

日本物理教育学会
北海道支部

物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

Vol. 25, 1997. 5

目 次

卷 頭 言

日本物理教育学会北海道支部長 吉田 静男

奈良英夫先生を偲ぶ

日本物理教育学会北海道副支部長 斎藤 孝

研究論文

- ・バネ振動が引き起こす振り子運動 1

道都大学 宮台朝直
北海道工業大学 三好康雅・峰友典子

- ・オペアンプを使った静電気の電圧測定 6

北海道工業大学 三好康雅・峰友典子

- ・水中落下するガラスピーツの抗力係数 9

北海道工業大学 峰友典子・三好康雅

- ・サッカーの物理学 I

～速度・加速度・エネルギー～ 12

北海道教育大学函館校 下山雄平

- ・エネルギーの質と有効利用

～自由エネルギー・エクセルギー・エントロピー～ 20

北海道教育大学函館校 片岡久明・下山雄平

- ・記録タイマーを用いた普通の自由落下実験で重力加速度 9.8m/s^2 を得る方法 26

北海道札幌啓成高校 石川昌司

実践報告

- ・興味関心を高める高校物理「課題研究」の実践

～インターネットの利用の一例～ 28

北海道函館中部高校 関川準之介

- ・実験・実習を中心とした物理IAの実践 33

北海道南茅部高校 渡邊義輝

- ・手作りソーラークッカーとその利用

～目玉焼きを食べてエネルギー問題を考える～ 42

北海道別海高校 青木弘典

- ・ゲーム感覚で電気の体験学習をすすめる教材の開発

～ブザーを鳴らす不思議なスイッチ～ 51

釧路市立興津小学校 大平昌則

調査報告

• 理科に関するアンケート調査より ～理科嫌い理科離れの現状～	53
室蘭市立成徳中学校教諭 太田博之	
• 改訂期の高校理科履修率の推移	62
北海道札幌開成高校 鶴岡森昭	
ティールーム	
• NSTA Global Summitに参加して ～物理の先生たちとの冒険の旅～	66
北見市立西小学校 斎当知香子	
支部規約	73

卷頭言

日本物理教育学会北海道支部長 吉田 静男

日本物理教育学会北海道支部は昭和44（1969）年6月25日に54名の会員で発足して以来28年を経過致しました。この間の支部会の活動は会誌「物理教育研究」や研究会そして特別企画の事業を通じて地道ながら確実に進められ、中央からも高い評価を得ております。このような支部活動の長年にわたる発展維持は、初代支部長林 正一先生をはじめとする発足当時の理事各位の物理教育に対する情熱無しには不可能であったと思われます。そうした理事の方々の中には残念ながら既に故人となられた方々もおいでになります。いずれもご存命で有れば今なお支部の支柱を担っておられるはずの方々ですが、特に、昨年11月にご逝去された奈良英夫先生の支部に対するご貢献は極めて大きいものがございました。先生のご生前の支部に対するご功績に報いるためにも会員各位とともに支部の更なる発展をめざしたいと存じます。

さて、最近の支部活動を振り返りますと活発なものがあります。基幹の事業である研究会や会誌の発行に加えて一種の社会活動として意図された青少年のための科学の祭典を過去数年にわたりサポートして参りました。この後者の事業活動は研究会や会誌の充実をはかる上にも極めて良い効果をもたらしております。本年は科学の祭典の北見開催が決定しておりますが、この、札幌以外の地域における事業の企画は広大な地域を抱える北海道支部にとっては長年の課題となっていたものもあり、会員各位のご協力をお願いする次第です。ただ、科学の祭典はいまのところ中学、高校の生徒たちを十分に引きつけるものとはなっておらず、今後、何らかの改善をはかるか、別途新たな取り組みをする必要があると思われます。

北海道支部としての活動が時として社会活動にまで及ぶと言うことは今日では極めて自然であります。勿論、それがすべてではないことは明白であり、会員間の情報交換を通じて地道な教材研究、教科書の検討、時代に即したカリキュラムの検討、ならびに、その結果の公表は、本来、支部に課せられた課題であります。しかし、過去の経験から推察すると、支部にとってこの課題をことごとく解決してゆくことは量的に極めて困難であり、事業計画の立案においては最も緊急な課題に力点を置かざるを得ません。こうした観点から、理事会での議論を尽くして、設立30年を迎えるとしている北海道支部の新たな形の活動方針を定めてゆく必要があると考えております。今年の元旦の各新聞には、情報産業を除いて明るい展望がほとんど無いという記事ばかりが目立ったこと、そしてそれらの問題の多くが国際標準を欠いていることから生じていると判断されていたことを覚えています。もちろんそれが思い過ごしがあったという可能性が無くはありませんが、決して楽観できないことも確かです。教育界もご承知の通り解決しきれないほどの課題を有しております。また、教育改革も大学に関してはかなり実行に移されており、義務教育、高校の教育組織の何らかの変革もあり得るということは周知のことであろうと思われます。このようなときにこそ会員各位との情報交換を密にして平素の地道な活動を通じて物理教育の発展向上に努めてゆく必要があると考えます。今後の支部活動に対する会員各位の絶大なご貢献をご期待申し上げる次第でございます。

奈良英夫先生を偲ぶ

司会　田　吉　（北海道立教育研究所） 日本物理教育学会北海道副支部長 斎　藤　　孝

記録写真のなかに、平成5年夏第1回「青少年のための科学の祭典」札幌大会の開会式で、挨拶をされている奈良先生のお姿がある。先生のご尽力のお陰で、この祭典は今年で第5回目を迎えることができる。先生は、北海道の科学振興についてならば、どんな状況下でも、ためらいもなく、積極的な行動をとられた。例えば中央（東京）からの、各種科学実験普及活動の依頼に対し、北海道では組織的に全く無の状態なのに、いつも前向きの姿勢で、その困難を切り開いてこられた。一緒に仕事をしてきて、先生のその熱意は何か生まれるのかと考えてしまう。

奈良先生の科学振興に対する思いは、言葉のはしはしより想像すると、長い間の北海道立教育研究所で培われた、教育に対する深い愛情、いいかえれば、先生の専門の理科教育に携わる理科教師への優しい愛情にあったのではないだろうか。北海道内の理科の先生方のことを実によく知っておられ、その業績などを愛情をもってみつめておられた。またその先生方が奈良先生の依頼に応じ、こころよく協力して下さった。

北海道にとって文字どおり惜しい方を失った。物理教育学会北海道支部長としての要職はもとより、自らが発足に貢献した北方圏理科教育振興協会、全国にさきがけて育てた「青少年のための科学の祭典」等について、先生は病気が重くなった最後の頃であってもこれらのことと憂慮され、それぞれの関係の方々に暖かいご助言をして下さった。その頃の先生のお気持ちをお察しするに、志し半ばにして“斃れて後已む”的な思いであったろうと拝察する。

奈良先生には、科学振興についてもっとご相談したいことがあった、もっと教えてもらいたいことがあった、しかし今はもう果たせなくなった。残念ですが今となっては先生のやすらかな眠りを願うしか方法がありません。最後に心よりご冥福をお祈り申し上げます。



道都大学 宮台朝直
北海道工業大学 三好康雅・峰友典子

概要

バネにおもりを付けて上下振動をさせるとき、おもりの質量がある範囲にある場合おもりは左右にも振り子運動を生ずる。この現象はパラメーター励振の機構による2種の振動の干渉が原因であることを示す。

1. はじめに

長いバネを使ってバネの性質とバネ振動を学生に見せようとして失敗したことがある。バネにおもりを吊り下げる、その重さと伸びの関係からバネ定数を求めることができる。一方、おもりを下に引いてから放して上下振動をさせれば、その周期からバネ定数を求めることができる。前者の実験は上手くできたのだが、後者の実験を始めたところおもりが上下に振動するだけでなく左右にも振れ出して止めることができず面目丸潰れになった。失敗の原因がなかなか分からなかったが最近解決することができた。つまり、パラメーター励振の機構により、振り子運動とバネ振動が干渉し合うことが原因であった。面白い現象だと思うのでここに紹介する次第である。

干渉の物理的説明

ぶらんこを漕ぐとき、乗り手はぶらんこの振動数の2倍の振動数で立ち上がったりしゃがみ込んだりすることはよく知られている。バネの場合も、ぶらんこの場合と同様である。バネ振動によるバネの伸び縮みは振り子の長さを変えることに相当するからである。したがって、バネ振動の振動数 ω が振り子運動の振動数 ω_0 の2倍のとき、2つの振動が最も干渉し易いだろうと予想される。ただし、バネの場合には、ぶらんこの場合と違って、乗り手というエネルギー供給源がないのでエネルギーはバネ振動と振り子運動の間を往復することになる。この事情は

電気のLC共振回路に似ている。LC回路では、インダクタンス L とキャパシタンス C との間を電気エネルギーが往復する。

もう少し詳しく説明すると、ぶらんこの場合、乗り手が遠心力に抗して為す仕事がぶらんこのエネルギーに移るのである。¹⁾ぶらんこが最下点にきたときスピードが最大つまり遠心力が最大になるので、ここで立ち上がるのが効率がよい。(もし、ここでしゃがみ込めばぶらんこのエネルギーは減少する。)

バネの振り子運動の場合には次のようになる。バネの上端を天井のO点に固定し下端におもりを付けて、上下振動と振り子運動を同時に起こさせたとする。おもりがO点の真下を通るときにおもりが上昇するタイミングの場合は、バネ振動のエネルギーが振り子運動へ移って行く。逆にそのときおもりが下降する場合は振り子運動からバネ振動へエネルギーが移る。

バネにおもりを付けた実験において、はじめおもりを斜め下方に引っ張ってから静かに放せば、おもりは振り子運動を始めると同時にバネ振動を始める。おもりはO点の真下に向かいつつ上昇するので、バネ振動のエネルギーが振り子運動へ移って行くことになる。バネ振動の振動数 ω が振り子運動の振動数 ω_0 の2倍ならばおもりがO点の真下に来る度に上昇するようなタイミングがしばらく続く。バネ振動のエネルギーが全部振り子運動に移ってしまうと、バネ振動はとまるので、今度は、おもりがO点の真下に来ると遠心力によりバネが伸び振

り子運動のエネルギーがバネ振動へ移る状況になる。このようにして、振り子運動は大きくなったり小さくなったりを繰り返す。それに対応してバネ振動は小さくなったり大きくなったりを繰り返す。

以上の定性的説明を、運動方程式を解くことにより再現できたので、次の節でその解を示そう。

2. 運動方程式の数値解

2. 1 運動方程式

数値計算をするためにはデカルト座標 (x, y) を使うのが便利である。

原点をバネを吊る点Oにとり、鉛直方向をy軸とし、上方を正にとる。おもりの質量を m (kg)、バネのバネ定数を k (N/m) とするとおもりの運動方程式の x, y 成分はそれぞれ、

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -k(L-L_\infty) \sin \theta \quad (1)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = +k(L-L_\infty) \cos \theta - mg \quad (2)$$

となる。ここで、 L_∞ はバネの自然長、 L はバネの長さ(m)であり、 θ はバネがy軸となす角である。

$\sin \theta = y/L = y\sqrt{x^2+y^2}$
などに注意して(1), (2)式を変形すれば

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m} \left(1 - \frac{L_\infty}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) x \quad (3)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{k}{m} \left(1 - \frac{L_\infty}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) y - g \quad (4)$$

を得る。(3), (4)式を連立微分方程式として、数値積分を行い $x(t), y(t)$ を求めることができる。計算にはPC98とMacのパソコンを用い、数値計算法としては、Runge-Kutta法(PC98)とMathematicaの“NDSolve”プログラム(Mac)を使った。

2. 2 用いたパラメター

演示実験を考慮して、おもりの質量を50(g)、おもりを吊るしたときのバネの長さ L_0 が1(m)になるようにし、かつバネ振動数 ω は任意に変えられるようにした。すると、 L_0 から振り子の振動数 ω_0 が決まり、 ω からバネ定数 k (N/m)、バネの自然長 L_∞ も決まる。つまり、はじめに与えたパラメターの数値は

$$\begin{aligned} m &= 0.05 \text{ (kg)}, \\ L_0 &= 1 \text{ (m)}, \\ \omega &= 2\omega_0(1+d\bar{\omega}) \end{aligned} \quad (5)$$

の3個で($d\bar{\omega}=0$ のとき、 $\omega=2\omega_0$ の条件になる)、これらから、他のパラメターは

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \sqrt{\frac{g}{L_0}} = 3.130 \text{ (s}^{-1}\text{)}, \\ T_0 &= 2.007 \text{ (s)} \text{ (周期).} \end{aligned} \quad (6)$$

$$k = m\omega^2, \quad (7)$$

$$L_\infty = L_0 - \frac{mg}{k} \quad (8)$$

で与えられる。

2. 3 振り子運動の最大振幅

振り子運動の最大振幅の上限は、はじめにバネを L_0 から伸ばし(縮め)たときの弾性エネルギーの程度と考えられる。最大振幅の上限を x 方向の最大値 x_{mc} で表すと

$$x_{mc} = L_0 \sqrt{\bar{E}(2-\bar{E})} \quad (9)$$

$$\bar{E} = \frac{\frac{1}{2} k (dL)^2}{mgL_0} \quad (10)$$

で与えられる。 \bar{E} はバネの弾性エネルギーの相対値である。最大の振れが上の x_{mc} に等しくなれば、バネ振動のエネルギーが完全に振り子運動に移ったことになる。

2. 4 計算例

計算のチェックのために、 $x_0 = 0$ のとき、おもりが上下振動（バネ振動）のみをすることを確認のうえで、以下の計算を行った。

$d\omega = 0$ の場合 ($\omega = 2\omega_0$ でパラメータ励振の条件を満たす)：バネを平衡位置から伸ばし、おもりを横にずらせてから静かに放す場合を計算したのが、図 1 (a, b) である。バネの伸びは 31.6 (cm) ($\bar{E} = 0.2$ に対応)とした。(a) 図はおもりの x , y 座標を示したもので、おもりの軌跡を表している。

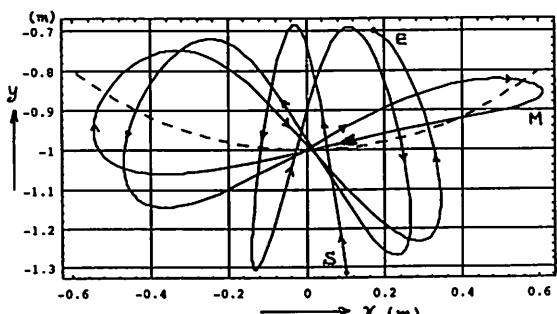


図 1 a

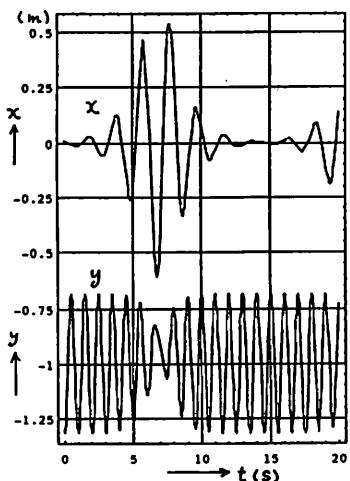


図 1 b

図 1 バネにおもりを付けて下方に引き横にずらせてから静かに放したときのおもりの運動。

- (a) おもりの軌跡：横軸と縦軸は、それぞれ、おもりの x 座標と y 座標を表し、概ね、振り子運動とバネ振動に対応する。
 (b) おもりの x 座標と y 座標の時間変化。

実線は実際の軌跡で、点線はバネの長さが L_0 の場合の仮想的軌跡を示す。この図では $x_0 = 10$ (cm) にとり、6 秒後まで計算してある。先に定性的に述べた振る舞いがよく現れている。S から出発したおもりが M に達するまでは、おもりが $x = 0$ を通るとき上昇しているので、振り子運動が次第に増大し、バネ振動は減少している。M 以後では、おもりが $x = 0$ を通るとき下降しているので、振り子運動は減少しバネ振動は増大している。振り子運動の最大振幅 (x_{mo}) は図から 60 (cm) と読みとれるが、(9) 式から求めた $\bar{E} = 0.2$ に対応する計算値 $x_{mc} = 60$ (cm) とよく一致している。

図 1 (b) は、おもりの x 座標（概ね振り子運動に対応）と y 座標（概ねバネ振動に対応）の時間変化を示すが、ここでは $x_0 = 1$ (cm) と小さく取り 20 秒後まで計算されている。他の条件は (a) 図と同じである。振り子運動とバネ振動の間でのエネルギーの移動がよく見えるであろう。また、 x_0 が非常に小さいにもかかわらず ($\theta_0 < 0.5^\circ$)、(a) 図の場合と同じ最大振幅 ($x_{mo} = 60$ (cm)) に達している。実験をするときは厳密に $x_0 = 0$ とすることはできないので、おもりが左右に振れ出すことが理解できる。

図 1 (a) の振る舞いをもう少し考えてみよう。一寸考えると、おもりが S から出発した後の（バネ振動の）1 周期の間には図 2 (a) の点線のような経路を通るように思えるが、実際には、図 1 (a) に見えるように、図 2 (a) の実線の経路を通っている。これは、おもりが S から出発してはじめ上昇するので、振り子運動がエネルギーをもらい、おもりの θ 方向の速度が速くなるからである。この経路の左右非対称のために振り子運動が（1 周期平均で）エネルギーを得るのである。図 1 の場合と逆に、はじめバネを縮めてからおもりを放す場合は、図 2 (b) のような経路を辿り、やはり振り子運動がエネルギーを貰うことになる。

図 1 では計算の最終時間を 6 秒と 20 秒に取ったが、もっと長くすれば、振り子の振れが大きくなったり小さくなったりの繰り返しが見られ

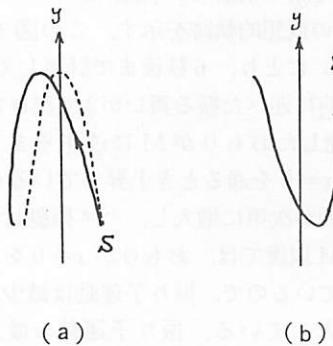


図2

図2 おもりのスタート直後（バネ振動の1周期の間）の経路

(a) はじめばねを伸ばした場合（点線は直感）

(b) はじめばねを縮めた場合

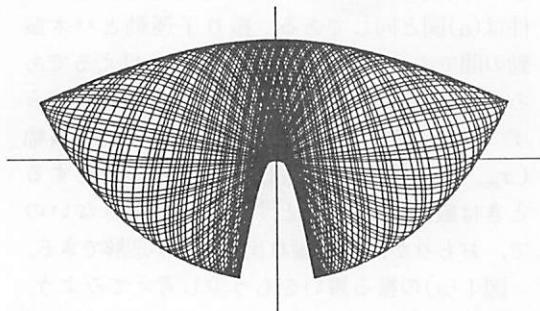


図3

図3 図1(a)と同じ条件であるが、最終時間が10秒まで計算されている。

る。さらに、最終時間を長くすると、図3に示すように、ある領域が塗りつぶされて行く。これはエルゴード性を示唆するのであろうかそれとも計算誤差のためであろうか？

$d\bar{\omega} \neq 0$ の場合： $d\bar{\omega} = 0.2$ の場合の例を図4(a, b)に示す。図1(b)の場合と同様に、 $\bar{E} = 0.2$, x_0 を10 (cm) ((a)図) と1 (cm) ((b)図) にとってある。図から分かるように、バネ振動と振り子運動の間でエネルギーの移動はあるが、振り子運動の最大振幅は $x_{mo} = 35$ (cm) までしか達せず、 $x_{mc} = 60$ (cm) には遠

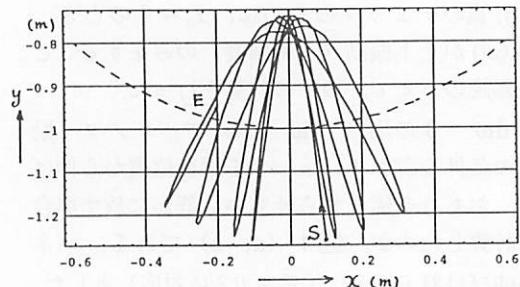


図4 (a)

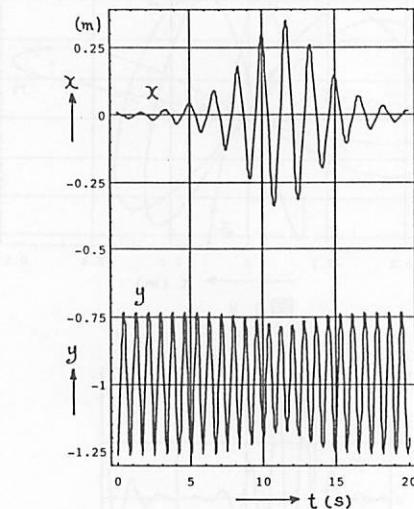


図4 (b)

図4 $d\bar{\omega} = 0.2$ の場合のおもりの運動。バネ振動数 (f) の他は図・1と同様。

く及ばない。バネ振動から振り子運動へエネルギー移動が完了する前に位相がずれてしまうためである。

バネ振動数 ω が振り子運動数 ω_0 の2倍から離れるにしたがい、エネルギー移動の効率が低下するであろうから、 ω を変えながら最大振幅 x_{mo} を測って x_{mo} 対 ω の曲線を描けば、 $\omega = 2\omega_0$ でピークになるであろう。この予想を確かめるために次のような計算を試みた： $L_0 = 1$ (m), $m = 50$ (g), $\bar{E} = 0.2$, $x_0 = 1$ (cm) を固定し、 $d\bar{\omega}$ を -0.4 から 0.4 まで変化させた。

結果を 図 5 に示す。予想通り $\omega = 2\omega_0$ にピークを持ちほぼ左右対称な曲線になったが、普通の共鳴曲線のように左右で尾を引かないことが注意される。

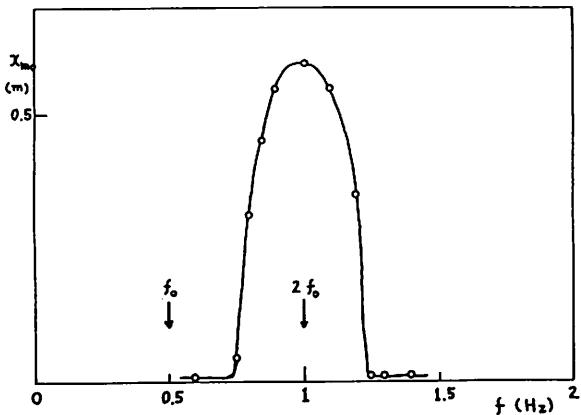


図 5

図 5 振り子運動の最大振幅 (x_{m0}) とバネ振動数 (f) の関係。バネ振動から振り子運動へのエネルギー移動の効率に対応する。(計算条件については本文参照)

おわりに

ここに取り上げた現象は、パラメター励振の例として演示実験に格好の題材ではないかと思う。未だ学生や子供達に見せていないが、「魔法のおもりで暴れるバネ」とか「暴れる魔法のバネ」とかの題をつければ子供達にも面白がって貰えるのではないかと考えている。本稿では、バネの平衡長さ (L_0) とおもりの質量 (m) を固定してバネ定数 (k) を変えてみたが、実際に実験する立場からはバネが与えられておもりを変える方が容易と思われる。また、図 3 の塗りつぶしがエルゴード性を表しているのであれば、新たな興味が湧いてくる。

参考文献

- 1) 宮台朝直：「ぶらんこの科学」，物理教育研究，Vol. 23, pp. 1~5, 1995.

北海道工業大学 三好 康雅・峰 友典子

1. はじめに

冬の室内は湿度が低いので、人の体が帯電しやすく、ドアのノブなどに触れると指先から放電して不快な思いをする。この機会に体にどのくらい電気がたまるのか、学生・生徒とともに調べてみてはどうだろうか。帯電のメカニズムについて、考えるチャンスもある。

摩擦電気というのは摩擦により電荷が発生するのではなく、摩擦により一方の電荷が他方に乗り移ることで発生する。したがって、一方が正に帯電すれば他方は負に帯電しているはずである。しかし、箔検電器でこれを演示して見せるのは容易ではない。

箔検電器は静電気を測る最もポピュラーな測定器である。これは動作の原理が単純なのでそれなりの価値はあるが、電荷の正負を判別できないのが大きな欠点である。OHPシートを布でこすると、OHPシートが正に帯電するといわれている。しかし、箔検電器を使ったのではこれを確かめる事ができない。本にそう書いてあるから、そう信じるしかない。

自分の体に電気がたまっているとして、どのくらいの電圧になっているか？これについては結構関心が高いであろう。目盛り付きの箔検電気を使い、既知の電圧でキャリブレーションして、目盛りと電圧の換算表（振れの角度と電圧は比例しない）を作つて置けば、箔検電器で定量測定ができる。しかし実際にやってみると、なんとも心許なく、信頼性に欠けるような感じがする。

帯電した人の電圧を普通の電圧計で測る事はできない。電圧計を通して瞬時に放電してしまうからである。市販の電子式電圧計でも事情は同じである。静電気の電圧を測定するには入力電流が極端に少ない電圧計が必要である。

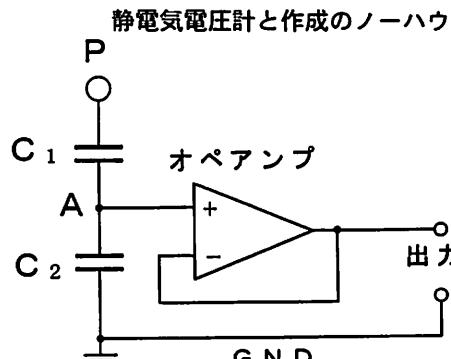


図1 静電気電圧計の回路

図1に静電気電圧計の回路を示す。オペアンプには+、-2個の入力端子があるが、-入力端子と出力端子を接続したものを「フォロワー接続」と呼び、+入力端子Aと同じ電圧が出力端子に現われる。増幅度は1である。

図1のPに測定対象を接続する。測定対象の電圧は1000[V]以上になることが予想される。一方、オペアンプに許される入力電圧は約±13[V]以内であるから、P点の電圧を C_1 と C_2 で分圧する（抵抗で分圧すると、放電電流が流れるので使いものにならない）。

オペアンプの選択：この装置で最も重要なのはオペアンプの選択である。オペアンプの入力端子には「入力もれ電流」が流れ C_2 を充電するので、入力電圧が0であるにもかかわらず出力電圧が変化する。この現象をドリフトと呼ぶ*. したがって、できるだけ入力もれ電流の小さいものを使いたいが、コストの面も考慮して2[pA]程度の入力もれ電流で妥協する。使用したオペアンプはデーテル社製AM-1110(¥2000)である。

* ドリフトの速度：入力オフセット電流を i_1 [A], C_2 の容量を C_2 [F] とすれば、出力電圧 V_o [V] の時間変化は

$$dV_o/dt = i_1/C_2$$

である。

電圧計：オペアンプの出力端子に電圧計をつなぐと A 点の電圧がわかる。ガルバノメータに直列抵抗を挿入したものを電圧計として使うと便利である。ガルバノメータは指針が中央にあるので、一目で A 点の電圧の正負がわかる。直列抵抗を変えることにより、感度を自由に調節できる利点もある。

電位の基準：図 1 の GND は電位の基準にするため接地する。本文中で「電圧」と書いているのは大地または GND を基準にした電位のことである。

実験室内に置かれている帯電体の電位の基準は室の床や壁と考えるのが適当である。コンクリートや木材は絶縁物とされているが、微少電流を扱う世界では導電性が無視できない。したがって、建物の床や壁は大地と同電位になっていると考えて良いであろう（床に張ってある P タイルの絶縁性は非常に高い。大地と同電位なのは P タイルを支えているコンクリートである）。

GND を接地しない場合、測定される帯電体の電位は何を基準にしているか曖昧であるが、実際にやってみると、接地した場合と大差無い結果が得られる（この理由についてはさらに考察を要する）。接地を気にしないで気楽に実験を楽しんでほしい。

分圧コンデンサー：P 点の最大電位を 1000 [V] 程度と予測して、 $C_1 = 10$ [pF], $C_2 = 1000$ [pF] とする。これで分圧比は約 1 / 100 である。 C_2 は市販のセラミックコンデンサーで良いが、 C_1 は約 1000 [V] の電圧がかかるので、自作する。OHP シートを画鋲（金属製の古典的なもの）2 個ではさみ接着する（図 2）

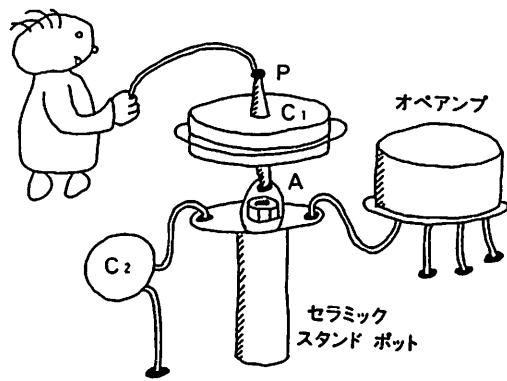


図 2 +入力ピンの処理

参照)。これでおよそ 10 [pF] になる。

基板への取付：オペアンプには 8 本の足があり、通常はこれらをプリント基板に取り付けて使う。しかし図 2 のように、+入力端子（3 番ピン）だけは絶縁を考慮して基板には挿入せず、セラミック製のスタンドポットにラグ板をネジ止めして、ここに半だ付けする。2 個のコンデンサーもここに取り付ける。

キャリブレーション：1000 [V] 程度の直流電源を用意して、その出力を静電気電圧計の P 点に接続する。調整できる部品は、 C_2 とガルバノメータの直列抵抗である。これらを調整して、1000 [V] のとき指針が 10 目盛り振れるようにする。

測定例

200ml のフラスコにアルミ箔を張り付けたものをプローブとする（ジュースの空き缶でも良い）。これを絶縁台に置き、リード線で静電気電圧計の P 点に接続する。身近にあるプラスチックなどを布などでこすり、プローブに近付けると電圧計の針が振れ、プローブの電位を直読できる。木綿布でこすった場合、OHP シート、アクリルは正、硬質塩化ビニール、テフロンは負に帯電する。プラスチックが正に帯電していれば、こすった布は負に帯電しているのが確認できるはずである。

人体の電位

人が床の上を歩くと、床と靴底の間で帯電が起きる。靴が床に接しているときは、床と靴底の電荷が引き合って人の電位はあまり高くならない。靴を床から離すと電荷の引き合う力が弱くなり、靴底の電荷は体全体に広がり人の電位が高くなる。

高校生以上の場合、この現象は次のように考えた方が分かりやすいかも知れない。靴と床は平行板コンデンサーを形成していると考える。摩擦により、ある電荷がこの平行板コンデンサーに蓄積される。靴が床に接しているときは、このコンデンサーの容量は大きく、したがって床と人の間の電位差は小さい。靴が床から離れるとき、容量が小さくなり電位差が大きくなる。

このことを静電気電圧計で試してみることができる。静電気電圧計のP点につないだリード線の一方を手に持つ(図2参照)。床を足でこすったり、足をあげたり、歩いたりして電圧計の振れとの関係を調べる。空気が乾燥しているならば、人の電位は1000[V]に達するであろう。

人に帯電する電荷の正負は床と靴底の材質に依る。いろいろな靴を履いた人について調べるのも面白いだろう。

なお、リード線としてビニール線を使うとき、

ビニール被覆は絶縁が悪いので、机などに触れないように注意する。

留意事項

ここに使ったオペアンプの最大許容入力電圧は±18Vである。P点に過大な電圧をかけるとオペアンプが破損があるので、測定電圧が不明の時は C_2 大きめにしてテストする。

コンデンサー C_2 が何かの原因で充電されると、P点の電位が0であっても出力電圧が現れる。このときA点を一時的にGNDにつなぎ C_2 を放電すれば良い。

この実験に必要なもの

- オペアンプ(入力もれ電流が2pA以下のもの)
- プリント基板(ユニバーサル基板、かなり小型のもので十分)
- オペアンプ用電源(±15V, 50mA以上)
- ガルバノメーター
- 抵抗(ガルバノメーターに直列に入る。数10kΩ～数100kΩを各種用意する)
- セラミックコンデンサー(1000pFなど各種用意する)
- セラミックスタンダンドポット
- 卵ラグ、ねじ少々

北海道工業大学 峰 友 典 子・三 好 康 雅

1. はじめに

ガラスビーズの水中落下速度を測定して水の粘度を求める学生実験を行い、結果をすでに報告した。¹⁾ その際、レイノルズ数<1（ガラスビーズの直径100 μm以下）に適用されるストークス式を使用したが、ガラスビーズは後述の理由により直径の大きい方が測定しやすい。今回は、どの程度の直径まで使用可能か測定を試みた。

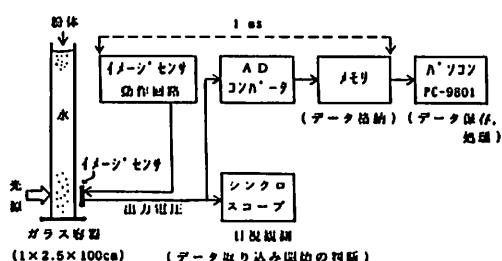


図1 実験装置

実験装置は図1のように、水入り容器中を落下するガラスビーズの動きを容器の外側に設置したイメージセンサで感知するシステムになっている。ガラスビーズは直径が小さいと容器壁に付着しやすくなつて壁面を汚し、センサの感度を低下させる。また、連続測定を行うと容器壁の付着物が紛れ込んで同時に測定されることがありデータのばらつき要因になる。このことから、測定にはできるだけ大きい直径のガラスビーズを使用するのが望ましいと考えた。

2. 測定

ガラスビーズの水中落下速度を測定して抗力係数を求め、レイノルズ数との関係からガラスビーズ直径の適応範囲を調べた。ガラスビーズ

は直径65 μm～350 μm 程度を使用した。

図2、図3の測定例はイメージセンサが捕らえたガラスビーズの落下状況を示す。横軸はセンサの受光面に相当し、ガラスビーズは右矢印方向へ落下する。縦軸は経過時間を表し、一定時間間隔で連続8回測定した状態である。下向きピーク点がガラスビーズの位置を示す。

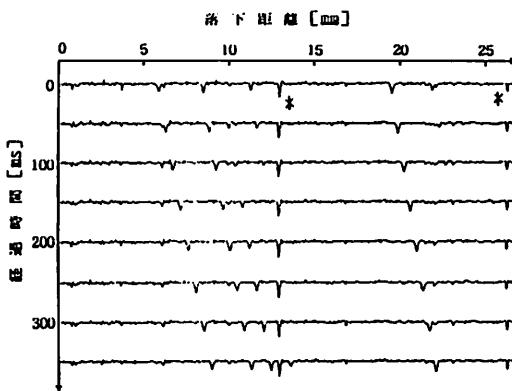


図2 測定例 (φ 90~100 μm)

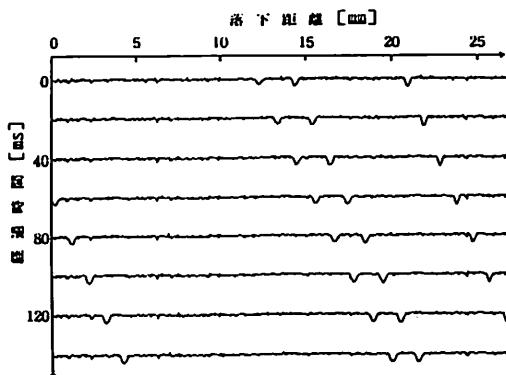


図3 測定例 (φ 300~355 μm)

水中落下するガラスビーズの抗力係数

図2において、時間の経過とともに右矢印方向へ移動している下向きピーク点がガラスビーズの正常な落下を示している。しかし、時間が経過しても同じ位置にとどまっているピーク点(*印)が見受けられる。これらが容器に付着したガラスビーズを示す。連続測定を行ったとき、この付着物が容器壁から剥がれて紛れ込み、一緒に検出されるためデータのばらつき要因となる。

図3は図2の場合よりガラスビーズの直径が大きいので容器壁に付着する現象が起きにくく、センサ感度の低下は少ない。さらに、ピーク点の幅も広くなって落下状況が把握しやすい。

以上のように、ガラスビーズの直径はできるだけ大きい方が測定に適していることがわかる。

3. 結果と考察

ガラスビーズの直径を10段階に分類して測定を行った結果を表1に示す。直径 d の範囲はふるいの分別幅を示す。実測速度とその標準偏差を $v \pm 2s$ で表示した。

表1 測定結果

No	d [μm]	$v \pm 2s$ [cm/s]	Cd	Re
1	63~75	0.457±0.016	62	0.36
2	75~90	0.593±0.017	44	0.55
3	90~106	0.795±0.026	28	0.85
4	106~125	1.13 ± 0.05	18	1.5
5	125~150	1.23 ± 0.03	17	1.9
6	150~180	1.99 ± 0.04	7.8	3.5
7	180~212	2.41 ± 0.04	6.3	5.0
8	212~250	2.74 ± 0.04	5.8	6.7
9	250~300	3.88 ± 0.17	3.4	12
10	300~355	5.32 ± 0.11	2.2	19

No.1からNo.10へと直径が大きくなるとともに落下速度は速くなっている。特にNo.9, No.10の速度のばらつきが大きいのは直径の分別幅が50 μm程度と他に比べて広いためである。

抗力係数 Cd とレイノルズ数 Re は次式により求めた。

$$Cd = \frac{8}{3} \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) rg \frac{1}{v^2}$$

$$Re = \frac{\rho_0 \cdot v \cdot d}{\eta}$$

ここで、 ρ はガラスビーズ密度、 ρ_0 は水密度、 η は水粘度、 g は重力加速度、 v は落下速度である。また、 d と r はガラスビーズの直径と半径を表し、計算には直径の分別幅の中央値を使用した。直径が大きくなるとともに Re も大きくなった。

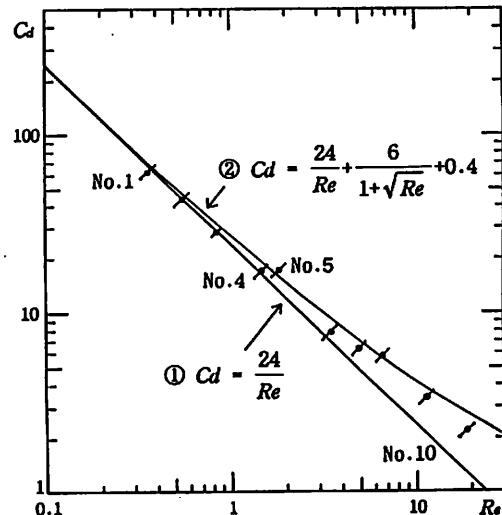


図4 抗力係数とレイノルズ数の関係

表1における Cd と Re の関係を図4に示す。縦軸横軸とも対数表示になっている。プロットされた点はNo.1からNo.10へとガラスビーズ直径を大きくして測定した結果で、直径の分別幅の関係から図示された範囲のゆらぎをもつ。

①式の直線はストークス式における Cd と

Re の関係を示す。直線と一致するのは No. 4 ($\phi 106\sim 125 \mu m$) の測定点までで、No. 5 ($\phi 125\sim 150 \mu m$) 以降は直線からのずれを示した。この結果から、ストークス式の適応範囲の分岐点は $Re = 1.5$ 程度であることがわかった。

②式の曲線は $Re < 2 \times 10^5$ の層流領域における抗力係数が実測値と合うとして推奨されている関係式である。²⁾ ストークス式に乗らない No. 5 以降の測定点がこの曲線に近づくのがわかった。

4. まとめ

本実験では、ストークス式の使用を念頭においてガラスビーズ直径の適応範囲を調べることを目的とした。

その結果、図 5 に示すようにストークスの直線に一致するのは $Re = 1.5$ 程度、直径 $d = 120 \mu m$ 程度以下であることがわかった。また、②式が使えるならば $d = 300 \mu m$ 程度まで適応できることがわかった。

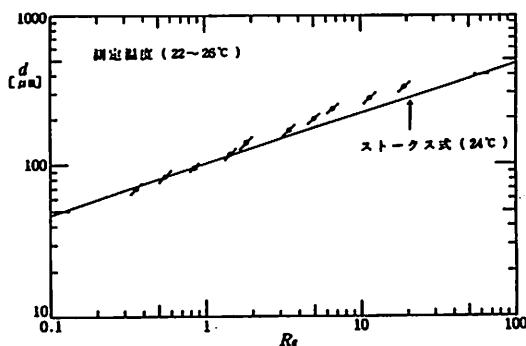


図 5 直径とレイノルズ数の関係

参考文献

- 1) 峰友, 三好: 物理教育研究 Vol. 24, pp. 9–13, 1996
- 2) 生井武文, 井上雅弘: 粘性流体の力学, 理工学社

北海道教育大学函館校物理学教室 小野寺 広樹・小松智広・下山雄平
大東文化大学文学部体育学教室 大橋二郎

Abstract

A physical theory was developed to analyze dynamical behaviors of soccer players during a match game. Application of dynamics onto the positional data of soccer players at every half second may allow to evaluate dynamic parameters, such as velocity, acceleration and kinetic energy at every instance. For the first time, we could define in-situ behavior of defender and forward players by the time series of these physical parameters. We established a methodology as based upon the classical dynamics and the modern electronic detection technology to trace players during a soccer game. Thereby, a non-invasive as well as rigorous theoretical scheme enable the evaluation of dynamic behavior of soccer players.

1 序論

運動選手の能力評価法として、古くからいくつつかの方法が提案されている¹⁾。例えば、運動中に摂取する酸素量や、血液中の乳酸値を検査する生化学に基づく方法である。陸上、サッカーなど広い範囲に応用されている。これらは主に選手の体力指標とされ、数値的に解析されてきた。一方、選手の動きに対しては、主として視覚的な評価法が用いられてきた。直線的な動きの多い、陸上では速度・加速度という数値的な解析及び評価が行なわれている。しかしサッカー やバスケットなどの複雑な動きをもつ運動に対しては、運動の複雑さとその測定法の限界から、数値的解析及び評価の研究は希少である。

本研究では、物理的運動学 (Physical Kinematics) 理論に基づき、試合中の選手の時空間データ²⁾よりベクトル量である速度、加速度とスカラ量の運動エネルギーを求める。これらの時系列解析によって、サッカー選手（以下プレイヤー）の試合中の挙動を評価した。本論文によって、力学の原理がサッカーの解析に有効である事が明確となり、科学的アプローチの基礎が与えられた。

2 運動学の物理的基礎

時刻 t に点 A にあったサッカー・プレイヤーが、 Δt 秒後に点 B に Δs 移動したとする。それぞれ基点からの位置ベクトルを $\mathbf{r}(t)$, $\mathbf{r}(t + \Delta t)$ とし、この変位ベクトルを $\Delta \mathbf{r}$ とする。このとき速度ベクトルが導きだされる³⁾。

$$\mathbf{V}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \equiv \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad [1]$$

速度ベクトル $\mathbf{V}(t)$ は点 A における大きさが $\Delta s / \Delta t$ の接線方向に沿ったベクトルとなる。

時刻 t における速度ベクトル $\mathbf{V}(t)$ と Δt 後の速度 $\mathbf{V}_a(t + \Delta t)$ との差を $\Delta \mathbf{V} = \mathbf{V}(t + \Delta t) - \mathbf{V}(t)$ とする。 Δt 間の平均を求め、 $\Delta t \rightarrow 0$ の極限をとると、次式を導きだすことができる。

$$\mathbf{A}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{V}}{\Delta t} \equiv \frac{d\mathbf{V}}{dt} \quad [2]$$

このとき、 $\mathbf{A}(t)$ は時刻 t における加速度ベクトルとなる。もし $\mathbf{A}(t) < 0$ の場合は減速を意味する。速度の変化とは、速さと方向の変化を意味する¹⁾が、加速度の符号が負を示すとき減速度 (Deceleration) が定義される。これは後述する如く球技では、すばやさ (Agility)

の指標として大変重要な概念となる。

質点の持つ運動エネルギーと U_k は、次式で与えられる。

$$U_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad [3]$$

サッカー競技者が A から B に移動する時、力 F が速度 v を誘発し、結果的に運動エネルギーが出現するのである。

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、データレコーディングインターフェース、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競技場外の線上とゴールラインの延長せんとの交点とした。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., 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。

数値解析：数値微分はニュートンの公式によつて行った。基点が等間隔で並んでいる場合、刻み幅を h として、 $x_i = x_0 + ih$ における関数値 f_i は

$$f_i = f(x_i) \quad [4]$$

である。基点 x_i における $f(x_i)$ の1次、2次、3次微分係数を f'_i , f''_i , f'''_i とすると、 i 番目の基点から m だけ離れた基点 j における関数値 f_j は

$$\begin{aligned} f_j &= f_{i \pm m} = f(x_i \pm mh) \\ &= f_i \pm mh f'_i + \frac{(mh)^2 f''_i}{2!} + \frac{(mh)^3 f'''_i}{3!} + \dots \end{aligned}$$

[5]

となる²⁾。

数値積分は Simpson の台形公式⁴⁾を用いた。 $f(t)$ の区間 $[x_i, x_{i+1}]$ にわたる積分値が x_i , x_{i+1} , f_i , f_{i+1} に囲まれた台形の面積に等しいとすると、 $h = (x_{i+1} - x_i)$ を用いて

$$\int_0^N f(x) dx = \left(\frac{f_i + f_{i+1}}{2} + \sum_{i=0}^{N-1} f_i \right) h \quad [6]$$

となる。これらの式を C 言語⁴⁾を用いて数値処理した。

4 結 果

速度分析

Fig. 1 に被験者プレーヤーの速度の時系列変化と速度のヒストグラム頻度グラフを示す。1st half における被験者 HAR. の速度分布は歪んだ山型をしている。ピークの頻度数はそれほど高くなく、高速度側にもかなりの頻度が見られることから、かなり動きが激しいことを示している。2nd half になると、高速度側の頻度数が少なく、低速度側の頻度数が多くなっている。1st half よりも山型が大きくなり、かつながらかになっている。このことにより 2nd half では、1st half における疲れなどの要因による速度の低下が生じているといえる。

被験者 KTH. は被験者 HAR. と比べると、低速度側にかたよっており、鋭いピークが1つ見られ、かつ対称な山型をしている。ディフェンダーは自ら動くだけでなく、相手選手の動きに合わせて動くことが多い。その結果、爆発的な動きはフォワードに比べれば少なくなっていることが要因として考えられる。それに比べ、2nd half はかなり攻められているのか、速度分布が高速度側に寄ってきていている。しかし、低速度の頻度数が大きいのがやはり特徴として見られる。これは1st half において低速度を保っていたために、2nd half では疲れによる速度

の低下が抑えられたと思われる。

加速度分析

加速度の時間変化は、速度の時間変化を数値微分法により求めた。その時系列変動と、加速度-頻度数のヒストグラムを Fig. 2 に示す。被験者 HAR. のヒストグラムは 1st half において加速度 0 付近を中心に左右対称に広がっているが、2nd half になると加速度 0 付近がかなり大きくなっている。1st half よりも完全な左右対称になっていない。このことより、1st half ではかなり激しい動きをしており、2nd half では動きが少なく、等速度で動いていた事が言えるであろう。被験者 KTH. のヒストグラムは、1st half では 0 付近を中心に歪に左右に広がっており、2nd half はきれいにではないが、0 付近を中心に左右対称に広がっている。このことより、HAR. とは逆に 1st half よりも 2nd half の方が動きが激しいことが言え、さらに加速度 0 付近がそれほど大きくなないことから、常に加速・減速を行なっていたことが言えるだろう。

Table 1 に加速度-頻度数のヒストグラムの半値幅を示す。HAR. の 1st half と 2nd half 半値幅を比較すると、約 2 分の 1 となっていることが分かる。これは疲労などの要素が原因となっていることが考えられる。それに対し KTH. は、分布の拡がり具合に変化が見られず、逆に少し拡がっていることが分かる。これはスタミナなどが良く制御されている結果と思われる。このことより、半値幅の推定は分布の拡がり具合を正確に反映していることから、かなり良い評価ができることが分かる。

二乗速度分析

被験者の運動エネルギーを求めるために、二乗速度を求めた。選手の質量（体重）を二乗速度に乘すれば、物理学では運動エネルギーを表す。しかしながら試合中の選手の質量は変動しないことから、二乗速度で運動エネルギーを議論することは十分根拠のある。

Fig. 3 に二乗速度の時間積分の結果を与えた。次元解析によって、積分値の傾きは単位時間当たりのエネルギーであることが明らかとなつて

いる。それぞれ一秒間当たりのエネルギーは、HAR. の 1st half が 0.45 [kJ/sec.]、2nd half が 0.38 [kJ/sec.]、KTH. の 1st half が 0.32 [kJ/sec.]、2nd half が 0.34 [kJ/sec.] である。1st と 2nd のエネルギーの差を比べると、HAR. は 18% のダウン、KTH. は 8% アップしている。HAR. は 1st・2nd 共にエネルギーは高いが、差が激しく、それに比べ KTH. はエネルギーはそれほど高くないが、差が少ない。これは HAR. は活動量に片寄りが大きく見られ、KTH. は活動量が均等であることが言える。一試合で消費されたエネルギーは、HAR. は 2,247 [kJ/sec.]、KTH. は 1,781 [kJ/sec.] となる (Table 2)。今回の消費エネルギー算出法は、ランニングのみの消費エネルギーである。イギリスのプロサッカー選手が 90 分の試合で消費するエネルギーは、6,199 [kJ/sec.] である¹⁾。これと比較すると、キックやタックル、スライディングなどを除外すれば⁴⁾、良い一致を見ていると思われる。二乗速度の時間積分より求める消費エネルギーは、信頼性の高い算出法であると言えるだろう。

5 考 察

運動学 (Kinematics) とサッカー動態分析

サッカー・プレイヤーの運動は、ポジションの違い及び選手の体力的能力差によって次のような傾向が見られた。第一に、ポジションによる運動モードの違いである。第二に、瞬発力、持久力などの相異による個々の選手の体力的特性である。現代のサッカーはトータルフットボールと称するように、ポジションの違いによるプレーの差は少なくなっている。しかし、あえてその差を挙げれば、活動量が多く爆発的な動きができる選手はフォワード向きである。一方、相手の動きに自らの動きを忠実に合わせ、それを 90 分間続けることができる選手はディフェンダー向きといえる。個々の選手が瞬発力を持つのか、持久力を持つのか、それとも瞬発力・持久力の両方を兼ね備えるのかという能力的な面は、ポジションにより片寄った傾向を生む。これに伴い、戦術的な面も要因となることが考

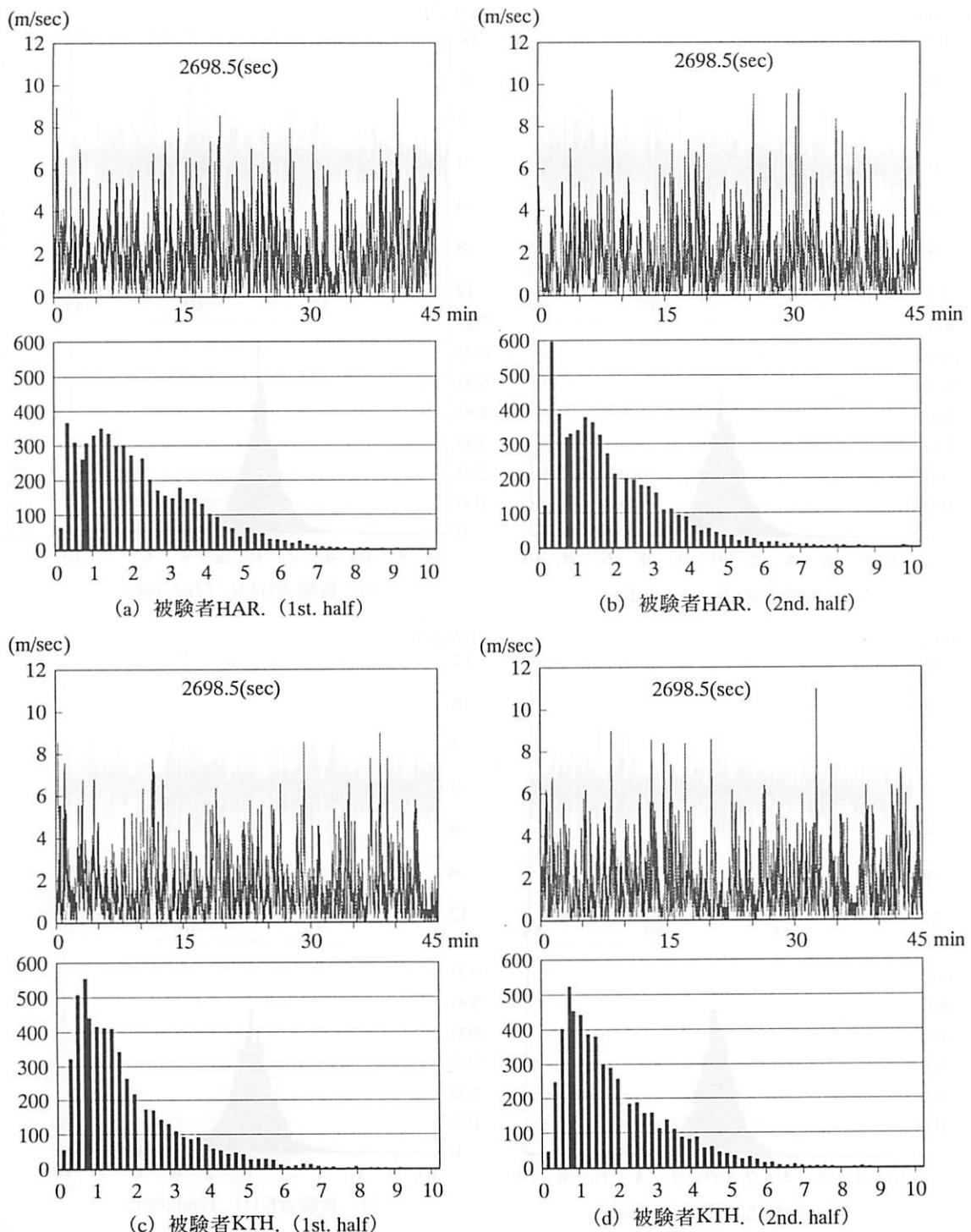
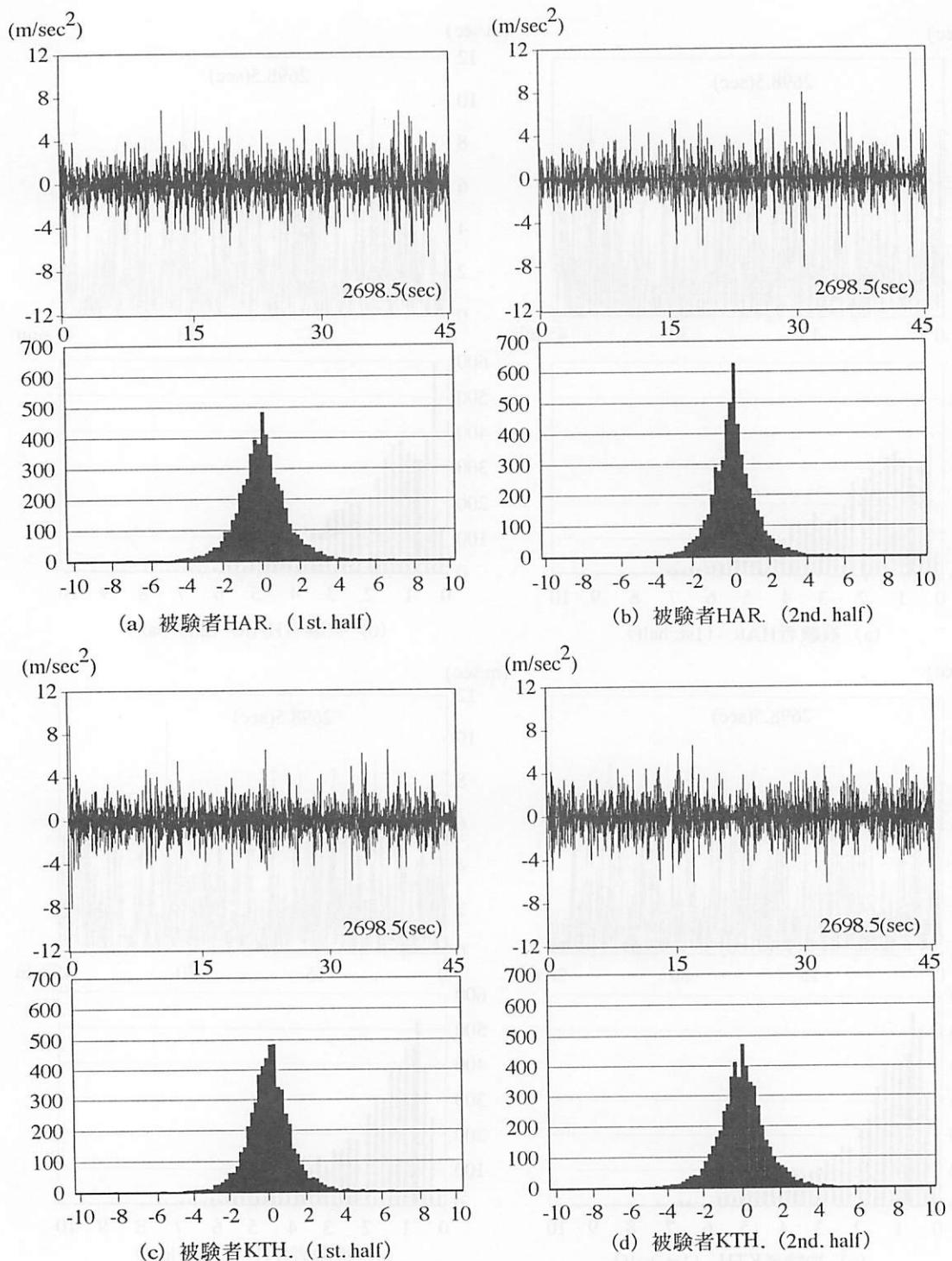


Fig. 1 サッカー・プレイヤーの速度変化と速度頻度数 (0.1 m/sec 刻み)

Fig. 2 サッカー・プレイヤーの加速度変化と加速度頻度数 (0.2 m/sec² 刻み)

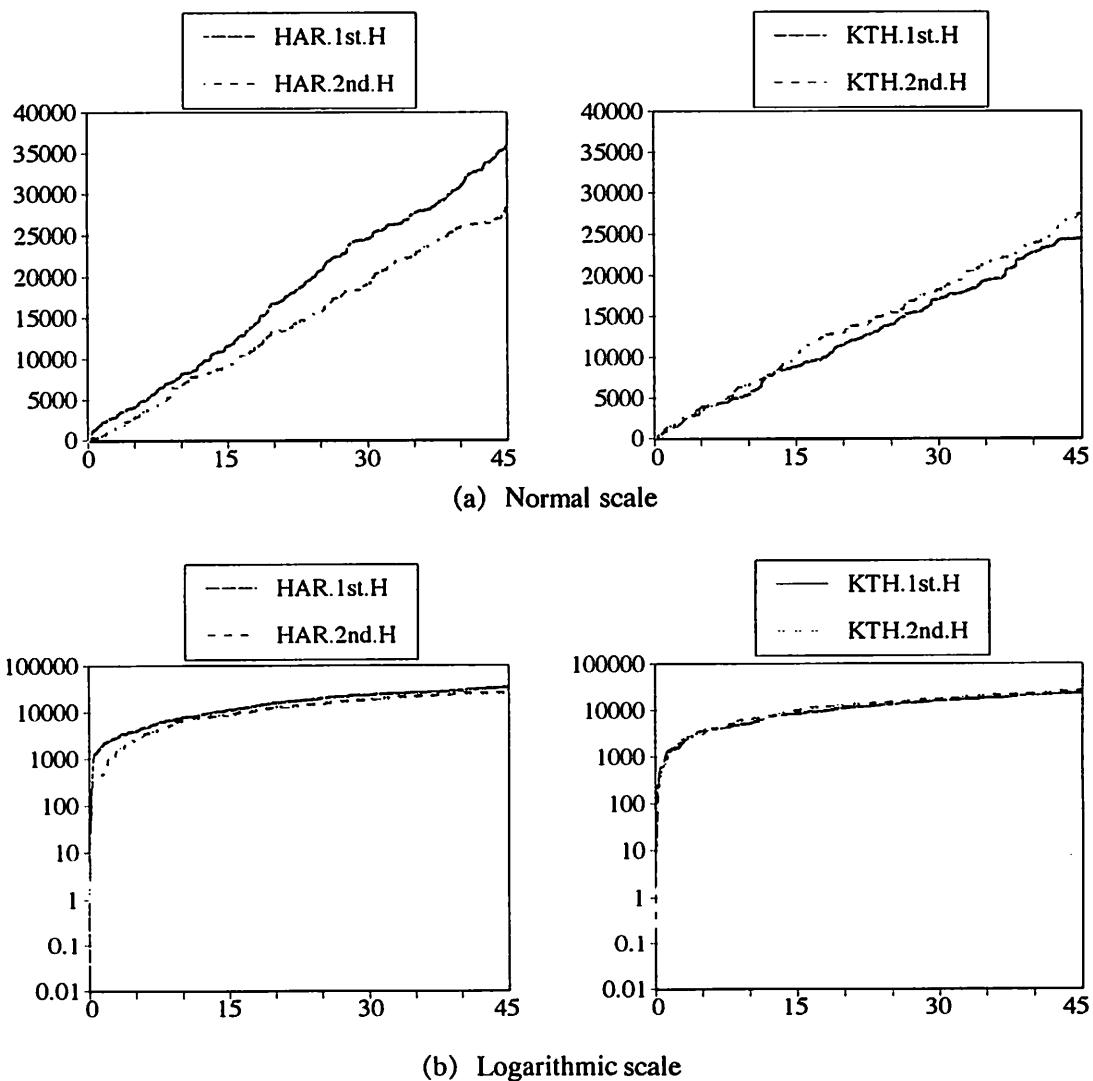


Fig. 3 サッカー・プレイヤーの二乗速度の時間軸積分

えられる。また、味方のチームが有利なのか不利なのかという戦況面も、選手の動きに大きく左右する¹⁾。

運動選手に対する数字としての評価は、成績という形では行なわれている。極論すれば、フォワードならば得点にどれだけ貢献したか、ディフェンダーならばどれだけ得点される機会を未然に消したかという表面的な部分が注目される。また、動きに対しても、視覚的ではあるが活動量や Positioning なども評価されている。しかし、その選手の動きを数値的に評価するという試みは余り行なわれていない。本論文の解析法

は、選手の運動量・加速・減速といった、いわば潜在的な面について、数値的に評価できるのではないかと考えられる。実際の試合中の動きが数値的に評価ができると云う事は、選手の評価のみならず監督の戦術・戦略に決定的データを与える。

本解析法ではフォワード、ディフェンダー各一名ずつのデータであるため、結果はかならずしもサッカー・プレイヤーの挙動の全体を完全に反映している訳ではない。しかしながら、物理的運動理論に基づく解析は、なにより力学の裏付けが有り、その普遍性が保障されている。

Table 1. Half-width at half-height of the acceleration distribution function.

Frequency distribution	HAR.		KTH.	
	1St. Half	2nd. half	1St. Half	2nd. half
Acceleration (m/sec ²)	2.2	1.1	1.9	2.0

Table 2. Energy consumption of soccer players and its time rate (per sec.) during various soccer games. Theoretical evalutions based on the work and kinetic energy are also demonstrated.

Researcher	Energy Consumption		Notes
	Total [KJ]	Rate [KJ/sec.]	
Yamaoka	1,058	0.49	Heigh-school game (Japan, 70 min.)
Seliger	—	0.88	Model game (England, 10 min.)
Reilly	6,199	1.13	Professional game (England, 90 min.)
Seto	—	1.74	Inter-College game (Japan, 90 min.)
Onodera et al.	2,247	0.42	HAR. (Japan National Team, 90 min.)
	1,781	0.34	KTH. (Japan National Team, 90 min.)
Theoretical	3500	0.65	$\int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}$ (Work)
	2830	0.52	$\frac{1}{2} m \overline{v^2}$ (Kinetic energy)

既存の記述的評価法と併用することにより、サッカーのみならず、様々な球技の運動に対しても総合的評価法として有用であると思われる。

生理学的評価法との比較

生理学的に見ると、人間の運動には二種類の状態があると考えられる¹⁾。一つは有酸素性運動 (Aerobic) であり、もう一つは無酸素性運動 (Anaerobic) である。持久力が要求される運動は主に有酸素性運動である。瞬発力が要求される運動は主に無酸素性運動である。この境界を定めるのに、一般に二つの方法がある。一つは速度 4 [m/sec.] を境界とするものであり、もう一つは乳酸値 4 [ml/mol] を境界とするものである。本論文での速度解析をこの境界点速度 4 [m/sec.] で分けると、被験者 HAR. と KTH. の無酸素性運動と有酸素性運動の比率は HAR. の前半が 1 : 7、後半が 1 : 11、KTH. の前半が 1 : 12、後半が 1 : 10 となる。この比率がどの程度の意味があるかは断言はできないが、そのポジションによる特徴を表して

いると判断することができる。

理科嫌い、なかんずく物理嫌いが世間に喧伝されて久しい。本論考では、わかりずらく退屈きわまりない力学の原理が、いかにサッカーの試合の理解に有用であるかを示す事を目的とした。サッカー試合という、純粹物理学者が到底考えもしない事をあえて物理学の俎上に載せてみた。完成度は途なれば、しかし志は高い。本稿を、理科・物理嫌いの元気の良いスポーツ好きの中・高校生に捧げたい。

参考文献

- 1) 浅見俊雄：サッカー，新体育社 (1981)
- 2) 大橋二郎：体育の科学，4, 269 (1991)
- 3) J. B. Marion and S. T. Thornton: Classical Dynamics of Particles & Systems 3rd. ED, HBJ, Inc. (1988)
- 4) W. H. Press et al, Numerical Recipes in C : Cambridge University Press (1988)

エネルギーの質と有効利用

—自由エネルギー・エクセルギー・エントロピー—

Effective Energy Utilization
— free energy, exergy and entropy —

函館大学付属女子高等学校理科 片岡 久明
北海道教育大学函館校物理学教室 下山 雄平

Abstract

In order to reveal the most effective energy utilization, we analyzed the energy system by means of free energy, exergy and entropy. We defined exergy, an effective energy in the non-equilibrium system, so that one can discriminate from the free energy concept. Exergy is a technological concept which is extremely effective to evaluate the maximum energy usage. However, exergy is heavily dependent on the environmental parameters such as temperatures and atmospheric pressure. Therefore, exergy is hardly a universal concept. In this context, entropy is the most reliable for the analysis of effective energy utilization.

Keywords: free energy, exergy, entropy, energy utilization

1. はじめに

人類は、熱を動力に変換する事によって産業をおこし又、行動の範囲を広げてきた。第1次産業革命による蒸気機関の発達は、まさに画期的なものであった。蒸気機関に始まる熱エネルギーの利用は、現在も同様に行われている。蒸気機関は内燃機関に変わって来たが、化石燃料に含まれている化学エネルギーを燃焼によって熱エネルギーに変換し、それをさらに力学的エネルギーとして利用するエネルギーの変換方法は200年来不变である。化石燃料は過去において太陽の光（電磁）エネルギーが化学エネルギーとして蓄積されたものである。無尽蔵ではない。燃焼によって発生する CO₂, NO_x, SO_xなどのガスは地球温暖化や大気汚染、酸性雨の原因となっている。

エネルギーの質については、ウィリアム・トムソン（ケルビン卿）が初めて提案した。ケルビン卿は1851年の文献^①で「エネルギーは量では減少せず、その有用さが減少する。有用さが劣るのは熱である。」と述べている、これは、

「有用さ」ないし「質」に対する、はっきりした宣言であり現在のエネルギー観の土台となっている。彼はエントロピーの物理量の導入とともに、直感的にエネルギーの質にも気付いたのである。

エネルギーの質の観点から、中級の化学エネルギーを低級の熱エネルギーに変換した後、高級の力学エネルギーに変換するのは甚だ無駄の多い変換経路である。資源の枯渇、地球環境問題を深刻に受け止めなくてはならなくなったり今日、従来のエネルギー変換経路にとって変わる新しい変換システムの実現を急がねばならない。地球上の生物が利用しているエネルギーの根元は太陽の光エネルギーである。電磁エネルギーや化学エネルギーを直接力学エネルギーに変換する際の効率と能率を高めることができれば、現在直面しているエネルギー問題は大きな解決の糸口を見出すであろう。

生物は、効率良く光合成によって電磁エネルギーを化学エネルギーとして蓄え、呼吸によって化学エネルギーを力学エネルギーに変換して

いる。未だに人工の機械は、この生物の持つしきみの効率を越えてはいないようである。エネルギー変換の効率、エネルギーの質を考える時に、それを表す指標が必要である。エネルギーの質は上記の理由で、人類のエネルギー利用の尺度として大変重要である。

本稿では、自由エネルギー、エクセルギー及びエントロピーのそれぞれの特徴を整理し、有効なエネルギー利用の方法を提示したい。

2. 自由エネルギー

等温、等容過程において系が準静的に変化する時、内部エネルギーを U 、温度を T 、エントロピーを S とするとヘルムホルツの自由エネルギー F は、

$$F = U - TS \quad [1]$$

と定義される。また、等温、等圧過程において系が準静的に変化する時、エンタルピーを H とするとギブスの自由エネルギー G は、

$$G = H - TS \quad [2]$$

と定義される。 F および G はそれぞれの過程のもとで仕事として取り出せるエネルギーである。 TS は仕事として取り出し不可能なエネルギーで、束縛エネルギーとも呼ばれる。内部エネルギーおよびエンタルピーの内、自由エネルギー F および G の占める割合が大きいほど、エネルギーの質は高いと言える。ただし、これら自由エネルギーは等温状態すなわち熱平衡状態で、変化が準静的に行われる場合に用いることのできる状態量である。系の変化は、自由エネルギーが最小になる方向に起こる。

3. エクセルギー

自然現象では、準静的すなわち平衡状態で行われる変化は少ない。自由エネルギーは平衡状態で定義された量であるため、非平衡状態で起こる現象にはそのまま適用できない。非平衡状態での現象を記述、考察するには新たな尺度が必要となる。エクセルギーは、環境と非平衡状態にある系（資源）が環境と平衡状態になるま

でに取り出しうる最大の仕事の大きさで表される。環境の温度、圧力などを基準とした値である。

熱エクセルギー

環境との間で熱の出入りだけを行う系を考える(Fig. 1)。系の温度が環境よりも高い時には、系と環境の間に熱機関をおくことによって仕事を取り出すことができる。これは、系の温度が環境よりも低い時にも同様で、環境から熱を機関に供給し、廃熱を系に捨てることによって仕事を取り出すことが可能である。このとき環境との温度差が重要である。熱エネルギーから仕事を取り出す時の最大効率はカルノー効率で決められる。ある系の温度を T_1 、環境の温度を T_0 とするとカルノー効率は次式で表される。

$$\eta = \frac{T_1 - T_0}{T_1} \quad [3]$$

系からカルノー機関に移動する熱量を Q 、系と環境の圧力を P_0 とすると、エクセルギー E は、次のように表される。

$$dE = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) dQ \quad [4]$$

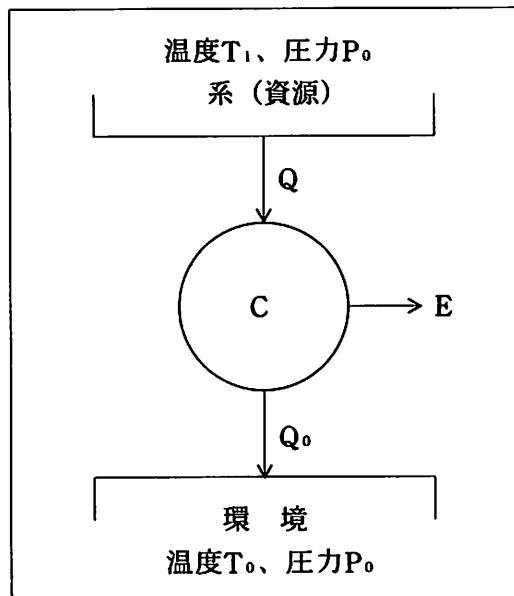


Fig. 1 热エクセルギーの考え方

系の質量を m , 等圧比熱を C_p とし, C_p が温度によって変化しないものとすると dQ は次の式で表される。

$$dQ = mC_p dT \quad [5]$$

これを [4] 式に代入すると、次式が得られる、

$$E = mC_p \int_{T_0}^{T_1} \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) dT \quad [6]$$

[6] 式の定積分を実行すると、熱エクセルギーを次式で求めることができる。

$$E = mC_p \left\{ (T_1 - T_0) - T_0 \ln \frac{T_1}{T_0} \right\} \quad [7]$$

エネルギー中の熱エクセルギーの割合は有効比 ε と呼ばれ、次式で表される。

$$\varepsilon = \frac{E}{Q} = 1 - \frac{T_0}{T_1 - T_0} \ln \frac{T_1}{T_0} \quad [8]$$

例として、環境の温度を 20°C とし、環境と圧力の等しい 2 つの系 A と B を考える。A は 80°C の水、 1kg とし、B は 50°C の水、 2kg とする。それぞれの系が、環境と熱平衡に達するまでに放出する熱量 Q_a 、 Q_b を [5] 式から計算する。

$$Q_a = Q_b = 252 [\text{kJ}] \quad [9]$$

この時のエクセルギーを [7] 式から計算する、

$$E_a = 22.7 [\text{kJ}], E_b = 12.1 [\text{kJ}] \quad [10]$$

[9] ~ [10] 式の値を用いて、 ε_a および ε_b を求めると次のようになる。

$$\varepsilon_a = 9.0 \times 10^{-2}, \varepsilon_b = 4.8 \times 10^{-2} \quad [11]$$

この結果から、同量の熱エネルギーが移動しても、環境との温度差の大きい方が大きな仕事を取り出せることがわかる。環境との差が大きいことが、資源としての価値が大きいと言える。有効比を用いることによって、同じエネルギー当たりのエクセルギー、すなわちエネルギーの質の比較が可能となる。

エクセルギーの一般式

系 A の内部エネルギーを U 、エントロピーを S 、温度を T 、圧力を P 、体積を V とする。環境のそれらを U_0 、 S_0 、 T_0 、 P_0 、 V_0 とする。このとき、系 A のエクセルギーは、次式で表される。

$$E = U - U_0 - T_0(S - S_0) + P_0(V - V_0) \quad [12]$$

$T_0(S - S_0)$ は無効熱、 $-P_0(V - V_0)$ は排除仕事と呼ばれる^④。ともに仕事として取り出せない無効なエネルギーである。

4. エントロピー

エクセルギーは、系（資源）が環境と平衡状態になるまでにどれだけの仕事を最大限取り出しうるかという状態量で定義された。しかし、基準としての環境を知った上で使用しなければならない。環境は一意的に決まった概念ではない。地球全体を考えるときには、絶対温度が 3K という宇宙空間が環境となる。地球上での系を考える時には、平均して 298K 、1 気圧という標準の大気が環境となる。異なった環境では、それぞれに計算されたエクセルギーを単純に比較することはできない。環境の変化に束縛されず、エネルギーの質を統一的に表すための尺度にはエントロピーが適する。

温度 T_1 の系 I と温度 T_2 の系 II とが接触しているとする ($T_1 > T_2$)。熱は系 I から系 II には自然と移動し、やがて系 I と系 II の温度が等しい熱平衡状態になる。いったん熱平衡状態になると、他に何らの変化も残さずに元の温度 (T_1 と T_2) に戻ることは出来ない。高温の物体から低温の物体への熱の移動は不可逆過程である。ここでエントロピー S は、 Q を熱量、 T を絶対温度とするとクラウジウスの定義により次式で表される^⑤。

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad [13]$$

Table. 1 系の状態と使用できるエネルギーの質の尺度

系の状態	高級	←	エネルギーの質の尺度	→	低級	適用範囲
平衡状態	大	←	自由エネルギー	→	小	狭い ↔ 広い
非平衡状態(固定環境)	大	←	エクセルギー	→	小	
非平衡状態	小	←	エントロピー	→	大	

系 I から熱量 Q が失われる時、それに伴って系 I から失われるエントロピー S^I は、

$$S^I = \frac{Q}{T_1} \quad [14]$$

となる。Q がすべて系 II に移動したとすると、Q の流入によって系 II に入るエントロピー S_2 は次式となる。

$$S_2 = \frac{Q}{T_2} \quad [15]$$

S_2 と S_1 の差 ΔS は、[14] 式と [15] 式を用いて次式で表される。

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1 \cdot T_2} Q \geq 0 \quad [16]$$

[16] 式は、温度差のあるところを熱が移動する時には、エントロピーが発生することを示している。2つの物体間の温度差が大きいほど、エントロピーの発生すなわち不可逆性が大きいことが分かる。エントロピーは不可逆性の尺度でもあり、自然の変化はエントロピーを増大させる方向に起こる。エントロピーの小さい状態にあるエネルギーは、自然に変化する能力が高いといえる。その変化の過程で仕事を取り出すことができる。エントロピー極大すなわち熱平衡状態から仕事を取り出すことはできない。エントロピーの小さいエネルギーは、質の高いエネルギーであることがわかる。系の状態と、それに適するエネルギーの質の尺度を Table. 1 に示す。

上述した例についてエントロピーの具体的な値を計算してみる。エントロピーの発生をわかりやすくするために、系がそれぞれ失うエントロピーと環境が受け取るエントロピーの値も算出する。系 A と系 B が熱量 Q の放出によって失ったエントロピーをそれぞれ S_a 、 S_b とすると [14] 式から

$$S_a = 714 \text{ [J/K]}, S_b = 780 \text{ [J/K]} \quad [17]$$

が求められる。系 A および系 B からそれぞれ環境に流入するエントロピーは、Q が等しいため [15] 式から同じ大きさになる。

$$S_0 = 860 \text{ [J/K]} \quad [18]$$

系 A と系 B のそれだから、Q が移動した際に発生したエントロピーを [16] 式から計算する。

$$\Delta S_a = 146 \text{ [J/K]}, \Delta S_b = 80 \text{ [J/K]} \quad [19]$$

このエントロピーの移動、発生の様子を Fig. 2 に示す。移動や発生したエントロピーの関係は次式で表される。

$$S_a + \Delta S_a = S_b + \Delta S_b = S_0 \quad [20]$$

発生するエントロピーは、温度と移動する熱量が分かれば計算できる量であり、エネルギーの質を考える際に適用範囲の広いことが分かる。

5. エネルギーの有効利用

地球上に与えられる唯一のエネルギーは太陽の光エネルギーである。植物は ATP を利用し

てこの光エネルギーを効率良く化学エネルギーに変換している。動物は、この化学エネルギーを呼吸によってATPに移し、効率よく筋肉の運動等に変換している。理論的に、光エネルギーまたは化学エネルギーから直接仕事を取り出す方が、同等の熱エネルギーからよりも、多くの仕事を取り出せる。エネルギーの質を落とさずに有効にエネルギーを利用できる。しかし、現在の技術では実際の変換効率が低く一般にはまだ普及していない。その中で注目されているのは、化学エネルギーおよび光エネルギーをそれぞれ電磁エネルギーに変換する燃料電池およびクロロフィル電池である。

燃料電池

燃料電池は、普通の電気化学電池と本質的に同じである。電極で酸化及び還元されるべき活物質が、電池を構成する部品として電池内に組み込まれているのではなく、外部から絶えず供給される点だけが異なる。電磁エネルギーは理論上100%仕事に変換できる高級なエネルギーである⁽⁴⁾。経済コストをあまり考えなくてよい人工衛星の電源としては、既に使用されている。代表的な酸素・水素電池の理論的な起電力は常温で1電子あたり $E = 1.23[V]$ となる⁽⁵⁾。

圧力一定の時の熱量変化は、エンタルピーの変化 ΔH と一致する。この反応では、

$$\Delta H = -285 \text{ [kJ/mol]} \quad [21]$$

となる。また、エクセルギーはギブスの自由エネルギーの変化 ΔG に等しい。

$$\Delta G = -nFE \quad [22]$$

ここでFはファラデー定数である。今、水素1molあたりの輸送電子数nを2とすると、ギブスの自由エネルギーは、

$$\Delta G = -237 \text{ [kJ/mol]} \quad [23]$$

となる。したがって、理論的な最大効率は、

$$\eta = \frac{\Delta G}{\Delta H} = 83 \% \quad [24]$$

となる。これは燃焼によって発生する熱エネルギーから仕事を取り出すのにくらべて、はるかに高い効率となる。残念ながら、実用的な効率はまだ50%程度に留まっているようである。

クロロフィル電池⁽⁶⁾

緑色植物の光合成に関与する光の波長は680nmと700nmの2種類である。クロロフィルa

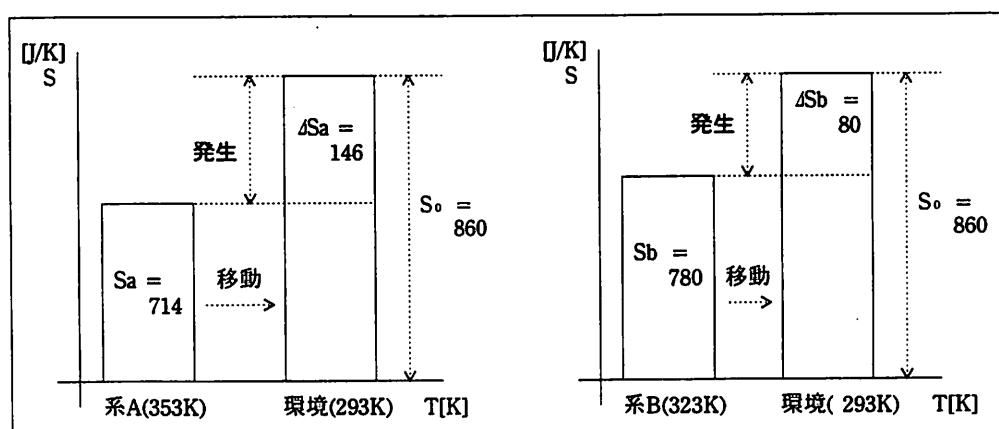


Fig. 2 エントロピーの移動と発生

では、光エネルギーによって励起された電子の伝達過程で ATP をつくる。さらにそのエネルギーを使って CO₂から(CH₂O)を合成している。前者の反応は光化学系Ⅱ (photosynthetic system II : PS-II), 後者は光化学系Ⅰ (PS-I)と呼ばれ、それぞれ680nm と700nm の光が関与している。

光合成系での電子のやりとりの特徴を簡潔に表すと、PS-II では、OH-から電子が取り去られ、PS-I では NADP+ に電子が与えられている。これは、電池の陰極と陽極に相当する。680nm の光を PS-II に照射して電子を供給する陰極に、700nm の光を PS-I に照射して電子を受け取る陽極にして電磁エネルギーを取り出そうとするのがクロロフィル電池の基本的なしくみである。

プランクの定数を h , 照射光の振動数を ν とすると、この光エネルギーは $h\nu$ となる。 $h\nu$ は化学エネルギー ΔG に変換される。エネルギー変換効率ないし量子収率 η は、

$$\eta = \frac{\Delta G}{h\nu} \times 100 \quad [25]$$

となる。

680nm の波長の光量子のエネルギーは 2.92×10^{-19} J であり、これを電子の電荷で割った励起電圧で表すと、1.82V になる。700nm の場合は同様に計算して、1.77V となる。改良型クロロフィル電池では1.86V の理想出力電圧が得られ、エネルギー変換効率は、52% となる。

このクロロフィルを用いた技術は、それに似た機能を有する安定な物質に置き換えたり、人工的な機能物質を作り出そうとする試みに向かっている。フタロシアニン (phthalocyanine) という染料を用いた光電池の制作も行われている。期待されるエネルギー変換の方法である。

6. おわりに

マクロな視点から現在の地球状況を眺めると、一方には地球環境問題、他方には超情報化ネットワークが見えてくる。インターネットに代表される超情報化時代を迎えた今日、情報、物流、

エネルギーの各ネットワークが統合される日も近い。エネルギーネットワーク情報化の基本的な考えは、必要な時に必要な質をもつエネルギーを、必要な量だけ協調分散的に供給するシステムを作ろうということである。一般家庭の家電製品の多くは、無使用時の通電に多くの電力を消費している。ある試算によると、17% に上るという⁷。システム的にこれを解決できれば、生半可な発電技術の改良によって得られる電力を上回る節電効果が期待できる。

熱と仕事を巨視的に扱う学問が熱力学である。分子は不規則に熱運動しているため、これを仕事に変換しようとすると理論的に必ず無駄が生じる。エネルギーを仕事として取り出そうとする時に途中の過程で熱エネルギーの形態をとることは、良質のエネルギーを無駄に捨てることに相当する。化学エネルギーや光エネルギーを、直接力学的エネルギーあるいは電磁エネルギーに変換する技術が求められている。地球環境問題の解決にとって、エネルギーの質を考えた資源の有効利用、エクセルギーは、エネルギーネットワークシステムからのアプローチと同様に重要な事柄である。中等教育においても使用できるような、理解しやすい指導方法を確立したい。

参考文献

- (1) W. Thomson : On the Dynamical Theory of Heat (Pt. 2 1851)
- (2) 押田勇雄：「エクセルギー」のすすめ、講談社ブルーバックス、P. 93, 1988
- (3) 小出昭一郎：基礎物理学2 热学、東京大学出版会、p.47, 1995
- (4) 信澤寅男：エネルギー工学のためのエクセルギー入門、オーム社、P. 7, 1980
- (5) 上田豊甫：入門熱力学、共立出版、p.186, 1996
- (6) 平井慶彦：エネルギー変換技術入門、東海大学出版会、pp. 45-82, 1989
- (7) 田村浩一郎：電総研ニュース、電子技術総合研究所、564号、p. 2, 1997

研究論文

記録タイマーを用いたふつうの自由落下の実験で、重力加速度 9.8 m/s^2 を得る方法

北海道札幌啓成高等学校 石川昌司

1はじめに

自由落下するおもりの加速度を直接記録タイマーで測定する「重力加速度の実験」が、現在広く行われている。落下の加速度は $v-t$ グラフの傾きから求める。以前はこれを見当で引いた直線に対して行っていたのだが、現在ではパソコンの表計算ソフトに乗せて最小二乗法による回帰分析で行うことのほうが多くなってきた。このように処理した結果のほうが精度も信頼性も高いのはもちろんである。

ところが、このように求めた重力加速度は、いつも 9.8 m/s^2 よりいくらか小さい。その理由は、この実験では原理的に記録タイマーと紙テープの間の摩擦を取り除くことが出来ないからである。

おもりの質量を m 、空気抵抗や記録タイマーと紙テープの間の摩擦などすべての摩擦の合力を f 、真の重力加速度の大きさを g とすると、測定される加速度 a は、

$$a = g - \frac{f}{m} \quad (1)$$

の式で与えられる。

g からの誤差は $g-a = f/m$ である。おもりの質量が小さいほど落下の加速度は小さくなる。実際の実験結果もこの通りで、100gのおもりをつかった実験ではせいぜい 9.2 m/s^2 程度でしか落下しない。つまりこの実験では、“軽いおもりは重いおもりより遅く落ちる”のである。まさにアリストテレスそのものである。したがってこの実験には軽いおもりを使ってはいけない？

しかしである。この性質を逆に利用することで、質量無限大（の質点）のおもりに対する落下の加速度、すなわち真の重力加速度を求めることが出来る。

f が a によらず一定なら、 a は $1/m$ に対して切片 g と傾き $-f$ を持つ1次関数となる。つまり、縦軸 a 、横軸 $1/m$ の平面上に直線グラフを書いてその切片から g を求めようというわけである。

そこで、いろいろな質量のおもりに対して落下の加速度を測定し、上の方法で重力加速度を求めてみた。その結果 9.78 m/s^2 の値を得た。四捨五入すると 9.8 m/s^2 であるから大変正確であるといえる。

摩擦 f が一定でないと a と $1/m$ のデータは直線に乗らなくなる。しかし、実際のグラフを見ればわかるように実測データはきれいに直線に乗っている。摩擦力一定との仮定は妥当であることがわかる。

2 実験の方法と結果

記録タイマーは電気接点式ウチダ PH100 と専用紙テープ。落下距離約0.8m である。

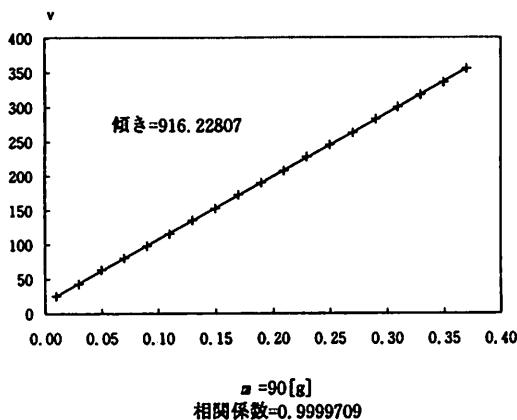
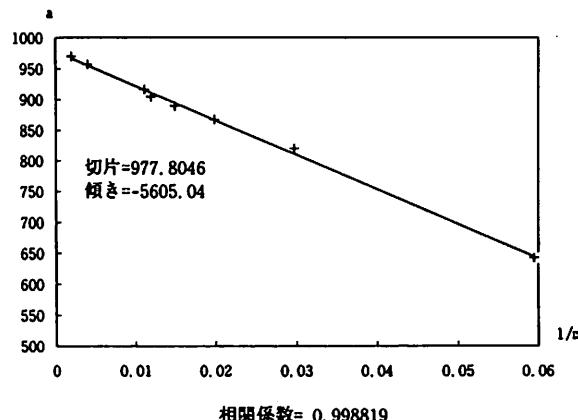
データ処理は、すべてマイクロソフト社の表計算ソフト“エクセル（Macintosh 版）”で行った。

紙テープに残った打点間の距離を時間間隔で割って速度を求め、 $v-t$ のデータ系列を回帰分析関数 SLOPE(.) に入力し“最も確からしい傾き”，すなわち加速度 a を自動計算させる。ちなみに、 $v-t$ 間の相関の強さの評価には相関係数を返す関数 CORREL(.) を用いればよい。データ間の相関が非常に強いことがわかる。

いろいろな質量のおもりに対して以上の測定・データ処理を繰り返す。

得られた結果と、 $v-t$ グラフのサンプルとして $m=90[\text{g}]$ の場合のものをあげる。

m [g]	a [cm/s ²]
16.8	642
33.6	820
50.4	867
67.2	889
84.0	904
90.0	916
252.0	957
504.0	870



新しいワークシートを開き、 a と $1/m$ のデータを埋め込む。この 2 つのデータ系列をグラフに書き、1 次の相関関係をどのくらい満たしているかを確認する。また、前述の CORREL(.) を使い、数値的にも相関度を評価する。

次に、関数 INTERCEPT(.) を用いて、最も確からしい縦軸への切片を求める。この値が最終的な g の実験値となる。

この方法により得られた重力加速度 g は前述の通り、

$$g = 9.78 \text{ m/s}^2$$

同様に摩擦力 f は、

$$f = 0.0561 \text{ N}$$

である。

記録タイマーと紙テープの摩擦にはタイマー

の個体差が大きく影響するので、実際の実験では必ず同じ記録タイマーを用いて実験しなければならない。なお、機械式の記録タイマーについては今回は試していないのでわからない。

3 おわりに

筆者は今年の 4 月に転勤したばかりで、前任校で使っていた 500g のおもりが新しい勤務校の物理実験室にはなく、しかたがないので手持ちのいろいろな質量のおもりで自由落下の実験を予備実験していた。ところが、質量の小さなおもりではどうしてもいい値が出ない。このことがきっかけとなって誤差とおもりの質量との関係を調べ始め、今回の報告の内容となった。

この方法で求める重力加速度は、特別な実験器具がなくてもよい値が得られる。高校の課題研究等のテーマにもよいと思う。

実践報告

興味・関心を高める高校物理「課題研究」の実践

～インターネット利用の一例～

函館中部高校教諭 関川 準之助

物理の学習を始めた2年生への興味付けとして「課題研究」を実施した。最も重要な課題の設定にインターネットで公開されている「The Exploratorium Science Snackbook」を用い、生徒は身近な材料を使って放課後の物理実験室で実験装置を準備し、ミニ「科学の祭典」方式で発表した。予想以上に生徒は熱心に取り組んでいて、現在履修中の物理の面白さ・楽しさを発見・体験するという当初の目的は達成されたと考えている。

1. この「課題研究」の特徴とねらい

◎物理を学習中の生徒のための「課題研究」

新教育課程「物理II」の目玉である「課題研究」は教科書の最後にあり、物理の履修を終えた上で取り組むことになっているが、「物理II」を履修する生徒は大学受験で物理を必要とする生徒がほとんどなので、3年の後半には教科書の消化や問題演習に追われ、このままでは“絵に描いた餅”に終わる公算が強い。そこで発想を変え、物理を学習中の2年生への興味付け、動機付けに「課題研究」を取り入れることにした。従ってその内容は、これから学習する事項の予告編的なもので、自ら実験装置を製作し、演示・発表することで、現在履修中の物理の面白さや楽しさを発見・体験することを目指した。

◎情報の収集・発信にインターネットを利用

最も重要な「課題」の設定にアメリカ・サンフランシスコの科学博物館Exploratoriumがインターネットのホームページで公開中の「The Exploratorium Science Snackbook」を用いた。その内容は、これから授業で学習する内容に関連した実験で、身近な材料で簡単に作れ、その作り方や原理の解説が詳しく載っているもの。授業ではノートパソコンと大画面テレビを用いて実際のアクセスの方法を提示し、印刷したもの（英文）の中から生徒にテーマを選択させた。

さらに他校で物理を履修する生徒との交流を目指して、生徒の作成した発表プリントと発表

会の様子を伝える写真を、「BUTURI サークル ほっかいどう」のホームページに登録・公開した。

◎放課後の物理実験室の有効活用

他のクラスの授業進度から遅れないように授業時間内の活動は最小限に押さえ、時間が不足する分については、放課後の物理実験室を開放し生徒が自由に製作できるようにした。

◎発表会はミニ「科学の祭典」

全員が体験を共有するため、各々の生徒が取り組んだ課題の発表・報告の場としてミニ「科学の祭典」方式の発表会を開いた。

◎評価は生徒の自己評価・相互評価で

単なる“遊び”で終わらせないために、その発表会では生徒の自己評価・相互評価を実施し、これを集約したものをこの活動の評価とした。

◎その後の授業との関連

その後の授業では、関連する事項を学習する際に、担当した生徒に改めて演示してもらって学習事項の定着を図った。

2. 「課題研究」の実施概要

【実施学年、人数】

2年 「物理I B」履修の2クラス（40人、34人）

【発表グループ】

2人1組（実験装置を協力して製作し、さらに発表プリント作成と演示を分担）

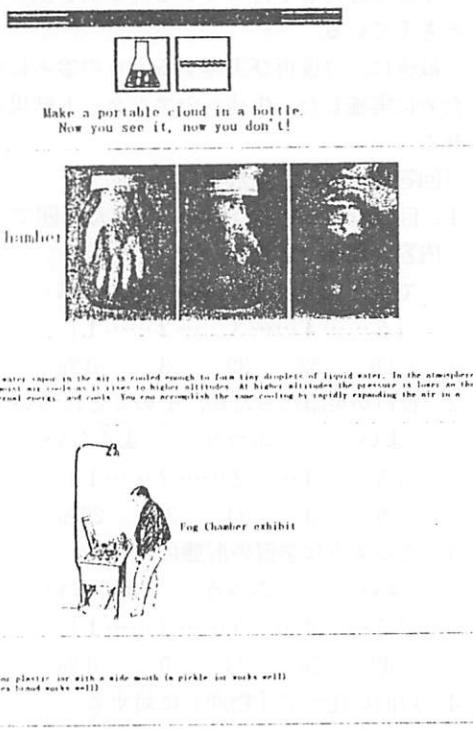
【実施時期】

当初は夏休み前後に実施することを検討したが、
・夏休み直前に学校祭があり、生徒はそこにエネルギーを集中させること
・実験準備が夏休み(25日間)だと、かえって冗長になる恐れがあること
から、生徒が見学旅行に出発する9月上旬の直前に実施した。

【課題テーマ一覧】

「The Exploratorium Science Snackbook」より
(URLは <http://www.exploratorium.edu/publications/Snackbook/icon-index.html>)

- ・音のレンズ
- ・検電気
- ・モーター効果
- ・霧箱
- ・ビンの中のダイバー
- ・クリップモーター
- ・起電盆
- ・光のモザイク模様
- ・カラーシャドウ
- ・ブルースカイ
- ・かごの中の鳥
- ・ベンハムの独楽
- ・宙に浮くボール
- ・共振
- ・ドップラー効果
- ・空き缶つぶし
- ・慣性の法則
- ・滑車のはたらき
- ・空飛ぶ電気クラゲ



【課題テーマ資料の例：霧箱(Fog Chamber)】

・静電気モーター

*テーマが不足した分は「おもしろ理科実験集」(工学院大学企画部編/CMC発売)から、一部借用した。

【実施準備】

平成8年8月24日(土), 25日(日)
日用雑貨店、電気屋などを回り実験材料を購入し、準備した。(費用は￥7000~￥8000程度)

【授業の流れ】(例: 2年7・8組)

◎1時間目 [8月26日(月) 5校時]

- ★内容
 - ・「課題研究」の内容と方法の理解
 - ・テーマの決定

課題プリントが英文なので一部の生徒から「ええっ?!」と驚きの声が上がったが、専門用語があるだけで構文的には難しくないと説明した。テーマ決定後、生徒は持参した辞書を使ってさっそく日本語訳に取り組んでいた。

◎放課後

物理実験室に来た生徒に材料を渡し、製作は生徒に任せた。部活動に加入している生徒が多

霧箱
2-8 NO.1.2
星野英介

1. わらじを入れて窓を開けておき、窓を閉めます。
 2. 用意した水を2杯分、水槽に水を入れます。
 3. ネット袋
- (1) 空の袋(2) 水(3) 窓(4) 空の袋(5) 水(6) 窓(7) 空の袋(8) 水(9) 窓(10) 空の袋(11) 水(12) 窓(13) 空の袋(14) 水(15) 窓(16) 空の袋(17) 水(18) 窓(19) 空の袋(20) 水(21) 窓(22) 空の袋(23) 水(24) 窓(25) 空の袋(26) 水(27) 窓(28) 空の袋(29) 水(30) 窓(31) 空の袋(32) 水(33) 窓(34) 空の袋(35) 水(36) 窓(37) 空の袋(38) 水(39) 窓(40) 空の袋(41) 水(42) 窓(43) 空の袋(44) 水(45) 窓(46) 空の袋(47) 水(48) 窓(49) 空の袋(50) 水(51) 窓(52) 空の袋(53) 水(54) 窓(55) 空の袋(56) 水(57) 窓(58) 空の袋(59) 水(60) 窓(61) 空の袋(62) 水(63) 窓(64) 空の袋(65) 水(66) 窓(67) 空の袋(68) 水(69) 窓(70) 空の袋(71) 水(72) 窓(73) 空の袋(74) 水(75) 窓(76) 空の袋(77) 水(78) 窓(79) 空の袋(80) 水(81) 窓(82) 空の袋(83) 水(84) 窓(85) 空の袋(86) 水(87) 窓(88) 空の袋(89) 水(90) 窓(91) 空の袋(92) 水(93) 窓(94) 空の袋(95) 水(96) 窓(97) 空の袋(98) 水(99) 窓(100) 空の袋(101) 水(102) 窓(103) 空の袋(104) 水(105) 窓(106) 空の袋(107) 水(108) 窓(109) 空の袋(110) 水(111) 窓(112) 空の袋(113) 水(114) 窓(115) 空の袋(116) 水(117) 窓(118) 空の袋(119) 水(120) 窓(121) 空の袋(122) 水(123) 窓(124) 空の袋(125) 水(126) 窓(127) 空の袋(128) 水(129) 窓(130) 空の袋(131) 水(132) 窓(133) 空の袋(134) 水(135) 窓(136) 空の袋(137) 水(138) 窓(139) 空の袋(140) 水(141) 窓(142) 空の袋(143) 水(144) 窓(145) 空の袋(146) 水(147) 窓(148) 空の袋(149) 水(150) 窓(151) 空の袋(152) 水(153) 窓(154) 空の袋(155) 水(156) 窓(157) 空の袋(158) 水(159) 窓(160) 空の袋(161) 水(162) 窓(163) 空の袋(164) 水(165) 窓(166) 空の袋(167) 水(168) 窓(169) 空の袋(170) 水(171) 窓(172) 空の袋(173) 水(174) 窓(175) 空の袋(176) 水(177) 窓(178) 空の袋(179) 水(180) 窓(181) 空の袋(182) 水(183) 窓(184) 空の袋(185) 水(186) 窓(187) 空の袋(188) 水(189) 窓(190) 空の袋(191) 水(192) 窓(193) 空の袋(194) 水(195) 窓(196) 空の袋(197) 水(198) 窓(199) 空の袋(200) 水(201) 窓(202) 空の袋(203) 水(204) 窓(205) 空の袋(206) 水(207) 窓(208) 空の袋(209) 水(210) 窓(211) 空の袋(212) 水(213) 窓(214) 空の袋(215) 水(216) 窓(217) 空の袋(218) 水(219) 窓(220) 空の袋(221) 水(222) 窓(223) 空の袋(224) 水(225) 窓(226) 空の袋(227) 水(228) 窓(229) 空の袋(230) 水(231) 窓(232) 空の袋(233) 水(234) 窓(235) 空の袋(236) 水(237) 窓(238) 空の袋(239) 水(240) 窓(241) 空の袋(242) 水(243) 窓(244) 空の袋(245) 水(246) 窓(247) 空の袋(248) 水(249) 窓(250) 空の袋(251) 水(252) 窓(253) 空の袋(254) 水(255) 窓(256) 空の袋(257) 水(258) 窓(259) 空の袋(260) 水(261) 窓(262) 空の袋(263) 水(264) 窓(265) 空の袋(266) 水(267) 窓(268) 空の袋(269) 水(270) 窓(271) 空の袋(272) 水(273) 窓(274) 空の袋(275) 水(276) 窓(277) 空の袋(278) 水(279) 窓(280) 空の袋(281) 水(282) 窓(283) 空の袋(284) 水(285) 窓(286) 空の袋(287) 水(288) 窓(289) 空の袋(290) 水(291) 窓(292) 空の袋(293) 水(294) 窓(295) 空の袋(296) 水(297) 窓(298) 空の袋(299) 水(300) 窓(301) 空の袋(302) 水(303) 窓(304) 空の袋(305) 水(306) 窓(307) 空の袋(308) 水(309) 窓(310) 空の袋(311) 水(312) 窓(313) 空の袋(314) 水(315) 窓(316) 空の袋(317) 水(318) 窓(319) 空の袋(320) 水(321) 窓(322) 空の袋(323) 水(324) 窓(325) 空の袋(326) 水(327) 窓(328) 空の袋(329) 水(330) 窓(331) 空の袋(332) 水(333) 窓(334) 空の袋(335) 水(336) 窓(337) 空の袋(338) 水(339) 窓(340) 空の袋(341) 水(342) 窓(343) 空の袋(344) 水(345) 窓(346) 空の袋(347) 水(348) 窓(349) 空の袋(350) 水(351) 窓(352) 空の袋(353) 水(354) 窓(355) 空の袋(356) 水(357) 窓(358) 空の袋(359) 水(360) 窓(361) 空の袋(362) 水(363) 窓(364) 空の袋(365) 水(366) 窓(367) 空の袋(368) 水(369) 窓(370) 空の袋(371) 水(372) 窓(373) 空の袋(374) 水(375) 窓(376) 空の袋(377) 水(378) 窓(379) 空の袋(380) 水(381) 窓(382) 空の袋(383) 水(384) 窓(385) 空の袋(386) 水(387) 窓(388) 空の袋(389) 水(390) 窓(391) 空の袋(392) 水(393) 窓(394) 空の袋(395) 水(396) 窓(397) 空の袋(398) 水(399) 窓(400) 空の袋(401) 水(402) 窓(403) 空の袋(404) 水(405) 窓(406) 空の袋(407) 水(408) 窓(409) 空の袋(410) 水(411) 窓(412) 空の袋(413) 水(414) 窓(415) 空の袋(416) 水(417) 窓(418) 空の袋(419) 水(420) 窓(421) 空の袋(422) 水(423) 窓(424) 空の袋(425) 水(426) 窓(427) 空の袋(428) 水(429) 窓(430) 空の袋(431) 水(432) 窓(433) 空の袋(434) 水(435) 窓(436) 空の袋(437) 水(438) 窓(439) 空の袋(440) 水(441) 窓(442) 空の袋(443) 水(444) 窓(445) 空の袋(446) 水(447) 窓(448) 空の袋(449) 水(450) 窓(451) 空の袋(452) 水(453) 窓(454) 空の袋(455) 水(456) 窓(457) 空の袋(458) 水(459) 窓(460) 空の袋(461) 水(462) 窓(463) 空の袋(464) 水(465) 窓(466) 空の袋(467) 水(468) 窓(469) 空の袋(470) 水(471) 窓(472) 空の袋(473) 水(474) 窓(475) 空の袋(476) 水(477) 窓(478) 空の袋(479) 水(480) 窓(481) 空の袋(482) 水(483) 窓(484) 空の袋(485) 水(486) 窓(487) 空の袋(488) 水(489) 窓(490) 空の袋(491) 水(492) 窓(493) 空の袋(494) 水(495) 窓(496) 空の袋(497) 水(498) 窓(499) 空の袋(500) 水(501) 窓(502) 空の袋(503) 水(504) 窓(505) 空の袋(506) 水(507) 窓(508) 空の袋(509) 水(510) 窓(511) 空の袋(512) 水(513) 窓(514) 空の袋(515) 水(516) 窓(517) 空の袋(518) 水(519) 窓(520) 空の袋(521) 水(522) 窓(523) 空の袋(524) 水(525) 窓(526) 空の袋(527) 水(528) 窓(529) 空の袋(530) 水(531) 窓(532) 空の袋(533) 水(534) 窓(535) 空の袋(536) 水(537) 窓(538) 空の袋(539) 水(540) 窓(541) 空の袋(542) 水(543) 窓(544) 空の袋(545) 水(546) 窓(547) 空の袋(548) 水(549) 窓(550) 空の袋(551) 水(552) 窓(553) 空の袋(554) 水(555) 窓(556) 空の袋(557) 水(558) 窓(559) 空の袋(560) 水(561) 窓(562) 空の袋(563) 水(564) 窓(565) 空の袋(566) 水(567) 窓(568) 空の袋(569) 水(570) 窓(571) 空の袋(572) 水(573) 窓(574) 空の袋(575) 水(576) 窓(577) 空の袋(578) 水(579) 窓(580) 空の袋(581) 水(582) 窓(583) 空の袋(584) 水(585) 窓(586) 空の袋(587) 水(588) 窓(589) 空の袋(590) 水(591) 窓(592) 空の袋(593) 水(594) 窓(595) 空の袋(596) 水(597) 窓(598) 空の袋(599) 水(600) 窓(601) 空の袋(602) 水(603) 窓(604) 空の袋(605) 水(606) 窓(607) 空の袋(608) 水(609) 窓(610) 空の袋(611) 水(612) 窓(613) 空の袋(614) 水(615) 窓(616) 空の袋(617) 水(618) 窓(619) 空の袋(620) 水(621) 窓(622) 空の袋(623) 水(624) 窓(625) 空の袋(626) 水(627) 窓(628) 空の袋(629) 水(630) 窓(631) 空の袋(632) 水(633) 窓(634) 空の袋(635) 水(636) 窓(637) 空の袋(638) 水(639) 窓(640) 空の袋(641) 水(642) 窓(643) 空の袋(644) 水(645) 窓(646) 空の袋(647) 水(648) 窓(649) 空の袋(650) 水(651) 窓(652) 空の袋(653) 水(654) 窓(655) 空の袋(656) 水(657) 窓(658) 空の袋(659) 水(660) 窓(661) 空の袋(662) 水(663) 窓(664) 空の袋(665) 水(666) 窓(667) 空の袋(668) 水(669) 窓(670) 空の袋(671) 水(672) 窓(673) 空の袋(674) 水(675) 窓(676) 空の袋(677) 水(678) 窓(679) 空の袋(680) 水(681) 窓(682) 空の袋(683) 水(684) 窓(685) 空の袋(686) 水(687) 窓(688) 空の袋(689) 水(690) 窓(691) 空の袋(692) 水(693) 窓(694) 空の袋(695) 水(696) 窓(697) 空の袋(698) 水(699) 窓(700) 空の袋(701) 水(702) 窓(703) 空の袋(704) 水(705) 窓(706) 空の袋(707) 水(708) 窓(709) 空の袋(710) 水(711) 窓(712) 空の袋(713) 水(714) 窓(715) 空の袋(716) 水(717) 窓(718) 空の袋(719) 水(720) 窓(721) 空の袋(722) 水(723) 窓(724) 空の袋(725) 水(726) 窓(727) 空の袋(728) 水(729) 窓(730) 空の袋(731) 水(732) 窓(733) 空の袋(734) 水(735) 窓(736) 空の袋(737) 水(738) 窓(739) 空の袋(740) 水(741) 窓(742) 空の袋(743) 水(744) 窓(745) 空の袋(746) 水(747) 窓(748) 空の袋(749) 水(750) 窓(751) 空の袋(752) 水(753) 窓(754) 空の袋(755) 水(756) 窓(757) 空の袋(758) 水(759) 窓(760) 空の袋(761) 水(762) 窓(763) 空の袋(764) 水(765) 窓(766) 空の袋(767) 水(768) 窓(769) 空の袋(770) 水(771) 窓(772) 空の袋(773) 水(774) 窓(775) 空の袋(776) 水(777) 窓(778) 空の袋(779) 水(780) 窓(781) 空の袋(782) 水(783) 窓(784) 空の袋(785) 水(786) 窓(787) 空の袋(788) 水(789) 窓(790) 空の袋(791) 水(792) 窓(793) 空の袋(794) 水(795) 窓(796) 空の袋(797) 水(798) 窓(799) 空の袋(800) 水(801) 窓(802) 空の袋(803) 水(804) 窓(805) 空の袋(806) 水(807) 窓(808) 空の袋(809) 水(810) 窓(811) 空の袋(812) 水(813) 窓(814) 空の袋(815) 水(816) 窓(817) 空の袋(818) 水(819) 窓(820) 空の袋(821) 水(822) 窓(823) 空の袋(824) 水(825) 窓(826) 空の袋(827) 水(828) 窓(829) 空の袋(830) 水(831) 窓(832) 空の袋(833) 水(834) 窓(835) 空の袋(836) 水(837) 窓(838) 空の袋(839) 水(840) 窓(841) 空の袋(842) 水(843) 窓(844) 空の袋(845) 水(846) 窓(847) 空の袋(848) 水(849) 窓(850) 空の袋(851) 水(852) 窓(853) 空の袋(854) 水(855) 窓(856) 空の袋(857) 水(858) 窓(859) 空の袋(860) 水(861) 窓(862) 空の袋(863) 水(864) 窓(865) 空の袋(866) 水(867) 窓(868) 空の袋(869) 水(870) 窓(871) 空の袋(872) 水(873) 窓(874) 空の袋(875) 水(876) 窓(877) 空の袋(878) 水(879) 窓(880) 空の袋(881) 水(882) 窓(883) 空の袋(884) 水(885) 窓(886) 空の袋(887) 水(888) 窓(889) 空の袋(890) 水(891) 窓(892) 空の袋(893) 水(894) 窓(895) 空の袋(896) 水(897) 窓(898) 空の袋(899) 水(900) 窓(901) 空の袋(902) 水(903) 窓(904) 空の袋(905) 水(906) 窓(907) 空の袋(908) 水(909) 窓(910) 空の袋(911) 水(912) 窓(913) 空の袋(914) 水(915) 窓(916) 空の袋(917) 水(918) 窓(919) 空の袋(920) 水(921) 窓(922) 空の袋(923) 水(924) 窓(925) 空の袋(926) 水(927) 窓(928) 空の袋(929) 水(930) 窓(931) 空の袋(932) 水(933) 窓(934) 空の袋(935) 水(936) 窓(937) 空の袋(938) 水(939) 窓(940) 空の袋(941) 水(942) 窓(943) 空の袋(944) 水(945) 窓(946) 空の袋(947) 水(948) 窓(949) 空の袋(950) 水(951) 窓(952) 空の袋(953) 水(954) 窓(955) 空の袋(956) 水(957) 窓(958) 空の袋(959) 水(960) 窓(961) 空の袋(962) 水(963) 窓(964) 空の袋(965) 水(966) 窓(967) 空の袋(968) 水(969) 窓(970) 空の袋(971) 水(972) 窓(973) 空の袋(974) 水(975) 窓(976) 空の袋(977) 水(978) 窓(979) 空の袋(980) 水(981) 窓(982) 空の袋(983) 水(984) 窓(985) 空の袋(986) 水(987) 窓(988) 空の袋(989) 水(990) 窓(991) 空の袋(992) 水(993) 窓(994) 空の袋(995) 水(996) 窓(997) 空の袋(998) 水(999) 窓(1000) 空の袋(1001) 水(1002) 窓(1003) 空の袋(1004) 水(1005) 窓(1006) 空の袋(1007) 水(1008) 窓(1009) 空の袋(1010) 水(1011) 窓(1012) 空の袋(1013) 水(1014) 窓(1015) 空の袋(1016) 水(1017) 窓(1018) 空の袋(1019) 水(1020) 窓(1021) 空の袋(1022) 水(1023) 窓(1024) 空の袋(1025) 水(1026) 窓(1027) 空の袋(1028) 水(1029) 窓(1030) 空の袋(1031) 水(1032) 窓(1033) 空の袋(1034) 水(1035) 窓(1036) 空の袋(1037) 水(1038) 窓(1039) 空の袋(1040) 水(1041) 窓(1042) 空の袋(1043) 水(1044) 窓(1045) 空の袋(1046) 水(1047) 窓(1048) 空の袋(1049) 水(1050) 窓(1051) 空の袋(1052) 水(1053) 窓(1054) 空の袋(1055) 水(1056) 窓(1057) 空の袋(1058) 水(1059) 窓(1060) 空の袋(1061) 水(1062) 窓(1063) 空の袋(1064) 水(1065) 窓(1066) 空の袋(1067) 水(1068) 窓(1069) 空の袋(1070) 水(1071) 窓(1072) 空の袋(1073) 水(1074) 窓(1075) 空の袋(1076) 水(1077) 窓(1078) 空の袋(1079) 水(1080) 窓(1081) 空の袋(1082) 水(1083) 窓(1084) 空の袋(1085) 水(1086) 窓(1087) 空の袋(1088) 水(1089) 窓(1090) 空の袋(1091) 水(1092) 窓(1093) 空の袋(1094) 水(1095) 窓(1096) 空の袋(1097) 水(1098) 窓(1099) 空の袋(1100) 水(1101) 窓(1102) 空の袋(1103) 水(1104) 窓(1105) 空の袋(1106) 水(1107) 窓(1108) 空の袋(1109) 水(1110) 窓(1111) 空の袋(1112) 水(1113) 窓(1114) 空の袋(1115) 水(1116) 窓(1117) 空の袋(1118) 水(1119) 窓(1120) 空の袋(1121) 水(1122) 窓(1123) 空の袋(1124) 水(1125) 窓(1126) 空の袋(1127) 水(1128) 窓(1129) 空の袋(1130) 水(1131) 窓(1132) 空の袋(1133) 水(1134) 窓(1135) 空の袋(1136) 水(1137) 窓(1138) 空の袋(1139) 水(1140) 窓(1141) 空の袋(1142) 水(1143) 窓(1144) 空の袋(1145) 水(1146) 窓(1147) 空の袋(1148) 水(1149) 窓(1150) 空の袋(1151) 水(1152) 窓(1153) 空の袋(1154) 水(1155) 窓(1156) 空の袋(1157) 水(1158) 窓(1159) 空の袋(1160) 水(1161) 窓(1162) 空の袋(1163) 水(1164) 窓(1165) 空の袋(1166) 水(1167) 窓(1168) 空の袋(1169) 水(1170) 窓(1171) 空の袋(1172) 水(1173) 窓(1174) 空の袋(1175) 水(1176) 窓(1177) 空の袋(1178) 水(1179) 窓(1180) 空の袋(1181) 水(1182) 窓(1183) 空の袋(1184) 水(1185) 窓(1186) 空の袋(1187) 水(1188) 窓(1189) 空の袋(1190) 水(1191) 窓(1192) 空の袋(1193) 水(1194) 窓(1195) 空の袋(1196) 水(1197) 窓(1198) 空の袋(1199) 水(1200) 窓(1201) 空の袋(1202) 水(1203) 窓(1204) 空の袋(1205) 水(1206) 窓(1207) 空の袋(1208) 水(1209) 窓(1210) 空の袋(1211) 水(1212) 窓(1213) 空の袋(1214) 水(1215) 窓(1216) 空の袋(1217) 水(1218) 窓(1219) 空の袋

いので、発表前日までに実験装置と発表プリントが間に合うかどうか心配したが、予想以上に生徒は熱心に取り組み、全グループがプリント提出と実験準備を完了させた。

◎2・3時間目 [8月31日(土) 1・2校時]

★内容 ・発表会(相互評価・自己評価)

持ち時間5分間。聞く人は疑問があれば質問し、審査用紙に採点する。

【相互評価・自己評価の観点】

1. 発表資料はわかりやすいか。(5点満点、標準3点)
2. 説明の仕方はわかりやすいか。(同上)
すべての発表が終わったら合計(10点満点)を出し、各自ベスト5を決めて審査用紙を提出させた。

テーマによっては遊び的な要素もあるが、聞くのも勉強なので、真剣な雰囲気作りを心がけた。採点についても「あれは出来合いの道具を使っているから得点は低い。」などのささやきも聞こえてきて、生徒たちが真剣に取り組んでいることをうかがわせた。

【実際の評価について】

これから学習する内容の発表なので、理解度を評価する事は出来ないし、また、テーマによっては演示効果が良い、悪いの差がある。ただ、生徒それぞれが決めたベスト5には重複が結構あるので、ある程度の客觀性が期待できる。そこで、

- ・基本的には生徒相互の評価をそのまま使う
- ・発表プリントや準備、当日の熱心さなどを加味する

ことにした。これを2学期の成績(考查85%、平常点15%)のうちの平常点にした。

【インターネットのホームページへの登録】

発表会終了後、他校で物理を履修する生徒との交流を目指して、生徒の作成した発表プリントと発表会の様子を伝える写真を、「BUTURIサークルほっかいどう」のホームページに登録・公開した。

(URLは <http://socyoc.high.hokudai.ac.jp/more-html/buturi/index-j.html>)

3. 「課題研究」を終えて

この一連の授業では、①資料が英文であるため生徒にある程度の英語力が必要とされること、②実験装置の作製時間を放課後に設定したことなど、いくつかの難点があり、昨春、本校に異動してきた私にとって、まだ生徒の実態がつかみきれていない部分があり、終了するまでは正直言って不安と緊張の連続だった。しかし、生徒たちは予想以上に見事にこなしていた。普段の定期試験では赤点をとっている生徒が英文の資料を丁寧に訳して自信満々で発表していたり、「クリップモーター」を担当した生徒がさらに二極モーターの仕組みを解説したり、普段の座学の授業では見られない様々な面を見せてくれた。その原因の一つとして、本校では「家庭」「保健」などで生徒たちがこのスタイルの学習方法を経験済みであることがあげられるが、それ以上に私自身も昨年の「青少年のための科学の祭典」札幌大会でデモンストレーターとして体験した“科学実験が本来持っている面白さ”が生徒の好奇心や持っている力を引き出した、と考えている。

最後に、今後再び実施するときの参考にするために実施した、生徒へのアンケート結果を載せる。

(回答数 69人、各数字は%)

1. 自分のテーマについて、調べた範囲で内容が理解できたか

できた	まあまあ	できない
[5 4 3 2 1]		
26 32 39 3 0 %		

2. 資料が英語だったが、そのことについて

よい	ふつう	よくない
[5 4 3 2 1]		
0 3 34 36 26 %		

3. このような学習の形態について

よい	ふつう	よくない
[5 4 3 2 1]		
42 26 23 9 0 %		

4. 以前に比べて「物理」に対する

興味・関心は変化しましたか

深まつた 変化なし うすれた
[5 4 3 2 1]
30 42 28 0 0 %

5. その他、意見や感想があれば書いて下さい。
- 「楽しかった。最初のうちは大変そうな気がしたけど、気持ちが楽しいって感じられる範囲で出来たので、またやりたい。もう少し複雑になるとつらいかもしれません。」
- 「音や光も物理なのを知らなかったので驚いた。」「自分たちで実験したりするのは面白かった。他の人の発表を見るのも何かしら勉強になった。」「準備の時間が短かった。」
- 「誰かに教えてもらうのではなく、自分で興味あることを調べるのは理解度が違うし、やっていて楽しかった。」
- 「僕たちの発表は失敗に終わったのでくやしい。」「この授業で不思議だと思ったことをこれから勉強していくことを楽しみにしたい。」
- 「一緒に組んでやる人によって発表するときの出来が変わってくるので、ペアの組み方をもう少し工夫した方が良かったと思う。一緒にやりたい同士が組んだ方が良かった。」
- 「資料が英語であり意欲がわからなかった。」「英語の解説が難しかったが、自分自身の知識が身について良かった。」

「(人にもよるが)面白いものとつまらないものの差が激しかった。」

「物理が色々なことに日常かかわっていることが分かった。」

4. 今後の課題

課題研究終了後ある男子生徒から、自分は人前で発表するのが苦手なので課題研究はやりたくなかった、と言われた。だが、この実践を終えた今、高校の物理教育にも座学や実験だけでなくこのような総合的な学習も必要ではないかと感じている。ただ、物理で大学を受験する生徒が多い学校では大きな時間的な制約がある。次回の教育課程の改訂では、教科書の内容が大幅に精選されることを期待している。

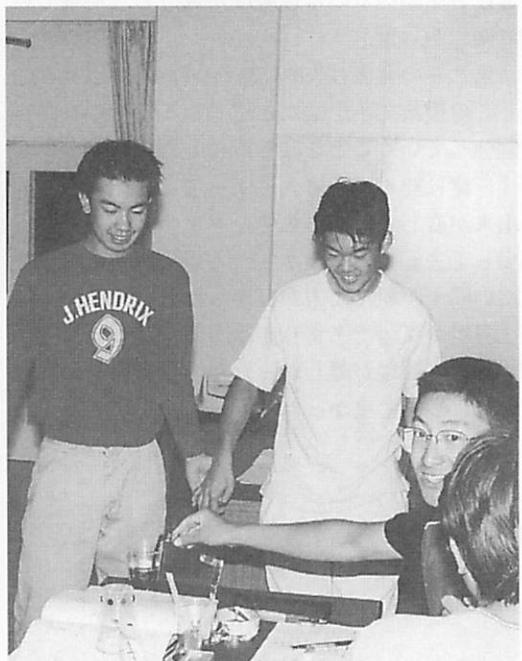
また、今年に入ってから、このホームページをご覧になった中標準高校の本谷先生から、自分の学校でも物理の課題研究を実施して学校のホームページに登録している、とのメールを戴き、サークルのホームページからリンクを張らせていただくことにした。今後はリンクを増やしていく、生徒が課題研究のテーマを選定する際のデータベースになれば、と考えている。

なお、この実践は平成 8 年度文部省科学研究費補助金（奨励研究〔B〕）を受けて実施した。

興味・関心を高める高校物理「課題研究」の実践

はるか遠くまで飛ぶ飛行機の飛行原理
は、ステークホルダーの多様な立場の
多さから、その理解度も豊富さも大きく異な
る。しかし、この問題は、その複雑性から、
「問題の発見」から「問題の解明」へと、
人材育成、技術開発、資源開拓などの多面的
な視点で、多くの異なる立場の人材が協調す
ることによって、より効率的な解決策が得ら
れる。そこで、この問題を解決するためには、
各立場の意見を尊重しつつ、問題解決のための
意思疎通や協調が不可欠である。

はるか遠くまで飛ぶ飛行機の飛行原理
は、ステークホルダーの多様な立場の
多さから、その理解度も豊富さも大きく異な
る。しかし、この問題は、その複雑性から、
「問題の発見」から「問題の解明」へと、
人材育成、技術開発、資源開拓などの多面的
な視点で、多くの異なる立場の人材が協調す
ることによって、より効率的な解決策が得ら
れる。そこで、この問題を解決するためには、
各立場の意見を尊重しつつ、問題解決のための
意思疎通や協調が不可欠である。



[発表会の様子]

実践報告 実験・実習を中心とした物理IAの実践

北海道南茅部高等学校 渡邊儀輝

1. はじめに

北海道南茅部高等学校は普通科2間口、全校生徒201名の小規模校で、第3学年の必修2単位として物理IAが設定されている。学校には化学生物実験室・物理地学実験室があり、教諭が科目を単独で持ちやすく、比較的器具がそろっていることなどから、実験や実習が実施しやすい授業環境にあるといえる。

物理IAという科目は、学問体系としての原理、法則を重視した従来の物理とは異なり、日常生活との関わりを重視し、身近な現象をとらえ、それらの理解を基礎として科学的な見方、考え方を育てるという科目である。しかし初めて扱う教材・分野が多いことなどから、高校においては戸惑いをもちらんも様々な工夫や試行錯誤を繰り返しながら実践しているのが現状である。

そこで私は、実験・実習を授業の中心に置き、物理室や情報処理室、視聴覚室を利用した授業を積極的に導入して、生徒の物理に関する関心を高めるように展開してきた。また、物理IAは情報・エネルギー分野が必修分野、運動・波動・物理学の影響分野が選択分野となり、生徒の興味関心・学校の現状にあわせて選択できるようになっている。しかし、本校では定期考查を区切りとして1つの分野を終了し、浅く広く物理全般を学習することにより全体を見すえ、現代社会に影響を与えていたる物理に対し、興味を持たせるよう1年間を通して5分野すべてにわたって学習するようにした。そして現在、その実践記録を誰でも見られるようにホームページ化し、全国各地の理科教員と電子メールを通じた交流を行っている。まだネット上にあげて日が浅いので、より多くの方と意見を交換し、

今後の参考にしていきたいと考えている。

2. 授業展開

(1) 1学期中間考査範囲：情報分野

新カリキュラムより物理に新しく加わった分野で、商業科目で扱う情報処理と異なり、情報化社会を支えているコンピュータと通信の技術の物理学的な基礎を日常生活と関連づけて扱うとともに、情報が科学的に取り扱い得る対象であることを理解させることができるのである。従来の物理教育との関連性が薄いせいか、必修分野にも関わらず、教育現場での内容に関する戸惑いが多いといわれている。ここでは、光通信の観察、ゲルマニウムラジオの製作、紙コップスピーカー・マイクの製作、トランジスタの増幅特性の測定、デジタル録音の体験、自作テープレコーダーへの録音、金属顕微鏡でのCDの観察など、情報の伝達・処理・記録の3分野を通して、日常の様々な電化製品、物質の中に物理学が息づいていることを学習してきた。中学理科との違いに生徒達にも多少戸惑いが見られたが、身近なものの中にも物理法則があるということを理解し始めたようである。



パソコン室でデジタル録音を体験する

(2) 1 学期期末考查範囲：運動分野

物体の運動について、日常生活と関連させ、主に直線上の運動を通して、運動の表わし方、摩擦、運動量の保存などを理解させることがねらいである。従来の物理学では、導入の際必ず学習する分野であり、旧課程の理科 I でも必修分野であったが、物理 I A からは選択分野になった。現実的に計算の複雑さから、この分野を非常に苦手とする生徒も多いので、計算などは簡素化し、興味関心を高めるように生徒実験を数多く取り入れて実施した。体育館で自作のホバークラフトに乗せ慣性の法則を体感させたり、自作のエアトラックで等加速度運動の様子を測定したり、様々な運動現象を体験することで運動の概念を養うことに指導の重点を置いた。最後の時間にはまとめとして、毛利さんがおこなったスペースシャトルの無重力実験のビデオをクイズ形式で見せ、地上とは異なるその運動の不思議さを考えてみた。重力加速度も 9.8 などの小数は使わず、10 として、また 0.1kg 重を 1 N として、小数の計算によるわずらわしさを省き、運動に対し直感がはたらくように指導面で工夫した。

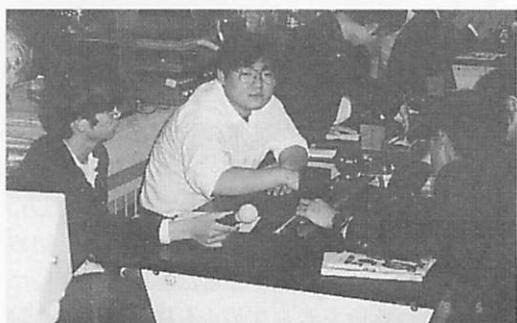


自作エアトラックで加速度の測定をおこなう

(3) 2 学期中期間考査範囲：音と光分野

生徒の興味関心が最も高まる分野であった。日常生活と関係の深い光と音について、伝播、反射、屈折、波長、振動数などの基本的性質を理解させることができるのである。波動の基礎を含めた光の学習と、楽器の構造を中心とした音の学習の 2 つの分野に大きく分け、全く別な現

象と考えがちな光と音に関して、波動という統一性を持って指導することに重点を置き、数多くの実験や実習などを実施した。簡易分光器を使ったスペクトル・巨大シャボン玉・牛乳パックカメラ・スプーンを使った凸面鏡の観察、光学台を使っての倍率の測定（これは物理 I B の範囲）、輪ゴムギター・空き缶笛・ストロー笛の製作などを通し、様々な身の回りの現象の中の波動に関する物理法則を学習した。最後の時間にはパソコン室にて音波のデジタル録音とそのフーリエ変換を実施し、すべての波動は基本的な波の重ね合わせで表現できることを学習のまとめとした。

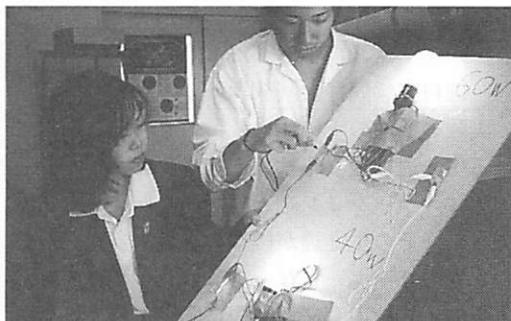


光学台を使って $1/a + 1/b = 1/f$ を実測

(4) 2 学期末考査範囲：エネルギー分野

環境教育ともあわせ、現在の理科教育で最も重点的に扱われる内容である。日常生活とのかかわりの深いエネルギーについて、日常生活と関連させ、熱と温度、熱の本質、熱の伝わりかたなどの基本的性質、直流回路の基本的な法則と電気エネルギー、エネルギーの相互変換と保存、核エネルギー及び原子力について理解させることができるのである。摩擦による発火、圧縮発火、熱放射・伝導・対流の観察、直列並列回路の実測を通じた相違点の理解、電気パンを焼く過程や自作の簡易リニアモーターカーが動く過程を通じたエネルギーの変換、クリップモーターの製作、光電池の製作などの実験・実習を通じ、エネルギーの本質について理解した。最後の時間は、クラスを 2 分し、パソコン室での放射線に関する CAI を使った学習と、視聴覚

室での原子力エネルギーの発見されるまでの歴史の学習を同時展開し、原子力エネルギーの危険性と平和的利用を考えることで、この分野のまとめとした。



並列配線での電圧と電流の値を測定する

(5) 3 学期期末考査範囲：物理学の影響分野

物理学が人間の社会生活から遊離した抽象的な学問ではなく、様々ななかたちで人間の生活や考え方とかかわりをもっていることを調べ、人間との関連において物理学の意義を理解させることができねらいであり、現在の物理教育が最も必要としている分野であると感じている。しかし従来の物理にはなかった分野のため、各教科書によって、この分野の記述、解説は統一性がなく、選択分野ということもある、高校現場での実施の可能性が非常に薄い分野でもある。そこで私は、教科書を離れ、このねらいの原点に立ち返り、現在の物理学が目標としているもの(12の素粒子・宇宙誕生の謎・ダークマター候補と宇宙の将来・相対性理論の真否)と物理学の歴史(運動学・エネルギーの正体・光の正体・電気の正体)といった物理学の過去・現在・未来を学習することにした。そして、物理学の歴史の範囲では生徒に対し冬休みの課題として、世界の科学者の中から 1 人の一生を B4 にまとめるなどを課し、それを授業で生徒がそれぞれ発表する形式をとり、単なる座学に終わらせないように工夫した。また、学年最後の時間で、物理演示実験20テーマを用意し、生徒 2 名のペアで、その実験を演示し、OHP と口答で他の生徒に説明し、レポートにまとめるという「卒

業課題研究発表会」を本校の公開授業の形式で実施した(指導は昼休み・放課後を利用)。私は 1 年間の実験・実習を中心とした物理授業の成果がこの発表会で發揮されることを望んで実施したが、生徒は皆、研究した物理現象の内容を懸命に他の生徒に伝え、それらをレポートにまとめて提出した。そこには生徒自身が一生懸命取り組んだ様子が記されており、平成 8 年度の約 50 時間の物理 I A の授業はこれで終了したのである。



卒業課題研究をOHPで発表する

3. 生徒の興味関心を高めるために

(1) 授業内の部分

○ 多種多様な演示実験

毎時間演示実験を実施するのはもちろん、1 時間平均 5 つは演示していた。様々な実験集が出版されているが、授業テーマ・評価項目に関連する演示を授業のどこにおくか(導入か、まとめかなど)、話術ともあわせたタイマーなどの演示実験の有機的な配列が授業のポイントとなる。

○ 生徒に演示実験をもう一度させる

私が演示した後に必ず生徒(代表しかできないときもあるが)にしてもらう。そこをカメラにおさめ授業記録とした。生徒を授業に参加させる瞬間であり、クラス全体がより注目する。

○ 生徒実験は製作・測定を交互に実施

生徒ひとりひとりが法則をもとに作製するも

実験・実習を中心とした物理 I A の実践

の（輪ゴムギターやクリップモーターなど）や測定をもとに法則化するもの（光学台や自由落下など）を交互交互に実施するよう、計画性をもたせた。製作が中心になると、理科ではなく工作の時間になってしまい、その製作の本質を見失う可能性があるからである。

○ 物理室・パソコン室・視聴覚室の使い分け

授業テーマにあわせて教室を使い分け、たえず新鮮味を持った物理授業を心がけた。例えば原子力エネルギー関連の学習ではHRを2つに分け、授業の前半を情報処理室のCAIで（パソコン台数が20台しかないため）、後半を視聴覚室のビデオ学習で展開し、少人数で授業を実施した。また水ロケットはグランド、ホバークラフトは体育館で昼休みに実施した。

○ 対話を中心とした授業展開

私はあまり教壇には立たないようにした。机間巡回的に実験台の間を行き来し、生徒との対話によって授業をすすめている。図はあらかじめOHPで用意しておき、演示実験装置も教卓ではなく、生徒の実験台に置くことが多かった。

○ 今日の授業と現代科学を結ぶ裏読み物

今日の授業と関係のある、日常的な機械の図解や科学関連のトピック集のコピーを授業プリントの裏に刷っている。授業の後余った時間などで扱っており、今日の学習がどの分野に活かされているのか、道しるべ的な読み物を特に用意していた。

(2) 授業外の部分

○ 物理教室の解放

物理教室はほとんどの時間あいている。備品管理のため戸棚は錠をしているが、演示実験の道具やパソコン（物理室には6台）のCAIなど、いつでも生徒がふれることができるようにしてある。

○ 科学壁新聞の作成

図書室購入のものと私のものとを合わせて切

り張りし、雑誌「ニュートン」の特集記事を壁新聞にし、物理室前に掲示している。宇宙関連・バイオ関連などの記事が中心であるが、現代の科学が追求する目標を中心にのせている。授業の前後に廊下に張られた記事に眼を通す生徒も多い。

○ 理科実験同好会（放課後の物理）

実験の準備の手伝いや片付けと一緒にしてくれる生徒達に授業では教えきれなかったことを、コミュニケーションをとりながら伝えることができた。その生徒達が授業のとき、各班の実験のときのリーダーとなってくれた。現在、新入生を加え、秋の高文連発表に向けて様々な問題に挑戦中である。

○ 備品の管理

事務室にある理振台帳は高価な備品のみ扱っている。そこで方位磁針の個数まで正確に数えた物理教室の備品台帳を年度始めに作成した。それにより、本年度の実験予定・予算だてが早まり、より計画性をもって実験が実施できるようになった。

4. 評価の観点

実験・実習を中心とした授業の場合、その評価が非常に難しく、しっかりとした教師側の方針がないと、混乱をきたす場合が往々にして生じる。評価は本校の教務規定に則り100点法で成績単票に記入している。

(1) 毎時間ごとの評価＝平常点30点分

○ 授業プリントの提出（15点分）

授業プリントはB5サイズで毎時間配布し、必ず回収していた。記入事項は約15カ所くらいで、基礎的用語・測定データ・製作手順の記入が中心である。回収した際、次の3段階の検印と私の感想を書いて返却した。

A：考察する項目の記入（積極的な参加）

B：補足内容の記入（集中力をもった参加）

C：記入事項のみの記入（受動的な参加）

なお考察する項目はプリントの1・2箇所の空

欄（特に文章による説明箇所）を指定した。

○ 対話による考え方に対する評価（15点分）

教師はほとんど教壇に立たず、生徒との対話によって授業をすすめたので、その対話の中で科学的に論理立てて対話した生徒を毎時間5人以上、授業終了後に手帳に記入した。どうしても口数の多い生徒が有利になることがあるが、その点に注意を払い、クラス全員が各学期で2つ以上になるよう対話にも計画性を持たせた。

(2) 定期考査による評価=70点分

○ 知識の定着度を確認する問題（40点分）

おもにプリントと併用問題集から出題し、各プリントから均等に、浅く広く出題した

○ 考察力をためす問題（15点分）

直接的には教えていない項目だが、学習した知識を組み合わせることで解答が導き出せる問題。例えば情報分野でのデジタル信号を使った文字の伝達や波動分野での音の分解表示（振幅と位相差）などを出題した。

○ 原理や観察を説明する問題（15点分）

解答にはキーワードを設定し、国語力の差がないように注意した。例えば情報分野のアナログ信号とデジタル信号の相違点と利点の説明、運動分野の無重力空間で観察される現象の説明などである。

○ 特別課題の評価

世界の科学者のまとめは提出点・レイアウト点・まとめ点の総合（計15点）で、また卒業課題研究は、発表点・OHP点・演示点・レポート点の総合（計20点）で評価し、私だけでなく、生徒自身の自己評価・相互評価、他の理科教員が見た評価の平均を3学期の評価に定期考査とあわせて組み入れた。そうすることで私自身の主觀ばかりでなく、少しでも客観性を持たせるようにした。

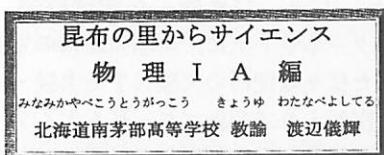
5. ホームページを使った実践交流

インターネット上に、全国の理科の先生方が作成した様々な理科の実験（生徒実験・演示実験）が図解入りで報告され、私もよくプリントアウトし授業の中で利用している。しかし、実験集的な内容は多々あるものの、授業の中へそれらをどのように配列するのかを含め、授業内容の構成・展開に関する実践報告はほとんどネット上には無いのが実状であった。実際に授業をして、どのような実験を授業のどこに置き、どう展開すれば最も効果が上がるのか、そして年間を通してどのように授業を進めれば、最終的な理科教育の目標である科学的な考え方の育成につながるのか。私はその点をいつも考えていたのである。

昨年度より私の所属する BUTURI サークルはっかいどうでホームページを開くこととなり、北海道大学内のサーバーを使うことができるようになった。そこで私は、その中に本年度の毎時間ごとの授業風景、授業展開内容、実験実施内容、考査、その学習分野に対する私見などの授業の実践記録のホームページを作成した。ホームページの最大の利点はパソコン通信と違い、文字情報だけではなく、映像・画像・音声を伝達できることである。自分の授業をマルチメディアを使い公開することで、井の中の蛙に陥りやすい授業展開を全国各地の理科教員に見てもらい、意見交流、実践交流をしてみたいと考えたのである。これをきっかけに電子メールを通じて各方面から感想・意見などが寄せられ、その中には、よりよい実験や授業方法について様々な示唆を含むものもあった。そして私はそれを本校生徒に対し、還元していった。また、私の授業を参考に更に改良して実践した例も寄せていただき、様々な実践交流が深まりはじめてきたところである。しかし、まだ数としては少數であり、実践例も限られているので、ぜひこのような授業展開に関するホームページが増え、本当の意味での実践交流ができる日がくることを強く望んでいる。以下が私の URL である。

http://socyoc.high.hokudai.ac.jp/More_HTML/konbu-phys/konbub000.html

実験・実習を中心とした物理 I A の実践



この報告は、平成8年度 北海道南茅部高等学校における第3学年普通科40名2クラスで実施された物理I A(2単位)、毎時間30分の実験授業である。この報告は理科教育の今後を考える「BUTURI」(ブルガリ)のホームページ上に掲載されていたものをインターネット上に見ることができるようホームページ化したものである。



卒業課題研究発表会を終了した3年B組と渡辺

南茅部町ってどこにあるの? 1.8 KB

読みやすい分野名の上でクリックして下さい

1学期中間考査範囲	情報分野(1.2 KB)
1学期期末考査範囲	運動分野(1.5 KB)
2学期中間考査範囲	音と光分野(1.7 KB)
2学期期末考査範囲	エネルギー分野(1.7 KB)
3学期期末考査範囲	物理学と現代社会分野(1.1 KB)
授業評価	教師評価・生徒感想(2.1 KB)
まとめ	併願授業一覧表(1.8 KB)

ご感想、ご意見のE-mailはこちらをどうぞ

No.2 等速直線運動》:(裏面)速さ比べ(動物・機械)

大型エアーテーブルでホッケー



(2.0 KB)

- (1)◎: 速さと速度の違い(「外れの復習」)
(2)□: 「1.49×10⁻³」での宇宙船の追い越しへどっちが動いているんだ?
(3)◎: 相対速度(1次元)とは? 何が複数の練習問題
(4)質: 大型エアーテーブル上のハッカの運動一手を離したら等速運動ははたらいる力0
(5)実?: ホッケーゲーム大会(各班対抗)

大型エアーテーブルは、最大1枚分の広さです。つくるのに1日いっぽいかかってしました。しかし、ホッケーゲームは盛り上がります。運動方向への力0=等速直線運動だけを強調しました。合力0は慣性の法則で扱います。メカニズムは相対速度の導入によってこいだと思いますが、最近はファミコンも3D(3-4フレーム等)なので、生徒の方の興味が衰へかしません。

授業報告目次へもどる

その他にも化学 I B も担当しているので、その授業内容、実験概要も下記のホームページで紹介し、実践交流している。

○南茅部高校における化学授業実践報告 URL

http://socyoc.high.hokudai.ac.jp/More_HTML/konbu-chem/konbu000.html

6. 成果と反省・課題

(1) 成 果

学年末の考査の際に生徒に下記のようなアンケートを実施し、1年間の授業の成果を見てみた。以下に2、3名の生徒の文章を代表で紹介する。

○物理的のものを考えるとはどういうことですか(生徒解答)

・当たり前のことにも「なぜこうなるのか」と疑問を持ち、自分で実験などで確かめ、これを理論や法則にまとめていくことや客観的に見て、正しいか違うかを判断すること。

・あたりまえのことをあたりまえに思わない。つねに「どうしてそうなったのか」「なぜそうになったのか」をあたりまえのことに投げかけてみるのが物理的にものを考えることだと思う。

○物理を学習する前後で自分の考え方がどのように変化しましたか(生徒解答)

・例えば、電話の事です。電話は、1本の線でつながっています。前は単に電話だなって感じだった。今では電流で、波長が変化して、自分の声がその電線を通じて相手に伝わるんだと考えるようになりました。いわゆる物理的にものを考えるようになりました。

・物理がだんだん好きになった。考えてみれば物理は日常生活の気づいていない部分をたくさん教えてくれた。これからもこのことをよくおぼえておきたいと思っている。

・今まで身の回りにある道具や機械などを何気なく使っていたけど、物理を学んできて、1つ1つの道具をとっても、それは過去の研究で発明した人の苦労がにじみ出ているんだなあと最近感じるようになった。

実験を数多く取り入れ、物理学が日常と遊離した学問ではないことを理解させることは生徒のアンケート解答を見てもほぼ達成できたと考えている。必修・選択の枠組みをはずし、物理学全般に対し浅く、広く知識を持たせ、また卒業課題研究発表会を含めた探究的な活動を通して、物理的にものを考えることができるようになったと私自身は感じている。

(2) 反省・課題

本来の物理 I A に対する文部省の方針は、知識偏重を避ける目的で、情報・エネルギー分野は必修であるが、生徒の興味関心にあわせて、

運動・音と光・物理学の影響の中から 1 つ以上を選択して実施することになっている。広く浅く物理学全般を学習する目的で本年度は 5 分野実施したが、全分野を終了するということに固執するあまり、授業内容が膨大になったことは否定できない。生徒の別のアンケート結果から、興味関心のある分野は、情報・音と光・エネルギー分野という結果が得られたので、来年度以降、この 3 分野を中心に時間にゆとりをもって、授業内容を精選し実施するべきだ、と考えている。また、実験をやりすぎたあまり、かえって理解が混乱する場面もあった。演示実験・生徒実験・講義のメリハリと授業の演出効果も考えいかなければならぬと感じている。

7. 謝 辞

実験を中心とした授業を実践するにあたり、ご指導いただいた BUTURI サークルほっかいどうのメンバー各位、またインターネットへの接続、ホームページ作成にあたってご指導いただいた北海道南茅部高等学校の商業担当である川崎知文教諭に深く感謝いたします。

※この授業実践の詳細・授業プリント・考査を含めた冊子をつくりました。興味のある方は渡邊まで連絡をして下さい。

実験・実習を中心とした物理IAの実践

北海道南茅部高等学校 平成8年度 物理IA 授業実施表

		実験・座学 分野	授業題目・教科書タイトル	質点指導項目	授業内容
1	2	II 情報	第II編 情報分野 ガイダンス 1. 地球に広がる通信網 ① 画像・走査線・プリンタ ② 電磁誘導・マイ・スピーカー ③ 電磁波・ラジオ	異性人への手紙・情報処理・通信革命 走査線・空気の疎密・情報の符号化 電磁石・ソリューションの法則・電磁誘導 電磁波の発生・ラジオのしくみ・AMとFM	
3	4		2. 处理される情報 ① IC・ランプ・LED・半導体 ② ナノゲル・デジタル信号	ICの種類とはたらき・スケーリング デジタルの流れ・ナノゲル波形・デジタル	
5	6		3. 記憶される情報 ① 電子データ・カセットレコーダー	レコード・カセットレコーダーのしくみ	
7	8		② CD・デジタル記録	デジタル信号・ナノゲル波形・データの種類	
9	10		PC・CD-ROMでデジタル録音 ④ 情報分野まとめ	デジタル録音で波形の観察・各種CD-ROM	
11	*		1学期中間考査		学習内容整理・まとめ・問題集解答
12	*		1学期中間考査解答		
13	1	III 運動	第III編 運動分野 ガイダンス 1. ピラフに出かけよう ① 等速運動・相対速度	運動分野の学習内容・変位・速さ 等速直線運動・相対速度	
14	2		② 等加速度運動	加速度の定義・等加速度運動	
15	3		2. 車は急には止まらない ① 慣性・作用反作用	慣性・作用反作用・摩擦力	
16	4		② 運動方程式	力と加速度・質量と加速度の関係	
17	5		3. 地球を目指してマッハ7 ① 自由落下	重力による加速度	
18	6		② 放物運動	自由落下と等速の組み合わせ	
19	7		4. 強いをつけて楽しもう ① 運動量・力積	運動量の変化=力積	
20	8		② 力学的エネルギーの保存	位置・運動エネルギーの和=一定	
21	9		毛利さんの無重力実験(ヒューマン)		
22	10		⑤ 運動分野まとめ		学習内容整理・まとめ・問題集解答
23	11	座学	(時数合わせ)		
24	12	座学	1学期期末考査		
25	*	考査	1学期期末考査解答		
26	*	考査	2学期中間考査		
27	1	IV 音と光分野 ガイダンス	第I編 光と音分野 ガイダンス 1. ガーランドに映るにじの色 ① 光の成分・色のしくみ	波動分野の学習内容・波の基本用語 分光器・連続、線状・外れ・電磁波	
28	2		② 虹の7色・シボン玉	光の屈折・分光・干涉	
29	3		2. レンズは光を曲げる ① 望遠鏡のしくみ	対物・接眼レンズ・実像・虚像・色収差	
30	4		② カメラと目	目の構造とカメラ・眼鏡・屈折率	
31	5		3. 鏡がつくる像	凹凸面鏡のしくみ	
32	6		4. 音を感じとろう	凹面鏡・凸面鏡・反射の法則	
33	7		音の基本事項	耳の構造・可聴域・波長を横波へ	
34	8		2. 楽器をつくろう ① 管楽器(ギター)	ドビの波長・定常波	
35	9		② 管楽器(空缶笛)	気柱共鳴(閉管)・空缶笛	
36	10		③ 管楽器(リード)	気柱共鳴(開管)・ストロー笛	
37	11		3. 合奏しよう	音色・音の成分・ドッペル効果	
38	12	座学	⑤ 音・光分野まとめ		学習内容整理・まとめ・問題集解答
39	*	考査	2学期中間考査		
40	*	考査	2学期中期考査解答		
41	1	V エネルギー	第IV編 エネルギー分野 ガイダンス 1. 熱エネルギーの正体 ① 热とは何か	仕事・エネルギーの定義 熱・熱運動・熱平衡・絶対温度	エネルギー分野の学習内容・定義・変換
42	2		② 吸まりやすさ		熱・熱運動・熱平衡・絶対温度
43	3		2. 電気エネルギーの変換 ① 電気のする仕事		比熱・熱放射・熱対流・熱伝導
44	4		② ジュール熱		電流・電圧・電力・直列・並列・電力量
45	5		③ モーターの原理		ジュールの法則
46	6		④ 発電機の原理		フレンチ左手法則
47	7		⑤ 変圧器の原理		電磁誘導・整流のしくみ
48	8		3. 太陽エネルギーと原子力 ① 光エネルギーの利用		相互誘導・トランジistorのしくみ
49	9		② 放射線とは?		太陽風のしくみ
50	10		③ 原子力発電とエネルギー		原子の構造・放射線の種類
51	11	視聴覚	(時数合わせ・問題集ヒント等)		歴史・原子力発電のしくみ・制御
52	*	座学	(時数合わせ・問題集ヒント等)		
53	*	座学	(時数合わせ・問題集ヒント等)		
54	*	座学	(時数合わせ・問題集ヒント等)		
55	12	座学	④ 地球一分野まとめ		学習内容整理・まとめ・問題集解答
56	*	考査	2学期期末考査		
57	*	考査	2学期期末考査解答		
58	1	VI 人種類と物理	1. 現代社会と物理 ① 物理学の現在		素粒子物理学・ストークスの法則
59	2		② 現代物理が探究する課題		宇宙誕生最新理論・相対性理論
60	3		3. 物理の研究活動 ガイダンス	2人1組で物理5分野から1つの演示実験を選択	
61	4		2. 科学ととりまく物理 ① 力学・エネルギー論の歴史		古代ギリシャから現代までの歴史
62	5		② 放物学・電気学の歴史		古代ギリシャから現代までの歴史
63	6		3. 物理の研究活動・まとめ	OHPを使った演示実験の発表とレポートの提出	
64	*	考査	3学期期末考査		

※冬休み中の課題=世界の科学者100人のまとめ(各自1人B4にまとめる)

☆一科学者を調べ報告することで自らの生活に探究心が必要であることを考察できたか

使用教科書：東京書籍 物理の世界「IA」

実験・実習内容	評価項目	3A	3B
1 光ファイバーを使った光通信	科学的な根拠に基づいた解釈の討論ができたか	04/11木5	04/12金4
2 ヘルツオメトリと紙テープを使った画像と走査線の考え方	走査線による画像の伝達をモデル化できたか	04/15月4	04/16火3
3 ゴムヘビ石の出入・紙コップスピーカー・紙コップマイクの作製	マイクのしくみを基本的な物理法則を使って説明できるか	04/18木5	04/19金1
4 地界と壁界の変化・コイルとコンデンサーの機能・ゲートウェイシミュレーションの作製	電磁波による情報伝達のしくみを理解できたか	04/22月1	04/22火2
5 ラジオのスピーカとしての特性・花火のソニッケーション	バックスペースを用いる情報処理の経路を論理的に選択できるか	04/24水1	04/23火3
6 数字の並べ替えのアローラ・アローワー波形	バッソウを使って現象のシミュレーションを行なうことができるか	04/25木5	04/30水3
7 地下鉄のランプの裏の避難記録・自作セッターロード	アナログ情報の記録に何が利用されているか調べたか	04/30水6	05/01木1
8 デジタル信号→アローワー波形・光反射器・CDを金属頸部鏡で見る	デジタル情報の記録を物理法則を使って説明できるか	05/09木5	05/07火3
9 おんさ・シーケンス音声のデジタル録音・CD-ROM(皇帝・ワフ)	デジタル・アナログの違いを自分なりに口答表現できるか	05/13月4	05/10金5
10 問題集解答・プリント整理		05/14火5	05/14火3
11		05/17金2	05/17金2
12		05/20月1	05/21火3
13 記録タイマーで自由落体・瞬間の速さと平均の速さ	平均と瞬間の概念を日常的な現象から理解できたか	05/23木5	05/24金5
14 大型エアーフロードで高速直線運動・オッカーゲート	物体運動が起こる条件を現象から推測できたか	05/24金4	05/28火3
15 ポリドックで加速度の測定	等加速度運動が起こる条件を現象から推測できたか	05/27月4	05/29水4
16 上下どちらが切れる？ 椅子のひつぱりあい・動摩擦係数	科学的な根拠に基づいて次に起こる現象を予測できるか	05/29水5	06/03月6
17 力学台車1台2台・重り100g200gで加速度の測定	力・質量・加速度の関係を数的に処理できたか	06/03月4	06/04火3
18 金属球落下とし自由落体下で質点加速度の測定	落下運動の力・質量・加速度の関係を数的に処理できたか	06/06木5	06/07金5
19 球貯とばし・放物運動すだれの作製・ストップ・水平投射	基本的な運動の組み合わせで複雑な運動を表せるか	06/10月4	06/14金1
20 力学台車の衝突で運動量の保存・吹き矢とばし	運動の勢いの表し方を覚え、日常現象と関連できるか	06/13火4	06/24月5
21 弾り子はどこまで上がるか？位置一運動の直接測定	エネルギーの概念を日常的な現象から理解できたか	06/20木5	06/25火3
22 惯性・作用反作用・質量中心・水球・混合	無重力空間で起こる現象を日常と対比させ予測できるか	06/25火5	06/26水5
23		06/28金1	07/02火1
24		07/01月4	
25		07/05金2	07/05金2
26		07/11木3	07/09火3
27 色の3原色・視聴覚室でアローワーを使って3色を合成	人工色は3色ができることが興味を持って観察できたか	08/22木5	08/23金5
28 各種光を自作分光器で観察・グラフライター	自然の光は様々な成分でできていることを理解できたか	08/26月4	08/27火3
29 光の屈折(空気と水)・分光(アローラ)・水波投影器・シャボン玉	物体が色があることを科学的に説明することができるか	08/29木5	08/30金5
30 光学台を使った実験(焦点距離の測定)・色収差	凸レンズの性質を経験から推察することができるか	09/02月4	09/03火3
31 光学台を使った実験(1/a+1/b=1/f・倍率)・牛乳パックカラ	凸レンズの性質を数的に処理できたか	09/05木5	09/06金5
32 スプーンを使った観察・平面鏡に写った自分をカラ撮影	反射の法則を使って鏡の性質を説明することができるか	09/09月4	09/10火3
33 シンと発振器でドレの振動数と波長を測る・可聴域を測る	波動に関する基本事項を理解できたか	09/12木5	09/13金5
34 輪ゴムモーター・光でドレ・アーチ管で定常波・ガラスボトルの噴水	音階と波長の関係を測定器具を使い、数的に処理できたか	09/18水1	09/17火3
35 アローラで共鳴・竹口の共振・リヤスピーカーとドレ	共鳴現象を経験し数的に処理し、自作楽器に応用できたか	09/19木5	09/20金5
36 ストローブづくり・ジャバラホース(閉管)の気柱共鳴・波長の測定	"	09/26木5	09/24火3
37 うなり・音色・波形・倍音・基本音・ドッパーをパソコンソフトで観察	音は様々な成分からできていることを理解できたか	09/30月4	10/01火5
38		10/03木5	10/04金5
39		10/08火2	10/08火2
40		10/14月4	10/11金5
41 太陽電池・ゼネコン・乾電池で電球点灯(144Wの交換)	エネルギーの定義を経験から考察できたか	10/17木5	10/15火3
42 熱練による発火・圧縮発火・振って温度上昇	熱エネルギーへの変換例を経験から考察できたか	10/21月4	10/18金5
43 上熱の測定実験・熱放射・対流・伝導の観察・過熱	様々な日常現象から熱伝導の種類を考察できたか	10/24木5	10/22火3
44 ピンコン・乾電池の電力測定・直列と並列の電力の違い	測定器具を使い数的に処理した後、法則性を見いだせるか	10/25金4	10/24木3
45 電気パン焼き	電気エネルギーへの変換のしくみを考察できたか	10/28月4	10/25金2
46 電気ブランコ・簡易リモートカー・クリップモーターづくり	電離気の関係を実験から法則化し、モーターに応用できたか	11/07木5	10/29火3
47 交流発電器づくり・LEDを使ったブリッジで整流波形の観察	交流と直流の違いと整流のしくみを理解できたか	11/14木4	11/05火3
48 2重コイルを使った相互誘導(交流音楽の伝搬)・電圧相減特性	日常的な交流の利点をあげ、科学的に説明できるか	11/18月4	11/08金5
49 光通信・太陽電池づくり(酸化第1鋼)	光-電気エネルギーの例をあげ、そのしくみを理解できたか	11/21木5	11/19火3
50 ピティ「放射線を見てみよう」・CAIソフト	放射線について正しい知識をもったか	11/25月4	11/22金5
51 ピティ「原子力エネルギーの発見」・CAIソフト	これから原子力エネルギーの利用について考察できたか	11/28木5	11/26火3
52		11/01金5	
53		11/15金5	
54		11/29金5	
55		12/02月4	12/03火3
56		12/10火1	12/10火1
57		12/12木3	12/13金5
58 各種な素粒子・3種のクーパー・レブトン・スーパー・カミオカンデ(ヒテオ)	現在の物理学が探究目標としている事例を理解できたか	12/16月4	12/17火3
59 ヒッグソン・ヒッグス定数の謎・グーグラー候補・特殊・一般	"	12/19木5	12/20金5
60		01/22水6	01/21火3
61 プトライオヌス・アリストテレス・コペルニクス・ケーラー・ガリレオ・ニュートン・アインシュタイン	現在の物理学が変遷を経て成立したことを探る	01/23木5	01/24金5
62 ユーリッド・ピタゴラス・スネル・ニュートン・ホイジンス・ヤング・フレネル・アインシュタイン	"	01/27月4	01/28火3
63	興味を持った発表・報告を通じ探究的活動ができたか	01/30木5	01/31金5
64	自分の中で変化したものには何か考察できたか	02/04火1	02/04火1

実践報告

手作りソーラークッカーとその教材化

— 目玉焼きを食べてエネルギー問題を考える —

北海道別海高等学校 青木 弘典

はじめに

平成8年7月、第15期中央教育審議会より第1次答申がなされ、今後における教育の在り方として「ゆとり」の中で「生きる力」をはぐくんでいくことの重要性が提起された。

また昨今いろいろな場面で青少年の理科離れ・科学離れが指摘され、高校現場においても現状を危惧する声が年々増えつつある。さらに大気の温暖化やオゾン層の破壊等、地球規模での環境問題がエネルギー問題と連動した形で、人類共通の今日的課題として深刻さの度合いを強めている。

このような背景の中で、人類にとって最も古く一番身近な、しかも環境に優しい太陽エネルギーを、もっと授業に積極的に利用できないであろうか。自作のソーラークッカー（太陽熱調理器）で実際に目玉焼きやご飯を炊きあげ、自然の素晴らしさや科学の面白さを実感させ、あわせて環境やエネルギーに関する課題を自分の生き方の問題にまで深めることができればと考えている。

今回、手軽にできる3つのソーラークッカーの製作法と、授業での実践をまとめてみた。

1 教材化に向けての背景

(1) 「理科離れ」

(ア) 本校の理科選択者数の推移(歴的考察)

平成5年度より単位制高校として、一人ひとりの生徒の興味・関心等を第一に考え、大幅な選択制を取り入れた。理科と社会の計8科目の中から2年間で4科目を選択する。2学年以降理科を1科目も選択しないことも、また物・化・生・地の4科目すべてを選択することも可能とした。その主旨が生徒に浸透するに従い、物理選択者は減少した。希望進路や、教師側の問題

もあるので一概には言えないが、今の子供達の理科や社会のそれぞれの科目に対する興味や関心の度合いがある程度反映しているようだ。

学年	科 目	5 年度	6 年度
2 年	世 界 史	85	78
	地 理	60	70
	化 学	54	47
	地 学	59	75
3 年	日 本 史	93	67
	倫・政	64	100
	物 理	25	9
	生 物	43	82

(1学年：理科I必履修)

平成7年度より特色ある高校づくり（環境教育）を推進し、3類型4コース制を導入し、2学年は理科だけの教科内選択制を導入した。

学年	科 目	7 年度
2 年	物 I B	28
	生 I B	47
	地 I B	54
3 年	日 本 史	63
	倫・政	96
	物 理	12
	生 物	95

(1学年：化学IB必履修)

平成8年度より、3学年の発展科目は、文理系（進学希望）からの選択、IIの科目については理系コースからの選択とした。

学年	科 目	8年度
2 年	物 I B	39
	生 I B	43
	地 I B	47
3 年	物 発	5
	化 発	0
	生 発	13
	物 II	15
	化 II	5
	生 II	8

(1学年: 化学I B必履修)

平成9年度からは、発展科目を、1, 2年で学んだ科学的な知識や考え方の理解を深める(帰納的理解と演繹的理解の深化)ために、日常生活との関連や、科学技術と人間生活とのかかわりなどを中心とした、Aの科目に変更した。

学年	科 目	9年度
2 年	物 I B	24
	生 I B	44
	地 I B	52
3 年	物 I A	13
	化 I A	0
	生 I A	14
	物 II	20
	化 II	0
	生 II	9

ここ3年間の傾向として、物理離れより化学離れが顕著となってきた。1学年で化学はこりごりという生徒が多い。生物や物理においては野外観察(根室市春国岱)やエネルギー・環境教育等、体験的な学習を積極的に取り入れてきた成果が少しづつ選択者の数に反映されてきたようにも見える。

(1) 「理科離れ」の質的問題

昨今、青少年の「科学技術離れ」や「理科離れ」といった指摘がある。…、少なくとも小・

中学校の段階では「理科」に対する興味や関心が、低下しているという「理科離れ」といった現象は明確でなく、むしろ、子供たちが学問的あるいは知的な関心をもって問題を真剣に考える姿勢が希薄になっているという「知離れ」とといった現象が生じてきており、それが「理科離れ」として指摘されているのではないかと考えた。…

また、「知離れ」といった現象を踏まえ、我々は可塑性に富んだ子供たちが、どの分野に限らず、学ぶことに興味をもち、様々な体験をする中で、未知のものを知る感動を味わったり、自由な発想をもって様々なことを構想しつつ、知的好奇心を高めていくことが重要であると考える。

(第15期中教審第1次答申 第4章科学技術の発展と教育)

(2) エネルギー問題

クリーンでしかも再生可能な新エネルギーの開発をめざして、我が国は1974年に「サンシャイン計画」をスタートさせた。そして1993年からは、新エネルギー・省エネルギー・地球環境に関する研究開発体制を一本化させた「ニューサンシャイン計画」がスタートしている。さらに1994年12月には、2010年に向けての「新エネルギー導入大綱」を閣議決定し、エネルギー安定供給の確保、地球環境問題への対応の観点から、資源制約が少なく環境に与える影響の小さい新エネルギーの導入を促進するための基本方針がしめされた。化石エネルギーに代わる新エネルギー源の開発に真剣に取り組み、さらに、より一層のエネルギーの効率的な利用を図る必要性が強調されている。現代のエネルギーの主役である化石エネルギーは、いずれは枯渇する資源(予想される可採年数→石油:43年、石炭:240年、天然ガス:64年、※ウラン:74年)であるという事実に基づき、時間と空間の視点で、この有限性をしっかりと認識する必要がある。後期中等教育において、新エネルギーとして注目されている太陽エネルギーについての学習を深める意味は大きい。

(3) 環境問題

社会経済活動の拡大や人口の増大は環境の持つ復元能力を超える、地球温暖化、オゾン層の破壊、砂漠化、熱帯雨林の減少、野生生物種の減少、酸性雨問題など人類の生存基盤である地球環境そのものに取り返しのつかない影響を及ぼすおそれを感じさせている。こうした近年における地球環境問題の深刻化は、我々に改めて地球の有限性について気付かせると同時に、大量生産・大量消費・大量廃棄型の現代文明と生活様式の在り方に問い合わせを投げかけている。…我が国の社会経済システムの在り方そのものや生活様式を、省資源、省エネルギー、リサイクルを図ることなどによって、環境への負荷が少ないものへと変革することが重要である。そして、今、一人一人が「宇宙船地球号」の乗組員の一人であるという全地球的な視野を持つとともに、人間と環境とのかかわりについて理解を深め、自然と共生し、いかに身近なところから、具体的な行動を進めるかが極めて重要な課題となっている。このように環境問題は、極めて幅の広い問題であり、したがって、環境教育も、その対象は身近な身の回りの問題から地球規模の問題までの広がりを持ち、その学習領域も自然科学・社会科学の分野から一人一人の感性や心の問題にまで及んでいる。また、ある意味で、一人一人の子供たちの生き方にもかかわる課題である。

（第15期中教審第1次答申 第5章環境問題と教育）

(4) 学習指導要領改訂の要点

国民として必要とされる基礎的・基本的な内容を重視し、個性を生かす教育をいっそう充実する。このため、高等学校理科においては、中学校における選択履修の幅の拡大や、多様化した生徒の実態等に配慮し、生徒の特性等に応じられるよう選択科目を一層増やすものとする。

高等学校理科の内容は、昭和30年代以降、学問としての科学の体系を中心として構成されてきたが、そのことがややもすると理科は日常生活から遊離したものという印象を与え、生徒の

理科離れという問題を起こしてきた。このため、日常生活とのかかわりや科学技術の応用にかかる側面も重視する。

理科教育を通して社会の変化に主体的に対応できる能力の育成や創造性の基礎を培い、自ら学ぶ意欲を高めるようにする。このため、主体的な探究活動を重視し、思考力、判断力、表現力などの能力を育成するとともに、情報活用能力を身に付けさせるようにする。

2 太陽エネルギーの特徴

太陽エネルギーは現在、21世紀に向けて最も期待されている新エネルギーの一つである。放出するエネルギーのうちの22億分の1が地球に降り注いでいると言われている。地球上に降り注ぐ1時間分の太陽エネルギーは、人類が1年間に使う全エネルギーに匹敵するほど膨大なものである。太陽エネルギーの特徴としては(1)環境汚染の心配がない(2)太陽がある限り永久に利用できる(3)地球上いたる所に広く分布している(4)総量が大きい(5)輸送費がかからない、という長所がある反面、(1)エネルギー密度が小さい(2)季節・時刻・天候などによってエネルギー強度が著しく変動する、という欠点がある。

効率的なソーラークッカーの製作にあたっては、この日射のもつ2つの欠点〈希薄さ〉と〈不確実さ〉をどう乗り越えるかがポイントとなる。

3 ソーラークッカーの原理と製作

(1) 太陽炉の利用（反射鏡タイプ）

【原理】

チリも積もれば山となる。希薄な太陽エネルギーを面積でカバーしようとするものである。太陽光線をパラボラ型の反射鏡によって反射させ、収束光で鍋の底を直接照射する。パラボロイド鏡がよいことは、紀元前230年ころ、ギリシャの数学者ドシテオスによって証明された。完全な鏡を作ると太陽の表面温度6000℃になるとも言われている。この鏡を太陽炉という。目玉焼きや焼き肉に最適。

[製作]

台

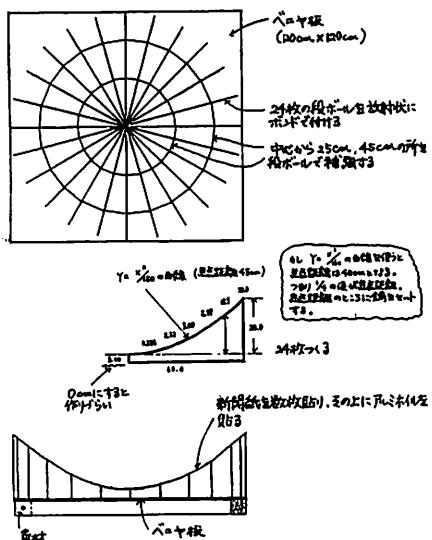
- ベニア板と角材で丈夫な台をつくる。
(120×120×4.9cm)
- 台の上に半径25cm, 45cm, 60cm の円を書き、24等分する。

放物面の支え板

- $Y = X^2 / 180$ の型紙をつくる。(焦点距離45cm)
- 型紙に合わせて段ボールを切り取り支え板をつくる。(24枚)
- 台の線に合わせて支え板を立て、木工ボンドとガムテープで固定する。
- 支え板と支え板との間に中心から25cm(高さ3.5cm), 45cm(高さ11.3cm)のところに段ボールを立て補強する。

放物面鏡

- 新聞紙を支え板の上にていねいに貼付ける。
- アルミホイルを新聞紙の上に貼る。



(2) 集熱箱の利用 (熱箱タイプ)

[原理]

気まぐれな太陽エネルギーを蓄積して利用しようという考え方である。太陽の光(熱)をつかまえるために温室効果を利用する。太陽光線を断熱した箱内に導いて、そこに置かれた鍋を、

箱の内部の温度上昇によって加熱調理するものである。この原理を利用した集熱箱の内側では水を沸騰させるほど温度を上げることができる。ガラスは太陽光線を箱の中に通すが、箱内の赤外線は外へ出さない。こうしてつねに箱の中があたたまっている。蓄熱と保温の機能をもつため実用性が大きい。使用中の風や日射中断の影響も比較的小さい。ゆで卵やカレーに適している。

[製作]

外壁

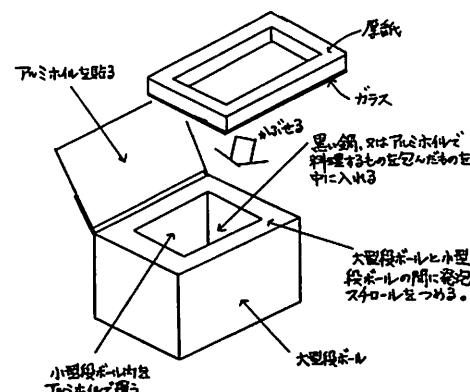
- カッターで大型段ボール箱の上蓋を切り取る。(大きな1片は切り取らないで残す)
- 大型段ボール箱の内側に発泡スチロールを敷き詰めさらにその内側に小型段ボール箱を置く。(二重底と二重壁の段ボール箱ができる)
- 小型段ボールの上蓋は切り取らずに外に開いて折り返し、集熱箱全体を補強するようにガムテープで固定する。
- 小型段ボール箱の内側にアルミホイルの内張りをする。

ガラス蓋

- 段ボール板(ガラスが落ちない大きさ)の中央を切り取ってガラスを張付ける。

反射鏡

- 残した大型段ボール箱の1片に段ボール板をはり、アルミホイルを糊付けする。



(3) 組合せ型ソーラークッカーの利用

[原理]

太陽炉と集熱箱を組み合わせたソーラークッカーである。反射鏡で光を集め集熱箱で蓄熱しようとするものである。ご飯を炊きあげることができる。

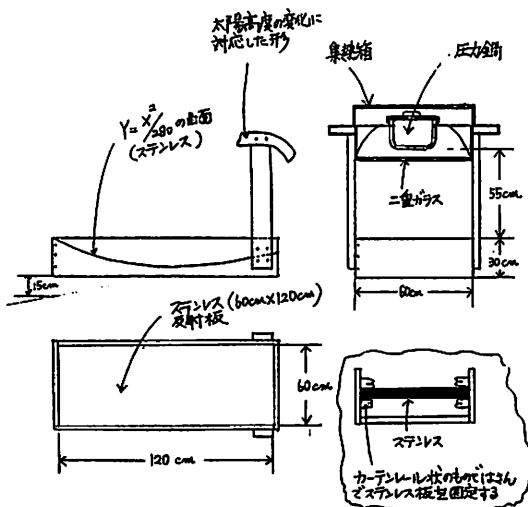
[製作]

反射鏡

収束光を得るために $Y = X^2 / 280$ で示される 1 枚の板を単純に曲げただけの曲面を用いる（放物線以外の残りの 2 辺は直線となる）。線状焦点となるがパラボラ型に比べて集熱箱による反射鏡への入射光の遮りを防ぎやすい上に、工作が簡単であるという利点がある。反射鏡の材料として表面の反射率の高いステンレス板を使用する。また実用性を高めるため太陽高度の変化に対応できるようにする。

受光部

受光部の集熱箱は上面と側面を断熱すると同時に内側をステンレス板で覆い、対流による熱損失を防ぐため下面是二重ガラス張りとする。ここから収束光が入射する。反射鏡で反射した光は線状に収束するため集熱箱の上面の内側の両サイドの反射板の取付けは放物面とし、この部分の光も中央に集まるようとする。炊飯部分の容器には圧力鍋を用いる。



4 授業での実践

(1) 目玉焼きを焼こう。

ソーラークッカーの原理について簡単な説明をしながら、3つの道具を使い、目玉焼きの実演をした。生徒は組合せ型のソーラークッカーを不思議そうな目で興味深く見ていた。焼けないと思っていた生徒が多く、実際に焼けた目玉焼きを食べて太陽の味に感激していた。

(2) 太陽エネルギーの特徴とソーラークッカーの原理

太陽エネルギーの特徴とソーラークッカーの原理についてプリントを使い説明した。特に長所について、新エネルギーとして期待されている側面を強調した。興味付けの観点から感想を書かせた。

(3) エネルギーについて

現代のエネルギー情勢、現代社会を支えるエネルギー、新エネルギーへの取り組みについて、「ENERUGY KinKonKan（エネルギー環境教育情報センター）」を配布し、エネルギー全般について説明を加えた。特に化石エネルギーの有限性と環境に与える影響について強調した。

(4) 地球規模になった環境問題

前記の「ENERUGY KinKonKan」を利用し9項目の環境問題について説明を加えた。環境問題は、私たちのエネルギー大量消費が、大きな原因の一つであること、また人類共通の課題であり、私たち一人ひとりの問題でもあることを強調した。

(5) ご飯を炊こう

3合の米を炊飯しながら、集熱箱及び圧力鍋内の温度変化を測定した。デジタル温度計が示す客観的な数値に圧倒されているようであった。温度が上昇するにつれて、太陽エネルギーの偉大さをあらためて肌で感じたようだ。100°Cを超えて、見事に炊飯に成功。

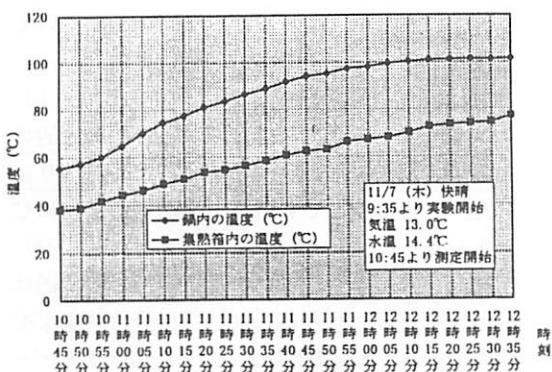
(6) 夢のソーラークッカーを設計しよう

発展的な学習として、創造性を培う観点から、今まで学習してきた知識や考え方をもとにして、夢のソーラークッカーを描かせた。大型で宇宙空間に設置する地球的なものから、身近な秋刀魚焼きまで、さまざまな夢が描かれていた。

(7) ビデオ学習 (まとめ)

エネルギー環境教育情報センター企画「ハイスクール today」を見せ、今後自分が生活していく中で、エネルギー問題や環境問題をどのように考えていくべきか、まとめさせた。

5 3合の米を炊飯中の温度変化 (組合せ型ソーラークッカー使用)



[参考]

今回の実験では、鍋内の温度は約150分で100°Cに達し、その後継続的にその温度を維持した。その時箱内（上部）の温度は約69°Cになることがわかった。箱内の温度から鍋内の温度の推測が可能となり活用できそうである。また別の実験結果と比較してみると、気温（初期値）にはほとんど影響されないことが推測される。

6 生徒の感想文

(1) 動機付け（興味・関心）

実験をする前は、こんなでできるかなと思ったけど、温度が上がるにつれて煙がなべから出てきて、見ると目玉焼きのしろみの所が固まっていたので、すごくびっくりした。今までにも太陽のエネルギーで動くものとかあって、それはあたりまえのことだと思ってたけど、昨日の実験を見てあらためて、自然の力はすごいんだなと思った。

(H. S)

太陽エネルギーなんて普段は全く気にして生活しているけれど、きのうは「太陽エネル

ギーはスゴイ」と思いました。この太陽エネルギーをもっともっと他のものに活用できたらいいと思います。今は、太陽エネルギーでお湯を沸かしたり、車を動かすソーラーカーなどがありますが、いろいろな物にこのエネルギーを使うと、地球のためにもいいと思います。この実験を通して「太陽エネルギーは目立たないけどスゴイ」ということが分かりました。

(K. S)

私が一番印象に残ったのは、集熱箱です。気まぐれな太陽エネルギーを蓄積して利用すると、集熱箱の内側では、水を沸騰させるほど温度を上げることができると知って驚いた。ガラスやそのほかの物質が熱をつかまえることを温室効果ということを読んでみたら、地球でもこのようなことが起こっているのだと思って、とても印象づけられた。

(Y. Y)

先生が「目玉焼きをつくる」と言ったときは「えっ？」って感じがしたけど、ステンレス板のところに手をかざしてみると本当に熱くてすごく驚いた。今ソーラー電池を利用して車を走らせたり、家の屋根につけたりしてるので、そうゆうのってすごくお金がかかって私には無縁のものって気がしていた。でも、今回の実験を通して、身近で手軽なもの…っていうわけにはいかないけど、自分が思っていたよりもずっと身近なものに感じられた。普段はただ天気とか、日焼けを気にしたりするだけの存在だった太陽だけど、もっと私たちにとって身近な存在なのかも知れない。もっと私たちの生活を豊かにしてくれる存在なのかも知れない。今まで遠くで私たちを照らしているだけだった太陽が、今回の実験で、ずっと身近に感じられた。私ももう少し勉強して、太陽の力を活用していきたいと思う。

(T. M)

いがいとかんたんに熱をあつめる道具ができるようになりました。この実験は勉強にもなり楽しくできてよかったです。

(T. M)

太陽エネルギーを利用するというとすごい事に感じるけど、よく考えたら最も自然なことで、木や草は水と太陽で大きくなるみたいに人間も自然の力を借りて生きていくのが一番だと思い

ました。そういうことが「共存」なんだと思います。身の周りにある、ダンボールやペニア、発泡スチロールなどででき、水の温度が100℃以上に上がることに驚きました。早く私たちの日常の生活に取り入れられるようになるといいと思います。
(M. H)

先生がダンボールとアルミホイルで作った太陽炉を見て自分でも作ってみたいと思いました。やはり人の実験を見ているよりも自分で実際にやってみたいと思いました。今まででは太陽の熱で卵を焼くなんて思いもしなかったのに、自分の太陽炉で急に卵を焼いてみたりました。それに、もっと大きい太陽炉を作って、フロをわかして入ってみたいなど、1年生のときにゆで卵を作っているのを見ていて考えていました。たぶんすごく気持ちがいいと思います。

(H. S)

この実験をしてみて太陽エネルギーの偉大さを知りました。あれだけ道具でゆで卵や目玉焼きができるなんてとても驚きました。この太陽エネルギーをもっと有効利用できるようになれば地球にあるさまざまな環境問題もきっとよい方向に向かうだろうと思いました。
(M. S)

先生がつくったプリントを読んでみたけれど太陽常数だとか $Y=X^2/280$ なんかは全然わからない。とにかく、「チリも積もれば山となる」という事はわかった。太陽の光なんかいつも浴びてるから、それを集めてどうこうしようなんて思ったことがない。集めたところであんなに温度が上がるなんて思ってもいなかった。おどろいた。最初は「目玉焼きなんてできないよ」と思っていたけど、温度がどんどん上がっていくうちに「焼けるかも」と思えてきた。そして焼けた。焼き肉もできると聞いてまたビックリした。たぶん先生が南の島かどこかに独りぼっちになっても、あの道具と材料さえあれば、生きて行く事ができると思います。「自然」にはたくさんの秘密がかくされている事に気がつきました。その秘密を見つける事ができる頭のいい人になれたらいいなと思いました。

(T. Y)

(2) まとめ（問題意識）

環境問題やエネルギー問題は何がよいか悪いかを含め、一人一人が現状を理解することが大切だと思う。そして一人一人にできることは限られているが、まず身近なことをしっかりとやっていきたいと思う。
(Y. T)

人の生活のしかたを変えないとダメだと思います。今の生活は大量生産、大量消費、大量廃棄でエネルギーがかかりすぎています。そして世界中の人々が、エネルギー環境問題についての教育をうけないとダメだと思います。

(M. T)

エネルギーの授業になってから、私も生活の中のエネルギーについても考えるようになりました。そして少しでも電気を節約するようになりました。
(M. H)

一人一人が自覚していかないと、この問題はいつまでたっても変わらない。自分は将来家を建てるとき、太陽電池などクリーンなエネルギーを使い、少しでもエネルギーを大切にしていきたいです。
(M. N)

今までそんなに考えたことがなかったけれど、私はかなりエネルギーのムダづかいをしてきてると思う。省エネしようと思った。
(R. K)

砂漠化現象などは私達の町では危機感など感じませんが、自然破壊の問題は、にぶい私にでもわかる程です。私の家の周りも、ちょっと前までは林だらけだったのに、今ではもう、どんどん木が切られて家が建っています。私の家や庭なども、昔は、林というより森だったのだろうと思うと家の中をドタバタ走るのが気がひけてしまいます。壁・床・家具もぜんぶ「木」でできているということも改めて気付くことができました。今回の授業を通じて「自然の大切さ」を実感することができました。
(M. Y)

この授業をやってから、石油ストーブに給油するとき、なんだか悪いことでもしているような気分になる。だけど給油しないとこの寒さはしのげない。石油が残り少いなら使わなければいいなんて単純に考えてしまったりもするけれど、石油ストーブの暖かさは何にも変えがたいものがある。でも、こんな私でも、石油の節

約くらいはできるはず。少しくらいの寒さは厚着で切り抜けて、部屋が暖まつたらストーブを消して、そんなことを一人ひとりが少しづづ繰り返していくべきだ。少しは役に立つだろうと思う。それから、子供たちは、最近、エネルギーと環境について学校で学んでいるから、そういう事に取り組みやすいと思うが、大人は以外とわかっていないのではないかと思う。

(M. S)

僕が中学校に上がるときは、別海町も省エネルギーをしようとしていたと思う。中1の頃は、給食のはしは、なるべく割りばしは使わずぬりばしを使おうといっていたが、今ではそんなことを言っている人も先生もいない。小学校の頃は、牛乳パックを毎日飲んだら水で洗ってかわかして、ハサミで切ってひらいて一つにまとめて再利用していたが、今ではたぶんやっていない。家でも前までは、上に書いたようなことをしていたけど、最近では全くしなくなってしまった。その背景には「めんどくさい」というのがあったと思うが、最近は日本も再利用、再利用とさけばなくなってしまっている。僕も含めてだが、だんだん再利用、省エネルギーに関心がなくなってしまっているのではないか。日本人は1番大切なことを忘れかけているように思う。

(H. S)

[考察]

意外性の中に驚きと感動があり、自然の偉大さや素晴らしさを実感させる上で有効であるばかりでなく、環境やエネルギー問題を考えていく上の興味や関心を高める上でも役立っていくことが感想文からうかがえる。まとめの中には、生活様式を環境への負荷が少ないものへと変革する、一人ひとりが全地球的な視野を持つ、人間と環境との関わりについて理解を深める、身近なところから具体的な行動を進めるといった大切な視点を含んだものも多かった。この授業を通して、一人ひとりの子供達の生き方・世界観のレベルにどこまで迫ることができたかは不明だが、今後の人生において、環境やエネルギーについて問題意識を持って生活していくという生徒の前向きの姿勢に期待をしたいと思う。

一人ひとりのもつ感性の豊かさには改めて驚かされる。

今後に向けて

平成5年8月、青少年のための科学の祭典が北海道で産声をあげ、それと連動する形で、理科教育センターの指導をいただきながら、太陽エネルギーを積極的に利用したソーラークッカーの研究開発と教材化を進めてきた。収束光を利用した太陽炉に続き、温室効果を利用した集熱箱、そして第4回となった昨年度は、2つを組み合わせた効率的なソーラークッカーの製作を試み、祭典会場で目玉焼きと炊飯を実演した。また、このテーマが、昨年度のホクサイテック財団(財団法人北海道科学・産業技術振興財団)の支援事業に採択され、現在、研究を進めている。実用化にあたっては、いかに安価に製作できるか、いかに効率よくできるか、どれだけ小型化できるか、どれだけ取り扱いが簡単か等の課題がある。太陽の熱エネルギーを積極的に利用したソーラークッカーは、環境問題やエネルギー問題を再認識する上で、生きた教材として、大きなインパクトを与えるばかりでなく、理科離れ・科学離れが憂慮されている今日、自然の偉大さ、素晴らしさを実感させる上でも大いに利用できるのではないか。また、今年度は、水の温度上昇による熱効率の計算、太陽高度と温度上昇の関係、外気温や湿度との関係、目玉焼き・炊飯・ゆで卵など材料による温度変化の違い等実験データをもとにした発展的な学習や、物理Ⅱの課題研究における製作課題(共同学習)としての活用を計画中である。今後も、人類共通の今日的課題である、環境問題やエネルギー問題を念頭において、太陽エネルギーの積極的な利用についての研究を継続していきたい。

参考文献

- 「エネルギー '94」
通商産業省編 電力新報社
「中央教育審議会第15期1次答申」
週刊教育資料
「高等学校学習指導要領解説」
文部省 実教出版
「太陽エネルギー読本」
日本太陽エネルギー学会編 オーム社
「ソーラークッカー」
クリーンエネルギー利用研究会編パワーソ
「ENERUGY KinKonKan」
エネルギー環境教育情報センター
「科学発見シリーズ⑯太陽エネルギーって何?」
竹内均監訳 教育社
「エネルギー環境教育ガイドブック」
エネルギー環境教育情報センター
「科学技術ジャーナル12」
科学技術広報財団



実践報告

ゲーム感覚で電気の体験学習をすすめる教材の開発

ブザーを鳴らす不思議なスイッチ

釧路市立興津小学校 大平昌則

研究目的

- 理科における体験的学習の機会を設ける
- 電気の学習を馴染みやすいものにする
- 学習にゲーム的要素を加え、楽しく学べるものにする
- 子どもの意欲を喚起する教材の開発をする
- 『科学の祭典』など理科学習普及活動の場で活用し、理科に対する理解を深める

研究方法・計画

- 小学校3学年理科における学習指導要領の理解と具現化への検討
- 電気を通しやすいものと、通しにくいものとを調べる用具の設計・制作
- 日常生活の中から、電気を通しやすいものと通しにくいものとを調べるのに適したもの収集
- 製作した器具を用いた学習指導展開の工夫
- 教室や科学の祭典での実践と評価・改善

研究実践

1 『科学の祭典』使用テキスト

やってみよう

スイッチを押すとブッパーと鳴るブザー。このブザーを使って遊んでみましょう。まずは、銅でできた迷路に挑戦です。先が輪になっている銅の棒を迷路に触れさせないように上手にくぐらせてみましょう。棒が迷路に触れるとスイッチが入り、ブッパーと音が鳴ります。音を鳴らさないようがんばりましょう！

次は、レールの上を玉転がします。レールの上を右に左に玉が転がります。するとあら不思議。ある地点を通過する時に必ずブザーが鳴ります。

さあ、なぜなのか遊びながら考えてみよう！

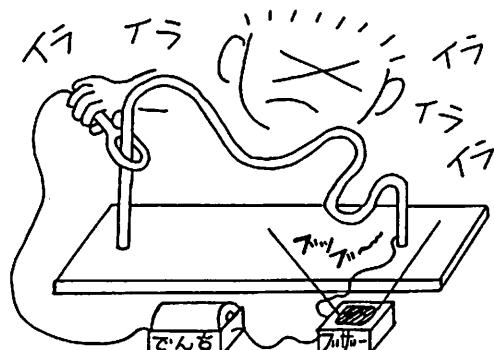
用意するもの

ブザー、銅管、乾電池、板、鉄製あるいは銅製の玉、電池ホルダー、導線

作り方

- 銅管などを利用して、自分で考えた好きな迷路やレールを作ります。この時、板材などを使って迷路やレールを固定しましょう。
- 電池ホルダーに導線を取り付けます。
- 電池ホルダーから出ている導線の片方をブザーに取り付け、もう一方を出来上がった迷路やレールの片方に取り付けます。④ ブザーのあいている方の端子と迷路用の棒やレールのもう一方とを導線でつなぎます。

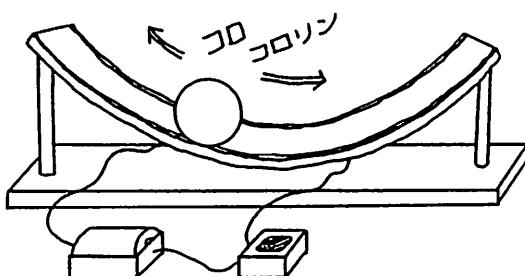
これで出来上がりです。電池ホルダーに電池をセットして、さっそくレッツ　トライ！！



[図1 電撃イライラ棒]

考えてみよう

- ① どんな時にブザーが鳴るのか、考えてみよう。
- ② スイッチのしくみを使ったほかの遊びができるいか考えてみよう。



〔図2 コロリンスイッチ〕

仕組みについての考え方

ブザーに電気が流れると音が鳴ります。音が鳴っている時の回路を考えてみると、1つの輪になっていることがわかりますね。この輪が途中で切れている時には、音が鳴りませんね。

2 実践の内容

『科学の祭典』に上記の2種類の手作り実験器具を持ち込み、参加している子ども達に直に触れ・遊び・考えてもらい、その反応を観察した。以下にその様子を記述する。

電撃イライラ棒

『ウンナンの炎のチャレンジャー』でお馴染みの電撃イライラ棒。その知名度は予想よりも高く、意欲的に挑戦しに来る親子が多くみられた。銅管は、石油ストーブ用に金物店などで販売されているものを使用。手で自由な形に容易に変化させられるため、チャレンジャーの年齢や発達段階に合わせて対応することができた。始めは、詳しい説明はなしにテレビを真似てまずは自分でもやってみるという活動をさせた。その後、「なぜ棒が銅管に触れるとブザーが鳴るのか?」という投げ掛けをすることとした。ここから電気の学習が始まる。図1と実際に試

作したものとは若干違い、試作したものはその配線の一部が隠れるように銅管を固定している板の下でブザーと銅管とを導線でつないでおくようにした。ブザーが鳴ったという事実から子ども達に見えない部分の導線の存在に気づいてほしかったのである。銅管も導線の役割を果たし、全体として回路が輪になっていることをここで知らせた。小学生段階ではコードや導線は電気を通すはたらきをするという知識はあるが銅管のようななかたまりが同じはたらきをするという発想には、すぐには到達しなかったようである。コードと金属、線と塊は、子どもの頭の中では1つのものとはなっていないというのが実態のようである。

コロリンスイッチ

レールの両側一部にアルミ泡を貼り付け、その上を鉄球が通過するとスイッチが入るように設計した。NHKでアメリカの理科教育を紹介していたのを見て真似たものである。見た目では、鉄球が転がると何故かブザーが鳴るということになり、子どもから不思議を引き出しやすいものとなった。レールのどの部分を通過したとき音が鳴るのか、レールのその部分には何があるのかをよく観察されることにより、徐々に気づきがみられていった。ある程度仕組みがわかったところで配線を手でなぞらせ、やはり回路が輪になっていることを確認した。次に鉄球以外に切れた輪をつなぐものが身の回りにないのか探させた。時計の金属バンド、メガネのフレーム、金属製ファスナー、鍵、お金、キーホルダーなど意外と身につけているものあるいは身の回りのものに電気を通すものが多くあることに気づけていった。また、各種硬貨を並べ、電気を通してしそうなものを選ばせてみると、意外と大人でも多く間違えることがわかった。

硬貨はすべて電気を通す。金属は電気を通すんだと覚えておくことを最後に確認して学習を終えた。

調査報告 理科に関するアンケート調査結果より

～理科嫌い・理科離れの現状～

室蘭市立成徳中学校教諭 太田 博之

【要約】

本研究は室蘭市教育研究所において平成8年度調査研究部の調査として「理科嫌い・理科離れの現状を探る」と題して、室蘭市内の小学校・中学校・高等学校の児童生徒を対象として、「理科に関するアンケート」調査を実施した結果をまとめたものである。

本調査のアンケート集計結果から児童生徒の「理科嫌い・理科離れ」の現状と児童生徒が「理科嫌い・理科離れ」の学年の推移における状況が明らかとなった。特に、「物理」に対する児童生徒の反応は、調査の予測をはるかに超えるものであり、「理科」とりわけ「物理」に関する対応の必要性が急務であることを痛感させられる結果となった。また、児童生徒の理科授業における「感動的体験」の有無と理科に対する興味関心には相関があることも明らかになった。

この調査結果から「理科嫌い・理科離れ」の現状ばかりではなく、現在教師に科せられている理科教育の問題点と改善の端緒も見いだすことができた。

(キーワード) 理科嫌い、理科離れ、授業形態、授業における感動体験、教育機器の活用

1 はじめに

学習指導要領により「新しい学力観」が提示され、今日各学校においては、その教育の具現化をめざした教育課程が推進されているところである。特に、学校教育には社会の変化に主体的に対応し、生涯学習社会の一員としての児童生徒の育成がその責務として期待されている。そのため、子どもたちに自分の生き方や、ものの見方・考え方などの指針を持たせ、子どもたちがその個性や創造性を発揮できる資質や能力の育成が求められている。しかしながら、子どもたちの『創造性』を養うべき『理科』に対する興味・関心が、希薄になりつつある現状が見られるようになっている。つまり、『理科嫌い』『理科離れ』などの言葉で表される今日の現状が出てきている。本来、子どもたちは理科は好きな教科であり、興味・関心が高いものであるとされてきた教科である。しかし、高等学校では、特に「物理」を選択するものが少ない現状、そして、大学等では「理工系離れ」といわれる現状があり、高等学校や大学などでは、それぞれの段階で取り組みがなされているが、その傾

向は解消されていない。

小・中学校でも、高学年にいくほど理科に対する興味・関心が希薄になりつつある現状にあるが、このような関心の度合いの推移は何が原因か、その実態を明らかにし、小学校・中学校的指導計画や授業改善の資料としたい。

2 調査の目的

本研究は、現在いわれている『理科嫌い・理科離れ』の原因はどこにあるのかを、児童生徒に対するアンケートを通じ理科教育の現状を探ることが目的である。このアンケートは小学校、中学校および高等学校の児童生徒を対象として、どの段階で理科に対する興味・関心がどのように変化していくか、また、その原因はどこにあるのかを探っていくことが目的である。アンケートの回答を通して、生徒の理科に対する気持ちを知ることにより、実際に指導している教師の理科教育に対する取り組み方の参考になればと考えた。

3 調査対象及び調査内容

調査対象は、室蘭市内の小学校6年生(21校)、中学校3年生(11校)、高等学校1年生(7校)の児童生徒である。調査人数は、表1のように合計2171人となった。

表1 調査対象人数(人)

学校種別	男子	女子	合計
小学校	505	494	999
中学校	343	333	676
高等学校	257	239	496
合計	1,105	1,066	2,171

アンケートの内容は、小学校用と中学校・高等学校用では漢字等の使用及び単元の内容が異なっているだけで、同一の内容で質問した。質問内容は次の通りである。

- 問1 あなたの好きな教科を3つ選んで下さい。
- 問2 あなたは、理科が好きですか、嫌いですか。
- 問3 あなたが理科嫌いな理由は何ですか。(問2で嫌いと答えた人だけ)
- 問4 あなたが理科が嫌いになった時期はいつですか。
- 問5 理科の4分野(化学、物理、生物、地学)についての好き嫌い。
- 問6 教科書の単元で、むつかしいまたはわかりにくい単元は何ですか。
- 問7 あなたは理科の授業の中で、感動したことはありますか。
- 問8 文章記述(感動体験について書く。)
- 問9 理科の授業を受けている気持ちは何ですか。
- 問10 科学施設や植物採集科学雑誌の好き嫌い。
- 問11 あなたが望む理科の授業は何ですか。

4 調査結果と分析

問1 あなたの好きな教科を3つ選んでください。

小学校は8科目、中学校・高等学校では9科目から好きな3科目を選択させた。好きな教科の上位5科目は表2の結果になった。どの学校段階でも、保健体育を第1位で選択しているが、理科は小学校・中学校では第3位、高等学校でも第4位に位置していることがわかる。また、図1のグラフ「好きな教科の推移」から、学年が進むにつれて児童生徒の好きな教科に分散化が見られるようになるが、これは児童生徒の成長とともに本人の適性は發揮されるためと考えられる。

表2 好きな教科(3科目選択)(%)

順位	小学校	中学校	高等学校
1	保育(67.2)	保育(51.0)	保育(45.0)
2	図工(47.8)	美術(37.8)	社会(36.7)
3	理科(37.0)	理科(37.1)	数学(33.8)
4	音楽(30.8)	音楽(32.3)	理科(33.0)
5	技家(30.1)	数学(29.7)	音楽(32.0)

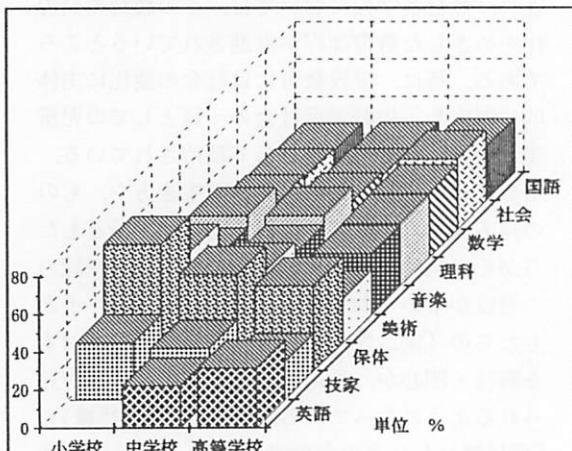


図1 好きな教科の推移

問2 あなたは理科が好きですか、嫌いですか

この質問では、教科を理科に絞って、理科が好きか嫌いかを答えてもらった。その結果、「理科が嫌い」と答えた児童生徒は、小学校では男女合わせて29.8%、中学校では37.0%、高

表3 理科嫌いの比率(%)

学校種別	男子	女子	合計
小学校	22.8	37.0	29.8
中学校	30.0	44.1	37.0
高等学校	41.2	60.3	50.4
調査対象内 の合計	29.3	44.5	36.8

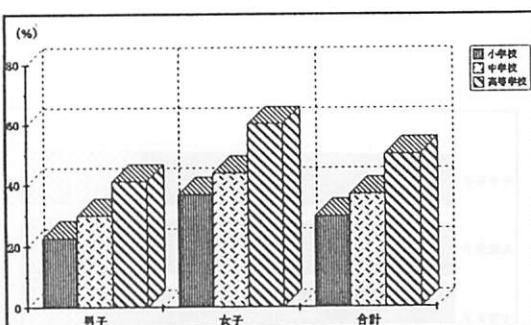


図2 理科が嫌い

等学校では50.4%となっていた。このように、理科が嫌いを答える児童生徒の比率は学年が進むにつれて高くなっている傾向があるが、特に女子の「理科嫌い」が学年が進むにつれて顕著に増加しているようすを見ることができる。

問3 理科が嫌いな理由は何ですか。(10項目 中3項目選択)

「理科が嫌い」と答えた生徒を対象として理科が嫌いな理由を、次の10項目から選択させると以下に示す表4の結果となった。

小学校から高等学校を通じて共通している項目はことは、「程度が高く、十分に理解できないことが多い。」「理科の内容に興味がわからない。」であり、「理科の勉強の仕方がよくわからない。」も理科が嫌いな主な理由としてあげられている。

また、中学校で「テストの成績がよくない。」が理由の第3位にあげられているのは、「高校入試」の影が色濃く出ていると考えられる。しかしながら、高等学校で「テストの成績」の項目が少なくなっているのは、選択履修が定着しているあらわれであると考える。

表4 理科が嫌いな理由
※数字は、多い順を示している。

小学校	中学校	高等学校
1 程度が高い。	3	1
2 授業の進度が速い。	8	7
3 実験が少ない。	4	6
4 実験が多い。	7	10
5 復習ができない。	8	8
6 勉強の仕方がわからない。	2	4
7 興味がわからない。	1	2
8 テストの成績がよくない。	5	3
9 相談できる人がいない。	10	9
10 理科は必要ではない。	6	5

問4 あなたはいつ頃から理科が嫌いになりましたか。

児童生徒の理科が嫌いになった時期を見ると、中学校・高等学校では、「中学校に入ってから」が多くなっている。これは、中学校の理科の学習の中で生徒が理科嫌いになっている現状が見られる。この傾向は、男女とも同様な傾向があり、中学校の理科学習の中で、生徒の「つまずき」が、何らかの理由で増加していることを示していると考えられる。また、小学校でも高学年になるほど、「理科が嫌い」と感じてくる児童が増える傾向も見られる。

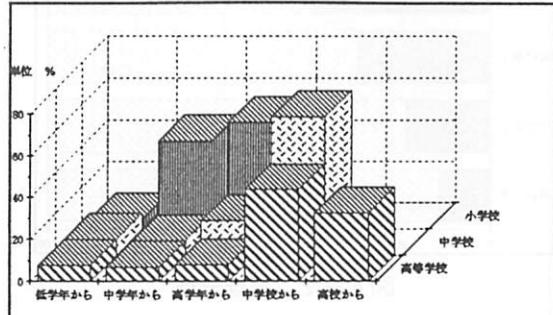


図3 理科が嫌いになった時期

問5 分野別的好き嫌い（中学校、高等学校）

中学校と高等学校で学習する化学、物理、生物、地学の4分野の中で好きか嫌いかをまとめたものが図4-1から図4-4である。この中では物理分野の好き嫌いの特徴が如実にあらわれている。物理分野は、以前から高等学校の物理履修率の減少などから「物理離れ」が指摘されて、予想はしていたが、今回の調査において

もこのような極端な結果がでてきた。特に、女子の「物理分野が苦手と感じる」傾向は顕著であり、何らかの方策が必要であることを示している。しかし、生物分野では逆に女子で「好き」という比率が増加している。また、地学分野では、中学校よりも高等学校で「好き」という生徒が多くなっている。

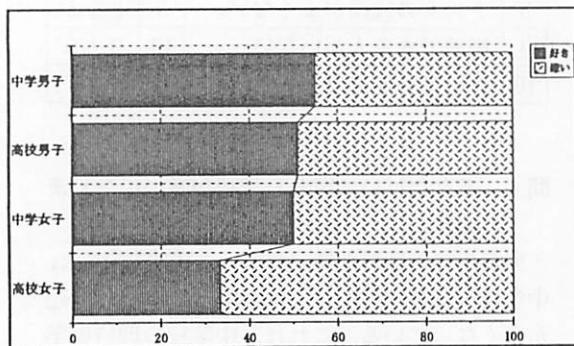


図4-1 化学分野

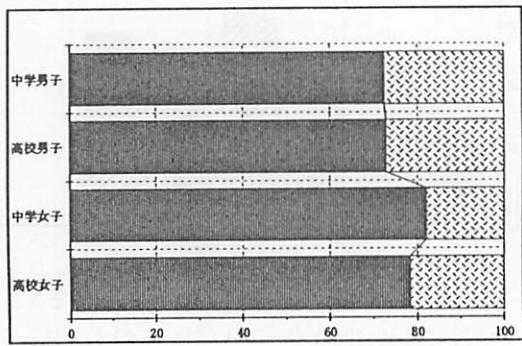


図4-3 生物分野

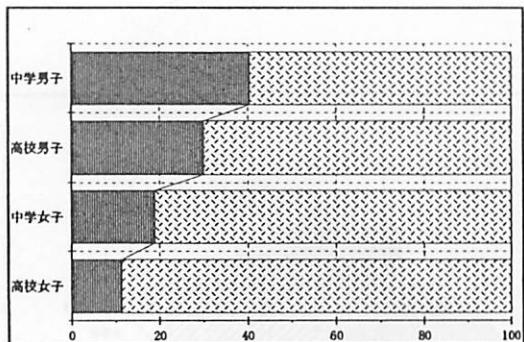


図4-2 物理分野

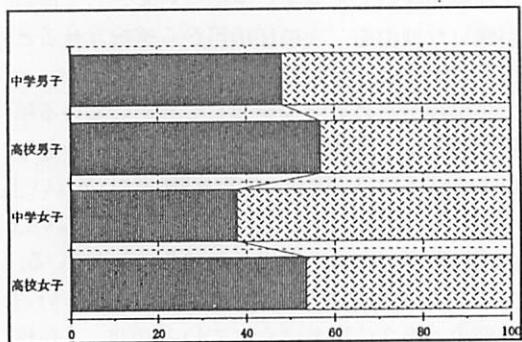


図4-4 地学分野

問 6 「むずかしい」または「わかりにくい」と感じる単元（3項目選択）

①小学校の場合（表 5）

順位	小学校男子	小学校女子
1	星の動き	星の動き
2	太陽と月	太陽と月
3	ヒトや動物のからだ	おもりの動きと働き
4	受けがれる生命	天気の変化
5	天気の変化	ヒトや動物のからだ

小学校 5・6 年生において学習する単元の中で「むずかしい」または「わかりにくい」と感じる単元には上位に天文分野が出てきている。これは、児童の日常体験の不足が起因していると考えられる。

②中学校の場合（表 6）

順位	中学校男子	中学校女子
1	電流とその性質	電流とその性質
2	地球と太陽系	光・音・熱・力
3	光・音・熱・力	地球と太陽系
4	天気とその変化	運動とエネルギー
5	物質とイオン	天気とその変化

中学校では物理分野の「電流とその性質」が苦手意識を持っていることがわかる。また、同様に物理分野の「光・音・熱・力」も苦手と感じる生徒がいることがわかる。なお、網掛けの部分は、物理分野の単元を表している。

③高等学校の場合（表 7）

順位	高等学校男子	高等学校女子
1	電流とその性質	電流とその性質
2	地球と太陽系	運動とエネルギー
3	光・音・熱・力	光・音・熱・力
4	運動とエネルギー	物質とイオン
5	天気とその変化	物質の変化

高等学校でも物理分野の「電流とその性質」「光・音・熱・力」「運動とエネルギー」が苦手な単元として上位にあらわれている。中学校・高等学校で共通している点は、苦手な単元の中

には、「計算」が含まれていることである。例えば、「電流とその性質」では電気抵抗や発热量の計算、「光・音・熱・力」では熱量の計算である。これからは、児童生徒には、理科における計算の位置づけをもう少し考えていくことが必要であることを示している。

問 7 理科の授業の中で感動的な体験はありましたか。

授業の中で児童生徒が、どのような感動的な体験をもっているかを調べた。図 5-1 から図 7-1 の左側のグラフは「理科が好き」と答えたもの、図 5-2 から図 7-2 のグラフは「理科が嫌い」と答えたものである。グラフからわかるように、理科の授業の中で「おもしろいなあ.」「不思議だな.」「すばらしいなあ.」と感じたことがある児童生徒ほど、「理科が好き」と答える比率が高くなっている。しかし、「自分で試してみよう.」「もっと詳しく調べてみよう.」と感じた児童生徒が、理科が好きなグループと理科が嫌いなグループでは明らかな差があるが、ともに 50% を超えていないのは、自分でやってみるとか、調べてみる環境が少ないことを表していると考えられる。これから理科の授業においては、このような自分たちで調べていくような学習形態等が要求されるとともに、教師や学校もそれに対応できる環境を整えていくことが必要である。

また、「理科が好き」と答えた児童生徒と理科の授業の中で「感動的な体験」にあった児童生徒の相関を調べてみると表 8 のようになった。これから、理科がおもしろいなあと理科が好き

**表 8 「理科は好き」と
感動的体験の有無の相関**

内 容	小学校	中学校	高 校
① 理科はおもしろい	0.299	0.284	0.400
② 不思議だなあ	0.072	0.137	0.200
③ 科学はすばらしい	0.149	0.152	0.251
④ 自らためしてみよう	0.254	0.267	0.252
⑤ くわしく調べよう	0.250	0.247	0.325

理科に関するアンケート調査結果より

との関係には相関関係があることがわかる。

項目①・②・③・⑤で小学校・中学校・高等学校へ進むにつれて、相関係数も増加しているのは、理科授業の中で「理科嫌い」「理科離れ」を減少していく何らかの示唆を示していると考える。授業の中で児童生徒に「理科のおもしろさ」を体験させることができ、これから「理科授業」の「鍵」であると考える。したがって、日々の授業の中に「理科離れ」もしくは「物理離れ」を解くヒントがあることがわかる。

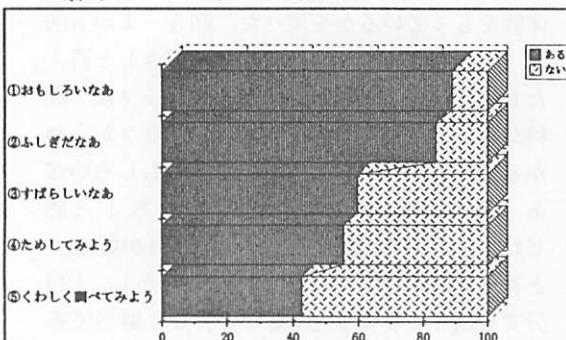


図 5-1 小学校（理科が好き）

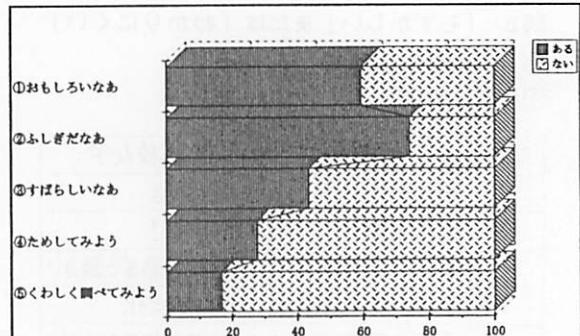


図 5-2 小学校（理科が嫌い）

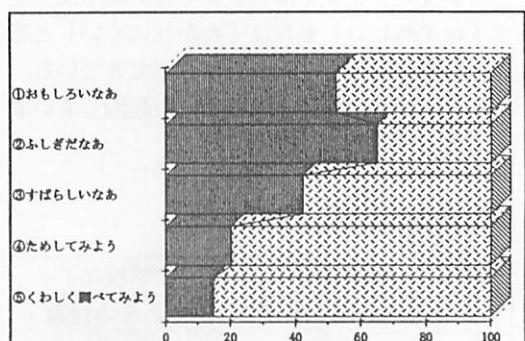


図 6-2 中学校（理科が嫌い）

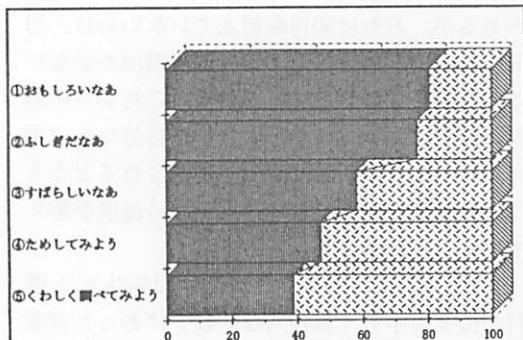


図 6-1 中学校（理科が好き）

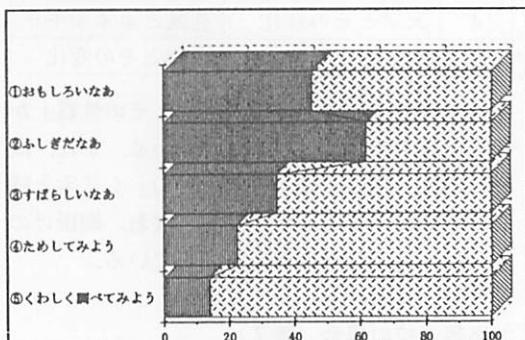


図 7-2 高等学校（理科が嫌い）

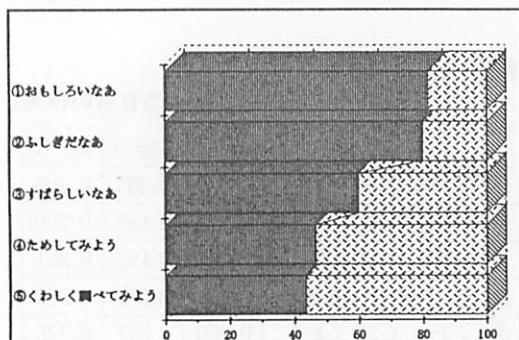


図 7-1 高等学校（理科が好き）

問 8 どのような感動的な体験がありましたか。児童生徒の感動体験を記述してもらいました。この中にもこれからの理科授業への示唆を含んでいるものも多いと考えます。

①小学校

- 塩酸や水酸化ナトリウムの実験で食塩ができる
- アルミニウムが塩酸にとけて、なくなったのがすごいなあと思った

- ・てこのはたらきで、わたしが持ち上がったとき
- ・実験をやっていて結果が良かったとき、成功したとき
- ・空き缶に水を入れて沸騰させて、空気を出さないようにしたら空き缶がしほんだとき
- ・砂糖と水でべっこう飴をつくったとき

②中学校

- ・アンモニアの噴水実験
- ・天気図を見て次の日の天気を予想できたとき
- ・顕微鏡で結晶の形を見たとき
- ・授業中、先生が言っている意味が理解できたとき
- ・先生による「授業に関係のない理科の話」を聞くのが楽しかった
- ・炎色反応で、火をつけたときいろいろな色になるのがおもしろかった
- ・カエルの解剖をしたときとても怖かったこと
- ・実験を行って新しい発見をしたとき（よくわかったこと）
- ・鶏の心臓を切って中身を観察したとき

③高等学校

- ・むずかしい計算をして答えがでたとき
- ・天体の勉強をしたとき、すごく自分が小さく思えて楽しかった
- ・中学校の先生が宇宙や地球に関するビデオを見せてくれたこと
- ・自分の口腔細胞を顕微鏡で見たとき
- ・全然知らなかったことを習ったとき、頭が良くなったようでおもしろかった
- ・わからないことがあつたら何でも実験をして、確認をした。例えば、電球ができるまでのエジソンの苦労などを自分たちで工夫しながら調べたとき
- ・物理や化学で定理や法則はけっこう昔に考えられ、見つけられてることに気づいたとき
- ・無重力状態の所に、鳥の羽と小さなボールを同時に落として落ちる速さが同じですごいなあと思った
- ・物理の中の思いがけない規則性を見つけたとき

問 9 あなたは現在理科の授業をどのような気持ちで受けていますか。

理科の授業に対する態度を調べてみると理科が好きな群と嫌いな群では、非常に差があることがわかる。嫌いな群で最も多い回答は「教科に理科があるから、しかたなく。」である。この割合も学年が進むにつれて増加傾向にあり、理科が好きな群でも増加している。「将来の仕事の生活に役立つから。」は理科が好きな群では高等学校で増加している。これは、自分の進路を見いだし始めているためと考えることができる。理科が好きな群でも「理科はおもしろいから」と答える比率が減少しているのは、理科の教育に携わるものにとって大きな課題を提起している。中学校・高等学校における理科の授業の中で「理科のおもしろさ」を体験できなくなっている現状を表していると考える。

図 8-1

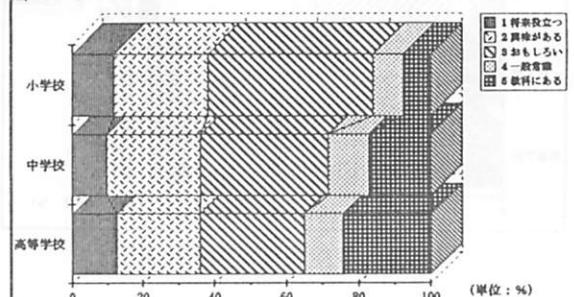


図 8-1 理科の授業を受ける気持ち

(理科が好き)

図 8-2

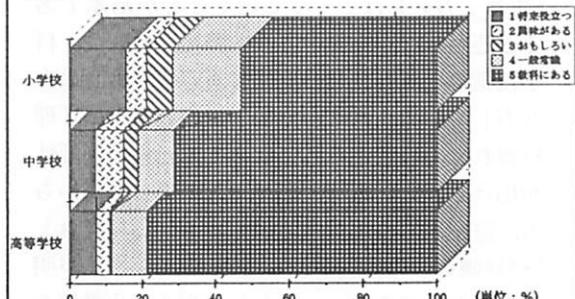


図 8-2 理科の授業を受ける気持ち

(理科が嫌い)

問10（省略）

問11 あなたは今後どのような理科の授業を望みますか。

設問の中でどの学年でも多かったのは、設問4の「コンピュータやビデオなどの教育機器を活用した授業」であった。これは、児童生徒のコンピュータなどに対する期待があらわれていると考えられる。設問1の「自分たちで課題を決めて、実験や観察をする授業」が学年が進むにつれて増加している。これらは、今後の理科教育を考える上で方向性を示していると思われる。

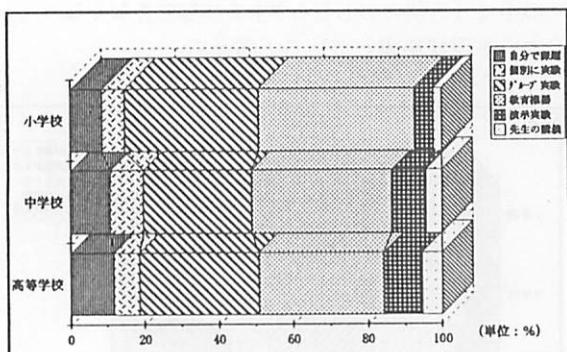


図9 児童生徒が望む授業

5 最後に

平成8年の7月には中央教育審議会の第1次答申がだされ、「ゆとり」の中で、子供たちに「生きる力」をはぐくんでいくことが基本であると述べられ、その中で「国際化、情報化、科学技術の発展等社会の変化に対応する教育の在り方」が提唱された。その中の青少年の「理科離れ」の現状とそれにむけての対策の必要性が掲げられている。アンケートの集計結果からも、室蘭市内の児童生徒の中にも「理科離れ」、「理科嫌い」の傾向が進んできていることが明らかになってきた。しかしながら、小学校の8科目、中学校・高等学校における9科目中の好きな教科として理科の順位は、いわゆる主要5科目の中でも上位に位置し、科学的な活動に

対する興味・関心もけっして失われているわけではないことがわかってきた。分析の中でわかつてきたのは、児童生徒の「科学」に対する気持ちと、教科における「理科」に対する気持ちの間に、何らかの「ギャップ」が存在することである。児童生徒の理科の授業における感動的な体験を書いた文章の中に、理科の授業に対する気持ちや期待があらわれているように感じる。この中で児童生徒は、実際の実験や観察などの体験を通して理科の面白さを感じ取っていることがわかる。また同時に、各学校でさまざまな努力している理科教師の姿を垣間見ることができる。それにもかかわらず、学校の授業において「理科の面白さ」を体験できない現状も明らかになってきた。このことが、これから理科教育に対して、とても重要な示唆を含んでいると考える。授業における感動体験こそが、いわゆる「理科嫌い」「理科離れ」を解消していく端緒となりうるものと考える。つまり、「授業の中でいかに児童生徒を感動させるか。」、そのことが児童生徒の「理科好き」を増やしていくきっかけになるのではないかと考えられる。そして、このような実践の積み重ねこそが、これから「理科教育」に求められ、理科に携わる教師として心がけておくべきことがらであると考える。それとともに、児童生徒の興味・関心を高めさせるような工夫された学習形態の実践やコンピュータなどの教育機器等の活用も考えていかなければならないことである。でも、第1は、実際に指導する教師の『意識の改革』こそが求められていることを忘れてはならないことである。この調査がこれからの理科教育を考える上での礎石となるように、十分に活用していただきたいと思います。

この研究は前述したように平成8年度の室蘭市教育研究所調査研究部の活動の一環として実施されたものです。さらにくわしい資料ならびにアンケートの用紙、集計結果につきましては、平成8年度の室蘭市教育研究所研究紀要、もしくは直接室蘭市教育研究所（室蘭市宮の森町3-1-2 室蘭市立知利別小学校内、Tel 0143-45-8620）まで問い合わせ下さい。

最後になりましたが、この調査を実施するために尽力された共同研究者の片倉徳生氏（室蘭市立蘭東中学校教諭）と渡辺幹夫氏（室蘭市水元小学校教諭）の両氏には、深く感謝を申し上げたい。また、この調査を全面的にバックアップしていただいた室蘭市教育研究所そして、調査に協力していただいた胆振教育局、室蘭市小学校長会、室蘭市中学校長会、室蘭地区高等学校長会、室蘭大谷高等学校、聖ベネディクト女子高等学校、そして、市内の各小学校、中学校、高等学校の児童生徒の皆さんと指導された諸先生方に深く感謝申し上げます。

6 参考文献

- ① 相模原市教育研究所研究紀要（平成 7 年度）
- ② 空知教育研修所「空知教育」平成 8 年 9 月号
- ③ 新興出版社啓林館 小学校理科 5 年（上、下）
- ④ 新興出版社啓林館 小学校理科 6 年（上、下）
- ⑤ 新興出版社啓林館 中学校理科第 1 分野（上、下）
- ⑥ 新興出版社啓林館 中学校理科第 2 分野（上、下）

北海道札幌開成高等学校 鶴岡森昭

〔要約〕 高等学校では平成元年に告示された学習指導要領が、平成6年度から学年進行で実施されて平成8年度に移行がほぼ完了した。若者、特に高校生の「理科離れ」「物理離れ」に注目してきた筆者は、教科書需要数に基づく履修状況調査を昭和45年度から実施してきたが、この移行期の理科各科目の履修状況を調査した。現行の学習指導要領では科目数が13科目に増えたが、各科目の過去の履修率との比較方法や履修率の推移について検討を加えた。

〔キーワード〕 高校理科、学習指導要領、教育課程、改訂期、履修率

1 調査目的

戦後の新制高等学校は昭和23年4月にスタートし、今年は丁度50年の節目を迎える。若者の理工系離れが深刻化する中、20世紀末のこの時期は、来る21世紀を目前に控えて、過去の教育のありかたを見直し、次代を担う若者のための未来の教育のありかたを求めて様々な取り組みが見られるが、理科離れ・理科嫌いに憂慮の念をもつ筆者は教科書需要数に基づく文献調査によって、昭和45年度からの理科各科目の履修状況を追跡してきた。この度の学習指導要領改訂に伴う教育課程の改訂によって実施される理科各科目の変化に合わせて、それらの履修状況を調査した。高校生の理科各科目の履修状況を全国的視野で定量的に捉えることによって、実態の把握と今後の理科教育、特に物理教育のありかたを探る基礎データとして活用することをねらいとする。

2 調査方法

高等学校では平成6年度から改訂された学習指導要領に準拠した教育課程によって学習指導が学年進行で実施され、平成8年度ではほぼその移行が完了した。この3年間は学年によって旧課程の教科書と現行課程の教科書が同時に使用される移行期であることを考慮し、新旧のそれぞれの科目の教科書を区別して調査した。

履修率は、年度毎の高校生総数を年刊の「学

校基本調査報告書」¹⁾から調べ、その数値を3分の1倍して年度単位の高校生1学年分の人数とする。一方、教科書需要数は教科書出版業者の年度毎の採択数表²⁾によって調べ、下記の式に従って算出する。

$$\text{履修率} [\%] = \frac{\text{教科書需要数}}{\text{高校生総数} \times \frac{1}{3}} \times 100$$

3 調査結果

各科目履修率の推移を次頁にまとめた。単位はパーセントで、全国と道内の履修率の違いが比較できるように表示した。表中の左上の数値が全国値であり、右下の数値が道内値である。

4 考察

1 履修率の比較方法

学習指導要領の改訂によって理科各科目の履修率は増加したのか減少したのか、この点に多くの理科教育関係者は強い関心をもっていることと思われる。その判断をする過程で考慮しなければならないこととしてこの度の改訂によって各科目は3種類（IA・IB・II）の科目に細分化されたことである。この3種類の内のどの科目と前回の学習指導要領の科目と比較することが履修率の推移をモニターする上で意味をもつものであろうか。

この比較方法としては、IAとIBは独立

(1) 物 理

年度	物理	物理 I A	物理 I B	物理 II	物理+物理 I B	物理+物理 I B+物理 I A
H 3	34.4 / 27.5					
H 4	34.3 / 27.7					
H 5	33.7 / 26.5					
H 6	31.7 / 23.6	8.1 / 6.9	6.7 / 5.5	0 / 0	38.4 / 29.1	46.5 / 36.0
H 7	6.9 / 8.0	15.2 / 11.3	28.2 / 21.6	1.6 / 2.0	35.1 / 29.6	50.3 / 40.9
H 8	0.3 / 0.2	20.2 / 18.5	31.7 / 24.7	13.1 / 10.7	32.0 / 24.9	52.2 / 43.4

(2) 化 学

年度	化学	化学 I A	化学 I B	化学 II	化学+化学 I B	化学+化学 I B+化学 I A
H 3	59.7 / 65.2					
H 4	59.3 / 66.6					
H 5	58.9 / 63.8					
H 6	49.7 / 53.4	17.0 / 9.0	45.3 / 51.8	0 / 0	96.0 / 105.2	113.0 / 114.2
H 7	8.5 / 11.7	29.0 / 23.6	68.0 / 74.2	3.1 / 2.3	76.5 / 85.9	105.5 / 109.5
H 8	0.3 / 0.5	33.7 / 28.9	70.9 / 76.9	19.3 / 16.8	71.2 / 77.4	104.9 / 106.3

(3) 生 物

年度	生物	生物 I A	生物 I B	生物 II	生物+生物 I B	生物+生物 I B+生物 I A
H 3	55.9 / 64.0					
H 4	55.6 / 63.9					
H 5	55.3 / 63.6					
H 6	45.3 / 49.2	16.0 / 14.7	32.5 / 30.8	0 / 0	75.8 / 80.0	91.8 / 94.7
H 7	14.1 / 22.1	22.0 / 19.0	61.2 / 67.9	1.4 / 1.6	75.3 / 90.0	97.3 / 109.0
H 8	0.2 / 0.6	25.6 / 19.5	65.2 / 76.8	16.4 / 21.5	65.4 / 77.4	91.0 / 96.9

(4) 地 学

年度	地 学	地学 I A	地学 I B	地学 II	地学+地学 I B	地学+地学 I B+地学 I A
H 3	11.5 / 12.3					
H 4	11.3 / 12.4					
H 5	11.0 / 11.1					
H 6	8.9 / 10.6	4.8 / 4.6	3.5 / 2.5	0 / 0	12.4 / 13.1	17.2 / 17.7
H 7	5.2 / 6.5	6.3 / 6.3	8.2 / 8.4	0.1 / 0.2	13.4 / 14.9	16.7 / 21.2
H 8	0.1 / 0.1	9.8 / 11.6	11.5 / 12.5	1.2 / 0.8	11.6 / 12.6	21.4 / 24.2

した科目という観点から、次の2通りが考えられる。

- ①「IBのみを比較対象とする方法」、
- ②「IAとIBの和を比較対象とする方法」

①「IBのみを比較対象とする方法」で、平成5年度と平成8年度の履修率の変化を整理する。

	平成5年度	→	平成8年度
物理	: 33.7%	→	31.7%
化学	: 58.9%	→	70.9%
生物	: 55.2%	→	65.3%
地学	: 11.0%	→	11.5%

②「IAとIBの和を比較対象とする方法」で、平成5年度と平成8年度の履修率の変化を整理する。

	平成5年度	→	平成8年度
物理	: 33.7%	→	51.9%
化学	: 58.9%	→	104.6%
生物	: 55.2%	→	90.8%
地学	: 11.0%	→	21.3%

これらの3年間の各科目履修率の推移を整理した結果として、現行のIBのみを前の科目と比較する方法がそれらの履修率数値の変動から判断して、より適切であると考えられる。

2 全国履修率の推移

平成6年度からは現行の教育課程に学年進行で移行してきたのであるから、この3年間は旧課程と現行課程とが混在していることになる。従って、この移行期においては両者の合計した数値を比較対象とすることがより適切であると思われる。

	平成5年度	→	平成8年度
物理	: 33.7%	→	32.0%
化学	: 58.9%	→	71.2%
生物	: 55.2%	→	65.4%
地学	: 11.0%	→	11.6%

4科目間の履修率の推移を比較すると、化学と生物が増加している反面、物理が僅かに減少し、地学がほぼ横這いの様相を呈していることが伺える。

3 道内履修率の推移

	平成5年度	→	平成8年度
物理	: 26.5%	→	24.9%
化学	: 63.8%	→	77.4%
生物	: 63.6%	→	77.4%
地学	: 11.1%	→	12.6%

道内の履修率の推移については、化学・生物が増加し、地学がほぼ横這いである反面、物理履修率の低迷状況はさらに進行していることが伺える。この状況は全国値と似た特徴を示している。

4 各科目履修率の全国値と道内値の差の推移

	平成5年度	→	平成8年度
物理	: - 6.7%	→	- 7.1%
化学	: + 4.9%	→	+ 6.2%
生物	: + 8.3%	→	+ 12.0%
地学	: + 0.1%	→	+ 1.0%

全国値との比較で履修率の推移を検討すると、化学と生物が旧課程よりも増加の幅を拡げ、地学はほぼ変わらない中で、物理については全国値との差が広がり履修率減少の深刻さが増してきたことが伺える。

5 結 語

若者の理科離れ特に物理離れが叫ばれて久しいが、平成6年度から学年進行で改訂された学習指導要領に準拠した教育課程に移行し、平成8年度でほぼその移行が完成した。この3年間の移行期を経て高校理科各科目の履修率の推移を調査したが、化学と生物は増加し、地学がほぼ横這いの反面、物理は減少傾向が続き物理離れの深刻さが増幅されている実態が伺える。

一方、「日常生活・人間との関わり・地球環境との関わり・科学技術の応用の側面」を重視

した I A の科目を履修する生徒の増加にも注目する必要がある。内容的には定量的取り扱いを控え、定性的取り扱いを主眼にしている点に特徴を持つ科目群であるが、自然科学各分野の身近かな内容を多くの生徒に学習させようとするねらいは理科離れに対する一つの方策として共感できることである。

21世紀に入ってすぐの週 5 日制の完全実施に合わせて、次期学習指導要領の改訂作業に入っていることと思われるが、それまでの各年度の理科各科目の履修率の推移には引き続き注目していきたい。

引用文献

- 1) 学校基本調査報告書(初等中等教育機関・専修学校・各種学校編), 平成 3 年度～平成 8 年度, 文部省.
- 2) 平成 3 年度～平成 8 年度会社別書名別採択結果表, 東京書籍.
- 3) 鶴岡森昭: 物理教育, 42-4 (1994) pp.451-453.

ティールーム

NSTA Global Summit に参加して

～物理の先生たちとの冒険の旅～

北見市立西小学校 斎 当 知香子

あれは、去年の12月21日、丁度学期末でとっても忙しい時期だった。私と前田先生（小泉小学校）は、やっとの思いで仕事を終わらせ、急いで札幌行きのバスに乗りこんだ…。

1996年12月27日～29日の日程でサンフランシスコで行なわれたNSTAの科学と理科教育の地球サミットに参加できたことと、その前後に物理の先生たち（BUTURIサークル）と一緒に過ごした冒険の旅で、私の物理に対するイメージは、ガラリと変わった。高校時代から、物理はチンパンカンパンで難解なものというイメージがあったけれど、本当は物理は楽しく、また奥深いものだということを感じることができた。

「なぜ、小学校の先生が、物理の先生たちとアメリカまで行ったのか？」そのわけを聞いてみたいと思われる方のために経緯を話すと、3年前にさかのぼる。

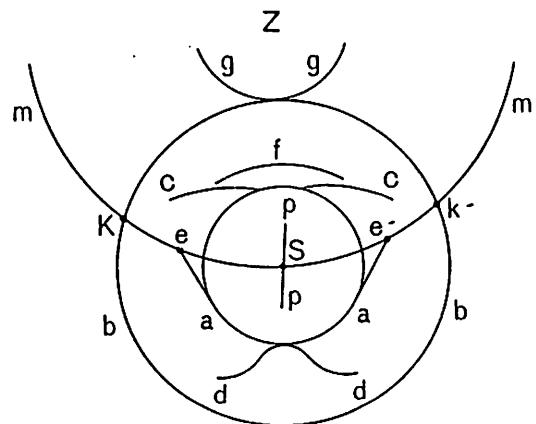
理科教育センターの通常講座に参加した時、物理研究室のある先生が「表面積と圧力についての実験」とか言って、碎いたビールびんの上に素肌のまま横たわり、「全然痛くありません。」と、体を張っての楽しい実験をしてみせて下さり、そして、勧誘されるままに、私もBUTURIサークルほっかいどうに入会させていただいた。その後、科学の祭典に参加させてもらお陰で、私の所にもNSTAの旅の案内が届き、見た瞬間「絶対行きたい！」と思い、理科教育センターの永田先生に問い合わせたから、というのが経緯だった。

ついでに言うと、この理科教育センターの講座は人気が高くいつも抽選という噂で、先輩の先生も「理科センターはいいぞお。」と、私に勧めてくださった。行って本当に良かったので、

私も後輩の先生方に「理科センターはいいよお」と勧めている。（子どもたちも「理科って楽しい」と言ってくれる。きっと他の学校でもこうだろう。）

さて、ロスのカワダホテルで物理の先生たちと待ち合わせていたので辿り着いてみると、ロビーで佐々木淳先生と永田敏夫先生に会うことができた。でも、日本語で話し掛けても、英語でしか話をしてくださいなかったので、非常に不思議な感じがした。（もうすでに英語でデモンストレーションをする練習が始まっていたのだ。）

時差ボケで眠たかったけれど、着いてすぐに、アナハイムのディズニーランドで〈遊園地等の物理的領域での活用一體を使ったダイナミックな体験を通して〉を体験し、2日目はC. I. T（カリフォルニア工科大学）へ行って、「ここがボイジャーのふるさとか」と感心しながら敷地内を見学したりして、3日目は、地学の勉強ということでグランド・キャニオンへと



飛んだ。

そこでは、世にもめずらしいハロー現象と幻日と彩雲を見ることができて、その空の素晴らしいには本当に感動してしまった。

(実際に見たハロー現象は、忘れてしまった)

同行の物理の先生たちはいい人たちばかりで、物理のことがよく解っていない私の素朴な疑問にも、「それはね・・・」と、熱心に分かりやすく教えてくださった。お陰で、ずい分勉強をさせていただいた私である。

物理の先生たちと話していく、気付いたことは、子どものおもちゃやジェットコースターなどの遊具にも物理の原理が利用されており、それどころか、身の周りに起こる様々な現象、光や音、電気、目に見えない程小さなものから途方もなく大きなものまで、自然界に起こる非常に広範囲なことが物理の範疇であるということだ。物理は解らないけれど、実は面白いものであると感じた。

さて、いよいよサンフランシスコに到着すると私はドライアイスを探しに、遠藤孝一先生はヘリウム、ガソリン、二酸化炭素を探しに、今野博行先生は実験道具を調達するため、サンフランシスコの街をさまよい歩くことに。(なぜ遠藤先生と今野先生がこうなったのかについては、BUTURIサークルほっかいどうサークルニュース～NSTA Global Summit 参加報告記に詳しく掲載されている。)

しかし、異国の街で、目的の物を手に入れるのは、なかなか困難であり、冒であった。

ドライアイスの場合は、アイスクリーム屋さんにはなかったので、現地のイエローページで探してみたら何件か載っていた。しかし、住所だけ見ても、サンフランシスコのどこにあるのか分からなかった。

「エクスプロラトリアム（科学博物館）のスタッフに聞いてみればドライアイスやヘリウムの情報をもらえるかもしれないよ。」との永田先生の助言で、発表の会場（モスコーンセンター）

を見たあと、みんなでエクスプロラトリアムへと向かった。ところが、しばらくバスの窓から外を眺めていると、思いがけなく Chestnut st. の標識が目に入り、「イエローページで見た Chestnut の 2401 番地にある United Liquor Stores があるかもしれない」と思っていたら、児玉先生と遠藤先生が、「あれだ！」と、United Liquor Stores の看板を見つけてくださいり、エクスプロラトリアムの帰りに入手することができた。

エクスプロラトリアムは、歴史を感じさせる古風な建物で、光の実験なども多くあるためか、館内は薄暗い感じだけれど、世界中の科学館に影響を与えた背景を持つアイディアいっぱいの展示物は、素敵なものだった。アメリカ人の男の子が放電実験の展示物のところですっかり夢中になって、何回も何回も試している。何を追求していたかは解らないが、その顔はいきいきしていて、本当に楽しそうであった。実際に触ったり、五感を使って体験することができる点がエクスプロラトリアムの特徴である。クラスの子も喜びそうな実験のネタがたくさんあり、いつかみんなにも見せて驚かせてあげたいなと思った。(この願いは、きっと今年の夏の科学の祭典でかなうことでしょう。)

エクスプロラトリアムのおすすめの展示物には“Oppenheimer Collection”と、創設者フランク・オッペンハイマー博士の写真入りスティッカーで紹介されていた。

ところで、この方のお兄さんは、原爆開発のマンハッタン計画に従事していた、原爆の父 J・ロバート・オッペンハイマー博士だそうだ。悪魔のような原爆投下後、「科学者は罪を知った」「私の手は血で汚れている」と、兄ロバート・オッペンハイマー博士は水爆開発に反対していく。

そんな時代背景の中、弟であるフランク・オッペンハイマー博士は、平和主義者として、科学教育のより人間的な在り方を探し求めて、長い間、エクスプロラトリアムを構想していったのだそうだ。高校の教師であったこともある博士は、生徒と共にスクラップ置場へ出掛けていっ

て、部品を集めて実験をしたりと、生徒のために熱心な先生だったらしい。（どこかの高校の先生のようですね）

原爆とエクスプロラトリアムでは、目指すものがまるっきり正反対になっている。故カール・セーガン博士は、著書の中で「科学はいうまでもなく二つの道を開いた。つまり、その産物は、善悪どちらの目的にも使えるのだ。…多くの人がもっと、科学のことが分かるようにならなければならぬ。…私たちが抱える問題は、その原因がなんであろうと、科学なくして解決は考えられない。私たちに脅威となる技術も、その脅威を避けるものも、もとは同じところから来ている。二つは並んで走っているのだ。」と述べている。また、M・ガンジーは、「人間性なき科学は罪である。」と言った。二人の偉人が言っていることは、重みがあり本質的であるように思える。

さて、26日発表前夜、ドライアイスは準備できて、あとは翌日の発表で実験をする時に、どういう話をしながらやればよいのか、英語のシナリオを作ったほうがいいねということになった。

夕飯を食べてから、ミーティングをして、皆さんが日本から持ち合わせた原稿100部をホッキスでとめ、それから、英語の辞書を片手にずっと机に向かっていた。これがなかなか大変で、夜遅く、AM 3:00くらいまで、何人かの先生と頑張ったことを今となっては懐かしく思うけれども、当時は「英語の力がほしい。」と痛切に感じた。

NSTA(National Science Teachers Association 全米理科教師協会) Global Summit (科学と理科教育の地球サミット) の会場は、1回目(1日目)と2回目(3日目)がサンフランシスコのモスコーンセンターで、3回目(3日目)がマリオットホテルだった。3日間の学会では、全体で約8000名の参加が予定されていた。内容は、科学と理科教育(初等教育から高等教育、一般まで幅広い)に関する講演、ディスカッション、ワークショップ、展示、セッション、デモ

ンストレーション、シンポジウム等と多彩であり、ゼネラルセッションでは、あの有名なカール・セーガン博士の講演が予定されていた。プログラムだけで200ページもあり、同時に何十もの部屋で行なわれる所以、見る側は、自分でプログラムをチェックして、自分が見たいものをしっかり選んでから参加するようだった。

発表では、私たちが所属している“BUTURIサークルほっこいどう”(高校の物理の先生方を中心とした中学校の先生も含め、会員約800名)の活動についての紹介ということで、実験教材の開発や科学の祭典での活動などを発表する方向になっていた。永田先生がバンジージャンプで無重力実験と科学の祭典の紹介それに司会、齋藤隆先生がホバークラフト、佐々木淳先生がレインボーリング、今野博行先生が力学の学習用の教材(磁石付き)と赤外線に関する実験、遠藤孝一先生が色々な気体を使っての音の不思議、児玉照男先生は司会、菅原陽先生ご夫妻はウォーターハンマーと不思議な木ーホルダーと、結晶の成長をみよう、そしてダンボールトルネード、私と前田美佳先生とでドライアイスで落下傘を飛ばす、を演示した。

27日は、菅原陽先生の時間に一緒に参加させてもらった。会場は満員で、立ち見もいて、永田先生の冗談混じりの司会という雰囲気のなか始まったが、緊張のため、他の先生が何をしていたかはよく思い出せない。高校の先生方がずい分落ち着いてやっているように見えた。

私が持っていた“ドライアイスで落下傘を飛ばす”という子ども向けの実験は、フィルムケースの中にドライアイスひとかけらを入れて、パラシュートつきのふたを閉めてしばらく待つ。すると「パン」というびっくりするようなすごい音とともに、ふたがふっ飛び、パラシュートがパッと開く、というものだった。

この実験で私が話したいことは、○こういった実験にはいくつかの基本的な科学の原理が含まれているけれど、子どもにそのことを説明したり答を教えこむよりも、子ども自身が好奇心のおもむくまま実際にやってみたり、不思議に感じたり、驚いたり、発見

したりすることが大切なこと。
 ○長い目で見れば、知識を詰め込むよりも、子ども自身の周りに広がる世界や自然に対して探求しようとする態度を育てることの方が重要なこと。
 ○そのことは、自然や環境との調和を考えることにつながっていくこと。
 ということであった。



同行の前田先生が、一緒にこのデモンストレーションをやってくれるということだったので、せっかくだから、科学の祭典のひとコマという設定で役を決めて、漫才風にやろうと決めていた。

さて、私の発表の出番が近づくにつれ、どきどき、そわそわ落ち着かなくなり、まるで、学芸会の出番を待つ子どもたちのような気分だった。お客様は理科の専門家ばかり。それに会場は満員で、発表の場に立ったときには、「わーみられてるー。みんながこっちをみているー。」と、緊張状態になり、自分で何を言ってるんだか分からぬ。

ところが、最初の説明が終わり、漫才風のところへ来ると、お客様は、まるでホームコメディ「アーノルド坊やは人気者」での大爆笑のように、

W A H A H A H A ! と笑っているではありませんか。(二人ともとぼけた感じでしゃべっていたらしい。)

……「私デモンストレーターで、こっちが子ども。

(と、英語で言う。)

W A H A H A H A

…… (フィルムケースにドライアイスを入れて、爆発を待っている。)

「どんな気分?」

「I feel butterfly in my stomach!」

W A H A H A H A H A

しばらくして……パン! と爆発!

W A H A H A H A

「Wao! it's exciting!」

W A H A H A H A ……

と、こんな感じでウケてしまったので、すっかり調子がよくなってしまった。終わった後、前田先生は握手を求められたり、写真と一緒に写ったりしており、私は何人かの人からの質問に答えていた。(正確には、答えようと努力していた。)

日本からは、北海道の他に広島からの団体があり、その先生たちは、「なぜ、(来る前から)会場の前面が鉄板でできているとわかったのか。」「北海道の人たちはドライアイスをどうやって手に入れたんだ。」と、不思議がっていたそうだ。その夜の乾杯は、満足感いっぱいであった。

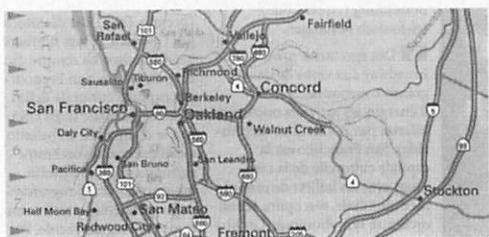


翌日、28日に永田先生が高熱を出して寝込んでしまったときはどうなることかと心配したが、同室の先生たちの手厚い看護で見事復活し、29日も無事出演することができた。準備の間、齋藤敬太くん(小6)がけんだま、こま、(ヨーヨーもしたかな?)の技をお客に見せて、それがとても上手で感心してしまった。

学会は500会場で行なっているので、お客様が10人程度のところもあったのに、私たちの所は、適度にお客さんがいた。

チラシの効果もあったかもしれない。チラシ

というのは、永田先生の提案で、前田先生が3回の発表の日程・内容について作成したものである。サンフランシスコの街で二人でコピー屋を探して印刷し、児玉先生と敬太くんに配布してもらった。もうひとつ、翌年北見開催予定の科学の祭典の公告も作ったらという永田先生の提案で、こっちの方は私が手伝った。（日本語の広告を英訳した。）科学の祭典が北見で開催されるとは、本当にうれしい。こんなチャンスは、子どもたちにはきっと一生の思い出になってゆくだろうし、北見の先生たちにとっても、またとない機会だろう。



“BUTURIサークルほっこいどう”は 計3回出演したが、何回も来てくださった方、連絡先を聞いてくる方、来年北見で行なわれる予定の科学の祭典の広告を見て、「北見にいく。」とまで希望してくださるアメリカ人の先生などがいて、手応え十分の非常に有意義な参加となった。

また、陽気なアメリカの先生方の楽しく引き付けるような話し方、演技力、そしてにくい演出なんかも見ていてとても参考になった。

NSTAの会場には、企業展示とサイエンスショップがあり、まさに科学と理科教育のためのものが売っていた。物理の先生たちは「これこれ」と言いながら、本やおみやげを買っていった。私は回折格子のレプリカを使ったメガネ（25¢！かけると世界が虹色に見える）など、安く手に入るものをたくさん買った。最後の方では投げ売りをしていたから、その時に買うともっと安かった。

<カール・セーガン博士のこと>

NSTAのプログラムをもらって、それを開けるまでは、私がとても楽しみにしていた、あのカール・セーガン博士の講演があるとばかり思っていたのに、プログラムで探してみると、カール・セーガン博士ではなくストーリーさんという宇宙飛行士の方に代わっていた。

帰国してからわかったことには、その時、カール・セーガン博士はすでにこの世にはいなく、2年ほど前から患っていた骨髄の病気で12月20日に他界されていたのであった。

カール・セーガン博士といえば、惑星天文学者でピュリツァー賞受賞作家、ボイジャー・パイオニアに宇宙人への手紙をのせたり、COSMOSというテレビ番組で宇宙のことや太陽系のことについて紹介したり、（NASAの宇宙開発の初期から指導的役割をしてきた方で、その他「核の冬」の研究など功績は数多い。）たぶん多くの人が、カール・セーガン博士に、何らかの形で宇宙のことを習ったのではないかと思う。最後の著書に「Pale Blue Dot 邦題－『惑星へ』」がある。（日本語版が96年3月、英語版は、95年10月の出版）「Pale Blue Dot」－この題名は、ボイジャーが太陽系から遠く離れた場所にあった1990年に、地球をふりかえって写真を撮ってみた時、地球は広大な宇宙に浮かぶ小さな暗い青い点でしかなかったというインパクトのある題名である。その本のなかで「お互いをもっと大切に扱うこと、そして、私たちが知っている唯一のふるさとであるこの、『暗い青い点』を守り育んでいくこと、それは私たちの責任であることを、この写真が強く訴えかけているように、私には思える。」と言っている。さらに、人類の未来への壮大なビジョンを後世に託すかのように未来形で書かれてあり、何ともスケールの大きい本である。博士の著書の多くは一般向けにかかれており、そこにも深い意義があるよう思う。

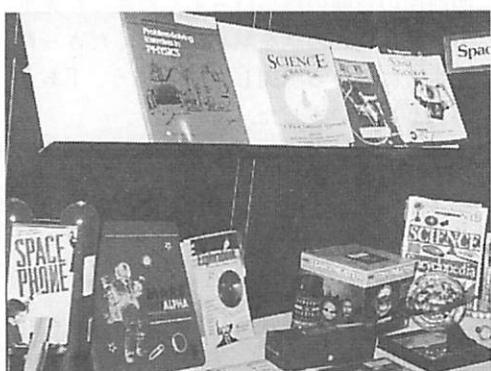
旅先で買った英語版の本の最後はこうである。

In the vastness of space
and the immensity of time,
it is still my joy to share

a planet and an epoch with Annie.

以前読んだセーガン博士の本に、「『太陽はどうして丸い』『葉っぱはなぜ緑色をしているの』というような幼年時代の素朴な質問は意味が深く重要なのですが…」、「…しかしときとて、おそらく大人たちは自分たちも知らないことがあることを子どもたちに恥じて言わなかつたり、あるいは、学校が子どもたちに対して知るべきことを自らの力で発見させる前に、むしろ教えこんだりしているために、自分で学習する気持ちが弱くなり薄れてゆくことがあります。」とあり、カール・セーガン博士は“知りたがり”の子どもの気持ちを大切に考えている人なんだなあと思ったことがある。低学年児童においては、子どもの発する疑問や発見を大切にして、自然の素晴らしさに対する豊かな感受性を育てることが大事である。子どもたちには、自然に対する愛着と、大切にしようとする態度をぜひ育てる必要があると思った。

もし、NSTAで、カール・セーガン博士の講演を聞くことができていたとしたら、カール・セーガン博士は会場に集った理科の先生たちに、一体、どんな話をしてくれたのだろうかと、今も、たまに考えてしまう…。



そういえば、もうひとつ、今回の旅で強く印象に残ったことに、L. A のディズニーランドで見た、マイケル・ジャクソン主演の3D 映画「キャプテン・イオ」がある。特殊メガネで見

ると立体的で迫力ある映像が見える。

こんな場面があった。わけあって、M・ジャクソンは邪悪な魔物の棲む惡の城へと入っていく。惡の軍団とM・ジャクソンの対決のシーンで、急にダンサブルな曲が流れ、M・ジャクソンがリズムに合わせてカッコよく歌って踊りながらアイラブ光線を発射する。それを浴びて敵が死ぬのかと思ったらそうではなく、惡の呪縛が解けてもとの善良な人間に戻るのだ。（魔法をかけられていたのだ。）そして、M・ジャクソンの仲間に加わり、ダンスをしながらアイラブ光線を発射して、敵をどんどん味方にかえていく。最後に、魔女をアイラブ光線で美しい女王の姿に戻し、城の中には平和が戻り、M・ジャクソンはみんなに感謝されながらも、ひとり城を去っていくのだった。（カッコイイ！）このストーリーに私は感動してしまった。特に、アイラブ光線を敵に浴びせて、悪者を本来の善良な姿に変えさせる、というのが意外であった。また、人間の文化（ダンスと歌）の前では邪悪なものは消え去り、愛（アイラブ光線）こそが人を変えるということを示唆しているようにも思えた。

話はとぶが、3年前、知合いの先生が1年生のクラスで「将来の夢」を書かせたところ、「ぼくはまじんブー（マンガのキャラクター）になって人をたくさんころしたいです。」と書いた子がいて仰天してしまったそうだ。その時は、その子が特別変わっているだけなんだと思っていたが、最近になって、低学年を受け持つ私の友人も「『へいしになって、じゅうをうってみたいです』なんて書く子がいて驚いた。」と、嘆いていた。人事だと思っていたら、なんと、今度は自分のクラスの男の子が「ぼくは、ちょうどいぐんじんのたいさになりたいです。せん車にのるのがゆめです。」と書いたのだ。こんな小さな子が「ぐんじん」になりたいだなんて、そんなこと、一体どこのだれにいつ教わったんだろうか。

私は驚いて、「ねえ、Mくん、ぐんじんになって、何をするの？」と尋ねると、「たたかうの」とMくん。

「そしたら相手はどうなっちゃうわけ？」(私)
「死ぬ…」(Mくん)

「ええーっ?」「ホントになりたいの?」(私)
(友達にも「そんなのやめたほうがいいぞ」と言 われている。)

「うーん…やっぱりやめようかな.」(Mくん)

どうやら、Mくんは、ゲームの世界に入りこみすぎて、武装して敵をたくさん倒すヒーローのカッコよさに憧れを抱いているらしいのだ。
そして、

現実に「軍人になって戦う」とか「死ぬ」ということがどんなことかイメージできずに、簡単に考えている。(こんな小さな子にイメージできるとも思えない。戦争の悲惨さなんて想像できない。)

多くの子どもたちはTVゲームが大スキだ。
敵キャラに自分がやられてしまう夢まで見るぐらいである。毎日のことなので与える影響が大きい。人気のTVゲームの中には、敵キャラを倒しながらポイントを稼ぎ場面を進んでいくという設定のものが多い。倒された敵キャラは血も流さずに画面から消え去る。(でも、血が流れたら怖い。)

M・ジャクソンのアイラブ光線は、子どもたちに暴力シーンを見せないという配慮のためだろうか。銃社会のアメリカでは、幼稚園で真夏に遊ぶ水でっぽうを拳銃の形にしないで、霧吹きのポンプの形をしたものを使用している所が

あるらしく、これも子どもたちへの影響を考えてのことだと思う。本来純真な子どもの心を変な方向に歪めてしまわないように、子ども向けのゲームを作る企業の人もそのへんのことをもっと考えてくれたらいいのにな、と思う。

1997年1月1日の新年は、太平洋の日付変更線付近の空の上にいた。帰りの飛行機の中、窓からは青空の下に雲が海のようにどこまでも続いている様子が見えていて、その光景は清々しかった。斎藤隆先生は、ブロッケン現象や、飛行機雲がまさに出来ているところをビデオに収めている。生徒さんに見せるところで、物理の先生はなんと熱心なのかと思った。今回の冒険の旅は、色々な意味で、自分の視野を広げる貴重な体験となった。

…色々と話が横道にそれてしまって、肝心なことを忘れて書いていないかもしれないが、今回のNSTAについては“BUTURIサークルほっこいどう”サークルニュースに詳しいので、そちらをご覧になってほしいと思う。

最後に、私と一緒にNSTAとアメリカ西海岸の冒険の旅へ行ってくださった先生方、私に物理の話を熱心にしてくださった先生方に心から感謝したいと思う。「ありがとうございました。」

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. 原稿用紙の書き方

(1) 原稿で提出する場合

支部所定の原稿用紙（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。

(2) 最初の1枚目は上から7行目まで、題名（副題名）所属機関及び著者名を書き本文は8行目から書いて下さい。

(3) ゴシック・イタリック等の字体の指定は赤字でその旨を示して下さい。

(4) 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, 1995

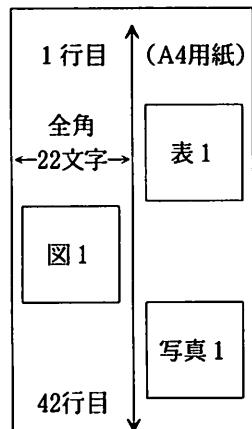
(5) 脚注は文章中の該当箇所に＊＊＊の印を付し、そのページの下に横線を引き、その下に書いて下さい。

(7) 図・表・写真については原寸大で写真製版します。写真はコントラストの良いものを準備して下さい。（尚、表を活字作成する場合は、その旨指示して下さい。）

(8) 図・表・写真の指定場所は用紙に直線で

題名（A4用紙）
(副題) 1ページ目
所属 著者名

概略や本文は8行目から書き出します。
<キーワード>など
1ここから 2
縦2段に
書き始め
横は全角 最終行は
←22文字→ 42行目



囲み指定するので、その余白を予めとっておいて下さい。（図はワープロ原稿の例）

3. その 他

(1) コンピュータ・ワープロ原稿の場合

ワープロの原稿はA4の用紙に左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。

できるだけMS/DOSのフォーマットで2DDのフロッピーディスクに、テキストファイルで保存したもの同封し送付して下さい。

上記以外の様々なワープロ機種の場合は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。

(2) 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。

(3) 本紙は毎年（5月）に発行予定です。

(4) 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。

(5) 本紙講読料は2,000円とします。

(6) 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。

平成9年5月31日発行

日本物理教育学会北海道支部

第25号

編集責任者 菅原 陽

発行 (060) 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学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