



## 計算機利用による物理教育

鈴木 芳文<sup>1</sup>

### 1 はじめに

平成 11 年 7 月「Mathematica で実習する基礎力学」[1]と題する理工学部基礎課程の学生を対象とする演習書を近浦吉則先生と著し、培風館(株)より出版された。この書物を用いて物理教育を行う上で情報科学センターには極めてお世話になるので、「よろしくお願いします。」という御挨拶を申し上げていた。これがきっかけとなって執筆依頼があり、この原稿を書く羽目となった。今までも今後も、情報科学センターには大変お世話になると考え、お引き受けした。ここでは、解説ということなので、今までの我々(物理学実験準備室及び、近浦先生が組織した学内外の物理教育の研究グループ『CAPE』[2])の行ってきた活動の一部(幾つかの出版物[3] - [6]を含め)と今後進む方向を、折角の機会ととらえ述べてみたいと考えている。その考え方は、参考文献[1]のはしがきにも述べているが、敢えて引用すると

『現代の理工学は、情報科学などの一部の人工系理工学を除くほとんど全ての範囲において、自然界の構造・法則性に規定されているとともに、多くの分野に物理学の考え方や手法が応用されている。したがって理工系の体系を修めるにはまず一定レベルの物理学をその基礎として十分理解しておく必要がある。

この目的のために理工学基礎課程においては、物理学の講義、演習および実験が準備されている。講義をベースとして演習と実験を行い物理の理解を深めていく伝統的な教育・学習法は、揺るぎない教育的根拠を持つものであるが、近年のコンピュータとコミュニケーションの融合技術(C&C)の発展は、これまでとは質的に異なる「C&C支援の物理教育」の世界を出現させつつある。端的に「C&C支援の物理教育」を整理分類すると、以下の5項にまとめることが出来る。

- 1 シミュレーションによる現象の擬似体験,
- 2 数値的解析および数式処理の活用による教育の高度化,
- 3 紙印刷物を超えたハイパーテキストによる教育情報の多様化,
- 4 教育学習情報のネットワーク化による遠隔利用,
- 5 物理実験技術としての利用,

<sup>1</sup>物質工学科, ysuzuki@e-lab.kyutech.ac.jp

がそれである。』

1 - 3までは、先程紹介した参考文献 [1] - [5] と極めてよく関係し、4, 5には、2, 3年前まで工学部2年生の物理学実験で行っていたテーマの一つ『コンピューターシミュレーション』および昨年1つの試みとして行った『デバイス物理学デジタル教材の開発』 [6], [7] などが関係している。1 - 3までに関しては、「Mathematica で実習する基礎力学」 [1] を例に引き、BASIC, C, MATHEMATICA との比較を交えながら述べ、4, 5は『デバイス物理学デジタル教材の開発』 [7], [8] を同様に例示し述べる。

## 2 「Mathematica で実習する基礎力学」

コンピューター物理教育の特長を要約すると以下のように考えている。

- 解析的解法の適用が難しい問題だからといっても、その数値的解法は必ずしも難しくはならない。
- 解析解が得られる場合でも、定量的に表示することによって、その解析解の理解を深めてくれる。
- 図を描き、イメージーションを拡大できる。現象と数式及び数値までもが、その関連を深く認識できるようになれる。

その結果として、数式とイメージ化された図(現象の振舞い)に対応関係ができ、ある数式を見ると条件反射のようにある振舞いが想起されて来る。これは単なる公式の集合体ではなく、最小の知識から多くのアイデアが浮かぶようにする、類推の力が高まる。さらに数学をツールとして使いこなせることも同様に期待している。

実際に(1991年)最初に上宰した『コンピューターによる物理学演習 理工学基礎課程のための』 [2] はすべてBASICでプログラムを作っていた。その後、コンピューターの環境の急激な変化によりCで作成したプログラムも含めるようにした。この変化は、教育の中でこれらのテキストを用いるのに多くの苦労となった。このこともMATHEMATICAを採用する理由のひとつとなった。すなわち、MATHEMATICAは数学をユーザーとする者を対象としたアプリケーションであるので、今後のそのアプリケーションの発展・変化は数学利用者にとっては望ましい方向へと向かうことを期待してMATHEMATICAへの展開を試みた。積極的な理由としては、ノートブック及びハイパーリンク(内容及びHELP)等の活用によって、

- 物理の話題間の関連
- 物理と数学との関連
- MATHEMATICA の使用法

をテキスト中にあらかじめ指定し、数学およびプログラミングの作成法を十分にまだ使いこなせない学生にも使えることを配慮している。その結果、多数のハイパーリンクを張ることにより、脚注やページの参照では面倒が見ようとしないう学生にも低いバリアで動けるようにすることができる。さらにMATHEMATICA特有の数式処理ソフトのプラスの部分に光を当て、物理と用いられる数学(数式)の意味すると

ころが密接につながることを期待している。また、BASIC、Cのテキスト及び図の作成はPCとは別の方法(古典的)によつての作成であったが、MATHEMATICAではテキストのみならず図までもノートブックに挿入でき、電子化も可能となった。物理現象と数式との関連がより深まると同時に解析的な意味が相対化されるようになった。

以下、BASIC、C、MATHEMATICAの比較のプログラム及びテキスト化した例をBASICは図1に、Cは図2に、MATHEMATICAは図3にそれぞれ示す。BASICとCでは、プログラムのボリュームの相違は見た目にはさほど大きくないが、教育の中で用いる場合にはCに関してはイントロダクションに要する時間は無視できず、物理教育の観点からはむしろ改悪のようにさえ感じた。これはまさに「チェーンソーを使って、豆腐を切る」感がした。さらに図(グラフ)として表すアプリケーションやツールも物理の教育の中で用いるには、決して使い易いものではなかった。MATHEMATICAの利用は、MATHEMATICA特有のプログラムに馴れるのに少し時間を要したが、ノートブック及びハイパーリンク(内容及びHELP)等の活用によって、誘導し易くテキストも簡単に作れるようにはなっている。ただ、参考文献[1]では、出版社の要請によりデジタルテキストにはなっていないが、CD-ROMもしくは光磁気ディスクのメディアを用いて、1つの閉じたデジタルテキスト化し、上記の特長が十分に生かせる形にはなっている。CD-ROM製にした場合のはじめの取り扱いの部分のテキストを図4に示す。

また、今まで築いてきたことをさらに発展させ、ネットワーク化への対応するために開放系へも十分に対応できる。すなわち、テキストや内容をホームページ等に掲載する電子化もある程度は試みている。

「Mathematica」でもプログラミング及びネットワーク化は可能で一部それを行っている。題材もあるが、より高学年にはソースコードも取り扱うことでシミュレーションやイメージ化が可能である。さらに、「J A V A」による教材も作成した。現在、『コンピュータによる物理学演習』(1991, 培風館)[2]のJ A V Aへの翻訳を完了しつつある。

### 3 『デバイス物理学デジタル教材の開発』

「大学物理教材のネットワーク化」をめざし、NEP(Network for Education of Physics)[7],[8]のプロジェクトが進行し、物理教材の電子化が図られている。我々もこの企画に参加し、デジタル教材の開発を試みてきた。特に今まではコンピューターを利用した物理教育の試みとして、上で述べたように学生がソースコードを直接触れて行うことを主眼とした演習を中心に行ってきた[2]-[5]。現在、マルチメディアネットワークと技術の飛躍的發展の成果を取り入れ、現在本学で行われている物理実験の教材を学生実験の中で利用し、一層の学習効果を上げることをねらいとして、表題の開発を行った。そのため、Java, CGI, VRML (virtual Reality Modeling Language)等ネットワークにも容易に載せることが可能である技法を選んだ。今回試作したハイパーテキストは転送速度や容量の点で、実時間で利用は今後のこの領域における技術の進歩や改良の余地はあるが内部での利用においては有望であると考えている。図5以下にホームページに掲載した一例を示す。

これは、はじめに述べた整理分類の4及び5項に対応する。平成8-10年度の文部省科研費基盤研究(A)「大学物理教材のネットワーク化: 宮脇澤美(中部大学)」の呼びかけによって組織された全国組織によるプ

2-2-3 減衰振動

【基本】 単振動を行なう物体に、速さに比例する抵抗が作用するときの物体の運動を調べよ。

【解説】 はね定数kのばねの先端に結ばれた物体の運動方程式は2-2-1項で調べたように、

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad (2.2.15)$$

となり、いわゆる単振動をする。この振動子が図2-2-17のように水に浸されている場合には、物体はその運動に伴ない抵抗を受ける。これは粘性抵抗と考えられ、ほぼその速さに比例する。したがって運動方程式は

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - 2mc \frac{dx}{dt} \quad (2.2.16)$$

と書くことができる。これを書きかえと、

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x - 2c \frac{dx}{dt} \quad (2.2.17)$$

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (2.2.18)$$

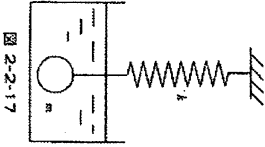


図 2-2-17

となる。このような物体の運動を実際に観察してみると抵抗係数cが比較的小さいときは、振動を繰返しながら振幅が減少していく、つまりはつり合いの位置(x=0)で静止しながら振幅が小さくなっていく。なお、(2.2.16)で抵抗力の比例定数を2mcとしたのは、解析解を求めるときに便宜上のことである。(2.2.17)をルンゲ-クッタ法で数値的に解くプログラムの例がD2-2-12である。前項2-2-2の基本プログラムD2-2-5において、角度φ(PHI)を位置x(X)に変え、270行の関数の定義(DEF FN)の式に減衰項を加えるなどのわずかの修正ですむことがわかる。

このプログラムにおいても、簡単にするため、D2-2-5と同様に初期値データはプログラム中に直接打込んでいる(190~250行)。上の例は、ばね定数kと抵抗係数cがそれぞれ40[N/m]、0.6[s<sup>-1</sup>]のとき、つり合いから0.1[m]の位置から静かに(x=0)、放したときの振動を調べている。図2-2-18がその出力例である。観察時間は10[s]としている。なお、ω₀=√k/mは6.32[s<sup>-1</sup>]である。出力結果の図2-2-18から、減衰振動の周期(xが正から負への向きにx=0を通過する時刻間隔)Tは約0.98[s]になっていることがわかる。これは、

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (\omega_0 = 6.32)$$

と一致する。(2.2.17)を解析的に解くと

$$x = A e^{-ct} \times \cos(\omega t + \theta), \quad (A, \theta: \text{積分定数}) \quad (2.2.19)$$

```

D2-2-12
100 'D2-2-12
110 '減衰振動
120
130 SCREEN 3,0
140 WIDTH 80,25
150 CONSOLE 0,25,0,1
160
170
180
190 M = 1
200 K = 40
210 DT = .01
220 C = .6
230 X = .1
240 V = 0
250 TIME = 10
260
270 DEF FNC(X,V) = -K*(X/M) - 2*C*V
280
290
300
310 J = TIME / DT
320 WINDOW(-1*.05, -.15) : (1*.05, .15)
330 LINE(0, .1) : (0, -.1)
340 LINE(0, 0) : (J, 0)
350 FOR N=1 TO TIME
360 LINE(N/DT, .005) : (N/DT, -.005)
370 NEXT N
380
390
400 FOR N=0 TO J
410 PSET(N, -X)
420
430 P1 = FNC(X, V) : G1 = V
440 P2 = FNC(X + DT*G1/2, G1) : G2 = V + DT*P1/2
450 P3 = FNC(X + DT*G2/2, G2) : G3 = V + DT*P2/2
460 P4 = FNC(X + DT*G3, G3) : G4 = V + DT*P3
470
480 X = X + (G1 + 2*G2 + 2*G3 + G4)*DT/6
490 V = V + (P1 + 2*P2 + 2*P3 + P4)*DT/6
500
510 NEXT N
520
530 END

```

図 2-2-18

【初期設定】

M	= 1	物体の質量	kg
K	= 40	ばね定数	N/m
DT	= .01	微小積分	sec
C	= .6	抵抗係数	1/sec
X	= .1	物体の移動量	m
V	= 0	物体の初速度	m/sec
TIME	= 10	測定時間	sec

【プログラムの設定】

```

DEF FNC(X,V) = -K*(X/M) - 2*C*V
J = TIME / DT
WINDOW(-1*.05, -.15) : (1*.05, .15)
LINE(0, .1) : (0, -.1)
LINE(0, 0) : (J, 0)
FOR N=1 TO TIME
LINE(N/DT, .005) : (N/DT, -.005)
NEXT N
FOR N=0 TO J
PSET(N, -X)

```

【プログラムのメイン】

```

P1 = FNC(X, V) : G1 = V
P2 = FNC(X + DT*G1/2, G1) : G2 = V + DT*P1/2
P3 = FNC(X + DT*G2/2, G2) : G3 = V + DT*P2/2
P4 = FNC(X + DT*G3, G3) : G4 = V + DT*P3
X = X + (G1 + 2*G2 + 2*G3 + G4)*DT/6
V = V + (P1 + 2*P2 + 2*P3 + P4)*DT/6
NEXT N

```

図 1: BASIC を使った例

へ上、運動方程式は、  
 $m \cdot d^2x/dt^2 = -kx - 2mcdx/dt$   
 と書ける。これをルンゲ・クッタ法により解くプログラムを作成せよ。  
 解答例のプログラムを以下に示す。

```

1 double func(double x, double v) // 関数"func"
2 {
3     return -x*(k/m)-2*c*v; // 高さxに比例する抵抗力が作用する
4 }
5
6 double func2(double x, double v) // 関数"func2"
7 {
8     return -x*(k/m)-2*c*v+vegn(v); // 速度の二乗に比例する抵抗力が作用する
9 }
10
11 double func3(double x, double v) // 関数"func3"
12 {
13     return -x*(k/m)-c*vegn(v); // あらい床での抵抗力
14 }
15
16 void range(int n, double x, double v, double dt, double *vx, double *ax)
17 {
18     double E1, E2, E3, E4, g1, g2, g3, g4; // ルンゲ・クッタ法
19     struct in {
20         double x, v;
21         case 1: { E1 = func(x, v); g1 = v;
22                 E2 = func2(x, v); g2 = v+dt*E1/2;
23                 E3 = func3(x, v); g3 = v+dt*E2/2;
24                 E4 = func4(x, v); g4 = v+dt*E3;
25                 break;
26             case 2: { E1 = func2(x, v); g1 = v;
27                     E2 = func3(x, v); g2 = v+dt*E1/2;
28                     E3 = func4(x, v); g3 = v+dt*E2/2;
29                     E4 = func1(x, v); g4 = v+dt*E3;
30                     break;
31                 case 3: { E1 = func1(x, v); g1 = v;
32                         E2 = func2(x, v); g2 = v+dt*E1/2;
33                         E3 = func3(x, v); g3 = v+dt*E2/2;
34                         E4 = func4(x, v); g4 = v+dt*E3;
35                         break;
36                     }
37             }
38     };
39     *vx = x + (g1 + 2.*g2 + 2.*g3 + g4)*dt/6.;
40     *ax = v + (E1 + 2.*E2 + 2.*E3 + E4)*dt/6.;
41 }
42
43 void initge(double *v, double *x, double *a, double *c, double *t, double *k)
44 {
45     int i; // 関数"initge"
46
47     *v = 0.0; // 物体の速度 [m/sec] の初期値
48     *x = 40.0; // ばね定数 [N/m]
49     *m = 1.0; // 物体の質量 [kg]
50     *c = 0.6; // 抵抗係数 [1/sec]
51     *dt = 0.005; // 微小時間刻み幅 [sec]
52     *t = 0.0; // 時間 [sec]
53 }

```

第15例 C言語による数値解法プログラムの実行結果  
 実行結果  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

```

1 /* (実行結果) */
2 #include <stdio.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include <string.h>
5 #include <math.h>
6 #include <conio.h>
7 #include <time.h>
8 double a, k, m; // 変数の実数倍精度宣言
9
10 #include "initge.h"
11
12 void main()
13 {
14     double x, v, ax, vx, dt, t;
15     int i, j, n;
16     g_init();
17     clrscr();
18     // 関数"initge"の呼び出し(変数の初期値化)
19     initge(&v, &x, &a, &k, &t, &m);
20
21     for (i=1; i<=3000; i++) {
22         range(1, x, v, dt, &vx, &ax); // 関数"range"の呼び出し
23         v = vx; x = x;
24         printf("%f\n", x); // 関数"printf"の呼び出し
25         printf("%f\n", ax); // 関数"printf"の呼び出し
26         t += dt;
27     }
28 }

```

これらの実行結果をグラフに描いた図2は「コンピュータによる物理現象」のP.36-38を参照されたい。

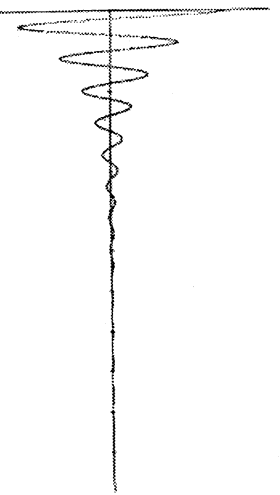


図 2: C を使った例

162

第6章 振動と波動

6.3 減衰振動

例題 単振動を行う物体に、速さに比例する抵抗が作用するときの物体の運動を調べよ。

ばね定数  $k$  のばねの先端に結ばれた物体の運動方程式は単振動の形で調べたように、

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx \quad (6.3.1)$$

となり、いわゆる単振動をする。この振動子が図 6-3-1 に示すように水に浸されている場合には、物体はその運動に伴い抵抗を受ける。これは粘性抵抗と考えられ、ほぼその速さに比例する。したがって運動方程式は

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - 2mc \frac{dx}{dt} \quad (6.3.2)$$

と書くことができる。これを書きかえと、

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -(\omega_0)^2 x - 2c \frac{dx}{dt} \quad (6.3.3)$$

$$(\omega_0)^2 = \frac{k}{m} \quad (6.3.4)$$

となる。このような物体の運動を実際に観察してみると抵抗係数  $c$  が比較的小さいときは、振動を繰り返しながら振幅が減衰していき、ついにはつり合い位置 ( $x=0$ ) で静止する。抵抗係数  $c$  が十分大きいときには振動せず、つり合いの位置に徐々に近づいていく。なお、抵抗力の比例定数を  $2mc$  としたのは、解析解を求めるための便宜のためである。

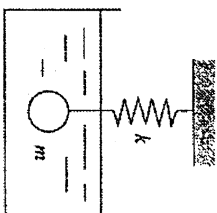


図 6-3-1

```
DSolve [x''[t] == -2 c x'[t] - k x[t], x[t], t]
{{x[t] == E^(-c t) Sqrt[2 - k t] C[1] + E^(-c t) Sqrt[2 - k t] C[2]}}
```

c = 0.6  
k = 40.0

```
DSolve [x''[t] == -2 c x'[t] - k x[t], x[t], t]
```

```
0.6  
40  
{x[t] -> 2.71828182845904524^-t 0.8000000000000000  
C[2] Cos[6.2960304954788775 t] -  
1.0000000000000000000 2.71828182845904524^-t 0.8000000000000000  
C[1] Sin[6.2960304954788775 t]}
```

```
DSolve [x''[t] == -1.2 x'[t] - 40 x[t], x[t], t]
```

```
{{x[t] -> 2.71828182845904524^-t 0.8000000000000000  
C[2] Cos[6.2960304954788775 t] -  
1.0000000000000000000 2.71828182845904524^-t 0.8000000000000000  
C[1] Sin[6.2960304954788775 t]}
```

```
DSolve [x''[t] == -1.2 x'[t] - 40 x[t], x[0] == 5.0, x'[0] == 0, x[t], t]
```

```
{x[t] -> 2.71828182845904524^-t 0.8000000000000000  
(5.0000000000000000000 Cos[6.2960304954788775 t] +  
0.47649070349234694 Sin[6.2960304954788775 t])}
```

```
xx[t_] := x[t] /. sol  
Plot [xx[t], {t, 0, 8}]
```

```
{x[t] -> 2.71828182845904524^-t 0.8000000000000000  
(5.0000000000000000000 Cos[6.2960304954788775 t] +  
0.47649070349234694 Sin[6.2960304954788775 t])}
```

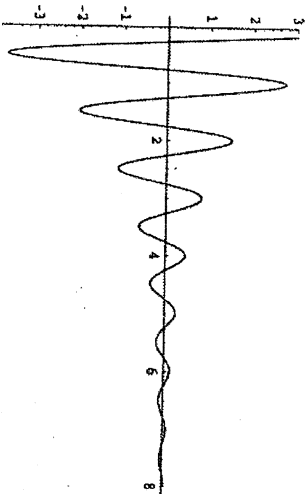


図 6-3-2

図 3: Mathematica を使った例

### 1.3 CD-ROM の使い方

CD-ROM をコンピュータに入れ、現れたアイコンをダブルクリックして開くと、次の2種類のアイコンが入っている。その1つは Mathematica のノートブックを見るための MathReader のアイコンで、Mathiosh では図のように示されます。

2つ目は、このテキストで使われる「方学」のノートブックです。3つ目は、この「CD-ROM の使い方」のノートブックです。

「方学」のノートブックのアイコンを開くと、次の40のファイルがあり、そのうち計算に用いるノートブックは全てに4つのファイルに分けてある。

本書キオ本の Mathematica ノートブックは、テキスト内容に準拠した章 (Chapter) 単位のファイルの中に、図番号 (複数の場合もある) が判読してあり、関連する図番号のファイルを開くことで、図と関連するプログラムを読み出すことができる。

たとえば、図番号 Fig1.4.02-1.4.03h は、1章の4節の2番目から3番目までの図とそれに関連するプログラムが書かれている。次のその一部を示す。Windows 版では、8文字以内に限るため、ファイル名 (インレットリ) 名、ファイル名を変更してある。図番号の後に拡張子 .nb が付く。(Ver. 2.2 では、拡張子 .ma が付く。)

Macintosh ではマウスで MathReader アイコンをダブルクリックして起動し、ダイアログで目的のノートブックを選んで、ノートブックのアイコンをドラッグして MathReader アイコンの上でドロップする。Windows では、mathread.exe のアイコンをダブルクリックして MathReader を起動し、ファイルメニューから目的のノートブックを開く。

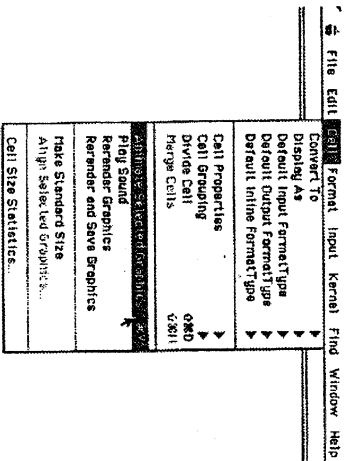


図 1-3-1:

Macintosh では、入力文の書かれた右側のセルをクリック (縦長の矩形風) をマウスで指定し、enter キーを押すと動作する (もしくは、ダブルクリックする)。Windows では、明確にセルをクリックを押込んだら、shift キーを押したまま return キーを押すと動作する。

アニメーションの画像を動作するとき、一連のグラフィックのセルをクリックすると、一連のグラフィックのセルをクリックするとマウスで選択した後、Macintosh では、Graphicsメニューから Animate Selected Graphics (図 1-3-1 参照) を選ぶか、一連のグラフィックのどれかをダブルクリックすると図が動作する。

Windows では、Graphicsメニューから Animate Selected Graphics を選ぶか、ファイルの端が揃ってあるメニューボタンを押す。アニメーションが始まると、左下に操作ボタンが現れるので、これを用いてコマ送りの速度やコマ送りの方向を変えることができる。

以下に速度調節の順を例にして、ノートブックの使用法を示す。減速調節のファイルを開くとここに示すような図 1-3-2 のみしか現れない。そこで、「ここをダブルクリックすると」と示してあるセルをクリックしてダブルクリックすると次の表示が現れる。

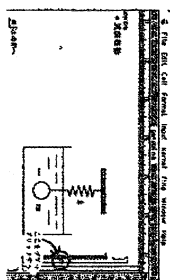


図 1-3-2:

図 1-3-3 は、上の操作を行った後の画面に現れた表示である。2つの問題が表示されている。先ず上の問題を解くことを始めてみよう。(ここでも同様に下向き矢印の付いたセルをクリックしてダブルクリックすると上に述べた画面が表示される。)

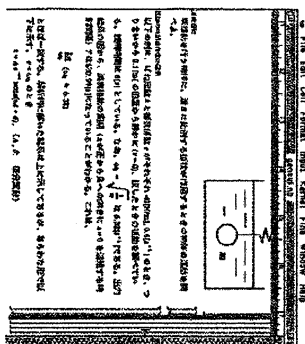


図 1-3-3:

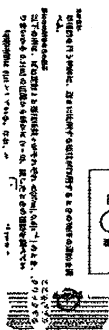


図 1-3-4:

よく読む。その後、「ここをダブルクリックすると」と示してあるセルをクリックすると次の表示 (図 1-3-6) が現れる。

自分なりの解を準備した後、図 1-3-4 に示すように「ここをダブルクリックすると」と示してあるセルをクリックしてダブルクリックすると次の表示 (図 1-3-5) が現れる。

図 1-3-5 には、解を解くにあたってその背景等が示してあるので、

プロジェクトのもとで行った。その可能性及び必要性が急激なコンピューター環境の進展により議論がはじまったばかりであると言える。我々のグループも1-3までの項目は、幾つかの試行錯誤を含みながら、独立に先駆的に行ってきた自信はあるが、ネットワーク開放系をも視野に入れた点については、これからの課題である。現時点での技術は、物理教育、物理学実験を含め、どの程度のことができるか、これは教材を試作することにより明かとなったことが多い。このテーマを行った卒論生にとっては、その出来栄を見ると challenging であり exciting であったと思える。

行ったテーマは

1. ダイオードとトランジスタ (物理学実験用モジュール)
2. 半導体デバイス (物理学実験用モジュール家庭学習用)
3. 簡単な力学
4. 簡単な結晶学

とそれぞれ教材を作りながら、卒論のテーマを仕上げた。全てを紹介するのは紙数の限りで1番目のみに抑える。私自身の個人的感想を述べると、我々教員とは異なったセンスで出来上がっているのには驚かされたし(勿論荒削りではあるが)、このような出来上がりを私は作れないと感じた。今後この方面が進展して行くには、様々な異質なタレント性(才能)がぶつかり合う必要があると思った。

以下いずれも、情報分野の研究及び商品からするとその方式や部品そのものは全てが決して最先端というわけではない。これは、教育システムのトータルバランスやコストパフォーマンスなど全体的なものを勘案して試みているためである。しかし、ここでのコンテンツ作成のトライアルは成るべく最新の技術を組み合わせ、現時点ではどこまで可能かを見極める作業も入っていた。

#### デバイス物理学デジタル教材の作成

##### 1. 目的

このデジタル教材は、九州工業大学工学部の工学基礎科目として実施されている物理学実験の項目の1つの「ダイオードとトランジスター」に基づいて作成した。

代表的な半導体素子であるダイオードとトランジスターの実験を、デジタルテキストを副教材として利用することで、その表現効果によって動作原理を学ぶ。ダイオードについては電圧-電流特性を測定してその整流特性を、トランジスターについてはエミッタ接地接続特性を測定してその増幅作用を理解する。

##### 2. 内容

このデジタル教材は、主に1.原理 2.装置 3.実験方法 4.結果の整理 の4つにわかれている。(テキストの構成と合わせている。)

原理の部分では、GIFアニメーションにより目に見えない電子や正孔の動きを表わしたり、その他の静止画によって、n型、p型半導体とダイオードとトランジスターを説明している。装置の部分では、実験で使用する装置をデジタルカメラによって撮影したものをを用いた。



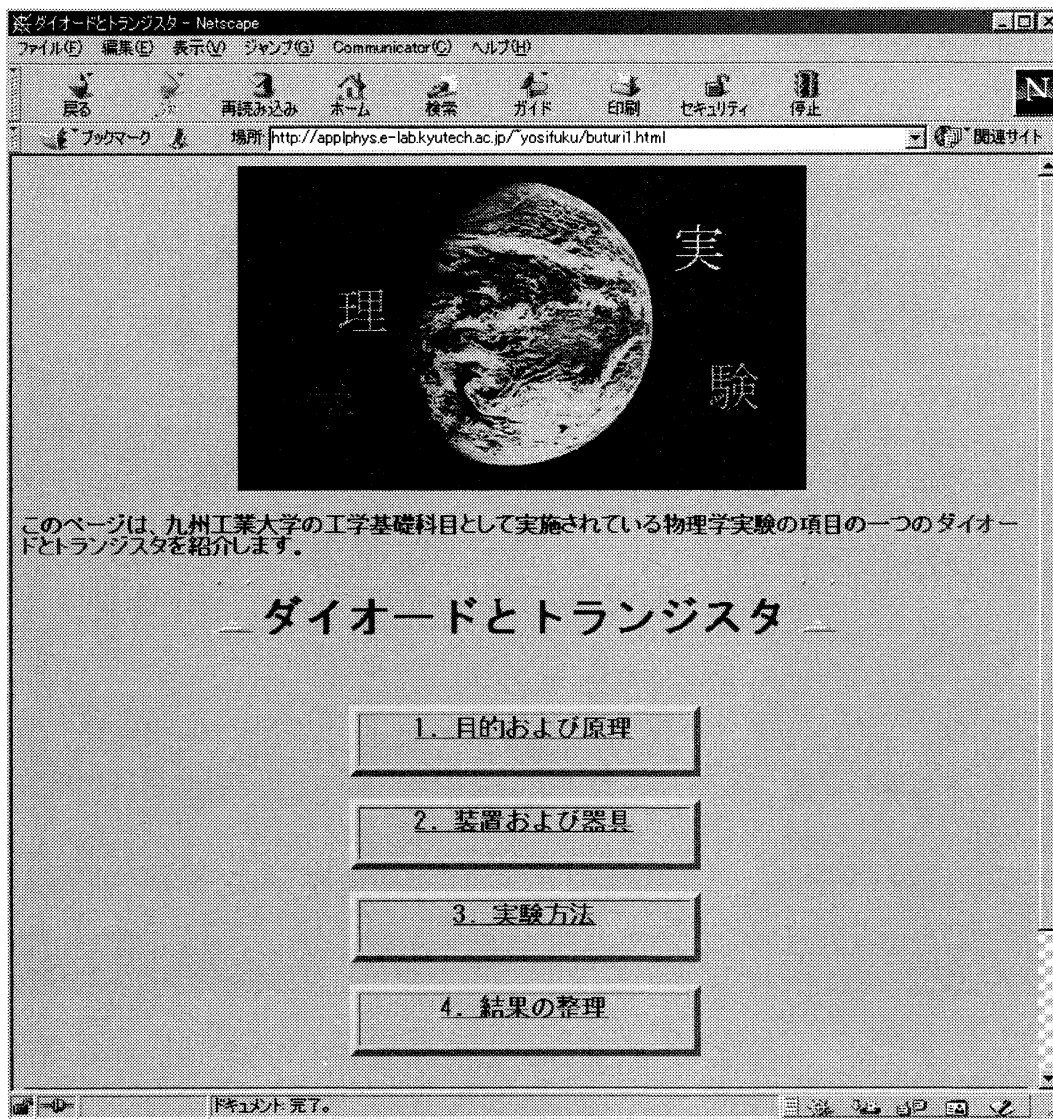


図 5: デバイス物理学デジタルテキスト目次図

この原理と装置の部分では、デジタルライブラリとしての利用に近く、学生が実験を行う前の予習として、利用することを考えている。

実験方法の部分では、文字で説明した部分とビデオ映像による部分の2つにわかれており、ビデオ映像の部分は、回路図も静止画によって同時に示していることで、その映像と比較することにより、簡単に回路を組むことができ、その映像がもつ表現効果によって実験をスムーズに進めていくことができる。

結果の整理の部分では、ダイオードの整流特性図の例や、エミッタ接地接続特性図の例を示すことによって、実験を終えた学生がその結果をまとめやすいようにした。

デバイス物理学を、学生実験を通しデジタル教材を利用することで、学生が興味を持ち理解しやすいものとなっている。さらにデジタル化されているため、家でも実験室でも手軽に利用できる。

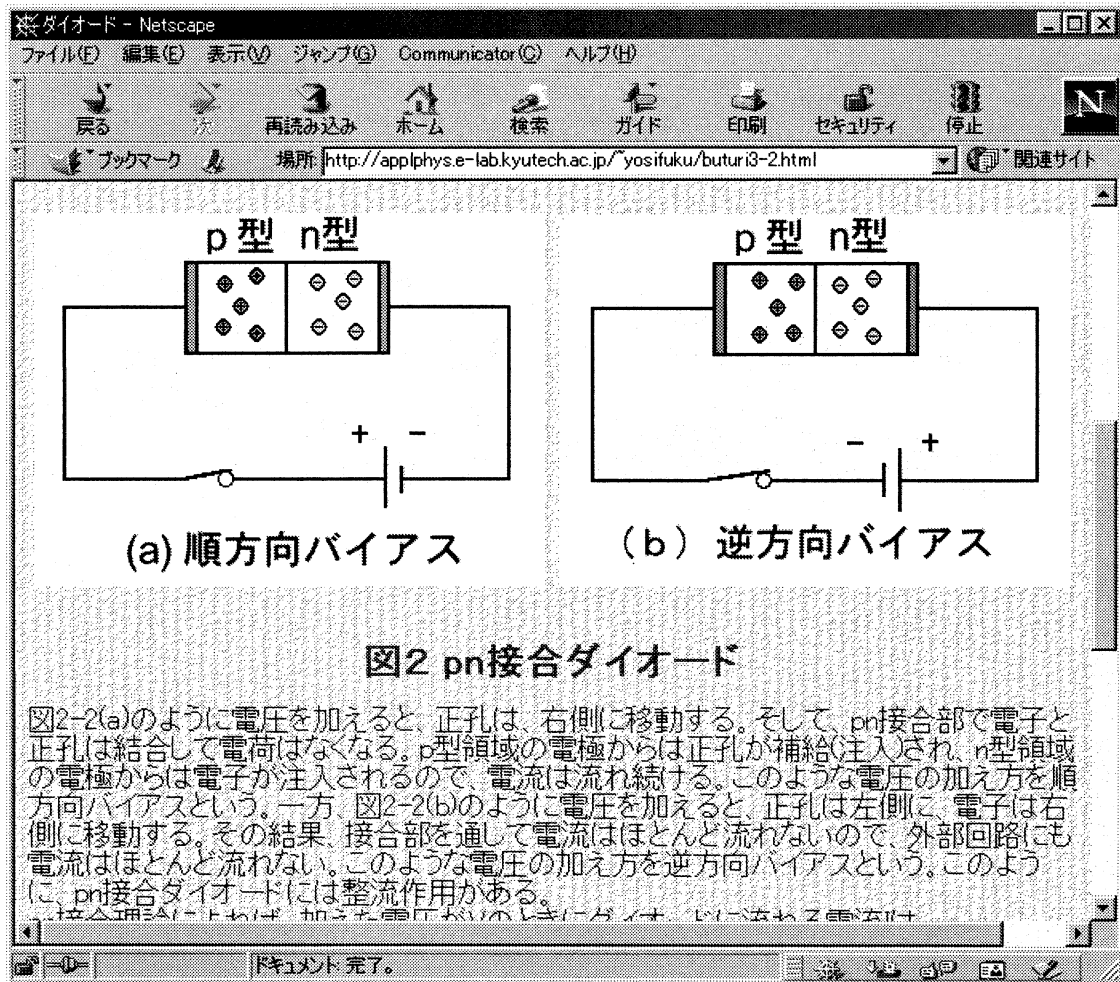


図 6: ダイオードの原理説明部分

デジタルカメラによって撮影したものを、このデジタル教材の装置図として表わしている。

デジタルビデオカメラにより撮影したものを、実験方法の説明で動画として利用している。この実験方法の説明の部分は、動画による説明と文字による説明に分かれている。

図 8は、文字によつてのダイオード整流特性の部分を表示している。ここでは、実験を行なう前の予習としての利用を考えている。

図 9は、ダイオード整流特性の動画による実験方法の説明部分である。ここでの利用は動画の表現効果によって、実験をスムーズに進めていくことを考えている。

#### 4 今後の展開

コンピューターによる物理教育において先行例として、いくつかの実績を上げているという話を聞く。それは、主として多面的な入試の実施、高校でのカリキュラムの選択の自由度の増加により多様化した学

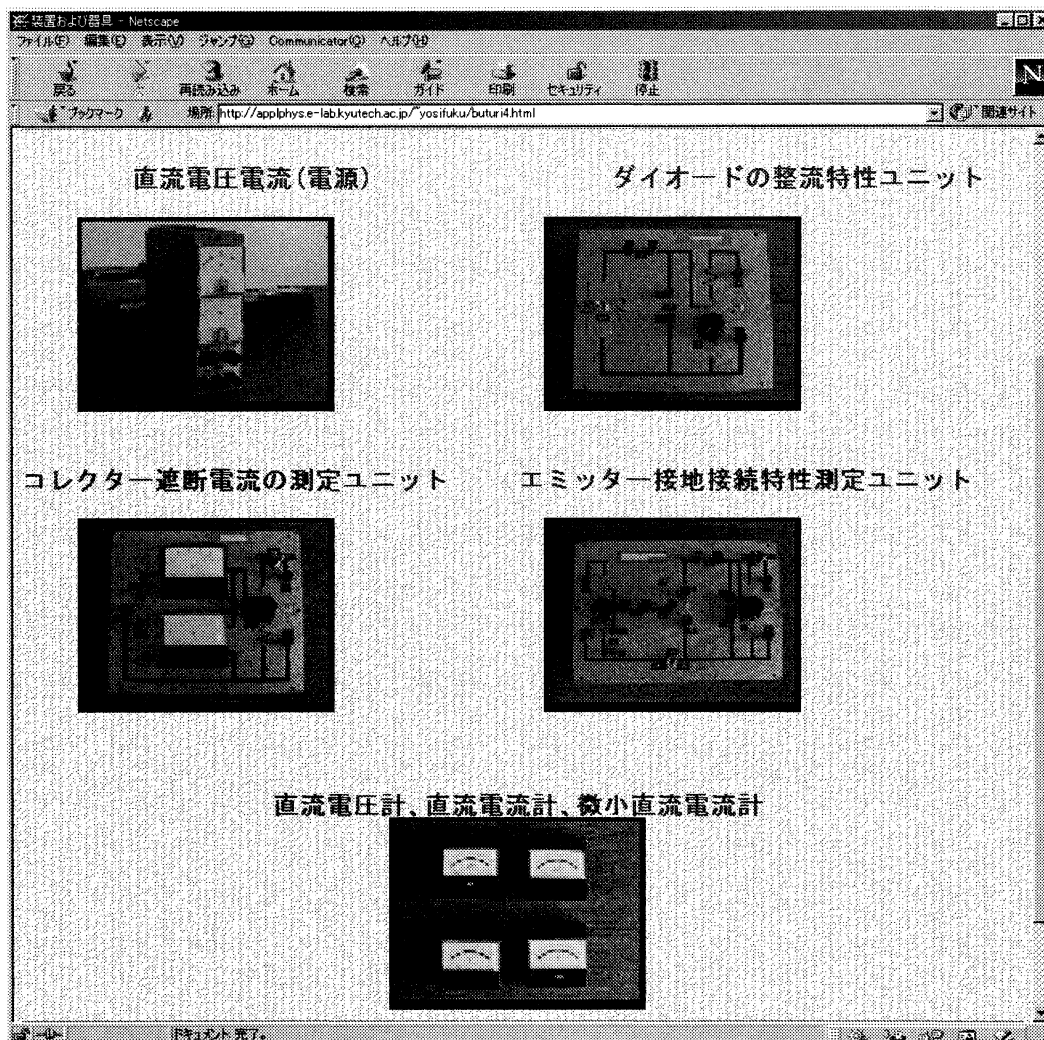


図 7: デバイス物理学デジタル教材における装置の説明

生(基礎学力の幅の広がり)等に対して効果があったとのことだ。利用法としては、第1段階は物理を楽しませるために、次に第2段階は解答選択式や数値代入方式による誘導が考えられる。さらに、自由記述による課題や物理量を表す記号を用い数式作成の第3段階へと進む。これらを駆使することにより、より創造的な学生の育成も可能になればと考えている。難儀なこと(苦痛なこと)が楽しめる境地に達すれば、大成功である。ただ、これに関しては、卓抜したシナリオ(コンテンツ)が必要となる。

今後の技術的な課題や問題点は多々あると思うが、問題点の掘りさげより速い、それを凌駕する技術の進歩の方を強く感じた。さらに全体的鳥瞰図では、技術よりソフト(人間科学)的な難しさを多く感じている。しかし、我々の守備範囲でできることを考えると、様々な試行錯誤を重ね、有用な know how の蓄積(資源化)を図り、その知識を share(共有化)しながら進めて行かなければと思っている。

謝辞

ここでの仕事は、いずれの領域も本学・工学部 近浦吉則教授の指導ならびに共同研究によってできた

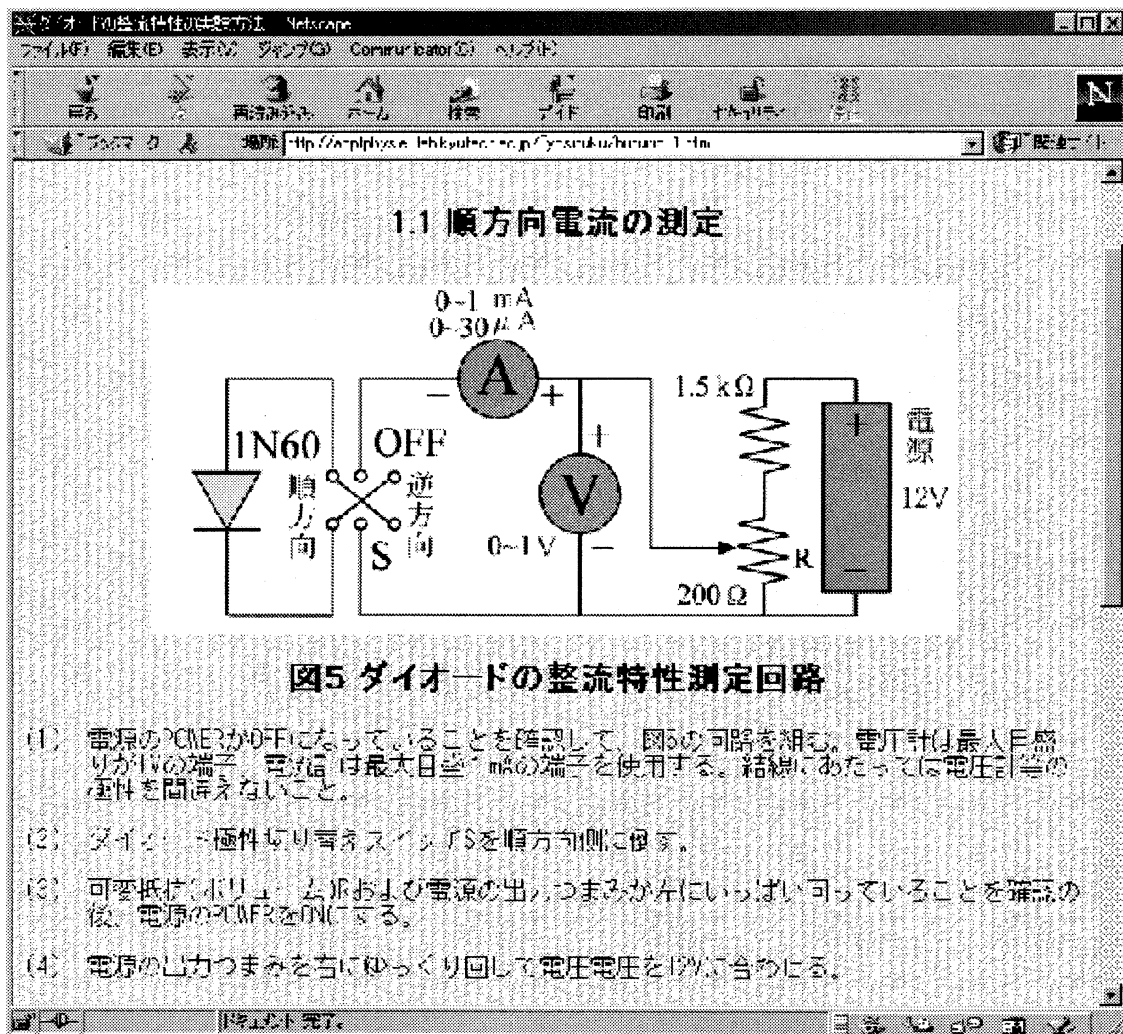


図 8: 文字による実験方法 のダイオード整流特性説明部

ものである。物理実験にコンピューターを用いるテーマなど私が赴任以前から全国に先駆けてやってこられた。私が自信をもって述べることができたのもここにある。CAPE (Computer Aided Physics Education) として活動し、幾つか共著を著すことができた田中洋介教授 (九州共立大学・工学部), 古川昌司助教授 (本学・情報工学部), 太田成俊講師 (九州共立大学・工学部), 大学物理教材のネットワーク化の教材作りを卒論テーマとした吉福貴志, 篠原成美 両君に感謝致す。

参考文献

[1] 鈴木芳文, 近浦吉則: Mathematica で実習する基礎力学 培風館 (1999)

[2] 近浦吉則, 太田成俊, 鈴木芳文, 田中洋介: コンピュータによる物理学演習 理工学基礎課程のための培風館 (1991)

- [3] 田中洋介, 近浦吉則, 太田成俊, 鈴木芳文: 理工学基礎課程の力学 基礎とコンピュータグラフィクス 東京教学社 (1992)
- [4] 鈴木芳文, 古川昌司, 太田成俊, 田中洋介, 近浦吉則: 理工学基礎課程の原子物理学 基礎とコンピュータシミュレーション 東京教学社 (1993)
- [5] 古川昌司, 鈴木芳文, 近浦吉則, 鈴木芳文, 田中洋介: 理工学基礎課程のよくわかる工業数学 基礎とコンピュータグラフィクス 東京教学社 (1997)
- [6] 近浦吉則 基礎教育とコンピューター: 「しぜん」東京教学社 p.1 (1997)
- [7] 近浦吉則 実験テーマからみた工学部基礎課程物理実験 — 九州工業大学工学部物理実験室を中心として —: 「大学の物理教育」 p. 27 (1998)
- [8] 宮脇澤美 代表 大学初年級物理教材のネットワーク化 NEP プロジェクト報告 (I) (1998)



1.1 順方向の測定方法(動画編)



下の回路図を参照にしてください。  
(画面をダブルクリックしてください。)



ダイオードの整流特性測定回路図

図 9: 動画による実験方法の整流特性順方向説明部の図