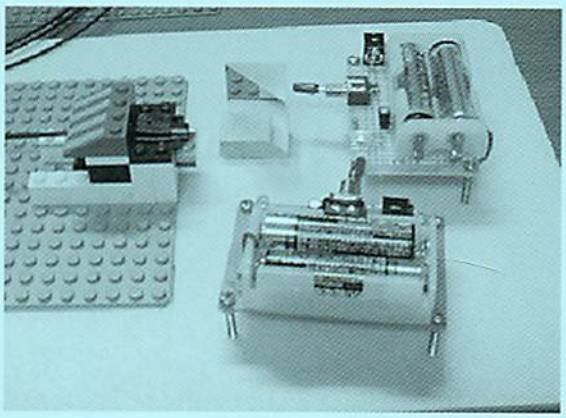
J. Nakano.

物理教育研究

日本物理教育学会　北海道支部

BUTSURI KYOIKU KENKYU



Vol.34, 2006.10

巻 頭 言

支部会員へ期待

日本物理教育学会北海道支部長
（北 海 道 薬 科 大 学） 中野 善明

「世界物理年」（Albert Einsteinの三大論文「ブラウン運動の理論」、「光電効果の理論」、および「特殊相対性理論」の発表から100年目を記念して呼ぶ）であった昨年（2005年）は、第22回物理教育研究大会(北海道薬科大学、小樽市）と大会サテライトである世界物理年記念事業「科学者と語ろう！サイエンストーク2005」（北海道大学、札幌市）を実施しました。多くの参加者のもとで成功裏に終了できたことはこの上もない喜びであります。そして今回は殊更嬉しく思えたのは、現役を退かれた方々や支部活動からしばらく遠ざかっていた会員の参加が多数あったことであり、これを機に改めて支部会員相互の絆が強まったように思うことです。

そんな余韻で今年度の活動に入りましたが、本年(2006年)は日本人で2番目のノーベル物理学賞を受賞した朝永振一郎博士の生誕100年記念で、そして来年(2007年)は1番目であった湯川秀樹の生誕100年記念でもあります。当時の日本としてはほとんど資料のない新しい物理学分野である量子力学というものを自学自習で挑戦し、素粒子物理学を中心とする理論物理学の研究に多大な業績を残した両博士であります。「温故知新」と言う訳でもないが、時には偉大な先人たちの旺盛な「好奇心」と大変な努力家であったことを子供達に紹介し、元気をあげるのも良いかと思います。（尚、朝永博士の業績等はAAPPS Bulletin (Association of Pacific Physical Societies Bulletin, Vol. 16 No. 2 April 2006)の朝永振一郎博士生誕100年を記念した特集号で紹介されています。）

さて、21世紀における日本の発展は新しい科学技術の開発と新しい産業の創出にあり、これらを達成するにはそれに関わる人材育成が必要です。しかし、若年層の「理科離れ、物理嫌い」、および「基礎学力の低下」が進み、科学技術創造立国を目指す日本にとっては由々しき状況となっています。そこで若年層への理科教育・科学技術教育の重要性が高まり、学会や企業などに教育に対する理解と貢献が期待されています。支部活動の期待も大なるところです。本年もあと数ヶ月足らずとなりましたが、まだ文部科学省「平成18年度科学研究費補助金研究成果公開促進費補助事業」「第7回青少年のための公開シンポジウム－創造科学実験」や研究発表会の開催など大きな行事があります。会員相互の情報交換の場であると同時に、日頃の研究成果を披露する場でもあります。多くの会員の参加で実りある場とする所存です。

大学では「新学習指導要領」世代が入学し、来年は「大学全入時代」の到来です。多種多様な背景をもつ学生をみるに、時代に即した「物理教育」再考の必要性を感じています。小中高大連携から多角的に「物理教育」を見直し、より良い教育を提供したいと考えております。今後も益々の支部会員の積極的な活動を期待しています。

科学者と語ろう！サイエンストーク 2005
（世界物理年記念事業）

遠軽郁凌高校　山崎大輔　　札幌旭丘高校　横関直幸

世界物理年記念事業として，本支部では標記のイベントを開催した．科学者と中学・高校生が直接対話することを通して，単なる科学教室や科学イベントとは一味違う科学者と市民との交流を目指した．

キーワード　世界物理年　科学者　高校生　対話

1．イベントの内容と目的

科学に興味を持つ中学・高校生，一般市民を対象に，先端科学の講演，デモンストレーション実験等を通して自然科学の研究について理解を促す．また，講演の他に，参加者がパネルディスカッション形式で科学者と直接対話し，「なぜ科学者を目指したのか」，「科学は社会の中でどのような役割を果たしているのか」などの議論を通して，次世代を担う中高生の意識を喚起し，将来の夢を育てる手助けとする．

2．プログラム

○　開催日：平成 17 年 8 月 8 日（月）

○　場　所：北海道大学クラーク会館
（札幌市北区北 8 条西 8 丁目）

○プログラム

第一部　サイエンスショー（10:00-12:00）
＜クラーク会館玄関ホール２階フロア＞

第二部　講演（13:00-14:30）　＜クラーク会館講堂＞

司会　杉山 滋郎（北海道大学・科学技術コミュニケーター養成ユニット代表）
横関 直幸（札幌旭丘高校・日本物理教育学会北海道支部事務局長）

（1）霜田 光一（世界物理年日本委員会副会長・日本物理教育学会会長，東大名誉教授）
「ノーベル賞をもたらした光の科学と技術」

（2）難波 美帆（北海道大学科学技術コミュニケーター養成ユニット特任助教授・サイエンスライター）
「人生いろいろ，科学もいろいろ－サイエンスライターという仕事」

*********(休　憩)*********

講演（14:40-16:00）＜クラーク会館講堂＞

司会　難波 美帆（北海道大学）
横関 直幸（札幌旭丘高校）

（3）伊土 政幸（北海道大学）
「高温超伝導－発見から２０年を迎えて－」
（超伝導実演）

（4）サイエンストーク
「そのきっかけは何？－物理の面白さ」

3．講演概要

○　『ノーベル賞をもたらした光の科学と技術』
霜田 光一

霜田先生ご自分で撮影された，科学者として凛々しく撮られている写真から，バスのなかで偶然に会って夫婦で撮られている写真，レーザーで風船のなかの風船を割ろうとしているお茶目な写真など，ノーベル賞受者などの科学者の写真をＯＨＰで投影しながら披露してくださいました．

偏光板を２枚用いて，交叉すると暗くなるが１枚だけひっくり返すと明るくなるなど道具を用いての光学の説明や専門であるレーザーについての研究，原理，どのようなものに使用されているかということで，微細加工されたキーホールダーをＯＨＰ上で紹介し，核磁気共鳴，携帯電話の基盤の微細加工などのレーザーを使用した最先端技術についても紹介されました．

＜質疑応答＞

司会：「（参加した高校生に対して・・・）何故，裏返しにすると暗かった偏光板が明るくなるのか？説明できますか？」

生徒：「それはわかりません．」

司会：「（会場の参加者へ・・・）誰かわかる高校生はいますか？」　（会場からは応答なし）

司会：「学校に帰ったら物理の先生へ質問してみよう！」

司会：「霜田先生は何故，光を研究されようと思ったのですか？お名前も光という字が使われていますが，関係がありますか？」

霜田：「名前は父親がトルストイの小説の中の光のフレーズが大好きでつけられたものです．海軍のレーダーを研究していたところ，電波分光の研究者タウンズに会い，レーザーの研究に興味を引かれました．一緒に仕事をしないかと誘われて，コロンビア大学で１年一緒に仕事をし，現在に至っています．」

○ 『人生いろいろ，科学もいろいろ
ーサイエンスライターという仕事』
難波 美帆

幼少の頃は，SF アニメブームであり，「風の谷のナウシカ」，「宇宙戦艦ヤマト」，などがはやり，宇宙や地球環境に自然と関心を持つようになった．中学生の頃，ハレー彗星が 76 年ぶりに地球にやってくるという天文学の大イベントがあり，その天体観測を通じて将来はＮＡＳＡで宇宙飛行士になりたいと考えていた．

大学では理系にすすんだが，科学への関心が持てなくなり，早く卒業してお金を稼ぎたいと考えるようになった．そして，卒業後は出版社に就職した．

ところが，文芸局に配属され，やはり自分は関心のあるノンフィクションの分野を扱いたいという気持ちから，３年で退職．フリーランスで活動を開始した．

フリーランスになってからは，医療や科学の分野を中心に雑誌に記事を書いたり，書籍の編集を手がけた．取材を通して，多くの科学者と出会う機会があった．第一線の科学者の話は大変興味深いものだった．その後，「自分の仕事の存在意義」，などについて大きく悩む時期があったが，人はそのような究極の問で悩んでいいんだということに気づかせてくれたのも，ある科学者の書いた文章であった．

これまでやってきたこと，それは雑誌や書籍の出版を通じて科学者と一般の人との橋渡しをすること．今は，大学でサイエンス・ライティングを教えている．科学者と一般の人達との橋渡しをする科学技術コニュケーターの育成を通じて，科学コミュニケーションに携わっている．

○ 『高温超伝導- 発見から２０年を迎えて－』
伊土 政幸

高温超伝導の発見の歴史から現在の技術利用までをお話いただきました．

昔，物理の理論では，低温にすると気体は液体になるということでしたがヘリウムは，どんなに冷却しても当時の技術では液体にならなかった．そこで，オネスが初めてヘリウムを液体にできる冷却機を開発した．オネスは次に冷却し続けると金属の伝導性はどうなるだろうか？ということに着目し水銀を冷却した．すると予想に反して４K で抵抗が０となることを発見．次にコイルを作り，そこに電流を流すと電源を外しても永久に電流が流れることを発見．ビーカーに液体ヘリウムを入れておくとビーカーの壁を登り外に出てしまうという液体ヘリウムで起こる超流動現象やマイスナー効果の紹介や，リニアモーターカーなどの超伝導を用いた最新技術の説明がありました．

その後，リニアモーターカー，約１０００個のネオジウム磁石，マイスナー効果，などの演じ実験をしてくださいました．

＜質疑応答＞

司会：「愛知万博のリニアモーターカーと JR のリニアは，構造が違うと聞いたのですが本当ですか？」

伊土：「構造が違うというよりは，電磁石が銅線か，超伝導磁石かの違いです．銅線の電磁石だと１cm しか浮きませんが，超伝導磁石だと１０cm 浮かすことができます．あとはコストの面が違います．」

○ サイエンストーク
『そのきっかけは何？－物理の面白さ』

司会：「科学者になろうと思った動機はなんですか？

伊土：「大学に入学した当時，宵函トンネルなどの大型工事が，沢山あり土木の道に進もうとしていたが，物理を学ぶうちにはまってしまい，現在に至ります．」

司会：「科学者になって良かった点，悪かった点を教えて下さい．また，もし科学者になっていなかったら何になっていましたか？

霜田：「良かった点は生に適した仕事だったことです．悪かった点はないですね．もし科学者になっていなかったら，芸術家，とりわけ工作が好きなので何か作る仕事についていたと思います．」

司会：「一般の人にわからないとてつもなく難しいものをどのように，理解できるように説明するのでしょうか？」

難波：「基本的に苦手なところはさけますが，わからないということが恥ずかしくない立場なので，大学の先生には，「小学生か中学生ぐらいに話すように話してください．」，と言います．すると少しわかる部分がでてきて，理解しやすくなります．」

司会：「中高生の生徒に理科を教えるとしたらどのようなことを一番教えたいですか．」

霜田：「生徒が一番知りたいことを教えたいです．その上で奥の深さが教えられたらいいと思います．」

司会：「科学者に必要な素養はなんですか？」

伊土：「何かをはじめておもしろいと感じること，それにはまずそれがどのようなものか理解すること，そして壁にあたったら壁を突破し続ける努力をすることです．」

参加者 A：「科学者にとって能動的であることと謙虚さは必要ですか？」

霜田：「研究に対する能動性は必要です．私は執念と言いますが，謙虚さとしては自然に対して科学者は常に謙虚でなければなりません．」

参加者 B：「光には波と粒子の性質があるということですが，ある光を一方からだし，逆方向から同波長の逆位相の波を出した場合，光も打ち消し合うのでしょうか？」

霜田：「波なので，打ち消し合います．そのような実験もされました．」

参加者 C：「液体ヘリウムで超流動は何故起こるのでしょうか？」

伊土：「これを全部説明する時間がないのですが，簡単に言うと毛細管現象がおこると思って下さい．」

参加者 D：「さきほど科学者にとって壁を取り払うことが必要と言われたのですが，先生方は具体的にどのようなことをして壁を取り払われたのですか？」

伊土:「寝ても覚めてもそのことを考え続けることです．」

霜田：「考えてわからなければ，寝て，起きてからまた考えます．」

参加者 E：「核磁気共鳴には，規制があるとのことですが，人体に有害なのですか？」

伊土：「１万７千ガウスで人間は眠くなると言われていますが，よくわかっていません．日本では１万５千ガウス，アメリカでは３万ガウスまで使えるそうです．」

司会：「科学技術コミュニケーター養成ユニットの立場から，北海道の高校生へメッセージをお願いします．」

難波：「北海道に来てまだ半年なので北海道の冬の怖さを知りませんのでいいところだなあと思っています．大学生をみて思うのですが，挨拶をするようにしてほしいですね．挨拶はコミュニケーションの基本です．」

４．成果と課題

世界物理年記念事業として開催された本事業は，１００名を超える中学・高校生，教育関係者，一般市民の参加をえて開催された．夏季休業中ではあったが，高校生をこのようなイベントに集めることは当初より困難が予想された．幸い，各高等学校の理科部生徒や，多くの高校の先生方の協力を得て多くの生徒諸君に参加してもらえたことは，この場をかりてお礼を申し上げたい．

一方的な科学啓蒙の講演ではなく，科学者と高校生との「対話」をこの企画の中心にそえた．参加者に発言を期待するのは進行が滞るのではないかという危険が予想されていた．最近の高校生は自ら積極的に発言するという場面を学校生活の中で経験することは非常に稀である．高校生が発言をしてくれるのかという大きな不安があったが，参加した生徒諸君はたいへん意識が高く，最後のサイエンストークでは次々と質疑が交わされ，当初の目的を十分果たせたと思われる．

ステージ上の超伝導実験の装置を興味深げに見つめながら，説明を聞いている生徒諸君の表情はとても生き生きとしており，印象的であった．今後，中学・高校生と対象としたイベントにおいては，やはり体験参加型の内容を取り入れることが重要になってくるであろう．

この企画の趣旨に賛同し、快く講演を引き受けていただいた、霜田、難波、伊土、各氏に対してはあらためて感謝の意を表したい．

世界物理年記念講演会

科学者と語ろう－サイエンストーク2005

アインシュタインの夢をあなたに

プログラム

第一部 サイエンスショー (10:00-12:00)

（クラーク会館玄関ホール：いろいろな実験を紹介します。科学の面白さをお楽しみ下さい）

第二部 講演(13:00-14:30)

司会 杉山 滋郎（北海道大学・科学技術コミュニケーター養成ユニット代表）
横関 直幸（札幌旭丘高校・日本物理教育学会北海道支部事務局長）

(1)霜田 光一（世界物理年日本委員会副会長・日本物理教育学会会長、東大名誉教授）
「ノーベル賞をもたらした光の科学と技術」

(2)難波 美帆（北海道大学科学技術コミュニケーター養成ユニット特任助教授・サイエンスライター）
「人生いろいろ、科学もいろいろ－サイエンスライターという仕事」

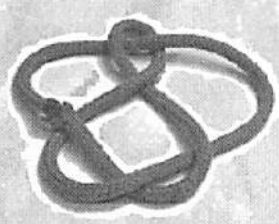
講演(14:40-16:00)

司会 難波 美帆（北海道大学） 横関 直幸（札幌旭丘高校）

(3)伊土 政幸（北海道大学）
「高温超伝導－発見から20年を迎えて－」（超伝導実演）

(4)サイエンストーク「そのきっかけは何？－物理の面白さ」

会場：北海道大学クラーク会館
開催日：８月８日（月）



解けない謎はない

主催：世界物理年日本委員会、北海道大学、
日本物理学会、日本物理教育学会、
応用物理学会北海道支部、
北海道大学科学技術コミュニケーター養成ユニット

World Year of PHYSICS 2005

連絡先
北海道大学大学院理学研究科物理学専攻
小野寺 彰
mail: onodera@phys.sci.hokudai.ac.jp
Tel. 011-706-3583

弓を使った力学的エネルギー保存の法則の説明

北海道札幌啓成高等学校　佐　藤　　健

私の知っている力学の実験は力学台車を引っ張るなど、日常経験的にはごく普通のものを用いる実験が多く、個人的には単調な実験が多いと感じていた。それはそれで仕方ないとして、さらに定量的に実験を行おうとすると実験の技量がものをいい、生徒間にその格差があると誤差の格差も大きくなり、生徒の目から見るとどれが本当か疑わしくなる、ということも起こりがちであった。これに対し、力学の法則はかなりきちんとした体系化がなされているので、「本来はこの法則に従っている」と言わなくてはならない場面はなるべく減らして、すっきり良い結果を得ながら授業展開をしていきたいと思っていた。いい実験はないかと探していたが、弓を使ったこの実験が「川勝先生の物理授業–中巻」（海鳴社）で紹介されていたので試してみた。

キーワード　力学的エネルギー，アーチェリー，弓，高等学校

1．はじめに

「川勝先生の物理授業–中巻」ではこの実験は、弓道の弓を使うことを想定している。弓は高校生にしてみれば、よく知ってはいるが使ったことはないという点で新鮮味があり、道具としては興味深い。後は定量的な部分が、なんとか分かり易い結果になればと考えた。

本校には弓道部はないのでアーチェリー部の弓を使ってみた。アーチェリーの場合、的までの距離は７０ｍと長く（弓道は３０ｍ）、生徒に当たるまでの時間を、ある程度余裕を持って測定させることができるかもしれないという期待もあった。

2．演示実験の方法と結果

2.1　弓（アーチェリー）をバネと同じように弾性体と考えて弾性定数を測定する。

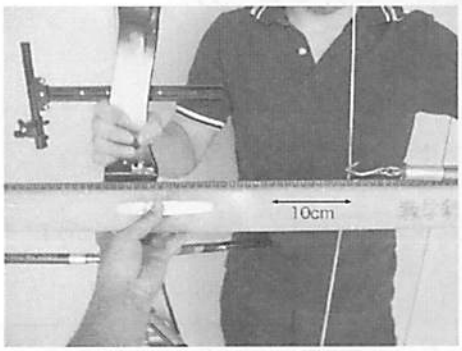


Photo 1　糸の張力と変位から弾性定数測定

通常弓を打つ時の変位（４０cm 位）では、２０kgw 相当の力が必要なので、これを測定できるバネばかりは本校にはない。弾性力が変位に比例すると考えて、変位が５cm（$=x$）の時の弾性力（$=F$）を測定し、弾性定数（$=k$）を求める。

$$k=\frac{F}{x}\quad[\mathrm{N/m}] \qquad (1)$$

F＝３．６５kgw を測定し、Ｎ単位に直して k＝７１５N/m を得た。

2.2　弓を打つ時の変位（$=x_1$）を求める。

当然、授業中に弓を引くのは危険なのでできない。あらかじめ弓を完全に引いた時の矢の先端の位置を確認しておき、授業では弓を引かずに単にひっかけている状態で、その先端の位置との差を求めるとよい。アーチェリーでは完全に引いた時、丁度弓を握る所の外端に矢の先端が来るので、授業では弓を引かずに単純にひっかけて、握りの端からはみ出た部分の矢の長さを測定すればよいので、簡単である。x_1＝４７．０cm を得た。

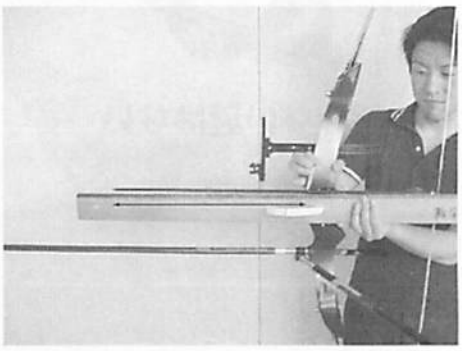


Photo 2　矢の変位を測定

2.3　初速度の水平方向とのなす角

これはビデオの映像を利用して求めた。三脚を使ってもビデオカメラが水平になっているとは限らないので、映像の中に水平方向を示す線があると分かり易いと思う。本校のアーチェリー場にはフェンスがあり、フェンスの網の境界線が映像に写ってる。それと矢のなす角を映像により求めた。ただし、現実の映像と全く同じものかどうかは、まだ確認していない。ただ測定値は6°なのだが、実際この程度の角度では、それほど矢の的への到達時間に影響はないと思われる。

Photo 3　初速度の水平角の測定

2.4　力学的エネルギー保存の法則より矢を引き放つときの初速度の計算

矢の質量m[kg]、初速度v[m/s]とすると、力学的エネルギーの保存から

$$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}k(x_1)^2 \qquad (2)$$

$$v=x_1\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (3)$$

m＝２３．９×１０　kg をあらかじめ天秤で測定しておき、初速度の計算結果はv＝８１．３m/s となった。

2.5　到達時間の理論値の計算

矢の初速度の水平成分は

ｖ・ｃｏｓ６°＝８１．３×０．９９５

＝８０．９m/s

等速運動だと仮定すると、的に着くまでの時間の理論値は

７０÷８０．９＝０．８６５ｓ　　となる。

2.6　ビデオ映像から到達時間の実測値をストップウォッチで測定

生徒１０名位にストップウォッチを持たせ、ビデオ映像で矢を放ってから、的に当たるまでの時間を測定させる。ビデオの機器の性能は調査していないが、実際矢を打っている場所で時間を測ってみたが、ビデオで測った場合と違いはないように思えた。ただ、ビデオをパソコンに記録した映像は、使わない方が無難だろう。ビデオカメラを直接プロジェクターに接続して映して見せた。

打ち始めは目で見れるが、的に当たる確認は７０ｍも離れているとさすがに矢は見えず、音で判断するしかない。１秒そこそこの値になり、１００分の１秒まではとても特定できないが。それぞれ測定した値を述べさせ、おおよその値を納得してもらう。１．５ｓ位の値となった。念のためビデオのタイムラインで確認しても（これも終了は音の確認なので正確ではないが）、ほぼ同じ位であった。

ビデオを撮った当日の気温は１５℃なので音速は３３１．５＋０．６×１５＝３４１m/s

従って音が到達する時間は

７０÷３４１＝０．２１０ｓ

この効果を差し引き弓が当たるまでの時間は

１．５０ｓ－　　０．２１０ｓ＝１．２９ｓ

となり、これが実測値であるとする。

3．まとめ

残念ながら理論値と実測値との誤差が

４９％と大きく、あまり良い結果は得られなかった。理論値を出すための基本的な量が、比較的測定し易い、生徒のミスが起こりにくいものばかりなので、残念である。誤差の原因は厳密な検証はしていないが、これほど大きいとすると、やはり矢の空気抵抗の効果がかなりあるものと思われる。実測値自体はそれほど変化がなかったので、風の影響は、ほぼ無かったと思う。後はバネばかりの精度と、弓の弾性力が変位に比例する確認をするべきだった。空気抵抗の効果を小さくしたければ、矢の飛行距離を短くしたり、矢の速度が小さければよい結果に近づくかもしれない。従って距離が短い場合、また弓道ではうまくいくかもしれないので、さらに検討を続けてみたい。次頁にこの実験の指導案例を載せておく。

4．文献

「川勝先生の物理授業–中巻」（海鳴社）P20

自由落下の導入法
（空気抵抗の影響をどのように意識させるか）

札幌旭丘高等学校　横関直幸

自由落下運動は，落体の運動のはじめに学習する内容である．多くの場合，速度や加速度の直後に学習することから，物理全体の導入としての意味合いも大きい．最も基本的な事項のひとつであるが，各社の教科書を比較するとその導入の仕方や説明はかなり異なることがわかる．自由落下を導入するにあたり，空気抵抗をどのように扱うべきか考察し，授業の一つの形式を提示する．

キーワード　自由落下，空気抵抗，導入法，演示実験

1．はじめに

教科書の記述の多くは，落下運動が等加速度直線運動であり，その加速度の大きさが $9.8\mathrm{m/s^2}$ であることを記述の中心にしている．しかしながら，落下のようすが質量に依存しないという，生徒の概念形成上重要な点が軽く扱われている傾向がみられる．多くの場合，運動の法則よりも前に自由落下の学習が位置していることがそのような傾向につながっているが，「重いものは早く落ちる」という誤った認識から，「落下のようすは質量に依存しない」という正しい認識へすすめるためには，授業での説明でストーリー性をもたせることは重要である．

2．教科書別にみる自由落下に関する記述

4社の高等学校物理Ⅰの教科書について，自由落下に関する部分の記述を比較する．教科書の優劣を比較するものではないが，誤解をまねくおそれがあるため，会社名については明記しないこととする．

記述内容については，その説明の流れ（ストーリー性）がわかる程度に箇条書きとした．また，「自由落下」という項目は，「初速度が0で，重力のみはたらいている運動」という説明をしている

<K社>
- 真空中で鉄球と羽毛の落下を比較
- 自由落下
- 重さがちがっても同じように落下
- 空気中でも，重くて速度が小さいなら自由落下とみなせる
- ストロボ写真からの分析（v-t グラフ）より自由落下は等加速度直線運動　→　重力加速度 g
- g は質量によらず一定で $9.8\mathrm{m/s^2}$
- g は場所によってわずかに異なる

<S社>
- 自由落下
- ストロボ写真より $9.8\mathrm{m/s^2}$
- 質量をかえても同じ加速度
- 重力加速度といい，g で表す

<D社>
- 自由落下
- 空気抵抗が重力に比べて小さいときは自由落下とみなせる
- 質量の異なる2つの金属球の自由落下のストロボ写真
- 質量に関係なく同じ落下運動
- v-t グラフは直線だからその傾きより，自由落下は $9.8\mathrm{m/s^2}$ の等加速度直線運動
- 重力加速度の記号は g
- g は場所によりわずかに異なる．

<T社>
- 空気抵抗により複雑な運動になる．
- 自由落下
- 真空中の金属球と羽毛は自由落下
- 自由落下運動は，物体によらず同じ
- 等加速度直線運動で $9.8\mathrm{m/s^2}$
- 重力加速度は g とかく

3．自由落下の指導上のポイント

3.1　空気抵抗の影響

「重いものは速く落下する」という誤った認識を多くの生徒が持っているのは空気抵抗が原因であることはいうまでもない．空気抵抗の影響が無視できる状態において，重力のみはたらいている物体がどのように運動して

いるかを実験を通して示していくことは有用である．しかし，いくつかの教科書で見られるように真空状態での実験を行うことは別の問題を含んでいる．それは「真空」という非日常的な空間が，落下運動のようすが質量に依存しないという特殊な状況を生んでいるという誤解を生徒がもつ危険である．極端にいうと，「真空中では物体は軽くなる」という，真空と無重量状態の混乱である．生徒の学習状況や，学力到達度の違いにより，高校ごとに生徒の状況は異なるが，そのような誤解をもつ危険を授業をすすめる上で認識しなければならない．

3.2 重力加速度は物体の質量に依存しない

定量的な実験を行うべきかどうかは議論の分かれるところであろうが，質量の異なる２つの物体の落下のようすを比較することは重要である．「重いものが速く落下する」ように感じるのは空気抵抗の影響であり，質量には無関係であることを示すためには，質量の異なる 2 物体の落下のようすを比較する必要がある．

3.3 重力加速度は場所によりわずかに異なる

比較した 4 社の教科書の中で，このことにふれていたのは 2 社であった．万有引力や，地球の自転の影響など，発展的な内容につながる事項ではあるが，導入の段階では必ずしも強調する必要はないと思われる．

4．自由落下の導入授業の例

以上の点をふまえて，自由落下の導入授業における演示実験とその説明方法について提示する．

左手に開いたティッシュペーパー，右手にボールペンをもち，教卓から 50cm くらいのところで保持する．「ティッシュとボールペンではどちらが早く机に到着するか．」，と生徒に発問する．多くの場合，生徒は「ボールペンが早い」と答える．実際に落とすと，予想通り，ティッシュはひらひら，ボールペンはストンと落ち，明らかにボールペンが早く机に落ちる．

次に，ティッシュペーパーを手で丸めて同じ発問をする．一人の生徒から回答をもらってから，今度は生徒全員に挙手によりどちらが早く落ちるか予想してもらう．「ボールペンが早い」と「ほとんど同時」とに意見が分かれる．実験してみると，丸めたティッシュとボールペンはほぼ同時に落下することが観察される．

この後に，さらに生徒へ発問する．「開いたティッシュと丸めたティッシュでは質量は変わらない．しかし，落下のようすは大きく異なる．これはどうしてか．」

ほとんどの場合，ここで「空気抵抗のため」という答えが生徒から引き出される．そして，以下のような説明を行う．

「開いたティッシュと丸めたティッシュでは，質量は変わらない．しかし，落下のようすが大きくことなるのは空気抵抗の影響だ．私たちは空気に囲まれて生活しているので，軽いものがゆっくり落ちるような間違った感覚をもってしまう場合がある．

ティッシュは 1 g，ボールペンは 10 g で質量の比は 10 倍である．質量が 10 倍も違うのに，空気抵抗を小さくした丸めたティッシュの落下のようすは，ボールペンとほぼ同じである．つまり、落下のようすは質量に無関係ということが言える．」

この後，落下運動が等加速度運動であり，重力加速度の大きさが $9.8\mathrm{m/s^2}$ であることに進む．生徒実験での重力加速度の測定は後から実施することが，本校の場合は多い．

5．まとめ

自由落下運動の学習をする時点で，ニュートンの第 2 法則（運動の法則）を学習していない場合が多い．物理は全てを学習してから多くの事項がつながり体系としての理解が完成するわけだが，それぞれの学習段階において，一つ一つ概念形成を積み重ねていくことが必要である．運動の法則を学習後に，あらためて自由落下運動の力と加速度と質量の関係を考察し理解する機会はあるだろうが，それぞれの学習事項の導入部で正しい自然認識が促されるような工夫が必要であろう．

今回の授業例はひとつの提案であるが，もちろん他にもいろいろな導入法が考えられ，多くの教師が実践していることであろう．空気抵抗はむしろ意識させない方がよいと考える方もいるかもしれない．多くの方々と授業法について意見交換できることを期待したい．

定時制課程における科学史の授業実践

(「鑑賞する物理学」の構築を目指して)

北海道札幌月寒高等学校　定時制　本田貴俊

科学の祭典やサイエンスショー等に見られる様々な実験は物理を楽しむものとして授業にも使われ、生徒の興味関心を引き出すのに大きな役割を果たしている。しかし、物理のおもしろさや楽しさはそれだけではなく、音楽や絵画などの芸術を鑑賞するのと同様に物理を鑑賞するという楽しみもあるはずである。ここでは物理を鑑賞して楽しむ方法として、科学史を題材に授業としてどのように扱うことができるかを探る。

1．はじめに

教員になって１０年がたつが、この１０年間定時制に勤務し、実験や仮説実験授業、数学の基礎から指導するなど様々なことを試みてきた。いかに生徒に理科、特に物理を教えるか試行錯誤の日々であり、そのような状況の中で以下のような考えを持った。

観察や実験、身近な題材を扱うことは音楽や絵画などの芸術の分野で、実際に楽器を弾いたり歌を歌ったり絵を描いたりといったことと似ている。そして、芸術には音楽を聴いたり絵画を観たりといった鑑賞するという楽しみ方もあるように、物理にも同様の楽しみ方、鑑賞する物理学というものがあるのではないだろうか。

つまり、音楽や彫刻、絵画などの芸術を鑑賞するのと似た感覚で科学理論や法則を鑑賞し、その美しさを感じ思考を楽しむというのが鑑賞する物理学である。

考え方やイメージとしては最近話題になっているサイエンスカフェのようなものではないかと思っている。まだ授業方法として確立したものにはなっていないが、鑑賞する物理学では主に科学史などをもとに物理学の哲学的な側面を題材にして生徒との対話を重視する授業の進め方となっている。

鑑賞する物理学は今後重要性を増すと思われる科学リテラシーの育成にもつながるのではないかと考えている。また、独創性、創造性の育成にもつながる可能性を感じている。

2．科学と芸術の類似性

科学と芸術の類似性についてはこれまで多くの科学者達が語っている。

明治時代の物理学者寺田寅彦は「科学者と芸術家」という随筆の中でその両者には多くの共通点があると述べている。また、アインシュタインは科学と芸術について以下のような言葉を残している。[1)]

「わたしたちが体験しうる最も美しいものとは、神秘です。これが真の芸術と科学の源になります。」
「この世界を、個人的な願望を実現する場とせず、感嘆し、求め、観察する自由な存在としてそこに向かい合うとき、われわれは芸術と科学の領域に入る。」
「思考とはそれ自体が目的である。音楽もそうです。」

科学も芸術も真や美を追究する姿勢や、独創性や創造性が最も重要であるなどの点で酷似している。

何か新しいものを創ろうとしたり、発見しようとするときに、先の見えない答えなどあるはずもない混沌とした状況の中で、先人たちは何を思い、何を頼りに研究を続けたのか。それらを知ることで、科学者だけでなく何をするにしても、独創的で創造的であるための心構えのようなものを学ぶことができるのではないだろうか。独創性や創造性は、ある問題に対してどこかから答えを探して来るというようなものではなく、自分で考え自分で答えを創り出すという姿勢から生まれるということを歴史に学ぶことができるのはないだろうか。

また、科学法則がどのように考えられ創られてきたかという過程を知れば、そこにある思考の美しさを感じることができると考える。それは、音楽や美術作品を鑑賞するときの感覚にも似たものだと思う。

また、そこにある哲学的な問題を考えることは、人間生活と密接な関係にある科学技術やその問題点について考える態度を養っていけるのではないかと考えている。

物理学的な物の見方や考え方そのものに大変興味深いものがたくさんある。科学史的に見てもアリストテレスからガリレイ、ニュートン、アインシュタインの相対論、そして量子論へとその流れの節々に興味深い思考実験や哲

学的な問題がある。相対論、量子論といった現代物理で時間や空間についての概念の変遷や不確定性原理、シュレーディンガーの猫などの問題を授業で扱ってもよいのではないか。それらの内容は必ずしも数式を扱う必要もなく、工夫次第で数学的な力の弱い生徒にも十分物理の醍醐味を伝えることができるはずである。また、理系の生徒、研究者を目指す生徒にこそ、教科書にある法則としての「結果の物理」を理解するだけでなく、科学の歴史的な流れや哲学的問題を含んだ科学的、物理学的な物の見方や考え方を学ぶことは重要なのではないだろうか。

3．物理教育の目標と考え方、鑑賞する物理学の位置づけ

学習指導要領などを参考にしながら自分なりに考えた物理教育の目標を以下にあげる。

1　物理に関する興味や関心を高める。
2　物理法則について理解する。
3　物理学的なものの見方、考え方を養う。
4　独創性、創造性を養う。
5　科学リテラシーの育成

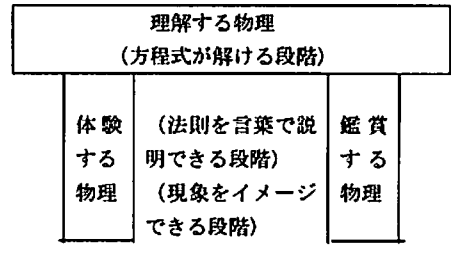
一般的には、まず始めに1があり、2がもっとも重要でこれを経て3を達成して終わりである。実は学習指導要領の目標に4は無い。しかし、今後理科だけでなく他教科においても重要性を増すものだと私は考えている。

独創性、創造性を養うものとして、課題研究における実験などが考えられるが、今後はもう一つの柱として科学史を学ぶことも重要視されるべきであると思う。そして5の目標を達成するには鑑賞する物理学が大きな役割を果たしてくると考えている。

独創性、創造性、科学リテラシーの育成は、物理法則の理解とはまた別物のように感じている。これまでの物理教育は如何に物理法則を理解させるかという側面が主だったように思うが、今後4や5の目標達成のためにどのような授業が必要なのか議論されるべきだと考えている。

定時制の生徒を１０年間見てきてどの手段を用いても２の目標を達成するのは非常に難しいと正直感じている。指導が詰め切れない部分もあるが、実験もどうしても遊びの域を出ることはできずに、自分自身手ごたえを感じることができなかった。しかし、2の目標が達成できなくても実は1，3，4，5の目標を達成することはできそうである。定時制の生徒に対しては、実はこの2の目標を何とか達成しようとしてきて、これまで出口の見えない迷路にはまってきたように感じる。乱暴な言い方だが、あえて2の目標を捨て、1，3，4，5の目標に絞り込むことで、物理教育の新たな可能性が広がってくるのではないかと思う。ただし、私なりに考えたここでいう2の目標の物理法則の理解とは、次のようなものである。法則の理解を1．現象をイメージできる段階、2．法則を言葉で説明できる段階、3．方程式を解ける段階と考えたときの3．方程式を解けるという段階のものである。

物理教育は、実験や観察といった体験する物理学と、鑑賞する物理学の２本の柱の上に、法則を理解する物理学があると私は考える。２本の柱である程度現象をイメージし、法則を言葉で理解する段階まで行くことができるのではないだろうか。そして、その上に方程式が解けるという理解する物理があると考える。定時制の生徒には２本の柱を学ぶことで、1，3，4，5の目標を達成し、進学校などでは、これまでの法則を理解する物理の他に、下の２本の柱を学ぶことでこれまで不十分だった1や4、そして5の目標を少しでも達成できるのではないか思う。



4．授業内容とその展開

鑑賞する物理学の授業を平成17年度、物理１Ａの中で4年生を対象として行ってきた。当初の計画としては以下のようなものだった。

（1）文化としての物理学
　a　物理学と芸術について（寺田寅彦、アインシュタイン）
　b　物理学と哲学（物理学のおおまかな歴史的流れ）
（2）アリストテレスからアインシュタインへ
　a　アリストテレス
　b　プトレマイオス
　c　コペルニクス
　d　ガリレオ
　e　チコ・ブラーエ
　f　ケプラー
　g　ニュートン
　h　ファラデイ
　i　マックスウェル
　j　アインシュタイン

（3）相対論と量子論そしてひも理論
（4）科学と社会と平和
　a　シャドーメイカーズ（原爆製作についてのビデオ映画鑑賞）
　b　科学と政治と平和
　c　科学的態度とは

実際は、２学期の段階で（2）を終了し、あと４年生は３学期に１週間しか授業がないため（4）をやって終わりになった。（3）の授業内容については今後の課題である。

これらの授業の中で重視しているのが、発問に対して答えのイメージを持たせ、対話を基にそれをいかに言語化させ、文章にさせるかである。

例えば、ガリレオの落下についての思考実験があるが、発問としては、「アリストテレスの落下の考え方（重いものほど速く落下する）が正しいとしたとき、ア．Ａの石、イ．Ｂの石（Ａの２倍の質量）、ウ．ＡとＢをつなげたもののどれが最も早く地面に落ちるか。」を出す。まずは落下の途中の様子をイメージして図に示させる。多くの生徒は上からア、イ、ウの順に図を書くが、次にそこにどのような矛盾があるかを考えさせ、一人の生徒を選んで対話する。他の生徒はその対話を聴きながら、最終的にはイメージを言語化し、文章にする。時間はかかるがイメージを言語化するという訓練は大切だと思っている。鑑賞する物理学の授業では、単に物理の物語的なお話をするにとどまらず、方程式は解けなくても文章を書かせることで思考の訓練をすることが重要だと考えている。

考査については、「物理のコンセプト」を参考にし、１問１０点で全１０問の記述式、ノート、教科書持ち込み可として行っている。考査についてはまだ、目標に対する考査内容となっておらず、今後どのような考査がよいのか課題となっている。

物理ＩＡ　　第２学期期末テスト

1．自動車が田舎よりも街で余計にガソリンを消費するのはなぜか。
2．惑星は、それに働いている力が突然なくなったらどんな運動をするか。
3．月の重力は地球の重力の１／６である。１０ｋｇの物体の重さは月ではいくらか。
4．２物体間の距離が２倍になると、物体間の万有引力はどれだけに減るか。３倍ではどうか。１０倍ではどうか。
5．惑星が太陽の周りを楕円軌道を描いて回るということを示すデータは誰が集めたのか。誰がその事実を発見したのか。誰がこの事実を説明したのか。
6．月は地球に近づいてこないのに、なぜ落下しているといえるのか。
7．重力はすべての物体にその質量に比例する大きさで働いている。では、なぜ重い物体は軽い物体より速く落下しないのか。
8．力とは何か。
9．ニュートンが書いた、最も偉大な科学書といわれる本の題名は何か。
10．ニュートンが果たした理論の統一とは、何と何を統一するものだったか。

5．生徒の感想

生徒には３学期の学年末試験において１年間の授業の感想を書いてもらったので主のものを以下に記載しておく。

女子（６名）
・　聞いてるだけの授業だったので楽だった。
・　内容が意味不明。
・　考えが深すぎてよくわからなかった。
・　今の世の中があるのはたくさんの物理学者とかがいろいろと考えて科学や文明が発達してできたんだということが知れて良かった。でも時々というか今も何をテストされてるのかわからないうえに根本的に物理って何だったのか最後までよくわからなかった。
・　あんまり物理は好きじゃないんですけど、やってみると結構興味がわくところもありました。特にアインシュタインやニュートンの所は楽しく勉強できたと思います。

男子（１１名）
・　結構楽しく授業ができた。
・　テストの時何が出るのかわからなかった。
・　自分で決める、自分で考えると言うことが学べて良かった。
・　テストの答えがはっきりしない時がある。
・　いろいろな式を見つけたときのエピソードを知ることができたのはとても良かった。公式は説明されてもよくわからなかったものもあったけど、短い式でたくさんのことが計算できるということを知ることができ、それは楽しかったです。
・　難しくて最後の方はついて行くのがやっとって感じでした。でも、僕はこの物理という授業を受けれて良

かったです。物理の歴史などが知れて良かったです。お陰でちょっと物理が好きになりました。

- 他の教科とはひと味違った進み方、テストなのでおもしろかった。先生の人柄とその他諸々で大変面白い授業をして下さいましてありがとうございました。いろいろ勉強になることも多々あったのでこれからも忘れずにがんばっていこうと思っています。
- 物理は考えさせられる授業だと思うので良かったと思う。理解するのが難しかった。
- 初めてした物理でしたが意外と楽しくできました。

男子には好意的に受け止められているようだが、女子にはさほどでもないようである。また、内容が難しいという感想と、テストに対する不満が大きいようであり、今後の課題としたい。

6．今後の課題

今後の課題としては、以下の5点を考えている。

（1）授業内容をよりわかりやすいものとすること。
（2）科学哲学や科学史についての知識を深め、思考の訓練となるより効果的な発問を多く考え出すこと。
（3）昨年予定していた授業の「相対論と量子論そしてひも理論」についての授業内容を考えること。
（4）考査のあり方、方法を考えること。
（5）これらの授業に対する検証の方法を考えること。

物理学を鑑賞する授業のネタとしては、科学哲学や科学史の本を見れば、目次を見ただけでいくらでもありそうに思う。また、物理の分野だけでなく、建築の分野でもブライアン・グリーンの「エレガントな宇宙」から着想を得た「多次元住宅」という題の設計コンペ[2]があったり、武谷三男の三段階論[3]から着想を得た建築物[4]があるなど、物理と建築を絡めて授業として扱ってみるとおもしろそうなものがあり、現在構想を練っているところである。

建築や芸術、スポーツなど様々な分野で物理学は強い影響力を及ぼしている。そして、それらを鑑賞する物理学として授業で扱うことで、より多くの生徒を物理に引きつけることができるのではないかと考えている。

引用文献

1）ジェリー・メイヤー／ジョン・P・ホームズ、ディスカバー編集部訳、「アインシュタイン150の言葉」、ディスカバー21
2）「新建築」2004年12月号、新建築社
3）武谷三男、「弁証法の諸問題　武谷三男著作集1」、勁草書房
4）菊竹清訓、「代謝建築論　か・かた・かたち」彰国社

作用反作用の法則を確認するリングの作成とその活用

北海道大学大学院教育学研究科修士課程　河野　匠
北海道大学大学院教育学研究科　大野　栄三

力が相互作用であり、作用反作用の法則が成立していることを指導する教材としてリングを作成した。このリングは塩化ビニルを使って手軽に作成できる。そして、互いに力を及ぼしあっている２つの物体にマジックテープで取り付けて相互作用を視覚的に捉えることができ、力学教育のさまざまな場面で活用できると考える。

１．はじめに

作用反作用の法則は力が相互作用であることを意味している。しかし、日常経験から力が相互作用であることを認識するのは難しい。例えば、トラックと乗用車の衝突では、衝突後の破損状況から、質量の大きなトラックよりも質量の小さな乗用車の方に大きな力が働いていると考えてしまいがちである。衝突は一瞬のことであるから、どうしても衝突前後の物体の変形や運動変化から衝突時の力の大きさを推測してしまう。そのため、衝突の間、２つの物体それぞれに働く力に作用反作用の法則が成立しているとは考えづらいのである。

このような日常経験を踏まえ、作用反作用の法則に着目して動力学の指導を行う授業プランが提唱されている[1)]。このプランでは、２台の力学台車の衝突実験を行うとき、力学台車の衝突棒につけた紙の移動距離を衝突後に測定し、それらが等しいことから、衝突時にそれぞれの台車に働いた力が同じ大きさであったことを確認している。しかし、この方法では衝突中に働く力の大きさが変化する様子を確認できない。

そこで、２台の力学台車が衝突している間、それぞれの台車に働く力の大きさを視覚的に確認するためのリングが考案されている[2)]。このリングを２つの台車にねじで取り付けて衝突させると、２つのリングが歪み、復元する過程を目視で確認でき、それぞれの台車に働く力の大きさが変化する様子を知ることができる。

本稿では、衝突実験用に考案されているリングを衝突実験以外でも活用できるように改良した。このリングは手軽に作成できる上に、マジックテープを用いることで台車以外の物体にも容易に取り付け可能であり、様々な状況において力が相互作用であることを視覚的に捉えることができる。

２．材料

・塩化ビニル（５mm厚）
　→ 使用するリングの材質は、丸めることができ、衝突した際に目視でもはっきりと分かるように歪み、衝突後は元の形に復元するような材質のものを選ぶ必要がある。今回は５mm厚の塩化ビニルを用いた。また、歪みを見えやすくするために透明ではなく色付きのものを選んだ。

・ポリウレタン（１ｃm厚）
　→ 塩化ビニルの厚みだけでは変形が見えづらいことから、ポリウレタンのシートを取り付け、リングに厚みをつけた。厚みをつけるものの材質は様々に考えることができるが、リングの歪みを妨げにくく、ある程度厚みのあるポリウレタンを選んだ。

・マジックテープ
　→ マジックテープを活用することによって様々な物体に取り付けることが可能となる。

３．作り方

① 塩化ビニルを３６ｃm×２ｃmに切断し、それを２つ作る。また、ポリウレタンも同様に３０ｃm×２ｃmに切断したものを２つ作る
② ①で切った塩化ビニルとポリウレタンを張り合わせる。
③ ②で張り合わせたものを丸めて円周３０ｃm程度の輪を作り、接着剤で張り合わせる。
④ 張りわせたところに、図１のようにマジックテープをつける。

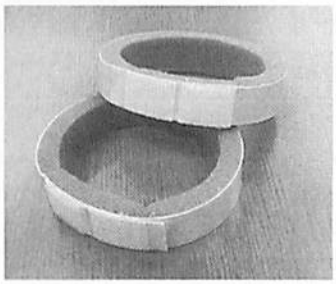


図１　完成したリング

4．活用方法

4．1 衝突実験での活用

上述のように作成したリングを台車のマジックテープの部分に取り付ける。そして、2台の台車の初速度や質量を変えて様々な初期条件を設定し衝突させる。それぞれの台車の衝突後の運動は初期条件に依存して異なるが、両方の台車に取り付けたリングは、どちらかがより大きく変形するといったことはなく、両方とも同じ大きさに歪んでいることが分かる（図2）。このことから、衝突の間、2つの台車には同じ大きさの力が働いていることが分かり、作用反作用の法則が成立していることが理解できる。

この実験は、初期条件を適当に設定すれば、衝突時のリングの歪む様子を目視で確認することは十分可能である。さらに衝突の瞬間をビデオカメラで撮影し、スロー再生することによって、2つのリングの歪む様子やその復元過程を確認することもできる。

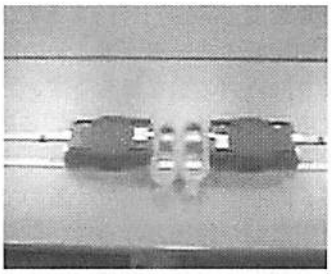


図2 衝突の瞬間

台車を正確に正面衝突させるためにカーテンレールを用いた。

台車は島津理化器械の FT-Y 5

4．2 静力学教育での活用

このリングの特徴のひとつはマジックテープで脱着できることである。このことから、力学台車の衝突実験のような動力学教育だけでなく、様々な物体に取り付けることにより、静力学教育の教材としても活用できる。

マジックテープで2つの物体にそれぞれリングを取り付け、それら2つの物体を2つのリングを介して互いに接触させる。外力で2物体が互いに押し付けられたとき、各リングに生じる歪みの大きさを比較することによって、2つの物体に働く作用と反作用の力がいつも同じ大きさであると視覚的に捉えることができる。

例えば、図3のように両手に2個のリングを挟み、一方の手を固定して他方を押し付ける。このとき、両方のリングが歪む大きさは同じであり、それぞれの手に働く力の大きさが同じであることをイメージできる。同様に、手と壁にこのリングを取り付けておき、手で壁を押すといったこともできる。このときも両方のリングの変形を調べることで、手と壁のそれぞれに働く力の大きさが同じであること、つまり作用反作用の法則が成立していることがわかる。

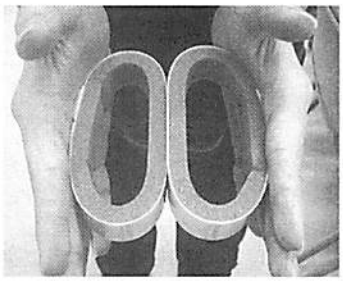


図3 手と手の相互作用

5．おわりに

このリングの特徴のひとつは塩化ビニルを使って安価で手軽に作成できることである。これによって生徒1人1人がリングを使って実験することができる。さらに、マジックテープによって様々なところにこのリングを取り付けることが可能であり、衝突現象のような動力学教育だけでなく、静力学の指導においてもいろいろな場面で作用反作用の法則が成立していることを視覚的に捉えることができると考える。

今後は、このリングを活用して、具体的にどのような授業が可能かを検討する必要がある。例えば、中学理科では、1年の静力学の分野から3年の動力学まで一貫してこのリングを活用することができると考えている。

---

1) 寺岡英男：授業書「力学」，高村泰雄編著『物理教授法の研究』，北海道大学図書刊行会，1987，pp.59-213

2) 石井登志夫：撃力観察装置「プラバネくん」製作記，『理科教室』9，星の環会，1997，pp.64-67

今回使用した材料は東急ハンズ札幌店（札幌市中央区南1条西6丁目）で購入しました。

材料と価格は以下のとおりです（リング12個分・全て税込み）。

・塩化ビニル（36cm×25cm シート）	1枚346円
・ポリウレタン（30cm×30cm シート）	1枚315円
・マジックテープ（25mm×15cm）	2組294円
（・カーテンレール（2m タイプ）	2本2540円）

向心力，遠心力およびダランベールの原理

石川　昌司

北海道札幌啓成高等学校

1　はじめに

はじめに，現在の高校の教科書における，等速円運動の標準的な取り扱いについて，特に向心力と遠心力の違いについてまとめておこう．

等速円運動の問題を解く方法には，静止している観測者の立場で運動方程式から解く方法と，物体とともに等速円運動をしている観測者の立場から見て物体は静止しているものとして解く方法の２つがある．

前者の立場で，実際にはたらいている力（の合力）を“向心力”と呼ぶ．

後者の立場では，物体にはたらいている力として，上記の“実際にはたらいている力”の他に“遠心力”を付け加え，全体として力はつりあっている，と見る．

書かれる方程式はどちらの立場からのものも数学的に同等のものになるが，しかし，意味が異なる．したがって，どちらの立場で運動を見るのか，はじめにはっきりと決めなくてはならない．

なお，物体とともに等速円運動をしている観測者の立場で見るときは，“実際にはたらいている力”を“向心力”とは呼ばない．“向心力”とは，あくまでも等速円運動している物体にはたらいている力だからである．

以上の論理は首尾一貫していて，何も矛盾はない．しかし，生徒の等速円運動に対する理解は，決して教科書通りになっているとは言えない．特に“向心力”と“遠心力”については，教科書と異なった概念をもっている生徒は少なくない．

本稿では，何故そのような誤解が生じるのか，また，そのような誤概念は，すべて否定すべきものなのかについて考察してみたい．

2　向心力から等速円運動を導く（教科書の逆順）

現行の高校の教科書では，最初に，ある円周上をある角速度で等速円運動する物体を仮定し，向心加速度の式を導いて，その後，運動の法則により向心力の式を書き下す，という順番で説明することが多い．しかし，この方法では，「最初に等速円運動ありき」で，最後の結論部分に，向心「力」が出てくるので，見かけ上，等速円運動が原因となって，結果的に向心力が生じるかのような，間違ったイメージを生徒に与えてしまいかねない．本来「力」が原因で「運動」が結果であるべきなのに，順序があべこべになってしまっている．因果律の順番が，逆転しているのである．

なぜ教科書がそのような順序で書かれているかと言うと，ひとつは導出の難易度の問題だと思われる（等速円運動→向心力の順序の方が導出が易しい）が，もうひとつの根拠には，運動の法則の中の，力と加速度は，互いに必要十分の関係にあるので，どちらからどちらを導いても論理的には間違いではない，という理由があるのかも知れない．

しかし，２番目の理由について言えば，論理的に間違いではない，ということと，教育的に望ましいかどうかは別であろう．私の経験で言えば，運動の法則の力と加速度が，必要十分の関係にあることが真に理解できたのは，高校を卒業して，大学の物理学科に入学した後のことであった．

したがって，やはり高校段階での取り扱いとしては，物体にはたらいている力を正しく見

つけて，運動方程式を立て，これを解くことによって，運動を予測するという，力学本来の思考の順序で教えられるのならそれに越したことはない．すなわち，速度に常に垂直な一定の大きさの力がはたらくとき，結果的にその物体が等速円運動をすることを証明できればよい[1]．

結局，問題は，計算の難易度である．そこで，微分・積分を用いずに，高校生にもわかる数学だけで上記の証明を行う試案を作ってみた．どうだろうか．

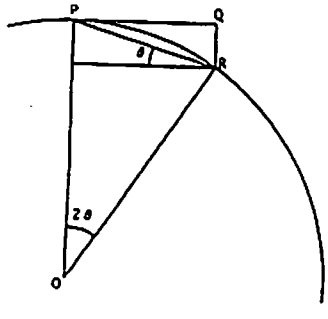
はじめに，質量 m の物体が速度 v で運動しているとき，大きさ F の力が運動方向に対して垂直にはたらいているとする．運動方程式 $ma = F$ により，加速度は，運動方向に対して垂直に $a = \frac{F}{m}$．当然，接線方向への加速度はない．したがって，物体は，速さの変化のない，ある曲線上を運動することになる．この曲線の曲率半径 r を求めよう．

微小時間 Δt の間の，運動の接線方向への変位 Δx と法線方向への変位 Δy は，

$$\Delta x = v \cdot \Delta t$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{m} \cdot \Delta t^2$$

で与えられる．



図で，$\Delta x = \overline{\mathrm{PQ}}, \Delta y = \overline{\mathrm{QR}}$ と見なす．一方，θ が小さければ $\sin 2\theta = 2\sin\theta = 2\tan\theta$ だから，

$$r = \frac{\overline{\mathrm{PQ}}}{\sin 2\theta} = \frac{\overline{\mathrm{PQ}}}{2\sin\theta} = \frac{\overline{\mathrm{PQ}}}{2\tan\theta} = \frac{\overline{\mathrm{PQ}}}{(2 \cdot \frac{\overline{\mathrm{QR}}}{\overline{\mathrm{PQ}}})} = \frac{\overline{\mathrm{PQ}}^2}{2 \cdot \overline{\mathrm{QR}}}$$

これに，$\overline{\mathrm{PQ}} = \Delta x = v \cdot \Delta t$，$\overline{\mathrm{QR}} = \Delta y = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{m} \cdot \Delta t^2$ を代入すると，

$$r = \frac{(v \cdot \Delta t)^2}{(2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{m} \cdot \Delta t^2)} = \frac{mv^2}{F}$$

を得る．これが求める曲率半径である．

v が一定であるから r も一定になる．結局，運動の軌跡は曲率半径が一定の曲線，すなわち円になる．故に物体は等速円運動することがわかる．

また，この式を変形すると，$F = \frac{mv^2}{r}$ となる．このことから，半径 r の円周上を速さ v で等速円運動している質量 m の物体には，$\frac{mv^2}{r}$ の力が円の中心向きにはたらいていることがわかる．この，等速円運動している物体にはたらいている円の中心に向かう力を向心力という．以上，証明終わり．

3 テイラー展開により曲率半径を導く方法 ･･･参考

曲率半径の導出には，前節に述べたような幾何学的な方法による以外に，高校の授業で扱えるかどうかは別として，微積分を用いてももちろん可能である．その一般的な証明はやや複雑になるが，接線が x 軸に一致するような特別な点の場合は比較的簡単である．以下にその証明例を考えてみた．

【命題】

関数 $f(x)$ を，$f'(x_0) = 0$ を満たす $x = x_0$ の近傍にて円に近似するとき，その半径 r は，

[1] 一様な磁場に垂直に飛び込んだ荷電粒子がローレンツ力を受けてどのように運動するかという問題はこの問題と本質的に同じであるが，高校物理では，この問題を，等速円運動の向心力の式を既知のものとして解くので，参考にはならない．

$$r = \frac{1}{f''(x_0)}$$

で与えられる.（r は一般に曲率半径と呼ばれる.）

【証明】

簡単のため，$x_0 = 0$，$f(0) = 0$ とおく.

一般に，関数 $z(x)$ を $x = 0$ の近傍でテイラー展開するとき，

$$z(x) = z(0) + x \cdot z'(0) + \frac{x^2}{2!} \cdot z''(0) + \cdots$$

である．したがって，$f(x)$ は，

$$\begin{aligned} f(x) &= f(0) + x \cdot f'(0) + \frac{x^2}{2!} \cdot f''(0) + \cdots \\ &= 0 + 0 + \frac{x^2}{2} \cdot f''(0) + \cdots \end{aligned}$$

となる.

一方，求める円の方程式を
$g(x) = r - \sqrt{r^2 - x^2}$ とおく．すると，

$$g'(x) = (r^2 - x^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot x$$

$$g'(0) = 0$$

$$g''(x) = (r^2 - x^2)^{-\frac{3}{2}} \cdot x^2 + (r^2 - x^2)^{-\frac{1}{2}}$$

$$g''(0) = \frac{1}{r}$$

であるから，$x = 0$ の近傍での $g(x)$ のテイラー展開は，

$$\begin{aligned} g(x) &= g(0) + x \cdot g'(0) + \frac{x^2}{2!} \cdot g''(0) \cdots \\ &= 0 + 0 + \frac{x^2}{2r} + \cdots \end{aligned}$$

となる.

ここで $f(x) = g(x)$ とおき，

$$\frac{x^2}{2} \cdot f''(0) = \frac{x^2}{2r}$$

故に，

$$r = \frac{1}{f''(0)}$$

を得る．以上，証明終わり.

【応用】

一般に，等加速度運動の軌跡は，2 次曲線になることが知られている．特に，初速度が加速度に対して垂直である場合には，その頂点は始点となる.

初速度の向きを x，加速度の向きを y とすると，時刻 t における物体の位置座標 (x, y) は，$x = vt$，$y = \frac{1}{2}at^2$ で与えられるから，2 式から t を消去し，運動の軌跡は $y(x) = \frac{ax^2}{2v^2}$ とわかる.

$y(0) = 0$，$y'(0) = 0$，$y''(0) = \frac{a}{v^2}$ なので，故に，$x = 0$ における曲率半径 r は，上の命題を用いて，

$$r = \frac{1}{f''(0)} = \frac{v^2}{a}$$

である.

4　見かけの力としての遠心力 …慣性系の観測者を仮定してはじめて意味を持つ？

次に遠心力について考えてみる.

始めに，教科書の説明を見ておこう.

『このような，物体とともに円運動をしている観測者から見たときに，物体にはたらく，円の中心から遠ざかる向きの慣性力を遠心力という.』（啓林館　物理 II）

『一方，小球とともに回転している観測者 B は，小球が静止して見えるので，小球には弾性力だけでなく，それとつりあう外向きの力（大きさ $mr\omega^2$）がはたらいていると観測する．この力を遠心力という．遠心力も，慣性力の 1 つである.』（数研出版　物理 II）

このように，現行の高校物理では，物体とともに等速円運動している観測者の立場で物体にはたらく慣性力を遠心力と定義するのが一般的である[2]．

さて，次のような問題を考えてみよう．

水平でなめらかな円盤の中心Oに，ばね定数 k で長さ r_0 のばねの一端を固定し，他端に質量 m のおもりを結んで，円盤を角速度 ω で回転させたところ，ばねは少し伸びて長さ r になったところで，おもりは円盤上で静止し等速円運動となった．この運動を物体とともに等速速円運動している観測者の立場で考える．

この観測者は，円の中心に向う大きさ $r\omega^2$ の向心加速度をもっているから，物体には大きさ $mr\omega^2$ の円の外側に向かう遠心力がはたらき，物体は静止しているから，物体にはたらいている力はつりあっているので，

$$k(r-r_0)+(-mr\omega^2)=0$$

となる．したがって，ばねの伸びの比は，$\frac{r-r_0}{r}=\frac{m\omega^2}{k}$ となる．

このような，高校ではありふれた遠心力の問題も，よく考えてみるとおかしな点があることに気がつく．

それは，観測者のもつ加速度を誰が測ったのか，ということである．自分の加速度を自分で測定することは不可能である．このことは，物体とともに円運動している観測者以外の，別の観測者がいるということを意味する．

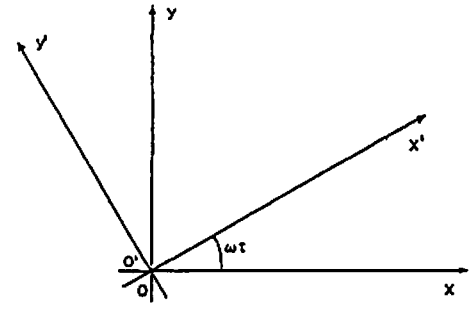
ここで，自分が非慣性系であることは，自分の座標系を調べると運動の法則が破れていることからすぐわかるだろうという反論があるかも知れない．しかし，これもまた何か変である．すなわち，慣性系に対する自分の座標系の加速度 $\vec{a}$ は，慣性力 $-m\vec{a}$ から求めるしかないが，しかし，そもそもなぜ加速度を測りたいかというと物体に慣性力 $-m\vec{a}$ を付け加えるためであり…となり，これでは循環論法になる．重力と慣性力の等価原理を考えてもよいが，問題はやはり解決しない．

したがって，結論としては，遠心力に限らず一般に慣性力を考える場合には，物体とともに運動する観測者以外に慣性系の観測者の存在を暗黙の内に仮定する必要があるといえる．

5 慣性系から回転座標系への座標変換で現れる遠心力

参考までに，座標系を慣性系から回転座標系へ変換したときに，遠心力がどのように現れるかについて見てみよう．

$x-y$ 平面と z 軸を共有し，角速度 ω で回転する $x'-y'$ 平面を考える．



質点の座標 (x,y) を (x',y') で表すと，

$$x=x'\cos\omega t-y'\sin\omega t$$
$$y=x'\sin\omega t+y'\cos\omega t$$

これらを t で2回微分すると，

$$\begin{aligned}\ddot{x} &= (\ddot{x'}\cos\omega t-\ddot{y'}\sin\omega t)\\ &\quad -2\omega(\dot{x'}\sin\omega t+\dot{y'}\cos\omega t)\\ &\quad -\omega^2(x'\cos\omega t-y'\sin\omega t)\\ \ddot{y} &= (\ddot{x'}\sin\omega t+\ddot{y'}\cos\omega t)\\ &\quad +2\omega(\dot{x'}\cos\omega t-\dot{y'}\sin\omega t)\\ &\quad -\omega^2(x'\sin\omega t+y'\cos\omega t)\end{aligned}$$

$x'-y'$ 系で質点にはたらく実在の力 F' の各成分を $x-y$ 系ではたらく力の成分を用いて書けば，

[2] しかし，後で見るが，大学以上の物理学では，遠心力は回転座標系で現れる見かけの力であって，慣性力とは区別するのが正しいとする立場もある．

$$F'_x = F_x \cos\omega t + F_y \sin\omega t$$
$$F'_y = -F_x \sin\omega t + F_y \cos\omega t$$

さらに，$F_x = m\ddot{x}, F_y = m\ddot{y}$ であるから，

$$\begin{aligned}
F'_x &= m\ddot{x}\cos\omega t + m\ddot{y}\sin\omega t \\
&= m\{(\ddot{x'}\cos\omega t - \ddot{y'}\sin\omega t) \\
&\quad -2\omega(\dot{x'}\sin\omega t + \dot{y'}\cos\omega t) \\
&\quad -\omega^2(x'\cos\omega t - y'\sin\omega t)\}\cos\omega t \\
&\quad +m\{(\ddot{x'}\sin\omega t + \ddot{y'}\cos\omega t) \\
&\quad +2\omega(\dot{x'}\cos\omega t - \dot{y'}\sin\omega t) \\
&\quad -\omega^2(x'\sin\omega t + y'\cos\omega t)\}\sin\omega t \\
&= m\ddot{x'} - 2m\dot{y'}\omega - mx'\omega^2 \\
F'_y &= -m\ddot{x}\sin\omega t + m\ddot{y}\cos\omega t \\
&= -m\{(\ddot{x'}\cos\omega t - \ddot{y'}\sin\omega t) \\
&\quad -2\omega(\dot{x'}\sin\omega t + \dot{y'}\cos\omega t) \\
&\quad -\omega^2(x'\cos\omega t - y'\sin\omega t)\}\sin\omega t \\
&\quad +m\{(\ddot{x'}\sin\omega t + \ddot{y'}\cos\omega t) \\
&\quad +2\omega(\dot{x'}\cos\omega t - \dot{y'}\sin\omega t) \\
&\quad -\omega^2(x'\sin\omega t + y'\cos\omega t)\}\cos\omega t \\
&= m\ddot{y'} + 2m\dot{x'}\omega - my'\omega^2
\end{aligned}$$

これを書き直して，

$$m\ddot{x'} = F'_x + 2m\dot{y'}\omega + mx'\omega^2$$
$$m\ddot{y'} = F'_y - 2m\dot{x'}\omega + my'\omega^2$$

を得る．これを $x' - y'$ 系からみた運動方程式と見ると，第1項が実在の力，第2項がコリオリの力，第3項が遠心力となる．コリオリの力が速度に常に垂直であることと，遠心力が中心から外向きであることがわかる．

このとき，回転系の観測者の位置は回転軸 O′ である必要はなく，$x' - y'$ 平面上のどこかに固定されてさえいればよい．もちろん物体のそばでも構わない．しかし，遠心力を求めるときは回転軸 O′ と物体の間の距離と向きがわからなければならない．

6 向心力と慣性抵抗をつり合わせる …D'Alembert（ダランベール）の原理

ダランベールの原理と呼ばれる定理がある．

「物理学辞典」（培風館）によれば，『質量 m の質点が力 $\vec{F}$ の作用を受けて加速度 $\vec{a}$ を得る場合のニュートンの運動方程式を書き換えて，$\vec{F} - m\vec{a} = \vec{0}$ とする．もし慣性力 $-m\vec{a}$ を実際の力のように考えて力 $\vec{F}$ と同等に扱うことにすれば，これは質点 m のつり合いの式となって動力学の問題が静力学の問題に帰着する．これをダランベールの原理といい，ダランベールが 1758 年に導入した．』とある[3]．

ダランベールの原理では，観測者は慣性系の一人だけである．外力に対してつり合う力 $-m\vec{a}$ は，ダランベールの原理では，座標変換から生じる見かけの力ではなく，慣性抵抗[4] として扱われる．

等速円運動についてダランベールの原理を当てはめてみる．

物体は，観測者から見て，実際に等速円運動しているから，物体にはたらいている実際の力を“向心力”と呼んでいいだろう．したがって，向心力が慣性抵抗“$-m\vec{a}$”とつり合っていると見る．また，慣性抵抗を遠心力と言い換えて，「向心力が遠心力とつり合っている」と見ることもできる．

つりあいとはいっても，本当の意味のつりあいではないことにはもちろん注意しなければならないが，この解釈は，なかなか魅力的ではないだろうか．

[3] ダランベールの原理は，静力学で用いられる仮想仕事の原理を，動力学上の問題ににも応用するために度入され，主に，束縛力の伴う質点系の問題などで有効であるとされている．

[4] 慣性抵抗とは等速直線運動から逸らせる力対して抗う力という意味を持つ．

特に，観測者は慣性系に一人だけいればよい点が分かりやすいと思う．前節の回転台上のばねが伸びる現象や，Ｆ１レースでスピードを出しすぎたマシンがコーナーを曲がれず外側に大きくふくらむ映像をテレビ画面で見ているとき，わざわざ“慣性系”から“物体とともに運動する立場”に“座標変換”して考えるよりも，慣性系一本で議論をすることができる方が便利ではないだろうか．

7 おわりに

等速円運動が，非常に魅力的な教材であることに疑いはない．しかし，等速円運動に限ったことではないかも知れないが，その教科書での扱われ方は，どこの出版社も判で押したように同じで硬直化している．

向心力の導出の手順が，見かけ上，因果律の順番と逆であることは以前から気になっていた．

遠心力は，現在の高校物理の中ではややマイナーな位置に追いやられているように感じている．確かに，向心力を用いて慣性系の観測者の立場から説明する方法があくまでも基本なのだから，遠心力はあまり多用するべきではないという主張には頷けるものがある．しかし，ある種の問題は，遠心力を用いた方が遙かに理解し易いことも，また事実である．

“慣性抵抗”の考え方やダランベールの原理について，高校物理の中にどのように取り入れていくべきか（または取り入れないべきか）について，今後より多くの方と議論を交わしていきたい．結果的に，高校物理の内容が豊かになることを大いに期待している．

参考文献

兵藤申一，他「物理 II」啓林館,2003
國友正和，他「物理 II」数研出版,2003
物理学辞典編集委員会「物理学辞典」培風館
山内恭彦「一般力学」1959
鈴木亨：遠心力覚え書き「物理教育通信」 No.119,2005
石川昌司：向心力と遠心力と D'Alembert（ダランベール）の原理「北海道の理科」No.49,2006

物理教育研究

論　文　集

日本物理教育学会　北海道支部

Vol.34,　2006.10

真空落下装置の製作と利用

北海道大学大学院理学研究院，北海道大学高等機能開発センター* 佐藤久志，細川敏幸*，小野寺彰

空気抵抗がない場合に重い物と軽い物を同時に落とすと，同時に着地する。知っていても実際に見たことのある学生は少ない。ここではそのための演示装置を紹介する。高さ 1m 直径 100mm 厚さ 5mm のアクリル製透明円筒中で羽毛と木球を落下させる。真空状態の中で物体を引き上げ，同時落下させるために，モーターと電磁石を利用し，外部から操作できるように工夫している。本装置は，本学初年度学生対象の物理学の講義や，一般市民対象の科学の祭典で活躍している。

キーワード 演示実験，理科離れ対策，大学初年度教育，一般教育，科学の祭典

1．はじめに

はじめて物理学を学ぶ際に，日常の経験から思考実験に移ることは，多くの学生にとって困難をともなうようである。例えば，重い物と軽い物を同時に落下させる場合を考えてみても，空気抵抗がないことを想像してもらうことは難しい。しかし，それを目の前で見ることができれば，その理解は格段にすすむ。ここで紹介する装置は，まさにそのような目的で製作されたものである。地球を飛び出さない限り，空気抵抗のない真空状態は自然には手に入らない。しかし，密閉された容器を真空にすることは，いくつかの機材を組み合わせれば，比較的簡単に実行できる。

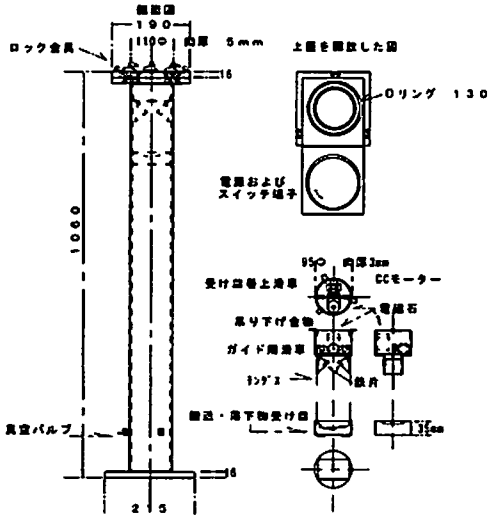


図１．円筒部の構造

2．全体の構成

本装置は，排気用の真空ポンプと透明アクリル円筒からなり，真空中で落下物を引き上げて固定するための受け皿操作部が電気的な装置として円筒に組み込まれている（図１）。円筒内に設置されたテフロン製の受け皿はテグスでモーターにつながれている。モーターを回転させることで，このテグスの長さを調節し受け皿を円筒内で上下させる。最上部まで受け皿が移動すると，ショベルが閉じ，羽毛と木球をすくいあげる。ショベルには鉄片が接着されており，装置上部の電磁石のスイッチを入れることで，落下物が保持された状態が維持される。受け皿を下降させ，電磁石のスイッチを切れば，ショベルが開き，中の物体は落下する。（図２）

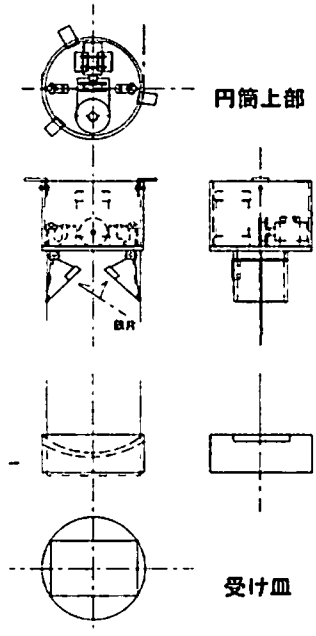


図２．円筒上部と受け皿の拡大図

3．円筒部の製作

透明円筒は高さ1m直径100mm厚さ5mmのアクリル製である。材料としてのアクリルの円筒や板は容易に入手できるが，加工は難しいので札幌市内の業者に依頼した。材料費と加工賃を合算して，要した費用はおよそ15万円である。真空を保つ必要があるので，材料同士の接着には注意が必要である。上部にある開口部は，気密性を保つためにOリングを使用し，閉口後3カ所にあるロック金具でしっかりと締め付けた。内部の受け皿操作部は直径95mm，厚さ3mmのアクリル円筒を用いて製作した。受け皿は直径95mm厚さ約3cmのテフロン丸棒から，ショベルの回転円弧に合わせて削って作製した。テフロンを使用したのは，皿の上下動時に筒内壁と接触してもスムースに動けるよう摩擦を少なくするためである。また，厚さを3cmと厚くしたのは，筒内壁と接触して多少摩擦があっても筒の中を自重で下降できるようにするためである。これらの内部装置は筆者の一人が自作した。

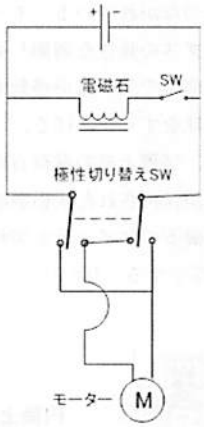


図3．操作部の回路

4．操作部の仕組み

操作部の電気的な回路は図3のようになっている。受け皿を稼働する直流モーター（COPAL LA16G324B120MC）は，直流電源の極性を反転させることで皿を上下させることができる。電磁石（教材空中衝突実験器FA-10）にも同じ電源をつなぎ，SWのON-OFFでショベルの開閉を操作する。いずれも，実験室内にあったものの借用である。なお，電源はDC6−10Vで動作させている。スイッチと電源は円筒外部に，モーターと電磁石は受け皿操作部内に設置した。したがってこの間をつなぐ配線は，円筒上部に小さな穴をあけ金属端子を埋め込み，その金属端子にリード線を半田付けして接続した。穴は，気密性を保つために接着剤アラルダイトで充填した。

5．使用方法

まず，空気のある状態で羽毛，木球(直径10mm)を同時に落下させるとどうなるかを見せる。円筒内に羽毛，木球，気圧を検出する風船が入っており，モーターにつながった糸がもつれていないことを確認して上蓋を閉じロック金具を締める。風船は実験のじゃまにならないよう受け皿の下に置いておく。そのまま空気のある状態で，モーターを操作して受け皿を最上部まで引き上げ，ショベルで円筒下部にある羽毛，木球をつかみ（つかむ動作は装置の機構から自動的に行われる），電磁石のスイッチを入れる。この状態でショベルは閉じたまま安定しているはずである。受け皿が下まで降りていることを確認後，注目を集めるために，カウントダウンをして，ゼロで電磁石のスイッチを切る。これで，羽毛と木球が同時に落下し，木球のほうが先に着地する。ただし，ショベルの中で羽毛の上に木球が乗るなど，うまくいかないことが往々にして起こるので留意が必要である。

円筒内に羽毛，木球，気圧を検出するゴム風船を入れておく。風船は実験のじゃまにならないよう受け皿の下に置いておく。モーターにつながった糸がもつれていないことを確認して上蓋を閉じロック金具を締める。次に円筒下部の排気口に真空ポンプをつなぎ，空気を抜く。ポンプにもよるが，1分前後で実験ができる程度に吸気される。真空度は風船の膨れ具合から容易に推測できる。ここからの操作は，空気がある場合と同じである。ただし，管内が真空であることに気をつけなければならない。例えば，モーターや電磁石の操作はできうる限り短時間で行う必要がある。空気の対流が無くなるため，これら2つの器具は容易に熱がこもるようになり，動作しなくなったり断線したりする。

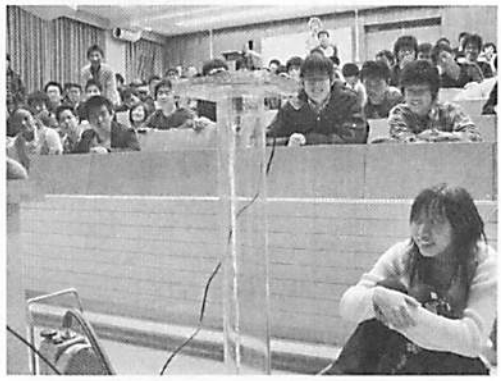


図4．基礎物理学の講義で演示している様子

6．使ってみて

本装置は製作して以来，講義や市民向けの「科学の祭典」で演示しているが，知識はあっても，いつもどよめ

きが起こる。高さ 1m の落下実験では，落下は一瞬の現象で，同時に着地したか否か判断しがたいことも時々起こる。運搬や加工に関する技術的問題がなければ，円筒部の高さは高い方が望ましい。回路の発熱は容易に起こり，何度も繰り返すとモーターが焼き切れることがある。また，受け皿をつなぐテグスは，上下動で絡まらないように注意が必要である。

7．まとめ

本装置は講義で使う実験装置としては，高価な部類にはいる。しかし，力学の基本的な理論を目の前で演示する教育効果は極めて大きい。ここで示したような比較的簡単な構造で，真空落下実験を見せることができる。真空落下という言葉を知っていても，実際に見たことのある学生は意外と少ない。今後とも，授業や科学の祭典に活用していきたい。

大学初年度教育としての物作り体験実習

（フレッシュマン・セミナーにおけるアンプ製作）

北海道大学大学院理学研究院、北海道大学高等機能開発センター＊　佐藤久志、細川敏幸＊、小野寺彰

中学・高校での授業時間削減に伴い、実験やもの作りの体験のない生徒が増えている。北海道大学では、１年生のフレッシュマン・セミナー（一般教育演習）の枠を使い、ステレオアンプを作る「もの作り実習」を試みた。文系の学生を含め、21 名が履修したが、学生の関心は高く、科学教育の動機付けになるものと期待される。

キーワード　理科離れ対策、大学初年度教育、もの作り実習、一般教育

１．実験・もの作り経験の不足の現状

大学生に中学、高校でどのような実験をしたかのアンケートをとると、熱心な教員のもとで履修した少数の生徒以外は、ほとんどの場合、きわめて限られた経験しかないのが実情である。特に、中学、高校での授業時間削減に伴い、科学実験やもの作りの体験の不足はさらに深刻になると予想される。

２．授業形態

北海道大学初年次のフレッシュマン・セミナー（一般教育演習、20 人程度の少人数演習授業）の枠を使い、「もの作り実習—アンプを作る- 」という授業を企画した。

週１回　（90 分×14 回）、２単位

担当教員３名、TA １名

場所　物理実験室

当初、受講者が少ないのではないかと危惧されたが、希望者は 80 名を超え、抽選により 21 名が授業を受けることになった。内訳は理学部３名、工学部 12 名、水産学部３名、医学部１名、文系２名と多彩であった。そのうち女子が３名含まれ、予想外の嬉しい結果であった。

希望により (1) デジタルアンプ、(2) 真空管アンプのどちらを作製するかを選択する。試作品の音を聴いて、自分の好みによって選んだ結果、選択は半々の比率になった。

(1) デジタル・アンプコース

ヤマハの 1-チップ IC(YDA131E) を使いデジタル・アンプを作る。デジタルアンプは、音の信号を一旦デジタル信号に変換した後に増幅する最新アンプである。

(2) 真空管アンプコース

50BM8 という真空管を２本使って超三結シングル方式の真空管アンプを作る。従来のアンプの何れとも異なる近代的な回路構成の真空管アンプと言われている。

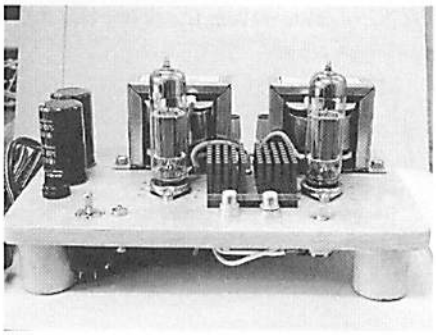


写真１　作製した真空管アンプ

３．もの作り実習

授業は、講義と実習を組み合わせ、最終的にアンプを作るのが目標である。自分で調べ、作りながら、14 回の授業の最終回までにマイ・アンプを作る。初回の説明で、アンプや電子回路の知識がなくても大丈夫であり、自分でアンプをデザインしたり、他の人のデザインや電子パーツ配置について議論し、自分でハンダ付けしてアンプを完成するという講義の目標を設定した。真空管、デジタルアンプ電子パーツ、半田ごて、ペンチやニッパー、ドライバー等消耗品に相当するものは演習費として用意された経費から各自に割り当たるよう用意し、ドリルやシャーシパンチ等共通工具も複数用意した。電動ドリル等は既存の機械工具を使用した。筐体はデザインを考えて木製の箱や板、金属トレー、プラスチックケースなどを各自で用意した。木製の板を切り出してギターの形を作るもの、木製ブロック上に組むものなどユニークな外見のものも見られた。

写真２　筐体つくりで木製ブロックを加工

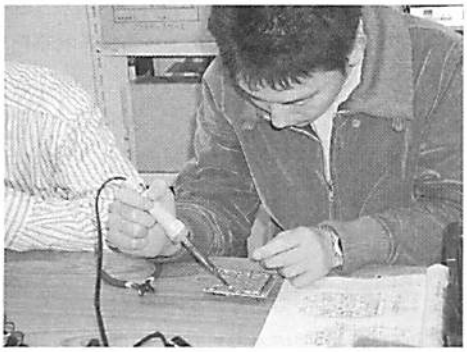


写真３　デジタルアンプ基板の半田付け

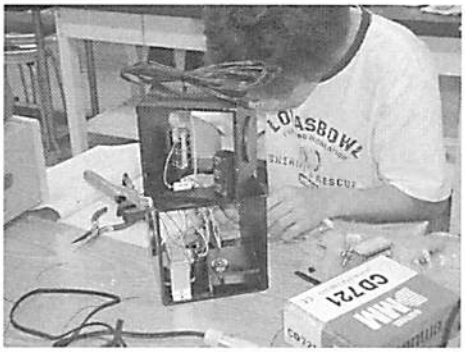


写真４　木製の箱に真空管アンプを製作

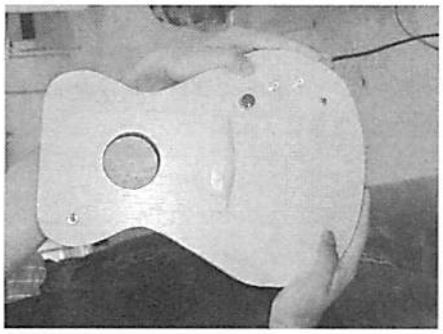


写真５　木製の板でギター型の筐体

アンケート結果より

以下に終了後の学生アンケート結果の一部を紹介する。

授業により知的に刺激されたか

強くそう思う	9
そう思う	4
どちらともいえない	3
強くそう思わない	0

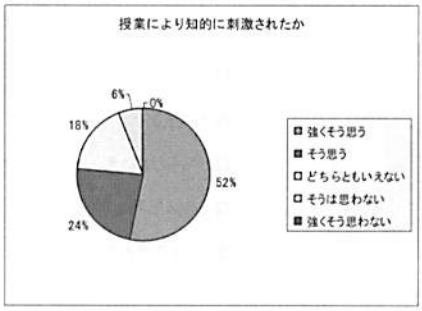


図１　知的刺激度

授業内容の難易度は

極めて難しい	3
難しい	9
適切	5
やさしい	0
極めてやさしい	0

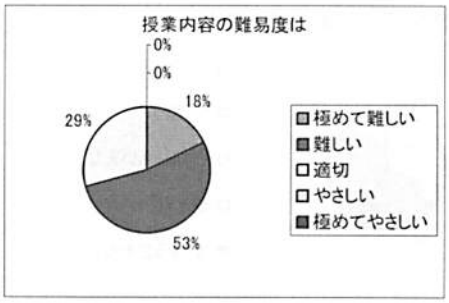


図２　授業の難易度は

履修目標の達成は

強くそう思う	14
そう思う	3
どちらともいえない	0
そうは思わない	0
強くそう思わない	0

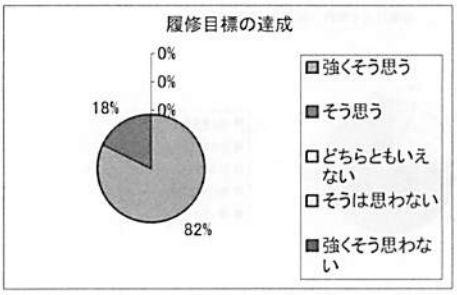


図3　授業目標は達成できたか

授業内容が他の領域と幅広く関連することを理解できたか

強くそう思う	7
そう思う	5
どちらともいえない	3
そうは思わない	2
強くそう思わない	0

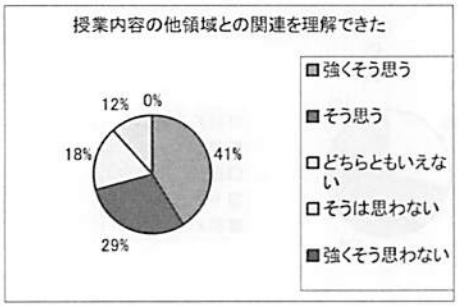


図4　他領域との関連の理解は

授業により、新しい知識、考え方、技能を習得でき、さらに深く勉強したくなったか

強くそう思う	9
そう思う	5
どちらともいえない	1
そうは思わない	2
強くそう思わない	0

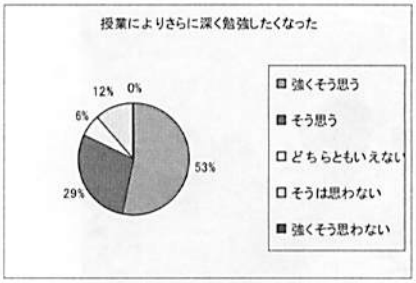


図5　さらに深く勉強したいか

アンケート自由記述欄では

・とてもおもしろかった。・充実していた。音が鳴って感動した。・実際にアンプを作ることで関連する様々な事柄を覚えた。また、達成感も味わえてよい授業だった。・もう一度授業を受けたいくらい楽しかった。単にアンプを作るだけでなく多くの事（電磁気、回路の設計、スピーカー等）に興味がわいて、知識や興味の幅が大きく広がった。・文系の自分にとってはとても難しい回路図だったが、どうにか完成させることができた。とてもしんどかったが、とても有意義な授業だった。

と、学生の評価は概ね好評であった。

4．結果

実習をしながら、いろいろな電子部品が回路でどのような機能をしているか、物理などの法則をどのように利用しているかなど考えながら授業が進めたが、途中からは授業開始前から生徒が集まり、一心不乱にハンダ付けをするようになった。とにかく、良く分らないところがあっても、まずはアンプを組み立ててみるという方針に変更した。自分のデザインによるシャーシ加工などを経験した結果、オーソドックスなデザインが案外作り易いという貴重な体験もしたようである。

自分で作ったアンプから音が出たときの感動は何ものにも変えられないようで、学生の反応は良好であった。どうして、音の信号が増幅されるかは、今後の勉強によるのであるが、このような体験の積み重ねが科学振興の一助になると確信された。

LEDを用いた簡易光通信実験セット

A Simplified Experiment Set of Optical Communication with LEDs

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

ＬＥＤを発光素子として使用し、光通信の仕組みを簡単に体験できる模擬実験教材セットを作成した。発光回路側の入力端子をＣＤプレーヤなどのイヤホン端子に接続してＬＥＤの発光を音声信号で変調させ、この光を受光素子で受けることで、音源からの音が光を介して空間を伝達される。光の直接的な送受信による通信実験に加えて、光ファイバを介した通信も可能である。さらに、異なる波長のＬＥＤの発光を各々異なる音声信号で変調して１本の光ファイバを通じて同時に送信し、受光側で適切なフィルタを使用して所望の光のみを選択的に受光することで、簡易的な波長多重通信も体験できる。

Abstract

A simplified experiment set for demonstrating optical communication by using LEDs is provided. Light of an LED is modulated with input audio signals, and the resultant emitted LED light beams are received by a light-receiving element, thereby realizing optical signal transmission. In addition to such direct transmission, light beams that carry audio signals can be also transmitted via an optical fiber. Moreover, simplified wavelength multiplex communication can be realized by allowing light beams from several LEDs with different wavelengths to be modulated with different audio signals, simultaneously transmitted via a single optical fiber, and selectively received by way of an appropriate optical filter.

キーワード 光通信、LED、理科実験 Keywords: Optical communication, LED, Science experiment

1．はじめに

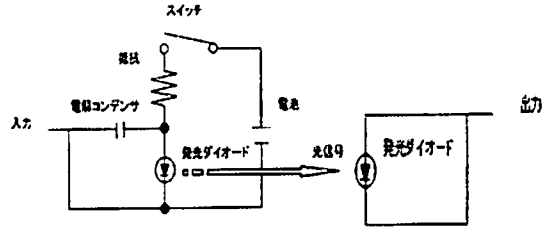
ブロードバンド・ネットワークの普及に伴って、一般家庭や学校などで光を用いた通信を使用する機会が増えている。しかし、小中学生が光による信号伝送を実感する機会は通常は皆無である。そこで、CDプレーヤ等からの音声信号により発光ダイオード（LED）の発光を変調することで光通信の仕組みを簡単に実体験できる模擬実験セットを作成し、理科実験デモンストレーションなどで活用している[1,2]。これを用いることで、光の直接的な送受信による通信に加えて、光ファイバを介した通信、さらには簡易的な波長多重通信も体験できる。

ここでは、この簡易光通信模擬実験セットを紹介する。

2．実験セットの構成

2．1 基本構成

図1に、今回の簡易光通信模擬実験セットにおける発光・受光回路の基本構成を示す。これらは、文献[3]に記載の回路構成に基づいている。



(a)発光(送信)回路 (b)受光(受信)回路

図1 簡易光通信模擬実験セットの回路構成

具体的には、発光回路に設けた入力端子（モノラルミニプラグジャックを使用）をCDプレーヤ等のイヤホン端子に接続し、CDプレーヤ等からの音声信号をLEDの駆動電流に重畳する。これにより、LEDの発光は、音声信号にしたがって変調される。接続には、ステレオミニプラグとミニプラグとを接続するタイプのコード（例えばビクターCN-207A）を使用し、このコードのステレオ側をCDプレーヤ等のイヤホン端子に、モノラル側を発光回路の入力端子に接続する。また、入力端子とLED駆

動部との間には、電解コンデンサ（今回は定格電圧25V以上、容量22μFのものを使用）を挿入してある。

このような構成で音声信号にしたがって変調されたLEDの光を受光回路で受け、その出力信号をスピーカに供給することで、音源からの音が光を介して空間を伝達され、スピーカから再生される。

今回の実験セットでは、定格駆動電流Ip=20mAで輝度6000mcd（カタログ値）の超高輝度LED（東芝TLRH180P）を使用している。また、受光側でも、フォトダイオード（PD）ではなく、同じLEDを受光素子として使用している。PDを利用する回路構成はよく知られているが[4]、一般的にPDはLEDよりも高価であることから、安価で入手しやすいLEDを使用することで、手軽な作成が可能になる。

発光回路側の電源は、DC６Ｖ（３Ｖのボタン電池２個）または３Ｖ（単３乾電池２本）で動作する。今回のLEDではｐｎ接合部の順方向電圧 $V_F=1.9V$ であるので、電源電圧Ｖ＝６Ｖの場合には、Ip=20mAを流すために $R=(V-V_F)/Ip \fallingdotseq 200\Omega$ の抵抗を接続する。また、電源電圧Ｖ＝３Ｖの場合には、同様の計算で約50Ωの抵抗を接続する。

なお、受光回路側には電源は必要なく、受光素子として使用するLEDの端子を、出力端子として設けたモノラルミニプラグジャック（発光回路の入力端子と同じもの）に直接接続するだけでよい。

また、伝達された音声信号を再生するために、今回はイヤホンではなく、入力インピーダンス10ｋΩのＰＣ用スピーカ（LOASマルチメディアスピーカSP-009W）を使用した。これは、数人のグループで実験を行う際に、音声伝送の結果を同時に多人数で確認できるようにするためである。

図２には、作成した発光回路（左側）及び受光回路（右側）の一例の写真を示す。これらの回路を組み合わせて光の直接送受信による音声伝送実験を行う場合、発光側LEDと受光側LEDの位置合わせが上手くできれば、１ｍ程度の距離でも伝送が可能である。その一方で、両LEDの光軸の横方向のずれに対しては、わずかな位置ずれでも音声伝送が困難になることが実感できる。なお、輝度がより小さいLEDを用いても同様のセットが構成できると考えられるが、伝送可能距離がどの程度になるかは確認していない。

また、図２において、回路の下側に見えているのは位置合わせ用に使用しているレゴブロックである[5]。このようなブロックは、軽量、安価でありながら比較的容易に光路合わせが実現できる。

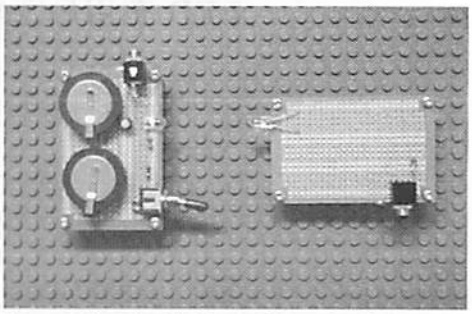


図２　発光回路（左側）と受光回路（右側）の例

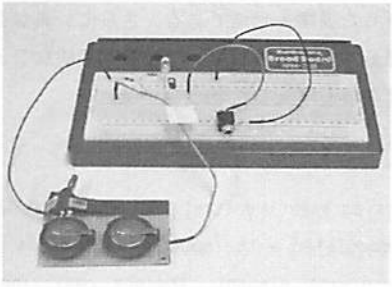


図３　ブレッドボードで作成した発光回路の例

この発光回路は、図３に示すようにブレッドボードを使用すれば、はんだ付け作業なしに小学生でも簡単に作成可能である。

２．２　光ファイバを介した通信

発光側LEDと受光側LEDとの間に光ファイバ（例えばプラスチック光ファイバ＝POF）を配置すれば、光ファイバ通信を実体験できる。但し、POF通過後の光の強度は低下するので、受信側に増幅回路（LM380、LM386などのアンプＩＣを用いたアンプ回路キット）が必要になる。図４は、LM386を使用したアンプ回路の例である。LM386は低電圧駆動が可能であり、単三乾電池２本で動作する。

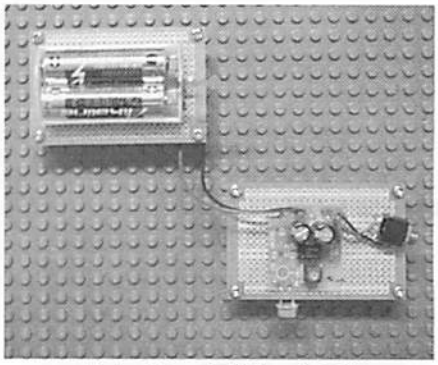


図４　アンプ回路キットの例

このようなアンプ回路を作成する際には、アンプ回路の入力部分に受光素子（フォトダイオード(PD)、または受光用に使用する LED）を直接に接続する。POF を通過した光信号を受信・増幅するためには、PD の使用が望ましい。

2．3　波長多重通信

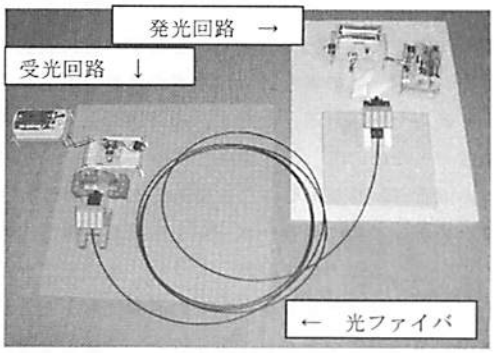
今回の実験セットでは、波長多重通信を模擬した実験も簡単に実現できる。図５には、波長多重通信のデモンストレーション実験を行う際の発光回路、受光回路などのセッティング例を示す。

具体的には、異なる発光波長を有する LED（例えば、東芝 TLRH180P＝赤 644nm と東芝 TLYH180P＝黄 590nm）をそれぞれ搭載した２つの発光回路を用意し、それぞれを異なる音声信号で変調する（例えば、２台の CD プレーヤで異なる曲を再生し、各発光回路に入力する）。変調された両 LED の発光を、図５(b)に示すように、一方は直接に、他方は直角プリズムミラー（例えばエドモンド・オプティクス・ジャパン 45593-H や 45595-H）で反射してから、光ファイバ（POF）の一端に入射する。図５の例では、光信号を入射する光ファイバは全長 3m である。光ファイバは必須ではないが、ここでは、実際の光通信システムのイメージに近づけるために用いている。

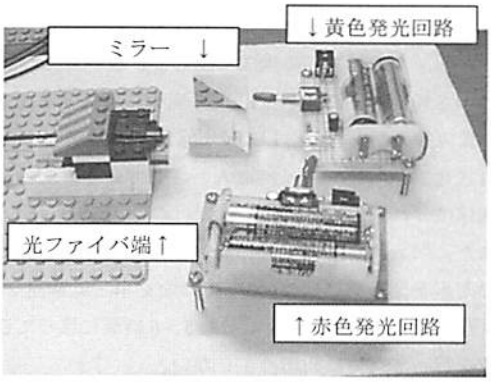
この状態で受光される信号から音声をスピーカで再生すると、２曲が混ざって聞こえてくる。そこで、図５(c)に示すように、光ファイバの出射端と受光素子との間に適切なフィルタを配置して一方の波長の光のみを選択的に受光すれば、一方の曲（すなわち一方の信号）のみを選択的に取り出すことができる。現時点では、前述の赤および黄色の LED の光を選択的に取り出すために、誘電体多層膜フィルタ（エドモンド・オプティクス・ジャパンの赤フィルタ（赤色選択用）52529-H とシアンフィルタ（黄色選択用）52538-H）を使用している。

なお、このような波長多重通信の構成では、光ファイバを通過後の光信号の強度が弱くなるので、受光素子としてはフォトダイオードを使用し、さらに LM386 を用いたアンプ回路キットで、受光信号を増幅してからスピーカに入力している。

実験デモンストレーションでこの音声多重通信実験を行うと、２曲が混ざって再生されたり、そこから一方のみを選択的に再生できたりする点に、参加者が非常に大きな関心を寄せてくる。そこを説明の糸口とすることで、波長多重通信のイメージを容易に把握してもらうことができる。

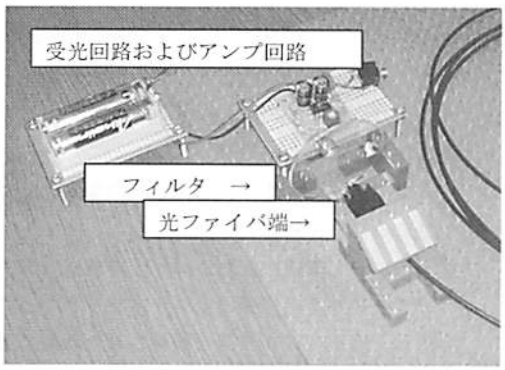


(a)　全体の配置



(b)　発光部の配置

（赤色の発光回路、黄色の発光回路、ミラー、光ファイバ入射端）



(c)　受光部の配置

（光ファイバ出射端、フィルタ、受光素子、アンプ回路）

図５　波長多重通信の模擬実験セットの構成

このような波長多重通信を常設の実験セットではなく実験デモンストレーションで行う場合、各構成要素間の位置合わせを容易に実現できることが必要になる。そこで、この波長多重通信用の構成では、図５からわかるように、光ファイバ端の固定や発光素子・受光素子に対する位置合わせ、さらには図５(c)に示す誘電体多層膜フィルタの設置部分に、前述のレゴブロックを活用している。

これにより、持ち運びが容易であり、位置設定の変更も簡単に実現できるという利点に加えて、特に実験デモンストレーションの場合には参加者の注意を引きやすいという効果も得られる。ただし、その構造上、位置の微調整はできないので、発光素子、ミラー、光ファイバ入射端の位置合わせが重要になる発光部（図5(b)参照）では、プラスチック製のカラーボードを活用して位置決めを行っている。２つの発光回路、ミラー、及び光ファイバ入射端を取り付けたレゴブロックの設置位置をあらかじめカラーボードにマークしておくことで、最適な設定を短時間に実現することができ、また実験デモンストレーション中に位置ずれが発生しても容易に修正できる。

なお、この発光部の構成に関して、現時点では図5(b)に示されるように、黄色LEDの変調された光を光ファイバに直接入射し、赤色LEDの変調された光をミラーで反射させてから光ファイバに入射させている。勿論、位置関係はこれに限定されるわけではなく、逆でも構わない。また、図5に示す例では、発光回路の電源を、図2に示したボタン電池２個（6V）ではなく単三乾電池２本（3V）としているが、少なくとも5～6時間に渡って連続動作を行っても特に問題は生じない。

3．実験授業での実践

上記の光通信実験セットは、小中学生対象の実験授業や高校での出前講義、科学の祭典など、数多くの機会に活用している。

例えば、平成16年8月28日に実施した大学Jr.サイエンス事業では、小学5、6年生30名を対象に、以下の流れで実験授業を実施した[6]。

①糸電話の実験により、音声が糸の振動として伝達されることを確認する。

②「ベルの光電話」実験セット[7]の構成（懐中電灯の光をアルミ箔を張ったプラスチックコップに照射し、音声でアルミ箔を振動させた状態で反射光を太陽電池で受光して音声を再生する）により、光の「振動」によっても同様に音声が伝達できることを確認する。

③図2に示すブレッドボードによる回路を作成し、LED光の直接送受信による音声伝送を体験する。

④光ファイバを介した音声伝送を体験する。

これにより、光通信の仕組みの概略を理解してもらうことが容易になる。特に、③の光の直接送受信で発光・受光側の位置合わせが非常に難しいことを体験してもらうと、④において、光を任意の箇所に伝達できるという光ファイバの利点を簡単に理解させることができる。

図5の波長多重通信の模擬実験は、現時点では実験セットが1セットのみであるため、上記のような実験授業の中での演示実験として、または科学の祭典などにおける実験デモンストレーションとして、主に使用している。

なお、今回は光源としてLEDを使用しているが、これをレーザ（例えば半導体レーザ）とすれば、より遠距離の通信が可能になる。レーザ光源の使用は、特にサイエンスショーなどにおける演示実験として効果的であると考えられる。ただし、参加型実験デモンストレーションでの使用を考えるとLEDの方が安全性が高い。また、LEDは安価に入手可能であり、実験授業での使用を想定して多数の発光回路を作成したい場合などには有効である。

4．むすび

LEDを用いた簡易光通信模擬実験セットとその活用例を報告した。これにより、身近な技術でありながら実際に「使用している」という感覚を抱く機会が少ない光通信技術や、最先端テクノロジの一翼である波長多重通信技術を、容易に実体験することができる。これによる実験体験を持った上で関連知識を学習することにより、その理解が少しでも促進されることを期待している。

謝　辞

装置の製作及び理科実験授業の準備・実施に際して、千歳科学技術大学理科工房及び長谷川研究室所属の学生メンバの努力に感謝致します。

参考文献

(1)長谷川誠・木村進一郎：「LEDを用いた簡易光通信模擬実験教材セットの試作」、平成16年春季第51回応用物理学関係連合講演会、29a-P8-14(2004-03)

(2)森田恭平、他：「ＬＥＤを用いた簡易光通信模擬実験セット」、第22回物理教育研究大会予稿集、No.P6、pp.126-127(2005-08)

(3)奥山澄夫・大嶋重利・奥山克郎・松下浩一：「リフレッシュ理科教室のための教材試作と実践」、応用物理教育、vol.27、no.1、pp.47-48(2003-1)

(4)伊藤四郎：「簡易光通信」、1997年青少年のための科学の祭典北見大会実験解説集、p.39(1997-08)

(5)高原淳一、他：「光子ブロックって何？」、月刊オプトロニクス（OPTRONICS）、vol.22、no.254, pp.150-156(2003-02)

(6)長谷川誠・石田宏司：「大学生・高校生・小学生間のリレー・ティーチングの試み」、物理教育研究、vol.33、pp.57-62 (2005-07)

(7)西村憲一・白川英俊編著：「やさしい光ファイバ通信」改訂第3版、p.2、オーム社（1999）

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

Hand-made apparatus for explaining sunset color and demonstration of science experiment program for elementary school students by utilizing the equipment

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

日中の空が青く見え、夕焼けが赤く見える現象を模擬する簡易実験装置を自作した。この中に様々な溶液を入れ、これにＬＥＤ単色光や懐中電灯の光をあてて、色による到達距離の違いや溶液内の色の見え方の変化を観察することができる。実験に使用する溶液として日常生活の中で簡単に入手可能なものを使用することで、再現実験が容易に実施できる。また、実験の効果ならびに再現性を増す目的で、きれいな夕焼け色を実現するために適した溶液の濃度を調べ、これに基づいて 500 ミリリットルのペットボトルでも容易に再現実験ができることを確認した。この装置を使用した理科実験授業を、小学 6 年生の総合的な学習の時間で演示した。

Abstract

Simplified hand-made experimental apparatus for explaining a blue color of daytime sky and a red color of sunset is prepared. By illuminating various solutions contained within the apparatus with light, we can observe differences in traveling distances of light of different colors as well as changes in visible colors of the solutions. Experiments can be easily conducted repeatedly by using various solutions usually available. Moreover, science experiment classes for the sixth grade students in elementary schools were performed with the apparatus so as to explain them why a daytime sky looks blue and a sunset color is red.

キーワード 夕焼け、青空、総合的な学習の時間 Keywords: Sunset, Blue sky, General study classes

1. はじめに

千歳科学技術大学では、地域の小中学生などを対象とした理科実験授業を、総合的な学習の時間などに協力する形式で活発に実施している[1]。最近では、この活動を学生教育にも活用する目的で、学生グループが主体となった理科実験授業プログラム開発プロジェクトを進めている[2,3]。

この学生グループによるプロジェクト活動の中で、理科実験授業のテーマとして、実際に小学生が抱いている疑問点に答えられる内容を設定しようという案が出された。そこで、平成 17 年度の新学期開始時点で、千歳市内の小学 5、6 年生（当時）174 名を対象に、「不思議に思っていること」及び「実験したいこと」を自由回答方式で質問するアンケートを実施したところ、その回答の中で「なぜ空は青いのか」「太陽の位置によって空の色が変わるのはなぜか」などの疑問が挙げられた。これは、日常生活の中の素朴な疑問であるが、理論的に説明しようとすると、光の散乱現象が関係した難しい内容になる。

そこで、小学生に実際に空の青さや夕焼けの色を模擬的に再現する実験を行ってもらい、実体験を通じてこの現象を理解するきっかけを提供することを目的とした実験教材及び実験授業プログラムを考案した[4]。

ここでは、その実験での使用を意図して自作した簡易実験装置、及びそれを用いたいくつかの観察例、ならびにこの装置を使用して小学 6 年生の総合的な学習の時間で実施した理科実験授業の内容を紹介する。

2. 簡易実験装置

空の色の変化を観察する実験器材は、例えば「夕焼け青空実験器」などの名称で理科教材メーカから市販されている。しかし、必ずしも安価ではないことから、その使用は教室全体を対象とした演示実験に限定され易い。また、市販の水槽などを用いることも可能であるが[5]、単なる演示実験ではなく、小学生などの参加者が実際に手を動かして実験作業を行うことが望まれる実験授業での使用を考えると、適切な大きさのものを実験班の数に

対応する数量だけ準備することが難しい可能性もある。さらに、そのような市販品の大きさによっては、小学校での出張実験授業などの際に、準備のための運搬に手間が掛かることがある。

そこで今回は、小学生 4～5 名で構成される班に 1～2 台配置可能な実験装置（図 1 参照）を、アクリル板から自作した。これは、厚さ 2mm のアクリル板から構成した長さ約 50cm、幅約 6cm、高さ約 7cm の簡易水槽である。

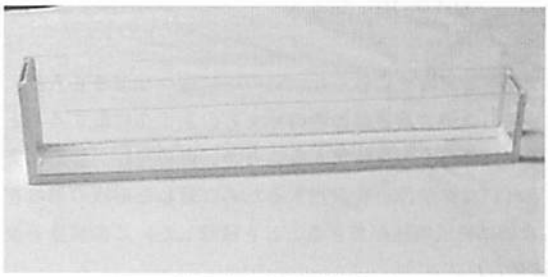


図 1　簡易実験装置（簡易水槽）

素材となるアクリル板はホームセンタで購入したものであり、これを必要な寸法に切断し、接着して組み立てた。但し、2 枚のアクリル板を直角に接着する際に水漏れを防ぐためには、一般的なアクリル用接着剤では不十分であった。様々な検討の結果、2 枚のアクリル板の接着箇所の内角部分に細いアクリル製の三角柱材を添えた状態でガラス・アクリル用超強力両面テープ（住友スリーエム(株)カタログ番号 KF-19）で固定し、さらにセメダイン(株)のシーリング剤(パスコークN)で固定した。

この方法により、任意の大きさの簡易実験装置（簡易水槽）を自作することができる。今回は、1 学級を 6～8 班に分けて行う実験授業にて各班に装置を 2 台ずつ配置することを想定し、実験テーブルの大きさや運搬の容易さを考慮して、前述の寸法とした。

3．水溶液の種類と濃度の影響

3．1　簡易実験装置での観察例

上記のようにして製作した図 1 の簡易実験装置（簡易水槽）の中に、光を散乱させる機能を有する物質を混ぜた溶液を入れ、一方の端から LED や懐中電灯の光で照射することによって、水槽内の位置による溶液の見え方（色）の相違を観察することができる。

実験に使用する溶液としては、例えば理科教材メーカから購入可能なアクリルエマルジョンを水に数滴加えて準備したものが挙げられる。しかし、この装置を用いた実験を手軽に実施するためには、日常生活の中で容易に入手可能な材料を使用することが望ましい。

上記の条件を満たす様々な材料の水溶液を比較・検討した結果として、(株)リンナイの床用樹脂ワックス「オール」の適量を水道水に滴下して作成した溶液が、最も好ましいものの一つとして挙げられる。

この床用樹脂ワックス溶液の濃度（ワックス滴下量）と溶液の色の見え方の関係を検討する目的で、簡易水槽内に 1 リットルの水道水を入れ、そこに上記ワックスを

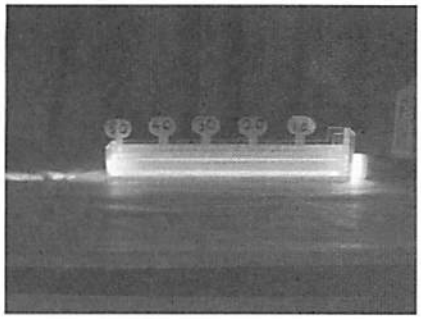
(a)　0 ミリリットル（濃度 0%）
(b)　約 0.3 ミリリットル（濃度約 0.03%）
(c)　約 1.5 ミリリットル（濃度約 0.15%）
(d)　約 3 ミリリットル（濃度約 0.3%）
(e)　約 5 ミリリットル（濃度約 0.5%）
(f)　約 10 ミリリットル（濃度約 1%）

加えた溶液をそれぞれ調製し、簡易水槽の右端から懐中電灯の光を照射した場合の観察例を、図 2 (a)～(f)に示す（図 2 (a)は水道水のみの場合に相当する）。

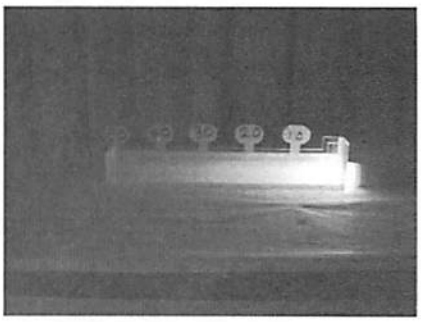
具体的には、図 2 (a)の状態の簡易水槽内の水道水にスポイトから 10 滴のワックスを滴下して、図 2 (b)の溶液を調製した。別に計測した結果、このワックス 10 滴分が約 0.2～0.4 ミリリットルに相当した（ここでは約 0.3 ミリリットルとして濃度を計算した）。その後は、プラスチック製シリンジを使用して所定量のワックスを追加することで、図 2 (c)～(f)の溶液を調製した。スポイト及びプラスチック製シリンジの使用は、小学校での実験授業での使用を想定したものである。

ワックスの入っていない図 2 (a)では、水槽内の水は透明に見え、水槽の左端（光源の反対側）から外に光が出ていった。これに対して濃度約 0.03%の図 2 (b)では、溶液全体が青く見える一方で、左端がやや赤味がかって見えた。濃度約 0.15%の図 2 (c)では、水槽内の左半分が赤く見え、且つ水槽の左端から外に出る光が非常に弱くなった。この程度の濃度で、光源の懐中電灯を水槽の反対側から溶液を通して見ると、夕方の太陽と同じく赤く観察された。さらに、図 2 (d)から図 2 (f)へ溶液のワックス濃度が高くなるにしたがって、水槽内で赤く見える位置が光源側に（図中で右側に）近付いていくと共に、光源から遠い水槽の左側には光が十分に到達しなくなる様子が観察できた。（なお、前報[4] でも同様の検討を行ったが、そこで報告した濃度の数値が一桁誤っていた。）

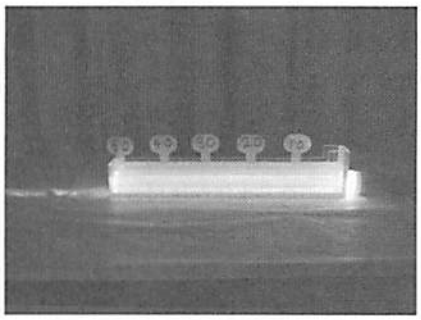
一方、適切な濃度（例えば図 2 (c)の約 0.15%）のワックス溶液について赤色 LED 及び青色 LED を光源として同様の観察を行うと、赤色 LED の光は光源とは反対側の端まで到達するのに対して、青色 LED の光は水槽の途中までしか届かない様子が観察でき、色による違いを容易に比較・認識することができた。



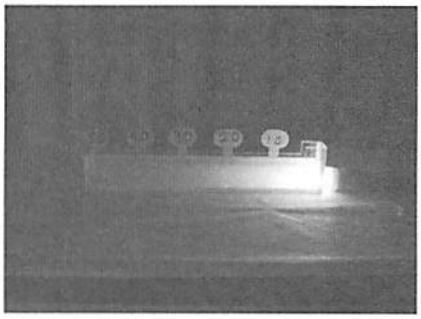
(a) 濃度 0 %



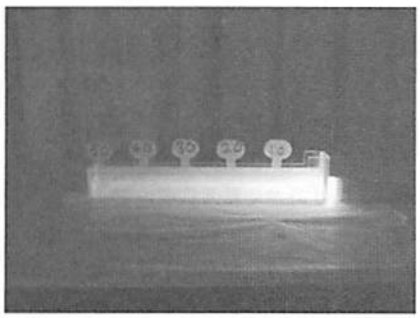
(d) 濃度 0.3%



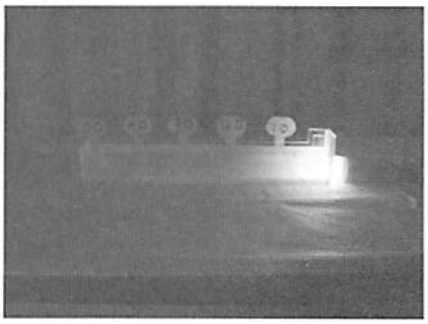
(b) 濃度 0.03%



(e) 濃度 0.5%

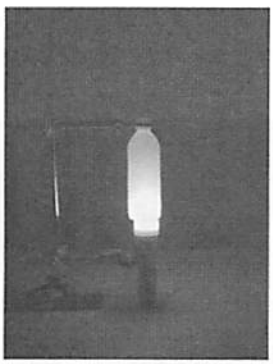


(c) 濃度 0.15%

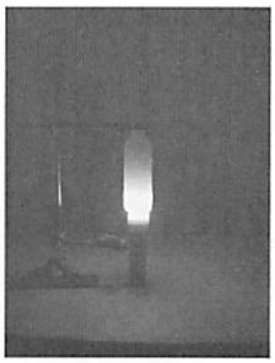


(f) 濃度 1 %

図２　床用樹脂ワックス溶液の濃度による溶液の見え方との違いの観察例



(a) 濃度 0.6%



(b) 濃度 1.6%

図３　500 ミリリットルペットボトルでの観察例（床用樹脂ワックス溶液）

このように、この簡易実験装置（簡易水槽）と床用樹脂ワックス溶液を利用することで、溶液内を光が通過する際の通過距離に依存した光の散乱状態、及びそれに伴う溶液の色（見え方）の変化を、容易に確認することができる。また、本装置を複数個準備すれば、教室前方での演示実験ではなく、各班で参加者（例えば小学生）に実際に実験・観察作業を行わせることが可能である。

3．2　ペットボトルを使用した観察例

上記の結果に基づいて、より簡単に同様の実験・観察を行う目的で、500 ミリリットルペットボトルを使用した観察を行った。

500 ミリリットルペットボトルは高さが約 18cm である。図２の結果を参照すると、図２(e)のようにワックス溶液の濃度を約 0.5%とすれば、光源側から約 10～30cm の範囲内の溶液が赤く見える。そこで、500 ミリリットルペットボトルの中に上述の床用ワックス水溶液を入れて底部から懐中電灯で照射した際にペットボトル全体で色の変化を観察することができるようにするために、500 ミリリットルの水道水に約 3 ミリリットルの床用樹脂ワックスを入れて、約 0.6%のワックス溶液を調製した。

図３(a)には、この状態での溶液の色の変化の観察例を示す。所期の目的通り、ペットボトルの上半分が赤く観察された。一方、図３(b)は、濃度約 1.6%（ワックス約 8 ミリリットル）で観察した場合であるが、ペットボトルの上半分には光が届かなかった。

4．実験授業

上述の簡易実験装置（簡易水槽）を使用して、小学 6 年生の総合的な学習の時間で、「夕焼けはなぜ赤い？」と題する実験授業を実施した。

具体的には、小学校の 1 コマにあたる 45 分間での実験授業を、平成 17 年 6 月 27 日に千歳市立緑小学校 6 年生 61 名、平成 17 年 7 月 21 日に千歳市立千歳小学校 6 年生 43 名を対象に実施した。さらに、その際の経験に基づいて若干の修正を加えた上で、今年度は平成 18 年 6 月 22 日に緑小学校 6 年生 54 名、平成 18 年 7 月 20 日に千歳小学校 6 年生 39 名を対象に、同様の実験授業を実施した。

平成 17 年度と平成 18 年度で授業の流れに若干の違いがあるが、基本的には以下の 3 つの実験を体験させた。

実験１：「色のついていない光（懐中電灯の光）」が散乱される様子を観察しよう

実験２：「色のついた光（赤、緑、青の LED 光）」が散乱される様子を観察しよう

実験３：身のまわりのものを使って夕焼けを作ろう

各班（小学生 4～5 名）に前述の実験装置を 2 台配置した上で、まず実験１では、前述のワックス溶液を入れた水槽の一端から懐中電灯の光を照射し、懐中電灯からの距離に応じて水槽内の溶液の見え方が異なる（すなわち、光源側が青く見え、光源からの遠い側が赤く見える）ことを観察させた。図４には、その際の実験風景を示す。

次に、実験２では、2 色（赤、青）又は 3 色（赤、青、緑）の LED 光を照射し、溶液内での光の到達距離が色により異なることを観察させた。なお、「色のついた光」「色のついていない光」という表現は、今回の参加小学生が 5 年生のときに実施した実験授業での説明内容を受けたものである。

さらに実験３では、前述のワックスに加えて、牛乳、豆乳、粉ミルク、スポーツドリンク粉末など身の周りにある材料の水溶液を使って、夕焼け色の再現に挑戦した。平成 17 年度は前述の簡易水槽を使用したが、平成 18 年度は各児童に 500 ミリリットルのペットボトルを使って実験を行わせた。この場合、ワックスでは前述の濃度にほぼ対応するスポイト 80～140 滴ほど、牛乳や豆乳ではスポイト 5～10 滴ほどの滴下で、ペットボトルの上方が赤～オレンジ色に見え、夕焼け色が再現される。床用ワックスを用いる場合に、特に良好な結果が得られやすい。なお、好ましい滴下量は水の量に依存するので、色の変化を観察しながら滴下していくことが望ましい。

参加小学生にこのような観察をさせた上で、日中の空が青く見え、夕焼けが赤く見える理由を、媒質内の光の通過距離に応じた光の散乱状態の相違と関連させて説明した。現象の厳密な説明を行うことは困難であり、また全ての参加小学生に理解させることも困難ではあるが、実際の観察を行った上での説明であるので、光の散乱現象や青空・夕焼けの色の生じる理由についての糸口を掴ませることはできた。例えば、実験授業の終了時に「昼間の太陽が黄色に見える理由」を質問する小学生もおり、理科・科学現象に対する興味・関心を喚起するきっかけを提供することができた。

図４　実験授業の風景

5．むすび

日中の空の色や夕焼けの色を模擬的に再現できる簡易実験装置（簡易水槽）を自作すると共に、日常的に入手可能な材料として市販の床用樹脂ワックスを水道水に滴下して調製した溶液を用いた実験を行って、この装置の有効性を確認した。また、ワックス溶液の適切な濃度を検討した上で、その結果に基づいて 500 ミリリットルペットボトルでも同様の観察ができることを確認した。さらに、これらの結果を踏まえた「夕焼けはなぜ赤い？」と題する実験授業を、小学 6 年生の総合的な学習の時間で実施した。

今回はアクリル板の切断及び接着作業を通じて水槽を作製したが、例えば透明アクリルパイプを利用すれば、より容易に同種の装置が製作できるものと考えられる。

なお、ここで紹介した活動は、平成１６年度採択の文部科学省「現代的教育ニーズ取組支援プログラム（現代ＧＰ）」における活動の一環として実施したものである。

謝　辞

装置の製作及び理科実験授業の準備・実施に際して、千葉科学技術大学理科工房所属の学生メンバの努力に感謝致します。特に、本稿にて紹介した簡易実験装置の製作にあたって、本学学生の新谷和也君及び吉田周平君の献身的な努力に深謝致します。

参考文献

(1)長谷川誠・石田宏司：「地域教育貢献としての理科実験活動デモンストレーション」、物理教育、Vol.54、No.1、pp.34-36 (2006-3)

(2)長谷川誠・石田宏司：「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、Vol.33、pp.63-67(2005-07)

(3)長谷川誠・石田宏司：「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)

(4)加藤尚斗・新谷和也・吉田周平・山口洋平・本田行佑・山田健一・長谷川誠・石田宏司：「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予稿集、No.P9、pp.132-133(2005-08)

(5)広井禎、他共訳：実験たいけんブック２「絵を映す魔法の杖：光と色」、丸善（1997）

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.34,　2006.10

高等学校物理Ⅱ その履修の実態
（選択分野の導入に現場はどのように対応したか）

物理Ⅱに選択分野が導入され、大学入試においてもその出題範囲が大学ごとに異なる状況を生んでいる。そのような中、道内の各高等学校ではどのような対応をしているか、本支部ではアンケート調査を実施した。また、2004年、2005年の大学別の出題傾向（物理ⅠB、Ⅱの旧課程）を参考資料として提示する。

新課程物理Ⅱ選択分野からの過去の出題

参考：「全国大学入試問題正解」2004、2005（旺文社）【□：2004年、○：2005年】

	（3）「物質と原子」						（4）「原子と原子核」					
大学名	物質の三態	気体の分子運動	内部エネルギー	電子の発見	原子の中の電子	物質中の電子	光の粒子性	X線の発生	粒子の波動性	原子モデル	原子核とエネルギー	素粒子と宇宙
北海道			○									
岩手			□○								□○	
北見工業		□					○	□	○			
弘前			○					○	○		□○	
東北			○					□				
秋田			□									
山形			○									
筑波								○	○			
埼玉		○	□							□		
宇都宮					□					□		
東京			□						○			
千葉			□○									
東京農工			□									
お茶の水			□									
電気通信				○								
東京工業								○			□	
富山							□					
新潟			□○								□	
金沢			□○									
福井							□		○			
信州			□○									
岐阜			□○									○
名古屋工業								○				
静岡			□○					○				
名古屋								○			□	

三重			□○					□		○		
京都			□○				○	□	□			
大阪			○				□	○	○			
岡山		□	□○									
鳥取			□○									
山口			□○									
広島			□○									
徳島			○							□○		
高知				□								
九州			○				□	□				
九州工業			○				□	□	□			
大分			○									
長崎			□				○	○				
熊本							○					
鹿児島			□				○		○	□		
横浜市立			○				□					
京都府立			□○									
大阪府立							□	□				
兵庫県立			○							○	□	
東北工業			□									
千葉工業			○									
青山学院							○				□	
学習院			□○									
慶應義塾			○								□	
芝浦工業											□	
上智			○									
玉川			□									
中央			○									
東京理科		□	□○									
日本			○									
法政		□										
立教							○		□	□		
東邦			○									
早稲田		□○	□	○	○				○			
武蔵工業		□	○				□					
中部							□					
金沢工業			□									
静岡理科			□									
愛知工業			○								□	
同志社		○			○					○	□	
立命館		○										
関西学院			○									
関西			□○									
福岡			○								□	

～物理Ⅱの履修実態について～　日本物理教育学会北海道支部調べ　2006.2.11

番号	学校名（詳細は事務局にお問い合わせ下さい。）	「(3)物質と原子」 物質の三態	気体分子の運動	内部エネルギー	電子の発見	原子中の電子	物質中の電子	(4)原子と原子核 光の粒子性、光電効果	X線の発生	粒子の波動性	原子モデル	原子核とエネルギー	素粒子と宇宙	履修単位 1年	2年	3年	2年生終了時での進度
1		○	△	△		○	△				△	△		2			
2		○	○	○	○		△	○	○	○	○	○	○		3	3	運動量
3		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			5	4	運動量
4		○	○	○	△	△		△						1	3	3	運動量
5		○	○	○	○									0.25	3	4	音波（光波を残す）
6		○	○	○	○										4	3	物理Ⅰ・Ⅱの力学、熱力学と物理Ⅰの波動
7		○	○	○	△	△									3	3	気体の分子運動論(万有引力、単振動は除く)
8		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		3	4	運動量
9		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		3	3	旧課程の配列で力学、熱、波動（音波の干渉）
10		○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△		3	3	光波（ヤングの実験）
11		○	○	○	○										3	3	力学（含む運動量）、波動、物理Ⅱの電波（熱は3年でやり、生活と電気はやらない）
12		△	○	○	○	○	△	△		○	○			1	3	4	円運動
13		○	○	○										1	3	3	旧課程の配列で万有引力と単振動を先にやり、音波まで
14		○	○	○											3	3	同上
15		○	○	○	○									1	3	5	ほぼ物理Ⅰ終了
16		○	○	○	○	○	○	△	△	△	△				3	4	力学的エネルギーの途中
17														1	2	4	今年度は物理Ⅱ開講せず（来年度は開講予定）
18		○	○	○										1	3	3	物理Ⅰ終了
19		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		1.3	2.6	3.9	Ⅰは「生活と電気」、「音波・光波」以外すべて終了、Ⅱは、「運動量」、「熱力学」を終了
20		○	○	○	○	○	○								4	4	物理Ⅰ終了
21		○	○	○	△	△	△	△	△	△	△			0.5	3	3	力学（Ⅱを含む）、波動、電気（電流）まで
22		○	○	○	○	○	○							1	3	3	運動量、円運動、単振動まで
23		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	1	3	4	物理Ⅰ
24		○	○	○											3	3	物理Ⅰ
25		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1	3	3	物理Ⅱの電流
26		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△				4	3	運動量、（単振動）
27		○	○	○											4	4	運動量
28														0.5			1年で理科総合Ａ３単位、平成17年度より物理開講せず
29																	物理Ⅰのみで、物理Ⅱは実施せず
30														1		3	理科総合Ａの物理分野のみ
31		○	○	○	○	○	○						○	1	3	4	運動量
32																0.5	3年理科基礎の物理分野
33		○	○	○											3	4	2次元の投射、相対速度
34		○	○	○	○	○	○								3	3	運動量

「(3)物質と原子」
- 物質の三態、気体分子の運動(ボイル・シャルルの法則、理想気体の状態方程式、気体の圧力、気体分子の運動エネルギーの平均値、気体分子の2乗平均速度)
- 内部エネルギー(理想気体の内部エネルギー、熱力学第1法則、定積変化、定圧変化、等温変化、断熱変化、モル比熱、熱効率)
- 電子の発見(陰極線、トムソンの実験、ミリカンの油滴実験)
- 原子の中の電子(原子構造、エネルギー準位、スペクトル)
- 物質中の電子(エネルギー帯、導体・不導体・半導体、トランジスタ)

「(4)原子と原子核」
- 光の粒子性、光電効果
- X線の発生(連続X線、固有X線、ブラッグの条件、コンプトン効果)
- 粒子の波動性(ド・ブロイ波長)
- 原子モデル(リュードベリ定数、ボーアの水素原子モデル)
- 原子核とエネルギー(原子核崩壊、半減期、核反応、質量欠損、質量とエネルギーの等価性、結合エネルギー、核分裂、核融合)
- 素粒子と宇宙

日本物理教育学会北海道支部

平成 17 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.33」7 月発刊

2, 総会

平成 17 年 3 月 12 日(土)
於:北海道薬科大学 4階418教室
<<<総会>>> 15:00～15:30
(1) 支部長挨拶
(2) 平成 16 年度事業報告
(3) 平成 16 年度会計報告
(4) 平成 16 年度会計監査報告,
(5) 平成 17 年度事業計画,
(6) 平成 17 年度会計予算書,
(7) 支部長改選
(8) 支部住所の変更について
<<<全国大会準備状況の報告>>> 15:30～16:00
2005 年物理教育研究大会 実行委員会より
<<<施設見学>>> (時間の都合により中止)

3, 第 22 回物理教育研究大会

2005年8月6日(土)～7日(日)
北海道薬科大学 (〒047-0264 小樽市桂岡町 7－1)
大会テーマ:「科学と社会のコミュニケーション」
日 程:
第 1 日目 8月6日(土)
9:00～ 受 付
9:45～10:00 開会の挨拶
大会実行委員長 北海道薬科大学教授 中野 善明
日本物理教育学会会長 東京大学名誉教授 霜田 光一
北海道薬科大学学長 大和田 榮治
10:00～12:10 原著講演 I (8 件)
12:10～13:00 昼食, ポスターセッション
13:00～14:00 特別講演
「地球環境流体の力学的特性とエネルギー」
北海道大学大学院工学研究科 吉田 静男
14:15～17:50 原著講演 II (13 件)
18:30～20:30 懇親会
第 2 日目 8月7日(日)
8:30～ 受 付
9:00～ 9:45 物理教育大塚賞授賞式・記念講演
「紙筒と空き缶を利用した高感度GM管の製作」
千葉県立柏高等学校 三門 正吾
「学校・地域・メディアを巻き込んだ理科教育の実践」
北海道函館東高等学校 渡辺 儀輝
9:45～12:10 原著講演 III (10 件)
12:10～13:00 昼食, ポスターセッション
13:00～13:20 特別企画:中高生理科部発表セッション
「偏光板とポリプロピレンによる着色現象に関する考察」
北海道南茅部高等学校科学部(顧問:堀 輝一郎)
13:20～15:45 原著講演 IV (9 件)
15:55～16:55 シンポジウム
「次期学習指導要領と学力向上対策」
16:55 閉会の挨拶
実行副委員長 筑波大学付属高等学校 鈴木 亨

4, 世界物理年記念事業

「科学者と語ろう！サイエンストーク 2005」
平成 17 年 8 月8日(月)
北海道大学クラーク会館(札幌市北区北 8 西 8)
第一部 サイエンスショー(10:00-12:00)
「糸電話で遊ぼう」大坂厚志, 「ジャイロ効果」渡辺儀輝, 「光ファイバーとテレビ石」堀輝一郎, 「偏光版」稲子寛信, 「音のアンテナ・ミルククラウン・他」菅原陽, 「超伝導ループコースター・スチーム・エンジン・他」佐藤健・石川昌司, 「つぶれるペットボトル・他」横関直幸, 「気柱共鳴」松田素寛

第二部
講演(13:00-14:30)
司会 杉山 滋郎(北海道大学・科学技術コミュニケーター養成ユニット代表)
横関 直幸(札幌旭丘高校・日本物理教育学会北海道支部事務局長)
(1)霜田 光一(世界物理年日本委員会副会長・日本物理教育学会会長, 東大名誉教授)
「ノーベル賞をもたらした光の科学と技術」
(2)難波 美帆(北海道大学科学技術コミュニケーター養成ユニット特任助教授・サイエンスライター)
「人生いろいろ, 科学もいろいろ－サイエンスライターという仕事」
*********(休 憩)*********
講演(14:40-16:00)
司会 難波 美帆(北海道大学)
横関 直幸(札幌旭丘高校)
(3)伊土 政幸(北海道大学)
「高温超伝導－発見から20年を迎えて－」
(超伝導実演)
(4)サイエンストーク
「そのきっかけは何？－物理の面白さ」

5, 第 6 回青少年のための公開シンポジウム

「創造科学実験」(平成 17 年度 科学研究費補助金研究成果公開促進費補助事業)
平成17年9月17日(土) 10:00～17:00
札幌市下水道科学館(札幌市北区麻生町 8 丁目)
○実験デモによるポスターセッション 10:30～11:00

「パンチングボードと干渉現象」
厚真高校 永田 敏夫
「色素増感電池の作成 & 超音波で水中を伝わる音の速さ」
札幌厚別高校 松田 素寛
○特別講演 11:00～12:00
「これからの有機栽培と科学の世界」
講師: 山口 敏樹／(株)扶相
○ 創造科学実験 13:00～16:00
リニアモーター，クリップモーター，パンチングボードと干渉現象，「燃料電池って何？」，色素増感電池の作成，超音波で水中を伝わる音の速さ，光るアンテナ，結晶の成長を見よう，紫外線に反応するスライム振動反応，つぶれるペットボトル，人工底なし沼 ＝液体か固体か？ダイラタンシーのモデル実験 ＝，モアレの楽しみ，葉脈のしおり，ペットボトルで雲を作る，時空の歪みを体験しよう，手回し発電機で遊ぼう，夕焼けはなぜ赤い？，プラトンボ

6. 青少年のための科学の祭典

① 全道大会 余市中央公民館 9月3, 4日
② 富良野大会 富良野文化会館 8月13日
③ 美幌大会 美幌小学校体育館 8月27日
④ 函館大会 函館市民会館小ホール 8月28日
⑤ 室蘭大会 室蘭市青少年科学館 9月18日
⑥ 札幌大会 札幌市青少年科学館 9月23日
札幌西高校舗仁会館 11月19日
札幌市下水道科学館 11月20日
⑦ 帯広大会 帯広市児童会館 10月9日
⑧ 釧路大会 釧路市こども遊学館 8月13，14日
⑨ 北見大会 北網圏北見文化センター11月6日
⑩ 苫小牧大会 苫小牧市科学センター 8月20日
⑪ 羽幌大会 レストパークはぼろ 5月22日
⑫ 旭川大会 旭川市青少年科学館 10月29日

7. 物理教育研究会

平成17年12月17日(土) 13時30分～17時20分
北海道大学遠友学舎(札幌市北区北18条西6丁目)
プログラム
○支部長挨拶 13:30
○招待講演
「理解してもらうための発表」 13:35～14:35
北海道大学名誉教授 北村 正直
○原著講演
1.「理科教育を再考する」 14:45～15:05
札幌清田高校 鶴岡 森昭
2.「パンチングメタルを使ったモアレ」 15:05～15:25
厚真高校 永田 敏夫
○5分間デモンストレーション 15:25～16:10
「ラザフォード散乱もどきのシミュレーション」
空知教育局 佐々木 淳
「電界速度を測る」
札幌南陵高校 菅原 陽
「臨界前"角"実験＋オマケ実験2つ」
北海道東海大学 今野 滋
「楕円偏光を確認する」
南茅部高等学校 堀 輝一郎
「気柱共鳴管の中で何が起きているか～その2～」
札幌啓成高校 石川 昌司
○シンポジウム 16:10～17:20
新しい高等学校物理教科書について Part 3
「高等学校物理Ⅱ その履修の実態
～選択分野の導入に現場はどのように対応したか～」
司会 札幌旭丘高校 横関 直幸

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)　事業計画及び収支予算

(2)　事業報告及び収支決算

(3)　その他，支部理事会において必要と認めた事項

第16条　支部規約に記載のない事項は，本学会定款に準ずる．

（附　則）

(1)　本規約は，総会において，正会員の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．

Ａ４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:12pcTimes (論文の場合英語タイトルが必要)

(English Sub Title:12pcTimes)

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

３行～６行程度の抄録を本文の前に挿入してください．論文の場合は英語の抄録が必要です。日本語文字は９ｐｔゴッシクです．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」という形で，キーワードを含めて下さい．

Abstract

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

キーワード　9ptゴッシク　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，９ pt 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６ pt 程度の立体（イタリックも可）とします．以下にいくつかの例を挙げます．

J_c　　V_i　　$P^A{}_{ijk}$

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

$$F_D = C_F 1/2\, \rho \quad |V|\, VS \qquad (5)$$

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（９ pt 程度）にし，６ pt 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，９ pt 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 experimenntal apparatus

Tabel 3 Fluid properties in each run

Photo 4 Flow pattaern around sphere

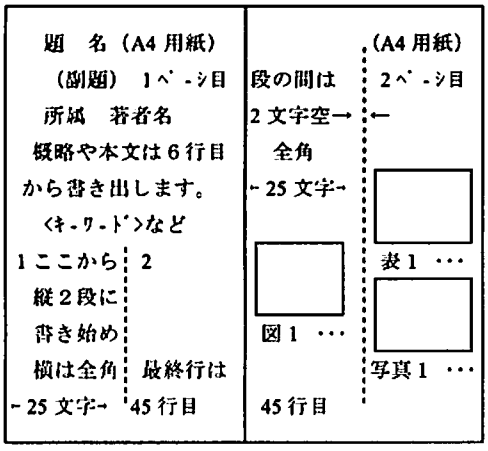


図１　ワープロ原稿の例

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

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

２．５　記号説明・引用文献

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

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

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

引用文献

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

２）執筆太郎　『北海道の物理教育』，支部出版，2005

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

３．その他

(1)　原則として原稿はお返いたしません。校正のため原稿の控えは手許に保存して下さい。

(2)　本紙は毎年（７月）に発行予定です。

(3)　研究論文と解説には査読員を立てて内容を査読し査読します。

(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 35 号」の原稿を募集いたします。

(1)　締　　切

研究論文　　2007 年５月末日

実践報告等　2007 年６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 2007 年 4 月に支部ホームページに掲載します。

〒 006-0829　札幌市手稲区手稲前田 497 番地 2

北海道札幌手稲高等学校　　中　道　洋　友

TEL 011-683-3311　FAX 011-683-8606

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

昨年の反動か今年は原稿がなかなか集まらず大変でした。個人的にもオーバーワーク気味で、多方面で多大なご迷惑をおかけしたと思います。中央と北海道の意識の差も感じられ、編集体制も考え直す時期に来ているのかなー、とも思いますが、発行が遅れたことはひとえに私の責任です。投稿していただいた先生方には感謝、感謝、感謝です。

表紙写真説明

本会報「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」「 LED を用いた簡易光通信実験セット」から

2006 年 10 月 1 日発行

日本物理教育学会北海道支部

第 34 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科物理学専攻

日本物理教育学会北海道支部

日本物理教育学会北海道支部会報 「物理教育研究」 Vol.34, 2006.10

目　　次

巻　頭　言

北海道薬科大学　中野　善明　1

1　国際物理年記念事業の記録
科学者と語ろう！サイエンストーク2005

北海道遠軽郁凌高等学校　山崎　大輔
北海道札幌旭丘高等学校　横関　直幸　2

2　実践報告（中表紙）
弓を使った力学的エネルギー保存の法則の説明

北海道札幌啓成高等学校　佐藤　健　6

自由落下の導入法

北海道札幌旭丘高等学校　横関　直幸　8

定時制課程における科学史の授業実践

北海道札幌月寒高等学校定時制　本田　貴俊　１０

作用反作用の法則を確認するリングの作成とその活用

北海道大学大学院教育学研究科修士課程　河野　匠
北海道大学大学院教育学研究科　大野　栄三　１４

向心力，遠心力およびダランベールの原理

北海道札幌啓成高等学校　石川　昌司　１６

3　論文集（中表紙）
真空落下装置の製作と利用

北海道大学大学院理学研究院，北海道大学高等機能開発センター*
佐藤　久志，細川　敏幸*，小野寺　彰　２３

大学初年度教育としての物作り体験実習

北海道大学大学院理学研究院、北海道大学高等機能開発センター*
佐藤　久志、細川　敏幸*、小野寺　彰　２６

LEDを用いた簡易光通信実験セット

千歳科学技術大学　長谷川　誠　２９

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

千歳科学技術大学　長谷川　誠　３３

4　調査報告
高等学校物理Ⅱ　その履修の実態　３９

5　事業報告　４２

6　日本物理教育学会北海道支部規約、Ａ４原稿執筆要項、編集後記　４４