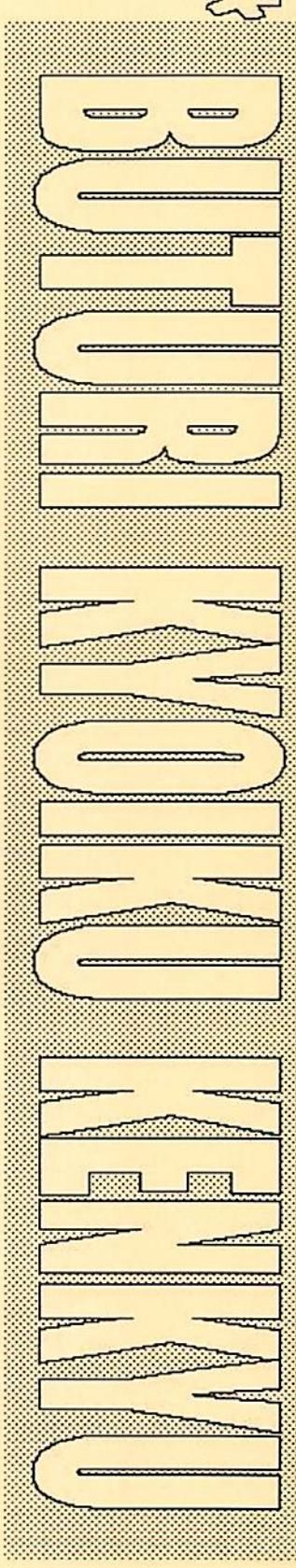
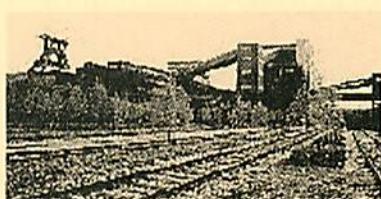
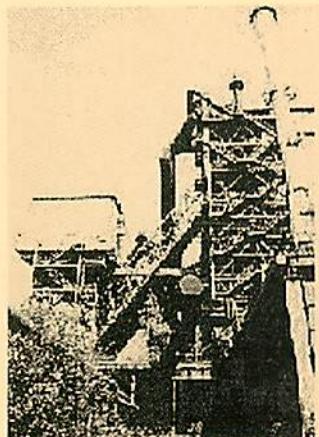


Makoto

物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



卷頭言

— 教育は百年の計 —

北海道大学理学研究科 小野寺 彰

中国春秋時代の齊の名宰相こうたわれた管子は
一年の計は穀を樹（う）うるに如かず
十年の計は木を樹うるに如かず
終身の計は人を樹うるに如かず

と述べ、人を教育することがいかに重要なことを説いた。その人の才能を見極め、いかに相応しい教育を与え、その環境を整備することができるかは、教育者としてもっとも難しいことでもあり、また、やりがいのある点もある。しかし現実には、「理科離れ」と言われて久しい。以前、ある研究会で理科離れの現状、分析を報告したことがある。文系の先生から、今報告されたことは何も理科に特有な問題ではなく、広く文系の学問についてもいえることではないか、と指摘された。いろいろな事実を分析し、不足なところは大胆に類推して、どのようにになっているかを考えていく力に欠ける、と。たしかに、現在は、あまり考えなくても、生活や食べ物に困ることは少ないし、考えたとしても、それによって大きな展望が開けることが少ないようみえる。若者にとっては、自分の将来がある程度、簡単に予想できる閉塞した時代のように映るのかも知れない。しかし、そのような一見、安定にみえる時代の先には、すでに60億を超える爆発的に増える人口問題が垣間見える。エネルギー問題、食料問題をどうすべきかは、至急の課題であるはずなのに、まるでイソップ物語の「アリとキリギリス」の逸話に登場するキリギリスのように、現在の生活を甘受している。この困難を克服するには、科学の力によるしか術はないのである。IT(情報技術)、ナノテク

ノロジー、ゲノム、新物質などは国家プロジェクトとして研究されている。しかし、エネルギーや食料は基本である。基礎的な研究を進める一方、その知識を十分いかしていくべきテーマも多くある。例えば、多くの電力を使わずに水を分解して水素と酸素を取りだせたら、無限のエネルギー源になる。水の惑星と言われる地球、水素エネルギーはその環境にもっとも優しいクリーンエネルギーだ。科学はまだまだ、発展途上であり、若い人が挑戦すべきテーマやチャンスが一杯あると言える。そうすると、初中等教育はますます重要になってくる。科学に興味をもったのが、「科学の祭典」、「青少年のための創造科学実験」、「リフレッシュ理科教育」がきっかけであったというノーベル科学者がいるのが、まんざらではないかもしれない。米百俵の重要性を説きながら、教育環境の整備はなかなか進まないのも事実で、現実には支部会員の皆様の地道な教材開発、教育活動に多くを負っているのが実情である。しかし、21世紀を迎えて、これから日本、世界をささえていくべき人材、それがすでに私達の周りにいると思うと、何となく日々、心楽しくなるように思われる。本誌などを利用して、百年の計や多くの夢を語っていただきたい。

スミソニアン・インスティチューションと 歴代のセクレタリーたち

The Smithsonian Institution and
its Secretaries, 1846 to Today

元札幌国際大学 北川芳男

はじめに

アメリカが世界に誇るスミソニアン・インスティチューションは、表一に示すとおり、首都ワシントンのモールに“キャッスル”（スミソニアン本部ビル）や国立自然史博物館、国立アメリカ歴史博物館、国立航空宇宙博物館など9博物館・美術館を、また同市内に国立アメリカ美術館など5博物館と国立動物園を、さらにニューヨークに国立アメリカンディアン博物館 G.G.ヘイ・センターほか1博物館をもち、そのほか、アメリカ美術に関する保存施設、保存技術研究所、国立動物園飼育・保存研究センター、海洋研究所、天体物理観測所、環境研究センター、熱帯研究所などの研究施設をもつ、巨大な研究機構である。

スミソニアンは、今年で創立以来155年であるが、その前史を含めると、170年以上の歴史がある。そこで、その歴史を示す興味深い話をまじえながら創立からの長官（セクレタリー）を紹介し、その中からスミソニアンの歴史の一部を垣間見ようと試み、ペンを取ったわけである。

1 基金提供者：ジェームス・スミソン

スミソニアン・インスティチューションの誕生は、その名が示すように、英国人ジェームス・スミソン（James Smithson）が、莫大な遺産を一度も足を踏み入れたこともないアメリカに寄付したことにはじまる。なぜJ.スミソンがアメリカに遺産を寄付したか。いろいろな理由があるようだが、その一つにはJ.スミソンの出自の複雑さにあると考えられている。

スミソンの父、ヒュー・スミソン（Hugh Smithson）は、富豪で高貴の家の子女エリザベス・バーシー（Elizabeth Percy）と結婚し、姓もバーシーと改め、貴族社会に名を馳せながら、ノーサンバーランド地方の最初の公爵となった。H.バーシーは、地位と名声が上がると、当然のように、ひとりの愛人をつくった。その愛人の名

はエリザベス・ケート・マーシー（Elizabeth Keate Macie）である。

ジェームス・スミソンは、この愛人との子供で、1765年フランスで生まれ、マーシー家の嫡子としてジェームス・ルイス・マーシー（James Lewis Macie）と名乗った。長じてジェームスはオックスフォード大学に入学し、化学・鉱物学を学び（1782～86年）、学者としての道を歩み始める。1803年に新鉱物の菱亜鉛鉱（smithsonite, ZnCO₃）を発見した。そのほか多くの学術論文を発表し、その業績によってロンドンのロイヤル・ソサエティー（王立協会：イギリスでもっとも古く<1660年創立>からある自然科学の学会）の特別会員に推挙された。

いっぽう、彼は1800年に母の富を相続し、1806年に父の財産を相続するため、父の旧姓スミソンを受け継ぎ、ジェームス・スミソンとなった。しかし、彼は私生子だったので、彼の富や学問的名声にもにわかわらず、英國貴族社会からは受け入れられなかった。こうした貴族社会の仕打ちに対し、彼は深い恨みを持ち続けたのである。

1826年、彼は自分の財産譲渡について遺言状を作成した。それには、「全財産を甥のヘンリー・J.ハンガーフォード（Henry James Hungerford）に譲渡する。彼に相続人がない場合は、その全てをアメリカ政府に寄贈し、『首都ワシントンに、スミソニアン・インスティチューションという名称で、人類の知識の増進と普及のために』役立てること」と書かれていた。そして、一生独身だったジェームス・スミソンは1829年に死去した。全財産を譲り受けたハンガーフォードも相続人のないまま1835年にこの世を去り、全財産は遺言状によりアメリカ合衆国へ贈られることになった。

英國からの通知をうけた当時のアメリカ大統領A.ジャクソン（Andrew Jackson）は、1835年12月、スミソンからの財産寄付の告示を議会へ提出した。議会では降って湧いたような告示に議論が沸騰したが、36年7月1

日、その財産の受け入れを承認し、この慈善基金に対してアメリカの信義を保証した。大統領はその旨を英國政府に通告した。英國裁判所は審議の結果、1838年、スミソンの財産譲渡を許可した。それに伴い、大統領の代理人、リチャード・ラッシュ (Richard Rush) は、スミソンの財産を受け取りにロンドンへ渡った。財産は、およそ10万ポンド（約50万ドル）、当時としては非常な大金であった。しかも、それは、当時の英國通貨ソブリン（1ポンド金貨）10万枚で105袋の皮袋に入っていた。ラッシュはこの大金を携えて帰国した。持ち込まれた大量のソブリン金貨は、早速、合衆国造幣局で鋳潰され、ドル金貨に生まれ変わってしまった。

ここで興味深い事実は、10万枚のソブリンのうち2枚だけが、鋳潰されずに造幣局に保存されていたことである。そして、それは1923年6月に他の造幣局資料とともにスミソニアンに移管され、スミソンの偉大な行為を語る貴重な証人となっているのである。

2 スミソニアン・インスティチューションの設立

アメリカ議会は、スミソンの財産の受け入れは承諾したもの、スミソンの意志「人類の知識の増進と普及」をどんな形で実現するかに議論が繰り返された。

アメリカ政府が、提案したスミソニアン・インスティチューションの事業計画案は次のようなものであった。

「知識の増進」：①新しい学問的成果への賞金提供、
②調査研究への研究費の提供、

「知識の普及」：①定期刊行 物の出版、②専門書の刊行

これに対して多くの議員は不満を表明し、議会案を作成することとした。一部の議員は、国立大学の設置や国立農業研究所の設置を主張したり、他の一部は国立図書館や国立天文台の設置などを提案した。しかし、多くの賛同をえた案は、「政府案に加えて、図書館、国立博物館・美術館などを設置し、研究と普及の活動を展開すること」であった。こうして数年間の議論をへて、1846年8月10日、第28回議会は国立博物館を含むスミソニアン・インスティチューションを独立法人として設置することを可決し、大統領ジェームズ・K・ボルク (James K. Polk) がそれにサインした。そして、この法人を管理する組織として評議員会を法令で設置し、その構成を副大統領、最高裁長官、上院・下院からそれぞれ3名の議員、市民代表6名の計14名とした。評議員会は、早速、スミソニアンの事業を推進する長官（セクレタリー）の選出を討議し、初代長官としてプリンストン大学の物理学者ジョセフ・ヘンリー (Joseph Henry) を選んだ。

このように、スミソンの遺言状がアメリカ政府に通告されてから10年を越える歳月を経て、スミソニアン・インスティチューションはようやく発足したのである。

3 スミソニアンのシンボル“キャッスル”的秘話

スミソニアン・インスティチューションは1846年に発足したとはいえ、その活動拠点として、1818年に建造された国立古物収蔵所 (National Cabinet of Curiosity) が与えられただけで、特別な予算措置もなされなかった。しかし、J.ヘンリーを中心としたスタッフは調査研究や試料の収集などを開始した。

議会では、1847年、スミソニアン ビルディングの建設を決議し、ジェームス・レンウィック (James Renwick Jr.) に設計を委託した。建物は8年後、スミソニアンの創立から10年目の1855年に完成した。それは、赤褐色砂岩の石造で、フランス・ノルマン地方の城郭をモディファイした建物 (ノルマンスタイル: 12世紀の後期ロマネスクと早期ゴシック様式との結合) であった。人々はこのビルディングを“キャッスル”とよび、現在も全スミソニアンのシンボルとして親しんでいる。しかし、完成当時は、建物の色合いや形態がヨーロッパ調だったので首都の景観にマッチしないと、議会筋からいろいろクレームができるなど大きな話題を呼んだのである。



図1 スミソニアンのシンボル「キャッスル」

この建物の中には、スミソニアンの事務所、図書館、ギャラリー、自然史標本展示室、研究室、レクチャーホールなどが設けられたほか、驚くことに、初代長官J.ヘンリーとその家族のための居住スペースや独身研究者の居住スペースまでもが組み込まれていたのである。日本の常識では考えられないことであるが、J.ヘンリーの研究への情熱が職住一体という考えを生み出したのかもしれない。いずれにせよ、初期のスミソニアンの迫力を感じさせる話である。

しかし、建物内で個人生活がなされていたのが原因かどうかは分らないが、キャッスルの完成から10年後、

1865年にまったく予期しなかった火災が発生した。中央部の屋根は破壊し、試資料を運び出す余裕もなく、貴重な初期の記録類の多くが焼失してしまった。まさに、青天の霹靂である。復旧には2年時間が費やされたのである。その後、キャップルは1880年代に全面的な改造工事がなされ、現在は全スミソニアンの管理センターとインフォメーション・センターとしてスミソニアンの中核的役割を果たしている。

4 歴代セクレタリーの人物像

4-1 基礎を築いた初代と二代目セクレタリー



図-2 初代長官 J. ヘンリー
調査研究活動の充実と発展に全力を傾注し、研究機関としてのスミソニアンの基礎を確立した。

彼は、1797年ニューヨーク州オルバニー生まれ、貧しい家庭に育ち、苦学してオルバニー・アカデミーで工学を学んだ。1826年から同アカデミーで数学と自然哲学を教えていたが、図-3 二代目 S.F. ベアード 29 年から電磁石の研究に取り組み、電磁石の改良や電磁式電信機、モーター、電流計などを発明した。30年、イギリスのファラデーとは別に、電磁誘導を発見し、さらに31年には自己誘導をも発見した。これらの成果は32年に発表された。そして、同年ニュージャージー カレッジ（現 プリンストン大学）の自然哲学の教授となった。なお、国際単位系（SI）のインダクタンスの単位である“ヘンリー（H）”は、この J. ヘンリーの電磁誘導の研究成果にちなんで付けられたものである。

1846年にスミソニアンの長官になってからは、生活に密着した大気の科学を充実するため、気象データの収集、予報の組織化などに力をそそぎ、太陽放射熱や黒点の研究なども発展させた。また、スミソニアンの活動を

通してアメリカの科学振興にも大きな貢献をした物理学者なのである。

二代目長官スペンサー・F. ベアード (Spencer F. Baird)



図-4 最初の国立博物館（現 芸術産業館）

初代長官の J. ヘンリーは、1846年に就任し死去した 1878 年まで 32 年の在任期間を通して、J. スミソンの「知識の増進と普及」を具体化するためには、まずスミソニアンを世界的な研究機関とする必要である、という考えのもとに



F. Baird) は博物学者で、在任期間は 1878~87 年の 10 年間ある。彼は、初代の J. ヘンリーが研究面の基礎を確立したのを受けて、スミソンのいま一つの目標「知識の普及」に焦点を合わせ、博物館関連の事業、とくに、1879 年に議会が建国百年記念として建設予算を議決し、81 年に完成したスミソニアン最初の国立博物館（現、芸術産業館）の運営に積極的なリーダーシップを発揮した。そのなかで、彼は、博物館の研究は個々の専門的研究よりも、コレクションを基本とした研究が必要であることを強調した。

このように、スミソニアンの研究機構と博物館機構は、初代および二代目長官によって、その基礎が確立されたのである。

4-2 スミソニアンの発展を目指したセクレタリーたち（19世紀末から20世紀前半）

三代目サムエル・P. ラングリー (Samuel Pierpont Langley) は、1887~1906 年まで 19 年間在任した天体物理学・天文学学者である。

彼は 1834 年にマサチューセッツのボストンに生まれ、高校卒業後、建築技師として働いていたが、独学で天文学を学び、65 年にハーバード大学の天文台の助手として採用された。67 年にベンシルベニア大学の物理学・天文学の教授兼アレグニ一天文台（アメリカ北東部のアレグニ高原）台長に抜擢され、20 年間その職にあった。

87 年に長官に就任した。その最初の仕事は、動物園の設置を議会に促すことであった。スミソニアンには、創立もなくから生きた動物の寄贈がかなりあった。ワシントン D.C. には動物園がなかったので、他地域の動物園へ譲渡したり、キャップル周辺のモールで飼育していた。しかし、モールでの飼育数がかなり多くなったので、ラ

ングリーはワシントンに動物園をつくり、これらの動物をより環境のよいところで飼育し、一般に公開すべきであると、議会に強く要求した。議会は、彼の意見を取り入れ、89年にワシントンのロック・クリーク公園内の面積1751ha(約70.8ha)の敷地に国立公園(現 国立動物園<National Biological Park>)を設置し、90年に開園したのである。

専門分野関連では、90年に天体物理観測所を設置し、スミソニアンにおける天体物理の研究を促進させた。いっぽう、本来もっていた技術的才能を生かし、空気力学の研究を基礎に軍の依頼を受けて飛行機の設計に傾倒したが、不成功に終った。なお、天体物理関係の業績は、79年に放射エネルギーの測定に用いる一種の温度計、ボロメーターを考案し、太陽面の光度、太陽放射の地球大気による影響また地球大気に及ぼす効果、赤外線域の強度などを精密に測定したことが認められている。

四代目チャールス・D. ウォルコット (Charles Doolittle Walcott: 在任1907~1927) は地質・古生物学者である。1850年ニューヨーク州に生まれ、独学で地質学を学び、アメリカ地質調査所に勤務し、北アメリカのカンブリア紀の地層と三葉虫などの化石を研究し、『北アメリカのカンブリア紀の動物群』二巻(1884~85)を著したほか、アメリカの先カンブリア代研究の基礎をも築き、1894年に所長になった。

1907年にスミソニアンの長官になり、最初の大事業として国立自然史博物館の建設に取り組んだ。スミソニ



図-5 国立自然史博物館

アンが誇る膨大な自然史標本は、当初はキャッスルで、1881年に最初の博物館(現、芸術産業館)が出来てからは、そのなかで展示公開されていたが、本格的な独立館の建設が待たれていた。花崗岩張りで重厚な国立自然史博物館の建物は、スミソニアン第三の建物として1909年に落成した。ただし、スタッフたちはコレクションを

新博物館に移動させ、内部の整備に取り掛かったが、公開までには2年の歳月が必要であった。そして、1911年、ウォルコットの手によって開館したのである。また、それまでは、まったく公開されていなかった国の美術コレクションの一部を新館のホールに展示すること決定した。さらに、フリーア美術ギャラリーの開設(1923年開館)に指導的役割を果たし、スミソニアンの発展に貢献した。このほか、アメリカ科学アカデミーの議長や科学振興会の会長をも兼務し、科学の発展に尽力した。

五代目チャールス・G. アボット (Charles Greeley Abbot) は、1927~44年まで在任した。物理学者で太陽放射や太陽エネルギーの専門家である。彼は、在任中、スミソニアン環境研究センターの前身となる、動物や植物に対する光の効果を研究する調査研究局を設置し、新し研究分野の開拓に力を注いだ。

六代目アレクサンダー・ウェトモア (Alexander Wetmore) は鳥類学者である。彼は、1945~53年までの在任中、46年に議会が設立を決議した国立航空博物館(現航空宇宙博物館)の開設に向けて、芸術産業館内部を整備し、航空博物館の暫定的な展示や活動ができるよう指導して同館の基礎を確立した。なお、航空博物館委員会は、66年に宇宙飛行の成果を取り込むことを決定し、76年に国立航空宇宙博物館の新館がオープンしたのである。彼は、また、パナマのカナルに生物学研究地区(現スミソニアン熱帯研究所)を設定し、熱帯環境と生物の研究



図-6 国立アメリカ歴史博物館

促進する基礎をつくった。

4-3 スミソニアン博物館群発展期の長官たち

七代目レオナルド・カールミッセル (Leonard Carmichael) は、生理学的心理学の権威で、タフツ大学の学長だった。彼の在任期間は1953~64年であったが、55年に議会が国立歴史・技術博物館(現、国立アメリカ歴史博物館)の建設を承認したので、彼は、同館の開設

準備の指揮をとり、退任の年、つまり、64年にその博物館を開館させた。その結果、芸術産業館に収蔵されていた歴史・技術関連のコレクションが新館に移動したので、芸術産業館は、ほぼ、航空博物館の専用となった。

八代目ディルロン・リブリー (Dillon Ripley) は生物・環境学者であり、とくに極東の鳥類の権威者として知られている。在任期間は1964年から84年まである。そして、この期間はスミソニアンの各種の新しい博物館・美術館の整備や新設がなされた時期である。1968年には、スミソニアンの初期に政府から移管され、収蔵されていた歴史・美術・工芸などのコレクションを、歴史的建物である旧特許局ビルを内部改造して、国立絵画コレクション（現 国立アメリカ美術館）と国立肖像画美術館として公開した。72年には、レン・ウイック ギャラリーが開館した。このギャラリーは国立アメリカ美術館の分館であるが、建物は、キャップスルを設計したJ. ウィック Jr. の設計による赤レンガ建ての歴史的建造物であり、ホワイトハウスのすぐ近くにある。なお、この建物は1965年に取り壊されそうになったが、保存運動によってスミソニアンに譲渡されたものである。そのほか、アナコスティア博物館（アフリカ系アメリカ人の歴史と文化の博物館、1967年開館）、ハーシュボン美術館・彫刻庭園（1974年開館）、クーパー・ヘウッド国立デザイン博物館（ニューヨーク、1976年開館）、国立航空宇宙博物館の新館（1976年開館）などの建設と開館業務、さらに、アフリ

九代目ロバート・McC.・アダムス (Robert McC. Adams) は人類・考古学者である。彼は1984年から94年までの在任期間を通して、スミソニアンは種々の異なる文化領域に、より幅広い関わり合いをもつことの重要性を強調し、個々の能力や質を高める研究への支援、教育活動への援助などの活動を強化し、社会のニーズに応える体制を整えた。施設の拡充としては、国立郵便博物館（1993年開館）や国立アメリカインディアン博物館の基本計画にもとづく、分館（アメリカインディアン ジョージ・G. ヘイエー センター：ニューヨーク、1989年開館）などの開設業務を遂行した。なお、国立アメリカインディアン博物館の本館は、モールに新館が2002年に開館する。

スミソニアンの長官は初代から殆ど自然系の科学者であったが、十代目長官、I. ミッシェル・ヘイマン (I. Michael Heyman) は、社会科学系で法律の専門家である。エール大学、スタンフォード大学の教授からカリホニア大学（バークリー校）の法律学教授となり、同大学の総長になった。バークリー時代の彼は、生物学部を強化・充実し、高い学術的水準を維持する方針を堅持して運営にあたった。いっぽう、学生の民族的多様に対応する運営を成功裏に進めた。また、クリントン政権時代には、内務長官の顧問として政策立案を補佐した人物で、行政的管理・運営の手腕が期待されたが、2000年の春に更迭させられた。

4-4 21世紀：スミソニアンはどこへいく

11代目長官、ローレンス・M. スモール (Lawrence M. Small) は元銀行マンで、155年の歴史をもつスミソニアン協会、はじまって以来のノン・アカデミック出身の長官である。彼が、どうして長官に任命されたのか定かではないが、スミソニアン協会の財政立て直しを任務として任命されたようである。事実、就任早々、アメリカ歴史博物館で開催されていた、フォークソングの父「ガスリーの生い立ち」展を急遽中止させたり、スミソニアンの研究者が自らの力で獲得した研究助成金を没収し、他に転用するなど、ちょっと考えられない管理運営へ動き出した。これに対し、スミソニアンの研究者はもちろん、マスコミや知識人・市民からも大きな抗議がなされているという。まさに、スミソニアンはどこへいくといった状況にあるようである。

このような経済性のみに重点を置いた博物館運営は、アメリカのみにみられる傾向ではなく、日本においてもみられることである。われわれは、スミソニアンの長官人事を他山の石として、真剣に日本の博物館の未来を考えていかなくてはならないであろう。

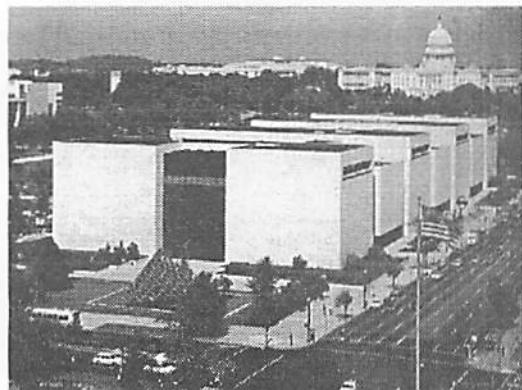


図-7 国立航空宇宙博物館

カ美術館のスミソニアンへの編入業務（1979年、キャピタル・ビルからモールの新館への移転は1987年）等々、各種の大事業が続いたが、八代目リブリーはスミソニアン博物館群の拡充に手腕を振るった。そしてまた、多くの一般大衆を博物館に取り込むためのサービス面の活動を重視し、いくつかの新しいサービス活動を展開した。

スミソニアン・インスティチューション 博物館一覧

日本名称	英名称	開館	所 在	備 考
キャッスル	Castle	1855	モール	事務局・インフォーメーション・センター
芸術産業館	Arts and Industrie Building	1881	モール	最初は国立博物館。1910年自然標本が自然史館に移動したとき改名し、その後は歴史産業関係の展示がなされていたが、64年にそれらが歴史技術博物館に移動し、その後は、航空技術関係の展示場となり、76年の航空宇宙博物館まで使用された。現在は、アメリカ歴史博物館として、1876年の百年記念博覧会の出品物が展示されている。
国立動物園	The National Zoological Park	1890	ロック・クリーク公園内	
国立アメリカ美術館	National Museum of American Art	1906	Gallery Pl. Chinatown	旧特許庁ビル
国立自然史博物館	National Museum of Natural History	1911	モール	自然史関係の調査収集はスミソニアン創立時から。1911年開館時からNew National Museumとよばれ、公式に現名称になったのは1969年からである。
フリーア・ギャラリー	Freer Gallery of Art	1923	モール	
国立アメリカ歴史博物館	National Museum of American History	1964	モール	1955年、議会が国立歴史・技術博物館の建設を承認。64年開館。80年現名称に改称。
国立肖像画美術館	National Portrait Gallery	1968	Gallery Pl. Chinatown	旧特許庁ビル
レンウィック・ギャラリー	Renwick Gallery	1972	ホワイト・ハウスの裏	
アナコスチア博物館	Anacostia Museum	1967	スタントン公園内	アフリカ系アメリカ人の歴史民族博物館
ハーシュホン美術館と彫刻庭園	The Hirshhorn Museum and Sculpture Garden	1974	モール	
クーパー・ヒューイット 国立デザイン博物館	The Cooper Hewitt, National Design Museum	1976	ニューヨーク	
国立航空宇宙博物館	National Air and Space Museum	1976	モール	1946年、国立航空博物館が設置、66年、宇宙を取り込み、現名称に改称、76年、現博物館完成開館
国立アフリカ美術館	National Museum of African Art	1979	モール	
アーサー・M・サックラー ギャラリー	Arthur M. Sackler Gallery	1987	モール	
国立郵便博物館	National Postal Museum	1993	エリザベス駅近辺	
国立アメリカインディアン博物館	National Museum of the American Indian's George Gustavus Center	1994	ニューヨーク	本館は、2002年、ワシントン・モールに新築開館の予定

マイケル・ファラデーと電磁気現象発見の背景

鶴岡 森昭（北海道札幌清田高等学校）

1. はじめに

物理学の世紀と言われた20世紀が終わりを告げ、先行きが不明確な21世紀を迎えることになった。丁度100年前の1901年には、無煙火薬の発明等で莫大な資産を築いたA. B. Nobel（スウェーデン 1833-1896）の遺志によってノーベル賞が設けられたが、その第1回目の受賞者にはX線を発見したW. C. Röntgen（独 1845-1923）が物理部門に、漫透圧等を発見したJ. H. van't Hoff（オランダ 1852-1911）が化学部門に輝いた。そして、20世紀最後のノーベル賞受賞者の中に、白川英樹博士が化学部門で名を連ねたことに、格別の思いを抱いたのは筆者だけではないと思われる。

このノーベル賞がもしも19世紀に設けられていたならば、何度もその受賞者に輝いたであろうと思われる科学者がイギリスにいた。その人の名は、Michael Faradayである。

筆者は1999年5月連休に英国晚星国際大学が主催する高校教員海外セミナーに参加する機会を得て、その所在地であるレディングにホームステイをしながらオックスフォードやロンドンを訪れることができた。その折に、ロンドンの中心部に位置するAlbemarle Streetに面したThe Royal Institution of Great Britain（王立研究所）へ足を伸ばし、その地階に開設されているマイケル・ファラデー博物館を見学することができた。その博物館にはファラデーの実験日誌の陳列品や数々の発見を成し遂げた実験室が、その当時のまま復元され、彼が愛用した実験器具や装置が自然の状態で置かれてあった。

この見学を契機として、筆者は人類史上に残る実験科学者である Michael Faraday に関心を喚起された。

拙稿では彼の生い立ちや電磁気現象の発見を巡る謎の部分に焦点を当て、その一定の解明に取り組んでみたい。

2 ファラデーの生い立ちと足跡

ファラデーの生い立ちや電磁気現象の発見を巡る謎に言及する前に、彼の経歴を概観することにする。

(1) 出い立ち

1792年9月22日 イングランドのサリー州のニューアントン・バッツ（ここは現在はロンドン市内）で、鍛

冶職人（鍛鉄工）でサンデマン派の信徒ジェームス・ファラデーとマーガレットの第3子として生まれた。4歳年長の姉エリザベスと3歳年長の兄ロバートがいたが、その後1802年に妹マーガレットが生まれている。

一家はイングランド北部のウェストモアランドから移住してきたが、John Tyndall（英 1820-1893）と同郷のアイルランド出身であることは確からしい。

一家はマイケルの出生後テムズ川の北側に移住し、マンチェスター広場のジェイコブズ・ウェル岷の馬車置き場の二階の部屋に住んだ。父ジェームスは病身で一家は貧しく、1801年の物価高騰の折には公共の救済を受けることもあった。また、殆ど学校教育を受けることはなかった。

1804年（13歳） ブランドフォード通り近くの書店・製本屋リバーの新聞配達人として雇われ、翌年10月には礼金なしで住み込みの年季奉公人になった。

1809年（18歳） 一家はウェイスマス通りに移り、そこで父ジェームスは1810年10月30日に亡くなった。

ファラデーは製本した本を片つ端から読みこなし、特に電気と化学に関する科学に興味を抱いた。科学への興味を抱くファラデーに対して、主人のリバーは協力的で励ました。ファラデーは読んで得た科学の知識を、時にはリバー家の暖炉を使わせてもらって追試した。

1810年（19歳） 兄ロバートに1シリングの入会料金を出してもらってナチュラル・フィロソフィーの講義に通った。これは金細工職人ジョン・ティタムの自宅で毎週水曜日の夜に行われていた科学の講義で、the City Philosophical Society の会合であった。このSocietyは1808年に設立され、科学的知識を得て、相互に自己改革をはかることをねらいとするものであった。このメンバーに選出されると名前の前にMCPSというイニシャルを付けることが許された。ファラデーは1817年にこのメンバーに選出され、ここで生涯最初の講演を電気の性質について行った。またこの会合では終生の友人である Benjamin Abbott（英 1793-1870）と出会っている。

1812年 リバー書店のダンス氏の好意によって王立研究所の Humphry Davy（英 1778-1829）の講義の切符をもらい、奇しくもデーヴィの王立研究所での最終講義を聴講した。ファラデーはこの講義内容を詳しくノートし、後にこれを完全な文章に消費し、図版まで入れて

製本した。

1812年10月(21歳) リボーヴ店での徒弟期間が明けたファラデーはフランス移民のド・ラ・ロシュの書店の職人になったが、気難しい主人との折り合いが苦くいかなることもあって、「手職は嫌いで、科学が大好き」になっていたファラデーは身の振り方を考え始めた。

1813年3月(22歳) 10年程勤めたデーヴィの助手が電器メーカーとのトラブルでクビになり、空席ができる機会に正式に実験助手として王立研究所に入所した。週給 25 シリングで、屋根裏の 2 部屋と燃料・ロウソクが支給された。

(2) 大陸旅行

王立研究所でデーヴィに最初に命じられた仕事は、ピートから砂糖を抽出すること、二硫化炭素を作ることであった。

1813年10月13日～1815年4月23日の1年半に及ぶデーヴィの大陸旅行に随行した。当時イギリスはナポレオンの支配するフランスと交戦中であったが、ナポレオンから科学の賞金を得たデーヴィは敵国の首都に乗り込むことになった。デーヴィのこの旅行の目的は火山から噴出した熔岩の化学的研究で、フランスのオーヴェルニュの休火山やイタリアのヴェスピオスなどの活火山を見ることがあった。当時は世界で最も卓越した科学の都だったパリでは、ベルトレ、キュヴィエ、シャプタル、ヴォークラン、フンボルト、ギトン・ド・モルヴォー、シェヴルール、ゲーリュサック、ラプラス等の著名な科学者に歓迎された。

この旅行で科学研究上で最も重要な出来事は、1813年11月23日にアンペール、クレマン、デゾルムに謁見し、新物質の調査をデーヴィが依頼されたことである。当時のフランスの非エリート学者から仕掛けられた沃索の発見を巡る先取権争いにデーヴィが巻きこまれた事件であった。

その後、リヨン、モンペリエ、ニースを経て真冬のアルプスを越えて、イタリアに向かった。ジェノア、フィレンツエ、ローマ、ナポリに向かいヴェスピオス火山に登って噴出するガスと固体を観察した。その後訪れたミラノでは、電堆を発明した Alessandro Volta (伊 1745-1827) に会った。ヴォルタからは電堆を贈られた。

その後、スイス、チロル、バイエルンで夏を過ごし再びイタリアに戻り、ヴェネチア、ローマを訪れた。その後、ギリシャとトルコに向かう予定であったが疫病発生のために断念し、北方へ引き返しチロルを再訪し、フランスを避けてドイツ、フランダースへと迂回し、オーストリアから出航してドーヴァーに上陸した。

この旅行中は実験助手以外に従者も兼ねることになったファラデーは、身分意識の強いデーヴィ夫人による従者という見下した態度に自尊心を傷つけられ、度々苦々しい思いをさせられたようである。しかし、この大陸旅行は科学者を志すファラデーにとっては正にグランドツアーアリ、デーヴィをチューター（個人指導教師）として様々な見識を身につける格好の機会となつた。

(3) 王立研究所での生活

大陸旅行から帰国後、ファラデーは実験助手兼実験装置・鉱物収集室管理に再任された。週給も 30 シリングに上げられ、旅行前よりもはるかに重要なスタッフとなつた。

1810 年の王立研究所の改革によって、実験室は外に開かれ、外部からの様々な依頼を引き受けることになった。そのためにファラデーの時間の多くは、様々な物質の化学分析、水質検査、技術的調査、ガス灯の研究、税務局・法廷での専門的証言、議会での専門的証言に費やされ、ロンドンに限らずイングランド中を飛び回った。かつては手職への嫌悪を明言し、王立研究所に入所したが、職人的な業務が多く、ロンドン第一のよろず技術修理屋になっていた。

ファラデーの研究所での仕事は、デーヴィの後任教授のブランドの講義のための演示実験の準備や、彼の商業的分析の手伝いであったが、やがてファラデー自身も熟練した分析化学者に成長していった。その後の足跡は次の通りである。

1821年(30歳) 6月12日、ファラデーはサンデマン派の長老で銀細工師の娘サラ・バーナードと結婚した。1821年7月15日、ファラデーはサンデマン派の正信者になった。またこの年には、電磁回転を発見し全ヨーロッパ的な名声を博した。

1824年(33歳) 王立協会会員になった。

1825年(34歳) 王立研究所の実験室監督に任命され、年給 100 ポンド支給されたが、この給料はその後 30 年間変わらなかった。1853 年には、ティンダルの自然哲学教授の任命に合わせて年給が 300 ポンドにあげられた。この年にはガス灯に溜まる液体を分析してベンゼンを発見した。また、海軍省の依頼で光学ガラスの研究に従事した。

1826年 王立研究所で金曜講演とクリスマス講演を開始。

1828年(37歳) 海軍省の科学顧問に就任。

1829年 デーヴィが死去。

1830年(39歳) 陸軍士官学校の非常勤化学教授に就任。(～1852年)

1831年(40歳) 電磁誘導を発見。連続電流の発生

装置を考案。「力線」の概念を発表。

1832年(41歳) サンデマン派の輔祭になる。

1833年(42歳) 初代フラー化学教授に就任。(~1867年) 様々な電気の同一性と electrode という語を造る。

1834年(43歳) 電気分解の二つの法則を発見。anode, anionなどの語を造る。

1835年(44歳) スイスへ旅行。年金 300 ポンドを受け取り始める。

1836年(45歳) ロンドン大学の評議員、灯台管理機関の科学顧問。

1837年(46歳) 比電率を発見。

1838年 母マーガレット死去。

1839年(48歳) 『電気学実験研究』第1巻を出す。重い神経衰弱に罹る。

1840年(49歳) サンデマン派の長老になる。1841年(50歳) 病気療養のために3ヶ月間スイスへ。

1844年(53歳) 回復後の金曜講演(1月19日)で初めて伝統的原子論を批判。臨界温度の存在を発見。『電気学実験研究』第2巻を出す。

1845年(54歳) ファラデー効果を発見。反磁性を発見。'field'を初めて発表。

1846年(55歳) 「射線の振動についての考察」(光の電磁説)を発表。兄ロバート交通事故死。1848年(57歳) 結晶磁気作用を発見。

1850年(59歳) 酸素の常磁性を発見。

1851年 王立研究所が研究重視を表明(それまでは、純粹研究は本来の業務でなく、教授の私事と見做されていたが科学研究の推進を最優先することになった)。

1852年(61歳) 「磁力線の物理的実在」で力線の実在を主張。

1855年(64歳)『電気学実験研究』第3巻を出す。テムズ川の汚染状況を『タイムズ』で警告。1858年(67歳) 王立協会からの会長就任の要請を断る。ヴィクトリア女王からハンプトン御苑を住宅に終身貸与される。

1860年(69歳) 『ロウソクの化学』を出す。サンデマン派の長老に再選される。

1861年(70歳) クリスマス講演の担当を最終的に辞退。

1862年(71歳) 最後の金曜講演。

1864年(73歳) 王立研究所会長に就任の提案を辞退。

1865年(74歳) 王立研究所の実験室監督を辞任。

1867年(76歳) 8月25日 ファラデー死去

3 ファラデーの前半生の謎

ファラデーが王立研究所に入るまでのことについては、その後の人生と比較して余りよく知られていないようだ。これは特段ファラデーに限ったことではなく、社会的背景が見すぼらしい出身の人物の場合にはよくあることらしい。特に家族の縁に関して若きファラデーの家族には深刻な問題あったという G eoffrey C antor の見方に言及することにする。

この時期のファラデーの様子を探る手掛かりが親友ベンジャミン・アボットとの交友にありそうなので、紹介したい。

(1) ベンジャミン・アボット Benjamin Abbott

ファラデーの終生の友人であったベンジャミン・アボットの知り得たプロフィールは次の通りである。

出生 : 1793年3月12日, Bermondsey

父 : Robert Abbott は the Society of Friends (クウェーカー教徒) でなかった。母 : D inah Abbott は the Society of Friends のメンバーであったが、結婚を機会に関係を絶った。

ファラデーと知り合った 1812 年頃のアボットは City of London で商社の事務員であったが、その地位には満足していなかった。

1823年 生まれ故郷の Bermondsey に学校を建設(ファラデーが one of his referees を務めたが、サンデマン派以外の人のために引き受けた稀なケース)

1835年2月10日 the Society of Friends の membership を得る。その後、headmaster of the Quaker school in Hitchin に就任。

1970年12月6日 Surrey で一生を終える。

(2) ファラデーとアボットとの交友

1812 年の製本職人の年季奉公終了以前に、金細工職人ジョン・ティタムの自宅で毎週行われていた the City Philosophical Society の講演の場で二人は初めて会った。

1812 年 7 月から手紙のやりとりが始まった。情報交換というよりも、このやりとりを通してお互いの知性を磨くことをねらいとしていたようである。合わせて 60 通程が交わされた。

ファラデーからは、自分が聴いた講義の内容やパッティーを作ったこと等の実験のことや科学の講義のやりかた等について述べている。ファラデーにとって、サンデマン派以外とのコミュニケーションでは何ら障害のない唯一の形であったが宗教上の問題も議論することもあった。また、アボットには自分の家族よりも優先して年季奉公後の将来についての不安や、大陸旅行(1813-1815)

での問題点についても相談していた。

ファラデーはアボットとは家族ぐるみの付き合いをしていて、夕方を度々一緒に過ごしたり、時にはアボット家族のピクニックにも同行することもあった。

彼らの親密な交友は 1830 年代まで続いた、アボットの家族との付き合いは 1810 年代まで続いたと思われる。

また、アボットはファラデーの死後の 1860 年代に “the late professor F araday” と題する死亡記事と “J ottings from M emory in reference to my dear & deceased F riend M. F araday” という記事を書いているが、これらの記事はアボットのファラデーに対する人生上の希有な友情を示す証左となっている。

ファラデーがアボット及びその家族との交友を選んだことは、かれの人生に重大な役割を果たしたと言える。職人階級の家族に生まれて製本職人として身を立てるべく年季奉公に入ったが、その後の人生を決める過程で、自分自身の家族の雰囲気に満足できず、自己改革をはかることを求めて B. A bbott 及びその家族との交流を続けたと思われる。

4 ファラデーが原子論を否定した謎

19世紀の科学者の中で基本的な科学思想と考えられていた伝統的な原子論（ドルトン原子論）をファラデーは否定していたが、その背景を探ることにする。

(1) ファラデーの宗教と科学

科学者で深く宗教に関わり、司祭なき宗派の司祭として宗派の活動に積極的に活動した人は希有である。ファラデーはラヴレース夫人宛の 1844 年 10 月 24 日の書簡で「私の宗教にはフィロソフィー（科学）はない」と表明している。原則的なサンデマン派信徒であると同時に卓越した科学者であり得たことは確である。

しかし、その研究分野や研究を進める上での考え方には独特の特徴が見られた。

ファラデーは研究対象を化学、電気、物理学に限定し、地質学は扱わなかった。デーヴィは扱ったが、ファラデーは避けたが、聖書を字義通りに解釈するサンデマン派信徒としては創世記の問題を避けたと考えられる。

「いかなる学派にも属さず、いかなる学派も持たない」という 1816 年（25 歳）の the C ity P hilosophical S ociety での講義で示した研究者としての決意の通り、ファラデーは、その当時の同時代人の科学者とは科学思想上で著しく異なっていた。

(2) 特異な科学思想

① 伝統的原子論を否定

物質を原子と真空からなるとする伝統的な原子論

（ダルトン原子論）を否定し、原子の物質性をなくし点原子とし、それを中心に働く引力と斥力を考察したボスコビッチ原子論に傾斜した。伝統的原子論を認めなかつたから、真空を認めず、空間は充満しているとした。

ファラデーは物質粒子という語を用いた。

② 数学の否定

数学は人間の作り出した言語であって、神が自然の書物を書くとき用いたものではないので、数学はそれによって自然を理解できる言語ではないというのが、サンデマン派信徒の態度であった。従って、このような科学思想の上に立つ科学は反ニュートン的、反機械論的になつた。電気と化学というニュートンが扱わなかつた分野に関心を持ったとも考えられる。

③ 特異な電気概念

当時は、電気は微細な不可量流体が導線の中を素早く移動するというのが通説であったが、ファラデーは電気が物質であるという証明はないとし、導線の粒子間の特殊な状態であるとした。

(3) 原子論否定の科学思想上の思弁

1844 年 1 月の金曜講演で、ファラデーは長年にわたって抱いていた原子論に対する不満をぶちまけている。

原子論を認められない理由は、物質を原子と真空に分けるからであった。ファラデーは空間は真空ではなく、自然力に満ちた充実空間とみなした。粗大な物体と物体との間は真空ではなく、様々な物質を持つという思弁を持ち続けた。世界は物質に満ち、空虚な空間はないという充実の原理は聖書に見出しができるという。

(4) ファラデーの原子論否定の理由

ファラデーは電気分解の法則を発見し、ions, anions, cations という命名をして物質粒子を是認していたにもかかわらず、当時の通説である原子論 Dalton's atomic theory を是認しなかった。その理由として次の 3 つが考えられる。

① ファラデーは当時の通説である原子論を熟知していたが、他の科学者が開発した理論には正当性を認めず、関心を持たなかった。

② Dalton's atomic theory は hard atoms の仮定に基づく、未熟な理論とみなした。

③ サンデマン派の教義のためか、hypothetical imagination と対立姿勢をとった。

5 今後の課題

19世紀を代表する実験科学者であるマイケル・ファラデーが王立研究所に入る前の生い立ち上の疑問点や、彼の様々な電磁気現象発見の背景について知り得たこと

を紹介してきた。

つい20世紀末に憂慮されてきた若者の科学離れに対して、その対策の一つとして科学者の足跡を教育の場で生かす教材は有効であるという主張を支持する教育関係者は多い。しかし、その具体的な展開を含めた教材の作成実例は不足しているのが現状である。今後は理科歴史コースの実例作成に取り組み、興味・関心が多様化している生徒の実態に即応する教材の多彩な展開に努めたい。また、科学教育と科学史の接点を求める具体的教材の展開例を作成するに当たっては、立脚すべき視点を4点あげたい。

(1) 多様化した生徒の興味・関心への対応可能性つまり、従来型の Science Education では生徒の興味や関心に対応できない場面への対策としての可能性を科学史は備えている。

(2) 新たな実験教材開発の可能性

科学史上の偉大な発見やその発見を導いた実験は、科学者の素朴な疑問やアイデアから行われたものが多く、発見を導いた実験装置は身近な素材で構成され、単純に再現できるものがある。

(3) 学習者の概念形成上の指導可能性

科学者が発見に至った思考過程を初学者の思考過程と重ねて追体験的に辿ることには、教育的意義がある。

(4) 自然科学を取り巻く背景への理解を促すことの教育的意義

科学・技術・社会の発展と人間生活との関わりを、現在とは社会的背景の異なる過去の科学者の立場に立って問題意識を持って追体験し、現在から未来に向けての科学・技術・社会の関係を考察させることは教育的意義がある。

末筆ながら、マイケル・ファラデーを研究するに当たり、科学史ゼミに参加する機会を与えて頂いた北海道大学院理学研究科科学史研究室の杉山滋郎先生とゼミ中に熱心に議論に加わって頂いた当研究室の大学院生の皆様に厚くお礼を申しあげたい。

参考文献

- 1) 小山慶太,『ファラデー』, 1999, 講談社学術文庫。
- 2) スーチン著, 小出昭一郎, 田村保子訳,『ファラデーの生涯』, 1985, 東京書店。
- 3) 島尾永康,『ファラデー—王立研究所と孤独な科学者』, 2000, 岩波書店。
- 4) 藤正巖,『Scientific Concerto: Faraday's Friday Discourse』, 1995, 中山書店。

5) 渡辺正雄,『文化としての近代科学 歴史的・学際的視点から』, 2000, 講談社学術文庫。

6) 菊地文誠,『近代科学の源流を探る』, 1996, 東海大学出版会。

7) 田中 実他,『自然科学の古典をたずねて』, 1978年, 新日本出版社。

8) P. M. ハーマン著, 杉山滋郎訳,『物理学の誕生』, 1991, 朝倉書店。

9) J. James, F. Rank A. J. L., "The tales of Benjamin Abbott: a source for the early life of Michael Faraday", BJHS, 25, 1992, 229-240.

10) B. Dato, G. Iovanni and M. Oro, N.atalia, "Benjamin's Role in Faraday's Discovery of diamagnetism and the Successive Progress in the Understanding of Magnetic Properties of Matter", ANNALS OF SCIENCE, 51, 1994, 391-412.

11) 雷田光一,『歴史をかえた物理実験』, 1996, 丸善。

12) ダビド・K. C. マクドナルド著, 原島鮮訳,『現代の科学 16 「ファラデー、マックスウェル、ケルビン—電磁気学のバイオニア」』, 1968, 河出書房。

13) 大野陽朗他,『自然科学原典シリーズ「近代科学の潮流—物理学篇 I」』, 1974, 北大図書刊行会。

14) フリードリッヒ・ダンネマン著, 安田徳太郎訳,『新訳ダンネマン大自然科学史第9巻』, 1979, 三省堂。

15) J. James, F. Rank A. J. L., "The correspondence of Michael Faraday Volume 1, 1811-1831, Letter 1-524.

16) J. James, F. Rank A. J. L., "The correspondence of Michael Faraday Volume 2, 1832-1840, Letter 525-1333.

17) J. James, F. Rank A. J. L., "The correspondence of Michael Faraday Volume 3, 1841-1848, Letter 1334-2145.

18) J. James, F. Rank A. J. L., "The correspondence of Michael Faraday Volume 4, 1849-1855, Letter 2146-3032.

19) 岡本正志,『わが国の理科教育における授業論の変遷』, 物理教育, Vol.47, No.5, 264-269, 1999.

20) 岡本正志,『よみがえれ理科教育』, 1999, 東京書籍。

21) 稲村雅子,『物理学実験に取り入れた科学史』, 大学の物理教育, 2000-3号, pp.46-50, 2000. 22) The Royal Institution of Great Britain ホームページ URL < <http://www.ri.ac.uk/D.F.R.L/Researchers/main.html> >

クリスマスレクチャー

衛星通信による中学高校生の研究交流会および原著講演

北海道札幌南陵高校 菅原陽

中学生と高校生の研究交流を進めようと、2000年12月23日衛星通信回線を利用した研究交流会が開催された。開催場所は札幌会場=北海道大学 北ユーラシア・北太平洋地域研究センター、函館会場=北海道大学水産学部 北見会場=北見工業大学1号館SCS教室で行われた。このような交流集会は、本道のように広域にわたる生徒間の交流には非常に有効であると考え、今回で2回目の試行となる。衛星通信を利用する場合は通信容量が大きく映像も含めリアルタイムの双方向性交流学習活動が可能ですが、設備が大がかりで利用できる場所が非常に限定されている。そして、通信速度容量の点では十分とはいえないと思われる。最近の急速な発展により、映像を送るスピードの問題を解決しつつある。また場所を選ばない利点もあり、今後の研究交流会は、インターネットの利用に転換すると思われるが、その運営や交流の評価と展望について検討することを目的に開催された。

プログラムは、第1部の北海道大学大学院理学研究科の杉山滋郎教授「エピソードで綴る20世紀の物理学」と題するクリスマスレクチャー(特別講演)を皮切りに第2部中高生科学クラブの発表と続き、そして第3部の原著講演では北海道札幌清田高等学校の鶴岡森昭教諭による「19世紀の物理学発展の一断面—マイケル・ファラデーと電磁気現象発見の背景—」続いて北海道工業大学の峰友典子先生による「デジタルビデオカメラの実験への利用(減衰振動の測定)」さらに北海道大学科学教育研究グループによる「学生実験の新しい試み—新しい授業(基礎科学)の開発」の発表があった。

杉山教授の「エピソードで綴る20世紀の物理学」の講演では2000年7月に81歳で死去した、アブラハム・ハイス氏の生涯を杉山先生がハイス本人に成り代わって生き立ちや生きて



きた時代のお話をわかりやすく子供たちに伝えるという形式で行われた。

杉山滋郎 教授 ハイス氏はインシュタイン研究でも有名である。講演内容は20世紀初頭からのエピソードを交えた科学の進展を話された。子供たちの質問には、「コンピュータの発明者ノイマンの驚異的な計算力」を示すエピソード

である「ハエの話」が面白かったこと。また、当初のコンピュータの利用目的は何ですかとの質問に「大砲の弾道計算」だったことにも関心を引いていた。講演の中での「昔の物理学者には仕事がなかった」と発言したことには「今の物理学者には仕事があるんですか」と女生徒から質問があり、会場から大きな笑いが漏れたが、杉山先生は「様々な仕事の中に物理は生きている」旨のまとめの言葉を頂き会場の皆さんには胸をなで下ろした模様である。

引き続き第2部の中学生・高校生の研究交流が行われた。札幌と函館の参加校については札幌会場世話人の北海道札幌南陵高校の菅原陽教諭、函館会場世話人の南茅部高校渡邊義輝教諭、北見会場世話人の北見工業高校の堀輝一郎教諭が依頼した。

中高生科学クラブの発表

「固体アルコールを用いた炎色反応についての研究」

札幌市立伏見中学校「ペットボトルロケットの研究」

札幌市立柏中学校「聴覚と音分離共鳴器、および片持ちビアン線の振動分析」札幌南陵高等学校「漬け物における乳酸菌の増殖」北見藤女子高等学校 科学部



発表① 固体アルコールを用いた炎色反応について
札幌市立伏見中学校 1年 佐藤洋祐 卷口誉宗 清見直史 藤原邦弘 上田哲也 理科の授業でやった炎色反応の実験に感動し、もっと詳しく知りたくて本で調べたところ「炎色反応ろうそく」の作り方が載っていた。さらに調べていくと固体アルコールの作り方が3種類あることがわかり、これを炎色反応に利用できないかと動機を持った。引率 前田寿嗣 先生

発表②ペットボトルロケットの研究

札幌市柏中学校

1年 永島大治郎 2年 山森圭 神保直翔

藤谷秀明3年 西木修平 ここ数年前から流行ってきたペットボトル。遊びで飛ばすには標



クリスマスレクチャー 衛星通信による中学高校生の研究交流会と原著講演

準形だがそれでは飛び抜けて良いペットボトルはできない。どういう条件であればよく跳ぶロケットができるのか。これを目指に実験を進めていくことになった。引率 森田 和雄 先生

発表③ 人の聴覚の研究 札幌南陵高校

1年 高信優太 小山光生 3年 弓削健 藤野孔一
「人はどのようにして音を感じているのか」というのが、我々電脳物理愛好会のテーマです。耳の話ですが物理に深く関係しています。これまでの作品を紹介し活動を報告した。引率 菅原 陽 先生



発表④ オオカナダモの紅葉実験Ⅱ 函館白百合学園高等学校理科部
2年 鈴木あゆ、石井やよい、岩坂朋美、高野寛子
オオカナダモを水槽で栽培すると、葉が赤く

色づく。この現象は、アントシアニン色素の合成による葉の紅葉化ではないかと考え、1999年にオオカナダモの葉を培養し、紅葉化現象を引き起こす培養条件を検討した。今回は、紅葉化に影響を与える諸要因について検討した。引率 中村信雄 先生

発表⑤ 大沼湖周辺湧水におけるグッピーの調査 北海道七飯高等学校科学部 3年 吉田真澄 飯田光英 山崎友資 大沼湖周辺の湧水池に、グッピーが棲息しているという風評を確認するために調査をした。又、この池の環境に熱帯魚が棲息可能なのか調べた。その結果、市販のグッピーの交配実験や、温度に対する負荷実験を行い、棲息魚がグッピーであるとの確信を得た。引率 日野敬市 先生

発表⑥ 漬け物における乳酸菌の増殖 北見藤女子高等学校科学部 前田珠里 日本人にとって最も身近な漬け物は、乳酸菌と酵母菌によって造られているものが多い。乳酸菌による乳酸発酵と酵母菌によるアルコール発酵の絶妙なバランスによって、うま味や保存性が生まれてくるものだと考えられる。今回取り組んでいるこの実験では、漬け物(浅漬け)、キムチにおける乳酸菌、酵母菌および一般細菌の増殖の様子とpHの変化を比較検討した。引率 星野信隆 先生



発表⑦ 塩ビ管で笛を作ろう 北海道北見工業高等学校科学部 柏和匡 塩ビ管の2種類の笛を作成した。1つは1本の塩ビ管に複数の穴を開けたしの笛

型のもの、もう1つは長さの異なる数本の塩ビ管を使ったパンフルート型のものです。これらの笛を科学の祭典に小学生と一緒に作成し、非常に好評だった。引率 佐藤喜寛 先生
第3部の原著講演は札幌清田高校の鶴岡森昭教諭による「19世紀の物理学発展の一断面—マイケル・ファラデーと電磁気現象発見の背景—」の内容は以下の通り。

100年前の1901年に第1回ノーベル賞がレントゲン(物理)、ファン・ホッフ(化学)等に授与されたが、このノーベル賞がもしも19世紀に設けられていたならば、何度もその受賞者に輝いたと思われる科学者がイギリスにいた。その人は、マイケル・ファラデーである。彼は主に電気・磁気の分野で歴史に残る数多くの発見をした。本稿では、彼の前半生や電磁気現象の発見を巡る謎の部分に一定の解明を試みる。

I ファラデーの前半生の謎

王立研究所に入る以前の生い立ちについては、余り詳しく分っていないが、終生の友人であったベンジャミン・アボットとの交友の記録が書簡集に残っている。その

資料を手掛かりとして探ってみると、ファラデーがアボット及びその家族との交友を選んだことの理由が明らか



鶴岡森昭教諭

かになった。職人階級の家族に生まれて製本職人として身を立てるために年季奉公に入ったが、その後の人生を決める過程で、自分自身の家族の雰囲気に満足できず、自己改革を求めてアボット及びその家族との交流を続けたのではないかと思われる。

II ファラデーが原子論を否定した謎

19世紀の科学者の中では、基本的な科学思想と考えられていた伝統的な原子論(ドルトン原子論)をファラデーは否定していたが、その背景を探ってみた。ファラデーが原則的なサンデマン派(プロテスタント長老派から分派した小さな宗派)の信徒であったが、そのことも影響してか特異な科学思想を保有していた。原子論の否定の他に、数学の否定や特異な電気概念を持っていた。① ファラデーは当時の通説

である原子論を熟知してはいたが、他の科学者が開発した理論に正当性を認めず、関心を示さなかった。② ドルトンの原子論は、hard atomの仮定に基づく未熟な理論とみなした。③ サンデマン派の教義のためか、hypothetical imagination と対立姿勢をとった。

北海道工業大学の三好康雅と峰友典子先生の「デジタルビデオカメラの実験への利用」減衰振動の測定の内容は以下の通り。



峰友典子先生

最近、高性能ビデオキャプチャーボードが比較的安価になった。これを使うと、ビデオ映像を30(コマ/s)でコマ落ち無く取り込むことができるので、ビデオカメラを学生実験に使用しやすくなった。学生は運動中の物体を撮影し、その映像をパソコンに取り込み、その運動をパソコンの画面上で1コマ毎に解析することができる。そのため従来肉眼で実測困難であった測定が可能になる。また、直接測定ではつまらない実験も、ビデオカメラやパソコンを使うことで、興味を持って取り組むようにに向けることができる。

ここでは、ばねに付けた力学台車の減衰振動の測定例を報告する。力学台車の左右にバネが付けられ、バネは少し引き延ばされた状態で固定されている。力学台車と平行に置かれた物差が同時にディジタルカメラで撮影される。力学台車の位置の読み取りは、周期毎の最大変位だけをパソコンの画面上で読み取る。これで減衰曲線が求められる。力学台車が受ける摩擦力の性質によって振幅対時間曲線(減衰曲線)の形がきまる。

1. 力学台車が粘性力を受ける場合: 減衰曲線は指數関数になる。
2. 力学台車が一定の動摩擦力を受ける場合: 減衰曲線は直線になる。いくつかの力学台車についての測定結果を報告する。

北海道大学科学教育研究グループ 加藤誠也・中島利夫先生の「学生実験の新しい試み」—新しい授業(基礎科学)の開発の原著講演の内容は次の通り。

我々は本学学生の、科学の基礎力の向上をはかつて授業の改善に取り組み、そのための作業を進めている。学生の現状・実態を分析・検討した結果、新しい形態の授業を作ることにした。

その要旨は、基礎理論およびそれに伴う現象を理解応用できるための応用数学の修得、これらを実証できる実験、およびコンピュータによる実験データの処理と解析の3分野を、融合一体化して総合的に展開するカリキュラムを構築しようとするものである。数学の準備に始まるテキストの概要については、日本物理教育学会誌VOL48, No5 2000を参照されたい。今回の発表は、その後開発された実験に関する追加分である。

脱稿したものを入手したいとの要望を耳にしているが、展開に関して、学生からの感想や意見も参考にしていることもあり、編集完了までまだ多少の時間を要するものと考えている。



加藤誠也 先生

以上が「クリスマスレクチャー・衛星通信による中学高校生の研究交流会および原著講演」の概要であるが大変充実した1日であった。

拡大編集委員会からの話題



- ① 自己責任の原則：観察、実験などを行う前に、子供が自らの見通しをもつことにより、観察、実験の結果に対してもより自己責任の自覚をもつようになる。このことにより、観察、実験を中心とした問題解決の活動が子供中心の主体的なものになる。
- ② 確証・反証の原則：子供が見通しをもって観察、実験などを行うことによって、予想や仮説と観察、実験の結果の一一致、不一致が明確になる。子供の予想や仮説と観察、実験の結果が一致した場合を確証と呼び、両者が不一致な場合を反証と呼ぶ。子供の問題解決の活動に位置付けられた観察、実験においては、確証実験だけではなく、反証実験も重要な意味をもつものである。
- ③ 科学観の転換：従来、自然の事物・現象の中に規則性や法則性があり、我々はそれを発見していくという過程が科学であると考えられてきた。今回、自然の規則性や法則性は、我々が頭の中に創っていくものであるという考え方を提出した。このように考えると、「見通し」は、その時点ですべての自然に対する考え方としてとらえることができる。そして、観察や実験は、その見通しを検討する方法ということになる。

新学習指導要領（解説）と構成主義理科教育

拡大編集委員会の場で、2002年から実施される初等教育の“新学習指導要領解説”の理科に関わる部分が話題となった。

“学習指導要領解説”で“科学観の転換”的記述があり、“科学の理論や法則は絶対的普遍的なものではなく、科学者という人間が創造したものである”旨のことが書かれている。“科学の理論は、絶対的なものではなく、相対的なもの”と受け取れる。これは自然科学を職業とする人、科学法則は客観的な形で厳然として存在するという立場の人から見るとやや驚きの念を禁じ得ないものであり、その考え方や背景、また教育現場に与える影響等が話題となつたのである。新学習指導要領に関する解説を一読すると、“科学は人（科学者）が勝手に創り出したもの”との考え方で理科教育が行われるのでは？という心配、あるいは疑問を感じる人が多いものと思われる。上記の科学観に基づく理科教育の考えは構成主義理科教育と呼ばれるが、若い人の理科離れが日本社会に深刻な影を落としている状況にあって、まだ十分に評価が定まっていない科学観が初等教育の指針となることは非に関する問題といえる。

話題の発端は、北村正直先生が応用物理学会の教育研究会（昨夏）で“科学教育の必要性”と題する講演の中で構

成主義理科教育を問題にされたことにある（要旨は“もう一つの理科ばなれ”として2月21日発行の北海道新聞に掲載されている）。また、東京支部でも特集“合理・非合理”“科学・反科学”に関わる話し合いの中で、北村先生の問題提起が話題となったそうである。

構成主義理科教育は、若い人の理科離れ対策の一環として導入された経緯があるとも聞くが、児童・生徒の自主性や創造性という面を強調するあまり、自然認識すら主觀的なものとしてしまっては、逆に子供達の心が理科（自然科学）から離れてしまう恐れがある。このような背景のもと、拡大編集委員会の場において構成主義理科教育について意見交換が行われた。意見交換は2時間近くに及んだが、以下で簡単にその一部を紹介したい。

意見交換は小学生向けの“新学習指導要領解説”的内容説明やこれまでの経緯の紹介から始められ、北村先生のご指摘は「新学習指導要領が、まるで非科学的な思想で組み立てられていることの批判であり（非科学的とは、科学というのはその人が勝手にそう思い込んでいるだけだという考え方のことを指している）、我々は人間が死のうと生きようと物理の法則は厳然として存在することを認めなくてはいけない」という主旨であるとのコメントがされた。

また「今、いろいろな大学の教育学部の理科担当者の中には、構成主義理科教育に基づく考え方を中心に据えて指導しなければならないという考え方の人が多いが、一方でこれを無視している人もいる」との現状紹介があり、「何故、自然科学を職業とする人間にはとても受け入れられないような科学観が初等教育の基本に据えられようとしているのか、その背景がよく理解できない」などの発言が続いた。この点に関して「今の科学が我々の現実感と離れてしまって、いろいろな解釈が入る余地ができてしまったためではないか」、「科学は絶対的なものでも、万能でもないという一石が投じられたとの感じがしないでもない」等の発言があった。

さらに「中学や高校の学習指導要領には、主観的で、抽象的とも言える科学観に関する記述はない」ことが指摘された。これに関連して「子供達は彼らなりの自然観をもっている。それをどのように発達させていくかという点で教育の必要性があるが、ここで話題となっている自然観は子供達のある発達段階で有効であるということなのか?」との発言があった。また「絶対的視点があるからといって、小学生の理解を超える内容は話してはいけないと言いたいのか」あるいは「小学校レベルにおける科学観の形成過程では自主性が尊重されるべきで、科学者たりとも強制あるいは誘導することさえ許されないと言いたいのか」等、新しい学習指導要領の解説に盛込まれた“科学観の転換”的意味するところが不明確との意見が出された。このあたりの問題点は、“科学観の転換”的導入が高等教育を含めた教育全体のどこに、どのように位置づけるのか?特に初等教育でのみ必要というのであればその理由や狙いが明確にされていないところにあり、「このままでは学校の現場が迷ってしまうだろう」との至極尤もな発言につきると思われる。

その後、自然科学における“構成主義”とは何か?に話題が移り、まず「アリストテレスの自然観とニュートン的自然観を例に、主観的見方と対峙させながら客観性とは何か」が議論され、意見交換が続いた。たとえば「構成主義的な考えは科学の歩んできた歴史と逆行する。科学も思想あるいは主義主張ということになってしまう」、あるいは「科学は思想でなく、人間が死のうが生きようが鐵然に存在するものと捉えないと、人によって物理もどうにでもなるとの考えがはびこる」という北村先生の主張を支持する意見などがあった。途中で「自分に都合のよい点だけを取り上げて、相対論は間違いた、アインシュタインは間違っているなどとする反科学的な本が書店にならんてしまう」との嘆きも聞かれた。

また、「科学万能の考え方に対して、文系の方々からの

抵抗が今回話題になっていることに現われているのでは?」すなわち「科学の進歩が結果として我々の生活を危険にし、環境を荒らしているとの認識である」との発言があり、その後、科学の進歩と倫理について多くの発言が続いた。たとえば「昔は小中学校の教科書には科学万能主義に警鐘を鳴らす批判文章が取り上げられていた。物理万能主義が認められていた時代だが、今は影響力は落ちたと感じる」、「最近は生命関係の進歩が著しいが、生命にまで手を出すとは畏れ多いとの恐怖感を抱く人が結構多い」といったものである。また、これらの発言を受けるかたちで「大学教育では世界的にみて、倫理学をわきまえている人を育てようとの流れがが強い」との指摘があった。「工学部系の学生に対してもそうで、工学士に対して広範な知識、例えば電気工学の学生も化学や生物工学の知識を習得させる他に、倫理学も修めさせようとしている」とのことである。「これまで先生や先輩の後ろ姿を見て考え方式の倫理教育であったが、いまはそれでは間に合わない、複雑に絡み合ったところではそれでは歯が立たなくなっている」そうである。

このような大学教育における新しい流れが紹介された後、「小中学校の先生は倫理学は必修であるが、物理は習わない先生が多数いる。そのような状況で、新しい学習指導要領(解説)ができると、それを額面通りに受け取り“その通り”、“言ってることは不思議じゃない”と考えるであろうし、バックグラウンドがない人はそう判断するのは当然」という発言に繋がったが、ある意味でここが問題の核心部分で、多くの人が心配する点であろう。

学習指導要領は10年毎にスローガンが変わるとのことで、今回は“生きる力”が全ての教科に共通するスローガンで、“自分で実感して、自分で考えを構築できるようになろう”ということであるが、その構築することを重視しそうに無理矢理に“法則が自然のなかにあるのではなく、頭の中で考えたことが法則化……”をだしてきたと推測することもできる。しかし、その背景はどのようなものであれ、初等教育に大きな影響力をもつ人達によって書かれた“学習指導要領の解説”的影響力を考慮すると、まだ評価が十分に定まっていない科学観が、学習指導要領解説の中に書かれていいものか?という点が共通の認識であった。

その後、対立した立場の人を立てて、ディベート形式をとりながら新学習指導要領の解説に記述された具体的な内容について、いろいろな角度から検討された。

(拡大編集委員会メンバー：吉田、小野寺、伊土、細川、岡崎、山田、鶴岡、石川、佐藤、横関、菅原)

北方領土・国後島のビザ無し訪問に参加して

北海道羅臼高等学校 中道洋友

1. はじめに

5月21日（月）から23日（水）までの3日間、羅臼町の町民合唱団（文化交流）の一員として国後島へのビザ無し訪問に参加した。非常に限られた時間とまらない移動手段のため、合唱団のコンサートすら時間通り始まらなかったのだが、現地の学校を訪問するなどの体験をしたので紹介する。

2. 古釜布の町



国後島へ向かう船「コーラルホワイト号」

21日早朝に根室を日本の民間チャーター船「コーラルホワイト号」で出発して5時間、国後島の行政府がある古釜布に到着した。上陸の際にはコーラルホワイト号



コーラルホワイト号絡から見た国後島。温泉が湧いているらしい。建物は軍事施設だと聞いた

からロシアのはしけ「友好の船」（日本から寄贈したもの）に乗り移るのだが、うねりがくるたび大きく船が揺れ、2隻の間が1メートル以上も急激に開くような状態で命がけの乗船だった。

古釜布の町は、私の幼い記憶にある炭坑の町によく似ていた。至る所にゴミが散らかっていたが、ロシア人の学校も家も綺麗にしてあったので行政側の問題なのだろう



一番最初にあったロシアの子どもたち

う。走っている車は全て中古の日本車なのに驚いた。スピードメーターが壊れていたり、フロントガラスにひび割れていることは全然気にしていないらしい。修理は全て自分たちで行い、部品がなくなくなるまで大切に乗っているそうだ。街へ行く途中に日本の援助でできた立派な発電所があった。もとの発電所は北海道東方沖地震で使えなくなったそうだ。町のあちこちにこの地震の爪痕があった。

3. 博物館の見学と学校訪問

博物館はアパートの地下を利用した小さなもので、自然保护担当者から説明を受けた。「動物、植物、民族、火山、歴史」の5つの部屋があり、歴史の部屋には北方



この建物の地下に博物館がある



地理の特進クラスのエリートたち

領土をソ連が占領した正当性を説明していた。

ロシアの学校は6歳からの11年制であり、同じ校舎の中で小学生から高校生に相当する年齢の生徒が学んでいる。参観した10年生の地理の授業は特進クラスで成績表を見せてもらったが、4と5ばかりだった（ロシア



博物館の日本文化の展示

でも5段階評価らしい）。「物理を得意な生徒はいますか、理工系へ進学する人はいますか」と質問するとお互いに顔を見合わせて、一人の女子生徒の名前を皆で口々に言っていたが、本人は否定していた。ロシアでも物理



6年生の数学の授業、連立方程式の授業だった

はあまり人気がないらしく、先生も「物理や数学は能力がよっぽど高くないと・・・」と話していたし、私が物理教師だというとどの生徒も驚いたような表情をしていた。

地理の先生は、環境教育にも熱心で、私も北海道で環境教育の研究団体に所属していると言うと、授業を中断し、低学年の授業で生徒が作ったポスターを10枚見せてくれた。工場から流される排水の様子を表したポスターや世界が協力しなければならないことを訴えたポス



学校の全景

ターなどがあり、日本の子どもと同じ発想だなと思った。

小学生でも日本のようにHR教室というものではなく、それぞれ「地理教室」や「数学教室」に移動して授業を受けている。廊下であった生徒たちはとても人なつっこく、元気良く挨拶をしてくれた。

4. おわりに

滞在時間が短かったのと学校訪問が主な目的でなかっただため、思うようにロシアの学校事情を知ることはできなかったが、大変良い経験だった。機会があればロシアの子どもたちに授業をしてみたいと思った。

科学の祭典帯広大会を通して

北海道鹿追高校 伊藤 新一郎

2000年10月8日(日)、第1回科学の祭典帯広大会が帯広市児童会館を会場に開催されました。ここでは、開催に至るまでの準備日程や、大会当日の様子、大会を通じて感じたことなどについて報告します。

キーワード 科学の祭典、ボランティア、体験学習

1.はじめに

2000年度の科学の祭典は、前年までの札幌・函館・室蘭・北見に帯広を加えて、全道5カ所で行われました。帯広大会は10月8日(日)に帯広市児童会館(帯広市緑ヶ丘)を会場に開催され、十勝管内をはじめ、札幌・北見など道内各地から75名のデモンストレーターが集まり、39の実験ブースを展開して、午前10時から午後3時までの5時間開催されました。当日は、ハッピーマンデー法の施行に伴う三連休の中日で、管内では他にもそば祭りなど色々なイベントが行われていたり、農家の収穫期でもあることなどから、入場者が伸び悩むかと心配されましたが、開始の1時間前から早くも列をつくる子供達がいたりと、予想を上回る盛況で、のべ2,922人の来場者を記録し、大変好評でした。

2.準備日程

科学の祭典を帯広で行おうというアイデアは随分前からあったようですが、本格的な立ち上げは、前年の1999年夏、その年に立ち上げだった函館大会を下見に行ったことに始まります。その後、12月から十勝管内の高校の理科の先生に呼びかけて、実行委員会をつくり大会の準備を始めました。ここからは、項目を区切ってまとめています。

・実行委員会について 十勝管内の高校理科教諭12名で実行委員会を組織し、翌2000年の3月に、帯広三条高等学校長の中橋先生を実行委員長に第1回の実行委員会を行い、実際的な動きを始めました。開催までに5回の実行委員会を開きましたが、十勝は広いことと、校務多忙のため、なかなか多くの人が集まることができず出席率はだいたい半分ぐらいだったでしょうか。今年は、e-mailでの情報交換を中心にして、実行委員会の会議は行わないようにしています。

・デモンスト레이ターの募集について 春休みに、帯広市の小中学校の教員の所属する帯広市教育研究所の理科部会や十勝管内の小中学校の先生方の所属する十勝理

科サークル、帯広市内の小学校の理科サークル帯広理科研究会等の代表者を訪問し、協力を依頼して歩きました。併せて、北理研十勝支部総会でも協力の呼びかけをさせてもらい、高校理科教諭の参加を求めました。管内の各団体の協力もあり、6月にはほぼデモンスト레이ターが出そろい、テーマ割り、ガイドブックの原稿依頼を進めていきました。BUTURI サークル北海道のマーリングリストも使って管外の先生方にも協力を呼びかけました。また、北見大会実行委員会からは手弁当での参加の申し出があり、おおいに助かりました。

・宣伝について 十勝管内の小中学校には各校1枚のポスターを掲示してもらうように各町村の教育委員会を通じて依頼しました。しかし、妻の勤める中学校では掲示していないようだとのことでした。また貼られていたとしても、学校に1枚のポスターなどほとんど宣伝効果がないように思います。事前の様子からも、科学の祭典について、ほとんど小中学生に知られていないようだったので、これはまずいと思い、急速色上質紙(ふつうのコピー用紙に色がついたもの)を買ってきて、日曜日に学校の印刷機で20,000枚のチラシを印刷し、年休をとって帯広市内の小中学を訪ね、生徒への配布を頼んで歩きました。また、地元紙の十勝毎日新聞と北海道新聞に宣伝記事を書いてもらいました。

3.大会当日

10月8日(日)は三連休の中日であり、当日は他に色々なイベントが開催されていたことや、農家の収穫期に当たることなどから来場者の伸び悩みが心配されましたが、開場の1時間前ぐらいいから小学生が訪れ、清水町からは子供会がバス2台で到着し、会場の児童会館前に開場前から長い列ができはじめました(写真1)。



写真1　開場前から児童会館の玄関前には小学生の列がずらーっと長くできました。

午前10時の開場からあっという間に、200名を越す小学生が会場に流れ込み、どのブースにも列ができるて大変なにぎわいとなりました。当初、1日で350人ぐらいの来場者しか見込んでいなかったので、受付には2人しかおらず、対応にてんやわんやでした。

児童会館の発表では当日の入場者はのべ2,922人とのことでした。



写真2　「空き缶つぶし」のブースにて

・参加ブースのタイトル

モアレで遊ぼう 音の分離膜&結晶の成長
止まる!一円玉 光の三原色空き 缶つぶし（写真2）
浮沈子を作ろう 液体窒素で遊ぼう！ 電圧ポン
パンデグラフで静電気実験 電池を作ってみよう
色のついた炎 まじかる☆ターンテーブル
葉脈のしおりづくりと葉っぱのメッキ
太陽光によるソーラーカーの組立走行実験
化石の重ね合せ四次元アートブリカ
手作りホバークラフト（写真3）
古代の火起こしを体験しよう 光通信を体験しよう

ふしきなつぶつを作つてみよう！ 不思議な円形流体
ソーラーパッタしゅっぱーつ 不思議な偏光板
アルコール燃料ペットボトルロケット 手作り乾電池
ペットボトルで手作りバターの製造実験 電気パン作り
ペットボトルでつくる肺の模型 マイクを作ろう
糸を吹き出すストロー鉄砲 凹面鏡の光線銃
池の中から魚が見ている景色 恐怖の大剣山
ファラデーのかご 活性炭の不思議 ラトルバック
レーウェンフックの顕微鏡 音を知ろう&どう見る君2
ふわふわ空飛ぶ電気クラゲ ゼネコンであそぼう
以上、39ブース。



写真3　「手作りホバークラフト」に乗る順番を待つ子供達。

4. おわりに

「理科嫌い」、「理科離れ」という言葉が多く語られていますが、会場に来た子供達からはそんな言葉はうそのように感じられました。

今、私は、この春採用になった小学校の先生方に今年の祭典に参加してもらえないか、声を掛けています。帯広市内で採用になった先生で理科が専門の方は一人もいないようですが、結構興味をもってもらいます。科学の祭典で行っている実験はネタさえわかってしまえば、誰にでもできると思います。私は、理科を専門としない先生が多く科学の祭典に参加してくれ、大会を楽しんでくれるようになったとき、このイベントがもっと一般に知られ、「理科嫌い」、「理科離れ」という言葉がなくなっていくように思います。

「紙コップによる人の声に反応する簡易音分離共鳴装置」の作成と分析

札幌南陵高校 菅原 陽

紙コップで作る「片持はり」の共鳴振動の実験装置を作製し性能分析を試みた。学習教材として、物理の音の合成と分離の実験、あるいはフーリエ変換を瞬時に実行する聴覚器官である蝸牛のモデル実験器として有用である。また、この装置は簡単に作成でき、実際の人間の声に反応し、声の周波数に応じた反応を目で確かめることができる。スピーカーでの振動増幅とsinカーブの発信器による振動子の共鳴振動数の測定分析も行った。

キーワード： 共鳴 振動数 周波数分離 フーリエ変換 聽覚 蝸牛管 基底膜 “共鳴” 脱

1 音を分離する装置について

「アイウエオ」などの母音は、基本の振動数の倍音・2倍音・3倍音・・・のそれがある強さの割合で発した音波の重ね合わせである。人の声を周波数成分で分離してとらえるには、コンピュータでフーリエ変換するとグラフ化できる。人間の聴覚器官は蝸牛器官で周波数毎の音圧強度の分離を行っている。今回作成する装置は実際に音の成分の振動を目で確かめることができる。また、プラスチックファイバーと画鋲とストロー及び紙コップで作成でき、生徒一人一人に作成させができる。マイクとアンプ・スピーカー（ラジカセ）を利用すれば音分離のダイナミックな振動も目にすることができる。

2 聽覚の理解に関する歴史的経緯

人が耳で音を認識することは、昔からだいたいわかつっていた。記述された最初の本は、1566年オランダのボルヘル・コイテルである。しかし、ここでは蝸牛までの音波の経路をたどっているだけであり、聴覚とは全く別のものであった。

音の高低をどうやって聞き分けるかを説明したのは1605年スイスの解剖学者であるガスパール・ボアンであるが、内耳の構造をよく知らなかつたため、耳の中のいろいろな空間で共鳴する音を受け取ると述べている。1683年にはフランスのジョセフ・ギシャール・デュ・ベルネは「聴覚器官論」で蝸牛の螺旋構造が次第にせまくなっていることから選択共鳴理論をつくりあげた。それによると、螺旋版を鋼のスプリングにたとえていて、螺旋の広い部分で低い音を、せまい部分で高い音をとらえているとしている。その後、顕微鏡の発明の後、1851年アルフォンソ・コルチは基底膜上の有毛細胞を見いたし、眞の聴覚器官を発見したのである。

しかし、聴覚の仕組みを結論づけたのは1862年ヘル

マン・ルートヴィヒ・フェルディナント・フォン・ヘルムホルツである。ヘルムホルツは「耳に入ってくるそれぞれの音波は、その振動数に応じたある決まった基底膜上の繊維に振動を引き起こし、コルチ器官がその振動を聴覚経に伝える」というものである。このような経緯を経て、現在の理論である「基底膜“共鳴”説」の創始者はゲオルク・フォン・ベケシーである。これにより彼は1961年ノーベル賞を受賞している。彼は通信技師であり物理学者であるが、聴覚の秘密を解明しようと決意あらゆるほ乳類の耳を詳細に調べた。そして、人間の蝸牛の中にアルミニウムと石炭の粉を混ぜた食塩水を入れ顕微鏡で観察したのである。

現代の技術によって、さらに詳細に聴覚についての理解が進んだ。例えば、図の内有毛細胞は内心性神経細胞つまりおおい膜の刺激を中枢に伝える神経細胞である。その隣りに3つ並んでいる外有毛細胞は中枢からの情報を受け取る外心性神経であり、刺激により細胞が収縮し基底膜を少し変形することが判明している。その時の反応時間は20kHzにも対応している。このことは人は自ら基底膜を変形し音を受信する音域や感度を変化させることができることを予想させる。「耳をますます」「聞き耳を立てる」ことができるるのはこのためかもしれない。

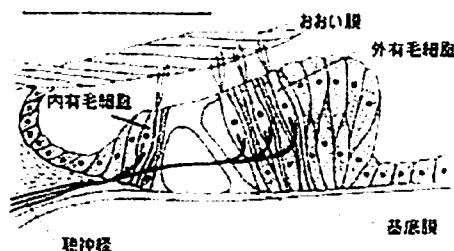


図1 コルチ器官

3 作成した装置の意義

聴覚についての一般的知識は次のようにある。

- ① 蝸牛の構造とコルチ器官については生物で学習し、音の合成と分離、たとえば人の声は基本振動が重なり合ったものであることは、高校の物理で学習する。
- ② 耳の構造と音の性質からトータルに聴覚を説明がなされているものはあまり見あたらない。ペケシーの「基底膜共鳴説」のような液体の中で膜の振動について理解することはかなり難しく、そのため生物や物理を履修した人も正確な知識を持つ人は少ない。

4 この装置の有用性

- ① 現在の高校で物理と生物を両方履修する生徒は少ない。よって、両分野の知識がいる聴覚の理解について興味を持つ機会も少ない中で、この装置はトータルな理解のための実験として利用できる。
- ② 割り箸やストローと画鉛でも作成が可能で容易であり、短時間の生徒の作成実験も可能である。

5 装置の説明と性能

写真1は作成したいいくつかの装置である。写真2は共鳴振動する針金部分を拡大したものである。

写真2は生徒の声を紙コップ(プラスチック)にいれた。声は「イー」の声である。針金が振動している。よく見ると2カ所が振動しているのがわかる。

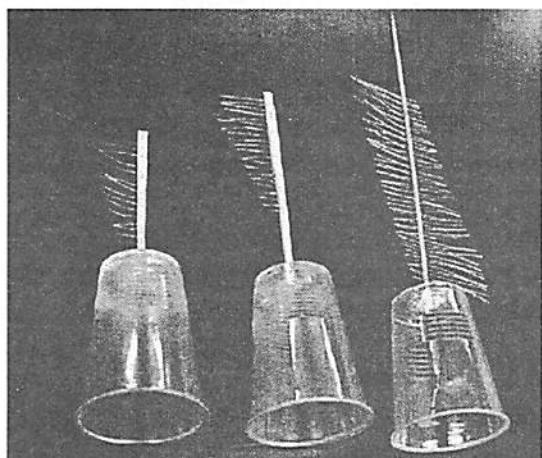


写真1 作製した装置

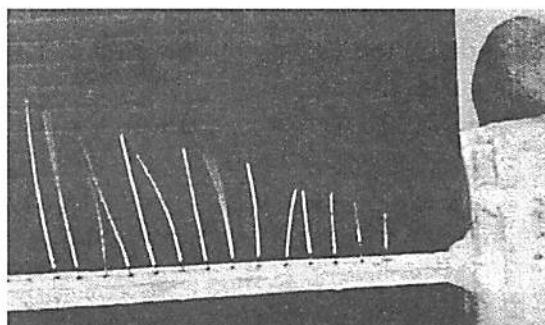


写真2 振動共鳴する様子

写真2の装置に発信器からの信号を増幅して与え、各振動子が共鳴する振動を周波数カウンタで測定し、針金の1本1本が何ヘルツに反応するかを調べた。

次のデータを得た。

1本目	086Hz
2本目	<u>182Hz</u>
3本目	186Hz
4本目	236Hz
5本目	248Hz
6本目	258Hz
7本目	315Hz
8本目	<u>362Hz</u>
9本目	408Hz

186 Hz の倍音は 372Hz であるが、振動子の感度は 86Hz では 2Hz 程度前後にずれても共振動が見える。186Hz では 5Hz 程度、362Hz では 10Hz すれども共鳴している。さて「イー」の声をコンピュータに取り入れて、フーリエ解析を行ない比較したところ、2本目と8本目が倍音であることがわかる。振幅

表1 強度も強く出ている。実際の音の共鳴でも、声が分離されて振動するのが見える。それらの針金が分離共鳴していると理解できる。

倍音	振動数	振幅	位相
1	183	4603	192
2	366	3116	239
3	549	510	5
4	732	276	74
5	915	111	240
6	1098	101	349
7	1281	51	74
8	1464	40	284
9	1647	102	356
10	1830	54	47

写真3 フーリエ変換の結果の写真

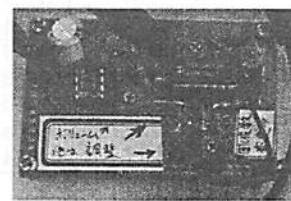


写真4 男子生徒の声の周波数の強度分析のグラフ

紙コップによる人の声に反応する簡易音分離共鳴装置の作成と分析

6 理論と実験値の分析

装置の理論と回帰分析に関しては物理や工学の「振動論」中に式(1)がある。

片持ち針の長さ λ と振動数 f の関係は

$$\omega = 2\pi f = (\lambda / \sqrt{EI/\mu}) \sqrt{EI/\mu} \quad \text{式(1)}$$

但し f 周波数 E やケ率 I 断面積 μ 線密度 λ 長入は振動モードにより 1.875 4.694 7.855 10.996 ..

式変形して

$$\begin{aligned} \lambda^2 &= (\lambda / \sqrt{EI/\mu}) / (2\pi f) \\ &= (\lambda / \sqrt{EI/\mu}) / (2\pi) / f \end{aligned} \quad \text{式(2)}$$

() 内はすべて定数だから

$$k^2 = (\lambda / \sqrt{EI/\mu}) / (2\pi) \quad \text{式(3)}$$

と比例定数 k をおくと

$$\lambda = k / \sqrt{f} \quad \text{式(4)}$$

k は E , I , μ , π からなる比例定数なので、振動子の長さ λ は周波数 f の逆数のルートに比例する。

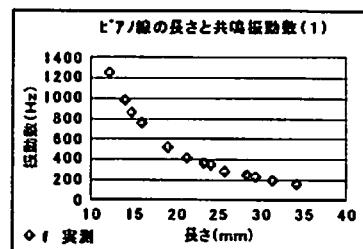
次に、振動子の長さ λ と共に鳴周波数の測定を行った。また、そのデータを表計算ソフトで処理した。表2に実測のデータと回帰分析およびグラフを示す。

この時、ピアノ線は $\phi=0.3mm$ を使用した。

振動子Hz		振動子@SQRT(1/f)	
mm	f	mm	$m = \sqrt{1/f}$
34.20	165	34.20	0.07785
31.35	195	31.35	0.07161
29.35	237	29.35	0.06496
28.35	241	28.35	0.06442
25.85	275	25.85	0.06030
24.15	343	24.15	0.05399
23.30	376	23.30	0.05164
21.30	425	21.30	0.04851
19.10	515	19.10	0.04407
16.20	765	16.20	0.03616
15.00	860	15.00	0.03410
14.15	985	14.15	0.03186
12.25	1263	12.25	0.02814

表2 測定結果 表3 振動数の逆数平方

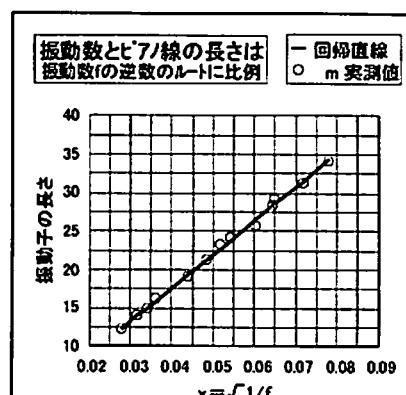
表1をプロットすると、グラフ1のようにピアノ線の長さが長くなると共鳴振動数はきれいに減衰する。



グラフ1 (表2をグラフ化したもの)

縦軸を変えず、横軸に $1/\sqrt{f}$ をとるとグラフ2のように実測値はほぼ直線にプロットされる。

回帰直線は表3の回帰分析から、X係数 $k=439.9$ が傾きとなり、式(4)から計算する。この計算により、振動数に応じたピアノ線の長さを算出できる。



グラフ2 (表3をグラフ化したもの)

下表は表計算のソフトを使用し、振動数と振動数の長さの回帰分析をしたものである。

回帰分析の結果:		
Y切片	0.07289005	
Y軸回帰の標準誤差	0.30844399	
R2値	0.89700117	
標本数		13
自由度		11
X偏移	439.766547	0.00226722
X標準の標準誤差	7.16204040	0.00003662
回帰分析の結果:		

表3 回帰分析の結果

実験に使用したピアノ線は JIS3522 を使用した。また、この実験では基本振動のモードで測定したので、モード定数は $\lambda=1.875$ となる。(式(1)より)

その他の実験における測定値のパラメータを以下に示す。線密度 $\mu=0.486g/79mm$ (定規と化学天秤で測定) 断面積 $I=\pi r^2$ (ピアノ線半径 $r=\phi/2=0.00015 m$)

比例定数 $k=439.8$ (上記の表3の回帰分析より)

尚、鉄(鋼)のヤング率は $I=20.1 \sim 21.6 \times 10^{10}$ (理科年表 1996) となっている。

7 音分離装置の製作

(式1)で振動数を $100 \sim 400\text{Hz}$ を 10Hz ごと計算し、割り箸にドリルで穴を空け、直径 0.3mm のピアノ線を 5ミリビッチ で並べて、瞬間接着剤で固定した。こうしてできたものが「音分離共鳴器」で、紙コップにさして声を入れると写真2と同様に振動数に応じて共鳴する。



写真6 100～400Hz(10Hzピッチ) 振動子
「ウー」の声に2カ所で共鳴している

「分離共鳴器」と紙コップ

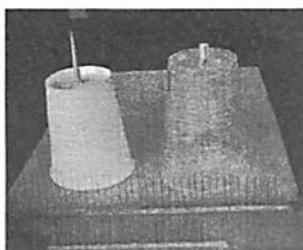


写真7 上 ピアノ線の分離共鳴装置

下 試験管プラス繊維の分離共鳴装置

参考文献

- 「工学基礎」振動論 近藤恭平 著 p132
- 耳鼻咽喉科領域の臨床 10 中山書店
- ライフ全集 (1990) 科学と人間 「感觉」

参考資料



写真8 解析測定装置の全体の写真

(真ん中のデジタルマルチメーターは周波数カウンタとして使用。スピーカの上の電子基板は発信器である。)

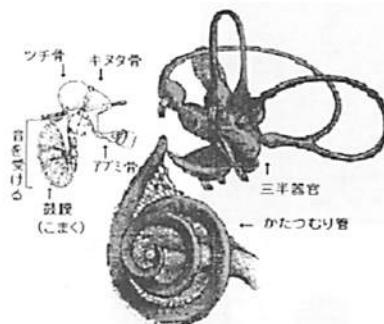
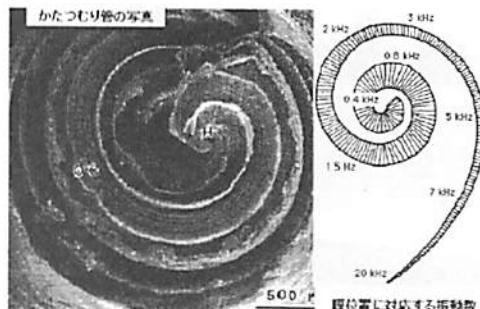


写真9 蝸牛管および耳小骨の写真と図

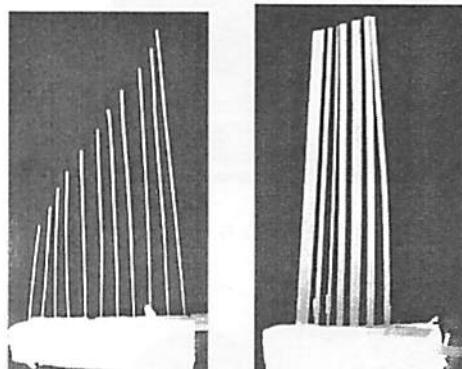


写真10 長さの異なる棒 写真11 材質が異なる板

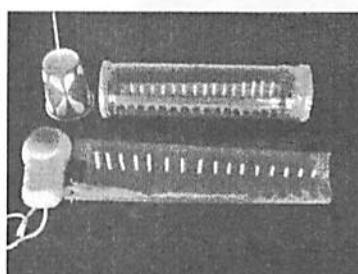


写真12 膜上のストローによる振動分離装置

紙コップによる人の声に反応する簡易音分離共鳴装置」の作成と分析

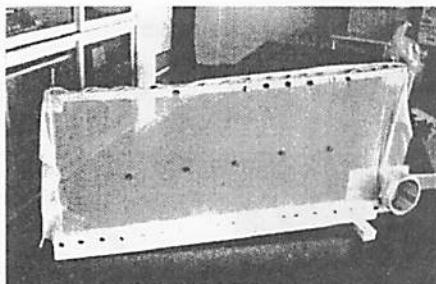


写真13 膜振動の共鳴を見る装置

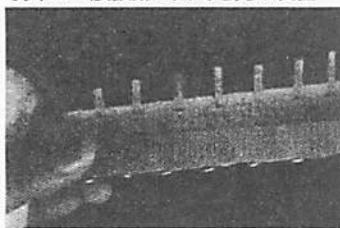


写真14 振動を与えるとストローが共振する様子



写真15 一緒に測定した生徒たち



写真16 測定実験の様子

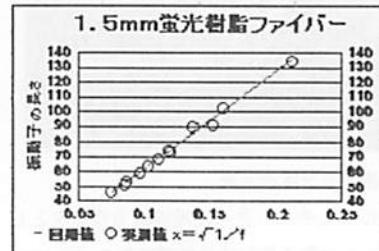
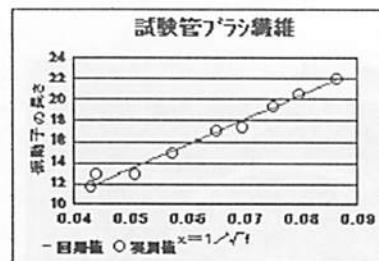
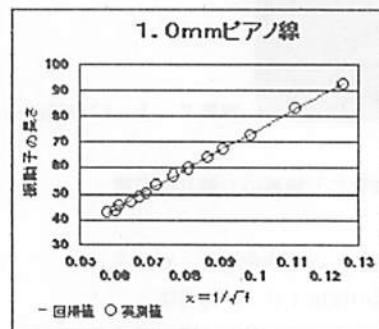
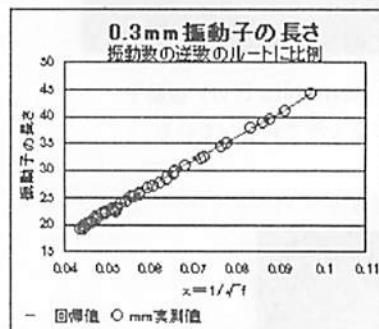
左 写真18



北海道理科教育センター（大久保氏）の計測ソフトの、サンプリングレートを決める設定画面



写真17 音声波形 (コンピュータ画面)
様々な素材での測定グラフ



「紙コップによる人の声に反応する簡易音分離共鳴装置」の作成

年組名前

目的 聴覚に関してわかりやすく実験できる装置を作製し、性能分析を試みる。物理の音の共鳴共振および合成と分離の実験、生物の聴覚器官（蝸牛管）のモデル実験器である。この装置で、実際の人間の声に反応させ、声の周波数に応じた反応を目で確かめる。

キーワード： 共鳴 振動数 聴覚 蝸牛管 周波数分離 フーリエ変換 基底膜“共鳴”説

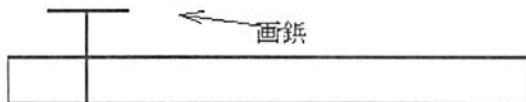
1 作成方法

ア 必要な物

- 教師 ① sine カーブの発信器 ②カセットデッキ
 ③ 強制振動のための共鳴スピーカ
 生徒 ① 画鋲 1個 ② ストロー細太の 2種類
 ③ プラスチック製光ファイバー 1本
 ④ 紙コップ 1個
 ⑤ セロテープ ⑥ ガムテープ（教卓に 1つ）

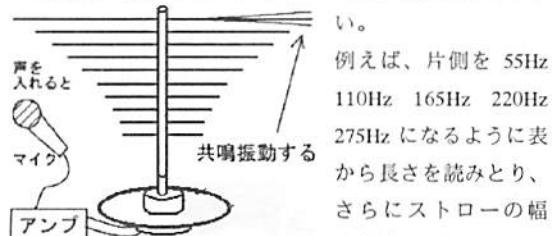
イ 共鳴振動子の作成の方法

ストローに 1cm 每 5 カ所に画鋲で穴を開ける。



表を見てどの周波数に反応させるかを決めて

周波数に合わせてファイバーの長さを計算して下さい。



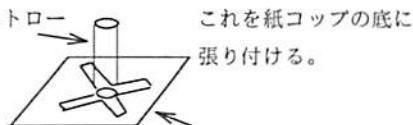
例えば、片側を 55Hz
 110Hz 165Hz 220Hz
 275Hz になるように表
 から長さを読みとり、
 さらにストローの幅
 と左右の長さの和を

計算しておきます。ストローの穴のバリを平にするために指で両側から押さえてつぶしながら揉みます。その後ファイバーを長さに合わせて切り、上の図のように固定します。

ウ 振動受信の土台付紙コップの作成の方法

ガムテープの中心に太い方のストローが刺さるようにハサミで十字に切り込みを入れる。

ストローも 3 cm ぐらいにカットし 1.5 cm の切り込みを入れる。ついで、紙コップの底にストローを十字に開いてガムテープで固定する。次図参照



エ 実験の方法

土台つきの紙コップに、作成した分離共鳴器を固定するにために、2 cm ほどの中細のストローを切ってアダプターをつくります。アダプターの太さが合わないときはセロテープを巻いて、やや太くしてつなげます。

紙コップに共鳴器を固定したら、大きな声で低い音から紙コップに音を入れます。一本一本のファイバーはその長さに応じて特定の振動数にのみ共鳴しますから、母音の「アイウエオ」が同時に 2 本以上を振動させたら、音は分離されたことが確認されることになります。

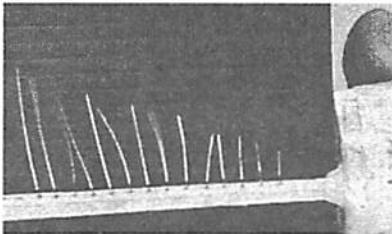


写真 2 振動共鳴する様子

写真 2 の装置に発信器からの信号を增幅して与え、各振動子が共鳴する振動を周波数カウンタで測定し、針金の 1 本 1 本が何

ヘルツに反応するか調べ、次のデータをとる。

	長さ (mm)	周波数 (Hz)f	$1/f$
1 本目			
2 本目			
3 本目			
4 本目			
5 本目			
6 本目			
7 本目			
8 本目			
9 本目			
10 本目			

これをグラフにしてみよう

「電流がつくる磁界」生徒実験による実践報告

北海道札幌藻岩高等学校 西川 浩司

この実験は、ソレノイドを作製し、その巻き数と流れる電流を測定させ、その内部にできる磁界の強さを計算させること、そして、作製したソレノイドを使い捨てカメラのストロボ基板を利用し、コンデンサーに蓄えられた電気エネルギーを、力学的エネルギーに変換させること。また、電源を乾電池とコンデンサーにした場合、ソレノイドにどのような現象の違いが起こるか、確認・検証させることを目的とした。

キーワード ソレノイド コンデンサー 電磁砲

1 はじめに

本校では物理ⅠB（4単位）は、2年3クラスで選択、物理Ⅱ（3単位）は、3年3クラス同じく選択で授業展開されている。

物理の生徒実験・実習は、2年生では年間12回程、3年生では4回程度行っている。今回は3年生の「電気と磁気」の分野の「電流がつくる磁界」の単元で2時間にわたって行った実験について紹介する。

写真1は生徒が作成したソレノイドである。

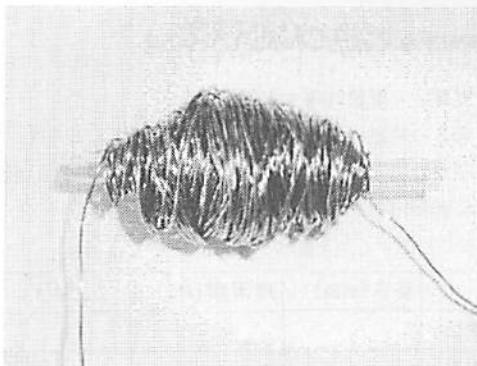


写真1 生徒が作成したソレノイド

$\phi 8$ （外径）のガラス管に $\phi 0.8$ のエナメル線を300回密に巻いたものである。これを後で電磁砲として再利用した。

2. ソレノイドの作製と磁界の強さの測定

（1時間目）

外径 $\phi 8$ のガラス管、80[mm]程の長さで切断し、切断面の両面をガスバーナーで滑らかにする。これに $\phi 0.8$ のエナメル線を200回ほど巻き（班によっては200～500回のところもあった）、巻いた長さをノ

ギスで測定し、単位長さあたりの導線の巻き数n[回/m]を求め、乾電池2個接続した時の電流からソレノイドの内部にできる磁界の強さを計算させた。

理論式は、

$$H = n I$$

(H: 磁界の強さ[A/m])

次に、 $\phi 8$ の鉄片、 $\phi 8$ のアルミ棒に50回エナメル線を巻き、方位磁石・釘を利用し、それぞれの電磁石の磁界の強さの違いを目と手で確認させ、FeとAlの透磁率を理科年表の基礎データを使用し、他の物質を含めた透磁率から物質により磁界の強さの違いを確認させた。

また、後の単元で行うコイルの入った回路計算で説明するときのために、ソレノイドに電流が流れているときの電圧降下も測定させておいた。エナメル線は電気抵抗の小さい銅線だが、ソレノイドにすると電圧降下があることに驚く生徒は当然いた。



写真2 回路の接続

ソレノイドに電流計・電圧計・スイッチ・電池を接続している様子

電流計・電圧計の接続は物理 I Bで学習し、「電池の起電力の測定」で実験はしていたが、回路の接続は理屈がきちんと理解しているつもりでも、当時と同じく、実際の接続はかなりとまどっていた。写真 2 にその様子を示す。

3. 電磁砲

コンデンサーは回路の中では、電源コンデンサーやスピードアップコンデンサーなど様々な用途として利用されているが、高校で学習するコンデンサーは、主に蓄電池（電荷を蓄えるもの）として取り扱う。

電源として、乾電池とコンデンサーを使用した場合、ソレノイドにはどのような現象が起こり、また、違いがあるのかを確認させ、エネルギーの変換（電気エネルギーから力学的エネルギー）を確認させたかった。ここではコイルの自己誘導ではなく、一瞬しか流れない電流を利用して、釘がガラス管の内部に引き込まれ、直ぐに電流は流れなくなることにより、吸い込まれた後、慣性により反対側から釘が飛び出してくれる。

これは、札幌琴似工業高校・情報技術科の石村光政先生により考案され、電磁砲と名付けられた。

このときのコンデンサーは耐電圧の大きなもの（300～500[V]）がよく、コンデンサーを充電するための電源装置は本校には、直流100[V]を超えるものは1台しかなく、班の数の分はないので、ここでは使い捨てカメラのストロボ基板を利用した。この基板は、1.5[V]の電圧を330[V]程に変圧させる回路である。

ストロボを発光させるためのコンデンサーは耐電圧が約300[V]の為、電磁砲に利用できる。このコンデンサーを十分に充電すると、釘は20[cm]程離した1枚の紙は貫通する威力がある。

4. コンデンサーの放電実験（2時間目）

まず初めに、ストロボ基板を使用できるようにするために、各班ごとに使い捨てカメラを分解し基板を取り出し、この基板に電池を再度接続して、コンデンサーを充電してからストロボが発光できるようにさせた。

このことから、コンデンサーの電気エネルギーが光エネルギーに変換されることを確認した。（写真 3）

使い捨てカメラは開封厳禁が表示されており、危険防止のため、実際にコンデンサーをラジオベンチでショートさせるのを見せて、何が危険か確認させ、電池をはずしてから、コンデンサーを見つけショートさせてから分解させた。



写真3 使い捨てカメラの分解

ストロボを発光することができたら、この基板のコンデンサーに、前回の実験で作製したガラス管に巻いたソレノイドを接続し、電磁砲を作製させた。（写真4・5）



写真4 電磁砲の作製



写真5 電磁砲を紙に向けて発射

電磁砲の電源を乾電池にすると、釘がただソレノイド内部に吸い込まれるだけだが、コンデンサーにすると、

釘が発射される。写真5は的に釘が刺さり、彼らが思った以上電磁砲の威力があることに驚いていた。

5. 生徒の実験感想

・ ただエナメル線を巻くだけで、電磁石になることが不思議で面白かった。鉄とアルミニウムでは全然磁力が違っていた。コイルは巻き数を増やすだけで、磁力が強くなった。カメラの分解は自分で一度やったことがあり、そのときに感電しているので別に怖くもなかった。

・ 使い捨てカメラの中は今まで見たことがなかったので、内部の構造が何となくわからました。最初コンデンサーをショートさせた時、すごい音と火花が出たのでコンデンサーにはものすごい量の電気が蓄えられているんだなあと思いました。ガラス管にエナメル線を巻いての実験は中学でもやったことがありましたか、コンデンサーを使いつとクギが飛び出していくのは驚きました。

・ エナメル線をヤスリで削るのを忘れていて電流が流れなくてあせった。電池が弱いせいかアルミニウムを入れたときにクギが反応しなかった。物質によって、磁界の強さが変わり、また、目には見えない力なので興味を持てた。

・ コンデンサーによって釘をとばす実験によって、エナメル線の巻き数による磁界の強さの違いや、磁界の方向などがわかりやすく知ることができた。それでもコンデンサーで一瞬感電したときはマジで痛かったです。

・ ガラスを熱してスペスペになったのはうれしかった。コイルは急いで巻くと、きれいに巻けません。コンデンサーを使って一瞬電流を流し磁界を作りクギを飛ばす。電気エネルギーを運動エネルギーに変えるっていうのはこのことなんだなと感動しました。後、カメラのフラッシュの構造も分解して詳しく知りました。

・ 釘が飛ぶのは面白かった。巻き数が多くてもコイルの長さが長いとうまく飛ばなかった。電流と磁界の関係についてよくわかった。コンデンサーはあんなに小さくてもかなりの電荷を蓄えることができてすごいと思った。

・ コイルをきれいに巻いたのと、適当に巻いたのではどれくらい違いがあるのかと疑問に思った。自分でソレノイドを作れたのはとてもよい経験をした。カメラの分解はかなりの馬鹿力でほとんど壊した。でも、フラッシュについてうれしかった。

・ あまりはつきりと磁界ができたと確認できなかつた。たぶんコイルを一部に集中して巻くんじゃなくて広く巻いたせいだと思う。

・ 今回の実験は電磁気だったけど、僕は電磁気が苦手なのであまり、班の役に立てなかつた。でも前から使い捨てカメラは感電するので分解できないことを知っていたけど、今回の実験で分解できるようになった。

6.まとめ

ソレノイドを作る実験（電磁石）は小学生・第6学年「電流の働き」の単元の中で学習しており、中学生・第2学年「電流の働きと電子の流れ」の単元で学習している。

物理I Bの静電のコンデンサー、動電の回路、物理IIの電流が作る磁界、今まで学習してきたことを総合的に考え、実際に回路を作り、理論を検証し、さらに想像力を膨らませる。エナメル線を密に巻くということはどの様なことなのか、イメージしながら作製できていたようだ。

ガラス管をカットし、両側をガスバーナで熱して滑らかにさせる作業は、初めての経験でやけどに注意しながら楽しんでいたようだ。

使い捨てカメラを解することと、その後、また、電池を接続してストロボをフラッシュさせるのに時間がかかった。自分らで工夫し、周りの班と相談しながら自分たちでできたことに満足していたようだ。しかし、残念ながら、このため、ここで電磁砲の電源として、乾電池とコンデンサーの違いをゆっくりと検証時間が欲しかった。その中で、電磁砲の威力を増すにはどうするかと、コンデンサーを並列・直列に接続して確かめる班が多くあった。



写真6 コンデンサーを直列につなぎ電磁砲の威力を増そうとしている

(写真 6)

この実験で危険なのは、カラス管によるけががとやけど、
ストロボ基板での感電、電磁砲による釘の飛び出しによ
るものと考えられたが、ストロボ基板での感電が各クラ
ス 2・3 件あった。

最後に、毎年、生徒実験のために使い捨てカメラを提
供していただいているBOM川沿店には、大変感謝いた
します。

7. 参考文献

- 1) 藤岡由夫・朝永振一郎監修、池本義夫編：三訂増補
物理実験事典：講談社
- 2) 講談社出版研究所：SOPHIA 21：講談社

人工雪発生装置をもちいた授業の実践

札幌市立札苗北中学校 降矢 信

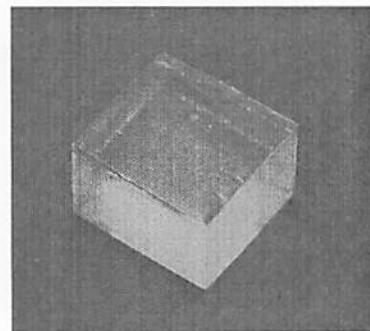
平松式ペットボトル人工雪発生装置をもちいて、人工雪を作る実験を中心とし、中学校理科の授業を行った。雪の結晶についての基礎的な知識を、興味、関心を持って学ぶことができる授業をめざしたが、生徒は意欲的に学習に取り組み、雪の結晶についての基礎的な知識をおおむね習得することができた。

キーワード： 人工雪、実験、中学理科、雪の結晶

1. はじめに

北海道のこどもたちにとって、雪はたいへん身近な存在であるが、雪の結晶についての知識は、中学校の理科の授業では扱わないということもあり、驚くほど少ない。

そこで、平松式人工雪発生装置を用いた人工雪を作る授業を通して、雪の結晶についての基礎的な知識を学ぶ授業を、中学3年生、2クラス6名に対して行ってみた。



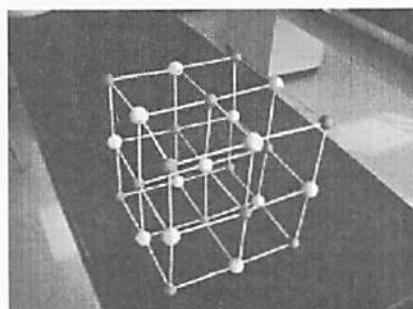
2. 指導の流れ

雪の結晶ができていくメカニズムについて、予想を立て、人工雪を作る実験を通して確かめていくという授業の進め方では、中学生の知識の量、観察する力、推論する力などから推し量ると、きちんとした学習が成立しにくいと考えられる。

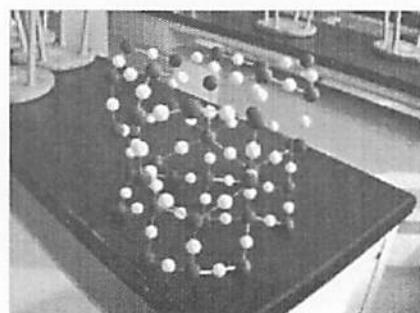
そこで、実際の学術研究を模した問題解決型の指導の流れはとらず、説明を主とする授業形態をとり、雪の結晶についての基礎的な知識を習得することができたか、興味、関心を持って実験に取り組むことができたかという点について評価を行うことにした。

- (1) 事前アンケートを行い、雪の結晶についての基礎的な知識などについて調査をする。
- (2) 6種類の代表的な雪の結晶の写真を提示し、雪の結晶に共通する6回対称性について気づかせ、学習への動機づけを行う。
- (3) 人工雪の作る実験の手順、注意点について説明する。
- (4) 人工雪を作る実験を行い、結果、感想などをワークシートに記入させる。
- (5) 雪の結晶の6回対称性の原因について学習する前段階として、すでに知識のある食塩の結晶の写真と、食塩の立体分子モデルを併せて提示し、その形の共通性について気づかせる。
- (6) 氷の立体分子モデルを提示し、正六角形の基本構造に気づかせ、雪の結晶の形との関係を把握させる。

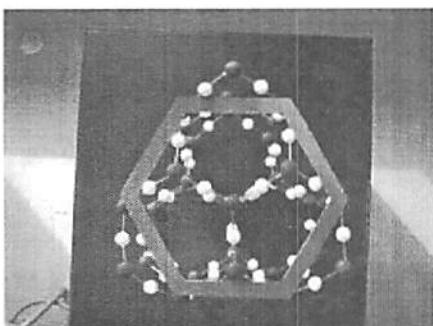
塩化ナトリウムの結晶



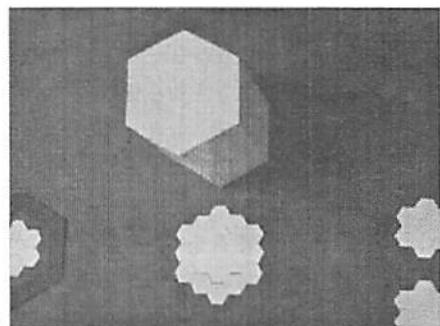
塩化ナトリウムの分子モデル



氷の分子モデル



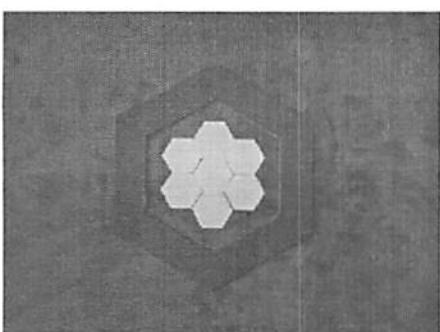
分子
正六角形



子モデルに
六角柱のモデル

おける

- (7) 氷の結晶を模した正六角形のマグネットシートを並べ、氷の結晶が平らに成長すると、6回対称性を持つ雪の結晶のような形ができるることを確認し、併せて氷の分子と、雪の結晶とのスケールの違いをおまかに把握させる。

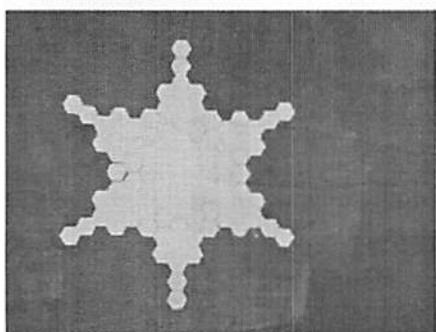


正六角形の組み合わせによる6回対称性

- (9) 人工雪の写真を提示し、上部の Needle、下部の Dendrite に気づかせ、なぜ2種類の結晶ができたのかについて考えさせる。



人工雪の結晶



正六角形の組み合わせによる平面モデル

- (8) 六角柱の雪の結晶は、結晶が上下方向に成長することによりできることを六角柱の模型を提示し理解させる。

- (10) 中谷ダイヤグラムを提示し、水蒸気の過飽和（過冷却）状態により氷の結晶ができること、温度によりできる結晶の形が違うことを理解させる。

- (11) 温度により結晶の形に違いができるのは、温度により氷の結晶の表面の性質が異なるためであるということを説明する。

- (12) 人工雪の写真を提示し、下方の結晶は -15°C 付近でできた六花状結晶で、上方の結晶は -5°C 付近でできた針状結晶であることを説明する。

- (13) 人工雪の写真を提示し、雪の結晶ができるためには釣り糸のような、中心となる凝結核が必要であることを知らせ、自然界では空気中のちりが凝結核となることを説明する。

- (14) 正六角形のマグネットシートを組み合わせた雪の結晶の平面モデルを再度提示し、多数の正六角形の組み合わせで6回対称性があらわれることを再び確認した後、小さな正六角形を多数プリントしたワー

- クシートに自由に雪の結晶をデザインしてもらう。
- (15) 雪の結晶の写真を再度提示し、複雑な対称性については、まだ謎が多いことを知らせる。
- (16) 事後テストを行い、知識の定着がどの程度成立したかを調べる。

以上のような流れで、授業を進めた。

ただし、人工雪を作る実験の場合、雪の結晶ができるまでにはほぼ30分前後の時間が必要である。従って、1時限(45分)は、実験器具のセット、実験、観察結果の記録、後かたづけで完全に使い切ることになるため、実験の時間を中心とすえ、その前後に上記の流れにしたがい指導を行うという方法をとらざるを得ない。そのため、実験の前後の指導は、1時限のくぎりをきちんと利用したものとはなっていない。

3. 授業を行ってみて

(1) 事前アンケートの結果

雪の正体は何だと思うか、という問い合わせに対しては、全体の60%が水や氷であると答えたが、35%の生徒は、「水蒸気がかたまとったもの」「水が特別な凍り方をしたもの」「氷がさらに冷えたもの」など、普通の氷との違いを漠然とではあるが認識していた。

雪の結晶については、60%の生徒が実際に肉眼で見たことがあると答えている。

雪の結晶の形については絵で描いてもらったが、無解答、不定な形を描いた生徒は全体のわずか4%で、残りの96%は多角形を基本とした絵を描いた。さらにそのうちの57%は六角形を基本とする6回対称性を持つ形を描くことができた。

雪ができる条件については、全体の96%が「寒い」「低い温度」「氷点下」など、低温の状態が必要であると答え、高い温度が必要であると答えた生徒も13%いた。また、「高所」をあげた生徒は12%で、雪=悪天候=低気圧という連想から「低い気圧」を条件としてあげた生徒も13%いた。

(2) 雪の結晶と6回対称性

代表的な6種類の雪の結晶を写真により提示したが、最初の生徒のおもな反応は、「すごい」とか「きれい」であった。全体の6割の生徒が、雪の結晶を実際に見たことがあると答えているが、完全な雪の結晶をはっきりと見た経験がない生徒が多いようで、その美しさには興味を抱いたようであった。

次に代表的な6種類の雪の結晶が持つ、共通した特徴について考えさせたが、ほとんどの生徒が六角形を基本

とした形に気づくことができた。(中学生は6回対称性という言葉を習っていない)また、Needleについても、一部の生徒は、六角柱を横から撮った写真であることに気づくことができた。

(3) 実験の結果

実験は、45分の1時限のなかで行わなければならず、実験の準備、手順については前の時間にすでに説明しておいた。生徒も時間が限られていることはよく理解しており、簡単な指示でとどおりなく実験を開始することができた。

原則的に4人、1班で1セットの実験器具を使い、雪の結晶ができたらルーペで観察し、あらかじめ配布しておいたワークシートに、スケッチ、わかったこと、感想などを記入してもらった。

若干、雪の結晶の成長が遅いグループも見受けられたが、ほとんどのグループでは、観察可能な大きさの雪の結晶を、時間内に余裕をもって作ることができた。

スケッチにはほとんどの生徒がたいへんまじめに取り組んでいたが、技術的に稚拙なできあがりのものも多かった。



実験のようす



生徒のスケッチ

実験の結果わかったことについては、雪の結晶ができるためには「とても低い温度が必要」、呼気にふくまれる「水蒸気が凍って雪の結晶ができた」という点を上げている生徒が多くいた。「結晶の形に規則性がある」という点に気づいた生徒もいたが、残念ながら「結晶の形は2種類ある」、「大きい結晶の上に、小さい結晶ができた」という細かな点まで観察ができた生徒は、ごく一部にとどまった。

実験の感想については、雪の結晶が「どんどん大きくなつて驚いた」、「雪の結晶がきれいにできて感激した」由「写真より本物はすごい」などのように、目の前で雪の結晶が成長していくことにたいする驚きを記したものが多く見受けられ、「部屋の中で雪が作れるとは思っていなかった」、「とても簡単にできるので驚いた」、「当たり前だと思っていた自然現象もよく見るとすごい」などの感想も多かった。

全体として、肯定的な感想がほとんどであったが、「ふだんから、いやというほど見てるので、とくに感動はなかった」などの否定的な感想もごく少数見受けられた。

(4) 理論についての指導

塩化ナトリウムの結晶の写真、塩化ナトリウムの立体分子モデルの提示により、生徒はすぐに形の共通性に気づき、氷の立体分子モデルから六角形を探し出すこともすぐにできたが、残念ながら生徒がモデルの中に見つけた六角形は、予想通り、同一平面上にあるものではなく、補足説明が必要となった。

正六角形のマグネットシートを多数並べていき、6回対称性があらわれる演示は、平面的ながら、分子構造がマクロな形を決定するという結晶の性質を、強く生徒に印象づけることになったと思われる。縦に成長すると六角柱状の結晶ができるという点も、六角柱のモデルを使うことにより容易に理解させることができた。

実験により、上部のNeedle、下部のDendriteをきちんと観察できている生徒が少なかつたので、あらためて生徒自身が作った人工雪の写真を提示して、2種類の結晶について確認をした。そのうえでなぜ、どのような条件で2種類の雪の結晶ができるのかということについて考えてもらったが、条件の違いを生徒はきちんと予想することができなかった。

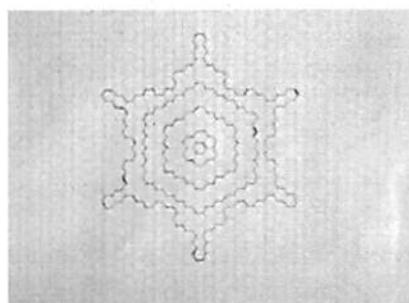
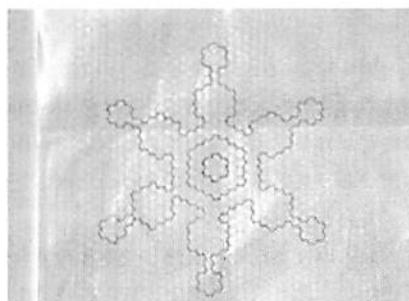
そこで、中谷ダイヤグラムを提示して、温度と水蒸気の量の関係で、さまざまな雪の結晶ができる事を示し、ペットボトル内の上部の結晶付近は -5°C 、下部の結晶付近は -15°C であることを説明した。さらに、なぜ温度の違いにより結晶の成長の仕方が異なるのかというこ

とを考えてもらったが、中学生の力では、まともな予想をたてることはできなかった。

そこで、温度の違いにより Basal 面と Prism 面の表面の性質が異なり、Basal 面の成長が進む Needle、Prism 面の成長が進む Dendrite ができる事を説明した。この部分をしっかりと理解することは、中学生にはやや無理があるようである。

(5) 雪の結晶のオリジナルデザイン

人工雪を作る実験のまとめをしたのちに、小さな正六角形を数多くプリントしたワークシートを配布し、自に雪のデザインをしてもらった。焦点となるのは、6回対称性を持つ图形が描かれているかどうかという点であるが、全体の78.4%の生徒が、6回対称性を持つ雪の結晶をデザインすることができた。これは、事前アンケートで6回対称性を持つ雪の結晶を描くことができた55.2%を大きく超えており、授業を通して、雪の結晶についての理解が進んだことをうかがわせてくれる。



生徒のデザインした雪

人工雪発生装置をもちいた授業の実践

(6) 事後テストの結果

事後テストの結果は、以下の通りであった。

質問項目	正答率 (%)
雪の結晶の6回対称性について	95.5
氷の分子構造と雪の結晶の形の関係について	66.7
結晶生成の条件の一つである過飽和状態について	86.4
人工雪における凝結核について	81.8
自然界における凝結核について	81.8
-15°Cでの雪の結晶の形について	80.3
-5°Cでの雪の結晶の形について	63.6
結晶の面の性質が温度により変化することについて	50.0

普段よりおもしろい授業だったと感じた生徒の割合	71.2%
-------------------------	-------

全体的にふだんの試験に比べると高い正答率となっている。ことに、雪の結晶の6回対称性については、予想以上に知識が定着していた。温度の違いにより Basal 面と Prism 面の性質が異なる点についての理解は、中学生一道にはやはり無理があったとみえ、他の項目に比べると低い正答率となっている。

普段よりおもしろい授業だったと感じた生徒の割合は約7割であったが、過半数の生徒が、普段の授業をつまらないと感じているであろうことを考えると、たいへん高い割合であるといえる。

4. まとめ

普段から、身近に雪と接している札幌の中学生にとって、雪の結晶についての教材は、ややインパクトにかけるのでは、と少し心配したが、生徒は予想以上に真剣に授業に取り組み、たいへん多くの知識を得ることができた。

授業が面白かった、と答えた生徒が7割に達したことは、ことに喜ばしいことで、一連の授業の設定に大きな意義があったと強く感じている。次回は夏期に同じような雪の結晶についての授業を設定してみたいと考えている。

なお、平松式ペットボトル人工雪発生装置、雪の結晶についてのさまざまな情報は、以下の平松和彦氏、北海大学低温科学研究所のホームページを参照させていただいた。

<http://users.eolas-net.ne.jp/saebou/kazupage/kazu.htm>

<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp>

飛脚のドップラー効果

北海道札幌啓成高等学校 石川昌司

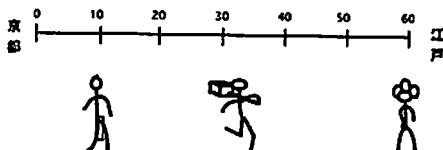
1 教材編

1.1 壱の段 …… 手紙を出す側が動いている場合

今は昔。

仕事で京都に来ている商人が、江戸の留守宅に3日に1度手紙を書いて飛脚屋さんに届けてもらっていました。飛脚の足で京都から江戸までは5日かかるとします。江戸の留守宅では5日おくれで手紙を受け取りますが、それでもやはり3日に1通の手紙が届きます。

さて、京都での仕事も終わり、商人は江戸に向けて旅立ったとします。東海道の宿場町のひとつひとつをすべて見物しながらのんびり旅をすることにしたので1日に宿場ひとつしか進みません。3日に1度の手紙はその間も欠かさず出し続けるものとして、江戸の留守宅で受け取る手紙のベースがどのようになるかを考えてみましょう。ただし宿場町のすべてに飛脚屋さんがいて、どこの飛脚屋さんも同じ速さで手紙を運ぶものとします。



計算の都合で、東海道の宿場の数は59で、宿場と宿場の間隔はどこも同じとします（京都から江戸までを60等分）。京都を出発した日を0日目として、3日目に最初の手紙を出し、6日目に2通目、9日目に3通目……と出していくます。旅は全部で60日かかりますから、60日目の最後の手紙は20通目となり、これは江戸の自分の家で家族に手渡しすることになります。

江戸の家族に届く手紙のベースを考えてみましょう。最初の手紙は5日遅れて江戸に届きます。最後の20通目は“手渡し”ですから1日も遅れず、すなわち商人が旅立った日から数えて正確に60日目に受け取ります。したがって、江戸の家族に届く手紙は55日間で20通です。

商人が出した手紙は60日間で20通ですから、江戸の家族に手紙が届くベースは、旅先で商人が手紙を出すベースよりも明らかに速い、ということになります。

ここからは計算です。飛脚の速さは“12宿場/日（=1日に12宿場を進む速さ）”ですね。商人の旅の速さは“1宿場/日（=1日に1宿場を進む速さ）”です。商人が出した手紙は60日間に20通ですから、比で表すと $\frac{20}{60}$ 通/日となります。

次に、江戸の家族が手紙を受け取るベースは55日間で20通というベースです。これも比で表すと、 $\frac{20}{55}$ 通/日となります。 $\frac{20}{60}$ から、 $\frac{20}{55}$ を求める公式を推理しましょう。

少し考えると、

$$\frac{20}{55} = \frac{20}{60} \times \frac{12}{11} = \frac{20}{60} \times \frac{12}{12-1} \quad (1)$$

であることがわかります。

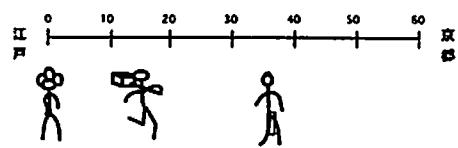
最後に、 $f_0 = \frac{20}{60}$ 通/日、 $V = 12$ 宿場/日、 $v = 1$ 宿場/日として、江戸で受け取る手紙のベースを f とすると、

$$f = f_0 \frac{V}{V-v} \quad (2)$$

です。ドップラー効果ですね。

1.2 弐の段 …… 手紙を受け取る側が動いている場合

さて、例の商人は江戸でしばらく仕事をしていましたが、また京都に行く用事が出来て再び旅に出ました。今度は前とは逆に、江戸の家族から手紙をもらうことにして、江戸から旅先まで飛脚屋さんに手紙を運んでもらうことになりました。江戸から京都までの宿場の数は59（江戸と京都の間を60等分）、飛脚は江戸～京都間を5日で手紙を運び、商人は1日に宿場ひとつしか進まないという条件は前と同じです。江戸の家族が手紙を書くベースと、旅先の商人のところに手紙が届くベースの関係がどのようになるかを考えてみましょう。



旅先の商人のところに3日に1通のペースで手紙が届くようになるためには、江戸の家族がどんなペースで手紙を書けばいいかを求めてみます。

江戸を出発した日を0日目として、3日目に1通目、6日目に2通目、9日目に3通目、……と手紙が届いて、60日目には最後の20通目が届くようにします。

最後の20通目の手紙は、5日遅れで商人のところにつきまづから、江戸の家族はそれを見込んで5日早く手紙を出したわけです。すなわち商人が江戸を出発した日から数えて55日目に20通目の手紙を江戸から出したことになります。

手紙を受け取る側が、出す側からどんどん離れるように動いている場合、手紙を出す側のペースは、手紙を受け取るペースよりも速くなることがわかります。

計算で求めてみましょう。江戸の家族が出す手紙の比 $\frac{20}{55}$ 通/日を求める式は、前と同じで、

$$\frac{20}{55} = \frac{20}{60} \times \frac{12}{11} = \frac{20}{60} \times \frac{12}{12-1} \quad (3)$$

となります。ここで、手紙を書く側の比を $f_0 = \frac{20}{55}$ 通/日、手紙を受け取る側の比を $f = \frac{20}{60}$ 通/日、飛脚が手紙を運ぶ速度を $V = 12$ 宿場/日、商人の進む速度を $u = 1$ 宿場/日とおくと、

$$f_0 = f \frac{V}{V-u} \quad (4)$$

となります。この式は“手紙を f のペースで受け取るために、出す側が書かなくてはならない手紙のペース f_0 を求める公式”です。これを変形すると、

$$f = f_0 \frac{V-u}{V} \quad (5)$$

となります。この式が、“止まっている人が、 u で動く人宛に f_0 のペースで手紙を出したときに、相手に手紙が届くペース f を求める公式”なのです！

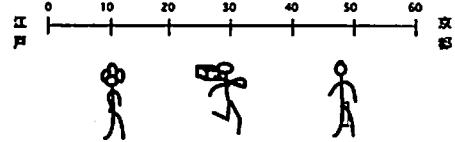
これがドップラー効果のふたつ目の公式です。

1.3 参の段 …… 手紙を出す側と受け取る側がともに動いている場合

さて、先の商人が東海道の1/3程まで進んだとき、大切なものを江戸の家に忘れてきたことに気づき、奥さんに旅先まで届けてもらうことにしました。そこで奥さんは急遽旅支度をして、商人を追って江戸を出発しました。奥さんは追いつくまでの間、今どこの宿場にいるかを商人に知らせるために、手紙を定期的に出すものとします。なお、奥さんの進む速さは1日に

宿場2つとします。飛脚は江戸・京都間を5日で手紙を運び、商人は1日に宿場ひとつしか進まないという条件は前と同じです。

この問題は非常に難しい問題です。



そこで、この街道の途中に閑所があるって、通過する飛脚の手紙はすべてここでチェックされると考えてみましょう。説明の都合上、奥さんがこの閑所を越える以前に限って以下の話を進めます。奥さんが出す手紙のペースが f_0 であるとすれば、閑所の役人がこの手紙を目にするペース f' は、前に説明した考え方だから、

$$f' = f_0 \times \frac{12}{12-2} \quad (6)$$

となります。

ところで、閑所の役人が、これらの手紙を何も問題がないと判断してすぐ飛脚に返してくれれば、飛脚はただちに出発して残りの道のりを進むわけですが、ここで大切なことは、飛脚にとっては、「閑所の役人が f' のペースで商人宛に手紙を出している」とこと同じことになっている点です。閑所の位置は動きませんから、以下は「動かない人が動いている人に出す手紙」の問題になってきます。

この問題は前に扱いました（飛脚のドップラー効果その2 … 手紙を受け取る側が動いている場合）。したがって商人が受け取る月あたりの手紙のペース f は、

$$f = f' \frac{12-1}{12} \quad (7)$$

となります。 (7) 式の f' に (6) 式を代入して、

$$f = \left(f_0 \frac{12}{12-2} \right) \times \frac{12-1}{12} = f_0 \frac{12-1}{12-2} \quad (8)$$

最後に、 $V = 12$ 宿場/日、 $v = 2$ 宿場/日、 $u = 1$ 宿場/日とおくと、

$$f = f_0 \frac{V-u}{V-v} \quad (9)$$

です。

これがドップラー効果の最終公式です。

2 論文編（なぜ「飛脚のドッpler効果」を書いたのか）

2.1 波長か、それとも振動数か

ドッpler効果は、数ある高校物理の教材の中でも非常に評判のよくないもののひとつです。

学習の導入では、例えば緊急自動車のサイレンを道ばたの人人が聞いたり、踏切の警報を電車の車内的人が聞くときに、聞こえる音の音程が、音源の本来の音程から変化して聞こえるという日常経験を学習者に思い出してもらったり、「ドッplerボール」（ブザーを内蔵したウレタンボール）なる某教材メーカー製教材を2人でキャッチボールするときにブザーの音が変化して聞こえる実験を行って、まずはドッpler効果という現象が存在することを確認するところから始まります。

ここまでとはそれほど難しくありません。ところが次の、振動数の変化を説明する理論を説明する段になると、ばたばたと高校生はギップアップしてしまうのです。なぜなのでしょう。

一般的な教科書の説明の流れは以下のよう�습니다。

音は音源から出て球面波として広がります。音源が動いていないときは、波面と波面の間隔すなわち波長はどの方向にも完全に等しく広がるのですが、動いている音源の場合は、音源の進行方向の前方に進む波の波長と進行方向の後方に進む波の波長は明らかに異なります。このことから、動く音源から広がる波の波長は、その波の伝わる向きによって色々に変化することがわかります。変化した波長の音を聞くのだから音程すなわち振動数は元々のものとは異なって聞こえるというわけです。

動いている観測者に聞こえる音の音程が変化して聞こえることについては、単位時間に観測者を通過する波面がいくつかあるかを数えさせて説明します。例えば音の進行方向と同じ向きに動く観測者が聞く音は、動かない観測者が聞く場合よりも単位時間に自分を通過する音の波面の数が少ないので、聞こえる音の音程は低くなると教えます。

音源も観測者も両方動いている場合は、上に述べた考え方を組み合わせることで行います。

ところでこの展開では、音源が動く場合のドッpler効果を理解するためには、初めに波長の変化を理解しなければなりません。したがって「波長の変化」はドッpler効果を理解する上で避けては通れない関門です。

しかし、考えてみると、水面波などと違って音波では、長さの次元の周期性すなわち波長を普段の生活上で意識することはまれであって、思いつくところではわずかに気柱の固有振動の応用である管楽器の例があるのみです。つまり音の現象とは、

*本来、波は、空間の周期性を表す定数である“波長”と、時間の周期性を表す定数である“周期”またはその逆数である“振動数”を併せ持っているものであって、波長と周期または振動数の、どちらがより基本量であるかという議論は無意味です。しかし、ドッpler効果の学習に波長概念が必要不可欠かというと、そうではないだろうというのが本稿の主張です。

ほとんどの場合、時間の次元の周期性すなわち周期またはその逆数である振動数しか意識になく、それはドッpler効果といえども例外ではありません。

ところが、ドッpler効果を高校の授業で学習していると、何故か途中で“変化する波長”という概念が出てきて、これがわからないと先に進めないと物理の教師は言うわけです。学習者にとって“変化する波長”はそれまでの身近な音の経験にはない事項なので、この先はどうしても抽象的に感じられます。このことがドッpler効果は難解で理解しがたいものとの印象につながっているのではないかと、以前から感じていました。

「飛脚のドッpler効果」教材編は、波長概念を使わずに振動数概念だけでドッpler効果の公式を導びく試みとして1999年度に筆者が作成し、1999年度と2000年度の2年間、勤務校の筆者の授業で実験的に使用したものです。

生徒は、それまでの“変化する波長”という概念を用いた指導方法のときと比べるとより親しみやすく感じているようです。しかし、学習効果として、波長概念を用いた方法と、波長概念を用いない本稿の方法のどちらが優れているかは、もう少し時間をかけて慎重に分析する必要があるでしょう。

「人が音を観測するとき、より直感的な量は波長か振動数か？」

「飛脚のドッpler効果に書いた問題を、アナロジーと解釈しないで、純粹に数学の問題として読んだときに、波長概念を無意識に用いて計算する読者と、振動数概念だけで計算する読者はどちらが多いだろう？ たとえばこの問題を数学の先生が見たらどちらで解く？」

「従来の方法によるドッpler効果の指導を受けた高校生は、変化する音波の波長をリアルにイメージできようになったのか？」

2.2 振動源と観測者の対称性 … 余談

振動源Sと観測装置O（=観測者）がある運動状態にある媒質の途中の2点にSとOがブカブカ浮かんで揺れているとします。ただしSは速度v、Oは速度uで媒質上を等速運動しています。

さて、この媒質の状態を、例の波の式。

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (10)$$

で書いて、この x に動く S の座標として vt を代入すると、

$$y = A \sin 2\pi t \left(\frac{1}{T} - \frac{v}{\lambda} \right) \quad (11)$$

となります。媒質を伝わる波の速度を V とすると $V = \frac{\lambda}{T}$ だから、

$$y = A \sin 2\pi t \left(\frac{V-v}{\lambda} \right) \quad (12)$$

故に S の振動数は $\frac{V-v}{\lambda}$ 。

次にまったく同じ事を O に対しても行うと、

$$y = A \sin 2\pi t \left(\frac{V-u}{\lambda} \right) \quad (13)$$

故に O の振動数は $\frac{V-u}{\lambda}$ 。これらから、

$$\frac{f}{f_0} = \frac{V-u}{V-v} \quad (14)$$

が出来ます。ドップラー効果ですね。 f_0 は振動源の本来の振動数、 f は観測者の方の振動数です。

さらに

$$\frac{V-v}{f_0} = \frac{V-u}{f} = \frac{V}{F} \quad (15)$$

とすると、よりはっきり音源、観測者、媒質の立場の対称性を示すことができます。ここで F は静止している観測者から見た媒質の振動数です。

補足

「飛脚のドップラー効果」教材編は以下の筆者の Web ページに掲載しています。

<http://stoneriver.hoops.jp/doppler1.html>

自由に印刷して授業に用いていただいて結構ですが、オリジナルに変更を加える場合は、その旨をお知らせいただければ幸いです。連絡は勤務校かまたは以下のメールアドレスまでお願いします。

ishi_sho@xa2.so-net.ne.jp

物理教育研究

論文集

日本物理教育学会 北海道支部

Vol. 29, 2001. 7

斜面を落下するボールの運動

北海道大学大学院理学研究科物理学専攻

佐藤 久志

小野寺 彰

Abstract

Motions of ball rolling down an inclined plane are a well-known demonstration experiment in physics education. Recently Lattery reported an interesting experiment with sharp ramp [Phys. Educ. 35 (2000) 130]. We observed the motions of ball with two cases having (1) a sharp ramp and (2) a smooth slope. It is demonstrated that these two cases show different behavior.

Keyword: Motion of falling ball, inclined plane

1. はじめに

斜面の落下運動は、ガリレオが自由落下をスローモーション化するために導入した歴史的教育素材として、多くの教科書や大学の入試問題に取りあげられている。さらにガリレオは次のような思考実験を行ったという。V字型の斜面に添つてボールを落下させる。良く整備された装置なら、最下点に至ったあと坂道を登り、まるでボールがもとの高さを記憶していたかのように同じ高さに到達する。これは、いわゆるエネルギー保存則で理解されることであるが、ガリレオは上りの斜面の角度をゆるくしてもやはり、同じ高さになるまでボールが登ることを確かめた。この場合、高さは同じでも、ボールが移動する距離は長い。さらに斜度を低くし、ついに水平にするとボールはどうなるだろうかと考える。ボールは永遠に元の高さに達しないので、水平面上をいつまでも等速度で水平運動する。つまり、これが慣性の法則だと考えたのである。多くの教科書に、斜面を転がり落ちる車やボールのきれいなストロボ写真が載っていて、ガリレオの考え方の正しさを証明している。

最近、アメリカ・ウイスコンシン大学のM. Latteryによる"A simple and surprising experiment is performed by physical science students"という興味ある論文を目にした。¹⁾図1のような斜面の実験である。蝶番で斜面の角度を変えられるよう工夫し、水平な机上面をゴルフボールが通過する時間を測った。ボールは机の面から距離 l 、高さ h の地点から静かに放す。斜面の角度を変えると、机を通過する時間が最

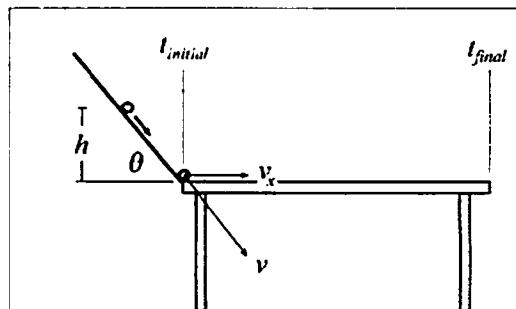


図1 M. Lattery の実験装置 "A simple and surprising experiment is performed by physical science students"より

も短くなるのは角度が何度の時だろうか、という課題である。驚くべきこと（と論文の筆者はいう）に、実験前の学生や著者の予想（45度）に反し、35度であるという。これは、以下のように説明される。ボールの質量をm、角度θなら、エネルギー保存則

$$mg l \sin\theta = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

から、机上面に達した時のボールの速さvは

$$v = \sqrt{2g l \sin\theta} \quad (2)$$

と求まる。ところで机上面に達したときの速度は水平面方向に

$$v_x = v \cos \theta \quad (3)$$

であるから、机の幅を L とすると、通過時間 T は

$$T = \frac{L}{v \cos \theta} = \frac{L}{\sqrt{2g/L \sin \theta} \cos \theta} \quad (4)$$

となり、この関数の最小値は、 $\sin \theta = \sqrt{1/3}$ 、 $\theta = 35.3$ 度となって、図 2 に示す実験結果に一致（図の曲線は理論式 (4)) するという。

このような問題はセンター試験を始め、多くの試験に頻出する代表的な問題である。だが良く注意してみると、多くの問題では斜面が滑らかな弧状のスロープを描いて机上面に達している。このような場合と、M. Lattery のように不連続的に机と連結する場合ではどのように運動が違うのかに注目して実験を行ったので、その結果を報告する。

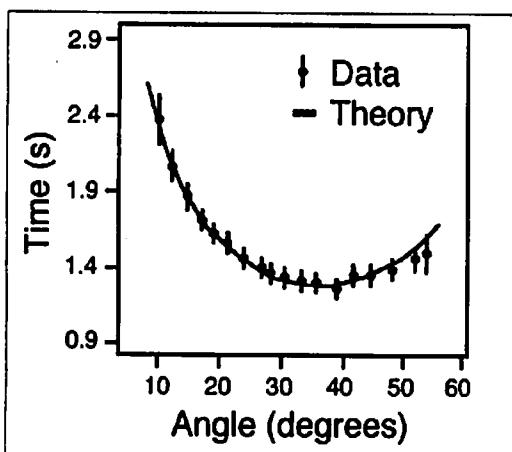


図 2 M.Lattery の実験結果 "A simple and surprising experiment is performed by physical science students" より

2. 斜面落下の実験

実験は次ぎのような装置で行った。幅 15 cm、長さ 2 m 程のアクリル板を机上に水平になるように置き、同じく薄めのアクリル板で斜面を作り、蝶番で角度を替えられるようにしたもの用いた。斜面は、平面が鋭角的に机上のアクリル板に連結したり、滑らかなスロープをつくって連結されるよう 2 mm のアクリル板を用いた。ボールは斜面、机上のアクリル板とともに自由に転がり、終端に到達できるようにした。計測は距離 60 cm の円周上の位置から斜面を転がり、斜面との連結点 (t_{initial}) に到達した点から、水平面 2 m を通過

する時間を、デジタルストップウォッチを用いて測定した。計測は、角度毎に 10 回の計測を行った。装置の概略を図 3、4 に示す。

ボールは Lattery が実験したゴルフボール（直径 41.0 mm、質量 41.77 g）のほかに、ステンレス製ボールペアリング球 (15.8 mm、質量 16.48 g)、ステンレス製ボールペアリング球 (10.0 mm、質量 4.13 g) の三種類のボールで実験を行った。

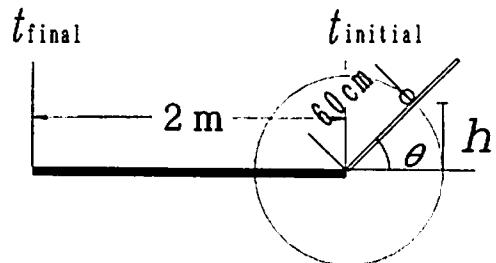


図 3 鋭角に連結した装置の概略図

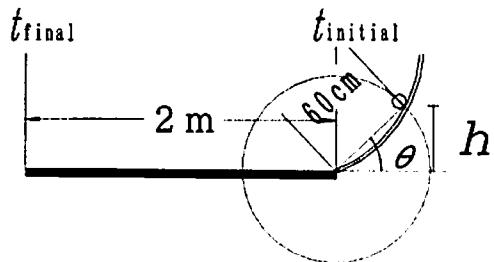


図 4 滑らかなスロープで連結した装置の概略図

3. 結果と考察

図 3 に示した鋭角に連結した斜面での結果を図 5 に示す。ゴルフボールでは M. Lattery の結果とよく一致して、約 37 度に最小値をもっている。ゴルフボールより小さなペアリング球では、多少大きめの 40 度付近になっている。10 mm の球は軽いために机でバウンドしたりし、ばらつきが大きくなっている。慣性を考えると重くて小さな球の方が実験には適していると思われる。一方、滑らかなスロープをもった図 4 での実験結果が図 6 である。傾斜角度が 60 度をこえると、球がバウンドし正確な測定は難しいため、60 度までのデータを示している。

時間 T は 37 度を過ぎてもゆるやかに減少していることがわか

る。この場合、前の結果と違い、机上の起点 (t_{initial}) での速度は、

$$v = \sqrt{2g/L \sin \theta} \quad (5)$$

で与えられ、 T は

$$T = \frac{L}{\sqrt{2g/L \sin \theta}} \quad (6)$$

となる。この関数は角度 θ の増大と共に急激に減少し、45 度付近からなだらかになり 90 度で最小となる。図 6 の結果はこの結果とよく一致することから、なめらかなスロープをもつ斜面の場合、エネルギー保存則で位置エネルギーにより得られる運動エネルギーは、ほとんどロスなく水平運動になつている事がわかる。テキストの中には、図 3 の問題設定で (5)

式の速度を用いて解答した例題も散見される。装置をもう少し改良すると、ピースビなどを用い²、机上の起点 (t_{initial}) 付近で速度を測定できると思われる。直接速度が測定できれば、(3) 式か (5) 式かの判定ができる。また、今回の解析では、剛体の回転エネルギーを考えておらず、その点も含め、近い将来そのより詳細な結果を報告したい。

参考文献

- [1] M. Latterly, Phys. Educ. 35 (2) (2000) 130-131. (2001 年 5 月現在、この雑誌はインターネットで無料公開されている。
<http://www.iop.org/Journals/bytitle>)
- [2] 佐藤 久志、阿部 英一、細川 敏幸、小野寺 彰：
速度計を使った楽しい「物体の運動」、物理教育研究 26
(1998) 7-8.

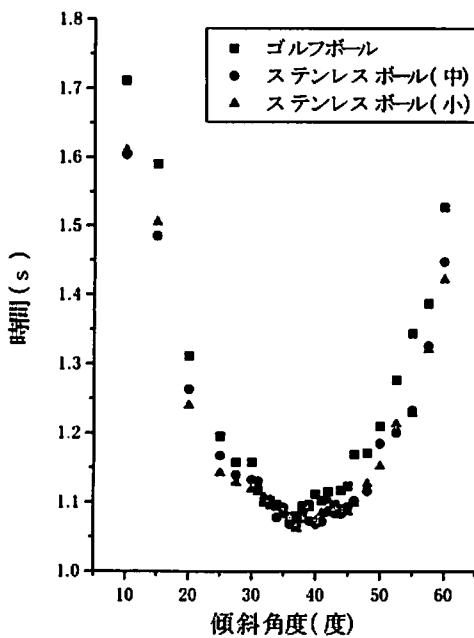


図 5 鋭角に連結した斜面の測定結果

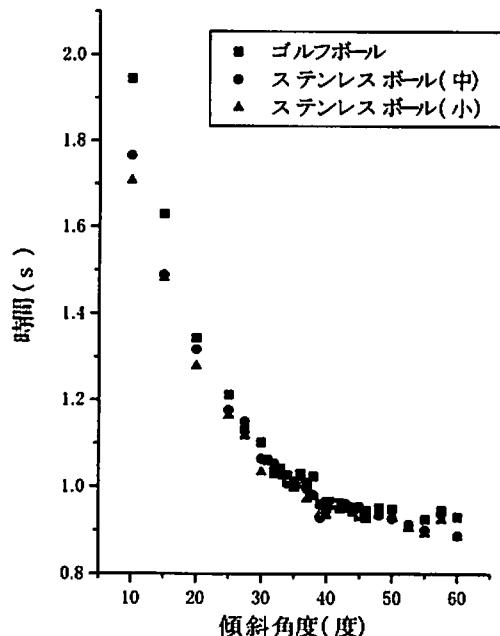


図 6 滑らかに連結した斜面の測定結果

木星の衛星食による光速度測定

Satellite Eclipse of Jupiter and the light velocity

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、横田 恭平*、西山 純*

*北海道教育大学札幌校 平成12年度卒業

Hokkaido University of Education Sapporo Takashi Okazaki, Kyouhei Yokota, Ken Nishiyama

木星の衛星食による光速度測定は食の固有周期を高い精度で求めることが必要なため、眼視観測によってはほとんど不可能である。ビデオカメラによる食の撮影・記録とコンピューターを使った解析によって食時刻の測定精度を飛躍的に高めることができ光速度の導出が可能になる。2000年の観測結果とあわせてこの問題に対する我々の理解の進展を報告する。

Abstract

In order to obtain the light velocity from the observation of satellite-eclipse of Jupiter, we have to measure the eclipse time accurately. We show that the use of video-camera is effective and report the observation in the year 2000.

キーワード： 木星の衛星食、光速度、レーマー Keywords: Satellite Eclipse, Velocity of Light, Roemer

1. レーマーによる光速度測定の問題点

$$\Delta t = 7862400 - 50T = 500 \text{ sec.} \quad (1)$$

レーマーが行った木星の衛星食による光速度測定について先の論文¹⁾でいくつかの問題点を明らかにしたがその後、物理教育誌に既出の論文²⁾があるとの指摘をうけ、またレーマーの原論文、手書きの観測データ記録に基づいて彼の発見を考察した文献³⁾の提供を受けた。これらを含めてまず衛星食の観測から光速度を求める上での問題点を整理する。

衛星食の観測よって光の伝播速度を求める上でのポイントは次のようなものである。

- 1) 衛星食の固有の周期 T を求める
- 2) 衛星食の時刻 (t_i' , t_f') を測定し固有周期からのずれを求める $\Delta t = t_i' - t_f' - nT$
- 3) 地球-木星間距離の変化 $\Delta r = r_i - r_f$ を求め、光速度を得る $c = \Delta r / \Delta t$

特に、「衝」から三ヶ月後の食の観測は、この間の地球-木星間距離の変化が地球の軌道半径で良く近似できるため光速度を得る上で有効である。

ここで注意が必要なのは、衛星食の固有周期からのずれ Δt を評価する作業である。「衝」から三ヶ月 ($t_i' - t_f' \approx 91$ 日 = 7862400 秒) 後の食の遅れは、光速度から逆算すると $\Delta t = r_i / c \approx 500$ 秒程度になるはずであるから食の観測による Δt の評価は次のような計算になる。食の固有周期 T は約 42.5 時間、三ヶ月間の食回数は 50 回として

食時間間隔に占める遅れの割合は $500 / (t_i' - t_f') = 0.006\%$ と極めて小さい。ここでは絶対値のほぼ等しい数値 $t_i' - t_f'$ 、 nT の差を求めるときに起こる精度の「桁落ち」が生じている⁴⁾。T の精度が食の遅れの評価に大きく影響することになり、例えば T の 1 秒の誤差 (0.0007%) は遅れの見積もり Δt を 50 秒 (10%) 狂わせることになる。長さの短い物差を何回も使って長い距離を測定しようとすると測定誤差が大きくなるのと同じ理屈である。

数秒の精度で食の固有周期 T をおさえる必要があるとき、これが木星の軌道運動（角速度変化）によって変動する効果が無視できず毎年これを測定しなおす必要がある。T を観測から求める方法として、以下の二つが考えられる。

- 1、「衝」に近接し連続して起こる食時刻 (t_i' , t_f') を測定する; $T = t_i' - t_f'$
 - 2、消滅(EcD)の平均食周期 T_i 、出現(EcR)の平均食周期 T_f を求め、この平均をとる; $T = (T_i + T_f) / 2$
- 衛星食は有限な大きさ (半径 r_i) を持つ衛星本体が公転運動 (速度 v_i) によって木星の影に入り輝きを失ってゆく現象であるから $2r_i / v_i = 3.5$ 分ほどの時間を要する現象であり、さらにこれを地球の大気とおして観測するとき食時刻の特定に一定の誤差が生ずることは避けられず、眼視観測の測定精度は 0.1 分とされている。こうした測定値から 1 の方法で食周期を求めたとすると食の遅れの見積もり誤差は 50% を超えてしまうことになる。

2の方法は論文3)でレーマーの観測データーにもとづく Meyerによる評価(1915年)として紹介されているが、限られた食の観測データーにのみ依拠して消滅、出現の平均食周期を得ることは困難である。なぜなら地球から観測される食周期は図1に示すような変動をしているため、限られた数の観測から平均食周期が正しく求められる保証はない。しかし後に述べるように西矩、東矩における食周期の測定からこれが求められる可能性がある。図1は地球で観測される年間の衛星食周期変動をドッpler効果として求めたものであり v_1 は物理教育に既出の論文¹⁾で強調されている木星の公転運動の効果である。

$$T' = T (c-v_1)/(c-v_2) \quad (2)$$

T' : 衛星食の固有周期、

T' : 地球で観測される衛星食周期

$v_1=v_J \sin \phi$: 木星の速度の地球方向の成分

$v_2=v_E \sin(\theta+\phi)$: 地球の速度の木星方向の成分

$$\sin \phi = r_J \sin \theta / r_{JE}$$

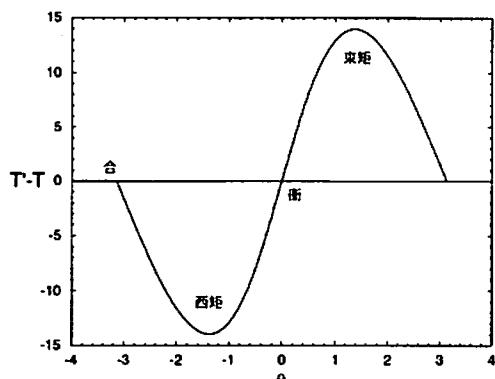
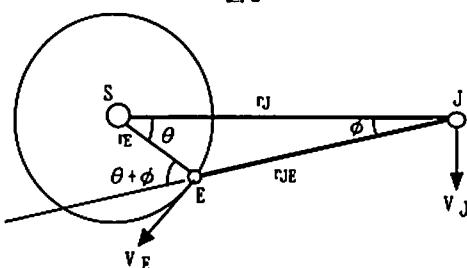


図1

図2



以上により、食の眼視観測による光速度導出は極めて困難であり、レーマーによる光速度測定に対する再評価が必要

と考えられる。

2. ビデオカメラを使った衛星食の観測

2000年にビデオカメラを使って行った木星の衛星食の観測は以下のようなものである⁵⁾。望遠鏡(30cm カセグレン式反射望遠鏡、焦点距離4500mm、接眼レンズ0.18mm)にコリメート法によって接続したデジタルビデオカメラを使って衛星食を録画し、これをコンピューター上で再生することによって食時刻を±0.2秒の精度で確定することができる。ビデオカメラによって1秒あたり30フレームの割合で撮影された食(消滅)の過程をコマおり(1/30秒)で再生し、フレーム毎に衛星の存在を確認してゆき衛星の光が完全に消滅した時刻を食(消滅)時刻として特定する。完全消滅が不確かなフレームが十数フレーム存在し時刻の測定誤差±0.2秒に相当する。時刻はTVの時報を録画しておくことによって較正することができる。

2000年の木星の「合」は5月8日、「衝」は11月28日で7月頃から木星の観測が可能になり「衝」に向かって夜間木星を観測できる時間が長くなるに従って観測可能な食の回数が増えてゆく。7月1回、8月3回、9月4回、10月6回、11月9回、12月8回の観測可能な食のうち、9月3日、10月11日、12日の食(消滅)を観測することができた(表1)。これらの観測データーから固有食周期 T を求めることはできないが、地球-木星間距離の予報値を併用することにより、固有食周期 T 、光速度 c を算出することができる。

	食(消滅)時刻	地球木星間距離(AU)
1	9月3日23h13m26s	4.883
2	10月11日3h11m17s	4.362
3	10月12日21h39m54s	4.340

表1

二つの食時間間隔($t_i' - t_j'$)について次式が成立し、観測から表2が得られ T 、 c が求められる。

$$t_i' - t_j' = n_{ij} T + (r_i - r_j)/c \quad (3)$$

i-j	食時間間隔(秒)	食回数	距離変化(AU)
I-2	3211078	21	0.521
I-3	3363988	22	0.543

表2

$$c=2.76 \times 10^8 [\text{m/s}], T=152922[\text{sec}] \quad (4)$$

ここで、地球木星間距離は日本水路協会による予報値（天文年鑑掲載）を用いた。予報値は 10 日毎のデータとして与えられておりこれらから補間による近似式を用いて観測時刻の距離を推定する。有効数字 3 術のデータをもとにして 0.1% 程度の誤差を見込む必要がある。地球-木星間距離、時刻測定に含まれる誤差の光速度への反映は 30% 程度と見なすことができ、光速度はこの範囲で今日知られている値と一致しているといえる。

食周期も衛星、木星の公転周期、木星の離心率から評価される範囲に入っている。衛星、木星の公転周期 T_i, T_j から得られる平均食周期 $T_A = T_i T_j / (T_j - T_i)$ は、 $T_i = 1.769$ 日、 $T_j = 11.86155$ 年から求められ、それぞれの誤差、また木星の公転角速度変動による効果 (± 6 秒) を考慮に入れると食周期は次の範囲の量である。

$$T = T_i T_j / (T_j - T_i) \pm 6 = 152900 \pm 45 [\text{sec}] \quad (5)$$

3. 衛星食周期変動の直接測定の可能性

衛星食が観測できるためには木星が夜間、天球上に位置している必要があり、単純化すると年間の木星観測可能時間の目安は各時期で次のようになる；

	太陽-木星の天球上の離角	日没時の木星位置	日出時の木星位置	観測可能時間(h)
合	0	西地平線	東地平線	0
西矩	90	地平線下	南中	6
衝	180	東地平線	西地平線	12
東矩	270	南中	地平線下	6

表 3

日没後、日出前の薄明のため、また低高度では大気の影響を強く受けるために観測が困難であり、実際の観測可能時間はこれより 1-2 時間短くなる。

地球の自転周期 24 時間と衛星の公転周期 42.5 時間(1.75 日)の不整合のため、観測可能な食は全般に不定期なものになる。これは後に述べる土星の衛星食においては、衛星(レア)の公転周期が約 4.5 日であるために 1 回おきの食が 9 日毎に連続して観測可能となるのと対照的である。食の時刻間隔 Δ は、 n, m を正の整数として次式で与えられる；

$$\Delta = 24n - 42.5m \quad (6)$$

ある食が観測された後、 m 回目の食が n 日後 Δ 時間遅れて起こり、 Δ がその時期の観測可能時間より小さい時にこの食の観測が可能である。

case	n	m	Δ (h)
I	2	1	-5.5
II	5	3	+7.5
III	7	4	+2
IV	9	5	-3.5

表 4

Δ が最小の case II の一対の食 (7 日後に 2 時間遅れで観測される食) が半年を通じて各時期に観測できる可能性がありこれによって食周期 (4 回分) の変動そのものがとらえられる可能性がある。地球の公転運動による食周期の変動の幅は士 14 秒程度であるから、眼視観測の精度の範囲でこれを確認することが可能と考えられる。西矩、東矩においてこの観測ができればこれらの平均として固有食周期 T が得られる。各時期に観測された食周期とのずれ ΔT を求めるこによってドッブラー効果 (2) 式から次のように光速度が得られる。

$$c/v_e = (T/\Delta T) \sin \theta \cos \phi [1 - (\cos \theta - v_e/V_e) / (\cos \theta - r_e/r_e)] \quad (7)$$

第二項は最大 13% 程度の効果であり、衝から一ヶ月以上後の食 ($\theta > \pi/6$) であれば、この項を無視しても 10% 以下の誤差で光速度が得られる。

4. 土星の衛星食との比較

木星の衛星食と同様に、土星においても衛星食が生じており有限な光伝播速度はこの場合にも食周期の変動、食の遅れを引き起す。共に地球の公転運動によるものであるが衛星の公転周期の違いによってその現れ方は異なる。両惑星の衛星食の起こり方を比較することによってそれぞれの特徴が明らかになる⁶⁾。

土星の衛星のうち比較的明るく観測しやすいレア(第五衛星)は約 108.4 時間(4.5 日)の公転によって食をおこすため、1 回おきの食が 9 日毎に約 1 時間遅れで生じ、長期にわたって一連の食が観測できる。土星の公転運動を考慮に入れたレアの固有食周期は公転周期より約 164 秒 = 2.7 分長くなるため、9 日おきに約 57 分ずつ遅れて食が生ずる。

$$\Delta = 108.48 \times 2 - 24 \times 9 = 57 \text{ min.} \quad (8)$$

従って、衝-矩の3ヶ月にわたる20回の食のうち1回おきの10回の一連の食が観測可能になることがありこれによって食周期の変動を直接観測できる。食周期の変動はイオの場合の約2.5倍、最大約39秒と大きいため、これが明瞭に確認できると考えられる。

	公転半径 (10 ⁶ km)	公転周期(h)	軌道傾斜角 (度)
イオ(木星第一衛星)	1.815	42.456	3.17
レア(土星第五衛星)	0.764	108.432	25.53

表5

木星の衛星食と同様、「衝」から三ヶ月後の食を観測することによって食の固有周期からのずれ $\Delta t = t_s' - t_0' - nT$ と地球の軌道半径 r_e から光速度を算出することができるが、この間の食の回数が20回と木星の場合に比べて少ないため(1/2.5) Δt の評価にあたって固有食周期の誤差の反映が少ないという利点がある。

最大の難点はレアの軌道傾斜角が大きいため、土星の1公転周期(29.5年)の間に二回、土星の環の消失時期にのみ衛星食が起こるという点である。衛星の軌道傾斜角が小さい木星の衛星食が42.5時間置きに常に生じているのにに対して土星の衛星食が生じる時期は約15年に一度、環の消失をはさんで2年間ほどの間に限定される。前回の土星環の消失は1995-1996年にかけて起こっておりレア、ティタンの衛星食の予報⁷⁾が行われているがここで考察したような視点からの観測結果の報告はない。

引用文献

- 1) 岡崎隆、佐藤啓紀、物理教育 48 (2000) 405
- 2) 山田盛夫、物理教育 33 (1985) 97、35 (1987) 177、41 (1993) 173
- 3) I.B.Cohen、Isis, 84 (1940) 327
「近代科学の源流」の著者の一人である須藤喜久男氏(札幌旭丘高校)より提供を受けた。
- 4) 伊理正夫、藤野和建、数値計算の常識 共立出版
- 5) 横田恭平、2000年度卒業論文 北海道教育大学札幌校
- 6) 西山鉢、2000年度卒業論文 北海道教育大学札幌校
- 7) 天文年鑑 1996年 誠文堂新光社

人工雪の実験

Experiment of making snow crystal

札幌市立札苗北中学校
北海道大学低温科学研究所
函館工業高等専門学校
北海道教育大学札幌校
北海道教育大学札幌校、
札幌予備学院非常勤講師

降矢信
西村良浩
長沢修一
岡崎隆
小川直久

雪結晶の作成実験を通して自然の中で形が出来上がってゆく様を観察し、その現象から結晶の表面構造の問題を推察する。小学生から大学生に至る実験授業の中で、それぞれに何かをつかみ取ってもらう。

キーワード；雪結晶、針状結晶、樹枝状結晶、熱拡散

Keyword: Snow-crystal, Needle, Dendrite

1はじめに

物理教育、いや、理科教育全体が危機的であるといわれて久しい。詰め込み教育が原因であると批判され「ゆとりの教育」をめざして教科書から多くの概念や事項が削られてきたが、本質的な改善にはなっていないと感じている。ゆとりを活かすということは教えることを減らすということと同じではない。子供達に考える時間を与え、何かを発見する喜びを知って貰う、そこに根を置くべきだろう。科学が単なる記憶すればいいものではなく、自分で考えて自分で何かを見つけるものであるということが認識されれば、例え試験の点が上がらなくともそこに喜びを見いだせるのではないかだろうか。少子化の進む昨今、進学のためテストのための授業というものから脱却するべき良い時期に来ているのではないか。以上のことを念頭に置いて子供達に雪結晶を作らせ、その現象を自分たちで解明して貰うという実験授業を企画した。雪結晶を題材に選んだのは理由がある。自然界の中で「形」が出来上がってゆく様を見られる実験は数少ない。なぜだろう、という素朴な疑問を呈するのに格好の教材と判断したからである。

実験に協力してくれたのは札幌市内の仲良し小学生5人と、札幌市立札苗北中学の生徒の皆さん（中学生の実験報告については別紙、降矢氏の報告をごらん頂きたい）、函館高専の電気工学科の3年生4名、北海道教育大学札幌校物理科の学生5人である。特に小学生には冬休みの自由研究という形を取って協力をお願いした。

2 実験法

平松式人工雪発生装置を用いる。500mlのペットボトル、ゴム栓、釣り糸（銀線0.4号を使用）、消しゴム（ペットボトルの口

から入るぐらいに小さくサイコロ状に切ったもの）、発泡スチロールのクーラーボックス、ドライアイスが必要。また、温度計を用いて雪ができた部分の温度測定を行って貰う。できた雪を観察し、スケッチを行う。雪は二カ所に異なったタイプのものが現れる。なぜそうなのか、なぜその温度なのか、子供達の思考の手助けを行って彼等自身に発見して貰う。細かい実験の手順などは平松氏のホームページからダウンロードできるPDFファイルに従う。おおざっぱに概説すると以下のとおりである。クーラーボックスの蓋にペットボトルがぎりぎり入るくらいの穴をあけておき、釣糸（50cm程度）の真ん中に消しゴムをホチキスでとめ、糸の両端を持ってペットボトル中へ消しゴムを沈めるように入れていく。消しゴムが底に着いたらボトルの中へ息を数回ふきこむ、あるいは湯を入れて中を温ぐ。糸がピンと張った状態でゴム栓をする。その後、クーラーボックスの壁にそってドライアイスを並べ、ペットボトルが真ん中にくるような状態で蓋をする。あとはこの状態で、糸に雪結晶が出来上がるのを待つのである。

3 授業の進め方

- まずは雪のイメージを語って貰う。どのような雪を観たことがあるか。絵を描いて貰うというのもひとつである。
- 雪結晶の写真¹を観て貰う。同じ雪でも非常に多くの種類がある。分類の多様性には事欠かないが、大きく分けて、六角板状と六角柱状のものに分類できる。我々が実験でお目にかかるのは、これらを基本形に持つDendrite（樹枝状）型とNeedleと呼ばれる針状のものである。
- 雪の形に違いがあるのは何故かを話し合って貰う。水からできているのに家の冷凍庫の氷と違うのは何故か？など疑問は尽きないが、まとめて解決は無理である。

ここでは雪の形の問題に重心を置く。

4. 以上の問題意識を持った上で実験を行う。実験だけで解決するわけではないが、足がかりになる情報が得られないかに注意を払って貰う。実験はなによりも一人一つずつやって貰うのが望ましい。

5. 実験結果をまとめてもらった上で、各自に意見を聞いてゆく。何がわかったか、出来上がった雪の様子はどうであったか、温度はどうだったなど。

6. 結果は糸の上部に Needle (針状) の結晶が、その下 2cm ほどのところに六角形を基本にした Dendrite (樹状突起) の結晶ができることになる。高さの違いが温度の違いであることに気づけば図 1 との一致を確認できる。

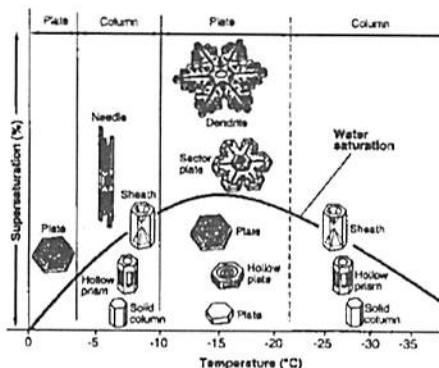


図 1 溫度と過飽和度による結晶パターン変化

(北大低温科学研究所古川研究室資料より)

(<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/~frkw/>)

これらの形の違いの理由を問題にするのであるが、ここで天下り式に解答を与えてはならない。あくまでも本人にみつけて貰いたいのである。ここが講師の腕の見せ所になる。(実際には Needle, Dendrite の他にも異なる形の結晶が違う高さに出来ている。が、これらは成長速度があまりに小さいので観測が難しい。)

7. 追実験をする。6.の理由は結晶表面の方々ごとに表面の構造が異なるからであるが、まず氷結晶の基本形が六角柱であることを認識してもらう必要がある。これにはチンダル(水の上にできる氷結晶の観察をして貰うのが良いかもしれない。模型を作つてみせるという工夫もまた良いだろう。基本形と比べて我々の得た二つの雪はどうであったかを見比べて貰う。

8. 以上の考察から、Needle は六角柱が縦にのびたもの、Dendrite は横に広がったものだろうという予想はつくのではないか? ここまで来れば 80 点。異なる温度でそれぞれの結晶構造が現れるという点から、温度によって側面、底面の成長速度が異なるので

はないか。ここまで予想できたならば満点でいい。ここで氷の表面構造の温度に対する変化を説明し、その予想の裏付けを与えることとする。

9. 以上を通して、

- 1) 二カ所での異なるタイプの雪結晶が発生すること
- 2) -5 度で Needle、-15 度で Dendrite ができるてそれらは六角柱の底面及び側面の発達によって生じたものであるという認識。
- 3) 氷結晶の表面の温度依存性から、底面は-5 度でざらざらして成長が速く、側面は-15 度でざらざらしているのでそこで成長が速い。(ざらざらしていること、つまり表面に小さな凹凸がたくさんあった方が水の分子はくつきやすいので成長が速くなる。) こうしてこれらの二つの温度で異なる種類の雪結晶ができるわけを理解して貰う。

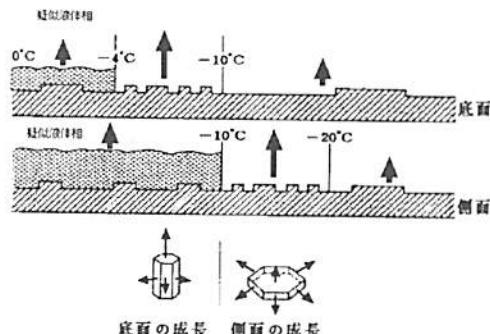


図 2 氷結晶表面と成長速度

(結晶は生きている⁶⁾より引用)

講義というのはひとつの Show である。子供たち、学生に楽しんで貰う必要がある。盛り上げる場を意図的に作る必要もあるかもしれない。そのためには、話の持つて行き方、順序にも注意する必要があるだろう。8. の話のあと、「なぜあの二つの温度であの形の雪ができなければならなかったのか」という問を与えて、彼らに発見させるような持つていき方が望ましい。

4 小学生への試み

「講義」などと肩張らず「遊び」としての実験ということを配慮した。途中なんでも彼等の思いついた遊びや脱線はあってよいし、何よりも「遊び」であるから時間は割ける。

我々は彼等の遊びの軌道修正を少しずつ行って、雪の結晶の方に目を向けて貰えるようにする。まず彼等にとって楽しいのは「ドライアイス遊び」である。遊びには二つある。

人工雪の実験

一つはドライアイスからの煙でろうそくの火が消えるということ、もう一つは水を入れたときの様子の観察である。

黙ってみていると、後の水がどうなったか気になって水を飲んでいる。ドライアイス遊びにケリがついたところでようやく本題に入る。ペットボトルで装置を作って実験。

雪ができるまで待っている時間が彼等にはたまらなく退屈である。あまりにどたばたするから糸は揺れてなかなか結晶が成長できない。ここは、しばらく外で遊んで貰うという手段を取らざるを得ない。

雪結晶は子供によっては出来たりできなかつたり様々である。ここ札幌の子供たちは雪など毎日見慣れていることもあるて感動たりうるものはないのであるが、それでもある決まった場所にできることの不思議、二カ所に出来ることの不思議については実感してもらえたようである。温度計を突っ込むという作業はここで行わなかった。彼等にはいさか無理があると思われるからである。単に寒ければ雪が出来るという説ではないことが実感してもらえば、それで十分と考えるべきかもしれない。

最後に感想を一つ引用。

「人工雪の結晶」をやってみてぼくは本当にできるとはビックリ！でした。しかも本当に雪印マーク！！がてきてよかったです。また、ドライアイスのけむりで火が消えすごーいと思いました。僕はこの自由けんきゅうはすごくじしんがあります！！（松本光栄南小5）

どうにも自由研究が終わったことの喜びの方が滲み出ている感も拭えないが、あの雪の形が「作れる」との喜びが伝わってくる。これは我々の喜びもあるし、自然の不思議さとそれに畏敬を感じさせる格好の教材である。子供用に作った資料は小川のweb-site³⁾にあるが、長くなるのでここでは紹介できない。

4 高校生（高専生）への試み

函館高専の電気工学科の3年生4名（高校の3年と同じ学年で、参加してくれた学生はロボット研究会に属しており、ものづくりにかけては経験を積んだ学生たちである）に協力していただき実験を行った。最初に雪の結晶をイメージしてもらい、その図をスケッチしてもらった。次に、他の年代の子供たち（学生たち）と同様に雪の結晶の写真をみせた。多くの雪の結晶は、ほぼ6角形になっているのは共通の性質であることに気がついたようであった。過去にテレビで見た、あるいは過去に理科の授業で観察した、といった学生の描いたスケッチは6角形という特徴をつかんでいたが、それでも雪の結晶には多様な形があり、わずかな条件の違いで違った形になるのは不思議なことを感じているようであった。ここで本実験を開始した。高専の学生実験では実験

器具が既に準備されていてそれを組み立てればよいだけの実験が多い中で、今回の実験は始めから手作りなので学生たちにとっては勝手が違うようであったが、むしろ手作りの実験に対し新鮮な気持ちで取り組んでいた。しかし、使った釣り糸が太くて（0.8号使用）、短い針状のものは見えたが完全な雪の結晶と言えるものはとうとう観察できなかった。実験終了後、簡単なアンケートおよび感想を書いてもらった。その後で、高専生の学力にあった理論的な説明を行った。始めに過飽和という語句を説明し、過飽和状態にある気体分子は凝集しつづきやすくなっていることを説明した。さらに、分子運動論的な立場から結晶成長の仕組みについて以下のようなモデルがあることを紹介した。すなわち、水分子がブラウン運動し、そして結晶の核となる物質あるいは結晶にぶつかると水分子は運動をやめてくつき成長するというモデルである。

1. ブラウン運動

気体となっている水分子は他の分子（窒素分子など）との衝突によってブラウン運動し、ランダムな動きを行う。ブラウン運動については長嶋登志夫氏が作成したJAVA Applet⁴⁾を用いたシミュレーションを見せて説明を行った。

2. 拡散に支配された凝集 (Diffusion-Limited Aggregation ; DLA)

ブラウン運動している気体が結晶の核や既に結晶化している部分に衝突することでくつき（凝集し）、結晶の形（パターン）を作る。DLAによるシミュレーションではフラクタル图形⁵⁾ができるが、ここではフラクタル图形については述べない。

DLAによるシミュレーションについても長嶋登志夫氏が作成したJAVA AppletあるいはDr.Chi-Hang が作成したJAVA Applet⁶⁾を用いたシミュレーションを見せて説明した。

以上の実験結果、シミュレーション結果と図1を比較することによりペットボトルの中で何が起こったかについて学生たちとともに議論した。例えば、単純なDLAモデルではなぜ6角形にならないのか、雪の結晶のDendriteとNeedleとの形の違いの原因は何か、温度（あるいは過飽和度）の違いは結晶を作るときどのような影響を与えるか。雪の結晶ができるまでの時間はどのようにして決まるか、などである。

今回は実験に積極的な学生に集まってもらい実験と議論を行った。この後、授業において1クラス約40名ほどの学生に対してても行う予定である。今回の経験を参考にしながら、実験テキストの作成、アンケートの設問の吟味、多数の学生への対処法と好奇心の保持のための手段、レポート提出の際に考えてほしい課題などについて吟味し、授業の一環の学生実験を行う予定である。

5 大学生への試み

北海道教育大学札幌校の物理科2年生3人、3年生、4年生各1名の合計5人に協力して貰い実験を行った。2章：授業の進め方に書いたようにまず雪の結晶の絵をイメージで描いて貰い、次に結晶の写真を見せた。同じ雪でもどれ一つとして同じ形のものがないというのは驚きであったように見える。次に実験を開始。平松氏のファイルには釣り糸の他にデンタルフロスもよいとあったので、デンタルフロス、髪の毛、釣り糸の三種類の糸を凝結核とする方法が本人らの提案で試された。が、釣り糸がもっともうまく雪結晶を産み、続いて髪の毛、デンタルフロスはもっとも成績が悪かった。これはおそらく裂いて用いる際に裂き方が不十分だったためで、釣り糸にしても太いものを使うとやはりうまく成長しない。温度計を差し込んでの実験であったが、温度計を差し込むことで拡散場が乱されることにより雪結晶ができにくくなる。すいぶんと時間をかけて、なんども実験を繰り返すことによって、ようやく学生の一人が下に出来る dendrite 部分の温度を測ることに成功した。実測値で-16 度と出た。続いて上の Needle 部分に関しても-4 度と測られた。学生によつてはうまくやる学生もいれば何度やってもうまくゆかない学生がいる。何度やってもうまいかないと次第に娘になって止めてしまうものである。自分のやり方のどこが悪いのか、うまくできる人のやり方を見て盗み取ってやろうという気概が欲しいものである。

大学生であるので理論的な説明も少し行った。この種の解説については参考文献にある「結晶は生きている」⁶⁾ がもっとも広い範囲をカバーしている。

1 ラプラス不安定

水蒸気にも温度にても基本的に拡散方程式に従う。時間発展が非常に緩やかな場合には時間依存性を捨ててよい。そうすると拡散方程式はラプラス方程式となる。ラプラス場の一般的な性質であるラプラス不安定をいくつかの境界条件の下でラプラス方程式を解かせることによって示した。このような不安定性が元になって六角板の角の部分から dendrite が伸びるのである。

2 Gibbs-Thomson 効果（界面温度の曲率依存性）

固体表面の曲率によって結晶の成長の阻害の程度が変わるという説明を行う。おおざっぱには、出っ張ったところは構成分子がはがれやすいので成長が遅くなるということを数学的に示したことになる。これによって、過飽和度が大きくても凝結核となる大気中の塵や今の場合の釣り糸のようなものがないとほとんど成長が始まらないことが定性的に理解できる。以上の説明の詳しい解説については先の小川の web-site の「簡単

Mullins-Sekerka 理論入門」をダウンロードしていただきたい。^{3), 7)}

以上のような解析的な理論だけでは実は不十分で、表面にたどり着いた分子が結晶に取り込まれる速度を論じる界面カインティクスを併用しないと現象がうまく説明できない。表面構造の問題はまさに界面カインティクスを支配している。さて、問題は実験結果の理屈が説明できるかどうか。二つの温度で異なる形の結晶ができる。これは図1と一致している。問題は、「なぜ、異なる結晶の形が存在するのか、それを示す理屈を考えなさい」ということである。もっともいいのは学生に意見を出し合ってああではないかこうではないかと議論して貰うことであるが、最近の学生はこういうことが出来ない。で、問題を出すとテストでもない限り当たり前な顔をして本を闇べるのである。自分の頭で考えるのではなくて、「考える」作業は文献の「検索」に変わっている。従つてなかなか議論は進まない。そこで誘導形式で話を進め、六角柱の底面、側面のどちらがメインに成長するかで基本的な形が決まる。温度によってどちらの形かが決まるという実験事実から面方位ごとに成長速度の温度依存性が異なり、それは表面構造の温度依存性からくるということを理解させた。しかしながら今回、彼等には解析的な計算の方にむしろ新鮮味があつて議論自体もむしろラプラス方程式自身に関心が向いていたようである。こうした初等的な理論計算自身は初めのうちは面白いと思っていろいろいじくり回すのであるが、飽きてしまうと当たり前になつてしまふ。ここまできてようやく使いこなせるようになるのであるが、そうなつてしまえば興味はむしろ表面構造の問題になってきて以上のストーリーの面白さが見えてくるのであるが、まだまだこの点については彼等は修行が足りないので無理な注文かもしれない。

なお表面構造の温度依存性については分子動力学の計算機シミュレーション(MD)では確認されているが⁸⁾、物理理論としては確かな議論がいまだに続いているので決定打がないことが知られている。

6 人工雪以外での実験・観測について

ペットボトルの中で自分たちが作った人工雪を観察してみて、なかなか天然の雪結晶のような美しい形のものができないことに気付くであろう。やはり天然の雪結晶はすばらしく魅力があり、授業で実際に外に出て天然雪の結晶の観察を行うと大学生も非常に喜ぶものである。そこで、雪結晶の観察方法について極簡単に紹介しておこう。^{2), 9)}

最も簡単なのは目視による観察である。10 cm × 10 cm程度の黒

人工雪の実験

い布（ピロードが最適）を貼ったベニヤ板かダンボール箱で降つてくる雪を受けて、物置のような寒いところで肉眼やルーペで観察するという方法である。

さらに、この布を貼った板の上に使用直前に良く磨いたスライドガラスを乗せて置けば偏光顕微鏡等での観察ができ、より詳細な雪の構造を観察することができる。

顕微鏡やカメラに関する諸注意は参考文献^⑨を参照してもらいたい。また、写真以外に雪の形を保存し観察する方法としてプラスチック・レプリカ法と呼ばれるものがある。

レプリカ液と呼ばれる合成樹脂（二酸化エチレンをホルムアルデヒドに溶かしたもの。0.5~3wt.%）を十分脱水しておいたものを用意し（アクリル板の切りくずをアセトンに溶かしたものでも代用可能。）、雪の無いところで冷えたスライドガラスをガーゼでよく磨いて（スライドガラスが温まらないように手袋をする）その上に液を2, 3滴たらして一様に塗りシャーレ等に入れて蓋をしておく。（最初からシャーレの底にレプリカ液を塗っておく方法もある。）

これを持って雪の降っているところで蓋をあけ、液の上に雪結晶が落ちるたら蓋をする（結晶にレプリカ液が十分ついてない場合にはさらに数滴液をたらしたりして調整する）。これを雪が融けないところで半日~1日置くと雪結晶の表面に合成樹脂の被膜ができる、その後内部の雪が昇華してレプリカが出来上がる。これを使えば普通の実験室内で時間をかけて観察することができるし、写真撮影のように主観で結晶を選ぶことがないので観測には都合がよい。

7 結論

自然界において形が形成されるという点に主眼をおいた教材といふものはきわめて少ない。この人工雪の実験はそうした数少ない教材の一つといえる。異なる高さ（異なる温度）の二カ所で発生する異なる形の雪結晶が明瞭に観測され、それが結晶の表面構造に起因するというきわめて興味深い内容である。

さらにこの表面構造の問題に関してはまだ理論が完結していないという意味で、未解決の領域の一端に触れることができる教材でもある。現代物理学においては未だに要素還元主義が蔓延し分子-原子-原子核-素粒子に至る領域が脚光を浴びているが、一方でこうした多体系の問題にも未解決の興味深い問題が存在することをアピールするという点においてきわめて重要ではないかと考える。

小学生については今回、単に雪が寒いからできるというのではなく特定の温度ごとに異なる形の雪ができるこを「発見」してもらった。

高専生には、DLAなどのシミュレーションとの比較によって分子のブラウン運動という観点から雪結晶の生成について議論をし理解を深めて貰ったと思う。

また、大学生には、雪の形が結晶の表面構造の問題に関わるという事実、さらにはラプラス不安定や Gibbs-Thomson 効果の影響で単純に雪がどこにでもできるわけではなく空気中の塵など何らかの核があるところで優先的に成長しやすいこと、また角板の角から成長する Dendrite の理屈など必要十分に理解してもらったつもりである。これらを通して各人が「形の生成」という自然科学の大きなテーマに関心を持ってもらえれば喜ばしいことである。

なお実験において、二カ所に雪ができる一カ所に集中しているケースが多く見られた。以上の議論から理由は明らかだろうと思う。縦方向に急な温度勾配ができるので、この勾配が急すぎると-15 度と-5 度は数ミリしか離れていないことになるからこういう状況になる。なぜだろうとあれこれ試してみるのはもちろんだが、理屈を知っていないとなかなかそれと気づかないものである。

要はペットボトルの差込加減、ドライアイスの量の調整で温度勾配のかかり方は大きく変わるのである。

先にも少々ふれたが、この実験では異なる二カ所に二種類の雪が見えるだけであるが図 1 をみてもわかるとおり、そのほかの温度でも異なる形状の雪結晶が誕生している。しかしこれらは成長速度が遅く、小さすぎて見えにくいのである。左の図は Hallet-Mason の人工雪発生装置の図である。^⑩ 縦軸は温度として読める。途中にも多くの小さな雪結晶ができるのがみえる。図は菊池勝弘氏「雪の結晶の観察」^⑪ からの転載による。

参考文献

雪に関する参考文献は非常に多い。手元にあるものだけを挙げたが、これは筆者の主観による偏りが少なからず混じっているのでご了承願いたい。

- 1) ペットボトル人工雪発生装置 平松和彦
<http://users.eolas-net.ne.jp/saebou/kazupage/kazu.htm>
- 2) 天から送られた手紙：写真集雪の結晶 / 中谷宇吉郎雪の科学館解説・編集。- 加賀：加賀市地域振興事業団，1999.3.；雪の結晶 - 冬のエフェメラル / 小林頼作著。- 札幌：北海道大学図書刊行会，1983.1.；Web 上でも観ることができる。例えば、北海道大学低温科学研究所 雪氷相転移ダイナミクス研究室

web site:

<http://www.lowten.hokudai.ac.jp/~frkw/snow/snowcrystalsp.html>.

3) 子供向けの理論的な解説は著者(小川)のものが web にある。

「子供のための雪の物理入門」(PDF) ダウンロードは

<http://www10.u-page.so-net.ne.jp/sf6/gravity/Yanaze.html>

から可能。

4) 物理教育用の JAVA, Applet 集については、例えば、

<http://www.nep.chubu.ac.jp/~nep/java/>

<http://physicsweb.org/TIPTOP/VLAB/> などの Web-Site にある。

ここで参考にしたブラウン運動の Applet は

<http://www.nep.chubu.ac.jp/~nep/java/javacode/BrownMotion/>

BrownMotion.html に、また DLA については、

<http://www.nep.chubu.ac.jp/~nep/java/javacode/DLA/DLA.html>

あるいは

<http://apricot.ap.polyu.edu.hk/~lam/dla/dla.html> にある
ものを使った。

5) DLA やフラクタルについて :

「フラクタル科学」高安秀樹 輯著、朝倉書店 1987 年。この
本の 2.6 章では DLA を用いて雪の結晶(Dendrite)と似た結晶バ
ターンができる事を書いている。あるいは、「フラクタル成長
現象」タマス・ヴィチエック 著(宮島 佐介 訳)、朝倉書
店 1990 年がある。

6) 「結晶は生きている」黒田登志雄著、ライブリ物理の世界

3 サイエンス社 1984 年

7) Mullins,W.W. and R.F.Sekerka , J.Appl.Phys. 34,
323-329, 1963

8) Anisotropic properties of ice/water interface: A Molecular
dynamics simulation study, H. Nada and Y. Furukawa, Jpn. J.
Appl. Phys., 34 (1995) 583-584.

9) 「雪の結晶の観察」菊池勝弘、日本気象学会機関紙“天氣”

26 1979; Meteorological Classification of Natural Snow
Crystals, Choji MAGONO and Chung Woo Lee, 北海道大学理学
部紀要 VII, VOL.2, NO.4, 1966

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。写真是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7-7th原稿の例)

2 原稿用紙での投稿の場合

原稿用紙(横書き2段 1344字詰)6枚程度とし、この場合1枚が1ページに相当し6ページ以内になります。

3 その他

(1) 原則として原稿はお返りいたしません。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(5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。

題名(A4用紙) (副題) 1 st -シ目 所属 著者名	段の間は 2文字空→←	(A4用紙) 2 nd -シ目
概略や本文は9行目 から書き出します。 <キ・リ・ト>など	全角 ←25文字→ 表1	
1ここから 2 縦2段に	図1	
書き始め 横は全角 最終行は		写真1
←25文字→ 45行目	45行目	

原稿募集

上記規定により支部会報「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 ☎ 061-2292

札幌市南区藤野5条10丁目478番地1

北海道札幌南陵高等学校

菅原陽

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

E-mail sizukayo@gol.com

6月発行予定

日本物理教育学会北海道支部

編集責任者 菅原陽

(060)札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学大学院物理工学研究課

機械科学専攻 流体物理工学講座

日本物理教育学会北海道支部

電話・及びFAX (011)706-6723

A4 原稿執筆要項 表題は14 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 Itiro

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太字

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

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。

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. 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。

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

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。

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。

 $\mathbf{J}_e \quad V_e \quad P_e^a$

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¹¹は右肩に¹¹を文章中に記入し下記のように、一括して末尾に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

「'01 青少年のための科学の祭典北海道大会」

主催 北海道科学の祭典実行委員会 財団法人日本科学技術振興財団・科学技術館 財団法人北海道科学・産業技術振興財団
(略称: ホクサイテック) 北海道新聞社(各市開催時に主催または後援となる定) 札幌市 札幌市教育委員会

函館市 函館市教育委員会 室蘭市 室蘭市教育委員会 北見市 北見市教育委員会 帯広市 帯広市教育委員会
(以上は予定も含む)

共催 北海道科学館連絡協議会 北海道地域技術振興センター(ホックタック)

後援(予定を含む) 文部省 科学技術庁 北海道通商産業局 北海道 北海道教育委員会 北海道高等学校長協会
北海道中学校長協会 北海道小学校長協会 北海道高等学校理科研究会 北海道中学校理科研究会

北海道小学校理科研究会 日本物理教育学会 日本物理学会 日本理科教育協会 北方圏理科教育振興協会

BUTIRIサークルほっかいどう 日本応用物理学会 北海道経済連合会 全国科学館連絡協議会 全国科学博物館

協議会 日本放送協会(NHK) 日本科学教育学会 日本化学会 電気学会北海道支部 日本アイソトープ協会
日本理科教育振興協会 日本私学教育研究所 日本基礎科学教育学会 日本教育用理科機器協議会

羽幌大会 平成13年5月20日(日) 10:30-1:30

リフレッシュ理科教室(概要)

じゃがラボ2001 6月9・10日 俱知安町総合体育馆

主催 応用物理学会北海道支部

高校北理研大会 7月29日~31日 北海学園大学

共催 日本物理教育学会北海道支部

科学の祭典北海道大会 8月18・19日岩内文化センター

開催日 2001年8月5日(日)

函館大会 平成13年8月26日(日) 10:00-16:00

会場 第1会場 北大(札幌市北18条、旧教養部)

会場 函館市民会館

第2会場 北大(札幌市北8条、農学部近くのSCS
局)

札幌大会 平成13年9月8・9(土日) 9:00-17:00

○ プログラム

会場 札幌市青少年科学館 展示

<午前の部 10:00~11:30 講演(演題は仮)>

会場 室蘭市青少年科学館 展示30ブース程度

講演1・・・小学校の理科教育と大学の物理教育を
つなぐもの

会場 帯広市大会 8月18・19日岩内文化センター

講演2・・・「空き缶つぶし」や「光通信」などの物理
おもしろ実験

会場 創路大会 8月18・19日岩内文化センター

講演3・・・古くて珍しい実験器具には新しいヒントが
いっぱい

会場 創路市青少年科学館

<昼休み 11:30~12:30>

物理教育学会年会 クリスマスレクチャー 12月

<午後の部 12:30~16:30 実験の紹介と体験>

科学探検広場 1月12・13日 旭川市青少年科学館

「光と音」、「電気」、「磁石」、「力と圧力」、
「物質の性質」、「運動」、「エネルギー」の7テーマを予定しています。 1テーマあたり30分を予定し、
前半15分は説明を受け、後半15分で参加者が実験を体験するというスタイルで進めます。

内容 エネルギーを中心として、科学教育教育者等が実

験を通して、青少年及び一般に対して話しかけ、科学への興味関心を喚起することを目的とする。また、科学を楽しいものとして社会の文化となるように努力する。出展内容は、科学に関するもので演示実験、体験教室や製作教室、ステージ発表、大学高専高校生による科学クラブの出展などがある。特に全国関係機関による移動展示の協力をお願いする。実演・講演者 科学教育関係者
(小中高校大学・教育機関、一般及び企業関係者、PTA関係者) 実験協力者 理工系大学生 高校生 教育やPTA関係者のボランティア

内容は小学校、中学校の新学習指導要領に対応したものを含んでいます。お土産としては、空き缶笛、虹色フィルム、光ファイバー、手作りモーター、静電気関連、磁石おもちゃ、浮沈子、ごみ袋熱気球、念力振り子、他、手軽で子供たちにも製作できる実験の材料

対象 小中高校生と父母及び一般(大学生、専門学校生

を含む) 参加者数 延べ10000名以上

原稿募集 「北海道特集」

物理教育 Vol. 49, No. 5 「北海道特集」の原稿募集と編集について（締め切り 9/15）

昨年度から物理教育学会誌「物理教育」に毎年「北海道特集」を掲載することになりました。約40ページを受け持つことになります。発行部数は約2千、物理教育に深く関わっている大きな団体です。今回は2年目でもあり、昨年同様どのような方針を持って特集を組むかの話し合いが行われましたが、特に方針を明確にする事なく進むことになりました。そこで、ここに掲載する本年度の記事を募集したいと思います。広く物理教育に関わる研究や実践・意見主張など様々な内容を受け付けます。新たに研究や実践をまとめている方はもちろん、本誌「北海道支部会報」の記事や北海道内の様々な理科関係機関の研究会に発表された内容を発展させて全国誌に掲載することもよろしいかと思います。よろしく編集部に情報を寄せてください。募集期間は短いですが編集担当として意欲を持って取り組みたいと考えています。今後も、毎年この「北海道特集」に取り組むことになります。今後とも会員のみなさまのご意見をお聞かせいただきたいと考えます。どうぞよろしくお願ひいたします。（締切日 2001年9月15日）

表紙写真の説明

写真上大・・・ 2001.3.1

にユネスコ世界遺産が決定した。

ウェールズ・ブラナーボン製鉄所

跡（産業革命全盛の18世紀、イギリス最初の本格的製鉄サイト）

写真左大・・・ ルール工業地帯再

開発「エムシャーバーク」の中心

地、ラントシャフトノールトのク

ルップ溶鉱炉博物館（デュルスブルク）（2001.3 世界遺産決定）

写真中上・・・ 同情、クルップ溶

鉱炉屋上からエムシャーバークを

見る。

写真中下・・・ エムシャーバーク

の中心地ルール工業地帯中核都

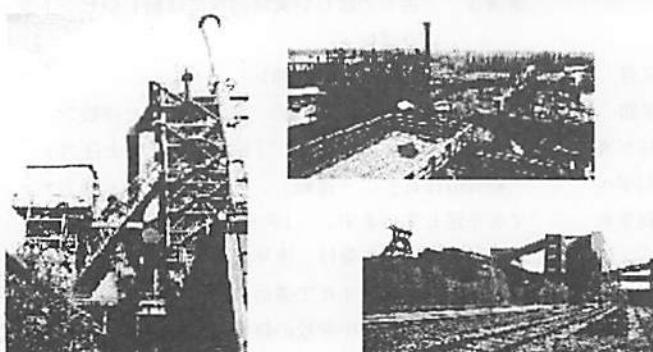
市、エッセンのドイツ関税連盟第

12立坑炭坑博物館（ドイツ最大）

（2001.3 世界遺産決定）

写真提供

札幌開成高校 山田大隆先生



編集後記

読みやすい記事を前半に配置し、論文は論文集として巻末にまとめるなど、手にしやすい校正にすることを心がけ、表紙についても、このデザインの中央の写真は毎回新たなものに変えていきたいと考えています。よって次回の写真または図表については読者のみなさんの投稿に期待したいと思います。昨年同様、編集はほとんど手作りで、原本はすべて手作業（ワード、一太郎）です。製本だけを業者にお願いしました。支部会員の読者層を拡げ、物理教育のすそ野を広げるために、読者の拡大については、皆さまのご協力を願っています。小学校・中学校・高校・大学の先生方のみならず学生会員など読者の拡大に期待します。

目次

卷頭言	北海道大学理学研究科 小野寺 彰	1
1 特集 科学史研究		
1) 博物館紹介 スミソニアン・インスティチューションと 歴代のセクレタリーたち	元札幌国際大学 北川芳男	2
2) マイケル・ファラデーと電磁気現象発見の背景	北海道札幌清田高校 鶴岡 森昭	8
2 支部活動紹介 クリスマスレクチャー		
衛星通信による中学高校生の研究交流会	北海道札幌南陵高校 菅原陽	13
3 話題 新学習指導要領(解説)と構成主義理科教育		拡大編集委員会 16
4 海外レポート 北方領土・国後島のビザ無し訪問に参加して	北海道羅臼高校 中道洋友	18
5 実践報告 科学の祭典帯広大会を通して	北海道鹿追高校 伊藤 新一郎	20
6 教材研究および実践例		
紙コップによる人の声に反応する簡易音分離共鳴装置の作成と分析	北海道札幌南陵高校 菅原陽	22
「電流がつくる磁界」生徒実験による実践報告	北海道札幌藻岩高校 西川 浩司	28
人工雪発生装置をもちいた授業の実践	札幌市立札苗北中学校 降矢信	32
飛脚のドップラー効果	北海道札幌啓成高校 石川 昌司	37
7 研究論文集		
斜面を落下するボールの運動	北海道大学大学院理学研究科物理学専攻 佐藤 久志 北海道大学理学研究科 小野寺 彰	41
木星の衛星食による光速度測定	北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、横田 恭平*、西山 紗*	44
	*北海道教育大学札幌校 平成12年度卒業	
人工雪の実験	札幌市立札苗北中学校 降矢信 北海道大学低温科学研究所 西村 良浩 函館工業高等専門学校 長沢 修一 北海道教育大学札幌校 岡崎 隆 北海道教育大学札幌校、札幌予備学院非常勤講師 小川 直久	48
8 北海道支部会報投稿規定、執筆要項		55
9 祭典など 大会案内		57
10 編集後記		58