

両眼立体視による3次元錯視現象と
コンピュータビジョン

3-D Illusory Phenomena with Binocular Viewing and Computer Vision

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, the author found a new type of illusion. When the visual stimuli of disparity are given only partially along to the contour of an object, human visual system can perceive the 3-D surface (not only plane but also curved) of the object where there are no visual stimuli to get depth information. The interactions between the perceived illusory surface (occlusion, intersection and transparency) can be recognized. These newly found illusory phenomena have close relations with the visual function of 3-D space perception and can provide a new paradigm in the field of computer vision.

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^{1), 2), 3)}。コンピュータ・ビジョンと呼ばれる分野においては視覚機能を工学的に実現し、応用しようとする研究が盛んに行われており、ロボット用視覚システムの実現を意識し、3次元空間(対象物、環境)の認識機能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。

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、視覚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。また、絵画や建築などにおいても、古くから、それぞれの分野におけるスペシャリストにより、無意識的あるいは意識的に、しかも巧妙に利用されている。最近、単眼視だけでなく両眼視による錯視現象についても多くの報告が見受けられる^{4), 5), 6)}。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見出した^{8), 9)}。一つの解釈として、脳の中において視覚

像から形成される3次元的構造の不完全性を補い、また内挿も行い矛盾の生じない3次元モデルを構成しようとするメカニズムが存在し、その結果3次元の表面およびそれらの配置、構造、干渉(交差、隠蔽、透明視など)が知覚されると考えられる。この錯視現象は、両眼視による空間知覚のメカニズムを探る上で有力な道具を提供してくれるとともに、コンピュータ・ビジョンにおける新しい方向を示してくれるものと期待される。現在、その方向での研究を進めており、いくつかの新しい知見が得られつつある。本稿では、この両眼立体視における新しい錯視現象とそれを利用して得られた成果の一部を紹介し、視覚機能を工学的に実現し、応用してゆこうとするコンピュータ・ビジョン研究との関わりについて考察する。

2. 両眼立体視による3次元錯視現象

a. 3次元錯視面の知覚

両眼立体視による3次元対象物の知覚については、Juleszがランダム・ドット・ステレオグラム¹⁰⁾により両眼の画像の対応を脳の中で計算していることを示し、そのデモンストレーションが余りにも見事であったためか、視覚機能の工学的実現とその応用を図ろうとするコンピュータ・ビジョン分野の研究者達の多くが「3次元対象知覚の工学的

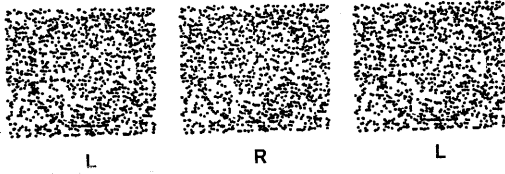


図1. ランダム・ドット・ステレオグラム の例
(L: 左眼、R: 右眼)

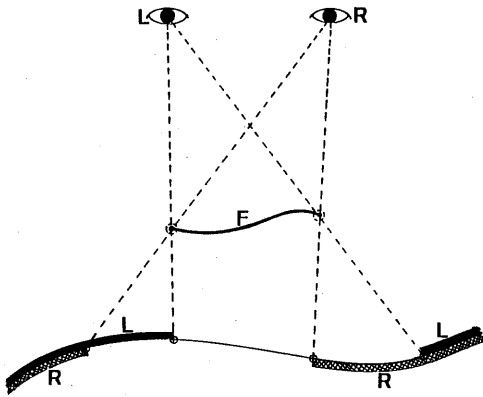


図2. 3次元錯視面知覚の概念図 {L: 左眼、R: 右眼、
F: 錯視面、両眼にそれぞれL、Rで示した視覚
的刺激を与えると視覚的刺激が全く無いFの位置
に錯視表面が知覚される}

実現における課題は「両眼対応がすべてである」かのような誤解をしてしまったことは全く残念なことであった。

ランダム・ドット・ステレオグラム (図1) において知覚される面は、3次元空間中の視覚的刺激 (ランダム・ドット) により持ち上げ (または押し下げ) られているためとも考えられるが、本稿で紹介する3次元錯視面の知覚には、隠蔽 (occlusion) が大きな要因となっている (図2)。左右両眼で観測した時に、左眼 (L) 右眼 (R) のそれぞれに、図にR、Lで示されている視覚的刺激が与えられると、視覚的刺激が全く無い部分Fに3次元錯視面が知覚される。これは、我々人間の視覚システムが視覚的刺激の無い部分を隠蔽している何ものかが存在していると知覚することにより3次元的な矛盾を解消しているためと考えられる。この考えに基づいて作成された3次元錯視面が知覚されるステレオグラムの例を図3に示した。同図は1つの円板、5つの楕円板をいくつかの平面的な楕円板が隠蔽しているように表示してある。これを両眼立体視することによりチョウが3次元的に浮かんで知覚されるのと同時に、隠蔽されている円板および楕円板も明確に知覚できる。特に隠蔽されている中央部の円板は、単眼視ではほとんど円板

としては認知できない。隠蔽している物体のみでなく、隠蔽されている対象物の認知過程の工学的実現は、コンピューター・ビジョンにおける新しい一つの重要な課題となると思われる。図4は曲面状の3次元錯視面知覚の例であり、

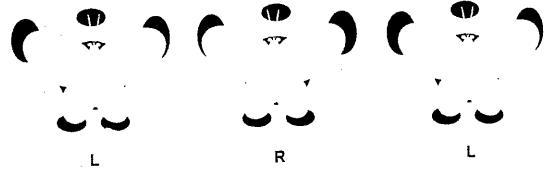


図3. 平面的錯視面によって構成される3次元対象物の知覚 {L: 左眼、R: 右眼、LとRの文字が重なり合う様にするると立体視できる、チョウ}

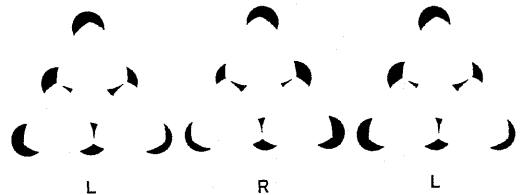


図4. 錯視曲面知覚の例 {L: 左眼、R: 右眼、この顔の上
にどんなツラ (面) が見える? $1/8$ 球面 $\times 3$ }

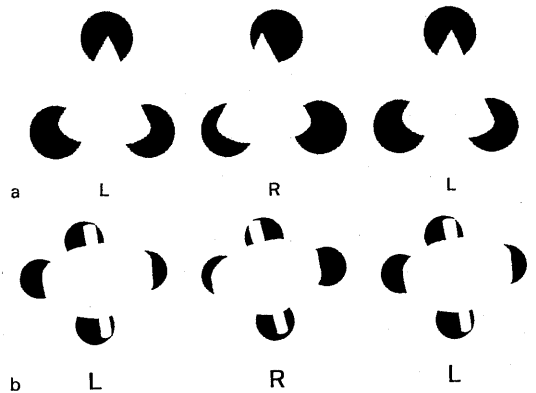


図5. 錯視立体の知覚の例 {L: 左眼、R: 右眼、
(a) 円錐体の知覚、(b) 独楽、単なる厚さのない
曲面ではなく、体積を有する閉じた空間が知覚される}

単眼では女性の顔の様に見えるが、これを両眼立体視すると3個の $1/8$ 球面が浮かび上がってくる。図5は錯視立体の知覚の例であり、円錐 (a) およびいくつかの円筒面、円錐面の組合せとして構成された独楽が知覚される。立体、特に曲面を有する立体の知覚においては、図6にその概念図を示してあるように物体の輪郭線が両眼で対応しない状態が生ずる。この場合には、対応しない輪郭線の近傍の立

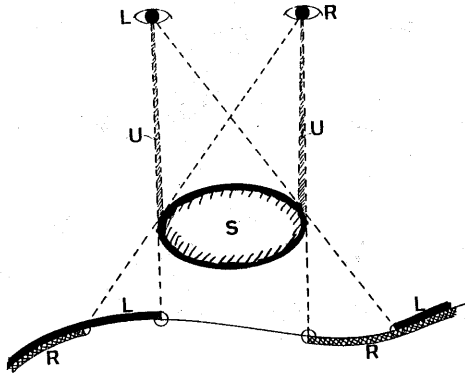


図6. 錯視立体知覚の概念図 { L: 左眼, R: 右眼、輪郭が左右対応せず、対応しない領域が知覚される立体の表面にも存在することが特徴的である }

体上の領域は左右で対応しないことになり、Juleszらによる仮説「対応しない部分は後方の面の深さに知覚される」(10)、(11)、(12)が極めて限定された条件 (sheet object world) でのみ成り立つものであり、立体世界 (solid object world) ではしばしば成り立たなくなることを示している。この左右対応しない領域の存在は曲面を含んだ立体 (部分閉空間) の知覚過程において極めて重要な役割を果たしている。錯視立体の知覚現象は、我々人間の視覚システム中に、このような非対応部分の処理を行うメカニズムが存在していることを示唆している。コンピューター・ビジョンにおいては左右画像についてエッジを検出し、エッジの対応を求める方法が広く用いられているが、曲面物体が含まれている場合には、本来対応すべきでない輪郭線に対応させてしまう不都合がしばしば生ずる。コンピューター・ビジョンにおいても、この非対応部分の積極的処理が3次元認識システムの実現にとって極めて重要な課題となる。

b. 3次元錯視面の干渉

3次元錯視面は、互いに干渉し合い隠蔽や交差、さらには適当な幾何学的拘束条件を付加することにより、変形されたり、透明感が生じたりすることが観測されている。

図7を両眼立体視することにより、2個のメビウスの輪が互いに捻れた状態で配置されているのが知覚される。注



図7. 錯視面同士の隠蔽の例 { L: 左眼, R: 右眼、捻れて絡み合っている2個のメビウスの輪が知覚される。 }

意深く観測すると重なり合った部分では、後方に位置する錯視面の輪郭が手前側に位置する錯視面によって隠蔽されていて知覚されず、手前側となる錯視面の輪郭線のみが知覚される。これは我々の視覚システムには、単に、錯視面の知覚のみでなく3次元空間における配置構造をも知覚するメカニズムが存在していることを示唆している。さらに、3次元空間内で錯視面同士が交差すると、交差する位置に交線が知覚されるという現象が観測された (図8)。幾何学的拘束 (物理的な視覚刺激) を与えると、錯視面が変形して知覚されたり、錯視表面の一部が透明な状態になることが観測されている (図9)。

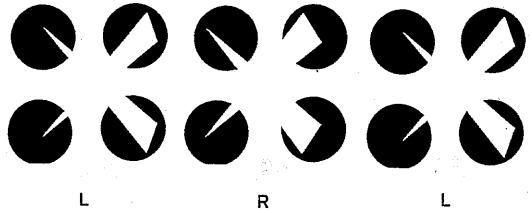


図8. 錯視平面の交差 { L: 左眼, R: 右眼、三角形の錯視面が交差する位置に交線が知覚される }

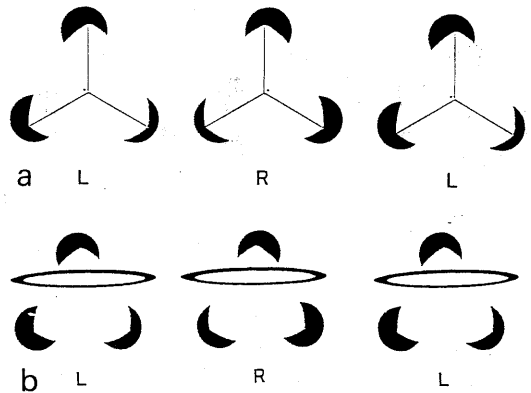


図9. 物理的視覚刺激による幾何学的拘束と錯視面

{ L: 左眼, R: 右眼、(a) 物理的視覚刺激として線分と点を付加した時に知覚される錯視表面の変形、(b) ドーナツ状の物理的視覚刺激の錯視表面への影響、物理的視覚刺激が錯視表面の向こう側となっている部分の隣接領域が透明になったように知覚される }

c. 透明な3次元錯視面の知覚

両眼立体視することによって、本質的に透明な錯視面が知覚される現象が観測されている。これらは、隠蔽される視覚的刺激の可視性に深く関連している。なお、我々人間の視覚システムは閉じた領域 (閉じる傾向にある) に面を知覚する傾向を有し、開いた領域には面を知覚しにくい。図2に示すように、隠蔽される視覚的刺激の可視性は、錯

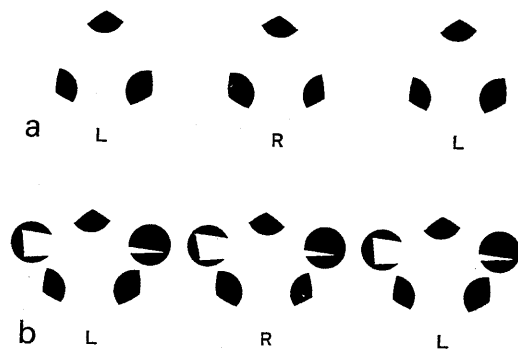


図10. クリスタル透明 (crystal transparency) 錯視面の知覚 {L: 左眼, R: 右眼, (a) 透明錯視面、(b) 不透明錯視面プロープによる透明感の確認}

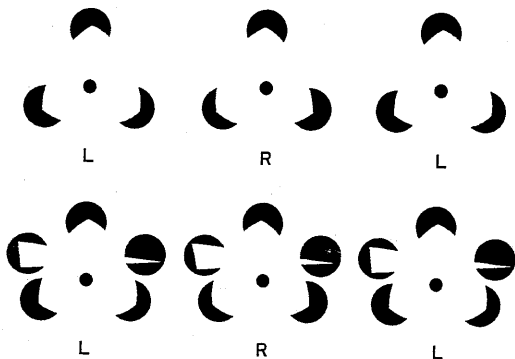


図12. 霧状透明 (translucent) 錯視面の知覚 {L: 左眼, R: 右眼, (a) 霧状透明錯視面、(b) 不透明錯視面プロープによる透明感の確認}

視面を知覚する領域では0 (不可視) となっているため不透明な面が知覚された。錯視面が知覚される側とその外側での視覚的刺激的の可視性が変化すると錯視面の知覚される状況も異なってくる。図10に示すように隠蔽される視覚的刺激的の可視性を不透明な錯視表面の知覚におけるのと全く逆にして、錯視表面が知覚される側で可視性が1となり、外側で0となるように表示した場合には、両眼立体視すると透明なガラス状の1/8球状面が知覚される。ここではこれをクリスタル状透明 (crystal transparency) と呼ぶ。透明錯視表面の向こう側に配置したプロープ錯視面が知覚され、この場合には錯視表面全体が完全に透明と知覚されることが確認されている。図11に示すように、錯視面の内外での可視性を中間的な状態にした場合には (ただし、ここではハードコピーの関係で濃淡の表示が困難であるため一方の領域のパターンを帯状にして可視性を変化する方法を用いた) クリスタル透明の場合に比べてやや軟らかい

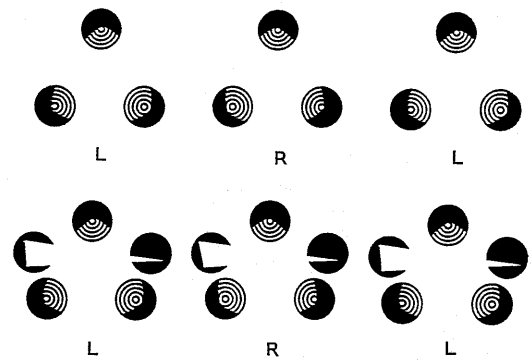


図11. 半透明 (semi-transparency or diaphanous) 錯視面の知覚 I {L: 左眼, R: 右眼, (a) 半透明錯視面、(b) 不透明錯視面プロープによる透明感の確認}

印象の透明感が知覚される。ここではこれらを半透明 (semi-transparency or diaphanous) と呼ぶ。この場合にも全面にわたって透明となることが確認されている。

図12に示すように、不透明な錯視表面の向こう側に物理的な視覚刺激をセットした場合には、霧状透明 (translucent) と呼ぶ透明感が知覚される。本来不透明であるべき表面が、立体視すると物理的な視覚刺激が対象物表面の向こう側に知覚され、不透明な表面が存在したのでは3次元構造に矛盾が生じ、これを解消するために、視覚の3次元構造の知覚過程において、その視覚的刺激的の近傍の表面が透明であると知覚されているものと考えられる。霧の多い大気を通して太陽を見ている様な感じであり、錯視面プロープを用いて調べてみると、物理的な視覚刺激の近傍では透明であるが、離れるにしたがって、不透明になってゆくことが確認された。一方において、物理的な視覚刺激を不透明錯視表面の向こう側に与えればいつでも、ここで述べた透明感が知覚されるというわけではなく、錯視表面が変形して知覚されることがある。錯視表面が透明となるか変形するかは、視覚の3次元知覚過程に生じる無理がより少ない (必要エネルギーが少ない?) 方に知覚されるのであろうと考えられる。

透明な錯視表面についても、不透明な錯視表面の場合と同様に、錯視表面間での干渉が観測されている。これらの観測事実から、視覚過程の比較的低次の段階における3次元空間知覚過程では、透明・不透明をも含めて、3次元空間構造が扱われているであろうことが推測される。また、透明から不透明への連続的な変化も観測されており、我々の視覚システムの中には、透明、不透明についても内挿する機能が存在しているのではないかと推察される。コンピュータ・ビジョンにおいてもこれら透明視の扱いは今後の一つの大きな課題となる。

3. 両眼視による表面境界から表面深さの知覚

a. 表面境界から表面深さの知覚におけるFuzziness

両眼立体視による3次元錯視表面の観察において、注視点の深さを変化すると、それに応じて表面形状が異なって知覚されるという現象が見い出された⁷⁾(図13)。表面

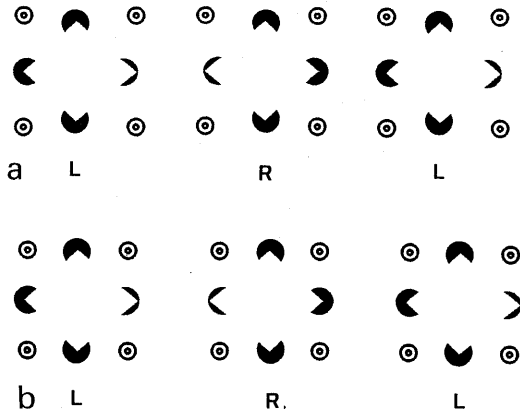


図13. 注視点深さ変化と3次元錯視面の表面深さ知覚の例 {L:左眼、R:右眼、○:注視点深さ、(a)注視点手前、(b)注視点後方、周囲に二重円で示された深さに注視点深さを合わせると、知覚される錯視面形状に差異が認められる}

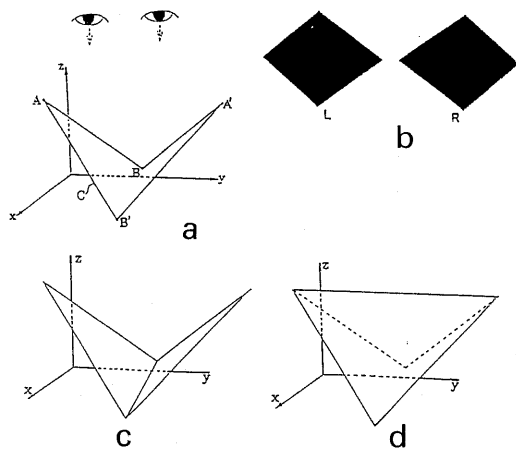


図14. 図3に示した現象(3次元における表面境界と異なる注視点深さに対して知覚される異なった表面形状)の概念図{(a)両眼立体視と3次元空間における表面境界、(b)図(a)の表面境界を与えるステレオペア、(c)、(d)図(a)に示した表面境界より知覚される3次元表面の例、注視点をAA'にすると(c)に近い形状となり、BB'の深さにすると(d)に近い形状が知覚される。}

境界のみに沿って視差が与えられ境界内部には明暗の差やテクスチャーなどの視覚的刺激が存在しないので、両眼の画像間で点対点の対応をとることが不可能であり、両眼視差を手掛かりとして表面深さ情報を得ることができない。また、テクスチャーやシェーディングなどの手がかりも無いため、境界内部の領域については奥行きを知覚する手がかりが全く無いため深さを確定できず曖昧(Fuzzy)な状態となる。しかし境界の内部においても境界に連続した深さが知覚されるのが自然であり、境界部の深さを手がかりとして視覚のメカニズムが安定な状態に落ち着くように境界内部での表面深さが知覚されている(図14)。

この現象について、新発見の錯視現象を利用して、境界の各部分の寄与等を調べ、表面深さ知覚過程の数学的モデルの構成を試みた。この数学モデルでは、図15にその概念が示されているように、我々人間の視覚システムには、視野($u-v$)と深さ(d :視差)を軸とした3次元空間の写しに相当するユニット(M)が存在し、両眼で獲得された画像は、このユニット(M)に投射され、処理されて3次元の構造が知覚されているものとする。このユニッ

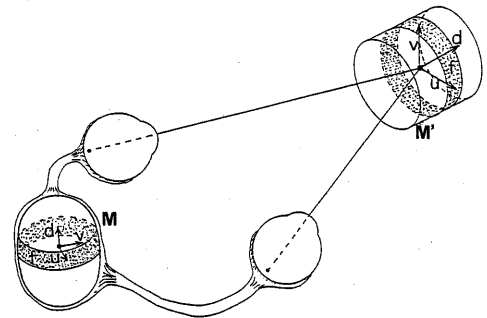


図15. 視覚システムにおける3次元空間知覚機構の概念図 { $u-v$:視野、 d :深さ、 f :融合域、 M :脳内に仮定した3次元知覚機構における3次元空間の写しに相当するユニット($u-v-d$)、 M' : M の実空間への逆投影、注視点の移動にしたがって M' が移動すると考える}

ト(M)を実空間に逆投影したものが M' であり、注視点位置(深さ)を変化すると、新しい注視点へと移動し、3次元空間の写し相当するユニット(M)には注視点を中心とした空間の画像が入力されると考える。そして、両眼立体視における視差情報から、この空間 $M(u-v-d)$ 内に3次元的な表面境界が与えられ、その表面境界に沿って活性化ポテンシャル源が分布し、それにより、表面境界を深さ方向に掃引した時に構成される柱体内の面知覚細胞が活性化され、表面境界上のすべての点からの影響を考慮したときに、深さ方向について最も活性化される細胞が存在する深さ部分に表面が知覚されるものとする。

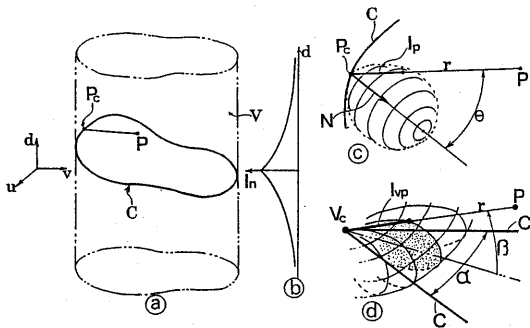


図16. 両眼立体視により表面境界(C)から3次元表面深さ知覚過程の数学的モデルの概念図〔活性化ポテンシャル源が表面境界と頂点に存在していると仮定している。(a) 3次元(深さd、視野角u、v)、(b) 注視点深さからの深さの違いによる活性化ポテンシャル源の強度(In)変化の概念図、(c) 表面境界上の点Pcより点P方向へ放射される活性化力の強度(Ip)の概念図、(d) 頂点(Vc)から点(P)方向へ放射される活性化力の強度の概念図〕

b. 表面境界から表面深さ知覚過程の数学的モデル

数学的なモデルを構成するために視覚心理学的実験において観測された現象に基づいて次のような仮定を設けた。

(1) 図15に示した3次元空間の写しに相当するユニット(M、視野: $u-v$ 、視差: d)内に、知覚された表面境界に対応する線に沿った活性化ポテンシャル線源が存在する(図16)。

(2) 表面境界に沿った活性化ポテンシャル源の強度は注視点からの深さの差(視差dに相当する)の関数であり、深さの差の増加にしたがって単調に減少する。

$$I_c = I_0 \exp(-d/a) \quad (1)$$

dは注視点からの深さの差、aは活性化ポテンシャル強度の低下率、 I_c は注視点からの深さの差がdの表面境界上の点での、また I_0 は注視点深さでの活性化ポテンシャル強度である。

(3) 活性化ポテンシャル線源から放射される活性化力の放射分布は活性化ポテンシャル線源(表面境界)とその曲率半径に対して垂直な方向で最大値をとる。

$$I_p = I_c (1 + K \exp(-Rc) \cos^n \theta) \quad (2)$$

I_p は表面境界上の点Pcより点Pの方向へ放射される活性化ポテンシャルの強度、 θ はPcにおける表面境界と曲率半径に垂直方向に対する角度、Rcは曲率半径、Kは曲

率の活性化力放射への寄与率を示すパラメーターである。

(4) 頂点に対しては特別な活性化ポテンシャル源が仮定される。その活性化力放射分布はその頂点より出発する辺の成す角度が増加するにしたがって単調に減少する。そして、2辺の構成する平面に対して成す角度が増加するに従って減少する。

$$I_{vp} = I_{vo} \exp(-d/a) \cos \alpha / 2 \cos^n \beta \quad (3)$$

(5) 活性化ポテンシャル源(表面境界)を深さ方向に掃引したときに覆われる柱体の内部に位置する細胞が活性化ポテンシャル源から放射される活性化力の和によって活性化される。活性化ポテンシャル源からの活性化力は距離の増加につれ単調に減少する。

$$A_p = \int_c I_p / r \, dC + \sum I_{vp} / r_i \quad (4)$$

(6) 深さ方向について最も活性化された細胞が観測される深さに表面が知覚される。

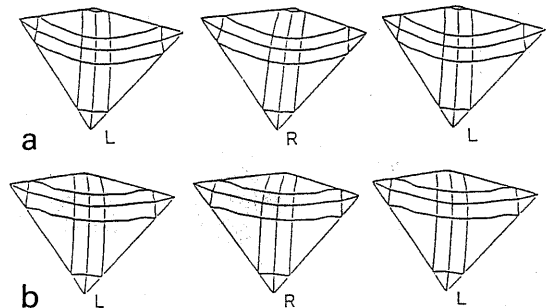


図17. 図14に対応した表面境界より構成された3次元表面の例(L:左眼、R:右眼、(a) 図4において注視点をAA'の深さに設定した場合に相当、(b) 図1において注視点深さをBB'の深さに設定した場合に相当)

c. 表面境界から深さ知覚のシミュレーション

上記の仮定に従って連続的な数学モデルを構成し表面境界から3次元表面構成の模擬をおこなった。このシミュレーションにおいては式(1)、(2)、(3)、(4)において $\{n=2, m=2, I_0=1, I_{vo}=100, K=5\}$ とした。ここで、表面境界上の活性化ポテンシャル強度 I_0 は単位境界長当りの値であるので、これと頂点における活性化ポテンシャル強度 I_{vo} の比較は、式(4)の積分における空間のサイズにも関連し、 I_0 と境界長との積と I_{vo} との比率に意味があると思われる。ここで行ったシミュレーションでは、表面境界長が25単位長程度

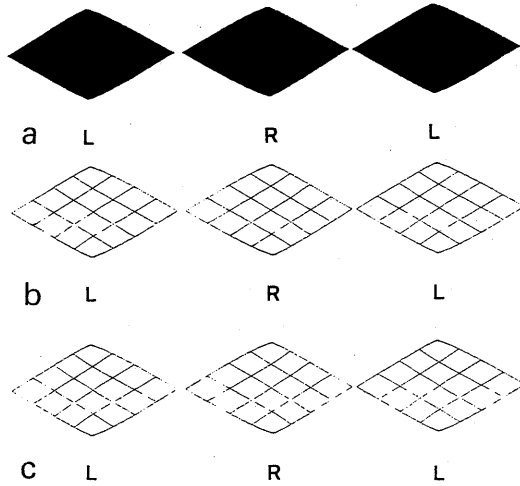


図18. 円筒状面の場合についての表面構成例 (L: 左眼、R: 右眼、(a) 円筒面のステレオグラム、(b) 注視点の後側に設定した場合の構成例、(c) 注視点を手前側に設定した場合の構成例)

だったので、頂点の寄与率を全境界のそれに対して4倍程度重く取り扱っていることに相当する。このシミュレーションで構成された図14(b)に対応した表面知覚をシミュレートして得られた表面形状の例を図17にステレオ表示した。さらに、図18には、部分円筒面の場合について、ステレオグラムとシミュレーションの結果を示した。数学的モデルにおける仮定が極めて単純であるにもかかわらずこれらの結果は、両眼立体視における表面形状の知覚過程を定性的に良く表現している。

4. 3次元錯視現象とコンピューター・ビジョン

本稿で紹介した両眼立体視による3次元錯視現象より、人間の両眼立体視による視覚システムでは、単に物理的な視覚刺激による両眼視差から奥行きを知覚するのみでなく、境界に沿って部分的に与えられた両眼視差から物理的には視覚的刺激的の無い部分にも3次元表面を知覚し、また、3次元空間の配置構造をも知覚するメカニズムが比較的低位の段階に存在しているであろうことが推察できる。

3次元空間知覚においては、両眼対応のみでなく隠蔽が本質的に重要な役割を果たしていること、そして隠蔽する(手前側に存在し見えている)物体のみでなく、隠蔽される(手前に存在する物体に隠されて部分的に見えない)物体の知覚も同時並列的にに行われていることは極めて興味深く、また、この観測事実には、コンピューター・ビジョンにおける多くの課題が含まれているものと思われる。

また、錯視立体(特に曲面を含んだ)知覚の例では、輪

郭線とそれに隣接した領域に両眼で対応しない部分が存在し、曲面を含む立体(3次元の閉じた部分空間)の知覚においては、この非対応部の存在が重要な役割を果たしていることが確かめられた。この事実、コンピューター・ビジョンにおける3次元認識でも、この非対応部分の扱いが重要な課題となるであろうことを物語っている。

すなわち、コンピューター・ビジョンにおいては、現在のところ、両眼画像のそれぞれについてエッジを検出し、検出されたエッジを左右の画像間で対応させて3次元の深さ情報を抽出する方法が一般的に使用されているが、対象物に曲面が含まれている時には、多くの場合、曲面の輪郭線に相当するエッジが他の部分のエッジに比較してより明確に検出されるため、本来は対応させてはいけない曲面の輪郭線に相当するエッジを対応させてしまう確率が高く、その場合、実際の物体表面深さとは異なる深さ情報を抽出してしまう可能性が大きい。本来、対応させるべきでない曲面の輪郭線およびそれに隣接した非対応領域も対応しないものとして扱える、すなわち、両眼画像の対応部分のみでなく、非対応部分をも抽出できる手法の開発が望まれる。

さらに、3次元透明錯視面の知覚現象より、透明感の知覚が3次元空間構造の知覚と同じかあるいは極めて深い関連の下で処理されているのであろうことが窺える。そして、3次元空間の知覚において本質的に重要な隠蔽の問題に取り組んでゆく上では、不透明な対象による隠蔽のみでなく透明感の知覚をも含めた統一的な扱いが不可欠であり、コンピューター・ビジョンにおいても透明物体の認識は今後の大きな課題の一つとなる。

表面境界のみに両眼視差を有し、表面上にテクスチャーやシェーディング等の無いステレオ画像の両眼立体視による3次元表面の知覚においては表面境界については両眼視差より深さが確定されるが、境界内部での奥行き情報を得る手がかりが無く深さが不確定であいまい(Fuzzy)となり、知覚される表面深さが注視点深さを変化したときに異なって知覚される現象が見い出された。この過程を模擬するために本稿試みた数学的なモデルは準備的なもので、極めて単純なものであったが、心理物理学の実験において知覚された表面形状と良く一致する表面形状が生成された。人間の視覚における3次元空間知覚の過程を解明してゆく上で一つの糸口となることが期待されるのみでなく、3次元の表面を知覚する機能を有するコンピューター・ビジョンの実現においても、従来とは少し異なった方法を導入してゆくために一つのヒントとなるものと考えられる。また、いつでも正確に3次元情報を抽出できる視覚システムを実現することはもちろん重要なことではあるが、人間が知覚するのと同じように現実の対象物の形状とは異なったように知覚する視覚システムの工学的実現と応用も極めて興味深い。このような視覚システムの実現は、将来の高度かつ

柔軟なヒューマン・インターフェースを実現してゆくためにも、コンピューター・ビジョンにおける今後の重要な課題となるものと考えられる。

5. むすび

本稿においては、昨年、著者によって見いだされた両眼立体視による3次元錯視表面の知覚現象を追求して新しく得られた知見について紹介し、人間の視覚機能を工学的に実現し、応用してゆくことを目指したコンピューター・ビジョン研究との関連について考察した。

本稿で紹介した両眼立体視による3次元錯視現象は視覚による3次元空間の知覚過程に深く関係を有し、そのメカニズムを探るための有力な手段を提供してくれるのみでなくコンピューター・ビジョンにおける新しい方向をも示唆してくれる。すなわち、3次元空間知覚においては両眼対応のみでなく隠蔽が本質的に重要な役割を果たしていること、曲面を含んだ立体の知覚においては、両眼で対応しない部分(領域)の存在が重要な役割を果たしていること、透明感の知覚が3次元空間構造の知覚と同じかあるいは極めて深い関連の下に処理されているのであろうこと、表面境界のみに視差が与えられた時、境界内部での奥行き情報が不確定となり、注視点深さを変化したときに知覚される表面深さが変化する現象など、人間の視覚における3次元空間知覚の過程を解明する上で一つの糸口となることが期待されるのみでなく、3次元空間を知覚・認識する機能を有するコンピューター・ビジョン・システムの実現において、新しい手法を開発し導入してゆく上でのヒントを与えてくれるものと期待される。

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に、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。さらに、本稿における錯視現象に関連した文献をご指示下さった東京大学教養学部下條信輔氏に感謝する。

なお、本研究の一部は、科学技術振興調整費「フuzzy・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) D. Marr: Vision, 1982, W. H. Freeman Company
- 2) Visual Perception of the Neurophysiological Foundation (edited by L. Spillman and J. S. Werner), 273-347(1990, Academic Press)
- 3) Ramachandran: Perception of shape from shading, Nature, Vol.331, 14,163-165(1987)
- 4) V. S. Ramachandran and P. Cavanagh: Subjective contour capture stereopsis, Nature, Vol.317-10, 527-530(1985)
- 5) The perception of illusory contours (Edited by Susan Petry and Glenn e. Meyer), (1987, Springer-Verlag)
- 6) J. P. Harris, R. L. Gregory: Fusion and rivalry of illusory contours, Perception, 2,235-237(1973) / R. L. Gregory: Illusory contours and occluding surfaces, The perception of illusory contours (Edited by Susan Petry and Glenne. Meyer), Chap.9, 81-89(1987, Springer-Verlag)
- 7) Mather: The role of subjective contours in capture of stereopsis, Vision Research, 29-1, 143-146(1989)
- 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)
- 9) M. Idesawa: Perception of 3-D Illusory Surface with Binocular Viewing, submitted to JJAP / 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)
- 10) B. Julesz: Foundation of Cyclopean Perception, (1971, The University of Chicago Press)
- 11) 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)
- 12) S. Shimojo, K. Nakayama: Real world occlusion constraints and binocular rivalry, Vision Research, 30-1, 69-80(1990)
- 13) M. Idesawa: Depth interpolation from surface boundary perceived with binocular viewing, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Vol.11, 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)