

三次元コンピュータ・グラフィックスと知覚実験

菅 阪 直 行

Three-Dimensional Interactive Computer Graphics for Perceptual Displays.

Naouki OSAKA

I. ミニコン・マイコンによるコンピュータ・グラフィックスの展開

(A) Visual Stimulator としてのグラフィックス

「みる」ことの科学である視覚心理学の分野におけるコンピュータ・グラフィックスの役割は、近年特に重要なものとなってきている。また、従来からの大型コンピュータによるグラフィックスを体系化した成書もすでにいくつか出版されている(1—8)。一方、最近のマイクロ・エレクトロニクスの技術革新に支えられた、低価格でありながら高い画像処理能力をもつマイコンの出現は、知覚心理学の領域における複雑な刺激パターンや運動刺激の発生を容易なものにしつつあるといえよう(60—64)。

マイコン制御された CRT、或いは、オシロスコープに刺激画像を呈示するような比較的単純なタイプの実験から、インタラクティブな機能をもつ高級リフレッシュ型 CRT に3次元処理された画像を生成するといった複雑な処理型の実験まで、種々のリアルタイム処理型の実験が手軽に行えるようになったのも最近の特徴である。

前者のような visual stimulator としての側面を強調した使い方は、例えば grating generator としての利用法等がある。最少のシステムではマイコンに D/A コンバータをインターフェースしただけのもの(9—11)も報告されている。しかし、一方では、DEC 王国の観さえ呈する米国では PDP 11やVAX 11/780 等のラボラトリ用ミニコンの端末に蓄積管型 CRT (Tektronix 4010型等)や、Tektronix 604A 型等(12, 付表1)の兼備なモニタ用 CRT を結合したグラフィック・システムはあいかわらず広汎に利用されている(13)。また、グラフ

脚注

本稿の主要部分はすでに関西心理学会第87回大会(1975年10月)において「コンピュータ・グラフィックスによる3次元図形の透視射影、回転処理、及び関数・乱数ベクトル列の発生」の演題で発表された。^(注1)

イック生成用の言語としては FORTRAN, LISP, PASCAL, FORTH, BASIC, C 等がよく用いられている。この数年, UNIX (ベル研で開発されたオペレーティング・システム) のような言語プロセッサのもとで走る TSS マルチ・グラフィック・ステーションが利用されるようになってきたが, ソフトウェア・ツールとしての UNIX の展開は, 利用言語の自由度が大きくなることもあってグラフィックの分野に一つのインパクトを与えているといえる。

さて, CRT はマン・マシン系の正に「インターフェース」であるから, CRT の種々の特性を実験に合わせて撰択することが重要なポイントとなってくる。特に, 知覚・記憶実験用刺激を CRT 上に高速で作出すためには CRT の特性を考慮に入れる必要がある。知覚実験と関連した CRT 特性の問題をあげてみると次のようになるとと思われる (65)。

CRT の 特 性

- i) CRT 表示方式
- ii) CRT スキャニング方式
- iii) CRT 残光特性 (P ナンバー) と焼け耐性
- iv) CRT 画像の空間分解能 (スポット・サイズ)
- v) CRT 画像の周辺歪み (ラスタ歪み)

まず (i) には, リフレッシュ, 直視蓄積型, ラスタ, スキャン・コンバータ式があり, (ii) には, ランダム・スキャンとラスタ・スキャン方式がある (他の方式については文献55参照)。リフレッシュ型は高速ランダム・スキャン方式であり, 最も高度な画像処理が期待できる (後述の F33A 等) が, ラスタ・スキャン方式のものは一般に画質, 処理速度の点でランダム・スキャン方式に劣る。マイコンの CRT は全てラスタ・スキャン方式 (1 フレーム1/60秒) である。しかし, 大量のフレーム・バッファ・メモリをもつラスタ表示 CRT は画質が良い。(iii) CRT 蛍光膜の性質を表わす P ナンバーは物理残光の長いもの (レーダー用 CRT の P 19等) から, 短いもの (P 37) まで, また, 種々の異なるピーク波長をもつものがいろいろある (P 1~P 51) ので, 特に運動視標を呈示する場合等に注意する必要がある。運動刺激を出す場合, 10%残光時間が $3\mu\text{sec}$ 以下 (例えば, P 15・青緑色等) のフライング・スポット CRT が望ましい。通常のラスタ・ディスプレイ CRT としてはグリーンモニタ (P31), カラー (P 22), 又は白黒 TV (P 45) 等が廉価なため多用されているがこれらの残光時間は $40\sim 700\mu\text{sec}$ とやや長くなるので輝度を落として使う必要がある (附表 1)。CPT ディスプレイの多くが P 31 を採用しているのは, P 31 がヒトの目の比視感度特性のため明るくみえることや焼け耐性がよいということによっている。尚, CRT ビームのエネルギーの約90%は蛍光膜で熱になる (10%が光となる) ので輝度は落として使う必要がある。ヒトの眼の残像特性が波長や背景輝度 (順応) によって異なる点にも注意がいる。CRT によっては, ヒトの目の残像特性とライト・ペン等の会話端末のイメージセンサの残光特性の違いを考慮して P 2 等 P 5 等で

CRT 管面を2層にする場合もある (F33A)。また, (iv) CRT の画素のアドレス数が多い程空間分解能は良くなり, 従ってきめ細かい画像が得られるので CRT の画素数は重要なファクターである。普通, 25×40 から, 4096×4096 までの範囲にある CRT が多い。スポット幅は CRT 中央の歪みが少ない所で 0.3mm 以下が望ましい。また, CRT 蛍光膜 (蛍光体粒子) が細かく, 厚さがうすいほどボケの少ない像が得られる。実際のスポット (又はベクトル) は蛍光膜を通過するとき拡散するので光源色となる, 従って刺激図形は全て表面色特性を失なう点にも考慮する必要がある。代表的な P ナンバーとマイコン CRT の空間分解能の表を付表 1, 2 に示す。次に, (v) CRT の電子銃の長さ (奥行) が短いものは, ビーム偏向系の歪みを招き, CRT 周辺画像のパーレル歪みやピンクッション歪み (周辺画像が縮小, 拡大される) を招くので, 特に錯視図形等を呈示する場合には注意がいる。CRT 中央の歪みが最も少ない所に刺激を呈示するようにプログラムを作るよう心がける必要がある。大型機やミニコンでマルチ・タスクや TSS ジョブを処理している場合は, 例えば動画を作っている時に他から割込みがかかって動画が一時止まるようなこともあるので他のユーザーがいない時に使う工夫等が必要であろう。最近の画像処理の動向については文献 (56—59) に詳しい。

(B) よりソフィスティケートされたグラフィックスへ

Visual Stimulator 的側面をもつグラフィックスに対して, インタラクティブな側面を強調するグラフィック・システムは, 一部のミニコンピュータ・システムを除いて非常に少ないといえよう。たしかに, これには高級リフレッシュ型 CRT が高価なことや, その CRT を監視する処理系には大型—中型クラスの汎用計算機システムが必要なこと, さらに, ソフトウェア体系がかなり複雑な構造を有するため等の原因が考えられる。しかし, 例えば, 3次元図形の透視処理や, ダイナミックな表示機能 (回転, 拡大, 縮小) が実現できれば, 遠近情報の抽象化というソフィスティケートされた図形処理が可能となり, 種々の高次変数をもつ知覚刺激が生成できるであろう。

本稿では, 以下に, 主として透視変換による図形処理の試みを報告してみたい。

Ⅱ. 大型計算機システムによるコンピュータ・グラフィックス

(A) グラフィック・システムのハードウェア

(1) グラフィック・ディスプレイ装置の入出力及び会話型処理機能

使用した端末 CRT ディスプレイ装置 (FACOM 6233A, 以下 F33A と略) はオペレータとの会話機能として(1)ファンクション・キーボード (FKB), (2)キー・ボード・イン(KB), (3)オルターレーション・スイッチ (ASW), (4)トラッキング (TRK) 及び, (5)ピック (PK) 等

のモードをもっている。(1)は32ケのファンクション・キー、(3)は8ケのトグル・スイッチから成っており、いずれもユーザー・プログラムによってその機能が定められる。例えば、FKB5,6に各々、X 軸回り、Y 軸回りの回転処理をプログラムで定義しておけば、プログラム実行中に FKB 5,6を各々押している間だけ、X, Y 軸回りに生成図形が回転することになる。

キー・ボード・インは英数字キーボードから数値、文字等を入力するモードで、CRT 上にカーソルが点滅表示されるので、プログラムで定めたフォーマットでデータをシステムに入力する。ピックは CRT 上に表示された図形等のエレメントをライト・ペンで検出しプログラムに知らせる役割をもつ。トラッキングは十字のトラッキング・マークをライト・ペンで検出し、さらにライト・ペンを CRT 面上に移動させることによって CRT 上に任意の図形等を描かせることのできるモードである。

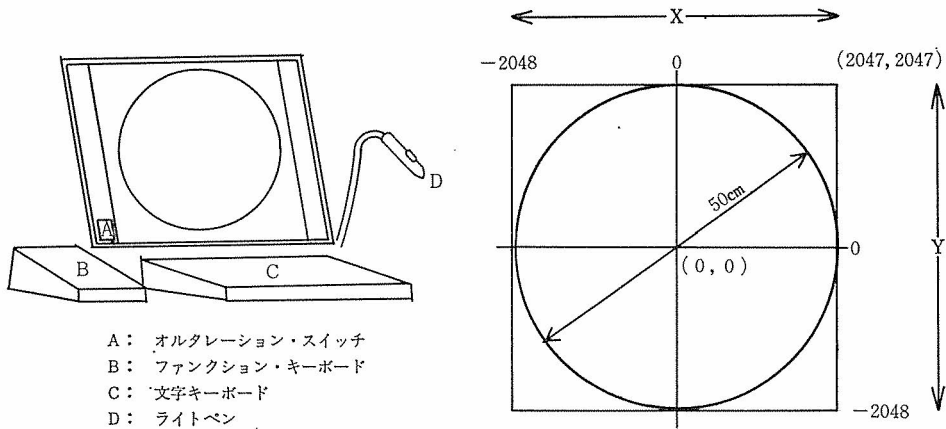


図 1. FACOM 6233 A リフレッシュ型グラフィック・ディスプレイ装置の概要。(富士通 39ET-2721-2, GSP-APPY より)

- (表示面 CRT) ラスタ数(管面アドレス) 4096×4096 (1ラスタ幅0.12mm)。蛍光膜, P2,P5。リフレッシュ30~40HZ。
- (バッファ・メモリ) 容量16KW (16+1bit/w)。サイクルタイム, 1.5μsec。
- (ベクトル発生器) ショート・ベクトル4mm, ロングベクトル3cm。表示速度, ショートベクトル (1.5μsec, ロングベクトル (水平, 垂直) 1.5μsec, (斜線) 3μsec。リピート機能64倍長。実線, 点線, 破線。
- (文字発生器) 英数カナ記号。ストローク法。文字サイズ4種。表示速度5.1μsec。
- (その他) 輝度4レベル。ウイंक可。LP, FKB, KB, ASW。

(2) グラフィック・ディスプレイ装置の CRT 特性

F33A は直径 50cm の円型管面をもち、リフレッシュ型ランダム・スキャン方式を採用している。管面のアドレスは4096×4096で座標原点 (0, 0) は管面中央にある。CRT の P ナ

三次元コンピュータ・グラフィックスと知覚実験

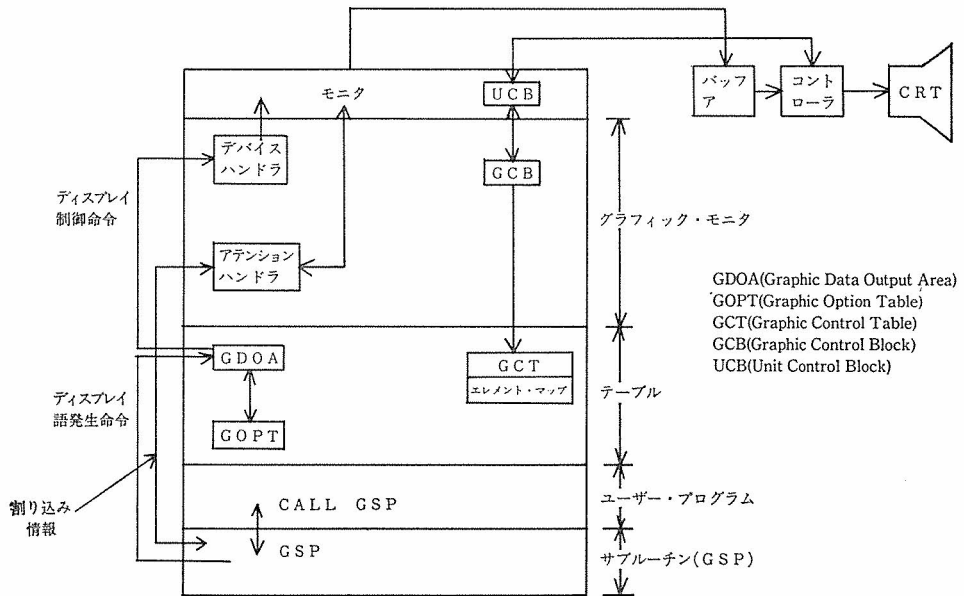
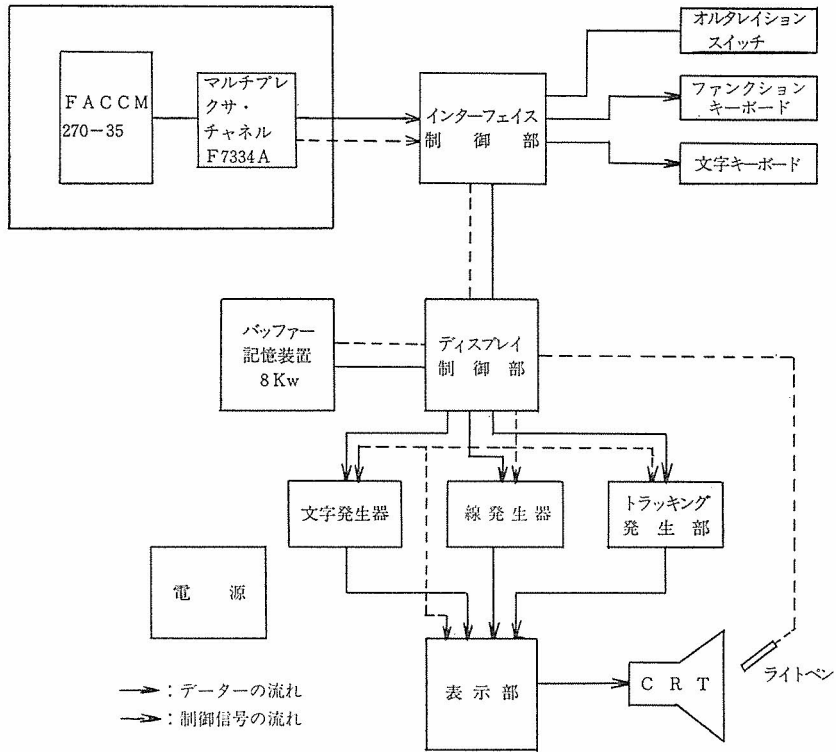


図 2. グラフィック・システムのハードウェア(上)及びソフトウェア・ブロックダイアグラム(下)。(一部・富士通39ET-2721-2, GSP-APPLXより)。

ンバーは P2 と P5 である。CRT 面にはこの 2 種の蛍光膜が入れられており、ヒトの目とライト・ペンの残効特性を考慮している。図 1 にハードウェア特性を示す。

(B) グラフィック・システムのソフトウェア

使用言語は FORTRAN であり、グラフィックス関係の基本処理サブルーチン群としては GSP (Graphic Subroutine Package) や GSP をマクロ化した GSL (Graphic Subroutine Library), GRACE (Graphic Application Program Package for CAD Environment) がある。これらのサブルーチン・サブプログラムはユーザ・プログラムの中で任意に呼び出すことができる (図 2 参照)。

(1) GSP

GSP は、システムの初期化、グラフィック用メモリ・エリアの確保、テーブルの監理等を行なう他、画像エレメント制御、ディスプレイ語発生、ディスプレイ制御、割込み処理、トラッキング制御、補助入出力制御等を行なう。代表的なプログラム呼出し形式は以下のようである。カッコ内は引数。

画像エレメント制御

CALL GRIDS (gopt, xo, yo, X, Y)

CALL GRIDU (gopt, uo, vo, u, v)

表示可能な CRT 面上を決める。GRIDS は CRT スクリーン, GRIDU はユーザー指定スクリーンを示し, xo, yo, 及び uo, vo が各々原点, x, y, 及び u, v, が原点からの表示範囲を指定する。両者の組合わせによって図形の拡大・縮少が行なわれる。

ディスプレイ語発生

CALL GNAME (gdoa, gopt, name 1, name 2)

CALL GSBEAM (u, v)

CALL GVECTR (u, v, np)

CALL GPOINT (u, v, np)

上から順に、生成エレメントの識別ネームの指定 (これが無いとライト・ペンで識別できない), CRT 面上のビームの位置座標 (u, v) をつくる, np 個の配列 (u, v) を線ベクトル (GVECTR) や点 (GPOINT) で結ぶ機能をもつ。これらのデータは全て, GDOA (Graphic Data Output Area) というメモリ・エリアに格納され, GDISP 命令の実行によって始めて CRT 面上に表示される。

ディスプレイ制御

CALL GDISP (con, gdoa 1, gdoa 2,.....)

CALL GMOVE (con, name 1, name 2, u, v)

GDOA にある図形エレメントを CRT 面上に表示する役割をもつ。con はデバイス識別番号。さらに、name 1, 2等のエレメントを (u, v) 座標へ移動させる (GMOVE)。GMOVE によって後述の Michotte の因果性知覚のシミュレーション等の動画が可能となる。

割込処理 (アテンション・ハンドリング)

オペレータ (観察者) から CRT 面上の図形情報に対して修正等の指示 (アテンション) を出す時、このアテンション・ハンドラが起動する。アテンション・ソースは FKB, ライト・ペン, KB 等である。

$$\text{CALL GMASK (con) } \left\{ \begin{array}{l} \text{ON} \\ \text{OFF} \\ \text{MON} \\ \text{MOFF} \\ \text{BON} \\ \text{BOFF} \end{array} \right\}, \text{atn 1, atn 2} \dots\dots)$$

atn 1, atn 2……はアテンション識別記号。ON, OFF は atn に対しマスクをかけたり (受け入れない), マスクをはずしたり (受け入れる) する。MON, BOFF 等は各々ファンクション・キーの make, break が on, off となることを示す。アテンション・ソースは 1~32 (FKB) 33 (インタラプト・オーダー), 34~35 (トラッキング), 36 (外部割込) となる。

トラッキング制御

CALL GTRKB (con, x, y)

CRT 上の指定した位置にトラッキング・クロスを呈示する。以後このクロスはライト・ペンによるトラッキング動作が可能となる。(x, y) はトラッキング・クロスの座標変数。

補助入出力制御

$$\text{CALL GKEYIN (con, x, y, } \left\{ \begin{array}{l} \text{VSM} \\ \text{SML} \\ \text{LAG} \\ \text{VLG} \end{array} \right\}, \text{list)}$$

CRT 上の指定位置にカーソルを表示し、KB からパラメータを入力する。(x, y) はカーソル表示座標。VSM~VLG は表示文字の大きさ指定。list はデータ格納の変数名又は配列。

(2) GSL

GSL は GSP をマクロ化した命令で代表的なものには、次のような作画命令がある。

CALL GLINE (N, Y, Y, LTYPE)

CALL GRECT (X, Y, A, B, TH)

CALL GCIRC (X, Y, R)

CALL GSPIRA (X, Y, RS, RE, TH, PHI)

CALL GCURVE (FUNC, X, Y, XE, YE)

上から、線を引いたり、長方形、円、アルキメデスら旋、関数の作画を作る命令である。N, X, Y は各々、データ点、作画配列を、A, B, TH は2辺の長さ、角度、R は半径等を示す。このような20種余りの作画命令の他に重要な制御命令として回転処理命令がある。

$$\text{CALL GROT (gopt, } \left. \begin{array}{l} \text{ROT} \\ \text{TROT} \\ \text{COROT} \\ \text{PARAM} \end{array} \right\}, \text{THX, THY, THZ, X, Y)}$$

ROT は指定された回転中心での回転、TROT は X, Y, 方向に指定された距離だけ平行移動し、原点中心に回転。COROT は原点を中心として回転し、指定された点を原点とするもとの座標系に平行な座標系で表す。THX, THY, THZ は各々 X, Y, Z 軸回りの回転角度を示す。X, Y は回転中心の座標 (ROT), 平行移動成分 (TROT), 新座標系の原点 (COROT) を示す。

GSP と GSL の関係は図3に示すとおりである。また、GSP 及び GSL を用いて長方形及びアルキメデスら旋を描く FORTRAN プログラム例を図4に示す。GSP の GRIDU, GRIDS, GSL の GROT を用いることによって生成図形の基本的な拡大・縮小、及び回転処理がダイナミックに行なえることが分る。尚、回転座標のマトリックス成分の計算は次のように行われる。

$$\begin{aligned} \text{Rx } (\alpha) &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix} && (\text{X 軸に対し } \alpha^\circ \text{ 回転}) \\ \text{Ry } (\beta) &= \begin{vmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{vmatrix} && (\text{Y 軸に対し } \beta^\circ \text{ 回転}) \\ \text{Rz } (\gamma) &= \begin{vmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} && (\text{Z 軸に対し } \gamma^\circ \text{ 回転}) \end{aligned}$$

以上より合成回転マトリックス成分は、

$$\begin{aligned} \text{Rxyz } (\alpha, \beta, \gamma) &= \\ \begin{vmatrix} \cos \beta \cos \gamma & \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \gamma & \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & \sin \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \gamma & +\cos \alpha \cos \gamma & \\ \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma & \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma & \cos \alpha \cos \beta \\ +\sin \alpha \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma & \end{vmatrix} && (\text{X, Y, Z 軸に対する合成回転}) \end{aligned}$$

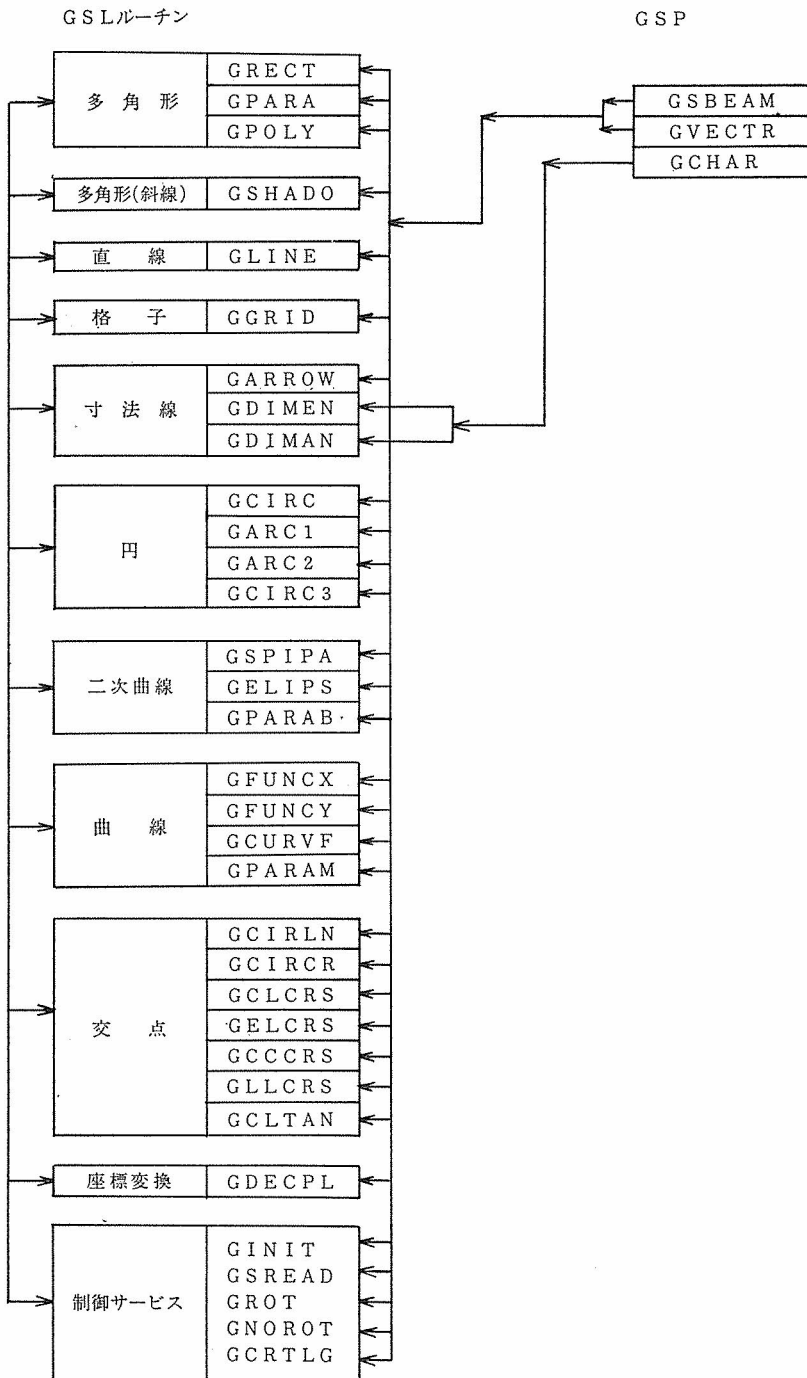


図 3. GSP (Graphic Subroutine Package) と GSL (Graphic Subroutine Library) の関係。(FACOM 230-25/35, BOSII GRACE 解説書 (I) P I-41より)。

```

1      DIMENSION OPT 1 ( 50 ), GDOA 1 ( 3000 ), GCT ( 1000 )
2      CALL GOPEN ( 1, GCT, 1000 )
3      CALL GDOA ( 'F 33' , GDOA 1, 3000 )
4      CALL GOPT ( OPT 1 )
5      CALL GMASK ( 1, 'MOF' , 1 )
6      CALL GRIDS ( OPT 1, 0, 0, 1000, 1000 )
7      CALL GRIDU ( OPT 1, 0.0, 0.0, 500.0, 500.0 )
8      CALL GINIT ( 0, 1 )
9      CALL GNOROT ( OPT 1 )
10     CALL GNAME ( GDOA 1, OPT 1, 1, 40, 'CLR' )
11     CALL GSBEAM ( 0.0, 0.0 )
12     TH = 0.0
13     DO 20 I = 1, 360, 10
14     TH = FLOAT ( 1 )
15     20 CALL GRECT ( 0.0, 0.0, 800, 0, 700, 0, TH )
16     CALL GDISP ( 1, GDOA 1 )
17     CALL GETID ( 1, 11, 12 )
18     CALL GLIGHT ( 1, 'OF' , 1 )
19     CALL GCLOSE ( 1 )
20     STOP
21     END

```

```

1      DIMENSION OPT 1 ( 50 ), GDOA 1 ( 3000 ), GCT ( 1000 )
2      CALL GOPEN ( 1, GCT, 1000 )
3      CALL GDOA ( 'F 33' , GDOA 1, 3000 )
4      CALL GOPT ( OPT 1 )
5      CALL GMASK ( 1, 'MOF' , 1 )
6      CALL GRIDS ( OPT 1, 0, 0, 2000, 2000 )
7      CALL GRIDU ( OPT 1, 0.0, 0.0, 2300.0, 2200.0 )
8      CALL GINIT ( 0, 1 )
9      CALL GNOROT ( OPT 1 )
10     CALL GNAME ( GDOA 1, OPT 1, 1, 40, 'CLR' )
11     CALL GSBEAM ( 0.0, 0.0 )
12     TH = 0.0
13     DO 20 I = 1, 360, 10
14     TH = FLOAT ( 1 )
15     20 CALL GSPIRA ( 0.0, 0.0, 30.0, 1000.0, TH, 360.0 )
16     CALL GDISP ( 1, GDOA 1 )
17     CALL GETID ( 1, 11, 12 )
18     CALL GLIGHT ( 1, 'OF' , 1 )
19     CALL GCLOSE ( 1 )
20     STOP
21     END

```

図 4. GSP, GSL 作画機能によって長方形(上)やアルキメデスらせり(下)を CRT 上に描くプログラム。

(3) GRACE

GRACE は GSP, GSL をさらにマクロ化した機能をもつもので FORTRAN で呼び出すことができ、GSP, GSL と混用して用いられⅠ部とⅡ部ある。基本機能としては GHANDL (図形基本操作), GPERS (遠近投影表示), GMENU (コンソール・メニュー), ユーティリティ機能として GCOPY (ハードコピー), G3D (図面入力組立), GDXY (図形出力作画), アプリケーション機能として GRAPHS (グラフ化Ⅰ), GSURF (Ⅰ, Ⅱ) (曲面生成), GRAPHM (グラフ化Ⅱ), GHIDDEN (隠線消去), GCURVE (曲線フィッティング) 等をもっている GSP, GSL, GRACE (Ⅰ) の関係は図5のようである。GRACE の特徴は、3次元図形のダイナミックな会話型処理ができる点にある。また、GSP, GSL と併用することによって回転、拡大・縮小等が容易に行い得る。3次元図形の処理機能としては Coons 曲面, Bezier 曲面等の自由曲面の生成機能や2次元データを3次元に組立てる機能、透視変換, Hidden Lines (隠線) の消去等がある。

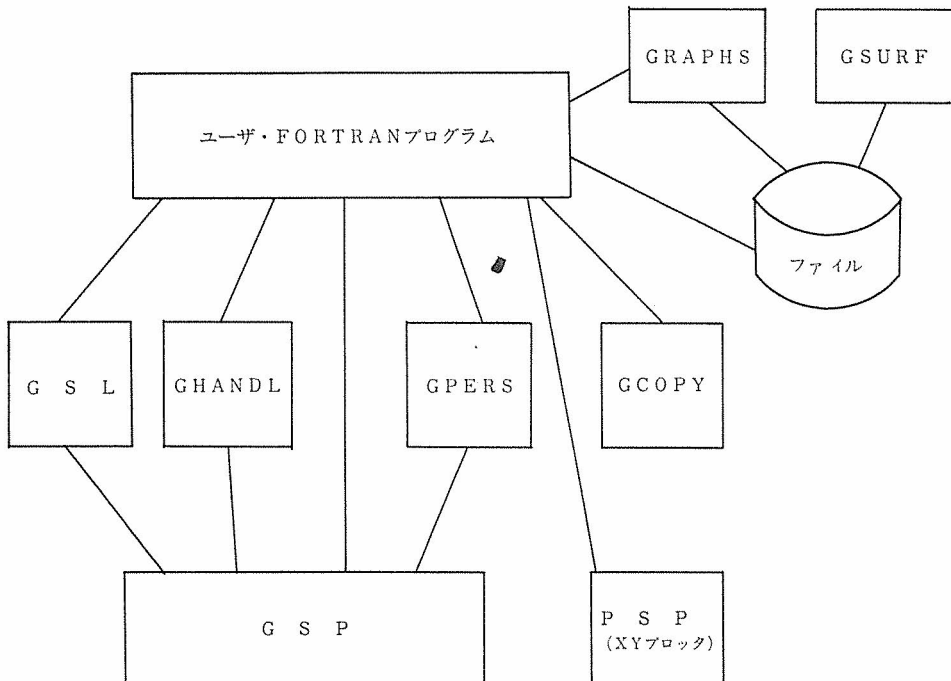


図 5. GSP, GSL, GRACE(Ⅰ) とユーザープログラムの関係

Ⅲ．コンピュータ・グラフィックスによるテクスチャー 画像及び透視画像の生成

(A) 視知覚システムの探究

ヒトの視覚システムは、網膜に反映された外界の像を手がかりとして、生体の環境に対する何らかの意味づけと働きかけを与える。外界の3次元的遠対象を2次元的な網膜に写された近刺激から読みとることのできるヒトの視知覚システムのメカニズムを探るためにコンピュータ・グラフィックスの手法を用いることができる(14)。これは、グラフィック処理によって3次元像を2次元射影画像に透視変換することによって実現されよう。極度にソフィスティケートされた型で透視変換図形に「みかけ」の奥行方向への回転等のダイナミックな特性を付与することによって、刺激図形に、所謂、高次変数(15)をパラメトリックな変数として与え、それに対するヒトの視知覚システムの反応をデータとして得ることができるのである。言い換えれば、抽象化された3次元画像に「みかけの奥行き」を「みる」ことができるかどうかを評価することが可能となる。さらに、テクスチャーの勾配(16)を変化させたり、バニッシング・ポイント、ピクチャー・プレーン、視点(17, 18)の距離の関係をダイナミックに変化させることによって、みかけのslantの動的变化を運動視差の問題として検討することもできよう。もちろん、ステレオ視やリア・パースペクティブや、極投影、平行投影、三角投影による奥行き効果の表現(所謂、奥行きあいまい錯視図形；ネッカ立方体、シュレーダーの階段等)や、隠線消去による重なり方の検討も可能となる。特にステレオ視図形は左右の眼に角度の異った2つの透視図をつくるのにマトリックス変換を利用できるので有効であろう(19—22)。知覚分野の実験でコンピュータ・グラフィックスと切り離せないものとして透視画像を用いたShepard & Mezler(23)のメンタル・ローテーションの実験や、みかけの奥行方向への運動視の刺激をグラフィック端末(Tektronix4010)と16ミリフィルムとの連動撮影によって作成したBraunsteinの一連の実験(24~30)等がある。^(注2)Braunstein(30, pp. 175—186)は彼のComputer animationの技法をBASIC言語で如何に生成するかを興味深く記述している。この他、パタン認識の分野でもグラフィックスの利用は盛んになっている(31)。

(B) AI (Artificial Intelligence, 人工知能) からのアプローチ

グラフィック部門におけるAIの研究はM. I. T. (マサチューセッツ工科大学)でSutherlandが行った古典的なsketchpadによるグラフィックスから始まるが、^(注3)現在まで、M. I. T.のAI部門のProject-MACや、エジンバラ大Machine Intelligence部門などの研究は、線画、形、シャドウ、シーン解析の分野で知覚心理学者にとって興味ある種々の業績を生み出している(32—40)。知覚の研究者からみるとAIの画像へのアプローチとそのアルゴリズムは

基本的な出発点と発想が全く異なるだけに、反面教師的な面も多く、またそれだけに知覚システムの探究に示唆されることも多い。知覚システムと Machine Intelligence の画像に対するアプローチの差は AI の社会的インパクト (41) も含めて興味ある側面をもっている。中でも、Guzman (38) が Project-MAC の一環として行った“SEE”と名づけられた LISP プログラム (PDP-6) による重なりをもつ3次元物体の認識アルゴリズムや Huffman (40) の impossible object を処理するアルゴリズムは興味深い。また、Bajcsy & Lieberman (33) は、自然の outdoor scene (草原と森及び波と海岸) のテクスチャー勾配の測度として、ローカル・イメージ・ウィンドウによるフーリエ変換スペクトラムを求めた結果、彼の用いたフーリエ・テクスチャー・オペレータは自然界のテクスチャーをよく予測することを示唆している。

(C) GSP, GSL, GRACE によるテクスチャー画像、及び透視画像の生成実験

(1) 極投影の軸変換

3次元物体の極投影の原理を図6に示す。対象物体の射影をピクチャー・プレーンに投射し、視点からピクチャー・プレーンをながめると、3者の距離比が射影座標 $\phi(x, y, z)$ に種々の効果を引き起こすことが分る。視点がピクチャー・プレーンから無限に遠ざかると平行(正)投影となり、次第にみかけの奥行効果が減少してゆく。尚、XY 軸, YZ 軸, XZ 軸にかこまれた平面を各々, XY, YZ, XZ平面と呼ぶ。

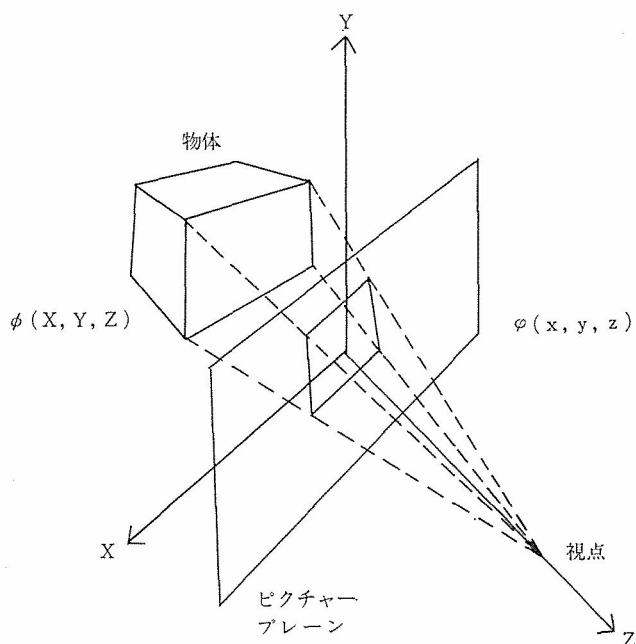


図 6. 透視投影(極投影)における座標系の変換

(2) GPERS のソフトウェア

図5にも示したように GPERS は GRACE (I) のサブルーチンの一つであり、FORTRAN プログラムの中で GSP, GSL と併用することにより遠近投影画像を生成することができる。GPERS は与えられた3次元の座標データを図形情報として CRT に表示するだけでなく、回転、拡大・縮小等の操作機能、各種の投影表示機能をもっている。図7に処理の流れを示す。

GPERS の呼び出し形式は次のようである。

CALL GPERS (IO, IRNO, IRCD, KIND, N, XYZ, IFLAG, IUNIT)

ここで、引数は IO から右へ順に、データの入出力、ファイル参照番号、先頭レコード・アドレス、投影法の指定、点データの数、XYZ 3 座標値の配列、線ベクトルの結合方法、CRT

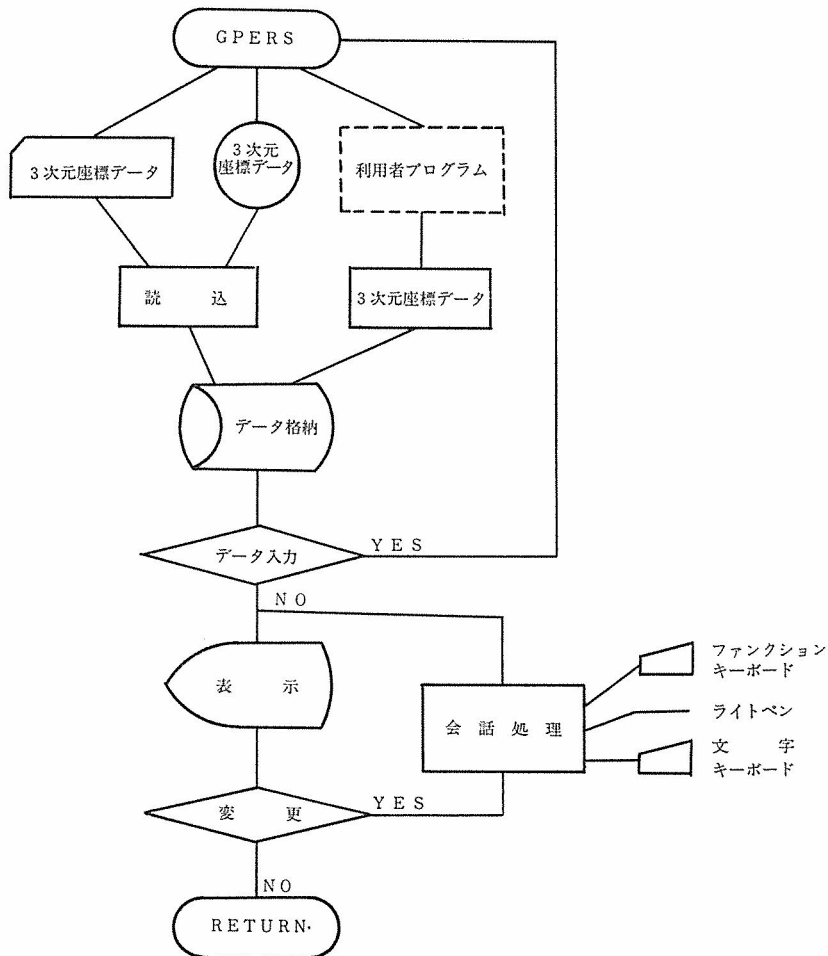


図 7. GPERS の処理過程

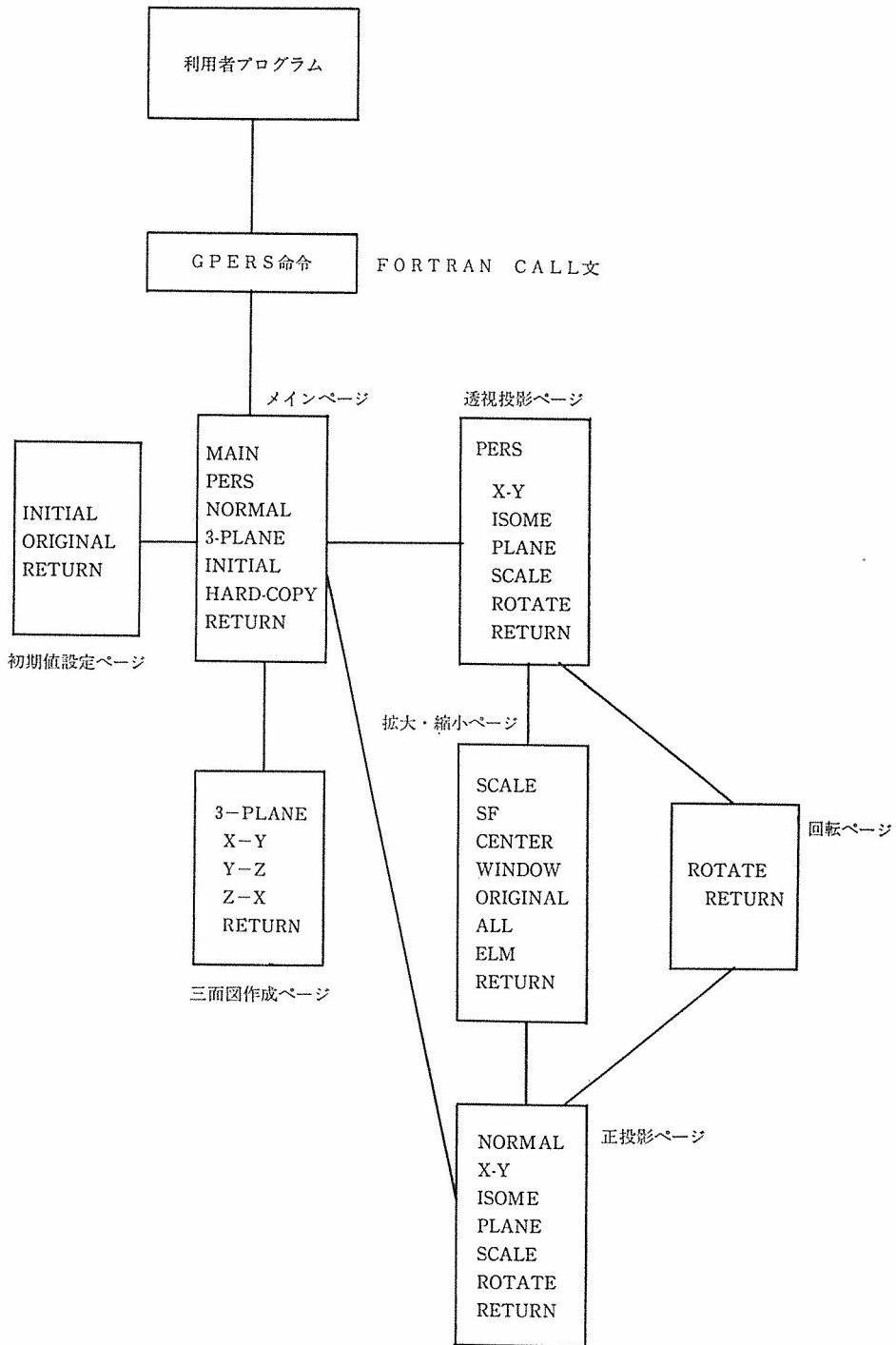


図 8. GPERS のページ構成

デバイス論理機番を指す。パラメータ KIND は 1～5 の整数をとり、1 (XY 平面に平行な平面に透視投影)、2 (等角透視投影)、3 (XY 平面に平行な平面への正投影)、4 (正等角投影)、5 (三面正投影図) となる。透視投影する場合、視点、ピクチャー・プレーン、物体の順に並んでいるものとみなし、ピクチャー・プレーンの手前にある物体は消去される。尚、等角投影は X, Y, Z の各軸から等しい距離に視点をおき、この方向に垂直な平面に投影する方法をいう。

(3) GERS の操作

GPERS はインタラクティブな操作を許すために図 8 に示すようなページ構成をとっている。各ページ内の処理は CRT 右端に表示されているライト・ボタン・メニューをライト・ペンでピックアップすることによって撰択される。

まず、プログラムがコンパイルを経て実行モードに入ると、メインページが CRT 上に表示される。ここで、仮に図 9 で表示するような 3次元データを用いて、各ページごとの機能をみてゆこう。最初にメイン・ページ (図10) が CRT 上に表示される。このページは各種のページを呼び出すための制御ページの役割を果たす。CRT の右に表示されるライト・ボタンは上

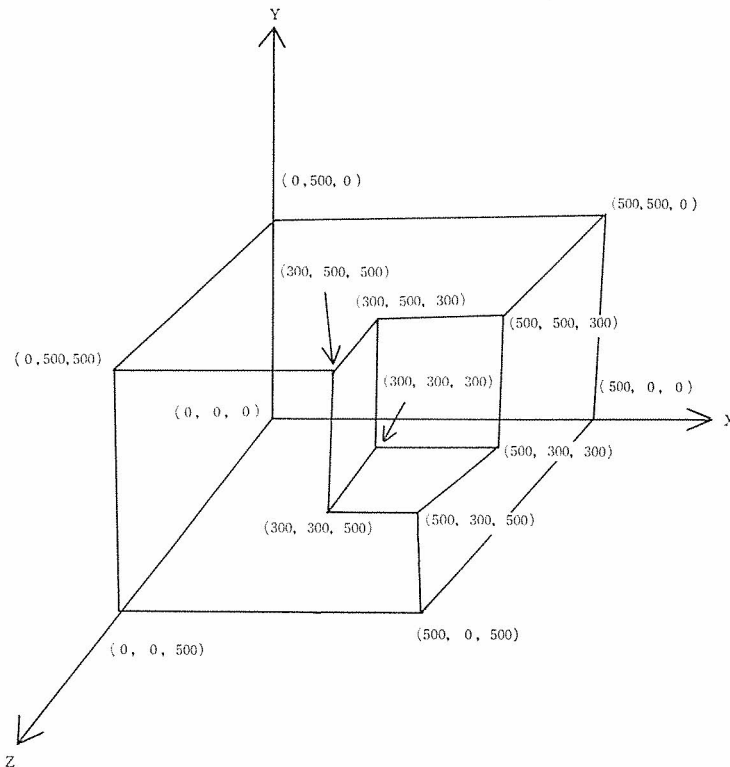


図 9. 入力用の3次元データ (X,Y,Z)

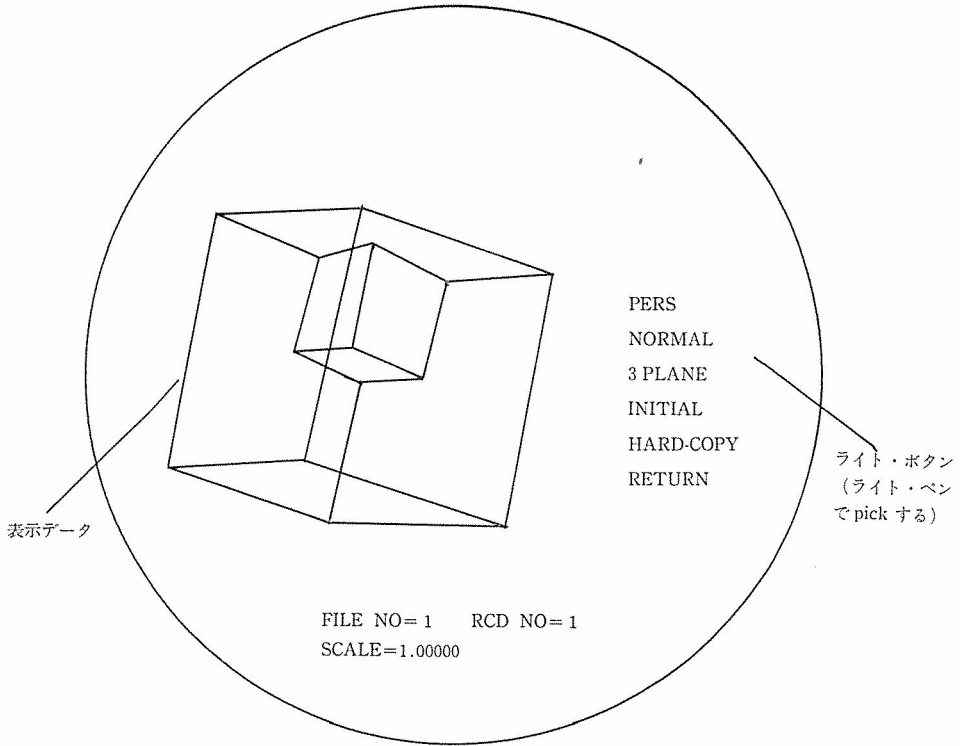


図 10. メインページ

から順に、透視投影，正投影，3面図，初期値，ハードコピーの各ページへの入口を示している。例えば，PERS にライト・ペンを近づけてライト・ペン・スイッチをオンにすると，システムがライト・ペンを検知して，PERS の文字が割込みを受け付けたことを知らせるためにブリンクする。そこで，スイッチをオフにすると割り込み先のページ先頭アドレスへプログラムが進む。CRT下のパラメータは，ファイル・ナンバやXYプロッタ出力用の倍率を示す。INITIAL のライト・ボタンをピックすると図11に示す初期値設定ページが表示される。パラメータはKBからキー・インしてゆく。さて，RETURN をピックしてメイン・ページにもどり，PERSやNORMAL のライト・ボタンをピックすると図12, 13に示す表示となる。3-PLANE をピックすると図14の表示となる。XY, YZ, ZX 面に正投影像が得られる。次に，拡大・縮小ページ（図15）を呼び出すと5種のライト・ボタンが表示されるので，倍率を変える場合はSF= をピックしてKBからデータを入力する。また，WINDOW やCENTER をピックして枠の大きさや中心を指定できる。最後に，回転ページ（図16）は，このページに入ると同時にFKB (1—6) のランプが点灯されるので，例えば，このキーを押して (make) いる間だけ直方体がX軸回りに時計方向に動的に回転する。FKB 1, 2 はX軸，3, 4 はY軸，5, 6 はZ軸回りの回転（反時計，時計方向）である。GPERS をGSP, GSL と併わせて使

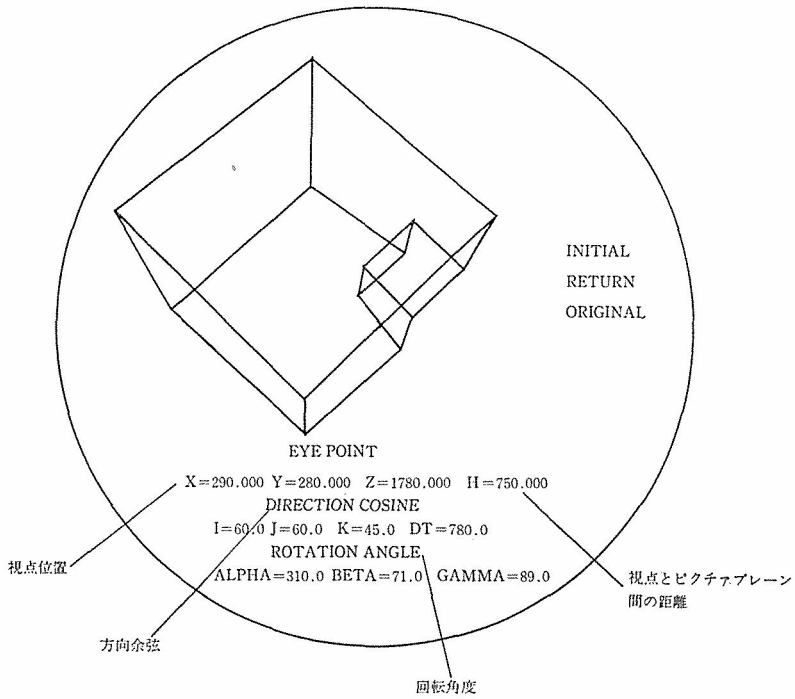


図 11. 初期値設定ページ

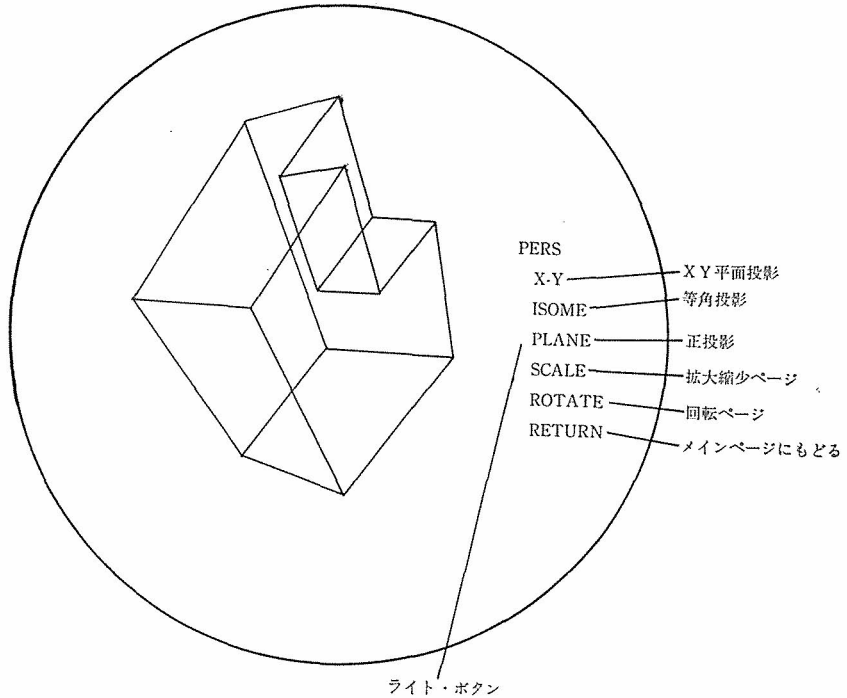


図 12. 透視投影ページ

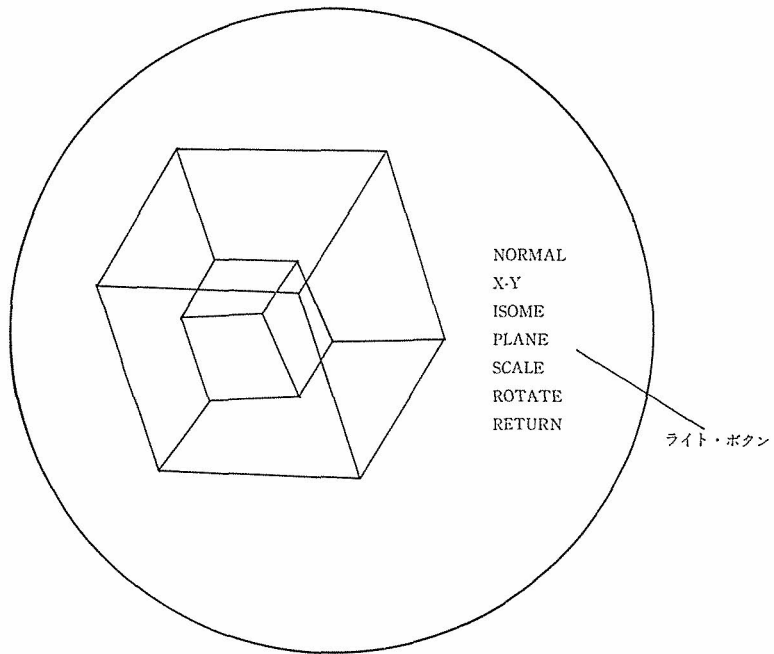


図 13. 正 投 影 ペ ー ジ

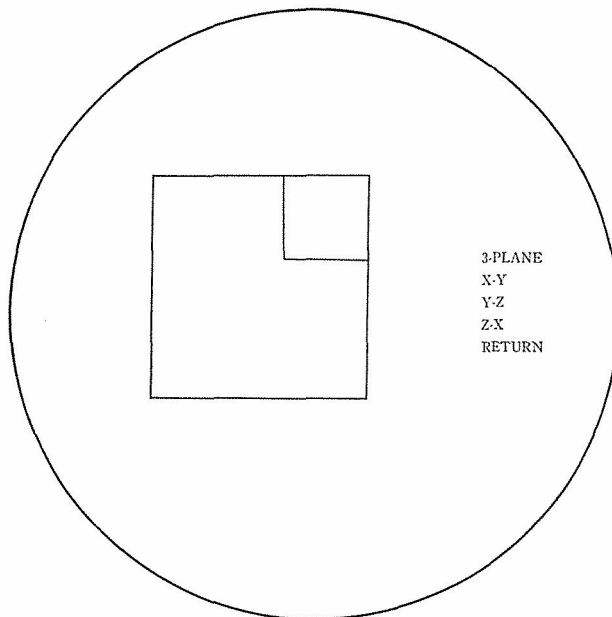


図 14. 3 面 投 影 ペ ー ジ

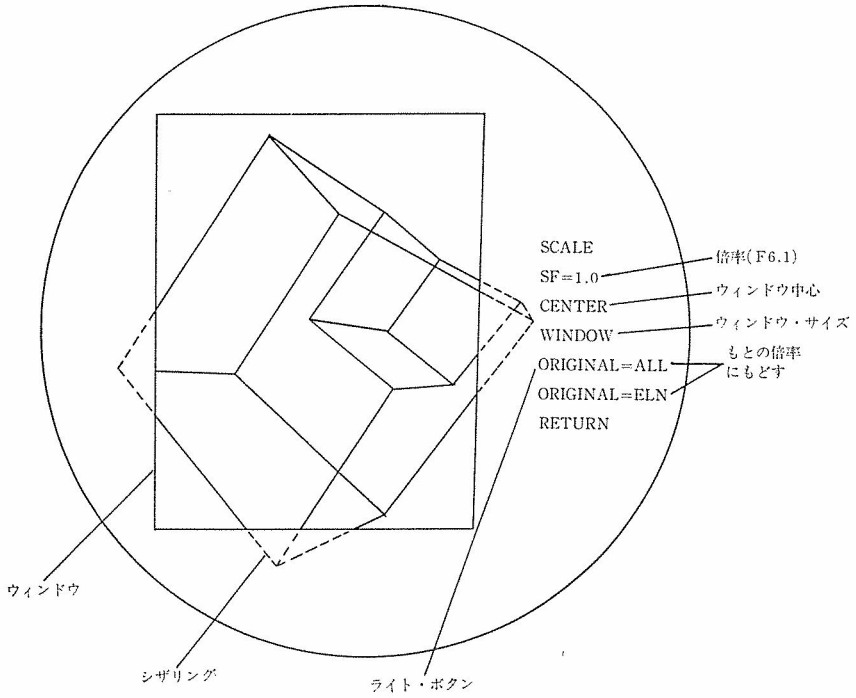


図 15. 拡大・縮小 ページ

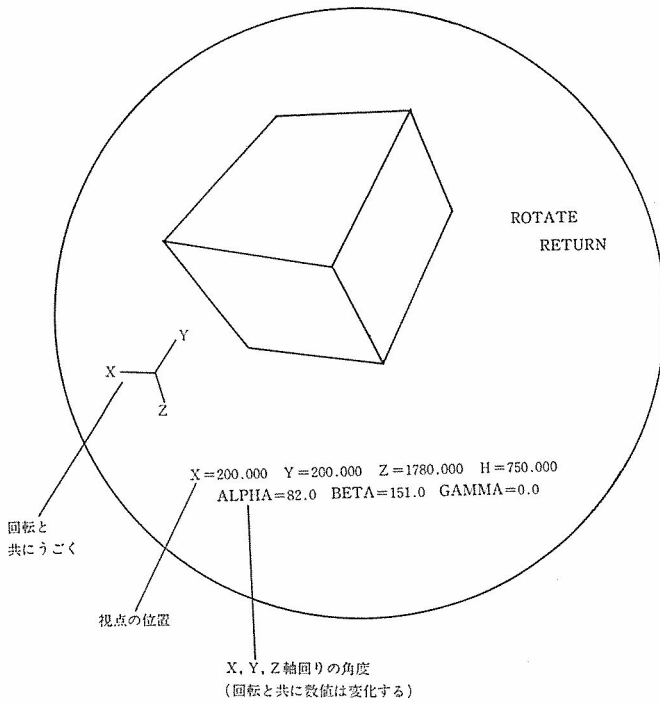


図 16. 回転 ページ

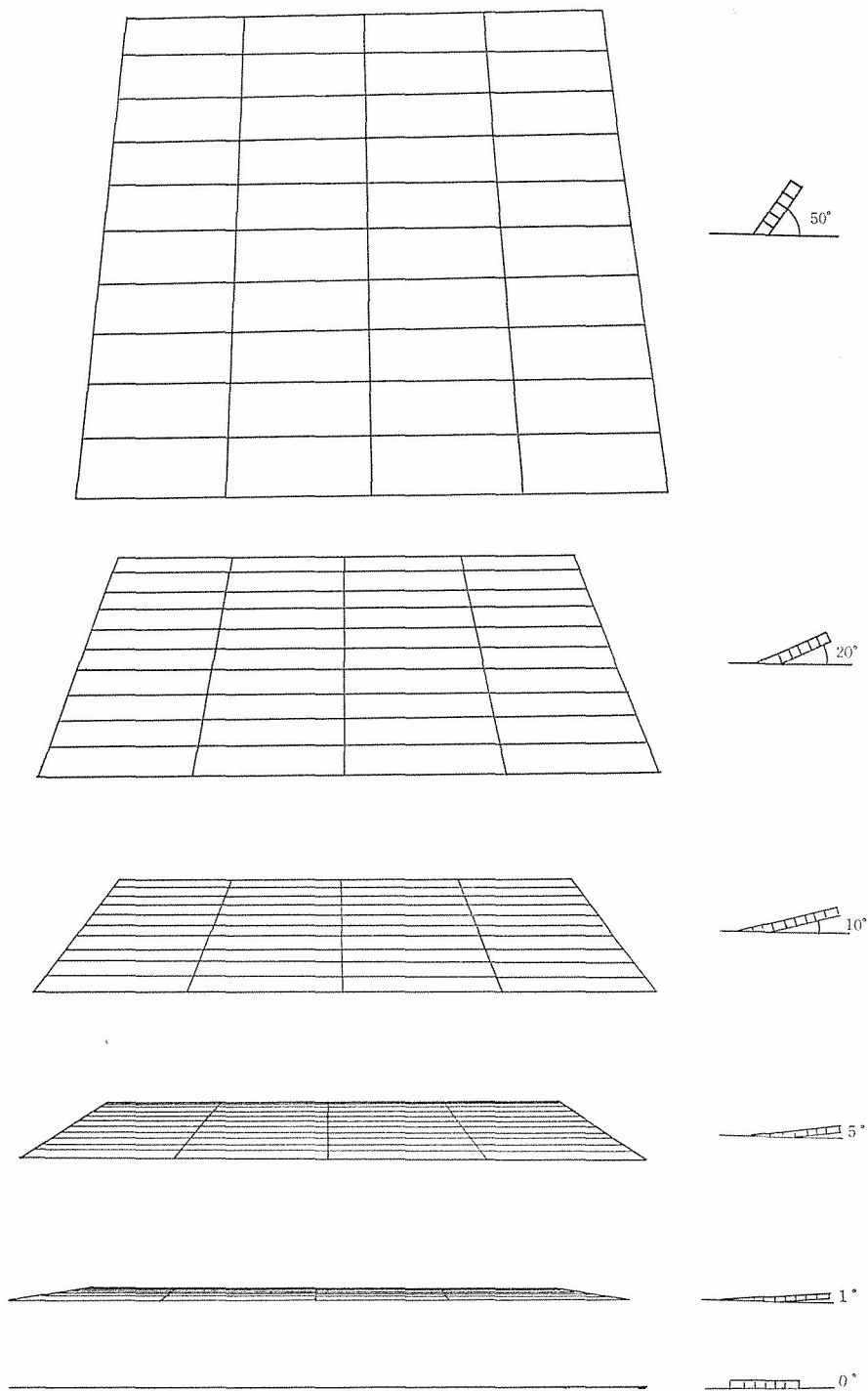


図 17. 透視投影によるテクスチャー勾配

用する呼び出し手続きは大よそ次のようなものである（ジョブ制御マクロ文を含む）。

```

# FORTRAN
FILES 2-XY
COMMON GCTARA (1000)
DIMENSION IFLAG (100), XYZ (300)
FILES 4 -DA (AMETH=RAND)
FILES 7 -DA (AMETH=RAND)
DEFINE FILE 4 (20, 126, U, ICOT)
DEFINE FILE 7 (100, 64, U, ICCD)
CALL GOPEN (1, GCTARA, 1000)
CALL SET
      .....
CALL GSP, GSL
      .....
CALL GPERS (5, 4, 1, 5, 14, XYZ, IFLAG, 1)
      .....
CALL GSP, GSL
      .....
CALL GCLOSE (1)
STOP
END

-----
GPERS 14
3次元・データ
# END
    
```

(4) GPERS によるテクスチャー，及び透視画像の生成の試み (42)

図17に透視投影法によるテクスチャー勾配の変化を示す。テクスチャーのついた矩形やつけない矩形，それに隠線消去をほどこした3次元画像を子供がどのように把握するかは興味ある問題である (43-46)。これは，発達のみにた場合，最も手がかりの少ないテクスチャーなしの矩形が図18のように動的に回転した場合，子供や幼児がその図形の透視の手がかりから奥行きを認め，3次元的回転体として認知するか (shape-slant invariance)，或いは，単なる2次元のなびちちみ運動として知覚するかの問題であるといえよう。これは3~5才児，及び障害児で検討された際に用いられた刺激図形の一部である (実際には8ミリフィルムにCRTの動画が撮影された) (47-49)。

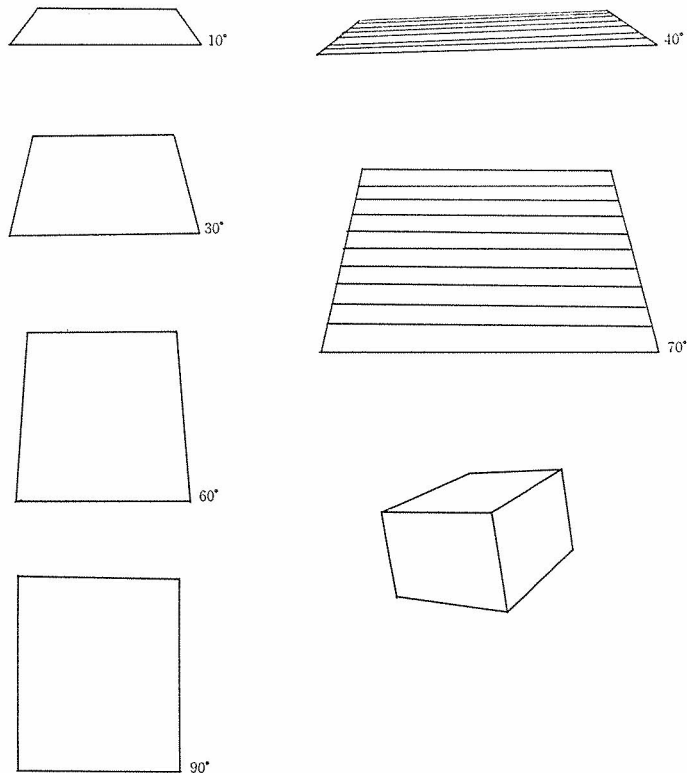


図 18. 子供の Shape-Slant Invariance を検討するためのみかけの勾配をもつ透視変換図形。

この他、種々の 2, 3 次元データを入力して得た透視画像を付図 1 に示す。これらはいずれも実験データのプロットや刺激図形である (テクスチャーの中に 2 本の棒を立てた大きさ恒常性のシミュレーション画像では棒の位置が可変となっている (FKB)。また、図19に GSURF による Coons 自由曲面の生成例を示す。このプログラムは多量のデータを必要とするので巨大ファイルが必要である。

IV. Michotte の因果性知覚実験のグラフィックスによるシミュレーション

グラフィックスにおける動画アニメーションの実験として、Michotte の因果性知覚のシミュレーションの例を図20にあげる。パラメータを KB から入力して FKB を押すとプログラムされた速度で物体 A, が B に衝突し、プログラムした衝突時間間隔において、物体 B が A から遠ざかってゆく。A と B の速度は別々に入力する。また、GSP のみを用いたこの FORTRAN プログラムを付図 2 に示す。

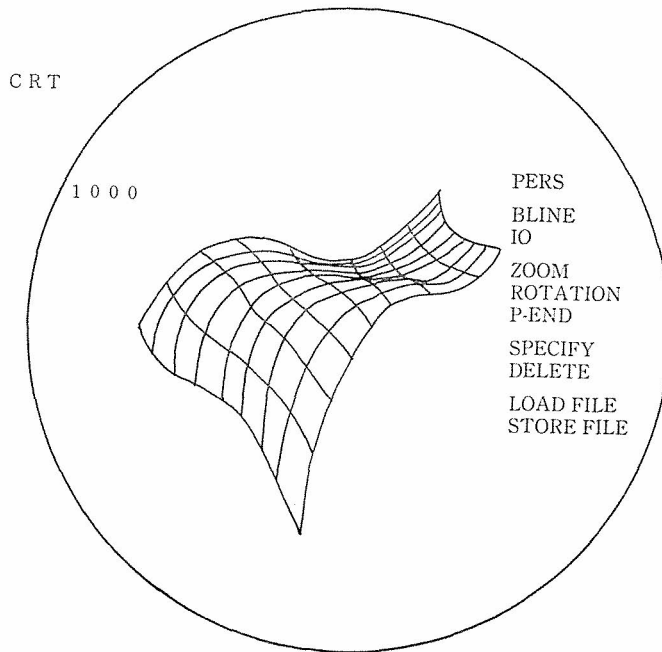


図 19. GSURF による Coons 自由曲面例

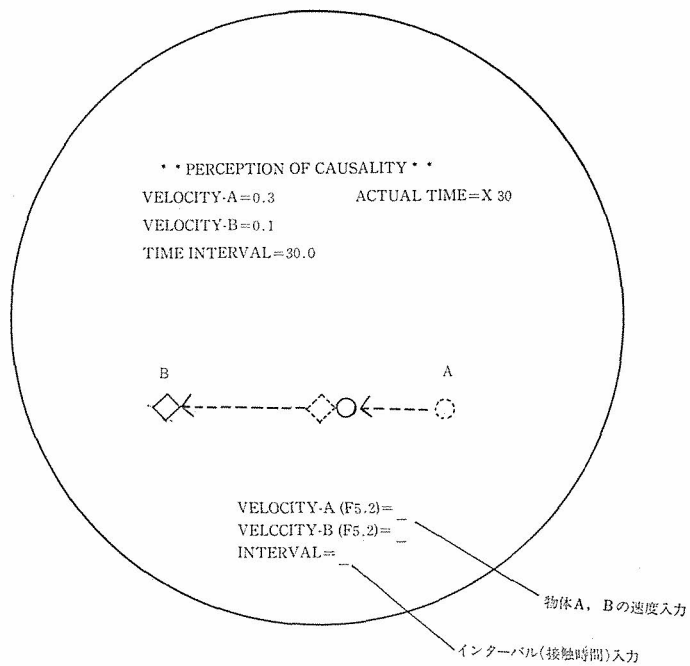


図 20. Michotte 因果性知覚のシミュレーション

付表 1. 残光時間の比較的小さい CRT 蛍光膜の代表的 P ナンバー

P ナンバー	色	ピーク・ スペクトル (nm)	10%残光 時 間 (ms)	P ナンバー	色	ピーク・ スペクトル (nm)	10%残光 時 間 (ms)
P 1	黄 緑	525	25	P 36	黄 緑	550	.00025
P 2	〃	535	.075	P 37	青	470	.00015
P 5	青 紫	420	.025	P 39	黄 緑	525	150.000
P 7	青	440	.050	P 46	〃	530	.00016
P 11	〃	460	.050	P 22	赤・緑・青	615,530,455 (カラーTV)	~ .050
P 15	青 緑	391,504	.0028	P 45	白	(白黒 TV)	.700
P 24	緑	520	.0015	(P 19)	橙	590	220.000
P 31	〃	520	.040				

Tekronix 製 CRT デイスプレー・モニタ特性

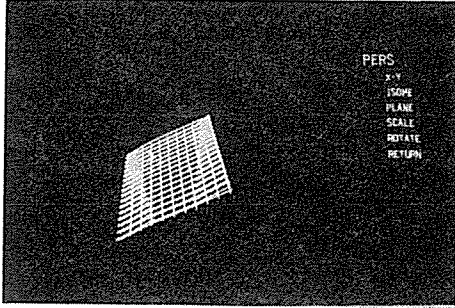
タイプ	P ナンバー	スポット・サイズ (ミリ)	CRT サイズ (インチ)
604 A	P 31	.36	6.5
603 A	P 1	.25	6.5
602	P 31 (P 7)	.36	5.0
606 A	P 31 (P11)	.13	5.0
607 A	P 31	.25	5.0
608	P 31 (P7,11,39)	.26	6.5

付表 2. 代表的マイクロ・コンピュータの CRT 最大分解能
(グラフィック・モード)。(一部文献56より)

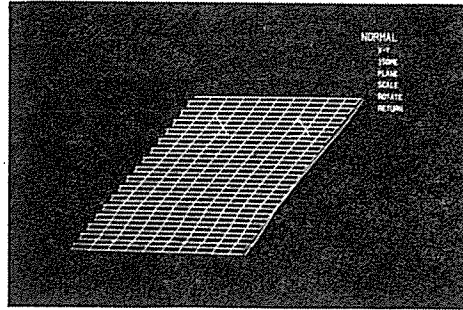
IF 800 (128000)	PC-8001 (16000)
MB-6890 (128000)	TRS-80 (6144)
PET/CBM+K-1008 (64000)	MZ-80B (64000)
ATARI 800 (61440)	VIC-1001 (28160)
APPLE II (53760)	MICRO 8 (128000)
TI 99/4 (49152)	BUBCOM 80 (128000)
MZ-80 DU.A (49152)	FX-9000P (32768)

マイクロコンピュータ用の 3 次元グラフィックス・パッケージとしては **Graphic-one** (Sub Logic 社), アップル・ワールド等がある。この他, PDP 11 等のミニコンピュータをベースとした **Picture System 2** (E&S 社) や YHP45C 等は 1024×1024~4096×4096程度の分解能をもっている。

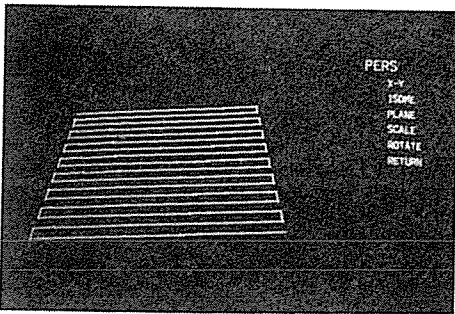
付図 1. 3次元処理図形の CRT 出力例



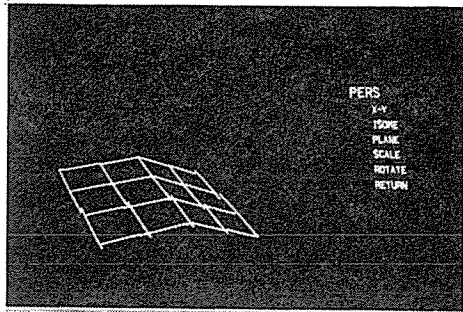
(1) 2次元テクスチャー (透視投影)



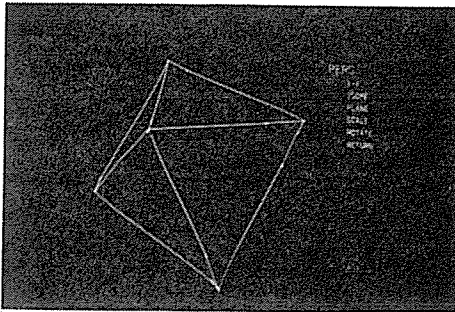
(2) 2次元テクスチャー (正投影)



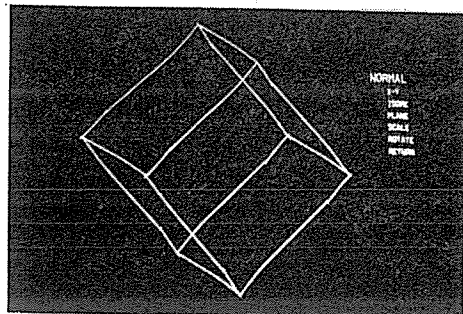
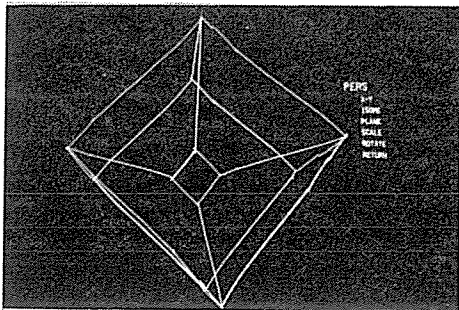
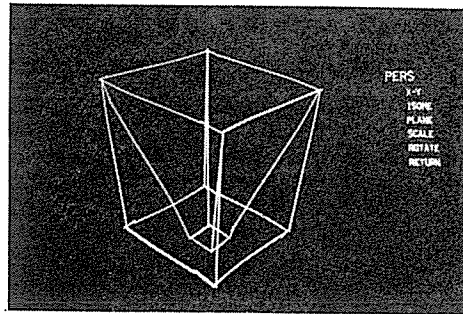
(3) 2次元テクスチャー (透視投影)



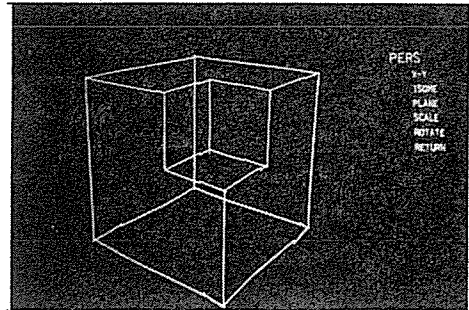
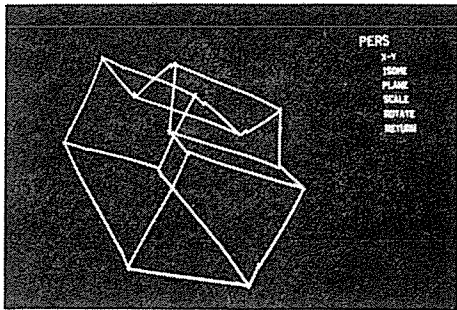
(4) 3次元テクスチャー (透視投影)



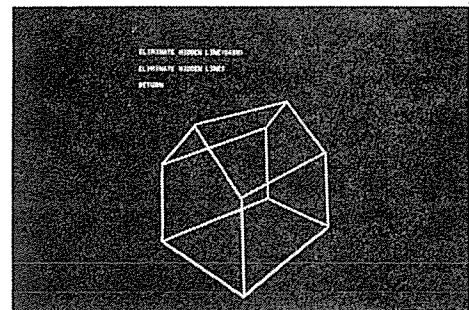
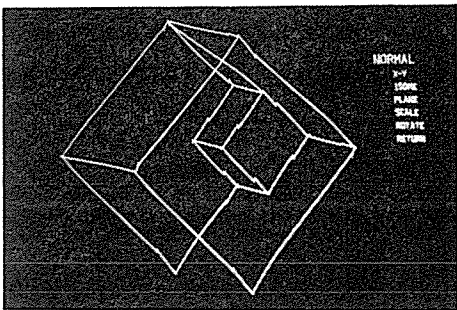
(5) - (7) 3次元プロット図形 (透視投影)



(8) 3次元プロット図形 (正投影)

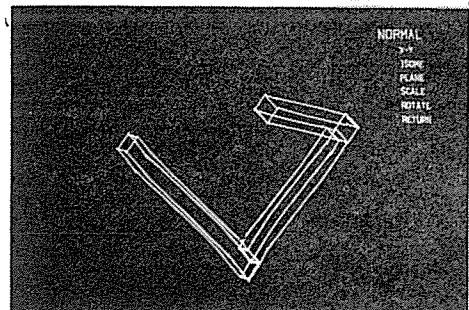
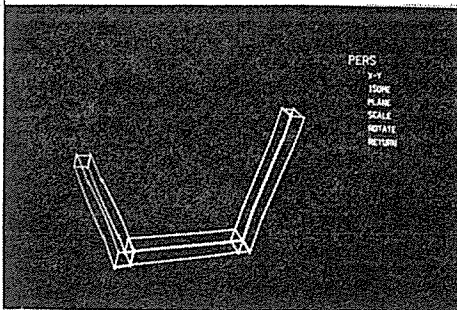


(9) - (10) 3次元プロット図形 (透視投影)

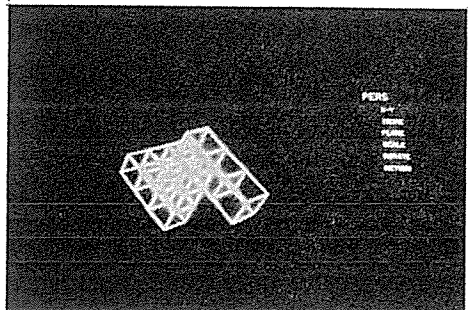
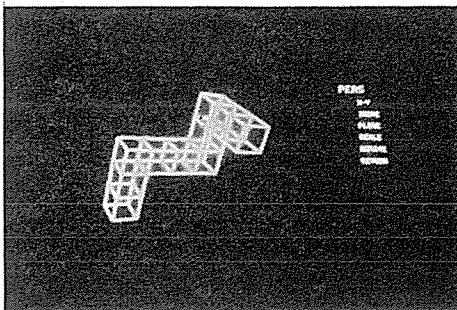


(11) 3次元プロット図形 (正投影)

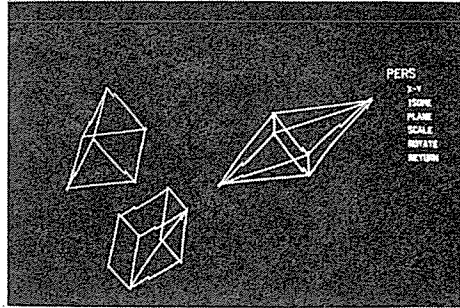
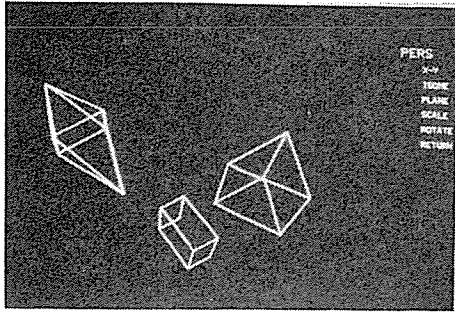
(12) 3次元プロット図形 (透視投影)



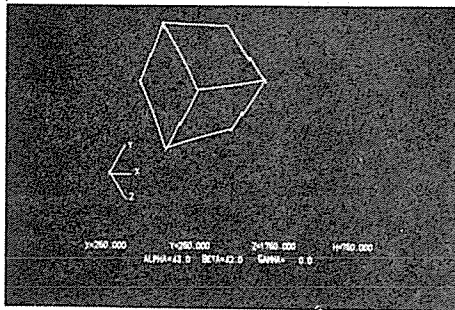
(13) - (14) ペンローズの不可能な三角形 (透視・正投影)



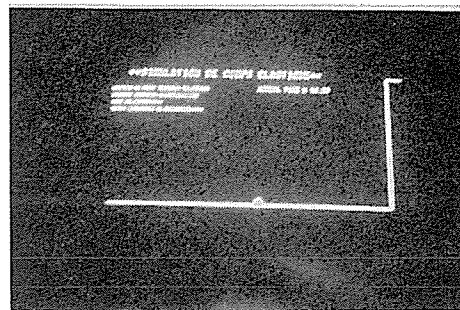
(15) - (16) シェパードの立体図形 (奥行方向への透視回転)



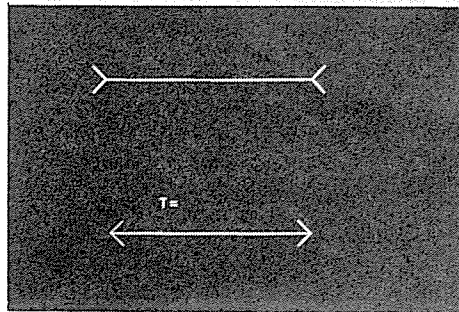
(17) - (18) 3つの立体図の3次元空間での透視回転処理



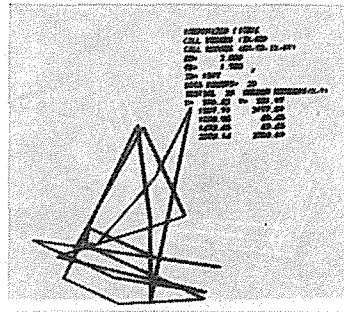
(19) X, Y, Z 軸まわりの角度, 目の高さ, 視点のデータを入力する



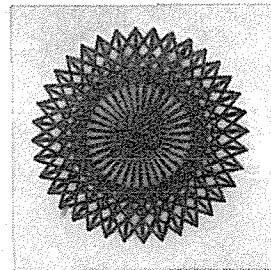
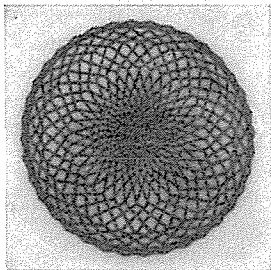
(20) 落体のシミュレーション



(21) シュラー・リエル錯視実験



(22) 一様乱数による・ランダム・ベクトルの発生



(23) - (24) 関数ベクトルの発生 (3角関数)

菅 阪 直 行

```

SOURCE      LIST

0038          CALL GNAME(GD,GOP1,'DAT',1,'CLR')
0039          IF(I.EQ.1) CALL GKEYIN(ICON,0,-1000,& 50,'LAG',VA)
0040          IF(I.EQ.2) CALL GKEYIN(ICON,0,-1000,& 60,'LAG',VB)
0041          IF(I.EQ.3) CALL GKEYIN(ICON,0,-1000,& 70,'LAG',TINT)
0042          IF(I.EQ.4) CALL GKEYIN(ICON,0,-1000,& 80,'LAG',DIAMA)
0043          50 FORMAT('VA-VELOCITY-A(F5.2)=' ,F5.2)
0044          60 FORMAT('VB-VELOCITY-B(F5.2)=' ,F5.2)
0045          70 FORMAT('TINT-TIME INTERVAL(F5.2)=' ,F5.2)
0046          80 FORMAT('DIAMA-DIAMETER-A(F5.1)=' ,F5.1)
0047          CALL GCLEAR(ICON,'BUF')
0048          100 CONTINUE
0049          WRITE(6,9990)
0050          9990 FORMAT('//5X,47HREAL TIME SIMULATION ON PERCEPTION OF CAUSALITY,/)
0051          WRITE(6,9991) VA
0052          9991 FORMAT(20X,11HVELOCITY-A=,F5.2,/)
0053          WRITE(6,9992) VB
0054          9992 FORMAT(20X,11HVELOCITY-B=,F5.2,/)
0055          WRITE(6,9993) TINT
0056          9993 FORMAT(20X,14HTIME INTERVAL=,F5.2,/)

C ***** DATA INPUT-KEY IN- END *****
C
C
0057          I=1
0058          1 T=FLOAT(I)
0059          X(I)=-VA*T+45,
0060          Y(I)=T*0,-2,
0061          LL=I-1
0062          IF(X(I),LE,4,0) GO TO 2
0063          I=I+1
0064          GO TO 1
0065          2 K=1
0066          66 T=FLOAT(K)
0067          XT(K)=-TINT*T + 45,
0068          YT(K)=T*0,-100,
0069          MM=K-1
0070          IF(XT(K),LE,0,0) GO TO 107
0071          K=K+1
0072          GO TO 66
0073          107 J=1
0074          6 T=FLOAT(J)
0075          XX(J)=-VB*T
0076          YY(J)=T*0,-2,
0077          NN=J-1
0078          IF(XX(J),LE,-45,) GO TO 5
0079          J=J+1
0080          GO TO 6

C ***** VELOCITY DATA CALCULATION END *****
C
C ***** GRAPHIC DISPLAY *****
C
0081          5 CALL GNAME(GD1,GOP2,'AB',1,'CLR')
0082          CALL GRIDU(GOP2,0,0,0,0,150,0,150,0)
0083          WRITE(6,762)

```

SOURCE LIST

```

0084          762 FORMAT(2X,9HOBJECT A=)
0085          DO 90 J=1,8
0086          THETA=6.28*FLOAT(J)/8.0
0087          AY(J)=2.0*SIN(THETA-1.57)
0088          AX(J)=45.0+2.0*COS(THETA-1.57)
0089          WRITE(6,763) AX(J),AY(J)
0090          763 FORMAT(2X,2F10.2)
0091          90 CONTINUE
0092          CALL GNAME(GD1,GOP2,'OB',1)
0093          CALL GSBEAM(45.0,-2.0)
0094          CALL GVECTR(AX,AY,8)
0095          CALL GSBEAM(45.0,0.0)
0096          WRITE(6,764)
0097          764 FORMAT(2X,9HOBJECT B=)
C
0098          DO 596 L=1,4
0099          GAMM=6.28*FLOAT(L)/4.
0100          AAX(L)=2.0*COS(GAMM-1.57) +50.0
0101          AAY(L)=2.0*SIN(GAMM-1.57) -500.0
0102          596 CONTINUE
0103          CALL GNAME(GD1,GOP2,'OX',1)
0104          CALL GSBEAM(50.0,-500.0)
0105          CALL GVECTR(AAX,AAY,4)
0106          DO 93 J=1,4
0107          BETA=6.28*FLOAT(J)/4.0
0108          AXX(J)=2.0*COS(BETA-1.57)
0109          AYY(J)=2.0*SIN(BETA-1.57)
0110          WRITE(6,765) AXX(J),AYY(J)
0111          765 FORMAT(2X,2F10.2)
0112          93 CONTINUE
0113          CALL GNAME(GD1,GOP2,'BC',1)
0114          CALL GSBEAM(0.0,-2.0)
0115          CALL GVECTR(AXX,AYY,4)
C
0116          CALL GNAME(GD1,GOP2,'CM',1)
0117          CALL GSBEAM(-90.0,90.0)
0118          170 FORMAT('** PERCEPTION OF CAUSALITY **')
0119          180 FORMAT('VELOCITY-A=',F5.1,)
0120          190 FORMAT('VELOCITY-B',F5.1,)
0121          200 FORMAT('TIME INTERVAL',F5.1)
0122          210 FORMAT('DIAMETER A',F5.1)
0123          CALL GCHAR(&170,'LAG')
0124          CALL GSBEAM(-100.0,80.0)
0125          CALL GCHAR(&180,'SML',VA)
0126          CALL GSBEAM(-100.0,70.0)
0127          CALL GCHAR(&190,'SML',VB)
0128          CALL GSBEAM(-100.0,60.0)
0129          CALL GCHAR(&200,'SML',TINT)
0130          CALL GSBEAM(-100.0,50.0)
0131          CALL GCHAR(&210,'SML',DIAMA)
0132          TT=TINT/0.1
0133          CALL GSBEAM(0.0,80.0)
0134          CALL GCHAR(&220,'SML',TT)
0135          220 FORMAT('ACTUAL TIME X',1X,F9.4)

```

```

SOURCE      LIST

0136          CALL GDISP(ICON,GD1)
0137          CALL GMASK(ICON,'MOF',1,2,32)
0138          CALL GLIGHT(ICON,'ON',1,2,32)
0139          160 CALL GETID(ICON,I1,I2)
0140          CALL GJUMP(&110,I1,I2,&120,&130,&140)
0141          110 CALL GLIST(0,1,0,2,0,32)
          C
0142          120 DO 150 KL=1,LL
0143              CALL GALSCR(ICON,'OB',1,'VBR')
0144              CALL GMOVE(ICON,'OB',1,X(KL),Y(KL),GOP2)
0145          150 CONTINUE
          C
0146          771 DO 152 KM=1,MM
0147              CALL GALSCR(ICON,'OX',1,'VBR')
0148              CALL GMOVE(ICON,'OX',1,XT(KM),YT(KM),GOP2)
0149          152 CONTINUE
          C
0150          606 DO 155 L=1,NN
0151              CALL GALSCR(ICON,'BC',1,'VBR')
0152              CALL GMOVE(ICON,'BC',1,XX(L),YY(L),GOP2)
0153          155 CONTINUE
0154          777 CALL GCLEAR(ICON,'AT@')
          C
          C%***** GRAPHIC DISPLAY END *****
          C
0155          CALL GCLEAR(ICON,'AT@')
0156          GO TO 160
0157          130 CALL GCLEAR(ICON,'BUF')
0158          CALL GCLEAR(ICON,'AT@')
0159          GO TO 1111
0160          140 CALL GCLOSE(ICON)
0161          STOP
0162          END

```

以上のように、小はマイクロコンピュータ・グラフィックスから大はここで述べた大型計算機によるグラフィックス・システムまで、それぞれの CRT 方式、解像度に応じた、よりソフトウェアされた知覚実験用刺激を容易に生成できる時代に入ったといえよう。

引 用 文 献

- 1) Lipkin, B.S., & Rosenfeld, A. 1970. *Picture processing and psychopictorics*. New York: Academic Press.
- 2) Prince, M. D. 1971. *Interactive graphics for computer-aided design*. New York: Addison-Wesley. (下村尚久, 倉持矩忠訳, コンピュータ・グラフィックス, 1972, オーム社)
- 3) Wilson, J. A. 1973. The computer in the psychology. In M. J. Apter & G. Westby (Eds.), *The computer in psychology*. London: John Wiley, pp. 153-186.
- 4) 穂坂衛, 1974. コンピュータ・グラフィックス, 産業図書。

- 5) Winston, P. H. (Ed.). 1975. *The psychology of computer vision*. New York : McGraw - Hill.
(白井良明, 杉原厚吉訳, コンピュータービジョンの心理, 1979. 産業図書)
- 6) Rogers, D. F., & Adams, J. A. 1976. *Mathematical elements for computer graphics*, New York : McGraw-Hill. (山本富士夫訳, コンピュータ・グラフィックス, 1979. 日刊工業新聞社)。
- 7) 吉川弘之(編). 1977. コンピュータ・グラフィック論, 日科技連, pp. 186-188
- 8) Hanson, A. R., & Riesenman, E.M. (Eds.). 1978. *Computer vision systems*, New York : Academic Press.
- 9) Fritsch, K., & Keck, M. J. 1978. Grating generation by microcomputer. *Vision Research*, 8, 1083-1085.
- 10) Keck, M. J., Fritsch, K., & East, T. D. 1979 Microcomputer controlled haploscope for binocular experiments. *Computer in Ophthalmology*, IEEE computer society, St. Louis, April, 1979.
- 11) Milkman, N., Schick, G., Rossetto, M., Ratliff, F., Shapley, R., & Victor, J. 1980. A two dimensional computer-controlled visual stimulator. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 2, 283-292.
- 12) ソニー・テクトロニクス. 1979. デイスプレイ・モニタとイメージフォーミング (カタログ).
- 13) Reddy, R., Rosen, B., Kriz, S., Powell, M., & Broadley, B. 1975. Computer graphics in research : Some state-of-art system. *American Psychologist*, 30, No.3, Special Issue. Instrumentation in psychology. pp. 239-246.
- 14) Noll, A. M. 1967. A computer technique for displaying n-dimensional hyperobjects. *Communications of the ACM*, 10, 469-473.
- 15) Hochberg, J. E. 1978. *Perception*, Second edition. New York : Prentice-Hall, Pp.105-157.
- 16) Gibson, J. J. 1955. *The perception of the visual world*, Cambridge : Riverside Press.
- 17) 黒田正己, 1965. 透視画, 美術出版
- 18) White, G. 1968. *Perspective*, London : Batsford. (笹原真彦訳, 透視画法, 1969. グラフィック社)
- 19) Julesz, B. 1971. *Foundations of Cyclopean perception*, Chicago : University of Chicago Press.
- 20) Rogers, D. F., & Adams, J. A. 1976. *Mathematical elements for computer graphics*, New York : McGraw-Hill. (山本富士夫訳, コンピュータ・グラフィックス, 1979. 日刊工業新聞社. pp. 90-95).
- 21) 長凡, 1979. 立体視画, ASCII, # 10. 1979. pp. 66-69.
- 22) 森正武, 1974. 曲線と曲面, シリーズ新しい応用の数学 5. 教育出版. pp. 77-102.
- 23) Shepard, R. N., & Metzler, J. 1971. Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- 24) Braunstein, M. L. 1962. Depth perception of rotating dot patterns : Effects of numerosity and perspective. *Journal of Experimental Psychology*, 64, 415-420.
- 25) Braunstein, M. L. 1966. Sensitivity of the observer to transformations of the visual field. *Journal of Experimental Psychology*, 72, 683-689.
- 26) Braunstein, M. L. 1968. Motion and texture as sources of slant information. *Journal of Experimental Psychology*, 78, 247-253.
- 27) Braunstein, M. L., & Payne, J. 1968. Perspective and the rotating trapezoid. *Journal of the Optical Society of America*, 58, 399-403.
- 28) Braunstein, M. L., & Payne, J. W. 1969. Perspective and form ratios as determinants of

- relative slant judgments. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 584-590.
- 29) Braunstein, M. L. 1971. Perception of rotation in figures with rectangular and trapezoidal features. *Journal of Experimental Psychology*, 91, 25-29.
- 30) Braunstein, M. L. 1976. *Depth perception through motion*, New York: Academic Press (Computer Animation, pp. 175-).
- 31) Reed, S. K. 1973. *Psychological processes in pattern recognition*, New York: Academic Press.
- 32) Minsky, M., & Papert, S. 1969. *Perceptrons*, Cambridge: M. I. T. Press. (斉藤正男訳, パーセプトロン, 東大出版 1971).
- 33) Bajcsy, R., & Lieberman, L. 1976. Texture gradient as a depth cue. *Computer Graphics & Image Processing*, 5, 52-67.
- 34) Baker, R. 1973. A spatially-oriented information processor which stimulates the motions of rigid objects. *Artificial Intelligence*, 4, 29-40.
- 35) Shirai, Y. 1973. A context sensitive line finder for recognition of polyhedra. *Artificial Intelligence*, 4, 95-119.
- 36) Clowes, M. B. 1967. Perception, picture processing and computers. In N. L. Collins & D. Michie (eds.), *Machine Intelligence*, vol.1, Edinburgh: Edinburgh University Press., pp. 181-197.
- 37) Mackworth, A. K. 1973. Interpreting pictures of polyhedral scenes. *Artificial Intelligence*, 4, 121-137.
- 38) Guzman, A. 1968. Decomposition of a visual scene into three-dimensional bodies. *AFIPS Joint Computer Conference*, pp. 291-304.
- 39) Encarnacao, J. 1972. PRADIS- An advanced programming system for 3-D display. *Proceedings for Spring Computer Conference*, pp. 985-998.
- 40) Huffman, D. A. 1971 Impossible objects as nonsense sentences. In R. Meltzer & D. Michie (eds.), *Machine Intelligence*, vol. 6, Edinburgh: Edinburgh University Press. pp. 295-323.
- 41) Gregory, R. L. 1971. Social implications of intelligent machines. In B. Meltzer & D. Michie (Eds.), *Machine Intelligence*, Vol. 6, Edinburgh: Edinburgh University Press. pp. 3-13.
- 42) 菅阪直行, 1975. コンピュータ・グラフィックスによる三次元図形の透視射影, 回転処理, 及び関数・乱数ベクトル列の発生, 関西心理学会第87回論文集, p. 14.
- 43) Rosinski, R. R. 1977. *The development of visual perception*. Santa Monica: Goodyear. pp. 46-62.
- 44) Wohlwill, J. F. 1965. Texture of the stimulus field and age as variables in the perception of relative distance in photographic slides. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2, 163-177.
- 45) Wohlwill, J. F. 1963. Overconstancy in distance perception as a function of the texture of the stimulus field and other variables. *Perceptual & Motor Skills*, 17, 831-846.
- 46) Bower, T. G. R. 1971. Infant responses to approaching objects: An indicator of response to distal variables. *Perception & Psychophysics*, 9, 193-196.
- 47) 菅阪直行, 1974. 高級言語によるコンピュータ・グラフィックス—Guzman のアルゴリズムについて—, 京大知覚研資料, 1974年10月。
- 48) 菅阪直行, 1977. 遠近法的射影空間における回転図形とみかけの奥行知覚, 第19回日本教育心理学会発

表論文集 pp. 426-427.

- 49) 山本満里子, 宇阪直行, 1978. 遠近画法的把握とメンタル・ローテーションの知覚発達, 第20回日本教育心理学会発表論文集, pp. 266-267.
- 50) California Computer Products. 1973. CALCOMP サブルーチン・パッケージ, 吉沢ビジネス・マシンスズ, pp. 69.
- 51) 日本図学会, コンピュータ・グラフィック委員会, 1974. コンピュータによる自動製図システム, 日刊工業新聞社。
- 52) 田島太郎, 1972. コンピュータ図学, コロナ社。
- 53) 田島太郎, 1972. コンピュータ図学演習, コロナ社。
- 54) 木内雄二, 1978. イメージ・センサ, 日刊工業新聞社。
- 55) 小林孝夫, 1969. 電子ディスプレイの ABC. 日本放送協会。
- 56) コンピュータ・デザインとグラフィックス, 1980. ASCII, # 37. 1980. pp. 58-79.
- 57) 森 正樹, 1980. 画像処理へのアプローチ, ASCII, # 32, 1980. pp. 54-63.
- 58) グラフィックス特集号, 1979. インターフェース誌, # 30, # 31. CQ 出版。
- 59) 大越孝敬, 1972. 三次元画像工学, 産業図書。
- 60) 大倉正暉, 1980. H 68/TR による CRT タキストスコープ, 第1回心理学ラボラトリ・コンピュータ研究会発表資料, 1980年7月。
- 61) 野沢辰, 1980. TRS-80 LEVEL II による運動視の実験, 第1回心理学ラボラトリ・コンピュータ研究会発表資料, 1980年7月。
- 62) Durrett, H. J. 1979. Color display systems: The state of the art. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 11, 127-130.
- 63) Reed, A. U. 1979. Microcomputer display timing: Problems and solutions. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 11, 572-576.
- 64) Finley, G. P., & DiLollo, V. 1981. An oscilloscopic point-plotter interface for 8-bit microcomputers. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 13, 51-54.
- 65) 宇阪直行, 1981. 心理実験と CRT 画像の表面色・光源色特性, 関西心理学会第93回大会発表, 論文集 p10.

後 注

(注1)

処理当時の京大大型計算機センタのシステムⅢ(グラフィック部門)の主プロセッサ・システムは BOSⅡ オペレーティング・システム下で働らく FACOM 230/35/48 処理系であったため, 現在の M200 処理系とはソフトウェア上の互換性がない。しかし, ディスプレイ用 CRT 端末が FACOM 6233A である点に変わりはない。

システム・ハードウェア・端末デバイス等を FORTRAN プログラムで制御するには JOB 制御マクロ文の他, FACOM 230/35/48 BOSⅡ 解説編, 制御プログラム文法編, LIED 文法編, FORTRAN 文法編, 操作手引書を要する。グラフィックスについては FACOM 6233AI/O 解説編, FACOM 270/30 GSP 仕様書 (F33A), GRASP 文法編, GRACE 解説書 (I, II) 等を要する。

(注2)

出力は必ずしもグラフィック CRT 端末でなくてもよい。例えば, ハードコピーや, より精度の高い製図情報を得たい場合は X-Y プロッタ (カルコンプ社等) にデータ出力する。この場合, プログラムは PSP (Plotter Subroutine Package) を GSP の代りに用いる (50-53)。また, 出力をマイクロフィッシュ化する COM (Computer Output Microfiche) 等もある。

(注3)

筆者が, 1980年5月に M. I. T. を訪問した際, AI ラボラトリの Sutherland が使用した記念碑的な CRT システムを見る機会を得たが CRT 端末自体はごく小さいものであった。また, グラフィックス部門では図形情報は全て LISP 言語で処理されていたようである。