

## 視覚機能研究におけるCG技術の利用

Computer Graphics in Vision Research

出澤 正徳

IDESAWA Masanori

理化学研究所・情報科学研究室

Information Science Laboratory

RIKEN: The Institute of Physical and Chemical Research

The human visual system can perceive 3-D information of an object by using disparity between two eyes, gradient of illumination ( shading ), occlusion, textures and their perspective and so on. Consequently, the disparity and the occlusion observed with binocular viewing seems to be the most important cues to get 3-D information. For the artificial realization of the visual function such as in computer vision or robot vision system, it seems to be a clever way to learn from the human visual mechanism. Recently, computer graphics and image processing techniques are admirably progressed and its application areas have been expanded very much. It seems that they also can provide an useful tool for the mean of visual stimulation in vision research. The possibilities have been investigated and a visual stimulus system for binocular vision research was developed. This system has been applied to psychophysical experiments of 3-D space perception with binocular viewing such as on the new type of 3-D illusion.

### 1. はじめに

人間の視覚システムは、両眼視差、陰影、隠蔽、テクスチャー、パースペクティブ、運動視差等を手がかりとして3次元空間を知覚している<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。視覚機能を工学的に実現し、応用しようとする研究が、マシン・ビジョンあるいはコンピューター・ビジョンと呼ばれる分野において盛んに行われている。これらの分野においては、ロボット用の視覚システムの実現を目指し、3次元の対象物や環境の認識機能の工学的実現に関する研究が最も重要な課題となっている。そして、生物の視覚のメカニズムに学んだ視覚システムの実現も試みられている。空間知覚機能においては両眼立体視が極めて重要な役割を果たしている<sup>5)</sup>。

近年のコンピューター・グラフィックス(CG)やイメージ・プロセッシング、コンピューター・ビジョンなど視覚的情報処理技術の発展・普及は目ざましく、CG技術を利用することによって、より分かり易い表示、より自然で現実味を帯びた表示が可能となってきた<sup>5), 6)</sup>。さらには、極めて小さなものや極めて大きなものを通常の大きさで把握し操作したり、また現実には起こりえないような状況の視覚的表現も可能となり、人間の活動空間を拡大し、また、通常とは極めて異なった視覚的経験もできるようになり、近年、「仮想現実感」などと呼ばれ大変なブームとなっている。視覚機能を通じて、人間に理解し易い表示を行う目的で広く利用されているCGは、視覚機能解明の研究<sup>7)</sup>における刺激提示の道具としても、近年、その可能性が期待

されている<sup>8)</sup>。視覚機能の中でも、我々人間が3次元の空間中で柔軟に活動してゆく上で、空間知覚機能が極めて重要な役割を果たしている。ロボット・ビジョンやコンピューター・ビジョンなど、視覚機能を工学的に実現し応用してゆこうとする立場からも、3次元空間知覚機能の実現は、最優先の課題となっている。視覚機能解明の研究においては、視覚的な刺激を与え、それに対する応答を観測することが必要とされる。また、逆に、人間に対して、3次元の情報を実効的に提示するためには、視覚機能についての知見が不可欠である。

ここではCG技術の視覚機能研究への適用について検討し、特に空間知覚機能に関係の深い、両眼立体視による3次元錯視現象の研究における、CGを利用した道具に、焦点を絞って述べることにする。そして、著者らが現在、試みている両眼立体視による空間知覚に関する心理物理学の実験に使用するために開発した、簡易型立体視システムとそのソフトウェアを中心とした視覚機能研究用ツールおよびそれを利用して得られた知見の一部について紹介する。

### 2. 視覚機能研究とCG

視覚的刺激要素としては、図1に示す様に、空間的要素、強度、色、時間的要素の4種が考えられる。視覚機能の心理物理学的研究や動物を用いた生理学的研究においては、しばしば、これら個々の要因が分離された形態で与えることが望ましい。しかし、現実にはこれら個々の要因が分離さ

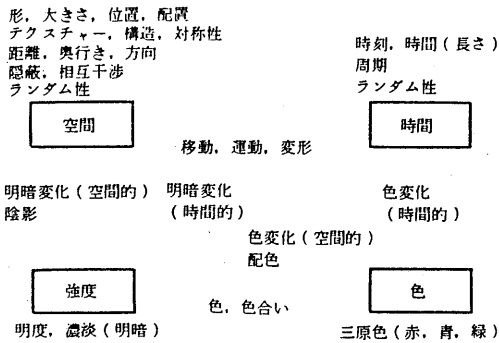


図1. 視覚的刺激的要素

再現性	時間的, 空間的とも完全に近い
離散的	標本化, 量子化 …… 劣化しない
空間的	関数的パターン生成, 繰り返しパターンの生成 正確, 再現性, ランダム(再現性の有る) 分解能(ラスター・グラフィックスでは1/500程度) (離散化, 標本化)
時間的	時間の制御(再現性, 正確), 繰り返し ランダム(再現性の有る) 時間分解能(ラスター・グラフィックスでは1/60秒程度) (離散化, 標本化, 量子化)
明度・色	R, G, B各色256レベル程度, 色再現(何らかの方法で更正必要) 明度再現(何らかの方法で更正必要) (離散化, 量子化)

図2. CGによる視覚的刺激の特徴

れた形態となるように視覚刺激を与えることは困難である。従来、視覚機能の生理学的実験、特に形状の知覚機能に関する実験における視覚刺激の提示法としては、多くの場合、実在の対象物を用いたり、紙に描いたり、幻燈器で投影するなどの提示方法が使用されていた。

例えば、ある領野内の視覚細胞がどのようなパターンに反応するかを調べる場合、まず、様々なパターン要素を含んでいる実在の物体を次々に提示して、細胞が反応する物体を特定する。次に、その物体のどのような部分あるいは特徴に反応しているかを特定するため、その物体のパターンの中の一部を除いたより単純化した図形を紙に描いて提示し、その細胞が反応するために最小限必要な要素を特定してゆく<sup>7)</sup>。これらの実験においては、順次、単純化した図形を何種類か考えて描き、それら提示し、最も良く反応するものを選択することを繰り返すことになるため、図形の生成・提示に大変な労力と時間が必要とされる。この図形の生成と提示過程の能率を向上できれば、このような生理学的実験も著しく効率的となり、視覚機能研究の高度な発展が期待できる。

近年、図形生成・提示過程の効率化を図るため、コンピューター・グラフィックス(CG)や画像処理技術を利用した刺激パターンの生成・提示法が試みられるようになってきた。現在のところ従来法における物体や紙、幻燈器を

ビデオやコンピューター、CRTに置き換えたという感が強いが、それでも実験能率の向上に役だっている。さらに、CGの長所を生かした使用法を開発できれば、視覚機能の解明へとさらに迫ることが可能になると期待される。

図2には視覚刺激提示手段としてのCGの特徴を列挙した。CG技術によれば、対象物のコンピューター・モデル生成し、それを合成、修正、変更したり、視点、位置、移動方向、移動速度、大きさ、距離、照明、色など様々な条件を設定して、様々な形態で提示できるので、視覚機能研究において、極めて有効かつ安定な刺激提示手段を提供できる可能性がある。そのためには、図2に示されている様な、CGの特徴を生かし、また、その限界を十分に考慮した上で適用してゆくことが必要とされる。そのためには、パターンの入力、生成、格納、検索、変換、処理、表示など、視覚機能研究に適した手法を開発してゆくことが必要とされる。

コンピューター・グラフィックス(CG)においては、通常、空間的、時間的、強度的な情報は離散的な情報として扱われている。本来、連続的であるべきものを離散的に扱った時に、視覚機能にどのような効果を与えてしまうかには注意を要する。この離散化による空間分解能は、通常のTVラスター・グラフィックスにおいては1辺500画素程度、すなわち、有効画面に対する相対分解能が500分の1程度であり、やや分解能が低過ぎる嫌いがある。例えば、両眼立体視表示を行う場合、視差が離散化され、特に点や線などの単純な図形を表示した場合に、分解能の十分さの影響が際立ち、奥行きの表示能力が低下する。

さらに、時間軸方向の離散化についても、現在の毎秒60フレームの表示では、刺激提示の時点、時間(長さ)やパターンを移動させる場合の表示更新の周期等、60分の1秒の分解能でしか設定できないことになる。時分割表示による両眼立体視においては、これが30分の1秒となってしまふ。これらの影響についても十分に考慮した実験条件の設定が必要とされる。

### 3. 両眼立体視表示の仕掛

両眼立体視を実現するには、左右の眼でそれぞれ対応する画像を観測することが必要とされる<sup>11)</sup>。コンピューター・グラフィックスにおける両眼視による立体表示では、与えられたコンピューター・モデルに対し視点を設定した時の表示画面上の画像の生成と左眼および右眼に対してそれぞれ対応する像のみを表示するための手段とによって構成される。前者については、いわゆる透視図表示の技術であり、従来から、広く用いられている手法が使用できる。従って、ここでは、後者の、左眼、右眼にそれぞれ対応する画像のみが見えるように表示するための方法を中心に述べることにする。

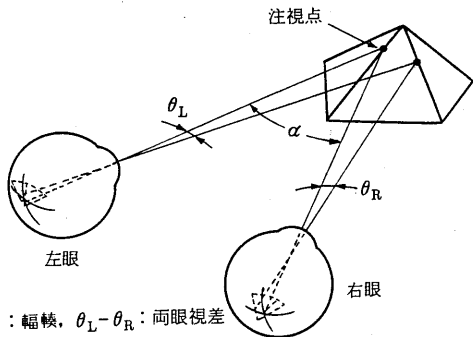


図3. 両眼立体視

左右の画像を別々の画面あるいは、それぞれ分離されたフィールドに重なり合わないよう表示し、適当な光学系を挿入して、目に入る時の視野が重なり合うようにする方法がある。観測する場合の輻輳角が不自然にならないように、左右の視野が重なり合うようにするには、いろいろな光学系、方法が用いられている。例えば、通常の立体視写真を観測する場合に用いられる立体視鏡とまったく同じで、表示画面上で離れている画像が、目にとっては同じ視野に表示されるように、プリズムや鏡を用いて光路を屈曲させて視野が重なり合うようにする。

右眼、左眼独立に専用の表示手段を設け、それらをそれぞれの目に直接表示する方法では、表示手段としては、小型のCRTや液晶表示素子等も利用される。頭の部分にマウントし、人の動き(向き、位置など)を検出して、それに応じて、表示画像の視点を変更して表示することにすれば、モデルの表示された空間内で人間が行動している様な

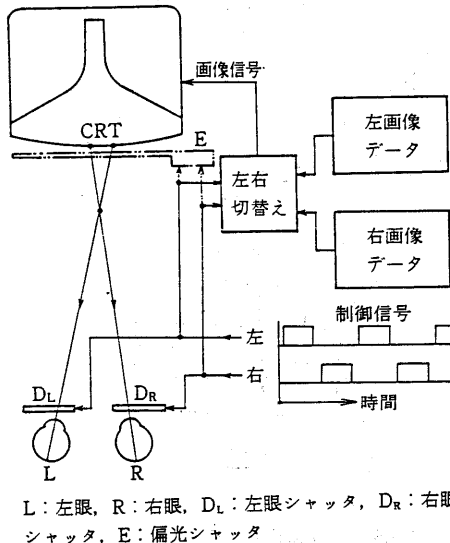


図4. 左右時分割表示による両眼立体視装置の概念図

印象を与えることも可能となり、近年、仮想現実感などと呼ばれ、ちょっとしたブームとなっている。

同一の表示画面上に右眼および左眼の画像を分離できるようにコード化して重ね合わせて表示する。右眼および左眼にそれぞれ対応する画像のみが見えるようにデコードするための仕掛を設ける。表示画像のコード化には、色や偏光状態が利用されている。

最も簡便な方法は、アナグリフと呼ばれる方法で、右目と左目の画像を異なった色で表示することである。通常、フィルターで分離が容易な赤と青が用いられている。カラーディスプレイ装置(パソコンの画面で十分である)があれば、右眼、左眼に対応する画像をそれぞれ異なった色(赤および青(緑))で表示し、左右異なった色フィルター(赤および青(緑))の眼鏡をかけて両眼立体視できる。カラーの画像が表示できないことや、左右の画像の色が異なるため、生理的に不自然な感じを受けるが難点である。

光は進行方向に垂直な方向に振動する横波であり、通常でたらしめな方向に振動している。振動が特定の状態に偏っている状態を偏光状態と呼んでいる。左右の画像をそれぞれ相対する偏光状態(縦横または右回り左回り)を起こす偏光板を通過させた後、重ね合わせて表示し、左右の目に、それぞれ対応した偏光状態を引き起こす偏光板の眼鏡をかけて観察すれば両眼立体視が可能となる。この方法では、カラーの画像の表示も可能である。

立体感には左右視差のみ(上下ではない)で生ずるので、左右視差のみを左右方向の多くの視点について、表示し、それぞれ対応した方向から、対応した部分が観測できるように表示すれば、視点を左右方向、前後方向に移動しても正常な立体視ができるはずである。これは、円筒レンズを上下方向に多数配置したレンテキュラーレンズを用いることによって実現できる。

同一の表示画面上に、左右の画像を表示するもう一つの方法としては、左右の画像を時分割で表示し、それに同期してシャッターを開閉して左右の目にそれぞれ対応した画像が表示されるようにする方式がある。左右画像のの時分割表示は、画像メモリーを左右別々に持ち、それらを交互に表示すればよいわけで、その実現は極めて容易である。問題は、左右の画像の表示に同期して動作するシャッターの実現法である。

目と表示面との間の光路に設けられたシャッターを機械的に開閉して、表示画像が対応する目のみに到達するようにしたものでは、原理的に表示光の確実な on/off が可能である反面、機械的運動を伴うため、応答速度は余り高められない。一定周期あるいは周期変動の少ない表示の場合には、回転円板(円筒)シャッター<sup>9)</sup>等を採用することにより、充分機能できるものが可能である。著者は、17年程前に、回転円板シャッター式の立体表示装置を開発し

3次元空間に直接図形を描くことを試みたが、当時は、ベクター走査型のディスプレイ装置がやっと普及し始めたばかりで、一画面に表示する図形の量が変わると、表示の周期もそれに応じて変化した。そのため、この装置では表示画面上に同期信号用のマークを左右どちらかの画像の後に表示し、それを光センサで検出して同期信号とし、それより、表示周期、また、シャット状態信号を検出して位相を合わせるように制御した。この装置は、現在のラスタ走査型の表示装置でも正常に動作している。近年、偏光板と液晶とを組み合わせた応答速度、経済性共に実用に供し得るシャッターが開発されているので、現在はそちらのものを用いている(図5)。

左右2方向からの画像のみで表示した場合には、基本的に目を移動した場合には、表示されている立体が、モデルの実際の形状から外れて歪んで観察されてしまう。観測者の視点の位置、姿勢を検出しすばやく、表示画像を演算して表示画像を変更することも一つの方法である。しかし、それでは、高速な演算処理装置が必要とされ、また、観測者が一人に限定されてしまう不都合も生ずる。2次的に配置された複眼レンズを用いれば、目の位置や姿勢に関わらず常に正常な立体視のできる表示が実現できる。この方法の難点は、多くの視点に対する画像を演算しなければならないこと、および画像表示の分解能を著しく高めることが必要とされることである。前述のレンティキュラー・レンズによる表示法の場合には、眼を左右方向、前後へ移動しても正常に立体視できたが、上下方向へ移動すると図形に歪が生ずる。

最近、液晶を使用した簡便な立体視用シャッターが開発されており、同一の画面上に左右の画像を時分割表示し、液晶シャッターをそれに同期して開閉することによって、立体表示する装置が手軽に入手できるようになっている。販売されている立体視装置の多くは、同期信号をコンピュータから引き出すことが必要とされる。画面上に表示されたマークをフォト・センサで検出してシャッター開閉を制御する方式のものも販売されている。この型のものでは、同期信号マーク表示プログラムを付け加えれば、ハード・ウェアを変更することなく、異なった機種ディスプレイ装置でも使用することが可能である。図5には、著者らが、現在試みている両眼立体視による仮想3次元空間表示装置用いた視覚機能研究の概念図を示した。

#### 4. 両眼立体視のための座標変換

コンピュータ内の立体のモデルを両眼立体視で立体的に表示するには、モデル空間で、右眼および左眼に対応した位置に視点を設定した時の表示画面上での画像をそれぞれ生成し、それぞれ対応した目のみに表示してやればよい。また、異なる目の位置(視点)に対する何枚かの画像を、目の移動に応じて、対応する画像がそれぞれの目のみ見える様に表示することにすれば、より現実味を帯びた立体感が得られる。左右方向のみでなく、上下方向についても視点をずらした像を生成して同様に対応する視点方向からの画像のみを観察できる様な構成とすれば、目の回転(目の左右方向の傾き)や目の上下移動によっても、不自然さを生じない立体表示が可能となる。多数の像生成に要する

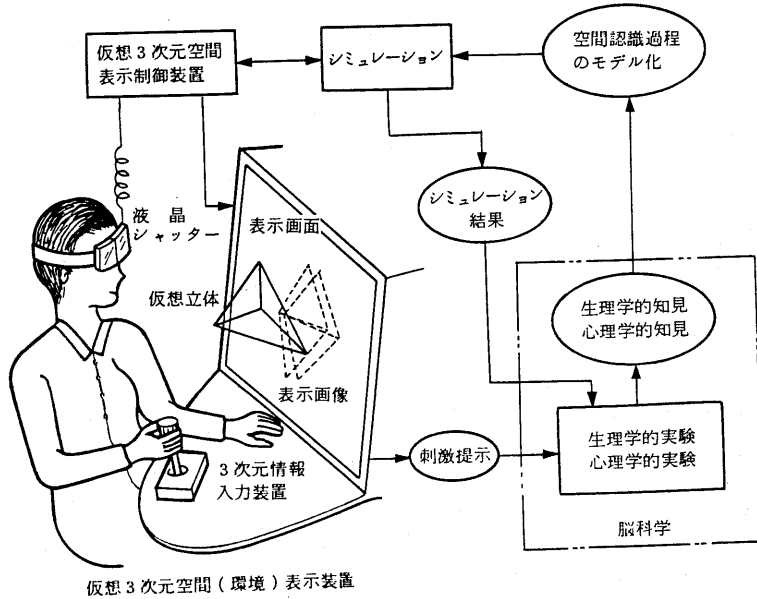


図5. 両眼立体視による仮想3次元空間表示装置と視覚機能研究

処理時間、画像表示の分解能、対応する方向からの画像のみが観測できる様にする機構の実現の困難さなどの理由で、通常は、左右各1枚ずつの表示で立体視することが行われている。この方式では、正確な立体感(モデルに忠実な形状)は、目を画像生成時に設定した視点に置いた時のみ得られ、それから、外れた位置では、立体が歪んで観測されたり、目の回転(左右方向の傾き)によっても、元のモデルの形状からはずれしてしまうという欠点がある。

コンピューターモデルからステレオ画像を生成するには、以下に示すようなステレオ変換が必要とされる。図6に示す配置において、物体空間の座標系における単位座標値の長さの表示画面上における単位座標値の長さに対する倍率を $F_s$ とする。さらに表示画面は平面であり、また、物体空間の座標系はz軸が表示画面に垂直で、x軸、y軸はそれぞれ表示画面座標系の $x_d$ 軸、 $y_d$ 軸に平行となるように予め回転変換されているものとする。物体空間のz軸が表示画面と交差する点の表示画面座標系における座標値を $(x_{d0}, y_{d0})$ とする。また、眼と表示画面との距離をFとする。物体座標系における3次元の座標値 $(x, y, z)$ に対して、次に示すステレオ変換の操作を行い、それぞれの眼に対応する画面上の座標値 $(x_{d1}, y_{d1})$ および $(x_{dr}, y_{dr})$ を計算し、対応する画面上の位置に表示する。

$(x_{d1}, y_{d1})$  および  $(x_{dr}, y_{dr})$  を計算し、対応する画面上の位置に表示する。

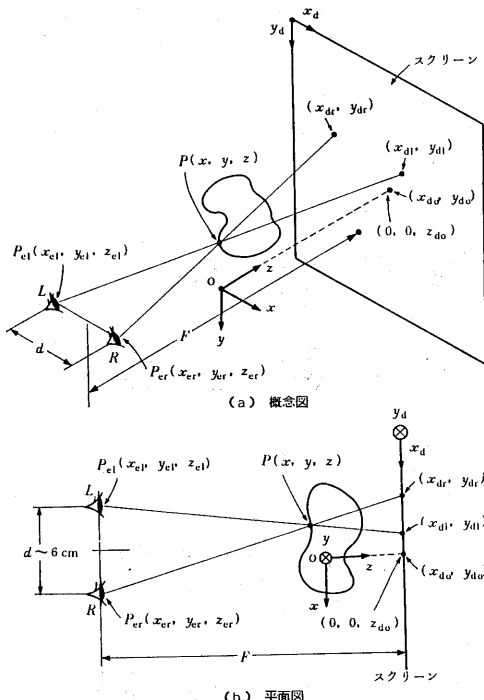
$$\begin{aligned} \text{左眼画面上の座標値: } (x_{d1}, y_{d1}) \\ x_{d1} &= F_s (F (x - x_{e1}) / (z - z_{e1}) \\ &\quad + x_{e1}) + x_{d0} \\ y_{d1} &= F_s (F (y - y_{e1}) / (z - z_{e1}) \\ &\quad + y_{e1}) + y_{d0} \\ \text{右眼画面上の座標値: } (x_{dr}, y_{dr}) \\ x_{dr} &= F_s (F (x - x_{er}) / (z - z_{er}) \\ &\quad + x_{er}) + x_{d0} \\ y_{dr} &= F_s (F (y - y_{er}) / (z - z_{er}) \\ &\quad + y_{er}) + y_{d0} \end{aligned}$$

表示すべき図形が直線図形の場合にはその両端の点に、上述のステレオ変換を行って、それらの点の間を直線で結んで表示する。また、表示対象が曲線図形の場合には、曲線上に複数の標本点を設け、曲線を折れ線として近似する。各標本点の座標値に対して上述のステレオ変換を行って、それぞれの表示画面上に折れ線として表示する。さらに面積を有する領域画像を表示する場合には、まず領域境界を前述の曲線表示の場合と同様に表示して、その境界で囲まれた領域を塗りつぶす操作を行う。

前述したように、この表示法では、眼の位置がステレオ変換時に設定した視点位置からずれると、観察される3次元像が歪んでしまうが、3次元像の相対関係(位相構造)は変化しない。したがって、プローブ用の視覚刺激を別の方法で与える場合には問題となるが、プローブ刺激も全く同様の方法で提示することにすれば、視覚機能研究に際して余り神経質になる必要はなさそうである。また、表示画面が平面でないことや表示における幾何学的歪についても厳密には補正することが望ましいが、通常目的にはあまり問題とならないようである。

### 5. 3次元錯視研究用ソフトウェア

錯視現象は脳内での視覚情報処理過程のメカニズムの一端がマクロな形で表出したものであり、そのメカニズムを探る上で極めて有力な道具を提供してくれる。これら錯視現象については古くから多くの報告があるが、その多くは単眼視でも知覚されるものである<sup>10)</sup>。最近、両眼視による錯視現象についての報告もかなり見受けられる<sup>11)12)13)</sup>。著者は、昨年、3次元表面に沿って部分的に与えられた両眼視差の手がかりのみから、実際には視覚的刺激が全く存在しない部分にも3次元表面(含曲面)が知覚され、それらの間での干渉も知覚されるという錯視現象を発見した<sup>8)</sup>・14)。この錯視現象を利用して、視覚システムにおける3次元知覚のメカニズムを探るべく、研究を進めている<sup>14)</sup>。そして、隠蔽(occlusion)<sup>15)</sup>が3次元対象の知覚において、極めて重要な役割を果たしていることが確かめられた<sup>14)</sup>。この様な状況を勘案し、前述の簡易型立体表示装置を



(a) 概念図  
(b) 平面図

L: 左眼, R: 右眼,  $o-xyz$ : 物体空間座標系,  $x_d, y_d$ : 表示空間座標系,  $d$ : 左右眼の間隔,  $P_{e1}$ : 左眼位置,  $P_{er}$ : 右眼位置,  $P$ : 対象物上の点,  $F$ : 眼と表示画面との距離,  $(x_{d0}, y_{d0})$ : 物体空間座標系のz軸と表示画面の交点の表示画面座標系における位置,  $(x_{d1}, y_{d1})$ : 点Pの左眼画面上での位置,  $(x_{dr}, y_{dr})$ : 点Pの右眼画面上での位置

図6. ステレオ変換の配置

用いた3次元錯視研究用のソフトウェアを開発した。

このソフトウェアは、3次元対象のコンピュータ・モデルを作成(記述)する部分(データ部)とそれを解釈し、そのモデルに応じた処理を行い立体視変換して画面に表示する部分(制御部)よりなる。前者は、目的に応じて、作成、変更を行える様に、データとして記述する。後者がこのシステムの核となる最も基本的な部分である。以下では、後者の制御部の機能について、どのような対象が扱えるように設計されているかについて述べる。

このプログラムでは、(a) 平らな厚さの無い図形(2-D表面と呼ぶ{円、楕円、多角形、...})、(b) 厚さの無い曲面図形(3-D表面と呼ぶ{球面、円筒面、円錐面、2次曲面、3次曲面、...})、(c) 3次元空間内で部分空間を占める図形(立体と呼ぶ{球、楕円体、円筒、円錐、直方体、多角柱、...})および点、線、ランダム・ドットなどが扱えるように配慮されている。そして、隠蔽に重点をおいたので、輪郭線処理を基本とし、輪郭線の描画{Frame I、Frame I I}、輪郭線の消去{E-Frame}、輪郭線内部を塗りつぶす{Fill}、輪郭線内部を消去する{Hole}、領域を塗りつぶす{Paint}の5種の表示機能がある。Frame I Iは複数の輪郭線が干渉する場合に用いるものである。2-D、3-Dモデルともに基本的には基本図形(プリミティブ)の組合せで表現するが、点列を与えて境界群の指定による表現も可能である。

2-D表面は、深さ方向に垂直なものだけではなく、任

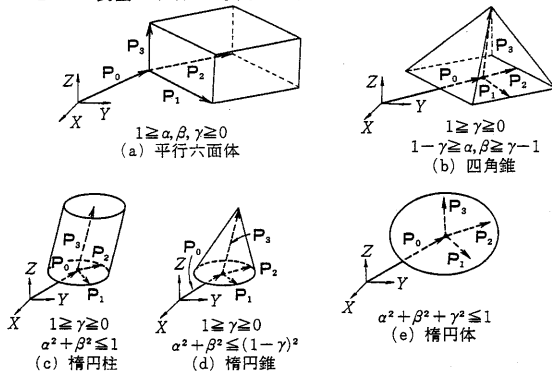


図7. 基本立体表現(コンピュータ・モデル)の例

意の傾きのもも扱える。3-Dモデルは、図7に示されているように、3個の独立なベクトル( $P_1, P_2, P_3$ )とその形状コードで表現され、3次元空間の任意の位置に、任意の姿勢で配置できる。2-D、3-Dのモデルともに頻りに用いられるモデルは、データ部でなく制御部に用意するようにしている(例えば1/8球面)。

また、視覚機能研究では両眼立体視のみによる要因を他の心理的要因と分離して調べるため、ランダム・ドット・パターンによる両眼立体視の方法<sup>16)</sup>が広く使用されている。コンピュータにより”完全に再現性のある(疑似)ランダム・パターン”が生成可能なので、極めて容易に実現でき、ここで開発したプログラムにもこの機能が組込まれている(図8)。現在のところ、(任意の深さの深さ方向に垂直な平面上に/3-D表面上に)×(両眼対応するように/両眼対応しないように)の組合せ(4種)に相当する表示機能が備えられている。このプログラムは、3次元錯視現象の研究において視覚刺激の道具として使用され、いくつかの新しい知見が得られている。このプログラムによって表示された3次元錯視ステレオグラムをいくつかを図8、図9、図10に示した。

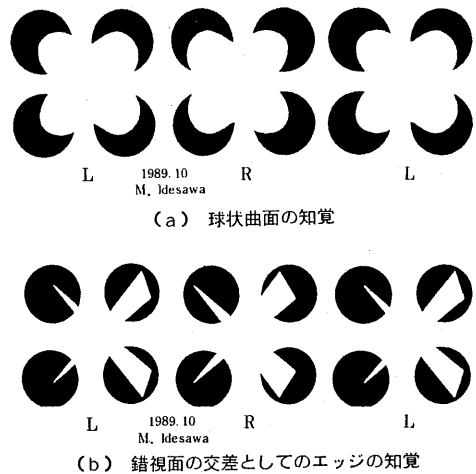


図9. 両眼視による3次元錯視現象

(R:右眼、L:左眼)

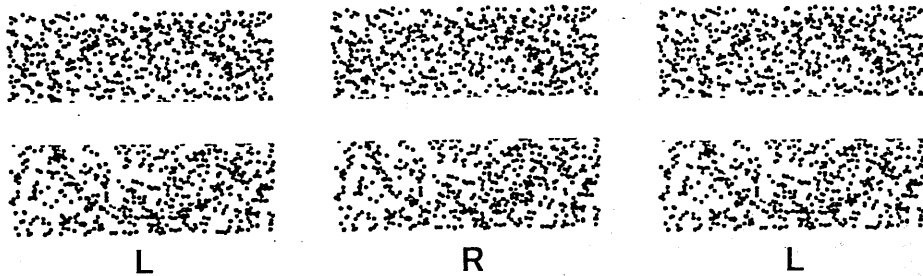


図8. ランダムドットステレオグラムの例(R:右眼、L:左眼)

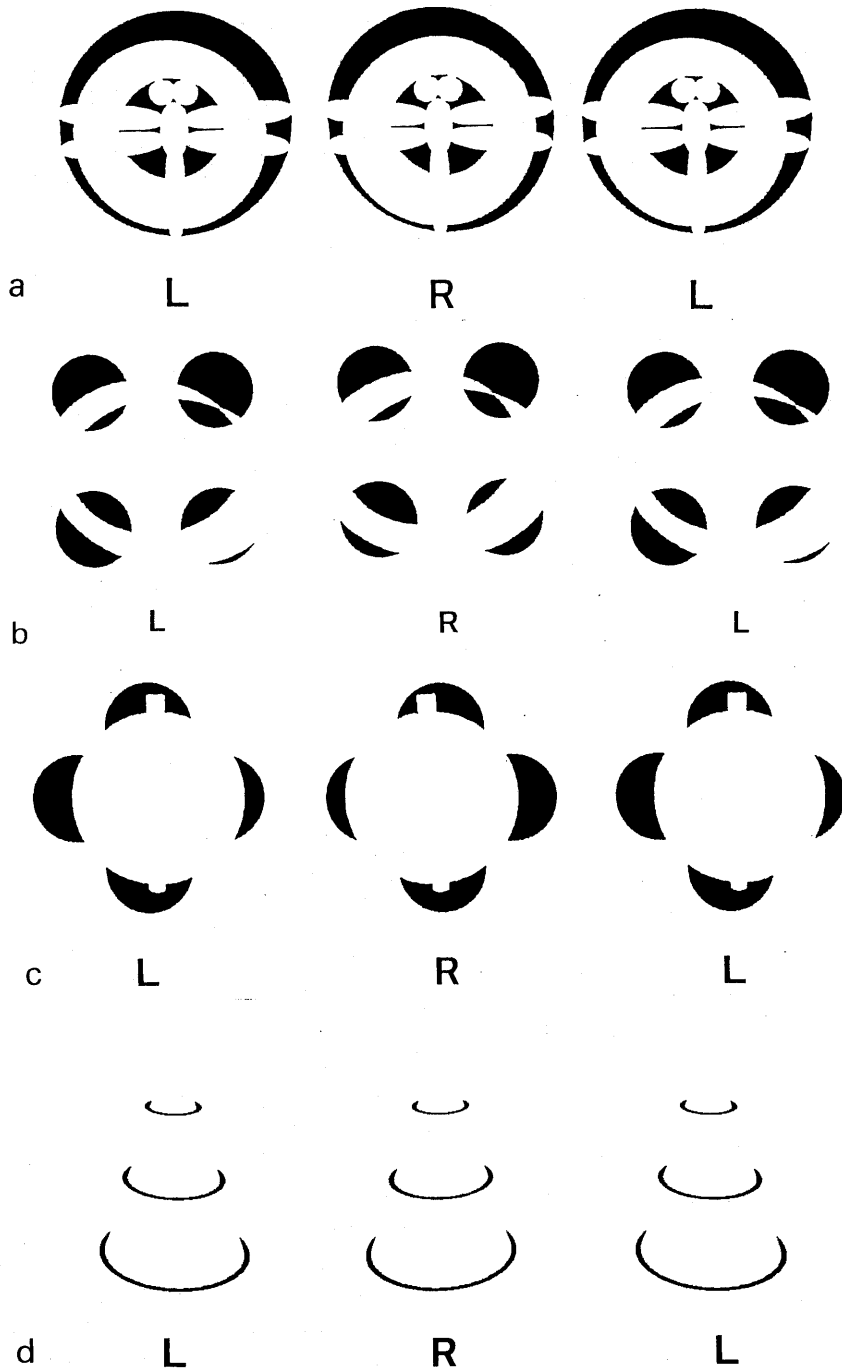


図10. 3次元錯視ステレオグラムの例 ( L:左眼、R:右眼、(a) 平面的3次元錯視図形(円および楕円の組合せ)、(b) 3次元錯視曲面(メビウスの輪)、(c) 錯視立体(球および円筒の組合せ、両眼で対応しない境界領域があることが特徴的である)、(d) 錯視立体(円錐面、cとは異なった型の錯視立体である) )

## 6. むすび

本報告では、両眼視による3次元知覚機能の研究のために開発し、3次元錯視機能研究に使用している立体表示システムを中心に、視覚機能研究におけるCG技術の利用とそのために開発した簡易型ソフトウェアについて紹介した。

現在の表示システムでは、濃淡画像の表示機能が装備されていないが、その機能を付加することにより、シェーディングの影響も含めた検討が可能となり、その適用分野をさらに拡大できる。また、動画は、単純なものは表示可能であるが、複雑なものは画像生成に多くの処理時間を要し、表示に間に合わなくなるため、一旦ビデオディスク等に記録し、それを再生するのが実際的である。CG技術は、ここで述べた3次元知覚機能に関する心理物理学的研究分野のみでなく、視覚のメカニズムについての理解を深めてゆこうとする、生理学分野も含めた視覚機能研究のための新しい型の道具を提供してくれるものと期待される。また、より有効な立体表示手段を実現するためには、視覚機能についての知見を深め、本報告で述べたような錯視現象等を積極的に利用した表示手段の開発が期待される。

なお、CG技術を視覚機能研究にさらに役立てて行くためには、視覚特性が考慮された視覚機能研究に適した表示装置(ハードウェア)の開発、および効果的な刺激画像の生成と提示のためのソフトウェアの開発が切望される。そのためには、電子工学、情報科学の研究者と生理学、心理学の研究者との密接な協力が必要とされる。

本研究にあたり、協力、討論頂いた理研国際フロンティア研究システム思考電流チーム田中啓治氏、藤田一郎氏、伊藤南氏および程康氏、また、御助言、御助力頂いた理研後藤英一主任研究員および理研フロンティア伊藤正男思考機能グループリーダーに感謝する。

なお、本研究の一部は、科学技術振興調整費「ファジィ・システムとその人間・自然系への適用」により推進されたものであることを記し、関係諸氏に感謝する。

### [文献]

- 1) David Marr: Vision, W. H. Freeman & Company, 1982
- 2) Visual Perception: The neurophysiological foundation (eds. L. Spillmann and J. S. Werner) Academic Press (1990)
- 3) Livingston & Hube: Psychophysical Evidence for Separate Channels for the Perception of Form, Color, Movement and Depth, Journal of Neuroscience 7(11)3416-3468(1987)
- 4) V. S. Ramachandran: Perception of Shape From Shading, Nature, 331, 14, 163-165(1988)
- 5) 畑田彦彰: 立体視と視覚情報処理、理研シンポジウム第9回「非接触計測と画像処理」、57(1988-9)
- 6) 中前栄一郎: 3次元CGにおけるリアリズムの追求、理研シンポジウム第9回「非接触計測と画像処理」、66(1988-9)／横井茂樹: コンピューター・グラフィックスにおける材質感の表現技術、理研シンポジウム第10回「非接触計測と画像処理」、27(1989-10)
- 7) 田中啓治: 視覚機能研究における最近の話題、理研シンポジウム第10回「非接触計測と画像処理」、54(1989-10)／藤田一郎、程康、田中啓治: 図形特徴の細胞集団によるコーディング、理研シンポジウム第11回「非接触計測と画像処理」、66(1990-10)
- 8) 出澤正徳、程康: 視覚機能研究におけるコンピューター・グラフィックスの利用と課題、理研シンポジウム第10回「非接触計測と画像処理」、33-39(1989-10)／出澤正徳: 視覚機能とコンピューター・グラフィックス、光技術コンタクト、28-8、450-458(1990)／出澤正徳、水越康博: 両眼立体視による空間知覚機能研究用ツール、理研シンポジウム第11回「非接触計測と画像処理」、28(1990-10)
- 9) 出澤正徳: 二眼視による立体表示技術立体視技術、精密工学会誌、54-2、251-254(1988)／出澤ほか: 立体視による対話型設計法についての検討、機学講演、No. 750-3、45(1975)
- 10) G. カニツツア: 視覚の文法、野口薫監訳、サイエンス社、1985
- 11) The perception of illusory contours ( Edited by Susan Petry and Glenn E. Meyer ), (1987, Springer-Verlag)
- 12) V. S. Ramachandran, P. Cavanagh: Subjective Contours Capture Stereopsis, Nature, 317, 10, 527-530(1985)
- 13) Mather: The role of subjective contours in capture of stereopsis, Vision Research, 29-1, 143-146(1989)
- 14) 出澤正徳: 両眼立体視による3次元錯視現象(3次元錯視面の知覚とその応用)、理研シンポジウム第11回「非接触計測と画像処理」、38(1990-10)／M. Idesawa: Perception of 3-D Illusory Surface with Binocular Viewing, submitted to JJAP
- 15) K. Nakayama, S. Shimojo, G. H. Silverman: Stereoscopic depth: its relation to image segmentation, grouping, and the recognition of occluded objects, Perception, 18, 55-68(1989)／S. Shimojo, K. Nakayama: Real world occlusion constraints and binocular rivalry, Vision Research, 30-1, 69-80(1990)
- 16) B. Julesz: Foundation of Cyclopean Perception, (1971, The University of Chicago Press)
- 17) M. Idesawa: Depth interpolation from surface boundary perceived with binocular viewing, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Vol. II, 521-526( June 17-20, 1990, San Diego)／出澤正徳、施工富: 両眼立体視による表面境界から3次元表面深さ知覚過程のモデル化、神経回路学会平成2年度全国大会講演論文集、27(1990-9)／出澤正徳、施工富: 両眼立体視による表面境界から表面深さ知覚過程のモデル化の一試行、理研シンポジウム第11回「非接触計測と画像処理」、10(1990-10)