

ym



物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

Vol. 26, 1998. 8

目 次

卷 頭 言 日本物理教育学会北海道支部副支部長 中野善明

研究論文

・サッカーの物理学II プレーヤー動態のスペクトル解析	1
北海道教育大学函館校 松浦俊彦・小川英之	
小野寺広樹・下山雄平	
大東文化大学 大橋二郎	
・速度計を使った楽しい「物体の運動」	7
北海道大学 佐藤久志・細川敏幸	
小野寺彰	
有朋高校 阿部英一	
・放射線指導の実践的研究	9
北海道札幌開成高校 鶴岡森昭	
・「高校物理の展開事例」	16
北海道札幌開成高校 鶴岡森昭	

解 説

・自己組織化単分子膜の構造と物性	19
北海道教育大学函館校 小川英之・松浦俊彦	
下山雄平	

調査報告

・理科に関するアンケート調査	24
札幌市教育研究所 和田悦明	

実践報告

・バンジージャンプ方式の無重力実験による科学体験学習	32
永田敏夫・大久保政俊・村上俊一・岡久保幸	
梅内宏・青柳明典・池田和人・増田智之	
小野寺俊博・柳田英俊	
・「星空と人間のつながり」	43
北海道俱知安高校 佐々木淳	
・製鉄所見学と鉄鋼技術者・研究者との懇談会に参加して	48
北海道札幌南陵高校 菅原陽	

支部規約 49

卷頭言

日本物理教育学会北海道支部副支部長 中野善明

昨年の四月より、海外留学（オーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）国立計測研究所（NML）客員研究员）の機会を得て渡豪しましたが、この一年の留守の間支部会員の皆様には大変ご迷惑をおかけしました。しかし、支部活動の方は例年以上に活発のようで、研究大会、会誌発行、科学の祭典、そして新春座談会など精力的におこなわれたとのこと、大変喜ばしくまたお礼申し上げます。

豪州での研究は、電気通信・産業物理部門の光技術プロジェクトに所属し、光干渉に関するのもで、贅沢と思われるくらいの研究施設とスタッフ・予算で研究活動をできました。この研究所は、1979年に都心のシドニー大学キャンパスから郊外の現在の Lindfield へ移転し、応用物理学部門としてこの国の研究の中心的役割をしてきましたが、さらに近年の行革により、一昨年の秋に他の部門を吸収した形で現在の部門名に改め、400名以上の専任スタッフを有するこの国最大規模の研究所となりました。一般的には欧米に比べ activity が低いと言われていますが、分野によっては決してそうではないと感じました。多民族多文化社会を目指して進んでいる豪州ですが、出身者の多い英國式の習慣が根強く残っています。研究所でも仕事の合間の午前・午後の Tea time は今でも続けられ、職員間のコミュニケーションを得る時間となっています。親切・おおらかで勤勉さなど、学ぶことが多かったように思います。

また、オーストラリアは教育に大変力を入れている国のです。教員の地位も比較的高いようで一生懸命です。初等、中等、高等教育機関でおこなわれる正規の学校教育とは別に、連邦政府と各州によって運営されている CSIRO 科学教育センターの科学教育活動に大変興味もちました。このセンターは各州都にある CSIRO の付設ものを含めて全国に9箇所あります。このセンターは小学生から大学生、父母、および教育・研究関係者等を対象にデモ実験、生徒実験をおこなっています。受講生より実費を徴収し、児童・生徒の場合には学校（クラス）単位で教員の引率のもとで、1 グループは 12、3 名程度で学年や年齢によって異なるテーマが用意されています。私もシドニーのセンターで何度も参加させていただきました。受講対象者を限定せず、多くの国民に科学の楽しさを体験させ、重要性を納得させるのに政府からの援護があるのはなんとも頼もしいかぎりです。

日本では低年齢層の荒廃を耳にしますが、“科学をする”を通してこの抑制の一助となればと願っています。

サッカーの物理学Ⅱ

-プレーヤー動態のスペクトル解析-

北海道教育大学函館校物理学教室 松浦俊彦・小川英之
小野寺広樹・下山雄平
大東文化大学文学部体育学教室 大橋二郎

Abstract

An analytical method was developed for the dynamical and collective behaviors of soccer players during a match game. Spectral analysis of the positional data of soccer players at every half second allows to evaluate frequency of their running behavior. We could define in-situ behavior of a defence and a forward players by the physical parameter in frequency domain. We established a novel technology as based on the modern electronic detection and various spectral-prediction methods to analyze soccer behavior during a game. A rigorous theoretical scheme enables evaluation of dynamics of soccer players.

1. 序論

近年、サッカー日本五輪チームのアトランタでの活躍、そして日本代表チームの'98フランス・ワールドカップ出場に見る如く、日本サッカー界の活躍はめざましい。その影には、日本サッカー協会のロジスティック・グループの活躍がある。このグループの運動に対する科学的なアプローチから、選手の能力評価や育成方法及び戦術などが考えられ、選手のサポート体制が整えられてきたからである。

従来、試合におけるサッカー選手の評価には、数値化できるゴール数やアシスト数などがある。また数値化できない選手の動きには、視覚的に評価する方法が用いられてきた¹⁾。例えばサッカーの様なスピードがあり、かつ複雑な動きに対しては、スナップ・ショット解析が多用される。選手の動きをビデオに記録し、ある時間における選手の動き、ポジションやフォーメーションを評価する。しかしこれでは、試合を時間的に輪切りにしたものであり、選手を試合という一連の時系列で評価することは不可能である。現代サッカーでは戦術などを考える上でも、選手の動きを連続的、かつ科学的に評価することが求められている。

物理学では時間的に変化する現象解析には従

来フーリエ変換が用いられる。フーリエ変換は、任意の周期関数を三角関数の級数として表わす方法として、19世紀の前半代にフランスの数学者J. Fourierにより考えだされた。今日、フーリエ変換は音声信号や地震波、脳波、経済変動データなどの理学、工学、社会科学などの各分野の周期的特性を探る手法として実用性が認められている²⁾。

我々は従来³⁾、試合中のサッカー選手の時空間データ⁴⁾を純力学的に取り扱ってきた。これにより選手の運動速度や加速度などの物理的パラメーターを得ることができた。本稿では、試合中の選手の速度にフーリエ変換をほどこしスペクトル解析を行った。この時系列解析によって、サッカー選手の試合中の動態を評価した。以下、第2節にスペクトル理論、第3節に計測及びデータの計算法を示す。第4及び第5節に結果と考察を与える。

2. スペクトル解析の理論

フーリエ変換(FT: Fourier Transform)：ある時間信号 $g(t)$ が、ある周期Tを持つ連続関数であるとき、 $g(t)$ は直流成分と、 n/T で表わされる周波数成分を持つ三角関数の和として表現できる。これをオイラーの公式を用いて書

きかえ、周期 $T \rightarrow \infty$ とすると、最終的には連続的な周波数が与えられ、周波数 ω の連続関数 $P(\omega)$ と考えられる。

$$P(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-i2\pi\omega t} dt \quad (1)$$

これがフーリエ変換式である。計算機の発達にともない、離散的時間信号の処理に対応した離散的フーリエ変換（DFT：discrete Fourier transform）とDFTの計算アルゴリズム中の同じ計算部分を省略した高速フーリエ変換（FFT：fast Fourier transform）が開発された。FFTはデータ数が2の巾乗個の場合を対象としている。データ数がNの時、DFTにくらべFFTの処理速度は $\log N / N$ に減少される。

最大エントロピー法：最大エントロピー法（MEM：maximum entropy method）とは、スペクトル密度 $P(\omega)$ のフーリエ逆変換が自己相関関数 $C(t)$ に等しくなるというWiener-Khintchineの関係式のもとに、情報エントロピーを最大にすることで、偏見の少ない $P(\omega)$ を決定する方法である。

これを解くには、 $C(t)$ を既値とするYule-Walker法と、級数係数 P_m の他 $C(t)$ も未知数と考えるBurg法がある。Burg法の場合、係数 r_k を数値フィルターとみなし、これに信号を正および逆向きに通したときの出力の平均が最小になるように r_k を決定する。このようにして r_k を求めることによりMEMスペクトルは、

$$P(\omega) = \frac{\Delta t P_m}{\left| \sum_{k=0}^m r_k e^{i\omega k} \right|^2} \quad (2)$$

m ：次数、 Δt ：データ間隔
 P_m ：予測誤差分散
 r_k ：係数（数値フィルター）

と決定される。

自己回帰モデルによるスペクトル推定法：自己回帰（AR：auto-regression）モデルとは、過去のいくつかの観測値にそれぞれ適当な係数（自己回帰係数）をかけたものに、現在の白色雑音を加え、今の観測値を与えるような構造の

モデルである。その式を以下に示す。

$$g(t) = a_1 g(t-1) + \cdots + a_m g(t-m) + n \quad (3)$$

$$\epsilon_i = x_i - \hat{x}_i \quad (4)$$

a_n （ $n=1, 2, \dots, m$ ）：自己回帰係数

n ：白色雑音、 ϵ_i ：予測誤差

MEMとの関係について考えると、係数 $(1, -a_1, -a_2, \dots)$ は予測誤差 ϵ_i を白色雑音にするための数値フィルターとみなせ、(3)式に順次 $g(t-k)$ をかけて期待値をとることにより、Yule-Walker方程式が得られる。また、Wiener-Khintchineの式に代入して变形すれば次式が得られる。

$$P(\omega) = \frac{\Delta t P_m}{\left| 1 + \sum_{k=1}^m a_k e^{i2\pi\omega k \Delta t} \right|^2} \quad (5)$$

このように、自己回帰式からMEMスペクトルの式が求めることができる。

3. 計測とデータ処理法

計測システム：測定システムは、2台の照準器、ポテンショメータからのアナログ信号の調整器、A-Dコンバータ、データレコーダインターフェース、パーソナルコンピュータ用データレコーダーからなる²⁾。連続的に得られた照準器からのアナログデータ信号は0.5secのサンプリングタイムで角度に変換され、デジタル信号で自動的にデータレコーダの磁気テープに転送、保存するようにした。2台の照準器は角度のデータによる計算上の誤差の受けにくい場所として、タッチラインに平行な線とゴールラインの延長線との交点に設置した。左右の照準器間の距離と対象選手によってなす2点の角度より、XY平面座標に変換した。速度はこのデータの角座標間の移動距離から算出している。被験者は日本サッカーチーム代表選手二名（HAR.とKTH.）である。被験者HAR.はフォワード、KTH.はディ

フェンダーである。

DFT法のアルゴリズム : $0 \leq t \leq N-1$ の合計N個のサンプル化されたデータを考える。周期をもつ信号は、周期Tにより定まる周波数fを基本成分とし、その整数倍 k/N の高周波成分の Fourierスペクトルが求まる。この場合、

$$G(n/N) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} g(k) W^{nk} \quad (6)$$

$$(\text{ただし } W = e^{-i2\pi/N})$$

となる。Wは複素平面上における単位円をデータ数Nで分割した $2\pi/N$ の角度における複素数値に対応する。

MEMのアルゴリズム : MEMによるスペクトル推定を行うには、 $m+1$ 元連立方程式を解かなければならず、膨大な計算時間を必要とする。しかし、式の特殊性から計算時間をかなり短縮できるアルゴリズムがLevinsonによって提案された。これを用いたBurg法は、指定した次数における係数 a_m, a_{m-1}, \dots, a_0 と P_m を用いて、

$$P(\omega) = \frac{\Delta t P_m}{\left| 1 + \sum_{k=1}^m a_{m-k} e^{i\omega k \Delta t} \right|^2} \quad (7)$$

を計算する。この P_m が観測波形のMEMによるパワースペクトルである。

4. 結果

Fig. 1 (A-F) に被験者HAR.とKTH.の速度データについて、DFT及びMEMによるスペクトル解析の結果を示す。両者とも1st halfのデータである。Fig. 1のAとDはそれぞれ被験者の速度の時系列データで、運動変動の幅は明らかに被験者HAR.の方がKTH.より大きい。これは明らかにポジションの違いが出ている。DFTによるスペクトルBとEでは、強度に違いがあるものの、周波数分布には大きな差は認められない。一方、MEMによるスペクトルCとFでは周波数分布に明らかな差異が認められる。MEMによるスペクトルから被験者HAR.がパターンの一様な動きを示すに対して、被験者KTH.

はより多彩な行動パターンをもつことが明瞭である。同じスペクトル推定とはいっても、線形と非線形の違いのみでこのような差が出てくるが、両者とも真の値であり、双方を加味して検討することが重要である。即ち、スペクトルの位置(周波数)についてはMEMが、またその強度についてはDFTが信頼できる。

速度の変化をDFTとMEMで処理した場合、高周波と低周波の違いは、速度変化がどれだけ激しいかということにつながる。短い時間に速度が細かく変化する場合、この変化は高周波を持つ。変化が緩やかな場合、低周波を持つ。このようにスペクトル推定を行なうことで、選手の加速度が統計的に決定できる。これはFig. 2の如く、横軸を対数にとることにより明瞭になる。本研究では、周波数分布に違いが見られる0.01Hzを境界と考え、0.01Hz以上を高周波領域、それ以下を低周波領域と仮定した。被験者HAR.の場合、1st halfではピークは高周波領域に現われる。しかし2nd halfにはそのピークは低周波側に移動する。一方、被験者KTH.の場合、1st halfと2nd halfを通してピークは低周波領域に現れる。しかし、頻度が多くなっていることが認められる。

5. 考察

サッカー運動の規則性

ゲーム中でのサッカー選手の一見ランダムな速度変化に周期性があるのかということが第一の指標である。人間の運動を生理学的に見ると、大きく分けて二種類あると考えられている¹⁾。それは有酸素性運動と無酸素性運動である。持久力が要求される運動は主に有酸素性運動で、瞬発力が要求される運動は主に無酸素性運動である。無酸素性運動は、瞬発的な運動をするために、その直後にはintervalが必要となる。これは選手の体力に依存するところが大きいが、無酸素性運動とintervalには相関があり、ある程度の周期を持ちながら繰り返すと予想される。よって、このスペクトル解析は運動評価に有効である。一方、有酸素性運動については、周期性への理由はないものの、サッカープレーが本

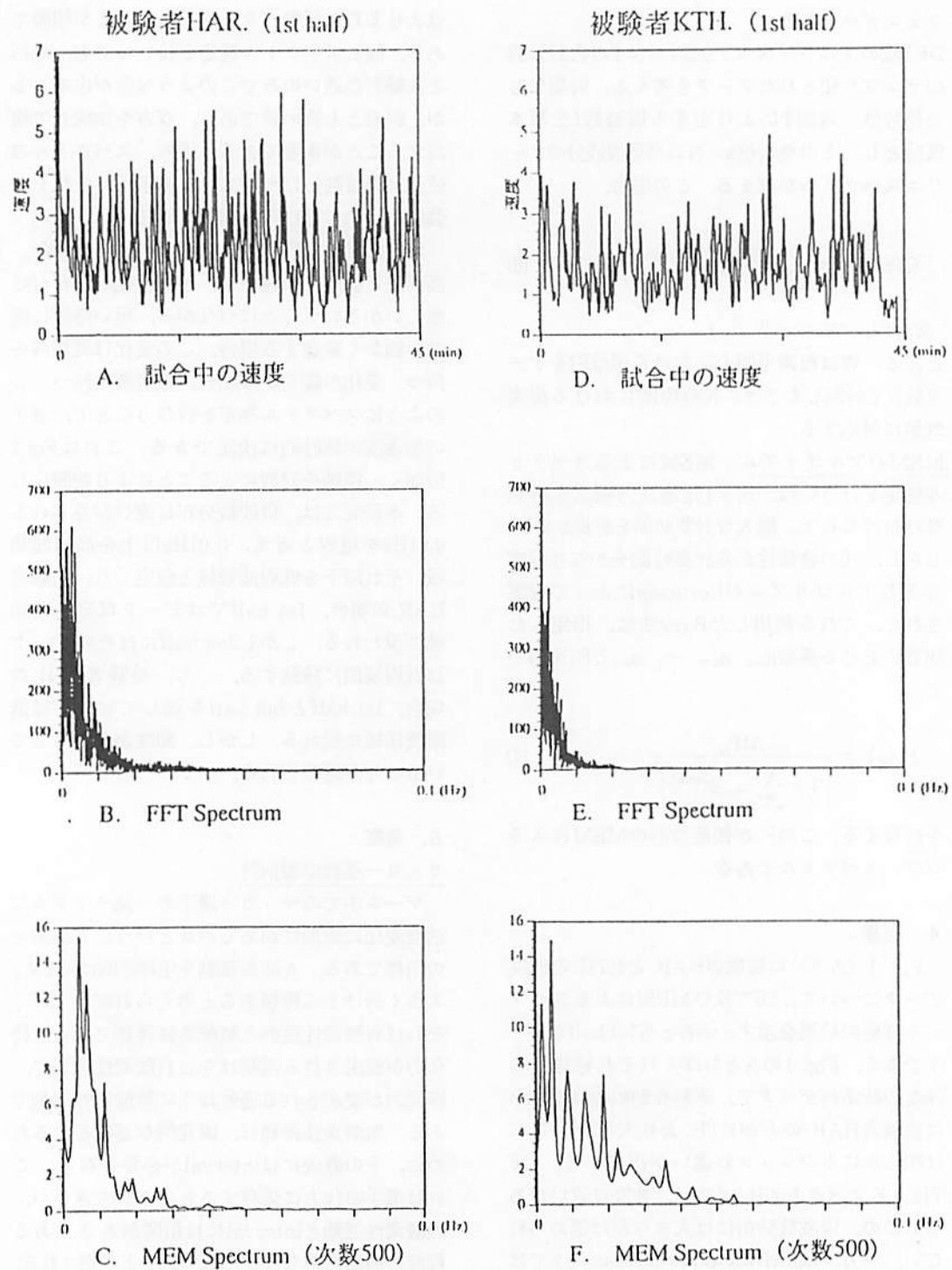


Fig. 1 時系列変動とそのスペクトル解析

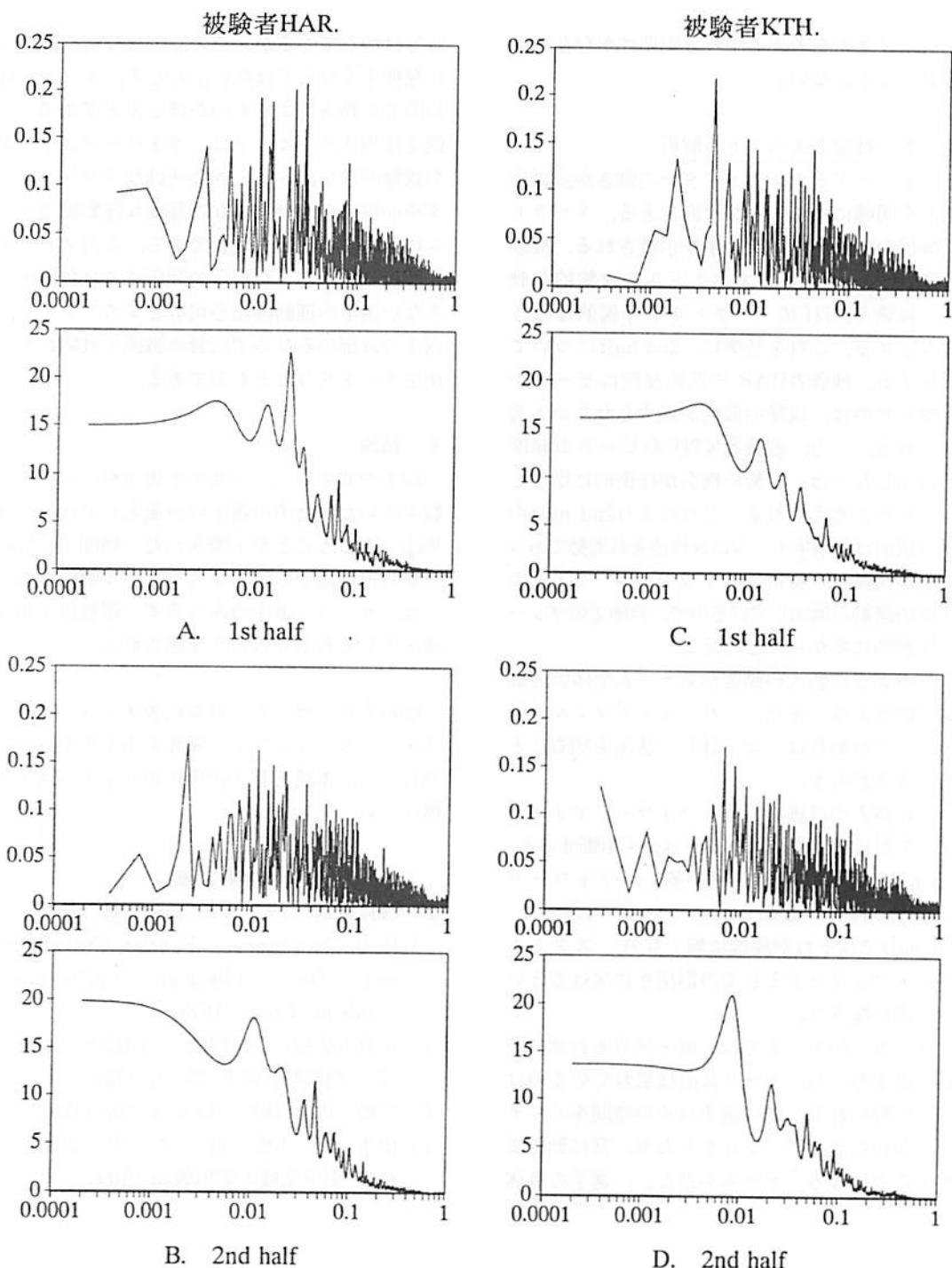


Fig. 2 速度変化のスペクトル推定結果

グラフの横軸はすべて対数で表示している。左のグラフは被験者HAR.のA) 1 st halfとB) 2 nd halfのスペクトルである。同様に右に被験者KTH.のC) 1 st halfとD) 2 nd halfのスペクトルを示す。それぞれ上段がDFT、下段がMEMの結果である。

来持つリズムを考える限り、周期性が存在してもおかしくはない。

サッカー戦況とスペクトル解析

フォワードとディフェンダーの動きから試合状況を明確にすることが可能である。スペクトル解析の結果から、次の事が示唆される。被験者HAR.の1st halfのスペクトルを攻撃的な動き、被験者KTH.のスペクトルを守備的な動きと仮定する。これを基準に、2nd halfについて評価する。被験者HAR.の低周波側にピークが移動したのは、攻撃の機会が減少したためと考えられる。一方、被験者KTH.のピークの頻度が増加したのは、守備の機会が圧倒的に増加したからだと考えられる。これにより2nd halfの試合状況は、相手チームに攻め込まれ劣勢であった事が明確だ。特に、ディフェンダーKTH.の守備的運動が増加しているので、自陣でのプレーが圧倒的に多かったと言える。

このように個人の動きからチーム全体の評価が可能である。また、これにミッドフィルダーのデータがあれば、より詳しく状況を知ることができるだろう。

次に個人の評価を行う。フォワードであるHAR.を例に挙げる。スペクトルから判断すると、1st halfは、瞬発的な運動が多く、フォワードに求められている動きをしている。しかし、2nd halfではそれが極端に無くなり、スタミナ切れ・フォワードとしての器用さに欠けるという評価になろう。

サッカーのゲームでは、敵・味方あわせて22名の選手のうち、ボールに直接触れているのは一人に限られる。他の選手はその時間をピッチ上で歩いたり、ダッシュをしたり、常に動きまわることになる。ゲームが進むと、選手の身体

疲労は増してくるが、その原因は技術を連続的に発揮するからではない。むしろ、ボールがない所での動きによるものがほとんどである⁵⁾。例えば現代サッカーでは、フォワードはチームの攻撃回数が減ったときに巧妙なポジショニングや前線での追い回しなど豊富な運動量でチームに貢献することが重要である。このスペクトル解析はそう言った現行の評価法では数値化できない選手の運動評価を可能とする。そして、選手の評価のみならず監督の戦術・戦略に意志決定データを与えるものである。

6. 結論

以上を要するに、パスの正確さやキックの回数を除いた試合中の選手の評価としては良い評価法であることが示唆された。物理学的な視点から運動選手の動きをスペクトル解析することは、サッカー選手のみならず、運動選手の評価法として有効であると予想される。

願わくば、サッカー日本代表チームのフランス・ワールドカップでの栄光あらん事を、そう念じつつ、本稿を若き次世代のサッカー選手に捧げたい。

参考文献

- 1) 浅見俊雄：サッカー 新体育社（1981）
- 2) D. C. Champeney : Fourier Transforms and Their Physical Applications, Academic Press (1973)
- 3) 小野寺広樹, 小松智広, 下山雄平, 大橋二郎 : 物理教育研究 25, 12 (1997)
- 4) 大橋二郎 : 体育の科学 4, 269 (1991)
- 5) 掛水 隆, 大橋二郎 : サッカーおもしろ科学 東京電機大学出版局 (1996)

北海道大学 佐 藤 久 志・細 川 敏 幸・小野寺 彰
札幌有朋高校 阿 部 英 一

1. はじめに

物理の教科書はたいてい「運動の法則」から始まるが、一番教えにくい分野でもある。速度や加速度は感覚的には理解できても、運動中一体いくらなのかを示すのは至難の技である。落下実験にいたってはデモンストレーションをしても1秒もかからないで終わる。教科書に載っている美しいストロボ写真を見て、たしかに落下に従い速度を増しているのだろうと思うが、学生が十分理解できたかと不安を感じ得ない。さて、ここで紹介する小道具を使うと、運動の授業は楽しいものに一変する。それは「ピースビ」¹⁾という速度計である。‘コ’の字の形をしたもので、内側に赤外線センサーが2個あり、この間を通過する物体の速度が液晶ディスプレイに表示される。実際は一個目の光センサー部通過とともにタイマーが作動し、2個目の光センサーまでの時間から速度を求めていると推測される。また、速度だけでなく、ラップタイムも測定できる。子供用の自転車やミニ四駆カー用のスピードメータにも同様なものが市販されている。

2. 実験例

2. 1 ポールの落下距離と速度

ポール（直径1.5cm程度）を落下実験用スタンドを用いて落下させる。この速度計を下におき、落下距離と速度の関係を測定すると、落下距離 h とともに速度 v が速くなることが示せる（図1）。ポールを鉄球に変えて、速度が質量によらないことを調べるのも実に簡単である。落下用スタンドがない時は、壁にピンをうち釣糸を張り、穴のあいたポールを釣糸に通す。速度計は両面テープで壁に取つける。速度測定と時間測定を2度行えば、 v と落下時間 t の関係が得

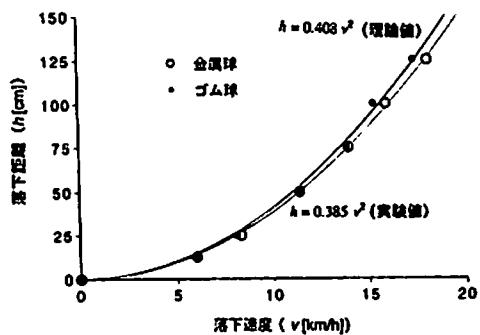


図1 落下距離(h [cm])と速度(v [km/h])。 $h=v^2/2g$ (g :重力加速度)の関係にある。白丸は金属球、黒丸はゴム球のときで、細い直線は金属球のデータ使い最小自乗法で求めたもの、太い直線は $g=9.80[m/s^2]$ としたときの理論曲線。

られ、 v/t の計算値はほぼ一定(g になる)になっているかがわかる。落下時間をはかるには、ポールを2個使い、一個のポールは速度計の直上に、他方は h 離して同時に落下させると、落下時間を表示できる。これは、この速度計がラップタイム計測用で、一度通過してから再度通過するまでの時間を表示するためである。多少誤差はあるが2個速度計を重ねて置き、一つは速度を、他は時間を表示すると一度でも測定できる。

2. 2 ガリレオの斜面の落下実験

釣糸をたわまないように斜めに張るとガリレオが行った斜面上での落下実験を定量的に測定できる。糸と球の摩擦を少なくする為に、穴にテフロンや細いストローを通すなどの工夫をすると良い。球の代わりにストローに粘土を球状

にまきつけると重さの調整もしやすく便利である。落下距離と速度の関係から、位置エネルギーが運動エネルギーにどのように変わるかを調べるには最適である。

2. 3 単振りこと重力加速度

単振りこの実験は、大抵の教科書に載っているが、退屈な実験の一つで、重要なわりに省略されることも多いようである。図2のように振りこ実験器の下に速度計をセットし、一度通過してからの周期を計測する。センサー部を通過することに次々と周期が表示され、タイムの積算も可能である（ただし、100秒以内）。振りこの下に数cmのストローなどを貼りつけると計測が楽にできる。表示部が下になるので値を読みとるのに苦労するが、まるで催眠術のごとき重力加速度の実験も楽しいものに一変する。図2のように1mの振りこで40回の周期を積算して求めたgは10.6[m/s²]と数%大きめであるが、簡単で楽しい実験である。

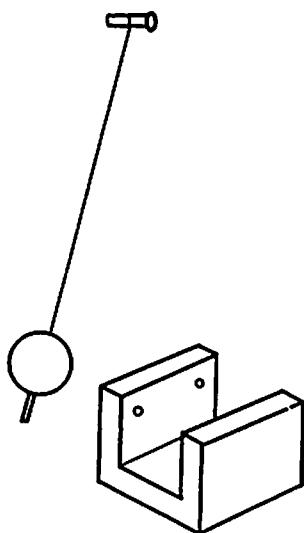


図2　振りこ実験器とその下にセットした速度計。金属球の下の細いストローを貼りつけ、それが速度計を通過する時の周期を計測する。

2. 4 メーターを2個用いた重力加速度測定

メーターを高さh₁, h₂の位置から落下させ、通過時の速度v₁, v₂を求める。

$$v_1 = g t_1,$$

$$v_2 = g t_2,$$

$$h_1 = g t_1^2 / 2,$$

$$h_2 = g t_2^2 / 2,$$

から

$$h_1 - h_2 = g(t_1^2 - t_2^2) / 2$$

したがって

$$g = \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2(h_1 - h_2)}$$

これから (h₁ - h₂)、すなわち2個の速度計の間の距離（センサーの位置が3.9cmあるため、これが誤差に反映しない程度に (h₁ - h₂) を大きくとる）をあらかじめ決めておけば、gが求められる。金属球で9.9~10.9[m/s²]と、振りこの実験から求めた値と比べても満足できる結果が得られた。

3. さいごに

このデモンストレーション実験を、高校で物理を履修しなかった文系の学生の講義でおこなったところ、予想外に反応が良かった。もちろん、この速度計は精密測定用の機器ではなく、ハイテクおもちゃとして開発されたもので、それなりに精度上問題もあるが、オモチャ感覚で楽しく実験ができる。操作手順が決まっている市販装置と違い、壁を使ったり、床に寝転んで値を読んだり、速度計の取りつけ方を考えたり、工夫できる。この他、運動を調べるいろいろアイデア、使い方が期待される。

注)

*) ハドソン株式会社、実売価格約1000円

北海道札幌開成高等学校 鶴岡森昭

近い将来の地球環境問題やエネルギー供給問題に取り組む上で、避けて通ることができない環境要素として放射線があげられる。「放射線に関する興味」、「放射線は何か」、「身近な放射線」、「放射線の被害」、「放射線の利用」という調査項目で高校1年時に実施した調査を2年後の高校3年時に再度実施した。この2年間の生徒の認識の変化を分析することによって、放射線指導の実践的課題が一層明確にされた。

1. はじめに

1995年12月8日に起きた高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏れ事故の衝撃的報道は全国を駆け巡った。この事故の直後、その当時高校1年生であった本校34期生10クラスの内、ほぼ半数の5クラスの生徒205名を対象として「放射線に関するアンケート調査」¹⁾を実施した。この調査のねらいは、放射線に対する関心が高まっていると思われるものの、高校での物理の指導を受ける前でほぼ高校入学時点、つまりは義務教育終了時点での生徒の放射線に関する興味・知識・理解の度合いを知ることであった。それから2年が経過し、「もんじゅ」はその後どのような経過を辿っていかなる状況にあるのかは詳らかではないが、本校34期生は2年時で理系3クラスの生徒が物理を選択し、3年時ではそのほぼ全員が継続して物理を学習し、1997年12月に一通りの高校物理の学習を終えた。その時点で、この2年間の学習成果の一端を測定するために、2年前と全く同じ調査内容の「放射線に関するアンケート調査」を3クラスの125名の生徒を対象に実施した。

本論では、生徒が主に2年間の物理の学習指導を受けることによってもたらされた放射線を巡る認識の変化を指導実践の一事例として紹介し、放射線に関する指導上の課題をより明確にすることをねらいとする。

2. 放射線を巡る生徒の学習環境

生徒の放射線を巡る学習環境として学校内と

学校外に区分して考えることにする。テレビとラジオ及び新聞の報道内容を逐一調査してはいないが、学校外では様々なマスコミ報道を通じた放射線に関わる情報入手の機会があったであろうと想像される。例えば、核関連施設の事故とか核廃棄物処理場建設や核兵器処理の原子力関連の報道など。一方、学校内では高校物理の授業内容を通じた学習が中心になることと思われるが、放射線に関わる教科書の記述内容としては、物理ⅠBの第5編「電子と原子」で「放射線とその性質」及び「原子力の利用」さらには教科書の口絵写真、物理Ⅱの第3編「原子」では「核エネルギー」と口絵写真があげられる。

その他に私が授業で補足的に取り上げた教材は次の通りである。

副読本として、「生活環境と放射線」(原子力実験セミナーのテキスト)の一部を著者の許可を得て複写し、生徒に配付して授業中に用いた。生徒実験として、「液体窒素を用いた霧箱による α 線と β 線の観察」(森式霧箱2))及び「はかるくんによる γ 線の遮蔽実験」(放射線計測協会から借用)を4名程度の班単位で実施した。また演示実験としては、「簡易GM管による α 線と β 線の観察」、「オートラジオグラフィの写真観察」(ラットといんげん豆)、「各種クルックス管による陰極線の観察」及び「クロス真空管による陰極線の観察」を行なった。これらの教材を組み合わせて放射線の学習指導を展開した。

3 調査用紙

(表1)

『放射線に関するアンケート調査』

年 組 番・氏名)

※ 次の設問に該当する番号に○印を記して下さい。

1 放射線について

- (1) 興味をもって調べたことがある
- (2) 調べたことはないが興味がある
- (3) 興味がない

2 放射線と思うものはどれか？ <複数選択可>

- (1) 紫外線、 (2) 赤外線、 (3) レーザー光線、 (4) 電気通信用電波、
- (5) 宇宙線、 (6) 中性子線、 (7) X線、 (8) γ 線、 (9) β 線、 (10) α 線

3 放射線が日常生活のどんな身近なところにあるか？ <複数選択可>

- (1) レントゲン検診車、 (2) T V、 (3) 大気中、 (4) 融光灯、 (5) 地中、
- (6) 原子力発電所、 (7) 歯科医院、 (8) ガン治療病棟、 (9) 核廃棄物貯蔵施設
- (10) 変電所、 (11) カメラ、 (12) 食物、 (13) 電子レンジ、 (14) 酸性雨、
- (15) その他 ()

4 放射線（放射能）の被害と思うものはどれか？ <複数選択可>

- (1) ポケる、 (2) 免疫力が低下する、 (3) 骨が弱くなる、 (4) 筋肉痛をおこす、
- (5) 遺伝子に異変をおこす、 (6) 障害をもつ子供が生まれる、 (7) ガンになる、
- (8) 植物が枯れる、 (9) 髪が抜ける、 (10) 白血病になる、
- (11) その他 ()

5 放射線（放射能）を利用している思うものはどれか？ <複数選択可>

- (1) 物体の内部構造や厚さの測定
- (2) 化学反応を促進させる
- (3) 農作物の品種改良
- (4) ジャガイモの発芽防止
- (5) 害虫の駆除
- (6) ガンの治療や骨の診察などの医療
- (7) 生物体の移動物質の観察
- (8) 遺跡発掘物の年代測定
- (9) エネルギーを取り出す（発電）
- (10) 新しい物質（元素）を作り出す
- (11) その他 ()

4 調査結果

〔表2〕

<u>放射線に対する興味度</u>	第1回〔1995年12月〕 (205名中)	第2回〔1997年12月〕 (125名中)
(1) 興味をもって調べたことがある	2名(1%)	7名(6%)
(2) 調べたことがないが興味がある	100名(49%)	85名(68%)
(3) 興味がない	103名(50%)	33名(26%)
<u>放射線と思うもの</u>	第1回〔1995年12月〕	第2回〔1997年12月〕
(1) X線	181名(88%)	115名(92%)
(2) 紫外線	74名(36%)	56名(42%)
(3) レーザー光線	56名(27%)	22名(18%)
(4) 赤外線	55名(27%)	33名(26%)
(5) 宇宙線	54名(26%)	97名(78%)
(6) β 線	40名(20%)	114名(91%)
(7) 中性子線	37名(18%)	79名(63%)
(8) α 線	35名(17%)	108名(86%)
(9) γ 線	29名(14%)	116名(93%)
(10) 電気通信用電波	16名(8%)	20名(16%)
<u>身近な放射線</u>	第1回〔1995年12月〕	第2回〔1997年12月〕
(1) レントゲン検診車	171名(83%)	120名(96%)
(2) 原子力発電所	160名(78%)	117名(94%)
(3) 核廃棄物貯蔵施設	122名(60%)	101名(81%)
(4) ガン治療病棟	115名(56%)	105名(84%)
(5) 歯科医院	54名(26%)	80名(64%)
(6) 電子レンジ	45名(22%)	50名(40%)
(7) 大気中	42名(20%)	94名(75%)
(8) T V	32名(16%)	41名(33%)
(9) 融光灯	30名(15%)	61名(49%)
(10) 酸性雨	30名(15%)	16名(13%)
(11) 地中	26名(13%)	62名(50%)
(12) 変電所	16名(8%)	23名(18%)
(13) 食物	15名(7%)	57名(46%)
(14) カメラ	15名(7%)	23名(18%)

放射線指導の実践的研究

〔表3〕

放射線の被害

第1回〔1995年12月〕 第2回〔1997年12月〕

(1) 髪が抜ける	152名(74%)	103名(82%)
(2) 遺伝子に異変をおこす	139名(68%)	116名(93%)
(3) 障害をもつ子供が生まれる	136名(66%)	113名(90%)
(4) 白血病になる	104名(51%)	83名(66%)
(5) 植物が枯れる	97名(47%)	64名(51%)
(6) ガンになる	92名(45%)	97名(78%)
(7) 免疫力が低下する	75名(37%)	76名(61%)
(8) 骨が弱くなる	47名(23%)	29名(23%)
(9) ポケる	16名(8%)	7名(6%)
(10) 筋肉痛をおこす	5名(2%)	8名(6%)

放射線の利用

第1回〔1995年12月〕 第2回〔1997年12月〕

(1) ガンの治療や骨の診断などの医療	143名(70%)	109名(87%)
(2) エネルギーを取り出す(発電)	110名(54%)	87名(70%)
(3) 物体の内部構造や厚さの測定	99名(48%)	107名(86%)
(4) 新しい物質(元素)を作り出す	72名(35%)	89名(71%)
(5) 遺跡発掘物の年代測定	42名(20%)	92名(74%)
(6) 生物体内的移動物質の観察	40名(20%)	50名(40%)
(7) 農作物の品種改良	38名(19%)	80名(64%)
(8) 害虫の駆除	38名(19%)	41名(33%)
(9) ジャガイモの発芽防止	38名(19%)	110名(88%)
(10) 化学反応を促進する	37名(18%)	36名(29%)

5. 考察

第1回の調査では半数の生徒が示していた放射線に対する興味が、今回の調査では4分の3程度の生徒に増加していることが伺える。

これは、授業中の学習指導の中で特に各種の実験・観察による指導効果が現れたと思われるものの、自主的に興味をもって調べる段階まで高めるためには、「課題研究」のテーマの一つとして取り上げる方法も検討する必要がある。

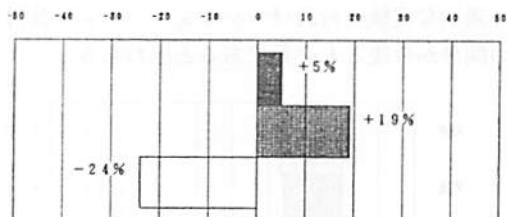


図1 興味度の推移

- (1) 興味をもって調べた
- (2) 調べたことはないが興味がある
- (3) 興味がない

X線は第1回の調査では最も高い回答率であったが、今回の調査ではさらに高い回答率を示した。第1回の調査で低かった α 線・ β 線・ γ 線が特に回答率の大幅な増加を示している。また、中性子線と宇宙線もそれらに次いで高い回答率を示している。

しかし、放射線に分類されていない紫外線と電気通信用電波の回答率が増加している点と、レーザー光線と赤外線も依然として放射線と考えている生徒が5分の1から4分の1程度もいる点が気掛かりである。実験・観察による指導効果が現れたと思われる調査結果も見受けられる反面、放射線の定義に関わる指導が徹底していなかった点も反省材料としてあげられる。

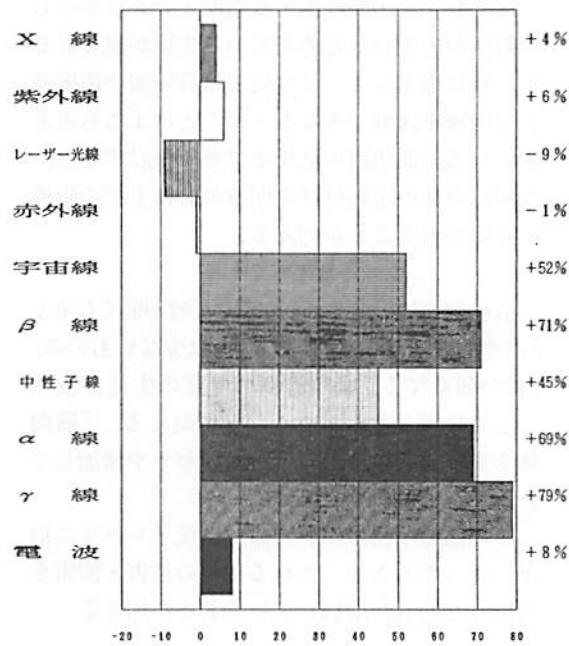


図2 放射線と思うもの

第1回で低かった大気中・地中・食物といった自然放射線に関する回答率の増加が著しい。これはパックグラウンドとしての放射線への関心・理解が深まった成果とも思われるが、回答率自体は半数から4分の3程度であることを考慮すると、残りの半数から4分の1程度の生徒に対する指導が足りなかったことにもなる。

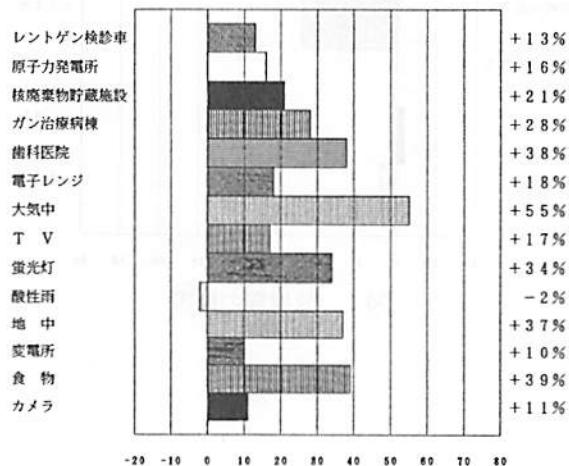


図3 身近な放射線

電子レンジ・酸性雨・変電所・カメラからも放射線が出ていると考えている生徒が見られるが、特に電子レンジについては高周波の電磁波と放射線を区別できなかったことによるものと思われる。前項目の結果と併せて検討すると、放射線自体の定義付けを明確にした上で指導が必要であることが伺える。

放射線の被害と関わりが薄い「骨が弱くなる」、「ボケる」、「筋肉痛をおこす」は少ないものの、「骨が弱くなる」は4分の1程度の生徒が依然として被害と考えていることが伺える。「筋肉痛をおこす」については回答率がやや増加している点が気掛かりである。

その他の項目については、遺伝子レベルの損傷によって引き起こされる各種の被害・障害を考慮した回答が増加していることが伺える。

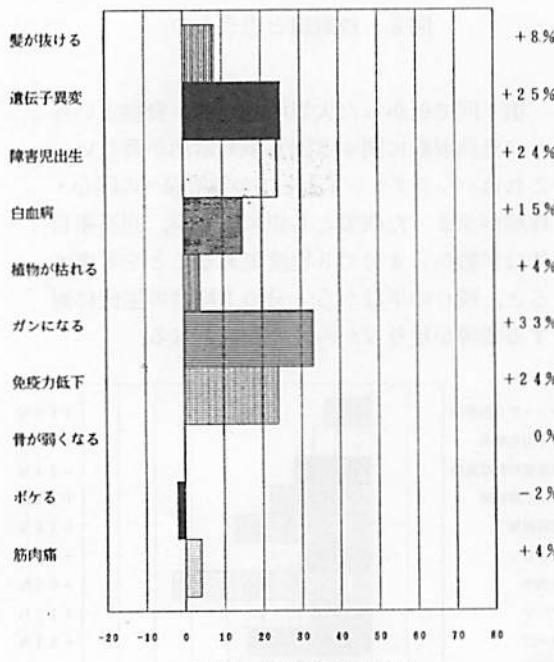


図4 放射線の被害

全てが放射線の利用に該当する項目であるが、項目毎の回答率に差がみられる原因として、授業中の解説方法や教科書の口絵写真等を生徒が様々な受け止め方をしたことがあげられる。

回答率では「ガンの治療や骨の治療などの医療」「物体の内部構造や厚さの測定」「ジャガイモの発芽防止」が高く、今回の調査では特に「遺跡発掘物の年代測定」と「ジャガイモの発芽防止」に大幅な回答率の増加を示した。

これらの項目の指導を徹底するためには、より適切な実験実習教材やシミュレーション教材の開発が今後とも必要であると思われる。

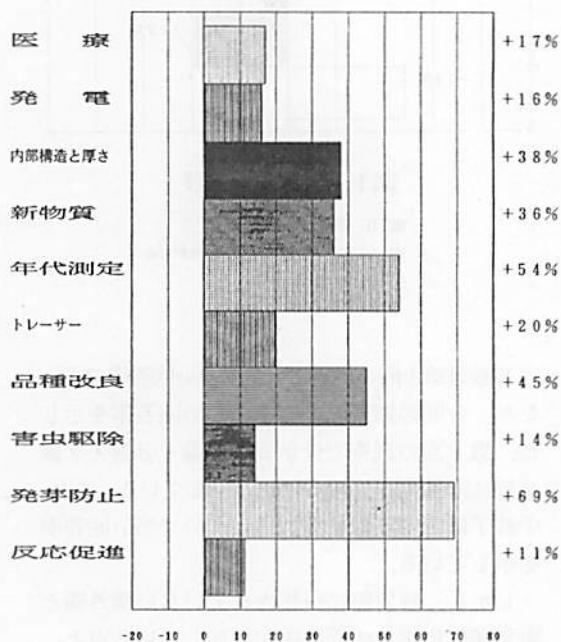


図5 放射線の利用

6. 結語

1年時に行なった放射線観察（霧箱）指導後の「放射線に関するアンケート調査」結果とその後物理を選択した生徒を対象に2年後に行なった全く同じ調査の結果とを比較検討した。今回の調査によって、高校生の放射線に関する興味・知識理解の2年間の指導でもたらされた効果を一定程度知ることができた。また、この2年間の指導実践で明確にされた課題として、放射線

の定義の明確化やより適切な実験・実習・シミュレーション教材の開発等があげられるが、これらは今後の高校物理の指導計画を立てる機会に検討し、よりよい物理教育の実現に努力していきたい。

文 献

- 1) 鶴岡森昭：放射線に関するアンケート調査、物理教育, 44 (1996) pp. 164-165.
- 2) 森 雄兒：陽電子の見える霧箱—液体窒素を使った森式霧箱、物理教育, 43 (1995) pp. 269-272.

北海道札幌開成高等学校 鶴岡森昭

〔抄録〕

高校2年時に物理ⅠB、3年時に物理Ⅱを理系3クラスの生徒を対象に指導した授業を展開事例として紹介する。物理嫌い・物理離れの実態調査を踏まえて、観察・実験を多く取り入れ親しみやすい物理を目指し、興味を喚起することに配慮した授業を展開した。生徒の興味・関心を惹き付けて探究能力を育成し、かつ演習能力も育成をするという指導課題の実現に向けて、指導上のさらなる工夫が必要であることが再認識された。

1.はじめに

1948年4月に旧制中学校から新制高等学校に移行し、今年度の平成9年度は新制高等学校が発足して丁度50年目の節目を迎えた。この半世紀には、敗戦からの復興の担い手を若者に求めて、天然資源の乏しい我が国は科学・技術振興政策（理科教育振興法）の下、その重点教科である理科教育が重視されてきた。その後、社会環境が激しく変化し、教育のありかたもその変化に対応させるねらいで、学習指導要領も改訂を重ねてきた。今回は戦後5回目の改訂で、6度目の教育課程への移行¹⁾は平成8年度で完成した。

本校ではその移行期の平成7年4月に入学した本校34期生10クラスの内、物理選択者3クラスの生徒には、2年時に物理ⅠBを、3年時には物理Ⅱを指導してきた。この機会に、2年間の授業実践を省み、今後の授業改善の道標にしたい。

2. 実態調査と指導方針

(1) 実態調査

物理嫌い・物理離れ、さらには理科嫌い・理科離れといった若者の理工系科目を敬遠する風潮^{2), 3)}が危惧されて久しいが、日本物理教育学会北海道支部で行った高校生と大学生対象の物理教育実態調査⁴⁾によると、高校生が物理を選択しない理由として次のような項目が上位

を占めた。

- ① 内容が難しい (38%)
- ② 興味が持てない (25%)
- ③ 計算が多い (22%)
- ④ 公式が多く識別しにくい (17%)

一方、同じ調査の中で高校で物理を履修した大学生の高校物理への注文事項としては、次のような項目が上位を占めた。

- ① 実験が少ない (47%)
- ② 教科書の改善 (43%)
- ③ 概念的要素に重点を (43%)
- ④ 教師の指導方法 (33%)

両者の調査結果は、高校物理の指導のありかた、突き詰めれば物理教師に指導の改善を求める内容であった。

(2) 指導方針

上記の調査結果を踏まえて、次のような指導方針⁵⁾を立てた。

- ① 身近かな材料を活用した実験を多く授業に取り入れて、多くの生徒の興味を喚起する。
- ② 難解な箇所では、理解の遅い生徒の学習テンポにあわせて、段階を踏みつつ平易な

演習問題を多く取り入れて、時間をかけて指導する。

- ③ 定量的取り扱いに偏らず、身近な例を多く取り上げて定性的理解も促す。

3. 教科書

現2年生(35期生)からは啓林館の教科書を使っているが、私が指導してきた34期生までは数研出版の教科書を使用してきた。

現教育課程の物理ⅠBと物理Ⅱの2分冊の内容配列に関しては、各種研究会でも話題になっていることではあるが、一連の指導事項とするべき内容が分割されていることによる弊害を指摘できる。例えば、単振動と等速円運動、気体と熱の分野、原子と電子の分野等である。

そこで、生徒にはⅠBとⅡの両方の教科書を用意するように指導し、隨時関連づけて授業を開いた。

次期の教育課程においてももしも分冊にするのであれば、Ⅰ-力学・熱と波動、Ⅱ-電気・磁気と原子・電子といった区分にしてはいかがなものか。

4. 実験・実習指導

(1) 実験・実習テーマ

この2年間に実施した演示(教師)実験と生徒実験・実習は3の通りである。生徒実験・実習の割合は全体の3分の1程度にとどまったが、生徒の参加意識を高めるためにも、生徒実験の割合をもっと増やしたい。さらには生徒にとって魅力あるテーマをもっと数多く取り上げたい。

(2) 生徒実験用マニュアル⁶⁾

授業中に取り上げる実験テーマについては、各出版社の教科書や補助教材集に掲載されているテーマなどを参考にはするが、生徒実験用マニュアルはそのまま使用しないことにしている。生徒実験マニュアル記述のしかたは、現時点で指導している生徒の取り組み実態を観察した上で、生徒の実態にできるだけ合致した内容に改めていくことが大切であると考えている。従って、生徒実験の度に生徒に求める実験スキルを

検討した上で、自作したマニュアルを生徒に配付し指導している。

(3) 実験・実習リスト

[※アンダーラインが生徒実験・実習]

- ① 重力加速度 g の測定 I (自由落下)
- ② 重力加速度 g の測定 II (単振り子)
- ③ 重心の測定 (厚紙)
- ④ 静止摩擦係数の測定 (摩擦角)
- ⑤ 反発係数の測定 (落下方)
- ⑥ 運動量の保存 (台車の連結)
- ⑦ 弹性ポールと非弾性ポール
- ⑧ 熱気球 (ゴミ袋)
- ⑨ ポイルの法則 (簡易真空装置)
- ⑩ 大気圧 I (ビールの空き罐つぶし)
- ⑪ 大気圧 II (フラスコに入るゴム風船)
- ⑫ 金属の比熱測定
- ⑬ 定常波の作図実習
- ⑭ シャイブウェーブマシーンによる波の性質
- ⑮ 水面波の反射・屈折・回折・干渉
- ⑯ 波の干渉の作図実習
- ⑰ トムボーイの横波と縦波
- ⑯ 金属棒の振動 (定常波)
- ⑯ おんさの共鳴とうなり
- ㉑ 振り子の共振
- ㉒ 気柱の共鳴による音さの振動数測定
- ㉓ ドップラーポール
- ㉔ おんさによるドップラー効果
- ㉕ 光の全反射 (水槽)
- ㉖ 光の屈折 (食塩水で蜃気楼)
- ㉗ 光の反射屈折回折干涉 (レーザー)
- ㉘ 光の分散 I (簡易分光器・分光器)
- ㉙ 光の分散 II (三角プリズム)
- ㉚ 光通信と光の全反射
- ㉛ ニュートンリング
- ㉜ 光の偏り (偏光板)
- ㉝ 複屈折 (方解石)
- ㉞ ガラスの屈折率
- ㉟ 摩擦電気と静電誘導 (箔検電器)
- ㉞ 電気振り子
- ㉞ 等電位面と電気力線
- ㉞ コンデンサーの充電・放電

- ㊱ ゼネコンと1Fコンデンサー
- ㊲ 電池の起電力と内部抵抗
- ㊳ 磁力線
- ㊴ 直線電流がつくる磁場
- ㊵ 電磁力
- ㊶ 平行電流が及ぼし合う力
- ㊷ ローレンツ力Ⅰ（硫酸銅（II）水溶液）
- ㊸ ローレンツ力Ⅱ（陰極線）
- ㊹ 電磁誘導
- ㊺ 超伝導体
- ㊻ 相互誘導（コイルで通信）
- ㊼ 電磁波（簡易ヘルツの実験）
- ㊽ 簡易GM管による放射線の測定
- ㊾ 森式霧箱による α 線と β 線の観察
- ㊿ 陰極線Ⅰ（クルックス管）
- ㊻ 陰極線Ⅱ（クロス真空管）
- ㊼ オートラジオグラフィー（ラットといんげん豆）
- ㊽ γ 線の遮蔽実験（はかるくん）

次年度にはさらに実験・実習のテーマを追加していきたい。例えば、おもちゃのミニ四駆速度測定器として普及しているOFFICIAL SPEED CHECKERを用いた各種力学実験、古テレビを用いた陰極線の実験、古いパソコンやビデオデッキを解体する作業など。

5. 問題演習

教科書の例題・練習問題・章末問題を中心に問題演習の指導を行っているが、理解の遅れた生徒に対応するために北海道高等学校理科研究会（北理研）編の物理演習問題も時々複写して生徒に配付し、授業中に演習させている。他に、3年時には受験用問題集1冊を家庭学習用に持たせ時々授業中にも使用した。

6. 評価

これらの指導の評価としては、定期考查や臨時テストで理解度をチェックしている。時々は、公式等の記憶を条件としないで思考過程の大さも強調した教科書を見せた臨時テストも実施している。また、生徒実験の評価についてはグ

ループ実験なのでレポートの中で考察の部分と、実験中の生徒の活動にも観察のポイントを置いて評価している。

評価という行動の意義に関わることであるが、学習者の学習行動を評価するということは、同時に指導者の指導行動も評価されるという点も念頭において、これら評価の機会を生徒からのフィードバックの機会とも捉えて授業改善に役立てたいと考えている。

7.まとめ

ここ最近の生徒の授業中の行動を観察していると、板書内容を記録する作業と授業の説明を聴く行動が同時に出来ない生徒が多く見受けられる。このような学習実態に対応する必要に迫られている。今後は生徒にサブノートを持たせる対策も検討している。

生徒の興味を喚起させつつ探究能力を育成し、且つ演習能力も向上させなければならない。これほどの教師も抱える悩みである。この難題には生徒の学習実態を観察しつつ授業の重点を制御しながら対処し、充実した物理の学習指導を続けたいものと考えている。

参考文献

- 1) 鶴岡森昭（1997）“高等学校理科教育課程改訂の方向を探る”，理科の教育，V. 541, pp. 64-67.
- 2) 滝川洋二（1994）“激減した小・中・高校の理科”，バリティ，V. 09, N. 02, pp. 34-40.
- 3) 理科の教育（日本理科教育学会編）“理科嫌い・理科離れを考える”，V. 43, N. 503, 1994.
- 4) 鶴岡森昭, 山田大隆（1993）“北海道の高校生と大学生を対象にした物理教育の実態”，物理教育研究, V. 21, pp. 28-39.
- 5) 鶴岡森昭 et al. (1988) “高等学校物理実験課題の評価”，物理教育, V. 36, No. 4, pp. 354-357.

北海道教育大学函館校物理学教室 小川英之・松浦俊彦
下山雄平

Structure and Physical Properties of Self-Assembled Monolayers

Hideyuki OGAWA, Toshihiko Matsuura and Yuhei Shimoyama

Department of Physics, Hokkaido University of Education

Hakodate 040-0083, Japan.

Abstract

Structure and physical properties of self-assembled monolayers (SAM) have been clarified in terms of their function and fabrication method. We have shown how the SAM method is applicable to the optical electronic and tribological devices. Implication on the relationship to the dissipative structure suggests the spontaneous organization of sub-micron system. We further attempt to define the structure-function paradigm.

1 はじめに

現在、センサーラやLSIなどの電子デバイスは、ほとんど無機物により構成されている。しかし、より高度な製品を要求される日進月歩の時代にあって、これらの加工技術、特にナノ(10-9m)及びピコ(10-12m)スケールでの加工は原理的に限界を迎えようとしている。そこで無機物に代わる新しい機能性材料として有機物が注目され始めた。無機物は単純な分子構造を持つのに比べ、有機物は σ 及び π 結合によって極めて多様な構造を発現する。有機物は目的にあわせた構造のデザインと合成が可能である。さらに電導性や半導性など無機物にしか存在しないとされていた機能を示す有機物が発見された¹⁾。

有機薄膜が注目を集めている。薄膜とは基板上に分子を原子尺度で積み上げて作製する膜である。機能性有機物を薄膜化する利点は三つある。第一に低次元化によって、3次元結晶には実現しなかった全く新しい特性が発現する。第二に分子を配列させることによって高機能の π 電子系導通路や異方的分子物性が期待できる。第三に物質量の少量化ができる。現在、有機薄膜作製技術としては、真空蒸着法とLangmuir-

Blodgett(LB)法が代表的な手法である。

1980年、Sagivはシリコン基(Si)を持つアルカン分子を用いて自己組織化单分子膜(Self-Assembled Monolayers: SAM)ができるのを発見した²⁾。本手法は特殊な環境と技術を必要とせず、極めて簡単に薄膜を形成できる優れた方法である。1983年、NuzzoとAllaraが金表面と硫黄原子の結合によって单分子膜が形成されることを発見し³⁾、さらにWhitesideらによって作製法が確立された⁴⁾。以来、様々な種類の分子と固体基板を用いたSAMの研究が行われている^{5, 6)}。

本稿では、まず有機薄膜について述べ、SAMに至る前史の科学的基礎を説明する。当教室におけるSAMの研究を紹介し、自己組織化と散逸構造の関係に触れる。最後に、機能性材料の可能性と有用性について述べる。

2 有機薄膜とは

有機薄膜とは、有機物が固体基板上に二次元形状に配列されたものを意味する。低次元化によって結晶内で相殺されていた物理量が出現する。固体表面上に分子を規則的に配列させ、2

次元的異方性と極限の物性が発現する。さらに、機能性薄膜を三次元的に組み合わせることによって機能の増大が期待される。機能性有機分子は一般に高価であるが、薄膜化により使用量が少なくて済む。良質の薄膜の実現には、化学反応がなく、純度が高いことが重要である。従って、良く洗浄された高純度基板が必要となる。

有機薄膜の代表的な作製方法として、真空蒸着法とLB法の二つを紹介する。前者は、真空中で蒸発した有機分子を基板上に付着・積層する手法である⁷⁾。後者は、水面上に展開された有機分子を1分子層ずつ基板上にすくい上げ積層する手法である^{8, 9)}。基板は目的に応じて変化するが、ガラス、石英、雲母、シリコンウェーハー等が頻用される。

真空蒸着法では、真空度は10⁻³~10⁻⁴Pa程度の高真空が必要である。本作製法の利点は、使用できる有機物の種類が多いことである。しかし、真空容器内の真空度や物質の加熱温度を制御しなければならない。

LB法は、Langmuirトラフと呼ばれる水槽が必要である。水槽には超純水又は金属イオンを含む水を使用し、溶媒には揮発性の高いクロロフォルムなどを使用する。LB膜作製には最も凝集状態の良いL膜作製が重要である。油脂の混入はL膜に欠陥を作り、分子の配列を乱すため、無塵室が必要となる。本作製法の利点は常温・常圧で、分子次元の積層数を制御できることである。しかし水面上で成膜するため、有機分子は水に不溶で、有機溶媒に可溶でなければならない。

3 自己組織化单分子膜

以上の二つの薄膜作製法ではいずれも特殊な環境や作製条件を必要とし、分子-固体表面間の吸着力が弱いため分子が固体表面から脱離してしまうことが多かった¹⁰⁾。より簡単で安定な薄膜の成膜法として自己組織化法が開発された。

Fig. 1は一般的なSAMの模式図である。SAMに使われる分子は、主に直鎖のアルキル鎖を持つものが一般的である。SiやSのように固体表面にのみ選択的に化学吸着する末端をHea

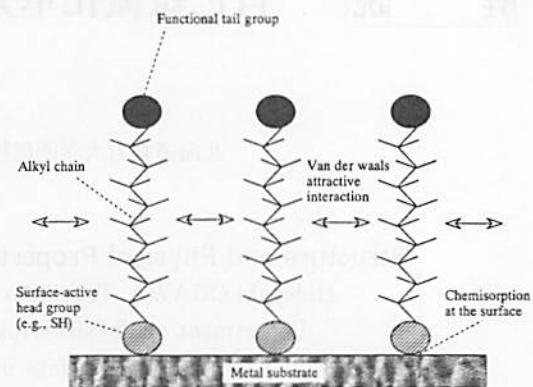


Fig.1 A schematic diagram of self-assembled monolayers on the metal surface (e.g., Au and Ag).

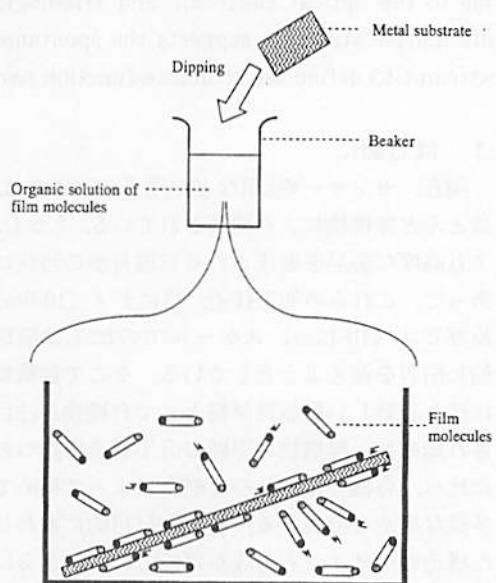


Fig.2 Fabrication process of self-assembled monolayers.

d Groupと呼ぶ。他端はTail Groupと呼ばれ、その種類によって材料表面の光学特性、電気特性、親水・疎水性等の物性が出現する。SAMのこれまでの薄膜作製法との違いは、大きく2つある。一つは、作製時に特殊な環境を必要としないことである。もう一つはHead Groupによる基板原子との化学吸着による安定な膜形成

である。Fig. 2にSAM作製過程の模式図を示す。有機分子を適当な有機溶媒に溶解し、固体基板を浸漬させる。分子が自発的に吸着して単分子膜が形成される。2次元的な規則性を有した単分子膜を得るために分子間相互作用を大きくすることが必要となる。通常SAMを形成させるための分子は、アルキル鎖の比較的長い直鎖の有機分子 [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{R}$: Rは官能基, $n > 8$] が用いられる。基板との吸着力のほとんどは他の薄膜に比べて安定な共有結合である。

有機分子が固体基板と化学吸着し、高密度・高配向の単分子膜を形成するための基板と有機分子の組み合わせには制約がある。現在、知られているSAMの組み合わせとしては、マイカとトリクロロシラン基 (SiCl_3 基), 金とアルカンチオレート (SH基), ガラスとカルボン酸 (COOH 基) などがある¹³⁾。

当教室にて遂行したSAMに関する研究の一端を紹介する。形成に要する時間を評価するため、フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR) による分析を行った。その結果、SAMは1分間ほど浸漬させておくことによって分子が基板全体に吸着することが明らかになった。これより、S

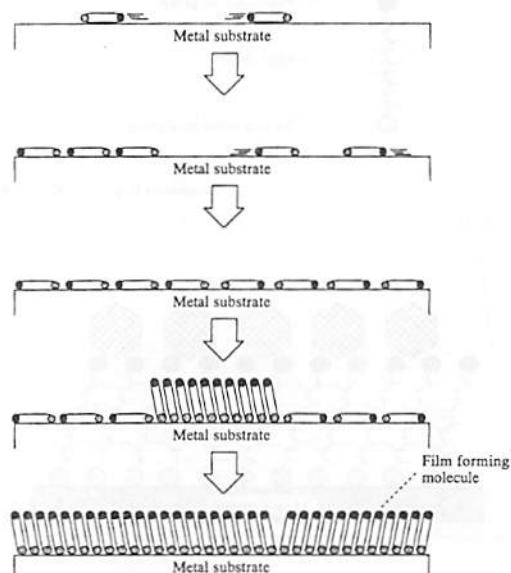


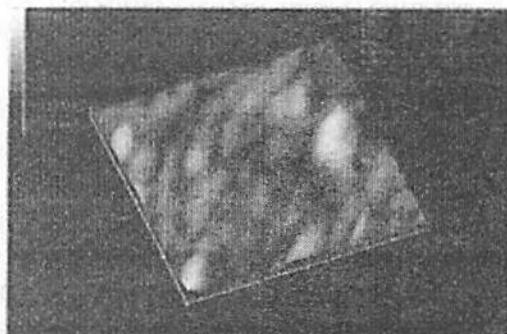
Fig.3 The forming processes of self-assembled monolayers on a substrate.

AMは他の薄膜に比べて形成に要する時間が極めて短い事が示唆された。

分子の配向性について検討するためFT-IRによる構造解析を行った。Fig. 3にSAMの形成過程の模式図を示す。SAMの形成過程では時間と共に配向が変わることが分かった。これより、SAMの形成過程では、吸着後に分子が基板上を移動し、分子どうしが凝集して高配向制御されていくことが明らかとなった。

SAMとLB膜における分子の配向状態と吸着の相違を調べるため原子間力顕微鏡 (AFM) による表面のナノ観察を行った。Fig. 4にSAMとLB膜のAFM像を示す。SAMは基板に密着して膜形成している。一方、LB膜では、基板面の凹凸を緩和するような平坦な構造をとることが分かった。LB膜では分子間の相互作用が働いて膜形成しているのに対し、SAMでは

A)



B)

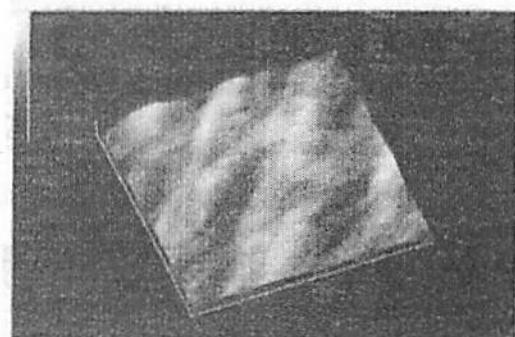


Fig.4 Images of surface for A) self-assmbled monolayer and B) Lanfmuir-Blodgett films of stearyl mercaptan on the Au (111) crystal plane.

基板との吸着力が働く膜構造を有することが分かった。

4 散逸構造と自己組織化膜

自然界には霜柱やキリンのまだら¹²⁾のような秩序構造が見られる。これらはそれぞれ結晶と生体のおりなす構造の典型例である。秩序の高い構造であることは共通しているが、結晶は静的構造であるのに対して生体では動的構造が支配的である¹³⁾。1973年、I. PrigogineとP. Glansdorffはエネルギーの散逸を伴う動的非平衡状態において形成される秩序構造を見出し、散逸構造(dissipative structure)と呼んだ¹⁴⁾。

秩序とエントロピー(entropy)との間には重要な関係がある。結晶は秩序構造をとるためエントロピーが小さい。しかし、生体では元来エントロピーが大きく、動的状態にある。しかし、時間と共に秩序形成が進行するのでエントロピーは小さくなる。これより結晶のような平衡秩序構造とは明らかに異なる動的秩序構造が出現する。

有機薄膜では、低次元構造の人工成膜に限界が認識されはじめ、SAMの様な単純な自然現象に基づいた技術が開発されてきた。特に、Fig. 3のようなナノスケールの分子配列が基板表面で自然に形成される現象が注目を集めている¹⁵⁾。分子を固体表面上に散乱させると、表面との分子間力によって拡散・相互作用し、表面に新しい2次元のミクロ構造をつくる。よって表面を利用した2次元の新しい分子集合体の世界が出現する¹⁶⁾。

5 自己組織化膜の応用

有機分子のSAMは、化学センサーや光学デバイスといった様々な分野への応用が期待されている¹⁷⁾。以下に応用例としてバイオセンサー、光学的センサーそして記憶メディアのコーティングをあげる。

1988年、Sriyudthsakらは、脂質薄膜に酵素を吸着させることによりバイオセンサーとして使えることを示した¹⁸⁾。生体分子は検出される特定の分子との結合により、外界からの刺激に

対する認識部位となる。結合した生体分子は結合前とは明らかに違う物性的変化を起こす。この変化を電気又は光信号としてデータ化し、これを解析することによってセンサー機能が成立する。生体分子の人工的な利用にはSAMを利用した薄膜形成が有効である。Fig. 5に金属基板上に高配向制御されたSAMの上に生体分子を修飾した薄膜の模式図を示す。生体分子は無機物上に直接吸着させると機能を失ってしまう。しかし、SAM上に生体分子を修飾することによって機能と配向秩序の良い状態を保持することができ、バイオセンサーとして応用が可能である。

1988年、Lloydらによりフタロシアニン薄膜を利用した酸化窒素化合物(NOx)を検出できる光学的ガスセンサーが考案された¹⁹⁾。フタロシアニンはガス・光学センサー、太陽電池などの応用が考えられる分子である。ガス吸着によるフタロシアニンの光学特性の変化を利用してガス検出を行う。フタロシアニン分子には置換基が修飾でき、吸着に関わる官能基を修飾することによってSAMの作製が可能になる。

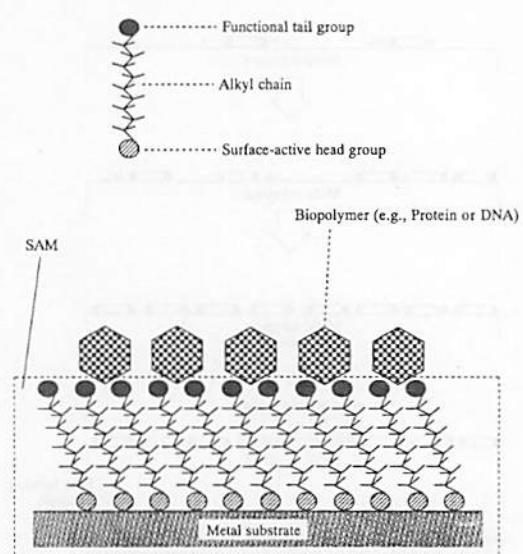


Fig. 5 A functional biosensing device fabricated by the self-assemble monolayers technology.

薄膜界面の摩擦に関する研究は、1940年のN eeds, 1955年のBaileyとCourtney-Prattそして1973年のIsraelachviliとTaborによって行われている⁶⁾。記憶メディアに対して情報の読み書き(I/O)を行う際には摩擦が大きく関与し、ディスクの磨耗、情報の破壊を引き起こす。磁気ディスクと情報のI/Oを行うヘッドとの間に脂質薄膜を挿入することによって情報アクセスの際に生じる摩擦を抑えることができる。これにより情報の保持期間の大幅な延長が可能となる。摩擦熱などによる変質のない安定な脂質分子を用いてディスクとヘッドの表面に安定な薄膜を作る。それには自発的に安定な薄膜を形成する自己組織化法が有効である。

これまでの様々な薄膜の応用はLB膜が主流であった。しかし、SAMの出現により成膜が容易になり簡素な設備・手法で安定なデバイス製造できるようになった。SAMを用いた機能性分子デバイスの設計が21世紀を担うテクノロジーとして期待される。

参考文献

- 1) 矢部 明, 谷口彬雄, 増原 宏, 松田宏雄, 有機超薄膜入門, 培風館 (1989)
- 2) J. Sagiv, J. Am. Chem. Soc. 102, 92-8 (1980)
- 3) R. G. Nuzzo, D. L. Allara, J. Am. Chem. Soc. 105 (1983)
- 4) L. Strong, G. M. Whitesides, Langmuir 4 (1988)
- 5) R. H. Tredgold, Order in thin organic films (Cambridge University Press 1994)
- 6) A. Ulman, An Introduction to Ultrathin Organic Films from Langmuir-Blogett to Self-Assembly (Academic Press 1991)
- 7) 吉田貞史, 薄膜, 培風館 (1990)
- 8) I. Langmuir, J. Am. Chem. Soc. 38, 2221 (1916)
- 9) K. Blodgett, J. Am. Chem. Soc. 56, 495 (1934)
- 10) 近藤敏啓, 魚崎浩平, ぶんせき 6 (1997)
- 11) 大野公隆, Larry Akio Nagahara, 果 尚志, 水谷 亘, 徳本洋志, 表面科学 18, 6, 373-379 (1997)
- 12) 寺田寅彦, 隨筆集 (1893)
- 13) I. Prigogine, 散逸構造, 岩波書店 (1980)
- 14) I. Prigogine, P. Glansdorff, Bull. Acad. Roy. Belg. Cl. Sci. 59, 672 (1972)
- 15) 川合知二, 日本物理学会誌, 52, (1997)
- 16) 天明二郎, 応用物理, 65 (1996)
- 17) 原 正彦, 玉田 薫, Christian Hahn, 梶川浩太郎, 西田直樹, Wolfgang Knoll, 雀部博之, 応用物理 64, 12 (1995)
- 18) M. Sriyudthsak, H. Yamagishi, T. Moriizumi, Thin Solid Films, 160 (1988)
- 19) J. P. Lloyd, C. Pearson, M. C. Petty, Thin Solid Films, 160, 431 (1988)

調査報告

理科に関するアンケート調査

～ 理科嫌いを探る～

札幌市稲穂中学校教諭 和田 悅明
(現 札幌市教育研究所 指導主事)

【要 約】

本研究では、札幌市内の中学生が理科に対してどのような意識を持っているかを、アンケートによって調査した。調査を行ったのは5月で、その対象を中学3年生に絞った。そして、本校の生徒とその他札幌市内の生徒と比較することにより、傾向の一般化を図った。

このアンケート結果から、中学校に入学してから、いつ頃に理科に対する意識が変化するのかが明らかとなり、その背景に「理科嫌い」の原因が存在していることがわかった。この調査結果から、生徒はもともと理科について興味を持っていることが伺われ、それは中学3年生の時点では失われていないことがわかる。生徒にとって「理科嫌い」の表れというのは、理科学習のとまどいからきていることがわかった。要するに、「理科嫌い」には、学び方の習得と「わかった」という成就観が大きく影響すると考えられる。

従って、この調査結果を考察していくことで、理科に対する生徒の意識は、理科の学習活動をどう進めしていくかによって大きく左右され、そこに「理科嫌い」を解消するキーポイントが隠されているのではないかと考えた。さらに、今回の調査は、我々教師がこれから取り組まなければならない課題を示唆してくれるものとなった。

(キーワード) 理科嫌い、理科の内容、観察・実験、成就感、学び方、授業改善

1 はじめに

ここ数年、中学校理科では、「理科嫌い」の生徒が増加し理科教育の見直しが叫ばれている。また、高校では「物理離れ」、大学では「理系離れ」が問題となり、このままでは理工系の人材不足が起こり、科学技術開発の遅れまで懸念されるようになった。また、選択教科や総合学習の導入、実質的な理科の授業時間数削減など、現実的な多くの問題も抱えている。

以前から、子どもたちは中学生になると理科が嫌いになっていく傾向があるといわれていた。その理由としては、「授業がおもしろくない」「難しい」などがあげられていた。

このような現状の中、現実には本校の生徒の実態はどうなのだろうか。そして、札幌市の中学生の実態はどうなのだろうか。このような調査結果を分析していく中で、「理科嫌い」を解消する手立てを探っていきたい。

2 調査の目的

本研究は、札幌市内の中学生の理科に対する意識調査をすることで、理科教育の課題を探り、それに対し授業の中でどのように取り組んでいくかを模索していくことを目的とした。そうした中で最近問題になっている「理科嫌い」についても考えていただきたい。

このアンケートは、中学3年生を対象とした。それは、生徒が中学校に入ってから、過去2年間で、中学校理科教育の影響をどのように受けたかを探ることができるものと考えたからである。さらに、集計結果を本校の生徒と他の札幌市内の生徒で分けて比較することで、より一般的な傾向を探るろうとした。

アンケート結果を考察することで、生徒に必要な力や、その力をつけさせるために教師が取り組まなければならないものなどを考えていく手がかりとなればと考えた。

3 調査対象及び調査内容

調査対象は、札幌市内の中学3年生693名(6校)と実践対象校である札幌市立稲穂中学校の3年生162名である。

アンケートの内容は、全ての生徒に同一の内容で質問をした。質問内容は次の通りである。

I. 小学校の時、理科が好きでしたか。
a 好き b 嫌い c どちらでもない

II. 今、理科が好きですか。
a 好き b 嫌い c どちらでもない

III. 1と2で答えが違う人に聞きます。気持ちが変わった(好きになった、嫌いになった)のはいつ頃ですか。
a 中1 b 中2 c 中3

IV. 2で好きと答えた人に聞きます。理由はなんですか。一つ選んで下さい。
a 実験、観察がおもしろい。
b 自分にあってる。
c 理科的なことに興味がある。
d 先生が好き。
e 内容が簡単だから。 f その他

V. 2で嫌いと答えた人、理由はなんですか。一つ選んで下さい。
a 実験、観察がおもしろくない。
b 自分にあわない。
c 理科的なことに興味がない。
d 先生が嫌い。
e 内容が難しいから。 f その他

VI. 前は好きだったけれど、今は嫌いになった人に聞きます。その理由を簡単に書いて下さい。

VII. 理科の授業の中でどの形の授業が好きですか。一つ選んで下さい。
a 黒板で先生が説明する授業

b 実験、観察

c テスト d こだわらない
e 話し合い中心の授業

VIII. どのような実験・観察が好きですか。一つ選んで下さい。

a 植物の観察 b 動物の観察
c 薬品を使った化学実験
d 電池や電流計などを使った電気的実験
e 気象に関すること
f 機械や道具を使って熱や力などを調べる実験
g 地層や化石、岩石を調べる
h 地球や太陽、星などの天体観察
i 全てが好き j 全てが嫌い

IX. 理科、科学などに関する本や雑誌を読みますか。一つ選んで下さい。

a よく読む b たまに読む
c ほとんど読まない d 全く読まない

X. 科学に関する事で、今一番興味・関心を持っていることはなんですか。

XI. なぜ理科を勉強するのだと思いますか。一つ選んで下さい。
a 受験のため b 技術を進歩させるため
c 生きていく力を得るために
d 知識を得るために
e 自然現象を解明するために
f その他

XII. これから理科の授業で、どのようなことを学びたいですか。

4 調査結果と分析

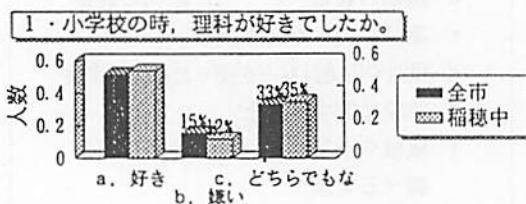
I. 小学校の時、理科が好きでしたか。

表1から、全市で「理科が嫌い」と答えたものが15%, 本校では12%とほぼ同じ割合を示している。「好き」「どちらでもない」についても、全市と本校では大きな違いは見られない。

理科に関するアンケート調査

表1 小学校の時、理科が好きでしたか(%)

	市内	稲穂中
a 好き	52	54
b 嫌い	15	12
c どちらでもない	33	35

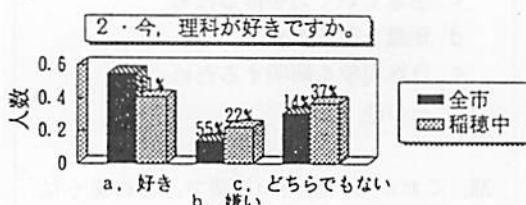


II. 今、理科が好きですか。

表2から、現在の理科に関するものと比較して数値的には目立った動きをしていない。全市と本校では、「好き」と「嫌い」の項目で10%前後の違いはあるが、傾向としては同じと考えてよいだろう。

表2 今、理科が好きですか(%)

	市内	稲穂中
a 好き	55	41
b 嫌い	14	22
c どちらでもない	31	37



III. 気持ちが変わったのはいつですか。

この質問は、理科に対する気持ちの変化が時期的なものに関係しているかを探ろうとした。

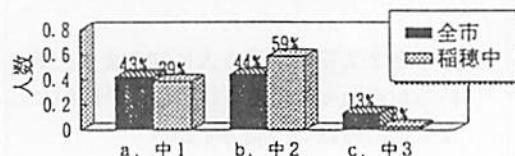
中学校は教科担任制のため、学年が変わると教科担任も変わることが多い。しかし、3年生はほとんどの場合担任は持ち上がりのため、教科担任も変わらないことが多い。表3から、気

持ちの変化が生じているのは1、2年生の時である。これらのことから考えると、それぞれの学年での授業構築が大きく影響していることが伺われる。

表3 気持ちが変わったのはいつですか(%)

	市内	稲穂中
a 中 1	43	39
b 中 2	44	59
c 中 3	13	3

3・気持ちが変わったのはいつですか。



IV. 2で好きと答えた人の理由はなんですか。

理科好きの理由としては、観察・実験の影響がかなり大きい。このことから、体験的活動を重視した授業が必要であると言えるだろう。しかし、観察・実験は、ある部分で内容の難しさと表裏一体である。従って、実施に当たっては、生徒が同時に基礎基本を身につけていくための十分な授業構築が必要である。

この質問についても、どの項目も全市の傾向と本校では同じ傾向にある。

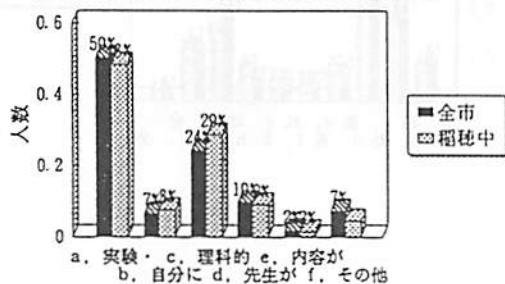
表4 IIで好きと答えた人の理由はなんですか(%)

	市内	稲穂中
a 実験、観察がおもしろい	50	48
b 自分にあってる	7	8
c 理科的なことに興味がある	24	29
d 先生が好き	10	9
e 内容が簡単だから	2	2
f その他	7	5

*その他：

- ・授業がわかりやすくて楽しいから
- ・レポートをまとめるのが好きだから
- ・先生の授業が好きだから
- ・授業形態が豊富だから

4・2で好きと答えた人の理由は何ですか。



V. IIで嫌いと答えた人、理由は何ですか。

全市、本校ともに、内容が難しいことが理科嫌いの圧倒的な理由である。

生徒は観察・実験が好きであるが、その目的を考えるなど、観察や実験を通じた内容の理解に関しては十分でないことが難しいと感じさせる要因であろう。これらのことから考えると、観察・実験から得られた結果を系統的につないでいく学び方や、知識の系統的な学習が必要であると考えられる。

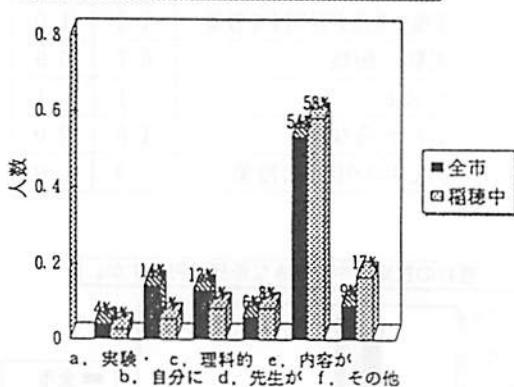
表5 IIで嫌いと答えた人、理由は何ですか(%)

	市内	稲穂中
a 実験、観察がおもしろくない	4	3
b 自分にあわない	14	6
c 理科的なことに興味がない	13	8
d 先生が嫌い	6	8
e 内容が難しいから	54	58
f その他	9	17

*その他：

- ・1回授業を休んだらわからなくなつたから
- ・つまらないから
- ・1分野が難しいから
- ・思っていたより、観察・実験が少ないので
- ・実験が難しいから

5・2で嫌いと答えた人の理由は何ですか。



VI. 前は好きだったが、今は嫌いになった人、その理由は何ですか。

この質問は質問Vとだぶるところもあるが、ねらいは現在の理由を探ることにあるので、様々な解答を想定して記述で答えさせた。

やはり、内容の難しさに関わる記述が多く、質問Vの結果をより詳細に知ることができる。

*主な回答：

- ・中学校では実験道具を自由に使えないし、自分の考えを尊重してもらえず、教科書通りに進むから
- ・実験がつまらなく、やる気をなくする。
- ・内容が難しい
- ・分子や原子などの関係を調べることなど、普段の生活には必要のないことが多い
- ・計算が多くなってきたから
- ・進み方が早くてわからなくなってきた

VII. 理科の授業の中で好きな形態は何ですか。

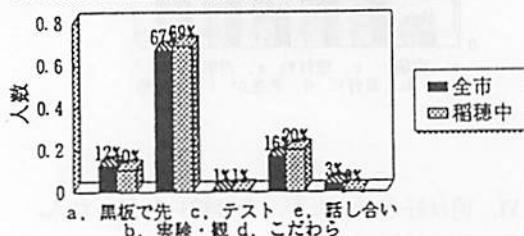
授業形態の上からも生徒は観察・実験を好む。これは、好きな理由の裏付けにもなるであろう。しかし、「黒板で先生が説明する授業」「こだわらない」という生徒が意外と多いことに注目したい。このことから、授業工夫の仕方によって、観察・実験以外でも生徒の興味・関心を引きつけることができるのではないだろうか。

理科に関するアンケート調査

表6 理科の授業の中で好きな形態は何ですか(%)

	市内	稲穂中
a 黒板で先生が説明する授業	12	10
b 実験、観察	67	69
c テスト	1	1
d こだわらない	16	20
e 話し合い中心の授業	3	0

7・理科の授業の中で好きな形態は何ですか。



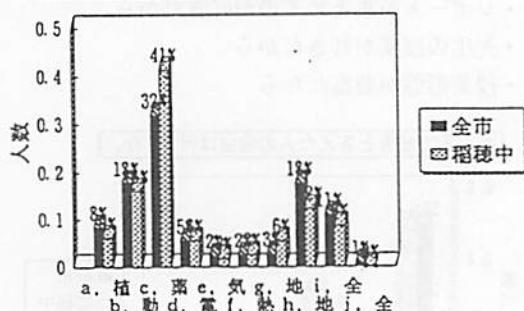
VIII. どのような実験、観察が好きですか。

観察・実験内容に関しては、化学実験を好んでいる。これは、結果がすぐ出て目に見えやすいからではないだろうか。モデルなどを用いたり、試行的な実験は、好みないようである。

表7 どのような実験、観察が好きですか。(%)

	市内	稲穂中
a 植物の観察	8	6
b 動物の観察	18	16
c 薬品を使った化学実験	32	41
d 電池等を使った電気的実験	5	6
e 気象に関すること	2	2
f 热や力などを調べる実験	2	2
g 地層や化石、岩石を調べる	3	6
h 地球や太陽、星など天体観察	18	12
i 全てが好き	11	9
j 全てが嫌い	1	0

8・どのような実験、観察が好きですか。



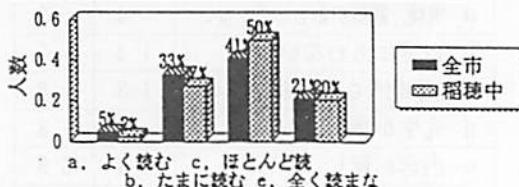
IX. 理科、科学に関する本や雑誌を読みますか。

意外と科学雑誌を読む生徒が少ないことに気づく。このことより、授業内容を実生活に結びつけることや、自主学習へ転移する能力を養っていくことの大切さを感じる。

表8 理科・科学に関する本や雑誌を読むか。(%)

	市内	稲穂中
a よく読む	5	2
b たまに読む	33	27
c ほとんど読まない	41	50
d 全く読まない	21	20

9・理科、科学に関する本や雑誌を読みますか。



X. 科学に関する事で、今一番興味・関心を持っていることはなんですか。

質問VIIに関係して、「薬品について知りたい」「薬品を使った実験」など薬品に関わる回答が多くかった。

「サリンについて」「塩酸や硫酸のこと」などの具体的な物質名を書いてくる生徒もいた。ここには記載しなかったが、「イオンについて」「原子について」「電流について」のように、具体的な学習内容を書いてくる生徒もいた。記述内容は、多種多様で分類も難しかったが、次に記載したようなものが多くかった。

* 主な回答：

- ・薬品に関すること
- ・生物に関すること
- ・天体に関すること
- ・遺伝に関すること
- ・コンピュータ関係
- ・宇宙開発について
- ・環境問題について
- ・病気に関すること

XI. なぜ理科を勉強するのだと思いますか。

知識獲得のため、受験のためと考えている生徒が、非常に多いことがわかる。これでは、自然科学の本質を学ぶことはできないだろう。

これからは、学び方を獲得することや純粋に自然事象への関心や疑問を追求することへの意欲を喚起させることが大切であろう。

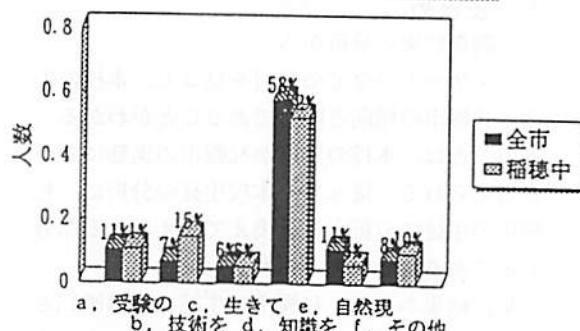
表9 なぜ理科を勉強するのだと思いますか(%)

	全市	稲穂中
a 受験のため	11	11
b 技術を進歩させるため	7	15
c 生きていく力を得るため	6	6
d 知識を得るため	58	52
e 自然現象を解明するため	11	6
f その他	8	10

* その他：

- ・常識的な現象を理解するため
- ・地球に生きている人間として、地球に関する基本的な知識を知っておいた方がよいかから
- ・自然現象に対して興味・関心を持つため
- ・知識を習得して、これからの中でも生きていいくため
- ・筋道を立てて考える力を身につけるため
- ・興味を生かして生きていくため
- ・義務教育だから
- ・人間が地球と共に生きていくため
- ・授業があるから
- ・楽しいから

11. なぜ理科を学習するのだと思いますか。



XII. これから理科の授業で、どのようなことを学びたい(勉強したい)ですか。

やはり、観察・実験に関する回答が多いが、注目すべき点は、多種多様で広い分野にわたった回答が目につくことである。例えば、物理・化学・生物・地学に関わるものはもちろん、「日常生活で役に立つ」「社会で役に立つ」「環境に関わること」などを書いてきた生徒がいた。

しかしながら、質問XIで目立っていたような「受験のこと」「たくさんの知識を得たい」など、知識を求める回答も少なくなかった。

* 主な回答：

- ・観察・実験をたくさんやりたい

- ・今までやったことのない実験
- ・薬品を使った実験
- ・宇宙のこと
- ・社会で役立つ
- ・受験のこと
- ・日常生活で役立つ
- ・宇宙について
- ・生物について
- ・自分の知らない世界のこと
- ・科学的なこと
- ・環境にすること
- ・全ての自然現象を解明したい
- ・コンピュータのこと
- ・たくさんの知識を得たい
- ・より深い科学の知識を得たい

5まとめ

(1) 調査結果と分析から

アンケートの全ての項目を見ると、本校の生徒も札幌市の傾向と同じであることがわかる。このことは、本校の実態が札幌市の実態に近いと考えられる。従って、本校生徒の分析は、札幌市の生徒の分析と置き換えて考えられる部分も多くあるものと考えられる。

集計結果からは、札幌市の生徒は理科嫌いとはいえないだろう。ただし、理科好きかというと疑問符がつくだろう。そこで、理科が嫌いな理由について見てみると「内容が難しい」というのが圧倒的に多い。これは、一般的にいわれてきた理科嫌いの理由と同じである。従って、札幌市の中学生の理科嫌いについて言えることは、全ての一般的な中学生にも当てはめることができるだろう。さらには、理科が好きな理由についても「観察・実験が好き」である。このことも一般的に言われてきたことである。

このように札幌市の中学生は、「理科嫌い」が多いわけではないが、抱えている問題には共通なものがあるよう感じられる。

(2) 観察・実験について

生徒が理科を好きな理由については、先にも述べてように「観察・実験」である。これは、

好きな授業形態を聞いた質問でも同じ結果が出ている。このことから、「理科嫌い」の一つの解消法として、教師がおもしろい観察・実験を多く取り入れることが考えられる。確かに、生徒をわくわくさせ、あっと驚かせるような観察・実験を行うことは、生徒の関心を引き、興味を持たせることになるだろう。だからといって、観察・実験を多く行なうことがよいわけではない。それは、理科を前は好きだったが、今は嫌いになった生徒の理由の中に、「実験道具を自由に使えないし、自分の考えを尊重してもらはず、教科書通りに進むから」という回答がある。このことが、まさしくこれかの中学校理科における観察・実験で考えていかなければならないことであろう。

さらには、どのような観察・実験が好きかという質問では、「薬品を使った化学実験」を選ぶ生徒が多い。また、これから授業で学びたいことには、「観察・実験をたくさんやりたい」「今までやったことのない実験」「薬品を使った実験」など、やはり「観察・実験」に関することが多くてくる。その反面、「計算が多い」「内容が難しい」から嫌いだという回答がある。これは、観察・実験は好きであるが、科学の原理や法則についての学習は嫌いであるということであろう。ということは、いくら楽しい観察・実験を行っても、基礎的な知識、概念、技能の習得できなければ、理科嫌いの解消にはならないということであろう。本来ならば、観察・実験という探求活動を通して知識を習得し概念を構築していくべきところが、理科の授業の中で観察・実験の活動と科学の概念とが遊離してしまっているのではないだろうか。

(3) 理科嫌い解消の糸口

アンケートの質問X、XIを見ると、多種多様の回答が得られた。例えば、「X. 科学に関して、今一番興味・関心を持っていること」という質問の回答の中には、「イオンについて」「原子について」「電流について」などのように授業に関わる内容のものが多い。さらには、「XII. これから学びたいこと」の中には、「観察・実

験をたくさんやりたい」「薬品を使った実験」など観察・実験に関わる回答が多い。このことから、札幌市の中学生は、理科に対して興味・関心を持っているといえるであろう。しかしながら、中学校に入ると、「理科が苦手である、嫌いである」と言う生徒が減ることはない。ということは、我々教師が生徒の興味・関心や意欲をうまく引き出せずにいるのではないだろうか。従って、理科嫌いを解消する鍵は、授業構築にあるのではないかと考えた。さらに、その糸口は、生徒が好む「観察・実験」にあるだろう。

(4) 授業改善の必要性

本来、中学校における理科教育は、観察・実験を通して科学的な手法を身につけていく探究活動である。ところが、週 5 日制の実施に伴い、授業時数の削減のため、最近の観察・実験が基礎的なものや確認するためのものが主となり、時間のかかるものは、演示実験となっている。そのため、観察・実験は流れ作業のようなものが増え、形式的な実験になってしまっているのではないだろうか。従って、このような観察・実験をいくらたくさん取り入れたとしても、理科嫌いの根本的な解決にはつながらない。

そこで、我々教師が、これから考えいかなければならないことは、いかに探究活動を重視

した学習を行うかである。そのために、生徒に探究していくための力をどうつけさせるかである。自分がこれから探究しようとしていることを、何を使ってどんなやりで方進めていくかを考えることが必要である。要するに、「学び方」を習得することである。「学び方」がわかると、学習が進み探究活動が深まっていく。やがて、探究のおもしろさを知り、「わかった」という成就感を得ることになるだろう。それは、理科のおもしろさを知ることになり、好きになっていくことにつながるのではないか。

言い換えると、認知的な側面と情意的な側面との両面から授業改善を行うことによって、理科嫌いをくい止め、さらには減少させることになるのではないだろうか。

今回の調査を行って、札幌の中学生は、決して理科が嫌いなのではなく、どちらかというと好きであることを知った。このような素地のある子どもたちが理科を嫌いになるとしたら、それは、我々学校教育を行う者に責任があるのかもしれない。このすばらしい子ども達の素地を伸ばしていくためにも、今後ますます研修を深め、授業改善を続けていきたい。

参考文献

* 日本理科教育学会 理科の教育 8, 9月号

実践報告

バンジージャンプ方式の無重力 実験による科学体験学習

永田 敏夫^{・1}・大久保 政俊^{・1}・村上 俊一^{・1}・岡久保 幸^{・2}
梅内 宏^{・3}・青柳 明典^{・4}・池田 和人^{・5}・増田 智之^{・6}
小野寺 俊博^{・7}・柳田 英俊^{・8}

荷造り用の木枠にビデオカメラと落下実験容器を据え付け、自転車のゴムチューブを使ったバンジーコードをつけて屋上から落下させ、無重力状態を作り出し、「ばねにつけたおもり」、「噴水」、「密度の異なる液体の境界」、「分銅と木片の落下」などのテーマについて無重力実験を行った。さまざまな実験テーマを考えて実際に無重力状態でどうなるか試してみる科学体験学習を中心とした無重力学習教材を開発したので報告する。

[キーワード] 理科教育 物理 無重力 バンジージャンプ 体験学習

1 はじめに

子供たちに宇宙や科学に対する夢と希望を持たせることは、教育界の大きな使命である。北海道には炭坑立坑を利用した世界最大の微少重力落下実験施設が上砂川町にあり注目を集めている。これらの先端科学研究施設をもっと子どもたちの身近に感じるものとしたい。そこで、身近な器具を利用して落下運動による無重力の実験を行い、子供たちに重さのない空間を味わせ、宇宙や科学にたいする興味を高め、科学的な見方や考え方を育てることができないかと検討した。

自由落下する容器内が無重力になることは知られているが、落下させた後の制動部分を手軽に行なうことが従来解決できなかった点を解決した。特に、製作が大がかりにならず、学校や科学館のようなさまざまところで手軽で安全に繰り返し実験が行えることを心がけた。

その一つが自転車のチューブを利用したバンジージャンプ方式であり、もう一つが小型のビデオカメラによる実験のリアルタイムでの観察とビデオによる再現観察である。さらに、自分の考えた実験が無重力でどうなるか探求的に学習することができる。

理科センターでの中学校・高等学校教員対象

の講座での取り組み、青少年のための科学の祭典での子供にたいするデモ実験および北海道工業試験場と協力して一般市民に対して行った無重力公開実験などの実践状況も報告する。

2 実験装置

(1) 実験装置について

実験装置は図1のような縦27cm、横45cm、高さ30cmの荷積み用の木箱を使用した。中にスタンドとクランプでビデオカメラを固定しまわりにスポンジを詰めて保護した。カメラの視野の範囲に入るように無重力実験容器を太い輪ゴムを利用して木箱の板に固定する。実験装置全体はバンジーコード（自転車チューブ）につなぐ。

- ①せり出し
- ②バンジーコード
- ③ひも
- ④木枠
- ⑤ビデオカメラ
- ⑥クランプ
- ⑦落下実験容器
 - a)ゴム栓
 - b)アクリル管
 - c)床引き下げ装置

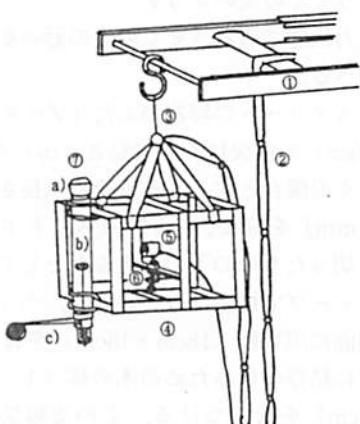


図 1 落下実験装置の概要



図 2 落下実験容器の取り付け

(2) 落下方方法

実験装置を落下させたり引き上げたりする場合に装置が建物と接触して建物や装置が破損しないようにするために、装置を落下させる位置を建物から離し、空中へせり出させる必要がある。図 3 のようにせりだしに実験装置を糸でぶら下げて屋上からせりだし、長い棒の先に付けたカッターで糸を切り離して落下させる。実験装置が地面に衝突しないように、あらかじめ自転車のゴムチューブを 15 本つないで作ったバンジーコードの長さを調整しておく必要がある。

3 階建ての理科教育センターの屋上（高さ 11 m）から落下させると、バンジーコードの伸びによる制動の距離が約 3 m で、約 5 m の自由落

下により無重力状態の継続状態は約 1 秒である。

(3) 実験記録の方法

はじめ、8 mm ビデオ本体を実験装置に載せて落下させた後、回収して再生し観察する方法を用いていた。しかし、この方法だと実験装置のセットが確かめにくくことと実際の落下中は観察できないため、撮影専用の乾電池式小型 CCD カメラを落下装置にクランプで取り付け、オーディオ用コードを利用して映像と音声信号出力を地上のモニターテレビにつなぎ、地上で観察と記録を同時に行う方法も行った。

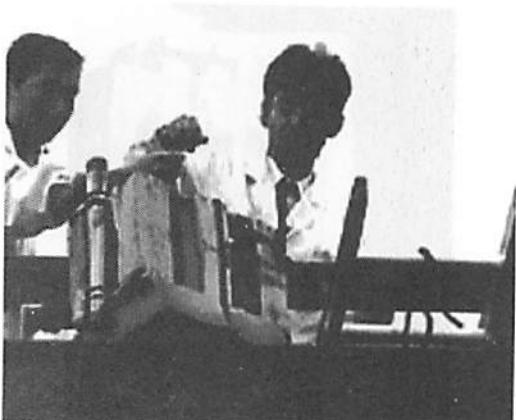


図 3 落下実験の様子

3 無重力実験の結果および考察

実験は落下実験装置に空気の流れの影響を小さくするためアクリル管やペットボトルを利用した無重力実験容器の中で行う。バネにつるしたおもりの運動、ろうそくの燃焼における炎の様子、鉄のおもりと木片の自由落下、沈降する液滴の運動、振り子の運動、砂時計の砂の運動、落下する液体の液面のようす、噴水のようすなどを見るために、身近な材料で無重力実験容器を作製し落下装置に取り付け実験を行った。

(1) バネにつるしたおもりの運動

無重力状態の検証として基礎的な内容であるバネでつるしたおもりがどうなるか調べる。

ゴム栓（4 号）につけたバネ（長さ 5 cm）に

おもり（25g）を下げる、アクリル管（長さ30cm、内径1.7cm）に入れ、他端もゴム栓をする。この実験装置を落下装置にゴムでくくりつけ、落下させると、落下中、バネが縮み、おもりが引き上げられる。

落下する物体は重さがなくなるが、バネの弾性力は重力に関係なく力を物体に及ぼしていることがわかる。重力の働いている日常の環境では見られない現象を見ることができる点でよい。同じ質量のおもりを紙やひもでつるし、同じ長さの同様の実験装置を横にセットして比較して実験すると運動の原因が探究できる。



図4 おもりの落下前(上)と落下中(下)

(2) ろうそくの炎のようす

無重力状態でのろうそくの炎の形の変化について調べる。

アイスクリームの容器のふた（プラスチック、直径8.5cm）の中央にくぎ（長さ3cm）を刺し、ろうそくの燭台とする。ろうそく（長さ5cm、直径5mm）を立て、1.5mlのペットボトルを半分に切ったものの下の方をふたとして使い、ビニールテープで燭台に仮止めする。ペットボトルの側面に黒い紙（18cm×18cm）をはり、落下装置に結びつけるための木の棒（1cm×1cm×33cm）を取りつける。この実験装置を落下装置にゴムでくくりつけ、落下直前にろうそくに火をつけ、ビニールテープでふたをとめて落下させた。

図5のように一瞬、炎の先がやや丸くなった。

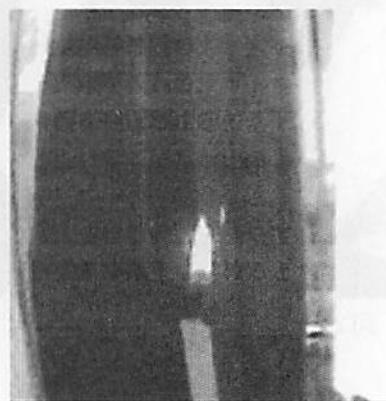


図5-1 落下前のろうそく

無重力状態では、空気の対流がほとんどなくなり、炎が丸くなる状態に近づくことがわかる。なぜ、無重力になるとろうそくの炎が丸くなり、空気の対流が起こらなくなるのかということを考えさせるとよい。課題は、無重力の時間が短く、完全密閉できないなどの原因により、完全な球形とはならない。また、ペットボトルの中では約20秒しか炎がもたないので落下直前にろうそくに火をつけ、ふたをしてすぐに落下させなければならない難しさがある。

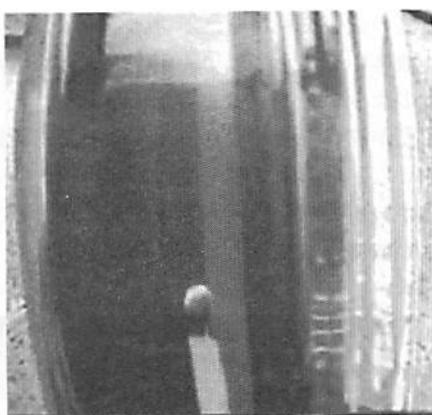


図 5-2 落下中のろうそく

(3) 分銅と木片の落下

重さの違う物体の静止の様子を調べる。図 6 のように穴をあけたゴム栓にスポークを通してその下にバネを、上に円形に切った金網を付ける。バネを縮めてフィルムケースで押さえ、鉛のおもりで止めておく。落下装置全体が落下した瞬間におもりが重さを失うのでバネの力でフィルムケースのをはずすように工夫した。下の支えを金網にして、支えが下に移動したときに吸い込んでしまう空気の流れを極力少なくなるようにした。

分銅と木片は、支えがなくなっても同じ場所にある。分銅と木片が浮いて、無重力状態が実現していることがわかる。

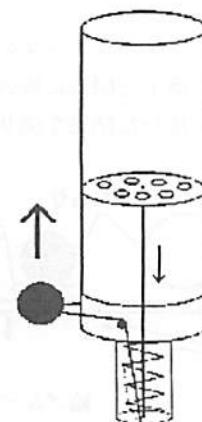


図 6 底抜け容器

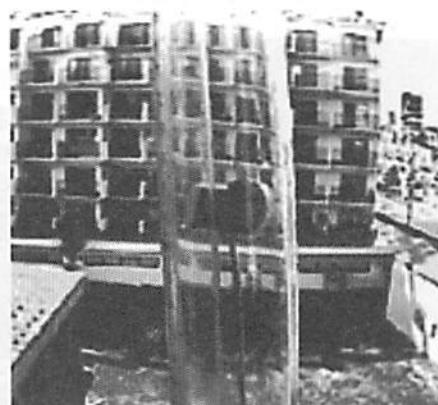


図 7 分銅と木片の落下前(上)と落下中(下)

参考

板で台を作り、フィルムケースのふたに大小のビー玉をのせて落下と同時に板の底をゴムとおもりを利用して抜いた結果を図9に示す。

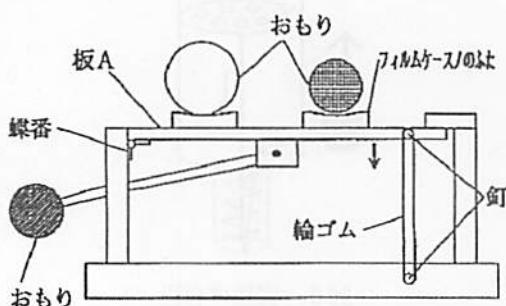


図8 ビー玉装置

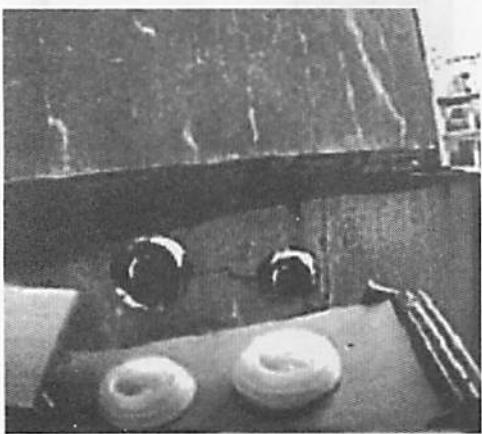
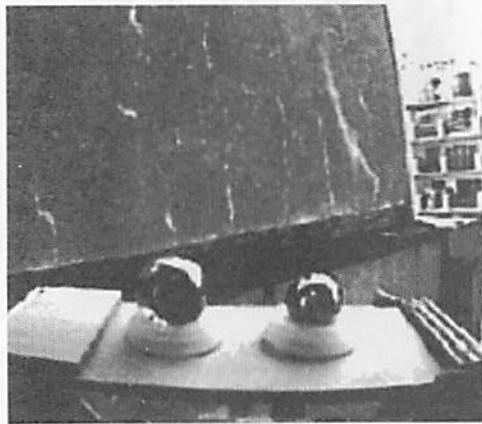


図9 落下前(上)と落下中(下)の大小のビー玉

(4) 沈降する液滴の運動

密度の違いを利用し、無重力下での密度の小さい液体中を沈降していく密度の大きい液滴の運動のようすを調べる。

密度が違う二液が混ざった市販の室内装飾品を用いた。重力下では密度の大きい色のついた液体がいろいろな形・大きさをしながら密度の小さい液体中を沈降していくのが見られる。

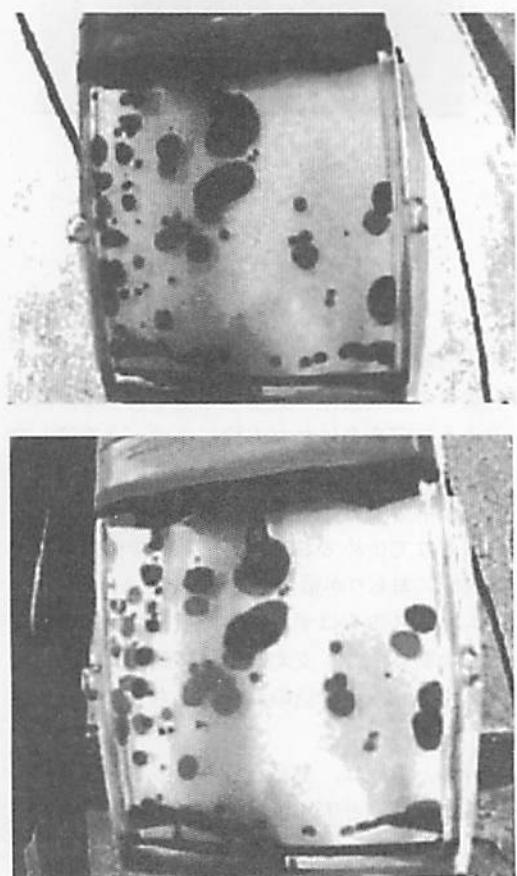


図10 密度の違う液体の沈降

無重力状態では沈降が止まり、不規則な液体の形が円形に近づくのが観察される。重力下では小さく目立たない表面張力が無重力下では液滴の形を円形にするほど大きな役割をしている。

(5) 落下運動中の振り子の運動

振り子運動をしている物体を無重力状態に置

いたときに、どのような運動をするか調べる。実際の振り子の場合、支点における摩擦力の影響が考えられるので、図10のように、ビーカーの中に鉄球を入れ、それを乳酸飲料の容器でおさえるようにした。

鉄球は自由に動けるようにし、落下実験のときには外部から振動を与える、鉄球に初速を与え、ビーカーの下部で鉄球が往復運動するようにしておいて落下させる。

初速を十分に与えた実験を行った場合は、鉄球はガラスの壁に沿って一回転し、円運動を行った。無重力状態では物体は慣性によってその運動を続けようとするが、その運動の様子を観察するのには有効である。

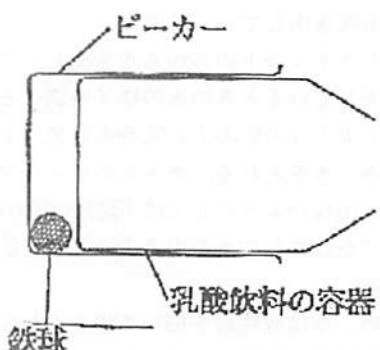


図11 振り子の運動装置

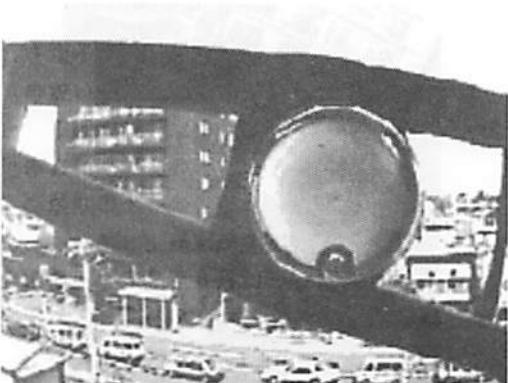


図12-1 振り子の運動 はじめ

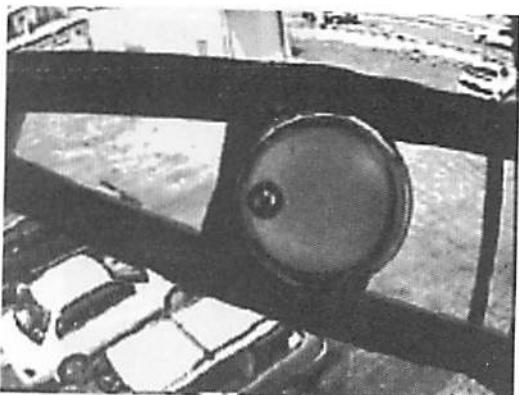


図12-2 振り子の運動 あと

(6) 砂時計の中の砂の運動

閉鎖された中で落下している砂を無重力状態に置いたときどのような運動をするか調べる。

市販の砂時計(1分計)を木の棒にくくりつけ、落下装置にセットし落下実験を行った。

砂時計の砂の落下が止まった。と同時に上下の砂が図11のように、ガラスの壁をつたって上に舞い上がるのが観察された。砂が落下をやめ、静止することにより無重力状態が確認できる。砂が舞い上るのは、糸を切った瞬間の加速度によるのか、砂とガラスの壁、砂同志の相互作用などによるのかはっきりとしない。

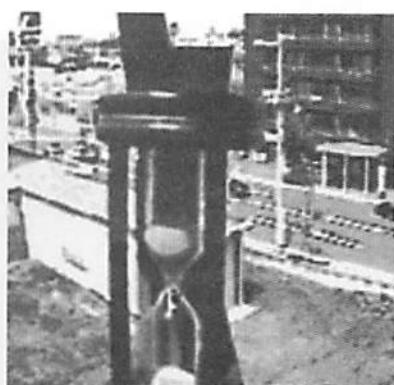


図13-1 砂時計の落下前



図13-2 砂時計の落下中

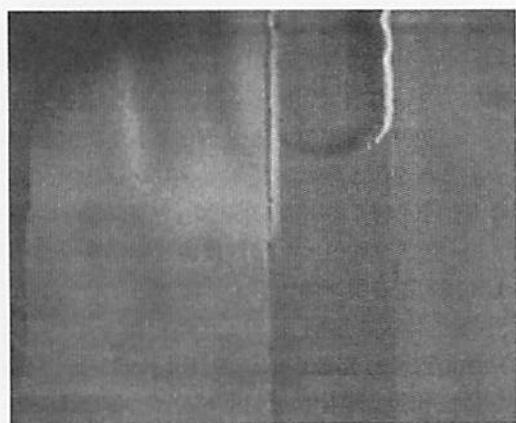


図14-2 密度の異なる2液の境界

落下中の液体境界

(7) 密度の異なる2液の境界

無重力状態下での密度の違う液体の境界の様子を調べる。

試験管にバスクリーンで色をつけた水と灯油を入れて口をゴム栓で閉める。試験管の上端と下端をゴムで落下装置にくくりつけて固定し、落下させる。

図14のように落下前の液面が落下中の無重力下ではガラスの壁にそってはいあがり液面が下向きに大きく湾曲する。

(4)と同様に重力下では小さな表面張力が無重力下では大きくきいて、壁にそって液面をはいあがらせる。

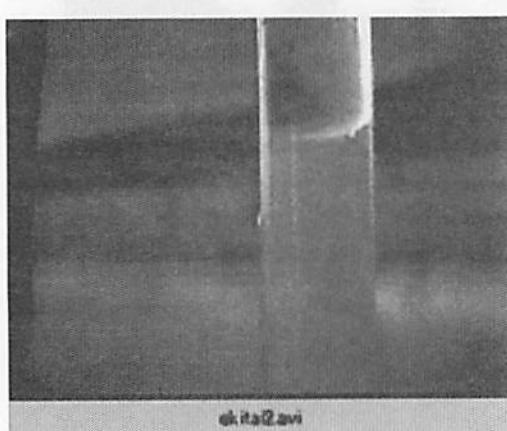


図14-1 密度の異なる2液の境界
落下前の液体境界

(8) 水を吹き出している容器

ペットボトルの下の方から水を流し、これが自由落下しているときの水の様子を調べる。

ペットボトルの底の方に穴をあけてストローを差込み、水を入れる。ボトルのキャップをして、水が出ないようにして落下装置に取り付け、キャップをはずして水が出るようにしてから落下させる。

はじめ、水は放物線を描いて噴き出していたが、落下装置が落下し始めると水は止まった。



図15-1 落下前の放水



図15-2 落下中の水が止まった様子

水がペットボトルから吹き出しているのは、吹き出し口より上にある水の圧力によるからで無重力状態になると圧力がなくなり水が出なくなることが確かめられ、水圧が重力によって生じていたことが確かめられる。

(9) 噴水の吹き上がり

無重力状態下での噴水(水流の動き)を調べる。図15のように水の入ったペットボトルの口に二方活栓をつけたゴム栓をきつくさしむ。ゴム栓からでた二方活栓の下端にビニルチューブをさしこみ、水の中に入れておく。空気入れで二方活栓のノズルから空気を入れて活栓をしめた後、落下装置にとりつける。落下させる直前に活栓を少しひねって水がノズルから吹き出し噴水になるように調整する。

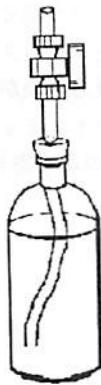


図16-1 噴水の装置(図)

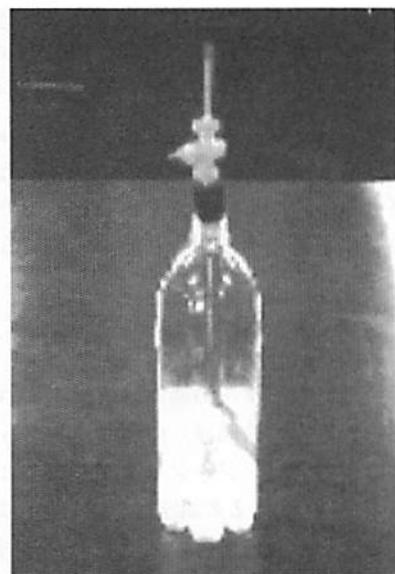


図16-2 噴水の装置(写真)



図17 噴水の落下前(上)と落下中(下)の様子

無重力状態ではノズルから出た水は勢いよく上に上がり続け水柱ができる。無重力下では物体は慣性によってその運動を続けようとする。その運動の様子は、上に吹き出した水がさらに上がり続けて水柱を作るという興味ある現象となって観察される。ビデオでよくみると外での実験のため風の影響で水柱が少し曲がっている。

4 実践事例

(1) 理科教育研修講座での実践事例

当理科教育センターの通常研修講座（中学校部会第一分野物理的領域）の運動に関する内容の講座の中で、パンジージャンプ方式による無重力実験を行った。この講座は、いくつかのテーマから選択して実験を行い、ビデオ等を利用して互いに成果を紹介し合う形式のもので、平成5年119名、平成6年81名、平成7年56名、平成8年54名を対象に行った。

受講者からは、「無重力の実験はみてもやっていても興味深く取り組みました。」「大がかりな実験装置を使った実験で普段できない実験がおもしろかったです。」「視聴覚教材を使い、実験を分析する方法がこれからの授業でも必要になります。」「第1分野を屋外でというコンセプトに驚きました。参考にさせていただきたいと思います。」「物理領域は敬遠しがちであったのですが、理論ばかりでない形の学習が参考になりました」等の感想が寄せられた。

(2) '96青少年のための科学の祭典札幌大会 第3会場での実践事例



図18 '96科学の祭典札幌大会 第3会場

北海道で行っている「青少年のための科学の祭典」は今年度で4回目だが、今年は会場が3会場となり新たに加わった青少年科館の正面玄関付近の非常階段を利用し一市民を対象に平成8年8月、3日間延べ2800名を対象に屋外デモンストレーションを行った。

子ども達からは「ろうそくの炎の形が変わるのが不思議だった。」「実際にテレビの画面を見ているときはアッという間でよくわからなかつたが、ビデオで再生したらよくわかった。」「こんな実験装置で無重力実験ができるなんて意外だった。」「屋外でダイナミックな実験でとても楽しかった。」などの声が寄せられた。



図19 科学の祭典での子どもたちの様子

(3) 北海道工業技術研究所無重力落下実験施設での実践事例

バンジージャンプ方式で行う無重力実験容器は、そのまま無重力落下実験施設の落下カプセルに搭載することができるため、理科教育センター短期研修講座「宇宙科学への挑戦」を通産省工業技術院北海道工業技術研究所の落下施設を借用して平成8年8月5日、27名の学校教員対象に行った。



図20 北工研での短期研修講座

また、平成8年8月23日の同研究所の一般公開実験でも、バンジージャンプ方式で開発した落下実験容器を落下カプセルに搭載して研究者や一般市民、子ども約50人を対象に演示実験を行った。開発してきた落下実験が実際に本格的な実験装置でも行えるかどうかは未知の部分であったが、「自分達で工夫した実験装置を落下実験施設で使えるのがよかった。」など、学習活動の専門性へのつながり、一般社会との連携

の方向性に対しても成果があった。



図21 工業技術研究所での実験の様子

5 おわりに

理科の学習で既存の知識体系を学ぶことは、現状の文化や生活水準を維持する人材の育成のために重要である。しかし、高度に発展し先頭に立って文化を切り開いて行こうとするとき、多くの領域で突き破らなければならない壁がある。無重力実験は、ふだん意識しない重力を意識し、世界観を変える働きがある。自ら不思議を発見する活動がある。これらは、将来の科学技術者の養成という観点のみならず、どのような分野で活躍する者にとっても価値ある学習活動を提供するものと考えている。落下無重力実験は落下装置の部分と落下させて行う無重力実験のテーマから成り立つが、バンジージャンプ方式は学校でも特殊な施設を使わずにでき、宇宙船や本格的な実験装置に子ども達が考え工夫して作った実験テーマを載せて行う夢へつながる実験もある。このような学習を積極的に行い、子ども達に夢と創造性を育む教材開発を大いに進めたいと考えている。

なお本研究は、平成7年度(第34回)下中科学研究助成金および平成8年度ホクサイテック財團研究開発支援事業一般道民発明研究補助金を受けて行った研究実践である。また、平成8年度科学体験活動アイデアコンテストで科学技術庁長官賞を受賞している。

参考文献

- 1) 道立理科教育センター：中学校部会テキスト 1993
- 2) 北海道立理科教育センター：指導資料 第28集 中学校理科編 1996
- 3) 中里, 永田, 大久保：日本物理学会第51年会予稿集 3aA5 1996
- 4) 永田, 大久保, 村上：第44回応用物理学連合会 予稿集 28aNB4 1997
- 5) 奥谷 猛：セラミックス, 29 [8] P682 1994
- 6) 永田, 大久保, 村上：全理セ物理部会 1996
- 7) 丹青社：上砂川無重力科学館展示計画概要 1993
- 8) (株)地下無重力実験センター：地下無重力実験センター概要 1991
- 9) 工業技術院北海道工業技術研究所：INFO RMATION 1996
- 10) 永田, 大久保, 村上, 増田, 小野寺, 柳田：'96青少年のための科学の祭典札幌大会ガイドブック 1996
- 11) J. P. ヴァンクリーヴ：不思議な科学実験 <物理編> HBJ出版 1991
- 12) NASA : Microgravity A Teacher's Guide with Activities For Physical Science 1995
- 13) 伊藤献一：じっきょう理科資料 1995
- 14) 北海道無重力環境利用促進協議会：'97無重力セミナーin札幌 講演集 1997
- 15) BUTURIサークルほっかいどうLチーム：科学技術体験活動マニュアル VOL. 3 (財)日本科学技術振興財団 1997
- 16) 広井 祐：力学は宇宙船に乗って コロナ社 1989
- 17) 八木正一：パズル頭の遊園地 光文社 1980
- 18) 後藤道夫：楽しい実験室女子高生のチャレンジ 日本教育新聞社 1991
- 19) 山本明利：小型ビデオカメラによる微少重力実験 物理教育通信 1996

[著者所属]

- * 1 北海道立理科教育センター
- * 2 音更中学校
- * 3 標茶中学校
- * 4 札幌市立厚別中学校
- * 5 遠別中学校
- * 6 奥尻中学校
- * 7 様似中学校
- * 8 夕張市立滝上中学校

星空と人間のつながり

(俱知安町民 木の曜日講座 より)

北海道俱知安高等学校 佐々木 淳

俱知安の町民講座で星について話をする機会を得ました。シナリオを用意して授業の延長のつもりで取り組みました。その概略を報告します。

1. 夜空をながめて何想う？

夜、星空をながめていると、不思議な気持ちになってきます。

薄い雲などが流れていると、星が動いてるんだろうか、それとも、雲の方か・・・と迷うこともしばしば。羊蹄山を見て、やっと「雲が動いてるんだ、星は元のままだ」と納得したりします。

2～3時間たつと月も場所を移動していたり、見かけない星が昇ってきたりします。だからといって、月や星をながめて「動いてる瞬間を確認してやろう。」と思っても、星の動きはあまりにゆっくりすぎて、難しい。

時間の流れを秒針や砂時計で見るよう星の動きをはっきりととらえるには道具が必要です。

望遠鏡です。星空用の虫メガネ、と言ってもいいでしょう。これを使うとわずかな動きも拡大されて、見事にキャッチできるようになります。

40倍程度の拡大なら、まだたいした動きではありませんが80倍、160倍と拡大を続けるとその動きの早いこと。「土星の輪だよ、見てごらん。」と友達を呼んだ時に「え？ 土星なんかないよ。」ということもよくあります。さっきまで視野の真ん中にあった星も次の人を見る頃には外へと逃げているのです。

最近の望遠鏡はモーターで自動的に追尾してくれるものも珍しくありませんが、これから星空ウォッチャーをはじめようかという方にはまず手始めに双眼鏡から入門することをおすすめします。（望遠鏡は慣れないと自分がどこを見ているのかわからなくなります。新聞の字を顕微鏡

で読むようなものです。）

2. 星はタイムマシン

星空をながめている、誰でもが共通して思うことは「人間はちっぽけだなぁ。」ということと「星空は全然変わらないなあ。」ということだと思います。

何百年も前に生きていた人達も、そう感じたでしょう。

今なら牡牛座は真上より少し西、「すばる」という自動車メーカーのマークにもなっている星のかたまり（ぶどうの房にも似ています。）が見えるはずです。

清少納言が約千年前に「枕草子」中に、「星と言えばやっぱり”すばる”が好き。おりひめ、ひこぼしもいいけど。」と書いています。「すばる」は「すべる=まとめる」という古語から来た言葉のようです。千年前の人も同じ星を見ていたわけです。

清少納言と自分が同じ星を見ている。星はタイムマシンかな？・・・とも思えます。

タイムマシンという言い方は比喩ではなくて、実際にそういう事実もあるのです。

光や電波も一瞬にして無限の彼方に届くわけではなく、秒速30万km（1秒に地球を7周半するスピード）で進むのです。

宇宙探査船ボイジャーが木星、土星、天王星、海王星の写真を地球に送ってきましたがあれなどはいつシャッターを押すのか、不思議です。海王星は地球から約45億キロ離れていますから、NASAからリモコンで電波を送っても片道約4時間半はかかるわけです。

茶の間で朝、テレビをつけようとしてリモコンでスイッチを入れたら、星頃やっと電源が入った・・・なんて、光速度はこの世界で最高のスピードと言われながらも宇宙的なスケールで眺めるとカメの歩みみたいで不思議な気がします。

太陽の光は、8分20秒前に現地を出発した光です。琴座の α 星ベガ（おりひめ）の光は22年前に出発したもの。そして、オリオン星雲の光は清少納言より昔の1500年前、アンドロメダ大星雲はヒトとサルとの見分けのつかない230万年前、ケンタウルス座銀河団に至っては恐竜が地球の主役だった1億年以上前に星を出発した光なのです。星はまさにタイムマシンです。

今見ている星は現在、すでに無いのかもしれません、その情報が光に乗って届くのは気が遠くなるほど先の話です。

また、私たちの見ているテレビ番組の電波は地球から常に宇宙に漏れ出ています。もしかしたら宇宙のどこかにいる知的生命体（ET）は今頃札幌冬季オリンピックの映像を楽しんでいることもないとは言い切れません。実はこのアイディアを見事なストーリーに仕上げたのが、一年ほど前の12月に亡くなったアメリカのカール・セーガン博士です。彼の「コンタクト」という作品は先頃、映画化されて大変評判になりました。製作過程では博士のレクチャーも行われ、主演のジョディ・フォスターも次々と質問を続けたようです。

宇宙人とコンタクトをとるための装置が日本の北海道で製作される・・・というところが不思議でした。セーガン博士は北海道が好きだったなんでしょうか。

科学者たちが札幌の＜大通り＞を歩くと願い事を書き付けた短冊を下げたたくさんの竹が飾り付けられていて、これを「七夕祭り」だと知った、とあります。

「日本では琴座の α 星ベガを織女、鷦座の α 星アルタイルを牽牛と呼ぶ。七夕はこの2人が出逢うという恋のお祭りなんだ。恋のお祭りっていうのは、世界でも珍しいよね。」とあります。

これが清少納言の頃から語り継がれているこ

とを想うと昔の日本人の暮らしと星とはもっと近かったのかもしれません。

3. 地球の仲間「惑星」

さっき、誰でもが共通して思うことという話の中で「星空は全然変わらないなあ。」と言いましたが、毎日毎日ながめているとやっぱり星空にも変化があることに気づきます。

金星という星はある時には明けの明星として朝方の東の空に見え、またある時は、宵の明星として西の空（アンヌプリの上ぐらい）に見えます。明るく目立つことから美の女神ビーナスと呼ばれています。

火星は赤い星で戦争の神様マースと呼ばれていますがこれは見える場所も明るさも星座とは無関係に変わっていきます。

イギリスのシェークスピアは400年前に「終わりよければすべて良し」というお芝居中の人物にこう言わせています。「マースがひときわ赤く輝く時に私は生まれた。」「いいえ、最も光を失っていた時ではないかしら。」

火星は2年2ヶ月周期で地球に接近するため明るさが変わります。

このセリフをなるほどと受け入れられた400年前のイギリスの人達の生活も星に近かったかもしれません。それはまだ天文学と星占いが枝分かれていなかったせいでもあるでしょう。

250年前のアイルランドの作家スィフトは「ガリバー旅行記」の第3部「空飛ぶ島ラピュタ」編でハイテク科学が支配する国を描いています。星の運行を調べては一喜一憂する天文学者達はハイテク化にともなって、社会不安も増大する今の社会を予言しているようです。

予言といえば、スィフトはラピュタの科学者達が火星の回りに2個の衛星を発見したと書いています。ついでに回転方向や周期まで書かれていますが、それが実物と大差がないのです。望遠鏡で実際に発見されたのがなんと小説から154年後というのミステリーというしかありません。

2個の衛星は軍神マースの戦車を引く馬の名前をとって「フォボス」、「ダイモス」と呼ばれ

ています。夜空に 2 個、月が浮かんでいるというのはどんな風景でしょう。

水、金、地、火、木、土、天、海、冥でおなじみの星たちは地球の兄弟ともいえる星で、自分では光らず、太陽の光を反射しています。

また、星座の間を行ったり来たりするので、「戸惑う星」と書いて惑星（プラネット）と呼ばれます。

その他に、昨年の春にやってきたヘール・ボップ彗星のような彗星も星空の変化としては見逃せません。星と呼べるほど大きくない石ころも宇宙を漂って時々地球に降ってきます。ショーティング・スター、流れ星というわけです。

8月11日前後には毎年「ペルセウス座流星群」という天体ショーが見られます。地球の回る軌道上に流れ星のもとになるかけらがたくさん落ちているせいです。

月がなければ、1時間に 2~30 個見ることもできると思います。「ペルセウス座流星群」関係の情報は、夏が近づいてからお知らせします。

4. 星の色について

70 年ほど前に活躍した、大正時代の作家宮沢賢治の作品にも星はたくさん登場します。

「銀河鉄道の夜」を読んだ方も多いかもしれません。彼は自分で歌を作つてよく鼻歌を歌っていたというエピソードがあります。

「双子の星」から 1 曲ご紹介しましょう。

あかいめだまの さそり

ひろげたわしの つばさ

あおいめだまの こいぬ

ひかりのへびの とぐろ

オリオンは高く うたい

つゆとしもとを おとす

アンドロメダの くもは

さかなのくちの かたち

大ぐまのあしを きたに

5つのばした ところ

小熊のひたいの うえは

そらのめぐりの めあて

赤い星はさそり座のアンタレス、こいぬ座はプロキオン、空のめぐりの目当てはもちろん北極星です。ところで、星の色は本当にわかるの?とよく聞かれます。

見慣れると、「オリオンの肩のベテルギウスは赤、足下のリゲルは青。」とわかるようになりますが、色の見比べというのは難しいものです。

星の写真を撮つて比較すると、しきうと目に納得がいくと思います。

しかし、普通のコンパクト・カメラなどでは残念ながら簡単には写せません。ストロボをたけば?と早とちりしがちですが夜景ならば数 km、星ならば何百光年も離れているので手元のストロボが届くわけもありません。

シャッター・スピードを極端に遅くして長時間光を当て続ける、という方法ではじめて夜景や星はフィルムに焼き付けられるのです。

そう考えるとヒトの目の網膜はなんと感度のいいフィルムだろう、と思われます。

この場合カメラには「バルブ」という機能が必要になります。シャッターの開け閉めを手動でコントロールできることが肝心です。星の撮影にとって全自动はむしろ邪魔者といえるでしょう。

さて、モデルが動くと光が糸をひいたようになります。でも、星の色を見比べるにはそれちょうど良いのです。5 分ぐらいの撮影だと星座の形も壊れず、色も比較できる、なおかつ風景は固定されたままです。これは「固定撮影」と呼ばれる基本的なテクニックです。

三脚を使つたり、シャッターを開いてから手でおおいを取つたりかぶせたり、となかなかのローテクですが手軽にすてきな写真が仕上がります。先ほどの「あかいめだまのさそり」、「あおいめだまのこいぬ」はこのようにして証拠を得ることができるのです。

天文学の研究によると色はその星の温度を表しています。太陽はオレンジで 6 千度、赤い星は低温で 3 千度、青は高温で 1 万度以上と見積もられるようです。1 本の炭火でも白い部分、黄色い部分、赤い部分、黒い部分で温度が違います。

ますが星も同じと考えてよいでしょう。

さて、糸を引く固定撮影に対して、動く星を追跡しながら点として撮影するテクニックもあります。賢治の言葉でいうところの「そらのめぐりのめあて」、北極星を中心にカメラを回転させて星を追うのです。

これには赤道儀という1ランク上の望遠鏡が必要になります。点状に写る星の色を何度も重ね塗りするようなものですから、淡い雲のようにしか見えない星ですら詳しく、またカラーで撮影することができます。

ヒトの網膜がどんなにすばらしいフィルムだとしても、遠くにある雲のような天体をカラーでとらえる能力はありません。望遠鏡をはじめて使う人が「アンドロメダ星雲が見えるはずなのに雲がかかってる。」というのを聞きます。淡い天体を目で見てわかるのはその辺が限界で、あとは写真に頼るしかありません。

スライドを見てわかるように、動く天体を追いかけて撮影したものは、とても魅力的です。オリオン座の撮影などはちょうど今頃で、氷点下の寒さの中、何十分もひたすら星を照準の真ん中に合わせ続けて、アイピースにまつげが凍り付くといった失敗も経験しました。

今では、モーター式やコンピュータ制御による「自動ガイド」が主流のようだ。撮影は望遠鏡とカメラにまかせて、自分は暖かい部屋でコーヒーや熱燗を飲んでいる。。。ということもできるようです。

その他に、望遠鏡自体をカメラに接続して大望遠レンズとして活用する方法や、アイピースの部分にCCDカメラを取り付け、室内にケーブルを引き込んでテレビ画面に写したり、ビデオにおさめたりする塹壕戦スタイルのテクニックもありますが、それはまたいつか別の機会にお話しすることにします。

5. 星空と人間

しばらくマニアックな話が続きました。そろそろ話題を身近なところに戻してめぐります。電気の力で夜が明るくなり、家の中でも退屈しない時代がやってきて、現代人の生活の

中に星のしめるウェートがどうやら小さくなっているようです。

夜道を歩いて見上げるだけでそこにあるのに星をじっくり眺めることはなかなかありません。

賢治のうたにもオリオンが露と霜との季節を教えてくれる、とあります。星で季節を語ることもあり無いようです。

だから、百武彗星やヘル・ポップ彗星の訪れ、シューメーカー・レビー彗星の木星への衝突、毛利さん、向井さん、そして元天文少年若田さんのスペース・シャトル体験、恐竜絶滅と隕石落下の話などが時々、宇宙の存在を私たちに気づかせてくれることはうれしいことです。

それでも、感性の感度をあげていくと最近でもさりげなく星のことを取り込んでいる人達がいることに気づくことがあります。

ヒット・メーカーの人気グループ「スピッツ」のリーダー草野くんの書く歌詞の中にこんなのがあります。

ぼやけた6等星だけど
思いこみで恋に落ちた
はじめてプライドの柵を越えて
(「渚」より)

いいセンスだなぁ。。。と思ったのは、「ぼやけた6等星」というくだりです。

2000年前のギリシャのヒッパルコスは最も明るい星20個を1等星、肉眼でやっと見える星を6等星と決めました。だから、7等星は見えないのです。あるのか、気のせいかわからないような恋心を6等星と表現するあたりがスピッツ(草野くん)のうまさですね。

もうひとつは今をときめく若手のホープ「スマップ」です。

彼らの最新アルバムの中に「ココニイルコト」という曲があります。これは、スガシカオというシンガーの作詞作曲になるのですがなかなか深い意味があるのです。

Oh僕らが瞬間に放つ光は
たとえ届かない距離でもあなたをめざす

ゆがんだ光は ココニイルコト
伝えるすべては ココニイルコト

僕らが 二度と無い今に光る星ならば
昨日と変わらない今日を生きる意味がある

ゆがんだ光は ココニイルコト
伝えるすべては ココニイルコト

いい曲だなあ・・・とあっさり聞き流していましたが、「ゆがんだ光」というフレーズが妙に気になる。

そのうちに「待てよ、こいつはAINSHUTAINの一般相対性理論を織り込んだ歌詞だ。」と気づいたわけです。

AINTSHUTAIN博士は今世紀のはじめ頃に、「光は直進する」という誰もが疑わない現象に疑いを抱いたのです。ロケットは大きなスピードで打ち上げれば地球を離れるけれど、重いロケットならそうは行かない。

「重いロケット」という考えをひっくり返すと重力の強い、重い（密度が大きい）星でもあてはまるだろう。・・・すると、太陽の数百倍の密度の星があったら、宇宙で最高速といわれる光だって星から出られないということもあるだろう。そんな星では光だって噴水のように曲がって放物線を描きながら落ちてくる。それを「ゆがんだ光」と呼んだのです。

今では、そんな星達も当たり前に存在することが確認されていて、「ブラックホール」と名付けられています。

ブラックホールをかすめて進む光は、落ちることこそありませんが曲がって進みます。一見

届かない距離に見えても、曲がった光は一路「あなた」を目指す。天文学の最先端の話がこの歌詞の中にはこっそり歌いこまれているのです。

スガシカオさんというのは、理科系の頭の人だなあ・・・と感心してしまいました。

星の重さ、ひとりひとりの重さがわずかにでも空間をゆがめ、光の進路を曲げる。

ひとりひとりが生きていることがすでに、光をゆがめるという形で確実に宇宙空間に影響を与えており、と思うと、私たちが宇宙空間の1ヶ所にいることは宇宙の歴史の中でやっぱり意味のあることだなあ・・・と思わずにはいられません。少々大風呂敷を広げすぎたかもしれませんのが・・・。

星空は私たちに光を送っているだけではありません。謎やインスピレーションを次々と送ってきてています。ふと見上げればキャッチできるのですから、黙って見過ごす手はありません。

疲れた夜には夜空を見上げて、時間旅行でもゆっくり楽しみませんか？

ご静聴ありがとうございました。

資料

1. 清少納言「枕草子」
2. シークピア「終わりよければすべて良し」
3. 宮沢賢治「双子の星」
4. M. ガードナー「奇妙な論理」
5. スイフト「ガリバー旅行記」
6. カール・セーガン「コンタクト」
7. 草野正宗「渚」(スピッツ)
8. スガシカオ「ココニイルコト」(スマップ)

実践報告

製鉄所見学と鉄鋼技術者・ 研究者との懇談会に参加して

札幌南陵高校 菅 原 陽

「高炉から吹き出るマグマのような液体の鉄を上から覗く」ことができるとは話には聞いていました。が、実際に見るとやはり圧巻でした。その熱気・熱風と、どこからか飛んでくる火花の散る様と怒濤のような轟音に日常生活には感じられない圧倒的な大きさが感じられました。丸棒の線材を生産する自動化ラインのスピードにも驚きました。ベルトコンベアに載って目の前の赤い螺旋が冷やされて行く様を熱線にさらされながら覗くのも滅多にないことです。このスピードでも超音波センサによって表面傷の検査がなされていることにも興味がわきます。オージェ電子表面分析装置などの装置の実物を見ることができました。

また、高さ6m幅6m以上の何百トンもの大きな真っ赤な鉄の塊が、巨大なクレーンによって持ち上げられ、これまた巨大な百万トンプレス器で鍛錬される様子は、とてもテレビの映像では伝えられない迫力でした。これらの映像は時間が経っても目に焼き付いています。また水晶の合成など先端の電子技術の開拓と生産を行っていることにも興味を引きました。水晶板の複屈折によってRGBの分離をしていることは初めて知りました。「なるほど・・・」と頷くことがたくさんありました。

ともかく、実際に見て肌で感じることができたことが今回の一番の収穫でした。

実は今回の企画を聞いたのは6月でしたが、「青少年のための科学の祭典」の日程と重なったため大いに迷い参加の決断が遅れ、関係の方々には御迷惑をおかけしました。この場を借りて陳謝したいと思っています。参加当日は、北見からの夜行バスで早朝札幌に着き自宅でシャワーを浴び、慌てて室蘭行きの特急に駆け込んでき

たというわけです。是非とも稼働している高炉を見たいという一心で参加させていただいたのです。これに先立ち、東北大學で金属博物館を覗いてきたところでしたが、やはり実際に動いている生産現場はインパクトが大きいものでした。

懇親会・懇談会では三澤先生始め大学の専門家と生産現場の研究者、そして我々教育者それぞれの立場から様々な意見・質問がでて時間が足りない感がありますが、大変示唆に富む内容だったと思います。このような方々と意見交換できたことは貴重な体験でした。我々が教育現場に帰って何を生徒に伝えるべきかを考えさせられました。実際ここに出た内容を最初のホームルームで生徒に伝えました。そして、できるだけ多くの生徒に接し、進路や学習のことを話しかけることを実践しています。私自身がこの懇談会に参加することによって、より元気が出てきたと思います。このような企画を計画・実施することにもご苦労なされたと思います。御礼申し上げます。大変有難うございました。



溶けた鉄から火花が散る様子

日本物理教育学会北海道支部規約

第1条 本支部は、日本物理教育学会北海道支部と称する。

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

第3条 本支部は、前条の目的を達成するために次の事業を行なう。

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

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

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

第6条 本支部に次の会員をおく。

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

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

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職務を行なう。

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

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

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

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

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

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

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

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

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

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

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

支部会報「物理教育研究」投稿規定

1. 内 容

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

2. 投稿原稿について

(1) ワープロ原稿を標準とします。

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

(2) できるだけMS/DOSディスクにテキストファイルで保存し内容をラベルに明記して下さい。上記以外のワープロ機種の場合も、機種名やディスクフォーマットの種類を明記してラベルに貼って下さい。

(3) 最初の1枚目は上から8行目まで、題名および(副題)所属機関及び著者名を書き本文は9行目から書いて下さい。

(4) ゴシック・イタリック等の字体指定は赤字でその旨を示して下さい。

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

〈参考例〉

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

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

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

(8) 図・表・写真的指定場所は用紙に直線で囲み指定するので、その余白を予めとっておいて下さい。(右図はワープロ原稿の例)

3. 原稿用紙での投稿の場合

原稿用紙(横書き2段1764字詰)6枚程度とし、この場合1枚が1ページに相当し6ページ内になります。

4. そ の 他

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

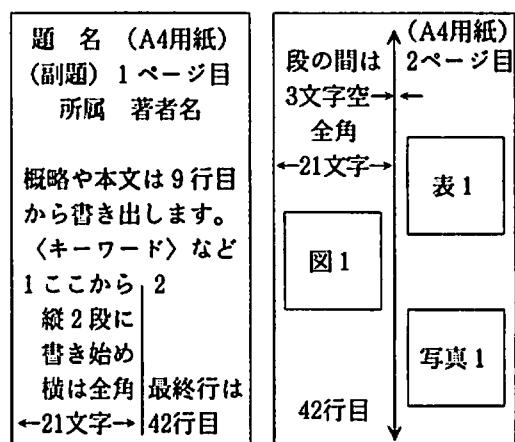
(2) 本紙は毎年(5月)に発行予定です。

(3) 研究論文と解説には審査員を立てて内容

を査読し審査します。

(4) 本紙講読料は2,000円とします。

(5) 投稿及び原稿用紙等の申込みと会誌編集に関する連絡先は下記の北海道支部にお願いします。



原稿募集

上記規定により支部会報「物理教育27号」の原稿を募集いたします。

(1) 締 切 1999年3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

平成10年8月31日発行

日本物理教育学会北海道支部

第26号

編集責任者 菅 原 陽

発行 (060-8628) 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学大学院大学院工学研究科

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・FAX (011)706-6723

原稿作成例
表題は12ポイント (pt) のゴシック文字
(副題も12pt ゴシック : 両端を括弧でかこむ)

English Main Title : 10pt Times
(English Sub Title : 10pt Times)

明朝 太郎 (明朝大学) サイズ : 10pt (明朝大大学院) 執筆 一朗 (執筆高校)
Name Times Size 9pt Sippitu Itirou

抄録 本文の要約紹介文です。200字以内。日本語文字は 9 pt を標準です。
例えば「・・・について、・・・という発想で、・・・行なったところ、・・・という結果を得た」といった具合に、検索のキーワードとなる語を含むようにお書きください。
(Abstract) Abstract must be written with 10pt Times or Times new Roman Font. The line spacing is 10.5pt. The number of words is within 200.

キーワード 10pt 5語程度 Keywords : Times Font, 10pt, About 5 Words

1. 章タイトルはゴシック 9 pt

本資料は、A4版用紙を用いてオフセット印刷原稿を作成する際に必要な情報を、できるだけ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。

英文 : Arial, Helvetica

を使用する。上記のフォントがない場合は、類似のフォントを使用すること。

2. 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、上下左右マージンは、
上 : 21.1mm, 下 : 27.5mm,
左 : 18.3mm, 右 : 18.3mm
とする。

2. 3 式および記号

式および記号の標準文字は、9 ptのイタリック体とする。
ベクトルの場合は大字のイタリックとする。
上下添字は 6 pt 程度の立体（イタリックでもよい）とする。以下にいくつかの例を挙げておく。
 J_c V_i P_s^a

本文は 2 段組みとし、
段間隔 : 7.7mm
段幅 : 82mm
とする。

式を記入する場合は、式の上下に空白行を設け、右端に式番号を記入する。例えば、

$$F_b = C_1 / 2\rho \quad |V|VS$$

2. 2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは 9 pt の
和文 : MS明朝, 平成明朝
英文 : Times New Roman,
Times Symbol
とする。ただし、太文字には 9 pt の
和文 : MSゴシック, 平成角ゴシック

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)のように式番号の前に“式”をつける。

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

収まるように作成し、論文内の適切な位置に配置する。図中の使用文字サイズは、十分認識できるサイズ（9 pt 程度が望ましい）とする。6 pt 未満の文字は使用しないようにすること。また、図・表・写真の前後には1行の空白行を設けること。

図・表・写真の説明は、以下に示す例のように、太字の図・表・写真番号の後に、標準文字の英語で説明を記入する。（9 pt）

Fig.2 Schematic of experimental apparatus

Table 3 Fluid properties in each run

Photo 4 Flow pattern around sphere

文章中で図表などを参照する場合は、太字で Fig.2, Table 3, Photo 4等と記入する。

2. 5 記号説明

結語（結論）および謝辞などの記入の次に、本文で使用した主な記号の説明を英語で記入する。文字のサイズは、9 pt 程度の文字とする。記入方法は、本資料の Nomenclature の例に従ってください。