

計算機実験

高嶋隆一*

京都教育大学

平成 12 年 1 月 20 日

目 次

1	はじめに	3
1.1	計算機とは	3
1.2	基礎知識、計算機ネットワークとは	3
1.3	ファイアーウォール	4
2	基礎課題 WindowsNT,Solaris の使い方	4
2.1	表計算、ワープロ、電子メール、WindowsNT の使い方	4
2.2	Visual Basic など NT でのプログラム作り	5
2.3	Solaris の使い方	5
2.3.1	ファイルのコピー、転送	5
2.3.2	WWW (World Wide Web)	6
2.4	FORTRAN の使い方	6
2.5	C 言語の使い方	7
2.6	JAVA	7
3	応用課題	7
3.1	ガイガー計数管による放射線の計数と統計法則	8
3.1.1	準備するもの	8
3.1.2	計数方法	8
3.1.3	実験方法と結果の解析	8
3.2	PIN ダイオードを使った、干渉縞の光量の自動測定	8
3.2.1	準備するもの	8
3.2.2	測定方法	9

*高嶋研

3.2.3	MSDOS,N88BASIC の使い方	9
3.3	水などの凍結前後の温度の連続測定	9
3.3.1	準備するもの	9
3.3.2	測定プログラムの解説	9
3.3.3	測定方法	11
3.4	ボルタの電池の電流の温度依存	11
3.4.1	準備するもの	11
3.4.2	測定方法	11
3.5	ブラウン運動の画像データの作成	12
3.5.1	準備するもの	12
3.5.2	実験方法	12
3.6	Linux で IO カード、DAC/ADC カードを使い温度を測定する	12
A	パラレルインターフェースボード	13
B	統計現象	13
B.1	シミュレーションと乱数	13
B.1.1	乱数の発生法 一様乱数	13
B.2	指数関数分布、正規分布、ポアソン分布	13
B.3	誤差	13
B.3.1	線形パラメータサーチ	14
B.3.2	非線形パラメータサーチ	14
C	予備課題 エレクトロニクス（光速度の測定）	14
C.1	光ファイバーを通る光の速度の測定	14
C.2	ダイオード、トランジスタ	15
C.3	デジタル論理回路	15
C.4	OP アンプ	15

1 はじめに

計算機実験では、物理学や自然科学を学ぶ上で必要になってきている計算機の利用について、様々な側面から実習を行う。計算機を道具として自由に使いこなすことができるようになるというのが本実験の一つの目標の一つである。

近年、自然の振る舞いを記述するやり方の一つとして、計算機で現象をシミュレーションするというやり方盛んに行われるようになってきた。実験の計画を立てる上でも、またその結果を解析しデータを処理する上でも計算機の利用は欠かせないものとなってきている。またその結果を公開し発表するためにも計算機の利用は欠かせないものである。また、近年のめざましい計算能力の向上、使いやすいユーザーインターフェースの登場によって、利用が広まりつつある。またインターネットの利用の広まりによって、教育研究のスタイルに大きなインパクトを与えつつある計算機ネットワークの利用法を学ぶことも必要である。

前半に基礎的理解を深めるために10月から情報センターで学習する。毎回簡単なレポートを提出する。

応用課題は12月からおこなう。6課題をローテーション方式で行なう。3名程度で行う。毎回簡単なレポートを提出する。

1.1 計算機とは

計算機とは情報を処理する機械である。人間が日常使うのは、文字や言葉であるが、機械はそれらを簡単に処理できない。それで英数字を表現するために8個の二つの状態を使うことになった。これを1バイトのデータと呼ぶ。これは最初は紙テープやカードに空いた穴として記録された。最近では、磁力の強さや光の強さの変化を磁気テープやCDROMに記録するようになっている。また計算機の内部で高速に処理するためにメモリーというものが使われている。たくさんの小さなコンデンサーに電気が溜っていたり溜っていなかったりすることが、文字がこのなかに記録されているということに対応する。

1.2 基礎知識、計算機ネットワークとは

計算機によるネットワークシステムを簡単に説明することは難しい。具体的にはイーサネットケーブルによって接続されているローカルエリアネットワークが身近にある。これが、ルーターと呼ばれるデジタル交換機によって外部に接続され、全体がワイドエリアネットワークを構成する。イーサネット上ではパケットと呼ばれるデータのかたまりがやりとりされており、データ通信のフォーマットによってそれぞれ、TCP/IP, AppleTalk, IPX 等の種類がある。このうちTCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) が全世界規模で利用されているインターネットのデータフォーマットである。これによって世界中のどの計算機とも簡単にデータのやりとりができるようになる。そのための計算機の各々の識別番号がIP Address と呼ばれる番号である。番号を覚えるのは大変なので計算機に名前を付ける。計算機の名前とIP Address のデータベースを持っている計算機のことをネームサーバーとよぶ。

このリクエストにいつでも応じる体制で走っているプログラムがデーモンプロセスであり、サーバープロセスとも呼ばれる。サーバープロセスに情報提供の要求を出すのがクライアントプロセスである。計算機を使うという操作も、ディスプレイに実際に図を書くサーバープロセスを動かす計算

機と、こういう図を書いて欲しいとリクエストをするクライアントプロセスを動かす計算機は違っているのがふつうである。

1.3 ファイアーウォール

教育大学の LAN(Local Area Network) はファイアーウォールと呼ばれる計算機を通じて大学の計算機とつながっている。したがって proxy server(代理サーバー) の wspro を使うという設定を netscape 等のソフトウェアにする必要がある。このとき 8080 というソケット番号なるものを指定する必要がある。

2 基礎課題 WindowsNT,Solaris の使い方

2.1 表計算、ワープロ、電子メール、WindowsNT の使い方

表計算、ワープロ、Windows、Macintosh とその利用、これらは現代の読み書き算盤とも呼ぶべきものである。まず、楽しく使うために、ブラインドタッチができるように練習しておこう。これは D と K のキーに左右の人差し指をおいておき画面を見ながらタイプできるようにするというものである。

例えば Exel には豊富な関数が用意されているので統計計算などが簡単にできる。実際にワークシートの中にはいろいろな関数を埋め込むことができ、計算を電卓でおこなう必要はない。例えば B のカラムの 2 から 6 まで数値が入っているとすると平均値をある欄に入れるには `=average(b2:b6)` という式を書いておけば良い。分散なら `=var(b2:b6)`、標準偏差なら `=stdev(b2:b6)` とする。これらの関数はマウスを使って簡単にワークシートにはめ込めるようになっている。練習してみよう。

ワープロでは、英語の単語のスペルチェック、構文チェックを自動で行ってくれるものがある。図や表も取り込むことができるので、説得力のあるレポートを作ることができる。箇条書や字下げの工夫を行って見やすい文書を作るようにすることが大切である。ただ、自由にレイアウトができる半面定型的な処理を行ってくれないと言う欠点がある。しかも新しいバージョンで作ったファイルを他の人がくれたときに古いバージョンしか持っていなかったりすると読めなかったりすることが最大の問題点である。そこで、ワープロのファイルを PDF(Portable Document Format) というものにしておくと便利である。研究者の間ではポストスクリプトファイルが良く似たものとして使われている。

また文書をやりとりするときには plain text という形式が便利である。これは単なる 1byte の文字が連続するファイルのことである。メールのファイルは基本的にはこの形式になっていて ascii file と呼ばれる。ascii 文字は 7bit なので残りの 1bit を変える処理プログラムがデータ通信の途中にあると、SJIS,EUC の日本語が文字化けする。そのためにデータ通信には JIS コードが使用される。計算機の内部では SJIS,EUC のほうが処理が早いのでこちらが使われている。日本語文字は基本的に 16bit のコードである。

京都教育大学でメールのやりとりをしている基本的な計算機の名前は、wsml.kyokyo-u.ac.jp である。この計算機にログオンしてメールを読むこともできるが、最近よくやられているのはパーソナルコンピュータへメールを読み込むプログラム使うやり方である。この例としては WindowsNT なら、winYAT が、Mac なら Eudora、クラリスメール、netscape がよく使われる。書類を添付というメニューを使っているんな種類のファイルを送ることができる機能もある。このとき、wsml は SMTP サーバー (Send Mail Transfer Protocol) とか POP サーバー (Post Office Protocol) というよ

うに呼ばれる。

メールにファイルを添付するときにはあいてが対応するソフトウェアを持っていることを知っている必要がある。それが分からないときには PDF(Portable Document Format) に変換してから添付すると良い。Windows NT は一つまたは複数の計算機を、不特定の人数で利用するためのものである。ユーザーの ID とパスワードで個別の環境を実現できるようにできている。計算機そのものの基本設定は administrator というユーザー ID をもった者が行える。個人のファイルは自分のユーザー ID のついたファイルにかならず書き込むようにすること。

2.2 Visual Basic など NT でのプログラム作り

Visual Basic は簡単なプログラムを作るのに便利である。コマンドボタンに次のコードをいれておくと、エクセルが起動されて、sin 関数のグラフを書くことができる。現在のバージョンは 5.0 である。

```
Private Sub Command1_Click()  
    Set obj = CreateObject("excel.application")  
    obj.Visible = True  
    obj.workbooks.Add  
    For i = 1 To 180  
        a = i * 3.1416 / 180  
        obj.cells(i, 1).Value = i  
        obj.cells(i, 2).Value = Sin(a)  
    Next i  
End Sub
```

サーチエンジンなどでプログラムの作り方が書いてあるページがあるので、それらを利用して、勉強し、結果をレポートにまとめよ。

2.3 Solaris の使い方

WindowsNT の他に Solaris が使えるようになっているが、これについて説明する。Solaris は UNIX とよばれるオペレーティングシステムの一つである。非常に使いやすくなっているので利用してみよう。使い方を以下の URL にまとめてあるので読んでおく。

<http://wsunix.kyokyo-u.ac.jp/takasima/index.html>

2.3.1 ファイルのコピー、転送

Unix ではアカウントを持っている人のファイルを見ることは簡単にできる。例えば高嶋先生のファイルは takasima というディレクトリの下にある。これでは試験問題やメールが見れてしまう。これを防ぐにはファイル aaa の属性をかえる。

```
chmod 600 aaa
```

こうしておくで自分にしか読めないファイルができる。ファイルにはそれぞれ所有者、グループ、その多すべてに対してアクセスを制限するスイッチがついている。Read, Write, eXecution のスイッチがそれである。三つのスイッチが所有者、グループ、その多すべてに対してあるので9個のスイッチがあるわけである。これがどうなっているか調べるためには以下のコマンドを送る。

```
ls -l
```

つぎに、ftp (File Transfer Protocol) について説明する。これは違う計算機の間で TCP/IP を用いてデータをやりとりするためのツールである。filemme.f というプログラムを wsml から読み込み、fileModified.f を書き込むには以下の通りおこなう。

```
ftp wsunix
user name: keisanki
password: .....

ftp> get filename.f
ftp> put fileModified.f
ftp> quit
```

この場合相手の計算機にアカウントがないとアクセスできないが、アカウントがなくてもアクセスできるすべての人に公開されたディスクスペースを持つ計算機がある。このようなサイトを anonymous ftp site という。ftp の機能をグラフィックユーザーインターフェースを使って実現したものとして、Mac では Fetch という Utility があり、これによってバイナリーコードはすぐに利用可能なアプリケーションのかたちになる。圧縮されているものは自動的に解凍される。充実しているのは理化学研究所のものである。

2.3.2 WWW (World Wide Web)

このほか World Wide Web というネットワーク利用のシステムがある。これはハイパーテキストといて情報がインターネットの環境を通じて結びついており、必要な情報を自分の計算機に情報網をたどって持ってくるができる。情報を取ってくるだけでなく、自分で HTML (Hyper Text Markup Language) ファイルを書いて情報を発信しよう。Web server の wsunix 上でアカウント rig1234 を取得したら public.html というディレクトリにファイル index.html を作っておくと rig1234/index.html として学内から参照することができる。ただし学外からは参照できない。

2.4 FORTRAN の使い方

Fortran (FORmula TRANslator) は古くからある言語だが、ライブラリを使って大きなプログラムを書くことができ、実行形式のプログラムを生成する。このライブラリというものが大変有効なため、実際の科学技術計算は今の所、ほとんどこの言語を使って書かれている。プログラムはいろいろなサンプルプログラムを書き換えながら勉強するのが早道といえる。FORTRAN のファイル aaa.f をコンパイルするには以下のコマンドを実行する。これによって実行ファイル aaa ができる。これは binary ファイルといって読むことはできない。

f77 -o aaa aaa.f

2.5 C 言語の使い方

このほかに最近よく使われる言語として C 言語と呼ばれるものがある。これは実はオペレーティングシステムやウインドウシステムと呼ばれる計算機のもっとも基本的なソフトウェアを書くために使われている言語である。したがって、基本ソフトウェアや、関数ライブラリのソースコードがこれを使って欠かれているため、多くのソフトウェアは基本的には C 言語で書かれることになる。また、ソースコードを実行形式に変換するための道具として `make` と呼ばれるツールがある。

C 言語に関連して、フリーソフトウェアについてもう少し述べておこう。パソコンのソフトウェアの多くのソフトウェアはお金を出して買う必要がある。ところが、これにたいして、ソフトウェアは基本的に無償で提供されて行くべきであるという考えを持った人たちによって、フリーソフトウェアというものが開発されている。この基本的な開発環境となるものが UNIX であり、C 言語である。特に最近では Linux という OS が無料で配布されているので計算機が好きな人には人気がある。

このほかに、オペレーティングシステムに直接命令を送るために UNIX ではシェルというものがある。シェルとはベーシックのインタプリタのようなものだと思ってもらっていいだろう。BASIC のプログラムに相当するものがシェルスクリプトと呼ばれるものである。Solasis で login したときに実行されるのは `.cshrc` と `.dtprofile` というスクリプトである。

シェルから呼び出されるコマンドはいくつかの引数を持っているのが普通である。引数とは、コマンドや関数に渡されるパラメータである。例えばテープアーカイブを取る `tar` コマンドについて調べてみようと思うときには次のコマンドを打ち込む。

```
man tar
```

`tar` がコマンドの説明をしてくれる `man` コマンドの引数である。これらの計算機をうまく使うための道具を目的にあわせて選択し、仕事の能率を上げることができるようトレーニングを行って欲しい。

2.6 JAVA

プログラムは、それを開発した計算機で使うことしか一般的にはできない。ところが `java` には、実行プログラムを Web ブラウザから呼び出して使える簡便な機構が提供されている。もちろん移植も手間いらずである。しかも Java Development Kit という開発セットが無料で提供されている。

WindowsNT では J++ という開発環境が提供されているのでこれを使うことにする。Web 上で面白そうなプログラムを見つけたら、自分のところにファイルフォルダをつかってその中に保存しコンパイルしてみる。`aaa.java` というプログラムをコンパイルすると `aaa.class` という実行バイトコードができる。`aaa.html` というファイルをつかって Web から呼び出せるようにしておくとう便利である。

3 応用課題

最初の 3 課題は昨年度も行ったものだが、後の 3 課題は今年初めてである。課題は最後までできていない場合も含めて報告書を作成する。課題の机の上のファイルに報告書を閉じるようにする。

3.1 ガイガー計数管による放射線の計数と統計法則

アメリカシウム ^{241}Am という放射線源から出てくる α 線を半導体検出器を使って計数する。決まった時間に何個来るかを周波数カウンターを使って数える。計数を 100 回行ない、計数頻度をカレイダグラフを使ってグラフ化する。計数の平均値よりポアソン分布を作成し、実験と比較せよ。

3.1.1 準備するもの

電源 3 個、シンクロスコープ、暗箱、半導体検出器、プリアンプ、ディスクリミネーター、周波数カウンター

3.1.2 計数方法

まず 3 つある電源をほぼ同時に on にする。電圧は電源の上に表示してある電圧がかかるようにする。 α 線源からの信号はプリアンプリファイアーを使って増幅される。シンクロスコープを使って信号を観測する。信号は正極性で、200mV 程度の電圧のピーク値を持つ。信号は $1\mu\text{sec}$ 程度の立ち上がり時間を有するパルスである。シンクロスコープのトリガーつまみを動かして、ノイズレベルの見当をつける。ノイズを落せる電圧は何ボルトになるかを調べよ。プリアンプの出力をコンパレータ（電圧比較器 ディスクリミネーター）に接続する。赤い端子の電圧と箱のアルミのアース電圧との差をデジタルボルトメータで読みとりながら、黒い棒を回すと読みとり電圧が変化する。この電圧は閾値電圧またはスレッシュホールド電圧と呼ばれる。パルスがこの値を越えると 5 ボルトの電気パルスが電圧器比較器の出力側から出てくるのをシンクロスコープで観察する。うまく信号がとれていればこれを、周波数カウンターに接続する。赤いランプがついている時間にきたパルスが、ランプがついていない時間に表示される仕組みになっている。

3.1.3 実験方法と結果の解析

1 秒間に計数される α 線の数記録する。これを 100 回繰り返すことにより、測定の統計的バラツキを観測せよ。実験結果を以下に示すポアソン分布と比較する方法を検討せよ。

$$P(n) = \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!} \quad (1)$$

この分布は計数の平均値が μ のとき、計数が n 個になる確率を示している。従ってこの実験のように 100 回計数した場合には、この分布に 100 をかけたものが、その計数の出現回数となる。ヒストグラムをとる時には、bin 幅をどう選ぶかが難しい問題となる。

3.2 PIN ダイオードを使った、干渉縞の光量の自動測定

3.2.1 準備するもの

PC9800VM、PIN ダイオード、移動架台、架台の計算機インターフェース、ADC ボード、パイアス電源、レーザー、暗幕

3.2.2 測定方法

PC9801VMに入っているインターフェースボードを使ってステップモーター付きの移動架台を動かす。参考にするプログラム名は¥keisanki¥kadai6¥moter.basである。このプログラムを読んで動作原理を理解する。フォトインタラプタやリミッタスイッチなどの状態に応じて制御の仕方を変えるプログラムを書く。フォトダイオードを移動架台に載せて干渉パターンの自動測定のをおこなう。ADCは8ビットのもので、単独に読み出しを行なう時は、adc8bit.basというプログラムを使う。位置ぎめを行ないながら、光量を読み出すプログラムplot.basを使って測定を行なう。現在は画面のx座標を記録しているがこれをモーターのステップ数を記録するプログラムをにせよ。モータの1ステップと移動距離の関係を求めよ。データをフロッピーディスクに記録する。これをMacintoshのカレイダグラフ使ってグラフにする。これを自分のホームページに表示せよ。

3.2.3 MSDOS,N88BASICの使い方

電源を入れるとMSDOSのコマンドを受けつけるようになる。ディレクトリの移動はUNIXとおなじcdコマンドになる。ただし大文字小文字の区別はない。ディレクトリの区切りは半角の¥である。今のディレクトリのファイル名を見るにはdirまたはdir/wを使う。目的のディレクトリに移動してn88basicコマンドを実行して、basicのプログラムを実行するモードにする。load"xxx.bas"としてファイルを読み込む。listコマンドでファイルの中身を見ることができる。edit mnnとして、mnn行から表示させるとスクロールキーが使えるので便利である。行番号と命令を打ち込むだけでプログラムが書きかわる。ファイルに保存されているわけではないのでsave"yyy.bas"として保存しておく。

3.3 水などの凍結前後の温度の連続測定

水などが凍結する時に過冷却現象が起きると考えられる。この現象を観測できるかどうか調べる。また温度をあげて氷が解ける時の温度変化を記録する。

3.3.1 準備するもの

PC(dell)、デジタルマルチメーター 195A、サーモスコープ、白金抵抗温度計、コップ

3.3.2 測定プログラムの解説

keisankiというフォルダ中のhelloというフォルダを開く。この中のhelloというファイルがソースファイルである。これをダブルクリックするとVisual C++の開発環境が立ち上がる。プログラムはC言語で書いてあるがやっていることは単純である。まずGeneral Purpose Interface Bus 略して GPIB を初期化してやる。この GPIB の関数ライブラリの解説は CONTECW95¥Gpib5td というヘルプファイルに詳しく書かれているのでこれを見ながら以下の文を読んで欲しい。Visual C++の開発環境ビルドメニューの設定のところではリンクのライブラリ名に apiGpib1.lib, apiGpiib2.lib, apiGpib3.lib, apiGpib4.lib が含まれていないとコンパイルできないので注意する。初期化は以下の命令で実行される。

```
printf("GpIni Ret=%x\n",Ret);
```

```

Reg=0x09;
Ret = GpBoardsts(Reg, &Preg);
printf("GpBoardsts Preg=%d\n",Preg);
IfcTime=100;

Ret = GpIfc(IfcTime);/*指定した値 (1~255) × 100[μ sec]*/
printf("GpIfc Ret=%d\n",Ret);
Ret = GpRen();/*Remote Enable*/
printf("GpRen Ret=%d\n",Ret);

```

これによって命令を送っても反応しない場合にきりめまでの時間 (Timeout) が 10 秒にセットされる。

次にデジタルマルチメータを温度計測のモードに変更する。これは計算機からデジタルマルチメータに以下のようにコマンドを送ることによって実現する。計算機がトーカーでデジタルマルチメータがリスナーとなる。

```

tCmd[0] = 2; /* トーカ+リスナ数 (マスタモード時)*/
tCmd[1] = 0; /* トーカアドレス */
tCmd[2] = 16; /* リスナアドレス */
/* Cmd[3] = 7;          "          */
Srlen = 3; /* 送信データ長 */
lstrcpy(Srbuf, "F6X"); /* 送信データ配列 */
Ret = GpTalk(tCmd, Srlen, Srbuf);
printf("GpTalk Ret=%d\n",Ret);

```

次に 10 秒毎に温度を読みとって、ファイル temperture.dat に書き込む。ファイルには計測時間を秒のみに変換した値と、マルチメータから読み出した文字列が記録される。この中で for 文の中に直接読み出しの実行回数がいっているが、これを入力するやり方に変更せよ。

```

tloc= time( NULL);
lt = localtime( & tloc );
lastsec=3600*(lt).tm_hour+60*(lt).tm_min+(lt).tm_sec;

for(itime=0;itime<5;itime++){
    Srlen = 3; /* 送信データ長 */
    lstrcpy(Srbuf, "B1X"); /* 送信データ配列 */

    Ret = GpTalk(tCmd, Srlen, Srbuf);
    printf("GpTalk Inquie Ret=%d\n",Ret);

    lCmd[0] = 2; /* トーカ + リスナ数 (マスタモード時)*/
    lCmd[1] = 16; /* トーカアドレス */
    lCmd[2] = 0; /* リスナアドレス */
    /*Cmd[3] = 7;*/ /*          "          */

```

```

    Srlen = 254; /* 最大受信可能バイト長 */
    Ret = GpListen(lCmd, &Srlen, Srbuf);
    printf("GpListen Ret=%d\n",Ret);
    printf("GpListen Srbuf=%s\n",Srbuf);

    tloc= time( NULL);
    lt = localtime( & tloc );
    sectime=3600*(lt).tm_hour+60*(lt).tm_min+(lt).tm_sec;
    fprintf(fp,"%d %s\r\n",sectime,Srbuf);
    printf("result=%d %s\n",sectime,Srbuf);

    while(sectime-lastsec < 10){
        tloc= time( NULL);
        lt = localtime( & tloc );
        sectime=3600*(lt).tm_hour+60*(lt).tm_min+(lt).tm_sec;
    }
    lastsec=sectime;
}

```

ここではマルチメータにバッファのデータを送って欲しいと頼んだ後、リッスンモードになってデータが来るのを待つ。データが来たら fprintf 命令でファイルに結果を書く。10 秒経過したことを何度も調べるループを作っているがこれは効率が良くない。もっと効率が良くてわかりやすいプログラムに変更すべきであろう。

3.3.3 測定方法

サーモスコープの電源を入れて、水の冷却を開始する。設定温度はできるだけ低くしておく。温度が 5 度ぐらいになったらプログラムを開始して、記録をはじめる。30 分ぐらいの計測で冷却の様子がわかる。これをカレイダグラフを使ってグラフにプロットする。さらに、サーモスコープの設定温度をあげて、今度は氷の融解現象を計測する。結果を wsunix のホームページに表示せよ。

3.4 ボルタの電池の電流の温度依存

電池の能力は温度に依存すると言われている。これについてサンゴ実験セットを使って計測する。

3.4.1 準備するもの

ビーカー、銅板、亜鉛板、食塩、ガスバーナー、さんご実験セット (液温センサー、電流センサー)、
PC 9 8 0 1

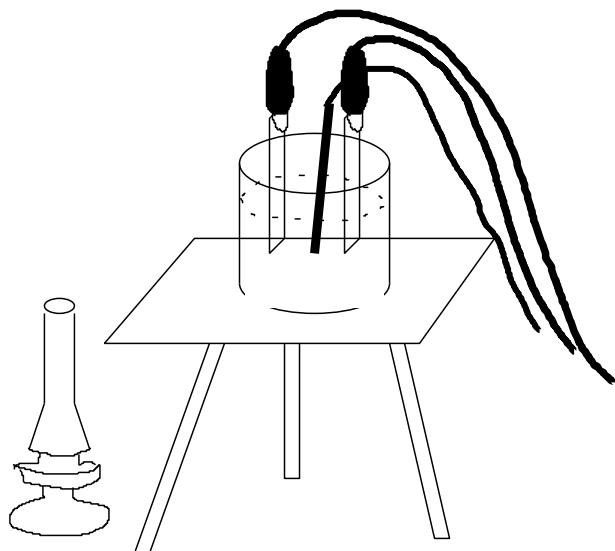


図 1: ボルタの電池の電流の温度依存測定装置

3.4.2 測定方法

実験 1 組み込みプログラムを使つての実験をおこなう。cube Sensor ユーザーズマニュアルを参照しながら実験を行う。プログラムのインストールは既に行つてある。コンピューターの DOS モードを使うので、Windows が立ち上がったら、終了メニューの DOS モードを選択して再度計算機を起動する。cd b:\sensor\bootup を行つて計測プログラムを動かす。このプログラムは特殊なデータ形式を使っているので、後でデータを処理することが今のところできない。ピーカーに水を入れ電極を図??のようにセットする。液温センサーをセットする。電極間を流れる電流を電流センサーを使って計測する。バーナーに火をつけたら計測を開始せよ。

実験 2BASIC のプログラムを作つて 1 の実験と同じ事を行う。ただし、結果を Windows で使えるようにすること。このプログラム作りはいろいろな参考資料を見ながら行う。

3.5 ブラウン運動の画像データの作成

物質が小さな粒子でできていることを知る手段として、ブラウン運動が利用されてきた。アボガドロ数の推定にも使われているようである。ブラウン運動を観察すると同時に、動画ファイルを作成することを試みる。

3.5.1 準備するもの

CCD カメラ、顕微鏡レンズアダプター、AV マック、スライドガラス、粘土、線香、カバーガラス

3.5.2 実験方法

スライドガラスの上に粘土の輪を作り、カバーグラスをとりつける。これに線香の煙をいれて、ブラウン運動が観察できるようにする。顕微鏡の接眼レンズを取り外して、顕微鏡レンズアダプターを取り付けた CCD カメラを接続する。[5]

画像を取り込むソフトウェアは Fusion Recorder を使う。これは Apple エクストラというファイルフォルダーの中にはいっている。作成した画像は、Apple quick-time フォーマットなら .mov, inet フォルダーにはいっている sparcle を使って mpeg 画像フォーマットに変換したら .mpeg という拡張子をファイルに付けておくとそのファイルを `<a href='xxx.mov'>xxx</a>` というかたちで参照できるようになる。

3.6 Linux で IO カード、DAC/ADC カードを使い温度を測定する

実験装置では発熱が問題となることがある。例えばシリコン検出器は逆電圧をかけることにより空乏化させて信号をとりだすが、放射線を浴びると空乏化しにくくなる。そこで逆電圧の電圧をあげることになるが、上げすぎると発熱してより電流が流れ発熱する悪循環に陥る。また半導体のドナーが増えるのを防ぐためにも冷却が必要である。この問題に関する熱流体解析が行われている。ここでは実験的に熱の出入りの問題を取り扱う。冷却装置の運転し冷却装置近傍をどこまで冷やすことができるかを調べる。

3.6.1 準備するもの

DAC/ADC カードつき Linux 計算機、LM35DZ を用いた温度センサーボード (高嶋作)、アルミの板、フィルム発熱体、ペルチェ素子を使った冷却装置

3.6.2 実験方法

測定に使うプログラムは temperature/tempera2 である。このプログラムは tempera2.c と c3201lib.c をコンパイルして作ってある。システム管理のメモリー領域に直接値を書き込むプログラムなので、root 特権で実行する必要がある。通常の利用者から使うためにはファイルを root 所有にして、実行属性として s(スティッキービット)を指定する必要があるらしい。プログラムを動かすと、測定回数を聞いて来るので 100 ぐらいの数字を入れる。これで 1000 秒間の連続測定となる。

実験はフィルムヒーターに電流を流してアルミの板を温める。プログラムをスタートして 10 回ぐらいデータをとったら、ペルチェ素子を使った冷却装置の運転を開始する。ペルチェ素子に流す電流は最大で 2A である。冷却装置近傍をどこまで冷やすことができるかを調べる。

プログラムは temp0.dat temp1.dat の二つのファイルを作成する。プログラム実行中に出力される値は、測定回数と二つのセンサーの出力電圧である。温度センサーボードの上にある可変抵抗器で出力電圧と温度の比例係数を調節することができる。電圧は mV で表示される。温度係数は 10mV/C なので、表示される数字を 10 で割ったものが摂氏の温度となる。

結果をプロットして画面で見るときには以下のようにする。

```
gnuplot
```

```
gnuplot>plot "temp0.dat", "temp1.dat"
```

結果をポストスクリプトファイルにするときには以下のようにする。

```
gnuplot>set term postscript
gnuplot>set output 'temp.ps'
gnuplot>plot "temp0.dat", "temp1.dat"
```

ポストスクリプトファイルはテキストデータでできているが `ghostview` というプログラムで見ることができる。`temp.ps` というファイルができてはいるはずなのでこれを JPEG や GIF フォーマットに変換してホームページにのせてみる。

A パラレルインターフェースボード

パラレルインターフェースボードは、パソコンから外部の計測機器 (ADC, ステッピングモーター、リレー) などを制御するのに便利な道具である。詳しいことは、「パソコンによる物理計測入門」(平田著、共立出版) を参照のこと。[3] また 98 用のボードは、「パソコン計測制御とインターフェース活用法」(戸狩、津坂、技術評論社) に示してあるものである。[4] いままで、何枚かのボードを制作してきている。まず学習用 IO ボードをつなぎ、原理を理解すること。

パラレル IO ボードは、A,B,C の 8 ビットポートを入出力に使う。どのポートを入出力に使うかの指定もできる。ボードにのっている IC は、8255 という番号の IC で、例えば `&hD0` (`&h` は 16 進表現使用の宣言) のアドレスが指定され、IO のビットがオンになるとチップにいろいろの動作をさせることができる。例えば、`out(&hd6,&h80)` というベーシック言語の命令を送ると、A,B,C の全ポートが出力モードになる。A ポートの出力を 8 ビットすべて 5 V にするには、`out(&hd0,&hff)` という命令を送る。

B 統計現象

B.1 シミュレーションと乱数

実際の物理過程として例えば粒子の反応過程ならば、初期状態も、粒子の速度や方向もそれぞれまちまちであり、分布関数を持っている。また途中の多重散乱過程なども粒子によっていろいろな場合がある。複雑な物理過程の中から真に求める物理量を引き出すために分かっている物理過程を含めて、シミュレーションを行う必要がある。一つ一つの物理過程にぶつかる毎にさいころを振るというのがモンテカルロ法によるシミュレーションである。

荷電粒子が物質中を進行するとき多重散乱によってどのように軌跡が揺らぐかをシミュレーションした例を使って演習してみよう。

B.1.1 乱数の発生法 一様乱数

一様乱数は一般には合同乗算法を使って発生させる。この一様乱数を元に、指数関数分布、正規分布、ポアソン分布の形となる乱数を発生させる。

B.2 指数関数分布、正規分布、ポアソン分布

確率分布関数の形をした乱数を作る方法は、まず最初に分布関数の積分関数を作る。この関数の逆関数の変数に対して一様乱数を発生させると、対応する関数の値が、求める分布関数となる乱数となる。図を描いてみると分かり易い。

B.3 誤差

データが事象の数であらわされるとき、つまり何回起こったかというようなデータの場合は統計的な誤差の判定が必要となる。統計的な誤差の解釈抜きにデータについて議論することはできない。

たとえば、地上には一秒間に1平方メートルあたり約100個のミュー粒子が降り注ぎあらゆるものを貫通して、地面の中で止まる。この場合100個という測定値の揺らぎ(標準偏差)は、この値の平方根である、10個ということになる。このことは、揺らぎを分布関数の形にあらわに含まないポアソン分布の揺らぎは、平均値の平方根になるということと一致している。

また、検出効率のように、粒子が100回通過したうちの90回検出できたという時には、揺らぎは3回ということになる。これは二項分布の揺らぎを適用して計算する。これは、通過回数100回と、検出確率0.9と非検出確率0.1の積の平方根をとったものとなる。このように計数が限られた量であることによる誤差を統計誤差と呼ぶ。この統計誤差と、計数以外の計測の不確定さから来る誤差である系統誤差のそれぞれの2乗を加えたものの平方根が最終的な誤差になる。

B.3.1 線形パラメータサーチ

グラフから、傾きや切片を求めると言うようなものがこの線形パラメータサーチの例である。よく使われる方法として最少2乗法がある。これは、パラメータを含んだ理論曲線とデータの差の2乗をその点での誤差の2乗で割った値をすべてのデータ点で求めて、それらの和を取った値をカイ2乗関数と呼び、これを最少にするパラメータを探すというものである。グラフをべき乗関数の和で近似すると言うようなときは、機械的な計算を一回行うだけで簡単にパラメータがもとまる。

B.3.2 非線形パラメータサーチ

グラフをガウス関数でフィットすると言うような例が非線形パラメータサーチである。この場合は簡単にパラメータがもとまらないので、試行錯誤を行ってカイ2乗関数を最少にするようにパラメータを探す。やり方としては最初にパラメータ区間を荒くすべてカバーして最小値を探し、そこから関数の減少方向にパラメータを少しずつ動かしていく。実際にはパソコンのKaleidaGraphの関数Fitting機能などを使ってみるとよい。このとき、フィットの関数定義のウィンドウが示されるが、その中で m_0 がデータであり、 $m_1, m_2, \dots$ がフィットするパラメータである。UNIXではPAW(Physics Analysis Workstation)というツールがある。

C 予備課題 エレクトロニクス（光速度の測定）

C.1 光ファイバーを通る光の速度の測定

光ファイバーは、屈折率の低い界面との全反射を利用した信号伝送線である。低い屈折率のコーティング層はこの界面の保護の役割も担っている。レーザーダイオードをパルサーによってパルス発光させ、この光を長さの違った光ファイバーを通し、光を PIN ダイオードで受光し、信号をオシロスコープで観察する。光ファイバーを通ることによる伝搬遅延時間を測定し、ファイバー内の光速度を計算する。また、同軸ケーブルを伝わるパルス信号についても同軸ケーブルの長さを変えながら伝搬遅延時間を計測する。

C.2 ダイオード、トランジスタ

まずダイオードについて知る。シリコンは、バンドギャップ 1.1V である。n 型ではドナー、p 型ではアクセプタの不純物準位がありこれが接合されていると両方のフェルミ準位が同じになるように接合領域に電荷がたまる。こうなるとバンドが境界領域で段差をもつために、キャリアが接合を越えて移動することはできない。しかしながら、バンドの段差を打ち消すような電圧をかけていくとキャリアが接合を越えて浸入しお互いの領域で電子とホールの対消滅が起こりエネルギーが境界領域で発生する。発光ダイオードはこの時のエネルギーが光になったものである。勿論逆電圧をかけるとキャリアのない領域が広がり導電性がなくなる。バイポーラトランジスタは、中間の半導体のバンドの段差を小さくすることによって、キャリアの移動を調節するもので、動作領域ではベース電流の 10 倍から 100 倍のコレクタ電流が流れ、ベース電流わずかに変化させることでコレクタ電流を大きく変えることができる。npn 半導体の場合、キャリアである電子は、ベースを越えエミッタからコレクタへ流れ込む。

C.3 デジタル論理回路

この回路は、時間的に変化するゼロと 1 の状態を表現するのに用いる。ゼロの状態がゼロボルト近傍で、1 の状態が 2.4V 以上である論理回路を TTL 論理回路と呼ぶ。これらはいくつかの基本ゲート IC により、回路がくまれる。代表的なものはバイポーラトランジスタから構成される SN74 シリーズがある。バイポーラトランジスタとは pnp や npn トランジスタのことで、キャリアとして電子とホールの両方を使うのでバイポーラ（両極性の）と呼ばれる。バイポーラトランジスタのほかに CMOS (Complimentary Metal Oxide Silicon transistor) と呼ばれるものがある。これは、金属電極と SiO₂/Si の構造を持ったトランジスタである、nMOS と pMOS を組み合わせて、消費電力を抑えたトランジスタである。

C.4 OP アンプ

OP アンプ (Operational Amplifier)、はセンサーなどからの微小信号を増幅して、計測器に入力するときなどに使われている。自分で計測器を作るときなどには、動作原理を学んでおくことが必要である。基本的には負帰還増幅 (negative feedback) というやり方で本質的に高い増幅度を持つ増幅器を帰還抵抗でより低い増幅度に抑えながら安定化するというやり方をとっている。

参考文献

- [1] 坂本、高エネルギー屋のためのユニックス入門
- [2] 早野、高橋、計算物理、共立出版
- [3] 平田、パソコンによる物理計測入門、共立出版
- [4] 戸狩、津坂、パソコン計測制御とインターフェース活用法、技術評論社
- [5] 福島、芝原、ブラウン運動の簡単な観察法、フォーラム理科教育 No.1 p49-53