

PHYSICAL
EDUCATION
RESEARCH

物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

No. 9

1981. 4

目 次

○ 卷頭言	清水 清	1	
○ 物理教材としてのホログラフィ	村田和美	2	
○ 光ファイバを用いた光学実験	今井正明	9	
○ 大学からのぞいてみた高校物理の一端 —物理Ⅰにおける単振り子とその扱い方—	小田島 晟	16	
○ 授業でのちょっとした工夫 (その1)	一 口 芳 勝	26	
	(その2)	須藤悌次	27
	(その3)	白崎 三千年	28
○ Monorail car の紹介	林 正一	31	
○ 異常気象の力学的機構をさぐる	吉田 静男	36	
○ 理科の基礎学力向上のために —高校生の学力調査から—	秋山敏弘	41	
○ 「物理実験」と私	福島 久雄	44	
○ アメリカ・イギリス駆け歩き —大学教育視察記—	諸橋清一	47	
○ 昭和55年度支部研究会報告		54	
○ 昭和55年度支部研究会の記録・学会ニュース		57	
○ 支部規約・支部会誌投稿規定		58	

卷頭言

北海道教育大学 清水清

わが国の初・中等教育の科学教育に関する国際比較では、科学教育の方法の評価は別としても、児童の学力は高く評価されている。わが国の教師が欧米の科学教育の事情を知っていることに比べると、欧米の教師はわが国の科学教育の実態を良く知らないから、わが国の児童の示す学力の結果を見て、欧米の教師は、わが国の科学教育の方法に強い関心を示す。わが国の現代科学は明治以降の短期間に発展して来たものであるが、科学教育の実践的方法に限って言えば、明治以来どのように発展し続けて来たのか、そして今後に引続いて発展させるべき方法は何かを明らかにすべき時期に来ているのではあるまい。

また、欧米の科学教育の研究者から、しばしば、日本では初・中等学校の数学や理科の教員を養成する教育課程について問われるが、大学における教育方法を見ると欧米の方が優れているように思われる所以、答えに困ることがある。わが国では、特に急激な大学の膨張に対応した科学教育の改善が成功していない。この1月広島大学でOECDのCERIの高等教育国際会議が開かれ、また7月には筑波で、第7回IUT（大学教育改善国際会議）が開かれるが、大学教員の訓練と教授方法の改善についての組織的な努力において、欧米の方が一步先んじていると思われる。幸いわが国でも、国の施策として大学における教育方法改善経費が計上されるようになった。大学教育の中で養成される教員が、次の時代の初・中等教育を担うことを考えると、大学における教育方法、特に科学教育の方法の改善の実践的研究と大学教授たちの教授法改善訓練を継続的に推進することは緊急の課題と思われる。

物理教材としてのホログラフィ

北海道大学工学部 村田和美

1. はじめに

ホログラフィは1948年、D. Gaborにより発明され、1960年代に入ってレーザーの出現とともに著しい発展をとげた新しい写真技術である。¹⁾

従来の写真技術に対しホログラフィは、結像レンズを必要としない、立体像を再生する、粗面物体の変形の干渉測定を可能とする、などの多くの特徴を持っているので、過去20年の間にその原理、技術および応用の各面でさかんに研究されてきた。

ホログラフィが一般に普及してきた昨今では、これを物理教育に取り入れる学校も増えてきた。筆者も約10年前から講義の中でホログラフィの原理を説明し、ホログラフィ実験による立体再生像を学生に観察させることにしている。米国の高校では物理実験の一つにホログラフィを加える傾向にあり、またわが国においても既にホログラフィの実験を物理の教材に組み込んでいる高校もあるときいている。

ホログラフィを物理の教材に導入することは次の点で意味が大きい。第一にホログラフィの原理を説明することにより、レーザー光の性質、光の振幅と強度、写真材料の感光特性、光の干渉と回折など基礎的かつ重要な物理現象を理解させることができる。しかもホログラフィの実

験の結果として真実感のある立体再生像を実験者自身の眼で確かめられる。第二にホログラフィ干渉実験を行なえば、一般的の粗面物体の変形量を非接触で二次元的に精度よく測定できるので、応力分布・歪分布・ポアソン比・曲げモーメントなど応用力学の解析に使われ工業教育にも役に立つ。

本稿ではホログラフィ実験を高校、工業高校、工業高専または大学の物理教材として導入することを想定し、その原理と実験技術について述べよう。

2. ホログラフィの原理

2. 1 光 波

光波は時間的に振動し空間的に伝播する電磁波の一種で、角周波数 ω の単色光はある時空間 (x, y, z, t) の観測点においては一般的に

$$A(x, y, z, t) = a(x, y, z) \cos\{\omega t + \phi(x, y, z)\} \quad (1)$$

とあらわせる。ここで a はこの光波の振幅で明るさの情報を与え、 ϕ はこの光波の位相で波面の形の情報を与える。この光波の観測点における強度は、それが時間的に定常であるとすると

* 光波を $a(x, y, z) \exp\{i\phi(x, y, z)\} \exp\{i\omega t\}$ のように複素数表示すれば以下の計算も簡単になるが、高校では(1)のように教えた方がよい。

(1)の2乗の時間平均

$$\begin{aligned} I(x,y,z) &= \langle A^2(x,y,z,t) \rangle \\ &= \langle [a(x,y,z) \cos(\omega t + \phi(x,y,z))]^2 \rangle \\ &= \frac{1}{2}a^2(x,y,z) \end{aligned} \quad (2)$$

で与えられる。ここで $\langle \rangle$ の記号は時間平均を意味している。(2)のように光波の強度 I はその振幅 a の2乗であらわされるが位相 ϕ の情報は失っている。

2. 2 従来の写真技術とホログラフィ

従来の写真技術では図1のごとく照明された物体からの反射光をレンズによって結像させ、その像の強度分布を写真材料に二次元的に記録する。従ってこれを現像した記録像に光をあて観察しても、物体像の明るさの情報は得られるが、位相すなわち光波面の形についての情報を失っているので、その像を形成した光が伝播した距離や方向が判らず立体感は得られない。

これに対しホログラフィでは物体からの光波

(物体光)をその振幅と位相の情報を失なわないようにして写真材料に記録する。そのため物体光とは別に物体の側方から写真材料に到達する光(参照光)を同時に与え、物体光と参照光によって形成される干渉縞を写真材料に記録する。従ってホログラフィでは干渉性のよいレーザー光源を用いなければならない。ホログラフィにおいても写真材料が光の強度を記録することには変わりはないが、この干渉縞の強度分布は物体光の振幅と位相の両方の情報を含んでいる。つぎにこの写真記録を現像したもの(ホログラム)をもとの位置におき、物体光記録のときに用いた参照光と同じ光(再生照明光)を照射すると、ホログラムからさきに記録した物体光と同じ光(再生物体光)が出てくる。このようにホログラフィは物体光をホログラム面において時間的にいったん凍結したのち、再びその物体光を再生する技術である。従ってこの再生

図1 従来の写真

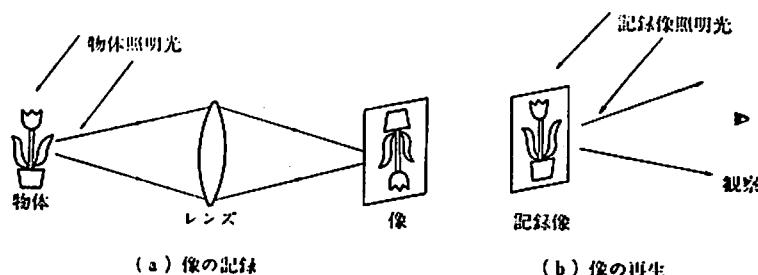


図2 ホログラフィ

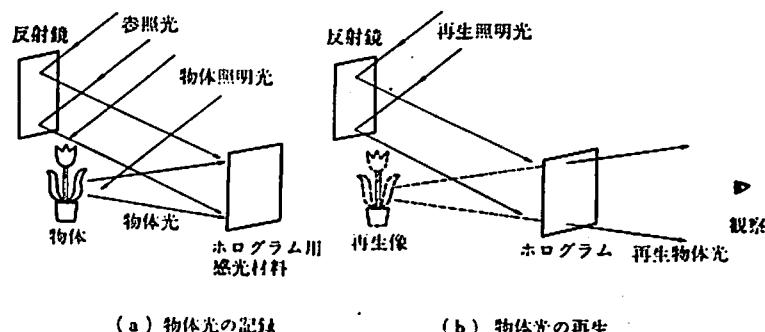
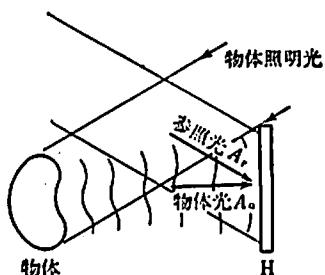


図3 ホロ
グラフィ
の原理



a 物体光の記録

物体光はもとの物体と同じ像（再生像）をもとの位置に虚像として結像することになる。

2. 3 物体光の記録

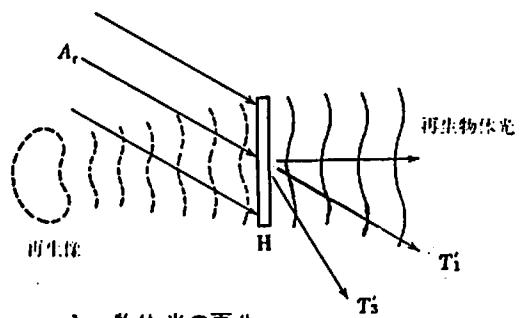
ホログラム用写真材料面上に空間座標の原点をとり、 x, y 軸がこの面内 ($z = 0$) にあるとする。まず物体光の記録段階では図3 a のごとく、写真材料 H 上に到達する物体光 $A_o(x, y, t)$ と参照光 $A_r(x, y, t)$ はそれぞれ

$$A_o(x, y, t) = a_o(x, y) \cos\{\omega t + \phi_o(x, y)\} \quad (3)$$

$$A_r(x, y, t) = a_r(x, y) \cos\{\omega t + \phi_r(x, y)\} \quad (4)$$

とあらわれる。参照光は平面波（または球面波）であるから x, y 面内でその振幅 a_r は一定としておく、またその位相 ϕ_r も単調に変化すると考えてよい。一方、物体光は物体面で反射散乱した光が伝播してきたものであるから、 x, y 面内でその振幅 a_o はゆっくりと変化するが、その位相 ϕ_o は不規則にはげしく変化するものである。物体光と参照光は干渉性がよいので、 x, y 面上に干渉縞を形成しその強度分布は(1)～(4)により

$$\begin{aligned} I(x, y) &= \langle [A_r(x, y, t) + A_o(x, y, t)]^2 \rangle \\ &= \frac{1}{2} a_r^2(x, y) + \frac{1}{2} a_o^2(x, y) \\ &\quad + a_r(x, y) a_o(x, y) \cos\{\phi_r(x, y) \\ &\quad - \phi_o(x, y)\} \end{aligned} \quad (5)$$



b 物体光の再生

となる。こゝで第3項の計算には三角公式

$$\cos\alpha \cos\beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha+\beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha-\beta) \quad (6)$$

を用いた。(5)の第1, 2項は干渉縞強度の直流分、第3項は交流分に相当する。

つぎにホログラム用写真材料の感光特性を考える。一般的の写真の感光特性は入射光量の対数に対する現像後の濃度の特性を $H-D$ 曲線としてあらわすのが普通であるが、ホログラムの場合は図4のごとく入射光量 $E(x, y) = I(x, y) \times t$ (ただし t は露光時間) に対し現像後の振幅透過率 $T(x, y)$ の曲線で感光特性が与えられる。この特性曲線には直線に近似できる部分があり、入射光量がこの範囲に収まるよう露光を与えれば、露光時間 t は全面で一定であるから $T(x, y)$ は

$$\begin{aligned} T(x, y) &= k_0 + k_1 I(x, y) \\ &= k_0 + \frac{1}{2} k_1 [a_r^2(x, y) + a_o^2(x, y)] \end{aligned}$$

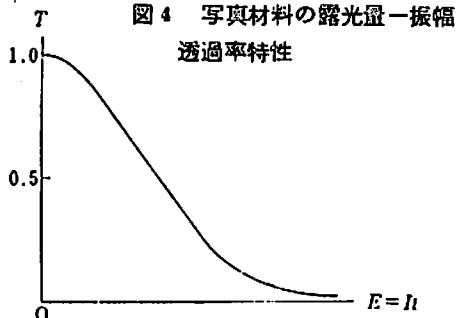


図4 写真材料の露光量-振幅
透過率特性

$$+ 2 a_r(x,y) a_o(x,y) \cos\{\phi_r(x,y) - \phi_o(x,y)\}] \quad (7)$$

とあらわれる。ただし $k_0 (> 0), k_1 (< 0)$ は定数である。これがホログラムの振幅透過率である。

2. 4 物体光の再生

ホログラムから物体光を再生するには、図 3 b のごとくホログラムをもとの位置におき、さきに物体光を記録したときに用いた参照光 A_r と同じ光を再生照明光として入射させればよい。

このときホログラムの透過光は(4)と(8)の積で与えられ、干渉縞の微細構造による回折のため次式および図 3 b にしめすように 3 方向に分れる。すなわちホログラムの透過光は

$$\begin{aligned} T'(x,y,t) &= A_r(x,y,t) T(x,y) \\ &= [k_0 + \frac{1}{2} k_1 \{a_r^2(x,y) + a_o^2(x,y)\}] a_r(x,y) \cos\{\omega_t + \phi_r(x,y)\} \\ &\quad + \frac{1}{2} k_1 a_r^2(x,y) a_o(x,y) \cos\{\omega_t + \phi_o(x,y)\} \\ &\quad + \frac{1}{2} k_1 a_o^2(x,y) a_r(x,y) \cos\{\omega_t - \phi_o(x,y) + 2\phi_r(x,y)\} \\ &= T_{1'}(x,y,t) + T_{2'}(x,y,t) + T_{3'}(x,y,t) \quad (8) \end{aligned}$$

とあらわせる。こゝで再び(6)の三角公式を用いた。(8)の第 1 項 $T_{1'}$ は再生照明光 $A_r(x,y,t)$ が定数 $k_0 + \frac{1}{2} k_1 \{a_r^2(x,y) + a_o^2(x,y)\}$ の減衰を受けて真直ぐ透過する成分光波である。第 2 項 $T_{2'}$ はさきに記録した物体光 $A_r(x,y,t)$ が定数 $\frac{1}{2} k_1 a_r^2(x,y)$ の減衰を受けて再生される光波である。この再生物体光はあたかももとの物体から直接伝播してくるがごとくホログラムから射出する光であり、もとの物体をもとの位置に虚像として結像する。従ってもとの物体が立体的であればその像も立体的であるのは当然である。

第 3 項 $T_{3'}$ は第 2 項の再生物体光とくらべると

その振幅は同じであるが、位相が異なる。一丸 (x,y) は物体光の位相と逆符号にしたものであり、この波面はホログラム面に関してさきの虚像と対称な実像を結ぶことを意味するが、さらに $2\phi_r(x,y)$ が加っているためこの実像の方向は再生照明光の方向 $\phi_r(x,y)$ の 2 倍の方向へ偏している。このようにホログラムを透過した三つの光波成分 $T_{1'}, T_{2'}, T_{3'}$ は回折により 3 方向に分離される。このうち重要なのは再生物体光 $T_{2'}$ であることとは云うまでもない。

2. 5 ホログラフィ干渉法

普通の干渉計では検査される物体の表面は滑らかな面でなければならないが、ホログラフィによれば物体の表面が粗面であってもその変形量を干渉縞として測定することができる。こゝでは板の変形測定の例としてホログラフィ干渉法の原理を述べよう。まず図 5 a のごとく変形前の板からの物体光 $A_1(x,y,t)$ を参照光 $A_r(x,y,t)$ を用いてホログラム用写真材料 H に露光する。つぎにこの板に後から圧力を加えて変形を与えたときの物体光 $A_2(x,y,t)$ を前と同じ参照光を用いて同じ写真材料に重ねて露光する。こ

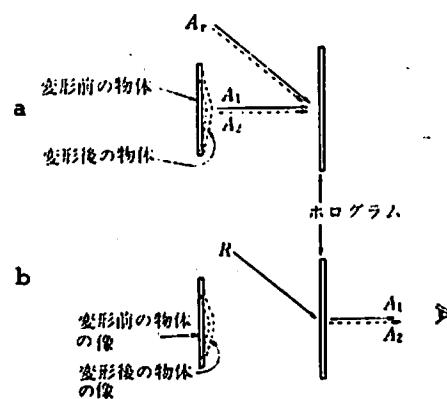


図 5 ホログラフィ干渉法

れを現像したホログラム H はこの板の変形の前と後の物体光 A_1 と A_2 が 2 組の干渉縞として 2 重記録されたものであるから、これに再生照明光 A_r を与えれば物体光 A_1 と A_2 が同時に再生されそれぞれ変形前後の板の虚像をつくる。この二つの像光は干渉性があるのでその位相差 $\phi_2 - \phi_1$ にしたがって干渉縞を形成する。光の波長を λ 点 x, y における板の変位量を $u(x, y)$ とすると $\phi_2(x, y) - \phi_1(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} u(x, y)$ (9) の関係がある。この位相差が 2π の整数倍、すなわち板の変位量 $u(x, y)$ が光の波長の整数倍の点の軌跡として明るい干渉縞が観測されることになる。なおホログラフィ干渉により物体の形状や振動モードなども測定可能である。

3. ホログラフィの実験

3. 1 ホログラフィの実験技術

ホログラフィの実験に必要なものは、レーザー光源、光学実験台、ホログラム用写真乾板（またはフィルム）および適当な物体である。物体光の記録実験は暗室または暗箱の中で行なうが、物体光の再生実験は特に暗室でなくてよい。

ヘリウムネオンレーザーの $1 \sim 2 \text{ mW}$ の小型のものは最近はどの学校でも所有していると思われる。レーザーの出力が大きい程露光時間が少なくて済むので、 5 mW 程度のレーザーがあればなおよい。またレーザーは单一モード直線偏光のものが望しい。つぎにホログラム用写真材料は記録する物体光と参照光の干渉縞が 1 回当たり $200 \sim 2000$ 本程度の微細な縞構造をもつて普通の写真フィルムでは無理で、表 1 のごときホログラム用の高解像力乾板（フィル

表 1. ホログラム用写真材料

品名	解像力(本/cm)	感度(ASA)
コダック 649 F	2,000	0.03
アグファレーンチア 10E7S	3,000	0.5

表 2. D-19 現像液処方

温水	500 ml
メトール	2 g
無水亜硫酸ソーダ	90 g
ハイドロキノン	8 g
炭酸ソーダ	52 g
プロムカリウム	5 g
水を加えて	1000 ml

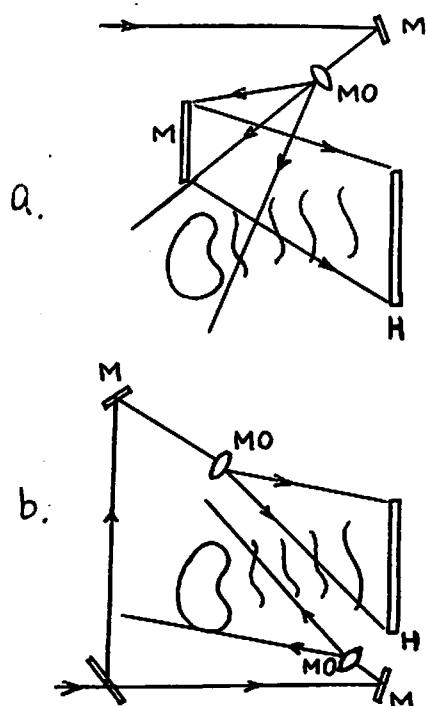


図 6 ホログラフィ実験台の光学配列

ム) が市販されている。またそれらの現像処方を表 2 にしめす。

つぎにホログラフィ用光学実験台の配置の簡単な例を図6にしめす。物体照明光と参照光は球面波でもよいので、レーザー光を球面波にするため顕微対物レンズMOが使われる。ミラーMは表面鏡でなければならない。物体光と参照光の両光路長がほど等しくなるようにすれば干

渉稿のコントラストがよいホログラムを得られる。物体光の再生実験は同じ装置を用いてもよいが、レーザー光源と顕微対物レンズ1個によって再生照明光をつくり、その光束中にホログラムを挿入して観察すればよい。

つぎに光学実験台は防震せねばならない。高

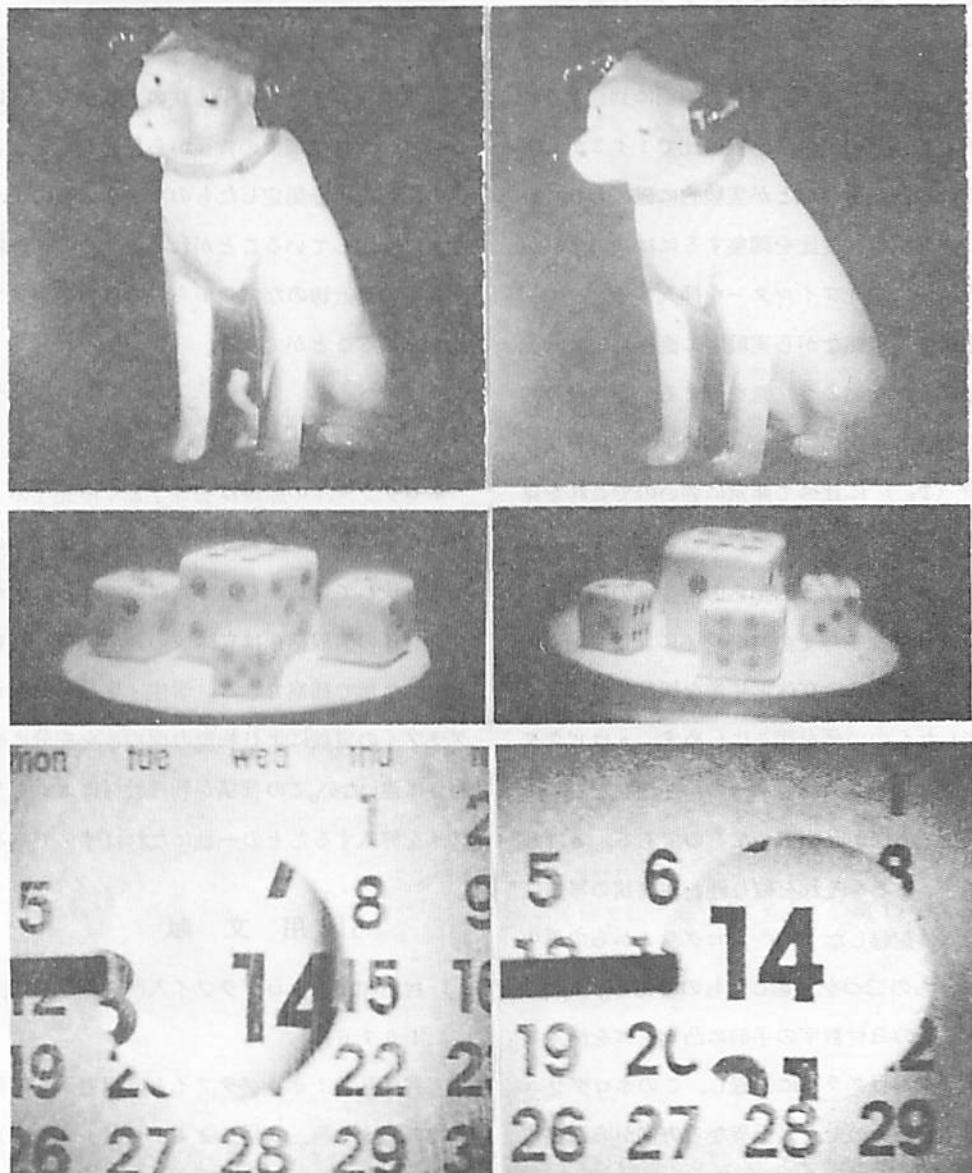


図7 ホログラムからの立体像再生

級な防震装置も市販されているが、自動車のチューブ4本に空気を入れて床に並べ、その上に厚い板をおきさらに光学実験台を乗せる程度で充分な防震効果がある。

干渉縞記録の際の露光時間は、レーザーの出力や写真材料の感度により異なるが、現像されたホログラムが真黒く見えるようでは露光オーバーで、薄黒く見える程度の方が良質の再生像を観測できる。なお、写真材料面に到達する物体光と参照光の割合は、強度比で1:3から1:5の範囲がよいことが実験的に確かめられている。両光束の強度比を調整するには、いずれかの光路中に減光フィルターを挿入する。

最後に、当然ながら実験中に直接レーザー光を眼に入れないよう注意を要する。再生像の観察のときも0次の回折光(8)のT_{1'}は再生物体光(T_{2'})に比べて非常に強いのでこれを見ないようにしなければならない。

3.2 ホログラムからの再生像の例

3次元的な物体をホログラムに記録し、このホログラムからの立体再生像を観察しカメラで撮影したものの例を図7にしめす。aはピクターのマスコット犬ニッパーの再生像を左右の少し異なる方向から観察したものである。bは数個のさいころを取り囲む円筒状の写真フィルムに記録した360°ホログラムからの再生像のうちの二つを撮影したものである。cはレンダーの日付数字の手前に凸レンズを挿入した状態をホログラムに記録し、このホログラムを再生したもので、若干異なる方向から観察するとルーペの作用をする凸レンズを通して拡大される数字が変わるので面白い。

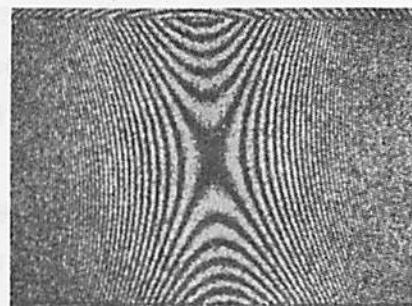


図8 ホログラフィによる変位の干渉測定

最後にホログラフィ干渉法の実験例を図8にしめす。²⁾これは鋼板の背後から圧力を加えたときの変形を干渉測定したもので、馬の鞍のような形に変形していることがわかる。この干渉縞双曲線の漸近線のなす角からこの板材のボアソ比を求めることができる。

4. おわりに

ホログラフィの原理は物理学とくに光学の基礎的現象に基づいている。またホログラフィの実験も決して難しいものではない。さらにホログラフィの実験結果は立体像の再生という最も直観的な形で観察できる。学生・生徒達はホログラフィの実験により物理の面白さを充分に味わうに違いない。この拙稿が物理教材にホログラフィを導入することの一助になれば幸いである。

引用文献

- 1) 村田和美: ホログラフィ入門、朝倉書店、(1976)
- 2) 斎藤弘義: ホログラフィと応用力学、応用物理、39巻、3号、241頁(1970)

光ファイバを用いた光学実験

北海道大学工学部 今 井 正 明

1. はじめに

最近、新聞や雑誌等で「光ファイバ通信」という言葉を見かけた方は少なくないと思う。これは銅ケーブルの代りに人間の髪の毛程度の太さのガラス繊維を使って、電気の信号を光で置き換えて情報を送るものである。光ファイバは銅ケーブルに比べると、細い、軽い（銅の比重の4分の1）、曲げられる、高圧線・雷・電車の架線などからの誘導を受けないことに特長がある。さらに銅資源は有限だか、光ファイバの原材料であるシリカ (SiO_2) は地球上に無尽蔵に存在するために省資源になるといった利点がある。

ここ数年間の光ファイバ通信の技術進歩は目ざましく、テレビ・電話などの公衆通信回線に近い将来光ファイバケーブルが使われる見通しである。現在電々公社が中心になって、大都市内の電話局間および都市と近郊を結ぶ市外伝送用として光ファイバを用いた伝送実験が行われている。北海道においても、今年の5月頃から苫小牧市で光ファイバを使った電話ケーブルの商用試験にとりかかるとのニュースが報道された（1月5日付北海道新聞夕刊記事）。また青函トンネルが完成したときは、本州と北海道を結ぶ通信ルートに光ファイバケーブルを敷設することが考えられている。また実生活に光ファ

イバ伝送方式を導入したものとしては、奈良県東生駒の映像情報システム「Hi-OVIS」が注目される。そこでは各家庭とセンターを光ファイバでつないで、双方向画像サービスの実用化試験が行われている。近い将来には、各家庭の間で映像を見ながら、情報のやりとりを行うような通信網ができることも夢ではない。その他、電力会社では光ファイバケーブルの無誘導性に着目して、監視制御用回線に既に実用化しているところもある。

このように光ファイバを用いた伝送システムは今後増大する傾向にある。通信革命の担い手といわれる光ファイバとはどんなものか。本解説において、光ファイバの原理に触れてみたい。その基本的性質について光学の基礎知識を用いて平易に説明する。さらに物理教育として光ファイバの応用を考えたときに、実験室内でできる光学実験の2、3の例を紹介して、読者の参考に供したいと思う。

2. 光ファイバの原理

光ファイバは石英ガラスの繊維で、直径は普通 $100 \sim 150 \mu m$ であり、髪の毛よりもちょっと太い程度である。ファイバの内部は光が伝わる中心部（コア）とそのコアに光を閉じ込める外側の層（クラッド）から成っている。コ

アとクラッドの材料の間にはわずかな屈折率の差があり、コアはクラッドよりも屈折率がやや高い。このような構造にすると、ファイバの一端から入射した光はコアとクラッドの境界面で全反射しながらコア内を伝播する。

この全反射による光導波現象は1870年にイギリスのJ. Tyndallがチューブから吹き出した水に沿って光が屈進することを見い出したのが最初とされている。原理的にはこのような以前から知られていた光ファイバは、今世紀に入り具体的な形状が考案された。1950年代になって、ガラス細線を被覆するクラッド層が有用なことが報告されて、今日のステップインデックス（階段形屈折率）ファイバの原型が作られた。同じ頃に多数の光ファイバを束にして、現在のファイバスコープと同様な画像伝送についての基礎実験が行われている。この二重構造のガラス細線における光の導波機構はスネルの法則を用いて説明される。図1に示すように、コアの屈折率を n_1 、クラッドのそれを n_2 ($< n_1$) とすると、コアの中心軸に対して角度 θ で入射した光線のうち、②のように角度の大きいものはクラッドへ抜け出てしまう。しかし光線①のように θ が全反射角 θ_c ($= \cos^{-1}(n_2/n_1)$) よりも小さいものは全反射され、コア内に閉じ込められて伝搬する（図2(a)参照）。このとき最大受光角 θ_{max} は光ファイバの外部を空気（屈折率 $n_0 = 1$ ）とすると

$$\theta_{max} = \sin^{-1}(n_1 \sin \theta_c) = \sin^{-1}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \\ = \sin^{-1} NA$$

で与えられる。NA (Numerical Aperture) は開口数と呼ばれて、光学において重要なパラメ

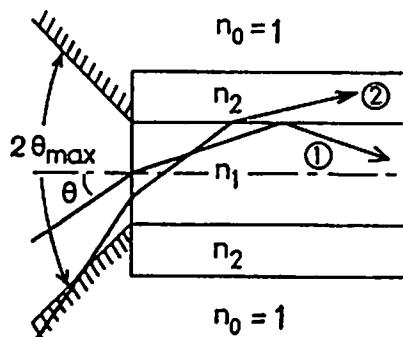


図1 光ファイバの導波原理

ータである。例えば、 $n_1 = 1.5$ 、 $n_2 = 1.485$ とすると、 $NA = 0.21$ が得られる。そのとき、 $\theta_c = 0.14 \text{ rad} \approx 8^\circ$ 、 $\theta_{max} = 0.21 \text{ rad} \approx 12^\circ$ となる。

光ファイバとしてこれまで説明した階段形屈折率ファイバの他に、屈折率が放物線状に分布した分布形屈折率ファイバ（図2(b)参照）がある。このような不均質媒質中の光伝搬に関する光学の歴史は古い。自然界においても、空気の密度差により生じた屈折率勾配のために光が曲げられ、あたかも海岸線が目前に広がっているかのように見える蜃気楼という現象は良く知られている。これは光が不均質な媒質中を進行するとき、その屈折率分布に従って光が屈折することを意味している。これを固体ガラスで実現したものが、日本で開発された（日本電気と日本板硝子の共同開発）セルフオックファイバである。図2(b)の屈折率分布から分る様に、中心軸から離れるにしたがって距離の2乗則により屈折率が減少している。この光ファイバ内の光線は中心軸の周りを蛇行しながら伝搬するが、

これは連続した屈折率分布を階段形の薄い層で分割すると理解し易い。ただし、各層の内部では屈折率は一様と考える。各層の境界面においてスネルの法則を適用すると、屈折角の補角（光ファイバの軸から測った角度）は軸から離れるほど小さくなる。そしてついに全反射角 θ_c よりも小さくなると、全反射してそれよりも遠くの層に入らなくなり折り返えされる。このように折り返された光線は再び中心軸の方向へ徐々に屈折し、結局光線は正弦状にうねりながら伝搬する。これから分るように、この分布形屈折率ファイバとは異なりレンズ作用を有している。したがってこの種の不均質媒質をレンズ状媒質と呼ぶこともあり、従来の固体レンズにない特徴を活かした新しい応用を考えられている。

3. 光ファイバを用いた干渉実験

光学教育を目的とした光学実験にレーザーを光源として用いて、光の回折・干渉等のデモンストレーションを行った報告は本会誌にも発表¹⁾されている。ここでは光ファイバとレーザーを用いた光の干渉実験の2, 3の例を紹介する。光の干渉とは1点から出た一定波長の光（単色の光波）を2つの光束に分けてさらにこれを同一の点で再会させると、波の山と山、谷と谷が重ね合う場所では光の強さが強められて、山と谷が重ね合う場所では互いに打ち消されて強さが零になる。このような干渉現象を観測するのにヤング(young)の実験が有名である。レーザー光源からの光を平行光にしてそれを2つのスリット(開口)に当てるとき、各々から回折されて伝搬する光波は干渉性があるから、遠方に

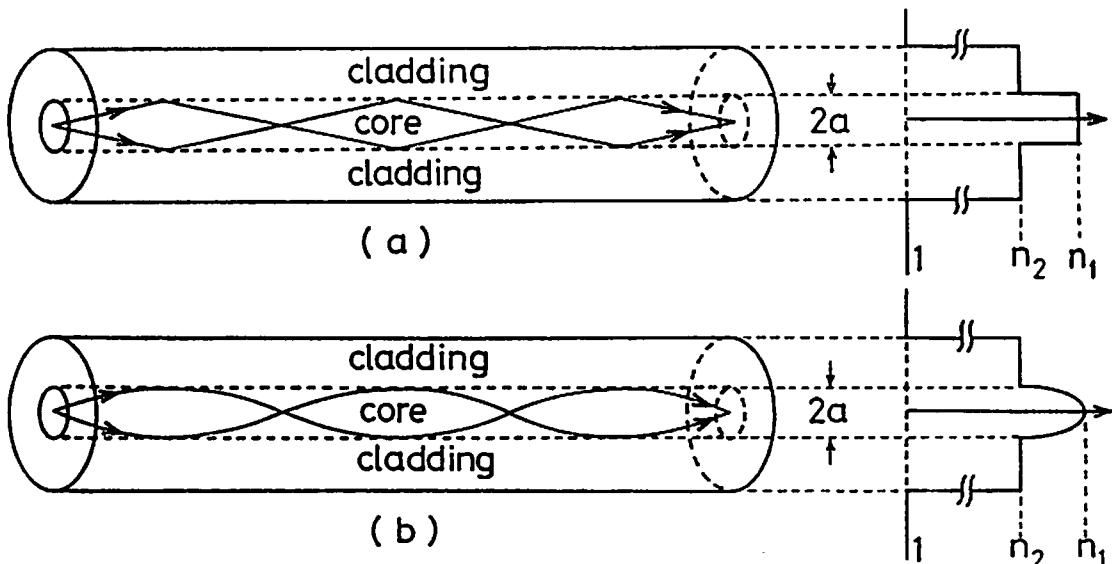


図2 光ファイバの種類と光線の伝搬。 (a) 階段形屈折率ファイバ、
(b) 分布形屈折率ファイバ

おかれたスクリーン上には明暗の縞が見られる。この実験において、2光束が伝搬する経路を光ファイバで置き換えてみたらどうだろうか。図3に示すように、レーザー光源から出た光を半透鏡(B.S.)により互いに直角となる2光束に分けて、各々をレンズ L_1 、 L_2 (例えば顕微鏡対物レンズ)を用いて光ファイバの端面に集光する。光ファイバを通ったレーザー光は他方の端から出射するが、2本のファイバの出射端を重ねるように配置することにより、遠方のスクリーン上に干渉縞が形成される。このとき光ファイバを任意の形状にしておくと、光ファイバを用いた特徴が出る。ただし、この干渉縞にはファイバのモード間干渉効果によって班点模様^{*}が現われる(図4参照)。この班点模様は光ファイバの屈折率分布に關係があり、分布形屈折率ファイバの場合には階段形屈折率ファイバよりも班点分布の1個の平均サイズは大きい。

次に、図3に示した干渉実験を光ファイバのみを使って行うことを考えてみる。すなわち半

透鏡を使わずに光ファイバの分歧回路により2光束に分ける。光ファイバの主成分であるシリカ(SiO_2)は溶融温度は非常に高い(1600℃～1800℃)ために、酸素炎を用いて加工する必要がある。実験ではブタンと酸素を混合して使うマイクロフレームトーチが小型で簡便である。このトーチにより2本の光ファイバの捩り合せた部分を溶融してファイバのコア同志を融着させる。このとき、2本のファイバの両端に適当な荷重をかけておく。荷重によって溶融した部分が両テーパ状になり、そこでは1本の光ファイバからの光が他のファイバへ光ファイバのモードは光の電界振幅分布を表している。光ファイバの光線モデルは幾何光学より導かれるが、マックスウェルの方程式から出発する波動方程式を解くと、電磁界はある固有のパターン(電界分布)をもつことが分かる。固有の位相速度と振幅分布をもつモードが多数同時に伝搬すると、光ファイバの出射端においてはそれらが互いに干渉し合って複雑な班点模様を作る。この班点分布はスペックルパターンと呼

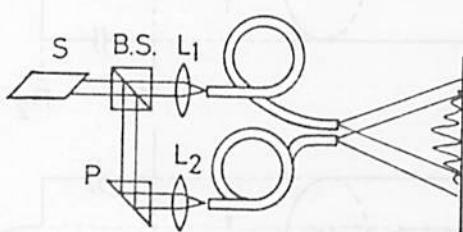


図3 光ファイバを用いた干渉実験

S: レーザー光源

B.S.: ピームスプリッター(半透鏡)

L_1 , L_2 : 顕微鏡対物レンズ

P: 直角プリズム

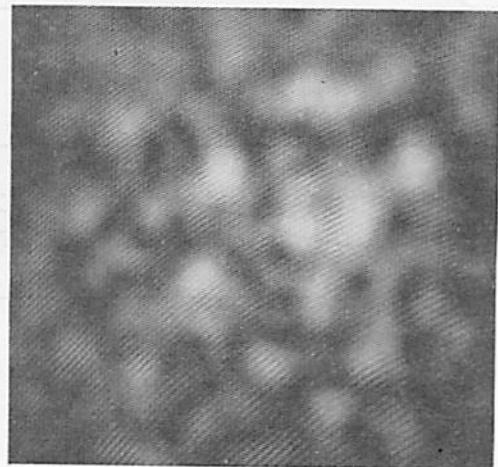


図4 観測された干渉縞

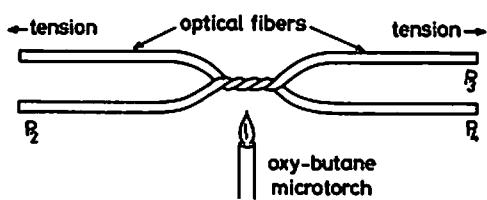


図 5 光ファイバ結合器

ばれて、レーザー光のようなコヒーレントな波を扱う場合に現われる興味ある現象である。移り易くなる。その結果、 P_1 ポートから入射したレーザー光は結合部を通過することにより、 P_3 と P_4 ポートに分割される。一部の光は P_2 ポートにも結合するが、その光強度は極めて小さい。この光ファイバ結合器の問題点は P_3 と P_4 ポートからの光出力を等しくしようとすると、外部へ

の散乱光強度が増えることである。また結合部を極めて細くしなければならず、機械的強度も弱くなるので注意しなければならない。通常、 P_3 と P_4 ポートからの出力比を $1 : 3 \sim 5$ 程度の分岐比をもった結合器は容易に作ることができる。この光ファイバ結合器を用いると、先に示した光学干渉実験は半透鏡を使わずに行うことができる。そこでは光軸合せの必要もない。 P_1 ポートからレーザー光を入射させて、 P_3 と P_4 ポートの出射端を密着させて並べることにより、観測スクリーンには干渉縞が見える。

4. 光ファイバ結合器を用いた干渉計

前節では、光ファイバ結合器を使うことにより容易に干渉実験を行うことができるることを示

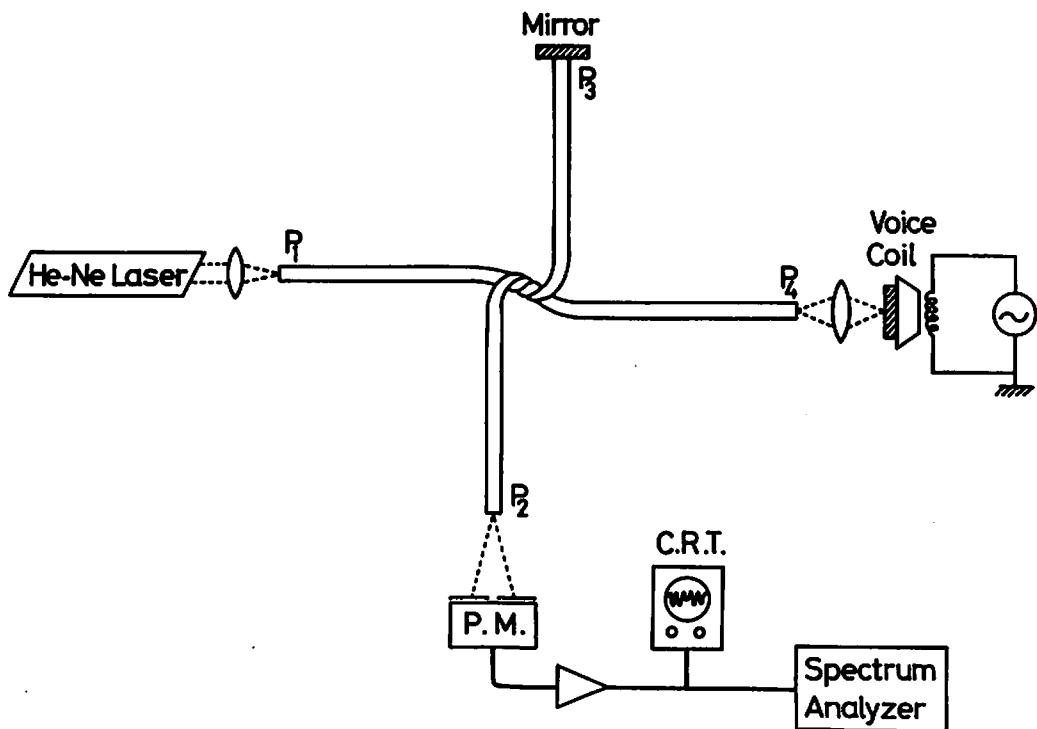


図 6 光ファイバ結合器を用いたマイケルソム型干渉計

した。ここではこの結合器を用いてマイケルソン型干渉計を構成することにより、動いている鏡の振動速度・変位を測定することを考えてみよう（図6参照のこと）。電磁波、音波が動いている物体によって反射されるとき、その波の振動数が見掛け上変化する、いわゆるドップラー効果については良く知られている。光波においては、特に天文学におけるドップラー効果の重要性は大きい。比較的近いところにある恒星や星団のスペクトル線が波長の長い方へずれたり、短かい方へずれたりする。これは明らかに恒星と地球との相対運動によるドップラー効果で説明できる。このドップラー効果の室内実験を行なうことは物理教育の観点からも有益であろう。

図6に示すように、レーザー光源からの光をレンズにより P_1 ポートに集光して入射させて、 P_3 と P_4 ポートに分割する。 P_3 ポートには固定鏡を密着させておき、 P_4 ポートから出た光はレンズを介してスピーカのダイヤフラム上に取り付けた鏡に集光するように配置する。スピーカが

可聴周波数で振動するとき、それによってドップラー効果を受けた光と固定鏡からの反射光が結合部を通過することにより重ね合せられて P_2 ポートより出射する。それを光電検出器、ここでは光電子増倍管（P. M.）により光電変換すると、電気信号には鳴り（ビート）の成分が検出される。図7には実際にオシロスコープ上で観測されたビート波形（下側）とそのときのスピーカの駆動波形（上側）を示す。この場合駆動信号は 300 Hz の周波数である。スピーカに取り付けた鏡が

$$x = \xi \sin \omega t$$

で変化するとき、ドップラービート周波数は

$$f = 2\xi\omega/\lambda \cdot \cos \omega t$$

で与えられる。ただし、 ω は鏡の振動の角周波数、 ξ はその最大変位、 λ は光の波長である。ドップラービートが駆動信号の半周期毎に繰返しているが、位相が反転している。これは鏡の振動方向が P_4 ポートに対して近づいたり、遠ざかったりする往復運動から説明される。さらにビート成分を周波数解析するためにスペクトルアナライザに入力すると、スペクトル分布が見られる。その結果、ビート信号の最大周波数、スピーカの駆動周波数、レーザー光の波長が与えられると、スピーカ上に取り付けた鏡の最大変位 ξ が求められる。あるいは駆動信号の半周期間におけるビート波形の繰返しのサイクルを数えて、それに光の波長の $1/2$ を掛けることによっても振動鏡の最大変位を得ることができる。これに関する証明は読者におまかせする。いずれにしても、ビート信号を観測することによって振動物体の変位、速度がわかる。私達の実験

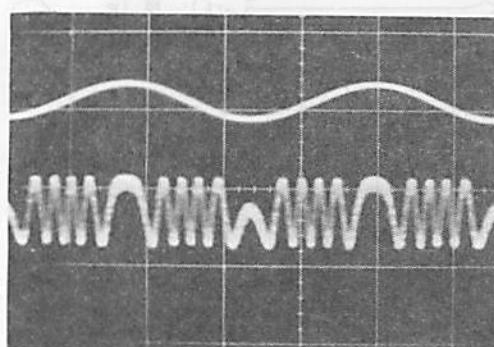


図7 ドップラービートと波形（下側）
とスピーカの駆動波形（上側）

室では変位が $1 \mu\text{m}$ ($= 10^{-3} \text{ m}$) ~ 数 $10 \mu\text{m}$ までの範囲、速度にして 0.2 cm/sec ~ 2 cm/sec の振動鏡の動きが検出された。レーザー光を用いたドップラー効果の実験は、その応用として振動物体の変位、速度を測定することができ、物理現象の身近な応用の面白さを教えてくれる点で興味深い。

5. おわりに

光ファイバは未来の通信用ケーブルとしてだけでなく、私達の身近なところで物理実験の教材にも使えることを光の干渉実験を例にとり示した。光ガイドとして見た光ファイバは任意の経路に沿って光を導くことができる優れた特長を持っている。その点からも従来の光学実験とは異なるユニークな使い方があると思われる。ここで挙げた 2, 3 の実験例は光ファイバの可とう性と加工のし易さに着目して、従来の光学系よりも容易に構成できる干渉実験をとりあげてみた。特に光ファイバ結合器を用いた干渉計は、半透鏡を用いずに 2 光束に分割して、さらにそれを重ね合せる所以ができるので、光学系を配置する上で非常に簡便なものとなった。光ファイバ結合器を使う干渉実験では、まずガラス細工のようなファイバ加工から始まり、光学系の配置、それに基本的な電気測定機器があれば高校の物理実験として十分にやっていけると思う。

本解説で述べた他にも、光ファイバを用いた光学実験として種々の面白い応用があると思われるが、これらについては教育現場におられる先生方に期待したい。本解説が光ファイバとレ

ーザーを用いた光学実験の可能性について、読者の関心を換起すれば大変幸いである。

文 献

- 1) 朝倉利光：物理教育研究、165 (1977.)
- 4) P. I.

大学からのぞいてみた高校物理の一端

物理Ⅰにおける単振り子とその扱い方

北海道大学工学部 小田島 晟

I はじめに

大学において日頃は研究専門になっている者でも、毎年、入学試験の時期になると、高校の物理教育に関心を持たせられるようになる。最近そのようなわけで、単振動を中心として、物理の教科書を読んでみた。著者にとって、高校教育とはこれまで隣りの国の事柄であった。今回、大学入試という定期船に誘われて、いわば異邦人として、高校物理の一端—単振り子—to the moon and back で見てきたにすぎない。本稿は、そのつたない見聞録であるが、フレッシュな印象とともに 2、3 の私見を加えてみたい。

2) 力学的エネルギーと電気エネルギーとの交換の問題など、新傾向がみられ、これまでに見慣れない問題が出題されている。
3) 単なる公式をあてはめるだけの問題ではないので、基礎の理解をおろそかにしている場合には困難であろう。

(A) 否定的な意見としては

1) 今回の出題には、教科書中心の学習のみでは手が届かないような問題がいくつか見られる。
2) 問題の量が多く、その設定が複雑である。それで、題意を正確にとられ、全体の物理現象を理解するのに手間どり、時間に追われる事になる。

3) このような出題傾向が続くとすれば、高校生は授業中心の学習以外に、多くのタイプの受験問題に慣れおく必要性にせまられることになる。

大学に在るものは、(A)の肯定的見解に傾きがちではないか。受験生の多くが物理を“暗記物”として受け止めていないかとの危惧の念を去り得ないからである。(A)はむしろ授業中心とした学習の重要性を強調しているのではないか、物理現象の眞の理解は受験参考書などからは得られない、と考えるわけである。

II 入試問題と高校教育のあり方

II-1 入試問題に対する相反する批判

今年も共通一次テストが終わったが、1月11日の新聞紙上には、理科の中で物理の問題のみが年々難かしくなっていると報じられた。しかし、その評をよく注意して読むと、問題の適切性に肯定的なものと否定的なものとに大別されることに気がつく。

(A) 肯定的な意見には

1) 物理を身近に考えさせようという工夫のあとがみられ、物理的考え方を問うことに重点がおかかれている問題である。

Ⅰ-2 入試の高校教育における影響

一方、二次試験ではあるが、高等学校で生徒に物理を教えていた者の立場からして、物理入試問題についてもう一つ異なる批判が日本物理学会誌上で目についた。¹⁾ 物理の基本概念を真に理解しているかを判定できる問題が望ましいことは言うまでもない。しかし、そのためにややもすると物理として大分無理な条件を課した問題が作成されることがある。このような問題は、問題の指示にそのまま従って解答すればむしろ易しく感じられるものであるが、高校の教師にとっては、「問題に与えられた仮定が成り立つわけはどうしてか?」と生徒に問われたときの指導の仕方に苦慮しなければならなくなる。その結果、入試問題が高校の正常な教育をゆがめはしないかとの意見である。

これに対して、京大、浅井教授は、その場合に教師の対処すべき 2 つの方法を答えている。²⁾

1) 物理の問題を解く場合に、問題を簡単化して近似的に解答を見出すというやり方があるということを、生徒に理解させる。

2) 結果的には高校指導要領の範囲を越えることがあろうと——このような質問はおそらく優秀な生徒からのものであろうから——高校生の理解力の限界まで丁寧に正攻法で教える。

その結果、生徒が物理のより広い世界を覗き見ることになる。このような優秀な学生をのばすことも、高校教育において必要なことではないか、と述べている。

しかし、一方では、(B)のように試験問題の適切性に否定的な意見が存在するのであるから、高校物理のカリキュラム、高校生全般のレベル

も認識する必要があろう。また、高校生の論理的なものの考え方がどの程度であるか、それが物理にどう反映されているか。高校教育における物理と数学との関係。これらもみのがせない重要な因子である。

Ⅲ 高校における物理学習課程と単振動

Ⅲ-1 教科書にでている単振動の扱い

もう一度、共通一次試験（物理 I）に目をそそぐと、昨年度の問 I、単振動の問題には、難しすぎるとの多くの批判がみられる。³⁾ 「つる巻きばねにおもりがつるされて静止している。これに真下から小物体が衝突してはね返り、おもりが上下に単振動を始める」との設定のもとに多数の問い合わせが課されている。これらの中に高校生にとって少し程度の高すぎた問題があることはまちがいない。しかし、批判の中には、“単振動”などは統一テストから除いた方が良いではないか、などがあるのには驚かされる。

“運動の法則”的発見、ひいては近代物理学の発端は振り子にあるといつても過言ではない。振り子は、その運動を注意深く観察し、思考すると、そこに色々の問題が見い出されるので、高校物理教育の上でも極めて価値のあるテーマと思う。

しかるに、文部省の指導要領では、単振動は、それを教えるというよりも波動を理解させるためのわき役と考えているようである。もちろん多くの物理 I の教科書では、“単振動”を“物体の運動”的章にとり入れているが、等速円運動と関連させて説明しようとしている。しかし、等速円運動は、本当は物理 II のテーマになって

おり、そこで始めて“向心加速度”のみならず“向心力”を学ぶことになるのである。これらについての知識なしに“復元力”が物理Ⅰに現われる所以であるから、生徒には単振動の本質的なところがなんとなくぼかされて感じるのはないか。

さらに苦言したいことは、物理Ⅱでは円すい振り子が現われているにもかかわらず、ここで単振り子との関連性が明記されていない。長さの振り子を角度 θ だけ傾けて、“おもり”を水平面内で等速円運動を行なわせる。その回転周期は

$$T = 2\pi\sqrt{L \cos \theta / g} \quad (3)$$

(g は重力加速度)となることが教科書に述べている。円すい振り子の運動は単振り子の後にホイヘンスによって研究されたものであるが、傾き角 θ が十分小さいときは

$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \quad (4)$$

と近似できる。(4)式は単振り子の振動周期と等しい。このことは重要なことであるが物理Ⅱにはこのことが言及されていない。おそらく授業時間においては、もう一度上述のような観点から単振動が復習されるのであろう。こうして問題が多角的にくり返し扱われて、思考の機会が重なり、生徒の理解が深まっていく筈である。

III-2 大学生の力学の理解度 —その一例

関連することがらとして、ICVの柿内先生の「学習中の思考の過程」と題する論説⁴⁾を紹介したい。その中に一例として、斜面にそっての落下的問題に対する大学初年級の学生(自然科学専攻ではないが)60名程の答えを紹介し

ている。「図-1のように傾斜の違う斜面にそって、同じ高さから球をおとす場合を考える。

(問1) BからとCからと、どちらからおりてきた球の方が水平面にきたとき早く走るか?との質問に対して——これは感じを尋ねてい

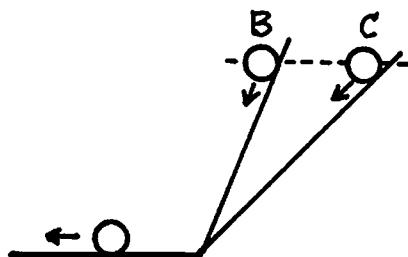


図1

るのであって、理詰めの解答を求めているのではない——Bからの方が速く走ると答えた者が60%、Cからの方が速いと答えたものが10%で、両者が同じという答えは30%にすぎなかった。そこでつぎに、

(問2) BからとCからとで、すべり出しの加速はどちらが大きいか?と尋ねると、Bからの方が大きいという答えが65%、Cからの方が大きいが15%で、同じが20%であった。柿内先生は、(問1)、(問2)の解答数の対比から、(問1)の印象的な回答は「加速度が大きいか小さいかが強く意識され、それで落ち切るまでの時間の違いにあまり注意が届かなくて、のような結論になったもの」、と判断されている。「高校の教科書には斜面にそっての等加速度運動が扱われている。それで、学生は走行時間 t と走行距離 s とをむすぶ公式

$$s = (1/2) \cdot a t^2 \quad (5)$$

は知っていても、上の(問1)を解決するのに役立つような仕方で理解されてきていない。」

と推察されている。

著者がもっと不思議に思うことは、物理Ⅰにおいて“力学的エネルギー保存の法則”を学んできているこれらの学生が、何故にガリレオ^{*)}の域に達することができないかである。ガリレオは、斜面上の落下によって得られる速度が、高さにだけ関係し、傾きには関係しないことを認識していたとは周知のところである。さらに、ガリレオが単振り子を壁の前で振り動かして行なった実験には、力の保存の原理が単振り子運動の場合にあてはめられた形で、示されているのである。

Ⅲ-3 単振動の扱い方の批判

物理Ⅰでは円運動を真横からみることから単振動には入っているが、それには単振り子の往復運動には、円すい振り子が壁の上に投げかける“おもり”の影の運動を示すのが現実的であり、最適な方法であろう。しかし、このような射影による進め方に対して、渡辺教諭が「物理教育」誌上でつぎのような批判を与えた。⁵⁾

「等速円運動の正射影として単振動が導出されるとしても、元来、単振動は、円運動のように平面上をぐるぐるまわる運動とは異なり、直線上をくり返し往復する運動であるから、生徒にはこれを独自な周期運動として独立に学ばせなければならない。」との主張である。これはごもっともな意見であって、円運動の影から単

振動の法則を求めるることは、たとえ向心加速度 a の分解の理解を高める上には教育的であっても、Ⅲ-1でも述べたように、振り子の運動への思考過程としては適切とはいえない。

むしろ、オシロスコープを用いて互いに直角の方向に振動する単振動の二次元的合成をブラン管上で観測するなどの方がより実際的である。合成により描かれる軌道はリサジューグラフ^{*)}として知られている。

IV 史実による振り子運動の学習の仕方

IV-1 振り子運動と落下運動との類似

高校生から「落下運動、放物運動のように、“運動の法則”にもとづいて単振動を導くことができないものか。」と尋ねられたら、何と説明するか？「大学では、それは容易にできるが、高校物理のレベルでは加速度の大きさが一定でない場合の運動をまとめて説明することは難しい。」と答えるだけで、彼等は納得するであろうか？

渡辺氏は、微分の導入によって、正弦関数型の変位から速度、加速度を導出することを提案している。このような正攻法を高校物理で用いることが許されるのであれば、単振動の説明は極めて楽になる。しかし、その是非の議論はここでの対象でない。著者の意図するところは、先覚者がたどってきた道をふりかえってみることである。新しい法則が生まれるまでの過程を

*) Galileo Galilei(1564～1642)：イタリアでは有名人は姓でなく名で呼ばれるのが普通。高校の教科書にも名が用いられている。

*) J.A.Lissajous(1822～1880)：フランスの物理学者、1855年、リサジューグラフを実験的に示す装置を創案。

できるだけ忠実に示して、生徒をその中にさそいこんでいく方法は「プロジェクト物理」などでもとられているところである。

単振り子の場合のように、加速度が

$$a = -g \cdot \theta \quad (6)$$

で与えられるときの“おもり”の運動の記述は、ガリレオをもってしても不可能であったことは変わりない。（彼は、また円運動についてもふれていない。）それでも彼は、以下に述べる思考によって、振動の法則にたどり着こうとした。（ここでⅡ-2で述べた浅い教授の指摘を思い出させていただきたい。）

はじめに、振動現象は単振り子とつる巻きばねの運動としてのみ現われるものでないことを、生徒の頭脳にはっきりしまっておくようとする。このように広い視野でのごとをみることが大切である。くぼみの底に落ち込んだ球を突き上げれば、上がったり下がったりの運動をする。摩擦が大きくなればこの周期運動は長くつづくであろう。単振動を調べるために振り子を用いるのが適切なのは、摩擦を最小限にするのが容易なことによる。これは実験的立場からは重要なことである。これに対して、理論的立場から単振り子の運動を扱うときは、落下運動との類推のように広い視野で考えることが望まれる。

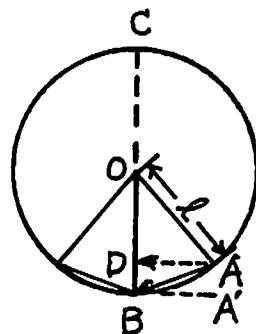
以下はマッハの大著「力学の発展」⁶⁾*によって

の略述である。

「単振り子の振れ角 θ が十分小さいときは、図-2で円弧 \widehat{AB} は弦 \overline{AB} にほとんど一致すると考えてよいだろう。そうすると一定勾配の斜面での落下の問題に帰するのである。 \overline{AB} に沿って物体が落ちる時間 t は、直径 $2\ell = \overline{CB}$ 間を自由落下するに要する時間 t と同じであることをガリレオは知っていた。」

物理Iの教科書にしたがって、摩擦のない斜面をおもりがAからすべり落ちる場合を考えても、Cまでに達する時間 t は、

図2



$$t^2 = 4 \cdot \ell \cos(\theta/2) / (mg \cdot \cos(\theta/2)) \quad (7a)$$

$$t = 2\sqrt{\ell/g} \quad (7b)$$

となることは、高校生であれば容易に導びけよう。「単振り子の周期Tは、距離ABを進むに必要な時間の4倍であるから

$$T = 8\sqrt{\ell/g} (> 2\pi\sqrt{\ell/g} \approx 6.3\sqrt{\ell/g}) \quad (8)$$

となる。このような荒っぽい推論でも、微小振動の周期に対する厳密な式 $T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$ とかなりの一一致が得られる。しかも振り子の等時性の説明について正しい形を求めることができたのである。」

もちろん、単振り子の等時性は振れ角 θ が小さいときのみ成り立つ法則である。物理Iの教科書をみても、 θ が十分小さいので円弧が直線

*) 初版は1883年発行。ニュートン力学の基礎的諸概念、とくに時間・空間に批判的考察を加え、アインシュタインに大きな影響を与えた書であることは有名。教育的見地からも興味深かい問題がみられる。

で近似できるとして、“おもり”の軌道を図-2 の \overline{AD} で表わしている。(円弧の曲りをのばして \overline{AB} としてもよろしい。) 一見して、図-2 からは \overline{AB} の方が \overline{AD} よりも、眞の軌道の円弧 \overline{AB} に近いように見える。それなのに、何故に周期に(8)式のような不一致が生じたのか。もし、このような質問が生徒よりでたとしたら —— ここでは、それにふれないのでおこう。

IV-2 等加速度でない運動の扱い

ガリレオ以後、振動の研究はホイヘンス^{*)}に移された。単振り子の運動は連続的に勾配が変わる斜面上の落下運動として扱われて、ニュートンの以前に、微積分学の形成途上においてその機構は解明された。生徒の中に探究欲の旺盛な者がいたら、たとえ一部のグループにすぎないとしても、これらの先覚者の考え方、そして学問に対する厳しい態度を説明するのがよい。

「マッハ力学」には、(1)振動周期が振幅によらないこと、(2)振動周期が $\sqrt{l/g}$ に比例することが記述されている。^{?)} ここでは(1)の場合についてのみ、同書からの抜粋に若干の私見をまぜて略説する。

「図3-aにおいて、直線上を動く物体がある。その加速度は、Oからの距離 x に比例し、O方向に向いている。最大振幅 OA 間の任意の点において、その加速度 $-ax$ を縦の実線の長

さで図示する。(図3-aには簡単のため3本の縦線のみを示す。) 物体をAで放つと、Oに向かって等加速度でない運動をするが、分割された AB 内では Aにおける加速度 $-\alpha \cdot \overline{OA}$ のまま運動すると考えてよい。(図の点線を見よ。) それで Bにおける速度は

$$V = -(\alpha \cdot \overline{OA}) \Delta t \quad (9a)$$

となる。(△tはBに達するまでの時間。)

つぎに、最大振幅が OA の2倍の場合を考えて、図3-bのように、 $\overline{OA}' = 2 \cdot \overline{OA}$ とする。分割は図3-aと同じにしてあり、縦の実線によってそれぞれの点における加速度 $-\alpha x$ を表わす。加速度も $-\alpha \overline{OA}' = -2 (\alpha \cdot \overline{OA})$ と2倍になるから、(5)からわかるようにAB、 \overline{AB}' を通過する時間は等しく、ともに△tとなる。

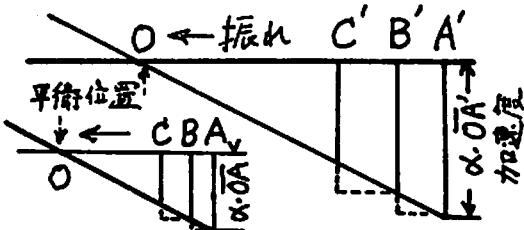


図3

それで Bにおける速度は

$$V' = -2 (\alpha \cdot \overline{OA}) \Delta t = 2 V \quad (9b)$$

初速度 V_0 があるとき、(5)が拡張されて

$$s = V_0 t - (1/2) \cdot a t^2 \quad (10)$$

の式になることは、物理Iでも見られよう。「Bにおける初速度、加速度は、Bにおける初速度、加速度のともに2倍であるから、(10)より物体はC、C'を同時刻で通過することがわかる。この同時刻性はひき続くどの一对の小区間ににおいても成り立つ。また、振動のふれが、Oの反対側の方に移っても成り立つから、振動周

*) C.Huygens (1629~1695):

オランダの物理学者、1656年に振り子時計を発明。また波面伝ばんのホイヘンスの原理として知られる。

期が振巾によらないことが導びかれる。」

ここで述べている思考過程を数学的にながめると、与えられた関数を区間内で細かく分割すれば、小区間内では台形とか二次曲線で近似できる、ということになる。高校では、数学で微積分を学んでも、物理においてそれを応用して物理現象の理解にあてようとする態度がみられない。したがって、文部省の指導要領にもとづく物理Iのカリキュラムの上では、上述の説明の方式は不適当として否定されるのであろうか。

しかし、よく注意していただきたいのは、これまでには、微分・積分演算を一切用いてきていないことである。いわば、微積分学以前において、物理と数学とが混とんとからみ合っていた時代での先覚者の推理の道をたどったのにすぎない。これらの問題は、生徒が自ら進んでその考え方や理論を受け入れようとするのであれば、高校生の知識で十分理解できる筈のものではなかろうか。

V 振り子の時代から現代へ

V-1 微分方程式の数値解法との類比

これまでには、高校レベルに標準を合わせて述べてきたが、ここで扱うことは現在の高校物理から少し離れるかもしれない。前節で述べた單振り子の等時性の説明はいずれも定性的な記述に終わった。等加速度でない運動に対するホイヘンスの考察は、しかし、現在でもなお微分方程式の数値解法として生きているのである。

最も簡単なオイラー^{*)} 法と比較してこのことを明示してみよう。

単振動の微分方程式

$$\ddot{x} + \alpha x = 0 \quad (11)$$

を初期条件

$$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = 0 \quad (12)$$

のもとで解く。(11)を

$$\dot{x}(t) = V(t), \quad \dot{V}(t) = -\alpha x(t) \quad (13)$$

と連立形に改め、両式を不定積分の形

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = \int V(t) dt \\ V(t) = -\alpha \int x(t) dt \end{array} \right. \quad (14a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t V(t') dt' \\ V(t) = -\alpha x_0 - \alpha \int_{t_0}^t x(t') dt' \end{array} \right. \quad (14b)$$

とする。オイラー法では、時間間隔を

$$t_{n+1} = t_n + \Delta t \quad (15)$$

のようにとて、(14a, b) の不定積分に矩形公式を使う。それで次式がえられる。

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t_{n+1}) = x(t_n) + V(t_n) \cdot \Delta t \\ V(t_{n+1}) = V(t_n) - \alpha \cdot x(t_n) \cdot \Delta t \end{array} \right. \quad (16a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t_{n+1}) = x_0 + V(t_n) \cdot \Delta t \\ V(t_{n+1}) = V(t_n) - \alpha x_0 \cdot \Delta t \end{array} \right. \quad (16b)$$

初期条件(12)から、 $n = 0$ に対して

$$\left\{ \begin{array}{l} x(\Delta t) = x(0) \\ V(\Delta t) = -(\alpha x_0) \cdot \Delta t \end{array} \right. \quad (17a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(2\Delta t) = x_0 + V(\Delta t) \cdot \Delta t \\ V(2\Delta t) = V(\Delta t) - \alpha x_0 \cdot \Delta t \end{array} \right. \quad (17b)$$

また、 $n = 1$ では

$$\left\{ \begin{array}{l} x(2\Delta t) = x_0 + V(\Delta t) \cdot \Delta t \\ V(2\Delta t) = V(\Delta t) - \alpha x_0 \cdot \Delta t \end{array} \right. \quad (17c)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(3\Delta t) = x_0 + V(2\Delta t) \cdot \Delta t \\ V(3\Delta t) = V(2\Delta t) - \alpha x_0 \cdot \Delta t \end{array} \right. \quad (17d)$$

などが得られる。

$V(\Delta t)$ 、 $V(2\Delta t)$ は、それぞれ(9a)、(9b)に等しい。走行距離 $x_0 - x(\Delta t)$ 、 $x_0 - x(2\Delta t)$ は必ずしも(5)、(10)とは一致しないが、これは(16a)の近似がホイヘンスの等加速度運動的近似と異なっているからである。このように、 x_0 で物体を放してから Δt 後の速度を(16b)で求め、それから(16a)で位置を計算

*) Leonhard Euler(1707~1783) : スイス生れの数理物理学者、微積分の発展、解析力学、天文、物理などの諸問題に業績を残す。

し、それをまた(16b)に入れて………というこ
とを繰り返す、物体が平衡位置($\theta = 0$)に達
するまでの振動過程が計算できる。

結局、 $T/4 = N \cdot \Delta t$ から周期Tが求められ
ることになるが、その精度が限られているので
実用に供する値が簡単に求められるわけではない。

しかし、コンピューターの急速な発達と普及
とにともなって、もっと複雑で難解な振動の問
題でも精度良く解ける近似解法が開発されてい
る。単振動から計算機実験に問題がそれで、い
ささか専門的になってきたが、現代のコンピュ
ータ時代にこのようなシミュレーション的な考
え方を、できるだけ若い時代に植えつけておく
のも良いかと考えるのである。

V-2 ガリレオからアインシュタインへ

最後に、単振り子に始まる力学の発展をガモ
フ^{*)}の名著「物理の伝記」⁸⁾によって鳥かんしょ
う。ガリレオが何をなし得、何をなし得なかっ
たかが、簡潔な文章で述べられている。ガモフ
の叙述を忠実に伝えるため、以下に原文のま
まをかかげる。

For a number of years his inter
ests were centered in the field
of what is now known as "dynamics"
— that is, the study of the laws

*) George Gamow(1904~1968):
ロシヤ生れの理論物理学者、米国で永住、科学
の普及の貢献で1956年ユネスコのカリング賞
を受賞。

of motion. Why is the period of
the pendulum independent of the
"amplitude," i.e., the size of
the swing? Why do a light and a
heavy stone attached at the end of
the same string swing with the same
period? Galileo never solved the
first problem since its solution
requires the knowledge of calculus
which was invented by Newton almost
a century later. He never solved
the second problem, which had to
wait until Einstein's work on the
general theory of relativity.

「But he certainly contributed a
lot to the formulation of both,
if not to their solution! The
motion of a pendulum is a special
case of the fall caused by the
force of gravity. If we release
a stone unattached to anything,
it will fall straight down to the
ground. If, however, the stone
is tied to a string, take the same
time to reach the lowest position
(a quarter-period of the pendulum's
oscillation), then these two stones
must also take the same time to
fall to the ground after being
released from the same height.」

「But……」の文は、前節までにふれてき
たことの要約になっていることがおわかりであ

ろう。

実はここまで書いてきて知ったことであるが、昨年度発行された「物理教育研究」誌に、“加速度をどう教えるか”の特集が発表されている。これに著者も大いに教えられるところがあった。その中で、山田教諭⁹⁾は、振り子から「斜面の方法」を創出するにいたったガリレオの着想について述べている。

さて、原文ではガモフ一流のユーモアを味わっていただけると思うので、その続きをもう少しあげてみよう。

This conclusion stood in conflict with the generally accepted opinion of Aristotelian philosophy at that time, according to which heavy objects fall down faster than light ones. To prove his point Galileo dropped from the Leaning Tower of Pisa two spheres, one of wood and one of iron, and the unbelieving spectators below observed the two spheres hit the ground at the same moment. Historical research seems to indicate that this demonstration never actually took place and represents only a colorful legend. Neither is it certain that Galileo discovered the law of the pendulum while praying in the Cathedral of Pisa. 「But he certainly was dropping objects of different weight, maybe from the

roof his house, and was swinging stones attached to a string, maybe in his back yard.」

「But……」については、誰でも子供の頃、いたずらとしてやりそうなことではあるが……。大学に進むと、物理は初年級でニュートン力学を理解し、専門に進んで、量子力学、相対性力学などには入る。高校生にとっては、ガリレオからニュートンへの力学の形成過程を学ぶことが良く、それが理解の対象ではないか。

VI おわりに

高校物理への旅をして、「単振り子の扱い」を見聞録としてしたためるつもりであったが、あるいは途中で道をはずれてしまったか、との不安もないわけではない。それでも著者はもう少しこの旅を続けるつもりでいる。Ⅲ-1で述べたような“振り子の慣力に対する応答”を理解できる高校生には、“共振（鳴）”についても単振り子によって説き明かすことができる筈である。振り子時計への応用とともに、他日書きあらわしたい。

引 用 文 献

- 1) 松山安重： 日本物理学会誌 35 97 (1980)
- 2) 浅井健次郎： 同 上 35 738 (1980)
- 3) 石黒浩三ほか：“55年度共通一次学力試験（物理Ⅰ）について”（座談会）、物理教育 28 168 (1980)

- 4) 柿内賛信： 同 上 26 9 (1978)
- 5) 渡辺 意： 同 上 27 219 (1979)
- 6) Ernst Mach: "Die Mechanik in
ihrer Entwicklung — historisch
—Kritisch Dargestellt",
“マッハ力学——力学の批判的発展史”，
P150 (伏見謙 訳、講談社 1969)
- 7) 同 上 P157
- 8) George Gamow : "Biography of
Physics" ,
“ガモフ全集 10 物理の伝記”、P66
(鎮目恭夫訳、白楊社 1962)
- 9) 山田大陸： 物理教育研究 M 8 , 11
(1980)

授業でのちょっとした工夫

その1

古小牧南高等学校 一 口 芳 勝

① 慣性の法則について

静止している物体はいつまでも静止を続け、運動している物体は等速運動を続けることを簡単な観察させる。

ガラスコップ上に名刺をかぶせて、その上に一円玉をのせる。

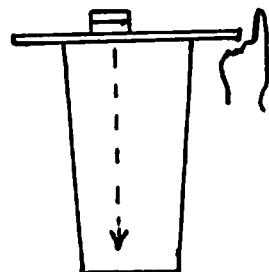
図1

横から指で水平に名刺をはじく。

一円玉を重ねてはじく。

結果としては、一円玉の数に関係なく、名刺をはじく。

結果として、一円玉の動きが止まる。瞬間にはじくと、一円玉は自由落下によりコップの底に落ちる。コップの中へ水を入れて、物体の水中における運動へ発展させてもよい。



関係し、音の振動数も変化することを理解させる。

図のように、8本の試験管に少しづつ多くなるように水を入れる。その試験管に横から空気を吹き込む。音又に共鳴する試験管を基準にして音階をつくる。

結果として、発する音の高さ（振動数）と気柱の長さの関係について考えさせる。

③ ボイル・シャルルの法則について

気体の体積は圧力に反比例し、絶対温度に比例することを理解させる。

三角フラスコに水を入れ、発泡スチロールと銅線を用いて水中で丁度静止するように作った浮沈子を入れる。空気が入らないようにゴムせんをして、ゴムせんの上から圧力を加えると浮沈子は沈む。（図3-a）

三角フラスコを空にして、マッチの燃えてい

② 気柱の共鳴について

一端を閉じた管に生じる定常波は管の長さに

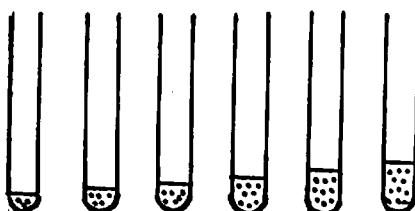


図2

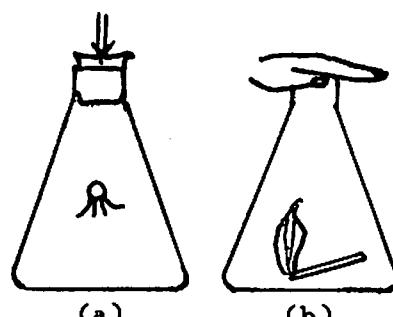


図3

大学からのぞいてみた高校物理の一端
一物理工における单振り子とその扱い方—
正誤表

順行	誤	正
16 右 11	2) 問題の量が多く、その設定が複雑である。それで、題意を正確にとられ、全体の物理現象を	題意を正確にとり、全体の物理現象を
17 左 21	1) 物理の問題を解く場合に、問題を簡単化して近似的に解答を見出すというやり方があるということを、生徒に理解させる。	見出すというやり方があることを、生徒に理解させる。
18 左 27	III-2 大学生の力学の理解度 —その一例 関連することがらとして、 I C V の柿内先生	I C U の柿内先生
20 左 11	た。(ここで II-2 で述べた浅い教授の指摘を思い出していただきたい。)	(ここで II-2 で述べた浅い教授の指摘を
20 右 図2		
20 右 12	$t^2 = 4 \cdot \ell \cos(\theta/2) / (mg \cdot \cos(\theta/2))$ (7a)	$t^2 = 4 \cdot \ell \sin(\theta/2) / (g \cdot \sin(\theta/2))$ (7a)
20 右 17	$T = 8\sqrt{\ell/g} (> 2\pi\sqrt{\ell/g} \div 6.3\sqrt{\ell/g})$ (8)	$T = 8\sqrt{\ell/g} (> 2\pi\sqrt{\ell/g} \div 6.3\sqrt{\ell/g})$ (8)
21 右 図3		
22 右 3	$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = 0$ (12) のもとで解く。(11)を	$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = 0$ (12)
22 右 19	$x(2\Delta t) = x_0 \left(1 - \frac{\alpha x_0}{(\Delta t)^2}\right)$ (17c) $V(2\Delta t) = -2(\alpha x_0) \Delta t$, (17d)	$x(2\Delta t) = x_0 \left(1 - \frac{\alpha}{(\Delta t)^2}\right)$ (17c)

る軸を入れ、充分燃やしてから、フラスコの口を手のひらでおさえ、しばらくして手を持ち上げる。(図3-b)これらの結果の起る理由を考えさせる。

その2 水流ポンプの活用

理科教育センター 須藤悌次

水流ポンプ(アスピレーター)は、中学校・高等学校の理振設備の基準品目にあり、主として化学実験で気体の吸引・ろ過・減圧蒸留など低い圧力の実験に用いられている。構造は図1のように極めて簡単で、ガラス製のほかに合成樹脂製のものもあり、1500円程度で比較的安価であり、水道の蛇口に取りつけ水を流すだけで手軽に低い圧力の実験ができる。しかし、真空到達度が十分でなく物理の実験では一般に使用されていないようである。

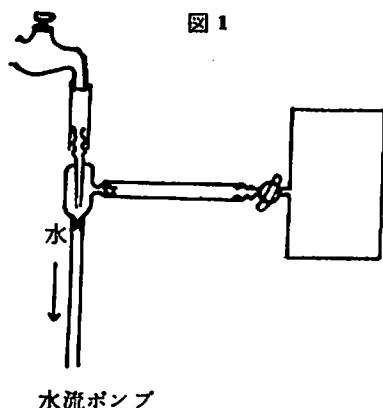


図1

のようになり、約3分間で99%の空気を排気することができた。

現在、中学校の教科書などでとりあげられている真空(低い大気圧)に関する実験は、大気圧(マグデブルグ半球)・真空中の落下実験・真空放電であり、これらの実験は指導上のちょっとした工夫により水流ポンプで実験することができる。マグデブルグ半球(内径7cmで1分間排気)や真空中の落下実験器(内径3cm、長さ90cmで2分間排気)については、水流ポンプの性能から十分に実験の目的は達せられる。

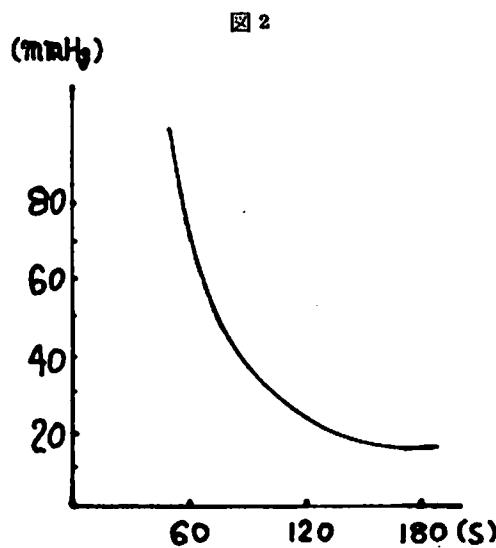


図2

水流ポンプの真空到達度は、製品や水道の水圧によって異なるが、ガラス製・合成樹脂製各2個について水銀マノメーターで測定したところ、水圧(4kg重/cm²)が高いせいか、10~20mmHgの圧力であった。また、1ℓの丸底フラスコ(1285cm³)の空気を排気した状態は図2

真空放電については、10mmHgまでしか観察できないが、クロス真空計(ガイスレル管50~

10^{-2} mmHg)を併用し、教科書等の図と対比させながら指導の効果をあげることができよう。仮りに、一般的に使用されているロータリーポンプを使用してもクルックス放電まではなかなか観察できない。ロータリーポンプの管理・操作などを考えるとき、水流ポンプで気軽に実験したほうがよいであろうし、しかも放電が始まる

までに適當な間があり、現象もゆっくりと変化し説明もできることなどの利点もある。

このほか、空気の密度(直示天秤を使用して 1.2 Kg/m^3 程度)、小学校の真空鈴など真空に関する種々の実験ができるので、物理においても大いに活用したいものである。

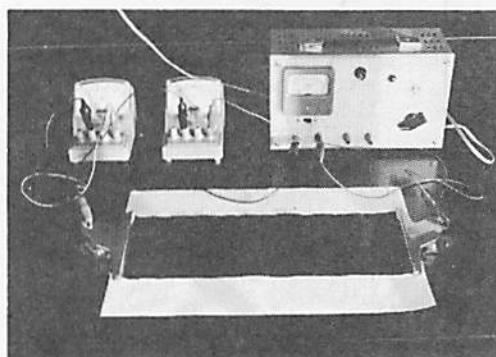
その3 ファックス原紙の裏紙の電気抵抗

広島町立広葉中学校 白崎三千

はじめに

中学校第1分野の「電流」に「金属の電気抵抗はその長さや太さによって変わること」の内容がある。このことを理解させるために、よく電熱線が使われるが、これは短い長さで使うと発熱しやすい。そこで、学校でよく使われているファックス原紙の裏面のカーボン紙を用いて電気抵抗について調べた。

実験器具



- 電流計・電圧計
- 電源装置
- リード線各種
- 金属性山型クリップ

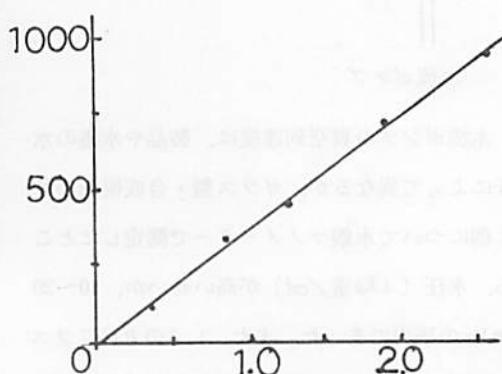
• ファックス原紙の裏面(カーボン紙)

実験1 電流と電圧の関係

方法

- ① カーボン紙の幅を 1cm 、長さを 21cm (クリップの挟み込みの部分 1cm)に切り取る。
- ② 写真のように配線する。但し、電流計は最大 1mA を使用。
- ③ 電圧を変化させ、電流を測定する。

図1



結果

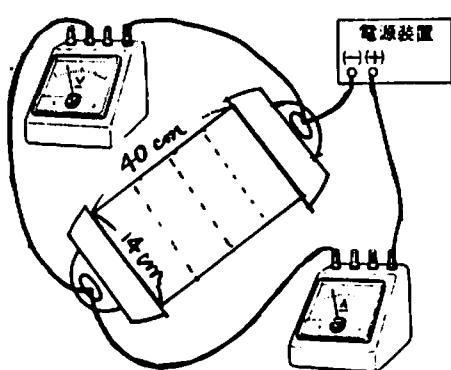
電圧 (V)	0.36	0.85	1.28	1.91	2.61
電流 (μ A)	128	318	482	710	966

このように電流と電圧の関係は、ばらつきの少ないきれいな正比例関係を示す。この結果から幅1cm、長さ20cmの電気抵抗の大きさを計算すると、約2.7K Ω であることがわかった。

抵抗値を少しでも小さくし、扱い易くするために、できるだけ幅を広くし（大型山型クリップ幅14cm）、二枚重ね（カーボン面が表面に出るように）に糊りづけをし次の実験を行った。

実験2 長さと電気抵抗の関係

方法 図2



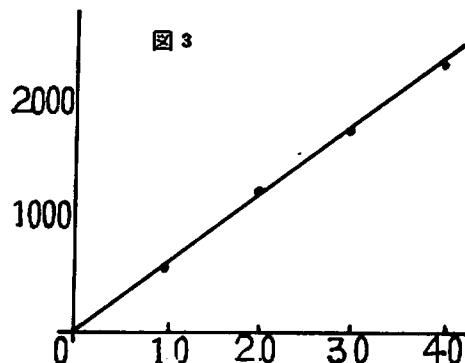
- ① カーボン紙（二枚重ね）の幅14cm、長さ41cm（挟み込み1cm）のものを作る。
- ② 山型クリップで両端を挟み、始めの長さを40cmとし、電流の大きさを測定する。但し、電圧は常に12.0Vになるように調節する。
- ③ 順次、目的の長さになるようにはさみで切り落とし、電流を測定する。

結果

電圧12.0Vに調節

長さ (cm)	40	30	20	10	2.5
電流 (mA)	4.3	5.5	7.9	14.9	61.0
抵抗値 (Ω)	2326	1818	1265	671	164

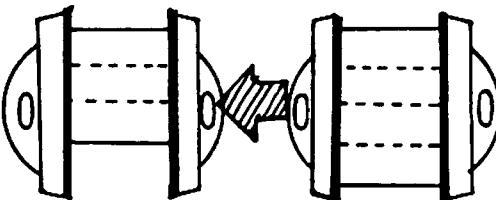
図3



実験3 幅と電気抵抗の関係

- ① カーボン紙（二枚重ね）の幅14cm、長さ11cm（挟み込み1cm）のものを作る。

図4

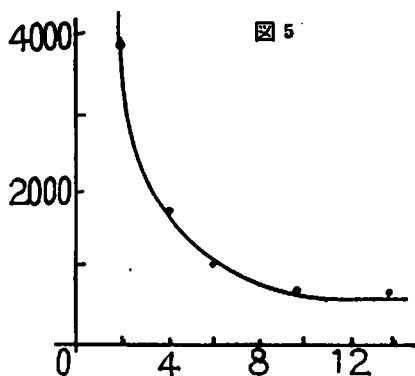


- ② 実験2と同様の配線をする。電圧を12.0Vに調節をし、電流を測定する。
- ③ 順次、目的の幅になるようにはさみで切り落とし、電流を測定する。

結果

電圧12.0Vに調節

幅 (cm)	14.0	10.0	6.0	4.0	2.0
電流 (mA)	22.0	15.7	9.6	6.4	3.1
抵抗値 (Ω)	545	764	1250	1875	3871



まとめ

カーボン紙の電気抵抗が大きいため、電流が少なく、発熱はほとんどない。抵抗値が安定しており、規則性が解りやすい。また、自由にいろいろな幅や長さに切ることができるので、扱いやすいことも利点である。いろいろと細工をしたり、紙の上に図や線もかけるので、電流・電圧・抵抗のイメージを自由にモデル化することも可能であると考える。

ただ、物質の太さと電気抵抗の関係を把握させるのに幅という点から考えさせなければならないが、カーボン紙を指導過程に位置づけ、身近な素材の活用によって、電気抵抗の指導に有効な素材であると考える。

Monorail carの紹介

東日本学園大学 林 正一

サットン著「物理学における演示実験」¹⁾には興味深い膨大な数の実験が簡潔な筆法で記載されている。しかも、それらの内容が古典物理学の全領域に及んでいる。それらの多くの実験の中には手軽にできるものや相当に高度な技術を要するものも含まれているから、暇にまかせてそれを通読することが楽しい、といった種類の書物であると前掲のそれを評してもよい。

表題に掲げた単軌車に備えられた、勢いよく回転している地球コマが姿勢安定装置の役割を演じている(図1^{*})。この図に示されている円筒ABは、その両端がそれぞれのピボット

図1

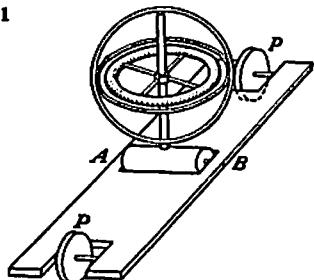
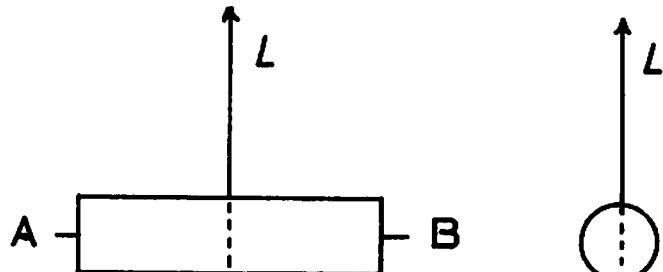


図2 (才差運動の回軸A Bが水平の場合)



* この図はサットン氏の著書の87頁にあるものである。

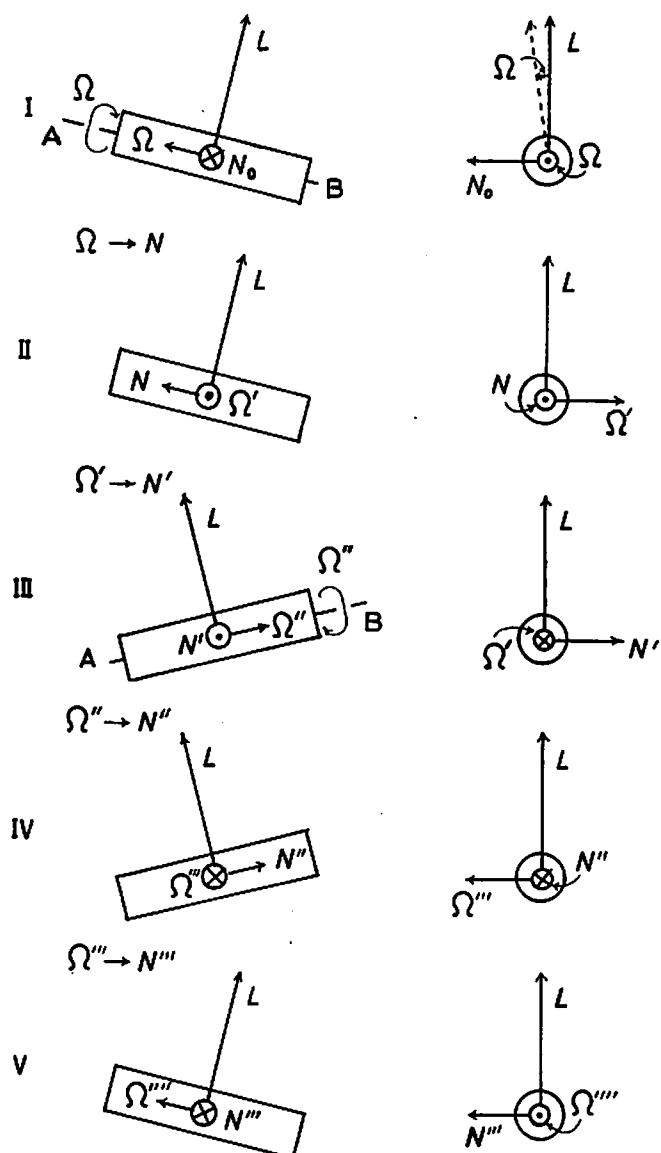
A側から見た断面図

く張った一本の紐の上に、コマの回転軸が鉛直になるように保持しながら、車体の二個の滑車をのせると、円筒ABのみならず車体もまた同一水平面上にあることが分るであろう。(参考資料を参照して下さい。なお、才差運動の説明において(図aおよび図b)、コマの回転軸をABと命名した。その記号と、上記の円筒の回

転軸のそれとがともにABとなっていて混乱を生じやすいが、今後にはコマの回転軸の方向は角運動量 Ω によって指定されるから誤解はさけられる。

さて、一本の紐の軌道上にのった単軌道車が自由に放置されたときに姿勢の安定化のためにどのような振舞を示すかを見ておこう(図3)。

図3(姿勢安定装置の機構の説明図)



いま、何にかの原因で軌道を横切る方向において車体のつり合いが破れた（例えば、円筒のA端がわずかに上昇し、B端が同量だけ下降した）場合を考察しよう。そのときの有様が同図のⅠ図に示されている。ただし、力のモーメント N_0 は前述の左右の不釣合を引き起すこともできるので、車体には N_0 という力のモーメントが作用したと考えよう。この場合には才差運動が現われるのである。それは、 L の方向から N_0 のそれへ右ねじを回したとき、ねじが進む方向に Ω という角速度のベクトルとして誘発される（才差運動の説明の最後の部分を参照して下さい）。すなわち、円筒は回転軸ABの回りに角速度の矢印で指定された方向に回転しようとする。回転の原因になるのは角速度ではなくて力のモーメントであるから、 Ω の役柄を N に代行させる（図の中では、この内容を $\Omega \rightarrow N$ のように記号化して示してある）ことにする。その様子がⅡ図に示されている。ところが、この状態では L と N とから新たな才差運動 Ω' が発生する。それは、 L の方向から N のそれへ円筒が回転軸ABの中心を通り、それに垂直な、しかも水平面内にある直線を軸として大きく回転するときの角速度である。ここにおいても、物体の回転の原因は力のモーメントであるから、 $\Omega' \rightarrow N'$ したがって、 N' の作用のもとで円筒のA端は下降し、B端は同量だけ上昇して、回転軸ABの傾き方がⅠ図のそれと違ってくる（車体の左右の不釣合の様相が変化てくる）。詳しく述べれば、それはⅠ図の場合における車体の水平面からの左右のずれが解消される（車体の安定な姿勢に戻る）ように N' のモーメントが作用すると

いうのである。回転運動に対しても物体は慣性をもっているから、 N' の作用のもとで車体がちょうど釣合が得られる水平の位置を通り過ぎて、以前の不釣合とは逆のそれを実現することになる。その模様はⅢ図に示してある。 N' によって円筒が回転すると、また新たに才差運動 Ω'' を生ずる。これは円筒の回転軸ABの回りに回る角速度である。上述の議論の進め方に従って、 $\Omega'' \rightarrow N''$ 。Ⅳ図はこの場合を示したものである。 N'' の作用のもとで、さらに新たな才差運動 Ω''' が発生する。ここでも、 $\Omega''' \rightarrow N'''$ 。力のモーメント N''' の役割はⅣ図においてA端を上昇させ、B端を同量降下させる効果を現わす。すなわち、Ⅴ図で示されたように変化する。この場合は、車体の左右の不釣合という点についていえば、Ⅰ図のそれに復帰したことを見ている。このように、Ⅰ図の場合から始まってⅤ図のそれに至る一連の行動を繰返しによって、水平に張られた一本の軌道上の車体は安定な姿勢を取り戻すことに努力しているように筆者には見える。

最後に、勾配をもった軌道の上に、コマの回転軸が鉛直になるように単軌道車をのせれば、今までの記述から推測されるように、車体は左右によろめきながら軌道に沿って下りて行くのである。才差運動が自由に何の拘束も受けないで出現する限り、この奇妙な行動が続くのである。

文 献

- イ) R. M. Sutton, DEMONSTRATION EXPERIMENTS IN PHYSICS, 1938.

参考資料 才差運動について

固定軸の回りを回転する物体の運動を考えよう。その軸に関する物体の慣性モーメントを I 、回転の速さを表わす角速度を ω 、物体の回転運動の原因になる力のモーメントを N で表現すれば

$$\frac{d}{dt} (I\omega) = N.$$

これがこの場合の運動方程式である。 N が 0 (物体に働く合力の大きさが 0 であるかそれの方角が回転軸を通過するかの何れか) の場合は、

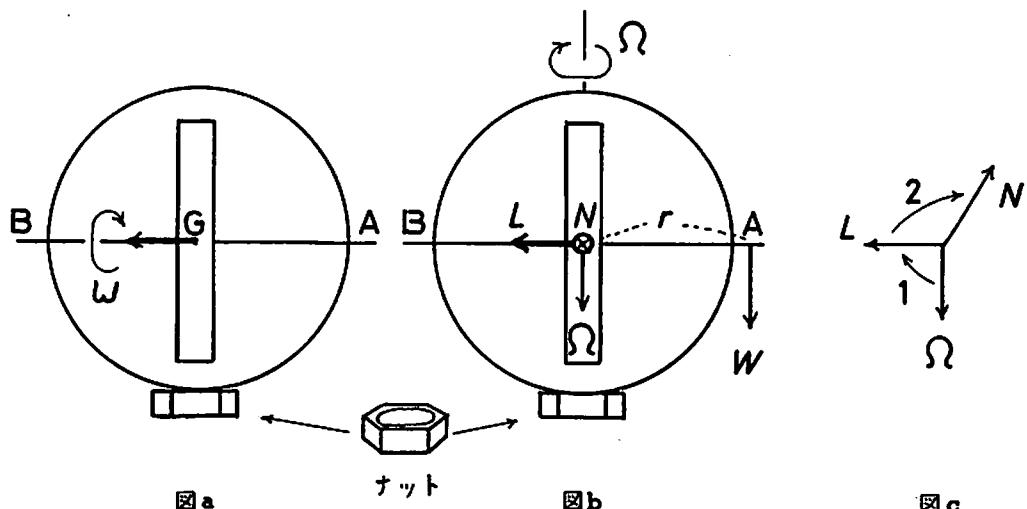
$$I\omega = \text{const} \quad (\text{時間に対して})$$

ここで、 $I\omega$ は角運動量 (運動量のモーメント) L と定義されている。これは大きさが $L (= I\omega)$ で、その方向が、回転方向に右ねじを回したときねじが進む方向に一致するように決めておく。この場合 (外部から物体に影響を及ぼすものがないとき) には、 L は大きさ及び方向が常に一定であることを示すのである (角運動量の保存

則)。

この事情を示すには次のようにすればよい。まず、回転体としては地球コマと名付けて市販されている回転儀のうちで十分に整備されたものを使用する。この外に、直径が 1.5 ~ 2 cm の鉄製のナットを 2 個用意する。できるだけ水平な面上に一つのナットを置く (図 a 参照)。

L の方向が \vec{AB} になるように、勢いよく回転している地球コマの外枠をナットの凹部に載せて、回転軸 AB が水平になるように調節すると、コマがナットの上で、少しほぶるぶる震えるが、ほとんど停止する (平衡状態に達する)。もし、 AB 軸が水平からずれると、ナットの凹部上で鉛直な軸の回りにコマが回転を始めるから、上記の調節は容易にできる。(AB 軸を水平にする理由は、軸上にあるコマの重心 G の両側にかかる重力の影響を相殺するためである。また、水平な AB 軸を実現するために軸の両端を紐でつり下げるよ。しかし、Over head projector によって大きく映し出して見せるには上記の方法で十分であろう。) この状態が



角運動量 Ω が保存されている有様を示している。

次に、上述の手順によってナット上で平衡状態にもたらされたコマの回転軸の一端 A の突起にもう一つのナットを掛けると、鉛直軸の回りに矢印で図示された Ω の方向にコマは回り始める(図 b 参照)。A 端につるされたナットの重量 W によって、コマには $N (= rW, (r=GA))$ の大きさを持ち、矢印で示した(G の回りに W によって軸 AB が回転する) 方向を持った力のモーメント N が働く。コマはこの N の作用で回転を始めるのである。この運動が才差運動である(この現象は普通のコマが首を振る(味そすり)運動として周知のものである)。

ここで、才差運動の角速度を次の約束に基づいてベクトル量として取り扱うと大変に好都合である。すなわち、その大きさは Ω で、その方向は才差運動の回転方向に右ねじを回したときねじが進む方向(AB 軸に垂直な方向、また、精密に表現すれば、図 b に図示されたように、鉛直方向で下向き)をもって表わすこととする。

さて、角運動量 L 、才差運動の角速度 Ω 、さらに力のモーメント N との間に次の関係(ベクトル積で表わされている)が成立していることが才差運動の観察の結果から分かるのである。^{*}

$$[\Omega \cdot L] = N.$$

いまの問題では、 L 、 N および Ω は互に直交しているから、 N の大きさは Ω の大きさと L のそ

れとの積で表わされ、 N の方向は Ω の方向から L のそれへ右ねじを回した(図中の 1 の矢印の方向に回した)とき、ねじが進む方向になっている(図 c 参照)ことを上述の関係は物語っている。

ここにおいて図 c を見直してみよう。右ねじを矢印 2 の方向に(L の方向から N のそれへ)回したときのねじの進行方向に Ω の方向が一致しているのである。したがって、 L 、 N および Ω の間において、それらの大きさを一応無視して、それらの方向のみに注目すれば、上述の内容を表現するベクトル式は次のように書き直されるのである。

$$[L \cdot N] = \Omega.$$

* いろいろな条件の場合の運動の観測資料から、この単純な結論に到達し得るのは天才の仕事である。凡人の仕事は複雑な計算によって運動方程式を解いて求めるのである。

異常気象の力学的機構をさぐる

北海道大学工学部 吉田 静男

1. はじめに

昨年の北海道の夏は、例年に比べ、随分、涼しかったことを記憶している。又、冬には、東北・北海道の日本海側で大雪に見舞われたことは、読者諸兄にとっても記憶に新しいことと思う。では、日本と同緯度の諸外国ではどのような状況であったかといえば、隣国、中国の一部では早魃に見舞われる程高い気温の夏を過ごしており、ヨーロッパや米国では、冬に、猛烈な寒波におそれられている。最近、このような著しい変動が見られる気象に対して、異常気象という名称がつけられ、ニュースでも、注釈なしで使用されるまでになっている。この異常気象に関する研究は、気象学の分野でも、未知な点が多く、その予報を的確にし得る状態ではない。ただ、その根底にある発生機構については、ほぼ分かりかけており、現象自体が、流体力学的に、面白いこともあるって、紹介を試みた次第である。

2. 異常気象の実態

気象学者は、異常気象という言葉をほとんど使用しない。というのは、この現象は、昔から知られている、北極付近に形成される寒気団と中緯度の暖気団の接触部が波をうち、くびれるブロッキング現象にほかならないからである（ただ、その発生が予測し難い面があり、その意味では、異常といえなくもないが、恐らく、気象学者のほとんどは、異常だとは思っていない

であろう）。この現象は、同じ緯度でも、寒気と暖気のかたまりが、交互に、並ぶという結果をもたらすが、1節において述べた「近接する中国と日本の逆の気象は、まさにこの結果にもとづくものである。

3. 異常気象の発生機構

冬に特に発達する極近くの寒気団と中緯度の暖気団の接触部が波をうつ現象は、非線型現象であり、トリガーの原因も様々考えられて、これを十分説明できる段階には、未だ、至っていない。しかし、より本質的な事柄であるトリガーがかかった後の発生機構については、ほぼ、こうであろうという説がある。それは、古く、ケルビンとヘルムホルツの考察した、二層流れの不安定発生機構と根本的には同じ機構により、ブロッキング現象が開始されるというものである。現在、この説に対して疑問をもつ学者も少なくないが、筆者は、今のところ、ケルビン・ヘルムホルツの不安定発生機構（K-H不安定機構）説を支持している。

4. K-H 不安定機構

この機構の説に取りかかる前に、図-1に示すような、重力場で安定な二層をなす系の界面に発生する波動の性質を述べておく必要がある。かりに、二層に流れがないとすると、静かに放置しておく限り、界面に波は生じない。波を生じさせるには適当な波おこし（たとえば、

スプーンでもよい)を界面近くで動かしてやればよい。このとき、波おこしを界面に接触させない方がきれいな波形の波が生じるはずである。この波の発生機構は、水面に石を投じたときにできる波のそれではなく、水面をうちわであおぐときに出来る波のそれとほぼ同じである。一度、波が界面に生じると、以後、減衰しつつ、四方に(図-1のように二次元成層なら、左右に)伝播し続ける。この密度の急変する境界の波の伝播は、他の力学的波動と同様、勿論、復元力にもとづいているが、具体的には重力である。ただ、単位質量あたりの重力は、浮力効果のため、みかけ上、 g に、上下層の密度差を下層の密度で割った値を乗じたものとなる。たとえば、上層が河川水で下層が海水(この例は河口で見られる)の場合は、約0.0279と、きわめて小さなものになる。従って、この例の場合には、波の伝播速度も小さくなり、水表面に生じる波より、実に、ゆっくりと伝播する。

次に、波おこしを使わなくとも界面に波が発生しうることを述べよう。今、図-2のような水槽内に、淡水と海水程度の密度の塩水を入れ二成層を作り、水がこぼれないようにふたをしておく。次に、水槽の一端を静かに持上げ、成層が落着くまで待つ(水平から10度ぐらい傾けるのがよいであろう)。しかる後、持ち上げた一端を水平位置にもどすと、上・下層は互に逆方向に流れはじめ、境界には、みごとなまき波が観察できるはずである。この波をケルビン-ヘルムホルツ波と呼んでいるが、その発生は、以下のように、理論的に予測することもできる。

流体の運動は、ナビエーストークスの方程式(N-S方程式)…(1)に従うことが、過去の多くの実験により示され、今や、ほとんどの流体力学

図1

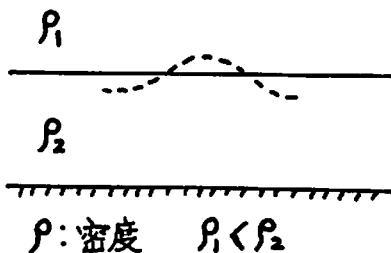
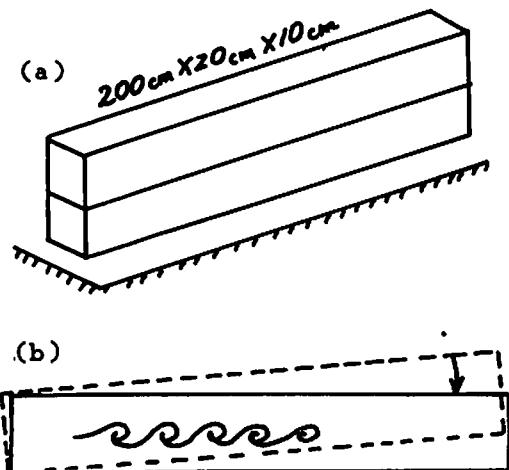


図2



者が、これを疑うことなく使用している。このN-S方程式をモデル(図-2の流れ)に合うように簡単化し、変数中の流速Vの鉛直方向(復元力方向)成分を次のように仮定する

$$v_z = v_0 \exp ik(x - ct) \quad (2)$$

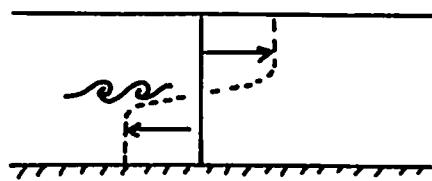
流れは水平方向であるから、(2)は0に等しいはずだが、流れの中には、大地の振動等多くの原因にもとづく微少振幅の変動成分があり、そのうちの基本波成分のみによる鉛直方向の速度を考慮したわけである。なお(2)のkは波数、cは

位相速度、 x は水平方向にとった座標、 t は時間、 i は虚数単位である。(2)を複素形式にしておくのは、(2)を $N - S$ 方程式に代入し、時間とともに、どう変化するかを調べるときに、虚数同志の積が生じて実数化するかもしれないということを考慮したことである。方程式を解くには、さらに、上・下層に生じる速度分布を必要とするが、これは、図-3に示されるような、 \tanh 型のプロファイルとなるはずである。ともかく、測定通りのプロファイルを用いて $N - S$ 方程式が成立するような k と c の組をつぶさに調べてみる。すると、ある k に対して、 c が複素数のとき(1)が成立する場合が見つかることがある。この例は、流れのプロファイルの、界面近くの勾配がある程度以上にならないと見出せない。ところでこの複素数の c は何を意味するのであろうか。(2)に複素数の $c = c_r \pm i c_i$ を代入してみよう。結果は

$$v_z = v_0 e^{\pm c_i t} e^{ik(x - c_r t)} \quad (3)$$

となるが、この意味するところは、きわめて振幅の小さかった擾乱が、時間とともに増幅される可能性を有しているということである。この増幅機構が K - H 不安定機構である。実は、図-2で生じたまき波の波数が、上述のごとく得られる k とよく一致することが認められている。めんどうな理論考察の話はこの程度にとどめ、ブロッキング現象の機構と K - H 機構が同種のものであることを示していく。このために、もう一つの実験を紹介しよう。この実験は、なかなか面白いので読者諸兄にもおすすめしたい。まず、図-4のような回転円板を作る。勿論、軸うけにあそびのない仕上がりのよいものがよろしい。この回転円板に、透明な円筒容器をおく。このとき、できるだけ、円板と円筒の回転

図-3



軸が一致するよう努力する。次に容器に水を入れ、さらに何か混合しない別の比重(1に近いものほどよい)の液体をそそぐ(2つの液体の厚さは同程度にしておく)。これで準備完了である。この実験は回転開始後定常回転に至るまでが勝負である。はじめは静かに、しかもなめらかに回転させ徐々にスピードをあげるようにすると、定常回転に至るまでに次の現象が観察できるはずである。

- ① 自由表面水位が図-4のように円筒の壁ぎわでもり上がり、軸近くほど低くなる。ただ、定常回転になる前だから、水面は放物面になっていない(このために重い液体が中心部におしゃられる)。
 - ② 二層の境界は、図-5のように軸付近でもり上がり、ついには、下層が上層をつきやぶって、軸付近の自由表面を形成する。
 - ③ ある回転数に達すると、境界面に図-6のようなモードのブロッキング現象を生ずる(このモードは、何度かテレビでも放映されており、御覧になられた方も多いと思われる)。ブロックの数は条件で変わり得る。
- この実験装置を使用した実験方法のバリエーションに数多くある。たとえば、回転を等速度にした場合、減速過程にした場合、二重円筒にして、それぞれの円筒の回転数を変えたり、etc である。そして、そのほとんどが研究されてい

るが波の発生機構については未だ十分解明されていない。

ところで、これまで、実験の結果を示しただけで、実験で見出された波がK-H不安定機構により生じるものであることを示していない。これを行うには、実験で示した回転流れ場が、図-2に示した流れ場と本質的に同じであることを示す必要がある。

5. 非定常回転流れにおける復元力

図-2の実験における復元力は θ であり鉛直下方の向きを有していた。しかし、こんどは、回転運動が加わるから復元力の方向が変化する。その方向は、二層の界面を見ると明らかのように、水平に近く、しかも回軸軸にむかっている。しかも、下層の液体を取りかこむ上層液体は、回転の開始から定常状態に達するまでは剛体回転とはならず、図-7のように速度プロファイルをもつことになる。この様子は、局所的に見ると、図-2における二層流れと本質的には同じである。

かくして、図-4～6の実験と極近くの寒気団のブロッキング現象の対応という、理解しやすい段階をむかえ、もはや、異常気象の機構は解明されたかに見える。しかし、ここに一つの問題がある。それは、地球は定常回転をしているということであり、上述の円板実験のような過度状態がないということである。この困難は次の2つの補助的な現象を考慮に入れると解決できないことはない。その1つは、寒気団の外側の中緯度暖気団は偏西風帶にあり、ちょうど両気団の境にジェット気流が存在し、これが、速度プロファイルを作り出すというものであり、他は、極付近と、中緯度での大気が太陽から受

図4

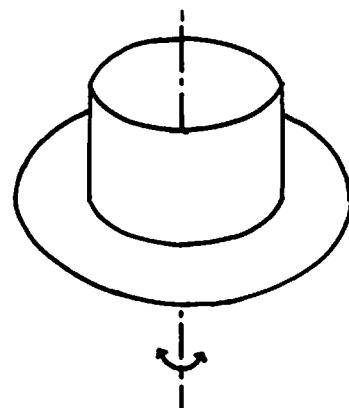


図5

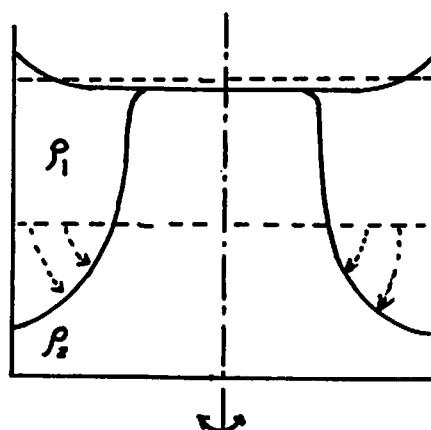
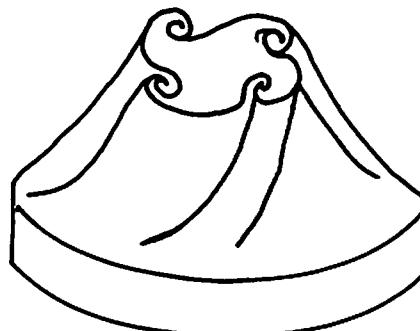


図6



ける熱的影響の差異が、新たな密度成層を作り出すため、角運動量に変化が生じ、これが、流れの不安定に直結する速度プロファイルを形成する様に強いものである。いずれの現象にしても、回転軸向きの復元力の発生と、流れを不安定化せしめる速度プロファイルの形成は可能であり、大気のブロッキング現象が、K-H 不安定機構にもとづくものである可能性は強い。

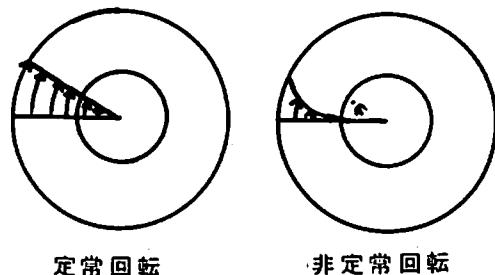
6. ブロッキング現象の周期性

ブロッキング現象のトリガーの役目をはたすものは、様々考えられると思う。卑近な例をあげると、セントヘレンズ火山の爆発は無視できない。この爆発による噴煙は、日本を含む中緯度をほぼ一周したといわれており、大気の熱収支のバランスを大きくずしたであろうことは容易に想像できる。このような類の原因が不規則に大気の成層構造を変えることは、そのままブロッキング現象にも反映されて、きれいな周期性は有しない。しかしながら、ひとたびブロッキング現象が発生すると、それが消滅するまでの過程はいつも似ている。その過程は、およそ次のようである。

- ① まず不安定な成層ならびに速度プロファイルの形成。
- ② 次にブロッキング現象の発生。
- ③ そして、寒暖気塊の接触部における混合。
- ④ さらに、安定な成層の形成。
- ⑤ 太陽輻射熱による、極近くの寒気団の形成と、速度プロファイルの形成。
- ⑥ 不安定成層の形成。①の状態

なお、この①～⑥の周期は 2～3 週間であることが多い。

図 7



5. おわりに

非常にあらい説明で、不十分な点が多いけれども、一応、形はととのえられたと思う。現実のブロッキング現象を厳密に予測しようとすれば、地形等、局所的な数多くの条件を考慮しなければならない様である。最近、これらの条件を多く取り入れ数値計算した人が、日本気象学会賞を受けたが、それほどまでに、重要視されている課題ともいえる。彼の結果によれば、地形構造のために、ブロッキングされた寒気の配置は、いつも同じところに出来やすいという。日本にとっては、何とさむぎむとした話ではないか。

文 献

菊地幸雄：“天気” Vol. 24. 12., PP 5～14.,

1977.

理科の基礎学力向上のために

—高校生の学力調査から—

札幌東高等学校 秋山敏弘

はじめに

中学校における理科の学習で習得した知識は高等学校の3ヶ年の学習の結果どのように変化しているか。高校3年生の自己評価では、理科の学力の変化はどのようにとらえられているか。実際に中学校理科の内容をどの程度身につけているかなどは理科教育にたずさわるものとして是非とも知っておきたいところである。そこで、北海道公立高等学校入学者選抜学力テスト（略称学力テスト）を利用して、上記の調査を行い、結果をまとめたので報告する。

1. 学力についての高校3年生の自己評価

札幌市内のある公立高等学校全日制普通科3年生（男子61名、女子30名、計91名）に対して挙手法によって調査を行った。中学校の学習内容についての現在の学力を次のような質問で自己評価してもらった。

「君達は、2年前、学力テストに合格して、この学校の生徒となった。もし、明日にでも、もう一度このテストを受けることになった場合に入学当時と比較して、次の3つのどれに当てはまるかよく考えて該当するものに挙手してもらいたい。①よくできるようになった。②同じ程度である。③悪くなっている。」

国語・数学・英語・理科について答えて下さい。」

この調査で、よくできるようになったと答えた生徒が多ければ、学力テストの失点が入学以降取り返されていると推測でき、悪くなっているとするものが多くなれば、この逆であろう。

表1 調査結果（人数91名）

教科	よくできる	同じ程度	悪くなっている
国語	24	61	6
数学	15	26	50
英語	51	21	19
理科	2	19	70

理科は「悪くなっている」とする者が圧倒的に多い、数学もやや理科に似ている。

のことについて、生徒の意見・感想では、中学校理科は暗記教科であるという趣旨のものが数多く見られた。

表1の結果より、学力テストに備えて蓄えた知識は、定着することなく、重要事項ですら高校2、3年と進むにつれ、かなり忘れされていることを示し、生徒自身このことをよく自覚していることがわかる。そこで、実際に学力テストを利用して、生徒達の学力の実態がどのようになっているか確かめてみることにした。

2. テストの実施

昭和55年度北海道学力テスト問題を札幌市内のある公立高等学校の各学年の生徒、それぞれ90名に解答させた。テストの時間は入試と

同じ 50 分である。

調査に用いた学力テスト理科の問題には、次に挙げるような特色がある。

- i) 出題には学年・分野の偏りがなく、難易度も中学生に対して妥当である。全道の全日制高校での平均正答率は、例年 55 % 位である。
- ii) 信頼性が高い。生徒の実力や、環境条件に大きな変化がなければ、これと同種のテストならば、いつ受験しても同じような結果が期待できる。
- iii) 小問は互いに独立である。一つの問題の正誤は他の小間に何の影響も与えない。
- iv) 過去の成績資料が豊富である。また、問題用紙、解答用紙などを書店から入手することが容易である。
- v) 問題は例年、物理・化学・生物・地学の 4 領域から各 2 の大問が出題される。これらがさらに 4 ~ 5 の小間に分けられる。昭和 55 年度の小問数は 35 である。

3. テストの結果

この高校では、第 1 学年で生物 I、第 2 学年で物理 I・化学 I を全員必修としている。地学は専門教員がないので選択履修である。大学進学では、在校生の 3 分の 2 が国公立大学入試共通一次テストを受験し、成績は全国平均をやや上まわる程度である。標準的な普通高校とみてよいであろう。

テスト終了後、小問毎の正答率を物理・化学・生物・地学の領域別に整理した。さらに、高校 1 年・2 年・3 年及びこの学校の入学志願の中学生の相互間で比較したのが表 2 である。(合格率は 95 % であるので受験者と合格者の質の差は無視する)

表 2 理科の正答率 (%)

学年 領域	中学 3 年	高校 1 年	高校 2 年	高校 3 年	小問数
物理	63	69	54	43	8
化学	74	79	69	67	8
生物	81	86	72	65	10
地学	87	81	60	45	9
平均	77	79	64	55	35

テスト結果について検討を加える。

(1) 高校 1 年生のデータは、3 月の学力テストに合格した生徒に同じ問題で 6 月に再テストして得られたものである。記憶がまだ新しいため、全領域で正答率が高くなっている。

理科全体として、学年が進行するとともに正答率が低下し、特に、物理と地学が目立つ。

(2) 小問毎に高校 3 年生の正答率を中学 3 年生の正答率で割った値を r とし、表 3 に示す。
(小問番号は昭和 55 年 3 月実施「公立高等学校入学者選抜状況報告書」に依った。)

その結果、 r が小さいもの、つまり、高校入校後急速に正答率の低下する小問には、いくつかのタイプがあることが分かる。それは

- 断片的な数字の記憶を問うもの
- 内包する概念の理解が困難な用語
- 日常生活とは異なったスケールの自然現象を扱ったもの（地学）
- やや専門的知識を必要とするもの

などである。上記事項については、中学校終了時の正答率は比較的高く、よく記憶されていると考えられる。しかし、理解があやふやなため時の経過に伴って正答率が低下していくと判断できる。

表 3

小問番号	r	小問番号	r	小問番号	r
～ 1	0.87	化 13	1.01	25	0.28
生 2	0.53	学 14	0.60	26	0.80
物 3	0.94	物 15	1.02	27	0.59
物 4	0.78	物 16	0.65	理 28	0.32
～ 5	0.61	理 17	0.69	29	0.33
	0.90	18	0.73	30	0.46
化 7	0.80	生 19	0.76	地 31	0.77
化 8	0.95	生 20	0.68	32	0.69
学 9	0.84	物 21	1.03	学 33	0.55
学 10	0.88	22	1.05	34	0.69
11	0.89	地 23	0.07	35	0.54
12	1.03	学 24	0.59		

4. 数学・英語との比較

数学・英語については、理科より 1 カ月遅れて、同様の学力テストを実施した。理科と同様に r の値を算出し、5 つの階級に分け、それぞれに属する小問数を調べて、表 4 を得た。

各教科の特徴をよく表す結果がでてきたので検討を加える。

表 4 英語・数学との比較

r の範囲 \ 教科	数学	英語	理科
$r \geq 1.3$	4	6	0
$1.3 > r \geq 1.05$	5	11	0
$1.05 > r \geq 0.95$	10	4	6
$0.95 > r \geq 0.70$	1	3	12
$0.70 > r$	2	1	17
小問数計	22	25	35

上表のように、理科では高校入学後、失点が

回復されたと考えてよい小間は 1 つもない。この学校を受験した中学生の英語・数学の正答率は、ともに 70 % 台であった。高校 3 年生では 80 % 台になったことより、失点の 3 分の 1 程度が回復されたことになる。しかし、これは高校教師の予想をはるかに下まわる結果である。

5. まとめ

理科の中学生時の学力が、高等学校の高学年に進むにつれて低下する原因として、生徒が「理科の評価目標が暗記であり、理解を必要とする内容にまでこれを拡大している」ことにあると指摘したい。これらの改善には、①北海道の学力テストの内容に探究の過程における「科学の方法」の習得を見る問題を設置すること、②生徒が中学校理科の内容をどの程度身につけているか十分に調査した上で、高校の理科教育のあり方を考えること、③大学入試に中学校レベルの内容を出題すること、など真に必要な基礎学力の定着を目指すことにあると考える。

「物理実験」と私

北海道薬科大学 福島久雄

編集幹事のN先生から原稿の依頼があったので考えてみると、北海道支部も創立以来12年になるが、その間創立総会とその他に二回程顔を出しただけで、あとは会誌を拾い読みする位で何とも申訳のない次第である。これを機会にいさゝか年来の貢めを塞ぎたいと思う。

物理というものを初めて習ったのは旧制中学3年からで、北大予科で2ヶ年の間物理・力学・物理実験の講義をきく、昭和10年から3ヶ年、北大理学部物理学科で学んだ。工学部に就職後、物理実験を担当して戦中を過ごし昭和30年まで物理・力学・物理学実験を担当したが、その後は主に工業数学の方に関係したゝめ、物理学や実験などは傍観者として関心をもちつゝ今日に及んでいる。

物理実験はそのころの旧制中学ではなく、理科教官室の戸棚の中には何か面白そうな器械が並んでいたけれども、これらはついに実験室の机上に持ち出されたことはなかった。

実際に実験を課せられたのは予科3年になってからのことである。そこに用意された実験の種目は50年余を経た今日のそれとは勿論かなりのちがいがあるけれども、また今日までよく残っているものも少くない。

実験のレポートを書くのは生れて初めてのこ

とで、何やら形式ばったものゝ中にいさゝかの抵抗を覚えたのは私一人ではないであろう。しかし、これは将来少くとも（広い意味の）自然現象に接した場合、そこから得られる情報を有用ならしめる手段であって、大切な訓練の一つであることを悟ったのは後で自分が教える立場になってからである。

物理学科の1年目では週3回の午後が全部実験であったので充分の時間があった。種目として、まず木工・金工・硝子細工・銀メッキなど初步的な技術の実習から次第に本来の物理実験に進むようになっていた。参考書はWatsonの*Practical Physics*, Kohlrauschの*Practische Physik*などである。初めの数日は図書室でこれらの参考書を読み、次に実験の準備に入るが、装置の簡単なものは自分で設計して工作室に註文して作ったり、また先輩が作ってあったものを利用したりした。レポートはフルスカップ一枚に外国语で書いた。今から半世紀近く前のことである。クントのチューブの実験ではアンドレードがNatureにのせた実験に刺激されて煙草の煙を吹き込んでみたり、コルク屑の代りにリコボッシュムを使ってみたりした。捩りによる剛性率の測定では戸棚の中に木の棒やら、断面の四角な金属棒などのサンプルがあり、

Watson では判らず、図書室に行って Love の本を調べたりした。そんな、いはば一種のゆとりがあった一面、これらの種目は当時と雖も全く古色蒼然という感じであった。しかし考えてみればこれらは物理の実験の手法の代表ともいすべきもので、あるものは原理の重要な点において、あるものは測定方法の巧妙な点において、古いながらそれぞれの存在価値があるものであった。

今でも学会では物理実験の近代化がいつも問題で、いろいろな提案がなされ、また学生からアンケートをとって検討されることもある。

教育される側の意見を知ることは勿論大切であるが、教える側はその判断において主導的立場をとらねばならぬし、又実際にとっているであろう。テキストを作る場合でもその種目の歴史的な背景や、現在の技術に如何に応用されているかということについて充分な記述があれば一見面白くない種目でも学生諸君には別な興味も湧いてくるであろう。しかし一方で専門的な研究に忙しい人たちにこういう事を望むのは無理な註文であるかも知れない。

物理学科の二年目になると実験のシステムはがらりと変って学生全員（と云っても 10 人位であったが）を 3 組に分け、実験講座であった茅・堀・中谷の三先生の講座にかわるがわる分属して特別なテーマを与えられる仕組となっていた。最初にいつも相棒であった E 君と一所に堀先生の所に伺うと先生は数枚の切手大の透明なセロハンのようなものを手渡され、この光学的性質を調べよと言われた。何でもアメリカの友人から送って来たもので、よく見ると薄紫色

をしていて二枚重ねると偏光現象を示した。今でいうポラロイド偏光板の原形であったらしい。実験はまず光源を組立てるため部品のトランスマチックを集めることから始まり、分光器を借りて撮影をする一方、文献をしらべたり、地質の原田先生の所へ御伺いをして勉強した。その結果、この物質は多分ヘラバタイトという結晶で、キニーネの化合物であって、セロハンの中にその微小な板状の結晶が同じむきに並んでいるのであろうということになった。化学教室に行っての結晶を作ってもらい顕微鏡下で明らかに偏光を確かめた時、期日が来て実験は終りになった。まとまった結論は出なかったが、物のしらべ方、実験への取り組み方について有益な体験であった。茅教室では鉄単結晶のラウエ班点の撮影と解析、中谷教室では霧函の調整を当てられた。霧函は底部がゴム膜で出来ている新製品で β 線による霧がうまく出来るようになるのが目的であったが結局成功せずに終った。しかし三年目になって池田教室でまた霧函が当てられた時、前の経験もあったためか遂に成功して写真撮影も出来、これが卒業実験になった。この霧函は今でも工学部の理学第一に残っている。

昭和 13 年に卒業してから工学部で各学科の物理学実験をみるとことになった。理学部の物理学専攻の場合とちがって、工学部の学生実験は一日で一種目の実験が終るようになっている。各学科の学生が毎週入れ替り立ち替り来るので多忙をきわめた。ちょうどこの頃からわが国は戦時体制に入り、私生活も研究生活もすべての面で物資がきゅくつになつたまゝ終戦となつた。

終戦後しばらくの間、研究室も食糧問題に追われ、予算の不足もあって実験装置の荒廃が目立って来た。各学科からの援助がなければ到底新規購入はおろか補充さえも難しかったが、各科ともそれぞれ事情があって予算の要求に対し応じてくれない。いつ頃であったか教授会の説明の時、「物理の学生実験は今や踏んでも蹴っても絶対に毀れないという装置だけが残って居ります」とやったら居並んだ大先生方の顔も綻んで、そのためかやっと予算を心配してくれるようになった。

このごろたまたま工学部に立寄って学生実験室をのぞいてみることがある。その種目と内容、指導方法、指導者の数において隔世の感といえば月並みになるが正にそれ以外の言葉を知らない。しかしそれよりももっと大きな変化は物理教育そのものゝ研究が盛になったことである。戦前筆者の学生時代から研究者の卵であった数年間は終戦に到る間、大学ではすべてにおいて研究が優先し、追いつけ追いつけの時代であった。恐らく明治の昔から学界の一般的な風潮でなかったかと思われる。たまたま若い先生の中で講義に熱心で興味をもつ人があっても大先生からすぐ注意されたという話もいくつかきいている。現在では本会の活動と共に物理学会・応物学会の大会には物理教育の分科会が準備されて出席人員も多数である。むしろこの方が隔世の感である。

かくて極めて常識的な意味あいで、現代の学生諸君は恵まれている。と云えるであろう。しかしこの奥には、「よい」講義指導とは何か。さらに、「わかる」とはどういうことか。など

の問題が常につきまと。これについてはずでに前々号に林先生も触れておられるし、筆者の回想の範囲からも逸脱してしまうので、このあたりでひとまず筆を擱こうと思う。

(1981年2月28日)

アメリカ・イギリス駆け歩き

大学教育視察記

北海道教育大学旭川分校 諸 橋 清 一

はじめに

昨年('60年)の秋10月・11月の2ヶ月間、文部省の在外研究員の枠で上記2ヶ国を廻って参りました。視察の狙いは標題の通り、向こうの大学で実際にどんな授業が行われているかという点にあり、特に私の大学と自分の分担の一部として長年教えている一般物理の在り方にポイントを置いて計画を立てました。

I. アメリカワシントン市にて

始めに日本から真直にワシントンに飛び、市の郊外にあるメリーランド大学の教育学部の中にある Science Teaching Center に Lockard 教授を訪ねました。北海道を立つ時に着てゆきました合服では大変暑く、旭川の8月位の気候で、スーパーで早速アンダーシャツを買い求めて着替えた位でした。

Maryland 大学

Science Teaching Center には 6、7人のスタッフが居り、仕事としては教育学部の中で、日本でいう理科教育教授学の研究と教育に従事して居り、教育学のマスター・コースの学生の教育も分担しております。日本の教育大学と形が似ており、初等・中等教育の教員養成課程があってスタッフが配置されています。日

本での教育系大学の各科教育、理科教育学もその一つですが、その組織はまだまだ確立されていないのが弱点でして、何とかしなければいけないと考えているのですが思うようになりません。メリーランド大の教育学部の中にある S T C の組織も、正規に専任でいるスタッフは少く、他の人は理学部系の人達の兼任です。この処が大へん論議をよぶ処でして、理学部系の学問の研究と全く離れて専任の理科教育のスタッフを配置すべきか、兼任の形で置いたら良いものか難しい問題です。

S T C と称して居ります中味は、スタッフ一同が Lockard 教授を始めとして、世界各国の科学教育プロジェクトの資料を図書室に集めて研究をしていて、2~3年に一度レポートを出して紹介をしており、最近では 1977 年に The International Clearinghouse の刊行物として第 10 集のレポートを出しています。教育学部の理科教育のための学生実験室を見ましたが、却って教育大学の方が設備が整っているかも知れません。日本の教育系大学では、例えば理科の中学校免許取得のコースにはチムニー制度といって、物・化・生・他の四つの学問分野の中の特に一つに柱を立てて卒論研究をさせています。この制度はそれで悪くはない

いのですが、ともすると理学部における学生指導と似た結果になって、中学校の理科教師としての総合的な知識と教授学が手薄になる危険性があり、二律背反に苦しめられる処です。

教育学部にはTVセンターがありまして、教育資料作りを分担しており、専任のTV技術と更にイラストレーターが配置されています。その規模はそう大きくはありませんが、一通りの資料作りができるようになっています。機械類はソニーと日立のものでした。TV関係については、私も自分の教育大学で数年かかって整備をしている処でして、もう1~2年で相応の物が整備される処ですが、一番辛いのは専任の定員がなかなかつかないことです。大学の共同研究施設が整備されてくるにつけ、この点が一番問題になるところです。

STCの兼任スタッフの一人である理学部の物理学科のLayman教授にも会い、理工系学生のための基礎物理学の講義を理学部の大階段教室で見せてもらいました。丁度教壇のある場所は廻り舞台のようになっていて、前以って階段教室の後部に実験準備室があって、授業の前にデモンストレーションの装置をセットして研究できるようになっています。当然の事乍ら専任の技官が2~3人いて、装置の製作と整備の仕事を受け持っています。Layman教授は特に物理のデモンストレーションには多大の興味を有しており、ハードの装置やフィルム・スライド等を加えて1,000以上の資料を長年の間に製作してきたと自慢していました。

彼はAAPT(American Association of Physics Teachers)の'81年度の

Presidentになる人だそうです。彼の物理教育にかける熱意の並々ならぬものを感じました。

メリーランド大学滞在は僅か半月程で、キャンパスの広大で美しいことに感心し、大学にも慣れてこれからという処でしたが、ワシントンの街もゆっくり見学するひまもなく、心残りのままワシントンのダラス飛行場からロンドンに飛びました。短い間でしたが沢山の人々の好意で楽しく過せたことを喜んでおります。

II. イギリス

10月18日(土)朝9時にロンドンはヒースロー空港に着きました。東京でブリティッシュ・カウンシルのお世話で迎えの人をやるとの事で、好意に素直に答えることにしたのですが、先方の人が別人の迎えに来て私と間違い、一寸したハプニングがありました。

ロンドンでは4日間自分の自由なスケジュールに従って市内見物をしてアメリカでの疲れをいやすことができました。日本の旅行会社のスケジュールにより、高いホテル代とは思いましたが話の筋とペントアホテルに泊まりました。

ロンドンでは初めにブリティッシュ・カウンシルに顔を出し、ミセスBryantに会って今後のイギリスでのスケジュールの相談にのっていただきました。小柄なチャーミングで日本人に近い感じのする人で、当然11月に再びロンドンに戻って来ました時に、今一度顔を出しましてお礼にチヨコレートを送ってきました。

リーズ市にて

ロンドンでの4日間の休養で元気をとり戻し
10月22日(水)にロンドンのキングズ・ク

ロス駅から英國鐵道でリーズに向いました。汽車は Inter City 125 という急行列車で、北海道で言えば札幌一旭川間のし特急のような感じです。3時間もかかりずイギリス中部の国内第2の都市リーズに着きました。

ブリティッシュ・カウンシルで予約してくれたホテルに旅装を解き、ワシントンとロンドンで大分慣れました電話で早速リーズ大学の Williams 教授に連絡をとることが出来、電話をかけることにも少し自信を持ちました。リーズ市には10月22日から11月8日まで滞在しました。

Leeds 大学

リーズ大学では Williams 教授のおかげで実に沢山の人々に会うことが出来ました。毎日メモを整理しないと混乱を来す程でした。最初の目的通り、彼の下で SISCON Project (Science in a Social Context) と Combined Studies について研究の柱として、毎日ホテルを8時半に出、夕方4時半頃戻るという勤勉な日々を送りました。ロンドンでは丁度秋の終りの美しい紅葉をハイドパークや市内で満喫して当地へ参りましたが、幸か不幸かリーズに来てみるとこれぞイギリスの冬の始めという暗い陰うつな空の毎日で、ジョンブル魂というのはこのような天気の下で作られたのではないかと思いました。Williams 教授の秘書のミセス Holland に（この人も仲々チャーミングな人でした）、イギリスの冬は毎日このような gloomy な空ばかりなのかと尋ねましたら、彼女は“そうだわ、全くグリーミーな日ばかりだわ!!” と同感してくれまし

た。大学の建物にもまだスチームが入らない季節の境目でして、結構旭川並みの気候でした。大学には教授陣のための食堂の他にパブがありまして、最初の日 Williams 教授に連れて行かれて、何か呑むかと言わて、昼間のこととて辞退したのですが、翌日からは肌寒い気候に風邪を引いてはいけないと、自分から一杯呑む事にし、それからは毎日の昼飯の前にビール（ピッター）を一杯やるのが習慣となりました。さて真面目に研究の話に戻りましょう。

SISCON Project は理工学部向けの程度の高い一般教養で、日本で言えば大学の三年目当たりに聞かす総合課目とでも言うべきものではないでしょうか。その精神は学生が狭い専門領域にのみ閉じこもる欠点をさけるようにと、広く自然科学と社会の関連に注意して幅広い教養を積ませる狙いから作られたプロジェクトでして、内容に関しては既に日本では「物理教育」や「科学と実験」に紹介されておりますので詳しい事は省きます。授業の形態はイギリスの大学の特色である Tutor, Tutorial システムによるもので、その実際はリーズ大学ではなく後に出てくるレスター大学で見ることが出来ましたが、学生が指定された文献（結構、沢山あります）を予習してきて始めて成り立つ学習形態です。

Combined Studies とは文字通り理学部における物理学・化学・生物学・数学の学科の中から色々な講義を組み合わせたものでして、例えば生物と統計、物理と生物というように沢山の組み合わせのコースがあり、将来物理とか化学とか特定の専門分野の研究に進むのではな

くて、そのまま社会の幅広いニーズに答える学問です。卒業後は非生産部門の会社にもどんどん就職するそうです。日本では工学部を卒業して良い就職口にありつけず、某ハム会社に就職して流通部門で働く人もいるそうですから、それと比較すると如何にも実学的な感がしますね。

リーズ大学では科学教育担当の Layton 教授の面識を得ることが出来、リーズ大学での調査・研究を終えて次の目的地の Leicester 大学と Worcester カレッジ更にウスター市の郊外にある Malvern カレッジを訪問することが出来ましたのは、全く Layton 教授の親身なお世話によるものです。研究室で私の目前で電話で先方のアポイントメントを簡単にとりつけることの出来る実力のある人でした。幸い日本を立つ前に大塚先生が私より前、9月に既にロンドンでのイギリスの人達とのシンポジウムを終えられて帰国されて間もない折で、且イギリスで Layton 教授に私の事を話しておいていただいた事もありまして万事都合良く段取りが迎ばれ、感謝に堪えません。

リーズ市滞在中、僅か半日の訪問でしたが、リーズ市より車で 30 分程の Bradford 大学を見学することが出来ました。イギリスでは大学の他にポリテクニクスという学校制度が在ることは御存知と思いますが、日本の高等専のように単科の高専ではなく、美術や看護学等のコースも含む内容の多岐に亘る高専ですが、Bradford 大学で知りました。 Science and Society というコースは変わっていまして、1976年に創設されたばかりのユニークな制度で、理学・工学の幅広い学問を学ぼせる

狙いと同時に、在学中に一旦実社会で働いて又戻ってきて最後の学習をするという、いわゆるサンドイッチシステムをとる面白い制度です。そのせいか知りませんが、このコースの奮闘気は大学よりはポリテクニクスのそれに近い感じがしました。

私も一度に沢山の資料を得たものですから、未だ自分自身ゆっくり整理が完了致して居りませんので、詳しい事は後日に譲ります。

更にリーズ市では私の個人的な立場から看護婦養成の看護学院もみてきました。丁度その学院でカリキュラムの説明を受けようと思いましたら、先に述べましたポリテクニクスがリーズ大学のすぐ傍にあり、其の看護婦養成コース担当の人が色々参加していただき、それでイギリスのポリテクニクスの内容は文字通り、内容が多岐に亘るコースを有する高専だと知った次第です。

リーズ市滞在中は気候が旭川の 10 月末位に似て居り、到頭始めて風邪にかかりましたが、スーパーで買った薬を 4 時間毎に呑み、土・日の二日間静養していましたら、幸い元気になり月曜日からまた大学に通えるようになりました。幸運と言えば、滞在中にこれも大学側の好意によるものですが、現職の中学校教員の研修会に出席し、新しい実験教材を使って 20 人の教師が、郊外の建物（昔の大地主の家かと思いますが、広い農場の中に一軒だけあるものです）に泊り込み、大学から講師クラスの若手を指導者として、勉強をする様子を見ることが出来ました。北海道で言えば、札幌の理科センターでの現職教育という処でありましょう。

レスター市にて

11月8日（土）リーズに別れを告げレスター市に向いました。Leicester 大学で Sutton 教授に会うのが目的です。ロンドンからの通達でブリティッシュ・カウンシルのお世話で既にリーズよりレスターの泊り先のホテル（夫婦2人で経営しているいわゆる Inn です。）に連絡があり、荷物を解いてホテルの街のブリティッシュ・カウンシルの事務所に挨拶に行きました。路上で建物を通行人に聞きましたらその人がミセス Cartwright で、またまた美人でしたのは幸せでした。イギリスのブリティッシュ・カウンシルの制度は本国に来る学生や学者を親身になって世話をしてくれる機関で、そのサービスには感謝すると同時に、日本で同じような機関が海外からの人達に同レベルのサービスをしているものか少し気になりました。

Leicester 大学

先のリーズ大学は丁度北大位の規模でしたが、このレスター大学はいくらか小さい方です。大学の歴史も新しい方だと思います。教育学部の建物はリーズ大学と同じく赤練瓦作りの古い建物で、大学で目立つ建物で新しいのは矢張り理学部か医学部になります。教育学部では訪れる前に既に知らされていましたが、丁度教育実習で学生が現場の学校へ出払っている処で教育学部での授業は見れませんでした。次の訪問先の Worcester カレッジもそうですが、今回視察できました教育学部の規模は寧ろ私の教大旭川分校と同程度か小さい位でして、学内の諸設備に関しては変りないと思います。学生の数は日本の方が多い位です。Sutton 教授の

車で教育実習校に学生の授業振りを見に行きました。学校内で授業の現状を写真にとりたいのはやまやまですが、私も同業者の一人としてあまり歓迎したくない気持ちがあります。それで Sutton 教授におそるおそる聞いてみたら、彼は自分の処の学生が始めての教育実習で緊張しているのと、学生はナイーブだから遠慮してくれと言われて引き下がりました。生徒の数は一クラス非常に少いことは今更言うまでもありません。イギリスの学校制度は複雑で古いものと新しいものとが混在しており、労働党が手をつけた新しい学校制度にサッチャー首相がブレーキをかけている様子がいろいろな面で伺い知る事が出来ました。リーズ市では年度途中で社会人教育のプログラムを縮少するというので受講生が当局に抗議を行った様子が夕刊にのっていました。インフレと財政膨張には各国が苦慮している処で、日本でも 40 人学級の編成が全国的になされるには相当時間がかかるでしょう。

メリーランド大学の教育学部の建物の中にある TV センターはまあまあのものでしたが、レスター大学の教育学部の TV センターは未だに白黒の古い機械でした。尤も大学全体の TV センターは医学部の建物の 1 階にあって相応の物でした。主任の教授にパンフレットを示し乍ら、私も小さな設備を大学を持っていて、パンフを作って皆に配ってはいるが、本当に良く読んでくれているのか不安で、使用する時になって担当者が呼ばれるのではないかと聞きましたら、何所も同じだと大笑いをしていました。

ウスター市にて

レスター市滞在は僅か一週間で、再び重たいトランクとショルダーバックで11月15日（土）には次なる目的地ウスター市に向いました。Worcester の発音は難しく、レスターのホテルの親父さんに発音振りを正してもらってレスターの駅の窓口で呼びましたが、三回目にやっと笑って切符を売ってくれました。後にも先にも切符売場で一回で買えなかつたのはウスター行きの時だけでした。イギリス鉄道にもすっかり慣れて、沿線の何所を見ても緑の草地だけにはいささかうんざりした程です。ウスター市はウスター・ソースの発祥の街です。泊ったホテルは安い替りに設備が貧弱で、電話を使うにもいちいち、調理場の隅にある電話を使わしてもらう程でしたが何事も経験で面白く却つてホテル（Inn）の経営者と親しくなれました。

Worcester カレッジ

旅の疲れも漸く出る頃です。幸いこの街はこぢんまりとした如何にもイギリスの地方都市という風であり、またウスター・カレッジは規模も奮闘気も私の教大旭川分校を思わせるもので今回の旅で一番リラックスした場所でした。特に私の面倒をみてくれた Bowker 教授が小柄で身軽、更に日本人的奮闘気を持っている人でして楽しい想いになりました。このカレッジは名前が3回變ったそうで、イギリスもそれなりに教育制度の改革を実施しているのが判ります。学内を見て気づきます事は、教官自身の研究の場を持たぬ（実験室の事です）点です。日本では教育大学は何所でも自然科学について言えば、

専門の研究の場として大なり小なり実験室を持っていて、ペーパーを作るのに一生懸命です。それはそれで良いのですが、教育大学は実質的に小・中学校の教員を養成しているのが実状です。過去20年以上、私なりに苦しんでいるのですが、大学と言う以上4年目の学生に卒論を課している次第で、殆どの教官は自分のプロパーの研究テーマの一端の仕事をさせています。悲しいかな教育大学系のカリキュラムは理学部のそれとは大幅に違い、理学部で専門のテーマで卒論を課するだけの実力はありません。にもかかわらず大半の学生は自分でも理解しがたいままに形だけの仕事を仕上げます。現場の小・中学校の教育につながる、いわゆる理科教育に関する課題をやらせようと思っても、指導教官自身理学部の研究テーマを大事と思っている訳ですからこの矛盾はいつまでも解決されません。ウスター・カレッジの教官は、いわゆる理科教育担当の教官なのです。この点を強調しますと戦前の師範教育が良いのかという反論にぶつかります。大学の教官が自分の専門分野に関する研究で業績を積み、学生は現場の小・中学校の教員としての力をつけるという、この難しい課題をどうやって解決するのか、学生にとってはウスター・カレッジの在り方は幸せだと思いますが、教官にとってはどうでしょうか。その点を質問しましたら、そのような場合には、而るべき大学に研修に行く制度があるとの事でした。今回のアメリカ・イギリスの教育学部系の実態をみての感想は、規模・設備では日本とそう変りがない事を感じました。只、日本では大学での授業・教育という問題に関しては、未だに学問研

究第1、且経験主義で教育方法論というのは実りの少い事だという感が未だに残っているのではないかでしょうか。大衆化した大学で且自分の仕事も満足にできぬ、創造性のない学生大衆を迎える大学とは如何なる未来を将来に目指す事になるのでしょうか。

思わず話があらぬ方に脱線しました。レスター市と同じく、ウスター市の滞在も僅か一週間でした。日曜日に参観に行ったウスターの大聖堂（Cathedral）では運良くミサに列席して素晴らしい聖歌隊のコーラスを聞く事が出来ました。有名な陶器製造の作業所も見学できました。

ウスター市の郊外にある Malvern カレッジを訪れる事の出来ました事は望外の収穫でした。イートン中学校はあまりにも有名ですが、このモールバン・カレッジもイートン中学校程日本では有名ではありませんが、全寮制のパブリックスクールでイギリス人のエリート教育の場で卒業生はオックスフォード大学・ケンブリッジ大学に相当数進学します。このカレッジには Lewiss 教授が居られ、Science in Society Project の責任者であります。このプロジェクトは中学・高校に亘る先のリーズ大学で説明しました SISCON Project の中学・高校版です。総合科学教育と言えば判り易いでしようか。幸いお目にかかる事が出来、日本訪問の際教授が会われました大塚先生。原島先生のお名前を上げて懐しそうにされていました。

おわりに

最後のウスター・カレッジ訪問を終えて、ロンドンに向けて旅立ったのは 11月 22 日（土）でした。始めての海外旅行でしたが、幸い健康に恵まれ沢山の人々の好意を受け、楽しく有意義に旅を終える事が出来ました。ロンドンでは 11月 29 日の出発の日まで、始めて自分の自由なスケジュールで市内観光に日時を費す事が出来ました。主に廻った先は美術館一辺倒で旅行案内記に書いてあるスケジュールではとても廻り切れず見落した場所も相当ありました。

11月 28 日には国立美術館で半日過し、トラファルガー広場に立った時は、ロンドンでの初雪に会いました。いろいろな想いを残し、29 日にはヒースロー空港に別れを告げ機中の人となりました。途中アンカレッジに着いた時は日没 30 分前でマッキンレー山の山はだに真赤な落日が光を投げかけている景色に想わず息を呑む美しさを感じ、60 日振りで日本に帰る嬉しさが益々つのる事でした。

支部研究会・パネルディスカッションの報告

昭和55年度の支部研究会が、去る12月13日（土）、午後2時より約3時間半にわたって、北大工学部において開催された。内容は、原著講演が5件、次いで「入試問題—新カリキュラムに焦点をあてて」と題するパネルディスカッションが行われた。以下、このパネルディスカッションにおける3人のパネラーの話を紹介したい。

座長 道教育研究所 奈良 英夫
パネラー 室蘭工大 勝木喜一郎
北大工学部 北村 正直
札幌工業高 池田 筑修

奈良 先の支部理事会において、「入試問題—新カリキュラムに焦点をあてて」というテーマのパネルディスカッションが企画されたが、それは主として室工大の勝木先生の発想によるものである。そこで先ず、勝木先生に、その発想の所以についてお話しをいただきたい後、昭和57年度以後の「共通1次」に向けて、新教育過程をどう受けとめていくか、2次試験における内申の使われ方、及び、入試問題（1次・2次）の方向等について、3人のパネラーにお話しをいただきたい。

勝木 私ども室蘭工大では、毎年7月に、高校の理科の先生方（室蘭近辺を主として、函館、北見等からも参加）と入試問題に関して懇談会を行っているが、北大ではモニター

から意見を聞くだけであるという。それでは、支部研究会で、北大の物理の問題についてたたいてみたらどうかと、理事会で提案したところ北村先生から強い反対があり、いろいろ検討した結果「入試に関する問題」について考えてみようということになった。

ゆとりのある教育ということで、小学校から、順にカリキュラムがかわり、57年度からは高校、そして60年度からは大学がそれらの生徒を引き受けことになる。それにともなって大学入試がどうかわっていくのかの問題に対して、今、具体的に検討がなされているのが国大協の第2常置小委員会であって、これは、何人かの大学の学長からなっている。しかし、各大学での意見というよりは、学長の個人的な考え方で検討がなされているようであるが、中でもっとも熱心なのは東京工大の齊藤学長である。実は55年の6月に、全国の各大学の入学者選抜研究委員会の全国的な集まりがあったが、そのとき齊藤学長は、新しいカリキュラムに対応する統一テストあるいは大学入試というのは大問題であるとし、また、もとの文部大臣である永井氏は、共通1次試験が取り入れられた結果大学の入学試験のパターンが、2次試験を含めて20以上に及ぶが、新しいカリキュラムに対するそれらのパターンを十分考えて、各大学の入試を検討してはどうかという意見を述べた。

また、大学入試がどうかわるか、あるいは、どうかわるべきかということを考える際に、高

校側の意見も入れてほしい、という声も強まっている、検討していきたいと思う。

北村 北大の具体的な問題をここで議論することを、私は反対したわけではなく、議論しても意味がないといったのである。というのは、誰が問題を作るのか、ということがまったくわからず、また、それをどのようにコミュニケーションするか、ということもないで、話しがあまりにも生々しくなってしまうのは良くないと考えたためである。

私の個人的考えだが、共通1次に高校側から加わるということは絶対必要条件だと思う。1967年にO E C D の、ライシャワーをはじめとする世界各国の学者が6人ほどきて、日本の教育政策を診断し、勧告をした。この中で、共通試験に関することがもっとも大きなものであった。共通試験をするならば、高校側を入れることが絶対必要であるという付帯条件をつけて勧告がなされた。今の共通1次は高校側の話を聞きおく程度でとどめられる形で始められ、これは今の共通1次のシステムの1番弱い点だと思う。

国大協の話しがでたが、そこで1番問題になっているのは、やはり、新しいカリキュラムを導入するにあたって、共通1次をどうするかということである。今、私の耳に入ってくるいろいろな意見としては、どちらかといえば、今の共通1次をそのままつづけていくことのようである。

私自身の意見をいわせていただくなれば、今度の新しいカリキュラムにともなって大学入試が

かわるということは、高校教育すなわち大学入試、または、大学入試イコール高校教育ともいえる。このことは、大学入試が高校教育を形づくり、枠をはめるということを容認するからであると考えられはしないか。しかし、私は今、大学入試と高校教育をわけ、高校は高校でのあるべき教育の仕方を考える時期ではないか、と思っている。もちろん、高校教育を大学教育において無視して良いというのではなく、大学教育においては、高校での教育について十分考慮した上でなされなければならないが、しかしながら、高校の教育そのままの形で大学入試を行うと考える必要はないのではないか。高校で理科を2科目受けたとしても、すべての学生に、その2科目の試験を共通1次で課す必要はない。例えば、文系の学生に対し、高校で必修であつたから、理科を2科目受けさせるとか、高校で理科Iをやるのだから、理科I全般について共通1次を行うという考え方はとらなくてよいのではないか。高校の理科Iは高校の理科Iであり、共通1次では、理科をいくつかに分けた上でその一部分について問うことでよいのではないか。また、理系の学生についていうなら古典はやらなくて良いといった具合である。けれども、これは古典の勉強をやめたり、古典をないがしろにするというのではなく、古典は高校ではやるけれども、それは大学入試とは別であるという考え方である。

私の外国での経験だが、高校で全く物理をとらなかった学生が、大学にきて物理をとってきた学生と一緒に勉強をして良い成績をおさめ、そして、理論物理学の方に入り有名になってい

る。外国のどの大学でも行っているように、画一的でなく、いろいろなレベルの物理教育が日本の大学においてもできるようになれば、多くの問題が解決されると考えている。

池田 一番問題となるのは、共通1次がどうなるかによって、高校のカリキュラムが左右されるということである。これは以前に、地理Aか地理Bかという北大の入試科目によって、高等学校が完全に左右されたことがあり、このようなことが今度もおきるだろう。秋山先生の発表にあったように、学年毎に累積していく科目はよいが、学年単独の科目の学力が伸びないということになれば、例えば、1年生で学習した科目を3年生でもう1回やりなおさなければならなくなる。

もう1つの問題として、共通1次の科目が、あれもこれもという具合に多数になれば、大学で行う2次試験では何をやることになるのか、ということである。例えば、共通1充と2次試験で生徒が同じ科目をとったとき、その両方の結果についてどう判定するのか。実際にはあまり差はないと思われる。

これらの点について、高校側で早期にわかっていないと、急にカリキュラムを変えなければならないことになり、必ず何らかのゆがみができるてしまう。

また、今度の教育課程の中では、職業学校のおそらく99%は共通1次と無関係な学校になってしまうと思う。したがって、高等学校という枠からはずされ、昔の実業教育という名をもう一度使わざるを得ないというように、学校

の区別ができあがるのではないか。このことについてどう考えるかということと、90%以上が高等学校へ進学することになったことと共に1次とのかかわりあいについて、はっきりした形ができそうなところが今度の改訂ではないかと思う。

報告 札幌香蘭高 石上形幸

昭和55年度支部研究会の記録

期日 12月13日(土) 14時より

場所 北海道大学工学部

◎研究発表

(1)アルミ箔を用いた一寸した実験

札幌北高校 斎藤 孝

(2)科学史上の著名実験装置の再現(2)

— クーロンのねじれ秤(1785年)について —

札幌藻岩高校 山田 大隆

(3)映像教材の視聴効果に関する累積的研究

札幌藻岩高校 山田 大隆

札幌工業高校 池田 稔修

小樽朝陵高校 山野 拓二

(4)マイコンベースによる物理基礎学力の電算機的検討

北大工学部 北村 正直

(5)高校入試についての一考察

札幌東高校 秋山 敏弘

◎パネルディスカッション

「入試問題 — 新カリキュラムに焦点をあてて」

座長 道教育研究所 奈良 英夫

パネラー 室蘭工業大学 勝木喜一郎

北大工学部 北村 正直

札幌工業高校 池田 稔修

学会ニュース

○ 第24回北海道高等学校理科研究大会

期日 昭和56年7月28日～30日

場所 旭川西高等学校

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

副題 ①生徒の興味と意欲をほりおこす

理科Ⅰ学習指導内容の展開

②効果的な理科指導はどのようにしたらよいか

○ 第42回応用物理学会学術講演(福井にて)

主催・問い合わせ 応用物理学会

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以下の事業を行なう。

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

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

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

第6条 本支部に次の役員をおく。

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

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

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職

務を行なう。

第9条 本支部に支部評議員若干名をおく。

支部評議員の数は、支部長が支部役員会の議を経てこれを定める。支部評議員は支部理事会の推薦により支部長がこれを委嘱する。

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

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

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

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

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

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

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

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

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会

定款に準ずる。

(附 則)

- (1) 本規約は、総会において、正会員の3分の2以上の同意を得なければ変更できない。
- (2) 本規約は、昭和44年6月25日より施行する。

支部会誌「物理教育研究」投稿規定

1 内容

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

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56年4月9日印刷

昭和56年4月10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条東17丁目)
TEL 781-6582

コンピュータは



理想のコンピュータにさらに近づいた

スーパー・マイクロコンピュータM243の機能は、まさにオフコンを超越。しかも操作性、経済性はマイコンそのままで。

M243S



- M200シリーズ最上位機種。
- CRTとキーボードが一体型のFタイプとセパレート型のSとがある。
- データ容量: 標準700K、最大2.8Mバイト。(ミニフロッピーの場合) 8インチ・フロッピー、ハード・ディスクも接続可能。

M223mark V



- M223mark IIIの機能にIBMフロッピーを標準装備。他社機種とのデータ互換性を持った。
- データ容量: 標準1M、最大4Mバイト。

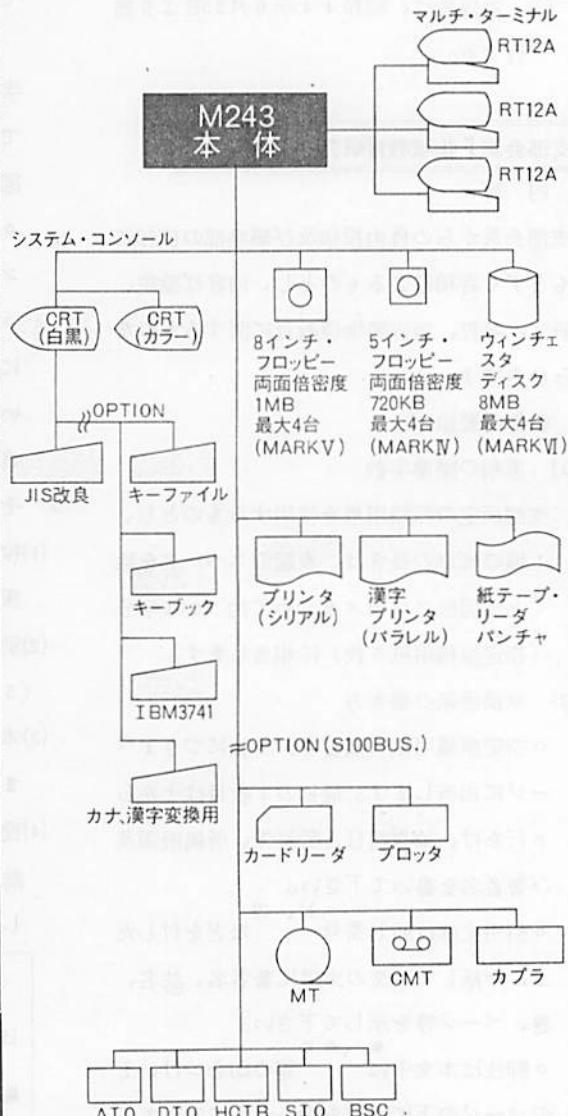
(エコノミータイプのM203もあります。)

M100ACE



- 低価格を実現させた、ビジネスから計測まで使える高性能パーソナル・コンピュータ。
- ミニフロッピーで標準143K、最大429Kバイト。

M243システム構成



株式会社 ソード電算機システム

〒001 札幌市北区北10条西4丁目7番4号
エルムビル3F

株式会社 ソード札幌

TEL (代) 731-6107

スクリーントーン 50 lines / inch 30%

- マイクロコンピューター応用分析計及び汎用理化営機器の販売。
- 環境アセスメント関連調査及び機器販売保守メンテナンス。
- 排水処理プラント設計施工管理及び関連製品の販売。



株式会社 島津製作所



日本テクニコン株式会社

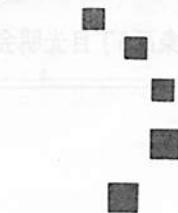


電氣化学計器株式会社

新しいニーズに技術と信頼で
応える総合商社



松下精工株式会社



具器計測開発販賣

器量程及具器販賣

CHINO 株式会社 千野製作所



和光純薬工業株式会社



日本インスツルメンツ株式会社

Dylec タイレック株式会社



HIROYA TRADING CO., LTD.

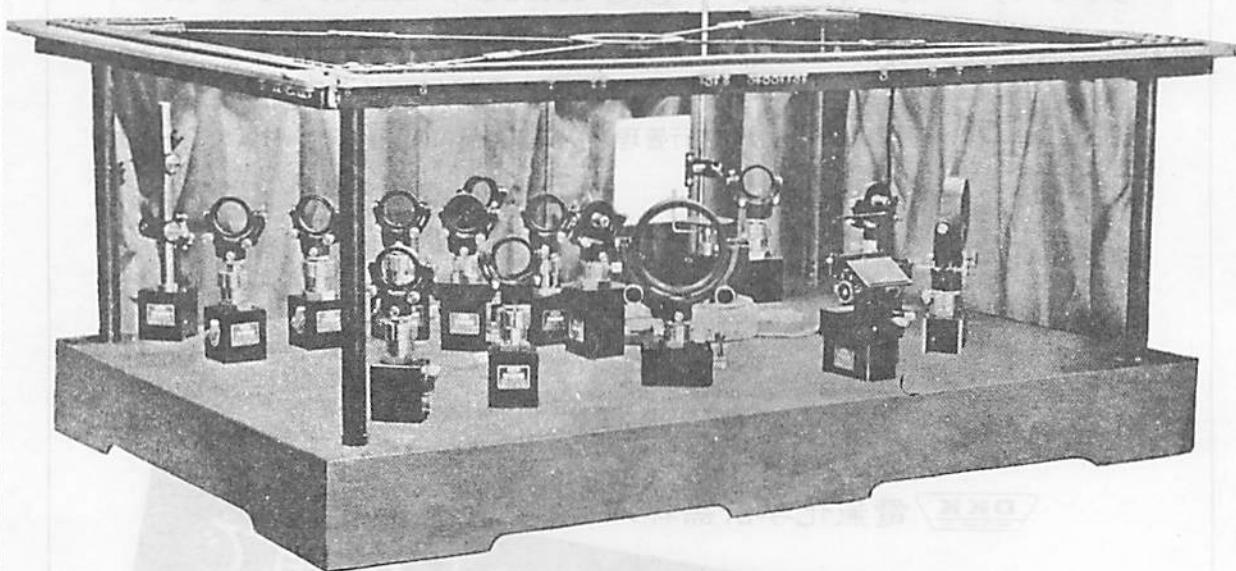
会商大富三井

株式会社 博屋商行

室蘭本社 室蘭市東町3丁目1番10号
TEL (0143) 44 2661
札幌営業所 札幌市中央区南2条西19丁目
TEL (011) 642 2211
苫小牧出張所 苫小牧市泉町1丁目7-8
TEL (0144) 34 4551
函館出張所 函館市東雲町5番11号寺井ビル
TEL (0138) 26 6796
東町工場 室蘭市東町3丁目1番10号
TEL (0143) 44 1589



中央精機株式会社



汎用ホログラフィ干渉計

C.T.S.の部品が数多く使われています。

代理店

札幌市北区北6条西6丁目光明会館

計測理研サービス株式会社

電話742-0755

理化学用器械器具
硝子器具及計量器



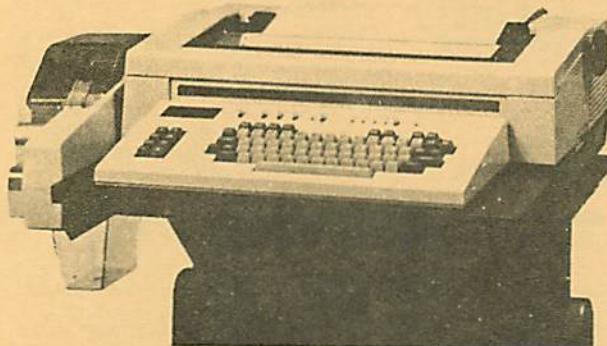
有限公司 サンブク久商会

〒001 札幌市北区北6条西6丁目

☎ 札幌 (011) 711-0448番

インクジェットプリンター

いま、データ・ターミナルは



高速化と

サイレント時代へ……

://ヤープ。株式会社

株式会社 北海道クリアパルス
〒001 札幌市北区北16条西4丁目 吉江ビル
TEL (011) 741-8235

放送番組から精選

島津から新発売

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



- 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 光の干渉 1~2
- 14 光の回析
- 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・ベロースポンプ・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) 711-4171 〒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