

パーソナル・コンピューターによる示範化学教育の試み

川 村 静 夫* ・ 藤 井 清 志**
 笹 村 泰 昭*** ・ 遠 藤 俊 二****
 照 井 文 哉*****

Application of Personal Computer to Chemical Education

Shizuo KAWAMURA, Kiyoshi FUJII, Yasuaki SASAMURA
 Shunji ENDO and Fumiya TERUI

要 旨

教育効果の改善を図るために開発された示範教育システム上で用いる化学教育用プログラムを試作した。このプログラムは、酸・塩基平衡および錯形成平衡の概念を講義する際に、溶液内化学種の濃度分率、滴定曲線等をその場で演算し図を作成しつつスクリーン上に示すことにより学生の理解の向上を図ることを目的としている。

Abstract

Several application programs running on a computer using a computer assisted instruction system were made for students to grasp a concept of chemical equilibrium. Function of programs is as follows: Program 1 has a function to calculate ionization fractions for all acid species in a solution as a function of pH and dissociation constant, and was also able to simulate an experiment in acid-base titration. Program 2 has a function to calculate the fractions as a function of ligand concentration for the solution characterized by formation constants, and also gave a Bjerrum formation function that was an average number of coordinated ligands. Calculated curves were gradually displayed on a screen.

1. 緒 言

化学系新入学生の化学的センスを養うためにはまず種々の化合物の性質と種々の化学反応の特性を理解させねばならず、このための最も重要な教科目の一つは分析化学であると考えられている。

このため大学・高専の化学系カリキュラムでは通常分析化学が初年度学生に対し講ぜられるようになっている。

本校においても1年生に対して定性分析実験、

2年生において定量分析実験および分析化学の講義が課せられている。

分析化学の中で扱われる酸・塩基および錯体化学に関しては3年生での無機化学あるいは物理化学においても観点を変えて取り扱われるが、その平衡論、化学量論については共通している部分が少なくない。しかし、2年生での分析化学の講義では、学生の学習進行度と習熟度からいっても、それらの化学量論の初歩にとどまらざるを得ない。

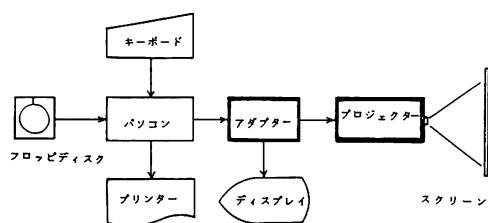
一方、分析化学においても無機化学あるいは物理化学においても、化学の急速の進歩にともない取り扱わねばならぬ事象は増加する一方であり、いきおい上記の平衡論・化学量論については時間数も圧縮されてくる。

* 教 授 工業化学科

** 助 手 "

*** 助教授 "

**** 技 官 "

図1 システムのハードウェア^{4,5,6)}

かぎられた短時間内に酸・塩基および錯体平衡に関する量論を理解させ、計算を一通りできるようにさせるには、教案・教材をよく練り、学生にも十分演習させる等しなければならない。

この情報量の多さを扱うのに従来より種々の教育機器が用いられて来たが、近年パーソナル・コンピュータおよびビデオ関連機器の発達とその普及が著しいので、これらを使用する試みが種々の形で諸所で行われるようになって来た。^{1,2,3)}

本校でも教育方法等改善プロジェクトチームを編成し、多くの情報量をいかに学生に伝えるかの方法を研究しているが、その中で中津を中心としたグループがパーソナル・コンピュータを利用した示範教育システムを開発した。^{4,5,6)}

このシステムは図1に示すような構成であり^{4,5)}、フロッピーディスク内の教材はパーソナル・コンピュータ(NEC PC8001 mk II)で計算処理されたのち、適当なアダプターを介してビデオプロジェクターあるいはディスプレイに出力される。授業の際、教師は教壇に立ち、手元のキーボードを操作しつつ、スクリーンを指し示しながら講義を行なうのである。

このシステムのための分析化学・無機化学の教材を試作したので、その一部をここに報告する。

2. 酸・塩基平衡

i) 滴定曲線

酸・塩基容量分析の講義および実験は2年生時に行なわれる。容量分析のうちpHメーターを用いた滴定曲線の作成は3年生時に行なわれる。滴定曲線の理論式も3年生時の講義に含まれており、2年生時では理解が難しい。しかし2年生時の講義および実験において、種々の酸の滴定曲線を学生に示すことは理解を深める上で必要であり、とくにパーソナル・コンピュータを用いて滴定曲線をえがくことは、パーソナル・コンピュータの演算速度の遅いことが、かえって福をなし、あたかも自動滴定装置を用いて滴定曲線を作成す

るような臨場感をもたらす、既製の図面を配布するよりも数段も効果的である。しかもキーボードを操作することのみにより、同一酸であっても濃度を変化でき、また解離定数の入力値を変えることにより酸の種類を変えたことになるわけで、いかなる酸溶液であっても机上滴定し得る。

さて、今、分析濃度Caの一塩基弱酸HA溶液Va mlを濃度Cbの水酸化ナトリウム溶液で滴定する場合を考えよう。

滴定途次を通じてHAの全濃度[A]_Tは

$$[A]_T = [HA] + [A^-] = \frac{C_a V_a}{V_a + V_b} \quad \dots(1)$$

NaOH溶液をVb ml添加したところでは、滴下NaOHに関する全濃度はナトリウムイオン濃度に等しいので、

$$[Na^+] = \frac{C_b V_b}{V_a + V_b} \quad \dots(2)$$

電荷均衡式は

$$[H^+] + [Na^+] = [OH^-] + [A^-] \quad \dots(3)$$

一方、次の関係が常に成立している。

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-, K_w = [OH^-][H^+] \quad \dots(4)$$

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-, K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \quad \dots(5)$$

(1), (3), (4), および(5)式より

$$[H^+]^3 + \{[Na^+] + K_a\}[H^+]^2 + \{K_a[Na^+] - K_a[A]_T - K_w\}[H^+] - K_a K_w = 0 \quad \dots(6)$$

(1), (2)および(6)式により滴定途次の[H⁺]を計算し得る。

これを基にしてプログラムを作成する。

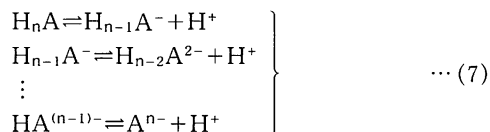
同様に多塩基弱酸の滴定曲線に関する計算式を導びくことができ、これに基づいてプログラムを作成し得る。

一塩基酸から四塩基酸までの滴定曲線に関するプログラムをプログラムリストIに示す。プログラム作成に当り一部文献2を参考とした。

ii) 弱酸HnA溶液に関する分布図

(α vs pH図)

弱酸HnAが水溶液中で次のように解離するとき、



それぞれの反応に対する酸解離定数をK₁, K₂, …, K_nとおけば

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{[H^+][H_{n-1}A^-]}{[H_nA]} \\ K_2 &= \frac{[H^+][H_{n-2}A^{2-}]}{[H_{n-1}A^-]} \\ &\vdots \\ K_n &= \frac{[H^+][A^{n-}]}{[HA^{(n-1)-}]} \end{aligned} \right\} \quad \dots(8)$$

この酸溶液の A に関する質量均衡式は A の全濃度を $[A]_T$ と書くと、

$$[A]_T = [H_nA] + [H_{n-1}A^-] + \dots + [A^{n-}] \quad \dots(9)$$

さて、分率 α は

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{[H_nA]}{[A]_T} \\ \alpha_1 &= \frac{[H_{n-1}A^-]}{[A]_T} \\ &\vdots \\ \alpha_n &= \frac{[A^{n-}]}{[A]_T} \end{aligned} \right\} \quad \dots(10)$$

(8)式を用いると(10)式は

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= \frac{[H_nA]}{[A]_T} \\ \alpha_1 &= \frac{K_1}{[H^+]} \alpha_0 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{K_1 K_2}{[H^+]^2} \alpha_0 \\ &\vdots \\ \alpha_n &= \frac{K_1 K_2 \dots K_n}{[H^+]^n} \alpha_0 \end{aligned} \right\} \quad \dots(11)$$

(9)式に(11)式を入れると

$$[A]_T = \alpha_0 [A]_T + \alpha_1 [A]_T + \dots + \alpha_n [A]_T$$

すなわち

$$\alpha_0 + \alpha_1 + \dots + \alpha_n = 1 \quad \dots(12)$$

(12)に(11)を入れて整理すると、

$$\alpha_0 = \frac{[H^+]^n}{[H^+]^n + K_1 [H^+]^{n-1} + K_1 K_2 [H^+]^{n-2} + \dots + K_1 K_2 K_3 \dots K_n} \quad \dots(13)$$

(13)を(11)の各式に入れると、例えば、

$$\alpha_n = \frac{K_1 K_2 K_3 \dots K_n}{[H^+]^n + K_1 [H^+]^{n-1} + \dots + K_1 K_2 K_3 \dots K_n} \quad \dots(14)$$

これら(13)式より(14)式に至る各式を利用してプログラムを作成して α vs pH 図を描き得る。

それをプログラムリスト I に示す。

さて、分布図は酸を滴定していく際の溶液中の化学種の分布を示すものであり、滴定曲線の別の

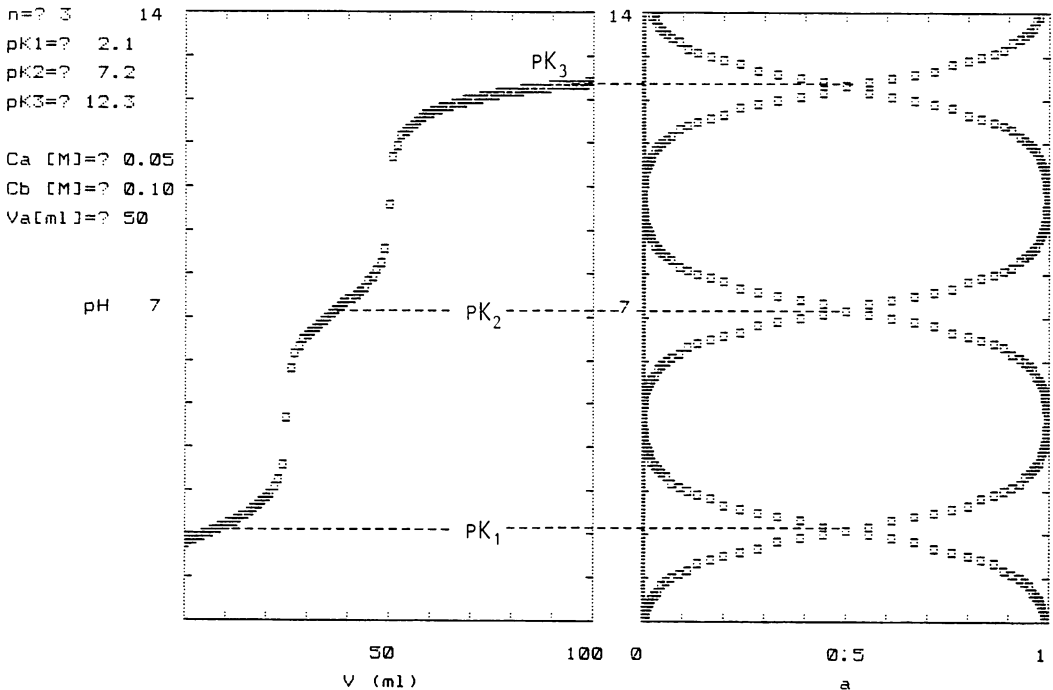


図2 リン酸の滴定曲線と分布図

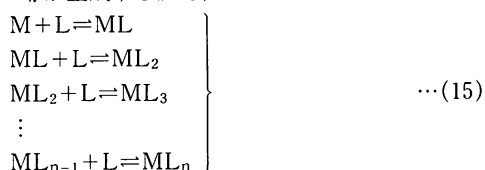
形のものであるといえる。滴定曲線と分布図が学生にとっては結びつかず全く別々のものであると考える者もある。したがって滴定曲線と分布図とを対比させて描き、 pK_1 , pK_2 , ……等の位置関係を両図において示すことは学生に酸溶液を理解させる上で重要なことである。

例としてリン酸に関する滴定曲線と分布図とを対比させた図を図2に示す。

3. 錯体平衡

i) 分布図 (α vs pL 図)

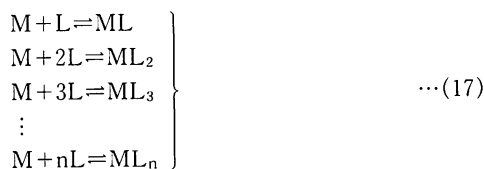
金属 M と配位子 L とから錯体 ML , ML_2 , …, ML_n が生成する反応,



の逐次生成定数は

$$\left. \begin{array}{l} K_1 = \frac{[ML]}{[M][L]} \\ K_2 = \frac{[ML_2]}{[ML][L]} \\ K_3 = \frac{[ML_3]}{[ML_2][L]} \\ \vdots \\ K_n = \frac{[ML_n]}{[ML_{n-1}][L]} \end{array} \right\} \quad \cdots(16)$$

と定義される。また反応を次のように書いたとき、



全生成定数は

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = \frac{[ML]}{[M][L]} \\ \beta_2 = \frac{[ML_2]}{[M][L]^2} \\ \beta_3 = \frac{[ML_3]}{[M][L]^3} \\ \vdots \\ \beta_n = \frac{[ML_n]}{[M][L]^n} \end{array} \right\} \quad \cdots(18)$$

と定義される。金属の全濃度を $[M]_T$ と書くと、

$$[M]_T = [M] + [ML] + [ML_2] + \cdots + [ML_n] \quad \cdots(19)$$

これを(18)を用いて書くと、

$$[M]_T = [M] \sum_{i=0}^n \beta_i [L]^i \quad \cdots(20)$$

さて、各化学種の分率 α は(18)と(20)式を用いて

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_0 = \frac{[M]}{[M]_T} = \frac{1}{\sum_{i=0}^n \beta_i [L]^i} \\ \alpha_1 = \frac{[ML]}{[M]_T} = \frac{\beta_1 [L]}{\sum_{i=0}^n \beta_i [L]^i} \\ \vdots \\ \alpha_n = \frac{[ML_n]}{[M]_T} = \frac{\beta_n [L]^n}{\sum_{i=0}^n \beta_i [L]^i} \end{array} \right\} \quad \cdots(21)$$

(21)を用いて α vs pL 図を描き得る。

ii) Bjerrum の生成関数

錯体 ML , ML_2 , …, ML_n を生成する金属 M と配位子 L が存在する水溶液で L の全濃度を $[L]_T$ と書くと、

$$[L]_T = [L] + [ML] + 2[ML_2] + \cdots + n[ML_n]$$

これを(18)を用いて書き直せば

$$[L]_T = [L] + [M] \sum_{i=1}^n i \beta_i [L]^i \quad \cdots(22)$$

さて、金属1個当りの平均の結合配位子の数を $\bar{n}$ とすると

$$\bar{n} = \frac{[L]_T - [L]}{[M]_T} \quad \cdots(23)$$

(20)と(22)を用いてかき直すと、

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^n i \beta_i [L]^i}{\sum_{i=0}^n \beta_i [L]^i} \quad \cdots(24)$$

(24)式は Bjerrum の生成関数といわれる。

(21)と(24)式を見くらべてわかるように、

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^n i \alpha_i \quad \cdots(25)$$

(24)式を基にしてプログラムを作成し、 $\bar{n}$ vs pL 図を描き得る。

α vs pL 図と $\bar{n}$ vs pL 図は(25)からわかるように互に関連した図であり、これを対比して示すことは錯形成反応を理解させる上で重要である。

これらを対比して作図するプログラムをプログラムリストIIに示す。また図3は銅-アンモニア錯体に関する α vs pL 図と $\bar{n}$ vs pL 図を対比させ

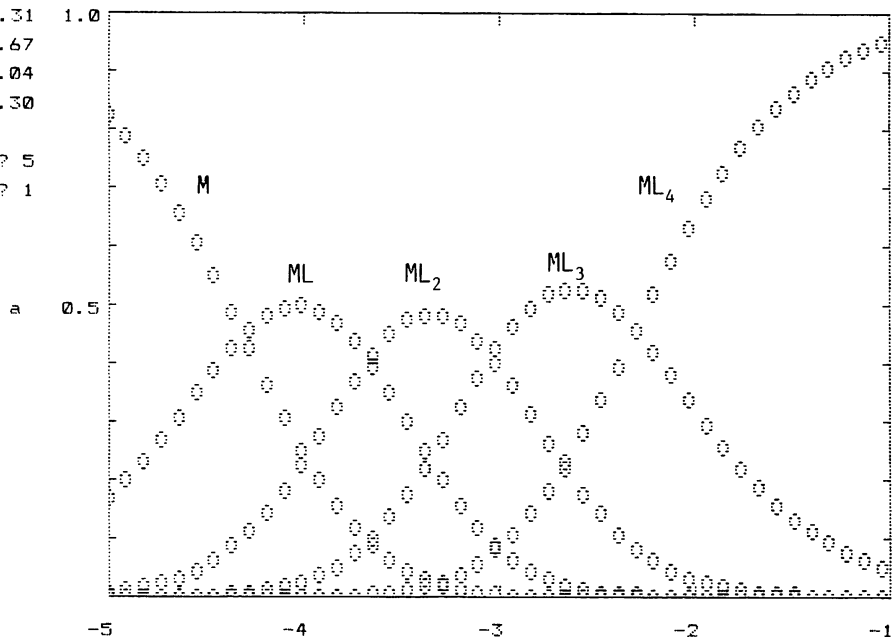
た図である。

α vs pL 図と $\bar{n}$ vs pL 図を対比させることにより、当り前のことであるが、例えば銅は 4 配位であるので $\bar{n}$ は 4 以上にならず、分布図の描かれた

後、 $\bar{n}$ vs pL 図が作図されると、あらためて学生は銅が 4 配位であり、 $\bar{n}$ は 4 以上になり得ないことをまことに感覚的にも理解し納得する。

log k 1 ? 4.31
log k 2 ? 3.67
log k 3 ? 3.04
log k 4 ? 2.30

Max -log[L]? 5
min -log[L]? 1



log k 1= 4.31
log k 2= 3.67
log k 3= 3.04
log k 4= 2.30

Max -log[L] 5
min -log[L] 1

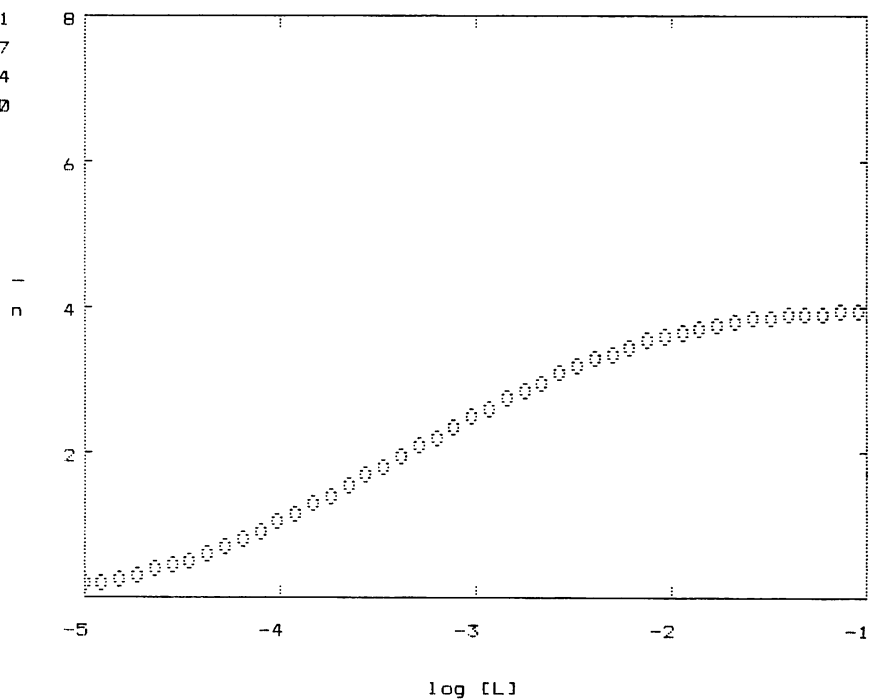


図3 銅-アンモニア錯体に関する分布図と $\bar{n}$ vs pL 図。

プログラムリスト I

(滴定曲線と α vs. pH 図)

```

1000 '**** titn CAI ... acid base titn. & a-pH **** K.Fujii Aug. 7,1984
1010 '                                     version 1.2 August 18,1984
1020 'utilities .....
1030 WIDTH 80,25:CONSOLE ,,0:CMD SCREEN 0,0,7:CMD VIEW (0,0)-(639,199):CMD CLS3
1040 KEY 2,"cmd cls 3"+CHR$(13):KEY 6,"locate "
1050 'lprint chr$(30);chr$(27);"n";chr$(6)
1060 DEFINT I-J
1070 GOSUB 9000 '...label subroutine
1080 M1=0 'reset flag
1090 *MAIN
1100 'input data .....
1110 K=0:GOSUB 8010:INPUT "n=";N:N=INT(N):IF N<=0 OR N>4 THEN 1110
1120 FOR I=1 TO N
1130 K=I:GOSUB 8010:PRINT USING "pK#=";I;:INPUT PK(I):K(I)=10^(-PK(I))
1140 NEXT I
1150 K=N+1:GOSUB 8010:PRINT "OK ? y/n"
1160 P$=INKEY$:IF P$="y" THEN 1210 ELSE IF P$="n" THEN 1170 ELSE 1160
1170 FOR I=0 TO N+1
1180 K=I:GOSUB 8010
1190 NEXT
1200 GOTO 1110
1210 K=N+1:GOSUB 8010
1220 IF M1=0 THEN GOSUB *FRAME:GOSUB *SCALE:K=N+2:GOSUB 8010:GOTO *APH
1230 K=N+2:GOSUB 8020:PRINT "erase a screen? y/n"
1240 P$=INKEY$:IF P$="y" THEN 1250 ELSE IF P$="n" THEN *APH ELSE 1240
1250 K=N+2:GOSUB 8020:GOSUB *FRAME:GOTO *APH
1260 *FRAME
1270 CMD VIEW (0,0)-(639,199):CMD CLS 2
1280 CMD VIEW (109,0)-(639,168)
1290 CMD LINE (0,0)-(250,168),,B:CMD LINE (280,0)-(530,168),,B
1295 'CMD LINE (250,0)-(250,168):CMD LINE (270,0)-(270,168)
1300 FOR I=0 TO 250 STEP 25
1310 CMD LINE(I,1)-(I,2):CMD LINE(I,166)-(I,167)
1320 NEXT
1322 FOR I=280 TO 530 STEP 25
1324 CMD LINE(I,1)-(I,2):CMD LINE(I,166)-(I,167)
1326 NEXT
1330 FOR I=0 TO 168 STEP 12
1340 CMD LINE(1,I)-(4,I):CMD LINE(246,I)-(249,I)
1342 CMD LINE (281,I)-(284,I):CMD LINE(526,I)-(529,I)
1350 NEXT
1360 RETURN
1370 *SCALE
1380 LOCATE 10, 0:PRINT "14":LOCATE 46, 0:PRINT "14"
1390 LOCATE 10,10:PRINT " 7":LOCATE 46,10:PRINT " 7"
1400 LOCATE 11,22:PRINT " 0":LOCATE 47,22:PRINT " 0"
1410 LOCATE 28,22:PRINT "50"

```

```
1420 LOCATE 43,22:PRINT "100"
1430 LOCATE 63,22:PRINT "0.5"
1440 LOCATE 79,22:PRINT "1"
1450 LOCATE 6,10:PRINT "pH"
1460 LOCATE 26,23:PRINT "V (ml)"
1470 LOCATE 64,23:PRINT "a"
1480 RETURN
1490 *APH
1500 CMD VIEW (389,0)-(639,168)
1510 K=N+2:GOSUB 8020
1520 LOCATE 0,23:PRINT "pH="
1530 FOR PH=0 TO 14 STEP .1
1540   CH=10^(-PH)
1550   KH(0)=1
1560   FOR I=1 TO N
1570     KH(I)=KH(I-1)*K(I)/CH
1580   NEXT I
1590   SKH=0
1600   FOR I=0 TO N
1610     SKH=SKH+KH(I)
1620   NEXT I
1630   A(0)=1/SKH
1640   FOR I=1 TO N
1650     A(I)=A(0)*KH(I)
1660   NEXT I
1670   LOCATE 3,23:PRINT USING "###.##";PH
1680   FOR I=0 TO N
1690     Y =168-INT(PH*12+.5)
1700     X(I)=A(I)*250+.5
1710     CMD CIRCLE (X(I),Y),2 'CMD PSET(X(I),Y)
1720   NEXT I
1730 NEXT PH
1740 K=23:GOSUB 8010
1750 GOTO *TITN
1760 *TITN
1770 CMD VIEW (109,0)-(359,168)
1780 K=N+2:GOSUB 8010:INPUT "Ca [M]=";CA
1790 K=N+3:GOSUB 8010:INPUT "Cb [M]=";CB
1795 K=N+4:GOSUB 8010:INPUT "Va[ml]=";VA
1800 K=N+5:GOSUB 8010:PRINT "OK ? y/n"
1810 P$=INKEY$:IF P$="y" THEN 1850 ELSE IF P$="n" THEN 1820 ELSE 1810
1820 FOR I=N+2 TO N+5
1830   K=I:GOSUB 8010
1840 NEXT:GOTO 1780
1850 K=N+5:GOSUB 8010:IF M1=0 THEN 1960
1860 PRINT "CLS? y/n"
1870 P$=INKEY$:IF P$="y" THEN 1880 ELSE IF P$="n" THEN 1960 ELSE 1870
1880 K=N+5:GOSUB 8010:CMD CLS 2
1890 CMD LINE (0,0)-(250,168),,0
1900 FOR I=0 TO 250 STEP 25
```

```

1910  CMD LINE (I,1)-(I,2):CMD LINE (I,166)-(I,167)
1920  NEXT
1930  FOR I=0 TO 160 STEP 12
1940  CMD LINE (I,I)-(I,I):CMD LINE (247,I)-(248,I)
1950  NEXT
1960  K=N+5:GOSUB 8010
1970  KW=1E-14:NMAX=100:EPS=1E-04:H0=SQR(CA*K(1))
1980  LOCATE 0,22:PRINT "V ="
1990  LOCATE 0,23:PRINT "pH="
2000  ON N GOTO *P1,*P2,*P3,*P4
2010  *P1
2020  DEF FNF1(X)=AA*X^3+BB*X^2+CC*X+DD
2030  DEF FND1(X)=3*AA*X^2+2*BB*X+CC
2040  FOR VB=0 TO 100 STEP 1
2050  AA= 1
2060  BB= CB*VB/(VB+VA)+K(1)
2070  CC= K(1)*CB*VB/(VB+VA)-K(1)*CA*VA/(VB+VA)-KW
2080  DD=-K(1)*KW
2090  FOR J=1 TO NMAX
2100  H1= H0-FNF1(H0)/FND1(H0)
2110  DH= ABS((H1-H0)/H0)
2120  IF DH<EPS THEN 2150
2130  H0=H1
2140  NEXT J:LOCATE 0,20:PRINT "シミュレーション":STOP
2150  GOSUB *PLOT
2160  NEXT VB
2170  GOTO *SELECT
2180  RETURN
2190  *P2
2200  DEF FNF2(X)=AA*X^4+BB*X^3+CC*X^2+DD*X+EE
2210  DEF FND2(X)=4*AA*X^3+3*BB*X^2+2*CC*X+DD
2220  FOR VB=0 TO 100 STEP 1
2230  AA= 1
2240  BB= CB*VB/(VB+VA)+K(1)
2250  CC= K(1)*CB*VB/(VB+VA)-K(1)*CA*VA/(VB+VA)+K(1)*K(2)-KW
2260  DD= K(1)*K(2)*CB*VB/(VB+VA)-2*K(1)*K(2)*CA*VA/(VB+VA)-K(1)*KW
2270  EE=-K(1)*K(2)*KW
2280  FOR J=1 TO NMAX
2290  H1= H0-FNF2(H0)/FND2(H0)
2300  DH= ABS((H1-H0)/H0)
2310  IF DH<EPS THEN 2340
2320  H0=H1
2330  NEXT J:LOCATE 0,20:PRINT "シミュレーション":STOP
2340  GOSUB *PLOT
2350  NEXT VB
2360  GOTO *SELECT
2370  *P3
2380  DEF FNF3(X)=AA*X^5+BB*X^4+CC*X^3+DD*X^2+EE*X+FF
2390  DEF FND3(X)=5*AA*X^4+4*BB*X^3+3*CC*X^2+2*DD*X+EE
2400  FOR VB=0 TO 100 STEP 1

```

```

2410 AA= 1
2420 BB= CB*VB/(VB+VA)+K(1)
2430 CC= K(1)*CB*VB/(VB+VA)-K(1)*CA*VA/(VB+VA)+K(1)*K(2)-KW
2440 DD= K(1)*K(2)*CB*VB/(VB+VA)-2*K(1)*K(2)*CA*VA/(VB+VA)+K(1)*K(2)*K(3)-K(1)*KW
2450 EE= K(1)*K(2)*K(3)*CB*VB/(VB+VA)-3*K(1)*K(2)*K(3)*CA*VA/(VB+VA)-K(1)*K(2)*KW
2460 FF=-K(1)*K(2)*K(3)*KW
2470 FOR J=1 TO NMAX
2480   H1= H0-FNF3(H0)/FND3(H0)
2490   DH= ABS((H1-H0)/H0)
2500   IF DH<EPS THEN 2530
2510   H0=H1
2520 NEXT J:LOCATE 0,20:PRINT "ジョウリツ":STOP
2530 GOSUB *PLOT
2540 NEXT VB
2550 GOTO *SELECT
2560 *P4
2570 DEF FNF4(X)=AA*X^6+BB*X^5+CC*X^4+DD*X^3+EE*X^2+FF*X+GG
2580 DEF FND4(X)=6*AA*X^5+5*BB*X^4+4*CC*X^3+3*DD*X^2+2*EE*X+FF
2590 FOR VB=0 TO 100 STEP 1
2600   AA= 1
2610   BB= CB*VB/(VB+VA)+K(1)
2620   CC= K(1)*CB*VB/(VB+VA)-K(1)*CA*VA/(VB+VA)+K(1)*K(2)-KW
2630   DD= K(1)*K(2)*CB*VB/(VB+VA)-2*K(1)*K(2)*CA*VA/(VB+VA)+K(1)*K(2)*K(3)-K(1)*KW
2640   EE= K(1)*K(2)*K(3)*CB*VB/(VB+VA)-3*K(1)*K(2)*K(3)*CA*VA/(VB+VA)+K(1)*K(2)*K(3)*K(4)
      -K(1)*K(2)*KW
2650   FF= K(1)*K(2)*K(3)*K(4)*CB*VB/(VB+VA)-4*K(1)*K(2)*K(3)*K(4)*CA*VA/(VB+VA)
      -K(1)*K(2)*K(3)*KW
2660   GG=-K(1)*K(2)*K(3)*K(4)*KW
2670   FOR J=1 TO NMAX
2680     H1= H0-FNF4(H0)/FND4(H0)
2690     DH= ABS((H1-H0)/H0)
2700     IF DH<EPS THEN 2730
2710     H0=H1
2720   NEXT J:LOCATE 0,20:PRINT "ジョウリツ":STOP
2730   GOSUB *PLOT
2740 NEXT VB
2750 GOTO *SELECT
2760 *PLOT
2770 LOCATE 3,22:PRINT USING "###.## m1";VB
2780 PH=-LOG(H1)/LOG(10)
2790 LOCATE 3,23:PRINT USING "###.##";PH
2800 X = VB*2.5
2810 Y = 168-INT(PH*12+.5)
2820 CMD CIRCLE (X,Y),2 'CMD PSET (X,Y)
2830 RETURN
2840 *SELECT
2850 M1=1 'set flag
2860 K=22:GOSUB 8010
2870 K=23:GOSUB 8010:PRINT "1:new Ca,Cb, 2:new Ka, 3:copy, 4:end"
2880 P=VAL(INKEY$):IF P<1 OR P>4 THEN 2880 ELSE K=23:GOSUB 8040

```

```

2890 LOCATE 26,23:PRINT "V (ml)"
2900 ON P GOTO 2910,2920,2960,2970
2910 GOTO *TITN
2920 FOR I=0 TO N+4
2930   K=I:GOSUB 8010
2940 NEXT
2950 GOTO *MAIN
2960 K=23:GOSUB 8020:CMD COPY 3:GOTO 2870
2970 LOCATE 0,21:END
8000 'eraser
8010 LOCATE 0,K:PRINT SPC(13):LOCATE 0,K:RETURN
8020 LOCATE 0,K:PRINT SPC(20):LOCATE 0,K:RETURN
8030 LOCATE 0,K:PRINT SPC(30):LOCATE 0,K:RETURN
8040 LOCATE 0,K:PRINT SPC(40):LOCATE 0,K:RETURN
9000 '***** "label BAS", label option ***** from "THE BASIC" 1984-3 p-30
9010 '
9020 DEFINT Z:PRINT CHR$(12);:OUT 81,0
9030 RESTORE 9070:GOSUB 9060:DEFUSR=&HF220:Z1=USR(0)
9040 FOR Z2=1 TO 6:GOSUB 9060:NEXT:WIDTH,
9050 RETURN
9060 READ Z3,Z4:FOR Z5=0 TO Z4-1:READ A$:POKE Z3+Z5,VAL("&H"+A$):NEXT:RETURN
9070 DATA &HF220,224
9080 DATA 11,ce,ed,ed,53,52,ea,21,bd,33,01,04,01,ed,b0,c9
9090 DATA c8,fe,f5,c0,f1,c3,be,45,cd,8f,4a,7e,fe,89,28,05
9100 DATA cd,9b,40,d8,2b,e5,cd,90,26,e1,28,08,d7,fe,f5,28
9110 DATA 45,c3,1c,47,16,01,cd,be,45,b7,c8,d7,fe,a1,20,f6
9120 DATA 15,20,f3,18,e7,ca,f4,3d,fe,f5,c2,40,45,cd,f8,3d
9130 DATA 01,fa,41,c5,18,20,fe,f5,c2,55,45,0e,03,cd,9d,3b
9140 DATA cd,cc,f2,c1,e5,e5,2a,52,eb,e3,3e,8d,f5,33,c5,18
9150 DATA 08,fe,f5,c2,6d,45,cd,cc,f2,ed,5b,54,eb,eb,22,1e
9160 DATA f2,5e,23,56,7a,b3,ca,9e,45,23,23,23,7e,fe,20,28
9170 DATA fa,fe,f5,20,e8,d5,23,5e,23,7e,cd,f5,f2,57,2a,1c
9180 DATA f2,cd,d3,5e,d1,20,d6,2a,1e,f2,2b,c9,23,7e,cd,e2
9190 DATA f2,5e,23,7e,cd,f5,f2,c4,e2,f2,57,ed,53,1c,f2,c3
9200 DATA be,45,fe,30,da,df,3b,fe,3a,d8,fe,41,da,df,3b,fe
9210 DATA 5b,d8,c3,df,3b,b7,c8,fe,30,38,03,fe,3a,c0,af,c9
9220 DATA &HFF40,192
9230 DATA cd,52,ff,c3,dc,58,3e,01,32,49,eb,c1,cd,52,ff,c3
9240 DATA 10,57,11,00,00,d5,28,12,d1,cd,73,ff,d5,28,11,fe
9250 DATA 2c,20,03,d7,18,04,cd,9b,40,f4,11,fa,ff,c4,73,ff
9260 DATA c3,ba,3d,fe,f5,c2,aa,44,e5,cd,96,f2,23,23,23,5e
9270 DATA 23,56,e1,d7,c8,fe,2c,20,fa,b7,c9,00,00,00,00,00
9280 DATA fe,a6,20,16,d7,cd,9b,40,89,fe,f5,c2,4e,46,e5,cd
9290 DATA 96,f2,23,22,97,ef,e1,c3,be,45,cd,fa,56,7e,47,fe
9300 DATA 8d,28,05,cd,9b,40,89,2b,4b,0d,78,ca,41,42,cd,c6
9310 DATA ff,fe,2c,c0,18,f3,23,7e,fe,20,28,fa,da,b5,44,fe
9320 DATA 2c,c8,fe,3a,c8,18,ef,11,99,ef,1a,b7,ca,ee,3b,3c
9330 DATA 32,46,eb,12,7e,fe,f5,ca,96,f2,c3,9a,46,ca,02,43
9340 DATA fe,f5,c2,02,43,e5,cd,96,f2,22,a6,ef,e1,c3,be,45
9350 DATA &HEDDE, 10, 91,f2,65,f2,38,f2,ed,ff,76,f2

```

```

9360 DATA &HEDF2, 6, 4b,ff,e0,3d,90,ff
9370 DATA &HEE08, 2, 46,ff
9380 DATA &HEE1A, 4, D7,ff,40,ff
9390 DATA &HF207, 3, c3,30,f2
9400 'END OF LABEL ROUTINE ...

```

プログラムリストII

(α vs. pL 図と $\bar{n}$ vs. pL 図)

```

1000 '***** METAL COMPLEX ... file name "a-pL v11" *****
1010 '
1020 '----- log a vs log [L] ,n vs log [L] version 2.2 November 27,1984 -----
1030 '
1040 '      Tomakomai Technical College  K.FUJII      --- January 13,1984 ---
1050 '
1060 CONSOLE 0,25,0,0
1070 WIDTH 80,25
1080 CMD CLS 3
1090 KEY 2,"cmd cls 3"+CHR$(13)
1100 CMD VIEW (156,0)-(636,160)
1110 '
1120 FIELD 2,11 AS FL$,2 AS CN$,2 AS ML$,2 AS SL$
1130 NX=ASC(CN$)
1140 IF NX<1 OR NX>8 THEN 1330
1150 FOR IX=1 TO NX
1160     FIELD 2,(17+4*(IX-1)) AS DY$,4 AS K$(IX)
1170     NEXT IX
1180 ML%=CVI(ML$):SL%=CVI(SL$)
1190 '
1200 DIM K(NX),LK(NX),D(NX,80),X(NX,80),Y(NX,80)
1210 FOR IX=1 TO NX
1220     LK(IX)=CVS(K$(IX)):LK=LK+LK(IX):K(IX)=10^(LK)
1230     NEXT IX
1240 LK=0:V%=0:GOSUB 9020
1250 FOR IX=1 TO NX
1260     PRINT USING "log k #=###.##";IX,LK(IX):LK=LK+LK(IX):K(IX)=10^(LK)
1270     NEXT IX
1280 V%=NX+1:GOSUB 9030:V%=NX+2:GOSUB 9030:LOCATE 0,NX+1
1290 PRINT "Max -log[L]";ML%      '--- ハイシ /ウト` ヒョクシ` ノイ
1300 PRINT "min -log[L]";SL%
1310 GOTO 1440
1320 '
1330 '***** テ`タ / ニョリョク *****
1340 INPUT "ハイシク n=";NX
1350 IF NX<=0 OR NX>8 THEN V%=0:GOSUB 9020:GOTO 1340
1360 DIM K(NX),LK(NX),D(NX,80),X(NX,80),Y(NX,80)
1370 LK=0:V%=0:GOSUB 9020
1380 FOR IX=1 TO NX      '--- ハイシテイスク ニョリョク
1390     PRINT "log k";IX;:INPUT LK(IX):LK=LK+LK(IX):K(IX)=10^(LK)
1400 NEXT IX

```

```

1410 VZ=NX+1:GOSUB 9030:VZ=NX+2:GOSUB 9030:LOCATE 0,NZ+1
1420 INPUT "Max -log[L]";MLZ          '--- 最大の log L を入力
1430 INPUT "min -log[L]";SLZ
1435 '
1440 IF MLZ<=SLZ THEN 1410
1450 PEZ=MLZ-SLZ                        '--- X の差を計算
1460 IF PEZ<1 OR PEZ>48 THEN 1410
1470 XP=480/PEZ                          '--- X の差を正規化
1480 FRAC=XP-INT(XP)
1490 IF FRAC=0 THEN 1520
1500 PEZ=PEZ+1
1510 GOTO 1460
1520 IF PEZ<= 8 THEN XU%=1:GOTO 1550   '--- X の差が小さい場合は 1
1530 IF PEZ<=16 THEN XU%=2:GOTO 1550
1540 IF PEZ<=48 THEN XU%=5:GOTO 1550
1550 VZ=20:GOSUB 9030:VZ=22:GOSUB 9030
1560 LOCATE 0,23:PRINT "1:a-pL,2:n-pL,3:range,4:copy,5:plotter,6:new"
1570 K$=INKEY$:KZ=VAL(K$):IF KZ<1 OR KZ>6 THEN 1570
1580 ON KZ GOTO 1590,1600,1610,1620,1630,1640 ' ,1650
1590 GOSUB 9040:GOTO 2000
1600 GOSUB 9040:GOTO 3000
1610 GOSUB 9040:GOTO 1410
1620 GOSUB 9040:CMD COPY 3:GOTO 1550
1630 IF GS%=0 THEN BEEP:GOTO 1550 ELSE GOSUB 4000:LOAD "1:plot+ apL",R
1640 RUN
1650 'LOAD "MENU CAI",R
1660 '
2000 '***** a vs log [L] *****
2010 GS%=1
2020 CMD CLS 2:LOCATE 0,21:PRINT SPC(79)
2030 CMD LINE (0,0)-(480,160),,B      '--- 77
2040 FOR IX=0 TO 480 STEP XP          '--- X の差を計算
2050   CMD LINE (IX,0)-(IX,3):CMD LINE (IX,157)-(IX,160)
2060 NEXT IX
2070 FOR IX=0 TO 160 STEP 16          '--- Y の差を計算
2080   CMD LINE (0,IX)-(4,IX):CMD LINE (476,IX)-(480,IX)
2090 NEXT IX
2100 SI%=PEZ-MLZ
2110 IF XU%=5 THEN PX=1:GOTO 2160 ELSE PX=XU%
2120 FOR IX=-MLZ TO SI% STEP XU%      '--- X の差を計算
2130   LOCATE 17+(60/PEZ)*(IX+MLZ),21:PRINT USING "###";IX
2140 NEXT IX
2150 GOTO 2200
2160 FOR IX=-MLZ TO SI% STEP 1
2170   IF (IX/5-INT(IX/5))<>0 THEN 2190
2180   LOCATE 17+(60/PEZ)*(IX+MLZ),21:PRINT USING "###";IX
2190 NEXT IX
2200 FOR IX=0 TO 8 STEP 2
2210   LOCATE 16,IX*5/2:PRINT "  "
2220 NEXT IX

```

```

2230 LOCATE 16, 0:PRINT "1.0"
2240 LOCATE 16,10:PRINT "0.5"
2250 LOCATE 16,20:PRINT " 0"
2260 LOCATE 5,22:PRINT " "
2270 LOCATE 14, 9:PRINT " "
2280 LOCATE 14,10:PRINT " "
2290 LOCATE 12,10:PRINT "a"
2300 LOCATE 46,23:PRINT "log [L]"
2310 '
2320 '***** a / 7747 74777 plot 77 *****
2330 NL=1/LOG(10) '--- NL=ln(10)
2340 LOCATE 0,20:PRINT "log[L]="
2350 SP=PE%.05/5+.05:IF SP>.15 THEN SP=.15
2360 LS%=0
2370 FOR LL=-ML% TO SI% STEP SP
2380 L=10^(LL)
2390 KL=0
2400 FOR IX=1 TO NX
2410 KL=KL+K(IX)*L^IX
2420 NEXT IX
2430 KL=1+KL
2440 X%=INT((LL+ML%)*XP)
2450 B0=1/KL
2460 X(0,LS%)=LL:Y(0,LS%)=B0
2470 Y%=160-INT(B0*160+.5)
2480 CMD CIRCLE (X%,Y%),3 'CMD PSET (X%,Y%)
2490 FOR IX=1 TO NX
2500 BI=K(IX)*L^IX/KL
2510 X(IX,LS%)=LL:Y(IX,LS%)=BI
2520 Y%=160-INT(BI*160+.5)
2530 CMD CIRCLE (X%,Y%),3 'CMD PSET (X%,Y%)
2540 NEXT IX
2550 LOCATE 7,20:PRINT USING "###.##";LL
2560 LS%=LS%+1
2570 NEXT LL
2580 GOTO 1550
2590 '
3000 '***** n vs log [L] *****
3010 GS%=2
3020 CMD CLS 2:LOCATE 0,21:PRINT SPC(79)
3030 CMD LINE (0,0)-(480,160),,B
3040 FOR IX=0 TO 480 STEP XP
3050 CMD LINE (IX,0)-(IX,3):CMD LINE (IX,157)-(IX,160)
3060 NEXT IX
3070 FOR IX=0 TO 160 STEP 40
3080 CMD LINE (0,IX)-(4,IX):CMD LINE (476,IX)-(480,IX)
3090 NEXT IX

```

```

3100 SI% = PE% - ML%
3110 IF XU% > 5 THEN PX = 1: GOTO 3160 ELSE PX = XU%
3120 FOR IX = -ML% TO SI% STEP XU% '--- X ｼﾞｸ / スﾌ
3130 LOCATE 17 + (60 / PE%) * (IX + ML%), 21: PRINT USING "###"; IX
3140 NEXT IX
3150 GOTO 3230
3160 FOR IX = -ML% TO SI% STEP 1
3170 IF (IX / 5 - INT (IX / 5)) < > 0 THEN 3190
3180 LOCATE 17 + (60 / PE%) * (IX + ML%), 21: PRINT USING "###"; IX
3190 NEXT IX
3200 FOR IX = 0 TO 8 STEP 2
3210 LOCATE 16, IX * 5 / 2: PRINT " "
3220 NEXT IX
3230 FOR IX = 0 TO -8 STEP -2 '--- Y ｼﾞｸ / スﾌ
3240 LOCATE 16, -IX * 5 / 2: PRINT USING "###"; IX + 8
3250 NEXT IX
3260 LOCATE 12, 10: PRINT " " '--- Y ｼﾞｸ / ｸﾛｲ ｷﾄ
3270 LOCATE 14, 9: PRINT "-"
3280 LOCATE 14, 10: PRINT "n"
3290 LOCATE 46, 23: PRINT "log [L]"
3300 '
3310 '***** n / 7747 ｸｲｸｼ plot ス *****
3320 LOCATE 0, 20: PRINT "log[L] ="
3330 LOCATE 5, 22: PRINT "n ="
3340 SP = PE% * .05 / 5 + .05: IF SP > .15 THEN SP = .15
3350 LS% = 0
3360 FOR LL = -ML% TO SI% STEP SP
3370 L = 10 ^ (LL)
3380 KL = 0
3390 FOR IX = 1 TO N%
3400 KL = KL + K (IX) * L ^ IX
3410 NEXT IX
3420 KL = 1 + KL
3430 NKL = 0
3440 FOR IX = 1 TO N%
3450 NKL = NKL + K (IX) * IX * L ^ IX
3460 NEXT IX
3470 NA = NKL / KL
3480 X (0, LS%) = LL: Y (0, LS%) = NA
3490 LOCATE 7, 20: PRINT USING "###.##"; LL
3500 LOCATE 8, 22: PRINT USING "##.##"; NA
3510 X% = INT ((LL + ML%) * XP)
3520 Y% = 160 - INT (NA * 20 + .5)
3530 CMD CIRCLE (X%, Y%), 3 ' CMD PSET (X%, Y%)
3540 LS% = LS% + 1
3550 NEXT LL
3560 GOTO 1550
3570 '

```

```

4000 '==== データを file に 出力 する ====
4010 XMAX=SIZE: XIN=-MLZ: XNT=XUZ: XTITLE$="log[L]"
4020 CMD CLS 3
4030 ON GSZ GOTO 4040,4110
4040 '... a vs pL
4050 FOR IX=0 TO NX
4060   SELECT(IX)=2: NDP(IX)=(PEZ/SP)+1: SYM(IX)=10: SSIZE(IX)=2: LTYPE(IX)=1: COLX(IX)=1+IX
4070 NEXT IX
4080 NLIN=NX+1: YMAX=1: YIN=0: YNT=.1: PY=.5
4090 TITLE$="a vs log[L]": XTITLE$="log[L]": YTITLE$="a"
4100 GOTO 4160
4110 '... n vs pL
4120 SELECT(0)=2: NDP(0)=(PEZ/SP)+1: SYM(0)=10: SSIZE(0)=2: LTYPE(0)=1: COLX(0)=1
4130 NLIN=1: YMAX=0: YIN=0: YNT=2: PY=2
4140 TITLE$="n vs log[L]": YTITLE$="n"
4150 '
4160 L=23: GOSUB 9030
4170 INPUT "Assign a file name: "; FILNAM$
4180 IF FILNAM$="" THEN BEEP: GOTO 4160
4190 OPEN FILNAM$ FOR OUTPUT AS #1
4200 PRINT #1, NLIN
4210 FOR IX=0 TO NLIN-1 '(=N)
4220   PRINT #1, SELECT(IX); NDP(IX); SYM(IX); SSIZE(IX); LTYPE(IX); COLX(IX)
4230   FOR JZ=0 TO NDP(IX)-1
4240     PRINT #1, X(IX, JZ); Y(IX, JZ); D(IX, JZ)
4250   NEXT JZ
4260 NEXT IX
4270 PRINT #1, TITLE$; ", "; XTITLE$; ", "; YTITLE$
4280 PRINT #1, XMAX; XIN; XNT; PX; YMAX; YIN; YNT; PY
4290 CLOSE #1
4300 GOSUB 5000
4310 RETURN
4320 '
5000 '==== データを file buffer に 出力 する ====
5010 FIELD 2,11 AS FL$, 2 AS CN$, 2 AS ML$, 2 AS SL$
5020 FOR IX=1 TO NX
5030   FIELD 2, (17+4*(IX-1)) AS DY$, 4 AS K$(IX)
5040 NEXT IX
5050 LSET FL$=FILNAM$: LSET CN$=CHR$(NX): LSET ML$=MKI$(MLZ): LSET SL$=MKI$(SLZ)
5060 FOR IX=1 TO NX
5070   LSET K$(IX)=MKS$(LK(IX))
5080 NEXT IX
5090 RETURN
5100 '
9000 '==== プログラム 終了 ====
9010 '
9020 LOCATE 0,VZ: PRINT SPC(16): LOCATE 0,VZ: RETURN
9030 LOCATE 0,VZ: PRINT SPC(25): LOCATE 0,VZ: RETURN
9040 LOCATE 0,23: PRINT SPC(44): RETURN
9050 '

```

4. 結

言

種々の酸・塩基水溶液および種々の金属の種々の錯形成反応に関して、上述した種々の図を短時間に作成し、大型スクリーンを介して学生に示し得るこの示範教育システムは、溶液内平衡を学生に理解させる上で大層威力を発揮する。

この示範教育システムは少人数を対象とした自習を目的としたものではなく、ディスプレイ上の画面を教室内前面の大型スクリーンに投影するところに特徴があるので、学生の注意を教師に集中させておくことができる。

視聴覚教育においてややもすると教師と学生との間の感応の交換が薄れ、極端な場合には教師不在と同様な結果となる場合があるというが、このシステムにおいてはその心配は全くないといえる。すなわち、学生の反応と教室内雰囲気を感じとりつつ、教師は臨機応変に教材を選択でき、また教材中にその場において最も適切な数値等を入力できる等、この示範教育システムはすぐれた特徴を有している。

文

献

- 1) 例えば下沢隆・黒石佳伸, 化学教育31, 189 (1983)。
- 2) 大島栄治監修, “工業化学のための BASIC プログラミング” 日刊工業新聞社 (1983)。
- 3) 菊地修, “BASIC による化学” 共立出版社, (1984)。
- 4) 中津正志, 藤島豊, 笹村泰昭, 広川一己, 林雄二, 昭和 59 年度高専情報処理教育研究発表会予稿集 (1984, 8, 24) 仙台電波高専。
- 5) 中津正志, 藤島豊, 笹村泰昭, 広川一己, 高橋達雄, 川村静夫, 伊藤治男, 高専教育第 8 号 (昭和 60 年) 投稿中。
- 6) 笹村泰昭, 中津正志, 藤井清志, 宇野克志, 川村静夫, 昭和 59 年度東北地区化学教育研究協議会研究発表講演要旨集 (昭和 59 年 10 月 6 日) 山形大学工学部。

(昭和 59 年 12 月 1 日受理)