測された。この X 字型を成す干渉光群は、明点の集団となっていた。これらの干渉光群は羽枝よりもさらに微細でX字状に交差した小羽枝のものと考えられた。試料 58 点について、明点群の交差角度  $\varphi$  と羽枝・小羽枝の交差角度  $\theta$  と

表1 羽毛の格子定数(羽枝の間隔)N=58

	干渉光による測定	ミクロメータによる測定
格子定数 d[μm]	241. 3	234. 9



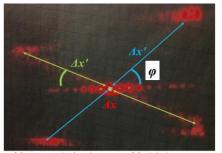


図 4 X字状に交差する羽枝より微細な小羽枝(左) X字型を成す干渉光群(右)

表2 羽毛の格子定数(小羽枝の間隔) N=58

	干渉光による測定	ミクロメータによる測定
格子定数 d [μm]	22.52	23.20

を画像処理ソフト ImageJ で比較したところ、 $\varphi$  と  $\theta$  は対応していた。また、小羽枝の干渉光と考えられる明点群の間隔  $\Delta x$  と小羽枝の間隔 d の比較をした。**表 2** に各測定方法による羽枝の格子定数の平均値を示す。比較は、羽枝の格子定数の測定と同様の方法とした。

# 4. 授業での実践

教材化に際して、試料や実験方法は物理班の研究に準じた。ただし、生徒実験とすることで装置の数をそろえなければならないこと、波動の説明としてだけではなく測定の視点も持たせたいということから、次のような工夫をした。

- ・光源は数の揃えやすい電池式の半導体レーザーとした。
- ・考察で、光の干渉を何かの測定に応用できないか問うた。
- ・考察後、顕微鏡で羽毛の羽枝や小羽枝を観察し、回折格子としての羽毛の構造を確認する場面を もうけた。
- ・まとめの場面で、二重らせん構造の DNA による X 線回折像にも触れ、生物分野との科目横断的な要素を入れた。

これらの工夫により、生徒たちは、光の干渉を単なる現象としてだけはなく、測定技術として視点も持ってくれたと考える。また、回折格子の溝は肉眼で確認しづらく、実感しにくい。回折格子を羽毛とすることで、顕微鏡で格子(羽枝や小羽枝)を観察できたので、実感を持ってくれたと考える。

- [1] 柴田敏隆, 鳥のおもしろ行動学, ナツメ社 (2006)
- [2] 浮田裕 レントゲン玩具-羽毛の光の不思議な現象- 青少年のための科学の祭典 2010 全国大会実験解説集 p p 1 6
- [3] 浮田裕, 身近な素材・器具による物理実験の実践と課題研究の指導, 物理学教育 2011 年 59 巻 4 号 p. 300-304
- [4] 社会福祉法人鳥取県共同募金会 HP https://akaihane-tottori.or.jp/about/outline.html

# 超伝導を用いた教科横断型物理教育の検討

A千葉丈翔、B内山哲治
A宮城教育大学大学院 教育学研究科 専門職学位課程 高度教職実践専攻
B宮城教育大学大学院 教育学研究科
i22027@students.miyakyo-u.ac.jp

# 1. はじめに

IEA 国際数学・理科教育動向調査(TIMSS2019)<sup>[1]</sup>によると,「理科を勉強すると,日常生活に役立つ」と感じている日本の中学生の割合は 65%であった。これは,国際平均 84%に比べて低い数値である。「理科を使うことが含まれる職業につきたい」と考えている日本の中学生の割合は 27%であり,これも国際平均 57%に比べて低い数値を示した。この結果から,日本の中学生は他国の中学生よりも理科を学ぶことに意義を見出していないと考えられる。また,高校生の科学等に関する意識調査報告書<sup>[2]</sup>によると,「社会に出たら理科は必要なくなる」と考えている日本の高校生の割合が他国の高校生に比べて高い。このことから,日本の高校生は理科を通して得られる科学的な見方・考え方に必要性を感じていないことが考えられる。これを受けて文部科学省は中央教育審議会答申 <sup>[3]</sup>において,現代的な諸課題に対応する資質・能力を育成するためには,文理の枠を超えた教科等横断的な視点で教育を行うことが重要であると述べている。

以上を踏まえて,我々は高等学校での課題研究において,物理の展開や汎用性を活かした教科横 断型の授業展開を検討している。本発表では,化学の知見を用いた超伝導体作製について報告する。

### 2. 超伝導体の作製

超伝導とは、金属や金属間化合物を冷却した際特定の温度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。一般に、液体窒素の沸点(約77 K)よりも高い温度で超伝導転移する物質を高温超伝導体と呼ぶ。我々は、約90 K で超伝導転移するイットリウムを用いた希土類系銅酸化物高温超伝導体(YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>2</sub>: Y-123)に注目した。

Y-123 の合成には様々な方法が挙げられている「41が,我々は液相反応法の一つである「アルカリ金属水酸化物(Alkali Metal Hydroxide)溶融塩法(AMH 溶融塩法)」に注目した。AMH 溶融塩法とは,アルカリ金属水酸化物を加熱して溶融させた液体(溶融塩)の中で超伝導体を合成する方法である。異なる金属物質を合成する際,結晶格子を組むために必要なエネルギーはそれぞれの物質によって異なるため,物質ごとに必要な温度が決まってくる。従来の固相反応法による合成では,金属物質同士が接触する領域が狭く熱拡散させる必要があるため,Y-123 を合成するには 930℃程度の温度が必要となる。一方,AMH 溶融塩法では金属物質が溶融塩内にイオンレベルで拡散されるため,金属物質の接触する面積が広くなる。そのため,Y-123 を固相反応法よりも低い 850℃で合成することができる(図 1)。この AMH 溶融塩法を用いて Y-123 薄膜を作製し,温度と電気抵抗の関係を調べた。その結果,850℃で薄膜を作製することができ,電気抵抗ゼロを確認した(図 2)。この実験を科学研究費助成事業のうちの研究成果公開促進費である「ひらめき☆ときめきサイエンス」において,参加した中学生や高校生とともに行ったところ,参加者が作製した薄膜でも超伝導転移が見られた「55。したがって,AMH 溶融塩法を用いれば高等学校でも Y-123 薄膜を作製できると考えられる。

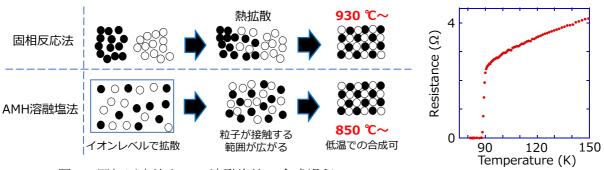


図1 固相反応法と AMH 溶融塩法の合成過程

図 2 温度と電気抵抗の関係(Y-123)

# 3. 課題研究への導入

高等学校の課題研究に超伝導体の作製を取り入れる大きな理由としては、高校生が超伝導体の作製・測定を通して、熱や電気、さらには化学など様々な現象について総合的に理解できると考えられるからである。超伝導を理解するために必要な物質の熱運動や電気抵抗については、新教育課程用の物理基礎の教科書に記載されている<sup>[6]</sup>。また、溶融塩についても新教育課程用の化学基礎の教科書に記載がある<sup>[7]</sup>。そのため、AMH 溶融塩法による超伝導体の作製は生徒の興味を惹きやすい内容だと考えられる。さらに実際に作製するにあたって、化学量論組成を考えたり超伝導性を評価する方法を考えたりする必要があるため、より深く物理と化学を理解できると考えられる。

しかし、実験器具の耐久性や費用面といった課題も多い。本実験では、アルカリ金属水酸化物によって加熱装置や実験器具が腐食・劣化する問題が挙げられた。また、消耗品である実験器具の中には高価なものも存在するため、通年を見越して数や分量を決めて購入する必要があると考えられた。詳細については、発表時に述べることとする。

# 4. まとめ

高等学校で超伝導体を作製する実験方法と、課題研究への導入について検討した。AMH 溶融塩法を用いることにより、850℃で Y-123 薄膜を作製できた。また、本実験は物理や化学を総合的に理解できる観点から、高等学校の課題研究において有効であると考えられた。しかし、耐久性や費用面での課題も多く、実験方法を工夫しなければならないと分かった。

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

- [1] 国立教育政策研究所,国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS2019) のポイント. https://www.nier.go.jp/timss/2019/point.pdf (2023-07-07 閲覧)
- [2] 国立青少年教育振興機構,高校生の科学等に関する意識調査報告書-日本・米国・中国・韓国の比較-. <a href="http://www.niye.go.jp/kenkyu\_houkoku/contents/detail/i/88/">http://www.niye.go.jp/kenkyu\_houkoku/contents/detail/i/88/</a>(2023-07-07 閲覧)
- [3] 文部科学省, STEAM 教育等の各教科等横断的な学習の推進について. https://www.mext.go.jp/content/20230515-mxt\_kyouiku01-000016477.pdf(2023-07-07 閲覧)
- [4] 平林正之,酸化物高温超電動体の合成.日本金属学会会報,1987,pp.943-949
- [5] 千葉丈翔, 高等学校における超伝導体作製を目指して. 東北物理教育, 2022, pp18-23.
- [6] 田村剛三郎, 高等学校 物理基礎. 第一学習社, 2022, p116, p197.
- [7] 山内薫, 高等学校 化学基礎. 第一学習社, 2022, p195.

# 高校物理における生徒の試行錯誤を促す釘実験の実践

<sup>A</sup>能代谷賢治、<sup>B</sup>内山哲治 <sup>A</sup>宮城県仙台東高等学校、<sup>B</sup>宮城教育大学大学院 教育学研究科 noshiroya-ke723@gs. myswan. ed. jp

# 1. 研究背景と研究目的

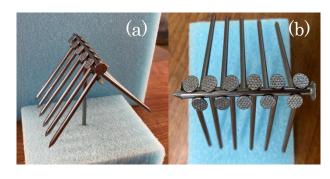
平成 29・30 年度の学習指導要領改訂に伴い、主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改 善が求められている[1]。その中で、対話的な学びは言語活動の充実によって支えられている。

また近年では STEAM 教育が注目を集めており, 高等学校における教科等横断的な学習の中で重 点的に取り組むべきものとされている<sup>[3]</sup>。高校物理ではこれまで, 釘や接着剤等を用いないアーチ 橋の作成など、工学(Engineering)の要素を取り入れた教材開発や教育実践が行われてきた[4]。こ れは「力のつり合い」に焦点を当て、生徒の試行錯誤を促す教材であると考えられる。また、テン セグリティ構造の工作などの「力のモーメント」に焦点を当てた教材開発も行われている[5]。しか しながら、「力のモーメント」に焦点を当て、生徒の試行錯誤を促す実験教材・事例はあまり報告さ れていない。

これらのことから、本研究は生徒の対話的な学びの実現を目指して、力のモーメントに焦点を当 てた実験教材を用いた授業を実践し、その実験教材の有効性を明らかにすることを目的とした。

# 2. 1本の釘の上に13本の釘をのせる実験とその実践

本研究では、1 本の釘の上に 13 本の釘をのせる実験(以下、釘実験)を実践した。釘実験は土台 に対して垂直に固定された1本の釘に、立体的に組んだ13本の釘をのせるものである(図1(a))。 なお、土台に触れて良いのは予め垂直に固定されている1本の釘のみであり、磁石等の道具を用い てはならないという条件が付されている。図 1(a), (b) および図 2(a), (b) に示す通り、立体的に組 んだ釘を上部から見ると、13本などの奇数本の釘を上にのせた場合は線対称となり、12本などの 偶数本の釘を上にのせた場合は点対称となる。なお,本実践では長さ65 mm の鉄丸釘を使用した。



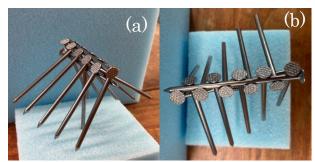


図113本の釘をのせた場合

図2 12本の釘をのせた場合 (a) 斜め上から見た全体図(b) 上部から見た図(a) 斜め上から見た全体図(b) 上部から見た図

令和4年度に高等学校Aの普通科第1学年,令和5年度に高等学校Bの普通科第3学年を対象に

釘実験を実践した。高等学校 A では「物理基礎」が普通科第1学年の必修科目に設定されており、

第2学年以降の文系・理系選択を問わずに全員が履修する。高等学校Bでは「物理」が普通科第3 学年の理系選択科目に設定されており、第2学年で「物理基礎」を履修した生徒が履修する。

# 3. 授業実践での教師の声掛けの工夫

本実践では教師の声掛けを工夫した。授業導入部では「1本の釘の上に13本の釘をのせよ」という学習課題の指示と条件、実験上の注意事項、配付したワークシート(班での試行錯誤を図や言葉で表現するためのプリント)の使用方法を説明した。実験中は生徒全体に向けた指示は一切行わず、机間指導中に班ごとの声掛けを行った。机間指導における教師の声掛けは以下の通りである。

- ・「シミュレーションでは真上に連続して13本の釘をのせることができていたが、現実では難しい。それはなぜか。」
- 「何らかの構造を組み立てなければならないことに気がついているね。」

(学習課題を他の班よりも早く解決した班に対して)

- ・「様々な角度から観察して。」
- ・「他の班が正解に近づくためのキーワードは何だろうか。他の班に伝えてきて。」
- 「日常生活で連想されるものは何だろうか。他の班に伝えてきて。」
- 「13本から1本抜いて12本にしたらどうなるか。」
- ・「(追加で13本の釘を渡し,) 26本の釘をのせよ。」

講演では、生徒が記入したワークシートおよび実験中の生徒の様子等の詳細を述べる。

# 4. 釘実験を高校物理で実践する利点

本実践を踏まえて、釘実験を高校物理で実践することには以下の3つの利点があると考えられる。

- 1. 実験材料が安価である点
- 2. 生徒が力のモーメントや物体の重心を、実感を持って理解することができる点
- 3. 生徒自らが物理学を学ぶ上で重要な考え方となる対称性に気づくことができる点

また高等学校 A および B の実践から,生徒自らが対称性に気づくことに対して学習年次による差は見受けられなかった。このことから,釘実験は高等学校物理の「剛体にはたらく力のつりあい」単元の導入課題としてだけではなく,高等学校物理基礎の「力のつりあい」単元の発展的課題としても扱うことができると考えられる。

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

### 参考文献

- [1] 文部科学省. 高等学校学習指導要領(平成30年告示).
- [2] 文部科学省. 言語活動の充実に関する指導事例集~思考力,判断力,表現力等の育成に向けて~ 【高等学校版】
- [3]中央教育審議会.「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~
- [4] 佐野日本大学中等教育学校. 【理科】4年物理実験~アーチ橋の力学~.

https://ss.sano-nichidai.jp/news/campus-life/post-6875/ (2023-07-10 Web 閲覧)

[5] 井上誠之. SEEC 派遣プログラムに参加して. 東北物理教育, 32, pp. 38-39 (2022).

# 鉄道模型の運動を用いた物理実験

# (新しいヒューマンインターフェースの開発、等加速度運動への応用)

# 安達 照 大阪工業大学

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

# 1 はじめに

物体の運動に関係する授業において、距離センサーを用いた物理実験システムは、 "RealTime Physics" (RTP) 等のアメリカ物理教育研究のアクティブラーニングで効果的に活用されている。

RTPにおいては、距離や速度の時間的変化のグラフを見せて、そのグラフになるような動きを学生にさせることで、高い教育効果があることが報告されている。我々は、逆に、物体の動きを見せて、グラフを予想させるため、鉄道模型の運動を自動制御して教育に応用してきた 1-3) (等速度直線運動)。本報告では、運動を決めるときに使う入力用の新しいヒューマンインターフェースの開発と、等加速度運動への応用について述べる。

### 2. 鉄道模型を用いた物理実験

図1に示すように、超音波センサーユニットで鉄道模型の直線運動を測定している。線路に運動制御装置を電気的に接続して、鉄道模型のモーターの駆動電圧を制御している。

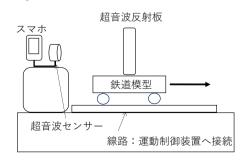


図 1 鉄道模型の運動実験の概要図

運動を具体的に答えやすいように、鉄道

模型の運動は、停止も移動も 2 s、移動は前進と後進で、速さは 2 段階( $V_F$ :約 0.2m/s、 $V_S$ :約 0.13m/s)で、5 つの要素に限定している(図 2)。これらを利用して、鉄道模型の運動からグラフを予想させる授業を行った。





図3 超音波センサーユニットの外観 4)

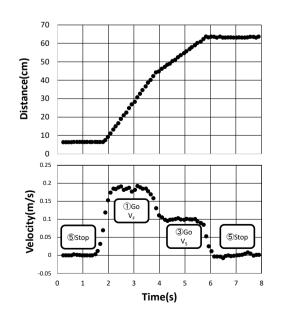


図 4 鉄道模型の運動の例

超音波センサーは、図4のスマホに接続して使用でき、オンライン授業にも使用しやすいものを用いた。センサーとスマホの接続には、Android用アプリ"DiracmaM"を用いる(GooglePlayで公開)。

例えば、図 2 の 5 つの要素を用いて、5 - 1-3-5 の組を与えたときは、図 4 の距離の変化、速度の変化となる。

# 3. 入力用のヒューマンインターフェース

電車の動きを決めるとき、おもちゃのブロックで遊ぶように入力でき、低価格に作製可能な新しいヒューマンインターフェースを開発した(Magic Motion)。この"Magic Motion"は、図5のような6種類の立方体となっている(左から、図2の①~⑤に対応し、一番右は終端用)。この立方体を図6の台座に並べて置くことで、鉄道模型の動きを指定できるようにしている(台座とマグネットで固定される)。図6の並びにすると、図4のグラフのような運動になる。



図 5 新しいヒューマンインターフェース (Magic Motion)



図 6 図 4 の運動を行うように入力した例

# 4. 等加速度運動への応用

上記のように定電圧駆動では、等速直線運動となる。電圧の与え方に工夫をし、印加電圧を変化させることで等加速度運動を行うこともできる<sup>3)</sup>(図7)。

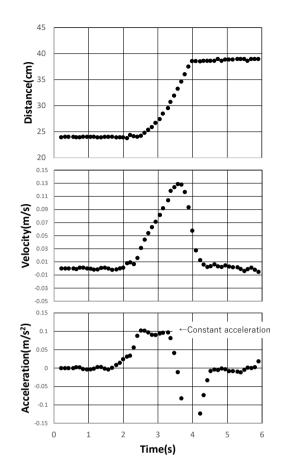


図7 等加速度運動の例

# 5. まとめ

おもちゃのブロックで遊ぶように入力できる新しいヒューマンインターフェース (Maigic Motion) と等加速度運動への応用について述べた。紙面の関係上、詳細は当日に報告する。

本研究の一部は JSPS 科研費基盤研究 (C)JP21K02954 の助成を受けている。

- 1) 安達照:理科の教育 70(2021)6.
- 2) A. Adachi: "New Physics Experiments using Model Train and Smartphone Apps (Volume 1 Constant-Velocity Motion)" (Kindle E-Books, 2021).
- 3) A. Adachi: "Physics Experiments using an Automatically Controlled Model Train and Mobile Ultrasonic Sensor for a Smartphone", The Physics Teacher, 61(2023)321.
- 4) 「モバイル物理教育ラボ」のサイト: https://sites.google.com/view/diracma888/

# メルデの実験の厳密な振動解と演示方法

伊東正人

愛知教育大学 教育学部

mito@auecc.aichi-edu.ac.jp

### 1. はじめに

メルデの実験は弦の一端を固定し他端を強制振動させ、生じる定常波を観察する弦の振動実験である。高校物理の 教科書では、両端が固定された弦の定常波実験としてメルデの実験が紹介されている。本講演では、メルデの実験で 生じる振動解の理論的考察とその演示方法について報告する。

# 2. メルデの実験による弦の振動解(強制振動系の波動方程式)

メルデの実験は弦の一端を振動させているので、両端固定の弦ではない[1]。メルデの実験の振動解を、強制振動系の波動方程式から厳密に解く。水平方向をx 軸、時刻 t における弦の変位をy(x,t) とする。弦の長さ L、波の速さ v、固定端の位置 x=0、振動源の位置 x=L とする。振動源は振幅 A、角振動数  $\omega$  の単振動とする。以上から、波動方程式と境界条件は

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad , \qquad \begin{cases} y(0,t) = 0 \\ y(L,t) = A \sin(\omega t) \end{cases}$$

となる。時間依存のある境界条件なので,振動解を固有振動解( $\omega_n=n\pi v/L$ )と強制振動解( $\omega$ )に分離すると,時間に依存しない境界条件が設定できる[2]。非共振状態( $\omega_n\neq\omega$ )のとき,

$$y(x,t) = \frac{2Av}{L} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{\omega}{\omega^2 - \omega_n^2} \sin(\omega_n t) \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) + \frac{A}{\sin\left(\frac{\omega L}{U}\right)} \sin\left(\frac{\omega}{v}x\right) \sin(\omega t) \tag{1}$$

となる。また、k 倍振動の共振状態 ( $\omega_k = \omega$ ) のとき、

$$y(x,t) = (-1)^k \frac{A}{L} \left\{ tv \cos(\omega_k t) \sin\left(\frac{\pi k}{L} x\right) + x \sin(\omega_k t) \cos\left(\frac{\pi k}{L} x\right) \right\}$$

$$+(-1)^{k-1}\frac{A}{2\pi k}\sin(\omega_k t)\sin\left(\frac{\pi k}{L}x\right) + \frac{2Av}{L}\sum_{n=k}^{\infty}(-1)^{n-1}\frac{\omega_k}{\omega_k^2 - \omega_n^2}\sin(\omega_n t)\sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \tag{2}$$

となる。右辺の第1項は振幅が時間に比例する項を含む共振項、第2項が k 倍振動の固有振動項、第3項が k 倍以外の固有振動項となる。

### 3. 異なる線密度の弦を接続した弦の共振条件

弦1 (長さ $\ell_1$ , 線密度 $\rho_1$ , 速さ $v_1$ ) と弦2 (長さ $\ell_2$ , 線密度 $\rho_2$ , 速さ $v_2$ ) を接続した弦で、メルデの実験をした場合の共振条件を強制振動系の波動方程式から導出した。その結果、

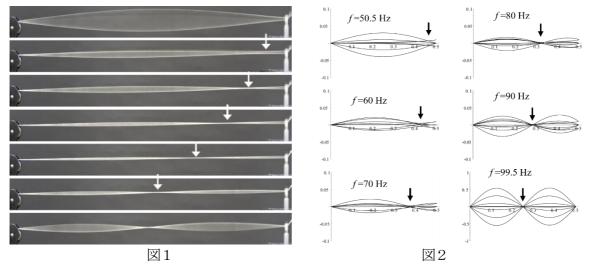
$$g(f) = \frac{v_2}{v_1} \cos\left(\frac{2\pi f}{v_1}\ell_1\right) \sin\left(\frac{2\pi f}{v_2}\ell_2\right) + \sin\left(\frac{2\pi f}{v_1}\ell_1\right) \cos\left(\frac{2\pi f}{v_2}\ell_2\right) = 0 \tag{3}$$

となる。共振条件は g(f) の零点である。

### 4. メルデの実験のさまざまな演示方法

# 【非共振状態の弦の観察】

図 1 は、長さ 0.5m の弦(純綿水糸、線密度 2.6× $10^{-4}$  kg/m)を 53Hz (基本振動)から 106Hz(2 倍振動)まで振動源の振動数を徐々に増加させたときのメルデの実験の連続写真である。図 2 は、(1)式に A=0.01 m、L=0.5 m、v=50 m/s を代入して、非共振状態の振動数として f=50.5 Hz、60 Hz、70 Hz、80 Hz、90 Hz、99.5 Hz のときの弦のシミュレーションの結果である。



【異なる線密度の弦を接続した弦のメルデの実験と共振条件】

弦1 (長さ $\ell_1$ = 0.61m, 線密度 $\rho_1$ =2.94×10<sup>-4</sup> kg/m) と弦2 (長さ $\ell_2$ = 0.15m, 線密度 $\rho_2$ = 1.22×10<sup>-3</sup> kg/m) を接続し、メルデの実験で定常波ができる周波数と(3)式で導出される周波数との対応を見る。図3は、g(f) のグラフ (右側) の零点の番号とそれに対応した定常波の写真 (左側) である。

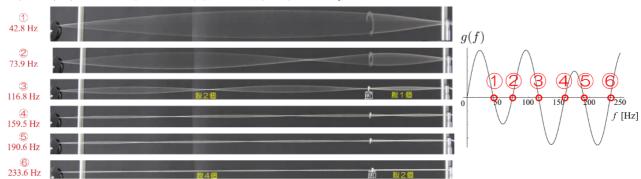
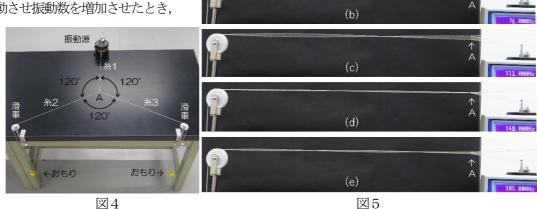


図3:弦1の長さ  $\ell_1$ =0.61m, 弦2の長さ  $\ell_2$ =0.15m の場合

# 【Y字型弦のメルデの実験の観察】

Y字型の弦を作り1つの弦の端は振動源に取り付け、 残り糸の端は滑車を通しておもりを吊るす(図4)。 3本の糸は接合点Aを中心に互いに120°の角度を なし、糸が振動する部分の長さは共通の49cmである。 図5は振動源を振動させ振動数を増加させたとき、

図4の糸2に形成された定常波の写真である。この実験の興味深い点は、一端が固定端で他端が自由端の弦の定常波を観察できることである。



# 参考文献

[1]福山豊,阿部由美子,広瀬美恵子,富山哲之: 物理教育 34-4 (1986) pp234-241

[2]伊東正人: 物理教育 72-2 (2023) pp106-109

# 量子力学という高度な題材への仮説実験授業の方法論の拡張 一物理への興味・関心を育むことを目指した授業の提案—

<sup>A</sup>阿部 春樹, <sup>B</sup>舟橋 春彦

<sup>A</sup>京都大学大学院人間·環境学研究科, <sup>B</sup>京都大学国際高等教育院 abe. haruki. 88c@st. kyoto-u. ac. jp

### 1. はじめに

仮説実験授業の方法論を踏襲し、量子力学の入門的な教案を作成した[1]. 量子電磁力学を紹介した Feynman の講演録『光と物質のふしぎな理論』[2]を底本にしている. この本を用いた先行事例に英国の『アドバンシング物理AS』第7章「量子的振る舞い」[3]がある. それぞれの実験授業を、文系の主に大学1回生のクラスと、理系の大学生のクラスで行い評価・感想を求めた. 我々の教案の方が、物理の理解とは別に授業をより楽しんでくれていた. 物理嫌いを減らすには、内容の理解より授業の楽しさを優先し興味・関心を喚起する方策が考えられる. 高度な題材を選び仮説実験授業の方法論を採用したことで、受講した者の興味を強く掻き立てることができた.

# 2. 「科学的認識の成立過程」の理論

板倉聖宣は「すべて認識というものは、実践・実験によってのみ成立する」と提唱した[4]. ここで言う実験とは、目的意識を以て対象にはたらきかける行為を差す. 彼はこの「科学的認識の成立過程」の理論に基づき「仮説実験授業」を構築した. 仮説実験授業では、「問題→予想→討論→実験」という過程を積み上げ、科学の最も基本的な原理・法則を学んでいくと同時に科学的な考え方自体も身に付けていく. 授業のために準備された一連の教材を授業書と呼ぶ. その成否を生徒の評価により判断し、高評価の再現性を確立するまで実験授業と改訂を重ねている. 個々の授業書は科学的な概念と法則を使いこなせるようになることだけでなく、科学とその授業とを好きになることをも目指して組織されている[5].

### 3.Feynman の講演録を底本にした教案と先行事例『アドバンシング物理AS』

『光と物質のふしぎな理論』[2]は一般向けに量子電磁力学を紹介した講演録である. 全体を通して 光の粒子描像を前面に押し立てているのが特徴である. 「起こり得るすべての経路を足し合わせる」と いう経路積分法の考え方に基づき,部分反射・直進・回折などの光の種々の現象を説明しようと試みる.

Feynman は講演において聴衆への問いかけと実験方法の提示という過程を繰り返した. 予想と実験を積み上げる「科学的認識の成立過程」の理論との親和性が高い. 量子力学は「最も基本的な」ことではないが, 仮説実験授業の方法論を踏襲するという方策をとり教案を作成した[1]. そのために現場で実施できる安価で可搬な単一光子計数実験を構築し, 底本の文脈を生かしつつ選択肢付の問題群を整えた. 現在まで多くの実験授業を積み重ね, 受講生に評価・感想を集めた.

『アドバンシング物理AS』第7章「量子的振る舞い」における話題の展開は Feynman の講演録に従っており、重要な先行事例である。この AS レベル(高校2年生相当)の教科書は、物理教育改革のために英国物理学会の主導の元で、知識伝達に留まらず科学のものの考え方を教えることを強く意識して作成されている。別売りの CD-ROM に多数の教材が収録され、シミュレーションなどを授業者や高校生が取捨選択して使用できる。第7章では粒子描像を押し立てるためにガンマ線検出器を用いた演示や、LED が点灯する閾値電圧から関係式  $E=h\nu$  を確認する演示が用意されている。

第7章について、我々が作成した教案との差異を検討するに当たって、英国内外を問わず実践の報告が見当たらなかったため、授業実践を行った[6].

# 4. 実験授業の検討―物理・科学への興味を涵養するために―

授業はそれぞれ5段階評価で「たのしかった度合い」を評価してもらい、感想を集めた. データは発表で詳細に報告する. 我々が作成した教案をより楽しんでくれていた. 物理の内容はよく分からなかったと披歴すると同時に、内容や科学そのものへの強い関心を表明した感想が得られた. 内容の理解とは別に、授業を受けた者の興味を強く喚起できていたと言える.

近年は物理を嫌う生徒が非常に多い[7]ことが問題視されている. 物理や科学への興味・関心を涵養するためにいったい何が必要だろうか,実験授業の結果を踏まえて検討する.

現在進行形で物理学のフロンティアが開拓され続けていることは、自然科学を専攻する・した層を除けば必ずしも一般的には実感されている訳ではない。敢えてより高度な内容を題材として積極的に選択することで、物理が持つ未知の世界へと遭遇させ、その存在を実感させる方策が考えられる。量子力学は20世紀の初頭に確立したが、量子力学の性質に端を発する量子情報理論は現在でも活発な研究が行われている。粒子性と波動性の二重性という光の不可思議な性質に感嘆したという感想を多く得られており、量子力学という未知の世界との出会いを演出し、興味を惹くことができたのではないか。

また「予想」と「実験」の積み上げにより物理・科学の在り方を体感することができたという感想も多く得られた. **初等的な内容でなくても**, 仮説実験授業の方法論は関心の喚起に有効であった. 『アドバンシング物理AS』は「予想」を尋ねる機会がなく, 興味を保つ授業運営ができているか不安であった.

# 5. 楽しい授業を目指す

板倉は「たのしい」授業を標榜し仮説実験授業の普及に努めた.この「たのしい」は学んだ内容を自在に使いこなせる自信まで含んでいる[8].「内容は正直よく分からなかった」などと表明している感想も少なくないことから、今回の実験授業は狭義の「たのしい」授業には当たらない.それでも「授業が楽しかった」とも述べており、内容の理解とは別に科学への興味・関心を喚起できていたと言える.高度な題材の選択が受講した者の世界を広げるのに効果的であり、選択肢付の問題を整え「予想」と「実験」を積み上げることで問題意識を喚起し続けることができた、と考えている.今後異なる題材でも開発を進めたい.

- [1] 阿部春樹, 舟橋春彦: 光の粒子性を押し立て古典論の限界に触れる量子力学入門教材の開発研究, 人間・環境学, 第30巻, 237-249 (2021).
- [2] R. ファインマン(釜江常好, 大貫昌子 訳): 『光と物質のふしぎな理論』 岩波書店(1987), 岩波現代文庫(2007).
- [3] J. オグボーン, M. ホワイトハウス (笠耐, 西川恭治, 覧具博義 監訳):『アドバンシング物理AS』 シュプリンガー・ジャパン (2004) .
- [4] 板倉聖宣:科学的認識の成立過程,理科教室,6月号,60-67(1966)(『科学と方法』(1969)収録).
- [5] 板倉聖宣:仮説実験授業とは何か(I) そのなりたちと授業運営法—,理科教室,9月号,58-65(1966) (『科学と方法』(1969)収録).
- [6] 阿部春樹、舟橋春彦:『アドバンシング物理AS』第7章「量子的振る舞い」授業実践の試み、 日本物理教育学会年会 第38回物理教育研究大会 発表予稿集,143-144(2022).
- [7] 国立教育政策研究所: 平成 27 年度 高等学校学習指導要領実施状況調査, https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido\_h27/index.htm (参照日 2023.07.10) (2015).
- [8] 塚本浩司:仮説実験授業における「たのしい授業」概念の形成,国際教育研究所紀要,32,15-27 (2021).

# 1to1 活用(数値 simulation)で生徒が偶然適用する symplectic 数値積分法 A

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

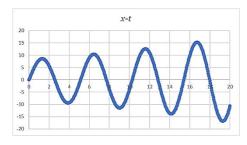
# 1. はじめに~1to1 活用例としての数値シミュレーションの授業実践~

1to1 (生徒 1 人 1 台端末) による学習が高等学校においても広がりを見せている[1]。特に物理では、1to1での学習における可能性は大きい。それにより、実験の解析等はもちろん、理論的な学習においても、これまでは「紙とペン」がメインにならざるを得なかったものが、新たに「数値計算」という手段も可能となる。例えば、運動方程式のシミュレーションでは、活動を通して、時間発展の考え方がより直接的に理解できる点でも意義深く、今後の 1to1 活用例として期待される。

今回、Excel による運動方程式を用いた数値シミュレーションの授業実践を行った。すると、全クラスで、少数ではあるが何人かの生徒が、偶然「シンプレクティックオイラー法」を適用してしまう、という事例が見受けられた。この数値積分法は、系のハミルトニアン(真のハミルトニアンとはやや異なる)が保存されるため、長時間の積分によるエネルギー保存則の破綻がないのが1つの特徴である。また、この方法はルンゲクッタ法のように複雑ではなく、生徒自身が意図せず適用してしまうくらい、高校生にとっても十分受け入れられるものであり、かつ、エネルギーの保存という面での精度も高い。このメリットについて、指導する教員側が認識し、適切に指導することで、数値計算法の理論的に難しい部分に深く立ち入り過ぎることなく、生徒たちが自由度を持って数値計算を愉しみながら理解できる「1to1 活用学習事例」が実現できるのではないか、と考えている。

# 2. 高校2年物理基礎「運動方程式」での活用しているときの"偶然"

高2「物理基礎」において、運動方程式を学んだ後、その活用として、1to1による数値シミュレーション(Excel)を行った。具体的には、「フックの法則に従うばねを取り付けた物体の運動」を扱った。この展開自体、生徒がまだ単振動を学んでいなくても、運動方程式を適用すれば、sin 関数で振動していることを見出せるという点でも、数値計算という手段の意義を感じられる事例なのだが、このときに「振動が増大していく」という生徒と「ちゃんと振動している」という生徒が、全クラスで現れた。Excel の数式の詳細までは伝えなかったものの、「オイラー法」を想定した説明を行っていたので、教える側としては前者の反応を期待しており、反応が分かれたのは意外だった。



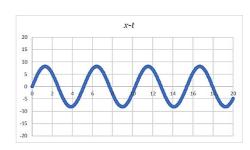


図1 「ばねにつながれた物体の運動」における位置の時間変化のシミュレーション結果 ※ 左が「オイラー法」(多数の生徒)、右が「シンプレクティックオイラー法」(少数の生徒)

また、この後、「修正オイラー法」を用いる展開もあり得たが、彼らにとってややこしい「修正オイラー法」を用いずとも、この方法なら十分に自然現象を表現できるのではないかと思われた。

当然、偶然「シンプレクティックオイラー法」を適用してしまった生徒は、こちらの想定とは違う関数を意図せず Excel に組み込んでしまったわけだが、その違いが Excel 上では "ほんの僅か"であるにもかかわらず、計算結果が大きく異なってくるところにこの現象の面白さがあると感じる。具体的には、図2のように、「次の時刻の速度を決定する際にどの時刻の加速度を用いるのか」という、まさに"起こり得そうな"ところがポイントとなっている。

:   × ✓ fx   =G2+H2*\$B\$7									
Е		F		G	Н				
t		x		v	a(x,v)				
	0	0		10	0				
C	.05	0.!	5	\$B\$7	-0.75				
	0.1	,	1	9.9625	-1.5				
^	1 [	1 ///01/1	-	0 0075	2 2/710				

Е	E F			Н					
t		x	υ	a(x, v)					
	0	0	10	0					
0.0	)5	0.5	\$B\$7	-0.75					
0	.1	0.998125	9.887641	-1.49719					
0.4	-	1 400507	A 77F7AA	0.00070					

図2 Excel での数値計算のようす

※ 左が「オイラー法」、右が「シンプレクティックオイラー法」(参照する加速度が異なる)

教える側がこの方法の存在を認識していないと、単なる"間違い"あるいは"不思議な現象"で片付けられてしまう可能性もある。むしろ、長時間にわたってエネルギー保存則が大きく破綻しないという点を活かし、1to1の実践に積極的に取り入れていく方が効果的であると思われる。

# 3. 高校3年物理「万有引力」では"偶然"を活用

そこで今年度は、高校3年「物理」において万有引力を学ぶ場面では、このシンプレクティックオイラー法を積極的に用いる形で、数値シミュレーションを行った。各自、missionをクリアする要領で理解を進めていけるように工夫した。多くの生徒が、計算方法の困難さを感じることなく、自ら関数を打ち込み、最後までたどり着くことができた。効果的な学習法となり得ると考えている。

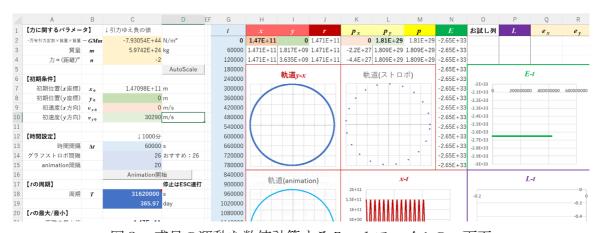


図3 惑星の運動を数値計算する Excel ファイルの一画面

### 参考文献

[1] 齋藤洋輔ほか,東京学芸大学附属高等学校研究紀要,2023,60,57-78

# 高等学校「物理基礎」における、「現象の解釈」の有効性とその提案②

山下哲 大阪府教育センター附属高等学校 haz34840@wood. odn. ne. jp

# 1. はじめに

物理教育研究により、強固な素朴概念の存在やその有効な解消法としてのアクティブラーニングが知られる様になって久しい。しかしながら、欧米においても日本においても、物理教育研究が主に大学生を対象として教育方法が提案・検証されてきたため、学習者の既有知識や学習に対する期待感などの校種間の違いを考慮した具体的な教育方法が蓄積されているとは言い難いのが現状である。一方で、初等中等教育の教育研究に関しては、アクティブラーニングが新学習指導要領の中で「主体的で対話的で深で学び」を実現するための方法として注目されてきたが、特定の単元に対する短期間の実践報告が多く、高等学校の物理の学習に要求される系統的学習の要請には応えられていない様に感じられる。

講演者は複数の高校において、年間を通じて認知的な発達段階を考慮したアクティブラーニング型の学習活動を行うことで、高校物理の学習における、認知的支援と素朴概念解消の効果を検証してきた[1][2]。講演者はこれらの実践の中で、認知的な発達段階だけでなく、物理の学習に対する期待感が素朴概念解消の効果を大きく左右することを指摘した[1][2]。アクティブラーニング型の学習と方向性の異なるものとして、講演者は、認知的な発達段階が比較的高い水準にあり、学習に対する期待感が高い生徒集団に対して、問題演習を行った後に明示的に「現象の解釈」を記述させる取組を行い、これが素朴概念の解消を大きく進展させることを報告した[3]。アクティブラーニングには前段で述べたような懸念があるなか、「現象の解釈」が素朴概念の解消を含む、高校物理の学習に活用できる可能性およびその範囲を模索していきたいと考えている。

本取組では、認知的な発達段階に課題を持ち、かつ、物理の学習に対する期待感が低い生徒を対象として、問題演習を通じた「現象の解釈」を行わせる取組を継続して行っており、今後、高等学校の物理の学習における具体的な教育方法を蓄積していく端緒の一つとしたい。

# 2. 問題演習と補助教材「現象の解釈シート」

欧米の物理教育研究の中で、問題演習を行うことが必ずしも素朴概念の解消につながらないことが報告されているが、問題演習に関する本取組の基本的な姿勢は、問題を解くことではなく、「考察の対象として、題材となっている現象を原因と結果の観点から解釈する」ことであり、問題演習は考察の題材を収集する手段に過ぎない。(なお、講演者は、物理教育研究が生徒の考察対称となる題材の作成に対して素朴概念解消や概念理解を意識するあまり、高等学校での実用性に疑問があると感じている。)そもそも物理学の目的は、既知の現象から得られた物理法則によって未知の現象を解釈し、あるいは、実験により新たな物理現象を創出することであると言える。こういった観点から考えれば、身近な現象を物理の言語で表現・解釈することは、入門物理を学ぶ方法として妥当であると考える。

本取組においては、生徒が「現象の解釈」を行う支援をするために、入門物理の学習者がしばしば混同する「変位と速度」、「速度と加速度」、「速度と力」などについて、高等学校「物理基礎」の

力学の全範囲について, 視覚的に描画させる一連のプリント教材「現象の解釈シート」を作成した。 本取組が対象としている認知的な発達段階に課題を抱える層の生徒はしばしば思考の言語化を苦 手とするため, 「現象の解釈シート」は思考の言語化を目的としたものでもある。「現象の解釈シー ト」は授業内外で物理の学習に用い, 頻繁に提出を求め, 添削を行った上で多く見られた間違いに ついては授業内で重点的にフィードバックを行っている。

# 3. 効果の検証

これらの取組を、大阪府立 K 高校 2 年次の「物理基礎」において 2021,2022 年度の 2 年間実施し、2023 年度の 2 年次「物理基礎」においても実施中である。表 1 は、講演者が 2017 年度より取り組んだ「物理基礎」の授業実践の形態と、認知的な発達段階ごとの FCI 規格化ゲイン(個人)が 0.3 以上の者の割合を示したものである。まず、2020 年度と 2021,2022 年度の FCI 規格化ゲイン(全体)を比較すると、素朴概念の解消という観点に限っても、大阪府立 K 高校において「現象の解釈」の取組によって学習が効果的に進んだことが分かる。また、2017 年度から 2022 年度までの取組の中で他の授業形態と比較して「現象の解釈」に認めることのできる特徴として、認知的な発達段階に課題のある生徒に対する効果が挙げられる。すなわち、「現象の解釈」を行った 2019,2021,2022 年度に関しては、前期移行期より発達段階が進んだ生徒の半数以上の者の FCI 規格化ゲイン(個人)が 0.3 以上となっている。講演では、実践から見えた生徒の思考の傾向について報告し、学習観の変容を通して「現象の解釈」の学習方法としての妥当性を議論する。

なお、本取組は武田科学振興財団の助成を受けて行っているものである。

	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020年度	2021 年度	2022 年度
	京都 K 高校	京都 M 高校	京都 M 高校	大阪K高校	大阪K高校	大阪K高校
	(理系中心)	(文系)	(理系)	(文系中心)	(文系中心)	(文系中心)
授業形態	ILDs+CASE 的	ILDs+CASE 的	現象の解釈	講義型	現象の解釈	現象の解釈
FCI gain(全体)	0.31	0.19	0.39	0.14	0.34	0.33
具体的操作期	10%	13%	0%	13%	33%	0%
前期移行期	20%	24%	67%	6%	50%	57%
後期移行期	71%	29%	52%	29%	70%	57%
形式的操作期	67%	67%	86%	100%	67%	100%

表1 認知的な発達段階ごとの規格化ゲイン(個人)が 0.3 以上の者の割合

- [1] 山下哲,谷口和成, "ICT 環境を活用した,認知発達に基づく ILDs 型高校物理授業の実践",日本物理学会 2018 秋季大会講演概要集,9pA232-5(2018).
- [2] 山下哲,谷口和成,"シェマと物理概念の獲得の関係に注目した,認知発達に基づく高校物理授業の実践",日本物理学会第74回年次大会講演概要集,16pK103-3(2019).
- [3] 山下哲,谷口和成, "高校物理授業における問題演習を通じた科学的推論能力育成の試み", 日本物理学会第75回年次大会講演概要集,18pK28-5(2020).

# 「ローレンツ力による起電力の説明」の課題について

# 独創文化研究所 元東京理科大学 五十嵐 靖則

igarashi-yasunori@nifty.com

# 1 はじめに

高校物理教科での磁場中を動く導体棒に生じる起電力のローレンツ力による説明に、混乱や誤解が見られることについて調査結果を報告してきた<sup>1,2)</sup>。今回は令和4年検定済教科書を調査した結果を報告する。調査結果は、ローレンツ力と静電気力の釣り合いから静電場を求め、この静電場から電位差を求めるのが四社もあり、後退を示している。

# 2 教科書全社の記述内容

平成21年及び平成30年告示の高等学校学習指導要領に基づく、全社の検定済教科書の記述内容を以下に示す。

		- 成 50 年音示の同寺字校字省指导安領に 科書(平成30年告示) の 記述内容		対書(平成21年告示)の 記述内容		
	電流回路(起電力の説明)	磁場中を動く導体に生じる起電力のローレンツ力による説明	電流回路(起電力の説明)	磁場中を動く導体に生じる起電力のローレンツ力による説明		
	p.281 【電源】電位	p.333 コイルが動く場合の電磁誘導(ローレンツ力による説明)	p.237 【電池】電位	p.279 ローレンツカと誘導起電力		
東	を上げるはたらきをも	自由電子が磁場から受けるローレンツカと、電場から受ける静電	を上げるはたらきをも	導体棒中の自由電子は、棒とともに速さ v[m/s]で動いている		
書	つ。 <u>このはたらきを<b>起</b></u>	<u>気力</u> とがつり合うまで、電子が移動するので、電子の移動が止ま	つ。このはたらきを起	ので、棒の端 b に向かうローレンツカ ev.J[N]を受けて移動す		
	電力といい、単位は	ったときのつり合いの式	電力といい、単位は	る。その結果…導体内に電界ができる。この電界から受ける静電気		
	ボルト(記号 V)を用い	eE = evB (4)	ボルト[V]を用いて表	力と磁界によるローレンツ力がつり合うと、電子の移動は止まる。		
	て表す。	より、導体棒 ab 内部の電場の強さは <i>E=vB</i> であり、両端 ab の <u>電</u>	す。	このとき、導体内の電界の大きさを $E$ [V/m]とすると、静電気力と		
	(下線は五十嵐による)	位差 $V=E\ell$ は次式で表される。		ローレンツカのつり合いの式 eE=evBより、E=vBであるので、導		
	p.286 『… <u>電池には</u>	$\underline{V} = vB\ell$ (5)		体棒の両端の電位差 Vは、V=Eℓ=vBℓ (4)となる。これは、より		
	電位差 Eを生じさせ	…コイル abed が一様な磁場のある領域に侵入する場合、辺 ab		求めた誘導起電力の大きさと一致する。この導体棒が、外部の回		
	るはたらき(起電力)、	は起電力 V=vBl の電池としてはたらき、… (下線は五十嵐による)		路と接触している場合、…起電力が $V = vB\ell$ の電池としてはたら		
				≤。…回路に電流が流れても、導体棒が速さ vで移動を続ける限り、ロ		
				ーレンツ力により、電子が導体棒の端に移動し続けるので、電		
				位差は一定に保たれる。(下線は五十歳による)		
	p.211	p.244 動く導体棒の中の自由電子は棒とともに v[m/s]で動くの	p.223 電池の <u>つくり</u>	p.256 磁場中を動く導体に生じる起電力		
実	電池のつくり出す電	で、磁場から、大きさ evB(N)のローレンツ力を受ける。したがっ	出す電圧が電池の	$V =  -\triangle \Phi / \triangle t  = vB\ell  (5)$		
教	位差が電池の起電	て、電子が導体棒を a から b へ移動するとき、ローレンツカにより	起電力である。	この誘導起電力は、動く導体棒PQの部分に生じるものであ		
	<u>力</u> である。	<u>W=evBl</u> (73)	p.256 起電力 V の	る。棒の中の自由電子は棒とともに動くので、磁場からP→Qの向		
	(下線は五十嵐による)	<u>の仕事 WJ)をされる</u> 。	電源は電位差を Vに	きに、evB(N)のローレンツ力を受ける。したがって、電子が導体		
		回路を流れる電子は <u>電位差が Vであるとき、</u>	保つ働きをする。回路	棒中をPからQへ移動するとき、磁場からローレンツ力により、W		
		大きさ W=eV[J]の仕事をされる。したがって、式(73)と比較し	を流れる電子は電源	<u>=evBℓ (6) の仕事 W(J)をされる</u> 。		
		て、ab 間には、 $V = vB\ell$ [V]の起電力が生じていることがわか	を通過するとき、***	起電力 V の電源は電位差を V に保つ働きをする。 回路を流		
		<b>ప</b> .	W=eV(J)の仕事をさ	れる電子は電源を通過するとき、大きさ $W = eV$ [J]の仕事をさ		
		(下線は五十嵐による)	<u>れる</u> 。	<u>れる</u> 。したがって、 <u>動く導体棒には、V=vBℓ [V]の起電力が生</u>		
			(下線は五十嵐による)	じていることになる。 (下線は五十嵐による)		
	p.258 <u>電池は</u> 化学反	p.303 導体棒に生じる電位差と誘導起電力	p.264 電池の起電力	p.306-307 ローレンツカと誘導起電力		
啓	応などのエネルギー	STEP1: 自由電子も導体棒とともに速さ $\nu$ で動くので、大きさ	電池は化学反応など	棒の中の自由電子も棒とともに速さ v で動くので、図の向きにロ		
林	を用いて、電荷を電	evB(N)のローレンツ力を受ける。STEP2:その結果、a 端から b	のエネルギーを用い	ーレンツ力 evB [N]を受ける。…その結果、a 端から b 端に向かう		
	位の低い側から高い	端に向かう向きの電界が発生する。STEP3:自由電子はこの電	て、電荷を電位の低	向きの電界が発生する。この電界の強さを E [V/m]とすると、電		
	側へと運び、外部に	界から b→a の向きに力を受ける。自由電子に働くローレンツ力と	い側から高い側へと	子は電界から大きさ eB [N]の力を受ける。 <u>電子に働くローレン</u>		
	電流を流そうとするは	電界からの力とがつり合うと、それ以上電子は移動しなくなり、導	運んで、外部に電流	ツカ evB と電界からのカ eE とがつり合うと、電子の移動が止ま		
	<u>たらきをもつ</u> 。 電池か	体中の電界は一定になる。このときの電界の強さを $E$ [V/m]と	として流そうとするは	<u>る</u> 。このとき、力のつり合いより、evB=eEとなるので、導体棒 ab に		
	ら電流が流れていな	すると、力のつり合いより、 $evB=eE$ となる。 導体棒の長さが $\ell$	<u>たらきをもつ</u> 。このよう	<u>発生する電圧 Vは</u> 、p.237 式(10)より、 V=Eℓ=vBℓ となり、式(3)		
	いときの端子電圧	[m]のとき、 $\underline{ab}$ 間の電位差 $V$ [V]は、 $V=E\ell$ と表されるので、 $V$	なはたらきを起電力	の誘導起電力の大きさと一致する。 図6のような場合は、ローレンツ		
	を、電池の起電力と	<u>=Eℓ =vBℓ となる</u> 。 導体棒がコイルの一部であるとき、 <u>ab 間の</u>	という。	カによって電位差が生じる。電流が流れると b 端から <u>電子が外部</u>		
22	いう。	<u>電位差 V [V]は、導体棒に生じた起電力とみなすことができる</u> 。	(下線は五十嵐による)	回路に流れ出すが、ローレンツ力によって次々に電子が押し出さ		
	(下線は五十嵐による)	(下線は五十嵐による)		れるので、ab間に vBf(V)の電位差が現れる。(下線は五十嵐による)		

p.271 電池の起電力 p.252 電池の起電力 p.314 ローレンツカと誘導起電力 p.291 ローレンツカと誘導起電力 雷池は化学反広によ 導線内の電子が磁束密度B(T)の磁場に対して垂直に速さ v 電池は電極間に電位 導線内の電子が磁束密度B(T)の磁場に対して垂直に速さ v 研 り電極間に電位差を 「m/s]で動くとき、電子が受けるローレンツカfs[N]は力の向き: 差をつくりだす。例えば、 「m/s]で動くとき、電子が受けるローレンツカfg[N]は 力の向き: つくりだす。電流が流 Q→P (電子は不電荷) 力の大きさ: f<sub>B</sub> = evB (83) なので、電 Q→P (電子は不電荷) **力の大きさ**: f<sub>B</sub> = evB (81) なので、 乾電池は化学変化によ れていない状態で 子は P へ移動を始め、Q→P の向きに電場 ETV/m )がつくられ って電荷を移動させ、 電子は P へ移動を始め、Q→P の向きに電場 E(V/m)がつくら の、電池の電極間の る。電子はこの電場から力の向き: $P \rightarrow Q$ 、力の大きさ: $f_E = eE$ れる。電子はこの電場から 力の向き: $P \rightarrow Q$ 、力の大きさ: $f_E = eE$ 一定の電位差をつくり 電位差を電池の起 (84) の静電気力を受ける。 静電気力 $f_E$ とローレンツカ $f_B$ がつり だしている。電流が流 (82) の静電気力を受ける。 静電気力 $f_E$ とローレンツ力 $f_B$ がつり 電力という。 あい、電子の移動が終わる。このとき、eE = evB すなわち、E =れていないときに、電池 あい、電子の移動が終わる。このとき、eE = evB すなわち、次の (下線は五十嵐による) vB (85) 導線の長さが Am]のとき、 導線の両端の電位差は V 式が成り立つ。 E = vB (83) 導線の長さが ℓ [m]のとき、導線の の電極間に生じている  $=E\ell$  である。したがって、V は次のように表される。 $V=vB\ell$  (86) 電位差を電池の起電 両端の電位差は V=Eℓである。したがって、V は次のように表さ これが、導線の両端に生じる誘導起電力である。 (下線は五十嵐) 力 という。 (下級五十嵐) れ、これは(78)式と一致している。V=vBe(84) (下線は五十嵐) p.270 電池の起 p.315 ローレンツ力による考え p. 203 電池の起電 p.241-242 ローレンツカによる考え 電力と…電池は内 電子は、ローレンツカ evB[N]を Pから Qの向きに受ける。 したが 力と...電池の端子 導体棒内部にある個々の自由電子も、磁場の中を凍さ v[m/s] 部の物質の化学反 って、導体棒内部の電子は、P から Q に向かって移動するた 間の電位差を端子 で運動している。電子は、ローレンツカ evB[N]を P から Q の向 応などを利用して、 め、…P から Q 向きの電場 E[V/m]が生じる。電子は、この電場 電圧という。 きに受ける。したがって、導体棒内部の電子は、PからQに向かっ 電極間に電位差 から eE(N)の力を Q から P の向きに受けて、ローレンツ力とつり て移動するため、...P から Q に向かう電場 <u>E</u>[V/m]が、導体棒の あう状態になると、移動が止まる。このとき、力のつりあいから、次 を生じさせてい 電池に電流が流れ 内部に生じる。電子は、この電場から eE[N]の力を受けて、ロー る。電池に電流 のようになる。 evB =eE E=vB (86) Q間の電位差 V(V)は、導 ていないときの端 レンツ力とつりあう状態になると、移動が止まる。このとき、evB が流れていないと 体棒の長さが L(m)なので、式(8)から、次式が成り立つ。V=EL 子電圧、これを電池 =eE から、E=vB となる。PQ 間の電位差 V(V)は、導体棒の きの端子電圧、こ =vBL 87) 導体棒 PQを含む回路では、端 Qから電子が流れ の起電力という。 長さが  $\ell$  [m]なので、 $V=E\ell=vB\ell$  となり、式(59)が導かれる。 れを電池の起電 出し、端Pに達する。一方、ローレンツ力によって、端Pから端Q (下線は五十嵐による) (下線は五十嵐による) 力という。 に向かって電子が運ばれ続け、端 P の電位は、端 Q の電位より (下線は五十嵐による) も、vBL[V]高い状態に保たれる。…導体棒 PQは、起電力の大 きさが vBL[V]の電源とみなすことができる。(下線は五十嵐による)

### 3 調査結果の分析・考察と今後の課題

- (1) 後退した記述 実教出版の教科書は執筆者が交代したこともあり、起電力の説明は、ローレンツ力による単位電荷当たりの仕事量とすればよいところを、電位差ができることが外部に仕事ができるとし、説明がやや屈折している。また、平成 24 年検定済教科書では、起電力とは何かに踏み込んだ次に示す記述があった。『起電力 V の電源は電位差を V に保つ働きをする。回路を流れる電子は電源を通過するとき、大きさ W=eV [J]の仕事をされる。』の説明が、消えてしまったのが残念である。しかし、ローレンツ力による仕事の扱いは評価できる。
- (2)やや前進した記述 実教を除く教科書は、ローレンツ力が電子にする仕事に踏み込まずに、起電力の結果生ずる静電場とその静電場からの力とローレンツ力のつり合いから、静電場の大きさを求め、その静電場から電位差を求めているが、このようにして求めた電位差は起電力ではない。起電力の機構を説明したことにはならない。 <u>静電場は起電力の原因にはならない</u>からである。しかし、第一学習社は、その後に、『ローレンツ力によって、端Pから端Qに向かって電子が運ばれ続け、端Pの電位は、端Qの電位よりも、vBL(V)高い状態に保たれる。』とし、曲りなりにも、ローレンツ力が起電力の役割を果たしているとしている点はやや前進したと云える。尚、ローレンツ力の働き(力学的エネルギーを電磁気的エネルギーに変換)については、文献3を参照されたい。
- (3) 起電力(起電圧)とは何か 参考文献2で述べた様に、起電力の働きは、電荷を低い電位から高い電位に押し上げる仕事をし、電荷に電気的なエネルギーを付与し続けている。この結果として、電荷が静電場をつくり電位差が生じている。この電位差を常に一定に保つようエネルギーを付与しているのが起電力(起電圧)に他ならない。起電力には非静電気的な機構が必要。起電力の大きさは、単位の正電荷を低電位の電極から高電位の電極へと押し上げる仕事量で表されることを補足しておく4)。我が国の教科書には、起電力とは何かの掘り下げた説明がない、このことが今後の課題である。終わりに、電磁気学討論資料集も併せて熟読したい5)。

- 1) 五十嵐 靖則 高校物理教科書のローレンツカによる電磁誘導現象の説明の誤解と混乱について 日本物理学会講演概要集 Vol.70, No.2, (2015.9) 3095(13)
- 2) 五十嵐 靖則 「電磁誘導起電圧の働き」の誤解や混乱について 日本物理学会講演概要集 Vol.71, No.2, (2016.9) 3155(13)
- 3) 五十嵐 靖則 電磁誘導起電圧の発生機構とローレンツカ 日本物理教育学会誌 Vol.34, No.2 (1986) p.65-66
- 4) 中山 正敏 著 電磁気学 裳華房 pp.101-102
- 5) 電磁気学討論資料集 日本物理教育学会 1986 年 pp.4-12, pp.19-28

# 中等教育段階における「系の概念」の調査問題の開発 - 「力のつり合い」と「作用・反作用の法則」の混同に着目して-

# 明治大学付属明治高等学校・明治中学校 伊藤 慧 itokei@meiji.ac.jp

# 1. はじめに

学生が「系 (system)」と「環境 (surroundings)」の区別を不明瞭なまま物理の学習を進めた場合、内容の本質的な理解に至りにくい、若しくは誤った認識をもってしまう恐れがある[1]。しかし、国内外を見渡しても、「仕事とエネルギー」の分野における研究報告[2][3]は存在するものの、静力学において「系の設定」に重きを置いた報告は一部[4]を除き見当たらない。

筆者は、高校物理以前に、中学の物理分野などの基本的内容でまず「系の概念」に相当するものを指導し、理解・定着させることが有効なのではないだろうかと考えた。どの段階で生徒らが「系」を認識しづらくなるのか、またはどの段階で丁寧に指導すればその後の理解促進に寄与するのか解明することは有益であろう。

# 2. 調査問題の開発

# 2-1 概要と方向性

「系の概念」の未獲得に伴う"力のつり合いと作用・反作用の法則の混同"に着眼した多肢選択式の概念調査問題を開発し、中等教育段階を対象に実態調査(複数年にわたる追跡調査)を行う。本開発問題の仮称は、Distinction between Equilibrium of forces and Newton's Third law of motion Assessment (以下、DETA)とする。ゆくゆくは静力学のみならず、高校物理における運動方程式や運動量保存則、エネルギー保存則など「系の概念」が関連する単元における有効な指導法の開発につなげたい。

# 2-2 方法

先行研究[5]を参考に、中学生や高校生ならびに大学生にとって正答率が比較的低くなると予想される問題設定を主軸に DETA を設計した。具体的には、「つり合う2力と作用・反作用の混同」「力のすり抜けの誤概念」「重力の反作用を答えられない/重力の反作用を垂直抗力と考える」「摩擦力の反作用の誤解(そもそも摩擦力の方向を誤解する/力のつり合いとの混同)」といった典型的、且つ深刻な学生の誤答傾向を含むようにした。また、ある程度定番の設定を網羅しつつ、男女共に親しみやすい題材で構成するよう心掛けた。

複数の研究協力校における結果を分析し、学会や研究会で現場教員の意見を募り、改良を重ねて妥当性や信頼性を向上させていく。尚、選択肢の妥当性を分析するため、選択肢での回答と同時に選択理由を別途記述させる。生徒の思考を分析し、今後段階的に選択肢を5つ程度に絞っていく予定である。

# 2-3 問題の構成

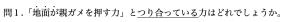
**DETA** は表 1 のような大問 6 つ,設問数 18 題の構成である。図 1 に大問 A の一部を示す。測定したい要素(力のつり合いと作用・反作用の法則の混同)以外に,力の矢印を描く能力が回答に与える影響があるか否かを探るため,力の矢印を生徒に提示しない版( $\alpha$  タイプ)と提示する版( $\beta$  タイプ)を作成し,実施した。

# 表 1 DETA の問題構成(括弧内は小問数)

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

A. 図のように、地面の上で、親ガメの上に子ガメが乗って静止しています。次の力について考えて下 子ガメ

- ア. 親ガメにはたらく重力
- イ. 子ガメにはたらく重力
- ウ. 親ガメが子ガメを押す力
- エ. 子ガメが親ガメを押す力
- オ. 親ガメが地面を押す力
- カ. 子ガメが地面を押す力



- (1) アだけ
- (2) アとイの和
- (3) アとエの和 (6) オだけ
- (4) アとオの和 (7) オとカの和
- (5) アとイとエの和
- (8) つり合っている力はない。
- (9) 上記の選択肢に、自分の考えに当てはまるものがない。(どのような力か、ア〜カの記号 を用いて回答,もしくは主語と目的語を明確にして詳しく回答しなさい。)

- 問2. 問1において、あなたはどの物体の「力のつり合い」を考えましたか。
  - (1) 親ガメのみ
- (2) 子ガメのみ
- (3) 親ガメと子ガメ
- (4) 親ガメと地面 (5) 子ガメと地面 (6) 親ガメと子ガメと地面
- (7) 上記の選択肢に、自分の考えに当てはまるものがない。(自分の考えを詳しく回答しなさ
- 問3.「地面が親ガメを押す力」と作用・反作用の関係にある力はどれでしょうか。
  - (1) アだけ
- (2) アとイの和
- (3) アとエの和
- (4) アとオの和
- (5) アとイとエの和 (6) オだけ
- (7) オとカの和 (8) 作用・反作用の関係にある力はない。
- (9) 上記の選択肢に、自分の考えに当てはまるものがない。(どのような力か、ア〜カの記号 を用いて回答, もしくは主語と目的語を明確にして詳しく回答しなさい。)
- (10) 「作用・反作用」をまだ習っていない。もしくは、「作用・反作用」を習ったが忘れてし まった。(「習っていない」または「忘れてしまった」と回答しなさい。)

図 1 DETA (αタイプ) 大問 1

親ガメ

地面

# 3. 試行調査

# 3-1 対象

2022 年度、都内の私立中・高校生を対象に DETA の試行版を実施し、その結果を踏まえて問題や選択肢 を改良した。2023年度は新たな研究協力校も含め、複数の中学校や高等学校において改良版を実施している。

# 3-2 結果

表 2 に,2023 年度高校 2 年生を対象に,「物理基礎」の pre テストとして実施した DETA の問 1 , 2 の回 答割合を示す ( $\alpha$ タイプ N=114,  $\beta$ タイプ N=156)。

表2 DETA 問1, 2の回答割合(%)

選択肢番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
問1 αタイプ	14.0	63.2	5.3	0.9	3.5	6.1	3.5	0.0	0.9
βタイプ	14.7	52.6	1.9	6.4	3.2	8.3	6.4	0.0	4.5
問2 αタイプ	7.9	0.0	8.8	20.2	0.9	58.8	0.9	_	_
βタイプ	5.8	0.6	13.5	26.3	0.6	50.0	1.3	_	_

各設問のグレーの選択肢は正解を表す(但し、問1、2は系の設定の仕方によって正解の組み合わせは2通りある)。太字は最多の回答。

講演では,特に大問Aの回答結果の分析や本稿未掲載の設問についてご紹介したい。

- [1] 例えば, Beth A. Lindsey, Paula R. L. Heron and Peter S. Shaffer: Student understanding of energy: Difficulties related to systems, American Journal of Physics, 80, 154-163 (2012).
- [2] 例えば、右近修治、「仕事とエネルギー」、概念の検討ー「系」選択の重要性ー、物理教育通信、179、6-14 (2020).
- [3] 例えば、勝田仁之、運動エネルギー獲得プロセスについての誤解と授業戦略 -エネルギー学習における multiple representation-, 筑波大学附属高等学校研究紀要, **62**, 123-134 (2021).
- [4] 山本明利, 仕事・熱・エネルギーをどう指導するか ~エネルギー保存の法則をめぐる高校力学の再検討~, 北里大学 教職課程センター教育研究,8,3-18 (2022).
- [5] 例えば、貫井正納、中学校における力のはたらきかたについての理解の実態、物理教育、**26**(3)、214-219 (1978).

# 「つり合い」と「作用・反作用」の差異化を意識した高校物理の ILDs 実践

<sup>A</sup>南伸昌, <sup>A</sup>夏目ゆうの, <sup>A</sup>瀧本家康, <sup>A</sup>田村莉穂, <sup>B</sup>髙橋秀明 <sup>A</sup>宇都宮大学共同教育学部, <sup>B</sup>栃木県立栃木女子高等学校 minami@cc. utsunomiya-u. ac. jp

# 1. はじめに

力学分野の誤概念修正に有効な授業方法として、相互作用型演示実験講義(Interactive Lecture Demonstrations: ILDs) が広く実践されている[1]。筆者らは、Arduino UNO を活用して、高校教員が手軽に ILDs を導入できるキットを作成し、中高生対象の授業実践を進めてきた[2]。

ただ、演示実験で作用と反作用が常に等しいことを示しても、実践後のアンケート調査の自由記述からは、「つり合い」との違いや、運動系全体の中での摩擦力の位置付けに対する疑問などが、中学生だけでなく高校生からも出てくる。本実践では、ILDsの「力の第3法則」ワークシートに沿って摩擦力の役割を含めて授業を実施した後、改めて「つり合い」の関係を、ワークシートで扱った運動系から抽出させる活動を組み込み、生徒が両者の違いに納得できる授業構成をねらいとして、県立高等学校2年生43名を対象に、90分(2時限続き)での授業実践を行った。

# 2. 用いた教具とその評価

物体間に働く力は、圧力センサーFSR402の出力をArduino UNOに取り込み、Arduino IDE (2.1.0)を用いて処理し、出力した。力の表示はArduino IDEのプロッターで直接、もしくはエクセルのData Streamerを用いてグラフ化することにより行った。出力を安定化させるため、FSR402の表面に、感圧面と同じ大きさのアクリル板(厚さ2mm)を貼り付け、センサー裏面を押し棒や力学台車の反発棒の先端に貼り付けた。2物体間の押し合いでは、再現性良く力の大きさを示すために、直線導入機を用いた治具を自作した[2]。

作用と反作用の区別を明確にするために、生徒から見て右向きの力を正に、左向きを負に取ってグラフ化した。摩擦力は、授業開始前に実践校の実験台上で箱を等速度運動させることにより測定し、実測する力と共に、その出力をプログラム上で正の力として表示し、加えた力との大小関係が分かるようにした。図 1~3 はそれらの力を、運動の場面に応じてData Streamerで表示した一例で、×が右向きに押す力、◇が左向きに押す力、○が摩擦力を示す。

等速度運動で、押す力と摩擦力が等しくなることは、比較的容易に演示することができた。一方、等加速度運動は、実験台の表面の状態が均一でなかったこともあり、何度か試みることにより、瞬間的に図2や図3のように、押す力と摩擦

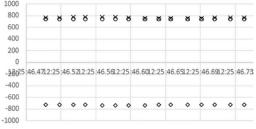


図1 等速度運動

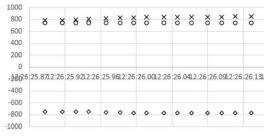


図2 等加速度運動(加速)

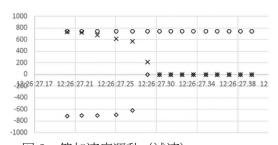


図3 等加速度運動(減速)

力とに差がある状態を示すことができたが、やや説得力に欠ける結果となった。実際、演示実験に対する分かりやすさを 5 段階で評価してもらったところ、衝突の実験では平均が 4.5 を越えるのに対し、図 1 の実験で 4.2、図 2、3 の実験では共に 3.7 程度という評価となった。

# 3.「つり合い」の意識付け

ワークシートの設問を終了した後、全設問の操作を見直し、作用・反作用ではなく「つり合い」の関係にある力をピックアップさせた。初めは設問で対象になっている力しか視野に入らなかったが、話し合いを進めていく中で、人同士の押し合いのように、静止している物体に働く摩擦力の位

置付けを考えられるようになった。ただ、等速直線運動のように、 運動している物体における「つり合い」については、実感を持たせ ることは難しかった。なお、2クラスのうち一方には、事後調査終了 後、図4に例示するように、押し合いを中心とした、つり合いの 演習を実践した。

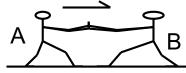


図4 押し合いにおけるつり合い

# 4. 授業実践の結果

図5に個人予想の正答率と自信度の 平均値の,設問ごとの変遷を示す。1~ 3 は、図 1~3 に対応する箱を押す運動,4~7 は人や車同士が押し合う運動,8~10 は車同士の衝突についての 設問である。1~8 は回答に選択肢を設けたが,9,10 はグラフや自由記述とした。

物理基礎履修後の高校 2 年生なので,正答率は全体的に高く,初めの 2 間を除くと 8 割程度で推移している。

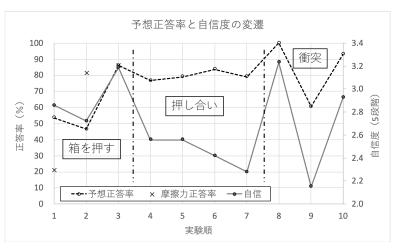


図5 予想正答率と自信度の変遷

ただ,自信の程度は,例えば 3~7 にかけては,正答率は高いままなのに,自信度は低下している様子が窺える。これは,知識としては正解を知っているが,自分の実感とはズレを感じる,所謂認知的葛藤が生じているためと考えられる[3]。

FMCE の正答率は、授業実践の事前と事後で、「運動と力の関係」に関する設問については、殆ど違いはなかった。一方、「衝突」や「押し合い」にかかる設問の正答率は、事後に大きく上昇していた。この理由の一つとして、「運動と力」に関しては、関連する「箱を押す」演示実験が効果的でなく、「衝突」、「押し合い」については効果的に機能したことが考えられる。当日は定着度調査の結果も踏まえた分析結果を報告する。

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

# 圧力分野の相互作用型授業の検証

A佐々木志帆、B植松晴子 A石川県小松市南部中学校、B東京学芸大学 m213406m@st.u-gakugei.ac.jp

# 1. はじめに

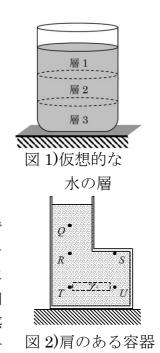
学生は物理を学習する際、様々な素朴概念を抱いている。近年、一般的な素朴概念を物理概念へと変容させるための試みとして、相互作用型の授業が注目を集めている。今回調査を行った大学では、相互作用型授業の一つであるチュートリアル方式の授業を実施している。当大学では、Maryland 大学で開発された Open Source Tutorial(以下、OST とする。)[1]の教材を用い、力学の内容について扱っている。用いる教材の中で、圧力について取り上げたものもあるが、圧力に関して学生が適切な物理概念を獲得しているか懸念が生じていた。そこで、圧力分野の概念調査紙を開発し、授業の効果を検証した。また、インタビューなども行い、学生の圧力に関する概念変容の調査も行った。本講演では、調査の結果を受け、明らかになった授業効果と新たな課題について報告する。

# 2. OST の特徴

OST は学習者が 3~4 人のグループになり、配布されたワークシートに沿って議論や実験を進める授業形態である。ワークシートの構造は、PER によって明らかになった学習者の素朴概念や思考パターンに配慮し、日常感覚や直観から始まり、実感をもって納得できるように慎重に設計されている。この教材の特徴は、学習者が抱く直観を物理概念に結びつける「直観の絞り込み(refined intuitive)」が用いられている点である。例えば、多くの学習者はトラックと車が衝突すると車の方が受ける力が大きいと考えている。この直観的な考えを絞り込み、車の方が大きいのは力ではなく加速度である、ということに気付かせるといった方法が用いられている。

### 3. 圧力の回の内容と課題

圧力の回は、力学分野の最後に行う。学生はこれまでに、1次元の質点の力学を学んでおり、物体にはたらく力を考える際の助けとなる、「力の作用図(Free body diagram)」の書き方なども既習している。圧力の回では、かたい床やベッドに寝た時などの心地よさの違いを基に、広がりのある面にはたらく力を考える必要性を最初に気付かせる。次に、水風船やビーカー内の水が風船の膜やビーカーの側面に及ぼす力の向きや大きさについて尋ね、水圧が等方的であることを確認する。その後、幅の異なる2つの容器から飛び出す水の勢いについて考えさせ、大きさの異なるペットボトルで確認するといった実験がある。実験の結果を解釈するために、容器内の水を体積が等しい仮想的な水の層(上から順に層1、層2、層3)に分け、円板にはたらく力を、FBDを使って考えさせる(図1)。最後に、肩のある容器(図2)内の2点の水圧について、鉛直上方の水の量が少ない点の方が小さいと感じてしまうという考えをどう物理概念にすり合わせるかを学生に説明させ



る。講義は以上のような流れで行っており、浮力については触れていない。浮力は授業後の宿題用のワークシートで学生に取り組ませる。水中にブロックをそっと置き、ブロックの周囲の水がブロックに及ぼす力から浮力の存在に気付かせ、水中の物体の運動は、重力などと浮力を合わせて考える必要があることを確認する。

これまでの実践を通し、圧力の回では3つの課題があることが分かった。1つ目は、多くの学生は、水圧は水深によって決まるという直観を抱いているが、「水深」についての認識が曖昧であるという点だ。水圧は任意の点の鉛直上方にある水の量によって決まる、という考えや、任意の点を含む平面上の水の総量によるなどの考えが多くみられている。2つ目に、容器内の任意の点において水から受ける力は等方的であることの理解が不十分である点、そして3つ目に、水中の物体の運動を重力などと浮力を合わせて考えられているか、という点である。なお、用いた教材は1つ目の水圧を決める要因を理解することに対する働きかけに力を入れているため、本研究でも、1つ目の課題を中心に、授業効果の検証を行う。

# 4. 調査方法

先述した課題が、授業を通して、どのように改善されたのか、検証を行った。2022 年度の本授業の受講者を対象に3つの方法で調査を行った。1つ目に、著者が作成した概念調査問題の事前事後調査を実施した[2]。集めたデータはEZRのMcNemar検定を用いて分析した。2つ目に、授業中のグループ討論時の撮影し、提出されたワークシートの内容と照らし合わせながら分析した。3つ目は圧力の回の授業から約3か月後に行ったインタビューである。有志で学生を募り、半構造化形式で1時間程度実施した。

# 5. 調査結果

概念調査の結果、水圧の大きさについて尋ねた問題すべてで有意差が認められ、本実践が、一つ目の課題である、水圧を決める要因の理解に効果があったと考えられる。しかし、インタビュー調査を行った結果、完全に定着した概念ではないことが示唆された。インタビューを行った学生は、事後の概念調査問題にはすべて正答していたが、インタビュー時には、上にある水の量によって水圧が決まるという誤答選択肢を選んでいた。水圧の大きさが何によって決まるのか尋ねたところ、自分自身がもっている素朴概念と実験で得られた結果との間で考えが揺らいでおり、不安定な状態であることが分かった。また、期末試験に含まれている自由記述の内容を分析した結果からも、文脈によっては適切な物理概念が想起されない不安定性があることが分かった。学生の物理概念が一時的なものになってしまった原因として、直観の絞り込みが十分にできていなかったことが示唆された。2つ目の課題については、重力の効果が無視できる場合は水が等方的に力を及ぼすことが理解できるものの、重力の影響がある場合に転移させることが難しいことがわかった。3つ目の課題については、教材の論理展開に不備があり、教材の修正が必要であることが分かった。調査の結果と課題の詳細については講演で述べる。

- [1] PhysPort, Maryland Open Source Tutorials in Physics Sensemaking (physport.org) (2023年7月)
- [2]佐々木志帆,植松晴子,"相互作用型授業の効果を測る圧力分野の概念調査紙の開発",物理教育71(2023)

# ペアワークにおける二者の視線行動の観察

<sup>A</sup>奥野 琳太郎、<sup>B</sup>興治 文子、<sup>A</sup>市川 寛子 <sup>A</sup>東京理科大学大学院 創域理工学研究科 生命生物科学専攻 <sup>B</sup>東京理科大学 教育支援機構 教職教育センター 6422513@ed. tus. ac. jp

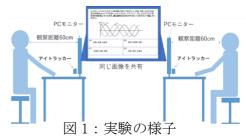
# 1. はじめに

Covid-19 の感染拡大時、オンラインで複数人が同時に学ぶ協調学習(CSCL; Computer Supported Collaboration Learning)の機会が増えた。なかでも二者が同じ学習教材を用いて学ぶペアワークは、その学習効果を、アイトラッカーを用いた視線計測で評価することが試みられてきた。Richardsonら「1」は、教授者が学習者に向かって学習教材を説明する際の視線行動を計測し、学習者が教授者の注視点に近い箇所を見ている時間が長いほど、学習が促進されたことを示した。Jermannら「2」は、プログラミングの課題において、学習者ペア同士が画面中の近い位置を見ているほど、好成績を記録したことを示した。本研究では、より学習効果の高いペアワークの成立条件を検討するため、視線行動に加え、ペアワーク中の会話を記録し、学習効果の違いを検討した。

# 2. 研究方法

調査対象は、研究同意を得た理系大学生 20 名、調査時期は 2022 年であった。参加者は 2 名ずつのペアに分けられた。実験では、事前に調査問題<sup>[3]</sup>について個別で考えさせた。その後、Zoom の画面共有機能を用いて、それぞれの PC 画面上に調査問題を提示し、5 分間のペアワークによって考えさせた。調査問題は、ばねにつけられたおもりが平衡位置にあると仮定し、ばねの長さが 2 倍に伸びるまで引っ張って離した際のおもりの位置と時間の関係であり、4 つの選択肢の中から 1 つ選ばせた。ペアワーク中の二者の視線をアイトラッカーで計測し、会話を zoom レコーディングで記録した。ペアワーク後には、シミュレーションを見せ、個別で学習内容の理解を調べた。

視線行動を調べるために、調査問題の画面を問題文と 各選択肢の計5つの領域 (AOI, Area of interest)に分 け(図2) 各領域への合計注視時間を計測した。



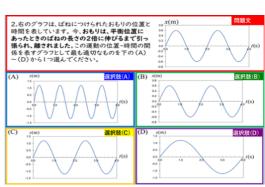


図 2:AOI の設定

会話内容は、議論の流れに影響を与えた会話を同定するための会話分類 [4] に基づき、正しい考えに基づく発言 (IR; Intrinsic Remark) と誤った考えに基づく発言 (ER; Extraneous Remark)、理解を深め学習の幅を広げるような発言 (GR; Germane Remark)の 3 つに分類した。さらに会話内容の深さを検討するため、ブルームのタキソノミーによる分類 [5] を行った。低次なレベルから順に、記憶を問う「知識」レベル、理由や説明を求める「理解」レベル、概念を新たな状況で用いる「応用」レベル、の 3 段階に分類した。

# 3. 研究結果

本稿では、事前の個別の解答が二者間で一致したペア 1 ペア1:注機時間 (参加者 1 と 2) と一致しなかったペア 2 (参加者 3 と 4) の結果のみを報告する。まず、参加者ごとの各選択肢(A ~D)への注視時間を図 3 に示す。図中の赤枠は、正答の選択肢を示しており、青で塗りつぶされている箇所は、各参加者が選んだ選択肢を示している。ペア 1 で最も注視された選択肢はペア間で共通しており、両者が事前に選んだ(C)の選択肢であった。それ以外の選択肢には注視が分散した。ペア 2 で最も注視された選択肢はペア間で異なっており、それぞれが事前に選んだ選択肢(参加者 3 は 図 3: 各)



図3:各選択肢への注視時間の割合

(A)、参加者 4 は(C))であった。ただし、それ以外の選択肢への注視が特徴的であり、両者とも相手の選んだ解答(参加者 3 は(C)、参加者 4 は(A))を二番目によく見ていた。

このような異なる視線行動を示した両ペアにおいて、ペアワーク中の学習の深さが異なっていたかを検討するため、ブルームのタキソノミーに基づいて抽出した会話に関して、フィッシャーの直接確率検定を行った。その結果、ペア1とペア2で学習の深さは異なっていなかった(p=.25)。

# 4. まとめ

ペアワーク中の参加者は、自分が事前に選んだ選択肢をより長い時間注視することが示唆された。この傾向は他の多くのペアでも見られた。これは自分の回答の正誤を検討することが思考の入り口となっていることを示し、自分の回答が誤答であった場合に概念変化を起こしていけるかがペアワークの成否を左右することが示唆される。一方で、ペアワーク中の参加者の発言をもとに推定した学習の深さは、視線行動のような違いが見られなかった。今後は、ペアワークにおける視線や会話の変遷を探求することでより高い学習効果を示すペアワークの手法を確立することを目指す。

# 参考文献

[1] Richardson, D. C. & Dale, R. (2005). Looking to understand: The coupling between speakers' and listeners' eye movements and its relationship to discourse comprehension. Cognitive Science, 29(6), 1045-1060.

[2] Jermann, P. et al. (2011). Collaborative gaze footprints: Correlates of interaction quality. In Spada, H. et al. (Eds.), Connecting Computer-Supported Collaborative Learning to Policy and Practice: CSCL2011 Conference Proceedings. Volume I - Long Papers (pp. 184-191).

[3] Wattanakasiwich, P. (2019). Visual attention and interpretation graphs in simple harmonic motion. GIREP-ICPE-EPEC-MPTL 2019 conference, book of abstracts, 237-238

[4]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.

[5] 土佐幸子・喜多俊介 (2015). 中学校理科教師が教えたいが概念と生徒の理解の間のギャップを縮める-TIMSS 授業ビデオの談話分析を通して-. 日本科学教育学会年会論文集, 39(0), 358-359.

### 

福岡女学院中学校・高等学校 <sup>A</sup> 熊本大学大学院教授システム学専攻 <sup>A,B</sup> mochiai@fuku.jo. ac. jp<sup>A</sup>

# 1. はじめに

ジャスト・イン・タイム教授法(Just in Time Teaching. 以下 JiTT)は当初、米国の大学での物理教育の教授法として開発され普及した[1]. E.F.レディッシュは『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』[2]において JiTT を「講義を基本とする方法」の1つとして「ピア・インストラクション (PI) とコンセプテスト」「相互作用型の演示実験講義 (ILDs)」と並べて紹介している.

JiTT は現在,米国などでは物理学を含む全ての学問分野で用いられるようになっており,教育工学,特に授業設計(インストラクショナルデザイン)の分野においても重要視されるようになっている[3].

日本の物理教育界においてもこれまで PI や ILDs は多くの実践が積み重ねられてきた.ところが JiTT が実践された例はほとんど見当たらない. 物理学以外の分野でも同様である. それは日本の初等・中等教育においてはこれまで一人一人に ICT 機器が行き渡っていなかったためである. JiTT では Web 上の LMS (Learning Management System. 例えば Google Classroom, ロイロノートなど) の利用が必須なのである. それが実現した今からは JiTT は ICT を有効に活用する方法の一つとして日本の全教育の領域で広まっていくと考えられる.

筆者は2022年度に高校1年生対象の「物理基礎」において、年間を通してJiTTを用いた授業を実践した、昨年度の本学会では途中経過を報告した。今回は全体を報告する.

# 2. JiTT の概要

JiTT は Web を用いた「事前課題」とそのフィードバックを中心に組み立てられた教室での対面授業を融合させる方法である. 図1のように5つの要素からなり、これらはフィードバックループと呼ばれる円環を構成する. 雲の形はクラウドを表しLMS上で行われる. 角丸長方形は教室での対面形式を表している.

教師は授業の数日前までに事前課題を LMS に掲載する. 生徒はその課題を解き,締切時刻までに LMS 上に回

接業内コッテンツ フィードバックループ 生徒の 回答 フィードバックループ 教師による分析 る分析

図1JiTT フィードバックループ

答を提出する. 教師は授業前にそれらを読み, 生徒の回答を分析する.

授業は生徒の回答へのフィードバックを中心に組み立てられる. またそれ以外のコンテンツも用いられる. 例えば、上記の PI や ILDs などである.

# 3. JiTT の物理基礎での実践

### (1) 事前課題

図2はある授業回に出題した事前課題である(答はエ).このような事前課題を1回(50分)の授業に3題程度出題する.この事前課題は多肢選択問題であるが、レディッシュによればそれ以外に論文式(自由記述式)や計算を伴う見積もり問題が一般的であるとされる.事前課題の出題はどんなに遅くとも授業の前々日の放課後までにするようにした.

# JiTT 事前課題1 Just in Time Teaching 銭湯の湯船にお湯が入れてある。波は立っていない。棒で水面を周期的に叩くと波ができた。 波の伝わる速さを速くするためにはどうすれば良いか。下から選び、理由も記しなさい。 ア. より強い力で叩く イ. より長い周期で叩く ウ. より短い周期で叩く ウ. より短い周期で叩く エ. 速さを変えることはできない オ. その他

図2 事前課題の例

# (2) 生徒の回答

生徒からの回答の提出締切は授業前日とした. つまり生徒は前々日, 前日の間に事前課題に取り組む. 1回(3題程度)の事前課題の所要時間は15~30分程度を想定している. これは簡単には解決できないが過大な負担にならない程度とした.

事前課題の出題と、生徒の回答提出は Web 上の LMS で行う. 筆者は LMS として勤務校で導入している「ロイロノートスクール」(以下ロイロノート) を利用した. 当日はその方法を紹介する.

# (3) 教師による分析

教師は生徒の回答を事前に分析し、教室での対面授業時にフィードバックするための準備をする. またこれを元に準備していた授業計画を変更する.生徒の回答内容は大変興味深いものである.これらを知って授業するのと知らずに授業するのとでは大きな差が現れるだろう.

# (4) 授業内フィードバック

教室での対面授業は生徒からの回答へのフィードバックを中心に組み立てられる。ロイロノートに提出された回答をスクリーンに映し出して紹介しながら展開していく。多くの場合はここでグループ討論を行う。生徒たちは事前課題をすでに提出しており、課題に対して十分に考察をしてきているので主体的・対話的な討論が可能となる。

# (5) 授業内コンテンツ

JiTT の対面授業内活動はフィードバック以外に様々なコンテンツや教授アプローチと組み合わされて実施される. 前述の PI や ILDs などが有効である. 上の事前課題の場合は, グループでの話し合いの後, 再度選択肢を選び直してロイロノートのアンケート機能で投票し, その後水波投影機を用いた演示実験で正解を示すという PI や ILDs の方法を用いた. 主体的・対話的な討論を経た上で正解を提示されるので深い学びを実現することが可能となる.

以上で1つの事前課題についてのフィードバックループが終了である.このようなフィードバックループを事前課題の数(通常は3問=3ループ程度)繰り返す.

# 4. 実践の結果

JiTT の効果については、3つの調査紙 Force concept Inventory (FCI) [4], CLASS[5], 日本型概念 調査[5]2022 年度版を用いて測定した。CLASS の測定項目の1つである「(物理と) 現実世界とのつながり」における好ましい回答が顕著に高まることが確認できた。当日はその結果について報告する.

# 5. 事前課題づくりのためのチェックリストの紹介

JiTT で最も重要なのは事前課題だと考えられる.この出来によってその後の授業展開がほぼ決まると言って過言ではない.そのため,誰もが事前課題を作成することができるよう「事前課題作成のためのチェックリスト」を開発した.当日紹介する.

- [1] Novak, G. M., Patterson, E. T., Gavrin, A. D., & Christian, W. (1999). Just-in-time teaching: Blending active learning with web technology. New Jersey: Prentice-Hall.
- 「2]レディッシュ.E「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)丸善出版
- [3]C.M.ライゲルース「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」(2020) 北大路書房
- [4]新田英雄, 塚本浩司「FCI(Force Concept Inventory)とは何か」(2011) 大学の物理教育 17,16-19
- [5]W. K. Adams. New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. (2006) PHYSICS EDUCATION RESEARCH
- [6]新田英雄「新たな概念調査紙と評価方法の開発」(2020) 物理教育 68(3), 195-198

# 事前実験課題を課した電気回路分野の JiTT 型 STEAM 教育プログラム

小川慎二郎 早稲田大学高等学院 s-ogawa@waseda.jp

# 【概要】

授業前に生徒が「どのようなことを次の授業で何を学ぶのか」と期待を高まらせ、教員は「生徒がどのような考えを持って授業に臨むのか」を把握することのできるプログラムの開発を進めてきた実践の経過として電気回路分野についての実践を報告する。

このプログラムは同時に、学校の理科の授業で学ぶ内容が「日常の生活と関連している」「先の 人生でも使うことができる」といったポジティブな印象を生徒が持つことのできるという利点や、 実験方法を生徒が自分で考える機会を持つことができるという利点もあり、今後の物理教育におい て大きな意味を持つと考えられる。

キーワード:光学、STEAM教育、探究的な学び、探究活動、Student Agency、JiTT

# 【背景】

物理の学習効果を大きく高めるには、教員が生徒の考えを把握し、生徒の認識を変容させるにはどうしたらよいかという戦略を練る機会が必要である。また、生徒が自ら試行錯誤し、納得できる証拠を得ることも、同様に重要なプロセスである。これらの方法についての研究は物理教育研究として広く行われており、書籍としてもまとめられている[1]。しかしながら、教育現場で次のような項目をバランスよく授業内で行うには、時間の確保という大きな問題を解決する必要がある。

- ①「探究的に学ぶことによる、学習する概念の深い理解」
- ②「学習者の動機づけ、および学習者の考えの教師による把握」
- ③「協働的な学びによる、学習した概念の活用体験や探究活動の実現」

例えば、事前に動画等を視聴して理論を学んだ状態で授業に参加し、教室では課題についてのディスカッションや協働した問題解決等を行う反転授業という授業形態があるが<sup>[2]</sup>、上記③の協働的な学びを実現する時間が確保できる反面、上記①に挙げた深い概念理解を、中等教育において教師や他学習者との直接的なやり取りなしに達成することは困難である。

また、授業前にオンラインで質問に答えさせて授業への主体的な参加を促す JiTT (Just-in-Time Teaching) と呼ばれる手法には、上記②に挙げた動機づけや学習者の考えの把握を授業前に可能にするという利点があるが、上記①や③のための時間を確保することは依然として難しい。またコロナ禍以前は学習システム上の限界があり、効果的なプログラムの実現に困難があった。

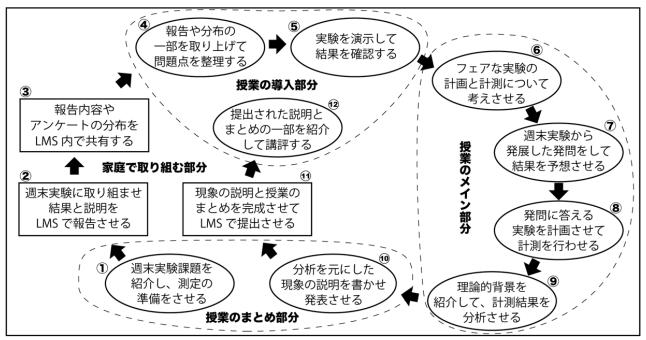
しかし、コロナ禍を経てオンライン学習システム(LMS: Learning Management System)の普及(本校は Moodle を利用)により、授業時間や学校の理科室といった制限にとらわれずに教育活動を行うことが可能となった。そのため、先に挙げた反転授業や JiTT などの手法を参考にしつつ、授業前の週末に取り組む事前実験課題を課すプログラムを開発した。事前に取り組んだ結果や考察を LMS 上で共有(学習者間および学習者-教師間)することで、授業に授業の密度を限りなく引き上げ、上記①~③をバランスよく実現できることが可能となった。

# 【成果】

中学の各学年に配当されている理科4単位のうち1単位を物理の学習に配当して行った中学2年の電気回路分野についての実践報告である。このプログラムのポイントは、家庭における事前実験課題(Weekend Mission)の実施である。授業実施前の日曜日を期限として家庭で実験をして、その結果と説明をウェブ上で報告させる。その後、教員も生徒も全員の報告(生徒からは匿名)の分布や内容を閲覧できるようにすることで、授業への生徒の期待度や教員の心構えを高めると共に、授業で学ぶ概念についての予備的な考えを持たせることができた。

また、家庭で身の回りのものを用いて実験を行うことにより、測定や分析のツールが生徒の手元に残ることも重要である。これにより、OECD の提唱する Student Agency (生徒が将来の様々な局面で意思決定する際の指針を学校の授業で学ばせる、という考え方) [3]の実現に寄与することも期待できると共に、STEAM 学習としての価値も見出すことができる。また、私立学校としては、家庭で週末に生徒が実験をすることにより、家族もそれに関わることが想定され、学習プログラムへの理解や教育方針への評価の向上という副産物も得ることができたと考えられる。

プログラム全体の流れは次のようなものである(□が自宅、○が授業で行う内容)。



# 【課題】

これまでに「光」「音響」「電気回路」の分野についてプログラムを実施してきた。授業に追われて適切でない課題を課していることもあるため、より精度の高い取り組みを目指して他の領域にも広げて検討していきたい。

# 【参考文献】

- [1]E. F. Redih「科学をどう教えるか」2012(丸善出版)
- [2] Bergman, J., Sams, A. 『反転授業:基本を宿題で学んでから、授業で応用力を身につける』2014 (オデッセイコミュニケーションズ)
- [3] OECD "Student Agency" 2023-07-01. https://www.oecd.org/education/2030-project/

# 科学テキストにおける反駁文や図の読解時の眼球運動データ分析 ~天体運動と季節の変化を例にして~

<sup>A</sup>萩原秀人、<sup>B</sup>右近修治、<sup>A</sup>興治文子 <sup>A</sup>東京理科大学大学院理学研究科、<sup>B</sup>東京学芸大学

1722508@ed. tus. ac. jp

# 1. はじめに

反駁文は、科学的な概念を形成するために、学習者の素朴概念に焦点を当てて反駁を行う文章である。学習者の素朴概念を変えることにおいて、通常文を読むよりも反駁文を読む方が効果的であることが知られている。Broughtonらによると、反駁文を読んだ被験者は、通常文を読んだ人よりも読む時間が短く、事前調査と比較して事後調査のスコアの伸びが高いことが報告されている「1」。一方で、なぜ反駁文が認知的な理解を促進するのかについては、明らかではない。

近年、Physical Review Physics Education Research で、視線追尾の活用例が増加していることが報告されている $[^{2-3}]$ 。視線追尾装置の活用により、学習者の学習をプロセスレベルで評価する際に役立つことが期待される。我々は、Broughton らの先行研究を基に、視線追尾装置を用いて研究を行い、通常文を読んだ人よりも反駁文を読んだ人のほうが読解の時間が短いこと、スコア伸びが高い傾向があることを確認した $[^{4}]$ 。さらに、視線追尾の解析結果からは、反駁文で構成されている段落で、特に読みの時間が短いことも明らかにした $[^{5}]$ 。そこで本研究では、被験者がどのように文章や図を読解するのかについて、視線追尾装置を用いて被験者の眼球運動を明らかにすることを目的とする。具体的には、次の3つのリサーチクエスチョン(RQ)を明らかにすることを目的とする。RQ1.通常文を読んだ人のほうが、文章の内容が分かりづらいために、読み戻しの回数が多く、読み戻しをする人数も多いのではないか、RQ2.事前テストのスコアが低いと、内容理解のために読み戻しの回数が増えるのではないか、RQ3.事前事後でスコアが大きく伸びた人が、読み戻しの回数が多いのではないか。

# 2. 調査方法

### 2-1. 調査対象および時期

調査対象は研究同意を得た理系の大学学部生、大学院生 17 名である。いずれも高校時代に「物理基礎を履修済みである。調査期間は 2022 年 6 月~2023 年 1 月である。

# 2-2. 調査内容および方法

先行研究を参考に、天体の動きと季節の変化をテーマにした反駁文と通常文を作成した。反駁文を読んだ群(反駁群)と、通常文を読んだ群(通常群)とに被験者を分け、次の(1)~(4)の調査を行った。また、実施の事前と事後に調査を行い、概念理解度の伸びも検討した。

- (1)紙ベースの事前調査を実施。(両群共通)
- (2) モニターに表示された調査テキストを読んだ被験者の 視線の動きおよび時間を計測。
- ・調査テキスト1「通常文」(両群共通)
- ・調査テキスト2 [反駁文, 通常文]
- (3)紙ベースの事後調査を実施。(両群共通)
- (4)被験者が文章のどの部分に注意を払ったかなど、 半構造化されたインタビュー調査を実施。(両群共通)

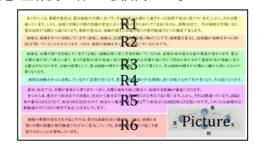


図 1. AOI 分析における 調査テキストの分割

事前事後調査では、記述式の問題に関して選んだ理由の回答を義務付けた。

図 1 は調査テキスト 2 [反駁文]である。反駁文は、段落 R1~R6 (R は Refutation の略)で構成されている。Picture (図) は、地軸が傾いた状態で地球が太陽の周りを公転している様子を表している。反駁文では、R1 と R6 が反駁の段落となっており、それ以外の段落は通常文 (Expository, 段落 E 1~E6) と同様の文章構成となっている。

# 2-3. 解析方法

視線追尾装置に組み込まれているソフトウェアには、AOI (Area Of Interest) という機能がある。AOI とは、事前に解析領域を限定することで、目的とする領域の中の視線情報を自動で集計する機能である。この機能を用いて、視線のカウント数とエリアをよんだ時間を計測し、さらにどの瞬間にエリア間の移動をしたのか、解析を行った。

# 3. 結果および考察

通常群8名、反駁群9名を対象に調査を行ったが、解析できたデータは通常群8名、反駁群7名であった。

RQ1 について、図 2 のように読み戻しの回数計測を可視化したところ、通常群の平均は  $4.1\pm1.6$  回、反駁群の平均は  $6.0\pm2.1$  回であり、反駁群のほうが、読み戻しの回数が多くなった。これが被験者の個人差によるものなのか、文章構成に依存するのかは、今後詳細に解析する。

RQ2 について、事前テストのスコアが極めて悪い例の図 2 (a) では、読み戻しが 4 回、事前テストのスコアが極めて良い例 (b) では、読み戻し回数が 4 回と、事前調査の結果の良し悪しに関わらず、視線の推移から読み戻しの回数および読み方の違いが読み取ることができなかった。

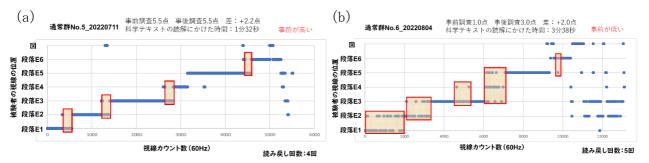


図 2. 被験者の視線の推移(a) 事前テストのスコアが高い(b) 事前テストのスコアが低い

RQ3 について、事前事後調査でスコアが伸びたか否かに関わらず、読み戻しの回数に違いはなかった。

このことから現状の結果では、科学テキストの読み戻しの回数と、概念理解の修正度合に相関性がない可能性が考えられる。

より群としての明確な結果を得るためには、現状、群としての傾向性よりも個人の影響が大きく出ているため、さらに被験者の数を増やし、母集団の均一化を図ることを目指すことが必要であることが望まれる。

本研究は、JSPS 科研費 JP 21K02890 の助成を受けたものです。

### 参考文献

[1] S. H. Broughton *et al.*; The Journal of Educational Research, **103**(6), (2010) 407-423. [2] L. Hahn *et al.*; Phys. Rev. Phys. Educ. Res. **18**(2022), 013102. [3] 大野栄三ら:物理教育, **67**(2019) [4] 萩原秀人ら,日本物理学会 2022 年秋季大会,東京工業大学,2022 年 9 月 12~15 日. [5] H. Hagiwara *et al.*; ICPE 2022, online, 5-9, Dec. 2022.

# 力学講義における探究活動と反転授業

中村 琢 岐阜大学教育学部 nakamura. taku. a5@f. gifu-u. ac. jp

# 1. はじめに

物理教育研究において、学習者が主体的に個人またはグループで課題を解決する活動に取り組むアクティブラーニング型の授業法が広く普及し、さまざまな実践研究がなされている。これまで、本研究では、大学生対象の力学の講義において、学習者に課題を提示する方法と、課題の追究の方法を変えて、学習者の力学概念の形成と学習意欲の関係を調べてきた。その試行の結果から、学習者が自由に課題を解決する方法を立案して課題解決活動をする授業法が、学習者の満足度で他の授業法よりも高く、力学概念の定着も良いことが示唆された。

一方,学習者のこれまでの学習履歴によっては、その傾向が異なることが考えられ、すべての学力層に万能な方法はないと推測できる。そこで、本研究では、概ね高等学校の物理まで学習しているクラスと、物理基礎まで学習しているクラスで同様の方法で試行し、学習者の反応と力学概念の定着度を比較するとともに、それぞれの課題を明らかにして、教授法の改善に資する知見を得ることを目的とする。本研究における教授法は課題を解決する方法の立案も含めた課題解決活動を「探究活動」と定義し、授業内に取り入れた。また、通常の授業の役割の一部を、動画教材を用いて授業前に提示し予習や復習の機能を持たせる「反転授業」の要素も組み込んだ。

また,本研究は2014年から2023年まで授業法の要素を少しずつ変えて試行してきた結果を総合的に分析し、これらの結果と合わせて報告する。

### 2. 研究の方法

主として比較する2つの授業(授業Aと授業Bとする)の特徴を示す。授業Aは,演示実験および探究活動で行い,一部に反転授業を取り入れた。学習者は大学1年生28名で工学部の学生が多数を占め,高校で物理まで履修している学生が大半である。授業Bは,同じく演示実験および探究活動で行い,一部に反転授業を取り入れた。学習者は大学2年生36名で教育学部の学生で,高校で物理基礎まで学習している学生の割合が約7割である。両授業ではニュートン力学を代数的に扱い,一部で微積分を用いた。1回90分間の授業を10回行った。授業Aは2022年に授業Bは2023年に同一の授業者が実施した。

授業の1回目と10回目に学習者に力学概念調査(FCI)および期待観調査MPEXに回答させた。 また10回目には期末試験に回答させた。授業後には無記名の自由記述式のアンケートを取り、授業の効果や学習者の立場での授業評価を行った。

### 3. 研究の結果と考察

2014年から 2022年までの力学概念調査の結果を図1に示す。2023年の授業 B は PostTest を現時点で未実施のため記載していない。探究活動を盛り込んだ教授法では、力学概念調査の規格化ゲインが0.50程度となり、世界中で行われているAL型授業の先行研究と同水準の成果を得た。これらの成果は、演示実験型授業と比べても同水準であった。また、学習者の授業後評価アンケートで

は、探究活動型の授業ではグループの活動を楽しいと感じる(100%)、役に立つ(100%)、探究活動が役に立つ(100%)と、他の演示実験型授業と比べて好意的にとらえている学習者の割合が有意に高かった。演示実験型授業では、授業の流れの大部分は授業者が決め、学習者自身の意見が根幹を決めることが少ない。学習者の興味や関心がずれていることもしばしばあった。この点で自由に追究の方法を決められる探究型授業の方が好意的にとらえる割合が高くなったと考えられる。

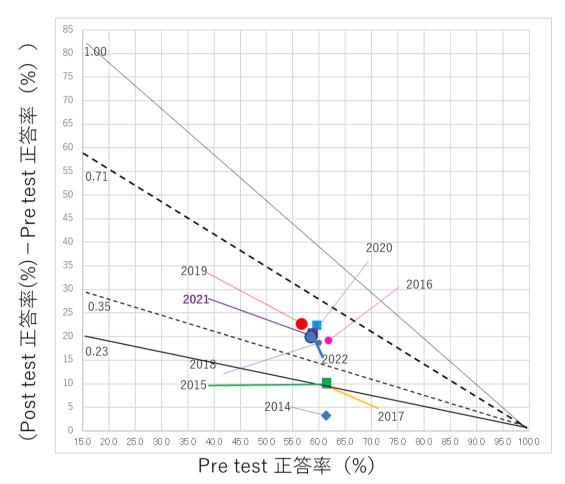


図1 力学概念調査の結果(2014-2022)

# 4. まとめ

授業Aにおいて、探究型授業は力学概念の定着と、学習者の学習意欲の維持、向上に有効であることが実証された。授業Bでは、授業Aと同様の方法では課題解決に至らないケースや、議論が深まらないケースがあった。グループ内に、議論の核となるような学習者がいないことが多く、グループに任せる方法では限界が見られた。このときには、グループ活動ではなく、授業者がファシリテーターとなって、全体で議論を進めていく方法を用いた。探究活動を授業者がガイドすることにより、予想された議論まで到達できた。ただし、この方法は時間がかかることもあり、一部の課題の修正や、授業後の課題を修正する必要があった。発表ではこれらの課題の詳細についても報告する。

# 物理学習におけるメタ認知的方略の活用と概念理解

谷口和成,<sup>A</sup>藤本滉二郎,石井哲夫 京都教育大学,<sup>A</sup>京教大附属京都小中学校 guchi@kyokyo-u. ac. jp

# 1. はじめに

物理概念獲得のための教授方略について、米国 PER の成果を参考に全国的に検討、様々に改善され、成果を挙げてきている。これまでに、アクティブ・ラーニング(AL)型の授業研究の結果、① 物理概念は関連する法則や概念と比較したり、関連づけたりする活動や、学習の過程をふり返り、総合的に考えたりする(メタ認知)の活動によって理解が深まること[1,2]、②生徒・学生の学習意欲(動機づけ)や物理の履修状況によっては、その効果が限定的になること[3]を明らかにしている。つまり現状では、クラス全体としての概念理解(=協働的な学び)は進んでも、学習者個人レベルでは、依然として概念理解に差が生じている( $\neq$ 個別最適な学び)といえる。ここで、上記①の活動は、物理の代表的な学習方法とも捉えることができるが、これらは教師によって与えられたものであり、学習において学習者が意図的に選択したものではない( $\neq$ 学習方略)。つまり、概念理解が進まない学習者は、授業においてはそれらができるが、個人の学習場面においてはこれらの方法を活用していない可能性が推測される。

そこで現在、学習者が物理学習において使用している学習方略(表1)と概念理解との関係について調査、検討を行っている。前回までに、大学生を対象として、学習方略と AL 型授業の前後における FCI による概念理解度およびその規格化ゲインとの相関分析を行った結果、典型的な学習方略のひとつである「リハーサル方略(反復練習)」を行っている学生は FCI の得点が低い傾向が確認された。一方で、調査年度(集団)による傾向の差も大きく、その他の要因の影響を探ることが課題であった[4]。そこで本研究では、その課題を解決するため、物理学習における学習者の学習方略を詳細に調査するとともに、それらの方略の適切な活用に影響すると考えられる「学習観(学習信念)」に着目し、それらと力学概念の獲得状況との関係について分析、検討を行った。

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

表1 学習方略の種類とその例

# 2. 調査内容

国立大学の物理学基礎実験受講者 48 名を対象に,「学習方略尺度[5](表 1)」,「学習観尺度[6](表 2)」および「物理を学習する際に実際に活用している方法」に関する自由記述式調査と,力学概念を測定する FCI および FMCE を AL 型授業の前後に実施した。また,変容の根拠を探るために AL 型授業の事後に「自分の学びやレポート」に関する自由記述式調査を実施した。

表 2 学習観の種類とその例

		les (
	下位尺度	例
	方略活用失敗志向 勉強量重視志向	学習方法を工夫することを重視 勉強量に頼ることだけを重視
学習観	意味理解志向 丸暗液化重視記志向	意味を理解しながら覚えることを重視 丸暗記や結果だけを重視
	思考過程重視志向 環境重視志向	問題を解いている途中経過を重視 成績がいいクラスに入っていれば成績は良くなる

# 3. 結果および考察

事前調査を用いて、学習方略と概念理解との相関分析を行った結果、【リハーサル方略】と【FCI 得点】との間に負の相関(r=.-437\*\*)、【体制化方略】【精緻化方略】と【FCI 得点】との間に正の相関が確認された(それぞれ r=.351\*\*、.373\*\*)。これらは、反復練習を活用する学生ほど概念が定着しておらず、過去の学習内容との関連づけや自分なりのイメージをしながら学習する学生ほど定着していることを示している。実際、学習観との相関分析においても、【丸暗記結果重視志向】と負の相関が確認されており、矛盾はない。

一方で、【メタ認知的方略】の2つの下位尺度と概念理解との相関は確認されなかった。これは、メタ認知の活用が必ずしも概念理解につながらないことを示しており、学習観との結果においても、メタ認知的方略の活用に関係すると考えられる【方略失敗活用志向】や【思考過程重視思考】(以下、「メタ認知的学習観」と呼ぶ)と無相関であった。しかしながら、一般に、概念理解を目指すAL型授業において、学習者がメタ認知を行うことは重要である。そこで、これらのメタ認知的学習観と学習方略との相関分析を行った結果、いずれも【体制化】【精緻化】の学習方略と正と相関が確認された(ex.【方略失敗活用志向】に対して、それぞれ r=.383\*\*、.412\*\*)。つまり、メタ認知的学習観を保持する学生ほどこれらの学習方略を選択する傾向があり、その結果として概念理解に至っている可能性を示唆している。講演では、その他の下位尺度の相関分析や学習方略の自由記述式調査を用いた質的な分析結果を交えて、上記の考察の妥当性についての検討結果を報告する。

本研究は JSPS 科研費 21K02926 の助成を受けて実施している。

- [1] 山崎敏昭, 谷口和成, 他:物理教育61, 12-17 (2013).
- [2] 谷口和成:物理教育 65-3, 170 (2017).
- [3] 北村貴文, 谷口和成:物理教育 63-1, 12 (2015).
- [4] 谷口和成,藤本滉二郎,石井哲夫:日本物理教育学会第38回物理教育研究大会,2-1-A(2022).
- [5] 押尾恵吾:教育心理学研究 65, 225-238 (2017).
- [6] 瀬尾美紀子:教育心理学研究 55, 170-183 (2007).

# 探究的な物理授業とは?

士佐幸子 新潟大学教育学部

stosa@ed.niigata-u.ac.jp

# 1. はじめに

探究的な物理授業とはどのような授業なのだろうか。2022 年度に高等学校においても新学習指導要領[1]が全面実施され、図 1 に示すような過程を含む探究的な理科学習の実現が求められている。しかし、その具体的な姿に頭を悩ます教員は多い。探究的な学習とは、SSH校で行われているような生徒が自ら課題を設定する「課題探究」を意味するのだろうか。そうであれば、「物理基礎」等の通常授業で教科書に掲載された課題について学習するのは探究的ではないことになる。また、伝統的に情報伝達型の授業が多い高校[2]において、指導法の大きな変化は、教員にとっても生徒にとっても対応が難しい。一方、海外、例えば米国では Inquiry が Practices という言葉に置き換えられ、工学的なデザイン過程を含めた理科教育や、芸術、人文・社会科学を含めた STEAM 教育が重視されてきている。本発表では大会テーマと呼応し、物理教育における探究的な学習について、文献と実践例を基にその意味と位置付けを問い直す。



図1 高等学校理科における探究過程[1]

# 2. 方法

研究対象とデータ収集:探究的な学習の意味と位置づけについて、「探究」と「Inquiry」をキーワードとして情報検索を行い、国内外の文献調査を行った。また、 $2016\sim20$ 年に収集した日本の高校理科(物理・化学)授業 6つについて、探究的な学習の観点から分析を行った。

授業の分析方法:授業の分析には Reformed Teaching Observation Protocol (RTOP) [3]を用いた。RTOP は基本的な科学的概念について、生徒の概念理解を促すような主体的・協働的・探究的な授業展開がなされていたかどうかを測る評価指標である。また、探究的な過程について、①課題の設定、②仮説を立てる、③実験計画の立案、④実験方法と結論の正当性吟味の 4 項目について、それらの有無と誰によって行われたかを調べた。

# 3. 結果と考察

探究的な学習の理論的枠組み:探究的な学習の理論的枠組みは、構成主義に則った学習観に基礎を置く。構成主義によれば、知識の獲得は他者からの一方的情報伝達では起こらず、学習者が能動的に対象に働きかけ、妥当な解釈を構築して初めて実現すると考える[4]。概念構築の過程で重要な役割を果たすのが他者との相互作用であり、教師や他の学習者と話し合うことによって概念構築が促されるとする[5]。また、「妥当な解釈」は、自分で考えれば何でもよいというわけではなく、人類が今まで築き上げてきた社会的に認められた考えと整合性が図られていなければならない[6]。ここでも教師は、学習者の概念構築を支援する重要な役割をもつ。一方、科学者は長い年月をかけ、

自然の事物や現象に対して抱いた疑問について、仮の説明を考え、その説明が正しいかどうかを実験や観察で検証し、結論を導くという探究の過程、すなわち「科学の方法」を編み出した。先人が構築した概念を、科学の方法に則り、探究過程を通して学習者が自分なりに獲得していくのが理科学習である。それは構成主義が主張するように能動的に妥当な解釈を構築することによって初めて実現すると考えられる。探究に相対するのは、言われたことをただ覚える暗記や年齢に達すれば自然に獲得するという考え、褒美を与えられればそれを選ぶというような学習の捉えである。

探究的な理科学習のレベル分け:米国では1996年発行の全米科学教育スタンダードに「探究的は理科教育の真髄である。」と記載された[7]。さらに、探究には①構造化された探究、②導かれた探究、そして③生徒主体の探究の3レベルがあるとして、生徒の実態に合わせて多様な指導方略を組み合わせて用いることが推奨された。最近ではレベル分けをもっと柔軟に捉える研究もある[8]。

#### 日本の高校理科授業の分析結果:

表1 日本の高校理科授業の探究に関する分析結果(N=6)

日本の高校理科(物理・化学)の授業6つをRTOPによって分析した[9]。また、探究過程の4項目の有無と主体(0なし、1教師、2一緒、3生徒)について調査し、①~③の探究レベルを特定した。結果を表1に示す。分析結果より、日本の高校理科授業では課題の設定を教師が行ってい

	授業1	授業2	授業3	授業4	授業5	授業6
RTOP スコア	48	35	45	56	53	74
課題の設定	1	1	1	1	1	1
仮説の設定	0	2	0	2	2	3
実験立案	1	1	1	1	2	3
正当性吟味	1	0	0	0	0	2
探究レベル	1	1	1	2	2	3

ることがわかる。また、実験方法や結論について正当性を吟味することが少ない。

# 4. まとめと今後の展望

探究的な理科学習は、やってもやらなくてもいいというものではなく、生徒が自然の事物と現象を科学的に理解するために不可欠のものと考えてよかろう。そうであれば、本発表で取り上げた 4 項目を必ず含むように、形の上から授業を生徒主体の活動に変革する試みが求められる。例えば、課題の設定は教師から出したとしても、一方的に推し進めるのではなく、生徒がどうしてだろう、調べてみたいと思ってこそ探究が始まるだろう。すでにある慣習を崩すのは容易ではないが、皆で工夫を共有し、探究的な理科学習の普及を少しでも前進させたい。

- [1] 文部科学省:高等学校学習指導要領解説【理科編,理数編】,2018年
- [2] 文部科学省:新しい学習指導要領の考え方,2017年
- [3] Sawada ら: Reformed Teaching Observation Protocol, 2000年(日本語版: https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=RTOP
- [4]Fosnot, C. T. (Ed.): Constructivism-Theory perspectives, and practice, Teachers College Press, 2005年
- [5]Vygotsky, L. S.: Mind in society: The development of higher psychological processes, Harvard University Press, 1978年
- [6]Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P.: Constructing scientific knowledge in the classroom, Educational Researcher, 23(7), 5-12, 1994年
- [7] National Research Council: National Science Education Standards, 1996年
- [8] Bacak & Byker: Moving from Levels of Inquiry to the Flexible Phases of Inquiry Theory: A Literature Review of Inquiry-Based Teacher Education, Journal of Teacher Education and Educators, 10(2), 255-271, 2021年
- [9]土佐幸子ら:日本物理学会 2020 年秋季大会口頭発表, 2020 年

2023年度日本物理教育学会年会 第39回物理教育研究大会 発表予稿集

発行日 令和5年8月7日

発行者 第39回物理教育研究大会 実行委員会

印 刷 新潟明訓中学校・高等学校

# 2023年度 日本物理教育学会年会 第39回 物理教育研究大会

# 発表予稿集

3/3 分冊

# 大会テーマ 「探究学習を実現する物理教育」

2023年8月11日(金)・12日(土)

会場:新潟明訓中学校・高等学校

(所在地:新潟県新潟市江南区北山1037番地)

主催:日本物理教育学会

共催:新潟明訓中学校 · 高等学校

後援:文部科学省、日本物理学会、応用物理学会 新潟県教育委員会、新潟市教育委員会

# 原著講演プログラム(2日目)

# 8月12日 (土)

11:00	~12:00 原著講演 5-a 座長:大山 光晴 会場(講堂)			
5a-1	日本型物理概念調査問題の開発I:研究の現状	新田 英雄		74
5a-2	日本型物理概念調査問題の開発 II:完成までの過程と成果	勝田 仁之		76
5a-3	日本型物理概念調査問題の開発Ⅲ:妥当性調査	西村 塁太		78
5a-4	学齢に対する、ローソンテストのスコアの伸び	庄司 善彦		80
11:00	~12:00 原著講演 5-b 座長:今和泉 卓也 会場(社会科地学教室)			
5b-1	伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果(2): ランダム化比較試験による検証 研究計画	梅田 貴士		82
5b-2	伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果(2): ランダム化比較試験による検証 授業実践	宗尻 修治		84
5b-3	相互情報量を用いた概念調査の分析	柴田 樹		86
5b-4	協調学習を中心とした入門レベルの物理学授業における学習姿勢の変化	小島 健太郎		88
13:30	~14:30 原著講演 6-a 座長:内山 哲治 会場(講堂)			
6a-1	誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子(4)一性因子一	庄司 善彦		90
6a-2	接触する2物体間にはたらく力についての生徒の認識	鷲見 拓哉		92
6a-3	大きさのスケール概念を養う観察活動の提案	夏目 ゆうの		93
6a-4	東京都立高等学校生徒が重視する探究の過程に着目した探究の指導法の提案	石川 真理代		95
10.00	~14:30 原著騰濱 6-b 座長: 落合 道夫 会場 (社会科地学教室)			
	~14:30 原著講演6-b 座長:落合 道夫 会場(社会科地学教室) 教員養成課程における物理授業へのコンセプトマップの活用	小林 良彦		97
		池田幸夫		99
	科学書における"thermal"という用語の訳語は「熱(の)」ではなく、「温度(の)」とするのが適切ではないか?	五十嵐 靖則		
00-4	人体のする仕事と人体のエネルギー	西尾 信一		103
14:40	~15:40 原著講演 7-a 座長:室谷 心 会場(講堂)			
7a-1	学校教育に向けたマネジメントシステム改善の勧め	尾島 正男		105
7a-2	探究の題材としての無重力や DNA	島野 誠大		107
7a-3	女子高生の「物理学短歌作り」を通した言語活動による物理的思考と主体的な学びの育成	朝倉 彬		109
7a-4	放射線と福島復興の教育	原尚志	•••	111
14:40	~15:40 原著講演 7-b 座長:今和泉 卓也 会場(社会科地学教室)			
7b-1	身近な現象を定量的に理解するためのエントロピーと熱力学	石黒 亮輔	•••	113
7b-2	系概念とエネルギー保存式を意識した「仕事・エネルギー」の授業実践	今井 章人		115
7b-3	教育における改善活動のために	遠藤 正昭		117
7b-4	波動光学に対する概念理解の困難の分類とその克服	中山 理知		119

# 日本型物理概念調査問題の開発 I: 研究の現状

A新田英雄, A植松晴子, B勝田仁之, C西村塁太, D石本美智, A右近修治, E興治文子, F安田淳一郎, G伊藤慧, H今井章人, I植松桃子, J江藤開, K尾形総一朗, L苅谷麻子, M佐々木志帆,

N柴田樹, ○清水滉大, P竹内透, Q長倉健哉, R平本健太, S峯岸晃生, T山本岳
A東京学芸大学, B筑波大学附属高等学校, C東京学芸大学附属高等学校, D高知工科大学, E東京理科大学, F山形大学, G明治大学付属明治高等学校・中学校, H早稲田中学校・高等学校, 「十文字中学高等学校, J神奈川大学附属中学校・高等学校, K市川学園市川中学校・高等学校, L東京学芸大学附属国際中等教育学校, M小松市立南部中学校, N北杜市立甲陵高等学校, O法政大学国際高等学校, P東京都立新宿高等学校, Q静岡県立伊豆中央高等学校, R同志社中・高等学校, S渋谷教育学園幕張中学校・高等学校, T新潟県立長岡大手高等学校

hi nitta@u-gakugei.ac.jp

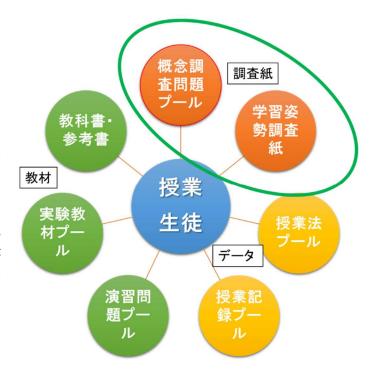
# 1. はじめに

本講演は、3件の連続講演「日本型物理概念調査問題の開発」の1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、日本の教育課程に即した高等学校物理の教育資源一式を、物理教育研究 (PER) の手法に基づいて、中長期的に構築していくことを目指している。なお、高等学校を主な対象としてはいるが、大学の基礎物理教育にも用

いることができる包括的な資源の開発を目標としている。

具体的には、右図のような、授業と生徒を中心として、それを取り巻く調査紙、授業法・授業記録プール、演習問題・ワークシート、実験教材、教科書・参考書等を教育資源としてとらえ、授業実践を通じて教育資源を開発することが長期的目標である。

現在は、第1期の目標期間と位置付けられ、 高等学校の学習指導要領に基づいた、「物理 基礎」及び「物理」の標準概念調査問題の作 成に取り組んでいる。概念調査紙は、授業効 果を分析して改善すべき点を見いだすため に不可欠なツールであり、最初に整備すべき 教育資源だからである。



# 2. 研究経過

本研究を遂行するため、2018年に若手中心の研究グループがつくられ、中長期的な研究の方向性を検討した。2019年からは基盤研究(B)「概念形成過程の実践的研究と一体化した物理概念調査紙群の開発」として5年間の中期計画の下で上記標準概念調査紙の開発を行ってきた[1-13]。

概念調査紙は、FCIやFMCEをはじめ、各分野で、物理教育研究(PER)に基づいた多くの調査紙がすでに開発されている。しかしながら、これらは主に海外の大学での物理教育をターゲットとし

て開発されたものであり、学習内容の違いなどから日本の高等学校において必ずしも使いやすいものではなかった。そこで本研究では、「物理基礎」及び「物理」の全単元を対象とした、学習指導要領に沿った調査紙を作成することにした。問題の作成には、PERで確立された手法をすべて取り入れて、妥当性評価、信頼性評価を行ってきた。また、将来的に学習指導要領が大きく改訂されたなどの場合には問題の入れ替えが必要となってくるが、その場合でも過去のデータと比較できるように、現代テスト理論による分析を行い、各項目に対し困難度を推定してきた。2022年度の段階で、問題冊子がほぼ完成し、本格的な調査を開始した。最終年度である本年度は大規模調査を実施して全国の高等学校および大学から協力を得て、データを収集している。2022年度の事前調査では「物理基礎」で2890名、「物理」で886名のデータを集めた。本年度の事前調査では、それぞれ、4354名、1429名となっており、「物理基礎」では延べ7000名以上のデータを得ている。なお、事前調査の平均得点率は、「物理基礎」で2022年度、2023年度とも33%、「物理」では2022年度で30%、2023年度で27%となっている。

# 3. 今後の研究

本年度は、事後調査を行った後、最終的に全国の結果をまとめて日本の高等教育における物理概念理解の実態を詳細に分析する予定である。当然ながら、この結果に基づいて、今後の高校物理や大学入門物理の改善の方向性を見いだしていくことが大切である。その際、「物理嫌い」が増加しているという深刻な問題についてもあわせて取り組み、物理を学ぶ意義を実感できるような物理教育を構築していくことが重要である。なお、2022年度の「物理基礎」事前調査の結果を男女別にみると、女子の得点率が男子よりも10%近く低くなっている。男女差を含め、生徒の多様性に対応できる物理教育とは何かを探っていることも、今後ますます重要な課題となっていくものと思われる。また、2024年3月下旬に、本研究の全体像を報告するシンポジウムを実施する予定である。

本研究は、調査にご協力くださっている多くの皆様に支えられています。心より感謝申し上げます。なお、本研究は、科研費基盤研究(B)課題番号 19H01731 の助成を受けています。

- [1] 新田英雄, 他, 2019 年度日本物理教育学会年会第 36 回物理教育研究大会講演予稿集 p.96.
- [2] 勝田仁之, 他, Ibid, p.98.
- [3] 西村塁太, 他, Ibid, p.100.
- [4] 苅谷麻子, 他, Ibid, p.102.
- [5] 平本健太, 他, Ibid, p.104.
- [6] 新田英雄, 他, 2021 年度日本物理教育学会年会第 37 回物理教育研究大会発表予稿集 p.62.
- [7] 勝田仁之, 他, Ibid, p.64.
- [8] 西村塁太, 他, Ibid, p.66.
- [9] 今井章人, 他, Ibid, p.68.
- [10]新田英雄, 他, 2022 年度日本物理教育学会年会第 38 回物理教育研究大会発表予稿集 p.22.
- [11]西村塁太,他, Ibid, p.24.
- [12]今井章人, 他, Ibid, p.26.
- [13]勝田仁之,他 Ibid, p.28.

# 日本型物理概念調査問題の開発 II:完成までの過程と成果

<sup>A</sup> 勝田仁之、<sup>B</sup> 新田英雄、<sup>B</sup> 植松晴子、<sup>C</sup> 西村塁太、<sup>D</sup> 石本美智、<sup>B</sup> 右近修治、<sup>E</sup> 興治文子、  $^{\mathrm{F}}$ 安田淳一郎、 $^{\mathrm{G}}$ 伊藤慧、 $^{\mathrm{H}}$ 今井章人、 $^{\mathrm{I}}$ 植松桃子、 $^{\mathrm{J}}$ 江藤開、 $^{\mathrm{K}}$ 尾形総一朗、 $^{\mathrm{L}}$ 苅谷麻子、 $^{\mathrm{M}}$ 佐々木志帆、

N柴田樹、O清水滉大、P竹内透,Q長倉健哉,R平本健太,S峯岸晃生,T山本岳 <sup>A</sup>筑波大学附属高等学校、<sup>B</sup>東京学芸大学、<sup>C</sup>東京学芸大学附属高等学校、<sup>D</sup>高知工科大学、 E東京理科大学、F山形大学、G明治大学付属明治高等学校・中学校、H早稲田中学校・高等学校、 『十文字中学高等学校、『神奈川大学附属中学校・高等学校、『市川学園市川中学校・高等学校、 L 東京学芸大学附属国際中等教育学校、M 小松市立南部中学校、N 北杜市立甲陵高等学校, <sup>O</sup>法政大学国際高等学校, <sup>P</sup>東京都立新宿高等学校, <sup>Q</sup>静岡県立伊豆中央高等学校、

R同志社中・高等学校、S渋谷教育学園幕張中学校・高等学校、T新潟県立長岡大手高等学校

# katsuda.phys.edu@gmail.com

# 1. はじめに

本講演は、3件の連続講演「日本型物理概念調査問題の開発」の2件目である。発表者らの所属する 研究グループ PEPPER では、高等学校物理基礎・物理それぞれについて、学習指導要領の範囲全体をカ バーした標準的な概念調査紙を開発してきた。国際的な物理教育研究 (PER) の方法 に則って, 各分野 における典型的な誤概念を反映した調査問題(物理基礎・物理各30問,5択の多肢選択肢)を開発し、 試行・分析・改訂をくり返してきた。妥当性評価についても、古典・現代テスト理論両面からの分析と、 Think Aloud インタビュー、物理学の専門家による評価を行った。

2022 年度末の時点で、完成版

を作成し, 本年度は大規模調査 pre, post を実施している。昨年 度の試行と,今年度の大規模調 査の実施状況を,表1に示す。 参加校には,大学や高専も含ま れている。

これまでの日本においても, FCI をはじめとして、力学や電

表 1 試行調査の実施概要(2023.07.07. 時点)

科目	実施年度	pre,post	学校数	有効回答数	正答率(SD)
物理基礎	2022	pre	23	2890	0.33 (0.42)
	2022	post	17	1716	0.45 (0.46)
	2023	pre	42	4354	0.33 (0.13)
	2022	pre	14	886	0.30 (0.43)
物理		post	9	404	0.46 (0.48)
	2023	pre	29	1429	0.27 (0.12)

気回路については盛んに概念調査紙による誤概念の抽出や授業効果の測定が行われ、学会や論文などで 報告されている。一方,他分野においての報告は少ない<sup>2</sup>。本研究グループのこれまでの調査の成果と して、物理基礎・物理ともに、各分野において無視できない誤概念を発見してきた。本講演ではそれら について,統計的な分析データとともに紹介する。

# 2. 熱分野の例(物理基礎 問 24 2022 年度)

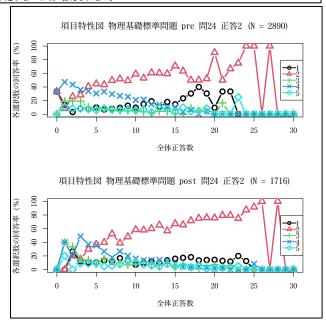
お湯と常温のオリーブオイルを 同量混ぜた際の温度について,問 う問題である。オリーブオイルの 方が水よりも比熱が小さいため, 正解は(2)となる。

この問題の、項目特性図(回答者を全体正答数が同じ集団ごとに分け、各選択肢の回答率をグラフ化したもの)を右に示す。pre, post ともに、次の3つの特徴が見て取れる。

- ① 全体正答数が高くなるにつれ、正答率が右 肩上がりとなっている
- ② 全体正答数が低い集団には,(4)の選択肢が多く選ばれている
- ③ 全体正答数が高い集団には、(1)の選択肢が多く選ばれている

それぞれの特徴について考察する。①については、本問題の正答率が、全体の正答数(=回答者の理解度)と正に相関しているということであり、テストとして望ましい問題が作成できたと言える。

- 24. コップの中に、常温のオリーブオイルが 100g 入っています。ここに、熱いお湯を 100g 注いで十分かき混ぜたとき、温度はどうなるでしょうか。あなたの考えに最も近いものを選んでください。なお、オリーブオイルの方が、水よりも温まりやすいです。 また、かき混ぜるときのエネルギーは無視でき、コップの外に熱は逃げないとします。
- (1) オリーブオイルと水は 100g ずつなので、ちょうど中間の温度になる。
- (2) オリーブオイルと水は 100g ずつで、オリーブオイルは水よりも温まりやすいので、中間の温度よりも高い温度となる。
- (3) オリーブオイルと水は 100g ずつで、オリーブオイルは水よりも温まりやすいので、中間の温度よりも低い温度となる。
- (4) オリーブオイルと水は混ざらないので、両者は同じ温度にはならない。
- (5) これだけでは情報が足りないので、答えられない。



②について、(4)の誤答選択肢「オリーブオイルと水は混ざらないので、両者は同じ温度にはならない」は、熱と温度を考える上での前提となる、熱平衡そのものを否定している。全体正答数の低い集団には、水と油という身近な文脈の中で、熱平衡の概念が受け容れられていないということである。

③について、(1)の誤答選択肢「オリーブオイルと水は 100 g ずつなので、ちょうど同じ温度になる」は、熱平衡の概念は受け入れられているものの、比熱――物質ごとの温まりやすさの違い、が考慮されていないといえる。全体正答数が高い集団の誤答傾向は、②との比較において、低い集団の誤答とは質的に異なることがわかる。

#### 4. おわりに

今年度の post 調査に参加していただける方を募集しています。物理基礎,物理の post 調査を実施していただける方は,ぜひご連絡ください。年度末には,分析データとともに,全体と各校の結果をお渡しします。

- [1] W. Adamas & C. Wieman, International Journal of Science Education, 33(9), 1289–1312(2011).
- [2] 勝田仁之, 西村塁太, 今井章人, 物理教育, 69, 3, p. 157-162 (2021).

# 日本型物理概念調査問題の開発皿:妥当性調査

本西村塁太、B新田英雄、B植松晴子、C勝田仁之、D石本美智、B右近修治、E興治文子、F安田淳一郎、G伊藤慧、H今井章人、I植松桃子、J江藤開、K尾形総一朗、L苅谷麻子、M佐々木志帆、N柴田樹、O清水滉大、P竹内透、Q長倉健哉、R平本健太、S峯岸晃生、T山本岳
A東京学芸大学附属高等学校、B東京学芸大学、C筑波大学附属高等学校、D高知工科大学、E東京理科大学、F山形大学、G明治大学付属明治高等学校・中学校、H早稲田中学校・高等学校、I十文字中学高等学校、J神奈川大学附属中学校・高等学校、K市川学園市川中学校・高等学校、L東京学芸大学附属国際中等教育学校、M小松市立南部中学校、N北杜市立甲陵高等学校、O法政大学国際高等学校、P東京都立新宿高等学校、Q静岡県立伊豆中央高等学校、R同志社中・高等学校、S渋谷教育学園幕張中学校・高等学校、T新潟県立長岡大手高等学校 m121805g@st.u-gakugei.ac.jp

#### 1. はじめに

本講演は、3件の連続講演「日本型物理概念調査問題の開発」の3件目である。発表者らの所属する研究グループ PEPPER では、高等学校物理基礎・物理それぞれについて、学習指導要領の範囲全体をカバーした標準的な概念調査紙を開発してきた。国際的な物理教育研究 (PER) の方法「に則って、各分野における典型的な誤概念を反映した調査問題 (物理基礎・物理各30問、5択の多肢選択肢)を開発し、試行・分析・改訂をくり返してきた。妥当性評価についても、定性・定量両面から行なった。ここでは定性的な分析として、物理教育の専門家による評価について述べる。

# 2. 物理教育の専門家による妥当性調査の方法

Adams ら¹によると、選択肢式問題で構成されるテストを作成したら、該当教科を教えている専門家や生徒が問題を正しく解釈できるか否かをインタビュー調査で調べる必要があると述べている。このとき、専門家は次の視点で問題の妥当性を判断することとなる。

- 1. 正答と想定している選択肢はその問題の正しい答えとして適切であるか
- 2. 正答以外の選択肢はその問題の誤った答えとして適切であるか
- 3. その問題は生徒に学んでほしい内容の理解を適切に問う問題であるか

上記の3点について尋ねるインタビュー調査を6~10人程度に対して,さらに,その数倍の人数に対してテストを受けてもらい,妥当性と一貫性についてそれぞれ評価を受けることが望ましいとされている。また,これらの調査を通して,問題や選択肢の文章をより適切な形に修正することも検討する必要がある。このとき,より専門的な用語を用いて,正確な表現に修正すべきという意見が専門家から出されることもあるが,生徒が明確に理解でき,物理的にも正確で,さらに,生徒の考えを引き出すことのできる適切な妥協点を見つけられるよう,慎重に検討する必要がある。

本研究では上記のAdams らによる先行研究を踏まえ、物理教育研究に精通しており、長年高校や大学で物理を教えているベテラン教員3名に、我々が作成したテストの妥当性を評価していただいた。調査は、「物理教育の専門家としての観点から、設問(選択肢を含む)の正確さおよび適切さを評価してください。『正確さ』は物理的な正確さ、『適切さ』は問いたい概念に対する適切さを表します。なお、未習段階でも回答できるように、なるべく日常語を用いるようにしている点は予めご承知おきください。」という文章を読んだ上で、『難しさ』、『正確さ』および『適切さ』の3観点を

問題ごとに 5 段階(1: 易または不良~5: 難または良)で評価するとともに,評価理由を記述してもらう形で実施した。調査は 2023 年 4 月に行なった。

# 3. 妥当性調査の結果

ここでは物理基礎の問21(図1)の調査結果を紹介する。

物理基礎の問 11 は潜熱の理解を問う問題で、 $TCE^{2-4}$  問 11 の日本語訳  $^5$  を、一部改訂した問題である。評価者  $^3$  名( $A\sim C$  とする)のこの問題に対する評価結果は、『難しさ』・『正確さ』・『適切さ』の順で、 $A:4\cdot3\cdot3$ 、 $B:3\cdot3\cdot2$ 、 $C:4\cdot2\cdot2$  であった。A は「根拠が書いてある選択肢と書いてない選択肢がある。」とコメントしており、選択肢が平等ではない点を指摘していた。このことは上記の A dams  $^5$  も述べており、可能な限り選択肢は同様な質・量に揃えることが望ましいとされている。B は「熱という語をどのように理解しているか、いろいろな状態があるだろうが、この問だけでは分離できないのではないか。冷たい物体は熱を持っていないと思う生徒には結構遭遇した。移動するエネルギーとは思っていない。」とコメントしており、適切さが不十分であると指摘していた。潜熱の理解を問うのが問  $^2$  の趣旨であるが、温度と熱の混同についても問うてしまっている可能性がある。 $^2$  は「たぶん熱平衡に達するまでに移動する熱量の大小関係を聞いているのだと思いますが、いつまでと書かれていないので、熱の伝わる速さを聞いているのかとも誤解されてしまう可能性があります。」とコメントしており、正確さと適切さが不十分であると指摘していた。潜熱というより、熱伝導率に関する問いになってしまっている可能性がある。

- 21. 氷室さんが友人たちに「0℃の水 100 g と, 0℃の氷 100g を一緒に, -20 ℃の冷凍庫に入れたら, どちらの方からより多くの熱が冷凍庫へと移動するだろうか?」と尋ねました。あなたならどう答えますか。次の中から最も近いものを選んでください。
- (1) 「氷の方だよ」
- (2) 「水の方だよ」
- (3) 「どちらも0℃だし、氷の正体は水なんだから、同じだよ」
- (4) 「水や氷から熱が移動するんじゃなくて、冷凍庫の冷気が入り込むんだよ。」
- (5) 「水を0℃にすることはできないのだから、答えようがないよ。」

# 図1 物理基礎の問21

本発表では上記のような専門家によるアンケート調査と,生徒へのインタビュー調査の結果を踏まえた妥当性評価の結果について報告する。

- [1] W. Adams & C. Wieman, International Journal of Science Education, 33(9), 1289–1312(2011).
- [2] S. Yeo and M. Zadnik, Phys. Teach. 39, 496–504 (2001).
- [3] G. R. Luera, et. al, Phys. Teach. 44, 162-166 (2006).
- [4] H. Chu, et. al, Int. J. Sci. Educ. **34** (10), 1509 (2012).
- [5] 日本語訳は勝田・右近によるものが Physport (<a href="https://www.physport.org">https://www.physport.org</a> (2023.7.10 取得))で公開されている.

# 学齢に対する、ローソンテストのスコアの伸び

A庄司善彦,B宗尻修治,「野村和泉,」斉藤準 A兵庫県立大高度研,B広島大先進理工,「中部大工,」帯広畜産大農学情報基盤 Shojis4th@outlook.jp

# 1. はじめに

学習が進みやすい学生の資質として、学習意欲や学習習慣、生活態度などが知られているが、STEM 科目に対しては抽象的論理能力が重要要素の一つである。ローソンテスト(Lawson's Classroom Test of Scientific Reasoning、以後は LCTSR と略す)は、J.Piaget の認知発達論に基づいて科学的推論能力を測定するアセスメントテストである。現在、広く普及しているのは選択式ペーパーテストとして改訂されたバージョンで、ここで用いたのは笠らによる和訳である[1]. テストは全 24 間で複数の採点方式があるが、本稿では単純な 24 点満点の採点を使う。Bao らは、アメリカと中国の調査から LCTSR のスコアが、高校生段階までは学齢のロジスティック関数になっていることを示した[2]。本研究では日本のデータでこれを検証する。さらにロジスティック関数を前提とした能力指標は、集団内の能力値の分布、および再テストのばらつきが Gauss 分布になることを示す。

# 2. 調査と結果

[平均への回帰の補正] 本研究では学生個人のスコアを評価するため、同じ学生による回答のばらつきの効果を除く必要がある。この効果は「平均への回帰」と呼ばれるシステマティックな統計的現象で、同じ問題で再テストを行うと、2階目のテストスコア  $S_1$  よりグループの平均スコアに近くなりがちになる現象である。

我々は 875 組の同一学生による複数回答を解析した。ある グループに対して  $S_2$ は  $S_1$ の関数でランダムなばらつきを含む と考え、フィッティングでこの関数を得たとする。この関数 は、 $S_1$ に対して最も可能性の高い  $S_2$ を与える。逆に、 $S_2$ に対 して最も可能性の高い  $S_3$ を与える関数も求められる。図 1 は

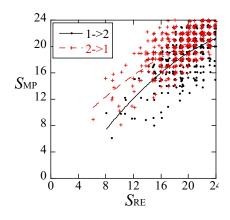


図 1 回答対のスコア  $S_{RE}$  から  $S_{MP}$  を推定する 2 次関数。

この2つの関数の例である。そして2つの関数の平均は、1回目から2回目への能力変化がない状況で最も可能性の高い再テストのスコアを与える。LCTSR に回答した学生のスコアが $S_{RE}$ であった場合、最も可能性の高い再テストのスコア $S_{RE}$ は、クラス毎に以下で与えられる。

$$S_{MP} = \langle S_{RE} \rangle + 0.53(S_{RE} - \langle S_{RE} \rangle) - 0.14(S_{RE} - \langle S_{RE} \rangle)^2$$
 (1)

ここで >はクラス平均である。以下では、学生の能力値 $\theta$ を、 $S_{\mathbb{H}}$ の logit function (ロジスティック関数の逆関数で、正解率を不正解率で割って対数をとったもの)で評価する。

$$\theta = \ln[S_{\text{MP}}/(24-S_{\text{MP}})] \tag{2}$$

[学生の能力値分布] 学生の能力値が多くのバラバラの要因で決まっている場合、そのグループの能力値分布はガウス分布になるだろう。図2は兵庫県立大工学部、広島大学理数系学部、帯広畜産大学の新入生の能力値分布である。どの大学の分布も Gauss 分布に近く、サンプル数の多い

(N=344)兵庫県立大の適合度は R=0.977 である。 広島大学はハイスコア  $(\langle S_{RE} \rangle = 20.2)$  だが、や はり Gauss 分布が再現され、天井効果は見えな い。分散が同程度である点も $\theta$ を使うスケーリン の利点である。

[能力値のばらつき] 講義前と講義後の能力値をそれぞれ $\theta_i$ と $\theta_i$ とすると、 $\theta_i$ - $\theta_i$ -<  $\theta_i$ - $\theta_i$ -

た標準偏差である。標準偏差のスコア依存 は小さく、θに対する 測定誤差はスコアに あまり依存しない。

[学齢と成長] L. Bao らが示した学齢に対 するスコアの変化を、 図4に能力値でプロッ トした。Bao らのデー タに加えて、覧具博義 らによる全国調査の

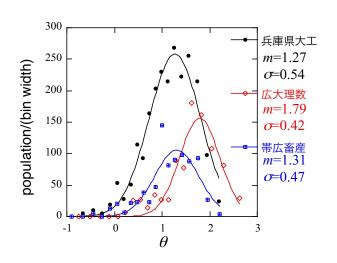


図2 大学別新入生のスコア分布。

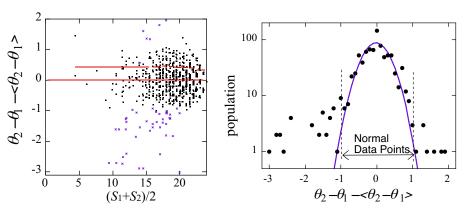


図 3 同一学生に対する能力値のばらつき (測定誤差)。左図はスコア依存、右図は分布。曲線は $\sigma$ =0.36 の Gauss 分布。

結果[3]、さらに兵庫県立大在籍中の学生のスコア変化も記載した。兵庫県立大のデータは Bao らのデーターと異なり、同一学生の $\theta$ の伸びなので信頼度が高いと考えられる。図 3 から推定した誤差は $\sigma$ =0.36/ $\sqrt{(14+28)}$ =0.056である。

# 参考文献

#### [1] 選択式LCTSRの英語版の入手は

https://www.physport.org/assessments/からできる. 笠潤平,谷口和成,石本美智,合田正毅,村田隆紀,覧具博義による和訳を使用.

[2] L. Bao, et al., supporting online material for Science 323 (2009) pp. 586-587.

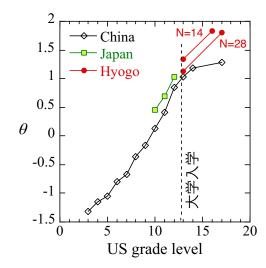


図 4 学齢に対する $\theta$ の伸び。

[3] 谷口和成,「全国調査における CTSR の FCI との相関性」、「物理教育に関する現状調査プロジェクト」報告会, 2018/11/18.

# 伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果(2):

# ランダム化比較試験による検証 研究計画

<sup>A</sup>梅田貴士、<sup>B</sup>宗尻修治

<sup>A</sup>広島大学大学院人間社会科学研究科、<sup>B</sup>広島大学大学院先進理工系科学研究科 tumeda@hiroshima-u. ac. jp

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

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

# 1. はじめに

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

この AL 型授業の導入を進めるには、物理教育研究に詳しくなく、伝統的な物理授業を行っている教員にも AL 型授業に興味を持って貰う必要がある。そのために、伝統的な物理授業で重視している内容・能力に対して AL 型授業がどのくらい有効なのかを定量的に示した研究が必要であると考えた。この研究の第一歩として、AL 型授業の基本要素である学生同士の議論(ピア・ディスカッション)がもたらす効果を明らかにしたい。

ピア・インストラクションの問題解決スキルに対する有効性については様々な研究[2]で報告されているものの、コンセプテストのような概念理解を問う問題に対するピア・ディスカッションではなく、伝統的な授業における例題演習に対するピア・ディスカッションの効果を定量的に調べた研究は見当たらなかった。また、ピア・ディスカッションという手法が、どのような問題に対して、どのくらい学習効果があるのかという精度の高い・定量的なデータは、AL型授業の研究に対する基礎データとしても重要になると考えている。

#### 2. 研究目標

本研究では、大学における伝統的な物理学授業において、講義の中にピア・ディスカッションを 導入した場合の効果を定量的に調べることを目標とする。基本的な概念理解を問うような問題から、 問題解決スキルを問う問題など、伝統的な物理授業で取り扱う例題を中心に、様々な例題演習に対 するピア・ディスカッションの効果をより精密に調べる。特に本研究では、ピア・ディスカッショ ンを実施した授業当日の最後に行う筆記式テストの正答率に表れる短期的な効果に注目する。

# 3. 研究方法

筆記式テストの正答率に与える影響として様々な交絡 要因が考えられる中で、ピア・ディスカッションの効果 のみを定量的に測定するために、本研究では実験計画法 の中でもランダム化比較試験と呼ばれる方法を採用す る。これは、ある学生集団に対してランダムに割り付け られた2つのクラスを作り、特定の介入(今回はピア・ ディスカッション)を実施する実験群クラスと、介入を 行わない対照群クラスでの結果に対して、比較分析する 方法である(図を参照)。

今回の研究ではこの比較試験を、既存の状況を利用して実施する。具体的には、受講生のランダム割り付けが行われている2つの授業があり、既存のシラバスの範囲内で研究を実施する。ただし、同一時間枠での開講であ

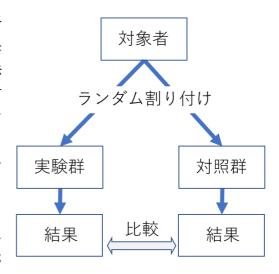


図:ランダム化比較試験の流れ

るために共同研究者である2名の教員がそれぞれの授業を担当する。

ピア・ディスカッションのみの効果に着目し、その他の交絡要因を最小限にするために、2つのクラスで可能な限り条件を揃える必要がある。基本的方針として、伝統的力学授業を行う中で、解説パートと例題演習パートを準備する。解説パートはまったく同じ解説を行い、例題演習パートでは、まず学生は一人で例題解答に取り組む。その後、実験群クラスでは、ピア・ディスカッションを行い、最後に教員の簡易的な解説を行う一方、対照群クラスでは、教員が黒板の板書によって詳細な解説を行うこととする。その他は、可能な限り同じ条件となるように授業計画を作成する。また、この実験群クラスと対照群クラスの役割は時間毎に入れ替える。これによって学期を通した総合的な比較は出来なくなるが、担当教員の違いなどの交絡要因をさらに抑えることが可能になる。

#### 4. 倫理的配慮

学生に対して研究参加への任意性を担保するために、研究の趣旨説明と、調査データは匿名性を保つ形で解析され個人の回答が特定されることが無いこと、調査データ提供の同意の有無が授業の成績評価上およびその他の利益・不利益が無いことを口頭および紙面で確認した。本研究では実験群クラスと対照群クラスの役割を時間毎に交代させることによって、特定クラスの学生に生じる不利益の可能性を最小限にする研究デザインを採用している。本研究の実施に際して、広島大学大学院人間社会科学研究科における研究倫理審査の承認を得ている。

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

本研究は JSPS 科研費 23H01023 の助成を受けたものです。

#### 参考文献

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

# 伝統的力学授業におけるピア・ディスカッションの効果(2):

# ランダム化比較試験による検証 授業実践

A宗尻修治、B梅田貴士

A広島大学大学院先進理工系科学研究科、B広島大学大学院人間社会科学研究科 mune jiri@hiroshima-u. ac. jp

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

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

# 1. 授業実践の概要

授業実践は、2023 年度に国立大学工学部1年生向け、教養教育として開講される微積分ベースの 伝統的な力学の授業を対象として行った。この授業は4学期制の授業として開講され、90分1コマ の授業が毎週2コマ連続で行われ、8週間で15コマを終えるものである。また、この授業は工学部 のすべての専攻の1年生を対象として9クラス開講され、共通のシラバスに基づき同様の内容を扱 うことになっている。内容の基準となる教科書も指定されている。

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

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

授業は両クラスとも、3~4 名掛けの固定式の机と椅子のある講義室で行われた。学生同士が相談・議論するピア・ディスカッション (PD) を行うため、3~4 名のグループになるように座席指定を行った。グループのメンバーは、3 週目まではランダムに、4 週目からは後述する事前の数学の概念調査問題の得点率が偏らないように配置した。授業はパワーポイントを利用して PC 画面をスクリーンに投影する形式で実施した。パワーポイント資料は両クラスとも共通である。授業は教員が解説する解説パートと、学生が問題演習に取り組む問題演習パートから構成される。解説パートでは教員による差が出ないよう説明の台詞も同一とした。毎週 2 コマ目授業の最後に 10 分程度

		1 =	14目			2 コマ目	確認テスト	
クラス	問題1	問題 2	問題 3	問題 4	問題 5	問題 6	問題7	1唯心ノヘド
1	PD	PD	教員解説	教員解説	PD	PD	PD	問題 3,7 の類題
2	PD	PD	PD	教員解説	PD	PD	教員解説	问起 3,7 の知題

表 1 問題演習と確認テストの実施パターンの例

の確認テストを実施し、PDと教員による黒板解説の効果を比較した。

# 2. 問題演習の進め方

90 分の授業中に、毎回 3~4 問の問題演習を行った。問題は授業中の解説パートの内容を踏まえた 多肢選択式問題や、記述式問題とした。まず学生が一人で取り組む時間を数分間とり、「Moodle のフィードバック」に、選択肢または自信度を回答させた(クリッカーのようなシステムとして利用)。その後は以下 3 つのいずれかを実施した。① 両クラスとも PD を実施する、② 一方のクラスは PD、もう一方のクラスは PD なしで、教員がスライドに加えて黒板も用いて解説する、③ 両クラスとも教員の解説のみ行う。いずれも PD を行った場合は、議論後の自信度や選択肢について再投票させた。また、黒板で解説する部分以外は、すべて両クラス共通のスライド用いて解説を行った。②の場合、両クラスでの問題演習にかける時間は同程度になるように注意した。

# 3. 調査データ

初回の授業ガイダンスの前に、事前テストとして、Force Concept Inventory(FCI)、CLASS、さらに、関数や微積分などの概念理解を問う Calculus Concept Inventory(CCI) [1]を実施した。これらは、学生の学習準備状況を把握するため、および、2 クラスの学生集団に差がないことを確認するために実施した。毎回の授業に関するアンケートとして、当該回の授業内容の難易度、授業参加への自己評価をそれぞれ 5 件法で問い、また、予習や宿題にかけた時間、感想を回答させた。確認テストは、主に②として実施した問題の類題を 2、3 問出題し、PD の効果を検討した( $\mathbf{表}$   $\mathbf{1}$ )。

# 4. 事前テストの結果

2クラスの FCI、CCI、および CLASS の all categories について、事前テスト結果を**表2**に示す。2クラスのスコアはおおむね一致しており、ランダム化比較試験実施の条件は整っていると思われる。

		クラス 1			クラス 2			p
	n	М	SD	n	М	SD		۴
FCI (30 点)	39	22.03	4.34	40	20.62	4.13	1.469	.146
CCI (22 点)	41	13.66	3.28	39	13.03	3.41	0.844	.401
CLASS (All categories)、 % Favorable Score	41	59.05	17.03	40	58.39	12.81	0.200	.842

表2 事前テストの結果

図 1 に FCI と CCI 結果の散布図を示す。2 クラスを合わせた FCI と CCI スコアの相関係数はr=0.397(p<.001)、95% CI (0.190.56)であり、弱い相関があった。ピア・ディスカッションの確認テストへの効果については当日報告する。本研究は JSPS 科研費 23H01023 の助成を受けたものです。

# 参考文献

[1] PhysPort, https://www.physport.org/

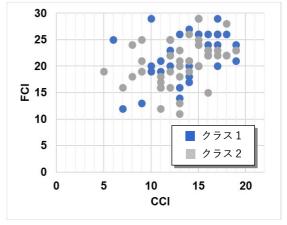


図1 FCIと CCI 事前テスト結果

# 相互情報量を用いた概念調査の分析

A 柴田樹,B新田英雄 A 北杜市立甲陵高等学校,B 東京学芸大学 i-shibata@koryohs.onmicrosoft.com

# 1. 背景

エントロピーは、熱・統計力学や Shannon の情報エントロピーなど、様々な研究分野で用いられている。物理教育においても、 FCI (力学的概念調査) などの多肢選択式問題からなる調査紙の解答分布の偏りを測定する指標として有用なことが、これまでの研究からわかっている[1]。

エントロピーの更なる有用性を検証するために、本研究では相互情報量に着目する。相互情報量とは、2 つの確率変数の相互依存の尺度を表す量である。従来、2 つの設問の関係を分析するためには相関係数が用いられてきたが、たとえば5 つの選択肢を持つFCI のような調査紙の場合、個々の回答選択肢同士の相関係数は $5\times5=25$  個もの値で表されるものであり、単一の指標にはならない。一方で相互情報量を用いると、誤答も含めた回答分布全体をもとに、1 つの数値で2 つの設問全体の関連性を定量化することができる。

# 2. エントロピーと相互情報量

Shannon のエントロピーは

$$H(A) = -\sum_{i=1}^{n} P_i \log_2 P_i$$

で定義される[2]。エントロピーH(A)は生起確率 $P_1, P_2, ..., P_n$ で与えられるn個の事象の集合Aがあるときの不確実性を表している。概念調査における解答分布を確率分布とみなし,エントロピーを適用すると,ここでの事象とは「ある問におけるクラスの解答」であり,生起確率 $P_n$ は「選択肢nを選ぶ確率」となる。

相互情報量I(A,B)は、2つの確率変数の間の相互依存の度合いを表す指標であり

$$I(A,B) = H(B) - H_A(B)$$

で定義される。ここでエントロピーH(B)は生起確率 $P_1, P_2, ..., P_n$ で与えられるn個の事象の集合Bについてのエントロピーである。

また,  $H_A(B)$ は

$$H_A(B) = -\sum_{i,j} p(A_i) p_{A_i}(B_j) \log_2 p_{A_i}(B_j)$$

で定義される、事象Aについて知った後になお残る事象Bについてのエントロピーである。事象Aを「問Aにおけるクラスの解答」とし、事象Bを「問Bにおけるクラスの解答」とすると、 $p(A_i)$ は問Aにおいて選択肢iを選択する確率であり、 $p_{A_i}(B_j)$ は問Aにおいて選択肢iを選択した中で、問Bにおいて選択肢iを選択する条件付き確率である。なお、条件付き確率の定義から

$$I(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B) = I(B, A)$$

が証明される[2]。

#### 分析 3.

# 3. 1 方法

相互情報量を用いて、Force Concept Inventory (FCI) における 2 つの設問間の関連性を定量化し た。FCI は、選択式の設問 30 問で構成される力学の基礎概念の理解度を測定するための調査紙で、 物理教育研究の分野で最も広く使われている概念調査紙の一つである[3]。データは 2011 年から 2018年と2021年の9年間にわたり、国立大学附属の高校2年生928名を対象に行った事前・事後 テストのデータを用いた。

#### 3. 2 結果

FCI 事前・事後テストにおける, 設問 30 問 ×30 問の間のそれぞれの組み合わせ,全870 通りの相互情報量を求めた。これらの組み合 わせの中で相互情報量の値が相対的に大き かった、事後テストにおける問8と問9の 解答分布を図1に示す。

解答分布をみると,正答選択肢の組み合わ せである「問8で選択肢2, 問9で選択肢5」 情報量および解答分布 集中していることがわかる。

これらの結果をもとに FCI の素朴概念分 類表[3]を参照すると、「問8で選択肢1、問 9 で選択肢 2」という組み合わせを選んでい る生徒は「CI3 最後に働いた力が運動を決定 する」という2問の選択肢に共通した素朴概 念を持っていることがわかる。

このように、相互情報量が大きい組み合わ せの設問の選択肢解答確率分布をみると, あ

FCI-FCI			Q9				
FCI		1	2	3	4	5	回答率
	1	2.0%	6.7%	0.1%	0.8%	0.5%	10.1%
	2	11.5%	8.3%	0.1%	1.2%	1.5%	22.6%
Q9	3	0.9%	8.4%	0.1%	1.3%	1.3%	12.0%
	4	0.8%	2.5%	0.1%	0.6%	1.5%	5.5%
	5	0.6%	42.6%	0.1%	2.5%	4.0%	49.8%
	)8 答率	15.8%	68.4%	0.5%	6.4%	8.8%	100.0%

0.004
相互情報量I
928
受験者

図 1: FCI(事後テスト)における問8と問9の相互

のほかに、「問8で選択肢1、問9で選択肢2」といった誤答選択肢を含む組み合わせに解答分布が

	正答選択肢,素朴概念を含む選択肢			
А	正答	2	5	
CI3	最後に働いた力が運動を決定する	1	2	
K3	ベクトルとして速度を合成できない		3	
12	元からあったインペタスの損失(または回復)	3,4		
14	徐々に(または遅れて)蓄えられるインペタス	4		

図 2: 間8と間9の選択肢における正答選択肢と素朴 概念を含む選択肢

る特定の組み合わせの選択肢に解答が集中していることがわかった。複数の問における相互情報量 を計算することで、正答選択肢の組み合わせのみならず誤答選択肢の組み合わせまで含めて、2 つ の問の関連性を定量化し、解答者の誤答の傾向をみることができる。また、相互情報量が相対的に 大きい設問の組み合わせの解答分布を詳しく分析することで, 授業後にも特に解消されづらい素朴 概念を見出すことができる。発表では、上記の例以外の問の組み合わせにおける解答分布と、それ らの選択肢が共通して持つ素朴概念について報告する。

- [1]尾形総一朗,新田英雄,エントロピーを用いたピア・インストラクションの分析,物理教育研究 大会予稿集(2021年度).
- [2] 甘利俊一,情報理論,ちくま学芸文庫(2011).
- [3] Hestenes, Force Concept Inventory, THE PHYSICS TEACHER (1992).

# 協調学習を中心とした入門レベルの物理学授業における学習姿勢の変化

小島健太郎,原田恒司 九州大学 基幹教育院 kojima@artsci.kyushu-u.ac.jp

# 1. はじめに

物理の教師は、物理学の学習を通じて学習者が正しい物理概念を獲得することを期待するとともに、物理学的なものの見方や考え方を身につけることも期待している。ここでは、前者を概念理解、後者を学習姿勢と呼ぶ。一方的な講義形式を典型とした伝統的な授業では、正しい概念理解を効果的に獲得させることや、学習姿勢の好ましい変化を実現するのが困難な傾向にあることが、これまでの物理教育研究によって示されている[1].

我々は、大学における入門レベルの物理学の授業において、学習者が物理学の基本的な概念の理解を深め、好ましい学習姿勢を身につけることを目指して、教育実践および教育手法の改善に取り組んできた[2]. これまで、Force Concept Inventory を用いた概念理解度に関する調査[3]や、アンケート調査に基づく協調学習や反転授業の形態に関する評価・検討[2] などを行ってきており、近年では協調学習を中心とした反転授業の形態で授業を実施している[4]. 本発表では、学習者の学習姿勢に関して行った新たな調査と検討の結果を報告する.

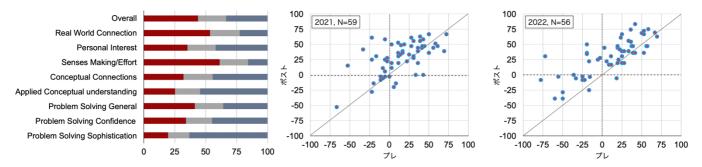
# 2. 授業実践および調査の概要

本研究の調査対象とした授業は、発表者らが所属する大学で秋学期・冬学期に連続して開講される必修科目である. 1 クラスの人数は毎年約 60 名であり、受講学生は大学初年次の理系学生でかつ全員が高校で教科「物理」を履修していない、いわゆる「未履修クラス」である. 秋学期に電磁気学(全8回)、冬学期に熱力学(全8回)を週1回90分で実施し、物理学の基本概念や法則を中心とした体系的な理解を獲得すること、および物理学の考え方や視点を身につけることを学習目標としている. 毎回の授業では、動画教材による予習課題を課しており、授業内では、予習内容を確認する小テストを実施したのち、演習問題へ取り組む協調学習を中心とした活動を実施している.

2021 年度と 2022 年度のクラスにおいて、学習姿勢を定量的に把握するため、Colorado Learning Attitudes about Science Survey (CLASS) [5] の和訳版 [6] を用いた調査を実施した。秋学期の初回授業の冒頭にプレ調査の回答を収集し、冬学期の8回目の授業の中でポスト調査の回答を収集している。プレとポストの全設間に回答したデータを抽出した結果、有効回答数として 2021 年度は N=59, 2022 年度は N=56 を得た。

# 3. CLASS の分析結果

CLASS は全 42 間の項目からなり、それぞれの項目に 5 段階で「まったく同意しない」から「強く同意する」の 5 段階から選択して回答する。各項目には、好ましい学習姿勢に対応する回答として「同意しない」か「同意する」のいずれかが設定されている。例えば「物理を学ぶのには、例題の解答を暗記することで十分です」という設問に対して「(まったく) 同意しない」を選択した場合は好ましい回答、「(強く) 同意する」を選択した場合は好ましくない回答としてカウントする。なお、「どちらとも言えない」を選択することも可能である。こうして全 42 問をカウントすると、各



左図: 2022 年度における CLASS のプレ回答 (N=56). 各カテゴリの設問に対して, 好ましい回答をした割合を赤 (棒グラフ左側), 好ましくない回答をした割合を青 (棒グラフ右側), どちらでもない回答をした割合をグレー (棒グラフ中央) で表している.

中央図および右図:2021年度(中央)および2022年度(右)におけるCLASSのプレ回答とポスト回答の比較.各点が1人の学習者に対応しており、横軸はプレ、縦軸はポストの結果を表している.グラフの数値は、全設問のうち好ましい回答をした設問数の割合から、好ましくない回答をした設問数の割合を差し引いた値である.

学習者が好ましい解答をした設問数,好ましくない解答をした設問数,どちらでもない解答をした 設問数が得られる.

CLASS には8つのカテゴリが設定されており、複数の設問が各カテゴリに紐づけられている. 左図に、2022年度のプレ解答の集計結果を示す. Overall は全42問, Real World Connection 以下は各カテゴリを抽出した結果である. Overall の好ましい回答の割合は43.7% であった. 中央および右図には、2021年度と2022年度のプレとポストの結果の比較を示している.

# 4. 考察

CLASS 調査によって、学習者が有する学習姿勢を定量的に分析・比較できる. 例えば、Overall の好ましい回答の割合 43.7% は、理系を専攻する大学生の他の調査結果 [5]などと比較して低い傾向にあることがわかった. また、プレ・ポストの結果の比較から、平均すると好ましい回答が増加していることや、カテゴリの中では Personal Interest の変化が最も大きいことなどがわかった. 発表では、これらの結果が示唆することや、学習姿勢の改善に効果的な教育手法について検討した結果を議論する.

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K03172, 20K03210 の助成を受けたものです.

- [1] E.F.レディッシュ(日本物理教育学会監訳)「科学をどう教えるか」丸善出版(2012).
- [2] 小島健太郎,原田恒司,第 36 回物理教育研究大会発表予稿集(2019)50;日本物理学会2020年秋季大会概要集(2020)2067.
- [3] 原田恒司, 小島健太郎, 基幹教育紀要 第3巻, (2017) 9-20.
- [4] 小島健太郎, 物理教育 69 (2021) 87.
- [5] W. K. Adams, et al., Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 2, (2006) 010101.
- [6] 新田英雄, 石本美智, CLASS 和訳版.

# 誤概念克服に寄与する認知段階因子と学習形態因子(4)

# ——性因子——

A庄司善彦,B宗尻修治,G野村和泉,B斉藤準 A兵庫県立大高度研,B広島大先進理工,G中部大工,B帯広畜産大農学情報基盤 Shojis4th@outlook.jp

# 1. はじめに

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

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

この研究を進める上で注意すべき点は、 $S_F$ に寄与する受験学習以外の要素の把握である。その一つが性差であり、昨年の発表では取り入れることのできなかった要素である。女学生の  $S_L$ と  $S_F$ は 男子学生のスコアより低いとするデータは複数報告されているが、相関関係の男女差についてのデータは多くない。 $S_L$ が同じ男女で  $S_F$ を比較しても男女差はあるのか、という問題である。我々の知る限り、R.D. Dietz らのデータがこの課題に関する少数の報告の一つである。42 名の男子学生と 48 名の女学生の、LCTSR、FCI pre-test、FCI post-test への回答から、男女別の  $S_L$ と  $S_H$ の相関が示された。彼らによれば、男女ともに  $S_H$ と  $S_L$ 間に相関が見られ、同じ  $S_L$ であれば女性の  $S_H$ は男性の  $S_H$ より低いことが示されたのである。我々の研究では  $S_H$ のデータは示せないが、 $S_L$ と  $S_F$ 間の相関を男女別、学部別に示すことにする。

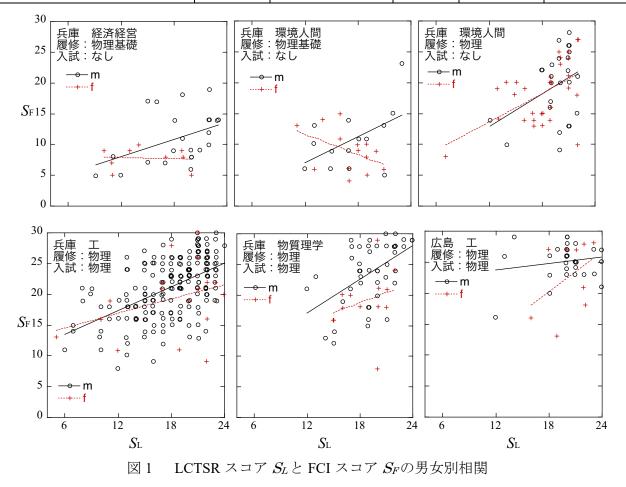
#### 2. 調査結果

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

同一学部内で同一履修履歴の男女学生の回答者数がともに9名以上であったグループを表1に示す。さらに図1に、 $S_L$ に対する $S_F$ を男女別に示した。男女差が小さいグループもあるが、物質理学かでは男女差が明確であり、男女別解析は必須と考えるべきである。物理基礎を履修し、大学入試で物理系科目を選択しなかった2つのグループの女学生は、 $S_L$ と $S_F$ の相関自体が不明瞭ではあるが、高い $S_L$ では $S_F$ が男性上位の傾向が見られる。

表1 同一学部内で同一履修履歴の男女学生の回答者数がともに9名以上であっ	ったグループ
--------------------------------------	--------

大学 学部 (学科)	高校履修	センター (共通)	m/f		
		試験物理系科目	学生数	平均 $S_L$	平均 $S_F$
兵庫県立大 経済、経営	物理基礎	選択せず	24/9	18. 5/14. 9	11. 1/7. 8
兵庫県立大 環境人間学部	物理基礎	選択せず	15/14	19. 3/18. 5	23. 9/19. 0
兵庫県立大 環境人間学部	物理	選択せず	25/30	19.6/18.3	19.6/18.4
兵庫県立大 工学部	物理	物理	191/17	18. 0/18. 0	21. 1/19. 2
兵庫県立大 物質理学	物理	物理	48/13	19. 2/18. 5	23.8/19.0
広島大 工学部	物理	物理	30/10	19.9/19.0	25. 1/20. 1



- [1] L. Bao, et al., Science 323 (2009) pp. 586-587.
- [2] R.D. Dietz, M.R. Semak, & C.W. Willis, "The Gender Gap on the FCI Question by Question", AAPT 2009 Winter.

# 接触する2物体間にはたらく力についての生徒の認識

# 鷲見拓哉

西大和学園中学校高等学校

ta. sumi@t. nishiyamato. ed. jp

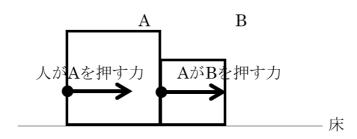
# 1. はじめに

従来から指摘されているとおり、力学の授業において生徒から受ける質問は、物理法則に基づいた科学的な考え方とは異なる、日常生活の経験に基づいた誤った考え方をしていることが原因であることが多い。このような誤った考え方は前概念と呼ばれ、特に物体が運動する方向に必ず力がはたらくという Motion Implies a Force (MIF) 前概念はよく知られている[1,2]。なお教育心理学などの分野では一般的に、科学的に誤った考え方を誤概念や素朴概念と呼ぶが、本研究では、生徒が学校で法則などを学習する前から経験によって獲得してきた考え方であることから、前概念と呼ぶこととする。

これまでに著者らは、多くの生徒が MIF 前概念を有していると思われる力学初学者を対象に、MIF 前概念以外にどのような科学的に誤った考え方を有しているのか、またどのような科学的概念を有しているのかを明らかにすることを目的として、運動の法則について学習する授業における生徒からの質問を収集・分析を行ってきた[3,4]。その中で、MIF 前概念を有している生徒であっても、力のつり合いや力の重ね合わせについての科学的な考え方は有していることが分かった。一方で MIF 前概念以外にも、異なる前概念を有していることが分かった。すなわち、水平面上に接触する 2 物体の片方に外力を加えたとき、他方の物体にも外力と同じ大きさの力が加わるという前概念を有していた。このような前概念を貫く力と呼ぶ。

# 2. 本研究について

そこで本研究では、貫く力がはたらくとなぜ考えるのか、その考え方の特徴、および、科学的な 考え方や他の前概念との関連を調べることを目的とした。そのために、力学初学者を対象とした調 査・分析を行った。詳細については、本発表において議論したい。



# 参考文献

[1] J. Clement: Am. J. Phys. 50-1 (1982) 66-71.

[2]新田英雄:物理教育60-1(2012)17-22.

[3]鷲見拓哉: 近畿の物理教育 29(2023)11-12.

[4]鷲見拓哉, 猪本修:兵庫教育大学共同研究論文集 学校教育コミュニティ 13(2023)印刷中.

# 大きさのスケール概念を養う観察活動の提案

夏目 ゆうの,田中 孝紀 宇都宮大学共同教育学部 natsumey@cc.utsunomiya-u.ac.jp

# 1. はじめに

物理の大学初学者向けの教科書の多くは単位と次元からはじまる。単位と次元を学ぶことは,自然の事物・現象を質的・量的な関係や時間的・空間的な関係で捉えることの基礎である。学習指導要領で述べられているとおり,高校までの理科の学習においても,この科学的な捉え方は重要である。物理や地学はもちろん,高校の生物でも,分子から動植物まで大きさの幅が広い対象について,関係を階層的に扱っている。

甲斐らは、「様々なもののスケールを把握し、それをもとにして、他のもののスケールを推定することができるような概念」をスケール概念と定義し、これらのスケール概念に含まれる絶対的スケール概念と相対的スケール概念について整理し、小・中・高等学校で理科を学んできた者がこれらをどの程度構築できているか調査した[1,2]。質問紙調査の結果から、小・中・高等学校の理科学習を通じて生命領域のスケール概念を自然と獲得することは困難であることが明らかとなった[1]。一方、調査問題に観察経験にもとづく情報を提示することが有効であることが示唆された[1]。そこで、我々は大学1年生を対象に質問紙調査を行い、スケール概念の構築の実際について調査するとともに、大きさのスケール概念を養うことを目的とした観察および計測活動を実践し、その有効性を検討することにした。「肉眼でぎりぎり見える」や「水に分散している場合、分散液が濁って見える」という大きさに依存した特性から観察物を選定するとともに、活動の中でその特性を学生に提示した。

#### 2. スケール概念調査

調査問題として、甲斐ら[1]と梶原ら[2]と同じ問題を用いた。これは、複数の対象を比較することで「相対的スケール概念」を問う第1問と、1 mm や 1  $\mu$ m のようにスケールにもとづき長さを当てることで「絶対的スケール概念」を問う第 2 問からなる。第 1 問では、ゾウリムシ、赤血球、葉緑体、DNA(らせん半回転あたりの長さ)、水分子の 5 つを小さい順に並べさせた。第 2 間では、同じ5 つの対象の長さについて、1、10、100 の数値と m、mm、 $\mu$ m、nm、pm の接頭辞を含む単位をそれぞれ選択させた。葉緑体と赤血球の長さはともに 5  $\mu$ m 程度であることから、正答は小さい順に、水分子(100  $\mu$ m)、DNA(1 nm)、葉緑体または赤血球(1  $\mu$ m)、赤血球または葉緑体(10  $\mu$ m)、ゾウリムシ(100  $\mu$ m)とした。問 1 と 2 ともに 5 点満点として評価した。

2022年10月に大学1年生を対象とした全学部共通の必修科目「SDGs 入門」で、予習の一環として Google Forms にて回答させた。有効回答数は、182である。結果を表1に示す。第1問では、平均点が3.51点であり完全正当者が44.0%を占めた。第2問では平均点が0.96点で0点の者が50.7%はためば、154.44を1

52.7%を占めた。特に「絶対的スケール概念」について、その構 第がなされていないことが明らかとなった。

表 1. 概念調査の得点分布(5 点満点)と自信度(5 件法) 5点 4点 3点 2点 1点 0点 平均点 自

	り点	4点	3点	2点	1点	0点	半均点	目信度
第1問	44.0%	0.0%	34.6%	9.9%	7.1%	4.4%	3.51	2.31
第2問	0.0%	4.4%	11.5%	12.1%	19.2%	52.7%	0.96	1.66

# 3. 観察活動の実践

# (1) 実践の概要

全学部を対象とした選択科目「自然科学の世界 B (物理学入門)」内で,2022 年 7 月に大学 1 年 生 12 名,2023 年 6 月に同 19 名に対して,同一の内容を実施した。全 15 回の授業の,第 2 回の授業で基本単位と組み立て単位,接頭辞について学んでおり,観察を通してその理解を深めるという位置づけで,第 8 回の授業で本実践を行った。

# (2)観察物

本実践では、日常的なスケールである m や mm から大きさの違いを連続して捉えられるように、サブ mm と  $\mu m$  の観察物として、図 1 に示すグルコース(約 0.2 mm)とビーズ分散液(ビーズ径 6  $\mu m$ )を用いた。

受講生には,実物を見せながら,次の2つの情報を与えた。

- 肉眼で見えるほぼ最小サイズの粒として, グルコースを 観察すること。
- グルコースの粒よりも小さな粒は、水中に分散した状態 を観察することとし、白濁した液体を用いること。



図1. 大きさの異なる2種の観察物

# (3) 実践の流れ

- ① 顕微鏡(レイメイ,ハンディ顕微鏡 DX RXT300)で、観察物を 250 倍で観察する。
- ② スマートフォン(受講生が所持のもの)のカメラで観察物を撮影する。
- ③ ②と同じ撮影条件でルーラー(最小目盛り 0.02 mm)を撮影する。
- ④ 観察物の写真とルーラーの写真を比較し、観察物の大きさを測る。

# (4) 実践の結果

実践前後における、相対的及び絶対的スケール概念の理解度の変化を調べるため、概念調査と同じ問題を受講者に実践の前後で回答させ、その結果に対して、対応のあるt検定をそれぞれ行った。 結果を表2に示す。第1問と第2問ともに、実践の前後で平均点の有意な上昇が確認された。

表 2. 観察活動実施前後における概念調査の得点変化(5点満点)と自信度(5件法)

	平均点			+/法	自信度		
	事前	事後	差	t値	事前	事後	
第1問	3.55	3.97	0.42	2.145	1.94	2.39	
第2問	1.42	1.97	0.55	2.655	1.39	1.97	

# 4. おわりに

実施前後における概念調査の結果から、本実践が相対的スケール概念と絶対的スケール概念とも 改善に有効であったことが示唆された。発表では、質問紙調査における完全正当者の回答理由の特 徴や、実践前後の回答におけるサイズ分布の変化などについて詳細を述べる。

- [1] 甲斐初美, 杉野里紗: 日本科学教育学会研究会 Vol31, No2(2016).
- [2] 梶原久嗣, 杉野里紗, 甲斐初美: 日本科学教育学会研究会 Vo32, No2(2017).

# 東京都立高等学校生徒が重視する探究の過程に着目した探究の指導法の提案

石川 真理代

東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科(博士課程)・東京都立豊島高等学校 r216001w@st.u-gakugei.ac.jp

# 1. 概要

筆者は平成 25 年に都立高等学校 18 校の生徒 2577 名を対象として問題解決型の学習に関する意識調査を行っており、この時の意識調査で「学習したことをもとに、新たな問題や課題を導き出していくことが得意」と肯定的な回答をした生徒の割合は 25.1%であった。

そこで、生徒が「問題を発見したり、仮説を立てたりするといった、探究の過程における課題の設定」を行うためは、生徒が学習したことをもとに、新たな問題や課題を実際に導き出していけるように、教師が生徒の成長を促していけるよう授業改善を行うことが求められるのではないかと考えた。更には、生徒が主体的に探究に取り組み、生徒自身の問題意識や興味・関心から課題を設定できるようにするためには、指導を行う教師が、探究の過程における「課題の把握(発見)」の場面に重点を置いて、生徒の探究の指導を行うことが重要な要素になるのではないかと着想を得た。

そのような中、令和 4 年度には、筆者の指導している生徒を対象として、通常の物理基礎の授業の中で探究活動を行い、生徒が重視する探究の過程に関する意識調査を実施した。すると、アンケート調査に協力した 126 名の生徒のうち、「学習したことをもとに、新たな問題や課題を導き出していくことが得意」と肯定的な回答をした生徒の割合は 36.5%となり、平成 25 年の調査結果と比較すると 11.4%上昇した。

肯定的な生徒の割合が上昇したことについて、平成 25 年から令和 4 年にかけて学習指導要領は改訂され、この間には、学習指導を行う教師の授業改善がなされてきていることと、総合的な探究の時間の学習指導が影響していると考える。特に、所属校における「総合的な探究の時間」では 3 単位設置(「人間と社会」1 単位は「総合的な探究の時間」1 単位として代替)されており、この時間には、所属校独自に作成した探究テキスト等を用いた指導を実施しており、卒業までの 3 年間を見通した探究の指導を実施していることも、肯定的な回答が増加していることと関連していると考えられる。また、物理基礎における授業実践における意識調査では、「課題の把握(発見)」を重視する生徒が、探究的な学習に対して肯定的な回答をする傾向が高いことが明らかとなった。そのため、高等学校の物理基礎の授業のなかで探究の指導を行う際には、「課題の把握(発見)」の場面に重点を置いた指導を行うことが生徒の活動をより良くするための要素の一つとなると考え提案する。

# 2. 令和4年度における所属校の特徴と教育課程移行期における実践対象者について

令和 3(2021)~5(2023)年度の 3 年間,所属校は,東京都教育委員会から理数教育重点校として指定されている。そのため私は担当する物理基礎の授業を通じ,理数に係る高度な探究活動等の学習の充実を目指し、日々の生徒の教育活動を推進している。また所属校の教育課程では,平成 21 年3 月告示高等学校学習指導要領のもとで学んでいる令和 3 年度入学生は 2 学年で物理基礎 3 単位,平成 30 年告示高等学校学習指導要領のもとで学んでいる令和 4 年度入学生からは 1 学年で物理基礎 2 単位として設定されている。そのため、令和 4 年度は 1 学年物理基礎 2 単位, 2 学年物理基礎 3 単位として 2 学年同時に物理基礎が設定された。私は 2 学年 14 学級分の物理基礎の授業コーデ

ィネートを行い1学年2学級と2学年2学級の合計4学級の物理基礎における教科指導を担当した。

# 3. 令和4年度における特筆すべき教育環境について

令和4年度の教育環境として、東京都立学校では、新型コロナウイルス感染症予防対策のため、生徒同士の密接を極力防ぐとともに、実験実習を行う際には、1セットの実験道具を扱う生徒を2名までとするなどして実施し、感染症対策に留意した教科等の指導を行っていた。そして令和4年から東京都では、都立高等学校等において、教育活動のあらゆる場面で、高校段階の学びにふさわしい生徒所有の一人1台端末を活用している。このような環境のもとで教育活動を進めるためには、多くの生徒が所持している携帯電話等の端末を率先して活用することで、生徒にとって有益な教育活動を推進できるのではないかと考えた。また令和4年新入生から学年進行で実施される学習指導要領(平成30年告示)では、生徒が「探究の過程を踏まえた学習活動を行う」よう指導の改善が求められている。そのため、通常の物理の授業で、個別の活動として行う探究活動から、2人以上の班を編成して行う探究活動等において、生徒が所持する携帯電話を率先して活用することにより、感染症予防対策を講じた探究の過程を踏まえた学習活動が実現できるのではないかと考え実践した。

# 4. 口頭発表当日の発表内容の概要

高等学校の物理基礎の授業のなかで探究の指導を行う際には、「課題の把握(発見)」の場面に重点を置いた指導を行うことが生徒の活動をより良くするための要素の一つとなると考え提案する。

今回は、生徒の ICT を活用した物理教育におけるアクション・リサーチとして、授業実践を通しての研究とはどのようなものなのか、そして、筆者自身が、対象者である在籍校生徒へどのように働きかけているのかについて、実際の授業実践の様子と、意識調査の内容を基に、当日の発表で報告する。

#### 参考資料

- [1] 石川真理代:「高等学校物理における科学的な見方や考え方を育成する問題解決型の学習の在り方―自己評価と相互評価を機能させた指導システムの構築―」,平成25年度東京都教員研究生カリキュラム開発研報告書,東京都教職員研修センター(平成26年3月).
- [2] 文部科学省: 高等学校学習指導要領(平成30年告示).
- [3] 文部科学省:高等学校学習指導要領(平成21年3月告示).
- [4]文部科学省:高等学校学習指導要領(平成30年3月告示)解説 理数編.
- [5]2021 年度「総合的な探究の時間」及び進路指導関係予定表, https://www.metro.ed.jp/toshima-h/assets/filelink/filelink-pdffile-13927.pdf (2021年6月25日確認).
- [6] 文部科学省: 「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル~「学校の新しい生活様式」~ (2022.4.1 Ver.8).
- [7]東京都教育委員会:「新型コロナウイルス感染症対策と学校運営に関するガイドライン【都立学校】〜学校の「新しい日常」の定着に向けて〜改訂版 ver.5」, p.35.
- [8]石川真理代: 平成31年度(2019年度)教職大学院派遣研修研究報告書,東京都教職員研修センター.

# 教員養成課程における物理授業へのコンセプトマップの活用

# 小林良彦 大分大学教育学部 yoshikoba@oita-u.ac.jp

# 1. はじめに

教員養成課程における物理教育は、長年にわたって、研究や議論の対象になっている。例えば、『物理教育』誌でも、「教員養成課程の物理教育」という特集が1994年に組まれている[1]。近年では、いくつかの調査研究が行われ、教員養成課程の現状を明らかにしている。例えば、狩野2012[2]や下井倉他2014[3]では、小学校教員や教員養成課程の学生が物理分野およびその指導に苦手意識を抱いている状況が明らかにされている。筆者も自身が担当する授業を受講する学生へアンケート調査を行ったところ、先行研究[2,3]と同様の結果を得た。加えて、学生が概念的なことを広く浅く学べる授業を望んでいる様子も垣間見ることができた[4]。

上記アンケート調査を基に授業改善を行うべく、筆者は「概念的なことを広く浅く」を定着させるためのコンセプトマップ(概念地図)の活用を考えた。本発表では、授業におけるコンセプトマップの活用の結果や受講生へのアンケート調査結果について報告する。

# 2. 授業におけるコンセプトマップの活用

実践の場とした授業は大分大学教育学部で開講されている「物理学概論」とした。「物理学概論」は中学校理科の教員免許取得には必修のセメスター授業であり、基本的には学部 2 年生が受講する。受講生の数は 12 名~15 名程度であり、高校物理を履修していない学生も含まれている。授業内容は力学・波動・熱・電磁気の基礎である。

筆者は「物理学概論」の14回目終了時~15回目開始時までの宿題として、個人でコンセプトマップを作成させた。さらに、最終回の15回目の授業では、個人で作成したコンセプトマップを共有しながら、3名~4名のグループで新たに一つのコンセプトマップを作成させた。

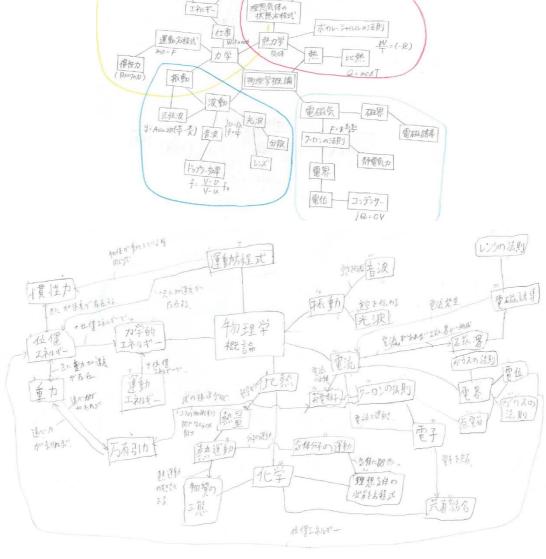
次頁の図1には、受講生が個人で作成したコンセプトマップの例を載せた。授業内で扱った様々な要素 (ノード)を線 (リンク) でつないでいることはもちろん、数式や言葉によって説明を加えることや、複数の要素を一つのまとまりとして線で囲むなどの工夫もされていた。

# 3. 受講生へのアンケート調査結果

コンセプトマップ作成に取り組んだことに対する受講生の感想や要望などを聞くべく、授業終了 時に自由記述形式のアンケート調査を行った。

コンセプトマップ作成に取り組んだことに関しては、「実際にやってみて頭の中でバラバラだった単語がつながれていく感じがしてとてもよかったと思いました」や「自分でコンセプトマップを作ってそれを持ち寄りグループで話しながら作ることで各分野や言葉の繋がりが少し分かったし、とても奥深いと感じた」など、肯定的な意見を得ることができた。

また、「中学、高校の教員となった後にも実践していきたい授業だと感じた」といったコンセプトマップという手法自体に関する感想を得ることができた。このような感想は教員養成課程においてコンセプトマップなどのアクティブラーニング手法を活用する意義を示唆するものである。



運動工礼中-

V= NRT

気体分子の運動

図1:「物理学概論」受講生が作成したコンセプトマップの例。

力学的环中

√ 位置「ネルギー

T = mga \

# 4. おわりに

概念的なことを広く浅く学びたい、という学生からの要望に応えるべく、筆者が担当する「物理学概論」の終盤にて、コンセプトマップを作成する課題およびグループ学習を行った。受講生の作成したコンセプトマップや終了後のアンケート調査からは、受講生が授業で学んだ要素をつなぎ合わせていた様子を垣間見ることができた。

今後はまず、出題形式や作成指導に関する改善に取り組んでいきたい。また将来的には、作成されたコンセプトマップの評価についても検討していく予定である。

- [1] 木下昭一, 物理教育 42(4), 389 (1994)
- [2] 狩野克彦, 宮城学院女子大学発達科学研究 12, 47-53 (2012)
- [3] 下井倉ともみ 他、科学教育研究 38(4)、238-247(2014)
- [4] 小林良彦, 大分大学教育学部研究紀要 44(1), 35-41 (2022)

# 一様な海に覆われた仮想地球における潮汐の力学的運動像

池田 幸夫 広島修道大学ひろしま協創中・高校 ikeda2329@gmail.com Tel. 090-7374-7647

# 1 問題の所在

外部天体から引力を受けると、重力の等ポテンシャル面が変化する。この変化によって起こる物体の変形や運動が潮汐現象である。原因となる起潮力と海洋の運動との関係を命題形式で書くと、次のようになる。命題 1:起潮力は周期的に作用する外力である。命題 2:海洋は固有振動周期をもつ。命題 1が「真」であることは自明である。また、海洋は水深によって決まる固有周期をもつことが分かっているので、命題 2 も「真」である。ゆえに、次の「命題 3:周期的に作用する起潮力によって、海洋は強制振動を起こす」もまた「真」である。周期的な外力が強制振動を起こすことは物理学の基本的な原理の一つであるからである。

潮汐に強制振動の理論を適用すると.ニュートン以来の伝統的な潮汐論とは異なる,新しい潮汐像を描くことができる。本研究の目標は.強制振動の理論から見えてくる新しい潮汐像を演繹的に導き、実際の潮汐との対比を通して、潮汐の力学的起源に迫ることである。

# 2 強制振動潮汐論

強制振動潮汐論が描く潮汐像から、伝統的潮汐論とは両立しないいくつかの概念を明らかにすることができる(Ikeda, 2022)。その中から、重要な3つの潮汐像を紹介する。

# (1) 水深による海洋潮汐の分類

起潮力の周期は自転周期の 2 分の 1 (約 12 時間) に等しい。また、海洋の固有周期は、水深 4200m で約 28 時間、水深が深くなると速度が大きくなって、22,000m で約 12 時間となる。したがって、水深 22,000m を基準に、海洋潮汐を 3 つの型に分類することができる。

h < 22,000 m 逆位相の潮汐

h=22,000 m 共振(潮汐バースト)

h > 22,000 m 同位相の潮汐

図 1 は,この分類を図示した模式図である。 海洋の水深は最大でも約 10,000m,平均すると 4,200m 程度であるから.海洋潮汐は**逆位相**で ある。一方,速度が非常に大きい固体地球の 潮汐は**同位相**である。

# (2) 力学的運動像

逆位相の潮汐では,海水面はどのような運動 をするであろうか。問題を単純化するために,

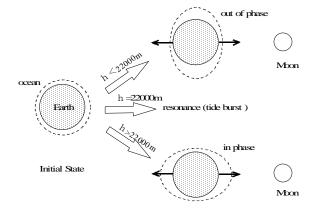


図1 水深に基づいた海洋潮汐の分類

赤道に沿って地球を一周する運河状の仮想地球モデルを導入する。

外力によって、仮想運河内の海水面が図 2 a のように楕円状に変形したとしよう。海水面が上昇した BとDでは位置エネルギーが最大となって、海水面は重力によって下降するであろう。この運動に連 動して、AとCでは海水面が上昇する。起潮力はこの運動を補助する向きに働く。

時間が4分の1周期(約3時間)経過すると,月は地球表面を約45°移動し,海水面は円形になる(図2b)。この円は重力の等ポテンシャル面に一致するが,海水面の上下運動はここで止まることなく続き,約6時間後には図2cのような楕円形になる。この段階で,位置エネルギーがすべて運動エネ

ルギーに変換される。初期状態の a と比べると, 長軸の向きと月の位置はそれぞれ 90°回転している が、月と楕円の長軸との幾何学的関係は同じ(90°)である。

逆位相の潮汐に関して, 重要な知見は次の2点である。①海洋潮汐の運動は海水面の**楕円振動**であ る(楕円→円→楕円→円→・・・)こと、②海水面の上下動は互いに  $90^\circ$  離れた 4 つの領域で起こ り、その間には上下運動ない領域(無潮域)ができることである。太平洋中央部に存在する「無潮 点」はこれに関係している可能性がある。海水面の膨らみ(バルジ)は同じ場所で起こり、自転に伴 ってバルジが東から西に移動することはないのである。

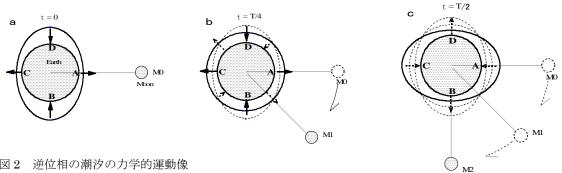


図 2 逆位相の潮汐の力学的運動像

# (3) 潮汐バーストの概念

強制振動において, 最も興味深い 現象は共振である。共振は、外力の 周期と物体の固有周期が一致した ときに発生する。海洋の場合には, 起潮力の周期と海洋の固有周期が 一致したときに発生する。

地球の自転周期の遅れは,100年間 に約0.0024秒である。この遅れから 推測すると、地球の自転周期は約46 億年後に56時間となり、起潮力の周 期は28時間となる(図3)。現在の

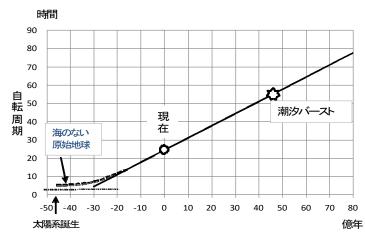


図3 自転周期の遅れから推定した潮汐バースト

水深がそのまま保たれるとすれば、46億年後に共振による巨大潮汐発生するであろう。理論的に予測 できるこの巨大潮汐を, 私は**潮汐バースト (tide burst)** と命名している (Ikeda, 2022)。

潮汐バーストは固体地球にも起こる。地球の自由振動の解析から,固体地球の固有周期は約1時間 であることがわかっている。したがって、地球の自転周期が約2時間になったときに、固体地球の潮 汐バーストが起こる。図3から,原始地球の自転は非常に速かったと推測できる。しかしながら,潮 汐バーストの概念からその速さが2時間より短かったことはあり得ない。もし2時間より短かったな らば、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。

自転周期の遅れは、液体の海洋に大きく依存している。もし、原始地球に海洋が存在していなかっ たならば、自転周期の遅れは大幅に小さくなるであろう。図3の破線は、このことを考慮して推定し た自転周期である。誕生直後の原始地球の自転周期は、おそらく5時間程度であろう。

本研究は山口大学基金の支援を受けて行われた。

# 主な文献

Butikov, E.I., (2002): American Journal of Physics, Vol. 70, No. 10. Ikeda, Y., (2022): Bulletin of the Faculty of Education Yamaguchi University, vol.71. Stacey. F. D. et. al (本多了, 監訳) (2014), 地球の物理学事典, 朝倉書店

# 科学書における"thermal"という用語の訳語は「熱(の)」ではなく、

# 「温度(の)」とするのが適切ではないか?

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

我が国の中学校、高等学校理科教科書の熱概念についての混乱の実態<sup>1)</sup>や、初学者が「熱運動」「熱エネルギー」という言葉をどのように理解しているかについて調査し、その分析結果を報告してきた<sup>2)</sup>。また、熱概念のパラダイム転換があり、『「熱」は、状態量ではないので、物体や系などの内部には存在せず、エネルギーの一形態ではなく、移動形態の一つである。』と云うより深い認識段階に達したことについても昨年報告した<sup>3)</sup>。熱は物体内に存在しないので、原子や分子等の乱雑な運動を「熱運度」と呼んだり、そのエネルギーを「熱エネルギー」と呼ぶのは適切ではないと指摘してきた<sup>4)</sup>。これらの用語は、"thermal motion"や"thermal energy"の誤った訳語として使用されてきたものである。今回は、"thermal "という用語を「熱(の)」と訳すことが何故 適切ではないのか、欧米の物理学者や化学者が用語"thermal"の意味について述べた様々な著書とその文章を紹介し、「温度(の)」と訳すのが適切であることを論じる。

2 構成主義学習理論の立場から著された"Advancing Physics A2" 5)には、どのように記されているか?

構成主義学習理論の立場から、オグボーン等が著した"Advancing Physics A2"では、学習者に誤概念を誘発する"heat"の用語を避けて、"thermal"の用語を用いている。この著書の鍵概念は、"thermal"で、この用語を正しく理解することがこの著書を理解するためには重要になる<sup>6)</sup>。2001 年版の p. 98 から "13.3 Energy in matter"の節が始まり、p. 99 の "The energy to make things hotter"の下で、次に示す説明文がある。

"For most substances there is a simple link between the change in internal energy and the change in temperature. The change in temperature for a given transfer of energy depends on the mass of the substance and the kind of substance being made hotter. Energy transferred=mass of substance×a constant for that substance×temperature rise At constant volume (so that no work is done by the substance expanding) all the energy used goes to changing the internal energy so that:  $\triangle U = mc \triangle \theta$ 

We have decided to call the constant c the <u>specific thermal capacity</u>. (Its more usual name is <u>specific heat capacity</u>, but that suggests the old idea that "heat" is the energy inside matter. ) " (下線は五十嵐による)

この説明文で大切なことは、下線を引いた用語の意味である。著者たちが、何故 "specific heat capacity"ではなく、"specific thermal capacity"の用語を使用しているのかを理解することである。"specific heat capacity"ではなく、"specific thermal capacity"の用語を使用する理由を( )内で説明している。即ち、<u>"specific heat capacity"の用語は、『「熱」が物体の内部に存在するエネルギーであるという旧い考えを示唆するから』</u>と説明している。学習者に誤概念の誘発を避けるために、"heat"(熱)ではなく、"thermal"の用語を使用しているのである。従って、ここで使用されている"<u>thermal"を「熱(の)」と訳すのは著者たちの意図に反することが明らかであり、"thermal"を「熱(の)」と訳すことは不適切で、「温度(の)」と訳すのがベターである。</u>

3 "thermal"の用語の意味は "Thermal Physics"の著者 Riedi は「温度」の意味であると解説している?)

"Thermal Physics"の p. 9 から始まる 第2章 "First law of thermodynamics" に、次に示す説明文がある。

#### " 2.1 Zeroth law and scale of temperature

The most directly accessible thermal concept is not heat (which will be discussed in Section 2.3) but rather temperature, the relative sensations of hot and cold." (下線は五十嵐による)

下線を引いた部分に、『"thermal" と云う概念は、「熱」ではなく、「温度」と云う意味である。』と明確に述べられている。 ここで紹介した英語圏の著者による"thermal"の意味の説明を参考にすると、"Advancing Physics A2"にある、 "specific thermal capacity"の訳語は、「比熱容量」ではなく、「比温度容量」又は、「比温度エネルギー容量」とするのが ベターなのではないだろうか?

4 Çengel & Boles 著"Thermodynamics"では"specific heat"に替えて、"specific energy"を提案している<sup>8)</sup> p.141 に次に示す記述がある。

"Both the internal energy and enthalpy of a substance can be changed by the transfer of *energy* in any form, with heat being only one of them. Wherefore, the term *specific energy* is probably more appropriate than the term *specific heat*, which implies that energy is transferred (and stored) in the form of heat." (下線は五十嵐による) 著者たちは、「定積比熱」にせよ、定の様な形態のエネルギーにせよ、エネルギーの伝達によって、

物質の内部エネルギーとエンタルピーが変化するのであって、熱はそのうちの1つに過ぎない。従って、「比エネルギー (容量)」の用語の方が、「比熱(容量)」の用語より、より適切である。その理由は、『「比熱(容量)」の用語は、「熱」の形で 伝達される (或は、「熱」の形で蓄えられる) エネルギーと云う意味をもつから。』と説明している。その根拠は、熱概念の パラダイム転換により、「熱は物体内には存在しないし、伝達されるのは、熱でなく、エネルギーだから」である。

5 Castellan 著 "Physical Chemistry"には、"thermal motion"や"thermal energy"と呼ぶ理由が記されている<sup>9)</sup> p.56 の第4章 "The Structure of Gases" の 4.3 節 "Calculation of the Pressure of a Gas" で、理想気体の内部エネルギーU について、以下の様に論展開されている。

"Now *n* and *N* are related by  $n=N/N_A$ , where  $N_A$  is the Avogadro constant. Thus,  $RT = (2/3) N_A \langle \varepsilon \rangle$  (4.13) Let *U* be the <u>total kinetic energy associated with the random motion of the molecules</u> in one mole of gas.

Then  $U = N_A \langle \varepsilon \rangle$ , and U = (3/2)RT (4)

Equation (4.14) is one of the most fascinating results of the kinetic theory, for it provides us with an interpretation of temperature. It says that the kinetic energy of the random motion is proportional to the absolute temperature. For this reason, the random or chaotic motion is often called the *thermal motion* of the molecules. At the absolute zero of temperature, this thermal motion ceases entirely. Thus, temperature is a measure of the average kinetic energy of the chaotic motion. ・・・" (下線は五十嵐による)

何故、乱雑な分子の運動を "thermal motion"と呼ぶのか、『その理由は、乱雑な運動のエネルギーが絶対温度に比例しているから』と説明している。「熱」は物体内に存在しないので、 "thermal motion" の訳語を、「熱運動」とすのは不適当で誤訳であり、「温度運動」と訳すのが適切であることが分る。

また、p.93 の第6章 "The Law of thermodynamics: Generalities and the Zeroth Law の 6.1 節" Kinds of energy and the first law of thermodynamics"で "thermal energy"の説明が次の様になされている。

"Since a physical system may possess energy in a variety of way, we speak of various kinds of energy. ...

- 3. Thermal energy: energy possessed by a body in virtue of its temperature.
- 4. Energy possessed by a substance in virtue of its constitution; for example, a compound has "chemical" energy, nuclei have "nuclear" energy. ・・・・ " (下線は五十嵐による)

"thermal energy"は、『物体がその温度によって持つエネルギーを"thermal energy"と云う。』とある。このことから、"thermal energy"を、「熱エネルギー」と訳すのは不適当で、「温度エネルギー」と訳すのが適切であることが判明する。

- 6 F. Mandl 著 "Statistical Physics"には、"internal energy"を"thermal energy"と呼ぶ理由の説明がある 10)
  - p.13 に次に示す記述がある。 "Thus the internal energy is the energy associated with the 'random' molecular motion of the system. We shall see later that the temperature of a system is a measure of its internal energy, which is therefore also called the thermal energy of the system." (下線は五十嵐による)

『温度は内部エネルギーの尺度になっている。それ故、内部エネルギーは系の"thermal energy"とも呼ばれる。』とある。このことから、"thermal energy"の訳語は、「熱エネルギー」ではなく、「温度エネルギー」とするのがよいことが分る。 訳書「統計物理学 I 」の脚註に、「(thermal energy)の thermal とは、熱と訳すが、熱というよりはむしろ温度という意味。」とある。

- 7 S.Blundell 著 "Concepts in Thermal Physics"に、"thermal energy"を「熱エネルギー」ではなく、「温度エネルギー」と訳さねば論理矛盾を来す事例が次のように "heat is thermal energy in transit." と示されている 111 。
- 8 考察とまとめ

2 で紹介した様に、"specific heat capacity"ではなく、"specific thermal capacity"の用語を敢えて使用し、その理由に、『"heat"は熱が物体内部にあることを示唆するから』と記していることから、"thermal"を「熱」と訳すのは適切でないことが判明。また、3 で紹介した "…thermal concept is not heat but rather temperature, …."とあった様に、"thermal"は「熱」ではなく、「温度」と訳すのが適切なことが明白に。また、7 で紹介した "heat is thermal energy in transit."とある様に、"thermal energy"を「熱エネルギー」と訳すと、論理矛盾を生じることが判明。以上のことから"thermal"は「熱(の)」ではなく「温度(の)」と訳すのが適切である』が明白になった。 9 参考文献

- 1)五十嵐 靖則 中学・高校教科書に見る「熱」と「熱エネルギー」の用語の混乱について 物理教育学会第 30 回物理教育研究大会発表予稿集(2013)pp. 50-51
- 2)五十嵐 靖則 熱概念に対する学生の理解と混乱の実態(4) 物理教育学会第 36 回物理教育研究大会発表予稿集(2019)pp.42-43
- 3)五十嵐 靖則 「熱概念」のパラダイム転換について 物理教育学会第 38 回物理教育研究大会発表予稿集 (2022) pp.46-47
- 4)五十嵐 靖則 熱概念の進化と日本の理科・物理教育の今後の在り方について 東京理科大学教職教育研究 第1号(2017.3) pp.111-120
- 5) J. Ogborn & M. Hhitehouse Advancing Physics A2 Institute of Physics Publishing 2001,pp.99-100, Revised Ed.by. J. Ogborn and R. Marshall IOP Pub. 2008,p.111
- 6)五十嵐 靖則 Advancing Physics A2 に見る熱概念 物理教育学会第 34 回物理教育研究大会発表予稿集(2017) pp.111-112
- 7) P. C. Riedi Thermal Physics An introduction to thermodynamics, statistical mechanics, and kinetic theory 2nd Ed. 1988, Oxford Univ. Press. p.9
- 8) Y. A. Çengel & M. A. Boles Thermodynamics An Engineering Approach 3<sup>rd</sup> Ed.1998, McGraw-Hill, p.141, 9<sup>th</sup> Ed.2022, p.173
- 9) Gilbert W. Castellan Physical Chemistry 3<sup>rd</sup>. Ed.1983 The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. p.56, p.93
- 10) F. Mandl Statistical Physics 2<sup>nd</sup> Ed.1988 John Wiley & Sons p.13, 訳書:統計物理学 I 和田、秀島、柘植 訳 共立,p.13
- 11) Stephen J. Blundell and Katherine M. Blundell Concepts in Thermal Physics 2nd Ed.2010 Oxford University Press pp.13-14

# 人体のする仕事と人体のエネルギー

西尾信一 日本薬科大学

nishio@zd6.so-net.ne.jp

#### 1. 階段をかけ上がる仕事

階段の高さとそれをかけ上がる時間を測定し、「かけ上がるときの仕事率」を求める実験が広く知られていて、高校物理基礎の教科書にも紹介されている。この仕事がどのような力がするものなのかはふつう明記されていないので、教師や生徒はいろいろな説明や解釈をしているであろう。足が階段を押す力や、その反作用である階段が足を押す力や、筋肉の力などである。

しかし、仕事の定義が作用点と変位の内積であることや、熱力学第一法則より「系のエネルギー変化に寄与するのは外力による仕事」であることを考えると、これらは正しい説明や解釈とは言えない。この実験で扱っているものは、なにかの力がする仕事の「仕事率」ではなく、人体の化学エネルギーが重力による位置エネルギーに変換される過程の「エネルギー変換率」なのである。

#### 2. 地面反力

スポーツや生体力学の世界で使われる地面反力という用語がある。足が地面を押す力の反作用であり、物理用語の抗力に当たるものである。つまり、力の方向が地面に垂直なら垂直抗力であり、垂直でなければ垂直抗力と摩擦力の合力である。

人が地面で走ったり、ジャンプしたりするとき、人の運動を決定するのは、この地面反力と人体にはたらく重力と空気抵抗の合力である。したがって、地面反力は重要であるが、足が地面で滑らない場合、この力の作用点の変位は0なので、この力のする仕事は0になっていることに留意する必要がある。階段をかけ上がる実験と同様に、この場合は人体の力学的エネルギー変化を地面反力のする仕事で説明することはできない。

#### 3. 力と仕事の区別の重要性

大事なことは、力(または力積)と仕事が「異なる物理量」だという認識をもち、力学現象において、力学的説明とエネルギー的説明を区別することである。

力はベクトル量だが、仕事はスカラー量である。力がはたらいていても、作用点の変位が0であったり、力と変位が垂直だったりすると、その力のする仕事は0である。等速円運動では常に向心力が存在し物体の速度変化があるが、向心力のする仕事は0で物体の運動エネルギー変化はない。また、ボールが壁に弾性衝突をするとき、衝突時に壁がボールを押す力の力積は0ではなく、それによるボールの運動量変化は元の運動量の2倍であるが、壁がボールを押す力の仕事は0で、ボールの運動エネルギー変化は0である。

質点の力学では、物体の速度を変化するのは力であり、力学的エネルギーを変化させるのは仕事である。しかし、内部にエネルギー源がある人体や乗り物などの場合、重心の速度を変化させるのは外力だが、それらの力学的エネルギーを変化させるのは外力のする仕事とは限らない。ジャンプする人のように、化学エネルギーなどの内部エネルギーが変換される場合があるのである。

#### 4. 人体の運動における仕事をなぜうまく説明できないのか

質点の力学では力と仕事を区別できるベテランの物理教師でも、こと人体の行う運動では「筋肉が仕事をする」とか「人が床を押す力が仕事を床に与え、床からそれが人に返される」というような日常的な思考にとらわれた説明をしてしまうことがよくある。

床にしゃがんだ状態から立ち上がるときの筋肉感覚は、自分が寝転がり、足で自分と同じ重さの物体を持ち上げる場合と同等であろう。そして、後者はたしかに自分の足は仕事をしているのである。このように、自分自身の感覚としては「同じように仕事をしている」としか感じないということが、上記のような説明に陥る理由ではないだろうか。

もちろん、このような力を与える人間側の感覚と仕事を、直接結びつけてはいけない。重い荷物を持って静止していたり、それを水平に動かしたりするとき、人間は筋肉を使って疲れるが、その人は仕事をしていない。これらが納得できないとする生徒に対しては、「仕事は、作用点の変位に注目し、力を受けた物体について考える客観的なものである」と指導することになるだろうが、それは人間自身の運動についてもまったく同じなのである。

#### 5. 人体のする仕事をどう教えるか

人体のする仕事には、このような注意を要する問題があるわけだが、それはけっして「人体のする仕事にはなるべく触れない方がよい」ということではない。逆に、人体のする仕事を積極的に扱い、熱力学第一法則における「系と外界とのエネルギーのやり取り」という仕事の役割を力学の学習時にもじゅうぶんに意識させることが望ましい。

具体的には、仕事の導入時に、滑らかな床に止まっている物体を押し動かすという場面を設定するとき、たんに仕事の定義を与えるだけでなく、人体がした仕事が物体の運動エネルギーの変化を生んでいることを意識させる。そして、仕事の一般的定義や負の仕事を導入したら、人が物体を押し動かすとき、同時に物体が人体に負の仕事をしていて、それが人体の化学エネルギーの変化につながっているはずであることを確認するのである。重い荷物を水平に動かす仕事でも、「荷物のエネルギーは変化していない」という視点を生徒が獲得できれば「力をおよぼしたのに仕事は 0」は納得できるだろう。

## 6. まとめ

階段を上ったりジャンプをしたり、走ったりして、人間が手足を使って運動するときのエネルギー変化は、人体のする仕事で説明するのではなく、人体内のエネルギー変換として扱うべきである。力と仕事を区別して扱うことが重要で、人体の力学的エネルギーは外力のする仕事だけで変化するわけではない。

一方、人体のする仕事を積極的に扱い、人体が物体にする仕事によって物体のエネルギーが変化するとき、物体が人体にする仕事によって人体のエネルギーが変化するということを示すことにより、力学的エネルギーに留まらない仕事とエネルギーの関係を力学でも提示することは重要である。

- [1] 右近修治:「仕事とエネルギー」概念の検討―「系」選択の重要性―, 物理教育通信 179(2020)6-14.
- [2] 西尾信一: 仕事とエネルギーの指導についての提案, 物理教育通信179(2020)15-20.

# 「学校教育に向けたマネジメントシステム改善の勧め」

尾島正男、遠藤正昭、池田友久、原眞一、北原和夫 NPO法人 人間環境活性化研究会 ojm8912@jcom.zaq.ne.jp

### 1. はじめに

日本物理教育学会の新田会長の方針に沿った教育改善への提案として、当会会員である我々がこれまで他業種において経験を積み重ねてきた品質マネジメントシステムとして今や世界的に拡大しつつあるIS09001-2015、及びこれから発展が期待される教育マネジメントシステム(IS021001-2018)の国際的現状を述べ、その対比と考え方について述べる。

# 2. 品質マネジメントシステム(IS09001-2015)の普及と今日に至る発展

第二次世界大戦後の日本の物づくりの発展は、世界中で驚きをもって迎えられ同時に立派な手本 となり、その頂点に「トヨタ生産方式」が挙っている。これはアメリカのテーラーシステムやフォ ードシステムにつぐ画期的な生産システムといわれている。多品種少量、高品質、低在庫、低原価 での生産を実現するシステムとして日本だけでなく世界の目標として注目されてきた。この基本は 方法・手法よりも、改善意欲の強い人づくりと、「計画-実施-チェック-アクション (PDCA)」を着 実に回して改善を継続するという取り組みであり、製造業から全業種に拡大され日常管理・方針管 理を軸にして全社的品質管理TQC (Total Quality Control) として成長してきた (1)(2)。これらが 刺激となり36年前に品質の国際標準としてIS09001-1987(以下改訂を含む品質マネジメントシステ ムをIS09001とする)が制定された。その後、国際標準は、環境マネジメントシステム(IS014001-1996) や労働安全衛生マネジメントシステム(IS045001-2006) と多方面に展開され、そして今般紹介 する教育マネジメントシステム(IS021001-2018)が制定された。この中で最も普及したIS09001は、 2020年に世界で185か国、200万社が取得したと伝えられている。IS09001は、その他の規格の中心的 存在でありこの36年間に5回もの改訂がなされた(最新はIS09001-2015)。その目的が品質保証に加 えて顧客満足となり、他の国際標準であるマネジメントシステム規格との共通化を目指して、 HLS(High Level Structure)と呼ばれる位置に置かれている。今回のISO21001-2018の規格も以下の ごとく1~10章の各2次項目はIS09001と同じであり、3次項目と説明文において、初めて教育マネジ メント専門の用語が用いられており、例えば顧客は学習者等に読み替えられて、非常に使い勝手が 良くなった。

IS021001-2018の規格は、英文のみでA4版35頁もありとても全貌を紹介することは出来ない。ここでは概要としてIS09001との双方規格共通の「規格の構成と箇条」のみを示すと、1. 適用範囲、2. 引用規格、3. 用語及び定義、4. 組織の状況、5. リーダーシップ、6. 計画、7. 支援、8. 運用、9. パフォーマンス評価、10. 改善、である。

## 3. 教育マネジメントシステム(ISO21001-2018)の要求事項

IS09001を中心とするIS0マネジメントシステム全体に共通する最重要原則は、トヨタ生産方式で述べたP-D-C-Aのサイクルを回すという継続的改善である。即ち、ルールを決め(Plan)、実行して(Do)、成果をみて(Check)、修正する(Action)という事である。IS021001-2018におけるもう少し詳しい要求事項は、IS09001やIS014001-1996と共通して以下のごとくである $^{(3)}$ 。

①組織の状況:生徒や保護者のニーズや期待を整理して、組織内の役割分担を決める。

- ②リーダーシップ:トップ自身のコミットメント(約束)を決めて示す。
- ③計画: 生徒の学び方や育成したい資質を具体的に目標設定し達成計画を立てる。
- ④支援: 教員や関係者の能力育成と、内部・外部とのコミュニケーションの活発化する。
- ⑤運用:システム運用にあたっての計画・管理のやり方の標準化とルール化を図る。
- ⑥パフォーマンス評価:授業等のパフォーマンスの監視、測定、評価並びに計画の達成状況報告、これらを内部監査やマネジメントレビューに活用する。

以上の活動を簡単に図1に示す。

これらは規格要求事項の一部のみに見えるが実際に学び、実施した場合に索晴らしい成果が表れ、教育マネジメントシステムの絶大なメリットが保証できるものと信じる。ここであえて外部認証取得について取り上げないのは、先ずは学校内で目標を明確にし、IS021001-2018の規程を活用し自ら改善に着手することが最優先と考えるためである。

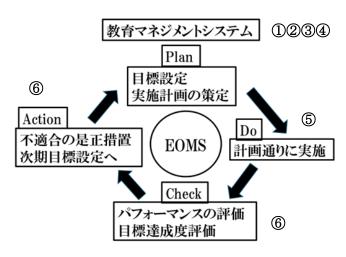


図 1. 教育マネジメントシステムにおける PDCA

# 4. 海外大学に於ける教育マネジメントシステム(ISO21001-2018)の取り組み状況

最近の海外での教育マネジメントの状況について海外でのISO21001-2018の認証取得の状況を調べたところ、①オーストラリア、②インド、③ドイツ、④ポルトガル、⑤エジプト、⑥スイス、⑦サウジアラビア等の各国主要大学があることがわかった。そして⑧インドネシアは、在日本インドネシア大使館教育文化部を通じ(1)インドネシア大学(首都ジヤカルタ近郊)、(2)スラバヤ大学(副首都スラバヤ市)、(3)アイルランガ大学(副首都スラバヤ市)の3つの主要大学においてISO21001-2018等の認証取得を確認することができ、取得目的や期待される効果の示された論文も入手できた。インドネシアでは経済発展による国力強化のため優秀な人材の育成に注力しており、このISO21001-2018の取得による大学のレベル向上により現在の世界ランク300位台から200位台に向上したいとの明確な目標をもって導入していることに感銘した。片や日本では政府機関も大学側でも未だこの認証取り組み見受けられず、取り組みが切望される。

### 5. 教育マネジメントシステム(ISO21001-2018)導入による期待される効果

今回、IS021001-2018導入の紹介を簡単に説明したが、外部審査機関の審査受験については省略した。今回紹介の狙いが認証取得ではなく皆様の日頃の問題点を新田会長の方針に沿った教育改善への提案と考え、現在の日常の問題点をPDCAのマネジメントシステム継続的改善にありと考えて比較的容易に取り組める規格要求事項に絞ったためである<sup>(4)</sup>。教育分野においても、冒頭のトヨタ生産方式の成功も参考に取り組んでいただけば効果を出せるものと考える。

- (1) 竹内治彦「トヨタ生産方式による改善リーダー」 星雲社 (2023)
- (2)石川秀人「トヨタ生産方式の基本と実践がよくわかる本」(第2版)秀和システム(2022)
- (3) 日本品質保証機構「ISOマネジメントシステムが1番わかる」技術評論社(2021)
- (4) 打川和男「IS029990の基本と仕組みがよくわかる本」(第2版) 秀和システム(2015)

# 探究の題材としての無重力や DNA

A島野誠大、A墨野倉伸彦、B内山秀樹、B宮崎元気 A立教新座中学校・高等学校、B静岡大学 shimano@rikkyo.ac.jp

### 1. はじめに

高校物理では最先端の科学研究や技術で用いられている量子力学や相対性理論に触れる機会が少ない。そこで、これらにつながる題材で探究活動のできる授業や教材を開発したいと考え、次の2つの授業・教材について開発を進めている。本発表ではこれまでの成果について報告する。

- ① 無重力を題材とした小型センサーによる慣性力に関わる定量実験授業の開発
- ② 物理と生物の科目横断的な視点に立った DNA 二重らせん構造の教材開発

# 2. 開発している授業・教材について

# 2-1. 宇宙を題材とした小型センサーによる慣性力に関わる定量実験授業の開発

高校3年生の自由選択科目と呼ばれる本校独自の授業内で受講希望者10名を対象に、週に1回連続2時間の中で"相対性理論に基づく宇宙論と測定"という授業名で実践をしている。1学期は観測者による違いを意識させることを一つの目標に、「国際宇宙ステーションに代表されるような無重力状態を、センサー(M5Stack Core2[1])を用いて再現せよ」という課題を課し、表1のように講義と実験をさせている(最終発表を9月に行う予定である)。

表 1. 授業の流れ

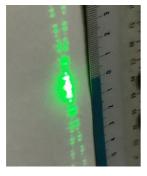
	2.7
回数	内容
1	前半:導入(無重力とは)、事前テスト
1	後半:M5Stack Core2 のインストールと簡単な練習(内山先生オンライン)
2	前半:万有引力の法則の講義
2	後半:加速度センサーの練習
3	前半:慣性力の講義
3	後半:課題に対する取り組み開始(以降は課題に対する活動)
4	課題に対する活動
5	前半:発表①
э	後半:慣性力と ISS 内部についての講義
6	課題に対する活動
7	前半:発表②
1	後半:課題に対する活動(内山先生オンライン)
8	課題に対する活動
9	前半:発表③ (内山先生、宮崎さん来校)
	後半:課題に対する活動

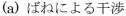
同じ課題、同じM5Stack Core2 というセンサーを用いてもグループによって実験方法(回転運動させる、バンジージャンプさせる、斜方投射させる)や、組むプログラムが全く異なった。また、途中経過について発表したことで、グループ間でアドバイスを出し合うことや、実験方法が適切でないことに気づくことができていた。なお、講義をしたにも関わらず、斜方投射の最高点でのみ加速度センサーで加速度が 0 m/s² になるという考えをもとに実験を進めるグループが残った。これについては測定結果を考察させることで生徒自身の力で違いに気づくことができると考えており、後日インタビューなどして生徒の変容について確かめたい。

一方で、本実践は実験に適したプログラミングを組むことや、実験装置を自作することがあり、 生徒たちはそれらに注力してしまうことがあった。このため、実験を何度も繰り返し考察しながら 実験方法を改良していくということが、少ししかできていないと感じている。生徒に提示する内容 を精査し、授業目標に合わせた活動に注力できるようにしたいと考えている。一連の活動の前後で、 物理と情意面に関するアンケートを実施する予定なので、その成果を今後公表したい。

## 2-1. 物理と生物の科目横断的な視点に立った DNA 二重らせん構造の教材開発

DNA 二重らせん構造に模した"ばね"による干渉実験が、2015 年の国際物理オリンピックの実験課題にある[2]。図 1a のように X 模様の干渉縞を観察することができ、現代でも利用されている X 線結晶構造解析への理解を促すことや、物理と生物の科目横断への展開が期待できる。







(b) 使用したコーム



(c) 自作した二重螺旋

図 1. DNA 二重らせん構造に関わる教材

そこで、試験的に 2022 年度の 12 月に本校中学校 3 年生の希望者 10 名を対象に、2 時間で次の内容を実施した。水波の干渉の演示実験と講義、音の干渉の演示実験と講義、光の回折・干渉の生徒実験 (隙間が分かりやすいように、隙間が 1 mm 程度の 100 円ショップのコーム (図 1b) を用いた)と講義を実施した後、「らせん構造にレーザー光線を入射させると、どんな模様ができる?」「2 重らせん構造と 1 重らせん構造で模様にどんな違いが表れる?」ということを予想させ、図 1c のように針金で1 重らせんと 2 重らせんを自作させ、予想を確かめる実験をさせた。自作させたものであるため、巻き方の違いを定量的に確かめることまではできなかったが、一連の実験・講義を短実施できること、定性的な内容については中学 3 年生でも理解できることがわかった。

2023年度は高校2年生が生物基礎と物理基礎の両方を履修しているため、現在は、両方の授業を使って定量的な理解までできるようにすることを計画している。

## 3. まとめ

最先端科学とつながる題材の授業や教材の開発を目標にした2つの授業実践を紹介した。どちらの授業も開発を進めたばかりで課題はあるが、高校生または中学生が理解しながら活動することはできている。通常の授業内で扱えるような展開例を公表できるよう実践研究を進めていきたい。

### 4. 謝辞

本研究は、公益財団法人パナソニック教育財団 2023 年度(第 49 回)実践研究助成、公益財団法人 武田科学振興財団 2023 年度高等学校理科教育振興助成、JSPS 科研費 JP20H01742 の助成を受けた。

- [1] M5Stack Core2IoT 開発キット. (<a href="https://www.switch-science.com/products/6530">https://www.switch-science.com/products/6530</a>, 2023 年 7 月 10 日アクセス)
- [2] 特定非営利活動法人 物理オリンピック日本委員会, 物理チャレンジ・国際物理オリンピック 2015 年度報告書, 平成 27 年(2015 年)11 月 30 日発行. (http://www.jpho.jp/2015/2015-activity-report-final.pdf, 2023 年 7 月 10 日アクセス)

# 女子高生の「物理学短歌作り」を通した言語活動による物理的思考と

# 主体的な学びの育成

<sup>A</sup>朝倉 彬 <sup>A</sup>お茶の水女子大学附属高等学校 asakura. akira@ocha. ac. jp

## 1. はじめに

高等学校の現在の学習指導要領では、理科「基礎付き科目」については3科目を必修化とされてから「物理基礎」の履修者は普通科では65.7%の履修率と以前の教育課程と比較して大幅に増加した[1]. 一方で「物理基礎」を学習する生徒が増えたため、いわゆる「物理嫌い」の生徒も増加したことも容易に想像できる。例えば原田ら(2018)[2]の調査において、中学校理科の時点ですでに「物理嫌い」の傾向がある、特に女子においては中学2年で「理科嫌い」が増加し、中学3年での改善も見られない。性差による「好き・嫌い」の状況は2年生から大きくなり、3年生ではさらに拡大する傾向である。単元別でみると、1年の「光と音」「力と圧力」、2年の「電流と磁界」であり、物理分野が最も性差が大きい分野として位置付けられている。この点は以前の調査でも同様な結果がもたらされており、近年でも「女子中学生は物理分野で理科を嫌いになる」と言える。2021年でのWeb 調査[3]において、対象人数500人ほどのうち「物理が苦手」と感じている女子高校生は46.2%で(数学、英語をついで3位)、男子生徒の28.1%よりもはるかに多く、回答者が全員履修している科目でないにも関わらず、苦手と感じている割合が高い。この点においても、中学校での苦手意識をそのまま高等学校でも引き継がれている傾向がある。

教育体制の変更として、昨年度から実施されている学習指導要領より高等学校も「主体的に学習に取り組む態度」の評価を実施するようになった。「主体的に学習に取り組む態度」の評価内容[4]として「①知識及び技能を獲得したり、思考力、判断力、表現力等を身に付けたりすることに向けた粘り強い取組を行おうとしている側面、②①の粘り強い取組を行う中で、自らの学習を調整しようとする側面、という二つの側面を評価することが求められる」と示されており、現場においては非常に困難を極めている。具体的には「レポート等の記述内容」ともあるが、昨今の生成系 AI(たとえば Chat-GPT 等)の出現により、学習者の意図とは異なってもそれ相応の文章が作成できる環境にもなり、主体性の評価はもとより物理学に対しての理解を促せるかが難しい。

本研究では、昨年度の研究発表に引き続き「言語による物理学の表現」に力点をおいた個人活動を行なった.「物理基礎」の力学分野において、それぞれの学習分野での「物理学短歌作り」と、グループ活動としての「力のワークショップ」[5]として1時間授業を行い、それらの作品や理解度を検証した.

## 2. 方法

「物理基礎」の力学分野の「変位・速度」「加速度」「力」の学習内容を終了後、それぞれの学習を理解した内容を踏まえた内容を「物理学短歌」にまとめてもらった。こちらを作成してもらう際には、あまり型にはまらず作成しても構わないという点も伝えた上で作成をすすめた。また、任意に説明等を付け加えるなどして、どのような意図で作成したものかも記載してもらった。また昨年度と同様に、運動方程式の利用後には「力のワークショップ」として「運動している物体にかかる力の向き」「水平投射の

軌跡」「重なった2物体」「バネの弾性力,ひもの張力」についてディスカッションをしてもらい発表してもらいクラス内で共有した。その後,個人的にそれぞれの問いに関しての理解度と,力学を理解するための思考を言語のみで表記してもらった。

## 3. 検証結果と考察

本発表では「物理学短歌」についての結果について示す.「物理学短歌」は、たった 31 文字程度にも 関わらず多くの回答が寄せられた.

短歌については、大きく3つのパターン(詩)に分けることができた. 1つ目は、公式は法則をそのまま端的に表現したものである. これは、力学の学習が進めば進むほどこのような記載が増加してきている. 法則が出現してきている点と"公式を覚える必要がある"という考えからこの課題に関しても直接的な内容になったと思われる. 2つ目は、学習した内容を問題等に適応するときに対しての注意事項的内容を表現したものである. この特に、テスト後にこの課題を実施した分野では顕著になることがわかる. 3つ目は日常などの物理現象と学習した内容についての関連性について表現したものである. この内容はかなり幅広いが、1つ目とは逆に学習が進めば進むほど掲載内容が少なくなっている. 例外としては、言葉遊びを主としたり、テストの結果のみに言及したりするものもあった.

以上のように短歌の内容としては大きく3つのパターンに分かれるが、任意に記載してもらった短歌の説明から読み取ると単純ではないこともわかる。たとえば「押しても 押されてしまう 作用反作用無生物にも 力はあります」という「詩」の説明には「壁を押しても作用反作用の法則により自分も壁から同じ力を受けることを学びました。このように壁のような無生物からも力を受ける、ということが結構重要だと感じたので書きました」のように、指導者側が当然と思っている点においても生徒側は新鮮さがある。

本発表では、それぞれの分野でどのような「短歌」が作られたのか、その紹介やその「詩」から生徒 たちがどのような学びを得ているのか、さらにはこのような活動で思考や主体性が育成できるのかを議 論していきたい.

# 4. 今後の展望

このような言語活動のから物理学的思考を伸長させることができるのか、物理学に苦手意識をもつ生徒に主体性を高めながら物理学への理解を促せられるのかを継続して検証したい.

- [1] 文部科学省「平成 27 年公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査(高等学校における科目の 履修状況(平成 25 年度入学者抽出調査)).
- [2] 原田勇希, 坂本一真, 鈴木誠:「いつ, なぜ, 中学生は理科を好きでなくなるのか?-期待-価値理論に基づいた基礎的研究-」理科教育学研究 58-3 (2018) 319- 330.
- [3] ラインリサーチノート「高校生の好きな科目、苦手な科目は?」 https://research-platform.line.me/archives/38598170.html (2023年7月1日閲覧)
- [4] 国立教育政策研究所「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 高等学校 理科編 (2021).
- [5]朝倉彬:「言語活動による物理的思考力の定着化の試み-女子高生にも積極的に物理の授業を楽しみながら 理解をしてもらうために-」, 第 38 回物理教育研究大会発表予稿集 (2022) 147-148.

# 放射線と福島復興の教育

原 尚志 福島県立安積高等学校 hara. takashi (at) fcs. ed. jp

### 1. はじめに

筆者は福島第一原子力発電所事故後、「福島での放射線教育」に取り組み、前任福島高校での実践の一部は物理教育学会誌などで紹介してきた。2019年4月から現任校勤務となったが、赴任直後に同僚から見せられた、生徒たちの「福島県民の被ばくによる後年影響」を懸念する数値には驚いた。これは「現在の放射線被ばくで後年に生じる健康被害が福島県の人に

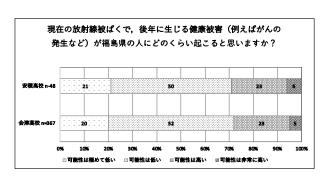


図 (出典) 千葉惇, 物理教育67(4), p. 236 図4より筆者作成

どのくらい起こるか」という問いを生徒に対して行なったものであり、約30%が「可能性が高い」を選んでいる。この問いは、福島県が被災地の住民を対象とした福島県民健康調査と同じ文言の問いである。筆者も前任校の授業で調査結果を取り上げてきたが、まさか目前の生徒の3割が「高い」を選ぶとは気づかず、生徒の対してこの問いを尋ねたことはなかった。

原発事故後の福島の線量を確認すれば、健康影響が起こる被ばく量とはとても考えられない。このことはWHOや、国連科学委員会のレポートでも度々報告されてきた事柄である。しかし、国際機関がいずれも、福島県民に対する健康影響の生じる可能性はほぼないと報告したことは、地元紙の一部が取り上げたのみで大きな報道となることはなく、生徒はもちろん福島県民もこの報告に大きく注目することはなかった。振り返れば事故直後、科学的正確さを欠く報道が多数行われ、世界中で放射線への過剰な不安が掻き立てられた。社会には今もその影響が散見され、誤解に基づく福島県産品への風評は消えていない。12年を経過して福島に関する報道量は少なくなり、人々が誤解を解く機会もない。事故後の福島の線量を科学に基づいて量的に考えれば、被ばくによる健康影響の可能性が低いことは明らかであるが、その様な思考や判断は、生徒が福島の放射線量について学ぶ場がない限り行われることはない。

生徒たちの健康影響懸念に気づいて以後筆者は、その払拭を目標の一つとして放射線の授業を行ってきた。ただしここ数年はコロナ感染症防止対策などによる休校のため、予定した内容の授業は十分に実施できなかった。昨年度ようやく1年生の物理基礎の授業で実践できたので報告したい。

#### 2. 授業の進め方

生徒の現状と、授業計画で留意した点は以下の通りである。

(1) 生徒の現状と放射線の学び 福島の生徒が放射線を学ぶとき、県内外の空間線量を確認して比較することが、線量の量的把握において重要であった。食品の線量においても放射性カリウムとの比較が生徒の理解を深めた。この経験から、放射線はもちろん福島の現状と風評に関しても学ばせ

ることとした。地域では高い学力を有する生徒たちであり、教科書に記載された放射線に関する知識は一部すでに獲得している。地域に対する関心も多少あり、福島復興には様々な社会課題があることを知っている。

(2) 生徒主体の学び 生徒の納得が得られる学習にするため、生徒主体の学びを大切にし、教師は学びの補助に徹

班	タイトル	およその内容	復興の進捗	県産品の風評	原発再稼働	放射線と健康	発事故	他県民の意識
В	原発は再稼働すべきか	原子力発電のメリット・デメリット		П	0		П	П
С	風評被害対策	風評被害対策、処理水・トリチウムとは? より良い情報発信		0	П		0	П
D	放射線と風評被害	被ばくとは、線量とがんになるリスク比較、風評と復興対策	0	0		0	П	
Ε	福島の現状とこれからの方向性	チェルノブイリ事故の比較、都民の意識、魅力の発信こそ風評対策		0	П		0	0
F	Fukushimaからの恩返し	インフルエンサーを通じた情報発信の提言		0	П		П	
G	放射線と福島復興	避難指示区域の復興の状況、農産物の販売促進	0	0	П		П	П
Н	情報の発信と取り組み	ロボコン・観光などの発信、わかりやすい発信が必要	0	0				
I	原発は日本に必要か	廃炉の進捗、日本の原発の現状、電力の安定供給・コスト・気候変動を 考える必要性			0		0	
J	避難指示区域の復興・風評と処理水の放出	避難指示区域の復興の状況、処理水放出をめぐって	0	П	П		0	П
K	原発のこれから・広報情報発信の今後	事故のようす、新しい原発規制基準、国県などの広報の現状、大阪万博 への期待			0		0	
L	放射線・原発事故とその後の復興・放射線から身を守る方法	放射線とは、原発事故と復興、非常時の放射線から身を守る方法	0			0	0	
М	ALPS処理水の危険性	危険性はほぼない		0				0

した。テキストには、「放射線副読本」「ふくしま復興のあゆみ<sup>[1]</sup>」「放射線リスクに関する基礎的情報」など行政や研究機関が発行する資料を用いた。

(3) 関心を持つことを調べ大切な人に伝えたい事柄をまとめる 生徒主体の学びとするため、生徒に提示した授業課題は「放射線や震災後の福島について自分が関心を持つことを調べ、友人・家族など大切な人に伝えたい事柄をまとめる」であり、50分×5回の授業で実施した。最後の2回は発表会とし、各グループは、作成した資料に基づき5分程度の発表を行った。

# 3. 授業の結果

生徒が発表で取り上げた内容を分類し、取り上げたグループの数を()に示すと、復興の進捗(5)、県産品の風評(7)、原発再稼働(3)、放射線と



健康(2)、原発事故(1)、他県民の意識(2)となった。「放射線の健康影響」は減り、以前とは大きく変化していた。再び原発事故が起こった場合にどう対処したら良いかをまとめた班もあった。

授業のまとめで実施したアンケートの結果は上図の通りで、「高い」を選んだ生徒は0であった。 この結果と生徒が作成した資料を見ると、生徒は放射線の科学的な知識を身に付けた上で、福島の 社会課題について考察している姿がうかがえた。

#### 4. まとめ

放射線の科学的知識だけでなく、福島の社会課題も同時に学ぶことで、健康影響への不安は減少した。福島の社会課題の一部は風評によるものであるが、「風評」とはいえ根本は「放射能に汚染されているのではないか」という誤解や偏見に基づく健康影響懸念に他ならない。その払拭には福島県の線量の低さ、すなわち福島の放射線の量的理解こそが鍵である。

福島の線量の低下は科学的事実の一つであり、被ばくによる健康影響は現れておらず、今後も現れないとされている。自然減衰や除染の効果、国際的にも厳しい基準に基づく県産品の安全管理がその理由であるが、事故後に明らかにされたこの科学的事実こそ国内外に積極的に発信すべきある。福島県外においても福島の現状について学ぶことは、福島への誤解を払拭するだけでなく、放射線の量的理解を促し、放射線そのものへの理解を深める学びとなる。

### 参考文献

[1]「ふくしま復興のあゆみ」(「復興再生のあゆみ」もあるが、「ふくしま復興のあゆみ」を勧める) https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-fukkoukeikaku1151.html

# 身近な現象を定量的に理解するためのエントロピーと熱力学

石黒亮輔 日本女子大学理学部数物情報科学科 ishiguror@fc.jwu.ac.jp

### 1. はじめに

高等学校の学習指導要領には「物理基礎」や「物理」の科目の性格として「身近な物理現象とエネルギーに関する基本的な概念の理解」「観察,実験を通した物理学の基本的な概念や原理の理解」「科学的に探究する力や態度を育成」、また「物理学はできるだけ単純化した条件から普遍的な法則を見いだす。」といった内容がある[1]。本発表ではこれら「単純化」と「基本的」という理念によって取り扱われていないと考えられる「エントロピー」が身近な現象の理解や科学的に探求する態度の育成のために必要な概念であることを示す。一方でエントロピーは特に理解が難しい概念の一つでもあるので、身近な現象からエントロピーを定量的に導入するための簡単な題材を示し、背景となる熱力学について説明する。

# 2. 最も身近な現象である失われる力学的エネルギー

力学分野で扱われる力学的エネルギー保存則は、運動エネルギーとポテンシャルエネルギーが仕事によって変換し和が一定に保たれるという点で極めて重要な概念だが、散逸が起こらない単純化は、身近な現象の一つの本質を表わすがもう一つの本質は無視しており問題である。実際に身近に観察されるすべての現象では重心の力学的エネルギーは保存されない。もしも重心の力学的エネルギー保存則が成立しているとすれば、ものを置くときなどよほど慎重に置かない限りは運動エネルギーと位置エネルギーを交換しながらバタバタと振動し続けることになるだろう。この素直な身近な現象を観察は失われる力学的エネルギーという概念で説明される。

しかしながら失われた力学的エネルギーの行き先の説明は明確にされていない。物体に非保存力がはたらくとき負の仕事がなされ力学的エネルギーは失われるという説明されるが、どうなったかはあいまいである。失われた力学的エネルギーは「熱」になるといった説明もあるが、普通力学的エネルギーが失われても周囲の温度変化は観察されないので熱エネルギーと言い換えても初学者に実感として理解を得るには難しいだろう。また、「熱」はエネルギー移動の形態の一つと定義されておりこの場合に用いるのは不適切である。この様にあいまいな取り扱いがなされている「失われた力学的エネルギー」は、エントロピーを導入ことで明確になる。また同時にこの現象は定量的なエントロピーの初等的な導入に最適な題材でもある。

### 3. エントロピーと失われる力学的エネルギー

ここで、 $\Delta U_{\rm c}$ を物体の重心系  ${\rm c}$  のエネルギー変化、 $\Delta U_{\rm e}$ を重心系以外の環境系  ${\rm e}$  (と呼ぶ)のエネルギー変化とする。このエネルギーは、いわゆる系の内部エネルギーだけでなく重心の力学的エネルギーを含む。静止した質量 $m_{\rm c}$ の物体を $h_{\rm c}$ の高さから手を放し、机に落とすと位置エネルギー変化  $\Delta E_{\rm Pc}$ が起こり最終的には机の上で静止する。通常、環境系は温度Tを含めて直接観測される物理量はほとんど変化しないという観測にもとづいた単純化を行う。このときのエネルギー変化は

 $\Delta U_{\rm c} = -m_{\rm c}gh_{\rm c}$ 

$$\Delta U_{\rm e} = T \Delta S_{\rm e}$$

である。エネルギー保存則は $\Delta U_c + \Delta U_e = 0$ なので、

$$\Delta S_{\rm e} = \frac{m_{\rm c}gh_{\rm c}}{T} \ge 0$$

である。位置エネルギーは身の回りで観測される現象で定量的にエントロピーに変換できる。運動エネルギー変化 $\Delta E_{Kc}$ についても全く同様である。つまり、失われた力学的エネルギー $\Delta E_{C} = \Delta E_{Kc} + \Delta E_{Pc}$ はエントロピーになる。重心系のエントロピー変化を $\Delta S_{C} = 0$ とし、全体系のエントロピー変化を $\Delta S_{C} = 0$ となる。

定理: 温度Tの定温環境下で直接観測量の変化が重心の失われる力学的エネルギー $\Delta E_{c}$ のみを示す場合、全体のエントロピー変化は

$$\Delta S_0 = -\frac{\Delta E_{\rm c}}{T} \ge 0$$

となり、全体系のエントロピーは増加する。

この取り扱いはクラジウスの定理によるエントロピーの導入よりも初学者になじみやすいだろう。

# 4. 重心系のエントロピーと熱力学

上記の背景として熱力学に重心系を含めておくほうが良い。熱力学には温度とエントロピーが必須の概念といえるので、重心系にもエントロピー変化 $\Delta S_c$ と温度Tを与えておく方がよいだろう。このために重心系のエントロピーを定数とすることを提案する。(エントロピー変化は常に $\Delta S_c=0$ となる。)また、定数エントロピーに対しては熱容量が $C_c=T\frac{dS_c}{dT}=0$ となるので、重心系の温度は環境の温度Tと等しいと出来る。これは物体の自然な単純化の範囲ではなかろうか?つまり、質点に位置と運動量だけでなく温度の性質も加えることにする。重心系とその他の環境系の関係は

$$\Delta U_{\rm c} = T\Delta S_{\rm c} + \Delta E_{\rm K_{\it c}} + \Delta E_{\rm P_{\it c}} \ , \ \Delta U_{\rm e} = T\Delta S_{\rm e}$$
 
$$\Delta U_{\rm c} + \Delta U_{\rm e} = 0$$
 
$$\Delta S_{\rm c} + \Delta S_{\rm e} \ge 0$$

と表わされ、対称的な熱力学形式で書くことが出来る。

#### 5. まとめ

物理学は十分に知れば極めて明確であるにもかかわらず、一般に学習は難しいとされる。この理由の一つに、自然を実感としてとらえるために必要な概念の教育が後回しになっていることもあるのではないだろうか?現象の見たいものだけ見るのではなく全体も把握するという態度は探究活動にも必須である。このため高等学校など早い段階から熱力学に基づいたエントロピーを導入ことが物理の学習をより実りあるものにすると考える。

#### 参考文献

[1] 文部科学省「高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説理科編理数編」(2019).

# 系概念とエネルギー保存式を意識した「仕事・エネルギー」の授業実践

<sup>A</sup>今井章人、<sup>A</sup>猪鼻真裕、<sup>B</sup>小栗美香、<sup>C</sup>勝田仁之、<sup>D</sup>西村塁太 <sup>A</sup>早稲田中学校・高等学校、<sup>B</sup>埼玉県立川越高等学校、<sup>C</sup>筑波大学附属高等学校、 <sup>D</sup>東京学芸大学附属高等学校

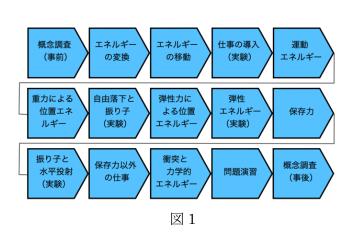
aimaime@gmail.com

### 1. はじめに

エネルギーは高校物理で学習する重要な概念の一つである。右近は、系選択の重要性を指摘し、 エネルギーの移動(transfer)とエネルギーの変換(transformation)が重要であると考察してお り[1]。エネルギーをどのように教えるかについての関心が高まっている。著者らで授業プランを 検討し、そのうち2名がA高校で実践した結果を報告する。

## 2. 授業計画

図 1 のような授業計画とした。特徴的な点は、1 つ目が仕事の式 (W = Fx)を扱う前にエネルギー変換とエネルギーの移動についてそれぞれ時間をとった点である。「仕事はエネルギーの移動を表す」という点に重点を置いた。 2 つ目は、エネルギーの変換や移動について考えさせる際にエネルギーバーチャートを導入し、生徒実験や演習問題でもバーチャートを描かせることにした点である。効果測定にはエネルギー・運動量の概念調査 (Energy and



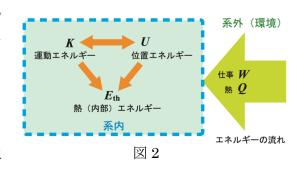
Momentum Conceptual Survey)[2]を用い、エネルギーの履修前後で実施した。それに加えて、著者らで検討した記述問題を実施した。

## 3. エネルギー変換とエネルギーの移動

中学校で力学分野の最後にエネルギー変換を学習する。例えば、火おこし器は力学的エネルギーを熱エネルギーに変換することを学んでいる。本授業プランのエネルギー変換の導入で、静止している人間が走り出した場合のエネルギー変換を考える[3]。人間を系として考え、ATP などの化学エネルギーや熱エネルギーなどを含めて内部エネルギーとする。人の内部エネルギーが減少し、運動エネルギーに変換され、系の合計エネルギーは変わらない。従来の高校物理では、力学の枠組みを

超えて、人をエネルギーの観点から扱うことは避けられてきた。著者らの実践では、身近な例から導入することによって、力学だけに閉じていたエネルギー学習を、自然や人間生活の枠組みへと拡げることができた。

エネルギーは系内の stock であり、仕事(押したり引いたりすること)や熱は系外からの flow であることを意識づけた[1]。太陽から光エネルギーとして地球に



エネルギーが与えられる現象も図 2 の枠組みで考えられる。地学で扱うエネルギー循環についても 触れることができた。

## 3. 実践例①: 斜方投射

「おもちゃのレールに沿って、ボールを転がすと、 最下点より少し高くなったところでボールが斜め上 方に飛び出す。最高点の高さはどうなるか。」を考えさ せた。なお、摩擦の影響が無視できることについては、 斜面の反対側(低い側)からボールを転がして同じ高 さまで上がることを動画で見せて、確認済みである。 議論をした後、実験を見せた。その後、図3のような

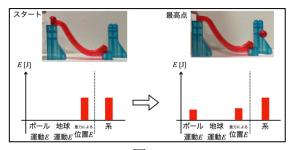


図 3

エネルギーバーチャートを描かせた。その後、縦軸に文字式でエネルギーを書かせ、グラフの関係から式  $(mgh = \frac{1}{2}mv^2 + mgh')$  を立てさせた。バーチャートで考えることで、数式を立式する障壁が格段に下がることがわかった。

# 3. 実践例②:摩擦と力学的エネルギーの減少

図4のように、弾性ボールと非弾性ボールをハンマーで 100 回ずつ叩いてサーモカメラで観察すると、非弾性ボールの温度は 10℃以上上昇し、違いが明らかに分かる。この課題で、力学的エネルギーが減少して内部に変換される場合を導入した。

図 5 のように、摩擦のある斜面を物体が移動する問題を考える。図 6(上)のように外部に熱を放出すると考えた場合、力学的エネルギーの減少分を求めさせることになる。単元の初めから、図 2 の枠組みでエネルギーをとらえているため、力学的エネルギーが保存しない場合についても、自然な流れで考えさせることができた。また、図 6(下)のように斜面または空気を地球と捉えて地球の熱エネルギーになるとして、エネルギーが保存するような系を考える生徒も多かった。

### 後 前 後 ### 非弹性 17.9° 18.7°

図 4

水平となす角が  $30^\circ$  の粗い斜面上の点 A を,質量1.0kg の物体が速さ 2.0m/sですべりおり,斜面に沿って 2.0m はなれた点 B を速さ 4.0m/sで通過した。重力加速度の大きさを 9.8m/s²とする。この間に失われた物体の力学的エネルギーは何Jか。



図 5 E [J] E[J]11.8J 9.8J 8.0J 2.0J 物体 地球 物体 地球 **東力による** 運動*E* 運動*E* 位置*E* 系の 系の 運動 運動 産 位置 産 摩擦熱 合計 合計 E[J]11.8J 11.8J 8 01 2.01 物体 地球 ≋カによる 地球 系の 地球 動 運動E 運動E 位置E 熱E 運動E 運動E 位置E 熱E

図 6

本研究は日本物理教育学会次世代形成ワーキンググ ループの企画の1つである、授業づくりの会で行ったものである。

#### 参考文献

[1]右近修治:物理教育通信 186 (2021) 20-43.

[2] C. Singh S, Am. J. Phys. 71, 607 (2003).

[3] 勝田仁之: 筑波大学附属高等学校研究紀要 62 (2021) 123-134.

# 「教育における改善活動のために」

遠藤 正昭、尾島 正男、原 眞一、池田友久、北原和夫 NPO 法人 人間環境活性化研究会 mike0202endo0718@yahoo.co.jp

### 1. はじめに

- ▶ 私ども人間環境活性化研究会のメンバーは、2018年に日本物理教育学会の会員になり、会誌や研究大会に参加し、本会の改善活動や教育界の現状の把握に努めた。この事と企業でのものづくりの経験を基に、これまでも有効と考える提案をしてきた。
- ▶ さて、本会の目標について、新田会長は挨拶の中で以下のように述べている。
- 授業での知見を研究として積み上げ、発展させていくことによって、新任の教員でも経験を積 んだベテランの教員と同等以上の授業を展開することを可能とする。
- 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研究によって見出し、物理を万人に愛される教科へと変容させる。
  - ▶ この目標に対して、どうやって達成するか検討したので、その結果を提案の形で報告する。

### 2. 我々のやってきた改善活動

2.1. マネジメントと改善

マネジメントを行う目的は"維持"と"改善"で、その活動は PDCA (Plan-Do-Check-Act) を廻すことにある。

"維持"はまさに本来業務で、決められた仕事を着実に実行し、 従来同様の結果を得ることが目的である。学校教育では授業がそれにあたるわけだが、その中で「今日の授業は非常にうまくいって 学生の理解度も高かった」とか「何故か今日の授業は低調で学生の 活気もなく理解度も低かった」とかいうバラツキが生じる。それら を漫然と受け流すのではなくそのバラツキが顕著な時は、その原 因を解析して対策を次の授業に生かしていくという地道な活動を 続けていくことによって、本来業務の維持活動の中でごく自然に 改善される。

"改善"とは、今の仕事の結果や効率を良くする事を目的として、授業のやり方や教材を変える、所謂与件を変えて今までとは違う結果を得ようとするもので、多くの場合プロジェクトとして展開される。このことを図で示せば二つのサークルで表現される右図のようになる。

ここで肝心なことは、授業改善に関するどんな立派な研究結果 が得られ、報告されても、本来業務の維持活動が上述のように活性

2.2.維持活動の活性化と二つのサークルの連動のための要点 実際に改善を実施に移す場は言うまでもなく授業であり学校であり、この学校というチームの中 で、前述のサークルをうまく連動させていく要点は以下の3点である。

- ① チームで活動するその学校の目的、目標が明確で、全員で共有化されている。
- ② 目標に対する結果、即ち授業等の結果が定量的に把握されフィードバックされている。
- ③ 仕事の方法、即ち授業の方法が授業実施標準として文書化され、皆がその通り実施している。(何故なら、永年に亘り先輩も含めて皆で改善に向けて積み上げてきた方法だから)

# 3. 教育界における改善活動への提言

我々は、企業内の社員教育や改善指導は経験してきたが、学校教育の現場の経験はない。そこで、 我々の現役時代の体験と物理教育に関する研究結果、並びに日本物理教育学会の会誌や研究大会で 得たことを基に、会長の示された目標達成の為、以下の提言を纏めた。

#### 3.1. 授業実施標準

ものづくりの現場には、すべての作業のやり方・管理の仕方を細かく記述した作業標準書があり、全員が標準書通り仕事する。そして課題解決で得た改善の結果は標準化/標準書の改訂で完了する。 学校には、何らかのかたちでこのような授業実施標準/授業実施要領に類するものはあると考える。これらは過去から積上げてきた多くの経験、ベテラン教員の智恵や工夫がベストプラックティスとして、貴重なノウハウとして残され、これによって日々の授業がなされているものと推察する。もしこのような経験の蓄積が不十分であれば、改善の方向性が見えずうまく進まないであろう。また、外部の研究成果を用いて、現場に合わせて授業実施標準を書き換えることは容易ではないと思われる。現場における経験の蓄積の文書化共有化が不十分であれば、見直し改善を図って戴きたい。3.2. ベストプラックティス/ノウハウ

上述のベストプラックティス/ノウハウは「授業の目標・目的を最も効率よく達成する方法」ということであり、その為には、各授業で学生に「何を学んで欲しいか」という目的が明確でなければならない。学習指導要領による学校教育の目的に始まり、各学校の目的、それを満足させるための科目ごとの目的、各授業の目的というように機能的に展開されるべきものである。これらの目的の機能的展開を行うことにより、学校の組織全体の活性化も進み易くなる効果も伴うであろう。

この機会にぜひ、「目的は明確で共有化されているかどうか」、出来ればそれに加えて「我が学校のお客様は誰で、満足されているかどうか」についてレビューして欲しいと考える。

#### 3.3. 海外の教科書との比較

私共の会では、物理基礎について、日本の教科書とアメリカの教科書及びイギリスの教科書との比較研究を進めてきている。欧米の教科書では、「科学と技術:科学的知識が発見されるにつれて、その知見は人間の生活を進歩させるように利用されてきました。技術とは現実的な問題を解決させるために知識を使うことです。科学のゴールは知識を増やすことですが、技術のゴールはその知識を利用することです」と説明し、自然現象や技術が科学的知見によって解明され開発されたことなどの説明が多く出て来る。従って、教科書の説明にストーリー性があり、また内容も自ずから現実的で身近な話になる。しかしながら日本の物理基礎の教科書は科学(理論的理解)に主眼を置き過ぎて、極論すれば技術は物理の範疇外とされているような気さえする。理科嫌いを減らすには、科学と技術の両方を結び付けて取り上げることが必要だと考える。

#### 3.4.最後に

以上の改善を進めていくためには、組織的な系統だった進め方が必要である。幸いなことに、今 既に世界的な学校教育の仕組みの標準である ISO21001 が作成されている。

この内容を活用することが、改善の為の一番現実的な方法だと考える。是非ご検討下さい。

# 波動光学に対する概念理解の困難の分類とその克服

<sup>A</sup>中山理知, <sup>A</sup>興治文子, <sup>B</sup>長谷川大和, <sup>C</sup>小林昭三 <sup>A</sup>東京理科大学大学院理学研究科, <sup>B</sup>東京工業大学附属科学技術高等学校, <sup>C</sup>新潟大学教育学部 1722506@ed. tus. ac. jp

### 1. はじめに

波動光学分野は、初学者にとって概念理解が難しい分野である。McDermott らによる先行研究[1]では、アメリカの大学生が幾何光学と波動光学の適用範囲が分かっておらず、公式を用いて大学受験で出題されるような問題が解けても本質的な概念理解がなされていないことが明らかとなっている。本研究では、先行研究に基づき調査問題を作成し、2022年11月に理工系大学の物理学科1年生を対象に調査を行った。その分析から、学生の概念理解の困難を分類し、その原因の推察と克服について報告する。

## 2. 調査方法

## 2-1. 調査対象および時期

本研究では、先行研究[1][2]に基づき調査問題を作成し、2022 年 11 月に研究同意を得た理工系大学の物理学科 1 年生 78 名を対象に調査を行った. なお、調査前に物理教育研究の講義がなされ、学生は光の直進性に関する簡易実験を行なっている.

## 2-2. 調査内容

本研究で扱った調査問題の内容としては、中学校高校時代の光学分野における実験経験の有無を問うアンケート、光が台紙を切り抜いた穴および単スリットを介してスクリーン上に映る影の様子、スリット幅と光の波長の関係、光が二重スリットを介してスクリーン上に映る影の様子である。図1は、調査問題の一例である。

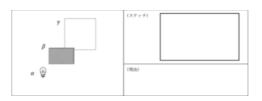


図 1 調査問題例

#### 3. 研究結果および考察

調査を行なった 78 名の解答を解析したところ,次の通りになった.まず,光が縦波か横波かという知識を問う問題では,正解である横波と解答した学生は 50 名と全体の約 6 割の正答率であった.幾何光学および波動光学分野の学生の理解について,先行研究[1]において代表的な誤答がついて述べられていたが,詳細に関して分からない点が多い.本研究の調査結果でも先行研究で述べられていた代表的な誤答が見られた.

図1のように光源 $\alpha$ , 60mm×5mmの長方形の穴のあいたマスク $\beta$ , スクリーン $\gamma$ の順で並んでいる場合, スクリーンに映る影の形と大きさ, その解答理由を分類した結果をそれぞれ図2(a) (b) に示す. 図2(a) の影の形が不正解だった5名のうちの一例を図2(c) に示す. 図1 にある穴のあいたマスクを光源から徐々に遠くした場合にスクリーン上に映る影はどのように変化するかという問題に対して、学生の解答理由の中で「影が小さくなる」が48名と最も多い解答であったが、「影が薄くなる」と解答した学生は5名であり、「影が小さくなり、薄くなる」と解答していたのは3名であった。問題文中に影の大きさと濃さを必ず言及するよう促してはいない。しかし、誤答を含めて解答理由に両方を言及していたのは7名のみであった。

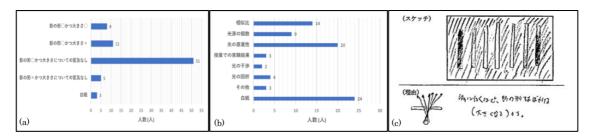


図2(a)スケッチした図の種類(b)解答理由の分類(c)誤答スケッチの一例

次に図3にある単スリットの場合の影の形<sup>[2]</sup>と補足事項として光の干渉に関する公式を明示した後に、レーザー光が二重スリットを介したスクリーン上の影をスケッチする問題では、想定していた明暗線をスケッチできていたのは



図3 単スリットの場合の形[2]

35名であった. 解答のうち,図4のように「単スリットで生じる影を2つ並べたスケッチ」と「直進光を2つ並べたスケッチ」がよく見られた. このことから,一部の学生は二重スリットの機能の違いを理解していないまたは二重スリットを介した干渉現象をそもそも理解できていないと考えられる.

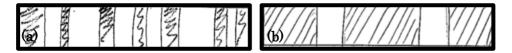


図4(a) 単スリットで生じる影を2つ並べたスケッチ(b) 直進光を2つ並べたスケッチ最後に二重スリットのスリット中心間の距離と両スリット幅を狭くした場合において、スクリーン上に映る影の振る舞いに関しての問題を出題した。補足事項の公式から解答した学生は7名であった。一方後者では、解答は正解しているものの、その理由については「なんとなく、分からない」と解答した学生が解答者の中で大半であった。このことから、一部の学生が単スリットの幅を狭くした場合、すなわち光の回折が顕著に現れた場合と干渉現象をうまく関連できていないことが考えられる。

#### 4. まとめ

本研究の調査結果から、日本の大学生であっても幾何光学から波動光学の接続および回折や干渉の本質的な理解ができていないと考えられる. 現在、増子が開発したセンサーを活用したスリットの干渉実験<sup>[4]</sup>をもとに、波動光学における概念理解を促す教授法の開発に努めており、その有効性の調査を行う予定である.

本研究は、JSPS 科研費 JP 21K02890 の助成を受けたものです.

- [1] L. C. McDermott, Am. J. Phys. 69 (11) (2001) 1127.
- [2] L. C. McDermott, Peter Shaffer Tutorials in Introductory Physics Pearson College Div (2002) 180.
- [3] Bradley S. Ambrose, Peter S. Shaffer, Richard N. Steinberg, and Lillian C. McDermott Am. J. Phys. 67 (1999) 146.
- [4] 增子寬 物理教育通信 177 (2019) 34.

2023年度日本物理教育学会年会 第39回物理教育研究大会 発表予稿集

発行日 令和5年8月7日

発行者 第39回物理教育研究大会 実行委員会

印 刷 新潟明訓中学校・高等学校