



BUNRIKOKENKYUSHO

物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

No 19 1991.5

目 次

卷頭言	支部長 中島春雄	1
衝突時の加速度測定	三好康雅	3
	峰友典子	
落球法による粘度測定・2	峰友典子	10
	三好康雅	
回折格子を用いた光の波長測定	松村勲	19
多変量解析による学級診断	本間宏俊	21
エレクトロニクスキットを用いた物理実験	高橋尚紀	29
概念形成過程へのコンピューター利用 (中学校オームの法則の概念形成過程を例にして)	廣野達也	33
フェルマーの原理から導く最速降下線〔サイクロイド曲線〕の求め方	富樫一憲	38
平成2年度 支部研究会報告		42
学会ニュース		45

卷頭言

支部長 中島春雄

昨年暮れに出された中教審の経過報告を読む機会があった。日本の中・高等教育は世界的にみても特異な大衆化・平等化を短時日で達成し、産業社会としてのわが国の基礎を固め今日の発展を支えてきた。その功績は極めて大きいが、異常な大学受験競争を定着させるという歪みをもたらし、何らかの改善が必要だと述べている。しかも、偏差値にもとづく学校間格差で教育の平等化・効率化を器用に維持しているとも言っている。報告の言うごとく大学入試（その延長としての一部高・中・小入試）のみが純粹・公平な競争で、その他はすべて馴れ合いの競争であるとしたらわれわれの社会はとても国際的とはいえない珍奇なものであるに違いない。

他方、青少年（学生・生徒）がすべてコンピューターで教育されているわけではないから、教育の実態は人格を含めた教師の質に依存していることは誰でも認めるところである。教育する側の意識的・質的改革がない限り、制度いじりはから回りに終る。結局は教師一人一人の自己研鑽に待たねばなるまい。当物理教育学会などもそのような面から先生方にゆとりと意欲を注ぎこめるような活動を活発にする必要があろう。教育は百年の計といわれるようには必ずしも数年間で結果が出るものではない。数年の寿命しかない政府・内閣からみれば教育に費す経費は一見無駄金とも思われる。当然、直接教育に関係するとは思われない教育の周辺に対する経済的支援などは眼中にないであろう。

国際化・生涯学習化が紙面を賑わしている今日ではあるが、海外を含めた教育研修に対する教員への旅費などはどういうふうに予算化され実行されているのか一寸気になる事態に遭遇したことがある。一昨年の夏、日・中・米各30名程度（高校・大学各15）の小人数で物理教育の問題点を議論する会議があった。折悪しく天安門事件があり、開催が危ぶまれたが米国側は NSF (National Science Foundation) から参加者全員への旅費支給も決っていて中国が参加できなくともとの条件で会議は予定通りハワイで行われた。結局は中国からも10名をこえる参加者があり大変有益な議論が重ねられた。その際、中国側に配慮して国際的な援助機関からの援助を遠慮したこともあるが、日本だけは全員実費参加となつた。最近、世界第2位の経済大国と言われ、何となくお金に関することは軍備を除きアメリカ並みにできるような時代かと思っていたが錯覚であることを痛感させられた。なお第2回日中米物理教育会議は今年の7月富士の裾野市で開催されることになっている。中国からも予定通りの人数が参加してほしいと願っている。

ハワイの会議でも問題となったが、物理教育に熱意をもつ高校教師が受講生の減少のため地域・学校内で孤立化し意欲を減退させられる傾向はアメリカほどではなくともわれわれにも深刻な問題となって来よう。それに加えて、もし国民の進学熱が薄れ、競争を嫌悪して上級学校へ進まなくでもなったら、物理教育の場合は情況は更に悪化するであろう。これまで日本の科学技術立国を支えて来たと自負していい物理教育関係者が広い心で・よりよい教育へと意欲を燃やせるような方策を講ずるための精神的・経済的援助を国や社会に訴え、実行していくことが、わが国の将来を考えれば緊急に必要で、それが結局は教育改革への近道にもなるはずである。

衝突時の加速度測定

三好 康雅・峰友 典子

1. はじめに

物理学の教科書に、物体が衝突したときに生じる力と時間の関係をあらわすもの ($f-t$ 曲線) として、図 1 が示されている。

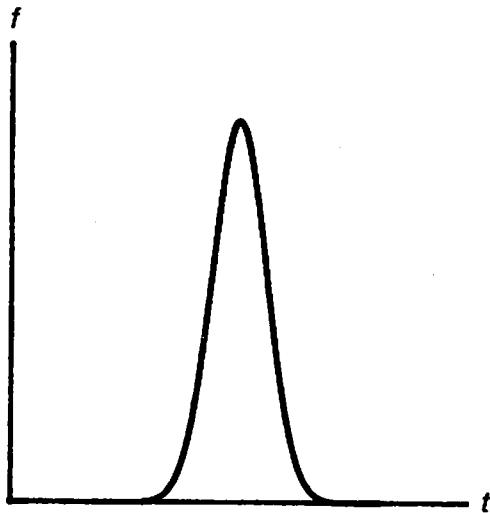


図 1 教科書に示された $f-t$ 曲線

このグラフは、衝突時間、衝突によって生じる最大力、力積の関係を表す概念図であって、このようなことが起きるであろう事は漠然と理解できる。

しかし、質量が無視できるバネ（理想バネ）に質点を衝突させると、単振動が起こり、その半周期の後に衝突が終了する。したがってこの場合 $f-t$ 曲線は正弦波の初めの半周期になる。また質量が無視できない場合には、バネに生じる弾性波とその反射波の影響で $f-t$ 曲線は複雑な形状になると考えられ¹⁾、いずれの場合にも図 1 のようにはならない。

そこで実際に $f-t$ 曲線を測定して見ようとした。

衝突時に物体間に生じる力を直接測定するた

めには、力を測定できるセンサーを衝突面に配置しなければならないであろう。衝突はセンサーを介して行われる事になり、センサーがどのようなものであっても、直接衝突する場合とは違った結果が生じる事が予想される。

衝突がバネに対して行われる場合、バネの変形量から力がわかるのではないか、との考えもあり得る。しかし、バネの変形量が力に比例するのは静的な場合であって、衝突のような高速の場合には適用できない²⁾。

衝突体が剛体と見なせる場合（衝突体の特性インピーダンスが被衝突体のそれに比べて十分大きければ、前者を剛体とみなすことができる³⁾）、衝突体の加速度を測定して衝突体が受けた力を知ることができる。

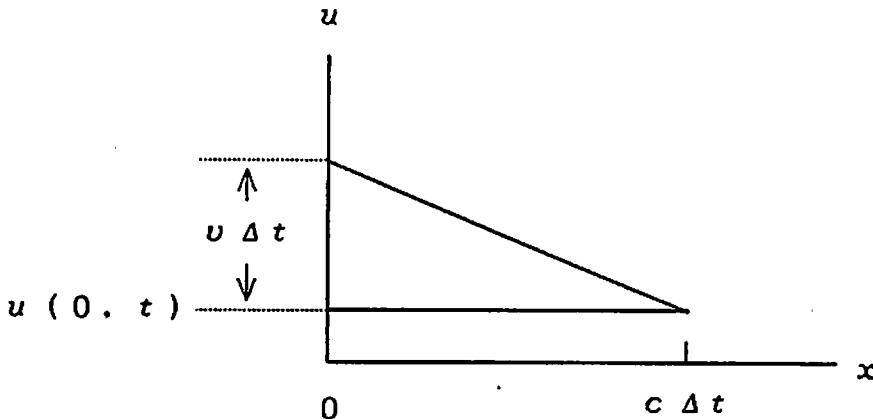
2. 長い棒に対する衝突における $a-t$ 曲線の形

弾性体棒（被衝突体）を x 軸に沿って原点から右に置き、剛体（衝突体）を x 軸に沿って左から衝突させる。衝突面の位置を $x = 0$ 、衝突開始時刻を $t = 0$ とする。

衝突が始まると弾性体棒に弾性波が生じるが、弾性体棒が十分長く弾性波の反射の影響がない場合を考える。時刻 t における弾性体の変位を $u(x, t)$ とすると、これは弾性波の速さ c で右に移動する。図 2 は時刻 t における u の Δt 後の状態を示す。

図において時刻 t の衝突体の位置は $u(0, t)$ であるから、その速さは $v = \partial u / \partial t$ である。弾性体棒の変位 $u(0, t)$ は Δt 後に $x = c \Delta t$ に移動し、 $x = 0$ における変位は $\Delta u = v \Delta t$ 増加する。弾性体のヤング率と断面積をそれぞれ Y, S とすれば衝突体が受ける力は $YS\partial u(0, t)/\partial x$ であるが、これは $u - x$ 直線の傾きから $-YSv/c$ に等しい。したがって、衝突体の質量を M とすれば、衝突体の運動方程式は

* 北海道工業大学

図2 時刻 t における u と x の関係

$$M = \frac{dv}{dt} = -YS \frac{v}{c} \quad (1)$$

となる。棒の長さ、質量、密度をそれぞれ L , m , ρ とすると、 $m = \rho L S$, $c = \sqrt{Y/\rho}$ である。また弾性波が棒の一端から他端に行く時間（特性時間）は $T = L/c$ であるから、質量比を $\mu = m/M$ とすると、

$$YS/(Mc) = \mu/T \quad (2)$$

である。したがって衝突体の初速度を v_0 とするとき、式(1)の解は

$$v = v_0 \exp(-\mu t/T) \quad (3)$$

となり、衝突体の加速度は

$$a = -(\mu/T)v_0 \exp(-\mu t/T) \quad (4)$$

(4) となる。これは時間を特性時間の単位で考えたとき、衝突の状況は両衝突体の質量比できることを示している。

もし、 $\mu \gg 1$ であれば棒の右端で反射した弾性波が衝突面に戻る時刻 $t = 2T$ までの間に、式(4)の a は十分小さくなり、 $a-t$ 曲線は指数関数になる。

$\mu \approx 1$ であれば、衝突の終了までの間に弾性波は弾性体棒を数回往復する。衝突体の加速度は

$$a = \frac{2\mu}{T} v_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a_n \sin(a_n t/T)}{a_n^2 + \mu + \mu^2} \quad (5)$$

で与えられ³⁾、 $a-t$ 曲線に反射波によるステップが現れる。ここで a_n は $a_n \tan a_n = \mu$ の解である。

3. 加速度センサーとその性質

図3はサイズモ型加速度センサーの原理図である。ベースにバネを介して重りが付いており、振動を吸収するためのダンパーを付けることがある。ベースを被測定物に取り付けて使用する。

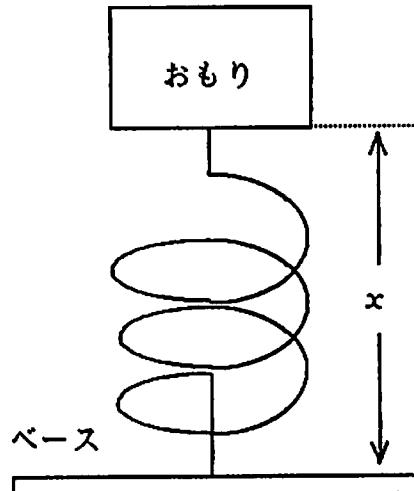


図3 サイズモ型加速度センサーの原理図

ベースに外部から加速度 $a(t)$ が与えられたときおもりのベースに対する変位 x は

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = -a(t) \quad (6)$$

で与えられる。ここで ω_0 はセンサーの固有角振動数で、おもりの質量を m_1 、バネ定数を k_1 とすると、 $\omega_0 = \sqrt{k_1/m_1}$ である。

このセンサーを衝突体に取り付け、理想バネ

に衝突させた場合について考える。衝突体の加速度は

$$\begin{aligned} a(t) &= -v_0 \omega \sin \omega t, & 0 \leq t \leq \pi/\omega \\ a(t) &= 0, & \pi/\omega < t \end{aligned} \quad (7)$$

である。ここで ω は衝突体がバネと作る単振動の角振動数である。この $a(t)$ を使った式(6)の解は

$$x = \frac{v_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2} (x_1 + x_2) \quad (8)$$

の形になり、 $0 \leq t \leq \pi/\omega$ の間で

$$\begin{aligned} x_1 &= \sin \omega t, \\ x_2 &= -(\omega/\omega_0) \sin \omega_0 t \end{aligned}$$

また、 $\pi/\omega < t$ では

$$\begin{aligned} x_1 &= 0, \\ x_2 &= -\frac{\omega}{\omega_0} \left\{ \sin \omega_0 t - \sin \omega_0 \left(t - \frac{\pi}{\omega} \right) \right\} \end{aligned}$$

である。 x_1 はセンサー入力 $a(t)$ を反映する頃である。一方 x_2 はセンサーの固有振動で変化する有害な項で、 $\omega_0 \gg \omega$ ならば無視できる。このとき式(8)は $x = (1/\omega_0^2) a(t)$ となり、 $a(t)$ に比例するセンサー出力が得られる。センサーの感度は $1/\omega_0^2$ である。

センサーがこれと違う加速度を受けたときにも一般に有害な頃が励起されるが、その振幅は同様に ω/ω_0 に比例すると考えられる。

4. 実験装置

サイズモ型加速度センサーのバネとして、圧電セラミックを使った。住友特殊金属 kk 製の圧電セラミック：SPEM-5 D の厚さ 1 [mm] のものを面積約 1 [cm²] にして使った。ヤング率 = 5×10^{10} [N/m²] である。これに $m_1 = 10$ [g] のおもりを付けると、センサーの固有角振動数は $\omega_0 = 7 \times 10^5$ [rad/s] になる。

図 4 のように、上記の圧電セラミックを衝突体の上面に接着し、その上におもりを接着した。接着剤は導電性接着剤、衝突体とおもりはしんちゅう製である。衝突体をリニアウエイのスライダーに取付け、鉛直に移動できるように配置した。リニアウエイは直線的に動くボールベアリングで、その摩擦は非常に小さい。衝突体全体(衝

突体、おもり、スライダーなど) の質量は $m = 128$ [g] であった。

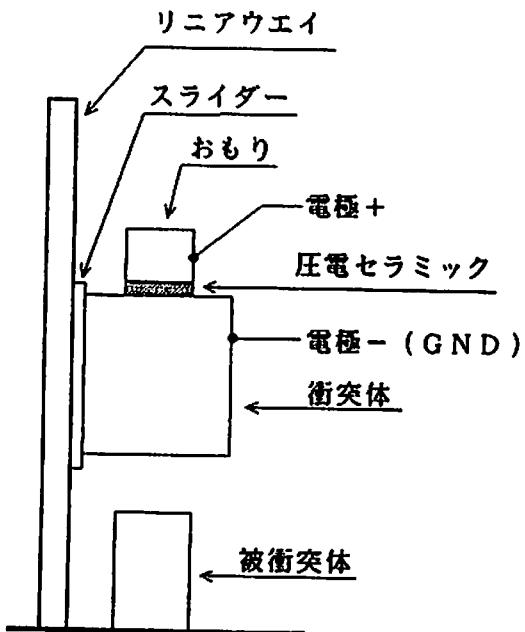


図 4 衝突時の加速度測定装置

5. 容量型センサーの特徴と測定回路

圧電セラミックは強誘電体であって、図 4 では衝突体とおもりが電極となり、コンデンサーを形成する。この静電容量と回路の浮遊容量などを合成したものを C とする。圧電セラミックの変形量に応じて生じる電荷を dQ_x とし、回路の抵抗 R を通して放電する電荷を dQ_r とすると、蓄積されている電荷の変化は $dQ = dQ_n - dQ_r$ である。電極間の電圧を V 、放電電流を i とすると、 $dQ_r/dt = i = V/R$ であるから

$$C \frac{dV}{dt} + \frac{V}{R} = C \frac{dV_x}{dt} \quad (9)$$

が成り立つ。ここで V_x はいわば変形によってセンサーに生じる起電力で次式で与えられる。

$$V_x = Q_x / C. \quad (10)$$

起電力が式(7)と同様に正弦波の半周期で、

$$V_x = V_0 \sin \omega t, \quad 0 \leq \omega t \leq \pi$$

$$V_x = 0, \quad \pi < \omega t$$

であるとすれば、式(9)の解は

$$V = \frac{V_0 q}{1+q^2} \left[\cos \omega t + q \sin \omega t - \exp\left(-\frac{\omega t}{q}\right) \right], \quad 0 \leq \omega t \leq \pi,$$

$$V = \frac{V_0 q}{1+q^2} \left\{ \exp\left(-\frac{\omega t}{q}\right) - \exp\left(-\frac{\pi}{q}\right) - \frac{\omega t}{q} \right\}, \quad \pi < \omega t \quad (1)$$

である。ここで $q = \omega RC$ である。

図5は式(1)のグラフである。センサーに生じた起電力が正弦波の半周期であるにもかかわらず、センサーの出力電圧は半周期終了後、負側に落ち込み尾を引いている。これを放電による落ち込みと呼ぶことにする。放電による落ち込みは $q = \omega RC$ が大きいほど小さく、 $\omega RC \approx 100$ でほぼ無視できる(図5参照)。 ωRC を増やすために、Cを大きくするのは式(1)から感度を下げる所以望ましくない。本実験ではオペアンプ308を使い図6の回路により $RC = 0.1$ [s] の実測値を得た。

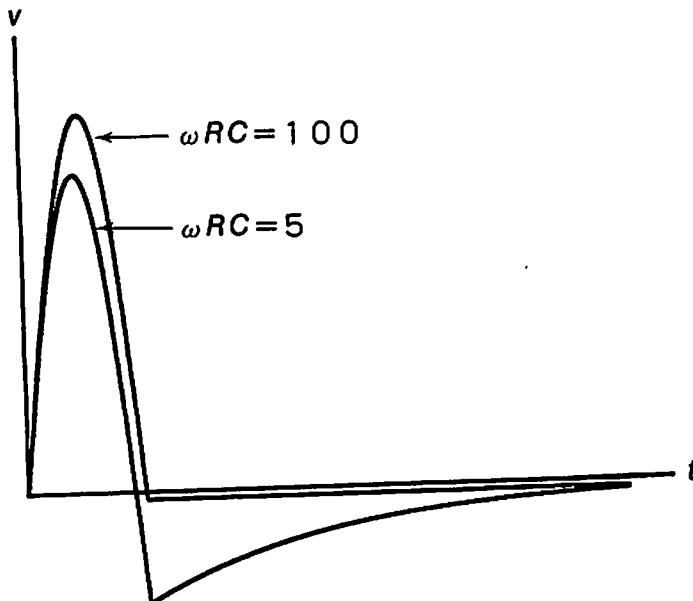


図5 放電による落ち込み

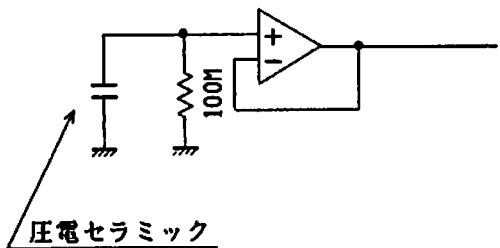


図6 測定回路

オペアンプの出力はストレートジスコープに取り込み、そのデータをパソコンに転送して、必要な処理を行なった。

6. 測定結果

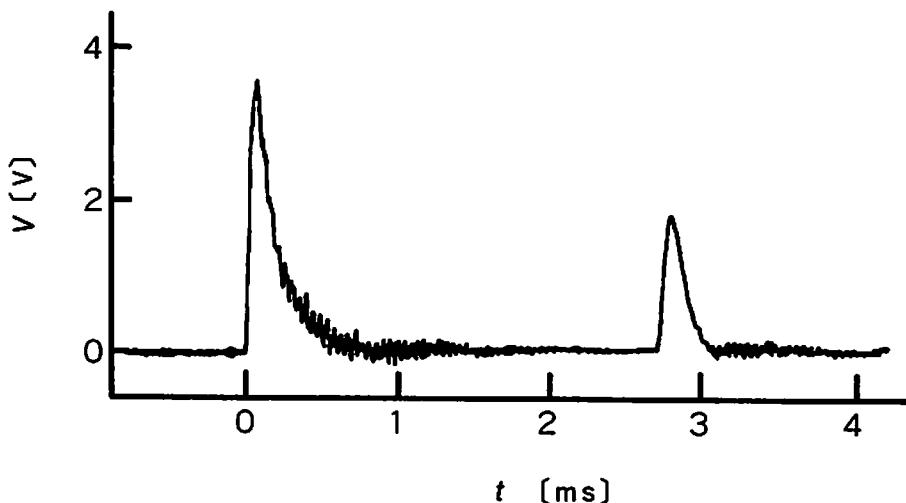
図7 塩ビ棒に衝突させた場合の $a-t$ 曲線

図7は直径2.0[cm]、長さ2.0[m]、質量 $m=981[\text{g}]$ の塩化ビニールの棒を鉛直に立て、 $M=128[\text{g}]$ の衝突体を3.0[cm]の高さから落下、衝突させた場合である。第一のピークの後、 $t_1=2.72[\text{ms}]$ で第二のピークが現れた。これは第一のピークを作った弾性波が棒の下端で反射し

て衝突面に戻ったものであると考えられる。この測定から次の結果が得られた。

$$\text{特性時間 } T = t_1/2 = 1.36 \text{ [ms]}$$

$$\text{弾性波の速さ } c = 1.47 \times 10^3 \text{ [m/s]}$$

$$\text{ヤング率 } Y = 3.40 \times 10^9 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

ただし密度 $\rho = 1.55 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ を使った。

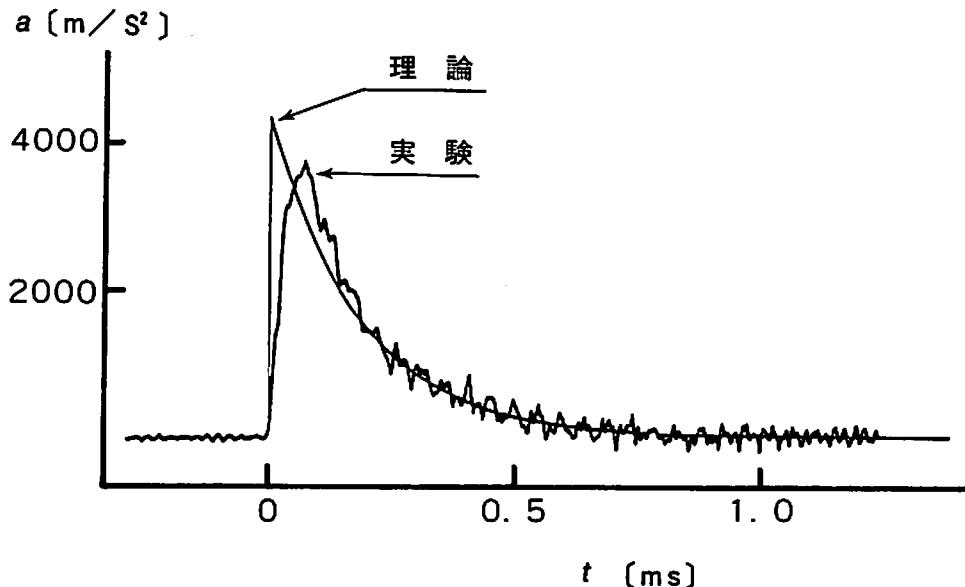


図8 塩ビ衝突 理論と実際

これらの値を使った式(4)の理論曲線と実験曲線を図8に示す。実験データは電圧値で得られているので、見かけの面積が理論曲線と等しくなるように調整した。調整係数は $1.04 \text{ [mV/(m/s^2)]}$ であった。この値は感度を意味する。すなわち使用した加速度センサーは 1 [m/s^2] の加速度に対して、 1.04 [mV] の電圧を生じる。

図8において、実験曲線は立ち上がりで遅れ、

最大値が理論値より小さい。この原因是オペアンプの性能（スルーレート）による可能性がある。実験曲線は衝突の後半では、ノイズを伴っているものの全体として理論曲線に良く乗っている。

図9(a)は質量 $m=2.32 \text{ [g]}$ 、バネ定数 $k=7.44 \text{ [N/m]}$ のバネの被衝突体として、質量 $m=128 \text{ [g]}$ の衝突体を高さ 3.9 [cm] から落下、衝突させた場合の例である。

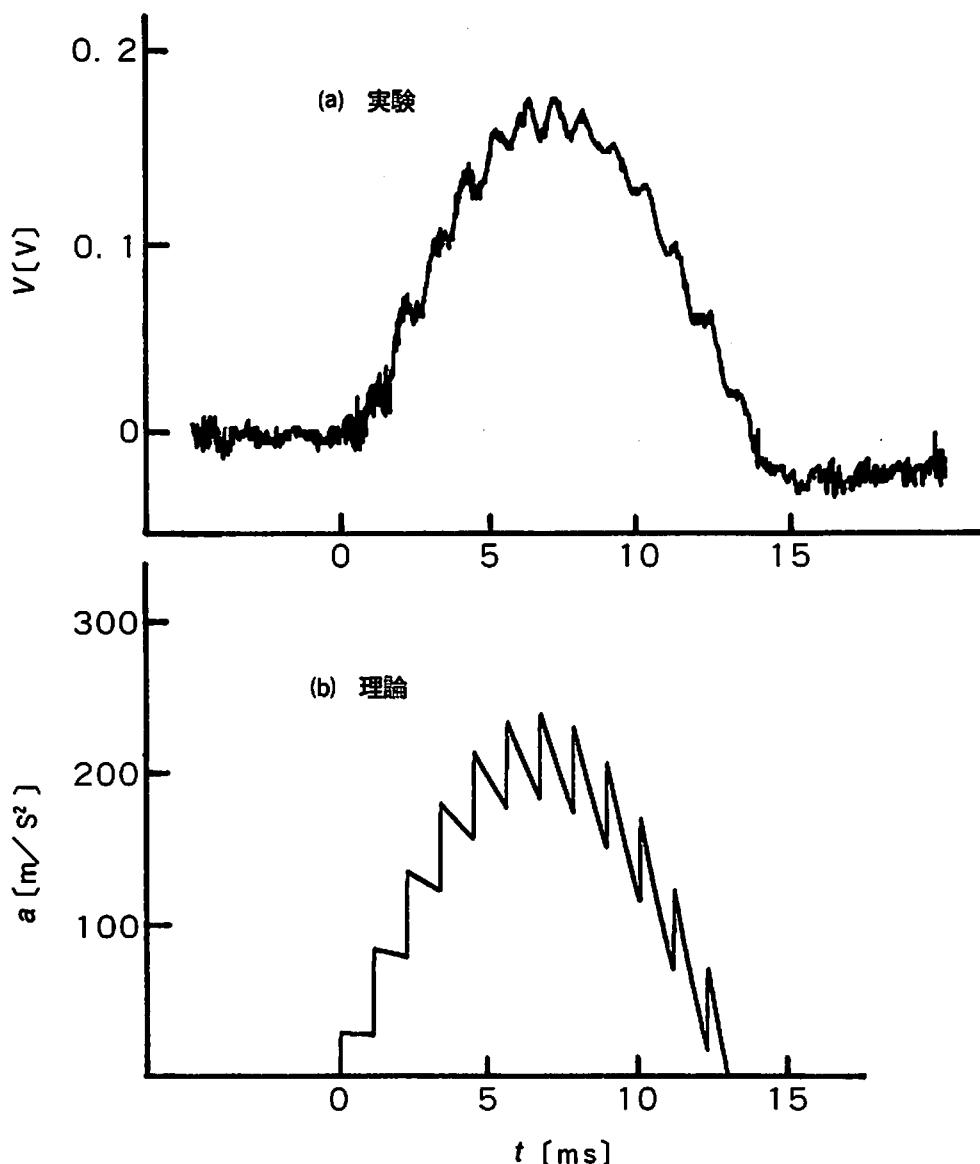


図9 バネに衝突させた場合

質量比 $\mu = m/M = 0.018$, 特性時間 $T = \sqrt{m/k} = 17.6[\text{ms}]$ を式(5)に代入して描かせた理論曲線を図9(b)に示す。これらの比較から実験曲線に見られるジグザグは反射波によるステップであることがわかる。実験曲線のステップが丸みを帯びているほかは、ステップの数、全体の形、衝突時間などは両者良く似ている。

あとがき

衝突体の加速度を測定し、理論と比較してほぼ良好な結果が得られた。したがって圧電セラミックを使った加速度センサーはこの種の実験に適していることがわかった。しかし特に高速な現象を忠実に測定するためにオペアンプの選択が問題となった。

一連の実験において加速度センサーの感度が一定でないよう感じられた。この件についてさら検討する必要がある。

本研究に必要な圧電セラミックを提供された住商機電販売 kk 様並びに同社札幌市支店長布田紀夫様に厚く感謝します。

文 献

- 1) 三好康雅：“ばねによる力積測定の誤差について”，物理教育研究 16, p17 (1988)
- 2) 三好康雅：“弾性体棒の1次元衝突”，北海道工業大学研究紀要 投稿中
- 3) 片岡照栄 他：“センサハンドブック”，461 頁 培風館 昭和61年5月30日発行

落球法による粘度測定・2

峰友 典子・三好 康雅

1.はじめに

流体中を落下する球が受ける抵抗力は普通、速さの增加関数である。抵抗力が重力と釣り合うとき球は等速運動をする。この速さを終端速度という。終端速度を実測して、流体の粘度を求める実験を行った。

CCDイメージセンサと呼ばれる光電変換素子を使用して落下球の距離と経過時間を測定するシステムを開発し、落下球の速さを求めた¹⁾。

落下球として $\phi 4\text{mm}$, $\phi 3.175\text{mm}$ の鋼球 2 種類を使用した。

2. 終端速度から粘度を求める

実験で得られた終端速度から求めるために、次の 3 段階のデータ処理をする。問題点は(2)にある。

(1) 終端速度 v^* から抗力係数 C_D を求める

密度 ρ_0 の流体中を、速さ v で落下する半径 r の球が受ける抗力は

$$f = C_D \left(\frac{1}{2} \rho_0 v^2 \right) (\pi r^2)$$

で与えられる。

一方、密度 ρ の球に作用する重力は浮力の補正をして

$$f_g = \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \rho_0) g$$

で与えられる。

終端速度において両式は等しいので、

$$C_D = \frac{8}{3} \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) \frac{r g}{v^{*2}} \quad (1)$$

を得る。これにより、実測終端速度 v^* から抗力係数 C_D が求まる。

(2) C_D からルイノルズ数 R_e を求める

この段階においていくつかの実験式が与えられており、ここに不確定な要素が含まれる。本実験で使用した鋼球を水中落下させると、終端

速度においてレイノルズ数は数千になると予想されるので、 $R_e < 2 \times 10^5$ の範囲で使用可とされる実験式

$$C_D = \frac{24}{R_e} + \frac{6}{1 + \sqrt{R_e}} + 0.4 \quad (2)$$

を使用して、その有効性を調べた。

(3) R_e から粘度 η を求める

R_e が求まれば、(3)式により粘度が得られる。

$$R_e = \frac{\rho_0 (2r) v^*}{\eta} \quad (3)$$

(2)式において、 C_D の誤差 (v^* のばらつき) の R_e に及ぼす影響は、 C_D が大きくなるほど軽減できると考察される。故に、実験条件としてはできるだけ C_D が大きくなる (v^* が遅くなる) ような落下球の選択が望まれる。このことを考慮して上記 2 種類の鋼球で実験を行い、 C_D の誤差の粘度に及ぼす影響を調べた。

さらに、市販の粘度計により測定した粘度と、実測 v^* から求めた粘度との比較を試みて(2)式の有効性を調べた。

3. 結果と考察

粘性流体としてグリセリン水溶液を使用した。

図 1、図 2 は $\phi 4\text{mm}$ 球による終端速度 v^* の測定例である。図 1 の水の場合で分布範囲 $0.84 \sim 0.90$ [m/s]、平均 (AV.) 0.867 [m/s]、平均の標準偏差 0.006 [m/s] が得られた。図 2 のグリセリン 30% の場合で、分布範囲は水に比べて狭くなり $v^* = 0.788 \pm 0.005$ [m/s] が得られた。

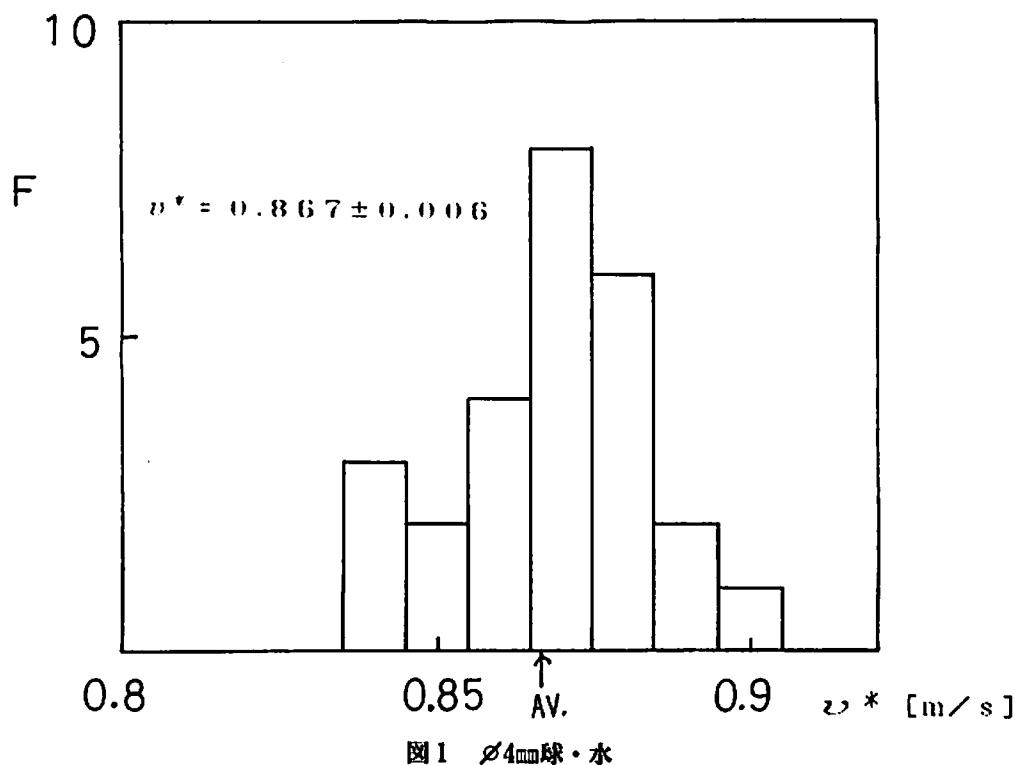


図1 $\phi 4\text{mm}$ 球・水

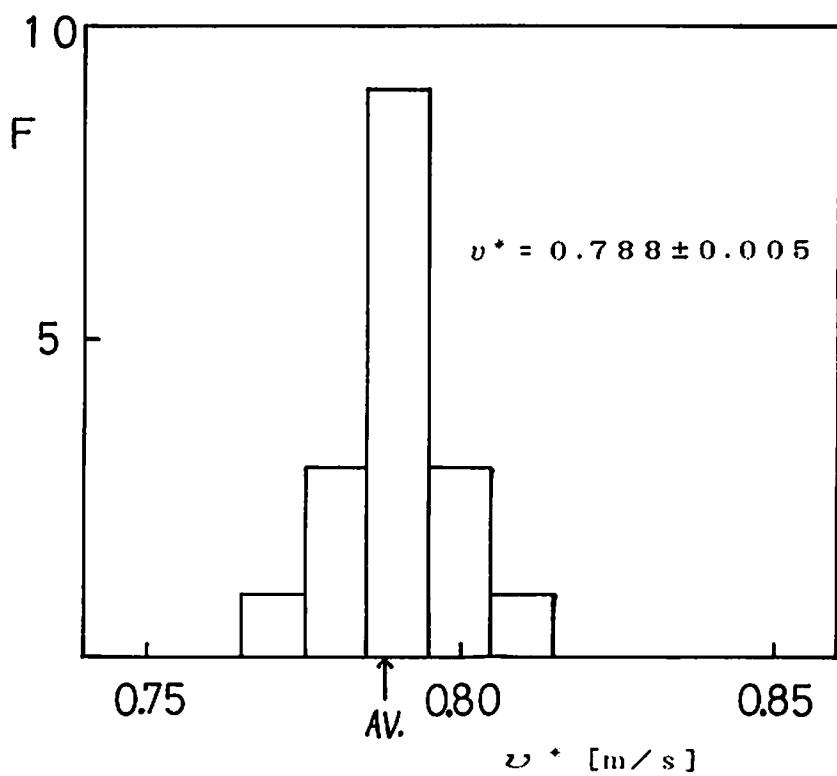
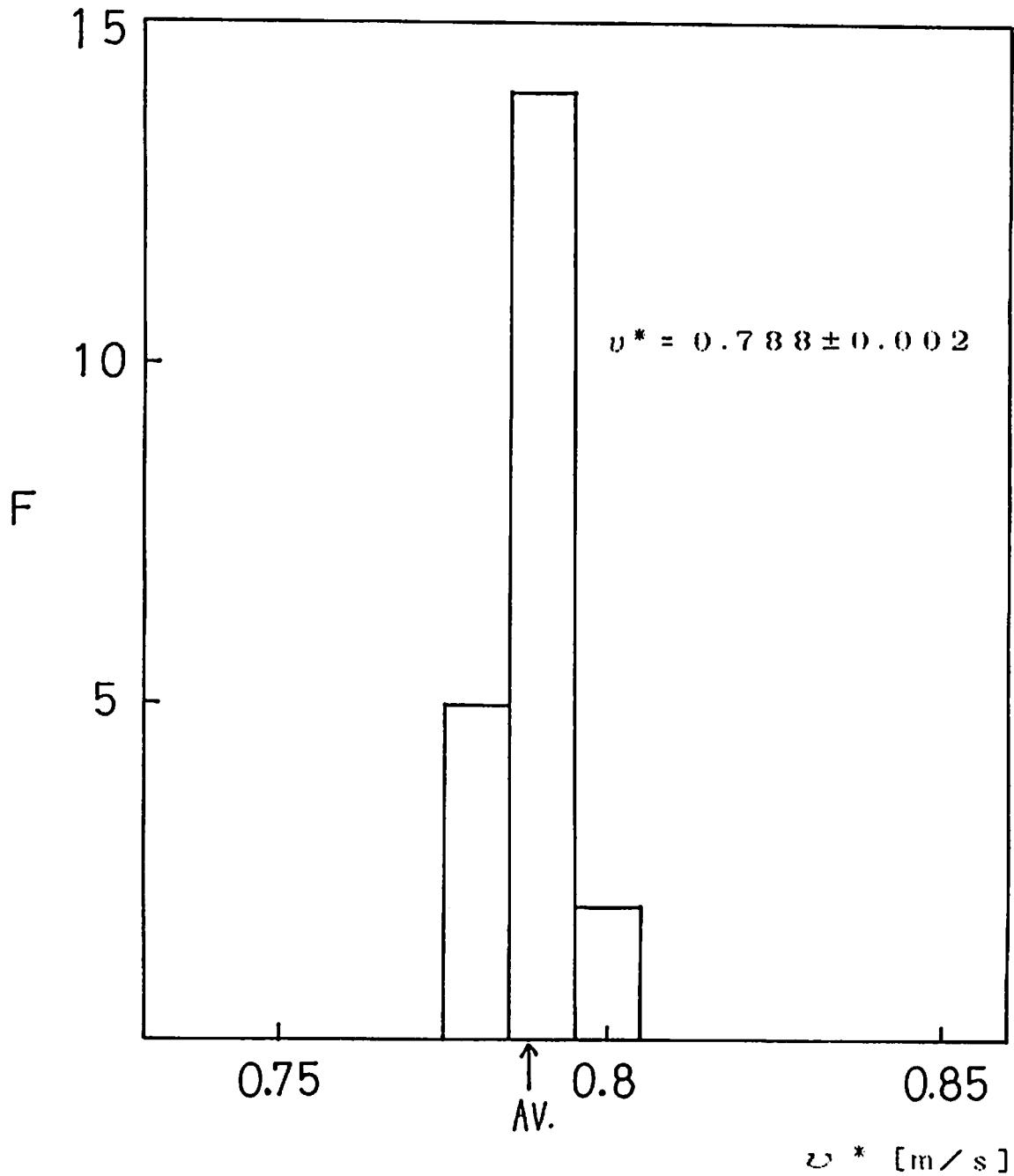


図2 $\phi 4\text{mm}$ 球・30%水溶液

図3、図4は $\phi 3.175\text{mm}$ 球による v^* の測定例である。図3のグリセリン20%の場合で、 $v^*=0.788\pm 0.002 [\text{m/s}]$ が得られた。図4の30%水の場合で、 $v^*=0.671\pm 0.003 [\text{m/s}]$ が得られた。

同様の測定を水溶液濃度0~50%で行ったところ、同一球の場合、水溶液濃度が大きい（粘性が強い）ほど終端速度が遅くなること、また、同一濃度の場合、落下球の小さい方が終端速度は遅くなることが示された。

図3 $\phi 3.175\text{mm}$ 球・20%水溶液

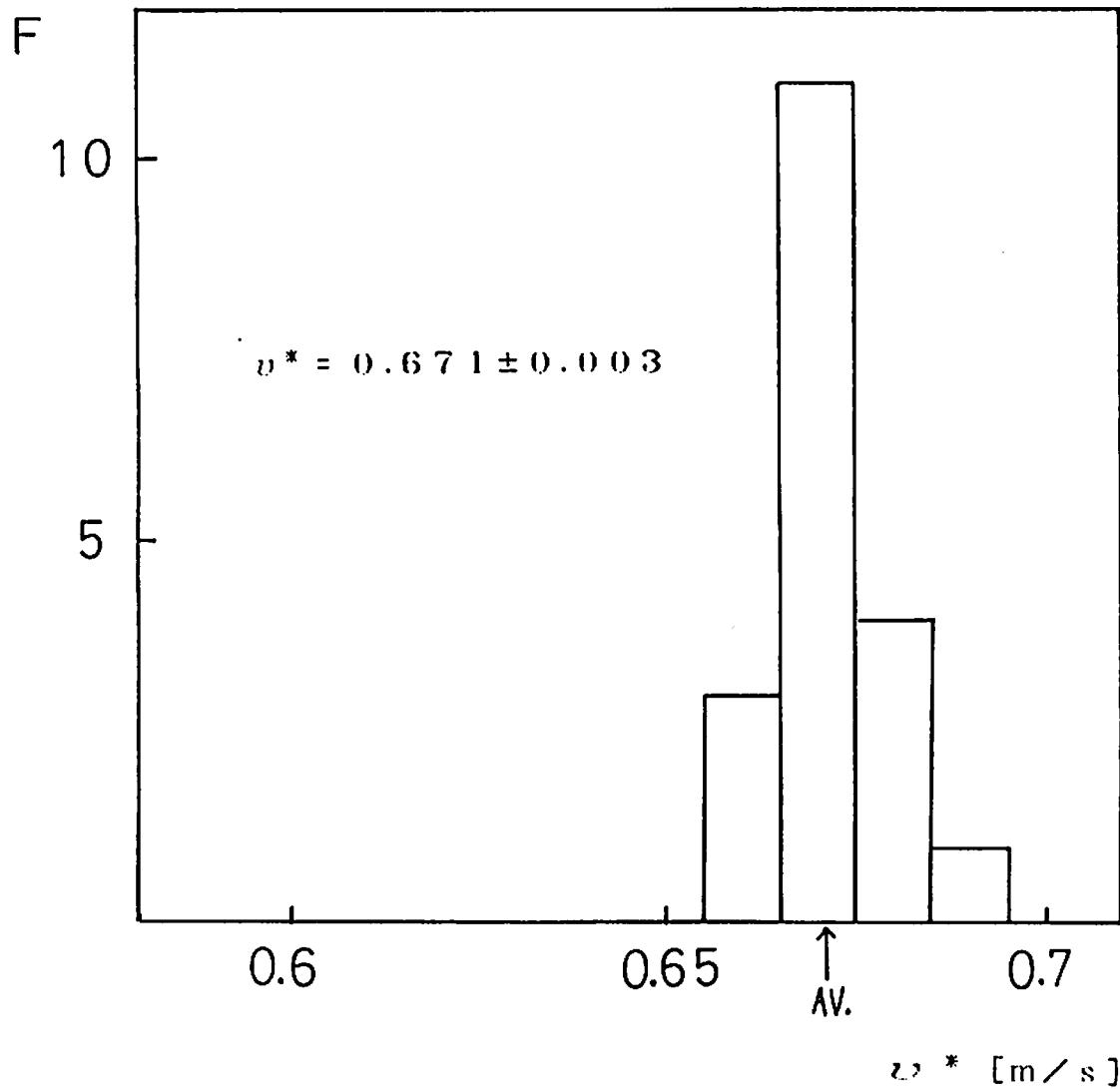


図4 $\phi 3.175\text{mm} \cdot 30\%$ 水溶液

図5に落球法による粘度と市販の粘度計による粘度の測定結果を示す。

粘度計による測定結果においては、水の場合で0.9 [cP.]、50%水溶液の場合で4.6 [cP.]となり、濃度との関係において直線性（図の実線）を示す粘度が得られた。

$\phi 4\text{mm}$ 球の場合においては、水溶液濃度に対して粘度計の場合と同様に直線性を示す粘度が得られたが、 η の小さい方向に一様なずれが生じ

た。

$\phi 3.175\text{mm}$ 球の場合は、水溶液濃度30%以上で $\phi 4\text{mm}$ 球による粘度と比較的近い値が得られた。しかし、25%以下における粘度については大幅な違いが生じた。水においては0.01 [cP.]以下になった。

以上の測定結果における問題点を考察した。

考察1；粘度計と落球法との間に生じた粘度のずれについて

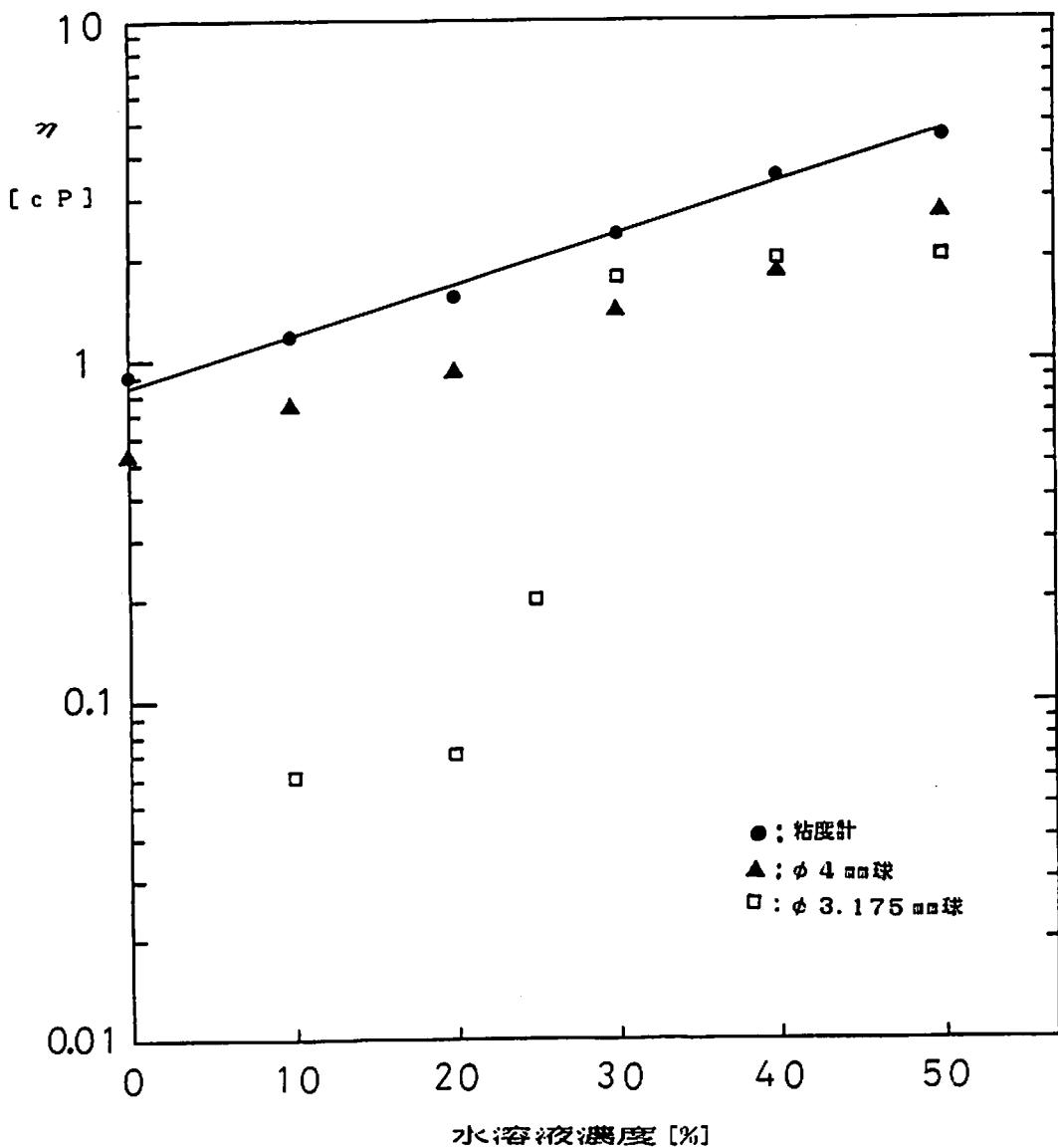


図5 粘度と濃度の関係

図6は(2)式における C_d と Re の関係を示したものである。この実験式を使用する段階に不確定要素が含まれることは前述した。一考として(2)式の補正を試みた。

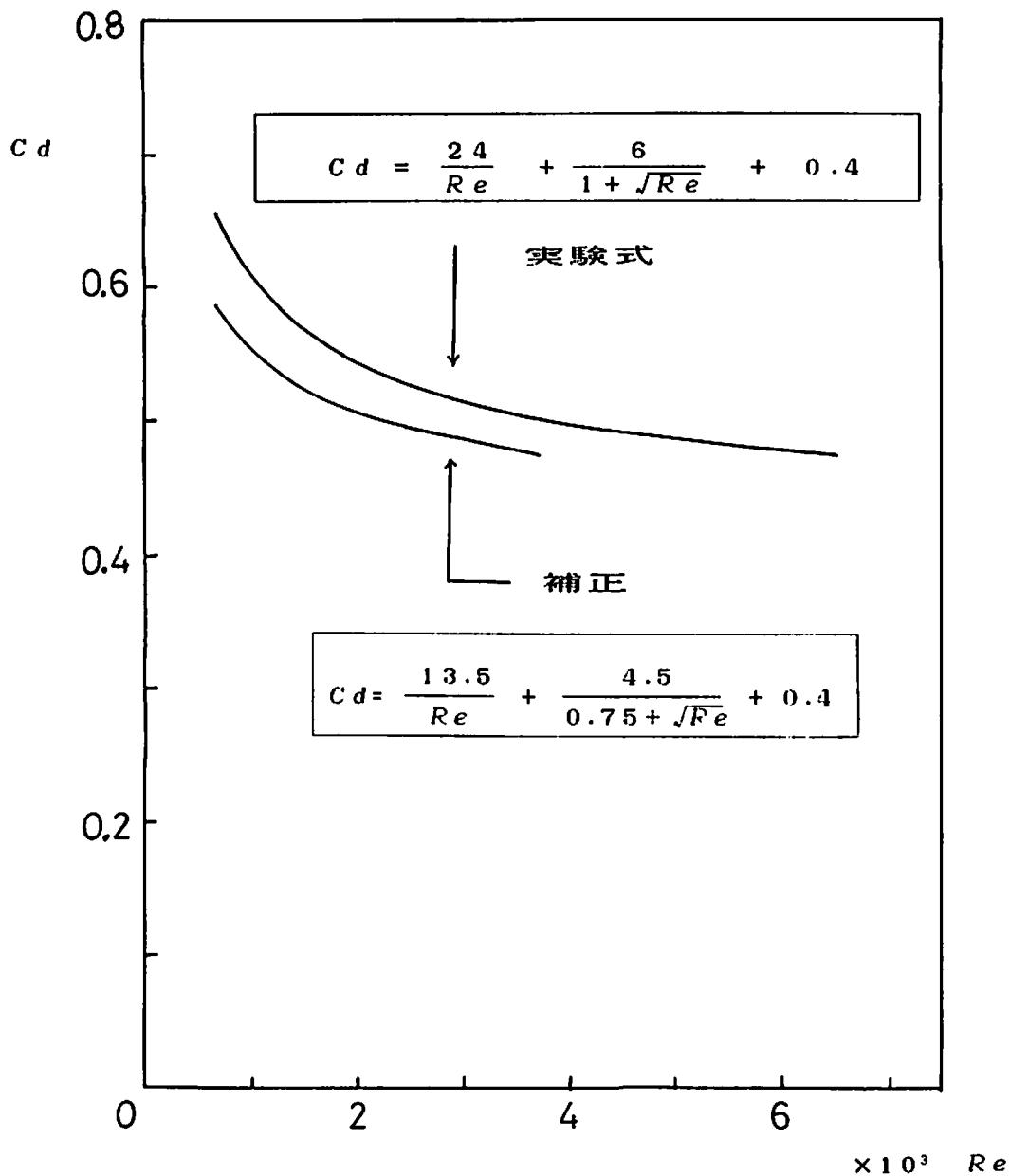
図6 C_d と Re の関係

表1に示す C_D と R_e は、粘度計で測定した粘度から期待される値と $\phi 4\text{mm}$ 球で測定した終端速度から求めた値である。両者の R_e は各水溶液濃度において一様性を示しているので、そのずれの比（平均1.78）を考慮して実験式の補

正を行ない、図6に示す関係式

$$C_D = \frac{13.5}{R_e} + \frac{4.5}{0.75 + \sqrt{R_e}} + 0.4 \quad (4)$$

を得た。

		水溶液濃度					
		0%	10%	20%	30%	40%	50%
C_D	粘度計	0.503	0.518	0.537	0.573	0.616	0.656
	$\phi 4\text{mm}$ 球	0.477	0.492	0.502	0.529	0.548	0.588
R_e	粘度計	3713	2864	2166	1402	935	683
	$\phi 4\text{mm}$ 球	6534	4670	3772	2437	1875	1207

表1

図7に補正後の結果を示す。粘度計と $\phi 4\text{mm}$ 球による粘度の間に一致を見た。しかし、 $\phi 3.175\text{mm}$ 球の濃度30%未満においては、粘度の

大幅な違いに補正の効果は見受けられなかった。
考察2; $\phi 3.175\text{mm}$ 球の濃度30%未満に生じた粘度の大幅な違いについて

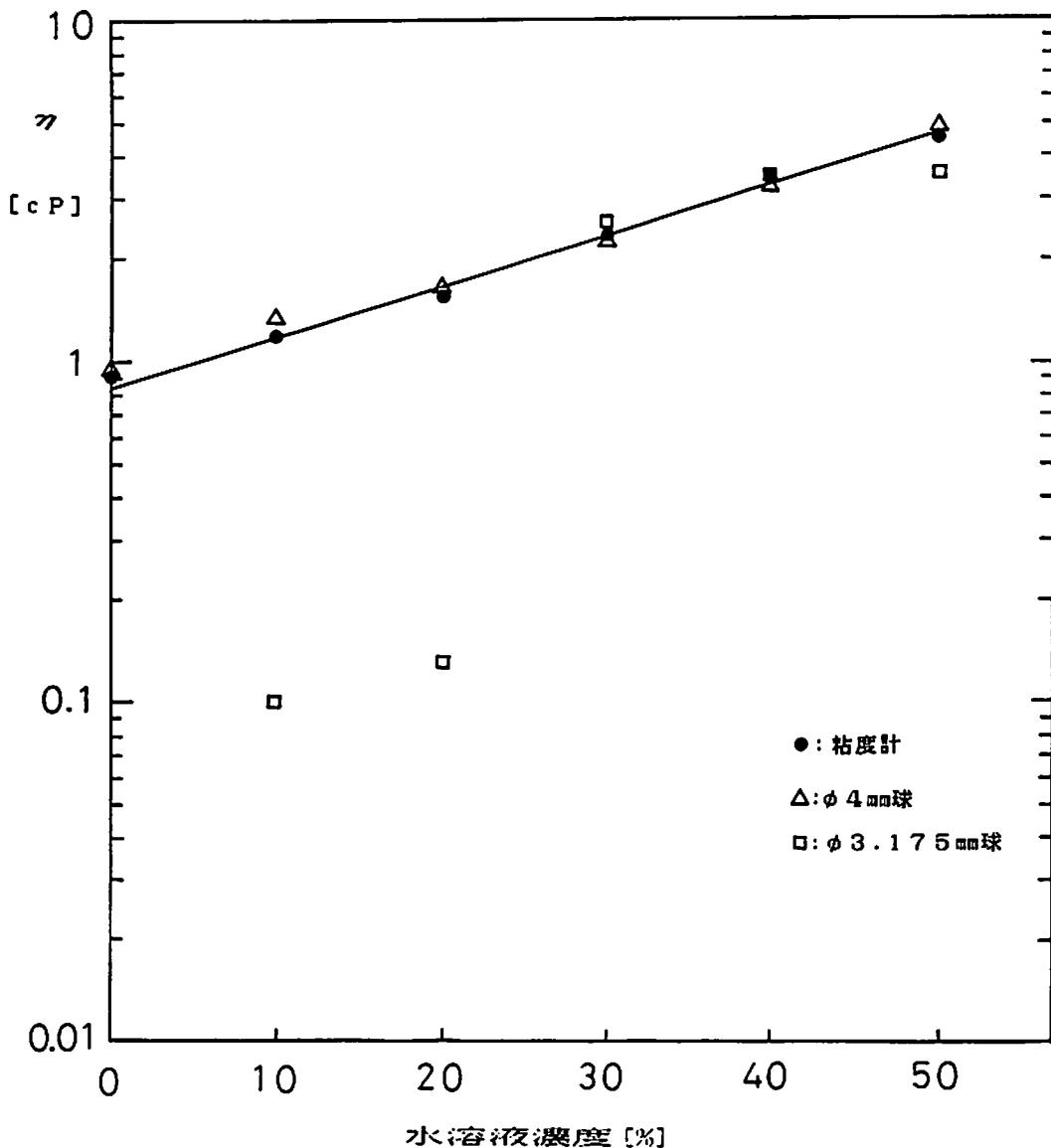


図7 粘度と濃度の関係・補正後

表2は、実測 v^* から求めた C_D および R_e 、 η を示したものである。

v^* を比較すると、小球($\phi 3.175\text{mm}$)の方が遅くなっている。さらに、 C_D を比較すると、濃度30~50%で小球の方が大きくなってしまっており、ここまででは当初予測通りの結果となって R_e 、 η も両

者比較的近い値が得られた。しかし、濃度0~20%の C_D においては、小球の方が逆に小さくなっていて、この逆転現象が影響して両者の R_e 、 η に大幅な違いが現れ、この範囲では(2)式が使えないことが分かった。

	落下球 [mm]	水溶液濃度					
		0%	10%	20%	30%	40%	50%
v^* [m/s]	$\phi 3.175$	0.840	0.803	0.788	0.671	0.655	0.647
	$\phi 4$	0.867	0.841	0.820	0.788	0.763	0.727
C_b	$\phi 3.175$	0.403	0.428	0.432	0.579	0.591	0.589
	$\phi 4$	0.477	0.492	0.502	0.529	0.548	0.588
R_e	$\phi 3.175$	3×10^6	46953	36499	1318	1175	1192
	$\phi 4$	6534	4670	3772	2437	1875	1207
η [cP]	$\phi 3.175$	0.00	0.06	0.07	1.74	1.95	1.96
	$\phi 4$	0.53	0.74	0.92	1.40	1.80	2.73

表2

図3と図4の度数分布を比較しても v^* の分布幅に大差はなく、 v^* のばらつきが C_b の値の逆転現象に直接影響を及ぼしているとは考えにくい。濃度0～20%においては、 v^* が期待される値より速い速度になっており、何か別のメカニズムが生じていると考えられる。

4. おわりに

濃度別におこなった終端速度の測定において、 $\phi 3.175\text{mm}$ の球の場合に生じた C_b の逆転現象が何を起因とするのか、その原因を把握するには至らなかった。結果として、 $\phi 3.175\text{mm}$ 球は落球法による本測定には適さないことが分かった。

$\phi 4\text{mm}$ 球による測定においては、(4)式の補正式を使用することにより粘度計による粘度と一致する結果が得られた。

今後、落下球のサンプル数(素材、サイズ等)を増やして測定を行い、(2)式および(4)式の有効

性を含めて結果の分析を試みたい。

参考文献

- 1) 峰友、三好：落球法による粘度測定、物理教育研究18号、P14 (1990)
- 2) 生井武文、井上雅弘：粘性流体の力学、P61、理工学社 (1978)

回折格子を用いた光の波長測定

松 村 勲

1. はじめに

光の波動性は教育用レーザー光とダブルスリットを利用して簡単に演示することができるが、理解を深めるため、生徒実験としてヤングの干渉実験を取り上げると、暗室や特殊光源（直線フィラメント電球など）が必要であり、さらに、ダブルスリットを生徒に製作させることを考えると、かなりの時間と技術が必要となる。そこでダブルスリットの代わりに、だれにでも簡単に作れる回折格子のレプリカを用いたところ、各色光の波長を測定することができた。課題実験として参考にしてほしい。

2. 測定理論

回折格子の間隔を d 、光の波長を λ 、整数を m として

$$d \sin\theta = m\lambda$$

を満たす θ の方向の光が干渉して強めあう。

$m=1$ の時、 θ は小さいので中央から光が最初に強めあう位置を x 、シングルスリットから回折格子までの長さ（筒の長さ）を L とすると、光の波長 λ は近似的に

$$\lambda = dx/L$$

で表される。

d は使用する回折格子（1/500cm）より、 x は特定の長さを定める（1.0cm）と、 L を調節することで光の波長が測定できる。

3. 波長測定器の製作

*回折格子の製作

(1) 厚手のOHP用プラスチックシートを3cm四方に切り、1cmあたり500本のグラスグレーティングと成分メチレンダイクロライドの液体樹脂用接着剤（商品名プラ大王）を用意する。

※ 北海道旭川西高等学校

(2) 回折格子面に液体接着剤を滴垂らし、その上にプラスチックを被せて押し付け、暫くしてから剝がすと回折格子のレプリカができる。

*測定器の製作

- (1) 半径4cm長さ25cm程度の筒（サランラップの芯など）と、光を通さない程度の厚紙を用意する。
- (2) 用意した筒をAとすると、筒Aの内径に合わせて同じ長さの筒Bを厚紙で作り、筒Aと筒Bがスライドできるるようにする。
- (3) 筒Aの一端に合わせた蓋を厚紙で作り、その中央に幅0.5~1.0mmのシングルスリットをカッターであける。さらにスリットの上端からスリットを対称にして、1.0cmの位置に直径0.5mmの小孔CとDをあける。
- (4) 筒Bにも蓋を作り、その蓋に1cm四方の穴をあけ、自作した回折格子を取り付ける。
- (5) 筒Aと筒Bを組み合わせると波長測定器は完成する。

4. 測定方法

- (1) 小孔CとDの距離をノギスで測定し、 x の値を3桁で求める。
- (2) 筒Aを太陽光に向けて回折格子より眺めるとき折縞が見える。筒の長さをスライドさせて測定する色光に小孔CとDを合わせ、その時の筒の全長 L を測定する。
- (3) Naランプを点灯してD線の波長(590nm)を測定し、測定器の精度を調べる。

5. 測定結果

測定実験は3年生2クラス20グループで実施した。筒Aは事前に用意させた。器具製作と実験に要した時間は3時間である。各グループの測定値を有効数字3桁で求めたのが表1であり、これらの測定値を2桁でグラフ化し

回折格子を用いた光の波長測定

各グループの測定値一覧表
〔単位: nm〕

資料	赤	橙	緑	青	紫	Na	誤差%
1	645	593	547	472	444	586	0.7
2	642	588	530	490	445	595	0.9
3	626	584	556	492	474	570	3.4
4	638	589	557	495	463	603	2.2
5	654	589	553	488	467	605	2.6
6	637	591	565	504	474	583	1.2
7	627	608	544	450	416	576	2.4
8	629	600	571	506	478	586	0.7
9	656	608	552	490	443	593	0.5
10	647	611	566	500	423	593	0.5
11	646	602	558	509	455	586	0.7
12	657	585	529	485	414	592	0.4
13	655	585	532	478	416	593	0.5
14	610	577	525	466	439	557	5.6
15	647	599	534	484	424	590	0
16	643	588	529	489	419	590	0
17	653	592	544	491	441	590	0
18	673	580	542	496	442	595	0.9
19	664	588	547	476	416	606	2.8
20	651	575	538	487	409	602	2.0
平均	658	592	546	485	440	590	0

単位: nm
+ : 最大値, * : 最小値

表 1

たのが表 2 である。

測定には個人差もあるが、ほぼ教科書などに見られる色の範囲におさまっている。青と紫の色光は測定しづらいこともあり、測定値の分布が広まっている。

Na の波長を 590nm として測定値の誤差を求める 1 %以内が 12 グループあり、3 %を越えるグループが 2 つのみであった。これらの結果より判断すると、この測定方法はかなり精度が高いと思われた。

6. おわりに

タブルスリットによる干渉縞に比べて、回折格子の回折縞はシャープで明るく観測しやすいのが特徴であるが、グループの数だけ回折格子を揃えることは予算の面で難しいのが現実である。今回用いた回折格子は 1 枚のグラスグレーティングと OHP 用シート、それにどこでも手に入る液体プラスチック接着剤があれば、必要な枚数だけいつでも自作できる。

測定値の分布状況

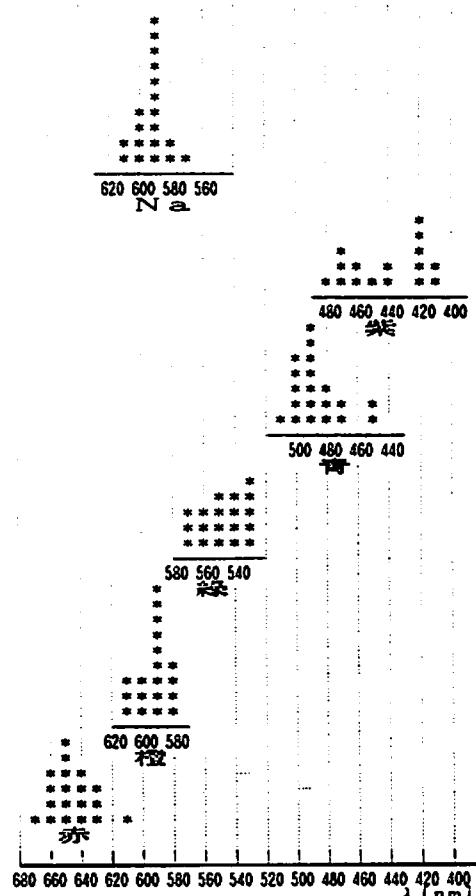


表 2

また、自作したレプリカの精度は溝の浅いグラスグレーティングより観測しやすく、本物と変わらなかった。

この実験に対する生徒の製作意欲は高く、実際に意欲的に取り組んでいた。中には水銀灯、ナトリウム灯などの街灯や満月の光を観測する生徒も見られた。

新教育課程で重視される課題学習は施設設備と予算の面で問題もある。がしかし、生徒が進んでものごとを探究しようとする意欲を育てる面では有効ではなかろうか。今回の波長測定実験は生徒に製作する喜びと、自作した器具でスペクトルを観測し、光の波長を測定したという感動を与える上でも効果的であった。

多変量解析による学級診断

本間 宏俊

1. はじめに

教師が学生の学習指導や生活指導を適切なものとするために、学生の成績や学習生活や性格もしくは行動などの実状がどうなっているか分析し、いかなる点に問題点があり、その原因は何なのかを明らかにすることが挙げられる。また、学級集団内の成員の心理的関係を把握することも必要となる。

これらから、学生のもつ問題が浮き彫りにされれば、必然的にその解決のための手順が明らかとなり、治療が可能となってくる。

分析方法として、上述の目的で収集した評価資料の全体像をつかんでから、問題をにつめていくのに容易な、多変量解析の手法を用いる。

成績と学習性活については、期ごとの評価資料を用いる。

性格については、因子分析法を用いて発見された巨大因子が、類型学において確立された類型に接近する傾向が見られる¹⁾。そこで、広く妥当な比較的少数の類型を用意し、現実の性格を分類・整理して、性格を大まかに理解しようとするものである。また、性格は発達的なものとして扱うことは当然である。

行動は、知性によってその目的なり、方向なりが決定判断されるといわれるが、その際の実際の行動要因となるのは、むしろ情意的なファクターであろう。指導要録に「行動及び性格」を観察・評価して、個々の学生の特性に応じた、指導を行ない、個人のもつ能力をできるだけ伸すことを目指している²⁾。行動に関する資料は、指導要録にある項目にもとづき、学生一人一人の行動を学校生活場面を通してとらえるアンケート調査によるものである。

2. 多変量解析理論

2-1. 主成分分析について

1つの集団に関して多くの変数のデータがある場合、それらの変数をなんらかの方法で組み合せて総合的な変数を作り出すことが必要な場合に主成分分析^{3,4)}を用いる。

たとえば、クラスの期ごとの成績の各教科の得点にある重みをかけて、加え合せることによって総合得点を算出し、その総合得点に基づいて順位をつける。そのような重みつきの合成変数がどのような性質をもつ変数となるかは、重みのかけ方による。

また、合成変数がある性質をもつように重みを決定することも可能である。主成分分析は、そうした変数の合成において、個人差がもっともはつきりと見られるように、すなわち合成変数の分散が最大となるように重みを決定する方法である。

ここでは、成績、学習生活、行動因子の注意特性値についてそれぞれの主成分分析を行なう。

2-2. 数量化III類について

数量化III^{3,4,5)}は外的基準が与えられていない場合に、N 個の個体の p 個の質的変数に対するアイテム、カテゴリー、データをその分析対象とする。そして、個体と質的変数のカテゴリーの両方に数値を付与することによって、変数間の関係を整理・検討したり、個体の特徴を記述することをねらいとする。

ここでは、個々の学生と性格因子を1枚の散布図に描いて、その相性をおおまかにみようとする場合に、この数量化III類を使う。しかし、実際には、同じ性格でもいろいろ段階を付けなくなる。そこで、パーソナリティのモデル表⁶⁾を使い、巨大性格因子に数量化し、これを「相性度」として導入する。このように、相性度が与えられると、相性度がゼロでない学生と巨大性格因子の間には、すべて線が引かれることにな

る。そして、この線が相性度に応じて格付けされる。

さらに、行動因子の「不安定度」について数量化III類で検討する。

3. 成績の分析

釧路高専2Eクラスの前期中間成績の主成分分析をマイコンで計算処理した成績の相関行列、固有値、固有ベクトルを表1に示す。まず、表1の相関表を見ると、中程度の正の相関のガイロンから、他の科目と比べて科目間の相関がほとんど無いカイロまでの様子がわかる。成績のよい学生は、どの科目もよくできるという関係がある。

次に、表1の固有値、固有ベクトル表は新しい軸を求めた計算結果である。1番左が新しい z_1 軸(第1主成分)、次が z_2 軸(第2主成分)と続く。1番上の行の固有値は、その軸の成分の分散を示している。

ここでは、あらかじめ各科目分散が1になるように標準化しているので、この固有値の和は10になっている。次に新しい軸への変換の係数が並んでいる。例えば、1番左の列を用いて第1主成分の値を計算する。成績順位のよい学生が z_1 成分が大きくなる。同じように第2主成分、 z_2 軸を見ると、カイロ、ケイサンキが得意でコクゴ、ニホンシ、ガイロンの不得手な学生が z_2 成分が大きくなり、逆の学生は小さくなることが分かる。

寄与率、累積寄与率についてみると、全体のばらつきの51%が最初の z_1 軸に割当てられ、データがほとんど直線上に乗っていることが分かる。 z_1 軸は合計点を表しているので、合計点がよければほとんどの科目もよく、悪ければどれも悪いということになる。

図1の前期中間成績の科目的散布図は、1番目と2番目に大きい固有値に対する固有ベクトルの要素を成分を持つ科目をプロットしたものであるが、カイロ、ケイサンキとコクゴ、ニホンシ、ガイロンと、その他は一団をなす科目群の散布特徴が見てとれる。

これらに対する、学生の主成分得点の散布図

	$z_{1\text{左}}$	$z_{1\text{右}}$	$z_{2\text{左}}$	$z_{2\text{右}}$	E.R.	E.G.	$\Sigma z_{1\text{左}}^2 + z_{2\text{左}}^2$
A	1.0000						
B	0.4845	1.0000					
C	0.2164	0.3805	1.0000				
D	0.3805	0.2164	0.3805	1.0000			
E	0.3805	0.3797	0.3848	0.3828	1.0000		
F	0.2803	0.4143	0.3870	0.4044	0.7348	1.0000	
G	0.2836	0.4134	0.3801	0.7687	0.5842	0.8280	1.0000
H	0.0495	0.1016	0.3370	0.4562	0.3815	0.3688	0.3817
I	0.1647	0.2389	0.3408	0.6249	0.3816	0.3659	0.4082
J	0.3750	0.3888	0.3431	0.4147	0.4861	0.3782	0.4182
K							
L							
M							
N							
O							
P							
Q							
R							
S							
T							
U							
V							
W							
X							
Y							
Z							

表1 前期中間成績の相関行列、固有値、固有ベクトル

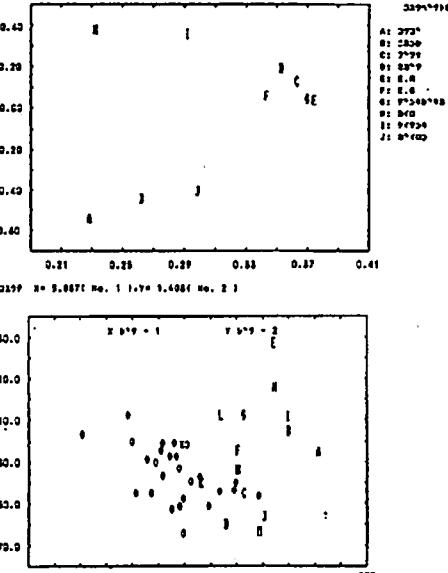


図1 前期中間成績の科目と学生の散布図

も図1に示す。図内のA～N、xの記号は、前年度の成績順位1～14、15番を表し上位グループとする。今回の成績順位は右から左へ順位が下がり、前回との順位の変化が分かる。また、学生Eはガイロン、ケイサンキ(専門教科)が得

意でコクゴ、ニホンシ、ガイロン(文系)が不得意であることが分かる。

さらに、 z_1 軸と z_3 軸の場合の散布図を図2に示す。2図において、学生IはE.R(reader), E.G(grammar), ケイサンキが得意であることがわかる。このように、 z 軸の選びかたで特定の科目の得意、不得意の学生を抽出できる。

また、合計点の情報を無視して、 z_2-z_4 軸で科目の散布図を見てみると、図3から科目について数グループに分かれ、それらのグループ形成要因の検討も可能となる。

ところで、主成分分析の表1において、 z_2 軸の分散は z_1 軸の分散の約3/10、 z_3 軸の分散はそのまた約4/7というよう、各軸の成分の分散は左から右へいくにつれ、順に小さくなっている

15~29, 30番と、下位グループ30~41番に、それぞれ、A~N, xと、A~Jの記号をつけ、成績グループ間の期ごとの移動についてまとめたものを、表2に示す。クラス全体が進級して、成績の向上が全般的にあるが、この表から特に下位から上位へのH、中位から上位へのB, E、下位から中位へのA, C, Eの成績向上学生グループと、上位から中位へのK, X、中位から下位へのJ, Hの成績の悪化している学生グループが認められる。

4. 学習性活の分析

2Eクラス41人の前期中間迄の学習生活についての主成分分析を行なう。学習生活に関する4つの特性値として、順位の変化量(JUNI), 得点の変化量(TOKUTEN), 欠課時数(KEKKA), 遅刻回数(CHIKOKU)をとりあげる。いずれの特性値も、学習生活の勤勉さが薄れると大きくなるようにとてある。

各特性値の分散を1に標準化して、パソコンで主成分分析をの処理を行なうと、前期中間迄の学習生活についての相関行列、固有値、固有ベクトルの表3が得られる。最大の固有値に対する固有ベクトルの要素は比較的均等な正の数である。したがって第1主成分は学習生活の不安定を示す総合特性値とみることができる。

2番目に大きい固有値に対する固有ベクトルの要素は、JUNIとTOKUTENが負数、KEKKAとCHIKOKUが正数である。したがって第2主成分は学習(JUNI, TOKUTEN), 生活(KEKKA, CHIKOKU)の偏向成分とみることができる。

出席状態(生活)の悪い学生ほど第2主成分の得点が高くなる。また、成績(学習)が悪化している学生は負数で大きな得点となる。

第1主成分は全部の係数は正で、第2主成分以降は正、負が半々になっている。それで、第1主成分は総合的な学習生活を表し、第2主成分は具体的な学習や生活を示す。主成分分析の結果から、 z_2 軸の分散は z_1 軸の分散の約1/2、 z_3 軸の分散はそのまた約1/4となり、各軸の分散は右へ行くほど小さくなる。寄与率、累積寄与率に

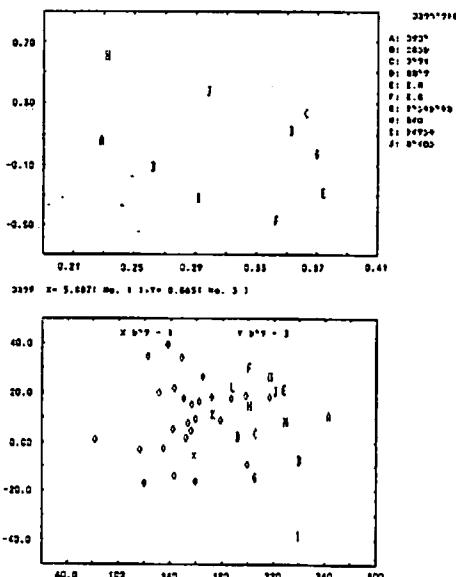


図2 主成分 z_1 — z_3 軸の科目と学生の散布図

が、ディスプレイに描き出される散布図は、スペースを有効に利用するために縦と横いっぱい引き伸ばしてある。

同様に、上位グループの前期、後期中間、期末の各成績について、主成分分析をおこない⁶⁾、これから、上位グループ内での順位変化、得意、不得意科目、中位グループとの移動のようすが分かる。さらに詳細に検討するため、これらの散布図に、前年度成績順位の中位グループ

ついては、全体のばらつきの57%が z_1 軸に割当され、31%が z_2 軸に割当てられる。2つの主成分によって全体の約88%の情報を表している。

前期中間迄の学習生活の特性値と学生の散布図を図4に示す。その特性値の散布図は1番目と、2番目に大きい固有値に対する固有ベクトルの要素を成分に持つ特性値をプロットしたものである。これらに対する学生の散布図も図4に示す。図内のA～N, x の記号は学習生活の代表サンプルの学生を示す。学習生活の安定なグループはNMライン附近に点在し、この位置から右と上へ離れるほど不安定さが増大する。図内のAは学習と生活の両方とも最も不安定な状態の学生である。学習生活の状態を安定、注意、指導、処分の4段階に分けると、図4の学生の散布図において、A, Bに強力な指導を、C, D, E, F, G, Hに指導を、L, I, J, Oに

成績グループ	上位	中位	下位
日本	上位 → B P D → 中位 → H M G ↓ ↓ C → 下位		
中国	上位 → G, J, K, X, R, R, R → 中位 → G, H, I ↓ ↓ C → 下位		
韓国	上位 → M, U, X, D, G → 中位 → J, K ↓ ↓ C → 下位		
その他	上位 → H, K, X, D, G, Y → 中位 → J, H, K ↓ ↓ C → 下位		

表2 各成績グループ間の移動状況

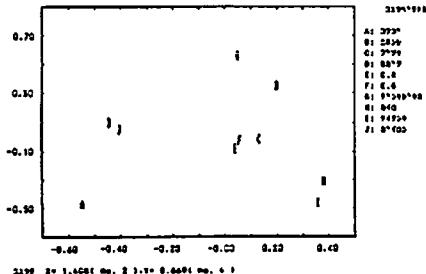


図3 科目のグループ分け

は注意を要する学生となる。

同様に、その後の四半期ごとの、学習生活の特性値と学生の散布図から、四半期ごとの注意、指導、処分の各段階をまとめ、学習生活の不安定さとその処置を表4に示す。この表から処

	JUNI	TOSUTEN	KIZUKA	CHIKORYU
JUNI	1.0000			
TOSUTEN	0.3769	1.0000		
KIZUKA	0.3516	0.3492	1.0000	
CHIKORYU	0.3516	0.3492	0.3492	1.0000

	N	S	E	W
N	0.3769	0.3516	0.3492	0.3492
S	0.3516	0.3769	0.3492	0.3492
E	0.3492	0.3492	0.3769	0.3516
W	0.3492	0.3492	0.3492	0.3769

表3 前期中間迄の学習生活特性値の相関行列、固有値、固有ベクトル

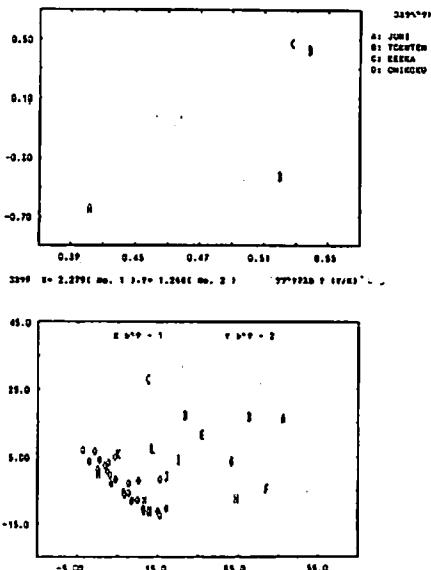


図4 前期中間迄の学習生活の特性値と学生の散布図

不安定さ 期間 対象	注意	指導	処分
前期中間 期間 対象	I L J O	C D E G H I P A B	.....
後期中間 期間 対象	C K O I	G L E O F B D	A X
期末	K D O I	.....	G B F L
	I	D E	K

表4 学生生活の不安定さとその処置

分に至る前兆が学習生活の特性値に現れてくる。

5. 性格の分析

学生の性格調査のアンケートから、個体（学生）とカテゴリー（性格）の分布図を描き、学生とクラスの性格傾向を把握する。アンケートは“信頼される”、“衝動的”、“内気な”等32の性格因子からなるパーソナリティのモデル表を使

い、自己の性格を表す6因子を選び出すものである。これらの因子を受動的、冷静、むら気、活動的の4個の巨大性格因子を数量化し、この数値をカテゴリーの「相性度」として数量化III類で分析する。

2 Eクラス39人対しアンケートをもとに、巨大性格因子に数量化し、これを相性度として個体とカテゴリーに与える数量(x_1, y_1), (x_2, y_2)をパソコンで計算する。結果は、固有値の大きい順に、 $\lambda_1=0.0006$, $\lambda_2=0.0002$ となり、累積寄与率は62%, 83%となる。固有値の固有ベクトルの各要素値をそれぞれカテゴリー数量(y_1, y_2), サンプル数量(x_1, x_2)として表5に示す。

表5より、カテゴリー数量 y_1 が大きくなるほど、受動的因子から冷静因子へ変わること、カテゴリー数量 y_2 が大きくなれば、むら気因子から受動的・冷静因子へ変わる。すなわち、冷静因子

は第1象限、受動的因子は第2象限、むら気因子は第3象限、活動的因子は第4象限に強く見られる。このカテゴリー数量と個体数量の散布図を図5に示す。

図5内の個体の散布図の記号は、H 療生, I 下宿生, O 通学生, J 部活なし, L 退部を示す。巨大因子の相性度は0~28数値をとるが、個体数量の1/25倍の散布図にカテゴリー散布図を重ね、相性度14以上を線で結んだ図を図6に示す。むら気、受動的、冷静、活動的各因子はそれぞれ、11, 15, 5, 9の個体と結ばれ、そのうちの9個体は2因子で結ばれる。相性度13以下が8個体ある。全体的には受動的因子が強い。

同様に、成績と学習生活の各グループについて、相性度14を基準に巨大因子による個体の分類を行ない表6に示す。これより、成績上位はむら気因子は弱いが受動・冷静因子が強く、中位は冷静因子は弱いがむら気・受動因子が強い、また下位はむら気因子が特に強くなる。

No.	x_1	x_2	y_1	y_2
2	-0.6656	-1.1432	< A	↑
21	-1.2264	1.0993	< J	↑
21	1.3649	0.9446	< I	↑
41	0.6242	-0.7455	< L	↑
<hr/>				
<hr/>				
11	-45.7499	38.4936		
21	18.3543	-13.9197		
21	-9.0394	-37.6884		
41	-18.8976	17.6460		
51	1.8934	17.1743		
51	-7.8032	-7.1187		
71	-26.9288	-23.0266		
81	-8.1635	41.2236		
91	-10.8131	10.2027		
101	-4.8232	-21.2726		
111	-27.7780	9.7146		
121	-19.0917	-21.0446		
131	7.7611	40.9371		
141	-6.0078	-3.3814		
151	-1.4726	-6.8663		
161	33.7690	-24.2236		
171	-16.8288	1.5826		
181	6.8191	12.0873		
191	-17.2243	0.9395		
201	-21.1227	1.3468		
211	1.6410	47.9763		
221	-4.8856	-17.4236		
231	-1.9786	-60.8563		
241	-16.9565	10.1991		
251	-10.1424	32.0096		
261	0.1171	41.1821		
271	-7.4290	-13.3912		
281	-36.6662	-18.2056		
291	22.1136	-25.2003		
301	-4.9444	31.4866		
311	-11.8981	-61.9363		
321	16.1048	-6.2799		
331	24.9187	-24.2560		
341	6.8118	60.2224		
351	-31.7248	47.8761		
361	7.1498	-61.2446		
371	40.8800	10.2921		
381	38.7483	28.2260		
391	14.7670	-38.3792		

表5 性格のカテゴリーと個体に与える数量

6. 行動の分析

6-1. 個体の行動因子の総合化と分類

2 Eクラス39人の日常生活の行動について、○×で答えるアンケートの調査結果を数量化し、

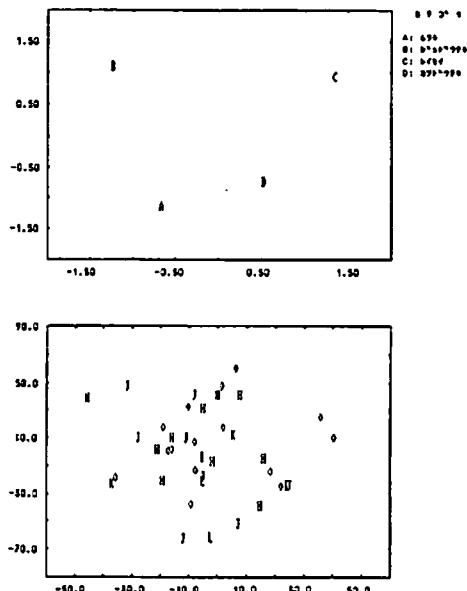


図5 性格のカテゴリーと個体の散布図

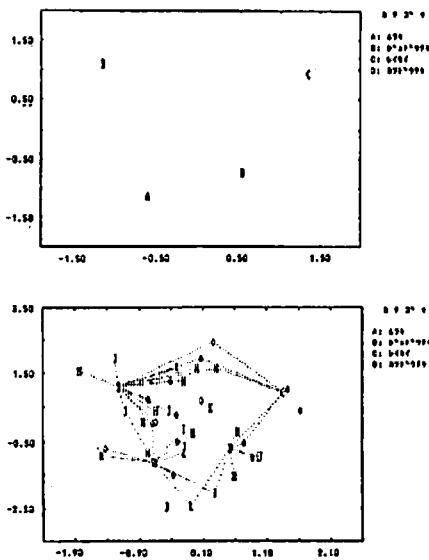


図6 性格のカテゴリーと個体の相性度図

見分けグループ	上位	中位	下位	正規	標準化
Aむら気	N	B D M	K P H	C D H I	K 2 H J 2 L 3 D 2 J
B交動的	G H F M	F A M D	D	A I C	5 H 3 J 7 O
C冷静	I P D	x C L E	E	G	H 4 O
D活動的	A L D	J K G	J B G	K	2 H 2 J L 3 O
A&B	.....	D M	.....	.....	J O
B&C	I F	E	.....	K	H 2 O
C&D	D	.....	G	.....	2 O
D&A	.....	K G	.....	H I	L J
14>	K B J B	I N	E L	J M	H 3 J K 3 O

表6 各個体グループの巨大性格因子への反応

主成分分析を行なう。アンケートは、"本当の事を言わないで、ときどき嘘を言う。"、"仕事を始めるのは早いが、すぐ飽きてしまう。"、"ルールを犯しても、勝つことを考える。等31項目である。

これらを生活習慣、自主性、責任感、根気強さ、創意工夫、情緒安定、寛容さ、公正さ、公共性の9つの行動因子に分類し数量化する。数値が大きいほど、行動因子の信頼度は低下し注意を必要とする。

パソコンで処理した結果を表7に相関行列、固有値、固有ベクトルを示す。最大の固有値に対する固有ベクトルの要素は情緒安定因子を除き比較的均等な正の数である。したがって第1

主成分は行動因子に関する個体への注意の総合特性値とみなすことができる。2番目に大きい固有値に対する固有ベクトルの要素は責任感、根気強さ、創意工夫、情緒安定が負の数で、生活習慣、自主性、寛容さ、公正さ、公共性が正の数である。この行動因子と個体の散布図を図7に示す。寄与率はそれぞれ40%と13%で、この2軸で53%の情報を表す。

図7の個体の散布図において、 z_1 軸の左端は行動因子に最も信頼おける学生で、右へ行くほど総合特性値が増大し、注意を要する学生となる。 z_2 軸上方は生活習慣と公正さについて特性値が増し、下方は責任感と根気強さの特性値が増す。

ソウカン キュウラツ							
セイカクシカク	1.0000	セイカクシカク	セイカニカ	コンキラツ	ソウフク	シヨウガクンスル	
シヨウガクンスル	0.9887	1.0000					
セイカニカ	0.9880	0.9238	1.0000				
コンキラツ	0.9886	0.9768	0.9400	1.0000			
ソウフク	0.9784	0.2483	0.3185	0.8620	1.0000		
シヨウガクンスル	0.9067	0.1479	0.2002	0.1578	0.1439	1.0000	
コンキラツ	0.2991	0.6013	0.3434	0.2765	0.2757	0.1274	1.0000
ソウフク	0.3721	0.4823	0.0685	0.2992	0.3124	0.1291	0.4528
シヨウガクンスル	0.8881	0.3923	0.2808	0.4364	0.3973	0.1734	0.4112
ソウカク	1.0000						
シヨウガク	0.4919	1.0000					
コンキラツ							
No. 1 2 3 4 5 6 7	0.3683	0.1236	0.9593	0.8826	0.8940	0.8371	0.4136
コトカラ							
セイカクシカク	0.3089	0.4146	-0.1843	0.2512	-0.4488	0.1712	-0.1418
シヨウガクンスル	0.3526	0.1029	0.3039	-0.3835	-0.0617	0.7098	0.4468
セイカニカ	0.3664	-0.5690	-0.0793	-0.2120	-0.5050	-0.1278	0.4461
コンキラツ	0.3801	-0.3214	-0.1787	-0.0678	0.1402	0.2746	0.0529
ソウフク	0.3288	-0.2398	-0.3981	0.1717	0.5494	0.0187	-0.1308
シヨウガクンスル	0.1810	-0.3873	0.8482	0.6403	0.0142	0.0530	0.0768
コンキラツ	0.3887	0.0945	0.3312	-0.4911	-0.0134	-0.3727	-0.5695
ソウカク	0.3885	0.3776	0.3180	-0.0148	0.3900	-0.2787	0.8170
シヨウガク	0.4044	0.1799	-0.1373	0.1870	-0.1244	-0.3980	-0.0798
コトカラ							
No. 8 9 10 11 12 13 14	0.3985	0.1360	0.1066	0.0958	0.0771	0.0597	0.0460
コトカラ	0.3888	0.8224	0.8320	0.7348	0.6120	0.6716	0.9176

表7 行動因子の相関行列、固有値、固有ベクトル

次に、第1主成分を無視して、第2、第4の固有値の固有ベクトル要素をそれぞれ z_1 、 z_2 軸で表すと、生活習慣と公共性が第1象限、創意工夫と情緒安定が第2象限、責任感と根気強さが第3象限、公正さと自主性が第4象限となり、散布図を図8に示す。図8の学生の散布図内の記号は、H 寮生、I 下宿生、O 通学生、J 部活な

し、L退部を示す。大まかに、 z_4 軸上方に通学生、下方に寮生、第1象限に下宿生と部活なしの学生に分かれ、 z_2-z_4 軸は行動因子による一つの分類基準を示している。

6-2. 行動のカテゴリーと個体の不安定度

日常生活の行動アンケート調査結果から、生活習慣(A)、自主性(B)、責任感(C)、根気強さ(D)の行動の4因子について数量化し、行動カテゴリーの「不安定度」として数量化III類で分析を行なう。

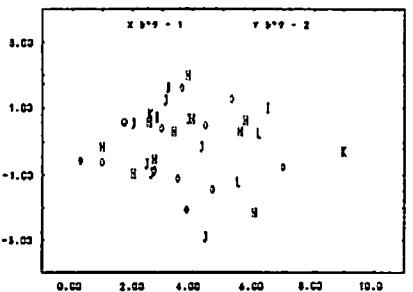
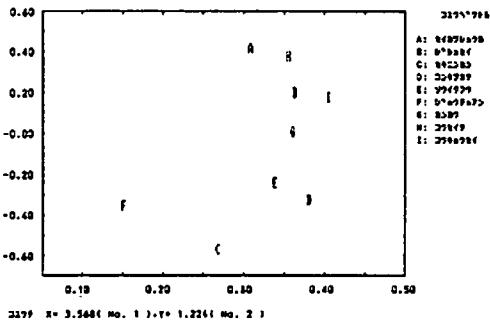


図7 主成分 Z_1-Z_2 軸の行動因子と学生の散布図

固有値の大きい順に、 $\lambda_1=0.0727$ 、 $\lambda_2=0.0545$ で、寄与率はそれぞれ、49%と37%となる。最大固有値の固有ベクトルの各要素値が(x_1 , y_1)となり、2番目に大きい固有値のそれが(x_2 , y_2)である。これらより、カテゴリー数量(y_1 , y_2)、個体数量(x_1 , x_2)の値を求め表8に示す。

各行動因子の不安定度は0~4の数値をとる。個体とカテゴリーの散布図を重ね、不安定度3以上を線で結んだ結果を図9に示す。散布図内の記号は、H 寮生、I 下宿生、O 通学生、J 部活

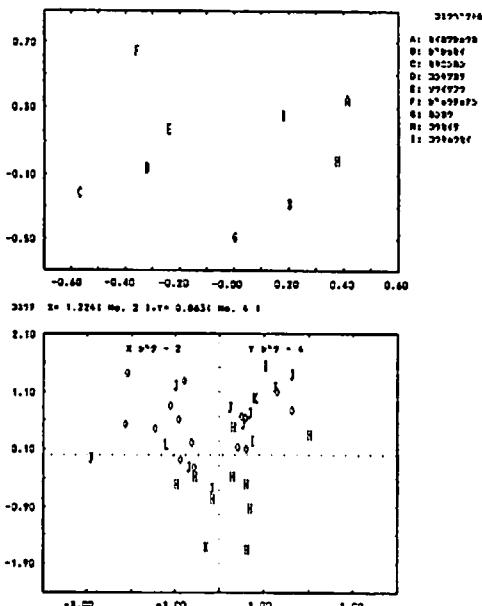


図8 主成分 Z_2-Z_4 軸の行動因子と学生の散布図

No. →	B = 1	B = 2	B = 3
コサウチ	0.0727	0.0545	0.0197
ヨリツ	0.4948	0.3711	0.1341
ライヒ	0.4948	0.6659	1.0000
<hr/>			
カテゴリー			
1:	-0.7852	1.6048	□: シカツウカク
2:	-0.6827	-0.1231	△: リーダー
3:	1.5061	-0.1426	○: セミニカル
4:	-0.8320	-1.3579	×: コンサルタント
<hr/>			
サンプル			
1:	-0.9353	-0.0765	
2:	0.8135	-0.2612	
3:	0.0472	1.9111	
4:	5.5845	-0.6105	
5:	1.5266	-0.5688	
6:	-1.3054	1.9250	
7:	-0.5908	-0.4795	
8:	1.3368	3.1302	
9:	-1.1297	-2.6885	
10:	-0.0951	-0.6731	
11:	-2.7848	4.4049	
12:	-2.9032	-1.3209	
13:	1.3682	-1.8905	
14:	-1.7978	0.9151	
15:	-0.3561	-1.9270	
16:	-0.5974	1.3016	
17:	-1.3977	1.0439	
18:	0.0472	1.9111	
19:	5.5845	-0.6105	
20:	-2.8137	2.2906	
21:	0.0472	1.9111	
22:	-2.8701	2.8544	
23:	-2.0173	-1.1705	
24:	0.1739	-0.5549	
25:	5.5845	-0.6105	
26:	-1.5202	-2.0495	
27:	-0.5041	-1.7596	
28:	-1.5597	0.8194	
29:	-1.1503	-0.6802	
30:	-2.6698	-1.4488	
31:	1.2498	-3.2121	
32:	-0.6408	-1.6697	
33:	-1.4899	0.1628	
34:	1.3366	3.1302	
35:	-0.7792	-3.1913	
36:	-0.1144	-2.0828	
37:	-3.0850	-5.8138	
38:	5.5845	-0.6105	
39:	-1.1297	-2.6566	

表8 行動のカテゴリーと個体に与える数量

なし, L 退部を示す。行動因子の生活习惯、自主性、責任感、根気強さはそれぞれ、4, 8, 5, 7 の個体と結ばれ、なかでも、自主性と根気強さとに多くの個体が結ばれている。5 個体が 2 因子と、1 個体が 3 因子と結ばれている。

同様の分析を、成績、学習生活の各グループについて行なった結果を表 9 に示す。表 9 から、成績順位の中・下位グループには上位グループに無かった自主性無さが表れ、下位グループでは生活习惯、自主性、責任感、根気強さの行動因子の不安定度の高い個体が多くなる。

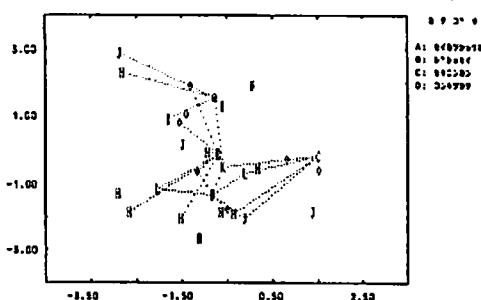


図 9 行動のカテゴリーと個体の不安定度図

不育字グループ	上位	中位	下位	学習生活	選手
A 生活習慣	E L H K	J C	J K H I
B 自主性	H G L F	I G C J	H I L E	3 0 3 H L K
C 責任感	K	K G F D	D I	J H O L K
D 根気強さ	B	G K	D G F K	D H I	2 0 2 L H J
B & D	G	G J	L O	K
C & D	K	D F	H J L	
A B C & D	K	....

表 9 各個体グループの行動因子への反応

個体の抽出と、その特性値から個体へ早期の指導が可能になる。

性格の分析からは、各個体グループの巨大性格因子への反応が明確になり、個体やクラスの性格指向が把握できる。

行動の分析からは、個体の行動因子に対する注意特性値と共に行動因子の不安定度を明らかにできる。また、各個体グループの行動因子への反応がわかる。

このように、多変量解析はクラスや個体の状況診断に有力な方法である。また、多変量解析による学習指導、生活指導のためのクラス全体の把握や個体の診断は初めての試みである⁶⁾。

参考文献

- (1) 塩見邦雄・「人格の基本構造の研究」風間書房 1984.
- (2) 諸沢正道・吉本二朗著・「新指導要録必携」第一法規出版 K.K 1971.
- (3) 田中 豊、垂水共之、脇本和昌・「パソコン統計解析ハンドブック II 多変量解析編」共立出版 1987.
- (4) 田中 豊、脇本和昌・「多変量統計解析法」現代数学社 1988.
- (5) 伊藤政志、岸野洋久・「統計処理の手法がよくわかる本」技術評論社 1985.
- (6) 本間宏俊・マイコンによる成績集計システムVII 鉾路高専紀要 Vol 23, 109—121. 1989.

7. おわりに

アンケートに伴う問題点として、解釈の誤差・自己診断能力の不十分さはあるが、アンケート項目を具体的で多数とると、この解析結果への影響は少ない。また、分析結果の表示が図と表なので理解しやすい。

成績の分析からは、順位と共に得意、不得意科目の個体の抽出、科目的グループ分け、成績グループ間やグループ内の個体の移動が明かになる。

学習生活の分析からは、学習生活の不安定な

エレクトロニクスキットを用いた物理実験

高橋尚紀

はじめに

物理学で取り扱う現象はわれわれの五感では認識し得ないものがほとんどであるため実験・観測には計測機器が必要である。近年のエレクトロニクス技術、センサ技術の長足の進歩によって市販の計測機器も多種多様で性能のよいものが出来ていろいろな計測ができるようになっている。しかし、限られた予算の中でどれもこれもそろえるというわけにはいかないのが現状である。そこで計測機器の自作を試みた。ただ、部品をそろえてから作製を始め完成にいたるまでは時間と手間がかかる。エレクトロニクスキットはこの点、組立だけですむので大いに時間の節約となるし、また値段の面でも廉価である。試みに放射線検出装置のキットの作製とそれを用いた実験をおこなってみた。

装置の作製

作製に用いたのは秋月通商販売のキットで、小型ガイガーカウンター[D3372]（浜松ホトニクス）を使用したガンマ線、高エネルギーベータ線検出器である。

キットであるので当然のことながら部品がそろっており、また組立手順も悉く丁寧な説明がついている。部品を取り付ける基板にもどこにどの部品をとりつけば良いかが印刷してある。したがって、エレクトロニクスの工作の初心者でも作製が可能である。作製はハンダで部品を取り付けるだけで2時間程度で終了した。（回路図を図1にあげる。）

装置は90mm×70mm×23mmのプラスチック容器におさめられコンパクトである。なおキットの値段は4700円である。

装置の性能

ガイガーカウンター（GMT）D3372の検出率

プラトー電圧 575V のときの検出率を 100% として、それより電圧が低ければ検出率が低く、高ければ高くなる。プラトースタート電圧は、380V で、これより低いと放射線を検出できない。プラトー電圧は 500 ~ 600V と規定されているが、これは、プラトー電圧の平坦部と呼ばれるもので、この範囲での検出率の変化は、0.15%/V である。

プラトー電圧は 500 ~ 750V 内にあれば、電圧の安定度、電圧精度は問題にならない。（図2）

放射線検出について

GMT の検出原理上、検出放射線の線質は特定できない。検出できる放射線は γ 線、 β 線（500KeV 以上）である。宇宙線など自然放射線がバックグラウンドとして1分間に3~10回検出される。GMT のカソード壁を越えて内部に入った放射線はほぼ 100% 検出される。検出特性を図3に1秒当たりの検出パルス数の照射線量を R/hour で示したものを図3に載せる。

装置を使った実験

原子力エネルギーの利用が推進され、原子力についての話題の事欠かない昨今であるが、授業の場で生徒が放射線について学ぶ機会が少ないので現状である。ガイガーカウンターは放射線に反応して音を発するだけのものである。しかし、われわれが常に自然放射線を浴びていることやそれの中には地球外からきている宇宙線も含まれているということを知ることは生徒に大きな関心を呼び寄せるものである。

また、X線発生装置による従来の実験では螢光物質の発光や気体の電離作用、またX線写真的撮影などがあるが、今回作製した装置を近づけると激しく発振音がなり X線の発生を認識

できる。激しく鳴り響く音はいかにも危険だと
いっているようでもあり、生徒に対するインパ
クトも大きい。

おわりに

物理学は自然現象を観測・測定しデータを解
析することにより理論・法則を導くものである。
また、既成の理論・法則から仮説をたて、検証
実験を通じて自然現象に対する認識を新たにす
る学問である。よって、この過程を学ぶことが
重要であり、中でも自然現象の測定・実験が非
常に大切であると考える。ゆえに、授業には大
いに実験を取り入れたいと考えるのであるが実際、
多くの市販の器具をそろえることは予算的に無
理があり、また自作の機器も時間的になかなか
作製に取り組むことができない。そこでキット
による実験器具の作製に取り組んでみたが金額
的にも時間的にもまた、性能の面でも満足のい
くものを作製することができた。今後も、機器
をそろえることを中心に考え工夫していきたい。

引用文献

- トランジスタ技術 1月号 (1990) 706—707
藤井 滉・中込八郎 物理実験ハンドブック
(1977) 302—303, 314—315
宇佐美晶・曾根福保 電子計測 (1989) 195—204
飯利雄一・山極 隆 理科 I の指導事例 (1982)
152—160

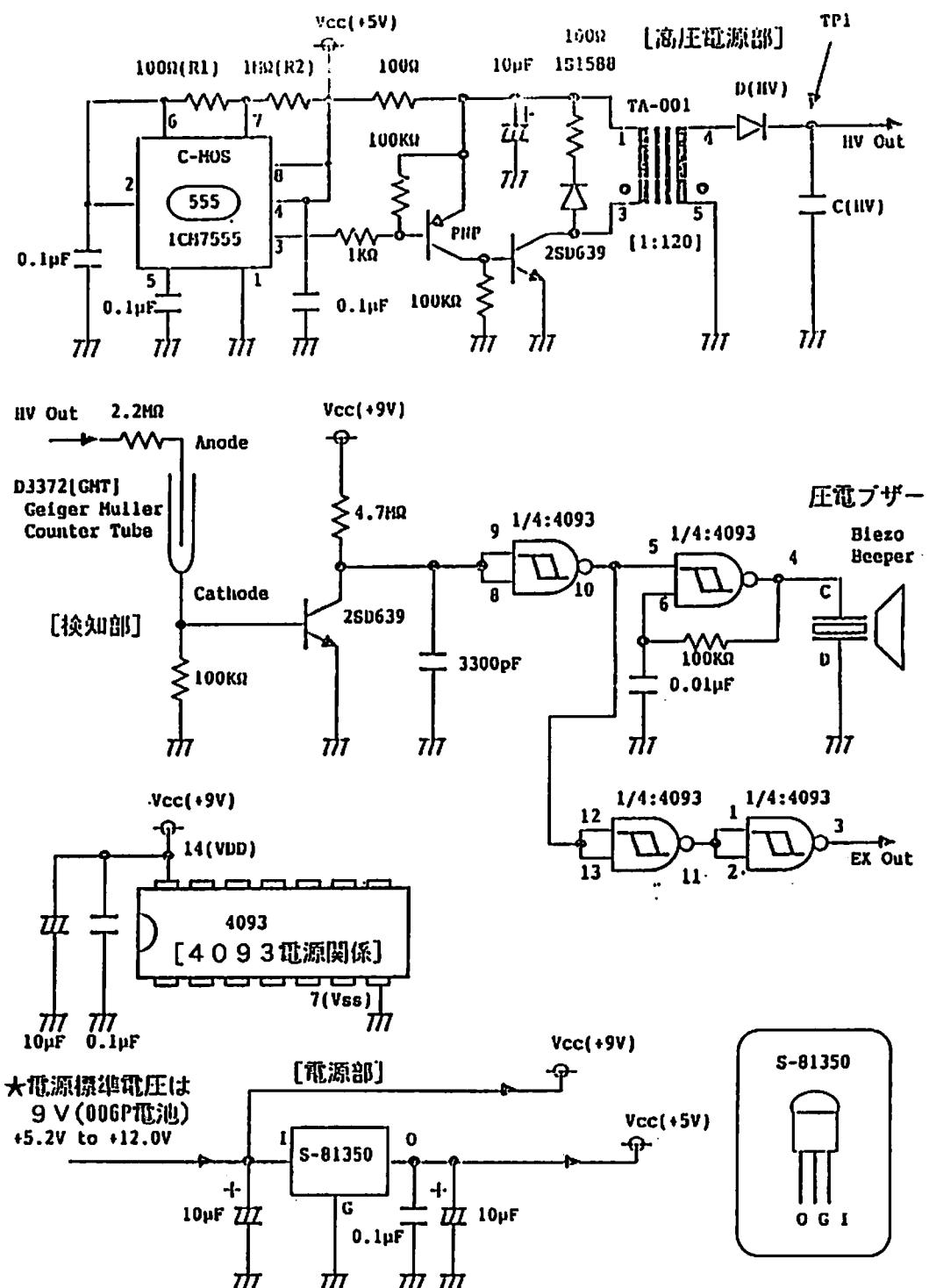


図 1 全体回路図

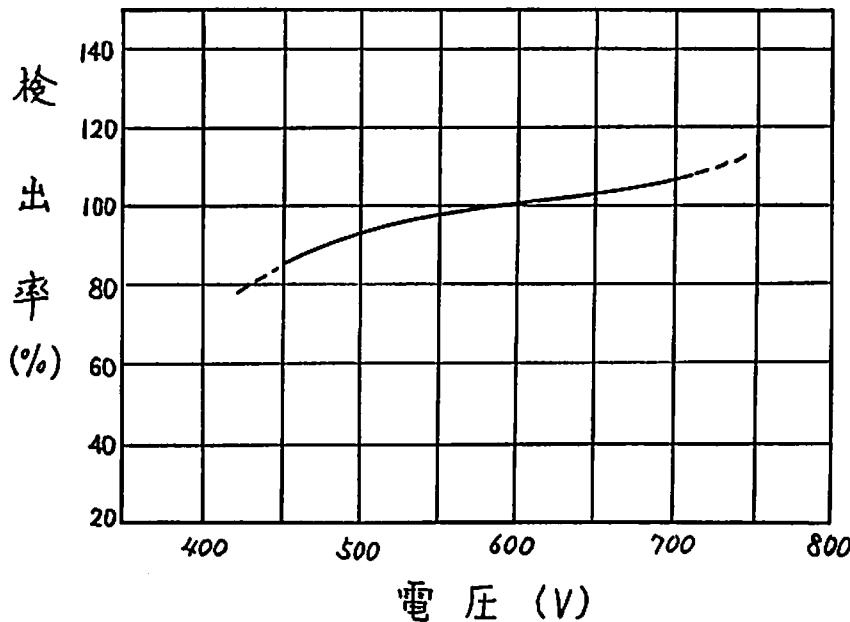


図2 ブラート電圧 575V のときの検出率を
100%としたときの各電圧での検出率

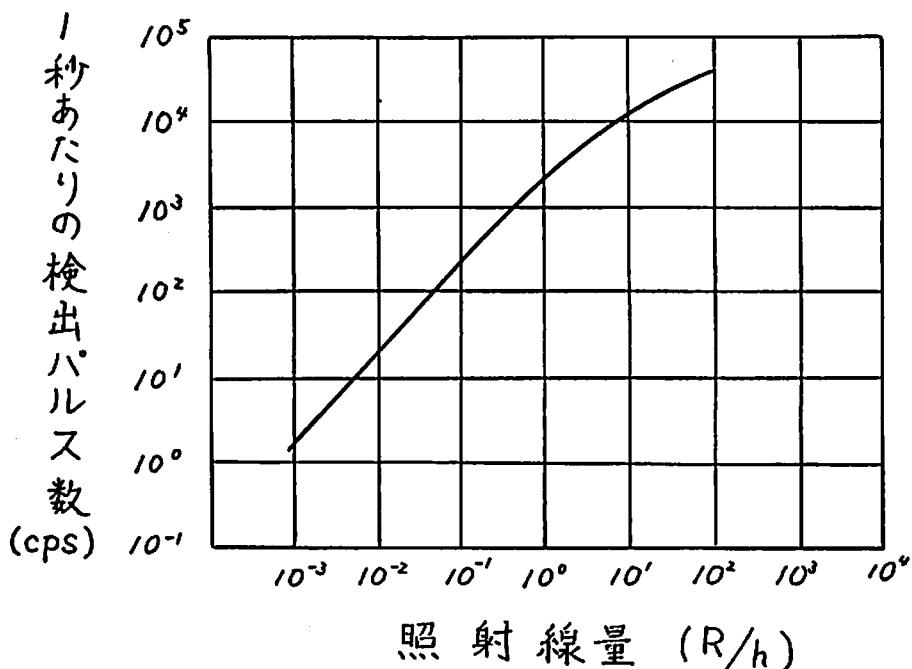


図3 1秒あたりの検出パルス数と照射線量の
関係

概念形成過程へのコンピュータ利用 (中学校オームの法則の概念形成過程を例にして)

廣野 達也

要 約

近年、学校現場にコンピュータが導入されるようになり、物理教育の分野でもコンピュータを活用した授業実践が多数行なわれてきている。特に、コンピュータと対話しながら学習を進めていくCAIは、生徒一人ひとりの学習を成立させるために有効な使われ方と言える。しかしながら、従来のCAIは学習過程がプログラムにより制御された形で進行するために生徒が自分自身の手で、主体的に問題解決を行なうことが困難である。本論はこの問題点を解決するために、何がどのように研究されなければならないかを提案するものである。

1. はじめに

学校現場にコンピュータが導入されるようになり、各教科の学習指導にコンピュータを活用する研究がなされてきた。その中でも特に多いのが、プログラム学習のフレームという概念をコンピュータの上で実現した、フレーム型CAI(Computer Assisted Instruction)である。フレーム型CAIの中でも主に知識や技術の教授に活用されるチュートリアルタイプや練習・演習を目的として活用されるドリル・プラクティスタイプが多い。

物理教育の分野でも、こうした形のCAIの実践報告もあるが、コンピュータによるシミュレーションを教授活動の中に位置付けた活用のされ方や、生徒の実験を補助する目的で、測定器としての使い方や実験データの処理の道具としての使い方も多く報告されている。

平成5年度からの中学校における新指導要領の実施に伴い、全国の中学校に1学級分のコンピュータが導入されることになっている。そうなれば、物理教育の分野においても、学習者に

新しい概念を形成したり、知識を教授したりする目的で使用されるチュートリアルタイプのCAIが多く実践されることが予想される。チュートリアルタイプのCAIは、学習者一人ひとりの問題解決の方法や、学習のスピードに応じるなど、従来の一斉指導にはできない学習環境を提供する点で有効性が期待されている。

しかし、従来のチュートリアルタイプCAIは開発者があらかじめ用意したコースウェアというプログラムで学習を制御するために、学習者の自由な発想に対応できず、学習者が発見的に概念を形成できること、学習者の入力を選択肢、あるいは数文字程度の文に限定していることから学習者とコンピュータとの対話が自由な記述にならず学習状況を的確に捉えられないこと、学習に必要な情報が文字、あるいは簡単なコンピュータグラフィック、写真などの静止画などに限定され、学習情報が制限されることなどの問題点がある。

学習者とコンピュータとの対話については、最近のコンピュータ科学が自然言語理解について大きな研究成果をあげていること、学習に必要な情報が限定されていることは最近のシステムがマルチメディア対応になってきてることで解決の糸口は見えてきている。

しかし、学習者が自分の自由な発想で意欲的に、自主的に学習し発見的に概念を形成できる環境を実現するためには未解決な問題が多い。例えば、人間の問題解決過程にはどんな知識をどのように用いられるのか。また、CAIシステムを構築する上で、それらの知識をコンピュータ上にどのように実現しておけば学習者が自主的・意欲的に活用できるのか、などという問題点については、最近の認知心理学の研究成果やCAI研究の成果があるものの教科教育の立場からは論じられていない。

これらの問題点を解決するために、物理教育

の立場にたって学習者の問題解決過程を分析し、問題解決にはどんな知識が必要なのか、そしてその知識を学習者が必要に応じて自由に使えるようにするにはコンピュータ上でどう表現するかなどの研究が必要である。これらが明らかになつたときにはじめて、学習者が自主的そして意欲的に学習し、発見的に概念を形成できるCAIが実現する。

本論は、学習者が自主的そして意欲的に学習し、発見的に概念を形成できるCAIを実現するために、物理上の基礎的な概念を学習者が問題解決過程を通して形成するプロセスについて中学校のオームの法則という物理教材から考察し、オームの法則の概念が形成される問題解決にはどのような知識が必要なのかを明らかにすることで、問題解決過程上での必要な知識を一般化していくこうとする試みをまとめたものである。

2. オームの法則の概念形成

1. オームの法則の概念構造

図1は、オームの法則の下位概念の構造体を模式的に表現したものである。

オームの法則は、回路上の電流、電圧、抵抗の3つの物理量の関係概念である。その中でも電圧の概念は、電位差と起電力の概念の上位概念であり、電位差の概念は電位の概念、電位の概念は電場の概念、電場の概念は電荷の概念のそれぞれの上位の概念である。また、抵抗は電流が生じた結果派生してくる概念であり、電流の概念は荷電粒子の運動から派生してくる概念である。

オームの法則の概念形式の状態にもレベルがあり、後述するように電流、電圧、抵抗の概念形成を言葉の定義のみで済ませてしまい、オームの法則の概念を操作的に $E=RI$ として形成する場合もある。いずれにしても高等学校以上の物理の教科書がこれら下位概念の説明をしてからオームの法則の説明をすることからも、オームの法則の概念を厳密に形成するにはこれらの概念が形成されていることが条件となることは明らかであろう。

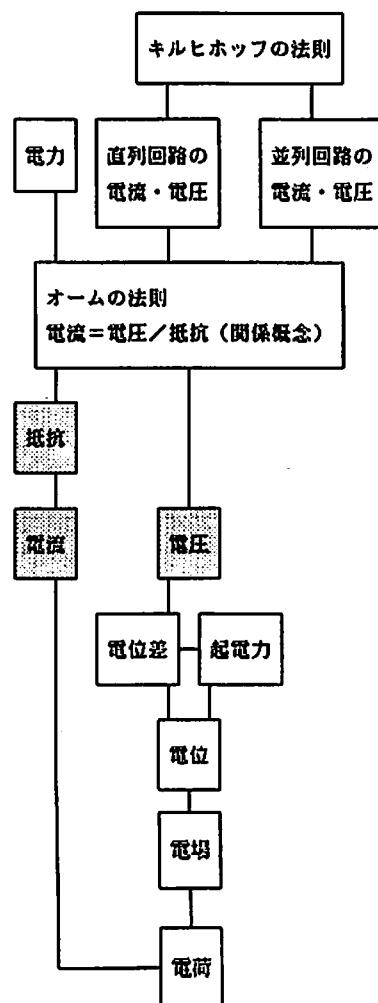


図1 オームの法則の概念構造図

2. 中学校におけるオームの法則の概念形成

図2はオームの法則の概念形成過程を模式的に表現したものである。先に述べたように、厳密な意味でオームの法則の概念を形成するしたら図2のような過程を経なければならない。

中学校では、静電場の学習をせず、電圧を「電流を流そうとするはたらき」と言葉で定義する。また、電圧の大きさを「電圧計で測定できる量」というように操作的に定義する。電流についても、「豆電球が明るいほど、強い電流が流れている。」「電流の強さは、電流計ではかることができる。」などという記述で電流を理解させる。そ

の後、「1電源、1負荷の回路の電圧と電流の測定をとおして電圧と電流の関係を発見させ、「電流の流れにくさを電気抵抗または、たんに抵抗」という。」として抵抗を定義する。そして、「電圧と電流の比例関係から $E=RI$ または $I=E/R$ として、この関係をオームの法則という。」と
いうように操作的に定義する。

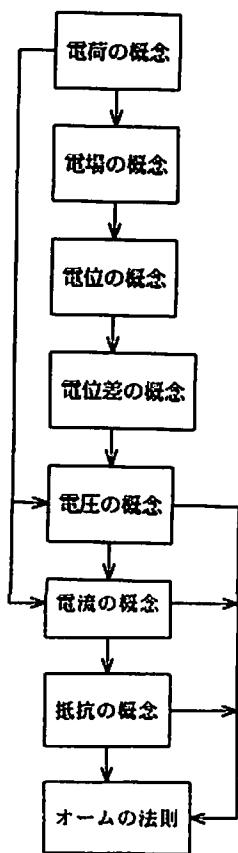


図2 オームの法則概念形成図

このようにしてオームの法則の概念を形成させるのであるが、この学習過程は一般的に教師主導の形で行なわれることが多い。

また、「電圧とは電流を流そうとするはたらきである。」ことを知った生徒が「では、電流とは何か？」と自分なりの疑問を持った場合に十分に個の要求に対応することが難しい。

このような問題を解決する目的でCAIが実践されてきているのであるが、従来のCAIでは

制御された学習、つまりはコースウェア開発者の問題解決過程をただなぞらせられた感が否めないのである。

これは、従来のCAIが教師の経験や感、教材構造などを基盤としてコース設計が行なわれていることに起因する。

学習者の興味関心に応じ、自らが意欲を持って自主的に、そして発見的に概念を形成していくようなCAIの開発には、学習者がどのような過程を経て学習を進めるかといった学習者モデルが必要である。

学習者がオームの法則の概念を形成していく過程で、どんな知識を必要とし、またその知識をどう活用していくのかということを明らかにするために、オームの法則概念形成のための学習者モデルを仮説として次章で提案する。

3. オームの法則の概念形成学習者モデル

学習者が、下の問題を解決していく過程で、オームの法則の概念を発見的に形成するためにどんな知識を必要とするのであろうか。

ただし、ここで言う知識とは単に言葉の意味的な知識だけを指すのではなく、認知心理学の中で言われているところの、宣言的（命題的）知識、手続き的知識、問題のタイプに関する知識などを含めたものである。

電熱線の両端にかかる電圧を変えると電流はどのように変わるか調べる。

最初に、彼は問題の意味を捉えようとするであろう。

問題の意味を捉えるために必要な知識はまず、彼にとってはじめて聞く、あるいは言葉だけは知っているが彼がいまだ概念として形成していない言葉の意味を知ろうとする。この問題では、電熱線、電圧、電流の概念がそれにあたる。

これらの概念は物理学的に厳密なものである必要はない。彼の興味関心、能力に応じた形で彼なりに理解していれば良いのである。もちろん、彼が物理学的に厳密な概念を形成することを望む場合、形成できる環境を用意しておかな

ければならないことは言うまでもない。これらをまとめると次のようなものになろう。

〈言葉の意味を知る〉

- ・電熱線、電圧、電流の言葉の意味を知る。
- 〈電熱線とは〉
- ・電熱線の現物を見る。
- ・電熱線の使われている例を知る。
- ・電熱線の材質を知る。

〈電圧とは〉

- ・言葉の定義を知る。
- ・電圧の具体例を知る。
- ・電圧の測定方法を知る。

〈電流とは〉

- ・言葉の定義を知る。
- ・電流の具体例を知る。
- ・電流の測定方法を知る。

彼が問題の意味を捉るために必要な次の知識は、どのような状態になれば問題が解決したと言えるのかを見通す知識である。このような問題に経験豊富な者は、どうすれば問題が解決するのかをあらかじめ見通して問題を解決できる。しかし、始めてこの問題に接する初学者は、何をすればよいのかもわからない。どのような状態になればよいのか、言い換えるとどんな情報を得ればよいのかというような知識が必要になる。

〈何を情報として得ればよいのか〉

- ・2変量の関係を調べる実験を思い出す。
- ・電流電圧計を使った実験を思い出す。

(小学校で既習)

経験豊富な者は、得た情報をどう加工すれば目的にかなう情報を転移するかを見通すことができる。しかし、初学者にとってはまず、何を情報として得ることが必要なのかを知ることが先決であり、そのことがわかり次第、その情報をどうやって手に入れようかと考える。

この場合、必要な情報を手に入れる方法は実験になる。オームの法則の概念を形成する情報を得る実験は、電熱線の両端にかかる電圧を変化させ流れる電流がどう変化するかを測定することが必要である。彼はこの実験を、どんな回路を作ればよいかということから考える。

〈どんな回路を作ればよいか〉

- ・豆電球を点灯したときの回路を思い出す。
(小学校で既習)
- ・電流計を使った実験を思い出す。
(小学校で既習)
- ・測定の手順を考える。
どんな回路を作り、どんな操作をすればよいを知った彼は、次に実際の回路を作る。

〈回路作り〉

- ・豆電球を点灯したときの回路を思い出す。
(電源、負荷の接続状況を思い出す。)
- ・電圧計の使い方を知る。
- ・電流計の使い方を知る。
- ・電源装置の使い方を知る。

回路を作り終えた彼は、実際の測定にとりかかる。そのとき彼は、自分の作った回路が正しいかどうかの判断をすることも必要である。

〈測定〉

- ・測定の手順を確認する。
- ・電圧計の読み方を知る。
- ・電流計の読み方を知る。

測定の終わった彼の手元には、電圧の数値とそれに対応した電流の数値が並んだ情報がある。

初学者はこの情報から、「電圧が大きくなれば流れる電流も大きくなる。」という現象論的な概念を形成する。おそらく彼は、これで問題が解決したと考えるであろう。彼が、オームの法則を $E=RI$ という電流と電圧の関係概念まで形成するには適切なアドバイスが必要である。

〈データを整理する〉

- ・電流と電圧の関係を表に整理したり、グラフに整理したりすると理解が深まることを知る。
- ・2変量の関係を調べるにはどんなグラフをかけばよいかを知る。
- ・測定値をグラフに表すときに注意しなければならないことを思い出す。

彼は、グラフを読み取って電流と電圧の関係が原点を通る直線のグラフになることから比例の関係であることが分かる。

〈データを読み取る〉

- ・いろいろなグラフがどんな関係を表していたかを、過去の例から思い出す。
- ・比例の関係は式で表すことができることを思い出す。

比例の関係を式で表せばよいことを思い出した彼は、比例の一般式 $y=ax$ を思い出し E と I をそれぞれあてはめてみる。

〈電圧と電流の関係を整理する〉

- ・ $E=RI$ の関係式を得る。

彼は $E=RI$ の関係式から、 E と I の関係が比例定数を R とした比例の関係になることが分かり、この E と I の関係がオームの法則と呼ばれることを知る。

このような問題解決過程を経て、彼はオームの法則の概念を形成する。

しかし、この問題解決過程に必要な知識を指導者が指示として与えたのでは、彼の概念は知識の構造体にはならないであろう。彼が、自主的に過去に得た知識を活用したり、知らなかつたことを必要に応じて調べたりして、問題解決をすることでオームの法則の概念が、単なる言葉の意味や計算操作的にだけでなく、色々な知識の構造体として形成される。

4. おわりに

認知心理学の成果によると、初学者はまず初

めに最後にどんな情報が得られれば問題が解決したといえるかを考え、最終的な目標状態から、そこへ達するための手段を手続き的に考え、その上で再び最初の状態から目標状態へ向かって問題解決すること（後ろ向き推論）が明らかになっている。

本論では、中学生が問題解決するときにどんな知識を必要とするのか、またどのような順序で必要とするのかを筆者の経験と認知心理学の問題解決モデルからオームの法則の概念形成のための学習者モデルを仮説として提案した。

今後、学習者モデルを実証的に明らかにし、どんな知識が必要になるか、またどういう順序で必要とするかについて一般化していきたい。その後、CAIを「学習者が自主的・意欲的、そして発見的に概念を形成する道具」として位置付けるために、コンピュータ上にこれらの知識をどう表現するかという研究を進めていく所存である。

参考文献

- 教科理解の認知心理学 (新曜社)
 鈴木宏昭、鈴木高士、村山 功、杉本 卓共著
 新しい科学 1分野下 教師用指導書
 (東京書籍)
 物理のコンセプト③電気と光 (共立出版)
 ポール G. ヒューエット著
 小出昭一郎 監修
 黒星豊一、吉田義久 訳

フェルマーの原理から導く最速降下線 [=サイクロイド曲線]の求め方

富 横 一 寅

1. はじめに

あるとき、ふとしたことから数学の友人にフェルマーの原理から最速降下線がサイクロイド曲線になることが導けるようだが、途中にわからない部分があるから見てほしいと頼まれた。

それは、数学関係の教師用の雑誌だったが、見てみると、意外な方法でこのことが導入されており感心させられてしまったのである。

そこでこれを私なりに物理的にアレンジし、わかりやすく解説を加えながら紹介したい。

2. 最速降下線とは？

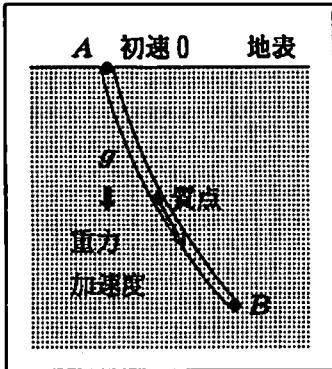
まず定義を明確にしておこう。「最速降下線」とは、初速が0で出発した質点が一様な重力の作用で、地表の点Aから地中の点Bまで掘られたトン

ネルを最短の時間で通過できるようなトンネルの軌道ABの曲線の名称である。このときトンネルの壁に摩擦があっては混乱するので、滑らかで抵抗のない場合のときを考えている。

普通に考えると最短距離の直線が時間的にも最短のように思えるが、質点は重力の影響でだんだん加速していることがみそである。

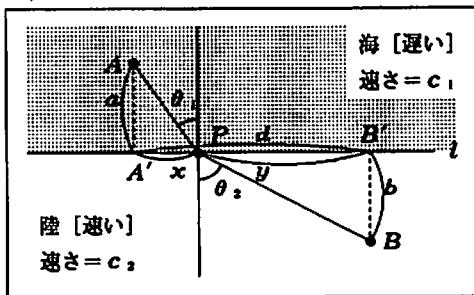
3. 急がば回れ（屈折）

夏のある日、海中の地点Aで可愛い女の子が溺れそうになっている（右上図）。陸上の点B君が助けに行こうとしている。海上は速く c_1 で走



り、海上は遅く c_1 で泳ぐ場合、最短時間でBからAまで行くための海岸線l上の通過地点Pの位置関係を求めてみよう。

A, Bからlに下ろした垂線の足をそれぞれ



$A'B'$ とすれば、

$$\begin{cases} AA'=a \\ BB'=b \\ A'B'=d \end{cases}$$

はそれぞれ一定の長さである。また x, y の値を

$$\begin{cases} PA'=x \\ PB'=y \end{cases}$$

とおくと、P点を通りBからAまで行くのに要する時間Tは、

$$T = \frac{PA}{c_1} + \frac{PB}{c_2} = \frac{\sqrt{x^2+a^2}}{c_1} + \frac{\sqrt{y^2+b^2}}{c_2}$$

ここで、 $y=d-x$ だから、Tは x の関数となり、区間 $[0, d]$ で考えればよい。

いまTが最小値となる点を求めるため、Tを x で微分すると、

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx} &= \frac{1}{c_1} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2+a^2}} + \frac{1}{c_2} \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2+b^2}} \cdot \frac{dy}{dx} \\ &= \frac{1}{c_1} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2+a^2}} - \frac{1}{c_2} \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2+b^2}} \quad \left(\because \frac{dy}{dx} = -1 \right) \end{aligned}$$

従って、 $\frac{dT}{dx}=0$ となるような点PがTを最小にする点である。すなわち点Pは次の条件、

$$\frac{1}{c_1} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \frac{1}{c_2} \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + b^2}}$$

を満たしていかなければならぬ。

いま、図のように点 P において l に垂直な直線を考え、これが AP, BP となす角をそれぞれ、 θ_1, θ_2 とすれば、

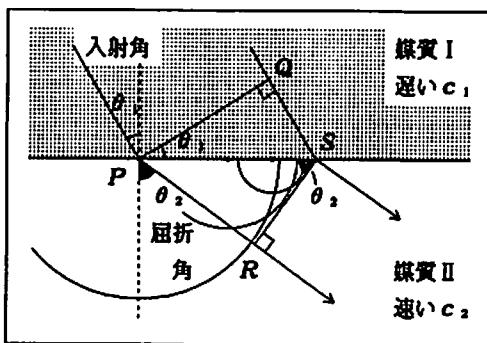
$$\frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \sin \theta_1 \quad \frac{y}{\sqrt{y^2 + b^2}} = \sin \theta_2$$

であるから先の式は、

となり、点Pはこの条件①を満たす点である。

すなわち、B から A [A から B も同じ] へ最短時間で到達するためには、①の条件が必要であることが分かる。

4. 光の屈折の法則



光が媒質 I [速度 c_1] から媒質 II [c_2] に入射するとき屈折するが、その理由はホイヘンスの原理により説明される。

まず波面 PQ 上の P が境界面に達してから時間 t 秒の後に Q が境界面上の S に達したすると、 $QS = c_1 t$ で、そのとき P からでた素元波は、 P を中心とする半径 $c_2 t$ の円周上まで進んでいる。媒質 II 中における屈折波の波面は S から円 P に引いた接線 SR である。

$$PS \sin\theta_1 = QS = c_1 t$$

$$PS \sin\theta_2 = PR = c_2 t$$

となるから、これより

$$\frac{\sin \theta_1}{c_1} = \frac{\sin \theta_2}{c_2}$$

の関係が成り立っていることがわかる。

5. フェルマーの原理

4でたった今導いた式は、3の①式と同じである。このことから、光は屈折するとき時間が最短になるような経路になっていることがわかる。まるで光は進むとき常に時間の節約を考えているかのようである。

これが「フェルマーの原理」であり、正しくいうと「光は、1点から他の点に達するのに要する時間が最小になるような経路を通って進む」ということになる。

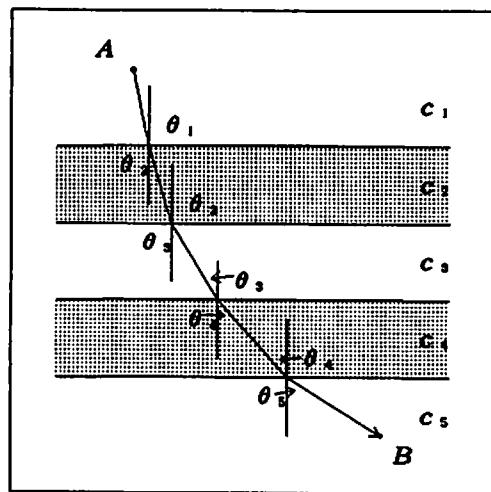
さらにまた、(1)式は

$$\frac{\sin \theta_1}{c_1} = \frac{\sin \theta_2}{c_2} = k \text{ (一定)} \cdots \cdots \textcircled{2}$$

と表すこともできる。これは AB 間の所要時間が最小になるための条件とみなすことができる。

6. 媒質中の光速が連続的に変化するときの光の経路

次に光の通過する媒質が一様でなく、深くなる〔下方向〕について、光速が速くなる場合を考えてみる〔下図〕。



この場合、厚さの薄い層が連続して重なっているとみなして、②式の関係をあてはめると、

$$\frac{\sin \theta_1}{c_1} = \frac{\sin \theta_2}{c_2} = \frac{\sin \theta_3}{c_3} = \dots = k \text{ (一定)}$$

$$\begin{aligned}
 dz &= \frac{\sin\theta}{4gk^2} d\theta \\
 x &= \int \frac{\sqrt{\frac{1}{2}(1-\cos\theta)}}{\sqrt{\frac{1}{2}(1+\cos\theta)}} \cdot \frac{\sin\theta}{4gk^2} d\theta \\
 &= \int \sqrt{\frac{(1-\cos\theta)}{(1+\cos\theta)}} \cdot \frac{\sin\theta}{4gk^2} d\theta \\
 &= \int \sqrt{\frac{(1-\cos\theta)^2}{(1-\cos^2\theta)}} \cdot \frac{\sin\theta}{4gk^2} d\theta \\
 &= \int \frac{(1-\cos\theta)}{\sin\theta} \cdot \frac{\sin\theta}{4gk^2} d\theta \\
 &= \frac{1}{4gk^2} \int (1-\cos\theta) d\theta \\
 &= \frac{1}{4gk^2} (\theta - \sin\theta)
 \end{aligned}$$

以上の結果をまとめると、求める曲線の方程式は変数 θ による媒介変数表示となり、

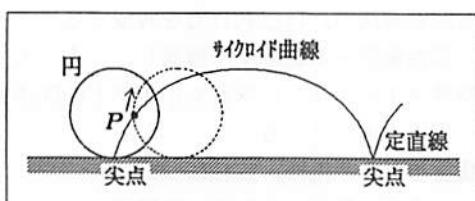
$$\left\{
 \begin{array}{l}
 x = \frac{1}{4gk^2} (\theta - \sin\theta) \\
 z = \frac{1}{4gk^2} (1 - \cos\theta)
 \end{array}
 \right. \cdots (6)$$

で表される。すなわちこれは半径 $r = 1/4gk^2$ の円が転がるとき円周上の点が描くサイクロイド曲線である。

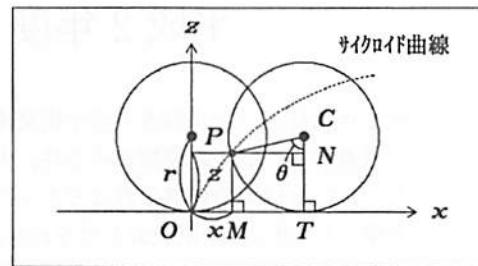
8. 「サイクロイド曲線」とは?

ここで、数学をひもといてサイクロイド曲線の定義を確認してみよう。

1つの円が定直線上を滑ることなく転がるとき、その円周上の定点の描く軌跡が「サイクロイド曲線」と定義されている。



定直線を x 軸、その垂直上方を z 軸にとり、円周上の定点 P は初め原点 O にあったとし、中心角が θ 「rad」だけ回転したとき、その定点が、 $P(x, z)$ にきたものとすると下図のようになる。このとき、



$$\begin{aligned}
 OT &= \overline{PT} = r\theta \quad [r \text{ は円の半径}] \\
 \therefore \quad \left\{
 \begin{array}{l}
 x = OM = OT - PN = r\theta - r\sin\theta \\
 z = MP = TC - NC = r - r\cos\theta
 \end{array}
 \right.
 \end{aligned}$$

よって、

$$\left\{
 \begin{array}{l}
 x = r(\theta - \sin\theta) \\
 z = r(1 - \cos\theta)
 \end{array}
 \right. \cdots (7)$$

となる。この円の半径 r を $r = 1/4gk^2$ に置き換えると、7の⑥式になる。

従って、⑥式はサイクロイド曲線になることが納得できる。しかし、7の実際の曲線は z 軸のとり方が、ここでの向きと逆になっているので、上下をひっくり返した形になっている。そしてまた、最速降下線の出発点 A はサイクロイド曲線の尖った点〔これを尖点という〕になっていることが分かる。

9. おわりに

数学の友人が不明な部分は7の④式で、その雑誌には突然に出てきたからだった。従って、説明によりすぐ納得してもらえた。一方、この問題は物理の立場からみると興味深く感じる。

このような問題が、現状の多様化した高校生に教えるべき内容とは思わないが、もしわざかでもこれを理解できる生徒がいたら大目にしたいと思う。3年生で微積分を習得した生徒には、物理に関心を引く教材になるかもしれない。

また、物理の教師も生徒の実態に応じ折に触れて、このようなことを授業などで軽く解説すれば、深みのある授業展開が期待できるかもしれない。

平成2年度 支部研究会報告

平成2年12月8日(土)北海道大学学術交流会館において上記研究会が開かれた。内容は、研究発表(原著講演)が、高校側から2件、大学側から2件、その他から1件の計5件で、盛会であった。また、「日本の科学教育はどこへ行こうとしているのか一小中高を通して見た新教育課程の展望ー」と題して、座談会も行なわれ、充実した内容の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いるのでご覧下さい。

1. 研究発表(原著講演)

(1) 衝突時の加速度測定

北海道工業大学 三好 康雅
峰 友 典子

(2) イメージセンサを用いた粘度測定

北海道工業大学 峰 友 典子
三好 康雅

(3) 物理教育実験公開を試みて

北方圏理科教育振興協会 斎藤 孝
CAIはなぜ普及しないのだろう
一意気込みは感じられるのにー

石狩高校 北 村 剛

2. 座談会

テーマ「日本の科学教育はどこへ行こうとしているのか一小中高を通して見た新教育課程の展望ー」

司会 北海道工業大学 奈良英夫
提言 北海道立理科教育センター
中里勝平、一口芳勝、樋棒光一
(小学校) (中学校) (高校, 全体)

[内容]

(提言その1…中里、小学校について)

- ① 小中高を通し、教科審4つのねらいの理科の立場(自然と運動)は、(1)学ぶ意欲、(2)主体性、(3)探究学習である。
- ② 小中の教育課程改訂の基本理念は、科学技術の進歩、情報化にどう対応するかである(観察実験、問題解決に主眼、自然に対する総合的に学ぶ態度をどう具体化するか)。
- ③ 今回の小学校低学年理科の廃止の意味。
(1) 生活科…総合教科でない。自然と社会の関わりを総合的に学習、社会性を身につけ、

新社会での子供の実態に対応させる。1, 2年の理科を中高学年に再編する。

- (2) 自然の総合的見方を重視(理科嫌いを1, 2年で減らす、興味関心を持てる内容に精選、身近な課題を取り上げ、日常生活と科学技術の成果を明示する)
- (3) 学習の適時性(子供が楽しく満足する学習を重視)
- (4) 科学技術と人間の関わり(人間のあるべき姿、日常生活と関わる新しい内容(光電池・モーター、気象の変化予想等10点)で展開する)

(提言その2…一口、中学校について)

- ① 理科(中3)の選択科目化…発達段階といふが理科をどうするか、中学教師の課題。
- ② 理科好きにする人的関わり…情報活用能力新しい内容…光と音(20年ぶり復活)、新素材、電池、遺伝と進化…人間生活に関わる身近の物理現象ということ。
- ③ 科学技術と人間(情報技術大影響、コンピューター、人間に関わる点をきちんと押さえ、教え込みや知識中心を止め、自ら探究する問題解決力、自己教育力を育成する)
- ④ 個性重視・基礎基本を徹底し、一人一人の特性を生かす楽しい学習を小中学との関連・一貫性の中で考える。

(提言その3…樋棒、高校について)

- ① 小中高一貫で、小を高へ発展させる。
- ② 総合理科の推移(昭48基礎教科で総合理科を求める声が登場、理Ⅰで形を変え追求、今後総合教科へ)
- ③ この傾向は、中から高への進学率向上の時代背景を持つ。高校の質的变化(社会経済発

展下での教育の高まり、生涯学習への移行)

- ④ 理科教育…今迄観察実験が不十分、これからしっかりと取組む(小学校目標の「通して」から「行ない」に注目)
- ⑤ 学校の教科科目…興味関心、日常生活、科学技術の状況下で賢い市民を育てること。高校科目構成での今回の要領の特徴は、「個性重視」で、多くの科目(13)を設置した。(戦後初めて。理科学習を進める行政の意欲の表われ)。分科でなく総合的に自然をみる科目とみる。

⑥ 各科目について

- ・1B, II…科目群、物理学としの体系。
- ・1A 物理…内容4つの内、「エネルギーと生活」、「情報処理」を必修選択とした意味は大切。

- ⑦ 高校での目標の特徴(総合教科)…自然探究、自然界とその変化、課題研究、これをうけて、1B, IIのエネルギー探究活動(1B 観察実験、II課題研究…高校理科に探究活動を中心とし、課題研究活動を強調する。基礎教科から理科Iへの目標が生き続けている。)

- ⑧ 高校の科目は必修を外しすべて選択だが、生徒の個性で必修的、総合教科としてとりあげる。

(提言に対する討論)

- ・目標の語句は、実験観察を「通して」から「行なう」に変化(体験させるを強調、来年に向け、理振法改訂で現場の意見を汲み上げ、実験用具もセット購入可で柔軟化)。
- ・小中高の一貫を更に強く志向(生活科、中学選択理科、高校総合理科等の連携)
- ・理科発想の転換で一定の困惑あり(従来はフィードバック、スペイナル体系で概念深化、この対応は今日も問題あり。材料科学の進歩(自然科学体系を乱す程に)に追いつけぬ身近な素材の議論をどうするか)
- ・13科目理科(高校)の内容検討(今迄理I必修+選択の重ね、新は13科目中2科目選択で理科全領域不要時代。多メニュー方式は有効か。地学11%, 物24%等の落込みが目立つ。探究・情報科学発展の論説はどうか。電算機

の過度利用に流されないか)

- ・身近の自然現象を浮上させる一方、理科の学問構造も明確にする。
- ・コンピューターははじめのつけた使い方が必要(使い切りの教師、プログラム熱中教師は問題。これから若い人は抵抗なく使える。押さえをどこかで制御する)
- ・理I、必修が外れで、全領域未学習の卒業者が今後出る。すぐ学問体系(1B, II)は進学上効率的だが、子供を考えると問題。
- ・総合理科の必修外れは一方では残念だが、他方では、中学での単位数削減選択、選択科目化の流れでは1科目の構成法として仕方ない。北海道の理I・IIの実践・守りの成果に学ぶ。これは次改訂の探究活動、課題研究に取り入れ実施する。
- ・施設設備の保障は次改訂で大切だが、理振・現場教師の努力に期待する。
- ・理I失敗の一因として、頭初誰でもやれる申し合わせが、高きを望みすぎ取組めなくなつた経緯もある。
- ・理I廃止の今後、国民的風土より科学学習を進める(学問体系を重視し、科学の基礎を理解させる理科を…今後の日本に最も大切)
- ・高校選択2科目でよい状況下では、物理履修者は減りそう。大学入試でどう強制さすかで高校選択数が決まるが、小中で物理得意者を増やすのが先決。
- ・理Iの失敗には、1単位28週想定、28項目に精選としても50に増え折合いつかず発足した。総合というが学問体系もなしていないことにもよる。その点、新の1A, 1B, IIもどこに学問体系を期待するか、日本の戦後では体系は増え陰がうすくなっている。
- ・新で実験を行えというが、時間も次改訂で18%減りで難しい。大学で課題研究を受止め、学問体系に位置づけられるか、ノンサイエンティスト科目(1A)にどう対応するか(ブラックボックス的)、北方圏理科教育振興協会、各大学物理、理科センター、物理教育学会道支部等の協同作業の活動を今後に生かすといい。

- ・小中高を通して好む好まざるに関わらず情報化の波、コンピューターに熱心な教員あり、行政がどう関わるか、教員がプログラム作成は大変で誰でも出来ない、学校に1～2名のリード的教員がいると教員研修体制下で発展するであろう。

学会ニュース

第34回北海道高等学校理科研究会（北理研）大会

期　　日　　7月27日～29日
場　　所　　室蘭東高校

日本物理学会第46回年会

期　　日　　9月27日～30日
場　　所　　北海道大学

^{42}Ar — ^{42}K ミルキング装置の利用について

日本アイソトープ協会では、これまで短半減期のため入手しにくかった ^{42}K を利用して頂くため、 ^{42}Ar — ^{42}K ミルキング装置（アルゴン・カリジエネレータ）を用意しました。

この装置はミュヘン工科大学の森永暗彦教授により紹介されたもので、 ^{42}K を必要な時に手軽にミルキング出来るように考案されており、次の様な特長を持っています。

- (1) 親核種 ^{42}Ar の半減期が33年と長いので、長期間使用出来る。
- (2) ^{42}K はミルキング後24時間経過すれば、再び平衡時の放射能の約75%に達しますので、比較的短時間の内に繰り返し抽出することが出来る。
- (3) Carrie Free の ^{42}K が得られる。
- (4) 操作が簡単である。
- (5) 親核種は不活性ガスなので、安全性が高い。

※ 関心をお持の方はお問い合わせ下さい。利用チームを組みたいと考えています。

北海道石狩高等学校 北村 剛
0133-74-5772

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、本支部役員中の次の者の中から支部総会において選任する。

- (1) 支部理事の推薦した正会員

- (2) 正会員又はその団体の推薦した正会員

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

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

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

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

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

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

支部会誌「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、ゴジック、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字に相当する。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) 校正是初校を著者が行ない、再校以後は編集理事会で行なう。校正是赤字で明瞭に記入すること。
- (3) 別刷は申し出により、必要部数を実費作成する。
- (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

理化学用器械器具
硝子器具及計量器



有限会社 三富久商会

新住所 001 札幌市北区屯田5条7丁目3番21号

電話 (011) 774-3029

FAX (011) 774-3028

(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)

平成3年5月20日発行

日本物理教育学会北海道支部

第19号

編集責任者 北村 剛

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 北大印刷 747-8886