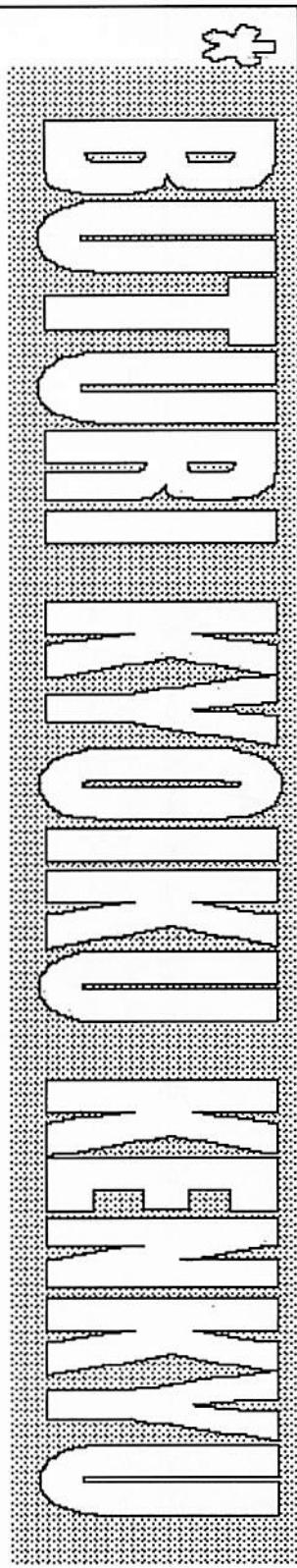
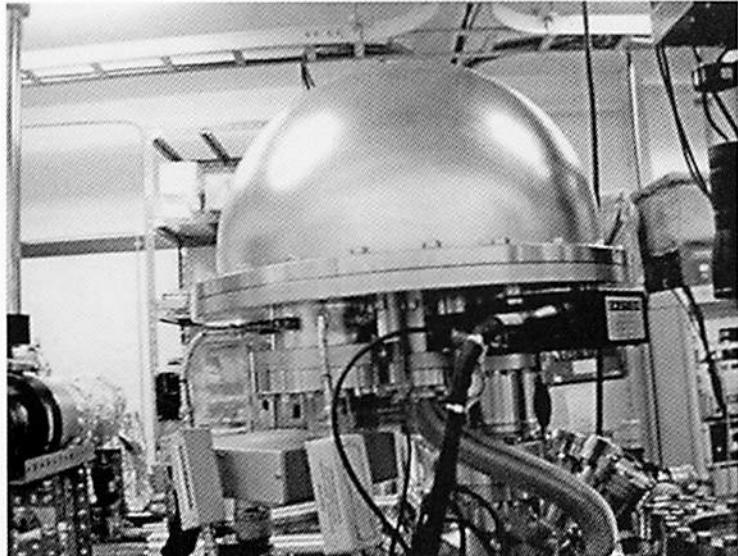


物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol. 31, 2003. 7

卷頭言

斎藤 孝

去年、小柴、田中先生の、ノーベル賞受賞があった、お二人とも、子供の時の実験が大切、と言っておられる、特に、小柴先生は「子供の時に教えてくれる物理の先生が、本当に物理が面白い、と思っていなければ、子供は物理を好きにはなれませんよ。」と言っていた。北海道の科学の祭典は10年前に、企業の方から「先生が本当に、先生自らが、これは面白くて楽しいという実験をするのであれば、私たちは応援しますよ」といわれ、北海道の科学の祭典は始まりました。

子供たちに、物理の理解を求めるよりも、物理の面白さを、伝えるほうが、大切のように思う。人間は感情を持ち、意欲を持っている、それらなくして、ただ物理を理解させようとしても無理なのではないか。

科学の祭典を、応援してくれる企業の方が、言われるように、本当に面白い、ということは、正しいことなのに違いない。なぜなら、人類の歴史は、人々が楽しいと思う方向に進んできているからである。例えば電気や、エンジン、または通信など、みんな生活を、楽しめる方向に、進んできている。つまり楽しいことは正しいのである。

しかし、楽しいという言葉は、楽という字と同じである。楽は果たして、正しいのだろうか。現代社会で、家庭内の電気器具は、非常に進歩し、家事労働は極めて楽になった。その楽になった分だけ、日本の女性は元気になった、彼女らは次から次へと、社会進出をしてくる、ならいものをはじめ、すべてのものに活発である、やはり、楽も正しい方向なのである。

年をとると、楽しいことを進めて行くのが、一番健康的である。人生のたそがれ時になって思うことは、この世は生きてるもの的世界だから、生きている人たちが、楽しいと思うことが、正しい事なのであると考える。つまり楽しいことのために人々は努力をするだろうし、健康な生活のために、人々は病を克服するだろう。苦しみは楽しいことを実現するために存在する。よい社会というのは、人々が楽しく健康に生きる社会なのである。

つまり、物理教育もその範疇(楽しいことは正しい)の中のひとつであると思うのである。北海道の科学の祭典は、物理教育学会北海道支部が、その規約の上に立って、北海道科学の祭典実行委員会の規約を作り、歴代の支部長(中島春雄、奈良英夫、吉田静男の各氏)がその中心となりご指導してくださった。学会の事業としては社会の中に出かけていくという異例の事業であった。最初は資金もなく極めて不安な事業であった。市民の科学という考えを基本において、物理離れの対策として、始まったのである。この趣旨を多くの人々に理解していただきて、ご支援をいただくという状態であった。資金がないので当然、奉仕活動のような一面も持っていた。ところがこの北海道の科学の祭典は、10年間も続いたのである。このことは、この事業の趣旨に間違いはなく、この事業の展開が健全な社会の中で楽しく面白いものとして受け入れられたことにあったと思う。

この不況下の北海道の中で、毎年20000名を超える人々が来られ、子供たちを中心に多くの人々に楽しんでいただいている。このことは物理教育学会北海道支部の、初期の目的に一歩近づいたといえる。

理科教育の課題と展望

～総合的な学習としての観察・実験の在り方～

日本理化学協会副会長

北方圏理科教育振興協会理事

前北海道高等学校理科研究会会長 一口 芳 勝

今、我々を取り巻く社会の状況は、国際化、高度情報化が急速に進展する一方で、地球規模での資源、エネルギー、環境などにかかる難しい問題が発生し、それ等を解決していくために、進取の精神に富んだ新しい人材の育成が緊要な課題になってきた。このような時代の背景にあって、学校教育においては、知の喜び、学びの楽しさを感じできるよう、新しい学力の育成が叫ばれ、「総合的な学習の時間」等における様々な実践が行われている。

以下に、「総合的な学習」との関係に言及しながら、理科の観察・実験の果たす役割について述べる。

今年の夏、日本理化学協会及び北海道高等学校理科研究会主催の全国理科教育研究大会が札幌市のコンベンションセンターで開かれる。

しかし、このところ、大会の参加数は減少し、果たして北海道にどれほど人が集まるのか心配である。いわゆる「理科離れ」が語られて久しいが、このことも一因となっているのだろうかと要らぬ推測をしている。

さて、ひと頃に比べて、この種の研究会が衰退している背景には、様々な要因が考えられるが、その一つに、高度情報化の進展があるようにも思われる。インターネットで簡単に多量の情報が即座に手に入る状況になったので、日数と経費をかけてまで参加するに及ばないと考えるのも無理からぬことだ。

しかし、それでは、人と人が対面して、臨場感をもって、総合的な情報を交流する場面がなくなってしまう。それは、実に寂しいことだ。

更に、昨今、どの研究会も、確かに、発表の手段として、マルチメディアを屈指し、情報量は膨大で、説得力があり、優れている。にもかかわらず、受け手としては内容を味わう余裕がなく、過剰なまでの情報に埋もれ、発表者の福音の意図とはかけ離れた、瑣末的な事柄だけが印象に残るといった、皮肉なことが生まれている。

それは、発表者と参加者の間に適度な相互作用が成り立っていないことによる。つまり、情報の受容と供給において極めてアンバランスな関係があるからだろう。

確かに、最近の情報技術の進展は目覚ましく、それが生活の利便性にとって大変結構なことだとしても、その利用の仕方について素直に納得できない一面もある。

丁度、どんなに正確な時計を持つとも、精度に見合ったリズムで生活していないのなら、宝の持ち腐れであるように、情報についても全く同じことが言える。

今は10年前に比べ、その情報量と即時性において隔世の感があるが、価値ある情報を創造すると言う点について言えば、昔とそれほど違はない。授業一つ取り上げても、コンピュータの機能が特段と向上しているのにもかかわらず、それらを活用して授業を工夫・改善している事例は少ないよう思う。

今一度、理科教育の変遷を顧みて、社会の変化に対応して、何を成すべきかを考えて見る必要がある。

これまで、学校の理科教育はその時々に指導理念や指導方法などの点で大きな変化を遂げてきた。承認のように、戦後まもなくの頃は、デューイの唱える「経験的実用主義」の影響により、いわゆる「生活単元学習」が優先してきた。その後の社会経済の発展とともに、教科の系統性に力点が置かれるようになり、教育の現代化とも相俟って、科学の方法の習得を目指す理科教育が重視されるようになった。

このように、理科教育は『興味・関心』と『系統性』との間で、行きつ戻りつしながら進められてきたが、これからは、高度情報技術を屈指した新たな指導方法が開発されていくことを願っている。

ところで、IEAの国際比較調査によると、わが国の児童・生徒の数学・理科の基礎・基本的な学力はきちんと着いていると言う。また、OECDによる生徒の学習到達度調査でも、読解力の分野でいくつかの課題が浮かび上がっているものの『知識・技能を応用する力』について、国際的に高いレベルにあると評価された。

しかし、実態は必ずしも楽観できるような状況ではない。大学生の学力低下、児童・生徒の理科ばなれ、読書ばなれ、成人の科学的素养の欠如、独創性の希薄な日本人など、憂えるべき問題が顕在化している。

そんな折、学校で、『総合的な学習の時間』が設定さ

れ、こども等に主体的に学ばせるための様々な教育活動が行われるようになったことは、上記のことと無縁ではないだろう。

また、国立教育政策研究所の調査によると、教科にとらわれない『総合的な学習』を導入することが、世界的な潮流となってきたと報じている。例えば、英國の場合ナショナルカリキュラムの中に「経済理解教育」「キャリア教育」「健康新聞」「市民性教育」「環境教育」の五つのクロスカリキュラムを提案しているという。

更に、ドイツの基礎学校においては、日本の生活科に似た「事実教授」と、総合的学習に当る「教科横断的授業」が導入されている。

いずれにせよ、現実の社会の問題は教科別のような姿で現れるわけではないから、知識を活用する能力を引き出すための『総合的な学習』は尊重されねばならない。

なかんずく、理科における観察・実験は、その手法において、『総合的な学習』の趣旨と重なる要素を持っているように思う。にもかかわらず、多くは、言葉よりも直接体験に訴えさせるほうがよく理解されるという程度にしか考えていないように思われる。ただ、実験さえすればこと足りり、というのではいかにも心細い。問題意識のないまま観察・実験しても必ずしも知識の理解に結び付かないのは自明の理である。その有用性を發揮するためにには、観察・実験の果たす役割について深く考えてみる必要があるだろう。

その一つが、自然事象の不思議さに触れさせることである。それは必ずやこども達に興味・関心を芽吹かせるのに役立つ。授業では、各単元ごとに、概念の理解を助ける上から検証実験が用意されている。

また、原理や法則を身近な事象に適用したり、生活に役立つ物を製作する活動は、理解をより強固なものにするのに効果的である。

更に、問題を解決するために行う観察・実験は、探究心を育てる。まさに課題研究はこどもの創造力を育むのに打ってつけの方法であるまい。

しかし、今、理科の授業時数の減少やいろいろな理由から観察・実験は十分に行われていない。

もちろん、教師は、理科の学習が単に試験問題を解くことではないと百も承知しているのであるが、教育システムとしてうまく機能していないのである。

それでも、ともかく理科の授業に観察・実験を積極的に取り入れて欲しいと願う一人である。できれば、概念の理解、基本的な操作技能の習得、科学的な思考の習熟自然に対する興味・関心の高揚など、これらの項目を別々に切り離して展開するのではなく、総合的に、相互にパ

ランスよく取り扱うよう配慮すべきである。

指導に当っては、あくまでも、こども達の発達段階や認識の順序性を踏まえねばならないし、事象に隠された自然の仕組みをじっくり考えさせるなど、適切な観察・実験の方法を提示するのが理科教師に課せられた仕事であろう。その意味から科学史を参考にして、こどもの思考のレベルに配慮した指導案を作成することは賢明な方法と言える。

実は、もう一つの効用は、人間形成にとって、おおいに役立つということである。科学・技術者を育てることが理科教育でもあるまい。どの分野に進もうが、科学的な思考や自然への畏敬の念を持つことは、人間としての教養でなかろうか。

かつて、職場にいたALTと談話する機会があったが文化系の専攻であるにもかかわらず、物質とエネルギーの等価性をきちんと理解していたことに驚いた。大方の日本人が物理は難しいものと敬遠しているのに、彼女の科学についての素養は豊かである。その国では、中学校や高等学校のころに、教養として自然科学を広く学ばせていることに注目したい。

これからは、とりわけ、教師を目指す学生には、新しい理念に基づく指導技術を習得させるとともに、高校理科のすべての科目を履修させ、自然についての素養をつけることが大切であるように思う。

最後に、今の時代のキーワードは環境問題である。これらの問題を解決するためには「グローバルに考え、地域で行動する」といった総合的な視座と主体的な態度が欠かせない。

そのため、環境教育が価値観や行動までを律するので客観的な思考を重んずる理科にはなじまないという人もいるが、例えば、自然環境の生態系のバランスやエネルギー・物質の循環を考えるには、科学の原理や法則に裏付けられなければならないから、理科こそ環境教育の推進に深くかかわることができる。

特に、物理は、エネルギーの問題で積極的に関与していくことができるし、なによりも、自然を客観的に、体系的に把握するときに貢献できるように思う。

ともあれ、次代を担う青少年が新しい問題に主体的に対応できる能力や態度を身に付けるよう育成していくことがこれからの理科教育に求められているようだ。

そのためには、地道に努力した中から知の喜び、学びの楽しさを得得できるよう、児童・生徒の発達段階に応じて多様な体験学習の機会を設定していくことが、遠い道程のようで近道のように思えてならない。

パネルディスカッション

「高等学校学習指導要領と物理教育～新教育課程の実施を目前にして～」

北海道札幌開成高等学校

山田 大陸

北海道札幌啓成高等学校 石川 昌司

北海道大学大学院教育学研究科

大野 栄三

北海道教育大学旭川校 山形 積治

司会 北海道札幌平岸高等学校

横関 直幸

(記録 横関 直幸 録音 山崎 大輔)

平成15年度より高等学校では新しい学習指導要領により教科書の内容も大きく様変わりした。多くの学校では物理Ⅰは2学年、物理Ⅱは3学年において履修することになるようだが、実際に教科書を選び授業が始まる前に、新しい学習指導要領の内容とその問題点を明確にし、単に批判をするだけではなく、今までの物理教育が積み重ねてきた課題を再認識し新しい物理教育を模索することを目的に本シンポジウムは開催された。

今回の学習指導要領の最大の特徴と言えるのは、今まで中学校において学習していた内容の多くが高等学校に移行されたことである。中でも「生活と電気」が物理Ⅰの冒頭に位置付けられたことは、現場の教員に大きな波紋を広げている。(横関 記)



パネルディスカッション 平成14年12月14日(土)

(横関) 北海道支部としては久しぶりでしょうか、パネルディスカッションを開催させていただきます。私司会の札幌平岸高校の横関です、よろしくお願ひします。今回時間がなくパネリストの先生方との事前の打合せはあまりできておりませんが、パネリストの方々からご提言をいただき、今日参加したみなさんと意見交換をして、明日からまた頑張ろうという趣旨で開催したいと思っています。

テーマについてはプログラムには簡単にしか書いていま



せんが、高等学校では来年(平成15年度)から新学習指導要領ということで、新しい理科総合Aであるとか物理Ⅰ・Ⅱという新しい科

目がでてきました。それに絡めて、我々はこれからどんなことをしなければならないのかということにつきまして、4名のパネリストの先生をお招きしまして、お話をいただ

いてみなさんと討論したいと思っています。

まず始めに、本来であれば長めの提言をいただくところですが、4名という大人数ということもありますので、はじめの提言は5分ということでお願いしております。5分の持ち時間で今日の立場といいますか、提言していただく内容をまとめていただいて、4名で討論していく。さらに皆さんからご意見があればいただくことですめでたいと思います。

それではまずははじめに、札幌開成高校の山田先生、よろしくお願ひ致します。



(山田) 私の資料は、最近の物理教科書の問題と構成主義批判の3枚ものです。

これは、物理教育研究の最新号、北海道

支部特集に掲載する予定で間に合わなかった幻の原稿です。その中に今日の言いたい事が入っています。それがダイジェスト版は白いほうのB5版の資料です。これは前回の6月の支部総会の時のもので、それからもう一つはですね、来年度さる年度われわれの学校でどうやるかというそれを、これはベネッセの質問に答えて送ったやつなんんですけども、履修年限ということが書いています。これみてピックリされる方もいるのですが、本州の方はニヤニヤと見る良くあるパターンです。このあたりの議論を是非お願ひしたいと思います。

時間がありませんので何を言いたいのかを单刀直入に申し上げますと、一つは「物理離れ」が止まるところなく続いている、それの中身はもちろん興味関心が低下してきているという事もあるのですが、物理を取った生徒の理解度がさらに悪くなつてそれが後輩へ拡大遺伝されて、「物理なんて難しいからとるな」というような流れができているのではないか。したがいまして、それのもとになっているのは、わからない物理というのはどこに問題があるのだろうか、それが僕は教科書問題だと思っているんです。それは、石川先生は反論と来ると思いますが、今度の新しい教科書の構成をみると驚くべき事に電磁気学から始まるということにあります。私は現在の物理ⅠBの教科書でも、動力学から始まるということにかなり抵抗があります。昔の5単位物理の時代は静力学から順をおつて、特に物理は系統性の高い教科ですからそれを教えることが最短距離で、よく分かる物理、難しいかもしれないがきちんと教えることで、「固いするめを食べていくと最後はおいしくなる」ということになるのではないか。

やはり今の教育学というのは、構造主義的傾向というのでしょうか、一見興味関心をかきたてるようなもので構成していく、その理論的な詰めというのはほとんど考えていないというのが現状です。それは本当の意味で物理をわからせることには最終的にはならんだろう。それで最近、温故知新、私が勉強した頃の「原島の物理」、受験で使いました「前田の物理」とかですね、こういう古い本を引っ張り出して、これをいろいろ検討するとやはり名著ではないかなという気持ちが益々してきたわけです。

特に大学に入りましたから使いました朝永さんの量子力学なんかは本当に名著の薫りが高い。そういう意味では物理の名著というものを、もう一度再発掘といいますか、なんだったのかという歴史的評価をする必要があるのではないかと思います。

こういうものの背景を考えてみると、理科というものは難しければやらなくても良い、先ほど鶴岡先生のお話で、先進国ドイツでも物理離れが半分近くになっている、先進国共通の物理文化自体を評価しない、軽視していくような傾向、それは構成主義という流れに端的に現われているように思うんです。そういう社会背景も含めまして、総合的に見直していく必要であれば批判をしていく、それが技術立国日本にとりましては一番いいことではないのかな、最近ますますそのような気がしてきた。

(横関) 山田先生、一応これで5分ですのでその先ありましたら後ほどお願ひします。石川先生、続けてお願ひ致します。



(石川) 札幌啓成高校の石川昌司です。私が用意した資料は新課程物理Ⅰはなぜ電気分野からはじまるのかということなんですが、まず、この資料の話の前に、私の今日の立場を一言いっておこうと思うんです。

物理離れ・理科嫌いというような言い方をここ10年ずっとされているわけなんですが、この2つは同じ文脈の中で語られることが多いのですが、私は違うと思っています。つまり、「物理離れ」といったときと「理科嫌い」とは同列ではない。つまり、履修率が今北海道で言えば物理ⅠBが25%程度からどんどん目減りしています。20%程度まで落ちてきました。これは確かに物理離れと言つていいと思います。ところが物理嫌いというのはここ10年の現象ではない。20年前30年前、あるいはひょっとするとそれ以前から物理嫌いは進行していたと思います。それは、事実上ほぼ必修であった時代ですね、高校でいえば物理Ⅰ・物理Ⅱというような時代、履修率は90%を誇っていたわけですね、あの時代に物理嫌いはすでに大量生産されていたわけです。そこを見ずして、カリキュラムだけをいじって、例えば物理を必修にもどそうとか、以前のカリキュラムがよかつたなど言っても、結局は意味がないと私は思っています。なので、私の主張は以前にもどすのではなく、楽しめる物理というか、どこまでなら市民の教養として要求できるのかということを本気で追求してカリキュラム開発しなければならないのではないかという立場です。

ちょっと前置きが長くなりましたが、資料の方に入ります。まず、教科書をみると、先ほどの山田先生のおっしゃった通り電気から入ります。電気の扱われ方なんですが、三省堂という出版社の教科書見本を見ますと3つの章に分かれていますが、第1章については電力関係、それからオームの法則関係がならんでいます。公式も高校物理の定番の公式です。第2章モーターと発電機についてはですね、なんと驚くなれ、定量的なことは一切扱われていません。定性的に磁界の向きと電流の向きがあ

ったときに力がどっちにはたらくか、その結果モーターが回り、回りつづけるには整流子のはたらきが必要なんだ、ということが説明されているということです。第3章に入りますと交流が出てきますが、交流はきわめて限定的に扱われていて、単に変圧器の原理がやや使われている、即ち、エネルギーが輸送されていくときの保存則といいますか、その辺を匂わせているに過ぎない。残り半分で電波の話にきますが、電波についてもいきなりMHz, GHzの話から入るということで、いわゆる伝統的な光学の最後に電磁波を持ってくるような波長から入る電波の指導ではありません。

こういう今までのイメージからすればかなり違和感がある内容なわけですが、それについて仮想的に物理教員AとBの意見を書いてみました。物理教員Aですが、まずいきなり電気というのはやれるわけがない。具体的に例えば電圧を勉強するときにですね、位置エネルギーや仕事の概念を教わらずに電圧の概念が分かるわけがない。電圧計で計ったものが電圧だなどというのは操作主義の悪い見本でしかない、という意見ですとか、モーター発電機の章では、一切計算がない。計算がないということは一切教える内容がないということで、定期試験の問題をつくるのに困るじゃないかというような意見。交流といっても先ほど言ったように限定的な扱いですから、こんな中途半端ではいけない、やったことにならない。電波についても波長から入らないというのはいかがなものかというような意見がここで聞こえています。

これに対して高校教員Bという仮想的な人間ですが、そうは言っても例えばエネルギーの指導が今までの物理の中で本当に効果的だったのか。エネルギーは保存すると物理教師は言うのだけれど、一般市民の感覚としてエネルギーは消費するもので保存するものではないんですね。そこを前提とせずに、エネルギーっていうのは保存するんだとか、ダムに蓄えられた水がエネルギーなんだなんということを物理教員が言っている間は説得力をもち得ないと思います。むしろ、電流がエネルギーを運んてきて、それを電熱器やモーターで消費するんだという方が彼らにとっては説得力をもつのではないか。そういうことをやはり物理教師は一度謙虚に考え直してですね、カリキュラムを立て直したほうがよいのではないか。ちょっと私の意見が入っちゃってますけど、これは物理教員Bの意見です、あくまでも・・・たとえば公式がでないとそしてですね、動作原理

が定性的に説明できる、半回転ごとに電流の向きを制御する事によって、電磁力で恒常的な同じ向きへのトルクを続けることができるということを説明できる学力というのが重要ではないかと僕は、いや物理教員Bとしては思うわけです。

電波にしてもしかりなんですが、むしろ電波あたりはですね、いきなり光量子の仮説あたりから入るような大胆な指導があつてもいいのではないか。一番最後に $E = h\nu$ なんてやってますけど、むしろあれば最初にドンとやったほうがおもしろいと僕なんかは思っていたりするんですけども。

(横岡) ありがとうございました。それではつづいて大野先生お願いします。



(大野) 北大教育学部の大野です。

このシンポジウムを引き受けたから新しい物理Iの教科書を見ていたのですが、今出てきた教育課程についての私の感想を言って、次どうするかということをお話します。

まず、最初の電気の部分なんですが、斬新な、戦後最初の学習指導要領が電気からはじまっています。試案なんですが同じように電気から始まっているのですが、当時のやつは詳しくは見ていませんが静電気から始まって、生活単元学習、問題解決学習というやり方で、いろいろと問題はあったんでしょうけど、それなりに電気を教えようという位置づけだった。今回のものも一応がんばってやっているんですが、やはり中学校から高校へ移行した分野がここに入っているのではないかという印象をもってます。ですから、心太みたいに「ぎゅう」と押されて出てきたのが、取りあえず最初に入れとこうと。エネルギーなんか斬新に教えられるのじゃないかという石川先生の教員Bの意見を読んで、どうかなあと思ったんですが、教科書自体はそのような形にはなっていませんで、エネルギーという言葉自体はここでは全然出てこないので、ここでエネルギーをもしやったとしたらそれはその先生独自のやり方だということになります。

そう考へると電気というのは「あってないようなもの」で、とりあえずくっつけたという感じです。実質この物理

I のカリキュラムは波動から始まる形になっています。この波動から始まるということですが、中学校の今の新しい理科指導要領は最初に光と音から始まるんです。ただ中学校で光というと完全に幾何光学の内容で、音っていうのは波長の概念までは出てこないで、ものが振動するとまわりにある空気が震えて音が伝わる・・・。振動数というのは音を出す物体(発音体)の振動の仕方と音の聞こえ方の関係を勉強するといった内容になっているのですが、そういうのから始まるんです。

それと似ているような感じなんですが、中学校の方は波動じゃないので、むしろそれの一歩手前という感じで、高校はいきなり波動から入っている。結局、力学のない波動なんですね。読んでいると力学のない波動なんで、従来やっていた固有振動の考え方か、弦の張力と密度を使って復元力の大きさと密度、慣性の関係から音の速さの伝わり方とかものの固有振動とか教えていた部分がなくなっていて、境界条件から波長が決められるとそういう波長で振動するという形の指導になっていて、力学がすっぽり抜けている。そこがどういう影響があるのかというのを考えてみないといけない。あとは運動とエネルギーということなんですが、電気がまた最後に出てきますから、最初に電気をやって最後に電気ですから少し効率が悪い印象は受けました。それが感想です。

それでどうするのかなんですが、明治の教科書を研究の関係でみるとありますと、明治36年の中学校用の物理の教科書で、波動から始まるのがあります。電気じやなくて波動からはじまります。完全に幾何光学から始まっていて、今の中学校に逆に似ているのですが、音の波は力学を勉強してから「音」って出てくるんですね。やっぱり波動は力学のあとから出でます。そういう中学の教科書なんですが、その教科書は何で光からやったかというと力学が教えにくい、生徒も学び難い、だからそうやったんです。そういう試みがあります。今回の力学が教えられるのかどうかという点でこのカリキュラム、波動から始まるのがいいか悪いか、結構問題になるんだろうなと思います。

で、どうするかですけれども、それは石川先生が言われたように良いの作らないといけない。山田先生の著書に天才を紹介しているものがありますが、天才は制度を打ち破ってきて、それに従った人だったと。われわれはある制度のもとでずっとやってきたんですね。学习指導要領が決め

られて、検定教科書が出されて、その中でいろいろ工夫してきた。その制度がもう限界にきてるのかも知れないと私は思います。高校の先生がその制度を破るようなことをやるかどうかということが問われている。それがやれるかどうかは先生個々人にかかると思うし、何らかの応援をする組織がいるかも知れない。

もう一つ期待するのは大学の教育で、大学は何でもあります。学习指導要領なんかはありませんから何でもありの基礎教育ということができてしまう。文系向けの何でもありの基礎教育ができてしまう。そこで何か斬新なカリキュラムが組めるんじやないか。そこから何か高校側に影響を与えるようなものが出来るんじやないかという期待があります。「大学の物理教育」という雑誌を物理学会から出しているのですが、私はその編集の仕事を今年からはじめることになったので、ぜひ購読していただきたいと思うんですけども、大学の何でもありの教育がどう高校に影響を与えるのかというのをちょっと考えていきたいなと、前半の講演を聞いていて思いました。

(横関) それでは最後になりますが、山形先生よろしくお願ひいたします。



(山形) 私は教育大学で40年近く勤めております。物理を担当している者ですが、「入学していく学生がここ数年急激に変わってきた」という

う感じがしてなりません。

今朝の道新をご覧になったかと思いますが、文部省が学力の調査したら、やはり学力は低下している。ただし、文部省は「やや降下、概ね良好」とコメントしたそうです。これは単に理科離れだと物理嫌いだとかいう問題ではなくて、僕は構造的に教育がおかしくなっているんだという感じがしてならないんですね。ですから思い切って教育の構造改革をやらないと、何か小手先で少々、目先を変えたぐらいでは、もう間に合わない状態にきてるんじゃないだろうか。

例えば教育大学旭川校で、理科の教員免許を取る学生は、だいたい年間35~40名くらいいるんですけども、私の調査の結果、平成5年の場合だと63%くらいが何らかの形で

高等学校で物理を学習して入学してきました。ところが平成8年になりますと44%で、平成13年度の昨年で29%に減ってますね。このくらい高等学校で物理を履修した生徒が減っている。これは単なる物理嫌いとか理科嫌いというのではなくて、1980年くらいからですね、日本がバブル経済に入ったころから、努力して勉強して汗水流して理解して「なるほどな」というような生き方というのが馬鹿にされたわけです。電話をかけて右から左に情報を動かせば数億円儲かるというそういう社会構造になってしまったわけです。そうすると学生達、若い人たちは何を考えるかというと、それでいいんだと思うんですね。ですから物理のようにきっちり基礎から学習して納得して理解していくような学問というのから離れていくって当たり前と考えざるを得ないです。ですから教育の構造を変えないとだめだと力説するのです。それから、現状では99%が高等学校へ進学するため、卒業できない非常に学力が劣る高校生が出来ました。そうすると高等学校の方が何でもありだという対応を取り始め、文部科学省も学力がなくとも、高等学校の卒業証書を出す方法を考え出したのではないかと思われます。その結果、高等学校の理科科目は、十数科目あり、その中でどれか選べばいいというんですから、そりや勉強するわけないですよ。そういう構造を作ってきたということは、大変な問題だと考えています。

それでは今後どうすればいいかということですけれども、やはり物理学というのはすべての理科の中の基本だといふことをわれわれ物理を教える者がそうはっきり認識し、高等学校の物理を必修にすると、これくらいの意気込みをもっていかないとこの問題というのは解決しないし、日本の理科教育は際限なく泥沼にはまり込みます。

今文部省のデータ調べますと、平成11年に高等学校中退した者はなんと10万7千人いるわけです。これくらい高等学校というのはたいへんな状況にあるわけです。こういう子供たちまで本当に高校に入れなければならぬかという、教育の構造改革を見極める必要があると思います。高等学校に入って退学をしていくという子供たちはやはり、その中でなんら評価されず、非常にがっかりしてやめるんだと思うんです。やめるのは自由ですからいいんですけど、そういう子供たちの特徴あるところを認める教育がないとだめではないか。単に学習内容のレベルを下げれば、その子どもたちの個性が伸ばされると言うことにはならない。

物理嫌いは昔もあったと石川先生はおっしゃったが、昔

の物理嫌いと今の物理嫌いは構造的に違うと僕は思うんですね。学生を見ておりますと平面的にはもの覚えられるんですね。ですから物理概論で電磁気のところをやって、次の年に専門で電磁気やっても積み重ねがないんです。このように平面的にしか物事を理解できないような教育が今やられているということは、当然論理的思考が必要な物理には、対応できず、問題が生じているのだと思います。だから、教育の構造改革をする必要があるのではないかと思っています。

(横岡) 4名のパネリストのお話を受けて論点をまとめみたいと思います。私の方で考えました論点としましては以下の3点です。1つ目は山形先生からは構造的なお話をもありましたが、来年から電磁気から入るという指導をどうするのか。全く無視するんだという意見もあるかもしれません。2つ目は中学校の既習事項が減ってきてそれが心太式に高校へ上がってきた。今まで中学校で教えていたことを高校で教える際、私たちはどうするのか。3つ目は社会の構造の中で学生の気質が変わってきた。その中で私たちはどのように物理教育を行っていくべきか。

まず、山田先生と石川先生にお聞きします。お互いに反論があると思いますので、山田先生の「昔にもどりたい、昔はよかったんだ」という意見に対して石川先生から反論をお願いします。

(石川) 山田先生が繰り返しそれだけを主張しているとは私は思っていませんが、ある論調や現場の年配の物理の先生の意見によれば、「昔はよかった」で終わってしまいかねないわけですよ。

昔はよかったというのは、教える立場としては教えやすかったわけです。効率もいいですし、同じことを教科書のページの離れたところでもう一度扱うのはやり難いわけです。一回やったことは忘れちゃってますから。それだったらくつづく方がいいだろうという形は現行の課程のⅠBとⅡに分かれる場合もありました。例えば振動を扱わずに波動を扱えるのか、それをくつづけてやろうという学校もですね、たくさんあるわけです。そういう意味では教えやすさという点では、力学からのカリキュラムの方が、私自身そういったカリキュラムで教育されてきましたから教えやすいんです。

ただ、それが教わる側の論理にあっているのかというこ

とは、やはり一度謙虚な姿勢で考え方を直さなければならないだろう。われわれは教えるプロですから、教えやすいからという理由で安易にそちらへ流れるのはよくないだろうと私は思っています。

(横岡) はい、ありがとうございました。今度は山田先生の方から、「それは言うけど無理だ」ということも含めてお願ひします。

(山田) 現行の小中高のカリキュラムの最大の欠陥はスパイアル方式だと思います。スパイアルというのは中途半端に教えてまた繰り返し出てくる。これは1960年代の教育理論で出てきた考え方なんですけれども、一度きちんとしたことを教えた方がはるかに効率が良いわけですね。

今まで潤沢な教育時間があったからスパイアルでも良かったんですが、3割削減とか、実際に高校でも減算減算できています。そうなりますと、最大の武器であるスパイアルが使えなくなる。スパイアルをやれば教科書が終わらないし、本当に何やっているんだかわからないような理科になってしまふんですね。そういう時代になればこそ、やはり系統的につきこみとした形でやるべきだと思います。

過去の方法への単純回帰というのは、もちろん僕は考えません。原島物理の時代から現代物理で大きく教授法も変わっていますし、世の中自体、実験論も含めて大きく変わっていますから、それは十分に活かすべきですけれども、やはり系統的である物理自体はそれに即した本質に基づいた教授法をやるべきではないか。特に、時間数の足りなくなっている現代では、それがいい方法ではないかと思います。

(横岡) 大野先生にお聞きします。違っていれば訂正していただきたいのですが、やはり力学があって波動があるような流れが正統であろうというふうに私は理解しました。先ほど固有振動のお話がありましたら、例えば高校の現場で弦の線密度と張力で速さが違うからという内容をきちんと力学のバックグラウンドで教えているかというと、あまりないんじゃないかなと思うんですけど。太いとなんとなく遅い、引っ張るとなんとなく速い、ということで進んでいることがたぶん現実にはあるように私は認識しているんですが。そういう意味では今でも必ずしも力学のバックグラウンドで波動全部を教えているということはないと思うの

ですが。その辺については何か反論はありますか。

(大野) 反論というのではないですが、教科内容を組織化するというのは、教育の内容はわれわれ人間だから1次元の時間の流れの中で学ばざるを得ないので、教育内容を配列していくんですけど、どう組織化するかというのは学問の体系とか、学問の方の組織化があって、さっき石川先生が言われた学ぶ側の理解とか納得できるという論理があって、その二つから教育独特の組織化というのがなされるんではないかと思うんですけど。

力学からはじめるというのは、一つはものすごく伝統的で、そういう意味ではそれが間違っているわけでは全然なくて、できるんであればそうやればいい。問題はそれができるのかという問題があります。波動も確かに線密度と張力とやっているけれどもだいたいのことですませた。それはやはりやりにくいからだと。今回は幸いなことにやり難いところはなくなっちゃったという話になって、ごまかさなくてもいいと言えばいいのかもしれない。小中学校も全部そうで、やり難いところを全部なくしたといっていいと思います、何を削減したかというと。それで起ったことは、中学校の先生なんかでも理科が楽しいというのは解ることばっかりやっていて楽しいというよりは、解らないけれども面白いという状況がつくれたら最高なんですね。難しい、ここまで解ったけでもここから先は難しくて解らないけど、ここまで解ったことは面白いし、やっている実験は楽しい。それを今回、解らないことをなくしてしまったので、とにかく覚えたら解るということにしてしまった。高校の物理もそうするのかという問題はあります。

伝統的なのがいいのかどうか、力学からやるのがいいのかどうか、それはさっきも紹介しましたが明治の頃もやっぱり力学からやるのが難しいから波動からやろうとか、光からやろうとかですね、いろいろやられていたわけです。だから本当はですね、日本一律「電気からやる」とかですねこんな状況を繰り返している限り何がいいかなんて判定できないんです。だから本当は、我々のところは先ほどE = h νからやるとか、こんなもんをある程度合意はりますけど、コンセンサスをとっても始まったとしたら、そうでないところと比較できるんですけども、今そういう状況になっていない。だから我々がやらなければならぬのは、様々なものがあるコンセンサスをもって出せてやれるのかということですね。

だから僕は別に力学からやれとは言いません。他にいいのがあればいいと思う。スパイラルリピートの話も出ましたけど、ブルーナーとかが60年代に言ったんですけれども、日本の学習指導要領みたいなものを彼はスパイラルだとは言ってたんではないと思うんですね。彼が言ったのは、学問の性格を本質を損なわないようにして、知的に正直に各年齢の子供たちに教えられる。知的に正直にというのは、言い直せば「それなりに」ということですね。それなりにごまかさずに教えられる、逆に言うとそうできることしか僕らは教えられないと。でもそれは、もっと年齢が上がりいろんなことを学べばもっと抽象度の高いやり方で出せるはずだ。そういう意味で知的に正直にというスパイラルリピートだったと思うんですけど、今の場合の「忘れたからもう一回やる」とかいうのは何も質的な変化がないじゃないですか。そういう問題もあると思うんです。

良いスパイラルリピートをつくる系統性ってなんだろう、そんなことを考えたいと思うんですけど縛りがあるから考えられないので、そういう意味では大学1年生の教育というのは結構何でもやれる面白い場面だ。逆に言うと、自分の高校でやりにくかったら、高校の先生がみんな集まって大学いって、そのカリキュラムをみんなで考えて、そこで実験・・・実験っていったら大学に怒られるかもしれませんけど、できますね。そこで上手くいけば高校でやつてもかなりの確率で上手くいくかもしれない。やってない人のための教育なんだから、結局同じことなんで。だから実験をやる場が無いんだったら、高校でやっても面白いんじゃないかなと思うんですけど。(実験やるんなら大学でやれば面白いなということです。)

(横岡) 今までの議論を聞いて何かコメントがあれば先にいただいておきますけれども、山形先生いかがですか。

(山形) スパイラルでも何でも良いんですけども、とにかくどこでもいいです。電気でも力学でも熱でも何でもどこからでもいいのですが、物理を学習した高校生がここだけは自信があるといものを高等学校では是非やってほしいんですね。僕はよく言うんですけど、何か中途半端で曇りガラスから向こうを見ているようなもので、だんだん遠ざかっていくと何が何だかわからなくなっていくのが今の学生の学力なんです。だから曇りガラスにべったりくっついているものは分かるけれどもそこから離れていくとわか

らない、こういう教育を何度も繰り返しても質になりませんよ。とにかくどこでもいいですから、はっきり理解できている突破口をきっちり、持たせてほしいと願っている。力学でも電磁気でもどこから始めても僕はそう大して変わらないと思うんですね。それをしっかり解るように指導してもらいたい。学生なんかに聞きますと、実験をやってないんですね、高等学校で。特に、受験校と言われているところはほとんど実験や生徒がわくわくするような授業をやつていません。ですから手先が不器用ですし何かやらせてもどうなるかわからないし、要するに教科書に書いてある事は、覚えるが、その内容と実物との一对一の対応がつかないというのが今の大学生です。ですからトランジストやコンデンサが変圧器と並ぶのがスライダックと並ぶが、そのものが実物と対応できないのです。

実際の話ですが、水の電気分解の式は書けても、電気分解のセットの組み立てが出来ないわけです。そういう子供たちを作らないでほしいなというわけです。とにかく、どこでもいいですから一つ突破口があって、そこから好きにならうという教育ができるのかな。電磁気だろうが力学だろうが、どっから入ってもですね、子供たちが物理が好きな、どこか一つ突破口があれば、そこから興味が広がるものだと思うんです。

(横岡) まあ、電磁気からやると教科書には書いていますので、後はどういう風にやるかは現場の教員なのかなというところでしょうか。今の山形先生の「どこからやっても・・・」というのはたいへん象徴的な言葉かなと思います。

さらに山形先生にお聞きしたいのですが、今から20年前、30年前の大学生といいますか、高校卒業した生徒は、今に比べてそんなにバリバリ実験やっていたかというと必ずしもそんなことはないと思うんです。高校の現場でも昔に比べると生徒がとても不器用になったという気はするんです。学校のカリキュラムの中の実験ではなく、たとえば昔は家庭でマッチ擦ってガスコンロつけていたのが今はオーブン電化になってしまったとか、そんなことも関係するのかなと思うのですが、そのカリキュラムと不器用さというのが本当にリンクするのかなという点では山形先生いかがですか。

(山形) それは学校の責任だけではないと思います。家

庭の中で家で手伝いしなくなったとか、周りにある便利な道具がブラックボックス化されたり、いろんな問題が彼らを取り巻く環境の中にあると思います。したがって工夫だとか、仕事の効率を考えたりする必要がなくなっています。したがって、「物」が実感できない世界で生きていると思えます。

僕らの高等学校時代（昭和30年前半）でも、高等学校の物理授業で実験を大いにやっていたかというと、そうではなかったように思います。しかし、中学校では、熱心な先生が多く、実験を通して、科学の面白さを伝えてくれたと思うんです。したがって、僕らは、ありあわせの機材を引き集めて、何となくやれるという自信がありますよね。どうして今の子は、マニュアルがなければ、何もやれないんだろうと不思議に思うんです。

先生も、マニュアル教師が増えているように思います。もはや、家庭環境、教育の責任等と責任のなすりあいをしている時ではないと思います。ですが、高等学校の物理教育という立場からすると、興味を引き出すために、今だからこそ高等学校でも実験を多く取り入れるカリキュラムが必要ではないかと思うのです。興味がない、この「興味がない」という態度に困るんです。本学の理科関係の学生の中で、積極的に「物理に所属したい者」はまさに希少価値化されていっておりまます。

(横岡) 今、山形先生からのご提言では、全部教えなくてもいいから一つちゃんとしたものをやってくれという意見がありました。高校の現場でいうと大学入試もあるしということで、教科書に書いてあることを全部やらねばならないということになります。実は今、変圧器って教科書にあんまりちゃんと載っていないんですね、高校側でいうと。でも入試に出るかもしれないからちょっとやっておこうかとか、ニュートンリングも教科書では扱わないことになっているんですが、センター試験に似た問題がでたからやろうかとか。そのようないろいろな縛りですね、全部やらなければならぬという状況にあるのですが…。

山田先生も受験生をお持ちだと思いますが、何かこれだけはというものをしっかりと持たせてほしいという今の山形先生のご意見について、賛同なさるなり反論なりをお聞かせ下さい。

(山田) 1983年くらいに物理教育学会北海道支部の20周

年記念式典でしたでしょうか、その時に平田先生もお招きして奈良先生がまだ健在だったころシンポジウムをやったことがありました。その時の結果は前回の総会の時に配った議事録にも書いてあるのですけれども、僕はその時の一つの提言として体験を復活させることがとても大切ではないかと主張しました。僕は子供の頃から工作少年で自分で実験三昧やってきて、それがいろんな意味で好奇心を継続させてきた、いまだに好奇心の塊でどこに行くかわからないような生活やってますが、そういうことがいろんな意味でやっぱり基本ではないかなと、現代でも基本ではないかと思います。そうしますと、実験を学校の中でということも含めて課題を与えて家庭でやらせるとかですね。

あと、どういう体験が不足しているかというのをいろいろな調査でチェックしてみて、それを補うようなコースを作るとかですね、ハンダづけから始まっているようなネジ回し工作、そういう病院みたいな話になってくるんですけど、それをきちんとやってあげないとそれは子供にとって本当に不幸になるのではないかと思います。

ある意味ではそれがちゃんとできれば、どこの領域から始まろうとゴールは同じということになっていくのではないかと思うんですね。だから、体験あってこそその理論化ではないのかなと思いますので、それは強調したいと思います。

(大川) 僕はどこからやっても同じというのは無茶な旨い方で、じゃどうでもいいじゃないかということになります。また、どこか一つでいいですというのじゃ、本当にどこか一つ選んで実験に堪えれて楽しいよと言って、多分それでできると思います。それでいいんであれば、後はそれで興味もってくればいいと、後は大学入ったら基礎教育でばっちりりますからというのだったら。

今なんかはリメディアル教育を大学で一生懸命やっていきますね。あれは必要だからやっているんですけども、本来はなくってもいいはずのもんなんですがやってるんです。アメリカでもリメディアル教育というのはずっとやられていましたけれども、それも見直しが入っているんですね。前に山岸先生がここで講演されてその時に言われたことなんですが、小学校終わって、中学校終わって、高校終わって、サーティフィケーションといっていっぱい試験が入ってきて、それでできなければ上へいけないというシステムでできている。それは高校終わったときに品質保証をしろ

というのがすごく言われはじめてる。大学でリメディアル教育を一生懸命やったんだけど、結局4年間で終わらせようと思うと、品質（品質というのは悪い言葉だけれども簡単だから使いますか…）を維持しようと思えば1年余分なことをするわけですね。高校で本来やっていることをやるということですから。そうすると5年になつて本当はいいはずなんですよ、普通は。でもそれが4年で出ているというのはかなり無理している。でも、だから今いいかげんなことをやっているとは僕は言いませんけれども、はじめのリメディアル教育の部分を膨らませれば膨らませるほど終わりはどんどん伸びるはずなんです。そうすると向こう（アメリカ）は州の税金の無駄遣いになるという話になって4年間で出させると。出たときの保証はしろと、では入り口をしっかりしないとだめだという動きになって、結局サーティフィケーションからやりましょうという話になりました。だからリメディアル教育というのは限界があるんだと思うんです。だから、高校でとにかく興味持たせておいたら大学入ってからちゃんとやるというのは限界があって、やはり高校は高校のしっかりしたカリキュラムを作らないといけないと思うんですね。確かに体験とか実験とかをもっと入れるべきで、昔よかったとは僕は全然思っていないくて、僕が受けたときなんて悲惨だと思いますよ。皆さんもそうだったと思いますけど、昔の物理教育は良いわけがなくて、そういう意味では今は進歩しているはずなんですよ、教材も良くなっているし。そんな中で何をやるのかというのをもう少し積極的に考えた方がいいんじゃないかな。そうするとリメディアル教育の部分の負担が軽くなりますから、同じリメディアルをやるにしてももっと質の高いことができるわけで、それは大学にとってもメリットになると思いますよ。

(横岡) 話がいろいろなところにいっていますけれども、リメディアル教育の話が出ましたので、高校で何をやるべきなのか、極論すると高校でやらなくても大学でやるから大丈夫だよという風になってしまふとそれはまた本質と違う話になってしまいますので。

だいぶ時間も過ぎてきましたので、フロアの皆さんで発言したいという方は挙手をお願い致します。



(北村) 「理解」ということをどういう風に理解するかということが非常に難しいと思うんです。昔イギリスの教育におきましては高等学校ぐらいででも物性論（日本の大学の物性論とは違いまして、いろいろな古典的な物理について語るものですが）の中で、例えば固体中の波動、波というものは、音というものは波動という形よりも、波がどう伝わっていくのかという形でしかほとんど勉強していないですね。そしてそれをした上で、それが密度とか、どういうものとどう関係があるのかということを学ぶ。そこで関係があるということがわかれば（関係が見つけられれば）そこで、そういう因果関係という形を理解するという程度で終わり、その中の波動の伝わり方というような復元力というようなものは固体の中では目に見えないものなんだけれども、だからそれはずっと先の話になる。力学がなくてもそれはわかる。わかるというのは、伝わるということがわかるだけであって、そのレベルのわかるということではないかと思うんです。ただ今度の問題になるのは、先生方みなさんがおっしゃっているように、みんな一緒に一つのカリキュラムでそれ以外は認められないというのがたいへんだなあと同情申し上げます。

(横岡) なんだかんだ言っても教科書は学習指導要領通り作られていますので・・・。



(四方) 高校でも大学でもそうですが、法則（高校では公式といっていますが、）を教えるために組んでいるという感じがします。私が物理を勉強したときもさっぱり面白くなかったんですね。法則があるからそれをこう理解しなさい、それで式を解きなさいというよりは、法則に従って運動している物だと現象、それがわかるような方向へ組んでいく、そのためにはどういう順番でどういう材料を置いたらいいのか、その方がいいと思うのです。

高校の物理を習っていて、なぜ地球がいつまでも同じような軌道を回っているのか、地軸の傾きがかわったりしないのか、わかっている人は角運動量などで教えてくれるか

もしそれませんが、普通に本を読んでいてもわかった気がしないわけです。身近な見えていることが物理を習うことで理解できるという体験が一つ必要だと思うのですね。

大学でもそうなんですが先端の技術や理論でも、わかっていることをわからないようにして教えているということがあるのです。例えば、磁石がなぜ磁石になるかということは磁性の理論からすればかなりはっきりしているわけですね。ところが大学の教養の教科書をみてもですね、スピニの話は全然見えてこない。話としてはあるのだけれども、電子が軌道を回る、電流による磁石の役割という話は電磁気の方で必ず出るのですけれども、磁気モーメントをつくりているのが電子のスピニだということははっきり出てこないわけです。そういう本当にわかってほしいところをもっとやさしくアプローチして教えるという努力を教育に携わる立場としてはやるべきだろうと思います。

もう一つは、授業を組むときのプロセス、分量の話ですけれども、質問して答えるというプロセスができるような時間的な余裕のある分量にしなければ駄目だと思うんですよ。私が勉強していた時代も受験戦争の時代ですから、教科書みながら頭の中でいろいろやっている、知っている知識を使って、ある意味ゲームをやっているような感じですね。そして試験問題解ければいいといったことです。ところが友達ですね、いつもそれを乗り越えて教科書のわからないところに記しつけて時間が終わったら先生に聞きに行くというそういう人もいました。彼は今、岡山大学で物理の教授をやっていますけれども。その子はそういうことが得意だったので、クラスの過半数くらいの生徒がそれをやれるような状況にもっていければ、そういうことをやらなければいくら広い分野を勉強しても身につかないだろう。

先ほど話になりました、全国一律ではなしにやらして下さいという意見には私も賛成なのですが、ある程度地域ごとに組んで、あるパターンでいろいろなプログラムをやつたらいいと思うのですが、もう一つ将来的には、一般家庭に実験器具がゴロゴロならんでいるような、そういう発想でも教材のそろえ方とか、そういう風に育った人が何年かするとまた親になるわけですから、そう考えて長い目で作戦を練ることが良いと思います。



(石田) 私はこのあたりのことは良くわからないんですね。今まで物理に限らず、いろんな教育っていうのはけっこうオールラウンドな人を目指していたと思うんですね。物理だったら全部できる、電磁気だって力学だって全部理解できるということです。でも、これからたぶん必要なことは、オールラウンドではなく「ここはいける」という、ここは自分が面白いと思っている、という人がこれからたぶん必要になっていくんだと思うんですね。これは企業の研究所にいた経験を踏まえて言うんですけれども。会社でもいままで何でもできる人というのは必要だったのでそういう人ばかり探っていたのですけれども、今それが破綻して皆と同じではない人がこれからは必要なんですね。そういう意味では私は先ほどの山形先生の大学に入るときでもあれもこれもできる、でも感動はないというですね、これはすごく面白いと思います。でも、ペーパーテストではあまりいい点を取れないという人とどっちが良いかというと、ある程度の学力がないと困るとは思うんですけども、そういうことが必要なんだと思っています。

(大野) それは確かにそうなんです。その時に、「俺はこれがおもしろい」と思えるためには、「俺はこれは面白くない」という光と影があって、こっちは面白くないがこっちが面白いという判断があるわけですよ。ぱっとやって面白いというのが見つかる人はラッキーですね。

本当は高校というところはそれがわかれればよかったはずなんですよ。俺は古文はいくら勉強したって点数悪い、面白くない。となりで古文が面白いと言っているやつはわからなくはないが俺は駄目なんだ。数学は好きなんだ。だけど数学もおっしゃられる通り図形のような単元などいろいろな分野がありますよね。物理でも確かにそうです。そういう意味では、ここが特に好きだというのがあって当然だと思います。でもそれを知るためににはやはり全部をやらないとそれはわからない。

例えば、波動が好きだという子がいたらその子を採用したいと。でもその子はどれか一個でいいから高校でやってくれとなれば、うちの高校は電磁気でガンガン面白い講義やりますといって電磁気をやると。でもその子は本当は波

動を面白いと思える子だったら不幸ですよ。

それはだから難しいんですが、学力というものをどう評価するかという問題もかかわってくると思うんです。その子が物理をトータルとしてやったとき、その子をどう評価するか。おっしゃる通り、今物理は全部範囲でいい点を取らないと学力としては優秀ではないということになりますから。それを打破するためのある種の試みとしてね、AO入試なんていうのがあるのかもしれない。今のAO入試は問題はあって、やる気というのを見るのですけれども、「ここだけ俺は」というところを、これはやはり学力としてペーパーテストでみる部分なのかもしれないんですが、それが本当に見れるような形になっているのかというのがこれからのAO入試の問題だと思うんですけど。それは大学側のある種のアプローチと、高校側の高校生が「俺の好きなものを選べる」ようなカリキュラムを作れるか。だから僕は昔にもどって、教える内容はがばっと増やしてきっちりやるというのはやっぱり間違いで、削減してきたことには意味があると思います、小中学校含めて全部。残念ながら高校は根尻あわせで全部あがってきましたから逆に増えちゃってますよね、全部あわせてしまうと。その中で、選択をいれて減らしていくのが実態で、高校でも内容の削減というのはまじめに考えないといけないことなんです。その部分を大学に預けますからというようなあたり。

いま高校は(学習内容が)多いんです、諸外国の比べて。ただそれを全部やらないように選択にしただけで。そういう意味では石川先生が苦われた市民の科学リテラシーって何なんだと考えるのも重要だと思います。

(横関) ここから議論をきちんと沸騰させなければならないところなんですが、時計を見るともう時間になってしましました。それで、たいへん大きなテーマでこの短時間では無理があったと思うんですけれども、折角4名のパネリストの皆さんにきていただきましたので、最後に一言づついただきたいのですけれども、来年度(平成15年度)から高校では新しい学習指導要領のもとで生徒に向かうわけです。高校の現場から、そして大学の現場からみて、高校ではこういうことをやった方がよいのではないか、やってほしい、やるべきだとういう、明日からの高校物理教育のあり方に福音をいただくということでお願いします。

(山形) 私の一点豪華主義に対してもいろいろと議論があったようですけれども、僕は他はできなくてもいいと言っているのではないです。他はほどほどでも一点が豪華であってほしい。そうするとそこから突破口が開けるということを言いたかったんです。是非、高等学校でそういうような教育をしてほしい。先生が自分で面白いと思う分野でもいいですから、そういうのを子供たちに与えてほしいなど、そういう話です。

(大野) 高校の先生は、作ろうというか、どんな順序でやるか考えるとか、俺の得意分野はここだから特にここ頑張ろうとか、どうやるかを地道に考えていくって、そのようなミクロな営みの集大成としてカリキュラムを作らないといけないと思います。現実問題、自由は少ないと思いますから、高校は。ですから、この支部は大学の先生と高校の先生が集まっているわけですから、例えば本気で一緒にカリキュラム考えて大学で実験してみるとかですね、カリキュラムを考えてみる。よければ高校に下ろしてみる。そしてまたそのフィードバックを大学へ送る。AO入試もそういう大学で研究したカリキュラムを高校でやったら、その高校の学生をAO入試で入れてみる。一本釣りみたいなものですから、どう釣るかは大学の判断でやればいい。そうするとAO入試も面白い。ある学力保証のあるもとでAO入試ができるんじゃないかなと思ったりします。

(石川) ちょうどAO入試の話がでたんですけれども、私の勤務校は啓成高校なんですが、AOで3名北大に合格させていただいたんです。4名出して3名合格ですから最近では多いんでたいへん喜んでいるのですが、この3名育てるのは本当にたいへんでした。3年間かなりの時間と労力をかけてます。最終的には合格してよかったんですけれども、3名のうちの一人はご存知の方も多いと思うんですが、啓成高校がタンパク質の宇宙実験プログラムで全国6校のうちの一つチームに選ばれまして、その生徒ということです。この生徒は他の勉強もまあまあ優秀でそれでじゃあ頑張ってAO受験してきなさいと、学校でも応援していました。もう一人は、科学部の生徒なんですが、日本学生科学賞の中央審査に進んだ生徒です。その生徒に対しても頑張ってきなさいと。三人目も理数科の生徒で、部活動はやっていなかったのですが、入学したときから北大に入ることを目標にして、課題研究等でもがんばっていた生徒でした。

結局何がいいのかというと、AO入試というのはたいへんいいシステムだと思うんです、最近の大学入試方法の中では。ただしそれは高校現場では非常に手間かかるというか、3年間本当にきめ細かく育てて送り出さないとダメなんです。これは私ごときがここでゴニヨゴニヨ言つてもしかたないのですが、そのマスプロというか今のような40人のクラスをまとめて一斉授業で、実験室でも教師一人に生徒40人というようにかためてやっているうちは、これは育たないんですね。だから、放課後の時間や部活動なり、もう少し少人数にクラスを分割するなり、そういうことをやってですね、はじめて個性的な生徒が育つんじゃないのかなと思ったしだいです。

(山田) 学校の教育課程に即した、教育をわれわれは自信をもってやるしかないのではないか。われわれの学校(札幌開成高校)は平成16年から国際理数科(仮称)という新しい学科づくりをして、非常に科学的探究心に富んだ国際発信力のある生徒を育てようという教育目標を立てております。そういうものにヒットするようなものといいますと、系統性にもとづいた学力をきちんとつける、それから体験を重視してそれにマッチしたような探究型の実験書をつくりしていく。

京都のサンフリート嵯峨野高校というところに学校視察してきました。これは8年前に備品1億円かけてですね、すごい夢のような学校をつくりました。その結果8年間の実践の中で、京都は私立に対して公立が東京のように低かったのですが、それを挽回いたしまして、現在東大1名、京大3名、あとかなりの難関校に入っているような状況です。そのあとかなりアクティブな科学者・研究者になっていく。それがやはり学校づくりの大きなビジョンの中でつくられていった理工系重視の学校づくりだったんではないか。見学させていただきまして、われわれの学校のモデルではないかなということで、来年はSSHも応募しますし、現在6600万円という備品請求もしております。そういう形で、私の夢は現実になればたいへんうれしいということなんですかけれども、そういう構造の中で、カリキュラム構成を考えいくべきではないか。その結果こういう具合に、力学重視から始めてやっていくような理科総合を少し見ると、少し危ないカリキュラムをつくったんですけれども、これは他に恥じないだろうと僕は思っております。

そういう意味でやはり、学校の教育課題、生徒の顔をみ

て本当に感動できるような、生徒がいて学んでよかったと思えるような感動できるような学校にすべきではないのか。そのためのカリキュラムであり教育研究ではないのかと思います。

(横関) 高校のわれわれも大学のいろいろな取り組みを知ることができましたし、大学の先生からもいろいろな提言がありましたので、これは長いテーマですしこういう全体の場以外のところでも情報交換をしてこれからも続けていきたいと感じています。それを確認しまして本日の成果としたいと思います。以上でパネルディスカッションを終了させていただきます。ありがとうございました。



会場の参加者の様子

○おわりに

「今回の学習指導要領改訂については問題点がある。しかし、今まで物理教育が積み重ねてきた課題を解決するきっかけにもなるのではないか。大学へ進学する学生の気質が変化しており、高校での物理教育にも大胆な変革が必要ではないか。そして、学習指導要領の縛りを超えた新しいカリキュラムの開発を現場の物理教師が始めるべきではないのか・・・。」 今回のシンポジウムにおいて、4人のパネリストからは多くの視点から議論が繰り広げられた。そして、新しい学習指導要領に基づいて展開される物理教育は、現場の教師の役割が今まで以上に大きいものになることを感じさせられた。今後とも中高大の連携を強め、この議論を深めていきたいと考えている。(横関 記)

リフレッシュ理科教室

北海道札幌平岸高等学校
北海道小樽潮陵高等学校
北海道留萌高等学校
北海道仁木商業高等学校
北海道南茅部高等学校
北海道長万部高等学校

横関 直幸
大内宏康
貝塚典生
青木弘典
堀 輝一郎
西田 元芳

北海道熊石高等学校
和寒町立和寒小学校
北海道立命館慶祥高等学校
北海道札幌手稲高等学校
北海道羅臼高等学校

藤島 譲
加藤 雅彦
水野 広介
中原 浩
中道 洋友

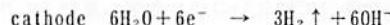
2002年8月5・6日、応用物理学会北海道支部主催・物理教育学会北海道支部共催で北大工学部を中心に「リフレッシュ理科教室」が行われた。小中高の多くの先生方が参加され、学問的また応用工学の先端の実例として、大変興味ある様々な実験を目の当たりにすることができた。準備された研究室の皆さんには、ここに深く感謝の意を表したい。

「ナノテクノロジー体験」に参加して
北海道熊石高等学校 藤島 譲

最近『カーボンナノチューブ』という物質をよく耳に（目に）する。1980年代にフラーレン「サッカーボール」型分子の存在を知ったときの驚きが再びよみがえてくるようである。

『ナノ』というとほかに思い浮かぶことはほとんどないが、今回はこの『ナノ』の世界を体験することができるという。こんないい機会は滅多にない！そういう単純な思いで参加させていただくこととなった。

私は、電子顕微鏡というものを使ったことがない。残念ながら实物を見たこともない。しかも日程の説明では、まずははじめに走査プローブ顕微鏡で使用する針（先端が原子1～数個程度）を作ること。そんなすごいものを今日一日の体験の中で作れるのか？そんな疑問が頭をよぎったが、いざ実験装置を目の前にすると…（図1）



これは、電解研磨という方法だそうである（よく知られた方法らしい）。水溶液の表面張力により図2のように水面が盛り上がっている。電流は境界面が一番流れやすく反応が進む。タンクスチタンがえぐってきて、水面が下がってくるのでタンクスチタンはだんだん細くなり、最終的には針状（W原子1～数個程度）になる。

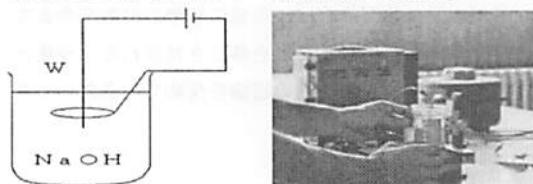


図1

写真1

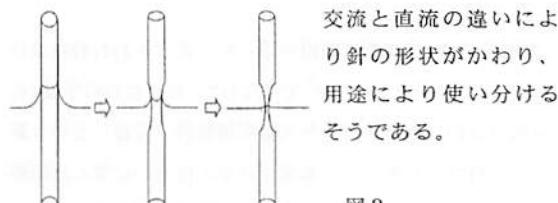


図2

午後は、走査型電子顕微鏡で作った針（我々は質問が多すぎたため時間が足りなくなり作らなかったが）を観察。考えていた走査型電子顕微鏡よりもコンパクトであった。解像度の大きい物はもう少し大きいと説明を受けた。

作った針のほかに、市販（？）の走査型トンネル顕微鏡用針や、LSI（集積回路）も観察した。市販の針は先端部にカーボンナノチューブを成長させたものであり、今回の観察では研究室の方の素晴らしい腕前のおかげで、実際に観察することができた。

ガリウム・イオンビームを使ってシリコン板に文字を刻む実験では残念ながら文字を書くためのソフトウェアが不調で使用できず、手作業により線を描く程度だった。少し残念である。

さて、今回のメインであるシリコン原子の観察。装置の大きさや仕組みに驚いたが、操作は全て研究室の方にしていただいた。それも当然、装置自体が数億円、一部を壊して損害が数百万円にもなるそうである。素人は手を出せない。（写真2、3、4、5）



写真2



写真3

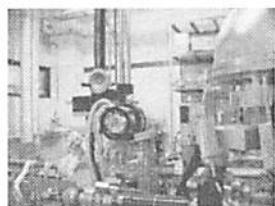


写真4



写真5

読みとられたデータは同時にコンピューター処理され画面に映し出された。(写真6)

本来であれば2~3日かけて行う実験を日程の都合で1日で実施していただいたが、やはり時間不足という感が否めなかった。その限りある時間の中で、出来る限りの解説をしていただいた武笠教授をはじめ研究室の皆さんに感謝し、報告とさせていただきます。

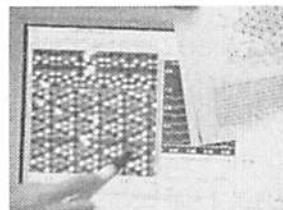


写真6

「リフレッシュ理科教室」参加動機と実験の紹介

北海道小樽潮陵高等学校 大内宏康

最近の科学技術の進歩は目覚しいもので、身近なコンピュータを例にしても、5年でCPU速度が10倍を超えるものとなっています。これらの基となっているのは、企業や大学での研究によるものであろうと考えられます。私がリフレッシュ理科教室に参加した動機は、私が大学を卒業して16年が経ち、今の大学でどのような研究が行われているのか、しばしば知りたいと思っていたからでした。今回、日本物理教育学会と北海道大学にその機会を頂き、参加しました。参加した実験は、偶然にも全てレーザー光を使った実験でした。

光は波であることの考え方からスタートし、波である性質の干渉を利用して、ものの厚さの高精度測定を可能とする実験。光のエネルギーの考え方から、光を集めて当てることで起こる放射圧により、物体を捕捉する実験。微小球に高強度の励起光を照射することで、発光させる実験。くもりガラス越しの映像を、光の波面の形はそのまままで伝搬方向だけを反転させる位相共役鏡を用いることで元通りに復元する実験でした。

実験を体験したこと、これら全ての研究が、これから科学技術を更に発展させるものであろうと、深い感銘を受けました。普段、能動的なことをしているためか、久しぶりの受動的なことにはとても緊張しました。また、

実際に実験に参加することで、テレビや書籍では味わえない感動がありました。これらの体験を得ることで今後自分がより深みのある授業を行えればと考えています。

レーザー光を用いても、これだけ種類の異なる研究が行われているので、是非、今後も研究の最先端を知る研修会を続けて頂きたいと思います。有難うございました。

それでは、私が参加した3つの実験について概要紹介します。

①『干渉計を用いた高精度測定』

光は電磁波の一種、つまり、波であり、振幅と位相の情報をもつ。しかし、光の波長は、1マイクロメートル(1mmの1000分の1)、周波数は、数百テラヘルツ(1秒間に数百兆回振動する)であるため、光検出器を用いても、強度のみしか検出できず、波として観測するには不可能である。そこで、波の基本性質である干渉を用いることで、光の波としての性質を観察することができる。また、光の波長が、非常に短いということは、光の波としての性質を用いると、非常に高精度な測定が可能であることをいみしている。本テーマでは、マイケルソン干渉計を用いて、光の干渉実験を行い、光の波としての性質を観察し、さらに、干渉計を用いた簡単な測定を行うものであった。



マイケルソン干渉計は、光源からの光がビームスプリッタにより2つに分けられる。ここで、それぞれの光は、参照光(リファレンス)と信号光(シグナル)と呼ばれる。参照光と信号光はミラーで反射され、再びビームスプリッタにより結合され、光検出で検出される。検出される強度は、参照光と信号光が伝播した距離の差によって、正弦的に変化する。また、参照光の性質が概値である場合、この測定は、信号光の振幅と位相を測定していることになる。つぎのに、信号光の周波数が何らかの原因により Δf だけ変化した場合に検出される強度については、周波数 Δf で正弦的に振動する強度(うなり、または、ビート)として検出される。これによって、信号光の周波数を検出することもできる。これに対し、太陽光や蛍光灯の光のような一般光源では、正弦的に振動する波であるが、その位相が時間とともに非常に高速にランダムに変化するような波(波連)である。このため、参照光と信号光が伝播する距離が大きくなると、検出器に到着するまでの時間差が大きくなり、参照光と信号光の位相関係はランダムに変化する結果、干渉の効果は平均的になくなってしまう。

光が干渉できる距離を光の干渉距離（コヒーレンス長）という。レーザーでは、数十mから100km以上のもとのである。可干渉距離が数十マイクロメートルである低コヒーレンス光源（スーパールミネッセントダイオード）を用いた干渉計は、参照光と信号光の伝播する距離が等しい場合にしか干渉しないという性質を利用し、物体の断層像を測定することができる。

本実験は、光が波であることによる干渉の性質を用いて、ガラスの厚さを精度高く計測できるというものであった。実験をご指導いただいた岩井先生、研究室の方々ありがとうございました。

②『光と球の不思議な関係』

光は電磁波である。光の性質は、コンプトン効果のような粒子性と、ヤングの干渉実験のような波动性をもつ。光はフォトンであり、光のエネルギーは光合成や光化学反応を、光の運動量は彗星の尾やレーザーマニピュレーションを現象としている。

光システム計測研究分野では、

1. レーザー高圧を利用した
ナノメートル空間ポテンシャル解析
2. 微小球キャビティによる
発光・エネルギー移動ダイナミクスの制御
3. アップグレーディング微小球レーザープローブ近接場顕微鏡
4. ナノトロン微粒子のダイナミック散乱ペクトロscopy
5. 線形光学素子計算と光子もつれ合いの制御
6. 虹色暗号の実現に向けた単一光子発生装置
と光子数検出器を研究している。

今回の実験は、レーザー光によるレザートラッピングと微小球レーザーを行った。レザートラッピングは、光の反射・屈折により作用する放射圧とマイクロメートルサイズ微粒子に作用する放射圧において、微粒子の屈折率が媒質の屈折率より大きいことのより起こるものである。レーザー発振微小球は、蛍光物質をドープしたマイクロメートルサイズの微小球に高強度の励起光を照射することで、蛍光が微小球内に閉じこめられ、誘導放出による增幅がおこりレーザー発振する。蛍光についてはエネルギー単位で励起状態から基底状態に向かうとき蛍光を発し、蛍光灯やブラウン管などがこれにあたる。そして、この逆が励起光である。共振現象は例として、音の場合には音叉や鐘であり、光（電磁波）の場合はラジオやアンテナである。レーザー発振は、励起エネルギーがミラー間を反射するうちに段々大きくなり飛び出すものである。ここでは、究極のミラーとして全反射ミラーを必要としている。

実験に参加して光を当てることで、微小球をレザート

ラッピングできることを体験した。また、レーザー発振では、微小球内の不純物が含まれないことで長い時間の発光が期待できることがわかった。実験をご指導いただいた堀田先生、研究室の方々ありがとうございました。

③くもりガラス越しの見えない写真を元通りに復元する
写真の像が乗った光をくもりガラスに通して、その光を普通の鏡を用いて反射させた場合、当然写真の像はグチャグチャに乱れています。しかし、ある不思議な鏡を用いて反射させた場合、なんと元の写真がくっきり見えるのです。この不思議な鏡を位相共役鏡といいます。理由としては、光がくもりガラスを通過する場合、波面が遅れて反対側に伝わります。そこで、普通の鏡で反射するとき、伝搬方向を鏡面で折り返した方向に変わります。そしてくもりガラスを通過することで、伝搬方向が逆で波面の遅れは2倍となります。しかし、位相共役鏡の鏡は、波面はそのままで伝搬方向だけが反転するので、再びくもりガラスを通過するとき打ち消しあって元の波面に戻ります。さらに、光が斜め入射する場合、普通の鏡は単に光路を鏡面に対して折り返すだけであるのに、位相共役鏡はどのような角度で入射しても厳密に元の光路をたどります。このような性質を持った光を位相共役光といいます。位相共役鏡は“時間反転”した形で入射するため、元の光の軌跡を反対方向にたどり戻しを取り除くのです。位相共役光を発生させることができる媒質が、フォトリラクティブ結晶です。なかでも、Cat型位相共役鏡は信号光を入射するだけで信号光の位相共役光が得られるのです。位相共役光の応用としては、光ファイバーを用いた画像伝送への応用があります。また、光リソグラフィへの応用もあります。

実験に参加して、位相共役鏡を用いた場合スクリーンに映る映像は元の映像を復元してました。実験をご指導いただいた光情報通信工学分野の研究室の方々ありがとうございました。

科学遊び雑感

和寒町立和寒小学校 加藤 雅彦

「出会い」と「きっかけ」

子供の頃にNHKで放送していた「みんなの科学」・「4つの目」など、内容は良く理解はできなかったとは思いますが、何か自分で実験をすれば楽しいことがあります。気持ちは持たせてくれたような気がします。

また、私にとって小学校の理科の先生との出会いが特に科学関係に興味を持った大きな理由だったと思います。小学校ではまだクラブ活動が一般的でなかった頃（昭

和40-41年)、担当してくれた先生は担任ではなかったものの理科を好きなものを集めて、指導いただきました。土曜日の午後や日曜日など自分の時間を割いて、化学実験の手解き・昆虫の展翅展足など標本作りを教えていただきました。子どもが小学生になってからは夏休みの自由研究は標本作りをさせています。この先生とは最近、自然環境保護の関係で30数年ぶりでお会いし、懐かしく昔話をすることができます。

物事に興味を抱くためには、出会いを含めた小さな「きっかけ」が必要だと思います。科学がすべてではありませんが、科学遊びを通じて、このきっかけを子供たちに与えることができれば、私たちに指導いただいた先生にも報いることができるものと考えています。

「科学遊びについて」

私の科学遊びに対する認識は、小学校での「かけ算」は中学校で、中学校の「+・-」は高校で、高校の「微積分」は大学でその原理が理解できたように、現象を認識して楽しむだけで十分と考えています。「コマ」などはその最たるもので、理系の大学生でも難しいですよね。遊びの中での実験や工作が楽しいということがわかれれば、自ずと何かしら行動を起こすでしょうし、理科の授業も楽しみに変わることもあるかもしれません。

この7月末に筑波の宇宙センターで宇宙教育に関するセミナーがあり参加してきました。その参加者の炉辺談話で、「水平線に消えていく帆船は本当に地球が丸いことを証明できるか」について議論したばかりでしたので、中学生の例の発表は大変興味を持って、話を聞きました。2000年以上も前にギリシャのエラストテレスが地球の半径を測定したと、物の本には書いてありますが、これとは違う方法で中学生がトライしたこと敬意を表したいと思います。地球が丸いことや自転していることなど知識の上では小学生の低学年でも知っているものもありますが、そのことを実際に目で確かめたり測定することは容易なことではありません。今回の中学生の実験のように直接、それを自ら証明・測定し結果を出すことは、子供にとってすばらしい経験になると思います。

「自分の課題－光速の測定」

最近、レーザーポインターの規制のため高出力のものを入手しにくくなりましたが、これを使って光速の測定ができないか、考えているところです。マイケルソン・モーリーの様にギアを高速回転させてと考えましたが、非常に危険であることが予想されますので、高速の電気的に駆動するシャッターで尚かつシャッター速度を制御できるものを探しています。今回、リフレッシュ理科教室で電子科学研究所を見学させていただきましたが、そ

この研究室でフォトン1個を切り出す超高速のシャッターが存在することが解りましたので、これほど高速でなくとも十分ですので、安くて使えるものが見つかればと思っています。高校時代木星の衛星を使って光速の測定をしたことがあります、何をどう間違ったか、1桁も遙って悔しい思いした記憶があります。レーザーですとシャッターさえ正確に制御できれば、それなりの結論が出ると考えますので、子どもと楽しみたいと思っています。

今回、このような研修会を企画し、参加させていただいた物理教育学会北海道支部の皆様にお礼を申し上げるとともに、今後もより一層、子どものための科学啓蒙活動を推進されますよう、お願い申し上げ、お礼とさせていただきます。

「実験を通して、探究心を高めることの大切さ」

北海道留萌高等学校 貝塚典生

私はこの夏、親しい先生から北大の工学部で行われるこの企画に参加しないかと誘われ、最先端の技術を学べるという話に興味を持った。また、日頃から理科教育における基本は実験にあると考えていることもあり、体験した技術を習得し、子どもたちにデモンストレーションして還元できるということも参加しようと思ったきっかけであった。

最初の2日間で私が参加したプログラムは『レーザを使って固体を蒸発させてみよう』(須田グループ)、『くもりガラス越しの見えない写真を元通りに復元する』(岡本グループ)、『ナノテクノロジーエクスペリエンス』(武笠グループ)であった。

『レーザを使って固体を蒸発させてみよう』では、基本的な光学についての説明を受けた後、レーザーアブレーションという現象について説明してもらった。レーザーアブレーションとは、レーザ光を固体に照射した場合、固体表面においてレーザ光エネルギーが電子・熱・光・力学(機械)的エネルギーに変換され、ある閾値以上になると、中性原子・分子・正負のイオン・ラジカル・クラスター・電子・光子が表面から爆発的に放出され、固体表面がエッチングされるプロセスである。この現象を観察するために防塵服を着てクリーンルームに入り、実験を観察させてもらった。炭素、マグネシウム、アルミニウム、銅などの試料にレーザを照射させると、それぞれに特有の発光現象が起こり、見た目にとても鮮やかであった。また、試料の雰囲気のアルゴンガスの濃度を調整することにより、発光の程度が変化する様子も観察

でき、興味深く思えた。

『くもりガラス越しの見えない写真を元通りに復元する』では、元の写真をくもりガラスを通して普通の鏡に反射させ、また、くもりガラスを通してやると、当然、写真の像はグチャグチャに乱れてしまうが、位相共役鏡を用いて反射させると、元の写真の像がくっきり見えるのだ。この不可思議な現象を間の当たりにして、私はどうしてこんなことが可能なのか疑問の塊になってしまった。普通の鏡では、鏡は波面の伝播方向を鏡面で折り返



した方向に変えるため、波面の遅れは反射した後で2倍になってしまうのだが、位相共役鏡では、波面の形

はそのまま伝播方向だけが反転するため、どのような角度で入射しても打ち消しあって元の波面に戻ることができるからだと説明され、理解することができた。難しい説明もあって理解できない部分もあったが、大体においてわかりやすく説明していただき、実験の意外性に驚くと同時に平易な説明を心掛けていた先生方に感銘を受けた。

『ナノテクノロジーエクスペリエンス』では、この分野での世界的な権威である武笠幸一教授の研究室で現在行われている研究を披露してもらった。博士課程に在籍している学生を中心とした学部の学生まで総出で貴重な時間を私たちのために割いて説明してもらい、実際に電子顕微鏡を操作し、ナノ領域の世界を体験することができた。一口に電子顕微鏡と言っても、色々な種類があり、電子レンズを用いて結像する透過型（STM）のほかに、試料表面で反射した電子を結像する反射型、集束電子線を試料表面上に走査して各走査点からの二次電子を用いて像を作る走査電子顕微鏡（SEM）があることがわかった。武笠教授は原子の持つ電子スピンを情報量の単位として、メモリの究極である原子メモリを研究中で、真摯な態度で研究に臨んでおられ、学生の教育にも熱心な方で、将来の理科教育、特に物理教育に力を入れたいと熱っぽく我々に訴えてくれた。

残りの2日間は物理実験を中心に子どもたちに北大の遠友学舎でデモンストレーションする場があった。青少年の科学の祭典に何回か出ている私にも目新しい実験がいくつもあり、小中高の先生方をはじめ、北大の教授先生、またその門下の学生たちが積極的に参加していた。

物理のおもしろさを理解するためには、数式の整合性に素晴らしさを見出すだけではないのは言うまでもない。物理を学び、それを将来の糧として生きていく人は全体から見れば、ほんの数パーセントであろう。数式にこだわり過ぎて物理=数学のような錯覚を与えることを避け、物理本来の持つ事物・現象についての観察、実験を通しての自然に対する関心や探究心を高めることは、数式を使わないでも可能だと思う。少数のエリートのための物理教育も大切なのが、理科離れ、特に物理離れが顕著な今、私も含め、物理を教える立場の人間がすべきことは、まずはもっと物理を学ぶ者の裾野を広げることであり、そのための発想の転換が求められているのかもしれない。

「物理教師のための理科教室

…これはおもしろそう！

北海道立命館慶祥高等学校 水野 広介

高校で物理を教えていても教科書に掲載されている内容はガリレオやニュートン、ファラデーなど古きよき時代の物理の世界であり、現在の物理を知る機会や教える機会などまったく無い。いきおい、時代からまったく取り残された感が年を取るたびにますます強くなっていく。歴史的に考えれば、非常に重要な物理学の基礎を高校の数学の範囲で教えているのだがどうしてもマンネリになってしまい「新たな発見」「なるほど」と思うことがあまりなくなってしまった自分に気がつき愕然とすることもある。何かの機会があれば最先端の研究に触れ、新たな物理学に関する息吹を感じ自分自身に喝を入れたいと常日頃から思っていた。

そんな中で一通の案内状が届いた。「リフレッシュ理科教室」だ。「おやっ」と思った。子供たちに物理を教える機会は沢山あるが自分自身の為の物理教室は始めてだ！ぜひ参加してみようと思った。何とか一日時間を開けることができた。「しめた」これを機会に物理に対する情熱を取り戻そう。

8月6日（天気晴れ）

北海道は今年寒い夏が続いていた。その中で朝から暑さを感じる一日だった。札幌に住んで居正ら北海道大学のキャンパスを訪れるのも久しぶりであった。木立に囲まれた趣のある校舎、緑の芝生が目に眩しい。やはりこのキャンパスは数ある大学の中で一番美しいキャンパスだと思う。

真新しい工学部の校舎に集合し、そこから各研究室に向かう最中心が躍った。電子科学研究所（名称が違つ

てたらすみません)は木立に囲まれた古い建物であった。やっぱり大学は「こうじやないと」と一人悦にはいっていた。ここで一日「干渉計を用いた高精度測定」の講座を受けるのだ。

研究室にはいかにも精力的な学者と思われる先生がいた。やはり大学だとここでも感心する。午前中は研究室でコーヒーを飲みながらコヒーレンスな光と低コヒーレンスの光の干渉についての座学である。待てよ、光が干渉するのはコヒーレンスな光だけだと教科書に載っていたぞ。ここでも面食らってしまった。しかし、楽しい座学であった。

昼食を挟み午後からは実験だ。午後に入り気温はますます上がり、格好きつくなってきた実験室では学生さんがわれわれに実験についての説明をしてくれた。小さな実験室でクーラーもなし。この中で毎日研究しているのかと思うと頭が下がる。頑張れ若者!

まずはマイケルソン・モーリーの実験である。物理の啓蒙書を見ると必ずと言っていいほど出てくる実験であるが実際に目にするのは始めてである。ほんとに干渉するのを目のあたりにすると本当に凄い。今度は冬にきて干渉縞が消えないことを確認したいと思った。レーザーの無い時代にマイケルソンとモーリーは特殊相対論の基礎を作ったのかと思うと彼らの実験と物理に関する情熱をひしひしと感じた。そして、最先端のインコヒーレンスレーザーを使ったガラス板の厚さの測定実験である。医療の現場ではもう応用されている技術だと言うことだが実験していて結構楽しい。目に見えなくてもそこには光が存在しているのだと言う実感があった。本当に楽しい一日だった。

「最先端の技術に触れてみたい」

北海道仁木商業高等学校 青木 弘典

動機「最も重い元素はねつ造だった。追試で確認できず」 最も重い原子番号118番の元素を作り出したとして注目された1999年の米国立研究所の成果は、担当研究者のねつ造によるものだったことが判明、同研究所は15日までにこの研究者を解雇した。(7月16日朝刊:北海道新聞)
大学で研究されている最先端の技術に触れてみたい。

1日目(8月5日)

北大電子科学研究所光材料研究分野で、半導体研究の最前線の一端を、主に結晶構造と光学特性の観点から紹介、見学。ウー・・難しい!!。

(1) 光デバイスの材料となる化合物半導体を制作するための結晶成長装置

- ① 分子線エピタキシー法(略してMBE)
- ② 超高真空中で、分子線を加熱した基板に照射し成長させる方法。
- ③ 単原子層オーダーでの成長制御が可能、さまざまな構造の成長も可能。

(2) 結晶成長した化合物半導体の結晶構造を調べるX線回折装置

- ① $2d \sin \theta = n\lambda$ を利用。
- ② 1サンプル約8万円。

(3) 試料の表面や断面の様子を観察するための走査型電子顕微鏡と原子間力顕微鏡

- ##### 走査型電子顕微鏡
- ① 略してSEMという。
 - ② 電子ビームを利用して肉眼では見えない小さな物質を拡大して観察する道具。
 - ③ 立体的にものを見ることができる。
 - ④ 物質の表面や内部の構造、欠陥を高倍率で観察することができる。

原子間力顕微鏡

- ① 略してAFMという。
- ② 一般に広く用いられている光学顕微鏡や電子顕微鏡とは全く異なる原理。
- ③ 鋭利な先端をもつ針を試料に近づけると両者の間にファンデルワールス力が働く。
- ④ この力をを利用して試料表面を原子レベルの高倍率で観察できる装置。
- ⑤ 絶縁物や生体試料にも適している。

(4) 作製された半導体の光学特性を評価するためのPL測定装置

- ① PLとは蛍光と略す。
- ② ルミネセンスというのは、物質がエネルギーの吸収・放出をするとき、放出エネルギーは光の形で吸収エネルギーは光の形に限らないもの(電磁波、X線、摩擦、光、熱など)をいう。
- ③ フォトルミネセンスは、光の形でエネルギーを吸収するルミネセンス。
- ④ 直径数μmレーザーを半導体基盤上のドット(人工的な構造物)に照射し放出される光から、その光学的特性を測定する。

2日目(8月6日)

北大大学院光学研究科で、台所からのナノサイエンス(超薄膜の世界)と称し、ナノの世界を体験。分子レベルで行われる研究のスケールを、身近な例で提示、観察。

(1) シャボン玉

- ① シャボン玉にはいろいろな疑問があり、原子や分子と

いう概念がない19世紀以前からニュートンや多くの科学者が作成、観察、考察を繰り返してきた。

- ② シャボン玉の色は薄膜による光の干渉効果。(19世紀、ヤング)
- ③ シャボン玉が球状になるのは表面張力のため。
- ④ 血の上につくったシャボン玉の頂上に、時間がたつと現れる黒膜は、石鹼分子の親水基同士が向き合って配列した二分子膜。

⑤ この二分子膜の厚さは約4.5nm ($=10^{-9}$ m)。

- ⑥ 黒膜は、膜の外側での反射と内側での反射が同時に起きて、ちょうど山と谷が重なるような干渉が起きるため、打ち消しあって黒く見える。
- ⑦ 通常のシャボン玉は、二分子膜が何層も重なったもの。
- ⑧ 黒膜の最小の厚さが分子長の2倍であることは、分子の存在を明らかにする有力な証拠の一つとなった。

(2) LB膜(ラングミュアーブロジェット膜)

- ① 台所用洗剤は両親媒性分子。
- ② 水面に両親媒性分子を滴下すると、球状にならず水面に広がろうとする。
- ③ 水面上の単分子膜をラングミュア単分子膜(LB膜)と呼ぶ。
- ④ 水面上の単分子膜を固体表面に移し取って蓄積させたものをLB膜と呼ぶ。
- ⑤ LB膜には分子の配列によってX型、Y型、Z型の3種類のタイプがある。
- ⑥ 水面に充分に展開した単分子膜を、仕切り板を移動させて面積を縮小(圧縮)させると、分子間相互作用により、結晶のように規則的に並んだ単分子膜が作成できる。
- ⑦ LB膜の応用として、

- ・ 光、電子、磁気、薬品などに感応するものを用いて、外場からのエネルギーをLB膜で変換する研究を通して光センサーや光を電子に変換する素子などの開発。
- ・ 神経細胞から抽出した脂質を用い、生物半導体の開発や生体膜中のイオンチャネル機構の解明の研究。

(3) マーブリング(墨流し)

- ① 水面に落として広がる墨や絵の具も単分子膜。
- ② 水の状態、成分、室温、塵埃、顔料、紙など、多くの要素による偶然性が魅力。

まとめにかえて

理科教育とは、自然界の仕組みや法則を理解し考えるのが本来の目的。具体的な形で示すことで興味がわき、理解が進むことを改めて実感した。私にとって、今後見るシャボン玉は現象的には同じであっても、全く異なる「シャボ

ン玉」として存在する。ナノテクノロジーにおいても、トップダウンは限界であり、ボトムアップが注目されているとのこと。生物の自己組織化がお手本のようだ。教育においても、大切なことは、本来持っている生徒一人ひとりの力を信じて、日々がんばるしかないようだ。

大変有意義な研修でした。平岸高校の横岡先生を始め関係者に感謝申し上げます。

「貴重な体験でした」

北海道札幌手稻高等学校 中原 浩

私はリフレッシュ理科教室の「ナノテクノロジ一体験」に参加させてもらいました。

まず、最初に武笠教授からこの分野の研究について簡単な説明を受けました。ナノテクノロジーの先進性、将来の目標はスピinnメモリー、うーん結構難しい話になるのかな、とちょっと不安でした。

午前中は走査型トンネル顕微鏡の説明とそこで使用するタンゲステンの針の作成。何々、原子をなぞってその姿をさぐるって?物理の教科書に出ている原子の画像はそんな単純な方法で描かれていたのか。しかも、実習で先端の鋭くとがった針を作らせてもらいましたが、その方法は何と高校化学で誰もが教わる電気分解。最先端科学がこんな風に成り立っているとは、だんだん興味も増してきました。

午後は、防塵室で電子顕微鏡を操作させてもらいました。自分が思っていたものよりずっと小型で操作も非常に簡単、午前中に作った針の先端や髪の毛、メモリーチップなどを観察、子供のようにモニターをのぞき込む参加者達でした。

そして、いよいよ走査型トンネル顕微鏡を見学。これが、原子の凹凸を針でなぞって観察するという機器か、さすがに大がかりだな、などと思っていたら、まず針を試料に極力近づける操作を院生の方がやってみせてくれました。カメラに写った様子を見ながら、針が近づき試料であるシリコンの表面に反射した針が写るので近づいたことがわかる、とここでも意外と原始的な方法が取られていました。しかし、その後は全てパソコンのモニターを見ながらの操作。最初はテラスという階段状のものが見られこれが原子の並んだ階段だそうでまず感心、やがて倍率を上げてシリコン表面の原子の様子がゆっくりと明らかになっていきます。とても感動的。

しかし、このような原子レベルの短距離で針を動かす技術というものは、そう容易いものではないはず。目前で見せられてもまだ色々な疑問が湧いてきました。こ

の装置が正しく動いていることは像が見えてこそわかること、もしこれで何も見えなかつたら、その見えなかつた原因をどのように探つていけばいいのか、その苦労を考えると気が遠くなりそうでした。

今回この教室に参加するまでこの分野の事は全く未知の状態でしたが、自分が思ったより進歩が早く、またそれとは裏腹に原始的な手法が見られたりで驚きの連続でした。自分の教え子もこんな所で研究ができるば素敵なことだ、授業中にも今回の経験を生徒に伝えたい、そう思いながら北海道大学を後にしました。

「久しぶりに教わる側の体験をしました」

北海道南茅部高等学校 堀 輝一郎

今回、このリフレッシュ理科教室では、北海道大学で最先端の研究に直接触れることができるとのことで参加させていただきました。いくつかの選択肢の中から次の3つの研究に触ることができました。

1：光と球の不思議な関係

簡単に書くと、透明な微小球をレーザー光で捕まえて動かすという実験です。たとえば、光が空気中からガラス中に進むとき屈折しますが、光が曲げられるということは光がガラスから力を受けたことになります。作用反作用の法則から、ガラスは光から力を受けることになります。この力を放射圧といいます。この放射圧を利用して微小球を並べて、マイクロメートルオーダーで文字を書くことができます。

非常にわかりやすく説明していただき、また光の屈折という身近な現象を利用していることから、原理についても理解したつもりでした。しかし、放射圧は今まで考えたこともない力なので、光でものを動かすという現象に納得できない部分もありました。

実際の実験は大部分セッティングされていたものだったので、簡単に行うことができました。説明していただいた原理の通り、あまりにも簡単に微小球をコントロールできたのには驚きました。

2：くもりガラス越しの見えない写真を元通りに復元

このタイトルを見たとき、ソフトウェア関係の話だと思いましたが、全く違いました。くもりガラス（実際の実験ではプラスチックカップの底をしようしました）を通った歪んだ画像を、光の性質を巧みに利用してもう一度同じくもりガラスを通して元の画像を得ることができるということでした。しかもこの画像を復元するために重要な役割を果たすのが、透明な小さな立方体の結晶（フォトリラクティブ結晶）なのには驚きました。

実験では光学系のセッティングから行わせていただき、大変良い経験になりました。きちんとセッティングができていれば、歪んだ画像が徐々に元の画像が現れます。この数十秒の待ち時間のおかげで、鮮明な画像が現れたときには感動しました。

3：半導体の結晶構造

まず驚いたのが、この実験でお世話になった研究室が、半導体結晶の作成から評価まで一貫して行っており、数千万円から数億円の装置があちらこちらに並んでいることでした。実験は評価の方が中心で、X線回折とフォトoluminescenceを利用した試料の評価を行いました。

実験前の概要説明では、実験方法だけではなく最近の半導体関係のおもしろい話題や将来の展望を詳しく説明していただき、また私のとりとめのない質問にも丁寧な回答をいただき大変勉強になりました。実験の途中にはインドから来たばかりの方から、インドの理科教育に関する話を聞くことができ、大変興味を持ちました（もっと英会話ができればもっと楽しかったと思います）。

全体を通じた感想をまとめました。

- ・最先端の科学の話を聞くだけではなく、実際に実験装置を見たり、触れたりすることができ、体の芯から理解できました。理論的な理解と、実験による体験の両方が重要であることを再確認できました。

- ・普段は教える方の側にいますが、教わる側を久しぶりに体験することができて、生徒の側にたった授業展開の重要性を再認識しました。

「ワクワクする体験をさせてもらいました」

北海道轟白高等学校 中道 洋友

本校の生徒は好奇心が旺盛で、よくテレビなどで見た出来事（もちろん科学に関する）を質問してきます。メールリストで応用物理学会北海道支部主催で行われる「リフレッシュ理科教室」の案内を見て、11年ぶりに勉強してみようと思い立ち、「台所からのサイエンス」「光と球の不思議な関係」「くもりガラス越しの見えない写真を元通りに復元する」を受講しました。

「台所からのサイエンス」では、シャボン玉と細胞膜との関連から自己組織化への最新技術を、「光と球の不思議な関係」では、レーザー光の運動量を利用し微小球を固定する方法を教えていただきました。

中でも最も興味深かったのは「くもりガラス越しの見えない写真を元通りに復元する」では、その名の通り、くもりガラスを通りぼやけてしまった像を反射し、再びくもりガラスを通ることでもとの映像に戻る不思議な鏡

です。位相共役鏡というそうですが、小さな（学生時代に複屈折の実験で使用した方解石によく似た）結晶です。この結晶でくもりガラスを通した光を反射し、普通の鏡ではぼやけている像がゆっくりと鮮明になっていく様は、まさにワクワクする瞬間でした。

3つの実験それぞれが、そのまま生徒に伝えて興味の持てる不思議な現象で、また担当された先生方のご苦労もあったと思いますがとてもわかりやすい内容でした。また、私たちの質問にも丁寧に答えていただき大変感謝しています。

何年かぶりに自分自身もワクワクする体験をさせてもらいました。この感動を生徒にも伝えたいと思います。

「この感動を伝えていくことが大事」

北海道長万部高等学校 西田 元芳

日頃の雑務に忙殺され新しい教材研究や学習、研修に御無沙汰であったところに大学の研究室で行なわれている実験などに触れることができるという「リフレッシュ理科教室」の案内のメールが届き検討する。

大学を離れて20数年、研修内容が理解できるか不安になるが、小・中学校の先生や専門外の人でも理解できるように説明してくれるとの案内文に多少安堵しながら申し込む。

8月5日（1日目）は北海道大学電子科学研究所、岩井研究室の石井先生にお世話になり、「コンピュータによるホログラムの作成」に取り組む。午前中はホログラムの原理からコンピュータを利用してどのように干渉縞を作成するかまでを説明していただいた。大まかな原理的なものは理解できたが説明途中オイラーの公式やフーリエ変換が出てきた辺りから20年前の記憶を辿るのに苦労し、理解に苦しむ。ただ、この辺は理解できなくても、すでにある変換プログラムを使うことでホログラムの干渉縞は作成できてしまう。

原理的には立体の物体のホログラムの干渉縞も作成できるが、今回の目的はどのような手順でコンピュータによって干渉縞が出来るかを理解する講座であるから平面図形のホログラム干渉縞をコンピュータで作成し、プリントアウト。それをミニコピー用のフィルムに撮影し現像した。これでホログラフィーの完成。このフィルムにレーザーの参照光を当てるとき先きほど描いた図形「西田」という文字が浮かび上がる・・はずであったが縦横の直線で描いた図形は再現性が悪く残念ながらきれいに見えなかった。もう1人の先生が描いた三日月と星の図形は再現されていた。

8月6日（2日目）は武笠研究室のスタッフによる「ナノテクノロジーエクスペリエンス」であった。

午前中は武笠教授からナノテクノロジーを取り巻く現況や、最近の学生の感動しない気質に危惧していてそのことも今回の講座を企画した理由の一つであることなどの話を伺う。その後、トンネル効果を利用した走査型電子顕微鏡用の探針の作成に。最先端の装置に使う針が簡便な装置で出来てしまうことに拍子抜け。

午後からはクリーンルームに入り、走査型電子顕微鏡で午前中に作った探針や毛髪などを操作しながら観察したり、原理的には走査型電子顕微鏡と同じであるが電子の代わりにガリウムイオン？（記憶が定かでない）を照射し微細加工する装置などの説明を受ける。

クリーンルームから出てトンネル効果を利用した走査型電子顕微鏡を見学する。感度？（倍率？）を上げてゆくと試料であるシリコンの原子がきれいな幾何学模様を描いて配列しているのが観測されて感激する。ガラス窓から装置を覗き見ると実際の可動部分は手のひらに乗るくらいの大きさで試料に探針が接している（実際には原子1～2個分離れている）のが見える。シリコン結晶の表面から原子1～2個分ほど離れた距離を探針が走査することにより像が描かれるのであるが、探針の移動（実際には試料の方を動かす）は原子の直径の1/10程度でコントロールできているらしい。まさに目の前で、極微の世界で物事がコントロールされその様子がディスプレイに表示されている様に感動する。

最後に絶対零度近くまで冷やされた試料に励起用のレーザー光を照射し、その後に放射される蛍光を観測することにより電子のスピinn状態が分かるなど物性を調べている実験装置の説明を受けた。

「百聞は一見にしかず」という諺があるが実際に現場の装置を操作したり、携わっている先生方や院生、学生さんから生の話を伺うことが出来、新しい世界が広がったと感じています。

我々の仕事は今回の研修で学んだ知識を分かりやすく生徒に伝えるということも必要だが、それ以上にこの感動を伝えていくことが大事ではないかと思っています。

最後になりますが今回の研修の機会を与えて下さった横岡先生、並びに忙しい研究の合間に縫って指導して下さった先生方、院生、学生の方々に紙面を借りて感謝申し上げます。本当に有り難うございました。

おもしろ科学の祭典 IN びほろ

美幌町立美幌小学校 鈴木 孝子

平成15年8月23日(土曜日)、美幌町において科学の祭典が行われる。この事業は教育委員会が昨年、町内の児童を対象に行った「子どもの生活実態調査」をもとに今年初めて行う事業である。

美幌町教育委員会社会教育課青少年育成専門推進員の西尾義明氏から、北海道各地で開催している科学の祭典を町内でも実施し、「科学の不思議さ、楽しさを体験するだけでなく、人と人とのつながりの大切さなどを伝えたい」と打診を受け、開催の準備について報告する。

1. 経緯

昨年、美幌町教育委員会が子どもの生活実態調査(土曜日の過ごし方)を行った結果、「今の子どもの達は、室内でテレビゲームなどを相手一遊びを楽しんだり、友達が集まつても一人ひとり自分の世界で遊んでいることが多く見られ、遊ぶ力さえ失われつつある。さらに、自然体験、社会体験などの不足、異年齢集団の稀薄、自発的活動の衰退など。健康で豊かな感性や創造性など『たくましく生きるエネルギー』が失われつつある。そのために、一つでも多く、自分を忘れて夢中になって遊びに没頭できるような魅力ある体験プログラムや場を作ることが必要だ。」と教育委員会が新規事業を立ち上げることになった。

教育委員会社会教育課に昨年4月、青少年育成推進員として西尾先生が赴任され、私も同時期美幌町へ転勤。西尾先生とは、先生が校長職のときの留辺蘿町立留辺蘿小学校PTA行事で科学実験教室を開催したおり、お手伝いに伺って以来2年ぶりの再会となった。

西尾先生が来校する折には科学教室の話題で盛り上がり、いつか美幌町でも科学実験教室ができるのかと話しをしていた。

「科学の祭典」は北海道各地においてを開催しており、私も各地にお手伝いに伺って、もう10年になる。また、北見の科学の祭典のメンバーが、「サイエンスキャラバン」と称してオホーツク各地域に出向き実験教室を開いている。

「子ども達が輝くとき!」それは、遊びによって実現できるものであり、そして、子ども達の心身の育ちを活性化するエネルギーとなっていることを、各地で開催される実験教室において肌で感じ取ってきた。

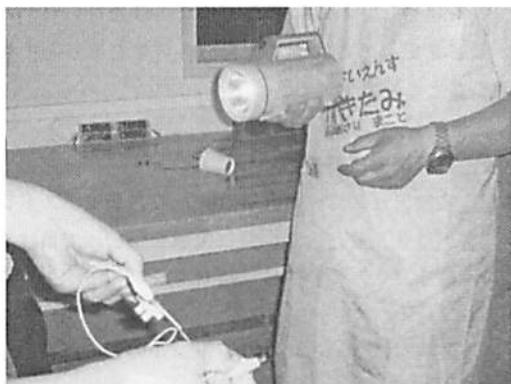
2. 美幌「科学の祭典」実行委員会の立ち上げ

社会教育課の新規事業であり、私としても祭典の運営など初めてのことある。そこで、北海道科学の祭典実行委員会理事の浅利誠先生、北見実行委員会実行委員長石原邦彦先生のご協力を頂き、準備委員会を持ち、

美幌科学の祭典実行委員会の準備を進めた。構成メンバーは地元の中高の教員、社会教育活動奨励員、高校生ボランティア、北海道「科学の祭典」実行委員と北海道「科学の祭典」北見実行委員とした。また、事務的なことについて、デモンストレーターの依頼と実験材料の準備については私が行い、参加呼びかけは事務局が行っている。さらに、実行委員すべてに対して、事前研修会を開き、実験実技演習を見て頂くことを計画した。7月8日と22日午後7時からマナビティセンター(社会教育課が入っている建物)に集まり実際に実験を見て頂いた。



燃料電池実験モデル



光通信による「スピーカー」



実験室風景

3. 役割と協力体制

実験演示項目とデモンストレーターへの呼びかけについては、科学の祭典北見実行委員会の例会にてお知らせをすると同時に、北網圏北見文化センターの高橋氏の全面的なご協力をいただいた。また、北海道立理科教育センターの八島弘典先生にもご協力ご支援を得ることあできた。

実験材料や実験に関することについては、多少の心得があるので私が担当することになった。また、町内の児童生徒への参加呼びかけについては、社会教育課が毎月発行している「子どもための通信 ブレイガイド」にてお知らせをいただき、開催前日にはチラシを作成し学校を通じて配布することになった。

各地で開催している「科学の祭典」について実行委員の方々は全くと言っていいほど知られていなく知名度は低かった。美幌での開催が初体験になるので、多くの実験演目を揃えたいと考えていたところ、多くのデモンストレーターから快い返事を頂いた。

デモンストレーターと実行委員が一緒になってブースを担当し、いろいろな方法で実験を行い科学の楽しさを伝えると同時に、自分も科学を楽しんでもらうことを考えている。

4. 当日までの準備

実験ブースは今現在29になり、デモンストレーターは32名。また、共に実験を手伝って頂ける方々は40名。その中には理科クラブの小学生も含まれている。

実験演目は、いろいろなジャンルのものが集められた。

「あっとおどろくでんち作り」

- 「電池のいらないラジオ作り」
- 「目で見る音と耳の仕組み」
- 「水飲みささか鳥」
- 「風船ホーパー」
- 「みつばちブンブン」
- 「流れる空気の仕組みを実感しよう」
- 「バタリン蝶」
- 「ソーラーカーに乗ろう」
- 「ドラム缶つぶし」
- 「エアーポール」
- 「あっと驚くアイスクリーム」
- 「浮沈子で遊ぼう ゆらゆらキャッチャ」
- 「ブーブー笛」
- 「作用反作用 ペットボトルロケット」
- 「万華鏡作り」
- 「酸とアルカリ お絵かき」
- 「葉脈標本」
- 「液体空素の不思議」
- 「真空の世界」
- 「ムニュウムニュウ星人やつてきた」
- 「アメリカンフラワーをつくろう」
- 「手作りブーメランで遊ぼう」
- 「空中ゴマで遊ぼう」
- 「電気パン」
- 「種を科学する ポップコーン」
- 「ジャンボシャボン玉」
- 「アルギン酸ポール 人工イクラ」
- 「スライム」

この他に、北網圏北見文化センターのプラネタリウムの画像を会場内に設けたスクリーンに映し出す事も考えている。これはシステム機をISDN回線に接続して、離れた場所でも画像と音声が互いにやりとりできるため、以前に理科授業でも使用したことがある。子どもたちはテレビ電話のようにとらえていたものである。

5. 当日の日程

- | | |
|------------------------------------|-------|
| ・会場準備～ | 8：00 |
| デモンストレーターと美幌実行委員会による実験舞台の作成と実験材料準備 | |
| ・受付～ | 8：30 |
| ・開会セレモニー～ | 9：00 |
| ・科学で遊ぼう～ | 9：15 |
| ・閉会セレモニー～ | 11：45 |
| ・後片づけ～ | 12：00 |

物理教育研究

論文集

日本物理教育学会 北海道支部

Vol. 31, 2003. 7

早押し装置の製作とその紹介

北海道芦別高等学校

齋 藤 隆

1はじめに

初めてこの装置の製作に関わったのは、今年度、執行部が学校祭でクイズ大会を実施するので、12クラスの代表の誰が早く応えたかを判定する装置を作れないかとの依頼であった。インターネットで検索したが、なかなかうまいものが見つからなかったので、北理研のメンバーに照会したところ、河田先生(現 登別南高校)が以前に製作したことがあり、具体的なキットの紹介があった。意外と知られていないようなので、LEDから交流電球点灯の表示用キットも含め、各種実験などに応用が可能と考え紹介する。

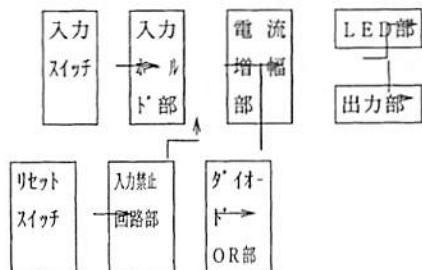
2キットの仕組み

(1) ELEKIT 早押し一番!!(KPS - 3222 株式会社イケイ
ジヤパン社製)

最大8人が対応でき、誰が一番早く押したかを検出する装置である。

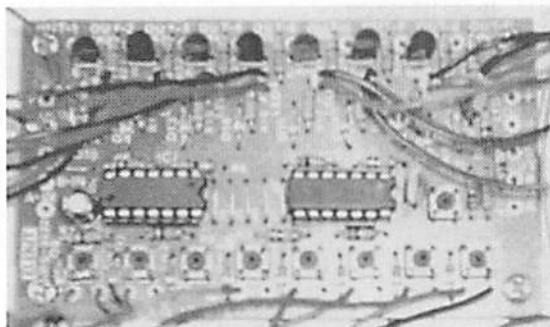
従って、一番早く押した後に誰かが押したとしても、他のスイッチに禁止をかけることで早押しの判定を行っている。

下記にブロック図・基板完成図を示した。



このキットには、LEDの他に出力端子(出力電流80mA)を8個備えているため、リレーなどを駆動できる。また、8個のスイッチは基板から延長してそれぞれ、取り付けることが出来る。

・電源電圧：4~6V・基板増設数：最大5台(最大40名)



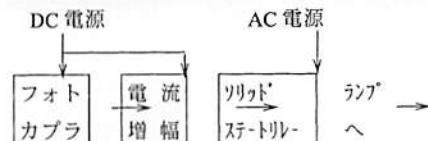
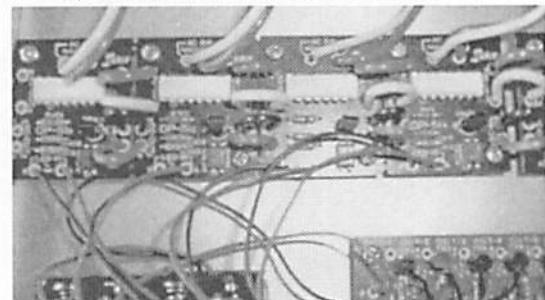
早押し基板完成図1

既にトランジスタの下にあったLEDは電球変換ユニットに接続のため取り外してある。

(2) ELEKIT LED 電球変換ユニット(OP-51 株式会社イケイ
ジヤパン社製)

LEDの光量では足りない場合に、AC100V用の電球を点灯させることができるキットである。

下記にブロック図、基板完成図を示した。



LED→電球変換基板完成図2

早押し基板からLED端子が変換ユニットに接続されており、1台の変換ユニットで4台の電球の点灯ができる。上部の写真にも4個のSSR(白のIC)が配置されていることが分かる。

原理は、早押しボタンのLED端子を外し、ここからフォトカーブラに入力する。フォトカーブラはLED及びフォトトランジスタを内蔵しており、増幅されたLED電流がSSR(リレードライブ・ステレオリード)に入力される。SSRはLEDとフォトダイオードが対にして内蔵されており、LEDの点灯によりトライアクリが作動し、電球が点灯する。

・電源電圧：3~5V(最大15Vまで可)

・接続数：使用ワット数最大400Wで制限

(例 10W電球であれば、40個)

3 製作

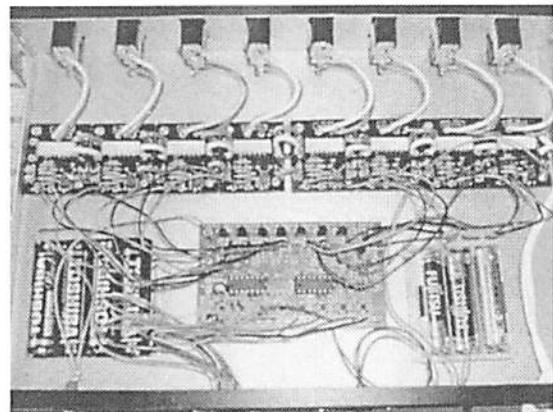
(1) キット以外に用意するもの

早押しボタンのキットは8個の入力を受け付けるため、殆ど8個単位で購入した。

- ・ブザー用押しボタン(ホーマック)
- ・赤色電球(10W) ・電球ソケット
- ・コンセント(雄、雌)
- ・9ピンコネクタ(雄、雌) 1個
- ・DC電源(5V早押し・4V変換ユニット用)
- ・キット収納用アルミボックス1個

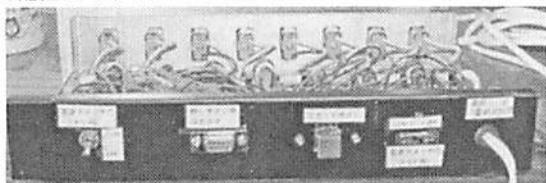
(2) 製作方法

キットを作成した後、動作チェックを必ず行うこと。次に、キットを納めるアルミボックスにコンセント(雌)用の穴を開けるなど、キットや電源用スイッチ、押しボタン用9ピンコネクタ(雌)を取り付けるなど、工作にも以外と時間を要する。しかし、アルミボックスに収納したり、押しボタンなどの工夫をしないと、装置自体が壊れることにもなりかねない。



早押し装置完成図3

アルミボックスに納められた基板と電源、上部には8個のコンセントを設置し、変換ユニットに接続。早押し基板からは、8個の押しボタンからコードを延長し、9ピンコネクタにまとめて配置してある。

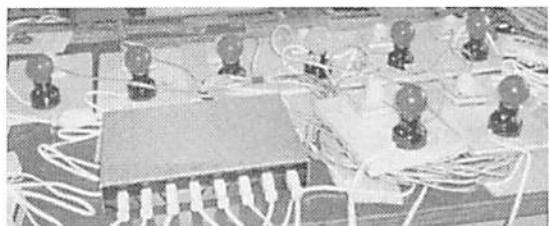


早押し装置完成図4

(アルミボックスを正面から見たところ)

左から早押し押しキット用6V電源、押しボタン用9ピンコネクタ、リセットスイッチ、変換ユニット用4.5V電源、電球用100V電源コード(スイッチ付き)

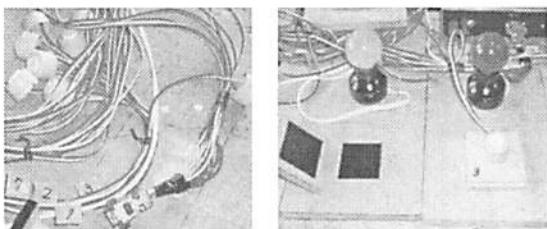
クイズ大会などでの不特定の生徒の使用を考え、配置



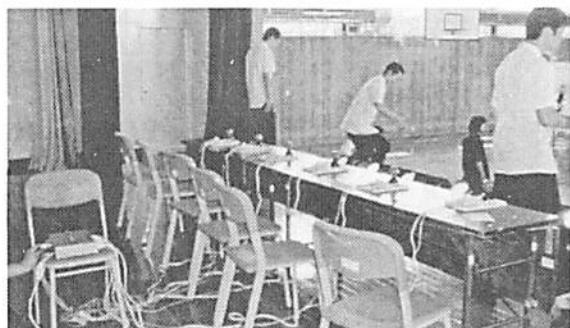
やスイッチ類の集約などに配慮した。

全体完成図5

(早押し装置に電球や押しボタンをセットし、動作チェックをしているところ)



電球とマジックテープで集約した9ピンコネクタ 着脱簡単スイッチ



早押しクイズ大会(雑学王決定戦)

前日準備し、用意万端！



はいあなたどうぞ答えてください

4 考察・まとめ

今回、旧 BUTURI サークルのネットワークで情報をいただいた。この装置は小電流で大電力を制御できることが分かった。学校祭を大いに盛り上げることが出来たが、物理実験などや科学の祭典での表示装置の工夫などに用いては如何？皆さんお試しあれ。

大型モンキーハンティング装置の製作

北海道芦別高等学校 斎藤 隆
北海道芦別総合技術高等学校 加藤 譲泰

1はじめに

モンキーハンティングの原理は容易に理解できるが、自由落下する物体に照準を定めたとおり当てることは、2物体の距離が離れるほど難しくなる。そこで、古掃除機のファンで圧縮した空気でゴルフボールを教室の端まで飛ばし、ゴルフボールが筒を出た瞬間に光スイッチで電磁石の電流を断ち、天井に吊した空き缶が落下してくるところに命中するかなりダイナミックな実験である。

本装置は、青少年のための科学の祭典等で紹介してきたが、昨年度、北理研北空知支部研究会で製作講習会を実施し、その際、光スイッチの基板をプリントパターン化したので、かなり、作りやすく、安定性も備わったので、紹介する。

2用意するもの

(1) エアバズーカ砲

- ・強力空気溜 (エアーハーファー)
- ・塩ビ管 (直径 5cm、長さ 2m)
- ・送風用ホース

(2) 光電スイッチ装置

- ・発光ダイオード (高輝度 LED)、赤外線センサー (TPS601) (ゲート用)
- ・ラッチ回路組込リレー

(3) その他

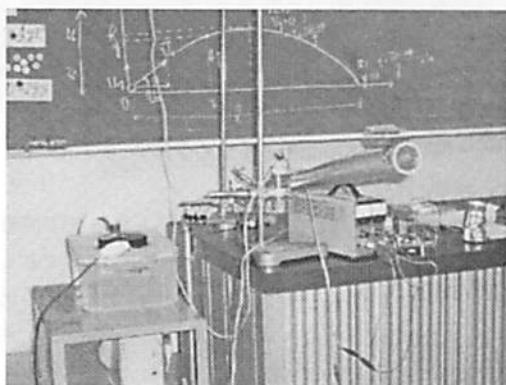
- ・電磁石 2台
- ・電源装置 2台
- ・アルミ缶 2台
- ・鉄製ボルト 2個
- ・暗幕 1枚
- ・C-クランプ 2個

3製作方法

(1) エアバズーカ砲

塩ビ管の先端に光スイッチのゲートを取り付けるため、一回り大きな塩ビ管の輪を用意し、左右に赤色ダイオードと赤外線センサー用の穴を開け、取り付ける。(回路図の左 2 列参照)

空気溜からの空気を塩ビ管に送るために、接続用の塩ビ管を排水用ホースに T フルーティングで接続しておこう。



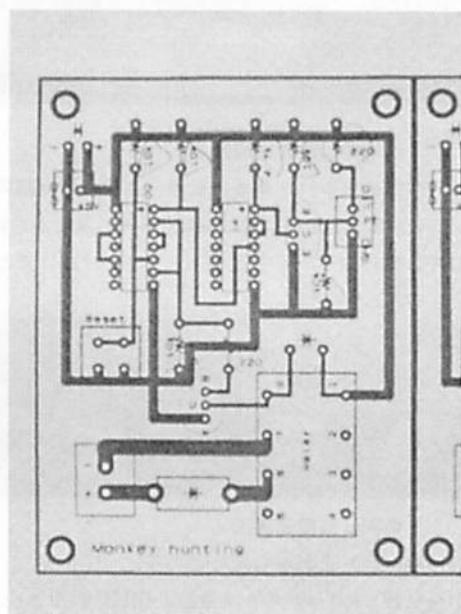
エアバズーカ砲を教師用実験台に、鉄製スタンドに取り付ける。鉄製スタンドは動かないように C-クランプで固定する。

(2) 強力空気溜

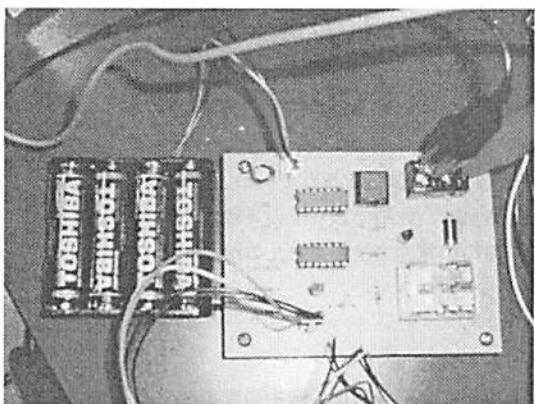
ホバーフライト用の空気溜のうち、強力空気溜を使う。空気の漏れを極力なくし、ラジオコントローラーの変形が少ない方が、空気圧が高くなり、ゴルフボールの飛距離が伸びることになる。教室の端まで飛ばすには、強力空気溜が必要であることが分かった。

(3) 光電スイッチ(ラッチ回路組込リレー)

リレーが切れる際に接点が振るえ、切れが悪くなること(チャタリング)が予想されるとのことで、ラッチ回路を組み込んだ回路をプリントパターン化した光電スイッチが次の回路である。



光電スイッチプリントパターン図

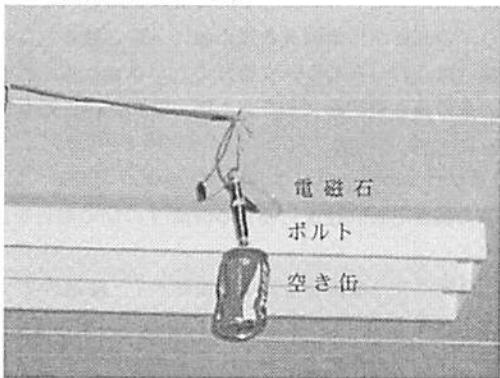


プリントパターンに部品装着図

(4) 電磁石

ある程度の重いものでも吊り下げられるように強力な電磁石にするため、番線を縛る細い軟鉄心を多数束ねて芯にし、ホルム線を400回程巻いて作った。この磁石だと、備長炭電池1個で画鋲などをくっつけることができる。乾電池1個でハサミを持ち上げることができる。

なお、切れると瞬間に逆電流が生じ、電磁石の磁力が完全に0とならないことから、途中にダイオードをかませ、逆電流を防止している。



(5) 自由落下物体

アルミ缶は磁性がないので、中心に鉄製のボルトを付け、これだけでは軽いので、中に単3電池又はボルトなどおもりとなるものを入れておく。また、当たった瞬間大きな音が響き効果的である。

4 実験方法

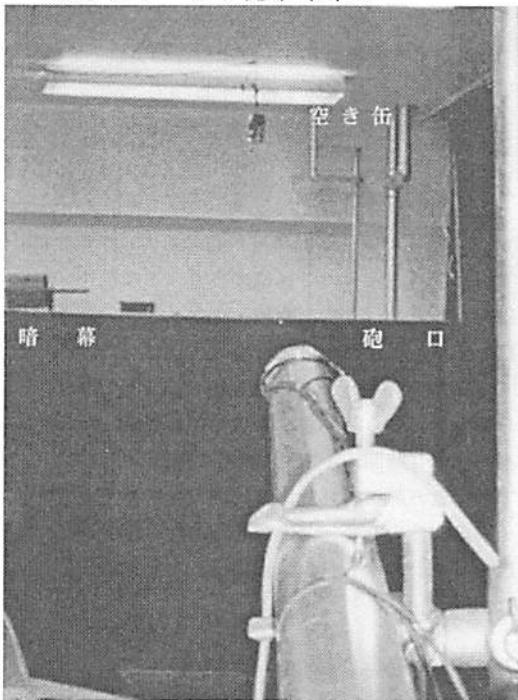
次頁の写真のように、回路及び電磁石用の電源に通電し、回路のリセットスイッチを押し、教室後方の天井から吊り下げる電

磁石に空き缶を吊り下げる。

バズーカ砲の奥から空き缶に照準が合っているか覗いて見る。

空気溜から一気に送風し、コルクボールを打ち出す。

ガッシューン！見事命中！



5 考察・まとめ

10年前に、このダイナミックなモンキーハンティングの装置を作り、授業や科学の祭典などで活躍してきた。しかし、多くの先生方に使ってもらわなければ折角の工夫ももったいない。

そこで、昨年度、北理研北空知支部研究会で製作実習を行った。その際、誰でも光電スイッチを作成できるように基板化した。お陰で、全ての工程を1日で終えることができた。この日、およそ10台を作成した。1校に1セットあって、物理現象が手軽に再現できるようになればと考えている。パターンが必要であれば、ご連絡ください。

一番大変だったのは、古掃除機集めである。滝川高校の大屋先生にも手伝ってもらい、何とか入数分集めたが、中にはさび付いて動かないモーターもあった。掃除機は有料の回収の対象にはなっていないせいもあって、地方で集めるのは時間がかかるので、電気屋さんにこまめに見回ることが肝心です。

振り子の周期を脈拍で測る + 2乗則の探究実験

北海道札幌啓成高等学校 石川 昌司

あらまし 効務校普通科第1学年で文理共通週1時間の「理科基礎実験」を行っている。この物理テーマとして「時間を測る」と題して、ガリレオが行ったとされる、脈拍で振り子の等時性を発見的に学習する実験を取り入れた。この実験で等時性はどのくらいの精度で検証できたのか、生徒の提出レポートに基づいて報告する。

キーワード 振り子の等時性、ガリレオ

1.はじめに

筆者の勤務校では、2003年度からの新カリ1年生に対して行う理科総合Aの2単位のうち、1単位を「理科基礎実験」と名付けて、物理・化学・生物・地学の4分野の実験を1年間かけて行うことになった。

この実験授業の物理分野の最初のテーマとして、「時を測る」という時間概念についての授業を行った。配当時間は2時間、1時間目は、暦の歴史の講義と、教室でもできる脈拍の実験、2時間目は物理実験室で振り子の等時性のグループ実験を行った。筆者は第1学年普通科8クラス中5クラスを担当、生徒数約200人を指導した。

2. 実験

実験に際して、プリントまたは口頭で生徒に与えた指示は次の通り。

A. 脈拍リズムは時計のかわりに使えるか？

- (1) 参加者全員が、着座した姿勢で静かに穏やかな気持ちをつくる。基準者（教員）は自分の脈を見ながら、スタートの号令をかける。その他の人々は自分の脈の数を数え始める。基準者は自分の脈がちょうど50回目になったときにストップの号令をかける。各自はそれまでに数えた自分の脈の数を記録用紙に書く。
- (2) 次に、参加者はある種の運動を一定時間行う。その後で、(1)と同様な方法で脈拍の数を数え、その結果を記録用紙に書く。

B. ガリレオは振り子の等時性をどのようにして発見したか

- (1) 班内で1人だけ計時係を決める。
- (2) 糸におもりを結んで長さが40?50cmくらいの簡単な振り子をつくる。この振り子を揺らしたときの、10往復に要する時間を計時係が自分の脈拍の数で測る。
- (3) 揺れの幅が、糸が鉛直に対してなす最大の角度が30度くらいのときと、10度くらいのときの10往復に要

する時間を計時係の脈拍の数で測り、比較する。さらに糸がなす最大角が45度くらいのときはどうか、同様の方法で10往復に要する時間を測り記録する。

- (4) 振り子のおもりの質量を変えると振り子の周期（=振り子が1往復するのに要する時間）はどのように変化するか。おもりの質量を変えて、同様の方法で10往復に要する時間を測り記録する。

C. 振り子の長さと振り子の周期の関係を調べる

- (1) この実験からはストップウォッチを使う。ストップウォッチは計時係が持つ。
- (2) 振り子の長さと振り子の周期の関係を調べるために振り子の長さを50cm, 45cm, 40cm, 35cm, 30cm, 25cmのそれぞれの場合で10往復に要する時間をストップウォッチで正確に測定する。この場合、振り子の長さとは支点からおもりの重心までの直線距離のこと。振り子の長さが指定の長さに正確に一致させられない場合は、むしろそういう場合の方が普通だが、実際の糸の長さを記録すること。例えば49.5cmというように。
- (3) パソコンの表計算ソフトに測定結果を入力し、振り子の長さ L と10往復に要する時間 T の間の関係を調べる。

自動グラフ機能を用いて、横軸が L 、縦軸が T^2 のグラフを書く。 n の値を1.0から少しづつ変化させて、データが原点を通る直線上に最もよく並ぶような n の値を探す。

A (2)の一定時間の運動には、ヒンズー・スクワットを30秒間行った。

BとCで用いる振り子は、釣りのおもりを布製の袋に入れ木綿糸で鉄製スタンドの腕から吊り下げた簡便なものを使用した。

Cで、時間はデジタル式ストップウォッチ、振り子の長さは巻き尺で測った。

振り子の周期を脈拍で測る + 2乗則の探究実験

表1：平靜時の脈拍数のばらつき

測定値の変化	人數
-9	0
-8	0
-7	3
-6	3
-5	4
-4	11
-3	14
-2	24
-1	20
0	31
1	21
2	20
3	10
4	11
5	6
6	5
7	2
8	3
9	0

Cのデータ処理には物理実験室のPC10台、ソフトはエクセルを用い

3. 結果

A(1). 平静時の脈拍数の変化

教師の50回の脈拍数の間に、生徒は自分の脈拍を数え、その結果を記録用紙に記入する。その後手を挙げさせて、クラス内で脈拍数の分布がどうであったか、おおざっぱに調査をする。その結果は、少ない生徒は30回以下、多い生徒は60回以上などとなり、生徒達は、脈拍リズムが大変個人差の大きいものであることを知る。

しかし、この実験を2回続けて行うと、同一個人について、脈拍リズムはほぼ一定になっていることがわかる。

この同一個人連続2回の測定値のばらつきについて、後日生徒が提出したレポートを元に調べてみた。その結果を表1に示す。さらに図1はこの分布を標準偏差3.066の正規分布のグラフと重ねてみたものである。これを見ると、測定値の変動はほぼ正規分布的になること

がわかる。

今回の実験では、標準偏差が大きくなってしまった。その理由であるが、生徒は自分の脈を見るに慣れていないため、数え間違えている可能性がかなりある。練習をさらに積めば、標準偏差はかなり小さく押さえができるだろう。

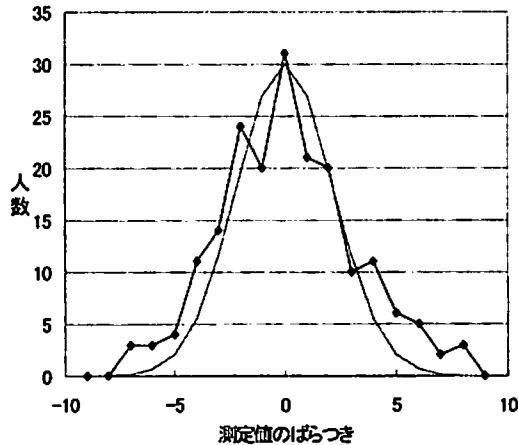


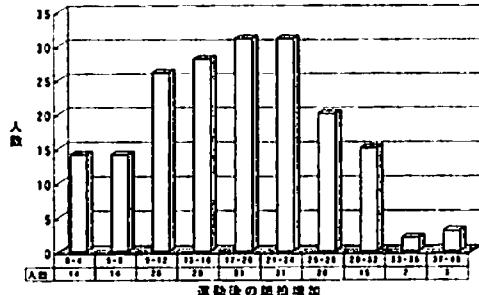
図1：平靜時の脈拍数のばらつき

「A(2). 運動後の脈拍数の変化」の結果

運動の直前直後で脈拍リズムがどのくらい変化するかを調べる。もちろん基準者（教師）は運動しない。

これも実験直後に手を挙げさせて、実験結果がクラス内でどのように分布したかをその場で調査する。20回程度脈拍数が増加した生徒が多い。（図2）

この結果から、脈拍リズムはそのときの自分の身体条件によって大きく変動することを生徒達は理解する。



「B. 振り子の等時性」の結果

ひとつ目の、振幅依存性についての実験では、角度振幅が、 10° , 30° , 45° の3通りについて、脈拍数の測定値が一致することが期待されるのだが、3つの測定値のばらつきを、生徒の提出レポートをもとに調査し、実験班の数の統計として図3に示した。

同様に、ふたつ目の、おもりの重さへの依存性の実験結果についても、測定値のばらつきを同じように調査し、実験班の数の統計で図4に示した。

これらのグラフの横軸は分散である。分散が0とは、3つの測定値がすべて一致している（ばらつきなし）ことを意味している。分散0.33とは、3つの測定値のうちひとつだけが他のものと1だけ異なっていたことを意味している。

結果は、1つ目の振幅への依存性では、56%の生徒班が分散0.33以内に収まっているが、2つ目の、おもりの質量に対する依存性では、74%の班が、同様に、分散0.33以内に収まっていることがわかる。

この結果から、脈拍を時計がわりに用いて振り子の等時性を確かめさせる目的は、かなり達成できていると見なしてよいと思う。

反対に、よい結果が得られなかった生徒班の、誤差の原因として考えられるのは、脈拍数のカウントミスの可能性もあるが、振り子の10往復の数えかたそのものに問題がある場合も多かったようだ。来年度同じ実験を指導するときの注意すべき点である。

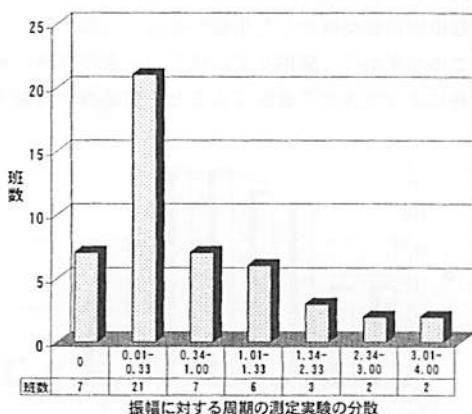


図3：振幅の変化に対する等時性の検証

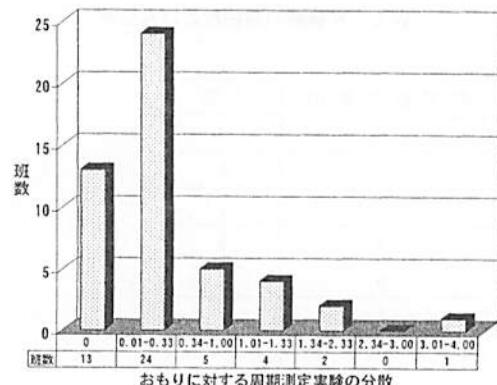


図4：おもりの質量変化に対する等時性の検証

「C. 振り子の長さと振り子の周期の関係を調べる」の結果

この実験では、時間はデジタルストップウォッチで測るので、時計の精度については、ほぼ問題がない。得られたデータはその場ですぐパソコンの表計算ソフトに打ち込み、グラフ化する。

従来、単振り子の実験でのデータ処理の方法では、横軸に振り子の長さをとって、縦軸に得られた周期データを2乗しグラフにプロットするか、または、縦軸は周期データをそのまま使い、横軸を振り子の長さの平方根でプロットすることで、近似直線を引いて、比例関係を見るのが一般的である。

しかし、今回の実験は、発見法的な探求活動を意図し、最適累乗則を捜すシミュレーションを班毎に行うこととした。その一例を示す。（図5、図6）

さらに図7は、生徒の提出レポートから見た、R2乗検定0.97以上の班で（計39班）、どのような累乗則を見いだしたかを調査し、実験班の数の統計として示したものである。

4. おわりに

以上の実験は、あの有名なガリレオの逸話に基づいているが、実はこの話は史実ありのままというわけではないらしい。しかし、きっかけとして、ガリレオが振り子の周期を自分の脈で測っていたことは大いにありそうに思う。

振り子の周期を脈拍で測る + 2乗則の探究実験

生徒達の提出レポートの感想欄には「脈拍リズムは人それぞれで大きく異なるので、時計代わりには使えないことがわかった」「脈拍リズムは運動状態で大きく変化するので時計代わりには使えないことがわかった」という記述のものがたくさんあった。

クオーツ時計や電波時計など、高精度な時計を使うことが当たり前になっている現代の高校生の目には、脈拍リズムはあまりにも不正確きわまりないものに映つたのかも知れない。

しかし、本来、科学的結論の成立は、その測定値の精度がどこまでかを意識していないと意味がない。具体的には、有効数字1ケタの精度で振り子の等時性を検証したいときに、クオーツ時計を使う必要はない。逆に言うと、1ケタの精度なら脈拍リズムを用いた実験でも十分ということが今回の実験でわかった。

最初に用いる測定器の精度を調べ、次に自然現象の測定値を収集するのは、科学実験の基本である。測定器の精度と科学的結論の依存関係について、より事前指導を徹底しておくべきだったと反省している。

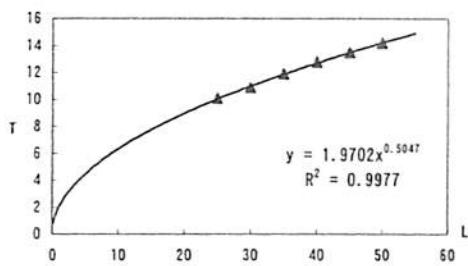


図5：T-Lグラフの一例

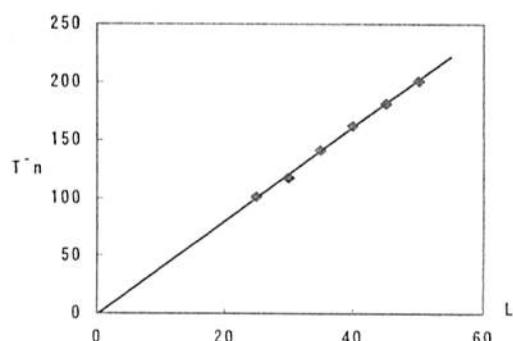


図6：T^n-Lシミュレーションの一例

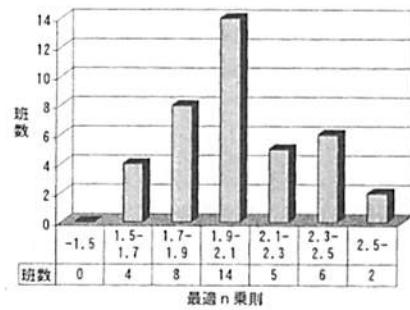


図7：累乗則シミュレーションの結果の生徒班の分布

釧路高専における模型スターリングエンジンの 製作を通じての物造り教育

釧路高専 機械工学科 山岸 英明 田中 幸二郎 並 耕二

近年スターリングエンジンに対する関心が高まり、それを物造り教育に役立てようとする教育機関が増えつつある。著者らもスターリングテクノラリー技術会等が主催するラリー参加を契機にスターリングエンジンに関わってきたので、その活動状況を報告する。

キーワード スターリングエンジン、スターリング冷凍機、物造り教育

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5、6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2002年度までの5年間に8組17名が取り組み、ほぼ完成したもののが、これまでに3組3台が稼動し、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1998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2台は1999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統けている。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造りに関心を惹起する試みも積極的に行っている。これらの活動についてこれまでの経緯と教育面への効果等について報告する。

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つたことに原因がある。加工精度、組み立て精度、漏れの気配りなど、成功するための最低限の妥協点も把握できていなかつた。パワーピストン・シリンダーもアルミで製作したが、空気漏れを十分な程度まで押さえることができなかつた。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、教官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、あとは学生の思う僕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、やり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年に成功した組は、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つた。卒業研究であるため熱力学的な観点からの解析や、出力伝達機構の力学的解析も行った。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できると、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、常に出力が変動し十分な測定ができなかつたが、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1999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。毎年秋関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(図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年下と言うこともあって、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、色々な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、そのために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。図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ができるようになり、これまでに学んだ多くの教科との関連性が分かる。



図1 第3回スターリングテクノラリー参加車(1999)

それらを総合する実践の場として本同好会が非常に良い場となっている。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。指導教官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。教官が行うことは資料や必要な材料の提供・分からぬ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(図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。また教室の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ので、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。

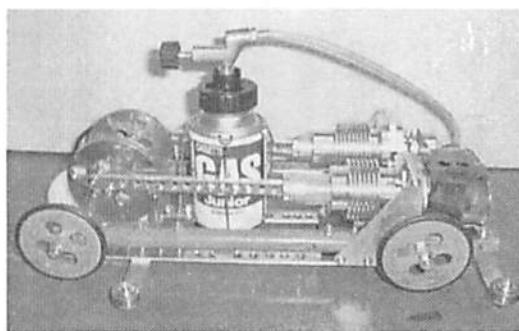


図2 第4回スターリングテクノラリー参加車(2000)

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展示し、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。図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4名2組で行った。1組はアルファ型で内径30mm、行程25mmのシリンドラをベースとして製作を試みた(図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

継続して検討を続けている。スターリング冷凍機についても今後数年間卒業研究で検討を続ける予定である。

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が、人が乗る模型の車に搭載できるエンジンの製作も試みたいと思っている。これには学生だけでは難しく、教職員が深く関わる必要がある。

6. おわりに

钏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6年になる。卒業研究と同好会活動を連携させて進めているが、同好会については、わずかな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て、広がりは十分ではない。指導する教職員の知識や経験をうまく毎年変わるものに伝えるとともに、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。

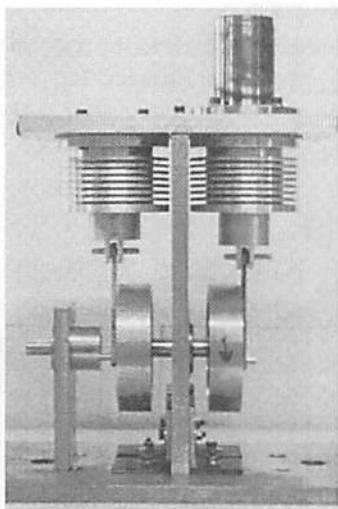


図3 2002年度卒研製作エンジン

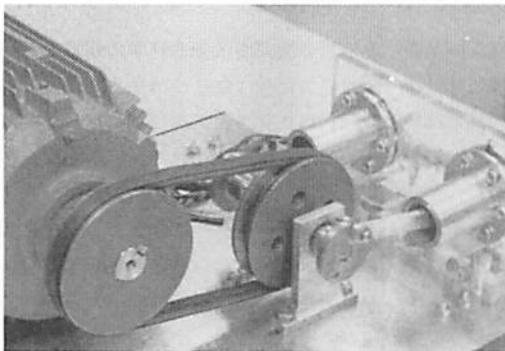


図4 2002年度卒研製作α型スターリング冷凍機

単位の取り扱いについて

Comments on the usage of units

北海道教育大学旭川校 阿部 修

Hokkaido University of Education, Asahikawa Campus Osamu ABE

日常生活でも、学校教育現場でも単位教育が軽視されがちである。本稿は、物理教育にあってもいかに単位がないがしろにされているかを報告し、単位教育の充実を求めるものである。

Abstract

The units are used incorrectly not only in the daily life but also in the school education. In this short report, we show how the concepts of the unit are not respected in the school education. We strongly require the improvement of the education on the unit.

キーワード：単位、学校教育 Keywords: Units, School education

1. はじめに

本稿の内容は、物理学研究者および教育者自らが率先して単位の取り扱いを正しくしようと呼びかけるものであって、何ら新規性を含むものではないことをはじめお断りしておく。多分、多くの読者は本報告の内容を熟知しているものと思われる。しかしながら、理科教育の中で正しい単位の使用がほとんど実践されていないことを指摘したい。関係者の反省を強く促し、今後の物理教育で正しい単位の使用がなされることを強く願うものである。

新聞や本を読んでいて、あるいはニュースを聞いていてとても気になることがある。単位の取り扱いが非常に不正確なのである。

頻繁に見受けられるのは、日本人特有と思われる、言葉の短縮化と推量の文化に根ざした誤用である。日本人は、外國語を短縮し、日本語として用いる傾向が強い。テレビジョンをテレビにし、ワードプロセッサーをワープロとするように、これが、単位にも適用される。本来は SI 接頭語であるキロを、ある場合には長さの意味に用い、ある場合には質量に用いる。聞いた方も、話の流れから、相手の言わんとすることを推測し、単位を付け加えて話を受け取る。日本文化を否定する気は毛頭ないが、この文化がもとで、誤解を生むことがしばしば見受けられるのである。

次によく見られるのが、力と質量の混同である。たとえば、「1kg の力」といった表現である。これは、善意に解釈すれば「地表面で 1kg の質量をもつ物体に働く重力

と同じ大きさの力」の意であろうか。ならば、せめて「1 kg 重の力」あるいは「1 kgw の力」と表記すべきであろう！

力と質量の混同に端を発して、トルクや圧力の単位にも誤用が数多く見られる。「10kgm のトルク」とか、「大気圧はおよそ $1\text{kg}/\text{cm}^2$ である」といった表現である。以上述べた 3 つの誤用の実例をみてみよう。

以下の記事は、2003 年 5 月 25 日の朝日新聞のスポーツ欄である。

体重 139 キロの朝青龍は三役以上では最軽量。

また、同年 5 月 26 日の第 2 社会面からも引用しよう。

富士山のふもとの青木ヶ原ができたとされる平安時代の「貞観噴火」で流出した溶岩が、約 1.4 立方キロに達することが国土交通省や大学などの研究グループの調査で分かった。

純国産ロケット H2A の本格運用が目前である。同型機の 1 号機の打ち上げをひかえた 2001 年 8 月 2 日に、その実力と他国的主要ロケットの能力の比較が朝日新聞に掲載された。

第 1 段エンジンは真空中で 110 トン、固体補助ロケットは 2 本で 460 トン、第 2 段エンジンは 14 トンの推力がある。

日頃、自家用車の点検を怠っていたので、連休を利用し

もちろん、重力加速度 g の値は遠心力、地殻構造、海拔高度等の影響を受け、定数ではない。したがって「 $1\text{kg 重} = 1\text{kg} \cdot g \approx 9.8\text{ N}$ 」は原理的に正確な表現とはなりえないため、単位としての資格がないことは明らかである。

単位の取り扱いについて

て整備を行おうと思いつたち、車載の取り扱い説明書に目を通してみた。

- ・ホイールナットの締め付けトルクは、9~11kgm です。
- ・応急用タイヤの空気圧は、時々点検してください。
空気圧： 4.2kg/cm³ (著者注：原文のまま)
- ・ベルトのたわみ量(ベルト中央部を約 10kg の力で押す。)は、…

応急用タイヤに、通常の方法では得られない 4.2 kg/cm³ という高密度に達するまで、空気を入れなければならぬのだろうか？ 幸い、これらが原因で整備不良になり事故が起きた、という報道は耳にしない。しかし、医療現場での単位の誤用は文字通り致命的な結果をもたらす。

2003年5月22日の朝日新聞を引用しよう。

医師が看護師に、キシロカインを 100 ミリグラム投与する意図で、「100 ミリ」と口頭で指示した。看護師はキシロカインが 2% 溶けた溶剤だと解釈して 50 ミリリットルを投与。(著者注：原文のまま、下線は著者による。)

とある。新聞記事の書き方があまり良くないため本当のところがわかりにくいが、多分、「1% 溶剤 100 ミリリットルと解釈して、2% 溶剤 50 ミリリットルを投与した」意味であろう。この結果、患者は必要量の 10 倍の薬物を投与され、心肺機能が停止したそうである。

これらの例から、いかに日本人は単位について頗着していないかが理解できる。技術者や科学者が仲間内でその分野の中だけでしか通用しない慣用的な単位を用いることは致し方ない面がある。しかし、狭い分野を超えて一般社会に対して情報を発する場合には、あるいは、人の生命の危機に関わるような場合には、意図したことが曖昧さなく伝わる様に、意識して正しい単位を用いるべきであろう。

残念なことに、日頃から単位の重要性を説いているであろう物理学者や物理教育者でさえも、単位の取り扱いがきちんとできていないのが現状である。小中学校で用いられる教科書¹⁻⁴⁾、高等学校や大学で用いられている教科書⁵⁻⁸⁾あるいは日本物理教育学会誌を見直して頂きたい。さすがに、上に示した例のように単位自体を間違えていることはほとんどない。しかし、単位の取り扱いは、全く正しくないと言っても過言ではあるまい。

本稿では、読者の大半が高等学校あるいは大学で物理学を教えているであろうことを想定し、教科書から題材を選んで単位教育の重要性を指摘したい。

以下第2章では、物理量と単位の関わりについて簡単におさらいする。第3章から第6章では、主に高等学校、

Comments on the usage of units

大学で用いられる教科書を題材に取り、文章中での誤用、計算式中での誤用、表の中での誤用、グラフ中での誤用の実態について指摘する。

なお、単位の歴史や定義法は文献^{9, 10)}に詳細に記述されているので、一蹴されることをおすすめする。

2. 物理量と測定

ある物理量を測定するということは、基準量に比較し、その量が基準量の何倍であるかの数値を得ることに他ならない。例えば、基準の長さを l_0 とし、測定しようとする長さを l とするとき、何らかの方法で、数値 l/l_0 を求めることが測定である。

通常、 l_0 を長さの単位として取り扱い、特別な名称メートル(metre)をあたえ、特別な記号 m をあたえる。

2.1. 物理量と次元

われわれは、経験的に時間と長さを加えあわせることはできないことを知っている。このように、時間と長さのように全く異なった性格を持った物理量は、異なる次元を持つという。いまの一例では、時間の次元を持つ物理量、長さの次元を持つ物理量があることを示している。したがって、長さと時間との商は単なる数値にはならないことが分かる。

このことは、単位系の取り方に密接に関係している。特殊相対性理論では、しばしば真空中の光速 c を 1 とする単位系が用いられる。この場合には、時間 t と長さ l は同じ次元を持つことになり、加えあわせることが意味を持つ。しかし、それは、 $t + l = 1 \cdot t + l = c \cdot t + l$ と解釈すべきである。一般相対性理論では、さらに万有引力定数 G を 1 にする単位系を用いる場合が多くある。また、量子力学では、プランク定数を 2π で除した量 \hbar を 1 にする単位系を用いることが多い。このような単位系を選べば、多くの物理量は無次元になり、それらはすべて単なる数値となる。

しかし、われわれは一般にそのような単位系を選ばず、種々の物理量に、種々の次元を与える。これは単に、こうすることで二つ以上の物理量の間のある種の関係式が成り立つるか否かを判断したり、未知な数係数を除き唯一の関係式であることを示す、次元解析を可能にするためである。

では、物理量を表すために何種類の次元が必要であろうか。上に述べたように、全てを無次元化する事も可能である。しかし、その場合には、次元解析は全く無意味

になる。逆に、縦、横、高さに対し、別の次元を与えることも可能である。すなわち、次元の種類には上限がない。

2.2. 独立した次元を有する物理量

1960 年の国際度量衡総会での決議では、独立した次元を持つ物理量として、長さ、質量、時間、電流、熱力学温度、光度の 6 個を採用した。その後物質量が追加され、2003 年 5 月現在 7 個になっている。

それらを表す単位は SI 基本単位とよばれる。上記の順にしたがって、それぞれ m, kg, s, A, K, cd および mol と表記される。以下の各節では、物理量と単位について簡単におさらいしよう。

2.3. 物理量と単位

任意の物理量は、数値と単位の積

$$\text{物理量} = \text{数値} \times \text{単位}$$

で表される。いかなる物理量も、またそれを書き表す記号も、特定の単位の採用を意味するものであってはならない¹⁰⁾。

例えば、ある棒の長さ l を測定して 0.3048 m を得たとしよう。このことを、

$$l = 30.48 \text{ cm}$$

と書くことは全く問題ないし、

$$l/m = 0.3048,$$

と書いててもよい。また、 $in = 2.54 \text{ cm}$ であることを用いて、

$$l/in = 12.00$$

と書いててもよい。すなわち、 l を 0.3048 m, 30.48 cm, あるいは 12.00 in と等置できるが、いかなる数値とも等置することはできないことを意味する。単なる数値では、決して $0.3048 = 12.00$ とはなり得ないが、単位を含む式 $0.3048 \text{ m} = 12.00 \text{ in}$ は正しい表式である。

いくつかの例外を除いて、単位は数学の文字式の計算にしたがう。実際、

$$\text{kg} \times (\text{m}/\text{s})^2 = \text{kg m}^2/\text{s}^2$$

等である。したがって、式の途中で単位を取り除いたり、付け加えたりしてはいけない。

2.4. SI 接頭語について

基本単位のみを用いて物理量を表すと、数値が大きくなりすぎたり、小さくなりすぎたりすることがある。その場合には、10 のべき乗を表す SI 接頭語を単位に付して用いる。例えば、「陽子の直径はおよそ 1 fm である」、あるいは、「地球と太陽の間の距離はおよそ 0.15 Tm である」という様に表記する。SI 接頭語を用いる際には、以下の点に留意しなければならない¹⁰⁾。

- 1) 質量の基本単位は kg であるが、接頭語は kg ではなく g に付けなければならない。したがって、 10^{-6} kg を表すのは、mg であって、 μkg ではない。
- 2) SI 接頭語は、SI 基本単位の記号、SI 誘導単位の記号および SI 助導単位の記号に対してのみ付すことができる。(ただし、いくつかの例外がある。)
- 3) 複合接頭語を用いてはならない。したがって、 10^{-12} F を表すには、pF を用いるべきであって、 $\mu\mu\text{F}$ を用いてはならない。
- 4) 接頭語のついた単位の記号は一つの記号と見なされる。

したがって、 cm^2 は $\text{cm}^2 = (0.01\text{m})^2$ を意味するのであって、 0.01m^2 を表すことは決してない。これが、数学的な文字式と大きく異なる点である。

3. 文章中の単位

しばしば「 l をメートル単位で測った長さとし、 m をキログラム単位で測った質量とする。」といった表現も見受けられるが、これが誤りであることはもう明らかであろう。「長さを l とし、質量を m とする。」と表記すべきである。こう書くと、X 線回折を行っている物性物理学者に次のように反論されるかもしれない。「eV を単位にして測定した X 線フォトンのエネルギーを ε とし、Å 単位で測定したその X 線の波長入の間には $\lambda = \frac{12.4}{\varepsilon}$ の関係がある。」という表記は間違いか、と。これも、間違いなのである。正しくは「X 線フォトンのエネルギーを ε

単位の取り扱いについて

とし、その X 線の波長を λ とすると、 $\lambda/\text{\AA} = \frac{12.4}{\text{eV}}$ の関係がある。」と表記すべきなのである。

物理量を表す変数には陰に単位が含まれているため、余分に単位を付すのも誤りである。よくある例⁵⁾を示そう。

重力加速度 $g[\text{m/s}^2]$ とすると、重りに加わる重力は $mg[\text{N}]$ である。

$g=9.8\text{m/s}^2$ とし、例えば $m=1.0\text{ kg}$ とすると、上式を用いると、重りに加わる重力 f は $f = mg [\text{N}] = 9.8\text{ N}^2$ となってしまう。単位は省略してもまた余分に付けてもいいないのである。

4. 計算式中の単位

前章で述べたように、物理量を数値で等置することができない。したがって、直交する 2 辺の長さがそれぞれ $a=2\text{ m}$ および $b=3\text{ m}$ である長方形の面積 S の計算はあくまでも $S=a \times b = 2\text{ m} \times 3\text{ m} = 6\text{ m}^2$ であつて、 $S=a \times b = 2 \times 3 = 6\text{ m}^2$ 等としてはいけないのである。しかしながら、ほとんど全ての教科書、参考書で、計算の途中で物理量を数値で等置している。いくつかの例を示そう⁶⁾。

時速 40 km で走る車が急カーブを通り抜けたとき、車内では 6.2 m/s^2 の加速度が観測された。このとき、カーブの曲率半径はいくらであったか？

(解) 曲率半径を R とすると、放線加速度は

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

となるから、

$$R = \frac{v^2}{a_n} = \frac{(40 \times 10^3 / 3600)^2}{6.2} = \frac{40^2}{6.2 \times 3.6^2} = 20\text{ m}$$

2 番目の等式と 4 番目の等式は、有効数字の問題を度外視しても、数学的にも、物理学的にも正しくない。正しきは、

$$R = \frac{v^2}{a_n} = \frac{(40\text{ km/h})^2}{6.2(\text{m/s}^2)} = \frac{(40 \times 10^3 \text{ m} / 3600)^2}{6.2(\text{m/s}^2)} \\ = 20\text{ m}$$

である。単位をきちんと書くことで、計算間違いがなかったかを確認する事もできるのである。上の例では、誤って、速度 v に 40 をそのまま代入すると、桁違いの値

Comments on the usage of units

が求まるが、単位を入れてなければ、誤ったことに気が付くことさえできないのである。

高等学校で利用する教科書も例外ではない⁵⁾。

力学的エネルギーの保存則より

$$mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2 = mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2 \\ 400 \times 9.8 \times 10 + \frac{1}{2} \times 400 \times 0^2 = 400 \times 9.8 \times 0 \\ + \frac{1}{2} \times 400 \times v_B^2 \\ 400 \times 98 = 200 \times v_B^2 \\ v_B = \pm 14\text{ m/s}$$

2 番目、3 番目の等式は数学的にも物理学的にも成立しない。読者諸兄はこれまで、上に示したように式の途中で単位を省略し、最後の結果に『半径だから単位は m、速度だから単位は m/s と付けなさい。』と指導してはいなかつただろうか？正しい計算を行えば自動的に正しい数値と正しい単位が得られるのである。もしも、最終結果の単位が望ましい単位と異なっているならば、計算が誤っていることを意味するのである。

例えば黒板で説明する場合に、全ての単位を書くと煩雑になるため、単位を省略して書きたい場合がある。その場合には、どの様に書くべきか、先ほどの車の問題で示そう。

$v = 40\text{ km/h} = 11\text{ m/s}$ であるから、

$$R/m = \frac{(v/(\text{m/s}))^2}{a_n/(\text{m/s}^2)} = \frac{11^2}{6.2} = 20$$

このように、物理量を単位で割って単なる数値にし、その後に計算すべきである。

5. 表中の単位

1) 誤った例

以下に示す例(表 1)は、多くの教科書で見られる例であるから、多くの読者は違和感を覚えないかもしれないし、あるいは、読者自身もこのような表記を行ってきたのではないかと推測する。

数学的には長さ(m)は、長さ $\times m$ を意味する。それが 1.3 や 2.3 といった単なる数値に等しいことは決してあり得ない。次元があつていいのである。したがって、

表 1. 誤った表の例

長さ(m)	質量(kg)	温度(K)	抵抗(Ω)
1.3	2.4	1.4	2.6
2.3	4.5	2.2	2.6
⋮	⋮	⋮	⋮

表1の様な表記は明らかに誤りである。

正しくは、下の表2に示した様に表すべきである。

表 2. 正しい表の例

長さ/m	質量/kg	温度/K	抵抗/Ω
1.3	2.4	1.4	2.6
2.3	4.5	2.2	2.6
⋮	⋮	⋮	⋮

表2は、長さを測定した結果、基準、すなわちメートル、と比較して、1.3倍の数値を得たことが明白である。

6. グラフ中の単位

ある物理量が他の物理量にどの様に依存しているかを具体的に見るためにグラフが用いられる。グラフの座標軸は順序関係だけを表している数直線である。だからこそ、対数グラフが許されるのである。数直線は、その名の通り数値を表すものであるから、物理量と等置されることは決してあり得ない。したがって、各座標軸に示される量は、物理量を単位で割った数値でなければならない。

時刻 $t = 0$ に、初速度 $v = 0$ で、自由落下し始めた物体の時刻 t における落下距離を z とするとき、 z を t の関数としてグラフに表す場合を考えよう。よく教科書に見られる例は、図1であるが、横軸を表す物理量 $t(s)$ は時間の2乗の次元を持っているので、誤りである。また、縦軸の説明は、反時計回りに 90° 回転させなければならぬ。

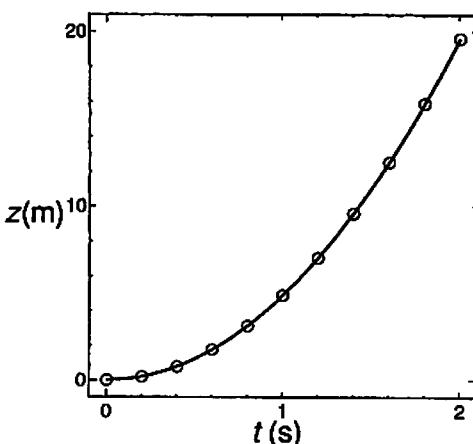


図 1. 悪いグラフの例

したがって、正しくは、図2

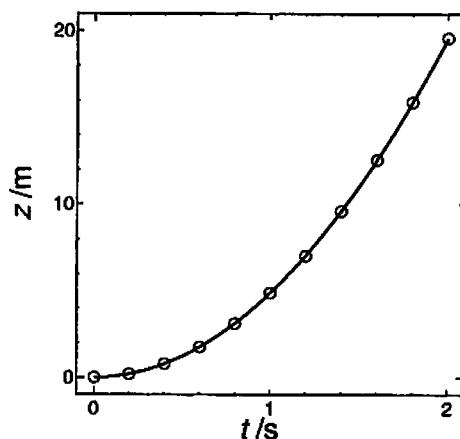


図 2. よいグラフの例

でなければならない。

7. 終わりに

2003年5月12日に文部科学省は、全国の約45万人の小中学生に実施した学力テストの分析結果を公表した。2003年5月13日付けの朝日新聞に掲載された記事の一部を引用しよう。

とりわけ、注目を集めたのは半径 10cm の円の面積を求める小 5 の問題だった。(中略) 質問のうち、「62.8」は 9.9%、「半径×半径×円周率」の公式に従わず、「直径×円周率」の計算をしたと見られる。「31.4」とした 6.7% は「半径×円周率」と誤ったらしい。

指導上の改善策として「公式を暗記するだけではなく、方眼紙を使って円に含まれる正方形の個数を数えるなどして円の面積の大きさを実感的にとらえる様にするとよい」などと提案した。

筆者は、体感させるだけで済む問題ではないように考える。上の引用文は、「面積という物理量がどのように定義されているかが小中学生に理解されていないこと」を文部科学省が理解できていないことを如実に示しているのである。

文字式を学んだ後で、単位の仕組みについてきちんと教育を行うべきである。単位の仕組みが理解できれば、物理量がどのような意味を持つかが理解できるのである。面積の概念が理解されていれば、図 3 を用いて、円の面積が、半径を一辺とする正方形の面積の 2 倍よりは大きく、4 倍よりは小さいこと、すなわち、

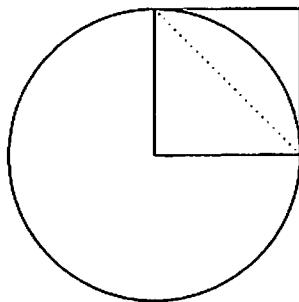


図 3. 円の面積の計算

およそ $3 \times \text{半径} \times \text{半径}$ となることが直ちに理解できる。(小学校で円周率をおよそ 3 と教えることが、それほど悪くはないように思われてくる。)

単位の仕組みを理解させる教育がきちんとなされていれば、たとえば、円の面積を求めようとして、半径×円周率の式を用いたならば $\pi = 10\text{cm} \times \pi = 31.4\text{cm}$ となって、単位が面積の次元を持たない。このため計算を誤ったことに気が付くことができる。単位の効用の一つはそこにある。単位の有用性を理解させる教育がないがしろにされ、体験ばかりを重視する教育が行なわれ続けるならば、児童・生徒の『自ら考える』力が損なわれ、ひいては自身の持っている知識を組み立てて、それまでに体験したことのない問題に取り組む能力が失われていくことになろう。

参考文献

- 1) 永野 重史他監修、「平成 9 年度用小学校用理科教科書」、教育出版、平成 9 年
- 2) 永野 重史他監修、「平成 14 年度用小学校理科用教科書」、教育出版、平成 13 年
- 3) 細谷 治夫他監修、「平成 9 年度用中学校用理科教科書」、教育出版、平成 9 年
- 4) 細谷 治夫他監修、「平成 14 年度用中学校用理科教科書」、教育出版、平成 13 年
- 5) 近角 聰信他著、「新編物理 IB」、東京書籍、平成 13 年
- 6) 近角 聰信他著、「物理 II」、東京書籍、平成 13 年。
- 7) 大槻 義彦著、「セメスター物理 I,II」、丸善株式会社、1996.
- 8) 長岡 洋介著、「物理の基礎」、東京教学者、2003 年。
- 9) 和田 純夫ほか著、「単位がわかると物理がわかる」、ペレ出版、2002
- 10) M. L. McGlashan 著 関 集三他訳、「SI 単位と物理・化学量」、化学同人、1974

分子運動を見る—ブラウン運動の観察と計測

Observation of the Brownian Motion

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、森 剣治、遠藤 太郎

Hokkaido University of Education Sapporo Takashi Okazaki, Kenji Mori, Taro Endo

科学研究費補助金「特定領域研究」「新世紀型理数科系教育の展開研究」のもとで行っている理科実験教材研究の成果を報告する。J. ベランによる希薄なコロイド溶液の沈降平衡の測定実験は、原子・分子の実在性を理解する教材として有効である。

1. 「新世紀型理数科系教育の展開研究」

平成 14 年度より、科学研究費補助金「特定領域研究」に「新世紀型理数科系教育の展開研究」が新設され 18 年度までの 5 年間を研究期間とした研究公募が行われている。「科学技術創造立国」実現のための有意な人材育成を IT を活用した新たな学習システムの開発とともに進めることを目的として以下の五つの研究項目に 75 件（平成 14 年度）、79 件（平成 15, 16 年度）の研究計画が採択されている。ホームページ <http://risuka.ei.tohoku.ac.jp> には採択された研究計画、研究成果や全体の活動状況が掲載されている。

1. 教育内容と学習の適時性に関する研究（含む国際比較、実態調査）
2. 理論的思考力や創造性、独創性を育むための教育内容や指導方法、教材等の研究
3. IT を活用した新たなカリキュラムの研究
4. IT を利用した教授学習システムの研究
5. 情報化が児童生徒の心身の発達に及ぼす影響及び対応に関する研究

平成 15 年 2 月 28 日、3 月 1 日には一年間の研究成果報告会（東京、科学未来館）が開かれた。

北海道教育大学札幌校物理グループ（岡崎、高柳、平野）の応募計画は上記 2 の研究項目で「理科教

育における実験・観察教材（ブラウン運動、電子の波動性、光速度測定）の研究」（平成 14 年度）、「現代科学の発見（原子論、相対論）を追体験する理科実験教材の研究」（平成 15、16 年度）が採択され、ブラウン運動の観察教材、静電気力測定実験の教材化などに取り組んでいる。以下に、上記研究成果報告会で行ったブラウン運動の観察教材の研究成果を紹介する。

2. ブラウン運動の観察

ブラウン運動に対するAINシュタインの理論は、J. ベランによって実験的裏付けを得て、分子の実在性を確定的なものにした。J. ベランの実験のうち、希薄なコロイド溶液の沈降平衡の測定実験は、ブラウン粒子が外力（重力）の下で気体分子と同様の振る舞いをすることを示し、粒子の濃度分布からアボガドロ数が導かれる。文献 3 において、ブラウン粒子としてラテックス粒子（ポリスチレン標準粒子）を用いた沈降平衡の測定実験＝アボガドロ数測定実験の教材化が提案されている。

我々はデジタル測定器とコンピューターの利用によって、ブラウン粒子数の計測という忍耐と時間をする測定実験を容易に実施し、これをアボガドロ数の導出、原子・分子の実在性を理解する

教材とすることを試みた。これまでの理科教育の中で、原子・分子概念は、化学反応における規則性の発見から仮説として導入されているが、ブラウン運動の観察は分子の実在性を直接示す教材として有効であると考えられる。以下にこの間、理科教育教材として試みた観察・測定実験を紹介する。

ブラウン運動は、文献5にあるように、花粉、牛乳、チョークの粉等で観察可能であるが、計測を行うためには大きさ、質量の揃ったブラウン粒子が必要である。文献3に従い、市販の粒径の揃ったラテックス粒子（ポリスチレン標準粒子、粒径 1.094、0.843 μm、密度 1.05g/□、Seradyn, Inc）

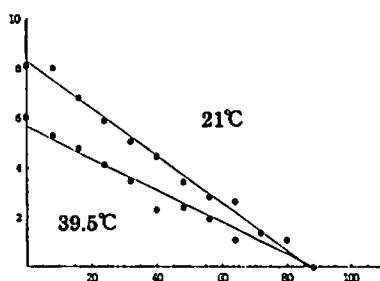
を用いる。スライドグラス上に、充填剤とカバーグラスによって密封したラテックス溶液を用意し、数時間放置し沈降平衡に達した粒子分布を顕微鏡によって観測・計測する。光学顕微鏡（対物40倍）に取り付けたCCDカメラ（Motacam480、島津理化）によるラテックス粒子の分布映像をコンピューターに取り込み、計測ソフトによって溶液深度毎 6 μm ごとの粒子数を計測する。粒子数分布は指数関数によってフィットすることができ、これからアボガドロ数 N_A を求めることができる。 y を顕微鏡ステージの垂直移動距離として粒子数分布 $N(h)$ は以下の式に従う。

$$N(h) = N_0 \exp\left(-\frac{N_A mg}{RT} h\right), \quad m = (\rho - \rho_0) \frac{4\pi r^3}{3}, \quad h = ny$$

粒子数測定結果の一例を表に示す。この測定値から $N_A = 6.2 \times 10^{23}$ が得られる。ここで用いた条件は次のとおりである。粒子直径 $2r=1.094 \mu m$ 、粒子密度 $\rho=1.05g/\square$ 、溶液温度 17°C、水の屈折率 $n=1.33$

粒子径 0.843 μm のラテックス粒子を用いると、粒子が軽くなるため粒子分布は広がり、またインキュベーターによってラテックス溶液の温度を高温にすることによっても、粒子分布が広がることが観察でき（下図）、ブラウン運動の分子運動論的説明の根拠が明らかになる。

$\log n$



y (μm)	粒子数
0	6809
6	5082
12	3872
18	2869
24	2112
30	1631
36	1290
42	869
48	776
54	625
60	330
66	254
72	181
78	112
84	77
90	74
96	43

h

参考文献

- 1) 原子 ジャン・ペラン玉蟲文一訳 岩波文庫
- 2) アインシュタイン選集 1 湯川秀樹監修 共立出版
- 3) ブラウン運動の観察－沈降平衡とアボガドロ数 岡崎隆、大久保精次、佐藤久志、藤井寛治 北海道教育大学紀要（第一部C）第 34 卷第 2 号 1984 年 p. 143-152
- 4) ブラウン運動 米沢富美子 共立出版 物理 OnePoint27
- 5) だれが原子をみたか 江沢洋 岩波書店 岩波科学の本 17



訂正 1 p46 左 13 及び 21 行目 密度の単位

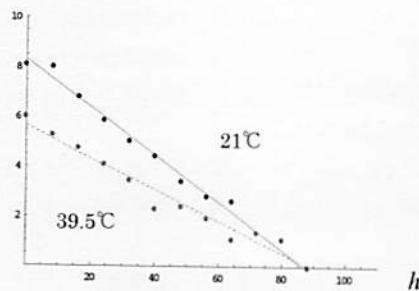
2 p46 左最終行のグラフ横軸

下記のように訂正します。

径 1.094、0.843 μm 、密度 1.05g/cm³、Seradyn, Inc)

粒子密度 $\rho = 1.05\text{g/cm}^3$ 、溶液温度 17°C、水の屈折

$\log n$



A4原稿執筆要項 表題は16ポイント(pt)のゴシック文字

(副題は12ptゴシック：両端をカッコでかこむ)

English Main Title:12ptTimes (論文の場合英語タイトルが必要)

(English Sub Title:12ptTimes)

所属は9pt明朝 名前は10ptゴシック 明朝大学 ゴシック太郎 執筆高校 執筆 一朗

Name 9pt Times

Sippitu Koukou Sippitu Itirou

抄録 本文の9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9ptを標準です。例えば「・について、・・という発想で、・・行なったところ、・・という結果を得た」キーワードを含めて下さい。

Abstract (論文の場合英語の抄録が必要)

Abstract must be written with 9pt Times or Times new Roman Font. The number of words is within 200.

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

1. 章タイトルはゴシック10pt

本資料はオフセット印刷で、縮小B5版の冊子を作成する際に、A4版の原稿作成での必要な投稿規定の情報を、視覚的に理解しやすい形で提供することを目的として作成したものです。

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

2. 本文執筆の要点

2.1 用紙と上下左右マージン・段組み用紙はA4、
マージンは、上：21mm、下：27mm、
左：18mm、右：18mm とする。
本文は2段組で段間隔：8mm 段幅：82mm とする。

のように記入する。式を文章中で参照する場合は、式(5)、式(7)～(10)のように番号の前に“式”を付ける。

2. 2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは9ptの

和文：MS明朝、平成明朝

英文：Times, New Roman, Times Symbol とする。

ただし太文字は、9ptの和文：MSゴシック、平成角ゴシック、英文：Arial, Helveticaを使用すること。上記フォントがない場合は、類似のフォントを使用すること。

2. 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段幅に収まるよう作成し、論文内の適切な位置には配置する。

図中の文字は、十分認識できるサイズ（9pt程度）とする。6pt未満の文字は使用しないこと。また図・表・写真的前後に空白行を設けること。図・表・写真的説明は以下に示す例のように、太字の図・表・写真番号の後に、9ptの標準文字で説明を記入する。

例 Fig.2 Schematic of experimental apparatus

Table 3 Fluid properties in each run

Photo 4 Flow pattern around sphere

文章中で図表などを参照する場合は、太文字で

Fig.2 Table 3 Photo 4 などと記入する。

2. 3 式および記号

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

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

$J_c \quad V_c \quad P_{\text{ext}}$

式を記入する場合は、式の上下に空白を設け、右端に式番号を記入する。例えば、

2. 5 記号説明

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

引用文献¹⁾は右肩に¹⁾を文章中に記入し下記のように、一括して末尾に著者名文献名ページ等を示す。

引用文献 1) 山川谷男：エントロピーの・・教育、物理教育研究、Vol.22 No.3, pp.1～4, 1999

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 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。

支部会報「物理教育研究」投稿規定

1 内容

支部会員からの自由投稿及び編集部の依頼にもと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) ワープロ原稿を標準とします。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 ディスクにテキスト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ォーマット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8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9行目から書いて下さい。

(4) ゴシック・イタリック等の字体指定は赤字でその旨を示して下さい。

(5) 引用文献は右肩に1)2)を文章中に記した上、一括して末尾に著者名文献名ページ等を示して下さい。

<参考例>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

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

(7) 図・表・写真については原寸大で写真製版します。写真はコントラストの良いものを準備して下さい。

(8) 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。(図はアリ、ワープロ原稿の例)

(A4) 題 名	
1 行目	(副 題)
所属 著者名	
抄録や本文は9行目から書き出します。 <キーワード>など	
1 ここから縦2段 に書き始める →全角全角25文字→ 図1	2段目 ↑ 最終行は45行目 → ← ↓ 段間は2文字空 ↓

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) 研究論文と解説は内容を査読し審査します。
- (4) 本紙講読料は2,000円とします。
- (5) 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。

原稿募集

上記により支部会報「物理教育研究」の原稿を募集いたします。

(1) 締切 4月末日

(2) 投稿受付 TEL 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 011-591-2101 FAX 011-591-2107

E-mail sizukayo@gol.com

7月発行予定

日本物理教育学会北海道支部

(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科

機械科学専攻 流体物理工学講座 fs

日本物理教育学会北海道支部

電話・及びFAX (011) 706-672

編集後記

物理教育学会本部会誌については今年度から4号体制にもどりました。新しい教育課程が始まり、物理教育のみならず時代の変化を強く感じるこのごろです。

新教育課程についてはシンポジウムの中でも活発に論議されました。そのスタートである今年度の実践的評価も待たれるところです。支部会報には論説・研究・解説・報告と多くの投稿をいただきありがとうございました。本誌にダイジェストで掲載された「リフレッシュ理科教室」は今回全文を掲載いたしました。

表紙写真説明

リフレッシュ理科教室「ナノテクノロジ一体験」での走査型トンネル顕微鏡(武笠研究室)

写真提供(北海道熊石高等学校 藤島 譲)

目

次

卷頭言	斎藤 孝	1
1 理科教育の課題と展望 ~総合的な学習としての観察・実験の在り方~ 日本理化学協会副会長 北方圏理科教育振興協会理事	一口 芳勝	2
2 パネルディスカッション 「高等学校学習指導要領と物理教育 ~新教育課程の実施を目前にして~」 北海道札幌開成高等学校 山田 大隆 北海道札幌啓成高等学校 石川 昌司 北海道大学大学院教育学研究科 大野 栄三 北海道教育大学旭川校 山形 積治 司会 北海道札幌平岸高等学校 横関 直幸 (記録 横関 直幸 録音 山崎 大輔)		4
3 リフレッシュ理科教室 北海道札幌平岸高等学校 横関 直幸 北海道熊石高等学校 藤島 譲 北海道小樽潮陵高等学校 大内 宏康 北海道和寒町立和寒小学校 加藤 雅彦 北海道留萌高等学校 貝塚 典生 北海道立命館慶祥高等学校 水野 広介 北海道仁木商業高等学校 青木 弘典 北海道札幌手稲高等学校 中原 浩 北海道南茅部高等学校 堀 輝一郎 北海道羅臼高等学校 中道 洋友 北海道長万部高等学校 西田 元芳		16
4 おもしろ科学の祭典 IN びほろ 北海道美幌町立美幌小学校 鈴木 孝子		25
5 早押し装置の製作とその紹介 北海道芦別総合技術高等学校 斎藤 隆		28
6 大型モンキーハンティング装置の製作 北海道芦別高等学校 斎藤 隆 北海道芦別総合技術高等学校 加藤 譲泰		30
7 振り子の周期を脈拍で測る+2乗則の探究実験 北海道札幌啓成高等学校 石川 昌司		32
8 釧路高専における模型スターリングエンジンの製作を通じての物作り教育 北海道釧路高等専門学校 機械工学科 山岸 英明 田中 孝二郎 薩 耕二		36
9 単位の取り扱いについて Comments on the usage of units 北海道教育大学旭川校 阿部 修 Hokkaido University of Education, Asahikawa Campus Osamu ABE		39
10 分子運動を見る—ブラウン運動の観察と計測 Observation of the Brownian Motion 北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、森 剣治、遠藤 太郎 Hokkaido University of Education Sapporo Takashi Okazaki, Kenji Mori, Taro Endo		45
11 支部規約		48
12 A4原稿執筆要項		49
13 投稿規定 編集後記		50