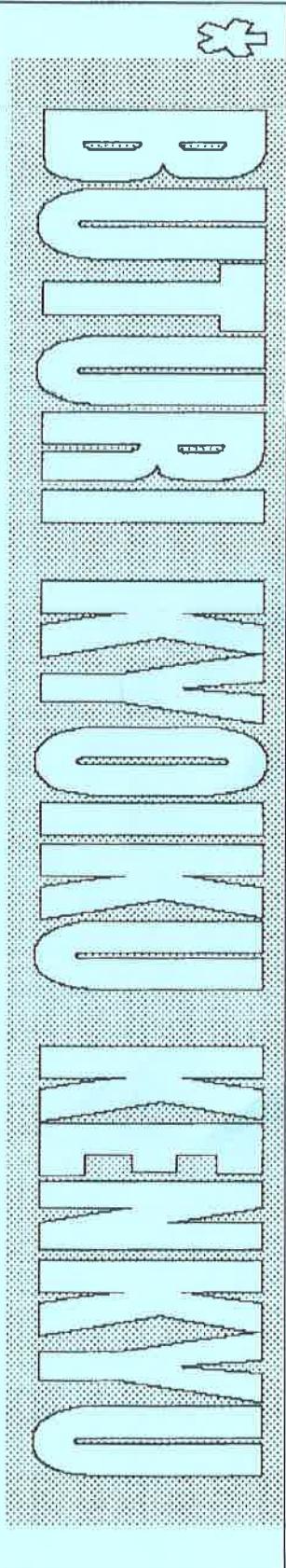




物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.39, 2011.9

告知

『物理教育研究』の電子ジャーナル版公開について

日本物理教育学会北海道支部におきましては、『物理教育研究』の電子ジャーナル版を、CiNii（NII 論文情報ナビゲータ）に公開していくこととしております。北海道支部では、バックナンバーに掲載された論文等につきましても、公開にご同意いただけないもの以外は、逐次電子情報化し、公開していくこととしました。『物理教育研究』は支部会員からの会費で刊行されています。しかし、研究成果を広く会員外にも公開することは本誌が持つたいせつな役割であり、電子情報化による公開も特段差支えないものと考えております。

これまで『物理教育研究』に論文等を掲載された方々におかれましては、どうかご理解を賜りますようお願い申し上げます。万一ご同意いただけない場合には、北海道支部までその旨をご連絡いただきますようお願いいたします。お申し出のない場合には、同意されたものとさせていただきます。

CiNii（NII 論文情報ナビゲータ[サイニイ]）は、国立情報学研究所（NII）が提供している、学協会刊行物・大学研究紀要・国立国会図書館の雑誌記事索引データベースなど、学術論文情報を検索の対象とする論文データベース・サービスです。

日本物理教育学会北海道支部長

伊土 政幸

連絡先 060-0810 札幌市北区北10条西8丁目 北海道大学大学院理学研究院物理学部門
伊土政幸 気付 「物理教育研究」編集委員会

卷頭言

理系学生・生徒たちは発表の機会を通して成長する

北海道立教育研究所附属理科教育センター

佐々木 淳

先日、都内の大学で理科教育法の講義をしている方と話す機会がありました。理科教員を目指す学生を対象として講義をし、今年最も盛り上がったのは、付箋を使ったグループワーク（KJ法）で、テーマとして「こんな理科の授業はしたくない」を取り上げた回だったそうです。予想に違わず、多くの学生が「観察や実験が少ないとこと」や「進み方が早すぎること」を避けたいと思い、加えて『『天くだり』式に次々と知識を注入するスタイルの授業』、「できる生徒、わかる生徒に照準を合わせた授業」、「演習ばかりの授業」などはしたくないと考えている、とのことでした。

このような声を聞くと、彼ら学生が生徒だった時に理科の手ほどきをした教員の立場からは当然反論をしたくなるところです。「その授業のおかげで君たちは、目標とした大学で理科教育法を学んでいられるわけだから、感謝されることはあっても文句なぞ言われるすじあいは無い」というところでしょうか。現場を知る理科教員であれば、観察や実験の機会を豊富に設けても、本来扱うべき内容を残してしまうなら、それとて「したくない」授業に転化するでしょう、と言いたくなると思います。

もちろん、グループワークを仕掛けた先生はその点も承知の上で、学生たちには「教え込み」からではなく、議論を通していろいろな見方に気づいて欲しいと考えていたようで、最終的には多くの学生が、各科目にはそれぞれ達成すべきねらいがあることや、授業では配慮すべき事項が複数あること、教員は年間を通じて指導計画をコントロールする必要があることなど、強調したかったポイントにたどり着いたということでした。

ここで注目したいのは、学生の考え方が良いかとか未熟であるかといったことではありません。学生・生徒はもとより、教える側の教員さえも、考えるに値するテーマが与えられればそのことを考えようとして、意見をまとめ、発表し、議論して成長するという点です。

このような学習活動は「言語活動」、「プレゼンテーション」などと呼ばれ、新学習指導要領では、日常の授業に積極的に生かすことが求められています。しかし、新しい手法かというとそうではありません。基本的には、多くの教員がこれまで理科系部活動の中で生徒を育ててきた手法とほぼ同じだといって良いでしょう。

当支部も、以前から研究に取り組む生徒に発表の機会を与える活動を重視してきました。これは、多くの支部会員が、課題に向き合い自分が理解したことを他者に説明しようとする時に生徒・学生は成長する、ということを確信しているからだと思います。

現在、わが国の理科教育は、理科離れのほか、文章題や説明問題では白紙回答が多いことなど課題をいくつか抱えています。こうした課題の解決に光を見いだすためにも、支部会員が物理教育について議論し、研究や実践を発表しあい交流を深めることが重要です。この支部会誌第39号が、そのような活動に新たな一石を投じることを期待しています。

中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

横関直幸 北海道札幌旭丘高等学校

1. はじめに

本支部主催によるシンポジウムが 2010 年 11 月 23 日(火) 13:00~15:45、北海道大学理学部 5 号館 5-2-01 教室において開催された。その概要について報告する。本支部では 2000 年より公開シンポジウム「創造科学実験」を 10 年間継続して開催してきた。今回のシンポジウムは創造科学実験の内容を一部継承しつつも、新たな視点からの開催となった。その目的は以下の 3 つである。

- ① 新学習指導要領に関する中学一高校間の情報交換を通して、すべての生徒のための物理教育とはどのようなものであるべきか考える。
- ② 中等教育の状況をふまえた高等教育のあり方を、物理教育の面から検討する。
- ③ 中学校、高等学校理科部生徒の研究発表を奨励し、さらなる研究の発展を支援する。

以上の目的を踏まえ、前半は中学高校理科部生徒による研究発表、後半は中学校と高校の教員をパネリストとした討論を実施した。

参加者は理科部の生徒約 50 名を含め、約 100 名が参加するシンポジウムとなった。

2. 中学、高校理科部による研究発表

前半の生徒による研究発表について、タイトルと概要(当日配布資料より)を紹介する。いずれの発表も地道な実験観察に基づいた素晴らしい発表であった。会場の参加者からの質問も活発に行われ、「位相差顕微鏡とはどのようなものですか?」など、難しい質問にも必死で答えようとする生徒諸君の姿勢はたいへん頗もしいものだった。研究発表をした各理科部に対して、日本物理教育学会北海道支部科学研究活動奨励賞を贈呈し、その功績を讃えた。

「『はかるくん』を用いた自然放射線の研究」

札幌市立宮の森中学校 科学部

本研究は、身近な物質の放射線量や物体との距離を変えたときの放射線量がどのように変化するかを調べる 2 年目の取組である。今回は、昨年度の実験をより詳細に

行うとともに、いろいろな場所での自然放射線(γ 線・ β 線)を調べた。放射線は、文部科学省が貸し出している「はかるくん」を用いた。身の回りの物質で放射線を多く出している物質は、船底塗料とランタンのマントルピースである。放射性物質から離れば離れるほど、放射線量は低くなっていくことがわかった。赤平市の植松電機で合宿する際に、その通り道で自然放射線を測定した。コンクリートが多い学校内では γ 線の値が高く、道路の上では低くなることがわかった。また、飛行機内の自然放射線を調べると、上空では β 線が約 1.5 倍、 γ 線が約 2 倍になった。高度が上がるほど、宇宙線の影響で放射線量が上がることがわかった。

「水ロケットの研究」

札幌市立宮の森中学校 科学部

水ロケットがよく飛ぶには、どのような条件にすれば良いかを調べるとともに、ハイスピードカメラを用いて水ロケットが飛ぶ仕組みを調べた。ペットボトルの中に入れる水量を 0~500ml の間で 50ml ずつ増やし、発射台の角度を 65°, 70° と変えて実験した。また、水ロケットが発射するときの様子をハイスピードカメラで撮影し、分析した。この結果、水量は 300ml や 350ml がよく飛ぶことがわかった。

さらに、水が 2 段階で発射されていることを発見した。発射直後は水による第 1 噴射が起り、簡のようにまとまって噴射された勢いで機体が上昇する。その後、第 2 噴射が起り、残っていた水と圧縮された空気が同時に出し切られ、そのエネルギーを使って機体が大きく飛行する。この際に、水平よりも上向きに第 2 噴射すると、より遠くへ水ロケットが飛ぶことがわかった。

「身近な菌類について」

札幌市立屯田北中学校 科学同好会

私たちは、身近な菌類の生態について調べています。「昔はコタツで納豆を作っていた」という話を聞いたことが、研究のきっかけです。ナットウ菌、コウボ菌、乳酸菌といった身近な菌類について研究しています。研究

の内容は主に、各種菌類の培養と発酵食品の製造についてです。菌類の培養では、さまざまな条件のもと培養し、生育状況を調べました。また、培地には筋肉増強用プロテインを混入させ、繁殖状況がわかるように工夫を行います。また、身近な発酵食品を例に発酵食品の製造について調べました。その後、これらの実験で得たデータをもとに、自分たちで実際に発酵食品をつくってみようと思い、ナットウ菌、コウボ菌、乳酸菌をそれぞれ牛乳と大豆に混入させ、経過を観察しました。さまざまな実験を通して、発酵食品製造の工夫を行えたのではないかと思います。

これからは、発酵食品の視野を広げ、さらに深く研究を進めていきたいです。

「チョークが割れる力の研究」

北海道札幌北陵高等学校 自然科学部
授業中先生が板書している際に、チョークが粉々に割れるのを見て、どのくらいの力でチョークは割れてしまうのか疑問に思い、実験と計算を行いその力の最小値を求ることにした。板書している際にチョークが割れたときの力のかかり方が、チョークを縦に黒板に衝突させる、字を書いている際にチョークの横に力をかける、の2通りを観察できたので、これらを測定できるよう自作の装置で実験を行った。チョークは紙の一瞬の力には約3.4 J前後のエネルギーで、横の圧力には約17.9 Nの力で割れるということがわかった。今回は粉々に砕けるまでのエネルギーを計測したので、単に2つに割れる場合は今回の実験結果よりも弱い力だと思われる。



「グラスハープにおける音階決定の法則性の研究」

北海道札幌北高等学校 物理化学部
グラスハープとは、水を入れたワイングラスの口の縁を濡らした指でなぞり、音を鳴らす楽器である。
私達は昨年からグラスハープにおける音階を決定づける要素として、水の体積や水面でのグラスの外周

や振動に着目し、音階決定の法則性についての研究を進めてきた。今回の研究では、さらに液体の性質やグラスの重心、振動に着目して研究を行った。



3. シンポジウム

後半のシンポジウム（教員対象）では、森山正樹（札幌市立宮の森中学校）、山田浩之（札幌市立屯田北中学校）、中道洋友（札幌北高等学校）、増子寛（麻布高校）の四氏をパネリストに迎え討論が行われた。

シンポジウムでは以下の4点を話題の中心とした。

- ① 新しい学習指導要領のもとで、中学校理科の物理分野はどのように変化しているのか。
- ② 中学校理科の物理分野において、指導上の課題は何か。
- ③ 高等学校「物理基礎」は、どうあるべきか。
- ④ すべての生徒のための「物理教育」とは、どうあるべきか。

このシンポジウムに先立ち、札幌近郊の中学校理科教員に対して「物理教育に関するアンケート」を実施した。

新しい中学校学習指導要領より（物理分野を抜粋）

- (1) 身近な物理現象
 - ア 光と音
 - イ 力と圧力
- (3) 電流とその利用
 - ア 電流
 - イ 電流と磁界
- (5) 運動とエネルギー
 - ア 運動の規則性
 - イ 力学的エネルギー

中学校学習指導要領の物理分野について、項目としては大きな変化は見られない。しかし、「2力のつりあいが3年次へ移行」、「水圧、浮力、フックの法則が復活」、「放射線の扱い」などに変化が見られ、授業での扱いについて工夫が必要であるとの意見がアンケートで寄せられた。

「新しい学習指導要領のもとで、中学校理科の物理分野はどのように変化しているのか」という問に対する回答の中から特徴的な意見を抽出し、パネリストからの意見を中心に議論が進められた。以下に主な意見を紹介する。

「2力のつりあいが3年次へ移行」したことについては、大気圧で缶がつぶれる現象などの説明で2力のつりあいを説明せずに理解させるのは難しく、教えにくくなつたという意見が多かった。

何の意味も説明せず公式から導入していくやり方に違和感があるという意見もあった。移行措置に伴い補助教材を使用しての授業が多く、生徒が忘れ物をする場面が多い。

「水圧、浮力、フックの法則が復活」という点は良かったという評価が多い。水圧の扱いは以前と異なる部分があり注意が必要。フックの法則をやることになり、グラフを書かせる時期が今までより早くなつた。浮力の説明で力のつりあいについて触れることにはなる。原理がわからずにつれることは難しい面がある。

「力の単位 N（ニュートン）の使用」については今回の改定には関係ないが、根強く否定的な意見が多いようだ。仕事、熱量、放射線など、これまで扱っていなかつた、あるいは扱いが軽かつた内容について新しい取り組みが必要である。

「生徒にとって、中学校で学習する物理分野は、他の分野（化学、生物、地学）に比べて難しいと思いますか」との問い合わせに対するアンケートの回答は以下の通り

- そう思う…………… 11名
- そうは思わない……… 6名
- どちらとも言えない… 7名

中学校理科の指導上の課題として「計算」の扱いがクローズアップされた。物理量どうしの掛け算や割り算により新しい物理量ができるという思考は、単なる数学的

な計算とは異なる難しさがあるということが指摘された。一方で、計算はできるが解った気がしない、という生徒の感覚に注目すべきという意見もあった。

単位ができない、答えが分数のまま、などの生徒のようすを改善する取り組みに授業改善のヒントがあるのではないか。

中学校学習指導要領理科の目標について、現行の表現が、「・・・観察、実験の結果を考察して自らの考えを導き出し表現する能力を育てるとともに・・・」であるのに対して、改訂後は「・・・観察、実験の結果を分析して解釈し表現する能力を育てるとともに・・・」という表現に変更された。

「物理基礎」導入に関する課題としては以下の3点があげられる。

- ① 物理は難しいので、全員には履修させられない（という意見がある）
- ② 物理教員が足りない
- ③ 物理（4 単位）の内容が重たい（物理基礎を易しくはできない）

進学に使うわけではなく好きで物理をとっている生徒に対しては計算は簡単なものにとどめ本質的な理解を進めるこころを心がけた。入試の制約が自由な物理の授業を妨げる場面はある。

高校は事実だけを見るのではなく、学んだことをもとにして新しい理解を得る、そういう訓練をする場が高校である。2 単位でもよいから多くの生徒に物理を履修させたいという思いで主張してきた。ところが物理基礎の内容は波動、電気、熱も入った網羅的で、内容を絞つてじっくり訓練するのはたいへんなことになった。

すべての生徒のための「物理教育」とは、どうあるべきか。中学校現場から以下のような提言がなされた。

「物理の面白さを中学校の段階でしっかりと育てたい」、「高校でアレルギーにならないように高めてあげたい」、「物理は楽しく面白いものだと感じている」、「理科の楽しさ、自然の素晴らしさを伝えていきたいし体感させたい」

「物理教育に関するアンケート」 2010年9月実施（札幌市ならびに近郊の中学校155校が対象、回答率15%）
日本物理教育学会北海道支部

問1：新しい学習指導要領にともない、中学校の授業はどのように変わりましたか。「教えやすくなかったか」、「扱う分量や難易度は適切になったか」、「小学校や高校とのつながりはどうか」など、 物理分野を中心とした変化 を具体的にお書き下さい。
問2：生徒にとって、中学校で学習する物理分野は、他の分野（化学、生物、地学）に比べて難しいと思いますか。（1：そう思う、2：そうは思わない、3：どちらとも言えない、4：わからない）
問3：前問（問2）でそのように回答した理由をお書き下さい。
問4：日本物理教育学会は高校と大学の教員が、現在は会員の大部分です。中学校理科の先生と協力していくためには、今後どのような活動が必要でしょうか。ご意見をお書き下さい。
問5：日本物理教育学会北海道支部に対するご質問やご意見があればお書き下さい。

「物理教育に関するアンケート」 2010年9月実施（札幌市ならびに近郊の中学校155校が対象、回答率15%）

番号	所在地	問1	問2	問3	問4	問5
1	江別市	中学校の3学年の中でこまぎれになっていた題材（「力」など）が統一して3年生で扱うようになり、教えやすくなった。	2	化学の分野においても、抽象的な思考を要求されるため、比較すると、さほど難しい内容ではない。	情報発信していくたいて、学習する機会があれば、ありがたいです。	
2	江別市	身近にない単位であるN（ニュートン）を使うことに生徒も教師も抵抗があります。	1	小学校時の計算力が不足している。特に位どりは困難である。	今回のように、どんどん活動を広報して下さい。	特にありません。
3	札幌市	高校とのつながりはわかりません。まだ移行期間中のため、はつきりしませんが、水圧、浮力、フックの法則など基本的な内容が復活したことは教えやすくなつたと思います。	2	内容自体は変わらないと思いますが、近年子どもの計算力、説解力が低下しており、計算が必要な電流等の分野を苦手としている生徒が多いようです。		特にありません。
4	石狩市	以前より、少し難易度が上がったことで、高校での学習とのギャップが小さくなつたかと思います。	3	得手、不得手の問題だと思います。	活動内容がよく分からないので、何とも言えません。	特にありません。
5	札幌市	例えば、圧力の所では大気圧だけではなく水圧、浮力も扱うようになったため、今まで以上に生徒の理解が深くなっていると感じます。ただし、内容が増えた分、計算練習などに使える時間が少なくなっている事も事実です。	1	まず計算に苦手意識を持っている生徒が多いです。また、計算の意味（なぜ、そう計算するのか）が理解できない生徒が多いです。そのため、単位の重要性を説明しています。今はある程度の効果があると感じています。	中学校への出張授業などだと思います。	特にありません。
6	当別町	分量や難易度については大きく変化したとは思えない。ただ、扱う「公式」が増えたのは確かであり、生徒にとっては厳しい（熱量など）。本質的なことに踏み込むだけの時間や発達段階でもなく。	1	計算は数学でいう「利用」にあたる。計算の苦手な生徒には「単位」も扱うため難しくなると思われる。	各地域の、小・中の集まりに参加（オブザーバーとしてでも）してみてはいかがでしょうか。	11月のシンポジウムは外部の人間が参加しても良いものでしょうか。
7	江別市	ゆとり教育に変わる前の内容に戻ったと思います。内容や難易度は、特に問題ありません。中学校の理科として、適切だと思います。	3	物化生地のバランスは良いと思います。しかし、苦手な生徒に対して、もっと工夫、研究（指導方法など）が必要です。	高校の先生が、中学校の授業を見学したり、教科書を見てもらう機会を増やしてほしいですね。	今後も中学、高校間での情報交換をお願いします。会誌「物理教育研究」、ありがとうございました。

8 札幌市	体系的には教えやすくなると思いますが、現在は時数がまだ少ないので、分量は学年によっては多いです。時期的にこのアンケートは早いと思うのですが、完全実施のあとの方がしっかりこたえられます。	1	理科の内容というよりも、その前段階の計算能力の問題で教えづらいところがある。	特にありません	特にありません。
9 札幌市	教えやすくなった点→ブックの法則の復活。教えにくくなった点→水圧、浮力(浮力については、中学校単発なのがやりにくいです。)	2	物理が苦手という生徒は少ない。しかし、計算ができないので苦手と感じる生徒は多い。	特に大学に関してですが、中学校の現場とはかけ離れている気がします。	今回送っていただいた冊子が、非常に勉強になりました。ありがとうございました。今後も送っていただけると助かります。
10 札幌市	電流の熱量が増えたくらいで、とにかくわからない。	3	実験が多く、生徒の動きも良いが、計算・グラフなどが出てくると抵抗感を示す生徒もいる。	中学の公開授業を見に来ていたときご助言下さい。	実験操作など、おもしろいものがあれば、どんどん紹介下さい。
11 札幌市	數学的な計算力も必要となり、小学校段階で学習の小数点にかかる計算力が欠けている事を実感する。	1	特に計算力を必要とする領域では、その段階のつまづきが興味を失う原因になっている。		
12 札幌市	「2力のつりあい」が1年から3年に移ったので、「抗力」、「ささえる力」の学習がしづらくなかった。密度・質量がしっかり出てきたので教えやすくなった。「ペクトル」の考え方やはりないので、つりあいも理解しづらいのではないか。	2	重要な概念や定義をひとまずおいて、現象面に注目しているため。(「加速度」すら出てこないのです)		
13 札幌市	教えにくくなった。分量は増えた。難易度は上がった。つながりは不明。	2		意見は特にありません。	
14 札幌市	新しい学習指導要領とは関係ないかもしれないが、単位の変換(特に圧力や速さのm/秒→km/時)や小数の計算に苦手意識があるため、その分野全体を苦手にしてしまう生徒がいる。	1	問1と同様		

15 札幌市	教えやすくなった部分もあるし、教えない部分もある。※「放射線」が入ってくるが原子構造との関係で、なぜ放射線が生じるか等どのように扱われているかが不明～新教科書は学校には配布されていないので何ともいえない。	1	論理的に考える力が備わっておらず、「力」「電気」等の単元はなかなか理解できないものと思われる。内容的には必要なものと考えている。		
	現在、中学3年生を教えていますが、エネルギー、天体などイメージしていく勉強が多く、苦労しています。学習指導要領によらず、仕事、イオンといった部分は理解しにくい分野であると思います。	3	イメージできるか、ということと、問題を解くことは別だと思いません。計算があれば、今の生徒はどの分野でも苦手です。物理分野に限らず、ただ、物理分野で実際にくかったりイメージをつかみにくい部分は「教える側」として(国、教員、教科書)工夫がいると思います。	物理教育学会にかぎらず、小中・高・大の教員の協力が必要です。ただ、具体的な活動は考えつきません。	御苦労様です
16 小樽市	ジシテくい勉強が多く、苦労しています。学習指導要領によらず、仕事、イオンといった部分は理解しにくい分野であると思います。	3			
17 札幌市	ブックの法則からW、仕事などが復活し、数量的にエネルギー量をとらえられるようになったので、概念が補強やすくなっていると感じる。ただ式(方程式など)を解く力が中学生には差があるので、難しいと感じたり、きらいになったりする生徒も出でこよう。	3	数学などが得意な生徒にとっては、問題ないと思うが、苦手な生徒は苦労している。これは逆に、生物、地学分野にもいえるので、どちらとも言えないと思った。	「学会」と言われると、とてもしきいが高く感じてしまいます。研究会なんかでも高校の先生と中学の先生がいしょになる会もありますから、そういう取り組みをしていくと、もう少し交流が深まりそうですね。	
18 小樽市	小学校における指導内容との関連性が明示され、小学校とのつながりを考えた指導計画を立てやすくなった。中学校の物理分野についてはあまり大きな変化はない。	1	年々生徒の計算能力の差が開いているようであり、そのため計算を必要とする内容については難しく感じている生徒が多くなっている。	中学校の理科教師として物理分野を含め全分野を指導しなければならないため、物理分野に特化した探求をすることができない状況がある。しかしながら、物理学を中心に学んできた教師もいるわけであり、地域の高校の物理教師とのつながりを強め教材などを交流などを進めていくことで、貴学会との接点をもつことができると考える。	中学校にも貴学会の情報をもっと知させていただきたい。

19	札幌市	<p>【1】中学校1年で「力のつり合い」を省略しました。これで、重力、抗力、また、重力、浮力、浮き沈みを説明できるでしょうか。（力の差についても踏され）3年では斜面を下る台車なのに、力の分解の概念のところが略されました。（私はそのつど「つり合い、合力」などを教えています。）【2】圧力の計算で、力の単位(N)ニュートンと、面積をm²(平方メートル)にして、N/m²にしました。これで、理解度はクラスに2,3名ほどしかいなくなりました。N/m²というわかりにくい計算にしていいものだめです。自分たちの習ったg/重/cm²の方が、いかによくわかったのです。</p> <p>【3】計算問題の答えで、1/4g/cm³などはいけなくて、0.25g/cm³小数表記にする明確な理由が示されていません。【4】分子、原子の概念が、やっと、1年生の途中につめこまれてきました。過去のカリキュラムの方が本當によかったと思います。【5】たぶん北海道は、物理は「壊滅的」にできていないのでしょう。</p>	3	<p>印象的なものを分析してもあまり意味はないと思います。上記のように、私が簡単に思い出せるもののような、指導の欠陥のものが、カリキュラムにそなわっていることを解決すべきだと思います。</p>	
20	江別市	2学年「真空放電」を扱うことになったのはよい。	1	電流のはたらきを扱う時数が少なすぎる。	「教具」(生徒にわかりやすい)の開発
21	札幌市	仕事などの内容が追加になった分、きめ細かく取り扱えるようになりましたが、時数はそんなにふえてもいいので教えやすくなつたか…という点では疑問があります。	2	計算力が問われる分、難しそうに生徒は感じているが、中身的には他の分野とさほど変わらないように感じています。	交流できる場面が必要を感じていますが、なにぶんにも日ごろの業務に追われ時間がとれない点が課題だと思います。

22	札幌市	<p>一度削除された内容が、後付で追加されているため、非常に教えにくいくらいが現状です。指導内容が学年をまたいで移動しているため、授業を受ける生徒の立場で見ると、つながりが見えにくくなっています。物理分野だけでも、1学年で「力」についての学習をしますが、「力のつり合い」が3学年へ移動したため、「力のはたらき」のうち、「運動のようすを覚える」ということについては教えにくくなっています。2学年で扱う「電流」についての学習では、最初に「静電気」について学び、いきなり「電流」に移ります。そして、「電流による発熱」などの学習を終えてから「電流の正体」について学ぶという順番になっています。個人的には「電流の正体」は「静電気」と「電流」の間にあるのが自然だと考えますが…。</p>	1	<p>教科書で扱う順番が、学習の必然性を感じさせるものになっていないため、面白さを見出せない生徒が多いように思われます。生物分野のように実際に触れるものが多いくらいではなく、化学分野のように色の変化など見た目でわかる変化を感じにくいで、「ああ、なるほど」と思わせる学習の流れの工夫が上手にできないと、生徒にとっては難しい分野だと思います。また、単純計算は得意であっても、条件を見つけるのが下手(応用ができない、自ら考えることを放棄して他者が答えを与えてくれるので待っている)生徒が増えているのも、物理分野の授業を苦手とする生徒が増えている一因だと思います。</p>	<p>参加しやすい雰囲気づくりと、積極的なアンケートが必要だと思います。特に中学校では物理分野だけでなく化学・生物・地学、さらには環境まですべての領域をカバーする必要があるので、物理分野だけに専念しにくい環境にあります。8年くらい前に北大を会場に教師向けの講習会(?)がおこなっていましたが、そういう機会を増やすとともに、参加料(あまり高額にならない程度)をとってもよいので、すぐに使える物理教材を提供することで、物理教育に積極的に関わろうとする教師の裾野を広げていくことが重要なのではないかと思います。電子顕微鏡やナノテクノロジーの研究を見せられても、「ふ~ん」でおしまいです。授業に使えるかどうかという点は、中学校教員にとってかなり関心があるものです。</p>
23	小樽市	20年くらい前とほぼ同じ内容にもどった感じで、系統的に教えるならびとなり、扱いやすくなつたよう思いますですが、そのころと比べると小学校で身につける計算能力(分数や小数点のある割り算)などが定着していない生徒がほとんどで、なかなか理解できない生徒が多く、そういう意見で大変です。JやNの単位のあつかいなども。	1	計算、特に分数や割り算を理解していない生徒が多いいため。	中学校の先生方も気軽に参加できる研修会などを開いて参加を呼びかける。全道をいくつかのブロックに分けて開催するなど。
24	恵庭市	現在のところは、以前にあった内容が戻ってきた状態なので物理分野に関しては大きな変化は感じません。	3	難しいと思う生徒には、「計算が苦手」という生徒が結構な割合でいるように思います。現象は理解でき、そこまでは面白いと思えるのですが、計算という要素が入ってきた途端にあきらめてしまう生徒が多いような気がします。(「電流」の単元など)	今回、会報を送っていただいたので、校内の理科教員で回観したところ、「是非ほしい」という教員がおりました。もし可能であれば、時々会報や案内などを送っていただけたら、物理出身の教員などは興味を持つのではないかでしょうか。

ラザフォードの足跡をたどる

北海道大学大学院理学院／北海道札幌清田高等学校 鶴岡 森昭

原子物理学の扉を開き、物理学の世紀である20世紀の幕開けを創出した科学者のひとりであるラザフォードの足跡を追って、出生地であるニュージーランド南島と研究者としての主たる活動の地であるイギリスのケンブリッジを訪ねた。ニュージーランド南島では、出生地ネルソン近郊のスプリンググローブとハーブロックでラザフォードのゆかりの記念碑等を探り、クライストチャーチでは学生時代を過ごしたカンタベリー大学ゆかりの講義室や当時作製された実験器具等を見学した。イギリスのケンブリッジでは、キャベンディッシュ研究所と現キャベンディッシュ研究所に彼の足跡を訪ねた。更に、この題材を活かした授業指導案『放射線発見の歴史に学ぶ』を作成した。

キーワード Ernest Rutherford, 科学史, 科学教育

1.はじめに

10年程前に読んだ高野義郎¹⁾の著書「ヨーロッパ科学史の旅」に触発され、教科書指導の際に話題にしてきた科学者のゆかりの地を何時かは訪ねたいと考えていた。最近は以前よりも勤務にゆとりが出てきたので、科学教育と科学史研究の一部として時々海外に足を運んでは、科学者の足跡を訪ねている。この度は原子物理学の扉を開き、物理学の世紀である20世紀の幕開けを創出した科学者のひとりであるラザフォードの足跡を追って、2007年5月と2010年11月にイギリスのケンブリッジに、2008年5月と2009年1月にニュージーランド南島を訪ねた。本論考では、ラザフォードに関する文献資料^{2), 3), 4), 5), 6)}やこの度の現地調査で得たデータを基に、ラザフォードの足跡をたどりたい。

2. Ernest Rutherfordの生涯（概略）

1871年8月30日 New Zealand 南島 Nelson の南西に位置する町 Spring Grove で農業技師の父 James と母 Martha の12人兄弟の4番目の子として出生した。
1883年 父の家業で Pelorus Sound 海岸の Havelock に引越し。そこの中学校に通い、後に妻となる May Newton と出会う。
1890年 Christchurch の Canterbury College に入学。在学中に電波検知器を作り、鉄の磁化に関する論文で理学士号を得る。
1895年 国の奨学金を得て、イギリス Cambridge 大学 Cavendish Laboratory の研究員となる。
JJ.Thomson の指導の下で、気体の電気伝導の研究を始める。
1898年 ウランから2種類の放射線（ α 線と β 線）が出ていることを発見した。May Newton と結婚。

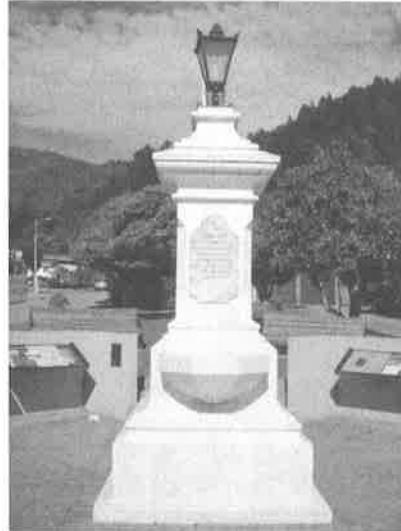
Canada・Montreal の McGill 大学の教授となる。

- 1899年 放射線のアルミ箔の透過を調べ、 α 線と β 線の分離に成功。
1900年 γ 線が電磁波であることを示す。Frederick Soddy(1877 - 1956)と共同でラジウム、トリウム、アクチニウムの研究に取り組み、放射性元素が互いに移り変わることにより、半減期の概念を作る。これは後に岩石の年代測定に用いられる。
1902年 元素が放射線を放出すると別の元素に変わる「放射性元素変換説」を提唱。
1903年 王立協会会員となる。
1907年 Manchester 大学教授となる。Hans Geiger(1882 - 1945)と共同で α 粒子の計数に成功。これは後にガイガー・ミュラー計数管として実用化される。
1908年 α 線をガラス管に集め、放電スペクトルを調べることで α 線がヘリウム原子核であることを発見した。「元素の崩壊および放射性物質の性質に関する研究」により、ノーベル化学賞を受賞する。
1911年 Geiger 等と共同で α 線の散乱実験を行い、原子核を発見。この実験結果に基づいて原子の有核模型を発表する。
1914年 ナイトに叙せられ、Sir Ernest となる。
1917年 Cambridge 大学 Cavendish Laboratory の所長となる。
1919年 α 線を窒素原子に衝突させ、酸素の同位体が生成することから原子核の人工変換を実証した。
1920年 中性子の存在を予言。弟子の J.Chadwick が 1932年に発見した。また、重水素の存在を予言。
1925年 ロンドン王立協会会長となる。
1931年 男爵に叙せられ、Lord Nelson となる。
1937年 ロンドンで死去。66歳。
1997年 原子番号 104 の元素が Rutherfordium と命名される。



幼少期から晩年までの肖像

Nelson の東郊外の Havelock には、ラザフォードが幼少期を過ごしたことと記念碑やラザフォードに因んだ施設が建てられている。



Havelock 中心部にある記念碑



Spring Grove の出生地記念モニュメント



ラザフォードの名前を残すバックパッカーの宿



経歴を示すパネル



上記のバックパッカー内の掲示パネル

ラザフォードの足跡をたどる

4. ChristchurchのCanterbury College

南島カンタベリー州都クライストチャーチのカンタベリー大学の旧キャンパスには、ラザフォードの業績を記念する Rutherford Den がある。

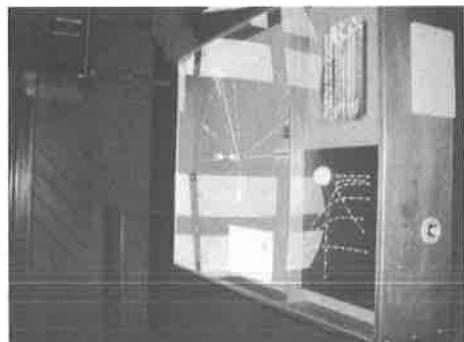


Rutherford Den の外観

New Zealand 南島 Canterbury 州の州都 Christchurch の市街中心部に Canterbury 大学がある。現在は芸術学部の校舎として使われている建物の一廊に、当時 Rutherford が学部生として学んでいた自然科学系の講堂や研究室がある。その建物の一部博物館として残され Rutherford Den と呼称されている。当時の実験室や講義室が保存再現されている。



Rutherford Den 内部の展示物



Rutherford Den 内部の原子モデル

中心街から西の地域に移転された現 Canterbury 大学のキャンパスがある。そのキャンパス内の物理・化学・天文学の建物は Rutherford 館と名付けられている。



現 Canterbury 大学のキャンパス内の Rutherford 館

5. Cambridge Cavendish Laboratory

1874-1974 の略 1 世紀間、イギリス Cambridge 中心部に Cavendish Laboratory があった。この研究所で様々な発見をしたゆかりの自然学者の中には、初代所長を務めた電磁場理論の完成者 J.C.Maxwell (1831-1879)、音響学の研究や W.Ramsay (1852-1916) と共同でアルゴンを発見した L.Rayleigh (1842-1919) で、2人とも Trinity College の出身である。1904 年ノーベル物理学賞受賞者がこの Rayleigh である。1897 年にここで、J.J.Thomson (1856-1940) が電子を発見し、1906 年ノーベル物理学賞を受賞した。彼の弟子であった E.Rutherford (1871-1937) は原子模型等の研究で 1908 年ノーベル化学賞を受賞し、彼の指導の下で J.Chadwick (1891-1974) は中性子を発見し 1935 年ノーベル物理学賞を受賞した。J.D.Cockcroft (1897-1967) と E.T.S.Walton (1903-) はイオン加速器を作つて陽子による核反応に成功し 1951 年に共にノーベル物理学賞を受賞した。素粒子研究に多大な貢献をした霧箱の発明者である C.T.R.Wilson (1869-1959) は 1927 年ノーベル物理学賞受賞者。

この研究所からは数々に冠する程多くの歴史に残る自然哲学者が輩出した。正に物理学の世紀である 20 世紀を創出した研究機関であると言っても過言ではない。なお、DNA の X 線構造解析を行い二重らせん構造を解明し、1962 年ノーベル生理学・医学賞を受賞した J.D.Watson(1928 -) E.H.C.Crick(1916- 2004) もこの研究所ゆかりの科学者である。



旧 Cavendish Laboratory

ケンブリッジ市中心部にある旧 Cavendish Laboratory 建物の外壁には、1874 年から 1974 年までの 1 世紀の間に研究所があったことを示すプレートと JJ.Thomson による電子の発見を記念するプレートが掲示されている。



旧 Cavendish Laboratory 建物外壁のプレート



旧 Cavendish Laboratory 建物外壁のプレート

また、内部の建物の外壁には、Rutherford のニックネームであったクロカダイル (偽鰐) を記念するレリーフが彫り込まれている。



旧 Cavendish Laboratory 内建物外壁のレリーフ (偽鰐)

1974 年に、この研究所は西 3 キロメートル隣に建てられた新館に移転された。その建物が現在の Cavendish Laboratory である。その中央棟の 2 階廊下には、この研究所ゆかりの研究者の功績を顕彰する展示室が置かれている。また、その左隣りの研究所は Rutherford 館と呼ばれている。

ラザフォードの足跡をたどる



現Cavendish Laboratory 内のラザフォード研究棟



チャドウックによる中性子発見のパネル



現Cavendish Laboratory 内の展示物廊下

6.まとめ

文献資料や現地調査を通して、Rutherford の足跡を追跡してきた。当時英國領であったニュージーランドの南島の農業技師の家に生まれ、父の影響で手先が器用だった少年 Ernest Rutherford がやがて Christchurch の Canterbury College に入学した。入学後 Ernest はそ

の器用さを発揮して多くの実験器具を自作した。幸運にも公費でイギリス留学の機会を得て、イギリス Cambridge 大学 Cavendish Laboratory の研究員となった。そこで Ernest は師匠となる J.J.Thomson に出会い、本格的な研究活動をスタートさせた。その研究活動のなかで放射性物質探求の過程で α 線を発見し、その正体がヘリウム原子核であることを突き止めた。そして、彼はその粒子を用いて散乱実験を行い、その実験結果を説明するために有核モデルを提案したのである。

彼の研究活動の場は主にイギリスであったが、ニュージーランド人であることに誇りを持っていたことが伝えられている。現在のニュージーランドの最高額紙幣である 100 ドル紙幣に Rutherford の肖像が使われていることからもそのことが伺われる。



また、Rutherford の門下からはノーベル賞を受賞する研究者を数多く輩出している。Rutherford は優れた研究者であったばかりではなく、類希な教育者であったことを、この度の論考から再認識することができた。今後の課題としては、カナダ Montreal の McGill 大学やイギリスの Manchester 大学での Rutherford の足跡も探りたい。

参考文献

- 1) 高野義郎：ヨーロッパ科学史の旅、NHK ブックス、1988.
- 2) 伊東俊太郎他：科学史技術史事典、弘文社、1994.
- 3) フリー百科事典『ウィキペディア』
- 4) A project of The National Science & Technology Roadshow Trust, “Rutherford - the story of a kiwi genius”, University of Canterbury & Tait Electrics present, 2000.
- 5) John Campbell, “Rutherford Scientist Supreme”, AAS Publications, 1999.
- 6) Robert P. Crease, “The Prism and the Pendulum : The Ten Most Beautiful Experiments in Science”, Random House, 2003.

逃げ水の物理

北海道大樹高等学校 石川 昌司

逃げ水は、多くの資料では、夏の晴れた暑い日にアスファルト路面近くの空気が熱せられ膨張し、屈折率が変化することから光の進路が曲げられて生じる蜃気楼の一種であると説明されている。しかし、実際に調査してみたところ、相当に幅広い気象条件下で観察されることがわかった。さらに考察の結果、逃げ水は、屈折よりむしろ光の全反射として理解した方がより実際に近いことがわかった。

キーワード 逃げ水 全反射

1. はじめに



写真1：2011年5月28日11時50分頃大樹町内の農道に現れた逃げ水。天候薄曇り、気温14°C、路面表面温度24°C。

2011年4月から十勝管内大樹町に住むようになり、自家用車で地域を回るうち、逃げ水がやけに頻繁に観察されることに気がついた。逃げ水と言えば、それまでは、日差しの強い夏の暑い日に現れる光学現象、という印象が強かったが、この地域では、4月～5月のまだ気温がそれほど上がらない時期でも、晴れてさえいれば、ほぼ確実に観察することができた。少し不思議に思い、念のため、わざと天候が晴天では

ない薄曇りの土曜日を選んで、周辺地域を自家用車で回ってみたところ、驚いたことに、ところどころで逃げ水現象を確認することができた。おかげで、私の逃げ水に対するイメージもずいぶん変化した。

そこで、今回、改めて逃げ水現象の物理について考察してみたので、ここに報告する。

2. 逃げ水は一般にどのように説明されているか

2011年現在 Wikipedia では、『逃げ水（にげみず、英: inferior mirage）』とは、風がなく晴れた暑い日に、アスファルトの道路などで、遠くに水があるよう見える現象のこと。近づいてもその場所に水はなく、さらに遠くに見える。水が逃げていくよう見えることからこの名前がある。下位蜃気楼の一種で、実際の位置より下にものがあるよう見える。逃げ水の場合、地表付近の空気が熱せられ膨張することにより、部分的に屈折率が変わって一種のプリズムとなり、上方の景色があたかも道路の表面に映ったように見える。夏の風物詩の『つ』と説明されている。蜃気楼といえば、日本では富山湾魚津市で見られるものが有名であり、北海道でも石狩湾で観察されることが知られている。蜃気楼には上位蜃気楼と下位蜃気楼があり、逃げ水は下位蜃気楼ということになる。

これと本質的に同じ説明が、様々な文献や資料でなされている¹⁾。また、図1のような図が載っていることも多い²⁾。



図1：よく見かける逃げ水の原理の説明図

フェルマーの最短時間の原理は、結局のところスネルの屈折の法則の内容を包含していて、屈折現象の基礎原理と考えることができる。したがって、逃げ水を屈折で説明するということは、光が図1のような経路で進むときに所要時間が最短になる、ということを意味するのだろうか。

高校物理が扱う波動現象でこれと似たものがある。それは、昼間の空気中の音波の伝わり方と、夜間のそれとの違いである。音波も、温度が高い空気中の方が、温度が低い空気中よりも伝わる速さが速いので、音源から出た音波は、温度勾配のある空気層を屈折しながら進み、夜間は上に凸、昼間は下に凸、の経路を経て観測者へ届く。

高校では光波は音波の後で学習するので、逃げ水も空気中を進む音波と同じ説明でなんとなく納得してしまう。しかし、本当にそうだろうか。

確かに、夏の晴れた暑い日などでは、舗装路面表面の温度と気温との温度差は100度近くあると考えられる。しかし、はじめにも書いたように、実際には、逃げ水の現象は、そんなに暑くない気象条件の下でも容易に観察される。例えば写真1であるが、キャプションにもある通り、撮影当日の天

候は薄曇り、気温14°C、体感温度としても相当に肌寒く、路面表面温度は手持ちの放射温度計で測ったところ24°Cで、素手の触感としても冷んやり感じる温度であった。気温と路面温度との差はわずかに10度しかない。

計算によると、24°Cの空気の密度は14°Cの空気の密度の約97%になる。すなわち約3%減少する。文献によれば0°C、1気圧の空気の屈折率は1.000292である。空気の屈折率の1からのずれが、空気の密度に比例すると仮定すると、14°Cの空気の屈折率は1.000278、24°Cの空気の屈折率は1.000268となる。その差はわずかに 1.0×10^{-5} 、相対屈折率は0.99999である。この相対屈折率でどれだけ光の進路を屈折できるのだろうか。

一方、音速は気温1度の変化に対して0.6m/s変化する。10度の温度差があれば音速の差は6.0m/sになる。これは音速の絶対値、約340m/sに対して約1.8%の割合である。光波と音波の本質的な違いがここに現れているように思う。

10度の温度差では、音波はともかく、光波はとても図1のように屈折できないのではないだろうか。

では、屈折以外に、逃げ水を説明するどんな原理を考えられるだろうか。

そこで、逃げ水がどのような場所に生じ易いのかを調べてみた。すると、坂の頂上付近やわずかな下りの傾斜面において起きやすいということがわかつてきた。写真1には、逃げ水が、近い部分と遠い部分の2ヶ所に写っているが、近い側の逃げ水が写っている場所付近の路面は、前方に向かってわずかに下りの傾斜面になっている。その先は水平であり、逃げ水は一度消滅するが、かなり遠くまで離れると再び見えてくる。

次の3枚の写真を見てもらいたい。



写真2：逃げ水の面積が写真1よりも少ない



写真3：さらに逃げ水の面積が減少している



写真4：逃げ水はほぼ消滅している

これらの写真は、写真1と、同じ日時、同じ場所で撮影したものである。写真1, 2, 3と、逃げ水の面積が次第に縮小し、写真4では逃げ水はほぼ消滅しているように見える。これらの写真の撮影時の違いはカメラの高さである。写真1が最もカメラの位置が低く、写真1→写真2→写真3→写真4の順番でカメラの位置を次第に高く構えて撮影したものである（いずれも三脚使用）。

逃げ水が、坂の頂上付近や下り坂の途中で見え易いという事実と、カメラの高さが低い方が見えやすいという事実は、逃げ水のある共通の重要な性質を示している。それは、逃げ水は、道路表面の接平面とそこを見ている観測者の視線とがなす角度が、ある大きさ以下になったときに現れる、という重要な法則性である。

3. 逃げ水の物理

逃げ水現象が起きている道路近くの空気の光学的な状況として、路面近傍における空気の屈折率が、路面に平行な方向にはほぼ一定であるが、路面に垂直な方向にはかなり大きな勾配が存在すると仮定しよう。その場合、路面に対する入射角が、 $\sin \theta_0 = n_{\text{近}} / n_{\text{遠}}$ ($n_{\text{近}}$ は路面に非常に近い場所の温かい空気の屈折率、 $n_{\text{遠}}$ は路面から十分離れた場所の冷たい空気の屈折率) を満たす θ_0 以上である場合、光は全反射する。この反射光が観測者の目に届いたものが逃げ水であると考えられないだろうか。

写真1～写真4の撮影時の条件で全反射の臨界角を求めてみる。前ページに示した考え方に基づき相対屈折率を0.99999とおくと、全反射の臨界角は $\sin^{-1} 0.99999 = 89.744$ 度である。観測者の視線の向きで言えば0.256度の伏角となる。感覚的に分り易くするために距離に直すと、観測者の視点の高さが1.0mのときに、観測者の足元から224m先の水平な路面に全反射が起こることになる。これは実際の感覚にかなり近い。

また、逃げ水の“水たまり”は全体的にかなり輝度が高く、縁がくっきりしていることが多いが、全反射であるとすれば自然と理解できる。さらに、“水たまり”以外の部分がアスファルトの灰色しか見えない理由も、臨界角以下で入射した光は、非常にわずかな割合だけが反射され、残りの大部分は屈折しアスファルト路面の表面へ到達し、さらにアスファルト路面表面で光があらゆる方向に乱反射されて、そのうちの一部が観測者の目に届いていると考えるとうまく説明がつく。

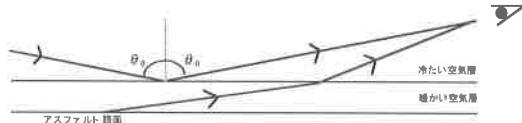


図2：暖かい空気層による全反射の説明

図2は、上に説明したことを簡略化し誇張を加えて書いたものである。しかし、この図にあるような、暖かい空気層と冷たい空気層との間に明瞭な境界面があるのかと問われれば、そのような境界面はないとか答えようがない。しかし、明確な境界面がないとしても、本質的に反射と同じ現象が起きているのではないだろうか。

色々文献調査をしているうちに、ようやく『物体から下向きに出た光線が、上層の密度の高い空間から下の低密度の層に入るにつれて屈折し、しだいにその傾斜角がゆるくなる。そのうちに、ある空気層に対して臨界角以下の角度で光が当たるようになり、全反射する。するとその光は下から上へ向かうような角度で人の目に達する。』と記述している書籍を見つけた³⁾。かなりの説得力を感じる。そこで、先の臨界角の計算式 $\theta_0 = \sin^{-1} (n_{\text{近}} / n_{\text{遠}})$ は、この説明と矛盾するかしないか、調べてみることにした。

暖かい空気と冷たい空気の間に何層もの中間的な空気層が存在するモデルを考える。光はこれらの空気層の境目毎にわずかに屈折しながら進む。図3は、一番上の層が屈折率 n_1 の冷たい空気層、これに接している層が屈折率 n_2 の少し暖かい空気層、さらにその下が屈折率 n_3 のもう少し暖かい空気層、さらにその下が...というように、少しづつ屈折率が変化

する5層の空気層の構造を示している。

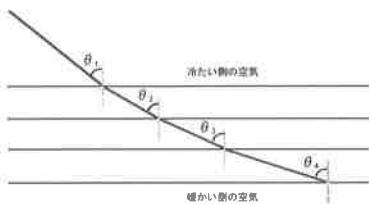


図3：屈折率が階層的に変化している空気層を進む光の道筋

一番上の境界面における光の屈折は、

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \cdots (1)$$

すなわち、

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \cdots (2)$$

を満たしている。同様にして、順次境界面での屈折に際して、

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 = n_4 \sin \theta_4 = n_5 \sin \theta_5 \quad \cdots (3)$$

が成り立つことがわかる。

最後の等式に注目することにより、“媒質4と媒質5の境界面で全反射が起きるための θ_4 の臨界角”は、 $\theta_5 = 90^\circ$ とおいて $\theta_{4\text{臨界}} = \sin^{-1}(n_5/n_4)$ と求まる。しかし、さらに我々は、 $\theta_4 = \theta_{4\text{臨界}}$ のときに θ_1 がいくらになるかに关心を持つことにする。それは明らかに、 $\theta_5 = 90^\circ$ のときの θ_1 を求めることが等価であるから、答えを $\theta_{1\text{臨界}}$ と書いて $\theta_{1\text{臨界}} = \sin^{-1}(n_5/n_1)$ を得る。

この結果は、先の、上空の冷たい空気と路面近くの暖かい空気がひとつの境界面で直接接しているとした単純なモデルの場合の臨界角の式 $\theta_0 = \sin^{-1}(n_{\text{近}}/n_{\text{遠}})$ と本質的に同じである。

この一致はもちろん偶然ではない。なぜなら、(3)式について、最初と最後に注目したとき、

$$n_1 \sin \theta_1 = n_5 \sin \theta_5 \quad \cdots (4)$$

または

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_5} = \frac{n_5}{n_1} \quad \cdots (5)$$

と書けることからもわかるように、 θ_1 と θ_5 の関係は、常に、媒質1と媒質5が直接接していると考えたときの入射角と屈折角の関係に等しいからである。

結論として、路面付近の空気に屈折率のグラデーションがあったとしても、全反射の臨界角に違いはないことがわかった。このことは重要である。

4. 反射層の厚さの問題

逃げ水現象が全反射であるなら、逃げ水に映る像はすべて倒立像になるはずである。一方、蜃気楼によって生じる虚像には正立像と倒立像の2種類があることが知られている。

写真5は、緩やかな下りの右カーブの途中の交差点を、焦点距離400mm相当の望遠レンズで撮影したものである。

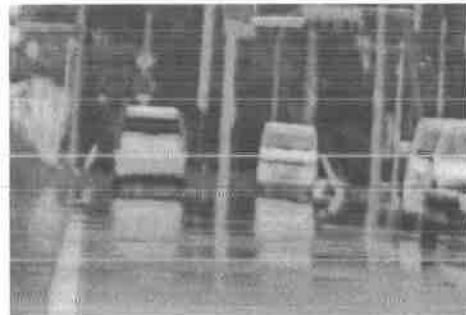


写真5：2011年6月12日大樹町

自動車の倒立像が逃げ水にはっきり映っている。この写真で光は次の図4のような道筋で進んでいると考えられる。

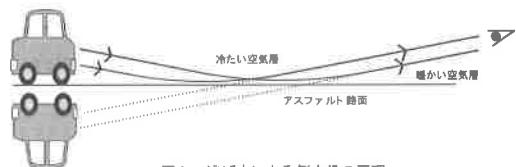


図4：逃げ水による倒立像の原理

屈折率の変化がはっきり現れる“暖かい空気層”的厚みがどの程度なのかは極めて興味深い問題である。

大気の物理的性質の安定度と路面からの距離とは、多分、逆の相関関係にあるだろう。また、逃げ水に映る像は、比較的輪郭がはっきりしているものが多い一方で、路面の傾斜に対して極めて敏感に変化する。これらのことから考えて、この空気層は舗装路面に対して、かなり厳密に平行でありかつ極めて薄いと想像される。写真1～4のように温度差が10度の条件でも逃げ水が観察されるということから見て、この

厚みはmm程度ではないだろうかと筆者は推測している。

5. おわりに フェルマーの原理との関係へ

最後に、逃げ水とフェルマーの原理の関係について考察しておく。

フェルマーの原理とは、2点を通る光は、可能な経路のうち最短時間でいるような経路を伝搬するというものが、実は“最短”時間でなくとも“極小”時間となる経路であれば光は進むことができる。

図5のような、光源から観測者の目まで直進する光の道筋Iと、途中路面近傍の暖かい空気層で全反射されて観測者の目に届く光の道筋IIを考えてみる。

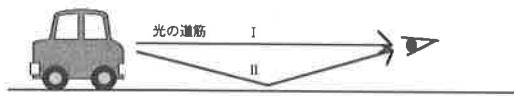


図5：フェルマーの原理との関係

計算してみると、光の道筋Iを進む光は、光の道筋IIを進む光よりもかなり早く観測者に届くことがわかる。しかし、今の場合、そのことはあまり問題ではない。重要なことは、光の道筋Iは、光の道筋Iとわずかに異なる他の仮想的な経路を光が進む場合よりも明らかに所要時間が短いということである。すなわち時間は極小である。故に光は道筋Iを進むことができる。

次に、光の道筋IIの場合を考える。もしこの経路が“反射の法則を満たしている経路”すなわち入射角=反射角の関係を満たしているのであれば、光の道筋IIとわずかに異なる他の仮想的な“反射の法則を満たさない経路”を光が進むのに比べて所要時間は同じかまたはより短くなることが証明できる。したがって、時間は極小である。故に、実際に光は道筋IIを進むことができる。

結局、光は、光源を出発し観測者の目まで届くときに、道筋Iと道筋IIの両方を進むことができる。写真5の中で上下に対で見える自動車の映像は、まさしく光の道筋Iと光の道筋IIを通って届いたそれぞれの像である。本来ひとつの物体が2つに分かれて見えてるのは、物体から出発した光が2つの異なる経路を通って届いたからに相違ない。

このことは逃げ水を見たことのある人であれば誰でも知っている当たり前のことではあるが、しかし、考えてみると、最初に述べたような、世間でよく語られる逃げ水の原理ではうまく説明ができないことに気がつく。

なぜなら、仮に、逃げ水が、光源から出発した光が、観測者の目まで直進するよりも、図1のように屈折しながら進んでくる方が“所要時間が短い”ことから起こる屈折現象であるとするならば、観測者に見える物体の像是逃げ水に映る方のひとつだけということになるだろう。しかし、これは事実に反する。したがって、この説明は誤りということになる。

参考までに音波の場合を考えてみよう。温度差のある空気中を音波が屈折しながら伝わる場合は、音源を出発したひとつの音は、観測者のところでも通常ひとつにしか聞こえない。したがって屈折の説明で問題はない。一方、こだまの場合は、音源で発した音はひとつでも、聞こえる音は2つ以上になるが、こだまは音の反射であるのでこれも問題はない。

逃げ水現象は、光の屈折で説明するよりも、全反射の一例として説明する方が、高校生にも一般にもより理解しやすいのではないかというのが筆者の至った結論である。読者諸氏のご意見をいただければ幸いである。

引用文献

- 1) 例えば、若木守明、横田英嗣：『光学のすすめ』オプトロニクス社 (1997) 第16章 p.229
- 2) 例えば、<http://optica.cocolog-nifty.com/blog/2009/11/post-7918-1.html>
- 3) ピリモヴィッチ：『続 物理のびっくり箱』東京図書 (1980) p.109-111

生徒の興味・関心をくすぐる非科学的教材開発の試み (「じゃんけん」と「力学的エネルギー」)

札幌第一高等学校 山田 高嗣

キーワード 力学的エネルギー、重力による位置エネルギー、じゃんけん、高さ、体重

1. はじめに

力学的エネルギーには、運動エネルギーと位置エネルギーがあり、高等学校教育「物理Ⅰ」¹⁾においては重要な学習項目となっている。この力学的エネルギーのうち「重力による位置エネルギー」は、物体が高い位置にあると他の物体に対し仕事をする能力をもっていることを意味し、本研究では、高さに着目したエネルギー概念を学習させたいと考えている。そこで、高さの違いを意識するような題材を検討した結果、ある仮説を立てることとした。その仮説とは、「高い位置にいる人の方が、重力による位置エネルギーが大きいので、じゃんけんが強い。」である。本研究の目的は、上記の仮説を証明することではなく、この仮説による実験作業により、重力による位置エネルギーは高さに依存するという点を意識付けることにある。

2. 方法

2年生対象「物理Ⅰ」の授業において、予め重力による位置エネルギーはもちろん、力学的エネルギー全般を理解させる。その後、仮説「高い位置にいる人の方が、重力による位置エネルギーが大きいので、じゃんけんが強い。」を提示し、興味または疑問を持たせる。

次に、2人組または3人組を作り、以下の手順で「実験A」を実施する。また、実験Aの様子を図に示す。

- 手順①椅子などを用いて高い位置と低い位置に分かれ
る。高さの差は100cm～150cm。
②じゃんけんを行い、勝敗を記録する。ただし、引き分けは記録しない。
③位置を交代し、同じ回数でじゃんけんを行い、再び記録する。
④記録した結果を表にまとめる。



図 実験Aの様子

実験終了後の生徒の感想から、実験方法に関する改善案が出てきた。そこで、以下の条件を設定し、3人組となり、再び実験Aと同様に行った。この実験を「実験B」とする。

- 条件①質量による力学的エネルギーの差が出ないよう
に、体重はほぼ同じ人同士とする。
②じゃんけんの動作の際、運動エネルギーの差が出
ないように、手を振らずに行う。
③位置の高さの差を一定値の約130cmとする。
④心理的な要因を減らすために相手の手を見ないで
行う。2人がじゃんけんを行い、もう一人が記録
を取る。

3. 結果

実験Aにおける結果を表1に示す。実施日や実験者を変えながら計6回の授業で実施したが、勝ち数と負け数の差は、実験No.4で最大となり、低い位置の方が44回多く勝っている。逆に、実験No.3では高い位置の方が39回多く勝っている。合計すると1192回と1219回で、わずかであるが低い位置の方が27回上回った。割合では、高い位置の勝ち数が49.4%、低い位置の勝ち数が50.6%

%となり、これを優位であると評価するのは難しい。

実験Bにおける結果を表2に示す。1クラスを3班に分けて実施したところ、全ての班において低い位置の方が多く勝ち、合計すると482回と518回で、わずかであるが低い位置の方が36回上回った。割合では、高い位置の勝ち数が48.2%、低い位置の勝ち数が51.8%となり、実験Aよりもさらに差が開いたが、これを優位であると評価するのは難しい。実験後の生徒の感想を聞く限り、じやんけんの勝ち負けの確率は五分五分だと言えるのかもしれない。

表1 実験Aにおける結果

実験No.	実施日	実験者数	高い位置の勝ち数	低い位置の勝ち数	勝ち数差 (高い位置 - 低い位置)
1	2009年6月30日	41人	51	88	-37
2	2009年7月23日	13人	39	41	-2
3	2009年9月19日	10人	282	243	39
4	2010年7月12日	20人	453	497	-44
5	2010年7月12日	30人	307	293	14
6	2010年6月22日	34人	60	57	3
合計		148人	1192 (49.4%)	1219 (50.6%)	-27

表2 実験Bにおける結果

班	実施日	実験者数	高い位置の勝ち数	低い位置の勝ち数	勝ち数差 (高い位置 - 低い位置)
1	2009年9月19日	3人	160	173	-13
2	2009年9月19日	3人	165	169	-4
3	2009年9月19日	4人*	157	176	-19
合計		10人	482 (48.2%)	518 (51.8%)	-36

*4人の班は、2人が実験を行い、残り2人が交代で記録を取った。

4.まとめ

仮説の実証実験を行うことにより、生徒達は高さの差を意識するようになり、そこから重力による位置エネルギーを考える機会となった。特に、教師側から条件設定を厳密に決めずに行ったところ、様々な疑問や意見が出され、質量や速さによる力学的エネルギーの違いを意識するようになり、実験Bの条件のような新たな提案が生まれ、さらに詳細な実験を行うことができた。今回の実験を通じ、物理学実験で大切な条件設定を考える良い機会にもなったことは評価できる。

その後、修学旅行期間中に自由課題を出したところ、55人中、6名がじやんけんと力学的エネルギーをテーマに実験を行い、レポートを提出している。特に、北海道と沖縄での実験を比較した点は、両地点の重力加速度の違いを考えると、興味深いレポートであった。

今後は、高さの差を10mスケールに設定したり、質量、重力加速度、速さの依存性についても考察できる実験を行ったりと、様々な課題に発展させていきたい。特に、生徒自身から新たな課題に気がつくように導いていきたい。

参考文献

- 1) 高等学校「物理I」、東京書籍、2011

「投げ捨て楽器」の製作と活用

(より正確な音程を目指して)

北海道釧路湖陵高等学校 福田 敦

金属棒などを適当な長さに切って床などに落とすとその長さの方向に対する横振動が生じる。ここでは真鍮パイプの音程と管長の関係を調査し、そのデータを公開すると共に、授業での活用を報告する。

キーワード バンジーチャイム、固有振動、音階、データ公開

1. はじめに

金属棒などを適当な長さに切って床などに落とすと、特定の振動数で音が発生する。これは以前から知られている実験だが、NPO 法人「楽知らん研究所」ではこれに《バンジーチャイム》というセンス抜群のネーミングを施し、「大道仏説実験」のコンセプトの元、多くの科学イベントにおいて観客に感動を与えていている。筆者も一度、その素晴らしいステージを見る機会があったが、ユーモア溢れる口上と見事な演出、また観客が 1 音ずつ担当して順番に落下させることで演奏する「星に願いを」や「喜びの歌」の美しさと楽しさは忘れ難いものがあった。

ぜひこの楽器を教材として授業に取り入れようと思ったが、残念ながら十分なデータが無かった。そこで自分でデータを取ることにした。どうせなら他楽器と合奏できるくらい正確な音程を実現したい。

本稿では、音色が特にきれいな真鍮パイプを使用し、できるだけ正確な音程を出すことを目指して調査し、そのデータをここに公開する。筆者と同じ材料を使って、データどおりの長さに切れれば、ほぼこの通りの音を奏でるだろう。授業や科学イベントなど、場面に応じて活用していただければ幸いである。

2. 製作法

材料は金属パイプのみ。道具はパイプカッター、定規、金属ヤスリを準備する。金属パイプは真鍮（外径 8mm 厚さ 0.5mm）が良い音であり、また切り易い太さもある。材料は水マックで購入すること。外径・厚さが同じでも製造元が違うと音程が変わってしまう。

パソコンの音声解析ソフトを使用し、440Hz(A4: ラ音)を基準とした平均律音階と管長との関係を調べた。

まず 440Hz の 2ⁿ倍の振動数（つまり n オクターブ上の音）である 880.00Hz(A5: ラ音)、1760.0Hz(A6: ラ音)、3520.0Hz(A7: ラ音)、7040.0Hz(A8: ラ音)と近似する振動

数の管長を実測した。それぞれのデータは以下のようであった。

音名および 振動数の理論値	対応する管長(L)
A6 ラ音 1760.0 Hz	13.81 cm
A7 ラ音 3520.0 Hz	9.64 cm
A8 ラ音 7040.0 Hz	6.68 cm

A6 ラ音(1760.0Hz)の管長を 13.81cm とすると、他の各音の振動数を f とした場合その管長 L は次のように計算される。

$$L = \sqrt{\frac{1760.0[\text{Hz}]}{f[\text{Hz}]}} \times 13.81[\text{cm}]$$

例えば A6 ラ音より 1 オクターブ高い A7 ラ音(3520.0Hz)の管長 L は、

$$L = \sqrt{\frac{1760.0[\text{Hz}]}{3520.0[\text{Hz}]}} \times 13.81[\text{cm}] \approx 9.77[\text{cm}]$$

となる。しかし表に示したように、実際に振動数を測ると 9.64cm が A7 ラ音に最も近かつた。

このように、1 つの正確な音を発する金属パイプがあつても、それに基づいて上記のような式で他の音を求めたとき、ズレが生じてしまい、正確な音程が実現しない。

そこで、Excel を使用して、まずラ音のデータと式を元に、すべての音程について仮の管長を計算した。

次に、実際に切り出して音を出し、そのスペクトルを調

べ、金属ヤスリで長さを微調整し、標準の平均律音階に近づけた。管長はノギスで実測した。

その結果、各音の管長は右表のようになった。音感のいい人が聞いても納得できるくらいの正確さが実現したと考えている。

3. 製作のコツ

実際にパイプを切るときは、表中の値の小数第2位を四捨五入した値を目指せばよい。パイプを切るときは定規(曲尺かノギスが便利)で切るポイントを決める。しかし、そのポイントにパイプカッターの円刃を当てて切ると管長が僅かに短くなってしまうので、ポイントよりも0.5–1.0mmくらい長い所に円刃を当てて切断すること。そして音を確かめながら金属ヤスリで少しづつ削っていくとよい。パソコンでスペクトルを確認しながら調整すると正確な音程が実現する。

切った後や削った後にできるバリ(切り口にできる金属のささくれ立った部分)は、音程の調整後に削り取ったのでよい。バリの有無は音程には全くと言っていいほど影響がないためである。

4. 授業での活用

授業では、生徒一人一人に真鍮パイプを与え、互いに長さの違いを確認させた後、床に投げさせた。管長の僅かな違いが、明らかな音程差になることを実感させた。また、金属パイプのように大きさの無視できない物体の場合は、複数の物理的要因が重なって固有振動が決まること、バネのように一次元的に把握できないことを教えた。例えば、振動数が2倍大きい場合(つまり1オクターブ高い)管長は $1/2$ 倍ではなく $1/\sqrt{2}$ 倍である。管長を $1/2$ にすると2オクターブ高い音になる。

授業の最後には、楽知ん研究所のマネをして生徒に1本ずつ持たせ、順番に落下させて「きよしこの夜」などを演奏した。生徒らは非常に感動した様子だった。



図1 パイプカッター。円刃とローラーで金属パイプを挟み、回しながら切断する。

真鍮パイプ(外径8cm 厚さ0.5mm)について

国際表記(音名)	理論的振動数[Hz]	対応する管長[cm]
C6 (ド)	1046.5	18.1
#C6 (#ド)	1108.7	17.45
D6 (レ)	1174.7	16.85
#D6 (#レ)	1244.5	16.45
E6 (ミ)	1318.5	16.00
F6 (ファ)	1369.9	15.56
#F6 (#ファ)	1480.0	15.10
G6 (ゾ)	1568.0	14.64
#G6 (#ゾ)	1661.2	14.21
A6 (ラ)	1760.0	13.81
#A6 (#ラ)	1864.7	13.34
B6 (シ)	1975.5	12.97
C7 (ド)	2093.0	12.60
#C7 (#ド)	2217.5	12.24
D7 (レ)	2349.3	11.88
#D7 (#レ)	2489.0	11.52
E7 (ミ)	2637.0	11.20
F7 (ファ)	2793.8	10.83
#F7 (#ファ)	2960.0	10.54
G7 (ゾ)	3136.0	10.21
#G7 (#ゾ)	3322.4	9.91
A7 (ラ)	3620.0	9.64
#A7 (#ラ)	3729.3	9.34
B7 (シ)	3951.1	9.05
C8 (ド)	4186.0	8.83
#C8 (#ド)	4434.9	8.54
D8 (レ)	4698.6	8.29
#D8 (#レ)	4978.0	8.03
E8 (ミ)	5274.0	7.78
F8 (ファ)	5587.7	7.52
#F8 (#ファ)	5919.9	7.34
G8 (ゾ)	6271.9	7.11
#G8 (#ゾ)	6644.9	6.87
A8 (ラ)	7040.0	6.68
#A8 (#ラ)	7458.6	6.48
B8 (シ)	7902.1	6.29
C9 (ド)	8372.0	6.08

5. 振動数と管長の関係について

5. 1 概要

この実験では、金属パイプを床と衝突させることでパイプに横振動が生じ、音が発生している。

床と衝突するときに金属パイプは床から力を受けるが、その力によってパイプには変形が生じ、またそれが復元しようとするので、結果的に単振動が生じる。

$$-kx = -m\omega^2 x \quad (1)$$

ただし、 k は弾性定数、 x は変位、 m は質量、 ω は角振動数である。

また角振動数の定義から

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

である。

式(1)および式(2)から、振動数は次のようになる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$

式(3)より、ある長さの金属パイプの振動数は、 k と m によって決まる、ということができる。

5. 2 k と m について

材料は一様な金属パイプなのでその質量 m は長さに比例する。

弾性定数 k については、少し説明を要する。金属パイプは「大きさのある物体」なので、 k は一次元的なバネのように単純に捉えることができないからである。

実際には、次の①～③の3つの要因が重なることで k は決まる。例として「パイプの長さが $1/2$ になったとき振動数は何倍になるか」について以下に述べる。

- ① 長さが $1/2$ になったのだから弾性定数は2倍。(つまり短いバネほどバネ定数は大きいということ。)
- ② ①に加えて、力のモーメントが働くので長さが $1/2$ 倍になった分さらに2倍の力が必要。(つまり腕の長さが半分になったのだから力は2倍必要である。)
- ③ パイプに沿って2倍の伸び縮みがある。(パイプが弧状に曲むとき、パイプには厚さがあるため上半分が伸びれば下半分は縮む。)

以上より、長さが $1/2$ になると、長さが1のものと比べてトータルとして8倍の力が必要になる。

式(3)の k に $8k$ を代入し、 m に $\frac{m}{2}$ を代入すると、

$$f' = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8k}{\left(\frac{m}{2}\right)}} = 4f \quad (4)$$

となり、長さが $1/2$ になると4倍の振動数(つまり2オクターブ高い音)になる。

参考文献

- 1) 愛知・岐阜・三重物理サークル編『いきいき物理わくわく実験2』日本評論社
- 2) 小出雅之『バンジーチャイム演奏会 上演MEMO』楽知ん研究所
- 3) 国立天文台編『理科年表』丸善
- 4) フレッチャー、ロッシング著『楽器の物理学』シュプレンガー・フェアラーク東京
- 5) 使用ソフトウェア
SignalScope version 1.8.3(for Mac OS X)
Excel for Mac

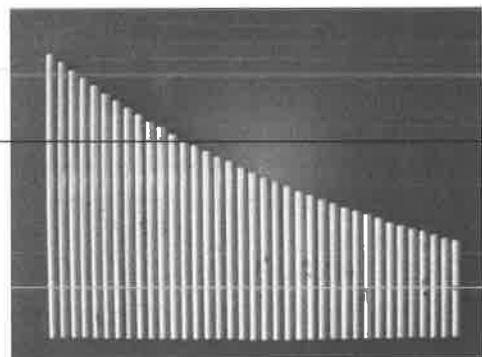


図2 投げ捨て楽器 3 オクターブ分

生徒実験「運動の法則」の目的について (抵抗力をどのように考慮すべきか)

札幌旭丘高等学校 横関直幸

「運動の法則」に関する生徒実験は力学の学習において重要であり、古くより様々な形式のものが実施されている。本校でも水平面において台車に滑車を通しておもりとつなぎ、「質量、力、加速度」の関係を確認する実験を実施している。一方、この実験を運動方程式の検証と位置付けた場合は抵抗力の扱いを無視できず、高度な考察を要求することとなる。この実験において生徒に対して何を求めるかは難しい面がある。今回は、生徒実験の目的について改めて考察する。

キーワード 運動の法則、生徒実験、抵抗力、実験の目的

1. 生徒実験の概要

1.1 実験 I (質量 m と加速度 a の関係)

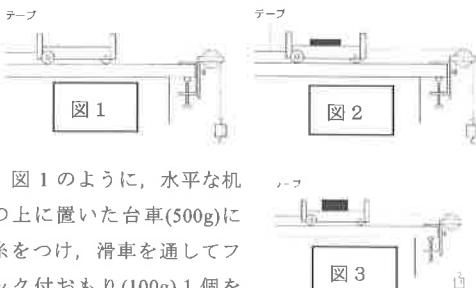


図 1 のように、水平な机の上に置いた台車(500g)に糸をつけ、滑車を通してフック付おもり(100g)1個をつるす。記録タイマーの打点間隔時間を0.1秒にし、台車の運動を記録する。

次に図2のように、台車の上に円盤おもり(250g)を1個載せて、同様の実験を行う。さらに図3のように、台車の上に円盤おもりを加え、同様の実験を行う。

1.2 実験 II (引く力 F と加速度 a の関係)

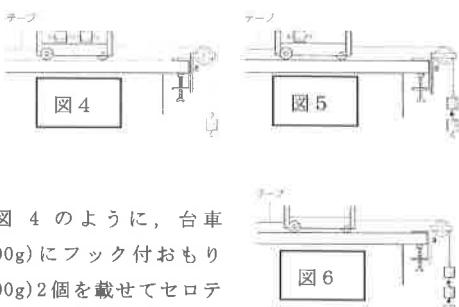
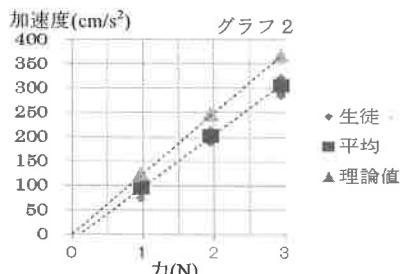
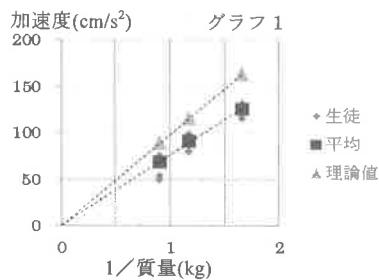


図 4 のように、台車(500g)にフック付おもり(100g)2個を載せてセロテープで固定する。水平な机において台車に糸をつけ、滑車を通してフック付おもり1個をつるし、実験 I と同様の実験を行う。

次に図5のように台車の上に固定したおもり1個、物体を引くおもりの質量を200gに変えて、実験 I と同様の実験を行う。さらに、図6のように台車の上のフック付おもりをはずし、物体を引くおもりの質量を300gに変えて、実験 I と同様の実験を行う。

1.3 結果と考察



実験 I, 実験 II の 6 本の記録テープのデータより時刻 t と速度 v のグラフを描き、グラフの傾きからそれぞれの加速度を求める。結果をグラフ 1, グラフ 2 に示す。「生徒」は各班のデータ、「平均」は各班(1)個のデータ)の平均値、理論値は抵抗力を無視して計算した加速度の値である。

グラフ 1 (実験 I) より、加える力が一定のとき質量 m と加速度 a がほぼ反比例 ($1/m$ と a がほぼ比例) することがわかる。また、グラフ 2 (実験 II) より、質量が一定のとき、力 F と加速度 a がほぼ比例することがわかる。

多くの場合 (本校でもそうであるが)、これで生徒実験の考察は終了する。しかし、実験より求めた加速度は理論値よりかなり小さく、抵抗力の影響は無視できない。

2. 抵抗力を考慮した考察

台車と落下するおもりを合わせた系全体にはたらく抵抗力を f として考えてみると、運動方程式は

$$(m+M)a = mg - f \text{ となる。よって、}$$

$f = mg - (m+M)a$ に実験データを入れて抵抗力 f を計算すると以下の表 1 の通りとなる。

表 1

	実験 I (力一定)			実験 II (全質量一定)		
	(1) kg	(2) kg	(3) kg	(1) kg	(2) kg	(3) kg
台車の質量 M	0.50 kg	0.75 kg	1.0 kg	0.70 kg	0.60 kg	0.50 kg
おもりの質量 m	0.10 kg			0.10 kg	0.20 kg	0.30 kg
加速度 a の実験値	1.26 m/s^2	0.91 m/s^2	0.69 m/s^2	0.94 m/s^2	2.02 m/s^2	3.06 m/s^2
抵抗力 f の計算値	0.22 N	0.20 N	0.23 N	0.23 N	0.34 N	0.49 N

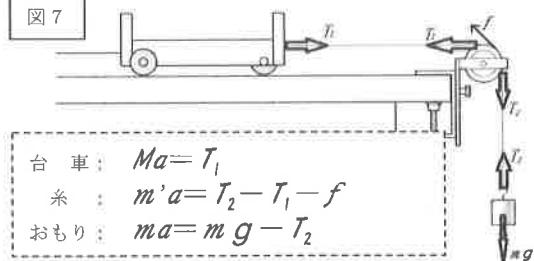
実験 I の(1)から(3)の結果から、台車の質量は抵抗力に影響していないことがわかる。台車が机面から受ける動摩擦力は垂直抗力に比例するので、机面から受ける動摩擦力の影響は小さいと考えられる。よって、滑車部分 (滑車と糸、および滑車と回転軸) にはたらく摩擦力が実験結果に影響している主たる抵抗力と考えられる。

図 7 には台車、糸 (質量 m' とする)、おもりにはたらく力を考え、運動方程式を示した。

摩擦力 f と、糸が滑車から受ける垂直抗力 N の合力が抗力 R である。また、抗力 R と張力 T_1 , T_2 とのつりあ

いの関係より、 $R = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}$ となる。

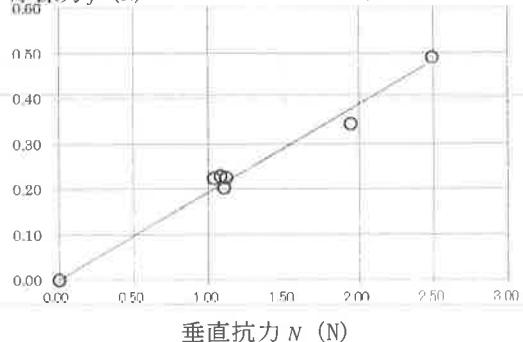
図 7



M, M, a の実験値と、先に示した運動方程式より N を求め、 f との関係をグラフ 3 に示す。このグラフから N と f は比例関係にあることが確かめられる。グラフの傾きより、動摩擦係数はおよそ 0.2 と考えられる。

摩擦力 f (N)

グラフ 3



3. この生徒実験の目的は何か

今回の実験は「抵抗力を求める」、あるいは、「摩擦係数を見積もる」といった考察と関連させた、運動方程式を応用 (利用) した実験と考えた方が学習の目的がはっきりすると思われる。

この実験では 6 本の記録テープを処理しなければならない。「力が一定のとき質量と加速度が反比例し、質量が一定のとき力と加速度が比例する」ということを確かめる作業としては、たいへんな手間がかかる。さらに、運動方程式の検証を目的とした場合は、抵抗力の存在を無視することはできない。よって、今回の実験を $ma = F$ の関係を確かめる検証実験と位置付けるのには、やや無理があるといえる。 $ma = F$ の関係を手軽に検証する実験がないのが現状ではないか。

参考文献

- 1) 啓林館 高等学校物理 I 改訂版
- 2) 数研出版 改訂版 高等学校物理 I

物理実験ワークショップによる探究活動の展開

北海道函館稲北高等学校 福士 公一朗

生徒が主体的に実験テーマや実験方法等を創り出し、上級生がファシリテーターとして下級生と共に探究活動を行うワークショップを実施している。この取組は、教科経営的視点から教科としての取組として位置づけ、継続的に行われている。この取組が、思考力・判断力・表現力を基礎とした確かな学力の向上に寄与するものであるか、生徒及び教員相互による授業評価により検証する。

キーワード ワークショップ 探究活動 確かな学力 授業評価 教科経営

1. はじめに

物理概念を理解させ、科学的な態度を育成するために、実験の果たす役割の重要性は言うまでもない。しかし、事前に準備された実験装置を使い、指示どおりの手順を繰り返すだけの実験では、そこに発見や探究する喜びを見いだすことは難しくなる。これでは、授業目標を十分に達成することは困難となる。ここでは、生徒が主体的に実験方法を考え、上級生が下級生に物理概念を説明し、生徒が協力して探究活動を行うワークショップを実施することで、物理概念の定着と、生徒の思考力・判断力・表現力を基礎とした確かな学力の向上を目指す取組について報告する。

本校では、平成18年度以降、知識基盤社会を生きる力を育むため、確かな学力を向上させる様々な取組を行っている。¹⁾ 本実践も、その一環として位置づけられ、平成21年度から継続している。

2. 探究活動の過程

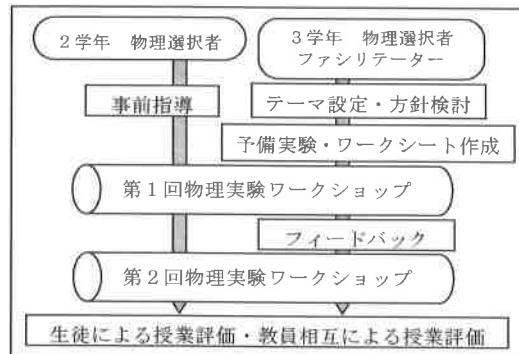


図1 実践計画

探究活動の過程は図1のとおりである。3年生がテーマ設定から、実験方法、ワークショップの運営方針までを考え、その準備と予備実験のために約5時間を費やす。その期間、教科担任は、アドバイザー役として準備の支援に当たる。第1回目のワークショップを実施した後、3年生は内容の修正を行い、日を改めて第2回目のワークショップを実施する。2年生には事前指導を行うとともに、第1回目と第2回目で異なるテーマのワークグループに所属することとしている。また、ワークショップ終了後には、生徒による授業評価と、教員相互による授業評価を同時にを行い、次年度のシラバスに反映させるなど、授業改善に努めている。

3. 実験テーマの設定

実験テーマは年度によって異なるが、平成22年度のものを表1に掲げる。3年生はワークグループを運営するファシリテーターとして、テーマの設定、ワークシートの作成、物理概念の説明、実験方法までを主体的に担うことになる。同時に、2年生の物理選択者にはワークショップの意義付けを行うなど事前学習を実施する。

実験テーマ	実験目的
浮力	アルキメデスの原理を検証する。
静電気	静電気の性質を知る。
身のまわりの物理	身のまわりで起こる現象を物理的に考察する。
浮力と水圧	溶液と浮力・水圧の関係を検証する。
波	波の性質を知る。
熱力学の第2法則	不可逆変化について考える。
運動の法則	磁石にかかる力を考察して運動について考える。
光の散乱	空の色について考察する。

表1 ワークグループ実験テーマ（平成22年度）

3年生が準備すべきことは主に次のとおり。

- ・ワークシートの作成
- ・プレゼンテーション用フリップボードの作成
- ・実験装置の準備
- ・実験方法（2年生が行う手順）の検討

教科担任は、準備期間中に生徒の質問や相談に応えたり、必要となる器具を用意したりと、できるだけ生徒のアイディアを尊重する姿勢を維持する。生徒は実験装置や方法を工夫しながら予備実験を進め、ある程度のデータが取れる段階になると、2年生にどのような役割分担をして、実験を進めればよいかを検討する。この段階になると、3年生は実験目的と授業目標の関係を意識するようになる。予想したデータを取得することができて実験が完了したとしても、そこから何が分かるのか、何を検証する実験なのかを、何度も生徒同士で話し合いながら試行錯誤が繰り返される。説明方針が変化すれば、当然のようにプレゼンテーションの内容にも修正が求められることとなる。3年生は、自分たちが理解していると思っていた物理概念について、その理解が十分ではなかったこと知るとともに、理解していることを人に説明するのには、論理の構築や説明の技術などが必要であることを実感するのである。

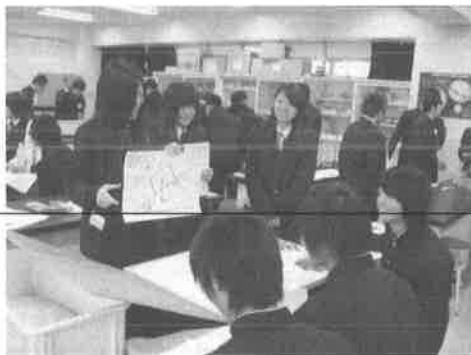


図2 2年生に原理を説明するファシリテーター



図3 2年生に実験手順を説明するファシリテーター

4. 生徒による授業評価

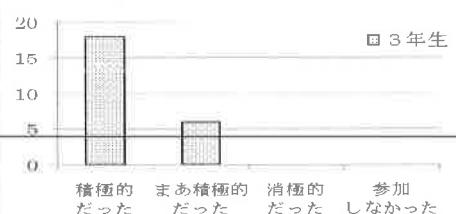
本校では、「稜北モデル」と名付けられた目標管理手法を用いた授業評価システムを開発し、生徒による授業評価と教員相互による授業評価を学校全体で組織的に実施している。²⁾ 本ワークショップにおいては、生徒による自己評価にとどまらず、3年生と2年生が互いに評価し合う相互評価も取り入れている。また、授業を公開することで教員相互による授業評価も行っている。評価項目は授業目標の達成度を評価することに重点を置き設定している。以下、平成22年度における評価結果を抜粋して記載する。なお、グラフの縦軸は人数である。

4. 1 主な評価項目と評価結果

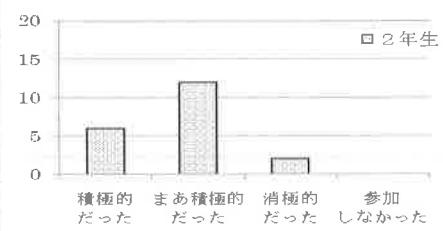
・ワークショップへの取組姿勢について（自己評価）

3年生の自己評価結果から、3年生が5時間かけて積極的にワークショップの準備をしたことが伺える。実験器具や実験方法を生徒自身が試行錯誤しながら作り上げたという経験が、この評価結果につながっているものと考える。一方、2年生の評価が3年生に比較して低めであるのは、ファシリテーターとして活動した3年生に比べ、2年生は受動的にならざるを得なかったからであろう。自己を客観的に見つめ、冷静な自己評価をしているものと判断できる。

1-(1) 実験の企画に積極的に取り組んだ



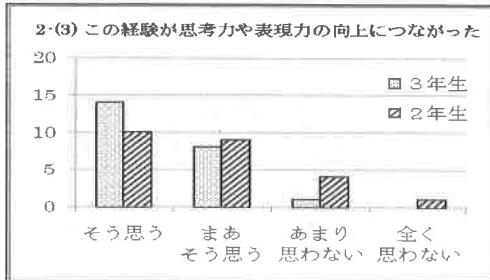
1-(2) 考察や実験に対する質問を積極的に行った



・思考力や表現力の向上について（自己評価）

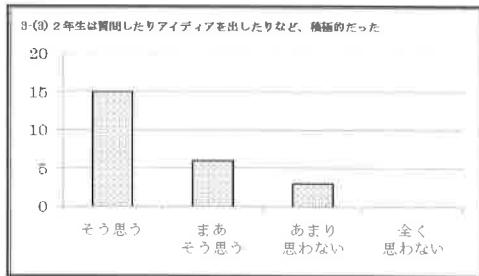
抽象的な項目ではあるが、3年生に比較して、2年生の評価が若干低めに出ていている。これは、2年生が2時間のワークショップに参加した経験から評価をして

いるのに対して、3年生は5時間の準備期間を含めて評価しているためであろう。3年生は、プレゼンテーションと実験方法の工夫改善に伴って、思考力と表現力を問われたと受け止めているのではないだろうか。



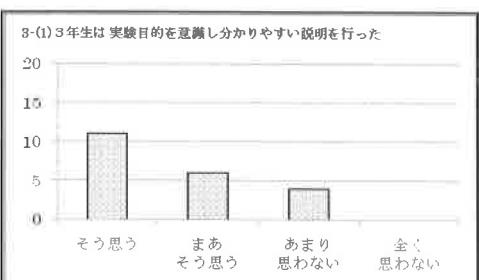
・2年生の取組姿勢について（相互評価）

3年生の2年生に対する評価である。ワークショップでは、2年生が3年生に対して積極的に質問をする姿は見られたものの、アイディアの創出までは難しかったのであろう。



・3年生の取組姿勢について（相互評価）

2年生の3年生に対する評価である。説明の分かりやすさ、実験の指示などについて概ね良好な結果が出ている。しかしながら、2年生が未学習の分野についての説明に苦労したことや、2年生が積極的に質問したことで、3年生がそれに十分に対応しきれなかったことなどが評価に影響を及ぼしている。



・2年生に対する説明で苦労した点（3年生）

- ・グラフの書き方
- ・反応がよいグループとそうでないグループがあった
- ・2年生が習っていない分野があった

3年生がプレゼンテーションに苦労したことが伺える。2年生の知識量や反応を考慮しながら説明をする難しさを感じたのであろう。

・1回目のワークショップから工夫改善した点（3年生）

- ・説明を分担し、段取り・話し方・内容を変えた
- ・1回目で質問されたことを、2回目の説明に加えた
- ・実験器具でうまくいかなかつた部分を改良した
- ・2年生の役割分担を考えた

1回目のワークショップにより学んだことをフィードバックして2回目に取り入れる傾向が明確に表れている。2回のワークショップを設定した成果のひとつがここにある。

・3年生がワークショップを通して学んだこと（3年生）

- ・自分たちが分かっていると思っていたことが、実はよく理解していなかったこと
- ・人に説明することが、予想以上に難しいこと
- ・実験をすることで、原理の理解が深まった
- ・実験には失敗がつきものだということが実感できた
- ・この経験で知識が深まり、受験にも役立つ
- ・グラフの書き方を改めて学んだ
- ・日常で仕事（W=F x）をしていることが実感できた
- ・自分で説明をしてみて、教師のすごさが分かった
- ・プレゼンテーション能力が高まった
- ・時々、生徒は分かったふりをすることが分かった

3年生が自身の理解不足を実感し、それが深まったと感じている。また、「実験は、準備された手順に従い予想された結果ができることが成功であり、その結果がでないことが失敗である」という単純な認識（実験観）を変えることができた可能性も見える。さらに、身近な物理、表現力向上、受験などに対しても、有効な機会として捉えていることが分かる。コメントの中にある「グラフの書き方」については、本校1年次「理科総合A」の授業で『知の構成』を用いた組織的な学習を展開している。³⁾

5. 教員相互による授業評価

本ワークショップは、平成21年度には校内の公開授業として、平成22年度には本校を会場に開催された渡島管内高等学校学習指導研究会における公開授業のひと

つとして位置付けられた。研究会では、本校教員に加えて参加校からの教員が参観する中で、教員相互による授業評価を実施した。以下、評価結果について授業参観者からのコメントを抽出して報告する。（本校所定の評価シートは学習指導案や、数値による評価項目も含んでおり、本校Webページからダウンロードできる。）

・生徒の授業目標到達状況について

- ・生徒による授業評価の結果から、概ね目標に到達していると考えられる。
- ・生徒の考案した実験を生徒が説明することで、疑問も持たずに手順どおり行う既成の生徒実験とは別の意義を見いだすことができる。

・授業参観者からのコメント（自由記入欄）

- ・2年生が知らない知識をどうやって説明するか苦労していた。
- ・説明する難しさを実感しているのではないか。
- ・自分で理解することと、相手に説明することが同義ではないことの理解が進む。
- ・今後、3年生同士でプレゼンするなどすれば、知識の共有ができる。
- ・3年生の説明が2年生に誤解を与える危険性もあるため、事後指導が必要になる。
- ・5、6時間の予備実験でここまでできるのは、すばらしい。大変、参考になりました。

・授業参観者からのコメントに対する授業者からの回答

- ・2年生がまだ授業で習っていない分野を除外していない理由は、未知の現象に対しても科学しようとする姿勢を育成したいからである。
- ・ほとんどが演繹的な検証実験である理由は、帰納的な実験では物理現象の法則性を強調しにくいと考えているからである。
- ・3年生のワークグループが相互にプレゼンできれば、さらに知識の共有が可能となるものの、時間の確保が難しいのが現状である。
- ・生徒による説明の不正確さは懸念されるが、正確さを求めるあまり分かりやすさが犠牲となり、結果として生徒の理解や意欲までが減退する危険性を無視することはできない。本ワークショップの取組は、育成したい力の優先順位を強く意識した取組であるといえる。



図4 教員相互による授業評価

6. おわりに

本校の物理選択者は、そのほとんどが大学受験や大学入学後に物理を必要とする生徒たちである。以前、模擬試験の成績が高く、物理概念を理解していると思われる生徒が、授業で解き方や考え方を的確に説明することができないという複数の事例が存在した。その生徒たちは、自分が説明できなかったことに驚きを感じているようだった。この事例は、「知識・理解」と「思考・判断・表現」は相互作用しているものの、それについて適切な教育を展開する必要性を示唆している。物理について、正確で深い理解をするためにも、生徒が主体的に活動し、説明するというアウトプットが必要であると考えたことが、このワークショップを企画する動機になっている。

生徒の確かな学力を向上させるためには、「習得・探究・活用」のサイクルを意識することが必要となる。その意味からも、この取組は単なるイベント的に実施するのではなく、教科経営的視点から授業改善サイクルのひとつとして継続的に展開する必要を感じている。

最後に、この取組が継続的に実践できるのは、本校の金澤恵教諭の協力によるところが大きい、ここに感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 福士公一朗：確かな学力の向上と組織マネジメント，中等教育資料,pp.86～91,2009
- 2) 授業評価に係る実践研究報告,平成22年度北海道函館稲北高等学校研究紀要,pp.84～101,2010
- 3) 北海道函館稲北高等学校理科,実験レポート作成による思考力・表現力の育成について,北海道の理科, No.52,pp.86～93,2009

B B 弾を用いた電気回路モデルによる授業実践

北海道枝幸高等学校 佐藤 草馬

Hokkaido Esashi High School Kakuma Sato

キルヒ霍フの法則を用いて直流回路を解析するときに、電圧と電位、起電力と電圧降下など生徒は混乱することが多い。これを解決するために、水流モデルを参考に、B B 弾を用いた電気回路モデルを製作し、直流回路の具体的なイメージを確立させる授業を展開した。ここでは、生徒の持っていた電気的概念と合わせて授業の実践を報告する。

キーワード 直流回路、電位、電荷、起電力、電気抵抗

1. はじめに

今年度の物理Ⅰは電気分野からスタートすることになったので、4月の授業開きのときに本校2年生の物理Ⅰ選択者22名と3年生の物理Ⅰ選択者3名に電気に関連する概念の把握から行った。ただし、3年生の物理Ⅰ選択者は2年生からの継続履修者である。

方法は、自由記述方式による用語説明をさせるもので、中学理科で学んでいる「電流」、「電圧」、「抵抗」について問うた。また、あわせて「電気」という言葉のイメージも表現させ、生徒が用いている「電気」という言葉の利用について確認した。表は、この結果をまとめたものである。回答No.1～22が2年生、No.31～33が3年の説明である。3年生については、「電流」と「電圧」についての項目のみ記述させた。

「電流」については、電気の流れ、という表現が多く、「電圧」については電気の圧力、「抵抗」については電気の流れを妨げる、という表現が多かった。この結果から分かるように、漢字の意味から推測できる表現が多く、特に「電圧」の概念を獲得していない。(表1)

今回は、この「電圧」を具体的にイメージさせるための教材作りを生徒と共にを行い、授業実践で活用した。

2. B B 弾を用いた教材作り

直流回路において、「電圧」という言葉は「電位差」、「電圧降下」、「起電力」の意味を含んで使うことが多いので、「電圧」の視覚化を図るに当たって、次のように、用語を置き換えて教材作りを試みた。

教材作りを行うときに、生徒理解が深まるかどうか確かめるには、生徒に直接確認することが早道であると考え、昨年度の3年生のA君(筆者が前任校で顧問をして

回答 No	「電流」について 意味を説明	「電圧」について 意味を説明	「抵抗」について 説明	「電気」という言 葉のイメージを説 明
1	電気の流れ	電気の圧力	Ωオーム	光、機械のエネルギー
2	電気の流れ	電気の圧力	Ωオーム	ビリビリするもの
3	電気の流れ	電気の圧力	電気の流れを妨げる物	エネルギー
4	電気の流れ	電気の圧力	Ωオーム	光る物
5	電気の流れ	強さ	電流の流れを阻んだりする	プラスとマイナスの電気を使って、光させる、熱を出す
6	電気の流れ	(未回答)	Ω	ひかる
7	電気が流れている 状態	流れている電気の 強さ	流れれる電気の妨げとなるもの	物を動かすエネルギーとなるもの
8	電気が流れている 量	電気が流れている 場所にかかるてい る力	電気が流れにくくなる障害物	抵抗がなければ流れ続けることができる
9	電気が流れれる	電気の圧力	磁石のNとSを近づけたときの感じ	ビリビリする
10	電気が流れること	電気にかかる圧力	Ωオーム	熱を発している、 バチバチという音のイメージ、明るくなる
11	電気が流れること	電気の圧力、強 さ・大きさ	摩擦とか互いに押し合う力が働いて いること。Ωオーム	暗いところを照らしてくれる
12	電気の通り道	電気の圧力	電気の力を弱める	神より与えられしもの
13	電気の流れる道 のよがなもの	電気の強さ	力に負けないため に力が発生するの が抵抗	使い方により便利 でもあるが危ない ものもある
14	電気の流れる道の よがるもの	電気の量	(未回答)	光を発するもの
15	流れ、ビリビリっ て感じ	圧力、重さって感 じ	Ωオーム	光る系のイメージ
16	流れている電気	それそれの場所に かかる電気	Ωオーム、流れに くくする	プラスとマイナス がある、ビリビリ している、何かを動かす
17	流れる速さみたい 感じ	電気の量といつか 大きさみたいな感 じ	電気が流れれるのを 邪魔するもの	現代には必要不可 欠なもの
18	コイルなどの中で 流れているもの	電気そのもののパ ワーの大きさ	コイルなどを通る ときに電力が若干弱くなること	雷とか
19	そこに流れている 電気の量	電流が流れている 圧力	電流が電圧に速ら おうとする力。Ω	光る、さわると危 ない
20	さわると痛そう	(未回答)	防ぐ	光る
21	(未回答)	電気が流れると きの圧力	電気が通るときの 抵抗	早くで明るい、便 利
22	(未回答)	(未回答)	電流を減らすも の。記号はΩ	先進国での生活や 仕事などに深く関わっているもの
31	流れている	圧がかかるとい う		
32	流れれる	任がかかる		
33	流れれる	圧力がかかる といふ		

表1 電気の用語についてのアンケート結果

電位を視覚的に理解できる電気回路モデルを用いた授業実践

いた理科系クラブに所属し、物理ⅠとⅡを履修した、平成23年3月に卒業した生徒）に昨秋から協力してもらった。起電力を表現するために手回し発電機（ゼネコン）とベルトコンベア方式を用いた部分はA君が考えたアイディアである。生徒から学ぶこともでき、貴重な経験となつた。

回路モデルの製作にあたって今回用いたものを、表2に示す。

項目	材料
電荷	ペアリング研磨 0.20g BB弾 (1050円/3200発 東京マルイ)
抵抗および 導線	灯油ポンプ (105円) 
直流電源	手回し発電機（ゼネコン） ユニバーサルギアボックス（FA-130モータ付き 693円） トラック＆ホイールセット（630円） ユニバーサルプレートセット（378円） (TAMIYA)

表2 直流回路モデル製作の材料

BB弾は100円ショップで手に入る麦茶ポットに入れておくとBB弾を直流回路モデルに供給するときにも使えるので、便利である。100円ショップで購入できるドレッシング容器もBB弾の収納には便利であるが、直流回路モデルに供給するときには目詰まりがしやすく、やや不便であった。

灯油ポンプは、ポンプ、注油管（蛇腹の管）と吸い上げ管（ストレートの管）の3つに切断する。

ポンプはBB弾の受け皿に使う。空気孔のキャップを外して2分の1程度切断し、穴を広げておく。この空気孔が注油管との接続部になる。また、BB弾の目詰まりを避けるためにポンプを4分の1程度に切っておく。以後、切断したポンプ部を「供給皿」と呼ぶことにする。

注油管は凸凹部分が抵抗を表現できるので、ストレートの部分を切り蛇腹の管だけにする。ポンプ（供給皿）の空気孔を注油管に差し込むことで、BB弾を流し込みやすくなる。

BB弾を受け皿に運ぶベルトコンベアは、トラック&

ホイールセットに入ってる走行用ベルトにアルミ板を曲げたものをホットボンドで固定し作成する。工作用の走行用ベルトは簡単に着脱でき長さを調製しやすいが、長いほど振動が大きくなるので、BB弾を安定的に供給皿に供給するためにはまだ工夫の余地が残る。

ギアボックスをユニバーサルプレートに固定し、モーターにゼネコンを取り付ける。滴定スタンドなどを利用し供給皿の高さや注油管の傾きを調製し直流回路モデルにする。（写真1）

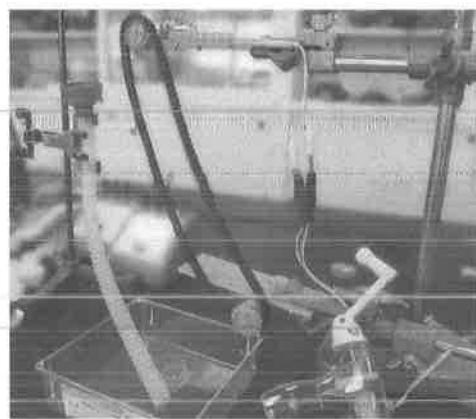


写真1 BB弾を用いた直流回路モデル



3. 授業展開において

3. 1 電気回路の視覚化

電気回路モデルを視覚的に提示するために、電気分野の用語を力学の用語と対比させて取り扱った。（表3）これは、BB弾の移動が落下運動になるので視覚的なイメージを落下運動に重ねることで「電圧」や「電流」のイメージを具体的にできる効果があった。

電気分野	電荷	電流	電位	電圧	起電力
力学分野	BB弾	BB弾の移動	机から	高さの差	ゼネコンを回す力

表3 電気用語の置き換え

授業では、直流回路モデルの受け皿の高さを変え、BB弾を流し込むときに、BB弾の移動が電荷の移動、すなわち電流となり、受け皿の高さが電圧になっている、と説明するだけで、生徒は視覚的なイメージを得ることができていた。また、ゼネコンを生徒に回させて、BB弾を上昇させることで、起電力によって電荷が高電位に移動していることを体感させることができた。さらに、

生徒は「ピタゴラスイッチみたいだ」と、強い関心を示していた。

注油管を2つ接続し長さを変えることで抵抗が変化し、B B弾の移動に時間がかかる、つまり電流が流れにくくなることも視覚的に理解していた。また、吸い上げ管を用いると凸凹が少ないため、B B弾の移動がスムーズであることから、抵抗が小さいことも視覚的に訴えることができる。

この視覚的な効果によって、電流、電位、電圧の用語の説明で、生徒の表現に変化が見られた。4月に実施した同様の記述式アンケートを夏休みの宿題に課し、夏休み明けの8月中旬に提出した結果をまとめたものが図4である。

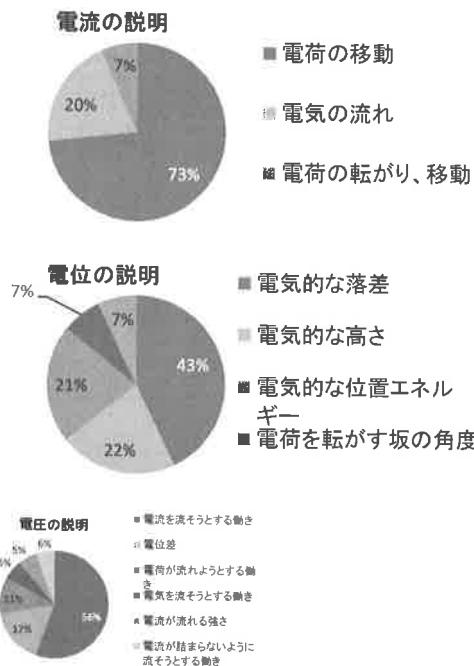


表4 電気の用語についての事後アンケート結果

この事後アンケートから、概ね電気分野の概念を具体化できたのではないかと考えている。まだ電位と電圧の混乱が見られ、物理IIでこの単元の取り扱いをするときはより丁寧に説明しなければならないことが分かった。

3. 2 電気量の定量的測定

B B弾を用いた電気回路モデルは、電気量と電流の関係や、電気素量の測定を「体験」することができる。電気分野を擬似的な実験を通して体験することで、電流分野のイメージを掴みやすい。ここでは、表5の用にB B弾モデルを用いて模擬実験の方法を述べる。

電気分野	単位正電荷	電気素量	電気量	電流
回路モデル	B B弾	B B弾1個の質量	B B弾の質量の和	1秒あたりのB B弾の質量

表5 電気用語の置き換え

3. 2. 1 電気素量の測定体験

電子天秤などを用いて、B B弾50個の質量を測り、1個あたりの質量を求める。B B弾1個が単位正電荷、または、電子であるというイメージを持たせることで、電流が電荷の移動であることを体感させることができる。

予備実験の結果はB B弾50個で10.4gであったので、1個あたり0.21gとなった。

3. 2. 2 電流と抵抗の測定体験

B B弾が単位電荷のイメージを持たせることができると、注油管が抵抗に見なせるので、B B弾をボットから直接供給皿に流し込むことで、抵抗を流れる電流を表現でき、素早くデータを取ることができる。

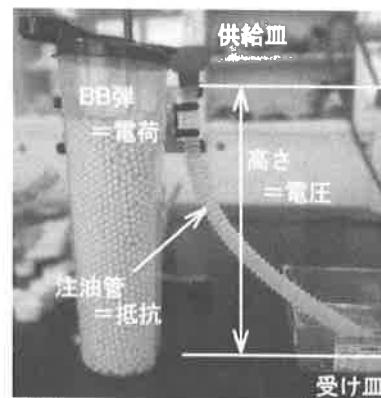


写真2 BB弾を用いた直流回路モデル

注油管の出口にB B弾の受け皿を用意し、流れ出たB B弾の質量を測定することで、「電気量 Q 」を求めることができ、B B弾の落下時間 t から「電流 I 」を計算することができる。受け皿から供給皿までの高さを「電圧

V 」とすることで、この注油管の「抵抗 R 」を求めることができる。(写真2)

$$I = Q \cdot t \quad (1)$$

$$R = V / I \quad (2)$$

予備実験では次の条件で行った。

- ① 10s 程度BB弾を供給皿に目詰まりしないように気をつけながら勢いよく流す。
- ② BB弾が受け皿に到達してから落下しきるまでの時間を t とする。(写真3)
- ③ BB弾の質量を電子天秤で測定し、 Q とする。(写真4)
- ④ 注油管の傾きが垂直にならず、出口が水平にならないような高さを選ぶ。今回は 21.5 cm、25.7 cm、28.8 cm、33.0 cm で測定した。

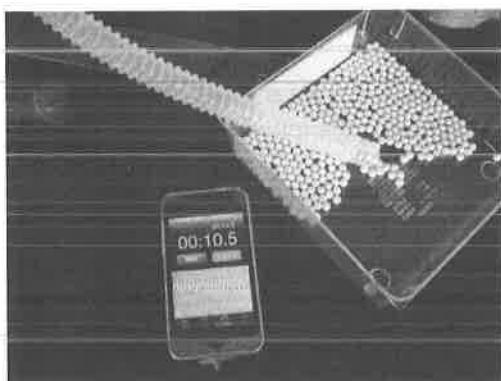


写真3 落下時間 t の測定



写真4 BB弾の質量 Q の測定

この電気回路モデルで計測したBB弾の質量 Q から式(1)を用いて求めた「電流 I 」を「仮想電流」、「電圧 V 」を「仮想電圧」と表現し、グラフでプロットしたもののが

表5である。測定のいい加減さがあるのでばらつきが大きいものの、平均をとって、33.0 cm の仮想電圧を除けば、直線を引くことができるので、この注油管が「線形抵抗」として取り扱えることが体験できる(表6)。33.0 cm の高さは垂直落下に近くなるため、注油管の凸凹がBB弾の移動を妨げにくくなる。

さらに、表6のグラフの傾きが 0.71 であるから、式(2)から、この「抵抗」は 1.4 Ω である、と $I-V$ グラフの傾きから抵抗を求める演習もできる。

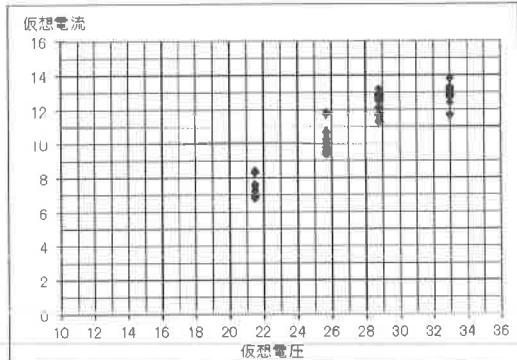
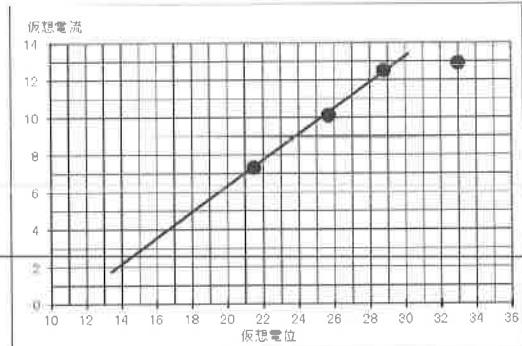


表5 仮想電流と仮想電圧



4. おわりに

本校では物理IIを開講していないが、できるだけ物理IIの電磁気分野でもスムーズに移行できるように、視覚化を測りながら、概念の獲得を目指している。

BB弾を用いることで一般教室での演示実験もしやすく、電荷と電流のイメージを特に持たせることができた。

引用文献

- 1) 佐藤革馬：電位を視覚的に理解できる電気回路モデルを用いた授業実践、北海道の理科 No.54、p.22 ~ 23, 2011

物理授業での導入の工夫

(【違和感】によるつかみの工夫や言語活動の充実)

北海道登別明日中等教育学校 稲子 寛信 旭川明成高等学校 本間 友明

物理授業（特に物理基礎、科学と人間生活）における効果的な例示・演示・実験を検討する。

1 本研究の意図

平成24年度より高等学校理科で新カリキュラムが実施される。実施に伴い、新科目「物理基礎」を相当数の高校生が履修することになる。

新カリキュラムにより、多くの高校生が理科3科目を履修することは、科学の発展した現代世相に沿うものであり、理科教員としては喜ばしいことである。しかし、一方で「全員が物理を受講することは生徒に苦痛を与えるだけではないか」「かえって理科嫌いを増やすのでは」といった他教科からの意見も散見される。また、物理を専門としない教員が授業を担当するため、教材研究が負担となることも予想される。これは新科目「科学と人間生活」物理分野でも起こりうるだろう。

そこで本研究では、ともすると知識伝達の授業に陥りやすい物理で「興味・関心を持たせつつ、いかに思考力・判断力を養うか」を主眼に、授業の導入について検討したい。

2 本研究での提案：【違和感】をつかみに

(1) なぜ【違和感】をつかみにするのか

①強制的に思考させるための「地味な違和感」

4で後述するが、演示を含む様々な実験には様々な狙いがある。特に演示実験では「新鮮な驚き」を持ってもらうのが狙いの一つである。しかし、「驚き」だけでは科学につながらず、ただのパフォーマンスになってしまい、生徒の思考が一切働かないことが多い。重要なのは科学的な思考・判断をさせることにある。

そのために、本研究では「地味だけれど…これって何だろう？」といった、あとに残る違和感を授業の導入に活用することを提案したい。

②「知識伝達→実験等で確認」の流れを逆転させる

3の授業展開例は、上記の流れを意図的に逆転してある。先に知識が与えられる授業はどうしても受け身になり、思考・判断する機会が失われがちである。そのための「違和感」もある。（詳細は3(2)で理解頂きたい）

たい)

(2) 本研究での授業構成

本来、授業構成はいつも同じスタイルにはならない。問題の演習面や測定実験など、実施内容によって大きく変わる。

本研究では【導入の工夫】に主眼を置いているので、以下のような展開を基本とする。

A：授業の始めの「つかみ」

B：本時の目標伝達

C：展開、授業のヤマ

D：本時のまとめ

また、新学習指導要領では「言語活動の充実」を図るよう奨励されている。本研究では、Aのつかみでワークシートを用いて自分の予想・意見を記入させて、それを小グループで比較させるよう配慮している。

3 授業の展開例

(1) 単元【物理量の測定】：近似と誤差

例示として、以下の問い合わせを導入にする。

この導入は筆者が高校時代に使用した国語の教科書に記載されていたものである。同様の記述は数研出版「地学基礎」教科書にも見られる。」

自分のノートに、コンパスを使って直径10cmの円を書いてみる。

こうして書いた円は、「地球をほぼ正確に表した断面図」と言って差し支えないだろうか？

理由を書かせた上で小グループで比較すると、ほとんどの場合「あまり正確でない」という意見になる。地球には山も谷もあるし、知識のある生徒は地球が楕円体であることも指摘する。

その後、教師から「実はこの図は正確と言ってもいい」と伝えると、生徒はかなり戸惑う。

その理由を考えさせるとき、手探りでは生徒も思考が停止するので、様子を見つつヒントで「地球の半径は約 6400km」を示す。

このつかみを踏まえて【物理では近似という概念で不要な条件を捨て、抽象化して考える】【基準の数値に対する有効性を検討する上で、有効数字が必要である】という展開を行う。

この後、1 大文単位（1 億 5000 カ km）がド一桁まで正確かどうか検討させると有効数字の理解が一層深まる。²⁾

(2) 単元【力と運動】：モンキーハンティング

物理基礎では平面内の運動も扱うため、モンキーハンティングを演示することができます。

本研究の展開では、予備知識を乞えない。

いきなりモンキーハンティングを演示する。

何回か演示して、いずれも 2 球が衝突することを確認した後に、「なぜ必ず衝突するか？」を考えさせ、ワークシートに記入させる。

何分か考えさせても理由が出ない場合、ヒントとして「装置を水平にした場合」を見せる。そうすると生徒の理解は一気に進む（私はこの後、Hi-Speed Movie で理論的な補足を行う）。

繰り返すが、「これは～～という理由で衝突するんだよ。じゃあ、実際やってみよう」という流れでは、知識伝達→確認であり、ほとんど生徒の思考力が働かない。生徒に思考・判断させるために、敢えて逆の流れで授業を展開する。

(3) 単元【力のつりあい】：浮力と垂直抗力

問題集でも散見される、浮力と台はかりの受ける力の関係について、いきなり実験する。

水を入れたビーカーを台はかりの上に載せる。

次にばねばかりにおもりを数個つける。

このおもりを水に入れると各ばかりの値がどう変化するか注目させ、理由を考えさせる。

この実験ほど、先に結果を教えてしまっては何の意味も持たない例はない。生徒には 2 種類の図を書かせ、働く力の関係を意識することで、浮力の反作用が台はかりの値を変えたことに気づかせねばよい。

(4) 単元【波動】：気柱共鳴

生徒に簡単な確認をさせて、疑問点を持たせる。その上で、気柱共鳴のポイントである開管と閉管の違いに注目させる。

ペンのフタや容器を気柱に見立て、息を吹き込むと、特定の音がなることを確認する（特定波長の抽出）。ここで音程に注目すると、ほぼ全員が「短い管の方が高い音」であると気づく。

「それだけなら前回までの『弦の振動』とあまり変わらない。でも、今回の気柱では、同じ長さの管でも 2 種類の音が出る」と言って開管と閉管を演示する。その理由を考えさせる。

弦の振動で、音の高さは振動数に関係して、関係式 $f = \frac{v}{\lambda}$ に注目すると、どうやら「波長」が違うのではないかと気づく。その上で、どんな定常波が出来ているか意識させながら授業を進めていく。

多くの先生方は、気柱共鳴を知識伝達→確認の流れで説明していないだろうか。逆の流れの授業の方が生徒の問題意識は高まると言える。

(5) 単元【波動】：開口端補正

これも(4)と同様で、測定実験をさせる際、敢えて 2 種類の方法で波長を計算させるとよい。

気柱共鳴による波長の測定で、敢えて

①基本振動の場合で求めた波長

②3倍振動と基本振動の差から求めた波長
に違いがあることに気づかせる

気柱共鳴では「いつ共鳴するか」を耳で確認することが多いために誤差も大きくなりがちだが、①②で計算した波長から振動数を求めれば実際の音源の振動数とのずれも分かるので、よい思考実験になる。

(6) 単元【音】：ドップラー効果（※発展）

ドップラー効果の導入で、多くの先生方は「救急車のサイレン」や「F1 マシン」などで『説明（=知識伝達）』してしまうのではないか。

そこで、演習問題を逆手に取った演示を導入にして、違和感をきっかけに授業を展開する。

おんさを使う。普通に鳴らせば一つの音。

しかし、おんさを鳴らして「移動」すると、うなりが発生する。ここで、うなりを復習しつつ、なぜ2種類の音が発生するか考察させる。

「振動数のわずかに異なる2種類の音が同時になることでうなりは発生する。なぜ一つのおんさしか鳴らないのにうなりが生じたのか?これを説明するために、今日は、ドップラー効果というものを勉強しよう」という流れで授業を展開する。

仮にドップラー効果を理解している生徒でも、この現象はすぐに理解できない。授業内いっぱい違和感を感じつつ思考力を働かせ、最後にようやく結論が出る。

(7) 単元【光】導入（※発展または科学と人間生活）

光の導入は「単色光」「白色光」「可視光線」などの用語が中心で、どうしても無味乾燥になりがちである。そこで、こうした単元では教科書の予習を課して語句を事前に確認させた上で、実験などを通して知識を整理していく。

例えば、「光は狭義では可視光線、広義では電磁波の一種」であることを理解させるのに、次の演示を行う。

部屋を暗くして、太陽電池をスピーカーに接続し、音を鳴らす実験を行う。（レーザー光を振動させることで、その振動に対応した音が出る）

ここで生徒に「レーザー光を振動させることで、太陽電池で発電した電気も振動する。つまり電気信号が発生する。これをスピーカーで音声に変換している」ことを確認する。

その上で、「でも、実はこんなものでも音が鳴るんだよ」と言って、太陽電池にリモコンの電波を照射する。（携帯電話の赤外線でも可）

これで音が発生すると生徒は驚くが、大切なのはそこから先の思考である。「なぜ赤外線でも音がなるのか？」と考えると、赤外線を照射しても発電されたからに他ならないことに気づく。すると、太陽電池にとってレーザー光も赤外線も同じものであること=電磁波として感知していることに気がつく。³⁾

(8) 単元【光】全反射（※発展または科学と人間生活）

全反射の導入教材は様々考えられるが、私はここ数

年、NHK サイエンス ZERO で放映された「富山湾の蜃気楼」を導入に使っている。この教材を使うことで、屈折の復習をしつつ、全反射に入ることができるためである。

蜃気楼で像が縦に伸びる現象を観察する。

この現象は空気の層で光が屈折することによって起こる。これは比較的想像しやすい。

次に、像が逆転する現象を観察する。（空気層の変化する位置が実物より上になると発生）

先程と同様に空気の層によって光が影響を受けているが、なぜこのように逆転するかを考えさせる。

気づかない場合は、ヒントとして「このように上下が逆転する現象を見たことがないか」「左右が逆転する現象でもよい」と説明すると、何人かの生徒が「鏡像」に気がつく。

その上で（中学でも扱っているが）、ここで関係するのが「全反射」であることを説明し、どういった条件で全反射が起こるのだろうか、と展開する。

4 補足：実験の狙いに対する考え方

理科実験には様々な種類があり、同じ実験を扱うにしても、その狙いや位置付けは教員によって異なる。

個人的には、実験は大きく分けて3つの位置づけがあると考えている。

(1) 正確さを求める【測定実験】

(2) 現象を理解・考察する補助の【演示実験】

(3) 新鮮な驚きや感動を導く【体感的実験】

【測定実験】では、正確な実験操作や正確な測定・数値処理、理想値とずれたときの原因の考察、実験自体への工夫（測定への影響を減らすための様々な配慮）など、まさに科学的考察が目白押しとなる。

しかし、別な観点で言えば「一つの実験に対して多くの要素が詰まりすぎている」とも言える（典型例は化学の中和滴定である）。

生徒にしてみれば、注目する要素が多くなりすぎると混乱してしまう。一年間の実験計画を立てた際、全ての実験において正確さを求めるのは難しい。従って、一年間の計画の中でどの実験で何を強調するのか精査する必要があるだろう。

物理で言えば、「物理基礎」で重力加速度の測定を「正確に」行うことは難しい。精度の高い値を導くには、ボルタの振子が一番である。この重力加速度の測定に対して、どんな狙いと教育的効果を持って臨むか、それが私たち教員に試されているわけである。

本研究では【演示実験】が多かったが、それは私が「現象を理解し、考察するための補助」として演示を捉えているからである。

しかし、だからと言って演示実験で全て済ませてしまうのは問題外である。バランスよく実験計画を立てるのが肝要である。

5 終わりに

(1) 言語活動の充実に関して

本研究ではワークシートを活用しながら生徒の考えを書かせて交流させることを意識的に盛り込んでいる。それは「観察力」「表現力」「他者の考えと自らの考えを融合し再構成して表現する」などの言語活動を充実させることが、最終的に思考力・判断力を養うと考えているからである。

科学ではレポートを課せば自動的に言語活動を充実させることに繋がるのだが、一年間に提出させるレポートの数にも限りがあるので、なるべく平素の授業展開に言語活動を組み込んでいく必要があるだろうと考えている。

(2) 導入方法を数多く提示する意図

本研究は、稻子を中心に提案と展開例を示した。しかし、授業というものは人それぞれで導入方法も人にによって全く異なる。北理研物理部会のメーリングリストのやり取りを見ても、各物理教員の物理観と指導論の違いがあり、それを全体に共有することで各人の研鑽の場になっていると言えよう。

今回も共同研究という形を取ったが、あくまで提示できたのは【授業に対する一つのアプローチ】に過ぎない。今後も効果的な導入の在り方を研究し、多くの先生方と交流を持ちつつ、来年度の「物理基礎」「科学と人間生活」では多くの生徒に物理の面白さを感じてもらえるような準備をしていきたい。

参考文献

- 1) 数研出版「地学基礎」
- 2) 講談社「物理の超発想」
- 3) 平成17年度マルチメディア研究会資料

太陽の黒点観測 (太陽の自転周期を求める)

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、蔽 菜月、秋元 来舞、長谷川 遼太、藤野 忠

太陽黒点が日々移動することを観察することによって太陽が自転していることが分かる。ビデオカメラを用いた太陽黒点位置の観察記録を行い、黒点の位置変化から太陽の自転周期を求める試みを試みた。緯度によって異なる自転周期「差動回転」が得られれば、太陽の自転の不思議、黒点生成の機構に迫る理科教材とすることができる。

キーワード 太陽黒点、太陽自転周期

1. 太陽黒点の発見

太陽黒点が発見されたのは西暦 1600 年前後、ケプラーがティコの観測データに基づいた惑星運動法則の解明に取り組んでいた時期である。発見の優先権とその正体をめぐってはガリレイとシャイナーの間に厳しい論争があった。黒点が太陽表面に属するもの（ガリレイ）か太陽付近の小惑星によるもの（シャイナー）か。太陽表面にあって生成変化するものとすれば天体を完全不变な球体とするアリストテレスの学説に反することになり、イエズス会の高い地位にあったシャイナーとの論争からガリレイは宗教裁判に追い込まれていったといいう^①。

太陽面を移動する黒点についてのガリレイの主張は太陽の自転を意味し、自転の向きが惑星公転の向きと一致していることが惑星運動の太陽源泉説を唱えるケプラーを力づけたとされる^②。

太陽の自転は黒点のほか様々な方法によって観測され、緯度によって自転速度が異なる（差動回転）こと、自転周期は太陽赤道で最も短く（25 日）高緯度になるに従って長くなることが知られている^③。

黒点数の変動には 11 年の周期性があることが知られている。増加が期待される 2010 年以降予想に反して黒点が少ない状況がつづき、その原因が論議されている^④。

太陽黒点をめぐってはこのように興味深い話題が豊富にあり、実際の観測を含めて理科教育の題材としてとりあげる価値があると考える。

2. 太陽黒点の観測・記録

2012 年 6 月に起こる金星の太陽面通過にむけて太陽観測方法の検討を進めており、この一環としてビデオカメラによる太陽黒点観測・記録を行った。観測・記録には三脚・スチル用雲台に載せたビデオカメラとテレコンバージョンレンズ（3 倍）、ソーラーフィルター（ND5）を使い、記録した太陽の映像から静止画像を取り出し、黒

点位置を特定しその移動から自転周期を求める試みを試みた。同様の試みは、2003 年度慶應義塾高等学校スーパーサイエンスハイスクールの生徒たちによって行われ、同校のインターネット望遠鏡を使って得た 11 日分の太陽黒点画像から平均自転周期 23.7 日を求めたことが報告されている。^⑤ 固定された経緯台望遠鏡が使われ、観測時刻を 12 時 30 分前後に揃えることによって画像から黒点の経度移動が得られている。

2010 年は期待された黒点の増加がみられず黒点がまったくない日々が続くなかったが、幸運にも晴天が続いた 10 月 18 日から 22 日までの 5 日間に二つの黒点の移動を観測・記録することができた。慶應義塾高等学校の試みと異なり、3 軸雲台（スチル用）によるビデオカメラの方位調整で観測時刻も一定でないため、日々の黒点位置を比較するための基準が静止画像には欠けている。そのためここでは太陽中心から黒点の位置を測り、その変動から自転周期を求める解析を試みた。

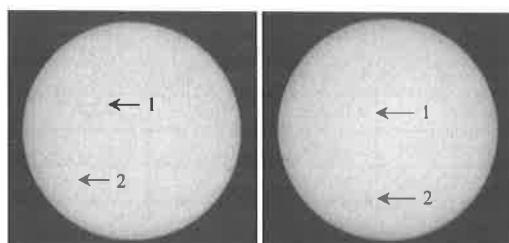


図 1 2010 年 10 月 18 日、19 日の太陽黒点の移動

3. 黒点移動の解析と太陽自転周期

地球から見た、自転する太陽面上の黒点＝固定点（緯度 ϕ ）位置を次のように求める。ただし簡単のため、太陽の自転軸の傾きは考慮しない。太陽の中心を原点とする直交座標をとり、自転軸を z 軸、地球の方向を x 軸とする。太陽半径を R 、自転角速度を Ω_0 とする。太陽の自

太陽の黒点観測－太陽の自転周期を求める

転と同方向の地球の公転運動(角速度 ω_E)を考慮すれば、地球から観測される太陽の自転角速度 Ω は $\Omega = \Omega_0 - \omega_E$ となる。図2に示すように、緯度 ϕ に現れる黒点は z 軸

周りの半径 $R\cos\phi$ の円周上を動くため、その位置座標は次のように表される。

$$x = R\cos\phi \sin(\Omega t + \alpha), y = -R\cos\phi \cos(\Omega t + \alpha), z = R\sin\phi$$

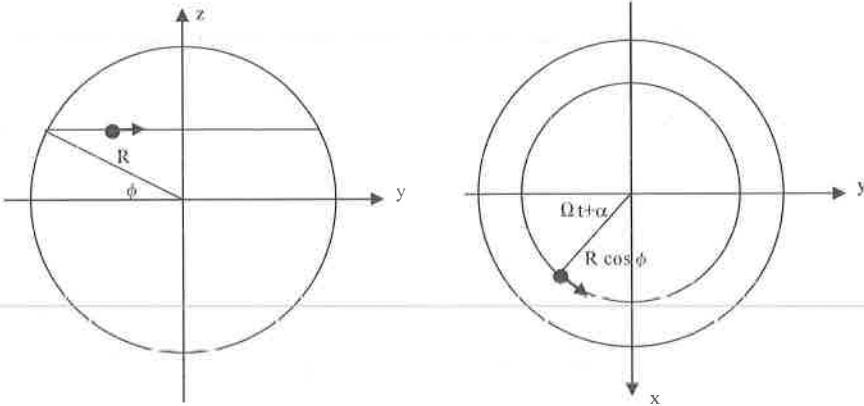


図2 黒点の位置：地球(x軸)、太陽自転軸(z軸)から見た太陽面上の黒点の移動

黒点と太陽中心を結ぶ線分のy-z面内の長さ $L(t)$ について、自転角速度 Ω を含む次式が得られる。

$$L(t)^2 = y^2 + z^2 = R^2 \{ \cos^2\phi \cos^2(\Omega t + \alpha) + \sin^2\phi \}$$

$$\therefore \sin(\Omega t + \alpha) = \{1 - (L(t)/R)^2\}^{1/2} / \cos\phi \quad (1)$$

三つの観測データ $L(t)$ があれば未知量 Ω 、 α 、 ϕ を決めることができる。印刷した太陽の静止画像から太陽半径 R (54mm)、各観測時刻の太陽中心と黒点を結ぶ線分の長さ $L(t)$ を測り Ω を求める。赤道をはさんだ二つの黒点(低緯度1、高緯度2)のデータ $L1$ 、 $L2$ を表1に示した。

表1 黒点と太陽中心を結ぶ線分の長さ

観測日時	t(hour)	$L1$ (mm)	$L2$ (mm)
10.18. 13h57m	13.95	20	41
10.19. 11h44m	35.73	14	35
10.20. 11h17m	59.28	10	31
10.21. 10h30m	82.50	18	30
10.22. 10h54m	106.90	27	32

それぞれの黒点について得られた5つのデータが式(1)によって再現されるように未知のパラメーター Ω 、 α 、 ϕ を次のように求めた。 $\cos\phi$ の値を仮定し、エクセルを使って $\arcsin[\{1 - (L(t)/R)^2\}^{1/2} / \cos\phi]$ のデータ点を線形近似($\Omega t + \alpha$)して傾き Ω を求める(エクセル：グラフ「近似曲線の追加、線形」、オプション「数式の表示」)。地球

の公転を補正した太陽の自転角速度 $\Omega_0 = \Omega + \omega_E$ 、自転周期 $T_0 = 2\pi/\Omega_0$ は表2のようになる。一般に知られている自転周期とほぼ一致する結果が得られたが高緯度黒点(2)のほうが低緯度黒点(1)に比べて自転周期が短く既知の差動回転と矛盾している。 ϕ の値のとり方の不確定さに強く影響する結果と考えられる。 α は黒点の初期経度位置を与えるものである。

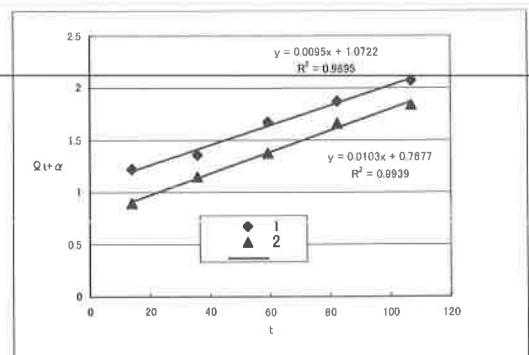


図3 黒点の移動角

表2 太陽黒点の緯度、経度、角速度、自転周期

	ϕ (rad)	α (rad)	Ω_0 (rad/日)	自転周期
1	0.16	1.07	0.245	25.6 日
2	0.58	0.77	0.264	23.8 日

太陽の自転周期は赤道付近で約 25 日、地球から観察できる黒点の移動は 10 日ほどと考えると黒点の見かけの移動速度の大きい一週間ほどの間に 3 日観測できればここで示した解析法で太陽自転周期が求められる。観測時刻や観測機器の方位などを調整する必要はなく、簡単にできる投影法⁶⁾で黒点をスケッチし太陽中心からの長さを測ればこの方法を適用できる。

4. おわりに

ガリレイは太陽面での黒点の運動が直線的でなく橢円的であることから太陽自転軸の傾きを推論しており¹⁾、精密な観測によってガリレイの推論の追体験、太陽自転軸の傾き（太陽の赤道傾斜角 7.25 度）の導出に挑戦してみることも可能であろう。

この太陽黒点観測は、金星の太陽面通過観測の理科教材化をテーマとした卒業研究⁷⁾の一環として行われた。自転周期を求める解析は、教員養成課程教育実践活動として必修科目となった教育フィールド研究（IV）の理科教材開発の課題として物理分野に所属する学生（3年生）、大学院生によって取り組まれた。

観測記録に用いた機材を図 4 に示した。ビデオカメラ（SONY）、3 倍望遠レンズ（レイノックス HDP-7700ES）、ソーラーフィルター（バーダープラネタリウム、眼視用）を用いている。図 5 は投影型太陽望遠鏡 SUNSPOTTER⁵⁾で、安全に多人数で太陽観測を行うのに適している。

本論は科研費（21500818）の助成を受けた理科教材研究に基づくものである。

引用文献

- 1) 齋田博：『おはなし天文学 4』、地人書館（2000）、
アンニバレ・ファントリ：『ガリレオ』、みすず書房（2010）
- 2) 朝永振一郎：『物理学とは何だろうか』、岩波書店（1979）
- 3) 日江井榮二郎：『太陽は 23 歳』、岩波科学ライブラー（2009）、柴田一成：『太陽の科学』、NHK ブックス（2010）
- 4) 齋田博：『おはなし天文学 1』、地人書館（2000）、
兼子昇：北海道大学理学部同窓会誌、第 51 号（2009）
- 5) 慶應義塾高等学校スーパーサイエンスハイスクール
<http://earth.hc.keio.ac.jp/ssh/jpn/pdf/15.pdf>
- 6) SUNSPOTTER、LEARING TECHNOLOGIES, INC.
- 7) 熊越ゆき：北海道教育大学札幌校 2010 年度卒業研究



図 4 観測記録に用いた機材



図 5 投影型太陽望遠鏡

物理講義ノート「原子力発電」 (核分裂のエネルギーと放射性核による崩壊熱)

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆

2011年3月11日の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故を経て、地震のメカニズム、原子力発電と放射線・放射能などを理科教育の重要なテーマとして取り扱ってゆくことが求められている。教員養成のカリキュラムの中で、原子力発電の物理的側面を解説する試みを行った。原子核の存在とそこに蓄えられるエネルギーの大きさを、静電気力や化学反応についての知識と結びつけながら解説することを試みた。

キーワード 原子力発電、核分裂、核崩壊、崩壊熱

1.はじめに

2011年3月11日の東日本大震災、福島第一原子力発電所の事故によって4月から始まる物理の講義計画は少なからぬ変更を余儀なくされた。原子力発電の原理、核分裂や放射性核の崩壊は物理分野が対象としてきた現象であり、事故の現状が日々報道・解説されるなかでこれに無関係に物理の講義を行うことはできないと考えた。物理分野に所属する学生たちに「大学入門ゼミ」(1年生)、「力学」(2年生)、「教育フィールド研究」(3年生)、「物理学特論」(4年生)の講義やゼミで、また文系学生を対象にした「科学」の講義ではじめの4、5回分を原子力発電の原理、核分裂や放射性核の崩壊の解説に当たた。学生たちは原子、原子核、同位体、エネルギーなど問題を理解する上で必要な基礎知識を十分獲得しておらずこれを解説することからはじめ、核反応と化学反応の相違、放射性核の崩壊をエネルギーの定量的考察を含めて解説した。以下は「科学」の講義で準備した講義ノートを整理しまとめたものである。

講義では「理科年表」を活用し、エネルギー単位(電子ボルト)、周期表、原子の電子構造(イオン化電離、電子親和力)、光と電磁波(X線、γ線)、安定・放射性同位体、燃焼熱などの項目を学生たちが自ら調べることを重視した。また受身の学習とならないよう演習問題を工夫した。

2.原子核とは

原子、原子核：原子は原子核と電子から構成され、それぞれの大きさはおよそ原子 10^{-10}m 原子核 10^{-15}m である。原子番号Zの元素はZ個の陽子(正電荷+e)を持つ原子核のまわりに同数の電子(負電荷-e)が存在し電気的に中性の原子となる。原子核は陽子と中性子(総称核子)の集合体であり、中性子の数は陽子の数とほぼ等し

いかやや多くこれらの総数、核子数を質量数(A)という。陽子、中性子の質量はほぼ等しく電子質量は陽子質量の約1800分の一であるため、原子の質量は核子数によって決まる。一方、原子番号は電子の数であり、これによって原子の化学的性質が決まる。原子、原子核は ${}^A_Z\text{X}$ と表記されXは元素名、下添字Zは原子番号、上添字Aは質量数(核子数)を表す。A-Zが中性子数となる。

同位体：同一の原子番号すなわち化学的性質は同じで質量数(質量)が異なる原子を同位体と呼ぶ。同位体の原子核はこれを構成する中性子の数が異なっている。同位体のなかには安定なものほか、放射線を出して変化する不安定な同位体、放射性同位体¹)がある。不安定な原子核からα(ヘリウム原子核)、β(電子)、γ(電磁波)線などの高エネルギー放射線が放出される。例えば安定ヨウ素(${}^{127}_{53}\text{I}$)に対して一連の同位体 ${}^{123}\text{I} \cdots {}^{131}\text{I}$ がありヨウ素131(${}^{131}_{53}\text{I}$)は半減期8日の放射性同位体である。ヨウ素は生体においては甲状腺で成長ホルモンの原料となるため、化学的性質が同じ放射性ヨウ素は体内に取り込まれると甲状腺に集積することになる。

問題1、半径1mの原子モデルを造ったとき、原子核の半径はどれほどの大きさ(何mm)になるか?

問題2、 ${}^{235}_{92}\text{U}$ で表されるウランの電子、陽子、中性子の数はそれぞれ何個か。また1モルの質量は何グラムになるか、鉛と比較しウラン弾の特性を述べよ。

問題3、今回の事故では放射性同位体ストロンチウム90、 ${}^{90}_{39}\text{Sr}$ の放出が確認されおり、これが体内に取り込まれると骨に蓄積されるという。周期表でその理由を考察せよ。

電子ボルト：実用エネルギー（熱量）の単位として、ジュール(J)、カロリー(cal)が用いられるが、原子レベルの現象を記述するための電子ボルト(eV)というエネルギー単位¹⁾を知っておく必要がある。1 ジュール(J)は IN の力を加えて物体を 1 m 移動することによる力学的仕事量、例えば重力に逆らって物体を持ち上げることによって得られる位置エネルギー、あるいは 1 V、1 A の電流が 1 秒間に発生する熱エネルギーであり、1 カロリー(cal)は 1g の水の温度を 1 度上昇させるのに必要な熱量でこれらは熱仕事等量 1 cal=4.2J によって換算される。これらマクロなエネルギー単位に対し、1 電子ボルトとは電子が 1 ボルトの電位差（電圧）で得るミクロなエネルギー単位である。原子（原子核）レベルのエネルギー現象は電子ボルトによって定量的に表される。

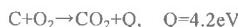
問題 4、陰極線実験装置によって高電圧、真空中に発生する電子線が観察できる。300 ボルトの電圧によって生ずる陰極線の電子一個が持つエネルギーはどれほどか。

問題 5、300 電子ボルトの陰極線について、アボガドロ数分の電子線のエネルギーはジュール、カロリー単位でどれほどか。

3. 火力発電と原子力発

北海道電力新聞広告（1988 年）は原子力発電の効率の高さを次のように宣伝していた。「1g のウラン 235 で石油（重油）ドラム缶 12 本分の熱を生む」²⁾。同じ内容は、中学理科教科書に「…ウラン 1g の核分裂で生じる熱エネルギーは…石油の約 200 万倍」と記載されている。しかし、原子力発電の核燃料は、天然ウランを濃縮（235U、0.7%→3~5%）、加工して作られたものであるのに対し、火力発電燃料の重油は「原油を精留したさいの釜残油」（理化学辞典）でありこの比較は公平とは言いがたい。原子力発電と火力発電の定量的比較は、これらのもとなる原子レベルのエネルギー反応で行う必要がある³⁾。

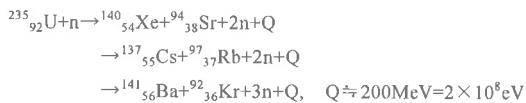
火力発電：火力発電のもとなるエネルギー反応は、燃料に含まれる炭素の次のような化学反応（酸化反応）で発熱量は素過程で 4.2 電子ボルトである。



問題 6、上の反応の 1 モル当たりの発熱量 (J) を求めよ。

化学反応での発熱・吸熱のエネルギーは、素過程での原子・分子間の価電子のやり取りによるもので、イオン化エネルギー、電子親和力などの大きさを電子ボルトがこのエネルギーの大きさを表している¹⁾。反応による二酸化炭素の発生が問題となる。反応をとめるには O₂ の供給をストップすればよい。

原子力発電：原子力発電は核燃料に含まれる²³⁵U が中性子を吸収して生ずる核分裂反応の発熱によっている。分裂前後で原子核の質量数、陽子数が保存するが、分裂の仕方は様々で質量数で 140、95 くらいの原子核対に分裂する傾向にある。代表的な反応は次のようなものである⁴⁾。反応熱は約 200 メガ電子ボルト (MeV=10⁶eV) 程で化学反応に比べて桁違いに大きなエネルギーである。



問題 7、核分裂によってヨウ素の放射性同位体¹³¹I が生ずる。これはどのような分裂によるものか？（分裂により生じたもう一方の物質は何か）

反応によって生じた中性子が次の核分裂を引き起こす。二つ以上の中性子が生ずるため、連鎖反応が急速に進めば核爆発となる。発電を行うためには定常的に反応が進むように燃料体のウランの濃度、配置などが適切に調整され反応が制御される必要がある。現在稼動中の原発（軽水炉）では天然ウランを濃縮・加工し焼き固めたペレットを円柱状に重ねて金属で覆い燃料棒として束ね、原子炉中に配置している。原子炉は水（軽水）で満たされ、水は核分裂反応で生ずる中性子の減速（反応を起しやすくなる）、発生した熱を吸収・運搬する役割を担う。反応をとめるには中性子の供給をストップすればよいが、これは制御棒（中性子を吸収する物質）を核燃料体の間に挿入することによって行われる。福島第一原発の事故では地震発生後、運転中の原子炉では制御棒が挿入され核分裂反応が停止した。

熱交換：核燃料から発生した熱はこれをとりかこむ水（一次冷却水）によって運ばれる。核燃料に接触しているこの水には核分裂によって生じた放射性物質が含まれるため、これを閉じ込め循環させ熱エネルギーのみを取り出す必要がある。福島第一原発（沸騰水型）では一次冷却水の循環の中に高温蒸気→タービン回転による発電

機構が組み込まれている。泊原発（加圧水型）では、一次冷却水から熱接触によって熱だけを取り出す二次冷却水循環によって発電が行われる。いずれも最終的には海水との熱交換（復水器）によって冷却され、発電に利用できない熱は海に放出されることになる（温排水）。

福島第一原発の発電量（電気出力）は1号機46万kW、2.4号機各78.4万kWで熱出力は電気出力の約3倍とされる³⁾。熱交換による冷却は、使用済み核燃料においても長期間必要となる。福島の事故処理においては、後述する核燃料体の崩壊熱を除去するため熱交換システムの確立が課題となった。

4. 放射性核の崩壊

原子核の崩壊：核分裂反応によって不安定な放射性核が生ずる。大規模地震で本震のあと地殻のひずみを解消する余震が続くのと同様、分裂によって生じた原子核は不安定で放射線を出しながら安定な核に向かって崩壊を続ける。例えば、次のような崩壊が生ずる¹⁾。

- ◆ ヨウ素 131 $^{131}\text{I} \rightarrow ^{131m}\text{Xe} + \beta$ 、 $^{131m}\text{Xe} \rightarrow ^{131}\text{Xe} + \gamma$ 、
 β 線 0.61MeV、 γ 線 0.36MeV
- ◆ セシウム 137 $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137m}\text{Ba} + \beta$ 、 $^{137m}\text{Ba} \rightarrow ^{137}\text{Ba} + \gamma$ 、
 β 線 0.51MeV、 γ 線 0.66MeV

このように放射性核は数百 keV (10^5eV) の放射線、1 MeV (10^6eV) ほどのエネルギーを出す。核分裂よりは小さいが化学反応を圧倒するエネルギーで、この崩壊を制御することはできない。大きなエネルギーを持つ放射線は、その通過経路にある物質との相互作用によってエネルギーを拡散させる。人体への影響については、放射線源から離れることによってその影響、外部被曝を避けることができるが、広域に拡散した放射性核を体内に取り込むことによる体内被曝では放射線の通過経路の細胞（遺伝子）が損傷を受ける。

崩壊熱：核燃料体中に残る核分裂生成物=放射性核の崩壊による放射線は核燃料体を加熱する。これが崩壊熱とよばれるもので、冷却によって崩壊熱を除去してやらなければ燃料体は高温になり千数百度で被覆金属が溶け燃料体が破損し放射性物質の閉じ込めが破られる。周囲の水に混入することから放射性物質の拡散が始まる。福島第一原発では核分裂反応が停止した後、「崩壊熱」によって原子炉中の核燃料体が溶融した。また、保管中の使用済み核燃料においても同様の問題が生じる。原子炉内の核燃料体の溶融によって、調整配置されていた燃料

体中の ^{235}U が集積すれば核分裂連鎖反応が再び制御できない形で生ずる（再臨界）可能性がある。海水の注入が核反応に必要な減速材としての水の供給につながる恐れ、核分裂反応による中性子の発生の痕跡（海水中塩素との反応による放射性硫黄の検出）⁶⁾、半減期の短い放射性ヨウ素が多量に検出されたことから核分裂反応が再開した可能性が指摘されている。

問題8、海水中の塩素 ($^{35}_{17}\text{Cl}$) と中性子の反応により放射性硫黄 ($^{35}_{16}\text{S}$ 、 β 崩壊半減期 87.5 日) が生ずる。この核反応はどのようなものか、反応式を書け。

半減期：放射性物質がどれくらいの期間放射線を出し続けるかは、その半減期、放射性同位体の数が崩壊によって半減するのに要する時間 (T) によって決まる。放射性核が N_0 個生じた後、時刻 t での放射性核の数 $N(t)$ は、 $N(t)=N_0(1/2)^{t/T}$ と表される。 $t=0$ で $N(0)=N_0$ (はじめの個数)、 $t=T$ で $N(T)=N_0 \times (1/2)$ 、 $t=2T$ で $N(2T)=N_0 \times (1/2)^2$ 、 $t=nT$ で $N(nT)=N_0 \times (1/2)^n$ となる。半減期 8 日の放射性ヨウ素 ^{131}I は初期の崩壊熱の発生に寄与し 2 ヶ月たてば当初の百分の一以下の量になるが、半減期 30 年の放射性セシウム ^{137}Cs は 100 年後によくやく十分の一に減少する。

問題9、放射性ヨウ素 $^{131}_{53}\text{I}$ 、セシウム $^{137}_{55}\text{Cs}$ がはじめの個数の 1/100、1/1000 になるのは約何 T 後、何年後か？

核分裂によって生じた大量の放射性核はこのように化学反応（数 eV）の百万倍 (1MeV) のエネルギーを短期、長期間にわたって放出し続ける。福島原発 1 号機原子炉停止から 3 日後の崩壊熱は「1 時間に 8.3ton の水 (100°C) を蒸発させるだけの熱を発生 (5.2MW)」したと評価されている⁴⁾。また、東京電力の報告によれば事故から約 4.5 ヶ月後 8 月 1 日時点での 1~3 号機の崩壊熱はそれぞれ約 1 MW (太陽光発電、メガソーラーと呼ばれる発電規模!)、注水停止時の燃料温度上昇評価によれば 1200 °Cまでの温度上昇時間は約 13~15 時間、炉注水停止時 (1 時間) の燃料温度上昇は約 62~67°C と見積もられている⁷⁾。

問題10、自衛隊ヘリの海水投下 (7t/回) による冷却効果を見積る。1t の水で核燃料プール (10m)³ の水位はどれだけ上昇するか？海水温が 10°C であるとしてプールの水温 (90°C) はどれほど下がるか。

5. 原子核に蓄えられるエネルギー

静電気力：原子中の原子核（陽子）とその周りに存在

する電子の間には静電気力（引力）が働いている。質量のごく小さい電子は量子効果によって空間的に狭い領域に閉じ込められると運動量を増す（不確定性原理）ため引力によって原子核に引き込まれることなく 10^{-10}m ほどの安定した原子がかたちづくられる。一方、原子核中の陽子間（同符号電荷間）には静電斥力が働く。ウラン原子核は 10^{-15}m ほどの狭い領域に電子より質量の大きな陽子、中性子が多数（235 個）ひしめき合っており陽子間に働く大きな電気的反発力は核子間に働く強い引力（核力）によって押さえ込まれている。クーロンの法則によれば、距離 $r[\text{m}]$ の電荷 ($e[C]$) 間に働く静電気力の大きさ (F) は距離の二乗に逆比例し $F=ke^2/r^2$ で与えられる ($k=9\times 10^9[\text{Nm}^2/\text{C}^2]$)。水素原子 ${}^1\text{H}$ 中の原子核（陽子）と電子間に働く静電気力の大きさは $F_{\text{原子}}=ke^2/(r_{\text{原子}})^2$ 、ウラン原子核中の陽子間に働く静電気力は $F_{\text{核}}=ke^2/(r_{\text{核}})^2$ 。ここで、原子、原子核の大きさを $r_{\text{原子}}=10^{-10}\text{m}$ 、 $r_{\text{核}}=10^{-15}\text{m}$ として原子、原子核内部で働く静電気力の大きさを比較すると

$$F_{\text{核}}/F_{\text{原子}}=(r_{\text{原子}})^2/(r_{\text{核}})^2=10^{10}$$

このように、原子核中の陽子間に働く電気的反発力の大きさは、原子を構成する原子核、電子間の静電引力に比べて桁違いに大きいことが分かる。核力の到達範囲は静電気力のそれより短いためウランのような巨大核においては電気的反発力と核力（引力）のバランスは微妙になり外部から中性子を吸収することによりこのバランスが崩れ、巨大な電気的斥力による核分裂が生じる。

静電エネルギー：力の働くところにはエネルギーが蓄えられる。例えば、バネの復元力 ($F=-Kx$) によって変形 (x 、圧縮、伸張) したバネにはエネルギーが蓄えられる ($E=Kx^2/2$)。原子は原子核中の陽子と周りにある電子の電気力（引力）による結合体で数十電子ボルトの静電エネルギー ($E=-ke^2/r$) が蓄えられている。化学反応による結合の変化によってこの一部が解放され数電子ボルトのエネルギーが発生する。これが化学反応による発熱である。これに対し原子核中の近距離に接近した陽子間には桁違いに大きな静電斥力が働き、ここには数百メガ電子ボルトの静電エネルギーが蓄えられており核分裂によってこのエネルギーが解放される。分裂によって生じた原子核は不安定にならざるを得ず、巨大地震の後に余震が続くように安定化する過程で核エネルギーの一部が放射線によって放出されることになる。

化学反応による発熱は原子・分子レベルの数 eV の集積

($\times N_A$ 、アボガドロ数 6×10^{23}) がマクロ世界で実用に供されるエネルギーであるが、核のエネルギーは素過程の 1MeV～数百 MeV がマクロな影響をもたらす大きさをもっている。核エネルギーはこうした観点で理解される必要がある。

6. おわりに

実際に行った講義では、はじめの基礎知識、原子、原子核、同位体の解説を丁寧に行う必要があったが、この部分は学生にとっては受身で聞くことを強いられる状況になった。また力学の基礎知識が十分でない学生たちに「エネルギー」を理解させることの困難が大きかった。これらを改善するために、以下の内容を検討している。

- 1、陰極線実験装置の演示実験で「電子の発見」を解説し、高電圧で発生する電子線のエネルギーを説明する。
- 2、 α 線によるラザフォードの実験を紹介し、原子模型、原子核発見の歴史を解説する。
- 3、中性子の発見、同位体の存在、中性子線による核反応・核分裂発見の歴史を解説する。

核反応を正しく理解することは原子力発電やエネルギー問題を考えるうえで不可欠であり、これらの問題の取り扱いは今後、理科教育の重要な課題になってゆくと思われる。巨大な「原子力」を理解や想像を超えたものとしてしまうのではなく、原子核を静電気力とクーロンの法則によって理科教育の守備範囲に置き、核反応を化学反応との比較で捉え解説することを試みた。物理現象として解明されていることのうち何をどのように解説してゆくか、理科教育のなかでの取扱を今後様々な視点から検討する必要があると考える。

引用文献

- 1) 国立天文台編：「理科年表」、丸善、原子力資料情報室 <http://www.cnic.jp/>
- 2) 北海道新聞 1988 年 7 月 13 日
- 3) 岡崎隆：「教養物理の題材 I - 原子力発電、核融合炉の紀要物理」、北海道教育大学（第 1 部 C）第 45 卷 第 1 号 p.255-266 (1994)
- 4) 原康夫：「物理学入門」、学術図書出版社 (2008)
- 5) 田中俊一：「日本ジャーナリスト会議講演」、2011.4.13
- 6) カリフォルニア大学サンディエゴ校研究チーム：Proceedings of the National Academy of Sciences, 2011.8.15
- 7) 東京電力株式会社：「福島第一原子力発電所第 1 号機、第 2 号機及び第 3 号機の原子炉への注水の維持に関する報告書」、平成 23 年 8 月 3 日

学生チームによる科学啓蒙・地域連携活動の実践 (千歳科学技術大学における事例報告)

Activities by a student project team for science enlightenment and regional collaboration
(Actual activities in Chitose Institute of Science and Technology)

千歳科学技術大学 長谷川 誠
Chitose Institute of Science and Technology Makoto Hasegawa

抄録 千歳科学技術大学の学部生・大学院生で構成される学生プロジェクトチーム「理科工房」は、小中学校や児童館・科学館、PTAや市民団体などと連携して、理科・科学技術への興味・関心を喚起・啓蒙するための活動を積極的に展開している。地域での認知度が拡大するにつれて活動件数も増加しており、大学の地域連携・貢献活動の一翼を担う重要な存在になっている。また、参加学生にスキルアップや成長の機会を提供する貴重な場でもある。

キーワード 学生プロジェクト、キャリアアップ教育、科学教育、地域連携、地域貢献

1. はじめに

千歳科学技術大学の学生プロジェクトチーム「理科工房」は、学生の自主性を重視した履修カリキュラム外の自律的プロジェクト活動であり、その活動歴は前身団体の時期を含めると既に9年以上に渡っている。平成14年(2002年)秋に、大学祭での工作教室の実施をきっかけに数名の学生有志が「理科研究サークル」という名称の学生団体を結成したことが活動の発端であり、その後は文部科学省・現代的教育ニーズ取組支援プログラム(現代GP)採択テーマとしての活動を通して、現在の活動形態の基礎が形成された。現代GPテーマの終了後は、履修カリキュラム外の自律的プロジェクト活動として活動を継続している。教職課程の活動でもないが、地域の小中学校と連携した理科実験授業の実施、児童館や科学館などにおける科学教室の開催、青少年のための科学の祭典などのイベントへの参加などを主たる活動内容として持続的な科学啓蒙活動、地域連携活動を実践しており、地域社会での認知度が高くなっている¹⁻³⁾。今回は、平成23年度上半期までの活動状況も含めて、その活動の概要を報告する。

2. 現在の活動形態

理科工房は、所属学科や学年には無関係に参加を希望する学部生・大学院生から構成されている。前述のように現在の理科工房の活動は履修カリキュラム外の活動であり、学生は単位取得を目的として本活動に参加しているわけではない。また、現状では教職課程ともリンクしていない。主として新年度の開始に合わせて学内で説明会や活動見学会を実施して、特に新入生からの新規参加

学生を募集するが、参加した学生はほとんどが進級しても活動を継続しており、平成23年(2011年)9月末の時点で25名ほどの学生が所属している。実態としてはサークル活動的な要素が強いが、大学を代表して地域連携・貢献活動を実施することが多く、参加学生に責任感を意識させる意味合いから、最近では学生プロジェクトチームと称している。また、活動における消耗品や必要器材の購入などに充当する目的で大学予算に年間約90万円の活動費が計上されている。活動場所としては学内に専用の実験室を確保しており、参加学生は講義の空き時間などに自由に参集して活動を行っている(図1参照)。



図1 理科工房の活動場所の風景

日常の理科工房の活動は、基本的に学生の自主性を重視した自律的なものである。理科実験授業や科学教室・工作教室の実施日程、科学の祭典などの各種イベントへの参加日程などを考慮して、スケジュール管理や作業内容の決定・実施・見直しなどはすべて参加学生が自律的に実施している。具体的には、週1回の定例会議にて、

数ヶ月先までの活動予定の報告・確認や個々の活動に参加・担当するメンバの決定、実際の作業の進捗状況の報告などが行われており、問題点や改善を要する点などがあれば、その場で指摘・議論が行われる。また、日常の活動の過程では、上級生が下級生を育成・指導するようにな学生たち自らが自発的に心がけている一方で、最終的なイベント開催スケジュールを厳守するために相互に協力・協調しながら作業が進められている。

こうした過程の中で、顧問教員である筆者からの指示は必要最小限に留めている。実際には、何か気がかりな点が存在しても、そのほとんどは学生の中から指摘の声が上がって何らかの対応策が取られており、教員からの指示は実質的には皆無に等しい。

3. 主たる活動内容と実績

現在の理科工房の主たる活動には、以下のようなものがある。

- ・地域の小中学校と連携した理科実験授業の実施
- ・児童館や科学館と連携した活動
(科学教室の開催やイベントへの参加など)
- ・PTA やボランティア団体などと連携した活動
- ・青少年のための科学の祭典などの各種イベントへの参加 (実験ブースの出展など)
- ・自主的な科学教室・工作教室の開催
- ・大学祭、高校生対象のオープンキャンパスなどにおける模擬実験ブースの出展

以下では、このうち地域連携に関連するいくつかの形態について、具体的な活動実践の事例を紹介する。

3. 1 小学校との連携

小学校での理科実験授業は現代 GP テーマの中での活動を継続したものであり、千歳市内の 2 小学校と連携して、平成 16 年度の小学 5 年生から、5 年生 3 学期、6 年生 1 学期、6 年生 2 学期の計 3 回に渡って各回 1~2 テーマの実験授業を実施している。

例えば、平成 22 年度 6 年生の学年には、以下の内容で実施した。なお、図 2 にはその活動風景の例を示す。

小学 5 年生 3 学期 (大学実験室で実施) :

身の回りのもので虹色を見てみよう (分光)
光で音を飛ばしてみよう (光通信)

小学 6 年生 1 学期 (小学校理科室で実施) :

夕焼け色のしくみ (光の散乱)
空気のちから (大気圧)

小学 6 年生 2 学期 (小学校理科室で実施) :

酸とアルカリ (水溶液の性質)



(a) 全体への説明



(b) 学生 TA の指導による班毎の実験作業

図 2 小学校における実験授業の風景

平成 23 年度 6 年生の学年についても、同様にこれまで 2 回の実験授業を実施しており、今後 11 月～12 月の 3 回目の実施に向けて準備を進めている。

小学校での実験授業のテーマは理科教科の単元学習とはリンクしない場合が多いが、6 年生 2 学期の「酸とアルカリ」については、理科の授業内容の発展を意図して、酸性・アルカリ性の性質やリトマス紙による判別方法を理科の授業で学んだ直後に、BTB 液や紫キャベツ液を使った実験を行っている。

平成 21 年度には、6 年生 2 学期に新学習指導要領での新しい単元である「手回し発電機による発電とコンデンサへの蓄電」に関連する内容を先行実施した。これがきっかけで、平成 22, 23 年度には担任教諭の要請に応じて、理科教科において当該単元の授業補助も行っている。

3. 2 科学館との連携

札幌市青少年科学館における「大学生による科学教室」には平成 18 年度より毎年依頼を受けて参加しており、光通信や分光、偏光、発電と蓄電など毎年テーマを変えながら年に一回の科学教室を開催している(図 3 参照)。



図3 札幌市青少年科学館での科学教室の風景



図4 千歳サケのふるさと館での科学教室の風景

一方、地元・千歳市内に立地する科学館「千歳サケのふるさと館」でも、連携した科学教室を平成21年度から開催している（図4参照）。平成22年度には、科学技術振興機構（JST）「地域の科学舎推進事業・地域活動支援（草の根型）」による科学教室など計4回を実施した。平成23年度も引き続いて同様にJST「科学コミュニケーション連携推進事業・草の根型プログラム」による科学教室「科学の世界を探検しよう」を5月～8月及び10月に月1回のペースで実施した。平成23年度の実施テーマは「凸レンズによる観察器作り」「CD分光器作り」「偏光で遊ぼう」「光で音を飛ばしてみよう」「偏光めがね作り」であり、リピーターの子どもたちも含めて毎回10数人～30人程度の参加者を集めている。

3. 3 児童館との連携

千歳市内の児童館と連携した活動が増えていることが近年の特徴であり、平成22年度は千歳市内8児童館のうち6児童館で、児童館まつりに参加して実験体験ブースを出展したり科学教室を開催したりした（図5参照）。平成23年度も上半期だけで5児童館で児童館まつりに参加してブース出展した他、下半期も活動を予定している。



(a) 児童館まつりでのブース



(b) 児童館での科学教室

図5 千歳市内の児童館での活動の風景

児童館での活動が増加した背景には、児童館の間でのネットワークが関係している。すなわち、ある児童館まつりに参加して学生メンバが活動している様子をお手伝いに来ていた他児童館の指導員の先生が見たり、他児童館での活動の評判を聞いたりした上で、新たな活動を依頼されることが多い。このように、現場の方々から口コミで活動の輪が広まっていることが、地域における理科工房の活動の特徴と言える。



図6 体育館での親子レクリエーション(工作教室)

3. 4 PTAとの連携

上述の児童館での活動と同様に口コミでの活動依頼が寄せられているのが、PTAに関連した活動である。最近では、学年・学級単位での親子レクリエーション活動の中で科学教室・工作教室の実施を依頼させることが多い。また、以前には、土曜日の午後などに開催されるPTA主催の科学教室において、講師・指導役を務めたこともある。

親子レクリエーションでは、人数の関係で教室や理科室ではなく、図6のように体育館での活動が求められることがある。体育館内の机などが無い環境で工作作業を実施することには困難が伴うこともあるが、担当する学生メンバは、状況に応じた的確な判断を下しながら臨機応変に対応・行動して子どもたちや保護者への説明や工作作業の補助を行っており、参加した保護者の方々からは好評を得ている。

3. 5 イベントへの参加

各種団体が主催して千歳市内外で開催されるイベントには、青少年のための科学の祭典はもとより、積極的に参加している。



図7「あそびの日」でのペットボトルロケット打上げ



図8「ふるさとポケット」でのブース風景

科学の祭典以外のイベントとしては、毎年5月に千歳レクリエーション協会が中心になって千歳市内の小学校を会場に実施されている「あそびの日」(図7参照)、毎年9月に千歳市内・青葉公園を会場に開催される「ちとせ生涯学習まちづくりフェスティバル ふるさとポケット」(図8参照)などがあり、理科工房は常連の参加者として長年に渡ってスライム作りや空気砲などのブースを出展したり、ペットボトルロケットの打ち上げを行ったりしている。また、平成22年度からは、千歳市民文化センターまつりにも依頼を受けて参加して、科学・工作教室の実施や実験体験ブースの出展を行っている。

この他にも、千歳市内外で単発的に開催されるイベントへの出展を主催者・実行委員会から依頼されることがあり、スケジュールが許す限りは積極的に出展・協力している。

3. 6 行政などと連携した地域連携活動

ここまで述べてきた活動は、主として子どもたちを対象に、理科・科学技術に対する興味・関心を喚起・啓蒙したいという考え方の下で、様々に展開してきているものである。その一方で、こうした活動が下地になって、広く市民一般層を対象とした社会・生涯教育的な活動への参画を依頼される機会も生じている。

例えば、平成22年度には、行政(千歳市)と市民が協働して事業を企画・実施する市民協働事業として行われた千歳まちめぐりガイドバス事業「千歳科学技術大学めぐり～1日科技大生になってみよう～」の中で、実験体験教室の実施を依頼された。当日(平日)は、9時～15時までの長時間のスケジュールの中で約1時間15分に渡って、空気のちから(大気圧)や分光、偏光などに関するいくつかの実験を体験してもらった。この事業の参加者は一般市民であり、年齢層は主として50代以上であったが、通常の子どもたちを対象とする活動と同様に、学生メンバが現象の原理の解説や実験・作業手順の説明などをていねいに行って、好評を得ていた。

さらに、学校教育や社会・生涯教育とは離れた場面での活動として、地域社会の活性化を目的としたイベントへの協力も依頼されるようになっている。具体的には、現在のところ、千歳市内の中心商店街エリアの活性化を目的として平成24年2月に開催予定の「ふゆまつり」において、アトラクションやイルミネーションの製作を依頼されている。参加者を引きつけて楽しませができる作品の製作に向けて、計画立案・準備作業を進めている。

4. 活動の効果

上述のように、地元・千歳市内を中心とした地域社会における理科工房の活動は、次第にその形態を広げながら活発化してきている。ここで図9には、前身団体として活動していた時期も含めて、これまでの各年度における理科工房の活動件数の推移を示す。平成23年度については、上半期の活動終了時における実績値を示している。

これより、活動件数が着実に増加していること、特に平成21年度以降の伸びが顕著であることが明らかである。このうち地域連携に関連する項目に着目すると、「小中学生対象の実験授業」の件数がほぼ横ばいで安定化している一方で、「イベント参加数」や「科学教室などの実施数」という項目が増えており、これが全体の活動件数の増加につながっていることが分かる。このことは、当初は現代GPプログラムの枠組みの中で地域の小中学校との連携を中心とした内容から発展をはじめた理科工房の活動内容が、次第に広く地域社会と連携した活動へ広がってきてることを示している。

こうした地域連携活動では、前述のように口コミでの活動依頼が多く、理科工房の活動が草の根レベルで広く認知されつつあると言える。学生が主体となる活動であることにより、地域の一般市民や市民団体の側からの敷居が低く、活動を依頼しやすいという側面もあるようである。これは結果として大学と地域社会との結びつきを高める効果も發揮しており、大学の地域連携・貢献活動への寄与度も大きいものがある。

一方、こうした活動を通じて学生が広く地域社会に出で行くことは、学生教育の面でも効果があると考えられる。すなわち、理科工房の活動の活発化に伴って様々な形態で外部の方々と接する機会が多くなったことから、

結果として常に一種の外部評価を受けていることになる。この点は、単なるサークル活動や学内でクローズしている学生プロジェクト活動との相違点である。大学内とは異なる視点からの指摘やコメント、アドバイスなどを得ることもあり、学生の成長を促す面では効果的に作用していると考えている。地域社会全体によって学生が育てられていると言つても、過言ではない。

このような理科工房の活動が学生教育面で具体的にどのような効果を挙げているかについて、定量的に検証することは、現状ではできていない。例えば、こうした活動への参加実績が講義成績の向上につながっているかについては、筆者が参加学生の成績を知る立場に無いので、判断することができない。

しかし、参加学生を対象に実施したアンケートでは⁸⁾、「この活動を通じて獲得したと思える能力・スキル」という質問に対して「課題設定・問題解決能力」「コミュニケーション能力」「調査・解析・分析能力」「行動力」「協調性」などを挙げる学生が多い。一方、「この活動を通して足りない・向上が必要と感じた能力・スキルは何か」という質問に対しては、「指導力」「スケジューリング能力」「企画能力」「プレゼンテーション能力」などの回答が多い。こうした能力・スキルを獲得・向上する必要性を感じさせることができている点、さらには自己申告ではあるが学生自身が関連する能力・スキルを獲得・向上できたと感じられている点は、キャリアアップ教育の観点における本活動の有用性を示唆していると考えられる。

上記のような学生教育効果の実現が可能になっている背景には、日常的に参加学生の自律的な行動を促している点が関係している。さらに、活動形態との関連として、

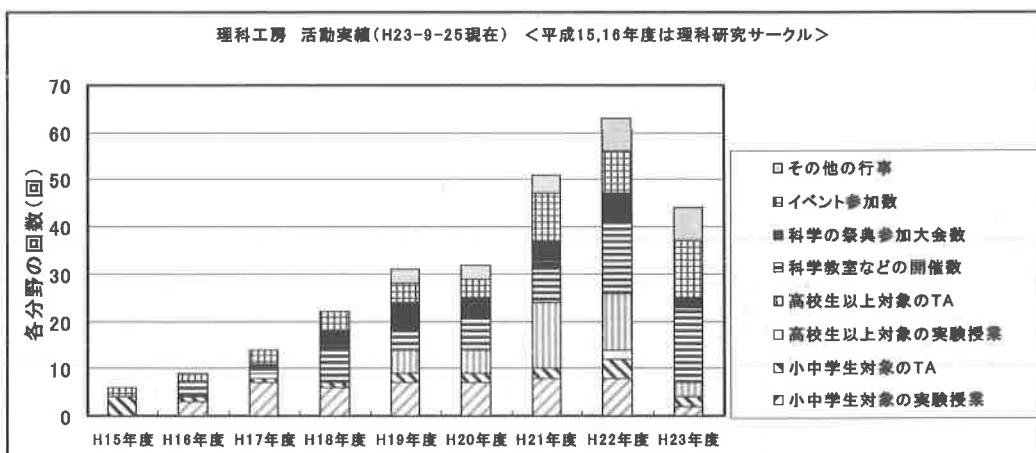


図9 理科工房の年度別活動件数の推移

「本活動が単位取得を目的としない点」が効果的に作用していると言える。カリキュラム外の活動であるので単位目当ての学生はおらず、むしろ「自分も楽しみながら理科・科学の楽しさを伝えたい」という意欲のある学生が集まる結果となっている。学生間で活動に対する多少の温度差（意欲の差）があることは否定できないが、真に熱意のある学生が集まっていることは、活動のペクトル合わせに効果的である。また、「比較的少人数の活動である点」は、作業を他人任せにできない場合が多いことから、各学生が責任感を感じながら作業にあたらざるを得ない環境を醸成している。さらに、「学年・学科を横断したメンバ構成である点」は、前述のように学生間での学び合いを実現している。

こうした効果を生み出している本活動の特徴を、筆者は以下の4つのキーワードで捉えている。

(1)半学半教

学生は相互に教え合いながら自ら学び育つ

(2)独立

学生は指示待ちタイプから脱却して自ら考えて行動する独立した個人としての行動が求められる

(3)協調

チームとして役割を分担しながら協力・協調する姿勢が必須となる

(4)自律

学生メンバによる自律的な活動である

すなわち、現在の理科工房では、独立した存在である参加学生が、半学半教の精神の元で相互に協調しながら目標に向かって自主的・主体的に作業を進め、全体として自律的に活動を続けている。現在の理科工房の活動は正規の履修カリキュラムに組み込まれたものではなく、教育手法として確立しているわけでもないが、上記のような特徴から、特に学生のキャリアアップ教育という点に関しては、有効な手法に成り得ている。

5. むすび

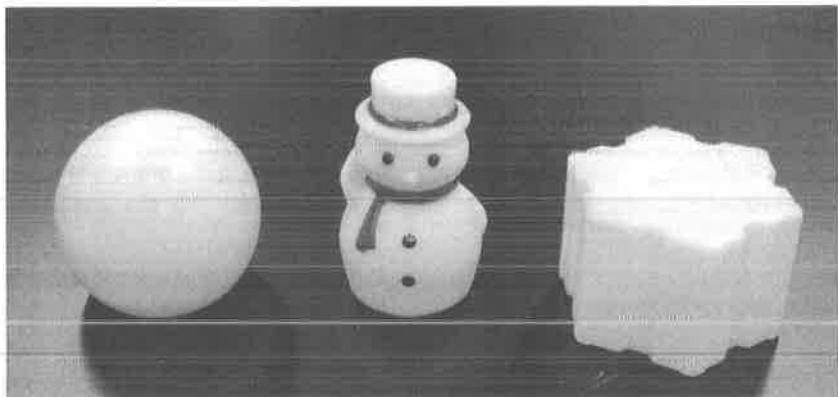
千歳科学技術大学の学生プロジェクトチーム「理科工房」の最近の活動状況を報告するとともに、学生教育面ならびに地域連携・地域貢献面での特徴や効果を紹介した。地域社会に学生が積極的に出向いていくことで、学生・大学と地域社会の双方にとって様々な成果が挙げられつつあることは確かである。こうした活動を、今後も継続させていきたいと考えている。

参考文献

- 長谷川、石田：“教える機会を活用した新しい教育プログラムの試み”，電気学会論文誌A, Vol. 126, No. 7, pp. 603-611 (2006-07).
- 長谷川：“学生サークル「理科工房」のプロジェクト活動と学生教育効果”，物理教育研究, Vol. 35, pp. 39-41 (2007-09).
- 長谷川：“学生の自主的プロジェクト活動を通じたもの作り教育”，応用物理, Vol. 77, No. 7, pp. 803-808 (2008-07).
- 長谷川：“自律的な学生プロジェクト活動を通じた学生教育と地域連携”，応用物理教育, Vol. 33, No. 2, pp. 27-34 (2009-12).
- 長谷川：“地域の小中学校と連携した持続的な理科教育支援活動”，応用物理教育, Vol. 33, No. 2, pp. 57-62 (2009-12).
- 長谷川：“学生プロジェクト活動を通じた持続的な地域連携・理科教育支援活動”，第27回物理教育研究大会講演予稿集, pp. 84-85 (2010-08).
- 長谷川：“学生を主体とした地域連携活動の実践とその効果”，第21回物理教育に関するシンポジウム講演予稿集, pp. 13-14 (2010-11).
- 長谷川：“学生プロジェクトによる理科・科学の啓蒙活動”，大学の物理教育, Vol. 17, No. 1, pp. 32-36 (2011-03).

簡単な教材紹介

写真の雪だるまは100円ショップで購入したクリスマスグッズです。この雪だるまはスイッチを入れると色が刻々と変わっていき、七色に変化します。この雪だるまは2人で一つ20個程度用意しても2000円程度。このぐらいなら予算が少なくても生徒実験に使えそうです。

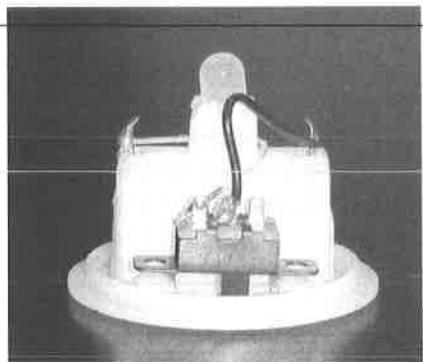


なぜ七色に変化するのか生徒に考えさせてみてはどうでしょう。

考えを一通り聞いたら、直視分光器を使って観察させます。すると「青、緑、赤」の色が光っていて、その割合が刻々と変化していくことが解ります。つまり三原色のみで、その割合が変化することによっていろいろな色を作っているのです。

分解したものが右の写真です。中に入っているのはスイッチと電池、LEDのみ1個です。LEDの足は2本です。このLEDをネットで調べると、「RGB 3色LED」または「フルカラーLED」とあります。私が調べたサイトでは、10個セットで750円、100個では5800円です。IC内蔵で自動的に緩やかに7色に変化するようにできているようです。

分光器を使ってブラックボックスの中身を想像することになるので、「分光器で星のスペクトルを調べると・・・」のような話しにも発展させられると思います。



北海道札幌北高等学校 中道洋友

特 集

「物理基礎」で
新しい授業を
デザインしよう

作用反作用の法則の授業 (黒板で簡単にできる演示実験の導入)

北海道札幌北高等学校 中道洋友

作用反作用の法則は、中学校でも習う基本事項だが、なかなか正しく理解している生徒は少ない。また、力のつり合いの関係と混乱していることが多い。そこで、教科書にもある簡単なバネの伸びの問題を黒板で再現し、理解を深めることを目標に授業案を立てた。

キーワード 作用反作用 力のつり合い バネ 黒板でできる実験

1. はじめに

作用反作用の法則は、基本法則だが、なかなか正しく理解している生徒は少ない。そこで黒板や教卓でできる簡単な演示実験を利用し、作用反作用の法則について理解を深めるための授業案を示したい。本稿では、力のつり合いと作用反作用の授業を2時間で行うことと想定している。1時間目は力のつり合いについて授業をおこない、本授業案は、2時間目である。

2. 授業の進め方

授業全体の流れと内容を示すため、板書案(図1)と指導案を示す。以下、内容について説明する。

2. 1 導入

前時の確認として「力のつり合い」について「同じ物体にはたらく力の合力が0」であることをしつこく伝える。作用反作用の法則の「違う物体に互いにはたらく力」との対比のためである。生徒は作用反作用の関係にある力を力のつり合いの関係にあると勘違いし、合力が0だと思ってしまうことが多いからである。

[作用・反作用と力のつり合い]

作用反作用

AからBに力とはまるかせん
同じ作用線に
BからAに 同じ大きさ
の力が反対向き

*力は、2つの物体間に互いにあわせ
あらわすにはまるかせん、必ず1対であらわす

*教卓で、
バネ張り直しの2
測定、
2つと離れていた
ものを近づけ
て、Nと重なる
場所で、N=0を
算出するには
どうか?

問1

F_A 座地から Aに
F_B Aから 座地に
(1) 同じ何にはまるかせん

F₁ 地球から Bに
F₂ Aから Bに
F₃ Bから Aに
F₄ 地球から Aに

F₅ 座地から Aに
F₆ Aから 座地に
(2) Aにはまるかせん、F₃ < F₄ < F₅
Aにはまるかせん F₅ - F₃ = F₄ < 0
Bにはまるかせん F₃ - F₁ = 0

(4) 作用・反作用の関係にあるかは、
F₂ × F₃, F₆ × F₅

ナイト
作用・反作用 違う物体に互いにはまるか
力のつり合い 同じ物体内にはまるかの合力が0

問2 k=98N/m
x=5cm のとき Nを求める
△おもむきつては力のつり合い
R×x + N - mg = 0
N = mg - R×x
N = 9.8×8 - 98×0.05
∴ N = 14.7N

(2) 自分が動かすバネへ伸び? N=0 から!!
mg - Rx = 0
∴ x = mg / R
∴ x = 0.20m

問3 (1) 伸ばす力 F
N=0 から!!
F = mg
F = 9.8×8
F = 78.4N

(2) 伸びる距離 x
F = kx
78.4 = 98×x
x = 0.8m

作用反作用 力のつり合い
Sはどれかよく伸びるか?
*実験(1), (2)を角鏡(2)で
見る。なぜか、力が外れても
記入して、なぜ同じにならぬか
を考えても
本当に物がよく伸びるか?

図1 板書案

— 51 —

作用反作用の法則の授業

作用・反作用と力のつり合い

本時の目標		<ul style="list-style-type: none"> 物体にはたらいている力を、作用点を意識しながら具体的に書き込めるようにする。 作用反作用の法則と力のつりあいを正しく理解し、力のつりあいの式を立てられる。 			
段階	学習内容	学習活動		指導上の留意点	時間(分)
		教師の指導	生徒の活動		
導入	前時の確認	<ul style="list-style-type: none"> 生徒を指名し、力のつりあいについて答えさせる。 本時で使用するプリントの配布 	<ul style="list-style-type: none"> 指名された生徒は答える。 	<ul style="list-style-type: none"> 同じ物体にはたらいてる力の合力が0」を強調する。 	5
展	作用・反作用の法則についての説明(*1)	<ul style="list-style-type: none"> 発問 「中学校で習った作用反作用の法則を覚えているか」 板書と説明 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <p style="margin: 0;">作用反作用の法則</p> <p style="margin: 0;">AからBに力をはたらいていた 同じ作用線上に BからAに 同じ大きさの 反対の力を はたらかせる</p> <p style="margin: 0;">本力は2つの物体の間で互いに反対しあうようにはたらき。必ず上記で規定する。</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> 指名された生徒は答える 板書を写す 説明を聞く 	<ul style="list-style-type: none"> 中学校で既習である。 例えば、黒板を手で押しながら「手が黒板を押していれば、黒板は手を押す」 <p>*1 バネばかりを2つ使って演示することも効果的(別記)</p>	5
開	問題演習① 重ねた物体にはたらく力を通して、作用・反作用と力のつり合いの違いを理解させる。	<ul style="list-style-type: none"> 本当にわかっているかどうか問題を解いてみよう」などと言いかながら、問1を解く。 生徒を指名し、答えさせると答えを板書する。 	<ul style="list-style-type: none"> 指名された生徒は答える 板書を写す 	<ul style="list-style-type: none"> 『○○から△△に』はたらく力』という語順にこだわって説明。 作用点がどの物体にあるかを絶えず意識させる。 	10
	作用点についてのポイントの整理	<ul style="list-style-type: none"> 板書と説明 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <p style="margin: 0;">ポイント 作用・反作用 2つの物体に互いにはたらく 力のつり合い 同じ物体内外にはたらく力の 合力がゼロ</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> 板書を写す 		5
	問題演習と演示実験② バトにつけたおもりにはたらく力の図示をとおして学習内容の定着を図る。	<ul style="list-style-type: none"> 板書、問題の概要の説明 生徒を指名。物体にはたらく力を書き込ませる。 発問、生徒を指名。 「おもりについての力のつり合いを式で表すはどうなる？」 	<ul style="list-style-type: none"> 指名された生徒は前に出て、力のベクトルを板書する。 	<ul style="list-style-type: none"> 適宜演示しながら問題をイメージさせる。 ベクトルは物体ごとに色を変えて書き込ませる。 計算は時間の関係があるので、教員が行う。 	10
まとめ	問題演習と演示実験③ バネにはたらく力の図示を通して、作用反作用の法則の理解を深める。	<ul style="list-style-type: none"> (1)の立式と答えを板書 発問、生徒を指名 「離れることを式で表すと」 (2)の立式と答えを板書 フックの法則の確認(板書) 問題(1)～(3)の図を板書 生徒を指名し、結果を予想させる。 (1)～(3)を黒板で演示実験し、再現する。 生徒を指名して、(1)～(3)の板書に力を記入させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 板書を写す 指名された生徒は答える。 板書を写す 板書を写す 指名された生徒は答える。 指名された生徒は前に板書 	<ul style="list-style-type: none"> 「N=0」である。 「F=kx」 演示する際、生徒に手伝わせる。 	10
	作用反作用と力のつりあいの特徴と違いを確認	<ul style="list-style-type: none"> 発問、生徒を指名。 「力のつりあいと作用反作用の違いを一言で言うと？」 	<ul style="list-style-type: none"> 指名された生徒は答える。 		5
評価の観点		<ul style="list-style-type: none"> 力の矢印を、力の働いている物質に書き込むことができたか。 書き込んだ力のどれがつり合っていて、どれが作用・反作用の関係にあるか理解できたか。 上記の結果から力の関係を数式化し、答を求めることができたか。 			

図2 指導案

2. 2 展開

2. 2. 1 作用反作用の法則の確認と演示実験

初めに前述のように作用反作用の法則の中学校での学習内容について生徒に発問する。その際「違う物質に互いにはたらく力である」ことを強調する。また、簡単な演示実験として中学校でも行われている、2つのバネばかりを向かい合わせて引き合う演示を示す。「お互いに引っ張ったとき、バネの伸びはどちらが長くなるか」、「片方を固定し、もう一方を引いたときはどうか」の順で生徒に答えさせると効果的である。また、もう一步進めて、バネ定数の違うバネばかりを使って同じ演示をすると、バネの強さが違うのに目盛りは同じになり、生徒は意外に感じる。

2. 2. 2 問題演習①

かさねた二つの物体A、Bと床にはたらく力についての問題（問題演習①）を、生徒に発問しながら例題として解説していく。物体にはたらく力を全て正しくかけることは力学の基本なので「離れたところから重力がはたらき、それ以外は接触している物体からはたらく接触力である」ことを生徒に答えさせ、作用点がどの物体にあるかもしっかりと意識させたい。その際、「物体Aから物体Bにはたらく力」と「物体Bから物体Aにはたらく力」のようなパターン化した表現で作用反作用の関係にある力が、違う物体に互いにはたらく力であることを認識させる。さらに力がつり合いは同じ物体内にははたらく力であることに気がつくよう発問し、「まとめ」として板書する。

なお板書の作図や説明では該当の力の作用点がどの物質にあるかを強調するため、物体によって力のベクトルを色分けする。力のつり合いは、同じ物体同士、つまり同じ色同士の力の合力がゼロになることであり、作用反作用の関係にある力は、違う物体に互いにはたらく力なので、すなわち色の違う力になることが、直感的にわかるよう工夫する。

2. 2. 3 問題演習②

問題演習①と「まとめ」をうけて問題演習②を行う。はじめに教卓の上に立方体を置き、バネばかりで引っ張り上げ、そのとき垂直抗力がどのように変化するかを生徒に想像させる。その後、板書した図に力のベクトルを書き込んでいく。このときも生徒を指名し、「物体にはたらいている力は？」、「バネにはたらく力は？」と聞いていく。生徒が答えに困るようであれば、「離れているところからはたらく力は重力のみで、後は全くつつい

ているものから力をもらうんだったよね」とヒントを出す。力を書き込んだら「つり合っている力は？この力の反作用は？」と發問していく。また浮き上がるとき「 $N=0$ 」となることも生徒から聞き出すようにする。問題を解いた後、キッチンスケールの上に立方体を置いてバネばかりで引き上げる演示実験²⁾を行う。キッチンスケールの目盛りと物体にはたらく垂直抗力は作用反作用の関係になるので、キッチンスケールの目盛りを見せてることで、浮き上がることは $N=0$ だと理解することができる。



図3 問題演習②の演示実験

2. 2. 4 問題演習③

板書案のように問題演習③(1)を板書し、図4（上）のように演示した後、(2)の問題を板書してバネの伸びがどうなるかを生徒に発問する。そうすると「大きくなる」と答える生徒が多くいる。「バネを引いている力が(1)は右側のみ、(2)は両側」と勘違いしているからである。問題演習①②を通して作用反作用や力のつり合いについて教えて、「直感」にはなかなかかなわないのだろう。ここで実際に(2)を実際に演示してみると多くの生徒は驚く。その後(1)(2)の力を図中に書き込み、同じになることを説明する。その上で(3)を予想させる。この段階できちんと理解できている生徒は正解し、不正解の生徒はどこで勘違いしていたかがわかるので、理解を深めることができる。

なお、教材用の滑車に市販の（少し大きめの）マグネ

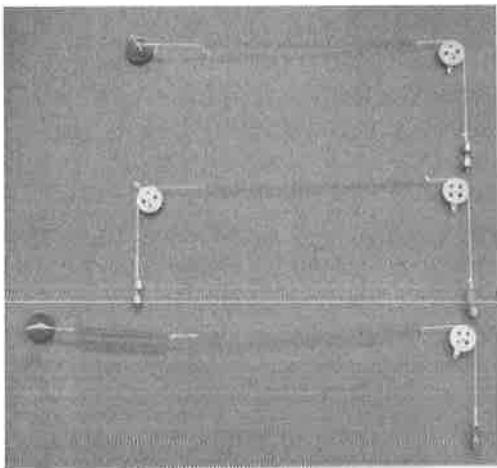


図4 間題演習③の演示実験

ットをつけると 100g 程度のおもりであれば黒板にはることができる³⁾.

2. 3 本時のまとめ

本時のまとめとして「力のつりあいと作用反作用の違いを一言で言うと？」と発問し、生徒に答えさせる。答えは、「同じ物体内外か違う物体に互いに働く力か」である。作用反作用の法則の授業だが、この法則は、力のつりあいと混亂することがよくあるので、最後までこの点を強調する。

2. 4 補足

図5のように、キッチンスケールの上にリング状のマグネットをそのまま乗せたときと浮かせたときとは、同じ目盛りになる。生徒に写真の結果を予想させるのも面白い。磁気力はまだ習っていないが、定性的な話しをするだけでも十分効果がある。



図5 マグネットによる演示

3. まとめ

くり返しになるが、作用反作用の法則は力のつりあいとセットで学習することが効果的だと考えている。また、本授業案で示したように、生徒の素朴なイメージと違う（しかし正しい）結果を示すため、意外性があり生徒にとって印象に残るようである。生徒は理屈で分かってもなかなか気持ちで納得できないことが多い。簡単な演示実験ではあるが、このような演示実験を適宜組み合わせながら授業を行うと生徒の理解も進むと考えている。

なお、問題演習②は生徒の実態に合わせて省略することもある。

参考文献等

- 1) 使用した教科書は数研出版
- 2) キッチンスケール (2500 円程度), 一辺 5cm のアルミの立方体 (東急ハンズで購入, およそ 340g つまり 3.4 N), 5 N のニュートンバネばかり (単位の換算をしなくていいので便利)
- 3) 滑車 (1 個 900 円程度), バネ (実験用バネセット 100g 用・200g 用・500g 用 3 種類×4 本で 3000 円程度), おもり (50g), たこ糸, マグネット
- 4) 図4のたこ糸をとめるためのマグネットは自作だが、ホームセンター等で市販の「マグネットハンガー」や「マグネットフック」で十分である。

速度の合成、相対速度

北海道札幌平岡高等学校 大坂厚志

物体の運動の速さと向きについて、中学校で学習していることについて確認しながら、変位や速度などの物体の運動の基本的な表し方について理解させ、物体の運動を変位一時間、速度一時間のグラフで表す方法を扱う。また、同一直線上を等速直線運動している物体の合成速度や相対速度についても扱う。

キーワード 速度の合成 グラフ 相対速度

1. 授業の進め方

中学校で既習済みの第1分野「(5) 運動とエネルギー」で物体の運動の速さと向きについて、発問等で確認しながら①ベクトルとスカラーの説明、②一直線線上の速度の合成、③相対速度について説明をする。

①については、ベクトル量として記号の表し方を含めて説明をする。例として、 v_1 , v_2 などである。②については、例として「動く歩道」や「エスカレーター」の話を取り上げ、相対速度の説明を加える。生徒の理解度を測りながら具体的な問題を提示し、考えさせる。

2. 演示実験の方法

2. 1 相対速度の演示のための準備

黒板やプリントだけではなく、模型などを用いた演示を加えると、生徒の興味関心を喚起するのに効果的であると思われる。相対速度の説明として、CDにフィルムケースを両面テープで貼り付けたものを2つ用意する(図1)。フィルムケースには小さな穴をおけておき、その中に碎いたドライアイスを少量入れる。

また、CDホバークラフトの移動の演示のためのまっすぐで、滑らかな板(ステージ)も必要である。2つのCDホバークラフトを用意し、デモンストレーションをしながら相対速度を計算させる。

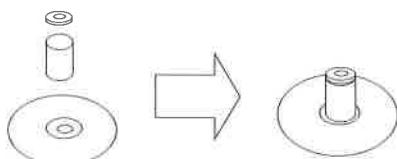


図1 CD ホバークラフト

2. 2 相対速度の演示の方法

あらかじめ教室の東西南北の方向を調べておき、まっすぐで滑らかな板(ステージ)を南北方向か東西方向に置き、2つのCDホバークラフトを移動させ、以下の2つの場合について演示する。

- (1) 2つのCDホバークラフトが一直線上を同じ向きに移動する場合
 - (2) 2つのCDホバークラフトが一直線上を反対向きに移動する場合
- 相対速度は、一直線上のみを扱う。

3. 授業展開例

CDホバークラフトを用いた授業の展開例をあげる。一般に、普通教室の窓は南向き、黒板は西、教室の後ろは東向きである。よって、黒板に平行に板を置くと南北方向になる。生徒の側から見やすいように黒板と平行に置き(南北方向)、廊下側(北)一窓側(南)において演示する。

相対速度の演示として、一直線上同じ向きで、①近づく場合、②遠ざかる場合、一直線上反対向きで、③近づく場合、④遠ざかる場合の4通りある。

2つのCDホバークラフトを上記①～④の場合を演示し、それぞれに関する問題を生徒に発問しながら答えさせていく。

<相対速度を求めさせる問題>

- (1) ①1つめのCDホバークラフトに、2つめのCDホバークラフトが追いつく場合。
1つめのCDホバークラフトを窓側から廊下側へ移

速度の合成、相対速度

動させる。これは、南から北へ移動させることを意味する。その後、2つめのホバークラフトを同じように移動させるが、少し速めに移動させ、追いつかせるようにする。

教師：「2つめのCDホバークラフトは、1つめのCDホバークラフトに追いつこうとしています。2つめのCDホバークラフトから見ると、1つめのCDホバークラフトは、どちらに進んでいるように見えますか。」

生徒：「やっぱり、進んでいるのは廊下側へだから、北向きです。」

教師：「そう思うかもしれません、それは、君が外から見ているからそう思うんです もし、君がそのCDホバークラフトに乗つていふとしたら、どうでしょう、もちろんイメージとしてですよ、本当に乗れるわけではありませんが。」

生徒：「2つめのCDホバークラフトが、1つめの先行しているCDホバークラフトに追いつくということは、1秒ごとに近づいてくることになります。2つめのCDホバークラフトに自分が乗っているとしたら、自分は北へ進んでいるのに、その自分に近づいてくるように見えると思いますので、南向きです。」

教師：「そう、それが正解です。相対速度とは自分を中心と考えるということで、自分の速さを無いものと考えることなんです。」

教師：「では、問題です。1つめのCDホバークラフトが北向きに0.2m/sで先行しています。2つめのCDホバークラフトを北向き 0.3m/sで後から追いかけます（図2）。」

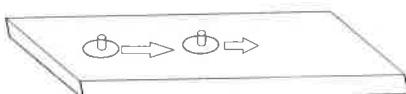


図2 追いかける相対速度

教師：「1秒あたり、どれだけの距離、どちら向きに近づいてくるように見えますか。」

生徒：「1秒あたり、1つめのCDホバークラフトは、0.2m進み、2つめのCDホバークラフトは、0.3m進むので、1秒あたり、0.1mずつ近づいていきます。つまり、速さの差は $0.3\text{m/s} - 0.2\text{m/s} = 0.1\text{m/s}$ となります。1秒あたり、 0.1m/s の速さで近づいていきます。向きは、2つめのCDホバークラフトから見ると進行方向から逆向きに近づいてくるように見えます。つまり、進行方向（北向き）の逆向き（南向き）と見えます。」

教師：「正解。良くできました。2つのCDホバークラフトとも一直線上の運動ということで、向きとして速さに符号を与えてこの計算について考えてみよう。」

教師：「君たちから見て右向き、北向きを“正”的向きとしましょう。すると、先ほどの例で説明すると、1つめのCDホバークラフトは、 $v_1 = +0.2\text{m/s}$ 、2つめのCDホバークラフトは、 $v_2 = +0.3\text{m/s}$ と表されます。相対速度は、自分（観測者）の速さを無かったものとしてみる訳だから、1つめのCDホバークラフトの速さから2つめのCDホバークラフトの速さを引いてみましょう。」

相対速度 $v = v_2 - v_1$
ですから、どうなりますか。」

生徒：「 $(+0.2\text{m/s}) - (+0.3\text{m/s}) = (-0.1\text{m/s})$ となって、負となったので、進行方向の逆向き、つまり、南向きとなり、 0.1m/s もあっています。」

教師：「その通りです。相対速度とは、自分（観測者）の速度は無かったものとして考えるので差し引いて速度を求めるのです。この公式は、2つの物体が一直線上同じ向きで、追いつく場合、離れる場合、一直線上反対向きで近づく場合、遠ざかる場合、いずれの場合でも成り立つのです。本当かどうか、確かめてみましょう。」

以上は、実際の授業を想定したもので、生徒の理解度によっては、あらかじめ板にメセリを振っておき、より具体的な相対速度の計算問題を出題することも必要である。また、既習事項の定着を計ることから、相対速度の確かめの部分について課題にすることも必要であると思われる。

物体の運動については、生徒に具体的なイメージをうまく伝えることができるかが重要であると考える。

参考文献

1) 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編
平成21年12月

2) 実教出版 高校物理基礎 教科書
平成23年3月30日検定済

熱機関を理解する

北海道岩見沢緑陵高等学校 大屋 泰宏

10年ほど前ある予備校の模擬試験問題に、冷蔵庫から発生する熱に関する単純だが正答率のよくない問題があった。エネルギーが保存されることはわかっていても、先入観から意外な勘違いが起きてしまった事例をもとに熱力学第一法則とヒートポンプ（冷蔵庫）の仕組みを考えさせ生徒の興味関心を生む授業展開を考える。

キーワード 热力学第一法則 ヒートポンプ 冷蔵庫 模擬試験問題

1. 授業の概要

熱力学第一法則の授業では、圧気発火器の演示や、断熱膨張による雲の発生の演示などを行い、断熱状態でも仕事により温度変化があることを強調する。

本授業では、その発展的な内容としてヒートポンプを扱い、その原理の理解から知識の定着を図る。

2 学習内容

① 热機関の熱と仕事の関係

$$\Delta U = W + Q_2$$

② 热力学的第一法則

$$\Delta U = Q_1 - W$$

ΔU : 内部エネルギーの変化量
 W : 外にする仕事
 Q_1 : 得る熱量
 Q_2 : 失う熱量

ヒートポンプにおいては、循環物質に注目して考え物質に入る熱を Q_1 と物質から出る熱を Q_2 とすると

$$\Delta U = (Q_1 - Q_2) - W$$

ここで、循環するたびに物質がもとの状態にもどるように設計されているので $\Delta U = 0$ となる。

$$0 = (Q_1 - Q_2) - W$$

$$\therefore Q_1 = W + Q_2$$

3 授業の進め方

(1) 基礎事項の復習

学習直後は知識の定着が悪く次のような対話になる

問) 「気体の温度を温めるためにはどうしたらよい？」

答) 「火で温める」

問) 「他には」

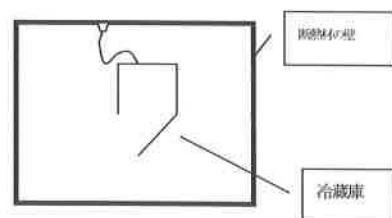
答) 「・・・」

そこで前時に続き、圧気発火器の実験をおこない、断熱状態でも気体に仕事をすることで、温度すなわち気体の内部エネルギーが増加することを確認する。

(2) 模擬試験の問題

次の問題を提示する。（断熱されていることを強調する）

問1) 図のように外部から完全に断熱された部屋に冷蔵庫があります。ドアを開けた状態で電源を入れ放置すると部屋の温度はどうなるか。選択肢から選びなさい。



【選択肢】

- 1 温度が上がる 2 温度が下がる 3 変わらない

答えは 1 である。

間違う例としては、選択肢2「断熱されている状態なので冷蔵庫により温度が下がる」選択肢3:「エネルギーは保存されるから変わらない」がある。

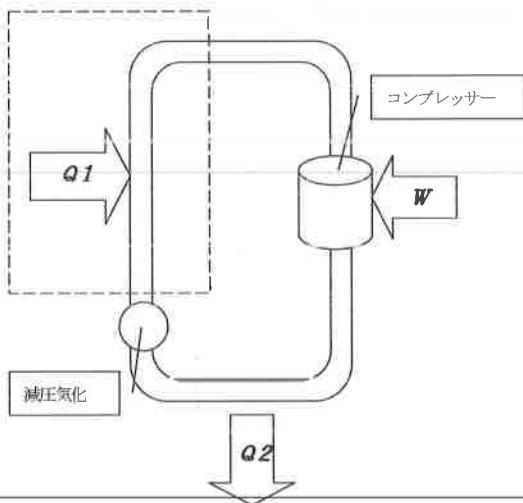
正解の選択肢1と答えた生徒に、その理由を説明してもらうと「冷蔵庫の後ろは熱いから」という理由を答えることが多い。「でも冷蔵庫は開いているから冷やされるよね」と返すと、きちんと理解している者以外は答えが詰まる。

そこで「断熱されていると強調したけど、実はちょっと穴が開いているんだけどわかる？」と質問すると考え出す。

シンプルな図だけに見つからない。説明の際コンセントについて「少しリアルさを出す程度」に書いているふりをするためだまされる。コンセントからのエネルギー供給があることを伝えると選択肢3の生徒も納得する。選択肢2の生徒には、もしうなれば地球温暖化も解決できちゃうよと笑いに持っていくこともできる。

問1で終わってしまうと生徒にとっては少々もやもやした感じがのくる。それはそもそも冷蔵庫の仕組みはどうなっているのかという疑問である。そこで、次の問題を提示する。

問2) 下図は冷蔵庫の仕組みを示した図である。図のQ1、Q2、W、 ΔU の正しい関係式を選びなさい。



ΔU ：作業物質(冷蔵庫を循環する冷却媒体)

の内部エネルギーの変化量

Q1：冷却で吸収する熱

Q2：放熱板からの発生する熱

W：コンプレッサーの仕事

$$1 \quad \Delta U = Q1 - Q2 + W$$

$$2 \quad \Delta U = Q2 - Q1 + W$$

$$3 \quad \Delta U = Q1 - Q2 - W$$

$$4 \quad \Delta U = Q2 - Q1 - W$$

$$5 \quad \Delta U = 0$$

$$6 \quad \Delta U > 0$$

$$7 \quad \Delta U < 0$$

エネルギーと仕事の関係について慣れてきた生徒は正解の1を選ぶことはできる。(2 学習内容で示したWは外へする仕事であるのに対して、ここでのWは循環物質がされる仕事である)

しかし、もうひとつの正解5を選ぶことができる生徒は少ない。循環物質の温度は循環するたびに元に戻ることを教えていく。(もし元に戻らないとオーバーヒートしてしまう)

結局1と5の式から

$$Q2 = Q1 + W$$

となる。

問1の答えと比較し、コンプレッサーの仕事Wがコンデンタから供給された電気エネルギーであることを生徒に確認して模擬試験の問題に関わる授業展開が終わる。

(3) ヒートポンプについて

最後にヒートポンプの概要を話題として話してまとめる。

冷蔵庫、クーラーなど冷却には代替技術が乏しくヒートポンプが昔から利用してきた。しかし近年は加熱の技術としても省エネルギーの観点からこの技術の利用が進んでいる。技術的にも1 kWあたりの冷却・加熱能力を現す成績係数COPも改善されてきている。

また、熱源として大気を利用することが多いが、地中の熱や太陽熱を利用したり、河川、井戸水などの水の冷却効果を利用する種類がある。

4 まとめ

この授業を始めたのは、10年ほど前にある模擬試験の問題を解説したことがきっかけだが、生徒の反応は良く、私は、通常の授業では必ず扱うようしている。

座学の授業の場合、教員から生徒へ一方的に説明してしまうと、生徒は思考せずにすら板書をノートに写すだけになる。また、実験においてもただ手順に従って作業をするだけでは学習にならない。生徒に思考させるためには、投げかける問題に意外性があり、その結論に対して驚きや納得が必要になる。

ここで示した授業案は、そうした意外性を含み、日常生活に密着した内容を学習した法則によって考えることで生徒の納得をえることができるもだと考える。

波動の導入 (縦波と横波)

北海道枝幸高等学校 佐藤 草馬

Hokkaido Esashi High School Kakuma Sato

波動の導入時に、縦波と横波の違いを生徒に体験させることで、実感を持って媒質の振動と波の進行を理解させる授業展開を紹介する。また、この波動の導入は物理分野だけではなく、地学分野の地震波の導入にも応用できる。

キーワード 縦波、横波、P波、S波

1. はじめに

波動分野では、波の進行と媒質の振動の違いについて、生徒が混乱する場面によく出会う。波が進むことが、そのまま媒質の移動と捉えてしまう生徒が少なくない。また、波と言えば、水面波（横波）をイメージする生徒も多く、波動の導入時に「縦波（疎密波）」のイメージを持っている生徒は皆無である。

現行の学習指導要領でも、新課程の学習指導要領でも中学校理科で取り扱われる波動分野の単元は、1分野の「光と音」で、光と音の定性的な学習をしているものの、波そのものの性質については学ばない。また、2分野の「火山と地震」で地震の伝わり方の中で、P波とS波を取り扱うが、あくまでも揺れ方の違いがある、という程度で、波の基本的な概念を学ぶのは、実は、高校物理となっている。

また、新学習指導要領解説の「(7) 波の性質について」という項目¹⁾で、「中学校では、第2分野『(2) 大地の成り立ちと変化』で、地震波の伝わり方について学習している。」と記述があることから、生徒の中学校段階までの知識を確認しつつ、波動という現象を地震波とも関連付けてイメージさせることが必要になる。

2. 波動の導入授業時のポイント

波動現象を生徒が正しく認識するために、まずは「波とは媒質の振動が連続して伝わる現象である」と理解させることが大事になる。そして、「波」と「媒質の振動」を区別させることができると、波の伝わり方の違いとして、縦波と横波の違いを説明し、定性的な考え方を定着させる。

波動現象が正しくイメージできるようになった後に、定量的な取り扱い（周期 T、振動数 f、波長λなど）を

することで、理解がより深まる。ばね振り子の振動のような単振動から導入すると、正弦波形が出てくるため三角関数の苦手な生徒は、波動も苦手意識を持つことが多い。できれば定量的な説明は後手に回すほうが良い。

3. 授業展開例

次に、波動分野導入時の50分の授業展開例を示す。ここでは、教員のはたらきを示し、「説明する」とは、板書をする、用意したプリントに記述させるなど、生徒の実態にあわせた教員の行為を意味するものとする。

3. 1 導入部（10分）

「波」という言葉から、どのような現象をイメージするか、どのような「波」を知っているか発問する。このとき、生徒の理解度を確認する。筆者の経験上、「海岸の波」や「波紋」のような水面波と、P波やS波の地震波を答える生徒が多い。

次に、生徒の答えた「波」は何が揺れているのか発問する。たとえば、「海岸の波」であれば海水、P波やS波のような地震波であれば地面、というような回答が挙がった後に、波を伝える物質を「媒質」と説明する。

そして、その時点で生徒の「波」についての理解度が推測できた時点で、「媒質の振動が連続して伝わる現象を波動である」という説明をする。あわせて「波源」について説明しておく。

3. 2 波動の実験というよりも体験（25分）

波は、媒質の運動が連続して伝わる、ということを実験で示すために、生徒に協力してもらう。

これは、いわゆる競技場で巻き起こるウェーブと同じで、人間が媒質、人間の動きの伝播が波となることを利

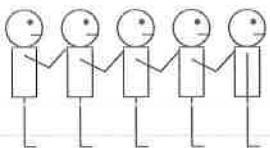
波動の導入（縦波と横波）

用する。

教室の広さにも因るが協力生徒は5～20人で行うと良い。今まで筆者が受け持った物理の授業では選択者が1クラスあたり最小3人から最大60人なので、実際どの学校でも物理選択者の人数に偏りがあることは考えられる。残念ながら、この実験は、物理選択者が5人未満ならば行えない。波を観察している生徒と、波を表現している生徒の入れ替えをしなければならないからである。

実験というよりも、生徒一人一人が媒質、生徒の動きで波の進行を表すので、体験といえるものであるが、媒質の振動が任意の速さに設定できる、瞬時に波の進行を止めて、波形を観察できる、という利点がある。

（手順1）生徒を一列に並べる

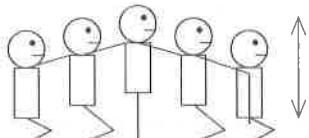


前にいる生徒の肩に手を載せるように指示する。このとき、はんの少し腕が曲がる程度の余白を持たせ、等間隔になるようにする。先頭生徒が波源役で、その後にいる生徒全員が媒質であると説明する。人数が足りないときは教員が先頭に入っても良い。できるだけ、背の高さをそろえるか、背の順に並べる。

（手順2）動き方のルールを説明する

目の前の生徒の動きを忠実に真似すること、波源役の動きから予想して動かないこと、無理はしないこと、を指示し、確実に守るように徹底させる。このルールが徹底できないと、美しい波を表現できない。

（手順3）横波を表現する



波源役の先頭生徒にほんの少し屈伸するように指示すると、横波のパルス波が観察される。このときの波形の様子から、屈伸するリズムや沈み込む深さを波源役に指示し、調製する。

綺麗なパルス波ができたところで、波源役にリズミカルに屈伸をするように指示し、連続波を観察する。1秒

間に1回屈伸する（振動数1/s）程度が見やすい。

（手順4）横波の説明

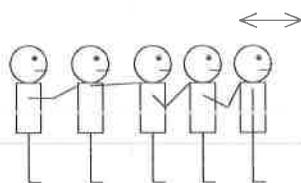
横波の観察から、次の2点を確認しておく。

一つ目は、波が伝わっても、媒質は移動しない（振動の中心は位置をえていない）ことである。

二つ目は、媒質の振動の向きと、波の進行方向の関係である。まずは、なにか気付いたことがないか発問し、その後、媒質（生徒）の動きは上下の振動だが、波（山と谷）の進行方向が後なので、「媒質の振動方向と垂直に進む波を横波」ということを口頭で説明する。

「横波」があれば、「縦波」があるという話をして縦波の観察に移る。

（手順5）縦波を表現する



手順1と同じように整列をさせた後、波源役に半歩程度、前後に1回ステップするように指示する。密集する部分（縦波の密）と距離が空く部分（縦波の疎）がはっきり分かるように、波源役のステップの幅やリズムを調整する。

疎密が綺麗に表現できたら、波源役に連続的に前後にステップし、縦波の連続波を観察する。横波の観察と違って、生徒の動きが遅くなく、綺麗な縦波を見ることができなかなかできないときもあるが、時間配分に気をつけて、おおよそ縦波を見ることができたかな、と判断できた時点で終了する。

（手順6）縦波の説明

手順4と同様に、媒質は移動しないこと、媒質の振動方向と波の進行方向が平行になっていることを確認し「媒質の振動方向と平行に進む波を縦波、または疎密波」と口頭で説明する。

（手順7）

媒質役の生徒にも横波、縦波を観察させるために、生徒を入れ替えて、手順3と手順5を行う。一度見ているので、入れ替えた生徒はスムーズに横波と縦波を表現できることが多い。

3. 3 P 波と S 波との関連付け（5分）

生徒の理解としては、中学校理科の2分野の「火山と地震」で学んだP波とS波は、初期微動を生じさせるP波と主要動を生じさせるS波、という程度である。そこで、P波は縦波、S波は横波である、という説明をし、地震波との関連付けをする。筆者は、この地震波の説明に、新聞記事²⁾を利用してする。時間に余裕がある場合、新聞記事にある震源距離の求め方（大森公式）に触れ、地震波の速さ、初期微動継続時間など、中学校で学んだ用語の確認をする。しかし、ほとんどの場合、新聞記事を読んでおこうという、紹介に留まる。

3. 4 本時のまとめ（10分）

この導入授業は、実験の時間をどれだけ時間内にまとめられるかが重要となる。筆者は、この授業では最後に板書で新出用語の整理を行うので、少なくとも10分程度確保できるように実験時間を調節する。

1章 波の性質（教科書p.○○）	
①波の基本用語	
波 … 振動が連続して伝わる現象	
媒質…波を伝える物質。	
（例）水、地面、人間など	
波源…波を発生させるもの	
横波…媒質の振動方向が波の進行方向と垂直の波	
（例）S波、水面波	
縦波…媒質の振動方向が波の進行方向と平行の波	
疎密波ともいう。（例）P波	
<u>※媒質は振動するが移動しない！！</u>	

図1 まとめの板書例

4. おわりに

この実験（体験）を行うと、盛り上がるクラス、無反応のクラスなど、生徒の雰囲気で大きな差が出る。しかし、いずれのクラスでも、生徒が媒質になることがとても印象深い授業になるようで、縦波と横波の違いをイメージできる生徒が多くなり、定量的な取り扱いに、比較的スムーズに移ることができるようになった。

今回紹介した実験そのものはとても単純だが、綺麗な波形になるように生徒を動かすのは、的確な教員の指示が必要で、授業時間内にまとめるのがやや難しい。人数が多いほど美しい波形を観察できるのだが、はじめは、

5～8名程度の少人数で実験を行うほうが良いと思われる。

ばねの振動や、ハイスピードカメラの利用、Java アプリケーションや、CG など、波動の導入に使える様々な教材や実践があるので、それらを併用しながら波動分野を開拓することで、生徒の理解はよりいっそう深まるることは間違いない。ただ、その中で、見せる実験、演示実験が多くなりやすいと思うので、体験型の実験が含まれると、生徒の興味関心が喚起されると筆者は実感している。

参考文献

- 文部科学省、高等学校学習指導要領解説 理科編 平成21年7月、p.31
- 例えば、朝日新聞、DO 科学「地震の深さはどうはかるの？」、平成22年12月4日
- 増子寛：プロジェクトサイエンスシリーズ6「手軽にできる実験集（1）」、コロナ社

音源の振動

北海道立教育研究所附属理科教育センター 伊藤新一郎

弦、気柱などの音源の振動や共振・共鳴についての簡単な演示実験や、気柱共鳴の実験の際に補足的に行う実験を紹介する。また、うなりに関する授業展開の例について紹介する。

キーワード 弦の振動、気柱の振動、共振、共鳴、うなり

1. 弦の振動

1. 1 基本事項の確認

弦の振動でおさえておきたいことは、①定在波による振動であること、②定在波の腹の数が2、3…の2倍振動、3倍振動…があることである。①については、弦の両端が固定されているため、固定端反射が起こり弦の端を節とする定在波ができるることを板書などで示しながら説明する。②については、腹の数が2、3…のときにも弦の両端が節という条件を満たし、定在波が起きることを示す。また、これらの定在波による振動を弦の「固有振動」といい、その振動数を「固有振動数」ということ、固有振動のうち、腹の数mが1 ($m=1$) のものを「基本振動」、 $m=2$ 、 $3\cdots$ のものを「倍振動」ということ ($m=2$ の振動を「2倍振動」、 $m=3$ の振動を「3倍振動」ということ)、基本振動によって生じる音を「基本音」、倍振動によって生じる音を「倍音」ということなど、授業を進める上で用語もしっかりと定着させたい。

1. 2 簡単な演示実験の例

身近なものを用いた簡単な演示実験の例を紹介する。

例えば、ギターを弾くことができれば弦を開放した状態(フレットを指で押さえない状態)で弦をはじき、定在波が発生していることを見せることができる。また、12フレット上で左手の指を弦に軽くふれておいて、右手の指で弦をはじくと同時に左手の指を弦から放すとボーンという2倍振動の高い音を出すことができる(ハーモニック奏法といふ)。同様のことを7フレット上で行えば3倍振動、5フレット上で行えば4倍振動となる。ちなみに、2倍振動で発生する2倍音は基本音の1オクターブ上の音であり、4倍音は2オクターブ上の音である。

図1は、ゴム栓に中心からずれたところに穴を開けて

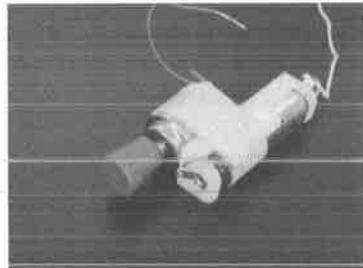


図1 振動源

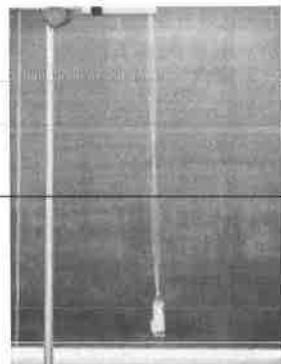


図2 振動源のつり下げ(2倍振動)

モーターの軸に取り付けたもので、偏心しているためモーターを回転させると振動し、振動源として用いることができる。図2のように糸につり下げると弦の振動の教材として用いることができ、糸の長さを変えることで基本振動や2倍振動、3倍振動の様子を演示することができる。

また、重さを変えることで弦の張力を変えることができ、張力と弦を伝わる波の速さについての実験を行うこともできる。弦の線密度についても、糸をより合わせる

ことで簡単に変えることができ、例えば、糸を2本軽くより合わせたものを用いることで弦の線密度を2倍にすることができる。

1. 3 弦を伝わる波の速さ

参考までに弦を伝わる波の速さを測定する実験を紹介する。プラスチックのつるまきバネをある程度の長さに張った状態で、一端を軽くはじいてパルス波を送る。パルス波は両端で反射されるので、つるまきバネを往復するのが観察される。このパルス波が10往復する時間をストップウォッチで測定する。やり方としては、往復するたび毎に「1, 2, 3…」と声をあげて数えていくといい。パルス波は減衰しだんだん見えづらくなるが、同じリズムで10まで数え、ストップウォッチで計時してパルス波が10往復するのに要した時間とする。次に、つるまきバネを最初の長さの2倍に伸ばしたらパルス波が10往復に要する時間はどうなるか生徒に予想させながら、つるまきバネを最初の長さの2倍に伸ばして同様の実験をする。

つるまきバネを2倍に伸ばしているので弦(つるまきバネ)の張力は2倍になっている。また、弦の線密度(弦1m当たりの質量)は、長さが2倍になっているので、半分になっている。よって、弦を伝わる波の速さは2倍になるが、弦自体の長さも2倍になっているので往復にかかる時間は変わらないはずである。実際に、実験してみると長さを2倍にしてもパルス波が10往復するに要する時間はほとんど変わらないことが確認できる。

2. 気柱の振動

2. 1 基本事項の確認

気柱の振動でおさえておきたいことは、①定在波による振動であること、②管の底では固定端反射が起こり、開口端では自由端反射が起こっていること、③基本音の他に倍音が生じることである。これらのことと踏まえながら、閉管と開管の場合に分けて、閉管なら5倍音、開管なら3倍音程度まで板書などで示しながら説明する。特に閉管の場合は、2倍、4倍などの偶数倍の倍音が存在せず、定在波の波長や固有振動数の式は複雑な形をしているので、式の暗記に走ることなく、管の中にできている定在波のイメージをもてるよう指導したい。また、用語としては、授業をスムーズに進められるようにするためにも、「気柱」、「閉管」、「開管」、「開口端補正」について、しっかりと定着させたい。

2. 2 簡単な演示実験の例

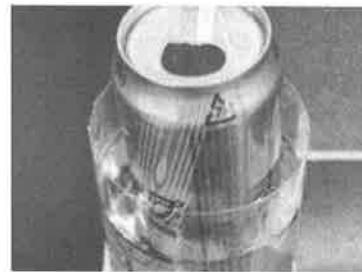


図3 空き缶の底を切って水に浸したもの

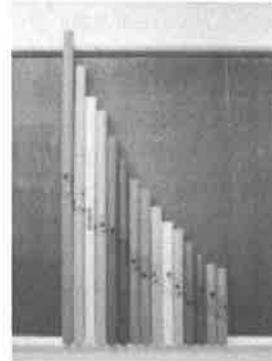


図4 2オクターブ分のパイプ

管の長さと音の高さの関係を示すには試験管笛などが簡単で扱いやすい。予め試験管の水の量を調整してドミソなどの音階が出るようにしておくとパフォーマンスとして面白い。試験管笛は、水面から上の管の部分が閉管となるので、水を多く入れるほど気柱の長さが短くなつて音程が高くなる。管を吹く強さによっても音程が変化するので注意が必要である。ちなみに、似たようなものに水を入れたワイングラスの縁を指でこすって音を奏でるグラスハープというものがあるが、こちらは気柱共鳴とは別の仕組みで、水の量が多いほど音程は低くなる。

図3は、空き缶笛の変形版で、空き缶の底を切ったものを容器に入れた水に浸し、容器を上下させて空き缶の中での水面の位置を変化させることで音程を変えられるようにしたもので、簡単な曲なら弾くことができる。ただし、空き缶笛やオカリナは気柱共鳴とは異なり、ヘルムホルツ共鳴によって共鳴している。

気柱を用いた簡単な楽器の例としては、ドレミパイプを挙げることができる。たたくとドレミファソラシドの音が出るように長さが調整されたポリエチレン製のカラフルな閉管で、基本的なセットの他に1オクターブ下の音が出る長いパイプのセットがある。図4は2オクターブ分のパイプを音階の順に並べたものであり、音階と波長との関係をイメージしやすい。パイプの先につける蓋

もあり、蓋をつけると閉管となるため、音程を更に1オクターブ下げることもでき、閉管と開管の違いを見せる上で効果的である。筆者も気柱の授業の終わりにドレミパイプを生徒に持たせ「ドレミの歌」を演奏させたりしたが、なかなか好評であった。

3. 共振・共鳴

3. 1 簡単な演示実験の例

共振とは、振動体にその固有振動数と等しい振動数の周期的な力を加え続けると振動体が次第に大きく揺れるようになる現象のことで、音響現象の場合には特に共鳴とよばれる。

演示実験としては、おんさの共鳴を行うことが多いと思われる。同じ振動数の共鳴おんさの共鳴箱の開口部を向かい合わせて一方のおんさをたたく。しばらくした後、たたいた方のおんさを指でおさえて止めるとき、もう一方のおんさが鳴っていることがわかる。つまり、最初にたたいたおんさの振動によってもう一方のおんさが振動を始めたことが確認でき、共鳴していたことがわかる。

また、2. 2で紹介したドレミパイプを耳に当てるときゴーッという音が聞こえるが、ドのパイプを耳に当てたときにはドの音の高さのゴーッという音が、ミのパイプを耳に当てたときにはミの音の高さのゴーッという音が聞こえ、共鳴が起こっていることが確かめられる。

映像教材としてはタコマ橋の崩落が有名である。タコマ橋は、アメリカ合衆国ワシントン州ピュージェット湾の海峡に架かる吊り橋であり、開通後間もない1940年11月7日、風速20m/sたらずの風で橋が大きく揺れて崩壊する様子が映像として残されている。

3. 2 気柱共鳴の補足実験

気柱共鳴の実験の際にやっておきたい補足的な実験がある。よく問題集などで「共鳴している気柱の中で、最も圧力の変化が大きいのはどこか」という問題を見かけることがあるが、実際に目で見ることはできない。そこで、ろうとにゴム管をつけ、図5のように共鳴している気柱の中にゴム管の先を入れていき、ろうとを耳に当てて音を聞くと場所により音の大きさが変化し、定在波の節になっていると思われる部分から音が大きく聞こえることを確かめることができる。

4. うなり

うなりの授業でおさえておきたいことは、①うなりの現象の観察、②2つの音の振動数 f_1, f_2 と1秒間に起こすうなり N の関係である。



図5 共鳴した管の中の音を聞く実験

①については、実際に振動数がわずかに異なる2つのおんさ等を用いてうなりを観察させるのが一般的であろう。しかし、単に振動数の異なる2つのおんさ A, B を鳴らしじうなりを観察させるだけではもったいない。筆者の場合は、最初「この2つのおんさはほんのわずかだが音の高さが異なっています。どちらのおんさの音が高いか見てみてください。」と言った上で、まず、おんさ A を鳴らして音を聞かせ、次におんさ A の振動を止めてからおんさ B を鳴らして音を聞かせるようにしていた。2つのおんさの振動数にはほとんど差がないため、生徒は必死に聞き分けようとするが、なかなか難しい。振動数にはほとんど差がないことを十分に理解させた上でどちらが高かったのか正解を伝え、その上で、「今度はこの2つのおんさを同時に鳴らしてみます。どんなことが起こるかよく聞いてください。」と言ってから、2つのおんさを同時に鳴らし、うなりの観察をさせていた。さらに一方のおんさにつけたおもりの位置を変えて振動数の差を大きくするうなりの回数も多くなることを実験で示すようにしていた。こうすることで生徒の注意を実験に向けさせると共に、2つの音源の振動数の差うなりの回数の関係を実感を伴って理解できるようになるのではないかと考えている。ちなみに、2つの音源の振動数の差がある程度以上離れると「うなり」ではなく別の2音として聞き分けられるようになる。

②については、例えば6 Hzと7 Hzの波形を黒板に描いて、最初は2つの波が同位相で山と山が重なって合成波の振幅が大きくなるが、やがて位相がずれついには逆位相となって山と谷が重なって合成波の振幅が0となり、再び2つの波の位相が同位相となり合成波の振幅が大きくなる様子をゆっくりと示したい。コンピューターシミュレーションなどデジタルコンテンツを使って波形を見せることも考えられるが、さっと見せただけでは生徒の理解は容易には進まないので、やはり板書を中心によくくりと解説し、デジタルコンテンツはそれを補う程度に使うのがよいと筆者は考えている。

交流と直流

北海道立教育研究所附属理科教育センター 松田素寛

私たちが普段、家庭でコンセントから取り出して使っている交流について、乾電池による直流と比較をしながら、基本的な仕組みを理解させる授業展開例を示す。

キーワード 発光ダイオード、交流、直流、実効値、ジュール熱

1. 授業の進め方

普段、何気なく使っている電気だが、直流と交流について理解している生徒は少ない。

教科書では直流と交流のオシロスコープの波形やグラフが示されているおり、板書等で説明をして、その性質を理解させがちである。

演示実験で直流と交流の違いを示していくことで、その性質について関心を持たせ、直流と交流の理解を深めていくことができる。

家庭用の電源がなぜ交流が使われているのかという疑問もわき、変圧器の利用の説明につなげることができる。

この授業では直流と交流の違いに焦点を当て、演示実験を交えながら授業を展開する方法を示す。

2. 演示実験の方法

演示実験 I

交流発生器で交流を見る。(直流との違い)

(1) 準備するもの

発光ダイオード(赤、緑)、電池(電源装置)、交流発生器、導線

(2) 実験のやり方

発光ダイオードに電池をつなぎ、直流の様子を観察する。

次に、交流発生器(図1)をコンセントにつなぎ、交流の様子を観察する。

他の方法としては、電源装置(直流・交流)で、行う方法もある。

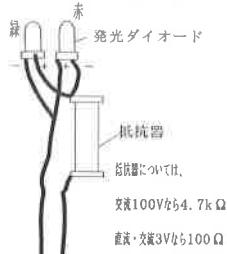


図1 交流発生器

演示実験 II

オシロスコープで交流を見る。(直流との違い)

(1) 準備するもの

電源装置(直流・交流)、オシロスコープ、導線

(2) 実験のやり方

直流と交流の違いについて、オシロスコープを電源装置につなぎ、直流と交流の違いを観察する。

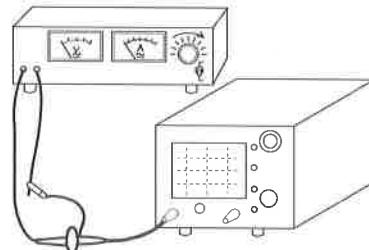


図2 オシロスコープによる観察

演示実験 III

電球で交流を見る。(直流との違い)

(1) 準備するもの

耐電圧6V or 12V電球(2個)、電源装置(直流・交流)、電池、スライダックス、導線、直流電圧計、交流電圧計

(2) 実験のやり方

電球と直流電源(電池)で回路をつくり、直流電圧計をつなぐ。

同じく、電球と交流電源(スライダックス)で回路をつくり、交流電圧計をつなぐ。

一定の電圧(5V)での直流と交流で電球の明るさを比べる。

3. 授業展開例

[演示実験 Iについて]

教師：「普段、何気なく電気を使っているが、直流と交

交流と直流の違い

流の違いって何だろうか。」

生徒：「…、電池、コンセントかな。」

教師：「導線につないだ発光ダイオードがあります。電池とコンセントにそれぞれつないでみます。

：「(部屋を暗くして)、電池で発光ダイオードを光らせてみます。次に、コンセントで光らせます。」

：「何か違いが見られましたか。」

生徒：「明るさ？」

教師：「もう一度やります。今度は発光ダイオードを左右に振ってみます。まず、電池です。次に、コンセントでやってみます。それぞれどのように見えましたか。」

生徒：「電池ではつながった光となり、コンセントの方では点線のような光となりました。」

教師：「直流と交流による光の違いは、左右に動かすと、わかりますね。さて、交流はどのように電流が流れているのでしょうか。」

生徒：「電流が流れたり、流れなかつたりしている？」

教師：「それでは、直流と交流の電流の流れ方に違いを実際に見てみよう。」

【演示実験Ⅱについて】

教師：「ここにあるオシロスコープという装置は、時間とともに、電圧が変化する様子を映し出す装置です。」

教師：「直流と交流でどのように電圧がかかっているか見てください。縦軸が電圧、横軸が時間です。」

教師：「直流電圧をかけます。何か変化ありますか。○君。」

生徒：「直線？、一定です。」

教師：「交流電圧をかけます。何か変化ありますか。○君。」

生徒：「波打っている。波形？」

教師：「直流と交流の違いがわかるよね。」

教師：「演示実験1と演示実験2からどのようなことがわかる？ ○君」

生徒：「直流は一定ですが、交流は向きを変えて電圧が変化している。」

教師：「そうだね。直流(DC)は、乾電池を豆電球に接続したときに流れる電流は、+極から-極へと流れ、逆向きにならない。」

：「交流(AC)は、コンセントに電球を接続したときに流れる電流は、その向きや強さが周期的に変動している。」(オシロスコープの波形を見せる。)

：「交流では、電圧や電流の変化が1s間に繰り返す回数を、交流の周波数といいます。東日本では

50回、西日本では60回、単位は波の振動数と同

じHz(ヘルツ)を使います。地域により違うのは、導入された発電機の違いからくるものです。初め、直流電源も使われていましたが、交流の優位性の高まりから、交流が利用されるようになったという話もあります。」

【演示実験Ⅲについて】

教師：(オシロスコープを見せながら)「交流の電圧はいくらになっている？ ○君」

生徒：「一定ではないので読みません。最大で7V」

教師：「そしたら、実際に電圧計で調べてみよう。○君何Vになっている。接続端子をしっかり読んでよ。」

生徒：「およそ5V」

教師：「この5V(実効値)の交流電圧は、最大値が約1.4倍の7V(最大電圧)となっています。」

：「家庭用電源100Vも、最大電圧は141Vになっているんだよ。」

教師：「ところで、直流と交流で同じ電圧をかけると電球の明るさは違っているんだろうか。」

生徒：「同じ。」「流れ方が違うのだから違う。」etc

教師：「それじゃ、電圧計で電圧を同じ値になるように調整して、直流と交流で、電球の明るさを比較しよう。」

：「2つの電球の明るさを見てよ。」

：「それぞれ5Vずつかけていくよ。」

：「直流電圧計5V」

：「次に、交流電圧計5V」

：「明るさはどう？」

生徒：「ほぼ同じだ。」

教師：「これで、5Vの交流を抵抗につないだときに発生するジュール熱が、5Vの直流を同じ抵抗につないだときに発生するジュール熱と等しい。交流電圧計はそのような電圧の値を示すように作られている。このことから、電球に同じ電圧の交流と直流をかけても、ほぼ同じ明るさになるんだ。」
：「電流はフィラメントの発熱により、熱及び光エネルギーを出していることから明るさがほぼ同じことで、直流も交流も同じジュール熱を出しているとしているんだよ。」

※直流と交流によるジュール熱について、水の温度変化を調べさせる演示実験もある。

参考文献

・三省堂 高等学校物理I

・北海道立教育研究所附属理科教育センター

理科教育研修講座

高等学校理科研修講座(標準)テキスト

授業指導案『放射線発見の歴史に学ぶ』を作成するに当たって

北海道大学大学院理学院／北海道札幌清田高等学校

鶴岡 森昭

20世紀の実験原子物理学の扉を開いたラザフォードの足跡を探って、イギリスのケンブリッジと生まれ故郷であるニュージーランドの南島クライストチャーチとネルソンを訪れた。この教材はその現地調査で得られた情報に基づく。

農業技術師の父の影響で工作技能に優れたラザフォード少年は、クライストチャーチのカンタベリー大学でさらにその技能を磨き多くの実験器具を自作して、その後の歴史的な発見の礎を築いた。幸運にも奨学金を得てイギリス本国での留学の機会を得て、その当時世界最先端のケンブリッジにあるキャベンディッシュ研究所で電子の発見者であるトムソンの門下に入る。そこから本格的な原子物理学の探究を始めたのである。原子の有核モデルの提唱を始め放射線の発見と命名、本人のノーベル賞受賞に留まらず彼に指導された弟子からは数多くのノーベル賞受賞する科学者が輩出した。正に20世紀最大の実験科学的研究者であり教育者であると言っても過言ではない。

このラザフォードの足跡調査をベースにしてこの教材を構成した。特に α 線の発見に焦点を当て、原子モデルの形成過程をトレースする内容とした。

1. モジュール名：放射線発見の歴史に学ぶ			
2. モジュールの目標：放射線が発見された歴史を振り返ることを通して放射線に関する理解を深め、各放射線の特徴を説明することができる。			
3. モジュールの構成（配当時間）			
ページ名	時間	主な学習内容	指導の留意点
A X線の発見	1	1895年、ドイツの物理学者ウイルヘルム・レンツゲン(1845-1923)が、ヴュルツブルグの実験室で陰極線の実験中に物質を透過する光の放射に気付いた。これがこそが人類が初めて発見した放射線であった。この「未知のもの」の正体が未解明であるという意味から、レンツゲン自身はX線と命名した。	生徒自身も胸部撮影や外科的診断等の医療面で日常的に使用されていることにも言及する。 また、世界で初めて撮られたレンツゲン夫人の左手のX線写真も提示する。
B 電子（ β 線）の発見	1	1897年、イギリスの物理学者ジョセフ・J・トムソン(1856-1940)が、陰極から陽極に向かうもの（陰極線）を様々な種類のガスを入れたガラス管や金属の電極で調べ、電場や磁場で方向が曲げられることを解明した。この粒子こそがファラデーが予言していた電気の最小単位を持つ負の粒子であることを提唱した。原子を構成している様々な粒子の中で、最初に発見されたものが電子であった。	トムソンが電子を発見したイギリス・ケンブリッジ大学・キャベンディッシュ研究所の建物の壁に設置されているプレートを提示する。 クルックス管等を用いた演示実験を提示する。
C α 線の発見と原子構造	1	1898年、ニュージーランド生まれのイギリスの物理学者アーネスト・ラザフォード(1871-1937)が、ウランから2種類の放射線が出来ていることを発見した。彼はこの2種類の放射線を、ギリシャ文字の最初の2文字を当てて、アルファー線とベータ線と命名した。1908年、アルファー線はヘリウムの原子核と同一の構造を持つ粒子の流れであることをラザフォード等が解明した。	ニュージーランド・クライストチャーチ・カンタベリー大学内 Rutherford Den に展示されているラザフォードゆかりの実験器具などを生徒に提示する。 原子モデルとして複数のものが提案され、その中から有核モデルが採用された過程を大切にする。また、原子に更なる下部構造があることが発見されたことの意義を強調する。

授業指導案『放射線発見の歴史に学ぶ』を作成するに当たって

D γ線の発見	1	1900年、フランスの物理学者P・V・ヴィラールが、X線に似た透過性の強い別の種類の放射線を発見した。ラザフォードは、1903年これに3番目の文字を当ててガンマ線と命名した。	α線・β線の性質との違いを強調した指導をする。 「はかるくん」を用いた遮蔽実験を導入し、γ線の透過力の特性を実感させる指導をする。
E 中性子線の発見	1	1932年、ラザフォードの指導の下でα線の照射実験を行っていたイギリスの物理学者ジェームス・チャドウイック(1891-1974)が、透過力の強い放射線を発見した。陽子とほぼ等しい質量の電荷を持たない粒子「中性子」が実証された。この粒子の発見によって、原子核を詳細に調べる研究が急速に進歩することになった。	他の放射線との違いと、中性子が核分裂反応を引き起こすしくみを明らかにできる指導をする。

高等学校物理Ⅱ

授業指導案:『α線の発見と原子構造』

	学習内容・活動内容	教材・資料	指導の留意点	評価の観点
導入	はじめに、ニュージーランド・クライストチャーチ・カンタベリー大学内のRutherford Denに展示されているラザフォードゆかりの実験器具などを収めた画像を生徒に提示する。	パソコン、液晶プロジェクター、パワーポイント教材	グループ討議のために、班分けと司会者を決め、司会者には事前に討議の進め方を指導しておく。	
展開	ラザフォードがアルファー線を発見するに至った過程を、各班の司会者を中心にして資料を活用しながら学習する。その学習活動では、討議課題として ① アルファー線の正体がヘリウム原子核と究明できた理由	ラザフォードの足跡をまとめた資料、専門用語の解説資料、α線発見に関する資料、及び各班の司会者との事前打ち合わせで求められる資料	原子構造が明らかにされる過程で提案された複数のモデルと、その中から有核モデルが採用された過程を丹念に辿るよう指導する。	
まとめ	② アルファー線を使って原子の構造を究明する実験によって、有核モデルが採用された理由 ③ アルファー線を使った実験によって明らかにされた原子の構造が、その後どのように進展していくのか?		①②③の課題を班で分担して取り組み、まとめの段階で全体として総括できるように指導する。 討議がスムーズに進められるように記録するシートを用意する。	①各課題について、発見の過程が飛躍することなく辿られているか ②特に、アルファー線の持つ性質を活かした実験によって、有核モデルが採用された理由をいかに捉えているか

平成 22 年度事業報告

1、日本物理教育学会北海道支部会誌

「物理教育研究」vol. 38 9月発刊

2、総会

日時 平成 22 年 6 月 5 日(土) 14:30~17:00

場所 北海道大学理学部 2-2-11

内容

<<<総会>>> 14:30~14:50

(1)支部長挨拶

(2)平成 21 年度事業報告

(3)平成 21 年度会計報告

(4)平成 21 年度会計監査報告

(5)平成 22 年度事業計画

(6)平成 22 年度会計予算書

(7)平成 22 年度支部役員について

<<<特別講演>>> 15:00~16:00

「銀河の進化を追って

—サブミリ波観測で拓く銀河の歴史—」

北大大学院理学研究院物理部門

徂徠 和夫

<<<実験デモンストレーション>>> 16:00~17:00

<<<懇親会>>> 18:00~20:00

笑笑 札幌北口駅前店 717-2088

札幌市北区北 7 条西 4 丁目 1-2 札幌丸增ビル B1F

3、第 13 回北海道大学－ソウル大学ジョイントシンポジウム分科会 韓国 NRF との共同セミナー整理会 招待講演と共同セミナー整理会

—教員養成と中等教育の国際交流—

11 月 6 日 (土) 午後 2 時から

北海道大学大学院教育学研究院・大会議室

内容

招待講演 (午後 2 時~3 時 30 分)

Teacher training programs in Helsinki University and Finland

Jari Lavonen 教授

Department of Teacher Education,

University of Helsinki フィンランド

交流会 (午後 3 時 45 分~5 時 30 分)

中等教育における理科実験や教材のデモンストレーションと意見交換

4、中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

日時 2010 年 11 月 23 日(火) 13:00~15:45

場所 北海道大学理学部 5 号館 2 階 5-2-01 教室
(札幌市北区北 10 条西 8 丁目)

プログラム

○ 支部長挨拶 13:00

○ 中高生理科部生徒による研究発表

13:05~14:05

「『はかるくん』を用いた自然放射線の研究」、「水ロケットの研究」

札幌市立宮の森中学校 科学部

「身近な菌類について」

札幌市立屯田北中学校 科学同好会

「チョークが溶れる力の研究」

北海道札幌北陵高等学校 自然科学部

「グラスハーブにおける音階決定の法則性の研究」
北海道札幌北高等学校 物理化学部

○ 北大博物館見学 (生徒対象、大学院生によるガイド付) 14:15~15:45

○ シンポジウム「中学・高校・大学をつなぐ物理教育」(教員対象) 14:15~15:45

パネリスト:

森山 正樹 (札幌市立宮の森中学校)

山田 浩之 (札幌市立屯田北中学校)

中道 洋友 (札幌北高等学校)

増子 寛 (麻布学園高校)

司会: 横関 直幸 (札幌旭丘高等学校)

<内容>

・中学校理科教員を対象とした「物理教育に関するアンケート」結果の分析

・新しい学習指導要領のもとで、中学校理科の物理分野はどのように変化しているのか。

・中学校理科の物理分野において、指導上の課題は何か。

・中学校での指導を踏まえた高等学校「物理基礎」は、どうあるべきか。

・すべての生徒のための「物理教育」とは、どうあるべきか。

5、物理教育研究会

日 時：平成 22 年 12 月 19 日(日)
13 時 00 分～17 時 30 分

場 所：北海道大学 理学部 2-2-11 教室

内 容

○ 支部長挨拶 13:00

○ 招待講演 13:05～14:05

(座長：北海道立教育研究所附属理科教育センター 松田 素
寛)

「北海道大学の総合入試と学生サポート体制」

北海道大学高等教育推進機構アカデミック・サポ
ートセンター

アカデミック・アナリスト 竹山 幸作 氏

○ 原著講演 14:10～15:10

(座長：北海道立教育研究所附属理科教育センター 伊藤 新
一郎)

1. 「日本魔鏡の科学史と物理教育への応用」

酪農学園大学 山田 大隆

2. 「科学者ゆかりの地を訪ねて」

北海道大学大学院理学院 鶴岡 森昭

3. 「コリオリ力の簡単な理解」

北海道大学大学院理学研究院 伊土 政幸

○ ミニ模擬授業 15:20～16:40 (進行：札幌旭丘高校 横
関 直幸)

～新科目『物理基礎』を意識した授業の提案Part2～

1. 「波動の導入 ～縦波と横波～」

札幌第一高校 佐藤 革馬

2. 「電気分野の導入」

札幌南高校 溝上 忠彦

3. 「熱機関を理解する」

岩見沢緑陵高校 大屋 泰宏

4. 「振り子の力学的エネルギーとその保存」

長沼高校 永田 敏夫

○ 全体討論 16:45～17:30

(司会：札幌旭丘高校 横関 直幸)

『物理基礎』の登場 ～みんなで授業をデザインし
よう！Part2～

6、青少年のための科学の祭典 2009

7、理事会

平成 22 年 4 月 27 日 (火)

平成 22 年 8 月 30 日 (月)

平成 22 年 10 月 19 日 (火)

平成 22 年 11 月 16 日 (火)

//////////////////////////////

平成 23 年度事業計画

1、日本物理教育学会北海道支部会誌

「物理教育研究 vol. 39 9 月発刊 (予定)

2、総会

日時 平成 23 年 6 月 11 日(土) 14:30～17:00

場所 北海道大学理学部 2-2-11 教室

3、基礎実験講習会

4、中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジ ウム」

5、物理教育研究会(12 月)

6、理事会(4 月、8 月、10 月)

平成 22 年度一般会計収支決算書(2011. 6. 11)

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥266,547	会議費	¥11,388
本部補助金	¥150,000	通信費	¥10,500
雑収入	¥110	事務費	¥12,307
		予備費	¥15,000
		会誌印刷補助	¥0
		次年度繰越金	¥367,462
計	¥416,657	計	¥416,657

平成 22 年度特別会計収支決算書

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥238,490	会議費	¥0
支部補助金	¥0	通信費	¥8,655
会員負担金	¥94,280	事務費	¥3,520
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥92,400
		次年度繰越金	¥228,195
計	¥332,770	計	¥332,770

平成 23 年度一般会計予算

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥367,462	会議費	¥20,000
本部補助金	¥150,000	通信費	¥25,000
雑収入	¥538	事務費	¥25,000
		会誌印刷補助	¥0
		予備費	¥448,000
計	¥518,000	計	¥518,000

平成 23 年度特別会計予算

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥228,195	会議費	¥10,000
支部補助金	¥0	通信費	¥20,000
会員負担金	¥81,805	事務費	¥10,000
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥150,000
		予備費	¥120,000
計	¥310,000	計	¥310,000

日本物理教育学会北海道支部規約

第1条 本支部は、日本物理教育学会北海道支部と称する。

第2条 本支部は、北海道在住の会員の連絡と研究の交流をはかり、北海道における物理教育の振興と、その地域的な活動への寄与を目的とする。

第3条 本支部は、前条の目的を達成するため次の事業を行なう。

- (1) 講演会、講習会、学術映画会、研究会懇談会等の開催
- (2) 会報の配布、研究成果の刊行
- (3) 物理教育についての調査及び研究
- (4) その他、前条の目的達成に必要な事業

第4条 (削除)

第5条 本支部の会員は、北海道在住の日本物理教育学会の正会員及び賛助会員からなる。

第6条 本支部に次の会員をおく。

1. 支部長1名、副支部長2名、支部理事若干名、及び監事2名。
2. 支部理事の数は、支部長が支部理事会の議を経てこれを定める。
3. 副支部長は、支部理事の中から支部長がこれを委嘱する。

第7条 支部長・副支部長及び支部理事は、支部理事会を組織し、支部長は支部会務を統括する。副支部長は支部長を補佐し、支部理事は支部の業務を分掌する。

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職務を行なう。

第9条 本支部に支部評議員若干名をおく。

支部評議員の数は、支部長が支部役員会の議を経てこれを定める。支部評議員は支部理事会の推薦により支部長がこれを委嘱

する。

第10条 支部評議員は、支部評議員会を組織し、支部長の諮問に応じ、支部の事業遂行について支部長に助言する。

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

第12条 次期支部役員は、本支部役員中の次の者の中から支部総会において選任する。

- (1) 支部理事の推薦した正会員
- (2) 正会員又はその団体の推薦した正会員

第13条 元支部長及び本支部の地域内に在住する本部理事ならびに本部評議員は、支部理事会に出席することができる。

第14条 支部総会は、毎年1回、支部長がこれを招集する。支部長が必要と認めたときは支部理事会の議を経て臨時支部総会を招集することができる。

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

- (1) 事集計画及び収支予算
- (2) 事業報告及び収支決算
- (3) その他、支部理事会において必要と認めた事項

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

- (1) 本規約は、総会において、正会員の三分の二以上の同意を得なければ変更できない。
- (2) 本規約は、昭和44年6月25日より施行する。

A 4 論文原稿執筆要項 表題は16ポイント(pt)のゴシック文字 (副題は12ptゴシック:両端をカッコでかこむ)

English Main Title:12ptTimes (英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載する)
(English Sub Title:12ptTimes)

所属は9pt明朝 名前は10ptゴシック 明朝大学 ゴシック 太郎 執筆高校 執筆 一朗
Name 9pt Times Sippitu Koukou Sippitu Itirou

本文の9行目に相当する位置から抄録を書き始めます。200字以内。日本語文字は9ptを標準です。例えば「・について、・・という発想で、・・行なったところ、・・という結果を得た」キーワードを含めて下さい。なお、英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載します。

Abstract

Abstract must be written with 9pt Times or Times new Roman Font.

キーワード 9ptゴシック 5語程度

Keywords : Times Font, 9pt, About 5 Words

1. 部会報「物理教育研究」投稿について

内容 部会員からの自由投稿及び編集部の依頼に基づく寄稿によるものとし、内容は論説研究・解説・報告等物理教育に関するものなら自由です。

します。ベクトルの場合は太文字のイタリックとします。

上下添字は6pt程度の立体（イタリックも可）とします。以下にいくつかの例を挙げます。

J_c V_i P^A_{ijk}

式を記入する場合は、式の上下に自行を設け、右端に式番号を下記の例のように記入します。

$$F_D = C_P 1/2 \rho |V| VS \quad (5)$$

式を文章中で参照する場合は、式(5)、式(7)～(10)のように番号の前に"式"を付けてください。

2. 原稿執筆（章タイトルはゴシック10pt太字）

本資料はオフセット印刷で、縮小してB5版に印刷される冊子を作成する際に、A4版の論文原稿作成の時に必要な投稿規定の情報を、視覚的に理解しやすい形で提供することを目的として作成したものです。

2.1 本文執筆の要点

A4用紙に52文字45行、2段組の部分は25文字、段間隔：8mm 段幅：82mm とする。マージンは上21mm 下27mm 左18mm 右18mm とする。

2.2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは9ptの

和文：MS明朝、平成明朝

英文：Times, New Roman, Times Symbol とします。ただし太文字は、9ptの和文：MSゴシック、平成角ゴシック、英文：Arial, Helveticaを使用すること。上記フォントがない場合は、類似のフォントを使用してください。

図・表・写真は、1段幅、あるいは2段幅に収まるようになし、論文内の適切な位置には配置します。

図中の文字は、十分認識できるサイズ（9pt程度）にし、6pt未満の文字は使用しないでください。また図表・写真的前後に空自行を設けてください。

図表には適切な表題（見出し）、ナンバーを必ず付けて文中に挿入します。その説明は以下に示す例のように、太字の図・表・写真番号の後に、9ptの標準文字で説明を記入してください。図表写真については原寸大で写真製版します。

例 図1 実験装置の概略

Fig.2 Schematic of experimental apparatus

Table 3 Fluid properties in each run

Photo 4 Flow pattern around sphere

2.3 式および記号

式および記号の標準文字は、9ptのイタリック体と

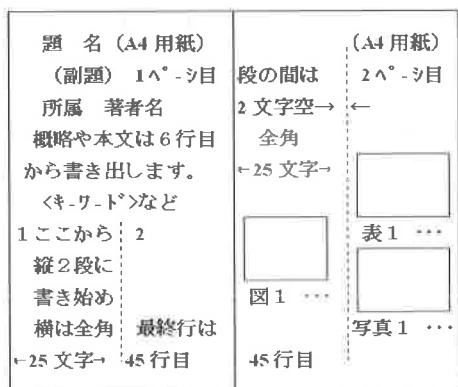


図1 ワープロ原稿の例

写真はコントラストの良いものでお願いします。また、ワープロ文書等に貼り付ける場合はサイズが必要以上に大きくならないようにしてください。

図・写真等を別に用意する場合は挿入箇所を指定してください。図・表・写真の指定場所は用紙に直線で囲み指定するので、その余白を予めとっておいて下さい。

2. 5 記号説明・引用文献

結論・謝辞等の次に本文で使用した主な記号の説明を英語で記入します。文字サイズは、9 pt程度とする。

引用文献¹⁾は右肩に^{1) 2)}を文章中に記入し下記のように、一括して末尾に文献名・出版雑誌名、巻号、ページなどを引用順に記入してください。詳細は以下の例を参考にしてください。参考文献は原則掲載する必要はありません。

ワープロ原稿はA4の用紙に投稿規定の要領で印刷し、脚注や引用等本文以外の細かな指定ができない場合は赤字で原稿に指示して下さい。

引用文献

1) 山川谷男：エントロピーの・・教育、物理教育研究、Vol.22 No.3, pp.1 ~ 4, 1998

2) 執筆太郎 『北海道の物理教育』、支部出版、2005

なお、脚注は文章中の該当箇所に***の印を付しページの下に横線を引き、その下に書いて下さい。

3. その他

- (1) 原則として原稿はお返いたしません。校正のため原稿の控えは手許に保存して下さい。
- (2) 本紙は毎年（1月）に発行予定です。

(3) 投稿された論説研究・解説・題貢等は編集委員会で内審を実施します。

(4) 投稿及び原稿用紙等の申込みと会誌編集に関する連絡先は下記の投稿受付担当者までお願いします。

原稿募集 上記規定により支部会報「物理教育 38号」の原稿を募集いたします。

(1) 締切 2012年9月末日

(2) 投稿受付

投稿受付は下記のとおりです。詳しくは2012年5月に支部ホームページに掲載します。

問い合わせ先

〒 011-0025 札幌市北区北 25 条西 11 丁目
北海道札幌北高等学校 中道 洋友
TEL 011-736-3191 FAX 011-736-3193
E-mail nakamiti-yoyu@mbp.nifty.com

使用されるワープロが「Word」か「一太郎」であれば、この執筆要項のファイルを送付できます。担当までお知らせ下さい。執筆要項はホームページからダウンロードすることもできます。

編集後記

震災から半年以上がたちました。震災と原発事故は科学への信頼を大きく揺るがすことになりました。物理教育は、科学を推進する側を育てるという使命ももちろんありますが、一方で科学の受けとける市民との関わりも重視しなければなりません。そのための一步が「物理基礎」にあるのではないかという思いを持つようになりました。会員の皆さんだけではなく、多くの方の参考になれば幸いです。

2011年9月1日発行

日本物理教育学会北海道支部

第39号 編集責任者 中道 洋友

(060-0810) 札幌市北区北 10 条西 8 丁目

北海道大学大学院理学研究院物理学部門

日本物理教育学会北海道支部

目

次

告 知 『物理教育研究』の電子ジャーナル版公開について

巻 頭 言

理系学生・生徒たちは発表の機会を通して成長する

北海道立教育研究所附属理科教育センター 佐々木 淳 1

中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」-----
北海道札幌旭丘高等学校 横関 直幸 2

ラザフォードの足跡をたどる

北海道大学大学院理学院／北海道札幌清田高等学校 鶴岡 森昭 8

逃げ水の物理

北海道大樹高等学校 石川 昌司 13

生徒の興味・関心をくすぐる非科学的教材開発の試み（「じやんけん」と「力学のエネルギー」）

札幌第一高等学校 山田 高嗣 18

「投げ捨て楽器」の製作と活用（より正確な音程を目指して）

北海道釧路湖陵高等学校 福田 敦 20

生徒実験「運動の法則」の目的について（抵抗力をどのように考慮すべきか）

北海道札幌旭丘高等学校 横関 直幸 23

物理実験ワークショップによる探究活動の展開

北海道函館稲北高等学校 福士公一朗 25

B-B弾を用いた電気回路モデルによる授業実践

北海道枝幸高等学校 佐藤 草馬 29

物理授業での導入の工夫（【違和感】によるつかみの工夫や言語活動の充実）

北海道登別明日中等教育学校 稲子 寛信、 旭川明成高等学校 本間 友明 33

太陽の黒点観測（太陽の自転周期を求める）

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、 蔵 菜月、 秋元 来舞、 長谷川 遼太、 藤野 忠 37

物理講義ノート「原子力発電」（核分裂のエネルギーと放射性核による崩壊熱）

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆 40

学生チームによる科学啓蒙・地域連携活動の実践（千歳科学技術大学における事例報告）

千歳科学技術大学 長谷川 誠 44

〔コラム〕簡単な教材紹介

北海道札幌北高等学校 中道 洋友 50

特 集 「物理基礎」で新しい授業をデザインしよう

作用反作用の法則の授業（黒板で簡単にできる演示実験の導入）

北海道札幌北高等学校 中道 洋友 51

速度の合成、相対速度

北海道札幌平岡高等学校 大坂 厚志 55

熱機関を理解する

北海道岩見沢緑陵高等学校 大屋 泰宏 57

波動の導入（縦波と横波）

北海道枝幸高等学校 佐藤 草馬 59

音源の振動

北海道立教育研究所附属理科教育センター 伊藤新一郎 62

交流と直流

北海道立教育研究所附属理科教育センター 松田 素寛 65

授業指導案『放射線発見の歴史に学ぶ』を作成するに当たって

北海道大学大学院理学院／北海道札幌清田高等学校 鶴岡 森昭 67

活動報告

69