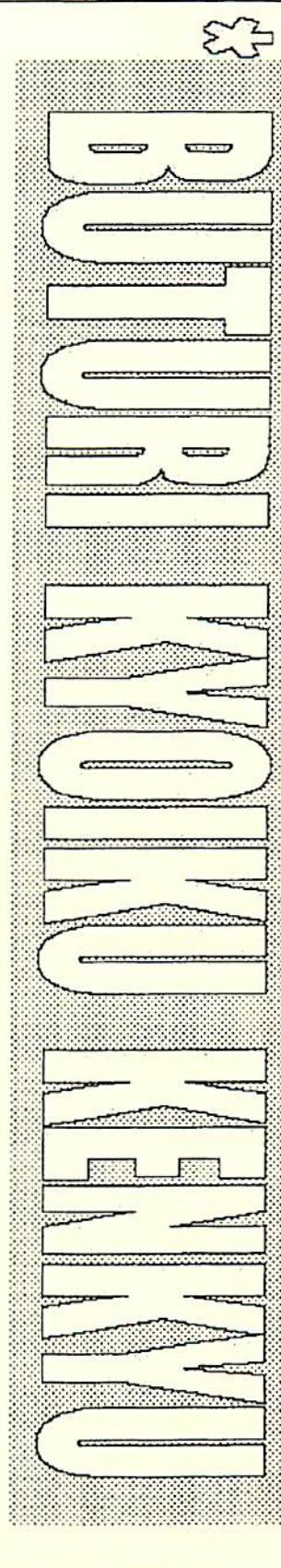
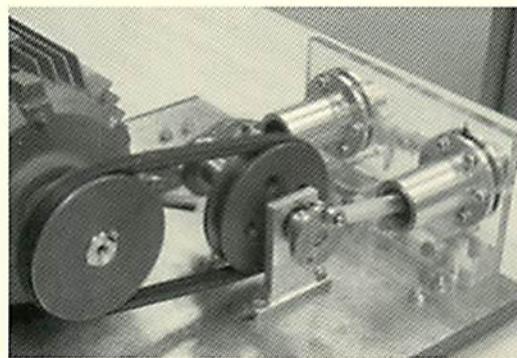
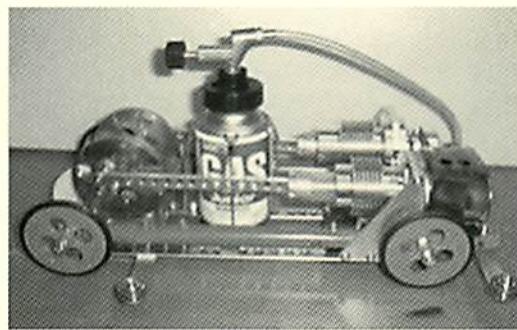


*J. Nakano*

# 物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.32, 2004.7

シンポジウムの冒頭では、昭和48年4月施行の物理Iと平成15年4月施行の物理Iの2つの学習指導要領における教科書を比較した。この2つの時代はともに物理I、物理IIという科目名で、標準単位も各3単位である。しかしながら、その内容や配列は大きく異なる。

新旧の物理Iの間には2回の改訂があった。高校関係者には周知のことだが、平成4年4月施行の「物理IA、物理IB、物理II」が、現在の高校2,3年生が使っている教科書である。さらにその前は、昭和57年4月施行の「理科I」が必修の時代であり、理科Iの後に履修する「物理」(4単位)は力学、波動、電気と磁気、原子という順番の配列であった。

以下、混乱を避けるため便宜上、高等学校学習指導要領の時代ごとに科目名を以下のように記述する。

昭和48年4月施行 旧物理I、旧物理II

昭和57年4月施行 理科I 時代物理

平成4年4月施行

現物理IA、現物理IB、現物理II

平成15年4月施行 新物理I、新物理II

## (2) 昔あった項目

旧物理I・IIに扱っていたが、現物理IB・IIでは扱っていない内容を以下に記述する。教科書を比較しながら抽出したため、網羅していない項目もあることを付け加えておく。

- ・「熱の仕事当量」～熱量の単位カロリーを使わなくなり、ジュールとカロリーとの換算という意味では自然消滅した。水の比熱として  $4.19 \text{ J/g}\cdot\text{K}$  は扱われている。
- ・「電気分解」、「結晶格子」、「原子半径」～現在は高校化学において扱っている。
- ・「グラム当量」
- ・「剛体の回転運動」～慣性モーメント、角運動量など。
- ・「2原子分子と内部エネルギー」～現在は单原子分子のみを扱っている。
- ・「比熱比γ」
- ・「磁気のヒステリシス」
- ・「非透磁率」
- ・「インピーダンス」～教科書の本文からはなくなったが、大学入試問題として扱われることがあり、問題演習の中で扱っている高校もある。
- ・「変圧器」～昨年のシンポジウムで、大学生に「変圧器」と言っても、「スライダック」と言っても何のことかわからない、という話題がでたが、高校教科書では本文からなくなり、参考程度の扱いとなっている。

## (3) 今回からなくなった項目

現物理IB・IIで扱っていたが、新物理I・IIからなくなった項目。新物理IIでも扱わないため、高校では扱わない内容ということになった。

- ・「波の式」～媒質の位置  $x$  と時間  $t$  との2変数で媒質の変位  $y$  を表す式。
- ・「観測者が移動する場合のドッブルー効果」～音源の移動により波長が変化することは今まで通り式により扱われているが、観測者の移動については定性的な記述のみ式はなくなつた。
- ・「弦を伝わる横波の速さ」～張力と線密度により決まる速さの式はなくなり、弦の振動については、波長や倍音に関する内容のみとなつた。
- ・「薄膜による干渉」、「くさび形空気層による干渉」～定性的な記述のみとなり、式の扱いは本文よりなくなつた。

## (4) 現物理IBから新物理IIへ移行した項目

- ・「水平投射」、「斜方投射」～多くの教師が驚いたことと思うが、基本的に直線運動が新物理I、平面運動は新物理IIという扱いになったようだ。センター試験の出題範囲は新物理Iと予想されるので、直線運動のみの出題になるのであろうか。新物理Iでは水平投射や斜方投射の記述の中で式は一切ないものの、鉛直方向と水平方向の2つの運動を重ね合わせる等の表現は残っている。
- ・「運動量」、「力積」
- ・「クーロンの法則」
- ・「電界」、「電位」～静電気力との関連から電界という用語は新物理Iでも扱われるが、クーロンの法則に基づいた電界の定義は物理IIでの扱いとなる。
- ・「コンデンサー」、「内部抵抗」、「キルヒホッフの法則」

## (5) 新物理Iに新たに加わった項目

- ・「浮力」～今まで中学において扱われていたものが高校へ移行してきた。大学入試問題などで扱われることもあり、問題演習などで扱っていた高校も多かったと思われるが、今回の改訂で教科書本文に記述されることとなつた。アルキメデスの原理の扱いも定量的になる。

## (6) 中学校から新物理Iへ移行した内容

シンポジウム 「新しい高等学校物理教科書について」

高校の物理について考えるとき、中学校との関連性を無視することはできない。今回の改訂で中学校から高校へ移行してきた内容は多々あるが、ここではその項目名の紹介にとどめる。

「交流」、「真空放電」、「水圧」、「浮力」、「力とばねの伸び」、「力の合成・分解」、「質量と重さの違い」、「仕事と仕事率」、「水の加熱と熱量」、「比熱」、「電力量」

高等学校学習指導要領比較（物理）

	昭和 48 年 4 月施行	平成 15 年 4 月施行
物理 I	<p>(1) 運動と力          ア 物体の運動          速度と加速度、速度・加速度の合成と分解、落下運動、放物運動          イ 運動の法則          運動の法則、摩擦、重力、運動量の保存</p> <p>(2) エネルギー          ア 力学的エネルギー          仕事、仕事率、位置エネルギー（弹性の位置エネルギーを含む。）、運動エネルギー、力学的エネルギーの保存          イ 热と仕事          热と仕事、エネルギーの保存、不可逆変化</p> <p>(3) 波動          ア 波動          单振動と波動、横波と縦波、波の重ね合わせの原理、干渉・回折          イ 音          音の伝播、ドップラー効果、共振・共鳴</p> <p>(4) 電界と電子          ア 電界          電荷、電界、電位差、電気容量          イ 電子と原子          陰極線、電気素量、電気分解の法則、原子、放射能</p>	<p>(1) 電気          ア 生活の中の電気          (ア) 電気と生活          (イ) モーターと発電機          (ウ) 交流と電波          イ 電気に関する探究活動</p> <p>(2) 波          ア いろいろな波          イ 音と光          (ア) 音の伝わり方          (イ) 音の干渉と共鳴          (ウ) 光の伝わり方          (エ) 光の回折と干渉          ウ 波に関する探究活動</p> <p>(3) 運動とエネルギー          ア 物体の運動          (ア) 日常に起る物体の運動          (イ) 運動の表し方          (ウ) 運動の法則          イ エネルギー          (ア) エネルギーの測り方          (イ) 運動エネルギーと位置エネルギー          (ウ) 热と温度          (エ) 電気とエネルギー          (オ) エネルギーの変換と保存          ウ 運動とエネルギーに関する探究活動</p>

昭和 48 年 4 月施行		平成 15 年 4 月施行
(1) 運動とエネルギー		(1) 力と運動
ア 固体にはたらく力		ア 物体の運動
力のモーメント、偶力、重心		(ア) 平面上の運動
イ 回転運動		(イ) 運動量と力積
円運動、向心力と遠心力、中心力と面積速度、万有引力、固定軸のまわりの回転運動		イ 円運動と万有引力
ウ 気体の分子運動		(ア) 円運動と単振動
ボイル＝シャルルの法則、気体分子運動、内部エネルギー		(イ) 万有引力による運動
(2) 波動		(2) 電気と磁気
ア 光波		ア 電界と磁界
光の速さ、光の反射・屈折、光の干渉・回折、偏光、スペクトル		(ア) 電荷と電界
(3) 電流		(イ) 電流による磁界
ア 電圧と電流		イ 電磁誘導と電磁波
直流回路、電流と仕事		(ア) 電磁誘導
イ 电流と磁界		(イ) 電磁波
电流による磁界、磁界が电流に及ぼす力、电流計、電圧計		(3) 物質と原子
ウ 電磁誘導		ア 原子、分子の運動
磁界が変化するときの誘導電圧、磁界中を導体が動くときの誘導電圧、インダクタンス		(ア) 物質の三態
エ 交流と電気振動		(イ) 分子の運動と圧力
交流、コイルやコンデンサーを流れる交流、共振回路、電気振動と電磁波、電子工学		イ 原子、電子と物質の性質
(4) 原子の構造		(ア) 原子と電子
ア 波動性と粒子性		(イ) 固体の性質と電子
電子の質量、X線、光の粒子性、電子の波動性		(4) 原子と原子核
イ 原子と原子核		ア 原子の構造
原子の構造、原子核の構成、原子核の変換、核エネルギー		(ア) 粒子性と波動性
		(イ) 量子論と原子の構造
		イ 原子核と素粒子
		(ア) 原子核
		(イ) 素粒子と宇宙
		(5) 課題研究
		ア 特定の物理的事象に関する研究
		イ 物理学を発展させた実験に関する研究

### 3. シンポジウムにおける論点

旧物理Ⅰ・Ⅱと新物理Ⅰ・Ⅱについて、学習指導要領の項目を対応表として資料に示した。新物理Ⅱの「(3) 物質と原子」と「(4) 原子と原子核」が選択となっていることを考慮しても、一見して新物理Ⅰ・Ⅱの内容が過密であるという印象を受ける。物理Ⅱを含めた議論をするには到底時間が足りないので、今回は新物理Ⅰについて論点を集中することとした。新物理Ⅱについても重要なテーマがあるので機会を改めて議論したいと考えている。

議論の進め方として、まず新物理Ⅰの教科書選定を済ませた高校現場から複数の発言を受け、さらに大学や中学校の立場からの意見を受け議論を発展させていった。議論が拡散することを防ぐため、はじめの高校からの発言については、以下の2点について意見を求めた。

- ① 新物理Ⅰの冒頭にある「生活の中の電気」をどのように扱うか。「演示実験を中心に簡単に扱う。」あるいは、「新物理Ⅰ後半や新物理Ⅱとの関連を意識して扱う」など、様々な意見が予想されるが、個人的な意見として述べてもらう。

② 「生活の中の電気」の次に「力学」がきている教科書と「波動」が来ている教科書がある。そのどちらを選んだのか。また、その理由は何か。

以下、上記の基調報告を受け会場の参加者との意見交換が行われた。今回は参加者からの意見をシンポジウムの論点に沿って、中学・高校・大学のそれぞれからいただいた意見を流れに沿う形で記載した。

#### 4. シンポジウム



(札幌啓成高校 石川 昌司)

生活と電気の所については、個人的な意見としてはそれなりの時間数配当で、そのままストレートにやると思います。

それから生活と電気の次は力学か波動かということですが、こういう教材の配列がいいとか、ⅠとⅡは分かれると困るとか、そのような議論はいろんな所で出てきます。それは学問としての体系がその根柢にあるので、当然といえば当然です。そちらの方向に進むべき子には、学習時間の効率のために絶対その方がいいと、私も100%それで異論は無いんですが、ただ高校の現場は専門家養成のためだけではない、というかそうじゃない子の方が多数派なわけです。そうなってくるとそれらの子供達は系統性というものを、我々教師が思っているほど意識してはいない、と私は思います。彼らにとって順番というのは大して問題になっていない、まあ物理学は本来系統的であるべきで困ったことなんんですけど。だから単元が新しくなれば仕切直しで、皆同じスタートラインに並んだみたいな、そういう感じなんです。だから僕はどっちが先かというのは体制には影響ないという意見があります。

じゃあ慣れた方がいいじゃないかということもあります

が、やってみたらその手応えがわかるだろうと。だから、初年度はとりあえず手探りというつもりでストレートにやってみます。

#### (滝川高校 大屋 泰宏)

生活と電気に関してはおそらく飛ばすだろうと思います。選んだ教科書は次が力学なので、その後波動をやって電気になると思います。石川先生の話にもあったんですが、やってみなければ分からんと思います。

今僕は1年生持っていて、前期に理科総合A、後期から化学というふうにやっていました。理科総合Aに関しては始める前は先生方は、ピシッとそのままやろうということだったんですが、普通にやっているうちに教科書の問題点がどんどん出て来るんですね。それで理想はあったのですが、結局生徒が何かよくわかんないぞ、といった反応を出すようになってしまいました。また科目選択の時ですが、うちの学校は理系に進んだ時に40名近くが物理を取る、多い時は1クラスを超える位ですね。しかし今年は20名位で半減してしまいました。これは理科総合の影響かなと。

だから物理の先生方では細かく検討はしてないですが、やってみてかなり問題点が出てくるだろうなという予想があるので、まずやってみてという雰囲気です。ちなみに理科総合Aは来年はおそらくやり方を変えていくことになると思います。

#### (栄高校 山田 高嗣)

本校では電気はできればエネルギーの後にやりたいなというのがあります。個人的にはやはり現状通り、運動の話からエネルギーやって波やって最後に電気をやりたいんですけども、1年目は試しに教科書通りやってみます。そのあたり私達は私立なので、いくらでも自由自在に変えることができる、という所が非常にいい所です。

#### (札幌平岸高校 横関 直幸)

私の所は生活と電気はその通りやろうと思います。ただし実は殆ど演示実験的にやってさーっとやっちゃおう、というような印象であります。中学校の補完ということで、できるだけ早く終わらせてそして次に力学に入ろうと。そして力学をやって波動をやってエネルギーをやって、物理Ⅱへ行こうということなので、その流れに合った教科書を採用させて頂きました。

#### (札幌清田高校 鶴岡 森昭)

理科教育学会の会議がありまして、炉辺談話ですけど「理科の教育」という雑誌に書いたんですけども、今回の教科書の配列のことで1つだけメリットがある。それはですねⅠとⅡのつながりがかえっていいのではないかと。指導要領では生活と電気があって波動があってそして力学がⅠでは最後に書いてあります。そしてⅡの方は力学が一番最初なんですよ。だからそういう意味ではⅠとⅡのつながりはスムーズじゃないかってことだけ、と提起しました。あとはあまり良くなかったみたいでけれども。

#### (札幌西高校 伊藤 新一郎)

配列関係ですが、電気の扱いについては教科書の通りにやります。逆らうことにはしません。中学校で積み残してきているものがあるわけですから、やはりそれはやるべきであるというふうに考えます。なるべく実験を多くして、例えばクリップモーター作らせてみたりとか、そういうことを2年生の最初ですから特にまだ受験をあまり意識しなくていいので、どんどん体験させていきたいというふうに考えています。

それからその後のつなぎ方でけれども、教科書会社の候補は6社あって、電気の次に物体の運動を持ってきているのが3社、波動を持ってきているのが3社でしたね。数学との関係もありまして、3角比は結構早い時期にやるんですよ。ところが3角関数になると少し後の方になってしまいます。だから3角比だけで解ける運動を先に持ってきて、この場合平面は入ってませんけれども波動の方を後に。そういうふうに選んだ中で、やはりある程度入試も意識しなければならないので、もうひとつ問題の難易度。そういった所を考えて教科書を選定しました。

#### (札幌北高校 今野 博行)

まず第一に教科書を終わるかどうかがポイントでした。カリキュラムは一年生で、理科総合Aを3単位で、週に物理分野を1回というように行います。2年生で、理科2科目とするようにしました。例えば、物理と化学のように。また、物理が週2時間になり、今は3時間なので、削減のような感じなんです。3年生で週2・5時間、2週に分けて3時間の週と2時間の週があります。1年生で1時間ありますがなかなか進みません。内容は力学をがしっとやって今とほとんど変わりません。2年生でも物理Ⅰで力学をやって熱をやって、今の教科書の進み方と同じようにやろうと思っています。

#### (小樽商業高校 武田 伸彦)

物理は教育課程上にはありませんが・・・、物化生の3分野をやっています。専門高校なので、理科は各学年2単位しかありません。1年生で物理と化学、2年生で化学の統合と生物、3年生で野外観察という非常に特殊なことをやっています。つい数日前も校を切りに行くという実習をして、大変な思いをしました。女子生徒が多いので、国民教養として物理をきちんと教えておきたいと思い、正味1年生2単位ですけど1単位分、10月くらいまで気強ってやりました。実験はあまりやらないんです。実験器具がないんですね。本校が昔普通科だった当時の実験器具が多くて、今同好会の生徒と一緒に使えるかどうか確かめ始めたところで、なかなか使えるものが多くて困っています。

#### (札幌南高校 大久保 政俊)

本校では理科の授業時数が非常に少ないです。英数国が圧倒的に多くて。今は2年生で2時間で、3年生で4時間です。教科書も12月の終わりにやっと終わりました。来年度は物理は2年生で2時間しか取れておらず、3年生は3時間で標準単位を確保できません。

この短い時間のなかで消化しなければならないので、力学からやっても大変なところ、正直電気からはやりにくいです。個人としては電気の実験から始め、中学校の積み残しを少しやっている時点で、興味を付けてそれから広げていくということを本当はしたいんですけど、生徒は興味があるかどうか以前に使うかどうかで選択します。そういう生徒に答えなければならないので、ある程度早めにやらなければならぬ。理系の生徒はかなり理科に時間をとられていて、あっぷあっぷです。それで、あまり物理の後半の原子なんか出されるとやばいなという感じです。また、センター試験でも、物理Ⅰのどこから出すのかはっきり出でないので、全く式の出てこない電磁気を本当にセンター試験に課してくるのかどうか、正直言って手探り状態です。力学を先にやって様子を見ながら、冒険はしたくないというのがうちの学校の意見です。

#### (厚真中学校 滝口 正之)

電流の扱いの中で、電子という言葉が無くなってしまったことに、ショックを受けています。真空放電の実験も無くなってしまったのもそれに関わっていることなんですが、何か流れているんだよという説明をしなければならない。

僕のひがみかもしれないけど中学校で教えてくんなないか大変なんだよ、ということかもしれないですが、中学校も首をかしげるのが正直なところで、悩みながらやっています。そして中学校では、絶対評価と評価規準による日頃の評点を加えた評定という、そちらの作業もかなり入ってきて、いろいろ悩むことが多いです。

(司会)

結局教科書はとりあえずやります。それでやってみて、いろんな学校事情にともなって修正するというのが大方の意見かと思います。一方で、限られた時間の中でやるので、体系的な形の方が時間のロスが少ないという意見もあり、いろいろな現場の事情によってその2つに分かれてくるんじゃないかなと思います。大学の先生方からも今までの話を聞いて、聞いてみたい、言っておきたいというのがあれば、ぜひご意見をいただきたいと思います。

(北海道大学 工学部 吉田 静男)

この前○○の教授から、Aさん物理教育学会の立場から教えて欲しいんだけど、何でうちの学生あんなに物理できないんだと聞かれました。私もよくわからないんだけれども、要するにそれだけのことをやってきてないからに決まっているわけで、先生方が立てているカリキュラムは無理なんですよと言いました。○○大でさえ85%理解していないと言われています。△△大なんて当たり前ですよね。列車が等速運動していて、上からつるしたリンゴの糸を切ると、リンゴがどういう軌道を描いて落ちるか書きなさい、という問題で15%はペケですね。そういう関連の問題を5つくらいの項目でやって、クロスかけるとほとんどの学生がどれかはできない。つまり易しい話をしていても、先生が何しやべっているかわからない、ということですよね。即座に判断できない。まして、微積分方程式を最初から書くっていう無神経な授業はですね、批判されてしまうがない。△△学部ではきっとそういう馬鹿なことをやっているんだろうと思うのですが（笑）、○○学部ではやってないかというと、やっていると言うんですね。

今その人が何でそんなことを言い出したかというと、これから法人化するときに、学生がどこに就職するかということが評価の対象になるわけですね。その学生の基礎教育をやらなければならぬということに気がついた。だから、これからは多分高等学校で一体何を勉強してきたかということを、彼等は知らなければならぬ。まあいい機会だと思います。

私も長年物理教育に携わってきていつもしやべっているんですが、それでもまだ物理教育学会に入っている先生方はこれしかいらっしゃらない。まだまだ全然足りない。教育はこれから始まるんですよね。そんな感じがします。これからは連携が大切で、ノーベル賞の話なんかいいんですよ。そんな話よりももっともっと大切なことがある。この前びっくりしましたね。アナウンサーがね、「列車の中で飛び上がる、どうしてそのままそこに落ちるんでしょうね」、△△大出身ですよ。いくら文系かもしれないけれども、それに感動して、隣の女性アナウンサーも、そういうね、っていうんですから。そんな国民がそこらにいるということですね。これは、宗教のオカルトにひっかかるのも当たり前で、何とかしなきゃいけないんだなという素朴な疑問、昔から感じていたんですが今、それが本当に明白になってきている。皆さん、高校は高校で大変、中学は中学で大変ですけど、つながりを持って行くためには、大学、高校、中学校、小学校、これが一本につながって、そういう教育をせめて北海道だけでもやって行かなければならないんじやないかと思います。

(千歳科学技術大学 石田 宏司)

新しい教科書について否定的な意見が多いようです。少数意見かもしれません、私はいいところもあると思います。私がいる大学はサイエンス アンド テクノロジーという名前のつく大学です。学生が将来何になるかというと、サイエンティストになる確率はほとんどなく、たぶんテクノロジー特にエレクトロニクス分野に進むのが多いと思います。高校でそれに相当する教科は物理しかないわけですが、たまたまここに手にした高校物理の教科書を見ると、最初にあるのが「電気」で身の回りの携帯電話や液晶などがエレクトロニクス技術に取り囲まれていて、「物理」がその基礎科目なんだと明確に出ているのではと思います。

「サイエンス」として勉強するための高校物理ではなく理工系の基礎としての物理と考えればこれでいいと思います。私は学生に量子力学や電磁気学を教えていますが、動機付けに苦労します。そういう意味で、身の回りにあるもの多くは物理つまり、電磁気学や量子力学が基礎になっているんだという意味でこのような教科書も悪くはないという気がしています。

もうひとつ、学生に教えていて気になることは「単位」ができていないことです。つまり物理量には単位があるということですが、このことを高校物理で強調して欲し

いと感じています。

(北海道東海大学 四方 周輔)

私は大学で、高校で物理を履修して来なかつた学生に教えています。アメリカのやさしいカラフルな教科書を使っています。今回見せて頂いた高校教科書を見るところを使ってもいいかなと今思っています。電磁気についても日常的なコンセントの話から載っていて、オシロスコープで交流を見る実験もあり、3本目の線はアースだとの説明もある。そのようなことを調べる体験はよく頃に残り、身につく良い方法だと思います。大学入試に対応することが、高校で現実的に迫られているかもしれません、将来的なことを考えるとサイエンス的な考えを身につけるためには、個人個人がやったなという経験を残すこと、が良いのではと思います。

もうひとつ、次のステップである発展的なことが結構書いてある。そして式で解いてはいなくても基本的なことの意味がわかると私は思います。演習中心の物理には役に立たなくても、物理を体験していくにはこのようなものを使ってもいいかなと思います。これにCD-ROMの映像や実験の小道具を安く揃え、手にして体験できればよいと思います。夢を持たせるには大学と提携して先端の実験を見ることもいいけれど、理解するにはこのようなくわりやすい教科書を中心に据え、実験を体験させることが良いと思います。

(北海道大学 理学部 小野寺 彰)

多くの先生が心配する本音の部分に入試があります。今回の物理Ⅰは定性的な内容です。これまで中学では観察や実験を定性的に理解する。高校ではそれを定量化して理解することであったと思います。この定性的な物理Ⅰに大学でも対応しなくてはいけないのですが、正直などろ入試問題を作るにも難しいと感じます。そのぶん物理Ⅱにしわ寄せが行くことになりますが、高校現場では物理Ⅱまできちんと教えることができるのか聞きました。

(札幌開成高校 山田 大隆)

本校の例ですが、3年間の中で、1年の理科総合Aは化学2単位物理1単位となっています。その物理の内容に2年の物理の中身を前倒しするなど、内容的な順番は横岡先生が紹介した古典的なスタイルに近いことを考えています。3年間ありますから難解な物理Ⅱの部分を3年生だけでやるわけではなく、1年や2年に内容的に少しずつ下ろしていくことを考えています。また興味動機づ

けという部分は、興味関心を持たせる実験を多く取り入れ平行して行うつもりです。

私は系統性で組み立てるべきだとは思いますが、今回の複雑なカリキュラムの状況では生徒に合わせた教師側の工夫があっても良いのではと思います。

(札幌開成高校 石川 昌司)

物理Ⅱの関係の話が小野寺先生から提起されました。が、横岡先生から話された48年の教育課程と比較すると単位数はⅠもⅡも同じ3単位ですが、信じられないほどの分量の差があります。今回の最大のミスは分量や難易度の差であると思います。その中で、物性論のさわりである(3)の「物質と原子」は新しい教材です。(4)は「原子と原子核」ですが、どちらかをやればよいという指導要領になっています。その仮定もあって教科書は分厚くなっています。ところが、入試が絡むとデリケートな問題になり、両方やらなくてはと思う高校教員も多いと思います。その結果理系生徒には2年生から教えないではいけなくなり、その場合文系の生徒は物理を勉強したいと思っても、入り込む余地がなくなります。文系の生徒がセンター試験で物理を選択する道も断ち切ることになります。そのことを非常に懸念しています。物理教育学会では(3)(4)のセンター出題は範囲から除くように声明を出していますが、私は興味深く経験を見守っているところです。

(千歳科学技術大学 石田 宏司)

今、本大学のカリキュラムを検討していて、何を生徒に期待し、どこまで育てて出したいのかを議論しています。今は意見交換の時間はないですが、特に高校の皆さんのお意見を聞かせて欲しいのは、指導要領や教科書の制約を取り扱って、物理を高校生に教える時、何を生徒に期待し、どこまで育てて出したいのかを聞かせてほしいのです。

(司会)

あなたはどんなカリキュラム、指導要領を作りますか?という高校の先生に対する問い合わせだと思います。今回は残念ながら時間もありませんが、今後、高校の側でも議論を深めていきたいと思います。

(付記) 本稿は、「物理教育」52(2004)56を加筆修正し本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

# 音波の指導で気になっていること

北海道札幌啓成高等学校 石川 昌司

高校で音波を指導する場合、そのほとんどが縦波の変位を横波に変換して扱っている。確かにそれで問題がないことが多いのは事実だが、音波の反射や干渉関連の一部の問題では、縦波としてしっかり理解していないと事実認識を誤る恐れがある。その理由は、変位波が本質的にベクトル波であるからであるが、もし音波を密度波で扱うなら、これらの問題の大部分を比較的簡単に解消できるのではないだろうか。

## 1. 気柱の端で反射する音波の問題

今、ウェーブマシンで、図1(a)のような「山ひとつ谷ひとつ」の一波長分のパルス波を作り、固定端に入射させたときの反射波の実験を行うとする。固定端で反射された後の反射波は位相が反転するから、波の先頭の「谷」は「山」に、続く後ろの「山」は「谷」になって跳ね返る。すなわち、反射波の波形は左が山で右が谷になる（進行方向が逆になることに注意）（図1(b)）。

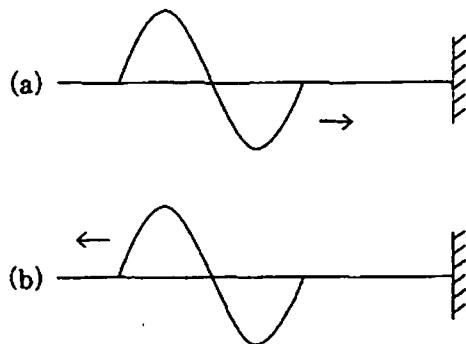


図1

このパルス波を、気柱に伝わる音波だと考えてみよう。横波→縦波変換の結果、入射波の中心は「密」であり、同様に反射波の中心もやはり「密」であることがわかる。すなわち「密」は「密」のまま跳ね返る。密度波の位相は変化しない。はたしてこれはパラドックスであろうか。

実は、これはパラドックスでも何でもない。単に、気柱の閉口端は、変位波にとっては固定端であるが、密度波にとっては自由端であるだけのことである。

なぜなら、密度波にとっての閉口端は、空気の「密度」が、かなりの範囲で（閉口端の底が抜けない限り？）

「自由」に設定できるから「自由端」なのである。

反対に、閉口端は、密度波にとって、内圧と外圧をつりあわせなければならない必要から密度はほぼ大気

の密度に等しく「固定」されてしまうので、「固定端」とならざるを得ない。したがって、閉口端では反射波の位相は $\pi$ 変化する。

高校生向けにもう少し易しく説明するときは、例えば、閉口端は、普通、実体のある固い壁だから、「密」は「密」のままで、「疎」は「疎」のまま跳ね返ると言ってしまってもいい。ボールが固い壁にぶつかって跳ね返ってくるようなものである。閉口端での反射については、それよりはやや説明が長くなるが、例えば、狭い気柱を伝わってきた「密」が、広い空間との境界に達して一気に膨張し、それまで「密」だったところに新たに「疎」が形成され、この疎が新たな波源となって来た道を引き返す、と言うのはどうだろうか。いわゆるスカの状態である。のれんを腕で押したときの状態である。「疎」の反射の説明はこれをちょうど逆にする。

ついでに、気柱に生じる定常波を密度波で表すと、閉口端が腹に、開口端が節になる。通常の、変位波で表した定常波の場合とは逆である。

## 2. 2つの音源からの音波の干渉の問題

今、ある距離離れて置かれた2つの音源  $S_1, S_2$  から同じ振動数の音が同位相で出ているとして、そのまわりの音の干渉を考える（図2）。



図2

線分  $S_1S_2$  上には定常波が生じるが、この線分の中点Oは定常波の腹になるだろうか、それとも節になるだろうか。水波投影装置などを用いた水波の干渉の実験

では、波源を結ぶ線分の中点は定常波の腹になるから、それと同じであると考えれば、当然腹になるように思う。しかし、実際には節が正解である。それはなぜだろうか。

同位相で振動する2音源から等距離にある点では、それぞれの音源から届く波の位相は互いに等しい。ところが、一般に、変位の位相または正負の符号は、波の進む向きに対して同じ向きに変位したときに正、逆むきに変位したときに負として定義される。線分  $S_1S_2$  上では、音源  $S_1$  から出る音の進む向きと、音源  $S_2$  から出る音の進む向きは互いに逆向きであるから、この線分上で同位相の波が重なるとは、実際には変位の向きが逆向きの波が重なることになる。したがって、中点0は、変位の振幅が極小になり、故に節になる。

もっとも、節だからといって実際に聞こえる音の大きさが小さいわけではない。そもそも音の定常波では、変位の節では音は大きく聞こえ、反対に腹では音は小さく聞こえることが、一般に知られている。1で述べた気柱に生じる定常波でもその事情は同じである。実際、オシロスコープにマイクロフォンを接続して、定常波の節にマイクロフォンを近づけると大きな電圧が得られる。その理由として、マイクロフォンは空気の圧力変化を拾うからだという説明をよく見かけるが？？節は最も圧力変化が激しい点である？？この説明は間違いではないが、変位波で説明せずに密度波で説明すれば、「音波が定常波を生じるとき、密度波の腹の位置では音が大きく聞こえ、節の位置では音は小さく聞こえる」となり、全く簡単である。

さらに、点0を通り線分  $S_1S_2$  に垂直な直線（線分  $S_1S_2$  の垂直2等分線）Lを考える（図3）。

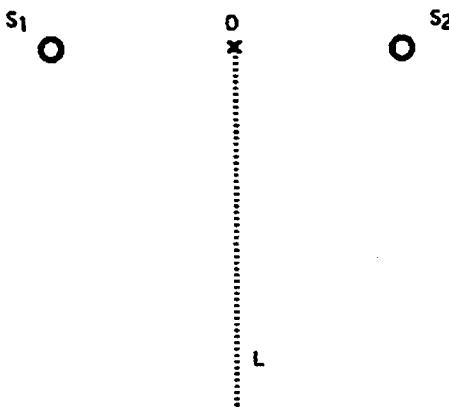


図3

直線Lは、点0を含んでいるので「節線」になりそうに思うが、実はならない。なぜなら、点0では、音源  $S_1, S_2$  から届く変位ベクトルの向きは互いに反対向きだから前に書いた理由で変位は打ち消し合うが、直線L上で点0から離れるに従って変位ベクトルが互いになす角が次第に小さくなっている。無限遠方ではこの角は  $0^\circ$  になってしまう。すなわち、直線L上で点0から無限に離れた点では、変位は互いに強め合うようにはたらないので、この点の振幅は大きくなる。結局、直線Lは節線ではなく、かといって腹線でもなく、なんとも中途半端な線ということになる。

しかし、にも関わらず、この直線Lは、物理的に十分重要な意味を持っている。実は、この直線Lは、聞こえる音の大きさでいうと、極大点の連なったいわば「稜線」になっているのである。別の言い方をすると、直線Lは音波を密度波として見た場合の「腹線」になっている。2004年度の大学入試センター試験の第4問など、この事実に基づいて作問された物理の問題は枚挙にいとまがない。しかし、くどいようだが、変位波として見た場合は、この直線Lは「腹線」でも「節線」でもない。

### 3. 変位の向きと重ね合わせの原理

変位は、本来ベクトル量なので、変位を重ね合わせるときは、ベクトルとして重ね合わせなければならない。これは縦波にも横波にも共通した性質なのだが、横波の場合は、変位の方向が波の進む向きと独立に定まっていることが多い、その場合、変位の重ね合わせは単にスカラーの足し合わせ（成分の足し合わせ）になる。ところが縦波の場合はそうならないことが多い。なぜか、この点は今まで見過ごされがちだった。縦波を横波に変換して、それだけで事足りりつい思いこんでしまう。このことがこの問題に気が付かない原因になっていたのだろうと思われる。

しかし、音波を密度波で表すなら、このような問題は最初から生じない。密度は向きを持たないスカラー量だからである。

### 4. 変位波の問題点

そもそも、音波の「変位」とは一体何を指しているのだろうか。実際の「空気」は「分子」が集まってできているのであり、空気「分子」はそれぞれが熱運動している。変位とは、それらの分子の単位量毎に気体をメッシュに分割して、そのブロックの内の分子の平均位置を基準位置に比較して定義しているのだろうか。

しかし、この定義は高校生にとってはかなり難解であろう。

また、仮に、このような定義を受け入れたとしても、例えば1で扱った問題のような、気柱の閉口端で「変位」が固定されている事実は単純には導けない。なぜなら、メッシュに分割されたブロック内で分子は自由に運動しているからである。つまり「閉口端はその付近の空気分子の位置平均は動かないで固定端になる」という説明は少なくとも自明ではない。

仮に分子の存在を無視して、空気を連続弾性体とみなして近似するにしても、問題は簡単には解決しない。閉口端近くの空気が変位てしまえばその部分が真空になってしまふから、それは矛盾なのでやはり変位は0でなければならないというような説明は一見説得力があるようにも思えるが、実際には、閉口端は最も密度変化の激しい点のひとつであって、閉口端の空気は周期的に真空に向かって変化していることを考えると、このような説明にはそれほど強い賛同は得られない。結局、物理量は連続的であるべきだという、連続性または接続性の要請を持ち出さない限り、うまく説明できないように私には思える。

つまり、空気の変位に基づく音波の説明は、最初はわかり易そうに見えるのだが、しかし、少し深く考えて見てみるとなかなかやっかいな問題が後に控えていることがわかる。

## 5. おわりに・・・密度波の活用

それに対して、密度波に基づく音波の説明は、変位波による説明よりも直感的に分かりやすいときがある。

1で述べたように、気柱の端での反射では、閉口端は、実体のある固い壁だから、「密」は「密」のまま、「疎」は「疎」のまま跳ね返ると考へていい。

また、2で述べたように、位相の等しい密度波が重なれば、振幅は増幅し合い、その点は「腹」になる。「腹」が連なる線は腹線になる。

聞こえる音の大きさは密度波の振幅が大きいほど大きい。一方、変位波の振幅は音の大小に関係しない。

密度波は、場のスカラー量なので、重ね合わせが簡単にできる。

密度波には、このような利点がたくさんある。もつと積極的に活用できそうな気がする。読者諸氏のご意見をお伺いしたい。

## 引用文献

- 1) 石川昌司：音波の反射の指導で気になっていること、物理教育 VOL. 52, NO. 1, 2004

## 鉛筆2本のスリットから鉛筆1本へ

(物理 IAにおける回折の指導)

From the slit of two pencils to one pencil

(Instruction of Diffraction in Physical IA)

札幌新陽高等学校 佐々木 基

Sapporo Sinyo HighSchool Sasaki Motoi

デジカメと鉛筆スリットとロウソクを用いると、簡単に回折画像を得ることが出来る。仕掛けが簡単で原理がむき出しになること、画像を共有することで、生徒の興味を惹きつけることができた。また、説明を極力控えた授業の進め方で、生徒の反応もよかったです。しかし、考査結果に反映できなかつたので、多くの方にご批判をいただき、改善しようと考へ、紹介する。

If you use a digital camera, a pencil slit, and a candle, you can obtain a diffractional picture easily. The student got interested. Because a mechanism is easy and a principle becomes unreserved. And students shared pictures. Moreover, a student's reaction was also good at the lesson which refrained from explanation as much as possible. However, it has not been reflected in the examination result. I introduce a lesson plan, and I want criticism of this plan from many directions, and I want to improve a lesson.

キーワード 回折、鉛筆スリット、デジカメ

### 1. はじめに

鉛筆スリットによる回折像は、道具立てが簡単で、教室で簡単に演示でき、生徒の興味を惹きつける。仕組みが簡単だから、原理を考えるにも適している。

### 2. 方法

#### (1)準備するもの

ロウソク、鉛筆スリット、バラ鉛筆、カメラ(ビデオカメラ、デジタルカメラ)、モニターTV(プロジェクタ)、ライター、接続ケーブル、

#### (2)授業(指導案)

指示1. 画面を見ます。

説明2. 画面にロウソクが写っています。

説明3. 途中に紙を入れます。画面のロウソクが見えなくなりました。

発問1. 紙が何かを遮ったのです。紙が遮ったものは何ですか。

「みんなで答えます。さんはい。」

定着度が高ければ全体からの返事が期待される。私の授業では個別の返事になる。

「光」「光線」などの答えが期待される。「その通り。」と力強く相づちを打つ。

発問2. 光はどのように進みましたか。

指示2. 光の通った道筋を図に書き込みます。書けたらノートを持ってきます。

○×だけをつけていく。定規を使っていなければ×である。

発問3. 光がこのように進むことを何と言いますか。

「みんなで答えます。さんはい。」

「直進。」などの答えが期待される。既習事項である。教えたとおりに答えられたら大いに誉める。

説明4. 鉛筆で作った隙間越しにロウソクを観察します。

実験図を2つ板書する。真上から見た図、画面に映る図である。その後、カメラの前に鉛筆スリットを立て、画面の変化を観察する。

説明5. 画面が変化しましたね。炎の横に光の帯が伸びています。

指示3. 画面の様子をノートに写します。

作業させることで観察を確実にさせる。

発問4. この光の帯はどこにあるのですか。

指示4. 次から選びます。

1. ロウソクの炎の両側 2. 鉛筆の間

3. カメラのスクリーン

「挙手をします。1番を選んだ人。2番を選んだ人。3番を選んだ人。」

人数を数え、分布を確認する。

「理由の発表できる人。」と言って発言を促す。

「正解は3番。光の帯はカメラのスクリーンにあります。」

簡単に理由を説明する。たとえば、

「鉛筆スリットを立てました。ロウソクを見ます。画面ではありませんよ。ロウソクの両側に光の帯が見えますか。見えませんね。」

発問5. カメラのスクリーンに広がった光はどこを通ったのでしょうか。

指示5. 光の通った道筋をプリントに書き込みます。書けたら持ってきます。

丸付けをする。駄目なときは黙って×をつける。正解が5名になったら、最初の生徒に板書させる。

「間に合わなかった生徒は自分で○をつけます。間違えていたら直しておきます。できなかった人は写しておきます。一番いけないのはノートに何も書かないことです。」

こうした言葉かけは低位の生徒のために必ず必要である。

発問6. 鉛筆1本で同じ実験をします。ロウソクの炎はどうのように見えるでしょうか。

指示6. 次から選びます。

1. 鉛筆がないときと同じに見える。
2. 鉛筆が2本ある時と同じに見える。
3. 鉛筆が2本ある時の半分だけ見える。鉛筆側に帯が見える。
4. 鉛筆が2本ある時の半分だけ見える。鉛筆の反対側に帯が見える。
5. その他。

略図を書くだけでもよい。

「挙手をします。」

「1番を選んだ人。2番を選んだ人。3番を選んだ人。」

4番を選んだ人。5番を選んだ人。」

「理由の発表できる人。」と言って発言を促す。

正しい理由の発表を期待して問う質問ではない。考えを発表したこと自体を誉める。

説明6. 実験しましょう。

演示実験する。

「どうなりましたか。」

「3番だ。」

「その通り。正解は3番です。」

指示7. カメラに写る光の帯をプリントに書き込みます。書けたら挙手をします。

挙手に「はい」と返事をする。5人数えたら、「まだの人多い」と声を掛ける。「こうなります。」と言って、模範例を板書で示す。

発問7. カメラに写った光の帯はどこを通ったのですか。

指示8. 光の通った道筋をプリントに書き込みます。

正解を板書する。「同じになった人。」と挙手をさせる。「あっていた人は丸をつけます。間違えた人は直しておきます。出来なかった人は写しておきます。一番いけないことは何も書かないことです。」

説明7. 光が物体の境界で折れ曲がり、陰の部分に進むことを回折といいます。

同じことを板書し、ノートに書き写させる。

書き写しが終わった頃を見計らい、定着を図る。

「○○君、回折とはどんな現象ですか。」

「光が物体の境界で折れ曲がり、陰の部分に進む現象です。」

次々に当てていく。答えられなかった生徒は起立させる。別な生徒に答えさせ、もう一度答えるチャンスを与える。答えることができたら着席させる。

「○○君、光が物体の境界で折れ曲がり、陰の部分に進む現象を何と言いますか。」

「回折です。」

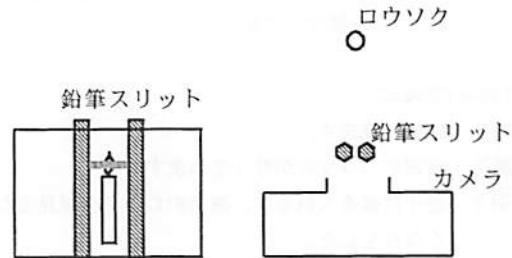
### 3. 結果

手応えとして、画面を見る生徒の顔は生き生きとしている。興味を持って観察していると思われる。

発問の構成として、生徒に光路を考えさせるところで差がつく。できない生徒にとってステップが大きいと考えられる。

昨年度の実践と比較して、作図の際に、生徒が訴える戸惑いは少なかった。

以下の配置はとりあえず妥当なものと考えられる。



### 引用文献

- 1) 啓林館「高等学校物理IA改訂版(物A 590)」(平成14年度用)他、各種教科書

(付記) 本稿は、『物理教育』52(2004)56を加筆修正し本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

# コンテスト形式の授業

北海道南茅部高等学校 堀 輝一郎

平成15年10月から12月にかけての3ヶ月間、選択授業の生徒14名と行った授業の報告である。普段の授業ではなかなか見ることができない生徒の様子を見ることができた。

## キーワード コンテスト、授業

### 1.はじめに

14名という少ない生徒を相手に授業をすることは初めてであった。1学期は他の授業とあまり変わらない内容の授業をしていた。しかし人数が少ないと生かして、生徒が自主的に考え、また他の生徒と話し合い、意欲的に活動できるような授業を行いたいと考え、このコンテスト形式の授業を行うことにした。

私は以前、「授業実践の報告は自分の授業の参考になるが、さらに他の実践例を参考にした授業の報告を行うことでその授業の内容が深まる」という趣旨の文章<sup>1)</sup>を書いたことがある。今回の報告はこのような面も考えながら書いた。

### 2.コンテスト形式の授業について

コンテスト形式の授業は次の2点を基本とした。

○14名の生徒を4班に分ける。ただし、コンテストごとに班構成は変える。

班に分けたのは他の生徒と話し合う機会が増えると考えたからである。実際、他の生徒が作ったものをヒントに改良したり、特に考察を書く段階では真剣に話し合いを行っていた。また、班構成を毎回変えたのはより多くの生徒と話し合うきっかけを作るためである。毎回理科室の入口でくじを引いてもらい、班を決定した。

○コンテストごとに個人に点数を与え、最終的に点数の多かった生徒を表彰する。

基本的に個人戦としたが、他の生徒との話し合いを勧めるために班対抗のコンテスト項目も作った。班構成は毎回変えていたので、班による点数の偏りはなかった。

### 3.コンテストの実際

次に実際に実行したコンテストについてまとめる。

#### 3.1 紙飛行機コンテスト

最初のコンテストは、できるだけ身近なものでわかりやすいものという考え方で、誰もが作った経験のある紙飛行機のコンテストを行った。ルールも最も遠くまで飛ばした人が勝ち、という単純なルールにした。

紙飛行機は追求すると奥が深く、紙の纖維の方向なども関係すると聞いたことがあるが、今回のコンテストではそこまでは要求せず、よく飛んだ紙飛行機の特徴と投げ方の工夫についての考察を要求した。

#### 3.2 飛行リングコンテスト

飛行リング（図1）を初めて見たのは玩具店である。ブーメランなどと並んで売られていた。また、同様のものは青少年のための科学の祭典など実験教室のような所でも

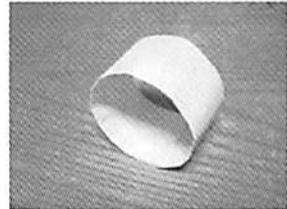


図1

見たことがあるが、今回扱った紙で作るものは、Canonが運営するペーパークラフトのWebサイト<sup>2)</sup>を参考にした。

ルールや考察で要求したことは紙飛行機の時と同じであるが、初めて作るものであったため、最初は苦労していた。しかし一人がうまく飛ばすことができると、他の生徒はそれを見ていろいろと工夫を始め、最終的には紙飛行機コンテストよりも盛り上がった。盛り上がったというには、生徒が楽しんだというだけではなく、前半の苦労が実を結んだという結果が重要だったと考える。

#### 3.3 紙橋コンテスト

紙で橋を造るという実践は全国でも行われていると思うが、これは以前私自身が行ったものを若干改良したものである。B5のコピー用紙1枚とはさみとのりを使って橋を造る。以前行ったときにはその橋に10円玉が何枚乗るかを競ったが、今回はフィルム

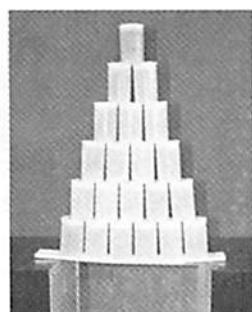


図2

ケースに水を入れたものがいくつ乗るかで競った。ほんの数個で壊れてしまう橋もあれば、図2のように用意したフィルムケース21個を全て乗せた橋もあった。

### 3.4 プラコブターコンテスト

これを最初に見たのはテレビ番組「伊東家の食卓」である。他にも同様のものを見たことはあるが、授業を行う上で参考にしたのは「ashiさんの部屋」というWebサイト<sup>3)</sup>である。



図3

プラコブター（図3）というのは薄いプラスチックなどで小さなプロペラ状のものを作り、それを机の上に置き、上からストローで吹くことで飛ばすものである。これは生徒が最も苦労したコンテストになった。生徒の半分近くは残念ながら飛ばなかった。私自身も飛ばすことはできたが、結局飛ばすこつを得るところまでは行かなかつた。

### 3.5 卵立てコンテスト

卵を立てるというのはコロンブスの卵の話が残っているように、何か工夫をしなければ立たないように思われるかもしれないが、実際は細工をしなくとも根気さえあれば立つ、ということを知って欲しくて行った。卵立てに関しては、板倉聖宣氏の「科学的とはどういうことか」<sup>4)</sup>を参考にした。

予備実験で卵を3つほど立ててみたが、どれも同じくらいの時間で立てることができたので、卵の個体差はない判断したが、実際はかなり個体差があったようである。20秒ほどで卵を立てる生徒もいたし、10分ほどしても立てられない生徒もいた。なかなか立てられない生徒も卵を変えると立てることができたので、個体差が大きかったようである。

### 3.6 卵落としコンテスト（1）

卵落としコンテストはテレビなどで見たことがあるが、参考にしたのは北海道池田高校の新井先生の実践<sup>5)</sup>である。生卵と厚紙とセロハンテープのみを用いて、



図4

卵を割らないように落とすというコンテストである。

卵落としコンテストは2回行った。1回目は教室の天井から落とすというもので、2回目は4階の窓から地面に落とした。

1回目は厚紙を2枚使って卵を保護する仕組みを班ごとに作らせた。パラシュートのような構造、厚紙をわくちやにしてクッションのようにした構造、厚紙を蛇腹に折りバネのないようにして箱に密閉した構造など、各班それぞれが趣向を凝らしたものを作った。

実際に作ったものを天井の高さに持ち上げると、想像していた以上に高いという感想が多かったが、結局4班とも卵は割れることなく無事であったので、次の段階に進んだ。

### 3.7 卵落としコンテスト（2）

2回目の卵落としコンテストは、4階の窓から地面に落とした。ルールで変えたのは、使用してよい厚紙の枚数を3枚に増やしただけである。

1回目とは班員の構成を変えたので、班員それぞれの前回の経験が異なっている。そのため、どのようなものを作るかを決める議論は白熱した。

できあがったものは、1回目にも増して各班とも工夫を重ねたものであったが、4階というのが予想以上に高かったためか、成功したのは4班中2班だけであった。

## 4. 終わりに

今回のコンテスト形式の授業では、生徒が自主的に考え、他の生徒と話し合い、意欲的に活動するという目的は達成することができたと考えている。コンテストは工作が多かったため、工作が苦手な生徒にとっては難しい面もあったかもしれないが、普段の授業では見られない一面をそれぞれの生徒が見せてくれた。

評価に関してはコンテストの結果は参考にせず、活動状況の他に、コンテストごとに書いてもらった「考察」を重視した。最初のうちはなかなかうまくまとまつた「考察」を書ける生徒がいなかったが、細かく添削し一人一人にアドバイスをすることで、作成したものをきれいにスケッチしたり、私が気が付かなかった点にまで深く入った考察など、後半はすばらしい「考察」が増えた。

この実践は生徒の人数が少ないからできた面もあるかもしれない。今後は生徒の人数が多い授業においても同様の授業を実践したいと考えている。

## 参考文献

- 1) 堀輝一郎：物理教育研究、日本物理教育学会北海道支部、p.27, 2000
- 2) <http://bj.canon.co.jp/japan/papercraft/toy/flyingring.html>
- 3) <http://www.geocities.co.jp/Technopolis/2931/prah.html>
- 4) 板倉聖宣：科学的とはどういうことか、仮説社、pp.11-24, 1977
- 5) 新井繁：北海道の理科 No.44、北海道高等学校理科研究会編、pp.23-24, 2001

(付記) 本稿は、『物理教育』52(2004) 56を加筆修正し本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

# 虹を主題とした「光の分散」教材

北海道蘭越高等学校 田端 修

1月のある日のこと、本別町から池田町へ自動車で移動していると、太陽の左右に断片的なスペクトルが見えた。虹にしては方向がおかしい。その時点では浅学なため、そのスペクトルが何なのか、なぜできるのかわからなかったが、調べていくとどうも幻日の一種らしいことがわかった。このことをきっかけとして、光の分散の授業に「虹」を導入することを試みた。

## 1はじめに

光の分散についての授業は、簡易分光器を作成し連続スペクトル、様々な物質の線スペクトル、フラウンホーファー線の観測などを行っていたが、今回虹の原理の授業を追加した。

## 2 様々な分光器によるスペクトルの観察

### 2.1 簡易分光器によるスペクトルの観察

北海道立理科教育センターよりいただいた簡易分光器の設計図を利用して作成させている。作成後、教室内で太陽光、自然電球、蛍光灯、体育館で水銀灯を観察し、連続スペクトルと線スペクトルの違いを認識させる。ナトリウムとリチウムについては、メタノールとステアリン酸を使って固体燃料を作成し、その炎を利用して線スペクトル、吸収スペクトルを観察させている。この場合、固体燃料を利用したほうが使い勝手が良いと思われる。最後に、既成の（精度の良い）分光器を使ってフラウンホーファー線を観察させている。

### 2.2 水滴によるスペクトルの観察

建築紙にスプレーのりをまんべんなく吹き付け、虹ビーズ（直径0.2mm程度の透明プラスチック球）を貼り付ける。こうしてできた「虹シート」を使って水滴による虹を観察する。

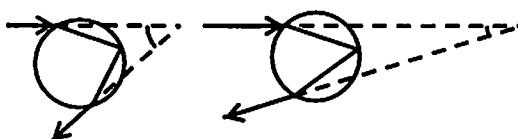


図1 主虹の見える角度

・光源と観測者が直線上（あるいはそれに近い状態）にある場合は、主虹（屈折-反射-屈折）が観測できる。  
虹ビーズの屈折率は1.57と、水滴(1.33)に比べ大きいため、

め、虹の見える角度はおよそ17°（赤）となる（図1）。

・副虹（屈折-反射-反射-屈折）は水滴の場合約51°の方向に見えるが、この場合同じく屈折率の違いから偏角は約98°となる（図2）。主虹の見える角度と大きな隔たりがあるため、シートに対し光源と離れて平行に並んだときには見えない。

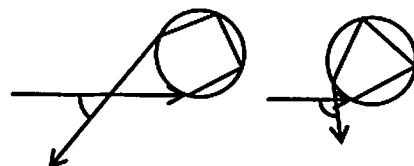


図2 副虹の見える角度

・光源と観測者がほぼ同位置にある場合は、「裏虹」（現実には見られない、色の順序が逆の虹）が観測できる。  
・主虹の見える角度が17°と非常に小さいため、右目で見る虹と左目で見る虹が少しずれ、立体的に見える。

### 2.3 氷晶によるスペクトルの観察

虹を作る素となるのは球形の水滴のため、入射角度によって起こる現象にそれほど差は見られない。しかし氷結晶では六角柱のため、入射角により様々な現象が起こりうる。幻日は、それらの現象のうちの一つである。平板に近い六角柱に、側面（長方形の面）から太陽光が入射し側面から出て行くときに、六角柱がプリズムの役割を果たし、分光させる（図3）。このとき、太陽高度に対し六角柱が低い位置（地表付近）にあるとき、太陽の左右に明るい点ができる。これを幻日とよんでいる。太陽高度と氷晶に隔たりがあるため、六角柱を斜めに通過することとなり、プリズムの頂角は60°より小さくなる。太陽高度が高いと、分光されにくいので色は白くなるが、比較的低い位置に太陽がある場合は内壁に近くなり、スペクトルが映し出される。

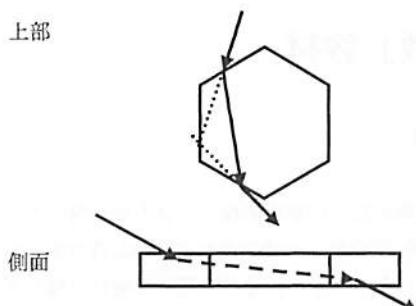


図3 幻日が出来る場合の光路

この現象を教室で再現しようと考えたが、困難な点がいくつか上がった。

一つ目は通過光による現象であるということ。虹ビーズを用いた主虹の場合は反射を伴うので、建築紙などに貼り付けることができたが、この方法は使えないということになった。

二つ目は六角水晶での現象だということ。非常に細かい六角平板があればよいのだが、見つからなかった。さらにあったとしても六角平板をすべて水平に配置するのが困難だと考えられた。

そこで代案として考えたのが、幻日の見えるであろう位置に頂角  $60^\circ$  のプリズムを置いて観測することである（図4）。プリズムの屈折率は 1.51 である。偏角がピークとなるようにプリズムの角度を調節し観測したところプリズムの位置に幻日もどきを観測することができた。

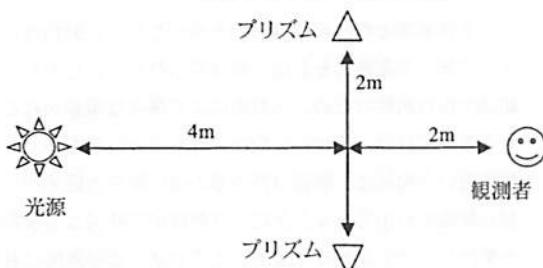


図4 プリズムの配置

結局のところ、2つのプリズムがスペクトルを映す位置をそろえただけに過ぎないのだが、珍しい気象現象も原理はごく単純なものであることがわかった。ただし、それが起こるための気象条件が難しいため、珍しい現象となっているのだろう。

### 3. 結果



虹シートに光をあてたところ。主虹が見える。



幻日もどきを撮影。中央の光源からの光が左右のプリズムで屈折されている。

### 4.まとめ

分光器については、固体燃料を作成したほうが観察時の使い勝手が良いと思われるが、火力が弱いため、簡易分光器では見にくい場合がある。

水滴による虹については、プラスチック球を使っており水の屈折率と違いすぎるため、より屈折率の近い物質でビーズを作ることができればよいだろう（ガラスピースのほうが屈折率が小さく、水滴に近いらしい）。

水晶による虹についてはやはり、単一のプリズムがつくるスペクトルではなく、多数の水晶がつくる現象を再現したい。そのためには、水晶の代わりとなる六角平板を用意すること、任意の空間に配置させることができなければならない。

### 5.参考

- ・虹シートは名城大学内川英雄教授、鳥取大学付属中学校浜崎修教諭らが考案したものです。

- ・山本明利：点光源による人工虹の理論、物理教育通信、84(1996) PP. 9-15

- ・ホームページ

- 『虹スクリーン』で教室に虹を

<http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/lab/nijiscr.htm>

- 「天空博物館」

<http://www.asahi-net.or.jp/~cg1y-aytk/ao/rainbow.html>

- 「六角柱の結晶によるハロの分類」

<http://www.shimonoseki-cu.ac.jp/~sasaki-m/Xtal.htm>

- 「Atmospheric halos」

<http://www.sundog.clara.co.uk/halo/halosim.htm>

(付記) 本稿は、『物理教育』52(2004) 56 を加筆修正し本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

# 配線用カバーを用いた物理実験

## (一つの教材から可能な実験を探る)

札幌厚別高校 松田 素寛

Sapporo Atubetu Koukou Matuda Motohiro

実験をおこなうときに教材の準備だけでかなりの手間や時間が費やされ、多くの実験に共通に使える教材（物）が少ないようと思われる。「身近にあるもので、ある一つの教材を用いて、多くの物理現象を説明することはできないだろうか。」と思い、配線用カバー（教材）を使って可能な実験を探ってみた。

**キーワード** 簡便さ、教材、探す、教材

### 1. はじめに

配線用カバー（マサル工業：品名 Nエフ1号マサル）はある程度の長さがあり、加工・変形しやすく、手軽で、実験の小型化ができる。配線用カバーにこだわり、配線用カバーを加工したり、配線用カバーの一部を使って、どのような実験が可能なのかを試みた。

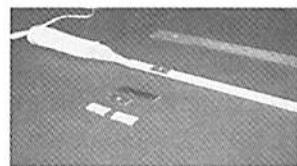


Photo2 Take-off run object and Take-off run stand

### 2. 滑走台の作成

#### 2.1 滑走台の作成

配線用カバー（長さ 1.0 m）の上面部に 1.0 cm 間隔で滑走台の下部をカッターで 3.5 cm 切り取り、配線用カバーの上面に乗るように加工する。なお、色を付けると、運動する様子がわかりやすくなる。



Photo1 Cover for wiring

#### 2.3 送風機の作成

送風機としてドライヤーと滑走台をゴム風船で連結し、一端を閉じて空気を送ると滑走台と滑走体の間に空気の層ができ、摩擦が 0 に近くなり、エアートラックとして実験をおこなうことができる。（Photo2）

### 3. 滑走台を使った実験

#### 3.1 平均の速さ

送風機から空気を送ると、等速度運動を観察することができる。滑走体は 1.0 m を 2.0 秒くらいで滑走する。

#### 3.2 作用・反作用の法則

質量の同じ滑走体を左右から衝突させると、力は 2 つの物体間で及ぼしあう。このとき、それぞれの滑走体に及ぼしあう力は作用・反作用の関係が成り立ち、衝突した後、それぞれが同じ速さで逆向きに進む。

#### 3.3 斜面上での加速度

斜面上の物体の加速度は摩擦がない場合、運動方程式より

$$a = g \sin \theta \quad (1)$$

となり、斜面の角度に応じた加速度を求めることができる。（Photo3）



Photo3 Acceleration of slope

#### 3.4 エネルギー保存則

滑走体が滑走台上で落下するとき、垂直抗力が働くが

その向きは常に滑走体の運動に垂直なので仕事をしない。重力（保存力）だけが仕事をするので、力学的エネルギー保存が成り立つ。

滑走台をたわませ、滑走体をレールの一端から初速度0で滑らせると、最初に滑らせた高さとほぼ同じ高さまで上がる。(Photo4)

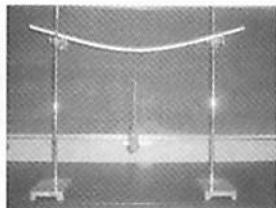


Photo4 Energy preservation

### 3. 5 運動量保存則

滑走物体を滑走台上に置き、別の滑走物体を衝突させると衝突させた物体の運動量が伝えられ、速度の交換が起こることが確かめられる。(Photo5)

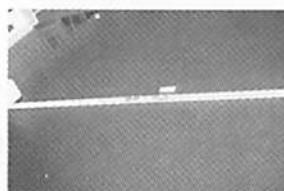


Photo5 Exchange of speed

### 4. 配線用カバーの一部を使った実験

#### 4. 1 慣性の法則

カバー上部の内側が外側になるように、丸く輪にして、粘着テープで接続する。1.5リットルのペットボトルの上に輪を置き、ペットボトルの口から鉛直線上の輪にビーボー玉を置く。輪の内側を一気に引き抜くことで、ビーボー玉がペットボトルに入る。(Photo6)

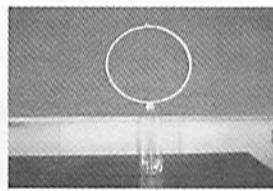


Photo6 The law of inertia

#### 4. 2 運動量保存則

カバーの輪を傾斜させた板の上に置き、質量の違うし小球を2個置く。その間にくさびを入れて球を分裂させ

る。このとき、小球の速さ（移動距離・回転角）はほぼ質量の逆数の比<sup>1)</sup>になることが確かめられる。(Photo7)



Photo7 Division of a ball

#### 4. 3 斜面としての活用例<sup>2) 3)</sup>

- 配線用カバーを斜面として多くの実験が可能である。
- (1) 小球を転がし、小球の正・負の加速度の測定。
- (2) 水平投射の発射台の使用。水平投射版モンキー・ハンティングなどのへの活用。
- (3) 小球をレール上に並べ、1個から数個の小球を衝突させ、衝突球、反発係数の測定実験。
- (4) カバーの水平面上に物体を置き、小球の衝突を衝突させて、エネルギーと仕事を確認する実験等。

### 5. おわりに

配線用カバーの特徴である加工しやすさや、小型で長さが適当であることから、直線運動の観察が容易であり、多くの力学実験ができる。

特に、高校で扱われる「物理I」の内容である、物体の運動、力と運動、エネルギーの3分野をこの配線用カバー（教材）で一通り説明することもできる。

また、このように身近な教材（物）から、物理現象を見つけ出し、物理の法則・原理を示すことが、探求・課題学習へつながっていくと思われる。

#### 引用文献

- 1) Robert Ehrlich著：丸善 「実験で楽しむ物理①ひとりでに回る生卵」
- 2) 左巻健男／滝川洋二=編著：東京書籍 「たのしくわかる物理実験辞典」
- 3) 愛知・岐阜物理サークル編著：新生出版 「いきいき物理わくわく実験」

（付記）本稿は、『物理教育』52（2004）56を加筆修正し本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

# しゃぼん玉を使った干渉の実験

## (ニュートンの実験を教室へ)

北海道札幌手稲高等学校 中道 洋友

「物理I」の波動分野では「虹色」をキーワードにした実験が多く取り入れられ、「虹」「しゃぼん玉」など「日常的に見られる波動現象」の実験を多く採用している。しかし、それらは定量的に扱いにくいため、これまで簡単な説明や演示実験だけで生徒実験としはなかなか手が付けられなかった。そこで、簡単に長くセッケン膜を観察するために、いろいろな工夫を行い、探究活動として教材化を試みた。

### 1. はじめに

物理Iでは身の回りの現象を題材にした実験が多く採用されたが、条件が複雑で高校生が理解するのは難しい場合が多い。多くの教科書で採用された「しゃぼん玉(セッケン膜)の実験」もその一つである。

しゃぼん玉研究の歴史は古く、ニュートンは『光学』で詳細な観察と考察を行っている。「光学」から引用すると、「観測 18 このような泡の色は二個のガラスの間にはさまれた空気の薄層の色よりもさらに範囲が拡がっており、そして鮮明であったから、私はここにその色の順序をいっそ詳細に記述することにしよう。この順序は泡の背後に黒い物体を置いて、空からの白い光で観察したものである。それは、(下から上に向かって)赤・青、赤・青、赤・緑、赤・黄・緑・青・紫、赤・黄・緑・青・董、赤・黄・白・青・黒の順であった。」<sup>1)</sup>とある。その後、セッケン膜そのものの構造の研究も進み、セッケン分子は親水基と疎水基からなる円筒形をした構造で、水を挟んでセッケン分子が向かい合う形になる。水分の流出や蒸発によりセッケン分子のみで膜を作ることがあり、この2分子膜(膜厚約5 nm)がセッケン膜の最小単位となる。<sup>2)</sup>

ニュートンの観察を追体験することは、ニュートンの観察眼のすばらしさを改めて感じ、科学の方法の理解につながるものである。

### 2. しゃぼん玉の教材化

色の変化の観察(定性的な理解)、膜厚の測定(定量的な理解)で教材かを試みた。そこで、長持ちするセッケン膜の作成とナトリウムランプ以外の単色光の使用、また、科学史との関連を図ることを考えた。

#### (1) セッケン液の作り方

##### ①用意するもの

- ・洗剤(界面活性剤36%)・精製水(不純物がない方がよい)・PVA洗濯糊(膜を強くする)・グリセリン(水の流動性を小さくし、膜厚の変化つまり色の変化をゆっくりする)

#### ②混合の割合

表1のA～Eの5種類の割合のセッケン液を作った。

丈夫さ、変化の速さを考慮し、Aを用いた。<sup>3)</sup>

表1	A	B	C	E
洗剤	1	1	1	1
洗濯糊	3	3	3	3
精製水	6	6	6	6
グリセリン	0.75	0.33	0	2

#### (2) 光源

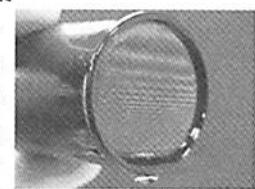
光源には白熱灯、蛍光灯、LED、豆電球を用いるが、直接その光をセッケン膜に当てても干渉縞は観察しにくい。トレーシングペーパーに一度当てた散乱光を用いると、豆電球やLEDの弱い光でも十分観察できる。

青、緑、赤のLEDや豆電球を500mlの牛乳パックの底に取り付け、ふたの方を四角に切り取りトレーシングペーパーをはる(写真)。簡単、安価に作ることができ、生徒実験用として用いる。



#### (3) フィルムケースでの観察

黒いフィルムケースをセッケン液に浸け、持ち上げると簡単にかつはっきり干渉縞を観察できる。水分の蒸発もはやいため、数分しか観察できないが、授業や実験の導入とすると良い。<sup>4)</sup>



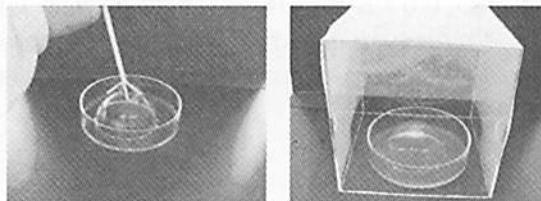
#### (4) 半球状のしゃぼん玉(ニュートンの実験の追試)

##### ①用意するもの

- ・先を4つに分けたストロー・シャーレまたは時計皿・黒い紙・セッケン液A・蛍光灯の照明・アクリルのケース(写真のようにトレーシングペーパーを張る)

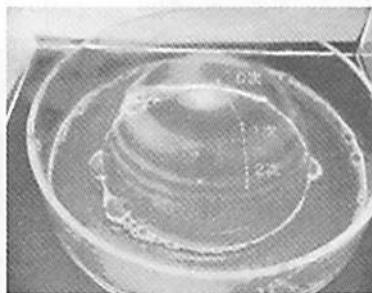
##### ②方法

シャーレに薄く入れたセッケン液にストローを使って半球状のしゃぼん玉を作る。実験室の蛍光灯（白色光）で観察する。トレーシングペーパーを貼ったアクリルケースをかぶせると、しゃぼん玉の寿命が延び、平均して5分、長いときは20分以上しゃぼん玉を保つことができ、色合いの観察もしやすい。



### ③結果

初めは赤、緑の繰り返しで、その後中心に青い色が見え、外側に広がっていく。さらに、いくつかの色が繰り返し現れ、最後に色のない膜が現れ全体に広がっていく。その結果を表に示す。ほぼニュートンの結果と一致していることが解る。違う部分は今後検討したい。



### 観察の結果 薄い方から(表2)

(白)白・黄・赤	青・黄・赤	青・緑・黄・赤	(青)緑・赤	緑・赤	緑・赤
<b>ニュートンの観察</b>					
黒・青・白・黄・赤	藍・青・緑・黄・赤	紫・青・緑・黄・赤	緑・赤	青・赤	青・赤

### ④ニュートンの黒い膜

ニュートンの光学には次のような記述がある。

「詳しい観測によって、その内側に他の部分よりも、いっそう黒く暗い数個の小さな丸い斑点が現われているのを認めた。……私は何かの像（たとえばロウソクまたは太陽の像）が大きい黒い斑点からだけでなく、その内部にある、いっそう小さな、そして暗い斑点からも、きわめて弱いながらも反射して見えることを知った。」

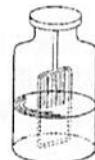
この黒い斑点の写真を撮影する事ができた。長時間しゃぼん玉が壊れなかったときに現れるので、十分な膜の強度が必要であり、再現性は良くなかった。この斑点をよく観察する

と光の反射がほとんど無く、色のない膜と不連続であることから、非常に薄い2分子膜かそれに近い、いくつかの2分子膜が重なった膜ではないかと思われる。<sup>11)</sup>

### (5) 平面状のセッケン膜の観察

#### ①用意するもの

- ・セッケン液A・広口のビン
- ・ステンレスの針金・フタ
- ・クリップ・黒い紙（反射防止）
- ・豆電球、LEDを用いた光源

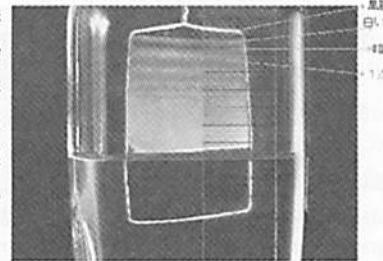


#### ②方法

広口ビンに石けん液を半分くらい入れる。四角にした針金をセッケン液に浸るように入れてから引き上げて、クリップで固定する。その後、光源をあてて観察する。観察は入射角を45°とした反射光で行う。

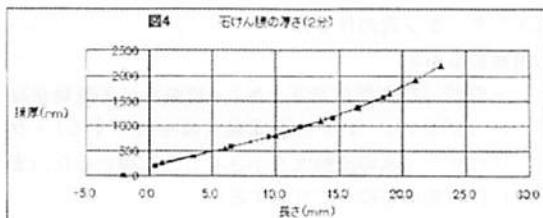
#### ③結果

白色光の干渉では、観察を始めてすぐは全体的に白っぽいが、徐々に縞模様がはっきり見えてくる。しゃぼん玉と同じよ



うに初めは赤、緑の繰り返しで、時間がたつと赤、黄、緑、青が順番に現れ、その後、A暗い膜（幅が狭いので暗線と呼ぶ）、B白く明るい膜が現れ、最後にC黒く暗い膜が現れると、それ以上変化せず、黒い膜が徐々に下りていく。

白色光の波長領域で計算すると、0次( $m=0$ )の明線と1次( $m=1$ )の明線は重ならないので、その部分が暗線と考えられる。計算で求めた暗線の部分の膜厚は約200nmである。なお、波長による屈折率の違いは膜厚に2%程度の違いしか与えないで無視した。Bの白い膜は、3種類の単色光での観察でも、この部分に干渉縞が見えることから、上に向かって徐々に狭くなっていると考えられる。Cの黒い膜は、ニュートンリングの中心部が黒く見えることと同じく、2つの反射波が打ち消しあうからで、膜厚が十分薄いと考えられる。この黒い膜は、膜厚80nm以下と考えられる。



### 3. 授業案について

#### (1) 授業案その1(～しゃぼん玉の観察～)

##### ①目的

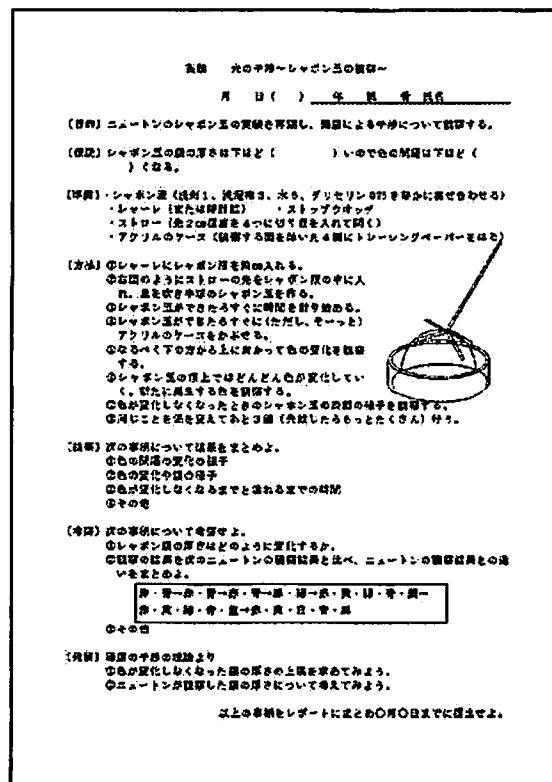
- ・ニュートンの実験を再現し、結果を比べる。
- ・膜の厚さの変化と色の変化を定性的に理解する。

##### ②方法

- ・半球のシャボン玉を使用。
- ・光源は教室の照明の蛍光灯。
- ・A液を使用。グリセリンが濃いE液は水の移動(蒸発)が少なく十分薄くならないが、黒い斑点は観察しやすい。薄いC液は綺模様が安定する前に壊れてしまう。

##### ③発展

- ・ニュートンの結果との違いを考察。



#### (2) 授業案その2(～セッケン膜の観察～)

##### ①目的

- ・光の干渉縞を利用してセッケン膜の厚さを測る。

##### ②方法

- ・平面状のセッケン膜を利用
- ・光源は豆電球、赤・青LED
- ・シャボン液はA液を使用。2分～4分で0次の黒い膜が現れる始める。変化がゆっくりしているので明線の目盛りを十分読む事ができる。
- ・入射角は45°だが、簡単のため垂直に光が入射したとして計算する。

### ③発展

- ・薄膜での干渉模様の色合いを考察する。
- ・黒い膜の膜厚の上限を考察する。

### (3) 課題研究・クラブ活動への発展

しゃぼん玉の実験は、まだ解らないことが多いが、課題研究やクラブ活動の題材として優れているとも言える。ニュートンの実験のより忠実な再現と考察、膜厚の時間変化の測定、しゃぼん玉の撮影方法の開発など、高校生の課題研究・クラブ活動で十分研究できるものであり、今後の発展が期待できる。

### 4. おわりに

この実験は、「リフレッシュ理科教室(2002年8月)「台所からナノサイエンス—超薄膜の世界ー」」に参加した際、生体膜とセッケン膜との構造の類似性を、しゃぼん玉を用いて解りやすく教えていただいたとき、非常に感銘を受け、教材化しようと思ったものである。

しゃぼん玉に色がつくことは、簡単に説明できるが、その色の付き方、平面状の膜の構造、黒い斑点など、まだまだ解らないこともたくさんあり、教科書の簡単な実験で理解するには、複雑すぎるものである。今回は、条件を絞って教材化を試みたが、今後さらに研究し、教材として優れたものにしていきたい。

### 参考文献

- 立花太郎 自然選書「しゃぼん玉その黒い膜の秘密」 中央公論社
- 前野昌弘 ブルーバックス「微粒子から探る物性七変化」 講談社
- 大山正 中公新書「色彩心理学入門 ニュートンとゲーテの流れを追って」 中央公論社
- 金子隆芳 岩波新書「色彩の科学」 岩波書店
- ファインマン他 「ファインマン物理学II 光 热 波動」 岩波書店
- 杉山弘之・杉山輝行 「シャボン玉のはなし」 東京書籍
- 近角聰信 「日常の物理事典」 東京堂出版
- <http://www.rinku.zaq.ne.jp/asobiya/syabondama.htm>
- <http://isweb29.infoseek.co.jp/school/asaitou/r2001/0806/index.html>
- <http://www.tiki.ne.jp/~takam/syabo/syabo.htm>
- <http://www.nec.jp/asahi/hokkaido/s.arai/syabon.html>
- <http://okumedia.cc.osaka-yoiku.ac.jp/~masako/exp/newton/kansyo/syabon.html>
- <http://www.kagawa-edu.jp/sankoh01/>

# 音の正体と「聞く事」と「聴く事」の違い

(音は耳で聞いているのではなく脳で聴いている)

補聴器愛用会 副会長 奥平 知明

目が悪くなれば物理的に、レンズの屈折の原理を利用した眼鏡によって視力は回復します。耳が悪く（難聴）なれば物理的に音量を増幅する増幅器を利用した補聴器によって聴力は回復するはずですが、眼鏡のように即、回復はしません。音と言葉と脳の音の認識のシステムを周波数分解という観点から、「聞く事」と「聴く事」の違いを取り上げることにより。補聴器のシステムの周波数分解が完全でないという現状と改善策を報告します。

キーワード 周波数分解 難聴 補聴器

## 1. 音の正体とエネルギーとしての音量

音の正体は空気の様々な振動の複合した波であり、振動としての周波数と音量としての音圧があります。空気の振動の複合体を数値的に一秒間の振動数を個別に測定したものと周波数といい、ヘルツ (Hz) という単位で表わされます。

10Hz・100Hz・1,000Hz・10,000Hzと数字が大きくなるほど振動数が多く、音楽の表現でいう音階としては数字が大きいほどキーンと言う金属的な感じの高い音になります。よく誤解があるのですが、音量としてのボリュームの大きさと音階の高さは関係がありません、音階が高くなるとどうしてもボリュームとしての音量も高く、大きくなっていると思いがちですが、違います。このことがよくわかるのが楽器の王様といわれるピアノです、ピアノの音階は左から右へ段々高くなっていきますが、ボリュームとしての音量はどの鍵盤をたたいても等しくなるように調整されています。一番左側のドの音と一番右側のドの音の鍵盤と同じ強さで一音づつたいて聞き比べると同じボリュームの音量であることが確認できます。

音階的に高い音イコード大きなボリュームの音ではありません、音量としてのボリュームとは音の持つエネルギーであり人間が感じる音の圧力としての存在感のことをいいます。音量とは音の持つエネルギーであることがよくわかる現象として雷の雷鳴があります。雷は距離的に近くでの落雷よりも遠距離の落雷の方が音のエネルギーが大きいということがわかる例として、光ってから5秒経過して聞こえた音よりも、別な場所で光ってから10秒以上経過した雷の方が予想外に大きな音で驚いた経験があると思います。遠距離から聞こえる音は、近距離で聞こえる音よりも音としてのエネルギーが強力なため、離れたところまでエネルギーが保存されて到達しま

す。保存されたエネルギーも大きいために爆弾でも落ちたかのような大音量となります。

## 2. 音の「聞こえ」と「聴こえ」の違い

聞こえと聴こえの違いは漢字のイメージからもわかると思いますが、聞くというのは門構えに耳が入っています、文字通り音を迎える門ゲートです。ある程度絞りをいれる役割をはたしているのは実際の門同様で、外部からの余計な侵入者を防ぎ入り口を限定しています(12~20,000Hz)。これに対して聴くというのは、耳と心が並んでいる様子から耳を通して音を心が感じ取っていることを意味します。したがって、聞こえに対して聴こえというのは、耳で周波数分解された音の処理(聞こえ)情報が脳で言語や音楽などの意味ある音の情報として人間の自我や心に認識されることを言います。

現実に音は耳という器官で認識しているのではなく脳で認識しています。耳は音の通過地点で、音という外界の情報を脳に信号に変換(周波数分解)して伝えているだけです。この変換がなんらかの原因でうまくいかないと音は脳に伝わらず聞こえないということになります。耳に何らかの機能不全があって音が脳に伝わらず聞えない状態を難聴といいます。器官としての耳に機能不全があるから難聴といいます。例としては極めて珍しいのですが、耳には全く機能がないにもかかわらず音が聞えないという症例があります、これは耳の外耳・中耳・内耳・聴覚神経には全く機能不全がありませんが、交通事故によって亀裂骨折をおこし脳の聴覚情報を処理する部位のみに損傷を受けてしまって音が脳で処理できなくなったという極めて稀なケースですが、この場合は耳には機能不全が全くありませんので、難聴とはいいません。耳は音を正常に通過させていますが、脳で処理できない為に聴こえていない状態です。

聞えは周波数分解された情報であり、聴こえは周波数分解された情報を脳が情報処理して意味を持って認識されることを言います。

### 3. 人間の持つ聴覚の優秀さ

人間のもつ聴覚の優れた能力の説明として、約 10 メートル四方の 100 人ほど入る講堂で、講演をしているとき、前列で聞いている人も、後列で聞いている人も講演者の声の大きさをほとんど大差なく感じながら聞いています。

しかし、実際に聞こえている声は、後列の方では前列の 8 分の 1 位の強さでしか伝わっていません。これはカラオケのマイクで試すとよく分かりますが、マイクを口元から数十センチ離すと音を拾わなくなります。距離が離れるほどマイクの拾う音は段々小さくなって行くのにに対して、講堂における講演者の声は室内のどの位置でもそれほど変化なく聞こえます。

これは、耳が無意識に感度を調節しているからです。遠くの音、小さな音に対しては感度を上げて聞いたり、近くの音、大きな音に対しては適度に感度を下げて聞いたり。近くの音に対して感度を下げながら、同時に遠くの音に対しては感度を上げながら聞くという同時調整作業を、人間の脳の聴覚は普通に行います。

これに関連して、人間の聴覚にはカクテルパーティー効果と呼ばれる、パーティー会場のように非常にざわついた会場の騒音のなかでも隣の人と会話をでき、注意して聞くとひそひそ話まで聞こえる能力があります。

同じパーティー会場の様子をテープレコーダーなどの機械で録音してみると、再生時、ざわめきばかり騒音ばかりが多くて、誰が何をしゃべっているのか分からなくなっています。機械は特定の音だけ感度をあげることは指向性のマイクで無い限り無理があり、脳の聴覚のように情報を分析処理はできないといえます。

さらに驚くべき能力を人間の脳の聴覚はもっています。人間の居住空間の騒音が日頃どのくらいあるか騒音計で計ると、ほとんど何も聞こえない様な山村の深夜 2 時 3 時という真夜中であっても、騒音計の針は 20~30 デシベルから下がることはありません。風の音、木の葉の擦れ合う音、遠い川の流れ、虫の声、時計の秒針、子供の寝息、さらに自分の呼吸や心臓の鼓動まで。潜在雑音とも言うべきこれらの騒音が、休みなく聞こえていたのでは人間の神経が参ってしまいます。

人間が日常的に生活している時の騒音は約 50~60 デシベル程度あります。そしてその音量が 40 デシベルにな

れば 40 デシベルの音量に下がって聞こえ、さらに 30 デシベルに下がれば 30 デシベル相当の音量に下がって聞こえます。音量が 20 デシベル以下がった場合は、20 デシベル相当の音が聞こえ 10 デシベルでは 10 デシベル相当の音が聞こえれば何の不思議もないのですが、どんな耳のいい人でも 20~30 デシベルから下は、スイッチを切ったように聞こえなくなります。つまり、人間の脳の聴覚は必要のない騒音レベルの音を聞こえない様にカットして、心身の静寂が得られる様にしています。

実験によれば、何も聞こえないと感じられる静寂の中でも、音をさえぎる物で気付かれないと左の耳を覆った場合でも、これを気配として感じることができます。感知されているが、音として認識されない状態であり、脳の聴覚によるリミッターが存在しているといえます。そしてリミッターのレベルを超える音声が来た時、聴覚のスイッチが入り情報処理がはじまり、聞こえる様になる安全装置があるといえます。

人体の器官はどれもが優れた能力があり、いかに技術が進歩しても、この能力を 100 パーセント機械に置き換えることは当分の間出来ないと考えます。とりわけ人間の聴覚は、大脳の働きと同様いかなる技術も到底及ばないほどの、優れた分析力と情報処理能力を持っています。そしてこれらの能力は音が聞こえる状態と聞こえない状態に関係なく聴覚の中に存在し、現実に鼓膜が振動して来る耳からの情報によって働き音を分析認識します。

### 4. 難聴とはどのような状態なのか

難聴とは、一般的には音が聞えないか小さく聞えてしまう状態で、大きな声や音なら聞える状態であると思われています。確かに小さい音が聞き取り難いというのは事実ですが、大声で話せば聞えたり、補聴器を使用すると元通りに聞えるという単純な状態ではありません。

難聴の種類は、伝音性難聴・老人性難聴・感音性難聴・混合性難聴の 4 種類があり、内訳として伝音性難聴は全体の 1 割程度なのに対して、難聴の 9 割（老人性難聴を含む）近くが感音性難聴です。それぞれの難聴の機能不全と状態は難聴と一口に言えないほどの違いがあります。

伝音性難聴は、耳の中耳の部分の機能不全で、全体の音量が周波数に異常ではなく変化もなく単純に音量が下がって聞こえない状態。内耳の周波数を把握する能力自体は損なわれていないので、言葉の明瞭性そのものは失われていない、「あ」なら「あ」の音がかすれもにじみ

へもせずに全角の「あ」が半角の「あ」になった状態。ラジオやテレビのボリュームをしばったような聴こえ方になります。

感音性難聴は、内耳の低音域から高音域の周波数を感じる有毛細胞の部分の機能不全であり、音量を把握する鼓膜や中耳の能力には異常がなく、周波数を把握する内耳の能力にムラが生じているために、言葉や音の輪郭の明瞭性が欠けたり失われる状態となる、「あ」なら「あ」の音の音量は失われていないが、「あ」がかすれてしまって別な音に聞き違えるか、音に輪郭がなくなった状態で雑音の様になります。周波数をとらえる能力がバランスを欠いているために音量が下がって聞えてしまいますが、音量を補うよりもバランスを欠いている部分の周波数をきちんと脳に伝えてやれるようにすると聴こえるようになります。

混合性難聴は、伝音性難聴と感音性難聴が二つ同居しているという難聴で、聞え方としては全角の「あ」が半角の「あ」になったうえにかすれているという、音量も明瞭性も失われているという聴こえの状態です。

老人性難聴は、加齢による体の生理的、反射神経および肉体の解剖学的な衰えが原因の難聴で、特徴としては感音性難聴と似ていますが、根本的な機能不全の場所が異なります。聴こえの状態は脳の機能の衰えによる音の記憶の薄れの発生により、外部から入ってくる情報が内耳の（蝸牛）側より脳の側（聴覚中枢）の衰えて音が認識しづらくなっていると表現するしかなく、聞え方としては感音性難聴に酷似いたします。

全ての難聴に共通して言えることは、音が入らなく（難聴になりはじめた）なった段階で脳の音の記憶も薄れていきます。長期間情報としてくるべきはずの音がこないと脳内の記憶が使わない筋肉が衰えるのと同じ状態になります。音を聞くトレーニングが必要になります。

## 5. 聞き間違えを物理学的に説明すると

音の中でも言葉の場合、母音と子音の組み合わせによって言語としてのコミュニケーションがなされます。母音も子音も幾つかの特定の周波数の組み合わせで構成されて母音や子音として聴こえます。耳で周波数分解された音の分布を解析することによって、脳は音声や言語を判断または認識しています。日本語の母音を例に単純に表現すると、音階でいう低音と高音の組み合わせによって「あ」「い」「う」「え」「お」が周波数の分布の差によって「あ」なら「あ」、「う」なら「う」と脳で情報処理されて言葉の聴こえとして認識されます。耳に機

能不全をおこしていない限り聞き間違えはおきませんが、特に感音性難聴の場合、音が小さくて聞こえないというより、聞き間違えをするところに一番の特徴があります。

例として「い」と「う」の場合、音階的に低音のところに同じ周波数の要素があり、2,000ヘルツを境にして2,000ヘルツよりも高い周波数があれば「い」と2,000ヘルツよりも高い周波数が存在しなければ「う」と脳が認識するようになっています。もし、「い」と音っているのに「う」と聴こえる方がいるとすると、この方は2,000ヘルツ以上の周波数が耳から脳に伝わっていないことになります。

「あ」「い」「う」「え」「お」の母音はおおまかに、2,000ヘルツを中心とした音域の周波数で構成されておりますが、子音は3,000～9,000と高い周波数帯域の周波数によって構成されており、相当複雑にはなっていますので、高い周波数がきちんと耳から脳に伝わらないと、どんな聞き間違えが発生する原因となります。

## 6. 補聴器が聴力の回復に役立っていない理由

人間の耳は12～20,000Hz程度の音を周波数分解して脳へ情報として伝え、脳が耳で周波数分解された情報を再構成して言語や音楽、その他の音として認識します。ところが補聴器が周波数分解する周波数域は、100～6,000Hzと電話機と同じ程度の会話音の範囲同じく狭く、子音が分布する高い周波数帯域のかなりの部分を無残にもバッサリと切り捨てています。この結果、補聴器ではこの帯域に属する音、特に言葉の明瞭性確保に決定的な役割を担う子音が適切に周波数分解出来ず、脳の聴覚中枢に入って来ないという問題を抱えています。そのため構造的に低音部と高音部が切り取られた音として再生され、補聴器の不自然な音の原因になっています。

さらに、この周波数分解帯域の幅の問題は、特に高齢者に多い老人性難聴者にとっては大きな意味を持ちます。老人性難聴では高音部(8,000ヘルツ前後)の聴力の低下が著しくありますが、残念ながら補聴器はこれに全く対応出来無いため、補聴器を利用してても言葉の明瞭性が十分に得られず、言葉が良く理解出来なかったり、補聴器をしていても聞き間違いを起こす原因となっています。

脳の音の認識は、単に会話音の100～6,000Hzだけではなく、12～100Hz及び6,000Hz以上の周波数部分の不必要と思われる程の量の情報が入る事によって、意味ある認識に必要な情報を強調して認識しており、脳が適

切に音を認識する為には、言語としての声の再生範囲は100~6,000Hzの限られた範囲内の音のみでは不十分と言えます。

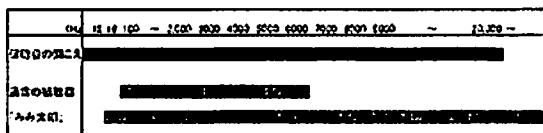


図1 周波数分解帯域比較図

## 7. 耳と補聴器と聴こえの展望

20,000Hz以上の音は超音波の領域に入り、言葉としての母音や子音や音楽鑑賞には関係無いと考えがちですが、音の表情としての豊かさや自然さや艶には欠くことのできない要素です。耳が難聴ではない（健聴者）方に補聴器は必要ありませんが、音楽鑑賞のとき、音は聞えているが納得できない、言葉で表現できない不満をよく聞きます。不満の正体は周波数分解の不足です、音の輪郭のぼやけによって脳が満足しないのです。耳が悪いわけでも演奏される音のチューニングがずれているわけでもありません。

ここで、健聴者の聞こえの範囲をも超える音を聞かせることが可能な『みみ太郎』という世界でも唯一 16~30,000Hzの広範囲の周波数分解ができる不思議な補聴器を通して音楽鑑賞をしていただくと、音の明瞭さと自然さはプロの音楽家も納得し、賞賛しました。当然難聴者にとっても、従来の補聴器の限定された周波数分解の範囲以上の音が脳へ情報として到達するために聴こえが改善すると同時に自然で豊かな音として認識でき、聞き間違えもなくなるという結果がでました。

限定された周波数情報しか脳に到達しないと、難聴者は聞き間違いや聴こえないということになり、健聴者は聴こえてはいるけれども満足しないということが物理的にも明らかになったと思います。

現在の補聴器は、最新技術の塊のデジタルであり機械的な性能としては充分ですが、物理的な法則や人体の生理特に大脳生理学的には不十分なシステムであるといえます。世界でも唯一 16~30,000Hzの広範囲の周波数分解ができる不思議な補聴器『みみ太郎』は、現代の補聴器の対極に位置し、人工耳介という人間の耳の形に着目したあっけない程簡単なものでありながら音が鮮明であり、高音域の音を低音域の音と同じフラットになるよう耳を通過させて脳に認識させるという効果がある画期的な存在です。名刺サイズよりも小型化でき

ないというネックはありますが、子音の聞き分けや周波数分解域の広さに着眼して、英語などの言語習得やより臨場感の得られる音楽鑑賞システムとしての利用がなされています。物理的な音響実験の測定器や音響効果の確認といった様々な研究用途にも利用できる可能性がありますので、補聴器としてだけではなく研究素材や教育補助教材としても紹介させていただきます。

## 7. 最後に

耳と聞こえは、脳が最終的な認識として聴こえをつくりあげます。物理の法則が機能するのは、器官としての耳までであり、耳から先は大脳生理学と心理学の世界になります。人間の心の世界は情緒と曖昧さの増幅であるのに対して物理の世界は数字と法則を追求する切れ味のよい科学測定の世界と言えます。

聞こえも聴こえも心理的な要素がかなり影響する人体の現象です。物理の法則だけでは割り切れないものがありますが、曖昧さが耳の聴こえと補聴器の関係にアンバランスをもたらしています。補聴器と聴こえの詳しい現実と資料は「補聴器愛用会」のホームページを参照していただければ幸いです。

物理学は人類の進歩に最大の寄与をしてまいりました、現在理科離れが叫ばれ、物理教育にいかに魅力をもたせるか諸先生方の努力が実践されていることを思います。耳と聴こえと補聴器は人間が生活する上で重要であるにも関わらず、一般的には知識が普及しておりません。音の世界もよく知らない人が多すぎるのが現状です。物理的な音の性質や周波数の性質がわかることは、耳と聴こえと補聴器にとっても理解の助けになります。

なによりも身近な聞こえと周波数という物理的な法則を目で見て体感して理解が広がれば、より理科への興味の喚起と物理教育の魅力に花を添える材料になれる事を期待して結びといたします。

最後に「補聴器愛用会」のホームページアドレスと「みみ太郎」製造販売元を紹介します。

### 「補聴器愛用会」

URL : <http://shibuya.cool.ne.jp/tyothpa/>

### 「みみ太郎」

製造販売元 株式会社 シマダ製作所

〒379-0204 群馬県甘楽郡妙義町大字行沢 264-1

TEL 0274-73-3044 FAX 0274-73-3131

みみ太郎 HP : <http://www.mimitarou.com>

## 日本科学未来館を見学して

北海道札幌開成高等学校 山田 大陸

平成15年12月23日（月）、午後から東京台場ペイエリア（船の科学館隣、東京都江東区青海2丁目41）に平成13年7月に開館した日本科学未来館（National Museum of Emerging Science and Innovation, MeSci ミサイ）を見学した。

館までのアクセスは、JR新橋駅から出る、ゴムタイヤ無人の新交通「ゆりかもめ」が最も便利である

（25分、360円、「船の科学館前」下車、徒歩5分）  
（入場料500円、10:00～17:00火曜定休日）

この館は、平成7年（1995年）に成立した科学技術立国日本のさらなる発展を目指す科学技術基本法に則り、1996年に科学技術基本計画が出来たことに負っている。

1998年に文部省、通商産業省、科学技術庁の3省庁再編で生まれた文部科学省、経済産業省合同で臨界副都心（台場）に「国際研究交流大学村」の建設計画が出来、その中心施設として科学技術振興財団は最先端の科学技術の展示、展示手法の開発、研究者教育者の交流を行なって、科学技術の情報発信を目的とする最新科学館（日本科学未来館）の構想を提出了。館建物は1999年12月着工、平成13年（2001年）7月に地上8階、地下2階建ての世界的巨大科学館として完成した。総館長（名誉職）に吉川弘之（東京大学工学部名誉教授）、館長に毛利衛氏（宇宙開発事業団、宇宙飛行士）が就任した。国内外ともに第一級の人物をそろえて、日本科学技術振興財団が心血を注いで建設した世界的な最新科学館である。

これには、毎年のノーベル賞受賞者講演会で有名な読売新聞が主たる財政支援をし（100億円といわれる）、その後も読売科学賞の常設選考会場になっている。アメリカではMIT、NASA等の学術、研究団体の教育協力、青少年育成科学技術プロジェクトが昔から盛んで、科学技術教育で成果を上げているが、日本でもやっとこの協力態勢が実現したものである。北の丸公園の科学技術館と同じ日本科学技術振興財団の運営となっている。この館は、設立趣旨にあるように、日本の科学技術研究の最前線を見せて、青少年に理工系進路の先端刺激を与

えようと企画された最新の先端科学技術館で、宇宙の謎解明、微生物が食べる生分解性プラスチック、バーチャルリアリティの最前線、国際宇宙ステーション、ガンとの戦いから再生医療へ、脳の謎に迫る、ナノテクノロジーの世界、微小化学工場、ロボット研究などの先端科学研究をテーマに見せている。勿論その奥大成の日本人ノーベル賞コーナーもある。

館は目立つ全館外壁がガラス張りになっていて、日産・久米設計共同体（株）の会心の作である。内部は外側に各階フロアで下りられる7階までのエスカレーターが付き、この全面ガラス外壁と外エスカレーター配置は、パリのポンピドーセンターの建築様式を思い出させる。7階ある広大な各テーマフロアは次の内容になっている（2、4階は吹き抜けで、直径7mの100万個のLEDで大陸表面CO<sub>2</sub>濃度、表面温度、温暖化シミュレーション、火星、木星表面などの映像自在変化する大地球儀Geo-Cosmosが釣り下げられている。毛利館長の自慢の展示物）。

1階：「地球環境とフロンティア」（環境との共生を目指して、エコロジーラボ、A. 可能性の建築展示、催事ゾーン（研究発表会など）、実験工房、研究開発ゾーン（先端科学の動向が、詰めている研究者の説明でわかる研究者インタビューコーナー）、ミュージアムショップ（サイエンスガイド、コンセプトブック、科学教材、科学の本等販売）

3階：「技術革新と未来」（ロボットワールド、マイクロマシン、ナノテクノロジー、超伝導）「情報科学技術と社会」（コンピュータネットワーク、モバイル、デジタルミュージアム、バーチャル・リアリティと記憶、移動とネットワーク、情報表現とインターフェース、インタラクティブ・モーション・プラットフォーム）、B. 化学のイノベーション展示、実験工房、サイエンスライ

ブラー（エスカレーター脇にあり日本で作成の科学技術映画多数がコレクションされ、個人ブースで1本5～15分の映像が選択視聴出来る。収蔵量質にすぐれ、一見の価値がある）

5階：「生命の科学と人間」（ゲノム、脳、医療、ラボ生命体験コーナー）「地球環境とフロンティア」（空間と時間への挑戦、探査への挑戦、極限環境への挑戦、フロンティアラボ、研究者インタビュー、地球生命と宇宙、40億年の挑戦）、C. VRシアター D. モーションライド、サイエンスギャラリー（科学技術映像個人ブース）（毛利館長の仕事場だったスペースシャトルの実物内部が展示されていて、非常に人気があった。また、カミオカンデの直径50cmの光電子増倍管多数展示とニュートリノの現地からの受信画像が稼働していて、リアルな感動があるコーナーも見所。現在話題の脳科学の展示、説明員コーナーはこの領域の先端研究の簡潔な秀れた展示とブースになって見所である）

6階：ドームシアターガイア（全天映画）

7階：会議室、みらいCANホール、イバージョンホール

各階の入り口には、出品協力の全国の著名大学理工学部、科学技術会社、研究所の膨大な名前が並ぶ。（1階 地球環境とフロンティアでは、茅場一ほか13名、5階 生命の科学と人間では、金沢一郎ほか8名、3階技術革新と未来では北沢宏一ほか8名、3階情報科学技術と社会では安西祐一郎ほか5名などである）

徹底的に先端科学だけで作った科学館は世界でもここだけであろう。アメリカの科学教育事情に詳しい「毛利さんの科学館」と呼ばれる所以である。古い科学館の見本のような科学技術館（北の丸公園）のような展示物模型は少なく、映像や実験中心である。

現代日本の科学教育ソフトとして、平成13年から開始された文部科学省の「理科だいすきプラン」の先端科学教育プロジェクト、SPP、HPPの教育ネットワークも館の中心的機能として定着している（全国のSPP・HPP高校支援、上京高校生に1日目科学館、2日目筑波研究所等見学指示）。また教育研究所の機能も充実、人材活用面でも、大量の退職した大学、高校理科教員からなる非常勤「サイエンス・ボランティア」の積極運用、理工系大学卒業後職が無くここで働き、展示や実験のワークシート作成作業や外郭団体対応、展示や科学実験教室経営をする実質的運営者の常勤「サイエンス・インター

ーブリター」の人的充実の雇用対策（それぞれ目立つチーム入りヤッケを着て参観者対応している）も秀れている（人中心の科学館）。科学映画のビデオブースも充実（ソフト中心の科学館）しているのもこの科学館の新機軸であろう。

筆者はかつて札幌市青少年科学館建設調査委員をした20年前に视察で見た、世界の科学館（ロンドン科学博物館、パリ発見宮殿、サンフランシスコ・エクスプロラトリウム、フィラデルフィア・フランクリンインスティテュート等）の構成方法から確実に現代の科学館構成展示方法は進歩している。発見宮殿は当時、博物館革命と呼ばれ博物館の常識を変えた実験館であったが、日本科学未来館はその延長線上にあって、その水準を遥かに超えている超博物館革命館といえるであろう。この館の建設目的のひとつに展示方法の研究というのがあるが、これはその革新意欲を示すものである。

実験中心の3階実験工房では、丁度ノーベル化学賞受賞者の白川東工大名誉教授が出席、高校生への氏のノーベル賞受賞作品「電導性ポリマーの合成実験」指導がなされて、マスコミ報道されていた。高校生がもうノーベル賞受賞者を追試出来る時代であり感銘的であった。坂村東大教授発明の世界的なトロンソフトの回路自作実験コーナーがあり、デモンストレーションフロアでは二足歩行ロボットの実演があり、人気があった。

1階の特別フロアでは、2003年度読売科学賞の審査（全国の候補中高校生の発表風景）があり、ここが教育センター機能でもある実際があった。2、3時間ではとても見切れないほどの充実した科学館である。売店も充実し、教材、資料を多数購入して退館したが、次回からは、筆者の学校の新学科「コズモサイエンス科」の発展のためにこの館とソフトの徹底観察とスタッフコンタクトを常時とする必要性を感じた。北海道の物理教師にはこの館は必見の科学館である。上京のおりは是非ここまで足を延ばし、1日研修してみることをお薦めしたい。各階は、この日は祝日だが、丁度冬休み開始日で小中高校生、教員、家族連れで満員の盛況であった。この人の膨大な集まりは、一昨年訪問のミュンヘンのドイツ博物館、十数年前訪問のワシントンのスミソニアン博物館の盛況ぶりを思い出したものである。日本にも世界に誇れる素晴らしい科学館の出来たことを心から喜びたい。

## 北海道支部 平成15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.31 発刊」2、平成15年度日本物理教育学会北海道支部総会  
平成15年6月7日(土)

於：北海道大学理学部2号館2階大学院講義室  
 <<<総会>>> 13:30～14:00

- (1) 支部長挨拶 (2) 平成14年度事業報告
- (3) 平成14年度会計報告 (4) 同 会計監査報告
- (5) 平成15年度事業計画 (6) 同 会計予算書
- (7) 役員改選(平成15～16年) (8) その他

&lt;&lt;&lt;特別講演会&gt;&gt;&gt; 14:00～14:50

「学生の多様化に対応するための北大初年度物理教育システムの見直し」徳永正晴(前北海道大学副学長)  
 <<<物理実験デモンストレーション>>>

15:00～16:00 理学部2号館ホール(玄関ホール)

- (1) 伊藤 新一郎(札幌西)「動画で深める物理の世界」
- (2) 堀 輝一郎(南茅部高)「光の不思議」
- (3) 中道 洋友(札幌手稲高)「セッケン膜の観察」
- (4) 石川 昌司(札幌啓成高)

「キミのアイデアに挑戦！～BSPPC用紙1枚で  
どれだけ大きな水差しがつくれるか？ デモ版」

- (5) 横岡 直幸(札幌平岸高校)  
 「豆電球と1Fコンデンサーの回路」

## 3、第4回公開シンポジウム

「青少年のための創造科学実験」

日時 平成15年8月6日(水)・7日(木)

場所 北海道大学遠友学舎(北区北18条西7丁目)

プログラム 8月6日(水)

10:00～12:00 会場設営、実験準備

14:00～14:50 講演

「白粉(ZnO)がひらく21世紀の物質科学」  
 北海道大学大学院理学研究科教授 小野寺 彰

- 15:00～16:45 中学高校理科部生徒による研究発表  
 「摩擦について」

札幌市立平岡緑中学校理科部(顧問:渋谷啓一)

「すいっこの寒冷地テスト」

北見工業高校科学部(顧問:佐藤喜寛)

「オカリナの研究」

札幌南陵高校化学部(顧問:佐藤和宏)

「振動共鳴と光るアンテナの研究」

札幌南陵高校化学部(顧問:菅原 陽)

18:00～懇親会 北大遠友学舎(会費￥2,000)

8月7日(木)

10:00～16:00 ブースごとの実験演示

(対象は小学生から高校生、一般市民) 以下テーマ一覧  
 ピー玉万華鏡をつくろう、磁石で遊んでみよう、モアレであそぼう、つぶれるペットボトル、バキュームフォ

ーム、リモコンでなぜチャンネルをかえれるのか？～真空落下実験、手作り方位磁石、「水ってなに？」～電気分解・水の合成と燃料電池、なだれ実験、液体窒素と超伝導と「超伝導磁石」、慣性の実験、聴覚の模型、ウォーターハンマの可視化、結晶成長、水上を走る水玉、レーザで文字を書く、プラスチック光ファイバ通信、光で音を飛ばそう、電池のいらないラジオ作り、光と色の不思議、車輪で人間ジャイロ、鏡やレンズの性質、紙でつくる水差し、・・・約30テーマの実験で科学と遊ぼう！(11:00～12:00)

質問コーナー～科学者に聞いてみよう！～

## 4、物理教育研究会

日 時：平成15年12月13日(土)13時00分～

場 所：札幌市北区北17条西8丁目 北海道大学

高等教育機能開発総合センター情報教育館3階中講義室  
 内容：○招待講演 「実験バトルをやってみて」

北海道大学大学院教育学研究科 大野 栄三

## ○原著講演

1. 「多拵一問題のS P表分析に見る生徒のミスコンセプションの実態」 札幌啓成高校 石川昌司
2. 「室蘭工業大学におけるリフレッシュ理科教室への取り組み」 室蘭工業大学工学部電気電子工学科 酒井 彰
3. 「高校理科の履修状況」 札幌清田高校 鶴岡森昭
4. 「ブラウン運動の観察とアボガドロ数の測定」 北海道教育大学札幌校 遠藤太郎、岡崎 隆
5. 「コズモサイエンス科の教育内容について」 札幌開成高校 山田大陸

## ○5分間デモンストレーション 15:30～16:00

「モントの演示実験」 伊藤 新一郎(札幌西高校)

「不思議グッズ紹介」 堀 輝一郎(南茅部高校)

「動画で深める物理の世界 CD-ROM紹介」

佐藤 健(札幌啓成高校)

## ○シンポジウム 16:00～17:20

「新しい高等学校物理教科書について」

現場の教師はその変化にどのように対応するのか？

## 5、青少年のための科学の祭典北海道大会

<羽幌大会> 5月18日(日) レストパーク羽幌

<岩内大会> 8月11日(月)、12日(火)  
 岩内地方文化センター

<函館大会> 8月17日(日) 函館市芸術ホール

<美幌大会> 8月23日(土) 美幌小学校体育館

<札幌大会> 9月13日(土)、14日(日)

札幌市青少年科学館

<室蘭大会> 9月21日(日) 室蘭市青少年科学館

<帯広大会> 10月12日(日) 帯広市児童会館

<釧路大会> 10月18日(土)・19日(日)

釧路市北見文化センター・市立博物館

<北見大会> 11月3日(月) 北網圏北見文化センタ-

物理教育研究  
論文集

日本物理教育学会 北海道支部

Vol.32, 2004.7

# 模型スターリングエンジンによる物作り教育

釧路高専 山岸 英明 釧路高専 田中 孝二郎 釧路高専 蘭 耕二

近年スターリングエンジンに対する関心が高まり、それを物作り教育に役立てようとする教育機関が増えつつある。著者らも模型スターリングエンジンや、模型スターリング冷凍機の製作を卒業研究のテーマに取り入れるとともに、スターリングテクノラリー技術会主催のラリー参加を目的に学生の同好会を立ち上げて活動を続けているのでその活動状況を報告する。

**キーワード** 模型スターリングエンジン、模型スターリング冷凍機、物作り教育、スターリングテクノラリー

## 1.はじめに

著者らが模型のスターリングエンジンに関わって6、7年経過したが、この間機械工学科における卒業研究として2003年度までの6年間に9組19名が取り組み、ほぼ完成したものがこれまでに4組4台あり、1台が模型の車に搭載され満足の行く性能が得られた。また同好会も1997年秋に発足しており、この活動で製作されたエンジンも模型の車に搭載し、これらのうち2台は1998年のスターリングテクノラリーに参加し上位の成績を収めた。卒業研究としては、その後模型の車への搭載を前提としないエンジンの製作に移り、もっぱら性能試験の評価に重点を置いた検討を続けている。加えて2001年度からは模型のスターリング冷凍機の試作と検討も始めた。一方これらの活動で製作したエンジンや模型の車を学校祭や地域で行われる展示会に出展して、地域の子供たちに機械工学科あるいは物作りに関心を惹起する試みも積極的に行っている。以上の活動について、これまでの経緯と教育面への効果等を報告する。

## 2. 卒業研究におけるスターリングエンジンの製作

### 2-1. 経緯

稼動まで至らなかったケースと、模型の車に搭載して走行できるまでになったケースについて比較検討する。1999年までの2年間4組のうち3組は全体の組み立てまで製作したが、稼動まで至らなかった。初年度の2組では、エンジンそのものについて、著者らも含めて良く知らなかったことに原因がある。加工精度、組み立て精度、空気漏れへの気配りなど、成功するための最低限の妥協点も把握できていなかった。パワーピストン・シリンダーはアルミニウムで製作したが、空気漏れを十分な程度まで押さえることができなかった。その後情報交換を

する中で、初めて手がける場合は、ガラス注射器を用いるのが良いということがわかり、1999年度は内径が30mmの注射器を組み込んだディスプレイサー・ピストン、パワー・ピストンの製作を行ったところ、2組の内1組はうまく稼動した。しかしもう1組は稼動まで至らなかつた。

### 2-2. 成功と失敗例の分析

成功した組と失敗した組の取り組む姿勢等を比較すると、興味・関心と熱意の差がはっきりしていた。それに事前の計画性と切削技術に加えて0.1mm単位の精度で加工したり組み立てたりする緻密な作業に耐えられる努力と根気等全てに大きな差があった。とくに1年間というタイムリミットがある卒業研究においては、十分な覚悟がないと取り組んでも失敗の危険性が高い。研究室として今後経験を重ねるにつれ、教員からの指導指針や技術内容もより適切にできると思われるが、むしろ必要な情報や材料を提供し、あとは学生の思うままに進める方が教育的な見地から見ると良いようである。後述の同好会の活動を見てもそうであり、活動しやすい環境を作ることに専念するだけで、学生は自分達で作業を進める。確かに誰でも取り組めるテーマではないが、スターリングエンジンは卒業研究の題材には非常に良い題材であると感じている。計画性・緻密性等に加え、積極的かつ能動的に物事に対応させる訓練に最適である。

1999年に好結果を生んだ組は、短期間のうちに全重量が3kg程度の車として完成させ、秋のラリーに参加し上位の成績を収めたが、エンジンのその後の出力評価に重点を置いたこともあって、車体はそれほど見栄えがするものではなかった。卒業研究であるため熱力学的な観点からの解析や、出力伝動機構の力学的解析も行った。こ

これらの解析をきちんとやり、出力測定も正確にでき、かつ総合的な検討をしっかりとすると、学生にとって机上の話ではなく実践的な訓練の場となることが分かった。ただガラスシリンダーエンジンのため、常に出力が変動し精度の良い測定ができなかったが、理論値を参考にしながら、多くの検討考察ができた。

### 3. スターリングエンジン同好会の活動

#### 3-1. 経緯

同好会は1998年秋に発足した。工作機械の操作が必要とあって、会員は機械工学科の少数の学生だけであった。毎年秋闇東で行われるスターリングテクノラリー参加を第一の目標にしている。非常に強い関心を持った学生が1人、卒研学生と一緒に活動を続け、ガラスシリンダーエンジンを用いた全重量3kg程度の車を完成させ、1999年の第3回のラリーに参加して、2m/sの速度で走り上位の記録を残した(写真1)。同時に参加した前述の卒業研究チームと異なり、車体の設計製作に多くの時間を割いた。1年下と言ふこともあって、エンジンの出力の評価は行っていない。車体の見栄えも良く、後述のように、色々の企画に積極的に展示している。低学年の学生は工作機械の操作が負担にならない軽量級の車に適合するエンジンの製作を行っている。関心を示す学生は少なくないが、実際に作るとなると相応の努力が必要であり、そのため時間も取られるので、活動が続かない学生の方が多いのが現状である。写真2は2000年度のテクノラリーに参加した車である。残念ながら前年度の車には及ばなかった。

#### 3-2. 活動方針

4年生後半になると、工作実習や機械設計製図以外にも、強度計算や動力伝達機構の検討などに、これまでに勉強した多くの教科が関連していることが分かり、それ

らを総合する実践の場として本同好会が適したものになっている。現在はまだクラブとしてはマイナーであるが、学校祭等では既に目立つ展示品の一つとなっている。また前記のテクノラリーは本会の存続には欠かせなくなっている。指導教員側もラリー参加が目的であることを強調するが、製作に関わる一切を学生の自主性に任せている。顧問教員が行うことは資料や必要な材料の提供・分からることについての相談と、工作機械や工具等の使用の便宜を図ることである。

#### 3-3. 成果

具体的には、1999、2000年のラリーに参加して上位の記録を残した模型車の形になって残った(写真1、2)。これは良い励みになり、今後の活動の原点になるとを考えている。注射器を用いたものだが、予想以上に耐久性もあり、前述のように色々な催しに展示を行っている。これらを製作した学生は、2000年度卒研で出力評価の検討を主目的の卒研を行った。現在低学年の学生は非常に簡単なタイプの(例えばガラス管エンジンカーのような)ものやテクノラリーの軽量クラスに相当するタイプのものなどの製作を試みている。将来の卒研のテーマが何であれ、低学年におけるこの活動は5年生の卒研に役立つことは間違いない。また教室における勉強以外の教育の場として良い効果を上げている。関わる学生が少ないが、取り組み次第では、メジャーであるロボコンに劣らない教育的な効果が期待できると考えている。

### 4. 地域の子供への活動

模型の展示の機会としては、学校内では夏の中学生対象の高専見学会と10月の高専祭(学校祭)があり、学科紹介や学科展の出し物の一つとして、出来合いの模型と一緒に展示を積極的に行っている。また釧路市が関わる地域の産業展示会や科学の祭典においても、高専ブースでも展示し、

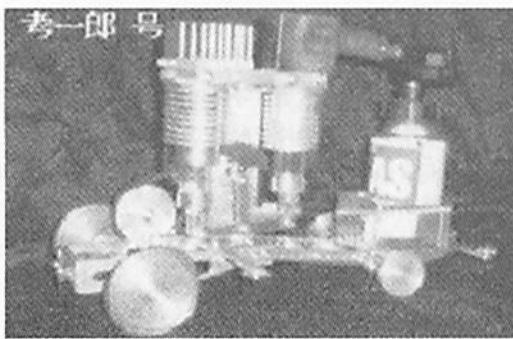


写真1 第3回スターリングテクノラリー参加車(1999)

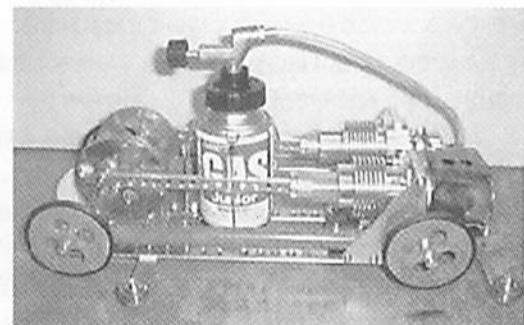


写真2 第4回スターリングテクノラリー参加車(2000)

徐々に目立つ存在になりつつある。また2002年10月には帯広で行われた科学の祭典に釧路以外の地域で初めて展示を行い、関心を持ってくれた見学者も少なからずいた。2003年度釧路高専機械工学科に帯広地区から入学した学生の一人がこの祭典でスターリングエンジンに関心を持ったことを話していた。これら展示においては、スペースの都合上、無負荷運転の場合が多いが、大人も含めてエンジンの回転のみに関心が行き、出力の大きさまで関心を示す人はほとんどいない。しかしながらエンジンの動く仕組みに興味を持つ子供は少なくない。実際に現在の機械工学科低学年生の中にも、中学生時代にエンジンの展示物が強く記憶に残っている学生が何人かいる。地域の中学生の目を機械工学科に向けてもらう格好の材料の一つになりつつある。

## 5. 今後の取り組み

卒業研究としても当分継続の予定であるがエンジンの

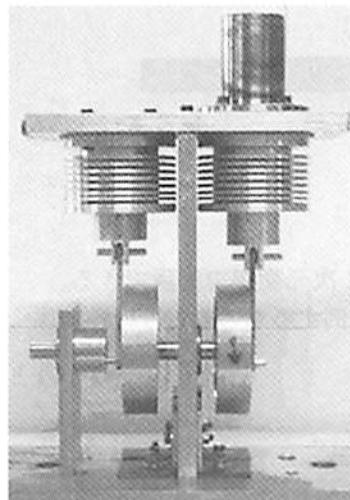


写真3 2002年度卒研製作エンジン

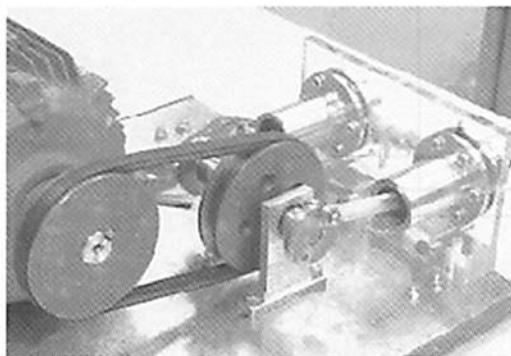


写真4 2002年度卒研製作 $\alpha$ 型スターリング冷凍機

大型化と出力のより正確な評価や熱効率を高めるための方策に重点が移っている。写真3は2002年度卒研で製作した電気加熱エンジンでこれまでの最大級のサイズを有しボア径32mm、出力が1.4Wである。もう一つの卒業研究として2002年度にスターリング冷凍機の模型の製作と検討を行った。1組はアルファ型で内径30mm、行程25mmのシリンダをベースとして製作を試みた(写真4)。もう1組は金網を用いた再生器の製作と性能試験を行った。諸事情により冷凍機に再生器を組み込むところまではできなかったが、2003年度の卒業研究で装置を改良し、12月現在を低回転領域でも室温より20°C以上下がる好結果を得ている。

スターリング同好会も会員は少ないが、毎年スターリングテクノラリーに参加できるよう活動を継続するほか、人が乗る模型の車に搭載できるエンジンの製作について、具体的な検討を始めている。今年中の完成を目指している。これには学生だけでは難しく、著者3名の顧問も深く関わるつもりである。

## 6. おわりに

釧路高専でスターリングエンジン模型の製作を始めてから足掛け7年になる。卒業研究と同好会活動を連携させて進めていくが、同好会については、少数の人数に限られている。今は一部の学生の熱意に依存していく。広がりは十分ではない。指導する教職員の知識や経験を毎年変わる学生に適切に伝えるとともに、ポテンシャルを高めて行く必要があると感じている。卒研では、性能の定量的な評価を中心に、同好会ではラリー参加を目的に活動を継続するつもりである。このためにもテクノラリーの長期の継続を望んでいる。また地域の展示会に今後も積極的に参加展示をしたいと思っている。それとできれば道内の工業高校、高専、大学等でもスターリングエンジンに関わる人が出て交流ができるることを望んでいる。

最後にスターリングエンジンに関わる資料と多くの有益な情報を頂いた宇都宮大学の松尾政弘教授と埼玉大学の戸田富士夫博士および(株)メガケム代表取締役、嵯峨是人氏に感謝申し上げます。

(付記) 本稿は、『物理教育』52(2004)56を加筆修正し本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

## 3 体衝突

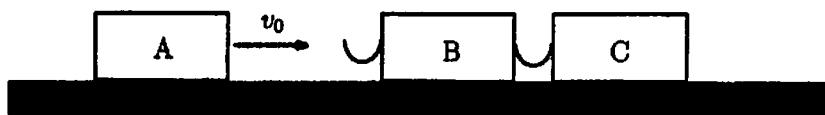
三好康雅

## はじめに

質量の等しい3個の物体A, B, Cを第1図のように、水平、1列に配置する。床との摩擦は無視できる。物体の間にある”U字型の物”は弾性力を生じる部品である。B, Cを静止させAを速度 $v_0$ でBに衝突させる。衝突のメカニズムは衝突前にBとCが接触しているか否かによって異なる。

衝突前にBとCが離れているときは現象は単純で、AとBの衝突が終わった後でBとCが衝突する。素過程は2体衝突であるから運動量の保存則と運動エネルギーの保存則で衝突後のそれぞれの物体の速度が決定する。

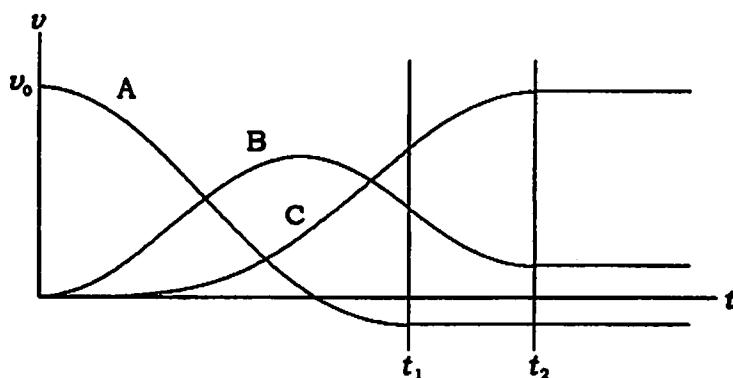
衝突前にBとCが接しているときは、現象の解析は初步的にはできない。



第1図 3個の物体の1次元衝突

## 1. リニアバネの場合

この実験はバネ付き台車あるいはエアーベアリングによる1次元衝突で実現できる。“リニアバネ”というのはばねに生じる力がばねの変形量に比例するものをいう。各物体の速度を第2図に示す。



第2図 速度の変化（リニアバネの場合）

物体Aの初速度は $v_0$ 、BとCのそれは0である。 $0 < t < t_1$ の間3体の相互作用が行われる。物体AはBから圧力を受けて減速し、 $t = t_1$ で加速度が0になる。ここでAはBからの圧力から解放され、以後等速運動をする。 $t_1 < t < t_2$ ではBとCの相互作用が行われるが、 $t = t_2$ でこれらの加速度が0になり、BとCは分離して以後等速運動をする。

(1)  $0 \leq t < t_1$ の場合  
運動方程式は

$$\frac{d^2x_A}{dt^2} = -\omega^2(x_A - x_B) \quad (1)$$

$$\frac{d^2x_B}{dt^2} = \omega^2(x_A - x_B) - \omega^2(x_B - x_C) \quad (2)$$

$$\frac{d^2x_C}{dt^2} = \omega^2(x_B - x_C) \quad (3)$$

である。これを初期条件  $v_A = v_0, v_B = 0, v_C = 0$  のもとで解くと、

$$x_A = \frac{v_0}{6} (2t + \frac{3}{\omega} \sin \omega t + \frac{1}{\sqrt{3}\omega} \sin \sqrt{3}\omega t) \quad (4)$$

$$x_B = \frac{v_0}{6} (2t - \frac{2}{\sqrt{3}\omega} \sin \sqrt{3}\omega t) \quad (5)$$

$$x_C = \frac{v_0}{6} (2t - \frac{3}{\omega} \sin \omega t + \frac{1}{\sqrt{3}\omega} \sin \sqrt{3}\omega t) \quad (6)$$

を得る。速度は

$$v_A = \frac{v_0}{6} (2 + 3 \cos \omega t + \cos \sqrt{3}\omega t) \quad (7)$$

$$v_B = \frac{v_0}{6} (2 - 2 \cos \sqrt{3}\omega t) \quad (8)$$

$$v_C = \frac{v_0}{6} (2 - 3 \cos \omega t + \cos \sqrt{3}\omega t) \quad (9)$$

である。速度の和は $v_A + v_B + v_C = v_0$ で運動量保存則を満足しているのがわかる。第2図の $0 < t < t_1$ の範囲はこれらの式を使って描かれた。

物体Aの加速度は、

$$a_A = \frac{dv_A}{dt} = -\frac{v_0\omega}{6} (3 \sin \omega t + \sqrt{3} \sin \sqrt{3}\omega t)$$

である。 $\omega t = 2.555$  のとき $a_A = 0$ となるので、この時刻が $t_1$ である。このときのそれぞれの速度と加速度は

$$v_{A0} = -0.1303 v_0 \quad (10)$$

$$v_{B0} = 0.4278 v_0 \quad (11)$$

$$v_{C0} = 0.7025 v_0 \quad (12)$$

$$a_{B0} = \frac{dv_B}{dt} = -\frac{dv_C}{dt} = -0.5537 v_0 \omega \quad (13)$$

である。 $v_{A0}$  は物体 A の最終速度である。 $v_{B0}, v_{C0}, a_{B0}$  の値は以後の物体 B と C の運動の初期値になる。

(2)  $t_1 \leq t < t_2$  の場合

物体 A が分離した後の運動方程式は、

$$\frac{d^2x_B}{dt^2} = -k(x_B - x_C) \quad (14)$$

$$\frac{d^2x_C}{dt^2} = k(x_B - x_C) \quad (15)$$

である。これを解くと、

$$v_B = \bar{v} - A \cos(\sqrt{2}\omega t + \delta) \quad (16)$$

$$v_C = \bar{v} + A \cos(\sqrt{2}\omega t + \delta) \quad (17)$$

$$a_B = \sqrt{2}\omega A \sin(\sqrt{2}\omega t + \delta) \quad (18)$$

となる。初期条件を適用して係数  $\bar{v}, A, \delta$  を決める

$$\bar{v} = (v_{B0} + v_{C0})/2 = 0.5651 \quad (19)$$

また、

$$\frac{v_{C0} - v_{B0}}{2} = A \cos \delta$$

$$\frac{a_{B0}}{\sqrt{2}\omega} = A \sin \delta$$

より

$$A = \sqrt{\left(\frac{v_{C0} - v_{B0}}{2}\right)^2 + \left(\frac{a_{B0}}{\sqrt{2}\omega}\right)^2} = 0.4149 v_0 \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{\sqrt{2}a_{B0}}{\omega(v_{C0} - v_{B0})} = -2.851 \\ \delta &= -1.233 \end{aligned} \quad (21)$$

を得る。式 (18) から物体 B の加速度が 0 になる時刻を  $t_2$  とすると、

$$t_2 \omega = -\frac{\delta}{\sqrt{2}} = 0.8719 \quad (22)$$

である。第 2 図の  $t_1 < t < t_2$  の範囲は式 (16) および式 (17) を用いて描いたものである。 $t = t_2$  で物体 B と C は分離して以後等速運動をする。

最終速度は式 (16)、(17) に式 (22) を代入して得られる。

## 2. 球の場合

球と球の衝突の場合、球の間に働く力は変位差の $2/3$ 乗に比例する<sup>1)</sup>。したがって運動方程式は

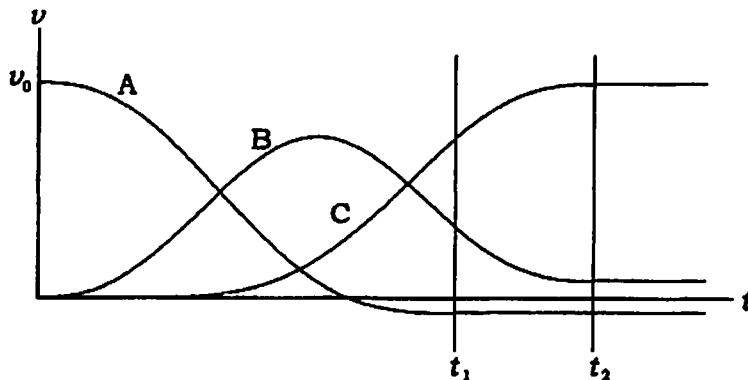
$$\frac{d^2x_A}{dt^2} = -k(x_A - x_B)^{2/3} \quad (23)$$

$$\frac{d^2x_B}{dt^2} = k(x_A - x_B)^{2/3} - k(x_B - x_C)^{2/3} \quad (24)$$

$$\frac{d^2x_C}{dt^2} = k(x_B - x_C)^{2/3} \quad (25)$$

である。ここで $k$ は定数である。

この微分方程式は解析的に解けないので、コンピュータによる数値解を行った。結果を第3図に示した。



第3図 速度の変化（球の場合）

## 3. まとめ

第1図のような衝突の場合、物体間に働く力が物体をつなぐ弾性体の変形量の関数であれば、衝突後の速度は第2図または第3図に類似したものになると考えられる。

2種類の物体（リニアばねと球）場合、衝突後の速度は第1表のようになる。

第1表 衝突後の速度

	$v_A$	$v_B$	$v_C$
リニアバネ	-0.1303	0.1502	0.9800
球	-0.0710	0.0764	0.9945

## 参考文献

- 1) ティモシェンコ・グーディエ「弾性論」コロナ社

# 細い紐と連結した太い紐が切れる実験

## (慣性の法則の例)

An Experiment in which a Thick String is Broken without

Breaking of a Connected Fine-string

(An example of the law of inertia)

宮台 朝直

Miyadai Tomonao

細い紐で錘りを吊り、錘りの下に太い紐を付けて太い紐を強く引くと（細い紐は切れないで）太い紐が切れる、という実験がある。この実験はマジックに見えて面白いので、慣性の法則の例として学生に演示したところ好評であった。ここでは、具体的な実験方法とそのこつを披露し、太い紐が切れる条件などを考察する。「細い紐が錘りを支えられる限り、太い紐を速く引けば太い紐が切れる」と結論された。発展的な実験にも言及する。

### Abstract

The following experiment is known. A thick string is hung from a hook attached to the bottom of a weight, which is hung by a fine string from a fixed hook. When one pulls down suddenly the thick string, then it is broken without breaking of the fine string. This experiment seems to be a magic. Students who saw it said "interesting". As this experiment requires some skill, its procedure is described at some length. The condition for breaking of the thick string is considered. Some extended experiments are also described.

## 1. はじめに

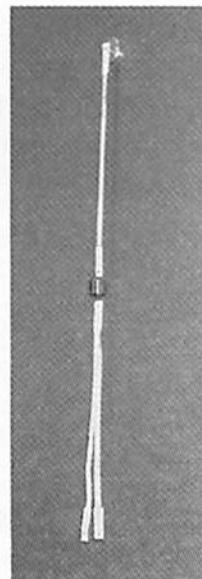
細い紐で錘りを天に吊り、錘りの下に太い紐を付けて太い紐を強く引くと太い紐が切れる、という実験を原田稔氏<sup>1)</sup>からお聞きし、実験してみた。文系の学生に演示実験として見せたところ、かなりの学生が興味を示した。「錘りの役目は何か」という核心をついた質問も出た。学生には、「慣性の法則のため錘りが動き難いので、上の細い紐に力が働く前に下の紐に働く力が太い紐の破断力を超えるから」と説明した。錘りが動き難いといつても、厳密に移動距離 = 0 ということはあり得ないと思われる。そこで、もっともらしい仮定のもとに錘りの運動方程式を解いて、太い紐が切れる条件、錘りの実際の移動距離を求めてみた。得られた結論を確かめるために、条件を変えて二、三の発展的実験を試みた。実験の結果は理論的結論を支持するものであった（少なくとも矛盾しない結果であった）。

以下では、2. で演示実験の説明をし、3. で運動方程式の解と太い紐が切れる条件などを求め、4. では発展的実験を述べる、5. で議論・まとめを行う。

## 2. 演示実験

演示実験では学生に見易くするため、紐として記録用の感熱紙テープ（幅 10 mm）を使った。テープの両端はフックにかけるため厚紙で補強した。用いた器具を写真 1 に示す。上部のフックは黒板に磁石で吸着されている。

写真 演示実験実験に  
使用した器具  
(中央に 100 (g)  
の分銅、上に 1 枚  
のテープ、下に  
2 枚のテープ)



錘りには上下にフックをもつ 100(g) 分銅を用いた。上側のテープは 1 枚、下側のテープは 2 枚にして “細い紐” と “太い紐” とした。下側のテープを手で握り、少し弛ませた状態から勢いよく下方に引くと手に持ったテープが 2 枚とも切断する。

この実験は、少し熟練を要する。“勢いよく引く” ことが難しいのである。引く方の紐をはじめに少し弛ませておき、思いきり強く引くことがこつである。弛めずずに引くと上のテープが切れてしまう。さらに、テープの両端を厚紙で補強することも大事である。十分な強さがないと引いた時にフックのところで切れて失敗する。

### 3. 解析

前節の実験結果を錘りの運動方程式から解釈する。

**3-1 跳定数と仮定：**上側の細い紐をバネと考え、そのバネ定数を  $k$ 、破断力を  $F_1$  とする。下側の太い紐は力を伝えるだけとし、その破断力を  $F_1$  とする。錘りを質量  $M$  の質点とする。錘りの座標  $z$  の原点を錘りの平衡位置にとり、上向きを正とする。

**3-2 錘りの運動方程式とその解：**錘りの平衡点を原点に取ったので、錘りに働く力は細い紐と太い紐からだけを考えればよい。細い紐からの弾性力  $f(t)$  は

$$f(t) = -kz(t) \quad (1)$$

で与えられる。太い紐からの力  $F(t)$  はよく分からぬので、

$$F(t) = -bt, \quad b > 0 \quad (2)$$

と仮定する。 $b$  が大きいほど速く引くことになる。したがって、錘りの運動方程式は

$$M \frac{d^2 z}{dt^2} = -kz - bt \quad (3)$$

となり、初期条件

$$z_0 = 0, \quad \dot{z}_0 = 0 \quad (4)$$

を満たす (3) 式の解は

$$z(t) = \frac{b}{k} \left( \frac{1}{\omega} \sin(\omega t) - t \right) \quad (5)$$

と求められる。 $\omega$  は固有振動数で

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (6)$$

で与えられる。

**3-3 細い紐に働く力：**細い紐に働く力  $f_{real}$  は、錘りを

吊るための力  $-gM$  を加えて

$$f_{real}(t) = -gM + kz(t) \quad (10)$$

となる。太い紐に働く力  $|F(t)|$  が破断力  $F_1$  に等しくなる時刻  $t_1$  において

$$|f_{real}(t_1)| < f_1 \quad (11)$$

を満たせば、太い紐が先に切れる事になる。

**3-4 太い紐が切れる条件：**初期の短時間が問題なので、(5) 式を  $t$  で展開して最低次の項だけを残せば、

$$z(t) = -\frac{1}{6} \left( \frac{b}{M} \right) t^3 \quad (12)$$

を得る。この式には細い紐のバネ定数  $k$  が含まれない(高次の項には含まれる)。 $t_1$  は (2) 式から  $t_1 = F_1/b$  で与えられるので、(11) 式の条件は

$$gM + \frac{1}{6} \frac{k}{M} \frac{F_1^3}{b^2} < f_1 \quad (13)$$

と表される。左辺第 2 項の分母に  $b$  があるので、 $b$  を大きくすれば、この項はいくらでも小さくなる。したがって、「細い紐が錘りを吊るす強度を持つ限り、太い紐を十分速く引けば太い紐が切れる」と結論される。実際問題としては太い紐を十分速く引くことはそれほど簡単ではない。

**3-5 錘りの移動距離：**太い紐が切れる時刻  $t_1$  までの間に錘りが移動する距離  $\delta L$  は、(12), (2) 式より

$$\delta L = |z(t_1)| = \frac{b}{6M} t_1^3 = \frac{F_1}{6M} t_1^2 \quad (14)$$

で与えられる。この式には細い紐のバネ定数が含まれないことが注意される。

次節で述べる系の場合の  $F_1=18(N)$ ,  $M=0.1(kg)$ , を使い、 $t_1$  として  $0.01 \sim 0.001(s)$  とすると

$$\delta L \sim 3 \times (10^{-3} \sim 10^{-5}) \quad (\text{m})$$

と見積もられる。

### 4. 発展的実験

前節の解析の結果によると、太い紐を速く引きさえすれば、細い紐の材質に無関係に太い紐がきれるはずなので、材質と幾何学的条件を変えて次の 4 種の実験を試みた。錘りは同じ 100(g) 分銅を使用した。前述のように、引くべき紐を弛ませておいて思いきり速く引くのがこつである ((1) 式の  $b$  を大きくするため)。

4-1 糸を用いた実験：上記の紙テープの代わりに木綿のカタソ糸（50番）を用いた。この糸の破断力  $F_t$  は約 900 (g<sub>w</sub>) ~ 9 (N) であった。上側1本、下側2本の場合は予期通り下側の2本の紐が切れた。この場合の錘りの移動距離は、(14)式の下で示したように、 $10^{-3} \sim 10^{-5}$  (m) と見積もられる。下側を3本にすると、上の1本の糸が切れてしまった。下側の糸を十分速く引けなかつたためと考えられる。

4-2 輪ゴムを用いた実験：上側の糸の代わりにバネ定数の非常に小さい輪ゴムを用い、下側はカタソ糸2本とした。上手く引けた場合には予期通り2本の糸が切れ、錘りはほとんど動かなかった。錘りの移動距離は紐の種類によらないという(14)式の結果を支持する。この実験は4-1の実験より難しい。下の糸を3本にすると、糸は切れずにゴムが伸びて分銅が飛び出すという結果に終わった。この場合も糸を十分速く引けなかつたためと考えられる。

4-3 上下の位置関係を逆にした実験：床にフックを固定し、錘りの下側のフックとの間を1本の糸で繋ぎ、錘りの上側のフックに2本の糸を結ぶ。下の糸が弛まないよう手で支えた状態で、上側の（弛るませだ）2本の糸を勢いよく引き上げると2本の糸が切れた。錘りを手で支えないで下の糸が弛んだ状態で（上の糸は緊張状態で）上の2本の糸を引くと、下の1本の糸が切れた。この結果も3節の解析結果を支持する。

4-4 床において錘りを引き上げる実験：1本の糸を錘りの上側に結び、糸を勢いよく引き上げると糸が切れた。2本の糸も切ることが出来た。この場合は細い紐のバネ定数が0の場合に相当する。3本ではできなかつた。こ

の場合も十分速く糸を引き上げられなかつたためと考えられる。

## 5. 考察とまとめ

文系学生に慣性の法則の例として説明したが、理系の学生には次のように説明する方が適當かも知れない。物体を急に動かすためには、太い紐が切れるほどの大きな力が要る。太い紐が切れるまでの錘りの移動距離が僅かなので、細い紐に働く力は小さい。(13)式左辺の第2項 ( $k\delta L$  と書ける) が細い紐に働く力である。

(14)式から見えるように、第1近似では、錘りの移動距離は細い紐の材質に無関係なので、実は細い紐は不要である。4-4で示した実験はそのことを実証している。

他の分銅が手元になかったので 100 (g) 分銅のみの実験であったが、もっと重い分銅を使えば実験はむしろ容易になるであろう。

錘りに働く下向きの力として(2)式を仮定したが、実験結果と定性的に一致するので、第1近似としては悪くないと思われる。別な形としてステップ関数も考えられるが、実際問題としては実現できないであろう。

以上まとめれば、本稿において、マジックに見える演示実験のやや詳しい説明をし、その解析結果と発展的実験を述べた。

最後に、この実験を教えて頂いた原田稔氏と有益な議論をして頂いた三好康雅氏に感謝いたします。

## 参考文献

1) 原田稔 私信 (NHK ブックスに出版予定)

追記：練習の結果、4-1, 2 の実験で下側の糸を3本にしても切れるようになった。

## 室蘭工業大学における理科教育への取り組み

Efforts to Science Education in Muroran Institute of Technology

室蘭工業大学電気電子工学科 酒井 彰

Department of Electrical and Electronic Engineering, Muroran Institute of Technology Akira Sakai

大学の社会貢献の一環として、地域との連携を深め、科学的な啓蒙活動を行ってきている。そのなかで、理科の面白さを実感してもらうことを狙いとして、室蘭市内の小中学校教諭を対象に行った講演会・施設見学会と中小学生を対象とした体験型ものづくり教室を紹介する。

キーワード 社会貢献、ものづくり、小中学校教諭、中小学生

### 1. はじめに

近年問題化している青少年の“理科ばまれ”、“物理ばまれ”的対策のひとつとして、室蘭工業大学で行っている試みのいくつかを紹介する。一つ目は、児童生徒が科学技術に興味を持ち続けるのに大きな影響力があると考えられる小中学校の教諭を対象に、最新の科学技術を知る機会を提供し、必ずしも理科を専門とはしない先生方にも理科の面白さを実感してもらう“リフレッシュ理科教室”である。この目的は、子供たちの身边に科学技術を面白く語ることのできる人を増やすことと、大学教官と小中学校教諭の交流を深め教育活動の活性化を図ることにある。二つ目は、体験型学習を通して子供のうちから理科教育に親しむ機会を提供する“ものづくり教室”である。中小学生と保護者がともに“ものづくり”することで、科学的な原理や法則を身近に感じて欲しいことと、家庭内の科学的会話が増すことを期待している。

### 2. 小中学校教諭を対象とした講演会・見学会

平成15年度になり、本学としては室蘭市内の小中学校教諭と交流する機会が多くなってきた。まず、市教育委員会を通じて、室蘭市小中学校長会の見学会（学科見学、施設見学、意見交換会）が行われ、11月19日（水）には校長先生方が11月27日（木）には教頭先生方が来学した。さらに、小中学校で理科を担当する教諭に、最新の科学技術を知る機会を提供し、理科の面白さを実感してもらうことを目的とした講演会・施設見学会が10月17日（金）に行われた。この講演会・施設見学会については、理科を担当する教諭が組織する理科部会の研究会の一環として執り行ったものである。

講演会・施設見学会の参加者は21名であった。必ずしも理科を専門とはしない先生も含まれているため、講演内容には配慮が必要となる。そこで、本学教官による模擬実験を組み入れ「眼の働きを理解しようとした江戸時代の人たち」と題し、江戸時代に生きた人たちが、解剖学から得た知識をもとに眼の構造や働き、とくに網膜

上に逆さまに写った像と現実に見える成立した世界との関係をどのように理解しようとしたのかについて講演した。講演終了後は、質問も活発に出て、参加者には好評であった。施設見学会は、附属図書館で開催し、同館職員の説明を受けながら館内を見学した。本学附属図書館は、地域の一般の方々にも開放しており、自由に利用可能である。小中学校教諭のなかには、利用したいか敷居が高く利用したことがないとか、理工学の蔵書ばかりがあるのでないかといった方々がおられたが、利用方法の説明や教養図書の見学で認識を改められたようであった。



講演会風景



附属図書館施設見学会風景

来年度は体験実験等を加えさらに企画を充実させ、“リフレッシュ理科教室”として実施する予定である。このリフレッシュ理科教室は、平成14年度に、応用物理学会北海道支部主催・物理教育学会北海道支部共催で北大工学部を中心に開かれている。今回は、前回参加できなかった方々にも参加できるように、札幌ではなく室蘭で開催することになった。応用物理学会からは、資金援助の通知も受け大学からの支援もあるので、物理だけでなく、化学や生物問題の体験実験テーマを準備したいと計画している。テーマ設定では小中学校教諭を対象者としてはいるが、高等学校教諭にも参加いただければ望外の喜びである。

### 3. 小中学生を対象とした体験型ものづくり教室

平成15年度に本学で開催された催しは、大学が主体で行った大学等地域開放特別事業「大学 Jr. サイエンス&ものづくり」と電気電子工学科が主体で行った「体験型ものづくり教室」の2つがある。さらに、「ロボットサッカーコンテスト」も毎年実施しているが、この詳細は本学ホームページをご覧いただきたい。

#### 3.1 大学等地域開放特別事業「大学 Jr. サイエンス&ものづくり」

大学等地域開放特別事業「大学 Jr. サイエンス&ものづくり」に対して筆者は関与していないため、本学ホームページに記載されている記事からの抜粋を紹介する。この催しは大学が主体となり、室蘭市青少年科学館、室蘭市教育委員会などが共催や後援となり、2テーマを実施した。

「ロケット・ジェット・飛行機わくわく教室」は10月25日(土)、10月26日(日)に開催した。参加者は、25日が小中学生24名と保護者16名で、26日が小中学生23名と保護者13名である。内容は、ロケット・飛行機のとぶしみ及びジェットエンジンのしくみを講演とビデオ上映で説明した後、実験によって実体験した。さらに、参加者自身で小型ターボジェットエンジンのスロット操作を体験したり、ペットボトルロケットや電動ラジコン飛行機を作成し、飛行させた。



ペットボトルロケット打ち上げ風景

「スクラップ金属を溶かしてものづくり」は11月22日(土)、11月29日(土)に開催した。参加者は、小学生18名と保護者6

名である。内容は、鉄や銅、アルミニウムなど金属スクラップの種類や特徴などについて説明した後、廃棄物から取り出したすり合金を使って鋳型の造型・切断等の作業を体験し、アクセサリーや置物等を完成させた。



スクラップ金属を溶かしてものづくり実習風景（仕上げ作業）

#### 3.2 体験型ものづくり教室

電気電子工学科地域貢献を考える会が主体となり、室蘭工業大学生活協同組合の協力を得て、地域の小中学生と保護者を対象に毎年実施している。生協とタイアップすることで、企画の宣伝・実施に際して、より地域と密着した活動を行うことが可能となっている。この催しはスタートしたきっかけは、2000年の「文部科学省子供開放プラン」であったが、文部科学省からの財政支援がなくなってきたらも中断することなく続いている。これまでに行ってきたものを列挙すると、

- 2000年 8月 <文部科学省 子供開放プラン>
    - ブームラン教室
    - まわりどうろうを作ろう
    - ピンホールカメラを作ろう
  - 2001年 8月 第2回ブームラン教室
  - 2001年 12月 わたあめを作ろう
  - 2002年 5月 第3回ブームラン教室
  - 2002年 8月 <お菓子作りと科学>
    - あめ作りに挑戦（わたあめ、べっこうあめ）
    - アイスクリームを作ろう
  - 2002年 12月 クリスマス用メリーゴーランドを作ろう
  - 2003年 6月 ピンホールカメラを作ろう
  - 2003年 8月 第4回ブームラン教室
  - 2003年 12月 ファイバツリーを作ろう
- となっている。また室蘭豊学校においても、
- 2002年 12月 ブームラン教室
  - 2003年 12月 クリスマス用メリーゴーランドを作ろう
- 同様の企画で実施した。

### 3.3 「ファイバツリーを作ろう」の実施状況

12月6日(土)に開催された、体験型のづくり教室「ファイバツリーを作ろう」の実施状況について紹介する。本企画では、日本物理教育学会北海道支部と応用物理学会北海道支部に後援となっていた。参加者は、午前の部が小学生20人、午後の部が小学生24人であり、保護者も加えて総計79人であった。なお、参加費は子供1人500円(団体保険料14円/人を含む)とした。

教室は、受付時に配布したテキストを用いて、光ファイバーの構造と利用方法について説明を行った後、発光ダイオードと電球の違いや回路に用いるワンチップマイコンについても説明した。テキストに従い、それぞれに教官や学生がついて補助をしながら製作を進めた。出来上がった参加者から電池を装着し、LEDを点灯させて完成したファイバツリーを楽しんだ。



案内ビラ



クリスマスツリー製作風景

実施時期がクリスマス直前であり、本企画のようなクリスマスに直接関係のある工作であったことから、募集開始後1時間あまりで募集人数を越える応募となった。工作は比較的単純なものであったが、光ファイバーをまとめるなど細かい作業が多く、参加した小学

生も低学年が多数のため、保護者が作っていたところも見受けられた。時間制約から、材料のほとんどをキット化したので、失敗もなく時間内に終了することができた。光ファイバーやワンチップマイコンの説明については、担当者が工夫したもの、参加した小学生には難しかったように思われた。しかしながら、自ら製作したものを自宅に飾り、それについて親子で語り合う場を提供できれば、それは大きな成果であると考えており、そういう意味でも本企画は成功であったと考えている。

教室終了後、参加者に対してアンケート調査を行った。内容としては、

- ①この教室を何で知りましたか？ ②この企画は面白かったです？ ③完成したツリーは期待どおりでしたか？ ④参加費についてどう思われますか？ ⑤講師やまわりの人たちの教え方はどうでしたか？ ⑥今後このような催しがあれば参加したいですか？ ⑦もっと参加できる人数が多いほうが良いと思いますか？ ⑧お気づきの点がありましたらご自由にお書きください
- であり、⑧以外は三択とした。ほとんどの参加者がすべての質問に肯定的に答えていたが、③について“期別はずれだった”が1人、④について“もっと安い方がよい”が3人いた。⑧については、“楽しかった”などの意見が多く見られたが、“低学年の子には難しく、学年別の企画があればよい”との意見もあり、今後の検討課題としたい。

### 4. おわりに

我々室蘭工業大学電気電子工学科が地域の小学生を対象として、このような科学工作教室を始めて4年目である。回を追うごとに、企画の定員数が埋まるまでに掛かる時間が短くなっていることからも、我々の企画は確実に地域に浸透してきていると思われる。大学のあり方が問われている中で、このような催しを通じて地域社会と密接に関わりを持つには、継続することがます重要であると考えられる。また、理科離れが言われて久しい子供に科学的な原理や法則を身近に感じられるような機会を提供することは、一大学の問題ではなくわが国の理系学力維持のための一助となるであろう。しかしながら、準備にかかる費用や時間に対する補助はほとんど得られないで、現状では組織的な運営に至っていない。今後も、地域の意見を参考にしつつ“科学と友達になる”ための場を提供したいと考えている。

最後に、日本物理教育学会北海道支部から、平成15年度開催の“ファイバツリーを作ろう”の企画に対し、援助をいただけたことに感謝申し上げる。

(付記) 本稿は、『物理教育』52(2004) 56を本誌「物理教育研究」に再度掲載しました。

# “理科する” 楽しさを実感するための高校物理教育

## —実験バトルによる教育内容の予備的検討—

北海道大学大学院教育学研究科 大野 栄三

小中学校の教育で必ずしも保証されていない“理科する” 楽しさの実感を、実験バトルという活動を通して高校物理教育の中に位置づけることについて考察する。高等学校における課外活動での実験バトルの実践結果を報告するとともに、高校生に実験バトルのような活動が必要とされる理由について論じる。

### 1. はじめに

「ゆとり教育」の見直しと「確かな学力」という新スローガンで、小中学校の教育がこれまでの「ゆとり教育」路線から方向を変えようとしている。しかし、高等学校の理科教育については、多数の選択科目からなるアラカルト・カリキュラムといった状況に大きな変化はなさそうである。自分の好きな科目を選択し個性をのばす教育ということになっているが、これまでに小中学校から高校へと移行され続けてきた多くの項目の学習を限られた時間で何とかやりくりするという台所事情に変わりはない。

こうしたなか、理工系大学生の学力低下が大きな社会問題として報道されてきた。これぐらいは知っているだろうと大学教員が期待していることを全く理解していない学生の話には事欠かない。こういったことが話題になると、これだけは絶対に学んでおくべきという内容をもった物理教育を、高校で必修科目として実施すべきだという意見が決まって出てくる。その意見に、筆者も基本的には同意する。なぜなら、学んでもいい物理のことを知っているはずはないし、期待するのなら、まずは学ぶ機会を生徒に与えなければならないからである。しかしながら、物理を必須科目にするだけで問題が解決するのであれば、文部科学省の鶴の一聲で全国一齊に実施できる。実は、この本質は必須か否かという制度上の問題にあるのではなく、必須化された物理教育をどのような内容で構成するかにある。

本稿では、高校物理教育の目的からイニシエーションとしての物理教育について考察し、その教育内容として実験バトルと呼ばれる活動がどのような意味をもつのかについて論じる。

### 2. 情意面の問題—実験は好きだが、物理は嫌い

理工系大学生の学力低下という話題は、基礎・基本は叩き込め、習熟度別学習でできる子には発展的な教育を

行えという考え方へ姿を変えて、小中高の理科教育に少なからず影響を与えている。筆者には、こういった考え方方が有効であるとは思えない。

小中学校段階の生徒を対象にした学力調査の結果を見ると、日本の子どもたちの情意面における傾向に大きな問題があるのであって、知識や技能の理解が劣っているわけではないことがわかる<sup>1)</sup>。たとえば、国際教育到達度評価学会（IEA）により1999年に行われた第3回国際数学・理科教育調査（TIMSS-R）によれば、中学生の理科の理解度の得点について、日本は38地域中4位である。その一方で、理科を学ぶことについての意識調査の結果は、いずれも国際平均を下回る深刻な状況を示している。「理科が大好き、好き」と回答した中学生の割合は55%（国際平均は79%）、「理科の勉強は楽しい」は50%（国際平均は73%）、「授業はやさしい」は19%（国際平均は43%）、「生活の中でたいせつだ」は39%（国際平均は79%）等といった具合である。

理科の基礎・基本を叩き込んで事態が好転するのであれば、それほど楽なことはない。理科の基礎・基本とは、本来、叩き込みたくても叩き込めるものではない。仮説や予想をもって、友達と議論をしながら考え、実験で検証し、納得していくという学びの過程が必要である。上述の調査結果は、こういった過程を保証せずに、できもしない叩き込みを続けてきた結果と言えなくもない。

習熟度別学習の有効性については、学校現場の教師の主観的印象ばかりが根拠となっている。習熟度（多くの学校では児童・生徒の自己申告であり、厳密に定義もされていないようだが）で分けることによって、結果として少人数学級が実現しており、また教師が授業準備や教授法の研究により多くの時間をかけるといった要因が重なり、あたかも習熟度別学習が有効に見えているだけと思われる。

小中学校での叩き込みのために、理科など嫌いだ、楽しくないという判断を下した子どもたちが、最低限の理

科教育で高校教育を切り抜けようと考えても不思議ではない。平成14年度高等学校教育課程実施状況調査で行われた生徒への質問紙調査では、物理の勉強で実験や観察をするのが好きと答えた生徒が7割いる一方で、物理の勉強が好きだと答えた者は約4割であった。また、スーパー・サイエンス・ハイスクールのような発展的学習を行うコースを設けても、小中学校で理科は嫌い、楽しくないという判断を下した子どもには無関係なことである。

小中学校での叩き込み理科授業は高校入試を突破するためにはそれなりに有効であったのだろうが、楽しくなく、生活と結びつくような意義も見出せない理科なら、高校入学後に諒を切りたいと思うのは当然である。少なくとも、理科が大学入試に関係ないのであれば、苦役のような授業に耐えようなどとは考えないだろう。

このように考えると、高校における理科教育では、まず自然科学を学ぶ楽しさを実感する一本來は小中学校での教育で済ませているはずなのだが、あまり期待できないので高校で頑張せざるを得ない一こと大事であるという、いさか月並みな結論に到達するのである。小中学校で少なくとも楽しさを経験していれば、物理、化学、生物、地学の領域にわかつて学ぶなかで、さらに一步踏み込んで生徒を諸学問領域へと誘うような、大学等の高等教育への本当の意味の準備教育が行える。しかしながら、現状は、学ぶ楽しさを高校で初体験しなければならないようなのである。

### 3. イニシエーションと“理科する”楽しさ

すべての高校生を一度は自然科学という学問の世界へと誘い、その経験をふまえて、彼らが自身の向き不向きを検討できるような教育が必要である。言い換れば、すべての高校生にとってのイニシエーションとしての物理教育である。

イニシエーションとしての物理教育は、すべての高校生が通過しなければならない科目であるが、その役割は、物理学からきれいに離れるかどうかを高校生に判断させることにある。物理学からきれいに離れるというのは、いったんは物理学の世界に誘われてみて、物理学とは何かはおおよそ理解できたと思うが、自分には向いていないし、私が進みたいのはこの方面ではないと判断するという意味である。世間で言うところの、「理科離れ」、「物理離れ」という後ろ向きな内容ではない<sup>2)</sup>。

このようなイニシエーションとしての物理教育を考えたとき、何をどのように教えるのかということが課題となる。当然、そこには物理学を本格的に学ぶアドバンス

ド・コースの教育は含まれない。これはイニシエーションとしての物理教育を通過して、物理学から離れなかつた者が履修すればよい。

イニシエーションとしての物理教育をこのように規定したとき、それを始めるにあたっては、先に述べたような事情から、本来なら小中学校で済ませておいてもらいたい楽しさの実感も可能となる教育であることが求められる。ここでいう楽しさの実感とは、諸学問領域へ誘うための“科学する”楽しさというよりは、遊びはじめ、遊び続けるための“科学する”楽しさ—“理科する”楽しさと言えるだろう—を納得することである。次節では、いわゆる“理科する”楽しさを実感するための教育として、実験バトルという活動を考える。

### 4. 実験バトルと高校での授業

筆者が参加している理科教師の研究会 Wisdom96 では、2年ほど前から実験バトルという取り組みを続けている。あるテーマが事前に提出され、参加者はそのテーマにそって、理科の実験・観察を考えるという活動である。たとえば、割り箸がテーマであるとする。参加者は、とにかく割り箸を利用した科学実験や観察を考えてくる。研究会当日は、参加者が悩んだ末に到達した成果を実演する。我々の研究会では、発表のオリジナリティは問わないことにして、既存の教材の紹介や改良であっても良いこととしている。実験バトルとは、もともとガリレオ工房（滝川洋二代表）で行われてきた活動であり、筆者が東京でその様子をみて Wisdom96 の研究会で紹介したところ、北海道でもやってみることになった<sup>3)</sup>。

イニシエーションとしての物理教育で、“理科する”楽しさを実感するために、この実験バトルを利用できるだろうか。以下では、予備的検討として、高校生を対象にして実験バトルを実施した結果について報告する。

筆者は、北海道江別市にある立命館慶祥高等学校（私立）で担当した土曜日開講の講座において実験バトルを実施した。講座は4回あり、高校が主催する土曜講座2回と文部科学省のサイエンス・パートナーシップ・プログラム事業による講座2回の合計4回からなる。筆者が講師となり、立命館慶祥高校教師の末岡繁さん、同校実験助手の笠沼由香さん、掘元ゆりかさん、泉彰子さんの協力を得て講義を実施した。受講生は立命館慶祥高校の1年生と2年生であった。本講座は単位とは無関係であり、いくつか開講されている講座の中から生徒が選択し、参加する形式になっている。

講座内容は以下のとおりである。

- ・第1回（2003年10月25日）Wisdom96で行っている実験バトルの活動を紹介する。ひとつの例として、透明にしたCDを使った分光器を紹介し、実際に生徒全員が工作する。最後に、実験バトルのテーマを提示し、第4回の講義で発表してもらうことにする。テーマは3つで、①CD、②フィルムケース、③割り箸と輪ゴム（どちらか一つでも良い）とした。
- ・第2回（11月8日）課題として提示した実験バトルのそれぞれのテーマについて、どのような例があるかを各テーマにつきひとつずつ紹介した。
- ・第3回（11月15日）シャボン玉を使った実験を生徒とともにを行い、表面張力、最小作用の原理などを説明する。本稿の内容とは関係ないので、詳細は省略する。
- ・第4回（11月22日）実験バトルの成果発表を実施する。生徒各自が発表する形式をとり、可能な実験は実演してもらう。

参加した高校生は21名（1年生8名、2年生13名）であった。実験バトルの課題は、上にあげた3つのテーマのどれかを選択し、これまでに学んできた理科教育のなかで使える実験教材を考えるというものであった。実験バトルの課題に取り組む過程でオリジナリティを追究してくれる期待は高いが、それが難しいときは図書室やwww上から探し出したものを報告しても良いことにした。ただし、その場合でも、自分で確認することと、何らかの工夫・改良ができるか検討することとした。

## 5. 高校生の反応

実験バトルのレポートを提出した生徒は14名であった。平日の授業とは関係なく学業成績に反映しない公開講座は、当日参加して、そこでの課業をこなせば終了する授業である。そこで実験バトルの課題を出すことは、よけいな宿題をつくることとなる。それにもかかわらず14名が提出してくれたのは、もともと科学への興味・関心があり、この講座を選択したという目的意識の高さからであろう。最終日には、実験バトルの報告はできなかった生徒も、級友の発表を熱心に聞いていた。

生徒の発表した実験バトルの中には、斬新なアイデアや学校現場すぐにでも使える新しい工夫といった、こちらを驚かせるような発表はなかった。しかし、自宅で材料をそろえて実験して確かめたり、いろいろな種類のCDを購入してラベルのはがれやすさを検討したり、各自がそれなりのこだわりで取り組んでいたように見受けられる。

彼らの提出した公開講座や実験バトルへの感想を読むと、実験バトルに取り組むことは彼らにとってそれまでに経験したことのない作業であったことがわかる。いくつか例をあげておこう。

- ・思いついたら、まず「やってみる」ということをこれから心がけていきたいと思います。
- ・自分で思いついたら、実験してみたいと思います。
- ・身近なものも、実験に役立つことがわかりました。理論だけではダメなことがよくわかりました。
- ・例え成功しても、優心せずにこうしたらどうだろう、ああしたらどうだろうと考えて来るべきだった（自宅で実験を行ったときには成功していたが、当日はなかなかうまくいかず、実験条件をいろいろと変更しながら実施した生徒である一筆者）。他の人たちの実験については、いろいろと学ぶことが多く、たとえ失敗したものであっても得るものは大きかった。

高校生の感想からうかがえるのは、彼らが自分で手を動かしてやってみることのたいせつさを実感したということである。図書室やwww上で調べた実験であっても、そこに書かれた指示から必要な器具や材料をそろえ、自分で確かめてみるという極々当たり前のことの重要性とそこにある楽しさを再確認しているといえる。

このような反応が得られる背景には、意識の高い生徒であっても、それまでの理科の授業の中では、実験装置の工夫や改良を行うという活動が乏しく、“理科する”楽しさを十分に経験していないことが考えられる。そういう観点から、実験バトルという活動が、イニシエーションとしての物理教育の中にどのように位置づけられるかを考察する。

## 6. イニシエーションとしての実験バトル

実験バトルのもつ効用としては次のようなことがあげられよう。

- ・これまでに学んだ知識と技能を活用できる場を与える。
  - ・創意工夫を実践する場であり、失敗にもたいせつな意味があることを実感する。
  - ・創意工夫のために既存のものを調べるのであって、情報を収集してまとめることが目的ではない。
  - ・授業での学びと研究という活動をつなぐ役割をもつ。
- 最後にあげた通常の学びと研究活動とをつなぐ役割が、イニシエーションとしての物理教育では重要となる。明らかなことではあるが、実験バトルは研究とはいえない。なぜなら、その課題が理科教育で活用できる実験を考え

てみることだからである。物理学上の問題があり、その問題を解決するための仮説をたてて、それを検証するための実験を行うという流れにはなっていない。しかし、“理科する”楽しさを実感するには適した活動であり、それ故に、イニシエーションとしての教育には適していると筆者は考えるのである。

すべての高校生が通過するイニシエーションとしての物理教育では、テーマを決めて行う研究活動—欲張りなカリキュラムであれば、その過程で新たな知識も学ばせるのだろう—にいきなり入るよりも、その前段階で、実験バトルのような工夫や改良の楽しさ、“理科する”楽しさを実感させておくべきだと考える。

前節で紹介した高校生の反応から、自分で実験を計画し、いろいろな工夫や改良を検討してみるという体験が彼らに乏しいことが推察される。その原因としては、たとえば次のようなことが考えられる。

小学校の理科の授業で見られる傾向として、安価な市販の理科セットやプラスチック製の実験キットが利用されている。こういった実験教材の中には質が悪く教育効果のないものがある。また、出来合いの部品を、プラモデルの設計図のような実験指示書をながめて組み立てるだけであって、そこに工夫・改良の余地はほとんどない。中学校になると、もっぱら教科書の指示どおりに実験を行うが、それ以外に実験条件をいろいろと変えて結果を確認することや、実験装置自体を改良してみるといったことは行われない。さらに、「ゆとり教育」全盛の頃、小学校の理科では、子どもたちに実験を発見させる研究活動もどきの授業が流行った。しかし、この種の授業は、実験の工夫や改良を実践するという意味では失敗であったと筆者は考えている。なぜなら、特定の問題——たとえば、沸騰している水から出てくる泡は水蒸気であるか否かを確認する——を解決するために決定的な実験を考案するというのは、子どもにとって荷が重すぎるからである。結局、あいまいな結果を与える実験でよくわからないまま終わったり、勘違いやつまらぬミスで思い通りにならない実験を考えたりで終わってしまう。問題を絞ってしまったことで、制約が強くなり過ぎ、子どもたちはそれまでに学んだ知識と日常経験を利用するだけでは対処できないのである。

こういった事情を考えると、実験バトルのような活動を行い、科学の実験というものに、それまでの理科の授業では知ることのできなかった側面があることを体験しておくことが必要であると思われる。これは、すべての高校生が通過すべきイニシエーションとしての物理教育で行われるべきことであろう。また、創造的な活動を行

うときに設けられる制約が弱すぎると何をやってもよいことになり、強すぎると何も思い浮かばないことになるのだが、実験バトルで高校生に課す制約は、理科の授業で活用できる実験を考案するというものである。これは、小中学校で自分たちが受けてきた理科の授業という経験を活かすことができる。ちょうど良い強さの制約であると思う。

## 7.まとめとして

本稿では、高等学校における物理教育をイニシエーションという視点から考察した。すべての高校生を物理学という学問へ誘い、物理学がどのようなものかを一度は経験し、その経験をもとに物理学から離れるか否かを判断するという意味でのイニシエーションである。このようなイニシエーションとしての教育を提供することは、高校がもつ役割のひとつであろう。そこには、“理科する”楽しさを実感できる実験バトルという活動を含めるべきであることを論じた。

実験バトルは、学校外でのインフォーマルな学びと学校教育を結ぶ役割も持っていると思う。近年、子どもたちが科学実験を体験するイベントが増えている。しかし、そこで体験を、はたしてどれだけの子どもが自宅や学校に持ち帰り、あれこれと工夫や改良をしているのだろうか。そういう子どもたちの数がそれほど多くはないとするなら、実験バトルという活動は学校外での貴重な体験を学校教育にフィードバックするきっかけになるだろう。なぜなら、学校で実験バトルの課題が出されたときに、学校外でのいろいろなイベントは、生徒にとって格好の情報収集場所だからである。

最後に、本稿で考察した実験バトルという活動は、イニシエーションとしての物理教育の中のほんの一端を成すにすぎない。すべての高校生が通過すべき知識・技能の学びは何かを、具体的に検討していくという重要な課題は残されている。

(付記) 本稿は、2003年12月13日開催の物理教育学会北海道支部主催の物理教育研究会における筆者の講演、および『物理教育』52(2004)56の拙稿をもとに加筆したものである。

- 1) 左巻健男編著「「理數力」崩壊」(日本実業出版社、2001) pp. 50-63
- 2) 大野栄三: ほっかいどうの理科教育 36(2001) 1
- 3) 大野栄三: 大学の物理教育 2003-3(2003) 65

# 金星の太陽面通過と天文単位の測定

Observation of the Transit of Venus over the Sun

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、山本 美枝

Hokkaido University of Education Sapporo Campus, Takashi Okazaki, Yoshie Yamamoto

地球上の異なる地点で金星の太陽面通過時間を測定することによって金星視差を測定し、ケプラーの第三法則を援用して太陽視差、地球-太陽間距離を求めることができる。ハレーの提案した方法の原理を解説し、その意味を考える。

**キーワード** 金星の日面経過、太陽視差、天文単位

## 1. 金星の太陽面通過

1882年以来の金星太陽面通過が今年2004年6月8日に起こり、日本においても観測することができる。この現象は、百数十年おきにしか起こらない珍しい現象であるがそれ以上に、ハレーが提案した太陽視差を測る方法として、科学の歴史の中で重要な役割を果たした現象である。我々が住む宇宙=太陽系の絶対スケールをこの観測によって得ようと、世界各国は国を挙げて観測隊派遣を競った。しかし今日その歴史は忘れかけられており、この現象の科学的解説もほとんど見ることができない。以下にこの現象の観測からどのようにして太陽視差が求められるかを解説し、人々が如何にして宇宙の大きさを知ろうとしたか、具体的な観測データーとともにその歴史を辿りたい。

## 2. 「視差」による距離測定

距離測定を行う方法のひとつに三角測量がある。距離の分かっている二地点から未知の地点の方向を測定し、三点で作られる三角形を特定することによって未知の地点までの距離を算出するものである。観測点Oから遠方の地点Pまでの距離Lは、図1に示すようにOから少し離れた地点O'で観測されるPの方向のずれ、即ち「視差」 $\theta$ を測ることによって求めることができる。

$$L = d/\tan \theta \approx d/\theta$$

地球から月や近隣の惑星までの距離を測定しようとするとき、地球上の離れた二地点からその天体の天球上の位置、例えば基準となる恒星（無限遠方）との位置関係の違い、すなわち視差 $\theta$ を測定すればこの天体までの距離

を導くことができる。視差 $\theta$ は図で示したようにPから二つの観測点を見込む角度である。

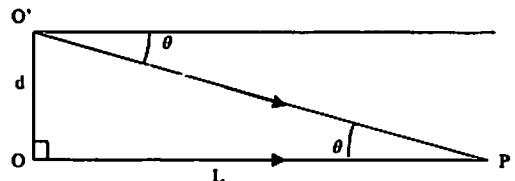


図1

地球上の二点間の距離には限りがあるので、地球の公転を利用して軌道直径に対する視差から恒星までの距離を求めるという方法もある。それにしても二観測点間の距離には限りがあり遠方の天体の視差はわずかであるから、問題は視差という小さな角度 $\theta$ をどの程度正確に測ることができるかということになる。月や火星までの距離がこのような方法で測られた歴史があり、火星の場合はケプラーの第三法則を援用すれば地球の公転軌道半径（天文単位）を導くことができる。

地球から見た近接惑星の視半径、地球の半径に対する視差は表1のようになる。天体の視半径△が視差 $\theta$ に対してどの程度の大きさ（ $\Delta/\theta$ ）であるかは、僅かな視差の測定精度を左右する（火星で0.53、金星で0.95）。火星は金星に比べて地球からの距離が約二倍であるため視差は半分であるが、本体の視半径が1/3と小さいため、視差測定の精度をかせぐことができる。

	金星	火星	太陽
赤道半径(R)km	6052	3397	696000
視半径( $\Delta=R/L$ ) $\times 10^{-4}$ rad	30.1 秒 1.46	8.9 秒 0.43	16 分 46.52
軌道長半径(r) 天文単位	0.723	1.523	
地球との最接近距離 ( $L=r-r_E$ ) 天文単位	0.277	0.523	
天球上視差 ( $\theta=R_E/L$ ) $\times 10^{-4}$ rad	31.7 秒 1.54	16.9 秒 0.82	8.8 秒 0.04
太陽面上視差 ( $\theta-\theta_S$ ) $\times 10^{-4}$ rad	22.9 秒 1.11		

表 1

### 3. 金星の太陽面通過時間の測定

金星の視差を直接観測によって求めるには次のような問題がある。太い鉛筆の芯先で細かい文字を書くのが難しいのと同様に、金星の場合、視差が金星本体とほぼ同程度であり視差の精密測定は火星の場合に比べて難しい。しかも、内惑星である金星は地球への最接近時（衝）に太陽と同方向にあるため、天球上の恒星を基準とした視差測定ができない。そこで、金星が太陽面を通過する時をねらって太陽面上で視差を求めることが考えられる。ところで、地球から有限距離にある太陽面上の金星視差 $\delta_M$ は、基準座標を与える太陽スクリーン自体が地球上の観測点の位置によって動く（太陽視差 $\theta_S$ ）ため、これを差し引いたものとなる ( $\delta_M = \theta_M - \theta_S$ )。この大きさは太陽視半径の約四十分の一、金星の視半径より小さく直接測定が難しいことが分かる。しかし、金星の太陽面通過時間には観測可能な違いが現れ、この測定を通じて太陽面上の金星視差を間接的に求めることができる。別の観測（公転周期の測定または金星の最大離角の観測）から得られている地球、金星の公転軌道半径比を用いて換算すれば太陽視差、地球の公転軌道半径（天文単位）が求められる。これがハレーの考えた地球-太陽間距離の測定方法である。以下、文献 1) にならって計算方法を解説する。

地球上の A,B 二地点で金星の太陽面通過時間  $T_A, T_B$  を測定することによって、太陽面上の二つの金星経路の間隔 D (角度、rad) が次のようにして得られる (図 2)。金星の太陽面通過角速度  $\omega$  (rad/h) から二つの経路の長さ (角度)  $\theta_A, \theta_B$  が求まり、太陽の視半径  $\Delta_S$  を斜辺とする直角三角形から D が算出できる。

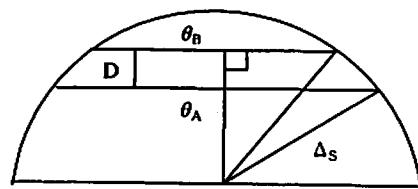


図 2

$$D = \sqrt{\Delta_S^2 - \left(\frac{\theta_A}{2}\right)^2} - \sqrt{\Delta_S^2 - \left(\frac{\theta_B}{2}\right)^2}$$

$\theta_A, \theta_B$  : 金星が太陽面を通過する経路の長さ (角度、rad)。

$$\theta_A = \omega T_A, \theta_B = \omega T_B$$

$\omega$  : 地球から見て、金星が太陽面上を動く角速度、

$$\omega = \frac{r_{VS}}{r_{VE}} (\omega_V - \omega_E)$$

$\omega_V, \omega_E$  : 金星、地球の公転角速度

$\Delta_S$  : 太陽の視半径 (rad)

地球上の観測点、金星、太陽の配置の幾何学的な関係 (図 3) から、観測点 A,B (距離 d) に対する太陽視差  $\beta$  は、上で求めた D と正弦定理により次の関係にある。

$$\frac{r_{VE}}{\sin \beta} = \frac{r_{VS}}{\sin D} \quad \beta, D \ll 1 \text{ として } \beta = \frac{r_{VE}}{r_{VS}} D$$

太陽視差  $\pi$  は地球半径 ( $R_E$ ) に対する視差であるから以下のように換算される。

$$\pi = \frac{R_E}{d} \beta = \frac{r_{VE}}{r_{VS}} \frac{R_E}{d} D$$

地球-金星、金星-太陽間距離の比  $r_{VE}/r_{VS}=0.38$  は、金星、地球の公転周期からケプラーの第三法則、あるいは、金星の最大離角  $\phi=47^\circ$  の測定から求めることができる。

$$\frac{r_{VE}}{r_{VS}} = \frac{r_{ES}}{r_{VS}} - 1, \quad \frac{r_{ES}}{r_{VS}} = \left( \frac{T_E}{T_V} \right)^{2/3}, \quad \frac{r_{ES}}{r_{VS}} = \sin \phi,$$

$$r_{VE}/r_{VS}=0.38 \quad \omega=240''/h$$

図 3 に現れる D は図 2 の D とは一般に異なっている。観

測点を結ぶ直線 AB に対応する太陽面上の A'B' は金星の経路に一般に垂直ではないが、文献 1) ではこの点が考慮されていない。しかし金星の太陽面通過は 6 時間程度 (1/4 日) を要するため、金星の視差を導く実際の観測で南北に離れた経度差の大きくなない観測点が選ばれるとき、この相違は無視しうるものとなる。

#### 4. 1769 年の観測データー

1761 年、1769 年に世界中で大規模な観測が行われており文献 3) にそれらが掲載されているが、そのうちの一例は次のようなものである。

1769 年の観測データー(Greenwich mean time)

	第二接触	第四接触	通過時間
Jakutsk N62.0° E129.7°	7h32m30s	13h37m45s	6h05m15s
Tahiti S17.5° W149.5°	7h38m55s	13h27m57s	5h49m02s

金星の内外接（第一接触から第二接触）の時間差はおよそ 17 分ほどであり、接触時刻の測定精度は眼視観測で数秒、ブラックドロップ現象があると 30 秒程度になるといわれる。この観測データーから  $D=36.17''$ （金星の視半径よりやや大きい）が得られ、二観測点の距離  $d=1.54R_E$  から太陽視差は約  $9''$  と算出される。現在知られている視差 ( $8.79''$ ) をほぼ再現する観測データーである。

#### 5. 横浜でのメキシコ隊の観測

130 年前、明治 7 年、米、仏、メキシコ隊が日本において金星太陽面通過の観測を試みた。本国出発時には観

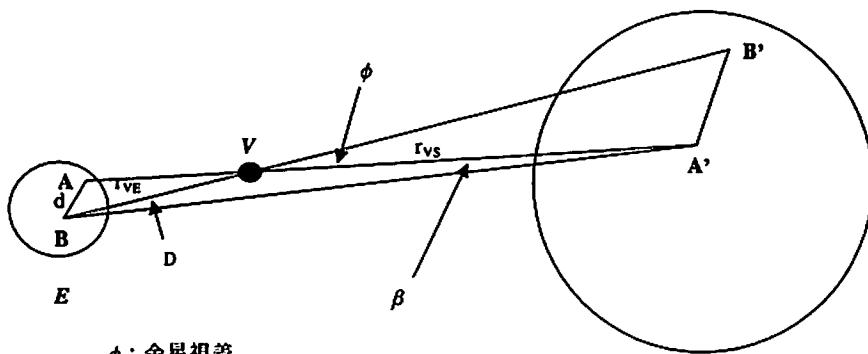
測地も決まっておらず、日本と国交もないメキシコ隊が横浜において天候に恵まれて観測に成功した経緯が文献 2) に詳しく紹介されている。明治維新後間もない新生日本がこれらの観測を通じて諸外国の高度な科学水準に直接触れたことは、その後の日本の科学の発展に大きな役割を果たしたと思われる。著者の一人（山本）は、これらの記録を求めて横浜の観測地を訪ねたが、フェリス女学院の構内にある観測地点を示す碑は、その存在も忘れられかけている状態であった。我々の住む世界の広さを知ろうと、世界中の科学者たちが情熱をかけ、先進国が国を挙げて取り組んだこの現象の観測、維新直後の日本もその一端に関わった史実は理科教育のなかで取り上げる価値のあるテーマのひとつであろう。

#### 引用文献

- 1) 天文の計算教室 齊田博 地人書館
- 2) 金星日面通過について（前編、後編）齊藤国治、篠沢志津代 東京天文台報 第 16 卷 第一冊
- 3) Discussion of observations of the transits of venus in 1761 and 1769, Simon Newcomb

#### 参考文献

- 金星、火星、木星 鬼塚史朗 物理教育 第 46 卷第 6 号 1998 年 335、  
 ハリーとニュートン 鬼塚史朗 物理教育 第 45 卷第 1 号 1997 年 36  
 キャプテン・クック 増田義郎 原書房  
 十番目の惑星 古在由秀 講談社ブルーバックス  
 望遠鏡 広瀬秀雄 中央公論自然選書



$\phi$ : 金星視差  
 $\beta$ : 太陽視差  
 $D$ : 太陽面上の金星視差  
 $D=\phi-\beta$

図 3

## 日本物理教育学会北海道支部規約

第1条 本支部は、日本物理教育学会北海道支部と称する。

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

第3条 本支部は、前条の目的を達成するため次の事業を行なう。

(1) 講演会、講習会、学術映画会、研究会懇談会等の開催

(2) 会報の配布、研究成果の刊行

(3) 物理教育についての調査及び研究

(4) その他、前条の目的達成に必要な事業

第4条 本支部は、事務所を当分の間、札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学部内におく。

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 普通原稿投稿規定 表題16ポイント (p t) のゴシック文字 (副題は12 p t ゴシック：両端をカッコでかこむ)

所属は9 pt 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

**抄録** 本文の6行目に相当する位置から書き始めます。  
200字以内、日本語文字は9 pt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。  
**キーワード** 9 pt 5語程度

### 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 投稿原稿について

(1) ワープロ原稿はA4の用紙に下記の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。

(2) できるだけMS/DOSデバイスに付属ファイルで保存し内容をラベルに明記して下さい。上記以外のワープロ機種の場合も機種名やディスクフロッピーディスクの種類を明記してラベルに貼って下さい。

(3) 最初の1枚目は上から3行目まで、題名および  
(副題) 所属機関及び著者名を書き本文は6行目から書いて下さい。

(4) 引用文献は右肩に<sup>1) 2)</sup>を文章中に記し、一括して末尾に著者文献ページ等を示して下さい。

<例>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

参考文献は掲載する必要はありません。

(5) 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。

(6) 図表写真については原寸大で写真製版します。

写真是コントラストの良いものを準備して下さい。

(7) 図・表・写真的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。

(右図はり-7)原稿の例)

### 2 原稿用紙での投稿の場合

原稿用紙(横書き2段1344字跡)6枚程度とし、6枚は約6ページに相当します。

### 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審査員を立てて内容を査読し審査します。

(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北海道支部にお願いします。

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

**原稿募集** 上記規定により支部会報「物理教育33号」の原稿を募集いたします。

(1) 締切 2005年6月末日

(2) 投稿受付

〒061-2292 札幌市南区藤野5条10丁目478番地1

北海道札幌南陵高等学校 菅原陽

TEL 011-591-2102 FAX 011-591-2101

Eメール sizukayo@gol.com

〒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 fwgf9371@mb.infoweb.ne.jp

尚、原稿を書きやすくする執筆要項を送付しますので、使用するワープロ名をお知らせ下さい。こちらで用意しているものは「Word」「一太郎」「Tex」ファイルです。

### 編集後記

今年から編集に携わる事になりました。分からぬ事が多く、いろいろな方にご迷惑をかけ、またご協力いただき、やっとここまでたどり着きました。ありがとうございました。さて、新教育課程の物理Ⅰが本格的に実施されています。私は、「やっぱり力学から」と思うのですが、皆さんどの様な感想をお持ちでしょうか。

### 表紙写真説明

本会報「模型スターリングエンジンによる物造り教育」から

平成16年7月31日発行

日本物理教育学会北海道支部

第32号 編集責任者 菅原陽

(060) 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学大学院物理工学研究課

機械科学専攻 流体物理工学講座

日本物理教育学会北海道支部

電話・及びFAX (011) 706-6723

## 目

## 次

卷頭言	北海道大学大学院理学研究科	小野寺 彰	1		
1 科学の祭典	青少年のための科学の祭典の、これまでと、これから				
	北海道科学の祭典 実行委員会 委員長	加藤 誠也	2		
	北海道科学の祭典 趣意書（2004年）	北海道科学の祭典実行委員会（北方圏理科教育振興協会）	3		
2 北海道物理教育学会 総会より	「新しい高等学校物理教科書について～現場の教師はその変化にどのように対応するのか～」				
	(基調報告) 北海道札幌平岸高等学校 横関 直幸				
	(記録) 北海道札幌啓成高等学校 佐藤 健		4		
3 実践報告	音波の指導で気になっていること	北海道札幌啓成高等学校	石川 昌司	1 2	
	鉛筆2本の刈りかから鉛筆1本へ(物理IAにおける回折の指導)	札幌新陽高等学校	佐々木 基	1 5	
	コンテスト形式の授業	北海道南茅部高等学校	堀 輝一郎	1 7	
	虹を主題とした「光の分散」教材	北海道蘭越高等学校	田端 修	1 9	
	配線用カバーを用いた物理実験(一つの教材から可能な実験を探る)	北海道札幌厚別高等学校	松田 素寛	2 1	
	しゃぼん玉を使った干渉の実験	北海道札幌手稲高等学校	中道 洋友	2 3	
4 話題	音の正体と「聞く事」と「聴く事」の違い	補聴器愛用会 副会長	奥平 知明	2 6	
	日本科学未来館を見学して	北海道札幌開成高等学校	山田 大隆	3 0	
5 事業報告				3 2	
6 研究論文集(中表紙)					
	模型スターリングエンジンによる物造り教育	山岸 秀明	田中 孝二郎	麓 耕二	3 5
	釧路工業高等専門学校 機械工学科				
	3体衝突				3 8
	細い紐と連結した太い紐が切れる実験				4 2
	室蘭工業大学における理科教育への取り組み	室蘭工業大学電気電子工学科	酒井 彰		4 5
	イニシエーションとしての高校物理教育 ---実験バトルによる教育内容の予備的検討---	北海道大学大学院教育学研究科	大野 栄三		4 8
	金星の太陽面通過と天文単位の測定	北海道教育大学札幌校	岡崎 隆	山本 美枝	5 2
7 日本物理教育学会北海道支部規約、A4普通原稿投稿規定、編集後記					5 5