図学教育のための PASCAL によるパソコン用プログラムの試作*

片 倉 寛**

1. まえがき

電子計算機の図学教育での利用が、多方面で、超大型の汎用電子計算機を用いたものからパーソナルコンピュータを用いたものまで、活発に試みられている。[1] - [9]

現在までのところ、中型から上の電子計算機を利用する場合には FORTRAN が、また、パーソナルコンピュータを利用する場合には BASIC が、主に使用されているようである。著者は PASCAL を利用し、主に、授業中や演習時における個別指導の際に、模型や黒板の代わりに使用でき、かつまた、コンピュータによる図形処理の技術を教える場合にも役立つ、図学教育用ソフトウェアの試作と、そのための副プログラム（FORTRAN や BASIC の場合におけるサブルーチンに対応）パッケージの開発を行なってきた。

以下に、その概要と応用例を紹介する。

2. 使用ハードウェアの構成

この副プログラムパッケージは、現在の日本における代表的な16ビットパーソナルコンピュータである日本電気㈱製の PC9810E を中心としたシステム（表1参照）を用いて開発したものであり、この種のシステム上での利用を目的としている。

表1 使用ハードウェアの構成

パーソナルコンピュータ	NEC PC9801E
CRT ディスプレイ	NEC PC-KD551
フロッピーディスクドライブ	I・O データ PFD-8
ドットマトリックスプリンタ	NEC NM9300S

3. 使用オペレーティングシステムと言語

使用オペレーティングシステム（以下 OS と略称）としては、16ビットパーソナルコンピュータ用の代表的な汎用 OS である DIGITAL RESEARCH INC. 製の CP/M-86 を利用しており、そのため、図学教育用ソフトウェアを作成する際や、CAI システムを新たに開発する際に、本副プログラムパッケージ内の一部の副プログラムの引用や複写がし易いようになっている。

PASCAL 用コンパイラとしては、BORLAND INTERNATIONAL INC. 製の TURBO-PASCAL を、また、グラフィック・サポート・ソフトウェアとしては、DIGITAL RESEARCH INC. 製の GSX-86 を利用している。

この GSX-86 は ISO（国際標準化機構）の標準である GKS Graphical Kernel System をベースにしている [12] ので、本副プログラムパッケージは、他のシステムに対して同様の図形処理ソフトウェアを開発する際にも、かなり参考になるものと思われる。

*昭和61年9月3日受付

**東京工科大学工学部

また、代表的な構造化プログラミング言語であり、コンピュータの教育用言語としても非常に優れていると言われている^{[10][11]} PASCAL 言語を使用しているため、

- (1) 各副プログラムの内部で局所変数や仮引数等を使用することができ、図学教育の現場において、必要に応じ、比較的簡単に、副プログラムの追加や、そのライブラリ化が可能である。
- (2) パーソナルコンピュータの汎用 OS 上で動く比較的安価なコンパイラの入手が可能で、パーソナルコンピュータのもつ、比較的安価で取扱いが容易等の、種々の長所を利用できる。
- (3) PASCAL が電子計算機用プログラミング言語として、ISO の国際規格で標準仕様が既に定められている為、プログラムの機器依存製が低く、移植製が比較的高い。
- (4) 実数型や配列型の他にレコード型の変数や定数を利用できる為、比較的自由に必要な変数や定数を定義でき、プログラム全体を読み易くすることが可能である。

等の長所を持っている。

4. 座標系

曲線は、全て、線分の集まりで表わされる。

全ての図形は、 $-1 \leq X \leq 1$, $0 \leq Y \leq 1$, $-0.2 \leq Z \leq$ の三次元空間内（本研究では、この空間を“定義空間”と呼んでいる）に在るものとする。基線（GL ライン）が Y 軸と、水平投影面が XY 平面と、直立投影面が YZ 平面と一致している。

CRT ディスプレイ上では、目的別に、二種類の座標系が使用されている。一つは、スクリーン左下を原点（0, 0）とし、PC9801E システム用高解像度 CRT ディスプレイのグラフィック画面に合わせて横640×縦400となっている「スクリーン座標系（横軸を X 座標、縦軸を Y 座標とする）」であり、もう一方は、スクリーン左上をホームポジション（1, 1）とした、横80×縦24の「テキスト座標系（横軸を X 座標、縦軸を Y 座標とする）」である。

CRT ディスプレイ上への図形や文字の表示は、通常、スクリーン座標系を用いて行なわれる。また、個々の副プログラム内だけでなくプログラム全体で有効な定数（大域定数と呼ぶ）WINDOW_WIDTH および WINDOW_HEIGHT の値を、適宜、変更することにより、縦横比の異なる他のグラフィック画面をもつ CRT ディスプレイに対しても、この副プログラムパッケージを適合させることが可能である。このグラフィック画面上の最後に指定された座標値は、常に、二次元レコード型の、個々の副プログラム内だけでなくプログラム全体で有効な変数（大域変数と呼ぶ）CURRENTLOCATION（型：POSITIONELEMENT_OF_2D=RECORD X, Y:REAL END）を呼び出すことにより、参照することができる。ただし、実際には、グラフィック画面の全面は使用せず、その周辺部や最下部に少し余裕をもたせてある。

また、GSX-86 で採用されている。縦横32767×32767の正方形画面上の座標の直前の値も、二次元配列の大域変数 GSX_CORD（型：GSX_POSITION_OF_2D=ARRAY [1.. MAXPOINT] OF GSX_POSITIONELEMENT_OF_2D , ただし、GSX_POSITIONELEMENT_OF_2D=RECORD X, Y:INTEGER END）と整数型の大域変数 GSX_NUM を呼び出すことにより参照できる。ここで MAXPOINT とは、整数型の大域定数で、円を多角形で近似した場合における円周上の点等の、一連の点や線の最大個数である。本プログラムでは MAXPOINT=50 となっているが、システム内のメモリの許す範囲で自由に変更可能である。

5. 副プログラムの概要

この副プログラムパッケージは、

(1) 基本図形表示用副プログラム群

CRT ディスプレイ上に、PASCAL を用いて、基本図形を表示するための PASCAL 副プログラム群。

(2) 基本演算用副プログラム群

図形処理に必要な各種演算のための PASCAL 副プログラム群。

(3) 図学図形表示用副プログラム群

図学教育に必要な各種図形を CRT ディスプレイ上に表示するための PASCAL 副プログラム群。

の副プログラム群から成り、それぞれの副プログラム群内において、各副プログラムや変数名等の定義が行なわれている。これらの副プログラム群内の必要な副プログラムや変数等を、適宜、メインプログラムから呼び出すことにより、必要な図形を CRT ディスプレイ上にカラーで表示することが出来る。

本プログラムでは、二次元座標や三次元座標を、PASCAL で特徴的な RECORD 型変数を用いて、ベクトルの形で表示し、また、内積等の、種々のベクトル演算も、“手続き”や“関数”として組み込まれている。その為、各副プログラム内の演算が比較的簡潔に書かれており、プログラムが読みやすくなっている。

原則として、定義空間内の図形は白色で、その水平投象は緑色で、また、その直立投象は赤色で、CRT スクリーン上に表示するが、必要に応じ、これらの色を簡単に変更できる。

隠線処理やクリッピングを自動的に行なう副プログラムは準備されていないが、個々の場合に対しては、多角形の塗り潰しによる隠線処理等が可能である。

ワイヤフレームモデルの表示を主な目的としているが、簡単なサーフィスモデルも作成可能である。

本ソフトウェアでは、CRT スクリーン上の左側の“正投象画面”と呼ぶ画面内に、通常の正投象を表示する。また同時に、その右側の“平行透視画面”と呼ぶ画面内に、水平投象面・直立投象面や基線と共に、空間内の任意の角度における平行透視図を表示する。それにより、投象面上の平面図形と実際の空間図形との関連を直感的に把握し易くなっており、図学教育の大きな目的の一つである、生徒に空間図形に対する直感力を付けさせる上で、有益であると思われる。

6. 副プログラムの一例

LIST-1 に示す手続き“CALC__LINE__OF__PP__INTERSECTION”は、今回開発した副プログラムの一例で、三次元空間内の任意の 2 平面の交線を求めるためのものである。各平面はそれぞれの平面上の 3 点の位置ベクトルで、また、交線はその上の 2 点の位置ベクトルで表される。すなわち、本手続きでは、交線上の点の位置ベクトル $\vec{Z}$ (LIST-1 の PINTER [i], $i = 1, 2$ に対応) を、

$$\begin{aligned} & \vec{X}_1 + a(\vec{X}_2 - \vec{X}_1) + b(\vec{X}_3 - \vec{X}_1) \\ &= \vec{Y}_1 + c(\vec{Y}_2 - \vec{Y}_1) + d(\vec{Y}_3 - \vec{Y}_1) \\ &= \vec{Z} \end{aligned}$$

ただし、

a, b, c, d: スカラー。

$\vec{X}_i$: 第1平面上の i 番目 ($i = 1, 2, 3$) の位置ベクトル (LIST-1 の P1 [i] に対応)。

$\vec{Y}_i$: 第2平面上の i 番目 ($i = 1, 2, 3$) の点の位置ベクトル (LIST-1 の P2 [i] に対応)。

の関係より、求めている。

```
PROCEDURE CALC_LINE_OF_PP_INTERSECTION
  ( P1      : POSITION_OF_3D;      ( 3 POINTS ON FIRST PLANE      )
    P2      : POSITION_OF_3D;      ( 3 POINTS ON SECOND PLANE    )
    VAR PINTER : POSITION_OF_3D;    ( 2 POINTS ON INTERSECTION LINE )
    VAR SUCCESS : BOOLEAN );
  { P1=P1(1)+X(1)*(P1(2)-P1(1))+X(2)*(P1(3)-P1(1)) }
  { P2=P2(1)+X(3)*(P2(2)-P2(1))+X(4)*(P2(3)-P2(1)) }
  { P1=P2 ( = PINTER ) }
VAR
  PL, PP : POSITION_OF_3D;          L : INTEGER;
  PA      : POSITION_OF_3D;          PB, PC : POSITIONELEMENT_OF_3D;
  S1, S2 : BOOLEAN;
BEGIN
  PP := P1; PA := P2; L := 0;
  SUCCESS := FALSE;
  REPEAT
    PL := PA;
    CALC_POINT_OF_LP_INTERSECTION( PL, PP, PINTER(1), S1 );
    PB := PL(1); PL(1) := PL(2); PL(2) := PL(3); PL(3) := PB;
    CALC_POINT_OF_LP_INTERSECTION( PL, PP, PINTER(2), S2 );
    IF ( S1 AND S2 ) = TRUE THEN SUCCESS := TRUE
    ELSE
      BEGIN
        L := L + 1;
        PC := PA(1); PA(1) := PA(2); PA(2) := PA(3); PA(3) := PC;
      END;
  UNTIL ( SUCCESS = TRUE ) OR ( L >= 4 );
END;
```

LIST-1

7. 応用例

図1～図7は、この副プログラムパッケージを利用してPC9801EのCRTディスプレイ上に作成した、図学教育用の図形の例である。図1～図5は簡単な空間図形の例、図6は円錐に関する陰影の例、また、図7は線織面の透視図の例である。

8. 本プログラムの互換性について

前述のように、本プログラムは、機器がPC9801Eで、OSがCP/M-86の場合に、GSX-86およびTURBO-PASCALと共に利用するものであるが、他の機器を用いる場合や、他のOSの場合にも、条件が整えば、簡単に移植可能である。

以下は、著者が実際に確認した例である。

- (1) 富士通社製のFM-16βでは、片面単密度の8インチフロッピーディスクを用い、FM-16β用のCP/M-86とGSX-86を準備することにより、FM-16β用のTURBO-PASCALを利用することなしに、PC9801E上で作成し、.CMDタイプの応用例プログラムのファイルを、そのまま走らせることができ、FM-16βのCRTディスプレイ上に、PC9801EのCRTディスプレイ上に作成した図形とほとんど同じ図形が、再現で

きた。

- (2) MS-DOS 用の GSX-86 と TURBO-PASCAL を準備し、市販の CP/M フォーマットから MS-DOS フォーマットへの、フロッピーディスク用ファイルフォーマット変換ソフトウェアを利用して TURBO-PASCAL 用ソースプログラムのファイルフォーマット変換を行うことにより、ソースプログラムを全く変更せずに、CP/M-86 上で作成した図形と同じ図形を MS-DOS 上で再現できた。
- (3) PC9801E 用コンカレント CP/M (略して CCP/M) を OS として用いた場合には、この OS には最初から GSX-86 が準備されているため、CP/M-86 上で作成された .CMD タイプの応用プログラムのファイルを、そのまま走らせることができ、仕様の違いによる若干の差を除き、CP/M-86 上の元の図形を、CCP/M 上で再現することができた。

9. まとめ

本報は、図学教育用で、かつ、コンピュータによる図形処理教育においても役立つことを目的に開発した、パーソナルコンピュータ用 PASCAL 副プログラムパッケージの概要とその応用例を中心に述べたものである。

図 1

图 2

图 3

図 4

図 5

图 6

图 7

最後に、本論文は、昭和60年5月11日の本学会全国大会で、「パーソナルコンピュータのための図学教育用ソフトウェアの試作」として発表したものを中心にまとめたものである。また、応用例で示した図は、著者が東京工業大学工学部図学講座在職中の昭和60年度に、図学の授業の一環として、著者自身が実際にパソコンを操作し、コンピュータによる図形処理の一例として、学生に見せたもので、原画はカラーであるが、印刷の都合上、本論文では白黒写真としたものである。

なお、本論文では、ページ数の関係上、プログラムのソースリストの大部分を、論文原稿から削除せざるを得なかったが、このソースリストの論文原稿から削除された部分や、カラーの原画に興味のある方は著者まで連絡されたい。

著者連絡先：〒192 八王子市片倉町1404-1 東京工科大学機械制御工学科

TEL 0426-37-2111

参考文献

- [1] 田嶋・他3名：コンピュータ図学演習，(1977)，コロナ社。
- [2] 田嶋・他3名：コンピュータ図学，(1980)，コロナ社。
- [3] 磯田・長島：教育用3次元図形処理プログラムの開発，図学研究，第31号，(1982)。
- [4] 長島・磯田：計算機を利用した図形処理教育の試み，PIXEL，11-13 (1983)。
- [5] 長島・磯田：パーソナルコンピュータによる3次元図形処理の1例，図学会大会資料(1984)。
- [6] 鈴木・相沢：大学教養過程における計算機幾何学教育の一例，図学会大会資料，(1984)。
- [7] 柴田・他4名：パーソナルコンピュータによる図形情報処理，図学会第4回コンピュータグラフィックス教育研究会発表資料，(1985)。
- [8] 宮本・他2名：パーソナルコンピュータによるソリッド・モデルの構築と図学への応用(1)，図学会大会発表資料，(1985)。
- [9] 長島・磯田：FORTRANによる立体図形処理の一試行教育，図学会大会資料，(1985)。
- [10] 萩谷：ソフトウェア考現学，(1985)，69，CQ出版社。
- [11] Wichmann, B. A.: A Comparison of Pascal and Ada, Computer Journal, (1980)。
- [12] 山科：グラフィックスの標準化とGEM，パソコンワールド，(1986)，80。

MICROCOMPUTER PASCAL FOR GRAPHIC SCIENCE EDUCATION

Hiroshi KATAKURA

The application of computers in graphic science is common in education today. Much research has been conducted in this area of study. The author has developed educational software written in Pascal for graphics applications on microcomputers.

This report contains an outline of the software application and an example of its subprograms. The report also contains examples of graphic output with explanations of their applications.