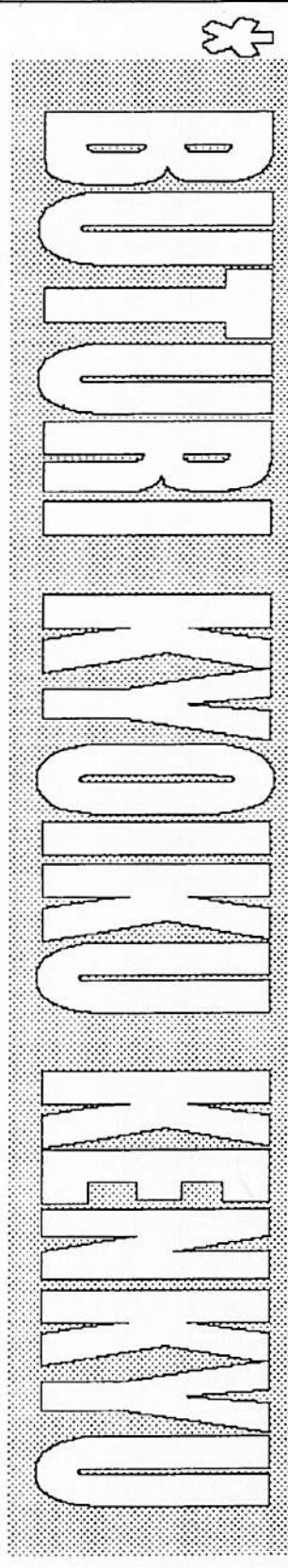
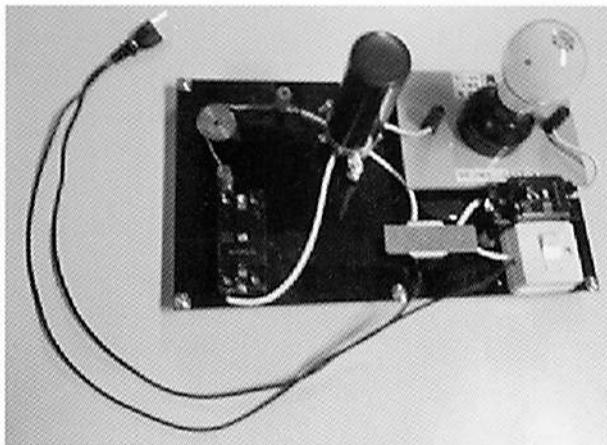
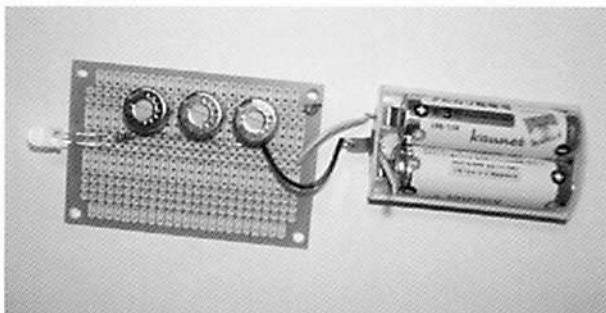


Y. Nakano



物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.35, 2007.9

卷頭言

科学アウトリーチ

日本物理教育学会北海道支部・副支部長

(北海道東海大学工学部) 四方周輔

ここ数年、「青少年のための科学の祭典」や「創造科学実験」など、高校・大学教員を中心とした科学啓発活動または科学「アウトリーチ」活動が北海道で急速に広がりを見せています。その中で本学会北海道支部のメンバーが中心的な役割を果たしていることは大変喜ばしいことです。これらの活動の中心は、体験実験と工作の場の提供です。自然科学の体験実験、科学工作、電子工作の作業を通じて、子どもらが、そして付き添いの大人も指導するデモンストレーターも一緒にになって、科学現象の不思議を楽しむことができ、また自らの手を動かして比較的簡単な実験の道具立てをつくることが出来ます。このような実験や工作から生まれる素直な感動が、科学や技術への関心を呼ぶように思われます。費用の面でも、多くの教員や学生・生徒のボランティアに支えられ、1日数十万円の予算でも数百人の来場者に満足を与えます。来場者に感想を聞くとイベント会社や大企業の企画より、このような体験型の催しの方がずっと満足度が高いようです。

来場者の内訳を見ると、小中学生がほとんどで、特に小学生が多いようです。半分以上に親御さんがついてきています。高校生にもっと来てほしいとは思いますが、小学生が多いことは歓迎すべきことです。それは、小学校中・高学年の時期に科学に興味を持つようになった生徒が多いという統計があるからです。そうすると、「科学の祭典」などの活動は適切な働きをしていると見て良いわけです。

しかしながら、このような催しへの参加で子どもへ科学を「楽しむ」場を与えることが出来たら、さらにその感動を「学び」の場へつなげたいと思うのが自然です。「学び」を継続的にする場の中心は学校ですから、小・中学校の教員との連携が大事になります。例えば科学の祭典の開かれる市町村地域の半数の小規模地域では、小学校の教員も多く参加しています。しかし最も大きな札幌市の場合は、小学校教員の参加はまれです。公的学校の教員の活動指針を示すのは教育委員会事務局という行政レベルのところかと思いますので、教育委員会事務局との連携も大事になります。

アウトリーチ活動にはいくつもの組織が関係します。資金源としての各種財団や学協会、教員の活動指針に関わる行政、物理以外の学協会や教育団体、科学の祭典などを運営する「北海道科学の祭典実行委員会(NPO法人北海道科学活動ネットワーク)」などの各種ボランティア団体、子ども対象だけでなく生涯学習機関としても注目される各地の科学館、これらを視野に入れて北海道における科学アウトリーチという地域連携活動の構築が望ましいことです。

本学会北海道支部には、北海道でのアウトリーチ活動へ大きな人的資源を提供していることを考え、組織的にも科学教育のコーディネイト機関となれるのではないかと期待しています。

回折格子の自作と光の波長測定実験

北海道札幌稲西高等学校 石川真尚

Excelで格子状の細かな黒線を描いた原版をプリントアウトし、カメラにて撮影すると回折格子フィルムが自作できる（写真1）。光波の回折格子の単元において、生徒に格子フィルム製作の過程を示し、顕微鏡でフィルムを確認させてから実験を行うことで、より身近に物理現象を考え、深く考察させることができた。また、格子定数を任意に設定して自作することも可能である。回折格子フィルム製作法の紹介と実践授業の報告を行う。

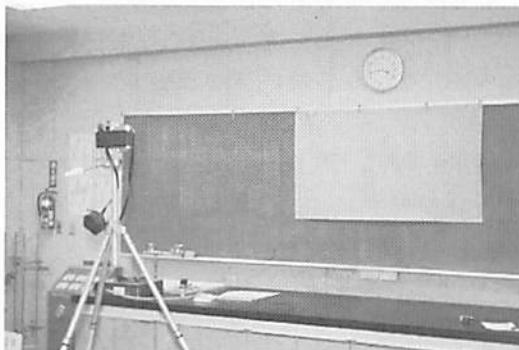
キーワード 回折格子 フィルム 自作 Excel 波長測定

1. 回折格子フィルムの製作

ほんの十数年前まで、写真といえば白黒や色彩が反転したネガフィルムを連想したものである。いまはデジカメに役割を譲り、家庭や学校に出番の少なくなったフィルム用カメラが眠っているのではないか。

今回、まだまだ現役で活躍する場があることを示したい。

写真1 格子の原紙を撮影



1.1. 原理

フィルムに像を写し込むということは、たとえばエベレストの風景写真では 8000m をフィルムの中の 1cm に縮小するということである。したがって、 1mm 間隔で 1mm 幅の直線をびっしり描いた格子模様（縞の間隔 $D = 2\text{mm}$ ）の幅 $W = 1.4\text{m}$ の紙（原版）を撮影し、フィルム上に幅 $w = 2.1\text{cm}$ の像を得るならば、その像の中にできる縞の間隔 d は、 $W:w=D:d$ の関係から $d = wD/W$ である。

$$d = 2.1 \times 10^{-2} \times 2.0 \times 10^3 / 1.4 = 3.0 \times 10^{-5}\text{m}$$

となる。

このようにして得られたフィルムは、回折格子として

使えるのではないかと考えた。

回折格子による回折は、波長 λ の单色光が格子定数（格子縞の間隔） d の格子を格子面に垂直に通過するとき光の入射方向に対して角 θ に強められるとして、これらの関係が次の式で与えられる。¹⁾

$$d \sin \theta = m \lambda$$

ここで、波長が $6.328 \times 10^{-7}\text{m}$ のレーザー光を使って格子定数 $3 \times 10^{-5}\text{m}$ の回折格子を用いた場合の 1 次回折は $\sin \theta = 2.1 \times 10^{-2}$ となり、 $\theta \approx 1.2^\circ$ を得る。これは 2m 離れた壁にレーザー光を回折させた場合、直進した光に対し約 4cm 離れたところに 1 次回折が観察されることを意味する。

ところで写真用ネガフィルムはどのくらいの大きさまでフィルム上で表現できるのだろうか。インターネットやいくつかの書籍にあたってみると、以下のことがわかった。

- ・感度が高くなると、感光剤の粒子の大きさは大きくなる傾向がある。
- ・現像の条件（現像液、現像時間など）により、現像したときの粒子の大きさが異なる。
- ・フィルム製造会社の研究レポートの中で塩化銀結晶の大きさは任意に作ることができるが、写真感光剤として望ましいものは直径 $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ としている。²⁾

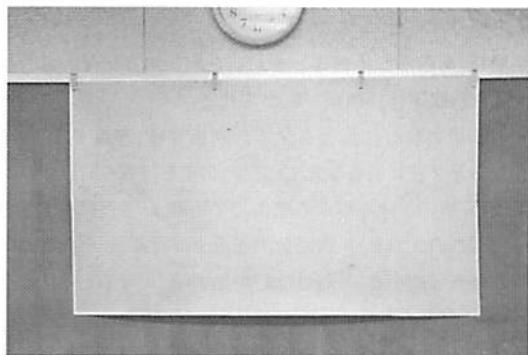
以上により今回、低感度モノクロフィルムを使って格子定数 $3 \times 10^{-5}\text{m}$ 、つまり $30 \mu\text{m}$ 間隔の回折格子を製作することとした。

フィルムの現像は一般のスーパーマーケットに出店している DPE 店に現像を依頼した。現像代は 500 円程度だが、モノクロフィルムの現像はその店内では行えず、系列店の地域で集約する施設に送って現像するとのことで依頼

から引き渡しまで 2-3 日が必要であった。

1.2. 原版 (写真2)

写真2 原版

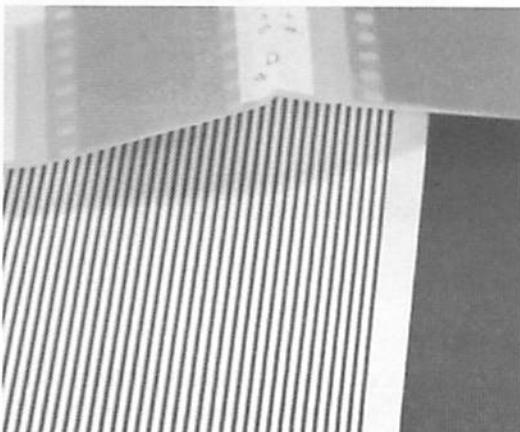


Excelのシートを使って行の高さを4ピクセルにする。私の使用しているPCでは、高さ:3.00(4ピクセル)と表記される。ここで3.00とはポイント(pt)を示している。

Microsoft Excelでは1ポイント = 1/72 インチ ≈ 0.35 mmなので、3 pt ≈ 1.05 mmとなる³⁾。

1行目のセルを黒で塗りつぶし、2行目を「塗りつぶしなし」のままにした黑白合計2行のコピーを繰り返すと、等間隔の格子模様(写真3)を得る。

写真3 原紙の格子模様 (原版拡大)



印刷設定でA3判、倍率100%に指定し、前述の格子模様を1ページ全体にわたるように作成して、これをプリントアウトすると、格子模様の原紙を作ることができる。この原紙10枚を縦2×横5で貼り合わせて回折格子の原版を作る。

ここで原版を大きくする理由は、後述する「2. 光の波長測定実験」において、測定精度を高く保つためである。レーザー光の波長をできるだけ高い精度で求めるために、

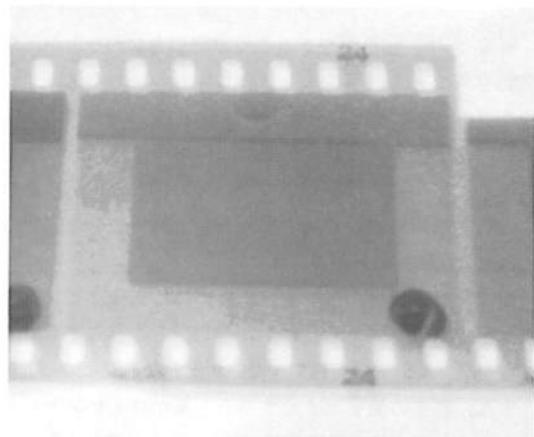
フィルム上に写った原版の横幅を測定するときの有効桁数を3桁に維持しておきたい。そのためにはその測定をノギスで行うにしても、フィルムの上からノギスのクチバシをあてるので、その正確さは0.1mm程度を維持するのが限度であろう。従ってフィルム上に写った原版の横幅はcmのオーダーを確保する必要があると考えた。したがって、A3判の原紙1枚ではなく、何枚か貼り合わせることが必要であった。

1.3.撮影

1.2.原版で作成した回折格子の原版を黒板に掲示し、これをレンジファインダー・カメラ(ASAHI PENTAX 年代不明 昔、家庭に普及していた一般的なカメラ)を使ってモノクロームフィルムに撮影した。使用したフィルムはFUJIFILM 製 NEOPAN SS である。

カメラは近年、デジタルカメラが普及しており、フィルムによる撮影をする銀塩カメラの新製品は多くない状況である。しかし、かつて活躍した古いもので充分である。レンズが丁寧な作りで、ピントと絞りやシャッター速度を設定できるものであれば、きちんと格子がフィルムに写り込む。(写真4)

写真4 原版を写したネガフィルム



1.4.仕上がり

絞りとシャッター速度との条件を変えて撮影して得た回折格子にレーザー光をあてて、回折が観察されるか確認した。(表1)

その結果、絞りを 11 以上にして撮影した場合、よい回折格子フィルムを得ることができた。

表1 撮影条件と回折現象

シャッター速度	1/8秒						
絞り	1.8	2.8	4	5.6	8	11	16
回折	×	△	○	○	◎	◎	-
シャッター速度	1/4秒						
絞り	1.8	2.8	4	5.6	8	11	16
回折	-	×	×	△	○	-	-
シャッター速度	1/2秒						
絞り	1.8	2.8	4	5.6	8	11	16
回折	-	×	×	△	○	◎	◎

◎ 良く確認できるもの、○ある程度確認できるもの、△何とか確認できるもの、
× 確認できないもの、-未撮影

写真 5

写真 6

シャッター速度 1/2 秒, シャッター速度 1/2 秒,
絞り 4, (×) 絞り 16, (◎)

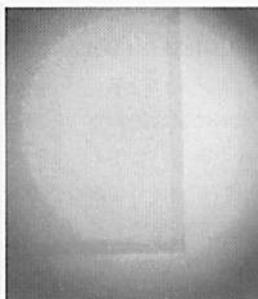


写真 5, 写真 6 はフィルム上の格子模様の顕微鏡写真である。

写真 5 は、回折光がまったく確認できなかつたが、顕微鏡写真でも回折模様はそれらしきものがある気がする程度であった。それに対して、写真 6 ではフィルム上に明瞭に格子模様が現れている。この格子模様は薄い陰影であり、格子部分は真っ黒でないために光を完全に遮断することは期待できないのであるが、回折光を確認するには充分な回折効果が得られている。

明瞭な格子模様の撮影を行うためには正確なピント合わせが最も大切である。わずかなピントの甘さでも格子模様をフィルム上に記録できない状況となる。

また、絞りの値を大きくすると、見かけ上ピントが合いやすくなる（被写界深度が深い）。絞りの値を大きくすることがコツであるといえる。

ちなみにいわゆる使い捨てカメラは、被写体との距離を気にせず撮影することをコンセプトにしているが、実際に使用できる回折格子フィルムを作ることができなかつた。レンズ精度の高さの限界や、絞りやピントの調整が不能であるために、格子定数程度の精密な描写力がないのであろうと考える。

2. 光の波長測定実験

2.1 実験手順

物理 II (3 年理系、選択者 12 名) の授業の中で、年度末の物理の総復習の位置づけで生徒が測定する演示実験の形態で行った。

手順1) あらかじめ製作しておいた回折格子フィルムを生徒に双眼実体顕微鏡で観察させた。

教師用実験台に集合させて、回折実験(写真 7)を演示したあとプリントを与えて、次の測定と計算を行う。

手順2) 格子フィルムから壁までの距離 L と壁に生じる 0 次回折の光点と 1 次回折の光点との距離 x を測定し、 θ が充分に小さい場合に成り立つ $\sin \theta \approx \tan \theta$ により $\sin \theta$ を求める。

手順3) 回折格子フィルムを作るための原紙の横幅 W と原紙の縞の間隔 D 、フィルム中に写っている原紙の横幅 w から格子定数 d を計算する。

手順4) $d \sin \theta = m \lambda$ より、レーザー光の波長を計算する。

写真 7 回折格子の実験で
壁に生じる回折光の様子



2.2 実験結果

生徒実験による測定および著者の予備実験による測定 ([]内の値) では、次の結果が得られた。

手順2)

- 格子フィルムから壁までの距離 $L = 2.00\text{m}$

- 壁に生じる 0 次回折の光と

1 次回折の光との距離 $x = 38.6 \times 10^{-3}\text{m}$

よって

$$\sin \theta \approx \tan \theta = x / L = 19.3 \times 10^{-3}$$

手順3)

- 実際の原版

$$\text{横幅 } W = 1.40\text{m}$$

$$\text{原版の縦の間隔 } D = 1.87 \times 10^{-3} \text{m} [1.85 \times 10^{-3} \text{m}]$$

・フィルム中に写っている原版

$$\text{横幅 } w = 25.2 \times 10^{-3} \text{m} [24.75 \times 10^{-3} \text{m}]$$

$$W : D = w : d \text{ より}$$

$$\text{格子定数 } d = 33.66 \times 10^{-6} \text{m} [32.77 \times 10^{-6} \text{m}]$$

手順4)

$d \sin \theta = m \lambda$ に、 $m = 1$ と上で求めた $\sin \theta$ と d を代入して、

$$\text{波長 } \lambda = 6.50 \times 10^{-7} \text{m} [6.32 \times 10^{-7} \text{m}]$$

を得た。

前に述べたとおり、実験で使用するレーザー光の波長が $6.328 \times 10^{-7} \text{m}$ であるので、波長 $6.50 \times 10^{-7} \text{m}$ は生徒実験の精度としては満足してよいと考える。

また、著者が授業前に同じ状況で測定したデータから求めたレーザー光の波長 $6.32 \times 10^{-7} \text{m}$ は、メーカーカタログ $6.328 \times 10^{-7} \text{m}$ とは 2 ケタの精度で一致をみた。

3.まとめ

3.1.生徒感想

「難しかったけどおもしろかったです」「これでよくわかった」との感想があった。

実際に身のまわりの物を利用して、光の波長を求めることができる経験が、物理現象や物理的な考え方をより身近に感じることができる有効な手段であると考える。

3.2.今後の課題と補足

生徒実験として、回折格子となったネガフィルムをフィルム撮影から行い、格子定数の同定とその回折格子を使った光の波長測定とを各班毎に行いたい。

そのためには、以下の①～③について、課題と考えている。

- ① いくとおりかの格子定数の回折格子を用意するために、原紙での格子模様の間隔を変えたり、撮影距離を変えた回折格子を製作すること。
- ② 手軽に、近所の DPE 店で現像できるカラーフィルムを使った回折格子の製作をすること。
- ③ 小型レーザーポインタを使って実験できるか検証をすること。

これを受けて、後日、②、③について追加実験を試みたので補足する。

- ② カラーフィルムについて、今回の実験と同じ条件で、

使用フィルムのみ市販カラーフィルム (FUJIFILM 製 SUPERIA 100, SUPERIA Venus 400) にして行ったところ、回折光点は多少暗くなるが確認ができた。室内を暗幕で暗くする程度で生徒実験を行うことができる。

なお、ISO100 と ISO400 の感度による大きな性能差は見られず、ともに回折光点が観察された。

- ③ 小型レーザーポインタについて、モノクロフィルムにおいても、②で紹介したカラーフィルムにおいても、小型レーザーポインタのレーザー光で回折光点は充分に確認できた。

また、最近普及している緑色のレーザーポインタ (波長未確認) での回折光も赤色同様、はっきり確認でき、緑色レーザー光の波長測定も可能である。

引用文献

- 1) 高等学校 物理 I (第一学習社) pp.231 ~ 232
- 2) 特開平 8-184931 「ハロゲン化銀乳剤の製造方法」 (富士写真フィルム) 【0022】
<http://www.ekouhou.net/disp-A,H08-184931.html>
(2007.09.10現在)
- 3) [XL2002]列の幅と行の高さ表す単位について
(Microsoft サポートオンライン)
<http://support.microsoft.com/default.aspx?scid=kb;ja;401638>
(2007.09.10現在)

音速と共に鳴周波数の関わりを考察する実験

(ヘリウム笛、ブタン笛)

北海道釧路工業高等学校 福田 敦

気体の種類によって音速が異なり、それに関わって共鳴周波数が異なることを、笛を使った簡単な実験で示す。さらに管楽器とヒトの声の共通点と相違点、およびヘリウム声について整理し、授業での活用法を検討する。

キーワード 音速、共鳴周波数、気体の密度、分子量、管楽器、発声、ヘリウム声

1. はじめに

ヘリウムを吸い込んで発声すると声質が変わることはよく知られている。これは、ヘリウム中での音速が空気中よりも速いことが主な理由である。

吸い込み専用のヘリウムボンベがおもちゃ屋などで売られているが、割と高価である。しかも数回遊べば使い切ってしまうので、勿体ない一発芸アイテムでもある。

ヘリウム声に関する事実として、次のような事実がある。例えば、空気中で高い声を出してもヘリウム声にはならないし、ヘリウム中でスピーカーを鳴らしたりピアノなどを弾いたりしても音程は変わらない。いずれも考察の価値ある興味深い現象である。

そこで、笛と注射器を組み合わせることで、音速と音程の関係を調べられる実験を考案した。この方法ならヘリウムに限らず、あらゆる種類の気体について、しかも少量で実験が可能である。さらにパソコンを利用しての精密な周波数分析にも十分対応でき、前述の考察も可能になる。以下にその詳細をまとめる。

2. 実験方法

- (1) 注射器にシリコンまたはゴムのチューブを付ける。その先に笛を繋ぐ。
- (2) 注射器に空気をため、ピストンを押すと笛が鳴る。
- (3) 次に、ヘリウムやブタンを注射器にため、笛に繋ぎ替え、同様に笛を鳴らし、音程の変化を確かめる。
- (4) 音声分析ソフトを用いて、周波数分析を行うとよい。
- (5) 注射器の目盛りをもとに、異なる種類の気体を正確な体積で混合しても面白い。



図 1 実験器具

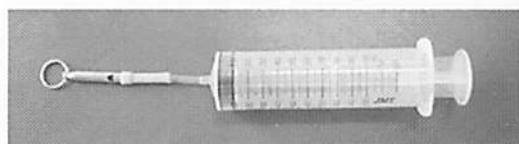


図 2 注射器に笛を取り付ける



図 3 気体のボンベ

3. 注意事項など

- (1) シリコン製またはゴム製のチューブはホームセンタなどで購入できる。図のように、いろいろな太さのものを用意し組み合わせれば、ポンベから笛への繋ぎ替えも容易である。
- (2) 笛はエアリード型、すなわちリコーダーのようにリードの無いタイプが鳴らしやすい。リードのあるもの、例えば「ブープー笛」(風船を膨らませて鳴らすもの)などでも可能。ただし波形が複雑になり、周波数分布の特徴は掴みにくくなる可能性がある。
- (3) なるべく長時間音を出し続けるために、筆者は大型のプラ注射器(100ml)を使用した。しかし音程の変化を確認するだけなら、小さなもの(25mlくらい)でも十分である。笛は小型の緊急用ホイッスル(全長約6cm、共鳴管長約4cmの閉管)を使用した。
- (4) ピストンを押す力が強かったり、弱かったりすると、笛の音の周波数が若干変化してしまう。いつも同じ位の強さで押すように心がけること。
- (5) プタンのポンベには、ムース(整髪料)のノズルを当てると採集しやすく、便利である。
- (6) 吸入専用のヘリウムポンベには約20%の酸素が含まれている。そのため安心して吸い込むことができる。バルーン用の100%のヘリウムも市販されているが、これは決して吸い込んではいけない。窒息する危険があり最悪の場合、死に至る。

4. 結果

次の4種類の気体について試した。

- ①ヘリウム100%
- ②ヘリウム80%と酸素20%の混合
- ③空気
- ④プタンが主成分のLPG

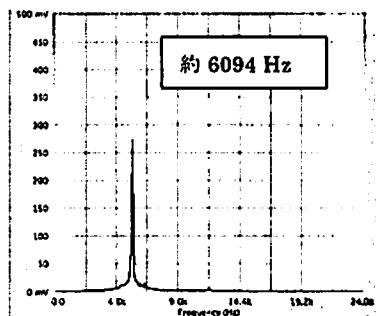
それぞれについて、パソコンで周波数分析した結果を右図に示す。

①→②→③→④の順に、共鳴周波数が小さくなることがわかる。④に示されるように、より高い周波数が大きく出てくることもある。

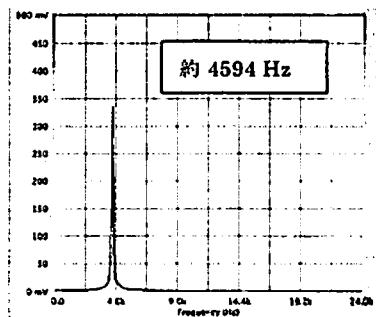
5. 音の発生する原理

ここで使用した笛は、いわゆるエアリード型(リコーダーやオカリナなどのタイプ)で、リードそのものは無い。

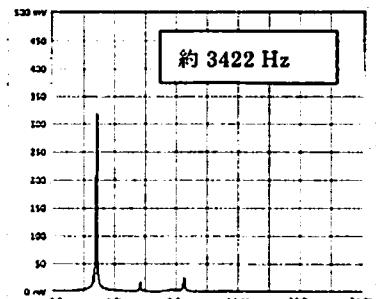
そもそもこのタイプの笛が鳴るのは、ノズルを通過する気流が生成したカルマン渦が、無数の振動を生じ、共鳴管内で共鳴することによる。ノズルから吹き出す気流



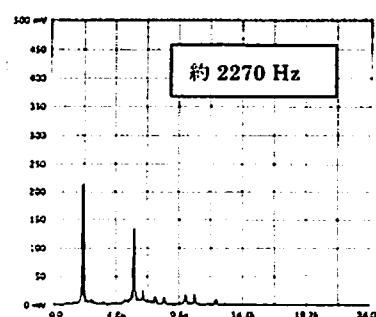
①ヘリウム100% (6093.750Hz)



②ヘリウム80%と酸素20%の混合
(4593.750Hz)



③空気 (3421.875Hz)



④プタンが主成分のLPG
(2269.875Hz)

そのものは「シュー」というようなスプレーを噴射するような弱いノイズ音であり、ここに無数の周波数を含んだ、基本振動が含まれている。そしてそのノイズの中から、管長に応じたものが共鳴し、大きな音を発生させるわけである。

一方、声については、声帯を震わせる有聲音（母音、[b][g]などの子音）、声帯を震わせない無聲音（子音[s][p]、囁き声など）、鼻音（子音[m][n]）などがあるが、原理的には「気流によるノイズの一部が口腔内などで複雑に共鳴して、性別や個人に特徴のある声が発生する」というふうに把握することが可能と思われる。

因みに、声帯による基本振動数の分布は対数周波数軸上で正規分布となり、男性の基本周波数の平均値と標準偏差はそれぞれ125Hz及び20.5Hz、女性ではそれぞれ男性の約2倍に等しいことがわかっている。（日本音響学会のHPより。）声帯自身は「ブー」というような弱いノイズ音を発している。

ただし、声を管楽器と同様のものとして捉えることは、一面的であると言わねばならない。確かに声は共鳴によって周波数を変化させることができるが、それだけでなく、例えばシンセサイザーやエフェクターなどのように、波形そのものを様々な形に変化させることができる。これは大きな相違点であり、管楽器との単純なアナロジーを許さないところであろう。ヒトは極めて複雑多様な声を使いこなすことで、他の生物に決してみられない非常に高度な言語活動を実現している。

6. 授業での活用法とその解説

この実験は、次のような目的で授業に活用することが可能である。

目的1：音速の変化を、音程の変化で把握する。

音は音響インピーダンスの違いの大きいところで反射する。使用した笛の場合、ノズルから管の端までの距離約4cmを、あらゆる周波数の音波が往復することになる。空気と比べて密度の小さな気体は、音速が速くなるため、反射するまでの時間が短くなる。すなわち、単位時間あたりに往復する回数（周波数）が大きくなる。笛の管内のあらゆる周波数は上にシフトし、もちろん共鳴音も上にシフトする。そのため音程的に高く聞こえる。

また、混合する気体の割合を変えることで気体の密度を変えると面白い。

筆者の使用した笛の音程は、前述のように空気で約3422Hz、ヘリウムで約6094Hzであった。これらはおおよそ、A4「ラ音」とその7度上の「ソ音」である。平均律ならこの間は10分割されていることになる。（ピアノの

鍵盤を想起されたい。ラからソの間には鍵盤が10個ある。）従って混合する気体の割合を10段階に変化させれば、平均律での音階を出すことが可能になる。

しかし前述のように、そもそも注射器のピストンを押す力の加減で、音程は若干変化してしまう。筆者が試してみたところ、音程の段階的な変化は感じられたものの、正確な音程にまでは至らなかった。音が高すぎることも一因かもしれない。

目的2：気体の密度（分子量）を音程で実感する。

音速は、媒質となる物質の、密度と弾性率によって決まる。

$$\text{音速} = \sqrt{\frac{\text{弾性率}}{\text{密度}}}$$

	音速 m/s	密度 kg/m³	弾性率 Pa(パ'スカル)
ヘリウム	970	0.18	1.7×10^5
空気	341	1.2	1.4×10^5

弾性率とは、一定量の変形を起こすのに必要な圧力のこと、物質によって異なる値をとるが、ヘリウムと空気を比べてもそれほど大きな差はない。

音速に大きな影響を及ぼすのは、気体の密度と思って良い。式より、密度の1/2乗に逆比例することになる。

ここで、気体の「密度」を「分子量」に置き換えてみる。すると、気体の密度を笛の音程で実感できることになる。

目的3：ヘリウム声の理由を理解する。

ヘリウム声の場合は、声帯自身の振動は変わらないが、もともと非常に複雑な共鳴周波数構成が、そのまま上にシフトするため、単に高い声を出しているのとは違った「奇妙な高音」に聞こえるのである。

仮に、分子量の大きいブタンやクリプトンなどで同様な実験を行ったとしたら、声は「奇妙な低音」になるだろう。（もちろん大変危険であり、決してやってはいけない。命にかかる。）

以上、非常に単純な実験ではあるが、気流による音の発生原理を踏まえることで、音の本質に迫る実験になると考えている。

諸先生方のお役に立てれば幸いである。

7. 資料など

【参考文献】

日本音響学会編『音のなんでも小辞典』

日本音響学会HP <http://www.asj.gr.jp/>

【使用ソフトウェア】

SignalScope version 1.8.3(for Mac OS X)

【使用ポンペ】

※丸数字は、本稿で扱った気体に対応している。

①株式会社エホック社「風船のエサ」

②田村株式会社「声がわり君」

④株式会社東海「カセットポンペ コン部」

【付録】楽音の周波数表

國際基準 イ=a1=440Hzに基づく十二平均律音階										(単位はHz)
	C2	C1	C	c	c1	c2	c3	c4	c5	
F	C	16.352	32.703	65.406	130.81	261.63	523.25	1046.5	2093.0	4186.0
C#	D	17.324	34.648	69.296	138.59	277.18	554.37	1108.7	2217.5	4434.9
									④↑	
L	D	18.354	36.708	73.416	146.83	293.66	587.33	1174.7	2349.3	4698.6
									②↑	
D#	E	19.445	38.891	77.782	155.56	311.13	622.25	1244.5	2489.0	4978.0
E	F	20.602	41.203	82.407	164.81	329.63	659.26	1318.5	2637.0	5274.0
F	F	21.827	43.654	87.307	174.61	349.23	698.46	1396.9	2793.8	5587.7
F#	G	23.125	46.249	92.499	185.00	369.99	739.99	1480.0	2960.0	5919.9
G	G	24.500	48.999	97.999	196.00	392.00	783.99	1568.0	3136.0	6271.9
									①↑	
G#	A	25.957	51.913	103.83	207.65	415.30	830.61	1661.2	3322.4	6644.9
A	A	27.500	55.000	110.00	220.00	440.00	880.00	1760.0	3520.0	7040.0
						基準音			③↑	
A#	B	29.135	58.270	116.54	233.08	466.16	932.33	1864.7	3729.3	7458.6
B	C	30.868	61.735	123.47	246.94	493.88	987.77	1975.5	3951.1	7902.1

※ 本表は理科年表を参考に作成したもので、下記URLから引用し一部変更した。

<http://www.max.hi-ho.ne.jp/nvcc/TR4.htm>

物理ミニ実験

(ちょっとした組み合わせで活用範囲を広げる)

北海道釧路工業高等学校 福田 敦

物理実験に関連して、思いついたもの、実践したものを以下に列記する。いずれもほんのちょっとした工夫で新アイテムを作ったり、既存の実験器具の活用範囲を広げようというものである。

キーワード 生徒実験、安くたくさん用意できる

1.はじめに

物理実験に関連して、思いついたもの、実践したものを以下に列記する。いずれもほんのちょっとした工夫で新アイテムを作ったり、既存の実験器具の活用範囲を広げようというものである。本稿をお読みくださった先生方がすぐにでも試せるよう、なるべく具体的に書いてみた。あまり整理されていないかもしれないが、お役に立てれば幸いである。

2 実験内容

(1) ロープライス大電流電線

《方法》

大電流電線（パスカル電線）は、京都の杉原和男先生が考案した。1本の10芯線を一本ずつズラしてループ状に接続することで、10芯線1本の輪が、10周のコイルになる。6mの10芯線なら15Vで約4Aの電流が流れ、4Ω程度の電気抵抗である。1本は10周しているので、見かけ上は約40Aの大電流が流れていることになる。このようにして大電流が流れることで、磁場の影響よりも顕著に現れる。電磁気の学習教材として優れている。

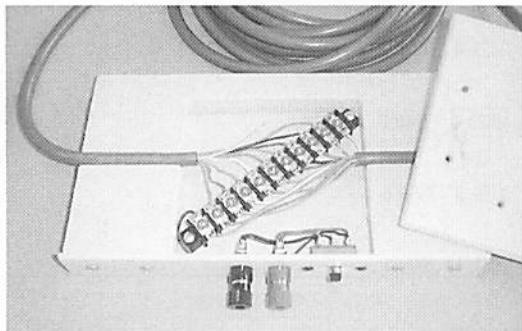


図1 杉原先生から頂いたサンプル版(上)

筆者は杉原先生ご自身からサンプルとして1セット頂いたが、できればこれを10セットほど用意して生徒実験として導入したい、と思った。

サンプルほどの立派なものでなくてもいいが、次のような最低限の機能がほしいところである。

1. 10芯線を1本ずつズラして接続していることが視覚的にわかること。
2. 電流の向きを切り替えられること。

以上を満たすもので、できるだけ安価な形を工夫してみた。竹串に圧着スリーブを1~2mmの間隔を開けて固定する。これを端子台にし、10芯線の各色線を1つずつズラし、はんだ付けする。これをアクリルケースの対角線にはめる。

また杉原サンプル同様、中点OFFスイッチを使用する。

《参考》

10芯線は6mで¥600、アクリルケース¥100、スイッチ¥100とすると、合計¥800程度で作成できる。圧着スリーブなどはホームセンターにて安価で購入できる。



図2 圧着スリーブを竹串に着け、端子台にする。

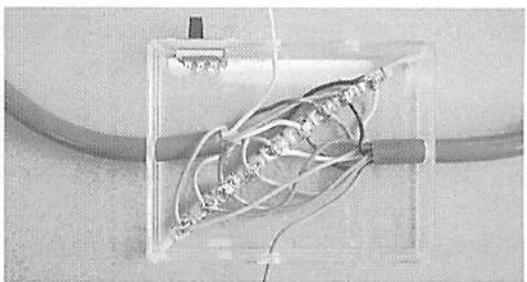


図3 アクリルケースにはめ込む。画像は未完成のもの。

オリジナルの考案者である杉原先生のHPには、10芯線の入手方法を始め非常に多くの活用方法が詳述してある。
<http://web.kyoto-inet.or.jp/people/sugicom/kazuo/neta/butul.html>

また、平成18年度の北理研「第22回北海道マルチメディア理科教育研究会」CD-Rに、筆者が製作した実験ダイジェストビデオが収録されている。このCD-Rは既に全道各校に配布されているので、あわせてご覧頂ければ幸いである。

(2) 550円レーザーポイント

《方法》

スイッチ付き電池ケース¥100に、半導体レーザーユニット（薄型）¥450を接続し、ケースにテープで貼り付ける。たつこれだけで¥550のコンパクトなレーザーポイントのできあがりである。レーザーユニットは電池を繋ぐだけで光るので、アナログ光通信（後述）のように加工することも容易である。光の反射と屈折、光の干渉（髪の毛の太さを求める）の生徒実験で本教材は活躍した。

《参考》

半導体レーザーユニット（薄型）、スイッチ付き電池ケースは、秋月電子通商で購入できる。

レーザーポイントの完成品は、安くとも1つ¥3,000くらいである。買ひ方によっては数万円することもある。だがこの550円のレーザーポイントで、ほとんどの実験に対応できると思う。

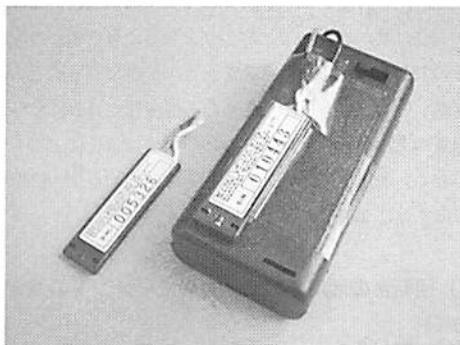


図4 薄型レーザーユニットと550円レーザーポイント

(3) 半導体レーザーユニットで光通信

《方法》

レーザーが点灯するように、レーザーユニットと乾電池で閉じた回路を作る。その途中に音声電流を挿入すると、音声電流の変動がレーザー光に乗って発せられることになる。これを、アンプに繋いだ太陽電池に当てれば、音声が聞こえる。アナログ的だが一種の光通信である。

下のような回路図がよく本などに載っているが、音声電流

を差し込む場所は、電池の間でなくても大丈夫である。インダクタ（コイル）は必須。1~10mHが良いようである。

《参考》

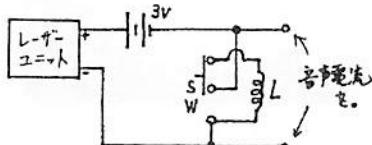
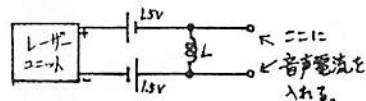
本実験については、多くの先人達がさまざまな工夫をしている。例えば次のサイトが詳しい。

<http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/koutou/buturi/bu3/tuusin/tuusin.htm>

筆者は小型スイッチを使い、インダクタ有りの時と、無しの時が切り替えられるようにした。また、音声電流の入力には3.5mmジャックを差し込むだけ良いような構造にした。こうすることで、例えば生徒自身のiPodや携帯電話を音源として導入しやすくなる。また普段はただのレーザーポイントとして使用することができる。

なおインダクタはアキシャルリード型（小型で見た目は緑色のカーボン抵抗みたい。）で良いだろう。少し大きいが、ラジアルリード型でも問題ない。いずれのインダクタも安価で、千石通商などで購入できる。

<http://www.sengoku.co.jp/modules/wraps/index.php?CategoryIndex/COIL.htm>



（上）標準的な回路 （下） 横田 Version

図5 アナログ光通信・回路図

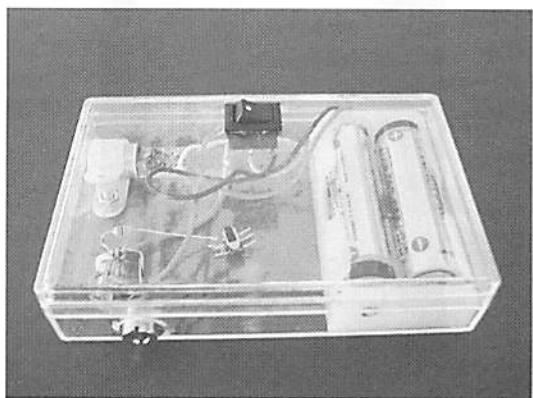


図6 アナログ光通信用レーザーポイント

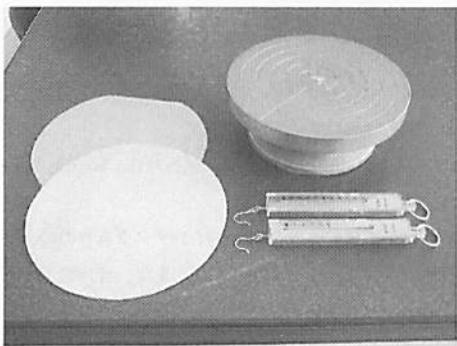


図7 回転台の活用：使用器具類

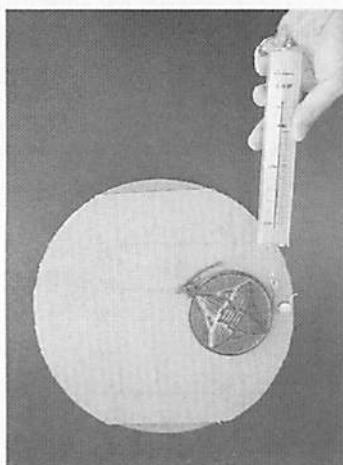


図8 動摩擦力の測定

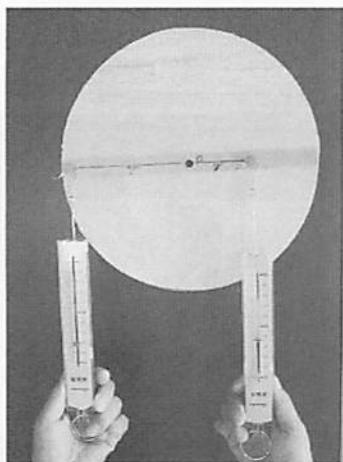


図9 力のモーメント

(4)回転台の活用その1：動摩擦力、最大摩擦力の測定

《方法》

回転台の中心に画びょうを1つ、上向きに固定する。次に、回転台と同じくらいの大きさのペニア板などを用意し、中心に穴を開け、回転台に重ねる。(ちょうどレコードのターンテーブル上にレコードを乗せるように。)

ペニア板と回転台との接触面には、あらかじめ普通紙を貼っておき、互いに滑りやすくしておく。

次に、ペニア板上の適当な点に画びょう等を刺し、バネばかりを繋ぎ、繋いだ点の近くにおもりを載せる。そして回転台を手動で回転させれば、回転中の摩擦力(動摩擦力)を測ることができる。おもりを載せる場所を画紙から遠ざけると、びょんびょんと震動しながら回転してしまい、全く測れなくなるので注意。

同様にして最大摩擦力を測ることができる。

《参考》

回転台はテレビ用(約¥2,000位)でも良いが、オススメは陶芸用ろくろ(小型のもので約¥3,500位)である。理由は質量が大きく、かつ極めてなめらかに回転するので、測定しやすいからである。

動摩擦力を実測するのはなかなか難しい。バネばかりで物体を引きずるにしても、物体を一定の速度で引きずらなくてはならないし、同時にバネばかりの値を読みとらねばならない。『いきいき物理2』では、この困難を乗り越えるべく「動く歩道式」の方法が紹介されている。すなわち、バネばかりとおもりは動かさないで、おもりを乗せた敷き板の方を引っ張るのである。しかし敷き板を一定の速度で引っ張るのはやはり難しいし、敷き板の長さもある程度長く必要になる。

筆者の方法なら、バネばかりの示す値はほとんどブレることがなく、測定しやすい。おもりを2倍にすれば、動摩擦力もほぼ正確に2倍になった。

(5)回転台の活用その2：力のモーメントの測定

《方法》

回転台にペニア板や段ボールなどを固定し、その上に画びょうなどを刺し、バネばかりを掛けて水平に引く。つまり、天秤の水平版である。

《参考》

力のモーメントの実験は、オーソドックスに天秤におもりをつるして・・・などの方法があるが、できれば汎用性の高い器具を流用したいものである。

(6) スピーカーとゼネコンで「フレミング左手の法則」

《方法》

スピーカーにゼネコンを繋ぐだけ。ハンドルを回すとスピーカーが動く。ハンドルを回す向きを変え、電流の向きを変えることで、スピーカーが引っ込んだり飛び出したりする。

《参考》

スピーカーはコイルと永久磁石からなるものを使用する。あまり小さなものではダメで、ある程度大きく、コーン紙を押すとボヨボヨと動くものが良い。

電流の向きと力の働く方向の関係が、とにかくハッキリわかる。難点は「フレミングの左手の法則」で示す3つの向きが、互いに垂直であることが直感的には分からぬこと、だろうか。

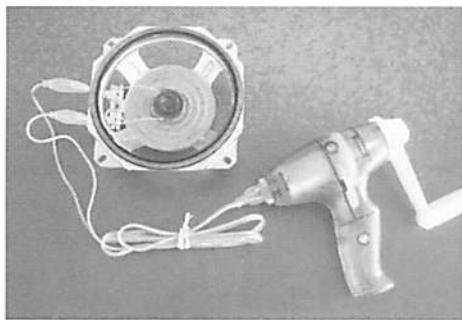


図9 スピーカーとゼネコン。コーン紙はあってもなくてもよい。

(7) 簡易分光器で点光源を観察する工夫

《方法》

簡易分光器の入光窓に、梱包用クッションシートの小片2~3枚を貼るだけである。こうすると光が散乱し、点光源でも観察しやすくなる。或いは、シリコン製の栓を5mm位にスライスしたものに入光窓に当てても良い。

《参考》

例えばいろいろな色のLEDがあるが、それらを光源として、この入光窓に直接くっつければ良い。LEDを使うことで観察できる光源のネタが広がり、また安価なのでたくさん用意することもできたため、多人数で一斉に観察を行うことができた。何よりも部屋全体を真っ暗にしなくとも観察可能である。生徒はスペクトルを観察とプリントへの記録を同時並行でできた。

赤、緑、青、黄など各色のLEDをこの方法で観察すると、線スペクトルとまではいかないが、比較的幅の狭いスペクトルが観察される。

他にも、例えばピンク色LEDは面白い。ピンク色LEDは「青色ダイオード+蛍光」でピンク色を出している（これをシンチレ

ーション発光という）。この方法で観察してみると、見た目にはピンク色の光だが、スペクトルは赤系の帯と青の帯とがハッキリ分かれて観察できた。

現在普及している白色LEDもシンチレーション発光のタイプが多い。（RGBの3色混合型もあるが少ない。）筆者の手持ちの白色LEDは青が比較的明るく、緑が暗いスペクトルだった。

電灯のスイッチなどに、よく小型のネオンランプが利用されているが、これを見てみると3~4本の線スペクトルがハッキリ確認できる。

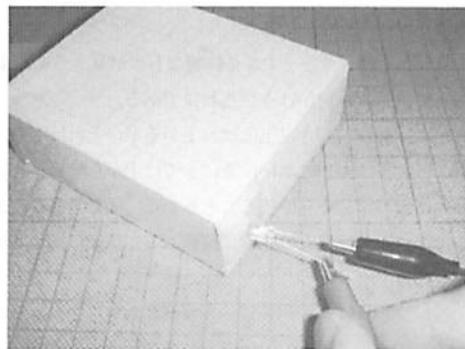


図10 シートを重ねた入光窓に高輝度LEDをくっつけて観察する。

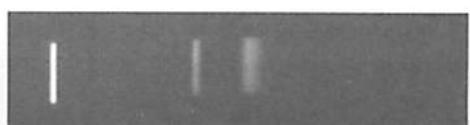
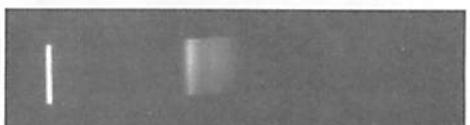
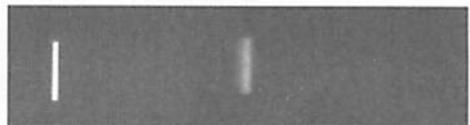


図11~14 簡易分光器で見た様子。
いずれも左端は入光窓、右がスペクトル。
上から赤LED、白LED、ピンクLED、ネオンランプ。

(8) ピンポン半球で運動量保存（ジャンピングスуперボールの代替えとして）

《方法》

ピンポン玉を切って半球にする。半球に水をため、適当な高さから床に自由落下させる。すると水は、最初の高さ以上にはね上がる。

水は半球いっぱいに満たし、固くて良くはねる床に落とすこと。水が少ないと、単に周りに飛び散るだけになりやすい。

《参考》

これは筆者のオリジナルではなく、中学生の時に友達から教わった遊び（イタズラ？）である。

「上から見ながら落とすと、すごく綺麗なものが見えるんだよ」などと騙して、顔に水をかけさせるわけである。

水は確かに、最初の高さ以上にはね上がるが、それは水の一部にすぎず、大半は大して高い位置にまでは上がらない。ピンポン半球内に水が半分くらい残ることもある。運動量保存の法則、或いはエネルギー保存の法則に関連して、生徒に考えさせる題材になる。

市販のジャンピングスуперボール（商品名アストロプラス

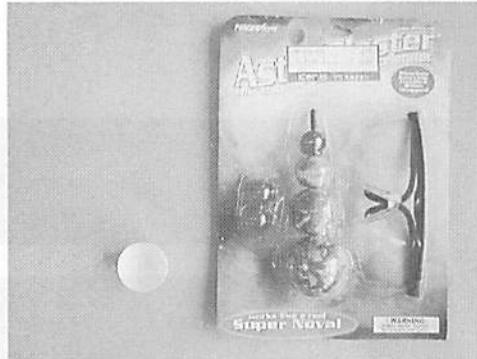


図15 ピンポン半球と市販の「ジャンピングスуперボール」

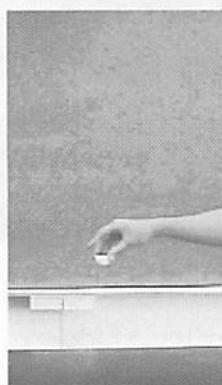


図15 落下前

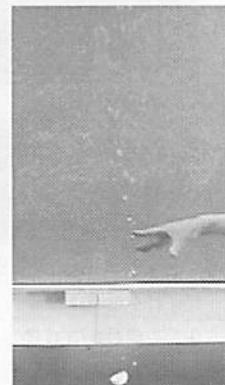


図16 落下後

ター。すっとびボールともいうらしい）は1セット2200円位。余りに勢いよくボールがはねるため、眼の保護用にゴーグルまで付いている。

ピンポン半球なら100円で10セット以上用意できるし、眼球を傷つける危険も無い。実験室が水浸しになる？のが難点だろうか・・・。

【参考文献など】

『いきいき物理わくわく実験2』日本評論社

大電流電線（パスカル電線）考案者の杉原和男先生HP

<http://web.kyoto-inet.or.jp/people/sugicom/kazuo/neta/butul.html>

【部品等の入手先】

秋月電子通商

<http://akizukidenshi.com/catalog/>

千石電商

<http://www.sengoku.co.jp/modules/wraps/index.php/index.htm>

【参考】

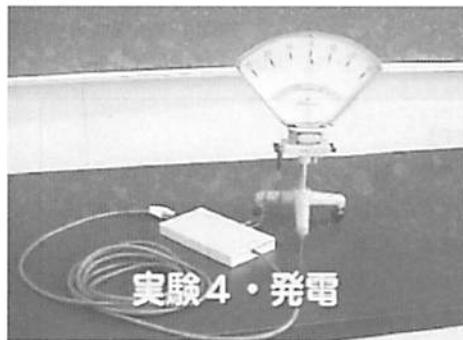
大電流電線（パスカル電線）実験ダイジェストビデオより



実験2・フレミングの左手の法則



コイルにして磁場を強める



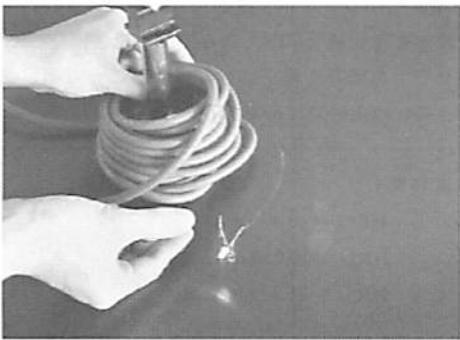
実験4・発電



変動する
磁場



・・・一定の回転数で
いつまでも回り続けます



ICTを活用して解決する探究課題の作成

(キルヒ霍ッフの法則の指導の工夫改善)

北海道立理科教育センター 佐々木 淳

計算練習が中心となりがちなキルヒ霍ッフの法則の指導の改善を図るために、生徒が自力で取り組める探究課題を数例作成した。課題の作成に当たっては、コンピュータ・シミュレーションを取り入れるなど、生徒の科学的な思考力や読解力を育成することを重視した。同種の教材について今後の発展の可能性を検討するため、概要を報告する。

キーワード 平成17年度高等学校教育課程実施状況調査 ICT コンピュータ 探究活動

1.はじめに

4月に公表された平成17年度高等学校教育課程実施状況調査の調査結果¹⁾において、物理Iの指導改善のポイントとして、以下の各点が指摘されている。

[物理I]

- 基礎・基本の定着を図る指導の充実
- 科学的な思考力をはぐくむ観察・実験、探究活動を推進するための指導の工夫
- 実社会・実生活と関連付けて、興味・関心を高める指導の工夫

このうち、物理Iの第2のポイントを踏まえた指導においては、探究的な要素を段階的に取り入れるなどの工夫が大切であることが指摘されており、具体例として、探究的な視点を強調した観察や実験のプリントを通常の授業で用いることなどが取り上げられている。

本稿では、これらのポイントを踏まえた指導改善の方策を検討するため、例としてキルヒ霍ッフの法則を取りあげ、ICT（コンピュータや情報通信ネットワーク等）を活用して図や表を作成する実習など、生徒が自分で取り組める探究的な視点を強調した課題例を紹介するとともに、作成上の留意点や課題等について考察する。

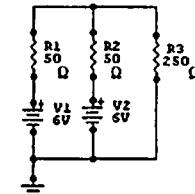
2. ICTを活用した探究課題の作成

2.1 課題例1：回路シミュレータ実習

電気回路について学習した生徒に、さらに理解を深めさせるためには、実際の回路に触れさせ、計測を行わせるなど実験実習を行う必要がある。近年、安価で使いやすい回路シミュレータが普及していることから、実験実習を終えた生徒が、シミュレータを使って回路図を作成したり計測したりすることを想定し、それにふさわしい課題として課題例1を作成した。

課題例1

- ① 回路シミュレータを使って右図の回路を作成しよう。
- ② シミュレーションを実施し、抵抗R1、R2、R3にそれぞれ何[mA]の電流が流れるか確認しよう。
- ③ ②の結果から、3本の抵抗の消費電力を計算しよう。
- ④ ③の結果を比較して考察し、結果をまとめよう。



上図の回路は、「CircuitMaker Student V6.2c」²⁾を利用して作成した。無料で使用できる回路シミュレータはこの他に「LTspice/SwCAD III」³⁾や「ECirc 電気回路」⁴⁾などがある。特に「ECirc 電気回路」は、配置できるデバイスは少ないが、実体配線図に近く、初学者でも扱えるよう配慮されたフリーウェアであり、中学生や高校生の学習に適すると考える。

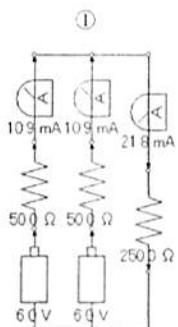
シミュレーション実施後のデータの取り方は使用するソフトウェアごとに異なるが、例えば「CircuitMaker Student V6.2c」では、画面上にあるテスターのプローブを測定したい箇所に置くことで測定でき、「ECirc 電気回路」では電流計や電圧計を配置することで測定できるなど、扱いは比較的容易である。

解答例1

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad I(R1) &= 10.9 \text{ [mA]} \\ I(R2) &= 10.9 \text{ [mA]} \\ I(R3) &= 21.8 \text{ [mA]} \end{aligned}$$

- ③ $P(R1) = 5.94 \text{ [mW]}$
 $P(R2) = 5.94 \text{ [mW]}$
 $P(R3) = 118.8 \text{ [mW]}$

- ④ 各抵抗を電球に置き換えて考えた場合、R3がR1、R2の約20倍の明るさになることがわかる。



※ 本図は「ECirc 電気回路」を使用して作成した。

2.2 課題例2：連立方程式の計算

キルヒホッフの法則を使って回路に流れる電流を求め、実験値やシミュレーションの結果を評価するためには、連立方程式を立てて計算を行う必要があるが、計算が得意でない生徒もいるため、指導には工夫をする。また、計算が得意な生徒にとっても、抵抗の値などを変えて結果を比較したりする場合は、計算にかなりの時間を要するため、考察の時間を十分に確保することが課題となる。

この課題を解決するためには、連立方程式の基本的な解法に習熟した生徒に電卓やコンピュータを使用させることが効果的と考え、課題例2を作成した。

課題例2

- ① 課題例1の回路にキルヒホッフの法則を適用し、連立方程式を作成しよう。
- ② ①の連立方程式を解き、各抵抗を流れる電流の値を求め、課題例1の結果と比較しよう。
- ③ 次の公式を参考にして、電卓を使って連立方程式を解いてみよう。

○ 電卓による解法

$$\begin{cases} ax+by=e \\ cx+dy=f \end{cases} \quad \text{が成立する時、}$$

$$\begin{cases} x = \frac{de - bf}{ad - bc} \\ y = \frac{af - ce}{ad - bc} \end{cases} \quad \text{が成り立つので、}$$

これを解の公式として使用し、電卓を用いて計算する。

- ④ 連立方程式の解法ツール「ソルバー」⁵⁾を利用して連立方程式を解いてみよう。

- ⑤ 逆行列関数(MINVERSE)⁶⁾を利用して連立方程式を解いてみよう。

実験実習を通して生徒の思考力を育成するためには、データを比較させたり原因について考察させたりする時間も確保する必要がある。そのためには、コンピュータを利用して計算の時間を短縮することが有効である。

指導上の留意点としては、できるだけ基本的な解法に習熟させてから使用させることとし、生徒にとってツールが答を出力するだけのブラックボックスとならないよう配慮する必要がある。

④の「ソルバー」は、結果が簡単に得られる実用的なツールである。使用方法の詳細は専門書に譲るが、基本的には、セルに成立させたい連立方程式を入れ、パラメータ設定の欄に必要事項を入力してからプログラムを走らせるという手順で使用するものである。

参考のため、ソルバーの「パラメータ設定」の入力フォーマットとプログラム実施後の「解答レポート」を図1、図2にそれぞれ示す。

図3の、逆行列関数による解法は、ソルバーと比較すると手順がやや複雑であることから、特に興味がある生徒に参考として紹介する程度にとどめる方が良いと考えている。

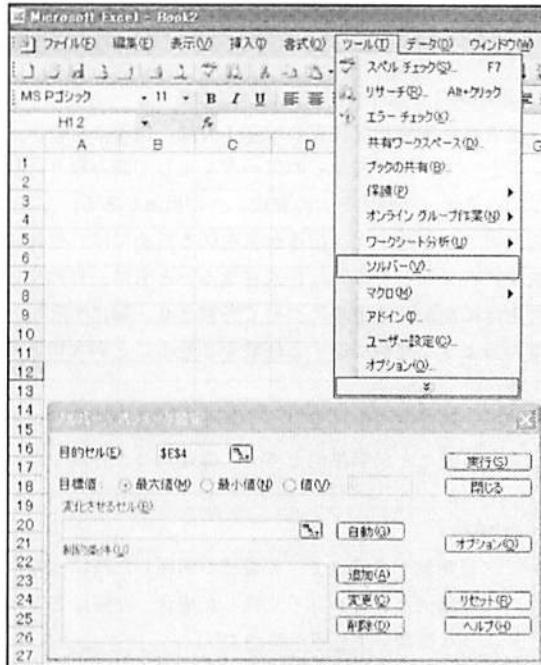


図1 パラメータ設定の入力フォーマット



図2 ソルバーの解答レポート（解答例1に等しい）

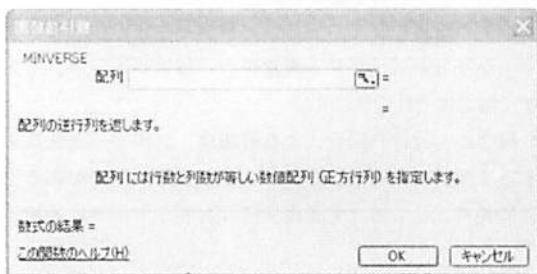


図3 逆行列関数(MINVERSE)

2.3 課題例3：表やグラフを使った考察

教育課程実施状況調査の地学Ⅰでは、指導改善のポイントとして「図や表などのデータを正しく読み取り、科学的に思考・判断する力の育成」への指摘がある。

このことを踏まえ、指導改善を図るために、生徒に表やグラフなどを実際に作成させるとともに、自然や日常生活にかかわる現象について考察させ、胸にすとんと落ちるような理解に達する経験をさせることが大切と考える。

そのためには、表計算ソフトを使って視覚的な表現を工夫させることが効果的と考え、課題例3を作成した。

課題例3

課題例1の回路で、乾電池が消耗した時に一方の乾電池だけを新品と交換した場合、回路にどのような影響が生じるか調べよう。

この課題を解決するための指導としては、実験や回路シミュレータで得た値を表にまとめさせたり、グラフに

基づいて考察させたりすることなどが考えられる。また、起電力と消費電力の関係を表す関数を求め、数値を変化させてシミュレーションを行い、結果を考察させることも効果的と考える。

解答例3

○乾電池V2の起電力Vを変化させる場合

$$\begin{cases} 50I(R1) + 250I(R3) = 6 \\ 50I(R2) + 250I(R3) = V \\ I(R1) + I(R2) - I(R3) = 0 \end{cases}$$

より

R1, R2, R3の消費電力は、[mW]単位では

$$P(R1) = \frac{20}{121} (V - 36)^2$$

$$P(R2) = \frac{720}{121} (V - 5)^2$$

$$P(R3) = \frac{100}{121} (V + 6)^2$$

となる

○電流…単位[mA]

V	I(R1)	I(R2)	I(R3)
0.00	65.45	-54.55	10.91
1.00	56.36	-43.64	12.73
2.00	47.27	-32.73	14.55
3.00	38.18	-21.82	16.36
4.00	29.09	-10.91	18.18
5.00	20.00	0.00	20.00
6.00	10.91	10.91	21.82

○消費電力…単位[mW]

V	P(R1)	P(R2)	P(R3)	計
0.00	214.21	148.76	29.75	392.73
1.00	158.84	95.21	40.50	294.55
2.00	111.74	53.55	52.89	218.18
3.00	72.89	23.80	66.94	163.64
4.00	42.31	5.95	82.64	130.91
5.00	20.00	0.00	100.00	120.00
6.00	5.95	5.95	119.01	130.91

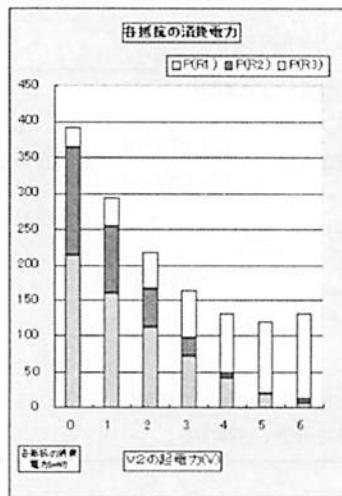


図4 V2の起電力と消費電力の関係

V2の起電力と消費電力の関係は図4のとおり。一方の乾電池の起電力の低下に伴い、全体の消費電力が徐々に大きくなることがわかる。

また、個々の抵抗の消費電力を比較すると、抵抗R3に比べR1、R2の消費電力が大きくなり、大量に発熱することが予想される。

起電力の異なる乾電池を、このように並列で使用することは危険である。

「ECirc 電気回路」を使ったシミュレーションでは、危険な設定を行った場合、回路には図5のように「危険」と表示される。このように、コンピュータ実習には、実際には設定できない条件の下で実施した場合の実験データが得られるというメリットもある。

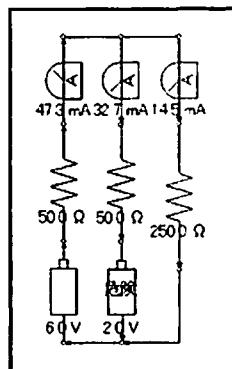


図5 「危険」の表示

2.4 課題例4：モデル図を使った考察

電気の分野の指導においては、「電気は難しい」というイメージを軽減するため、指導の過程で、目に見えない電流が見られるよう表現を工夫する必要がある。

そのためには、Office系ソフトの図形描画機能などを使い、モデル図を作成させる実習を行うことが効果的と考え、課題例4を作成した。

課題例4

課題例3で考察した結果を、モデル図を使ってわかりやすく説明するにはどのような図を作成したら良いか検討し、実際にモデル図を作成してみよう。

Excelを使って作図の指導を行う際には、

- すべての列幅を2に設定し、「グリッドを使った作図」をしやすくしておくこと
- 图形がグリッドに合わせて配置されるよう、「图形

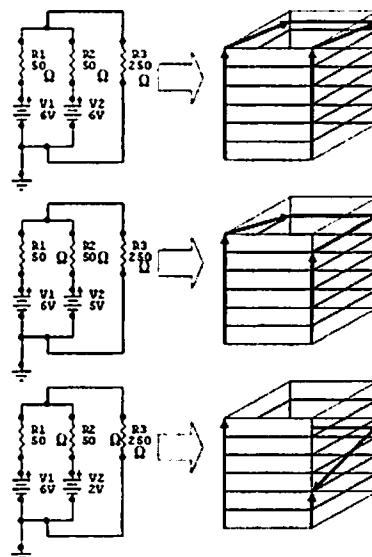
の調整」コマンドを使って調整することなどに留意する必要がある。

解答例4では、多くの教科書で使われている、電流を水流に見立てた立体モデル化の手法を生かし、一部分に限定したモデル化を試みた。

解答例4

モデル図（立体）の一段の差が1Vの電位差を表すものとし、奥行きの長さは抵抗（50Ω）の大きさを表すこととした。

このため、抵抗を配置した区間においては、傾きの大小が電流の大小に対応している。



モデル図から、V2の起電力が5Vを下回る時、乾電池に電流が逆流することがわかる。この逆流が、電池の発熱の原因となることが予想される。

3. まとめ

物理Iの指導改善のポイントとして指摘された事項を踏まえ、指導方法の改善について検討するため、4つの課題例の作成に取り組んできた。

この課題例を教材研究のたたき台として提示することにより、教科書を読み、説明を聞き、板書を写し、実験を行い、ドリルに取り組む、というこれまで理科の授業の基調となってきたスタイルに探究活動を取り入れ、指導方法をさらに豊かにしたいと考えた。

そのため、課題例の開発に当たっては、授業に無理な

く導入できるものとなるよう心がけた。

実際に導入する際には、回路シミュレータや表計算ソフトに習熟するための時間の確保が課題になると思われるが、生徒が普通教科「情報」での学習成果を生かして使用方法を身に付ければ、以後の学習は円滑に進むと考えられる。

探究課題を導入できるかどうかは、学校ごとに生徒の学習状況や指導のねらいにより異なるが、実験を補うため、自学自習のため、または考察の時間を生み出すためなど、それぞれの学校の指導のねらいに応じ、取り組みやすいところから導入していただければと期待している。

今後もこのような授業改善にかかるアイディアの交流を続け、21世紀にふさわしい物理教育の基盤整備に微力を尽くしていきたい。

資料

- 1) 国立教育政策研究所教育課程研究センター
http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h17_h/index.htm
- 2) 「電子回路シミュレータ入門」(講談社ブルーバックス)に所収されている。
- 3) 米・リニアテクノロジー社が提供する無料のソフトウェア。活用例は、「電子回路の基礎のキソ」(サイエンス・アイ新書)で豊富に紹介されている。
- 4) 電池、電球などを使って直流電気回路が作れる教育用フリー ウェア。
<http://www.vector.co.jp/soft/win95/edu/se142560.html>
- 5) Microsoft Excel のアドイン・ツール。具体的な使用方法は市販の解説書(トランジスタ技術 Special No.78「技術者のための Excel 活用研究」など)を参照のこと。
- 6) 5)と同じ。

商業高校の理科総合A指導事例

(「電気分野の実験」と「電気以外の物理分野の指導内容」の紹介)

小樽商業高等学校 武田伸彦

本校教育課程には物理がない。赴任以来4年間かろうじて物理分野を含む理科総合Aを担当していたのでその実践を報告する。

1はじめに

本校では理科必修科目はすべて2単位であり物理I IIは実施していない。通常、理科総合Aの電気分野はオームの法則→電力→ジュール熱の順に学習することになっている。しかし電気の導入としては、様々な実験が可能な静電気を扱い、電流にイメージをつなげていく方が生徒に理解しやすいと考える。使用可能な実験器具が少ない中で実施した実験を紹介する。

2-1 電気分野の実験

(1) 電子天秤を用いた静電気力の確認

1台しかないので演示実験で行う。

引力はアクリルで確認できる。



図1 スチロールとスチロール

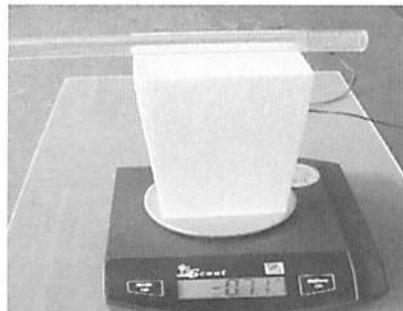


図2 スチロールとアクリル棒

図1は布で軽く摩擦した発泡スチロールをのせ、表示を0にリセットし、別の摩擦したスチロールを近づけると0.46gwと表示されている。重くなることで反発力が生じたことが確認できる。図2では-0.71gwと表示されている。軽くなつた分静電気力で引力が生じたことがわかる。

(2) 生徒実験

次に1時間の生徒実験を紹介する。

①ネオン管で静電気を確認しよう

用具～ネオン管、塩ビ管または塩ビ板、摩擦用の木綿布
方法～塩ビ管を布で摩擦しネオン管を接触させ、ネオン
管が光ることを確認する。

②塩ビ管を摩擦し、水道の蛇口から少し出した水に近づけたときの様子をスケッチしよう。

③ゼネコン（手回し発電機）の回転数とコンデンサーの充電量の関係を調べよう

用具～ゼネコン、ストップウォッチ、1Fコンデンサー、プロペラモーター、クリップ付きコード2本
方法～ゼネコンとコンデンサーを接続し充電した後、コンデンサーとプロペラモーターを接続し回転の持続時間を計測する。

ゼネコンの回転数 ↓						
5	放	10	放	15	放	20
26.28	電	60.00	電	78.56	電	124.88
プロペラモーターの回転時間(秒) ↑						

プロペラモーターの代わりに電子メロディーやLEDも使える。

2-2 電気以外の物理分野

前ページでも述べたように昨年度まで4年間理科総合Aを担当した。本校ではいうまでもなく専門科目の学習が優先である。化学I（2単位）生物I（3単位）は3年時に選択できるものの、物理分野の学習は1年時の理科総合A（以下、理総A）だけで終了する。つまり、進学して物理系科目を選択しない限りは、卒業後に物理を学ぶことはないのである。そこで、できるだけ物理分野の力学・熱・波・電気・原子（放射線）を取り上げた。波（光・音）は理科総合B（以下、理総B）の感覚器官（目・耳）や光合成に関連するし、毎年小数だが看護系に進学する者もいるので必要と考えた。

2-3 指導内容概略

①仕事とエネルギー

等速運動、等加速度運動を学習した後、生徒実験で「重力加速度の測定」（グラフの描き方）を実施

力は、加圧を利用してできる「ジャムの瓶に入った硬式テニスボール」と1000atm（水深1万m）で変形したカップ麺容器を教室で回観した。



↑瓶の中のテニスボール
↑縮んだカップ麺容器

②熱と仕事

この単元ではデモ実験として「圧縮発火」と「自転車用空気入れとペットボトルで雪（断熱膨張）」を発生させる演示をした。

③波

波長・振動数・定常波（記録タイマーと糸で演示）・回折・干渉などの概念を説明した後、「音」ではオルガ

ン管で開管・閉管の音の高低、モノコードで弦の長さと音の高さ、音叉と紙筒や広口ビンで共鳴などデモ実験。

「光」はレーザーの語の由来、レーザーポインターとグレーチングレプリカで回折の演示、光ファイバー、自然光と偏光、偏光板と顕微鏡で岩石プレパラートの観察（生徒実習：生物顕微鏡のステージに偏光板をセロテープで固定し、もう1枚の偏光板は底を切り取ったフィルムケースに貼って接眼レンズにかぶせれば簡易鉱物顕微鏡になる）波の単元はできるだけ見せ聞かせ観察させるようにした。

④原子・放射線

被爆線量（シーベルト）、原子炉の構造、放射線の利用でグラフト重合を簡単に説明し、デモ実験あるいは実物の回観として消臭剤やマスク、電子線によるアクリル破壊でできたりヒテンベルク图形、オートラジオグラフィーなど。簡易GMキットと線源（閃ウラン鉱など）を用いて、距離による減衰、金属による遮蔽効果、 α 線、 γ 線の透過力などをデモ実験で実施した。過去4年間、毎年秋に放射線計測協会より、「はかるくん」をお借りし、4人で1班の10班で校舎内外の測定を行った。

3まとめ

ともすると現象を観察するだけに止まる点は否定できない。冒頭にも述べたように今後物理を学ぶことがないであろう生徒にできる限り物理の様々な分野を知ってほしいとの願いをこめて実施した。

4参考文献

- 1) 米田隆恒 電子天秤による静電気力の測定 物理教育第46巻第5号

太陽電池と振動モーターを用いた低コスト教材の製作

(小中学生が環境技術の初步を学ぶきっかけとして)

エコエネ工房 石毛 隆 北海道教育大学札幌校 岡崎 隆

太陽電池（光電池）の実験は小学4年生の理科が最初であるが、その後、総合学習で扱うことがなければ触れる機会がほとんど無いのが実情である。もっと気軽に身近な実験装置として小中学生が自ら作り、学べるような教材を目指し、太陽電池と振動モーター、歯ブラシ等を主な部品・材料とする「光で動きまわる太陽電池」を子供たちとともに製作し、環境技術の初步を学ぶきっかけとした。

キーワード 太陽電池、振動モーター、歯ブラシ、環境技術

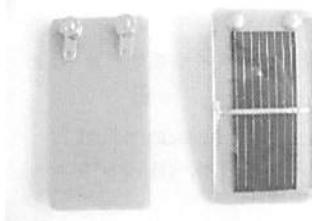
1. はじめに

環境技術の代表として太陽電池は有名であるが、教材としての太陽電池は価格面で気軽に使えない現状がある。たとえば市販の小4理科教材であるソーラーカー^①には太陽電池は含まれず、購入はオプション扱いである。しかしながら環境技術を学ぶきっかけとして太陽電池は重要な教材である。子供たちが各自家に持ち帰り、日光や電灯をあてて実験することが、興味や関心、さまざまな疑問を生みだす基になり、将来、環境問題を解決する糸口になる可能性があるのではないだろうか。そういう観点から、できるかぎり低コストで簡単に製作可能な太陽電池教材を考案し、子供たちとともに製作、実験を試みた。

2. 太陽電池教材の製作

2. 1 主な部品・材料

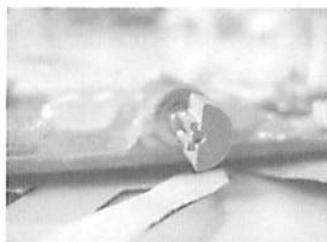
まず市販されている低価格の太陽電池を探したところ、(株)秋月電子通商^②で販売されていたシリコン太陽電池モジュール（ガラスエポキシボードに太陽電池を防水加工したユニット）が価格面と取り扱いやすさから適当と思われ購入した。



- ・開放定格電圧 0.5V
- ・短絡最大電流 300mA
- ・サイズ W33mm × L63mm

次に振動モーターであるが、上記の太陽電池で動作可能な条件で探したところ、松本無線ジャンクセンター^③で販売されていた携帯用パイプモーターが性能面、価格面ともに適していたことから購入した。

- ・起動電圧 0.48V
- ・起動電流 130mA
- ・サイズ RΦ3.0mm × L4.25mm



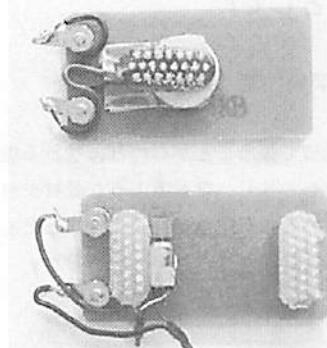
振動のメカニズムは、半割り重りの高速回転によるトルク変動といういたってシンプルな仕組みである。また歯ブラシは、100円ショップの6本セットがコスト面でおすすめであるが、使い古しの歯ブラシをリサイクルすることが環境面でベストの選択であることは言うまでもない。あとは両面テープとホットボンド（グルーガン）、ケント紙、マジック等があれば良い。

これらの部品・材料を購入して使用した場合、かかる費用は1個あたり300円程度であり、低コスト教材と言えるレベルといえよう。

2. 2 組立

組立ては、まず太陽電池の電極端子ネジに振動モーターのリード線を軽く巻き付け、ナットでしっかりと締め付ける。ここで太陽電池のおもて面（濃紺色側）に太陽光もしくは白熱電球の光を当てモーターと太陽電池に間

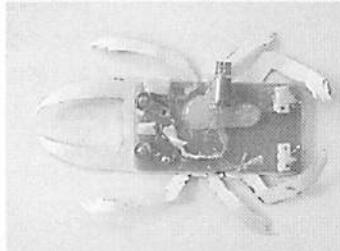
題が無いことを確認する。次に振動モーターと歯ブラシを両面テープで貼り付け上記と同様に動作確認を行う。



左の写真は円盤型振動モーターに歯ブラシ1個だけ取り付けた最も初期のタイプと、円筒型携帯用バイブモーターに歯ブラシ2個を使用した改良タイプの2種である。動作確認をするとクルクル

その場で回転するものが多いのが特徴である。

初期タイプで使用した円盤型振動モーターは起動電圧が0.3Vより低電圧で、かすかな光でも動き出す良好なモーターであったが、振動力が小さいためか、残念ながら生産中止になり入手不可能な状況である。



次の写真は円筒型携帯用バイブモーターを取り付け、4分割の歯ブラシを足とした軽量化タイプのものに補

強用のホットボンドを施工した例である。

同時に子供たちにとって親しみ易い形状として、光を当てるとき動きまわる様子が虫のようであることから⁴⁾、太陽電池のおもて面側に発電に必要な開口部を設けた虫型の絵をはり付けてみた。

さらに「振動モーター+太陽電池+虫」からネーミングを「ブルブル・ソーラー・ムシキング」とした。

また歯ブラシの代わりに細い針金等を足にすることも有効であり、進行方向をコントロールする実験につながる。

3. 実験について

3. 1 小学生向け

部品の組立、工作等は低学年から可能であり、光で動く「おもちゃ」として自分で作ることに意義を見いだし

たい。また複数の「ブルブル・ソーラー・ムシキング」で土俵の上の相撲のような対戦や、コースにそって走るスピードを競うゲームとして遊ぶことで、いろいろな疑問が芽生えることが期待される。4年生以上であれば光の強さとモーターの回転速度の関係、振動モーターの仕組み、振動する歯ブラシが動く理由⁵⁾、進行方向のコントロール（歯ブラシにくせをつける）等の実験が可能である。

3. 2 中学生向け



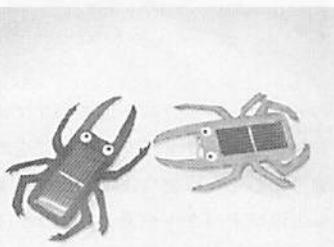
左の写真は、本教材を北海道教育大学札幌校で小中学校の先生方に紹介し、2006年度に石狩市立聚富小中学校において中学

3年生の選択理科授業で実際に製作して頂いたものである。構造の写真と部品を渡して、あとは生徒達が自由に楽しんで作った作品のことであった。中学生以上には、まずエネルギーとしての光を感じてもらい、次に本教材を用いて光の強度と電流、電圧の測定を行うことで、太陽電池の出力エネルギー（電流×電圧の面積）を評価するレベルまで発展することを期待したい。

4. おわりに

光で動く「おもちゃ」ではあるものの、日光があたれば動きつづける「ブルブル・ソーラー・ムシキング」は、ソーラーパワーを身边に感じてもらうことができる教材である。目の前で動きつづける太陽電池の「虫」を見ていると、大人（筆者）たちにとっても新鮮な面白さを感じるものがある。

子供たちが自ら作り「自分だったらこうしたい」という「想い」が将来の環境技術にプラスになると信じることは、環境問題を解決できない我々大人たちにとって、大切なことではないだろうか。



参考文献・資料

- 1) (株) 大和科学教材研究所 ダイワ電気と光 SG-R
- 2) <http://akizukidenshi.com/>
- 3) <http://business1.plala.or.jp/mjc-home/part.html>
- 4) 足利裕人編著：つくる科学の本、(株)シータスク、pp.52～55、1999
- 5) Se-yuen Mak, Siu-ling Wong : A Brush-Creeper, THE PHYSICS TEACHER, Vol.44 December, pp.572～573, 2006

モアレと節線

(波数ベクトルと周期性)

The moiré fringes and nodal lines

(Wave number vectors and the special periodicity)

北海道厚真高等学校 永田敏夫
Hokkaido Atsuma High School NAGATA Toshio

干渉現象は周期現象の位相差を読み取ることも考えられる。ここでは、模様の持つ空間周期性を取り上げ、スダレのような波面が直線の平面波、パンチングメタルやビー玉を使った格子点、同心円や放射線などの場合に見られるモアレを利用した干渉の学習素材を提供する。

The interference phenomena are thought as observation of phase differences of periodic phenomena. We consider about special periodicities of patterns. Then discuss about the nodal lines of superposing patterns of lines, lattice points of punching metals and glass beads, concentric circles and radial lines.

キーワード 干渉現象 モアレ 格子点 同心円 放射線 ビー玉

interference moiré lattice point concentric circle radial lines glass beads

モアレは、規則的な模様を重ね合わせたときに現れる元の模様とは異なる模様だが、波動と大変よく似ている。波動と異なる点は、時間変化をしないところにある。勿論、周期性物体を時間的に動かせば波動そのものである。空間の周期的な変化を重ね合わせた場合、強めあったり弱めあったりして定常波のように節や腹を作る。

空間周期性とその重ね合わせは現象として扱いやすく、波動の性質を理解する上でも有効である。

1. 平面波の干渉

OHPシートに平行線と隙間を等間隔で描いた場合、間隔を変えたものと同一方向で重ね合わせると、単位長さ当たりの波の数即ち波数差に応じた節（モアレ）が観測される。スダレのような場合は、直線状の波面が、波面と直交方向に進む波に相当し、波面が直線なので直線波とも呼べる。ただし、時間的に位相が進まない。空間的には、進行方向に位相が進んでいる。したがって、音のように疎密が、進行方向に伝わる波とよく似ている。

一次元の波を重ね合わせると音のうなりと同様の状況が起こる。音は時間を独立変数とするが、この場合は空間軸が独立変数となっている。時間周期性を振動数で表現するのに対し、空間周期は波数で表現できる。音のうなりの振動数が、音の振動数の差で与えられたと類似して、平面波のモアレの波数は、波数の差で与えられる。（Fig.1）

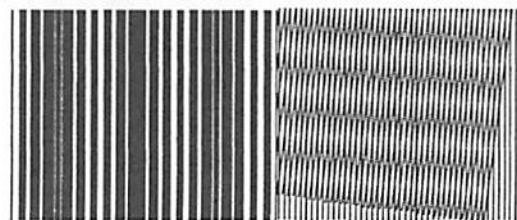


Fig.1 different wave numbers

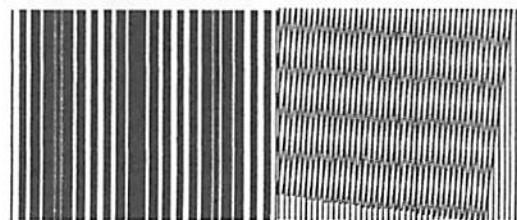


Fig.2 different directions

これに対して、波数の等しいシートを回転させて重ねると波の進行方向がずれ、ずらした直線の本数だけ干渉縦、節が生じる。このときは、波数ベクトルとして扱うと考えやすい。同じ波数を持っていた2つの平面波は、大きさは等しいが、向きの異なる2つのベクトルで示される。その向きが波の進行方向で大きさが波数に比例するベクトルは波数ベクトルと呼ばれている。新しくできる節の波数ベクトルは、2つの平面波の波数ベクトルの差となっている。（Fig.2）

2. 格子の干渉

2次元の周期性を持つものの干渉を考えるとき、2次元格子の重ね合わせは、1次元格子からの発展として扱っていくことができる。これに、有効なものは、ネットやパンチングメタル、ビー玉格子がある。プラスチックネットは、正方格子を形成しており、平行光線と影を利用して、立体の等高線を描かせることもできる。

2. 1 パンチングメタルの重ね合わせ

パンチングメタルには、いろいろな孔や周期性のものがある。並目という正方格子のものや千鳥という三角格子(60度間隔)のものが特に周期性に着目しやすい。並目のものは、互いに直交する2つの波面を持ち、千鳥のものは、互いに120°回転させると重なる波面を持つ。並目のものの場合も千鳥の目のもの場合も重ねると、節の部分が暗くなり、腹の部分が明るくなる。節の波数は、元のメタルの格子点の波数差で与えられることになり、干渉模様も元のパンチングメタルと同じ対称性を示す。(Fig.3,4,5,6) 特に、パンチングメタルでは、面の形状が安定しているので、互いに傾けたりして面間に隙間を空けると、それに応じた干渉模様が観察される。

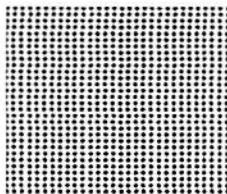


Fig.3 normal lattice

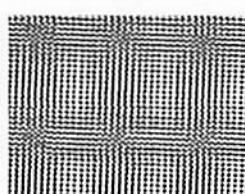


Fig.4 interference



Fig.5 zigzag lattice

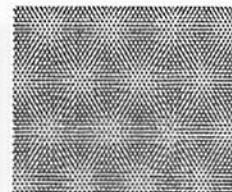


Fig.6 interference

2. 2 ビー玉を利用したモアレ

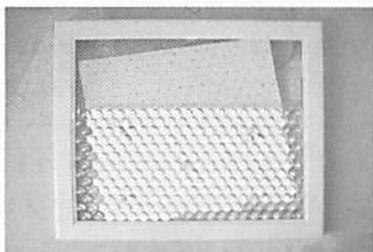


Fig.7 glass globe lattice interference

格子点を描いたシートの上に、透明ビー玉を並べていくと、シートの格子点とビー玉の格子が干渉して、モアレが現れる。パンチングメタルの千鳥格子と同様だが、ビー玉は、球形でレンズの働きをするために、干渉模様が拡大されたり、見る位置を変えると、モアレが動くのも興味深い。(Fig.7)

3. 同心円と放射線

モアレの発生原理を活用すると、同心円や放射状直線の干涉模様の理解がしやすい。同心円では、中心間の距離が小さいときは、節線は放射状の直線を、大きくなると双曲線を示す。一方放射線の重ね合わせは、それが小さいとき、双極子の磁界と似た様子(円形)を示す。これも、波数ベクトルが、同心円の場合は放射線状に、放射線の場合は同心円状になり、それらの差が新しい波数ベクトルを作ると考えると理解しやすい。(Fig.8, 9, 10, 11)



Fig.8 concentric circle

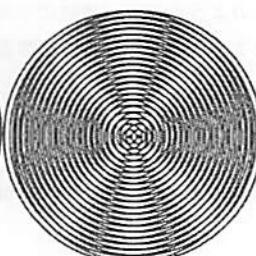


Fig.9 interference

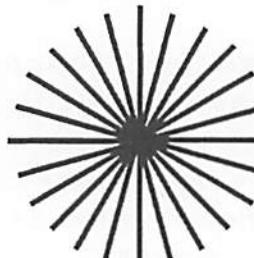


Fig.10 radial lines

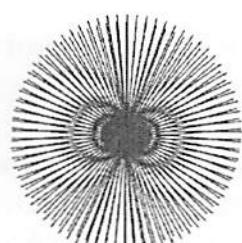


Fig.11 interference

同心円と放射線の相似性は、直線が点の連続であったことを、概念ではなく実体で示すと興味深い。(Fig.12, 13)

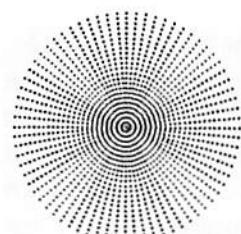


Fig.12 dotted radial lines

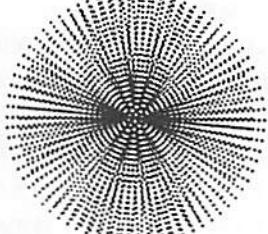


Fig.13 interference

モアレは2次元周期性の干渉現象だから、2次元として我々が捕らえる映像も干渉現象の自分に対する方向依存性をその視野角の変化で捕らえるところに3次元と2次元をつなぐ干渉現象が介在すると考えている。

参考文献

永田敏夫 モアレ学習材の開発と波数ベクトル 59 物理教育 55-NO.1 (2007)

デジタル教材は生徒の理解を助けるか

(家庭学習の強化を目指す高校物理インターネット学習の試み)

北海道函館中部高等学校 関川 準之助

授業時数不足を補い生徒の家庭学習を強化するために、教育管理ソフトMoodleを利用した物理Web学習を昨秋から授業と平行して開始した。内容は「問題演習」が中心だが、「単元のまとめ」では演示実験も動画で貼り付けた。生徒アンケートによると、理解を助ける度合いは「ビデオ映像」が「リアルな演示実験」より上だった。生徒を取り巻く環境は圧倒的にヴァーチャルであり、このような学習も理解を助けるものとして有効だと思われる。

キーワード blended learning、Moodle、デジタル教材、インターネット学習

1. はじめに

1.1. 新カリ「物理」の問題点

新教育課程に伴い、最も大幅な改訂が行われた科目が「物理」だった。新課程では、中学校から先送りされた項目がいくつかあり、その分教えるべき内容が増加した。そのため、物理IIの後半が分野を選択して履修することになった。幸い大学入学二次試験では、殆どの大学が出題分野を限定したため、生徒が履修していないところから出題されるという事態は避けられたが、これから時代の一般常識として必要な原子力や放射線が出題範囲から除外されている。私自身も当初は全分野の授業をやることを目指したが、受験に対応するための演習時間の不足などから、不十分なものに終わってしまった。教科書をやるにせよ、演習をするにせよ、絶対的に授業時数が足りない、というのが新カリ物理の問題点だ。

1.2. 本校生徒の家庭学習への取り組み

・生徒の家庭学習時間の実態

今回、このプロジェクトを始めるにあたり、本校2年物理選択者を対象にアンケート調査を実施した。

★家庭学習時間(平均) 平日 75分、休日 91分

(物理学習時間 平日 8分、休日 10分)

・生徒の家庭学習時間確保の必要性

高校物理の授業にあたっては、実験・観察にもとづくリアルな物理現象の把握、物理的な概念を理論と実験を通じて理解すること、数理的関係式を利用して問題を解くこと、などを同時に進めていく必要がある。しかし、これは限られた授業時間では困難であり、家庭での学習習慣が定着していない生徒には授業効果が上がらないばかりか、物理に対する苦手意識を助長しているものと思われる。

上記の結果の通り、多くの生徒は家では数学や英語の

予習や復習に追われて、物理にまで手が回らない、というのが実態のようだ。

このため、生徒が家庭で学習するための新たなチャンネル(場)として対面授業とタイアップしたeラーニングサイト作りの検討を始めた。

2. 家庭学習強化のためのeラーニング

2.1. 物理eラーニングの現状

Webで調べてみると、最近は大学の物理教育でeラーニングに取り組むところが増加しているようだ。特に大学では講義のコマ数が少ないため、反復学習による定着をねらって授業をeラーニング化しているようだ。

2.2. 私のeラーニングに対する考え方

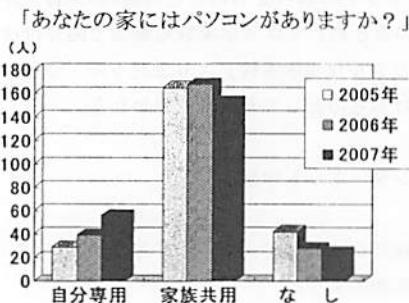
私は、学習者に本当にインパクトを与えるのは対面での授業だと考えている。特に物理では演示実験や生徒実験で生徒自身がリアルな物理現象を観察することで物理的な概念が身に付くものと思う。

ただ、昨年から動画投稿サイト「YouTube」が話題になっているように、近年のブロードバンドの普及により実験・観察を補うための動画コンテンツの実用的な利用も視野に入ってきた。また、生徒の家にインターネットに接続されたパソコンがあることは、今や当たり前のことになってしまった。

そこで、上記のような新カリで直面した問題点を克服するために、生徒が家でインターネットからサーバーにアクセスして復習や演習を中心に学習するような自前のシステムを作ることにした。この場合、学校の授業は従来通りで、それを生徒の家庭学習で補うためのeラーニングということになる。(このことをblended-learningと呼ぶようだが、長い名称なので本稿ではWeb学習と呼ぶことにする。)

2.3. 生徒のインターネット接続環境の実態

ところで、生徒の家庭でのインターネット接続環境はどうなっているのだろうか。私が担当している「情報」の授業の中で毎年4月に2年生240名に実施している実態調査アンケートの結果の一部を以下に載せる。



このように、生徒の家庭のパソコン保有状況は、年を追う毎に改善されている。さらに、回線速度では生徒全體の8割近くがADSL接続以上のブロードバンドになっている。

そこで、家からのアクセスが難しい生徒には、学校の情報処理教室のパソコンを放課後に開放することにしてWeb学習を開始することにした。

2.4. Web学習のねらいと特徴

このWeb学習の狙いは、通常の授業と並行して生徒が家庭からインターネット・サイトで学習することで、生徒の家庭学習を定着させ、その結果として「物理が分かる」生徒を増やすことにある。

そして、"誰でも練習すると必ず自転車に乗れるようになる"のと同じように、"誰でも物理が分かるようになる"ような、授業と一体化した物理学習コースを作ることを目指すことにした。

ところで、物理が"分かる"と書いたが、物理は概念を学ぶ科目なので、本当の意味で物理が「分かる」 = 「概念を理解する」こと、になる。そして、その段階の前に「教科書などに載っている問題が解ける」という段階がある。このWeb学習は、まず「教科書などに載っている問題が解ける」ことを目指している。

このWeb学習の特徴は以下の通り。

- ①生徒が家庭で物理を学習する時間を確保し、学習内容の定着と深化を図る。
- ②そのため、インターネットで何時でも何處からでもアクセスできるようにする。
- ③内容は、時数不足で十分に授業で取り上げることができない問題演習を中心とする。

④ブロードバンド時代を迎えてWeb教材に動画を加えることも可能になったので、「単元のまとめ」では授業とは別の角度からアプローチし、生徒の理解を促す。

例1：「力の表し方」

授業では、及ぼす力・受ける力・作用反作用・力のつりあい、などが次々と出てきて、混乱してしまう生徒も少なくないが、Web教材の「まとめ」では“受ける力”に一本化し、それに着目する問題を次々と出すことで生徒の理解を促す。

例2：「慣性の法則」

物理教育の研究者によれば、生徒は物理の授業を受ける以前に、すでに自分の周りの世界がどのように機能するかについて、彼ら独自のイメージや概念を持っているという。例えば、"重いものほど速く落ちる"、"動き続けるためには力を加え続ける必要がある"などといった生徒の中の「アリストテレス的自然観」を覆すために、授業の中で見せた演示実験やビデオ教材に加えて、新たな動画教材をWeb上で提示し、より一層の深い理解を促すことを狙っている。

⑤公欠（高体連等への参加のための欠席）などで授業を受けられなかつた生徒が、後からその授業の要点を確認できるようにする。

⑥授業を受けた生徒でも、その分野のポイントがわかり、さらに理解が深まるようにする。また、教室での演示実験が後ろの席から見えにくい生徒もいるので、効果的なものは動画教材としてコンテンツに取り入れる。また、クイズ的な動画も加えて興味を引くようにする。

例1：「力のつりあい」

台の上で浮上している磁石全体を秤にのせ、全体の重量がどうなるか考えさせる。

例2：「圧力」

水が入っているペットボトルを水槽の上で逆さまにして排水し、水がどの位置で止まるか、考えさせる。

⑦全コンテンツを一気に生徒に与えるのではなく、授業と平行して分野の区切りごとに生徒に公開し、利用した生徒の声を聞いて改良しながら作り上げていく。

2.5. コンテンツの構成

コンテンツの構成は以下の通り。

- ①復習コーナー … 演示実験（動画）+要点整理でポイントの確認
- ②演習コーナー … 問題演習
- ③発展コーナー … Web上の有用サイトへのリンク
- ④フォーラム（掲示板）、チャット … 疑問を生徒が教え合うようになれば学習効果がさらに期待できる。

3. 取り組みの実際

3.1. サーバー・システムの準備

★サーバー

Dell PowerEdge SC1425 (64 ビット Xeon プロセッサー
2.8GHz + 1GB メモリ + 80GB HDD)

★OS 等

TurboLinux 10 Server + PHP、Apache、MySQL

★教育管理ソフト

Moodle

※ Moodle はインターネット上で学習用の Web ページを作るためのオープンソース・ソフトウェア。教育学でいう社会的構成主義（「他の人に見てもらうためのモノを作る活動を通じて、知識体系を構築する社会的过程（グループで何かをすること）にかかわっているときに、最もよく学べるのだ」）の考え方に基づいて作られており、Wiki、チャット、ワークショップなどグループ学習に最適なモジュールも含め、多彩なモジュールが用意されている。現時点では大学の英語教育用 e ラーニングソフトとしての利用が多い。

3.2. 教材の準備

準備を始めた昨年 8 月にはまだ Moodle の解説本もなく、また Moodle のオンライン・マニュアルも英文だったので、多彩に用意されている活動モジュールの中のどれを使えば私がイメージしている教材が作れるのか、当初は手探りの状態だったが、試行錯誤の末、以下のモジュールを使うことにした。

- ・レッスンモジュール ……「単元のまとめ（動画も貼り付けられる）」「問題演習」
- ・投票モジュール ……レッスン終了直後に生徒に理解度を投票してもらう。
- ・フォーラムモジュール ……いわゆる“掲示板”で、日常的に携帯メールに慣れている生徒が教え合う場となればいい、と考えて設置した。

3.3. 運用の実際

★運用開始日 2006 年 10 月 12 日

★ URL <http://moodle.kanchu-h.ed.jp/moodle/> (生徒がアクセスしやすいように、「函館中部高校 HP」からリンクを張っている)

★対象生徒 本校 2 年、物理選択者 86 名

◎教材の使い方

生徒は、インターネット経由で「物理 Web 学習」のサイトに接続し、あらかじめ配付された“ユーザー名”、“

ハスワード”でログインし、単元毎の「まとめ」「問題演習」に取り組んでいく。その際、生徒はあらかじめパソコンの前に紙と鉛筆を用意し、まず、まとめや問題を紙に書き写してから問題に取り組むように、最初のオリエンテーションで指導した。

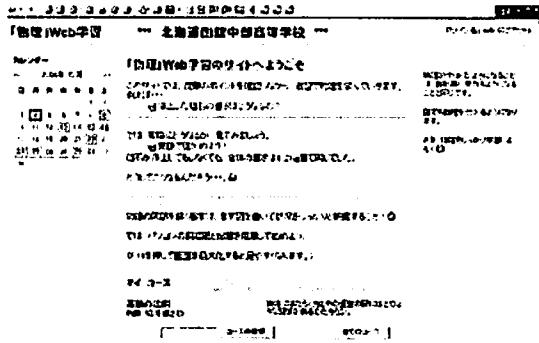
物理の問題を解く基本は、まず問題の要点を紙に書き写すことだが、最近はそれを面倒がる生徒が多いように感じる。それを習慣づけるためのちょうどいい機会になると思う。

◎「物理 Web 学習」の科目内での位置付け

運用開始日に生徒を情報処理教室に集め、オリエンテーションを行った。その中で生徒たちには、次の定期試験を目指し授業と平行して教材をアップしていくから、そのつど家や学校からアクセスして遅れないでこなしていくように呼びかけた。更に動機付けとして、これらの問題から定期試験にも出題することにしてその旨を生徒にも伝えた。

◎利用する生徒の様子

先の生徒アンケート結果にもあるように、今や家庭からインターネットに接続することが出来るのは当たり前の時代になった。但し、希望する生徒には放課後の定時制の授業が始まる前の時間帯に情報処理教室を開放して利用しやすいうにした。特に運動部に入っている生徒は部活動の前後に取り組んでいたが、友人と一緒に来て競い合ったり教え合ったりしていた。



【ログイン画面の様子】

4. 生徒の反応

◎各レッスン終了後の理解度アンケート結果

Moodle の投票モジュールで生徒の理解度を調査した。投票の強制はしなかったので、絶対数は少ないが、今後さらに生徒の要望を聞きながら内容を改善していくつもりだ。

レッスン名	レッスンの理解度				平均 (中央2.5)
	とても④	まあまあ③	あまり②	まったく①	
力の表し方	16	15	6	0	3.3
力のつりあい	6	12	9	3	2.7
運動方程式（摩擦なし）	9	12	6	2	3.0
摩擦力	9	11	3	0	3.3
運動方程式（摩擦あり）	2	12	8	0	2.7
剛体のつりあい	4	7	2	1	3.0
仕事と力学的エネルギー	4	8	1	1	3.1

る。

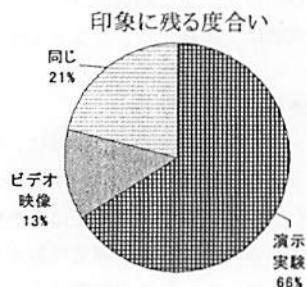
5. 今後の取り組み

生徒が学習するベースになるサイトが出来たので、今後は、単元毎に過去に自作した教材サイトや世界中の優れた物理 e ラーニングサイトへのリンクを張り、発展的な内容にふれさせるように工夫していきたい。

◎リアルとヴァーチャルの比較アンケート結果

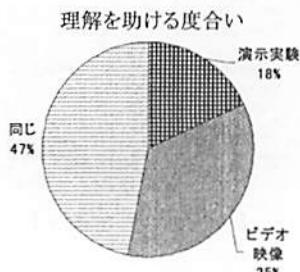
物理 Web 学習開始半年後に実施したアンケートの結果は以下の通りだった。

Q 1. 実物を生で見る演示実験とデジタル教材などのビデオ映像を比較すると、印象に残る度合いはどう違いますか。



- ・インパクトの強さは、やはりリアル体験に軍配が上がる。

Q 2. 実物を生で見る演示実験とデジタル教材などのビデオ映像を比較すると、理解を助ける度合いはどう違いますか。



- ・「練られたヴァーチャル体験」 VS 「リアル体験」ではヴァーチャル体験に軍配が上がった。これはリアルな演示実験であっても座席によっては見えにくかったりすることも影響していると思われる。

- ・インターネットやテレビなど、生徒を取り巻く環境は圧倒的にヴァーチャルな映像が多く、このような学習も生徒の理解を助けるものとして有効だと判断してい

波動の学習内容とその指導に関する疑問

(統一的な見方か、個別の現象か)

北海道木古内高等学校 稲子 寛信

高校物理で扱われている波動分野は、いずれの教科書でも「波動」「音波」「光」の3単元に分けて記載されているが、音波と光に関しては波動現象としての統一的な視点で取り扱っているというより個別の現象として説明されている感があり、雑多な感覚が残る。そこで、各教科書を比較して、学習の内容・構成について検討を図った。

キーワード 媒質依存性、音の要素と波動の関連、非弾性的媒質

1 媒質と波の速さの関係について

今回の論稿では、参考文献にある4教科書を参照したことを付記しておく。

教科書で取り扱う速さに関する知識は、概ね次の3点

①速度の関係式 $v = f\lambda$

②音波の温度依存 $V = 331.5 + 0.6t$ ($t < 273$)

また、媒質により音速が異なること。

③屈折の法則と速度。特に光の場合、絶対屈折率との関係 $v = c/n$ となっている。気になるのは、②で初めて波の速さの媒質依存性を扱う点である。

確かに、波長や周期、振動数などの波の基本要素と速度との関連を導くことは重要である。しかし、ウェーブマシンやハネの張力に応じて波の速さが変化するのは演示できるから、媒質の概念を出した時点で媒質の依存性に触れるべきではないだろうか。後で扱う音波や光では音速の温度依存性やフィズーの実験などについて詳述しているのだから（もっとも、この辺りは大学入試に出題される事項として、教科書も意識しているのかもしれないが）。

筆者は張力に応じて波の速さが変化することを引き合いにして、音速の媒質依存性については、媒質の弾性によって伝播の様子が変わると説明している。

（なお、媒質と波動に関して、A社教科書では固体・液体・気体でどの波が伝播できるか触れている。もし指導教員が地震波を具体例として縦波・横波を説明しているなら、触れるに値する内容だと思われる。）

2 音波や光の導入に関して

音波などは、基本の波動現象の後にある単元なので、波源や媒質を説明するのが自然である。しかし、明確にこれらの波の要素を説明している教科書は少ない。また光については

①光は媒質のない真空中でも伝わること

②光速cは真空中では一定であること

が記述されている。そうすると、始めに扱う波動との対応関係が根底から崩れてしまう。

教科書によっては記述のないものもあるが、やはり光の伝播は、正面に電場と磁場の変化を説明する必要があると考える。指導書では「弾性的媒質・非弾性的媒質」を言及している場合もあり、本来的にはこれらの分類を示す必要があるのかもしれない。

また、音波と光に関する導入部では、可聴領域や音の三要素、光の分類といった内容に触れているが、これも取り上げるタイミングが教科書で異なる。筆者の授業では、波動現象の一環として音波と光を扱っているので、これらの性質を定義的に扱うことは避けたいと考えている。

3 波動の基本現象の扱い

(1) 弦の振動に関して

高校で扱う波動の基本原理は、重ね合わせの原理とホイヘンスの原理の2つである。

一方、弦の振動は「重ね合わせの原理」で説明できるのに、音波で扱う場合が多い。ウェーブマシンなど1次元の波の重ね合わせの際に触れて構わないはずである。触れない理由は、

①反射法則が含まれているため

②基本・倍振動と基本・倍音を合わせるため

だろうが、反射法則は中学でも限定的に触れられおり、日常的な現象なので、定常波の説明で触れるべきと考える。

なお、本校で使用しているB社教科書では、定常波よりも波の干渉条件を先に扱っている。理由は不明である。この点に関しても、指導教員の考え方反映されるのではないだろうか。

(2) 波の反射・屈折に関して

現行課程では自由端・固定端反射を深く取り扱わない（一部

教科書を除く)が、更に取り扱いに困るのが【異なる媒質の境界面では反射が起こる】ことを説明しない点である。これでは、開管で起こる固有振動が説明できることになる。水面波の屈折では反射に一切触れていないが、一方で光の反射・屈折ではこれらが同時に起こる(これはエネルギー保存による)写真を載せている。

(3) 2つの原理のどちらを先に教えるか

重ね合わせの原理を先に扱う教科書が多いが、順番はどちらでもよいはずである。(1)に関連すれば、ホイヘンスの原理を先に扱えばよい。

しかし、そうした順番の教科書は今回の中にはなかった。それにも関わらず、例えば、C社教科書では自由端・固定端の問題の後にホイヘンスの原理と波の反射が載っているような場合もある。確かにホイヘンスの原理の内容は生徒には理解しにくい点もあるだろうし、反射については事前に説明しなくとも理解できる者が多いだろうが、教科書の流れとしては自然になるのではないか。

4 その他の現象について

(1) 共鳴・共振について

共振は弦振動や気柱振動の前後で扱われるが、音波の単元で扱うか考慮するべきである。

恐らく、気柱振動では固有振動が基本・倍振動と複数存在することと関連づけるためにこの辺りで扱うのだろう。しかし、共振なべなどの教材が掲載された教科書はなかった。

また、教科書では振動体の固有振動は一つの場合が多いように読み取れるが、物体の形状により固有振動は複数存在するので、この取り扱いにも疑問を感じる。

(2) 波のエネルギーについて

前述した音の三要素で、振幅が音の大きさを表すことを扱っている教科書がある。しかし、そもそも【波の持つエネルギーが振幅の2乗に比例する】ことに触れた教科書がない。教育課程上仕方ないのかもしれないが、全ての教科書には「波動とは、ある場所で起こった振動が伝播していく現象」と記述してある。即ち、波動はエネルギーの伝播現象である。これを触れないことは物理の指導上問題があるだろう。

5 まとめ

波全体の授業形態は、大きく二つ考えられる。

- ①豊富な実験から個別に各現象を取り扱う
 - ②波動現象をなるべく統一的に指導する
- 興味関心を持たせるか、系統的な理解を目指すか等、目標により授業形態は異なるが、波動では①②とも扱う「雑多な感覚」

が否めない(例えば、光の学習内容は波動・音波と関連させにくい)。一方で、波動の基本現象・音波・光を上手く関連付ければ、統一的な理解が進む新しい授業形態が出てくる可能性もある(例えば、D社教科書では音のレンズが掲載されている。光のレンズと音のレンズを対応させて、焦点に関する取り扱いを深めれば、パラボラアンテナも集音の原理も同じだと理解できるだろう)。

本論稿が問題提起になり、高等学校における波動の指導に関して議論が進めば幸いである。

参考文献

各検定教科書

1. 改訂版 高等学校 物理I (数研)
2. 高等学校 物理I 改訂版 (啓林館)
3. 物理I 新訂版 (実教)
4. 物理I (東書)

電磁誘導現象の発見を再考する

北海道大学大学院理学院自然史科学専攻 鶴岡 森昭

レンツ、ファラデー、ヘンリー等によって明らかにされた電磁誘導現象について、その発見の系譜を辿り、それらの発見者の歴史的役割を再考する。このことを通して電磁誘導現象の新たな教育的意義を検討する。さらに、現行物理教科書中の電磁誘導現象に関する記述内容の不正確な点にも言及する。

キーワード 電磁誘導、発見、歴史、物理教育、教科書

1. はじめに

イギリス王室エリザベス1世の侍医を務めていた W. Gilbert(英 1544-1603)によって、1600年に磁石と摩擦電気について初めて科学的な研究が行われたと言われている²⁾。しかし継続した電流を得ることができず、磁気や電気に関する探究のテンポは遅々たるものであった。その後電気の正体を巡る諸説が提案されたが、1800年には A. Volta (伊 1745-1827)によって電堆が発明された。この電堆によって、人類は継続した定常電流を得ることができた。この発明によって電気現象と磁気現象に関する探究が画期的な進展を見せた。19世紀に入って、様々な電気・磁気現象に関する発見が相次ぎ、電磁波の予言と実証、さらには現在普及が著しい携帯電話類の嚆矢となる無線通信実験と発展していった。

本論考では、現在享受している文化的生活に欠くことができない電磁誘導現象のしくみが発見される歴史を、電気現象・磁気現象との関わりで辿ってみたい。その過程でこの現象の発見過程が持つ教育的意義と、現行物理教科書の記述内容の不確かな点を指摘したい。

2. 電気・磁気現象発見の歴史²⁾

- 1600年 W. Gilbert (英) 磁石・摩擦電気発見
- 1747年 B. Franklin (米) 電気一流体説提示
- 1749年 B. Franklin (米) 電気火花説提示
- 1787年 C. A. Coulomb (仏) クーロンの法則発見
- 1791年 L. Galvani (伊) 動物電気
- 1800年 A.G.A.A. Volta (伊) 電堆の発明
- 1820年 H. G. Oersted (デンマーク) 電流の磁気作用発見
 - A. M. Ampere (仏) 平行電流間の研究
 - J.B. Biot, F. Savart (仏) ピオ・サバールの法則発見
- 1821年 T.J. Seebeck (エストニア) 磁気界閉路を鉄粉で図

示

- 1824年 D.F.J. Arago (仏) 金属円板の回転磁石に伴う回転現象発見
- 1827年 G.S. Ohm (独) オームの法則発見
- A.-M. Ampere (仏) 電流の磁気作用研究
- 1831年 M. Faraday (英) 電磁誘導の法則発見
- 1832年 J. Henry (米) 自己誘導発見
- 1834年 H.F.E. Lenz (エストニア) レンツの法則発見
- 1845年、1847年 F.E. Neumann (独) ノイマンの法則発表
- 1849年 G.R. Kirchhoff (独) キルヒhoffの法則発見
- 1864年 J.C. Maxwell (英) 電磁気学基礎理論確立、近接作用論、電磁波予測
- 1887年 H.R. Hertz (独) 電磁波を実証
- 1895年 G. Marconi (伊) 無線通信実験

3. 電気磁気相互作用発見の系譜

(1) H.G. Oersted 電流の磁気作用発見

磁針の上に電流を流すと磁針が振れることから、電流の磁気作用を発見した。

『磁針におよぼす電流の効果に関する実験』(1820年7月21日付)での報告¹⁾によると「・・・ガルヴァーニ電気の流れる直線の針金を、ふつうの磁針の上に水平の位置において支え、針金が磁針に平行であるようにした。そうすると、磁針は運動を示した。すなわち、磁針の北極がガルヴァーニ電気の陰極をさしているなら、それは西のほうにふれた。・・・金属の本性はその結果にたいして、まるで影響を与えたなかった。・・・導線を磁針の下側で、水平の位置にたもったばあいは、さきの作用はすべて反対の方向におこなわれた。」

Oerstedは自分の実験から、電流は「導線のなかに閉じこめられていないで、同時に周囲の空間に広がる」と

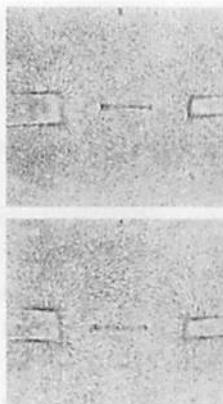
結論した。

(2) T.J. Seebeck の磁気作用の実験

『ガルヴァーニ電気の磁気について』(1821年)での報告¹⁾で、導線の周囲にあらわれる磁気作用を詳しく研究した。磁場或いは彼の言葉によれば、

「磁気雲団」を、鉄粉の実験によって証明した。

これは後に M. Faraday も実証した磁気指力線⁵⁾にあたる。1つの導線の指力線が、それに隣接する導線によって影響される。



(3) D.F.J. Arago の諸発見¹⁾

電流を通じたソレノイドの内部に入れた鋼鉄針を永久磁石化させる方法を考案した。また、一部は Gay-Lussac との共同研究であったが、電池の導線に鉄粉を近づけると、鉄粉がその導線によって引かれるという電磁気的相互作用を発見した。つまり、電流の流れる導線はそれ自身が1つの磁石であることを実証した。さらに、磁石がその位置にしたがって、金属回転盤によって斥けられたり引かれたりするという回転磁気も発見した。

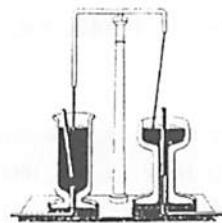
(4) A.M. Ampere の追実験

『二つの電流の相互作用に関する論文』¹⁾の中で、「陽電気の流れる方向を電流の方向とみなす」という重要な規定を採用した。また、「Ampere 泳者の法則」と言われているが、電流の方向を磁針の振れから決定した。つまり、人が電流の位置に身を置いたときに、電流が観察者の足から頭の方に向かって流れ、また観察者が顔を磁針の方に向いているものと考えるならば、電流は常に北を指す磁針の極を左の方へ偏らせる。

(5) Michael Faraday の発見²⁾

Michael Faraday は、Oersted が発見した電流の作用による磁石の振れを連続的に回転させることに成功した。これがいわゆる「電磁回転の発見」である。さらに、Oersted の発見した現象を逆さまにすることを試み、磁気の作用によって電流を引き起こすことに成功した

下記の写真と図は、Faraday が実験に使用した自作の布巻きコイルと電磁回転の概念図⁵⁾である。



これらの研究成果を M. Faraday は 1831 年 11 月 24 日に、Royal Society で朗読した。

この発見が「導線が磁力線を切ると、導線にはその切る割合（単位時間に切る磁束線）に比例する起電力を生じる」という「電磁誘導の法則」で物理の教科書に掲載されているものである。しかし、多くの物理教科書に記述されているように M. Faraday は決して数式表現はしていない！M. Faraday は自然現象の質的面に眼を注いだ実験自然哲学者であった。

(6) Joseph .Henry の発見^{1), 3)}

1832年に Joseph Henry は回路中の電流の変化によって生じた磁場変化が、回路中に起電力を引き起こすと言う「自己誘導」現象を発見し、“On the Production of Current and Sparks of Electricity and Magnetism”と言う論文を発表した。

この論文の発表された時期によって、電磁誘導は Michael Faraday に、自己誘導は Joseph .Henry に先取権が与えられている。

(7) H.F.E. Lenz の法則^{1), 3)}

別名として電磁感応の原則と言われる Lenz が発見した法則は、電磁感應現象の一般的法則である。「磁石または電流が、その運動によって第 2 の導体に及ぼす作用は、その導体がじぶんの中に感應電流を呼び起こす運動を阻止しようとする。」と記述される。

(8) Franz Ernst Neumann の感應電磁理論¹⁾

Faraday 等が発見した感應現象を、Franz Ernst Neumann が数理解析した。つまり、ある回路に誘起される起電力 E は、その回路を貫く磁束Φの減少する速度

に比例する。定式化されると、 $E = -d\Phi/dt$ （比例定数を 1 とする）と表示される。

(9) J.C. Maxwell による電磁波の予言

Cavendish Laboratory の初代所長を務めた J.C. Maxwell は 1864 年に電磁気学基礎理論を確立し、電磁気現象を Maxwell 方程式として定式化した。その成果の一つとして電磁波の存在を予言した。

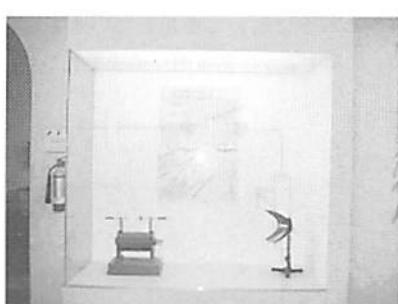
(10) H.R. Hertz による電磁波の実証

J.C. Maxwell が電磁波の存在を予言してから 23 年後の 1887 年、H.R. Hertz が下記の装置で電磁波を実証する実験に成功した。次の写真は 2002 年 10 月に筆者がミュンヘンのドイツ博物館で撮影したヘルツのブースである。



(11) G. Marconi による無線通信実験

1895 年、Marconi は、無線通信の実験に成功した。次の写真は、2002 年 10 月に筆者がミラノのダ・ヴィンチ博物館で撮影したマルコーニのブースである。



4. 現行高校物理教科書中の記述内容

現行学習指導要領に準拠した高校物理教科書^{6) ~ 11)}は 7 社から出版されている。本論考で取り上げた電磁誘導を扱っている物理 II の記述箇所を調査した結果、1 社 (T 社) の教科書で「Faraday の発見した電磁誘導の法則は、後に、ノイマンが定式化した。」ことが正確に記述されている。他の 6 社の物理教科書では、恰も M. Faraday が数理解析もしたかのごとく記述されている。

このような記述の仕方のままでは、生徒に誤解を与えることが危惧される。

5. 結 語

本論考では、現代文明社会で欠くことのできない通信機器の原理である電磁誘導現象に焦点を当てて、その発見の系譜を辿り再考してきた。現代においては電気現象の正体は電子やイオンなどであることを前提にして、電気現象の仕組みを説明することができる。しかし、その正体を究明するためには、当時なりに可能な実験道具を駆使して探究を繰り返した多くの自然哲学者（科学者）の情熱的な取り組みがあったことを、次代を担う若者に伝えることも必要なことである。

この度の電磁誘導現象発見の系譜においても、物理教科書では、ファラデー・ヘンリー・レンツの 3 名の科学者を主に取り上げて解説されている事例が多いが、物理教師にあっては、他にもその正体究明に貢献した人物が存在し、彼らの支えによって電磁気現象の本質に迫ることができたことも念頭において教科指導をすることが求められている。

<文 献>

- 1) 安田徳太郎：新訳 ダンネマン大自然科学史 第 9 卷、三省堂、1979.
- 2) 伊東俊太郎・坂本賢三・山田慶児・村上陽一郎：科学史技術史事典、好文社、1994.
- 3) M. Faraday : Experimental Researches in electricity, 1831 (古典化学シリーズ 10 ファラデー電気実験 (上)、田中豊助監訳、1980)
- 4) 今井功：パリティブックス 続間違いだらけの物理概念、丸善、1995.
- 5) J. M. Thomas : MICHAEL FARADAY AND THE ROYAL INSTITUTION THE Genius of Man and Place, 1991 (千原秀昭・黒田秀子訳：マイケル・ファラデー 天才科学者の軌跡、1996).
- 6) 三浦登他：物理 II、東京書籍株式会社、2007.
- 7) 西川哲治他：物理 II、大日本図書株式会社、2007.
- 8) 大規義彦他：物理 II 新訂版、実教出版株式会社、2007.
- 9) 兵頭俊夫他：高等学校物理 II、株式会社 三省堂、2006.
- 10) 兵藤申一他：高等学校物理 II、株式会社 新興出版啓林館、2007.
- 11) 國友正和他：改訂版 高等学校 物理 II、数研出版株式会社、2007.

LEDを利用した光の三原色実験セットの製作ならびに演示実践

千歳科学技術大学 長谷川 誠

発光ダイオード(LED)を用いた「光の三原色実験セット」を製作した。赤、青、緑の重ね合わせ(加法混色)による色の変化、さらには減法混色による色付きの影を容易に観察できる。小型プリント基板上に回路を作製してあるので容易に持ち運びができる、科学の祭典などの実験デモンストレーションや出前講義などで活用している。また、容易に作製できることから、実験参加者の人数にあわせて、多数のセットを使用した効果的な実験授業・デモンストレーションを実施できる。

キーワード 三原色、加法混色、減法混色、発光ダイオード

1.はじめに

光をテーマにした実験デモンストレーションとして、以前より、発光ダイオード(LED)を用いた光通信の模擬実験¹⁾、自作の簡易水槽を用いた夕焼け再現実験²⁾、回折格子フィルムによる分光と各色の波長の計算³⁾などを行っている。

このうちの分光に関する実験では、白色光には様々な色の光が含まれており、プリズムや回折格子などで分散や分光されるという実験・解説に加えて、「光の三原色」による白色の再現実験を行って、カラーディスプレイの原理の説明につなげる場合がある^{4・5)}。この際、これまで懐中電灯に赤、青、緑のセロハンフィルムを取り付けて各色の光を作り出していたが、色による光強度の相違や光スポット内の強度むらなどのために、満足のいく白色(及びその他の色)の再現ができない場合があった。

そこで今回、赤、緑、青の各LED発光回路を利用した光の三原色実験セットを製作した。小型プリント基板上に簡単な回路構成で製作できるので、容易に必要数を準備することができ、実験参加者の人数に合わせた効果的な実験の指導が可能になる。また、小型・軽量で持ち運びが容易なので、出前講義や科学の祭典などの実験デモンストレーション会場に簡単に運ぶことができる。さらに、可変抵抗を使ってLEDの発光強度を変えることで、LEDの発光特性の確認(通電電流と発光強度の関係の測定)や各色の光強度の変化による混色の度合いの変化の観察など、さらに発展した内容の実験も実施可能である。

以下では、この光の三原色実験セットの構成を説明するとともに、これを活用した実験授業・デモンストレーションの実施例を紹介する。

2.光の三原色と色の三原色

赤(R)、緑(G)、青(B)の三色の光を重ねると、以下のような色を見ることができる。

$$\text{赤}(R)+\text{緑}(G)+\text{青}(B)=\text{白}(W)$$

$$\text{赤}(R)+\text{緑}(G)=\text{イエロー}(Y)$$

$$\text{赤}(R)+\text{青}(B)=\text{マゼンタ}(M)$$

$$\text{緑}(G)+\text{青}(B)=\text{シアン}(C)$$

これを「加法混色」と呼び、ディスプレイではこの原理に従って様々な色を作り出している。

一方、この混色で作られるイエロー(Y)、マゼンタ(M)、シアン(C)の三色は、「色の三原色」と呼ばれており、カラープリンタのトナーなど、印刷で様々な色を作り出すために使用される。

3.発光回路の構成

本実験セットにおいて使用しているLED発光回路は、図1に示すように基本的な構成を有している。

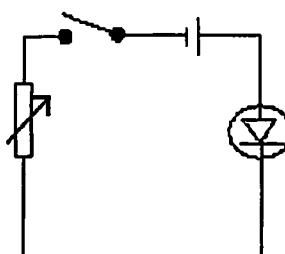


図1 発光回路の構成図

今回は、以下のLEDを使用した。

赤：東芝 TLRH156P (波長 644nm、輝度 800mcd)

緑：日亜化学 NSPG500S (波長 525nm、6000mcd)

青：日亜化学 NSPB500 (波長 470nm、2000mcd)

青色 LED 及び緑色 LED としてはできるだけ高輝度の明るいものを選ぶ一方で、赤色 LED としては輝度が低めのものを用いている。これは、三色の LED を同程度の輝度にすると、赤色の光が視覚的に「目立って」しまうためである。

一般に LED は指向性の良さが特徴であるが、光の三原色の実験では、指向性の良さが逆効果をもたらして良好な観察ができない。そこで、各々の LED に拡散キャップ（朝日ラバー A-48068L-KC-D）を取り付けて光を均一化させることで、よりよい観察を可能にしている。

電源は単三電池 2 本とし、一般的な教材用のスイッチ付き電池ホルダに収容している。

また、LED の通電電流値を調整して発光強度を変える目的で、可変抵抗を使用している。具体的には、赤色 LED 回路では 500Ω と $10\text{k}\Omega$ を直列接続し、緑色 LED 回路及び青色 LED 回路では 500Ω 、 $10\text{k}\Omega$ 、 $100\text{k}\Omega$ を直列に接続している。さらに、これらに加えて、過電流防止目的で 100Ω の固定抵抗を接続している。

以上のような回路を、 $47 \times 72\text{mm}$ のプリント板 1 枚に LED 及び抵抗を搭載し、電源部をコードで外付けすることで構成した。図 2 には、製作した LED 発光回路の写真を示す。これは緑色 LED 回路であり、計 3 個の可変抵抗を使用している。

以上のような赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の発光回路に加えて、今回はさらに白色 LED の発光回路も製作した。これは、加法混色で観察される「白色」に対して比較対象となる白色光を作り出す目的で使用する。

図 3 に、製作した白色 LED 発光回路の写真を示す。白色 LED としてはスタンレー電気 UW5805S (輝度 2000mcd)、または豊田合成 E1L51-AW0C2(輝度 5000mcd) を使用し、他色と同様に前述の拡散キャップを使用している。また、電源としては 3 V のボタン電池 (CR2032) を 2 個使用し、 82Ω の抵抗を接続している。なお、ボタン電池を電池ホルダと共に使用するために、やや大きな面積が必要になることから、図 3 の例では、 $72 \times 95\text{mm}$ のプリント板に電源部を含めた全部品を搭載した。

4. 光の三原色実験の実践

上記のようにして製作した光の三原色実験セットは、これまでに以下のような機会で活用している。

4. 1 実験デモンストレーション

ブース形式の実験デモンストレーションとして、これまでに、第 7 回青少年のための公開シンポジウム「創造科学実験」（2006 年 9 月 18 日、旭川市科学館）⁶⁾、な

らびに、青少年のための科学の祭典 2006 千歳大会（2006 年 11 月 19 日、千歳市民文化センター）⁷⁾ で、それぞれ「光の三原色」というテーマで実施した。

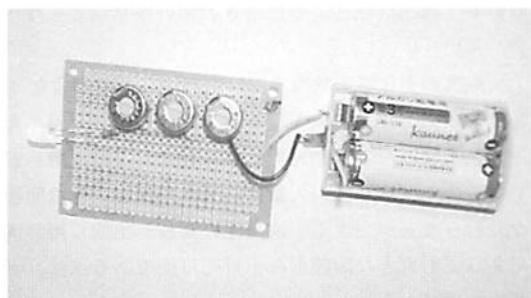


図 2 製作した LED 発光回路（緑色 LED 回路）

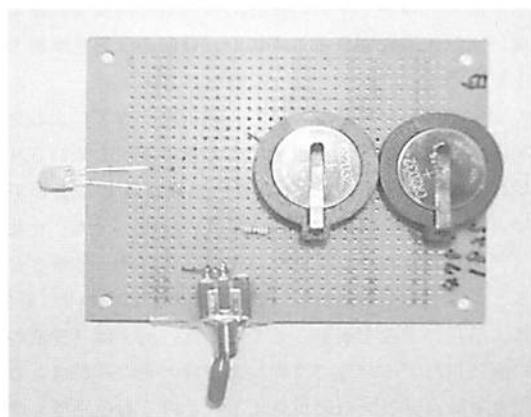


図 3 製作した白色 LED 発光回路

これらの機会では、赤、青、緑の 3 色の光を重ね合わせる（加法混色）と白色に見えることを体験してもらった上で、ディスプレイにおけるカラー表示の原理などを説明した。さらに、赤、青、緑の光を物体にあてたときにできる影にシアン、マゼンタ、イエローの色が付く様子も観察してもらい、対象者の理解度に応じて、減法混色の原理によるものであることを説明した。

前述のように今回の発光回路では、光を均一化するために LED に拡散キャップを取り付けているが、その副産物として、スクリーン上などに投光すると比較的広い円形の範囲に光が当たるようになる。その結果として、LED からの発光をそのまま利用する場合に比べて、各色の光の重なり合いによる色の変化（加法混色）や影の着色（減法混色）の様子が観察しやすくなっている。

4. 2 高校生対象の実験授業

高校での出前講義や本学で開催する高校生対象の体験実験授業では、プリズムや回折格子による分光実験と組み合わせる形で、光の三原色の重ね合わせによる白色光の観察や減法混色による色付きの影の観察などを行う場合が多い。

出前講義や体験実験授業では、数十名の参加者を4名程度の班に分けて実験を行うことが多いが、今回の光の三原色実験セットは前述のように製作および運搬が容易であるので、参加者の人数に応じた準備を大きな問題もなく行うことができる。遠隔地の高校へ出向く出前講義であっても大きな問題もなく対応可能である点は、実用面で有用である。

4. 3 総合学習の時間を利用した実験授業

千歳市内の小中学校の総合的な学習の時間を利用して理科実験授業を実施する際にも、今回の三原色実験セットを活用したテーマを行っている。

小中学生が対象の場合にも、回折格子などによる分光実験に引き続いで加法混色による色の実現を観察させ、続いて減法混色による影の着色を観察させることができ。このような展開により、「光の分解（分光）」及び「光の重ね合わせ（混色）」を組み合わせて体験させることができる。このとき、先に2色の重ね合わせ（混色）による色の実現を観察させておけば、例えば「赤色の光の影に相当する部分では青および緑の光のみが当たるので青+緑=シアンの影が見える」という着色原理を理解させやすい。

5. むすび

赤、緑、青の各色LED発光回路を利用した光の三原色実験セットを製作し、様々な実験デモンストレーション、模擬実験授業などで活用している。

今回の実験セットを利用した実験内容として、現時点では、加法混色や減法混色による色の観察のみの実施にとどまっている。しかし、本実験セットのLED発光回路では、可変抵抗を使ってLEDの発光強度を変えることができる。したがって、通電電流値と発光強度の関係を測定してLEDの発光特性を確認したり、各色の発光強度を変えて混色の度合いの変化を観察したりするなど、さらに発展した内容の実験を実施することも可能である⁸⁾。

今後は、本実験セットを利用した実験内容のさらなる発展を検討していくたいと考えている。

謝 辞 今回の光の三原色実験セットを用いた実験デモンストレーションの実施に際して、千歳科学技術大学理科工房所属の学生諸君の助力に感謝致します。また、文部科学省平成18年度科学研究費補助金からの財政的支援に関して、関係各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 長谷川：「LEDを用いた簡易光通信実験セット」，物理教育研究（日本物理教育学会北海道支部会報），Vol.34, pp.29~32, 2006-10
- 2) 長谷川：「夕焼け実験装置の製作とそれを使用した理科実験授業プログラムの演示」，物理教育研究（日本物理教育学会北海道支部会報），Vol.34, pp.33~37, 2006-10
- 3) 長谷川、松井、森田、石田：「透過型回折格子フィルムを用いた分光と光の波長の簡易計算実験」，第22回物理教育研究大会発表予稿集，No.P8, pp.130-131, 2005-08
- 4) 長谷川、石田：「大学生・高校生・小学生間のリレーティーチングの試み」，物理教育，Vol.53, No.1, pp.68-72, 2005-03
- 5) 長谷川、石田：「学生による理科実験授業プログラム及びその電子化コンテンツの開発の試み」，物理教育研究（日本物理教育学会北海道支部会報），Vol.33, pp.63-67, 2005-7
- 6) 長谷川：「LEDを利用した光の三原色実験セット」，第7回青少年のための公開シンポジウム「創造科学実験」ガイドブック，p.7, 2006-09
- 7) 千歳科学技術大学理科工房：「光の三原色」，青少年のための科学の祭典 2006 千歳大会実験解説集，p.23, 2006-11
- 8) 谷中、藤川、近森、跡部：「簡易光学台の試作とその応用」，物理教育，Vol.51, No.4, pp.256-261, 2003-12

(付記) 本稿は、『物理教育』(2007-03), Vol.55, No.1, pp.70-72 を加筆修正し、本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

学生サークル「理科工房」のプロジェクト活動と学生教育効果

千歳科学技術大学 長谷川 誠

抄録 千歳科学技術大学の学生サークル「理科工房」は、理科実験教材・理科実験授業プログラムの考案・開発、小中学校の総合的な学習の時間を利用した実験授業の実施、P.T.A.などと連携した実験教室、及び科学の祭典などにおける実験デモンストレーション活動などを実施している。学生サークルの形式を取っているが、教員も積極的に関与して参加学生メンバの責任感や意欲を引き出すプロジェクト活動とすることで、学生メンバに対する教育効果の達成を目指している。

キーワード 理科工房、実験教材、実験授業、学生教育、プロジェクト活動

1. はじめに

千歳科学技術大学では、平成16年度文部科学省「現代的教育ニーズ取組支援プログラム（現代G.P.）」に採択されたプロジェクトとして、学生グループが主体となった理科実験教材・授業プログラムの開発プロジェクトを進めてきた^{1,2)}。平成19年3月で現代G.P.としての活動は終了したが、4月以降は、参加学生メンバの意向に基づいて、学生サークル「理科工房」として活動を継続・発展させている。単なるサークル活動ではなく、教員も積極的に関与して参加学生メンバの責任感や意欲を引き出すプロジェクト活動とすることで、学生メンバに対する教育効果の達成を目指している。さらに、理科実験授業・教室や実験デモンストレーションを通じて、小中学生の理科・科学に対する興味・好奇心の継続的な喚起もねらっている。

ここでは、このような千歳科学技術大学・理科工房の活動内容を紹介する^{3,4)}。

2. プロジェクト活動の背景

2. 1 現代G.P.としての活動

現代G.P.としての活動内容は、これまでに報告した通りである^{1,2)}。

具体的には、所属学科や学年に無関係に参加を希望した学生メンバが、自らの主体的な活動を通じて、小学生向け及び中学・高校生向けの理科実験授業プログラム、ならびに理科実験教材を考案し、地元・千歳市立の小・中学校の総合的な学習の時間などで実験授業を実践すると共に、青少年のための科学の祭典などで演示してきた。さらに、P.T.A.主催行事としての実験教室や札幌市青少年科学館主催の「大学生による理科教室」の開催依頼などに対応して、自主的な実験教室を開催した。

また、学生メンバの自主的な検討結果に基づいて、これらの実験内容に関連した電子教材コンテンツの作成も行った⁵⁾。

2. 2 現代G.P.の効果と現プロジェクトへの発展

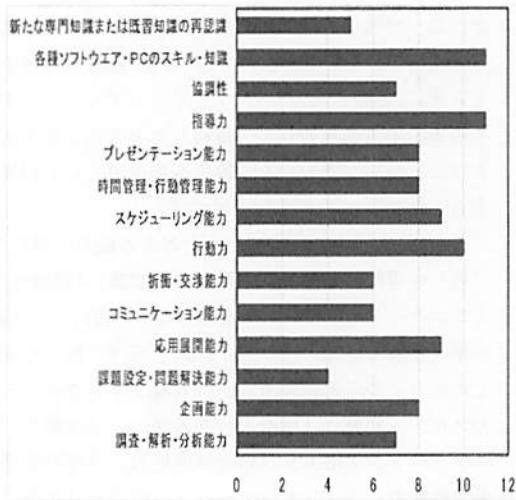
平成18年7月の段階での参加学生(回答者は計20名)を対象に、各種の能力・スキルをリストアップした上で、これまでの活動を通じて「獲得したと考える能力」「足りないと感じた能力」を、複数選択を可として回答してもらった^{1,2)}。結果を図1に示す。

図1(a)に示す「獲得した」と考える能力に関しては、「新しい専門知識又は既習知識の再認識」「協調性」「コミュニケーション能力」が上位となり、統いて「行動力」が挙げられている。一方、図1(b)に示す「足りないと感じた能力」の回答結果では、「各種ソフトウェア・P.C.のスキル・知識」「指導力」を筆頭に、「行動力」「スケジューリング能力」「応用展開能力」「時間管理・行動管理能力」「プレゼンテーション能力」「企画能力」など、様々な能力が挙げられた。この結果には、1年以上の活動実績があるメンバから加入して数ヶ月のメンバまでの回答が混在しており、これまでの活動歴に応じて、獲得・レベルアップの必要性を感じた能力・スキルが様々に分散したと考えられる。

さらに(a)と(b)とを比較すると、(b)で「足りない」と感じて選択された数が、(a)における選択数より全体的に多くなっている。これは、学生メンバ自らが活動を通じて身に付けるべき又は向上させるべき能力・スキルを認識できていることを意味すると考えられる。このように、参加学生に能力・スキルアップの必要性を認識させる機会を提供し且つ実際に学生がそれを自覚できている点は、受動的側面が強い日常の講義・学生実験では得難い効果であり、学生教育の側面における有意義な効果になった。



(a) 「獲得した」と考える能力・スキル



(b) 「足りない」と感じた能力・スキル

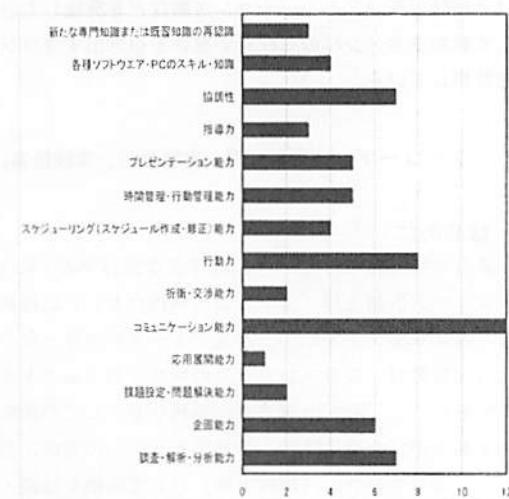
図1 現代GP活動参加学生に対するアンケート結果
(平成18年7月実施)

一方、図2には、平成19年3月段階での参加学生（回答者は計14名）対象のアンケート結果の一部を示す。

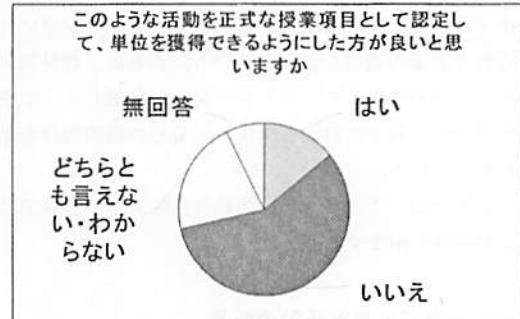
回答者の構成や人数が図1の結果と同一ではないので厳密な比較はできないが、「獲得した」と考える能力・スキルを回答してもらった(a)の結果では、図1(a)と類似した傾向が認められ、コミュニケーション能力や行動力、企画力、調査・解剖・分析能力などを獲得することができたと考える旨の回答が多い。また、期限が定められたグループでの活動が中心となることから、協調性、時間管理・目標管理能力を獲得できたと考える学生も多い。

さらに、実施の実験授業や実験デモンストレーションでの指導・解説を通じて、プレゼンテーション能力の向上効果も認められる。

一方、(b)に示すように、このような活動で単位取得を可能にすることに対して、参加学生の多くは否定的であった。具体的には、「単位目当ての学生に来て欲しくない」、「意欲の差が顕著になる」などの意見が出た。



(a) 「獲得した」と考える能力・スキル



(b) 単位取得に関する学生の意識

図2 現代GP活動参加学生に対するアンケート結果
(平成19年3月実施)

平成18年度末で現代GPとしての活動が終了するにあたり、上記の参加学生アンケートの結果に見られるように学生教育上の効果が認められることから、何らかの形で活動を継続する必要は認められたが、上記図2(b)の結果を踏まえて、今年度以降は学生サークルをベースにした自主的なプロジェクト活動の形式を取ることとした。

3. 今年度のプロジェクト活動の概要

平成 19 年度は、所属する学科・学年に無関係な十数名の学生が数名ずつの小グループに分かれて、目標・期限を定めてプロジェクト的に活動している。活動内容として現時点までは、(1)昨年度までの活動を引き継ぐ形で小中学校での理科実験授業や実験教室に向けた教材・実験器具の作製とそれらを使用した演示、ならびに、(2)新規の実験デモンストレーションセットの考案・作製、などをを行っている。

前者の(1)に関しては、昨年度までの反省に基づいた材料や構成の改良を進めており、すでに地元・千歳市立の 2 校の小学校で、「電気を作ろう」「夕焼けはなぜ赤い?」という 2 つのテーマ^{6,8)}で、総合学習の時間を利用した実験授業を実施した。これに向けた準備作業では、昨年度から在籍している 2 年生以上の上級生が新しくメンバになった 1 年生を指導して作業を進めると共に、新メンバが当日の小学生に対する説明を円滑に行えるように「学生が学生を教える」かたちで実験原理の説明を行った。このような過程を通じて、上級生は指導力や行動・スケジュール管理能力を向上させる機会を得ると共に、例えば夕焼けが赤く見える原理に関する知識の再確認などを行っている。

一方、後者の(2)に関しては、HP や文献の掲載事項などを参照しながら独自の実験器具の作製を進めている。

例えば図 3 は、学生メンバが製作した電磁力を利用したコイン飛ばし実験装置である。図 3 の装置の作製にあたっては、資料⁹⁾を参考に、配線により不必要的抵抗やインピーダンス成分が生じない様に配置などに十分に留意しながら、巻数、導線の長さ、形状などが異なるコイルを容易に交換できるように独自の工夫を施している。今後、本装置を用いて様々な条件下での実験を行って結果を比較・検討することや、本装置を発展させた電磁力体験実験装置を作製することなどを計画している。

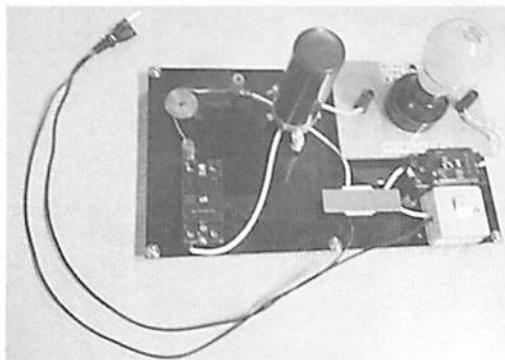


図 3 電磁力によるコイン飛ばし実験装置

さらに、近隣の市町村で PTA や科学館と協力した実験教室を実施すると共に、各地で開催される科学の祭典にも積極的に参加している。特に地元・千歳市で、小中学校の総合学習の時間を利用した実験授業や独自の実験教室、科学の祭典などを通して小中学生の理科・科学に対する興味・好奇心の継続的な喚起もねらっている。

本活動では、通常の受動的な講義・学生実験とは異なり学生自らの積極的かつ責任感を伴った行動が見られる。また、実験に関わる物理現象をより確実に理解するための議論やよりよい実験器具を作るための改良作業に打ち込むなど、知識の獲得・再整理の努力やものづくり意欲の喚起が認められる。活動に際しては基本的に参加学生の自主性を重視しているが、教員も積極的に参画して適宜必要なアドバイスを与えていている。

4. むすび

千歳科学技術大学・理科工房の活動を紹介した。今後は、学生の自主的・主体的な行動を促しながら、望ましい学生教育効果を実現するための適切なバックアップの仕方などを検討していきたいと考えている。

参考文献

- (1) 長谷川,他: “教える機会を活用した新しい教育プログラムの試み”, 電気学会論文誌 A, vol.126, no.7, pp.603-611 (2006-07)
- (2) 長谷川,他: “学生による理科実験教材及び授業プログラムの開発プロジェクトとその教育効果の検討”, 第 23 回物理教育研究大会発表予稿集, pp.36-39 (2006-08)
- (3) 長谷川: “学生の自主的ワーク活動を通じた物理教育効果”, 第 24 回物理教育研究大会講演予稿集, pp.34-35 (2007-08)
- (4) 長谷川: “学生の自主的ワーク活動を通じたものづくり教育”, 平成 19 年秋季第 68 回応用物理学会学術講演会, 5p-ZA-6 (2007-09)
- (5) http://www.geocities.jp/chitose_rikakobo/flash.html
- (6) 加藤,他: “小学生向け「空の青さと夕焼け」理科実験授業プログラムの開発とその演示”, 第 22 回物理教育研究大会発表予稿集, pp.132-133 (2005-08)
- (7) 長谷川: “夕焼け実験装置の製作とそれを使用した理科実験授業プログラムの演示”, 物理教育研究, vol.34, pp.33-37 (2006-10)
- (8) 松井,他: “小学生向け「LED で遊ぼう」「電気の世界」理科実験授業プログラムの開発とその演示”, 第 22 回物理教育研究大会発表予稿集, pp.128-129 (2005-08)
- (9) <http://www.gijyutu.com/kyouzai/denki/coin.html>

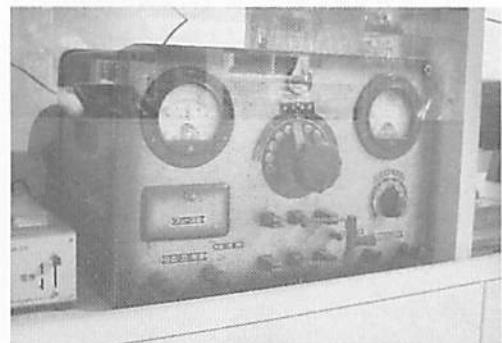
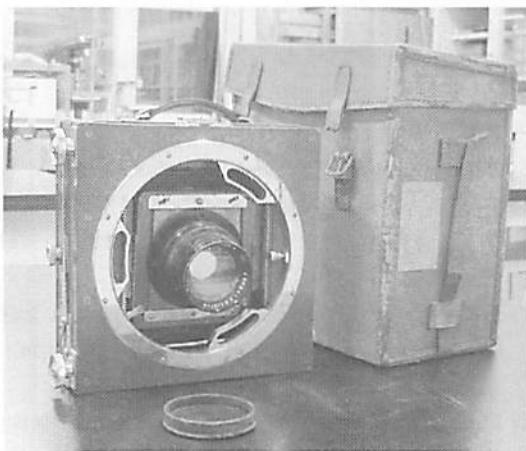
歴史を感じさせる実験器具

編集委員の N が勤める高校は 100 年以上の歴史を誇る伝統校です。そこには 100 年の歴史を感じさせる実験装置などがまだ保管されています。その一部をご紹介します。



理科室の廊下側はいろいろな実験装置を展示できるようになっています。

物理スタッフが作った教材に並んでレトロな雰囲気を漂わせる装置が陳列されています。



上の写真は昭和 26 年に作られた定電圧電源です。

左の写真は「北海道庁立高等女学校」と書いてあります。
当然旧字体を使っています。

物理教育研究
論文集

日本物理教育学会 北海道支部
Vol.35, 2007.9

表面張力から分子を考える

(電子天秤による表面張力の測定)

Surface tension and intermolecular forces

札幌北海道教育大学校 岡崎 隆、本間 理、石毛 隆

Hokkaido University of Education Sapporo Campus, Takashi Okazaki, Aya Honma, Takashi Ishige

表面張力の測定を通じて液体を構成する分子の存在を考察する理科実験を検討する。電子天秤を用いた表面張力測定法を活用し、液体の種類、温度によって表面張力が異なることを観察・測定し、表面張力の正体を考察する視点を述べる。

キーワード 表面張力、電子天秤、分子間力

1. 表面張力と分子間力

「表面張力」は日常の様々な場面で見かける液体表面の振る舞いを説明する言葉として用いられる。テーブルの上にこぼれた水滴、コップのふちから盛り上がる水、植物の葉の朝露など身近な例に事欠かない。かつて表面張力の不思議な振る舞いとその特徴を示す理科実験教材が存在していたことがある¹⁾が、今日理科教育の正規の題材としてこれが取り扱われることはほとんどない。表面張力が引き起こす不思議で美しい液膜実験から一步踏み込んで、この力の正体を考察し分子の存在に結びつける理科教育の題材とすることを以下に検討する。ぬれた砂、湿雪とちがって乾いた砂、低温の粉雪などはまとまった形を形成しない。このことを一つの例として「液体（水）=引力で引き合う分子集団」と考え表面張力の正体を推測することができる。表面張力による液体表面の振る舞いは、分子、分子間引力の存在を気づかせる身近な自然現象である。

表面張力が理科教育の中で取り扱われない原因の一つに定量測定の難しさがある。表面張力測定法として吊環法、「ジョリーのバネばかり」による測定がよく知られているが「ばねばかり」の取り扱い、測定が難しくその目的も明確でないため大学での物理実験などでもあまり評判はよくない。「ばねばかり」の代わりに電子天秤を利用する方法が提案されている²⁾。電子天秤上に置いた液体

表面にコインなどを接触させ液面を吊り上げ、押し下げることで生じる液体重量変化を測定し表面張力が求められる。顕微鏡の焦点調節微動を使った液面の高さの微調節、精密測定が行われ、この方法の有効性が示されている²⁾。教育現場に広く普及した電子天秤を用いることによって小中高校でこの方法を活用した表面張力の定量測定を行うことができる。液体の種類やその状態で表面張力に違いがあることを確かめその理由を考え分子概念に結びつける理科教育実験として提案する³⁾。

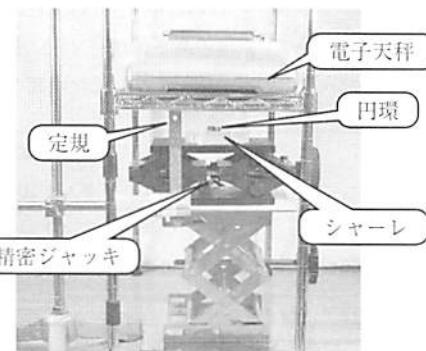


写真 1

2. 表面張力の測定

水、エタノール、オリーブ油を対象とした表面張力の比較測定実験を以下に示し、分子論的理解に結びつける視点を述べる。写真 1 に示すように、液体を入れたシャーレを精密ラボジャッキ上に置

き、この上に設置した電子天秤の床下計量法を使って吊環法による表面張力の測定を行う。電子天秤底面の床下計量金具にフックで吊り下げる円環を液面に接触させ、ジャッキの微動によって液面を下げながら電子天秤に表示される質量の表示値 W (精度 1mg 又は 10mg) を読み取る。固定した定規 (0.5mm 目盛り) でジャッキステージ面の移動量を目測し引き上げられる液膜の長さ h を測定する。「ジョリーのバネばかり」による測定実験の「バネばかり」を電子天秤に置き換えた配置になっており、円環に加わる表面張力と引き上げられた液膜の質量分が「ばね」の伸びに代わって電子天秤に表示される。円環によって引き上げられた液体の形状を単純化して円柱とみなすと次式が成り立ち表面張力 γ を求めることができる。液体密度 ρ 、重力加速度 g として

$$Wg = \pi(R_1^2 - R_2^2)\rho gh + 2\pi(R_1 + R_2)\gamma \quad (1)$$

R_1, R_2 は円環の内外半径 ($R_1=0.95\text{cm}$, $R_2=0.9\text{cm}$)、第一項が引き上げられた液膜の重量、第二項が円環内外円周に加わる表面張力である。

揮発性の高いエタノールや温水の測定実験を行う場合、気化による液体の質量減が無視できないため、先行研究³とは異なり床下計量法を用いている。「ジョリーのばねばかり」では支柱に固定された鏡目盛りで液面の高さ(液膜の長さ)を 1/10mm まで読み取るのが通例であり、先行研究³でもこ

の精度で測定が行われこの測定の特性が調べられている。ここでは、表面張力の大きさの比較を主たる目的としているため 0.5mm 目盛り定規による目測に測定を簡略化している。

水、エタノール、オリーブ油の測定結果を表 1 に示す。液膜の長さ h 、電子天秤の表示値 W からも水の表面張力が大きいことが実感できる。

水とエタノールの表面張力の大きさとそれらの融点、沸点、比熱との相間に注目することにより、これらが分子間力によるものであることが合理的に説明される。プールに飛び込んだときに水面で胸・腹を打った体験を思い起こそう。水の表面張力はエタノールの 3 倍も大きく、これは水分子間力=水素結合の強さを物語っている。分子間力の強さのため水はその内部にたくさんの熱エネルギーを蓄えることができ熱を運搬する役割を担う。比熱が大きいことはそのような意味をもっている。エタノールは測定実験中にいつの間にか気化して消えている。これは分子間引力が弱いエタノール分子が空中に飛び去った結果である。分子の存在を知ることで身の回りの現象を新しい視点で眺めることができる。⁴ 冷温水の測定で、水の表面張力が温度によって異なること、水温が高くなるにしたがって表面張力が低下することが分かる。これは水の分子運動が分子間引力を弱める結果であり、物質の三態が分子運動と分子間力の拮抗によって生まれることを理解する手がかりとなる。

	$h(\text{cm})$	$W(\text{g})$	表面張力 式(1) 10^3 N/m	表面張力 理科年表	融点 (°C)	沸点 (°C)	比熱 (cal/g°C)
水 11°C	0.30	0.959	73.51	74.20(10°C)	0	100	1
	0.25	0.905	70.19	72.75			
	0.25	0.874	67.61	69.55(40°C)			
エタノール	0.05	0.290	23.23	22.27(20°C)	-114.5	78.32	0.55
オリーブ油	0.10	0.420	33.18	32(20°C)	20	300	0.47

エタノール、オリーブ油は 24°C での測定値

表 1.

3. 表面張力の角度補正

実際の測定においては、円環によって引き上げられる液体の高さ h によって表 2 のような測定値 W が得られており、式 (1) によって算出される表

面張力は図 2 (◆) に示す振る舞いをしている。表 1 はこの表面張力の最大値を示したものである。式 (1) は円環によって引き上げられる液面の形を単純な円柱とみなして得られているが、実際の液

面はより表面積の小さい曲面をなし、接触角 θ のため、式(1)に現れる表面張力 γ はその垂直成分 $\gamma \cos \theta$ に置き換えられなければならない。(図1)

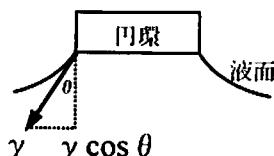


図1

引き上げられる液面が高くなるに従って θ は小さくなり垂直成分は表面張力の大きさそのものに近づく。「ジョリーのバネばかり」による測定実験でバネの最大の伸びを測定する理由である。デジタルカメラを用いれば液体表面の形状を撮影し接触角を求めることができる。角度補正の結果を表2、図2(■)に示した。後半のデーター($h:0.1\text{cm}$)はこの補正が有効であることを示している。液面の形状による液膜の重さの補正是僅かであるため無視しているが、理科年表の値からのずれはこの効果(液膜重量の過小評価)と解釈できる。

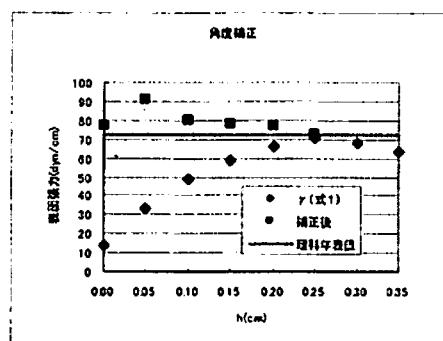


図2

$h(\text{cm})$	$w(\text{g})$	$\gamma(\text{式1})$	θ°	$\gamma(\text{式1})/\cos \theta$
0.00	0.166	14.00	79.5	76.80
0.05	0.401	32.59	69	90.93
0.10	0.608	48.81	52.5	80.19
0.15	0.738	58.55	41	77.58
0.20	0.842	66.10	31	77.11
0.25	0.905	70.19	13	72.03
0.30	0.896	68.21	-	
0.35	0.857	63.70	-	

表2

4. 教材実験として

表1に示す測定実験において、式(1)の第一項引き上げられた液体の重量は、第二項円環に働く表面張力の大きさの一割以下であり測定の目的によっては無視することもできる。液面の高さの微調整と測定は容易ではないためこれを省略し簡易測定実験とすることもできる。小学校等では電子天秤上に液体容器を置き、液面に接触させた円環を手で吊り上げ、電子天秤の表示のみを読み取る簡易実験として実施し、水の表面張力が温水、冷水で異なること、エチルアルコールの表面張力が水に比べて格段に小さいことを観察する。アルコールは水に比べて気化しやすいことに気づかせ、分子間引力の存在を示唆する。

中学・高校等で実施する実験としては、電子天秤の表示と共に液膜の高さを測定し液膜の質量補正を含めて表面張力を算出する。接触角による表面張力の角度補正を行い、表面張力がバネ、ゴムの弾性力と違ひ「伸び」によらない一定の大きさの力であることを確かめる。表面張力の温度依存や物質による違い、沸点・融点との相関を分子論的に考察する実験として実施する。

この教材研究は文部科学省科学研究費特定領域研究「新世紀型理数科系教育の展開研究」⁵⁾の下で取り組まれたものである。

引用文献等

- 1) 種村雅子 日本物理学会誌 Vol. 59 No. 8, pp. 541-544, 2004
- 2) 石川昌司、札幌啓成高校科学部 <http://www.sapporokaisei.hokkaido-c.ed.jp/club/science/index.html>
- 3) 木間理 北海道教育大学札幌校 平成18年度卒業論文
- 4) 荒川泓 4°Cの謎 北海道大学図書刊行会上平恒 水とはなにか 講談社 BLUE BACKS
- 5) 新世紀型理数科系教育への提案－平成14-18年度研究成果報告書A02 平成19年2月「新世紀型理数科系教育の展開研究」ホームページ <http://risuka.ei.tohoku.ac.jp/>

物理教育研究
調査報告・その他

日本物理教育学会 北海道支部
Vol.35, 2007.9

2007年度センター試験理科総合Aの問題分析・評価

センター試験理科総合A問題分析グループ

2007年大学入試センター試験の理科総合Aの問題分析を北海道支部会員に依頼し実施した。今回は意見を一つにまとめることはせず、各評価員の意見を併記するにとどめたが、今後は分析結果を支部の意見としてまとめていくことも考えていきたい。本文中の①～⑤の番号は、評価者の番号と対応している。

評価者

①	橋子 寛信	木古内高校
②	井原 教博	網走南ヶ丘高校
③	佐藤 満	枝幸高校
④	濱谷 成樹	礼文高校
⑤	山崎 大輔	遠軽郁凌高校

問題の概要

大問1 20点 5問（太陽光発電システム）

大問3 20点 5問（遊園地の乗り物によるエネルギーの変換）

大問5 A 12点 3問（電化製品による二酸化炭素の排出量）

(1) 難易度（教科書の記述内容と比較してどうか）

	②	③	④	⑤
大問1	普通～やや易	普通	やや難～やや易	やや難
大問3	普通	やや難	やや難～やや易	難
大問5 A	普通	普通	普通～易	やや難

(2) 問題の優劣（大学入試センター試験で受験生に出題する内容として適切か）

	②	③	④	⑤
大問1	普通～やや劣	普通	やや優～やや劣	普通
大問3	普通	普通	やや優～普通	普通
大問5 A	やや優～普通	やや劣	やや優～やや劣	やや優

(3) コメント（印象や特徴的なことについて）

大問1

問1	①電力量の計算問題。ワット時の定義が分かっていれば簡単。 ②数字のあてはめ。まずは1時間で発電の量を求め、イメージをもって取り組めば易しい。 ④積が4になる組み合わせだということに気づけば、容易。個人的にはセンター試験の計算（？）問題がここまで簡単ではどうか感じる。
問2	①問1と同じことをグラフから読み取る形式。グラフの面積がワット時になる。グラフから分かることを導かせるのは、理科総合の特徴ともいえる。 ②グラフのよみとり。kWhとkWの違いをしっかり理解してるかどうか。

	<p>④選択肢の意図が不明確、太陽電池の特性に関する知識を聞くのか、グラフの定量的な読み取りができるのかを問うのかをはつきりさせた方がよいのではないか。</p> <p>⑤個人的には、問2の3のような選択肢が好きです。正解でないのが残念ですが。</p>
問3	<p>①化学とのエネルギー的融合問題。正しくない選択肢として「電気分解は水の持っている化学エネルギーを電気エネルギーに変換する」との記述がある。</p> <p>②水の電気分解の基本的な知識を問う問題。易しい。</p> <p>④化学分野（中学校レベル）の知識問題。</p>
問4	<p>①燃料電池の説明。問3と同様、エネルギーの変換に関する記述あり。「水素の化学エネルギーがいったん熱に変換され、この熱を用いて電気がつくられる」／「燃料電池も熱機関の一種であるため、常に外部から熱を加える必要がある」／「大型の燃料電池から発生する熱は、鉄の製錬にも使われている」。問3、4に関しては、化学と物理を同時に扱う理科総合ならではの出題といえる。</p> <p>②燃料電池の知識を問う問題。易しい。</p> <p>④選択肢から考え化学分野の出題と考えられる。</p> <p>⑤問題の意図がわかりませんでした。何を問うているのでしょうか？理科の知識か？と思ってしまった。</p>
問5	<p>①宇宙での発電に太陽電池が適している理由を答える。物理的に見れば、光の反射に関する知識があれば理解できるし、空気抵抗の知識があればよい。しかし、これらの知識は理科総合でなかなか扱われないとも思う。おそらく、問題作成者は「太陽電池は水を精製しない」ことを理由に選択肢を消去させようと考えたのだろうが、理科総合に含まれる物理の内容からだけでは考えにくい、不適切な問題かもしれない。</p> <p>②太陽電池に関する問題。消去法により「常識」で解ける。</p> <p>④太陽電池について詳しい解説をしている教科書は少ないとから、太陽電池の特性から考察させることが目的と考えられる。</p> <p>⑤それまで燃料電池の話から、太陽電池で3番っていじわるだなあ・・</p>
全体	③太陽光発電に関する記述は、各教科書とも数行かつ課題研究的な内容ばかりだが、出題内容としては、一般常識程度のものだと考える。

大問3

問1	<p>①運動エネルギーと走行距離に関するグラフを、摩擦力を考慮して理解させる問題。教科書によつては、「力学的エネルギーの変化=外部からの仕事量」をきちんと扱っていないものもあるので、理科総合としての出題では難しいかも知れない。</p> <p>②力学的エネルギー保存の法則をイメージできれば簡単。</p> <p>④力学的エネルギーについて理解できているかどうかを問う問題。2題とも妥当な問題。</p>
問2	<p>①力学的エネルギー保存から考えれば、エネルギーの等しい選択肢が導かれる。</p> <p>②問1と同様、力学的エネルギー保存の法則の理解が重要。</p> <p>④<問1と同様></p> <p>⑥力学的エネルギーと位置エネルギーって書き方としてなんかいかにも位置エネルギーと運動エネルギーと間違え的な意図が意地悪だなあとおもいました。</p>
問3	<p>①質量を2倍にした場合の走行距離の倍率を考える問題。物理であれば文字式で意味を考えて答えるだろう。しかし、理科総合であることを考えると、質量や高さなどの具体的な数値が与えられていないので難しいかも知れない。</p> <p>②運動方程式と公式($v^2 - v_0^2 = 2as$)から導出するやり方と、エネルギーと仕事の関係から出すやり方の2通りをマスターしておけば、答えの確認ができる。やや難しい。</p> <p>④距離が変化しない物理量に対して1倍を選択するのは難しいかも知れない。</p> <p>⑤難しいなあ・・・すぐに求めるにはどうするのがよいのだろうか。直感的に出るかなあ？公式使うしかないのかなあ・・・。</p>

問4	①エネルギー保存則より、物体の速さ30m/sからジェットコースターの出発時の高さを求める問題。質量が与えられていないので多少やりにくいか。物理選択者なら余裕。 ②力学的エネルギー保存の法則と図2から、坂をイメージする問題。高さを冷静に見ることができるかどうか。普通。 ③力学的エネルギーについての典型的な計算問題。
問5	①先ほどのグラフから、実際のジェットコースターの軌道を想像する。運動エネルギー⇒位置エネルギー(=コースの高さ)の変換ができれば難しくない。 ②<問4と同様> ④グラフから実際の軌道を推測する問題。宙返りに惑わされなければ平易。
全体	③摩擦による仕事についての記述がない教科書があったため、「やや難」とした。 問題としてはエネルギー保存を問うものとして適当であると考える。

大問5 A

問1	①問1～問2は分類しにくい。電気エネルギー消費が二酸化炭素排出につながることを発電方法から考え、排出量を計算する。理科総合ならではの視点といえよう。 ②常識、易しい。 ④発電に関する平易な問題。
問2	②グラフの読み取り。単位の変換(kg→g)に注意する。普通。 ④表と文章をよく読んで理解できれば、小学校算数レベルの問題。しかし、理科総合Aでこのような考え方を身につけられれば理想的ではないか。
問3	②常識。赤外線→熱線と覚えておけば容易。 ④地球温暖化に関する出題。理科以外の教科(保健、家庭)などでも学習する内容。 ⑤二酸化炭素の性質で赤外線を吸収する・・・確かにそれしか選択肢はないんですけど・・・ 二酸化炭素の性質・・・今は赤外線吸収も一般的な性質なんですかね?他の問題にも言えることですが、消去法で正解を導くのは理科的な考え方ではないんですね・・・ なんて考えました。
全体	③二酸化炭素を生じるのは火力発電しかありえないこと、計算が単なる算数であること、温暖化と二酸化炭素の関係、この3つは中学生レベルの問題であり、センター試験の出題としては易しすぎると考える。

その他

①平成18年度の問題と2年通して分析すると、エネルギーの計算、エネルギーの変換、エネルギーに関するグラフの読み取りが主題といえる。しかし、平成18年度の問題でも「太陽エネルギーに関する記述」と「比熱と熱容量」の出題をからめるなど、力学的エネルギーの枠に收まらない問題が多いように感じる。また、エネルギーの出題では環境的課題に関連させて出題されているのが特徴といえる。
②特に何も下準備もなく取り組むことができる問題が多い印象。それでも昨年度よりは難化した。今度さらに難しくなっていくと思われる。物理力もさることながら、問題文の読み解力がかぎになると思う。
③科目の性格上、知識問題を減らしグラフ、実験等、考察力を試す試験にすべきであると考える。そうした工夫も見られるが、例えば大問2の問2のような問が増えると、どうしても些末な知識をつめこまなければならないようになる。
融合問題を増やそうという意図が感じられる。しかし第2問、第4問が化学分野からのみの主題であり、第3問、第5問で融合問題を出題していることから昨年度にひきつづき全体的には化学分野の出題が多くなっている。
⑤理科総合Aをまともにやっている学校で判断すると(この表現はまずいですが)難しいなあ・・・というのが感想です。初めて解いてみましたけど面白かったです。

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

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

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

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

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

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

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

Abstract

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

キーワード 9ptゴシック 5語程度

Keywords : Times Font, 9pt. About 5 Words

1. 支部会報「物理教育研究」投稿について

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

2. 原稿執筆（章タイトルはゴシック10pt太字）

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

2. 1 本文執筆の要点

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

2. 2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは9ptの

和文：MS明朝、平成明朝

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

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

します。ベクトルの場合は太文字のイタリックとします。上下添字は6pt程度の立体（イタリックも可）とします。以下にいくつかの例を挙げます。

$$f_c \quad V_i \quad P^{\alpha}, \beta$$

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

$$F_0 = C_F 1/2 \rho |V| VS \quad (5)$$

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

2. 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します。

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

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

例 図1 実験装置の概略

Fig.2 Schematic of experimental apparatus

Table 3 Fluid properties in each run

Photo 4 Flow pattern around sphere

題名 (A4用紙) (副題) 1~シ目 所属 著者名 概略や本文は6行目 から書き出します。 <キ-リ-ド>など 1ここから 2 縦2段に 書き始め 横は全角 最終行は -25文字- 45行目	(A4用紙) 段の間は 2文字空一 全角 -25文字- 図1 ... 写真1 ...

図1 ワープロ原稿の例

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

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

2. 5 記号説明・引用文献

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

引用文献¹¹⁾は右肩に¹¹⁾を文章中に記入し下記のように、一括して末尾に文献名・出版雑誌名、巻号、ページなどを引用順に記入してください。詳細は以下の例を参考にしてください。参考文献は原則掲載する必要はありません。

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

引用文献

- 1) 山川谷男：エントロピーの・・教育、物理教育研究、Vol.22 No.3, pp.1 ~ 4, 1998
- 2) 执筆太郎 『北海道の物理教育』、支部出版、2005

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

3. その他

- (1) 原則として原稿はお返しません。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(9月)に発行予定です。
- (3) 研究論文と解説には審査員を立てて内容を審査します。
- (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 上記規定により支部会報「物理教育 36号」の原稿を募集いたします。

(1) 締切

研究論文 2008年7月末日

実践報告等 2008年8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 2008 年 4 月に支部ホームページに掲載します。

〒 011-0025 札幌市北区北 25 条西 11 丁目

北海道札幌北高等学校 中道洋友

TEL 011-736-3191 FAX 011-736-3193

E-mail nakamiti-yoyu@mbp.nifty.com

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

編集後記

今年は何とか発行にこぎつけました。原稿を執筆していただいた皆さんには大変感謝しています。次期学習指導要領の内容も新聞などで報道されるようになってきました。理事会でも支部活動の充実をどのようにしていくかが話題になっています。小学校から大学まで幅広くカバーできる会誌になれるよう努力していくたいと考えています。

表紙写真説明

本会報「LEDを利用した光の三原色実験セットの製作ならびに演示実践」「学生サークル「理科工房」のプロジェクト活動と学生教育効果」から

2007年9月1日発行

日本物理教育学会北海道支部

第35号 編集責任者 中道洋友

(060-0810) 札幌市北区北 10 条西 8 丁目

北海道大学大学院理学研究院物理学部門

日本物理教育学会北海道支部

目 次

卷 頭 言

北海道東海大学工学部 四方 周輔 1

1 実践報告				
回折格子の自作と光の波長測定実験	北海道札幌稲西高等学校	石川 真尚	2	
音速と共に鳴周波数の関わりを考察する実験	北海道釧路工業高等学校	福田 敦	6	
物理ミニ実験	北海道釧路工業高等学校	福田 敦	10	
I C T を活用して解決する探究課題の作成	北海道立理科教育センター	佐々木 淳	16	
商業高校の理科総合 A 指導事例	北海道小樽商業高等学校	武田 伸彦	21	
太陽電池と振動モーターを用いた低コスト教材の製作	エコエネ工房 北海道教育大学札幌校	石毛 岡崎 隆隆	23	
モアレと節線	北海道厚真高等学校	永田 敏夫	25	
デジタル教材は生徒の理解を助けるか	北海道函館中部高等学校	関川 準之助	27	
波動の学習内容とその指導に関する疑問	北海道木古内高等学校	稻子 寛信	31	
電磁誘導現象の発見を再考する	北海道大学大学院理学院自然史科学専攻	鶴岡 森昭	33	
L E D を利用した光の三原色実験セットの製作ならびに演示実践	千歳科学技術大学	長谷川 誠	36	
学生サークル「理科工房」のプロジェクト活動と学生教育効果	千歳科学技術大学	長谷川 誠	39	
2 論文集（中表紙）				
表面張力から分子を考える	札幌北海道教育大学校	岡崎 隆、本間 理、石毛 隆	43	
3 調査報告（中表紙）				
2007年度センター試験理科総合 A の問題分析・評価	センター試験理科総合 A 問題分析グループ		47	
4 日本物理教育学会北海道支部規約、A 4 原稿執筆要項、編集後記			50	