

2021年（令和3年）
第31回 物理教育に関するシンポジウム
講演予稿集

みらいを創る科学技術教育
～ 新しい生活様式での理科教育及び人材育成のこれからを考える ～

主催：公益社団法人応用物理学会・応用物理教育分科会
協賛：(株)電菱、(株)二葉科学

期日：2021年12月18日(土)
会場：Zoomによるリモート開催

みらいを創る科学教育と人材育成 ～新しい生活用様式での理科教育及び人材育成のこれからを考える～

応用物理教育分科会 幹事長 佐藤杉弥（日本工業大学）
事業委員長／現地実行委員長
安藤静敏（東京理科大学）

【主催】 公益社団法人応用物理学会・応用物理教育分科会

【協賛】 (株)電菱、(株)二葉科学

【日時】 2021年12月18日（土）13:00～17:40

【会場】 zoomによるオンライン開催（発信元；東京理科大学 葛飾キャンパス）

【zoomアクセス情報】

トピック: 第31回物理教育に関するシンポジウム - 応用物理学会応用物理教育分科会

時間: 2021年12月18日 12:00 PM 大阪、札幌、東京

<https://tus-ac-jp.zoom.us/j/97511753759?pwd=QU0zNUl5ZVN4cGRoQ05aUmI4WHNwQT09>

ミーティングID: 975 1175 3759 パスコード: 549422

【講演プログラム】

A-0 13:00～13:05（5分） 開会の挨拶
佐藤杉弥（公益社団法人 応用物理学会 応用物理教育分科会 幹事長、日本工業大学）

<シンポジウム講演（4件）>

A-1 13:05～13:35（30分）
「応用物理学会の取組む科学教育 ～リフレッシュ理科教室などを通して～」
香野淳（公益社団法人 応用物理学会 教育企画委員会 委員長／福岡大学 理学部）

A-2 13:35～14:05（30分）
「物理チャレンジ・物理オリンピックによる中高生へのはたらきかけ
～これまでとこれから～」
長谷川修司（公益社団法人 物理オリンピック日本委員会 理事長／東京大学 理学部）

A-3 14:05～14:35（30分）
「持続可能社会に向けての科学教育の課題」
岡野富行（葛飾区科学教育センター「未来わくわく館」）
住野豊、加納（東京理科大学 理学部応用物理学科）

A-4 14:35～15:05（30分）
「ニュートンが生きたイングランド」
並木雅俊（高千穂大学 人間科学部）

15:05～15:15（10分） 休憩

<特別講演（1件）>

S-1 15：15～16：00（45分）

「かわむらメソッド ～理科離れ？ そうはさせない！ 理科教育のあれこれ～」

川村康文（東京理科大学 理学部物理学科）

<中学・高校生による研究発表会（1件）>

B-1 16：00～16：15（15分）

「エグゾーストキャノンの製作」

熊田琉（敬愛学園高等学校 理科研究部）

16：15～16：25（10分） 休憩

<一般講演（5件）>

C-1 16：25～16：40（15分）

「物理概念の獲得と修正プロセスに関する認知科学的アプローチ」

猪本修（兵庫教育大学）

C-2 16：40～16：55（15分）

「リモート講義等で作成した教材の有効活用のためのホームページの整備」

葛生伸（福井大学 学術研究院工学系部門）

C-3 16：55～17：10（15分）

「子どもに探究活動につなげる教員の探究活動の意義

～ 児童向け啓発活動の経験の活用した教材開発と授業づくり ～」

月僧秀弥（富山大学 人間発達学部）

C-4 17：10～17：25（15分）

「コロナ制約下での地域連携活動を通じた学生の成長」

長谷川誠（公立千歳科学技術大学）

C-5 17：25～17：40（15分）

「リモートを活用した子供たちの学び」

曾江久美（お茶の水女子大学大学院）

今泉修、内海緒香（お茶の水女子大学人間発達教育科学研究所）

伊藤大幸（お茶の水女子大学基幹研究院人間科学系）

目 次

<シンポジウム講演（4件）>

- A-1 …………… 2
「応用物理学会の取組む科学教育 ～リフレッシュ理科教室などを通して～」
香野淳
- A-2 …………… 6
「物理チャレンジ・物理オリンピックによる中高生へのはたらきかけ
～これまでとこれから～」
長谷川修司
- A-3 …………… 10
「持続可能社会に向けての科学教育の課題」
岡野富行、住野豊、加納誠
- A-4 …………… 12
「ニュートンが生きたイングランド」
並木雅俊

<特別講演（1件）>

- S-1 …………… 17
「かわむらメソッド ～理科離れ？ そうはさせない！ 理科教育のあれこれ～」
川村康文

<中学・高校生による研究発表会（1件）>

- B-1 …………… 22
「エグゾーストキャノンの製作」
熊田琉

<一般講演（5件）>

- C-1 …………… 26
「物理概念の獲得と修正プロセスに関する認知科学的アプローチ」
猪本修
- C-2 …………… 28
「リモート講義等で作成した教材の有効活用のためのホームページの整備」
葛生伸
- C-3 …………… 32
「子どもに探究活動につなげる教員の探究活動の意義
～ 児童向け啓発活動の経験の活用した教材開発と授業づくり ～」
月僧秀弥
- C-4 …………… 34
「コロナ制約下での地域連携活動を通じた学生の成長」
長谷川誠
- C-5 …………… 36
「リモートを活用した子供たちの学び」
曾江久美、今泉修、内海緒香、伊藤大幸

シンポジウム講演

A-1～A-4

A-1

応用物理学会の取組む科学教育～リフレッシュ理科教室などを通して～

Science Education by The Japan Society of Applied Physics

– Through Refresh Rika-Kyoshitsu –

香野 淳^{1,2}

Atsushi Kohno

¹福岡大学 理学部 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

²公益社団法人 応用物理学会 教育企画委員会 〒113-0031 東京都文京区根津 1-21-5

¹ Department of Applied Physics, Faculty of Science, Fukuoka University,
8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

² The Japan Society of Applied Physics, 1-21-5 Nezu, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0031, Japan

Abstract

応用物理学会では、教育企画委員が中心となり全国各地でリフレッシュ理科教室をはじめとする科学教育・科学啓発活動を実施、展開している。リフレッシュ理科教室は応用物理学会の公益事業の一つであり、各地区・地域ごとに教育委員会等と連携、協力しながら、主として教員対象の講演会等と生徒・児童対象の実験・工作教室を行っている。2020-2021年にかけては、インターネットを用いたリアルタイム・オンライン理科教室の開催、理科実験・工作の動画の配信などをあらたに開始した。リフレッシュ理科教室は徐々に活動の幅を広げ、広い意味での科学教育へと発展してきている。参加者とのネットワーク作りを目指した活動も行っている。

Key words: 科学教育・科学啓発活動, リフレッシュ理科教室, 地域連携, オンライン

1 はじめに

応用物理学会では、全国7支部と応用物理教育分科会から選出された委員で構成される教育企画委員会を本部に設置し、各委員が所属する支部・分科会の協力のもと、全国各地において様々な形で科学啓発活動、科学教育を展開している。その中で、「リフレッシュ理科教室」は、初開催から25年継続してきた応用物理学会の重要な取り組みの一つである。

本発表では、「リフレッシュ理科教室」の取り組みの内容や意義などについて触れた後、その活動の一部を紹介するとともに、それを起点として広がってきた地域連携による広い意味での科学教育の取り組みについて、事例をもとにその一端を紹介する。

2 応用物理学会のリフレッシュ理科教室

「リフレッシュ理科教室」は、応用物理学会の会員

が全国各地で取り組んでいる科学啓発活動である[1]。その主な内容の一つは、子ども達に大きな影響力をもつ教員および保護者から科学技術に関することを生徒・児童に伝えていただくことを目指す活動であり、小中高の教員や一般（教員を目指す学生なども含まれる）を対象として先端科学技術に関する講演と教育現場で利用できる理科実験・教材工作の紹介・ワークショップ等を行っている。もう一つの柱は、科学技術の内容を具体的な実験・工作の形で小中学生に届けることにより科学技術への興味・関心を高めることを目指す活動であり、生徒・児童を対象として（会場によっては保護者も対象として）理科実験・工作教室を実施している。地域・会場によっては、講演会・ワークショップ等に参加した教員と応用物理学会員が協働で実験・工作の指導にあたるなど、2つの取り組みを結び付け、一体的に実施している。また、リフレッシュ理

科教室は、最先端の科学技術研究を行っている応用物理学会が科学の楽しさ、奥深さを直接子ども達に伝える貴重な機会となっており、科学教育の一環として大切な場であると考えている。

平成9年(1997年)に応用物理学会のパイロット事業として福岡(九州支部)でスタートした「リフレッシュ理科教室」は、2年目には予算化された事業となって名古屋(東海支部)で開始され[2]、その後全国に広がって北海道から九州まで全国各地で開催されるようになり、25年目を迎えたいまでは応用物理学会の大切な公益事業の一つとなっている。現在は他の団体でも活発に科学啓発活動が行われているが、学会全体として全国で一致協力して継続的に取り組んでいるリフレッシュ理科教室の活動は特筆に値すると考えられる。また、この活動の重要なポイントの一つは、全国の委員会組織としてのまとまった活動でありながらも、それぞれの地域の特性や実情に応じて開催時期、場所、実施形態を工夫して実施していることにあり、応用物理学会の社会・地域への貢献の一環ともなっている。

長年の継続的な活動を通して「応用物理学会のリフレッシュ理科教室」の名が徐々に定着し、協力・連携する公共団体等が増え、信頼や期待を寄せられていることを実感するとき、この活動に携わってきた者の一人として喜びを感じるとともに、科学教育や科学啓発においても地道な活動の継続の重要性をあらためて感じている。さらに、地方自治体、教育委員会、公共施設(科学館や図書館など)との協力、連携が深まるにしたいが、リフレッシュ理科教室は単発のイベント的なものから継続的な科学教育へとその意味合いを変えてきているように思われる。

3 リフレッシュ理科教室の現状と期待

近年(2015~2019年)は、夏休みを中心に7月から12月までの間、北は北海道から南は鹿児島に至る全国において年平均30箇所以上でリフレッシュ理科教室を実施し、毎年3,000名程度の参加者を得てきた。参加者の5~6割は児童・生徒であり、教員と保護者・一般がそれぞれ2~3割を占めている。また、科学館の利用や科学関連イベントへの参加の面で比較的恵まれた都市圏に留まらず、先端科学に触れる機会の少ない町村・僻地においても精力的に理科教室を開催してきた。

2020年に入って新型コロナウイルス感染症の影響

が深刻になると、これまで普通と考えてきた対面での理科教室の開催は難しくなり、他の行事と同様に、リフレッシュ理科教室も多く会場を中止せざるを得なくなった。実験工作教室などの相次ぐ中止により、科学技術を体験する機会が失われていく状況にあって、応用物理学会教育企画委員会では、大きな目標を見失うことなく、コロナ禍でも出来ること、コロナ禍だからこそやるべき事を模索し、オンライン形式をはじめとする理科教室の開催を検討、立案し、コンテンツ制作、配信にも取り組んだ。また出来る限り、実際に物作り・工作に触れてもらうため、材料の提供・配布を含めた理科教室も企画し、実行に移した。全体で一致した方針のもと、教育企画委員を中心とする実行委員の奮闘により、各地区・地域・会場ごとに公共団体等の関係先と協議を行ったうえで、それぞれ独自性を発揮して、様々な形態でリフレッシュ理科教室が実施された。図1は2020年度に開催したオンライン・リフレッシュ理科教室開催の様子を示すポスターである。



図1 2020年度オンライン・リフレッシュ理科教室の開催の様子を表すポスター

オンライン・リフレッシュ理科教室の形態には、オンデマンド型で理科実験・工作を視聴する形式、リア

ルタイム同時中継で工作教室を実施する形式（リモート型）、オンデマンド型配信と個別相談等を組み合わせた融合型の形式がある。また、コンテンツをホームページで配信するのみならず、参加申し込みを受け付け、教材を事前配布して、理科実験・工作に取り組みやすい環境を整える取り組みも行われている。

2021年は当初35会場（対面30会場、オンライン5会場）での開催が計画されていたが、一年の中で最も開催会場の多い夏季に緊急事態宣言やまん延防止等重点措置が適用される状況となったため、最終的には25会場での開催となり、オンライン開催と現地対面での開催が半数ずつとなった。しかし、2020年と比較して、中止することなくオンライン理科教室に切り替えて実施された会場が多かったことは、実行委員の継続的な努力と経験が活かされた成果と考えられる。

2020年～2021年にかけて、実験・工作のオンデマンド用の動画コンテンツの制作が行われた結果、応用物理学会教育企画委員会から配信されているリフレッシュ理科教室のオンデマンドコンテンツは26本に達した（2021年11月末現在）。オンデマンド動画へのアクセス数は2020年度だけで1,000回近くに達し、工作キットの配布数800個に迫るほどであった。2021年も11月中旬まで九州支部のコンテンツへのアクセス数だけで2,500件を記録するなど着実に広がりを見せている。

ここで、オンライン・リフレッシュ理科教室（リモート、オンデマンド、ハイブリッド型）には、居住地に関係なく（かつ、オンデマンド型では自分の好きな時間に）参加できるメリットがあることをあらためて明記しておきたい。オンライン・リフレッシュ理科教室には、科学館やそこで開催されている科学関連イベントに行ったことのない子ども達・親子も参加していることから、この取り組みはこれまでとは少し異なる層にアプローチするきっかけにもなり得ると考えている。コロナ禍で対面での科学啓発活動の機会が減る一方で、インターネットを活用したオンライン理科教室の取り組みが一気に前進、拡大したことで、これから新しい展開・発展の芽がでてきたと捉えたい。

4 外部との連携・協力による科学教育・啓発活動

先に述べた通り、リフレッシュ理科教室の各地区・各会場では、応用物理学の視点を教育に取り入れても

らうための教員対象の講演会やワークショップなどの活動、さらにそれを実践する場として子どもたちやその保護者等の大人を対象とする科学啓発活動が実践されている。それらをより効果的な取り組みとし、さらに科学教育に貢献していくためには、教育委員会や科学館等との連携・協力が欠かせない。そのため、リフレッシュ理科教室の実施にあたっては、それぞれの地区・地域ごとに科学館、地方自治体、教育委員会等との協力関係を構築し、連携を深めることにも力を注いでいる。

例えば、著者の所属する九州支部では、市や教育委員会、さらには図書館との連携を深めてきた。飯塚市では、市役所と飯塚市教育委員会、市立図書館の全面的な協力の下にリフレッシュ理科教室を開催しており、小中学校の教員が研修の一環として参加するのみならず、中高一貫校の生徒が実験・工作を自ら体験した後、次は小学生に工作を教える立場となる教育的な取り組みも行っている。参加した中学生にとっては、習う立場から教える立場に変わること、より真剣に考えるようになり、何らかの気づきを得たり、理解を深めたりする機会となっている。

福岡市では教育委員会と連携し、学校での学びに直接つながる内容をテーマとする理科教室を企画、実施した。具体的には、2019年に「電気、磁気、およびその関係」をテーマとして、小学校低学年―高学年―中学校のそれぞれの段階で学ぶ内容に応じて、実験・工作教材を開発し、リフレッシュ理科教室を開催した。教科の内容に直接踏み込んだはじめての取り組みであり、保護者の見学も多く、好評を得た（残念ながら2020年から2年間はコロナ禍で実施できなかった）。

別の角度からの取り組みとしては、春日市や飯塚市で実施している図書館との連携によるリフレッシュ理科教室が挙げられる。図書館には読書好きで知的好奇心にあふれた方々が訪れるが、意外にも科学館や科学イベントなどに参加したことのない親子は多い。図書館と連携することで、そのような親子に科学の楽しさを体験してもらうことでできれば、少しずつでも理科好きの子ども、科学に関心を持つ家族を増やすことにつながっていくと期待している。

また、応用物理学会教育企画委員会では、文部科学省の要請に応じて土曜学習応援団活動に参画しており、それを通じて府省庁連携のもとに例年開催されている「こども霞が関見学デー」に協力し、出前授業を行っ

てきた（2016年度～）[3]。2021年度の「こども霞が関見学デー」はWebを使った配信形式での開催となったため、これまでリフレッシュ理科教室で実施してきた内容（圧電素子を使って音を鳴らす、LEDを光らせる実験・工作）をオンデマンド用に改良する形で、理科実験・工作動画を制作し、Web配信を行った（図2）。なお、開催期間終了後、その動画はリフレッシュ理科教室の別の会場での指導用としても有効活用されている。



図2 「こども霞が関見学デー」のために開設したリフレッシュ理科教室の実験・工作チャンネル

5 リフレッシュ理科教室と科学教育 ～さらなる発展、展開に向けて～

リフレッシュ理科教室は徐々に活動の幅を広げ、公共団体や教育委員会との連携を深めることにより、広い意味での科学教育へと発展してきている。一方、それぞれの理科教室の会場は（参加者にとっては）独立したイベントとなっており、（小中高の教員を除けば）応用物理学会と参加者との繋がりはその場限りとなることがほとんどであった。

今後、科学技術に興味・関心をもつ層を厚くし、さらに、次世代の人材育成につなげていくためには、小中高の生徒およびその保護者と応用物理学会とをつなぐネットワーク作りが重要であり、それを維持していくことが大切である。また、リフレッシュ理科教室を起点に考えると、小学校で参加した後、中学、高校と成長する段階にあってもその年代に応じた情報を配信し、あるいは学校以外の学びの場を提供していく活動が大切で不可欠ではないかと考えている。

また同時に、科学教育・科学啓発活動の理解者、協力者を増やしていく必要があり、そのためのネットワーク作りが求められている。

現在、一般の方と応用物理学会との接点、ネットワ

ーク作りのための基盤として、リフレッシュ理科教室の開催情報をはじめとする教育関連情報を配信するための登録サイト「おうぶつクラブ」（仮称）を開設し、運用を開始した。小学生から成長して高校生となっても応用物理学会と繋がりが保たれ、科学への関心が高まっていくような貢献ができればと願っている。

謝辞

リフレッシュ理科教室は、応用物理学会、応用物理学学術・教育奨励基金、ならびに応用物理学会将来基金の支援のもとに実施しました。九州支部の応用物理学会会員の皆様、特にリフレッシュ理科教室実行委員としてご協力をいただきました先生方には心から感謝いたします。

参考

- [1] 公益社団法人応用物理学会／リフレッシュ理科教室ホームページ：<https://www.jsap.or.jp/refresh>
- [2] 第19回リフレッシュ理科教室（九州支部 福岡会場・飯塚会場）テキスト，ISBN: 978-4-86348-523-5.
- [3] 公益社団法人応用物理学会／リフレッシュ理科教室／こども霞が関見学デー 出前授業：
<https://www.jsap.or.jp/refresh/demae>

A-2

物理チャレンジ・物理オリンピックによる中高生へのはたらきかけ ～これまでとこれから～

Encouraging Junior and High School Students through Physics Challenge and Physics Olympiads ~Present and Future~

長谷川 修司^{1,2}

Shuji Hasegawa^{1,2}

¹ 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

² (公社) 物理オリンピック日本委員会 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3 東京理科大学内

¹Department of Physics, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033

² The Committee of Japan Physics Olympiad, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601

Abstract

The Committee of Japan Physics Olympiad (JPhO) has hosted the national competition of physics for junior and high school students “Physics Challenge” every year since 2005. It is also a competition to select the best students for international competitions “International Physics Olympiad (IPhO)” and “Asian Physics Olympiad (APhO)”. In my talk, I will introduce our activity how the competition is organized and how to encourage the students to arouse interest for physics. Physics Challenge is not only a process to select the best students as Japan delegates, but also a good opportunity for young students to get training and smell flavor of advanced physics and research. Although COVID-19 has affected our activity very seriously in these years, we are finding new ways for attracting young students to physics and research on related science and technology.

Key words: Physics Olympiad, Physics Challenge

1 はじめに

公益社団法人物理オリンピック日本委員会 (JPhO) は、中高校生を対象にした全国物理コンテスト「物理チャレンジ」を 2005 年から毎年開催し、その中から選抜された日本代表選手を「国際物理オリンピック (IPhO)」および「アジア物理オリンピック (APhO)」に派遣する事業を毎年行っている。物理チャレンジは、最優秀の高校生を選抜するだけでなく、選から漏れた参加者に対する研修を実施して翌年に備える支援を行ったり、講演会や研究所見学等を通じて最先端の物理と関連する先端技術に触れる機会を提供したり、中高校生にとって貴重な機会となっている。しかし、2020 年度と 2021 年度は、COVID-19 のため活動が厳しく制限され、オンライン方式によってかろうじて活動を

維持している。ここでは、我々の活動の概略を紹介し、支援の輪を広げると同時に、若者たちに物理や科学技術に対する興味と感心を喚起する方法を議論したい。

2 物理チャレンジ

図 1 は、物理チャレンジの参加申し込みから国際物理オリンピックまでのプロセスを示している。毎年 1,000 名を超える参加者が「第 1 チャレンジ」(予選)に参加する。第 1 チャレンジでは、決まったテーマの実験課題レポートを提出し、理論試験も受験しなければならない。ちなみに、今年の実験レポートの課題は『加える力と物体の運動の関係を調べてみよう』であり、参加者は、自宅や所属校で思い思いの実験を行い、その結果をレポートにまとめて提出する。この実験課



図 1. 物理チャレンジから物理オリンピックへ

題レポートが物理チャレンジのユニークな「ポイントその1」で、実験経験の少ない中高校生に、時間をかけてじっくりと実験に取り組んでもらう貴重な機会を提供している。レポートに書かれた感想をみると、結果が満足かどうかにかかわらず自分で考えて試行錯誤しながら実験をしたことがとても面白かったと興奮気味に書いている生徒が毎年少なからずいる。やり方を指定して教科書に載っている実験と違い、自分で考える実験の面白さに気づくようだ。

第1チャレンジの実験課題レポートと理論試験の総合成績をもとに約100名の選手が選抜され、本選である「第2チャレンジ」に進出する。例年8月に開催される第2チャレンジは3泊4日の合宿形式。国際物理オリンピックの形式に倣い、試験時間5時間の理論および実験試験を2日に分けて行う。委員の先生方が答案を採点している間、選手たちは研究所見学やPhysics Live (実験デモ)、研究者による講演会など盛りだくさんのイベントを経験し、「物理漬け」の4日間となる。また、この期間は、物理好きの選手どうしの密な交流がなされ、所属校では不可能なディープな物理論議に花を咲かせる。このとき知り合った仲間は、彼らが大学に進学しても続く関係となり、選手たちにとって同好の士を作るきわめて貴重な機会となっているのが、物理チャレンジのユニークな「ポイントその2」である。しかし、2020年と2021年の第2チャレンジは、COVID-19のために現地開催を中止せざるを

得ず、オンラインで試験および講演会のみを行った。そのため、十分な選手どうしの交流が実現できなかったのは極めて残念であった。

参加者のうち高校3年生はここまでだが、高校2年生以下の選手のうち優秀な成績を収めた選手約12名を、翌年の物理オリンピック国際大会の日本代表選手候補者として選抜し、強化研修に入る。

ここで、選に漏れた生徒たちのうち来年も物理チャレンジに参加しようという意思をもつ高校2年生以下の生徒に対する研修も行っている。これが物理チャレンジのユニークな「ポイントその3」である。第1チャレンジに参加して第2チャレンジに進出できなかった高校2年生以下の生徒を対象に「First Step 研修」と「Challenge 研修」を、第2チャレンジに参加したがオリンピック日本代表選手候補者に選拔されなかった生徒を対象に「Step Up 研修」を通信添削の形で行っている。物理チャレンジは単に選抜だけを行う「ふるい落としゲーム」ではない。

3 物理オリンピック国際大会

毎年5月にはアジア物理オリンピック(APhO)、7月には国際物理オリンピック(IPhO)が各国もちまわりで開催される。APhOには、アジア地域の約25の国と地域から8名の選手からなる代表選手団が送り込まれる。IPhOでは約85の国と地域から5名の選手からなる代表選手団が参加する。

物理チャレンジで選抜された日本代表選手候補者約12名に対して9月から翌年3月までの約半年間強化研修を行い、3月末に最終選抜試験を行って日本代表選手8名および5名を選抜してAPhOとIPhOに派遣する。IPhOの5名はAPhOの8名に含まれる場合が多い。図2が、2006年から日本が参加した国際物理オリンピックでの日本選手団の成績である。メダルの色と数でカウントすると、日本は毎年参加国のうち10位前後の成績となっている。

物理オリンピック国際大会は、各国から集まった最優秀な選手どうしたちの交流もさることながら、問題

の検討・翻訳や採点のために同行する委員の先生方にとっても刺激的な体験となる。それは、それぞれの国での物理教育の考え方の違いが、問題検討の会議などで色濃く表れ、逆にそこから日本の物理教育の特異性を認識させられることがある。例えば、力学が物理教育の中心に位置しているとの日本の常識は、他の国では必ずしもそうでない。そのため、理論問題に力学の問題が出題されない年もあり、日本の役員たちを驚かせた。さらに、少し前の日本では中高校での教育内容を減らして易しくする「ゆとり教育」の方向であり、物理オリンピック国際大会でのシラバスのレベルとますます乖離していたが、シンガポールなどでは、高校の物理教育を物理オリンピックのシラバスに近づけようとする教育改革が議論されているとの話も聞けたりして、参加した先生方にも他国との委員との交流はきわめて刺激的である。このように、物理オリンピック国際大会は、単にメダルを目指して競い合うというだけでなく、選手にとっても同行役員にとってもさまざまな国との交流の貴重な機会となっている。

COVID-19のために2020年のIPhOは中心となった。その代わりに日本チームは同年8月にオンライン開催されたヨーロッパ物理オリンピック(EuPhO)に参加してメダル獲得の好成績を上げた。2021年のIPhOはオンライン形式で開催され、現地での選手どうし、委員どうしの交流ができずに残念であった。

4 これから

COVID-19のために、ここ2年間、物理チャレンジも物理オリンピック国際大会もオンライン形式になってしまい、同好の士が一堂に集まってお互いに切磋琢磨する場を失ってしまったのは大きな打撃であったが、オンライン化のpositiveな面もあった。物理チャレンジ予選の理論試験を、従来は全国80か所程度の会場で行っていたが、2020年度はオンラインIBT方式に変え、生徒が自宅で受験できる形に変更した。これにより、試験会場から離れた遠隔地での受験が可能となったり、また、例年7月下旬に頻発するようになった大雨等の自然災害による影響を避けることができたりして、物理チャレンジのすそ野を広げる好影響をもたらすと期待できる。そのため、2021年度もオンラインIBT方式での理論試験を行い、来年以降も継続することにした。ただし、不正行為防止のための対策が必要であり、検討している。

国際物理オリンピックでの日本選手団の成績	第51回 リトアニア大会(2021年)(オンライン形式)	金 銀 銀 銀 銅
	第4回 ヨーロッパ物理オリンピック(2020年)	金 金 銀 銀 銅
	第50回 イスラエル大会(2019年)	金 銀 銀 銀 銀
	第49回 ポルトガル大会(2018年)	金 銀 銀 銀 銀
	第48回 インドネシア大会(2017年)	金 金 銀 銀 銀
	第47回 スイス・リヒテンシュタイン大会(2016年)	金 金 金 銀 銅
	第46回 インド大会(2015年)	金 銀 銀 銅 銅
	第45回 カザフスタン大会(2014年)	銀 銀 銀 銀 銅
	第44回 デンマーク大会(2013年)	銀 銀 銅 銅 銅
	第43回 エストニア大会(2012年)	金 金 銀 銀 銀
	第42回 タイ大会(2011年)	金 金 金 銀 銀
	第41回 クロアチア大会(2010年)	銀 銅 銅 銅 入賞
	第40回 メキシコ大会(2009年)	金 金 銀 銅 銅
	第39回 ベトナム大会(2008年)	金 銀 銅 入賞 入賞
	第38回 イラン大会(2007年)	金 金 銀 銀 銅
第37回 シンガポール大会(2006年)	銀 銅 銅 銅 入賞	

図2. 国際物理オリンピックでの日本選手団の成績

もう一つ特筆すべき positive な面は、IPhO2020 中止のために今回特別に参加した EuPhO2020 や今年の APhO2021 では、実験器具を使わないオンライン実験試験を経験したことだ。実験パラメータを入力すると、その測定結果が出力されるというコンピュータシミュレータを使っている。例えば、ラザフォード散乱の問題では、入射する粒子のエネルギーと入射位置をいろいろ変えて入力し、それぞれ散乱された粒子の観測面での座標を出力するというプログラムが与えられた。多数の試行実験から、標的となっている粒子の位置座標と電荷量を求めるのが問題であった。このようなシミュレーション実験は、選手はもちろん役員にとっても大変新鮮に感じられ、しかも物理的にも面白い問題となっていた。2021 年 8 月に行った物理チャレンジ 2021 本選もオンラインで開催されたので、自前のプログラムを作成して同様のシミュレーション実験による試験を実施した。リアルな実験特有な要領の良さや手先の器用さなどが要求されず、物理の本質にいきなり到達できるシミュレーション実験の positive な面が評価され、選手たちの感想では評判は上々であった。実験キットをつかったリアルな実験による試験が、物理チャレンジや物理オリンピックの特長であり、それはこれからも大切にしていけるべき要素ではあるが、DX が騒がれる世の中の状況を鑑みると、コンピュータシミュレーションによる模擬実験も少なからぬ価値があると感じている。

COVID-19 のためにはオンライン IBT 試験やコンピュータシミュレーション模擬実験など、はからずも新しい試みをするようになったが、さまざまな可能性を広げることになったと感じている。

5 おわりに

以上述べたように、物理チャレンジは単なる選抜のための「ふるい落としゲーム」ではないことがお分かりいただけたと思う。選に漏れた選手たちに対する研修も行い、また、参加者どうしの交流の場を作り出し、大学進学後も継続する仲間づくりの貴重な機会を提供している。さらに、第 1 チャレンジの実験課題レポートは、実験教育の時間が十分に取れない高校現場での物理教育を補間する重要な意味をもつと考えている。他の科目のオリンピック国内大会では、予選の段階で実験を課す科目は無い。物理チャレンジでは、実

験課題レポートのために応募者数が増加しないと言われているが、それでも実験課題レポートにこだわって継続している。

また、物理オリンピック国際大会では、えてしてガラパゴス的になりがちな教育において、日本の高校物理教育をグローバルな観点から見直す貴重な機会を与えてくれる。また、生徒たちにとっても、物理オリンピックに挑戦することは、日本の高校物理の枠にとられずに、才能をどんどん発揮できる貴重な機会となっている。科学オリンピックはエリート教育だという批判が根強くあり、そのために日本は長年国際大会に参加してこなかったが、最優秀な生徒が力いっぱい実力を発揮できる機会を作ってあげるのは、我々大人の責任でもある。

持続可能社会に向けての科学教育の課題

Challenges Related to Scientific Literacy for Attaining a Sustainable Society

岡野 富行¹、住野 豊²、加納 誠²

Tomiyuki Okano¹, Yutaka Sumino² and Makoto Kano²

葛飾区科学教育センター「未来わくわく館」〒125-0051 東京都葛飾区新宿 6-3-2

東京理科大学理学部応用物理学科 〒125-8585 東京都葛飾区新宿 6-3-1

¹Katsushika-ku Science Education Center,

6-3-2 Nijuku, Katsushika-ku, Tokyo 125-0051, Japan

²Department of Applied Physics, Faculty of Science, Tokyo University of Science,

6-3-1 Nijuku, Katsushika-ku, Tokyo 125-8585, Japan

1 はじめに

今、求められている環境教育は、「持続可能な社会づくりの担い手を育む教育」のことであり、特に科学教育は重要である。

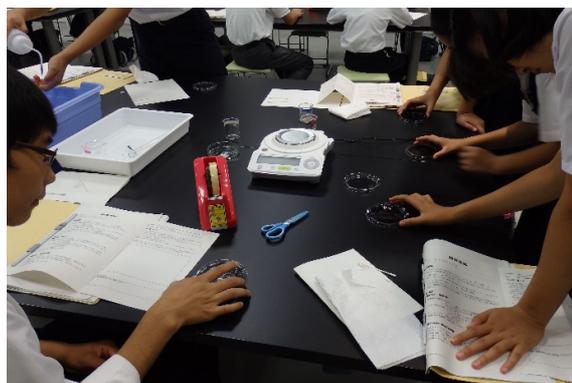
近年の教育、特に受験勉強に変調した教育では知識の伝達に重きが置かれて行われていた。ところが、知識を詰め込むだけの授業を受けた子どもたちは、自分で調べ判断する力を育成する機会を失ってしまう。このため、多角的なものの見方ができず、自ら学ぼうとする意欲に欠けた大人が多く見られる。この状況では、科学の発展に必須である創造的な思考が望めないのはもちろん、主体的な判断に基づく「生きる力」すら得られない。我々は、これからの教育においては、科学を受容・思考する能力開発が重要と考える。このような能力開発に重きを置いた教育は今に始まったものではなく、科学教育の黎明期より引き続き行われてきたものである。すなわち能力開発の観点は今改めてその意義が強く認識されているといえる。

本発表では以上の能力開発に重きを置いた教育に関して、歴史的背景と教育実践活動を紹介する。特に、以下に示すように初等教育から大学という幅広い年齢層に対する科学教育活動を紹介する。

2 科学教育活動

2.2 科学自由研究…初等・中等教育における実践活動

ここでは葛飾区中学校科学教育センター制度のもとでの実践活動を紹介する。葛飾区中学校科学教育センター制度は、昭和33年に区内中川中学校会場から始まったものであり、東京都全体へと広まったものである。現在、この当時の科学教育センター活動を実施しているのは都内葛飾区のみとなっている。当時は戦後から引き続き生産工業の発展により科学技術の振興が目指されていた。その一環として、理科教育の改善が盛んに行われていた。興味深いことに科学教育センター制度は、我々が目指す能力開発を先取りしたものとなっている。このことは昭和45年葛飾区教育委員会指導室長であった小日向毅夫氏の発言「あなたがたの研究は、単に本や先生から教わった知識でなく、自然の事象に対して、あなたがたが自分で問題を見出し、解決の方法を研究し、実際の実験・観察を通して得た結果について、判断し、



結論を導き出すという、研究の過程が尊いからであります。」(昭和45年葛飾区教育委員会指導室長・小日向毅夫)に表れている。ここで、科学教育センターで行われる研究活動とは、参加する生徒により行われる自由研究を指している。このような研究活動を通して生徒が自然科学を探究する見方を、自分の問題として捉えることができる。このような研究活動の結果、問題解決するための過程から科学技術を受容・思考する能力が身につくと考えている。

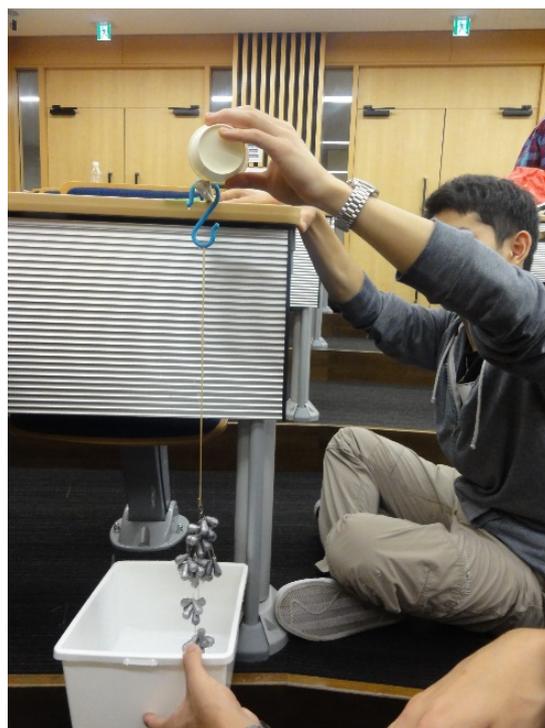
このような思考能力を育む際、グループで活動を行うことでコミュニケーション力や表現力の育成を行うことが肝要となる。そのため、このような科学教育センターでの研究活動を遂行する上で最も重要なのが

指導者(先生)の児童・生徒へのアドバイス(声かけ)となる。まず何より大事なこととして児童・生徒の基礎的な知識・体験からの仮説を豊かに保つ必要がある。一方、声かけを通じて児童・生徒の理論的な思考と実証の過程を構築する手法を促進することが大事となる。またグループ活動を促進するため、問題解決への取り組みの価値を認識させ共有させることも忘れてはならない。更に科学とは自然を相手とするものなので、自然との付き合い方に関して試行を通して学ぶよう仕向ける必要がある。最後に最も大事な点として、主役は常に児童・生徒であることを認識させるため適切に褒めることも挙げられる。

2.2 講義実験…高等教育における実践活動

東京理科大学で行われている講義実験とは真島正市元学長が、独逸ベルリン大学での講義に感銘を受け昭和32年に始めたことに端を発する。講義実験とは物理現象の講義と合わせ、演示実験や個人実験を行うことで体性感覚に基づく物理の理解を目指すものである。この受講生から多くの教員が育つことで¹⁾日本の科学技術教育の大問題となっていた“理科離れ”に対して卒業生達が多くの役割を果たした。

このような歴史ある講義実験であるがその意義はますます高まっている。近年の大学生は情報化社会を反映し、物理現象を仮想的に体験していることが多い。このため科学を受容・思考する能力開発が損なわれている傾向にある。そこで講義実験を通して演示実験・個人実験と講義を組み合わせることで実際の現象と物理的な概念が対応していること体験する必要がある。



3 まとめ

東日本大震災を契機とした危機管理・省エネルギーやスマートグリッドのような社会のエコデザインが今日、社会的ニーズへと広がりを見せている。まさに、これからの科学教育は「社会のエコデザイン・リテラシー」であり、これから理科系の道を歩む児童・生徒には先人の創り築き上げてきた知識、技術を学ぶことにとどまらず、自ら判断し社会・文化を創る能力を引き出させなくてはならない。

情報過多な現代だからこそ、これらの科学教育活動を体験させ、全身を使って1つのことを深く探求させ実験・工作することが大人になってからの生きる力になっていくと実感している。

参考文献

- 1) 加納誠, 岡田穰謙, 高木博史, 吉田幸彦:
日本物理学会講演 2013年春季大会 27aXE10

ニュートンが生きたイングランド Newton's living England

並木 雅俊
Masatoshi Namiki

高千穂大学人間科学部 〒168-8508 東京都杉並区大宮 2-19-1

Faculty of Human-science, Takachiho University,
2-19-1, Ohmiya, Suginami, Tokyo 168-8508, Japan

Abstract

Studying the history of science contributes to cultivating the scientific spirit (rationality, objectivity, criticality), to learning the methodology of scientific research, and to the study of science. In this talk, we will consider Isaac Newton and the England in which Newton lived as our audience.

Key words: History of Physics, Age of Newton, Physics Education.

1 はじめに

物理は、理系と文系を分ける教科とされている数学以上に、学ぶに敷居の高い科目であるとよく耳にする。数式による理解が必須であることもあり、数学の応用問題のように捉えられてしまうのだろう。

日本史や世界史などの歴史科目は、過去の出来事を知り、それが起こった原因を探り、関連する事象の関係性を考察し、解釈・説明・論述の方法を教えてくれる文系科目である。

科学史は、歴史を通じて科学を学び、科学に対する見方考え方を知る。また、科学者の生き様を知ること、対象の科学者をロールモデルとして学習者の成長に結びつけることも可能である。なお、科学史を学ぶことにより、科学的精神(合理性, 客観性, 批判性)を養うこと、科学研究の方法論を学ぶことで科学の教育に貢献している。

2 ニュートンとアインシュタイン

アイザック・ニュートン (1642~1727)¹⁾ は、アルベルト・アインシュタイン (1879~1955) と対比されてよく論じられる。2 人の共通点は短期間に異なった

偉大な創造を成し遂げたことにある。その期間をニュートンに対しては驚異の年 (annus mirabilis^[1]), アインシュタインに対しては奇跡の年 (Miraculous Year) という²⁾。驚異の年はニュートンがウールズソープにおいて「流率法とその逆 (微分積分)」「光と色の理論」「万有引力」の着想を得た 1665 年 8 月から 1667 年 4 月までの約 20 カ月間を、奇跡の年はアインシュタインが「光量子仮説」「ブラウン運動の理論」「特殊相対性理論」の論文を提出した 1905 年を指している。

2 人の筆には、「明快さ」と「論理の美しさ」がある。これは、2 人とも 1 人で研究することを基本としていたことによる。ニュートンは、社交嫌いであり、そのうえ斬新な発想に基づいた研究であっても「秘密の箱」に仕舞い込んで、公にしようとはしなかった。アインシュタインは奇跡の年の論文はすべて単著であり、また大学に所属していた時期でも大学院生を指導することにはなかった。ルネ・デカルト (1596~1650) は、『方法序説』の中で「1 人だけで苦勞して仕上げた作品ほど完成度」が高いと述べている^[2]。まさにその通りである。

3 ニュートンが生きた時代

ニュートンは、ガリレオ・ガリレイ（1564～1642）が亡くなった年に生まれた。このことは、ガリレオの運動論を発展させて体系としたこと、バトンを繋いだイメージと重なることもあって、よく知られている^[3]。この期は、Science（知識）の累積と進歩が可能となった科学革命後期にあたる。

ニュートンの活動地は、生誕地ウールズソープと近郊のグランサム、ケンブリッジ、ロンドンで半径 80km に入り、イングランド東部にあたる。ニュートンは、これらの地以外に出たことがなかった。

ニュートンが生きたイングランドは大きな変化があった。王はチャールズ I 世（在位 1625～1649）、チャールズ II 世（1660～1685）、ジェームズ II 世（1685～1688）、ウィリアム III 世（1689～1702）とメアリー II 世（1689～1694）、アン（1702～1714）、ジョージ I 世（1714～1727）と変わった。チャールズ I 世とチャールズ II 世の間の 11 年は共和政であった。また 1707 年、イングランド王国とスコットランド王国の合同が成立し、グレートブリテン王国となった。

3.1 王立協会の創立

イタリア以外で学協会(academy)が発足したのもニュートン誕生の頃である。学協会の歴史はプラトン（BC470～BC399）の学園アカデメイアに始まり、イタリアで富豪が支援したアカデミアが多くできた。ずっと歴史は下るが、ローマで 1603 年に設立した アカデミア・デイ・リンチェイ(Accademia dei Lincei)はガリレオが会員となっていたこともあって知られている。

1640 年代中頃、ロンドンにおいて、フランシス・ベーコン（1561～1626）の自然哲学に影響を受けた人たちのサークルができ、1662 年にチャールズ II 世（1630～1685）の勅許状が公布されて王立協会（The Royal Society of London for Promoting Natural Knowledge）となった。ただし、王立といっても、王室から運営資金が出ているわけではなく、王が認めた会に過ぎず、実態は私立王認協会である。事務総長にはブレーメン生まれのヘンリー・オルデンバーグ（1619 頃～1677）が任命された。オルデンバーグの業績は、1665 年の論文誌

“Philosophical Transactions”の刊行である³⁾。この論文誌という新しいメディアは、研究のアイディアと成果の発表を迅速かつ安価で行うことができるようにした。活版印刷により書物の刊行は促進されたが、大部な原稿執筆に要する時間、出版社との交渉と多額の出版費の工面などから学者を解放した。学者社会にとっては、真に「発明」であり、これにより学問社会に先取権(priority)が確立することとなった。

パリは、ロンドン王立協会設立より 4 年遅れ、1666 年に王立科学アカデミーが設立された。メルセンヌ素数でも知られる司祭マラン・メルセンヌ(1588～1648)が中心となり近代原子論の提唱者ピエール・ガッサンディ(1592～1655)、ブлез・パスカル(1623～1662)などの活躍で私的アカデミーを保有していたが、財政難に陥って財政総監ジャン＝バティスト・コンベール(1619～1683)を通じて国から援助を受け、政府機関として設立された。ロンドン王立協会に比べて財政的には安定しており、高価な実験機材を購入することは可能であったが、政府機関であるための業務もあった。

3.2 ピューリタン革命

ニュートン誕生の 4 カ月前の 1642 年 8 月、王党派と議会派の間での内乱が発展して内戦となり議会派が勝利し、政治体制が大きく動いた。1649 年 1 月に国王チャールズ I 世（1600～1649）が処刑され、ジェントリ(gentry, 郷紳：下級貴族, 地主層)出身のオリバー・クロムウェル（1599～1659）が政権を握り、共和政という名での独裁政治を行った。クロムウェルは王党派の拠点となっていたスコットランドとアイルランドを征服した。1652 年 1 月に第 1 次英蘭戦争が起こり、2 年後、イギリス優勢のうちに終結した。

護国卿となったクロムウェルの死後、1660 年に立憲君主制のもと王政復古となりチャールズ II 世が国王となった。前述の王立協会勅許状は、このような国情のなかで公布されたのである。

3.3 1665 年のペスト大流行

1665 年 2 月に第 2 次英蘭戦争が開始され、イングランド各地にペストが大流行した。ペスト大流行は、ヨ

ヨーロッパで何度も起こっており、ヨーロッパ世界が誕生した6世紀、十字軍の始まった11世紀、それに猛威を振るった14世紀である⁴⁾。14世紀のペスト流行は、最も知られ、黒死病と呼ばれた。

14世紀は、エトナ山の大噴火(1333年)、トビバッタの大群(1334年)、1340年代の地震、津波、台風被害が重なった。こんな環境下にある1347年10月、エチオピアからシチリアにペストが伝わった。翌年11月にはロンドンに達した。ペスト(黒死病)は猖獗を極め、感染地域での人口の3/4が失われたと推定されている(ヨーロッパでの死者3,000万人と言われている)。人口統計のない時代であるため人口比の推定は困難であるが、イングランドではこれより高い率であった。

14世紀大流行以後にもペストはヨーロッパを何度も襲った。当時のロンドンの人口は約40万人で、ペストでの死者は約10万人であったという。

1665年のペスト流行は、サミュエル・ピープス(1633~1703)の日記に「この一週間で疫病の死者は、前週の43人から112人になった」など包み隠さず記している⁵⁾。ピープスはニュートンとほぼ同じ世代であることもあって、ニュートンが生きたイングランドのようすを窺い知ることができる^[4]。

4 プリンキピア

ニュートンが刊行した本および論文は少ない^[5]。論文が定着していなかった時期でもあったが、文書のほとんどを秘密の箱に入れ、隠し続けたことによる。彼は、体が衰えてきた高齢になっても、ペンを休めることはなかったため、文書は膨大であった。

自ら出版したのは、よく知られている2冊である。ニュートンが45歳(1687年)のときに出版した『自然哲学の数学的原理(プリンキピア)』⁶⁾と62歳(1704年)のときに出版した『光学』である⁷⁾。

『プリンキピア』は、「第1篇 物体の運動」「第2篇 抵抗を及ぼす媒体内での物体の運動」「第3篇 世界体系」の3篇から成る書である。体系的であるため、万有引力を論じている第3篇は、幾何学的手法を用いて論じた第1篇の理解なしでは、解らないように執筆

されている。このため、読者もそれなりの覚悟なしでは理解困難な書である。読まれない名著であるのは、ラテン語で書かれているからではない。翻訳本でも変わらない。読者に寄り添ったところがなく、通読できる本ではない。幾何学手法で書かれた『プリンキピア』を解析学的手法で書き改め、わかり難い箇所を解きほぐしてくれたスプラマニアン・チャンドラセカール(1910~1995)の本⁸⁾を薦める。

当時の知識人においても、『プリンキピア』が難解で読めなかった。アメリカの独立やフランス革命に影響を与えたジョン・ロック(1632~1704)は、クリステイアン・ホイヘンス(1629~1695)にその数学的命題を信じてよいかどうかを尋ね、間違いなしとの保証を得てから、数学抜きで理解したという。

ニュートンの講義も学生に寄り添ったものではなかった。ニュートンの後にルークス教授職に就いたウィリアム・ホイストン(1667~1752)は、ニュートンの講義を聴講したが「さっぱりわからなかった」と述べている。また「難解であったため、聴講者はごくわずかで、理解できた者はさらにわずかであった」と助手で『プリンキピア』の筆記を担当したハンフリー・ニュートン^[6]が回想している(聴講者がいなくても講義をしたこともあったという)。

5 先取権争い

ニュートンが、王立協会で注目されたのは反射望遠鏡の発明で、アイザック・バロー(1633~1677)が紹介した1671年12月のことであった。翌年1月にニュートンはこの貢献で王立協会会員に選出され、2月に論文「光と色についての新理論」がPhilosophical Transactionsに掲載された。この論文の評価は高かったが、『ミクログラフィ』(1665)の著者ロバート・フック(1635~1703)は辛辣に批判した。この論争は5年程続き、さらに、逆2乗則の先取権においてもフックとの論争は長く続いた⁹⁾。

ニュートンは、ハノーファー宮廷外交顧問ゴットフリート・ライブニッツ(1646~1716)の論文「分数量にも無理量にも妨げられることのない極大・極小なら

びに接線を求めるための新しい方法」(1684)を高く評価していた。しかし、1699年、若手数学者によるライプニッツへの誹謗が、ニュートンとライプニッツの微分積分の先取権争いへと発展することになった。

6 没後 300 年

ニュートンは、1727年3月19日(日曜日)に意識を失い、翌20日午前1時頃に他界した。84歳であった。最期を意識していた頃、「世間に私がどう見えているかわからないが、自分では海辺で戯れながら、ときおり滑らかな小石やきれいな貝殻を見つけ、それに気をとられている間にも、眼前には真理の大海が、発見されないまま広がっているのに…」と友人に述べた。

注

- [1] ロンドンがペスト禍となり、大火に襲われた1666年をイングランドの詩人が“annus mirabilis”と表現したことを、後のニュートン研究者が使ったことにより流布した。
- [2] デカルト(谷川多佳子訳)『方法序説』岩波文庫(1997)に、本文引用文以後に、「一人の建築家が請け負って作り上げた建物は、何人もの建築家が、もともと別の目的で建てられていた古い壁を生かしながら修復につとめた建物よりも、壮麗で整然としている」(pp.20-21)とある。
- [3] ガリレオの生まれたトスカナ大公国領は1582年にグレゴリオ暦に改暦したが、イギリスの改暦は1752年であった(ただし、スコットランドの改暦は1600年)。このためニュートンの誕生日(1642年12月25日)は、グレゴリオ暦では1643年1月4日になる。因みに、日本がグレゴリオ暦に改暦したのは1872年(明治5年)である。
- [4] ピープスは、宝くじの当選確率の件で、数学者であるニュートンに何度か相談している。
- [5] ニュートン27歳(1669年)のときに執筆した『無限級数の方程式による解析』(1711年)、33歳(1675年)のときの論文「私の数篇の論文において論じた光の諸性質を説明する1つの仮説」、45歳(1687年)

のときに完成した主著『自然哲学の数学的原理(プリンキピア)』、62歳(1704年)のときに『光学』出版、65歳のときに『一般算術』出版、68歳のとき『酸の本姓について』出版、71歳のとき『プリンキピア第2版』出版、75歳のとき『光学第2版』出版。亡くなってから、『ダニエル書と黙示録についての考察』(1733年)、『流率と無限級数の方法』(1736年)、『ユダヤ民族の聖なる腕尺およびいくつかの民族の腕尺についての論述』(1737年)、『聖書の2つの著しい改変についての歴史的説明』(1754年)、『神の証明について』(1756年)である。

- [6] 同じ姓であるが、血縁者ではない。ハンフリーは、ニュートンの身近な世話もしており、執筆中は食事をだしてもほとんど口にしなかったとも記している。驚異的な集中力の持ち主の一面であろう。

参考文献

- 1) R.S. ウェストフォール(田中一郎、大谷隆昶訳)『アイザック・ニュートン』平凡社(1993)、J. グリック(大貫昌子訳)『ニュートンの海』日本放送出版協会(2005)、島尾永康『ニュートン』岩波新書(1979)。
- 2) J.S. リグデン(並木雅俊訳)『アインシュタイン奇跡の年1905』シュプリンガー・ジャパン(2005)。
- 3) 金子務『オルデンバーグ』中公叢書(2005)。
- 4) 村上陽一郎『ペスト大流行』岩波新書(1983)。
- 5) 白田昭『ピープス氏の秘められた日記』岩波新書(1982)。
- 6) 『プリンキピア』の邦訳は、河辺六男責任編集『世界の名著26 ニュートン』中央公論社(1973)と中野猿人訳・注『プリンシピア 自然哲学の数学的原理I, II, III』講談社ブルーバックス(2019)の2篇である。
- 7) 島尾永康訳『光学』岩波文庫(1983)。
- 8) S. チャンドラセカール(中村誠太郎監訳)『チャンドラセカールの「プリンキピア」講義』(講談社、1998)。
- 9) 中島秀人『ロバート・フック』朝倉書店(1997)。

特別講演

S-1

S-1

かわむらメソッド～理科離れ？そうはさせない！理科教育のあれこれ～

KAWAMURA Method ·Successful science education that keeps science-

川村 康文

Yasufumi KAWAMURA

東京理科大学理学部物理学科 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3

Faculty of Science, Department of Physics

Tokyo University of Science, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku, Tokyo 162-8601, Japan

Abstract

Drift away from science so-called Rikabanare is social problem among 30 years. But science experiments are necessary for the mankind to keep living. Because that's because the human five senses are trained and the courage through which I'm living is produced. Then mankind must learn science. The KAWAMURA method, it's apart from science, it'll be a key to improve.

Key words: Kawamura Method, Science Education, Rikabanare

1 はじめに

「理科嫌い・理科離れ」という用語が、社会的に認知されるようになって久しい。この問題を広く社会に問うたのは、平成 5 年版科学技術白書（科学技術庁，1994）であろう。白書では、若者に科学技術離れの傾向がみられ、科学技術系人材が不足するのではという懸念が共有された¹⁾。しかし実はそれ以前から、高校教育現場の物理教師の間では、高校生の物理離れがすでに深刻な状況になっていることが共有されており、平成 6 年度施行の学習指導要領改訂²⁾での理科 I の廃止にむけて、理科 I の廃止に反対する研究活動が盛んに行われはじめていた。高校の理科 I は必修科目で、物理・化学・生物・地学の各分野の内容を、総合的に学ぶことが目指されており、これによって高校生に少なからずとも物理の分野の学習が行われていた³⁾。しかし当時の高校生にとって、理科 I の物理分野の学習内容でさえもが過剰な負担を強いているとされ、高校の理科においては、物理、化学、生物、地学の選択的学習が行われることとなった。理科 I が廃止されたことにより、物理を学習する高校生が減り、その結果として物理教師が余剰となる問題が生じた。当時、10 ク

ラス規模の普通科高校において、物理の選択者は一般的に 2 クラスとなり、各高校に物理教師は 1 名か 2 名だけいればよいという状況が生じた。10 クラス規模に満たない高校では、物理教師が 1 名も必要でないとされる傾向までがみられた。そのためその後、物理教師の新規採用がほとんどない状況が生じた。新規採用された物理教師は、採用されてから数年間は先輩教師から学ぶことが多く、この時期に物理教師として成長するが、各高校に 1 名配属となると、各高校内で若い教師が先輩教師から学びながら成長するというプロセスが成立しなくなった。また著者も理科 I 廃止後に経験したが、所持する教員免許が理科なので、物理だけを教える教師として採用されたわけではないので、物理分野の開講授業数が少なくなると、選択必修の専門的な化学・地学・生物の授業を担当することとなった。物理を極める教師となることよりも、広く理科の指導ができる教師となることが求められたといえよう。

しかし高校の状況よりも、より厳しい状況が中学校で生じることとなった。ゆとり教育をめざした中学校学習指導要領改訂⁴⁾で理科の時間数が減らされたため、高校で物理教師の必要人数が減ったのと同じように、

中学校では理科教師の必要人数が減ってしまった。このため、中学校の理科教師も若手は、先輩教師から、勤務する学校のなかで理科指導のいろいろを学ぶチャンスを失ってしまった。このようにして、生徒の理科離れ問題と同時に並行して、理科教師の理科指導力を高めることが難しくなったという問題も厳しいものとなってきていた。

これらの課題への対応として、実はすでにほぼ30年前の1990年代からは「青少年のための科学の祭典」⁵⁾や、その後の理科大好きプランによるSSH（スーパーサイエンスハイスクール）⁶⁾や物理オリンピックなどの科学系のオリンピックなど、種々の対応策が実施されてきた。「青少年の科学の祭典」は、正式にはいまからほぼ30年前にあたる1992（平成4）年度から始まったとされているが、その前年に、後藤道夫らが理科実験を大切にす全国の教員に手弁当で集まるよう協力を求め、日本物理教育学会の主催でプレ大会として「中学・高校生のための科学実験講座」が開催され、その後2021年の現在まで継続的に実施されてきている⁵⁾。2002（平成14年）度からは、科学系人材養成の観点からSSHが実施されるなど多方面にわたって継続した理科離れへの対応策が実施され続けてきたといえるが、果たしてその成果は？

学習指導要領の改訂においても、理科離れの改善をもめざして改訂が行われたが、改善されたとはいえない状況が続いている。改善傾向がみられたという報告書もあるが、著者は改善されたという実感をもてないままである。著者の研究では、「小学校時代にはほとんどの児童が理科の学習を好きだと答えているが、将来理系に進まなかった方は、小学校の高学年における物理分野の学習内容を嫌いであると答えている。この傾向は中学校になってより厳しいものとなっている」というものであり、この状況は学習指導要領が改訂されても変わってこなかった^{7) 8) 9) 10) 11)}。この間、ゆとり教育が実施された時期もあったが、ゆとり教育へは批判が巻き起こり、理科においても学習内容が詳細なものとなり、教科書がとて分厚いものとなっている。その結果、物理を敬遠する高校生が増えているともいえる状況にある。理科学習や理科実験は、必要では無いのであろうか？

2 理科学習で大切にしたいこと

理科学習は大切である。特に、理科実験は大切であ

る。著者に限らず、多くの人がそのように考えていると思う。

人類は古の太古から、生存し続けるための条件として、自然の猛威に対して力強く立ち向かってきたといえよう。五感をフルに使い、自然を観察し、外敵に備え、地形を知り、天候を知り、生存のための発明・発見を繰り返してきたといえる。目や耳を使って猛獣の動きを捉えることにより身を守り、鼻や口や指先を使って食用となる食物と毒をもったものを選別し、風の流れを皮膚で感じて天気を予想し大洪水から身を守ったり、星の動きから暦を作り、農作の時期や狩りの時期を知ったりなどしてきたといえよう。時には失敗し多くの仲間が命を失うことも経験したであろうし、先人からの言い伝えの範囲を超える想定外の自然現象に遭遇したかも知れない。しかし、そのことへの対処法も編み出していったのであろう。そしてこのような経験を通して新しい知見を生み出してきたのであろう。実際にいくつかのノーベル賞受賞の研究テーマでは、実験の失敗から生み出された発明・発見もある。

このような意味で、子供たちが理科を学習する上で、正しく整理された理科の学習内容を理解することだけではなく、場合によってはうまくいかない実験も経験しながら、大発明や大発見ではなくても、小さな身近な気づきのレベルのような「ぶち発明」を積み重ねることが重要であるといえる。そのような意味で、人類にとって、理科実験は大切なものであり、このプロセスを、いつでも、どこでも、自由に行えることがイノベーション人材の養成へとつながると考えている。ある発明や発見を行ったとき、その時点では、大発明や大発見ではないかも知れないが、時代がやがて、その発明・発見の素晴らしさを証明してくれることがある。

3 かわむらメソッド

著者は、理科を本質的に学んでもらうことをめざした「かわむらメソッド」を提唱してきた¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。かわむらメソッドでは、2つの方法を一度にシンクロさせながら実施してきた。1つは、もちろん、子供たちへ楽しい理科実験を直接実施することである。全国には、多くの実験名人がおられるが、果たして理科実験を通した学べる理科学習になっているのかどうか？ただ単に面白いだけに終わっていないかどうか。あるいは、学ぶ内容が年齢に適しておらず消化不良になってはいないかどうかの観点から考えると、良質の理科実

験教室がじゅうぶんに多く準備されているとは限らない可能性がある。その意味で、子供たちへの理科実験は、自らが研鑽を重ねながら、直接行っていく必要があると考えている。しかし、このように直接的な関わり方だけでは多くの子供たちに理科実験や理科学習の面白さ楽しさを届けるには限界がある。やはり、指導者の養成が大切である。そのため、かわむらメソッドでは、理科指導に自信がもてる指導者を養成することにより重点をおいた。指導者をめざす方に対して、著者が子供たちに実際にやってほしいと考える実験内容をリテラシーとして習得してもらうこととした。現在では、いろいろな実験をネットからひろうことはできるが、良質なものは限らないのと、一部の実験名人にはできることであっても、指導者をめざし始めた初心者が、すぐに自分のものとして取り入れて行うことができるとは限らない。また、場合によっては、日常知や素朴概念として、多くの人々がそう思うものの科学的には正しくない考えのもとに、実験内容や学習内容を構成している場合も、多々見受けられるので、指導者養成は重要な事項であると考えている。特に、理科の内容が理解できることを要求しながらも、知識暗記型の理科学習を行っている方々も多いのが現状でもある。著者が大事であるという学習者自身が行う「ぶち発明」のプロセスが、そこには含まれていない。これではイノベーション人材は育たないと考えている。

そのような意味で、子供たちに直接、理科実験をふまえた理科授業を体験してもらう場合でも、一方、指導者養成を行う場合でも、基本、イノベーション人材の養成を意識した教材が重要であると考えている。いわゆる理科の学習内容として理科知識を伝授する型の授業や実験ではなく、理科の授業にわくわくを感じる型の授業をめざしている。このタイプの授業では、著者自身が、授業のなかで子供たちや学生たちから、新しく学ぶということが多い。授業で指導するときに、逆に子供たちや学生たちの「ぶち発明」に出会い、自分自身が新たに学ぶことがあるということである。自分自身が、授業で驚きをもって新しい「ぶち発明」に出会うということは、かわむらメソッドで模擬授業の指導者役をする学生たちも生徒役をする学生たちも、多くの驚きや感動に出会っていることであろうと想定している。

ところで、学習内容が理解できないと受講生は選択してこないのではという疑問がもちあがってくること

もあろう。しかし、私は高校教師の時代に、人からは変わったと思われる経験をしている。それは、高校1年生理科I（物理分野と化学分野）において5段階評価で1をつけることとなり不認定となったが、2年生でも物理を選択し、同じく5段階評価で1となり不認定となった高校生が、3年生でも物理を選択してきた。心配に思ったので、彼にインタビューしたところ、「僕、先生の物理の授業が好きなんです。成績は悪いけれど、物理に面白さを感じて、これからも物理をやっていきたいと思っています」とのこと、彼は3年生になって高いパフォーマンスを発揮し、進学を実現していった。そのとき、高校の物理では、「青いリングが赤く熱すには時間がかかる！」と感じた。ところがまわりを見渡すと、多くの高校物理教師が、ブロイラーを育てるように促成飼育のような物理授業を行って悦に入っている姿がみえた。予備校の授業を高校で行うことが美德と感じている教師が多いことに気がついた。彼らにインタビューすると、進学実績をあげることに重きをおいていることが感じとられた。本来、高校の授業は、高校生の人格形成に寄与すべきはずなのである。ましてや、物理を選択してくれる高校生は、将来、世界の科学の先端を切り開いてくれる優秀な人材であるのにである。

語れば納得して受験のための物理授業から、人間を育てる物理授業へと変えようとしてくれる仲間がいたが、その方法論がわからないとのことであった。それまで受験のための物理が正しいと信じて何年もやってきたのだから当然といえば当然である。そこで、それらの先生方も含め、学生のうちから人を育てる物理授業の在り方を体得してもらう必要があると考え、大学教員へと転身した。

大学では、高校教師のときから行ってきた物理教育をかわむらメソッドとして学生に教育をすることを実践しはじめた。大学の理科教育法で実施している授業の在り方を以下に示す。

第1段階：理科教育法として

- ①学生が先生役となる模擬授業を中心に展開する
- ②模擬授業で行う単元や内容は学生が自由に選択する
- ③先生役は自分がわくわく感を感じる内容を、生徒役の学生に、わくわく感を感じるように伝える努力をする。
- ④やりばっなしにするのではなく反省会を行い、良かった点を3つ以上あげた後、改善点を指摘しあう

⑤15回授業の前半の7回から9回の間は、指導案を厳しく言うのではなく、楽しく面白い実験を中心に短い授業とする。ここで、学生には**ヒーロー感**を実感してもらおう。

⑥15回授業の後半では、教員採用試験も頭に入れ、学習指導要領を意識した指導案をチームでディスカッションしながら作成し、50分の模擬授業を行う。

第2段階：理科大好き実験教室

①学生が模擬授業を行うのはかわりないが、生徒役は学生ではなく、近所のちびっこたちとする。

②当日の学習プログラムは立てるが、学習内容はちびっこたちのニーズにあわせたものとする。つまり、個別最適化を図るという面もあり、いろいろな学力の学習者に対応できる指導力をつける。

③どんなかたちでもよいので、ちびっこたちの「ぶち発明」によりそう。そして、成功をちびっこたちとともに喜ぶ（学生たちも自然とそうになっていく）というものである。

4 かわむらメソッドの成果

—まとめにかえて

以上のようなかわむらメソッドを実践してどのような成果があがってきたのか？

いろいろ多々あると自負している。ひとつは、研究室で実験本をかなりの冊数出版してきたことである。数えれば10点ほどになる。著者のようなタイプのものが一人か仲間と実験の本を上梓するという事例は多いが、東京理科大学川村研究室として、学生自らが文章を書き、写真や図版を起こして出版している例は、多くはないと考える。当研究室では、卒業するときには、著者の先生となって卒業することができた。また、現職教員の博士学生が、かわむらメソッドを用いた学習効果について博士論文をまとめてくれた。また、最近のSTEAM教育への注目から、かわむらメソッドにも注目をあびるようになった。

以上のようなことが上げられると考える。

いずれにしても、理科実験は、人が人として生きる上で、五感をフルに活用して、自分にできることを増やして、自己効力感を高め、こころ豊かな人生をおくるために大切なものであり、そのことを共有して頂けたら、理科授業もそのように改善されていくのではないかと期待している。

参考文献

- 1) 科学技術庁「平成5年版科学技術白書」、1994
- 2) 文部省「平成元年度告示高等学校学習指導要領（平成6年4月施行）」、1989
- 3) 文部省「昭和53年度告示度高等学校学習指導要領（昭和57年4月施行）」、1978
- 4) 文部省「平成10年度告示中学校学習指導要領（平成14年4月施行）」、1998
- 5) 青少年のための科学の祭典、[https://ja.wikipedia.org/wiki/科学技術館#「青少年のための科学の祭典」](https://ja.wikipedia.org/wiki/科学技術館#「青少年のための科学の祭典」の開催)の開催（2021年11月21日最終確認）
- 6) SSH（スーパーサイエンスハイスクール）、<https://www.jst.go.jp/cpse/ssh/ssh/public/about.html>（2021年11月21日最終確認）
- 7) 川村康文「高校生にみられる小・中学校理科学習の実態と問題点」物理教育, Vol.44, No.4, pp.393-396, 1996
- 8) 川村康文「中学校新教育課程で学んだ高校生の小・中学校理科学習の実態と問題点」物理教育, Vol.45, No.4, pp.213-217, 1997
- 9) 川村康文「高等学校の物理学習の視点からみた青少年の物理離れの実態」理科の教育, Vol.48, No.12, pp.23-24, 1999
- 10) 川村康文・多田恭子「教員養成系学部大学生にみる小・中学校理科学習の実態と問題点」物理教育, Vol.54, No.2, pp.116-120, 2006
- 11) 川村康文・中村保裕・井上徳也「理学部物理系大学生にみる小・中・高等学校での理科学習の実態と問題点」理科教育学研究, Vol.51, No.1, pp.129-135, 2010
- 12) 川村康文「理科指導の実践力を高める理科教員養成のメソッドについての一考察—川村メソッド—」東京理科大学教職教育研究, 第1号, pp.101-110, 2017
- 13) 川村康文『『かわむらメソッド』—理科大好き実験教室—』立命館産業社会論集, Vol.55, No.1, pp.205-220, 2019
- 14) 川村康文「理科教育法 独創力を伸ばす理科授業」講談社, 2014
- 15) 川村康文・前田譲治・小林尚美「はじめてみよう STEAM 教育 小学生からの実験とプログラミング」オーム社, 2021

高校生による研究発表

B-1

エグゾーストキャノンの製作 Production of Exhaust Cannon

熊田 琉
Kumada Ryu

敬愛学園高等学校 理科研究部 〒263-0024 千葉県千葉市稲毛区穴川1-5-21
Science Research Department, Keiai Gakuen High School,
1-5-21 Anagawa, Inage-ku, Chiba-city, Chiba 263-0024, Japan

Abstract

空気圧によりピストンが駆動し、内部に充填された圧縮空気を瞬間的にノズルから打ち出す装置（エグゾーストキャノン）を製作した。研究目的は、より威力の高いエグゾーストキャノンの製作である。本研究では、威力を仕事量と仮定し、圧縮空気の圧力と仕事量の関係を測定した。実験方法は、圧縮空気をピンポン玉に当て、スピードガンを用いて速度を計測し、ピンポン玉の運動エネルギーの変化から、圧縮空気のした仕事量の測定を行った。この実験から圧縮空気の圧力と仕事量の関係性は、圧力が高くなると、仕事量は大きくなることが分かった。今後の課題として、本体の容積、空気噴出孔（ノズル）の形およびサイズによる威力の変化についても測定していきたいと考えている。

Key words : 圧縮空気、速さ、運動エネルギー、仕事量

1 はじめに

私はエグゾーストキャノンと呼ばれる空気砲について興味を持ち、より威力の高いものを作るには、どうすれば良いのかというところに疑問を持ちました。そこで、威力というものをエグゾーストキャノンの中にある圧縮空気のする仕事と仮定し、圧縮空気の圧力と仕事量の関係を測定しました。

まず、エグゾーストキャノンというものは、空気圧によりピストンを駆動し、内部に充填された圧縮空気を瞬間的にノズルから打ち出す装置であり、その仕組みを図1に示す。エグゾーストキャノンが圧縮空気を打ち出す仕組みですが、まず同図その1のように背面の空気送入口から空気を送っていきます。すると同図その2のようにピストンが左側に動きノズルを密閉します。ピストンが動かなくなったらさらに空気を送っていくと、同図その3の矢印のように左側の空間に空気が充填されていきます。そして右側の空間から空気を抜くことにより、同図その4のように圧力の差によってピストンが右に動き、ノズルから充填した空気を発射する、というものになっています。

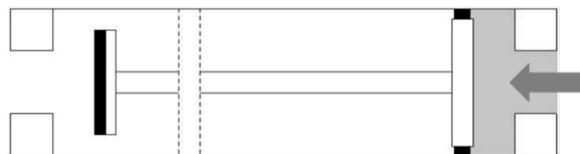
今回の実験では、威力を測定するためにスピードガ

ンとピンポン玉を利用して速さを測定しました。速さを測定した理由としては、気体が外部にした仕事とピンポン玉の運動エネルギーが同じことを利用し、運動エネルギーを求めるために測定しました。

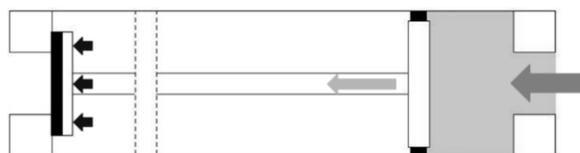
結果としては表1～表2および図2～図4のようになりました。この結果から、200 kPa～350 kPaの間では圧力と仕事量の関係は、圧力が高くなるにつれて仕事量の増加量が増えていくことがわかりました。

2 図の表示

図の表示の一例を以下に示します。



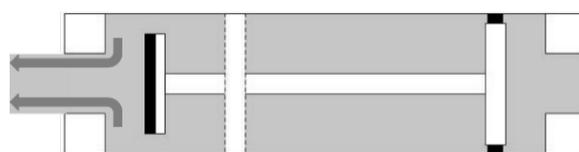
その1



その2



その3



その4

図1 エグゾーストキャノン発射までの仕組み

表1 様々な圧力における速度と仕事

圧力 (kPa)	速度 (m/s)						仕事 (J)
	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均速度	
200	12.2	13.0	14.4	11.7	13.8	13.0	0.211
250	15.0	13.6	15.0	13.3	12.5	13.9	0.241
300	15.8	16.4	14.7	15.0	16.7	15.7	0.308
350	20.6	22.2	23.6	20.0	21.4	21.6	0.583

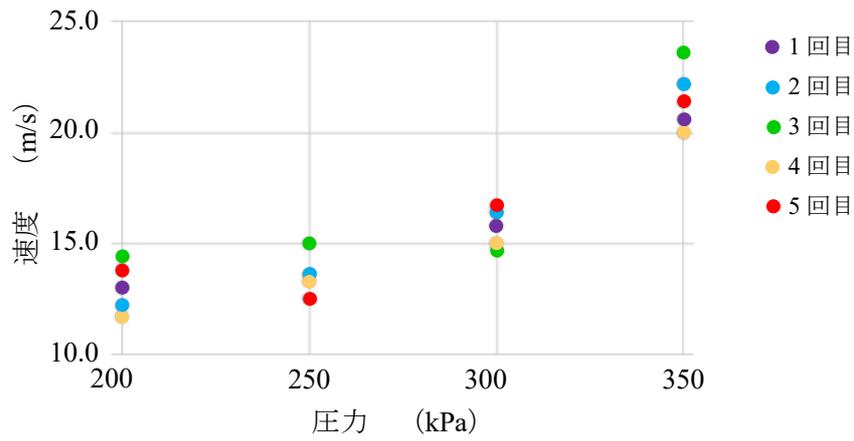


図2 圧力と速度の関係

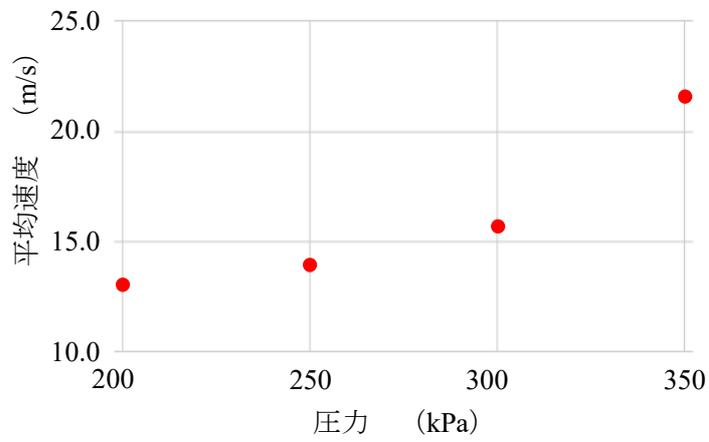


図3 圧力と平均速度の関係

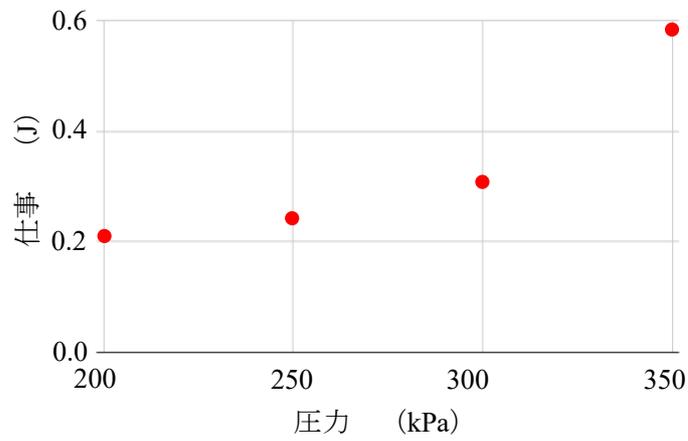


図4 圧力と仕事の関係

表2 圧力と仕事の増加量

圧力 (kPa)	仕事の増加量 (J)
200~250	0.030
250~300	0.067
300~350	0.275

一般講演

C-1～C-5

物理概念の獲得と修正プロセスに関する認知科学的アプローチ

A Cognitive Science Approach to the Acquisition and Modification Process of Physical Concepts

猪本 修
Osamu Inomoto

兵庫教育大学 〒673-1494 兵庫県加東市下久米9 4 2-1

Hyogo University of Teacher Education, Shimokume 942-1, Kato, Hyogo 673-1494, Japan

Abstract

Focusing on the mathematical aspects of the content of science and physics education in junior high schools and high schools, we examined teaching methods for quantitative handling of natural phenomena, description by variables, and numerical expression of causality. We analyzed the content and teaching methods of the mathematics department, and consider what kind of mathematical expressions are easy for students to understand, and what kind of devices are necessary to improve the consistency of learning items with those of the mathematics department.

Key words: Physics Education, Naive Concepts, Ohm's Law, Law of Causality

1 はじめに

物理概念に対する学習者の捉え方については、理科教育の立場からも、また認知発達心理学の立場からも長らく研究されてきている。理科教育および物理教育における素朴概念あるいは誤概念は、よく知られているように、学習者が日常的経験や知識を基に獲得した自然に対するナイーブな見方や考え方を指すものである。それは幼少期の外的事象に対する認知特性に基づくため、多くの学習者に相当程度の普遍性・共通性がみられることが特徴である。「ものの運動は常に力の作用によって引き起こされる」という考え方は素朴概念の代表的事例である。素朴概念は教師による指導（いわゆる学校知）では是正されがたく、素朴概念と学校知の二重性をしばしば容認することとなる。こうして高等教育の学修段階でも概念に対する理解が深まらないままであることが多いことが知られている。

さて、電気回路におけるオームの法則は、中学校理科および高校物理の教科課程と内容において大きな比重を占める、重要な学習事項である。実験装置が整いやすく、また実験条件の制御が容易であり、さらに正

確な実験結果を得やすいために、生徒実験を実施し易い特徴がある。さらに実験結果が正比例のグラフで表されることで単純な「公式」が導かれ、計算の問題にも結びつけ易い。ところがこの「公式」は、場合によっては大きな誤解を生み、さらにその誤解を定着させる可能性がある。

ここで導体の抵抗は回路の基本特性のひとつであり、電圧によって回路を流れる電流を制御するものである。電圧駆動型の回路素子についての電流電圧特性は、関数 f によって一般に $i = f(v)$ と書ける。ここで i, v はそれぞれ素子を流れる電流と端子間電圧（電位差）である。このうちオームの法則は導電率 G （定係数であり、抵抗 R の逆数）の導体を流れる電流が印加電圧に比例するとし、 G は印加電圧に依存しないとする。したがってオームの法則は $i = f(v) = Gv$ なる関数で表現される。これは状態変数 i, v のあいだの因果律を明示するものである。この意味で数式表現 $i = v/R$ は自然であり、教科書等にもそのように書かれているが、いわゆる「公式」としては表現 $v = Ri$ が多用される。この「公式」は $i = f(v)$ に対して逆関数 f^{-1} で

表す形になっていて、 $v = f^{-1}(i) = Ri$ に対応する。これは抵抗器の両端電圧が電流に比例する、あるいは電流が流れることで端子間に電圧が生じるようにみえる。殊に中学生は電流と電圧が明確に区別できていないため、これらの表現 $i = f(v)$ と $v = f^{-1}(i)$ が同等と捉えられがちである。一方で高校物理では電流と電圧がより正確に定義されて両者の違いが鮮明になり、法則の理解が深められるように学習内容が構成される。果たしてこの点がねらい通りに授業がなされ、学習者の理解が高校物理の履修によってどのように変遷するのかを明らかにすることが本研究の目的である。

2 調査方法

本研究を実施するにあたって、教員養成課程に在籍する学生の約 126 名を対象として電磁気の単元内容とオームの法則の理解度を測る問題を課し、その解答を分析した。調査対象者は主として学部 2 年次の学生で、そのほとんどの学生が学校教育職(小学校, 中学校, 高等学校あるいは幼稚園・保育園の教諭)を志望している。解答者の学習背景を把握するため、高校における履修科目などを併せて調査した。これにより、高校物理を履修した者と高校物理を履修しなかった者(高校物理基礎までを履修した者)に区別して理解度を整理した。

3 結果と考察

調査の結果、オームの法則をいわゆる「公式」 $v = Ri$ としてはほとんどの学生が答えたが、その解釈を問う記述式の問いに対して正解した者は多くなかった。正解したものについて、高校物理の選択者と非選択者でその割合に差があるか否かを比較したところ、優位な差異は認められなかった(調査データと分析の詳細は講演に譲る)。この結果は少なくとも調査対象の学生母集団については、高校物理の履修によってオームの法則の理解が十分に深まっていないことを示している。

調査結果からオームの法則の理解について明らかになったこととして、(1) 電流と電圧それぞれの定義が曖昧であり両者の区別ができていないこと、(2) 状態変数としての電圧・電流と係数としての抵抗が区別できておらず、あたかも 3 つの変数のあいだの数量的バランスを表す関係式と誤って理解していること、(3) オームの法則を電圧と電流の測定値から抵抗を算出するための公式と認識していること、などが挙げられる。これらの誤解や誤認識の要因のひとつとして、暗記し

た「公式」 $v = Ri$ の誤った運用が挙げられる。中学校理科では計算ドリルを通してこの「公式」の定着が図られるが、計算問題が解けることで一応の理解とみなされて定着する。高校物理におけるオームの法則もその延長線上にあるが電場やクーロン力、電気量といった新たな知識からオームの法則が見直されるべきであるが、「公式」の暗記が理解と錯覚したままだと高校物理における見直しと理解の深化が却って妨げられてしまう。この問題点を認識し学習者の理解を促す授業構成と教材検討が求められる。

また、上述の問題に関連して、多くの学生が抵抗をも変数とみなしてしまっていることも大きな誤解のように思われる。当然ながら抵抗は(理想的な抵抗であれば)回路に備わった固有の特性であり、その値が既知であるか未知であるかによらず、それは定数である。この定数を係数として 2 つの変数 v, i が関係づけられていて、それらが $i = (1/R)v$ なる関係にしたがう。ところが仮に抵抗までも変数とするとオームの法則は 3 変数 x, y, z に対して $xy = z$ となることになり、解が定まらないことになってしまう。初学者が難しいと感じるのはこの辺りに原因があることが、今回のアンケート調査から推測される。つまり多くの学生は、オームの法則を因果律に基づく関数として捉える見方を確立していないと考えられる。

こうした誤解ないし混乱は、変数の表しかた (I, V, R) にも一因がある可能性がある。これらに限らず、物理においてはさまざまな変数を取り上げられるが、例えば電流や電圧のように概念理解が不十分な物理量を代数的に表現することには抵抗感があるように思われるとともに、物理における変数名の多さから変数と定係数が区別できずにいることは想像できる。他方、中学校数学および高校数学の関数に関する単元では概ね x, y, \dots を変数に、 a, b, \dots を定数に固定されている。物理においても初学者に対する配慮は検討の余地がある。

講演においては、関連する調査結果について詳細に述べるとともに、因果律と関数的概念に力点を置く指導方法の可能性を検討する。

た。大学1年次の春休みに、独学と他人に説明することを通じて、急激に理解が進むことを体験した。その手法を普及させれば誰でも確実に物理ができるようになると勘違いして大学教員を目指すようになった。博士号取得後教員になるための社会勉強をしようと、企業に就職した。

就職後2年で研究所を離れてシリカガラス製造会社に出向した。シリカガラスの性質は専門業者や学術文献が少なく、関係者でもあまりわかっていなかった。さらに、出向先の会社はその分野の経験の浅い人ばかりだった。そのため、何事も手探りで製品から教えてもらうことが中心となった。製品や開発品の検査や評価が業務であったために、測定の原理や製品の物性の理解が必要であった。しかし、一緒に仕事をする人たちは化学系出身の管理職クラス数名と工業高校卒業後数年の人たちであった。そのため、基本に帰った初歩的な説明の必要にせまられた。そのような経験を通じて、筆者自身も初歩的な説明ができないとわかった気にならない事に気づいた。その成果を退職前にまとめ、書籍として出版した⁴⁾。

以上の経験を踏まえて、大学教員になってからも、機会があるために児童・生徒・社会人に対する啓発活動を積極的にするようになった。最初のきっかけは、1999年に福井で開催された応用物理学会の「リフレッシュ理科教室」に講師として参加したことである。これをきっかけに、様々な人脈ができ、児童向けの各種イベント、教員研修の講師を依頼されるようになった。さらに、リフレッシュ理科教室で開発した教材は、熱力学の導入教材として活用し⁵⁾、それを学会で報告したことが機縁となり、応用物理教育分科会にも参加するようになった。

その後、実験教室、PTA向けのエネルギー環境講座、教員免許状更新講習などを実施してきた(図2)。外部

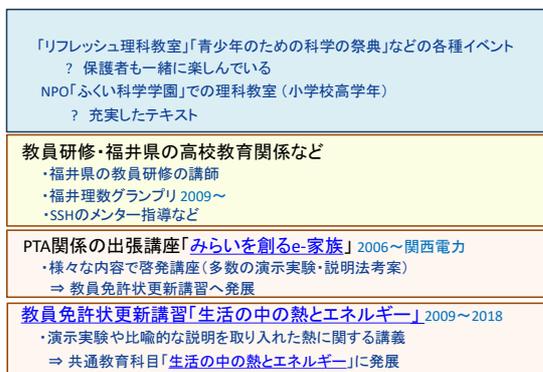


図2 主な科学啓発活動。

講座では、できるだけ詳しいテキストを作成するようここにころがけてきた。それらの多くは研究室のホームページに公開してきた。ただし、資料はそのまま pdf にして掲載していた。そのため、必要な項目を探しにくく、授業での活用は難しかった。そこで、新しいホームページでは実験集を項目別に整理して、それぞれのコンテンツにリンクするとともに、周辺知識を記したコラムを内容別に整理して学校での教材や調べ学習で利用しやすくした。

3 遠隔授業教材の公開

共通教育科目「生活の中の熱とエネルギー」は、50以上の演示実験を含む授業である。従来は、福井大学学生に対して開講してきた。一方、福井県では県内の大学共通で、教養科目を開講し福井駅前の県の施設「F・スクエア」で開講してきた。「生活の中の熱とエネルギー」を開講したいと思っていたが、火器禁止のため演示実験の一部ができず開講を断念していた。2020年度には実験動画をつくり、Google Classroomでのオンデマンド授業を実施した¹⁾。2021年度には県内大学共通講義として開講した。学外者は福井大学のGoogle Classroomを使用できないため、学外生向けに動画とスライドのpdfを個人のホームページに公開することにした³⁾。あいにく学外受講者はいなかった。学校でも活用可能な実験動画を多く含むため学外の学校教育関係者には所属する研究会のメーリングリストなどを通じて積極的に紹介した。

2021年度、定年退職後担当するようになったリメデ

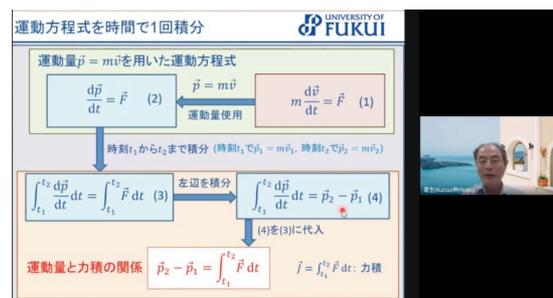


図3 物理ステップアップの流れと講義動画の例。

リアル授業「物理ステップアップ」の教材もホームページにも公開した。物理ステップアップは力学分野の基礎物理科目である「物理 A」に関する補習授業である。入学直後のプレースメントテストで受講必須者および推奨者を決めている。必須者は、この授業に合格することが物理 A の単位取得条件となっている。

授業はオンデマンド形式とした。物理の学習では講義を聞くだけではわからないので、クイズに答えたのち、10分未満の講義動画を視聴して概要を把握してからテキストを精読することとした(図3)。テキストは、この講義のために作成した。物理が苦手な学生は数学も苦手で理解が不十分な学生が多い。そこで、数学の基礎事項を必要に応じて調べるためのサイトも作った。さらに、レポートの書き方などのコンテンツも公開している。なお筆者が担当している、技術者倫理科目「科学技術と倫理」では、事例集などを用いている。これは、大学のGoogleサイトにホームページを作成して、学内限定公開としている。

4 実験集・コラム集の整備と公開

「生活の中の熱とエネルギー」の授業動画などは、エネルギー環境教育に関心を持つ多くの学校教員に興味を持ってもらえた。この講義のもととなった教員免許状更新講習でも、スライドに詳しい説明文をつけた「テキスト」と、授業で活用できる「実験集」、関連知識を書いた「コラム集」を印刷配布するとともに、ホームページでも公開していた。しかし、テキストが45ページ、実験集が27ページ、コラム集が135ページと大部である。さらに、実験集、コラム集はテキストの順番に引用していて、学校の授業で活用するために必ずしもわかりやすい配列ではない。そのため、授業では活用しにくい。

実際の授業で活用する場合、実験方法を検索する機会が多いものと考えた。そこで、従来の「実験集」を

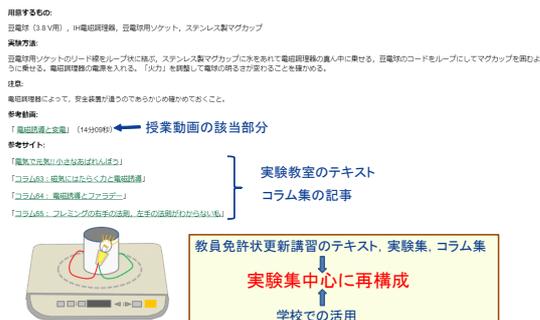


図4 「実験集」からの各種コンテンツ引用の例。

項目別に整理したサイト「たのしい実験集」を作成した(図4)。実験集からは

- 1) 演示実験を含む授業動画の該当箇所
- 2) 関連する実験教室などのテキスト
- 3) コラム集の該当記事

をリンクして、必要箇所を参照できるようにした。コラム集も「徒然コラム集」として項目別に整理して掲載した。これは、10年近くに亘って毎年加筆した結果、139項目、135ページと大部のものになっていた。そこで、表1のように、大項目を整理し、さらに小項目に分けて掲載することにした。

5 社会人の学習方法と教材活用

2016年度から工学部の全1年次生と一部編入生を対象とした、「大学教育入門セミナー」の後半9回分と、「科学技術と倫理」を担当するようになった。これらの担当を通じて強く意識するようになったのは、社会人になってからの仕事の遂行能力育成を意識した学びである。特に仕事に必要なことを学びながらの仕事を遂行していく能力である。そのために、自分に合った学習方法を探索しながら学ぶ必要性を強調してきた。

これからの時代は、新しいことを学びながら仕事を遂行していくことが今まで以上に求められるものと予想される。従来の学校教育では、ある程度知識や技能を身につけてから課題を解決するという考えで教育されてきたように感じる。物理みたいに系統的に学ぶものはそれでも良かったが、いろいろな知識を系統性なしに学ぶことには、多大の困難と苦痛を感じてきた。社会人になってからは、学習時点では脈絡なく雑多な

表1. 「徒然コラム集」の項目分類

大項目	小項目
単位・記号	数学, 単位, 時間
エネルギー	力学, 温度, 資源, 熱, 熱力学, 熱機関, 相平衡・相転移, 原子力
環境	地球温暖化・換気用破壊, 生命, 物理法則
気体	
電気	電流, 電磁誘導, 発電・送電, 生活・技術
光・波動	物理法則・原理, 音, 照明
原子	量子, 放射線・同位元素
物質・材料	金属, 高分子・ガラス・分散系, 生活材料・工業材料, 物理現象
日常生活	食品のカロリー, 調理, 衣服, 住居
歴史	モノ・コト, 概念, 人物
ことば	
見方・考え方	考え方, 学び方, 生き方・倫理

知識を学ばざるを得ない場合が多くなった。その時、具体的な課題解決を考えながら泥縄式に学ぶ必要があった。さらに、工業高校卒業直後の人に業務に必要な基礎知識を与えながら説明する必要に迫られた。その経験を通じて、最初から人に教えるにはどうしたらよいかを考えて、必要な知識を調べながら再構築していった。このやり方ならば脈絡のない知識の受け入れに伴う苦痛も少なく、楽に短期間に身につけられることを体験してきた。英語の学習で単語の意味を忘れたら何度何度も辞書を引いているうちに定着していくような形である。このように、知識を覚える必要がある時には、辞書をひくような形で様々なことを調べながら目的を達成し、結果として知識が身につく方法が有効であると考えている。そのための、今後は良質のサイトの必要性を感じている。

大学生のときに、独学をすることで急激に理解が進むという経験をした。このとき、有効だったのが大学のカリキュラムだった。それをもとに書物を探して学習した。大学ではプログラミングの授業は履修しなかった。しかしながら、大学院に入学してすぐに計算の必要に迫られた。このとき、最低限の知識を身に着け、実際に計算するための細かい知識は辞書を引くような形で調べながらプログラミングしていった。このとき、概要を知るための入門書に助けられた。記憶中心の科目だと言われている歴史は中学校から好きだった。嫌いになる人は細かい年代や固有名詞の記憶から入っていく。それに対して、小学校の歴史程度の流れを把握した上で学んでいった。「日本の歴史」に関するシリーズ本を読んだことで学んでいった。学校の授業は聞いたが、教科書には図表以外目を通さなかった。このように概要からだんだん細かく学んで行く方法が学習には有効だと考えている。このような経験を踏まえ、社会人が仕事の必要になったときに、何を学ばよいかの必要最小限の概略を掴むためのコンテンツが必要だと考えている。その後、必要なことを調べながら課題解決しつつ学べる辞書的なコンテンツの整備も必要だろう。このようなコンテンツを専門家が作ると勢い詳しくなりがちである。学校の教科書はわかりやすくなるように、かなり工夫している。しかし、専門家の視点がどうしても残ってしまっている。そこで、筆者が会社で仕事をする中で入門書をつくったように、学びながら解説を書いていき、それを修正していくことも有効ではないかと思っている。

新しい学習指導要領で育成を目指す資質・能力3つの柱として、「知識・技能」「思考力・判断力・表現力等」「学びに向かう力・人間性等」が挙げられている⁶⁾。解説の図では、「知識・技能」「思考力・判断力・表現力等」が三角形の底辺に、「学びに向かう力・人間性等」が頂点に書かれている⁶⁾。このことは、「学びに向かう力・人間性等」が大切であることを示していると考えてよいだろう。しかし、具体的なことについては議論が別れている。私なりの解釈として社会にでてから、「どのように自分で学んで行けるか」「どのように人と関わりより良く行き行けるか」という視点で能力育成をしていくことだと考えている。社会に出てから学びが必要になったときに、必要な情報にアクセスし、自分で考えて判断できる環境づくりが大切だと考えている。そのためにも、デジタルコンテンツの充実が求められるだろう。

6 おわりに

GIGA スクール構想を含めてICTの活用が求められている。さらに、コロナ対応でリモート授業を行って様々なことを考えるようになった。その中で、社会に出てから仕事をするイメージを持ち、「学び続け問い続け」ていくことがますます大切になってくるだろう。社会人の学びの教材として JMOOC のような自学教材の必要性がましてくるだろう。今後は短時間で何を学ばよいかの概要がわかり、概略を知ってから必要に応じて深く学んで行く教材の充実が求められるだろう。そこで、仕事するのに必要な知識は何かを知り、最低限の知識を身に着けた上で、辞書を引くような形で調べながら仕事を遂行しつつ学んで行けるシステムを作りに関わっていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 葛生 伸: 大学の物理教育 **26** [3], 92 (2020).
- 2) 葛生 伸: 応用物理教育 **36** [1] 51~56 (2012).
- 3) 葛生 伸: 「みらい協育広場」 <https://sites.google.com/futuredesign.page/index/>
- 4) 葛生 伸: 「石英ガラスの世界」工業調査会(1995).
- 5) 葛生 伸: 応用物理教育 **27** [1], 99 (2003).
- 6) 文部科学省「新しい指導要領の考え方」
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-icsFiles/afieldfile/2017/09/28/1396716_1.pdf
(2017)

子どもの探究活動につなげる教員の探究活動の意義
 ～ 児童向け啓発活動の経験の活用した教材開発と授業づくり ～
 Teachers' Inquiry Activities Connecting to Students' Inquiry Activities
 ～Development of Teaching Materials and Class Creation Utilizing
 the Experience of Science Communication～

月僧 秀弥
 Hideya Gesso

富山大学人間発達科学部 〒930-8555 富山市五福 3190

Faculty of Human Development, University of Toyama,
 3190 Gofuku, Toyama-shi, Toyama 930-8555, Japan

Abstract

Inquiry learning is required in science classes. There are few teachers who have experience in inquiry learning, and many teachers are worried about inquiry learning. There are faculty members who have experience in teaching material development and science communication, even if they have little experience in inquiry learning. By utilizing the experience of science communication activities to develop teaching materials and create class, teachers will experience inquiry activities, and by utilizing that experience in class creation, students will be able to experience inquiry activities.

Key words: Inquiry, Science Communication, Teaching Materials, On-the-Job Training

1 はじめに

中学校や高等学校の新学習指導要領¹⁾の理科の目標の中では、何度も「探究」の語が用いられ、探究的学習が求められている。学習指導要領改訂により、学校教育の中で探究が強く求められているが、現場の教員の中には、これまで探究的な学習の指導の経験がなく、戸惑いを感じている教員も多い。

著者は小中学校教員として勤務しながら、科学館勤務後、サイエンスコミュニケーション活動（以下、SC活動）を行うようになり、サイエンスショーや実験教室を小学生の親子や幼児向けに開催してきた。中学校理科授業において、この経験を基に多くの実験や教材を開発し授業での活用や、探究的な授業を実施してきた。これは、SC活動や教材開発や授業改善の試みを、生徒の探究的活動の指導に活かした活動である。SC活動や教材開発の経験を基にした探究的授業づくりについて報告する。

2 探究的な学習

学習指導要領解説理科編では、資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージが図示され、探究

の過程が提示されている。また、探究的活動も挙げられている。探究的学習においては、これらの探究的活動をすべて実施することを求めているのではなく、学習内容より教員が実施内容を工夫しながら授業を展開することを求めている。つまり、理科授業における探究的学習は、探究が目的ではなく児童生徒に探究的能力を付ける手段と考えることができる。

3 教員が行う SC 活動

教員が行いやすい SC 活動として、青少年のための科学の祭典など科学イベントでのブース実験やサイエンスショーがある。青少年のための科学の祭典は、科学館などで行われ教育委員会が後援することが多いため、教員も参加しやすい SC 活動である。著者もこれまで多くのブース実験やサイエンスショーを行ってきた。SC 活動で行われる実験は、来場者を楽しませるものが多く、理科授業の導入で使用することで、児童生徒に興味を持たせるために役立つ内容が多い。

SC 体験のために教材や演示方法を考えることは、子供たちが楽しめる演示方法や、理解するための工夫が必要であり、教材や提示内容の深い理解につながる

ことから教員にとって探究活動になると考えた。

4 SC活動からの授業づくり

SC活動で使用した教材を利用した教材開発と授業実践を例示する。

4.1 交流電流の学習

この教材を開発した時期に、学習指導要領改訂により、それまで中学校で学習していなかった交流電流の学習が教科書に戻ってきた。そのため、生徒が戸惑うことが考えられたため授業に取り入れた。

①風力交流発電機を制作する実験教室の実施

風力発電機を製作する実験教室を実施した。この実験教室では予め作成してある交流発電機を配布し、参加者は、ペットボトルなどをを用い工夫して羽などを製作した。

②交流手回し発電機の開発とSC活動

風力交流発電機の磁石が回転する構造を参考に、ホルマル線の太さと巻き数を工夫し、子どもたちが手巻きできる手回し交流発電機を考案した。この発電機を製作する実験教室を行った。細いホルマル線を数百回巻く構造であるが、小学生も頑張ってコイルを巻き、発電機を製作していた。

③授業での活用

中学校2年生の電流学習において、予め作成した交流手回し発電機を使用した。磁石を回転させることで簡単にLEDを点灯させることができることや、点灯しているLEDが実は点滅していることを確認し、電流が交流であることを確認していた。この実験を通して、交流を感覚的に理解していた²⁾。

この発電機の開発と実践がSC経験を活かした教材開発の契機となり、その後は、感覚的理解を重視し、実践をすすめた。

4.2 凸レンズの学習

凸レンズの焦点とスクリーンの距離と実像の大きさと位置の関係について中学1年生で学習するが、苦手にする生徒が多い内容である。実験の中で、凸レンズの性質を感覚的に理解し、探究的に取り組むなかで凸レンズの性質について理解を深めた。

①カメラ教材の開発

青少年のための科学の祭典で実施するため、牛乳パックを使った簡易カメラの改良を試みた。本体部分に2つの紙コップ、スクリーン部分に不透明プラスチックコップを使用する簡易カメラを開発した。

②開発したカメラ教材を用いたSC活動

青少年のための科学の祭典などで簡易カメラを用いたブース実験を行ったところ大変好評で多くの来場者

が製作した。何か所かの科学イベントに参加する中で、製作するだけでなく小学生でも原理を理解しやすいように、LED光源や金魚すくいのポイを使ったスクリーンを使い行った説明を試みるようになった。

③開発教材の理科授業での活用

中学1年の凸レンズ学習のまとめの中で、開発した簡易カメラを使用した。

④LED光源とポイを使ったスクリーンの活用

SC活動時にカメラの原理の理解を促すために使用していたLED教材とポイのスクリーンを授業で活用した。この教材では、光源と凸レンズ、凸レンズとスクリーンの距離を自由に变化させられることから、光学台の使用前に用いることで、それぞれの距離の関係を生徒自身が試行錯誤できると考えた。この授業を行うことで、それまで生徒が苦手になっていた、光源と凸レンズ、凸レンズとスクリーンの距離と実像の大きさの関係の条件について、段階的に実験と話し合いを行い、生徒が探究的に取り組む授業を実施した^{3) 4)}。

5 まとめ

筆者の経験として、SC活動の経験を活かした教材開発、授業開発の経験が、教員の探究的活動になり、生徒の探究的活動の支援に役立っていることをまとめた。探究的な理科授業を受けたり実施したりしたことがない教員にとって、探究的な理科授業を行うことはハードルが高いと考えられる。教員が教材研究や新たな授業づくりを行うことが教員にとっての探究的活動であると考え、教員にとっても探究的活動の体験は難しいことではない。SC活動や教材開発などを通して教員が探究的活動を経験することで、生徒が探究的活動を行う理科授業へのハードルが下がるのではないかと考えることができる。

参考文献

- 1) 文部科学省「中学校学習指導要領(平成29年告示)解説」学校図書(2018)。
- 2) 月僧秀弥「簡単にできる「手回し交流発電機」の開発と交流電流の学習」,平成22年度東レ理科教育賞受賞作品集,pp1-6(2011)。
- 3) 月僧秀弥,川村康文,新村宏樹,浅原雅浩,葛生伸「中学校理科におけるレンズ学習を補助する教材の開発とその評価」,科学教育研究,Vol.43, No.2, pp.205-214(2019)。
- 4) 月僧秀弥,葛生伸,新村宏樹「探究・情報共有型の理科授業「段階的理解法」の提案」,日本科学教育学会第45回年会論文集,pp539-540(2021)。

コロナ制約下での地域連携活動を通じた学生の成長

Growth of students through collaboration activities in local community under restrictive situation due to COVID-19 pandemic

長谷川 誠
Makoto Hasegawa

公立千歳科学技術大学理工学部電子光工学科 〒066-8655 北海道千歳市美々758-65
Faculty of Science and Technology, Department of Opto-Electronic System Engineering,
Chitose Institute of Science and Technology, 758-65 Bibi, Chitose, Hokkaido 066-8655, Japan

Abstract

The extra-curriculum student project team “Rika-Kobo” has actively conducted various activities in local community, such as science classes or experiment demonstrations, at elementary or secondary schools, kindergartens, science museums and other educational facilities. Although their activities in 2020 and 2021 have been greatly limited due to the pandemic situation, restricted activities different from their normal situation seem to serve as good opportunities for career/skill development for the student members.

Key words: Student Project, Extra-curriculum Activity, Local Collaboration, Science Demonstration

1 はじめに

正課外で活動する学生プロジェクトチーム・理工工房は、20年間近くに渡って、小中学校、認定こども園、児童館、科学館、各種イベント等で実験授業、科学教室、実験デモンストレーション等を積極的に実施してきた^[1-2]。2020～2021年度の活動はコロナ禍のために大きく制約されてきたが、小学校や認定こども園などにおける対面での活動も徐々に再開してきている。顧問として筆者は、通常と異なる環境下での制約された活動状況を見てきたが、そうした状況下での活動は学生メンバに創意工夫を促す結果となり、かえって彼らが成長する良い機会となったと感じている。今回は、こうした点に着目して制約下での活動状況を紹介するとともに、学生メンバに対するヒアリングから、困難な状況下での活動に対する学生の意識を探った^[3-5]。

2 活動の概要

本プロジェクトチームの活動概要や学生教育効果の可能性については、これまでに何回か報告している。地域連携関連の主な活動内容は以下の通りである。

- ・小中学校と連携した理科実験授業
 - ・授業時間を使った PTA レクリエーション活動としての科学・工作教室
 - ・認定こども園、保育園、幼稚園での幼児を対象とした科学体験活動
 - ・児童館、科学館、商店街、町内会などからの依頼による活動(科学教室の開催やイベントへの参加)
 - ・各種イベントでの実験体験ブースの出席
 - ・自主的な科学教室・工作教室の開催
- このほかに、大学内で高校生や新入生を対象にした活動も実施している。

3 制約された状況下での活動^[3-4]

最近の数年間には年間活動件数が 80～100 件に達していたが、2020年度は夏休み空けまでの活動が零になるなど大幅に件数が減り、年間 14 件にとどまった。2021年度は状況が改善されつつあり、2021年12月11日時点で24件に達し、2022年3月までに予定されている活動を加えると、2021年度の年間活動件数は40件ほどに達する見込みとなっている。

学生メンバは、制約下でも依頼先や参加する子どもたちの満足度を高めようとして、自発的に様々に工夫しながら活動を準備・実施している。以下では、そのうちのいくつかの様子を紹介する。

3.1 小学校での理科実験授業

従来の実験授業では児童の各班に学生一人を配置するなど約10名の学生が参加していたが、2020年11月及び12月の実験授業では、教室内の密をできるだけ避ける目的で参加学生の人数を5名に抑えて実施した。実験授業の進行内容は従来と同じであり、確実な進行が実現できるように学生たちは事前の進行練習や手順確認を入念に行っていた。その他にも、様々な事態の発生を想定して対処方法を事前に検討するなどして、学生たちには良い経験の場になったようであった。

3.2 認定こども園での科学体験教室

2020年11月～2021年2月に、認定こども園の年少組～年長組を対象に、対面形式で科学体験教室を実施した。従来は子どもたちに工作作業をしてもらっていたが、今回は先方から感染予防策として工作作業は避けたいとの要望があり、見せるだけの演示形式で構わないとの話であった。しかし、学生たちはそれでは楽しさを伝えきれないとして、全人数分の工作をあらかじめ製作し、当日に子どもたちに配布して遊んでもらった上で、おみやげとして持ち帰ってもらっていた。各クラス40名分ほどで3クラス分×4回分の製作が必要となり、かなりの作業量であったが、スケジュール管理をしながら分担して自主的に対応していた。

3.3 認定こども園向けのオンライン科学体験

従来は対面形式での活動を実施している認定こども園から、オンライン形式での科学体験の実施を依頼された。2020年10月に初めて実施した際には、学生たちから単に見せるだけで終わってしまったなどの事後感想が出て、彼らにとって必ずしも満足いく出来ではなかった。それを踏まえて実施した2021年2月の第2回では、ノートPCの内蔵カメラとは別のカメラを準備したり、屋外でのペットボトルロケット打上げをスマートホンカメラによる撮影で伝達したりするなどして、演示性を高めていた。また、画用紙にセリフやイラストを描いてフリップのように見せることで、伝達性を向上させる努力をしていた。

4 学生メンバの意識⁵⁾

2021年6月時点で学部3年生のメンバ6名に、2020年度当時の活動を振り返って以下の質問に自由記述形式で回答してもらった。

- (1) 印象に残っているイベントは？ その理由は？
- (2) 自分なりに工夫した点はあったか？
- (3) 2019年度に比べて困った／大変だったことは？
- (4) 自分にプラスになったと思えることはあったか？

紙面の都合でここでは全ての回答を紹介できないが、設問(3)に対して、活動時間の制約や活動形態の変更が挙げられるとともに、後輩の育成や経験の伝承が十分にできていない点が挙げられた。設問(4)に対しては、「限られた時間内での活動になったために常に期限を意識して予測しながら準備するようになった」「事前に計画して行動するなどスケジュール管理ができるようになった」「限られた条件下でどのように準備・運営するかなどでアイデアを出す機会が多くなって自分たちで考える経験が積めた」などの回答があった。

後輩の育成に関しては、実際に、活動に参加するメンバを決める際に、上級生が下級生を出来るだけ参加させて経験を積ませようとする姿勢が見られた。

5 むすび

本活動は、あえて正課カリキュラムには組み込まずに正課外の位置づけで長年に渡って継続している。正課外であるからこそ、参加学生の内発的動機付けに基づいて主体性や自律性が引き出され、PBL形式の行動やPDCAサイクルが効果的に実現され得ていると顧問としての筆者は考えてきた。2020～2021年度の通常とは異なる制約された環境下では、本活動のそうした側面が強調される結果となり、学生メンバが自ら成長する良い機会になっていると考えている。

参考文献

- (1) 長谷川, 科学技術コミュニケーション, Vol.26, pp.3-16 (2020-3)
- (2) 長谷川, 物理教育, Vol.68, no.1, pp.42-45 (2020-3)
- (3) 長谷川, 2021年第68回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, No.19p-Z01-8 (2021-03)
- (4) 長谷川, 2021年大学教育学会第43回大会発表要旨集録, pp.189-190 (2021-06)
- (5) 長谷川, 2021年第82回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, No.11p-N102-5 (2021-09)

リモートを活用した子供たちの学び

A Remote Learning in Science Classes for Elementary School Students

曾江 久美¹, 今泉 修², 内海 緒香², 伊藤 大幸³Kumi Soe¹, Shu Imaizumi², Shoka Utsumi² and Hiroyuki Ito³¹お茶の水女子大学大学院, ²お茶の水女子大学人間発達教育科学研究所³お茶の水女子大学基幹研究院人間科学系 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1¹Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University,²Institute for Education and Human Development, Ochanomizu University,³ Faculty of Core Research Human Science Division, Ochanomizu University,

2-1-1 Ohtsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan

Abstract

Our lifestyle has changed due to the COVID-19 global pandemic. Many people have been forced to do many different things remotely (e.g., work, schooling). Studying science remotely is also one of the things caused by the pandemic. With the government's support here at GIGA school, children have started learning remotely on their laptops provided by the government. In this report, first, we are going to talk about our remote science classes. After that we are going to look closely at science education provided remotely based on the results of the questionnaires on attitudes and moods completed by the elementary school students in our classes.

Keywords: COVID-19, Remote Learning, Science Classes, Science Education

1 はじめに

2020年初頭、世界でCOVID-19の大流行が始まった。これにより、教育現場では「学びの継続」や「学びの質を維持」させることが大きな課題となった。少・中学校では、政府のGIGAスクール構想の前倒しにより、児童1人に対して情報端末機を1台持てるまで発展した。GIGAスクールの構想として、「これまでの我が国の教育実践と最先端のICTのベストミックスを図ることにより、教師・児童生徒の力を最大限に引き出す」ことが挙げられている¹⁾。また、ICTの活用で充実すると考えられている学習の中に「遠隔教育」がある。これは、離れた場所で学習者と「学び」をつなげることを意味する。つまり、今までの教育では実現が難しかった「空間」と「時間」を結びつけた共有型の教育が可能であることになる。特にコロナ禍のときには、学校と家庭を結ぶ道具として使用され、かつ「学

びを止めない」ことにも役立っていた。しかしながら、遠隔での学びの中で、「理科」のように能動的な学習では、リモートへの導入に関して多くの課題が残る。その1つに、「観察・実験」の組み込みがある。学習者に観察や実験を能動的・主体的に行わせ、また、安全面も確保できなければならない。さらに、実験教材の準備もあり時間が必要である。

しかしながら、今、1人1台情報端末機を持ち、インターネット環境が構築されるならば、新しい教育の様式として有益に活用できる可能性がある。本研究では、理科科目のリモート教育を新しい視点から考え、今後の理科教育の検討を行うことが目的である。今回は、学外における科学教室を計画、実施を試みたので報告する。

2 リモートによる科学教室

2.1 リモート科学教室の計画

昨年度より応用物理学会のリフレッシュ理科教室ではリモートを取り入れた活動が行われている^{2),3)}。

本研究では、応用物理学会主催のリフレッシュ理科教室関東地区、千葉会場への導入を試みた。対象者はI市内の小学生4年生～6年生である。「科学教室」をリモートで実施するため、(a)参加者が自ら体験し、実感すること、(b)参加児童とのコミュニケーションや参加者同士のつながりを意識する、(c)リモートで指導しやすい内容、(d)参加児童が学校で使用しているGoogle Classroomの機能を利用する、の4点に着目した。これらを下に次のように計画した。1指導者(講師)あたりの人数を4名とし、5名の講師で行い1回の教室に参加できる児童を20名と増やした。児童が使用しているGoogle Classroomで4つのクラスを作り、事前に入室できるよう振り分ける。通信環境を考慮し教室時間は60分とした。教室内容に関しては、現在、教育現場で導入されているプログラミングの授業に着目した。I市内の教育センターは、小型のコンピュータである「マイクロビット」⁴⁾の貸し出しを行っている。児童にとっては馴染みのある道具と考えられ、マイクロビットを活用した教室を検討した。

2.2 リモート科学教室の実施

11月13日(土)I市内の「学びの里」の理科室に講師が集まり、オンラインにてリモート科学教室を実施した。実施回数は3回であり、当日の参加者はI市内の小学生4、5年生と他県より同学年4名の児童で合計43名であった。教室のテーマは「みんなで素敵な光のイルミネーションをつくろう」であり、マイクロビットにある25個のLEDを使って自分の好きな模様を作り動作させた。始めに、点灯方法についてGoogle Meetを使い共有画面にて、講師が実演による説明を行った。点灯方式は3種類とし、また、繰り返しや点灯時間についても考えてもらった。児童は講師の話聞きながら同時に進めている様子であった。完成した作品は書画カメラを使い、クラスの児童と共有して観察した。書画カメラを通じて、教室の参加者同士で「きれい」「〇〇さんの良かった」など意見交換や、自分の作品をLIVEで見ることができ児童は嬉しそうであった。また、今回は時間のあるクラスのみではあるが、LEDの色を変える為に、セロファン紙を使った色の実験についても触れた。

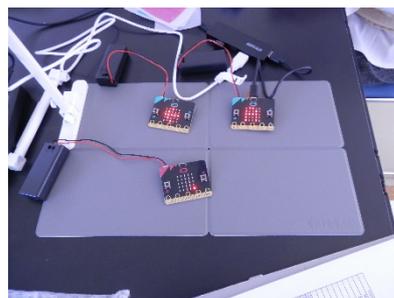


図1：児童の作品（一例）

3 実施後の様子

実験終了後に、Google Classroomでアンケート調査を行った。電子的に集計作業ができたため簡素化に役立った。リモート科学教室での感想では、9割以上の参加者が最高得点である「良いと思う」と肯定的な印象を持った。この理由について、児童たちのアンケートの自由記述よりまとめる。なお、ここでは児童たちの記述内容を、土肥ら⁵⁾のプログラミング授業に対する評価の仕方を参照し分類を行った(ただし、授業構成を教室構成とする)。図2より、良かった理由として「教室構成」が70%を占めた。これには、愉楽度、理解度、知覚的喚起度が含まれている。他に、「家にあるままでできるから」、「質問に答えてくれた」など参加性も見られた。さらに、今後の参考として、「オンラインの「理科教室」(例えばお家でできる実験教室など)についてどう思いますか」と質問を行った。これには86%の児童が最高ポイントである「良いと思う」と回答しており、肯定的に捉えていることが伺えた。

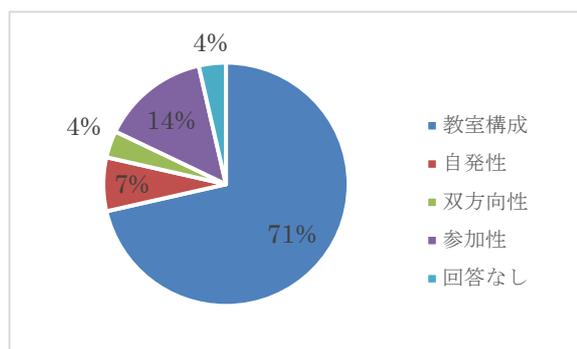


図2：参加後の感想（理由について）

4 科学教室への態度

実施後のアンケートから、リモート科学教室に対する感想が肯定的であったことを受け、さらにその理由について分析を行った。土肥らによる学習のモチベーションについては4つの因子が挙げられている。授業構成(ここでは教室構成)、自発性、双方向性、参加性

である。この因子に基づき、児童たちの自由回答の内容について分類を試みた。リモートによる科学教室の良いと思った主な理由として、「教室構成」であることから今回実施された教室の内容が比較的児童たちにとって受け入れやすかったと推察される。また、今回実施した教室が、児童が普段から使用している道具である Chromebook を利用していたことや授業で扱っている内容を教室のテーマとして取り上げていたことも関係している可能性もある。児童の取り組みの様子からは、比較的自分の作品作りに集中できていた。

5 感情状態の変化

また、リモートによる科学教室について、児童の「感情面」からも検討を行った。感情は外部からの刺激に対して私達の心の中に起こる現象である。児童用の感情測定尺度⁶⁾を用いて、リモート科学教室前後にアンケートを実施し児童の感情変容について検討を試みた。ポジティブ感情、ネガティブ感情、安静状態の感情に関する質問項目に対し、“まったく感じない”から“とても感じる”までの4件法で回答してもらった。アンケート回収後、児童たちの感情の変容を統計的に調べた(t検定を使用する)。その結果、ネガティブ感情の平均ポイントが教室実施前と比べて下がり、実施前後で有意差が認められた($P=0.0188$, $P<.05$)。これについては、2つの仮説が考えられた。教室終了後の緊張の緩和と教室による効果である。前者に関しては、感情尺度での安静時の感情の変化から検討すると実施後のポイントの大きな変化が見受けられなかったことより、本研究では後者の仮説を有力視している。一方、今回の教室ではポジティブ感情に関しては有意差が認められなかった。これについては、参加者である児童がもともと興味関心を高く持っている集団であったため最初からポジティブ感情に対するポイントが高く、終了後のアンケートでそれ以上のポイントの選択肢がなかったことにも関係があったのではないかと推察している。

6 まとめ

今回実施したリモート科学教室は、参加者した児童たちからは好印象であった。この理由として教室の構成に関係があることが推察された。また、児童の感情面による分析から、教室の参加によって否定的な感情が減少することがわかった。これに関しては、さらに

否定的な感情を細分化し、他の感情との関係性について調べる必要がある。今後としては、さらに詳細な分析からリモートによる科学教室の検証を行い、科学教室のリモート化の有益性を検討するとともに、リモート教室に参加しやすい環境を維持しながら、より児童が手足を使い体感できる科学教室の内容を検討していくことが重要である。

謝辞

今回の科学教室は、応用物理学会主催のリフレッシュ理科教室で実施された。また、印西市教育委員会および教育センターと共催し、印西市学びの里の理科実験室をお借りするとともに通信環境等に関して、教育センター長穂戸田氏より、ご支援ご協力を頂きました。ここで厚く感謝するとともにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 文部科学省：「小学校プログラミング教育の概要1」(2019)
- 2) 応用物理学会リフレッシュ理科教室東海支部HP：「オンラインリフレッシュ理科教室応用物理学会東海支部」令和2年度, <https://refresh-rika-tokai.jimdofree.com/令和2>
- 3) 2021年度応用物理学会リフレッシュ理科教室<北陸会場>オンラインで電気ものづくり講座, <https://kimuran.hatenablog.com/entry/2021-11-04>
- 4) Micro:bit Educational Foundation | micro:bit : <https://www.microbit.org>
- 5) 土肥紳一他：「SIEMアセスメント尺度によるプログラミング教育の分析」, 第67回全国大会講演論文集 pp. 361-362 (2005)
- 6) 福田美紀他：「子ども用一般感情尺度の作成(1)」, 日本心理学会第76回大会, 2EVA16 (2012)

第 31 回 物理教育に関するシンポジウム 実行委員会

実行委員長 佐藤 杉弥 (日本工業大学)
応用物理教育分科会幹事長

現地実行委員長 安藤 静敏 (東京理科大学)
応用物理教育分科会事業委員長

第 31 回 物理教育に関するシンポジウム講演予稿集

発行日 2021 年 12 月 18 日
発行 公益社団法人 応用物理学会
編集 公益社団法人 応用物理学会 応用物理教育分科会
第 31 回 物理教育に関するシンポジウム実行委員会

事務局 〒113-0031 東京都文京区根津 1-21-5
電話 03-3828-7723
電子メール : divisions@jsap.or.jp

【無断複製・転載を禁ず】

本誌記事は著作者の許可をもとに掲載しています。転載を希望の際は著者の承諾を得てください。また、出典も明記ください。