

B  
O  
T  
H  
I  
R  
K  
O  
N  
I  
G  
E  
R  
K  
O  
N  
I  
G  
E  
R

# 物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

No.8

1980. 5

目次

○ 支部会誌第8号に思う	諸 橋 清 一	1
○ =特 集= 加速度をどう教えるか		
高校物理における加速度の指導について	山 下 承 士	2
加速度をどう教えたか	北 村 剛	6
加速度量の成立と物理教育方法への利用について —ガリレイの斜面実験の歴史的意味—	山 田 大 隆	11
加速度の取扱い	北 村 正 直	18
○ 流体力学のすすめ	柏 村 正 和	24
○ 差動増幅器の実験	中 野 善 明	31
○ 授業でのちょっとした工夫	斎 藤 孝	35
○ アインシュタインの道をたずねて	奥 林 茂	37
○ 昭和54年度支部研究会報告（その1）		40
○               "               (その2)		47
○ 昭和54年度支部研究会の記録・学会ニュース		53
○ 支部規約・支部会誌投稿規定		54

## 支部会誌第8号に思う

日本物理教育学会北海道支部 理事 諸橋清一

日本物理教育学会の北海道支部を結成しようとの呼びかけから実際に活動が始まり、事業の一つとして支部会誌を発行しようと話が当然起った時に、直ちに発行資金の見通し難い話がゆきつきました。その時、集りました理事会の席上で私は、会誌発行の熱意が本物であるのなら始めの内は経費の足りない面は、理事連中が肩がわりしてでもやりとげる位の気構えがなくてはいけないと甚だ乱暴な意見を述べたことを思いだします。事実、最初の2・3号までは理事一同がポケットマネーを出し合った筈であります。会誌発行の歩みはその後会員皆様の御努力で途絶えることなく今回第8号の発行をみるに至りました。関係者皆様に厚く感謝の意を表する次第であります。

一つの会を永く続けるためには、理事や幹事役を努める人達の熱心などりくみがあったことこそと思います。また、そのグループの中には必ずアクティブな人達がいまして毎回、事業を盛りたててくれる実践活動を果してくれています。会の発展の時間的傾向は単調増加函数でないことは、物理学上の諸特性のカーブを例に考えますなら御理解いただける筈であります。長らく一定のレベルを維持し続けて活動を盛んに保つためには、絶えず新陳代謝が必要であります。毎年大学を卒業して学校の現場へ入ってくる人達で、北海道・札幌市の高校物理の専任教員として採用される人数は10~20人程度でありますが、周りから呼びかけて絶えず若々しい血液を補給していきたいものであります。老・壮・青の年代のバランスが保たれませんと、会の活動もいざれば沈滞化へ向かうことになります。

どんな集団でもその中の2~3割の人数が実質的にアクティブに活動を続けていますとその集団は維持されていくものと思いますが、そのアクティブな層の構成員が固定化しないように絶えず新鮮さを保ち続けたいと思います。

物理教育に限定せず広く教育に関する研究集団を考えましても、その活動の中味はたいへん難しいものと考えます。教育方法論ばかりに身を入れますと、指導理念の存在を問題にされますし体制の変革ばかり唱えていて現実の問題処理をおろそかにしていれば空論と非難を受けましょうし、我々の立脚点は文字通りシングルポイントではいけないと考えます。直接声高に事を論じない人達は無関心層とはきめつけられません。新しくなる指導要領の中味の理科ⅠとⅡの在り方に苦慮しておられるものと思います。物理教育学会支部としても若い人達を会員に加え更に着実な発展を続けようではありませんか。

## 特 集

# 加速度をどう教えるか

高等学校の現行の学習指導要領における物理の大項目「運動と力」の内容は、今回の改定により、昭和57年度からは、その大部分が理科Ⅰの中で取り扱われることになります。従って、高校へ進学する生徒は、全員が必修として、その内容を学習することになります。従来、物体の運動の学習では、加速度をどう教えるかということで、力学台車の運動や落下運動の実験などさまざまな工夫がこらされてきましたが、生徒の理解度は必ずしも高くなつたとはいえない状態であります。このことは、生徒を物理学習の入口でつまずかせ、意欲を喪失させてしまう原因になっていると考えられます。将来、益々生徒の能力が多様化する状況の中で、加速度の学習指導法の研究は極めて重要であると考えられます。

そこで、今回は高等学校の先生方から、指導事例と科学史における概念の形成過程について、大学の先生から、加速度の指導はどうあるべきかについて、それぞれ御発表をいただきました。

諸先生方の日常の研究や指導の実践から考えまして沢山の御意見があろうかと存じます。御批判、御教示をお寄せ下されば幸いです。

## 高校物理における加速度の指導について

夕張南高等学校 山 下 承 士

### 1. はじめに

各校において生徒の実態に応じた学習指導が工夫されていると思われるが、筆者の勤務校においては年々急速に学力の低下した生徒が入学してくるようになり、いかに物理を教えたらよいか苦慮しているところである。昭和51年から54年までの本校における入試の理科の成績は下表の通りである。

年度	平均点	最高点	最低点
51	45.4	84	16
52	43.2	82	14

年度	平均点	最高点	最低点
53	41.2	74	18
54	35.4	84	8

上記のような実態から、55年度の物理(54年度入学生対象)を指導するに当り、相当の覚悟を持って取り組まなければならないと考えている。内容を精選し、平易で具体的な学習内容で指導展開を作り、時間的にゆとりを持って授業を進める必要があると考える。

このような観点から、過去の実践を基礎にし、明年度に向けて新たな指導法を計画してみた。

いろいろ問題点や改善すべき点があると考えられるので、御指導・御助言をいただけたら幸いである。

## 2. 授業展開の基本姿勢

筆者の授業の進め方を紹介し、そのあとで具体的な指導展開に移ることにする。

### (1) 考える・わかる授業を目指して

- 教科書は必ず読ませ、内容を把握させる。
- できるだけ多く発問し、問い合わせし、答えさせる。
- プリントを多く使い、理解度を高める。
- 問題解法の時間を設定する。（この時は生徒同士で相談させ、教師は問題に手のつけられない生徒に対し個別指導する。）
- 毎時やさしい問題を1・2題宿題として与える。
- 自作の実験プリントを配布し、読むだけで理解できるよう配慮する。

### (2) 興味関心を持たせることを目指して

- 科学史・エピソード・日常生活に関係する事象を取り入れる。
- スライドなどを利用する。
- 演示実験を工夫する。

### (3) 生徒との接触を多くすることを目指して

- 授業中の個別指導を多くする。
- 実験レポートの提出時の話合いを持つ。
- その他

## 3. 落下運動までの指導の流れ

加速度を指導する場合の授業の内容を次のように計画している。

### ① 簡単な数値計算

物理Ⅰの授業を始めるにあたり、基礎的な計算ができるようにプリントを配布し練習させる。

### ② 平均の速さ

速さの定義を徹底的に指導する。いろいろな例題を出し、時間をかけて理解させる。

### ③ 等速直線運動

距離と時間、速さと時間の関係をグラフを用いて理解させる。

### ④ 速度とベクトル

ベクトルとスカラー、ベクトルの合成と分解、速さと速度について図を多く用いて理解させる。

### ⑤ 直線運動の加速度（後記）

### ⑥ 等加速度直線運動

⑤をもとにして、 $V = V_0 + at$   
 $S = V_0 t + \frac{1}{2}at^2$ 、 $V^2 - V_0^2 = 2as$ を導く。また、この3式は落下運動でも適用するので、多くの問題演習を課す。

### ⑦ 落下運動

ガリレオ・ガリレイの逸話を取り上げる。自由落下運動の実験、真上に投げ上げた物体の運動や水平投射した物体の運動及び斜め上方に投射した物体の運動について演習する。

以上の流れのうち、今回は ⑤直線運動の加速度を取り上げ、指導案を提示する。なお、生徒が加速度について、どの程度理解できたか、どの点が理解するのに困難なのかを把握することにより、今後の指導に役立てたいと考え、後記のような小テストを第1学年から第3学年ま

で各 1 クラスを対象にして実施した。表 2 は各問題の誤答率（%）である。

#### 4. 直線運動の加速度の指導例

##### ① 導入

加速又は減速している物体の運動を観察する。図 1 のように、2 つの斜面をもつ台を作り、その上を運動する台車を観察する。

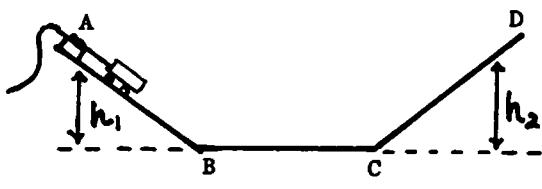


図 1

##### ② 実験

###### 方法

1. 台車の後方に記録テープを貼り、記録タイマーに通す。
2. 台車を斜面上に置き手を放す。同時に記録タイマーを作動させる。
3. 台車が斜面の下端 B 及び水平面から次の斜面に移る点 C に達したとき、記録テープを手で軽くおさえる。
4. 台車が斜面を昇り、最高点に達したとき、記録タイマーを止める。
5. 台車から記録テープをはずし、3 打点又は 5 打点間隔に切り、グラフ用紙に貼り付ける。

###### 考察

1. BC 間では、どのような運動をしているか（等速直線運動の速度と時間の関係を表すグラフを思い出させる。）
2. AB 間、CD 間では、それぞれどのような

運動をしているか。

3. 斜面上で台車の位置を変えて、高さ  $h_1$ 、 $h_2$  を変えると、グラフはどのように変化するか。
4. 斜面の傾斜角を変えるとグラフはどのように変化するか。
5. エレベーターや車などの運動ではどのようなグラフになるだろうか。

###### 結果

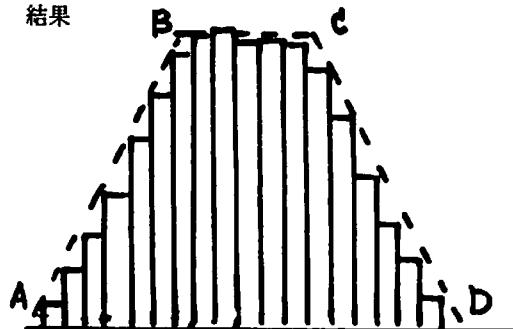


図 2

以上の実験終了後、記録タイマーを用いて落下運動の記録をとり、等加速度運動についての理解を深める。

##### ③ 指導内容

1. 加速度の大きさ及び方向の求め方  
実験結果のグラフより、運動には速度の変化するものがあることを理解させ、速度の変化の割合を表す方法を検討させる。加速度を求める式  $a = (v_2 - v_1) \div (t_2 - t_1)$  を導く。
2. 加速度を求める演習

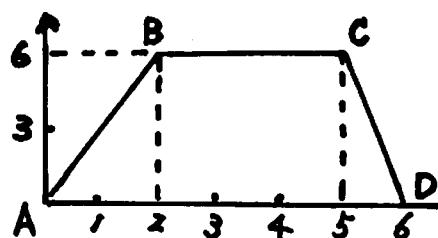


図 3

図3のように具体的な数値を入れたグラフを与え、各区の加速度の大きさを求めさせる。

加速度0は等速度運動であり、加速度が正、負の値を持つ場合の運動について考察させる。

平均の加速度の他に瞬間の加速度があることについて説明する。

#### ④ 練習問題

平均速度、平均加速度さらに  $V = V_0 + at$

$S = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ などの簡単な演習問題を課し、加速度についての理解を深める。

#### ⑤ 加速度についての小テストと結果

次の各問いに答えよ。

- 同一直線上を2台の車A、Bが運動している。Aは60km/時、Bは40km/時で運動していたが共に5秒間で停止した。この時、車A、Bを比較すると、Aの方が速度の変化が⑥(大きい、小さい)。すなわちAの方が加速度の大きさは⑦(大きい、小さい)

- 速度が変化すると加速度が生じる。加速度の大きさは⑧( )時間あたりの⑨( )の変化の割合で表す。たとえば、直線上の運動において、4秒間に速度が4m/sから12m/sに変化したとすると、この4秒間の平均の加速度aは

$$a = ⑩( ) \div ⑪( )$$

$$= ⑫( ) ⑬( )$$

(⑬は単位を入れる)となる。

- 加速度の大きさが0、すなわち  $a = 0$  で運動している物体の運動を何というか。

⑭( )運動。

- 物体が運動していて、その進行方向を正の向きとする。加速度が正ということは、速度

が⑮(減少、増加)していることを示す。

また、加速度が負ということは、速度が⑯(減少、増加)していることを示す。

- 直線上を10m/sで走っていた車が、ブレーキをかけて、一様に速度をおとし2秒後に停止した。進行方向を正とすると、加速度の大きさは⑰( )で向きは⑱( )である。

小テストの誤答率は次の通りである。

(表2) 小テストの誤答率(%)

	1年(39名)	2年(40名)	3年(38名)
1	a 2.5	2.5	5.2
	b 28.2	27.5	21.0
2	c 100.0	52.5	41.9
	d 35.9	17.5	13.0
3	e 48.7	12.5	21.0
	f 25.6	5.0	10.5
4	g 59.4	15.0	21.0
	h 92.3	20.0	10.5
5	i 69.2	17.5	31.5
	j 5.0	2.5	2.6
6	k 5.0	2.5	5.2
	l 76.9	25.0	26.0
7	m 71.8	37.5	31.0
	n 10.2	0.0	5.2
8	o 10.2	0.0	5.2
	p 15.0	10.0	7.6
9	q 92.3	27.5	36.8
	r 17.9	2.5	13.1
10	s 25.6	12.5	10.5
	t 56.5	15.0	18.9
11	u 94.9	40.0	42.1
	v 79.2	15.0	44.7
12	w 76.9	15.0	50.0
	x 94.9	13.0	55.2

6. グラフの①、②はともに ⑩(一定、不規則)な割合で速さが ⑪(減少、増加)している運動を表す。従って、それぞれは、加速度を生じており、その大きさは ⑫(一定、不規則)で、その値はグラフの ⑬( )で求められ、①の方が②より ⑭(大きい、小さい)進行方向を正にして①、②、③、④のそれぞれの加速度を求めるとき、⑮( )⑯( )⑰( )となる。⑧、⑨の運動はどのような運動か。  
 ⑩は ⑪( )運動 ⑫は ⑬( )

運動である。  
 ②でグラフ上の斜線部分の面積は何をあらわしているか。⑮( )

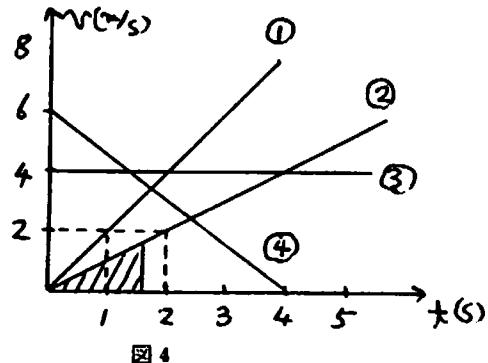


図 4

## 加速度をどう教えたか

石狩高等学校 北 村 剛

### 1. はじめに

高校物理Ⅰの授業は概して「力と運動」から始まり、速度・加速度については4月末から5月初めにかけて学習する場合が多い。加速度は計算で算出するため直観的に把握することは、生徒にとって難しい内容になっている。しかも加速度をしっかり理解しておかないと、質量・加速度と力の関係についての理解がますます難しくなる。いわゆるニュートンの運動の三法則のうち、第二法則にあたる運動の法則  $m a = F$  ( $F = m a$  として使われている) はプリンキピアを読んでも書いていないことに数年前に気づいた。(注) 第二法則は高校物理で最も重要な柱の一つであり、通念としても確立している。加速度を知るということは、 $m a = F$  のためで

あると考えているが、生徒には実感としてなじみにくい。実験でも思考でも何が起こるか、どうなったかができるだけ実例によって問題にしていくと理解し易く、他の問題に対しても解明しようとする積極性を期待できるものと考えている。

### 2. どんな生徒か

本校は昭和53年に創立され、今年で2年目の新設校である。札幌に隣接した石狩町に設置され、2年生の90名は札幌市から通学している。昭和53年度入学者の入試における学力検査の得点分布は図1、2のようになる。

図から判断できるように、入学者は札幌市内の中学生の中間層に位置し、個人面談及び他の

アンケートによっても、中学校時代には入試の勉強をあまり熱心にしなかったという印象を持つ者が多い。

啓林館

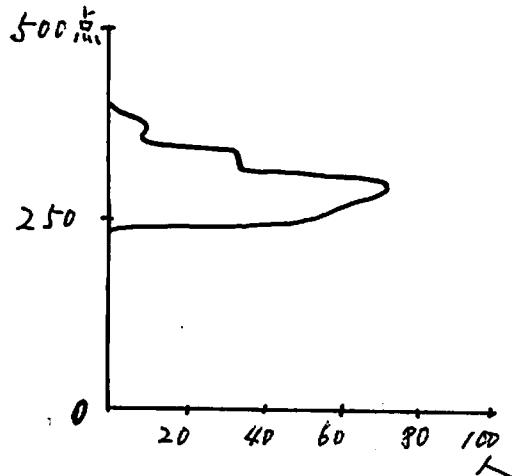


図1 入学者の総合得点分布(270人)

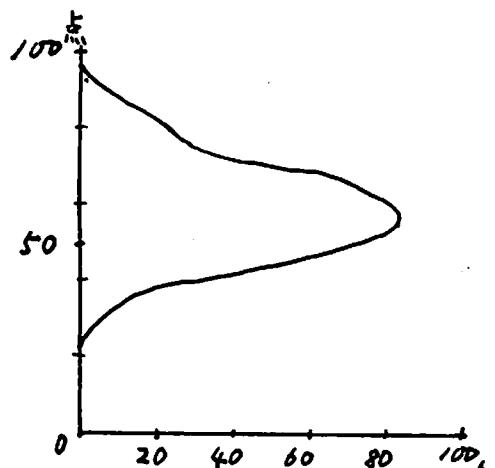


図2 入学者の理科得点分布(270人)

### 3. どう教えたか

本校では物理Ⅰは第2学年次に履修する。2年生は男子121名、女子149名の計270名で、6学級に均等に編成されており、筆者はこのうちの3学級の授業を担当している。使用している教材は次の通りである。

教科書 新訂物理Ⅰ 岡小天、大川章哉著

問題集 イラスト物理Ⅰ 基本問題 実教出版  
実験器具 物理の授業は初年度のため、準備できたのは交流用記録タイマーだけであった。

- (1) 加速度についての導入(約3分)
- ① 黒板ふきやチョークを手を伸ばした高さから自由落下させる。初速度は0で床に達するときに速くなることを観察する。
  - ② 車が動き出すとき、止まるとき、曲がるときなどに、車中の人には「のめる」力を感ずることを話す。
  - ③ 中学校理科の教科書の内容を調べたり、中学校の教師から学習内容を聞いたことの中から、1・2例をとり上げて話をする。
  - ④ 車のアクセルは加速の意味であることを話す。

#### (2) 展開

##### 第1教時

- ① だんだん速くなる運動においての平均の速さと瞬間の速さについて説明する。特に区間のとり方で平均の速さが違うこと、位置のとり方で瞬間の速さが違うことを説明する。
- ② 教科書の自由落下運動のストロボ写真を全員に分析させる。この場合、机間を巡回して個別に指導する。
- ③ 黒板に表を書き、1人の生徒のデータを記入し、平均の速さを計算し、各自のデータと比較してみる。
- ④ 平均の速さの差をとると、どの場合でも同じような値になることを気づかせる。

##### 第2教時

- ① 教科書にそって加速度を説明し、定義する。

質量	時刻 $t$ [s]	位置 $x$ [cm]	変位 $4x$ [cm]	平均の速さ $\bar{v}$ [cm/s]
$m_1$	0			
	$14t$			
	$24t$			

② 平均の加速度  $a = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$

瞬間の加速度  $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$

について説明する。

③ 水平面上の運動、斜面上の運動、自由落下の運動について、加速度を求める練習をそれぞれ1例ずつとり上げる。この場合、黒板に計算例を書き、その後生徒に演習させる。その間机間に巡回し、個別指導を行う。

#### 第3教時

① 等加速度直線運動を説明する。

$$V = V_0 + a t \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$X = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$V^2 - V_0^2 = 2 a X$$

② (1)式をグラフで表し、視覚化する。(2)式のグラフを、(1)のグラフの面積に等しいことをていねいに説明する。

③ 等加速度直線運動は、生徒にとって抽象的で理解し難い。例題や練習に工夫をこらしてもなかなか実感がわかないようである。そこで、ある程度計算技法に習熟することをねらい反復練習する。

#### 第4教時

① 自由落下運動の実験を行う。ここでは、現実感を持たすため、おもりは校庭の小石を使

う。中学時代に約半数の生徒が記録タイマーを使った経験を持つので、第1教時のストロボ写真の解析と同じ手法であることを理解させその後に実験する。

② 実験後の生徒の状況は次の通りである。

- a 記録テープ上の打点間隔がだんだん広くなることに驚く。
- b 簡単な指示だけで、5打点間の平均の速さまでは求めることができる。
- c 約半数の者は平均の速さを加速度であると考えていた。

③ 加速度を求めて、レポートを再提出させる。

#### 第5教時

実験後でも加速度について理解していない状況である。再度、今迄の学習内容について復習する。

#### 第6教時

① 速度・加速度をベクトルで表示することについて説明する。この頃、生徒は数学でベクトルを学習している。

② 曲線運動では等速でもベクトルが変化することより、速度が変わる。つまり加速度運動であることを定性的に説明する。

③ 相対速度について説明する。ここでは、観測のしかたで速度が変わって見えることを実例を上げて説明する。

④ 簡単な計算練習を2・3問行う。(約20分間)

#### 4. どんな評価をしたか

(1) 加速度の授業に実験を含めて6時間(1校時50分)である。毎時1・2問の簡単な練

- 習問題をとり上げたが、平易な問題であれば解けるようになった。
- (2) 実験は物理でははじめてであったが、第1学年次で生物の実験をかなり多く（10数時間）行って居り、手順は良かったが、分析力はまるでないことがわかった。
- (3) 小テストでは小問に対して文章記述で答える形式にした。等速直線運動、速度、加速度、相対速度の説明を求めたが、計算と概念はまた別のものであるようだ。
- 加速度の説明で多いものから順にあげると次の通りである。
- ・単位時間あたりの速度の変化
  - ・単位時間あたりの速度の変化の割り合い
  - ・単位時間あたりに進む速度の割り合いの変化
  - ・単位時間に物体が進んだ距離の割り合い
  - ・単位時間あたりの速度の割り合い
  - ・単位時間あたりに加わった速度
  - ・物体に外から力を加えて物体を押す大きさ
  - ・物体が運動したときの速さ
  - ・動いている物体がその速度を変化させること
  - ・一定の時間で変化した速度
  - ・速さにともなって変わる単位時間あたりの速度
  - ・ある速度で進むものをその進んだ距離に要した時間で割ったもの
  - ・物体が運動したときの速さ、
  - ・単位時間あたりの速度の割り合い 等々。
- (4) 定期考査では、加速度に関する説明は6問中3問を出した。（資料1）各問とも正答率は70%であった。

## 5. あとがき

平均速度・瞬間の速度と加速度の違いを理解させるのにかなり手間だった。また既知の重力加速度  $g$  と実験で求めた自由落下の加速度とが同じものであることが初めてわかったと感じた生徒が多かったことから、知識と自然認識が分離している状態を示す例だと考えられる。加速度の授業後、慣性の法則、運動の法則、作用反作用の法則へと進んだが、 $m a = F$  を定義した後、いくつかの物体間に及ぼし合う力がある場合の運動にいたって、加速度がどうしてこんなに入り込んだものか理解できず、混乱してしまった生徒が多かった。どれかのパターンにあてはめて計算すれば答を出すことができるという状況に落ち入ってしまったと考えられる。この結果を深刻に検討することが必要であると考えている。

（注）数年前、徳永好治氏（教育大函館分校）小笠原氏（上磯高校） 筆者（当時函館東高校）でプリンキピアの輪読会をもつていたときの論議。

### 資料（第2学年1学期期末考査 6問中加速度関係の3問）

問題2 速度  $20 \text{ m/s}$  で直線軌道を走る列車がブレーキをかけて一様に減速し、 $200 \text{ m}$  走って停車した。このときの列車の加速度  $a$ 、および、ブレーキをかけてから停車するまでの時間  $t$  を求めたい。

速度に関する式は（ イ ）……………(1)

進んだ距離に関する式は ( ) ..... (2)

$$(1), (2) \text{ 式から } a = ( \text{ ハ } ) \quad ( \text{ ニ } )$$

$$t = ( \text{ ホ } ) \quad ( \text{ ホ } )$$

単位

問題4 次の表の左端の数値は、ゴルフボールを自由落下させ、発光間隔  $\frac{1}{20}$  s のストロボ写真をとったデータである。このデータをもとに空欄をうめよ。

位置 $\times cm$	区間 (位置の差) $\triangle X \times m$	各区間の平均の速度 $\bar{v} \text{ m/s}$	各区間の平均の速度の差 $\triangle v \text{ m/s}$	各区間の加速度 $a \text{ m/s}^2$
0				
(1) $\times 10^{-2}$	0.24			
1.2	3. $\times 10^{-2}$	(ハ)	(ホ)	(ト)
4.8			0.50	10.0
10.9	(口) $\times 10^{-2}$	1.22		
19.5	8.6 $\times 10^{-2}$	(ニ)	(ヘ)	(チ)

問題5 次の各  $V - t$  グラフに対応する  $X - t$  グラフを選べ。

$V$  : 速度     $X$  : 距離     $t$  : 時間 とする。

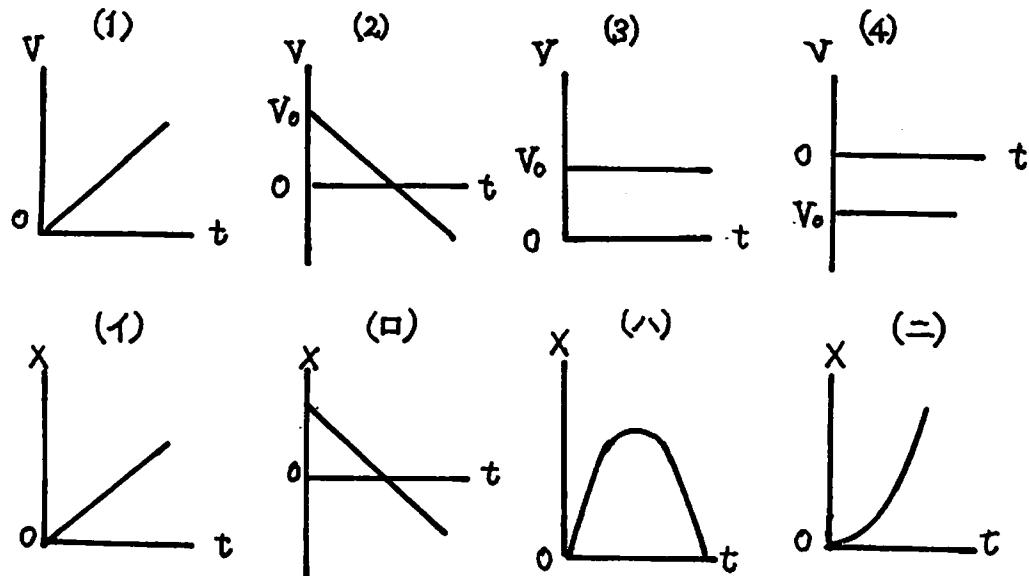


図 3

# 加速度量の成立と物理教育方法への利用について

## —ガリレイの斜面実験の歴史的意味—

札幌藻岩高等学校 山 田 大 隆

### 1. はじめに

加速度 (acceleration) は、中高校の物理教材の中でも、相対速度、瞬間速度、運動方程式、力学的エネルギー保存、運動量と力積、衝突問題、比熱、単振動一般式、回転運動、慣性力、気体分子運動論等と並び、抽象度が高く、難解で定着率が小さい学習項目と考えられる。<sup>(1)</sup>

本稿では、この概念のより有効な教育効果の高い教育方法を見い出す指導方法の改善、適切化を実現するために、加速度概念（量）の形成過程を歴史的に調査検討し、筆者の科学史再現実験に関する最近の研究結果も踏まえ、教育方法改善上の提言を試みたものである。

大方の御批判が戴ければ幸いである。

### 2. 落体運動の解析と加速度概念

現行の高校物理Ⅰ教科書では、加速度項目での展開は、水平運動の速さ — 速度（合成分解相対速度） — 加速度 — 等加速度直線運動一般式 — 落下運動の順になされているものが大勢である。これは教育認識論の視点からの教材の順次性に基づく配列ということであるが、科学史上での概念形成における順次性はむしろ逆で、落下運動の観察と考察 — 重力・浮力・駆動力（インペト）の導入 — 落下速度と時間・

距離関係の考察 — 斜面上の落体の実験 — 加速度量（重力）と距離公式・速度公式の定立 — 重力の加速度運動、運動の解析 — 一般の加速度運動への拡張が史実である。つまり、加速度現象として典型であった（古代中世には等加速度水平運動を生じさせる運動体 = 地下鉄、自動車、力学滑走台の如きものはなかった）落体運動を肉眼で精密観察することのみが、加速度現象への唯一の取扱りであって、しかも常に注目されたのが落体の速さであったということである。（科学史研究上、落体の速さの研究史の意義は広く認められている。急速な加速の研究を、緩慢な斜面上の加速の研究に変換したガリレイの着想は、落体運動の日常現象を水平の一般加速度運動（実験室的運動）へと一般化する重要な契機であり、また、研究方法論的に、肉眼の不正確さを定量的に精度を高め改善したという点で歴史的意義をもっているのである。この方法こそが近代科学の方法そのものである）

### 3. 加速度の実測

通常の自由落下の場合、その位置移動は余りにも早く、肉眼ではその速さ増加率を読み取ることはそのまゝでは不可能なので、ガリレイは、この運動を “スローモーション” 化して、再

現性の高い測定が精密に行いうる「斜面の方法」を開発した。この「斜面の方法」を創出するに至ったガリレイの指導原理を板倉は次のように述べている。<sup>(2)</sup>

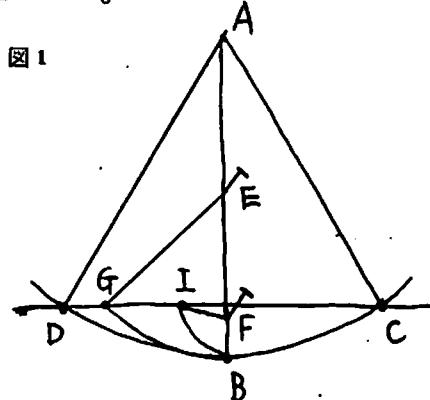
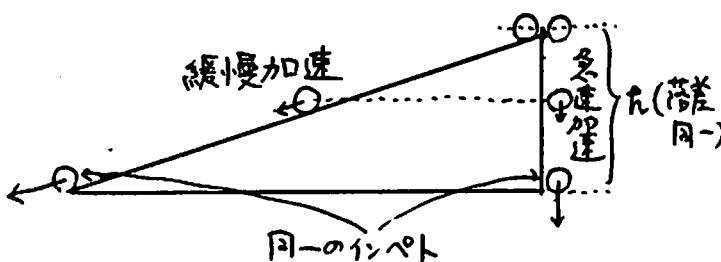


図1



図のC→B落下でふり子はその生じた速さに応じたインペトを得、これはB→Dへ上るのに必要な仕事に等しい。途中E・Fに釘を打った状態でも、I・GはDと同じ高さであり、これは実験によっても判る。従って、Bで得たインペトによる仕事はすべて同じ高さまでの仕事を供給する。つまり、板倉のこの解説からは、鉛直落下で地上に達した時に物体が持つインペトも斜面を使い同じ落差で地上に達した物体が持つインペトも等しい（従って速さも等しい）ということであり、鉛直落下に比べ斜面上の落下は距離が長いだけ運動は緩慢のものとなり、観察しやすくなることが読み取れまた、ガリレイのこの振子の分析に基づく発想の斜面利用の考えは、力学的エネルギー保存の思想を、インペト、仕事という不十分なカテゴリーを用いながら明確にとらえていたという説の新しさも示していることが言える。筆者も板倉のこのガリレイ運動論の指導原理解明に全面的に賛成する。

（ガリレイの研究方法論の哲学=しばしば体系化されない、研究上の感覚に近いもの=の非凡さ、本質把握性、それを用いた動力学体系化における成功の事実が正しく評価される必要があるということである）

ところで、ガリレイの斜面の実験で明らかに

したものは、落体運動で最も注目される徐々に速くなる物体の速さが、(1)落下時間に比例、(2)落下距離に比例、するのかという関係の定立であった。ガリレイ

は初め誤って(2)の立場、ついで(1)の立場に移る（この(1)、(2)の立場は当時多くの動力学学者により繰り返し論争されたが、実験的確認の決め手がないため、結論が出ていなかった）のであるが、その証明、確定は全く斜面実験1つで結論されていることに注目したい（原子実在性に関するペランの実験的証明（1903年）のように）。落下でも斜面上運動でも、日々刻々変化する速さは等速運動の速さと異なり瞬間速度のことであるから、測定することは当時としては極めて困難であり、ガリレイは測定可能の時間と移動距離に着目した。（この研究は瞬間速度

測定が目的でなく、加速度量の存在証明とその値（重力落下加速度の大きさ）の確定だから、この方法で全く十分である）

#### 〈ガリレイの斜面の実験の内容〉

ガリレイは、斜面上の真ちゅう球の運動開始と同時に、側にある高所につるしたタルよりの水流（一定速度になるよう水面調節）をコップで受け、その重さを測り、基準 $1W$ を1単位時間 $t$ とし、 $2W$  ( $2t$ )、 $3W$  ( $3t$ )での斜面上物体の位置を斜面横にすばやくマークする（距離は $S$ 、 $4S$ 、 $9S$ となった）。これは何と $100$ 回もくり返され、確認されるのである。装置の原寸の大きさ、実験状況を原典を引用して以下に示してみたい。<sup>(3)</sup>

「…長さ約 $12$ キューピット（訳注、 $1$ キューピットは指先一肱長で約 $50$ cm、従って約 $6$ m）、巾 $\frac{1}{2}$ キューピット（注、約 $25$ cm）、厚さ $3$ 指幅（注、約 $5$ cm）の定規又は角材をもってきます。その縁に巾 $1$ 指幅（注、約 $2$ cm）余りの溝を切ります。この溝は極めて真すぐに作られ平滑に、かつ磨かれ、なおその内側に出来るだけ平滑な、つるつるした羊皮紙が貼つけてあります。その上を、硬く平滑な完全に円い真ちゅうの球を転がすのです。この板を、その一端が他端より $1$ ないし $2$ キューピット（注、 $0.5 \sim 1$ m）ひき上げて傾斜させ（注、従って $\sin\theta$ は $0.5 \sim 1$ m / 6m =  $0.083 \sim 0.16$ 、 $\theta$ が小なので $\sin\theta = \tan\theta = 0.083 \sim 0.16$ として、 $\theta$ は $4.8^\circ \sim 9.2^\circ$ 変化させたということである）、上に述べた球を溝に沿って転がし、その落下に要する時間を次に述べるような仕方で記録するのです。我々はこの実験を繰り返し

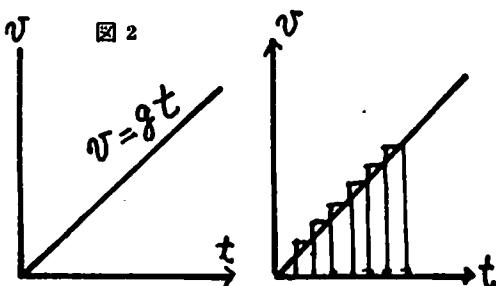
て、再度の観測の誤差が $1$ 脉博の $10$ 分の $1$ を超えない迄に精密なものにしました。その結果が十分信用できると考えられる迄これを繰り返した後、今度は球を溝の長さまで転がして、その落下時間を測ってみると、前の場合の丁度半分であることを見出しました。次に我々は、異なる距離で実験を行い、全体の長さに対する時間をきあるいは各、等任意の分数をなすものとを比較してみました。この実験を $100$ 回はたっぷり繰り返したのですが、このような実験において我々は常に、経過時間が時間の $2$ 乗に比例すること、又それが、板の、即ち我々が球を転がした溝の傾斜が何であろうと真であることを見い出したのです。我々はまた、板の種々なる傾斜に対する落下時間が、相互に精密に、我々が後に見るように、筆者がそれらに対して予示し、証明したところの比を保つことを観察したのであります。

時間を測るために、水を入れた大きな器を高い所に置いて用いました。この器の底には直径の小さい管がろう付けされており、それを通して細い水流を流出せしめ、溝の全長にせよ、その長さの一部分にせよ、毎度の降下時間にその水流を小さなコップに集めました。このようにして集められた水は、降下の都度、極めて精密な天秤で秤量されたのであります。その重さの差及び比から、時間の差及び比が得られたわけですが、それは極めて精確なもので、何回繰り返してもその結果には目立った（di un notalili momento）偏差は生じなかったのです。…」（以上、筆者による現代語訳）

この実験からガリレイが得た結論は次のと

くであった。

- (1) ガリレイは初め、理論的に  $V \propto S$  と仮定し、  
 $S \propto t^2$  を算出したが、実は  $V \propto \sqrt{S}$  でなければこの結果にはならない。誤った仮定と計算で正しい結果に到達している。
- (2) のちにガリレイは  $V \propto S$  を止め、 $V \propto t$  を採用して、今日の積分計算と同様の手法（確立はライブニッカとニュートン）により、 $S \propto t^2$  を導いている。



$$S = (\text{落下時間}) \times (\text{終速度}) \times \frac{1}{2} \\ = \frac{1}{2} g t^2$$

今日では

$$S = \int_0^t V dt = \int_0^t g t dt = \frac{1}{2} g t^2$$

この  $S \propto t^2$  が実験により確かめられた。

ガリレイはこの理論的予想を確定した上で、実験（しかもスローモーション型の定量、再現性の高い斜面装置）を行い、 $S = \frac{1}{2} g t^2$ 、即ち  $V = g t$  を確めたのである。（板倉のガリレイ動力学分析は、仮説実験授業の方法論導出目的もあり、多少強引な仮説一実験検証型の論調が強すぎるくらいがある。事実は（もちろん歴史解釈であるから唯一のものはありえないが）、仮説的哲学先導性に、豊富な実験実行中のひらめき、発見が混合されて研究が進んでいったと見るのが妥当であろう。）

この実験により、史上初めて、物体の落下運動速度增加率（一定）が、今日でいう、量、概念の形で定式化したのである。

ただし、ガリレイの斜面実験は、 $S \propto t^2$  ( $\therefore V \propto t$ ) を完璧に証明したが、その絶対値の算出は ( $S = \frac{1}{2} g t^2$  より  $g = \frac{2S}{t^2}$  より求まる)、装置や実験の精密化の努力にもかかわらず、 $g \neq 6 \text{ m/s}^2$  となって、現在の真理値  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  とならなかった ( $g \neq 10 \text{ m/s}^2$  を確定したのは、ガリレイの後のホイヘンスである) このずれの理由は、実験的誤差によるものではなく、力学的エネルギー保存則で、斜面上無摩擦すべり運動ならば  $mgh = \frac{1}{2} mV^2$  で、 $V = \sqrt{2gS}$  となるが、真ちゅう球のころがり落下の場合は、同則は、 $mgh = \frac{1}{2} mV^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 = \frac{1}{2} mV^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} mr^2 (\frac{V}{r})^2 = \frac{7}{10} mV^2$  となって、 $V' = \sqrt{\frac{10}{7} gh}$  即ち、速さがすべりの約 84 %となり、従って、 $V^2 = 2gh$  より  $g = V^2/2h = 1/2 h \times \frac{10}{7} gh = \frac{10}{14} g = 6.9 \text{ m/s}^2$  となるためである。（厳密には、大球の場合、球中心の併進速度は  $V = r\omega$  とはならない。それは、溝の縁による「両肩持ち」の回転となるからである。しかし、溝に比して小球の場合は底面一点で接するから  $V = r\omega$  としてよい。）

#### ＜ガリレイによる加速度確定の影響＞

いずれにせよ、 $g$  値は不満だったので、ガリレイにより発見され定立された加速度量及びそれを用いた落下距離式  $S = \frac{1}{2} g t^2$  の決定は、運動方程式を用いない運動学の確立にとって決定的な意味を持ったように筆者には思われる。それは、一般の物体運動ばかりでなく、軍事的にも意味を持っていた。砲弾軌跡の解析を初め

て正しく科学的なものとしたからである。<sup>(4)</sup>

<水平運動>では、デカルト—ガリレイの研究で定立された慣性運動＝等速直線運動

( $X = vt$ ) と、自由落下運動 ( $Y = \frac{1}{2}gt^2$ ) の合成 (つまり、自由落下の変形) がその軌跡 (放物線) を与えること。

<斜方投射運動>では、水平方向＝等速直線運動 ( $X = vt$ ) と鉛直方向＝投げ上げ運動＝等速直線運動 — 自由落下運動 ( $Y = vt - \frac{1}{2}gt^2$ ) の合成 (つまり投げ上げ運動の変形) がその軌跡 (放物線) を与えること。

これら運動に本質的な説明を与え、中世の軍事課題を一気に解決したと同時に、しかも、この仮定 (慣性運動と加速度運動の組合せ) から導かれた軌跡の式が数学で当時もよく知られていた2次関数式 (円錐の垂直断面の外側線) で、自然界の運動が、媒体抵抗のない理想的な場合、まさしくこの式で表わされる。つまり、自然界の現象が数学の言葉で表わされる、書かれる (新科学対話序文) (靈的世界、信仰世界の言葉が聖書であるように) という近代自然科学精神そのものの基礎を作り出したという歴史的意義が、このガリレイによる加速度量決定に端を発している (我々が今日教授する古典物理学の基礎がまさしくこの加速度量の決定であり、全物理学はそこから始まるといつても過言ではない。今日の物理教育の中で、この加速度概念、その量の定着はもう少しその意義が強調されてもよいように思う。)

#### 4. 教育方法への提言 — おわりに

最後に、この加速度概念形成史からの教訓知見が、物理教育方法改善にどのような教材展開

上のヒントを与えるか、物理教育における科学史研究の意義を、板倉の仮説実験授業構築方法への展開と異なる視点から提言してみる。

(1) 加速度概念は、歴史的には落体の運動の観察から形成された。一定の外力による無摩擦物体に生じた加速度の考え方、ニュートン以降のものであり、児童生徒の体験的認識の順次性から言うとこれは技術的でより高度のものである。従って、科学概念認識 (特に体験的認識) の順序も、科学史実に一致させ、自由落下観察 → 緩慢化された自由落下観察 (スローモーション映画か、長大な斜面上運動観察) → 水平でのエアトラック等での等加速度運動観察 → 加速度運動の定量化 (タイマー、ストロボ写真解析) へと進ませることが自然であり、必要である。

(2) 加速度の導入方法は、(ア) 純然たる現象の観察とその解析といった軌跡解析の方法、(イ) 運動方程式  $F = ma$  より  $a = F/m$  として、力・質量との関係から導入する方法、(ウ)  $F = am = m(v - v)/t$  より  $mV - mV = F \times t$  として、運動量変化と力積の関係から作図により求める方法がある。(ただし、この(3)の方法は、(1)と(2)を組合わせたもので要素的ではない。概念理解は単純化したもので行なうのが良いと考えられる) 筆者はやはり、歴史順序に従い、まず(1)で、次いで(2)により加速度の持つ因果関係論的意味へと拡張し、(3)でベクトル的発展形態をめざす扱い方 (現行教科書は意識的でないにせよ、そのように展開されている) がよいと考える。

(3) 斜面実験は、所謂ドイツ理科教育方法の伝統といわれるピックレクチャーハンド法の教育方

法の意義をふまえた、印象性が高く、定量的解析の容易なものでなければならない。ガリレイが長大斜面を用いたのは、急速な加速運動（自由落下）を徹底して緩慢化し、定量的解析が可能のものとするその目的実現にあった訳であるから、その探究精神こそが加速度概念教育の成立、学習者の動機づけにとって重要と考える。（時代の新旧を問わず今日でも必要である）

「歴史的探究的衝動は、教育学習における概念習得初期の学習的衝動と本質は同じ」ということであろうか。この衝動の積重ねが、抽象度の高い加速度概念の習得にとっても、健全な科学者精神、理科学習意欲の渋滞なき育成にとっても本質的と思われる。従って、予算と保管場所が許す限り、この実験は科学史原寸再現実験（1～2mの縮小レプリカによる原理のみの再現でなく、形態そのものの再現も行う）を行うべきである。筆者は、昭和54年11月に、日本で2台目のガリレイ斜面の原寸再現を行った<sup>(5)</sup>（1台目は板倉により行なわれた<sup>(6)</sup>）。

その装置全体を以下の写真に示す（この斜面による、これまで述べた内容の詳細実験は未実行である）。

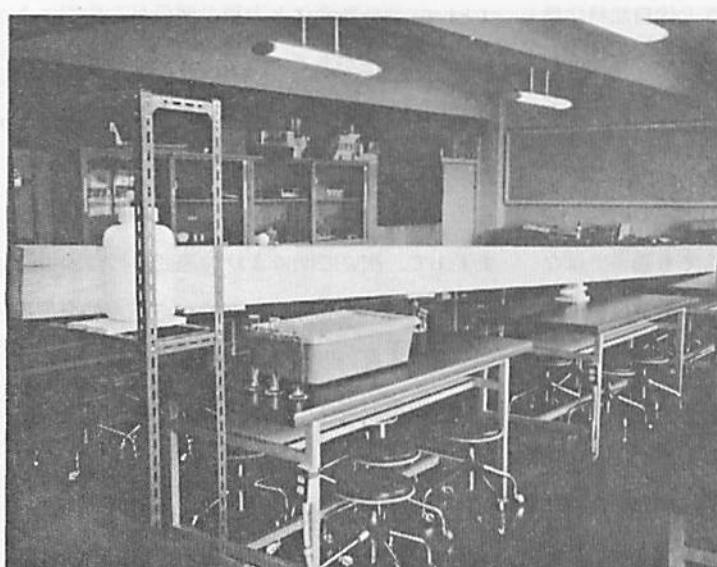
尚、原寸再現に基づく実験が、レプリカ（縮小）の原理再現のみのものにはない探究衝動・印象性をよび起して、学習者の動機づけに多くの効果をもたらすことは、川崎（佐賀大）も強調している。<sup>(7)</sup>

(4) 上記(1)～(3)により加速度概念のイメージ的理解が出来ても、難点であるのが、その定量的扱い、計算処理習熟であろう。これは純然たる数学的手法の領域のものであるが、概念がきちんとイメージとして定着していれば、計算的運用もそれほど本質的な支障を来たすことは少ないと考える。これは、習うより慣れる（ドリル的）側面の強い領域である。この方向での留意点は、

- (ア) 公式運用時のVの減法順序
- (イ) 単位の問題（読み方、意味）
- (ウ) 加速度の正負の解釈とその運動イメージ

(エ) 2次元的变化の場合の処理（ベクトル差）

加速度の教授学習は、このように、徹底した観察・実習による概念定着と、計算訓練による処理手法の習得の両面が必要とされる領域であろう。この学習項目における認識深化のための教授内容の順次性、またその展開



の手法の創出教授ストラテジーの提出には、古代からガリレイ、ニュートンに至るまでの動力学成立史の批判的研究からの知見が大役に立つといえる。このことを強調して本稿の終りとしたい。

本稿を著わすに当って、多くの原寸再現実験具で豊かな歴史性認識を理科教育方法の中に実現し効果をあげている先進例として、昭和52年8月の筆者のドイツ博物館（ミュンヘン市）、ロンドン科学博物館、国立科学史博物館（フィレンツェ市）での観察の経験は、大きな問題意識と方向性を筆者に与えたものであった。この旅行の機会を筆者に提供された、富山大林良重助教授、これら博物館資料について貴重な御教示をされた、東京大渡辺正雄教授の各位に、この紙上を御借りし、謝意と御礼を表したい。

（1980. 2. 21 記）

#### 注（引用文献）

(1) 中高校の物理の全学習項目について、抽象度、理解度、定着度の総括的調査は、教育課

程検討上必要性が強調され乍ら、今まで未だなされていない。しかし、中学校学習項目については、不十分ながら例えば、川田・矢野ら「高校1年必修理科を考えるための中学生理科についてのアンケート」（昭和51年度全国理科大会（於四日市市）、発表資料、1976. 8. 19）がある。（拙稿、「全国大会報告」「札幌藻岩高校研究紀要」161 P 27～29、1977. 3）

- (2) O. City (5), P 26
- (3) ガリレオ・ガリレイ（今野・日田訳）『新科学対話下』（岩波文庫、1948）P 42～44
- (4) 中世戦術研究家タルターリアは、砲弾の軌道を直線（斜方と垂直）、レオナルドダビンチは直線と半円で記述している。
- (5) 昭和54年度理学振興法教材費の援助による。
- (6) 板倉聖宣『ぼくらはガリレオ』（岩波書店、1972）
- (7) 川崎十四三、日本科学史学会第25回年会での講演内容（1978. 6. 於北大工学部）

## 加速度の扱い

### 文科系学生のための物理学において

北大工学部 北村正直

大学においても、一般学生を対象とした課目においては、想定する学生の予備知識はできるだけ少なく見積るべきである。私は加速度の

概念は白紙の上に書くつもりで導入している。物理学のある項目は、(1)現象の観察（思考実験をも含む）、(2)観測の記述と結果の整理、

(3)便利な概念のもっともらしい導入、(4)理論的考察、(5)応用、という順序で一般には展開する。

物体の運動については、加速度は(3)のところに片足を入れた(1)、(2)の部分のところで扱われる。すなわち、運動を記述するのに役に立つ便利な概念として加速度を把握する。

第一に、物体の運動状態を、その静止状態との対比で規定する。

次に、運動を時間的に不变な運動としての一様な運動と、変化するものとしての加速度運動とにわける。更に、静止状態を一様な運動状態の一つとしても理解し得ることにもふれてもよいであろう。以下、上記のプログラムに沿って加速度の取り扱いをまとめてみよう。

#### Step. 1 物体の位置の記述

ここでは、札幌市の住所の表示法を例にとり、位置の指定には、基準（座標軸）の選択と、距離の単位の指定の必要性を指摘する。また、これらは任意に選び得ること、しかし普遍性と有用性との面で場合に応じて少數の方法が最も多く用いられていることを説明する。

運動している物体の位置は時間を指定して、はじめて意味を持つようになる。この時間の概念が、運動学（Kinematics）が、幾何学とを区別するものである。

#### Step. 2 一様な運動と加速度運動

自動車が直線の道路上を、次の様な運動をしている場合を考えよう（図1）。自動車の位置は、 $t = 0$  のときの物体位置 0 から 25 m, 50 m, ..., 125 m の点を通過したときの時間

$t$  を測定したら表1のような結果が得られたとする。

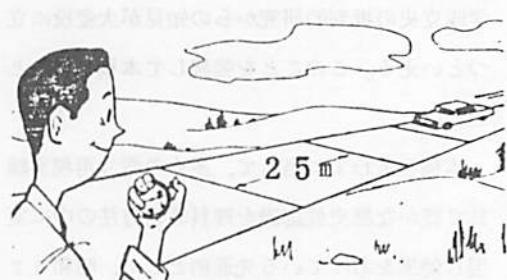


図1

表1

0からの距離 (m)	要した時間 (s)
0	0.0
25	1.9
50	3.7
75	5.6
100	7.5
125	9.4

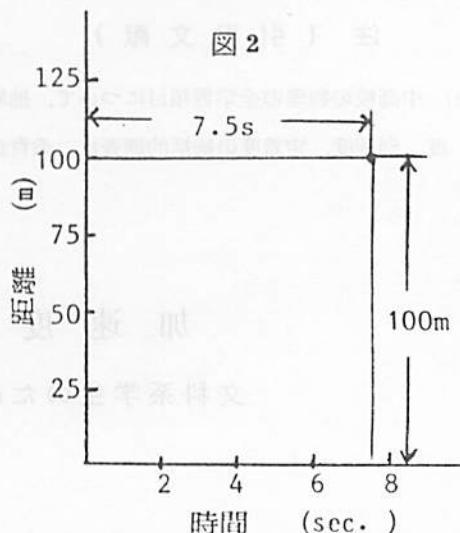


図2

この測定結果をまずグラフを用いて解析する。実際のクラスではグラフ上の点のとり方も、必ず説明しながら行う（図2、図3）。（高等学

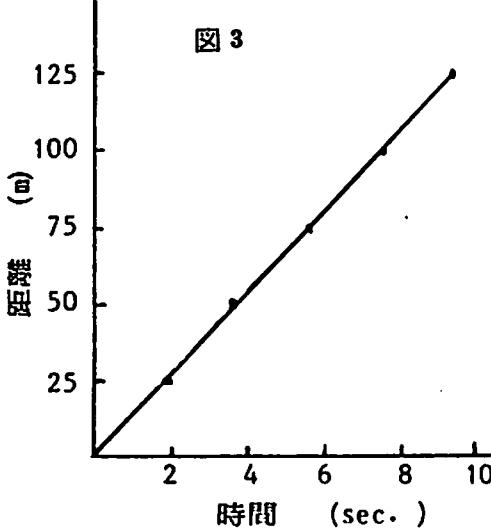


図 3

位は [m/s] である。

表 1 より、平均の速さを 4 桁まで求めて、表 1 に付加したものが表 2 である。しかし、有効なのは 2 桁であるので、1 つを除いて  $\bar{v} = 13$  m/s と求まる。すなわち、この場合は

$$\frac{d_1}{t_1} = \frac{d_2}{t_2} = \frac{d_3}{t_3} = \frac{d_4}{t_4} = \frac{d_5}{t_5} = v = \text{一定} \quad (1)$$

なる結果が得られる。これより任意の距離  $d_m$  を通過するのに要する時間を  $t_s$  とすると

$$\frac{d}{t} = v, \text{ または } d = vt \dots\dots\dots (2)$$

なる一般の  $d$  と  $t$  の関係式が得られる。この様に  $d$  が  $t$  に正比例する一直線上の運動を一様な運動と呼ぶ。——一様な運動の概念は人間がつくったものであり、任意なものである。別な概念や、同じものに別な名前をつけてもよい。しかし、それが、人間との間で会話をする場合、便利かどうかは別問題である。この考えは、実際の物体の運動の解析にとって非常に便利であり、また、歴史的に用いられてきたという意味で便利な呼び方である。——

自動車の速さは、通常 Km/hr の単位であらわされる。この単位では、この自動車の速さは

$$v = \frac{125\text{m}}{9.4\text{s}} = \frac{125}{9.4} (\text{m/s}) \times 60 (\text{s/min}) \\ \times 60 (\text{min/hr}) \times 0.001 (\text{Km/m}) \\ = 47.87 (\text{Km/hr}) \approx 48 (\text{Km/hr})$$

すなわち、時速 48 キロメートル/時である。

校においてはグラフの書き方はもちろんのこと、小数を含む計算も必ず実際の計算を利用して繰り返し教える必要がある。特に、小数、分数を含む計算をマスターしていない高校生が非常に多いという調査結果があることを注意したい。) 図 2 は同様にして、すべての測定値(測定点)をグラフ上に書き込み、それらの値(点)がほぼ直線上に並ぶことを指摘する。これらの点が完全には直線上にこないことは、測定誤差によるのではないだろうかと推定してみる。その上で、これらの測定点の間で、例えば 60 m の地点を通過する時刻はどのようにして推定するよいかと問う。私は、できる限り、高校で物理をとらなかった学生に問うようしている。そして、このグラフ(図 3)より、約 4.5 秒後を求める。

ここで、平均の速さなる考え方を導入する。すなわち、通過した距離を  $d_m$ 、それに要した時間  $t_s$  とすると、平均の速さは  $\bar{v} = d_m / t_s$  (m/s) で定義される。この平均の速さの単

### Step. 3 瞬間の速さ

自動車は実際ほとんど一定の速さで走行することはない。例えば、静止していた車が  $t = 0$  で動きはじめて、表 3 のような測定値を与える

表 2

0からの距離 (m)	要した時間	平均の速さ (m/s)
0	0.0	
25	1.9	13.16
50	3.7	13.51
75	5.6	13.39
100	7.5	13.33
125	9.4	13.30

表 3

0からの距離 (m)	要した時間 (s)
0	0.0
25	9.1
50	13.2
75	16.5
100	19.0
125	21.5

表 4

時間 (s)	瞬間の速さ (m/s)
0	0.0
5	2.3
10	4.6
15	7.0
20	9.1
25	11.5
30	13.6

動きをしたとしよう。この測定値をグラフにとると図4のようになる。これらは決していかなる直線でも代表させることはできない。これらの点を滑らかな曲線で結ぶと、上向きの曲線になる。5秒毎に時間間隔をとると、各間隔で車の進む距離は段々大きくなる。すなわち、車の

5秒毎の平均の速さは大きくなる。これは  $d$  が  $t$  に比例していないので、車の速さ  $V$  は一定ではありません。併し、 $V$  は変わっても、各瞬間で  $V$  はある決まった値をとる。この瞬間の速さ  $V$  とは、その時刻  $t$  より後の時刻  $t'$  のときの距離を  $d'$  として  $t$  と  $t'$  間の平均の速さ

$$\bar{V} = \frac{d' - d}{t' - t}$$

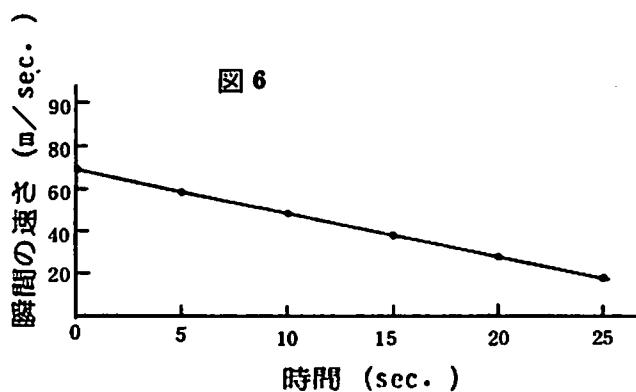
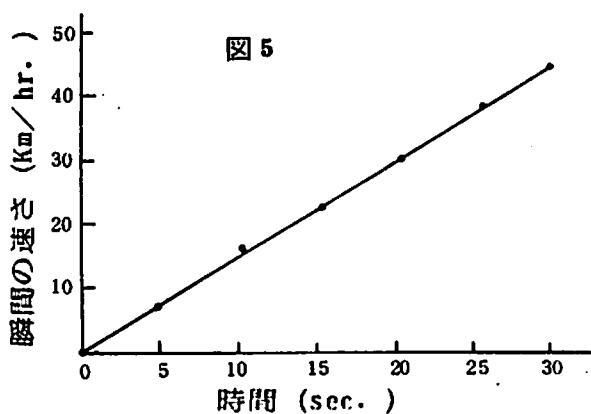
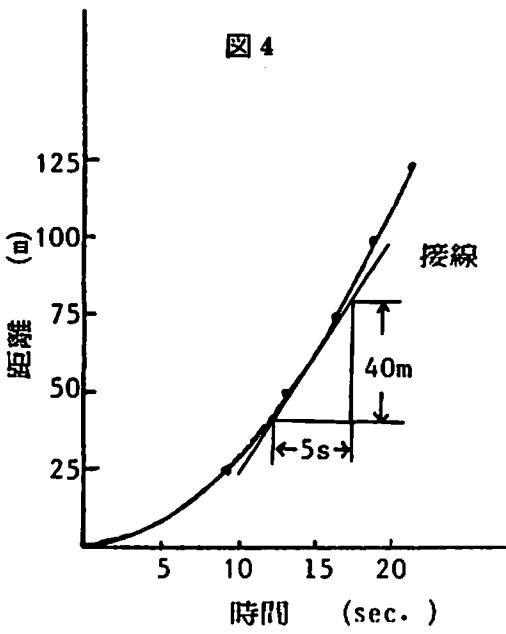
を求め、 $t'$  を  $t$  に限りなく近づけたときの  $\bar{V}$  の近づく値（極限値）として決める。この値は、 $t'$  を  $t$  より以前にとっても同じものである。これは、図4でいえば、時刻  $t$  での曲線の接線の勾配である。例えば、 $t = 15\text{ s}$  で曲線の接線を画く。この接線は、 $12.5\text{ s}$  から  $17.5\text{ s}$  の5秒間に約  $40\text{ m}$  増加している。従って、 $t = 15\text{ s}$  での瞬間の速さは、 $V = 40\text{ m}/5\text{ s} = 8\text{ m/s}$  である（図4）。表4は同じような自動車が静止状態から動きはじめてからの瞬間の速さを5秒毎に求めたものである。

#### Step. 4

この段階では、速さと速度は物理学においては、異なる概念であることを学生に理解させる。スカラー量とベクトル量の紹介もここでなされる。

#### Step. 5

加速度の概念は、最初に動詞を用いて導入する。すなわち、「一様でない運動をしている物体（または、速度が一定でない物体）は加速されている」というステートメントから始める。これは、加速度の定性的な定義という



ことができる。そして、まず直線運動の場合に限って加速度を考える。そのときには、速度を速さとおきかえて話をすすめる。しかし、この様な科目においては、等加速度運動に限るか、または、一般の運動は、等加速度運動でない運動もあるとふれる程度にすべきであると私は考えている。一直線上の等加速度運動は図5、図6の様な実例をひき、これらは

$$V = a t, \quad a = \text{一定}$$

$$\text{または}, \quad V - V_0 = a t, \quad a = \text{一定}$$

なる式であらわされることを図より示す。そして、加速度の次元は

$$\frac{\text{速さ}}{\text{時間}} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}}$$

$$= \frac{\text{距離}}{(\text{時間})^2} (= \frac{\text{m}}{\text{s}^2})$$

であることを注意する。

#### Step. 6

図5または図6で2つの時刻との間で直線のグラフと横軸の間の台形の面積は、この2つの時刻  $t_1$  と  $t_2$  の間に物体が動いた距離であることを説明し、等加速度運動の場合は、この間の平均の速さ  $\bar{v}$  は

$$\bar{v} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

と書くことができる事を示す。するとこの間に物体の動く距離は

$$d = \bar{v} (t_2 - t_1)$$

$$= \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{1}{2} (V_0 + a t_1 + V_0 + a t_2) \\ (t_2 - t_1)$$

$$= V_0 (t_2 - t_1) + \frac{1}{2} \cdot a (t_2^2 - t_1^2)$$

$t_1 = 0, t_2 = t$  とすると

$$d = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

と導びく。

### Step. 7

落体の運動は、私は、加速度の概念を導入してから実例として取りあげている。それは、特に理由があってそうしているわけではない。落体の運動の観察から加速度の概念を紹介していくという教え方もよいであろう。

### Step. 8

等速円運動は加速度運動であるが、これは運動の法則を学んだあとで求心力との関連で学ぶのがよいと私は考えている。従って、私はここでは、運動の第一法則、第二法則を論ずることにしている。

第一法則は、「ある物体に力（正味の力）が働いていないとき、その物体の運動の状態は変わらない。」と述べている。このように、第一法則を述べると、運動の状態という言葉に引っかかりを感じるであろう。「ある物体の運動の状態が不变である」というステートメントを

$$\vec{v} = \text{一定}$$

という式であらわすと約束することにする。従って、第一法則は

$$(\vec{F} = 0) \implies (\vec{v} = \text{一定})$$

と論理記述することができる。これは論理記述

$$(\vec{v} \neq \text{一定}) \implies (\vec{F} \neq 0)$$

と同値である。すなわち、「ある物体の運動状態が変化するとき、その物体には力が働いている。」ということと第一法則は同値である。これより、運動の第一法則は、力を定性的に定義するものであるということができる。

第二法則は、運動の状態を定量的に表現する運動量を用いて、力を定量的に定義していると言ふこともできる。すなわち、

$$\text{運動量の変化の割合} = \text{力}$$

$$\frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \vec{F}, \quad \vec{P} = m \vec{v}$$

としてあらわす。このとき、日常生活における漠然とした力の概念との共通性と異なる点とを明確にすること、そして何が何にその力を及ぼしているかをくどい位に強調する必要がある。この後の点は、第三法則においては、特に強調されるべきである。

### Step. 9

加速度の概念も操作的に理解されるのが望ましい。従って、学生達は、講義、実験、できれば実験により、加速度を定量的に測定する機会を与えられるべきである。講義、実験においても、学生の代表が前にでて、例えば、アトウドマシンの実験の時間測定をし、その結果より各学生が自ら加速度を計算するというような方が望ましい。スパークしているプラグの間を錐をつけたロウ紙テープを落として、それを数人からなる各グループに1つずつわたし、スパーク点間の距離を測定させるのもよいであろう。

等速円運動の場合の加速度は、惑星運動、单

振動との関連において、あらためて運動の法則の有用性、ひいては加速度の概念の有用性を強調しながら私は教えている。この具体的展開例は、またの機会にゆずりたい。

私は、文科系の学生に、物理学におけるモデルの果す役割り、実験・観測から有用な概念の導入により理論の構成を理解し、概念・モデル・法則・理論の自然現象の理解における有用性の応用問題、実験を通しての体験的再認識の機会を与えるコースとして、この科目を考えてきたことを述べてこの小文を終えることにする。

# 流体力学のすすめ

北海道大学工学部 柏村正和

## 1. はじめに

高校の物理の教科書から、流体力学が消え去ってすでに久しい。流体力学といっても、そんなに難しい内容が書かれていたわけではない。静力学としては、パスカル、アルキメデスの原理、動力学としては、ベルヌーイの定理と、その簡単な応用ぐらいのところだったと思う。教科書の編者は、むしろそれ位の程度だったから内容に新味を感じなくなってしまった。物理の多様化の前には無用のものに思えたのであろうか。あるいは、多少マンネリ化したその内容に業を煮やし、けんらんとした新しい物理学の展開に較べて、その価値低し、と断定したのであろうか。

これと同じようなことは弾性力学についても云える。弾性体の内部のひずみには、伸縮ひずみと、ずれひずみの二種類のみが存在し、それに伴って内部応力には、垂直応力とずれ応力のみが存在する。これから、弾性体の性質を記述する物理量として、伸縮の弾性率、つまりヤング率と、ずれの弾性率（昔は剛性率と云った）を考えられる。このような内容は、昔の物理の教科書にはちゃんと載っていて、しかも載っているのが当り前のように思われていた。

流体といい、弾性体といい、一般に変形体と云われているから、つまり、高校の物理からは変形体の力学がすっかり姿を消したことになる。この傾向は、大学の教養課程の教科書でも大体

同じであって、学部に進んだ現在の学生に質問すると、変形体の力学についての基礎知識が、みごとなくらい完全に、ないことに驚く。これは一体よいことなのか、悪いことなのか。あるいは、変形体の力学は、もう物理学を学びそれを発展させていく上で無用のものになっているのかどうか。

筆者は、自分の専門が流体力学であることのために、声を大にして今直ちにその復元を主張するつもりはない。そこには、それなりの事情なり歴史なりがあったことを察しているからである。しかし、流体力学は、いまだに物理学の中では重要なのであって、それに対する基礎知識の不足がいかに心細いものであるかも知っている。しかも、これが日本独特の現象であることもである。

この一文の意図することは、日本における流体力学の盛衰の歴史、世界における流体力学の進歩の状況などを述べつつ、読者の皆さん一人一人に、流体力学の、物理学の中での位置づけをしていただき、そして教科書から流体力学が消えていることに関心を持っていただきたいということなのである。

## 2. 流体力学的な常識

飛行機は、どうして空に浮かんでいられるか、という質問に正しく答えられる学生は、今日少

ない。つまり、飛行機の翼があのような形をしていると、翼をなでていく気流によって揚力を発生する、いわゆる揚力理論というのがあるが、それを定性的に説明せよ、という問題なのである。

今日、航空機は旅客機の大衆化によって、身近なものになっている。したがって、このような問題は、日常のごくありふれた問題の一つである。物理を学んだ人なら、これに答えることは朝飯前と、普通の人は考えるであろう。ところが、それが答えられないものである。実は、これはベルヌーイの定理を教わっていないためであることに世の人は気付いているであろうか。

図-1は、飛行機が水平飛行をしている時の翼の周辺の気流を画いたものである。流れを表わす線は流線といい、翼の前方では等間隔に画いている。つまり、相隣る任意の流線間の流量はどれも等しいので、流線間隔のせまい所は、間隔に逆比例して流速は早いことになるし、その逆も成り立つ。翼は上面が上方に凸になっていて、下面是平である。昔、下に凹の形の翼が使われた時代があったが、今はそうしないでもエンジンの強力化で速度が出るようになって、下面が平坦でも十分揚力を生むようになった。このように、翼の上面と下面が非対称的な形になっていることが揚力を生み出す原因である。

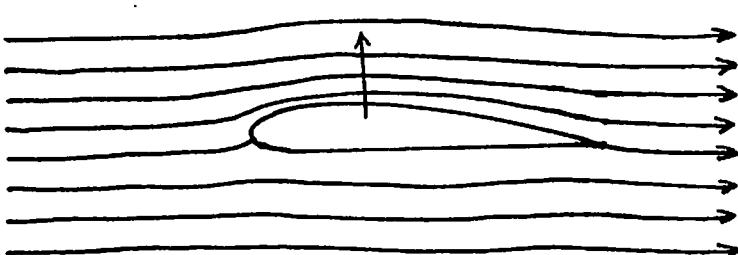


図1 飛行機の翼

何故ならば、図のように、上面の方が下面よりも翼面に沿って流線が密集しているので、その結果、上面に沿う気流の方が、下面よりも速度が早いことになるからである。ここでベルヌーイの定理が活躍する。ベルヌーイの定理は、いろいろな形式で書くことができるが、この場合は、対象が空気なので密度は小さく、また翼はうすいので上面下面のポテンシャルエネルギーの差は無視でき、つぎのような形に書ける。

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const.}$$

ここに、 $P$ は圧力、 $\rho$ は気流の密度、 $v$ は気流の速度である。この場合の  $\text{const.}$  は翼をとりまくすべての流線について同じ値をとるという意味に解してよい。

以上のベルヌーイの定理から判るように、翼の下面は速度  $v$  が小さいので圧力  $P$  は逆に上面より大きく、したがってこの圧力差が翼を浮上させる揚力になるのである。これが飛行機の自重をも支える位大きいものであるためには、速度  $v$  の、上下の差が相当大きいことが必要であろう。そのためできるだけそのようになる効率的な翼形の研究が、過去に精力的に進められた。しかし、今日では飛行機そのものの速度が早くなったので、それに比例して上面下面の速度差も大きくなり、翼形そのものにあまり技巧をこら

す必要がなくなっている。

ベルヌーイの定理というと、よく応用例として、高圧ポンベから噴出するガスの速度や、貯水槽の

側面にあけた孔から出る水の速度の計算などが見られる。これらの事例も大切なものにはちがいないが、空間に画かれた流線の図形から空間の圧力分布を知り、物体に働く力を求める問題は、とくに重要な応用例である。上記の翼の場合でも、流線が、実験などによって正確に画かれたものであれば、翼の周辺の圧力のくわしい分布を求めることができ、それらの総和から、数値的に揚力の正しい値求めることができる。

野球選手の投げるカーブやシンカーの原理もこれと同じ考え方で理解できる。図-2は、左

例えば、水路に水を流し、その中に心棒のついたポールを沈め、心棒を回してポールを回転させればよい。そしてポールの上流側に、一定間隔に太目の注射針を何本も配置し、注射針につけたビニールホースを通じて牛乳とか、染料などを流れの中に注入するのである。牛乳の線が流線となり、流れの様子がよく判る。このように、流れを目で見ようとする技術は、流体力学の実験ではとくに大切であって、その種類は他にもいろいろあるが、流れの可視化技術と呼ばれている。

先程述べた翼の場合と同じように、この場合下方の方が流線が密集していて流速は早く、したがってベルヌーイの定理から、圧力は低いことが判る。故にこの図では、ポールは下の方へ力を受け、いわゆるシンカーになるのである。これも我々のまわりに日常よくある問題の一つであるから、物理を学んだ学生は、人からこの現象を説明できるものと思われているにちがいない。しかし、実際にそうではない。

二艘のボートが図-3のように、並んで曳航される場合、二艘が近づいてくっついてしまう

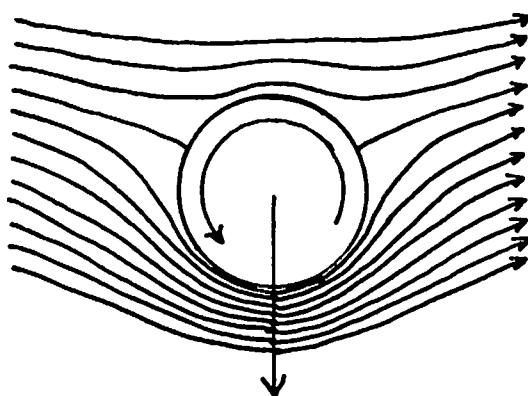


図2 回転しながら飛ぶボール

方に投げたボールに反時計回りの回転を与えたときの流線の状況を示したものである。このような流線を、どうやって求めるかというと、いろいろなやり方があるが、実験で求める簡単なものとしては、

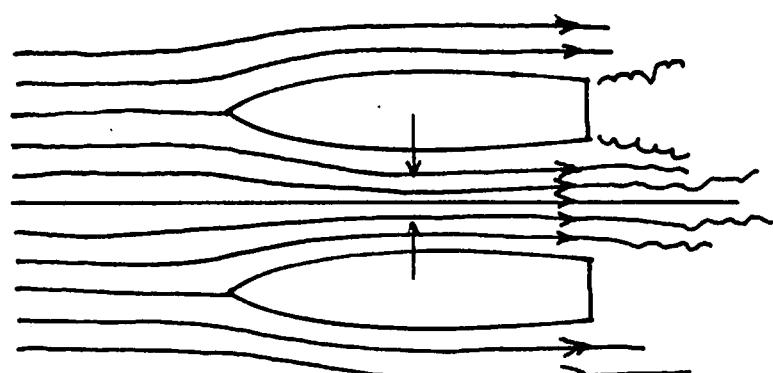


図3 曳航される二艘のボート

現象も、同じように説明できる。二艘の間にあら流線は、互いのポートが邪魔になって、二艘の外側の流線のようにふくらむことができないため、流線間隔は外側よりせまくなり、二艘の間の圧力は外側より低くなつて、各ポートは内側に押され、やがてくつてしまつてゐる。この場合、圧力の高低は、自由水面の高低となって現れ、二艘にはさまれた水面は、外側の水面より低くなる。それで、ポートは両方とも内側に向かってすべる、と考えればよいのである。

他に、いくらも同じような例はあるが、以上の三つの簡単な例は、いずれも流線間隔とベルヌーイの定理から説明されるものであることは、流体力学では常識になっていることであつて、しかも、別に難しい問題ではない。日常よく見られるこれらの現象が、こんなに簡単に説明できるのである。そして内容的には高校の物理を取り入れても、少しも抵抗のない程度の容易なことがらである。ベルヌーイの定理を削除したための影響は小さくはないと思われないのである。

### 3. 物理学の中の流体力学の立場

流体力学が、航空機の進歩によって、内容のきわめて進んだものになったことは、多くの人が認めるところである。日本の戦前、戦中における流体力学の実力は、非常に高いものであった。航空機が、積極的に軍事目的に利用された時代であったため、流体力学、すなわち軍事研究、というイメージを払拭できない古い人たちもいる。

しかし、判りきったことであるが、流体力学

自身には何の罪もないであつて、これは立派な自然科学の一部門である。敗戦を境に、多くの流体力学者が他の方面の研究に転換して行き、また航空機産業の途絶が、それに拍車をかけた。それでも物理学の中に、戦後も細々と命脈をつないでいた流体力学は、実験的な新しい発見を目指す方向が失われ、流体運動の解を数学的にいかに求めるか、という局限された方向に主体が向けられた。これには、実験が行えないような、戦後の外的圧力や、それによる予算面の隘路も原因であったろうが、ともかく、流体力学は所詮応用数学の一分野であるかの如くに扱われ、次第に後継者を失つていった。その一方、物理学における核理論や、物性論の目ざましい発展は多くの物理屋を引きつけ、流体力学を、すでに魅力のない古典の分野としてかえり見ない風潮に乗せてしまった。

しかし、その一方では、多くの工学の面で流体力学は依然として重要な学問であり続けたのである。例えば、工学部の各学科を見ると、流体力学とは無縁に思われるような学科はほとんどないのである。土木工学科では、河川、ダム、港湾など、水理学という名の流体力学を基礎とする大きな研究分野がある。機械工学科では、水力機械、資源開発工学科では、坑内通気、水力採炭、建築工学科では耐風構造物、室内換気、暖冷房、など流体力学の応用研究分野がある。

これら力学系以外の学科でも、例えば化学系では、最近の大型プラントに見られる如く、材料を流動輸送する過程で化学反応を大規模に行なわせるようなシステムの発達から、急速に体力学に対する注目の度合が高まっているし、

電気や原子系の学科でも、高温によるプラズマの運動や、電導性流体による直接発電の問題に電磁流体力学と呼ばれる新らしい研究分野がある。詳細に紹介すれば、とても限られた紙数ではまかなえない多くの流体力学の分野が存在しているのである。

しかし、日本の物理学の中にあって倭小化してしまった流体力学は、これら多くの華々しい応用分野の基礎としての立場をがっちり支える力を現在はほとんど持っていない。それは、いきおい、各工学のそれぞの守備範囲の中で、それぞれに独自なやり方で流体力学が研究される形を作ってしまい、全体を統一して、また相互を関連させて物理学の中の、一つの大きな分野として発展させて行くような立場が取られていないのである。

工学の面ばかりでなく、理学部門でも似たような状況であって、例えば地球物理学に属する気象学・海洋学・陸水学などのように、流体力学を基礎とせざるを得ない多くの分野が、やはり同じような立場に置かれている。

ところが、日本とは異り、先進諸外国ではそうではないのである。すでに発展した、または発展途上の重要な流体力学のトピックスは、物理学のテキストの中へ還元されて、流体力学の基礎から連綿として語られ一貫して大体を理解できるように記述されているのである。高校や大学初級の物理学の教科書には、このような形で流体力学が生き続け、そして発展し続けてくる。我が国では、逆に最も初段階の重要な定理としてのベルヌーイさえ削除し、ついに流体力学は物理の教科書から消え去っている。このこ

とは、すでに、日本が特殊な事情下にあるのだとして、漫然と見過していくよいこととは思えないのではないだろうか。

#### 4. 流体力学の体質

これまで述べてきた歴史的な経緯とは別に、流体力学はそれ自身の持つ体質によって、中々初等物理の中に取り入れにくい要素を持っていることも事実である。それは、流体力学の正規の基礎方程式が、大学の理工系高学年で始めて学ぶ偏微分方程式で表現せねばならないという点である。したがって、このままでは高校や大学初年度の学生の教科書に載せるのは、彼等に異常な重荷を背負わせることになる。外国の教科書も、この点に苦心があるようで、時には数式なしの定性的記述ばかりということになる。

しかし、どうしても数式に頼る場合、最もよく利用されるのは、やはりベルヌーイの定理である。これは本来、質点力学のエネルギー保存則に相当する定理なので、流体の各種のエネルギーの他に、粘性などによる損失を取り入れれば実在の流体にも使える。ただし、ベルヌーイの定理をエネルギー保存の立場から導くには、流れが定常、すなわち流況が時間的に変化しない場合に限られる。正規の流体の運動方程式を使いこなす数学的な力があると、ベルヌーイの定理は、定常でない場合でもそれなりの形式で簡単に導けるのであるが、それはやはり初段階の学生には負担であろう。

ついでなので、日頃気になっていることを一つ述べる。それは、高校物理に使われる数学が、それを習っている生徒の同じ時期の数学の進度

から、はるかにおくれていることである。例えば、中学校の数学すでに二次元座標の考え方や扱い方を習得している筈なのに、高校の物理では、放物運動の初期条件が、上に投げ上げるときと、下に投げ下ろす時とで、質点の速度や位置の式を別々に公式化している。これは、例えば上向きを正、下向きを負にして扱えばただ一種類の式なのであるから、生徒にはむしろ理解し易いし、物理的に統一して理解する立場からも好ましい。また、生徒が物理Ⅰを学ぶ段階では、数学で微分、積分を習ってその概念を知っているし、かなり使いこなせる状態になっている。速度や加速度に質点座標の時間微分を使った表現を入れることは、少しも無理でないようと思われる。むしろ、既に習った数学を積極的に生かして使いこなすことは、数学の理解をさらに深めるだろうし、物理を、より正確に理解するためにも好ましいことではなかろうか。

しかし、偏微分方程式を用いる流体力学の運動方程式は、これらとは同一に論ぜられないことは確である。流体力学でベルヌーイの定理は最も基礎的な定理ではあるが万能ではない。したがってこの定理で扱えない問題に対して、初等のテキストでは数式を何も使わずに、流れの現象を説明する必要性もある。その時には、まず現象を忠実に述べて、流れの性質を呑みこませるのが第一であろう。例えば、流れがある状態から別の状態に移るような現象では、いかなる因子がこれを支配するか、というような取り扱いをして、生徒が現象全体と、その底にひそむ物理機構を把握しやすいように工夫することが望ましい。普通、流体力学では、流れの性質

を支配する因子は無次元量である。例えば、パイプ中の流れが流量を次第に増していくと、層流から乱流に遷移する現象では、レイノルズ数と称する無次元量がこれを支配している。そしてレイノルズ数とは、物理的に云えば、慣性力を粘性力で除した無次元量なのであり、この値が大きくなることは、流量が増して流速が早くなり、流れの中に自然発生する速度の変動も大きくなつて、やがては流体自身が互いに勝手気ままに振舞うのを抑える力であった粘性力の制御が次第に及ばなくなつていくことに相当する。それ故、レイノルズ数が次第に大きくなると、やがて層流は乱流に變っていくのである。今述べたような記述法をもっとくわしく丁寧に行なえば、初学者にも、層流や乱流の性質、そしてレイノルズ数の物理的概念をつかまえさせることがあまり難しくなくできるであろう。

このような方法で、かなりいろいろな流れの状態やその性質を理解させ得ると思う。要は、流体力学を専門に勉強する必要のない人にも、数式を用いないで多くの流れの現象を理解させることができ、工夫次第で可能だということである。

## 5. 流体力学の先端の問題

流体力学が物理学の新しい問題に直結している学問であることは、その先端の問題を二・三調べてみれば明らかになる。

航空機の高速化は目を見張るばかりで、ジェットの実用化によって、かつては不可能と思われていた音速の壁をも突破し、より高速化しつつある。それに伴う新しい物理現象の発見は数多い。衝撃波の地上への影響は、新聞紙上によ

く現れるものである。また飛行物体先端附近にできる高圧部は、空気を昇温させる。この現象は、より高速を望む技術者にとってきわめて大きな課題である。3.5マッハの速度では、先端の空気は楽にアルミニウムの融点をこえるし、もっと早い衛星の大気突入時のような極超音速では数千度から1万度をこえる温度になる。これに耐える材質の探究も大事だが、これを制御して機体に与える影響を減ずる電磁流体力学的な技術の確立も大きな問題である。

きれいな原子力利用と呼ばれる核融合では数億度の温度を持続する必要がある。このような状況下では、すべての物質は気化し、さらに電離してプラズマになるので、それをどのようにして一箇所に封じこめるか、そしてそれをいかにして意の如く制御するかということも電磁流体力学の最先端のテーマであり、世界中が血まなこになってこの技術の確立に日夜しのぎを削っている。

従来、水とか気体のように、粘性力がニュートンの粘性法則に従うものが流体力学では主役になっていたが、最近では化学工業の発達と共に、この法則に従わない種々の特性を持つ非ニュートン流体と呼ばれるものがぞくぞくと登場してきた。同時に、これらを分類するうち、既に昔から知っているいろいろな流体が非ニュートン性であることも判ってきた。高分子溶液はまずほとんどが非ニュートン流体と見てよいし、最近の話題から取ると、有珠山麓で発生した泥流もこの一種にはいる。朝晩使う練り歯磨きや塑像用の石膏もそうである。非ニュートン流体の流動は、粘性係数自体が物質常数ではなく、

それ自身の流动状態で変わる大変面倒なものである。その他、あらゆる工学分野で、あるいは気象・海洋などの地球物理の諸分野で、今注目の的になっている流体力学の問題は目白押しの有様でとても紹介しきれるものではない。

つまり、日本の物理の教科書に載らなくなつた流体力学は、このように実生活を左右する様々な分野で重要な学問であり、今後一層の発展が確実視されているのである。

## 6. おわりに

筆者は、かれこれ30年、密度流という分野の流体力学を研究してきた。これは重力場の中で密度を異にする流体が接触するといかなる運動をするか、という研究で、河口で川水と海水が接する時とか、ダムの表層温水をいかに効率よく取り出すかという問題とか、また寒・暖両気団の接する前線の挙動とか、さらに、海洋の寒流・暖流の潮流とかに例を見ることができる。多くのことが明らかになった反面で、視野が広く深くなつて、ますます新しい問題が発生してきている。何代経てもこの傾向は変わらないと思われる。しかし、この密度流は流体力学中のごく一部のテーマにすぎない。いかに流体力学が巨大な学問分野であるかを再度指摘したい。

筆者は、物理学の中でこのように分散した研究が総合され、流体力学の知識が整理されて、より大局的に、かつ基礎的な発展をしていくことをひそかに望んでいる。高校のテキストに少くともベルヌーイの定理ぐらいは再び現れてもよいと思うのであるが、皆さんはどのように受け取られるであろうか。

# 差動増幅器の実験

北海道薬科大学 中野善明

## はじめに

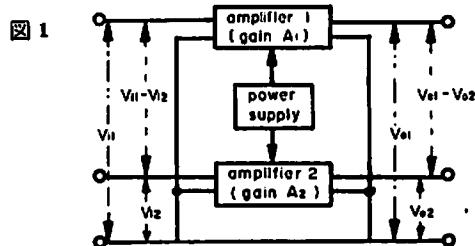
最近、エレクトロニクス技術の進歩とともに、工学関係はもちろんのこと多方面の研究分野で、このエレクトロニクスが多く活用されている。「これから時代は、エレクトロニクスを知らないければ何もできない」と言っても決して過言でない位である。このことは学校教育現場についても同じことが言える。廉価で比較的手に入り易くなってきたトランジスターや I C 等の電子回路素子を用いて、種々の実験実習の教材教具等を新しく考案したり、また、これまでの装置の機能などを改善するといった具合に、一段と応用工夫が結構行なわれている様である。そこで筆者は、半導体を用いた増幅回路の種々ある中で、オーディオから医用機器に至るまで、応用範囲が広い差動増幅器について着目して見た。筆者の所属ポストの立場から、ここでは、特に、心電計や脳波計等の医用機器に用いられている回路を中心にして、その概要を学生達に実験実習を通して学ばせるという目的で、回路設計と装置の工夫を行なってみたので報告する。

## 差動増幅器の基本原理

まず、差動増幅器の原理的なものを述べておく。

生体から誘導できる電位は大変小さく、それを増幅したり、記録するときには、信号対雑音

比 ( $S/N$ ) をできるだけ大きくして、雑音を少なくする必要がある。差動増幅器は、図-1に示すように、増幅器1（電圧増幅度  $A_1$ ）と増幅器2（電圧増幅度  $A_2$ ）を組み合せ、同一の電源に接続する。



各増幅器の入力電圧を  $V_{i1}$ 、 $V_{i2}$  各出力電圧を  $V_{o1}$ 、 $V_{o2}$  とすれば、

$$V_{o1} = V_{i1} \cdot A_1 \dots \dots \textcircled{1}$$

$$V_{o2} = V_{i2} \cdot A_2 \dots \dots \textcircled{2}$$

2つの増幅器の入力電圧の差  $V_i$  および出力電圧の差  $V_o$  は、

$$V_i = V_{i1} - V_{i2} \dots \dots \textcircled{3}$$

$$V_o = V_{o1} - V_{o2} \dots \dots \textcircled{4}$$

となる。式①、②を式④に代入すると、

$$V_o = (V_{i1} \cdot A_1) - (V_{i2} \cdot A_2) \dots \dots \textcircled{5}$$

ここで、増幅器1と増幅器2の増幅度が等しいとして、これをAとおくと、式⑤は、

$$V_o = (V_{i1} - V_{i2}) \cdot A \dots \dots \textcircled{6}$$

式⑥より、式⑦は、

$$V_o = V_i \cdot A \dots \dots \textcircled{7}$$

となり、2つの増幅器の入力電圧の差を増幅することになる。

いま、 $V_{i1} = V_{i2}$ （すなわち、回位相、同振幅）ならば、出力 $V_o = 0$ となる。それ以外では、入力電圧の差をA倍に増幅することになる。また、電源電圧の変動に対しては、それによる影響は増幅器1も増幅器2も同じように受けるので、このことは、入力へ同相、同振幅の雑音を加えたのと等価であり、これによる出力はゼロとなる。したがって、電源の変動に対しては安定である。

一般的に差動増幅器の特徴はつきのようである。

- (1) 信号対雑音比 ( $S/N$ ) が大きい。
- (2) 電源電圧の変動に対して安定である。
- (3) 2点間の電位差を複数組、同時に誘導し、増幅できる。
- (4) 直流増幅用差動増幅器を使えば、直流バイアスをもった信号のうち、その直流バイアスを容易に相殺でき、信号分だけ直流増幅できる。

## 実験

差動増幅器の回路図を図-2に示す。図-3は装置の外観写真である。増幅回路に用いたICは、廉価で比較的手に入りやすいμPC-741Cを用いた。ここでの装置は、教育的効果という観点から増幅器全体（電源部分も含めて）をクリアボックスとし、回路の配線等が直接目で見えるようにして、回路図との対応が容易にできるように工夫した。使用したリード線やターミナル等についても、各系統別に色をつけてできるだけ理解しやすいように、また学生達が

興味を持つように配慮した。

図2

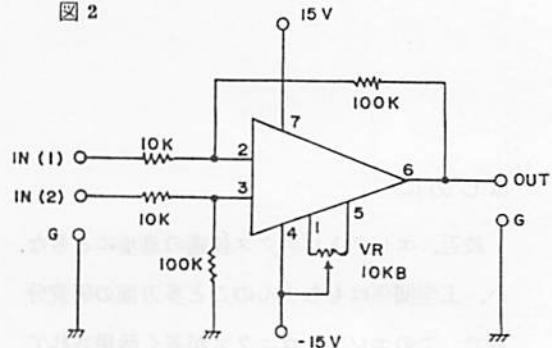
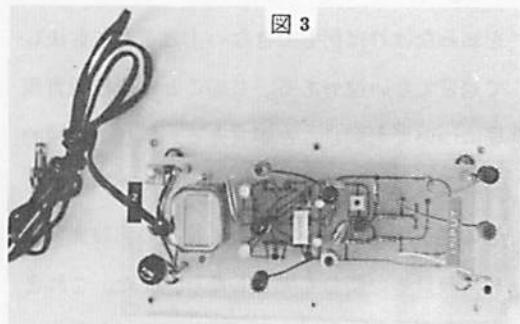


図3



つぎに、本回路が生体電気現象をとらえるという意図で組み立てたので、本装置を用いて行なった実験は、この回路の特性を調べることを目的にして、この回路に2つの入力電圧を加えて、弁別比を求ることとした。

## 弁別比

差動増幅器は同相信号入力を抑制し、逆相信号成分のみ増幅するので外来雑音（同相成分が多い）を小さくでき、微小な電圧を  $S/N$  よく増幅することができる。同相信号をどの程度抑制するかを弁別比といい。

$$\text{弁別比} = \frac{\text{ある出力電圧を生ずる逆相入力電圧}}{\text{同じ出力電圧を生ずる同相入力電圧}}$$

と定義される。

### 弁別比の測定

測定方法は、実験手順をわかりやすくするために、箇条書きとする。

① 発振器（低周波用）およびオシロスコープを用意して、それぞれの入出力端子を増幅器と結線する。

② 図-2で、発振器の出力を IN(1)、IN(2)の両方に加える（同相入力となる）。このとき、発振器の出力がゼロのとき差動増幅器の出力がゼロになっていることを確認する。

③ 発振器の発振周波数を 1 KHz にセットする。

④ 発振器の出力をあげ、差動増幅器の出力電圧が約 0.2 V になるように調整する。このときの入力電圧をオシロスコープで測定し、記録する。

⑤ つぎに IN(2)を Gにつなぎ、IN(1)に発振器の出力を加える（逆相入力となる）。ここで、差動増幅器の出力電圧が④と同じになるよう発振器の出力を調整し記録する。

⑥ ④、⑤で測定した 2つの入力電圧より弁別比を計算する。

⑦ ④、⑤、⑥の測定を発振器の発振周波数 10Hz、30Hz、50Hz、100Hz、300Hz、500Hz、1KHz、3KHz、5KHz、10KHz、30KHz、50KHz、100KHz、について行ない、弁別比を求め、この差動増幅器の周波数特性を調べる。

おわりに

上記の方法で行なった実験結果を表-1に示す。回路は生体電気現象を取り扱うという目的から、低周波特性を持たせたが、実験は 10Hz ~ 10KHz の範囲で弁別比がほぼ -60 dB となり、予期した通りの良い結果が得られた。これで、信号に対して雑音成分が 1/1000 に抑制されることになる。

最後に、この回路の応用について考えるに、種々ある中で、例として、温度と電気抵抗との関係が大変顕著に現われる半導体の 1つとしてサーミスターを、また、光電変換素子の 1つとしてホト・トランジスターを、それぞれの動作実験器としての回路例を示しておく。図-4はサーミスター動作回路、図-5はホト・トランジスター動作回路をそれぞれ示したものである。

筆者としては、これらを参考にして何かのお役に立てていただければ喜びである。

表 1

周 波 数	同 相 入力電圧	逆 相 入力電圧	弁 別 比
10Hz	10 (V)	10 (mV)	-60 (dB)
30Hz	10	10	-60
50Hz	10	10	-60
100Hz	10	10	-60
300Hz	10	10	-60
500Hz	10	10	-60
1KHz	10	10	-60
3KHz	10	10	-60
5KHz	10	10	-60
10KHz	9.0	8.5	-60.5
30KHz	6.2	8.8	-56.9
50KHz	5.6	13	-52.7
100KHz	5.6	24	-47.4

図 4

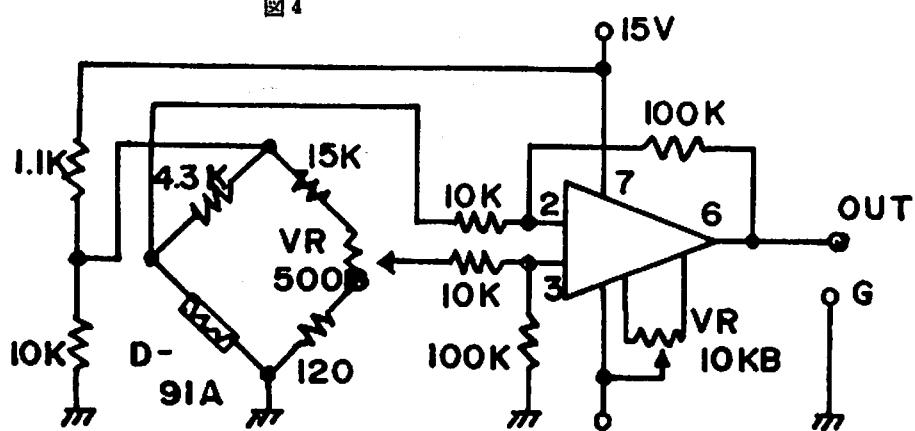
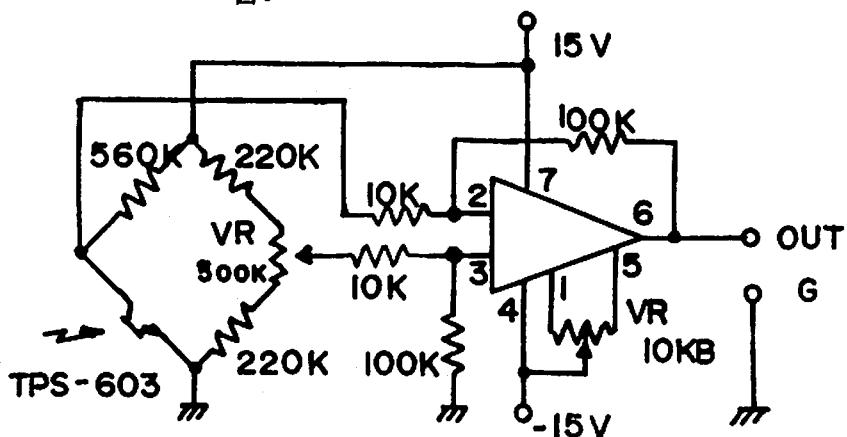


図 5



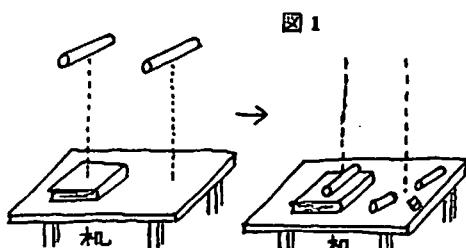
# 授業でのちょっとした工夫

## その1 チョークを利用して

札幌北高等学校 斎藤 孝

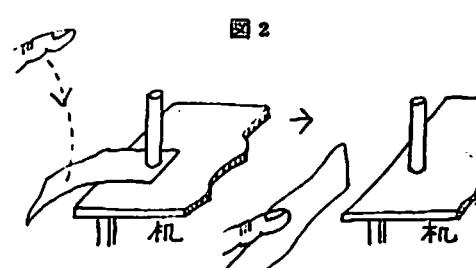
### ① 力積について

二本のチョークを30cm～50cmの同じ高さから落下させ教卓上に衝突させ、図のように一本の方は直接教卓へ衝突させ、他の方は本などの上に衝突させる。結果は明らかなように同じ運動量をもったものが、速度0になるまでの時間の相違により ( $t = m_0 - m_v$ ) チョークに加わる力は夫々相当な違いがある。実験の時は必ずこちらが割れると生徒に予告して行なっても失敗することはない。

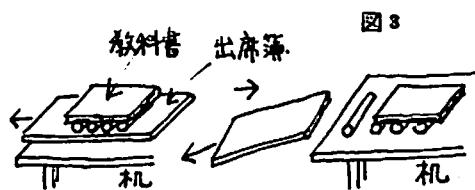


### ② 慣性について

(1) 教卓上に紙を置きその上に立てたチョークを倒さずに紙を抜きとるには、図のように紙を置き、指をつばでぬらして、ある高さより早く指を振りおろして紙をたゝけばよい。コツはある高さから加速をつけ紙にふれた時は十分の速さになっていることが必要である。

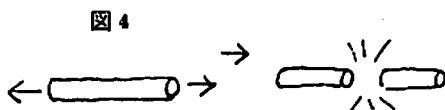


(口) 比較的ゆっくりした動きで、この現象を見せるには、下図のようにチョークをコロとして利用するとよい。

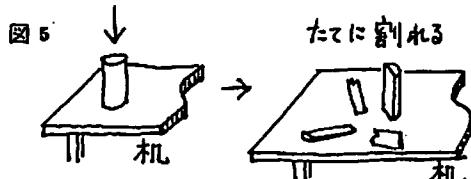


### ③ 変形について

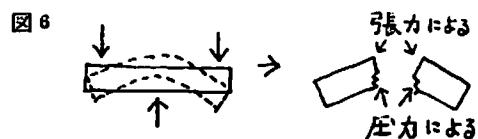
(イ) 張力 チョークの両端を持って引っ張ると、このような物体が張力に弱いことがはっきりするし、また、きれいにするどい切り口が得られる。



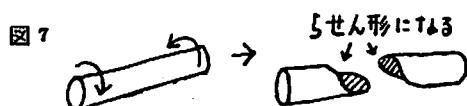
(ロ) 圧力 チョークを半分位の長さにし、机の上に立て、上にチョーク箱など板をのせ上から体重をかけて押す。圧力に強いことがはっきりする。切り口は縦に割れる。



(一) 曲げ チョークの両端をもって曲げると張力を加えられた側は鋭く、圧力を加えられた側は鈍い切り口が得られる。このことから教室のガラスが割れた時切り口を見れば、内から押して割ったか、外から押して割ったかがすぐわかる。

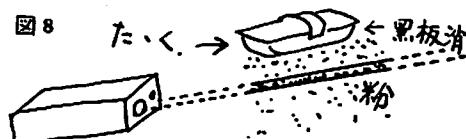


(二) ねじれ チョークの両端を持ちねじると、切り口はらせん状になる。



#### ④ 光の進路について

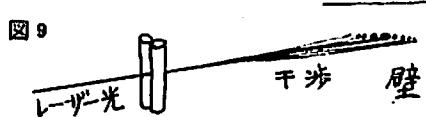
レーザー光の進路を見るのに、煙をあてるとよいが、煙は拡散し易く箱の中にとじこめてなら良く観察できる。それよりも教室内でダイナミックに行うには、下図のように黒板消をたゝいてチョークの粉をレーザー光に沿って振りまくと、生徒の喚声を聞くのは間違いない。



#### ⑤ 光の干渉について

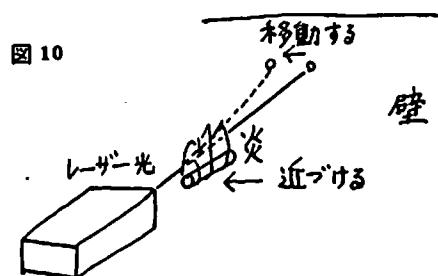
チョークを二本重ねて持って、少しすきまを

あけ、レーザー光をその間にあてると干渉縞を壁にきれいに作ることができる。距離は長い方がよい。



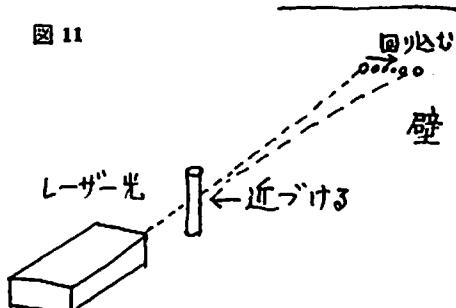
#### ⑥ 気体による屈折

チョーク全体にアルコールをしみこませ、火をつけ、レーザー光の近くの空気を熱することにより、光は熱い空気から逃げるよう屈折する。教室の後の壁などに、レーザー光の光点を作り（距離の長い方がよい）炎を近づけた事により光点が移動するのを確認するのがよい。チョークは試験管ばさみで持つ。



#### ⑦ 回折について

チョークでレーザー光を遮えきろうとするとチョークのふちに沿って光が回り込み、壁にうつっていた光点は横にひろがる。



# アインシュタインの道をたずねて

## —ヨーロッパ科学概観—

旭川東高等学校 奥 林 茂

### はじめに

今年（1979年）はアインシュタイン（Albert Einstein）の生誕100年にあたり、この偉大な天才の業績と人柄をしのび世界各地で何らかの催しが行なわれ、著作も数多く出版されているが、このことは私にとっても非常な関心事であり、この機会に Einstein の物理学を勉強しなおしたいと思っていたところに、日本交通公社が企画するヨーロッパの旅「アインシュタインの道をたずねて」の案内書を手にしたわけで、その内容は Einstein がヨーロッパで学び研究した足跡のみでなく、ヨーロッパの科学をつくり上げた大学・研究所も見て回るものであった。私には外国に出かけた経験は全くなく、日頃、書物を通して、物理学の歴史等を生徒に話す程度なので、機会があれば、一度はヨーロッパの科学を自分の眼でしっかりと見てみたいという願いをもっていた。しかし、この旅行は夏休みに入ってからとはいえ、相当な日数と多額な費用を要するので、決断のつきかねていた頃、「自然」6月号に伏見康治先生の——アインシュタイン記念シンポジウムに出席して——と題したプリンストンでの生誕100年記念の報告を目にした。ノーベル賞受賞者20名以上、出席者百数十名からなる専門家による熱心な討論がなされたようであるが、

日本を代表して出席された伏見先生の報告の中で私の印象に強く残った部分は、アインシュタインの創造的な仕事をスイスのベルンで論ぜられるべきである、と結んでいた言葉である。 Einstein の創造的な仕事を理解するにはスイスに出かけることが最適と思うようになり参加にふみ切ることにした。

旅行の出発日は7月29日、それまで出来る限りの準備をすることにし、我国で出版されている Einstein に関する文献に多く目を通すこと、訪問先のスイス・ドイツ・イギリス・フランス等について予備知識を持つこと、ドイツ語についても多少勉強すること等、あわただしい毎日が続いた。結局、この旅行の参加者は25名の募集に対し18名、当初、石原純先生の長男石原紘氏が参加の予定であったが、老令と体の都合で取消したことは我々旅行団にとっても残念なことであった。参加者の内訳は大学関係者が多く、この他、出版関係、高校教師。

今回の旅行団には我々「アインシュタイングループ」の他に今年で三回目になる「科学史・博物館グループ」14名が同行し、現地でそれぞれ目的に応じて別行動するということで旅行団が編成され、7月29日、21時30分、JL 411便で最初の訪問地、Zurich に向か新国際空港を飛び立ち、ヨーロッパの旅に出かけた

わけである。

## I. アインシュタインの足跡をしのぶ

### (1) Zurich

#### Zurich 州立大学

この大学は Einstein が 1909 年ベルンの特許局を退職後、約 2 年間に渡って員外教授として勤めたところであり、ETH 卒業後、1905 年「分子の大きさの新しい決定」という論文で学位を得た大学である。我々の訪問は既に appointment がとられており、夏休み中にもかかわらず、物理学教室主任自から我々一行を丁重に迎えてくれた。本館は新しく建てかえられ近代的建物に変わっているが、Einstein が研究室として使用していた建物は現存している。主任は OHP を使って、大学の歴史、現在この大学が行っている研究について話てくれた。この大学で教鞭をとった人達の中には A. Einstein をはじめとして、A. Kleiner, P. Debye, E. Mayer, E. Schrödinger, W. Heitler 等々がおり物理学の伝統の重みを感じる。研究についてはスイスの現状、この大学が受持っている研究分野の話があり、1978 年～1979 年にわたっての研究カタログをもらったが内容は省略する。

その後、各研究室を見て回る。どんな素朴な質問にも丁寧に答えてくれる態度には非常に感心した。この大学では、理論を専攻する学生にも一年間は必ず実習を課すそうで、実験室・工作室を見せてもらったが出来る限り自分の手で作るというヨーロッパの伝統が今も生きており学ぶことが多かった。その後、屋上に出て

Zurich 市内の説明を受けたが、私は湖の見える美しい街をながめながら、1913 年に、この地を訪れ、Einstein と親しく研究の話をされた石原純先生の文書を想い起した。<sup>1)</sup> 帰りざわに、旅行団の一人が、Einstein の学位論文を見せてもらえないかと尋ねたところ、それは貴重品なので地下室の金庫に大事にしまってあるので残念ながらお見せ出来ないと体よくことわられ一同苦笑した。なれない Danke schön を口にして主任、および大学関係者とお別れした。

#### 旧 ETH

ETH (スイス連邦工科大学) はスイスにおける唯一の国立大学で、Einstein は 1896 年～1900 年までここに在学し、物理の勉強に専念し、後、1912 年にこの大学の正教授に任命され、学友のグロスマント一般相対性理論の研究をしたところである。現在、この建物はコンピューターを導入した最新の図書館として活用されており、ここには Einstein のコレクションがあるが手遅いで見せてもらはず、図書館の説明を聞いただけで、Einstein のお面影をしのぶことは出来なかった。

#### 新 ETH

Zurich の小高い丘の上に建てられた近代的建物、ここでは、現在研究している内容について、また、学生実験室等を各責任者が熱心に説明してくれるのだが、我々は朝からのハードスケジュールで少々疲れも出て來ていたので内心説明を簡略にと願ったが、そのような機敏な面は理解してもらはず、学問に対する厳しい態度を思い知らされた。各研究室にはその分野の先

驅者の写真が貼ってあり、核物理関係の部屋で湯川博士の写真を見つけたときは救われた思いがした。訪問中、Einsteinに関することは一言も話題に出なかつたが、大学前の通りが Einsteinstraße になっているのを見るとここにも Einstein の偉大さが生きていることが解った。

## (2) Bern

翌 3 1 日は次の訪問地 Bern に向う。Zurich 駅から急行に乗りこみ約 2 時間、車窓から見える景色は牧歌的で実に美しい。しかし、その緑多い平地の中で演習している軍隊の姿を何回も見かけた。これが、一次・二次の両大戦をまぬがれ、永世中立国スイスの現実であることを知った。Bern は Einstein にとって最も実り多く、彼自身が好んだ街だと聞く。1903 年には ETH 時代の学友マリク (Mileva·Maric) と結婚、1905 年には特許局に勤務のかたわらあの有名な三つの論文、特殊相対性理論・光电効果（この論文で 1921 年度ノーベル賞受賞）・ブラウン運動の理論を発表したゆかりの地である。Bern はスイスの首都、人口 15 万の街、街を大きく曲がって流れるアーレ川の河畔から見上げる景色は実にすばらしい。我々一行は、先ず Einstein 協会を訪問し、Einstein のスイス時代の写真、学業成績、遺留品（愛用した懐中時計等）を見る。Einstein の天才についてはよく論ぜられるが、学業成績で見る限りあまり優秀な学生とはいえないようである。

### Einstein Haus

ここは、グリム通り 49 番地にあり、Einstein が結婚生活を営み、長男ハンスを育て、

有名な三つの論文を書き上げた住居跡である。現在は、Dr. Flückiger 氏が多方面に働きかけて、このアパートを買い上げ、内部を修復し、自から館長としてここを訪ねる人達に各種資料を展示し、Einstein の普及・理解に努めている。Flückiger 氏の著作は「青春のアインシュタイン<sup>2)</sup>」として我国でも出版されている。

Haus の中の置物といえば Einstein 伝記には必ず見かける作業机くらいで、机の上に署名簿があり、各自署名出来るようになっている。我々もおもいおもいに署名。Flückiger 氏の説明を聞く。壁は当時と全く同じように復元されており、落着いた雰囲気の部屋である。壁には家族の想い出の写真、学界に関する写真が貼られ、また、彼が好んで弾いたバイオリンの演奏も録音されており、Einstein の人柄をしおぶことが出来る。無名の青年 Einstein について、我々は思い思いに想像をめぐらしてみた。翌朝、我々の Haus への訪問記事が Bern の二社の新聞に写真入りで載っているのを見つたときは少々恥しい思いがしたが、この歓迎ぶりをみて、Einstein は Bern 市民の心の中に誇りとして生きていることを知った。

### Bern 特許局

この特許局は Einstein が大学卒業後、学友クロスマンの紹介で初めて安定した職を得たところである。ここには 1902 年～1909 年の 7 年間勤務している。我々の訪問は appointment されていたので、スイスの独立記念日にもかかわらず局長はじめ数名の関係者が丁重に迎えてくれた。また、特許局の仕事についての説明、日本からの特許の申請も多数あり、

非常に水準が高いようである。特許局は国内外の法律、人事・財務管理の部門、技術部門等からなっているが、Einsteinは技術部門の Physics and electricity の審査を担当、当時の局員は Haller 局長を含めて 33 名（技術部門 14 名）、現在は 201 名とのこと。次に Einstein の話に移る。Einsteinは仕事にあまり熱心でなかったようで、何時も 20 分くらい遅れて出勤し、新聞を読み終えてから仕事にかかり、さっさと仕事を片づけると自分の研究に熱中したそうである。勤務を持ちながらあの有名な論文を書き上げる研究がどのようにして出来たのか興味のある話である。我々の中からも質問が出された。Einsteinはよく本

（論文等）を読んだそうであるが、その本をどこから手に入れたのか、Zurich まで借りに行ったのか、また、特許局の仕事は彼の研究に役立ったのか等々。当時の局長 Haller は立派な学者で仕事の面や研究の態度について強い影響を受けたようである。しかし、何んと云っても、自然それ自体が彼の教科書であった。私は Einstein の天才についてはよく理解出来るが、それを育てたのはスイスにおける学校教育の影響があったのではないかと質問したところ、その影響はあまりないように思うとの返答があり、多少期待はずれであったが、しかし、江崎博士<sup>3)</sup>も語っているように、今日の日本に Einstein のような才能を持った者が生まれたとして、その才能を育てることが出来るだろうか、一高校教師として考えさせられる問題である。その後、飲物を御馳走になり、外で記念写真をとり、特許局に別れを告げた。1979年1月から特許

局の横の通りが Einsteinstraße に名称が変わったそうである。この日の午後、Milano 発 München 行きの汽車でドイツの旅に向った。

### (3) 生誕地 Ulm を訪ねる

ウルム (Ulm) は人口約 10 万、街の中央をドナウ河が流れる美しいドイツの中都市である。Ulm と München の旅行はドイツに来て 8 年、Max Planck 研究所で中性子の研究をしている京大出身の高津氏がガイドしてくれ、説明がよく解った。我々はまず、この街にも作られている Einstein Haus を訪ねる。Einstein はこの街で 1879 年に誕生、当時の人口は約 3 万、中世にはカイザー皇帝のお城があったそうであるが現存しない。

この街には世界一の高さを誇る 161 m の寺院 (Münster) がある。この寺院は 1337 年に建てはじめ 19 世紀末に完成。Einstein 誕生当時は 8 割がた完成していた記録が残っている。実に 500 年以上の年月をかけた寺院である。第 2 次大戦で街は約 75 % 破壊され、Einstein の生家も焼失してしまったが、Münster は戦火からまぬがれたのである。Einstein は 2 才までこの街に住み、その後、München に移っている。

Haus には出生届、家系図、生家・家族等の写真が集められ展示されている。この街でも誕生 100 年式典が催され「Einstein und Ulm」なる資料集が出版されており、私も記念のために購入した。Einstein は 1920 年に秘かに生誕地を訪ねたそうであるが、これが最後になったとのこと。Einstein は 1895 年にドイツ国籍を放棄、1920 年に母が死亡、

同じ年に国籍を回復している。Ulm市はEinsteinを名誉市民に推戴したが、自分がユダヤ人であり市に迷惑をかけることを理由に丁重に断ったそうである。

第2次大戦中、ヒットラーによって名称変更されたEinsteinstraßeは戦後復活し、現在にいたっている。UlmはKeplerによって「新しい天文学」<sup>4)</sup>が発表されたところでもあり、その原著が展示されていた。この後、12年前に設立されたUlm大学を訪問、この大学は医学と自然科学系（数学・物理・化学・生物）を中心の大学で我々は自然科学系の研究施設を見学、説明を受ける。印象はスイスのETH見学のときと同じ。現在、この大学の名称をEinstein大学に変えようとする運動があるが、これには賛否両論があり、スイス国民がEinsteinに対して抱く親愛なる感情にくらべていささかの違いを感じた。

Einstein関係の旅行では、この他、パリのポンピドー文化センターで開催中のEinstein展を見たことである。数多い写真の中に、イギリスの天文学者Eddingtonと一諸に写したEinsteinの写真は印象的であった。1919年Eddington博士のひきいる日食観測隊によって一般相対性理論の正しさが世に認められ、一躍、世界的に有名になったからである。それから、3年後、1922年（大正11年）に遠く離れた我国をはるばる訪問、熱烈な歓迎を受け多くの人々に多大な感動を与えたと聞いている。Einsteinは世界的に有名になってからも、少しも尊大ぶったところがなく、いつまでも子供のような純真さと、情熱を失わ

ず自然の真理を求め、世界平和を願い続けた生涯は我々の心の中に強く生き続けることと思う。私にとっても Einsteinについて理解が深まつばかりでなく、学ぶことの多い旅行であった。

## Ⅱ. ヨーロッパ科学概観

Einsteinの足跡をしのぶかたわらヨーロッパの大学・研究所を見学する機会があったのでその様子を簡単に述べてみたい。

### (1) 西ドイツ

#### MaxPlanck研究所 (München)

この名前のつく研究所は西ドイツには幾つかあり、Münchenには物理学と天文学関係の研究所があり、我々はPlasmaphysikを中心に行き、Ulmに同行してくれた高津氏が通訳してくれ、日頃、不勉強の私にも多少理解することが出来た。西ドイツはこの面での研究には非常に力を入れており、プラズマやエネルギーの実現も間近いのではないかとの印象を受けた。

#### München工科大学

Max Planck研究所に隣接してこの大学があり、向側にはMünchen大学がある。この辺はMünchenの郊外になり、広大な敷地と環境に恵まれたこれ等の大学はいかにもドイツ的であり計画的である。München工科大学にはメスバウア効果で若くしてノーベル賞を受賞したMössbauer教授、東大から移られた核物理の森永晴彦教授等が中心となり研究を続けている。我々は他の大学訪問のときと同じように各研究施設を見せてもらい説明を受ける。この大学には森永グループが作成した $1.3 \times 10^6$ ボルトの

加速装置がある。見学の後、森永先生を囲んで、紅茶を御馳走になりながら、先生の話を聞く。物理学研究の今後のあり方、ドイツの現状、御自分の論文「核物理学四分の三世紀」の引用や、<sup>5)</sup>小林稔先生の「物理の発生学」の内容等を引用して、今後の物理学はもっと根本に立戻って考えてみなければならないこと、また、今後、生き残る物理学はどの分野であるか等について、非常に確信に満ち、示唆に富んだ話を聞くことが出来た。ドイツでは、他人の研究の足を引っぱたりしないので研究はやり易いと話でおられたが、研究の立場にいない私にも解る想いがした。先生は我々をバスまで見送って下さり、別れの挨拶をかわした後、振り返ることもなく足早に去って行った姿は今も強く印象に残っている。

帰りのバスの中で高津氏が、ドイツの大学入学について話してくれたので述べておきたい。ドイツではギムナジウムを卒業すれば誰れでも希望する大学・学部に進むことが出来る。

その卒業試験に失敗した場合、その年にもう一度、試験を受けるチャンスが与えられるが、この試験に失敗したときは、その人は一生大学に行く機会が失われる。いかにも、ドイツ的割り切り方だが、何浪もして、大学を目指している我国の現状はあまりにも甘い考え方なのではなかろうか。私達の旅はこの後、シュトゥットガルト、ハイデルベルクを経てフランクフルトから飛行機で西ベルリンに入る。西ベルリンではハーン・マイトナー原子核研究所を見学、私は単独でベルリンの壁を越え東ベルリンを観光、生活の違いをまのあたりに見てきた。バスの中

からではあるがベルリン大学（現フンボルト大学をこの眼で見ることが出来たのは一つの収穫であった。

### (2) イギリス

この国については、既に、会員の山田大陸氏<sup>7)</sup>の報告があるので重複しない程度でまとめる。Londonでは王立協会と王立研究所を見学。王立協会では職員が協会の歴史となりたちについて説明、過去この協会の会員に推薦された人達の130枚からの肖像画を見て回る。勿論、Einsteinもこの協会の会員であった。また、国王に献上されたと云われているNewton自作第2号の反射望遠鏡も展示されていた。王立研究所ではFaradayの実験室を中心にその業績を見る。翌日はNewtonで名高いCambridgeに行く。ここの大半は23のCollegeからなり、我々はNewtonゆかりのTrinity Collegeを見学、図書館ではNewtonの「プリンキビア」の原著を見る。Cambridgeでは岩波新書「ニュートン」<sup>8)</sup>を参考に見て回る。

Cavendish Laboratoryではこの研究所の機構等の説明を受けた後、J. J. Thomsonによるe/mの測定の原型と誘導コイル、Rutherfordの散乱実験等の实物展示を見る。この研究所の食堂で職員と共に食事をとる。日本からの留学生らしい人に何回か会った。この研究所は、現在、天文学上の業績が著しく、電波天文学では世界をリードしている。パルサーの発見等でライルとヒュイッシュがノーベル物理賞を受賞したのもここである。

### (3) デンマーク

コペンハーゲンにあるNiels Bohr研究所

を訪問。Bohr の理論は我々物理を勉強した者に何んとなく親しみを覚える。この研究所には、我国からも仁科博士（1923年～1928年）をはじめとして多数留学している。北海道にゆかりのある堀健夫先生も留学されていたことを知り嬉しい思いがした。世界的にも、Dirac、Gamow、Heisenberg、O. Klein、Landau、Pauli、Urey 等々、数え上げればきりがない。まさしく原子物理学のメカである。我々は、所員から研究所の歴史・研究施設、仁科先生留学当時の加速装置等、説明を受け見て回る。<sup>9)</sup> 所長の机の上には「長岡半太郎伝」がおかれてあり、日本とのつながりを強く感じた。実は、この伝記の共著者の一人である木村東作先生も我々旅行グループの一人だったのである。この研究所の留学を終え、帰国後、我国の原子物理学の水準を高めた仁科先生、その先生の指導を強く受け、更に世界的水準にまで高めた朝永先生が、我々の出発と同じ月にこの世を去られたことは何んとも言えない悲しみである。

#### (4) フランス

Paris ではキュリー実験室、ボアンカレ研究所の見学が予定されていたが、appointment がうまくとれおらず、結局、滞在三日間とも自由行動、私は大部分観光に時間を使い、別な意味で有意義であったが、科学について語る資格はない。

#### おわりに

正味 17 日間にわたる旅行は以上で終った。私なりに、多くのことを学びとろうとしたが、言葉の障害をいやという程感じた。言葉がわかれ

れば、もっと多くのことを、より正確に、疑問なことは質問して自分のものに出来たのにと思うと残念で仕方がない。しかし、このことは、私にとって新しい出発なのだ。百聞一見にしかず、私にとっては貴重な経験であり、今後、教育の中に生かされることは間違いないと確信している。私はこの旅行中、ヨーロッパのありのまゝの姿（科学・教育・風俗・習慣）を見てこよう努めたが、既成の概念を抜け出されたかどうか、はなはだ疑問である。一高校教師の旅行見聞記として読んでいただければ幸いである。

### 引用文献

- 1) 物理学者の眼（学生社）  
「チューリッヒにおけるアインシュタイン教授」
- 2) フリュキガー著、金子 務訳（東京図書、1978）
- 3) 54. 4. 1 (金) 流行新聞論説  
「アインシュタイン生誕百年記念に思う」
- 4) 1609年、ケプラーによって出版された。Astronomianova (新天文学)、この本には第三法則は含まれていない。
- 5) 「自然」（中央公論社）  
1972年12月号
- 6) 岩波講座 現代物理学の基礎  
月報 (1972. 6)
- 7) 物理教育研究 46. 6. 7  
「歴史的見地による物理教育方法論考」
- 8) 島尾永康著「ニュートン」岩波新書  
(1969. 6)
- 9) 板倉聖宣・木村東作・八木江里 共著  
(朝日新聞社 1973)

## 昭和 54 年度支部研究会報告（その 1）

54 年度支部研究会が、去る 12 月 8 日(土) 北海道大学工学部において開催された。以下、午後 2 時から 4 時にかけて行なわれた研究発表(原著講演)の内容を報告する。

### 講演 1.

#### 物理教育における一寸した工夫

札幌北高校 斎藤 孝

物理の授業を少しでも楽しく進めるために、手近にあるものを利用した簡単な実験をして見せようということで、今回は軟鉄棒とチョークについて、実際に演示しながら発表された。内容の詳細については、発表者自身が本号に記述されるので重複を避けたい。

### 講演 2.

#### 物理教育における科学史原寸再現実験

##### の意義と方法(1) — ジュールの熱の仕事

##### 当量決定装置(1847年)について —

札幌藻岩高校 山田 大 隆

科学史を物理教育の中で有効に利用するための研究をされている山田先生の発表は、科学史上有名な実験装置を再現して物理教育に生かそうというものである。まず、科学史再現実験と物理教育方法上の意義について、内外の研究や文献の紹介をし、ついで、その実践研究の第 1 回としてジュールの水熱量計をジュールの原論文にもとづき、日本で初めて再現した装置の説明がなされた。また、現在使用されている物理

の教科書の全部について、ジュールの水熱量計の図を調べた結果、いずれも水槽内に隔壁があることになっているし、回転翼も 4 枚になっているが、これは誤りであって、原論文やロンドンの科学博物館(52 年 8 月に発表者が見聞)にある原物によると、隔壁はなく、回転翼も 8 枚であることが指摘された。

再現実験において、装置を縮小したりアレンジしたりして、いわゆる原理的再現が多く試みられているが、やはり原寸・原材料による再現でなければならないと発表者は主張している。しかし、単に原寸再現のみでとどまるではなく、その製作過程及び実験を総合的に評価するシステムがなければならないとも説く。それに次の一項目がある、としている。

#### 1. 再現実験評価項目

- (1) 装置論 (2) 人間論
- (3) 教育方法論

#### 2. 結果

- (1) 装置について (2) 作成過程上の知見 (3) 実験結果

### 講演3.

#### C M Iによる教育プランニング・高校物理教育へのC M Iの応用

北大工学部 北村正直

札幌東高校 秋山敏弘

札幌南高校 辺見龍夫

札幌藻岩高校 山田大隆

国立南病院看護学校 飯田紀子

学習指導や教育評価・分析等教育の各分野でコンピュータの利用が多くなってきたが、北村先生を中心とするグループによりC M Iの研究が現在意欲的に進められており、今回の発表はその中間報告という形で行なわれた。まず、C M Iの意味と方法について北村先生から解説がなされた。

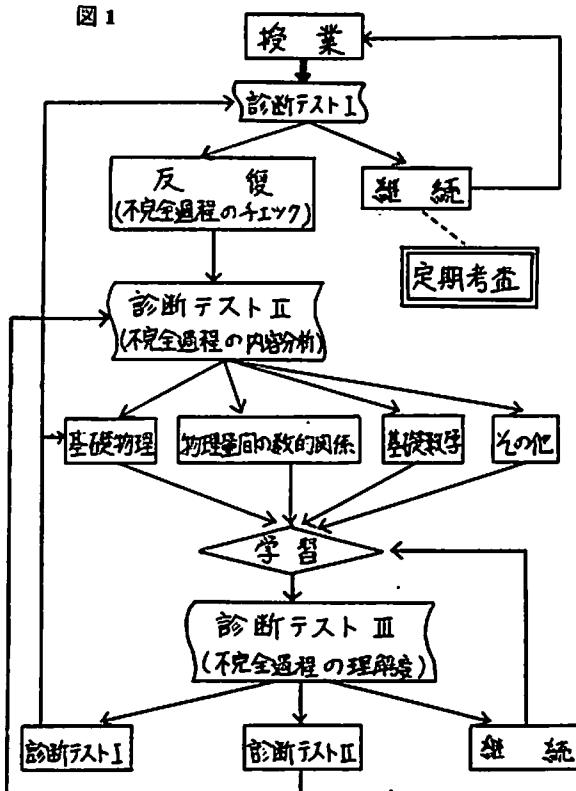
C M I(Computer Managed Instruction)とは、コンピュータを使って生徒の学習能力及び学習達成度の診断と、それに基づいた処置等を取り入れた教授法を指す。例えば高校の物理学教育においては、1)まず、生徒の中学時の数学、及び数学Ⅰの理解度を診断し、2)次に物理の各大項目ごとに学習項目の整理をして、各小項目に導入される物理現象、基本的概念、定理・公式などを列挙、3)これらの事項について生徒の理解・能力を判断できる問題を作成する。4)その結果を分析評価して、各項目の目標がどの程度理解されたかを測定して、生徒の能力向上を図る、というプロセスでコンピュータを利用することになる。もし、ここにコンピュータを使わなければ、膨大な時間と労力を費やすことになろう。

次に、高校物理の指導におけるC M Iの実践

例の報告が行なわれた。

飯田先生は、C M Iでは授業内容と診断テストの目的との関係を明確にすることが大切であることを強調し、その一例を紹介(図1參)、さらに物理Ⅰの波動についての展開例と診断テストの実例の説明をされた。秋山先生からは、波動伝搬式に関する小問例と生徒の解答の分析について、辺見先生からは物理Ⅱの光波について同様の試みの説明がなされた。辺見先生は、C M Iを効果的ならしめるか否かは、いかに良い問題を作成するかにかかっているといつている。今後は、C M Iの問題のライブラリーを作り、C M Iによる学習指導に広く利用していくだきながら、さらにそのライブラリーを拡張していきたいと北村先生は結ばれた。

図1



## 講演4.

### ストロボ記録タイマーの製作とその利用

小樽青少年科学館 佐藤 郁雄

札幌東高校 秋山 敏弘

道立教育研究所 奈良英夫

物理実験における記録タイマーの役割は大きいが、従来のものと共通した特性として、1) 打点の時間間隔が自由に選べない、2) 記録タイマーの位置を固定して使用しなければならない、等があり教育現場の多様な状況に即応できないことも少なくない。今度発表された「ストロボ記録タイマー」は、次のようなものである。

ストロボスコープから発せられた光を CdS またはフォトトランジスタでとらえて増幅し、適当なパルスとする。このパルスで電磁ペンを駆動させて記録する(図2参照)。この方法だとストロボスコープの発光周波数によって打点の時間間隔を自由に遠隔操作できることになるし、また、装置を小型軽量化することによって、運動する台車や滑走体に取りつけたり、装置自身に CO<sub>2</sub>ガスピボンベを積載して滑走させることもできる。従って、諸種の運動の時系列解析を容易にし、平面運動の実験を也可能にするものである。

## [注]

\* 1. オーディオ発振器(P. PIV 以下入力)

\* 2. ストロボスコープによる場合は、Q<sub>1</sub>にフォト・トランジスタよりも CdS を使用した方が復帰が遅いので、ペン駆動部で時間をのばす回路が不要になる。

\* 3. CdS は指向性の少ないものを使い、上向きに取付け、ストロボを天井に向けて放光を入力させるとどこでも使用できる。

\* 4. R の値は、ペン駆動部に流れる電流で Q<sub>6</sub> を決定し、その上で入力値を設定してきめる(例 電源 D C 3 V、ペン駆動時 1.50 mA、R = 510 Ω)。

\* 5. CO<sub>2</sub>ガスピボンベの積載を可能にした本体にしてある。

## 講演5.

### 物理Ⅰと物理Ⅱの相関について

室蘭工業大学 勝木 喜一郎

室蘭工業大学の昭和 54 年度入学試験における、物理Ⅰ(一次)と物理Ⅱ(二次)との相関等についての説明がなされた。

(文責 札幌香蘭高校 石上形幸)

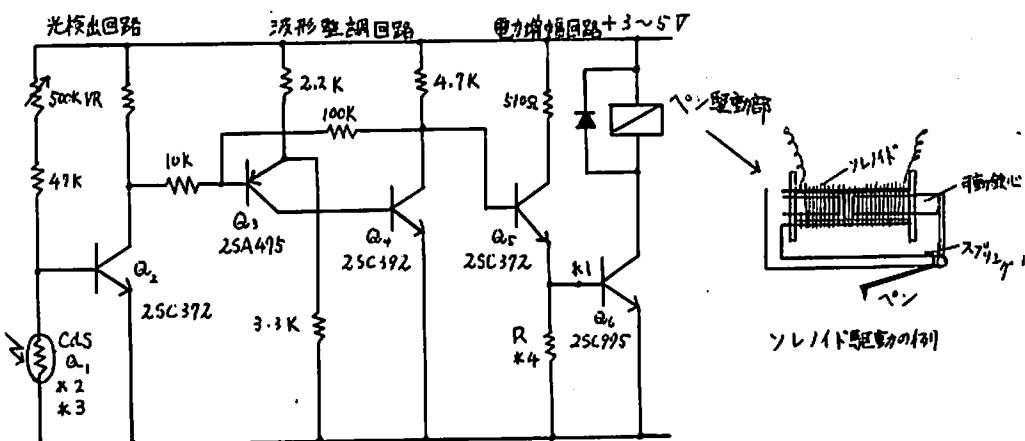


図2 ストロボ記録タイマー回路図

## 昭和 54 年度支部研究会報告（その 2）

### シンポジウム「高校大学における物理学実験」のまとめ

このシンポジウムは、支部企画理事会作成のアンケート調査用紙による調査結果（1979. 11/26～12/5）に基づいて、高校・大学における物理学実験の性格規定・位置づけ、実施の実情とその問題点及び改善方向を明らかにし、この支部研究会の基本目的である、高校・大学物理教育従事者の物理学実験に関する共通理解と援助協力を深める目的で行なわれた。以下の報告は、このシンポジウム（高校・大学約 20 名出席）で協議された内容のうち、今後の物理教育指導において利用価値が高いと思われる話題、物理教育の今日的状況で特徴的話題を中心まとめたものである。何分にも、総括者の主観により正確でない一面的強調のあることを気付するものであるが、大方の読者、シンポジウム参加者の方々の深い理解により補って戴ければ幸いである。

#### a. アンケート解答項目とその結果

調査アンケートは、現在、高校・大学の物理学講義中で行なっている学生生徒実験の内容について、1.課題、2.学年、3.専攻別、4.1 グループの構成人数、5.同一テーマの一斉か否か、6.多種テーマ併列か否か、7.目標、8.テキスト、また、デモ実験についてその現状を回答するもので、この時までに大学 4. 高校 13.（普通科 10. 職業科 2. 女子高校 1）の回答があった

（15 ページプリント）。比較的短い集約期間にもかかわらず、17 校より詳細な回答があり、当日も新しい顔触れの参加者があったことは、このテーマについての関心の高さを思わせた。

大学（旭川教大、室工大、道薬科大、東日本学園大）において共通性の大きい実験項目は、3 校共通で、ボルタ振子、ジュールの電流発熱実験、三極管特性、ホイトストン橋、プリズム分光計、サーミスタ特性、オシロスコープ使用法、基本測定、ヤング率（ユーリング法）、天秤の感度曲線であり、次いで 2 校共通では、熱電対、磁石の磁気モーメント、顯微鏡倍率、レンズの焦点距離、表面張力（ショリー法）、等電位線、コールラウシュ橋で、残りは、クント実験、望遠鏡倍率、密度測定（ヘア一法）、ガイガーカウンター、固体比熱、球指、メルデの実験、分光器、剛性率（ねじれ振子）、ニューボンリング、二極管特性、ボアソン比、五極管特性、検流計特性、電源安定回路と特性、光電管、トランジスタ特性（以上旭教大）。固体体膨張、回折格子、電位差計、単絃による振動数比電荷、放射線吸収（以上室工大）。面積計（道薬科大）は、共通性がなかった。北大（教養部）からは回答がなかったが、旭教大のものとほぼ同様と思われる。共通項目の内容は、実験手引書として古来旧制大学以来定評があるとされる、吉田・武居著『物理学実験』（三省堂

初版昭和15年、改訂同22年)を定本にしている大学が多いためであろう。

次に高校では、物理Ⅰ・Ⅱ共通で、共通性の大きいものは、運動量保存(11校)が最多で、次に落下運動(g測定)(9)、気柱共鳴(9)、単振子(g測定)(9)、基本測定(ノギス、天秤)(7)、比熱測定(7)、力学台車(6)、運動第二法則(6)、電流による発熱(J測定)(6)、はく検電器(6)があり、やゝ共通性があるものに、力学的エネルギー保存(5)、オーム則(4)、摩擦係数測定(4)、電磁誘導(4)、がある。他に電池起電力(3)、電流天秤(3)、ダイオード・トランジスタ(3)、単振動(3)、電球の電流電圧(2)、弦振動(2)、コンデンサー(2)、フック則(2)が多少共通で、独立な実験として、等速円運動、歩行運動解析、CR回路、剛体つりあい、交流周波数、直流回路、ホイストン橋、サーミスター、アルキメデス原理、レンズの焦点距離、ばね振子、ブラウン運動、インピーダンス、力学的摩擦熱、等価回路、慣性モーメント、電気ブランコ、変圧器、ボイルシャルル則、潜熱、電気分解、水波観察があり、特定学校(特定教師)の個性的のものが多い(名寄、札北、香蘭、浜益、野幌、帶広南商)。

また、共通上位(6校以上)項目の実験⑬の中には、北海道理科研究会(北理研)実験書項目14中の実に11が含まれ(わずかにジュール電流発熱実験(6)のみが外れている)、この共通性は、各校が北理研実験書を定本にしているか、又はその精神(項目内容選択上の)を汲んでいることの表われであろう。この北理研書には、三省堂吉田氏の実験手引書(大学)との共

通項目が6あり、特に基本測定(高校7校・大学3校)、単振子(高校8・大学3)、等電位線(高校5・大学2)、気柱共鳴(高校9・大学1)は相関高く、北理研書項目以外にも、金属比熱(高7・大1)、電流発熱(高6・大3)、ダイオード・トランジスタ(高3・大1)、ホイストン橋(高1・大3)、サーミスター(同)、レンズ焦点距離(高1・大2)、弦振動(高2・大1)の共通実験がある。この高大共通項目は吉田本にはすべて載っている。

この傾向で見る限り、高校実験の4割は大学実験(吉田本による)と共通テーマによるものであり、今回シンポの指摘にもあったように、大学の模倣的傾向は多少あるといえる。しかし、純粹に高校独自のもので広く行なわれているものがPSSC流(力学台車、落下運動、運動量保存、電流天秤、ヤングの干渉実験、単振動)の動力学、光学、電磁気学の新開発実験(現代化実験)に多くあり、一方大学は、静力学、定数測定、ボテンシャル測定、光波(分光・定数測定)が多く、さすがに旧態のものを強く残しているのが極立った特徴で対比的ですらある。19世紀まで確立の古典物理学を教授することにより物理的基礎を涵養する、高校・大学(教養)の実験教育内容は、時代とともに余り変わらないものであろう(生化地は大きく変遷している)。しかし、それでも大学は変化がなさすぎ、(いまだ、19世紀ヘルムホルツ時代の体质を残していると言ってよい)現代化に追随して動力学を中心大きく実験用具・手法を変化させてきているのが高校といえると思う(結果にもあるように、高校では、全50項目中独創的実

験（1校のみ）が25（13人中6人）あり、創造性が生かされた実験指導も広く行なわれている）。

#### b. 協議の特徴的内容

- 各高校・大学での実験の取組み姿勢について。

(1) 北教大旭川分校 …… 小中課程の物理専攻（14～15人）に実験ⅠⅡ（33項目）、小中の生化地専攻に実験A B（12項目）、数多い実験を実施する。テキストは、「吉田本」（図・データが見易く、各章まとまり、整理上使用しやすい）平田「基礎物理学実験」、吉川「物理学実験」、水谷他「物理学基礎実験」。実験を多く行なうが、データを出すのみで力がつかない。何のための実験か、来年より10年がかりで根本理念を確立したい。

(2) 室工大（1部）（16項目）…Pre-reportを提出させる。実験は隔週実施（12回以上実施のこと）

(3) 室工大（2部）（22項目）… マンツーマンで自学習出来るように適切指導をする。基本的器具の使用法を習得させることに主眼。

(4) 道薬科大（13項目）

(5) 東日本学園大… 特に単一項目の実施はせず、コアーカリキュラム的に化学薬品（単結晶）等の素材をとりあげ、その物理的性質の確定を種々機材操作を覚える中で行なっていく。

(6) 札幌工業（12項目）

(7) 札幌藻岩（〃）… 比較実験、デモ実験、個性的実験を多く見せる。

(8) 旭川北（20項目）

(9) 北見柏陽（8項目）

(10) 札幌北（13項目）… データよりも実験を判らせ、授業内容理解補助のために行なう。多くの教師実験、生徒実験を行なう。レポートは軽めでグラフのみ提出させる。

(11) 北広島（5項目）… 戸外実験を入れ（初速度実測や投げ上げ）動機づけを高める。

(12) 名寄（11項目）

(13) 香蘭（〃）… 実験週間1ヶ月（テーブル回し4回で週巡。テーブル上に資料（参考書、数表等）を置く。目的のみを与え、自学自習形式にする。適時、実験中生徒を呼び、議論を行なう。事後の評価はいつも大変。

(14) 浜益（19項目）… 多種多様で独創的実験を積極的に取り入れている。

(15) 旭川東（18項目）

(16) 野幌（11項目）… 生徒に作業させ、関心持たせることを第1とする。特色ある実験が多い。

(17) 帯広南商（7項目）

(18) 札幌南（16項目）… 先に実験を行ない、授業への導入に用いる。実験時間は楽しいとの評判あり（生徒熱心で放課後まで行う）。北理研実験書を全部消化する。

#### ◦ 議論の特徴的内容（まとめ）

1. 実験回数 … 高校：10クラス3日、1テーマ1週間（不振生徒の追加実験認可はよい）
2. 実験レポート … 授業ですべて扱うもよい。
3. デモ実験 … 読み書き計算させる形式で行う。
4. 物理実験 … 共通1次の動力になりうるか、（教科書が共通ならば出題される。気柱共鳴、

・ ジュール熱等)

5. 物理実験の目的（差異を明確に）

高校 — 教科書理解の補助的利用

大学 — レポート書き方、処理方法等応用的  
内容中心。

実験はいずれにせよ、物理実験で教科内容  
を理解させるのが目的で、実験を教えるので  
はない（正論であるが、完全実施はむづかし  
い）。

6. 実験成功の秘けつ（斎藤）

- (1) 気軽に実験出来る環境作りをし、実際に  
してみせること。
- (2) 実験は特に判ると面白いもの（生徒はす  
べて判っているとは思わないこと）。
- (3) 実験後、黒板でメカニズムを説明し、理解  
を飛躍させる。

7. 物理教材中の「流体」の消失について

水面波 — 生活上見かける。（水波、正弦  
波、単振動としてとらえ、特に流体を用い  
なくてもよい）

8. 同一テーマの一斉展開か、多テーマの併列  
展開か。

(1) 併列展開

一般物理のため基礎弱く、教科書の理解を  
深め、検証・導入に用いる（大学の場合）

道具不足でやむなく行う（高校の地方校）

(2) 一斉展開

自学自習を前提に一斉展開をする（高校）

道具豊富（早大や海外大学）

9. 実験書の性格

物理学実験 — 必要 } この違いを明  
物理実験学 — 日本に多い } 確にすること。

10. 物理実験教育の方向

最近の高大学生は、論が立つが手が動かぬ  
者多い。機械類に対する操作技術習得を第1  
とすべき。

11. 物理実験の理想

(1) 講義が実験と結びつくこと（講義と無関  
係な実験項目が今日多い。）

12. 実験指導・手引書の内容について

- 吉田流の本 … 学生の興味喚起には使え  
ず。しかし、教師サイドでは、教育目標実  
現として大切なものの。読んで面白いことと  
教育的にきちんとしたものを確定すること  
とは別物である。
- 大学実験書 … 高校スタイルで出来ず。
- 高校の物理実験 … 真の実験目的に合う。
- 大学の物理実験 … 卒論準備等で別目的  
に流れやすい。
- 実験書項目 … 多数は不要、実験で作業  
させ、物を作らせるなど。

13. 理科教育目標と実験

今日小中高と大学で期待する方向は大き  
く離れている。

（文責 札幌藻岩高校 山田大陸）

## 高校 大学 の 物 理 実 験 実 施 状 況 表

(当日配布資料により山田作成)

大学

実験項目	学校名	ボルタの電子 (アメ定)	計	
			コールラウン・ブリッジ	アンペ屈折計
道教大旭川(物専攻)		○	○	○
“(化生地)		○	○	○
富工大 I部		○	○	○
“ II部		○	○	○
造葉科大				
東日本学園大		○		
吉田本(三省堂)	●	●	●	●
合  計	4	2	4	2

## 昭和 54 年度支部研究会の記録

期日 12月8日（土）14時より

場所 北海道大学工学部

### ◎ 研究発表

#### (1) 物理教育における一寸した工夫

札幌北高校 斎藤 孝

#### (2) 物理教育における科学史原寸再現実験の意義と方法(1)

— シュールの熱の仕事当量決定装置（1847年）について —

札幌藻岩高校 山田大隆

#### (3) C M I による教育プランニング・高校物理教育へのC M I の応用

北大工学部 北村正直

札幌東高校 秋山敏弘

札幌南高校 辻見竜夫

札幌藻岩高校 山田大隆

国立南病院看護学校 飯田紀子

#### (4) ストロボ記録タイマーの製作とその利用

小樽青少年科学館 佐藤郁雄

札幌東高校 秋山敏弘

道立教育研究所 奈良英夫

#### (5) 物理Ⅰと物理Ⅱの相関について

室蘭工業大学 勝木喜一郎

### ◎ シンポジウム

#### 「高校大学における物理学実験」

座長 北教大旭川 諸橋清一

## 学会ニュース

### ○ 第23回北海道高等学校理科研究大会

期日 昭和55年7月30日

～8月1日

場所 岩見沢市民会館

主催 北海道理科研究会高校部

主題 理科教育の発展と充実をめざして —

### ○ 応用物理学会北海道支部学術講演会

期日 昭和56年2月上旬

場所 北大工学部

## 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、正会員の三分の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です。

2 執筆の要領

(1) 原稿の標準字数

支部所定の原稿用紙を使用するものとし、1編の標準の長さは、表題のスペースを除くと、図版スペースも含めて約7000字分（指定原稿用紙5枚）に相当します。

(2) 原稿用紙の書き方

・所定原稿用紙（横書き）1枚につき1ページに相当します。最初の1枚目は上から8行あけ、論文題目と勤務先、所属機関及び著者名を書いて下さい。  
1)、2)  
・引用文献は通し番号などを付した上、一括して論文の末尾に著者名、誌名、巻、ページ等を示して下さい。  
\*、\*\*

・脚注は本文中に等の印をつけ、そのページの下に横線を引いた下に書いて下さい。

(3) 図・写真・表

・図については、著者の製図したものを、

直接、縮小も拡大もせずに写真製版しますので、印刷仕上りの大きさ（横幅6cm又は13cmのいずれか、たての長さは20cm以下なら自由）で白ケント紙、トレーシングペーパー又は青色方眼紙に、必ず黒インクで書いて下さい。

なお、原稿用紙には、各図版に相当する字数分（6cm×5cmで200字、13cm×5cmで400字）の余白をとり、その部分に、図の上部のみを貼付して下さい。

- ・写真についても図に準じ、できるだけコントラストのよいものを添えて下さい。
- ・表については、簡単なものは本文原稿中に直接書きこんで下さい。複雑なものについては、そのまま製版しますので、図、写真に準じて下さい。

3 その他

- (1)校正等のため、原稿の控を必ずお手許に保存しておいて下さい。
- (2)別刷については投稿の際に申し出下さい（50部単位）。
- (3)本誌は毎年1回3月発行予定となっております。
- (4)投稿及び原稿用紙の申し込み、ならびに会誌編集に関する連絡先は、下記にお願い致します。

昭和55年5月1日印刷

昭和55年5月8日発行

日本物理教育学会北海道支部  
第8号

編集責任者 中野善明

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)711-2111(内線6724)

印刷所 北真出版(札幌市東区北31条17丁目)  
TEL 781-6582

# 偉大なコンピュータの“力”を 確実に皆さまの“力”にするソード

## BIGなマイコンM-200 マーク シリーズ!!

拡張性をあえて排除した  
経済タイプ

### M203 mark III



大量の事務データあるいは大量のデータに基づく技術計算を高速処理したい、あるいは大型計算機のターミナルとして導入したい皆様に最適のシステムです。

不要の拡張性は一切排除、現在この規模のパーソナルコンピュータに望み得る最大のコストパフォーマンスを追求した低価格のシステムです。1課に1台、そんな感覚でご検討いただきたいと考えています。

高水準オペレーティング・システム(O-S)のもとに、事務用拡張BASIC、BASICコンパイラ、COBOL技術計算用にFORTRAN IV、MBASIC-IIが用意されています。(拡張BASICを使用して、営業情報管理、在庫管理、会計処理、通信システムや土木、建築技術計算などのプログラムが作られています)

M203 mark IIIは標準で内部メモリ64Kバイト、1台350Kバイトのミニフロッピー・ディスク(MAX 4台まで、但し3、4台目は別電源要)、2本のRS232C通信・プリンタ制御インターフェースを内蔵しています。なお、電源異常時の割り込み線、システム異常時の検査用端子も用意されています。

フレキシビリティに富む  
高速汎用タイプ

### M223 mark III

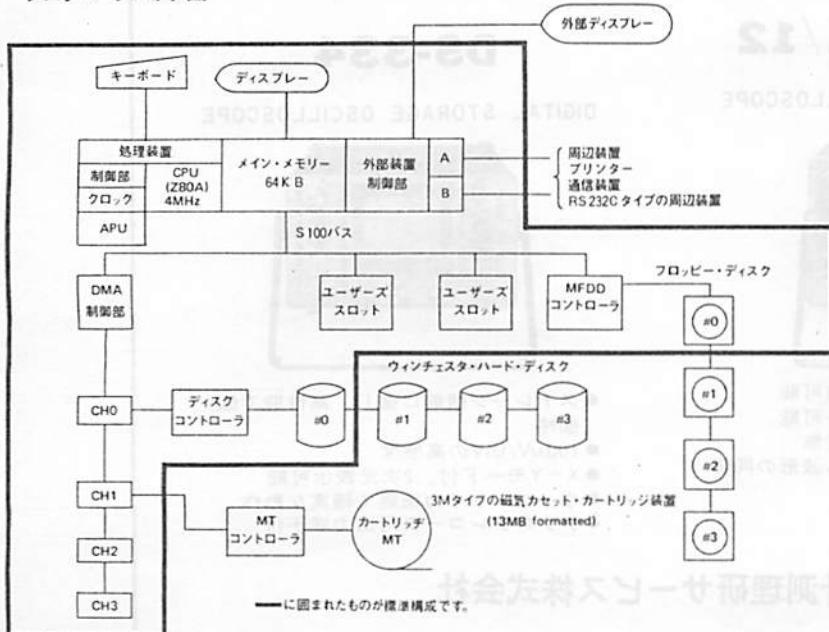


高水準のオペレーティング・システム(O-S)のもとに拡張BASIC、BASICコンパイラ、FORTRAN IVなど用意されたソフトウェアは、非常に柔軟な拡張性を備えたハードウェアとあいまって、あらゆる分野における広範な応用にたえるシステムです。

標準で64Kの内部メモリ、1台350Kバイトのミニフロッピー・ディスク(MAX 4台まで)、2本のRS232C通信・プリンタ制御インターフェースを内蔵しています。また、S100バスを3スロット、電源異常時の割り込み線、システム異常時の検査用端子などが用意されているほか、M200シリーズで使用している全てのI/Oインターフェース(AIO、DIO、SIO、HC-IBカードリーダI/F……)などはそのまま使用できます。これらのI/Oは全て拡張BASICでサポートされ、ユーザーサイドでは複雑なI/O制御を行なわないであります。M223 mark IIIはインターフェースボード1枚差すだけでmark VI用のウインチエスター・ディスクが接続できます。(M223 mark IIIのみmark VIと完全に同等となる) 事務計算の分野、大型機の端末分野、研究室における科学計算、データ収録、制御、また生産現場でのリアルタイム・データ処理など、多くの機能を発揮する汎用コンピュータです。

# M200markVI

システム ブロック図



オペレーティングシステム

mark IIからmark VIは上位互換性がある。

システム・ソフト・ウェア

- リロケータブル・アッセンブラー
- エディター
- デッガー
- リンクージ・ローダー
- ライブラリー・ファイル・エディター

BASIC

- EBASIC
- CBASIC
- MBASIC
- TBASIC
- MULTI USER'S BASIC (開発中)

FORTRAN-IV

COBOL

PASCAL (開発中)

各種ユーティリティ・パッケージ・プログラム

アプリケーション・パッケージ

## ◎希望する仕事を即コンピュータ処理化して実行！

SORDでは、使い易いハードウェアと同様、誰にでも数時間で開発可能な汎用情報処理プログラムPIPSをお贈りいたします。

PIPSは何も特殊なプログラムではありません。日常、誰でもやっている“表”を作る事に始まり、それに手を加え、加工し、また“表”を生み出す。この操作に終始します。ただ、その操作をあたかも電卓をいじる様にキーをたたくだけで瞬時に処理を行なってしまいます。むずかしいコマンドがある訳ではなく、表を作るとか、グラフに描くとか、計算をする、といったコマンドを持っているのです。ですからマニュアルで操作する分にはプログラムなどというものは一切必要ありません。

SORDは、M200 markシリーズとPIPSという低価格で扱い易い道具を提供します。これをどのように使うかはあなた次第です。

新技術で躍進する

**S O R D**

株式会社 ソード札幌

〒001 札幌市北区北9条西4丁目7番4号 エルムビル3F

TEL (代) 731-6107

株式会社 ソード電算機システム

デジタル・ストレージ・オシロスコープ

## DS-332/11/12

DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE

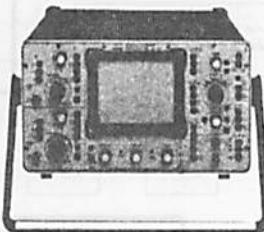


- トリガ以前の波形を記憶可能
- 記憶波形のハードコピー可能
- 管面のニジミや焼付き皆無
- 記憶波形とリアルタイム波形の同時観測可能

デジタル・ストレージ・オシロスコープ

## DS-334

DIGITAL STORAGE OSCILLOSCOPE



- ストレージ機能に優れ、高性能で低価格
- 100 μV/DIV の高感度
- X-Y モード付。2 次元表示可能
- ウィンドトリガ機能で確実な動作
- アナログレコーダ用出力端子付

### 計測理研サービス株式会社

〒001 札幌市北区北6条西6丁目

光明会館2階

電話 742-0755番

### 理化学用器械器具 硝子器具及計量器



有限会社 サンプク  
三富久商会

〒 001 札幌市北区北6条西6丁目

☎ 札幌 (011) 711-0448番

**8040A-01**

## 4½桁ポータブルディジタルマルチメータ

**FLUKE**



8040A-01 基本仕様 確度保証 6ヶ月、18°~28°C

機能	測定範囲	最小分解能	確度	最大許容定格
DCV	±200.00mV~1100V	10μV	0.05%+2d.	1100VDC
ACV	200.00mV~750V	10μV	0.5%+10d.	750V rms
抵抗	200.00Ω~20MΩ	10mΩ	0.2%+3d.	250V AC
DCA	±200.00μA~2A	10nA	0.3%+3d.	2A, 250V
ACA	200.00μA~2A	10nA	3%+10d.	前面ヒューズ

寸法重量: 6.4<sup>H</sup> × 12.4<sup>W</sup> × 14.5<sup>D</sup> cm, 1kg

代理店

株式会社 北海道クリアパルス

〒001 札幌市北区北7条西2丁目 テーエムビル

TEL (011) 741-8235

## 放送番組から精選

なるほどと思わせる  
説得力

- ビデオテープなので利用が容易です。
- テープは4種の方式をそろえました。
- 1巻約10分で効果的な内容を精選。

U方式用 1巻 ¥19,000

V・βI・βII用各1巻 ¥18,000

全20巻

## 高校物理

# NHKビデオ教材



島津から新発売

- 1 落下運動
- 2 慣性
- 3~6 運動の相対性 1~4
- 7 重心の運動
- 8 円運動
- 9 運動量
- 10~11 波動 1~2
- 12~13 光の干涉 1~2
- 14 光の回折
- 15 偏光
- 16 色
- 17 水レンズ
- 18 フレネルレンズ
- 19~20 電流と磁界



教育をとおして未来をつくる

島津理化器械

理化学器械で社会に貢献する



実験台・ドラフトチャンバー・汎用理化学機器

yamato

ヤマト科学株式会社

共通摺合器具・分析機器・環境測定器



柴田化學器械工業株式會社

高感度記録計・pH計・電導度計・温度滴定装置

TOA

東亜電波工業株式会社

テフロンダイヤフラム・ペローズポンプ・ケミカルポンプ



株式会社 イワキ

サーミスター・温度計・調節計・サーミスター・風速計



株式会社 芝浦電子製作所



津元理化産業株式会社

札幌市東区北6条東2丁目札幌総合卸センター

TEL 直通 (011) 711-4117 〒060-91

大代表 (011) 721-1161 内線 365-7

テレックス 933-290

苫小牧営業所 苫小牧市末広町1丁目11番地

TEL (0144) 34-5585 〒053