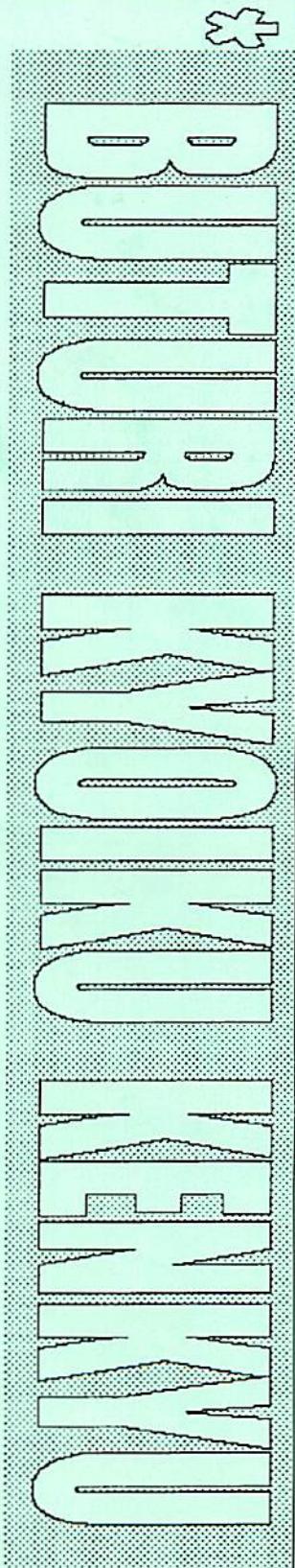
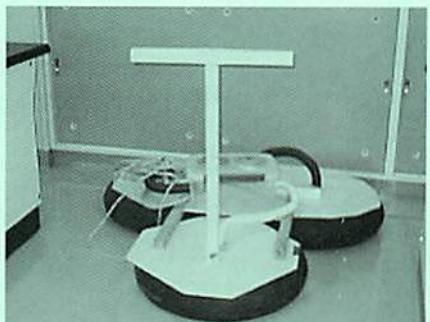


J. Nokam



物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.37, 2009.9

卷頭言

学習指導要領改訂と新しい物理教育

北海道札幌旭丘高等学校 横関直幸

(日本物理教育学会北海道支部理事)

新しい高等学校学習指導要領が平成 21 年 3 月告示されました。それに先立ち公開されたパンフレット『中央教育審議会答申「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」平成 20 年 1 月 17 日』の中で、理数教育の充実が明記されています。このパンフレットは学習指導要領の改訂のポイントがまとめられており、是非、ご一読いただきたいと思います。以下の URL にて公開されています。

http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/pamphlet/20071108/001-008.pdf

今回の学習指導要領改訂のポイントとして、「理数教育の質・量両面の充実」、「繰り返し学習や観察・実験、レポートの作成や論述などの時間確保」、「内容の系統性を踏まえた指導内容の充実」などがあげられます。これらは多くの理科教育関係者が主張してきたことであり、理科教育の重要性が強調されたことはたいへん喜ばしいことです。

高等学校では平成 24 年度より物理、化学、生物、地学の 4 領域の中から 3 領域以上を履修するよう科目構成が見直され、「物理基礎」という新科目は多くの高校生に履修されることが期待される状況となりました。しかしここで忘れてはならないことがあります。約 40 年前の高等学校物理は時代の要請もあり、将来の研究者・技術者の養成を意識したかなり高度な内容を扱っていました。結果として、物理は一部の特別な者だけが履修すべき科目という風潮をつくってしまったと言えるでしょう。理工系志望者の基礎学力の定着はもちろん大切ですが、今私たちに求められているのは「物理を学んでよかった」と思って高校を卒業する生徒たちを、いかに増やすかという視点でしょう。「物理基礎」という科目は物理教育にとって大きなチャンスですが、一方で物理教育関係者の責任は非常に大きいものがあります。

今年度で第 10 回を数える青少年のための公開シンポジウム「創造科学実験」や、全道各地で開催されている「青少年のための科学の祭典」などを通して、社会の中で物理を普及していく活動は充実してきました。今後は、学校教育の中で物理をどのように教えていくのかという、原点にもどった活動が重要になっていくことでしょう。支部会員数の増加を含めて物理教育関係者のネットワークづくりなど課題は多いですが、長年の研究成果を小中高大という教育現場でいかに効果的に発揮させていけるかは、本支部に課された大きなテーマです。

本誌が変化する時代の流れの中でその役割を果たすことを期待し、支部会員各位による今後益々の研究の推進を願っているところです。

これからの科学技術と社会のあり方 (遺伝子組換え問題から考える)

北海道大学大学院農学研究院 松井 博和

1. 地球の生命と遺伝子組換え (GM)

現在、地球上にはたくさんの生物が生活していますが、地球が誕生した46億年前は、酸素も無く生命体といわれるものもませんでした。46億年間という長い年月の中で生物が誕生し進化しました。この46億年を1年のカレンダーで表すこととします。地球誕生は1月1日です。生命が誕生したとされるおよそ40億年前は2月7日です。簡単な仕組みの生命体だったでしょう。この原始生物が進化し、その中には光合成を行うもの生まれました。5月7日頃（約30億年前）です。その結果、酸素が徐々に蓄積され始めました。無酸素状態で生きる生物でしたのでほとんどが死滅しました（7月25日頃=20億年前）。ここで生き延びたものが海の中でさらに進化し、オゾン層ができた11月30日頃（4億年前）に陸上に這い上りました。サルから2本歩行の人類が生まれたのが40万年前、一年が終わる6時間前ですから12月31日の午後4時頃です。

このように全ての地球上の生物はその先祖が同じであり、遺伝の仕組みも全く同じです。遺伝子で繋がっているともいえます。したがって、ある生物種の遺伝子の一部を他のものに入れるという事は、そうおかしな事とはいえないません。1970年代の遺伝子組換え技術の発展から、1994年には世界で初めて日持ちトマトが商品化され、そして、1996年からダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネなどのGM品種が世界中で作られるようになりました。2007年には、世界で1億1400万ヘクタール、その95%はアメリカ、カナダ、アルゼンチン、ブラジル、中国の5カ国です。付与された主な形質は、除草剤耐性や害虫抵抗性、あるいはその両者です。

2. 北海道のGM条例

北海道でも、1997年と1998年にアメリカ企業のGM種子が栽培された事実があります。また、2003年には筑波の研究所で開発されたGMイネが札幌の関連企業で栽培されました。このようなGM作物を栽培するには、賛否両論があります。始めに推進ありき、慎重者への配慮不足、科学技術の発展のために必要、単に研究費稼ぎでは？、経済優先主義、特定企業の種子支配では？、等々いろいろな議論があり、北海道では2004年と2005年の議論を経て「遺伝子組換え作物の栽培等による交雑等の防止に関する条例（いわゆる「北海道GM条例」）」を策定し、2006年1月1日に施行しました。

今では、10を越える都道府県でGM条例やガイドラインが作られています。著者は、日本で初めて策定された北海道のGM条例に関する委員会の座長を務めました。条例の内容は、試験機関は届出制で一般栽培は許可制であり、交雑・混入を防ぐことが厳しく求められています。3年の経過で見直しとなっておりますので、来年にはその作業が待っております。

3. リスクコミュニケーション作業

北海道の委員会作業と同時並行的に市民との対話を重ねました。推進派および慎重・反対派と呼ばれる人達の間で議論がかみ合っておらず、国には試験期間が小規模で栽培を行うガイドラインはあるが、一般農家が商業栽培するためのルールはありませんでした。

ところで、1つのケーキを2人で文句の出ないように分けるにはどうしたら良いでしょうか。科学者は、同じ大きさや同じ重さになるよう考へるでしょう。しかし、計測器があるとは限りません。公平さをどう考へるかが問題です。1は3で割り切れないが、1つのケーキを3人で仲良く切って食べることもできます。科学で考へる論理思考と一般社会での決め方には違いがあります。社会においては、正しいか正しくないかとは別に、納得することが大事です。上記の問題は、自分で切ってもう一人に好きな方を選んでもらうことが文句の出ない分け方です。科学的合理性と社会的合理性の相違といえます。安全は技術の問題であり、安心は心の問題であると簡単に片付けようとする風潮もありますが、そう単純なものではないようです。

4. 21世紀の科学技術と社会のあり方

国策（第1-3期科学技術基本計画）として、科学技術の理解増進、科学技術コミュニケーション、科学技術リテラシーが図られています。GM推進派は、反対派は技術の知識がないから反対しているのであり学べば賛成してくれる（「欠如モデル」）と言うが、これは1990年代のイギリスにおいて、GMをめぐる厳しい対立とBSE事件の対応で失敗したといわれています。ブレーキ無しの科学技術の発展に多くの人は不安を感じ、不確実性やリスクに対してオープンであることを望んでおり、科学・技術が民主主義の枠外で判断されることが問題となっています。これを補う1つとして「コンセンサス会議」の手法があり、北海道庁農政部は地方自治体としては初めて、2006-2007年に「GMコンセンサス会議」を開催しました。

今、成熟した日本においては、情報化社会における信頼のあり方や民主主義のあり方が問われています。そのような中で、科学・技術については、物質的に豊かな社会のためのものから、市民の心を豊かにするものとして、どうあるべきかが問われています。科学は人類に夢をあたえるものであり、技術は人類に喜びをあたえるものであってほしいと私は願っています。クローン技術、ES細胞技術、生殖補助医療、BSEやGM問題など、社会で賛否が衝突していることは大変残念なことです。これを乗り越える為に、市民参加により不安が安心につながる協働作業が求められており、市民主体の21世紀の科学の構築が肝要です。すなわち、科学・技術のシビリアンコンタクトロールが求められています。

人口増加による食料や水の問題、環境問題、エネルギー問題など、地球規模の課題や日本における少子高齢化社会問題など大きな枠の中で、遺伝子組換え技術を考える必要があります。

*本稿は2008年8月30日に美瑛の学び舎で行われた「第9回青少年のための公開シンポジウム「創造科学実験」2008年北海道物理教育研究大会 in 美瑛」における特別講演「これから科学技術と社会のあり方～遺伝子組換え問題から考える～」を、講演者である北海道大学農学研究院応用生命科学部門分子生命科学分野教授松井博和様にあらためて執筆していただきました。

理科教員への期待を読みとる

北海道教育庁石狩教育局 佐々木 淳

3月に告示された高等学校学習指導要領と過去の学習指導要領の比較を通して、改訂の意図を読み取るとともに、理数教育の現状や課題にかかるトピックを取りあげ、今後の理科教育や理科を担当する教員に期待されることなどについて述べる。(本支部総会(平成21年6月13日に実施)の講演要旨)

キーワード 学習指導要領 理数教育 観察・実験

1.はじめに

この3月まで「道立理科教育センター」に勤務する中で、高等学校学習指導要領解説(理数編)^①の執筆作業にかかる機会を得た。ここでは、学習指導要領改訂の動向や昨今の高校理数教育の話題に触れながら、理数教育の充実を図るための方策などについて述べる。

2.昭和26年の学習指導要領(試案)について

昨年度、理科教育センターに次のような問い合わせがあった。「薬品庫に青酸カリなどの毒物を保管している学校があると聞く。青酸カリが学校にあるのはどうしてか。」調査によると、一部の市町村立学校の中に、過去の一斉廃棄の際に、青酸カリなどの毒物を廃棄しなかった学校が数校あるということだった。

調べてみると、一部の実験解説書には青酸カリ(シアノ化カリウム)を使って行う電気めっきの実験が紹介されており、それらは昭和26年(1951)に告示された「中学校・高等学校学習指導要領理科編(試案)改訂版^②」の記載内容を踏まえたものであることがわかった。第VI章「高等学校化学の単元とその展開例」の中の単元IV「金属にはどんな特性があるか」には、確かに「銀や銅の電気めっきについて実験する」という記載があり、併せて「生徒実験」の記載があった。このことは、学校で行われる観察や実験が、学習指導要領が例示する観察や実験を拠り所として実施してきたことを示している。

昭和26年の学習指導要領は「試案」として公表されており、前書きには、学習指導要領は「教育課程・教科

内容およびその取扱いの基準を示すもの」であるが、「教育を画一的に統一しようとするもの」ではなく、「生徒・地域に即した教育計画をたてる際に最もよい手がかりを提供しようとするもの」であることが讀われている。

3.昭和48年の学習指導要領について

学習指導要領は、ほぼ10年に一度ずつ国内外の教育動向を踏まえて改訂される。昭和43年には、理数に関する専門学科として理数科が設置され、昭和48年には、理数教育の充実を図る方向で改訂された学習指導要領が施行された。昭和48年の学習指導要領と平成15年施行の現行学習指導要領を比較する(表1)。

高等学校 学習指導要領 (昭和48年 4月施行) 理科	自然の事物・現象への関心を高め、 それを科学的に探究することによって 科学的に考察し処理する能力と態度を養う とともに、 自然と人間生活との関係を認識させる。 このため、 1. 自然の事物・現象の中に問題を見だし、 それを探究する過程を通して、 科学的方法を習得させ、創造的能力を育てる。 2. 自然の事物・現象に関する基本的な科学概念や 原理・法則を系統的に理解させ、 これらを活用する能力を伸ばし、 自然のしくみやはたらきを分析的ならびに総合的に 考察する能力と態度を養う。 3. 科学的な自然観を育て、 また、自然科学が人類の福祉の向上に役立つことを 認識させる。
高等学校学習 指導要領 (平成15年 4月施行) 理科	自然に対する関心や探究心を高め、 観察、実験などをを行い、 科学的に探究する能力と態度を育てる とともに、 自然の事物・現象についての理解を深め、 科学的な自然観を育成する。

表1 昭和48年の学習指導要領と現行学習指導要領

表1から、昭和48年の理科では、ねらいと実現のための方策を併せて、大きく「目標」としてまとめていたことがわかる。

ねらいの部分の大きな違いとしては、現行学習指導要領には「観察・実験などを行ひ」の文言があるが、昭和48年のものには無いことが指摘できる。これは観察・実験が現場で十分に行われていない実態を反映し、具体的に言及したものと思われるが、このことについては後で述べる。

それ以外では、昨今議論のある、「問題を見いだし」や「活用する能力を伸ばし」などの文言は、昭和48年当時は理科の目標の中に書かれていたことがわかる。これらは、昭和57年の学習指導要領改訂の際に、解説の中に吸収されている。

4. 新学習指導要領について

次に、現行学習指導要領と新学習指導要領³⁾の理科の目標を比較する（表2）。

高等学校学習指導要領 (平成15年 4月施行) 理科	自然に対する関心や探究心を高め、 観察、実験などをを行い、 科学的に探究する能力と態度を育てる とともに 自然の事物・現象についての理解を深め、 科学的な自然観を育成する。
高等学校学習指導要領 (平成25年 4月施行) 理科	自然の事物・現象に対する関心や探究心を高め、 目的意識をもって観察、実験などをを行い、 科学的に探究する能力と態度を育てる とともに 自然の事物・現象についての理解を深め、 科学的な自然観を育成する。

表2 現行学習指導要領と新学習指導要領

両者の間には、下線を施した部分の加筆以外に違いはない。しかし実際は、改訂の背景や趣旨を示すとともに教科を含むすべての教育活動の指針となる、第1章 総則の第1款「教育課程編成の一般方針」が大きく加筆されたので、理科にも当然、影響がある。よって理科の本文を読む前に、ここに何が加筆されたのかを確認しておく必要がある（表3）。

ここでは第1款のうち、1の部分を取り上げる。加筆された部分を項目としてまとめると次のようになる。

- 基礎的・基本的な知識及び技能の確実な習得
- これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力の育成
- 主体的に学習に取り組む態度の育成
- 生徒の言語活動の充実
- 生徒の学習習慣の確立

1 各学校においては、教育基本法及び学校教育法その他の法令並びにこの算以下に示すところに従い、生徒の人格として國和のとれた育成を目指し、地域や学校の実情、課程や学科の特色、生徒の心身の発達の相輔及び特性等を十分考慮して、適切な教育課程を編成するものとし、これらに掲げる目標を達成するよう教育を行うものとする。

学校の教育活動を進めるに当たっては、各学校において、生徒に生きる力をぐくむことを目指し、創意工夫を生かした特色ある教育活動を展開する中で、基礎的・基本的な知識及び技能を確実に習得させ、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をぐくむとともに、主体的に学習に取り組む態度を窺い、個性を生かす教育の充実に努めなければならない。その際、生徒の発達の相輔を考慮して、生徒の言語活動を充実するとともに、家庭との連携を図りながら、生徒の学習習慣が確立するよう配慮しなければならない。

表3 教育課程編成の一般方針（抜粋）

文科省は、これらの項目について充実が求められる背景を、様々なバックデータを用いて説明している。次に、そのバックデータのひとつである、JST（科学技術振興機構）が実施した「高等学校理科教員実態調査」の結果を見ていくことにする。

5. 高等学校理科教員実態調査について

同調査は、JSTが全国の約900校の高等学校で理科を教える約3,300名の教員を対象として実施したもので、理科の教育環境や研修の状況などに関する回答をまとめた結果はホームページ上で公開されている。

その結果、高等学校普通科では小中学校段階に比べて観察や実験が少なく、生徒にとって魅力的な理科教育とは言い難い状況にあると結論づけている⁴⁾。

報告書から、「理科授業への意識や取組について」（図1～3）を抜粋して示す。

図1から、理科の授業に力を入れて取り組んでいるという回答が中学校教員より高校教員の方に多いということや、先生方が、生徒の興味・関心を高める指導を重視していることなどがわかる。

図2から、観察や実験が十分に行われていないという

ことがわかる。

図3から、観察や実験に十分に時間を割くことができない背景には「授業時間の不足」、「入試への対応」、「設備備品の不足」、「教材研究時間の不足」などの原因があることがわかる。

3 理科授業への意識や取り組みについて
○ 理科の授業に日頃から力を入れて取り組んでいるかに「そう思う」と回答した教員の割合は、7～8割と高い（公立中学校理科教員では約5割）。（調査県B【15】より）
○ 担当する科目において、身体・心身を高める指導を重視しているかに「そう思う」か「ややそう思う」と回答した教員の割合は、9割以上と高い（調査県B【31】【46】【61】【76】【91】より）
○ 担当する科目において、探究的な活動や課題研究の指導を重視しているかに「そう思う」か「ややそう思う」と回答した教員の割合は各自科目によって異なり、各科目とも1～2割である。（調査県B【31】【46】【61】【76】【91】より）
○ 担当する科目において、実験の手順を生徒自身によく考え方させているかに「そう思う」か「ややそう思う」と回答した教員の割合は各自科目で3～4割である。（調査県B【33】【48】【63】【78】【93】より）

図1 理科授業への意識について

○ 担当する科目において、生徒に自分の考えを発表する機会をよく与えているかに「そう思う」か「ややそう思う」と回答した教員の割合は各自科目の殆どの科目で約3割、理科は3～5割である。（調査県B【32】【47】【62】【77】【92】より）
○ 担当する科目において、教員による演示実験が行われる回数の程度は、科目によって大きく異なり、物理では毎回1回以上行っている割合が3～5割であるが、生物ではほぼ0である。（調査県B【36】【51】【66】【81】【96】より）
○ 担当する科目において、生徒による観察や実験が行われる回数は、殆どの科目で毎回1回以上行っているという割合が1割未満と低い。（調査県B【33】【52】【61】【62】【91】より）

図2 観察や実験が行われる頻度等について

○ 担当する科目において、生徒による探究的な活動や課題研究に割り当てる時間だが、年に「3時間以下」の教員の割合は地学以外の科目では6～8割と高い。（調査県B【38】【53】【68】【83】【98】より）
○ 担当する科目において観察や実験を行うにあたって障害となることについて「授業時間の不足」と「大学入試への対応のための指導に時間が取られる」という時間の不足をあげる教員の割合が高い。自選科と理数科においては「授業時間の不足」をあげる教員の割合も高い。（調査県B【39】【54】【69】【84】【91】より）
○ 各科目の担当教員が「今年度の授業において、観察や実験のための教科書を自費で負担したと回答した割合は、1～3割である。また、負担率における負担額の平均は、各教科で約8千円～1万3千円である。（調査県B【40】【59】【70】【85】【100】より）
○ 担当する科目において、授業を充実させるために「非常に必要だ」と理科教員が意識している割合が最も高い項目は、「教材研究の時間確保」である。すべての科目で、6～7割の教員が「非常に必要だ」と回答している。（調査県B【43】【58】【53】【68】【103】より）

図3 観察や実験を行う上での障害等について

分析については、まずは鵜呑みにせず、妥当性を検討する必要がある。例えば、小学校、中学校のデータと比較するために、週あたりの観察・実験の実施頻度を調査しているが、週あたりの回数を問うことに意味があるかは疑問である。理科総合Aの授業を例に取ると、標準単位数が2の科目で実験を週1回行うことは難しい。年間70回実施する授業の半分の35回を観察・実験に充てることは理科総合Aの目標を実現することとは両立しな

い、と考える先生が多い、という読み取りもできる。

教育行政に身を置く者としては、このような理科教員の思いを真摯に受け止め、研修による授業改善のサポートをはじめ、学校への予算配分、子どもと向き合う時間を確保するための各種施策の実施など、必要な取組を進めていく必要があると感じている。

6. 理科教員への期待について

右の短歌（図4）は、地下鉄で家に帰る途中に思いついで書き留めたもので、「生きた理科」は造語である。

これは、「生きた英語」、「生の英語」、「使える英語」などが完全に市民権を得ている一方で、理科を「生きた理科」、「生の理科」、「使える理科」のように使うと逆に違和感を感じる、その理由を考えていた時に浮かんできた。

英語の場合、上述のためには英会話

をシャワーのように浴びることが大切

だと言われるが、理科では直接触れることはそもそもできない。

直接触れたり、シャワーのように浴びたりすることができる「自然」である。理科は、自然を理解するための「思考法」＝「論理」、いわば自然の言葉を人間が理解できるようにする「翻訳装置」と言える。

では、自然をシャワーのように浴びれば良いかというと、それだけでは理科の思考法は身に付かない。まずは「考える習慣」に馴染ませる必要がある。「考える」経験をさせ、慣れさせ、さらに楽しめるようにするために、専門的なしきけが必要である。

たとえ実験・実習をシャワーのように浴びせても、実験に対する抵抗感が薄れるという効果は出るが、肝心の思考法が身に付くところにまでは至らない。この辺が、英語と理科の異なるところである。

学習指導要領では、言語活動を充実させ、思考力、判断力、表現力を育成することを求めているが、これは、子どもたちが単語による日常会話に慣れきっていて、丁

「生きた理科」とは何か言わないとでは「生きた英語」と言うけれど

図4

寧に説明するということがどんどん苦手になっているという現状に対応したものと言える。

また、早押しクイズなどの一問一答は得意だが、記述問題になると、基本的な三段論法でさえうまく使えない生徒が大学生でさえ増えている現実もある。

こうした現状を改善し、「生きた理科」を取り戻す秘訣はいくつか考えられるが、私自身は、「授業の中で取りあげる内容が、多くの子どもにとって『考えるに値する』と受け止められること」、これが最も大切だと思う。理科教員に求められるスキルとは、一見当たり前に見える自然に潜む謎に気付かせ、さらに深めたいと思えるところに子どもを導くことである、と私は考える。そのようなスキルを身に付け、活かしながら授業を改善することが理科教員に期待されている。

ともすれば理科教員は、理科の専門家や科学者を自称しそうになるが、正しくは、理科教育や科学教育の専門家である。理科教員ならば、自然の謎に気付かせる、あるいはもっと深く理解したいと思わせるスキルについては、科学者よりも専門性が高い、と言い切れるようになりたい。

新しい学習指導要領については、国民の関心が高く、賛否含め様々な意見があることは承知しているが、わが国や本道の教育の課題を解決するため、理科教育を改善するために、各方面の意見を十分に聞きながら、今後も努力したい。

最後に、自然が時おり私たちに見せる謎や豊かさ、奥深さの一例として、理科教育センターの標本の中で見つけたヨナグニサンの写真（図5）を紹介し、私の講演を終える。

7. まとめ

- 学習指導要領は教育課程の編成・実施における基準を示すものである。
- 学習指導要領のねらいの実現のため、画一を避け、生徒や地域の実態を踏まえた計画が必要である。
- 昭和48年の学習指導要領は理数教育を重視して

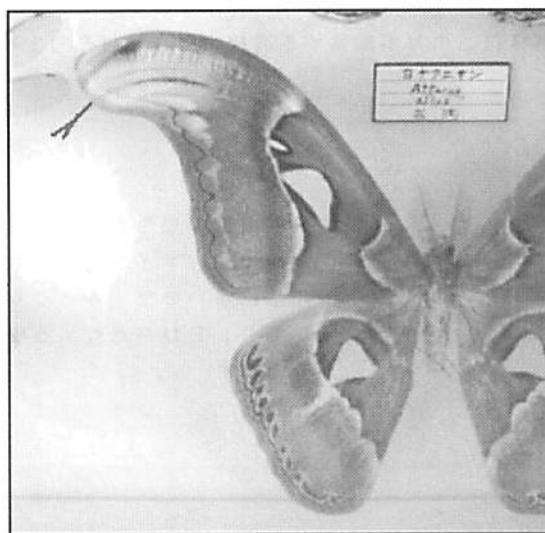


図5 ヨナグニサン（「舌」は、蛇に見立てた落書きです。）

いたが、深い内容はその後、理数科に移行した。

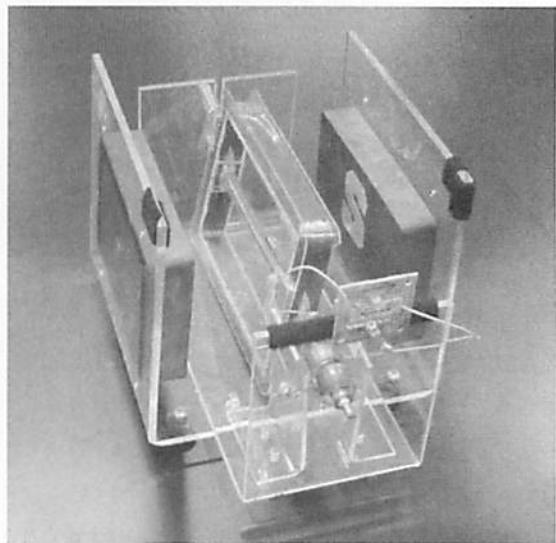
- 「課題を見つける」や「活用の重視」は、理数教育を重視していた頃の文言を復活したものである。
- 理科の学習指導要領は、JSTが行った調査結果などを根拠として改訂された。
- 学習指導要領のねらいを実現するため、教員の多忙化の解消などの課題に取り組む必要がある。
- 理科教育の充実を図る上で、理科教員に期待されるのは、自然の見方や考え方を、教育の専門家のスキルをもって子どもたちに伝えることである。

参考文献

- 1) 高等学校学習指導要領解説
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/1282000.htm
- 2) 過去の学習指導要領
<http://www.nicer.go.jp/guideline/old/>
- 3) 新学習指導要領
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/index.htm
- 4) 平成20年度高等学校理科教員実態調査
<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20090330-2/index.html>

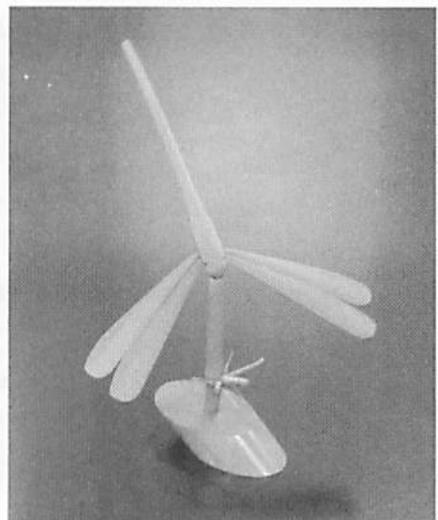
編集担当のNが勤務する高校の自作教材やちょっと変わった教材を紹介します。

Nの同僚の先生が作成した発電機です。コイルの巻き数が非常に多いので、ゆっくり回してもLEDが点灯する優れものです。



黒板を走るミニカーです。薄いネオジウム磁石を裏面にはりつけてあります。速度の合成・分解の演示実験でいかがでしょうか。

バランストンボです。Nがベトナム民芸品店のサイトから購入しました。バランストンボのペーパークラフト等はネットで検索すると見つけることができます。



大学間連携による初年次科学実験教育の展開

University Cooperation for Freshman Education in Science Laboratory Works

北海道大学高機能センター、北海道薬科大学* 小野寺 彰、池田 昌隆、佐藤 久志、細川 敏幸、中野 善明*

Hokkaido Univ, Hokkaido Pharmaceutical Univ, A. Onodera, M. Ikeda, H. Satoh, T. Hosokawa and Y. Nakano

初年次教育の総合自然科学実験の大学間連携の取組を北海道大学と北海道薬科大学で試みた。実験テーマの現代化や、最新の実験機器を協働で利用することにより、北海道地区の学生の基礎学力向上を目指している。

1. はじめに

北海道大学では、平成 18 年度の新学習要領に基づいた学生が入学することを機に、初年次の理系基礎科目、総合自然科学実験を導入し、理系基礎教育を学生の能力とニーズに合わせたものに一新した。大学の多額な予算措置により、システムと実験機器を整備したことにより、施設に余裕が生じた。近隣の他大学に於ける理系基礎教育体制の弱体化、実験機器の老朽化等の問題を抱えていること、北海道大学の施設の有効利用という観点から、実験設備を医系大学を中心に他大学へ開放する試みを行っている。平成 20 年度、北海道薬科大学と協働で行った物理学実験の取組とそれに至った経緯を紹介する。学生の学力のステップアップや、効果的な基礎学力の向上を目標としている。取組の詳細や学生の反応については、中野による論文を参照されたい。

2. コアカリキュラム精神に密着した自然科学教育

北海道大学の初年次教育はコアカリキュラム（全ての学生に必要な共通のコアとなる教養教育）の精神に則り、展開されている。札幌農学校以来、「自然に学ぶ」をモットーに、体験型の教育を重視してきた。理系8学部(理・医・歯・薬・工・農・獣医・水産)に共通の自然科学教育を実施し、数学及び理系基礎科目を重視してきた。しかし、高校理科の履修歴と学力の多様化が進んだことにより、機械的なクラス分けによる一律の教育には、学生から不満が寄せられるように

なった。平成 12 年からは物理学、生物学でリメディアル教育を実施したが、通常の基礎科目との整理が不十分であったため、学生のニーズに十分に応じることができなかった。さらに、それまでの伝統的な知識伝授型講義では、学生、教員双方が現代の進んだ科学概念を理解させるのに困難を感じるようになった。

3. 自然科学実験の新理念－総合的テーマを加えた科学実験の開発

科学実験は本来、科学への感動と興味を呼び起こす生き生きとしたものである。しかし、テーマの現代化、例えば、最新科学や社会・環境問題への対応が遅れたことが、学生の関心を薄めるだけでなく、専門教育への動機付けをも失わせることとなった。従来、実験の目的は、講義の補完、専門教育のための基礎的な実験スキルの修得にあった。このため、テーマはともすると、物理学・化学・生物学・地学と細分化、特化を促すことになった。

平成 18 年からスタートした新自然科学実験では、物理学、化学、生物学、地学の実験を総合することにより、狭い専門性に閉じこもりがちな学生・教員の意識を広く開放し、自然科学が本来持っている総合性・社会性・ダイナミズムを実感させようとする試みで、専門教育に先立つ初年次の導入教育と位置付けている。また、これまでの、講義が主、実験が従という関係を転換し、観察・実験の実体験を通して自然科学教育への動機付けを行い、

また先端科学の概念を把握させることとした。平成 20 年度の履修者は（前期）+（後期）で、物理 661+726 名、化学 634+685 名、生物 470+533 名、地学 153+174 名である。以下のテーマを開発し、新テキスト「自然科学実験」（北海道大学自然科学実験編集委員会編、学術図書出版社）にまとめた。

<物理学カテゴリー>

1. 目で見る電気信号
2. マイナス 200℃の世界と超伝導
3. レーザー光で学ぶ光の世界
4. 弦の振動と音の分解・合成
5. 重力加速度と地球
6. 放射線と統計
7. 地球に優しい燃料電池

<化学カテゴリー>

1. 酸化還元滴定による COD の測定
2. 吸収スペクトルと酸塩基平衡
3. タンパク質分解酵素の反応速度解析
4. ものさしで測る分子の大きさと表面圧
5. 身近な医薬品の合成
6. 天然のかおり物質の合成

<生物学カテゴリー>

1. 頚微鏡の使い方細胞分裂の観察
2. 薄層クロマトグラフィーによる植物色素の分離
3. ソウリムシの行動観察
4. DNA 実験—PCR による遺伝子の增幅
5. 生活の科学—イカの解剖
6. 水の中の小さな生物—珪藻の多様性と環境

<地学カテゴリー>

1. 地形の実体視と地質プロセス
2. 堆積物からさぐる地球の環境
3. 地球リソスフェアの岩石・鉱物しらべ
4. 偏光顕微鏡で見る岩石と鉱物の世界
5. 野外で体験する地質と地形観察—粉末 X 線回折法による鉱物の同定
6. 環境水の水質分析

4. 新自然科学教育の効果

学生の学力の多様化に対応した新たな自然科学実験と理系基礎教育システムの構築は、各学部の学士課程全体における、一貫した効果的で効率的な理科教育システムの確立の第一歩となった。勿論、その効果が一朝一夕にあがるものではないが、今後の科学リテラシー醸成に大きな貢献をすると期待される。授業のアンケート等をみると、高価な装置を一人で使える、興味あるテーマが多い等おむね好評である。実験室で学生を見ていると、とにかく、テキスト通りこなして、レポートを書くという昔のイメージから、楽しんで実験をしている様子が感じられる。

5. さいごに

理系基礎教育及び自然科学実験の改革は、多くの大学に共通の課題である。新自然科学実験を全学共通の教育として立ち上げられたことは、教育内容・テーマの幅を広げ、また自然科学が狭い専門領域で完結するものではなく、相互に深く関連する複雑な体系をなすことを実感させる点で、学生に対しても、教員に対しても大きな教育的意義がある。

また、理系基礎教育の内容を広く社会に公開し、高校教員の研修や近隣大学との連携により科学素养の向上に貢献できればと考えている。教育内容の公開は、社会に対して教育の質を保証し説明責任を果たす第一歩である。今後、広く実験施設を開放し、将来的には実験センターの役割を果たし、北海道地区の科学力の向上につながればと希望している。

北海道大学との連携・協働による授業を実施して

北海道薬科大学 中野 善明

Hokkaido Pharmaceutical University Yoshiaki Nakano

自由科目セミナー「初心者のための物理学入門」の中で基礎物理学実験を北海道大学との連携・協働によって実施した。その概要と終了後に行った学生アンケート調査結果を報告する。

キーワード 大学間連携, 理科教育, 基礎理科実験, 物理学実験, 物理学入門

1. はじめに

平成 18 年度より薬剤師養成教育としての薬学部 6 年制がスタートした。修業年限の延長に伴って、薬剤師は高度な医療の一端を担う医療人として、また薬物治療の専門家として、これまで以上に社会からの期待に応える必要がでてきた。本学では、既に 6 年一貫教育がスタートし、薬学教育コアモデルを基に構成されたカリキュラムに沿って講義、演習、実習等の授業が展開されている。しかし、近年の入学生の状況を見ると、基礎学力の低下、「少子化」、そして多様化する入試制度などの様々な要因によって多種多様のバックグラウンドや学力差に拍車が掛かっている。

本学における平成 20 年度入学生の高校物理の履修率は、物理 I が約 50% で、その中で全単元まで終わっているのは 35%，残りは未消化である。一方物理 II の履修率は約 30%（全単元を消化したのは 13%）である。¹⁾しかし、履修者と言っても理解度は低く知識は中学生レベルと言っても過言ではない状況にある。

新制度の薬剤師国家試験の出題基準では「物理・化学・生物」、「衛生」、「薬理」、「薬剤」、「病態・薬物治療」、「法規・制度・倫理」、「実務」の 7 領域が定められ、物理素養の低下は、国家試験ばかりでなく、大学での専門教育にも大きな影響を及ぼすものと危惧する。

本学における物理学の授業として、講義、演習、実習があるが、演習では入学生全員を対象にリメディアル教育を行い、学力不足に対するケアを実施している。しかし更なるケアの一助の策として、希望者だけではあるが、自由科目セミナーの形で「初心者のための物理学入門」を開講した。このセミナーでは、効果的な基礎学力の向上ばかりでなく、科学を肌で感じ取って理解を深めてもらうために基礎物理学実験を導入した。基礎実験は北海道大学との連携により、最新の実験教材

を備えている北海道大学自然科学実験施設で実施した。ここでは期待以上の成果が得られた北海道大学との連携・協働による物理学基礎実験の実施状況を学生アンケート調査の結果を含めて報告する。

2. 北海道大学で開発された自然科学実験

多くの大学で行われている従来型の実験目的は、講義の補完、専門教育のための基礎的な実験スキルの修得にあり、テーマは物理学、化学、生物学、地学に細分化された特化の感があった。しかし、北海道大学では平成 18 年からの新自然科学実験において、物理学、化学、生物学、地学の実験を総合化し、自然科学发展が本来持っている総合性・社会性・ダイナミズムを実感させようとする試みに転じた。専門教育に先立つ初年次の導入教育と位置付け、観察・実験の実体験を通して自然科学教育への動機付けを行い、また先端科学の概念を把握させることとした。テーマは、物理学、化学、生物学、地学の各カテゴリーで 6 ~ 7 テーマが用意されている。²⁾物理学に関しては次のようなもので、何れも興味を惹くものである。

1. 目で見る電気信号
- 2.マイナス 200℃の世界と超伝導
3. レーザー光で学ぶ光の世界
4. 弦の振動と音の分解・合成
5. 重力加速度と地球
6. 放射線と統計
7. 地球に優しい燃料電池

3. 大学間連携による基礎物理学実験の実施

授業科目名：自由科目セミナー（選択、1 単位）

「初心者のための物理学入門」

受講対象者：1 年生 24 名（高校物理未履修者）

実施形態：1 グループ 8 名、3 班編成でロー

ーション（実験装置は一人 1 台を

割り当てる)

実施期間：10月、11月中の3日間、金曜日(14:40
～17:40)

指導者：教員2名、TA3名（北海道大学大学院
理学MC）

実験題目：“物理学カテゴリー”の中から本学の教育
に特に必要と思われるものを選定

実験1 マイナス200度の世界と超伝導

実験2 レーザー光で学ぶ光の世界

実験3 放射線と統計

実験は、

- ・ 各テーマ概要説明（パワーポイントを利用）
- ・ テーマに関連ある事項についての予備知識
- ・ 実験原理、方法、データのとり方、考察

などを懇切丁寧に説明した後、開始させた。ほとんどの学生は大学における理科実験が初めてであるため時折戸惑っている学生も見受けられたが、巡回している教員とTAのサポートで比較適順調に進行した。実験終了後は、得られたデータを基にコメントおよびディスカッションを行った。

各実験のねらい（詳細は参考文献（2）を参照していただきたい）は次の通りである。

実験1 マイナス200度の世界と超伝導

- ・液体窒素を用いて、低温における物質の電気抵抗の測定を行う。
- ・酸化物高温超伝導体の超伝導転移を観測する。
- ・コンピュータを用いて、電気抵抗の温度変化の自動計測を行う。
- ・電気抵抗の測定法、液体窒素を用いて低温を得る方法を理解する。
- ・物質の電気抵抗の温度依存性を観測する。

実験2 レーザー光で学ぶ光の世界

- ・単色性と可干渉性に優れたレーザー光を用いて光の回折実験を行い、光の波動的性質を理解する。

実験3 放射線と統計

- ・ベータ線源とGM管を用いた実験によって、放射線の性質を調べる。

4. 学生のアンケート調査結果から

以下に、受講学生（24名）によるアンケートの調査結果と、それに対する所感（*）を述べる。設問は、昨年、北海道大学の授業で実施されたアンケート調査の設問と

ほぼ同様にした。たとえば、Q1では、80%～100%分かったと思う学生は選択肢①を選ぶ。括弧内の数字は人数である。

Q1 テーマの意義が分かりましたか？

① 80～100% (8) ② 60～79% (14) ③ 40～59%

(2) ④ 20～39% (0) ⑤ 0～19% (0)

* 概ね理解しているようである。

Q2 実験内容は面白かったですか？

① 80～100% (18) ② 60～79% (6) ③ 40～59%

(0) ④ 20～39% (0) ⑤ 0～19% (0)

* テーマによって多少差があると感じているが、学生は満足していると思われる。

Q3 テキストは分かりやすいと思いましたか？

① 80～100% (9) ② 60～79% (13) ③ 40～59%

(2) ④ 20～39% (0) ⑤ 0～19% (0)

* 物理学の初心者だが、比較的懇切丁寧に記述されているので、理解しやすいとの評価である。但し、テーマによってはやや難解の部分もあるので、講義等で改めて解説が必要と感じている。

Q4 実験は理解できましたか？

① 80～100% (9) ② 60～79% (13) ③ 40～59%

(2) ④ 20～39% (0) ⑤ 0～19% (0)

* 概ね理解できていたようで安堵している。

Q5 教員・TAの指導はどうでしたか？満足度は？

① 80～100% (18) ② 60～79% (5) ③ 40～59%

(1) ④ 20～39% (0) ⑤ 0～19% (0)

* TAの指導が行き届いていたようで、満足度は高い。

Q6 実験時間の長さについて教えてください。

① 長過ぎる (0) ② 長い (11) ③ ちょうど良い (12) ④ 短い (1) ⑤ 短過ぎる (0)

* 実験時間は3時間を設定しているが、今時の学生には長く感じたのかも知れない。

Q7 1回のレポート作成にどのくらい時間をかけましたか？3回分の平均時間を教えてください。

① 2時間以内 (2) ② 2～4時間 (18) ③ 4時間以上 (4)

* レポート作成は慣れていないので、仕方がないと思う。

Q8 今回の実験で印象に残ったテーマに順位をつけるとどうなりますか？

実験1 マイナス200℃の世界と超伝導

1位(16) 2位(7) 3位(1)

実験2 レーザー光で学ぶ光の世界

1位(0) 2位(6) 3位(18)

実験3 放射線と統計

1位(7) 2位(12) 3位(4)

* 1番人気は実験1(マイナス200℃の世界と超伝導)

であった。これは液体窒素を用いて身近な材料を瞬間凍結させるなどをして、興味を持たせながら超伝導の実験を行ったためと思われる。物体の温度と電気抵抗の関係が理解できたと思う。前述のねらいに沿って実験を進めたが、感動しつつ楽しんでいたようである。

* 2番人気は実験3(放射線と統計)であった。GM管を用いたβ線の検出である。遮蔽板(アルミ板)の厚さと透過放射線の強さの関係を中心に幾つかを調べさせた。作業は単調だが時間がかかり、統計的処理作業もあり、少し大変を感じていたようである。しかし医療系の本学にとって必要なテーマであることを認識し、放射線、放射能に関して多くのことを学んだようである。

* 3番人気は実験2(レーザー光で学ぶ光の世界)であった。ここでは回折格子や单スリットを用いて、回折像から光の波長やスリット間隔の測定をさせた。測定に関しては面白く感じていたようだが、データ整理や最も苦手とする計算処理に敬遠されたようである。しかし医療分野で多く利用されているレーザー光についての特性などを知見でき、後で学ぶ物理学の講義にも繋がり役に立ったようである。

今回のような学外での実験は初めての試みであり、今回の試みに対する受講生の率直な感想を紹介する。文章は出来るだけ正確に転載しておいた。

・今まで知らなかったことなど、多くのことを学べて参加して良かったと思います。そして、実際に実験をしながらだったので、分かりやすく、普段では出来ないような貴重な体験を出来ました。他の学校でこういう実験をしてみるのも楽しくて良かったです。

・参加して良かったと思います。後期の授業内容と重なる部分を先に実験していたので、理解を深めることができます。実験のテキストを予習した時は難しく

感じました。

・本学では実験する機会が少ないので、今回のセミナーに参加して良かったと思います。他大学を見ることができて、また実験内容も楽しかったです。

・講義でやるところを実験して、予習ができたので参加して良かったです。

・学校の中だけでは体験出来ない実験が出来たので、良かったです。「レーザー光で学ぶ・・・」が予想以上に時間がかかったので、その日は時間が長いなあと思いました。

・良い勉強になりました。「マイナス200度の世界・・・」の実験が一番楽しかったです。機会があればバナなどの他のものも凍らせてみたいです。

・自分の通っている大学以外の所で学ぶことは、とても新鮮で楽しかったです。TAは分からない所や疑問などを質問したら、図を書いて説明してくれてとても分かり易かったです。とても良い経験になりました。

・TAの年齢が自分たちと近かったので、質問などし易かったです。

・思っていたよりも楽しくて時間が早く過ぎているように感じました。実験の時に分からないところがあるとTAの皆さんのが分かり易く教えてくれたので、スムーズに進めることが出来た。なかなか出来ない実験だったと思うので参加して良かったです。

・全体的に楽しい実験だったので参加して良かったです。

・純粹に楽しかったです。自分の目の前で結果が出て、貴重な体験でした。

・他の大学の雰囲気・環境を味わうことが出来て、とても貴重な経験になりました。もっと多くの実験をしてみたかったです。

・一人ひとつの実験器具が与えられて実験が出来たのがとてもやりがいがありました。

・大規模な実験施設だったので緊張しました。実験は放射性物質や液体窒素にふれる事が出来てとても興味深かったです。

・北大で実験することにより意欲が湧いた。

・難しそうな実験で不安でしたが、先生やTAの方が面白く優しく教えてくれたのでとても楽しかったです。

「マイナス200度の世界・・・」では、普段とは全く違うとても冷たい世界が面白かったです。風船やタンポポを凍らせたりしたのは感動しました。始める時間が15:00では少し遅かったと思いました。全体を通して貴重な体験ばかりで、とても楽しく、面白かったです。有難うございました。

・実験が面白く、物理への関心が強くなった。指導してくださった先生方が、どんなことにも丁寧に教えてくれたので質問しやすく、好奇心がとても満たされた。予習でテキストを読んだだけでは分からなかったが、実験することによって、ある程度分かるようになった。

・質問すると丁寧に教えてくれたので物理が少し面白くなかった。TAの数が少し少ないとと思います。チェックの待ち時間がもったいなかった。

・学外での実験で、思っていた以上に新鮮な気持ちで取り組めた。とても楽しく良かったです。レポートを書くのが大変でどう書けば良いかも分かりませんでしたが、考える時間が増え、今後のレポートの作成のためにも参考になりました。物理は頭で考えるより、1回でも見えたほうが良いイメージを持つことが出来ると思うし、理解が深まると思ったので、とても良い実験だったと思います。有難うございました。

・一人ひとり実験器具が与えられ、自分でやることによってより理解が出来た。面白く、参加してよかったです。

・貴重な経験が出来たと思います。実験に関して連絡などはもう少し早く、詳しくアンケートして欲しかった。

・楽しく実験を行えた。実験を通して理解も深まりました。来年度も是非実施して欲しい。

・これまでに物理実験をしたことがなかったので、今回出来て良かった。レポートを書くことで光や放射線の理解が深まったと思う。

以上が学生からの率直な意見である。今後の参考にしたい。写真1～5は実験風景である。楽しそうに、かつ真剣に取り組んでいる様子が窺える。

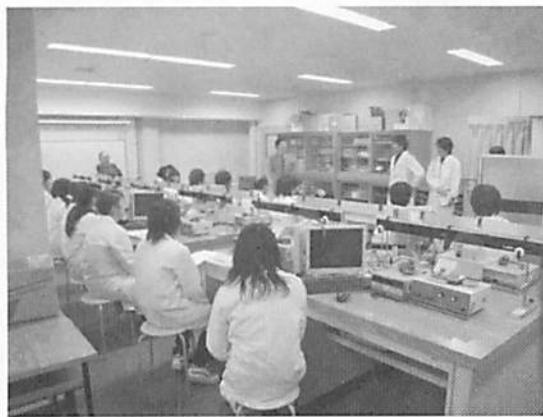


写真1 ガイダンスの様子

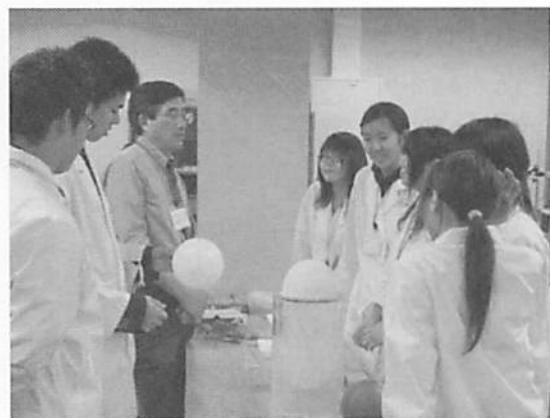


写真2 身近な教材で液体窒素の低温力を観察



写真4 超伝導の実験



写真5 レーザー光の実験



写真 6 放射線の実験

6. おわりに

昨年 11 月に開催された第 4 回東北大学特色 GP シンポジウム「理科実験教育の将来像について」に参加してきた。ここでは東北大学の物理、化学、生物、地学の科目を融合した新しい形の実験科目「自然科学総合実験」⁴⁾ の実施状況の他、石巻専修大学（理工）、弘前大学（医）、千葉大学（融合科学）、京都大学（人間・環境）、東北大学（文）に於ける取り組みの報告、そして慶應義塾大学からは東北大学との連携教育と、文系学生（文・経・法・商）の専門課程における新しい試みである自然科学教育と、それの意義および 4 年次で開講している理科実験教育の実施状況の報告があった。文系に実験を取り入れたひとつの根拠として、企業からの要望であり、理科実験の経験の有無が入社後の貢献度差の一要因とも捉えられている。文系理系を問わず、時間大小は別として何らかの形で理科基礎実験を経験させることは必要である。

本学は医療の一端を担う薬剤師養成の教育機関である。当然ながら理系基礎教育が必須である。近年における理科基礎学力不足者の増加や実験・観察の素養の低下は著しい。本学における学士課程教育の質を保証する上にも、何らかの方策を講じる必要があり、その意味でも本学と北海道大学との連携・協働による今回の試みは、本学の初年次理科（物理）基礎教育の充実として、また科学素養の向上に一助になったと信じている。

謝辞

大学間連携・協働による授業を実施するに当たって、多大な尽力をいただいた北海道大学関係者には心から感謝申し上げます。特に、直接協力いただきました北海道大学高等教育機能センターの小野寺 彰教授はじめスタッフの皆様、そして学生の直接指導をいただいた TA の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中野善明：「基礎学力不足解消のための試み」平成 20 年北海道物理教育研究大会, pp. 13-15 (2008. 8). 第 57 回東北・北海道地区大学一般教育研究会研究収録, pp. 23 ~26, 2007.
- 2) 自然科学実験, 北海道大学自然科学実験編集委員会編, 学術図書出版, 2008.
- 3) 北海道大学全学教育自然科学実験アンケート調査, 自然科学実験連絡会議高等教育機能開発総合センター全学教育部編, 2008. 3.
- 4) 自然科学総合実験, 東北大学自然科学総合実験テキスト編集委員会編, 東北大学出版会, 2008.

振子の等時性とサイクロイド振子

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、池田 清朗、沢田 康太

物理教材としての振り子の運動の取り扱いについて述べ、等時性を保つためにホイヘンスによって考案されたサイクロイド振り子について解説する。サイクロイド振子の運動を解き、その振動の具体的な振る舞いを示す。サイクロイド振子を試作し、その周期測定結果を単振子の等時性の破れとともに示す。

キーワード 単振子、等時性、サイクロイド振子

1. 振子の運動

重力のもとで生ずる振り子の運動は容易に実験観察・測定できる現象であり、物理を学ぶ上で基本的な題材である。小学校理科では、振子の周期が重りの重さや振れ幅によらず、振子の長さによって決まるという「意外な事実」が測定実験によって明らかにされる。ガリレイによってはじめて明らかにされた事実、すなわち、「重力による物体の運動はその質量によらない」とこと、そして「振子周期の等時性」の発見の驚きを、この物理現象の学習に際して大切にしたい。

高校や大学でこれが力学法則にもとづいて考察される場合は、近似によって変位に比例した復元力の下での運動、単振動に帰着させてしまることが多く、単振動からのずれ、等時性の破れを積極的に取り上げる機会は少ない。ここでは、等時性の破れを克服するべく考案されたサイクロイド振子^①を取り上げ、その振動の具体的な振る舞いを運動方程式から求める過程をたどり、試験的に作成したサイクロイド振子の周期測定結果を示す。

2. 単振子

はじめに、重力の下での振り子の運動を復習する。多くのテキストや講義で（高校物理においても）示されるやり方は、運動の接線方向の力について運動方程式を立てるというものである。すなわち振子の長さ L、質量 m、鉛直方向からの振れ角を θ とすると、重力の接線成分 $mg \sin \theta$ から

$$mL \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg \sin \theta \quad (1)$$

振れ角 θ が小さいとき $\sin \theta \approx \theta$ と近似することによって、これは変位に比例した力の作用する単振動の問題に帰着し、振動の周期が $T_0 = 2\pi\sqrt{L/g}$ と求められる。

このとき、なぜ接線方向の力によって運動方程式が立てられるのか自然としない思いで学生が眺めていることに多くの教員は気づいていない。微分を使えない高校物理ではやむをえないことではあるが、基本に忠実に空間に固定した原点 xy 座標系（慣性系）で運動方程式を立てて問題を解くことが教育的であろう。念のためこのやり方を復習しておく。長さ L、質量 m の振子について、振り子の支点を原点とした xy 座標（水平に x 軸、鉛直下向きを正に y 軸）をとると、張力を S として質点の運動方程式の各成分は次のようになる。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -S \sin \theta, \quad (2-1) \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = mg - S \cos \theta, \quad (2-2)$$

位置座標 x, y は振れ角 θ によって次のように決まる。

$$x = L \cos \theta, \quad y = L \sin \theta \quad (3)$$

式(3)の t による二階微分を運動方程式(2)の左辺に代入し、式(2-1) × cos θ - 式(2-2) × sin θ から θ に関する微分方程式が、式(2-1) × sin θ + 式(2-2) × cos θ から張力 S が、それぞれ次のように得られる。

$$L \ddot{\theta} = -g \sin \theta, \quad S = mL \dot{\theta}^2 + mg \cos \theta \quad (4)$$

振幅が大きい場合には振動の周期は T_0 より大きくなり、等時性が破れる。

3. サイクロイド振子

サイクロイド曲線とは、よく知られているように滑らかに転がる円板の固定点が描く曲線である。半径 a の円の転がり角を ϕ として曲線は次式で表される。

$$x = a(\phi - \sin \phi), \quad y = a(1 - \cos \phi) \quad (5)$$

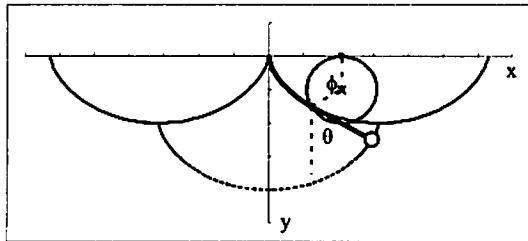


図1 サイクロイド振子

ホイヘンスによって考案されたサイクロイド振子は次のようなものである。振り子の支点の両側に図1のようにサイクロイド障害物（あてがね）を置くと、長さ $L=4a$ の振り子はサイクロイド曲線を描き、この振子の振動周期は振幅によらず一定で $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ となる。この運動はいくつかのテキスト（演習書）²⁾でも取り扱われているが、単振動の方程式に帰着することを示すのみで、振り子の運動が実際どのようなものになるのかが具体的に見えない。以下で運動方程式を解き、典型的な初期条件の下での解を求め、その具体的振る舞いを示そう。

前と同様、図1のように支点を原点とするxy座標をとり、振子のひもがサイクロイド曲線から離れる点を「接点」と呼ぶことにする。接点の座標(x,y)は式(5)で与えられ、これを使って原点から接点までの曲線の長さを求める $\ell = \int \sqrt{dx^2 + dy^2} = 4a(1 - \cos(\phi/2))$ 、また振子が鉛直方向からなす角度を θ とするとサイクロイド曲線の接点における接線の傾き $dy/dx = \sin \phi / (1 - \cos \phi) = 1/\tan \theta$ から $\theta = \phi/2$ であることが分かる。質点の座標の(X,Y)は次のように求められる。 $X = x + (L - \ell) \sin \theta, Y = y + (L - \ell) \cos \theta$ より、

$$X = a(\phi + \sin \phi), \quad Y = a(3 + \cos \phi) \quad (6)$$

ここで角度変数を変換して $\phi = \phi' - \pi$ とすると $X = -a\pi + a(\phi' - \sin \phi'), Y = 2a + a(1 - \cos \phi')$ 、すなわちこれは式(5)を平行移動したものであり、質点の軌跡がサイクロイド曲線を描くことが分かる。質点の運動方程式は前と同様、式(2)であるが、質点の位置は式(3)の代わりに(6)の二階微分を代入して同様に整理すると次が得られる。

$$L(\ddot{\theta} \cos \theta - \dot{\theta}^2 \sin \theta) = -g \sin \theta, \quad S = m(L - \ell) \dot{\theta}^2 + mg \cos \theta \quad (7)$$

第一式の左辺は丁度 $\sin \theta$ の二回微分になっているこ

とからこれは単振動の運動方程式であり、運動は無条件に一定周期の振動となる。

$$\frac{d^2}{dt^2} \sin \theta = -\omega^2 \sin \theta, \quad \omega^2 = \frac{g}{L} = \frac{g}{4a} \quad (8)$$

では実際式(8)に従う振れ角 θ の振る舞いはどのようなものになるのだろうか。一般解は次のようになる。

$$\sin \theta = A \sin(\omega t + \alpha), \quad \omega = \sqrt{g/L} \quad (9)$$

典型的な初期条件のもとで定数 A, α を決め、その振る舞いを具体的に求めてみよう。

$$\text{I)} \quad \theta(0) = 0, \dot{\theta}(0) = v_0; \quad \sin \theta = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t, \quad (10)$$

$$\therefore \theta = \sin^{-1}\left(\frac{v_0}{\omega} \sin \omega t\right), \quad v_0 \leq \omega$$

$$\text{II)} \quad \theta(0) = \theta_0, \dot{\theta}(0) = 0; \quad \sin \theta = \sin \theta_0 \cos \omega t, \quad (11)$$

$$\therefore \theta = \sin^{-1}(\sin \theta_0 \cos \omega t)$$

II) の結果をエクセルを使ってグラフに描くと図2のようになる。振れ角 θ_0 が大きくなるにしたがって、等時性を保ちつつ等速・跳ね返り運動 ($\dot{\theta} = \pm \omega$) に近づいてゆく³⁾。

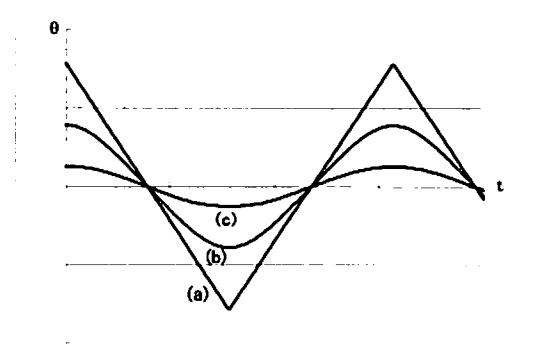


図2 サイクロイド振子振動解の振る舞い

振れ角 (a) 90° , (b) 45° , (c) 15°

4. サイクロイド振子の試作

サイクロイド振子を試作し周期測定実験を試みた⁴⁾。スタイロフォームをサイクロイド形に切り出し、振子の支点両端に置く。振子の長さは $L=31[\text{cm}]$ 、サイクロイドの円半径 $a=L/4=7.75[\text{cm}]$ である。

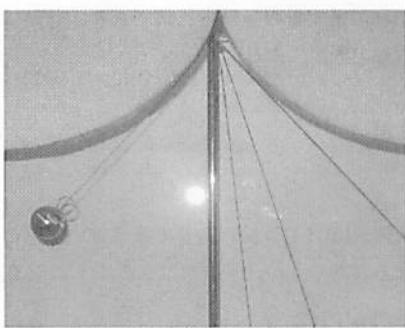


写真1 試作したサイクロイド振子

振子の振れ角を 10, 20, 30, 45 度とし、20 周期分の時間をストップウォッチで 3 回測定し平均した結果と同じ長さの単振子の周期測定値とともに表 1 に示してある。単振子の固有周期 T_0 は 1.118 秒、振れ角 θ_0 での単振子の周期計算値は以下の展開式から求めたものである。

$$T = T_0 \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \theta}} d\theta = T_0 \left(1 + \frac{k^2}{4} + \frac{9k^4}{64} + \dots \right), \quad (12)$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L/g}, \quad k = \sin \frac{\theta_0}{2}$$

表 1 振子の周期 (秒)

振れ角 (度)	単振子	計算値	サイクロイド 振子
10	1.121	1.120	1.119
20	1.128	1.126	1.121
30	1.136	1.137	1.121
45	1.160	1.162	1.120

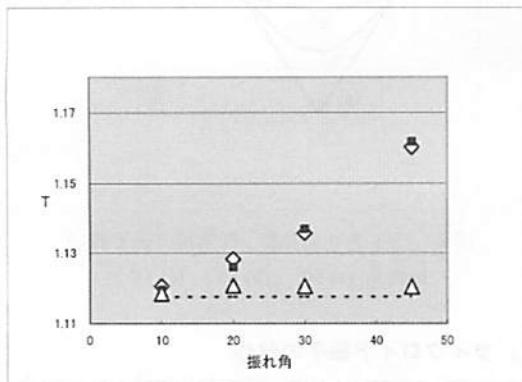


図3 振子の振れ角と周期 単振子(◇)、計算値(■)、サイクロイド振子(△)、固有周期(点線)

図 3 は、これら単振子およびサイクロイド振子の周期測定値、単振子の周期の計算値および固有周期をグラフに示したものである。図 3 および表 1 より、単振子の周期が振れ角とともに増加してゆくのに対し、サイクロイド振子の周期は一定に保たれていることが分かる。

4. おわりに

振子の運動は、振れ角が小さいときに単振動として近似して考察することが力学の標準的な扱いであり、単振動からのずれを積極的に問題にすることはあまりない。あえて等時性の破れに目を向け、ホイヘンスの工夫に注目することには充分な教育的価値があると思われる。サイクロイド振子はホイヘンスによって考案されているが、ニュートン力学以前にホイヘンスが微分と運動法則を使わずにどうやって等時性を保つ工夫を発見したのか興味深いことである。

振子はその等時性によって時計に利用されてきたが、振子時計が日常生活のなかにあった経験、子供のころに一週間に一度ネジを巻く仕事を与えられ、振子の先端のネジで遅れや進みを調節した経験を有する世代は教育現場にももういなくななりつつある。振子の物理に「振子時計」を例示することが通用しなくなっている現在、教室の時計は電波時計ではなく、教育効果を考えてあえて振子時計にすることも必要だらうと考える。

引用文献

- 1) 遠山啓:『遠山啓のコペルニクスからニュートンまで』、太郎次郎社、1985
- 2) 江沢洋 中村孔一 山本義隆:『演習詳解力学』、東京図書、山本邦夫 神吉健、1984;『詳解力学演習』、後藤憲一、共立出版、1971
- 3) 沢田康太:北海道教育大学札幌校平成 20 年度卒業論文
- 4) 池田清朗:北海道教育大学札幌校平成 19 年度卒業論文

札幌カルチャーナイト2009での実験教室の開催

エコエネ工房 石毛 隆 北海道教育大学札幌校 藤原 琢馬、熊越 ゆき

札幌カルチャーナイト2009において「エコエネ実験教室」を開催し、参加者27名に対して環境とエネルギーを意識した3種類の実験・工作を行った。「人力ヒートポンプ」では、子どもたちの力で空気を冷やす実験にチャレンジしてもらい、「簡単充電飛行機づくり」では、工作前のデモ実験としてソーラー充電でキットの飛行機をとばせるか？を試み、「ヘロンの噴水」では電気を使わずに簡単に噴水を起こす仕組みの説明、等を行い好評を博した。

キーワード 環境とエネルギー、ヒートポンプ、ソーラー飛行機、ヘロンの噴水

1. はじめに

7年目をむかえた札幌カルチャーナイト2009¹⁾は、7月17日（金）の夕方に開催され、「北一条通りと札幌駅前通りを軸としたエリア」において様々な文化的催しが行われた。筆者等は、ハローガスショールーム美暮住（みくす）²⁾において「エコエネ実験教室」を開催し、幼稚園児（者同伴）に対して、環境とエネルギーを意識した以下の3種類の実験・工作を行った。

2. 実験教室の内容

2. 1 人力ヒートポンプ

図1にその概要を記す。装置全体の構造は、極低温冷凍機の分野でオリフィス型パルスチューブ³⁾と呼ばれているもので、作動流体に高圧ヘリウムガスを用いしっかりとした真空断熱を施すと、液体窒素温度（-196°C）以下まで冷やすことが原理的に可能なものである。

今回は、人力でエアコン温度まで冷やすことを目的として、作動流体に空気、断熱は薄手の発泡シートを巻き付けた簡易的なものとした。人力の圧縮・膨張機として、市販の自転車用空気入れ（内径Φ30mm、最大ストローク260mm）の弁を取り払い、再生熱交換器（蓄冷器）と呼ばれる部品として、スチールウールをアクリルパイプ（内径Φ20mm、外径Φ22mm、長さ100mm）内に充填率15%程度になるよう詰め込んだ。さらにその先のアクリルパイプ部分（内径Φ20mm、外径Φ22mm、長さ200mm）はパルス管と呼ばれ、内部の作動流体（ガス）があたかも伸び縮みするピストンのように振る舞うことから「ガスピストン」と称せられる。

その「ガスピストン」の動きを制御する仕組みとして絞りバルブ（点滴用のピンチコック）とバッファタンク（1.5Lペットボトル）をパルス管の先端に取り付けた。

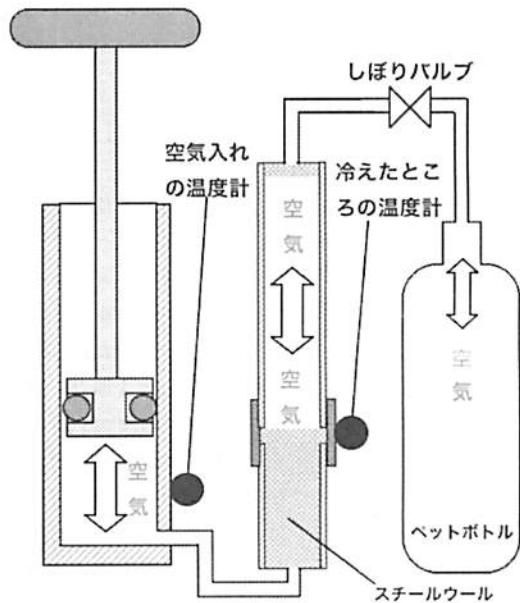


図1 人力ヒートポンプ概念図

それぞれのパーツは、空気の通路となる小径ビニールチューブで連結され、試運転では毎分60回の圧縮・膨張で-10°Cの冷却温度を図中の「冷えたところの温度計」で確認した。

カルチャーナイトでの実験では、子どもたちに交代で空気入れを押したり引いたりしてもらい、人力で空気がどこまで冷えるのかチャレンジすることとした。

2. 2 簡単充電飛行機づくり

次に工作教室として市販の充電式飛行機のキット⁴⁾を組み立て、試運転までを行うようにした。（全員が飛行機を飛ばすには、スペースが足りなかったため。）



図2 充電式飛行機

飛行機本体は、発泡スチロール製で超小型モーターに歯車を付けた2枚羽根のプロペラと動力源として小型コンデンサ（直径 ϕ 8mm、長さ15mm）を組み込み、総重量3.7gとした軽量キットである。付属の充電器（単4乾電池3本直列、起動時電流0.5A、定常時0.15A）で10秒間充電すると最大30秒間飛行するというもので、子どもたちには乾電池で充電・試運転してもらい、筆者等のデモ実験のみ太陽電池を用いたソーラー飛行機として飛ばすこととした。

2. 3 ヘロンの噴水

最後に図3に示した構造のヘロンの噴水のデモ実験を行うこととした。ペットボトルは炭酸飲料用1.5Lを3本使用し、中間と上の2本はキャップにストローを通して連結したうえ、ストロー上端にノズルとして使用済みボールペンの芯（長さ60mm）を取り付けた。

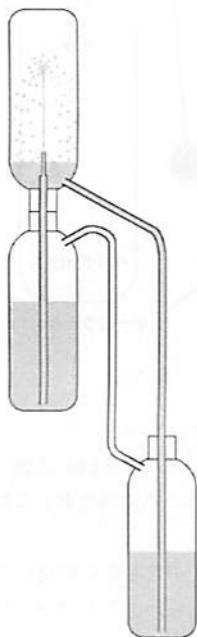


図3 ヘロンの噴水

下のペットボトルはキャップにストローを通して密封し、さらにそれぞれのペットボトルの肩に穴を開け、継ぎ手を介して小径ビニールチューブ（長さ1.8m）2本を図の様に取り付けた。取り付けには、全てホットポンドを使用した。内部には1.5Lの水（メチレンブルーで青く着色）と台所用洗剤（1g程度）を入れてあり、上下のペットボトル間に落差を設け、中間のペットボトルを軽く押すと噴水が開始する。中間のペットボトルの水が空になると噴水終了であるが、図3の絵全体を逆さまにして水のたまつた下のペットボトルを軽く押してやると中間のペットボトルに水が戻る。

このように全体を密閉構造にすることで、水を元に戻す作業や持ち運びが楽になるというメリットが生まれ、試運転では落差1mで噴水高さ約20cmが得られた。

飛行機本体は、発泡スチロール製で超小型モーターに歯車を付けた2枚羽根のプロペラと動力源として小型コンデンサ（直径 ϕ 8mm、長さ15mm）を組み込み、総重量3.7gとした軽量キットである。付属の充電器（単4乾電池3本直列、起動時電流0.5A、定常時0.15A）で10秒間充電すると最大30秒間飛行するというもので、子どもたちには乾電池で充電・試運転してもらい、筆者等のデモ実験のみ太陽電池を用いたソーラー飛行機として飛ばすこととした。

3. 実験に対する反応

図4は人力ヒートポンプの実験風景で、一人ずつ空気入れを押したり引いたりしてもらい、その温度をプロジェクターで拡大して全員で見ているところである。スタート温度23°Cが最終的に11°Cまで冷えたことで、空気の膨張・圧縮だけで熱を運ぶことができる、その事実を知つてもらえただけで十分な学習効果ではないだろうかと筆者等は思っている。

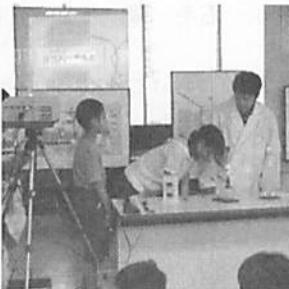


図4 人力ヒートポンプの実験



図5 ソーラー飛行機の実験

図5はソーラー飛行機の実験風景で、左の人物の手元でランプの光を太陽光のかわりとしてソーラー充電し、右の人物が飛ばしたところである。図中の丸印の中に飛行機が見えており、この後、低空飛行ながら子どもたちの頭上をなんとか飛ぶ

ことができ、ほっとするところでもある。子どもたちにとって理科が好きになるきっかけとして、ソーラーカーやソーラー飛行機がより身近なおもちゃとして普及して行くことを期待したい。

ヘロンの噴水実験では、時間が足りず「水が落ちる力（位置エネルギー）と空気が押す力（圧力）を利用した、とってもエコな噴水だよ。」との簡単な説明しかできなかつたが、噴水をじっと見つめる子どもたちの目は、驚きと好奇心にあふれていたと報告しておきたい。

4. おわりに

環境とエネルギーを意識した理科実験として参考にしていただければ幸いです。最後に、会場の提供ならびに企画案の検討等でご協力を頂いたエア・ウォーター・エネルギー株式会社殿に感謝致します。

参考文献・資料

- 1) <http://www13.ocn.ne.jp/~c-n/>
- 2) <http://www13.ocn.ne.jp/~c-n/sisetu/f-mix.html>
- 3) 松原洋一 クライオクーラ [5] -極低温冷凍機の基礎- 低温工学 Vol.42, No.6, Page188-195
- 4) (株)タカラトミー社製 AUTO FLIGHT
http://www.takaratomy.co.jp/products/auto_flight/

注射器の外筒は落ちるでしょうか？

(隠れた反作用力)

宮台朝直・木下真二・越 昭三^{*)}・北海道大学 岸本晶孝

Tomonao MIYADAI · Shinji KINOSHITA · Shohzoh KOSHI^{*)} · Akitaka KISHIMOTO

ガラス製の注射器を使った2種の実験を紹介する。第1の実験では、注射器に水を吸い込み内筒だけを吊ると、外筒は下降しながら空気の泡が下端から進入する。第2の実験では、注射器の針差込口にカテーテルを差込み水がカテーテル内にも満たされるようにして内筒を吊ると、カテーテルの下端から水を滴下しながら外筒は上昇して行く。後者の結果には驚く人が多い。「隠れた反作用力」が重要な役割を演ずることを示す。

キーワード： 反作用 大気圧 注射器

1 はじめに

作用・反作用についてはしばしば誤解があることが物理教育学会誌上でも議論されている¹⁾。ここで紹介する実験は気付かないようなところに働く反作用力が重要な役割を演じる現象であり、反作用の理解のためにも有益ではないかと思われる。(実験に使用する注射器としては、プラスチック製は内外筒間の摩擦が大きいため適さない)。

20(mL)のガラス製注射器と長さ約60センチの細いカテーテルを使って、次の2種類の実験を考える。第1の実験は、図1に示すように注射器だけを使い、注射器

器針の差込み口に長いカテーテルを差し込んで水を吸入する。水が注射器とカテーテル内に満たされるようにして、さきほどと同様に内筒のみを支える。これらの実験で、注射器の外筒は、a) 下降する、b) 動かない、c) 上昇する、の何れが観測されるであろうか？

何人かに質問してみたが正解を答えた人はいなかった。外筒の底面に働く大気圧は大きいので外筒を支えることは容易であろう。しかし下面に注射針用の穴が開いているので外筒は押し上げられ水が孔から流れ出すだろうか？それとも、下から空気が入って外筒は落ちて行くだろうか？なかなか判断ができないようである。第2の実験はカテーテルの重さが加わるから落ち易い傾向になりそうだ。などの議論が聞かれる。

正解は、概要を書いたように、第1の実験では(a)、第2の実験では(c)である。

第1の実験は、著者の1人(S.Kinoshita)が北海道大学の学生部雑誌²⁾に問題として掲載し解答を懸賞募集したものである。しかし、学生からの解答には正解がなかったので、後に、一般式による正解を同誌³⁾に発表した。本稿は、第2の実験を加え、数値的検討を行い、全体を書き直したものである。実験手順は明らかと思われる所以省略し、注射器外筒に働く“浮力”の導出と数値的検討・議論を以下に述べる。

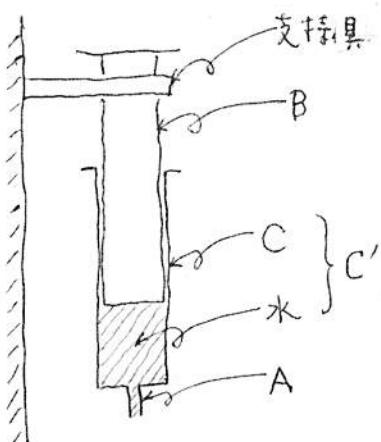
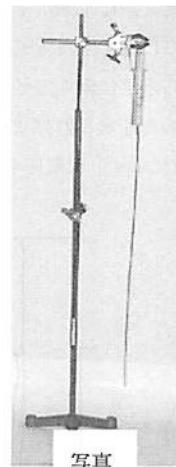


図1 水入り注射器の内筒Bを支持したところの模式図



写真

に水を吸い込んでから、注射器の内筒のみを支える(外筒は支えない)。第2の実験は、写真に示すように、注射

2. 外筒に働く“浮力”の導出と数値的検討

第1の実験: 図1のように注射器の各部に記号をつける。Aは注射針の差込口、Bは注射器の内筒、Cは外筒。外筒内の水とCをまとめてC'とする。Cの底面には4 (kgw) 近い大気圧が働くので、C'の重さよりはるかに大きいはずである。したがって、C'は押し上げられてAから水が流れ出しそうに考えられるが、実際はそうはならないで、Aから空気の泡がぼこぼことCの中へ進入してCは下降して行く。これは、大気圧に近い力が下向きにC'に働いていることを意味する。水圧がBの底面を上向きに押しているのでその反作用が下向きに働くのである。コロンブスの卵であるがなかなか気付き難い力である。各部に働く力を考えて、C'に働く合力を求めてみよう。

Cに働く全大気圧には、底面から上向きに働く力と側面から水平に働く力があるが、後者の合力は0になるので前者のみを考えればよい。注射器の各部の寸法記号を図2(a)に示す。大気圧を p_0 (Pa)とすれば、C底面に働く

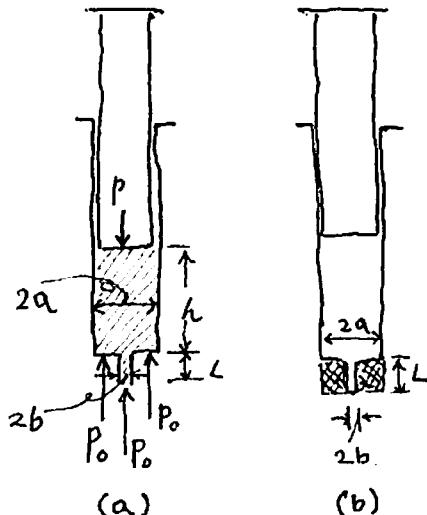


図2 (a)系C' の各部に働く圧力。
(b)クロスハッチング部が浮力を生ずる

く全大気圧 $F_1(N)$ は

$$F_1 = \pi p_0 a^2 \quad (N) \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 a はC底面の半径(m)である。

内筒B底面での水圧を p (Pa)とすれば、

$$p = p_0 - \rho g(h+L) \quad (2)$$

で与えられる。ここに、 ρ は水の密度($=1000\text{kg/m}^3$)、 h は水の深さ(m)、 L は針差し込み口Aの長さ(m)、 g は重力加

速度($=9.8\text{m/s}^2$)である。(2)式から分るように、Aの口は細いが太さに無関係に、 p に効いてくることに注意。B底面から働く反作用の合力を $F_2(N)$ とすれば

$$F_2 = -\pi p a^2 \quad (3)$$

で与えられる。—符号は下向きを意味する。 F_1 と F_2 の和を F とすれば、

$$F = F_1 + F_2 = \pi a^2 \rho g(h+L) > 0 \quad (4)$$

で与えられる。 F は正なので上向きの力になっているが、C底面に働く全大気圧 F_1 よりはるかに小さいことに注意(大気圧 p_0 は打ち消して F に現れない)。

次に、C'に働く全重力 $W(N)$ を求める。Cに働く重力(重さ)を $w_1(N)$ 、水に働く重力を $w_2(N)$ とすれば、 w_2 は

$$w_2 = -g \pi p a^2 h - g \pi p b^2 L \quad (5)$$

で与えられる。ここに、 b は針差し込み口Aの半径(m)である。

最後に、C'に働く全合力は

$$F + W = \pi \rho g (a^2 - b^2) L - w_1 \quad (6)$$

で与えられる。(6)式が正であれば上向きの力になりCは上昇し、負であればCは下降することになる。

そこで、

$$F_C = \pi \rho g (a^2 - b^2) L \quad (7)$$

とおけば、

F_C は外筒Cに働く浮力と考えることができる。 F_C が外筒Cの重さ w_1 より大きければCは上昇することになる。

(7)式で与えられる F_C は、図2(b)のクロスハッチングの部分を水で満たしたときの水の重さに等しい。これを「舷張されたアルキメデスの原理」と考えることもできよう：本来は水は外筒直徑 $2a$ のままAの下端まで満たされているはずのところ外筒によりクロスハッチングの部分だけ排除されたと看做せば、排除された水の重さに等しい浮力が生ずる、というわけである。このように考えると、浮力 F_C は注射針の差込口Aの長さ L が長いほど大きくなることも直感的に分る。

数値的検討: ここで使用した注射器の諸元：

注射器の外筒Cの重さ w_1 ・30 (gw)、外筒の直徑(2a)・22(mm)、注射針差込口Aの直徑(2b)・3 (mm)、長さ(L)・13 (mm)

カテーテルの長さ・30(cm)、外径・2.5(mm)、内径・2(mm)、重さ< 1(gw) (2本使用)

これらの数値を使って、実験1に相当する(7)式の浮力 F_C を求める、

$$F_c = 0.048(N) \cdot 4.8(gw)$$

という結果が得られる。浮力が $4.8(gw)$ では $30(gw)$ の外筒を支え切れないことになり、第 1 の実験(図 1)の結果と一致する。

3. 第 2 の実験

上述の(7)式から分るように、浮力 F_c を大きくするためには針の差込口 A の長さを長くすればよい。そのために、細いカテーテルを使い、写真のように、L'を実効的に約 6.0(cm)に伸ばしてみた。その結果は予想通り、外筒 C はゆっくり上昇して行き、それにともないカテーテルの下端から水が流れ出して来た。このときの浮力はかなり大きく手応え十分であった。また、カテーテルを 1 本にしてしを半分の長さにしても、C は上昇して行くことも分った。ただし、このときの浮力の手応えは弱くなっていた。実際、(7)式から浮力 F_c を求めると、

$$F_c = 220 \text{ (gw)}$$

を得るので十分に外筒を押し上げられることが分る。カテーテルの長さを半分にしてもまだ十分な浮力である。

次に、カテーテルの下を、図 3 のように、上方へ曲げていくと、ついには外筒が下降し始め空気の泡が進入を始める。カテーテルの下端と A 基部との間の高低差を L' とおいて、(7)式と同様の考え方で浮力 F'_c を求めると、

$$F'_c = \pi \rho g (a^2 - b'^2) L' \quad (8)$$

$$b' = \sqrt{L/L'} b \quad (9)$$

を得る。(8)式は(7)式と同じだが、 $L \rightarrow L'$ ($< L$)、 $b \rightarrow b'$ ($> b$) に置き換わつ

ている。 b' は A の半径が実効的に増加したことを意味する。 $F'_c < F_c$ であり、カテーテルの下端を持ち上げて行く (L' は減少する) と、 F'_c は減少し 0 に向かうことが分る。外筒 C を支えきれなくなる L' の数値を見積もると、 $L' = 9\text{cm}$ を得る。この L' は、カテーテルから水の流出が止まる位置と考えるべきである。実際に空気がカテーテル内を通って C 内に進入するためには、U 字間内の下部を通過しなければならないので、カテーテル下端を L' より高く持ち上げなければならない。

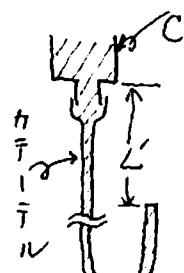


図 3 カテーテルの下部を U 字形に曲げたところ

4. 謙論

ここで紹介した実験は日常的な現象であるが、意外な感じをもたれる人も多いのではなかろうか。隠れた反作用を探す問題、また力の釣り合いについてのトレーニングに役立つものと思われる。

(7)式には大気圧 p_0 が現れない事から解るように、浮力 F_c には大気圧は関係しない。大気圧は外筒内の水を支える事に使われているのである ((1)-(4)式参照)。浮力は A の上下の水圧差から生まれるので、「基本的にアルキメデスの原理による」と言ってもよいかも知れない。

これまでの考察では、水の表面張力、毛管現象、注射器の内外筒間の摩擦、ガラスの肉厚などを無視してきたので、数値的検討はおよそのメドと考えた方がよい。とくに、内外筒間の摩擦の影響が大きいように思われる。しかし、この現象についての基本的な理解は達成されたと思う。また、上述の考察から分るように、第 2 の実験の際、外筒内に空気が少し入っても構わない。その場合は水の深さが若干減少するだけである。

謝辞

著者の 1 人 (T.M.) は、この実験に使用したガラス注射器やカテーテルについて、北海道大学病院の阿部真智子氏と医療器具の株式会社ライフの方に大変お世話になりました。厚くお礼申し上げます。

文献

- 1) 鈴木 亨：作用反作用の法則の説明論理に見られる誤概念の起源、物理教育、56 (4), 272-277, 2008.
- 2) 木下真二：注射器の外筒が落ちるのか、中の液が落ちるのか？、北海道大学学生部雑誌「えるむ」、59, 11, 1991.
- 3) 木下真二：同上、60, 14-15, 1991
(<http://www5f.biglobe.ne.jp/~kinosita/ph2.htm> に掲載)

*）越昭三先生は 2003 年 7 月に逝去されました。

サイクロイド曲線の教材化の試み

(数学と物理の総合的な学習を目指す授業 最速降下曲線を中心として)

北海道札幌手稲高等学校 近藤 敏樹

サイクロイド曲線は直線上で円を回転させ簡単に描くことのできる曲線である。このサイクロイド曲線は最速降下曲線という興味深い性質を持っており、面白い性質、歴史的なエピソードを持っている。フェルマーの原理による屈折の法則等、関連させることのできる分野は物理のみならず広がりのあるテーマである。物理と数学の融合を目指した授業教材として取り上げることにより科学的興味関心の増進につなげたい。

[キーワード] サイクロイド曲線 最速降下曲線 フェルマーの原理 屈折の法則

1. はじめに

サイクロイド曲線は固定された直線上を回転する円周上的一点が描く曲線である。

サイクロイド曲線は高校数学では数学III Cにおいて『媒介変数表示された曲線』の例として、微分積分の範囲として扱われている。一方、物理では直接学習することは無いがさまざまな分野にその性質が共通に見られる重要な曲線である。

この点で、曲線の面白さから物理的な応用例を示すことで興味関心を増進させ、数学との関連も学習するのに適した材料である。

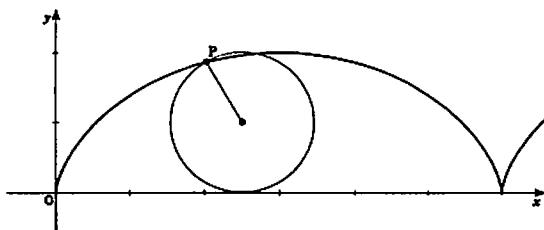


図1 サイクロイド曲線

2. サイクロイド曲線の方程式

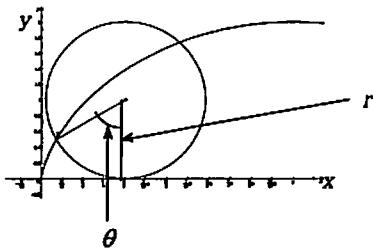


図2 サイクロイド曲線の方程式

いま、円の回転角 θ 、円の半径 r として x 軸に接しながら回転していくときその円周上の点 P が描く軌跡がサイクロイド曲線である。

式で点 P の座標を表すと、

$$x = r(\theta - \sin\theta) \quad (1)$$

$$y = r(1 - \cos\theta) \quad (2)$$

で表される。

3. サイクロイド曲線研究の歴史的背景

サイクロイド曲線は17世紀に盛んに研究された曲線である。1630年にガリレオ・ガリレイが関心を抱き、橋のアーチはこの形で作られるべきであると指摘している。¹⁾また、性質の研究としてガリレオの『新科学対話』第1日に見られる。²⁾サイクロイド曲線の研究の一方でガリレオは、最速降下曲線として円であるとの誤った考察を行っているのが興味深い。³⁾

最も有名な逸話として、1696年のスイスの数学家ヨハン・ベルヌーイの提起した問題がある。提起した問題とは、

『鉛直面上で物体が与えられた一点から落下し、他の与えられた一点に最も早く達するための経路を求めよ。』⁴⁾

という問題であった。最速降下曲線の命名もヨハン・ベルヌーイによるものである。

この最速降下曲線を求める問題に対して、ライバルであるヤコブ・ベルヌーイ、ライブニッツ、ニュートン、ロピタルらが解答を寄せた逸話が知られている。⁵⁾

また、ホイヘンスは 1658 年に、サイクロイド曲線を上下さかさまにしてそのサイクロイド上に小球を置く。どの位置から小球を離しても底までに要する時間はスタートの位置によらないとして、サイクロイド曲線の等時性について述べている。^{1) 6)}

さて、問題の解法の中で出題者のヨハン・ベルヌーイは落すする平面を水平多層に分け、各層における速さを一定とすることにより、屈折の法則を使って最速降下曲線がサイクロイド曲線となることを導いている。³⁾

なお、屈折の法則は 1621 年にスネルによって発見され、1637 年にデカルトの著書『方法序説』の中に見出すことが出来る。⁶⁾

4. サイクロイド曲線で起こる現象の着目点

サイクロイド曲線の物理的な性質と現象として見られる例を以下に挙げる。

1) 最速降下曲線

鉛直下向きにかかる重力の元でこの曲線上で物体を降下させれば他のどの曲線直線よりも最短時間で二点間を移動することが出来る。

2) 等時性曲線

最下点までどこから物体を降下させても同時に着く。この曲線上を振り子を揺らすことにより等時性が保たれる。教科書で扱う単振り子は振れ幅が小さい場合のみに等時性が保たれる。

また、最速降下曲線の性質について特に見てみると物理現象に現れる曲線に似通った性質を見出すことが出来る。

3) フェルマーの原理

光の進み方に関する原理である一点から他の点まで到達する経路のうち光は最小の時間の経路をとるという原理である。⁷⁾

速度の違う媒質が接している場合その経路は境界面で屈折することになり、その経路が最短時間をとることになる。これは光だけではなく波動一般について成り立ち、屈折の法則（スネルの法則）として物理 I で学ぶ。

4) 地震の走時曲線

地震波の速さは地球内部に行くほど大きくなると仮定すると、その速さの変化が連続であれば最速降下曲線的な意味で地震学における波線を描いて震源から観測点

まで達する。

それは、地表面を伝わるより早くなる。水平多層の速度分布をモデルとすれば屈折の法則との関連から最速降下曲線が求められる。最速降下曲線の問題に対して出題者のヨハン・ベルヌーイの解法に近い考え方になる。

5. 授業への導入に当たっての観点

1) 導入の目標：

数学的な興味と物理的な興味を結びつけて興味関心の向上の相乗効果を狙う。

2) 授業の展開・流れ：

導入時期：
波の性質
反射・屈折の法則説明時に使う。

まず、この時期に導入する理由としては以下のことが挙げられる。

- ① 力学分野のエネルギー保存の法則も既習であり、容易に既習分野との結び付けが出来るものと期待される。
- ② 波動の反射・屈折の法則の取り扱いについて、教科書の『ホイヘンスの原理』だけではなく、『フェルマーの原理』を考えることが非常に有効かつ重要だということを強調する。

これは波面理論と波線理論に将来つながっていくだろうことを見据えて指導する。この観点の重要性を認識させる。

反射・屈折の法則の観点の整理
ホイヘンスの原理と
フェルマーの原理の観点

反射の法則と屈折の法則をフェルマーの最小時間の原理を使って定性的に証明する。

波が『最小時間の経路』を選んで進むことを理解させる。

最速降下曲線の実験と紹介
実験器具の開発

まずは実際に最速降下曲線を見せる。

このとき次の曲線も同時に物体を落下させることができるような教材を開発する。手短なものとして市販のエネルギー保存の法則用のプラスチック製のループと小球があるのでこれを用いた。将来的にはもっと大掛かりな装置を作成したい。

ともかく、到達時間のはつきりわかる装置が必要である。

作るべき曲線としては、

- ① サイクロイド
- ② 円周
- ③ 二次関数
- ④ 直線

を2点を共通にして、物体がそれぞれの曲面を落下できるようにする。

サイクロイド曲線の紹介

最速降下曲線の正体

これらの曲線の性質・実用例を紹介する。

- ① サイクロイド曲線の数学的な説明を行う。作図をしてみせる。数学ではいつ習うのかの紹介をする。
- ② この曲線上の周期的な運動が『等時性』を持つ曲線として知られていることを説明する。振り子時計の応用例を紹介する。実際、高さの違う点からサイクロイド曲線上を落下させて見る。
- ③ 地震波の波線もこのような曲線になることを紹介する。
- ④ 屋根の形状において奈良東大寺のようにサイクロイドを用いた例も紹介する。
- ⑤ 最速降下曲線がどんな歴史的なエピソードとして現れてきたのかその登場人物と共に紹介する。

登場人物の人物画を示す。

ニュートン

ライブニッツ

ヨハン・ベルヌーイ

ヤコブ・ベルヌーイ

ロピタル

ホイヘンス

フェルマー

これらの著名人の人物画を見ながら思いをはせる。



図3 ガリレオ・ガリレイとニュートン



図4 ヨハン・ベルヌーイ

6. 最速降下曲線のフェルマーの原理からの説明を試みる

連続的に増加する速度の中で、物体の最速降下曲線と波動のフェルマーの原理による波線は、最小時間で2点間を移動する軌跡である。

最速降下曲線が屈折の法則より導かれる一端を紹介する。授業では紹介にとどめる。

なお、ヨハン・ベルヌーイが最速降下曲線の問題を証明した道筋の端緒は現代風に直すと以下の通りであった。

当時はエネルギーという概念は存在しなかつたが、ガリレオ・ガリレイがその運動論の中で

$$\text{速度} \propto \text{落下距離の平方根}$$

$$V \propto \sqrt{h} \quad (3)$$

をすでに提唱していた。⁶⁾

この関係を用いて落下距離に対して無限小の薄さを持った多層を仮定し、その一つの層中での速さを一定かつ、落下距離の平方根に速さは比例とみなした。

層の境界面で速度は変化するので、屈折の法則が成り

立つ。その結果、近似の最速降下曲線が求められる。

この結果から成り立つ方程式がサイクロイドの方程式を満たすことから最速降下曲線はサイクロイド曲線であるとの証明をした。

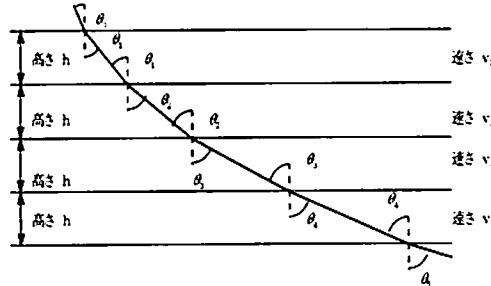


図3 水平多層中における屈折の法則

最速降下曲線と屈折の法則の近似の関係の式は以下述べる通りである。以下の関係ぐらいを生徒には提示できるのではないだろうか、実際に屈折の法則に従う折れ線がサイクロイド曲線であるというような証明は直感的には難しい。

また、最速降下曲線を前出の媒介変数表示から求めるためには、変分法を使わなくてはいけないので、高校レベルでは難しい。

直感的方法は無いものかと考えるが考え付かないでいる。よって、屈折の法則からどのように最速降下曲線を考えるかという面にヒントとして示して、今後の興味関心の道しるべに留めておくことにする。

① 屈折の法則から

$$\begin{aligned}\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} &= \frac{V_1}{V_2} \\ \frac{\sin\theta_1}{V_1} &= \frac{\sin\theta_2}{V_2} = \text{const.} \\ \frac{\sin\theta_n}{V_n} &= \text{const.} \quad (4)\end{aligned}$$

② エネルギー保存の法則より h だけ落下したときの速さは

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}mV^2 &= mgh \\ V &= \sqrt{2gh}\end{aligned}$$

N番目の層の速さ V_N は

$$V_n = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

(4) (5) より

$$\begin{aligned}\frac{\sin\theta_n}{\sqrt{2gh}} &= \text{const.} \\ \frac{\sin\theta_n}{\sqrt{Nh}} &= \text{const.} \quad (6)\end{aligned}$$

この式が前出のサイクロイド曲線の媒介変数表示の式を満足するので、最速降下曲線はサイクロイド曲線となる。

7. まとめ

物理へのアプローチの1つとして数学からの接近を試みた。数学的扱いで物理を捉えることは高いレベルの要求されるものである。しかし、数学を「装置」「イメージ」として具体性を持たせたときに現れる現象は物理に非常に密接に関連していて、面白いものである。高校で扱う数学と物理の関連性がさまざまな面から深められることが出来ればさらに面白い世界が広がっていると感じた。

今回の発想は、前任校の北見北斗高校時代に旧網走市立喜多山小学校にあった秋山仁先生の『オホーツク数学ワンダーランド』での数々の面白い数学の「装置」から得たものである。残念ながら『数学ワンダーランド』は閉鎖になってしまったが、今後も面白い数学と物理の融合を目指したい。

8. 参考文献

- 1) S・ホーリングデール
数学を築いた天才たち 講談社
- 2) G・ガリレイ 新科学対話 岩波文庫
- 3) V・カツツ 数学の歴史 共立出版
- 4) 伊東俊太郎 数学史 筑摩書房
- 5) ボイヤー 数学の歴史3 朝倉書店
- 6) F・フント 思想としての物理学の歩み
吉岡書店
- 7) R. フайнマン
フайнマン物理学II(光熱波動)
岩波書店

ビー玉モアレから複眼モデルへ

永田 敏夫

北海道長沼高等学校 069-1343 北海道夕張郡長沼町旭町南2丁目 11-1 okot@hokkaido-c.ed.jp

空間周期性をもつものの重ね合わせにより生じるモアレを、ビー玉配列面同士で実現してきた。その中で単一配列面や個々のビー玉の働きに着目し、昆虫の複眼モデルとして活用できるのではないかと検討した。特にガラス球を大型化し、球体レンズの働きや、複眼の視野範囲について体験的に理解する手法を開発したので紹介する。

1. はじめに

これまで、様々なモアレ学習材の開発を進めてきたが、これらを俯瞰し改めて干渉現象を捉え直すと共に、近年進めてきた二次元的規則性の干渉やその立体化、球体レンズ配列による新たな進展に触れてみたい。

特に、格子点による干渉現象の素材として利用したビー玉格子は、その配列面自体にも興味を感じた。このため、ガラス球自体の特徴がより明確となるように大型化を進め、複眼の体験的な学習方法へと開発が進展してきたので紹介する。

2. モアレ学習材の開発経過

空間的な規則性の干渉現象であるモアレは、平面上のビー玉配列によっても生じさせることができる。当初は顔や体の立体的な凹凸をモアレによって平面上の等高線の形で表現するための簡便な手法の開発に着目していた。簡便化の視点からは、スポットライトにより生じる影を利用する代わりに、簾や縞模様のシャツを活用すればよいことも分かった。また、2枚の筆巻きを利用して、縦縞と横縞のモアレが両方できるものを使うと、モアレの原理が理解しやすいことも分かった¹⁾。

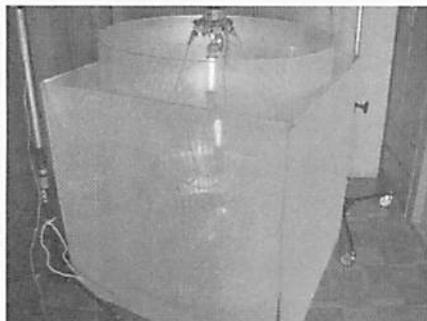


図1 パンチングメタルのモアレ

モアレは、規則性のずれの重ね合わせだが、一次元周期性から二次元周期性に着目させたのは、プラスチック製の鉢底ネットの利用であった。鉢底ネットの線には、直交した二方向に周期性がある。これをヒントに、格子点を描いたものを2枚ずらせて重ね合わせるとモアレができることも分かった。特に、格子点を描いた場合、規則性が併進対称性ばかりでなく、回転対称性の場合も考えやすく、双方ともモアレを生じさせる原因であることが確認できたのは有効であった。格子点を描く代わりに利用したパンチングメタルは、円、正方形、長方形の穴が規則的に孔けてあり、重ねた板を回転させることで模様が拡大縮小し、興味深いことも分かった(図1)。

3. 平面合成から固体配列の干渉へ

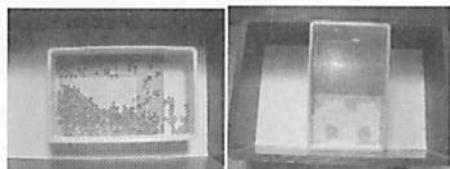


図2 ビー玉整列体験とモアレの出現

モアレは二平面の合成に顕著な現象だが、面内に周期的に穿孔された格子穴の代わりに、固体であるビー玉を規則的に配列してモアレを観察しようと試みた。しかし、ビー玉配列面同士の干渉は現れ難く、紙面に描いた格子点とビー玉を稠密に詰めて並べた配列面が干渉することがまず見つけられた。更に、千鳥格子のパンチングメタルが、ビー玉の稠密配列と干渉しモアレが起こることも分かった。ビー玉を自然に並べると六方格子系になるが、焼肉の金網に載せると正方格子の配列を取らせる

ことができた。いずれの場合にも、紙面に格子点を描いたものと干渉させることではっきりしたモアレを出現させることができた²⁾。

ビー玉配列同士でなぜ、モアレが現れないのか、試行錯誤を繰り返す中で、重ね合わせたビー玉格子の下方から蛍光灯で照らすこと、モアレが出現することが分かった。しかも、このモアレは、光っている部分が盛り上がって見える立体的なモアレであることにも気が付いた(図3)。

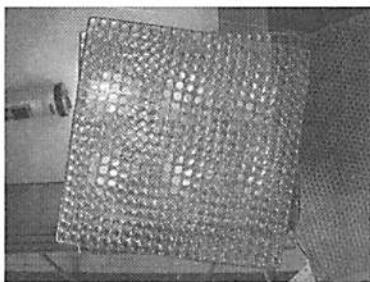


図3 ピー玉格子の重ね合わせによる光のモアレ

4. ピー玉モアレ出現の起源

4. 1 一面に並べたビー玉格子

なぜ、ビー玉同士で光のモアレが出現したかを明らかにするために、ビー玉自体の特徴や配列面の特徴をもう一度確認した。

金網に並べたビー玉格子をガラステーブルの上に置き、下から懐中電灯で照らしてみる。懐中電灯は一面に並べたどのビー玉にも映っている。中心部は正面を向いて、中心から離れるにしたがって、外側を向いている。たくさんの懐中電灯が中心に束ねられて放射状に菊の花びらのように向いているよう見える。見方によっては、懐中電灯を平面の各点からみた様子が展開しているように見える。

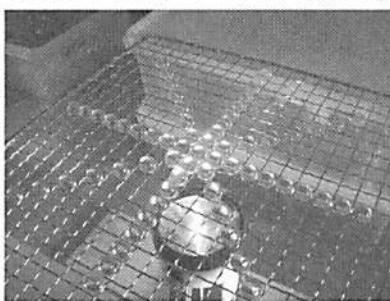


図4 放射状に並べたビー玉に映る像の変化

しかし、ビー玉が小さいため一個一個のビー玉に像がどのような特徴を持って映っているかは判然と

しない。そこで、ビー玉の数を減らして、直線状や放射線状に並べ、見え方の確認をした(図4)。

4. 2 蛍光灯と懐中電灯の違い

二面重ねる前の一面に配列させた光源の距離による違いを観察していると、懐中電灯であっても、遠方になると、向きや大きさの変化が小さくなることが分かる。光源を蛍光灯に変えてガラステーブルの下から照らすと光源が長いことと、距離が懐中電灯よりやや遠方になるため、蛍光灯の明りが全体的にかなり均一に映っていることが分かる(図5、図6)。この一面に映っている明るさの均一性は面全体に及ぶ輝点の周期性の保証であり、紙面に描いた格子点とビー玉配列が干渉したことと整合する。

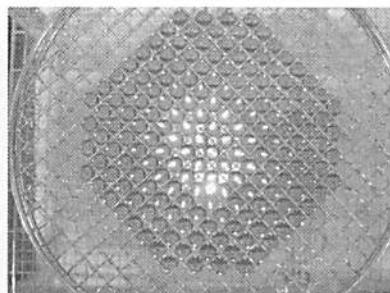


図5 ピー玉に映る懐中電灯の像

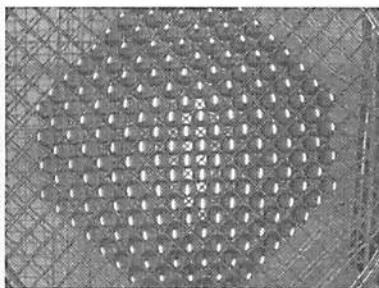


図6 ピー玉に映る蛍光灯の像

4. 3 二面のビー玉配列が整合した状態

ビー玉配列同士の光のモアレは良く見ると、特に明るい部分が周期的に現れている。この特に明るい部分では、下の光源がはっきり見える。しかし、細かいビー玉ではそのことが判り難い。大型のビー玉を利用してはっきりさせようとしたが、大型になると市販のビー玉の透明度が落ち、しかも形が歪んでくる。工業用ガラス球は、精度は良いが、価格面で購入が難しい。

5. 大型ガラス球を利用したレンズの特性

大型でしかも精度が良く、透明度も高く、価格も

購入可能なものとして着目したのが、人工水晶球として販売されているガラス球である。今回は、直径約10.5cmのものを球体レンズとして利用した。

5. 1 2個のレンズの重ね合わせ

ビー玉によるモアレを観察すると、周期的に現れる明るい部分の個々のビー玉で、下の蛍光灯が特にはっきり見えているビー玉があることに気が付く。

パンチングメタルの場合から類推すると、この部分は、下のビー玉の中心と上のビー玉の中心が比較的揃っている部分に当たる。2個のレンズの軸を揃えて並べて、近づけていくと、正立の像が現れ、更に近づけると像が判別できなくなり、もっと近づけると倒立のはっきりした虚像が現れることが、確かめられた(図7、図8)。

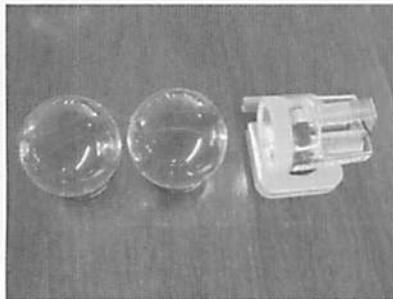


図7 2個のガラス球による観察

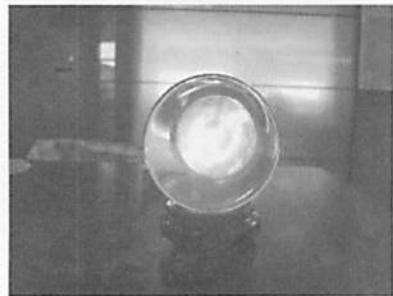


図8 2個のガラス球を通して見た像

5. 2 多数の大型ガラス球の配列

大型ガラス球は、個々のガラス球の状態を体験的に活用することに有効だが、多数配列して利用することも、多数のビー玉配列のように個々が小さくて分かり難い現象を分析的に理解する場合にも有効である。

大型ガラス球を曲線状に多数配列したとき、端に蛍光灯を置くと、ガラス球を連続して光が通り抜けてくることも分かった(図9)。

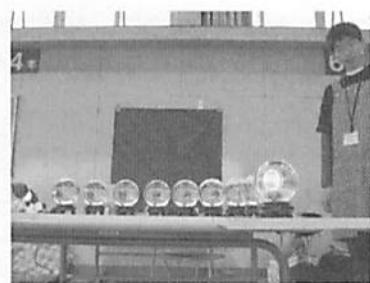


図9 多数のガラス球を透過していく光

6. 昆虫の複眼モデル

節足動物の複眼は細かいレンズが六方または正方に多数配列している。この球面レンズ配列の実感は難しいが、初めにテーブルクロス用の水玉模様が浮き出して見えるモアレを利用したビニルクロスを子どもたちに触らせる。これも、球面レンズの配列であることを、実態顕微鏡で観察すると納得できる。節足動物の場合は、電子顕微鏡を利用しないと分からぬが、モデル化による類推は可能となる。

6. 1 四面ビー玉配列によるモデル

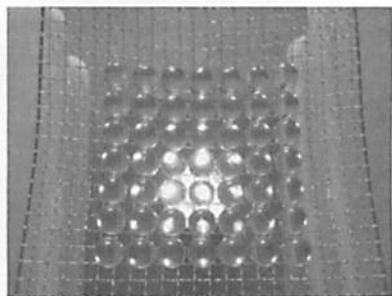


図10 四面上に並べたビー玉による像

昆虫の複眼、特にトンボの複眼をイメージすると、大豆を半分にしたような大きく湾曲した形をしている。これに似せて、四ませた金網の上にビー玉を並べた。平面に並べたときより、下に置いた懐中電灯の像は、周辺に向かって大きさが急速に小さくなっているのが分かる(図10)。これは、視野の広がりが大きくなっていること、中心部の像が大きく強調されることに通じる。

また、接近させたとき、像はモザイクのようになって現れることが分かる。個々のレンズが全体像の部分々々を映し出すのも複眼の特徴であるが、これも再現されることが分かった³⁾。

6. 2 大型ガラス球配列によるモデル

昆虫の眼の視野の広さを体験的に理解する場合、

大型レンズを半球状に並べ、その内部に観察者を置いて、体験させることにした。複眼の視細胞は各レンズの近くにある⁴⁾。したがって、離れた位置で全体を見るわけではなく、個々のレンズの傍から見た像の全てを見ることになる。これを統合すると考えられるが、どこのレンズの近くからも観察できるようにするため、幅30cm長さ90cm程度の板をコの字型に並べた(図11)。コの字の中心部分に入れて体験させるように工夫したため、個々のレンズの近くから観察することができ、後方からの物体にも視野が広がっていることを体験的に理解できることも分かった。



図11 コの字型板上に並べた大型レンズ

6. 3 トンボの眼の観察

赤トンボを捕らえて観察したところ、眼の上部を覆うように濃い茶色に色が着いており、他の部分が透明であることが分かる。トンボが死ぬと全体に色が濃くなり透明感が無くなっていく。また、日齢が多いものほど不透明部分が多いように推測された。

透明部分に黒目のように見える部分があるが、これは、偽瞳孔⁴⁾と呼ばれ、複眼に特徴的な現象例だが、トンボの場合多数観察される。トンボの体を上方から下方へ、あるいは右方から左方へ観察位置を変化させるとそれらの位置が変化して見える。

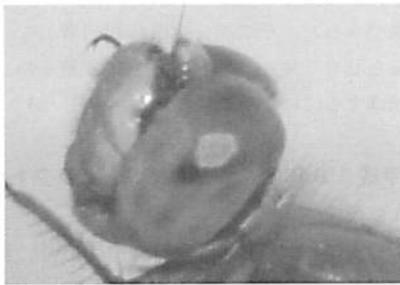


図12 黒目の複数見える赤トンボの眼

6. 4 黒目の原因

瞳孔のないトンボになぜ黒目のようなものがあるのか。また、大きな黒目と小さな黒目があるのはなぜ

か。偽瞳孔は、大型ガラス球レンズの配列と背後の図形等で再現できるが、多数見える場合説明が難しい。一つのアイデアとしては、視細胞のネットワークと複眼レンズ配列の干渉が考えられる。これは、ビー玉を金網に並べ、格子点を描いた紙面の上に置きその重なり方を変えるとモアレによる大型の点が出現すること、干渉しているビー玉モアレの観察位置を変化させると、干渉模様の位置が変化することから類推される(図13)。但し、大きな黒目と小さな黒目が同時に存在することは、今後のモデル化の課題としたい。

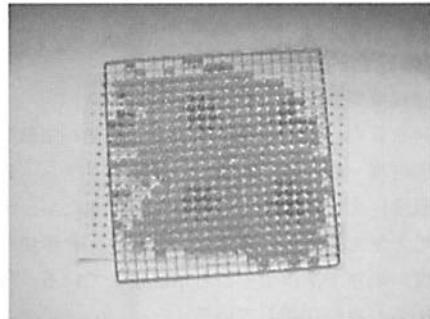


図13 ビー玉と格子点のモアレ

7. まとめ

これまで、二次元的規則性の干渉やその立体化、球体レンズ配列による新たなモアレの学習化を進めてきたが、周期性の起源となるものの物性による特徴も興味深い。

配列面自体が複眼のような周期性をもつものと類似性があり、このため別の何かと干渉をする可能性があることも分かった。節足動物の複眼の受光部分がどのような周期性を持ち、面間にどのようなずれを生じているのか⁵⁾、更にモデル化の立場から探究していきたい。

8. 引用文献

- 1) 水田敏夫 モアレ学習材の開発と波数ベクトル 59 物理教育 55-1 (2007)
- 2) 水田敏夫 ビー玉を利用したモアレ学習材の開発 77 物理教育 56-1 (2008)
- 3) 林 貞男 複眼のなぞを解く 生物物理 44 (5) 233 (2004)
- 4) 三枝博幸 伊沢尚 昆虫の不思議 84 ナツメ社 (2006)
- 5) 三上章充 網膜に取り込まれた脳 <http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/brain/brain/20-1/index-20-1.html>

総合的な学習の時間を利用した理科的なものづくりの取り組み

(ホバークラフトと電動カートの製作)

北海道喜茂別高等学校 矢吹 守穂

本校の3年生を対象にした「総合的な学習の時間」の中で理科に関するものづくりのゼミを行い、一昨年度はホバークラフト、昨年度は電動カートを製作した。生徒が主体的に活動するよう意識したところ、普段の授業ではなかなか見ることのできない、生徒の生き生きとした学びあいが展開された。これらの実践を報告する。

キーワード 総合的な学習の時間 ものづくり ホバークラフト 電動カート

1. 本校の総合的な学習の時間

1. 1 学校概要

本校は後志管内の羊蹄山麓に位置し、農業が主産業である喜茂別町唯一の高校である。一学年一クラス（各学年20名程度）の小規模校として存続してきたが、平成19年度の入学生を最後に募集停止となり、今年度（平成21年度）限りで閉校することが決定している。現在は3年生1名のみが在学している。

1. 2 総合的な学習の時間

本校では、総合的な学習の時間（Area Study in Kimobetsu=通称ASK）を各学年異なる内容で展開している（表1）。

の中でも3年次のゼミ形式での課題解決学習は、3年間の集大成ということもあり、生徒・担当教員ともに力を入れて取り組んでいる。ゼミは例年6講座程度開かれ、事前の希望調査を踏まえグループ分けされる。

表1 本校の総合的な学習の時間（各学年1単位）

	1学年	2学年	3学年
内容	青少年健全育成教育	インターーンシップ	課題解決学習
目標	身近な社会の問題についての啓発	望ましい職業観・勤労観の育成	問題解決能力の育成
	コミュニケーション能力の向上	プレゼンテーション能力の向上	自ら学び、自ら考える力の育成
主管	生徒指導部	進路指導部	教務部
担当教員	各学年とも5~6名程度 (各学年1間口、20名程度の生徒に対して)		
時期	秋に短期集中	春に短期集中	秋に短期集中
時数	38時間		

1. 3 時間配当（3年次の課題解決学習の場合）

ゼミにより実質的な活動時間やレポートにかかる時間は多少前後するが、基本的な時間配当は次のとおりである。

ガイダンス	1時間
実質的活動	25時間
発表準備・リハーサル	4時間
発表会	6時間（3日日程）
レポート整理	2時間

2. 理科的なものづくり

前任校が工業高校だった関係で、専科の課題研究には以前から興味を持っていた。機械科や電気科の生徒達が長い時間をかけ高い技術で精巧なものを作り上げる過程や、その発表会を毎年見るにつけ、課題研究は生徒の意欲を引き出す素晴らしい取り組みだと感心せずにはいられなかった。そして、理科の授業の中でもこのような取り組みをしたいと考えるようになった。

平成18年度に着任した本校では、前述のように総合的な学習の時間の指導に力をいれており、中でも3年次の課題解決学習は、まさに自分のやりたいことが実践できる場であった。そこで、ゼミの担当者となった平成19年度と20年度に、理科的なもの（乗り物）づくりゼミを開講するにいたった。

3. 平成19年度：課題「ホバークラフトの製作」

3. 1 概要

最初の年は、人が乗って走行可能なホバークラフトの製作を課題とし、3名がゼミを選択した。

自ら学び・自ら考え・自ら取り組ませるために、指導にあたり注意した点は次の2点である。

①製作方法についての指示は極力出さない

②道具・材料を自分達で調達させる

現在はインターネット上にホバークラフト作りのマニュアルが多数見受けられる。したがって、生徒もそれらを参考にし、自力で取り組むことが可能であった。製作は理科室および学校の倉庫で行った（写真1）。

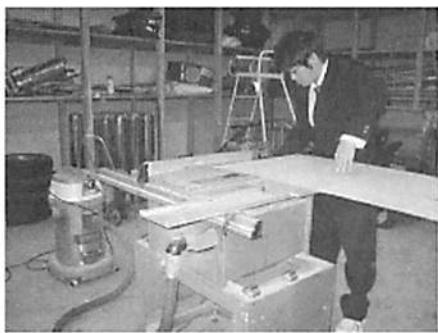


写真1 ホバークラフトの製作風景

構造は、スカート部（タイヤのチューブ）に穴を開けた板をのせ、その穴に空気溜め（プラスチックコンテナに掃除機のモーターファンとホースを取り付けたもの）から風を送り込み、スカート部の下から空気を逃がして浮かせるというものである（写真2）。

出来上がった作品は、船体の強度（スカート同士の接続部分）が低く、人が乗ると均等に接地しなかったため、かなり力を入れて引っ張らなければ移動しないものになってしまった。しかし、少しでも浮いて移動したことを実感した瞬間、生徒たちは大変喜び、達成感を感じていたようである。

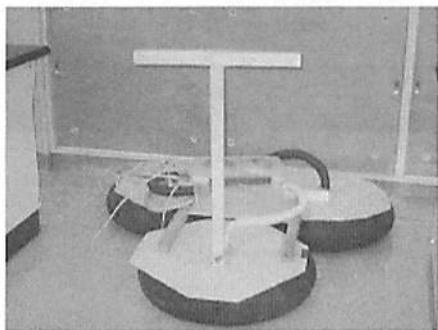


写真2 ホバークラフト完成品

3. 2 仕様等

製作人員 : 3名
空気溜め : プラスチックコンテナ+掃除機のモーターファン
スカート部分 : タイヤのチューブ、近隣の自動車

修理工場から譲っていただく

船体 : 学校の倉庫にあった木材
工具 : テーブルソーなど
電源 : 交流電源
定員 : 2名まで可

※空気溜め用のプラスチックコンテナのみ購入

3. 3 生徒の感想（レポートからの抜粋）

- ・はじめてホバークラフトを製作したという割には、人が乗っても浮くという結果まで行くことができたため、それなりに満足している。しかし、目的がホバークラフト完成ぐらいまでしか達成できなかつたため、完全に慣性の法則を体験することができなかつたことがとても残念に思つた。
- ・発表当日は見ている人達が発表やムービーを見て結構楽しんでくれたようで良かったと思う。
- ・今回のASKⅢを通して学んだことは、一つの作品を皆で作り上げる力だと思います。一人ではできないことも、皆で力をあわせることによってより良い物を作り上げができるし、知恵をあわせれば様々な工夫ができる事を知りました。
- ・大変だった点は、配線をあわせるときに間違つて違う配線を繋いでしまい、モーターが動かなくなつたことです。モーターを直すのに、ものすごい時間がかかりました。

4. 平成20年度：課題「電動カートの製作」

4. 1 概要

前年度の作品を改良し、スムーズに移動するホバークラフトを当初は製作させるつもりであった。しかし、生徒たちは新しい課題への取り組みを希望したため、電動カートの製作という課題を設定した。

選択人数（7名）の関係で2班に分け、それぞれ1台ずつ作品を作るよう指示した。当初は前年度と同様に極力指示を与えないようにしていたが、ホバークラフトの場合と違い、普通高校の設備で製作できるような電動カートのマニュアルをネット上で探すことができず、動力すら決まらないまま時間を費やしていた。

そこで、動力には自動車のワイバーモーター（写真3）が使用可能というヒントだけを与えた。前任校の課題研究の発表会でワイバーモーターを使用した電動カートを見たことがあり、動力として十分使用可能なことはわかつっていた。モーターは地域の自動車修理工場から入手することにし、工場への依頼の電話およびモーターの取り外しにいたるまで生徒自身が行っている（写真4）。

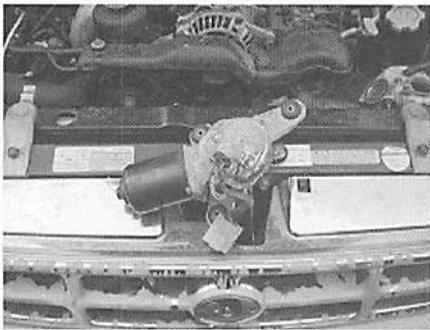


写真3 ワイパーモーター

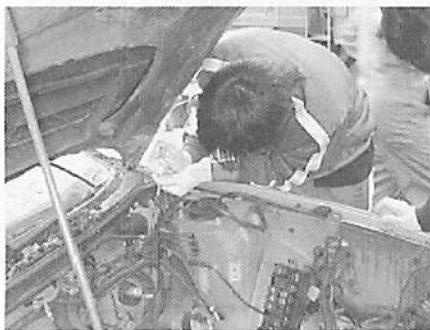


写真4 ワイパーモーターの取り外し

参考になるような設計図も見つからなかったため、設計・部品集め・製作を並行し、手探りで作業を進めていった。中でも車体の製作（確保）は予想以上に難航した。学校の倉庫に放置されたリヤカーを解体し車体とした班=3輪班（写真5）と、使わなくなった自転車をベースにした班=2輪班に落ちていたが、そこに行き着くまでの生徒同士の話し合いに、かなりの時間を要していた。



写真5 リヤカーの解体

生徒が一番苦戦していたのが、モーターと足回りの接続方法である。機械工具の充実した工業高校であれば、自分でシャフトやギアを製作できるであろうが、普通高校ではそうはいかない。

2輪班は自転車のペダルをはずし、フロントのスプロケットの中心部分に直接ワイヤーモーターの回転軸を差し込むという荒業で接続させた（写真6）。実際は穴の径と軸の大きさがあわなかつたため、ホームセンターで適当なサイズのナットを購入し、間にかませている。

3輪班は、車体の外にモーターを出し、回転軸のクラシク部分をタイヤのスポークにあててタイヤを回すという斬新なデザインを採用した（写真7）。固定するための溶接は、地域の農機具修理工場に車体を持ち込んでお願いした（写真8）。

両班とも自動車用バッテリーを電源としていたが、スイッチを設けずに端子にモーターから直接配線し、毎回スパークさせていた。そこで、不要になった電気スタンドの電球をはずし、その電極部分に配線させ、電気スタンドのスイッチをカートのスイッチとして利用するよう指示した。

糺余曲折を経て、両班とも最終的には人が乗っても動くものを作ることができた。



写真6 2輪班のモーター接続部分



写真7 3輪班のモーター接続部分



写真8 溶接風景

乗車定員：2名まで可

※すべて無償または廃物利用の部品で製作

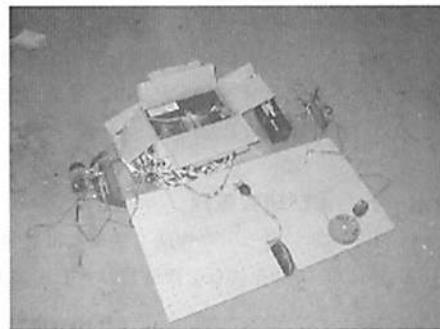


写真10 3輪班完成品

4・2 仕様等

①2輪班（写真9）

製作人員：3名

動力：ワイヤーモーター1個

車体：自転車

電源：自動車用バッテリー

スイッチ：電気スタンド

工具：サンダー、高速切断機など

速度：1.5m/s程度

乗車定員：1名

※モーター接続用のナットのみ購入



写真9 2輪班完成品

4・3 生徒の感想（レポートからの抜粋）

- ・ゼミナール3を選んだ理由として挙げた「電動カートを作成し、完成したときに何か今までになかったような感情が味わえるのではないか」という点について、私はものすごい感情を味わった。電動カートが走ったときは、喜びや感動や苦しみなど色々なものが混ざったような達成感があり、本当にうれしかった。
- ・この活動を通して、ものづくりの大変さや楽しさ、周りの人たちとの助け合いがとても大事なことを改めて感じた。

5. 発表会

本校では、どの学年の「総合的な学習の時間」においても、研究成果を発表するために3日日程（5・6校時）で発表会を実施している（写真11）。発表会には外部の方も招待している。

生徒を含めた参観者には評価シートが配布され、全員が発表の内容を評価される。評価を集約したものは後日生徒に配付される。

②3輪班（写真10）

製作人員：4名

動力：ワイヤーモーター2個

車体：リヤカーのフレームおよび木材

タイヤ：ポールカゴの車輪

電源：自動車用バッテリー

スイッチ：電気スタンド

工具：サンダー、高速切断機など

溶接：近隣の農機具修理工場に依頼

速度：0.3m/s程度



写真11 発表会

発表は基本的にパワーポイントを使って行われる。3年目ともなると生徒も手馴れたもので、各ゼミとも趣向を凝らしたプレゼンテーションを見せてくる。

ホバークラフトも電動カートも、製作したものが何よりの成果であるが、会場の都合で動作を演示できなかつたため実物はその場で見せるにとどまり、発表会では進行状況を撮影した動画を映した。

6. レポートおよび研究集録

発表とは別に各自レポートの作成も生徒には義務付けられている。最終的にはそれらを研究集録として製本し、生徒に配布している（写真1-2）。

どの学年においても活動自体は生徒の主体性を尊重しているが、発表およびレポートの体裁については各担当教員が細かな指導・助言を与えていている。



写真1-2 研究集録

7.まとめ

7.1 生徒の達成感

活動を通じて生徒の主体的な取り組みを尊重した結果、生徒が試行錯誤し、生徒同士が話し合い、学びあう場面を多く設けることができた。さらに、自らの力で一つのものを作り上げた達成を感じることができたようである。作り終えた生徒の表情がそれを物語っていた。

7.2 理科の学習内容とのかかわり

理科に関わるものづくりということでスタートしたが、製作の過程でそれまでの学習内容が生かされる場面をあまり設けることができなかつた。さらに、完成品を使った実験（ホバークラフトでは等速運動の実験、電動カートでは電圧と出力の関係についての実験など）を実施する予定であったが、作品を完成させ、発表会用のパワーポイントやレポートをまとめさせるだけで時間が尽きてしまい、実験には手が回らなかつた。それらが反省

点である。

7.3 予算の問題

本校の総合的な学習の時間には基本的に予算はつかず、必要なものがある場合は生徒の自己負担となる。幸いホバークラフトも電動カートも部品を購入する必要はほとんどなかつたが、地域の方々の協力がなければ状況は変わつていただろう。

7.4 理科における実践

これらの取り組みは、一間口の小規模校における「総合的な学習の時間」での取り組みである。大規模校ではこのような活動をするのは難しいであろう。今後、理科の授業の中でこのような取り組みができるいか、模索していきたい。

8. 謝辞

北海道小樽水産高等学校の齋藤隆校長からは、ホバークラフトをはじめ、ものづくりの様々なノウハウをご教示いただいた。北海道滝川工業高等学校の小泉伸之教諭からは、電動カート製作のアドバイスや様々な部品をいただきました。本校公務補（当時）の井内隆氏には、木材等の提供および機械工具の取り扱いの指導をしていただいた。富士見自動車工業および三野農機の方々には、資材の提供や溶接をしていただいた。ご協力いただいた皆様に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

アルミチャンネルにおける定常波

(探究活動の素材として)

北海道釧路湖陵高等学校 福田 敦

金属棒を松ヤニのついた指で擦るなどすると縦振動が生じる。ここではアルミチャンネルを用いて定常波の波長を定量的に調べる方法を示し、またこれを素材とした探究活動の授業実践を報告する。

[キーワード] 定常波、縦波、定量実験、探究活動

1. はじめに

アルミなどの金属棒や金属管の中央を指でつまみ、もう片方の手の指に松ヤニを付けて擦ると、キーンという高い音が鳴る。これは金属棒に縦波が発生したためである。今回、金属棒としてアルミチャンネルを使用することで、波長や振動数を定量的に調べることが可能とわかった。またこれを材料として、物理的な洞察力と表現力をつけることを目的とした授業実践を行った。

2. 実験

2. 1 はじめに

全長 L の金属棒を使い、中点を持って縦波をおこすと波長 $2L$ の音ができる。(図 1)

また $1/4$ の点を持つと波長 L の音が出る。(図 2)

前者は後者に比べて、聴覚的にも確かに 1 オクターブ高い音に聞こえる。定常波を説明するのに高い説得力をを持つ教材といえるだろう。

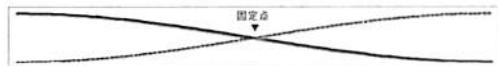
パソコンで音の成分を調べたところ、実際には豊富な倍音を含んでいることがわかった。

試みに、僅かな食塩を撒いたアルミチャンネルを使って同様な操作をしたところ、定常波の節と思われる箇所に、食塩がたまる現象が確認された。

以下にその実験方法を詳述する。

2. 2 実験方法

断面がコの字型のアルミチャンネル (1.0m) を用意す

図 1 全長の $1/2$ の点を固定 (横波表示)図 2 全長の $1/4$ の点を固定 (横波表示)

る。ホームセンターで長さ 1.0m 、幅 1.0cm のものが 398 円。

コの字の開口部を上に向け、端から 50cm の点 (つまり中点) をスタンドでしっかりと固定する。狭い面積をしっかりと固定するのがコツ。スタンドの固定具は幅が数 cm あるので、幅 1cm 位の木片 (割り箸など) でアルミチャンネルを挟み、更にその外側から固定具で挟むようとする。

次に、アルミ上に極少量の乾燥した食塩を散らす。食塩の粒がアルミの全域に渡って均一になるようにすること。(筆を使うとよい。)

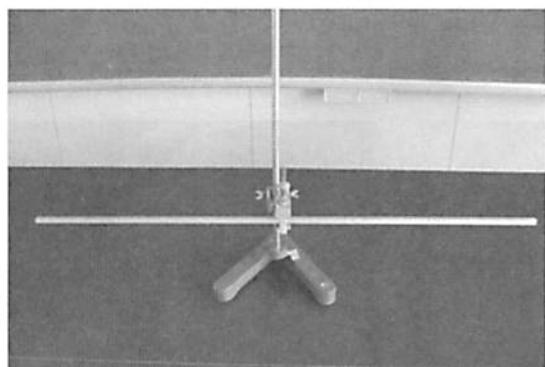


図 3 アルミチャンネルをスタンドに固定

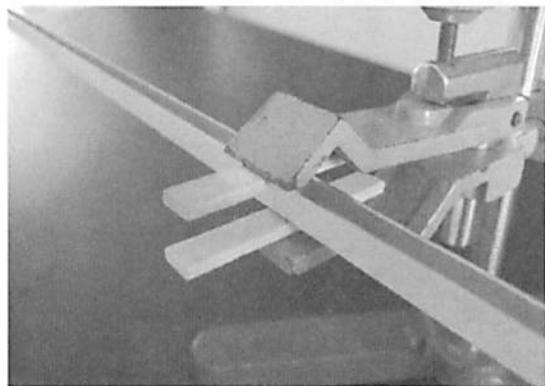


図 4 割り箸の上から固定する

僅かな松ヤニを付けた指でアルミチャンネルを軽く挟みつつ、固定点から棒の端に向かって指を滑らせる。キーンという高周波な音ができるように指先の力を加減する。

音がると、定常波の節の部分に食塩が集まる。その位置を記録する。

次にアルミの固定点を端から 25cm の点に変えて、上と同様な操作をして節の位置を記録する。

★単にアルミ棒を鳴らすだけなら、直径 1cm くらいのなるべく太いものを使うとよい。(大きな音が出る。) またパイプ状のものでも鳴らすことができる。

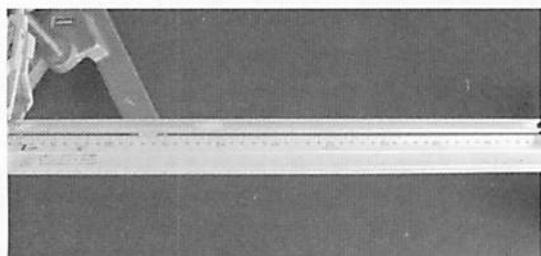


図 5 50cm 固定の場合は(a)～(c)の 3箇所に食塩がまとまる。

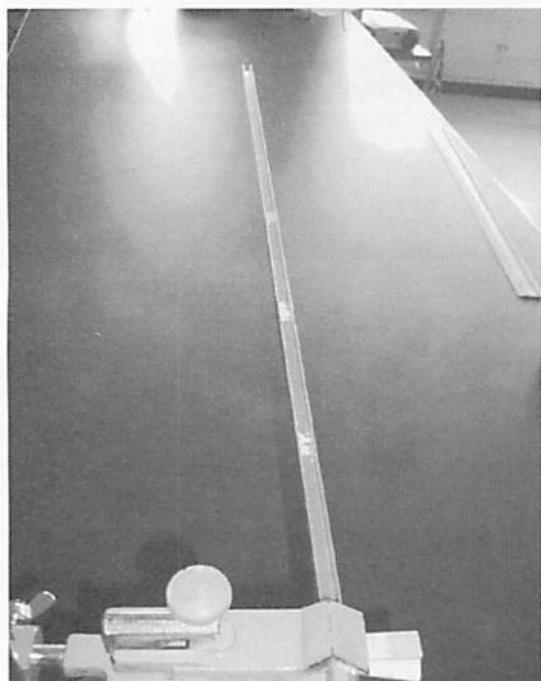


図 6 25cm 固定の場合は(a)～(g)の 7カ所に食塩がまとまる。

★食塩はごく少量（数粒の列ができるくらい）にする。

筆を使って全体に均一にすると良い。多すぎると振動の妨げとなり音が鳴らなくなる。

★アルミをどれほどしっかりと固定していても、松ヤニの指を滑らせると固定した部分がズレたりしてしまうだろう。空いている方の手で、飛び出している割り箸部分に力を添えつつ鳴らすと、安定して音を出すことができる。(図 4)

★指や金属棒に付いた松ヤニは非常に取れにくいので、松ヤニクリーナーを用意しておくと良い。松ヤニおよび松ヤニクリーナーはスポーツ用品店のハンドボールのコーナーなどで購入できる。

2. 3 結果

長さ 1.0m、幅 1.0cm のアルミチャンネルにおいて、表のような結果になった。(図 7)

固定点	測定部分 の長さ	固定点からの節の位置
50 cm (0.50 m)	0.50 m	(a) 0.0 m (b) 0.19 m (c) 0.39 m
25 cm (0.25 m)	0.75 m	(a) 0.0 m (b) 0.15 m (c) 0.25 m (d) 0.37 m (広がりがち) (e) 0.50 m (よくまとまる) (f) 0.59 m (g) 0.72 m (広がりがち)

図 7 節の位置

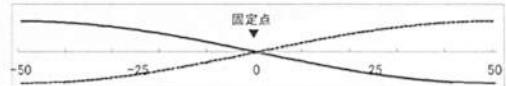


図 8 基本振動

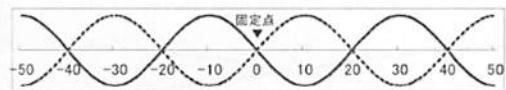


図 9 5倍振動

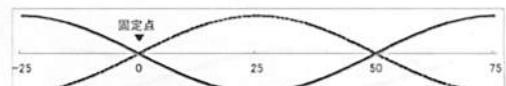


図 10 基本振動

50cm の位置を固定した場合

実験結果から、図 8、図 9 のような基本振動と 5 倍振動が考えられる。図 8 は $\lambda_1 = 2.0\text{m}$ 、図 9 は $\lambda_5 = 0.39\text{m}$ である。

アルミを伝わる音の速さを $V=5000\text{m/s}$ とすると、 $f = V/\lambda$ より振動数 f を求めることができる。

$\lambda_1 = 2.0\text{ m}$ のとき $f_1 = 2500\text{Hz}$ 、 $\lambda_5 = 0.39\text{m}$ のとき $\lambda_5 \approx 12800\text{Hz}$ となりパソコンでの実測値とほぼ一致する。

25cm の位置を固定した場合

全体的に見ると、不規則な位置に食塩が集まっているように見える。しかし、(a), (e) を節と考えると、図 10 のような基本振動が考えられる。波長 $\lambda_1 = 1.0\text{m}$ ということから、(1) と同様な計算をすると $f_1 = 5100\text{Hz}$ となり、実測値とほぼ一致する。

他の節の位置を選ぶと、次のような倍振動も考えられる。

節の位置が (a), (c), (e) 2 倍振動※

節の位置が (b), (d), (e) 3 倍振動

節の位置が (a), (c), (d), (e) 4 倍振動※

各倍振動について、アルミチャンネル上の全ての節が見いだせるわけではない。ある倍振動の腹が、別の倍振動の節を搔き消しているから、と考えられる。

特に (e) 点の食塩が非常に良くまとまる理由は、いずれの倍振動でも必ず節になる点だから、と考えられる。

(※偶数倍音の存在については本稿 4. 追記 参照のこと。)

3. 探究活動の素材として

いろいろな疑問の湧いてくる現象だが、敢えてそこを利用し、探究活動の素材とした。生徒にこの現象を実習させ、既習の知見でどこまで洞察できるか、またどのように表現できるか、課題を課した。

次のような 3 段階を踏まえてすすめた。

《第 1 段階》 音の多重性

一般に、音はいくつもの倍音が重ね合わさってできている。パソコンを使って、音の波形の表示と周波数分析をリアルタイムで表示してみせた。身近な楽器などを使用し、アルミチャンネルは使用しなかった。また周波数の時間的な変化も見せ、声紋の原理も示した。)

《第 2 段階》 実習

- ・ 第 1 段階の次の授業時間にて、波の重ね合わせはあえて強調せずに実験を開始。
- ・ 前述の手順に従って、実際に節の位置を調べさせた。

50cm 固定、25cm 固定ともに全ての班測定することができた。

- ・ 波長を推定させ、アルミの音速を 5000m/s として振動数を計算させた。

《第 3 段階》 レポート作成・提出

・ 課題「今回の測定から読み取れることをまとめよ」

実のところ、生徒が今まで経験してきた実験は予め結果がわかっているものばかりだった。生徒にとっては、いかに正しい手順で実験できるか、正しく値を取れるか、誤差を小さくするにはどうすればいいか、などを追究することが目的だった。

そのような生徒にとって、今回の実験とレポートは筆者の予想以上に異質なものだったようである。

全 3 クラス 120 名のレポートを見るに、内容的に残念なものが多かったと言わねばならない。

50cm 固定の方は、全ての班が 5 倍振動を見いだせたが、基本振動までは考えが及ばなかった。

また 25cm 固定の方は、実際の節の位置ではなく、節の数をもとにして、無理矢理 1 つの波長を結論づけているレポートがほとんどだった。

筆者自身も、目的をより明確にした上でレポートを課すべきだったと反省している。(それでも若干名、基本振動をベースに複数の波のあらわれを見いだす生徒がいたのは救いだった。)

4. 追記（倍音の実測値と節の位置について）

音のスペクトルを解析したところ、図 11, 12 のようなグラフになった。グラフの縦軸は音圧レベル（単位 dB）である。

この結果、いずれも整数倍の倍音を持つことがわかつた。各ピークの振動数および対応する定常波の波形（横波表示）は次ページにまとめた。

筆者はこれまで、アルミの端では必ず自由端反射をするものと思っていた。しかしこの結果を見るに、端では自由端反射のみならず固定端反射もしていると考えざるを得ない。しかし本当だろうか。

また今回測定した節の位置も、正直言って今ひとつ偶然としない。何か違う原因がありはしないか。

今後も引き続き検討していく所存である。

50cm 固定の場合

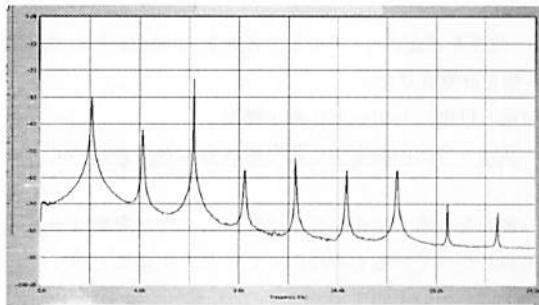


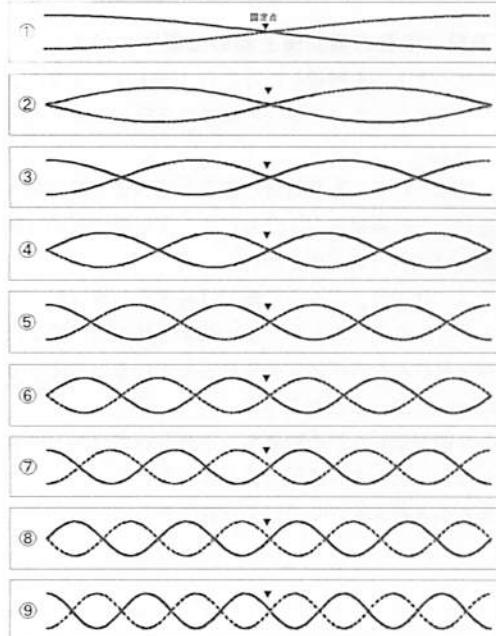
図 1 1 50cm 固定の場合

縦軸は 10dB/div 横軸は 2.4kHz/div で右端は 24.0kHz

各ピークの示す振動数は下表のとおり。

振動数(実測値)	波長	対応する下図
$f_1 = 2484.375 \text{ Hz}$	$\lambda_1 = 2.013 \text{ m}$	①
$f_2 = 4921.875 \text{ Hz}$	$\lambda_2 = 1.016 \text{ m}$	②
$f_3 = 7406.250 \text{ Hz}$	$\lambda_3 = 0.6751 \text{ m}$	③
$f_4 = 9843.750 \text{ Hz}$	$\lambda_4 = 0.5079 \text{ m}$	④
$f_5 = 12328.125 \text{ Hz}$	$\lambda_5 = 0.4056 \text{ m}$	⑤
$f_6 = 14812.500 \text{ Hz}$	$\lambda_6 = 0.3375 \text{ m}$	⑥
$f_7 = 17296.875 \text{ Hz}$	$\lambda_7 = 0.2891 \text{ m}$	⑦
$f_8 = 19734.375 \text{ Hz}$	$\lambda_8 = 0.2534 \text{ m}$	⑧
$f_9 = 22218.750 \text{ Hz}$	$\lambda_9 = 0.2250 \text{ m}$	⑨

表中の①～



25cm 固定の場合

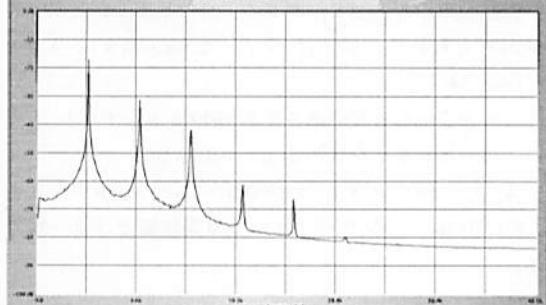


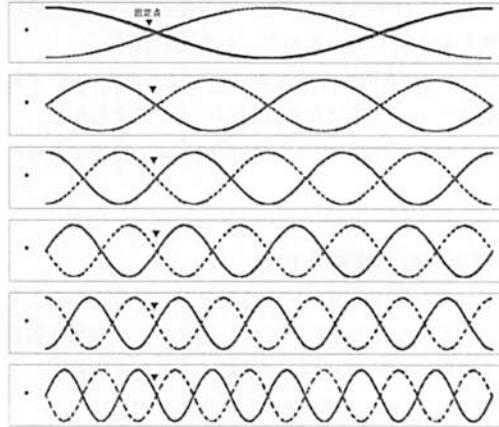
図 1 2 25cm 固定の場合

縦軸は 10dB/div 横軸は 4.8kHz/div で右端は 48.0kHz

各ピークの示す振動数は下表のとおり。

振動数(実測値)	波長	対応する下図
$f_1 = 4968.750 \text{ Hz}$	$\lambda_1 = 1.006 \text{ m}$	①
$f_2 = 9937.500 \text{ Hz}$	$\lambda_2 = 0.5031 \text{ m}$	②
$f_3 = 14906.250 \text{ Hz}$	$\lambda_3 = 0.3354 \text{ m}$	③
$f_4 = 19875.000 \text{ Hz}$	$\lambda_4 = 0.2516 \text{ m}$	④
$f_5 = 24750.000 \text{ Hz}$	$\lambda_5 = 0.2020 \text{ m}$	⑤
$f_6 = 29718.750 \text{ Hz}$	$\lambda_6 = 0.1682 \text{ m}$	⑥

表中の①～⑥



5. 参考文献

- ・愛知・岐阜・三重物理サークル編『いきいき物理わくわく実験2』日本評論社
- ・国立天文台編『理科年表』丸善

6. 使用ソフトウェア

SignalScope version 1.8.5(for Mac OS X)

平成 21 年度 日本物理教育学会北海道支部総会

日時 平成 21 年 6 月 13 日(土) 14:30~17:00

場所 北海道大学理学部 2-2-11

内容

<<<総会>>> 14:30~14:50

(1)支部長挨拶

(2)平成 20 年度事業報告

(3)平成 20 年度会計報告

(4)平成 20 年度会計監査報告

(5)平成 21 年度事業計画

(6)平成 21 年度会計予算書

(7)平成 21~22 年度支部役員について

<<<特別講演>>> 15:00~16:00

「理科教員への期待を読みとる」

北海道教育庁石狩教育局

生涯学習課高等学校教育指導班主査

佐々木 淳

<<<実験デモンストレーション>>> 16:00~17:00

<<<懇親会>>> 18:00~20:00

平成 20 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. 36 9 月発刊

2、総会

日時 平成 20 年 6 月 28 日(土) 14:30~17:00

場所 北海道大学 人文・社会科学総合教育研究棟
4 階 W410 (北 10 条西 7 丁目)

内容

<<<総会>>> 14:30~14:50

(1)支部長挨拶

(2)平成 19 年度事業報告

(3)平成 19 年度会計報告

(4)平成 19 年度会計監査報告

(5)平成 20 年度事業計画

(6)平成 20 年度会計予算書

<<<特別講演会>>> 15:00~16:00

「高校生に世界初の実験開発を」

東京大学教養学部社会連携寄付研究部門教授
滝川洋二 氏

<<<物理交流会>>> 16:00~17:00

物理実験デモンストレーション、など

<<<懇親会>>> 18:00~20:00

3、第 9 回青少年のための公開シンポジウム 「創造科学実験」

平成 20 年北海道物理教育研究大会 in 美瑛

日時 平成 20 年 8 月 30 日(土)

場所 美瑛の学び舎（上川郡美瑛町字俵真布中央）

プログラム

10:00~13:00

○実験デモ、科学実験教室

ペットボトルを飛ばそう、磁性流体、コイルで通信、セロハンテープで色つきの模様を作ろう、デジタル信号を見てみよう、燃料電池を体験しよう、ゾウリムシの観察、サンゴ礁を見に行こう！、アルカリアルミ電池と発光ダイオード、力学の幾何光学的アプローチ、カメラをつくろう、パンジー・チャイム、つぶれるペットボトル、等

○科学実験教室 I (10:00~10:30)

「電流と磁石の不思議 一 手作り方位磁針をつくるてみよう！」 講師：佐藤 健（札幌啓成高校）

○科学実験教室 II (11:00~12:00)

「光ファイバーで簡単な内視鏡を作つて見えないところをみてみよう！」 講師：光井俊治（帝京大学）、那須井美和子（帝京大学）

13:00~13:10 開会宣言、支部長挨拶

13:10~14:10 特別講演会

「これからの科学技術と社会のあり方

～遺伝子組換え問題から考える～」

北海道大学農学研究院応用生命科学部門

分子生命科学分野 教授 松井 博和

14:15~14:50 高校理科部発表

富良野高校科学部（顧問：美土路 健）

「管なしサイフォンの研究 - P E O を用いて -」

旭川西高校物理部（顧問：萬木 貢）

「電気素量の測定 - ミリカンの電気素量の実験 -」

14:50~15:50 原著講演

長谷川 誠（千歳科学技術大学）

「学生プロジェクト『理科工房』の活動と持続的な地域連携の追及」

中野 善明（北海道薬科大学）

「基礎学力解消のための試み」

4、物理教育研究会

日 時:平成 20 年 12 月 20 日(土)15 時 00 分～17 時 45

分

場 所:北海道新聞社 2 階 A 会議室

(札幌市中央区大通西 3 丁目)

内 容

○支部長挨拶 15:00

○原著講演 15:05～16:45

1. 「小林益川理論をわかりやすくする工夫」
東海大学 今野 滋

2. 「創造科学実験 in 美瑛」
札幌旭丘高校 横関 直幸

3. 「生徒実験マニュアルの探究関連分析
一高校物理を事例として」
北海道大学大学院理学院 鶴岡 森昭

4. 「高校物理『運動エネルギー』における『台車を用いた実験』と『理科ねっとわーくを利用した学習』の学習効果の比較検証」
札幌平岡高校 大坂 厚志

5. 「ビー玉モアレと昆虫の複眼モデル」
長沼高校 永田 敏夫

○ 実験デモンストレーション 16:45～17:45

1. 「高温超伝導コイルでの永久電流モード」
東海大学生理工学部 四方 周輔
2. 「理数科の課題研究で生徒が考えた実験」
札幌啓成高校 佐藤 健

○ 懇親会 18:30～20:30

5. 青少年のための科学の祭典 2008

- 5/18(日) 羽幌大会 (レストパーク)
 6月 15 日(日) 札幌南大会 (北海大学札幌キャンパス)
 7月 19 日(土) あいの里大会 (北海道教育大学札幌校)
 7月 27 日(日) 札幌界隈大会 (ポリテクセンター北海道)
 8月 6 日(水)・7 日(木) 小樽大会 1 (小樽市総合博物館)
 8月 9 日(土) 苫小牧大会 (苫小牧市科学センター)
 8月 23 日(土)・24 日(日) 富良野大会 (富良野市文化会館)
 8月 23 日(土) 美幌大会 (美幌小学校)
 8月 31 日(日) 函館大会 (函館市民会館)
 8月 31 日(日) 北大会 (札幌市下水道科学館)
 9月 6 日(土) 手稻大会 (北海道工業大学)
 9月 13 日(土)・14 日(日) "08 青少年のための科学の祭典
 北海道大会 (札幌市青少年科学館)
 9月 14 日(日) 室蘭大会 (室蘭市青少年科学館)
 9月 28 日(日) 札幌開成・伏古大会 1 (伏古小学校)
 10月 5 日(日) 西大会 (ポリテクセンター北海道)
 10月 12 日(日) 帯広大会 (帯広市児童会館)

- 10月 19 日(日) 札幌東地区大会 (栄新和町内会館)
 10月 26 日(日) 恵庭大会 1 (恵庭市民会館)
 11月 1 日(土) "科学の祭典 北見大会 (北網圏北見文化センター)
 11月 3 日(月) 銚路大会 (銚路市こども遊学館)
 11月 8 日(土) 札幌豊平大会 (西岡中学校)
 11月 9 日(日) 千歳大会 (千歳市民文化センター)
 11月 9 日(日) 岩延大会 (岩延深地層研究センターPR施設)
 11月 30 日(日) 札幌開成・伏古大会 2 (元町児童会館)
 12月 13 日(土) 札幌聊別大会 (もみじ台西小学校)
 H21年 1月 10 日・11 日(土・日) "指導者研修北海道大会
 (北海道大学 学術交流会館)
 H21年 1月 17 日(土) 小樽大会 2 (小樽市総合博物館)
 H21年 2月 7 日(土) 科学の祭典 恵庭大会 2 (恵庭市民会館)

6. 理事会

平成 20 年 3 月 17 日(月) 平成 20 年度活動計画、他
 平成 20 年 5 月 19 日(月) 支部総会、創造科学実験、他

平成 20 年 8 月 18 日(月) 「創造科学実験」実行委員会
 平成 20 年 11 月 6 日(木) 支部研究会について、他

平成 21 年度事業計画

1、日本物理教育学会北海道支部会誌

「物理教育研究 vol. 37 9 月発刊 (予定)

2、総会

日時 平成 21 年 6 月 13 日(土) 14:30～17:00

場所 北海道大学理学部 2-2-11

3、第 10 回 青少年のための公開シンポジウム

「創造科学実験」

平成 21 年 10 月上旬 札幌 or 千歳 にて開催を予定

4、物理教育研究会(12 月)

5、理事会 (5 月、7 月、9 月、11 月)

平成 20 年度一般会計収支決算書(2009. 6. 13)

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
継越金	¥187,437	会議費	¥7,126
本部補助金	¥150,000	通信費	¥10,000
雑収入	¥514	事務費	¥3,460
		予備費	¥164,844
		会誌印刷補助	0
		次年度継越金	¥152,521
計	¥337,951	計	¥337,951

平成 20 年度特別会計収支決算書

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
継越金	¥224,792	会議費	0
支部補助金	0	通信費	¥9,300
会員負担金	¥75,680	事務費	¥796
会誌販売	0	会誌印刷費	0
		次年度継越金	¥290,376
計	¥300,472	計	¥300,472

会計監査

会計監査結果：以上を監査致しましたところ適正であることを認めます。

年 月 日

会計監査理事：

印

平成 21 年度一般会計予算(案)

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
継越金	¥152,521	会議費	¥20,000
本部補助金	¥150,000	通信費	¥25,000
雑収入	¥479	事務費	¥25,000
		会誌印刷補助	0
		予備費	¥233,000
計	¥303,000	計	¥303,000

平成 21 年度特別会計予算(案)

収 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
継越金	¥290,376	会議費	¥10,000
支部補助金	0	通信費	¥20,000
会員負担金	¥50,624	事務費	¥10,000
会誌販売	0	会誌印刷費	¥150,000
		予備費	¥151,000
計	¥341,000	計	¥341,000

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、学术映画会、研究会懇談会等の開催
- (2) 会報の配布、研究成果の刊行
- (3) 物理教育についての調査及び研究
- (4) その他、前条の目的達成に必要な事業

第4条 (削除)

第5条 本支部の会員は、北海道在住の日本物理教育学会の正会員及び賛助会員からなる。

第6条 本支部に次の会員をおく。

1. 支部長1名、副支部長2名、支部理事若干名、及び監事2名。
2. 支部理事の数は、支部長が支部理事会の議を経てこれを定める。
3. 副支部長は、支部理事の中から支部長がこれを委嘱する。

第7条 支部長・副支部長及び支部理事は、支部理事会を組織し、支部長は支部会務を統括する。副支部長は支部長を補佐し、支部理事は支部の業務を分掌する。

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職務を行なう。

第9条 本支部に支部評議員若干名をおく。支部評議員の数は、支部長が支部役員会の議を経てこれを定める。支部評議員は支部理事会の推薦により支部長がこれを委嘱

する。

第10条 支部評議員は、支部評議員会を組織し、支部長の諮問に応じ、支部の事業遂行について支部長に助言する。

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

第12条 次期支部役員は、本支部役員中の次の人の中から支部総会において選任する。

- (1) 支部理事の推薦した正会員
- (2) 正会員又はその団体の推薦した正会員

第13条 元支部長及び本支部の地域内に在住する本部理事ならびに本部評議員は、支部理事会に出席することができる。

第14条 支部総会は、毎年1回、支部長がこれを招集する。支部長が必要と認めたときは支部理事会の議を経て臨時支部総会を招集することができる。

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

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

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

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

A 4 論文原稿執筆要項 表題は16ポイント(pt)のゴシック文字

(副題は12ptゴシック：両端をカッコでかこむ)

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

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

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

Abstract

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

キーワード 9ptゴシック 5語程度

Keywords : Times Font, 9pt, About 5 Words

1. 支部会報「物理教育研究」投稿について

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

2. 原稿執筆（章タイトルはゴシック10pt太字）

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

2. 1 本文執筆の要点

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

2. 2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは9ptの

和文：MS明朝、平成明朝

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

2. 3 式および記号

式および記号の標準文字は、9ptのイタリック体と

します。ベクトルの場合は太文字のイタリックとします。

上下添字は6pt程度の立体（イタリックも可）とします。以下にいくつかの例を挙げます。

$$f_c \quad V_i \quad P^{\wedge}_{\wedge, \wedge}$$

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

$$F_D = C_D 1/2 \rho |V| VS \quad (5)$$

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

2. 4 図・表・写真およびその説明

図・表・写真是、1段幅、あるいは2段幅に収まるように作成し、論文内の適切な位置には配置します。

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

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

例 図1 実験装置の概略

Fig.2 Schematic of experimental apparatus

Table 3 Fluid properties in each run

Photo 4 Flow pattern around sphere

題名(A4用紙)	(A4用紙)
(副題) 1ペ - シ目	段の間は 2文字空 →
所属 著者名	全角 ← 25文字 →
概略や本文は6行目 から書き出します。 <キーワード>など	一 表 1 ...
1 ここから 2 縦2段に 書き始め 横は全角 最終行は - 25文字 - 45行目	図 1 ... 写真 1 ...

図1 ワープロ原稿の例

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

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

2. 5 記号説明・引用文献

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

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

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

引用文献

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

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

3. その他

- (1) 原則として原稿はお返いたしません。校正のため原稿の控えは手許に保存して下さい。
- (2) 本紙は毎年(9月)に発行予定です。
- (3) 投稿された論説研究・解説・報告等は編集委員会で内容を審査します。
- (4) 投稿及び原稿用紙等の申込みと会誌編集に関する連絡先は下記の投稿受付担当者までお願いします。

原稿募集 上記規定により支部会報「物理教育 38号」の原稿を募集いたします。

(1) 締切

2010年8月末日

(2) 投稿受付

投稿受付は下記のとおりです。詳しくは 2010 年 5 月に支部ホームページに掲載します。

問い合わせ先

〒 011-0025 札幌市北区北 25 条西 11 丁目
北海道札幌北高等学校 中道 洋友
TEL 011-736-3191 FAX 011-736-3193
E-mail nakamiti-yoyu@mbp.nifty.com

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

編集後記

新しい学習指導要領が告示されました。現行の指導要領もやっと定着したかと思ったところなので日本の教育行政の右往左往にはいやになります。基礎を付した科目は物化生地から3科目選択なので物理を履修する生徒の幅野は格段に広くなることが予想されます。来年度の支部会報では新指導要領を踏まえた実践を多数紹介できるように努力したいと考えています。(N)

表紙写真説明

本会報「総合的な学習の時間を利用した理科的なものづくりの取り組み」から

2009年9月1日発行

日本物理教育学会北海道支部

第37号 編集責任者 中道 洋友

(060-0810) 札幌市北区北 10 条西 8 丁目

北海道大学大学院理学研究院物理学部門

日本物理教育学会北海道支部

目

次

卷頭言

北海道物理教育学会 講演の記録 これからの科学技術と社会のあり方（遺伝子組換え問題から考える）	北海道札幌旭丘高等学校 横関 直幸	1
北海道物理教育学会 講演の記録 理科教員への期待を読みとる	北海道大学大学院農学研究院 松井 博和	2
大学間連携による初年次科学実験教育の展開 北海道大学高機能センター、北海道薬科大学*	北海道教育庁石狩教育局 佐々木 淳	4
北海道大学との連携・協働による授業を実施して	北海道薬科大学 中野 善明	11
振子の等時性とサイクロイド振子 北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、池田 清朗、沢田 康太		16
札幌カルチャーナイト2009での実験教室の開催 エコエネ工房 石毛 隆 北海道教育大学札幌校 藤原 琢馬、熊越 ゆき		19
注射器の外筒は落ちるでしょうか？（隠れた反作用力） 宮台 朝直、木下 真二、越 昭三 北海道大学 岸本 晶孝		21
サイクロイド曲線の教材化の試み（数学と物理の総合的な学習を目指す授業 最速降下曲線を中心として） 北海道札幌手稲高等学校 近藤 敏樹		24
ビー玉モアレから複眼モデルへ 北海道長沼高等学校 永田 敏夫		28
総合的な学習の時間を利用した理科的なものづくりの取り組み（ホバークラフトと電動カートの製作） 北海道喜茂別高等学校 矢吹 守穂		32
アルミチャンネルにおける定常波（探求活動の素材として） 北海道釧路湖陵高等学校 福田 敦		37
活動報告		41
日本物理教育学会北海道支部規約、A4原稿執筆要項、編集後記		44