

y. Nakano



物理教育研究

日本物理教育学会北海道支部

No. 17 1989.6

目 次

• 卷頭言	斎藤 孝	1
• 生体振動系の非線形力学	笛森 浩 館岡憲喜 下山雄平	2
• 分光学的信号の処理システムの開発	西沢 賢治 下山雄平	9
• 物理実験課題の分析	鶴岡森昭	14
• 弹性体棒の衝突	三好康雅	20
• イメージセンサによる減衰振動の自動測定	峰友典子 三好康雅	22
• C A I 教材開発の問題点と展望	北村 剛	26
• 「わかる物理の授業」への取組み	樋口泰久	31
• コンピュータによる実験データ処理	坂田義成	41
• ていーるーむ		48
• 昭和63年度 支部研究会報告		50
• 学会ニュース		52
• 支部規約・会誌投稿規定		53

卷頭言

物理を教えてきて

副支部長 斎藤孝

長い間、物理教師として過ごしてきて、私のようなものでも、物理学はまだまだ難しいが、物理教育ならば、どうやら少しは物がいえる立場になったと思う。

といってもこの物理教育は、正論だと思って主張しても、それを実証できる何ものもない。偶然その先生と生徒との間で成り立ったのかも知れないからである。しかもそれを語るには「読み、書き、算術」の知識で行う。この読・書・算を私はあまり好ましく思っていない。なぜなら生徒の中には、物理を暗記して憶えこもうとするものがいて、いくら私が筋道をたてて説明しても、考える段になると「ブツン」でどうしても考へないで暗記しようとする。これは小さい頃から強いられた読・書・算のせいだと思われる。子供の頃の純粋な興味や感動を大切にし、手足を動かして工夫し考えて実験する生徒達を育てたい。そうしなければ創造性を引きだすことはできない。

他国の文化に追いつけ追い越せの頃は読・書・算でよいかも知れないが、いつまでも後進性の教育はごめん蒙りたい。科学を我が国基礎教育にとり入れる必要が生じてきたと考えている。

物理教育の中で、私が主張できる間違いのないものの一つに実験がある。長い教師生活の中で生徒に与えたものといえば、実験しかないと思っている。卒業後彼らが思いだしてくれるのはあの頃の実験の事が多い。出来る子は出来る子なりに実験から学ぶことが多く、出来ない子は出来ない子なりに理解を深めることができる。高校生の年代における実験は計り知れない効果をもつと思われる。その効果については、これまた夫々の学校によって意見のわかれることろで、実験より問題演習をという人もいて、実証することは困難である。

しかし実験によって調べができる実際の現象は、どの生徒にも間違いのない真実を伝えてくれる。用意された実験道具がこのことを実証してくれる。

物理の教師として実験道具を年々蓄え続け、且つその方法を開発しておけば、毎年変わる多数の生徒達に、去年と同じ感動や興味を湧かせることができると共に、生徒達の大歓声をこれらの実験が保証してくれる。なおその実験が素朴であって日常生活に近ければ近い程生徒達は限りない興味を物理に抱くことになるだろう。その上毎年のように使われるその手軽さが、物理の授業進度を早め且つ考える余裕を生徒達へ与えることになる。

生体振動系の非線形力学

Nonlinear Dynamics in Biological Oscillation Systems

笹森浩喜
館岡憲平
下山雄平

Abstract

Nonlinear dynamics in biological oscillation has been reviewed to explore the significance of oscillation in biological systems. For the study of biochemical oscillation, we employed the Lotka-Volterra model as well as the Brusselator model which describe the consumption and the self-catalyzed reaction, respectively. The latter model suggests $1/f$ noise which signifies the biological rhythm. As for neural excitation, we analyzed the action potential by numerical calculation of the Hodgkin-Huxley equation. We found that the neural membrane promotes a self-excitation at the certain ionic difference between in-and-out of the neural membranes and a chaotic behavior upon application of sinusoidal stimuli. Further attempts have been made on the analysis of a neural network model including chaos for the development of artificial intelligence.

第一章 序論

1970年代後半、決定論的な方程式において確率的な事象を含まないにもかかわらず、運動状態に予想不可能性、即ちカオスが存在することが発見された。さらにカオスに固有の法則性や規則性が見いだされ、非線形系の研究は新しい解析法と測定手段を自然科学分野にもたらした(1)。

生化学振動現象の研究は、ソ連の化学者BelousovとZhabotinskiiの発見により開始された。シウ酸カリウムとセリウム塩を含む硫酸水溶液にシウ酸を溶かしたとき、溶液の色が周期的に変化する現象である(2)。その後、PrigogineはこのBelosov-Zhabotinskii反応(以下B Z反応)が、開いた系で外界から物質やエネルギーの流入によって、平衡から遠く離れた状態が達成されることを示し、不可逆過程の熱力学を構築した。この後B Z反応を中心としてNADH振動等の生化学振動系のメカニズムを解明しようとする研究が盛んになった(3)。

神経膜における興奮の研究は、du Bois-Reymondの刺激の伝達に電気的变化が伴うことの発見

※北海道教育大学函館分校物理学教室

より開始された。この電気的变化(活動電流)が神経を伝達していく速度、伝達方法が解明されて行った。その後、イカの巨大神経を用い、田崎等(4)が興奮伝達の解明を行い、それ以後実験は飛躍的に進歩した。HodgkinとHuxleyはこの神経の実験結果を用いて、神經興奮に関する方程式を提示した(5)。

本稿ではこのような背景の上に、生体系の振動現象の非線形力学の研究を述べる。以下に、まず振動する化学反応を記述する模型としてロトカ-ヴォルテラ模型と自己触媒反応系のブレッセルレータ模型について述べ、平衡から遠く離れた非平衡状態についての解説を行う。次に、HodgkinとHuxleyの方程式を解析することにより、神経膜に種々の外的条件を加えたときの膜電位の挙動の解析について述べる。そして最後に、最近注目を集めているニューラルネットワークの応用を紹介する。

第二章 非線形力学系について

以下に本稿で用いる非線形力学の要点について簡単に要約する。

自然現象を記述する方程式を代表するニュート

ンの運動方程式は線形微分方程式である。このため運動方程式に類似の線形及び非線形の微分方程式群を力学系と呼称している。力学系の微分方程式の解の中に点、曲線ないし曲面に収束するものがある。このような解は「引きつけるもの」ないし引力圈という意味でアトラクタと呼ばれ、次のような多様性を持った特性を示す。

A 周期点：二次元平面上にある全ての周期解がN点に集束するとき、これをN周期点と称する。

B リミット・サイクル（極限周期軌道）：周期解の軌道が二次元平面上の閉曲線Cに漸近的に接近し、巻ついてゆく軌道を意味する。二次元平面上のどの初期値からでも周期解の軌道も、最終的には閉曲線Cに漸近的に達する。この閉曲線をアトラクタと言う。

C トーラス：AM変調のように二つ以上の互いに無理数比の複数の基本周期を持つ概周期振動を意味する。この名称はドーナツ型の外形より由来する。

D ストレング・アトラクタ：周期的外力による非線形振動の微分方程式（例えばダッフィング方程式）の解は奇妙な形のアトラクタへ収束する。ストレンジとはある引力圈に初期値をおけば、間違いなく奇妙（Strange）な形の集合に引きつけられることに由来している(7)。

それでは、自然界ではカオスはどのようなところに観察されるであろうか、次のような例をあげよう。蛇口から落下する水滴の時間間隔は、水量が少ないと規則的なのに、やや多くなると不規則になってしまう。水滴の落下は明かに物理法則に従うが、水の量のわずかな誤差が増幅されて、時間間隔を予測するのが不可能になってしまう。このように、決定論的に生成される無秩序性をカオス（Chaos）と称する。上記のストレンジ・アトラクタはこのカオスの一種である(8)。

第三章 生化学振動系

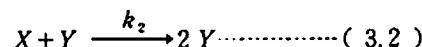
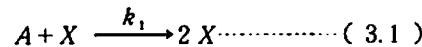
ブラッセルレータ模型

生化学反応がつくる散逸構造に対して次のような自己触媒反応系を記述するブラッセルレータ模型がPrigogine等により提唱された。この反応は、化学ポテンシャルを定常状態にし、逆反応は無視した反応系である。ブラッセルレータ模型では、

この周期過程の性質は初期物質と最終物質の濃度及び反応定数によって一意的に決められる。この模型の運動方程式の数値解析により得た結果を位相平面上に描いた図がFig.1である。A = 1.0, B = 3.0 の条件のもとで、極限周期軌道を描くことが解る。いかなる初期条件でも系は位相空間の閉じた軌道である極限周期軌道に漸近的に達することが分かる。この場合、極限周期軌道は不動点Sのまわりにローカスをなし、かつ小さなゆらぎに対しても安定である(3), (9)。

ロトカ - ヴォルテラ模型

生体内の化学振動を記述するロトカとヴォルテラ模型を以下に示す。反応速度を k_1, k_2, k_3 とおき、逆反応は無視する。



このロトカ - ヴォルテラ模型は自己触媒反応を記述する。

この平衡から遠くはなれた状態で、最初に (3.1) が進行し、Xの濃度がしだいに高まっていく。Xの濃度が相当高くなると、反応 (3.2) が進んで、Yの濃度がしだいに増加を始め、やがて (3.2) が爆発的に進んで、Xをほとんど消化する。そして、XはほとんどYに変わってしまうが (3.3) によってYの消化が進み、その濃度が十分低くなると、再びXが増加し始めて、同じプロセスを繰り返す。Aの濃度が一定ならば上記のように周期振動をする。ロトカ - ヴォルテラ模型では、周期過程の性質は初期物質と最終物質の濃度及び反応定数によって一意的に決められる(10)。濃度変化の頻度即ち、周波数成分を解明すべく、パワースペクトラムを援用して解析する。

周期倍分岐と1/fノイズ

パワースペクトラムの周期倍分岐をFig. 2に示す。これはカオティックな現象である。周期倍分岐はこれらの濃度A, X, Yと反応速度定数の値が比較的大きい場合に観測される。小さい場合は周期倍分岐は観測されない。周波数と強度の相関

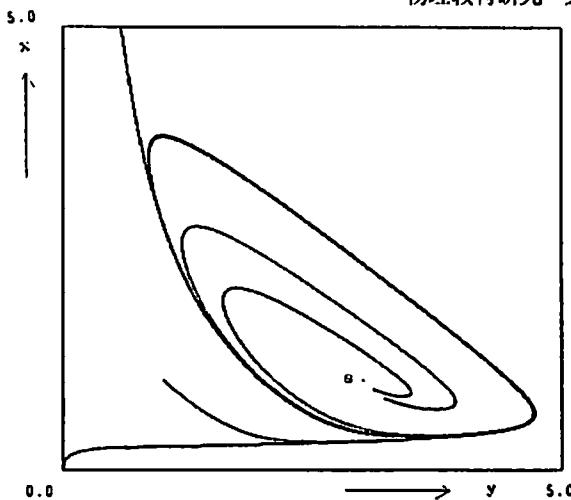


Fig.1 ブラッセルレーター模型の位相平面図

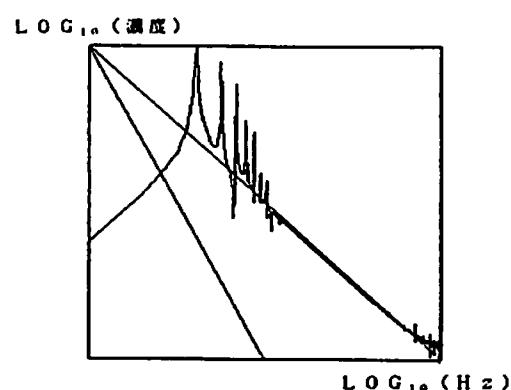


Fig.3 ロトカ-ヴォルテラ模型の X の濃度の $1/f$ ノイズ型パワースペクトラム

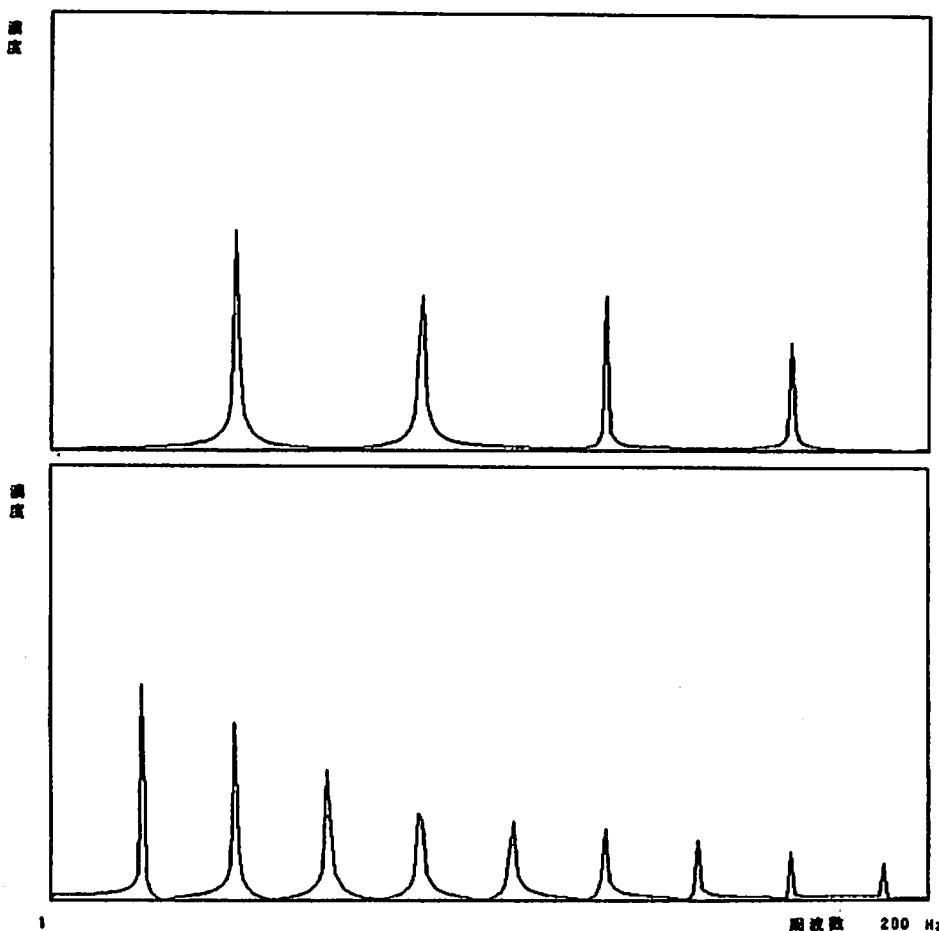


Fig.2 ロトカ-ヴォルテラ模型の X の濃度の周期倍分岐のパワースペクトラム

を二本の直線と共に示した。物質X, Yの濃度とともに反応速度定数の初期値が3.0程度だと $1/f$ 型となる(Fig.3)。初期値を一定にしてパラメータの値を変化させたときは $1/f$ 型と $1/f^2$ 型の中間の形になるものと全く異なるスペクトルの形が得られた[1]。

第四章 神経興奮のカオス

非線形力学系であるHodgkinとHuxleyの常微分方程式(H-H方程式)を用い、様々な外的条件下での神経興奮の解析をシミュレーションによって行った。即ち、(A)内外液のイオン濃度差を変化させた時観測される神経膜の応答と自励発振現象を理論的に再現する。(B)周期的な外部刺激に対する興奮の応答における種々のアトラクターとカオスの存在について理論的にアプローチする。

神経興奮の現象論

以後の理論的解析の理解に資するための神経興奮に伴う現象の説明を行う。外部より刺激電流を流した場合、正の向きの電流を正電荷の注入に対応させると、この電流によって膜電位が上がる(脱分極)。逆に負の電流を流すと膜電位は下がる(過分極)。単一神経繊維からの活動電流を、刺激した所と少し離れたところで記録すると、次のようなことが分かる。

(1)活動電流の大きさ及び時間変化の様相は共に刺激電流の強さに全く無関係である。(2)刺激の強さが、ある一定の臨界値すなわち閾値に達しない場合には活動電流は生じない。(閾値下応答)

神経インパルス、即ち興奮の速度は、決められた一本の神経繊維ではほぼ一定である。しかしながら、神経繊維の太さによって伝搬速度は大いに変化する。太い神経繊維の方が細い神経繊維に比べ、興奮の伝搬速度が早い。充分時間間隔をおいて刺激を2回加えた場合、二度目の刺激で引き起こされる興奮も最初の興奮と同じ速度で伝搬していく。しかし、時間間隔を短くして行くと、興奮が出現しなくなってしまう時期(不応期)が現われる。この不応期のうち、刺激をどんなに強く与えても興奮が起らぬ時期を絶対不応期と言う。また、閾値が高くなり、強い刺激を加えても弱い興奮しか起らぬ、即ち伝搬速度が遅い時期を

相対不応期と言う。

自励振動と外液濃度

Fig.4に膜電位の幅と外液の関係を示す。膜の外液に550.0mMのNaCl水溶液を加え、混合比をNとした。膜電位の振幅は、混合比が増えることにより突如として現れる。これはNaCl水溶液を加えることにより外液のNaイオン濃度が変化し、膜電位へのイオンによるネルンスト電位の影響が変わることによる。膜の内外液の濃度を変化させることにより、興奮は刺激を加えなくても、自発的に繰り返す自励励振状態になった。自励励振状態にあるときの膜電位の変化をFig.5に示す。

周期外力と膜電位

Fig.6に、自励励振状態とし、周期的外部刺激下で強制振動させた膜興奮の変化を示す。刺激を変化させたときの興奮をFig.7に示す。強制振動として振幅A、周波数Fの電流を用いた(12, 13, 14)。興奮が一回起きてから周期的な小さい膜電位の変動(相対不応期にあるため)がN回起こる状態を繰り返しているものや、一見ランダムな振動即ち、カオスが見られる。この強制振動と膜電位の変化は、自励励振状態にある膜の固有のリズムと、外部刺激のリズムとの競合と協調による。パラメータA, Fを変化させることに様々な挙動が得られた。パラメータの微小な変化により膜電位の挙動は有意の変化を示した。

神経興奮の状態を記述するH-H方程式は非線形方程式であるのでカオスの出現は不思議ではない。神経細胞において、膜の内外液の濃度を変えることにより自励励振状態となることはさきに述べた。この状態で外部刺激電流を与え、振幅A、周波数Fをパラメータとし変化させると、 $1:N$ の同期応答とカオス応答がH-H方程式のシミュレーションにより見い出された。実際の神経においても上記の現象が観測されている[6]。また、この膜電位の応答(安定な平衡点、安定なリミットサイクル、安定なトーラス及びカオス)の分岐を、外部刺激の周波数Fをパラメータとして解析した。

第五章 ニューラルネットワークへの発展

脳においてはニューロン同士がシナプスにより結合され情報を伝搬している。このシナプスによ

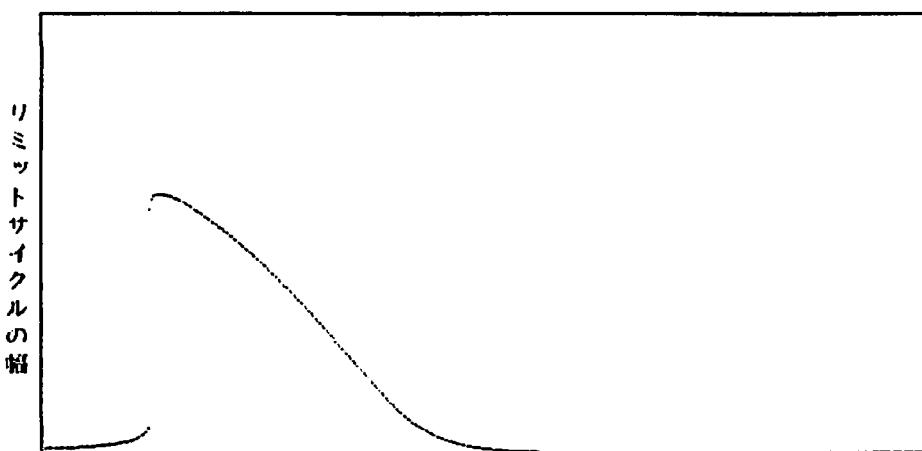


Fig. 4 H-H方程式における自励発振状態の分岐構造

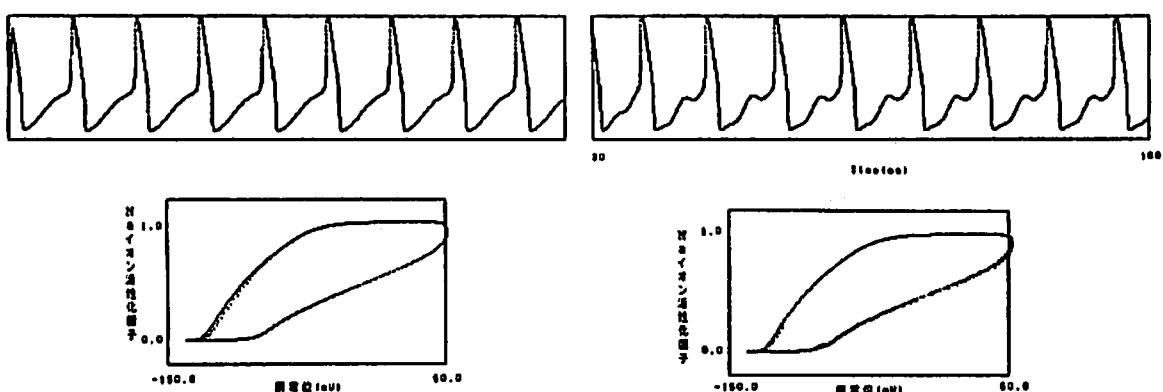


Fig. 5 自励発振状態での膜電位の時間的
変化(上)と膜電位とNaイオン活性化因子の変化

Fig. 6 自励発振状態に周期外部刺激を印加
した場合の膜電位の時間的変化(上)
と膜電位とNaイオン活性化因子の変化
外部刺激: 振幅 $10\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 振動数250Hz

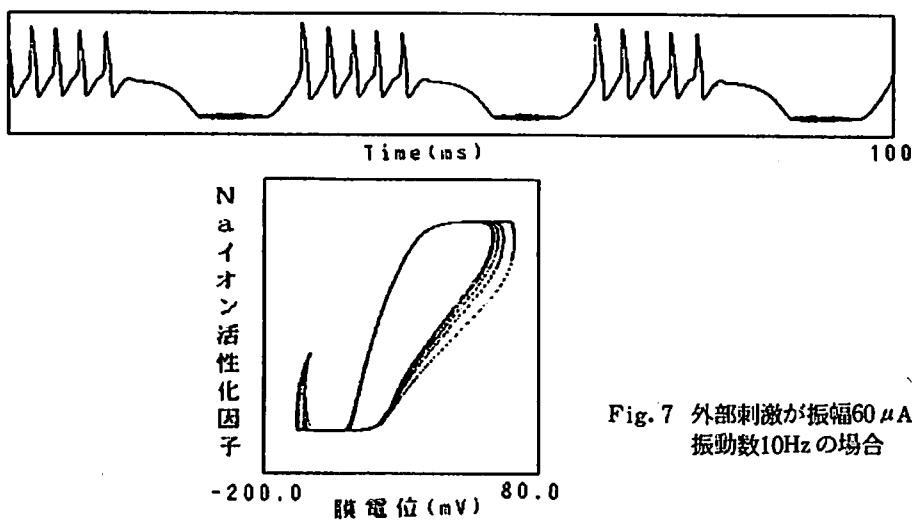


Fig. 7 外部刺激が振幅 $60\mu\text{A}/\text{cm}^2$
振動数10Hzの場合

る結合の強弱（結合の重み）により情報の伝達は異なっている。また、シナプスには、興奮性シナプスと抑制性シナプスとがあり、これらは前ニューロンからの刺激を後ニューロンにどのように伝えるかで区別される。前者は膜電位を脱分極させ、後者は過分極させる。脳の情報伝達システムを模倣するためには、このシナプスの働きを考えなくてはならない。

一般に、神経膜は周期的電流刺激に対して、引き込み同期応答やカオス応答を示す。このようなニューロンを含んだ非線形応答特性は、定性的に簡単な差分方程式で表される（Table. 1）[12]。このカオスニューロンの応答特性をFig. 8に示す。この応答特性には、カオス、分岐がみられる。

第六章 結論

ラッセルレータ模型について中間体の濃度の変化を二次元平面上に描くと、 $A = 1.0$, $B = 3.0$ のとき、初期条件がいかなる場合であろうとも長い時間が立てば安定な不動点を中心に持つ極限周期軌道を描く。この極限周期軌道はただ一つしかなく、かつ小さなゆらぎに対して安定である。

周期倍分岐がパワースペクトルに観測された。これはカオティックな現象の一つである。初期値が小さいときは自然現象に多い $1/f$ ノイズの形が顕著になる。

ラッセルレータ模型で観測された安定性と不安定性などのメカニズムを理解することは、心臓の鼓動がカオティックな現象であることを示唆す

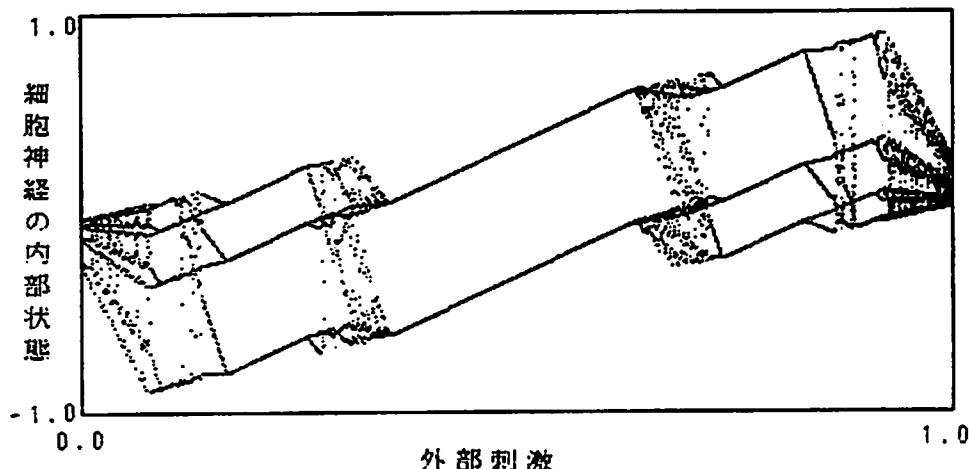


Fig.8 カオスニューロンの分岐図

Table.1 差分方程式によるモデルの定式化

$$y(t+1) = k y(t) - F\{y(t)\} + I(t) - \theta, z(t+1) = G\{y(t+1)\}$$

ただし、

$x(t+1)$ ：時刻 $(t+1)$ でのニューロンの出力, k ：パラメータ ($0 < k < 1$)

$y(t+1)$ ：時刻 $(t+1)$ でのニューロンの内部状態, θ ：しきい値

F ：不応特性を示す関数。通常は G と等しく選んでよい。

$I(t)$ ：時刻 t でのニューロンへの入力

G ：ニューロンの出力関数

例えば

$$G(y) = (|y+\epsilon| - |y-\epsilon|)/4\epsilon + 1/2, \quad G(y) = 1/(1 + \exp(-y/\epsilon))$$

る。

神経膜興奮において外部刺激の周波数が 10^N のとき、べき乗が不变の場合は振幅が異なっても興奮の形はほぼ一定であった。生体内においてもイオンの濃度差はなんらかの関数系として与えられていると予想される。これは今後の研究のテーマとなる。

ニューラルネットワークの考え方は、神経膜興奮にみられる関数系をそのまま応用し発展できる。

参考文献

- (1) 高安秀樹 「フラクタル科学」
朝倉書店 (1987)
- (2) 清水 博 「生命を捉えなおす」
中公新書 (1978)
- (3) グランスドルフ / プリコジン 松本 元
竹山協三 共訳 「構造・安定性・ゆらぎ」
みすず書房 (1977)
- (4) 松本元・清水秀明・島田潤一・桜井健二郎
「生体興奮膜 -BIOLOGICAL EXCITATION MEMBRANES-」(1974) P. 1-10
電総研調査報告書 第180号
- (5) 三井利夫・菅田和博・広野力・中西健二
「生物物理学序説—神経膜の興奮、思考の基礎理論—」(1983) P. 1-79 共立出版
- (6) 合原一幸 「神経膜応答特性の1次元写像モデルとその並列分散情報処理系に関する研究」
P 148-154 京電機大学総合研究所報告
Q 61-17
- (7) 吉川研一, 現代化学 P 14-22 Oct. (1982)
- (8) 山口昌也 「カオスとフラクタル」
講談社ブルーバックス (1986)
- (9) G. Nicolis, Report on Progress in Physics, 42, 225-268 (1979)
- (10) 清水 博, 西山賢一, 「形態形成」第7章,
学会出版センター (1977)
- (11) 武者利光 「ゆらぎの世界」
講談社ブルーバックス (1980)
- (12) K. Aihara, G. Matumoto and Y. Ikegaya
Periodic and Non-periodic Responses
of a Periodically Forced Hodgkin-Huxley Oscillator P. 249-269 J. theor.
Biol. (1984) 109
- (13) K. Aihara and G. Matumoto Two Stable Steady States in The Hodgkin-Huxley P. 87-89 Biophys. J (1983)
- (14) K. Aihara AND G. Matumoto Forced Oscillations And Routes To Chaos in The Hodgkin-Huxley Axons And Squid Giant Axons P. 121-131 Plenum (1987)

分光学的信号の処理システムの開発

Development of Signal Processing System for Spectroscopic Measurements

西沢 賢治
下山 雄平

Abstract

A signal processing system has been developed for the physics experiment. The system consists of transformation method and linear prediction method. The former one are carried out by fast Fourier transform (FFT) and maximum entropy method (MEM), and the latter one are by the Levinson method as well as the Burg method. These methods' allow both noise processing and signal recovery. MEM is superior to FFT for resolution of signal. However, depending upon a distribution of data, FFT is much better than MEM for its linearity. The Burg method gives better prediction than that of the Levinson method. The transformation method possess progressive nature by which experimental data can be processed. On the other hand, linear prediction method provides regressive nature by which data are constructed through continuous prediction. The present system enables a higher degree of signal processing by combining transformation and linear prediction methods.

I はじめに

近年エレクトロニクス技術の発達で測定機器の性能は飛躍的に向上した。又マイクロコンピュータの発達により自動化が可能になり、操作性が向上した。しかし同時期、計測法の原理には全くと言って良いほど新しい変革はなされなかった。測定精度は①ブラウン運動又は熱雑音の限界、②重ね合せによる測定物理量の不確定性の限界、③量子力学的不確定性原理による限界、の三つの主な物理的限界により制限されており、現在でも基本的にはこの事情は変わっていない。一方コンピュータ技術は加速度的発達をとげハードウェアは高級化及び大容量化され、又ソフトウェアでは高級言語が発達し、高速なプログラムの作成を可能にした。特に後者のソフトウェアと数値解析法の発達により新しいデータ処理法が開発された。従来、計算時間及び記憶容量等の点で不可能と判断されたり、低分解能のために利用されなかった測定法

※北海道教育大学函館分校物理学教室

がコンピュータシステムの応用によって実行することが可能となった。

本研究は、分光学的データの処理を目的とし、大別して変換法と予測法の二つの原理による処理システムの開発を行った。変換法では、フーリエ変換(以下DFT)及び最大エントロピー法(以下MEM)を用い、パワースペクトルの推定を行った。一方、予測法はデータ列を高次の多項式で近似することにより、データを過去にさかのぼって予測する。この手法により、いわば後進的予測が可能となる。さらに本研究では、信号処理法と信号回復を組み合した総合的システムの必要性を示唆した。

II 信号処理と予測の原理

ディジタルフーリエ変換(DFT)

DFTは式(1.1)によって行われる時系列データが、時間領域 $X(t)$ から周波数領域 $X(\omega)$ に変換される。

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-i\omega t} dt \quad (1.1)$$

これをコンピュータで処理できるように離散的に書き換えたのが、式(1.2)である。

$$X_i = \sum_{k=1}^{i-1} a_{i-k} \cdot X_k \quad (1.2)$$

N はデータの個数を表す。データ列はフーリエ変換により実数部と虚数部に変換される。パワースペクトル $S(\omega)$ は $X_r(\omega)$, $X_i(\omega)$ のそれぞれのノルム式(1.3)を計算することにより求められる。

$$S(\omega) = \{X_r(\omega)^2 + X_i(\omega)^2\}^{1/2} \quad (1.3)$$

最大エントロピー法(MEM)

MEMにはBurgと、赤池による二つの手法がある。Burgが提案したMEMは情報エントロピーを最大にするという規範のもとに、有限区間から全体の信号のスペクトル推定を行う。これとは独立に、赤池が自己回帰モデル(Auto-Regressive Model: AR)に基づくスペクトル推定法を提案した。これら二つは理論的な導出が異なるが、ほぼ同じアルゴリズムを与えている。

赤池法では観測データに対して式(1.4)により自己回帰モデル(a_k)を仮定する。

$$X_k = - \sum_{i=1}^m a_{i-1} X_{k-i} + n_k \quad (1.4)$$

さらにWiener-Khinchineの公式により、式(1.5)が得られる。

$$S(\omega) = \frac{P_m \cdot \Delta t}{\left| 1 + \sum_{k=1}^m a_{m-1} e^{-i\omega k} \right|^2} \quad (1.5)$$

この自己回帰係数 a_k より、パワースペクトル $S(\omega)$ が求められる。自己回帰係数 a_k と定常白色雑音の分散 P_k は、観測波形の自己相関関数から推定する。この式はBurg法によても導かれるので、MEMにおける基本式となる。次に自己回帰モデルの次数 k は事前情報からの推定是不可能

である。 k の決定はMEMにおいて重要な問題で、これにより推定スペクトルは大きく変化する。赤池法では、FPE(最終予測誤差)という方法が取られている。FPEとは、時系列 X_k から次数 m で推定した自己回帰係数 a_{mi} に対し、式(1.6)で定義される統計量 Q_m を決定する手法である。この Q_m が最小になる次数 m を自己回帰モデルの次数とする。

$$Q_m = E \left\{ (X_k - \sum_{k=1}^m a_{mi} X_{k-i})^2 \right\} \quad (1.6)$$

赤池法では自己回帰モデルの次数を、最終予測誤差が最小になるまで計算して求めるが、Burg法ではLevinsonによって提案された漸化式(1.7)式を使うことによって決める。

$$a_{mi} = a_{m-1,k} + a_{mm} a_{m-1,m-k} \quad (1.7)$$

一方Burg法では自己相関関数も未知数として、漸化関係式によって求める。当然赤池法に比べ未知数の数が増えるが、次のような判断基準を付け加え未知数の推定を行う。即ち予測誤差フィルターに時系列データを入力した場合の平均出力パワーと、時系列の順を逆にしたものに入力した場合の平均出力パワー、この二つの平均を最小にする。数値計算では時系列データ、データ間隔、モデル次数を入力すると、スペクトルは任意の範囲、間隔で推定できる。

線形予測法

N 個の時系列データ X_N に対して線形多項式(1.8)式と置き、任意のデータ列に対してこの式が成り立つと近似する。このとき信号の予測が可能となる。

$$X_k = - \sum_{i=1}^m a_{mi} X_{k-i} + n_k$$

a_k を予測係数と呼ぶ。この時二つの条件を満足しなければならない：①データに相関性があること。②最も的確な予測係数 a_k が得られること。もし実験によって信号が得られても、過去のデータと相関性がなかったら、予測することは不可能であり、式(1.8)は使用できない。自己相関関数 R_k と予測係数 a_k の関係は式(1.9)で与えら

れる。

$$2 \cdot \sum_{m=1}^l \sum_{k=0}^{m-1} R_k \cdot a_{k+m} - \sum_{k=1}^{l-1} R_0 \cdot a_k \\ = \sum_{k=1}^{l-1} R_k \quad (1.9)$$

左記の式(1.9)から a_k を求めるが、ここで高速化のためにMEMで用いたLevinsonの漸化式とBurg法により計算を行う。スペクトル推定のやり方は前述のMEM法の(1.7)及び(1.8)をそのまま踏襲した。

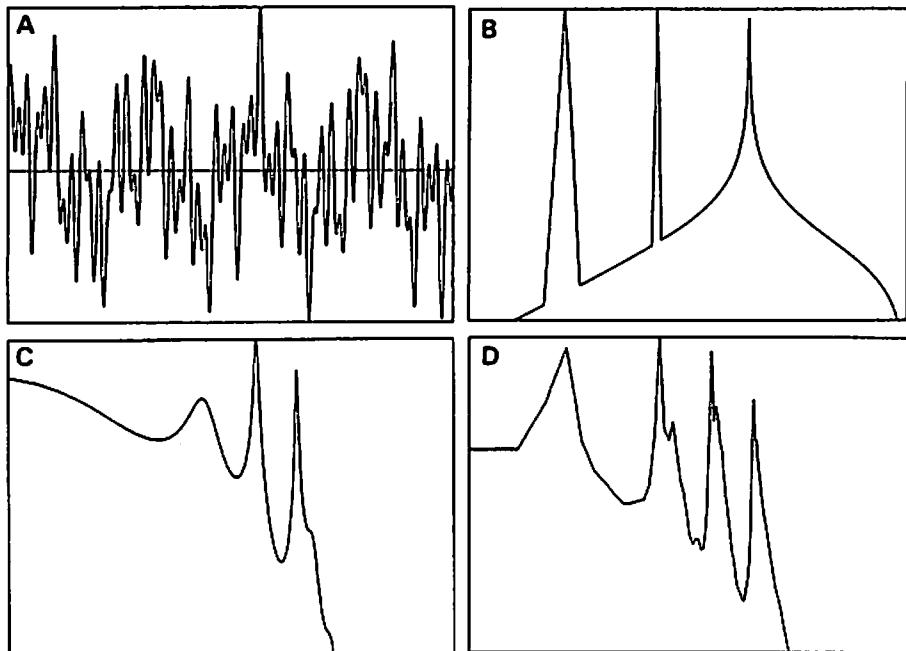


Fig.1 複合波の変換法によるパワースペクトル (a) 4-50.2Hz の正弦波による複合波
(b) DFTによる変換結果 (c) MEMによる変換結果(次数100) (d) MEMによる変換結果(次数700)

III 結 果

変換法の応用として正弦波の複合波と、落射蛍光によるインターフェログラムを用いた。複合波は4-50.2Hzの4種の正弦波を等強度で合成した(Fig.1(a))。データ数は1,024点である。これをDFTで変換した結果をFig.1(b)に示す。Fig.1(c), Fig.1(d)は同じデータを、MEMによって推定した。ただしMEMではモデル次数の設定が必要で、Fig.1(c)では100, Fig.1(d)では700を用いた。同じくFig.2(a)のインターフェログラムをDFTにより変換した結果をFig.2(b)に、MEMによる結果をFig.2(c)とFig.2(d)に示す。モデル次数はそれぞれ100と700である。

信号予測のデータとして強制振動様の信号を用いた。Fig.2(b), Fig.2(c), Fig.2(d)はFig.2(a)の強制振動様のデータから、予測した結果である。線形予測でもMEM法と同じように、予測の次数を設定しなければならない。Fig.2(b)では100, Fig.2(c)は400, Fig.2(d)は700で予測を行った。

IV 考 察

DFTとMEMの特性

DFTとMEMはスペクトル推定法として原理的には類似であるが、変換結果は同じではない。Fig.1(b)とFig.1(e)を比べると、MEMでは四本のピークが得られているのに、DFTでは分解能

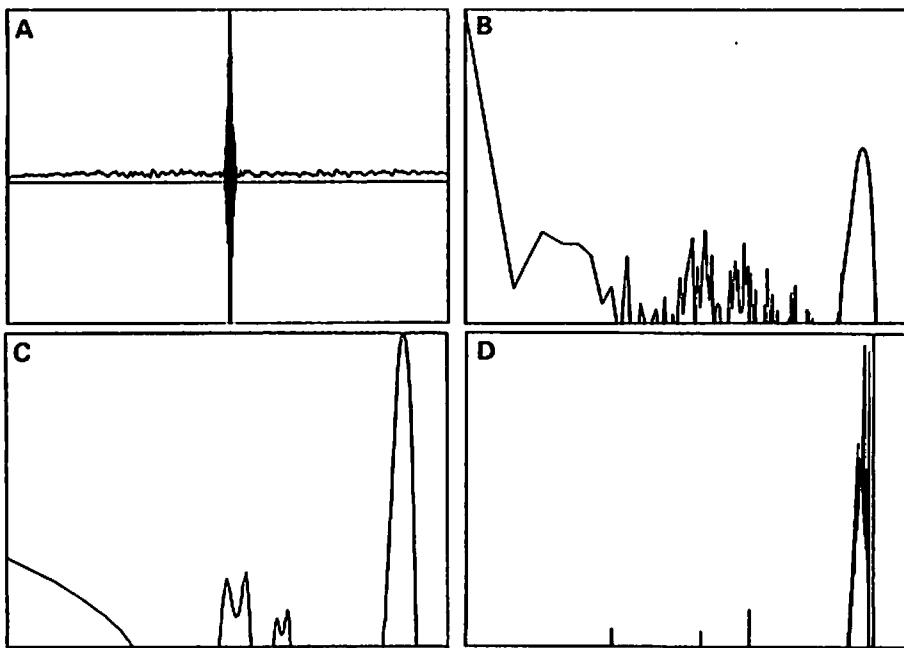


Fig.2 落射蛍光インテフェログラムの変換法によるパワースペクトル (a)落射蛍光によるインテフェログラム (b)DFTによる変換結果 (c)MEMによる変換結果(次数100) (d)MEMIによる変換結果(次数700)

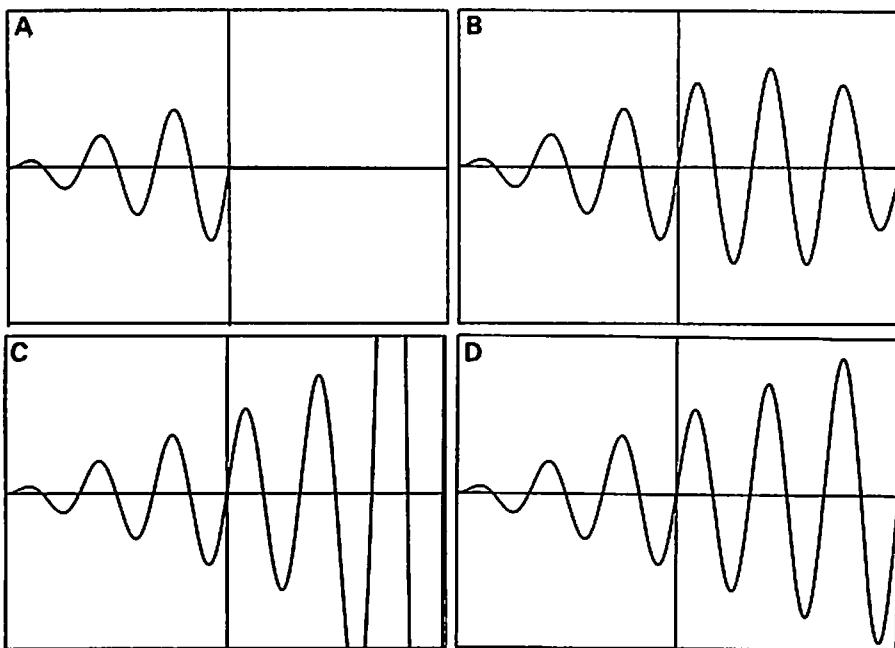


Fig.3 強制振動様の信号の線形予測 (a)強制振動様の信号 (b)予測結果(予測次数100) (c)予測結果(400) (d)予測結果(700)

が低いため、三本のピークしか現れない。逆にDFTで変換したデータは三本とも等強度であるが、MEMでは異なっている。これはMEMの演算法が非線形であるため、得られるパワースペクトルの形と強度が大きく変化するためである。例えば、Fig.1(d)とFig.1(e)ではモデル次数によって波形が異なる。そのため、事前に変換後のパワースペクトルの形をある程度予測できないと、正しいパワースペクトルの推定はできない。DFTではデータ点数の半分の周波数の範囲内で、しかも整数の周波数値でのみパワースペクトルが得られる。それに対しMEMでは任意の周波数で、パワースペクトルを求めることが可能である。このことは前述のMEMの非線形性をおぎなう重要な利点である。

信号予測

線形予測において、予測次数の選択は重要である。Fig.3(b)では次数100で、Fig.2(c)では次数700で明かに次数700の方が、誤差が少なく予測していることが解る。予測誤差はデータの相関性に強く依存する。ここで相関とはデータの法則性又はデータ間の記憶を表す。強制振動様の波形では、データ間の相関性が強いので良い精度で予測できる。さらにデータ点の数の増加によって予測精度が良くなる。しかしこまでの処理法では、計測原理による雑音や誤差は全く無視され、ブラウン運動や、不確定性原理による誤差が含まれたまま処理していることになる。このような問題を解消するために、変換法とは全く逆の後進的な考え方の処理法を用いた。

V 結 論

①DFTとMEMの両変換法により分光学的信号の処理が効率よく実行できた。DFTでは変換後のデータに線形性が保持されるが、MEMでは得られるスペクトルの強度に信頼性がない。しかしMEMでは任意の周波数でスペクトル推定が可能であるが、DFTでは周波数に制限がある。故にDFTとMEMを相補的に用いた高精度な処理が可能となる。

②線形予測法により雑音成分が含まれる真の信号を予測し、復元することが可能となった。予測法

はデータの個数と相関性により予測差が変わる。③DFTとMEMを組み合わせた変換技法が開発された。即ちMEMにより正確なピークの位置を検出し、強度をDFTの結果により推定する。線形予測によってデータ点の予測を行った後に変換法によってスペクトルを推定する複合的手法が提唱された。

参考文献

- (1) 赤池弘次、中川東一郎：「ダイナミックシステムの統計的解析と制御」サンエヌ社 P37-61(1985)
- (2) 宇田川博文：「パソコンデジタル信号処理」工学社 P99-138(1987)
- (3) 日野幹雄：「スペクトル解析」朝倉出版 P25-118(1979)
- (4) B.ゴーリド、C. M. レイダー、石田晴久訳：「電子計算機による信号処理」共立出版株式会社 P175-218(1983)
- (5) 小池慎一：「Cによる科学技術計算」CQ出版 P236-331(1987)
- (6) 武者利光、寺町康昌：「パソコン・グラフィックスデータ処理・信号解析」オーム社 P40-59(1984)
- (7) 南茂夫：「科学計測のための波形データ処理」CQ出版 P139-180(1987)
- (8) 河田聰：物理計測における最近の信号回復論、応用物理学会誌 第55巻第一号 P2-23(1986)
- (9) 河田聰、南茂夫：分光計測における新しいデータ処理手法、日本分光研究学会 分光研究、第35巻第一号 P 24-41(1986)

物理実験課題の分析

—北海道高等学校理科研究会編実験書を対象として—

鶴岡森昭

1. はじめに

理科教育の目標を論じる際に欠くことのできない概念に「探究」がある。「探究能力の育成」という目標は、探究は科学者が自然の本質を把握する際の最も重要な活動であるが故に、意義があるものであり、理科教育に於いても最も重要な目標のひとつとなる。また、学校教育に携わる理科教師は、その目標の達成を目指して計画的に指導すべきであることには異論がないように思われる。実際、米国で1950年代から興ったカリキュラム改革運動では、この理念の基に、PSSC, CHEMS, BSCS等が開発されてきた。我が国に於いても現行の高等学校学習指導要領には、理科の目標として「観察・実験などを通して、自然を探究する能力と態度を育てるとともに……」と明記され、探究能力の育成が高等学校理科の主要な目標のひとつとなっている。

では、この目標はどのような手段によって達成されるのであろうか。探究能力を育成する手段として、生徒に探究活動の実際に携わらせることを指摘する人が多い。そしてその実践の場として中心的役割を果たすのが「実験室」である。しかし実験室での活動が探究目標の達成を必ずしも保証するわけではない。探究目標を達成するためには実験活動ができるだけ多様な実験スキルを要素として含んでいることが必要になってくる。このような実験活動を体験することによって、生徒は新たな未解決の問題に対して科学的探究の様々なスキルを結び付けて、自らの力でその問題を解決していくものと思われる。

本研究では、北海道理科研究会編実験書に用意された物理実験課題が探究目標を達成する上で、適切なものになっているのかどうかを綿密に評価するものである。

※ 札幌平岡高校

2. 研究目的

北海道高等学校理科研究会編実験書に用意された物理実験課題が、探究目標を達成する上で相応しいものになっているのかどうかを分析する。更に、その分析結果を米国のPSSC物理、プロジェクト物理、現行の高校物理教科書（昭和62年度用物理及び理科Ⅰの11社延べ22冊）に記載されている生徒実験課題の分析結果¹⁾と比較検討し当研究会編の物理実験書に掲載されている生徒実験課題の特色と問題点を明らかにするとともに、改善すべき点を考察する。

3. 研究方法

北海道理科研究会編物理実験書及び理科Ⅰ実験書物理領域に用意された物理実験課題について、主としてその中に盛り込まれた実験スキルの要素的多様性をLAI (The Laboratory Structure and Task Analysis Inventory)²⁾（表1・2を参照されたい）を用いて分析する。「LAI」は科学者が実験室で行う研究活動の過程を分析し、その科学的探究過程と問題解決過程を、生徒実験に取り組む生徒に求める実験スキルと結び付けたものである。LAIは大きく見ると2つのカテゴリ群から構成されている。第一のカテゴリ群は構成カテゴリ（Organizational Categories）で、総計14のカテゴリから成り、それらは更に4つのセクション（構成、教科書との関係、協力形態、シミュレーション）に分類されている。このカテゴリ群からは実験活動の構成と方法を概観できる。第二のカテゴリ群は課題カテゴリ（Task Categories）で、実験課題分析の基礎となる総計24の探究カテゴリ（Inquiry Categories）から成り、それらは更に4つのセクション

物理実験課題の分析

(計画と設計、実施、分析と解釈、応用)に分類されている。このカテゴリ一群は実験室に於いて生徒に求める一連の実験スキルと行動に合致している。科学的探究過程と問題解決過程に関係している。4つのセクションは生徒の実験活動の段階を示している。

分析に当たっては、教師用指導書を参考資料として用いた。尚、理科Ⅰ物理領域と物理とが一連の繋がりを持っていると判断し、両者を併せて合計20件の生徒実験課題を分析の対象とした。

4. 分析結果

物理実験課題を領域毎に分類し、現行の高校物理教科書のデータと比較した結果を表3に示す。この表から明らかなように、全体の実験課題数の割合では北理研の方がやや「物理」に多くなっているが、ほぼ領域間の割合は似たような傾向を示している。更に、「原子」の実験が少ない点は共通しているように思われる。

〔表1〕

構成カテゴリー	
A. 構成	
1. 1 装置を表示された通り	
1. 2 装置で何もなく実験を始め	
1. 3 実験アプローチ	
1. 4 実験アプローチ	
B. 実験を理解する過程	
2. 1 個別で免まつて	
2. 2 実験のあとで	
2. 3 実験と一括して	
C. デザイン過程	
c. 1 実験者は実験の詳細に取り組み結果を待ち込む	
c. 2 実験者は異なる詳細に取り組み結果を出し合う	
c. 3 来られる実験者の討論	
D. シミュレーション	
d. 1 生徒はプログラムを実行する。データは直観によって与えられる	
d. 2 生徒は直観によって実験をシミュレーションあるいはモデル化した状況を実行する	
d. 3 生徒は自分で実験をしてデータを取るのではなく、二次元情報をからデータを読みて実験を行う	
d. 4 生徒はプログラムとやりとりをしながらシミュレートされた実験を行う	

〔表2〕

課題カテゴリー	
1. 1 実験課題と実験手順	
1. 1 実験を理解なくして実験し、研究すべき問題をはっきりさせる	
1. 2 実験結果を下調べする	
1. 3 この研究過程で得るべき問題を理解なくして実験する	
1. 4 理論・問題・目的の手順を計画する	
1. 5 実験を行なう	
1. 6 実験結果を実験する	
2. 1 実験的観察・測定を実験する	
2. 2 実験的観察・測定を実験する	
2. 3 実験を行なう。性質に因る	
2. 3 実験を行なう。性質に因る	
2. 4 実験を行なう	
2. 5 実験を行なう	
2. 6 実験を行なう	
3. 1 実験データの整理をする	
3. 2 実験データの整理をする	
3. 3 実験データの整理をする	
3. 4 実験データの整理をする	
3. 5 実験データの整理をする	
3. 6 実験データの整理をする	
3. 7 この研究結果を基に新たな問題をはっきりと前に実験したり、仮説を構成する	
4. 1 この研究結果を基に下調べをする	
4. 2 この研究結果を基に假説をはっきりと前に実験する	
4. 3 実験目的をたたかれてやめてやめに応用する	

〔表3〕

領域	コース	教科書		北理研	
		件数	割合(%)	件数	割合(%)
物理 学年 I	I	49	30.8	5	25.0
物理 学年 II	II	110	69.2	15	75.0
力と運動		29	26.4	3	20.0
波動		28	25.5	4	26.7
電気と磁気		52	47.3	7	46.7
原子		1	0.9	1	6.7
実験 総数		159	100	20	100

次に、LAIを用いた分析結果を表4に示す。この表中で用いている記号(+, -, 0)の定義は次の通りである。

- + : 少なくとも1度は生徒にこの行動を要求する指導；
- : 生徒にこの行動を必要としない指導；
- 0 : 指導が漠然としていて、生徒にこの行動が結果として生じるかも知れないし、生じないかも知れない。

(表 4)

実験題目 カテゴリ	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	計 (%)
A. 構成	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	20 100
a. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
a. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
a. 3	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	17 85
a. 4	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 15
B. 教科書との関係	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
b. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
C. 協力形態	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
c. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
c. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
c. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
D. シミュレーション	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
d. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	1 5
d. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 5
d. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
d. 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
1. 0 時間と設計	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
1. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
1. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 5
1. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
1. 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
1. 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
2. 0 実験	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
2. 1 a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 15
2. 1 b	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	16 80
2. 2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	18 90
2. 3	+	0	+	+	0	+	0	-	0	0	0	+	+	0	+	+	0	-	10 50
2. 4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	17 85
2. 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
2. 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
3. 0 分析と解釈	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
3. 1 a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 5
3. 1 b	+	4	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13 65
3. 2 a	+	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7 35
3. 2 b	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 40
3. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 5
3. 4	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5 25
3. 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 5
3. 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 5
3. 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0
4. 0 应用	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 10
4. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 10
4. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 5
4. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 10

又、表中の実験題目は次の通りである。

- ① 「運動の表しかた」
- ② 「運動の法則」
- ③ 「自由落下の運動」
- ④ 「金属の比熱の測定」
- ⑤ 「力学的エネルギーの保存」
- ⑥ 「等速円運動」
- ⑦ 「ばね振り子の周期の測定」
- ⑧ 「運動量保存の法則」
- ⑨ 「波が伝わるとはどういうことか」
- ⑩ 「単振子による波の伝搬」
- ⑪ 「気柱の共鳴」
- ⑫ 「ヤングの実験」
- ⑬ 「等電位線と電気力線」
- ⑭ 「電池の起電力と内部抵抗」
- ⑮ 「ジュール熱と熱の仕事当量」
- ⑯ 「コンデンサーの基本的性質」
- ⑰ 「コンデンサーのリアクタンス」
- ⑱ 「直線電流が磁界から受ける力」
- ⑲ 「電磁波の発生とその性質」
- ⑳ 「放射能の半減期の測定」

物理実験課題の分析

〔表 5〕

* : データのないことを示す。例、教科の項目はパーセントである。

コース カテゴリー (実験)	北 理 研 (20)	JAPAN (159)	PSSC (47)	Project Physics (49)	Chi Square I	Chi Square II	Chi Square III
A. 構成							
a. 1	100	99	*	*	0.22	*	*
a. 2	0	1	*	*	0.22	*	*
a. 3	85	89	*	*	0.27	*	*
a. 4	15	18	*	*	0.10	*	*
B. 教科書との関係							
b. 1	0	6	*	*	1.20	*	*
b. 2	10	64	*	*	21.10 *	*	*
b. 3	0	100	*	*	179.00 *	*	*
C. 対力形態							
c. 1	0	1	4	4	0.22	0.35	0.89
c. 2	0	1	2	12	0.11	0.44	2.59
c. 3	0	0	0	6	0.00	0.00	1.35
D. シミュレーション							
d. 1	5	1	2	6	3.30	0.39	0.04
d. 2	5	0	21	6	9.01 *	2.74	0.04
d. 3	0	1	2	6	0.22	0.44	1.35
d. 4	0	1	0	0	0.11	0.00	0.00
1. 0 計画と設計							
1. 1	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
1. 2	5	5	15	8	1.05	3.35	1.82
1. 3	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
1. 4	0	3	2	10	0.45	0.44	2.09
1. 5	0	0	2	2	0.00	0.44	0.34
2. 0 実験							
2. 1 a	15	9	*	*	0.79	*	*
2. 1 b	80	91	*	*	2.50	*	*
2. 2	90	98	98	96	3.83	2.01	0.94
2. 3	50	92	98	96	26.61 *	21.26 *	20.65 *
2. 4	85	84	*	*	0.01	*	*
2. 5	0	15	*	*	3.51	*	*
2. 6	0	1	0	4	0.22	0.00	0.89
3. 0 分析と解釈							
3. 1 a	5	8	53	86	0.28	13.87 *	34.71 *
3. 1 b	65	57	34	47	0.45	10.09 *	1.66
3. 2 a	35	18	94	80	3.45	26.31 *	13.03 *
3. 2 b	40	77	75	65	12.44 *	7.13 *	3.75
3. 3	5	11	23	37	0.61	3.27	7.15 *
3. 4	25	26	4	16	0.03	6.39 *	0.66
3. 5	5	4	34	27	0.01	6.32 *	4.17 *
3. 6	5	6	53	53	0.01	13.87 *	13.68 *
3. 7	0	0	*	*	0.00	*	*
4. 0 応用							
4. 1	10	5	23	6	0.68	1.65	0.38
4. 2	5	0	*	*	9.01 *	*	*
4. 3	10	7	23	25	0.20	1.65	1.91

*: 危険率が5%を越えている教科

Chi Square I: 北理研と日本の教科書間の関係

Chi Square II: 北理研とPSSC間の関係

Chi Square III: 北理研とProject Physics間の関係

本稿で分析手段に用いているLAIの開発者であったV. N. Lunetta & P. Tamir⁴⁾は、LAIを用いてPSSC物理及びプロジェクト物理の実験課題を分析した。彼らの分析結果と拙稿⁵⁾の分析結果を北海道高等学校理科研究会編物理実験書の分析結果と併せて表5に示す。

現行物理教科書、PSSC物理、プロジェクト物理の三者いずれとも有意な差(危険率5%, 以下同じ)が認められ、それらよりも記述が少なかったカテゴリーは2.3である。

現行物理教科書と比較し、記述が有意に少なかったカテゴリーはb. 2, b. 3, 3. 2 bである。

現行物理教科書と比較し、逆に記述が有意に多かったカテゴリーは、d. 2, 4. 2である。

PSSC物理、プロジェクト物理両者よりも記述が有意に少なかったカテゴリーは、2.3, 3.1a, 3.2a, 3.5, 3.6である。

更に、PSSC物理、プロジェクト物理の何れか一方よりも記述が有意に少なかったカテゴリーは、3.2bである。

尚、PSSC物理、プロジェクト物理のいずれか一方よりも記述が有意に少なかったカテゴリーは3.1b, 3.4である。

現行物理教科書の実験課題の特色と問題点につ

いては、仲丸、中山との共同研究である拙稿⁵⁾で明らかにしてあるが、北海道高等学校理科研究会編物理実験書中の課題については、以下のような特色と問題点を指摘できる。

- 1) 生徒実験を『実施』するスキルに関しては現行物理教科書、PSSC物理、プロジェクト物理と比較し、「結果を記録し、観察に関する所見を述べる」活動等を除いては概ね豊富な記述が認められる。
- 2) 実験を『解釈と分析』する段階のスキルの中では、「データをグラフ化」し「実験の基礎になる変数、制約条件、前提を明確にしたり検討」する活動に関しては他の三者よりも同程度かそれ以上に豊富であるが、その他の活動については他の三者と比較し、概して記述が乏しい。
- 3) PSSC物理とプロジェクト物理の両カリキュラムの実験課題で欠陥と指摘されている諸点⁴⁾の中には、現行物理教科書にも共通するものが見出されているが⁵⁾、北海道高等学校理科研究会編物理実験書中の課題内容についても類似した欠陥として、次の数点を指摘できる。
 - a) 疑問や探究すべき問題及び仮説等を正確に表現するように生徒達を促す記述並びに実験を計画し設計するように求める記述が全くない。
 - b) 生徒達が実験技術について解説をし判断を下すとか、独自の計画に沿って実験に取り組む機会がない。
 - c) 実験後の『分析』の段階では、生徒達は結果をグラフ以外のよく使われる形式に表現したり、定性的且つ定量的関係を特定したり実験データの精度を特定するといった機会が少ない。
 - d) 『解釈』の段階では、一般的法則やモデルを明確に表現したり、関係を説明する機会が少ない。
 - e) 実験によって習得した技術を新たな問題や変数に応用する機会が少ない。
 - f) 実験によって得られたデータを持ち寄ったり実験後の討議を促し、知見に対する考

察を深めるための対策が明確にされていない。

5. 考 察

前節では L A I による分析データを基に、北海道高等学校理科研究会編物理実験書中の課題内容が持つ問題点を指摘した。その分析データの中で言及しなかったカテゴリーについてお断りをしなければならない。構成カテゴリーの b.2, b.3においては、北海道高等学校理科研究会編物理実験書中の実験課題は現行物理教科書中の実験課題と比較して、有意に少なくなっている。これについては、「教科書と一体化して」という点では北海道高等学校理科研究会編物理実験書中の実験課題は別冊になっていることによるものである。また「教科書のあとで」という点では、教師用指導書の中で実験を実施する前に関連する説明をするよう記述している場合にチェックをした。

本稿での課題分析によって、北海道高等学校理科研究会編物理実験書中の実験課題は、「応用」面で現行物理教科書中の実験課題よりも幾分の改善の跡が見られるものの、「実施」面では逆に後退の跡が見られたり、「計画と設計」「分析と解釈」「応用」面で PSSC 物理やプロジェクト物理と同様の、或いはそれ以上の欠陥を持つことが指摘できた。この結果は、「探究目標」を達成するために必要な多様な実験スキルを充分考慮しているのか、疑問を抱かせる結果である。教師がこれらの欠陥を意に介せず、北海道高等学校理科研究会編物理実験書中の実験課題を指導するならば探究目標を達成する上での実験活動の意義を十二分に引き出すことは出来ないと思われる。改訂の際に上記の問題点を踏まえた実験書並びに教師用指導書における記述の改善が望まれるが、当面実際生徒の指導に携わる教師は、生徒の先行知識や経験を踏まえ、発達段階を考慮した上で、以下のような諸点に留意しながら実験を指導することによって、これら問題点の一部は克服できるものと思われる。

- 1) 疑問や探究すべき問題、データを収集する方法、自分の立てた仮説、解釈の礎となる考

え方・法則等を口頭、或いは文章・数式の形で表現するように促す。

- 2) 教師の側から決まりきった仮説を提示するのではなく、できる限り生徒達から複数の選択可能な仮説を引き出すよう工夫し、生徒自身がそれらの仮説を検証するように促す。
- 3) 独自の実験手順を追求し、計画し、実施するように生徒を指導する。実験の計画が困難と思われる生徒に対しては、教師が予め見本となる実験計画例を提示したり、参考となる幾つかの実験手順を示し、その中から生徒に選択させることが好ましい。更に、生徒達が計画した、或いは選択した実験を実際に実行させ、その経験に基づいて実験技術に改良を加えるように促す。
- 4) 科学の本質に深く関わるものとして、有効数字や誤差の概念がある。これらの概念の理解に導くような探究活動を用意することが望ましい。その上で使用する実験器具の測定上の限界と精度に対して注意を向けさせ、実験誤差の発生源を探るように指導する。
- 5) 実験課題内容の難易度をよく検討した上で教科書の内容を教室で学ぶ前に実験を行うよう工夫し、探究の過程を通して生徒が自ら諸概念を理解し獲得できるように指導する。
- 6) できる限り討論する機会を設けることが望ましい。討論は、生徒達が今までに獲得した知見に基付き予測をしたり仮説を立てたりする場面、実験手順を計画する場面、データを解釈し結論を導く場面、実験活動を通して獲得した知識と先行知識を基に新たな問題について予測する場面等、実験活動の様々な場面に於いて行うことができる。
- 7) 実験活動を通して得た知識や経験をその課題活動だけに留まらせることなく、常にそれを応用するように生徒を促す。例えば、実験結果を基に更に発展した新たな疑問を抱くよう啓発したり、別の事象について予測せたり、獲得した知識・経験を異なる問題に応用せたりする。こうした指導は、生徒の持つ知識を活性化し、様々な知識を有機的に統合させる意味でも大切である。

最後に、実験課題の狙いと矛盾した実験活動に生徒が従事していないかどうかをチェックするために、生徒達の実験活動の実際と実験活動の目的の双方を常に吟味しながら、新たな生徒実験の計画をたてることが重要であると思われる。

文 獻

- 1) 拙稿(1988)「高等学校物理実験指導の改善に関する考察」筑波大学大学院教育研究科修士論文。
- 2) Fuhrman, M. et al.; The Laboratory Structure and Task Analysis Inventory (LAI) : A Users' Handbook (Technical Report No. 14), Iowa City, Iowa, Science Education Center, The University of Iowa, 1978.
- 3) Lunetta, V. N. and Tamir, P. ; Matching Lab Activities with Teaching Goals, Science Teacher, V. 46, N. 5, pp. 22-24, 1979.
- 4) Lunetta, V. N. and Tamir, P. ; An Analysis of Laboratory Activities: Project Physics and PSSC, School Science and Mathematics, V. 81, N. 8, pp. 635-642, 1981.
- 5) 鶴岡森昭、仲丸信行、中山和彦;高等学校物理実験課題の評価, 物理教育, V. 36, N. 4, pp. 354-357, 1988.

弹性体棒の衝突

三好 康雅

まえがき

弾性体が互いに衝突するとき、一般に見かけのエネルギー保存則は成り立たない。衝突後、弾性体の中に弾性体が残るからである。ここでは1次元棒の衝突を考える。

等しい長さの2本の棒の衝突

図1(a)のように静止している棒Bに、それと同じ長さの棒Aを速さ v_0 で衝突させる。衝突直後、衝突面の両側の部分の速さは等しく、AとBの平均の速さ $v_0/2$ になるはずである。したがって図1(b)のように、棒の中に速さ v_0 、 $v_0/2$ 、0の部分ができる。その境目が波面で、それは音速 c で図の矢印の方向に進む。図1(d)は弾性波がちょうど棒の端に達したところで、棒全体が一樣な速さ $v_0/2$ になっている。次に弾性波は棒の端で反射して、図1(e), (f)の過程を経て、(g)の状態になる。衝突面の両側の速さが等しい間、2個の棒は接触を続けるが、図1(g)の状態になったときこの条件は崩れ、棒Aは全体が速さ0となり静止し、Bは一樣な速さ v_0 を得て右方に飛び去り衝突が終了する。衝突後、棒の中に弾性波は残らないので、見かけのエネルギーは保存される。

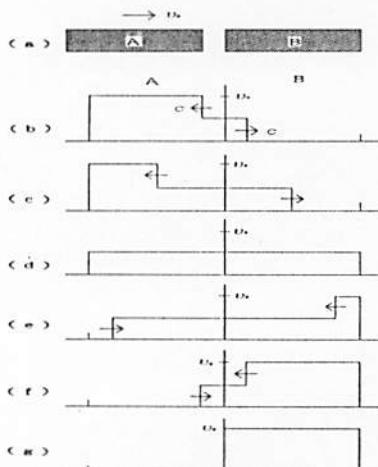


図1. 長さの等しい棒の衝突

※ 北海道工業大学

長さの違う2本の棒の衝突

次に棒Bの長さがAより長い場合を考える。図2(d)は図1(d)と同様に弾性波が棒Aの端に達した状態である。しかしこの時、弾性波の右の波面はまだ棒Bの端に達していない。図2(e)は弾性波の右の波面が棒Bの端に到達したところで、この時左の波面は反射して戻り始めている。さらに時間が経過すると、図2(f)を経て(g)で衝突が終了する。衝突後、棒Aは完全に静止するが、Bは一樣な速さにならない。つまりBの中には弾性波が残っている。したがって見かけのエネルギー保存は成り立たない。衝突後のBの速さは運動量の保存と、Aが静止する条件から求められる。

以上の考察から次の定理を得る。

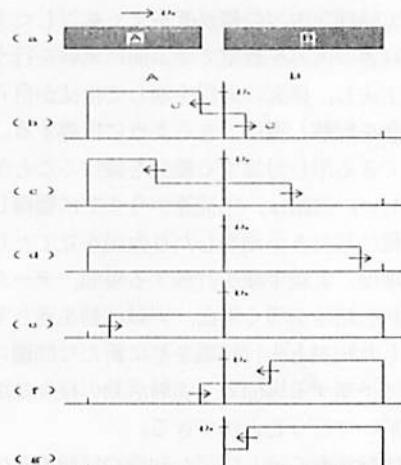


図2. 長さが等しくない場合

弾性体棒の衝突の定理

材質と太さが同じで長さの違う2本の棒があり、長い棒を静止させ、短い棒をそれに衝突させたとき、衝突後

- (1) 短い棒は静止し、その中に弾性波は残らない。
- (2) 長い棒の中には弾性波が残り、見かけのエネ

ルギー保存は成立しない。

面が平行になるように衝突させなければならない。

棒列に対する衝突

長さが相等しい3本の棒A, B, Cを用意し、図3(a)のようにBとCを接して置き、Aを速さ v_0 で衝突させる。弾性波の様子は図3(b)から(g)の経過をたどる。図3(e)のとき、Aは静止して取り残され、BとCは速さ $v_0/2$ で一体となって進む。さらに時間が経過して図3(g)になったとき、Bは静止してCが一樣な速さ v_0 になり、右方へ飛び去る。さらに棒の数が増しても、同様の考え方をすれば、右端の棒だけが速さ v_0 で飛び去ることは容易に理解できる。

互いに接した球列に1個の球を衝突させると、多端の球がはじき出される現象がある。棒の場合にもこれと同様の現象が起きることがわかる。

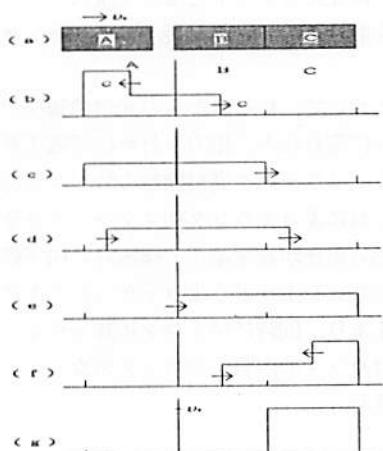


図3. 2本の棒への衝突

あとがき

これまで見たように1次元の場合、弾性波の挙動は単純で現象の理解は容易である。しかしこれを実験で確かめるのはなかなかむずかしい。理論どうりに現象が起きるためにには、棒の接触面で弾性波が反射しないことが必要である。それには衝突によって生じる圧力によって面が完全に密着するように、双方の面を平滑に仕上げ、かつ双方の

イメージセンサによる減衰振動の自動測定

峰 友 典 子
三 好 康 雅

目 的

イメージセンサはフォトダイオードが多数配列（各々を画素という）されていて被写体からの光学情報を各画素に取り込み、電気信号に変換して一定時間蓄積し、時系列情報として読み出すことができる光電変換素子である。特徴として、物体の位置情報が各画素ごとに得られるので複数物体の位置検出が可能になる。この位置情報の時間変化から物体の運動が把握できる。

本システムは、一次元配列の画素をもつイメージセンサにより物体の位置を検出してマイコンに取り込み、その時間変化から物体の運動を定量的に解析することを目的として開発した。

今回は、本装置によって検流計の減衰振動を自動測定し、満足できる結果が得られたのでシステムの概要とともに報告する。

イメージセンサの基本構造

イメージセンサは図1のように感光部、転送部、出力部から構成されている。

感光部：被写体からの光学情報を各フォトダイオード（画素）で電気信号に変換して、一定時間電極に蓄積する。画素数が多いほど被写体情報の分解能がよくなり、高精度の位置情報を得ることができる。

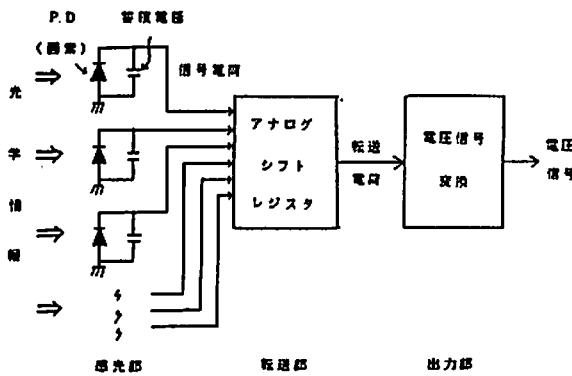


図1 イメージセンサの基本構造

北海道工業大学

転送部：蓄積された各信号電荷は、アナログシフトレジスタへ並列に読み込まれる。レジスタは、読み込んだ信号電荷を時系列信号として直列に読み出す。

出力部：転送された電荷を電圧信号に変換して出力する。

使用したセンサは、画素数が2,048個一次元配列された、CCDイメージセンサ（東芝102C-1）と呼ばれるものである。¹⁾

システムの概要

ランプ・スケール内蔵型の検流計は指示点が目盛り板上に光のスポットとなって現れるので、目盛り板を取り外して光を直接イメージセンサにあてた。

図2において、検流計からの光学情報をイメージセンサに取り込み、出力された信号電圧を増幅する。センサがデータ受付開始の時パルスを出すので、これによりカウンタをスタートさせる。センサの出力電圧が設定電圧（検流計の指示点検知のためのスレシホールド）より下がったときにカウンタが止まり、同時にマイコンに知らせる。マイコンはカウンタの内容（クロックのカウント数）を取り込む。

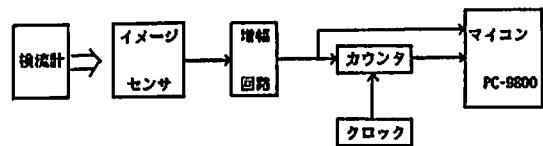


図2 システムの概要

図3はイメージセンサ1周期（約1.6 msec）の受光状況を電圧（光の強度）変化で表した。電圧の高いところがセンサの受光部分で、中央の電圧低下部が検流計の指示点を示す。検流計の振動に

イメージセンサによる減衰振動の自動測定

ともなって、受光部分全体が左右に移動する。

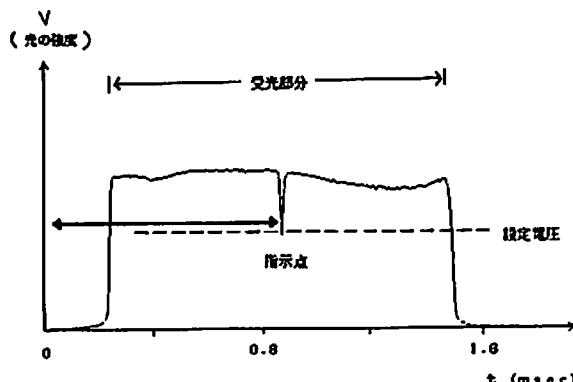


図3 イメージセンサの受光状況

スレシホールド電圧を指示点の電圧値に設定してやり、センサの出力電圧が設定電圧より下がったとき（指示点がきたとき）カウンタがストップする。すなわち、カウンタは $t = 0$ の時点からカウントを開始し、指示点がきてカウンタがストップするまでの間カウントを続ける。

マイコンは、図3矢印間の移動距離をクロックのカウント数として取り込む。本システムでは、約1.6(msec)に1回のデータ取り込みが可能である。

減衰振動の測定回路と測定例

図4において、検流計の振幅は検流計に流れる電流に比例するので、スイッチONで初期の振れ幅を決める（1.5V, 5MΩで±1cm程度）。スイッチOFFで減衰振動が得られる。Rcrは検流

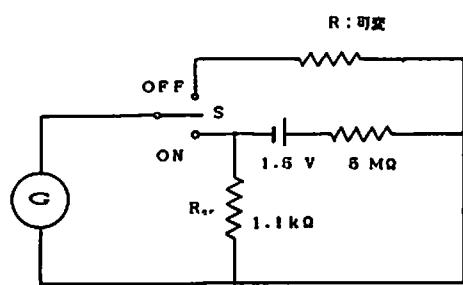


図4 測定回路

計保全のために付加したもので、臨界制動抵抗に等しい。

図5から図9は負荷抵抗Rを変えて得られた減衰振動の測定例である。Xは検流計の振幅をクロックのカウント数で示した。

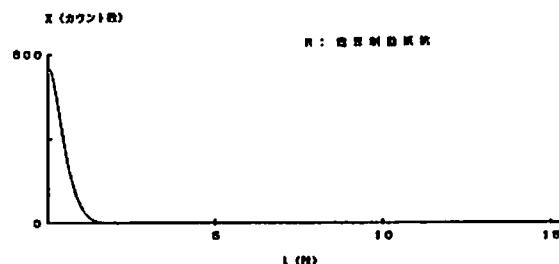


図5 測定例 1.

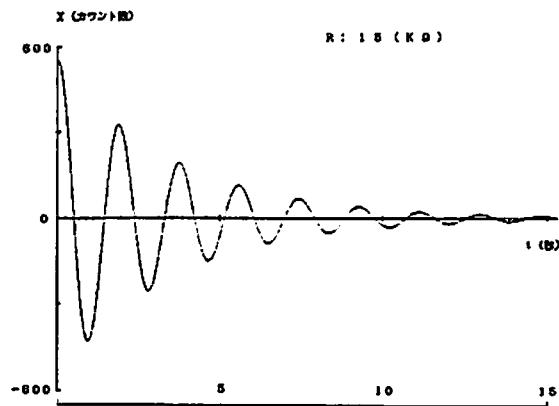


図6 測定例 2.

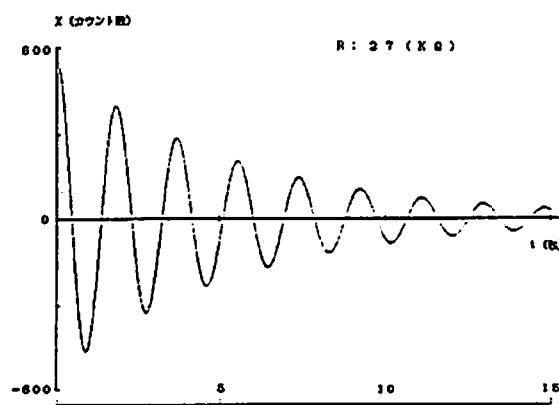


図7 測定例 3.

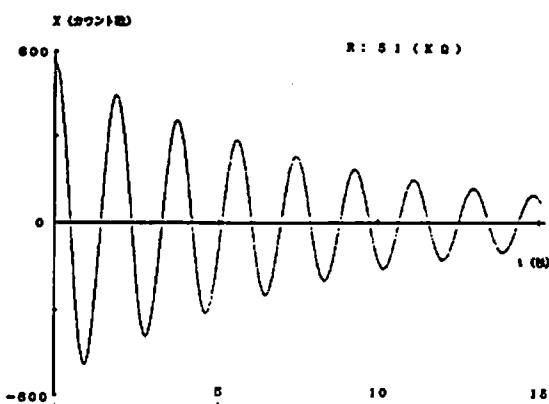


図8 測定例4.

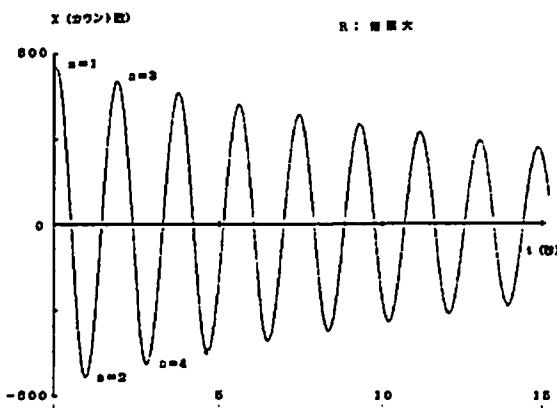


図9 測定例5.

図5は R を臨界制動抵抗($1.1\text{ K}\Omega$)とした場合で、2秒程度で平衡状態になった。図9は R を無限大にした場合で、このときの減衰は空気抵抗によるものと思われる。負荷抵抗が大きくなるほど減衰時間が長くなつた。また、 R の値に関わらず減衰の周期はよく一致した。

データの解析

対数減衰率を求める

減衰振動は、減衰の周期が一定で、振幅の極大が現れる時間(間隔)は周期の $1/2$ に等しい。さらに振幅の極大は時間に対して一定の割り合いで指数関数的に小さくなる。この減衰の速さを示す量を対数減衰率という。

測定データから各極大値($n = 1, 2, 3, \dots$ 図9参照)を検出してその自然対数($\log_e X_n$)を

求め、極大値 n との関係を調べると、図10に示す直線が得られた(R 別に示す)。これらの直線の傾き $-A$ を求めると A が対数減衰率を表す。²⁾

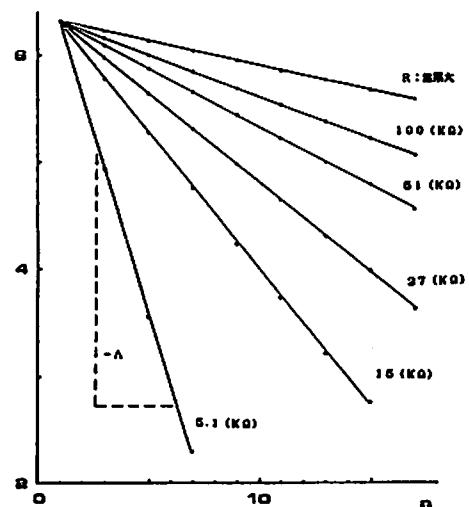


図10 対数減衰率

表1に、測定抵抗別に減衰率を求めた一覧表を示す。 R が大きくなるほど減衰率は小さくなることが示されている。

$R (K\Omega)$	対数減衰率 A
1.1	臨界制動
5.1	0.68
1.1	0.34
1.5	0.26
2.0	0.21
2.7	0.17
3.3	0.14
4.3	0.12
5.1	0.11
6.8	0.09
10.0	0.08
無限大	0.045

表1

対数減衰率と抵抗の関係

表1に基づいて、抵抗($R + r_c$)の逆数を求めて減衰率 A との関係を調べると、図11に示す直線が得られ、直線の傾き a を求めると $a = 3.2 (\text{K}$

Ω) となった。 r_c は検流計の内部抵抗 (95 Ω) である。

縦軸と直線との交点から R を無限大にしたときの減衰率 A_a ($= 0.046$) が求まる。 A_a は表 1 に示す無限大時の減衰率 ($= 0.045$) とよく一致した。

このことから

$$A = A_a + a \left(1 / (R + r_c) \right)$$

が成り立ち、減衰率と抵抗との逆比例関係が得られた。

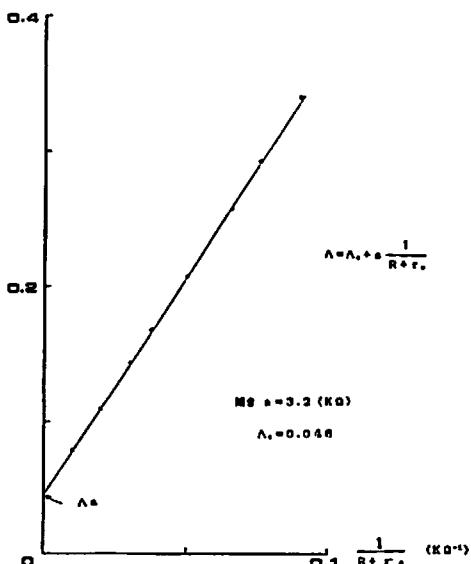


図11 対数減衰率と抵抗の関係

結　　び

本システムの利点としては、自動測定により多回の測定が容易にできること、光点を目で追う測定より精度の良い結果が得られることなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 「集積回路資料・CCDイメージセンサ」
第2版（東芝）
- 2) 平田森三編：「基礎物理学実験」
p. 248 - 251（裳華房）

C A I 教材開発の問題点と展望

北 村 剛

1. はじめに

10年ほど前から、北海道でもC A Iに関しての議論が起り、3・4年前から個人やグループや機関での研究と開発が試みられるようになった。全国的にも早くから研究されているが学校教育用C A Iソフトの現状はまだ発展途上にあると言えよう。学習塾ではドリル学習を主体として実用化に入ってきた。

2. 現在制作されているのは

- (1) 問題集型(ドリル)－主にMS-DOS-Cによる
システムとしてはシンプルになっていく方向
公式・法則を導く、基礎問題、H E L P (ヒント)
- (2) シュミレーション型－主にBASICによる
各単元にそって現象を演示してみせる
 - ・なかなか実験できないもの－重心の運動、波動、振動、電界、磁界など
 - ・微少世界のこと－分子運動、原子の運動
- (3) 切り張り型－イメージキャナ+VTR
- (4) シュミレーションをとり込んだ解説型－LISPによると思われる
 - ・シュミレーションにより実験を進めていく感覚で公式・法則を導いていく
 - ・かなり複雑なシステム
- (5) 近似、類似の判断ができる－Forthによる
 - ・うろおぼえの言葉のキーインから可能性とし
て考えられる事項、言葉が提示
 - ・例 重さ、重力、万有引力
波、たて波、横波、表面波
- (6) (4)+(5)型－Forth+LISP(32bit型?)
- (7) その他(Logo, LAPLAS………)

3. C A I の利用は

(1) 学習塾での積極的な導入がはじまつた

- ・ホスト一教室(RUN. モデム)
- ・ホスト一家庭(電話回線モデム)

(2) 学校での導入はない(本州にはある)

4. C A I 教材開発の現状は非常に困難である

(1) ソフトについて

- ・多数の教材開発システムが市販されているが購入しても単発の教材作成が精一杯であり、教科の体系化した教材作成はかなり困難である。

(2) 開発スタッフについて

- ・共同執筆に似て、C A Iについての認識に共通性が強くなければ無理であろう。

5. 問題点としては

(1) 原稿作りが大変

- ・1画面に1枚の原稿であるから、20分程度の学習教材を作成するためには20枚から30枚の原稿を書くことになる。

(2) キーインが大変

- ・20分程度の学習教材を作成するためには100画面程度の部品が必要である。

(3) 編集が大変

- ・選択メニュー導入－展開－基本ドリル－発展ドリル－ヒント－まとめK R情報、評価、終了に至る組み立てと修正にかなりの時間がかかる。

6. 将来展望は

(1) 個別学習が可能になるだろう

- ・学校における個別学習が授業でも、早朝でも、放課後でもできるようになるであろう。したがって学校における一斉授業の質が問題になるとと考えられる。

(2) 家庭でのC A Iが普及するだろう

C A I 教材開発の問題点と展望

・幾つかのメーカーで開発が進められており、
なかには小学4年生から高校入試までの国・
算数・理科・社会・数学・英の全領域と高校
数学1・英語1を電話回線モジュムで販売して
いる。いずれ多様なC A I 学習システムや通
信システムが市販されるであろう。しかし家
庭での教育力が高まっていないと困難であろ
うというのが試用してみての感想である。

7. 教材開発の1例

北海道立教育研究所付属情報処理教育センター
「高等学校 C A I 教材開発委員会理科1A（有
朋高・村中淑秀 丘珠高・細川静雄 石狩高・
北村 剛）」

係	事 項	要 点	担当	連絡調整	期日
企 画 ハ 尾 山 ▼	進路のしりとり発行	○ 第1学年指導資料として ○ 納入 5/10 発行部数 650 発注先 正文舎	尾山	業者	
	DSCP (1年)	○ 9 (火) 3, 4校時 ○ 実施要領 4/25配布 ○ 監督 教科担任・HR 担任	渋谷	1 学年 教務	
	進路講演会(3年)	○ 16 (火) 4校時 LHR 大学・就職・専門学校のコース別C実施 ○ 講師(外部) 大学…札幌 倫 教職…札幌職安 専門…進路部 4月 起来 講師依頼文書発送 ○ 講演テーマ 前年度進路状況の傾向分析 目標達成の心構え etc ○ 留意点 講師謝礼、会場、生徒の指導、当日の運営 etc	尾山 高山 山下 東	3 学年	
	進路情報発行	○ 進学・就職係 抜抜内容提供	上田		
	物品購入計画	○ 進路指導費による購入 各係で必要物品の枚附 予算130万	関根		
	各格合札整理	○ 63・元年度合格者(大学・専門)の氏名記入	白川部		
進 学 ハ 高 山 ▼	平常講習	○ 1(月) 申込生徒数集約 講座・講師確定 実施要領(時程、時間割、教室) ○ 6(土) 時間割発表 ○ 8(月) 開講	白川部	学年 教科	
	校外模試(基礎)	○ 14(日) 全校一次(3年) 申込4/27 監督 ○ 28(日) 短大模試(3年) 申込15 監督	白川部	3 学年	
	校外模試分析資料	○ 資料返送 *基礎力診断(3年) 11(木) *基礎力水準(2年) 19(金)	白川部	2, 3学年	
就 職 ハ 山 下 ▼	就職相談	○ 就職相談カードによる希望整理、職種の把握 ○ 実施時期 上旬 実施要領の枚附、作成	山下	3 学年	
	求人票提供	○ 前年度求人票の提供 教室 9, 10組 進路資料室 3~5部 ○ 札幌職安(道内)分のみ 広報小葉所の検討資料として	泉	3 学年	
	企業訪問(1次)	○ 採用企業へのお礼 アフターケア ○ 訪問企業、訪問者組合せ、日時を含む実施要領作成 ○ 「学校要覧」教務に依頼 ○ 中間査定時の監督について教務に依頼	山下	3 学年 旧3学年 教務 教務	
	就職者近況報告	○ 就職者の近況(仕事・職場の様子、後輩へのアドバイス等) 報告 ○ 往復ハガキによる	山下		
	就職・公務員模試	○ 13(土) 申込4/28(金) 監督	泉	3 学年	

コースウェア流れと主なフレーム
(はじめ) (理科Ⅰ・自由落下運動) No.1

理科Ⅰ
物理分野

- 1 前題はノートに行ってください。
- 2 問題の内容、解答の仕方が分からぬ時は、手を上げて先生を呼んでください。
- 3 図のマークが出ている時にリターンキーを押すと、次の画面に進みます。

5

距離(cm)	0	4.9	14.7	19.6	44.1	78.4
時間(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	
落下距離(cm)	0	4.9	14.7	19.6	44.1	78.4
落下距離(cm)	0	4.9	14.7	19.6	44.1	78.4

落下距離の表について

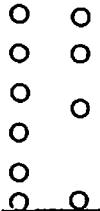
0秒から0.1秒間に落下した距離の表は、 $4.9 - 0 = 4.9$ (cm) と求められる。

下表に、0.2秒～0.3秒間、0.3秒～0.4秒間に落下した距離の表を答えなさい。

時間(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4
落下距離(cm)	0	4.9	14.7	44.1	78.4
落下距離(cm)	4.9	14.7	24.5	34.3	

6

落 下 運 動



落下運動とは物体が落下する運動です。
落下運動はどのような運動でしょうか?
このことについて考えてみましょう。

6

距離(cm)	0	4.9	14.7	19.6	24.5	34.3	78.4
時間(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4		
落下距離(cm)	0	4.9	14.7	19.6	24.5	34.3	78.4
落下距離(cm)	0	4.9	14.7	19.6	24.5	34.3	78.4

平均の落下速度について

0秒から0.1秒間に小球は、4.9cm落下したので、この0.1秒間の平均の落下速度は、 $4.9 \div 0.1 = 49$ (cm/s) と求められる。

下表に、0.2秒～0.3秒間、0.3秒～0.4秒間に平均の落下速度を答えなさい。

時間(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4
落下距離(cm)	0	4.9	14.7	44.1	78.4
落下距離(cm)	4.9	14.7	24.5	34.3	
平均の速度(cm/s)	49	147	24.5	34.3	

3

0.0	○
0.1	○
0.2	○
0.3	○
0.4	○

左図は小球が、0.1秒間に落下していく様子を示した図です。



7

落下速度(cm/s)	0	49	147	245	343
時間(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4
落下速度(cm/s)	0	49	147	245	343
落下速度(cm/s)	0	49	147	245	343

瞬間の落下速度について

0秒～0.1秒間に平均の落下速度 49 cm/s は、0秒と0.1秒の中间時間

0.05秒の瞬間の落下速度になる。

従って、次の表のようになる。

中間時間(s)	0.05	0.15	0.25	0.35
落下速度(cm/s)	49	147	245	343

4

8

落下速度(cm/s)	0	49	147	245	343
時間(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4
落下速度(cm/s)	0	49	147	245	343
落下速度(cm/s)	0	49	147	245	343

0.0	○
0.1	○
0.2	○
0.3	○
0.4	○

落下距離について

0.1秒から0.4秒間に小球が落下する距離は、図の右側に示した数値です。
左の図を参考にして、下表に0.3秒、0.4秒後の落下距離を答えなさい。

時間(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4
落下距離(cm)	0	4.9	14.7	34.3	78.4

落下速度の変化について

0.1秒ごとの落下速度は、落下時間の経過とともに増えているので、落下運動は加速度運動といえる。

それぞれの落下時間の差は0.1秒です

中間時間(s)	0.05	0.15	0.25	0.35
落下速度(cm/s)	49	147	245	343

それでは、次に加速度を求めてみよう!



9

落下速度 (cm/s)	
0.05	49
0.15	147
0.25	245
0.35	343
0.45	

加速度の求め方について
加速度は $\frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ で求められる。
0.05秒～0.15秒間の加速度は
 $a = \frac{147 - 49}{0.15 - 0.05} = 980 \text{ cm/s}^2$
と計算される。

下段の空欄の加速度を求めよ。
中間時間 (s) 0.05 0.15 0.25 0.35
落下速度 (cm/s) 49 147 245 343
加速度 (cm/s²)

10

加速度について

どの時間も加速度は、 980 cm/s^2 (9.8 m/s^2) と一定である。

時間 (s)	0.05	0.15	0.25	0.35
速度 (cm/s)	49	147	245	343
加速度 (cm/s ²)	980	980	980	

従って、落下運動は等加速度運動といえる。

この時の加速度 980 cm/s^2 (9.8 m/s^2) を、重力加速度 g という。

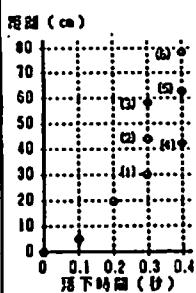


11

次に $s-t$ グラフ(距離と時間のグラフ)と
 $v-t$ グラフ(速度と時間のグラフ)を
作図してみよう。



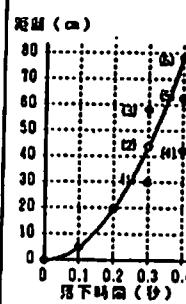
12



$s-t$ グラフの作図について
0.3秒後の点を図中(i)～(iv)の中から
選べ。また、0.4秒後の点を図中(i)～
(iv)の中から選べ。
0.3秒後 0.4秒後

落下時間 (s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4
落下距離 (cm)	0	49	147	245	343

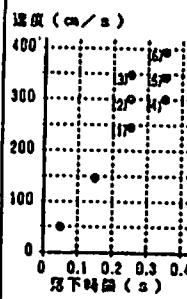
13



距離と時間との関係について
等加速度運動の距離 s は
 $s = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t$
の式で求められる。
自由落下運動では、初速度 v_0 は
0なので、 $s = \frac{1}{2}gt^2$ となる。
さらに、 $s = y$ 、 $a = g$
と代入すると、
 $y = \frac{1}{2}gt^2$ となる。



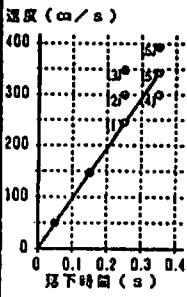
14



$v-t$ グラフの作図について
0.3秒後の点を図中(i)～(iii)の中から
選べ。また、0.4秒後の点を図中(i)～
(iv)の中から選べ。
0.3秒後 0.4秒後

時間 (s)	0.05	0.15	0.25	0.35
速度 (cm/s)	49	147	245	343

15



速度と時間との関係について
等加速度運動の速度 v は
 $v = v_0 + at$
の式で求められる。
自由落下運動では、初速度 v_0 は
0なので、 $v = gt$ となる。
さらに、 $a = g$ を代入すると、
上式は $v = gt$ となる。



(終了)

以上で自由落下運動の学習を終わります。
自由落下運動の内容をよくまとめておいて下さい。
また、不明なところは先生に聞いてよく理解
するようにして下さい。

「わかる物理の授業」への取組み

樋口泰久

1. はじめに

本校生の学力については、高校入試の結果が63年度の理科の平均点で46.3点であった。教科書（数研出版、最新物理）が大体理解できる程度である。本校の教育課程は、2年生で理科1科目（4単位）必修選択、3年生で理系を希望する生徒には理科1科目（4単位）選択、更に問題演習（3単位）の時間が多くの教科にわたって用意され、その中から1科目選択するようになっている。以下、私が物理の授業で取組んできたことを紹介する。

2. 年間授業進度表の生徒への提示

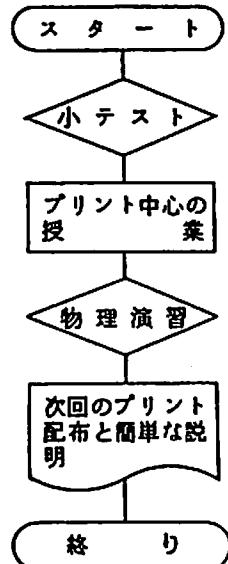
まず、年度頭初に授業進度表（参考資料1）を生徒に渡した。4単位で効率良く授業を進めるには、教材の精選と同時に、計画に合せて授業の進度にアクセントをつけていく事も必要である。授業はあくまでも「教師と生徒の共同作業」である。年間授業進度表を生徒に提示して一時間一時間の授業の大切さに気付かせ、生徒が予習をして授業に臨むように指導する。教師がこのように授業をけん引していくことによって、スムーズな予定の消化が可能になる。実際に、この進度表は夏休みあとと冬休みあとに修正して、生徒に示した。教科書の最後の「原子」分野を多少急いだが、何とか4単位で教科書を終了できたのは、この年間授業進度表のお蔭だと思う。私の手許の進度表を実際の授業の進度状況を記入しているので、年度末にこのくらい違いを検討して、年間の授業の流れを無理・無駄のないものに改善していきたい。

3. 授業の進め方

プリント学習を中心とした一斉授業の形態で行った。①まず小テストで前時の授業の定着度合をみる。②次にプリントを中心とした本時の授業に入る。これはプリントを予習して授業に臨むことを前提にしており、予習をしていない者には後ろ

に立たせる等のペナルティを課す。プリント学習の方法は(i)授業内容の説明をしながら、プリントの空欄を生徒に指名させて答えさせる。(ii)練習問題を黒板で答えさせる等である。③授業のポイントの理解を「物理演習（参考資料5）」と題した、小テストと類似の形式の別刷り演習で深めさせる。

④最後に次のプリントを配布し、時間ががあれば、そのプリントで何を学習したいのか、その目的と内容の概略を説明して終りにする。



4. プリント学習について

(1) ねらい

このプリントを使うねらいは大きく2つあった。1つは予習の定着化をはかるために、穴埋め形式で内容を平易に説明して「予習すべき学習内容」をプリントの形で明確にし、予習に取り組み易くしたことである。

もう1つは4単位の少ない授業時数で教科書を消化するために、板書する時間を節約するように、プリントをノート代りにしたことである。

(2) プリントの内容

プリントは教科書をベースにして、物理法則の説明をサブノート形式にし、式の導出は途中の過程も詳しくふれ、穴埋め又は二者択一の所を多く作って予習し易くした。

また「設問」と称して、その学習項目の中心課題について物理的考察を加えさせたり、例題・練

習問題を教科書以外に追加した。(参考資料2)

1時間の授業に対して、プリントの分量はB4版で1~1.5枚であった。このプリントでは、数値計算による物理現象のイメージ作りを数個所試みているのが特色である。例えば「気体の分子運動論」「ドップラー効果」「薄膜の干渉」「電界の強さ」「オームの法則の意味」等々。マイコンによるシミュレーションは物理学習に於て勿論非常に価値のあることである。しかし、それとともに、高校生レベルでは自分の手で簡単な数値計算によって、一種のシミュレーション的に物理法則のイメージを作り、数字を駆使して具体的に理解することも、学習上有益なことと思う。実際、これらの教材について文字計算だけで説明してきた従来の授業よりも、生徒の理解度は良くなっている。

(3) プリントの分量

プリントを1年間でB5版にしてNo.314まで作った。以下、各項目毎のプリントの分量を示す。

第1編 力と運動

第1章 物体の運動 No.1~

第2章 運動の法則 ~No.8

第3章 運動量の保存 No.9~No.23

第4章 仕事と力学的エネルギー No.24~No.37

第5章 いろいろな運動 No.38~No.72

第6章 熱と気体分子の運動 No.73~No.99

第2編 波 動

第1章 波の性質 No.100~ No.126

第2章 音 波 No.127~ No.145

第3章 光 波 No.146~ No.165

第3編 電気と磁気

第1章 電 界 No.166~ No.207

第2章 電 流 No.208~ No.234

第3章 電流と磁界 No.235~ No.255

第4章 電磁誘導と交流 No.256~ No.285

第4編 原 子

第1章 電子と光 No.286~ No.298

第2章 原子と原子核 No.299~ No.314

5. プリントによる授業—「ドップラー効果」—の展開例

参考資料2・3は昨年9月16日に実施した「ドップラー効果」のプリントである。このプリントによる授業の展開を次に示す。

(1) 身近な物理現象を具体的に例示する -

まずドップラー効果の顕著な例を「踏切を通過する前後の汽車の警笛の音の変化、それ違うときの救急車のサイレン音の高さの変化」等で説明する。次に、ブザーが内蔵されている「ドッペラーボール」を教室内で実際にブザーを鳴らしながら投げて、ドップラー効果を体験させて、イメージを作る。

(2) 本時の授業の目的を示す - このドップラー効果のプリントでは「問」の形で「どういう物理現象をどのような形で数量的に解析したいのか」その単元の学習目的を示している。またヤングの実験では「光の干渉によって、スクリーン上のどの位置($\overline{OP} = X$)に明線ができる、暗線ができるか。光の波長(λ)と X の関係式を求めたい。」等の形で目的を示すこともある。この「授業の目的を生徒に事前に明確にしてから、授業を展開していくこと」は非常に大切なことだと私は思っている。物理に興味のある生徒には「只、受身的に授業を教わる」のではなくて、授業の具体的な目標を明示されることによって、予習の段階で「自分が発見者の立場になって、思索・実験を模索・追求・展開していくこと」が可能になる。その過程で真理探究の喜びを経験できることを願っている。物理は暗記科目でもなければ、盲目的に事実としてうのみ学習する科目でもない。受験体制下で、その様な形態で学習が展開されているところに、生徒が物理の興味を喪失する一因があると思う。物理はあくまでも人間が、自然現象を支配している法則性を、数量的に読みとる学問であり、それは大学の研究生活が始まってからスタートするのではなくて、もっと初步的な段階から訓練していくことが、物理の興味付け、そして高度な段階での真理探究能力の養成につながる、と私は思っている。

(3) プリントにより具体的に授業を展開する

(i)まず、何を直接に観測するかを明らかにする

「わかる物理授業」への取組み

- ここでは「振動数 f (Hz) の音が聞こえるとはどういうことか」を、観測者の耳許を通過する「音波の数」について図を使いながら説明する。

(ii) 主題の物理現象を取扱い易い数字を用いて考察する — 音速を $V = 100$ (m/s) 音波の振動数を $f = 10$ (Hz), 音源の速さを $U_s = 20$ (m/s) と仮定して計算する。

音源が観測者に近づく場合の波長の変化について、音源が静止している場合と観測者に近づく場合の両方について比較しながら、第1の波と第2の波の間隔(これが観測される波長になる)に注目して考察する。 $f = 10$ (Hz)だから

1 周期の間に波が進む距離

$$\frac{V}{f} = \frac{100}{10} = 10 \text{ (m)}$$

1 周期の間に音源が進む距離

$$\frac{U_s}{f} = \frac{20}{10} = 2 \text{ (m)}$$

(観測される波長 λ') = (1 周期の間に音波自体が進む距離 10 [m]) - (1 周期の間に音源が進む距離 2 [m]) ので

観測される波長は λ' は

$$\lambda' = 10 - 2 = 8 \text{ (m)} \text{ となる。}$$

(iii) 主題を数値計算から抽象化(文字化)、そして一般化へ - 次に、これらの数字を対応する文字に置き替えて、公式化している。

$$\begin{aligned} 100 \text{ (m/s)} &\rightarrow V \text{ (音速)} \\ 10 \text{ (Hz)} &\rightarrow f \text{ ([Hz], 音源の振動数)} \\ 20 \text{ (m/s)} &\rightarrow U_s \text{ (音源の移動速度)} \\ \lambda' = 10 - 2 &= \frac{100}{10} - \frac{20}{10} = \frac{V}{f} - \frac{U_s}{f} \\ &= \frac{V - U_s}{f} \end{aligned}$$

(1 秒間の) 観測者が受ける振動数 f' は

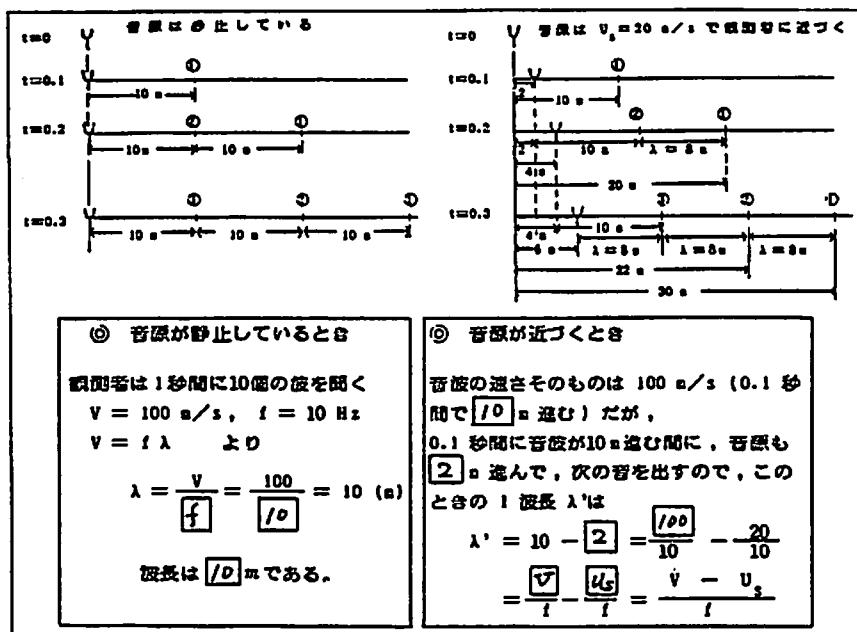
$$\frac{(1 \text{ 秒間の}) \text{ 観測される波の長さ}}{(その観測される 1 波長の長さ } \lambda')$$

で求められる。

$$f' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{f}{V - U_s} \times V = f \times \frac{V}{V - U_s}$$

下にプリントの該当部分を掲げる。

この授業ではプリントの図を更に模造紙に描いて説明に使った。この例のように、私の授業では具体的な数字で物理現象を分析し、それをイメージ化して、更にそれを文字に置き替えて一般化する、という指導法を用いている。



(iv) 問題演習による、学習事項の修得

今迄の「説明」に統いて、「例題」「練習問題」で学習内容の理解の深化と定着化をはかっている。

6. プリント学習の成果と反省点

プリント授業を続けて4カ月程経過すると、殆どの生徒が予習してくるようになった。準備の都合上その授業時間に次回のプリントを配布できないときは、H R 担任にお願いして帰りのS H R で渡してもらったが、まるで飢えた動物がエサに群がるように、プリントを取りに集って来ていた。

プリントのファイルの方法等については特に細かく指導しなかったが、生徒は各自工夫していた。しかし、プリントの保管状態も点検すると、生徒の意識も変わり、良い方向につながるものと思われる。

7. 小テスト

(1) ねらい

この小テスト(参考資料4)のねらいは勿論、授業内容の定着化にある。また、座席の列毎に輪番制で生徒に採点させている。これは他の生徒の答案から、自分にないものを学びとつてももらうことも、狙っているのである。

(2) 方 法

授業の導入段階で行なう。大体、チャイムが鳴る前に入室し、①チャイムと同時に問題を配付する。解答時間は4~6分程度。②この間に前回の答案を列毎に先頭の生徒に返却し ③その日の採点当番に得点記入欄(参考資料5)を渡す。更に④机間巡回をして、個々の生徒の誤りを指摘したり、正解できた生徒には「あっている。よろしい」等と、激励したりする。頃合いを見計らって⑤「止め、後ろから集めなさい」の合図。同時に、⑥同じ問題用紙に解答を記入したものを配布する。これは小テストの返却は次回の授業のときになるので、記憶が新鮮なその日のうちに復習できるように配慮したことである。

今年度の試みとして、全く理解していない生徒については ⑦教卓に呼んで、注意・激励しながら答案を返却したり、人数が少ないとときは小テ

ストの最中に該当の生徒に注意している。また、0点が連続する生徒に対しては、個別に呼んで指導することもある。⑧生徒が採点した小テストを職員室に持参する。このとき、激励の言葉をかけたりする。

⑨答案をチェックし、検印を押し、全問正解には合(2点)、半分以上正解には△(1点)をつける。⑩次回の授業で返却する。結果は10回毎に集計し、得点を累積していく。席替のあったときは、学習係に得点集計票の組替えの作業を手伝ってもらいう。小テストは4単位で年間に107回行った。

(3) 「物理演習」と「小テスト」のタイアップ

-「授業内容の理解の深化」と「小テストを効果的なものにするために」-

主旨、物理の授業のヤマは1時間に1つである。このヤマを理解させるために「物理演習」と称して、小テストと同じB6版の大きさに、小テストと区別する意味で上質紙に授業内容の理解を促す問題を印刷する。公式をまとめて、暗記されることもある。授業の説明の中で「こここの所は大切だから、このプリントでもう一度やってみよう」と、用紙を示しながら、注意を喚起し、説明する。統いて「物理演習」をまとめの形で実施する。このときは、プリント・教科書等を見てもよい。

「今、この場で、すぐに理解してしまう」とを強調する。授業中ボヤッとしないように、また受け身一方ではなくて、生徒に積極的に考えさせるためにである。次回の小テストは、この「物理演習」の類似問題を出すことを強調する。時間がないときは、これを配布するだけのこともある。

生徒にとって、復習すべきポイントを明示することによって家庭学習の内容を明らかにすることも、自学自習の初步の段階では、有効なようだ。特に、小テストで定着化が確かめられたら、小さい乍らも成就感も経験できる。このサイクルを繰り返して、家庭学習を定着化する。

(4) 成果と反省点

小テストは毎時間必ず行なうようにしている。小テストの問題が作り難くとも、毎回必ず実施するように努めた。生徒が家庭学習しても、小テ

「わかる物理授業」への取組み

ストがなくて、自分の努力が報われない、ことのないようにする事が大切だ。生徒の家庭学習の努力の姿勢は、教師の努力する姿勢にも因るところがあると思う。

これが「物理演習」と連動すると、生徒にとって復習のポイントが明確になってくるので、殆どの生徒が復習するようになった。これは準備に多少時間がかかるが、「物理演習」と「小テスト」を併せて作ってしまうことがコツである。生徒からも好評であった。

6. 定期考査の「やり直しレポート」提出

(1) ねらい

私は生徒に、例え試験後であっても、自分の理解不足の内容を確認し、補なうことによって必ず「全部できる」状態を経験し、自信を持たせたいと、願っている。また、ケアレスミスについても、客観的に自己分析し、同じような間違いをしないように、具体的に自分で対策を立てられるようになって欲しい、と思っている。

(2) 方 法

答案返却時における解答は略解だけにして、自分で正解を研究させる。但し、難かしい問題については必要に応じて解説を加える。答案返却と同時に「やり直し」の用紙（参考資料7）を配布し、3～4日後を提出期限にする。場合によっては、答案返却後の空き時間を、この作業に使わせることもあった。内容は資料7の通りであるが、正解を書くだけではなくて「自己分析」の欄に、間違った理由を言葉で説明することを強調した。自分を客観点に見つめて、表現する能力は大切であるし、この訓練が物理のみならず、総合的な分析・表現能力を養うことになる、と考えたからである。又、その定期考査のために準備した内容と分量（学習時間）、及び答案の結果を見て、今後の対策として考えられること（勉強方法や勉強内容）を述べさせた。

私は、「やり直し」の解答を確認し、合っているときは○をつける。中には、やり直しても間違っている場合もある。自己分析、その他の欄に対して、コメントや激励のことばを記入し、返却す

る。生徒も慣れてくると、自己分析が具体的で文章表現も豊かにできるようになってきた。

- 教師が「やり直し」を継続できるコツは「その日の分を、その日のうちに点検

してしまうこと」 -

これは結局、採点を二度行なうようなもので、手間がかかるが、それ以上に成果がでてくるものと、私は思っている。学期末の忙がしい時期に手際よく消化するコツは、クラス全員の分が揃つてから点検するのではなくて、その日に集まつたものをその日のうちに点検して、翌日に返却してしまうことである。私は生徒に「提出期限は提出しなければならない最終日だ。提出期限よりいくら早く提出してもよい。早く提出したら、その事は忘れて、別の事に熱中できる」と話している。生徒に早く提出させ、教師がそれに応じて早く点検して、早く返却することによって、提出期限を守る習慣は自然に身についてくるようだ。提出物の遅い生徒にも無言の教育になっている。

(3) 成 果

この「やり直し」は生徒には好評であった。これを継続していくことによって、教科に関する生徒とのラポートができた。生徒の学習意欲も高くなり、極端に得点の低い学習意欲の喪失した生徒はいなくなった。また、生徒は教師のコメントを楽しみにしていたようだ。

7. 全体を振り返って

受験を大前提にしての一斉授業の中で、個々の生徒の個性を伸ばすことは仲々難しい。個性を伸ばす一方法として、一人一人の生徒との接触を多くもつことが考えられる。手間はかかるが、これらの過程を通して、物理の学習に興味を示した生徒が現われたことで、ある程度成果は上がったものと考えたい。

第2学年 物理 年間授業計画 昭和62年度

No.1

第Ⅰ編 力と運動 I 物体の運動(2)		試験	4/9	
	4. 重力による運動	E. 斜方投射 例3. F. 斜方投射と	4/11 4/15	※①
II 運動の法則(1)		演習問題 A	4/16	※②
III 運動量の保存(7)	1. 運動量と力積(2)		4/17 4/18	
	2. 運動量の保存(5)	A , B C 斜めの衝突 D はねかえりの係数 問題演習, 床	4/23 4/24 4/25 4/30 5/1	
IV 仕事と力学的 エネルギー	3. 位置エネルギー	B	5/2	※③
	4. 力学的エネルギー		5/6	
V いろいろな運動 (14)	1. 等速円運動(3)	A , B C D	5/7 5/8 5/9	
	2. 惯性の力(2)		5/13 5/14	
	3. 单振動(5)	A B , C D E 問題演習	5/15 5/16 5/22 5/23 5/27	中間 5/21返
	4. 万有引力(4)		5/28 5/29 5/30 万有引力による位置工	
			6/3	
VI 熱と気体分子 の運動(10)	3. 気体の法則(3)	A , B C , D E	6/4 6/5 6/6	※④

※ ① P.8 ~ P.22(D.速度の分解まで) は理科 I の復習なので自分で調べること

※ ② P.25 ~ P.37 は理科 I の復習なので自分で調べること。

※ ③ P.49 ~ P.56 は理科 I の復習なので自分で調べること。

5/21 中間テスト答案返却

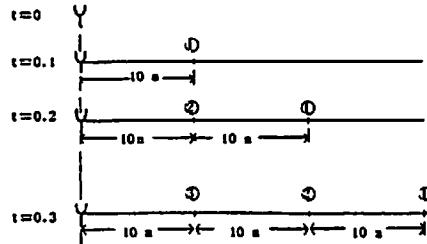
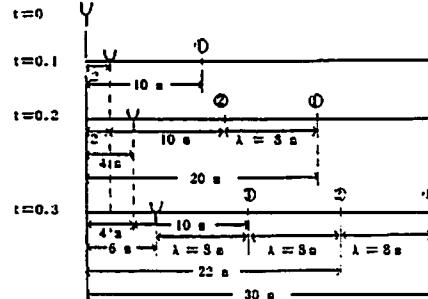
※ ④ P.83 ~ P.86 は理科 I の復習なので自分で調べること。

参考資料 1

(1) 音源が近づくとき (……波長は変化する, しない)

 $V = 100 \text{ m/s}$, $f = 10 \text{ Hz}$ の音波について、音源が $U_s = 20 \text{ m/s}$ で近づく場合について波長の変化を調べる。

音源は静止している

音源は $U_s = 20 \text{ m/s}$ で観測者に近づく

(1) 音源が静止しているとき

観測者は 1 秒間に 10 個の波を聞く

$$V = 100 \text{ m/s}, f = 10 \text{ Hz}$$

$$V = f \lambda \quad \text{より}$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{100}{10} = 10 \text{ (m)}$$

波長は 10 m である。

(2) 音源が近づくとき

音波の速さそのものは 100 m/s (0.1 秒間で 10 m 進む) だが、0.1 秒間に音波が 10 m 進む間に、音源も 2 m 進んで、次の音を出すので、このときの 1 波長 λ' は

$$\lambda' = 10 - 2 = \frac{100}{10} - \frac{20}{10} = \frac{V}{f} - \frac{U_s}{f} = \frac{V - U_s}{f}$$

以上より、観測者が聞く波の波長 (λ') は

$$\lambda' = \frac{V - U_s}{f}$$

上図の (1) の波は $t = 0.3$ 秒後には両方とも 30 m 進んでいることからもわかるように、音源が静止しているときも、動いているときも波の速さは V なので、1 秒間に観測者の耳もとを通過する波の長さは

$$x = V t = V \times 1 = V$$

となる。1 秒間に観測者が聞く波の数 (振動数) f' は、波の長さ () を波長 λ' で割って $f' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{f}{V - U_s} \times V = f \times \frac{V}{V - U_s}$

となる。

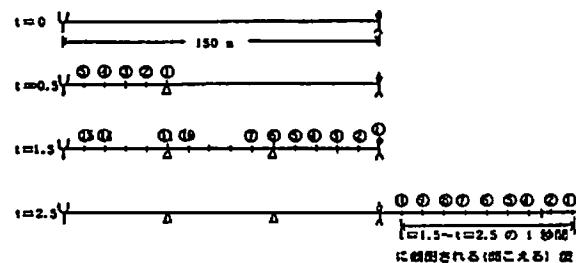
ドップラー効果……[音源と観測者が近づいているとき — 音が高く聞こえる
リ 遠ざかっているとき — 音が低く聞こえる]これらのように、音源と観測者が相対運動しているときは、音源の振動数と (同じ) 频率に観測される。この現象を **ドップラー効果** という。目的 (問) 振動数 630 Hz の発音体が静止している。これが観測者に 34 m/s の速さで近づく場合、観測者には何 Hz の音として聞こえるか。但し、空気中の音速を 340 m/s とする

ドップラー効果 理解のポイント

- ① 音波の伝わる速さ (V) は、音源の移動速度に関係しない。
- ② 1 (Hz) の音波を出す音源は——(1) その音源の移動速度に無関係に 1 秒間に f 回の振動を行なっており、(2) 1 秒間に f 個の波を外に送り出している。

(3) (音源・観測者共に動き止しているとき) f [Hz] の音が聞こえるということは——1 秒間に f 個の波が観測者の耳もとを通過することである例 音速 $V = 100 \text{ m/s}$, $f = 10 \text{ Hz}$ の波について考える

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10} = 0.1 \text{ (s)}, \lambda = \frac{V}{f} = \frac{100}{10} = 10 \text{ (m)} \text{ より}$$

0.1 秒間に 10 m の波長の波が 1 個、波源から発生して、 100 m/s の速さ (0.1 秒間に 10 m の速さ) で右に進む。下図のような設定のとき、波が発生してから 1.5 秒後から観測者は音が聞こえだして、 $t = 1.5 \sim t = 2.5$ (秒) の 1 秒間に 10 個 ($f = 10 \text{ Hz}$) の波が観測者の耳もとを通過する → 1 秒間に 10 個の波が聞こえる

(2) 求める振動数 f' は

$$f' = f \times \frac{v}{v - u_s} = 400 \times \frac{340}{340 - 20} = 425 \text{ (Hz)}$$

(1) の別解 —— (2) を先に求めて $v = f \lambda = f' \lambda'$ より

$$\lambda' = \frac{v}{f'} \quad \text{から求めることもできる。}$$

$$\lambda' = \frac{340}{425} = 0.8 \text{ (m)}$$

(注) ドップラー効果の公式は、統一公式があるので、この統一公式を音源が観測者に近づく場合に直して、使う。

問 2. 振動数 630 Hz の発音体が静止している。これが観測者に $u_s = 34 \text{ m/s}$ の速さで近づく場合について、音速を 340 m/s として、

(1) 音の波長は何 m になるか。

$$\lambda' = \frac{340 - 34}{630} = \frac{306}{630} = 0.486 \doteq 0.49 \text{ (m)}$$

(2) 観測者には何 Hz の音として聞えるか。

$$f' = f \cdot \frac{v}{v - u_s} = 630 \times \frac{340}{340 - 34} = 630 \times \frac{340}{306} = 700 \text{ (Hz)}$$

問 3. 振動数 500 Hz の音源 S と、観測者 O がある。音速を 340 m/s として、S が速さ 20 m/s で、静止している O に向かってまっすぐに近づいているとき、

(1) O が観測する波の波長はいくらか。

$$\lambda' = \frac{340 - 20}{500} = \frac{320}{500} = 0.64 \text{ (m)}$$

(2) O が観測する振動数を求めよ。

$$f' = f \times \frac{v}{v - u_s} = 500 \times \frac{340}{340 - 20} = 500 \times \frac{340}{320} \\ = 511.25 \doteq 511 \text{ (Hz)}$$

問 2. (1) 0.49 m (2) 700 Hz 問 3 (1) 0.64 m (2) 511 Hz

$$f' = f \times \frac{v}{v - u_s} \quad \cdots \text{(*)}$$

… 1 秒間に波長の短かい波 (λ') を f' 個聞くことになる。

(注意) 音源が動かないとき … $v = f \lambda$ 、音源が動くとき … $v = f' \lambda'$ 、
 λ' が λ より小さい $\rightarrow v$ は同じなので、次の波が [短かい、長い] 時間で聞こえる。 $(T$ が小さくなる $\rightarrow f'$ が [少なく、多く] なる)

③ 別法 —— 1 秒間で考慮する

・ 1 秒間に音源は f 個の波を作る \rightarrow 1 秒間に観測者は f' 個の波を観測する
 (波長が変化する \rightarrow 振動数も変化する)

・ S で発した波は 1 秒後に A に到達している \rightarrow このとき、音源は S' に迫っている $\rightarrow S' A$ 間に f' 個の詰った(波長 λ') 波がある。

$$v - u_s = f \cdot \lambda' \quad , \lambda' = \frac{v - u_s}{f} \quad \cdots \text{(1)}$$

一方、音源が静止しているときは $v = f \lambda$ の式が成立するが、音源が動いているときも、音波の伝わる速さは同じ (v) である。このとき、波長は変る (λ') が、振動数も変り (f') $v = f' \lambda'$ の式が成立する。

$$v = f' \cdot \lambda' \quad \text{より} \quad \lambda' = \frac{v}{f'} \quad \cdots \cdots \text{(2)}$$

$$(1), (2) \text{ より} \quad \frac{v}{f'} = \frac{v - u_s}{f} \quad , \quad f' = f \times \frac{v}{v - u_s} \quad \cdots \text{(*)}$$

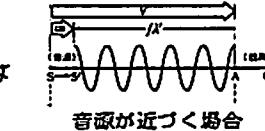
問 1. 静止している観測者に音源が近づくとき、音は高く聞こえるか低く聞こえるか。(※) 式

を数学的に解釈して答えよ。

$$\frac{v}{v - u_s} \text{ は } 1 \text{ より大きくなるので } f \times \frac{v}{v - u_s} \text{ は}$$

元の振動数 f より大きくなる \therefore 高く聞こえる

S'A (=v-u_s) の時に / 音の速さが含まれ
から、音源の前方の速度はなくなる



音源が近づく場合

例 1. 自動車が振動数 400 Hz の警笛を鳴らしながら道路端に立っている人に時速 72 km/h の速さで近づいた。このとき、次の間に答えよ。但し、音速は 340 m/s とする。

(1) 車の前方での音の波長はいくらか。

(2) この人の聞く音の振動数はいくらか。



〔解〕

(1) $72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$, 求める波長 λ' は

$$\lambda' = \frac{v - u_s}{f} = \frac{340 - 20}{400} = \frac{320}{400} = 0.8 \text{ (m)}$$

物理演習 57

2年()組 氏名 _____

問 振動数 500 Hz の発音体がある。これが観測者に $u_s = 40 \text{ m/s}$ の速さで近づくとき、音速を 340 m/s として、

(1) 音の波長は何 m になるか。

$$\text{式 } \lambda = \frac{v}{f} \text{ より } \lambda' = \frac{v - u_s}{f}$$

$$\lambda' = \frac{340 - 40}{500} = \frac{300}{500} = 0.6$$

答 0.6m

(2) 観測者には何 Hz の音として聞こえるか。

$$\text{式 } v = f' \lambda' \text{ より } f' = \frac{v}{\lambda'} = f \times \frac{v}{v - u_s} \text{ より}$$

$$f' = 500 \times \frac{340}{340 - 40} = 500 \times \frac{340}{300}$$

= 567

答 567 Hz

解

物理小テスト No.57 2年()組 氏名 _____

問 振動数 840 Hz の発音体が静止している。これが観測者に $u_s = 60 \text{ (m/s)}$ の速さで近づく場合、観測者に何 Hz の音として聞こえるか。但し、空気中の音速を 340 m/s とする

$$\text{式 } f' = f \times \frac{v}{v - u_s} = 840 \times \frac{340}{340 - 60} = 840 \times \frac{340}{280} \\ = 1,020 \text{ (Hz)}$$

答 1,020 Hz

小テスト得点記入累積 (1)和(2)用

No. 4

氏名 学年	列番号(1)	(2点)			(1点)			△ 半分以上正解			× 半分以下		
		○	△	平	△	○	△	□	○	△	○	△	×
10 1	2 1.2	△	△	△	○	○	△	○	△	△	○	△	×
11 3	2 1.7	○	○	△	△	△	○	△	△	△	○	△	×
11 4	2 1.8	○	○	○	○	○	X	X	X	X	X	X	×
12 1	3 1.3	X	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12 2	3 1.6	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12 3	3 1.7	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12 4	3 1.9	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13 4	2 1.0	X	X	○	○	○	○	○	X	X	X	X	×

※ 燃料器の燃耗率に◎をつけること。

-126-

参考演習 6

(1) 正解	(2) 正解	(3) 正解	(4) 正解	(5) 正解	(6) 正解	(7) 正解	(8) 正解	(9) 正解	(10) 正解	(11) 正解	(12) 正解	(13) 正解	
正解	正解	正解	正解	正解									
正解	正解	正解	正解	正解									
正解	正解	正解	正解	正解									
正解	正解	正解	正解	正解									

＜表計算言語 Super Calc3 を用いた＞

コンピュータによる実験データ処理

坂 田 義 成

はじめに

コンピュータはそもそも情報処理のために開発された機械である。従って、実験データを処理するなどという作業はコンピュータにとって一番得意なはずである。生徒が実験をして得られたデータをグラフにして表わすといった作業などは最もコンピュータ化し易いもの一つであろう。ところが、この作業を行なわせるプログラムを BASIC を使って作ろうとするとかなり骨がおれるのが実態である。というのは、生徒が実験で得るデータの大きさは実験をした班によってかなりの差があり、班によって座標軸の目盛りの最大値を調節してやらないと見易いグラフにならないからである。もちろん、プログラミングの労をいとわなければ、BASIC でもそれは充分可能であろう。しかし、いつも多忙な現場の教師にとって、自己の力のすべてをプログラミングにかけることは、したくてもできない相談なのである。

そこで、BASIC 以外の言語でもっと簡単にグラフ書きのプログラムが作れないかと考え、手持ちの表計算言語 Super Calc3 を使ってみた。

(ハードは FM-16β)

Super Calc3 では、ほとんどの初期設定がグラフコマンドのオプションで指定できるため、データのセル範囲を指定するだけで、円、棒、積層、折れ線、高低、X-Y、エリアの 7 つの形式のグラフを容易に得ることができる。さらに、目盛りの自動調節機能のおかげで、いつでも最適なサイズのグラフを描かせることができる。また、プリントに出力させる時は、グラフの大きさを自由に指定できるばかりでなく、縦横の比率をも自由に設定することができる。

今回、運動の第二法則の実験のグラフ書きにこ

※札幌山の手養護学校高等部

の表計算言語 Super Calc3 を用いてみたところ、一部限界はあるものの、かなりポテンシャルの高いプログラムを短い時間で非常に簡単に作ることができた。実際に 1 年生の理科 I の授業で使ってみたところ、生徒たちはパソコンの操作はすぐに覚えてくれたし、楽しみながら、簡単にグラフを出力させていた。直線性が悪い場合でも、ちょっとコメントしてやると、すぐにデータを点検し、再入力して、グラフを出力し直し、直線性がよくなると大変感動した様子であった。

このプログラムの機能は、データを入力しそれをグラフに表わすだけのものであり、このプログラミングの手法は他のどのような実験のグラフ書きにも応用できると思われる所以ここに紹介する。

1. コンピュータによるデータ処理の必要性

私は今まで授業で運動の第二法則を導く場合は、必ず生徒実験から入るべきであると考えてきたが、この実験には非常に時間がかかり、週当たりの授業時数が少ない年（2 単位）などは、結論が出るまでに数週間も必要になるので、ほかの先生の授業時間を借りて実験を行なっていた。しかし、数学的能力の低い生徒の場合には、それでも実験の焦点がボケてしまい、ますます理解を困難にしている。

そこで、作業的なものにかかる時間をコンピュータにやらせてはどうかと考えた。しかし、なんでもかんでもコンピュータにやらせてしまうと、これはまた、物理として一番大事な思考の過程が失われてしまう事になるので、コンピュータにやらせるのは、純粹に作業的なもの、つまり、得られたデータから、2 变数の間の相関を表わすグラフを書かせることに限った。グラフの傾きから加

速度を求めるなどは、コンピュータ化せず、生徒に定規を持たせて求めさせている。

これにより、実質的に2~3時間は節約でき、短時間で結論が出るので焦点がボケなくてすむようになった。さらに、グラフの直線性が悪い場合にも、すぐやり直しが効くなど色々と都合の良いことが多い。

2. 実験の概要

この実験の内容は、大まかに分けて二つの部分からなる。第一の部分では、力学台車を引く力を $20\text{ gw} \sim 100\text{ gw}$ まで5通りに変化させ、力学台車の運動を記録タイマーで紙テープに記録する。(図-1)この紙テープに記録された打点を5つずつに区切り、その長さを定規ではかり、 $v-t$ 曲線を描く。

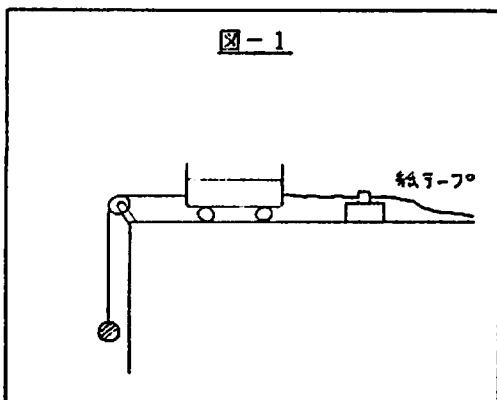


図-1

(図-2)[ここをコンピュータにやらせる]さらに、最適直線を引き、その傾きから加速度を算出する。

そして、引く力と加速度との関係をグラフに表わす。(図-3)[ここもコンピュータにやらせる]

実験の第二の部分では、引く力は一定(100 gw)にしておいて、力学台車の質量を $1\text{ kg} \sim 5\text{ kg}$ の5通りに変化させ、力学台車の運動を記録タイマーで紙テープに記録する。このあと $v-t$ 曲線をコンピュータに描かせることは前と同じである。

さらに、前と同様にそれぞれの加速度を求め、力学台車の質量と加速度の関係をグラフに表わす。(図-4)すると、反比例のようなグラフになる

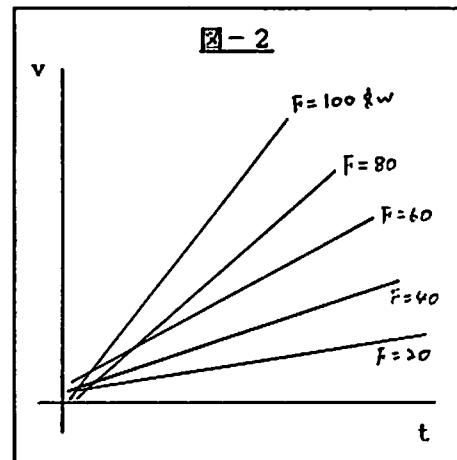


図-2

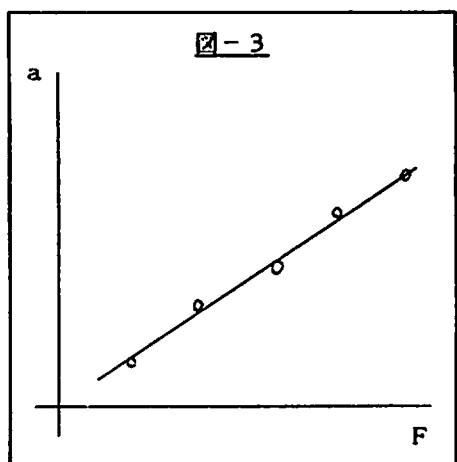


図-3

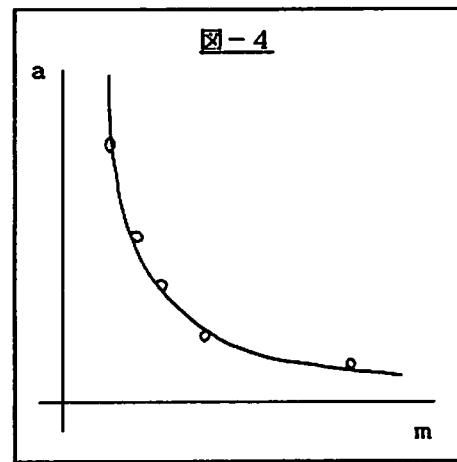


図-4

ので、今度は力学台車の質量の逆数と加速度の関係をグラフに表わすと、直線になることがわかる。(図-5)これらのグラフ書きもすべてコンピュータ化することは言うまでもない。

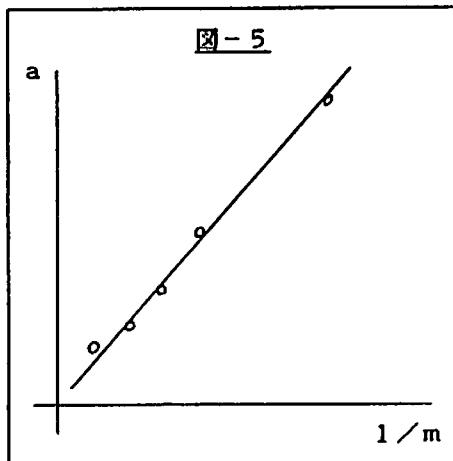


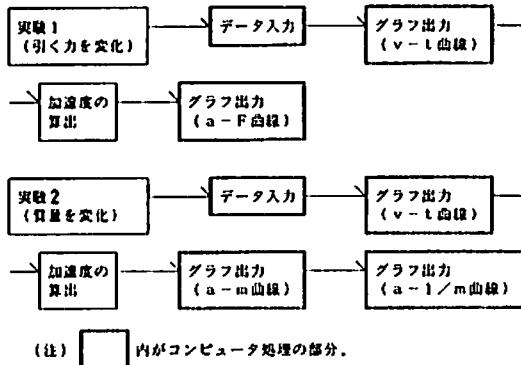
図1のような方法では、厳密には、おもりの重力と力学台車を引く力は等しくはない。しかし、力学台車の質量に比べおもりの質量が充分小さい場合には、この差は実験誤差の範囲内に入るので、あえて実験し易いこの方法をとった。(例 40g のおもりの場合、 $F = 38.5\text{gw}$ である)
ただし、第二法則を学んだ後の指導で、練習問題の形で、この点に触れ、間違いのないよう注意している。

3. データ処理

今回のデータ処理で用いたソフトは、Super Calc3(Release 2)で、超多目的な表計算統合ソフトウェアである。この表計算言語は、基本的なデータ処理がコマンド化されているのでBASICなどの高級言語に比べ、はるかに短い時間でプログラムを組むことができる。グラフ表示の機能も強力で、目盛りの自動調整機能のおかげで、いつでも最適なサイズのグラフが簡単に得られる。(本校では、すでにこの言語を用いて、図書管理システムが作られており、図書目録の作成、図書の検索、抽出、貸し出し業務などに利用されている)

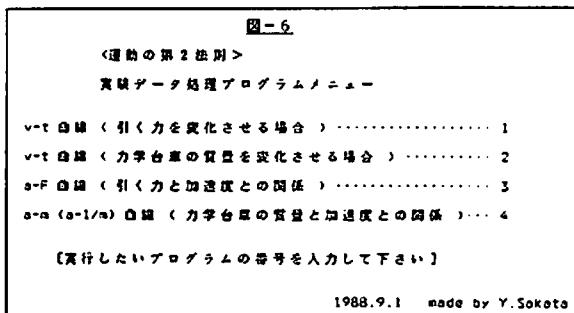
今回は、このソフトを用いて運動の第二法則の実験データをグラフ表示するプログラムを作った。以下に、データ処理の実際と作成したプログラムについて紹介する。

[1] データ処理の流れ



[2] データ処理の実際とグラフ表示

プログラムはオートスタートにしてあるので、コンピュータのドライブ0にSuper Calc3のシステムディスク、ドライブ1にプログラム兼データディスクを入れて、リセットすると次のようなメニュー画面が現われる。



(1) $v - t$ 曲線 (引く力を変化させる場合)

メニュー画面で「1」を選ぶとドライブ1からプログラムが呼び出され、次のような入力画面となる。

図-7 v-t 曲線 (引く力を変化させた時) (ただし n=1.0kg)					
引く力 時間	20gw	40gw	60gw	80gw	100gw
.05					
.15					
.25					
.35					
.45					
.55					
.65					
.75					
.85					
.95					

[カーソルを動かし、データを入力して下さい]
[データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

この表の中に紙テープに記録されたデータを記入していく。

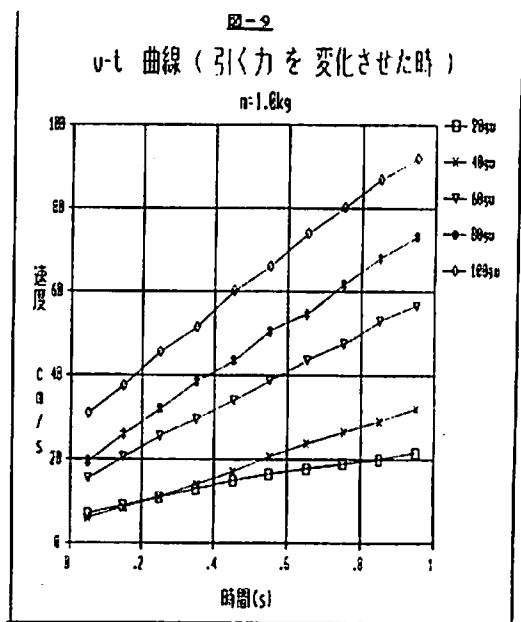
実測したデータ(1988.9.13測定)の記入例を以下に示す。

図-8 v-t 曲線 (引く力を変化させた時) (ただし n=1.0kg)					
引く力 時間	20gw	40gw	60gw	80gw	100gw
.05	.7	.6	1.55	1.95	3.1
.15	.9	.85	2.05	2.6	3.75
.25	1.1	1.1	2.55	3.2	4.56
.35	1.3	1.4	2.95	3.85	5.15
.45	1.5	1.7	3.4	4.35	6.02
.55	1.65	2.05	3.87	5.05	6.6
.65	1.78	2.38	4.36	5.46	7.4
.75	1.9	2.65	4.75	6.17	8.03
.85	2	2.9	5.29	6.8	8.7
.95	2.15	3.2	5.66	7.32	9.2

[カーソルを動かし、データを入力して下さい]
[データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

P F10を押すとv-t曲線がディスプレイにカラー表示される。また、プリンタで印字する場合はP F9を押す。処理が終了したら、/XSTと入力すると初めのメニュー画面に戻る。(その前に忘れずにデータを保存しておく)

図-8のデータ例の場合にはグラフは図-9のようになる。



生徒は自分たちのデータより得られたグラフの上に、最適直線を定規で引き、それよりそれぞれの場合の加速度を算出し、加速度データとする。

(2) a-F曲線(引く力と加速度との関係)

メニュー画面にて「3」を選択すると、図-10のような入力画面が現われる。

図-10
a-F 曲線
(引く力 F と生じる加速度 a との関係)

引く力(gw)	0	20	40	60	80	100
加速度						

[v-t 曲線より計算した加速度の値を上の表中に入力して下さい]
[ディスプレイにグラフを表示させる場合は P F10 を押す]
[プリンタにグラフを描かせる場合は P F9 を押す]
[データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

(1)で得られた加速度データを表中に入力する。
(例のデータの場合は次のようになる)

コンピュータによる実験データ処理

図-1.1

a-F 曲線 (引く力 F と 生じる加速度 a との関係)						
引く力 (kgw)	0	20	40	60	80	100
加速度	16.1	29.6	45.5	60.5	70.5	

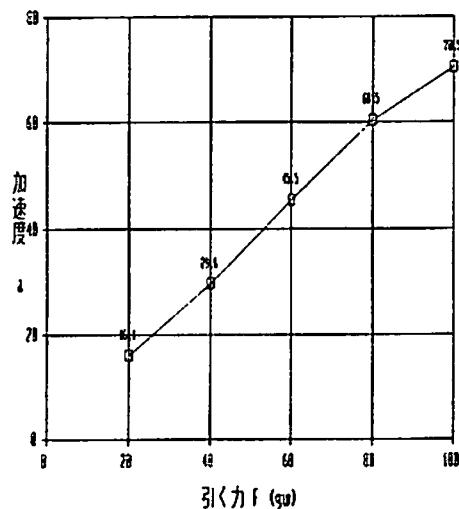
[v - t 曲線より計算した加速度の値を上の表に入力して下さい]
 [ディスプレイにグラフを表示させる場合は PF 10 を押す]
 [プリントにグラフを描かせる場合は PF 9 を押す]
 [データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

あとは、(1)の場合と全く同様にして、グラフを出力させることができる。

図-1.2

a-F 曲線

(引く力 F と 生じる加速度 a との関係)



※このグラフを解釈すると、力学台車に発生する加速度は、力学台車に作用した力に比例することになる。

(3) v - t 曲線 (力学台車の質量を変化させる場合)

図-6 のメニュー画面で「2」を選ぶとドライブ1からプログラムが呼び出され、次のような入力画面となる。

図-1.3

v - t 曲線 (力学台車の質量を変化させた時)
 (ただし、F=100kgw)

質量	1.0 kg	2.0 kg	3.0 kg	4.0 kg	5.0 kg
.05					
.15					
.25					
.35					
.45					
.55					
.65					
.75					
.85					
.95					

[カーソルを動かし、データを入力して下さい]
 [データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

この表の中に紙テープに記録されたデータを記入していく。

実測したデータの記入例を以下に示す。

図-1.4

v - t 曲線 (力学台車の質量を変化させた時)
 (ただし、F=100kgw)

質量	1.0 kg	2.0 kg	3.0 kg	4.0 kg	5.0 kg
.05	.9	1.15	.9	1	.75
.15	1.75	1.55	1.24	1.2	.94
.25	2.65	1.96	1.5	1.45	1.1
.35	3.54	2.4	1.82	1.7	1.28
.45	4.25	2.85	2.19	2	1.5
.55	5.1	3.35	2.65	2.28	1.69
.65	5.84	3.7	2.8	2.53	1.92
.75	6.65	4.2	3.24	2.75	2.15
.85	7.12	4.6	3.35	2.89	2.35
.95	8	4.91	3.8	3.2	2.5

[カーソルを動かし、データを入力して下さい]
 [データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

PF 10 を押すと v - t 曲線がディスプレイにカラー表示される。また、プリントで印字する場合は PF 9 を押す。処理が終了したら、/XST と入力すると最初のメニュー画面に戻る。(その前に、忘れずにデータを保存しておく)

図-14のデータ例の場合のグラフは次のようになる。

図-15
v-t 曲線(力学台車の質量を変化させた時)

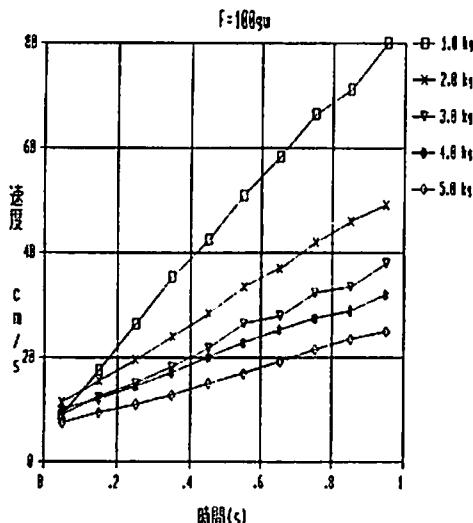


図-17
(力学台車の質量 m と、生じる加速度 a の関係)

質量 (kg)	0	1	2	3	4	5
加速度	85.8	44.1	32.1	25.8	19.7	

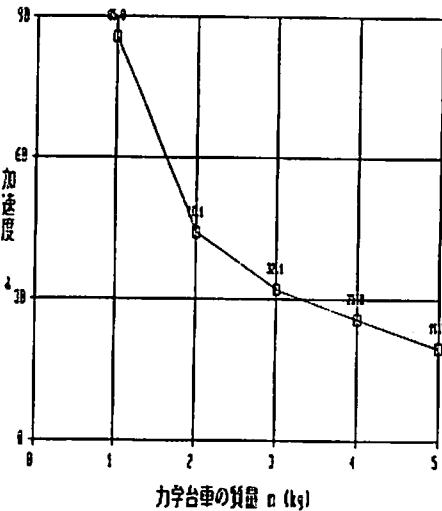
[v-t 曲線より計算した加速度の値を上の表中に入力して下さい]
 [a-m 曲線を西面に描く場合は /V1 と入力]
 [a-1/m 曲線を西面に描く場合は /V2 と入力]
 [さらにグラフをプリントする場合は PF10 を押す]
 [データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

あとは、(2)の場合と全く同様にして、グラフを出力させることができる。

例のデータの結果は図-18のようになる。

図-18

a-m 曲線
(力学台車の質量 m と、生じる加速度 a の関係)



このグラフはどう見ても直線ではない。どうも、反比例のグラフのように見える。

生徒は自分たちのデータより得られたグラフの上に、最適直線を定規で引き、それよりそれぞれの場合の加速度を計算し、加速度データとする。

(4) a-m (a-1/m) 曲線(力学台車の質量と加速度との関係)

メニュー画面にて「4」を選択すると、次のような入力画面が現われる。

図-16
a-m 曲線
(力学台車の質量 m と、生じる加速度 a の関係)

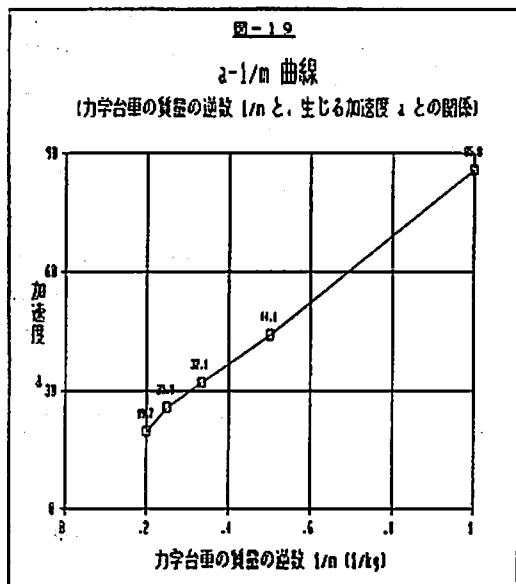
質量 (kg)	0	1	2	3	4	5
加速度	85.8	44.1	32.1	25.8	19.7	

[v-t 曲線より計算した加速度の値を上の表中に入力して下さい]
 [a-m 曲線を西面に描く場合は /V1 と入力]
 [a-1/m 曲線を西面に描く場合は /V2 と入力]
 [さらにグラフをプリントする場合は PF10 を押す]
 [データ処理がすべて終了したら /XST と入力]

(3)で得られた加速度データを表中に入力する。

(例のデータの場合は次のようになる)

そこで、 $/V, 2$ と入力すると、 $a=1/m$ 曲線が得られる。(図-19)



※ このグラフを解釈すると、力学台車に発生する加速度は、力学台車の質量に反比例するということになる。

※※ 以上、上の(2), (4)の※に記されたことが、本実験が目標としていた結論である。

後は理論的考察により、ニュートンの運動方程式 $F = ma$ を導くことができる。

■ ■ ■
ついー・るーむ

「支部から学んだ 小さい研修のすすめ」

道立理科教育センター 高柳 賢三

物理教育学会北海道支部の研究会は校種、学歴、経験などの差を度外視して自由闊達な発言ができ、かつ各自の思うこと・考えていることに共感を示し、豊かな発想を啓発してくれるところで、自然の泉を沢山保持し、内容の補完提供をしてくれる場でもあり、とても情報の収穫が多い。

入会して以来、私は学会北海道支部の研究会から「研修の大切さ」を学び、情報収集の場として利用させてもらっている。

研修とは、研究と修養を兼ねた造語で学問の真髄を深く調べ考え、困難に耐えそれを克服していく過程をさしていると思う。

学会では、いつも発表者は研究仲間へ話題提供という決して気負いのない、無理のない範囲で、小さな研修の一環を紹介する気持ちで述べられている点が勉強になります。しかし、研究会での研究発表の1つ1つは一朝一夕にしてできたものではなく、日頃の研究の積み重ねと苦労の過程を経て、発表物（論文）になっているものであり、この点に留意して聽こうと思うのである。

私は、他の研究会のことあるごとに「まとめ」を任されることがしばしばあり、その時々の機会をねらって、理科教育の動きや支部で得た情報にも触れるように努めている。そして最後に「これからのお研究会は各自が日常の小さな研修を積んでいるものをお気軽に話題提供のできる場にしたいのです」とお願いをしている。

幸いにも、自然科学は人やその生活に無縁ではなく、例えば一日のうちで、空を見、花を見、水や風の音、虫の声や動きを見ないで過ごすことは皆無であると同時に、自然には研究する対象が豊富に存在

しておりますので、他領域と比較して大層有利な状況にあるといつてもよいと思います。どうか、地方におられる会員の皆さんからの話題提供をお待ちしております。そして、今後とも支部会員の皆さんの研修の意欲を大切にした会の姿勢を継続してほしいと願っております。

「低学力化する 理系生徒への対応」

札幌稲北高校 高木伸雄

札幌市内の西端に位置する札幌稲北高校で、開校以来6年間、物理教育に携わって来ましたが、最近教科指導上難しい問題が出て来ている。それはひとり稲北高校だけのものではなく、他の学校にも共通する側面を持つと思われる所以述べてみたい。

本校では2年生から、かなり細分化されたコース制をとっている。現在は、文化、総合、理科、生活教養の4コースがある。理科コース選択者の多くは高校卒業後、理系の大学・短大等に進学を希望している。

1期生から3期生までは1学年10クラス中、2クラス分の理科コース選択者がいたが、4期生、5期生になって半減してしまい、1クラス分の選択者しかおらず、理科離れが進行している。しかも、理科コース生徒の学力の低下が著しく、基礎的計算力もかなり低い状態である。論理的に考えることを避けて通ろうとする傾向が深まって来ている。3年生では理科コースの生徒は物理か生物のどちらかを選択することになっていて、8割強の生徒が物理を選択しており、その状況は変わらないが、生徒の変化に対応して授業の内容は変えて行くことになる。かなり複雑な内容も百聞は一見に如かずで、実験をしたり、見たりすることによって理解することができる場合が多い。実験ではなくても実物を見ることもまた理解を助ける。従って、最近では特に実験・実習的な面を多く取り入れる様に心掛けている。

しかし、次の様な授業者を悩ませる問題も発生している。実験室の教卓の上で実験をして見せるとき、

従来であれば、全ての生徒が教卓の回りに群がり、見入っていたものである。ところがここ1、2年、その傾向が薄れ、教室の後ろでただぼんやりと他の生徒の背中を見ているだけの生徒が常に何人かいる状況になって来た。また、実験を熱心に見る生徒も、時とすると、手品を見る様な意識で参加しており、「何かもっとおもしろいものはないの」という反応を示し、より強い刺激を求める傾向にある。さらに現在は、学力によって輪切りにされた生徒が入学して来るため、学力のみならず、学習態度や行動様式もかなり等質化されており、その弊害がさまざま面に表われている。生徒実験においても、得意な者、自信のある者が中心になり、他の者が手助けするということが普通であろうが、誰も手を出したがらない、一人一人がやってなことをするという状況が表われている。生活様式の変化によって、身のまわりに物はあふれているが、理科学習の基礎をなすような、物をじっくり見る、物に触れるという点ではかえって経験が少なくなっている。

これらの現象(変化)に対して、どのように対応して行ったら良いのか難しい問題である。物理の授業では、ともすると、計算問題をたくさん解かせる等でお茶を濁してしまいがちであるが、実験も授業も、その内容において身近なものを取り入れ、より多くの現象に触れさせることを重視して行くことが大切になって来ていると考える。

.....

「物理教育を考える」

札幌平岡高等学校 鶴岡森昭

1986年4月から1988年3月迄の2年間筑波大学大学院教育研究科に派遣されて、長期研修を受ける機会に恵まれた。この研修派遣は私で6期目で、例年障害児教育専攻と教科教育専攻にそれぞれ1名ずつその機会が与えられている。

この研修期間中には、一回り以上も年齢の違う学生と一緒に机を並べ講義を聴いたり議論をしたりスポーツに汗を流し、生徒に対する諸々の指導に追わ

れる教育実践の場にあってはできない 時間にゆとりを持った心身のリフレッシュを経験することができた。その研修中の主要なねらいは、物理を中心として指導してきた自らの理科教科指導を省みることであった。2年目の修了時に提出した修士論文の『はじめに』に次のようなことを書き記した:「筆者の教育実践を顧みると、『理科嫌い・理科離れ』が不本意ながら進行する現状を肌で感じる一方、よく言われる『受験体制』にその問題の所在を一般化してしまうことに疑問を抱いてきたが、講じるべき具体的対策を見い出すことなく、生徒に対する諸々の指導に追われる日々を過ごしてきた実践活動であった。」

教育実践の場における『物理嫌い・物理離れ』は広井禎氏が1983年に「高校物理履習者の大きな減少」と題する「物理教育」への投稿でも明らかにしている通り、その現状は益々深刻さの度合いを強めてきているように思われる。彼は現行の学習指導要領実施直前の教科書需要数の推移と共通一次試験の全受験者数に対する理科各科目の選択者の割合の推移を基に、物理履修者・選択者の減少傾向を論じている(あと数年後に実施される予定の新学習指導要領に向けて、同様の分析結果に興味が持たれるが)。しかし、教育実践の場で日々生徒の指導に携わっている物理教師においては、このようなデータに依らなくても、その現状は肌で実感していることであろうと思われる。

昨年12月10日に北大工学部で開催された昭和63年度北海道支部研究会でも、その座談会の席上で『物理離れ』が話題に上り、議論されていた。この現状に対する対策をどのように立て、それをどのように実施していくべきなのかと言った点が今後の課題であることは言うまでもないことであると思われるが、その対策を見出すために幾つかの示唆的なことを述べさせて頂きたい。

『物理離れ』の理由に関する確かなデータは持ち合わせていないが、生徒にとって物理は「むずかしい」「とっつきにくい」「おもしろくない」といった印象が持たれていることが推測される。授業の中で実験・観察の実施、科学史の導入、自作のプリントの準備等々と言った工夫をしながら指導している

物理教師が大部分であると思われるが、現行の教科書の内容やその構成を調べてみて次のような改善すべき点に気づく：

- 1) 教科書は生徒向けの学習マニュアルである筈であるが、記述内容が難しい。写真や図表を多く挿入して見やすくしてはいるものの、高校進学率が90%を超えた現状を特に考慮しているのかどうか疑問を抱かせる記述・表現をしている教科書が見られる。つまり、生徒が学習内容を理解するのに要求される認知発達的な水準が高すぎるよう思われる。
- 2) 実験課題に多く見られるが、内容構成が余りに型にはまっていて、生徒に多様な創意工夫や発想を許容できるようになっていない。
- 3) 定量的取り扱いが多く、決まりきった数的処理をしなければならないように生徒に要求することが多い。内容項目によっては定性的取り扱いを主眼にすることがあってもいいのではないかと思われる。
- 4) 現行教科書の内容構成をみると、「力学」「運動」「電磁気」「原子物理」の配列順序になっているが、生徒の興味・関心の推移はこの様な配列の順序に従っていくようには思われない。科学雑誌やテレビの科学特集物等々に接する機会の多い最近の生徒の置かれた環境を考慮するならば、むしろ「原子物理」の領域を中心に構成し直し、展開する方法も考えられるのではないだろうか。この配列順序を変えた先行事例として、レベルは大学教養程度ではあるが、1979年度ノーベル物理学賞に輝いたSteven Weinbergの著作である
'THE DISCOVERY OF SUBATOMIC PARTICLES'（「電子と原子核の発見－20世紀物理学を築いた人々」（1986），本間三郎訳，日経サイエンス社）は興味深い。
さて、現実の「物理離れ」に対処する手段は、我々物理教師の日々の教育実践に依拠することは論を待たないことではあるが、その実践に際しては、前出の広井禎氏も述べている通り、「物理学の立場とともに、生徒の立場も充分に考慮した授業」の展開が特に望まれているように思われる。

昭和63年度 支部研究会報告

昭和63年12月10日（土）北海道大学工学部において上記定例研究会が開かれた。内容は、研究発表（原著講演）が、高校側から5件、大学側から2件の計7件で、非常な盛会となった。また、「高校と大学の物理教育を語る」と題して、座談会も行なわれ、実りの多い支部研究会であった。研究発表（原著講演）の内容については、それぞれの発表者の論文が本文に掲載されておりますのでご覧下さい。以下に概況を報告する。

1. 研究発表（原著講演）

(1) 弹性体球の衝突

北海道工業大学 三好 康雅

(2) イメージセンサを用いた減衰振動の自動測定

北海道工業大学 峰友典子

三好 康雅

(3) CAI教材開発の問題点と展望

石狩高校 北村 剛

(4) 新キャベンッシュ研究所の物理学史展示物について

札幌藻岩高校 山田 大隆

(5) 「わかる物理の授業」への取り組み

札幌西陵高校 橋口 泰久

(6) 表計算言語SuperCalc 3を用いたコンピュータによる実験データ処理

札幌市立山の手養護学校 坂田 義成

(7) 身近な素材で展開する物理の学習指導

苫小牧南高校 穂積 邦彦

2. 座談会

テーマ「高校と大学の物理教育を語る」

司会 室蘭工業大学工学部 福田 明治

提言 石狩高校 北村 剛

札幌北高校 斎藤 孝

〔内容〕

(提言その1……北村)

①物理は必修にできないものか。それは物理教育上の問題があるのだろうか。

②物理の授業を面白くできないものか。

③世の中のすべてのものが物理の対象である。

④社会に出て物理が必要になるということは必ずしもないが、物理を知っていれば世の中で活用してゆける。

⑤教師が新しいものを知る感性を失ったらおしまいである。教師が面白いと思わなければダメ。

⑥「最近の生徒が物理に関心を持たなくなった」という議論のような過去と現在の比較はあまり意味がない。

⑦物理をやる条件は以前よりよくなっている。悲観的にならずに、楽観的に考えた方がよいのは。

(提言その2……斎藤)

①札幌北高校では、物理の選択者は年々減少している。来年度の選択者の割合は全生徒の5割で、2・3年前は6割、その前は7割であった。

②物理をとらなくても、生物、化学、地学をとつて、北大工学部へ進む道がある。

③最近とったアンケートからいえることは、物理が人と話し合う論理的な学問であり、高校教育の中で一番素晴らしい科目だと思えることである。

④今日、特に言いたいことは

- ・大学で工学部に入るには、高校での物理の履修を指定しても良いと思う。
- ・物理は他の科目とは違う真日本的な科目である。真に理解していかなければ、問題を解くことはできない。日本人に合理性がないのは、物理が弱いからである。
- ・物理は高校生らしい科目である。（小、中学生とは違う）
- ・物理を必修にさせたい。「考える物理」をやらせたい。

以上の提言に対し多くの意見が出された。主な意見を以下に記します。

・北大理Ⅱの受験生の高等学校での物理の履修状

況。(理Ⅰからはかなり工学部に進んでいるが)2次試験の理科が2科目の時代には75~69%だったが、2次1科目の時代には0%となり、2次2科目に戻すと89%に跳ね上がった。さらに、地学の抜け穴が見つかると再び36%に落ちてしまった。

この事実が分かったので、北大では教養の物理実験の内容を変更し、高校程度のものにした。工学部は、やはり高校程度の物理が必要である。

- ・物理はやはり感覚である。物理をやるなら高校以前でなければ。大学に入ってからでは遅過ぎだ。が、やらないよりはマシ。
- ・中学生以前の体験が欲しい。それがないと何から何まで教えなければならない。
- ・中学校では、生物、化学の実験はあるが、物理、地学は少ない。
- ・基本的な生活体験は教えて出来るものではない。やはり、子供の世界で体験するもの。それが欠けている。成長のレベルにあわせて、体験することが必要。今の日本では、「テレビで見れば分かる」ということで体験させない。
- ・学生を見ていると1アンペアしか流せないものに何十アンペアも流している。もっとひどいのは、絶対に手を出さない学生がいる。親が「～ちゃん、それに触ったら危ないわよ」といって触らせない。
- ・アメリカの文系の学生は自動車がどういう風にして動くのか、みんな知っている。(故障が多いこともあったが)
体験するために子供を連れて海や山に行く。
「原始の体験」をさせている。
- ・文系の学生にとって物理とは「暗記の物理」になってしまい、「数値アレルギー」になっている。
- ・昔の子供はおもちゃを壊すのが楽しかったが、今のおもちゃは壊れない。学習雑誌の付録についてくるおもちゃはハメコミ式である。
- ・物理は他の理科の科目とは違うものだ。物理だけ必修にして欲しい。
- ・日本は工業立国である。メカトロニクス、新素材、これにはどうしても物理が必要。化学だけではダメ。物理をやった上で化学でなければな

らない。日本の将来を考えるとどうしても物理を必修にしなければならない。

学会ニュース

物理教育学会北海道支部 20周年記念研究会

期 日 平成元年9月23日（土）

場 所 札幌市

内 容 研究発表

特別講演

展示会

※ 詳細については、後日「支部通信」などで案内します。

日本物理学会 1989年秋の分科会

期 日 平成元年10月3日（火）～6日（金）

場 所 鹿児島市

第32回北海道高等学校理科研究大会士別大会

期 日 平成元年7月31日（月）～8月2日（水）

場 所 士別高等学校

大会主題 「豊かな個性と創造性を伸ばす理科教育」

大会副題 1) 興味と意欲をほり起こす理科学習指導の研究

2) 基礎と基本を重視した理科学習指導の研究

3) 生活体験と地域性を生かした理科学習指導の研究

4) 理科教育におけるコンピュータの効果的活用

事務局 士別高等学校

第60回日本理化学協会総会・平成元年度全国理科教育大会富山大会

期 日 平成元年8月9日（水）～8月11日（金）

場 所 高志会館、富山県民会館、第一生命ビル、富山県教育記念館、富山県職員会館

大会主題 「21世紀に向けての理科教育－豊かな創造性と人間性を育むために－」

事務局 （930）富山市五福2238 富山県総合教育センター第二研修部内

全国理科教育大会富山大会事務局 Tel (0764) 41-3104

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おく。

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

第6条 本支部に次の役員をおく。

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

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

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職務を行なう。

第9条 本支部に支部評議員若干名をおく。

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

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

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

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

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

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

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

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

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

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

(附 則)

- (1) 本規約は、総会において、正会員の三分の二以上の同意を得なければ変更できない。

- (2) 本規約は、昭和 44 年 6 月 25 日より施行する。

支部会誌「物理教育研究」投稿規定

1. 内容

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

2. 原稿用紙の書き方

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

できるだけコントラストのよいものを用いること。

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

3. その他

- (1) 校正等のため、原稿の控を手許に保存しておくこと。
- (2) 校正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

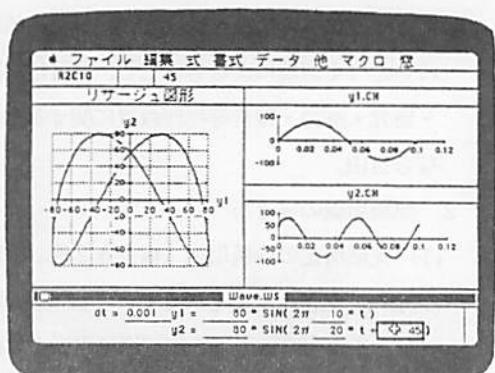
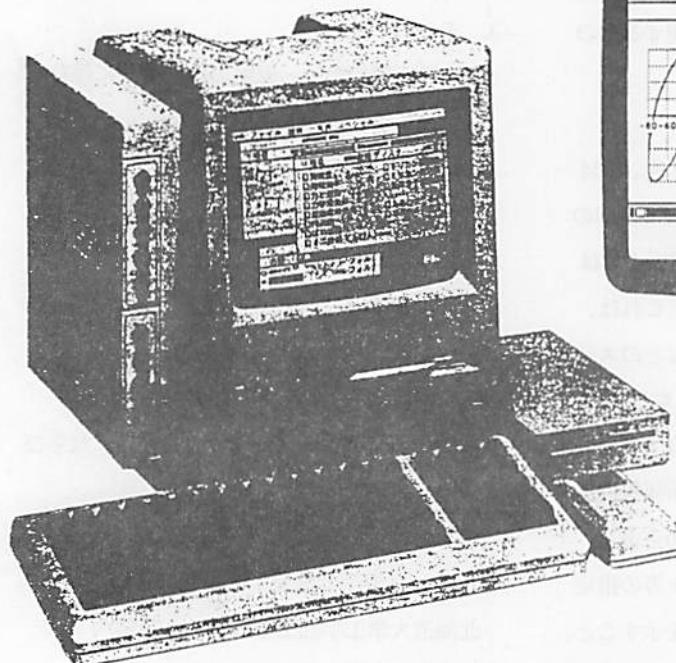
（060）札幌市北区北 13 条西 8 丁目
北海道大学工学部工業力学第 2 講座内
日本物理教育学会北海道支部
電話（011）716-2111（内線 6723）

平成元年 6 月 10 日発行
日本物理教育学会北海道支部
第 17 号
編集責任者 石上 形幸
発行（060）札幌市北区北 13 条西 8 丁目
北海道大学工学部工業力学第 2 講座内
日本物理教育学会北海道支部
電話（011）716-2111（内線 6723）
印刷所 たいきプランニング 513-1224

教育に島津が選んだパソコンは マッキントッシュ

島津とアップルの提携がマックスクールをつくりだします

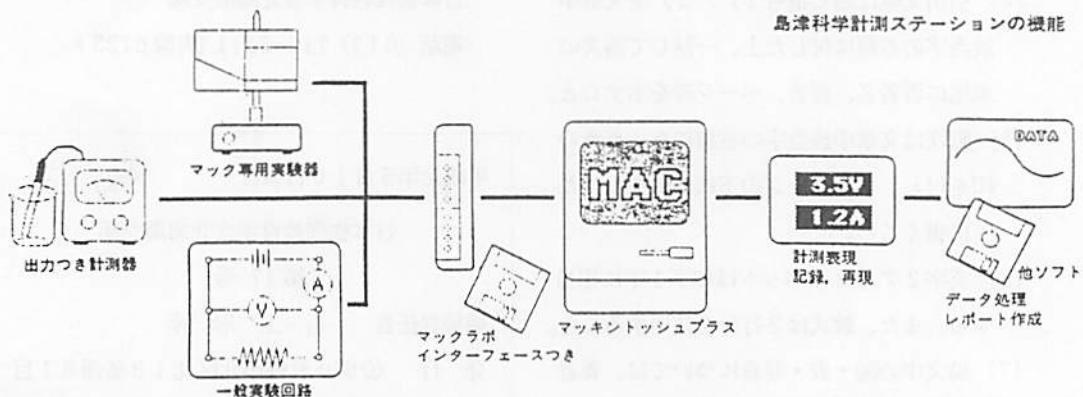
科学計測ステーション



どんな実験にも使える
オリジナルソフト・マックラボを開発

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

島津科学計測ステーションの機能

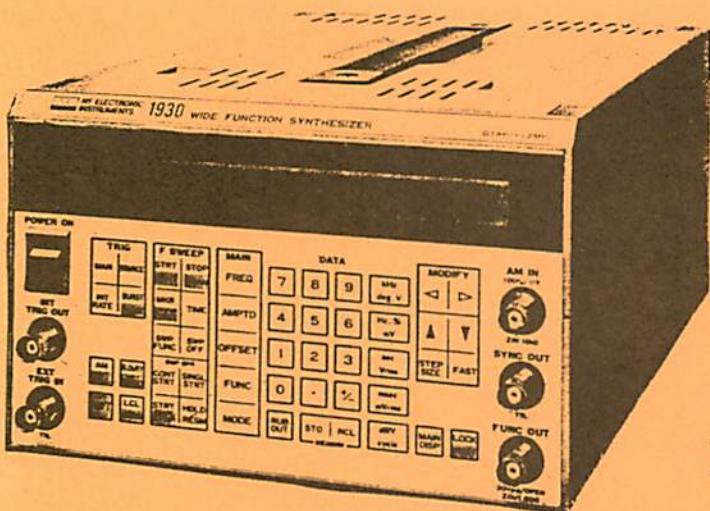


教育をとおして未来をつくる
島津理化器械

株式会社 コンドウ・サイエンス

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

1930 ワイド ファンクション シンセサイザ



0.1mHz～1.2MHzの ワイドレンジ

発振周波数範囲はへと△（デューティ50%）の波形では0.1mHz～1.2MHzへ、△、△、△（デューティ可変）の波形では0.1mHz～100kHzとワイドレンジです。

出力電圧	0.30mVp-p～30Vp-p
出力インピーダンス	50Ω 不平衡
ひずみ率	0.1%以下 (-50kHz) 0.15%以下 (50kHz～100kHz)
スプリアス	-55dBc以下 (~500kHz) -40dBc以下 (500kHz～1.2MHz)
方形波立ち上り時間	150nsec以下 (振幅設定30.0Vp-p)
出力電圧	は設定値に対して±1% (3V～30V) と高精度ですから、電圧計でのモニタは不要です。

各パラメタの設定数値は、単位キーを押すことによりエントリーされます。出力電圧の単位は、p-p値、rms値、dBV値いずれも設定可能です。設定周波数はHz、kHzのほかに周期(sec)による設定ができます。また、異なる単位間の相互交換も可能です。

 計測理研サービス株式会社

060 札幌市中央区北6条西10丁目3番地 安田ビル2F
電話 281-4322番
FAX 281-4079番

理化学用器械器具
硝子器具及計量器
一般試薬販売



有限公司 サンブク
三富久商会

〒001 札幌市北区北15条西2丁目

☎ 札幌 (011) 716-0448