

BUNRI
RYOKUCHI

物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

No. 12 1984. 5

目 次

□ 卷頭言 生徒の立場で物理教育を觀よう	秋山敏弘	1
□ 支部長退任にあたって	相馬純吉	2
□ 氷の塑性と転位	福田明治	3
□ Gの測定と周辺の現象	邊見龍夫	10
□ 波動に関する質問側（高校物理において）	名西 効	19
□ 昭和58年度支部研究会報告・学会ニュース		23
□ 学園（物理教室）訪門記	飯田紀子	27
□ ていー・るーむ		30
□ 支部規約・会誌投稿規定		32

卷頭言

生徒の立場で物理教育を觀よう

支部長 秋山敏弘

高い立場でなければ理解しにくいことがあるとすれば、逆に、低いからこそ、よく見える事実もある。生徒は、理科教育の特徴を意外なほどよく捕えているものである。高校教師の理科教育に対する考え方は、大体、理科の枠におさまったものが多い。

しかし、生徒のそれは全教科、それも小学校以来の教育全体の中で身体で感じとったものである。一部の教員だけが気遣っていた点を、かなり手きびしく衝いてくる。中には必ずしも賛意を表すことができない指摘もあったが、同意できたものもあるので、これを紹介したい。

(一)

国語、社会、数学、理科、英語という、いわゆる受験5教科の中で、指導内容において小学、中学、高校の間での関連がもっとも薄いのは理科ではなかろうか。指導内容の編成には、それなりの哲学があるものとは思うが、生徒にとっては、いつもバラバラのままの授業が進められてきたとしか思えない。

中学入学後、小学校で学習した事項の理解、記憶が強化される機会は無かった。先生自身、生徒が過去に何を勉強したのかに気を配ることも少なく、その必要もないようであった。高校入試で小学校での内容は直接問題となることはないからである。したがって、中学3年生必ずしも、小学生よりも、小学校理科問題に対して正答を与える力があるとは言えない状態であった。その場かぎりの勉強をしてきたような思いから生徒は迷れることができなかった。高校入学以後も同じであった。受験という立場では、それで済む。だが何かがおかしい。他の教科の学習では、そのような感じがないから不審なのである。

(二)

理科にかぎらず、教科間の相互の連携の不十分さが気になる。理科I(力学)に一つの例をとる。中学校では、合力、分力については、図解的に理解するのが指導限界で、数式を用いて計算することは指導外のことであった。それが、高校入学直後から斜面の力のつり合い、相対速度など、高校第二学年の数学であるベクトルを用いるのである。教師にとっては単純明快なことでも、初めてこれを学習する側にとっては、指導の順序が逆であると考えざるを得ない。

コンピューターに情報を入力しているのではなく、人間を教育しているのであることを、忘れないでほしい。

支部長退任にあたって

前支部長 相馬純吉

日本物理教育学会北海道支部支部長を二期勤めさせて頂き、此度辞めることとなりました。この間、大過なく職務を勤めることができましたのは、支部会員各位の候協力の賜物と心から感謝致しております。

北海道支部は物理教育学会のいくつかの支部の中でも最も活動の活発な支部として知られています。これは、ひとえに、支部会員の熱意と努力によるものです。一昨年秋、物理学会の第37回年会が開催された折、物理教育のセッションもその中に入っていました。そのセッションの中に「物理教育についてのシンポジウム」を計画する様にとの連絡が中央からあったのは初夏の頃であったかと思います。計画は一切北海道支部に任せるとのことでした。急にその様なことを言われて、初めは困惑致しましたが、気をとり直し事務局の吉田氏始め在札の会員に御相談して、どうやら案をまとめ中央に提出しました。その案通りスピーカー全員が支部会員という構成でシンポジウムは成功を収めました。又、一般講演にも支部会員の発表も多く、上記シンポジウムの成功と相まって、全国各地から参集した会員に北海道支部の実力と活動を強く印象づけました。

北海道は地理的に中央から遠く、又教員は一般に研究旅費が乏しいので、学会の年会には数多く出席出来ないのが、残念ながら実情と言えましょう。従って、中央から見ると北海道からの年会参加は少数で活動は低調と見られ勝ちです。しかし、実際には低調どころか非常に活発であることは一昨年の年会の折によく示されました。

活発な支部活動の一つの現れは定期的な支部研究会と「物理教育研究」及び「支部だより」の刊行です。この様な会合、雑誌刊行を定期的に行っている支部は他にありません。これらの会合、雑誌は旅費の都合で心ならずも中央の学会に出席出来ない当支部会員に絶好の発表の場を与えます。しかし、ここで注意すべきことがあります。それはこうした活動が地方に止まっている限り、やはり眼に触れる範囲は限られるでしょうし、広く批判を受けることにはなりません。ここに北海道モンロー主義に陥る危険があります。私が強く希望し期待することは、今迄のこうした実績をふまえて道支部会員がもっと中央で活躍して貰いたいということです。例えば、会誌「物理教育」への投稿は地方、中央で経済的には殆んど差がない筈です。会誌に投稿するには先ず会誌に投稿しようとする意欲がなければなりません。そして論文としてまとめられ審査を通るに足るだけの質の高い研究内容が必要です。私は支部の皆様は十分質の高い研究を行っており、又行いつつあると思います。当支部刊行の「物理教育研究」への投稿もさることながら、会誌「物理教育」への投稿を強くお勧めします。さらに又、一定のテーマを設定し、同志を募り、研究グループを結成して、文部省科研費「科学研究」に応募してはどうでしょうか。勿論、この科研費にも審査があります。その審査が通り科研費が配分された時こそ、当北海道支部の研究活動の真価が客観的に認められたと言えるのではないでしょうか。

終りにあたり、支部会員各位の御協力を心から感謝すると共にその御多幸をお祈り申しあげます。

氷の塑性と転位

北大工学部 福田明治

1. はしがき

水は生命の根源であるから、水の研究についてはかなりの研究がされているが、固体となつた氷についてはそれほどでない。一般に固体は材料として注目されるが、氷は材料として注目されることがなかったので、その物性については、我々の身近にありながら知られていないところが多い。

最近、地球上の人口が増加し、これを養うためにより多くの農産物を必要とする。この農産物の収量は気候に依る。この気候の長期的なものを知るには、北半球の氷河や南半球の南極氷床の消長が重要な鍵となる。このときこれら大きな氷体の流動を知ることもその中の一つの重要な要素になる。つまり氷の塑性の研究が重要になる。そこでその基礎となる氷単結晶の塑性についての研究の最先端を述べてみたい。これを述べるにあたって結晶の格子欠陥についての知識を必要とするので、格子欠陥の説明が大部分を占めることになる。

2. 氷の変形の異方性

氷の単結晶で角棒をつくり、これの両端付近を支えて、その中央に錘りをかけて長時間置いておくと、氷のC軸と呼ばれる結晶軸の方向を図1(a)のように上向きにした場合は、この図

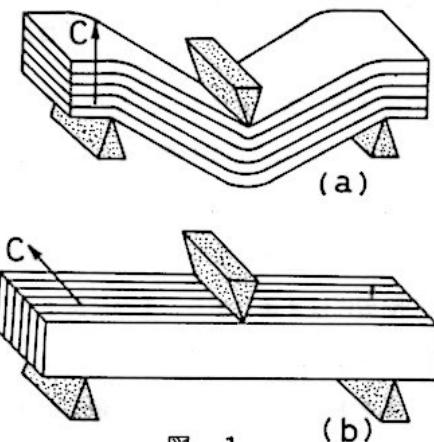


図 1

のように曲がってゆく。しかし、図1(b)のようにC軸方向を横向きにした場合はほとんど曲がらない。曲げようとして錘りを重くしてもなかなか曲がらず、終には破壊してしまう。金属などでも、結晶の方位によって変形の難易のあるものもあるが、氷のように極端なものは珍らしい。氷単結晶の変形のこのような極端な異方性については昔から知られていたが、この異方性があらわれる原因については明確な説明はなかった。

3. 氷の結晶構造

結晶の塑性について述べるまえに、氷の結晶構造について述べておく。氷の結晶は水分子の正四面体配置を基本として構成されている。この正四面体配置とは図2(a)のように、氷の中の一つの水分子(図のA)に注目すると、そのま

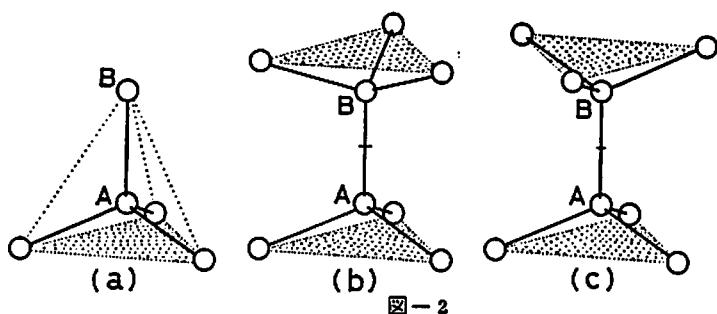


図-2

わりに 4 個の水分子があり、この 4 個が正四面体の頂点となり、先の 1 個はその重心にある配位である。これは結晶中のどの分子をとりあげても必ずこの配置になるのであるが、各正四面体の配置には 2 通りある。1 つは図 2 (b) のように、図 2 (a) の B 分子を中心とした正四面体が、A を重心としていたものと鏡面対称になる。もう 1 つは図 2 (c) のように点対称になる。

と呼んでいる。

鏡面対称を全く含まず点対称のみで結晶が構成されている場合は立方晶となる。氷は通常は六方晶であるが、 -120°C 以下の温度で

準安定的に立方晶になっていることがある。余談であるが、この立方晶は水分子を炭素原子におきかえると宝石の王であるダイアモンドとなる。

4. 転位

塑性的に変形した結晶を観察すると図 4 のように力のかかった方向に層状にすべっている。

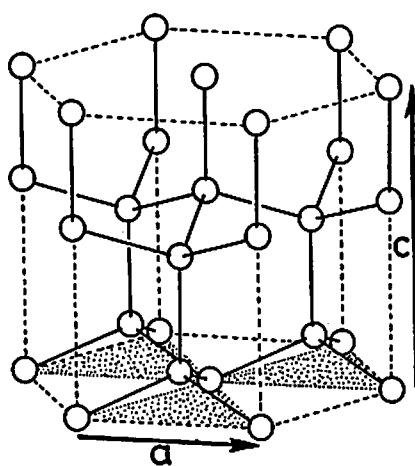


図-3

氷の結晶は図 2 (b) の鏡面対称を含む構造をしている。この構造は図 3 に示す六方晶になり図の上下方向が鏡面対称配置になっている。上下方向以外の方向では点対称になっている。先に氷の変形のところで述べた C 軸は図の矢印 C の方向であり、六角形の各辺に沿うものは a 軸

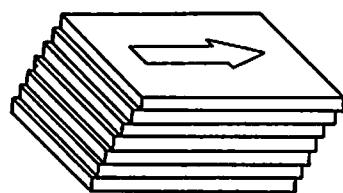


図-4

このすべりを原子や分子の尺度でみると図 5 の (a) から (c) になることである。この途中経過として (b) のようにある 2 つの原子面間の結合が一斉に切ることを考えると、結晶を破壊してしまうような力がいる。実際にはこれよりはるかに小さな力で変形している。

実情にあわせるために次のように考える。図 6 の実線で描かれたものに注目すると、右半分は図 5 (c) のようにすべってしまっているが、左半分はすべりを起こしてはいない。そのため、結晶の上半分の中央に余分な原子列がみられる。これは逆に下半分に原子列が足りないとみても

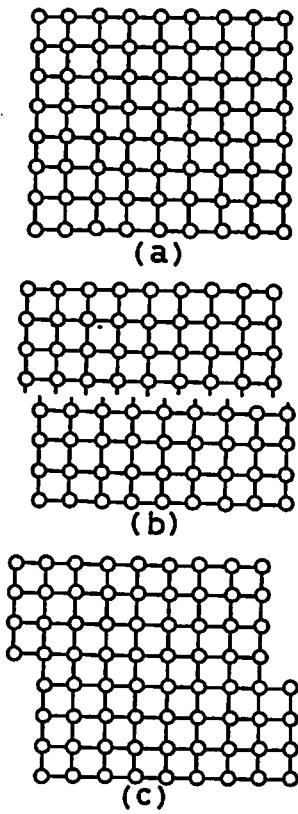


図-5

よい。この図は試験面に平行な1層しか描いていないので、立体的にはこのような構造を試験面に垂直に積み上げたものである。したがって、先の余分な原子例は余分な原子面である。この余分な原子面の結晶中の縁は線状になる。この線上に並んでいる原子はその下側に結合すべき相手の原子がないので結合手が余った状態となる。結晶内で結合が余るということは正常ではない

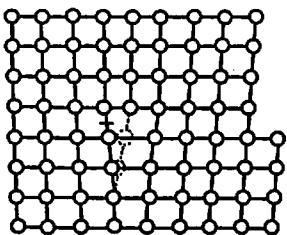


図-6

ので、このようなものを格子欠陥といい、とくに今まで述べてきた線状の欠陥を転位と呼ぶ。

図6の転位のすぐ左隣りの結合手を印をつけたところで切り、この印の下側の原子を転位のところの原子と破線で示すように結合させる。このようにすると転位は1格子間隔左へ移動したことになる。これをくりかえすと、転位は結晶の左側に抜け出て図5(c)と同じになる。したがって結晶の右側から転位を導入し左へ移動させると、図5(b)のような無理な過程を経ずに(a)から(c)へと塑性変形することができる。

図6の転位を立体的に描くと図7の点のうつたところがすべてた部分で、点のうつっていないところがすべてていない部分で、この2つの部分の境界が転位ということになる。この転位をつくるためのすべりは結晶の下半分に対して上半分を左方向に移動させることである。また、

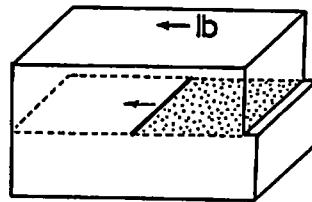


図 7

この移動量は結晶の格子間隔1つ分でなければならぬ。もし中途半端であれば、すべてた部分は図5(b)のようになりエネルギーの極めて高い状態となってしまう。この移動の方向と量を同時に表わすものをバーガース・ベクトルと呼び図7のlbで示したものである。

図8では、結晶の前半分の点のうつたところがすべてた部分で後半分がすべてていない部分であり、この境界が転位である。このすべりに

ついても移動方向とその量は図 7 のものと同じである。つまり、バーガース・ベクトルが同じということである。しかし、転位の構造はか

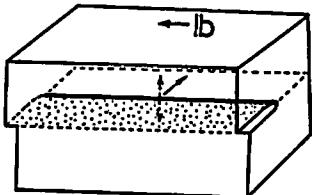


図-8

なり違う。図 7 では原子面が押し込められて余分な原子面ができた、この余分な原子面は、図 6 でみたように、まるで刃物をさし込んだようにみられるので、刃状転位と呼んでいる。図 8 の場合には、転位線にそって横ずれしているだけで原子面を押し込めるようなことがないので余分な原子面がない。図 8 の転位が外に出ている左右の表面をみると、この転位のためにらせん面になっている。これは結晶内部まで焼き、この転位のまわりの原子面すべてがらせん面になっている。それで、この転位をらせん転位と呼んでいる。また図 7 と図 8 の中間的なもの、つまり転位線が斜めになっているものもある。このような転位は刃状転位とらせん転位の両方の性質をもっているので混合転位と呼んでいる。

これらの転位の種類によってすべり運動のできる方向に違いがある。詳細は略すが、刃状転位は余分な原子面のためすべることのできる面は図 7 の破線で描いた面に制限される。この面に垂直な運動は上昇運動と呼ばれ別の機構である。らせん転位は余分な原子面がないため、図 8 の破線で描いた面以外、例えば図の上下方向にもすべることができる。

結晶の周期的くりかえしのある方向とその周

期で表わされるベクトルは、バーガース・ベクトルとなりうる。例えば、図 5 の格子では上下と左右の格子方向と間隔、結晶は三次元であるから説面に垂直な方向についての周期がバーガース・ベクトルになる。したがって、結晶は三次元的にどの方向にもすべることができる。

先に、バーガース・ベクトルは大きさが格子間隔 1 つ分であると述べたが中途半端はよくなくとも、格子間隔の整数倍であれば周期性は満足されるのでよいように見える。それを 1 つ分とした理由を転位のエネルギーから述べる。

結晶中に転位があると図 6 でみられるように結晶格子が歪む。この歪は転位の中心から離れたところではフックの法則が成立つような弾性歪であり、歪の大きさは中心から距離に反比例している。転位の中心近くではフックの法則が成立しないほどに歪み、さらに結合手が切れてさえいる。この部分は転位芯と呼び、エネルギー密度の高い領域である。この領域は転位の中心から半径が数格子間隔程度と小さい。弾性領域ではエネルギー密度は小さいが、この領域は転位芯のところから結晶の表面まで拡っている。それで弾性領域のエネルギーが転位全体のエネルギーの 80%以上を占めている。

1 格子間隔を b とすると、図 6 の転位のバーガース・ベクトルは lb となる。図 6 の余分な原子面の隣りにもう 1 枚余分な原子面をさし込んだとすると、バーガース・ベクトルは $2lb$ となり、これにより、結晶の各位置での歪は、これまでの 2 倍になる。弾性エネルギーは歪の 2 乗に比例するので、転位のエネルギーはほぼ 4 倍になる。ほん、というのは芯のエネルギーにつ

いては不明であるからである。

この隣り合った 2 枚の余分な原子面の 1 枚を移動してもう 1 枚の原子面から遠ざけてゆく。充分に遠ざけた状態ではバーガース・ベクトルが lb の転位が 2 本あることになるので、転位のエネルギーは 1 本分の 2 倍のエネルギーとなる。つまり、この遠ざける過程で、弾性エネルギーは 1 本分の 4 倍から 2 倍に減少してゆくのである。このことから、もし結晶中にバーガース・ベクトル $2 lb$ の転位があればエネルギーを減少させるために、バーガース・ベクトルが lb の 2 本の転位に分離してしまうであろう。したがって、バーガース・ベクトルが格子間隔の 2 倍、3 倍というものは安定的に存在できないことになる。

5. 積層欠陥と拡張転位

図 9 はいくぶん複雑な結晶構造をもつものを概念的に表わしたものである。ここで白丸と黒丸は異種の原子を表わしていることもあるれば、同種の原子でも状態や配置などが違うことを表わしている場合もある。この結晶の横方向の 1 周期は白丸から白丸、または黒丸から黒丸までであるから、この結晶の転位は通常、図 9 (a) のようになりバーガース・ベクトルはこの図の右下に示したものとなる。

この転位には、種類が違うとはいえ余分な原子面が 2 枚ある。これが分離して離れてゆくと弾性エネルギーは減少する。ところが分離した 2 本の転位の間では異なる原子面が結合した状態になる。これはエネルギーの高い状態であり格子欠陥の 1 種である。この図の奥行の方向に

も広がっているので、これは面状の欠陥である。この結晶を水平方向の原子面を積み重ねてつくったものとみると、図の破線のところは積み重ねを誤ったように見える。それで、このような面状の欠陥を積層欠陥と呼ぶ。この分離した各転位は格子の周期より小さなバーガース・ベクトルをもつことになるので、先の転位と区別して部分転位と呼んでいる。また、これらの部分転位と積層欠陥は 1 つの転位がある原子面上に拡がったものなので、この全体を拡張転位と呼んでいる。図 9 の概念図では刃状転位を例としているが、らせん転位も混合転位も同じように拡張転位になる。

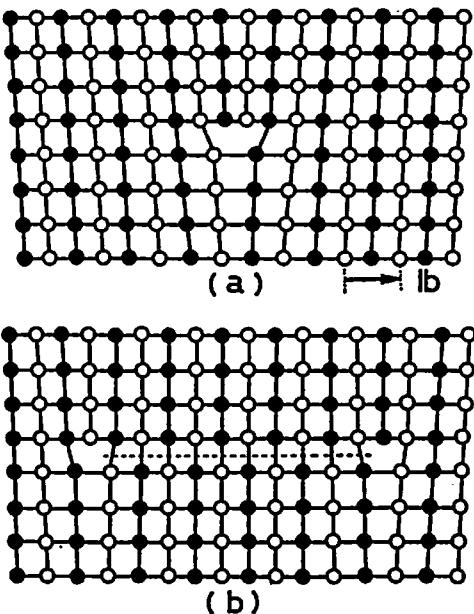


図-9

2 本の部分転位が離れると、つまり拡張転位の幅が大きくなると弾性エネルギーは減少する。しかし、拡張転位の幅が大きくなることは積層欠陥の面積が増加することなので、エネルギー

の増加を招く。このことを力でみてみると、部分転位間の弾性相互作用力は両者の間隔に反比例する反発力であり、横層欠陥による力は石鹼膜のような一定の面張力が部分転位を引きよせるように働く。したがって、拡張転位の幅はこの2つの力の釣合によって決まる。

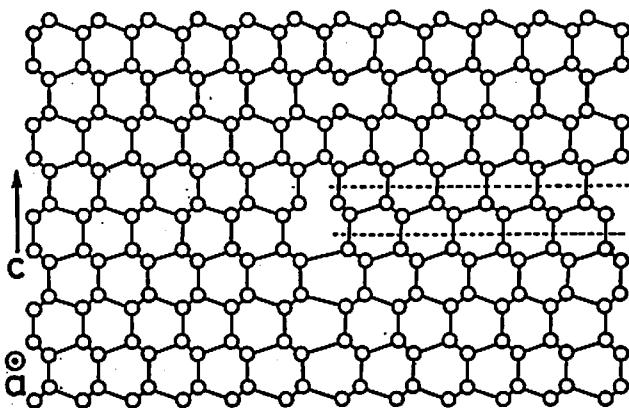


図-10

純粹な金属では一般に横層欠陥エネルギーが大きいので、部分転位を引きよせる力が大きく転位がほとんど拡張していないような状態にある。しかし、氷はC軸に垂直の面上では横層欠陥エネルギーが非常に小さいので転位はこの面上に大きく拡張している。氷のこの拡張転位を図10に示す。図の左半分は各原子層が鏡面对称的に積み重なっているが、右半分では破線のところが点対称になっているので、六方晶に立方晶を挿入したようになっている。つまり図2(b)の積み重ねが図2(c)の積み重ねに変わっている積層欠陥である。図10の破線の終っているところが部分転位であり、もう1つの部分転位は図のさらに右側にあるが略してある。図9の積層欠陥はわかりやすくするための概念図であつ

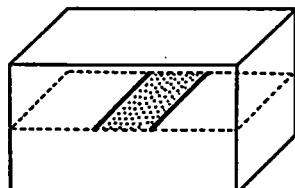
て氷のように、結晶系の異なるものが層状に入りこんでいるものが一般的である。

6. 転位の拡張と変形方向

拡張転位の幅が大きなことがどのような効果があるのかを次に述べる。図11は拡張転位で、

点を引いた部分が横層欠陥で、その両側の太い線が部分転位を表わしている。この拡張転位が破線で示した面上を動くときは単に部分転位の運動について考えればよい。しかし、これが、破線で示した面に対して垂直な方向(図の上下方向)に動くときは、部分転位の運動の他に、横層欠陥が次

の層に移りかわらなければならない。つまり、この横層欠陥の面上のすべての原子が一齊に配置を変えなければならないこれは、転位導入のとき述べた図5(b)に相当するような変化であって不可能である。つまり、転位が拡張したままであれば運動は拡張している面に制限されてしまう。



多くの結晶は横層欠陥エネルギーが高いので拡張幅は小さい。それで、部分転位に力が働くと比較的容易に拡張が閉じて、他の方向へ運動

できるようになる。また、立方晶のように3方向に同等であれば、この3方向について同等のバーガース・ベクトルがあり、拡張する方向も3方向同等である。したがって結晶の変形も3方向同等に行われる。立方晶以外の結晶でもバーガース・ベクトルは三次元的に存在しているので、その転位の運動に制限がなければ、三次元的にどの方向にも変形できる。

氷では、 a 軸、 c 軸、 a と c のベクトル和をバーガース・ベクトルとする転位が知られている。ところが、これら、すべての転位は c 軸に垂直な面上だけで拡張できると考えられる。この理由は次のとくである。

どの転位も c 軸に垂直な面上で拡張すると、その積層欠陥は六方晶に立方晶の層を挿入した形態をとる。これは先に述べた水分子の正四面体配置は乱さないので、それほどエネルギーが高くならない。しかし、他の結晶面で拡張すると、積層欠陥のところの水分子は正四面体配置を乱し、複雑な配置をとるのでエネルギーが非常に高くなる。

実際、氷の中のはほとんど全ての転位が c 軸に垂直な面上にあることが観察されている。それで、これらの転位はすべてこの面上で大きく拡張し閉じることがほとんどないので、これらの転位の運動は c 軸に垂直な面上に制限されている。このことにより図1に示したような極端な異方性をもつ変形が起るのである。

7. あとがき

氷の単結晶の塑性の極端な異方性は c 軸に垂直な格子面上での転位の大きな拡張幅が原因と

なっている。そして、この拡張は層状に六方晶から立方晶に変態することによる。先に述べたように、氷は通常は六方晶であるが、条件によっては立方晶になりうる。このことから、氷では六方晶と立方晶の間のエネルギー差はそれほど大きくないと推定される。しかし、それが何故のかはまだ知られていない。これが明らかになれば塑性以外の氷の物性についても未知のものが数多く解明されるであろう。

氷には塑性以外にも興味ある物性が数多くあり、また、氷の大きな尺度では氷河・氷河の運動などが興味深いであろうが、これらについては下記の解説書に任せて、ここでは、まだ、これらの書物には載っていない最先端のことを、格子欠陥の解説も含めて、述べたつもりである。

東晃 「氷河」中央公論社 1967

吉田順五 「雪の科学」日本放送出版協会
1971

若濱五郎 「氷河の科学」日本放送出版協会
1978

前野紀一「氷の科学」北海道大学図書刊行会
1981

※ 1984年4月、北海道大学工学部より、
室蘭工業大学へ教授として転出されてお
ります。

G の測定と周辺の現象

札幌南高校 邊 見 龍 夫

1. はじめに

重力ねじりばかりを主体とした装置を用い、万有引力定数Gの値を測定することを試みたので、以下にこの内容を報告する。タイトルに、“周辺の現象”という副題を付け、測定に伴って、見のがすことのできない幾つかの自然現象のあることを重要視した。

ねじりばかりは、物体相互の間に働く非常に微弱な力を測定する方法としてきわめて有効であり、これは1798年にクーロン（フランス）が発明し、1784年にはキャベンディッシュ（イギリス）によって物体間の万有引力測定に、初めて応用されている。¹⁾今でも物体間の万有引力を測定する手段といえば、ほとんどがこの重力ねじりばかりを装置の基本においている。

今回のGの測定実験では、市販の重力ねじりばかりの本体を使用し、付帯部分として特別設計による自動記録装置とおよびHe-Ne レーザーを用意した。つまりこの測定実験の原理は、レーザー光によってねじりばかりの振動の状態を逐一克明に特殊印画紙に記録させ、この記録を詳細に分析してGの値を求めるというもので、レーザー光による写真という手段を用いた所は全くユニークな方法である。

2. 測定装置

測定装置全体は大別して3つの部分から成り立っている。すなわち、A；重力ねじりばかり本体、B；自動記録装置、C；He-Ne レーザー装置である。ここで図-1に重力ねじりばかりを、図-2に自動記録装置をそれぞれの主要

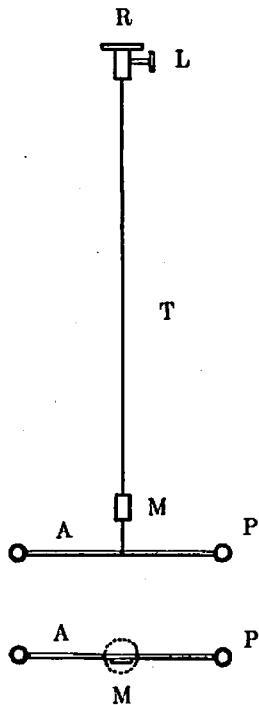


図-1

部分について図示し、また、図-3としてこの測定装置の全体の見取り図を、図-4にA、B、C 3部分相互間の配置を示した。

図-1について、上の図は立面図、下の図は平面図である。図中、Tは長さ 0.25 m、断面が $0.01\text{mm} \times 0.15\text{mm}$ の長方形をしたトーションワイヤー、Mはワイヤーに固定した $f = 0.30\text{m}$ の角型凹面鏡、Pは両方共質量 0.015kg の鉛の小球、Aは片側の長さ 0.05m のアーム、LとRはMの向きすなわちPの位置を調整するネジで、調整が完了すれば半固定となる。

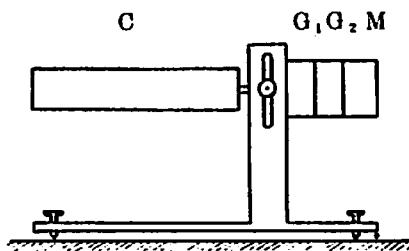


図-2

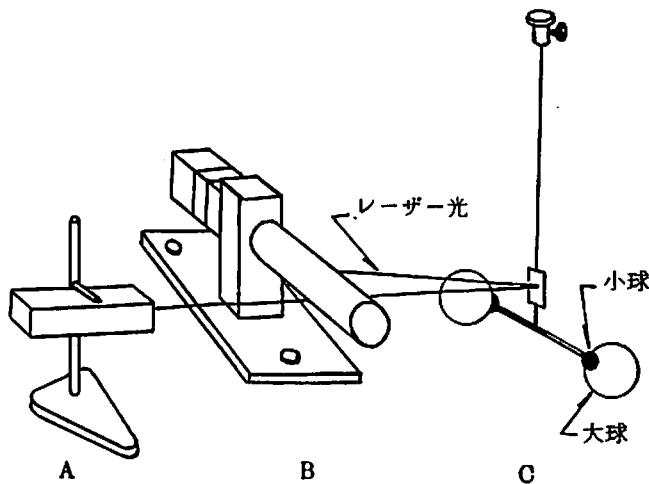


図-3

図-2は立面図である。図中、Cは直径 0.05 m、長さ 0.25 m の円筒で、これに特殊な写真印画紙を一回巻き付ける。M、G₁、G₂は記録計用ギアド・モーターで、G₁、G₂の組合せで円筒を正しく一回転させるのに正確に 60 分かかる

ようにできている。換言すれば、これが本実験における時計の役をなしているのである。

図-3はA、B、Cの3部分の配置を立体的に表わした見取り図で、A部分の重力ねじりばかり本体は、トーションワイヤーを保持する支柱

や、凹面鏡、小球等を収納してあるガラスケース、大球を支えている回転ホルダー等について全く省略してある。

図-4は平面図である。図中Mは重力ねじりばかりの凹面鏡の位置である。P、Qはそれぞれ小球、大球であり、他の側も同様である。大球は小球同様鉛製であり、大球の質量はそれぞれ一個が1.46Kgである。小球の量質は前にも述べたようにそれぞれ一個が0.015Kgである。M、P間のアームの長さ α も前に述べたように0.05mである。

この図は、P、Q間の万有引力Fによるアームにかかる偶力のモーメントと、トーションワイヤーのねじれのために生じた復元の偶力のモーメント（以下このモーメントを“ねじれモーメント”と略記する）がつり合った状態を示している。

Cは自動記録装置の円筒で特にMの方を向いた面、またMC間の距離Lは0.465mである。

XはHe-Neレーザー装置で、このレーザー光は $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ (=632.8nm)である。図は、Mで反射したレーザー光がSに向っているところを示し、トーションワイヤーのねじれのため反射光がCからSまで変位していることを示す。この変位をdとする。なお、CやSに達したレーザー光はMの凹面鏡のために鋭く集光された状態になっている。つまりCやSでレーザー光が強く絞られるように前述のLの値を0.465mにしたのである。

最も重要なP、Q間の距離（両球の重心間の距離）rは、2つの大球のCM方向の間隔と、大球、小球の半径およびL、d、 α から求めら

れ、その値は装置の諸条件を変えない限り定数となる。本測定実験では、 $r = 0.045 \text{ m}$ である。

（後述 4. 測定と周辺の現象の項参照）

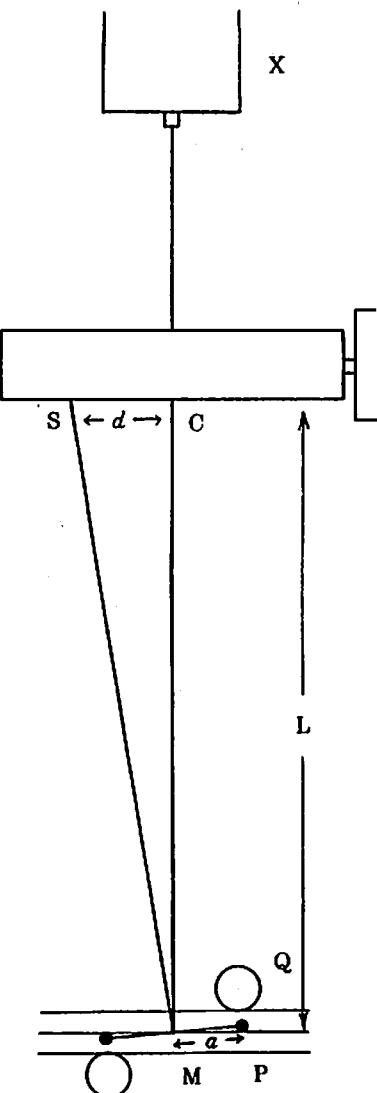


図-4

3. 原 理

万有引力の法則は

$$F = G \frac{M m}{r^2} \quad (1)$$

の式で表わされる。ここで F は大球、小球間に働く万有引力の大きさ、 M 、 m はそれぞれ大球、小球の質量、 r は大球と小球の重心間の距離、 G が求めようとしている万有引力定数である。 F 、 M 、 m 、 r が与えられれば式から G は求まる。このうち M 、 m 、 r は前述のように既知である。問題は F をどのようにして求めるかである。

今、重力ねじりばかりのトーションワイヤーが、少しもねじっていない自然の状態にあったとしよう。この状態からワイヤーに、ワイヤーの方向のモーメントをもつ偶力 N を働かせるとワイヤーはねじれる。そのねじれの角を θ とすると比例限度内なら

$$N = \sigma \theta \quad (2)$$

なる関係がある。 σ は単位ねじれ角当りの偶力で定数となる。それで重力ねじりばかりがねじれ振動をしているときは

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\sigma \theta \quad (3)$$

を満たす。 I は、2つの小球のワイヤーの軸のまわりの慣性モーメントである。故に振動の周期 T は

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\sigma}} \quad (4)$$

となる。なお I は

$$I = 2 m a^2$$

である。

ここで式(2)を図-4の状態に適用させる。

鏡が角 θ だけまわれば反射光線は 2θ まわるから

$$\frac{d}{L} = 2\theta \quad (6)$$

$$N = 2a F \quad (7)$$

式(2)および式(4)～(7)より F を計算すると次の式が得られる。

$$F = \frac{2\pi^2 m a d}{L T^2} \quad (8)$$

すなわち万有引力 F は、重力ねじりばかりにねじれ振動を生じさせ、その振動周期 T を測定し、またワイヤーの自然の状態からの変位量 d を測定し、 T と d を使って求めることができる

のである。

式(1)と式(8)より万有引力定数 G は次式のよう

$$G = \frac{2\pi^2 r^2 a d}{L M T^2} \quad (9)$$

すなわち万有引力定数 G は、 T と d の値を測定実験から求めて式(9)に入れ、あとは定数を同じく代入することで得ることができるのである。なお、この測定実験では小球の質量は G の値を決定するのに関与しないことになる。

さて、この振動周期 T は約10分とたいへんに長い。また、重力ねじりばかりのトーションワイヤーのねじれモーメントと、アームに働く万有引力による偶力のモーメントが最終的に一致して静止する、すなわち図-4の状態になるまでには、このねじりばかりがたどる振動の状態は複雑である。この状況を一部始終克明に記録するのに写真技術を駆使するというのが、本

測定実験の特徴である。特殊印画紙に記録された反射レーザー光線の振動の軌跡を細かく分析することで、先に述べた T と d の値を知ることができるのである。

4. 測定と周辺の現象

重力ねじりばかりは、小球、アーム、およびミラー部分が金属とガラス板で囲まれ保護されている。このため、大球を自由自在に小球に近づけることができない。図-5はこれを示す平面図である。図において、両大球 Q 、 Q' はガラス板に接する状態でそれぞれ小球 P 、 P' に最接近し、トーションワイヤーのねじれモーメントとつり合う位置で小球は最後に静止する。これと図-6に示すごとく P と Q 、 P' と Q' が最接近したときを比較すると同じ状態ではない。このことは測定実験をいたずらに困難にさせる。そこで平衡状態にある図-5の PQ ($=P'Q'$ とみられる) と図-6の PQ' ($=P'Q$ とみられる) が等しくなるよう事前に細心の注意を払って調整することが必要になる。つまりトーションワイヤーが自然の状態にあるときは、図-7に示すごとくアームの方向がガラス板と平行になるように調整が必要である。この調整がとれれば大球、小球の重心間の距離 r は

$$r = \overline{PQ} = \overline{PQ}' \quad (1)$$

となり、先に述べたように $r = 0.045\text{ m}$ となるのである。調整はレーザー光を用い、図-1の L と R で調節するが高度の技術を要する。測定は、正確に調整された重力ねじりばかりを用い、自動記録装置の円筒に特殊な印画紙

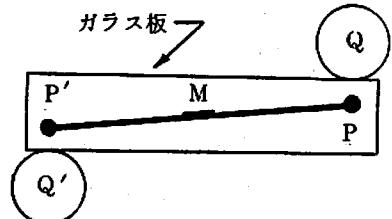


図-5

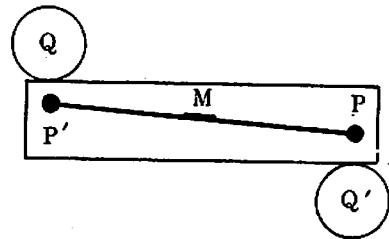


図-6

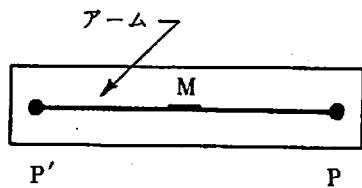


図-7

(He-Neレーザー光、 6328 \AA に対して感度を有するがしかし非常に低感度である) を巻き、ねじりばかりの自然の状態(図-7の状態)か

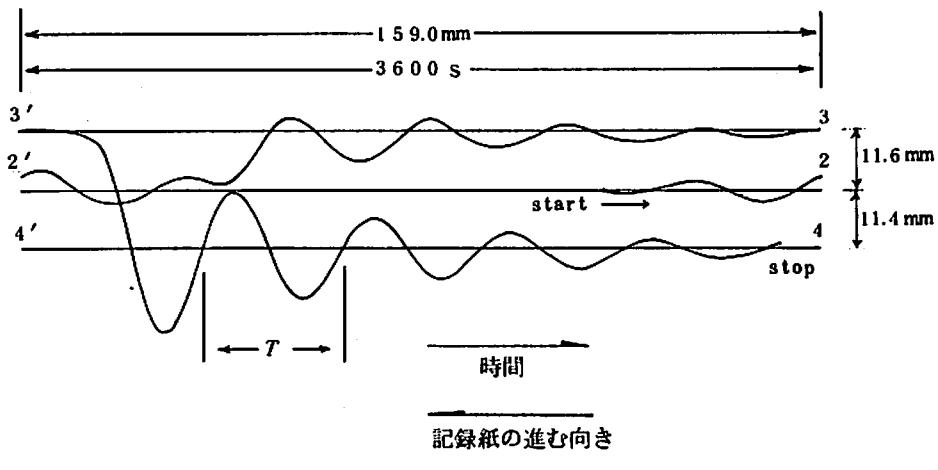


図-8

らスタートさせる。円筒の回転の角速度は普通 を以下に列記する。

の時計の長針と同じである。従って円筒の印画紙面におけるレーザー光の速さは、円筒の長さが 159.0mmであることから $4.4 \times 10^{-2} \text{ mm/s}$ ($= 2.65 \text{ mm/min.}$) ときわめてスローである。同じく d の値は平均して

スタートさせてから約10分の後大球を図-6 の位置におく。それから約1時間の後大球を反対の図-5 の位置におく。(図-6、図-5 の順序は問わない)

さて、このようにして感光した記録印画紙に現象、停止、定着の各処理を行う。現象は、普通印画紙用の現象液を用いてよいが多少の技術が要求されるようである。

印画紙が低感度であるから、20W位の電球の直接光下で画像の具合を見ながら現象し、頃合いを見て停止、定着へと操作を移し、画像を安定させる。

図-8 のデータは、このようにして過去に何回か実験を行って得られた記録の一つである。

ここで、多数の記録の分析から得られた情報

1. 図-8 の例では T の値は、減衰振動の波長をレーザー光の速さで割って

$$T = 629.4 \text{ s}$$

これらを式(9)に代入して補正係数を掛け(補正係数は後述12に説明) G を計算すると、

$$G = 9.0 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

となる。36%も大きく出たがこれはあくまでも図-8 の例によるものである。

2. 強く絞ったレーザー光が、毎分 2.65mmといきわめて小さい速さで動く印画紙を感光させているので、過度の露光オーバーとなり、直接レーザーの当った所はすべて画像が反転している。つまり本来感光して黒くなるべきものが白く抜ける。

3. しかし印画紙を動かす速さが毎秒 5cm程度よりも速くなると、画像の反転はみられなくな

る。

4. 上記2、3の何れの場合でもレーザー光は印画紙面でハレーションを起こし、印画紙はほとんど全面が感光して黒くなる。

5. 現象処理を工夫することで、画像のコントラストを上げることができる。

6. 上記5と反対に、現象最適時間を無視して長時間（たとえば2~3分）現像液に浸せば、反転して白抜きになるところも黒くなる。

7. 現像液を標準より2倍に薄くすれば、現像最適時間は伸びるが同時にコントラストも軟調ぎみになる。

8. 本測定実験では、一般に現像が浅い方が画像の質はよい。

9. 市販のパン・クローム印画紙でも記録できるが、感度が低くないため画像の周辺にかぶりを生じ、仕上がりコントラストは軟調になる。

10. 本測定実験のねじりばかりは、人が近づけばその影響を受けるほどの感度である。従ってスタートの時操作のためとはいえ、人が小球の近くにいると測定精度を悪くする。図-8は、本来静止しているはずなのにスタートの時点ですでに微小振動をしていた。

11. ねじりばかりの周囲の柱や物体からも小球

は引力を受けているが、これらからの引力が働くなかでトーションワイヤの精密な調整を行なったのである。もし周囲の物的環境に変化が生じたならば再度調整しなおすべきである。

12. 上記11に関連して、大球と小球の引力は最も近いものの間だけでなく、小球と反対側の大球の引力も考えに入れなければならない。このことを図-9と数式で説明しよう。

今、小球Pに作用する大球からの万有引力は2つある。大球Qから受けている力を F また反対側の大球Qからの力を F_2 としよう。実験では、これらの合力 F_1 で考えた偶力のモーメントがワイヤーのねじれモーメントとつり合うとい

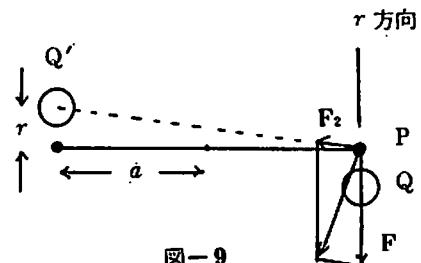


図-9

うのである。求めたいのは F である。式では、

$$F_1 = F + F_2 \quad (11)$$

であるから F は

$$F = F_1 - F_2 \quad (12)$$

となる。式(12)を r 方向の成分で示すと

$$F = F_1 r + F_2 r \quad (13)$$

となる。ここで補正係数 α を次のように定義する。

$$\alpha = \frac{F}{F_1 r}$$

(14) 万有引力は距離の2乗で影響するのに、ねじれモーメントが小球におよぼす作用は移動距離に比例するからである。

$$\alpha = 1 + \frac{F_2 r}{F_1 r}$$

$$\doteq 1 + \frac{F_2 r}{F}$$

$$F_2 r = F_2 \frac{r}{\sqrt{4a^2 + r^2}}$$

また $\frac{F_2}{F}$ は式(1)を使うと

$$\frac{F_2}{F} = \frac{r^2}{4a^2 + r^2}$$

式(15)～(17)より

$$\alpha = 1 + r^3 (4a^2 + r^2)^{-\frac{3}{2}}$$

式(18)に定数を代入すると

$$\alpha = 1.0691$$

(14) この測定実験について、当初静電気の影響が入るのではないかと考えた。未調整の段階で相当手荒な事を試みた。ポリ袋を強く帯電させて小球に近づけることをしてみたが、これが影響したと考えられる結果は現われなかったのである。

(15) 小球は鉛製であるから、強い棒磁石のN極S極何れを近づけても反磁性のため斥力をうけて、磁石から離れて行く。この現象は、磁極を近づけたことに対するマクロな電磁誘導現象であるという意見もあったが、小球のそばに長時間磁極を放置したときの状態やその磁極を小球から引き離したときの小球の動きには電磁誘導を結論づける現象は見られなかった。

測定実験で、式(8)を使い、図-8のデータ等から求めた万有引力は、実は式(13)の $F_1 r$ のことなのである。P、Q間に働く万有引力の大きさは式(13)の F である。

故に P、Q間に働く万有引力の真の値は

$$F = \alpha F_1 r \quad (20)$$

である。またこれに伴って測定実験で得た万有引力定数も α 倍しなければならないものである。

13. 図-8 からもわかるように、減衰振動に伴う減衰曲線は軸（図中 2-2' 3-3' 4-4' 等で一応各回の平衡点を連ねた線と考える）に関して非対称になっている。これは小球に働く

5. おわりに

本測定実験はこれで全部完了したわけではない。追跡して調べてみる必要のあるできごとは数多く残っている。本文には記さなかつたが、つり合いの平衡点が時間の経過と共にずれいくという不可解な現象も何回か遭遇した。変位 d の値も、ときとしてかなりの変動があるようである。これらの原因はわからていない。このようなことは、深入りすればそれだけ気づかない点が明るみにでてくるのである。これは何もこの測定に限らず他の実験にもいえることである。

今回、万有引力定数を測定するという大きなプロセスにひかれて、いみじくも多くの見のがすことのできない自然現象にあうことができたが、この経験は貴重かつその意義は大きいと判断している。

注

i) LEYBOLD PHYSICS

LEAFLETS DC 531, 51; a よ

り

波動に関する質問例

(高校物理において)

岩見沢東高校 名 西 効

力学は物体の運動を具体的に頭の中に思い浮べることが出来るが、波動についてはイメージがなかなか湧かないために、問題はどうにか解けるが現象やその意味がよくのみ込めないと訴える生徒が意外に多い。そこでどういう点が理解しにくく、また教えにくかったかを授業中や放課後に受けた生徒からの質問例で示すことにする。

Question 1

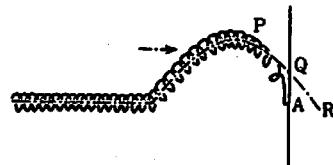
波が固定端で反射される時は、結果として固定端が動かない「節」になる様に反射波が生じることはわかりますが、自由端では「腹」になる様な反射波が出来ると言うのが理解出来ません。というより弦が切れているところで反射が生じる事が不思議です。

Comment

この質問はバネを使って自由端、固定端での定常波のデモ実験を行った後に出て来た質問であり、ほとんどの生徒は疑問なしに、ここから次の段階へ進む（多少疑問として残っていても）が、これは本質的な良い質問である。基本的には粒子の運動と波動との区別がつかない事から生じるものであるが、この点は高校生程度に要求するのは無理であろう。粒子的に考えれば

固定端は堅い壁に衝突する際の反射と理解するが、自由端では壁がないのに反射するのは………という疑問で当然の質問である。ではどの様に答えるかと言うとこれが大変難しく、またややこしい。波を学習し始めて僅かしかたっていない状態ではくどくど説明するよりもむしろ次の図（本校使用の教科書図）で自分で考えさせる方がプラスになるだろうと思われ、時々慣性とか、力とかに注目せよとの助言程度にしている。

(a) 固定端における反射



(b) 自由端における反射

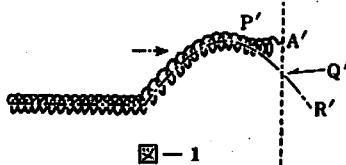
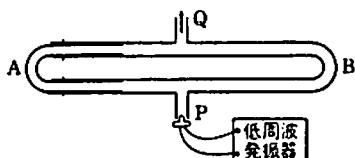


図-1

つる巻きばねを伝わるパルス波の反射

Question 2

図2の装置は、管のA部を出し入れすることにより、管の長さが自由に変えられるようになっている（クインケ管）。P部から音を送り込むと、音はPAQ、PBQの経路に分かれて進むので、その道のりの差によって干渉を起こし



図一2

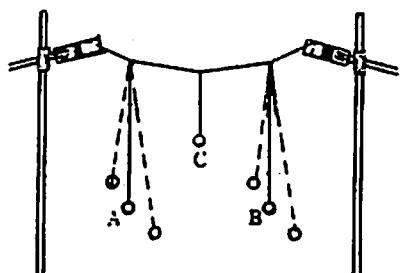
Qから出る時に強め合ったり、打消し合ったりする。P部から3000Hzの音をイヤホーンで送り込み、A部を静かに引き出していったら、5.6cm引き出すごとに、Qから出る音が弱くなつた。これから音の速さを求めよ。この問題の解答は簡単に出せるのですが、Qから出る音が干渉で打消されている時、Pから入った音はどこへ行ってしまうのですか。

Comment

この問題は教科書に載っているもので、大半の生徒は多分疑問を持たないで解いてしまう種類のものであり、この様な質問が出るとは予期していなかった。しかしよく考えると結構難しい内容を含んだ問題であり、エネルギーの立場で言えば当然出てくる性質のものである。Q点が「腹」になっている時、「節」になっている時、またQ点がふさがれている時、各場合にPから入ったエネルギーがどうなるかと考え始めたら、恐らくかなり優秀な生徒でも答えは出せないだろうと思われる。波動の部分でのエネルギーの取扱いはただ「流れ」としてだけであるから、イヤホーンが媒質に加える仕事を、しかも力と移動距離との間に位相の差がある仕事を考へるのは大変な事である。

Question 3

図3(連成振り子)で、初めてBが静止していて、Aが動いている時はAの振動がBに伝わるのはよいのですが、Bが動き出すとこの振動がAにもどって来るはずですからAの振幅が0になつてしまふのは解せません。



図一3 共 振

特に両方が同じ振幅になった時は、両方が出すエネルギーが同じになるので一番安定した状態と言えるのではないでしょうか。

Comment

この実験は手軽に出来るので、中学校でもやってきていると思われるし、高校の教科書でもよく出ている。この実験の目的は固有振動数が異なると共振しない事を理解させることであるが、注意してこの実験を見ると大変不思議なものである。生徒は殆んど気が付かないと思われるが、音叉を使った共鳴でも同じ事が起こっている。しかも質問の通りに、両方が出すエネルギーが同じになる時——両方が同じ振幅の時——が安定した状態になるのも初期条件をうまくとれば実験出来るのであるからやっかいな代物である。しかし実験としてはまことに簡単に出来るものであるので、時間さえあれば生徒にじっくり考えさせれば、良い発展性のある教育的な実験と言える。

Question 4

カメラのような光学器械では、入射する光ができるだけ多く器械内に入るようとするために、レンズにいわゆるコーティングを施す(図4)。

これはレンズのガラス面に透明な薄膜をつけて、薄膜の表面での反射光と裏面(すなはちガラスの表面)での反射光が干渉して打ち消し合うように膜厚を

設計するのであ

る。ガラス、膜

物質の屈折率を

それぞれ、1.7、

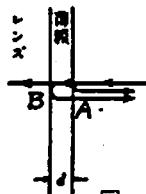


図-4

1.4とし、波長 5600 \AA の光が最もよくレンズを通るようにするために膜厚 d を最小いくらにすればよいか。

この問題の中で、反射光同志が打消すので透過光が強くなるというのは理解出来ません。Bでの反射光がAでの反射光とたまたま打消し合ったとしても、打消し合う以前にBを通過した光が影響を受けるとはとても考えられません。

Comment

この問題は、ほとんどの場合ヤングの干渉実験の項目の次に出てくるもので、光路差の計算が容易な上、多分どの先生もエネルギーでのような説明を加えるはずである。入射エネルギーが反射エネルギーと透過エネルギーに分かれ(吸収分は無視して)、ここで反射エネルギーが打消して0になれば当然入射エネルギーは透過エネルギーになっているはずである。しかしこの質問のように時間的に光に通過してしまった光に、後から生じた反射光の干渉が影響を与えることがおかしいというのは正しい判断で

ある。この段階で説明を試みたが時間をかけたにもかかわらず納得してもらえたかった。最後に多少難しいかも知れないが次の問題をやらせたところ疑問が解消した様に感じられた。

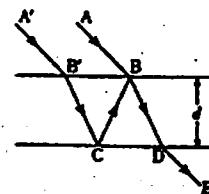


図-5

(1)図5に示すように、平行光線AB、A'B'がガラス板に入射角*i*で入射した。ABDEと進んだ光線と、A'B'CBEと進んだ光線が強め合う時、波長λ、屈折率n、厚さd、入射角*i*の関係はどうなるか。

(2)同じく、平行光線AB、A'B'がガラス板に入射角*i*で入射した。ABEと進んだ光線と、A'B'CBEと進んだ光線が強め合う時、λ、n、d、iの関係はどうなるか。

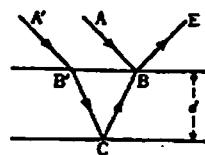
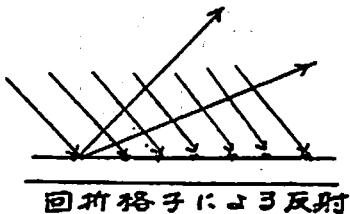


図-6

従ってこの質問例は、題材がポピュラーで計算も楽だから理解し易いだろうと設定した問題が、実際に物理的には理解しにくいという典型的な例だと思われる。

Question 5

光の反射は表面原子の振動による2次波の集合と考えられる。そうすると回折格子の反射と同じように「反射の法則」を満たす角以外の方にも反射していくのでしょうか。



回折格子による反射

図-7

Comment

意表をつかれた質問であった。回折格子の実験では透過光が主体で反射光についてはつけ足し程度に終っていたのに、しかも波の反射、屈折は物理Iの範囲で干渉の話とはほとんど無関係にホイヘンスの原理で説明していたのに、この様なことを頭の中で色々考えている生徒がいたとは思いがけなかった。原理的には全く質問の通りであり、つけ加える事は僅かしかない。この様に幅広く考えられる生徒を多くしなければと、違った意味で反省させられた質問であった。

Question 6

光が反射する時、位相がずれない場合と、 π だけずれる場合が生じるのは何故でしょうか、また屈折する光の速度が遅くなるのは何故でしょうか。

Comment

この質問には大変困った。一般的にはマクスウェルの方程式を境界条件を入れて解けば解決

する（もちろん誘電体にはローレンツの電子論を入れておけばよい）。しかしそれでは生徒には説明が出来ないので他の方法を見つけなければならない。高校3年程度の積分の力でどうにかならないか

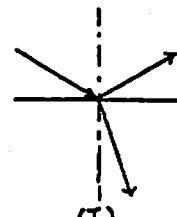


図-8

と現在も考えている最中であるが、数学的処理の段階で位相のずれが生じる為に、今のところ良い方法が見つかっていない。どなたか良いアイデアを提供していただけたらと思っているところである。

あとがき

今回の質問例は今まで受けた質問のはんの一部である。しかし生徒の中に生じている素朴な疑問の中には、教え方が徹底していかなかったり我々が自明と感じている「あまさ」を指摘しているものがあると同時に、見事に本質について難しくてどう答えて良いか分らないものも多々あることがわかる。答え方によっては更に物理に興味を持たせることも可能であろうし、また折角の芽を摘むことも考えられる。とにかく「波動」は難しく、自分の研修の浅さを痛感した次第である。

尚、このレポートは今年の1月の北海道高等学校研究会で発表したものに一部手直しをしたものである。Commentの中に御意見のある方がおられましたら御一報頂きたい。

昭和 58 年度支部研究会報告

昭和 58 年 12 月 3 日 (土)、北大応用電気研究所において上記の研究会がもたれました。ピウスツキーろう管再生の研究室見学、物理教育現場でのマイコン利用研究、さらに新教育課程と大学入試についてのパネルディスカッションなど、予定時間を大巾に延長して、活気ある研究会となりました。その概要、要旨及び感想を報告します。

I 内容・要旨

(A) 研究室訪問 (14 時～15 時 30 分)

北大応電研 朝倉利光教授 研究室

サブプログラム (B U I L D) のもとでの、教材作成時のこのシステムと作成者との対話を例としてあげている。このシステムと前後して開発された幾つかの教育システムの紹介と、このシステムの今後について短く論ずる。

「ピウスツキーろう管再生実験他」

紹介 秋山 敏弘 (札東高)

(2) 学生実験用マイコン言語「S E L」

道工大 三好 康雅

(B) 研究発表 (15 時 30 分～17 時 30 分)

特集「物理教育におけるマイコンの利用」

(1) コース・ジェネレーター

北大工 北村 正直

コンピューターに初めて触れる教師でも、簡単に C A I 教材を対話形式で作成することができるマイクロ・コンピューター利用のコース・ジェネレーターを開発した。

このシステムは教材とその教材を走らせるプログラムといえるものを同時に自動的に作成する。その意味でこのコースジェネレーターはプログラムをつくるシステムと見なすことができる。このシステムはメイン・プログラムと幾つかのサブ・プログラム、それのもとで働くファンクション・プログラムから構成されている。

マイコンを学生実験に使いたいと考える。マイコンに実験装置のコントロールと、測定値の取り込みと、データ処理を行わせる。この目的に合ったプログラム言語「S E L」を提案する。

この言語は 2 重構造をしており、教師はあらかじめプログラムの一部を作りおくことができる。学生は教師が作ったプログラムを利用して、自分の実験用のプログラムを作ることができる。

(3) マイコンを利用した物理現象のシミュレーション

札白石高 坂田 義成

学校教育用マイコン (RAM 64 KB) を使用して、放物運動と二物体 (同質量) の衝突のシミュレーションを行なった。授業でも使用できるので、その概要を報告する。

(4) Z 80 マイコン高速処理による S-P 表分析と物理実験処理の実践報告

札東陵高 佐々木教夫

57年度日本物理教育学会(札幌)で紹介したS-P表処理を、その後、マシン語とBASICを混合させ、高速処理に成功したので報告する。また理科I「落下運動」の実験処理にコンピューターを利用しており合せて報告する。

(5) PC-8001ディスクベーシックによる成績処理について

札南陵高 中橋 雄明

理科Iの成績処理にマイコンを利用しておあり、定期考査の学年集計処理にも利用し効果を上げている。またミニフロッピーディスクを用いた年間成績処理(累計)も可能である。

(6) 「富士通オフコン(FACOMシステム80モデル1)を用いた学年成績処理システムの概要と実際」

札藻岩高 山田 大隆

8ビット漢字出力オフコン(CPU128KB、FPD12MB×2、7200項目タッチパネル入力、COBOL)を用いて学年成績処理システム(科目、合計点の素点、全校と級順位、SS、平均点を集合したクラス別成績一覧表(テストファイル);科目・合計点の素点順位表;科目素点・合計点の全校順位、SS及びSSドット表示を集合したテスト個人配布カード(マスターファイル)作業を開発した。昭和58年度入学生(現第2学年)より公式学校教務処理として第3回定期テスト処理まで現在稼

動しており、生徒・担任は概ね良好である。今回はオフコンによる本校の成績管理マン=マシンシステムの紹介と、マスターファイルベースによる累積SS利用の日常学習及び進路指導(相対的絶対評価法)の利点について、データをもとに考察する。

(C) パネルディスカッション

(17時30分~19時)

「新教育課程高校理科(理科I、物理)の現状と大学入試について」

高校側(理科I、物理)

札工高 加藤 城也

札西高 池田 城修

大学側(大学理科と高校レベルの問題点)

北大教養 中島 春雄

室工大 勝木喜一郎

イ) 実施2年目を迎えた理科Iの問題点

ロ) 理科Iに統く選択理科(物理)について、実施(予定)の全体像

ハ) 大学入試(旧課程における室工大の例)と教養レベルでの理科(物理)の問題点と対応策

ニ) 以上の現状をふまえ、60年入試(新課程)に対する問題点の検討

II 感想・要望

会場一杯の出席者で、しかも予定された時間を1時間以上もオーバーしての研究会は大変な盛会であった。

プログラムの(A)応電研見学に関しては時の話題であるピウスツキー鋼管の分析について

のあれこれ、つまり苦労話に始まりその後各種の光ファイバーによる研究開発のあれこれを見せて頂いた。光の波長のオーダーで各種の精密な実験・測定が可能なわけで、教育の現場が長くなっている諸氏には、久し振りで物理の先端にふれ目をみはる思いをしたのではなかろうか。研究室の側からはご迷惑かも知れないが、今後もこのような企画をほしいと思う。これ等は高校教師をして若い頃の物理への情熱をよび起こし、この事が教育の上にも必ずかえるものがあるからである。

プログラム(B)のマイコンに関する発表については、広く教育の現代的テーマとして興味深かった。各氏の先端的研究に敬意を表したい。ただマイコン利用の教育の、物理教育とののっぴきならないかかわり合いとは何かについて、もっと論を進めたい。今後のテーマではなかろうか。

プログラム(C)については、少なくとも道内各大学の受験制度について、共通一次を如何に利用するか等につき、さらに検討を続けられることを各大学へ要望したい。共通一次受験科目については、アラカルト方式実施の声も出ているようであるが、広く声を求めて、理科教育の健全な発展の為によりよい方法を探し続けてほしいと思う。入試制度は今日的な最大の課題であり、本会にも深くかかわり合っているからである。

(文責 札西高 加藤 誠也)

※尚研究会の詳細(資料等)につきましては御連絡いただければお知らせ致します。



写真1 ピウスツキーロウ管

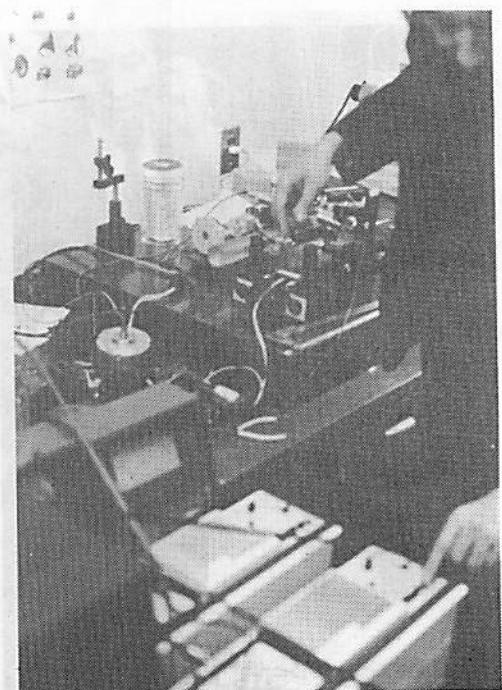


写真2 ロウ管再生装置

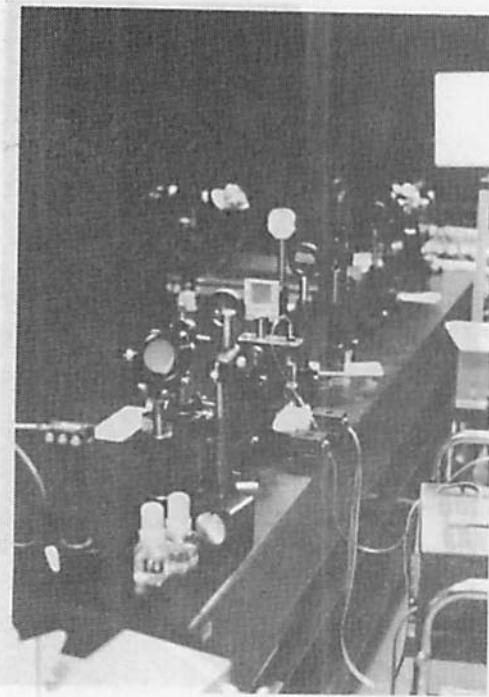


写真3 光ファイバー実験装置

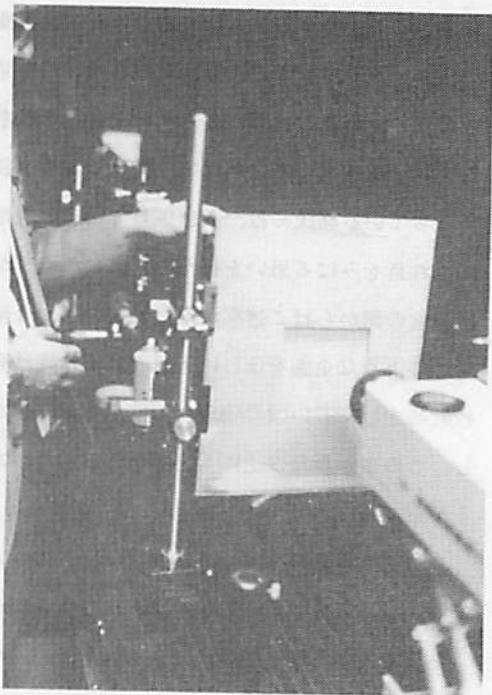


写真5 写真4に同じ

※写真提供は札藻岩高 山田大隆氏



写真4 光ファイバー利用の医療機器

学会ニュース

○第27回北海道高等学校理科研究大会

期日 昭和59年7月27日～29日

場所 苫小牧東高等学校

主催 北海道高等学校理科研究会

主題 理科教育の発展と充実をめざして

副題 ①理科Iをふまえての選択理科の
実践的研究

②生徒の経験を発展させる理科指
導はどのようにしたらよいか

＝学園訪問＝

学園（物理教室）訪問記

飯田紀子

北海道工業大学

柔らかな秋の陽差しに紅葉が、一段と美しく輝いているある晴れた日の午前、私は手稻前田にある北海道工業大学教養物理学教室に三好康雄先生を訪ねました。国鉄バスを工業大学前で降り、目を瞑ると紅葉の中にクリーム色の校舎の一部が静かにその姿を現わしてきました。札幌駅から国鉄バスで約1時間、大自然の風情を残す素朴な大地に、端整な近代建築の校舎が威厳と落着きをもって構えるように立っています。

事務室で受け付けを済ませた後、二階の三好先生の部屋をノックすると、私用のマイコンを操作されていた先生が、手を休めて私を迎えてくれました。

先生は、私のとりとめのない質問にご自分の考え、意見を加えて丁寧に答えて下さった中に…………昨年の秋（58年10月）岡山での物理学会に出席され物理教育のセッションで開かれた一講演に強く印象づけられ、物理教育においてエネルギーとエントロピーの概念をしっかりと教え込む事の重要性を痛感されたこと、……また大学、高校を問わず物理を教える者の共通の念願である一人でも多くの生徒に物理を理解させるための授業の進め方として、式の展開、

導入過程の詳細な説明よりも結論を簡潔に、明瞭に提示することの重要性…………といった教育談も語られていました。

先生は、毎年卒論学生を3～4名引き受けておられ、現在は3名の学生に、(1)人間バランスの装置…………運動負荷前後での人間の平衡感覺機能の変化をマイコンを使用し、体育系との共同で研究中…………(2)ノイズアンプの特性解析(3)直列データ伝送の問題等のテーマを与え、主にマイコンによる計算、データ処理を行なわせている…………との事でした。

また教養の学生実験については、先生の物理的独創性に基づく基礎物理からマイコンにわたる中の広いテーマが選ばれていて、特に見せて頂いた実験装置の隨所に先生が工夫し、考案された器具が使われているのが印象深く残っています。参考までに実験テーマを列挙させて頂くと次のようにになります。

- (1) ポイントストンギリッジ
- (2) ランジスター
- (3) 熱の仕事当量
- (4) L C回路
- (5) コンデンサー
- (6) ヤング率

- (7) シンクロスコープ
- (8) レーザー回折
- (9) 分光器
- (10) モノコード
- (11) 単振り子
- (12) マイコン（モンテカルロ法によるπの計算）
- (13) 電球の電流-電圧特性
- (14) その他
- ご多忙のところを、電話で訪問をお願いし、早速出向いての取材でしたが、先生の興味つきない物理談義にすっかり時間も忘れて聞き入ってしまいました。お礼を述べて先生のお部屋を後にし、降り立ったバス停にもどった時、紅葉の美しさも幸いでしたのでしよう、充実感と満足感が私の心を一瞬よぎるのを覚えました。



札幌聖心女子学院

札幌宮の森の高台にある聖心女子学院を訪ねたのは、学年末も近い2月のことでした。人けのない坂道を息をきらして登った高台に、教会を思わせる小じんまりとした校舎が、別天地を思われるかのごとく、降りしきる白雪の中に一つ立っていました。札幌に居て、学院の名前は耳にするものの、不思議に今迄一度も訪ねる機会を得ずにいた所であるだけに、訪問する前から、物理教育に関してはもちろんの事、学院そのものについても、深い関心がありました。電話での物理教室訪問の申し込みに気時良く応じて下さった山本先生は、当学院の開校以来、物理・化学の教鞭をとっているベテランの先生で、特に、物理教育には、とりわけ熱心に教

材研究をされていて、今年度も、生徒の希望を入れたユニークな授業を展開されていることが、今回の訪問によりわかりました。長いこと受験校で物理教育に携わって来た私には、ここを目指した物理授業の光景は、実に興味深く、久しく忘れていた物理教育に必要な別の側面を見せて頂いた思いがしました。3年で物理を選択した6名の女生徒（注：高校は1クラス編成で約45名より成る）、彼女達は、すでに卒業後の進路が決っていて、大半は、聖心女子大及びその専門学校に進学予定とのことで、彼女達を対象に相対論入門の初步的講義を始められた時には、アッと驚いた。彼女達の持参しているものは、配布されたプリントと岩波新書の相対性理

論入門だけであった。ニュートン力学で絶対量とみなされている時間、長さ、質量が、実は、運動系、特に、光速に近い系では、速度の関数で、運動の方向に、長さは縮み、時間のきざみ

たが、一年をかけて生徒と共に実験装置を組み立てたこともあると山本先生はつけ加えられていた。受験生を対象に長いこと授業を行ってきた私の場合、授業内容は、どうしても教科書



は遅れ、質量は増加することを、静止座標系から運動座標系へのローレンツ変換を用いて数学的に、決して難かしい物理用語を用いずに、淡々と説明していく。一瞬、私は、6名の女生徒の顔を見つめた。冷静・沈着にして思慮深い表情で、忙がしくペンを動かす姿は、6名にしては余りに広すぎる、少し寒々とした教室に学問に対する慎ましい情熱と緊張を漂わせていた。その瞬間、深い感動が私の胸を熱くした。生徒達がローレンツ変換の物理的意味をどれほど理解しているかは、突然、授業を参観した私に測るすべはなかったが、彼女達の数学的バックボーンは、さすがにしっかりしたものであることは、理解出来た。それと同時に、授業に付いて行こうとするひたむきな姿には（見知らぬ参観者が居ることも少しは影響しているであろうが）、授業内容が高度であるだけに感動を覚えた。今年度は、生徒の希望もあり相対論の授業を行っ

中心の理論展開と演習問題への応用にウェイトが傾き、生徒達の科学的好奇心と物理的興味を引き出し、それを満たしてやるだけの授業内容の拡大と充実が、現状では不可能に近いことを思い、しばし、自分の無力さをかみしめた。そして、物理という重要かつ難解な学問を物理教育という観点で考えた場合、生徒の多様性に合せた物理教育の多様化が、当然望まれるわけだが、果して、物理学に多様な教育方法が可能なのであろうかと物理学の本質を考えたとき、ふと思った。

—支部会員の近況—

私と物理

函教大付属中学校 飯坂朋範

まっかに焼けた鉄棒を水に入れるとジュウという音と共におびただしい音が鋭く、湯玉は小さい。そのまま入れていると段々湯玉は大きくなつてゆきゴボ、ゴボ、ゴボという音と共に終る。どうして温度によって湯玉のでき方がこんなに違うのだろう。ある者は水の状態変化の急激な速さと関係があるのではないかと言い、ある者はエネルギーの大小との関係をとりあげ、またある者は原子の振動や振幅から説明しようとする。古ぼけた木造校舎時代の殺風景な物理研究室でストーブを囲んで4、5人の学生が暇つぶしに騒論していた。あれから30年近くになろうとしている。以来、理科教師として歩んできたが「物理」を特に意識してきたわけでもなく、まして研究などとは無縁の歳月であった。しかし、またビールをつぐ時、無意識にレッタルを上向きにして注いでいるように、自分のものの考え方、見方、動作の中にやっぱり縁の切れないものがあるようである。電車やバスの中で、つり皮などが一齊に後方になびき、ブレーキがかかると逆に前に寄せられる。こんな情景を見ても、そこに意味を感じていない人がほとんどである。たしかに目ではとらえられていながら頭の中には少しもそれが残らないのである。

よく電車やバスを利用する生徒たちに、この現

象を思い出させようとしてもほとんどだめである。大人にしても同様である。そんな現象を見たことがあるかと尋ねると、さも分ったように、あゝ慣性の法則だね、など可愛げなく言うのだが、実際にはそれを見ている時点ではえ何も感じていないのである。

リフトに乗って、両手のストックをだらりと下げていると例によってストックの先の方が後方にぐっと力を受ける。バラレルターン、ピボットターン、ステップターンなど動物的感覚でいとも無難作にこなして飛ばす若人を見ながら、遠心力がどうの、抜重がどうの、外エッヂから内エッヂへの切り換えがどうと頭が先に滑べる我が身を見ると、やはり「物理」と縁が切れないのでかなあと思ってしまうのである。

東日本学園大学 小野正利

「学校ではうまいカンニングの方法を教えるべきである。」

最近ある新聞の囲み欄に、ある署名人の発言として書かれていました。勿論、この発言の真意は、テスト時に文字通りのカンニングを勧めているわけではないでしょう。しかし、最近は人の真似をするのを罪悪視する傾向が感じられますから、これに反発したのかも知れません。本来、人から何かを学ぶとは、その人を真似ることでしようから、真似を否定てしまえば、何もかも無から出発しなければならないと思われます。この観点からすると、前記発言は教育本来の姿を、少し極端に表現しているのかも知れません。

物理のテストの答案を見る時、記述式の答案

の時には、何か物足りなさを感じます。私が話した通りの事を書いているようですが、何かが足りない感じがします。思うに学生は、答案の書き方については私を真似ているけれども、私の自然観迄は真似できなかつたのでしよう。テスト問題を、演習の時と少し変えてみると、途端に呻吟するようです。同じ問題を出した時には、ほぼ計算はできるのですから、恐らく自信が無いためと解釈すべきなのでしよう。慣れ人は一度聞くとすぐ理解できても、初めての人にとっては、例えば大都会の地下鉄の乗り方を何遍教わっても、目的地に着く迄は半信半疑であるのと同様の気がします。ただ、人からその自然観迄も学び得るためには、先入観を取り除いておく必要があるように思われます。殊に物理に対する先入観は、想像以上のものであって、物理学を良く出来る人に対する劣等感、乃至は嫌悪感に迄達しているような人を見掛けます。

授業での御利用を

嶋田 明

現在は休職中で授業から遠ざかっておりますが、下記のようなマイコンソフトを作りましたので、どなたか授業で使っていただける方がいらっしゃしやればと思っております。定性的で、直感的に見て分かるということを目標していますので、多少物足りない面があろうかと思います。従来のが速度学習ではストロボ写真、力学台車とベルタイマー等が用いられていますが、前者では写真撮影、現象処理等の問題、後者ではテープの摩擦などでなかなか良い結果が得られませんでした。

- ジャンル：教育（授業での演示）
- ハード：シャープMZ80 (K/C) +
プリンター
- 媒体：テープ
- 内容：
 1. TV上のキャラクターを左右に動かす。
 2. 初速度、加速度と自由に設定できる。
 3. キャラクターの軌跡を残すことができる、この画面をコピーし、解析することにより、V-t、a-tグラフが書ける。

連絡先：〒069-01

江別市大麻栄町16-5

嶋田 明

Tel 01138-6-3617

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する本部理事ならびに本部評議員は、支部理事会に出席することができる。

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

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

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

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

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

支部会誌「物理教育研究」投稿規定

1. 内 容

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

2. 原稿用紙の書き方

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

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

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

3. そ の 他

- (1) 校正等のため、原稿の控を手許に保存しておくこと。
- (2) 校正は初校を著者が行ない、再校以後は編集理事会で行なう。校正は赤字で明瞭に記入すること。
- (3) 別刷は申し出により、必要部数を実費作成する。
- (4) 本誌は毎年1回3月に発行予定。
- (5) 投稿及び原稿用紙等の申し込み、ならびに会誌編集に関する連絡先

(060) 札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学工学部工業力学第2講座内
日本物理教育学会北海道支部
電話(011) 716-2111 (内線6723)

昭和59年5月31日発行
日本物理教育学会北海道支部
第12号
編集責任者 川原圭二
発 行 (060) 札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学工学部工業力学第2講座内
日本物理教育学会北海道支部
電話(011) 716-2111 (内線6723)
印刷所 北海道文化社 (011) 512-9737

SORD

実績NO.1 SORD-漢字PIPS

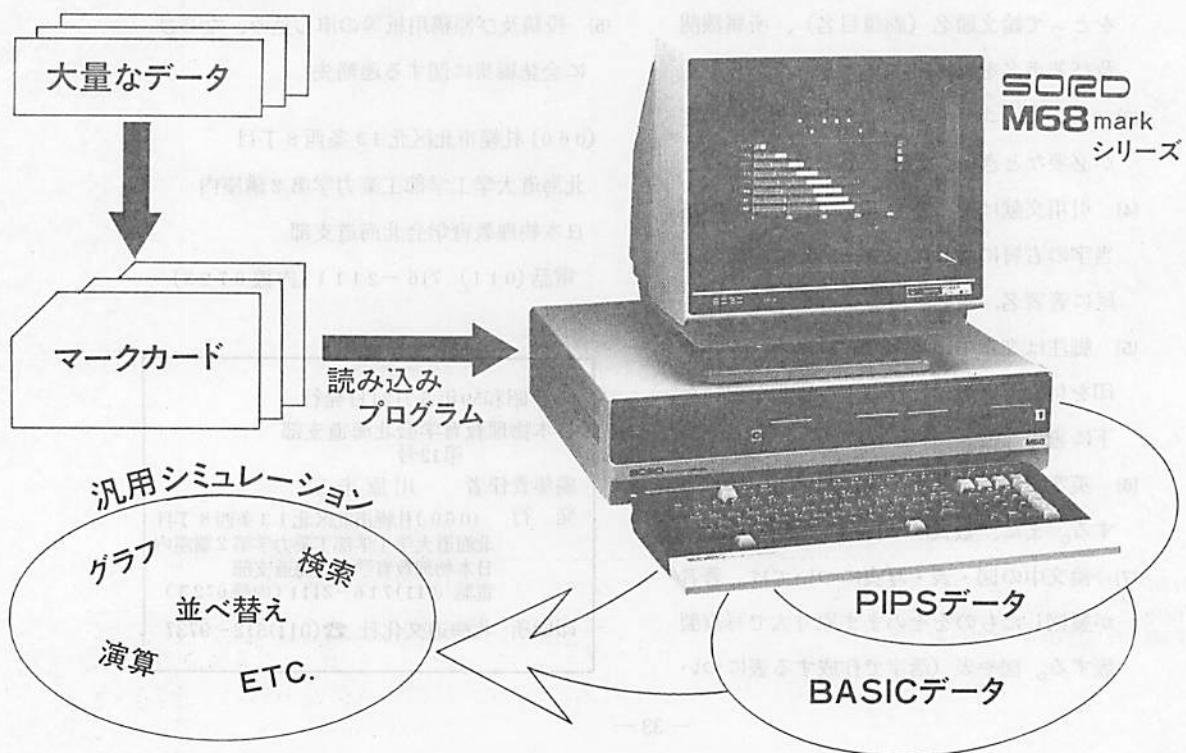
プログラミング不要な漢字処理

日本で最も広く使われているノープログラム言語SORD-PIPSに、漢字処理機能がプラスされた漢字PIPS。漢字情報処理が高速で行なえます。もちろん漢字による検索・並び替えもスピーディ。伝票発行や帳簿の作成に威力を発揮します。ビジネスの現場で磨かれてきた漢字PIPSは、日本のビジネスに最も適したノープログラム言語です。

帳票作成	L F
グラフ化	G R
検索	C S
ソート	S O R T
演算	C A L
自動化	A U #

PIPSへの大量データ入力を可能にしました。
マークカードを使えば………

使用例 成績データ処理システムとして使用すると………



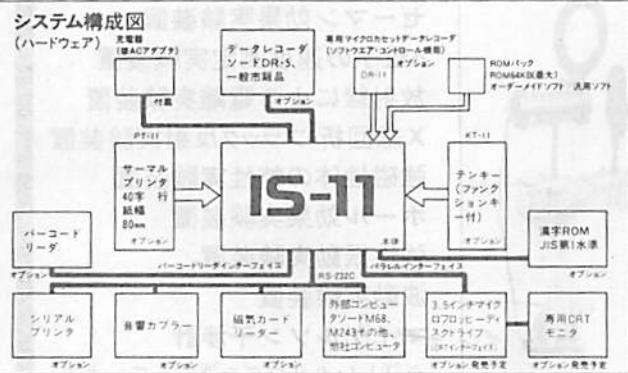
アイエス

革新的IS(統合ソフトウェア)搭載 業務に合わせてオーダーメイド。



IS-11

アイエス イレブン



専用機

あなたの業務にフィットした
専用ソフトを完全パックでお届けします

マニュアルレス操作

誰でも使える簡単言語
SORD-IS™ 標準搭載

多機能ソフト

英文ワープロ、日本語ワープロ(オプション)
スーパー電卓、通信など多彩なソフト

IS-11は、やさしく使える即戦力プログラムを標準装備。安心してお使いいただける、「道具」に徹しました。

さらにあなたの仕事に合わせて仕立て直すオーダーメイドシステムにより、IS-11はあなたの業務専用機になります。

このIS-11を、トータルにささえている新しいソフトウェアコンセプト、それがSORD-IS(統合ソフトウェア)です。

この概念が「道具」として完成されたコンピュータを創り出しました。

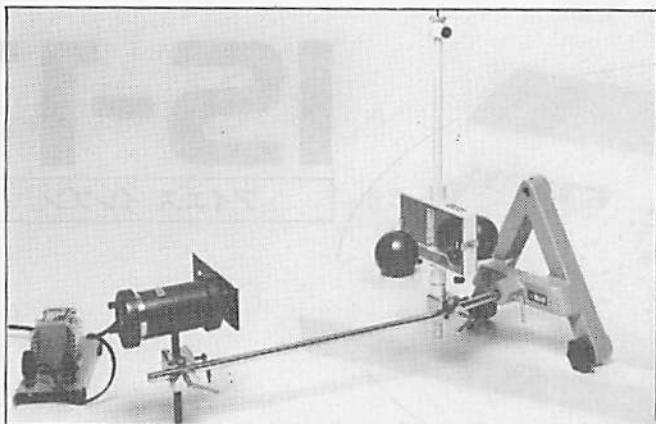
SORD

ソード株式会社北海道総発売元

株式会社ソード札幌

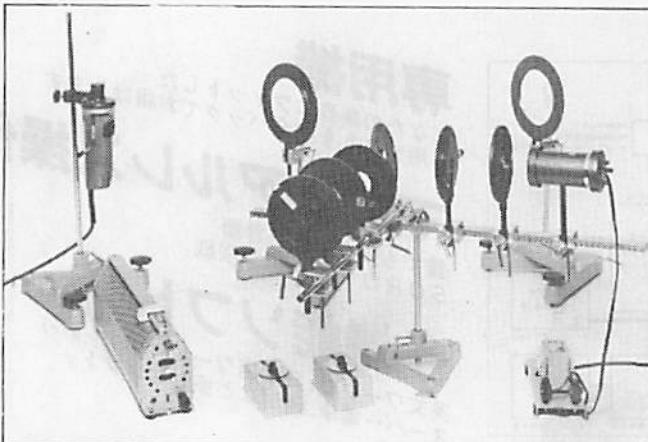
本社：〒001 札幌市北区北9条西4丁目7番4号
エルムビル7F TEL(011)736-6107

ご存知ですか?この有名な装置たち



キャベンディッシュ万有引力定数測定実験装置

大小2つの鉛球の間に働く引力を測定し、万有引力定数Gを求めます。ニュートンの万有引力の法則を実証できるすぐれた実験器です。



光の速度測定実験装置

高速で回転する鏡に光を当て、光路中を戻ってくる光をとらえてその時間のズレから光の速度を算出することができます。



高度な物理現象を興味深く示す——西独ライボルト-ヘラウス社との販売提携にもとづき、島津が紹介する実験装置は、世界的にも知る人の多いすぐれた装置です。

熱原動機実験装置

カーリー効果実験装置

等電位線描画実験装置

電子ビーム偏向管実験装置

電子ビーム回折管実験装置

電界放出顕微鏡

ゼーマン効果実験装置

α 粒子の速度測定実験装置

放射線による電離実験装置

X線回折・プラグ反射実験装置

強磁性体の特性実験装置

ホール効果実験装置

強性振動実験装置

波動実験装置

マイケルソン干渉計

※詳しいカタログを準備しています。
ご利用ください。

ライボルト-ヘラウス社製

基礎物理実験装置

〒101 東京都千代田区内神田1-14-5 島津ビル

株式会社 コンドウ・サイエンス



教育をとおして未来をつくる

島津理化器械

☎ 064 札幌市中央区南16条西5丁目

電話 (011) 521-6132・511-0304

理化学用器械器具
硝子器具及計量器



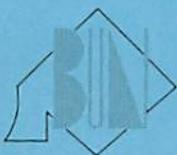
有限 サンブク
会社 三富久商会

〒 001 札幌市北区北6条西6丁目
☎ 札幌 (011) 716-0448

宣伝は/人の思考と行動の方向/に働きかけ
印刷は/確実にそれができる/媒体である

印刷／教宣ニュース・社内報・議案書・新聞・チラシ・パンフレット・ステッカー・各種伝票・記念誌・文集・自費出版

発送代行／新聞・雑誌・各種印刷物梱包発送



株式会社 北海道文化社
札幌市中央区南17西10丁目
TEL(011) 512-9737