

学生実験に於けるパソコン利用による教育効果

Educational Effect by the Use of Personal Computers in Student Laboratory Experiments

市川 敏郎・永野 宏・森下伊三男

Toshiro Ichikawa, Hiroshi Nagano and Isao Morishita

要旨

自然科学では、あらゆる測定値に誤差が含まれている事実を前提にしており、測定した生の数値が真の科学的データとは言えない。物理学実験においても、測定した数値を理論的な裏付けに基づいて解析し、意味のある数量として表現しなければならない。この過程において、統計的処理の必要性も生じ、学生はこのような作業を限られた実験時間内に遂行することが要求される。物理学教室では、1988年より、パーソナル・コンピュータを学生に利用させることによりデータ処理や解析に関する支援を行うシステムの開発研究を始めた。支援システムとしては、対話的に計算過程の誤りの指摘や、誤差の評価、レポート作製に必要な物理的概念の理解などを助けることが目的であり、これらに関する教育効果は十分に上がったといえる。他方、ディスクに記録された学生の計算過程の経過や測定値などを分析することにより、教育指導上の評価資料を得ることができ、また、授業運営上の問題点の解決に利用することもでき、教員側での教育的効果も上がってきている。

1. はじめに

物理学学生実験の課題としては、歯学部学生にとって最低限必要と思われる物理学知識に関して、熱、光、電磁気、固体の力学の分野の中から、それぞれ2～3題目を選んでいる。その他に、データ処理の基礎となる課題として、グラフ・最小二乗法によるデータ解析の演習、長さ・時間の基本測定とその誤差の伝播を理解させる目的での単振り子による重力加速度の測定、並びに、データの統計処理を中心とした放射線の計数測定の実験を行っている¹⁾。

本教室では、物理学実験教育の重点目標の一つを、得られたデータの正確な処理と、結果の有効値の的確な把握の訓練に置いている。しかしながら、実状は、高等学校の教育課程の多様化に伴い、数学・物理の学習や計算の基礎訓練を十分に受けていない学生が増加し、学生の提出するレポートの中に、初歩的な計算方法の理解不足や計算の誤りが多く見られるようになり、これらの困難さのために、実験自体や結果に対する考察をおろそかにする学生が増えてきている状況にある。

このような問題点を是正するために1988年より、実験によって得られたデータの

処理及び解析に関する教育システム：DASS (Data Analysis Support System) の開発研究を行い、一部の課題について計算の支援とチェックの目的で、パソコンを学生に使用させることを始めた²⁾。その経験から、パソコンを、総合的に実験教育の中に組み入れ、単に計算の支援システムとしてだけでなく、結果に対する評価を行い、必要な場合にはデータの追加、修正、削除等を行うよう指示を与え、物理的に有効な結果に到達するよう個別指導のできるシステムの必要性を痛感し、それ以後、ソフトウェアを中心にシステムの構築を進めてきた³⁾。

2. DASSの開発

1988年にNEC9801系パソコン3台を学生実験室内に開放し、同一時間帯に、使用対象人数が20数名となる特定の課題に限定して利用させた。この場合、実験は2名一組で行うので、1台のパソコンに対して平均4組のデータを処理することになる。このために、各自が入力したデータに計算の誤りや、一部の不適当な測定値の修正の必要があった場合には、すでに入力したデータをメモリーに保存し、その組の使用を一時中止して他の組が使用できるようにしなければならない。当然の事ながら、このような互いに独立したパソコンの使用でのデータ修正に当たっては、最初に入力した同一のパソコンを使用しなければならない。当初はこのような不便な利用形態ではあったが、学生のパソコン利用による教育効果がわかり、また、問題点の概要もわかってきたため、ソフトウェア開発の基本資料を得ることができた。

一例として、1989年当初よりデータ入力をスクリーン入力方式とし、ソフトウェアの主要部分の変更をしなかった単振り子による重力の加速度測定実験について年度毎の結果を見てみる。第1表は、データ入力開始から合格までの修正回数、実験開始からデータ取得完了までの時間、データ入力開始から計算合格までの時間、重力加速度の測定値、確率誤差、測定値の真値からの偏差等の実験年度毎の全学生の平均値を示したものである。

第1表. 単振り子による重力の加速度測定実験における年度別各種実験結果の値

実験年度	修正回数	実験時間 (分)	計算時間 (分)	加速度 (m/sec ²)	確率誤差 (m/sec ²)	真値からの偏差 (m/sec ²)
1989	3.4	219	33	9.794	0.021	-0.041
1990	3.3	253	30	9.719	0.057	-0.064
1991	2.5	210	26	9.782	0.024	-0.023

この実験は、基礎教育科目の少人数(約22名)を対象にしたもので、パソコンの台数が少ないための障害は無いと思われたが、パソコンが10台になった1991年度ではすべての結果が向上しており、パソコンの台数の増加により落ち着いて実験できる環境が

整ったのが原因と見ることができよう。ここで、90年度の確率誤差が89年度に比べて大きいのは、89年では振子の長さが1mであったものを90年度では50cmとしたため、長さ測定や、時間測定における誤差の割合が増加したためである。91年度には約70cmの振子を用いた。

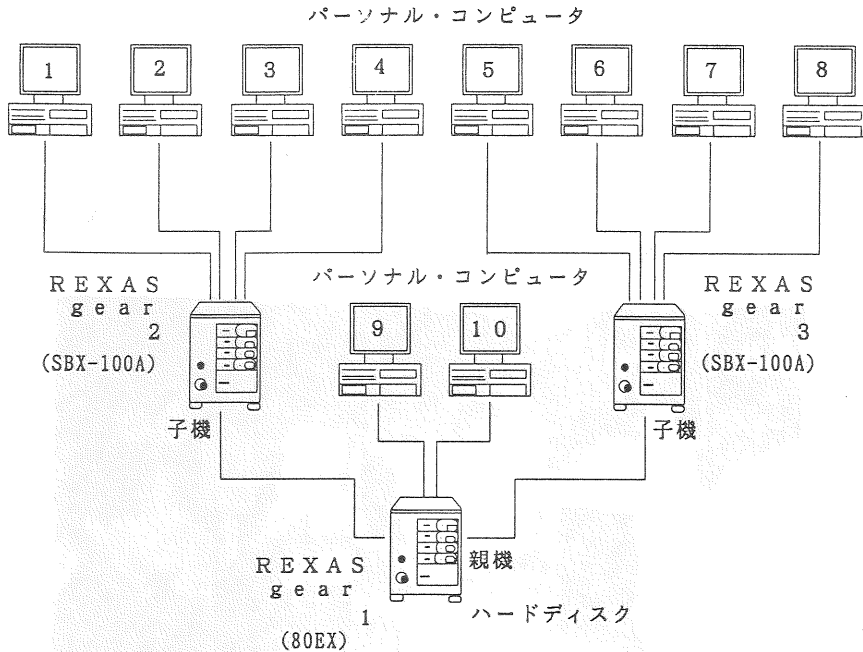
以上のように、初期のDASS開発時の問題としては、パソコンの台数が少なかったことと、パソコンのスタンドアロンとしての使用限界があったことにより教育効果も不十分であり、これらの点の解決が待ち望まれた。



写真1. 物理学実験室でのDASS利用状況

3. LANの構築

1991年4月より、NEC9801系パソコン10台の構成による簡易分散システムを構築し、13の実験課題について利用できるようになった。ハードウェアは、予算の制約からREXAS gear (Refined & Expanded Architecture for Software development and management gear) [ケイエスディ社]のディスクシステムを利用した(第1図)。これは、1台のハードディスクを各パソコンが共有し、共通のプログラム、データ・ファイルを利用するもので、ネットワーク管理のソフトウェアは、各パソコンに表示されるMS-DOSの標準メニューから、ハードディスクに格納されている実行形式のプログラムを選び、パソコンに読み込んで処理を実行し、終了時にデータをハードディスクに書き戻してパソコンのメモリーを解放するシステムとして構築した。実験時間帯に利用する学生数は64名程であるが、各組の実験の進度が異なるため、あと10台ほど増強すれば端末の不足による障害は無くなると思われる。写真1は、学生実験でのパソコン利用時の一コマである。



第1図 REXAS gear 2レベルのカスケード接続図

4. ソフトウェア

解析処理プログラムは実行可能ファイル形式にし、これを主として Quick BASIC によって作成している。最近の学生はコンピュータ・ゲームの影響で、スクリーンエディタ方式の入力になれているため、入力指示方式による数字入力は障害が多く不適當である。少し面倒でも、表形式のスクリーン入力画面を作成し、キー入力を一字毎に文字型で読み取り、形式に合わないどのような入力があっても、プログラムが停止しないで再入力を指示するようにしないと端末管理に手間を取られる結果になる。第2図に単振子による重力の加速度実験、および、光電管の特性実験におけるデータの入力を完了した画面と、その結果の評価を学生に知らせるメッセージの一例を示した。入力は、方向キーでカーソルを移動して行うが、画面の枠内の数字の部分のみ移動が可能でその他の部分にはカーソルが停止しないようにソフトウェアでコントロールしている。キー入力は一文字毎にコードをチェックし、不必要なキー入力はすべて無視するようにしてある。また、一定時間以上入力をしなかった場合には、自動的にプログラムの実行を終了しメニュー画面に戻して他の学生が利用できるように配慮している。

Microsoft Quick BASIC のスタンドアロン実行プログラムは、使用メモリーが節約できるので現在使用しているプログラムは最も大きなもので100KB程度となり、データ

学籍番号：90129, 90130 初回開始時刻：15:46:25 試行回数：1
測定値および測定結果の入力また修正

	平均 or 計算値	誤差
針金の長さ：	L = 646.7	dL = .2
分銅の半径：	r = 20.65	dr = .013
振子の長さ：	h = 667.35	dh = .2
振子の周期：	T = 1.5304	dT = .0004
重力加速度(補正項なし)：	g0 = 11254.61	dg0 = 7.23
重力加速度(補正項あり)：	g1 = 11253.55	dg1 = 6.74

重力加速度(補正無し)の計算は合格です。
重力加速度(補正)の計算は合格です。
あなたの結果は正しい値に対して 14.87% の誤差があります。
あなたの結果の誤差は大きすぎます、原因を確かめてください。
再計算しますか、それとも原因不明で計算を修了しますか? 再計算=Y, 終了=E
あなたの実験結果から得られた重力の加速度は $11.254 \pm 0.07 (\text{m/s}^2)$ です
終了時刻： <データの書き込みを禁止しますか(Y/N)>

第2図 a. 単振り子による重力の加速度実験のスクリーン入力画面とメッセージ例

学生番号：90130 共同実験者：90129 計算開始時刻：14:44:27 試行回数：-2
光電管の特性(其の三)

	振動数	阻止電圧
1	7.5 E 14	1.05
2	6.7 E 14	1.03
3	5.4 E 14	.63
4	5.0 E 14	.45
計算結果1	* 最小振動数 2.8 E 14	* 仕事関数 .68
計算結果2	* 光の振動数 5.0 E 14	* 最大速度 397

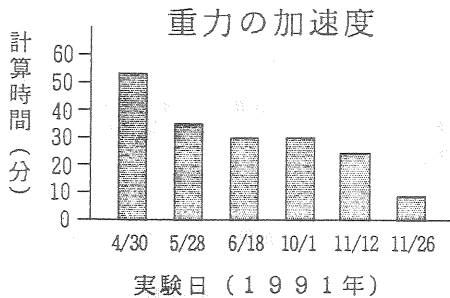
最小振動数の結果は私の計算と-5.50%で一致しています。合格です
仕事関数の結果は私の計算と-7.42%で一致しています。合格です
電子の最大速度の値は私の計算と-0.15%で一致しています。合格です
あなたの実験で得られたプランクの定数は $4.0 \text{E}-34$ と計算されます。
これは真の値と-39.9%異なります。レポートを書いて終了です。
注意* 24秒で表示を終了します、何かキーを押すと継続できます。Qで直ちに終了します。

第2図 b. 光電管の特性実験のスクリーン入力画面と入力完了後のメッセージ例

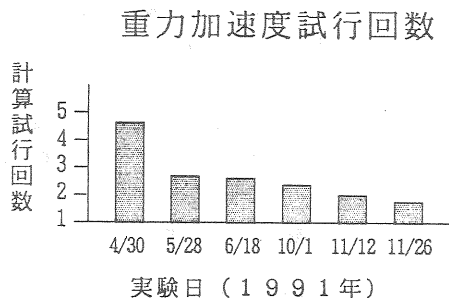
は、学生一人当たり1レコード(256バイト程度)のランダムファイル形式で格納している。したがって、このシステムでも、処理プログラムはまだ拡張する余裕を持っている。ただし、この程度のプログラムで、ハードディスクから読み込む時間が数秒になるので、多数の端末から同時にアクセスするときには多少待ち時間が必要となる。

5. DASS上の記録の分析

学生実験は、同一学年を2分して前学期あるいは後学期の何れかに半年間履修させている。物理学実験では、この2分した学生を更に3~4のグループに分け、各グループに巡回形式で全課題を履修させる方式を取っている。したがって、同一課題について学期の当初に当たるグループと他の課題を済ませてから履修するグループとができるので、同一課題の記録を時系列にしたがって分析することによって、総合的にみた実験教育の効果を判定することが可能である。

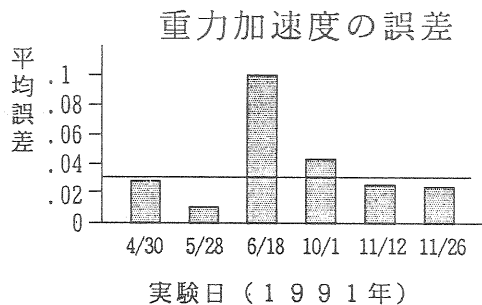


第3図 a. 計算完了までの時間



第3図 b. 計算完了までの試行回数

第3図 a, bは、単振子による重力の加速度測定実験におけるデータ入力開始から計算終了時までの経過時間と計算の合格までに行った修正回数のグループ平均値を示したものである。この実験課題は基礎教育科目のもので、3種の測定値に含まれている誤差の伝播を重点的に修得させる実験であり、集中力と正確な計算能力を要求するものである。この図から、実験の回数を重ねるに従い計算終了までの時間や計算の試行回数が短縮されていく様子が見える。後学期の実験グループは、

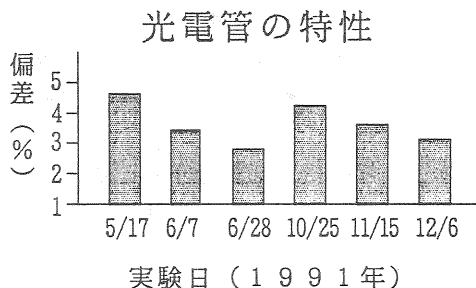


第4図 平均誤差のグループ平均値
—— は理論誤差の上限值

前学期には、実験としては化学、生物学を受けてはいるが、物理学は未修であり、物理学実験に関しては前学期のグループと同じ条件であるはずである。しかしながら後学期の結果を見ると、計算終了までの時間や計算の試行回数が前学期よりも一層短縮されており、それまでに物理学実験を経験していなくても、化学、生物学の実験の教育効果が物理学の実験に生かされていると見るべきであろう。測定結果の精度については、第4図に見るように6月18日をのぞいてはほぼ理論誤差の範囲内に治まっている。このような結果が生ずる可能性としては、支援プログラムが、実験誤差が理論誤差よりも一桁以上大きいとき

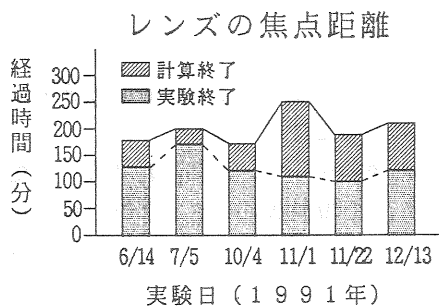
には不合格とするが、それ以内では注意のメッセージを出して合格を許すようにしているためである。この実験日のデータに関しては、実験指導教員が当日会議出席のため十分な指導ができなかったことが原因しているものと考えられる。

光電管の特性実験では光の振動数と、光電子の運動のエネルギーの関係をグラフにプロットし、目測で回帰直線を引かせて仕事関数やプランクの定数を求める実験を行っている。この支援プログラムでは、学生のデータから回帰直線を算出し学生がグラフから得た結果と比較しているものであるが、データの質の評価資料として、回帰直線からのデータの偏差を算出してグラフとしたものが第5図である。この実験はデータのグラフ処理がポイントになっているものであり実験教育の効果が良く現れているものと言えよう。

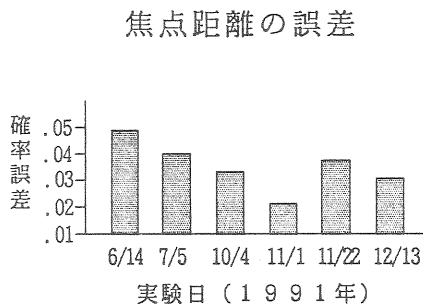


第5図 回帰直線に対する測定データ偏差値をグループ平均したものの

DASSの記録を、実験指導法に関する自己評価の判断資料とする1例として次のものを提示する。第6図 a, bはレンズの焦点距離測定実験における所用時間と測定精度を示したものであるが、後学期より実験の指導方法を変更したために、11月1日のグループの結果は実験の精度は良くなったが実験時間が長引いてしまった。11月22日のグループには他の指導方法を試みたが測定の確率誤差が大きくこの方法も良くないことが分かった。これは成功例とはいえないが、このように、教授法の研究成果を定量的に把握する



第6図 a. 実験の経過時間



第6図 b. 実験結果の精度

ことに利用することもできる。

他に、DASSの記録の統計結果に見られることとして、物理学実験では、各種課題の実験を履修させることによる他の実験課題への教育波及効果に関して、実験内容の要因別に次の3つのカテゴリーに分類することができよう。

- a. 集中力と、正確な計算能力が要求される場合
実験教育を重ねるに従って実験終了までの時間が短縮される。
- b. 有効なデータを得るのに的確な判断力を要する場合
実験教育を重ねるに従って結果の精度が向上する。
- c. 説明書等を読んで装置の組立調整は要するが、データの取得に技術を要しない場合
他の課題の実験による教育の効果が余り関係しない。

以上、DASSの記録分析に関してはやっと研究の緒についた段階であり、普遍的な結論とするには早計であると思われる。

6. 教育効果

このようなシステムの運用による教育効果については、学生側の評価と、教員の指導上の評価に大別されよう。

学生側に関しては1989年7月、1991年1月、9月に行った3度のアンケート調査^{2) 3)}により知ることができ、良い点として「計算の間違いが指摘され、計算がしやすかった」、「計算を丁寧に言うようになった」、「計算結果の正誤がすぐに出ておもしろかった」などの点が多く、89年の場合には端末の台数が少なく、待ち時間の長いのが最大の不満であった。更に、入力ミスに原因するプログラムの停止にも問題があった。91年9月のアンケート結果では、待ち時間の不満はかなり解消された。また、一部の課題で試みた、詳細な計算の誤り箇所の指摘や、結果の評価、それに基づくレポートの考察に対するアドバイス等の学生への指導をすべての課題でなされるようにとの要望が出されており、今後の開発の課題でもあると思われる。

開発段階で期待していなかった利点としては、コンピュータに各自の実験結果を記録しているため、学生側からみた場合、実験結果が正当に評価されるとの信頼感を生じ、実験や計算にまじめに取り組む姿勢が見られるようになったことである。

教員側から見た教育効果としては、学生の得た実験データとその計算結果が一覧表の形で得られ、正確な個人評価ができると共に、正しい計算結果にいたるまでの試行回数や、計算終了時刻、計算に要した時間等、指導上必要な情報が記録されているので授業運営上の問題点の解決などに利用できることがあげられる。

7. 終わりに

現在の歯学部学生は、パソコンの教育を受けた経験者は皆無に近い。しかしながら、物理学実験の課題としてコンピュータの教育を行う時間数が取れないので、本システムは、学生に対するパソコン教育をまったくしないで、いきなり利用させることを条件として開発したものである。また、利用に当たっての指導や管理のための教員を配置しないで運用

できるようにも開発を行った。これらの初期の開発目的は達成されたものと思われる。

前記のアンケート調査の要望にもあったように、ソフトウェアの充実点としては、計算完了後レポート作成に関する個別指導の面でまだ十分ではないので、今後この方面でも充実していくことが必要である。

また、この開発研究に当たって痛感したことは、入学直後のコンピュータ教育が充実してくれば、それらの学生を対象にした、高度で柔軟な支援システムの構築が可能となり、一層の教育効果が期待できることである。本学で、このような教育カリキュラムの体制が整うことを願うものである。

謝辞

この研究は昭和62年度、宮田奨励金の援助で開始し、各年度毎の施設設備費により充実できた成果であることを記し、関係者各位に謹んで謝辞を述べたい。

本研究の発表に当たり、物理学学生実験並びにDASSの運用と学生指導について、非常勤講師をお願いしている岐阜工業高等専門学校名誉教授中島光洋先生、岐阜大学教養部青木正人先生に謝辞を述べたい。また学生実験並びにDASSの運用の準備や保存データの処理に当たり、当物理学教室の水谷多恵子補助員に感謝の意を表したい。

文献

- 1) 朝日大学物理教室編, "物理学実験 I・II", 朝日大学物理学教室, (1991).
- 2) 森下伊三男・永野 宏・市川敏朗, "物理学学生実験のデータ処理等に関する教育システムの研究開発", 朝日大学教養部研究報告, 15, 91-104, (1989).
- 3) 永野 宏・市川敏朗・森下伊三男, "物理学学生実験のデータ処理等に関する教育システムの研究開発(II)", 朝日大学教養部研究報告, 17, 105-139, (1991).

(市川敏郎：教養部物理学教室教授)

(永野宏：教養部物理学教室教授)

(森下伊三男：経営学部情報管理学科助教授)