

y. Nakano

# 物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

No. 16 1988.6

BUNRIKOKOIGAKU

## 目 次

• 卷頭言	中島春雄	1
• 2次元固体の融解	岡本幸雄	2
• 学生実験テーマとしての ホログラフィー作製実験の実施	佐藤龍司	7
• 結晶格子の二次元回折シミュレーション	藤井隆徳	
	下山雄平	11
• バネの力積測定の誤差について	三好康雅	17
• 運動量と力積の関係の実験	谷亮二	22
• コンピュータを利用した理科Ⅰの授業	西真史	24
• 理科Ⅰのための 「型の物理」(フラクタル)教材の開発(続) —分岐(トリー)について—	山田大隆 河村勁	28
• 第4回全国物理教育研究大会報告		36
• 昭和62年度支部研究会報告		66
• ていー・るーむ		68
• 学会ニュース		72
• 支部規約・会誌投稿規定		73

## 卷頭言

日本物理教育学会北海道支部

支部長 中島春雄

北海道支部にとって昭和62年度は有意義な1年でした。日本物理教育学会の全国大会が第4回物理教育研究大会として8月22日(土)、23日(日)に札幌(北大)で行われ、英国からの2名の招待講演者・会長はじめ道内外からの多数の参加者を得て熱心な討論が展開されました。道内の会員にはとくによい刺激になったことと思います。この大会の成功を支えて下さった運営委員の皆様、発表や参加に御協力下さった支部の皆様に深く感謝致します。

昭和44年に発足しました当支部はそろそろ成人の年を迎えるとしております。支部発足以来10年間支部長として支部の基礎を築いて下さった林正一先生が昨年秋の叙勲で教育研究功労者として受章され、支部としても感謝の意を表わしてお喜びを申し上げました。

これらの実績をもとに今後の支部の発展・充実に努力する覚悟を新たにした次第です。

本誌の発行が春先であるため、どうしても高校・大学入試の印象が強く残っております。新聞紙上に国際比較として「日本の小・中校生は高学力、高校・大学と上に行く程悪くなる。とくに考える力が不足している……」との記事がありました。ハイテクを活した便利な生活(とくに人工都市空間)で育った日本の若者の極端な分極現象が心配になります。勉強とは「<sup>し</sup>強いて<sup>し</sup>める」ことであることを考え合わせると、大学で勉強しようとする意欲ある若者が減少して行くことは避けがたいことのようです。大学教育そのものがいま何とかしなければならないものの一つになっております。昨年からはじまった国公立大学複数回受験も受験態勢—一定時間内得点能力—の整った高校からの受験生がより合格し易くなつたようです。北海道内の北大受験生に限ってみましても、昨年はそれ以前に比べて1.5倍の数の高校から受験生がありましたが、合格者を出した高校数は前年と同じでした。今年もその傾向は続いているようです。可能性のある若人に大学教育を受けて欲しいとの大学側の意向に反して、体験を伴わないテスト用の知識・ミスを減らす訓練だけで疲れ果てた入学者をより多く迎えるのが現実のようです。他方一定学力のものには門戸を開くことになっている西ドイツの大学はマスプロ教育・留年者の増大で混乱し、何とか日本式の入試制度を取り入れたいと研究しているとのことです。各国それぞれに国情にあった大学入試に努力と摸索を続けているのが現状のようです。

国際的立場で、同世代40%近い大学進学者の学力を含めた実力が日本の将来を荷っていることは明らかで、その向上のためにはもっと国費を投じて改善すべきことが沢山あるように思います。大学合格者の氏名が新聞・雑誌に登場するのは、日本の教育の実態を反映しているとは言え何とも耐えがたいことで、せめて一部でも大学卒業者の名簿が世間の注目をひくようになってもらいたいと願っています。そのことが入試を含めた教育改革のあり方を示唆しているように思います。

# 2次元固体の融解

岡本幸雄

## 1. はじめに

2次元物質という比較的新しい研究対象を紹介したいと思うが、読者にとって、3次元物質の相転移について再考する機会となれば幸いである。

通常の3次元物質では、気体・液体・固体の各相が存在し、各相は相転移によって明確に区別される。特に固体（結晶）は長距離秩序（周期的な原子配列）を持ち、気体・液体との区別は明確である。2次元物質ではどうであろうか。1930年代に既にPeierls及びLandauは2次元固体について考察している。そして、有限温度の熱平衡状態で、2次元物質は長距離秩序を持ちえない事を証明している[1]。しかし、その後30年間、2次元物質の実験は困難であり、この問題を考えた人はいなかった様である。

2次元物質の相転移を最初に観測したのはThomyとDuvalである。彼等はグラファイトに希ガス原子を吸着させ、吸着単原子層が気体・液体・固体の各相を持つ事を見い出した。論文は1969年に発表されている。その後の吸着層の研究は多彩であるが、ここでは表題の2次元固体の融解について紹介したい。

## 2. 吸着単原子層の相図

図1に吸着層の実験系の概念図を示す。真空装

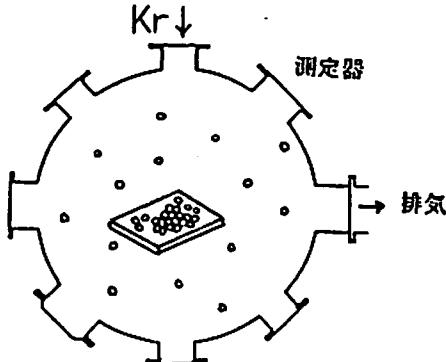


図1：真空装置の概念図

置内には、吸着基盤としての結晶・吸着原子・それと同種の原子の3次元気体とが存在し、それは熱平衡状態にある。吸着単原子層の2次元物質としての相転移を観測するためには、ステップや不純物が極めて少ない平坦な結晶面を基盤として用いる事が必要である。

図2に、代表的な例として、Kr／グラファイト（グラファイトに吸着したKrの吸着層）の比熱から求めた相図を示す[2]。横軸は絶対温度、縦軸は被覆度である。被覆度1.0は図3(a)の状態の吸着量を表わす。この系には、気体-液体転移がなく、気体と液体ともいえない相を流体(F, fluid)と名付けている。固体には二つの相があり、整合相(C, commensurate)及び不整合相(IC, incommensurate)と名付けている。C+Fは整合固体と流体の共存相を表わす。この相図を得た実験の精度内では、C-F転移には1次転移と連続転移（潜熱を伴わない相転移）の領域があり、IC-F転移とIC-C転移は連続転移である。1節で述べた長距離秩序のない2次元固体とは不整合固体の事であり、以下の解説はIC-F転移に限られる。

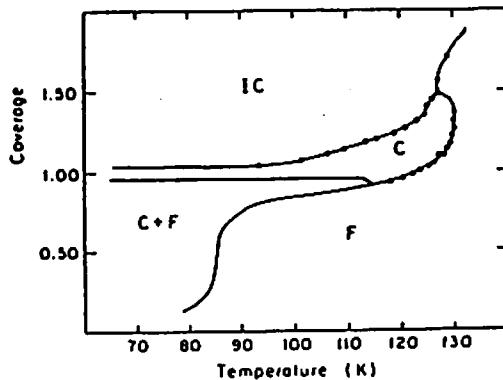


図2：Kr／グラファイトの相図。液体(F), 整合固体(C), 不整合固体(IC)の各相がある。

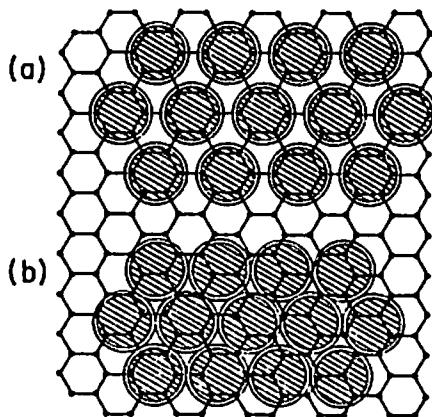


図3: Kr/グラファイトの固体の典型的な原子配列。(a)整合固体、(b)不整合固体。

固相におけるKrの原子配列の典型を図3に示す。蜂の巣格子状の小さな黒丸はグラファイト表面の炭素原子を、斜線入りの円はKr原子を表わす。Kr原子は、炭素原子の作る亀の甲の中心に吸着しやすい。図(a)は整合固体の典型的な原子配列である。グラファイト表面の単位胞に比べてKrの単位胞が $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 倍大きいので、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造と呼ばれている。この相ではKr原子はおおよそ亀の甲の中心のまわりに微小振動するだけであり、長距離秩序を持っている。図(b)は不整合固体の典型的な原子配列である。グラファイト表面の単位胞とKrの単位胞とが単純な関係にないので不整合と呼ばれる。この相は有限温度でもかなり規則的な原子配列をとっているが、長距離秩序を持たない。

### 3. 2次元不整合固体の融解

前節の図2で、Kr/グラファイトの相図を示した。ここで関心のあるIC-F転移は被覆度が約1.5以上、130 K付近に見られる。3次元物質の固体-液体転移は1次転移であるが、一方2次元物質のIC-F転移は図2では連続転移である。この事は、同じ融解現象であっても3次元物質と2次元物質とでは全く異なる機構によって引き起こされている可能性を示唆している。以下で説明するのは、2次元固体の融解が転位対の解離によって起こるとするKosterlitzとThoulessの理論である[3]。

実験事実としては、IC-F転移が1次転移である場合もあり、全ての場合を一つの機構で説明する事はできない様である。詳細については最近のレビュー[4]を見て頂きたい。

#### 3-1 融解の転位理論

不整合固体の原子配列として、典型的な図3(b)を想像して頂きたい。この場合、基盤表面の周期構造はあまり重要ではないので、完全に平坦な表面にKr原子が吸着しているとして基本的な考え方を説明する。図4に、転位が存在するときの原子配列を示す。交点がKr原子を表わす。矢印は転位のバーガースペクトルである。この構造は、完全結晶に余分な原子列を1本付け加えたものと考えれば良い。転位が動いて結晶の外形を変える様子を図5に示す(簡単のため、正方格子の場合を描いてある)。図5(a)の上部に、右方向に力を加え続けると、転位が動いて図(b)の様になる。

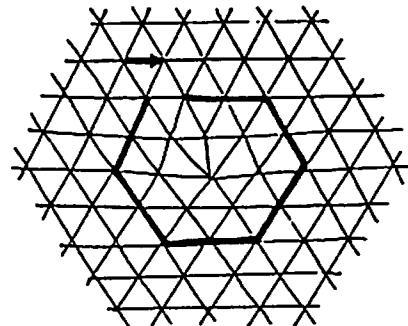


図4: 三角格子における転位。矢印はバーガースペクトル。

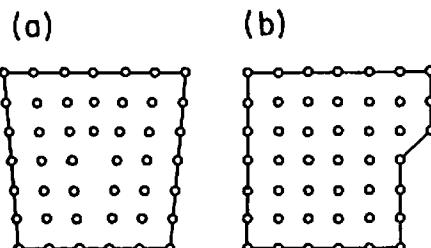


図5:(a)の転位が動いて(b)になる。

今、或る温度 $T_m$ より高温側では“孤立した転位”が熱平衡状態で存在すると仮定してみよう。低温側( $T < T_m$ )でも結晶を作成する過程で転位が入る事があるが、この場合には、3次元固体における転位と同様に、有限の力を加えなければ転

位を動かす事はできない。 $T > T_m$  ではどうであろうか。仮定によって、"孤立した転位"が熱平衡状態で存在し、熱運動によってランダムに動いている。この様な場合には、無限小の力で転位を一定方向に動かす事ができ、物体を変形する事ができる。これは流体の性質である。以上の議論をまとめると次の様になる。熱平衡状態を保ちながらゆっくり昇温していくとき、"孤立した転位"が存在し始める温度  $T_m$  があればそれは融点である。

上で述べた温度  $T_m$  が存在する事を示そう。そのために、1個の"孤立した転位"の自由エネルギーを求める。図4から、転位のエネルギーを近似的に計算する事は簡単にできる。転位を中心とした半径  $r$  と  $r + dr$  の円周の間にある原子は、完全結晶に比べて  $a^2/r$  程度、原子間距離が縮まっている ( $a$  は完全結晶の格子定数)。故に、原子1個当たりの弾性エネルギーの増加は  $A(a^2/r)^2/2$  である。ここで、 $A$  は弾性定数である。2次元固体を半径  $R$  の円とみなし、半径について  $a$  から  $R$  まで積分すると、次の様な転位のエネルギー  $E_d$  を得る。

$$E_d \approx a^2 A \ln(R/a). \quad (1)$$

転位が存在できる位置は格子点の数の程度であるから、転位のエントロピー  $S_d$  は、 $S_d \approx k_B \ln(R^2/a^2)$  である。ここで  $k_B$  はボルツマン定数である。1個の"孤立した転位"の自由エネルギー  $-F_d$  は、

$$F_d = E_d - TS_d \approx [a^2 A - 2k_B T] \ln(R/a) \quad (2)$$

(2)式の  $\ln(R/a)$  は極めて大きな数である事に注意する(熱力学的極限  $R \rightarrow \infty$  では  $\infty$  になる)。この事は、 $F_d > 0$  ならば熱平衡状態で"孤立した転位"は存在せず、 $F_d < 0$  ならば存在する事を意味する。従って、融点  $T_m$  が存在し、その値は次の様に与えられる

$$T_m \approx a^2 A / 2k_B \quad (3)$$

以上が2次元固体の融解に対する転位理論の考え方である。この理論で決定的に重要であった事は、2次元固体における転位のエネルギーが  $\ln R$  に比例する事である。

以下で二つの事を注意したい。一つは、上記の議論では2次元固体の融解は連続転移であると暗に仮定していた事である。従って、融解が連続転移である場合には有力な理論であるが、1次転移の場合には全く別の機構を考えなければならないかもしれません[4]。二つめは 定量的な議論をする場合には考慮に入れるべき事がいろいろあるという事である[5]。それらのうち、図6の様な逆向きのバーガースベクトルを持つ転位対の問題は重要なので、簡単に説明したい。図6の様な転位対は、その周辺にしか歪を作り出さないのでそのエネルギーは固体の大きさによらず有限であり、 $T < T_m$  でも熱平衡状態で有限の密度で存在する。この様な転位対の存在は固体の性質を損うものではなく、転位対が解離して"孤立した転位"が生じると流体になるのである。従って、前段では1個の"孤立した転位"によって融点を評価したが、正しくは、転位対の解離によって融解を説明しなければならない。

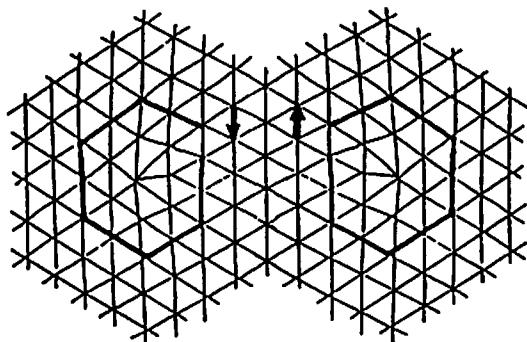


図6：逆向きのバーガースベクトルを持つ転位対。

### 3-2 hexatic phase

転位理論の最も顕著な予言は、固体が二つの相転移を経て等方的流体になるという点である[5]。図4から想像して頂きたいのであるが、転位が動き回っても結晶の方位はあまり乱れない。即ち、 $T \gtrsim T_m$  では液晶に似た異方的流体である。これは中間的な一つの相であって、もう一度相転移を起こして等方的流体になると予言している(図7)。HalperinとNelsonはこの液晶に似た中間相をhexatic相と名付けた。

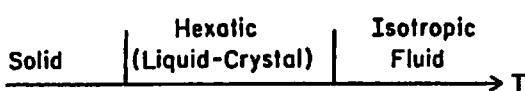


図7：転位理論による相図。

近年、吸着層に対してシンクロトロンX線を用いた精密な実験が行なわれる様になった。hexatic相を観測したと主張するX線の実験も出てきた。しかし、未だ確定していない[4]。実験と理論を比較するとき、吸着層の理想的でない側面をも検討する必要があり、それは今後に残された問題である。

### 3-3 reentrant fluid

図2の相図では、不整合固体は整合固体に直接に相転移している。しかし、精密な実験によると、中間に流体相をはさむという。以下で、この融解に対する理論[6]を説明したい。

先づ、整合固体に近い不整合固体の原子配列を知る必要がある。二つの可能性があるが[7]、ここでは図8の場合を考える。図8の実線の交点は、グラファイト表面の炭素原子が作る亀の甲の中心を表わす。白丸はKr原子を表わす(図3と描き方が違う)。破線の内側は $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 構造をしており、これをドメインと呼ぶ。独立な配置が三つあり、A, B, Cと記してある。破線をドメイン・ウォールと呼ぶ。ウォール上のKr原子は、ややエネルギーの高い吸着位置にある。図8の原子配列は、図3(a)の $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 構造より被覆度が大きい。図8のドメインを大きくしていくと、除々に整合構造に近くなっている。一つのドメインが固体の

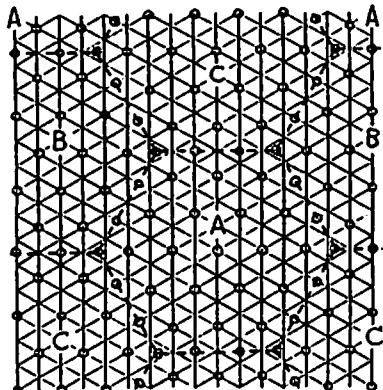


図8：整合固体に近い不整合固体のドメイン構造。ドメインは独立な配置を三つ持つ(A, B, C)。

大きさになると、それは整合固体である。

一つのドメインを一つの有効原子とみなせば、図8の不整合構造は3種の有効原子が作る固体とみる事ができ、3-1節の議論を適用する事ができる。同種の有効原子間の最近接距離を $\tilde{a}$ 、有効原子の作る固体の弾性定数を $\tilde{A}$ とすれば、(2)式から、

$$\tilde{a}^2 \tilde{A} < 2 k_B T \quad (4)$$

を満たす温度では、流体となる。 $\tilde{A}$ に対する表式は文献6で求められており、IC-C転移の近傍では、 $\tilde{A} \approx k_B T / \tilde{a}^2$ である。従って、IC-C転移の近傍では、(4)式の不等式が常に満たされており、全ての温度で不整合固体と整合固体の間に流体相が入り込むと結論される。但し、上の議論では、IC-C転移が連続転移(に近い1次転移)である事を暗に仮定していた事を注意しておく。

最近X線で得られたKr/グラファイトの相図を図9に示す[8]。縦軸は3次元Kr気体の圧力であるが、それを被覆度だと思って図2と見比べて頂きたい。不整合固体と整合固体の間に流体相が入り込んでいる。この流体をreentrant fluidと呼んでいる。

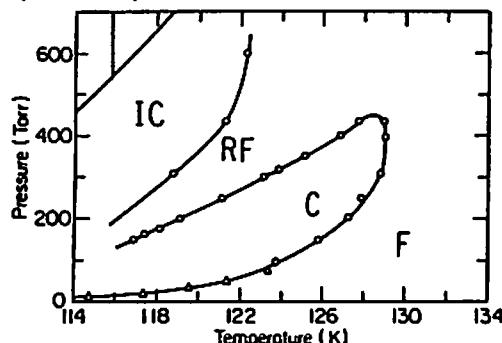


図9：精密な実験によるKr/グラファイトの相図。不整合固体(IC)と整合固体(C)の間に流体相(RF)がある。

### 4. おわりに

2次元固体の融解について、転位理論を中心に紹介した。具体的に説明するために内容を絞ってきたので、以下に二つの事を補足しておわりにしたい。一つは、Kosterlitz-Thoulessの理論[3]の一般性についてである。彼等の理論は、

2次元固体の融解の理論であるだけでなく、「長距離秩序のない“準秩序相”から無秩序相への相転移」という一般的な問題に対する理論である。新しい型の相転移を扱った理論として重要である。二つめは、吸着層の相転移に関係の深い現象につ

いてである。固体表面の再構成、結晶の平衡形ぬれ、3次元固体の表面融解などの問題がある。これらも、最近、清浄表面を用いて精度の良い実験がなされる様になってきた。

## 文 献

- 1) L. D. Landau and E. M. Lifshitz:  
Statistical Physics, I (Pergamon Press,  
1980) §137, §138.
- 2) D. M. Butler, J. A. Litzinger and G. A.  
Stewart: Phys. Rev. Lett. 44 (1980) 466.
- 3) J. M. Kosterlitz and D. J. Thouless: J.  
Phys. C6 (1973) 1181.
- 4) K. J. Strandburg: Rev. Mod. Phys. 60  
(1988) 161.
- 5) D. R. Nelson and B. I. Halperin: Phys.  
Rev. B19 (1979) 2457.
- 6) S. N. Coppersmith, D. S. Fisher, B. I.  
Halperin, P. A. Lee and W. F. Brinkmann:  
Phys. Rev. B25 (1982) 349.
- 7) J. Villain and M. B. Gordon: Surface  
Sci. 125 (1983) 1.
- 8) E. D. Specht, M. Sutton, R. J.  
Birgeneau, D. E. Moncton and P. M. Horn:  
Phys. Rev. B30 (1984) 1589.

# 学生実験テーマとしてのホログラフィ作製実験の実施

佐 藤 龍 司

## 1. はじめに

北海道職業訓練短大は、昭和61年4月に労働省所管雇用促進事業団が小樽市線函に設置開校した短大で、電気系・機械系・建築系合わせて7学科構成となっており、先端技術に十分対応できる人材育成を目的として、実験実習にかなりの単位数を考慮してカリキュラムが組まれている。

その中で、光学技術もいわゆる先端的な役割を担う分野として計測・情報・通信・医療などいろいろな分野において応用されており、今後ますますその発展が期待され、理工系の大学では光学の知識は必要不可欠なものとなっている。

当短大においても光学関連の講義や実験を開講しているが、その一環としてホログラフィの作製実験を集中授業で行なった。ホログラフィの実験は全国的に見ても導入している大学は少なく、導入による効果や評価があまりなされていないのが現状と思われる。

本報告は、今後の光学教育のありかたを論ずる一つの指針として、ホログラフィを学生実験に導入したことに対する結果とその問題点について述べている。

## 2. ホログラフィ

ホログラフィは写真技術の一種であり、また情報を蓄積できることから情報処理技術の一種ということもでき、1947年に D. Gabor が考案したもの<sup>1</sup>。光の干渉と回折の性質を利用して元の物体と全く同じ状態を空間的に再現することができる。

これを作製するためにはコヒーレントな光（例えばレーザ光）を用いて被写体となる物体に照射して拡散した光（物体光と呼ぶ）と、これとは別の方向からの光（参照光と呼ぶ）とある面内で干渉させ、その干渉縞を写真記録すれば良い。記録後現像したものをホログラムと呼び、これに参

照光と同じ波面を照射すると被写体と同じ像が立体的に再生し、観測することができる（図1）。

詳しい数学的な原理や解釈のしかたは参考文献を参照されたい。<sup>2,3</sup>

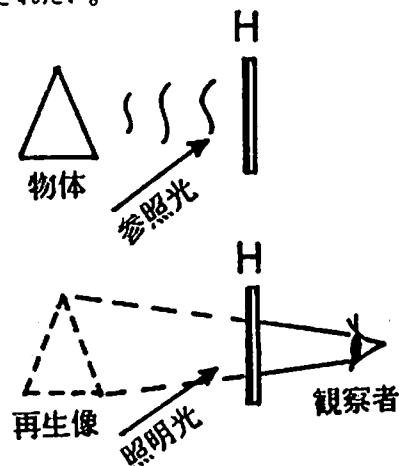


図1 ホログラフィの原理

## 3. 実験のテーマとしての意義

まずホログラフィの作製実験を行なうことによって、どのような知識や理解が得られるのかという点については以下の1~3に示すことが挙げられる。

- 1 : コヒーレント光（レーザ光）の性質
- 2 : 光波の干渉と回折
- 3 : 光学的な情報処理、画像処理

しかも、実験光学系を組むためのレンズやミラーなどの光学素子の取り扱いには細心の注意力と繊細さが要求される。さらに重要なことは、系の設計、記録、再生の各工程において各自の自由なアイデアのもとで実行可能であり、それぞれの発想に相応した結果しか出でこないため、良い結果を得るために試行実験を繰り返し行なうことができる。

学生実験そのものは「現象を視覚にどのように

## 学生実験テーマとしてのホログラフィ作製実験の実施

強烈に印象づけるか」がかなり大きなウェイトを占めると考えられるので、ホログラフィは格好の題材として物理学実験や専門科目の実験に取り上げていくことができるものと思われる。

### 4. 指導計画

実験の指導計画は以下に示す項目に基づいて検討し、計画した。なお、対象学年は2年生で夏休み直前の集中実習（2週間）に行なう。また、装置の都合上グループ編成は2つにした（1グループ8人）。

#### （1）前段階として必要な予備知識

光学関連の講義、特に干渉や回折の現象、光情報についてさらにホログラフィに関して学んでいること。また、写真現像処理ができること。

#### （2）時間数や実験レベルの設定と学生の自主性など

時間数については10～12講（1講100分）程度。レベルの設定はホログラムの基本的なタイプであるレーザ光再生型フレネルホログラムを作製する。また、自主性については各要素の扱い方と確認事項、及び光学系の概略を示すだけで、あとは全て学生自身が行なう。

#### （3）確認事項

1：物体光、参照光の光路長を等しくする  
(コヒーレンスの問題)

2：参照光の角度の決定(空間周波数の問題)

3：防振に関する管理(干渉縞形成の問題)

4：空気のゆらぎ防止と暗室内で行なうための完全遮光をする

5：感材セット時の固定方法

6：適生露光時間の測定

#### （4）レポート内容

通常行なっている実験の書式とし、考察、感想は最低1ページは書かせる

### 5. 実験過程及び実験結果

実際の実験指導では最初に確認事項を含めた光学系の設計や必要要素の検討を行なわせる。各グループが設計し、実行した光学系の例を図2に示す。設計段階で2講、光学系作製で4講ほど費やしている。さらに露光条件の決定に2講、最終記

録と再生像の観察などに2講費やしていた。なお記録されたホログラムからの再生像を図3に示す方向の異なる被写体の像が得られている。暗室内でレーザ光で再生された空間内にポツカリ浮かぶように見える再生像に対し少なからぬ感動があったようであった。

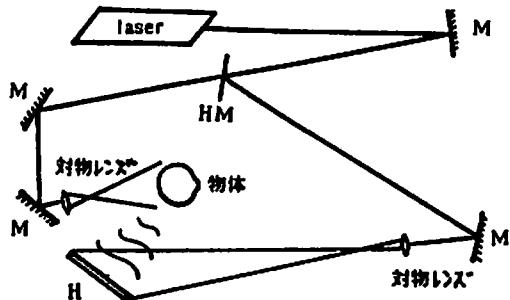


図2 実験光学系

### 6. 実験の導入に対する考察と評価

実験終了後、学生の提出したレポートをチェックした結果、学生からは興味ある意見や反省しなければならない点の指摘など予想以上の収穫が得られた。具体的な例と件数をあげると

◊美しい、不思議だ、感動した……………10件

◊光学系を組むのが大変だった……………7件

◊もっとやりたい……………5件

◊講義で習ったことがよく理解できた………3件

◊少ない人数でやりたかった……………2件

◊コヒーレント光についてもっと知りたい…2件

という内容が目についた。全般的にホログラフィの実験そのものに対しては非常に興味を示し、最終的に満足する再生像が得られたこともあり、充実感を十分に持ったようである。また、光学系を組むことの難しさについては、むしろ「それなりの努力をすればできる」という気持ちがよく伝わってきた。さらに、もっと少ない人数でやりたかったという意見については、現状の設備ではしかたのない部分もあるが、少しでも良い環境下で実験を行なう必要があり、今後早急に充実を考えていきたい。

見逃せない意見として「講義ではよくわからなかったが、実験をしてみて何となくわかりかけてきた」とか、「講義で習った・・・・ところを

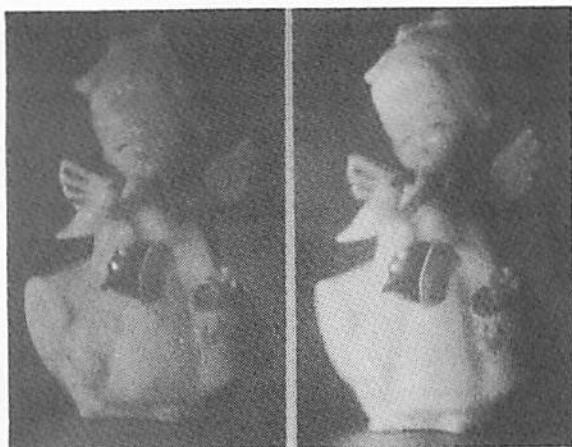


図3 見る方向の異なった再生像

「もっと知りたい」といったものがいくつかあった。

これらの学生の意見は、講義に対応して「ある現象の検証と理解を深める」という実験の目的が達せられた結果と考えている。

今回のホログラフィ実験の導入についての定量的な評価をするにあたり、次のように項目別に5段階評価をして、総合評価とした。各項目の内容と評価について以下に述べる。

- (1) 学生のテーマに対する興味：講義では原理とその数学的意味について論じたが、著者が作製したホログラムを以前に見せたことがあり、かなり興味はあったようである。（5点）
- (2) 学生の実験に対する取り組み方：光学系を組むことにいらいらした時期もあったが、何か新しいことをするためにいい加減な態度ではいけないということがわかったようである。（4点）
- (3) 学生の結果に対する反応：暗闇の空間の中に幻想的な雰囲気をかもしだしながら、かつ実験過程で苦労しながらも予想以上にきれいに再生像が得られていたため、結果に対する感動はことばで言いつくせないほどのものであったと思われる。（5点）
- (4) 学生の理解度：方法論は理解したと思われるが、例えばその理論的数学的解釈については十分とはいえない。しかし、ある論理的思考と実際の現象とがマッチングしていることの美しさには多少なりとも興味を示した。（3点）

参考までに図4にそれぞれの項目の評価点をグラフにしたものを見よ。興味度合いと反応については高い評価を与えられるが、その他については若干評価が低い。ただし、学生そのものの理解力が劣っているということではなく、「理解することはどういうことなのか」といったことの認識不足からくるものと思われる。

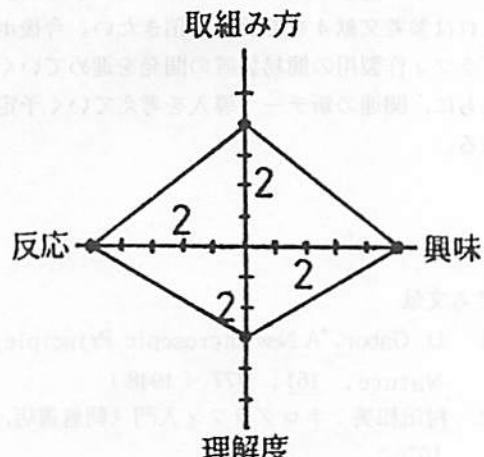


図4 評価グラフ

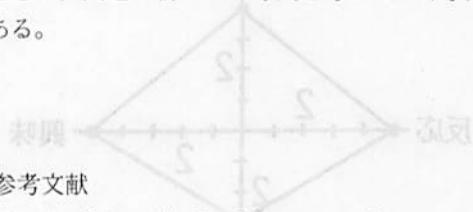
## 7. おわりに

学生実験のテーマとしてホログラフィを取りあげ、その目的、過程、結果に関する評価をしてみた。現在ホログラフィに関する実験は全国の他大学の実態を見聞きしても卒業論文で行なっている以外は、千葉大で過去に実施していた程度である。題材の良さを認めながらも設備と管理が大変であるためと思われるが、実際に今回実験を実施するに当たっても、2週間の集中実習がカリキュラムにあったことで実施できたという背景があり、通常の学生実験として実施するためには学年や理解レベル（物理学実験か専門実験か）などの環境設定や内容を十分検討する必要があろう。しかしながら、光の性質や諸現象の理解には非常に良いテーマと思われる。

実験実施後の評価としては、学生も非常に興味を持ち、光学系のセットに苦労しながらも、美しい再生像をみるとによって、ひとつのものを設計、製作したことに対する満足感を覚えており適切なテーマであったと確信している。また学生の立場か

らは、現象の理論的背景との関連性についても多少不足ながらその重要性に気づいてきたようであった。

実際にこの実験テーマを実施する上での装置はレーザ（2 mW程度のHe-Ne レーザ）と除振台（タイヤのチューブまたは硬めの厚いスポンジなどで防振し、1 m大の定盤でよい）とレンズやミラーなどの光学素子そして暗室があればよいが、これは参考文献4を参照して頂きたい。今後ログラフィ作製用の簡易装置の開発を進めていくとともに、関連の新テーマ導入を考えていく予定である。



参考文献

1. D. Gabor: "A New Microscopic Principle," *Nature*, 161, 777 (1948)
  2. 村田和美: ホログラフィ入門 (朝倉書店, 1976)
  3. 村田和美: "物理教材としてのホログラフィー" *物理教育研究* (北海道支部), № 9 (1981) pp 2-8
  4. 中島真人 花野和生: ホログラフィーハンドブック (暁印書館, 1985)

# 結晶格子の二次元回折シミュレーション

藤井 隆徳・下山 雄平

## Abstract

A graphic analysis system was developed for the systematic understanding of crystalline lattice structure. We applied digital Fourier transformation method on the graphic pixel matrix to yield a power spectrum at spatial frequency (i.e. wave number) domain. The contour map of the power spectrum is almost identical with a X-ray diffraction pattern which gives basic information about reciprocal lattice system.

The present method provides not only a simple simulation method of a diffraction pattern but also a self-learning system for crystal diffraction phenomena.

## 1. まえおき

近年、形<sup>1</sup>または画像情報を自然科学の俎上に乗せる事が可能となり、その原理及び手法の研究が盛んである。就中、フラクタル<sup>2-3</sup>やフーリエ変換<sup>4-5</sup>はその有力な手法であって、特に後者は規則性あるいは頻度という観点から画像の解析が可能であり、非常に有効な方法であることから明かになってきた。これはちょうど空間の距離（norm）の情報を波数という空間的頻度情報に変換することで視点を距離領域（norm domain）から波数領域（wave number domain）へと変化させることに対応する。この変換は互いに可換であり、しかも情報の保存則が成立する。即ち二つの領域で保持される情報は全く変化なく同一である。

本研究は第一にフーリエ変換の2次元的な遂行により、平面の画像データの波数領域の観点から解析することにより画像の形を数量的に評価することを目的としている。第二に2次元フーリエ変換によって、結晶格子におけるX線回折や光回折に類似の回折像がえられることに着目し、シ

※ 北海道教育大学函館分校物理学教室

ミュレーションにより結晶格子のもつ規則性あるいは不規則性を視角的に表示するシステムを構築することにある。前者は形の規則性をたよりとした画像の計量に途をひらくものであって、物理のみならず画像及び造形に関連する分野で必須の解析手法となる。後者のシステムは物理教育への応用として結晶格子とその対応する回折パターンを理解させるための原理的及び直観的な提示方法として極めて優れている。それ故、フーリエ変換法は回折現象の研究と教育に有用であると思われる所以報告する。

## 2. 理 論

2次元フーリエ変換は(1式)<sup>6</sup>によって行われ、距離空間( $k, l$ )より波数空間( $m, n$ )に変換される。

$$F(m, n) = 1/(M \cdot N)^{1/2} \cdot$$

$$\sum_{k=-N/2}^{N/2} \sum_{l=-N/2}^{N/2} f(k, l) w^{km} w^{ln} \quad (1)$$

北海道教育大学函館分校物理学教室

## 結晶格子の二次元回折シミュレーション

$W_M$  と  $W_N$  はフーリエ変換因子で行(横)と列(縦)方向に対しそれぞれ(2), (3)式で与えられる。

$$W_M = \exp(-i \cdot 2\pi/M) \quad (2)$$

$$W_N = \exp(-i \cdot 2\pi/N) \quad (3)$$

ここで  $M$  と  $N$  はそれぞれ画像の横幅と縦幅をデータ数にて表示したものである。

$F(m, n)$  はフーリエ変換後のフーリエ像であり,  $f(k, l)$  は変換前の原画像である。ここで  $(k, l)$  は距離空間座標,  $(m, n)$  は波数空間座標であり, ともに 128 行 128 列の行列要素の数である。

データ行列は実数部  $f_r(k, l)$  と虚数部  $f_i(k, l)$  の二つの部分よりなるが, これらはフーリエ変換によりそれぞれ  $F_r(m, n)$  と  $F_i(m, n)$  へと変換される。2 次元波数座標の各点におけるパワースペクトルは(4)式により与えられる。

$$P_s(m, n) = F_r(m, n)^2 + F_i(m, n)^2 \quad (4)$$

### 3. 数値計算法

座標平面上に, 代表的な二種類の格子構造を 2 次元的に見た粒子の分布を構築する。格子のゆらぎを実現するために, 各粒子の位置に乱数の重みをかけ隣接した粒子同士が重ならないような範囲で元の理想的な配置を乱雑にする。また, アモルファス状態を作るために  $(k, l)$  に対して乱数を発生させ, 互いに重疊禁止の条件下で `random lattice` を作成した。平面に分布する各粒子はそれぞれ  $3 \times 3$  のピクセルに置き換え,  $128 \times 128$  の 2 次元配列データとして変換を行った。データ・ウィンドウは矩形型のものを用いてデータ加工を行った。

実数部分と虚数部分をそれぞれ入力し, その配列を上記の(1)式を基礎とした FFT (Fast Fourier Transform) を授用して, フーリエ変換する。パワースペクトルは(4)式により計算され,  $(m, n)$  座標の各点に対応してプロットされ三次元表示を得る。

### 4. 結 果

計算で得たパワースペクトル  $P_s(m, n)$  を  $128 \times 128$  の座標面上にその強度に応じて等高線を用いてプロットするとあたかも X 線回折で

得られたような逆格子空間の像が得られる。以下に典型的な結晶格子について得られた結果を述べる。

#### 1) BCC (100) 面

Fig. 1 で理想的な立方晶格子モデルを (100) 面から見た 2 次元画像(a)とそれをフーリエ変換し, 得られたパワースペクトルを等高線で表現した像(b)を示す。

Fig. 2 では, Fig. 1 (a) で示した粒子配置を乱したもの(a)と, そのフーリエ変換像(b)をそれぞれ示す。

Fig. 1 (a) のような全く規則的な構造を乱数を用いて Fig. 2 (a) のように乱雑になると, 変換後の像は Fig. 2 (b) のようにパワースペクトルのピークがゆらぎ, また強度が小さくなる。乱雑さの程度が大きい程その傾向は大きくなる。

#### 2) FCC (111) 面又は HCP (稠密六方格子)

Fig. 3 にはば理想的な六方晶格子モデルの 2 次元像(a)とそれをフーリエ変換し, 得られたパワースペクトルを等高線で表現した像(b)を示す。

Fig. 4 では, Fig. 3 (a) の粒子配置を乱数で乱したもの(a)とそのフーリエ変換像(b)をそれぞれ示す。

#### 3) 亂れた格子系

Fig. 5 で乱数を用いて全く不規則に分布した構造の 2 次元像を(a)に, そのフーリエ変換像を(b)に示した。

Fig. 5 (a) のように全く不規則な構造を変換するとはっきりしたピークが現われない。

### 5. 考 察

2 次元フーリエ変換により X 線を使わずに結晶格子の X 線回折における逆格子像を得ることができる。ここで X 線回折との大きな違いは格子の熱運動をいっさい考慮しない静止した格子に対しての逆格子像が得られていることである。フーリエ像の逆格子像に対する原理によって回折点 (spot) 間の距離より原画像の規則構造の距離を決定することができる。例えば原画像の格子点の疎密の違いは回折像ではちょうど逆, 即ち密疏の関係となるわけである。

規則的な構造をフーリエ変換した像是, 点や

Fig. 2 (a)

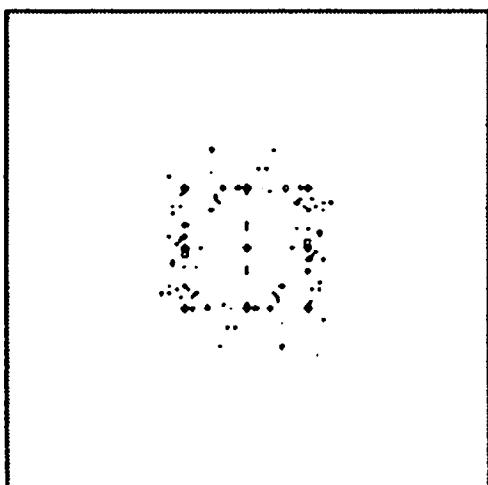


Fig. 2 (b)

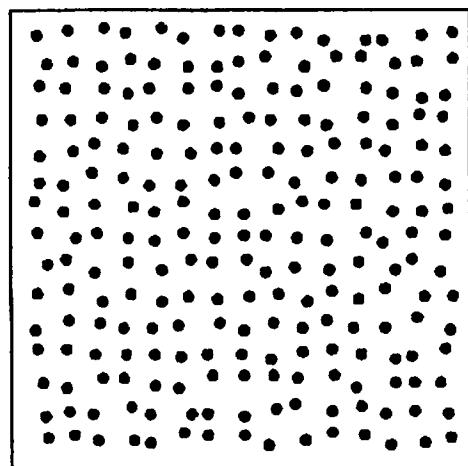


Fig. 1 (a)

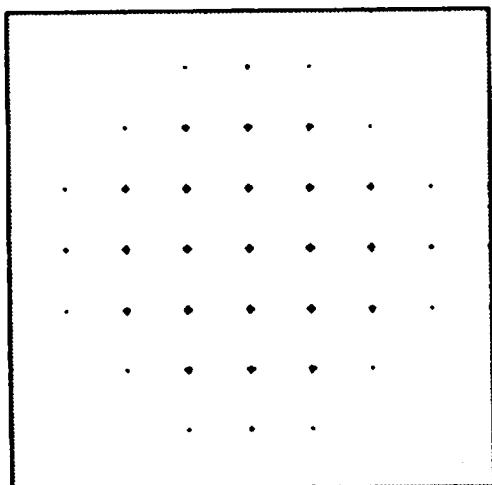
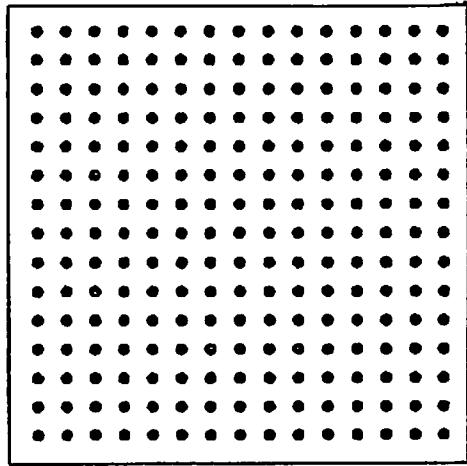


Fig. 1 (b)



統計力学の基礎 (Fig. 1 ~ 4 参照)。また、不規則性を示す統計的数量化方  
法の例が Fig. 5 である。Fig. 5 は、一列の点を規則的な回折、不規則な回折と  
して区別する。

統計力学の基礎 (Fig. 1 ~ 4 参照)。Fig. 5 は、一列の点を規則的な回折、不規則な回折と  
して区別する。

結晶格子の二次元回折シミュレーション

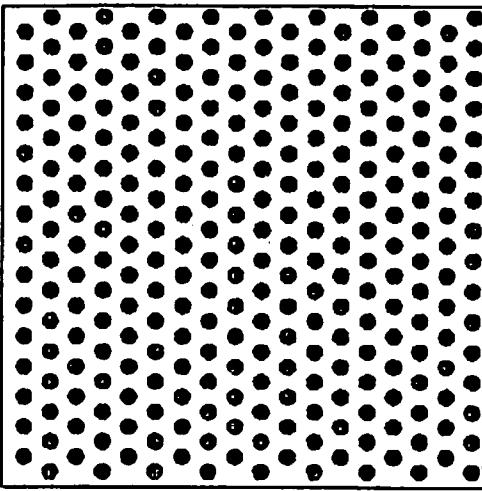


Fig 3 (a)

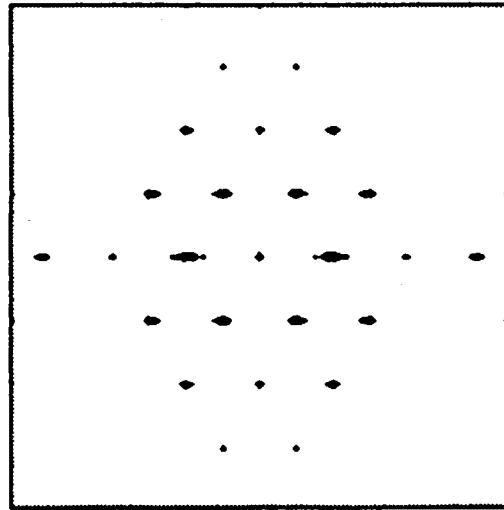


Fig 3 (d)

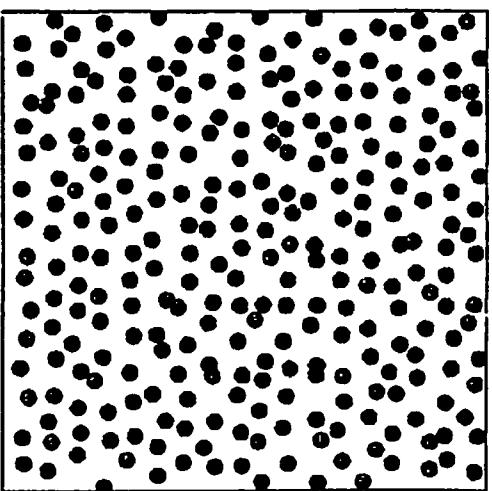


Fig 4 (a)

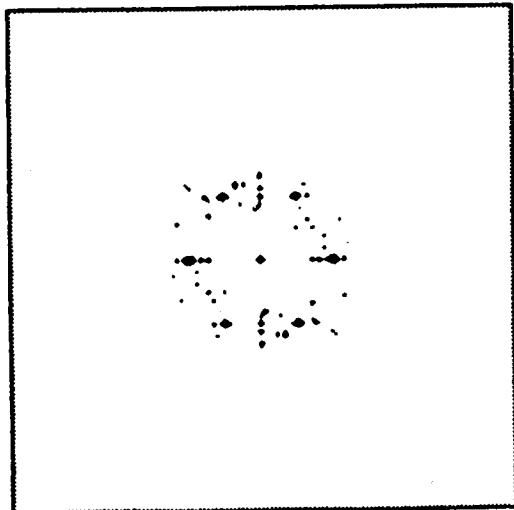


Fig 4 (d)

トモグラフィーによる物体の三次元構造

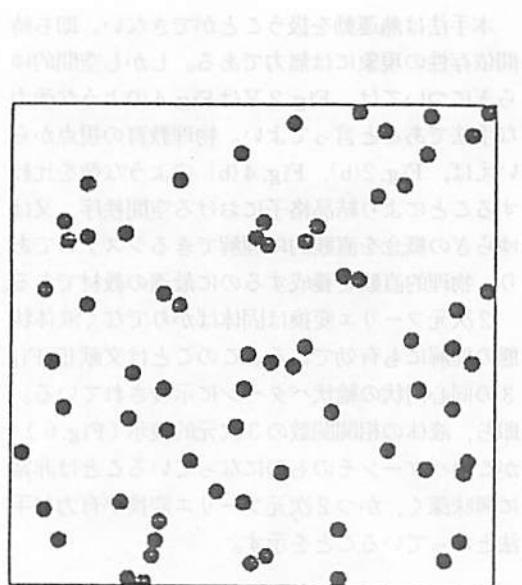


Fig. 5 (a)

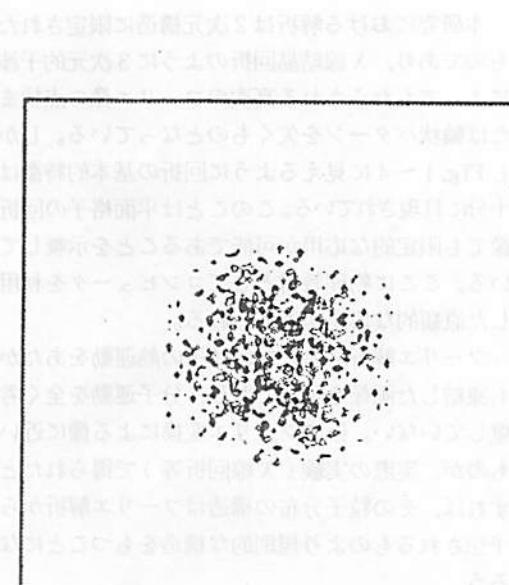


Fig. 5 (b)

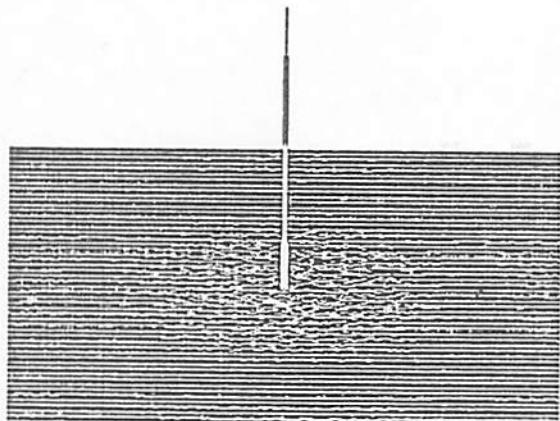


Fig. 6

2) Reconstruction of the Moiré test  
2000-5000 G/mm<sup>2</sup> ppa, 30°, 60°  
(1981)

3) Reconstruction of the Moiré test  
2000-5000 G/mm<sup>2</sup> ppa, 30°, 60°  
(1981)

4) Reconstruction of the Moiré test  
2000-5000 G/mm<sup>2</sup> ppa, 30°, 60°  
(1981)

5) Reconstruction of the Moiré test  
2000-5000 G/mm<sup>2</sup> ppa, 30°, 60°  
(1981)

6) Reconstruction of the Moiré test  
2000-5000 G/mm<sup>2</sup> ppa, 30°, 60°  
(1981)

7) Reconstruction of the Moiré test  
2000-5000 G/mm<sup>2</sup> ppa, 30°, 60°  
(1981)

## 結晶格子の二次元回折シミュレーション

本研究における解析は2次元構造に限定されたものであり、X線結晶回折のように3次元的干渉によってもたらされる高次のフーリエ像の点状または輪状パターンを欠くものとなっている。しかしFig.1～4に見えるように回折の基本的特徴は十分に具現されている。このことは平面格子の回折像でも限定的な応用が可能であることを示唆している。ここに物理教材としてコンピュータを利用した直観的な応用を考えられる。

フーリエ解析においては粒子の熱運動をあたかも凍結した画像を用いており、分子運動を全く考慮していない。仮にフーリエ変換による像に近いものが、実際の実験(X線回折等)で得られたとすれば、その粒子分布の構造はフーリエ解析から予想されるものより規則的な構造をもつことになる。

本手法は熱運動を扱うことができない。即ち時間依存性の現象には無力である。しかし空間的ゆらぎについては、Fig.2又はFig.4のような強力な手法であると言ってよい。物理教育の視点からいえば、Fig.2(b), Fig.4(b)のような像を比較することにより結晶格子における空間秩序、又はゆらぎの概念を直観的に理解できるシステムであり、物理的直観を養成するのに最適の教材である。

2次元フーリエ変換は固体ばかりでなく液体状態の理解にも有効である。このことは文献(5)Fig.3の同心円状の輪状パターンに示唆されている。即ち、液体の相關関数の3次元的表示(Fig.6)がこのパターンそのものになっていることは非常に興味深く、かつ2次元フーリエ変換が有力な手法となっていることを示す。

### 謝 辞

本研究の解析手段たる多次元FFTのソフトウェアを提供して頂いた室蘭工大の前田純治博

士に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 小川 泰 数理科学 246, PP. 7-15  
(1983)
- 2) 山口昌哉 「カオスとフラクタル」  
ブルーバックス 講談社 B652 (1986)
- 3) 高安秀樹 「フラクタル」 朝倉書店  
(1986)
- 4) 田中 肇・西 敏夫 映像情報 17, No 20,  
pp. 19 (1985)
- 5) Kensaku Ito and Norio Ise, J.  
Chem. Phys. 86, pp. 6502-6505.  
(1987)
- 6) 辻内順平・村田和美編 「光学情報処理」  
朝倉書店 (1980)  
pp. 174-187

# バネによる力積測定の誤差について

北海道工業大学 三好 康雅

**目的** 物体が何かに衝突するとき、その物体が受けた力積はその物体の運動量変化に等しい。この原理を実験で検証しようとして、物体をバネに衝突させ、力積をバネの変位から知ろうとするのは素朴な発想である。しかし、バネの質量が無視できないときには、バネの変位は物体に与える力に比例しない。バネの質量がどの程度であれば、それを無視して良いかを考えてみた。

**計算式** 質量が無視できないバネに物体が衝突したとき、バネの変形はバネの中の波の運動として扱わなければならない。図1のように質量 $m$ 、長さ $l$ のバネが $x=0$ の点で固定され、 $t=0$ で、 $x=l$ の所に質量 $M$ の物体が速さ $v_0$ で衝突したとき、バネの任意の時刻、任意の場所の変位は

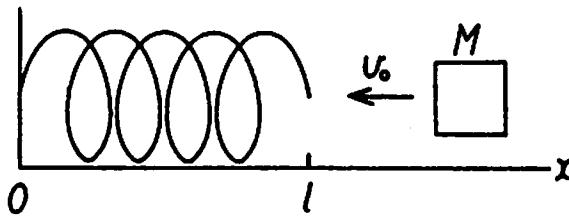


図1

$$u(\xi, \tau) = 2v_0 T \cdot$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin(\alpha_n \tau) \sin(\alpha_n \xi)}{(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n} \quad (1)$$

で与えられる（付録参照）。ここで $\mu$ はバネと、衝突した物体の質量比で

$$\mu = m/M \quad (2)$$

$\alpha_n$ は

$$\alpha \tan \alpha = \mu \quad (3)$$

の解である。また $T$ は波がバネの一端から他端へ到達する時間、 $\tau$ と $\xi$ は無次元化された変数であ

る。

$$T = l/c, \quad \tau = t/T, \quad \xi = x/l \quad (4)$$

衝突は $\xi = 1$ の所で起きるので、衝突した物体の変位と速さはそれぞれ

$$u(1, \tau) = 2v_0 T \cdot$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\mu}{\alpha_n(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2)} \sin(\alpha_n \tau) \quad (5)$$

$$v(1, \tau) = \frac{\partial u(1, \tau)}{\partial t}$$

$$= 2v_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\mu}{\alpha_n^3 + \mu + \mu^2} \cos(\alpha_n \tau) \quad (6)$$

である。また物体に作用する力は

$$f(1, \tau) = YS \left( \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} \right)_{x=0}$$

$$= \frac{YS}{l} \left( \frac{\partial u(\xi, \tau)}{\partial \xi} \right)_{\xi=1}$$

$$= 2kv_0 T \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\alpha_n}{\alpha_n^3 + \mu + \mu^2} \sin(\alpha_n \tau) \quad (7)$$

であらわされる（付録の(2)式参照）。物体が受けた力積は

$$I = \int_0^{\tau} f(1, t) dt = 2Mv_0 \cdot$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\mu}{\alpha_n^3 + \mu + \mu^2} (1 - \cos \alpha_n \tau') \quad (8)$$

である。力積をバネの変形から求めようすると

$$I' = k \int_0^{\tau'} u(1, t) dt \\ = 2Mv_0 \cdot$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{\mu^2}{\alpha_n^3 (\alpha_n^2 + \mu + \mu^2)} (1 - \cos \alpha_n \tau') \quad (9)$$

である。ここで $\tau'$ は衝突終了の時刻で、(7)式において、 $f(1, \tau)=0$ より求められる。(8)式で得られる $I$ が正しい力積であるから、(9)式の $I'$ を擬力積と呼ぶことにする。 $I-I'$ であれば、バネの変形

## バネによる力積測定の誤差について

から力積を求めることができると考えられる。

**計算** (4)式から(9)式までは級数の和である。これを何項まで計算するかは問題になるところであるが、試みに一万項の和を求めたところを後述するように整合性のある結果が得られたので、これで十分であると考えた。この時あらかじめ、いくつかの  $\mu$  について  $a_n (n=0, 1, \dots, 1023)$  を計算し、ファイルに保存して用いた。 $n \geq 1024$  については近似式

$$a_n = n\pi + \mu / n\pi$$

を使った。PC 9801 - VX 21 を使って、ベースックコンパイラによる倍精度計算を行なったところ、1 個の級数の計算に約 90 秒を要した。

### 物体の変位と物体が受ける力

図 2 と 3 に  $\mu = 0.2$  の場合について、(5)式と(7)式から計算された物体の変位と物体が受ける力をそれぞれ示してある。図 2 によれば変位は時間に対して滑らかに変化しているが、力は図 3 のように  $\tau = 2, 4, 6$ において急激に変化している。この時間は反射波が戻ってくる時間である。したがって、この急激な変化は反射波によるものであると考えられる。

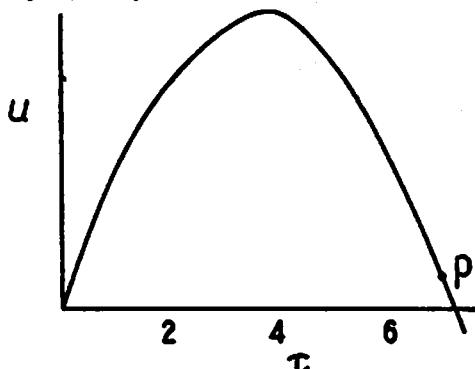


図 2 变位の時間変化 ( $\mu = 0.2$ )

このように物体の変位（バネの変形）と物体に作用する力はまったく違う様相を示す。図 3 の P 点において力の符号が反転し、バネの先端部分は引っ張り状態になる。物体がバネに固着されていないならば、この時物体はバネから離れる。すなわちこの時間が衝突の終了時間  $\tau'$  である。図 2

では  $\tau'$  において、変位はまだ衝突前の状態に戻っていない。

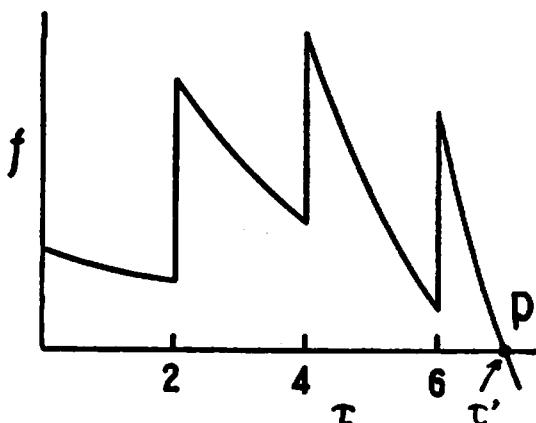


図 3 力の時間変化 ( $\mu = 0.2$ )

### 衝突終了時間と $\mu$ の関係

いろいろな  $\mu$  について(7)式を計算し、図 3 と同様に  $\tau'$  を求めたものを図 4 に示す。それによれば  $\tau'$  は  $\mu$  に対して連続でない。これは衝突終了までに波が何回往復するかに關係している。つまり波の往復回数  $N$  が変化する  $\mu$  の所で  $\tau'$  に飛びが生じている。図 4 から  $N$  と  $\mu$  の関係を抽出して表 1 に示す。

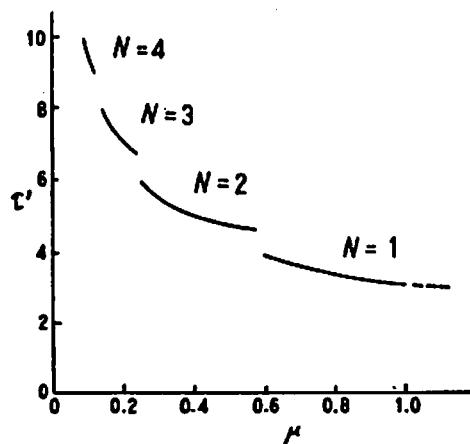


図 4 衝突終了時間と  $\mu$  の関係

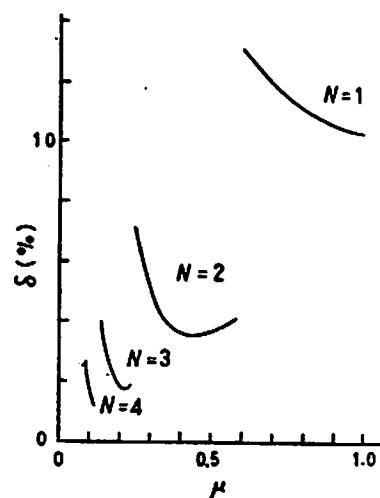
$\mu$	$N$
0.09 ~ 0.12	4
0.14 ~ 0.24	3
0.25 ~ 0.58	2
0.59 以上	1

表1

## 力積関係の計算

力積関係の計算に際しては、 $V_0 = -1$ ,  $M = 1$ とした。(6)式に前項で得られた $\gamma'$ を代入して衝突後の速さを求め、運動量変化 $\Delta p$ を計算した。

$I$ と $I'$ はそれぞれ(8), (9)式より計算した。計算結果を表2に示す。完全弾性衝突であれば $\Delta p = 2$ になるところであるが、衝突後バネにエネルギーが残るので $\Delta p < 2$ になるのは当然である。また $\Delta p$ と $I$ が完全に一致することから、この計算法に信頼性があると考えられる。

図5 誤差と $\mu$ の関係

として表2に記入した。全体的に見れば $\delta$ は $\mu$ とともに増大する。この結果は当初予測されていたものであるが、詳細に見ると、 $\delta$ と $\mu$ の関係は一様でない。 $\delta$ の様相は図5に示すように往復回数 $N$ に強く依存し、同じ $N$ の範囲内では $\mu$ が小さい程 $\delta$ は大きくなっている。

$\mu$	$\Delta p$	$I$	$I'$	$\delta$ (%)
0.10	1.949	1.949	1.985	1.80
0.20	1.958	1.958	1.994	1.84
0.30	1.859	1.859	1.966	5.15
0.40	1.910	1.910	1.981	3.66
0.50	1.925	1.925	1.998	3.68
0.60	1.633	1.633	1.918	16.08
0.80	1.666	1.666	1.879	12.10
1.00	1.688	1.688	1.870	10.28

表2

表2において、 $I'$ は $\Delta p$ より大きい。これは力積を変位から測定するときに誤差が生じることを示している。 $I'$ の $I$ に対する誤差を

$$\delta = \frac{I' - I}{I} \times 100\%$$

考 察 物体の衝突を受けたバネは本来動的な変形をする。もしバネの質量が無視できるくらい小さければ、バネの変形は静的な場合に一致する。その時に衝突した物体の変位とその物体が受ける力は比例する。「バネの質量が無視できるくらい小さい」とは何に比較して小さいのか。これまでの議論によれば、バネの質量と衝突する物体の質量の比 $\mu$ が重要な役割をする。衝突した物体がバネから受ける力は、図3のように反射波が来る毎に急速に立ち上がる。 $\mu$ が小さい程反射波の回数 $N$ が増加し、1回の立ち上がりは減少する。図6は $\mu = 0.01$ の場合の変位と力である。滑らかな曲線とジグザグの線はそれぞれ変位と力である。この計算において、 $k = 1$ としたので変位と力を直接比較することができる。この場合は $N = 15$ 回の波の往復が行われ、変位の線が力の平均した所を通っているのがわかる。両者が作る面積がほぼ近い値になるであろうことも図から予想できる。実際、この場合の誤差は0.1%であった。

## パネによる力積測定の誤差について

について具体的な数値を示すことができた。

### 参考

- 1) 三好康雅 他: 昭和62年度北海道支部研究会
- 2) 谷亮二: 昭和62年度北海道支部研究会
- 3) W. T. Thomson: "LAPLACE TRANSFORMATION 2nd Ed." ; MARUZEN Asian Edition

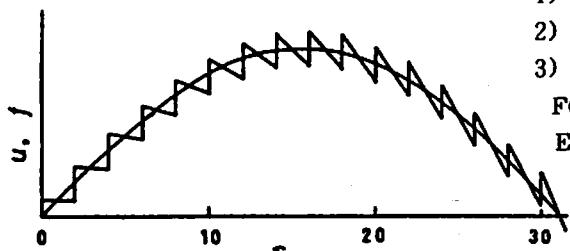


図6 変位と力の時間変化 ( $\mu=0.01$ )

以上の議論により「 $\mu$  ; 小」→「 $N$  ; 大」→「 $\delta$  ; 小」なる筋道ができた。 $\mu$ が小さいということは

- (1) パネの単位長さあたりの質量が小さい。
  - (2) パネが短い。
  - (3) 衝突する物体の質量 $M$ が大きい。
- ということである。(1)の場合はパネ中の波の速さが大きいし、(2)の場合には波の移動距離が小さい。 $M$ が大きいこと、衝突終了までの時間が長くなる。いずれの場合にも、反射波の回数の増加に寄与する。

ここで、実際に実験をする時の留意点について考える。 $\mu$ を極端に小さく(例えば $\mu=0.01$ )することができるれば良いが、実際には限度がある。図5から、 $\mu=0.2$ にすることができるば、誤差は約2%となり、学生・生徒実験を意図した場合十分な精度であるといえるであろう。しかし $N$ の境目(例えば $\mu=0.25$ )では、 $\delta$ に飛びがあり再現性の悪い状態になる。またある $N$ の範囲内では $\mu$ が小さい程誤差が増える。実験に際してはこれらの点を考慮して $\mu$ を選ぶ必要がある。

**結び** この研究は昭和62年度北海道支部研究会における著者の報告<sup>1</sup>の反省と谷亮二氏の発表<sup>2</sup>に刺激されて行ったものである。本研究によって

- (1) 衝突を受けたパネの振舞いをしらべるのに(1)式は有用である。
  - (2) 質量比 $\mu$ が重要なパラメータである。
- ことがわかった。さらに波の往復回数と、誤差に

### 付録 衝突を受けたパネの波動方程式の解

質量 $m$ のパネに質量 $M$ の物体が衝突したとき、パネの中の波の運動は一次元の波動方程式

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

であらわされる。ここで波の速さ $c$ は弾性体の密度を $\rho$ 、ヤング率を $Y$ とするとき、

$$c = \sqrt{(Y/\rho)}$$

であるが、これをパネ定数 $k$ で表現しておく。断面積 $S$ 、長さ $l$ の弾性体棒が $\Delta l$ 変形したときの力は $SY(\Delta l/l)$ である。一方これをパネと考えると、変形に要する力は $k\Delta l$ である。これらを等しいとすると

$$Y = k l / S \quad (2)$$

となる。また $\rho = m/(lS)$ であるから

$$c = l \sqrt{(k/m)} \quad (3)$$

である。

さて、パネの一方 $x=0$ の点を固定し、 $x=l$ の点に質量 $M$ の物体が付いているとする。弾性体の力は $SY\partial u(l, t)/\partial x$ であるから、外力を $f(t)$ として、物体の運動方程式は

$$M \frac{\partial^2 u(l, t)}{\partial t^2} = f(t) - k t \frac{\partial u(l, t)}{\partial x} \quad (4)$$

である。 $u(l, t)$ と $f(t)$ のラプラス変換をそれぞれ $U(l, s)$ 、 $F(s)$ で表わす。 $f(t)$ はデルタ関数的な外力が $t=0$ に与えられたと考える。ラプラス変換の定義により

$$F(s) = \int_0^\infty f(t) e^{-st} dt = \int_0^\infty f(t) dt$$

であるから、これは外力が与える力積に等しい。したがって

$$F(s) = M v_0$$

である。式(1)および(4)のラプラス変換はそれ

$$\frac{d^2 U(x, s)}{dx^2} - \left(\frac{s}{c}\right)^2 U(x, s) = 0 \quad (5)$$

$$k\ell = \frac{dU(\ell, s)}{dx} + Ms^2 U(\ell, s) = Mv_0 \quad (6)$$

である。方程式(5)と境界条件  $U(0, s) = 0$  を満足する解として

$$U(x, s) = B \sinh(sx/c) \quad (8)$$

を仮定し、(6)式を満足する  $B$  を求めると、

$$B = \frac{Mv_0}{(sk\ell/c)\cosh(s\ell/c) + Ms^2 \sinh(s\ell/c)} \quad (9)$$

を得る。ここでばねと物体の質量の比

$$\mu = m/M \quad (10)$$

を定義し、(3)式を使うと、

$$U = \frac{\ell v_0 \sinh(sx/c)}{cs[(s\ell/c)\sinh(s\ell/c) + \mu \cosh(s\ell/c)]} \quad (11)$$

を得る。

さてここで(11)式を逆変換するのであるが、(11)式の pole は  $s$  の虚軸上に有るから  $\alpha = i(s\ell/c)$  と置くと

$$U = -\frac{\ell^2 v_0}{c^2} \frac{\sin(\alpha x/\ell)}{\alpha^2 \sin \alpha - \mu \alpha \cos \alpha} \quad (12)$$

となる。pole の場所は

$\alpha \sin \alpha - \mu \cos \alpha = 0$  または  $\alpha \tan \alpha = \mu$  (13) を満足する  $\alpha = \alpha_n$ , ( $n = \pm 0, 1, 2, \dots$ ) の所である。留数を求めるため(12)式の分母を微分すると、

$$\begin{aligned} & \frac{d}{ds} (\alpha_n^2 \sin \alpha_n + \mu \alpha_n \cos \alpha_n) \\ &= i(\ell/c) \frac{d}{d\alpha} (\alpha_n^2 \sin \alpha_n - \mu \alpha_n \cos \alpha_n) \\ &= i(\ell/c) (2\alpha_n \sin \alpha_n + \alpha_n^2 \cos \alpha_n + \mu \alpha_n \sin \alpha_n - \mu \cos \alpha_n) \\ &= i(\ell/c) (\alpha_n^2 \cos \alpha_n + \mu \cos \alpha_n + \mu^2 \cos \alpha_n) \\ &= i(\ell/c) (\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n \end{aligned}$$

を得る。したがって、(12)式の逆変換は

$$u(x, t) = -\sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\ell^2 v_0}{c^2} \cdot$$

$$\frac{e^{st} \sin(\alpha_n x/\ell)}{i(\ell/c)(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n}$$

となるが、(13)式から  $\alpha_n$  は偶関数であるから  $\alpha_n = \alpha_{-n}$  である。したがって

$$u(x, t) = -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{2\ell^2 v_0}{c^2} \cdot$$

$$\frac{(\cosh st + \sinh st) \sin(\alpha_n x/\ell)}{i(\ell/c)(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n}$$

$$= -\sum_{n=0}^{\infty} \frac{2\ell^2 v_0}{c^2} \cdot$$

$$\frac{(\cos(\alpha_n c t/\ell) - i \sin(\alpha_n c t/\ell)) \sin(\alpha_n x/\ell)}{i(\ell/c)(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n}$$

となるが、実数部分を採用して、

$$u(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2\ell^2 v_0}{c^2} \cdot$$

$$\frac{\sin(\alpha_n c t/\ell) \sin(\alpha_n x/\ell)}{(\ell/c)(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n}$$

$$= \frac{2\ell v_0}{c} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin(\alpha_n c t/\ell) \sin(\alpha_n x/\ell)}{(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n} \quad (14)$$

を得る。

ここで変数の無次元化をはかる。

$$T = \ell/c \quad (15)$$

は波がばねの一端から他端へ行く時間に等しい。従って

$$\tau = t/T, \xi = x/\ell \quad (16)$$

とすると、 $\tau$  と  $\xi$  は無次元化された変数である。

この置き換えをすると、(14)式は

$$u(\xi, \tau) = 2v_0 T \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin(\alpha_n \tau) \sin(\alpha_n \xi)}{(\alpha_n^2 + \mu + \mu^2) \cos \alpha_n} \quad (17)$$

となる。

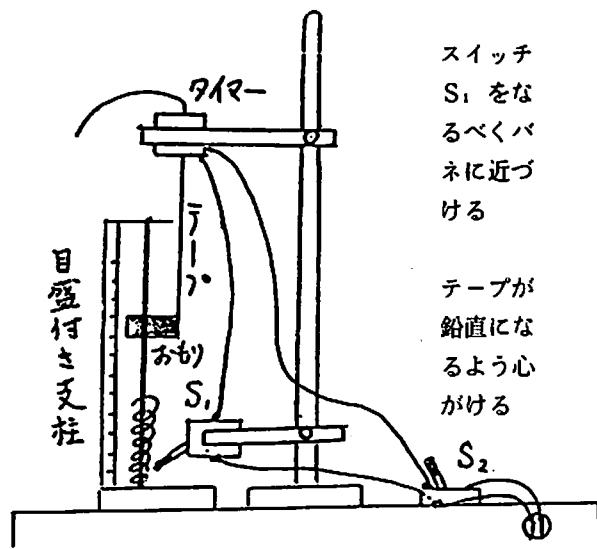
# 運動量と力積の関係の実験

谷 亮二

## 1. 目的

運動量の変化が力積に等しいことを、おもりを自由落下させてバネに衝突させてその縮みの変化をグラフにとり確かめる。

## 2. 装置



スイッチ  
S<sub>1</sub> をな  
るべくバ  
ネに近づ  
ける

テープが  
鉛直にな  
るよう心  
がける

S<sub>2</sub>

## 3. 器具

タイマー ··· 100 H<sub>2</sub> (ヤガミ DR-8)  
バネ ··· フックの法則に従う。測定打点が 4 ~ 5 になるもの。  
おもり ··· 5 g 程度の穴のあるもの。  
物指し ··· 力学的エネルギー保存の法則の装置  
を利用した。  
スイッチ ··· 2 個  
支柱 ··· 2 台

## 4. 方 法

- (ア) バネに加重していきバネ定数を測定する。  
(イ) おもりにテープを付けて自由落下させ、最下点でスイッチ S<sub>1</sub> にわずか触れ電流が切れるようにする。  
(ウ) テープに打点されたら、おもりがバネ及びスイッチ S<sub>1</sub> に触れる瞬間及び離れる瞬間の位置 A, B 点をテープに印す。

## 5. 実験処理の具体化

- (ア) バネの定数 ···  $9.8 \times 10^{-1}$  N/cm  
(イ) おもりの質量 ···  $1.06 \times 10^{-1}$  Kg  
(ウ) おもりがバネに触れる直前の平均の速さ  $\bar{v}$  は PQ の長さを時間間隔で割った値

$$\bar{v} = \frac{\overline{PQ}}{4t} = \frac{1.5 \times 10^{-2} \text{ m}}{\frac{1}{100} \text{ s}} = 1.5 \text{ m/s}$$

$$\text{運動量} = 1.59 \times 10^{-1} = 1.6 \times 10^{-1} \text{ Kg} \cdot \text{m/s}$$

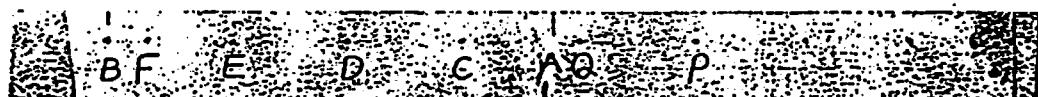
- (エ) グラフ用紙に縦軸に力、横軸に時間をとり A 点を横軸に一致させて C, D, E, F, B の各点をプロットする。

このとき AC 間の時間は比例配分する。

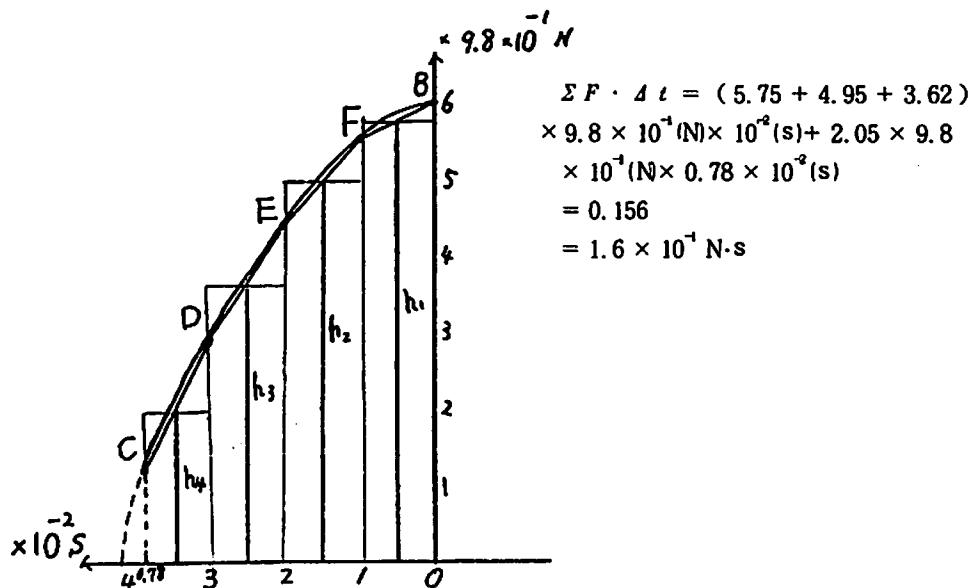
- (オ) 各点を直線及びなめらかな曲線で結ぶ。このとき B 点における接線の傾きは縦軸に直交するように曲線を描く。  
※ B 点は最下点の打点と一致するとは限らない。このときは比例配分の方法をとる。
- (カ) 直線上の各中点の高さ  $h_1, h_2, \dots$  を読みとり

$$\sum F \cdot \Delta t = K(h_1 + h_2 + \dots) \times \Delta t$$

より力積を求める。



### 運動量と力積の関係の実験



#### 6. 感想

装置は力学的エネルギー保存の法則を確かめる器具を利用したが、タイマー、スイッチの回路を含めコンパクトなものができれば更に実験がしやすくなると思う。

実験結果の処理であるが、区分求積を更に進めると精度を高めることができるが高校実験では有効数字2ケタで一致すれば充分であると思う。

生徒実験をするにあたり更に簡便な方法があればお教えいただければ幸いです。

# コンピュータを利用した理科Ⅰの授業

西 真 史

## はじめに

本校は病弱・虚弱生徒を対象とした学校で、昭和60・61年度の文部省特殊教育教育課程研究指定校となった。その中で一人一人の生徒が自己の可能性を伸ばすために、コンピュータを利用した教科指導のあり方を研究しようとコンピュータ5台が導入された(FM16P)。主に商業の情報処理の学習に使用されたが、理科としても物理、化学、理科ⅠのC A Iを試みた。

本校の生徒は、小中学校時代に病気による欠席が多く、基礎学力も定着していない場合が多い。また、かなり能力の高い生徒もいる。クラスの定員(10名)が少なくとも一斉授業には問題点が含まれる。そこで、学力の低い生徒を対象とした理科Ⅰの物理分野のソフト作成を行った。BASICの基礎を学びながらの作業は能率も悪く、完全なソフトにはほど遠いが、シミュレーション中心に試みてみた。授業への導入には次の2点に留意した。

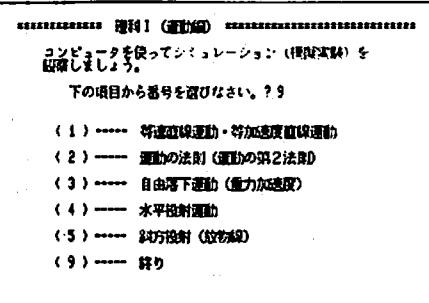
①個別指導—1人に1台程度使用できるので、生徒個人のペースで操作し、その間に指導する。

②実験の補完—写真や図版と違い時間の経過とともに、理想的な観察ができる。また、入力する値の違いで結果がどのように変化するか短時間に調べることができ、実験の演示やまとめに使用する。

様々な利用法があると思われるが、今回は以上のことを基本に具体的な例を紹介させていただく。

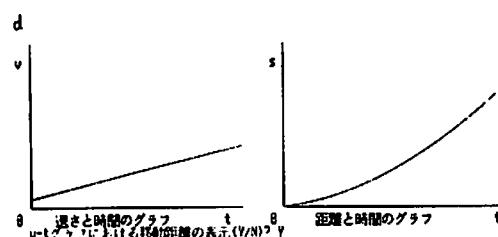
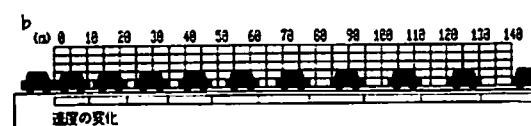
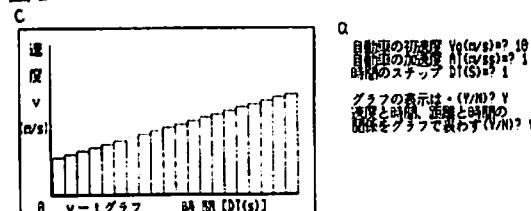
理科Ⅰの運動編のディスクをセットすると図1がディスプレイに表示される。

図1



①等速直線運動・等加速度直線運動について  
等速直線運動や等加速度直線運動の実験には、力学台車と記録タイマーが使用される。紙テープにプリントされた打点を処理して運動の様子を調べることが、理科を不得意とする生徒にとっては苦痛のようだ。図2はシミュレーションがすべて終った状態のハードコピーである。

図2



## コンピュータを利用した理科】の授業

このソフトは実験前の演示として使用してみた。操作方法は次の通りです。

- ① b の自動車が出発点で停止した状態で表示され a の初速度、加速度を入力する。
- ② 入力後 b の自動車が動きだす。（図の場合、1 秒毎のトレイスが残る）また、記録タイマー用のテープをイメージさせるために、自動車の下にテープ状のものを表示する。
- ③ 自動車が画面をはみ出ると、グラフの表示は・（Y/N）が出て、Yキーを押すと C の v - t グラフが表示される。
- ④さらに、d の v - t, s - t グラフも表示される。
- ⑤ v - t グラフにおける移動距離の表示で Yキーを押すと、グラフ下部が塗りつぶされ「面積=移動距離」という表示ができる。

実際に授業で試みて感じたことは、例え同じ内容のことが教科書に書かれてあっても、「動きのある板書」としてコンピュータを使用することで効果はあったと思われる。要領を説明した後は、生徒に自由に使わせた。違う値を何度も入力してシミュレーションを観察することによって運動に対する動機づけが得られた。また、ある生徒は加速度を負の値で入力し、表示された予想外のグラフの意味も考えるというような方向に展開したことでもあった。画面のレイアウト上、第4象限を載せなかっことにより、歪なグラフができそれが生徒にとっては興味深かったようだ。

このソフトはあえて定量的な扱いはしなかった。学習の内容が理解できることと、計算問題ができるることを分けて考えてみたのである。

### 〈2〉運動の法則について

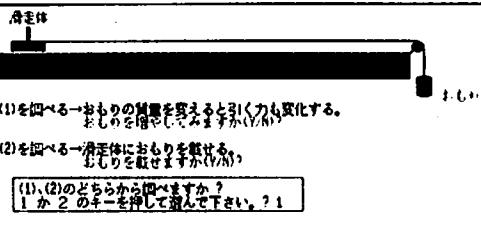
運動の第2法則を調べる実験を行うには、かなりの時間を要する。データの処理に手間どっていると、実験の目的がわからなくなってしまう生徒もでてくる。実際の授業では、実験のまとめとしてこのソフトを使用してみた。図3は最初の説明画面である。

実験では力学台車を使用したが、エアートラック上の滑走体の運動を調べるシミュレーションにした。(1), (2) 2つのシミュレーションを行

図3

<エアートラック上の滑走体の運動について次のことを調べよう>

- (1) 滑走体を引く力と運動の関係
- (2) 滑走体の質量と運動の関係



わせる。またその前に、画面のおもりを増やす指示などで、具体的な操作を想起させた。

図4

<エアートラック上の滑走体の運動について次のことを調べよう>

- (1) 滑走体を引く力と運動の関係
- (2) 滑走体の質量と運動の関係

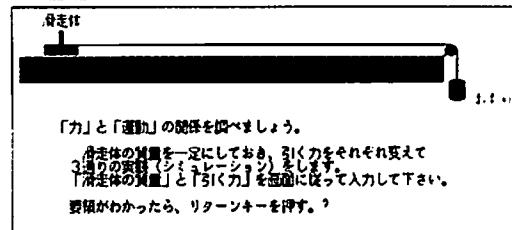


図5

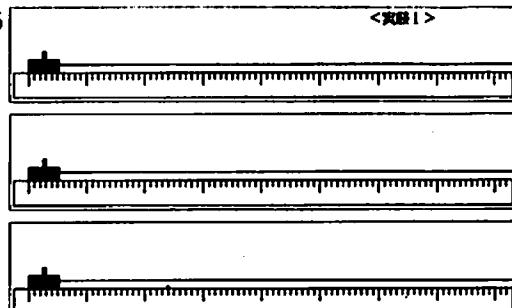
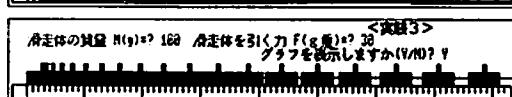
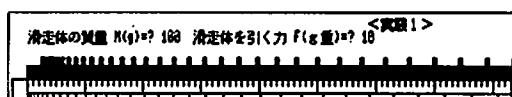


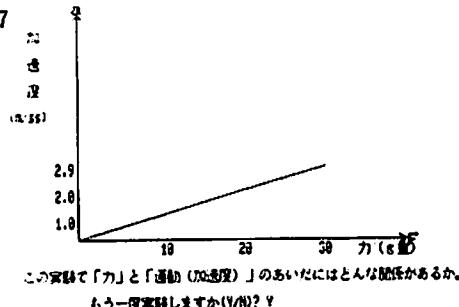
図4は(1)「力」と「運動(加速度)」を調べるために指示である。リターンキーを押すと図5が表示され、滑走体の質量の値を一定にし、引く力を入力し3つのシミュレーションを観察する。3つとも終了したものが図6である。

図6



このソフトでも、〈1〉の等加速度運動のソフトと同様にテープ状の表示も出るように作成した。ここで、加速度を求めるという作業が入るわけであるが、パソコンにそれを計算させグラフ化したものが図7である。

図7



少々、強引な結論の導き方であるが、復習を意識したものであるためこのような流れになった。とにかく、入力する値を変えて何度もシミュレーションを観察し、そのときのグラフの違いなどで運動についてのイメージは持てたと思われる。

(2) 「質量」と「運動」の関係を調べるには、図4の説明文が変わる。引く力は同じ値を入力し、質量を変えてプログラムを走らせる。3つのシミュレーションが終了したものが図8で、加速度を計算させグラフ化したものが図9である。

図8

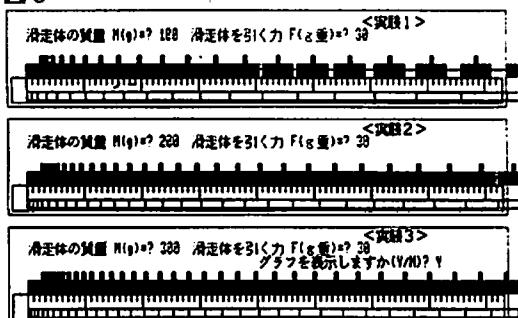
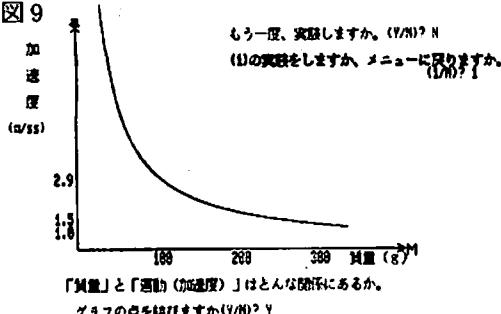


図9



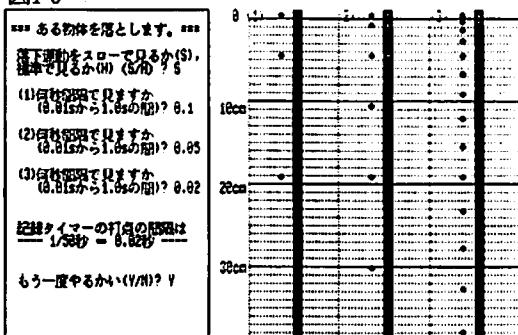
質量の逆数をとったグラフにした方が良いかも知れないが、まとめということでこのような反比例のグラフにした。

実験をせず、運動の第2法則を説明するためにこのソフトを使用すると1時間で進める事も可能であろう。しかし、今回は実験を重視した。画面にスケールを表示し、その値を読み取り加速度を計算し法則を導くこともできるが、誤差の存在や作業の大切さを強調したい。また、計算問題もパソコンを使い演習することができるが、利用法の第1段階としてシミュレーションのみの使い方をしたのである。

### 〈3〉自由落下運動(重力加速度)について

重力加速度を求める実験の前に図10のソフトを使って説明した。ひじょうに簡単なプログラムで作成できる。

図10



加速度を求める場合、平均の速さをグラフにしたv-tグラフの傾きから導く。その際生徒がつまずく原因是、扱う時間が小さいことによるものと思われる。何度か打点の間隔を変えてシミュレートさせてみるなかで、実際の実験で使う記録タイマーの打点間隔は何秒かを確認させ、画面のテープの打点の様子を観察させる。また、0.5秒間隔でシミュレートさせても画面に打点は表示されない。つまり、0.5秒後には40cm以上落下していることになる。このような時間的な感覚を持たせることで、実験に対する見通しができたよう効果があったと思われる。

### 〈4〉水平投射

### 〈5〉斜方投射について

## コンピュータを利用した理科Ⅰの授業

理科Ⅰの教科書では発展的な扱いをしている。授業では運動のまとめとして、生徒に自由にパソコンを使わせた。

図1 1 水平に投げ出された物はどういう運動をするだろうか。  
水平方向 ←・鉛直方向 ↑に注意して観察します。  
初速 (V<sub>0</sub>) を入力して調べましょう。

リターンキーを押す。?

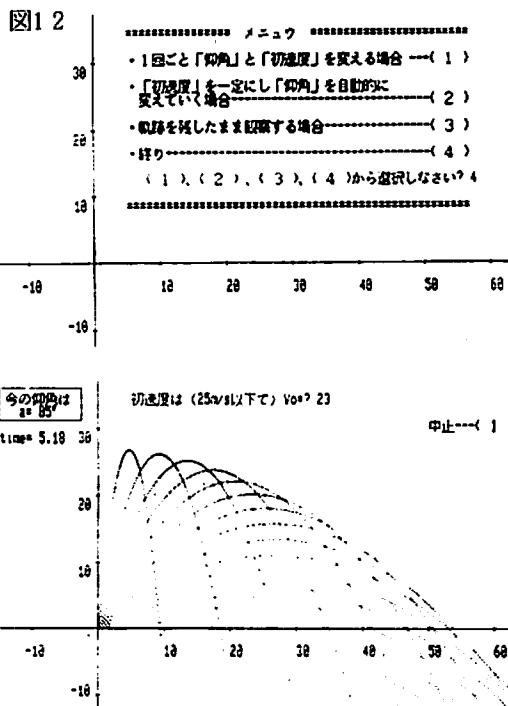
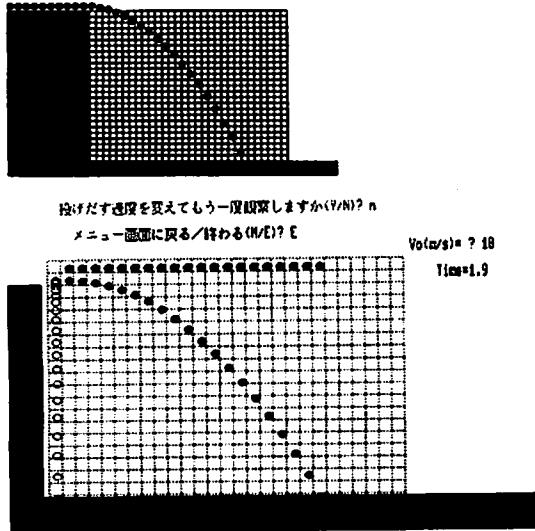


図12の斜方投射では〈1〉から〈3〉のいずれかを選択し、放物線の状態を観察させる。図は〈2〉の仰角を5°ずつ自動的に増やしてシミュレートさせたものである。教科書等によく記載されているが、自ら入力して運動の様子を観察するので、興味をもってやっていた。〈3〉の場合、例えば仰角を一定にして初速度を変えて軌跡の様子を調べてみる。計算した到達距離を単なる数値としてしかみていなかったことに気付く。実際の放物線はこのようなものであったのかと驚くこともあった。

このソフトでは「理科Ⅰ」から「物理」への変換が比較的簡単に行える。公式の表示を出し、計算させたり、演習問題の確認などをさせる。

### 〈おわりに〉

ひじょうに簡単な説明で終らせてしまったが、実際のシミュレーションは図とは違う、「色」がついており動くものである。したがって、図とは異なる印象を受けるかもしれない。また、紹介したソフトは本校の中で考えたものであるから、45人のクラスを対象にする場合、もっと違う形のものになると思われる。結局、パソコンを利用するには、その学校、環境にあったソフトを開発しなくてはならない。市販のソフトではどうしても不満が残り、授業の流れを考慮していないものが多い。

今回は理科が少しでも好きになるよう、理科嫌いを助長させないよう、楽しい授業になることを念頭にソフトを作成した。できる生徒はパソコンを利用しなくとも理解できるものである。能力のある生徒には別のコースを考えなくてはならない。結局、ソフト開発に膨大な時間がかかることになる。そのようにしてまで、コンピュータを利用しなくてはならないのかと疑問を感じることもあるが、ここ数年のうちに統一した意見が集約されると思われる。

今後はシミュレーションに限らず利用していきたいと思う。（例えばスーパーカルク3を使い、実験のデータの処理等）また、お気付きの点があつたらご指導願いたい。

# 理科Ⅰのための「型の物理」(フラクタル) 教材の開発(続)

## ——分岐(トリー)について——

山田 大 隆  
河 村 劲

### 1. はじめに—自然界に多い樹状構造—

前報<sup>1</sup>で、筆者らは、自然の齊一的原理理解のために、寺田らによって創始された「型の物理」の応用が有効であること、特に、理科Ⅰの発展的継続上必要である新教材開発の一例としても、この教材がユニークであることをみた。前報では、「型の物理」の諸領域（空間分割、分岐、ソリトン等）のうち 空間（平面）分割である「ボロノイ分割」を例に その自然界での具体例（シャボン玉、マッドクラック、柱状節理、蜂巣、太陽表面粒状斑、ペナール環等）及びその手作業シミュレーション（隣接三角形各辺二等分線交点作図の不等辺多角形）による分割構造理解の方法（作業教材の開発）を報告した。この教材実施は、今年度（昭和62年度）も3年生理科Ⅱ（文系コース）の授業、及び科学クラブでのコンピューターグラフィックス（マイコンPC 9801 VM2による）の2面で継続・展開実践をしており、より興味深い作業結果（作品）が得られている。

今報告では、「型の物理」（数学的に総称してフラクタル）の他の1例、分岐（樹状構造、トリー）として知られる分野について、その歴史的研究経緯、及び教材論、実践結果（作品）について報告する。自然界には、樹状構造が意外と多く身近であるが、その生成原因（齊一性理解）までは分析されていない。樹状構造の観察（稻妻、河川体系、樹木、血管系、会社組織図等）から始め、それが美的であるとき、齊一原理（分岐定数）があり、その定数成立にはエネルギー最小限度（経済）による分岐といった本質が支配し、それを作業により再現（シミュレーション）するといった教材開発への展開を述べる。この報告の一部は、第25回北海道高等学校研究大会理科部会（於札幌開成

高等学校、1988.1.8）及び昭和62年度物理教育学会北海道支部研究会（1987.12.11、於北海道大学工学部）で発表したものであり、それに加筆した。

### 2. 分岐研究の歴史的経緯

—リヒテンベルグ图形からフラクタルまで—  
1870年、ゲッティンゲン大学物理学教授リヒテンベルグ（G. Lichtenberg）は、乳剤を塗った絶縁板の両端に電極をつけ、高電圧をかけて絶縁破壊を起した放電（沿面放電）光が乳剤中を通って感光する性質を利用して、見事な放電樹状图形（稻妻）の撮影に成功した。これが高感度印画紙のない時代、放電光の撮影を史上初めて行ったリヒテンベルク图形で<sup>2</sup>、これを後の寺田寅彦が眼をつけ当時（昭和10年）多発した飛行船の静電気発火事故原因究明（放電光研究）に応用し、北大で雪の研究者として名声を残した中谷宇吉郎が初期に師寺田から与えられたテーマがこの放電光研究であった。中谷はしたがって、放電光の権威というべきであり<sup>3</sup>。事実、岩波新書旧版に「雷」の名著がある。しかし、放電光は研究対象としては発展性に乏しく、北大に来てからの中谷はテーマ替えをねらっていた。しかし、寺田に示された身辺現象から自然齊一原理を抽出する創造性の物理、「型の物理」の手法は生きており、次の素材、「雪」にその対象を見いだしたのであり、中谷は、分岐から分割へ型の物理を押し進めた、と見てよい。

1936年には、寺田寅彦の後継者、平田森三が「割れ目の科学」を広汎に研究する。ガラス板を熱し、除冷すると、内部に発生したアニーリングによるひずみ（応力）のために、最初は一線、次いで両端から支流一本流の関係となる様分岐が自動的に発達していく。この現象から、自然界一般

の齊一原理(エネルギー最小となる様な分岐発達)をシマウマの模様、稻妻(リヒテンベルグパターン)、樹木一般に見ようとした。体系として確立された(中谷の「雪の研究」のように)ものはないが、今日フラクタルとして、数学やコンピューターグラフィックスで流行の「型の科学(物理)」の創始を「分岐」で始めた功労者として記憶される。分岐を含めて、パターン科学を寺田流物理の完成として発展させたのは、1970年、京都大学での「型の物理」研究会であり、高木氏を代表として多くの研究発表会、刊本<sup>5</sup>がなされているのは周知のことであろう。型、特に「分岐」に注目するのは、樹状構造の数学的分析として「植物形態学」河川体系として「パターン地学」(米でグラフィックスを使って盛ん)として今日隆盛をみている。フラクタルの原義となったのは、1968年のマンデルブローの「フラクタル幾何学」<sup>6</sup>からである。これは近年、コンピューター(大型)の強力なグラフィック機能を用いて急発展している研究分野である<sup>7</sup>。

### 3. 自然界の分岐图形

高木<sup>8</sup>によると、自然界中に存在する枝分れ構造(分岐形)は、まず(1)流れを有する(樹木…樹液、血管…血液、川…水、雷…電流、道路…人、車、会社組織図(命令、情報))こと、(2)最適過程の運動(エネルギー経済)の結果生じた形状であることがその本質としている。さらに、枝分れ图形の成立には、各部分の、見い出される分野によらない特有法則性(統一則)の結合で成り立つ面があり、木らしさを規定するには、(1)枝分れの仕方(分岐定数)と(2)分れた後の枝の長さ(分岐長)の2つがある、としている。

高木はさらに、樹木状の枝分れは(1)放射状(樹形、トリー(tree)…植物の形の原則である、(2)樹目形(円環…リサイクル型)…血管系、葉脈、水道系統、下水系統、の2つに大別されるとし、各々純粹に成り立つものは少なく、自然界の枝分れは大部分が、トリー+樹目形の混合形であるとしている。

ヒトデの

感覺、運動神経…トリー

中枢神経…樹目(輪状)  
高等動物の高度機能組織でみると  
中枢部(大脳)…樹目形  
運動部(手足)…トリー

ととなることになるらしい。いずれにせよ、自然界の齊一原理が、この様な単純で合理的な本質を有していることに一種の感動を覚える。

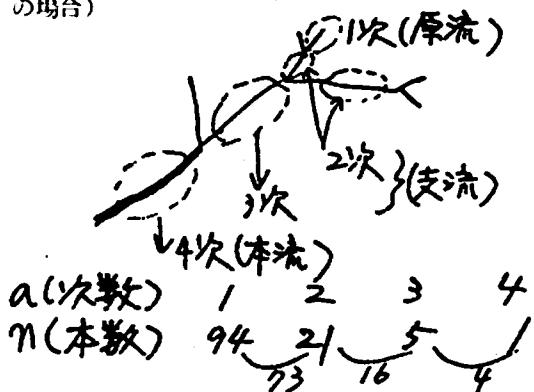
### 4. 樹状形態の数理解析

ラシェフスキー(米)は木の全重量、新陳代謝量をパラメータとして、幹、枝太さ、分岐の状況を研究し、アロエ型、若木型、ボプラ型、ウメ型の4系統に樹状構造を分類した。また、神谷他<sup>10</sup>は、犬の腸間膜血管についてしらべ、(血液輸送用としてエネルギー最小(最大効率)のグラフをなすことを発見した。このモデルでコンピューターシミュレーションを行うと、実測図とよい一致を示した。つまり、血管系の枝分れが目的に叶った形態を有する、ということである。高木はこの神谷他の研究から発展させて、川の分岐状況を調べ、地形(斜度)、気候とどの様な相関があるかの興味ある結果を得た。それによると、分岐の小さいものはナイル川で、これは長い谷間を走る、太い本流と細かい支流を持つことから規定され、又、分岐の大きいもの(蛇行川)はアマゾンであり、これは平野中を流れ、分岐、分流が合流していくことによる。樹目形(編行)河川としてはオビ川があり、これは湿地帯河川の特徴である。この様に、河川一つをとっても、自然の規定性をうけ、その形態には自から共通的特徴が出てくる。この齊一性の理解は、まさに、パターンにより新教材と創造していくとする、総合理科の視点として、まさにふさわしい対象となる。

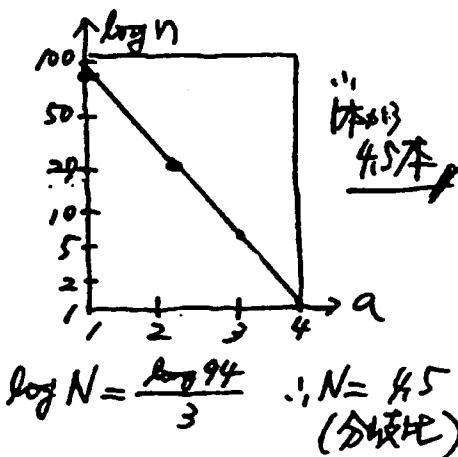
### 5. 分岐に関するHortonの法則

分岐系が1本から何本の交流(岐分れ)が生じて構成されているか(例えば、n=2ならば3ステップ(段階)後には $2^3 = 8$ 本 n=5ならば $5^3 = 75$ )を調べるには、「分岐に関するHorton(ホートン)の法則」なるものが経験的に存じ、植物形態学やパターン地学研究の主要な手段となっている。高木によると<sup>9</sup>、次図の様にまず本流・

支流を確定し、次数本数を決める。(某河川体系の場合)



これを半対数グラフプロットして、逆対数をとると、分岐比  $N = 4.5$  を得る。即ち、平均してこの河川体系では1本から4.5本の下位河川が出て、樹状構造を作っている。という結論になる。全体の図形美は、この4.5に規定される、ということである。(後にみるように、山間部の急流河川では  $n$  は小、平野部の網目状では  $n$  は大となる)



これを各地の河川体系や樹木等樹構造に適用して計算してみると、次のような分岐比が得られた。この分岐比は、自然界の各場合に特有の法則性の反映と考えられる、斉一的原理となる。即ち、樹木地は4附近が多く、河川では、平野型は大、山間地形では小(急流直線型)ということである。

例) N

- 北海道河川 4.3 (共通…道地形反映)
- ナイル 3 (河川型)
- アマゾン 4.1 (平野型)

- 樹木 4 (京大 四手井) 生物・無生物に共通の統一原理  
(アカマツ、ウバメガシ  
ヤシャブン、サイゴク  
ミツバツツジ)

- 稲妻 4
- ガラス板割目 3 (平田森三) …物の流れ  
(瞬間衝撃、継続荷重不均一加热)

この考え方(エネルギー最小、つりあい(平衡)となる様な分岐の仕方を自然界はとる、エネルギー経済的世界像)は、情報の流れである人的構成(組織図)にも適用出来、某美術大学での学長以下各教室までの組織図分析にも適用出来「最良運営分岐数は3.2である」という興味深い結果も出ている。

#### ◦ 自然現象以外の分岐

例) 美術大学の組織図

学長	学部	課科	専攻
理事会			デザイン
a	4	3	2 1
n	1	3	11 34

組織運営上の最適分岐数

$N \approx 3.2$  大…小数リーダー、中央集権的小…複雑、多階層

分岐以外にも、この手法は網目構造(樹目型)にも適用出来て、同様の分岐法則が成り立つことを高木は見い出している。

#### ◦ 樹目(葉脈)

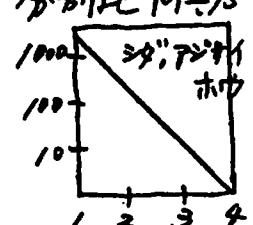
最外側輪郭…4次樹目(葉全体)

内部区画…3 " エネルギー消費量最小の物の流れ  
より " …2 " より " …1 "

分割比  $M=1/5$

例) 地域開発

M
九州……7.6
四国……4.3



#### 6. 高校理科教材への応用

今日、寺田の時代と異なる状況下(コンピューターグラフィックス及び高分析力で非線型代数の解法が迅速かつ描画化可能となった)で、「フ

クタル幾何学」として、再び「型の物理」が注目を集めてきていて、その訳であるが、しかばら、それをどのように教材として展開するか。筆者らは、次のようにその段階を考えた。

#### 〈分岐教材の教材論授業論的視点〉

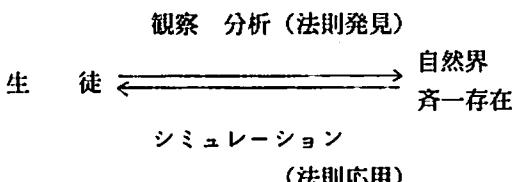
1. 自然観察から、分岐上の齊一原理（分岐定数、分岐化）の存在することを、作業をさせて気づかせる。（半対数グラフの利用は事前に教授する）

2. 生徒の把えた齊一原理を既存研究（植物形態学、バタン地学等）結果と比較させ、視野を自然界全般へ広げさせ、その齊一原理支配の本質が「平衡」即ち「エネルギー経済学」にあることを気づかせる。この視点は、前回「ボロノイ分割」での、「力のつりあい」点を求めて分割が進行していく解析と同じである。

#### 3. シミュレーションの実施

生徒にとって大きな感動は、その様な齊一原理の解明が、高度な電算機分析の結果からしか得られない「高踏さ」ではなく、生徒の認識や作業レベルで把握しうる「身辺性」に存することにある。小は「身辺性」から、大は「超大型コンピューター」まで同一手法で解析出来る、という「連続性」への発見が感動を生むのであり、物理的手法の最大の価値（自然界の小数原理成立性）がここにも出ているし、このアプローチを通じ、機械的、上意下達式の今日の「仕込み型」物理教育（これが大量の物理離れを生む）を改善して、「発見型」物理教育の感動性が復権されることになる。つまり、フラクタルや型の物理は、基本的には、物理教授法の刷新につながるヒントを与える、ということである。

その生徒サイドからの「身辺性」に基づく、齊一性原理理解の方法は、「作業」によるシミュレーションである。図示すると、



のような関係となり、分析・発見が自然界への下向志向に対し、シミュレーションは上向志向での確認・応用力練磨ということになる。

#### 〈シミュレーション（作業学習）の方法と授業結果〉

- ①分岐数（分岐比）、ステップ数の本質的意味について徹底しておく。
- ②作図法の指導（上位段階で、枝が重ならない様に又、美的であるよう、心がける）
- ③まず指定分岐数、ステップ数でのドリル演習
  - (1)2分岐5ステップ、5分岐3ステップなど分岐数一定下で
  - (2)2分岐2ステップ後、3分岐2ステップ等、分岐数、ステップ数を変化させて
- ④生徒任意分岐数、ステップ数での応用問題作図

#### 〈留意点〉

- イ、不自然なステップ、分岐数はさける。
- ロ、なるべく自然に近いイメージ、作品となる様心がける。
- ハ、独創性を重視する。

この視点から、ドリル的段階の作品、応用問題（創造性評価）の作品例を以下に紹介する。

#### 〈フラクタル学習の実施〉〈分岐、1987.9〉

理科Ⅱ、3年文系学級（男14名、女22名、計36名）

1987.8～10（3ヶ月）

ボロノイ（6 h）、分岐（6 h）、ソリトン（6 h）  
計18 h 実施

- (1)ドリル段階（2.3.4.5分岐、3.4.5ステップ）
- (2)応用段階（任意分岐定数、任意ステップ）
- (3)樹状型について、自然とのアナロジー分析させ、また、作品の創造性を検討。

#### 7. 今後の課題（コンピューターグラフィックス）

前回の「ボロノイ分割」と同様に、分岐系でもフラクタル（型の物理）の教材的意義が確認された。本来、フラクタルは自然の齊一原理を示しやすい対象で、生徒も興味関心を持ちやすい（身辺性と造型美から）。しかも、作業でシミュレート確認出来る手軽さから、この齊一原理理解が出

来る点は意義深いものがある。マイコンクラブや授業デモ用としてコンピューターグラフィックの容易な出力がある。

フラクタルの今日際盛のポイントは、グラフィックでの美しさにあるが、プログラムは膨大である。しかし、近年、マイコンでも人工知能言語C言語系が開発され、プログラムレスの時代となり、フラクタル出力用プログラムの作成がコマンド入力程度で良くなつたのは素晴らしい。北大の北村によるC言語系人工知能言語L aplasは教育用目的に開発され、CAI設定の他、フラクタルの出力にも極めて有効であった。1987年12月の公開<sup>11</sup>では、分岐の他、コッホ曲線 ヒルベルト曲線の出力が数行のコマンド入力のみで示され、人工知能言語の能力とフラクタルシミュレーションへの適切さが明示された。

以下に、当日のデモで、分岐(多進木)を出力する場合のコマンド列の例を示す。L aplasは「ASCII」ソフトとして市販され、価格は3,000円であるが、インタープリターのみで、副駆動系として、MS-DOSのバージョン3.1を必要とする。FM系への移植も考慮中とのことだが、中心はSORD対応(反応の時間が最も速い)で、PC-9801でも十分に使える。FMは現在の所、対応していない。近く、開発者からの教育用コマンドリストとシミュレーション例及びCAIが提出される予定と聞いている。

コンピューターグラフィックス  
マイコンクラブ及び授業デモ  
Laplus(北村、1987)利用  
ASCII 1987.9-12号  
Laplus+MS-DOS(3.1 Version,  
Key他)  
(ワープロソフトMS-DOSも可)  
A> chdir laplas > laplas  
A> laplas 起動 > l  
> "demo" load  
2進木 > 'nishigi((len ang > var  
(2分岐トリー): len draw  
: len 5 <  
:(5 color 5 sphere tomdrop)

```
: ((tomdup ang turn
: len 2 / ang nishingi
  { sanshingi
    | yonshingi
    goshingi
: 180 spin ) 2 repeat
: tomdrop )
: if .
  { 2分岐 180° 2 repeat
    { 3 " 120 3 "
      4 " 90 4 "
      5 " 72 5 "
    }
  > 'tinit (cls home
    tomdup 90 turn
    - 180 move 100 draw)
  > tinit 120 45 nishingi (任意指定可)
    腕長さ 中心からの開き角度
  いずれにせよ、フラクタル教材は、1つには寺田寅彦の指摘にまつまでもなく、生徒対応として、身辺性の作業学習での斎一原理発見用として2つには、今日強力なコンピューターグラフィックス機能を用いての画像出力デモによって、物理や理科I教育用教材として多大の可能性を本質的に有している内容であると結論出来る。(ただし、年間の授業計画の中でどこにはめこむか、力のつりあいか、エネルギー論か、の課題は未解決のままである)
```

(1988.2.19)

## 注(引用文献)

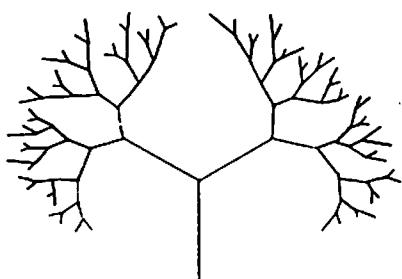
- (1) 山田大陸・河村勁「理科Iの新しい教材—「型の物理」(ボロノイ分割)を中心として—」(『札幌藻岩高校研究紀要』Vol.9, PP81~92, 1987.3)
- (2) 中谷字吉郎「Lichtenbergの模様について」(『物理学文献抄』(物理学輪講会同人編) PP196~244, 岩波書店, 1928)
- (3) 宇田道隆(編)「科学者寺田寅彦」(NHKブックス:昭和50)
- (4) 平田森三「割れ目の科学」(『応用物理』5, 1936, P37, 482;『科学』7 (1937, P585)
- (5) 小川泰「形の物理学」(海鳴社, モナドブ

## 理科 I のための 「型の物理」( フラクタル ) 教材の開発( 続 )

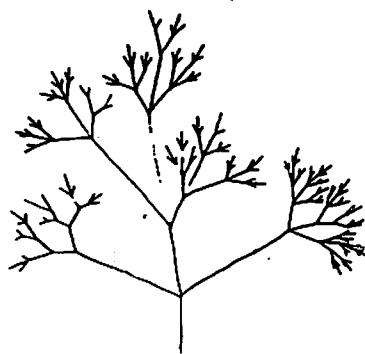
ックス、 1983 ), P P 46~58 に研究会発表

### 題目

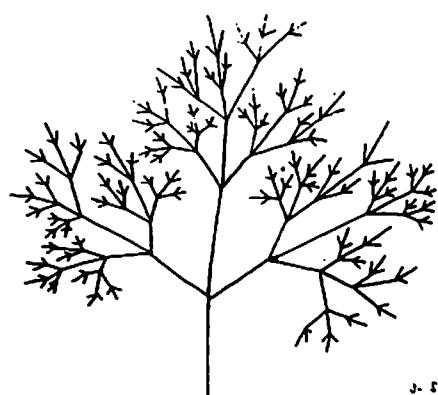
- ( 6 ) 「特集、形、フラクタル」 (『別冊数理科学』 1986. 4 ) ; 高木隆司「かたちの探究」 ( ダイヤモンド社 ) ; 同「形のふしき」 ( 講談社現代新書、 1984 ) ; 山口昌哉「カオスとフラクタル」 ( 講談社、ブルーバックス、 1986 )
- ( 7 ) B. マンデルブロー ( 広中訳 ) 『 フラクタル幾何学 』 ( 日経サイエンス社、 1986 )
- ( 8 ) 「特集、フラクタル幾何学の美」 (『 ニュートン 』 1986. 10 ) ; 「特集、フラクタル周辺の数理」 (『 数理科学 』 1987. 9 )
- ( 9 ) 高木隆司『 形のふしき 』 ( 講談社現代新書 1984 )
- ( 10 ) 神谷他、「血管分岐系の最適構造」 (『 医用電子と生体工学 』 8 , 136 ( 1970 )
- ( 11 ) 昭和 62 年度日本物理教育学会北海道支部研究会 ( 1987. 12. 12 , 於北大工学部 ) での発表 : 北村正直「人工知能言語 Laplas の高校物理教育への応用」



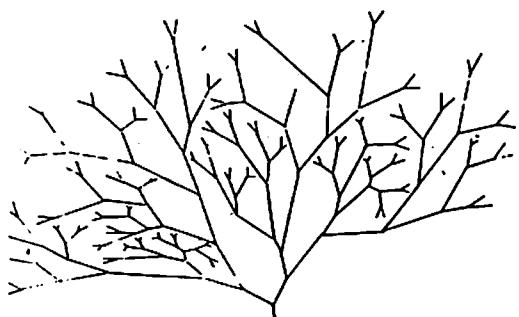
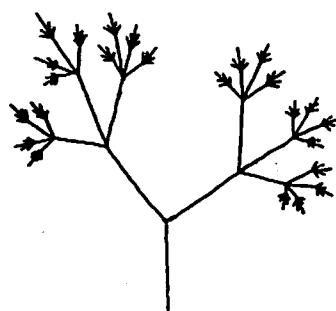
2分枝 6月7日



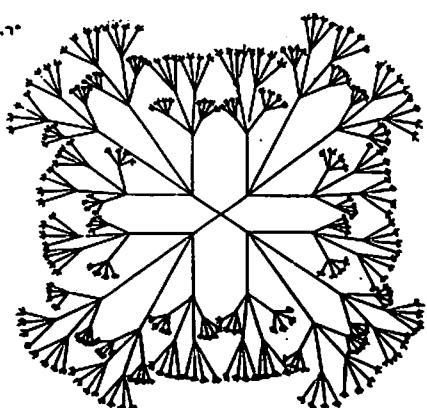
25 8月



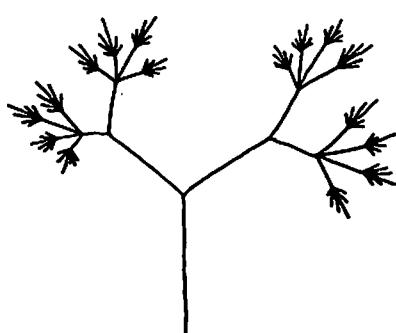
J. 8

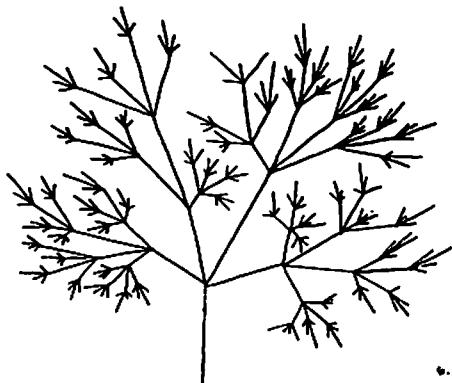


14.5.10



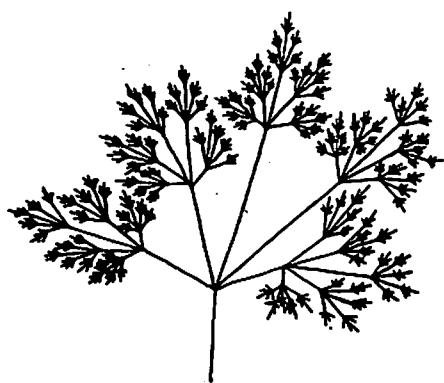
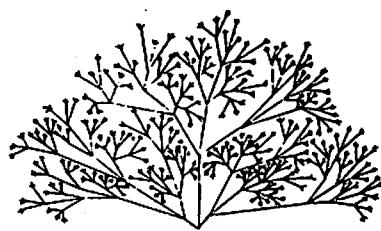
54.3.2 10月



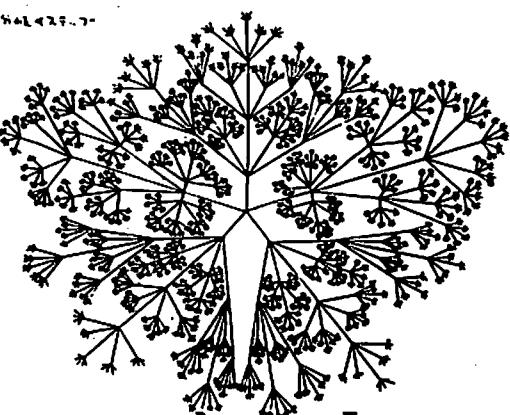


392529.7-

392 37 亂葉木蘭子



392629.7-



392 36 亂葉木蘭子

## 昭和62年度 日本物理教育学会年会 第4回物理教育研究大会 報告

本学会の昭和62年度年会（第4回物理教育研究大会）が下記の要領により、札幌で開催された。今回は、英國キングスカレッジ大学のProf. P. J. Black, 及び同リーズ大学研究員（エアボロー・ハイスクール科学部主任）のMr. P. H. Scott が本学会の招きで参加され、特別講演を行なった。特別講演の通訳、及び講演概要の翻訳は北大工学部の北村教授が担当、英國の科学教育（物理教育）の最新情報やその展望、授業実践例など、リアルタイムで貴重、かつ興味深い話題に接することができた。その他、ポスターセッションが10件、研究発表（原著講演）が15件、さらに「今後の物理教育の展望」と題するシンポジウムなどが行なわれ、全国からの141名の参加者により熱心な発表・討議がなされた。以下、それらの内容を報告する。

名 称	昭和62年度日本物理教育学会年会	Mr. P. H. Scott
	第4回物理教育研究大会	15:30 - 17:00 ポスターセッション(Ⅱ)
主 催	日本物理教育学会	18:00 - 19:30 懇談会(クラーク会館)
後 援	文部省・都道府県教育長協議会	8月23日(日)
期 日	1987年(昭和62年) 8月22日・23日	9:00 - 10:30 研究発表(Ⅰ)
会 場	北海道大学法学部	10:40 - 12:10 Invited Lecture
参加費	1,500円(予稿集を含む)	Prof. P. J. Black
日 程	8月22日(土)	13:15 - 14:30 研究発表(Ⅱ)
	13:00 - 14:00 ポスターセッション(Ⅰ)	14:40 - 15:40 研究発表(Ⅲ)
	14:00 - 15:00 Invited Lecture	15:45 - 17:15 シンポジウム

### ポスターセッション概要説明

#### 物理教育における

#### 科学史史料の集積と活用

札幌藻岩高校 山田大隆

今日、学生の物理離れが問題となっている。今日の物理の体系が、多様化している生徒の認識の実情にマッチしているかどうかということが、今日取り上げられるようになっている。このようなことから、物理教育の見直しを考えてみた。

板倉先生等が1950年代から物理認識の史的分析を行ってきたが、そのなかで使われた手法が

科学史の分析である。これは、認識論的なものだが、また、ハーバード・プロジェクト・フィジックスで多数引用されている人間主義的な教材の意義も今日益々出てきている。

今日、我が国における物理学史史料、多方面の教材を作るための資料集成が不足している。歴史的な展開をするとすれば、資料の収集が必要である。そのようなことから十数年、資料収集を行って来た。

今回ご覧いただくのは、

①スライド資料(300枚)：ヨーロッパ各地の著名な科学博物館に貯蔵されているオリジナルなコレクションのスライド(オックスフォ

## 第4回物理教育研究大会

ード、ケンブリッジ、パリ、ロンドン、ドイツ等)

### ②物理学的研究モノグラフ

③19C欧米物理教育書：特に、ガノーの物理教育書は日本に大きな影響を与えた。PSSCの伝統はしほんでしたが、それを見直す上でも新鮮な刺激を与えるものではないだろうか。これらは北大の北方資料館に所蔵されている。

④科学論文（著名科学者のオリジナルの論文）：1600年代、1800年代のもの。オリジナルなものがどういうものか見て欲しい。物理教育の実態に関する資料ソースを作り、それを基に歴史教材を構成して行きたいと考える。

### フラクタル幾何学の物理教育への応用

札幌藻岩高校 山田大隆  
北海道教育庁高校課 河村 効

今日、自然界における型の物理は教材として意義が持たれている。素朴な所から果ては宇宙まで単一原理で議論できる素晴らしいものである。フラクタル幾何学を物理教育でも新教材として使ってみたらどうだろうか。

#### A. ポロノイ分割

隣接三角形から多角形を作るが、これが生徒の発展性を刺激する。意義ある教材ではないか。

#### B. 分岐

更に発展すると「分岐」、「ソリトン」まで行く。これはコンピューター・グラフィックの領域である。これはクラブ活動の生徒などに作成させる等の展開をすると大変意義があるのではないか。発展性の高い教材ではないだろうか。

### 空きかん検電器の製作

札幌市青少年科学館 伊良原 国雄

全国に科学館が沢山できているが科学教育の

一環として運営していて成功している例は殆どないようである。子供達が遊びに行き楽しむ、そういう中で科学的な啓蒙をするという機関のようである。当科学館では科学教育を目的として科学工作教室を開いているので紹介したい。

これは2本立てにしている。一つは学年に関係なく誰でも楽しめる面白い工作、もう一つは自分で何かを作って、それを用いて自分なりの勉強をするような工作。その場合に必ず、テキストを与え、ある程度の方針を与える。経費は200円以内、時間は1時間半以内、いくら面白くても危険なものは絶対いけないという制約がある。

空きかん検電器の製作は今年の春休みに実施したものである。ビールの空きかんは色々な利用方法がある。音響とか、光学とか・・・。その一つとして検電器がある。

静電気の実験はどの教科書にも載っているが実習を行っている例は少ないようである。知識として植えられてしまう。そこで自分で作って実験させるということをやろうとした。アルミかんだからハサミで楽に切れる。作り方のノーハウは子供達はすぐ覚える。小学校5年以上という指定はしているが本体は中学生以上を狙いにしてやっている。狙いは静電誘導についてはっきりした知識を与えることである。はく検電器のように感度は高くないが、中学生の実験だから、この程度でよいのではないか、そして、これだと壊れにくく、また、応用もできる。

### 気体の温度と圧力の関係

（体積一定のとき）を調べる実験

北海道理科教育センター 高柳賛三  
同 竹中隆公

高等学校物理実験の例として生徒の身近にある教材を使って何ができるだろうか、視点はそこにある。

高等学校における熱の実験というと比熱の実験、ボイルの法則、シャルルの法則、熱の仕事当量ぐらいに限られているように思う。ボイル・

シャルルの法則は、一定質量の気体では  $PV/T = P'V'/T'$  が成立するということだが、これについて3つの見方がある。温度が一定ならば、 $PV = P'V' =$ 一定となる(ボイルの法則)。圧力が一定ならば、 $V/T = V'/T' =$ 一定(シャルルの法則)、体積が一定ならば、 $P/T = P'/T' =$ 一定ということになる。この3番目についてデータを取ってみた。

この実験は、高等学校の生徒向けということを考えている。狙いは、

- ①体積を一定にしたとき空気の温度と圧力とが比例するということ。
  - ②グラフから絶対温度の存在をつかませることができるのではないかだろうか。
  - ③その絶対温度と圧力とが比例することが見つからないか。
- ということである。

従来の実験では圧力を測定するのに高価な圧力計を使っていた、あるいは用いなければならぬという欠点があった。ここでは、できるだけ生徒の身の回りにあるものを使ってやるという観点から圧力計の代りに注射筒(20cm<sup>3</sup>)を用いた。この注射筒の上に、紙コップを載せ、その中に任意の砂を入れ、これを圧力計代りに用いて測定するというやり方である。

実験上の留意点は7点ほどある。その中の幾つかを上げると。

- ①できるだけ生徒の手でやらせる。工作もやらせる。
- ②高価なものを避けなければならないということから、身近にあるものとして、化学で使う気体の空きかんを利用。
- ③中に使う空気は乾燥空気を入れなければならないのだが、生徒の身の回りのものを使うというときにはそういうわけに行かないで、できるだけ水蒸気を入れないように工夫しなければならない。
- ④ピストンがスムーズに動くようにしなければならない。洗剤、石油、ミシン油などを使ったが欠点がある。何もつけないか、シリコンオイルをつけるのがよい。シリコンオイルをつけるとかなりスムーズになる。

⑤長所は、グループ実験として3~4人でやられると、データを取り、最後の完結までやれるのではないかということである。25分もあればやれる。

現在、生徒の実験嫌いということが呼ばれているが、多少の指導があれば、何とか、生徒自身の力でやれるのではないだろうか、と考えている次第である。

### 雪氷を教材とした物理教育

苫小牧南高校 穂積邦彦

物理を担当していて色々感ずることがある。先ず一つは、物理は入試に結びついていて、物理=入試、計算、 $f = ma$  という図式になり、生徒はどうしても物理は難しい、嫌いだということになる。それで、入試に関係のない生徒には物理は要らないのかという疑問を感じる。私の前任校では、受験に関係のない生徒に物理を教えなければならなかったので、壁にぶつかり、色々と考えた。二点目は北海道ということで、体育にはスキー授業、スケート授業というのがあるわけだが、理科、物理には北海道の物理授業というのは特になし。北海道では、半年以上は雪、氷、低温に囲まれて暮すわけだが、北海道の生徒が果して、そういうことについてどの程度知っているか。こういうことがあった。クラブの監督で体育館に行ったとき、生徒がアイスクリームを食べていた。そのとき、その生徒に突然審判役が回ってきた。アイスクリームを食べかけだったので、どうしようかと困った。全部食べる時間がない。置いていくと溶けてしまうがしようがない、そのまま置いていった。しかし、紙でくるむことに気がつけば、空気の断熱効果で溶けずに済んだはずだ。そのようなことを直ぐに応用できるような物理になったらしいのではないかと思う。

そのようなことから、北海道に住む者として、雪、氷を生徒に教えて行けないかと考えて、雪氷を教材にし、三学期の半分位を使って授業展開をやってみたのでその紹介をしたい。

## 第4回物理教育研究大会

⑥雪の結晶、⑦積雪、⑧積雪の実際、その温度、⑨つらら、⑩湖の氷、⑪流水、⑫気候、生活への還元という手順で授業を展開をしてみた。

実験観察をするときには、生徒は機械を使うとだめなので、測定器具は温度計、道具は鋸等、実際に生徒が見られるもの、さわれるものばかりを使う。氷を薄くする場合には手で薄くする、というようにごくありふれたものを使って雪氷をどの程度生徒に教えることができるかという試みをやってみたわけである。

### 障害者のための物理教育実践

帯広市青少年科学館 佐々木 謄 郎  
北海道工業大学 奈良英夫

帯広市青少年科学館は全国モデルになっていて、全小中学校の子供達が科学館で宿泊学習(1泊2日)をし、理科の学習をするという形になっている。その時に盲学校の生徒達が来てはたと困った。盲学校では、弱視者が多くて、全盲者というの少ないので、そのため、弱視者の方にばかり目が向けられ、全盲者は置いて行かれる。特に、理科の実験ではほとんど何もできないということになってしまう。そこで、全盲者に対してどんな方法があるかということを考えてやってみたのが次のようなことである。

①ブザー付き上皿天秤、ブザー付きメーター  
左右に接点をつけてブザーと連結させて置くと、触ることによって音が出る。片方が重ければ音は高くなるので別にさわらなくても質量がわかる。電流計、電圧計等、多くのメーター類が開発されているが、手法はこれと同じである。振り切れ防止の報知の接点がつけられたり、接触によって音が出るようにしてある。圧電ブザーと連絡すると、この中にトランジスターが入っていて增幅されるので、わずかな電流が流れても音が出るようになっている。これで針の位置を検出できるというふうになっている。

#### ②光源付き感光器

透明な器の中で化学反応が起こっている場

合に、全盲者にはそれがわからない。そこで光を音に変えてみたらどうかと考えて感光器というのを作ってみた。光の変化を音に変えるので、中の変化の状態が音の変化としてわかる。これを作った後で知ったのが、感光器と称するものが市販されていた。しかし、感度が非常に悪く、光源がついていない。光源についていないということは、外部光で調べるわけだから、影の部分ではうまく働かない。そうすると測定条件が統一できない。それでは全盲者にとって非常に不安なので、光源をつけて、CdSで電流化して検出する。このように光源を置くことによって最適の感度にすることができる。

メーカーに話したら、こういう売れないものはあまり作らないということで、現在、日本では、感光器は市販されていない。以前、感度の良くないものが出ていたが、製造中止になり、後は英国から輸入している。この輸入している感光器がやはり、光源を持っていない。その理由は、目の見えない者にそこまで精度の良いものは必要でないだろう、大体わかればいいだろうという考え方によるらしい。私は、全盲者であっても、普通の子と同じようにできるんだという自信をつけてやるのが教育として大事だ、自信を与えるのが教育だと考え、このようなものを作った。

今後は、コンピューター等を駆使して、器具を開発して行けば、目の見えない人でも能力がどんどん發揮できる、というようなものができるのではないか。そのような開発をお願いしたい。

### 教室で手軽にできる実験の開発

工学院大学高校 後藤道雄

会社の研究所にいる友人が、「最近、研究所に入ってきた優秀な学生の10人のうち1人しかものにならない。自動的にテーマを決めてどんどんやるのは1人ぐらいで、後は与えられたことしかできない。こういうことは一体どこに原因

があるのだろうか」ということを言っていた。また、こんな話を聞く。「最近、工学部に入ってきた来る学生でドライバーを持ったことがないという学生がいる。一体、これはどうなっているんだろう」。

我々が中学、高校の頃体験したことと、今の生徒が体験していることと違うのではないだろうか。受験戦争のせいかも知れない。私は、実験、観察ということは一番大切なことではないかと考える。体験から言っても、教育というものは、生徒の心に感動を与えることではないだろうか。今、その感動を与える場はどこにあるのだろうか。私達が物理で努めてやらなくてはならないのは、生徒に感動を与えることではないか。そうすれば、自分でどんどん自然の美しさ、自然の偉大さを体得し、それを研究して行くのではないかと思う。それでは現在の生徒達に感動を与えるにはどうしたらよいか。随分多様化しているので、一人一人の身になって考えなければならないのではないかと思う。また、身近な面白い実験が沢山あるのだから、それらを取り上げて行く、また、自然の不思議さ、美しさを体得させるという方法を考えて行かなければならぬのではないか。そのようなことを考えてやってみた実験例を幾つか紹介したい。

その中の一つに霧箱の実験がある。クラブの生徒と半年かかって、ようやく、本当によく見えて写真を撮れるようなものができた。市販のものはよく見えない。その原因を追及してみた結果、簡単なコツがわかった。例えば、市販のものは、危険だからということで、200Vしか電圧をかけていないが、1000Vに変えて雑イオンを取り除くようにするということ。また、市販のものはアルコールを底の黒布にしみ込ませているが、上方にもう一つ電極をつけて、それに黒布をつけ、上方により多くのアルコールをしみ込ませる。こういう方法により、質の良い霧箱が、しかも2,000円位でできた。

### 工学部光学実験装置としての レーザー・ドップラー流速計

北大工学部 吉田 静男

高等学校の教材研究では興味を与えるということが重要なことなわけだが、大学では、興味を与えるということは勿論重要なだけだが、どうしても専門に引きずられ、学生にも自分のやっている研究の専門の一環に足を突っ込ませるということになってしまう。学生の立場に立った教育はなかなかできない。そういう反省もあって、このような物理教育学会に出て、少しは教材研究をしよう、今は教材研究をきちんとやらなければならない段階だ、と考えているわけである。

そのように考えて手作り教材を用意した。流体力学で最近、レーザーのドップラー流速計がはやっている。約20年前にこの方式が開発されて、現在、実用化の段階に入っている。私も、日本気象協会からの依頼で、実際にフィールド（海、川）で使うレーザー流速計を作っている。そのときに、物理実験としてこういうのもいいのではないかと思い、学生実験用に作ったレーザー・ドップラー流速計がこれである。干渉、散乱、ドップラー効果、光の検出方法としてヘテロダイン検出法等が出て来るので、教材として適当でないか。しかも、工学部の実験室では、あっち、こっちひっくり返せば色々なものが出で来るが、それで充分組み立てられる範囲のものである。

### 会誌「物理教育」の内容の分類について

柏木 聰吉

この仕事をやり始めた動機となったのは、会誌「物理教育」の編集会議で投稿論文を審査するときに、「以前にこれと似た論文があった」ということがよくあって、論文の検索をできるようにデータを整備しなければならないということを感じた、それが動機である。

#### 第4回物理教育研究大会

まず、ワープロ専用機の性能を調べてみた。並べ換えの機能と、スクリーン上での移動の機能があれば、ワープロ専用機でもデータベースを作れるという見通しができた。それで、NECの「文豪5N」を用意した。

分類番号を作らなければならないのだが、物理学的な立場、教育学的な立場、学会企画に基づく立場のものがある。一番目の物理分野別はそう問題なく決まる。これは100番台にした。二番目の教育学的立場が入ってくるものの分類は参考にするような例がなくて、幾度も修正を加えたり、大変だった。吉本先生にも助けていただきで何とかできた。これは200番台にした。学会の企画によるものは300番台とした。このようにして、分類番号を決めたが、今後、400番台を作ることも可能である。

このような分類はあくまでも我々学会の内部で、今迄の会誌の内容を整理するのに都合のよいように分類したもので、国際的に決められた分類にするということは将来の課題として残してある。将来そのように変えることは可能なようになっている。

会誌の内容をワープロ入力して並べ換えをし、整理した資料を持参したので御覧いただき、御意見をいただきたい。

## 講 演

## 鉱石ラジオを用いた電磁気の総合的学習

浜頓別高校 大久保 政俊

現行の高校物理の電磁気分野は ア. 電界(電界・電位・電気容量) イ. 電流(電気抵抗・電流と仕事) ウ. 電流と磁界(電流による磁界・磁界が電流に及ぼす力) エ. 電磁誘導と交流(誘導起電力・交流・共振回路・電磁波)からなっている。これらの各分野において種々の実験の工夫がなされているが、電磁気分野の内容を総合的に含む実験は少ないようである。鉱石ラジオは電磁気分野の総合的考察に適した教材である。本校では、電磁気学の最後の数時間に、鉱石ラジオの製作を通してこの分野の総合的学習を実施している。生徒の興味・関心をひきつけ、学習内容の定着度も非常に良好である。

鉱石ラジオは同調回路と検波回路からなる。同調回路では受信した電磁波をLC共振回路で共振させ、検波回路ではダイオードで交流を直流に直し、さらに高周波成分、低周波成分、直流成分のうちコンデンサーで高周波成分を、抵抗で直流成分を落して音声電圧として必要な低周波成分だけをとりだす。以上のように、鉱石ラジオには高校の電磁気分野の主な内容を含んでおり、また、それらが有機的に結びついた教材であることがわかる。次に主な学習内容を示す。

- (1) ブレッド・ボードを用いて、ラジオを作成する。ハンダづけが不要なので短時間に製作が終り、回路の流れに集中させることができる。
- (2) 同調回路で共振の原理を調べさせる。タップを出したコイル、可変コンデンサーを用いて周波数による波形の変化をみる。
- (3) 検波回路でのダイオード、抵抗、コンデンサーの働きについて調べさせ、半導体のしくみ、交流・直流の性質を学ばせる。
- (4) ラジオ全体の原理を考えることによって、電磁気学の全分野についての総合的復習をさせる。

## 中学校入試問題に対する中高生の正当率

酪農学園大学 秋山 敏弘

「生徒が小学校理科において学んだことを、中学校、高等学校は拡大充実させている」と信じて数十年教壇に立ってきた。だが現実はこれを裏切っていたようである。高校を卒業するまでに、小学校、中学校で学習した内容が、少なくとも物理についてはほとんど忘れ去られているのではないかという疑問をもった。

札幌東高等学校への入学者と、北海道教育大学付属札幌中学校の卒業生とは、公立高校入学者選抜学力検査資料としての「学習の成績」の平均値が毎年一致している。

昭和56年でしたか、「物理教育」に発表しましたが、北海道の公立高校入試問題(理科)を前記の高校生に解かせてみたところ、38の小問の正答率について高校3年生が中学3年生を上回ったものはひとつもありませんでした。次に小学校の内容について調べるために、私立中学及び国立大学付属中学校の入試問題を利用しました。問題は旺文社(1985年)発行の「特訓進学教室問題集小学理科」より、物理4問、化学、生物、地学各1問を、1学年を終わろうとする高校生に、入試直前の中学3年生に、そして中学へ入ったばかりの1年生に与えてみました。その結果から判断されることは、高校3年生は小学校卒業のレベルまで落ちて卒業する。つまり、高校で勉強したことは小学校で勉強したことの補充とか強化・拡大にはなっていない。少なくとも北海道の場合はそう断ぜざるを得ないと思う。

以上の事柄から次の提言をする。大学入試というのは、生徒の持っている総合的な力を判断すべきであり、従って国公立大学入試共通一次テスト理科の出題範囲として、義務教育の領域を含めるべきである。特に、教員養成の立場からこれを痛感する。

## 学校教育とエントロピー —物理と社会の境界教材として—

札幌藻岩高校 山田 大 隆

今日、物理教育は単に学理の伝達のみならず、その本質論的問題解決方法の有効力を以って、社会的問題の解明、理解へ応用の範囲を広げる、開かれた科目とすることが望まれている。イギリスでは、この「物理学と社会」の観点から、社会化された物理教材の優れた開発例を見ることができ、この規模は1960年代のアメリカの諸プロジェクト（PSSC, CHEMS, BSCS, HPP etc）を上回るといって過言でない。それは、SISCON, SCIENCE IN SOCIETY, OPEN UNIVERSITYなどに集約されている。

エントロピー概念は、本来は  $S = k \log w$  (以下 S 式) で示される、不可逆過程を示す一熱力学関数（確率関数）に過ぎなかったが、今日、ジョージ・エスクニレーゲン、室田、樋田らによって、資源エネルギー、環境保全問題を分析し広く議論する科学技術文明評価学－「エントロピー経済学」として、物理と社会を結合する有効方法として発展せられ、今後、益々重視（社会学、経済学、教育学）されなければならない概念といえる。エントロピーは、本来、物理教育（高校教科書）中では、「物理」中の「熱と気体分子運動、エネルギーの変換と保存 热現象における不可逆変化「熱力学第2法則」」として名辞抜きで扱われるが、純粹に不可逆現象という熱学の他、廃熱、廃棄物評価概念として拡張しうることを強調するものである。

高校用教材としての留意点は次の通りである。

1. 単に不可逆現象としての提示に止まるのではなく、乱雑さと一方向性自然現象を内包した有効関数として S 式を提示し、定性的意味、意義を実例を以って強調する。（通常の S 式に到る熱力学上の定量的展開は行なわない）
2. 廃熱、廃棄物問題の本質が、不可逆過程から扱え、熱現象との類似から S 式が使用可能であることを示す。その強調を行なう。（概念的類似性）

3. 「開放定常系」としての地球のエネルギー収支、物質収支の状態を S 式を用いて定量的に示し、このモデルの正しさを数量的に把握させる。
4. “指導と評価は一体であるべきである”との視点から、評価は正しく正確になされることが肝要である。その為には、エントロピー教材を有効ならしめる為の最適評価問題が、効果測定を基に新開発される必要がある。
5. 理科「環境科学」への発展、相関を考慮する。（扱い方の分担など）
6. エントロピー教材としての授業書、指導書評価問題、資料の集成。

## 今日の物理教育の危機に関する一考察

札幌藻岩高校 山田 大 隆  
北海道大学工学部 北村 正直

先進工業国（米、日、西独、英等）での青少年の数理科目からの著しい離反傾向は、今日世界的問題となっている。この問題への本質分析と解決方向への具体的方策提示と行動がなければ、将来の物理教育は重大な局面を迎えると考えられる。この問題に関しては、「物理教育」 広井調査、「Physics Today」(1983年)特集、IBM広報誌「無限大」(1987年)特集等に、漸く国内外からの問題提起と分析がふえてきた現況にあるが、未だ物理学、物理教育学研究者全体の議論にまでなりきっていない。著者らはこの現象の生起原因として次のものを考えた。未来社会への物理学の役割が考察される。

### A. 物理学内在の問題

1. 19C 古典物理学は本来、公理公準体系で演繹性が強く、patent, random access が出来難い。TV 文化を本質とする情報化時代中の今日の若年者の思考、認識方法は、random access, digital, patent 的で、物理体系のこの本質と調和し難く、排除的とさえなって来ている。体系変更の是非論がある。
2. 若年者の一般社会への関心は、より有用

・功利的、工学的、応用的であり、古典を重視する本質思考といい難い。その点で科学技術体系の最先端を評価しない古典物理学体系は、学習者の魅力を失わせる結果となっている。「医用物理」等、工学的有用的物理に関心が集中している。

3. 一般社会が変わったのに、古典物理学体系は不变であるという哲学上のズレの問題。

#### B. 認識論的問題

4. 抽象理解(数式運用)が物理学、物理教育の成就目標であるが、これには「個の確立」を基とする“体験から自我”への思索力を必要とし、また、時間的熟成、個別体験量が心要である。今日そのいずれもが不足している現況にある。
5. process欠落のTV文化の情報的影響。  
(読書傾向の変容とも相關)

#### C. 社会的問題

6. 米国では高校教師の社会的地位、給与が低い(同期大卒技師の1/2)。従って有能な大卒人材が集まらず、教育力が著しく低下している。また、対教師暴力が頻繁で、抽象理解には必須の教師-学生間の信頼関係が崩壊し、教授能率を著しく低めている。教師への暴力障害を因とする有能教師のretireも多い。
7. 日本では戦後の教育改革で、米流業績主義、有用主義が普及し、時間を要し、本質的非時代的である物理学の発展し定着する素地を失わしめている。独創性が基の物理学に対し、戦後のそれは基本的に輸入型である。
8. 西ドイツでは、ギムナジウムの自由選択制導入での教育低下が出現している。

#### 磁気の教育について

宮城教育大学 河原田 廣司

##### 1. 磁気の教育を考えた動機

現在は非常に性能の良い磁石が作られている。それのみでなく、磁性の研究及びその応用は目を

見張るものがある。しかし、磁気と磁石についての教育は明治以来ほとんど変りがない。

そこで、私は他の3人に呼び掛けて、磁気についての「教育」を考えようということになった。ここで教育を考えるとは、単に教材を作るとか、考え方を改良するだけでなく、磁気の教育として一体何が大事なのか、そのためには何を教えるべきかということを含んでいる。

##### 2. 経過

私は旧制の大学の理学部・物理を出たので、一応磁性については知っていることになっている。しかし、実際は磁性のことになると拒否反応が生じ、考える気力すら起きない。その理由はスピンという得体の知れない量子力学的物理量のために違いない。

##### 3. 磁気の基本は何だろう

磁気のモノポール(N極またはS極だけを帯びた素粒子)にまでは、その存在について意見が必ずしも統一されていないので遡らない。物体の磁気の基本は電子のスピンであると考えた。核にも磁気モーメントがあるということだが、極めて小さいので無視。

##### 4. スピンをどのように教えるか

最初、電子という大帯電体の自転によって磁気モーメントが起きるという説明を考えた。帯電体としては、金属球だけだと帯電電荷が少ないので、半径が僅かに異なる2つの同心金属球を作り内側の球をアースして外側の球を帯電させたら、一応モデルになる。外側の帶電球を、その中心を通る絶縁軸の廻りに大きな角速度で回転すれば磁気モーメントが観測できる。

これには2つの欠点がある。①中学生でも電子という小さな「もの」の自転を認めようとしないこと。(電子に大きさがないという素粒子的考えを古典的自転運動に結びつけると、この考えはもっともある。)②帯電体の自転という古典的モデルを考えると、もっと進んだ問題を考えるときどこかで論理的欠陥が生じる。

私の辿り着いたスピンの考え方は「電子は、極めて弱いけれど一定の磁石である」とか、「磁石の性質を持っている」とかと教えてしまうことである。言い換えれば、電子には固有の「質量」「電

荷」と同様に「磁石」を持つと考えさせてしまうことである。

5. 詰め込み教育は排除すべし。だが、磁気教育はなおざりにされ過ぎる。

### 最小エネルギー

上智大学 石川 徳治

大学1年の学生実験の1課題として中性洗剤溶液のつくる3次元の膜を取り上げた。具体的な利用の仕方と結果について述べる。

#### 1. はじめに

自然現象の中には、「エネルギーを最小にするように現象が現れる」という経験的事実がある。何故その様に起こるかについて物理学は答えていないが、現象の理解の決め手として広く適用している原理である。石鹼膜の実験を消化すると、この原理の奥行きがそれとなく感じとれる。ここがこの実験のねらいである。

#### 2. 石鹼膜の性質

液体では液面のごく近傍にある分子だけが分子間力により液体内部に向かって力を受ける。だから表面の近くにある分子は内部の分子より高いエネルギー状態にある。石鹼膜の振舞いは表面エネルギーを最小にするように膜を張る、言いかえると膜の表面積を最小にする形を取ると言える。

#### 3. 学生実験の利用

##### 課題

糸が針金であるいろいろな多面体、または丸棒(3ピン、4ピン)を2枚の透明なアクリル板で平行に挟んだものを中性洗剤溶液に入れて静かに引き上げて見なさい。何度繰り返しても同形の膜を張ることをどう説明したらよいだろうか。

##### 定量実験

多面体にできる膜は針金またはピンを一端とする膜面が相互につながり合うという条件の元で膜の全面積が最小になる形を取っているか調べなさい。

##### 観察実験

正八面体または6ピンの作る膜を観察しなさい。何か法則があるか。

#### 使用するもの

2ℓホーローピーカー、チェリーナ台所用中性洗剤、バット、グリセリン、針金で作った多面体、丸棒(ピン)を透明アクリル板で挟んだもの、ノギス、デバイダー

#### わかるということ(続)

ロゲルグ研 近藤 正夫

##### はじめに

「わかる」ためには「原体験」と「積極的精神活動」の2つが必要要素だと筆者は考える。これに関して2篇の小論を書いたが、そこでは「わかる」ことの半分しか取扱っていなかったので、ここでは他の半分を付け加えてそれらの違いを明らかにしたい。

##### 知覚作用と記憶

人間が受けとる外界の情報の経路は、数種類の感覚器官に限られていて、この他には何もない。その機能をブロック図で表現すれば図のようになろう。

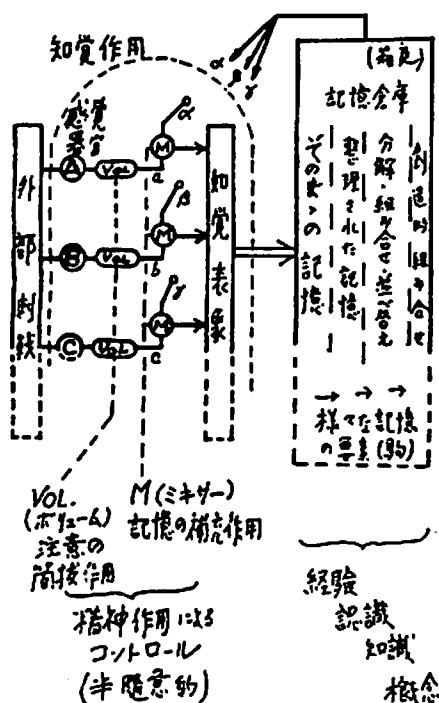


図 1

外界の刺激が知覚表象－心像－となるまでの間には2つの作用が介在する。即ち(1)注意の簡抜作用(VOL. コントロールで示す)と(2)記憶の補充作用(ミキサー調整で示す)である。感覚器官から出る信号はこれら2つの作用によって、生(なま)とは違った信号となり、それが知覚表象を作る。この知覚表象は記憶倉庫に送られ、そのままの形で保存されたり、あるいはいくつかの部分に分解されたり、組み替えられたりして、大小様々なまとまり(記憶の駒と呼ぶ)に整理される場合もある。ストックされた沢山の記憶の駒のうちの適当なものがミキサーを通じて感覚信号のなかに送り込まれるのが記憶の補充作用で、これを回路的に表現したのが配線 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $r$ である。

#### 第1類の「わかる」

VOL. コントロールとミキサー調整を極端の位置にセットした2つの場合(A)と(B)を考える。現実は(A)と(B)の中間にある。

(A) VOL.  $\rightarrow$ 最大, M $\rightarrow$ 0; 外界Gに対する感覚の生の信号そのままで知覚表象をつくらせる。これをA表象(G)と記号しておく。

(B) VOL.  $\rightarrow$ 0, M $\rightarrow$ 最大; これは感覚信号を完全に断つてミキサー回路だけから信号を入れる場合である。まず、いろいろの記憶の駒を集め、適当に配置して「箱庭」Hを頭の中に作る。つぎにこの「箱庭」のもつ信号をミキサーに注入すればその信号に相等する知覚表象が得られる。これをB表象(H)と記号する。

以上で結論を提示する準備ができた。即ちもし

$$A\text{表象(外界G)} = B\text{表象(箱庭H)}$$

であるなら、外界Gと箱庭Hとは知覚上全く同等なものだ。つまり、このような箱庭を頭の中に作ったことは外界Gを完全に「理解した」ことになる。以上の等号が全面的に成立しない場合は、合ったところだけ「わかった」のだ。思考錯誤的に箱庭を修正していくば、だんだん「理解が進んでゆく」。以上のように、知覚表象のもとになる外界を「わかる」のが第1類の「わかる」である。

#### 第2類の「わかる」

脳の働きを裏付けとする精神活動は感覚の窓を通さない別の外界を想像し、次第に経験外の別種の箱庭を頭の中につくるようになってきた。この

箱庭はお伽噺や架空の国とも、遊びの世界ともいえよう。また数多い知覚表象の中には互いに矛盾を感じるものであって気持が悪い。またこれだけ知つておけば他は忘れてもいいような包括的、原理的なものも欲しくなった。このような欲求や精神活動は人間の側(脳)にあったので、外界にあったのではない。知覚にこのような人間の欲求が加わって、知覚の世界を越えた別の世界での辻褄合わせや整合性などを追及するようになった。知覚表象ではない、別種の世界観をつくるようになった。こういう世界は自分で創造しない限り、ほんとうには「わからない」。教わるのは案内という意味で役立つが、「わかる」のは自分自身の創造・発見によるのである。これが第2類の「わかる」である。科学は第1類と第2類の両方の「わかる」を含んでいる世界だ。

#### 言葉の問題

言葉は学習しなければ「わからない」。学習後は外界事物の属性となる。言葉を聞いて「わかる」のは第1類の「わかる」であると筆者は考えるがどうか。

#### 学生実験「放射線と原子核」

相模女子大学 吉田義久  
東大核研宮地孝

相模女子大学では食物学科の1年生のために、自然科学の基礎実験として物理、化学、生物の分野の実験を半期ずつ選ばせて実験の授業を開講している。この授業は専門の基礎という意味もあるが、一般教育のカリキュラムとして一般教育という立場でなされている。ここで行なわれる物理実験として、放射線の測定によって原子と原子核について学習させるプログラムを報告する。

放射線に関する学生実験の導入の報告はすでにかなりの人達によってなされている。ここで報告する実験は原子と原子核を理解するための実験プログラムの主テーマとしてなされる。半期分の実験テーマとして

1. 「原子の構造」 フランク・ヘルツの実験
2. 「光と原子」 光のスペクトル・波長の測定

## 第4回物理教育研究大会

3. 「光量子」光電効果の実験
4. 「電子の波動性」電子線回折
5. 「放射線と原子核」

この実験「放射線と原子核」は<sup>137</sup>Cs, <sup>32</sup>P, <sup>90</sup>Sr, <sup>60</sup>Coなどの線源からの放射線(β線, γ線)をSi(Li)で検出し、前置増幅回路(P.A.)と主増幅回路(M.A.)で増幅波形処理した上で、エネルギー分布を測定する。

M.C.A.で得られた波高分布はオシロスコープまたはパソコンのスクリーンで表示される。一定値以上のエネルギーを持つ放射線の計数率は波高弁別回路(ディスクリミネーター)を通して計数される。この実験では次の事を測定する。

1. β線, γ線のエネルギー・スペクトルの違いを観察する。
2. 放射線のエネルギーの値を求める。
3. β線, γ線の物質による吸収の違いをエネルギー・スペクトルの変化及び計数率の変化を測定して調べる。

この実験によって放射線の発生機構(核物理)と吸収機構(原子物理)を理解させる。

### 小学校における理科教育研究の現状と 教材開発の一例について

北見市立北小学校 小橋澄夫

#### 1. 小学校における理科教育研究の現状

小学校の理科教育の現状を、網走教育研修センターから出されている「管内公開研究会一覧表」から探ってみたい。網走管内には、小学校が165校あり、うち48校が今年度公開研究会を予定している。研究領域の内訳は表1のようになっている。教科が大半を占めているが、その教科の内訳は表2からわかるように国語、算数が主で、理科を取り上げている学校は1校である。

理科を校内研究で取り上げる学校が少なくなってきた背景として、様々な要因が考えられるが、

教 科	32校	国 語	20校
特別活動	9校	算 数	12校
道 德	1校	体 育	2校

放送教育	1校	社 会	1校
ゆ と り	2校	理 科	1校
学習指導	3校	音 楽	1校
計 38校		計 37校	

(表1) 領域の内訳 (表2) 教科の内訳

※領域の内訳は研修センターの分類による  
※複数の教科を取り上げている学校がある

なかでも53年に現行の指導要領が改定され、国語、算数の指導の充実が強調されたことが大きい。そのため、小学校における理科教育研究は学校での組織的取組が少ないままになっており、学習指導上多くの問題点をかかえている。

#### 2. 热教材における教材開発の一例

##### (1) 「物の温まり方」における観察・実験の検討

小学校で取り扱う物理教材のうち、6学年の「物の温まり方」の教材開発の一端を報告する。

この教材では、物を温めたときの温度変化や状態変化を調べて「熱」の存在を意識させ、その原因を「熱の出入りによる」ものとして理解させるのがねらいである。しかし、熱には形や重さがなく、直接目でみることができないので、物に熱を加えたときの現象を視覚化して、間接的に理解させるところに難しさがある。提示する現象は、できるだけ子供にとってわかりやすく具体的で、子供の先行経験を生かすことが望まれる。

##### (2) 热の伝わり方をより視覚的にとらえさせる 観察・実験の方法

熱の伝わり方を理解させる方法として、金属棒上一定間隔にのせられたろうそくの溶け方を調べるのが一般的だが、ろうの量や間隔によって溶け方やマッチの軸木の倒れ方に順序性が見られなかったり、溶けたろうが煙を上げるという難点がある。

そこで、ワープロ用の感熱紙を利用してみた。感熱紙を金属棒にはり、棒の端を加熱すると感熱紙は次第に変色していく。熱伝導率の大きい銅の場合は変色の進み方が速いが、鉄の場合は遅く、かつ、一定の長さ以上は変色が進まない。

このような結果から、金属棒の熱の伝わり方を

連続的にとらえさせることができる。

### 一理科教師からみた中学校理科の現状

江別第一中学校 高野和男

中学生に理科を教えてみると、「実験はおもしろいが理科は難しいから嫌い」「力や電流がわからない」「原子とイオンはどこが違うの」などとよく耳にする。中学校の理科の現状について「力のはたらき」を中心述べる。

#### 1. 第1分野の学習内容

- |                |         |
|----------------|---------|
| 1年 力のはたらき      | 物質とその変化 |
| 2年 電流          | 物質と原子   |
| 3年 電流と磁界・エネルギー | 物質とイオン  |

#### 2. 「力のはたらき」の学習内容

##### 1) 力

- ①力のはたらき
- ②力はどのようにして表わされるか  
〔実験1〕おもりの重さとばねののびとの関係

##### ・力の図示

- ③物体どうしはなれてはたらく力  
・重力、磁石の力、摩擦電気の力

##### 2) 力のつりあい

- ①一直線上にはたらく2力  
・2力の合成、つりあい

- ②角度をもってはたらく2力  
・2力の合成

- 〔実験2〕角度をもってはたらく2つの力  
と同じはたらきをする1つの力を求める

##### ・力の分解

##### ③3力のつりあい

- 〔実験3〕3力がつりあっているときの力の大きさと向き

##### 3) 水の中ではたらく力

- ①圧力とはなにか

- ②水の中で圧力はどのように伝わるか

- ③水の圧力は深さとどのような関係にあるか

- 〔実験4〕水の圧力と深さの関係

- ④浮力はどのようにしてはたらくか

- 〔実験5〕浮力の大きさについて調べる

・浮沈子を作り浮き沈みするわけを考える

#### 3. 「力のはたらき」での生徒のつまずきと指導上の問題点

1) 力を矢印で示したり、力の平行四辺形をかくことができない。

2) 圧力と力の違いが理解できない。また、圧力の計算ができない。

3) 浮力や水の圧力が理解できない。

4) おもりの重さとばねの伸びの実験で教材用のばねを使うと、グラフが原点を通らない。

5) 3力のつりあい、合成、分解の実験にばねばかりを用いると精度が悪く、結果を理解させるのが難しい。

#### 4. 「力のはたらき」における指導上の工夫点

身近な素材である針金を用いて、一人一人の生徒につるばきばねを作成させ、それを用いてフックの法則を検証する。

ピアノ線をばね巻き器で巻き、焼き入れをして作ったばねは教材として有用だが生徒の自作は難しい。そこで、太さ0.55mmの鉄製針金を、内径6mm、8mm、10mm、巻き数60回にしてばねを作り、おもりの重さとばねの伸びの関係を調べたところ良い結果が得られた。

生徒が自分で巻いたばねを用いることにより、興味・関心を一層高めることができる。

### わかりやすい原子の指導

#### —高校物理の副読本づくり—

阿寒高校 須藤 悌次

札幌南高校 大井 哲哉

札幌西高校 加藤 誠也

石狩高校 北村 剛

札幌稻北高校 高木 伸雄

藤女子高校 中島 利夫

登別南高校 丸山 博

「わかりやすい原子のはなし」  
古代ギリシャのアトムから宇宙の未来へ  
—量子論・原子力・相対論—

## 第4回物理教育研究大会

### 1. はじめに

昭和60年に日本理化学協会の全国大会が札幌で開かれ、大会として初めて物理指導における「原子」の分科会がもたれた。私達は、原子グループを編成、指導内容や方法の検討を重ね、分科会で提言した。そして、高校の理科教育を充実させるべく、物理で扱う原子の部分をもう少し掘り下げ、授業のような方法で書き表わしたものと考へて発刊をめざし、ようやく完成しました。

### 2. 内容

#### 私達が検討したこと

- 1) 原子に関する研究が急速に発展し、新しい粒子の発見や研究成果が新聞等に報道されるが、原子物理の流れをつかんでいかなければなかなかわからない。
- 2) 原子についての書籍は多く出版されているが、高校生等若い人には専門的過ぎたり断片的であったりして、適当なレベルでまとまっているものがない。
- 3) したがって、高校理科の「物理」の内容をより具体的に分かり易くし、新聞・TVで報道される内容も理解できるように配慮する。

### 3. 構成

第1章は、歴史的な流れに重点をおき、古代から現在までの原子の考え方についてまとめた。

第2章は、量子論の入門として光と電子を特にとり上げた。

第3章は、原子力の利用を中心に核反応、放射線の影響及び施設などをとり上げた。

第4章は、相対性理論における時間と空間の考え方を中心に幾何学的に平易に解説した。

第5章は、補注とし、さらにくわしく各章の強調したい部分を解説した。

図はできるだけ多くとり入れて理解し易いよう工夫した。また、さし絵（イラスト）は簡潔に、しかも多く入れた。これも物理教師が画いたものである。これで、全体の調子がかなり明るくなつた。

### エンジンを生かした

#### 熱・仕事・エネルギーの授業展開

筑波大学付属高校 広 井 穎

### はじめに

ア. 今回の発表は「乗り物を教材とした高校の力学入門」（物理教育 Vol 34-1）に続くものである。

イ. この研究のきっかけは、高校物理が教科書や問題集の中だけにあるという間違ったイメージが広まりつつあることに強い反省をしたからである。

ウ. 手がかりとして力学では乗り物から始めることにした。

乗物・いかに速く目的地に着くか→速度

乗物・乗りごこち、特に乗物酔い→加速度

こうして速度・加速度の導入・定着をはかった。つぎに、乗物を〔分解・単純化〕する。

乗物→分解→ボディ →単純化→力学台車  
↓ エンジン→単純化→熱機関

### 熱・仕事・エネルギーの授業展開

#### 0. まとめの順序と入門の順序

ア. ほとんどの教科書・参考書は次の順序をとっている。

仕事→力学的エネルギー→熱→エネルギー保存

これは、後で整理する順序としては優れているが、学習の順序として優れているとは限らない。

イ. 私はここ数年、生徒達の知っていることを生かして次のように展開している。

エンジン→熱と仕事→力学的エネルギー

#### 1. 热と仕事

ア. 動力源としてのエンジン

燃焼熱と仕事（人や荷を運ぶ）を考察。

イ. 燃焼熱

ガソリン 1 ℥当たりの燃焼熱などを紹介。

ウ. 仕事の量

初期の段階で馬力（P S数）を導入する。

エ. エンジンのする仕事→P V図

P Vグラフからエンジンの仕事を求める。

## 2. 熱とエネルギー

## ア.マイヤーの実験

圧力を一定にして気体の温度を上げる実験を考察。

加熱=温度上昇+ピストンのする仕事

これをお金のアナロジーで考える。

送金=貯金+支出

このように考えると熱は「(AからBへ)

移る熱」と「(Cが)持つ熱」とがある。

## イ.「持つ熱」=内部エネルギー

物体、またはその状態が「持つ熱」はエネルギーと呼ぶことにする。

## ウ.内部エネルギーと熱と仕事

熱力学第1法則の内容を展開する。

## 3. 仕事と力学的エネルギー

## ア.仕事と運動物体など。

## マイコンによる物理成績評価の改善

釧路高専 本間 宏俊

## 1. はじめに

我々の所では、物理学習評価を実験、演習、欠課、試験の各評価要素の得点を総合している。このように評価が多くの要素よりなっている場合、多元的に捉える事により評価構造が明確になる事が多い。そこで物理学習評価の主成分分析を行ない、主成分得点のグラフ上で学生の特質を明確にできた。更に、先に開発したシステムの活用によって、試験得点に顕著な向上がみられた。

## 2. 主成分分析

サンプルは1986年度釧路高専2学年42名の実験演習、欠課時数×(-1)、試験の得点データを用いる。これらのデータには異質な単位が混ざっているので、各変量の平均を0、分散を1に標準化して主成分分析を行なった。その結果第1主成分に対する固有値は2.29、寄与率は57%である。さて、この固有ベクトルの各要素である係数より第1主成分X'は

$$X' = 0.5334 \times (\text{Expe}) + 0.419 \times (\text{Exer}) \\ + 0.5028 \times (\text{Abse}) + 0.5358 \times (\text{Exam})$$

となる。したがって、欠課時数少なく、他の要素

の得点の多い学生がX'成分が大きくなり、合計点が良ければほとんどの得点も良いことになる。

第2主成分に対する固有値は1.34、寄与率は34%、累積寄与率は91%である。第2主成分の値は、演習得点が少なく欠課時数の多い学生が大きくなり、日常の学習状態を表わしている。

第1、第2主成分の固有ベクトルに対して評価要素をプロットした結果、実験、欠課、演習と試験の3つに分かれる。それゆえ物理総合評価を評価4要素より次式で与えた。

$$\text{物理総合評価} = ((\text{Expe} \times \text{JI}) + (\text{Exer} \times \text{LL}) + (\text{Abse} \times \text{A}) + (\text{Exam} \times \text{JI})) / \text{LL}$$

ここで、JIとAの因数に3を用い、LLは評価回数、問題の難易により定める因数とする。

## 3. 試験得点の検定

開発したシステムを使用する以前の4年間と使用した3年間の試験得点の様子を詳しく調べた結果、あきらかに、このシステムの利用によって物理学習効果を上げることができたと判断される。

主成分分析の結果、評価要素は各自の特性を持ち、それ故これらの要素を考慮した総合評価がより適切な評価となり得る。また、成績遅進者の対策も多面的に検討できる。

## 光センサーを用いた衝突の測定

北海道工業大学 三好 康雅  
同 峰友典子

## まえがき

学生実験のために、衝突で生じる力を測定する装置を開癡した。

図1で、板バネの先端のおもりAに、上から落下する物体Bを衝突させる。おもりAの下に付いている遮光板の変位を光センサーで測定する。光センサー(TLP801A、遮光板変位と電流の関係はほぼ直線)で得られた電流変化を、オペアンプ、ADコンバータを介してマイコンに取り込み、力に換算する。適当なガイドを用いると、落下した物体Bは跳ね返りのため数回物体Aに衝突する。衝突時の力は時間に対して図2のようになる。 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $\dots$ は衝突間隔時間で、物体Bの跳ね上がり

## 第4回物理教育研究大会

の高さと衝突時の速さがわかる。このように、自由落下による各衝突時の速さ、及び運動量の変化を容易に知ることができ、また、跳ね上がりの高さから反発係数を求めることができる。（本号に関連論文掲載）

### 放射能と核エネルギーの授業の実践

上智大学 笠 耐

#### 1. はじめに

1986年の物理教育国際会議で明らかになった物理教育の動向は、将来の市民としてすべての生徒に意味のある生徒中心の教育を、実践的に探究することであった。戦後の国際的な物理教育の歴史を振り替えると、1960年代がPSSCに始まる学校物理の現代化の推進で、1970年代が自然科学の総合化になると、1980年代は自然科学と社会科学の統合といえよう。科学技術の推進による経済成長、国力の増強を目指して、優秀な現代的労働者の育成の基礎として、物理教育を重視する国も多い。しかし、この有限な地球で無限の物質的発展は有り得ないし、過度の競争原理は地球を、人類を滅ぼす結果を導く可能性が大きい。地球上のすべての人々が、自然を、科学ができるだけ良く理解して、子孫の幸福を願って協力していくことが重要である。1990年代には、放射能の発見の100周年と広島・長崎原爆の50周年を迎える。物理学における偉大な発見が人類の災害の元となるのを避けて、誰もが楽しく科学を学べるように、世界の科学者と教師が協力して、未来のための教育を研究し、実践していく必要がある。

#### 2. 授業について

私は、1981年度から上智大学で理工学部以外の学生を対象にした一般教育「物理学と社会」を開講しているが、今年度前記に試みた「放射能と核エネルギー」の授業について、その内容と学生の反応を、レポートの分析結果をもとに報告したい。この授業では物理学の知識が必要とされる、現実的な社会問題をテーマにして、学生が自主的に学び、議論し合うグループ学習を重視している。今年度の登録者は文学部、経済学部、法学部、外国

学部の学生126名で、4年生11名、3年生14名、2年生48名、1年生58名であった。授業の概要を以下に示す。

- |         |                                                        |     |
|---------|--------------------------------------------------------|-----|
| 第1回     | 導入： <u>参考書</u> プロジェクト物理第6卷原子核、 <u>映画</u> Powers of Ten | 調査1 |
| 第2回     | 放射能と放射線： <u>演示</u> β線、 <u>映画</u> 体の中を見る                | 調査2 |
| 第3回     | 放射性崩壊、アイソトープ： <u>演習</u> 放射性崩壊系列                        | 調査3 |
| 第4回     | ランダムな現象と半減期： <u>実験</u> サイコロの実験                         | 調査4 |
| 第5回     | 核エネルギー：エネルギーとその利用                                      | 調査5 |
| 第6回     | グループ学習導入： <u>文献</u> リスト配布<br><u>講演</u> イギリスの科学教育       | 調査6 |
| 第8～10回  | グループ学習：原子力発電、自然再生エネルギー、核兵器、放射線の利用と危害                   |     |
| 第11～12回 | 発表：各グループによる発表                                          | 調査7 |

レポート「核エネルギーの発見が社会にもたらした影響について」「グループ学習について」

#### 3. 結論

学生達は現在及び未来の市民生活が科学技術の発展に大きく関係していることを認識していて、かれらに必要と思われる科学的な事柄を理解したいと思っている。また、講義だけの一方通行の教師中心の授業より、学生中心のグループ学習の方が効果的であると評価している。まだ、物理概念の定着については不十分であり、これから systematicな教育研究が必要と考えられる。

## 「英國の高等学校の科学教育の問題点と将来展望」

リーズ大学研究員 Mr. P. H. Scott

私は、フィリップ・スコットと申します。イギリスの高等学校の科学教師をしております。今日ここにお招きを頂きましてお話をされる機会が与えられたことを皆様に感謝しております。

今日の午後の話の概要はここに書かれたようなものでございます。先ず最初に私が教えている学校の背景をお話したいと思います。その次に私の学校の科学部の方で問題になっております2つの問題について取り上げたいと思います。

私が教えている学校は、イギリスの北部の大きな都会であるリーズという街の郊外にございます。リーズはここでございます。イギリスの島というのは日本の島ほど大きくはございません。ここに書いたのは東京と札幌の距離ぐらいに相当いたします。そしてまたトンネルもございません。学校は男女共学の学校でございます。子どもは900人ほどおりまして、そして11才から18才までおります。56人のスタッフがおりまして、それからコンプリフェンシブ・スクールでございます。コンプリフェンシブということはいろいろな能力を持った生徒をとっている、特別なできる子だけをとっているのではないということです。科学部には8人の常勤の教師とそれから一人の非常勤の教師がおります。そして二人の技官がおります。それから8つの教育のための実験室、それから2つの工作室がございます。私たちの科学のカリキュラムは以下のように組み立ててあります。もっと詳しいことは後ほど説明致します。この学校では11才から18才までの子どもがおります。11才から14才までのところは、学校で科学のカリキュラムを組みます。15才から18才までは、共通テストに従ってコースが考えられております。イギリスでは学校で試験をするのではなくて、その州とか教育委員会とか試験委員会とかが試験をいたします。その試験と申しましても、その試験の中でテストする講義要目（シラバス）のようなものがそういう委員会で決められます。そして16才の終わりと、

18才の終わりの2度にわたって試験が課されます。その試験はそういう委員会が行うので学校がするのではない。先ほど14才までは学校のうちで科学のカリキュラムを組むと申しましたのですが、それは組めるのですが試験がございません。それでそういうパブリック・エグザミネイションというのはそういう学校外がする試験でございます。その試験の項目によりまして講義要目が決まるわけあります。

最初に、私たちの関心のあることの一番目の問題についてお話ししましょう。全ての子どもたちへの釣合のとれた科学です。釣合のとれた科学とはどういうことでしょうか。文部省は次のようにいっております。「すべての子どもたちは義務教育の間に、つまり5才から16才までの間には、主なる科学のそれぞれにおいて勉強を続けることができなければならない」と述べております。釣合のとれた科学のコースというのは、物理と化学と生物の要素を含んでいかなければなりません。この表1をちょっと見てください。この数字は1981年から1982年のいろいろな組合せを選んだ生徒の数を表しております。これは15才の子どもたちが選んだ数です。つまり私の学校の一つの学年の場合でございます。一人の生徒は必ず、少なくともひとつ以上の科学のコースを選ばなければなりません。そして選んだ結果がこの通りでございます。2人の男子生徒と9人の女子の生徒の計11人の生徒が化学、物理、生物という組合せを選びました。科学部の主任といたしまして私が憂慮しておりますのは、その緑の丸で囲んだ数字でございます。私の学校におきましては20人の女子の生徒はただ生物だけしかありませんでした。あなたがたにも同じ様な問題があるのではないかと思います。4人の男の子が物理だけしかありませんでした。それから合計56人の子どもたちが、ただフィジカル・サイエンス（物理的科学）といわれるものを選びました。この子どもたちのほとんどが16才まで学

## 「英国の高等学校の科学教育の問題点と将来展望」

校で勉強しております、それから後は学校から去ってまいります。そして私は20人の女の子はただ生物を勉強だけして去っていくことを憂慮せざるを得ないのであります。

この問題への答えといたしまして、私たちは以下のようないき方を展開いたしました。「どれだけの科学をあなたは勉強しなければなりませんか」と生徒たちにきくわけです。そして子どもが3単位取りたいというならば、その生徒は化学、物理、生物という組合せをとることができます。ただ一つだけ取りたいという子どもは、サイエンスというコースを選ぶことになりますし、2つの単位を選びたいと答えたならば、3つの組合せのうちのどれかを選ぶことができます。その結果85年から86年度にはこのような数字が出てまいりました。この×を書いた部分はもうこういうコースはないのです。ここで先に20名の生物だけをとっていたであろうと思われる女の子たちは、今はサイエンスAをとっているようでございます。これはこの子どもがもし、前のようにたたら生物だけをとっていたであろうということです。状況はかなり改善されましたけれど、まだ疑問点がございます。1単位だけを取っている子どもというのは、全授業時間の中の11%だけが科学の講義に相当いたします。3単位を取っている子どもは全授業時間の34%にあたりますので、余りに多く科学をとり過ぎているというふうに心配する人もあります。そこで今イギリスにおきましては多くの人が、16才までは2単位(two units)の科学をとるようにした方がよいという考え方が強くなっています。私の学校におきましても同様に私たちは全ての子どもたちが2単位の科学をとるようにさせたいと言っております。

今度は2番目の私たちの関心事、科学における子どもたちの学習ということを話したいと思います。昨年私は13才の子どもたちのクラスで重力について教えました。教える最初の時に私は重力についてあなたがたはどう考えるかという質問をいたしました。私は子どもたちにボールを手から離すと下へ落ちるのはなぜか、と尋ねました。私はクラスを4つのグループに分けて、なぜかということをそれぞれのグループで討論するように言い

ました。それから議論の後で、そこで議論されたことを紙に書き下しなさいと言いました。ある子どもたちはその答えを想像するのが非常に難しかったようです。そのような子どもたちは、なぜならボールを動けるようにしたからだ(と言った)ある子どもたちはボールが落ちるのは重力のせいだと言いました。ある子どもたちはまた、空気がボールを落すのだと言いました。また他のある子どもたちは、その2つの考え方を混ぜ合わせたような考え方を持っておりました。落ちるのは重力のせいだ、というのは空気がボールを押すからだと言っております。私が聞いた2番目の質問というのは、月の表面にあなたは立てるとして、そのところでボールを手放すといつたい何が起こるでしょう。(ということです)同じようなふうにして子どもたちはその問題を討論し、紙の上に答えを書きました。一つの考え方非常に通常あり得るものがありました。ボールはただ漂って行ってしまうでしょう、ボールは宇宙に漂って行ってしまうでしょう、なぜなら重力がないからです、と言いました。そしてある子どもたちは前の質問の時の考え方と結び付けて、そこには空気がないということを言いました。それでボールは空間に漂って行ってしまうでしょう、というのはそこにはボールを引っ張る空気がないからです、といいました。このところで子どもたちの中に、ものの考え方の中に彼らなりの無矛盾性(統一性)があるということに気が付くと思います。

私は13才の子どもたちに重力を教えるということを12年間続けてまいりました。私はここで、目に見えない力について教えていたわけです。この力は引くことはできますが、押すことはいたしません。この力はそれに触れることなしにものを引っ張ることができたのです。そしてその力は、そのものの大きさに依存するのです。これは子どもたちの立場から見るならば、非常に奇妙な力です。私はこの力について教えたのですが、子どもたちはこの力には空気が関係あるのではないかと考えました。このような状況は、ものを学ぶということについて問題を提起します。これは確かに私たちの関心事です。

私は過去3年間子どもたちが科学のなかでどう

いうふうに学んでいくかについて研究しました。この学ぶというプロジェクトは、リール大学にその本拠をおいております。このプロジェクトは構成主義的なものの見方の立場に立っております。構成主義ということにつきましては、これから話のなかでわかると思います。学ぶ人の中にもうすでにそういうような考え方がある存在しているということです。第二に、そこにございますように、学ぶということはすでに中にあるものの考え方といふに結び付けるか、そしてアイディアを作り出すということ(generation)，それからチェック、それからさらに再構成をすることにつながっております。学習ということは、そういう概念的な変化を必要といたします。子どもたちは白紙の状態、頭のなかが空白の状態で来ているわけではございません。最後の問題は、学習をするということは、その学習者、自分自身が最終的に責任を持つということでございます。このような考え方によってどういう順序で教えるかという問題が生じます。最初のことは、子どもたちが学習の場に現れたときにどのような概念を持っているかということを見つけることでございます。子どもたちの持っている概念というのは、確立した科学の概念とは異なっているということです。そこで必要なのは、そういう概念の再構成ということが必要になってまいります。子どもがその科学的なものの見方というものを受け入れたときには、そしてそのものの見方というものをいろいろな状況のもとにおいて子どもたちは適用してみようとするに違いありません。そして、最終段階におきましては、子どもたちはどのように彼らの概念が変化したかということを自覚する必要がございます。私たちの学校におきましては、リール大学との協力のもとにこののようなプロジェクトを進めておりますし、このプロジェクトは今後も続いて行くでございましょう。

私は今日ここで、二つの私たちの関心を持っていることについてお話をしました。それは釣合のとれた科学と、子どもの学習ということについて話しました。しかしそのほかにも多くの私たちの関心事がございます。この科学と知性の違い、女子学生は生物を学ぼうといたしますし、それから男

の子たちは物理だけを学ぼうといたします。科学と実際的な仕事、科学と多人種の社会との問題、科学と子どもの学習、これはもう短くお話ししたことですが、科学と新しい試験のシステム(このことにつきましては明日ブラック教授がお話をされる予定です)、科学と科学以外のカリキュラムの関連、科学と財政(私たち持っているいろいろな装置はすでに古くなってしまいました)、科学と産業(私の学校はその地域の会社と関連を持っております)、科学と言語(科学におきましては子どもたちはものを書いたり討論したり、つまり言葉を使っております)、科学と技術、科学とその科学の社会における地位、科学の教師は非常にエネルギーッシュ(energetic?)であり、強くならなければなりません。そして熱心でなければなりません。強くなければならぬのです。

：拍手 中断

質疑応答 (S : スコット先生 Q : 質問者)

S : もし皆様が何か質問がございましたならば喜んでお答えしたいと思います。

Q : 日本におきましてはバランスのとれた科学ということになりますと、例えば理科Ⅰというようなカリキュラムがあるのですけれど、理科Ⅰ自体は今かなり困難な状況に日本ではなっています。イギリスの場合、そういういろいろな形のバランスのとれたものを発展する基礎というものの具体的な状況というのは日本との比較で…。

S : 16才までのコースでバランス・コースというのが、置かれております。そしてそれは大学進学の準備のための17才、18才のコースの前に置かれております。だけれども16才までのとった科目的試験というものは、大学入試にとりまして非常に重要なものです。ということは大学がこのバランス・サイエンスというものの価値を認めているからでございます。

イギリスにはあるキャンペーンがございます。そのキャンペーンというのは、教育学会(教師のassosiation)、それからLoyal society(これは科学者の集まりですが)、それから学校の教師たちがあるキャンペーン

## 「英国の高等学校の科学教育の問題点と将来展望」

をしている。そしてパンフレットみたいなものを作ったり、ビデオのプログラムを作ったりして、そして教育長とか、インダストリーとか、そういうところと一緒に両親に、また他の教師たちにバランスコースというのを一番良いコースであるということを納得させようとして、そういう活動をしております。そういう皆さんへの訴えということをやっております。その訴える対照になるのは、大学の教師に対してもそういう訴えをしているということです。

Q：バランス・サイエンスという概念からいたしますと、われわれは物理、化学、生物という3つをやることが科学のバランスである。ところがそうすると、全カリキュラムの33%程度を占めてしまって、2科目にした方がよいということのように感じました。それはむしろ科学というよりは、人間教養という全般的な立場からみると33%を占める科学は、少し科学に重点がかかり過ぎているという、その意味でアンバランスであるというふうに感じたのですが、その点はどういうふうにバランスをお考えでしょうか。

S：文部省というのは、だいたいガイドラインとして科学の部分は全カリキュラムの20%という線を出してあります。これはバランス・サイエンスというものがトータルとしての約合のとれたカリキュラムの中で20%というようなことだそうです。

Q：概念の引出し、概念の再構成という表のところでの質問なのですが、ものが落ちるというお話は、ものが落ちるのはなぜかというのを概念の引出しがらいの段階ではないかというふうに思いました。月で落ちるという話はその再構成へ至るひとつの手段というふうにきましたので、できればものが落ちる場合につきまして概念の応用、概念の変化の復習というのはどのようにしてやるのか、もう少し具体的に説明願います。

S：今ここで例にあげました2つの質問は、ともに第一の段階に属しております。そしてそれ以降の構成というのは、かなりの時間をかけ

てやらなければならないので、かなり複雑なプロセスを経なければなりません。そしてしばしば起こることですけれども、子どもたちは今までの古い考え方をそのまま保っておいて、そしてグラビティという概念を発展させることもございます。このように、時間のかかる作業でございますけれども、そういう過程におきましてどういうふうに子どもたちが考えているかということを知ることができます。

Q：（日本には）地学というのがございまして、地学という中には天文、気象、及び岩石というのがありますが、それらは先ほどのお話の中の物理、化学、生物のどこにはいるのでしょうか。

S：私たちの学校の中におきましては地学に相当するようなものはございませんけれども、その一つブロックの中でそれに相当するものを短く取り扱う部分はございます。

Q：バランス・サイエンスということと、科学的にものを見るというか、考えるということに重点を置かれているということで、大変すばらしいことだと思うのですけれど、そうすると例えば重力だけでも随分と時間をとるのだと思います。といっても、ある程度化学や生物の率にしてみますと、限定されてしまって、例えば16才で行われる共通テストに対する、先生達の圧迫感というか、力の入れがあるのか、全然ないのか。

S：このようにしてひとつの講義に最初の段階におきましてかなりの時間を使うかもしれませんけれども、同じことを二度と繰返さないようにうまくカリキュラムを組みますとそれができるのではないかでしょうか。そして最初にそういうことをするということは、時間を費やす価値があるだろうということです。

Q：教師サイドの問題として、やっていることの中でどういったことに特に注意してやっているのか。

S：こういう様な約合のとれた科学というコースを導入しようとしたときに、私は科学部の主任といたしまして、他の科学の先生がたとい

っしょに何回も何回も会合を持ちまして、そしてこれからどのように私たちは進んで行こうかということを討論し、そしてそれを決めてまいりました。このような会合というのはお昼休み（お昼ご飯を食べながら）とか、それから放課後とかいうような時間が割り当てられます。

Q：基本的なことで、言葉のことでお尋ねします。2つですが…。1つはここに書かれています物理すなわち physics と、物理科学 physical science の違いです。私もこの本を読んでかに感ずるのですが、訳するときに間違えて訳するとえらいことですね。

S：ようするに物理と化学のコンパインですね。

Q：サイエンスAは、生物ですか、physical science はB…。

S：チェンジしてあるんです。昔は physical science だったのを今度廃止して科学A、Bに変えたんです。時代が違うんです。

サイエンスAとBとの違いは、内容の違いではなくて、とる学生の能力の違いでございまして、できる子がAをとり、それほどできるのではない子がBをとるというふうになっている。physical science というのは物理と化学の要素を含んでおります。けれども science というコースは物理、化学、生物の3つを含んでいます。

# 「ヨーロッパにおける科学教育諸問題と将来展望」

キングスカレッジ大学教授 Prof. P. J. Black

今朝、このような重要なミーティングにおきまして、私がお話しできます事をうれしくまた光栄に思っております。私は今日、新しい科学教育の政策についてお話しします。主としてイギリスにおいて、またいくつかのヨーロッパの事についてお話しします。私は今日、国の政策というレベルについてお話ししますが、このことは昨日、スコットさんが学校というレベルでお話しになりました。そこには共通点がございます。

私が見せるものはここに書いてありますのでこれは笠先生がお読みになります。英語では読みませんので、笠先生がこれからずっとお話しになります。（笑）

〔笠〕時間がないので急いで訳しましたので、ひどい日本語ですけど我慢して下さい。

## 講演の概要

1. 英国的新しい政策…・すべての人ための調和がとれた科学
2. 全国的大試験…物理の評価基準
3. カリキュラムの内容…・削減の問題  
　　・科学の諸科目を整合する問題  
　　・概念の理解の改善の問題
4. 科学の方法の熟練（あまり良くない表現だが）…将来の市民のために行なう  
　　・科学そのものの発展のために行なう  
　　・内容と方法の関係について
5. 実験技術…方法とやった事の評価の問題
6. 生徒による研究や探求について
7. 技術と社会の問題をどのようにカリキュ

ラムの中にとりいれるか

## 8. ヨーロッパ諸国に関して

ここにあるのはガバメントの本でございますが、この事についてこれからお話しします。

すべての人の科学というためには広さがなければならない。それは化学、物理、生物の領域をカバーしていくなければならない。また、それが釣合が取れていなければならない。調和が取れていなければならない。

科学というのは一般の人にとって、彼らの日常生活に関連がある、意味があるというものでなければならない。

その次には、差異がなければならない。差異があるという事は、生徒が違いますので、その人達が満足するような、そういう差別がなければならない。同時にすべての人に均等の機会がなければならない。例えば、人種的な意味での差別、そういう差別はあってはならない。

中学から高等学校へいくのに、科学の教育は連続性がなければならない。そしてまた、それは一年から二年と上がっていくのに、進歩がコンシスティントな、そういう関連があって進歩していかなければならない。

科学と他の科目との間にある関連がなければならない。

教育方法においては、子供達が自分で考え、自分で作業をして、そして学んでいかなければならない。

私は第2の話題、全国的な物理の評価のやり方、仕方について話したい。私がここで話すのは、新しい試験のシステムでございまして、第1回目は1988年つまり来年行なわれる事になっております。そこには五つの独立した試験のグループがある。学校にはその五つの中から選ぶ自由度があります。しかし、この五つの試験制度というのは一つの全国的な基準を満足しなければなりません。

## 「ヨーロッパにおける科学諸教育問題と将来展望」

ここに重要な科学に対する基準がある。そして、その実験については、半分以下のものは日常の平常点で学校でつけられる。その他に筆記試験や成績というものは、これは制限されている。そして、全体が、実験については20%を占めていなければならぬ。コースの15%は科学の応用とか、社会経済的な要素との関連が含まれていなければならぬ。そして、記憶と知識が45%，色々な技術とそこに到る過程は40%以下である。この40%の中には20%の実際的な勉強というものが含まれている。

子供達が何が出来るかという事を見なければいけない。それは、何が出来ないのかという事を見ている時は、それはただ出来ないのだけれども、その中に他にまだ理解している事がないか、という事を見る事が必要であるからです。ですから、何が出来るかを見る事が大切です。そのためには、みんなが一つの試験を受けますが、それは同じ試験という意味ではない、あまり出来ない子はやさしい試験を受けますが、出来る子は難しい、かなり骨のおれる試験を受ける、そして中間がありまして、出来ない子達は最初の二つを受ける、出来る子は真ん中の二つを受ける、BとCを受ける、先ほどの差異というのはそういう意味でございます。

私はここで一つの新しい試験に対する評価に関する試みについて紹介します。今までの評価というのは、英國においてはこのようになっておりました。5年間学んで、5年目の終りに証明書をもらう試験を受ける。そして中間においては、評価されたり、励ましを受けたり、やった事に対する酬いを受ける事はない。最後にエグザミネーションボードが行う試験の結果、5年間の終りになって初めて、評価され、酬いが得られる訳です。

私達はつぎの事を試みようとしている。毎年、各学期ごとに、学校によってある評価がなされる。それに成功した時にはある証明（クレジット）がもらえる。5年間経った時にこういう5年間のクレジットの総計に基づいて、証明書が渡される。たぶん、能力の高い学生には、それに加えて、試験が課せられる。出来る子はたくさんのクレジットをすばやく集める事が出来るが、それほどでも

ない子はゆっくりと少しのクレジットを取る事になるでしょう。ほとんどすべての子供達が卒業出来るが、しかしそれは遅ったレート、遅ったレベルで卒業する事になる。

このような事をしますと、先生と公的な機関であるエグザミネーションボードとの間に新しい関係が生まれてまいります。先生は学校において、クレジットを与えるという責任があります。しかし、エグザミネーションボードは先生のする仕事を監督し、また監査し、ある時には問題を出すという事になります。試験問題はエグザミネーションボードに出して許可を得なければならないという事になります。

ここで例として、ロンドンオーソリティー（教育委員会）の科学に対する一つの計画についてお話しします。試験におきましては三つの様相がある。第一の様相は内容であって、内容については式と理解とについて試験がなされます。それから、過程については、別な試験がなされます。

それは、子供達が測定し、観測し、その結果を説明し、また、それを導くために仮定を立てるといった能力について、試験を行います。さらに、探求の問題についても別な試験をいたします。その中に書いてある事はそこに書いてある通りでございます。略します。

次に、カリキュラムの内容についての話をします。昨日のスコットさんのお話について質問がありました。あのようなやり方をしていいって、すべての講義要目、教育要目について終える事が出来るかという質問がございました。この本には政府の方針がかいてあります。これについては笠先生が読んで下さいます。

〔笠〕政策の主張。科学。5歳から16歳について。

もしも科学を教えるという事が、実験的能力及び知的能力に関して必要かつ重要な技能を伝達するとともに獲得した知識の利用に関する理解と生徒に自信を与える事であるとしたら、そのためには現在、多くのコースに含まれている技術に関する知識や理論的な内容を思い切って削る必要があるであろう。この仕事は生徒の知的な要求を減らす事無く、また

科学を教える場合に必要な厳密さを欠く事無く、実行されるべきであり、実行する事が出来る。もしも、そのように実行されないならば、この論文に述べた科学教育の目的は達成する事が出来ない。

私はスコットさんが述べたアイデアをまた皆さんに提示したいと思います。調和のとれた科学という事です。ここで古いシステムから新しいシステムへのスキームの差を述べたいと思います。そして、違いを申しますと13歳から16歳までのところでは独立した科学のコースを教える事になっているのが、新しい方ではダブルサブジェクトサイエンスを教える。古いスキームでは女子学生は物理、化学を取らない傾向があるが、新しいスキームではすべての生徒がおなじ教育を受け、とくに、13、14歳では自由度はありません。

この新しいスキームにつきましては色々な議論がありました。それには、整合（コーディネート）された方法で教える、統合された方法で教える、モジュラースキームで教える事が考えられる。私は最初の二つの事について話したい。

コーディネーティブとはどういう事か。今、生物の先生は生物を教え、化学の先生は化学を教え、物理の先生は物理を教えるという事になりますが、それらの先生が一緒に協力して、それぞれのコースを教えるという事です。コースはそれぞれ異なる訳ですが、それらの中では共通の言葉で、共通の方法を用いる。そして出来れば他のコースの結果を自分のコースで利用する。そして同じアイデアは繰返さない、繰返すとなるならば、非常に重要なものに限る。繰返す場合には同じような方法でやらねばならない。そのコースの中では次の問題を取りあげる。それは二つ以上の科学の中から生まれてきた考え方を必要とする問題である。このような問題を子供達にやらせるという事がコーディネーティブの意味である。多くの先生方が協力してやると考えていますが、ある小数の人達は進んでいかねばならないと考えています。

統合された教育を主張する人は、科学というものは全部同じものであり、一つの科目であるかという質問が出て参ります。とくに高等学校のレベ

ルでどうかという事になります。少数の人がそうと言う。そして一人の先生が教えるべきだと言う。それから多くの人は判断がつかない。しかし、俺は教えたくない、そんなにたくさんの事を教えてたくないと言う。そうではないと言う人もたくさんおります。

たとえ、基礎科学の科目がコーディネートされたとしても、それは概念の理解を改良していくなければならない。しかし、この事につきましては、昨日構成主義という事でスコットさんがお話しになりましたので、ここでは入っていきません。この過程は、すべての市民のための、しかし、それは科学のためのスキルである。こういう事を科学から人々は学んでいかなければなりません。

(笠) 宣伝文を信用してはいけません。(笑いながら) これはちょっと日本の言葉に直したんですが。元気という丸薬があったとしたら、その丸薬が貴方の風邪を直しますという宣伝とか、前途有望なるテストに秀男は勝利したとか、まあこれは、入試の受験勉強の塾の宣伝になる。宣伝文の中に、10人の主婦の内、9人までがこれを好んでいますとか、犯罪が45%増加したとか、平均的な子供は2歳で歩くとか、人口の半分は平均的な知識水準以下であるとかの言葉を良く見かけるという事です。

もし、2歳で自分の子供が歩かなかったとしたら、こういう事を信じたとすると、非常に心配するでしょう。私達の子供を教育する事によって、そういう事が起きないよう人々を助ける事が出来る。

グラフの読み方について、例をあげてみましょう。1,000人中に対し何人生まれるかという事ですが、ここで最初のものはほとんど平ですがスケールを変えるとこのように上がっています。しかし、見方を変えて1,000人の女性に対して、何人の子供が生まれましたか、という事にすると出生率は下がっている。同じデータを使いながらそうなります。

## 「ヨーロッパにおける科学諸教育問題と将来展望」

〔笠〕科学教育のポリシーとして、科学の方法と技能を強調する必要がある。科学的な考え方とか、コミュニケーション、数量的なものをつかってコミュニケーションを取る、それから観察する能力とか、測定をしたり、装置を使用する能力、それから仮説を立てる、何かを推測する能力、また、それを検証する能力、それから、問題解決の能力、それからクリエイティブな方の創造力、イマジネーションの方の想像力、両方における能力を高めるという事が科学教育で必要になって来る。

イギリスにおいては、全国的なモニタリングのシステムがあって、スクールサイエンスパフォーマンスをモニターする機関があります。

〔笠〕この六つのカテゴリー、これは例がむこうの展示室にあるのですが、カテゴリー1はグラフや記号で表わす、カテゴリー2は器具や測定機を使用出来る、カテゴリー3は観察能力ですね、カテゴリー4は証明したり、説明したり、応用したりする能力、カテゴリー5は自分自身で問題の研究の計画を立てれる、カテゴリー6は実際に研究を実行出来るという事。六つのカテゴリーについて評価していくことです。

むこうの展示室の方に本がございますので講演の後、午後にでも見ていただければ幸いです。さて、こここのところで、市民が科学のところで必要なスキルという事を申しましたが、前には内容の事についてお話しいたしました。しかし、プロセスのないコンテンツというものはないし、内容のないプロセスだけというものもありません。内容とプロセスはともに、手をたづえていかなければなりません。

5番目のプラクティカルな問題に入っていきます。

〔笠〕16歳の物理の試験のための全国的な基準という事で、課題研究なのですが、これを行えば、問題解決や、評価や、総合的能力が発達

する。また、物理のいろいろな原理を技術に応用するチャンスに合う可能性がある。評価の対象に課題研究、これは、生徒個人個人がやる課題研究ですが、そういう事を含むという事は受験生自身がテーマを選べますから積極的に取り組む事が出来る。それを評価の対象にしてやるという意味で、非常に興味を持てるチャンスを与える事にもなるんだという事です。

次に実験的な能力をどう評価するかという事ですが、実験の評価を全体の評価の20%は配点しなければならない。この内の半分、10%の配点は、実験室で生徒実験するとか、観察するとかいった活動を基礎とした学習に配当しなければならない。実験に関する評価についてペーパーテストをする事も可能であるが、それは補足的なものであっても代わりをする事にはならない、ペーパーテストだけ、は詳されない。今までも、試験期間中に特別に実験のテストをさせる事はあったが、それに限界があるから、平常の授業の生徒実験で行っている事で評価する必要がある。しかし、特別な事情でそれが出来ない生徒については、その限りではない。この平常時間内での評価の計画というのは、先生達が勝手にやるものではなく、それぞれの試験機関が、適切になるように、学校差が出ないように、色々な調整をし、また、それを承認する、そういう事が必要である。

ここで一つの例を申し上げます。これはエグザミネーションボードにおいて作られた評価の表でございます。この表を見ながら先生達は実験室での評価をする訳です。そこに、一番左側には実験の題名、日にち、評価の項目につきましては出ている通りです、それは略します。そして、それはいくつもなされた後、最後に総点、平均をとって、それが考慮されて最終的な評価がなされる。こういう風にして、学校でしましたとしても、それは一つの基準に従って学校でするという事であって、学校の先生が全く任意にするのではなく、ある一つの客観的な基準が保証されているという事にな

る訳です。先生というのは試験の過程におきまして、それから離れているのではなく、試験の過程というものを含まれて、協力しているという形を取る。

これは探求という事ですが、結論のない、オープンエンディドといった実験研究課題でございます。これはイギリスで実際に用いられた事です。これについて話をします。11歳から13歳の子供に与えられた課題の例をあげます。どういうようなタイプの課題かという事も書いてございます。

(笠) 第1に、目覚まし時計の音を半分にするには、新聞紙を何枚重ねれば良いか、これは生徒が実際に実験してみる課題です。第2に12歳の生徒の身長はどれくらいか、これは12歳のクラスなんですが、実際に身長を調査してみる課題。次に、この懐中電燈は何故つかないのか調べなさいと言い、つかない懐中電燈を与える。これも生徒が実際にそれをいじくって調べるという課題。次に、船が通れる様に一方が持ち上がる橋のモデルを設計しなさい。次に、貴方の家の断熱として、どういう事が行われているか調べなさい。これは調査です。最後に、貴方の家でのエネルギーの使用を示すポスターを作りなさい。これも実験をするのではなく、ポスターのデザインを行わせる。こういうものが11歳から13歳の子供が実際にやった探求課題の例としてあります。

ここに紹介しますのはイギリスのある地方の教育委員会が独自に開発したカリキュラムです。ここでは問題解決の方法を学ぶばかりでなく、また先生だけではなく子供達も問題解決の一つのフィロソフィーを発展させる事が出来るようになっております。例えば、問題は何か、それから問題解決のための計画をし、実際に何かのアクションを取る。さらに、解説、説明をする。その時にまた、問題が起これば、また問題は何かとか、計画とは、とか、何かのアクションを取るとかいった事を繰返して、彼らがスキルとかフィロソフィーを伸ばしていく、このような一つのプロジェクトであります。これは「地平線」という名のプロジェクト

です。ここで、こういう事をやる時に、私達は目的の違いを認識するという事が重要な問題になります。例えば、そこに書いてある上の目的をとりますと、科学者の一つの課題という事になります。それから、下の方のお客さんの要求を満たすという問題になりますと、そういう違った目的をとりますと、これは技術的な問題になります。こういうような目的、タスクというような事を考えまして、そのカリキュラムを考えるという事になります。サイエンスというタスクが与えられている時には、コンセプト、プロセスという事が両方ともに合わせて準備されなければならない。たぶん、数学がその基礎として、必要になるでしょう。技術的な問題を考えますと、そのカリキュラムにおいては、もちろんコンセプト、プロセスも必要でしょうが、その他にデザイン、実際的な技術が必要になる。すなわち、テクノロジーオリエンティドなタスクをするためには、より広い事を考えなければなりません。

今、私達は6番までやってまいりましたが、こんどは技術と社会という、より広い大きな問題を取り扱いましょう。ここで、私達がやっている新しいプロジェクトについて説明いたします。ここに書いてある通りです。科学教師協会というところで作った教材の中で、一つ大切な事はインサイエンスという事です。サイエンスの前に前置詞インをつけた事に注意していただきたい。そういうつもりでここを読んでいただきたい。ここに述べます事はプロジェクトのプリシンブルであり、先生のためのフィロソフィーであると考えていただきたい。

このプロジェクトが出した教材は7巻になっております。その7巻の中に70のトピックスが含まれております。その第3巻がそこにあります、これは展示室でお見せします。ここに少しの例があります。

(笠) 仕事をするロボット、世界の金属資源、アルミニウムの再利用、貴方の車はどれくらい安全か、命のための素材、移植手術、リスク、ダウンの諸問題、物理と料理、アルコールを飲む（これは重要だと思います）、電気自動

## 「ヨーロッパにおける科学諸教育問題と将来展望」

車、サルファーコンクリート、原子力、こう  
いう風なのが一つの例となっています。

申しますと私達が子供達を未来へむけて備えてい  
くという事です。

Thank you. (拍手)

最後に、まとめて話しまして、私達が今、絶え  
ず自分自身に問うている事について紹介致します。  
社会というのはどういう社会か考えましょう。私  
はもっと長い時間の単位でものごとを考えたいと  
思います。一つの単位として、75年という単位を  
考えます。そして、75年の2倍の昔、75年の昔、  
それからまた、75年後の事を考えます。これから  
私達が10年、20年の間に教える子供達というの  
は75年にはまだその社会で活躍する事になります。  
コペルニクスは300年昔、75年の4倍の昔生きて  
いました、そう遠い昔ではありません。色々な分  
野の問題につきまして、色々なタイムスケールで  
書かれております。そして最後に、75年後にはど  
うなるかという事について、書いてあります。私  
達の考え方というのは極端に過ぎるという事はな  
いと思います。

言葉の引用を持って終りたいと思います。これ  
はイギリスの有名な経済学者アダム・スミスが教  
育について書いた本から引用したものです。

(笠) (新しい訳では「諸国民の富」というらし  
いんですが、本が見つかりませんでしたので、  
この訳は私の訳だから、ちょっとおかしいか  
も知れません、ちょっと難しいんですけれど)  
古いシステムや絶対的な偏見が打破されてし  
まって、世界中から駆り出されてしまう、そ  
の後で最後に古いシステムや偏見が隠れ家と  
して、また、保護として見出す聖域が教育で  
ある。

私はこのようなステートメントで置き換えます。

(笠) 世代と世代の間の対話が必要であり、それ  
から過去との出会いが必要であり、その上で  
現在を理解する事が重要である。それは未来  
に旅立つためにという事です。

今まで、色々な事を私は討論してまいりました  
が、それはどういうような基準で判断されるかと

## シンポジウム

# 今後の物理教育の展望

座長 秋山 敏弘（酪農学園大学）  
池田 城修（札幌工業高校）

座長（秋山）

座長を勤めさせていただきます、酪農学園大学の秋山です。このシンポジウムは、17：00には終わらなければならない予定になっておりますのでご協力をお願い致します。

座長（池田）

同じく、座長を勤めさせていただきます、札幌工業高校の池田です。短い時間ではありますが、密度の高い話し合いをお願いします。現在の生徒は変わりました。例えばクラス全体で何かをしようとしても、やりたいという生徒は減ったし、やれない、やりたくないという状況です。本校は工業高校なので、マイコンを持っている生徒が多い。その生徒はマイコンに向かうと周囲や隣の人のことを考えなくなる。他人のことに関心を持つとうとしない傾向が助長されている。このような状況を考えて、このシンポジウムでは物理教育の内容だけの話でなく、機械との接し方や、生活指導的なことも含めてお話をいただきたいと思います。

話題提供を、最初に平田先生にお願いします。

平田 邦男（山梨大学）

今後の物理教育の展望と言うと、暗いと言うのが、私の感想です。物理嫌いの生徒が増えている。この状況が急速に進行している。その理由を生徒の方に求めるのは簡単ですが、物理教育がマンネリ化して、子どもにとって魅力がないことも大きな理由です。例えば、公式を教えて、単に数値を代入するだけの問題を出す先生がいる。教師は生徒の成長のために教育するのであり、物理が社会に役立ち、有用ですばらしい内

容を持っていることを分からせる必要があります。

今日、高等学校にみられる現象として、高校生の学校に対する反発（暴力行為、非社会的行為）がある。これらに対して教師が注ぐエネルギーは、莫大なものです。この現象は、受験指導に偏った教育と、教育モラルの低下とも無関係ではないし、この意味からも物理教育を見直す必要があります。オーディオ機器や視聴覚機器、パソコンが発達・普及して、容易に手に入るようになり、実験に替えてパソコンをやり、現実の現象への対応を、締め出している。パソコンを使うのなら自分でプログラムを作って面白いと感じさせるようにしないといけません。パソコンを与えてこうやれ、ああやれというのではいけない。realな現象に立ち向かい、頭を使って、考えることが少なくなっている。ネジ回しを使えない工学部の学生もあり、こちらがお膳立てしないと何もできない。では、これらの状況に対してどうしたら良いかというと、全ての子ども達に対応できる物理教育を、もっと真剣に考える必要がある。その一つは、よい教科書を作ることだと思います。我国の物理の教科書は、“練習問題解答書”といった感じで、あれが物理だと子ども達は思っている。それに比べて、例えば、「プロジェクト物理」の教科書は、内容が豊富で良く構成されていてすばらしい。

教育は、教師が本当に面白くて仕方がない、これを教えてやりたいと思って授業をすれば、多少難しい内容であっても、子どもはついてくる。教師がいやいや教えていたなら、子どもはますます面白くなくなる。

共通1次だが、物理の試験は公式を全部印刷して受験生に渡して解答させればよい。そうすれば、物理に対する印象は少しは変わってくるのではないか。子どもに考えさせる問題のよい参考例は、イギリスにある。子どもに考えさせる問題の研究は、非常に重要な課題である。

今、学習指導要領の改訂が行なわれようとしている。小学校では新しい教科ができ高校の理科も科目が増えるようです。文部省はますます細かく基準を示さざるを得ないという。これまで成果を上げてきた理科教育の足を引っ張るのではないかと危惧しています。基準を示されるくらい、教師にとって楽なことはない。基準がなく創意工夫を求められることくらい大変なことはない。これらの課題を解決するために、若い先生方に大いに活躍して欲しいと思っています。

座長（秋山）

ただ今は、広い自由な立場からのご意見を、大変興味深く聞かせていただきました。次に、高等学校の立場から加藤先生お願ひ致します。

加藤 誠也（札幌西高校）

本校は進学校ですが、最近の生徒は学力至上主義で小学校からたたき上げられて来ている。学力さえあれば、かなりのことをしても許されるという感覚がある。成長の過程でなされるべき指導、小学校であれば躾とかがなされていない。また、自然の中で伸び伸びと遊んだ経験がない。自然に学ばせる "nature study" を充実させる必要がある。

我々教師も授業において、もっとゆとりを持っていろいろ枝葉をつけた内容を話すべきだと思います。受験と言うことで効率的な授業ばかりでは生徒の興味関心を高めることは難しいと思います。

座長（秋山）

有難うございました。統いてどなたかございませんか。

北村 正直（北海道大学）

私はよく、「昔はこんなではなかった」と言いがちですが、私達が育てて行かなければならないのは、目の前にいる子ども達です。理想から遠いかも知れませんが、目の前にいる子ども達を相手に、どうしなければならないかを考えないと始まらない。

"なぜ、みんなが物理を学ばなければいけないのか" から出発しなければならない。私はこのごろ読み、書き、算盤ということをよく言います。読み、書き、算盤ができることは、現代において人並に生活するのに必要だからであり、さらに、責任ある市民としてこの社会に貢献するためには、欠くことができないからです。こういうことから、私達は文盲追放運動を国連やユネスコでも実施しております。しかし、これから社会は（日本などでは、そういう時代状況を過ぎようとしていますが）、"科学技術社会" の時代です。そういう社会にあっては、科学の正しい理解がないと人並に生活できなくなるし、社会に対して責任ある市民としての責任を果たすことはむずかしい。したがって、全ての人に科学を正しく理解してもらわなくてはいけない。そして、政策決定に責任ある市民として参加してもらわなくてはならない。そういう意味で科学教育は重要です。

全ての子ども達が、科学をそれなりに理解できるようにしないといけない。「こんなことも知らない」と言いがちですが、我々の方から子ども達の方に降りていって、子どもを理解して教えていかなければいけない。我々教師は、子ども達個人の立場に立って、そこから彼等を助けるという考え方で教えていかなければいけないのでない。子どもの生きていく社会を考えて科学教育をしていかなくてはいけないのでない。この考えは、イギリスで1960年代、政府の委員会として設けられた "Committee for man power in science and technology" のスワン・レポートにも述べられていると

ころです。そして、この委員会が政府の委員会でありながら、我々の社会は、これこれの教材を必要としているというような、国家、社会、または企業の立場からの意見でなく、子ども個人に立ち返り、そこから上方の方を見ていた。子どもが生きていく時間、75年間を見通しての意見です。

もう一つは、我々の授業は、どうしてもlectureしがちで黒板を背にして生徒に向い、教師側から一方的に情報を流すという形態をとっている。しかし、コンピュータを使った授業では、コンピュータと生徒が向かい合い、教師は生徒の後ろに立つことになり、教師の立場は補足的なものになる。学習の主体は子ども達である。こういう教育方法がイギリスでは昔からあった。このように子ども達が主体性を持って学習している国だから、色々工夫をする教師も育つのです。それに比べて、我々は非常にpoorです。なぜなら、poorな教育を受けたからです。この循環を断つためには、我々教師が身を引かなければならない。身を引いて、子どもの後ろに立って、何を教えるかでなく、何を教えずに、何を考えさせるかということを考えなくてはならない。この様な立場が、これから教育には必要でないかと考えます。少し大胆な提言かと思いますが、この様な点につきましても論議をお願いします。

#### 増子 寛(麻布学園)

物理を選択する生徒が減っている。専門に進む生徒には何を教えて、今までの物理のやり方で教えても何とかなる。そうではない生徒には、それではいけない。生徒全員に「理科」で物理分野を教えているが、何の役にも立っていない。もっと一般教養としての物理、全員が学んでいける物理を早く作らないと、これから科学社会を考えたとき非常にまずいのではないかと思います。

#### 広井 祐(筑波大学付属高校)

学習指導要領の検討が行なわれており、

私は委員の一人です。高校の理科は、選択制が導入される見通しであり、「物理Ⅰ(仮称)」の4単位というのは、生徒の側にすれば週4時間も物理の時間があることになります。果して選んでくれるかという問題がある。「物理Ⅰ」が3単位あるいは2単位ならとてくれるのでは、という意見があります。もう一つは、「応用物理(仮称)」の2単位です。受験に遠い科目は冷遇される傾向があるのでどうなりますか。「応用物理」は新しい試みとして、「理科Ⅰ」同様に捨てがたい内容を持っている。専門に進まない人達にどういう理科教育をしていくかを占うものであり、長い目で動きを見ていかなければならないだろうと思います。

#### 座長(秋山)

有難うございました。最後に、東北大学の大貫先生お願い致します。

#### 大貫 裕司(東北大学)

物理は毛嫌いされているが、どの学部でも物理は必修です。実験の時、教科書やテキストも読まないで、「この実験はどうやるのですか」という学生が出てきている。物に触ることをしてきていないと強く感じる。物理の内容よりも、ラジオを組み立てさせたりして、手を使うことを試みさせている。時間内にラジオが鳴るのは半分以下で、半田付けははじめてという学生が大半です。小・中・高の時代に、もっと手を使わせなくてはいけない。

#### 座長(秋山)

有難うございました。これで終わらせていただきます。

#### 編集委員

飯田紀子(国立南病院看護学校)

石上形幸(札幌山の手高校)

児島邦公(北広島西高校)

坂田義成(札幌山の手養護学校・高等部)

高柳賢三(道立理科教育センター)

平野雅宣(教育大・札幌)

#### 通訳・翻訳

北村正直(北大工学部)

## 昭和62年度 支部研究会報告

昭和62年12月12日（土）北海道大学工学部において上記定例研究会が開かれた。内容は、研究発表（原著講演）が、高校側から3件、大学側から2件の計5件であった。また、「今、科学教育（特に物理教育）にとっての実験体験の意味を考える」と題して、座談会も行なわれ、実りの多い支部研究会であった。研究発表（原著講演）の内容については、それぞれの発表者の論文が本文に掲載されておりますのでご覧下さい。以下に概況を報告する。

### 1 研究発表（原著講演）

#### (1) 運動量と力積の実験について

札幌北高校 谷亮二

#### (2) 衝突の測定（リングばねの場合）

北海道工業大学 三好康雅  
峰友典子

#### (3) 学習環境型CAI

北海道大学工学部 北村正直

#### (4) コンピュータシミュレーションを利用した力学の指導（CAI）

札幌市立山の手養護学校  
西真史

#### (5) 物理教育へのフラクタル幾何学の応用(2) 一分岐とソリトンの教材開発－

札幌藻岩高校 山田大陸

### 2 座談会

#### テーマ 「今、科学教育（特に物理教育）にとっての実験体験の意味を考える。」

司会 北海道大学工学部 吉田静男

提言 札幌北高校 斎藤孝

札幌南高校 木村有道

香蘭高校 石上形幸

#### （内容）

上記3名の提言者による提言に先立ち、北海道理科教育センターの高柳氏より高校における物理履修の状況について説明があった。

- 物理が必修になっている高校は全道約360校中、9校のみである。そして、それはほとんどが札幌市内の学校である。
- 選択必修という形で物理を履修させている高校は70校弱である。
- 地方では、物理を専門としている先生が少なく、物理が開講しにくい傾向がある。

- どの地域でも生徒が物理を取りたがらないことが悩みの種になっている。

これに引き続き、3名の提言者からの提言があった。

（斎藤）

- ずいぶん多くの実験をやっている。
- 講義をしてから実験をするのでは、時間は倍かかるので、教科書の説明はやらず、実験だけで終りにしている。黒板で説明すると生徒は眠くなるので、実験だけの方が良い。物理の実験は理解を助けるために行っている。実験をすることによって、一目瞭然に分る事が多い。
- 長年の積み重ねにより、3人の先生の協力体制ができている。
- 教室でチョークなどを使ってやる、一寸とした実験は極めて有効である。

（木村）

- 4年間、奥尻高校にいたのでそこで状況をお話します。物理は選択で、奥尻高校でもエリート的な生徒が10名ほど履修しておりました。
- 実験をしようとすると器具をすぐ壊したり、やってはいけないことをすぐやったりで、生徒実験は不可能でした。その前に生活指導をすることが必要でした。
- しかし、生徒はものすごく卒直なので、デモ実験をすると反応がよく、効果的でした。

（石上）

- 私立の女子校ですが、物理は3学年のはとんどの生徒に履修させているが、中学校での内申が低く四則計算が充分にできず、計算に対する拒否反応がある。
- 皆で協力して一つの事をするということ

(共同作業) ができない。同じグループの中に気の合わない人がいると、全くやらないうか、一人だけでやってしまう。

- 器具の扱い方が先天的に分らない。やたらに壊すので継続的に実験ができない。
- 高電圧や、ガスなどを取り扱う時に非常に危険である。
- 以上の点から考えて生徒実験は無理である。継続的なもの、データを取るようなものは駄目で、すぐ分る実験が良い。デモ実験、一寸した実験が良いのではないかと思う。

以上の提言に対し多くの意見が出された。主な意見を以下に記します。

- 生活経験の土台がなければ実験は成り立たない。今の子供は鉛筆が削れなからで、手が不器用である。手先の動きも粗野で微妙な加減ができない。これは子供が遊んでいないからだ。科学館のワークショップ的なものを増やす必要がある。
- (コンピュータを使ったシミュレーション実験をどう考えるか?) コンピュータは実験の代わりではなく、むしろ講義の代わりである。やはり、生の自然に触れる実験は必要である。コンピュータで代用はできない。
- 実験の状況によってデータが変わって来る(教科書通りではない) 実験は必要だ。
- 物理実験に対する学生(北大医進)の感想を紹介する。

1. 机上の知識だったのが現実の知識になった。

2. 物理定数の見方が変わった。

3. レポートが苦しかった。

4. 科学者の卵になったような気がして嬉しかった。

- 全然、実験をやらない生徒で物理のペーパーテストがすごく出来る者がいる。こういう生徒にはシミュレーション実験がいいのかも知れない。しかし、やはり、人間は手足を動かして、身体と頭と一緒に動かさなければ不健康である。

- 共通一次で 870 点を取って工学部(北大)

の人気学科に入ってきた学生が、実験をする意志がなくて挫折している。この学生は、その学科に興味があつて入ってきたのではなくその成績で入れるからということで入ってきた。目的意識を持って、主体的、能動的に学ぶ習慣をつけさせるためにも、実験は必要だ。

- 生徒のレベルに応じて、実験に期待するものを見る必要があるのでは。
- 新任教員の研修での実験に関する感想を紹介する。

「自分達は頭の中で、今までやってきました。理科センターでは教科書にあることを本当に実験でやっているので驚きました。」

- 実験の前に先生が説明しては駄目だ。イメージーションが失われてしまう。

■ ■ ■ -----  
ていー・るーむ

## 「人間性を重視した物理の展開」

### — 物理に科学史を —

旭川凌雲高等学校 富 横 一 憲

物理の教科書をいくつか読んでみると、どれもよく書けており、必要なことは筋道をたてて説いています。根気強くていねいに読んでいけば、なんとか理解できるように書かれています。しかし、生徒の方がその教科書を見て、自分から進んで勉強しようという気を起こすでしょうか。教科書は物理の内容をなるべく無駄のない一番近道の方法で教えようとするため、面白くしかも魅力的に学べるような配慮が不足しているように思われ、また科学と人間性との関連も軽視されているように感じられるのです。

そのような観点から、私は折りにふれて次のような物理の授業展開をしています。

- ① 内容や配列を工夫をして物理に興味・関心をもたせるようにする。
- ② 伝記を読ませたり、人物に関する学習資料を作成したりして特定の物理学者個人について学ぶ。

この2つはいずれも科学史を導入することにより補うことができると思われます。

まず①については、ある1つの法則をとってみると、その法則が過去に発見される経緯は、教科書などの配列とは全然ちがっています。實際には何度も間違いをくりかえすという試行錯誤の末、何年もかかるて、ようやく発見されているのです。時には1人の人物だけではなく次の世代の人に引き継がれて発見されたこともあります。ニュートンの万有引力の法則の発見はこの良い例といえるものです。従って、物理を教える場合もこの歴史的な方法を適宜取り入れることにより、生徒

にとってはより一層面白く、印象深いものとなるかもしれません。昔の人々が努力しながら真理を探求していく様子は大変興味深く、また人間らしく感じられるでしょう。普段は時間、空間、エネルギーなどのような自然現象ばかりを対象としているという意味で「非人間的」で「冷たい」物理も、このときだけは人間的なあたたかいものとして感じとられるのではないかでしょうか。

次に②については、世界や日本の優れた物理学者の伝記を読むと、その学者の物理に興味をもつようになつた背景、自然についての考え方、さらにどのようにして新しい法則を発見することができたのか、そしてその人の人間性までがにじみ出てきて、生徒にはとても参考になり興味深いものです。

以上のように科学史を物理の授業に導入することはそれなりの効果が期待できますが、どんどん導入したらそれだけ効果が上がるかというと、むしろ逆効果の場合があり、そこにはもちろん限界があるわけです。従って、必要に応じてということが大切です。また、具体的な導入方法については、生徒の実態にあったものにするということはいうまでもありません。

世界の理科教育のすう勢の一つに、この人間性の重視があげられています。公害や環境破壊をもたらした科学技術に対する批判等が大きな契機となって、人間性の回復が強く唱えられるようになりました。理科教育においても、科学と人間性の関連が重要なテーマとなり、特にアメリカのHPP〔Harvard Project Physics〕物理が科学史を重視し、科学者が人類の歴史の中でどのような考えをし、貢献をしてきたかを取り上げてPSSC物理とは違った人間性を強調した物理を展開しているのが注目されます。

## 「現職教育の大切さ」

北海道立理科教育センター

高柳 賢三

理科教育センターは道内にある小学校、中学校

高等学校、特殊教育諸学校に勤務されている先生方で、主に理科を担当している先生方の現職教育を目的に研修講座を開講しています。

受講者数は年間で、小学校部会336名、中学校144名、高等学校168名の外、現代科学のトピックを中心とした大学の専門家による講義形式の短期講習には420名以上、パソコン講座など実技実習を組み入れた特別短期講習には170名以上の先生方が受講に来られています。

当センターは理科に関する全領域の講座を行っておりますので、物理教育への貢献度は小さいのですが、理科の現職教育の実践には大きな役目を果しているところと考えています。

受講されている先生方の年代も講座によって異なってはおりますが、高校物理の講座には若い方が増えている傾向にあるので喜んでいます。

当センターにいますと、生徒と共に悩み、指導法にも新しいものを求めてお互いの交流を深めている様子に触れることがありますし、講座の合い間の会話では、ほぼ全員の先生方が口を揃えて言われていることの一つに「楽しめる物理授業」を模索されていることです。

科目のプロパーといわれるほど、どんな授業をすると生徒が食付いてくるのか悩みが深いように思われます。どんな一単位時間であっても一つぐらいの観察・実験を取り入れようとしている考え方の先生、授業案に基づいたプリントを用意しながら常に進めている先生、教科書を生徒の実態に応じて分かるようにその内容を精選している先生、科学史を織り込んでいる先生等々、創造的な物理の授業を目指して日々実践されている姿に感服します。

なお、各研究会では日常ちょっと工夫して行った授業内容の紹介とか、生徒の実践した観察、実験やコンピュータを用いた学習内容など、もっともっと気軽に取り組んでいるものの発表があってよいのではないかと思っている一人です。

支部の諸先生方、どうぞこれからもお互いに切磋琢磨して頑張りましょう。

## 中川礼次

昨年定年になり時間の余裕が出き本屋をよくまわる。乱読気味で宇宙論、歴史、財テク等色々見るが、戦史や艦船に関する物に力がはいる。「クルップの歴史」と「プリンスオブウェルズ、ビスマルク」のモデルも記念にもらった。又「海軍技術概要」も入手した。昭和9年以来の「海と空」等もあり、ページを開くと入手した当時の思い出が甦るし、国際関係や、航空機、艦船の進歩がよくわかる。又ワープロやパソコン等を練習して過している。何かという事なので次の様なことを書きました。

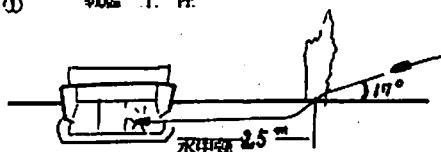
**矛盾** 韓非子の故事はよく知られ、習った時は面白く偉大な考えだと思った。それはそれとして敢えて技術面より見ると、この矛でもナマクラな腕前の人人が使ったのでは結果が異なるハズだ。技術論やワザの欠けた観念論である。天保時代に柳川の大石進は竹刀で何事もなく三分板を貫いたと西郷が記している。昭和33年に伊賀流14世が来校し、職員室で自己の左右の人差し指を重ねギュギュ木綿糸でシバラセ、前にある棒をスルリと指抜けさせたが、指はそのままであり驚いた。指を素早く抜いて、又いたのだと言う。

奇術に限らず工業その他にも色々な技術がある。

**鈎** IWC国際捕鯨委員会より、南氷洋に続き本年より近海の捕鯨も禁止との事で関係者は大ショックを受けている。余り多く捕り過ぎたとか、保護の為とかいわれている。

昭和24年9月に④の文丸というキャッチャボートに乗り捕鯨を見た事がある、鈎の当った鯨の船を引く力は相当なものであった。鯨のサシ身も初めて食べた。昭和44年に学研の子供用の雑誌「科学」の記事に東大の平田森三先生考案の平田鈎が捕鯨に大効果を挙げていると出ていた。鈎の先は尖っているが、先生は先をカットして名前のように

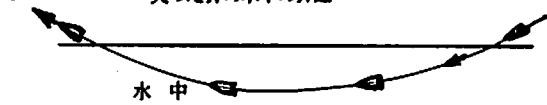
④ 鋤 壬 佐



に平たい鋲にしたのだ。水中に発射された銃弾は角度によりカーブして水面上に出るが、沈むかの何れである事はよく知られている。カーブするのは弾の下側面の水圧が上側面より大きいためであり、水中に潜ぐる鯨を追う鋲はカーブするので逃げられるが、平田鋲は水中で直進追跡するので捕鯨効果が上ったのだ。

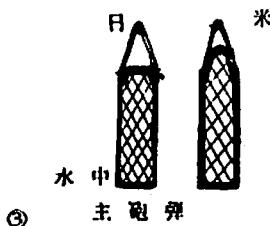
水中弾 大正10年ワシントン軍縮会議により世界最強といわれた、陸奥・長門より大きい戦艦

② 尖った弾の水中の弾道



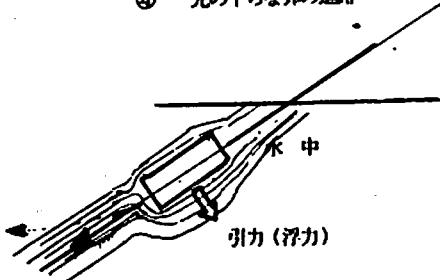
土佐が廃艦となり砲撃実験された。

2万mより発射した一弾は秒速500m、角度17度で水中に入り、意外にも3mの水深を25m直進し同艦の舷則を貫いた。水中弾というが、水中落下した弾は効果なしと考えていた各国は砲弾の水中防御をしていない時代なので、この発見は日本海軍の最高秘密となった。弾が変形したらしく研究の結果、弾の尖端をカットして平面に近づける



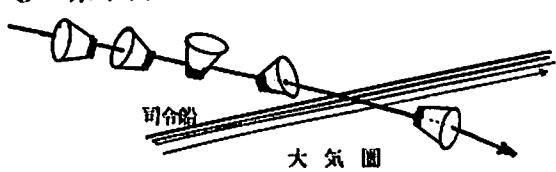
と直進性を増す事がわかったので、重巡洋艦の20cm以上の砲弾はこのように設計された。勿論風切りをよくするため先にキャップを溶接し、命中しなくとも近くに落下したらキャップが外れるようになっていていた。円柱の前面の水は円柱の下面の方

④ 先の平らな弾の進路



に多く流れ、流速が増すので、ベルヌーイの法則により下方(水底)に引く力がはたらくが、カーブの力が相殺されて直進するようだ。これが公表されたのは昭和27年であった。昭和17年サボ島沖海戦で重巡・衣笠は7,400mより米軽巡・ボイスを砲撃し、一つは10m前より水中弾となり、2.8mの深さで舷側を貫いた。この技術は更に昭和43年の月ロケット、ソ連のゾンデ5号、米アポロ8

⑤ 月ロケット



号も、円錐台型の司令船が月より帰り大気圏に秒速11kmで突入の際尖った前面を反転して大きな平面状の後面を前方にして、急激に大気中をカーブして、外に出たり、地表に向かい摩擦による炎上を防いでいる。角度の調制等が困難な技術であった。

軍艦の矛が大きくなると、相手の艦の盾も厚くなり百年位競って来た。大和の46cm砲と41cmの装甲板までになった。最近又米国の戦艦が出てきたが、艦の装甲板が相手の対艦ミサイルをハネ返すからというのも一つの理由である。艦船もエレクトロニクス、ミサイル、情報分析システム等技術の進歩が早く理解するのが困難になってきた。入試は元より貿易、産業等も相手のあることなので競争が激しくなり、製造技術だけでなく如何に売るかが大きな戦となっている。最高潮の時が最も重要な時です。満月もやがては欠けていくから。

宗谷教育局 一 口 芳 勝

春の訪れの遅いこの宗谷地方にも、やっと雪解けと共にせせらぎの季節がやってきました。

稚内に住んで丁度一年の年月が過ぎました。当時の宗谷路の印象は、荒漠と連なる湿原と夕暮の霞の中に黒く浮き出た禿山の丘陵地に、異様なまでの苛酷な自然を感じさせるものでした。

四季を通じて、たしかに荒々しく、色彩の乏しい風土であります。北海道らしさという点でこれまでに見聞できなかった体験を味わいました。海岸線は豊かな表情を示します。オホーツクから車で日本海へ抜けるとき、宗谷岬で広いていた海面がノシャップ岬では、兎が飛び跳ねた荒海に変っています。流水の去ったある暗れた昼どき、樺太が点々と浮き上がって見えました。その日の夕方、西色にゆらぎながら、ゆっくり沈む日輪を、西海上にあかず眺めました。

近年、北志向のブームが起り、多くの人々がこの地を訪れて来ます。彼等は、まずドーム型の防波堤に稚泊航路の夢を馳せ、交換台を守って散った9人の乙女の叫びを聞くことでしょう。そして朔北の地に生きた人々のよめきを、寒流魚や屈曲した樹木や放牧された牛を見て、自然に生きる辛さやしづとさと同時に哀切の気配を感じ取ることでしょう。

粗野であるが故に、もう一つ別の顔を呈します。夏、金環の島、礼文の花に遊びました。アツモリソウと語らい、エーデルワイスに似た花弁を追って桃岩を登りつめたとき、ふと眺めた沖合いの利尻富士に、ひとときの夢を見ました。冬の吹雪は化け物です。白い舌が地面を這いまわり、幾重にも交叉して視角を妨げた舞雪は、翌朝息を止め美しい絹糸が陽光に輝いているのに驚かされます。

このように豊かな自然に囲まれて生活していると、最北にいる実感を、夏の朝これまで住んだどこよりも黎明が早いということによって気づかせてくれます。

何かしら、この1年間に私の自然観が修正を余儀なくされてきたようです。大げさに言えばコペルニクス的転回を強いられているのかも知れません。

昨年、この港町に札幌からある童話作家が移り

住んできました。都会を離れた理由が、「時計台のカラスは人間を襲ってくるが、ここではカラスも人も共同生活者だから」という。

たしかに、人間は自然を役立つための求める対象としてのみ考えてきた結果、失った価値あるものに気がつかなかったようです。自然との同化によって、価値あるものが見えてくるとの彼の言葉に強い共感を覚えました。今、自然環境が教育の中で意識されています。これからは、都会と自然の調和、自然の中の文化的環境が議論されて来ることでしょう。

今年は自らの歩をもって宗谷路を散策し、もう一度自然と理科と教育について考えてみようと思っています。

## 学会ニュース

### 第31回 北海道高等学校理科研究大会

日 程 昭和63年7月31日(日)・8月1日(月)  
7月31日 講演、分科会  
8月 1日 研究協議  
場 所 滝川市文化センター  
滝川市中央公民館  
主 題 豊かな個性と創造性を伸ばす理科教育

### 日本物理学会 秋の分科会

日 程 昭和63年10月3日(月)～6日(木)  
場 所 松山市(素粒子)  
広島市(物性)

#### ――「林正一先生 北海道支部功績賞贈呈式」の報告――

本学会北海道支部の初代支部長として任につかれて以来、10年の長きにわたり支部長をつとめられ、今日の支部の基礎を築かれた林正一先生（北海道大学名誉教授）への支部功績賞贈呈式が下記の要領で行われました。

日 時 昭和62年12月12日(土) 18時～20時  
場 所 クラーク会館 2階レストラン

なお、先生は昭和62年度秋の叙勲にて、勲3等旭日中綬章を受けられました。

## 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 本支部に次の役員をおく。

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、本支部会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3分の2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。

## 支部会誌「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。

### 2. 原稿用紙の書き方

- (1) 支部所定の原稿用紙（横書き2段、1344字詰）を使用するものとし、1編の標準の長さを所定原稿用紙5枚（原稿用紙1枚は刷上り1ページに相当）とする。これは、表題のスペースを除くと、図版などのスペースも含めて約6400字分に相当する。
- (2) 最初の1枚目は、上から7行分（2段共）をとって論文題名（副題名）、所属機関及び著者名を書き、本文は8行目から書く。
- (3) 文章中、ゴシック、イタリック等の指定が必要なときは、赤字でその旨を示すこと。
- (4) 引用文献は通し番号1)、2)を文章中該当字の右肩に付した上、一括して論文の末尾に著者名、書名、ページ等を示すこと。
- (5) 脚注は文章中該当字の右肩に＊、＊＊の印を付し、そのページの下に横線を引いた下に書くこと。
- (6) 英字2アルファベットは和字1字は相当する。また、数式は2行分を使用すること。
- (7) 論文中の図・表・写真については、著者が製図したものをそのまま原寸大で写真製版する。図や表（活字で作成する表について

てはその旨指定すること）は必ず黒インクで白ケント紙、トレーシングペーパーまたは青色方眼紙等にかくこと。また、写真はできるだけコントラストのよいものを用いること。

- (8) 図・表・写真の場所指定は、支部所定の割付用紙（1ページ分、原寸大）に見やすく（直線で囲む）表示し、かつ、原稿用紙中では、それらに対応する場所に、相当字数分だけの余白をとっておくこと。

### 3. そ の 他

- (1) 校正等のため、原稿の控を手許に保存しておくこと。
  - (2) 校正は初校を著者が行ない、再校以後は編集理事会で行なう。校正は赤字で明瞭に記入すること。
  - (3) 別刷は申し出により、必要部数を実費で成する。
  - (4) 本誌は毎年1回3月に発行予定。
  - (5) 投稿及び原稿用紙等の申し込み、ならびに会誌編集に関する連絡先
- （060）札幌市北区北13条西8丁目  
北海道大学工学部工業力学第2講座内  
日本物理教育学会北海道支部  
電話（011）716-2111（内線6723）

昭和63年6月12日発行

日本物理教育学会北海道支部

第16号

編集責任者 石上形幸

発行（060）札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学工学部工業力学第2講座内

日本物理教育学会北海道支部

電話（011）716-2111（内線6723）

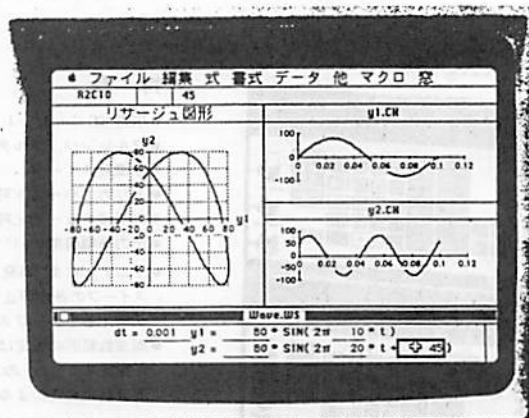
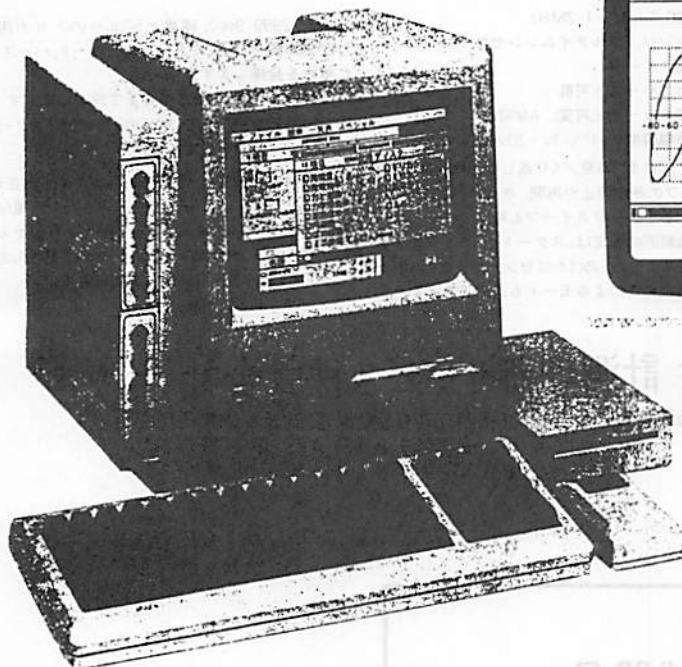
印刷所 北海道文化社 電話（011）512-9737

# 教育に島津が選んだパソコンは マッキントッシュ

Shimadzu 島津  
MacSchool

島津とアップルの提携がマックスクールをつくりだします

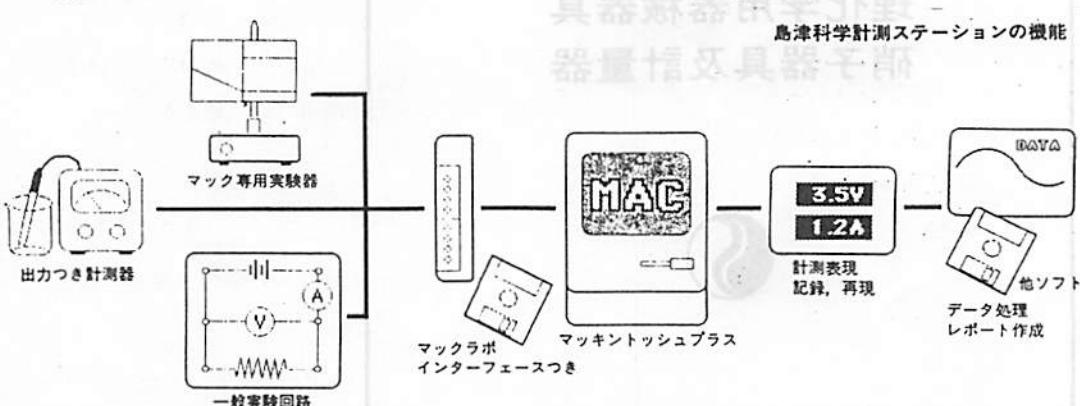
## 科学計測ステーション



どんな実験にも使える  
オリジナルソフト・マックラボを開発

マッキントッシュの理科実験での利用を目的に、島津が開発したオリジナルソフト・マックラボ（インターフェースボックスつき）による実験システムです。マッキントッシュの他のソフトと同様に、計測表現ツールとして高レベルの汎用性をもち、小学校から高校・大学まで使い方しやすいどんな実験にも利用できます。もちろんコンピュータの知識は一切不要で、生徒も自分で使えます。

島津科学計測ステーションの機能



教育をとおして未来をつくる  
**島津理化器械**

株式会社 コンドウ・サイエンス

064 札幌市中央区南16条西5丁目  
電話 (011) 521-6132・511-0304

# エヌエフ ワイドファンクションシンセサイザ

1930は、0.1mHzから1.2MHzの全域にわたって、しかもどんな動作モードでもシンセサイズされたフルレンジフルタイムシンセサイザ。その周波数確度は5ppm(0.0005%)と驚異的です。そのうえ、5つの基本波形、多機能スイープ、バースト、ゲート、デューティ可変、AMなど、従来のファンクションジェネレータの高級機種の機能を備えています。もちろん、全ての設定はデジタルですから、設定誤差解消!!

## 特長

- 広帯域0.1mHz～1.2MHz
- フルレンジ、フルタイムシンセサイズ
- 多機能スイープ
- トリガ、バースト可能
- 方形波デューティ可変、AM可能
- 出力振幅確度1%( $\sim 3V$ ～ $30Vpp$ 1kHz)
- リニア／ログ、単発／くり返しなどはもちろん、スイープの途中停止や再開、さらに2周波数間を切換えるステップスイープも可能です
- 周波数範囲の設定は、スタート/ストップ周波数を指定するモードのほかにセンタ周波数とスパン周波数の指定によるモードも選択できます
- $1\mu sec$ ～ $2999.9 sec$ 、確度±50ppmのトリガ用サブ発振器を内蔵しておりトリガ、ゲート、バーストに威力を発揮します。
- バーストは、1波から65536波まで設定可能です。いずれのモードにおいても±360°の範囲でスタート(ストップ)位相を設定できます。
- 出力振幅は誤差1%( $\sim 3V$ ～ $30Vpp$ 1kHz)と正確ですのでオシロスコープでモニタしたり、電圧計でキャリブレーションする必要もありません
- しかも、pp、rms、dBV、いずれの単位でも入力でき、出力は $30Vpp$ (OPEN)まで可能です。

## KRS 計測理研サービス株式会社

■360 札幌市中央区北6条西10丁目3番地 安田ビル2F

電話番号 281-4322番

FAX 281-4079番

## 理化学用器械器具 硝子器具及計量器



有限公司 サンブク  
三富久商会

〒001 札幌市北区北15条西2丁目

TEL (011) 716-0448