

## 特別論説


 情報処理最前線  
 情報処理最前線

## 視覚情報処理メカニズム解明への一接近†

出澤 正徳†

## 1. はじめに

人間は五感を通じて外界の状態を知覚し、判断・行動している。五感の中でも視覚は最も重要な役割を果たしている。目は脳の出店と呼ばれ、視覚情報処理のほとんどが脳で行われている。我々は目で見ているのではなく脳でものを見ているのである。脳における情報処理メカニズムは情報システムの1つのお手本であり、情報科学者、情報処理技術者の間においてもその解明へ向けての関心が高まっている。従来、脳機能の研究は、神経生理学者や解剖学者など、また、心理学者や心理物理学者などによって進められ発展されてきた。近年、新しい研究手法や計測手段などの開発・発展により、従来の知見の修正や新しい発見などもあり、情報科学なども含めた総合的な新しい視点からの研究が必要とされている。

本稿では最近の数年間に著者が見出した両眼視による3次元錯視現象を中心に、錯視現象とその視覚情報処理メカニズム解明へ向けての一接近について紹介する。そして、情報処理技術、特に、コンピュータグラフィックスなどの視覚のメカニズム解明への寄与の可能性と視覚メカニズムについての新しい知見のコンピュータビジョンへの導入など新しい発展について考察する。

## 2. 錯視現象と視覚のメカニズム

人間の感覚系において実際とは異なって知覚される現象は錯覚と呼ばれ、視覚における錯覚は特に錯視(目の錯覚)と呼ばれている。錯視は、異常で間違いを引き起こす不都合なものと思われが

ちだが、実際には視覚システムの正常で大切な機能の一部が極端な形で顕在化されたものなのである。

## 2.1 目の錯覚(錯視)

錯視現象は紀元前から知られ、ギリシャ時代にも錯視を意識して建造されたと思われる建築物が多く存在する。しかし、明確に意識され、学問的な記述として現れはじめたのは19世紀になってからである。錯視現象には、明暗に関するもの、色彩に関するもの、幾何学的特性(形状・配置・方向・大きさなど)に関するもの、運動に関するものなど様々な現象が報告されている<sup>1)~3)</sup>。今世紀になり、これらの錯視がなぜ起こるのか、その解明のための研究が盛んとなり、種々の解釈が試みられ、多くの研究報告や著述がある。しかし、現在のところ、これらを十分に説明できる解釈は与えられていない。逆に、従来の解釈には誤った信念に基づいたものが少なくないことを示す新しい事実も多く見出されている<sup>4)</sup>。

錯視は網膜に映った不完全な情報を補って、脳内部に完全な対象物の表象を形成し、知覚・認識する視覚システムの大切な機能の一部が顕在化されたものであり、逆に、脳内部での視覚のメカニズム(ものがどうして見えるかのしくみ)を探るための有力なプローブ(手がかり)としての利用が期待される(図-1)。

近年、生理学分野と心理物理学分野の研究者間での共同研究も盛んになり、錯視現象が心理物理学と生理学との間の架け橋の役割を演ずるとの期待も高まっている。

## 2.2 目はなぜ2つあるのか?

人間の目は横方向に6cmほど離れて2つ並んでいる。目はなぜ2つあるのだろうか?一方が潰れてしまったときの予備のためなのか?子どもの頃このような疑問を持った経験があるのは著者の

† A Study on Visual Mechanism with Optical Illusions by Masanori IDESAWA (Human Interface Research Laboratory, Graduate School of Information Systems, The University of Electro Communications).

‡ 電気通信大学大学院情報システム学研究科ヒューマンインタフェース学講座

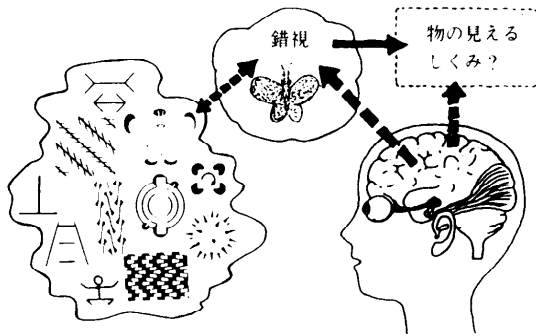


図-1 錯視現象と視覚のメカニズム(タネもシカケもあります? それはあなたの脳の中にあるのです! 錯視の研究は、脳内部での視覚メカニズムの解明へと結びつきます。)

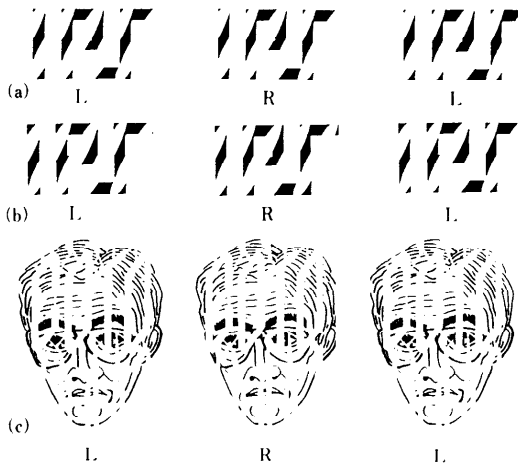


図-2 何が見える? (L: 左眼用画像, R: 右眼用画像, 図 3 (a)または(b)の方法で寄り目にして図の下に示されたLおよびRの文字が重なり合うように観察する。)(a)何という文字があるか? (b)両眼融合すると読める。(c)だれの似顔?)

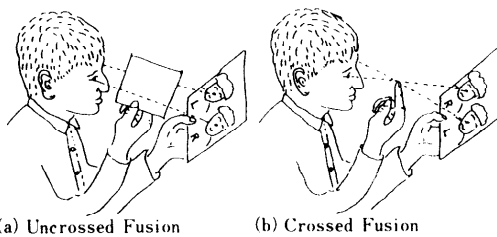


図-3 ステレオ視の方法 (a)平行融合法 (中央と左), (b)交差融合法 (中央と右)

みではあるまい。

まずは図-2をご覧ください。図-2 (a), (b)には黒い斑模様が、(c)では白い斑模様が分断された人の似顔絵らしきものが見える。次に

これらを図-3に示された方法で両眼融合(ステレオ視)してご覧いただきたい。両眼融合に成功した人は図-2 (a)では困難であるが、図-2 (b)では本学会会員には見慣れた文字が、また、図-2 (c)では以前に本学会の副会長、IFIP 副会長なども務められた先生の似顔と名前とが明確に知覚できる。似顔絵が下手でだれなのか認知できなくても似顔と白く浮き出た文字は明確に知覚できる。この図の(a)と(b)とはほとんど違いが認められない。しかし、両眼融合すると図-2 (b)では読め、図-2 (a)では読み取り困難である。また、図-2 (b)で右眼と左眼の画像を重ね加え合わせても両眼融合した場合のように読めない。図-2 (b), (c)では白い対象物が図よりも手前側の深さに表示してあるが、図-2 (a)では図と同じ深さになっている。

これらの事実は両眼融合によって、右眼、左眼の情報を加え合わせた以上の情報が生成されていることを示唆している。そして、なぜ目が2つあるのかの謎もこのあたりに潜んでいると思われる。すなわち、奥行き知覚とカムフラージュ破りも両眼立体視の重要な役割であると考えられる。

### 3. 新しく見出した錯視現象

最近のCG技術の進歩とも関連し、様々な種類の視覚刺激の生成・提示が容易となり、心理物理学に新しい発展の可能性が開けてきた。CGを利用した新しい型の錯視現象の発見も相次ぎ、著者らも、最近の数年間にいくつかの新しい型の錯視現象に遭遇できた<sup>5)-10)</sup>。

#### 3.1 両眼視による3次元錯視

図-4のステレオグラムについてはどうであろうか? 図-4 (a)では、物理的に何も示されていない領域(空間)に白い蝶が生き生きと浮かび上がり、また図-4 (b)では椅子が空間に浮かんで知覚される。すなわち、ステレオ視すると物理的には表示されていない対象物全体が知覚される<sup>5)</sup>。

図-5では何も見えないのに何かが存在するように感じられる。これは両眼視特有の透明視現象であり、視覚光学的な観点から、奥にある対象物の可視性が対象物輪郭の外および内でそれぞれ0および1である場合のクリスタル透明(図-5 (a)), 奥にある対象物の可視性が対象物輪郭の

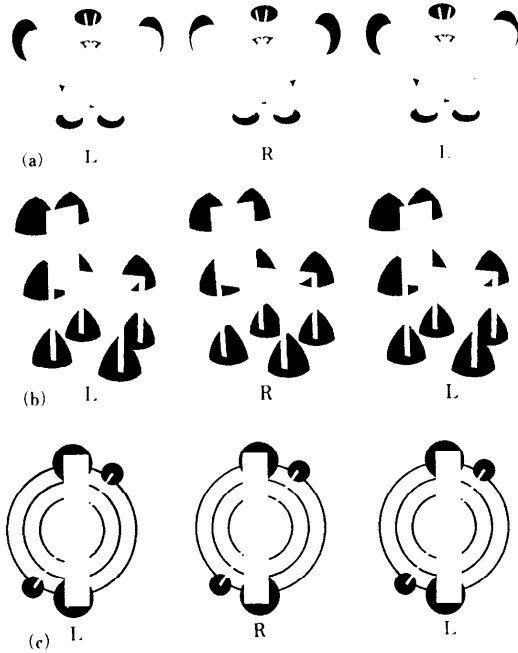


図-4 両眼立体視による3次元錯視現象の例：何も無いところにももの見える？（図1と同じ）（(a)蝶が浮き上がって見える。(b)椅子の角まで知覚できる。(c)錯視表面によるポグENDORF錯視。斜直線がずれて見える。）

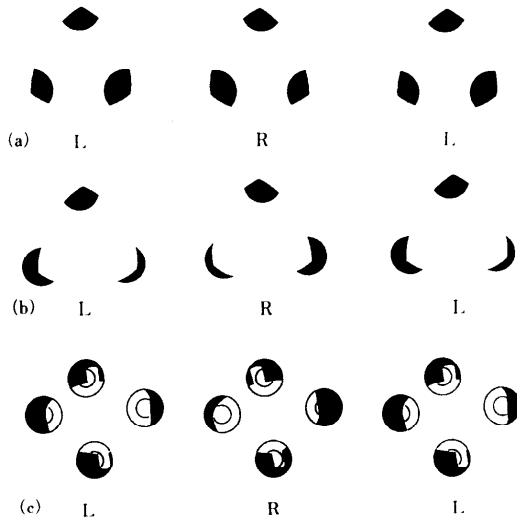


図-5 何も見えないのに何かある？透明錯視物体（図1と同じ）（(a)透明な1/8球面。(b)透明不透明の内挿。(c)透明なコマ？）

外および内で互いに異なり0でない場合の半透明（図-5 (c)）、不透明錯視対象の奥側に物理的視覚刺激が配置された場合の霧状透明の3種に分類できる<sup>9)</sup>。クリスタル透明では鋭い透明感が、半透

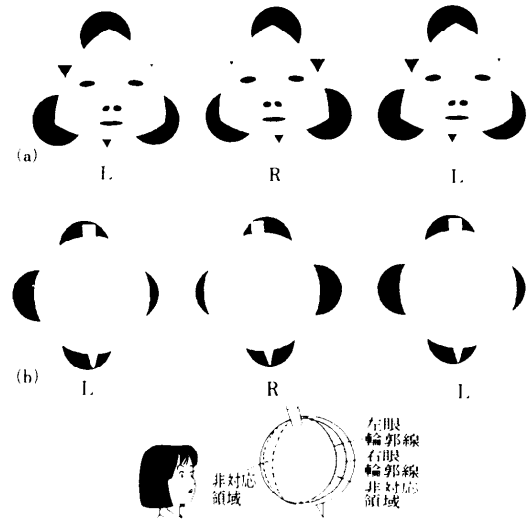


図-6 錯視立体の知覚（図1と同じ）（(a)厚みのない顔。(b)膨らみ（体積感）のある球。マおよびその知覚の概念図。）

明では柔らかい感じの透明感が、霧状透明では薄い雲を通して太陽を見る場合のように物理的刺激の近傍のみに透明感が知覚される。また、図5 (b) では、透明・不透明の性質の内挿も観察できる。

図-6 (a) では厚味のない顔が、図-6 (b) では空間的広がり（体積感）のある錯視立体が知覚される。なぜこのように図-6 (a) と図-6 (b) では異なって知覚されるのか？図-6 (a) では対象物輪郭の両眼対応がとれる。これに対し、図6 (b) の体積感の知覚では視覚刺激における対象物の輪郭が両眼で対応されず、対象物上に両眼非対応領域が存在している<sup>10)</sup>。

そして、驚くべきことに図-4 (b) のステレオグラムでは、何も無いところに椅子の角が迫り出して見える。右眼、左眼どちらの画像にも椅子の角の痕跡すら見当たらない。迫り出した角は脳の中で生成されたのである。さらに、図-4 (c) では錯視表面でも代表的な幾何学的錯視の1つであるポグENDORF錯視が引き起こされている。すなわち、錯視対象同士が交差して角を生成したり、隠蔽しあったりする干渉現象が認められる<sup>7)</sup>。

### 3.2 なぜないのに見え、見えないのにあるのか？

前述の錯視現象がなぜ起こるのかは、まだ解明

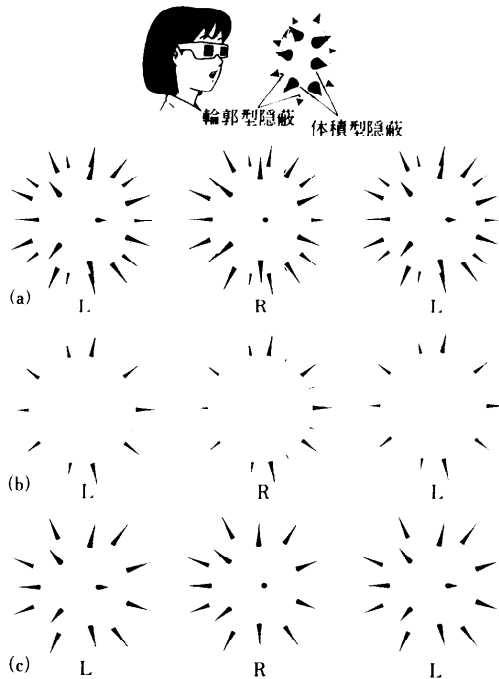


図-7 3次元表示における隠し味：2つの型の隠蔽と3次元対象物の知覚（図1と同じ）（(a)輪郭型隠蔽および体積型隠蔽、(b)輪郭型隠蔽、(c)体積型隠蔽）

されていない。現在のところ著者らは以下のように考え、そのメカニズム解明に向けての努力を続けている。

図-2から図-7に示されたステレオグラムの左右画像をそのまま両眼対応させたのでは両眼の視覚刺激間に矛盾が生じ、視覚システムが生態的に不安定な状態となる。そこで視覚システムは視覚刺激がない矛盾を引き起こしている領域に「表示されていない3次元対象（錯視対象）」を形成することで両眼の視覚刺激間での矛盾を解消して生態的安定性を保っている。

また、人間の視覚システムでは閉じる（囲まれる）傾向にある領域に面（対象）を知覚しやすい。そして、閉じる傾向にある領域の奥側に物理的視覚刺激があるとその領域の対象を透明にして矛盾を解消し、生態的安定性が保たれるようにしている<sup>7)</sup>。

さらに、視覚システムでは、幾何学的特性（形状、大きさ、奥行き、位置など）に加え、透明・不透明などの性質も含めて内挿や外挿が行われ、脳内の3次元表象に矛盾が起こらず、生態的安定性が保たれるように処理されているものと推測

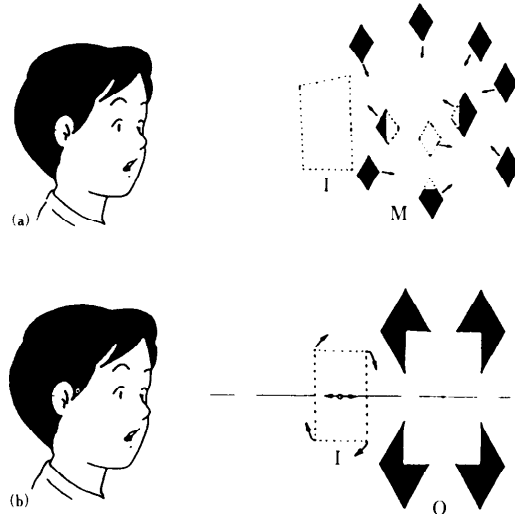


図-8 動的隠蔽と錯視対象の知覚（(a)物理的には表示しない対象物（I）に隠蔽される対象物（M）が運動すると静止時にまったく知覚できない錯視対象（I）が明確に知覚される。（b）多角形の回転運動における奥行き知覚変動の概念図。4個の4角形対象が物理的には表示していない回転正方形（I）によって部分的に隠蔽される。正方形（I）の深さは一定であるがその奥行きが変動して知覚される。回転多角形の頂点数と隠蔽される物体の数が異なると多角形の回転軸が歳差運動するように知覚される。単眼視観察では多角形の大きさの変動、偏心運動あるいは形状の歪みとして知覚される。）

している。

### 3.3 3次元錯視対象知覚と隠蔽の手がかり

視覚による3次元対象物の知覚においては隠蔽（Occlusion）の手がかりが重要な役割を果たしている。そして、これらは輪郭型隠蔽（Contour Occlusion）と体積型隠蔽（Bulky Occlusion）の2種類に分類できる<sup>8)</sup>。前者では隠蔽される側の対象物の可視性が、隠蔽する側の対象物の輪郭部を境に変化する。また後者ではそれが隠蔽する側の対象物の表面を境に変化する。すなわち隠蔽される側の対象物が隠蔽する側の対象物にめり込み、めり込んだ部分の可視性が異なったものとなる。通常は両者の隠蔽手がかりが協調し合って対象物が知覚されている。すなわち、輪郭型隠蔽がその外形をまた体積型隠蔽が表面形状を確定させるように作用すると考えられる。図7にはその概念図とこれらの隠蔽手がかりが比較的分離した状態で観察できるステレオグラムの一例を示した。

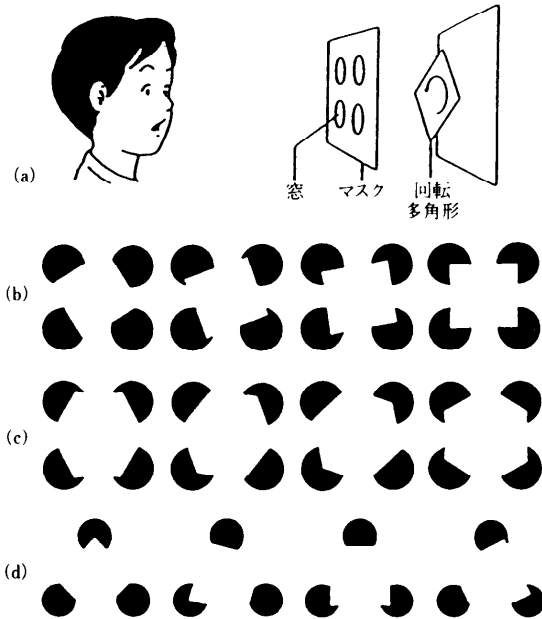


図-9 新しい型の動的視覚効果の例 (単眼視で観察できる伸縮, 変形, 偏心運動の3種の典型的視覚効果が得られる映像より4フレームを抽出した。これらは映像だけでなく物理的な構成物でも知覚される。)(a)視覚効果の物理的構成の概念図。(b)正方形が伸縮する。回転多角形の頂点数とマスクの窓数が等しいと、実際には一定である多角形が伸縮しているように知覚される。(c)正六角形が変形する。多角形の一部の頂点が同期的に隠蔽される配置では多角形形状が動的に歪むように知覚される。(d)正方形が偏心運動する。多角形の頂点数に対してマスクの窓の数を少なく(多く)すると多角形がその回転方向と同(逆)方向に頂点数倍の速度で偏心運動して知覚される。)

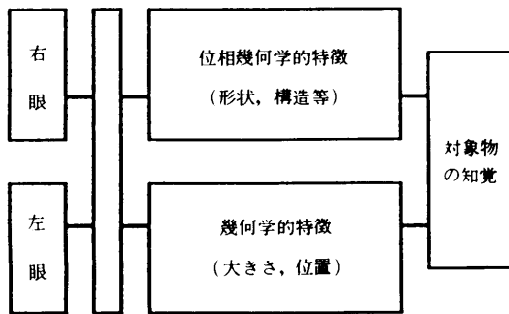


図-10 形状・構造と大きさ・位置は別の経路で処理されているのか?

### 3.4 動的錯視と新しい型の視覚効果

図-8 (a) に概念図を示すように隠蔽する側, 隠蔽される側の双方あるいはどちらか一方が運動する場合, 静止時には知覚できない錯視対象が明瞭に知覚される<sup>9)</sup>。さらに驚くべきことに図-8

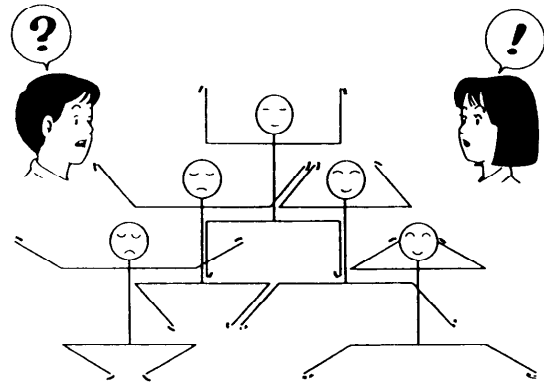


図-11 ニューロバー (ミュラー・リヤー錯視を応用した錯視人形) の動作。中央から左下へ腕を広げ脚を閉じる。次に、中央へ戻り右下へ腕を閉じ脚を広げる往復動作を繰り返す。腕, 脚における横線部が伸縮して知覚される。

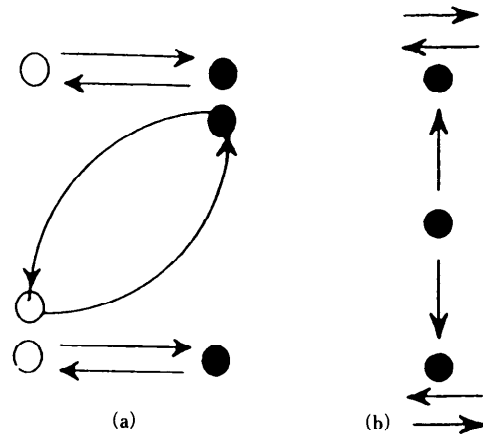


図-12 運動の群化と群内運動の知覚 (a)のように中央部で楕円運動している円の上下に、これに同期して水平方向に往復運動をする円をつけ加えると、(b)に示すように3個の円が水平方向に往復運動し、楕円運動している円は上下2個の円の間を往復運動しているように知覚される。)

(b) に概念図を示す構成では、同じ深さにあるべき錯視対象が奥行き方向に運動するように知覚された<sup>9)</sup>。そして、図-9 に示すように単眼視では大きさ, 形状, 位置などが変動して知覚される3種の典型的視覚効果が見出された<sup>9)</sup>。これらの現象が起こるのは視覚システムでは相幾何学的特性 (形状や構造) と幾何学的特性 (大きさや位置) が別々の経路で処理されているためと推測している (図-10)。

さらには、代表的な幾何学的錯視 (図-1 左側枠内に例示されている) の誘導因子部を運動させ

て観察し、錯視効果の増大や錯視方向の変動あるいは反転など興味深い動的効果が確認された<sup>10)</sup>。図-11には動的ミュラー・リヤー錯視によるおもちゃの動作例を示した。そして、図-12にその一例を示すように、「相関して運動する複数の対象物を、群の運動と群内での運動として知覚することも見出された<sup>10)</sup>。これは、運動の脳内表現として、個々の運動として表現するのではなく、群の運動と群内での相対運動として知覚することにより単純な表現（表現に要するデータ量を最小）としていることを示唆し、情報科学的にも大変興味深い。

#### 4. 錯視現象とCG, CV, HI

前述したようにここで紹介した錯視現象がなぜ起こるかまだ解明されていない。しかし、これらの錯視現象はコンピュータグラフィクス (CG) やコンピュータビジョン (CV) の研究に新しい視点を導入し、また、ヒューマンインタフェース (HI) においても積極的に利用できる可能性がある。

「何もないところにもものが見える」という3次元錯視現象は、物理的には表示されない対象物に部分的に隠蔽される対象物を提示すると物理的には表示されていない対象物全体が知覚されるというものである。CGにおける3次元対象物の表示において、表示したい対象物のみではなくそれに隠蔽されている対象物が3次元知覚の重要な要因となる。すなわち「3次元表示における隠し味」とでも呼べるものであり、十分に意識して利用することが肝要である。

従来のCVにおけるステレオビジョン (SV) の研究では、両眼対応の検出に努力が注がれ、それさえ解決できればよいとの考えが支配的であった。しかし、前述したように体積感も含めた3次元空間知覚においては両眼非対応領域の存在がきわめて重要な要因となっている。すなわち、SVの研究では両眼対応のみでなく両眼非対応領域処理の課題に取り組んで行くことが不可欠かつ重要であることを示唆している。

HIにおいては、人間の視覚のみでなく聴覚や他の感覚系も含めた統合的な特性を考慮し、人間の知覚しやすい提示法と情報システムへの指示・入力法の開発が望まれる。視覚システムのみでな

く聴覚や触覚など他の感覚系も含めての総合的研究が望まれる。近年、HIにおいて人間の感性や心理特性を考慮することの重要性が叫ばれ、心理学分野の知見を競って取り込む努力がなされている。それ自体は好ましいことではあるが、盲目的な移入にはやや異論がある。この分野における従来からの知見がすべて正しいわけではなく新しい視点からの研究で修正を要するものも少なくない<sup>11)</sup>。その導入にあたっては、現在の状況における新しい視点からの見直しが切に望まれる。

#### 5. 新しい研究課題への挑戦

以上、最近の数年間に著者が遭遇した新しい型の錯視現象と視覚効果について紹介した。これらがなぜ起こるかを解明することは、視覚システムのメカニズムを解明することであり (図-1)、その解明までの道はなお遠く、従来からの生理学的研究や心理物理学的研究に加えて情報科学的視点からの新しい発想に基づいた研究も含めた総合的な研究が必要とされる。

また、逆に、本学会会員にとってもきわめて魅力的な多くの新しい研究課題が潜んでいる。本学会会員の参画と情報科学的視点からの独創的発想に基づいた研究方法の開発・導入により、この分野の研究の進展が加速されることを期待したい。具体的には、CG技術などを駆使した効果的な視覚刺激の生成・提示法の開発や視覚メカニズムの数理モデルの提案とシミュレーションによる検証など新しい発想に基づいたアプローチが望まれる。

「この分野の知識がない」からなどと後込みする必要はない。この分野では、「誤った信念に基づいたものとして従来からの多くの常識が修正されつつある」といわれ<sup>12)</sup>、また、「教養が高すぎる(?)と物事の本質を見失う」ことがしばしばある。そして、何より「自分自身が素人であること」が「新しい研究であるための必要条件」なのである。「自分だけが素人であった」と思い知らされることが多いかもしれないが、「千三つ」(3/1000)より少しでも可能性が大きいと感じたら大胆に挑戦することをお勧めする。「素人として始めることの大切さ」、これは著者が前任機関(理化学研究所)で20年間苦業を共にした図-2(c)の後藤英一先生の研究姿勢より学ばせていただ

た研究者魂の1つでもある。

なお、本稿で示したステレオグラムは、図7を除きすべて旧式のパソコンで生成したものである。他の動的錯視も含め、少しCGの技術があれば容易に再現できる。新式のパソコンならもっと高度な視覚刺激の生成・提示ができ、この分野の研究の進展に寄与できるに違いない。

## 6. おわりに

近年、情報科学分野も含めた研究者間で、21世紀を脳の世紀にしようとの運動などもあり、脳・神経科学に関する研究分野においても情報科学分野の研究者・技術者の貢献が期待され、また、活躍できる機会が増大している。著者の前任機関においては、本稿で紹介した3次元錯視現象に遭遇した約1年前の1988年10月より国際フロンティア研究システム内に思考機能研究グループ(グループディレクター伊藤正男)が、さらに1994年の10月からは情報処理研究グループ(グループディレクター甘利俊一)が発足し、生理学的研究のみでなく、情報科学的視点からの脳機能解明にも精力が注がれている。また、通産省のリアルワールド・コンピューティング・プロジェクトでも人間の情報処理メカニズムに学んだ方向での研究開発が進められている。本学会会員、特に若手研究者の奮起と活躍を期待したい。

本稿で紹介した錯視現象に関する研究は、著者の前任機関において、水越博康(現NEC)、吉澤潤(現IHI)、橋本明子(現SEGA)の各研修生、F. H. Nah(国立シンガポール大)、H. S. Wan(CMU学生)、施衛富(中国科学院、現電通大)の外国人研究員および鈴木正幸研究員(現岩手大)等の協力で進展され、現在は、電気通信大学大学院・情報システム学研究科・ヒューマンインタフェース学講座において阪口豊助教授、施衛富助手および多くの院生の協力により推進されている。

なお、本研究の一部は科学技術振興調整費「センサフュージョン」の援助で行われ、現在科学費補助金(課題番号:07405004)の下で推進さ

れているものである。

## 参 考 文 献

- 1) フリスビー, J. P. (村山訳): シーイング, 誠信書房(1984).
- 2) メッガー(盛永訳): 視覚の法則, 岩波書店(1968).
- 3) カニツァ, G. (野口訳): 視覚の文法, サイエンス社(1987).
- 4) 下條信輔著: 視覚の冒険, 産業図書, 東京(1995).
- 5) Idesawa, M.: Perception of 3-D Illusory Surface with Binocular Viewing, Jpn. Jour. of Appl. Physics, 30 4 B, L 751-L 754 (1991).
- 6) Idesawa, M.: Perception of 3-D Transparent Illusory Surface in Binocular Fusion, Jpn. Jour. of Appl. Physics, 30 7 B, L 1289 L 1292 (1991).
- 7) Idesawa, M.: Artificial Neural Networks 2 (Editors, I. Aleksander and J. Taylor, Elsevier Sci. Publishers), pp. 561-564 (1992).
- 8) Idesawa, M.: Two Types of Occlusion Cue in Binocular Viewing, Jpn. Jour. of Appl. Physics, 32 1 A/B, L 75 L 78 (1993).
- 9) 出澤正徳, 橋本明子, Nah, F. H., Wang, H. S., 鈴木正幸: 3次元知覚における動的隠蔽手がかりと新しい型の視覚効果, 理研シンポジウム第13回「非接触計測と画像処理」, pp. 46-57 (Oct. 1993). /M. Idesawa, F. H. Nah, A. Hashimoto and M. Suzuki: Dynamic Illusion and New Types of Visual Effects, Proceedings of IJCNN'93 NAGOYA, pp. 143-146 (Oct. 1993).
- 10) 電気通信大学大学院・ISシンポジウム: Sensing and Perception, 第1回(1994.3.15)および第2回(1995.3.16).

(平成7年7月10日受付)



出澤 正徳(正会員)

1943年生。1968年横浜国立大学工学部2部機械工学科卒業。1973年東京大学大学院工学研究科博士課程修了(産業機械工学専攻)。1973年～1993年理化学研究所・情報科学研究室勤務, 図形・画像情報処理, 3次元計測法, 電子ビーム露光システムなどの研究に従事。1993年～電気通信大学大学院情報システム学研究科・教授, 現在に至る。日本機械学会, 計測自動制御学会, 応用物理学会, 日本ロボット学会, 日本ファジイ学会, 日本視覚学会, 日本神経回路学会, IEEE, SPIE各会員。