



物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.41, 2013.11

BUTURI KYOIKU KENKYU

告知

『物理教育研究』の電子ジャーナル版公開について（公開方法の変更）

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ー) に公開していくこととして、2011年9月発行の第39号で告知し、作業を進めてまいりましたが、日本物理教育学会理事会から、支部会報のCiNiiでの公開については学会として閲読及び査読を行っていないため承諾できないとの連絡がありました。北海道支部理事会では、『物理教育研究』の電子ジャーナル化は、物理教育研究の発展に資するものと考え、北海道支部が運用しておりますウェブサイトにおいて公開することにしました。

公開方法が変更されますが、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改めて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。

北海道支部が運用しておりますウェブサイトのホームページの URL は、

<http://b.high.hokudai.ac.jp>

です。このサイト内に公開します。

日本物理教育学会北海道支部長
大野栄三

連絡先

060-0811 札幌市北区北 11 条西 7 丁目

北海道大学大学院教育学研究院 大野栄三 気付 『物理教育研究』編集委員会

巻頭言

「物理基礎 1 年目の課題」

北海道札幌北高等学校

中道洋友

「物理基礎」と「物理」は、「物理Ⅰ」と「物理Ⅱ」とは全く別の関係性を持っているのではないだろうか。すこし長くなるが学習指導要領解説から引用してみる。物理基礎は「中学校で学習した内容を基礎として、日常生活や社会との関連を図りながら物体の運動などの様々な物理現象やエネルギーへの関心を高め、観察、実験などを通して物理学的に探求する能力と態度を育てるとともに、物理学の基本的な概念や原理・法則、物理学の果たす役割を理解させ、科学的な見方や考え方を養う科目である。」とあり、一方物理は「「物理基礎」との関連を図りながら、更に進んだ物理学的な方法で自然の事物・現象を取り扱い、観察、実験などを通して、物理学的に探求する能力と態度を身につけさせるとともに、物理学の基本的な概念や原理・法則の理解を深めさせ、科学的な自然観を育てる科目である。」とある。この2つの文を比較すると「物理基礎」はすべての生徒の教養科目として位置づけられていることがよくわかる。

北海道支部で11月に実施している“中学・高校・大学をつなぐ物理教育シンポジウム”も今年で4回目を迎えた。このシンポジウムは、中学校の理科担当の先生方から、中学校理科の物理に関わる授業の状況をお伺いし、新しく導入される高校「物理基礎」の参考にすることが主な目的である。私は幸いにも高校側パネリストとして4回とも参加する機会を得たが、この4回のシンポジウムをとおして「中学理科」と「物理基礎」の連続性について強く意識するようになった。中学校で学習する力学分野は、力の働きと圧力、力のつりあい、力と運動、仕事と力学的エネルギー、である。これらはもう一度「物理基礎」で学習するものだ。誤解をおそれず簡単にまとめれば、中学では定性的な理解を、高校では定量的な理解を中心に、物理的な概念を形成しているように思える。つまり、「物理基礎」は、「物理」の準備としてではなく、中学校で学んだことの完成ととらえるべきではないだろうか。

今年のシンポジウムのテーマは“すべての生徒のための「物理基礎」とはどうあるべきか”だった。私たちは、物理で学んだ事柄や考え方は他の自然科学を学ぶ上で必要な基礎を担う、と考えているが、一方で多くの生徒が物理を履修することをあきらめていたのかもしれない。「物理基礎」1年目の今年は、まさしくすべての生徒に物理を教えるチャンスである。シンポジウムでも話し合われたように、何をどこまで教えるのか、生徒にどんなことを学んでほしいのか、中学校との連携はどうあるべきか、など北海道支部としてこの機会を十分生かすよう取り組んでいきたい。

第3回中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

横関直幸 北海道札幌清田高等学校

本シンポジウムは、高等学校物理基礎を話題の中心として、中学、高校、大学がそれぞれの立場で全ての生徒のための物理教育について考えていく目的で3回目を迎えた。「熱、波動、電気、放射線」の指導を議論の中心としたシンポジウムの内容を報告する。

1. はじめに

日時 2012年11月23日(金) 13:00~15:30
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0丁目)

パネリスト:

三浦雅美 (札幌市立中央中学校)
今井 貴 (札幌市立宮の森中学校)
齋藤節仁 (札幌市立厚別北中学校)
中道洋友 (札幌北高等学校)
司会: 横関直幸 (札幌旭丘高等学校)

本シンポジウムは高等学校物理基礎を話題の中心として、中学、高校、大学の物理教育をつなぐ目的で、2010年より毎年開催してきた。

高等学校物理基礎が設置されるにあたり、「物理基礎は難しいから全員には無理」、「物理教員が少なく物理基礎はカリキュラムにおけない」、「物理(4単位)が難しいので物理基礎を全員に履修させる余裕はない」、などの課題が指摘されてきた。それらの課題を意識しつつ、本シンポジウムでは議論が積み重ねられてきた。中学校では様々な学力の生徒がクラスにいて、全部の生徒に物理分野を含めた理科教育を行っている。中学校の指導が高等学校物理基礎のヒントになるであろうということから、このシンポジウムを開き3年目になる。

第1回(2010年)は新学習指導要領における中学校理科(物理分野を中心に)の変化やその対応、高等学校物理基礎との連携について議論された。第2回(2011年)では力学分野を中心として、中学校と高校の連携について考えた。3回目(2012年)を迎える今回は、「熱、波動、電気、放射線」を中心として、中学での指導内容、指導方法を通して、高等学校物理基礎の指導を考えていった。

以下にシンポジウムの発言を紹介するが、発言者については所属する「中学、高校、大学」のみを記載し

た。

2. 熱分野

2.1 温度と熱

高校:

高校での「温度」指導は、物質の温かさや冷たさを表す指標、熱運動の激しさを表す物理量と表現されている。単位は $^{\circ}\text{C}$ と K が出てくる。「温度」の後に「熱」の説明があり、高温の物体から低温の物体に移動するエネルギーが熱であるとされ、熱量の単位は J を使う。

中学校では温度や熱をどのように教えているか。

中学:

中学校で温度とは温かさを示すもの、と表現され、熱は温度とは別の章(化学分野)で扱われている。電力から得られる熱として単位 J を教えている。中学校でも温度と熱を混同している場合は多い。新しい教科書になってから、エネルギーとしての熱という考え方を強調している。 $^{\circ}\text{C}$ は出てくるが K は出てこない。

高校:

温度と熱は別の単元で学習するという点について、さらにお聞きしたい。

中学:

温度が出てくるのは中学校1年生はじめの水の状態変化のところ。粒子概念というのが小学校からのつながりで、状態変化のようすをモデルで表す。気体になった状態で分子の運動のようすの激しさが温度につながっていくということは、中学校1年生なので少しだけ触る程度の扱い。それ以上詳しい話は上の学年でも出てこないもので、きちんと定義しないまま2年生で電流の発熱、 J の勉強をする。電流とは学年が異なる3年生でエネルギーを教えるので、中学校では温度と熱はつながっていないといえる。

高校:

高校では、固体の原子の振動の激しさと温度の関係を示す図があるが、中学校でもこのような図はあるか。

中学:

中学校では固体、液体、気体という状態変化と原子分子の運動の様子を表す図が出てくる。固体では粒子同士がかっちりつながっている。温度上昇にともない、粒子の間隔が広がっていき液体の状態、そして気体になると飛び回っている状態。これも新しい教科書からで、中学校の現場としては画期的であると感じた。状態変化という点からだけでなく、溶媒に物質を加えて溶ける、溶けないという説明でも使い、液体の動き回っている粒子の間に入り込んでいく溶質の粒子というモデルにもなり、モデルで分子を表すという活動も新しい学習指導要領からだ。ただし、粒子の運動（熱運動）と温度との関係は説明できていない。粒子が激しく動き、粒子の間隔が広がっていく（物質の三態を粒子モデルで説明する）という教え方になっている。

高校：

高校でも物質の三態を熱運動という用語をキーワードに説明する図が出てくる。中学校では熱運動という言葉は出てきてないと思うが、三態変化のイラスト（粒子の運動の激しさ）についての扱いはどうか。

中学：

「生命、地球、物質、エネルギー」の4領域について、このテーマは「物質」で出てきており、化学の分野での扱いとなっている。粒子を生徒に例えて、固体は教室で授業を受けている状態（整然と並んでいる）、液体は給食の準備時間（教室の中だけで動いている）、気体は休み時間（教室の外へ飛び出す人も）、という説明をすることがある。

高校：

状態変化と粒子のイメージは教えられていても、温度上昇で運動（振動）が激しくなるというイメージは中学校ではあまり扱わないのか。

中学：

自分はそういう表現も伝えている。生徒（粒子）が手をつないでいて、動きがはげしくなると手（結合）が離れていくというイメージは伝えている。

高校：

熱運動の概念は伝えつつ、熱運動という用語は使っていないのが中学校の指導ということのようだ。

水に加えた熱量と水の温度のグラフ（横軸が与えた熱量、縦軸が温度で、0℃と100℃で横軸と平行な部分がある）は、中学校でも出てくるか。

中学：

見た目はこれと同じだが、中学校では横軸は加熱時間になっている。

2.2 熱容量と比熱

高校：

高校の教科書では熱容量を先に教え、その後に比熱が出てくる。ものの温まりやすさ（にくさ）は中学校ではどのように扱っているか。

中学：

中学校1年生の金属の性質で、体感的な扱いをするくらいで、詳しい量的な扱いはしない。

高校：

鉄と水はどちらが温まりやすいかという話題は出るか。あるいは、海辺と内陸での気候の違いなどで、そのような話題は出るか。

中学：

2年生の気象の単元で陸風海風の話をする。そこでは陸と海では温まりやすさが異なるという話が出る。

中学：

3年生で熱の伝わり方（伝導、対流、放射）は少し扱うが、その程度のみ。

高校：

温まりやすさを比べる方法として、中学校での扱いはどうなっているか。

中学：

あまり扱っていない。

2.3 熱量の単位 cal と J

高校：

高校理科では cal を扱わなくなつて 20 年位になるが、物理基礎の教科書では熱の仕事当量として 1 cal が 4.2J という内容が出てくる。ジュールの実験（おもりの位置エネルギーを利用して水を攪拌し温度上昇を測定する実験）は、仕事が熱に変換する例としてこれまでも出てきていた。物理基礎では cal を教える必要がでてきたら、自分が受け持った生徒の多くは 1 cal が 4.2J であることを知っていた。一方で、熱の単位は何かと聞くと J と答える。これはどういうことなのか、前から疑問に思っていた。中学校では cal を扱っているようだが、生徒はなぜ熱量の単位を J と即答するのか。

中学：

中学理科の J は発熱量（電流による発熱量＝電流×電圧×時間）として教えている。教科書の枠外では水 1 g の温度を 1℃ 上昇させる熱量が 1 cal と記載され、1 cal は 4.2J とも書いている。中学校では与えた熱量（電流による発熱）は扱うが、水が受け取る熱量については触れていないのが実情。与えた熱と受け取る熱を話すと完全になるが中学ではそうならない。高校物理基礎で扱

うような比熱の測定実験(水熱量計を用いた金属の比熱測定)は中学校ではやっておらず、生徒には初めての経験である。中学でも $Q=IVt$ の式は教えるが、それを水が受け取るという議論はやっていない。電流による発熱量 J と、水の温度情報による cal が一致しないまま、中学校を終わっている。

高校：

水が熱量をもらって温度が上昇する話は出てこないのか。

中学：

古い理科の先生方は $Q=0.24IVt$ と教えている、つまり cal を使っている。20年くらい前には実験値と理論値を比較することが行われていた。J を使うと、温度上昇と熱量の関係を簡単に使えない。cal で考えた方が考えやすいところは少しだけ cal を使い、電流による発熱は電力との関係から J を使うので、一貫性がない部分はある。

実験値(水の温度上昇から熱量を求める)として J は扱いにくいので、その辺のギャップが出ている。換算する数字を教え込むという先生方は多い。家庭科では cal を使っているし、生活の中で目にする食品関係の表示は全て cal なので生徒はその方がとっつきやすい。cal と J の間をつないでやる必要はあるが、うまくいっていない生徒も多い。

高校：

高校では熱と温度を切り離れた教え方というのは発想できない。温度、熱、そして力学的エネルギーの概念と絡み合わせるストーリーが高校の指導内容。温度と熱の指導が中学校で分離しているのは知らなかった。意外であった。

中学：

中学校1年生では定性中心の指導。中学3年生になるとエネルギーの考え方が出てくるあたりで定量的な扱いが少し出てくる。高校の先生から見ると温度と熱が別に扱われているように感じられたかもしれないが、中学校の立場でいうとそれほど分離して指導しているという感じはない。それぞれの単元で必要なイメージを伝えている。

3. 波動分野

3.1 音波の指導

高校：

物理基礎で扱う前でも、生徒は振動数と振幅をよく知っている。中学校では波動という用語は使わないと思うが、音波を扱っているものと思うが、中学での音の指導を紹介してほしい。

中学：

振動数と振幅は中学校で一応教えている。振動数が大きいと高い音というも扱っている。周期は扱っていない。

中学：

音の三要素。音の大きさ、音の高さはオシロの演示もあるが、音色はない。振幅はこのあたりで扱う。オシロで波形の違いを見る実験は出てこないが、マイクで人の声が波形としてこうなるというのは見せる。音色という言葉は使わない。

高校：

縦波と横波の指導は、中学校ではどうなっているか。

中学：

プラスチックのおもちゃのバネで説明しているが、縦波、横波という用語はあまり使わない。

中学：

読み物(発展)として、教科書にもものっているので少しだけ触れている先生は多いと思う。自分は縦波という表現も使っている。地震波のP波・S波のところで出てくる。

高校：

共鳴やうなりの中学校での扱いはどうなっているか。

中学：

うなりは中学校では扱っていない。音の伝わり方で共鳴おんさは出てくる。どうして共鳴するかという点ではなく、空気を通して振動が伝わっていく例として利用している。

大学：

音色について、大学生は答えられないことが多いが高校での扱いはどうなのか。

高校：

高校では教えているが扱いが簡単。試験に出しにくく定着していないと思われる。音楽関係者は「おんしょく」という場合が多いようだが、物理の教科書には「ねいろ」という読みが書いてある。

波形の異なる図から、同じ音の高さはどれですかという出題が模試などで見たことはあるが、波形の違いが音色の違いということは、生徒の知識から抜け落ちているかもしれない。

3.2 縦波と横波

大学：

波というと、水面に広がる波が思い浮かぶことが多いと思うが、音は縦波である。中学生は波に対してどのようなイメージを描いているのだろうか。音波のような縦

波のイメージはあるのだろうか。縦波も波だと理解しているのだろうか。

中学：

中学生ではあまりイメージは持っていないのではないかと。振動が伝わるということが指導の中心になっている。

中学：

地震波の説明ではおもちゃのバネで演示する。生徒は縦波は見たことがない場合が多く、この演示で理解してくれると思う。しかし、音波の伝わり方のところで縦波の伝わりのお話はあまりしない。

大学：

中学校での音波の指導において議論したことがあるが、中学校では音源の振動数や振幅を教えている。媒質である空気がどのように振動しているのかについて、波として考えるのは難しい。つまり、空気の振動についてはブラックボックスになる。中学校において音の分野で波をやっているというのは微妙である。むしろ地震波のP波・S波の方が媒質の運動としてはものすごくよく見せている。中学校の音の指導で波をやっているとは思わない方がよいのかもかもしれない。

4. 電気分野

4.1 電圧と電流

高校：

電圧、電流を中学校ではどのように教えているのか。

中学：

電流を流そうとする量を電圧としているが、中学校では計測が中心になる。電圧計の使い方、回路の中の電圧の測定方法を学習する。自由電子や水流モデルによる電流の扱いは、中学校と高校では同じ図が使われている。

高校：

電圧も電流も小学校で出てきて測定できるものなので、物理基礎では説明せずに用いている部分はある。物理(4単位)になってから定義し直す部分もあると思われる。

4.2 抵抗の接続

高校：

抵抗の並列接続についての中学校での扱いはどうか。

中学：

新しい教科書になってから式が載っているのを教えている。前までは、同じ抵抗が2個並列で2分の1、通り道が2倍になるから流れやすくなる(抵抗が半分になる)というイメージで導ける範囲では教えていた。

高校：

新課程になってから抵抗の並列接続の扱いは変わり、式を用いるようになったということか。

中学：

新課程になってから扱っているが、生徒は分数の計算が苦手で、算数の部分でつまづく生徒も少なくない。並列接続の公式を「和分の積」と呼ぶ生徒もいる。

高校：

この公式の説明(導出)は中学校ではどうしているのか。高校では、並列の抵抗は電圧が等しく、2つの抵抗に電流が分かれることから公式を導くが、中学校では説明をどうしているのか。

中学：

中学校では結果しか示さない。以前、高校と同じように説明を試みたことがあるが、つまづいて拒否反応を示す生徒が多かった。前の教科書では、並列については1個のときよりも抵抗値が小さくなるというイメージだけの説明に止めた。

4.3 電力と電力量、交流

高校：

電力量と電力は、中学校で扱うのか。

中学：

教えているが定着が悪い。どちらがどちらかわからなくなっている。公式(電力量=電力×時間)としての扱う内容ではある。

高校：

交流と直流、家庭用コンセントの電圧や周波数についてはどうか。

中学：

50分の1秒は、力学台車の打点時間の間隔で使われるので、かなりの生徒が知っている。他のこと(商用電源の実効値や最大値)は触れていない。LEDの発光の様子で直流と交流の違いを演示するくらいで流してしまうことが多い。理科は6Vくらいまでの実験をすることが多く、交流100Vは「技術」という科目の授業で扱う。オームの法則は理科でやり、家庭の電気は技術でという打ち合わせを教員間で行い連携する場合もあるだろう。

高校：

電磁波は高校物理基礎ではあまり深入りしない。電磁波の波長とその性質や利用を扱う程度。中学校での扱いはどうか。

中学：

中学校ではやらない。

4.4 電磁誘導

高校：

物理基礎では磁場は扱わない。電磁誘導は中学での既習事項として位置づけられているようだ。中学校での電磁誘導の扱いについて教えていただきたい。

中学：

コイルのそばで磁石を動かし、マイクロアンペア計で測定する。電流の向きがどうなるかも確認する。磁界の変化の速さと電流の大きさの関係にも触れる。レンツの法則という用語は出てこない。出てきても「読み物」程度の扱いで小さな字で書かれている。

高校：

発電機としての扱いになっているのか。

中学：

電磁誘導の利用という名目で、発電機も扱うことになっている。

5. 放射線

高校：

物理基礎ではエネルギー資源と発電、物理学と社会という単元で放射線が出てくる。発電の種類が紹介され、エネルギーの中で原子力を扱って、原子力のところだけ教科書が厚いという印象を個人的には持っている。原子力以外のエネルギーはお話程度の紹介で、原子力だけ強調されているのが不思議な感じがする。化石燃料については、物理で扱う内容でないからという点はあるが、原子力を扱うための単元と言えるかもしれない。波動分野は少し異なるが、エネルギーというキーワードで物理基礎という科目はできているようだ。これまでは物理Ⅱ、つまり一部の理系の生徒だけしか履修しないところで原子核が扱われていたので、もう少し裾野を広げようということから物理基礎で扱うことになったと思われる。

高校：

放射線の中学校での扱いはどうなっているか。

中学：

放射線の種類、透過性、利用法、危険性などが触れられているが、教科書では1ページ程度の扱い。新しい教科書で出てきた分野である。

6. 物理基礎の履修について

高校：

「文系の生徒は物理をやらなくてよい」という空気が高校現場では30年くらいかけて強まってきた。物理、化学、生物、地学は、どの科目も同じように扱われるべき理科の科目であるはずだ。物理は理系の一部生徒がやれ

ばよいという現状を、なんとか打破したいという思いがある。中学校の先生方は全ての生徒に物理分野を指導されている。物理基礎を高校1年生全員が学習することについて、意見をいただきたい。

中学：

是非、やってもらいたい。物理はダイナミックで、日常生活にかかわるような目で見てわかる理科のジャンルである。現象としては面白いものがたくさんあるが、式や計算が出てきてアレルギーを起こす生徒がいる。しかし、日本の経済を支えているテクノロジーのベースになっており、高校生全員に物理基礎をやることには大賛成。時間はかかるかもしれないが、自分も中学校の立場で何とか楽しくやって、高校へ引き渡したいと思っている。

今回教科書がかわり、話のストーリーや流れが少し教えやすくなった。中学校でも頑張っていきたいし、高校でも頑張っていたきたい。

中学：

10年くらい前の中学校物理領域は、感覚的なイメージのみ、運動もだんだん速くなっていくなど、そういう程度の扱いしかしていないで高校へ送り出していた。今回の改訂で少し数学的な扱いでまとめることができ、少し経験できるようになった。中学校の数学の活用が実際の場面でできることを体感できる単元だと思っている。その辺を高校でもう一步伸ばしていただけると、学習したことが実際の場面になるし、目の前で起こっている現象を物理でまとめて説明することができるという、理科を考えていくプロセスが学習できると思っている。

中学校の実験では、色が変わるなど目で見て終わってしまうところも多いので、一歩進んだ科学の進め方が高校ではできるのではと考えている。高校の指導の中身を教えていただきながら、うまく引き継いでいければと思っている。

中学：

物理は日常生活と関わっている部分が多い。何気なく触れている現象が、実は物理の中で考えていくというふうになっているのかと感ずることが多い。中学校理科の教科書を見ると、「実際の生活とのつながり」、「実際に作ってみよう」、「こういう職業とつながっている」という記載が見られている。高校ではたいへんかもしれないが、物理がどういうところに繋がっているのかというお話をしていただくと、生徒も入り込みやすいのではないか。

電気や放射線などは、政治経済と結びついている。子供たちが大人になっていろいろなことを「どういう方向が良いのか」と一人一人が考えていく場面があるだろう。

「何となくこっちがいいな」ではなく、電気や放射線のことを考えていくときに、一人一人が選べるためにはある程度の知識が必要だ。そのためには高校生みんなに教えていってほしいと思う。

大学：

中学校は生物、化学に比べて、物理は嫌われているのか、あまり違いはないのか。

中学：

物理分野で計算が出てくると、そこでつまづく。計算が出てくるところでは嫌がる場合がある。ただ、計算の前の抵抗の電流や電圧を測っているときは、楽しそうにやっている。

大学：

「大学の物理教育」【著者注：筒井、下田 「高等学校の物理教科書」 大学の物理教育、vol.18、no.3、pp.100-104 (2012-11)】という雑誌では、近畿の先生が物理基礎の履修率の予測をしている。いろんな仮説にもとづいた予測だが、基礎3科目をやる学校は7割、物理基礎は5割と予想している。5割だから全てとはいかないが、5割くらい的高校生は学ぶことになるだろう。

高校：

熱と温度は別々のところで教えているという話があったが、良く考えると中学校では当たり前ではないかという気がしてきた。どうしてかという、温度（熱運動）は三態変化と密接にかかわっている、化学分野で教えた方がはるかに教えやすい。熱はどこで教えた方が良いかという、電気エネルギーのところ扱いが大きいので、そこで熱を教える方が効果的で生徒にとってわかりやすい。私たちは高校で物理しか教えていないので、ものすごく体系的に教えようと発想するが、中学校は物化生地をまとめて教えて、3年間でどう育てるかということなので、発想そのものが高校物理だけを教えているのと違う。中学校の立場の方が生徒にとって効果的な部分もたくさんあると思う。

波についても、地学分野（地震波）で縦波や横波を教える。その方が生徒にとって身近だろうし、音で教えるよりは地震波で教えた方がわかりやすい。熱量の cal、交流の 100V などについて、技術家庭との連携も同様のことが言える。高校では物理だけでクローズしているいろいろなことをやろうとしているが、高校でも化学でどう教えているのかに注目していく必要もあるだろう。

中学校でそのように教わってきた生徒を相手にしたとき、物理分野に限らず中学校の理科全体としてどうやって教わってきたのか、という視点を持つ必要があるのではないか。特に物理基礎を教えるときには考えていかね

ばならない。

先ほど5割の高校生が物理基礎を履修するという話があったが、それは私たち物理教師が試されているということである。ここで失敗すると物理は立ち直れなくなるだろう。「物理はやっぱり難しいから5割も取らせる教育課程はだめだ」と言われると、元にもどって物理は理系の生徒だけが取ればよいという結果となる。ご承知のとおり理科の教育課程は10年ごとに大きく変化してきた。他教科はほとんど変わっていないのに理科だけ単位数も含めて大きく変化している。腰が定まらないが、「理科I」が駄目になり、「IA科目」が駄目になり、「理科総合」は良い発想だと思ったが定着しないうちに基礎が3科目必修になった。ここで頑張らないと幅広い教養を高校生に身につけさせて卒業させるという理念が失われてしまう。頑張らねばならないと思っている。

6. おわりに

3回目を数えた本シンポジウムだが、中学校での指導内容や指導法に触れることができ、今回も高校教員にとって多くの刺激を受けることができた。今回扱った、「熱、波動、電気」などは、中学校理科の物理分野という枠にとらわれずに、化学や地学の分野と連携した扱いとなっている点は、高校現場としてしっかり認識しておくべきだろう。

今回は力学分野を話題としなかったため、あまり議論にならなかったが、物理基礎が始まり2年目となった平成25年度は、多く高校で物理基礎における数学的な取り扱いについて、課題が提示されている。特に高校1年生で物理基礎を履修させる場合、教科書の記載通りに扱うことに困難を感じる場面が多く指摘されている。結果として、物理基礎の設置が発表された当時から懸念されてきた、「物理は難しいので、すべての生徒が理解はできない」といった否定的な意見が増幅することも心配されている。

本シンポジウムにより中学・高校・大学が交流することで大きな成果を挙げている一方で、高等学校物理基礎に対する課題の解決は簡単とはいえない。「数式を使うか、否か」といった単純な議論を超えて、物理基礎の授業をどのようにデザインするかという点での研究を、さらに進める必要性は大きくなっていると感じる。一人ひとりの教員が、どのような授業を示していくのかを考えるヒントを、本支部として今後も提供していきたい。

電子天秤で測る磁気力の規則性 (磁石、電磁石に働く力)

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、金吉 柁弥

電子天秤を用いた磁気力の測定を行うことによって、磁石、電磁石の間に働く磁気力に明瞭な規則性を見出すことができる。自然界に存在する基本的な力、遠隔力を理解する理科実験として提案する。

キーワード 磁気力、磁石、電磁石

1. 磁気力の測定

物理教育誌に電子天秤による静電気力の測定実験が紹介されている¹⁾。摩擦で帯電した発泡スチロール柱間に働く静電気力を電子天秤で測り、その大きさが距離の二乗に逆比例すること、すなわちクーロンの法則を確かめる教材実験である。このような測定実験は「力」を理解するうえで重要な契機となる。

「力」を理解することは力学法則という物理の基礎を学ぶ上で重要であるが、学ぶ者にとってそれは必ずしも容易なことではない。日常用いられる「力」という言葉は、例えば「集中力」、「戦力」などであったり、科学的内容を表す場合でも「馬力」、「電力」など力学法則の「力」とは異なった意味合いや内容を持っている。また物理を学ぶ際の「力」も「接触力」や「牽引力」など、筋力作用を想定した静力学からはじめられるが、力学法則を理解するうえでは自然界に存在する基本的な力、電磁力、万有引力など空間を隔てて伝わる「遠隔力」の存在を運動の要因として理解する必要がある。

電気力、磁気力を測定し、それらがもつ規則性を見出すことは目に見えない「遠隔力」の存在を確かめ、「力」を理解する契機になると考える。磁石は容易に安定した力を提供してくれるので理科実験には適しており、電子天秤を活用することにより定量測定が可能になる。

2. 磁石の間に働く力

正負の電荷が単独で存在する電気力は、電荷が容易に離散・対消滅し不安定であるため定量的な実験対象とすることは難しい。永久磁石や電磁石などは双極子という複雑さはあるが、安定して存在するためにこれらの間に働く磁気力を測定することは容易である。電子天秤を用いれば体感できないわずかな磁気力を正確に測りその性質を明らかにすることができる。

物理教育研究 33 卷(2005 年)で永久磁石 (アルニコ、ネオジム磁石) の間に働く力を電子天秤によって測定する教材実験を報告した²⁾。小さな永久磁石対の間に働く磁

気力の大きさは、磁石の大きさ d に対して磁石間距離 r が十分大きい場合、近似的に $1/r^4$ の規則性を示す。永久磁石の両極に磁荷 $\pm q$ が存在し磁荷間にクーロンの法則が成り立つとすると、磁石 (磁気双極子) の間に働く磁気力の大きさは近似的に $1/r^4$ となるのが測定結果を裏付けている。まずこれらを以下に復習しておく。

図 1 のように二つの磁石を配置する。磁石 1 を電子天秤上に立て、この中心を通る水平線上に磁石 2 を水平に置く。両磁石の長さ、磁荷の大きさはともに d, q とする。磁石 1 と磁石 2 の中心間距離を r とし、これを変化させながら磁石 1 に働く力の垂直成分 F を電子天秤により質量 M ($F=Mg$) として測る。この力の大きさは両磁石の磁極 ij 間に働くクーロン力 $F_{ij}=k_m q^2/r^2$ から次のようになる。

$$\begin{aligned} F &= F_{NN} \sin \theta_1 + F_{SN} \sin \theta_1 - F_{NS} \sin \theta_2 - F_{SS} \sin \theta_2 \\ F_{NN} &= F_{SN} = k_m q^2 / L_1^2, F_{NS} = F_{SS} = k_m q^2 / L_2^2 \\ L_1^2 &= (r-d/2)^2 + (d/2)^2, L_2^2 = (r+d/2)^2 + (d/2)^2 \\ \sin \theta_1 &= (d/2) / L_1, \sin \theta_2 = (d/2) / L_2 \end{aligned} \quad (1)$$

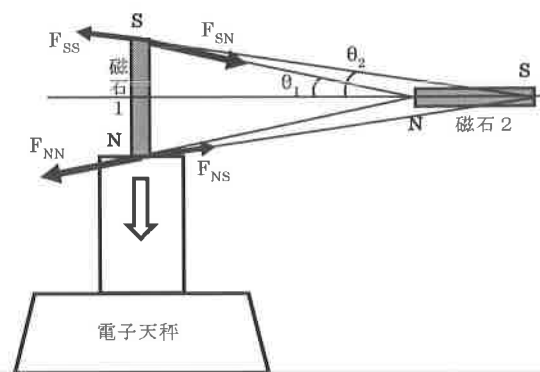


図 1. 電子天秤上の磁石に働く力

力の表式に表れる L_1, L_2 について、 $x=d/r < 1$ に対する近似

$(1+x)^n=1+nx+n(n-1)x^2/2+\dots$ を用いると、合力 F は次のようになり、これが電子天秤により質量 ($M=F/g$) として測られることになる。

$$F=3k_m(qd)^2(1/r^4)(1+5x^2/24+\dots), x=d/r<1 \quad (2)$$

磁石の両極に働く力の水平成分は逆向きで大きさは等しく磁石を回転させるため、電子天秤上の磁石は固定しておく必要がある。

$d=2\text{cm}$ のネオジウム磁石を使い、精度 1mg の電子天秤で測定した結果 ($r=6\sim 28\text{cm}$) は図2のようになり、力の大きさが磁石間距離 r に対して規則的に変化している様子がうかがえる。測定データについて両対数をとると $1/r^4$ の傾向を示していることが分かる (図4)。

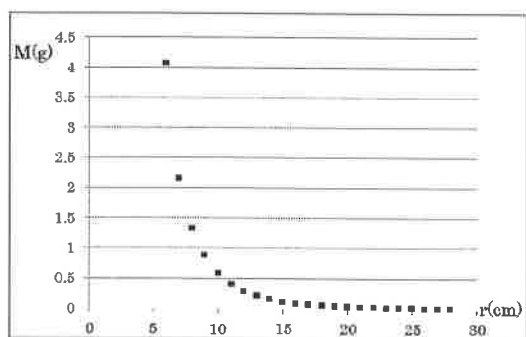


図2. 磁気力の大きさと磁石間距離

小さな磁石対の間 ($r>d$) に働く力の近似的な規則性 $1/r^4$ に対して、一方の磁石を大きな (長い) ものに変えると異なった規則性 $1/r^3$ が現れる。これが今回のテーマである。

3. 単磁極による磁気力

水平においた磁石2を大きな電磁石 (長さ 20cm) に置き換えると、電子天秤上の小さい永久磁石 (長さ 2cm) が受ける磁気力には電磁石の単磁極による効果が近似的に現れる。図3に今回の測定の様子を示す。大きな電磁石 (長い磁石) の磁極のうち永久磁石から遠い磁荷の作用は弱いため、図1でいえば水平磁石2のS極の効果、式(1)では第3, 4項が無視でき、近似的に単磁極 (N極) の効果、第1, 2項が測定されることになる。

永久磁石に近い電磁石の単磁極 N (磁荷 Q) が電子天秤上の永久磁石 (長さ d 、磁荷 $\pm q$) に及ぼす力の垂直成分 F は、単磁極と磁石中心間の距離を r として次のようになる。

$$\begin{aligned} F &= F_{NN}\sin\theta + F_{SN}\sin\theta \\ F_{NN} &= F_{SN} = k_m q Q / L^2, \\ L^2 &= (r^2 + (d/2)^2), \sin\theta = (d/2)/L \end{aligned} \quad (3)$$

力の表式に表れる L について、前と同様 $d/r < 1$ に対する近似によって次式が得られる。

$$F = k_m Q q d (1/r^3) (1 - 3x^2/8 + \dots), x = d/r < 1 \quad (4)$$

永久磁石の大きさ d に比べて、電磁石先端との距離 r が大きい時、磁気力の大きさは近似的に $1/r^3$ の振る舞いを示すことが期待される。これは小磁石対の場合、もう一つの磁極 (S)、式(1)でいえば第3, 4項によって打ち消されていた効果である。

4. 電磁石による磁気力の測定

図3のように電子天秤上、発泡スチロールの上にネオジウム磁石を両面テープで固定し、水平においた電磁石が及ぼす磁気力の大きさを測定する。発泡スチロールは磁石が電子天秤の計測機能に影響を与えないための工夫である。



図3. 電子天秤による磁気力の測定

電磁石先端とネオジウム磁石中心との距離 r を変えながらネオジウム磁石に作用する磁気力垂直成分の大きさ F を電子天秤の質量表示から読み取りこれらの関係を導く。測定結果は図4のとおりである。測定データは両対数 $\log r$ 、 $\log F$ をとることによって力の大きさのべき則 $F=cr^n$ を読み取ることができる。直線 $\log F=n\log r+\log c$ の傾き n がべきを与えることになる。電磁石による磁気力は近似的に $1/r^3$ であることが分かる。第2節でみられた小磁石対に働く力とは明らかに異なる規則性である。

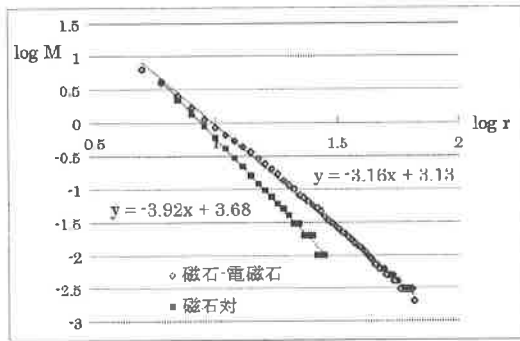


図4. 磁石対と磁石-電磁石間の磁気力

が前とちがっているのに気付いたことによる。小磁石（短い磁石）間に働く力、小磁石－大磁石（長い磁石）間に働く力の規則性を調べてきたので、大磁石間に働く力の規則性はどうなるのが予想できる。磁石を使った物理教材について学生たちと考え工夫しているところである。

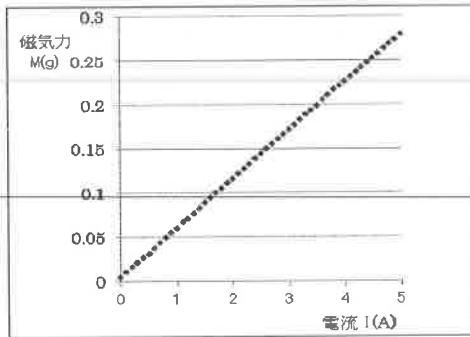
引用文献

- 1) 米田恒隆：物理教育第46巻第5号 p.251(1998)、岡崎隆、遠藤太郎：物理教育第50巻第5号 p.321(2002)
- 2) 岡崎隆、西村雅佳：物理教育研究第33巻 p.55(2005)

5. 電流と磁気力の測定

最後に、磁気力（磁場）の電流依存性を確かめておく。磁石-電磁石の位置を固定しておき、電磁石に流す電流を変化させると図5に示したように、磁石に働く磁気力が電流に比例して増加することが確かめられる。電磁気学、マクスウェル方程式で学んだとおり「磁場は電流によって生み出される」ことを示す納得の実験結果である。

図5. 電流による磁気力の変化



6. おわりに

磁石に働く力は身近に観察できる現象である一方、双極子による力であるために物理教材としては複雑で取り上げにくい面がある。大学で電磁気学を学んだ時に、電気双極子が作る電場をベクトルの合成ではなくポテンシャルの微分（勾配）で求めたことがあった。今回示した単磁極が磁石（磁気双極子）に及ぼす力の性質（ $1/r^3$ ）はこれと同じことである。

今回の考察のきっかけは、2005年に報告した電子天秤による磁気力測定実験を電磁石を使って行い第5節の測定を行っている過程で、磁石間距離に関する規則性

“ドップラー効果 (Doppler effect)” の視覚的な教材化について

北海道砂川高等学校 高橋 賢司

救急車のサイレン音の音程変化で知られる“音のドップラー効果”について、聴覚的にこの現象を捉えるのではなく、視覚的な観点から、この現象を理解したいという発想で、ドップラー効果可視化装置を製作し、波源の進行方向前方の波と、後方の波の波長を観測した。実験の結果、容易に入手可能な材料で、ドップラー効果の可視化（イメージング）に成功した。

キーワード（Keywords）： ドップラー効果、波源、波長の変化、媒質、イメージング

1. 序論（Introduction）

我々の身の周りには、様々な“波”が存在する。1) “波”という言葉を目にした時、多くの人々は、水面を伝わる“波”を思い浮かべる。

また、日本では地震が比較的に多いことから、災害の原因となる地震波や津波などの自然現象から来る“波”を思い浮かべる人もいる。

また、自然現象のみならず人工的な“波”も多数存在する。集団で行うパフォーマンスであるウェーブ（人波）や、ラジオ、テレビ、携帯電話の電波などは、まさに人工的な“波”の代表例である。

このように、“波”という言葉は、現代社会において、日常用語となっている。しかしながら、“音”や“光”も“波”であるという認識を持っている生徒は少ないというのが現状である。そこで、本稿では、救急車のサイレン音の音程変化で知られる“音のドップラー効果”に着目し、“音波”でも“水波”でも“ドップラー効果”という共通の現象が生じることから、“音”も“波”であることを生徒に理解させたいと考えた。このような想いから、容易に入手可能な材料で、かつ簡単に製作可能な「ドップラー効果可視化装置」の教材化を試みた。

2. 実験（Experiment）

初めに、本実験で用いたドップラー効果可視化装置のセットアップを示す。

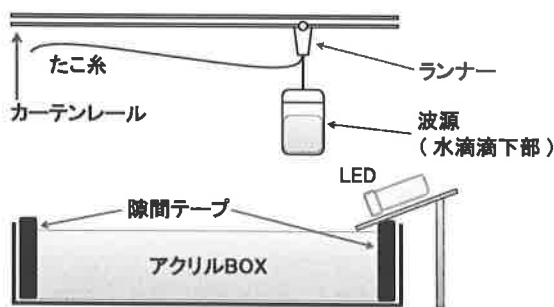


図1 ドップラー効果可視化装置（模式図）

最初に、ドップラー効果の可視化（イメージング）における媒質の選定を行なった。媒質とは、波を伝える物質のことである。音波であれば、媒質は空気である。しかし、空気では、その性質から可視化には向かないので、水道水をドップラー効果の可視化における媒質として選んだ。図1の実験装置について説明する。今回用いた水槽には、東急ハンズで販売されているアクリルBOX B-4、規格が 275 × 380 × 50 の SAWADA PLATEC 製のものを用いた。

また、このアクリル容器の内側全面には、反射波を減衰させるために、DAISO（ダイソー）で販売されているポリウレタン製の隙間テープ（幅 15 mm 規格）を貼り付けた。また水槽内に張った水面に、円形波紋を作るための波源としての水滴滴下部には、ジッパー付きポリ

袋の底に、適当な大きさの穴を針で開け、水滴がほぼ一定間隔で落ちるように調節した。この水滴滴下部の下端と水面との距離が一定になるように、また水滴滴下部が水平方向に動くようにするために、図1に示した配置で、カーテンレールと水面が平行配置になるようにした。さらにカーテンレールのランナーと水滴滴下部を、たこ糸で結び連動させた。カーテンレールには、(株)フルネス製の角型伸縮カーテンレール(0.6m～1.0m用)を用いた。

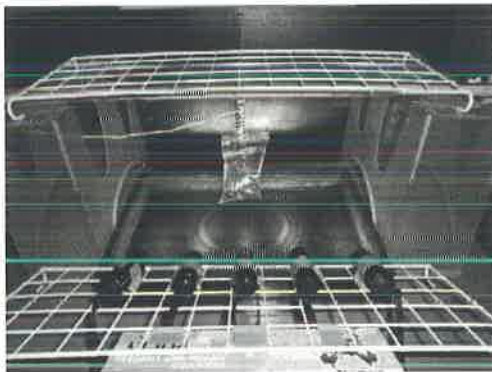


写真1 ドップラー効果可視化装置(実写)

上に示した写真1は、図1で示したドップラー効果可視化装置(模式図)の実際の写真である。なお、本実験では、水滴滴下部の下端と水面との距離は、約4cmとした。実験は、まず波源としての水滴滴下部を水槽中央の位置で静止させ、波紋が広がる様子を観察した。次に、水滴滴下部を左右にほぼ等速運動になるように動かし、波源が動いている時の波紋の様子を観察した。

3. 結果 (Results)

波源としての水滴滴下部が静止している時は、水槽内の波紋の間隔は、写真2に示したようにほぼ等間隔であった。

また、波源としての水滴滴下部が、右向きに動いている時は、写真3で示したように、波源の進行方向前方(右側)の波紋の間隔は狭まり、波源の進行方向後方(左側)の波紋の間隔は広がった。逆に、波源としての水滴滴下部が、左向きに動いている時は、写真4で示したように、波源の進行方向前方(左側)の波紋の間隔は狭まり、波源の進行方向後方(右側)の波紋の間隔は広がった。

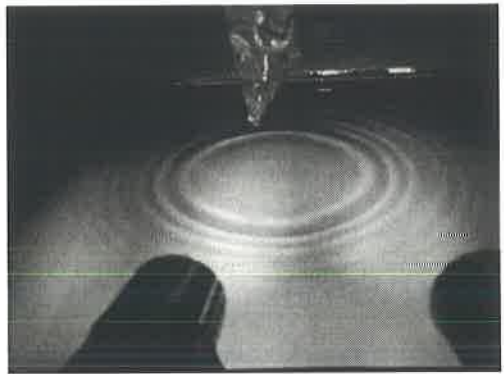


写真2 波源が静止している時の水面波

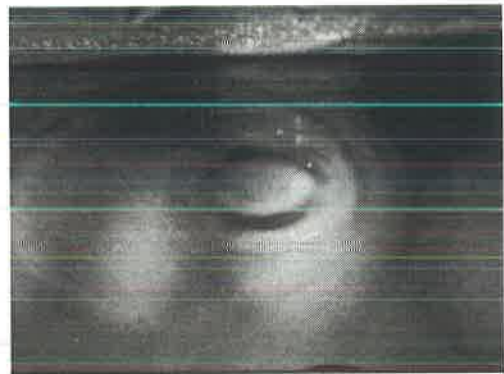


写真3 波源が右向きに動いている時の水面波



写真4 波源が左向きに動いている時の水面波

写真2及び写真4の測定時は、アクリルBOX（水槽）の底の外側に、黒画用紙を敷かない状態で、デジタルカメラで記録した。一方、写真3の測定時には、水槽の底の外側に、黒画用紙を敷いた状態で記録した。LEDライトは今回水面の斜め前方から照射する配置をとったため、LEDライトの反射した光や、水槽の底に出来る影を考慮すれば、写真3のように、水槽の底の外側に黒画用紙を敷いたほうが、波紋の様子が見やすいことが分かる。

4. 考察 (Discussion)

今回の実験では、音のドップラー効果可視化のために、媒質を空気から水に置き換えた訳なので、媒質が“空気”の時の“音波”が“空気”を伝わる時の様子（模式図）と、媒質が“水”の時の“水波”が“水”を伝わる時の様子（本実験の実験結果）が比較できれば良い。そこで、まず考察に入る前に、比較対象である音のドップラー効果が発生する仕組み²⁾を以下に示すことにする。

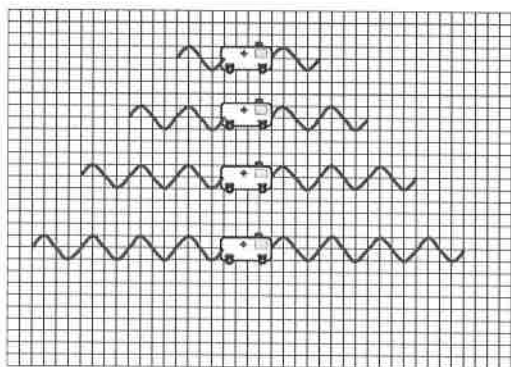


図2 音源（救急車のサイレン）の位置が固定された時の音波の広がる様子を横から見た模式図

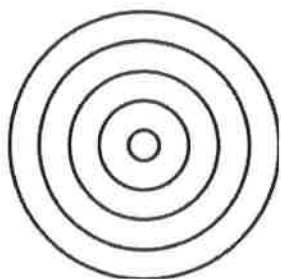


図3 音源の位置が固定された時の音波の広がる様子を上から見た模式図

図2、図3に示したように、音源の位置が固定された（静止している）時は、音波の波長は、どこも一定であるために、任意の観測点、点Xを、どこにとってもサイレン音の音程変化は生じないことが分かる。

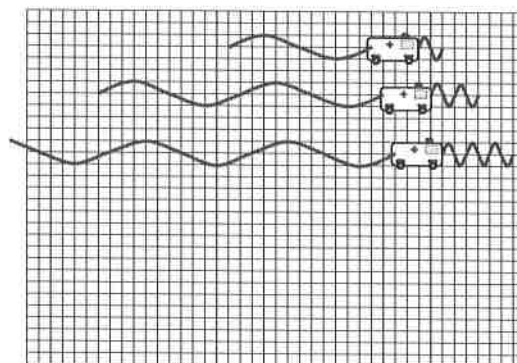


図4 音源（救急車のサイレン）が右向きに動いている時の音波の広がる様子を横から見た模式図

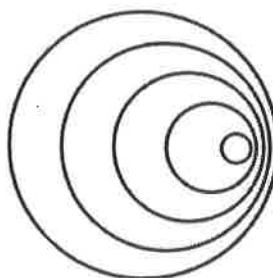


図5 音源の位置が右向きに動いている時の音波の広がる様子を上から見た図

図4、図5に示したように、音源の位置が右向きに動いている時は、音源（波源）の進行方向前方の波は、圧縮され波長が短くなるが、音源（波源）の進行方向後方の波は、引き伸ばされ波長が長くなることが分かる。よって、観測者が静止していて、音源が動いている時、音源が観測者に近づいて来る時には、サイレン音は甲高く聞こえ、逆に、音源が観測者を通り過ぎ、遠ざかっていく時にはサイレン音は低く聞こえる。

図2、図3、図4、図5により、音のドップラー効果が発生する仕組みが分かったところなので、今回の実際の実験結果とこれらの模式図とを比較していくことにする。今回の実験では、音のドップラー効果でいう音源（サイレン）は、水波のドップラー効果でいう波源、すなわち水滴滴下部から滴下された水滴が、水面に到達した点

とみなしているので、模式図の図3は、実験結果の写真2に対応している。また、模式図の図5は、実験結果の写真3に対応している。

次に、今回作製したドップラー効果可視化装置についての考察を行う。今回の実験で分かったことは、アクリル容器内の内側全面に施したポリウレタン製の反射波防止用の隙間テープは、ある程度、反射波の生成を抑えたが、完全に反射波の生成を抑えることは出来なかった。反射波の影響を極めて少なくするためには、ポリウレタン製の隙間テープ以外の代替素材の検討、または水槽の面積そのものを更に大きくする方法が考えられる。つまり、水槽の壁面で発生する反射波の生成を完全に抑えることは容易ではないので、水波のドップラー効果を観測すると決めた地点(領域)において、反射波が到達する前に、水波のドップラー効果を観測できれば良い訳である。今回の実験で分かったことは、他にもある。それは、水滴滴下部の下端部と、水面との距離があればある程、綺麗な波紋は得られなかった。恐らく、これは、水面に到達した水滴が高い位置から滴下されると、水面を叩く衝撃も、重力による位置エネルギーの扱いから大きくなるので、それにより誘発された水面からの二次的な拳が、水滴滴下部から滴下された拳とは別に波紋をつくったためであると考えられる。

5. 結論 (Conclusion)

本稿の最大の目的は、容易に入手可能な材料で、かつ簡単に製作可能な「ドップラー効果可視化装置」の教材化を試みることにあった。その点で、写真3の実験結果が示すように、波源が動くことで、波紋の間隔も変化する様子が、はっきりと分かったので、本稿のその目的は十分に達成されたと考える。しかし、前章の考察の部分で述べたように、反射波の影響等、解決すべき課題も見えてきた。今回製作した実験装置である、「ドップラー効果可視化装置」(写真1)をもとに、反射波の影響等、見えてきた課題に取り組みながら、本実験装置の改良を行っていきたいと考える。なお、今回の“ドップラー効果 (Doppler effect)”の視覚的な教材化で、写真1に示した「ドップラー効果可視化装置」以外にも、音波のドップラー効果3次元モデルを製作したので、あわせてここでも報告することにする。

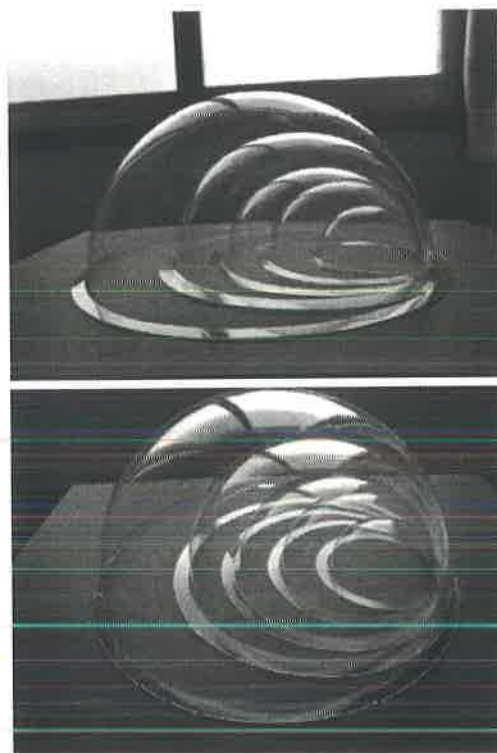


写真5 透明半球体を用いた音波のドップラー効果
3次元モデル

6. 謝辞 (Acknowledgements)

本論文の内容は、平成25年7月31日から3日間の日程で開催された「第56回北海道高等学校理科研究大会」(小樽大会)にて、[ドップラー効果]及び[エネルギー変換と保存]の授業展開モデルという題目で研究発表した内容を、本稿用にまとめたものである。また、本研究は、平成24年度北海道高等学校理科研究会研究助成金の支給により実施されたものである。関係各位に感謝申し上げます。

7. 引用文献 (References)

- 1) 高等学校 改訂 新物理 I, 第一学習社, p100
- 2) 高橋 賢司: 北海道の理科 No. 56, 北海道高等学校理科研究会編, pp. 48 ~ 51, 2013 - 7

プラスチックばねを用いた鉛直投射実験の考察 (力学的エネルギー保存則に関する生徒実験の実践から)

北海道枝幸高校 佐藤 革馬 北海道大学大学院工学研究院 平 久夫 北海道小樽工業高校 菅原 陽
Esashi High School SATO Kakuma, Hokkaido Univ. TAIRA Hisao, Otaru Technical High School SUGAWARA Yo

新学習指導要領の実施に伴い、いわゆる文系の生徒も「物理基礎」を必修科目として受講する機会が増えた。そこで、どのような学力層、進路希望の生徒でも、基礎的な物理現象の理解ができ、更に探求活動につながるような生徒実験を試みた。本稿では、プラスチックばねを用いた鉛直投射の生徒実験を通して、力学的エネルギー保存則について考察を与えるものである。

キーワード 力学的エネルギー保存則、鉛直投射、空気抵抗、ハイスピードコンパクトデジタルカメラ

1. はじめに

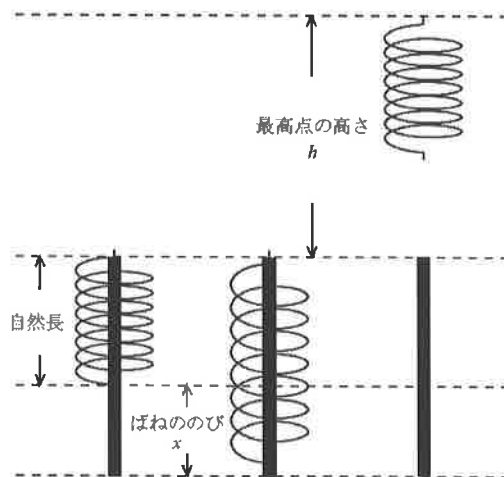
平成 24 年度より高校理科では新しい学習指導要領の先行実施に伴い、「物理基礎」が置かれ、いわゆる文系の生徒も必修科目として受講する機会が増えた。「物理基礎」は小学校及び中学校理科の「エネルギー」分野との接続が意識され、「物理基礎」の単元は「エネルギー」を通して体系化されている。学習指導要領によると「物理基礎」の目標は「日常生活や社会との関連を図りながら物体の運動と様々なエネルギーへの関心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、物理学的に探究する能力と態度を育てるとともに、物理学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う」¹⁾ (下線は筆者)とあり、エネルギーについて、どの生徒にも関心を高められるような授業をすることが高校理科では求められている。

力学的エネルギーについては、中学校 3 年生から学び、高校の「物理基礎」へとつながっている。高校の「物理基礎」では、直線的な運動(自由落下、鉛直投射)を学んだ後に、ニュートンの運動の法則、仕事を経て力学的エネルギーを学ぶ構成になっている。学習指導要領にも、「力学的エネルギー保存の法則を仕事と関連付けて理解すること」¹⁾ がねらいとなっているため、単振り子やなめらかな斜面上の物体の運動などの実験が想定されている。従って、摩擦など、力学的エネルギー保存則が破れるような条件下における生徒実験は「物体の運動とエネルギーに関する探究活動」で取り扱われることになる。

本稿は、プラスチックばねを用いた鉛直投射の生徒実験から力学的エネルギー保存則について探求させる授業実践の報告と、その理論的な考察を与えるものである。

2. ばねによる鉛直投射の理論的枠組み

まず、ばねののびによる弾性エネルギーにより鉛直投射されたばねの最高点の高さ h の、ばねののび x 依存性を求める。



2. 1 力学的エネルギーが保存される場合の高さ

はじめに、鉛直投射されたばねの高さ $y(t)$ と速さ $v(t)$ を求める。鉛直上向きに y 軸をとり、初期条件は、

$$v(0) = \sqrt{\frac{k}{m} x} \quad \because \frac{1}{2} m v(0)^2 = \frac{1}{2} k x^2 \quad (1)$$

$$y(0) = 0 \quad (2)$$

とする。ここで、 m はばねの質量、 k はばね定数、 x は

プラスチックばねを用いた鉛直投射実験の考察
(力学的エネルギー保存則に関する生徒実験の実践から)

ばねののびである。力学的エネルギーが保存される場合、すなわち空気抵抗や摩擦などが無視できる場合、最高点の高さ h は運動エネルギーが重力による位置エネルギーに変換されるので、式(1)より

$$\frac{1}{2}mv(0)^2 = mgh \quad \therefore h = \frac{k}{2mg}x^2 \quad (3)$$

となる。

2. 2 速さに比例する抵抗力を考慮した高さ
速さに比例する抵抗 Cv を受けると仮定 (C は比例定数、 v は質点の速さ) したとき、ばねの運動方程式は、

$$m \frac{dv}{dt} = -Cv - mg \rightarrow \frac{dv}{dt} = -\frac{Cv}{m} - g \quad (4)$$

となる。ここで、新たな変数

$$\xi = -v - \frac{mg}{C} \quad (5)$$

を導入すると、 t で微分すれば

$$\frac{d\xi}{dt} = -\frac{d v}{dt} = \frac{Cv}{m} + g \quad (6)$$

となる。ここで、2番目の等式変形で式(4)を用いた。また、式(5)から、

$$v = -\xi - \frac{mg}{C} \quad (7)$$

となるので、これを式(6)に代入すると、

$$\frac{d\xi}{dt} = -\frac{C}{m}\xi \quad (8)$$

となるのでこの方程式の解は、 ξ_0 を積分定数として、

$$\xi = \xi_0 e^{-\frac{C}{m}t} \quad (9)$$

となる。これを式(7)に代入すると、式(7)は、

$$v(t) = -\xi_0 e^{-\frac{C}{m}t} - \frac{mg}{C} \quad (10)$$

となる。次に、積分定数 ξ_0 を式(1)から求めると、

$$\begin{aligned} v(0) &= -\xi_0 - \frac{mg}{C} = \sqrt{\frac{k}{m}}x \\ \therefore \xi_0 &= -\sqrt{\frac{k}{m}}x - \frac{mg}{C} \end{aligned} \quad (11)$$

となる。ここで求めた ξ_0 を式(10)に代入すると、求める $v(t)$ は、

$$v(t) = \left(\sqrt{\frac{k}{m}}x + \frac{mg}{C} \right) e^{-\frac{C}{m}t} - \frac{mg}{C} \quad (12)$$

となる。これを時間 t で積分すると $y(t)$ は、

$$y(t) = -\frac{m}{C} \left(\sqrt{\frac{k}{m}}x + \frac{mg}{C} \right) e^{-\frac{C}{m}t} - \frac{mg}{C}t + D \quad (13)$$

となる。ここで、 D は積分定数である。積分定数 D を求めるために、式(2)を用いると、

$$\begin{aligned} y(0) &= -\frac{m}{C} \left(\sqrt{\frac{k}{m}}x + \frac{mg}{C} \right) + D = 0 \\ \therefore D &= \frac{m}{C} \left(\sqrt{\frac{k}{m}}x + \frac{mg}{C} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

となる。ここで求めた D を式(13)に代入すると、求める $y(t)$ は、

$$y(t) = \frac{m}{C} \left(\sqrt{\frac{k}{m}}x + \frac{mg}{C} \right) \left(1 - e^{-\frac{C}{m}t} \right) - \frac{mg}{C}t \quad (15)$$

となる。

2. 3 最高点の高さ

この節では、前節で得られた $v(t)$ 、 $y(t)$ を用いて質点の最高点の高さ h を求める。さらに、 h のばねののび x 依存性 $h(x)$ を求める。最高点の高さ h に達する時間を t_h とすると、 $h = y(t_h)$ となる。従って、 t_h を求めることで、 $h(x)$ を求めることができる。まず、 t_h を求めてみると、 t_h では速さ $v(t)$ が 0 になることから、式(12)は

$$0 = \left(\sqrt{\frac{k}{m}} x + \frac{mg}{C} \right) e^{-\frac{C}{m} t_k} - \frac{mg}{C}$$

$$\therefore t_k = -\frac{m}{C} \ln \left(\frac{\frac{mg}{C}}{\sqrt{\frac{k}{m}} x + \frac{mg}{C}} \right) \quad (16)$$

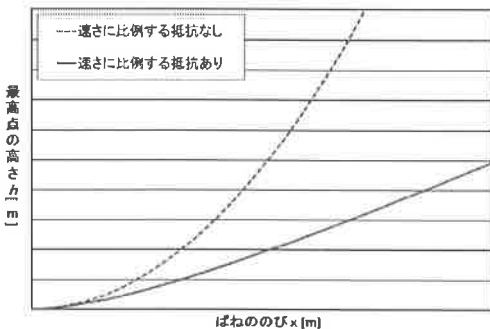
となる。よって、この時の h は式(15)に式(16)を代入することで、

$$y(t_k) = h(x) = \frac{m^2 g}{C^2} \ln \left(\frac{\frac{mg}{C}}{\sqrt{\frac{k}{m}} x + \frac{mg}{C}} \right) + \frac{\sqrt{mk}}{C} x \quad (18)$$

と求まる。

2. 4 「最高点の高さ」の「ばねののび」の依存性
式(3)と式(18)をグラフにしたものを図1に示す。ここから、空気抵抗など速さに比例する抵抗力を導入すると、ばねののびが大きくなるほど、傾きが一定のグラフになることがわかる。

図1 ばねののびに対する最高点の高さ



3. プラスチックバネによる力学的エネルギー保存則の検証実験

実験により、式(18)について考察する。実験の手順は次のとおりである。なお、物理基礎の探求活動として生徒実験で行う場合は、4人を一班とするとよい。

3. 1 準備

- ① 4人をジャンプ係、コンベックス(メジャー)固定係、高さ測定係、記録係とする。

- ② プラスチックばねの発射台として、プリンタで印刷した細長いスケール(図2)を、鉛筆に貼り付けたものを用意する。
- ③ プラスチックばね(内径9mm 外形11mm)を長さ33mmにカットし、質量が1.0gになるように調整する。ばねの先端を曲げ、鉛筆発射台に引っかかるようにしておく。(図3)
- ④ プラスチックばねに20g程度のおもりをぶら下げ、ばねののびからばね定数を求めておく。
- ④ コンベックススケールを2mでロックし立てて支えておく。生徒実験の場合、生徒一人がコンベックスを支える。

図2 鉛筆発射台に使用した紙スケールの一部

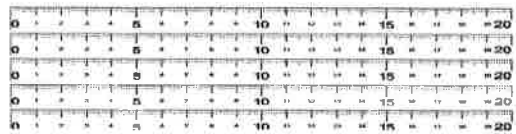
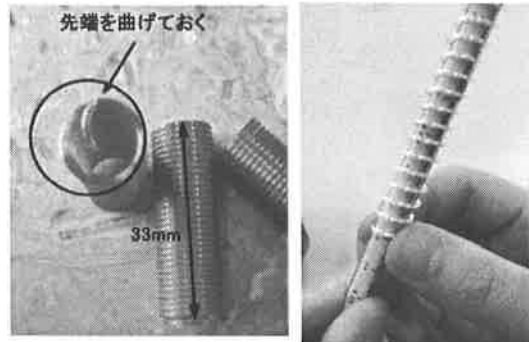


図3 プラスチックばねと鉛筆発射台



3. 2 実験手順

- ① 鉛筆にばねを乗せる。コンベックス(メジャー)でばねの中心の位置を記録する。
- ② 鉛筆スケールの最下端の位置を記録する。
- ③ ボールペンの先でばねを10mm、20mm、30mm、40mmと伸ばしてジャンプさせる。
- ④ 飛び出したばねの中心位置を計測し、最高点の高さを出す。このとき、ハイスピードコンパクトデジタルカメラ(CASIO EX-ZR700など)で記録しても良い。ハイスピードコンパクトデジタルカメラを用いる場合、HS 120(640×480 120fps)モードまたは、高速連写モード(30fps)を使用する。
- ⑤ 縦軸に高さ h 、横軸にばねののび x でグラフ化する。
- ⑥ 最高点の位置エネルギーを計算する。

プラスチックばねを用いた鉛直投射実験の考察
(力学的エネルギー保存則に関する生徒実験の実践から)

- ⑦ 速度タイマー（ピースピなど）で鉛筆発射台から飛び出す直後の速度を測り、運動エネルギーを求め、⑥と比較する。
- ⑧ ばねののびから弾性エネルギーを求め、⑦と比較する。

図4 生徒実験の様子



生徒実験を行う場合、手順①～⑥までの実験を行い、力学的エネルギー保存則から求められる高さと比較することで、エネルギーの損失について考察させることもできる。

手順⑥で、速度タイマーを用いて投射直後の速さのデータを測定することがやや難しい。プラスチックばねが速度タイマーのセンサー部分を通過する間に、重力によって減速してしまうからである。ハイスピードデジタルカメラがあれば、ハイスピード動画や高速連写モードで撮影し、コマ送りしながら 0.1 秒ごとの位置をコンベックスケールで測定し、図5のような表から $v-t$ グラフを作り、投射直後の速さを求めることもできるが、生徒実験を行うには時間が足りない。

図5 時間と位置から速さを求める実験の表

時刻 t [s]	位置 z [m]	時刻の中央値 t_c [s]	この区間の時刻の變化量 Δt	この区間の距離の變化量 Δz	この区間の速度 v (m/s)

3. 3 実験結果

3. 3. 1 ばねののびと最高点の高さ

生徒実験の結果と鉛筆発射台を変えて実験した結果を図6に示す。生徒実験のデータは、小樽工業高校の生徒40人を10班に分けて、その結果の平均を取ったものである。鉛筆発射台(図7)は、六角形の鉛筆、丸鉛筆、角消しゴム付きの六角形鉛筆それぞれに、紙スケールを貼り付けたものである。鉛筆発射台では、鉛筆の長さまでしかばねを伸ばすことができないため、丸鉛筆と同じ直径(8mm)の丸棒(長さ91cm、スケールは紙スケールを貼らず、ボールペンで直接書込)を発射台に用いて同様に実験を行った。

この実験で用いたプラスチックばねのばね定数を測定すると、ばねの質量1.0g、このばねに5円玉4枚(15g)を吊ると25mm変形したことから、5.9N/mであった。

式(3)を用いて力学的エネルギー保存則から求められる高さのグラフと比較した。

図6 ばねののびと最高点の高さ

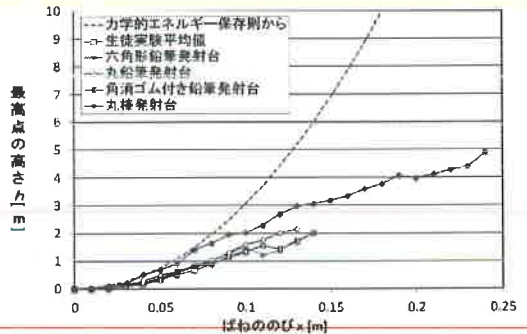


図7 鉛筆発射台と丸棒発射台

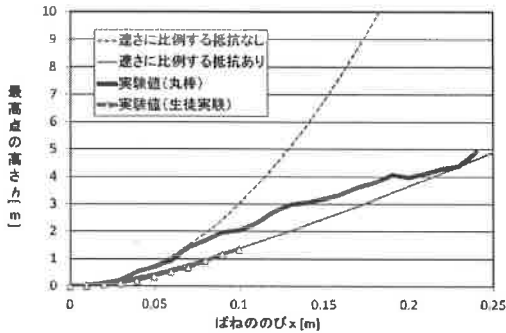


図6より、生徒実験と鉛筆発射台による差が見られないことから、以後、生徒実験データ、丸棒発射台のデータで考察を進める。このデータから速さに比例する抵抗力を考慮し、式(18)の定数 C を実験値に合うように選ぶと $C=0.0025$ [N/(m/s)] となった。これをもとにばねののびと最高点の速さを図8に示し直した。生徒実験データは式(18)によく従っていることが分かる。

図8より、丸棒発射台を用いた実験データと理論値と比較すると、ばねののびが小さい領域 ($x < 0.007$ [m]) で

は式(3)に、ばねののびが大きい領域では式(18)に従っていることから、ばねののびが小さい領域では速さに比例する抵抗力の影響は無視することができ、ばねののびが大きくなるにつれ空気抵抗の影響を考慮する必要があると言える。

図8 空気抵抗を考慮したばねののびと最高点の高さ



3. 3. 2 運動エネルギーの測定

この実験で用いたプラスチックばねのばね定数は、ばねの質量 1.0 g、このばねに 5 円玉 4 枚 (15g) を吊ると 30mm 変形したことから、力のつり合いより 4.9N/m と求まった。投射直後の速さの測定は、重力の影響が大きく測定が難しいため、今回は水平方向にばねを打ち出す時の速さをビースピドで慎重に測定し、ばねののびと投射直後の速さ、鉛直方向の最高点の高さから力学的エネルギーの損失について明らかにしようと試みた。(図9) すなわち、ばねののびによる弾性エネルギーが運動エネルギーになり、運動エネルギーが重力による位置エネルギーに変換される時のそれぞれのエネルギー損失率がどれくらいのものか確かめた。

図9 ばねののびと力学的エネルギー

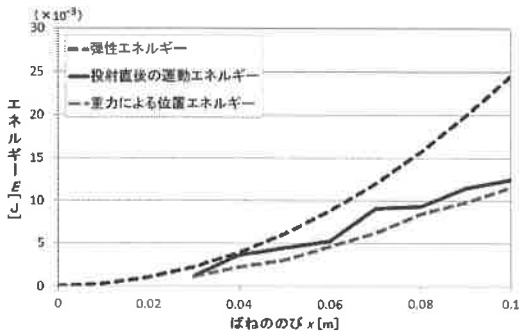


図9より、運動エネルギーのばらつきが大きく、定量

的な分析が難しいが、概ねばねののびが大きくなると、弾性エネルギーから運動エネルギーへ変換される時、すなわち、ばねを伸ばしてから発射台の先端から投射されるまでにエネルギーが多く失われる。

力学的エネルギーが変換される時のエネルギー損失率とばねののびの関係を図10に示す。重力による位置エネルギーは高さ h に比例するので、式(3)と式(18)からエネルギー損失率 δ の理論値を求めた。

$$\delta = \frac{\frac{1}{2}kx^2 - mgh(x)}{\frac{1}{2}kx^2} = \frac{h - h(x)}{h} \quad \left(\because \frac{1}{2}kx^2 = mgh \right) \quad (19)$$

図10 エネルギー変換時の損失率

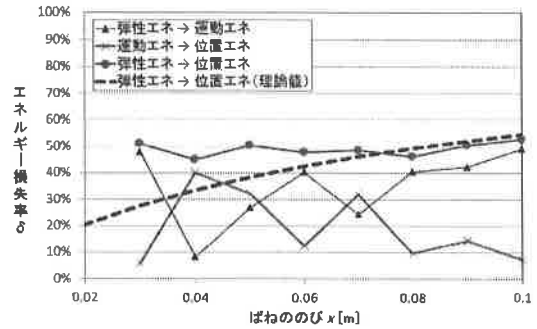


図10より、ばねののびが大きい領域 ($x > 0.07$ [m]) では弾性エネルギーから重力による位置エネルギーに変換される損失率 δ が理論値に近づいていることが分かる。また、運動エネルギーへの変換時の損失が力学的エネルギーの損失の多くを占めると読み取れる。

3. 3. 3 投射台でのエネルギー損失の測定

前節で、ばねを伸ばしてから投射するまでに力学的エネルギーの損失が見られることを確認した。そこで、プラスチックばねが鉛筆発射台を滑る時の損失について検証する補足実験を行った。

方法は、丸棒(丸鉛筆と同じ直径 8mm)に赤いプラスチックばねをセットし初速 0 で落下させる。同時に、緑色のビー玉と、赤いばねと同じ大きさの白いプラスチックばねをプラスチックレールに乗せて、レールを外し自由落下させる。これを、ハイスピードカメラで動画を撮影し解析した。(図11)

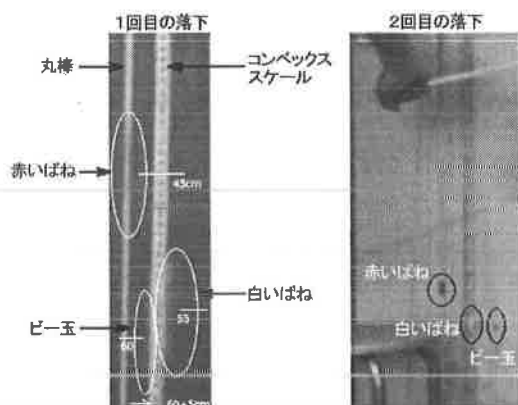
この画像から、1 回目の落下ではビー玉が 60cm 自由

プラスチックばねを用いた鉛直投射実験の考察
(力学的エネルギー保存則に関する生徒実験の実践から)

落下する間に、鉛筆の太さの丸棒を滑る赤いばねが 45cm 落下、白いばねは 55cm 落下したことが読み取れる。

2 回目の落下ではビー玉が 80cm の位置に落下したとき白いばねは 1cm 程度遅れているが、赤いばねの重心位置は約 10cm 遅れていることがわかる。

図 1 1 ばねが丸棒を滑る時の損失を検証する実験



画像がシャープな 2 回目の落下の結果を用いて赤いばねと丸棒にはたらく動摩擦力の大きさ f を求める。80cm の落下に対してビー玉と赤いばねの落下距離の差が 10cm で、この赤いばねの運動の遅れは動摩擦力によるものだけとすると、赤いばねは重力と動摩擦力の合力によって落下する等加速度直線運動をすると仮定できる。

時刻 t におけるビー玉の落下距離 y_1 、赤いばねの落下距離 y_2 とし、ビー玉の加速度は重力加速度 g 、赤いばねの加速度 a の間に

$$t^2 = \frac{2y_1}{g} = \frac{2y_2}{a} \therefore a = \frac{y_2}{y_1}g \quad (20)$$

という関係があるので、赤いばねの運動方程式から

$$ma = mg - f \implies f = mg - ma \quad (21)$$

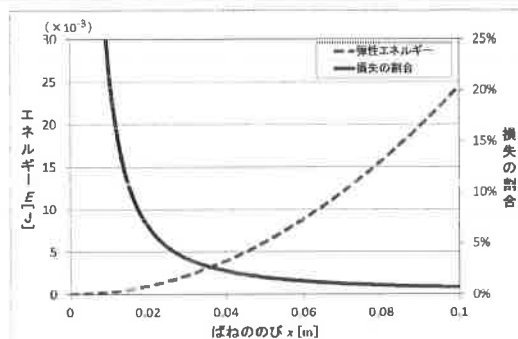
式(21)に式(20)を代入して整理すると

$$f = mg \left(1 - \frac{y_2}{y_1} \right) \quad (22)$$

となる。式(22)に $m = 0.0010$ 、 $g = 9.8$ 、 $y_1 = 0.80$ 、 $y_2 = 0.70$ を代入すると、赤いプラスチックばねにはたらく動摩擦力 f は 1.3×10^{-3} [N] となる。

動摩擦力によるエネルギーの損失は動摩擦力と赤いばねの移動距離の積で求められる。ばねを伸ばした時の「ばねの全体の長さ(ばねの自然長+ばねの伸び)」を鉛筆投射台を飛び出すまでの移動距離とすると、動摩擦力によるエネルギーの損失を最大限概算できる。プラスチックばねの自然長が 33mm の条件を当てはめ、図 9 の弾性エネルギーのグラフに、弾性エネルギーに対する動摩擦力によるエネルギーの損失の割合を示したものが図 1 2 である。ここから、ばねの伸びが小さい領域では、動摩擦力によるエネルギー損失の割合が比較的高いことが示された。

図 1 2 動摩擦力によるエネルギーの損失



4. まとめ

力学的エネルギー保存則に関する実験はいくつも教材化されているが、本稿では、生徒の実情に合わせて「力学的エネルギーの変換について体験する実験」から、「大学レベルの探求活動」まで広げることができる、プラスチックばねを用いた生徒実験の実践について報告した。

前節までの実験の結果とその考察から、プラスチックばねの鉛直投射において、ばねの伸びが小さい領域では動摩擦力の影響が、ばねの伸びが大きい領域では空気抵抗の影響が強く見られることが確認できた。しかし、ばねの伸びが大きい領域では動摩擦力によるエネルギーの損失の割合がとて小さくなるため、ばねの弾性エネルギーが重力による位置エネルギーに変換させるプロセスでどのようにエネルギーが失われているのか、定量的な分析に至っていない。たとえば、投射されるまで(加速中)の空気抵抗やばねの変形の影響など、今後も検証を続けて、生徒の探求的活動につながる教材になればと考えている。

引用文献 1) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説理科編、p.26～p.34、平成 21 年 7 月

高校理科における観点別評価の導入と運用について

北海道枝幸高等学校 佐藤 革馬

Hokkaido Esashi High School Kakuma Sato

平成22年の中教審報告「児童生徒の学習状況の評価の在り方について」の中で、教師の負担感の軽減や学習評価の妥当性・信頼性の向上を図った「効果的・効率的な」学習評価を推進することの重要性が提言された。本校において、平成24年度より新しい学習指導要領の先行実施に伴い、理科では試行的に、観点別評価による学習評価の改善と授業改善を試みた。本稿では、本校理科の観点別評価の導入と運用について工夫した点を述べる。

キーワード 観点別評価、学習評価の改善

1. 学校概要

北海道枝幸高等学校は宗谷管内の道立高校で、昭和26年に開校し、枝幸町（人口約8,900人）に唯一の高等学校である。

表1 学校情報（平成25年度）

北海道枝幸高等学校（全日制普通科）			
管内：宗谷	学級数：6	生徒数：159	教職員数：24

平成18年度・19年度に北海道教育委員会から「高等学校学力アッププロジェクト推進協力事業」の指定、平成19年度から21年度は文部科学省の「キャリア教育の在り方に関する調査研究推進校」の指定を受け、学力向上と、インターンシップを含めたキャリア教育の拡充を図った。

平成23年度・24年度に北海道教育委員会の「確かな学力を育む高校教育推進事業」の指定を受け、基礎・基本の確実な習得や思考力・判断力・表現力等の育成を図るため、指導方法の工夫・改善に努めた。

また、平成24年度・25年度は道立高校間連携事業の推進校指定を受け、浜頓別高校と相互に教員派遣を行い、英語と数学で習熟度別授業を一層幅広く実施している。

さらに、平成25年度からは北海道教育委員会から「高校生ステップアッププログラム」の指定を受け、ピア・サポート活動の導入やコミュニケーション力の向上を図っている。また、「北海道高等学校学力向上推進事業ベーシックモデル」で物理と地理での協力校の指定を受けた。

部活動は運動部7つ（野球、サッカー、陸上競技、卓

球、女子バレー、女子バスケットボール、ボクシング）、文化部2つ（音楽、総合文化研究）、加入率は例年6～7割である。小中高連携講座、「枝幸しょうねん隊」（町からの依頼を受けたボランティア活動）、オホーツクミュージアムえさし（枝幸町立博物館）と総合文化研究部の共同調査など地域と共に様々な活動に取り組んでいる。

また、平成25年度からあさひかわ若者サポートステーションと提携を結び、就職支援など外部機関との連携も進めている。

2. 観点別評価の概要

平成24年度より高校理科において、新しい学習指導要領が先行実施された。これに付随して、「児童生徒の学習状況の評価の在り方について」（平成22年3月24日中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会報告、以下『報告』）を受け、「小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校等における児童生徒の学習評価及び指導要録の改善等について」（平成22年5月11日文部科学省初等中等教育局長通知、以下『通知』）が発出された。この中で、教師の負担感の軽減や学習評価の妥当性・信頼性の向上を図った「効果的・効率的な」学習評価を推進することの重要性が提言された。

『報告』と『通知』を受けて、「新学習指導要領・生きる力、学習評価に関するQ&A」は文部科学省のホームページ¹⁾にも掲載されている。この中から、本校の理科で参考にした部分を表にまとめた。なお、下線は筆者が付けたものである。

表2 「学習評価に関するQ&A」からの抜粋

Q1 平成22年5月に発出された学習評価及び指導要録の通知の要点を教えてください。

A1 (前略)

- ・きめ細かい学習指導の充実や児童生徒一人一人の学習内容の確実な定着を図ることのできる、目標に準拠した評価による観点別学習状況の評価や評定を着実に実施すること
- ・学習評価においても、学力の重要な要素を示した新しい学習指導要領等の趣旨を反映すること
- ・学校や設置者の創意工夫を生かす現場主義を重視した学習評価の推進を図ること
を基本的な考え方として「通知」に示しました。

Q4 目標に準拠した評価について、保護者の理解を得るためにはどのように説明することが考えられますか。

A4 目標に準拠した評価は、学習指導要領に示す目標に照らしてその実現状況を評価するものであり、観点別学習状況の評価を基本として、児童生徒の学習の到達度を適切に評価していくことが重要となります。

(中略)平成13年の指導要録の改善通知により、観点別学習状況に加え、各教科の評定についても、学習指導要領に示す基礎的・基本的な内容の確実な習得を図るなどの観点から、学習指導要領に示す目標に照らしてその実現状況を評価することに改められました。

なお、今回の学習評価の改善に当たっても『報告』において「今後とも、きめの細かい学習指導の充実と児童生徒一人一人の学習内容の確実な定着を図るため、各教科における児童生徒の学習状況を分析的にとらえる観点別学習状況の評価と総合的にとらえる評定とについては、目標に準拠した評価として実施していくことが適当である。」とされました。

目標に準拠した評価は、児童生徒一人一人の進歩の状況や教科の目標の実現状況を的確に把握するもので、学習評価の改善につながるものであると考えます。

(中略)このような目標に準拠した評価の意義について、まず保護者の理解を得るよう説明を行うことが重要であると考えます。

Q7 今回新たに示された「技能」の評価は、従来の「技能・表現」の評価と比べて、内容や評価方法が変わるのですか。

A7 (前略)なお、理科においては、4つの観点の区分を明確にするため、内容の整理を行っており、今ま

で「技能・表現」の観点で評価を行うことを示していた、創意工夫を伴う報告書の作成や発表などは、「思考・判断・表現」の観点において評価を行うことが適当であると示しています。

Q13 理科の評価の観点のうち「科学的な思考・表現」「観察・実験の技能」の観点とこれまでの観点にあった「科学的な思考」と「観察の技能・表現」の観点との違いは何ですか。

A13 今回、評価の観点は、学校教育法及び学習指導要領の総則に示された学力の要素に合わせて整理されたため、観点の名称を「科学的な思考」から「科学的な思考・表現」に、「観察・実験の技能・表現」から「観察・実験の技能」に変更しました。

「科学的な思考・表現」においては、理科の内容等に即して思考したことを、生徒の説明、論述、討論などの言語活動を通して評価することを示しています。

そのため、例えば、これまで「観察・実験の技能・表現」で評価していた、創意工夫を伴う報告書の作成や発表などについても、思考したことを表現するという視点から評価する場合は、「科学的な思考・表現」の観点で評価することを示しています。

一方、「観察・実験の技能」においては、例えば、観察・実験の過程や結果を表、図などを使って的確に記録、整理するといったことについて、引き続きこれまでの「観察・実験の技能・表現」と同様に評価を行うことを示しています。

3. 観点別評価の導入と運用

3.1 観点別評価の導入について

本校は、平成23年度・24年度に北海道教育委員会の「確かな学力を育む高校教育推進事業」の指定を受け、理科では北海道教育庁宗谷教育局の高等学校教育指導班主査の指導の下、「思考・判断・表現」の観点でどのように授業を改善し、どのように評価するか研究を行った。また、本校の理科教員は2名配置だが、平成24年度は教務部長、進路指導部長がどちらも理科だったため、評価・評定についてどのように改善を図るか、校務内規の見直しを含めて議論しやすく、新学習指導要領に示された観点別評価による評価を導入することができた。

本校では、評価(10段階)・評定(5段階)を算出する際に総合点(100点)を用いるが、この総合点の算出方法を平成23年度に見直しを始め、平成24年度に教務内規の文言を次のように改めた。

(評価・評定の方法) 各教科・科目の学習成績の評価・評定は、その目標に照らし定期考査または実技考査および平常の学習活動全般から得られる資料に基づき総合的に行うものとする。

2 ペーパーテスト等による知識や技能のみの評価など一部の観点に偏した評価・評定が行われることがないように「関心・意欲・態度」、「思考・判断・表現」、「技能」、「知識・理解」の4つの観点を踏まえて総合点を算出する。

これに伴い、シラバスで、どのような観点で評価するか各教科ごとに、議論を重ねることになった。

平成 24 年度は試行的に理科のみシラバスでこの観点別評価による総合点の基準を示し、平成 25 年度から全教科で観点別評価による総合点の基準を示した。平成 25 年度の申し合わせでは、観点別教科の算出の際に、特定の観点到大きな偏りがないように取り決めた。

表 3 総合点の算出方法の変更

従来の本校での総合点の算出方法
 考査点 70% 平常点 30%
 ※割合は、全教科統一。平常点の取り扱いを教科・科目で決める。



平成 25 年度の総合点の算出方法
 (例 1 物理基礎)
 ○関心・意欲・態度・・・25%
 ○知識・理解・・・30%
 ○思考・判断・表現・・・25%
 ○技能・・・20%
 (例 2 学校設定科目「理科の実験」)
 ○関心・意欲・態度・・・25%
 ○知識・理解・・・20%
 ○思考・判断・表現・・・20%
 ○技能・・・35%
 ※割合は、教科・科目の特性によって決める。

3. 2 観点別評価の運用について

定期考査は年 4 回実施しているが、その全ての考査で、どの観点に基づく問題か決めて考査問題を作成している。ただし、教員の負担増を避けるために、問題番号一つにつき、重点を置く観点を一つだけ選ぶようにした。たとえば、「右向きに初速 2.0m/s で等加速度直線運動する物体が 4.0s 後に右向きに速さが 6.0m/s になった。こ

のときの、速さと時間のグラフを書きなさい。」という問題の評価観点は、「 $v-t$ グラフの書き方を知っている」、という基準で評価するのであれば、「知識・理解」の観点に、「与えられたデータ(条件)からグラフを用いてまとめている」という基準で評価するのであれば、「技能」の観点に、「グラフを用いて、さらに、加速度を求めることができる」という基準で評価するのであれば、「思考・判断・表現」の観点到加点する。これは、学校の状況に応じて、到達目標が設定されるため、その評価観点も、生徒の状況に応じて評価基準を設定することによる。

4 観点の点数付けは、全て Excel で管理し、総合点の算出および、評価・評定の計算も Excel で行えるシートを作成し運用した。このとき、年度初めに基準を作り、評価・評定の基準について誰にでも説明ができるものにした。

表 4 総合点の算出方法の基準

【例】	
A. 考査点(100点)×年4回	
○知識・理解	…60点程度配点 ①点
○思考・判断・表現	…30点程度配点 ②点
○技能	…10点程度配点 ③点
B. 授業の取り組み(通年)	
○小テスト	…知識・理解 ④点
○問題演習	…関心・意欲・態度 ⑤点
○レポート	…思考・判断・表現 ⑥点
	…技能 ⑦点
○発表	…思考・判断・表現 ⑧点
	…関心・意欲・態度 ⑨点
○実験操作	…技能 ⑩点
	…関心・意欲・態度 ⑪点
○宿題提出	…関心・意欲・態度 ⑫点
C. 総合点(100点)	
AおよびBの点数の合計からシラバスで示した割合になるように点数を圧縮する	
○関心・意欲・態度	…25点(⑤+⑨+⑪+⑫)
○知識・理解	…30点(①+④)
○思考・判断・表現	…25点(②+⑥+⑧)
○技能	…20点(③+⑦+⑩)

授業の取り組みを、その都度点数化し、観点別評価に落とし込むようにする必要があるが、宗谷教育局主査の助言にもあったのだが、「全部を評価しようとするのではなく、今日は、この観点で見よう、という気持ちで。無理なく評価をすることで、授業改善につなげれば良い」

という視点を持つ個で、設問や演習問題の精査し審査を作成したり、どの観点で評価する授業なのか、授業案を作成する時に意識するようにし、観点別評価が重荷にならないように心掛けた。

3. 2. 1 小テスト

授業中に5分から10分程度の時間を使って実施する小テストは、たとえば10点満点、20点満点、100点満点など、問題数によって満点は異なるが、観点別評価用のExcelシートに入力するときに1回あたり最大10点になるように統一し、考查点の「知識・理解」の配点とのバランスがとれるように調整した。

3. 2. 2 宿題

宿題は「関心・意欲・態度」の観点で点数化した。その問題を正解したかどうか、というより、しっかりと家庭学習をしたか、という点で評価するように心掛け、きちんと説明や書き方を書いて提出したのであれば1ページあたり2点、半分くらい書いてあれば1点、そうでなければ0点という目安を作り、Excelシートに入力した。

3. 2. 3 実験レポート

平成24年度は、筆者の担当した物理I(3単位)で6回、化学基礎(2単位)で10回、学校設定科目理科の実験(2単位)では22回の実験を実施した。その都度、実験レポートの提出を求めたが、ほとんどは、実験の手引書に沿って記入させる穴埋め形式のレポート用紙を配布した。ゼロから作成するレポートを求めたのは、学校設定科目理科の実験の3回だけである。

この実験レポートでは、考察の文章は「思考・判断・表現」の得点とし、全体的な書き方やレイアウトなどは「技能」の得点とした。生徒にレポートを返却するときは、原則「A・B・C」の評価を記載したが、観点別評価に基づく得点換算値はExcelシートで行い、生徒には周知していない。

3. 2. 4 発表

物理基礎の授業では、相互理解のために問題演習をグループワークで行っている。その演習結果をグループの中から一人選出して発表するときは「関心・意欲・態度」の観点で評価している。たとえば、声が大きく全体に向けて説明しているのであれば2点、声は小さくても、黒板には丁寧に解法を書いている場合は1点とした。

学校設定科目理科の実験では、毎回、実験の結果と考察を全体に報告するような機会を与えているが、そのと

きは「思考・判断・表現」の観点で評価している。ここでは、声の大きさだけでなく、グラフやデータを用いた説明のわかりやすさ、発表資料のまとめかたを総合的に判断し「A・B・C」の評価とし、これを点数化した。点数化する時には、考查点の「思考・判断・表現」の配点とのバランスを取るように調整した。

4. 観点別評価の結果

観点別評価の導入によって、たとえば、ある学年のある科目において、考查点の平均点が41.3点であったが、観点別評価に基づく総合点では平均点が55.9点となり、これに基づく評定の平均が3.2であった。

これに比べて、観点別評価を導入する以前では、ある学年のある科目において、考查点の平均点が58.2点で、これに平常点を加味した総合点の平均点は61.7点、これに基づく評定の平均が3.4であった。

このように、本校の理科の場合、総合点は観点別評価の導入によって、従来の考查点と平常点による算出よりも、高くなる傾向が見られた。

5. おわりに

本校は、生徒の進路希望先が多岐に亘り、学力層の幅も広いため、「知識・理解」だけの基準だけでは生徒の学力を正確に測ることが難しかった。従来の評価・評定の場合、考查の結果に重きが置かれているので、「知識・理解」に偏重した評価・評定になりやすかったが、観点別評価の導入をすることで、複数尺度による評価基準を、説明できる形で示すことができ、生徒の学力について、より生徒の実態に近い評価をすることができた。

さらに、考查作成の改善にもつながり、授業の取り組みについても、比較的客観的に評価することができるようになった。

どのような能力を生徒に身につけさせたいか、それぞれの学力層に対して示すことができる観点別評価は、導入時のハードルが高いが、準備を整えば運用の負担はそれほど増加しない。しかし、考查の位置付け、つまり考查点と評価の関係については、校内でも議論が残る。観点別評価の導入に際して、校内の共通理解が求められる。

引用文献

- 1) 文部科学省：新学習指導要領・生きる力、
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/qa/
- 2) 佐藤革馬：高校理科における観点別評価の導入と運用について、北海道の理科 No.56、p.56～59、2013

高等学校に於ける天文学教育とワークショップの可能性

(科学技術コミュニケーション論の観点から)

Effectiveness of Workshop for Astrophysical Education in Senior High School
(Aspects for Science Communication)

北海道留辺蘂高等学校 安東 周作

Hokkaido Rubeshibe Senior High School Shusaku Andou

ここ10年、科学技術コミュニケーションという言葉が科学の様々な分野で目を引くようになってきた。科学技術の発展により専門的な科学知は細分化され、専門家と非専門家の知のギャップが深まり、双方を橋渡しできるようなファシリテーションの重要性が認識されている。本稿ではサイエンスカフェ等で使われるワークショップの方法を利用し、高校教育の場で科学の理解を育むことができないか考察した。とりわけ天文学分野に於いて、スケール感覚の理解を通じ、宇宙の諸現象を物理的に理解する方法を実践した。

キーワード 科学技術コミュニケーション 銀河形態学 天文学教育 宇宙スケール

Keywords: science communication, galactic morphology, education of astronomy, cosmic scale

1 はじめに

観測衛星や数値シミュレーションの目覚ましい開発と発展により、ここ10年で宇宙物理学分野の研究は飛躍的に発達した。そのため「理科」の科目の中でも天文学分野の内容は劇的に刷新され、新カリキュラムになって観測的宇宙論や銀河について、入試等でも先端的な内容やより物理学的な考察力が問われるようになってきた。そこで本校で行った授業実践を例に、天文学分野で可能なワークショップの方法や課題研究の方法を探り紹介する。とりわけ非日常的である天文学的スケールの自然現象を生徒が咀嚼していく方法を科学技術コミュニケーション(science communication)論の立場から提示する。

2 近代の天文学事情と教育

2001年、WMAPによる宇宙背景放射の観測により、宇宙の年齢が約137億年というオーダーまで決定することができた。観測技術の発展によって、高分解能で多くの観測データが得られるようになり、一般の人がネットで簡単に情報を手に入れることができるようになった。高校の教科書でも鮮明なカラー写真が掲載され、活動銀河中心核(Active Galactic Nuclei)や系外惑星等の観測結果も一部紹介されている。地学の教科書で扱われる宇宙論や銀河に関する記述は少しずつ中身が深くなっているのは明らかだ。天文学現象はダイナミックで、スケールが「光年」という非日常的な巨大な尺度を用いるため、高校生だけではなく教員もスケール感覚を養うことに非常に苦慮するのは、この分野の特徴ともいえる。新学習指導要領により地学基礎の開設が増え、多くの高校で地学分野を扱うことになる。太陽系、銀河、銀河団等の階層構造を明確にし、スケールを混同せずに学べる方法はないのであろうか。

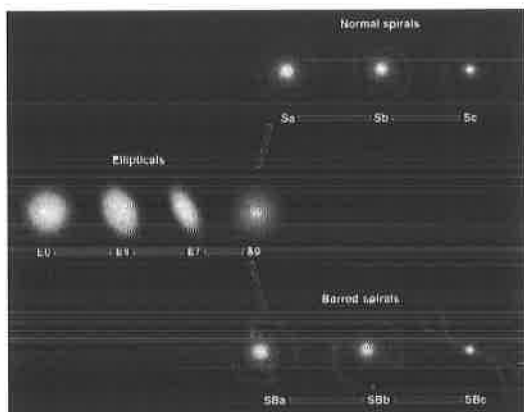
3 天文学と科学技術コミュニケーション

科学技術コミュニケーションでは、「教師から生徒へ」という一方の教授的な座学スタイルではなく、学びの空間にいる当事者同士が互いに対話をしながら学習をする、「双方向性」がひとつの大きな鍵となっている。科学が劇的に進化する現代において、専門家と非専門家の知のギャップを解消するため、科学館や博物館など様々な場面でこの手法が用いられており、特に天文学分野では国立天文台をはじめ、観察実習会・サイエンスカフェ・Mitaka等の教育教材開発など、様々な取り組みが行われている。高校の授業においても、生徒が関心をもち意欲的に学問に向かう姿勢を育むため、ワークショップによる学びは有効であり、とりわけ各単元の導入のひとつとして取り組みやすい。本校では「地学基礎」や「科学と人間生活」の第5章「宇宙や地球の科学」の単元だけではなく、学校設定科目でも天文学教育を取り上げてきたが、座学の中では「太陽質量の何倍」とか「何百光年の距離」というスケール感覚を生徒がなかなかイメージしがたい現状があった。近年では貴重な天体の観測データや最新の情報が、インターネット上で簡単に入手できるため、仮想空間上をフィールドワークの場として活用し、スケール感覚に注目した教育の実践ができないかを考えた。以下の授業案はワークショップ形式で効果的に学ぶことで、天体物理の基本現象を楽しみながら学んでいくことを目的としている。

4 ハッブル分類のワークショップの実施報告

ハッブル分類(Hubble tuning fork)は1936年に銀河の形態分類の方法としてE.Hubbleが提唱したもので、地学の教科書にも掲載されている。銀河形態学の基礎となる

ものであり、近代、目視による分類がずっと行われてきた(図1)。分類を実際に体験してみて、過去の宇宙での銀河の形態分布や銀河の構造について理解を深めることができる。本校では物理Ⅱのケプラー運動に関するの単元で、より深い探求活動の一環としてワークショップを実施した。



(図1)ハッブル分類(Hubble tuning fork)



(図2)「物理Ⅱ」探求活動の一環として実施

[実施の概略]

- ①情報室でSDSSやNASAなどの銀河写真のアーカイブのあるページへアクセスし、銀河の写真を印刷する。(エクセルでのワークシートを用意した)。その際、カタログ番号や距離などの細かなデータも調べる。
- ②印刷した銀河を、楕円銀河(E)と渦巻銀河(S)に分類する。
- ③渦巻銀河については、さらに棒状構造のあるなしで棒渦巻銀河(SB)であるかどうかの分類を試みる。また余力のある生徒はリングやスパイなどの渦巻銀河に特徴的な構造についても調べてみる。

- ④グループで各自が調べた銀河を集め、ハッブル分類に従って分類していく。その際分類できないものについては、なぜできないかの理由も書き留めながら行う。
- ⑤可能であれば、時間ごと(距離)の集団で銀河をまとめてみる。

50分間2コマ連続の授業で、生徒一人あたり平均して3~4個の銀河を調べることができたが、棒状構造が曖昧な棒渦巻銀河を見極めることにかなり苦戦をしていた。銀河の色や年齢の関係、腕の巻き方の違い、バルジの大きさなどの細かな部分に気がつく生徒もおり、銀河を教える導入としては非常によかった。

5 天文学的スケール感覚を養うワークショップ

昨年度、科学と人間生活、理科基礎の授業で、天文学に関する授業を行った。生徒の宇宙への興味感心は高く、授業を行き度色々な質問や意見が飛び交った。その中で筆者が目にしたことは、思っているほど天文学用語とその物理現象が結びついていないこと、そして、天文学の諸現象とスケール感覚が全く一致していないことであった。以下、生徒から出た質問の一部を挙げる。

[質問 a]

我々の銀河が他の銀河と衝突したら地球は粉々になって滅びるのか。

[質問 b]

銀河中心にブラックホールが存在するならば、時間が経ったら全部吸い込まれてしまうのか。

[質問 c]

星が爆発(超新星爆発)したら銀河は粉々になるのか。

[質問 d]

星座と銀河はどちらが大きいのか。

[質問 e]

隕石が銀河に衝突したらどうなるか。

これらの質問はほんの一例であるが、よくよく考えてみるとSF的な質問と一括りで片付けられないほど、スケール感覚の本質を突いている。質問aの意味するところは、銀河スケールの間隔においては衝突・合体は珍しい現象ではないが、恒星同士の衝突はまれであること。質問cについては、超新星爆発による衝撃波が物理的な影響を及ぼすスケールの範囲を、伝搬速度を踏まえて考えなければ理解はできない。それぞれの質問に共通する隠れたキーポイントは、スケール感覚を養っているか否かであることに疑いはない。Philip Morrison 著の『POWERS OF TEN』にあるように、10の冪乗スケールの感覚を養う本や Mitaka を使って視覚的に見せる方法

もあるが、本校ではあまり効果的ではなかった。そこで、太陽系スケールと銀河スケールのカードを用意して、対話をしながら理解する2つのワークショップを行ってみたい。

【課題1】惑星を大きい順に並べよ。

ラミネートした太陽系の惑星の写真(B4サイズ)を用意し、太陽から近い順、大きい順、重い順に並べさせる。ただし、提示の際には太陽系の惑星であるという情報のみ与える。



(図3) 惑星の並び替えをする生徒

【課題2】スケールの大きい順に並べよ。

銀河スケールの天体現象と太陽系スケールの天体現象の2つの写真セットを用意し、それぞれのカードをスケールの大きい順に並べる。その際、ただ単に並べるのではなく、どのような現象であるか、その物理現象が起こるスケールはどの程度と想定できるかを考察させた。用意したカードは以下の通りである。

【①銀河スケール】

カード	写真の内容	スケール
A	銀河群	10万～
B	銀河単体	10万光年
C	星雲	100光年
D	超新星爆発の残骸(かに星雲)	10光年

【②太陽系スケール】

カード	写真の内容
A	太陽
B	太陽黒点
C	地球
D	土星のリング (幅)
E	木星の衛星 イオ

課題1では、「水金地火木土天海」というフレーズにつ

いてはほとんどの生徒が知っていたが、それぞれの惑星がどれに対応するのかを写真と合致させて理解している生徒は極めて少なかった。木星と土星を混同していたり、水星を文字通りに水がある星と考える生徒もいた。また、太陽や木星の大きさのイメージを明確に持っている生徒はさらに少なく、太陽が地球と同じサイズと考えている生徒もいた。課題2では、全員が星雲や銀河などすべて同じスケールの現象であると思っており、どの順番で並べたら良いのか、全員がお手上げの状態であった。



(図4) [課題2]に挑戦している生徒

そこで各カードの写真を比較しながら、どんな情報が読み取れるのかヒントを出していった。たとえば、銀河ひとつあたりの大きさが約10万光年であると仮定して、カードAとカードBのスケールを見積もらせるといった具合である。カードDについては、約1000年前に超新星爆発が起きたことと、現在およそ毎秒1100km程度の速さで広がっていることを踏まえ、どの程度広がっているかをおおまかに見積もらせた。実施した感想としては、少し難しいワークショップであったため、もう少し丁寧なワークシートを制作するなどの反省はあったが、宇宙で起こっている物理現象を見積もる方法やスケール感覚を踏まえた理解の仕方を学べ、生徒の関心は大きいものであった。

6 情報デザインの観点からの企画の可能性

科学技術コミュニケーションでは、身近な科学や最先端の科学を一般の人々へ効果的に伝えるために、サイエンスカフェやワークショップの形式など、場の設定や企画を考えることが重要である。科学者のアウトリーチ活動が比較的活発に行われてきた天文分野においても、あまり例がない「スケール感覚に焦点をあてたワークショップ」ができないか、数年前に情報デザインのなアプローチによる企画を考えたことがあった。そこで、高校や大学の一般教養などの授業に応用し、速さや距離といった普遍的な物理概念に落とし込みながら学べるよう練り直した。以下にワークショップの素案を提示する。

企画:「宇宙をデザインする～天文学的スケール感覚を通して～」

—— How to design our universe ——

(1) NASA や HST(ハッブル宇宙望遠鏡)などのアーカイブから天体の写真を集めて、天体写真カードを作成し、それをグループごとに用意する。グループは4人1組程度が望ましい。

カードにある天体写真については、

- ① どのような星や銀河なのか
- ② 星雲の写真であるならば、どんな現象が起こりそのような形に至ったのか
- ③ メカニズムはどうなっているのか

など、写真やパワーポイント等を提示して全体へ簡単に解説する。

(2) 国立天文台で提供されている Mitaka などのフリーアプリケーションを使い、宇宙のスケールに対する勉強をする。宇宙のスケール感覚、とくに「天文単位」「光年」という天文学独特の距離感覚を感じてもらう。

(3) 次に、二種類の宇宙スケール(銀河スケールと 1000 万光年スケール程度)の、宇宙を模した黒い模造紙を用意する。その上に天体カードをグループで好きなようにレイアウトし、自分たちの宇宙をデザインしてもらう。その際、特に物理的な制約を課さずに各グループの自由な宇宙の形をデザインしてもらう。

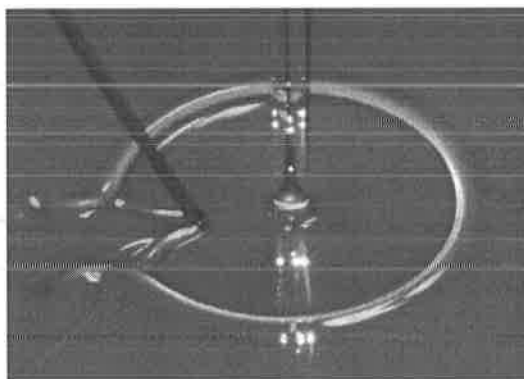
(4) その後、完成した宇宙をみんなに披露し発表する。全グループの発表終了後、我々の宇宙が実際にはどのような構造になっているかを、宇宙の大規模構造の話を踏まえながら解説していく。その際、各グループの発表した宇宙と実際に観測されている宇宙との違いにふれ、物理的な解釈を加えていく。

(5) 最後にグループで考えた宇宙がどう時間変化するのかを考えてもらう。自分たちの考えた宇宙がその後どのような進化をとげるのか、おおまかな予測を立ててみる。将来的にここの銀河同士がくっついてしまうなどの天文学的見解を加えながら、制作した宇宙の「進化した姿」をグループごとに考察していく。

6 終わりに

物理実験や化学実験と違い、天体の諸現象を実験室スケールで再現したりモデルを制作することはなかなか苦勞をするのが現状である。本年度の課題研究の授業で、生徒に身近なもので宇宙の諸現象を再現する方法や、本校の生徒でも簡単に理解できるような説明の仕方を考えさせたり、簡単な立体モデルを作る作業をさせている。2011年5月にフランスの物理学者が、水道の蛇口をひねった時に台所のシンクにできる流れの構造(図5参照)が、ブラックホール(光さえも飲み込む天体)と真逆の性質をもつホワイトホールとそっくりな物理現象であることを論文で発表し話題となった。定量的な理解が困難な本校でも物理的な感覚や論理力を身につけられるような方法はないか。色々と模索していた中、日常的な現象で難しい概念を説明できる例として参考になると考え、課題研究で実際にモデルを制作させたり、粘性条件を変えて動画撮影をするなどのグループワークを行っている。

超新星爆発で銀河がこなごなに破壊されるのかという昨年の卒業生の質問を思い起こすと、今回のワークショップで、今年の履修生が少しながらもスケール感覚を身につけてくれたことを期待してやまない。



(図5) 台所のシンクにできる水

7 参考文献

- 1) 谷口義明他:『シリーズ現代の天文学 4 銀河 I - 銀河と宇宙の階層構造』(日本評論社)
- 2) Philip Morrison:『Powers of Ten』
- 3) Jannes G, Piquet R, Maïssa P, Mathis C, Rousseaux G: Experimental demonstration of the supersonic-subsonic bifurcation in the circular jump: A hydrodynamic white hole
- 4) 奈良由美子, 伊勢田哲治:『生活知と科学知』(放送大学)

化学部のISEF（国際学生科学技術フェア）出場報告

北海道旭川東高等学校 富田 一茂

Abstract

旭川東高校化学部の生徒が日本学生科学賞で文部科学大臣賞を受賞し、アメリカで行われたIntel ISEF 2013（国際科学技術フェア）に日本代表として出場した。ISEFには70以上の国・地域から約1,600名以上が参加、日本からは6組8名の生徒が参加した。日本学生科学賞では、高校生らしい素朴な疑問から出発し独創的で高校生らしい手法で問題解決できたことが評価されたが、ISEFの審査基準には高校生らしさというものはない。いかに独創的で有用な発明発見をしたかである。物理部門、化学部門の上位の研究は、大学の研究室を使用して行った最先端のものであり、日本の大学院レベルの研究である。世界の理科教育の考え方、リーダーの育て方が、日本とは大きく異なることを実感させられた。ポスター、質疑応答集の作成やプレゼンテーションの指導では、北海道大学の支援をいただいた。

キーワード ISEF 国際科学技術フェア 学生科学賞 化学部

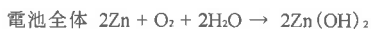
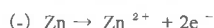
1 はじめに

本校化学部の高成壯磨の研究「NaCl 型ボルタ電池の正極反応」が、第 56 回日本学生科学賞で文部科学大臣賞を受賞し、2013 年 5 月 12 日～17 日にアメリカのアリゾナ州フェニックスで行われた Intel ISEF 2013（国際学生科学技術フェア）に日本代表として出場した。大会に私も同行したので、その報告をする。

2 研究内容

(1) 研究の概要

塩化ナトリウム水溶液に亜鉛板と銅板を入れたボルタ電池の反応は、



であり、正極では初めは溶存酸素が反応するが、その後空気中の酸素が反応することで放電が継続することを明らかにした。特にフェノールフタレインを加えた塩化ナトリウム水溶液を寒天で固めることにより、反応を可視化した点が評価された。筒状容器を用いると最初は溶存酸素が反応するため銅線全体が赤くなり、翌日には空気中の酸素が反応するため銅線の上部のみ赤くなる。

(2) 研究のはじまり

昨年度、化学部では3つのテーマで研究を行った。他の2テーマは共同研究であるが、この研究は高成が自らテーマを設定し研究を始めたため、個人研究となった。生徒自身も顧問の私も、研究方法、結果に見通しがあったわけではないが、試行錯誤しながら実験をしていく中

で、寒天で固める方法を思いついた。やってみなければ分からないことを実感させた研究であった。

3 Intel ISEF 2013（国際学生科学技術フェア）

(1) 大会概要

インテル国際学生科学技術フェア（Intel ISEF(アイエフ) = Intel International Science and Engineering Fair) は米国で毎年開催されており、今年で64回目である。日本は、1958年から参加を開始し、本年は55回目の参加である。本年は、70以上の国・地域から約1,600名の生徒が参加、日本からは6組8名の生徒が参加した。

(2) ISEFに出場するには

ISEFには、読売新聞主催の日本学生科学賞から3組（個人研究2組、共同研究1組）、朝日新聞、テレビ朝日主催の高校生科学技術チャレンジ（JSEC(ジエック) = Japan Science & Engineering Challenge) から3組（個人研究2組、共同研究1組）選ばれる。JSECは朝日新聞社が2003年に創設した大会で、学生科学賞とは異なり、ISEFの日本予選の位置づけが強い大会である。応募作品数は、昨年度208件で、地方予選を含めると中高あわせて1万件の応募がある学生科学賞よりはるかに応募数が少ない。学生科学賞とJSECの日本代表は、それぞれの新聞社が別々に引率する。

(3) 大会日程、スケジュール(学生科学賞日本代表)

5月11日（土） 17:40 旭川出発、成田泊

5月12日（日） 9:00 成田集合、出発

13:05 フェニックス到着

- 19:00～21:00 ピンバッジ交換会
 5月13日（月） 午前 展示ブース設置, 検査
 午後 プレゼン練習
 15:30～18:30 オープニングセレモニーディナー
 19:00～20:30 オープニングセレモニー
 5月14日（火） 9:30～11:30 メディア取材
 14:00～16:00 ノーベル賞受賞者パネルディスカ
 ッション
 17:00～21:00 大リーグ観戦
 5月15日（水） 8:00～17:00 審査会
 19:00～22:00 ミキサイイベント
 5月16日（木） 10:00～14:00 会場一般公開
 19:00～21:00 特別賞表彰式
 5月17日（金） 9:00～11:00 優秀賞表彰式
 午後 観光
 5月18日（土） 10:00 フェニックス出発
 5月19日（日） 17:00 成田到着, 成田泊
 5月20日（月） 13:05 旭川着

(4) 表彰

Grand Award（優秀賞）と Special Award（特別賞）の表彰がある。Grand Award（優秀賞）は1等～4等まであり、1等の中から部門最優秀賞が1組選ばれる。優秀賞配分率は、1等3%、2等6%、3等9%、4等11%となっている。それぞれ賞金が与えられ、3000ドル（1等）～500ドル（4等）、部門最優秀は1等賞金に加えて、個人に5000ドル、高校に1000ドル与えられる。Special Award（特別賞）は、大学や学会、企業（Googleなど）、政府団体（NASAなど）から、賞金や奨学金があたえられる。以前は多数の賞があり、Special Awardの表彰式が2日もあったらしいが、最近賞が減っている。主に、コンピュータ部門に与えられる賞が多い。

今年度、県立千葉高校2年の田中堯さんの研究「微小貝は古環境指標として有用か」が地球惑星科学部門 優秀賞1等及び同部門最優秀賞を授賞した。優秀賞1等は日本3人目、部門最優秀賞は日本初の快挙であった。また、広島県立府中高校のチーム研究「動く棒が水面に描く波模様の研究」が米国物理探査学会賞及び米国音響学会賞佳作に選ばれた。残念ながら、本校の研究は入賞できなかった。

(5) 審査会

Grand Awardの審査は9:00～15:30の間に15分刻みで8～12人の審査員が審査する。審査のスケジュールは当日の朝に配られる。Grand Awardの審査の前後に

Special Awardの審査がある。審査員は事前にアブストラクト、ポスター等に目を通して、審査は質疑応答のみ行われる。アブストラクトが重要で、これで入賞候補作品がピックアップされるようである。当日の審査では、研究を行った本人の研究能力、資質、将来性を見る。応答が遅いと、理解していないと見なされる。共同研究では、なぜ1人ではできないのか、2人目の存在はなぜ必要かを問われるので、それぞれの役割分担と存在意義をきちんとアピールしなければならない。今回、部門最優秀賞を受賞した生徒は、「自分の研究を審査員に伝え、わかってもらえるのが楽しい。」と述べていた。この生徒は学校の部活ではなく個人で研究し、指導教官もいない中、日本学生科学賞に応募してきた生徒である。英語の能力よりも、こういった研究に対する思いが一番大切であることを実感させられた。

今年度は全発表者に通訳がついた。ただし、以前は通訳が不足して、通訳が順にブースを回るため、通訳なしで審査しなければいけないときもあったらしい。できるだけ英語でプレゼンするように指導を受けていたが、無理しないで通訳を使ってよいと言ってくれる審査員も多くいたようである。通訳の方とは、当日の朝、事前に研究内容や専門用語に関する打ち合わせを行う。しかし、理系の方は少ないので、通訳しきれないこともあるようである。JSECから参加の長崎西高校は英語の教員が同行してきており、急速事務局が通訳登録して、審査会に通訳として参加した。ただし、自校はダメと言うことで、JSEC参加の他校の通訳を行った。

(6) 本番に向けた提出書類のスケジュールと提出書類

3月上旬 アブストラクト（要約）（250語以内）とリサーチプラン（実験計画）の提出

中旬 参加者アンケート 提出

4月中旬 ポスター提出（業者への印刷発注）

4月末 ポスター校正終了

アブストラクト、リサーチプラン、ポスターの作成のために、大学教授や名誉教授の指導教官が割り当てられる。本校の研究には東京大学名誉教授の下井守先生が担当となり、メールで英語表現について添削指導をいただいた。生徒の自主性を尊重するため、研究内容については生徒任せであり、英語表現、ポスターの書式に関しては添削だけである。英語であっても研究内容についての添削は、顧問がしなければならない。

アブストラクトは、事前に提出する書類の中で最も重要で、この内容により入賞候補作品がピックアップされる。リサーチプランには、引用論文（原著論文が望まし

く、日本語の単行本などは不可)を5本以上明示し、先行研究を明らかにする必要がある。本校の研究は、日本学生科学賞では正極で酸素が反応していることを明らかにしたとの内容であったが、正極での酸素還元反応は先行研究ですでに明らかなことであったので、ISEFでは正極で酸素還元反応が起こっていることは分かっているが、その反応のメカニズムを反応の可視化により明らかにしたというように構成を変えた。ポスターは図表だけを示して、口頭説明するやり方ではないので、それを読めば研究の全てが分かるようなポスターを作る。論文に近いポスターである。

(7) ISEFに向けた研修会

毎年、3月末に筑波のインテルジャパン本社で、学生科学賞、JSEC代表の合同の合宿があり、英語のプレゼンの練習を行う。その他、今年度は3回(2月上旬、3月末、4月末)に読売新聞社の研修会が東京で行われた。研修会はISEF出場者OBで組織する日本サイエンスサービス(NSS)がバックアップしてくれる。

(8) 北海道大学の支援

北海道大学大学院工学研究院 准教授 坂入正敏先生には、大変お世話になった。学生科学賞の指導教官は遠方であるため、直接会って指導していただくことができない。直接会って指導していただける先生がいたことは、大変心強かった。電気化学が専門の坂入先生に指導していただいたおかげでアブストラクトやポスターの内容がわかりやすく充実したものになった。また、今年度はJSTの中高生の科学部活動振興プログラムに応募し、その研修としてゴールデンウィークに2回、プレゼンテーションの指導を行っていただいた。

(9) 校内での支援体制

生徒本人も、ポスター作成や質疑応答集の作成で一杯で、本校の英語教員に指導していただく余裕がなかった。出発の直前に、一度だけ質疑応答の指導をしていただいた。内容が専門的であるため、英語の教員にとっても指導のハードルが高い。ネイティブの人の英語を聞き取る練習をしたかったが、できなかった。2月末より、生徒が自主的に英会話教室に通った。

(10) 日本とアメリカの研究内容の違い

本校の研究と他国の研究では、内容にあまりにも大きな違いがあった。本校の研究は、高校生らしい素朴な疑問から出発し、独創的で高校生らしい手法で問題解決で

きたことが一番の特徴であった。日本学生科学賞でもその高校生らしさが評価されて文部科学大臣賞を受賞した。だが、ISEFの審査基準には高校生らしさというものはない。いかに独創的で有用な発明発見をしたかである。化学部門1位で、総合2位の研究は、高性能キャパシタの開発に関する基礎研究で20秒ほどの充電でLEDライトをつけることに成功したという。電子顕微鏡の写真を用いて、開発した材料についてナノレベルでの構造を分析していた、日本の大学院レベルの研究である。化学部門は実験設備や研究内容の違いがあまりに大きく、勝負にならないというのが正直な感想である。過去の日本の1等賞が動物部門2回、地球惑星科学部門1回(今回授賞した微小化石の研究)と、マクロな分野の研究ばかりであることも納得できる。アメリカでは、高校生が自分で、「研究をさせてくれ」と研究者に直接コンタクトをとり、大学の施設で研究する。日本では科学部による共同研究が多いが、アメリカでは個人研究が中心である。ISEFの部門は、「動物科学、行動科学および社会科学、生化学、細胞・分子生物学、化学、コンピュータ科学、地球惑星科学、工学(電気工学・機械工学)、工学(材料工学・バイオエンジニア)、エネルギー・運輸、環境管理、環境科学、数学、医学・健康科学、微生物学、物理学・天文学、植物科学」と大学の分類と同じようになっている。日米のどちらのやり方が正しいというものではないと思うが、世界の理科教育の考え方、リーダーの育て方が、大きく変化しているのを実感させられた大会であった。

(11) 参加生徒の変化

参加した生徒は、日に日に表情が変わり大きく成長していった。代表が決まってからの4ヶ月半は、大変な日々であったが、貴重な体験ができ、参加できてよかった。

4 おわりに

北海道大学大学院工学研究院准教授の坂入正敏先生には、長時間にわたりご指導を頂きました。また、日本学生科学賞中央最終審査進出にあたり、前年度に科学技術政策担当大臣賞した札幌北高校物理科学部顧問の中道先生には、ブースのレイアウトから審査の様子まで、様々な情報を頂きました。両名の先生には、この場を借りてお礼申し上げます。この報告が、今後ISEF代表となる北海道の生徒、その指導にあたる先生方の参考になればうれしいです。

FFT_Analyzer (Ver. 1.0) の作成と周波数のリアルタイム表示 (音波の周波数測定・分析)

北海道札幌北高等学校校定時制課程教諭 高木 伸雄

振動する物体から出る音波の様子を波形表示後、FFT分析・表示という手順を通らずに、リアルタイムに周波数表示して倍音等の状態を観察すると、生徒の興味・関心を引き立てることができ、理解しやすい。Processingを開発言語として周波数分析ソフトFFT_Analyzerを作成した。短いコードでこのプログラムを実行することができる。ソースコードを公開して多くの人に自由に改変・改造して使ってもらいたい。このソフトウェアの紹介といくつかの実験例を示す。

キーワード 周波数分析ソフト、Processing、ソースコードの公開、周波数表示・分析

1. 動機

昨年度、同僚の英語教諭が英語の研究会に参加したとき、豊学校の生徒が英語のイントネーション（例えば疑問文の場合、語尾が上がる）をなかなか身につけられないと言う話が出ていたと教えてくれた。それを聞いて、PCを利用してイントネーションをリアルタイムに表示するソフトウェアがあれば豊学校の生徒も助かるのではないかと思い、インターネット等を使い色々調べた。しかし、語学用のイントネーションを示すことができそうな高価な市販ソフトウェアはあるがフリーのものはないようである。それで、私でも作れるのではないかと思い色々調べたり勉強した結果、Javaをもとに2001年に2人のアメリカ人によって作られた言語 Processing を使って簡単に作れそうなのが分かり、挑戦した。

その課程で Processing の Library にマイクロフォンでキャッチした音を FFT 分析をすることができる機能があることが分かった。これを使って入力音波の周波数分布をリアルタイムに示すソフトウェアを作成し、2013年7月に開催された北海道理科学研究大会に発表した。その後、いくつかの問題点を解決し、機能も強化して使いやすくなったものを Ver.1.0 として発表する。

2. ソフトウェアの概要

- ① Windows PC用のソフトウェアである（プログラムから Mac 版、Linux 版も作成可能）。インストールしないで利用できる。PC の適当な場所（デスクトップ等）において起動すればよい。
- ② マイクロフォンから音を入力して、その周波数分布をリアルタイムに表示する。
- ③ 表示画面を単一画像または連続画像として簡単に保存できる。

④ 測定範囲は 10 ~ 3000Hz である。プログラムの一部を変えると測定範囲を簡単に変更できる。

⑤ 測定の精度（周波数分解能

BandWidth=samplerate/buffersize）は 10Hz である。

（samplerate = 40960, buffersize = 4096 に設定してある）

3. 使い方

① 起動

実行ファイル FFT_Analyzer.exe をダブルクリックする。

② 縦軸の倍率（感度）

1 から 5 の範囲で上下の矢印キーで変更可能（↑キーで 1 増、↓キーで 1 減）。初期値は 3。画面の左上に「sensitivity 4」のように表示される。

③ フレームレート

毎秒描画する回数を示す frameRate は左右の矢印キーで変更可能（→キーで 10 増、←キーで 10 減）。範囲は 10 から 60、初期値は 30。画面の左上に「frameRate 20/sec」のように表示される。

④ 一時停止及び解除

N キーを押すと一時停止状態になる。一時停止中は画面上に「Stop」の表示ができる。もう一度 N キーを押すと一時停止状態の解除になる。

⑤ 画面サイズ切り替え

B キーを押すと画面サイズが (1200,600) と (840,420) に交互に切り替わる。初期値は (1200,600)、単位は pixel。

⑥ 窓関数 Hamming オン・オフ切り替え

V キーを押すと窓関数 Hamming をオン・オフ出来る。初期状態はオフ。

（窓関数については、5. 資料の③参照）

⑦画像保存

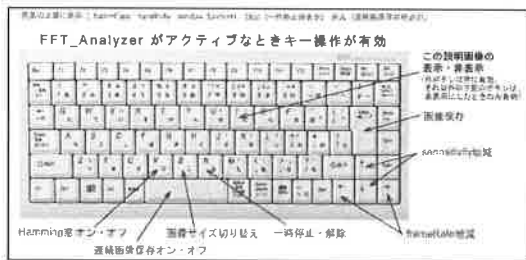
Enter キーを押すとそのときの画面の画像を保存する。保存ファイルは tiff 形式で、FFT_A-1.tif、FFT_A-2.tif のように連番になる。保存先は〈実行ファイルが入っているフォルダ〉である。一時停止中でも機能する。保存画像サイズは、画面サイズが(1200,600) のとき 2.0MB 程、(840,420) のとき 1.0MB 程。

⑧連続画像保存

スペースキーを押すと連続的に画面の画像を保存する。保存停止はもう一度スペースキーを押す。停止しないと 10 秒後に自動的に保存停止になる。保存中は画面上方に赤丸が付く。一時停止中は連続画像保存機能は無効である。また、連続画像保存中に N キーを押して一時停止状態にすると、その後の連続画像保存は解除される。保存ファイルは tiff 形式で frame-0001.tif、frame-0002.tif のように連番になる。保存先は〈実行ファイルが入っているフォルダ〉である。フォルダ内に以前に保存した画像が残っていると、新たに FFT_Analyzer を起動して画像を保存するときに、同じ名前のファイルが存在すれば上書きされてしまう。注意が必要である。測定を終えてソフトウェアを終了したときには、保存画像を名前を付けたフォルダに入れて整理しておくことが重要である。

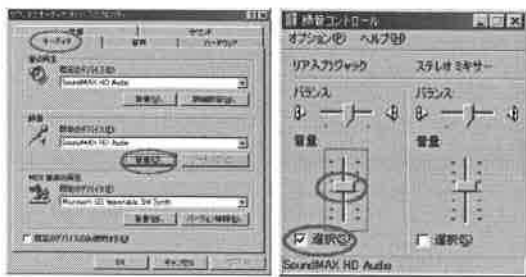
⑨キー割り当て説明画像の表示・非表示

I キーを押すと表示・非表示が切り替わる。非表示状態で測定可能。初期画面はこの画像が表示されている。



⑩マイクロフォンの設定

マイクロフォンを PC に接続して、使用可能状態に設定する。



windows XP の場合

スタート→設定→コントロールパネル→サウンドとオーディオデバイス→「オーディオ」を選択して録音の「音量」をクリック→録音コントロールを表示 (タスクバーにある音量アイコンを右クリックして「ボリュームコントロールを開く」→「オプション」→「プロパティ」→「録音」を選択して録音コントロールを表示 という方法でも良い)

録音コントロールでマイク (PCによってはリア入力ジャック等) を選択する。入力レベルを適当に設定する (ここで入力レベルを変えることができる)。

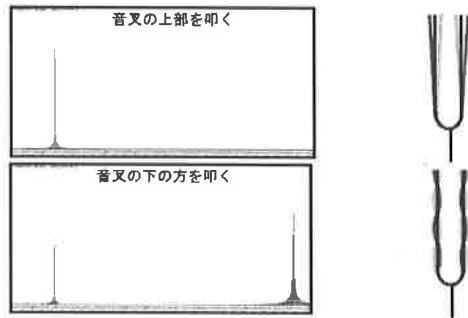
4. 実験例

画像を見やすくするため、ネガ・ポジ反転で表示している。Hamming 窓はオフ。

Enter キーを押して画像を保存する方法で実験

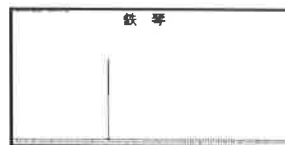
①音叉

共鳴箱をつけないで、440Hz の音叉の上部をゴム球でたたくと下図上のようになるが、音叉の下の方を強くたたくと下図下のようになり、2820Hz 位の音も出ていることがわかる。音叉はそれぞれ右のような振動をしているようである。



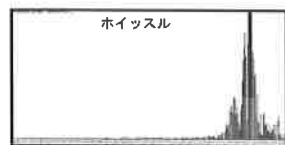
②鉄琴

鉄琴をかかるとたとく基本音だけが出ている様子になる。



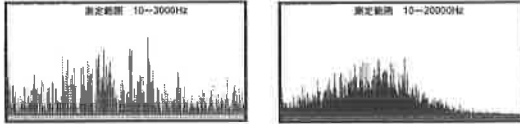
③ホイッスル

ホイッスルを吹くと、さまざまな周波数の音が出ていることがわかる。



④ポリ袋を手でもんだときの音

ポリ袋を手で軽くもんだときの周波数分布である。低周波から 3000Hz ほどの音まで実に沢山の音が出ている様子がわかる（下図左）。プログラムを変えて、2万 Hz まで表示できるようにすると下図右のようになる。右端が 2万 Hz なのでおよそ 1万5千 Hz までのかなり高音も出ている様子がわかる。このようにプログラムを一部変えるだけで簡単に測定範囲を変更できる。



1320Hz、1760Hz の音が出ていることがわかる（右図）。それぞれ 2 倍音、3 倍音、4 倍音になっている。発振周波数以外の音が出ているのは、電気回路の問題ではなく、PC 内蔵スピーカーの形状やサイズ等の問題であると思われる。

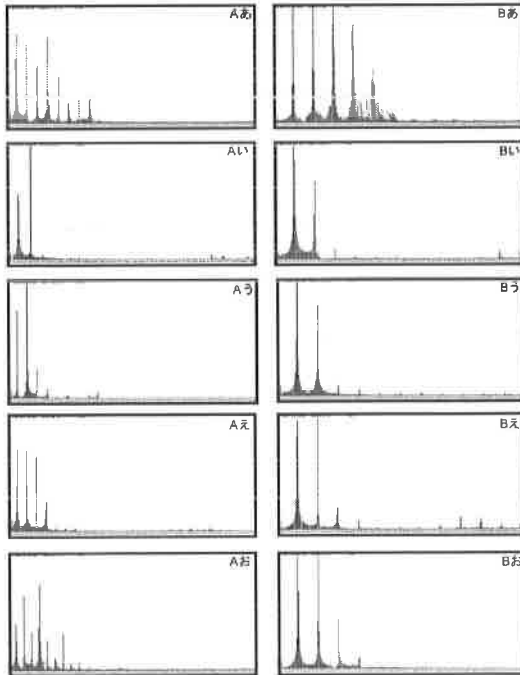


スペースキーを押して画像を連続保存する方法で実験

短時間に变化する現象を把握するために連続的に画像を保存して分析する。

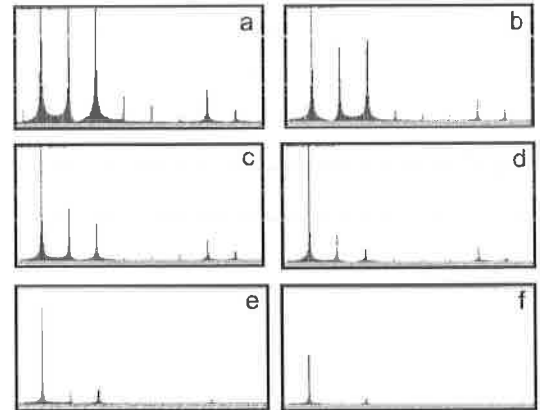
⑤母音

男性と女性 2 人の母音を表示する。上から「あ、い、う、え、お」。縦の列が同一人物。周波数分布が母音ごとに異なるが、人が違ってもそれぞれの母音は同じような分布になっていることがわかる。（A:男性、B:女性）



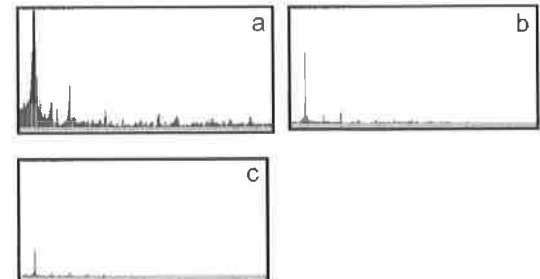
⑦ギター の弦の振動

スペースキーを押してからギター の弦を弾いて、出てくる音が短時間に变化する様子を調べる。画像は a から f の順番である。最初は強い倍音も出ているが次第に基本音だけになっていくことがわかる。



⑧輪ゴムの振動

輪ゴムを適当に引っ張って、指で弾くとギターと同じように基本音だけが残っていく様子がわかる。画像は abc の順番である。



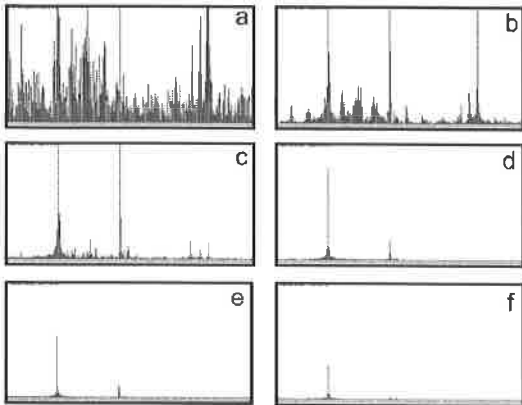
⑥ PC 内蔵スピーカーからの倍音

PC から発振器（連続低周波発振器やはつね Generato 等）で 438Hz の正弦波にして、外付けスピーカーから音を出し、それをマイクフオンに入力して周波数分析すると 440Hz にピークが出る（左図）。ところが PC 内蔵スピーカーから音を出すと 440Hz 以外に 880Hz、

⑨電気スタンドの傘の振動

電気スタンドの傘（右の写真）を金属棒でたたく。

最初、広範囲の周波数の振動が出ているが、次第に傘の固有振動数になっていく様子がわかる。画像は a から f の順番。



サイズは 2.0MB

A : ASUS EeePC Intel Atom 1.6GHz 0.99GB RAM
Windows XP

B : HP Intel Core2 1.66GHz 0.99GB RAM Windows XP

C : HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XP

D : Lenovo Inter Core2 duo 2.33GHz 1.96GB RAM
Windows XP

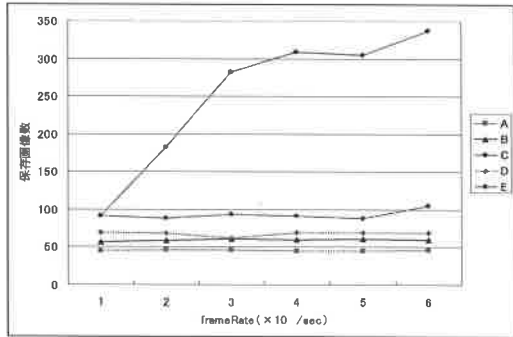
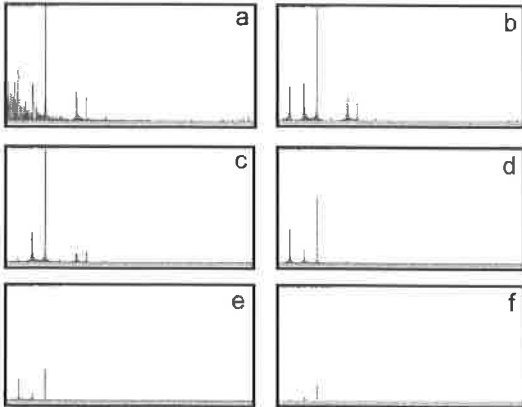
E : HP Inter Core i7 2.80GHz 8GB RAM Windows 7

測定データ及びグラフ

frameRate \ PC	A	B	C	D	E
10	45	57	91	69	91
20	46	59	88	68	183
30	46	61	94	62	283
40	45	60	91	69	309
50	45	61	88	69	305
60	46	60	105	69	337

⑩金属製ボールの振動

直径 26 cm の金属製ボール（右の写真）をゴム球でたたく。電気スタンドの傘同様、次第に固有振動数に落ち着いていくことがわかる。画像は a から f の順番。



5. 資料

①スペック（機種）の違いによる「連続画像保存」数

画面サイズ 1200 × 600 tiff 形式で保存 どれも画像

サイズを 840 × 420 にすると画像サイズは 1.0MB になり、保存画像数も 1.5 倍から 2 倍に増える。

以上の測定は、このソフトウェアに設定してある、スペースキーを押して 10 秒後に自動的に画像保存が停止する仕組みを使った。プログラムは時間（秒）の計算に PC の時計を使っているのでスペースキーを押すタイミングによって実際の画像保存時間は 9 秒より大きく 10 秒以下になる。

スペックが高くない PC ではむやみに frameRate を大きくしても意味がないことが分かる。

②ばらつき度

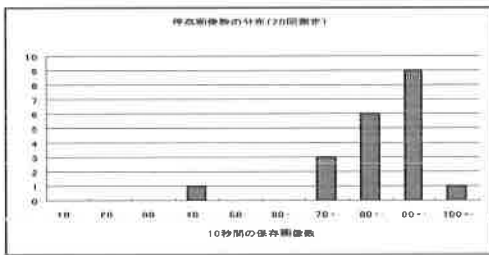
画面サイズ 1200 × 600、保存データ数を 20 回測定（測定値は下の表）。

使用PCは上記のC (HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XP)。frameRate20、ストップウォッチで10秒間測定。

同一条件で測定しても、保存画像数にはかなりのばらつきがあることがわかる。

測定データ及びグラフ

回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
画像数	76	96	95	89	91	97	80	49	92	106
回	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
画像数	97	98	90	91	89	80	78	80	78	84



③窓関数について

どのような波形も正弦波と余弦波の無限級数によって表現することが出来る(フーリエ級数)。波形の周波数分析をPCで行うためには、音声等の連続した変化を、一定間隔に区切って点で示す必要がある。このようにすると有限の時間で計算処理することが出来る。これがDTF(離散フーリエ変換)である。これを高速処理できるようなアルゴリズムで処理したものがFFT(高速フーリエ変換)である。

しかし、FFTは切り出すデータが次に切り出すデータと連続的に繋がっていて、且つ周期的に変化しているという仮定で計算しているが、実際のデータはそうっていない。従ってFFTを実行すると漏れ誤差(leakage)が発生する。これを減らすために、切り出したデータに窓関数といわれる関数を掛ける。この窓関数は代表的なものでも6種類ほどあり、それぞれ特長がある。

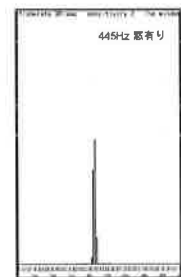
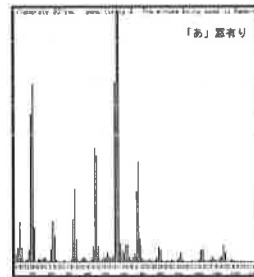
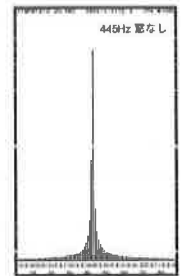
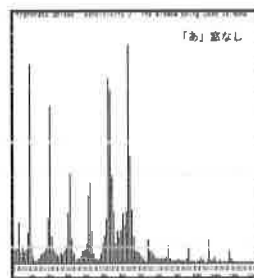
ProcessingのLibraryのひとつMinimに用意されている窓関数(Window Function)は「Hamming」だけであるが、Window(HAMMING)というコードだけで実行させることができるので、大変簡単である。

精度(分解能)は窓関数をかけない方がよいが、漏れ誤差は大きい。Hamming窓はダイナミックレンジ、精度の両方をバランスよく備えているので音声分析にはよく使われる。漏れ誤差を小さくしてスペクトルをきれいに

に表示したいときにはHamming窓を使うとよい。窓関数の詳細についてはインターネットで検索したり書籍を見てほしい。また、WaveSpectra WS140

(<http://www.ne.jp/asahi/fa/efu/>)のヘルプに詳しく書かれており、非常に参考になる。

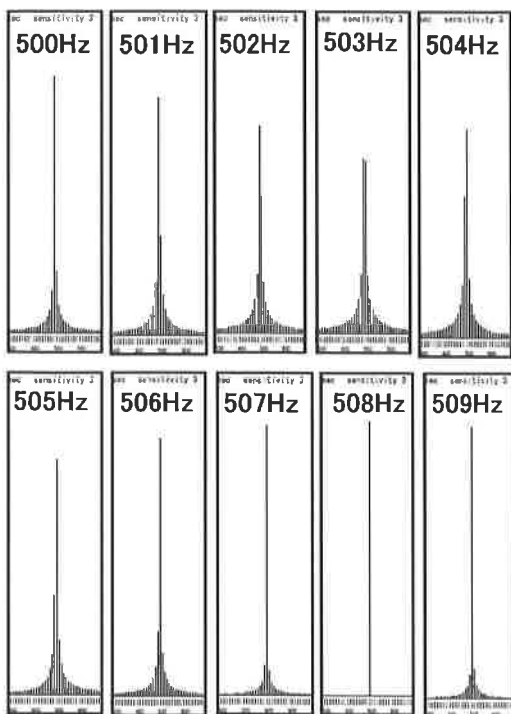
窓関数を使うと計算が余計に入ってくるが、10秒間の保存画像数を測定してみると、Hamming窓を使っても使わなくてもほとんど差は無かった。保存画像数に大きく影響するのは画像表示なので、これを多くしたときはBキーを押して表示画面を小さくするとよい。以下にHamming窓を使った場合と使わなかった場合を載せる。(左側は母音「あ」。上は窓なし、下は窓有り、右側は445Hzの正弦波。上は窓なし、下は窓有り)



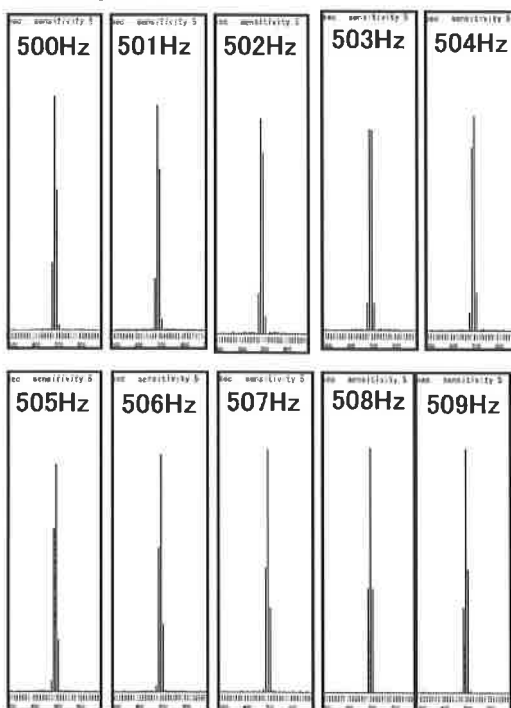
④単一周波数の表示のされ方

発振器から正弦波を発振してFFT分析すると本来の周波数のところに一本の線(スペクトル線)が出ると思われるが、上記で説明したように漏れ誤差が発生して本来の周波数の前後にスペクトルが表れる。この様子を500Hzから509Hzまで1Hzずつ増加して測定した様子を図示する。Hamming窓無しと有りを表示する。300Hzから700Hzの範囲をトリミングしてネガポジ反転処理をして表示している。PCはHP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XPを使用した。

(Hamming 窓無し)



(Hamming 窓有り)



図を見ると、500Hz から 509Hz の範囲では 503Hz の時、
 (500Hz のスペクトル) と (510Hz のスペクトル) がほぼ
 同じ高さ (強さ) になっている。しかし、周波数帯が
 変われば (半々) になる周波数も変わってくる。また、
 PC の機種が変わればサウンドデバイス等の影響を受け
 て (半々) になる周波数も変わる。

6. 開発環境

開発言語 Processing1.5.1

使用 PC HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM

Windows XP SP3

7. 動作確認

Windows XP / Vista / 7 / 8 で動作確認済み

Processing は Java をベースに 2001 年に開発されたプログラ
 ミング言語なので、実行環境として Java がインスト
 ールされていることが必要である。実行ファイルをダブル
 クリックしたとき「javaw.exe が見つかりません」と
 表示されたら、PC に Java のホームページから Java をダ
 ウンロードしてインストールすると正常に起動する。

8. Processing を学習するためのウェブサイトの紹介

以下のウェブサイトは Processing の基礎を学習する上
 で大変参考になった。

- ① Processing 導入 - 教員のためのプログラミング入門
<http://wiki.bmoon.jp/wiki.cgi/Programming?page=Processing%6%B3%C6%FE>
- ② Processing 学習ノート
<http://www.d-improvement.jp/learning/processing/#>
- ③ Processing 基礎最速入門
<http://www.catch.jp/wiki/?Processing%B4%F0%C1%C3%BA%C7%C2%AE%C6%FE%CC%E7>
- ④ Processing 入門講座
<http://ap.kakoku.net/>
- ⑤ Processing によるデータ視覚化: 第 1 回 言語と環境
<http://www.ibm.com/developerworks/jp/opensource/library/os-da-tavis/>

9. その他

① エラー表示

Processing2.0 で「スケッチ」から Windows の実行ファ
 イルを作り、この実行ファイルから起動しようとしたと
 き「Java Virtual Machine Launcher Could not find the main

class」等のエラー表示が出ることもある。このときは最新の Java をインストールすると解決する。

②用語のまとめ

FFT に関しては、色々なウェブサイトや書籍で説明されている。その中で使われている語句がまちまちであるので、混乱しやすい。一部をまとめて表示する。

(a) 連続的なデータを離散的なデータにする(標本化する)ときの1秒間の数

samplerate (単位は/sec) サンプリング周波数 (単位は Hz) サンプリング数

(b) 一度に処理するデータ数

バッファサイズ(buffer size) サンプルデータ数 サンプル数 サンプリング点数 フーリエ変換するデータ点数

(c) FFTの結果得られる最小感度の周波数の幅

(最小) 周波数分解能 精度 BandWidth

③ バッファサイズ・サンプリング周波数の取り得る範囲

このプログラムではバッファサイズ = 4096、samplerate = 40960、精度 = 10Hz である。今バッファサイズを半分の 2096、samplerate も半分の 20960 にすると、精度は 10Hz と上と同じになる。一見どちらでもよいように見えるが、バッファサイズを小さくすると FFT の結果、表示される値と本来の値との間にズレが生じることがある。

参考に、精度を変えた場合も以下に載せておく。プログラムを変えて、測定精度を変えることができるが、正常に表示される範囲について注意する必要がある。さらに、ナイキスト定理により、測定可能周波数はサンプリング周波数の二分之一であることも考慮する必要がある。

下記範囲よりバッファサイズを小さくすると、実際の周波数と表示される周波数の間にズレが生じる。精度を高めるためには、バッファサイズを大きくしなければならないが (Hamming 窓を掛けても同じ)、下記範囲より大きくすると、表示されなくなる。計算量が飛躍的に増え、PC の能力を超えるためである。1Hz の場合は表示に遅れが生じる。以下に測定結果を示す。

測定結果 使用 PC : HP Inter pentium dual 1.80GHz
2.99GB RAM Windows XP SP3

「連続可変低周波発振器」で正弦波を発振して調べた。
frameRate は 30/sec。

各精度ごとのバッファサイズの取り得る範囲

精度	4096 の倍率						
	1/2	1	2	4	8	16	32
10Hz	—————						
5Hz		—————					
2Hz					●		
1Hz							●

④精度と連続画像保存の関係

WaveSpectra WS140 (efu) のヘルプに詳しく書いてあるが、精度が 10Hz の場合、本来の結果を得るためにはデータが 0.1 秒間程変化しないことが要求される。連続画像保存で毎秒 10 駒 (frameRate10) より大きくした場合、測定対象の時間変化量について考慮する必要がある。

⑤フリーソフト・オープンソース

このソフトウェアはフリーソフトウェアとして公開している。また、ソースコード (Processing ではスケッチという) も公開しており、自由に変更して使っていただけるようにしている。下記メールアドレスへ連絡していただくと、実行ファイル・ソースファイル等一式を圧縮して、lzh ファイル (3,21MB) にしてお送りいたします。

mail address xmrj458@ybb.ne.jp

生物・化学に活用する物理実験

北海道北見緑陵高等学校 高田真也

専門科目は物理であるが、勤務校の状況により生物や化学、理科総合を担当する機会が多かった。このような中、これらの授業の中で物理の知識を生かした実験を行うことがあり、同じ実験を物理選択者に行ったところ、物理を生物の視点からも学び、考えさせることができるようになった。物理と生物（または化学、理科総合）という異なる科目で実践した物理実験について、生徒への提示方法と併せて報告する。

キーワード 物理実験、生物実験、化学実験、科目横断、理科総合

1. はじめに

新しい学習指導要領の実施に伴い、基礎を付した理科科目を3科目以上履修する生徒が増え、専門外の理科科目を担当する教員が増えることが予想される。このような中、単純に科目で内容を輪切りしてしまうのではなく、科目の枠を超え、お互いの内容を関連付けることで、生徒の理科に対する興味・関心を高め、引き出すことが可能になると考える。

2. 実践例

2. 1 自由落下測定板を用いた実験

自由落下する板を指ではさむことで、反応速度の測定を行う。板を補助者に持たせ、測定者は板に触れずに二本指を“START”の位置に合わせる。補助者は好きなタイミングで板を落下させ、測定者はその落下を見て指で板をはさむ(図1)。目盛に付された数字が反応までの秒数である。

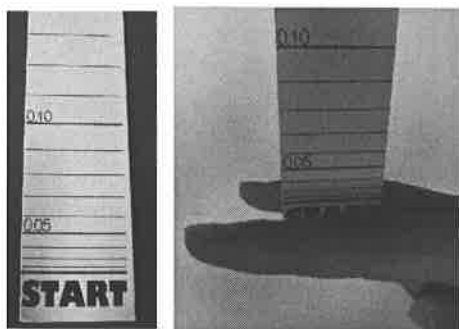


図1 自由落下測定板
(写真の板はPCで製作したもの)

用を認め、0.30秒まで計算させる)。A4版の厚紙を縦5分割程度に細切りした板に、“START”の線と、計算した落下距離の目盛と時間を記入させる。板の製作後、実験を行い反応速度を測定させる。

$g=9.8\text{m/s}^2$ の計算に慣れさせるとともに、目盛線を引くことで落下距離が時間の2乗に比例して増えていく様子を視覚的に理解させることができる。

【生物】刺激の受容と反応（筋肉の構造と収縮）

動物は刺激を受容し筋肉が収縮する。この過程は、筋肉が反応するまでの潜伏期と、収縮期、弛緩期の3つに分けられ、1回の刺激を受けてから反応が終わるまでに約0.1秒かかることがわかっている(図2)。

この学習前に自由落下測定板を用いて反応速度を測定させ、一通り体験させた後に学習内容について説明する。受容器からの伝達時間、筋肉が収縮するまでの時間などを考慮すると、0.2秒以内で反応し板をはさむことが難しいことを理解させる。

併せて、陸上競技の国際規則では、スタートの合図から0.1秒以内に動いた場合もフライングとなることも説明する。

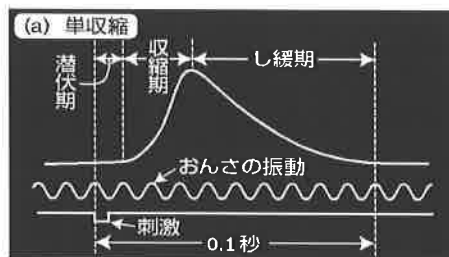


図2 筋肉の単収縮のグラフ¹⁾

【物理基礎】物体の落下運動（自由落下）

自由落下の学習後、 $y=gt^2/2$ の活用例として、0.01秒刻みの自由落下距離を計算させる（必要に応じて電卓の使

2. 2 モスキート音（高周波音）を用いた実験

発振器とスピーカーを用いて自分の可聴域を知る(図3)。PCを用いる場合は、「理科ねっとわーく」の「発

音（はつね）」が利用可能である。スピーカーは市販のものを活用できるが、発振器の端子によっては配線の作業が必要となる。音が小さい場合は増幅器（アンプ）を使用する。

ヒトの可聴域は 20Hz～20,000Hz 程度と言われているが、高音域は加齢とともに認知しにくくなる。高校生だと 18,000Hz 程度までは聞き取れる（33 歳の筆者は 14,000Hz 程度までしか聞こえない）。



図3 低周波発振器

【物理基礎】音と振動（音波の性質）

音と振動の単元でモスキート音を聞いて可聴域の確認をさせ、波の公式 $v=f\lambda$ より、自分の聞こえる音の波長を計算させる。計算結果から人が聞こえる音の波長のオーダーを意識付ける（数 cm～数 m 程度）。

【生物】刺激の受容と反応（耳の感覚細胞）

生物ではうずまき管の構造を説明してから実験する。うずまき管の入り口が高音、奥は低音に対応していることを説明し、加齢とともに高音に反応しにくくなることについても説明する（図4）。

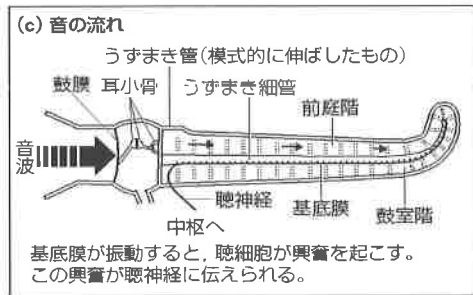


図4 うずまき管を伸ばした図¹⁾

また異なる学年など時期を置いて同じ実験をし、年齢による可聴域の変化について実験するのも興味深い。本校では中学生向け体験入学の模擬授業でもこの実験を行っている。

2. 3 光の三原色に係る実験

ホログラムシートで太陽光を分光し、白色光には多くの色が含まれていることを示す。また、カラーバランスを赤、青、緑寄りに偏らせた写真をOHPシートに印刷し、この3枚を重ねて透過光を見るとフルカラーが再現されることを確認させる（カラーバランスを偏らせたOHPシートは Photoshop などのソフトを用いて作成する）。

【物理】光の伝わり方について

光の学習の導入で波長（振動数）による光の分類に触れ、可視光の波長と色について説明する。その際に太陽光を分光できることと、光の三原色について説明する。

【生物】刺激の受容と反応（眼の感覚細胞）

視覚器の構造について説明した後、視細胞の1つである錐体細胞を題材に取り上げる。錐体細胞は色を識別する細胞で、青錐体、緑錐体、赤錐体の3種類があり、主としてそれぞれの色を認識するが、共同して働くことでさまざまな色を認識できるようになる（図5）。このことについて、3枚のOHPシートを重ねてフルカラーが再現できることを体験させる。

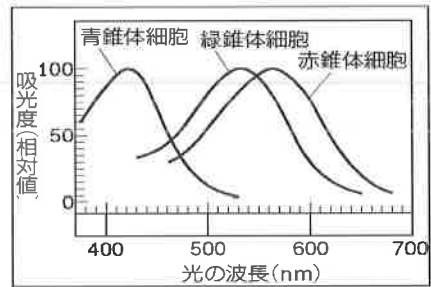


図5 ヒトの錐体細胞と対応する光の波長¹⁾

2. 4 静電シャボン玉の実験

シャボン玉に静電気を帯びさせ、ペンシルパルーンやアクリル棒でシャボン玉を操作する。

【作り方】（図6、7）

- ・2本の市販のストローを押しこんでつなげ、全体の2/3位をアルミホイルで包む。先端のアルミは少しはみ出させ、ストローの内側に折り込む。アルミホイルの替わりに、台所用アルミテープを使うと簡単である。別のアルミホイルを折りたたみ、1cm×5cmほどの板状にし、ストローに取り付ける（ここが帯電部となる）。

〔シャボン液の作り方〕

- ・ 50cc の水に 50～70g の割合で砂糖を溶かす。これに台所用洗剤を約 60 滴ほど加える。この砂糖水の濃さによって乾く速度が変化する。
- ※適度な濃度になるよう洗剤を少しずつ加える。

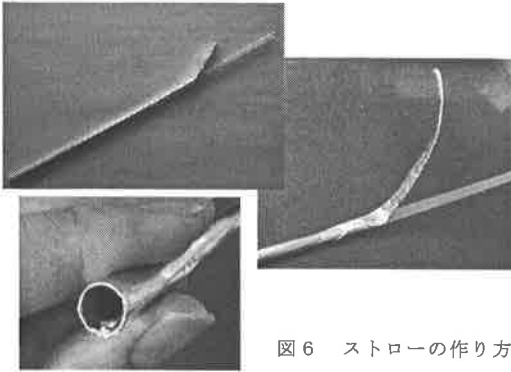


図 6 ストロウの作り方

- 左上：2本つなげてアルミホイルで覆う
- 左下：先端のアルミホイルは内側に折り込む
- 右：板状に折ったアルミホイルを取り付ける

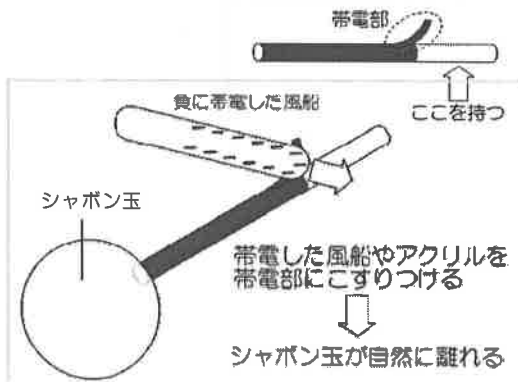


図 7 静電シャボン玉の実験方法

2本のストローをつなげるのは、帯電体を近づけた際にシャボン玉が引き寄せられるのを防ぐためである。十分に帯電していればシャボン玉は反発して自然と離れていく。または、帯電体を近づけた状態で勢よく吹けば、小さな静電シャボン玉を多数作ることができる。

自作のシャボン液は、乾いていく過程で穴があいたり割れて小片に分かれて浮遊していく。乾いていく様子を観察させる必要がなければ、普通のシャボン液でも構わない。また、湿度の高い夏場に行うのは難しいが、市販の「フライスティック」(図8)を用いると湿度の高い

状況でも実験が行うことができる。これは電池で動く小型のバンデグラフであり、軽く帯電させる程度なら比較的高湿度でも実験が可能である。

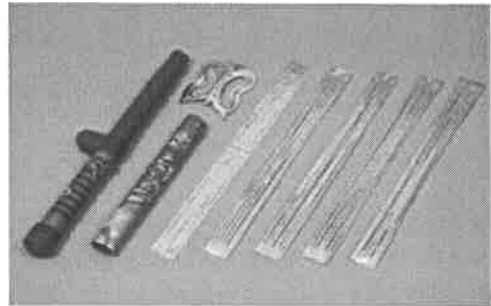


図 8 フライスティック

【物理】電荷と電界について(静電気)

静電気の例として、箔検電器を使わせた後に演示する。バルーンで帯電させたシャボン玉は、同電荷のバルーンに反発し異電荷のアクリル棒に引き寄せられる。また誘電分極の題材として、静電シャボン玉が帯電していない人体や周囲の物質に引き寄せられることを示す。

【化学基礎】原子の構造

原子の構造を説明する際、物質(原子)は電子を持っており、電子が移動することで電荷に偏りが生じ、引き合ったり反発することについて説明する。

3. まとめ

ここで紹介した実験は決して新しいものではなく、これまで多くの先生方が実践している実験が多いが、これらの実験の紹介方法を考え、物理の原理を他教科にもひろげ用いることで生徒の興味・関心が広がればと期待している。特に、生物においては五感を使った実験が可能な単元である。高校理科でも、専門性を高める中に科目横断的な内容を加えることは理科離れを食い止める大きな役割を果たしていくと思う。

新学習指導要領の実施にあたり、これまでより多くの生徒が幅広く高校理科に触れることになる。基礎を付した科目が単に標準4単位科目を選択するための“味見”となるのではなく、科目を超えた理科のつながりを意識させることで、生徒の意欲・関心を高めていきたいと考えている。

本原稿をまとめるにあたり、ご指導下さった本校の越坂直広教頭先生に感謝いたします。

引用文献

- 1) 数研出版教科書「改訂版 高等学校 生物I」

霧箱の実験で使用する放射線源の検証

(手軽に入手できる放射線源)

北海道白糠高等学校 田中 耕治

消費者保護や東日本大震災での福島第一原子力発電所の事故など、放射性物質の取り扱いについて徐々に厳しくな
ってきている。今後、放射線源の入手が困難になるという発想で、霧箱の実験を行う上で、入手できる放射線源で何
が最も実験材料として適しているのかについて、実際に霧箱で実験を行なったところ、現時点では『ランタンのマン
トル』がもっともベストの放射線源であるという結果を得た。

キーワード 霧箱 放射線源 物理基礎 実験

1. はじめに

物理の授業で実験を行う際、材料の入手が困難、実験
道具が無いなど、実行が難しい事が多い。特に放射線に
関する実験について、近年の原発事故以来、放射線源の
入手が困難になっている。

しかし、実験を通して生徒に実物を観察させて、強く
印象を植え付けて、物理の法則「放射線の特性」を学ば
せることは極めて重要なことである。

ここでは、放射線の実験「霧箱の実験」での放射線源
について、身近で手に入り、その上、実験材料として最
も良い材料は何であるのかを検証・報告する。

今回、使用する放射線源について以下のものを検証す
る。

尚、以下の物質について、ポケットガイガーを使用し、
空間に放出される放射線量を測定した。観測した場所の
自然に放出される空間放射線量は、

1 回目 $0.04 \pm 0.01 [\mu \text{ Sv/h}]$

2 回目 $0.04 \pm 0.01 [\mu \text{ Sv/h}]$

であった。

① ランタンのマントル

パール金属株式会社

CAPTAIN STAG 型番 M-7906

マントルの中にはトリウム 232 が含まれていて、半減
期は 140.5 億年。

マントルの空間放射線量は

$1.65 \pm 0.08 [\mu \text{ Sv/h}]$

マントルが単独で放出したと思われる空間放射線量は

$1.61 \pm 0.07 [\mu \text{ Sv/h}]$

② 空気中のラドン

ラドンは、コンクリート中に含まれるラジウムから発
生した放射性元素。ラジウムの半減期は約 1600 年、
ラドンの半減期は約 3.8 日。

収集方法は、閉め切った部屋の中で掃除機のホースの
先端にクイックルワイパーをつけて、ゴム等で止める。
その後、30分から1時間程、空気を吸わせ続ける。ク
イックルワイパーを少量切り取り使用する。

クイックルワイパーの空間放射線量は

$0.12 \pm 0.01 [\mu \text{ Sv/h}]$

クイックワイパー単独の空間放射線量は

$0.08 \pm 0.01 [\mu \text{ Sv/h}]$

③ 肥料(カリウム)

ホームセンターの肥料売場でカリウムの比率が一番多
いものを使用。(保証成分量がカリウム 8%の物を購入)
カリウムの半減期は約 12.48 億年。

肥料の空間放射線量は

1 回目 $0.08 \pm 0.01 [\mu \text{ Sv/h}]$

2 回目 $0.06 \pm 0.01 [\mu \text{ Sv/h}]$

(測定値が $0.10 [\mu \text{ Sv/h}]$ 以下の場合には精度の問題から
2 回測定を行う)

肥料単独の空間放射線量は

$0.02 \pm 0.01 [\mu \text{ Sv/h}]$

2. 方 法

【準 備】

I. 市販されているドライアイスを新聞紙等で包ん

で、木槌で叩き粉々にする。粉状になったドライアイス
を発泡スチロールの上に平らに敷く。

(注意)

生徒実験の場合、ドライアイスが飛び散り、目などに
入ると非常に危険であるので注意が必要である。

Ⅱ. 大型のシャーレに黒紙を敷き、エタノールを浸み
込ませ、放射線源(①~③)を入れて、ラップで蓋をする。

(注意)

放射線源が蒸気でぬれてくるとα線が出にくくなるの
でこの後の作業は素早くやるのがコツである。

Ⅲ. Ⅱ. で作成したシャーレをⅠ. の発泡スチロール
の上に置き、内部のエタノールを飽和状態にする。

(注意)

飽和状態にならない時には、一旦シャーレをドライア
イスから下し、シャーレ内部を温め、エタノールを蒸発
させて、再びシャーレをドライアイスの上に戻し冷却す
るとよい。α線の検出の場合にはエタノール気体の濃度
が低い方が軌跡は出やすいが、β線の検出では、エタノール
気体の濃度が高い時、軌跡が出やすい。

【観察・実験】

Ⅲ. 放射線の軌跡が現れるかを確認する。

(注意)

光源の向きで軌跡が見えにくかったりする場合がある
ので、方向を変えて確認してみる事。

Ⅳ. シャーレ内にネオジウム磁石を入れて軌跡の変化を
観察することで、軌跡がα線であるのか、β線であるの
かを調べる。

Ⅴ. 紙の遮蔽物を置いて、軌跡が抜けるか、抜けない
かを確認し、軌跡がα線かβ線かを調べる。

3. 結 果

① ランタンのマントル

下の写真は、霧箱にマントルを入れた写真。白い軌跡
が3本出ている。α線の軌跡と思われる。

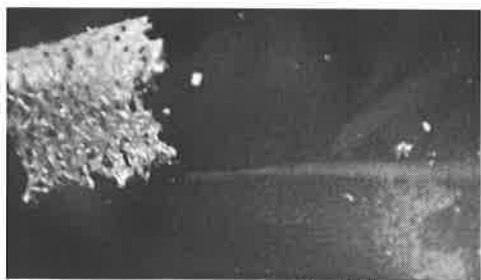


図1 マントルからのα線の軌跡

② 空気中のラドン

空気中のラドンを集めて、放射線源とすることもでき
る。コンクリートに囲まれた部屋を閉め切り、掃除機の
ホース部分にクイックルワイパーを取り付ける。一時間
程、部屋の空気を吸い続ける。図2のように黒くなって
いるとよい。

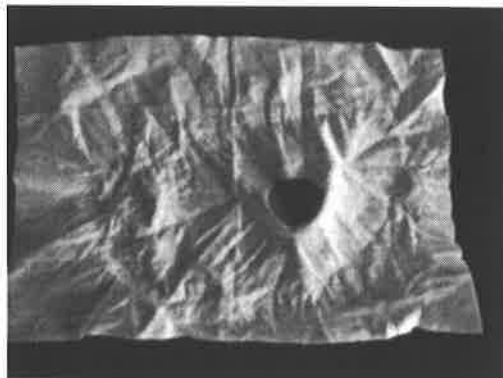


図2 空気中のラドンを集めたクイックルワイパー



図3 ラドンによるα線

③ 肥料(カリウム)

カリウムからの軌跡の写真撮影はできなかった。極め
て少量の軌跡が確認できた。

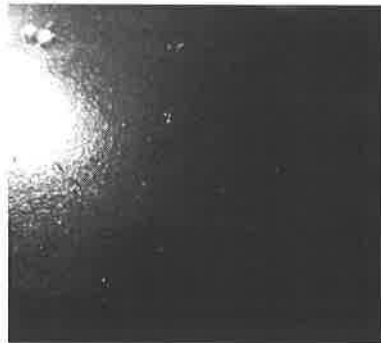


図4 カリウム肥料の実験

※ **方法ⅣとⅤの実験について**

この2つの実験はイベントの回数が多い方が実験としては良いので①**マンツル**の場合で行った。

Ⅳ ネオジム磁石

ネオジム磁石を入れて、放射線源の軌跡の湾曲の観察をしたが、上手くいかなかった。

原因として、 α 線の速度が $1.5\sim 2.0\times 10^7\text{m/s}$ であり、ネオジム磁石程度の大きさでは、磁場の掛かる範囲が限定的であり、磁界の強さも α 線を急激に曲げる程の強くない。

Ⅴ 紙の遮蔽物

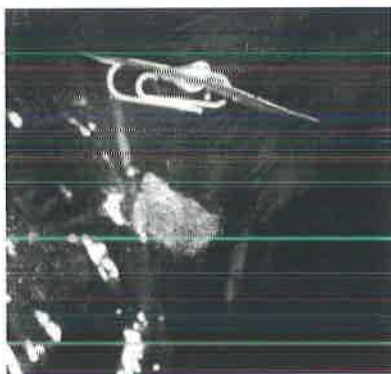


図5 遮蔽物（紙壁）をいれた実験の様子

紙の遮蔽物をいれたが、軌跡と遮蔽物が衝突する現場を観察することは出来なかった。10分ほど観測したが、遮蔽物の裏側の軌跡が切現れなかった。その結果から、マンツルから発せられている軌跡は α 線である可能性が高いと考えられる。

4. まとめ

単に放射線を観察するというだけの実験であれば、空气中から収集したラドンやカリウムが多く含まれている肥料を使用した実験でもよいと考えられる。

しかし、遮蔽物を使った実験や磁場による軌跡の変化を見る実験を行う場合には、イベントの回数も必要になるため、ランタンのマンツルを使用するのが最も良いと考えられる。

20世紀末に、消費者安全の確保の為に「製造物責任法」ができた。また各種業界が、放射性物質の危険性から、商品に放射性物質を使うことを規制してきている。実際に今まで放射性物質を使用していた夜光塗料やグローランプも、現在日本で生産されているものについては放射性物質を一切使っていない。トリウムを使用したマンツルも無くなってきている。今後はトリウムを使用したマンツルの購入は出来なくなる可能性もある。

よって、これから使用する放射線源として、コンクリ

ートで密封された部屋からラドンを採取して使用するの
が、道具・手間などから考えると、最もよいと考えている。

イベントの回数についても、マンツル程ではないが、それなりに発生し、時間は掛かるが軌跡の観察以外でも十分使用できると思われる。

しかし、掃除機を一時間も使用し続ける。密閉された部屋が無い等、問題も多い。

5. 実験装置

1) Pocker Geiger

<http://www.radiation-watch.org/>

放射線源の放射線量の測定の実験で使用した。『PINフォトダイオード方式』の放射線測定器。測定に時間は掛かるが、良い値が出るようである。値は[cpm]と[$\mu\text{Sv/h}$]の2通りで表示される。

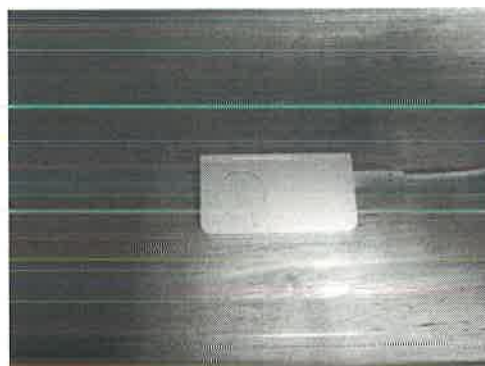


図6 Pocker Geiger

6. 今後の課題

※ **線種について**

α 線について、マンツルやラドンのように、非常に良い素材が放射線源として存在する。しかし、 β 線では良い素材がないため、身近で良い素材が無いか、または代わりになるような物を探す研究を止めたい。

※ **遮蔽物について**

遮蔽物として、紙や金属板（アルミ箔）などを考えている。しかし、遮蔽物への衝突のさせ方や紙の場合のエタノールによる湿り気などをどのようにして防ぐ方法を考える。また、今回は紙の土台に金属のクリップを使ったが、実験における色々な影響を考慮すると、プラスチックなどで代用できるような物を探す必要がある。

※ **生徒実験をする際に**

生徒実験をする場合には、現在の放射性物質に対する世間での感情などを十分考慮して、扱っていく必要がある。特に生徒の個性や特性などを十分に考慮し、放射線源について、何を使用していくかを選択していく必要がある。

ある。放射線源の管理について、十分に行える体制を整える必要がある。

※ 併地校・準併地校での実験について

今回、ドライアイスを使用する簡易拡散霧箱で実験をしたが、近所でドライアイスを手に入れない地域も北海道には多い。ドライアイスの長期保存方法やドライアイスを使わずに気軽にできる実験装置の作成についても、今後の課題として考えていきたい。

7. 謝辞

本研究に際し、助言をいただきました小樽桜陽高等学校教頭石川昌司先生、岩内高等学校教頭三浦隆昭先生、北海道立教育研究所付属理科教育センター研究研修主事伊藤新一郎先生、元札幌白陵高等学校教諭池田浩二先生には感謝申し上げます。

また、実験に協力していただいた本校教諭西内正志先生、大井彰先生にも感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 藤岡由夫・朝永振一郎 監修 三訂増補 物理実験事典 講談社 1973
- 2) 西村 純 責任編集 実験物理学講座 25 共立出版 1986
- 3) 三浦 登 他 「物理基礎」東京書籍 2012
- 4) 高木堅志郎 他 「物理基礎」啓林館 2011
- 5) 北海道更別農業高等学校 中川 智 平成24年度授業実践セミナー（道東ブロック理科）資料
- 6) 北海道ハイテクノロジー専門学校 2012年教員向け研修会資料

地震防災教育を通じた科学的思考力育みの取り組み (定時制の生徒の興味をひく教材の開発)

北海道稚内高等学校 田島 芳

近年、学校における地震防災教育の重要性が再認識されており、本校定時制の生徒にも地震に対する防災意識・防災知識を身につけさせたいと考えた。ただ防災知識を伝えるだけでは、被災した際の対応能力を培うには不十分という発想で、科学的思考力に裏付けられた知識・判断力を培うため自作の振動モデルを用いた実験を行ったところ、仮説の設定・実験計画・考察・発表を通して、生徒は積極的に科学的に思考したという結果を得た。

キーワード：地震防災教育、科学的思考力、自作の振動モデル、耐震マットの効果検証実験

1. はじめに

日本は地震大国である。2011年の東北地方太平洋地震では、広い地域で甚大な被害を受けた。しかし本震災では、学校での継続的な防災教育の結果、素晴らしい避難を遂げた地域も存在した。これを受けて、学校における地震防災教育の重要性が再認識されている。

稚内は、過去大きな地震は起きておらず、地震の頻度も高くないため、地震に対する生徒の防災意識が低い地域と考えられる。そのため、本校の生徒たちには地震に対する意識と対応能力を十分に持ってもらいたいと考えた。

ただ防災知識を伝えるだけでは、地震に遭遇した際の対応能力を培うには不十分と考えられる。すなわち、具体的な状況に応じた安全確保のための能力を養わなければならない。この能力の土台となるのは、科学的思考力に裏付けられた知識や判断力と考える。これらの力を培うために、本取り組みでは、科学的な思考活動を通して防災知識・防災意識を身につけさせる授業づくりを目指した。

2. 方法

科学的な思考活動を通して防災知識を培うために、市販の耐震マット(図1)の効果の検証実験を行わせた。この製品は、家具底面に貼ることにより、家具の転倒を防止する防災グッズである。



図1 市販の家具転倒防止用品(=耐震マット)

耐震マットを教材として用いたのは、普段から生徒に防災意識をもってもらいたいと考えたためである。地震への備えを疑似体験させながら、科学的に思考させる実験づくりを目指した。この実験の教育効果を高めるために、以下の流れで本取り組みを実施した。

1) 地震と地震防災に関する基本的知識の習得

地震および地震防災に関する基本的な知識は、実験において考えるための枠組みとなる。そのため、地震発生メカニズム等の基本的知識を習得させることに加えて、DVD教材等を用いて防災知識についても習得させた。この際、生徒に自分の部屋のレイアウトを書かせ、地震発生時に危険となる場所を予想させて、理由とともにプリントに記入させた。

2) 耐震マットの効果検証実験を通じた科学的思考力の育み

① 実験に用いる教材の開発

耐震マットの効果の検証実験に用いる、振動モデルを作製した(図2)。



図2 自作の振動モデル

この振動モデルは、次の2領域からなる。

- ・3枚の板材とタンス模型からなる、室内を表す領域
- ・スライドレールと1枚の板材からなる領域

本振動モデルの制作費は、約3,000円である。これには、市販の耐震マットの費用も含まれる。振動モデルの材料は次の通り。全て東急ハンズで購入可能である。

<p><材料> ・ 板材 3枚 (内1枚加工)</p> <p>・ 引き出し用スライドレール ・ 留め具</p> <p>・ タンス模型 ・ 木ねじ ・ ボンド ・ テープ</p>
--

板材はすべて同じサイズのものを購入し、内1枚を加工しサイズの異なる2枚の板材とした。図2における、壁を模した板材およびスライドレール下手にある板材には、加工していない板材を使用した。また、タンス模型の底面が接する板材は、加工した板材のうち大きいサイズのものを使用した。この板材には、フローリングを想定しセロハンテープを貼った。タンス真上に位置する天井を模した板材には、加工した板材のうち小さなサイズのものを使用した。

この振動モデルは、スライドレールを前後に動かすことで、揺れによる家具転倒の様子を表す実験系となる。図1に示した市販の耐震マットは、実物サイズのタンスに用いる大型のもの、花瓶などの置物を固定する小型のものなどが販売されている。小型の耐震マットをタンス模型の底面に貼り付けてモデルを振動させることで、地震発生時の耐震マットの効果を検証する実験系となる。

なお、振動モデルを振幅2cm程度、1秒当たり4往復の頻度で振動させたときの揺れの大きさは、およそ震度6弱に相当する(図3)。

② 生徒への発問と実験の流れ

(1) 科学的に思考させるために与えた問い

【2枚の耐震マットが与えられたとき、タンス転倒を最も効果的に防ぐためには、どのような配置で耐震マットをタンスに貼ればよいか。】という問いを生徒に与えた。科学的に思考させるための手立てとして、事前に、重心の簡単な概念および重心を支えることで物体のバランスがとれるという事実を教えた状態とした。

(2) 生徒に与えた実験の流れ

与えた問いに対する答えを科学的に導出させるために、以下の流れを生徒に提示した。

- ① 耐震マットの配置パターンを考える。
- ② 最もタンスが倒れにくい配置を、理由つきで予想させる(=仮説設立)。
- ③ 仮説検証のための実験計画をたてる。
- ④ 振動モデルを用いて検証実験を行う。
- ⑤ 結果をまとめて考察し、問いへの答えを導出する。
- ⑥ 発表する。

生徒の科学的思考を促すため、生徒に自発的に問題解決への科学的アプローチをなぞらせるよう心がけた。そのため、仮説設立と検証のための実験計画については特に重要と生徒に伝え、考えさせた。

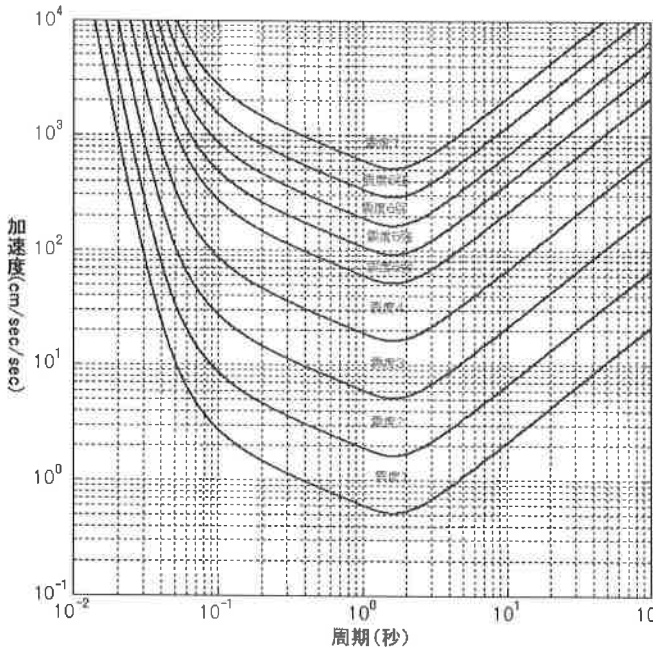


図3 揺れの周期および加速度と震度との関係 (気象庁 <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kuoshin/kaisetsu/comp.htm>)

3. 結果

1) 生徒の反応

振動モデルは、本校定時制の生徒の興味をひいた（図4）。



図4 振動モデルに興味を示す生徒

2) 生徒が考えた耐震マットの配置パターンと仮説

生徒は、以下の3つの耐震マットの配置パターンを考えた。

① タンス前面側の両端配置



② タンス底面中央の両端配置



③ タンス背面側の両端配置



以上の3パターンのうち、最も効果的にタンス転倒を防ぐ耐震マットの配置として、生徒は以下の仮説をたてた。

仮説：

タンスの重心は壁側にあり、重さで壁と反対側にタンスは倒れるから、壁と反対側となる側を支える。【① タンス前面側の両端配置】が最もタンスは倒れにくいのではないか。

3) 生徒がたてた実験計画

生徒は以下の実験計画をたてた。

実験計画：

次の条件で、モデルの振動開始からタンス転倒までにかかった時間を3回計測し、その平均を比較する。

- ① 耐震マットなし
- ② タンス前面側の両端配置
- ③ タンス底面中央の両端配置
- ④ タンス背面側の両端配置

4) 生徒実験の結果

生徒は実験により以下の結果を得た。

実験結果：

モデルの振動開始からタンス転倒までにかかった平均時間は次の通り。

- ① 耐震マットなし：0.80 秒
- ② タンス全面側の両端配置：1.97 秒
- ③ タンス底面中央の両端配置：2.62 秒
- ④ タンス背面側の両端配置
：10.0 秒を超えても転倒しなかった。

5) 実験結果から得た生徒の結論・考察

結果から、生徒のたてた仮説が間違っていたことが分かった。結果を受けて生徒は、実験結果をまとめたうえで、なぜこのような結果になったのかを話し合い、以下の結論を出した。

結論および考察：

- ・ 仮説は誤っていた。（＝結論）
- ・ 物体を支えるには、物体の重心に近いところを支えた方が物体は転倒しにくいのではないか。（＝考察）

このうち、発表準備として、生徒で協力させて模造紙に実験の目的・手順・器具・結果・考察をまとめさせた（図5）。



図5 模造紙に実験結果等をまとめる生徒の様子

6) 生徒発表

本校全日制の理科の先生方および定時制の先生方にお願いをし、聴衆がいる中での発表を、生徒に体験させた。少人数クラスである定時制の生徒にとって、普段このような機会はないので、柄にもなく恥ずかしがる生徒もいたが、模造紙にまとめたことをただ読むのではなく、わかりやすく伝えるようにと考えながら発表をしていた(図6)。



図6 慣れない発表に奮闘する生徒の様子

4. まとめ

本取り組みのまとめを、以下列挙する。

1) 開発した教材は生徒の興味をひいた。

ふだん勉強になかなか向き合わない定時制の生徒も、振動モデルに興味を示した。このため、生徒はふだんの授業よりも集中し、積極的に授業に参加していた。このことから、生徒の興味をひく教材はやはり重要であると再認識した。

2) 実験結果は明瞭であった。

実験結果は明瞭でありながら、生徒にとって意外かつ納得できるものであった。

3) 仮説の設定・実験計画・考察・発表を通して、生徒は積極的に思考活動した。

クラスの中でも特に学習意欲が低い生徒が仮説を立てるなど、生徒は積極的に思考活動をしていた。

4) 生徒は科学的思考に裏付けられた防災知識を得た。

実験を通して、生徒はただの知識としての防災知識ではなく、科学的思考に裏付けられた防災知識を得ることができた。また、本取り組みを通して、生徒は課題への科学的アプローチの方法を学ぶことができた。

5. 今後の展望

1) 科学的アプローチについての学びの深化

今回は『仮説設立→実験計画→検証→結果のまとめと考察』という流れを生徒に体験させ、課題に対する科学的アプローチについて学ばせた。しかし、ここでとどまるのではなく、生徒が考察から導き出した仮説をさらに実験により検証させるとより学びが深くなるのではないかと考える。

たとえば、本取り組みにおいて生徒は、『物体を支えるには、物体の重心に近いところを支えた方が物体は転倒しにくいのではないか。』という考察をしたが、ヒントを与えてこれを検証するための実験を考えさせ、さらに探求活動を続けさせても面白いかもしれない。

2) 実験系の拡張

家具転倒防止用品の1つである家具転倒防止伸縮棒を模した器具(図7)についても、六角ボルトにゴム板を貼りつけることで作製した。振動モデルの天井部位置と、タンス模型の上部との間に挟んで用いることを想定している。こちらについても活用し、さらに生徒の思考活動を促す授業づくりをしたい。

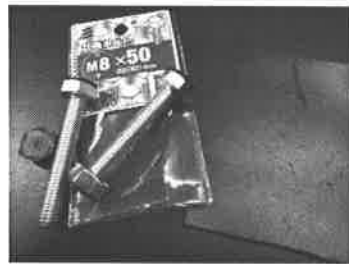


図7 家具転倒防止伸縮棒を模した器具

水素吸蔵合金の熱特性に関する基礎実験

エコエネ工房 石毛 隆 北海道教育大学札幌校 大川有沙実、金吉証弥、佐々木由樹

通常は廃熱として捨てられる小さな温度差の熱エネルギーを、有効なエネルギーに変換する環境技術の一つとして水素吸蔵合金の利用がよく知られている。本実験では水素吸蔵合金を充填した容器と空の容器（ダミー）、それぞれの温度と圧力を測定し比較することから、水素吸蔵合金による化学的な熱の吸収・放出による温度-圧力変化と物理的な温度-圧力変化（ボイル・シャルルの法則）の違いを明らかにした。

キーワード 熱エネルギー、環境技術、水素吸蔵合金、ヒートポンプ

1. はじめに

水素吸蔵合金とは熱や圧力の変化で簡単に水素を出し入れできる金属や合金の総称で、一般的に金属水素化物（Metal Hydrides）とよび略称でMHと標記¹⁾される。水素の出入りのイメージは、水素吸蔵時：冷やしたり圧力を加えることで金属原子のすきまに水素原子が入り込む、水素放出時：暖めたり圧力を減らすことで金属原子のすきまから水素が出てくる、というものである。（図1参照）

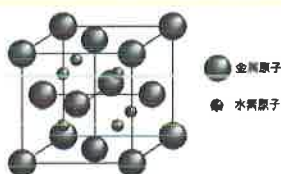


図1 MH概念図

MHを用いることにより廃熱として捨てられる熱エネルギーを、圧力差利用のアクチュエーター等で力学的エネルギーに変換、もしくは温度差利用のヒートポンプ等でより有効な熱エネルギーに変換、などが可能となる。これらの特徴から近年、環境技術分野への応用展開が急速に進められている。しかしながら教材としてのMHは水素の扱い方、ならびにMHそのものの特殊性²⁾により、一般的に普及することが困難なものとなっている。本実験においては、水素ガスとMHを封入した密閉構造の「MH教育キット」の製作を（有）ユニヴ・テック³⁾に依頼し、安全性を確認した上でMHの熱特性の測定を行った。

2. 実験装置の概要

図2に「MH教育キット」（MH本体のみ）の概要を記す。また主な仕様を以下に記す。

- (1) MH (MH封入質量 20.0g)
 - ・ AB5系水素吸蔵合金 ($MmNi_{4.15}Mn_{0.25}Co_{0.52}Al_{0.10}$)
- (2) MH容器 (内容積 22.1cm³)
- (3) 水素溜めポンベ (内容積 225cm³)

(4) 圧力計 (Max. MH用 25atm, ダミー用 2.5atm)

(5) ダミー装置

・ 基本的な構成は上記と同一であるがMHが除かれている

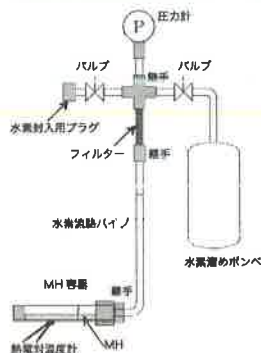


図2 MH教育キット概念図

本実験に使用したMHは購入時の状態は灰色の砂粒状であったが、表面の酸化物等を取り除く作業後のMHは、空気に触れると発火するため完全に密閉状態で使用している。

そのため装置の分解は基本的に行うことはできない。図3に装置外観の写真を示す。手前

左側がダミー（水素封入圧 1.65atm, 20℃）、右側がMH本体（水素封入圧 1.0atm, 20℃）でMH容器部分は両方も簡易的な断熱容器内部に水平に収納されている。また、圧力測定は上部に配置した円形のブルドン管式圧力計の目盛りを読み取ることで行われる。図4に断熱容器内のMH容器（左側がMH本体、右側がダミー）とそれぞれのMH容器外側下部にアルミテープで接着されたK型熱電対温度計を示す。断熱容器には加温時には温水が、冷却時には冷水が入れられ、一定温度が保たれる。



図3 装置外観



図4 MH容器と熱電対

また、圧力変化によるMH容器の温度変化を測定する時には、排水した後の空气中で簡易的な断熱状態として温度測定が行われる。

3. 実験結果

3. 1 温度-圧力変化の測定

図5に温度-圧力変化の測定データを示す。MH1は水素溜めポンペのバルブを開け、MH容器を室温から暖めながら一定温度に保った時のデータ、MH2は水素溜めポンペのバルブを開け、MH容器を高温状態から冷やしながら一定温度に保った時のデータである。またダミーは水素溜めポンペのバルブを閉め、MH容器と内部の水素ガスのみをMH2と同様にして一定温度に保った時のデータである。ダミーのデータは、MH容器内部の水素ガスの圧力が温度に比例していることから、ボイル・シャルルの法則に従っていることが判る。

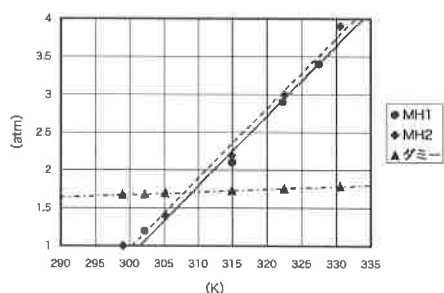


図5 温度-圧力変化の測定データ

一方、MHは一般的に水素圧($\ln P_H$) \propto 温度($1/T$) の関係があることから、図6のようにX軸に $1000 \times$ 温度の逆数を、Y軸として圧力の対数値をとりデータを整理すると、グラフの傾き $= -4.25$ が求まる。この傾きの値からMHの反応熱 ΔH を求めると、

$\Delta H = \text{傾き} \times R \times 1000$ (R は気体定数) の関係より、
 $\Delta H = -35.3$ (kJ/mol) が得られる。

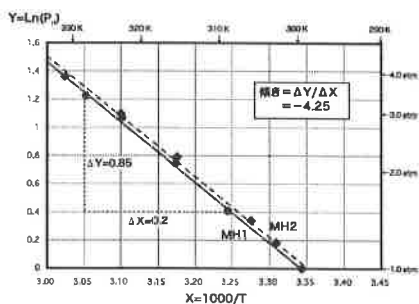


図6 $1000 \times$ 温度の逆数-対数圧力変化のグラフ

この値は水素を吸蔵するときの放出熱量もしくは水素を放出するときの吸収熱量を意味するものである。また、MH1とMH2を比較すると、傾きは同じであるが同温度において圧力に差があることが判る。これは暖めるプロセスと冷やすプロセスにおいてヒステリシスを示すMHの一般的な性質によるものと考えられる。

3. 2 圧力-温度変化の測定

図7にMHの急激な圧力変化による温度変化の測定データを示す。まずポンペに圧力の高い水素ガスを溜めるために、水素溜めポンペのバルブを開け、MH容器を温水で 60°C に暖める。(MH容器とポンペの圧力は 4.2atm) 次にポンペのバルブを閉め、MH容器を冷水で 20°C に冷やした後排水する。(MH容器の圧力のみ 1.0atm に低下) 温度が安定した時点(図7の300秒)でポンペのバルブを開けると、ポンペ内部の高圧水素ガスがMHに吸蔵され、MH容器の温度が急激に上昇することが判った。(開けた直後のMH容器とポンペの圧力は 2.8atm 、この後ゆっくりと 1.02atm まで低下) 同様のことをダミーにも行ったが温度変化は認められなかった。この現象から、たとえば昼間の太陽熱で水素ガスの圧力を蓄え、夜間に暖房用の熱エネルギーに変換する省エネ機器などへの応用イメージが湧く。

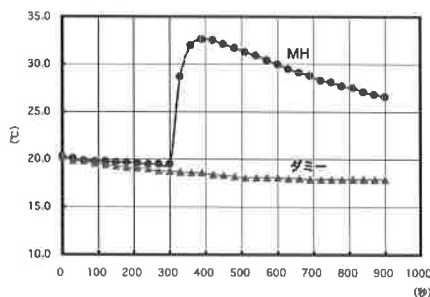


図7 圧力-温度変化の測定データ

4. おわりに

環境技術を学ぶ教材として参考になれば幸いです。最後に装置の設計製作に多大なご協力を頂いた(有)ユニヴ・テック環境流体工学研究所の吉田晋氏に感謝致します。

参考文献・資料

- 1) 大西敬三 著 水素吸蔵合金のおはなし pp. 42~48
- 2) 平田賢、大橋一彦 著 よくわかる水素技術(初歩と実用シリーズ) pp. 101~102
- 3) 有限会社ユニヴ・テック <http://www.univ-tech.co.jp>

////////////////////////////////////
平成24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.40 9月発刊」

2、総会

日時 平成24年6月9日(土) 14:30~17:00
場所 北海道大学理学部 2-2-11教室
内容

<<<総会>> 14:30~14:50

- (1) 支部長挨拶
- (2) 平成23年度事業報告
- (3) 平成23年度会計報告
- (4) 平成23年度会計監査報告
- (5) 平成24年度事業計画
- (6) 平成24年度会計予算書
- (7) 平成24年度支部役員について

<<<特別講演会>> 15:00~16:00

「第2の地球は存在するか(仮題)」
北海道大学大学院理学研究院自然科学部門
教授 倉本 圭 氏

<<<実験デモンストレーション>> 16:00~17:00

<<<懇親会>> 18:00~20:00

3、第3回 中学・高校・大学をつなぐ

「物理教育シンポジウム」

日時 2012年11月23日(金) 13:00~15:30
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
- 中学校科学部生徒による研究発表 13:05~13:50
 - (1) 「ペットボトルロケットの研究」 札幌市立北辰中学校科学部
 - (2) 「高温超伝導の研究 2012」 札幌市立宮の森中学校科学部
- 北大博物館見学(生徒対象、大学院生によるガイド付) 14:00~15:30
- シンポジウム「中学・高校・大学をつなぐ物理教育」(教員対象) 14:00~15:30

パネリスト:

三浦雅美(札幌市立中央中学校)、
今井 貴(札幌市立宮の森中学校)
齋藤節仁(札幌市立厚別北中学校)
中道洋友(札幌北高等学校)

司会: 横関 直幸(札幌旭丘高等学校)

<テーマ>

- ・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。

(「熱」、「波」、「電気」、「エネルギーとその利用」の各分野を中心に考える)

- ・すべての生徒のための「物理教育」とは、どうあるべきか。

4、物理教育研究会

日時: 平成24年12月8日(土) 13:00~17:30
場所: 北海道大学 理学部 5-2-01教室
内容

- 特別講演 13:00~14:00

(座長: 北海道大学大学院教育学研究院 大野栄三)

「高温超伝導研究の現状」
北海道大学大学院理学研究院 伊士 政幸

- 原著講演 14:10~14:50

(座長: 理科教育センター 酒井 徹輝)

1. 「ハイスピードカメラを用いた生徒実験の実践」
枝幸高校 佐藤 草馬

2. 「実験を活用した電磁気の授業~実感の伴った”わかる”を目指して~」

釧路湖陵高校 福田 敦

- ミニ模擬授業 15:00~16:00

(座長: 札幌北高校 中道 洋友)

~新科目『物理基礎』を意識した
授業の提案 Part4~

1. 「不可逆変化、熱機関、熱効率」

赤平高校 山本 陸春

2. 「電流と抵抗」 札幌第一高校 山田 高嗣

3. 「位相」 札幌藻岩高校 坂庭 康仁

- 実験デモンストレーション

(物理交流会) 16:00~16:45

- 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! Part4~

5、高校物理の授業に役立つ基本実験講習会

日時: 平成25年1月8日(火) 12:50~17:00

場所: 札幌北高等学校

(札幌市北区北25条西1丁目1-1)

内容: 高校物理の基本実験について、1テーマ40分程度で実験実習を行います。参加者はいくつかの班に分かれ、班ごとのローテーションで5テーマまでについて実習します。

実験テーマ:

- 1.ばね振り子と単振り子
- 2.仕事と運動エネルギー
- 3.比熱の測定
- 4.気柱の共鳴
- 5.メートルブリッジ

6、青少年のための科学の祭典 2011

4月24日(土)	赤平大会
5月26日(土)	長沼大会
6月16日(土)	札幌南大会1
6月17日(日)	札幌南大会2
8月4日(土)	苫小牧大会
8月8日(水)	小樽大会(夏)~9日
8月9日(木)	旭川大会~10日
8月18日(日)	富良野大会
8月19日(日)	中標津科学フェス
8月25日(土)	おもしろ科学の祭典 in ひばろ
8月26日(日)	札幌清田大会
8月26日(日)	函館大会
9月8日(土)	さっぽろサイエンス北大会~9日
9月9日(日)	石狩大会
10月7日(日)	倶知安大会
10月7日(日)	帯広大会
10月14日(日)	札幌東地区大会
10月20日(土)	幌延大会
10月21日(日)	小樽子供理科工作教室
10月28日(日)	恵庭大会
11月3日(日)	釧路大会
11月3日(日)	北見科学実験教室
11月10日(土)	札幌平岡大会
11月11日(日)	千歳大会
11月17日(土)	札幌豊平大会
12月9日(日)	札幌白石大会
1月12日(土)	小樽大会3(冬)
1月13日(日)	札幌西大会
2月24日(土)	札幌南大会3

7、理事会

平成24年4月12日(木) 支部理事会
平成24年5月9日(水) 大会準備委員会
平成24年6月4日(月) 大会準備委員会
平成24年7月15日(日) 大会プログラム委員会
平成24年10月9日(火) 支部理事会

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

平成25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.41 9月発刊(予定)

2、総会

日時 平成25年6月29日(土) 14:30~17:00
場所 北海道大学 人文・社会科学総合教育研究
棟4階W410教室

3、中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

平成25年11月16日(土) (予定)

4、物理教育研究会

平成25年12月(予定)

6、高校物理の授業に役立つ基本実験講習会

平成26年1月8日(水) (予定)

7、理事会(5月、7月、10月)

活動報告

平成 24 年度一般会計収支決算書(2013. 6. 29)

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥438,453	会議費	¥3,488
本部補助金	¥150,000	通信費	¥3,280
雑収入	¥11,712	事務費	¥9,429
		予備費	¥91,710
		会誌印刷補助	¥0
		次年度繰越金	¥492,258
計	¥600,165	計	¥600,165

平成 24 年度特別会計収支決算書

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥169,543	会議費	¥0
支部補助金	¥0	通信費	¥17,270
会員負担金	¥71,400	事務費	¥2,606
会誌販売	¥1,500	会誌印刷費	¥102,900
		次年度繰越金	¥119,667
計	¥242,443	計	¥242,443

平成 25 年度一般会計予算

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥492,258	会議費	¥20,000
本部補助金	¥150,000	通信費	¥25,000
雑収入	¥742	事務費	¥25,000
		会誌印刷補助	¥0
		予備費	¥573,000
計	¥643,000	計	¥643,000

平成 25 年度特別会計予算

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥119,667	会議費	¥10,000
支部補助金	¥333	通信費	¥20,000
会員負担金	¥50,000	事務費	¥10,000
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥120,000
		予備費	¥10,000
計	¥170,000	計	¥170,000

日本物理教育学会 北海道支部理事 役員分担 (2013年度)

顧問 評議員	中島 春雄 吉田 静男 小野寺 彰 中野 善明 伊土 政幸 伊藤 四郎 樞棒 光一 一口 芳勝 加藤 誠也 川原 圭二 齋藤 孝 坂田 義成 平野 雅宣 穂積 邦彦
支部長 副支部長	大野 栄三 (北海道大学大学院教育) 本部理事 長谷川 誠 (千歳科学技術大学) 本部評議員 (2013-14) 佐々木 淳 (函館高専)
監 事	山田 大隆 (酪農学園大学) 本部評議員 (2012-13) 石川 昌司 (小樽桜陽高校)
総務 (事務局長)	横関 直幸 (札幌清田高校) 本部評議員 (2013-14) 木村 宣幸 (北広島高校) 今野 滋 (東海大学) 道支部 HP 細川 敏幸 (北大高等教育推進機構) 道支部 HP
編集 (委員長)	長谷川 誠 (千歳科学技術大学) 鈴木 久男 (北海道大学大学院理) 中道 洋友 (札幌北高校) 菅原 陽 (小樽工業高校) 本部評議員 (2012-13) 堀 輝一郎 (札幌開成高校) 物理教育実践交流会 小野 忍 (札幌清田高校) 保格 秀規 (北広島西高校)
事業 (委員長)	大坂 厚志 (札幌平岡高校) 本部評議員 (2013-14) 理科大好き実験教室 阿部 修 (北海道教育大学旭川校) 伊藤新一郎 (北海道立教育研究所附属理科教育センター) 井原 教博 (札幌西高) 大久保政俊 (札幌南高校) 大屋 泰宏 (岩見沢緑陵高校) 岡崎 隆 (北海道教育大学札幌校) 今野 博行 (函館陵北高校) 齋藤 隆 (札幌白石高校) 酒井 彰 (室蘭工業大学) 酒井 徹雄 (北海道立教育研究所附属理科教育センター) 佐藤 健 (七飯高校) 高橋 尚紀 (札幌啓成高校) 永田 敏夫 (マラヤ大学) 原田 雅之 (札幌西高校) 前田 寿嗣 (札幌市立月寒中学校) 松崎 俊明 (釧路工業高等専門学校) 松田 素寛 (胆振教育局) 森山 正樹 (札幌市立宮の森中学校) 山本 睦晴 (札幌西高校) 本部評議員 (2012-13) 四方 周輔 (東海大学)

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に次の事業を行なう。

- (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られた事項

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3分の2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: 12pt Times (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: 12pt Times)

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 一朝
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「 \cdot 」について、「 \cdot 」という発想で、「 \cdot 」行なったところ、「 \cdot 」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. The number of words is within 200.

キーワード 9pt 5 語程度 Keywords: Times Font, 9pt, About 5 Words

1. 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。

$$F_D = C_p 1/2 \rho |V| V_S \quad (5)$$

のように記入する。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"を付ける。

2. 本文執筆の要点

2. 1 用紙の使い方

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. 4 図・表・写真およびその説明

図・表・写真は、1 段幅、あるいは 2 段幅に収まるように作成し、論文内の適切な位置には配置する。図中の文字は、十分認識できるサイズ (9pt 程度) とする。6pt 未満の文字は使用しないこと。また図表・写真の前後に空白行を設けること。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する。

例 図 1 生徒の履修状況

Fig.2 Schematic of experimental apparatus

文章中で図表などを参照する場合は、太文字で、Fig.2, Tabel 3, Photo 4 などと記入する。

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 とする。

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すること。

2. 5 記号説明

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する。文字サイズは、9pt 程度とする。

引用文献は本文中の引用箇所(の右肩に¹⁾²⁾)を記入し、下記のように、一括して末尾に著者名、文献名、ページ等を引用順に記入してください。参考文献は原則掲載する必要はありません。

2. 3 式および記号

式および記号の標準文字は、9pt のイタリック体とする。ベクトルの場合は太文字のイタリックとする。

上下添字は 6pt 程度の立体 (イタリックも可) とする。以下にいくつかの例を挙げておく。

$$J_c \quad V_1 \quad P^A_{ijk}$$

式を記入する場合は、式の上下に空白行を設け、右端に式番号を記入する。例えば、

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, 1999

なお、脚注は文章中の該当箇所***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(11月)に発行予定です。
- (3) 投稿された論説研究・解説・報告等は編集委員会で内容を審査します。
- (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 上記の規定に基づいて支部会報「物理教育研究第42号」の原稿を募集いたします。

- (1) 締切 2014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2014年5月頃に支部ホームページに掲載します。

問い合わせ先

〒066-8655 千歳市美々758-65
千歳科学技術大学 長谷川 誠
TEL/FAX 0123-27-6059
E-メール hasegawa@photon.chitose.ac.jp

または

〒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-メール 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

高等学校での新しい学習指導要領に基づいた授業の実施に伴って、大学においても、特に第1学年における講義内容の見直しや再編の必要性を検討することが求められています。そのためには、これまで以上に高校と大学の間での連携・協力が重要になってくると思われます。本支部会報をはじめとする本支部の様々な活動が、そのような連携・協力の有効な機会になれば幸いです。(H)

2013年11月1日発行

日本物理教育学会北海道支部
第41号 編集責任者 長谷川 誠
(060-0811)札幌市北区北10条西7丁目
北海道大学大学院教育学研究院
大野栄三気付
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（公開方法の変更）

巻頭言

物理基礎1年目の課題 北海道札幌北高等学校 中道 洋友 1

第3回中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

北海道札幌清田高等学校 横関 直幸 2

電子天秤で測る磁気力の規則性（磁石、電磁石に働く力）

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆, 金吉 証弥 8

“ドップラー効果 (Doppler effect)” の視覚的な教材化について

北海道砂川高等学校 高橋 賢司 1 1

プラスチックばねを用いた鉛直投射実験の考察

(力学的エネルギー保存則に関する生徒実験の実践から)

北海道枝幸高等学校 佐藤 革馬

北海道大学大学院工学研究院 平 久夫, 北海道小樽工業高等学校 菅原 陽 1 5

高校理科における観点別評価の導入と運用について

北海道枝幸高等学校 佐藤 革馬 2 1

高等学校に於ける天文学教育とワークショップの可能性

(科学技術コミュニケーション論の観点から)

北海道留辺蘂高等学校 安東 周作 2 5

化学部の I S E F (国際学生科学技術フェア) 出場報告

北海道旭川東高等学校 富田 茂 2 9

FFT_Analyzer (Ver. 1.0) の作成と周波数のリアルタイム表示 (音波の周波数測定・分析)

北海道札幌北高等学校定時制課程 高木 伸雄 3 2

生物・化学に活用する物理実験

北海道北見緑陵高等学校 高田 真也 3 9

霧箱の実験で使用する放射線源の検証 (手軽に入手できる放射線源)

北海道白糠高等学校 田中 耕治 4 2

地震防災教育を通じた科学的思考力育みの取り組み (定時制の生徒の興味をひく教材の開発)

北海道稚内高等学校 田島 芳 4 6

水素吸蔵合金の熱特性に関する基礎実験

エコエネ工房 石毛隆, 北海道教育大学札幌校 大川有沙実, 金吉証弥, 佐々木由樹 5 0

活動報告 5 2

日本物理教育学会北海道支部規約 5 6

原稿執筆要項、編集後記 5 7