

輪郭線図形について

—— 2 知覚の実験観察における輪郭線 ——

野 澤 晨

On Contour Lines

Not only a few great painters, but also even children can produce many visual objects on canvas by drawing simple linear contours. With a single line, they can bring out any difference of several qualities e.g. brightness, color, materials, depth,mobile or immobile etc.. But naturally, they can hardly represent their moving tridimensional world by an immobile pattern on a flat canvas. They do their best to overcome these difficulties by their artistic ability but, they would be content to leave the last solution to the spectator's tolerant sympathy.

Though many psychologists on visual perception have tried various experiments using any contour line figures on a flat paper screen, have they ever succeeded in overcoming the above mentioned problem?

The author has examined several researches concerned with the phenomena where two-dimensional figures may be perceived tri-dimensionally, e.g. Necker cube, Ames's chair, Penrose's impossible figure and MIT's scene analysis of prismic blocks, but I could not be satisfied with their results, especially their manipulations. I have considered that the researchers were too wedded to the mutual spatial relation between the partial lines of a figure on a flat screen, and they had not called directly on the factor of the motion parallax and binocular parallax.

First of all, I observed stroboscopically the rotation of a two-dimensional stimulus figure e.g. the necker cube. All subjects could readily recognize the rotation of a three-dimensional cube (one can recognize a three-dimensional cube using a stereoscope but, this necessitates a few instants for a binocular fusion). In this observation, it is remarkable that subjects can recognize the cube by detection of the rotating axis which is not represented directly in the figure (see Fig. 33, (3)). The next observation using Metelli's rotating disk, also confirmed the effect of how the detection of rotating axis, subjects had led to the recognition of a figure that had risen from the background and they had reported an appearance of illusory contours of this figure.

Painters have created contour lines that surrounded the real objects, even though such lines do not exist in the real world. It is my opinion that these painters had concretized the psychological contour lines (not the physical one) which the subjects had found on Metelli's rotating disk or Kanizsa's triangle pattern (Fig. 1).

In future, I intend to make further research on three-dimensional surfaces using the moving stereoscope and distinguish between the effects produced by the motion of the objects and that of the observer.

本稿の目的は従来の知覚心理学の実験観察における輪郭線の取り扱いについて再検討を試みることにあり、そのために前稿では視覚世界の観察者の先達である画家の内で輪郭線の問題に関係が深く、且つ特徴的だと思われる人達の仕事の跡を辿ってみた。その結果、画布の上に彼等が試みた輪郭表現はその手法はさまざまであっても、単なる物理世界の模写ではなく、心理学的に必然的なものであること、さらにその輪郭表現は製作者の側からだけでなく、鑑賞者の側の理解や共感を俟って初めて成立するものであることが分った。本稿はそれを受けて先ず心理学における輪郭線の基本的考え方を取りあげ、続いてその具体的適用例を紹介し、それに基づいて筆者の輪郭線に関する考察を展開してみたい。

1 輪郭線現象についての基本的考え方

知覚心理学の初期に輪郭線について注目すべき発言がシューマンの「視覚的印象の纏まりについての幾つかの観察」(F. Schumann, 1900)で行われている(註：ホッグ (A. Hogg, 1987) の英訳による)。彼は本の頁の行数や実験記録紙上の電磁音叉の波を勘定するような日常的事例の観察から始める。彼は先ず最初の3行目に注目し、これを一纏まりにしようと努力するという。これができたところで鉛筆で印を付け、次の3行、又次の3行というようにして全行の数を数えるのだという。ところが、図1のように等長等間隔の線分の列については少し事情が違う、と彼は考える。この場合には先ず線分の2本宛が容易に1組になってグループを作る。この2本の線分の間の空白部分は線と一緒に1つの全体を形成し現象的に

図1 等長等間隔の線分の列
(シューマン, 1900のBild 1)

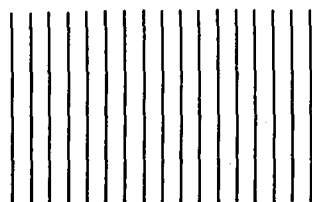


図2 小正方形のマトリクス
(シューマン, 1990のBild 2)

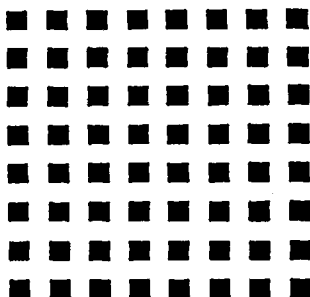
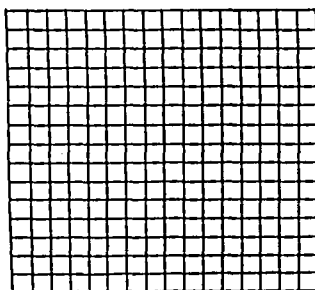


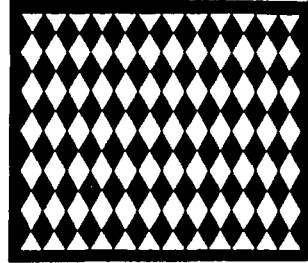
図3 大正方形の直線による分割
(シューマン, 1990のBild 5)



浮かびあがって見える。反対にこのグループの間の空白部分は後退して全く異なるもののように見える。これらは丁度空間に並んで立った木製のフェンスのように見えるのである。同形の小円や小正方形が1線に並んでいる場合にはグルーピングは線分のとき程容易ではなくなるが、この列が等距離で並ぶときにはもっと分り易くなる。図2を見ると、殆ど無意識の内に4個の正方形から成るグループが認められるし、意図的に意識を集中させることにより 3×3 、 4×4 などのグループを作ることでもある。また対角線を際立たせるようなことも可能である。さらに黒色の図形でなく、隣接グループの境界になる白色の帯状の部分はそれ以外の白い部分よりも目立って認められその幅は他の部分の幅と等しいのにより広いように見える。次に大正方形を直線で小正方形に分割した図3でも同様の現象を観察することができる。ここでは 3×3 の小正方形を含む中正方形を容易に認めることができる。そしてそのときにはその中正方形を取り巻く4辺がより黒く、より明確に浮か出して見える。以上の現象を示した線は図2の場合のように異なる黒と白の色の2領域の間を分ける普通の意味の輪郭線(シューマンはこれを実輪郭と呼ぶ)ではなく、白い素地を分ける細い黒い領域であるが、その作用が異なる2色間の境界線である実輪郭と全く同様であることは興味深いことである。次の図4はこの実輪郭の場合で、ここでは白と黒の小さな菱形模様が隙間もなく並んでいるが、観察者はそれ

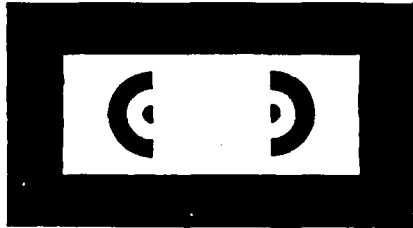
らの菱形をまとめて大きな菱形や底辺に接する大きな三角形を認めることができ、そのときにはそれらの図形部分を取り囲む輪郭線は他の部分の境界よりもはるかにくっきりと見える（筆者註：大きな図形の輪郭は構成要素である小菱形の位置によってあるところでは内側が白、外側が黒でも、次には内外の色が反対の関係になるが、それとは全く関係なく一貫した輪郭の知覚が生じることに

図4 白と黒の小さい菱形の集合
(シューマン, 1990のBild 6)



注意)。ところが次の図5の特殊な図形布置によると両側の色彩差が全く存在しない同色のところに明白な輪郭線が発生するという特異な事実が紹介される。この現象はイラストレーターなどによって使用されて来て（図6）、一般にも知

図5 白色の正方形が浮かび上がって見える
(シューマン, 1990のBild 7)



られた手法であるが、心理学者によって記載されたのはこれが初めてで、後にカニッツアによって「主観的輪郭線」として大きく取り上げられることになる。シューマンは次の図7では右側の1辺を欠くコの字形の輪郭線図形の観察では練達の被験者はコの字形の内部が外部に比べてより白く見

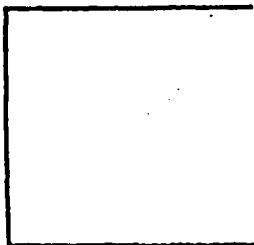
図6 イラストレーターによる錯視的輪郭の例

SENSORY INHIBITION

GEORG VON BÉKÉSY

von Békésy, G. (1967)

図7 右辺の欠けた部分
に注意 (シューマン, 1990の
Bild 8)



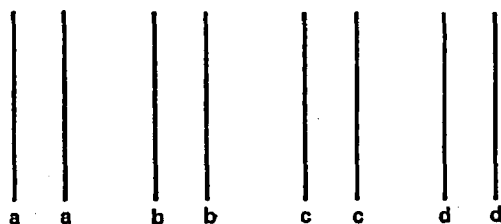
え、その内外の境界になる欠損した辺のあるべきところに図6で見られたような輪郭線を認めることがあると述べている。この論文ではこの後は図形の纏まりの問題に移って行くのであるが、形態の問題については漸くフォン・エーレンフェルス (C. von Ehrenfels, 1890) の「ゲシュタルト性質について」位しかなかった時代のことで、その理論は理解し難いものがあるが、素朴な現象の観察という点では時代の違いがある

筈はなく、その精緻な記述は前稿の画家の観察と共に大いに注目すべきものを持っているというべきである。

シューマンの観察の重要と思われる点を筆者の考え方によって要約すれば次のようになる。(1)彼は刺激の色彩、または反射率を異にする2つの領域の境界線を真の輪郭線 (実輪郭) と考えている。(2)図1を等長平行線分の集合として見る場合にはその1本1本がそれぞれ1つの実体の表現であって、それらは輪郭線ではない。1本の線分の両側は同じ空間であって等質である。(3)しかし同じ図1はそれを構成する線分を2本宛纏めてフェンスの表現として見る事が可能で、そのときにはフェンス両側の線は実輪郭と同じ機能を持つ。1本の線分の両側は図形の内側と外側になり、等質ではない (筆者註: 彼はこの場合を実輪郭とは云っていない)。(4)或る特殊な図形布置 (例えば図5) では刺激図形の当該部分に色彩差や反射率の差異がなく、或いは境界線に当る場所になんら線分のようなものが存在しなくても、輪郭線の機能を有する境界線を知覚できることがある。(5)以上を前稿の画家達が絵画表現として示した輪郭線の手法と比較すると極めて高い類似性が認められる。

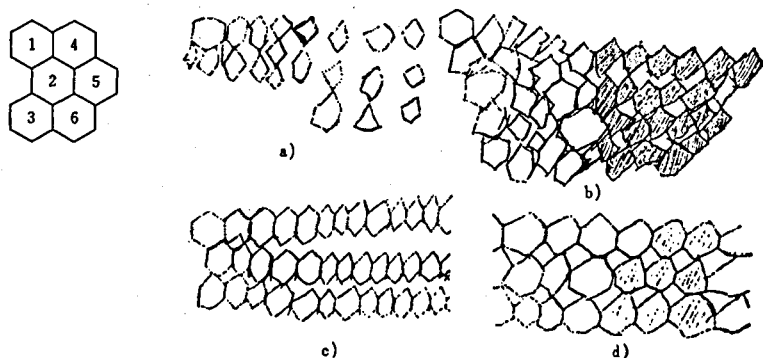
この後1912年になってウェルトハイマー (Max Wertheimer) の仮現運動の研究が発表され初めて全体性を強調するゲシュタルト心理学の主張が現われる。さらに1915年にはルビン (E. Rubin) の「図形と素地」(Figur und

図8 コフカのフェンス現象の説明図 (コフカ, 1922)



Grund) の概念が提唱されて知覚心理学に大きな考え方の変化が起こるのである。コフカ (K. Köhler, 1922) はゲシュタルト心理学を初めて英語で紹介した論文の中で、図1を多少変更して $aa=bb=cc=dd$, $ab=bc=cd$ であって且つ $aa < ab$ として、よりフェンスの現象が起こり易くした図8について、シューマンと殆ど同じ観察結果を述べて、練達した観察者によればフェンスの上下の末端部分は刺激としては繋がりが無いのに、その見えない輪郭線の部分は丁度細いガラス管の中の水の表面のように軽く内側にわん曲して見えるという観察を付け加えているが、 aa のようなフェンスの部分はルビンのいう「図形」であり、その間の空間は「素地」に当ると説明している。さらに彼の考え方を集大成した大著「ゲシュタルト心理学の原理」(1935)においても、「直線にせよ、曲線にせよ線は通常、線として見え、領域としては見えない」とした上で「線は形を持っているが、内側と外側の間に差はない。幾何学的に厳密に言えば、われわれの描く直線は細長い長方形であるが心理学的にはそうではない(幅を持たない)」と断った上で、「もし線が閉合した、あるいは殆ど閉合した図形を形づくるときは、われわれはもはや等質空間内の単なる線を見るのではなく、線によって境界づけられた面図形を見る」と云い、刺激としては完全に等質な図形の心理学的な内外の機能的差異を実証する実験的試みとして、ゲルブとグラニット (A. Gerb und Granit, 1923) の図形の内外に投射した小光点の消失閾を測定すると、内側の閾値が外側のそれよりも高くなるという結果を引用している (筆者註：コフカはこの時点でこの種の実験は重要であるのにあまり行

図9 精薄児による左の蜂の巣模様の描写。a) から d) まで次第に進歩している
(メツガー, 1952)



われていない、としているが後にわが国の名古屋大学の横瀬ら（横瀬善正，1955）が組織的な実験を行い見事な成果を挙げている）。以上のような次第でシューマンに始まった観察はルビンやゲシュタルト心理学者に受け継がれ発展させられて来た。メツガー（W. Metzger, 1953）の考え方もこれらと同一線上にあるが、「対象間の空間に形がないということは輪郭線の興味ある性質と関連している。その性質というのは、視野に置かれた2つの互いに隣接する相異なる部分間の線は、普通一方（対象物、図形）の側にだけ輪郭線として作用するが、他方（空間、素地）の側には輪郭線として作用していないということである」として六角形による隙間のない蜂の巣模様の場合でも、共通の輪郭線について多くの人はその箇所に1本ではなく、重なり合った2本の輪郭線が存在するという印象を持っていると云い、精神的に未発達な人にはこの輪郭線の片側性が強く働くので、子供や精神薄弱者においては蜂の巣模様を正しく描き続けていくことが困難であることを示している（図9）。

視覚世界が黒と白のような反射率を異にする2領域にはっきり分節しているときには、その境界線に近い部分に対比効果と呼ばれる現象が起こり、白い部分に隣接した部分は帯状にその他の黒領域よりももっと黒く見え、

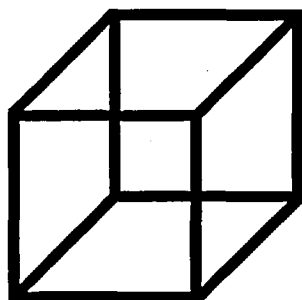
黒い部分に隣接する白い部分は益々白く見えることはマッハバンド (マッハ, 1975) として良く識られているが, 生理学者のラトリフ (F. Ratliff, 1972) によってカプトガニの複眼の電気生理学的研究により感覚神経細胞の側抑制効果として解明されている。この輪郭に関する効果はより高等な動物では網膜に始まって外側膝状体, 視覚皮質と, 視覚情報が眼から中枢に進むにつれて次第に強化されてゆくことがユンクとバウムガルトナー (R. Jung und G. Baumgartner, 1965) によって報告されている。名古屋大学の横瀬 (横瀬善正, 1955) は光の輪郭線図形の近傍に投射した小光点の消失閾を測定するという心理学的方法で図形がその周囲に及ぼす影響の強さは, その点が輪郭線から遠ざかる程, 距離の自乗に反比例して弱くなる, という法則を得ている。筆者は同様な方法によって前号の冒頭に掲げた錯視的輪郭図形の輪郭線部分でも同じ効果が存在することを示したことがある (野澤, 1977)。

以上が心理学における輪郭線についての基本的考え方の概観であるが, 先に示したようにこのような線が連なって閉合領域を作るとその内部は1つの面を形成する。次のこのような面が幾つか連結されると, ときにはそこには立体的な纏まりをもった対象が知覚されることがある。そこで次には上述の基本的考え方を発展させたものとして2次元輪郭線による3次元知覚の問題を取りあげることにする。

2 3次元的に知覚される2次元輪郭線刺激図形の観察

視知覚の教科書には多数の興味ある輪郭線図形が記載されている。本論ではその内から比較的単純な輪郭線で構成され, 刺激としては2次元的に呈示されているのに, 観察者には明らかに3次元的に知覚される Necker cube, Ames の椅子, Penrose の逆理図形 (impossible figure) および MIT の sequence analysis と呼ばれている積木事態の人工知能的解析の4つの事例について考察してみたい。

図10 ネッカーキューブ



1 ネッカーキューブの問題

これはスイスの結晶学者ネッカー (L. A. Necker, 1832) が正六面体の結晶を論文の頁に図示する際に問題としたことから始まった。図10は透明な正六面体の2次元平面への投影図である(但し遠近法は無視して描かれている)。その注目点は(1)「平面の紙上に印刷されたものであるのに、誰が見ても立体的に知覚される。」(2)「この立方体は上から見下ろした立方体, 下から見あげた立方体の2様の見え方を持っており, これを暫く観察しているとなんの刺激的变化も加えないのに, その見え方が自発的に交互に交代して知覚される」ことである。

A ゲシュタルト派による研究

上記の(1)についてコッフェルマン (H. Kopferman, 1930) は図11のような観察装置によって実験を試みた。これは一種の刺激呈示箱で、被験者は図の右側から顔を動かさないようにして内部を覗く。箱の奥に電灯が点けられ、その光はその前にある乳白ガラスで均等に拡散される。さらにその前には箱の内部両側に棧が付けられ、約2 cm間隔で刺激図形を描いた透明ガラス板をセットできる。覗き箱の長さは1 m位で、内面は黒塗り、中程に直径10cmの円型の窓を切りぬいた視野制限用のボール紙製のリダクションスクリーンが設置されている。刺激図形は透明ガラスに黒エナメルの細い線で描いたものを使用。図12 a は予備実験用の図形で(1)と(2)の2枚から成っているが、これを装置内に前後に置いて両眼で覗くと、リダクション

図11 コッフェルマンの観察装置 (コッフェルマン, 1930)

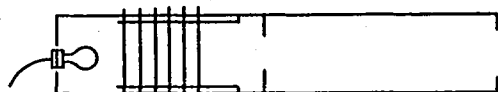


図12 コッフェルマンの使用図形 (コッフェルマン, 1930)

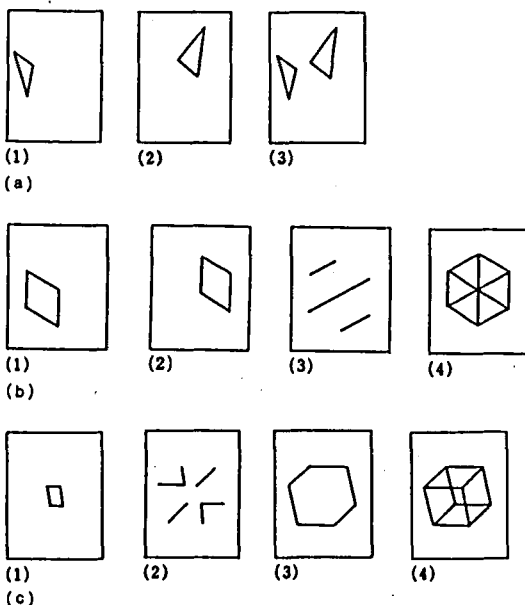
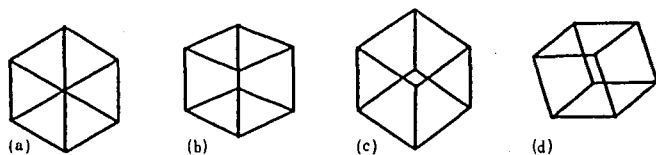


図13 メツガーの影絵図形 (メツガー, 1952)



スクリーンにより左右の栈の取り付け部は見えず、その合成図は(3)のようになるが、間隔距離が2 cmあれば2つの三角形は正しく前後にあるように見える。ところが同図(b)の(1), (2), (3)をその順序に前後に並べると合成図は(4)のようになるが、このときは両眼視でも3枚の奥行差は認められず、平面の正六角形に対角線を引いたものとして全く2次元的に見えると報告されている。さらに次の図bの3枚をまとめた(4)は奥行を持って3次元的に知覚されるが、それは刺激通りの(1), (2), (3)の順序ではなく、立体的な正六面体に見えるという。

これを受けてメツガー (W. Metzger, 1953) は針金枠の正六面体の後方から並行光線を当てて作った影絵 (並行光線による影絵では線遠近法による奥行の視差がなくなることに注意) によって図13の4種類の図形を被験者に観察させた。この図形の a はコッフェルマンの図 b の(4), d は図 c の(4)に当るが被験者の報告は a は2次元の正六角形に対角線を加えたもの, d は立体的正六面体に見えるというもので, b と c に対する反応はそれらの中間であったという。メツガーはこの現象について次のように説明している。「線図形が立体的効果を持つためには, 投影図の幾何学的法則ばかりでなく, 良い形態 (ゲシュタルト) という心理学的法則をも考慮しなくてはならない。即ち, 視覚的対象の見え方は2次元に見えるか, 3次元に見えるかの何れかであるが, a のように2次元刺激として良形態的性質の高いものはそのまま平面図形として知覚され, d のように2次元刺激としては規則性に乏しく, 緊密さを欠き, また相称性や平衡性を欠いているが, 3次元刺激としては良形態的性質の高い可能性があるときには, その図の立体的効果は确实であり強力である」としている。より具体的にいえば, a 図形では6本の相称軸, すべて等しい角, 3本の貫通する直線 (これは立体図に見られるときには中央で切り離され, 全く異なる奥行に置き換えられなければならない) があるので, この図は立体的に見られる可能性は極めて低くなる。b 図形では, 2本の相称軸, 1本の貫通する直線 (3次元的に見るとすれば, これは部分的に2重となり, 互いに離さなければならない) が存在する。従って立体効果は少ない。次に c 図形では2本の相称軸があるけれども, 貫通する直線は存在しない。この場合は立体効果が強い。最後の d 図形では相称軸も貫通する直線もなく, 立体効果は最大になる。ゲシュタルト心理学の提唱者ケーレル (W. Köhler) は「物理的ゲシュタルト」(1920) という変った標題の著書の中で「多くの心理現象には視覚における形態の知覚のように個々の要素に分析することのできない全体的傾向が支配的である」ことを述べ, これをゲシュタルト性質と名付ける。これに対して一般的に物理現象にはそのような性質は認められず, すべて要素に分析することによつ

て理解できると考えられて来たけれども、彼は初等物理学の教科書の内の「連通管」、「浸透圧」、「表面張力」、「磁場」、「静電気」さらに「電池」や「エントロピー」などの諸現象について、これらがその際の個々の要素の物理的性質だけからは理解できず、より全体的傾向によって規定されることを述べてこれを「物理的ゲシュタルト」と呼ぶ。その上で彼は視知覚現象などに関係のある神経生理過程もまたゲシュタルト性質を持つものと推定できる、と主張しているのである（観察された現象が常にそれに関係する体系全体の平衡状態に向かって推移する傾向を有する、という命題を彼は物理現象固有の物理現象と考えず、心理現象にも物理現象にも共通して認められる一般的法則として考えていることに注意）。メツガーはケーレルのような神経生理学的仮説には全く関心を示さないが、視覚世界の現象法則としてそのゲシュタルト性の存在を支持している。

B ホックバーグとブルックス (J. Hochberg & V. Brooks, 1960) の情報理論的研究

前節のゲシュタルト派の観察は同じ針金棒の投影図がときには平面的にまたは立体的に認められる現象について、独自のゲシュタルト仮説によって説明を試みたものであるが、その際に使用

される「良形態の法則」(Factor der gute Gestalt, M. Wertheimer, 1923) は科学的説明概念としては極めてあいまいな（恣意的な概念と評されても仕方がない）ところが弱点である。ゲシュタルト心理学者もこの点を配慮して単純、規則的、相称的などの補助概念を援用しているが、それでも決して十分とはいえない。ホックバーグとブルックスはこれらの用語の使用を止め、その代りに明確に数量化できる図形の構造の複雑度を示す示標を導入するこ

図14 ホックバーグ・ブルックスの使用図形（ホックバーグ、1978）

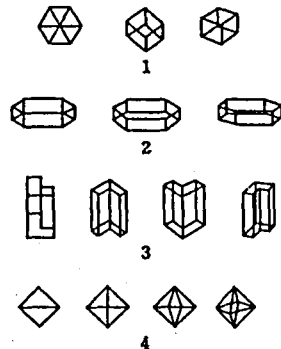


表1 ホックバーク・ブルックスの表

Test	内 容
2	内角の総数
3	線分の総数
4	連続線分の総数 (交叉点は無視)
5	2つ以上の線分の交点の総数
6	3つ "
7	周囲の線分の総数
8	内部の線分の総数
9	Test 7 でTest 8 を割った数
10	Test 7 とTest 8 の和でTest 8 を割った数
11	異なる角の数 (1° の差以上)
12	Test 2 でTest 11 を割った数
13	内角の角度の総和
14	隣接した角度の差の合計
15	Test 2 でTest 14 を割る
16	隣接角の間の角度の絶対差の合計
17	パターン内の閉じた部分の総数
18	Test 2 でTest 16 を割る

Hochberg & Brooks の方程式 (3)

$$Y_i = (T_2 + T_{12} + 2 \times T_4) / NT$$

Y_i: 予測される見えの三次元性T₂, T₁₂, T₄: 各Testの値(0-10スケール)NT: Testの数(T₂は2倍するのでNT=4)

結果

R¹⁻²⁰ R¹⁻⁴⁰ R⁴¹⁻⁶⁹

0.91 0.80 0.98

(見えの三次元性
と方程式(3)の相関)第一因子 T₂ 角の数 "単純性"第二因子 T₁₂ 異なる角の平均数
(小さい程相補性大)第三因子 T₄ 連続線分の数
(小さい程良い連続)

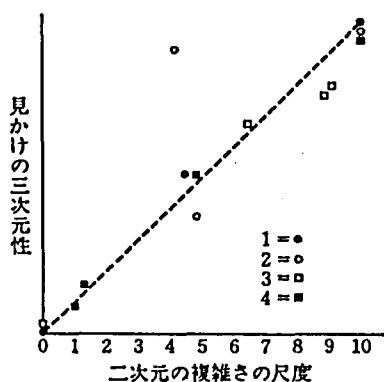
☆ 被験者の評定値の平均値を*Test1*とする。
各テストの値は、刺激図形グループ内で、
0-10スケールに変換する。

(Hochberg & Brooks) 1960より

とを考えた。彼等はネッカーキューブも含めて15種類の針金棒図形を選び(その各々が複雑度の異なる4~5の投影図から成っている。その一部を図14に示す)。これらの投影図のすべてについて多数の被験者にその見掛けの3次元性を10段階で評価させた。その一方で彼等はそれらの2次元投影図形の構造について表1に示すその複雑度が増すにつれて増大する17の数量的基準(1つの図形の内角の総数、線分の総数など)を作りこれを上記の15種類の各段階の図形について計算した(その数値は各々図形毎に10段階スケールに変換する)。ことに表1の基準の内から内角の総数T₂、連続線の総数T₄および異なる角の総数T₁₂の3項目を組み合わせた $Y_i = (T_2 + T_{12} + 2 \times T_4) / NT$ (但しY_iは3次元性の予測値、NTは使用した実験の数)の実験式を作ってこの計算値と被験者のそれぞれの図形に対する3次元評価値との相関を求めたところ図形1~20では.91, 21~40では.80, そして41~69では.98という高い正の相関係数が得られた(図15)。このことから彼等は

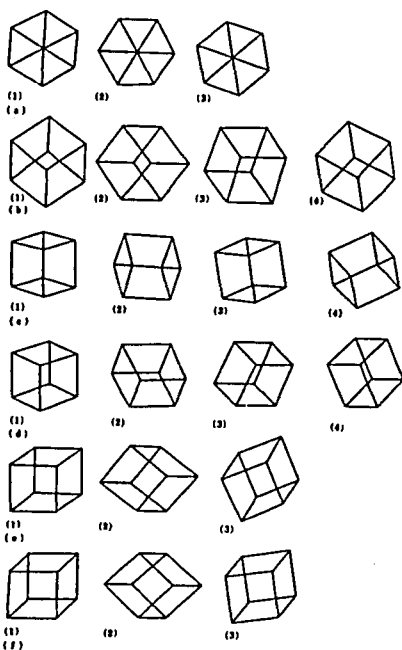
この理論式の高い妥当性が確かめられたとして、見掛けの3次元性はその2次元投影図の構造が複雑になればなる程高くなる(3次元の複雑度は同種の図形内では同一である)が、それは情報理論の用語に云い直せば、ゲシュタルト心理学者のいう「良形態図形」とは「冗長度の高い図形(同じ場所に違う線が重複して使用されている)」ということになる。そしてホックバーグらの選んだ3つの基準は図

図15 ホックバーグ・ブルックスの実験結果(ホックバーグ・ブルックス, 1960)



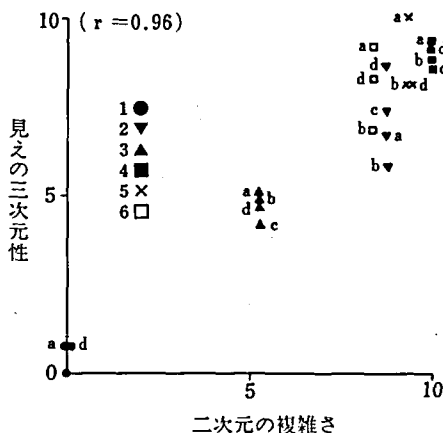
形の3次元性を規定する主要因子で第1因子のT 2 (内角の総数)は単純性, 第2のT 12 (異なる角の平均数)は図形の相称性(この値が小さい程相称性が大), さらに第3のT 4 (連続線分の数)は良い連続性を数量的に示す測度になっていると述べている。

図16 野澤の使用図形(野澤, 1986)



ホックバーグは以上について「我々のまだ発見していない他の要因が存在することも、また確かであろう」と述べているが、野澤(1979)は図16に示すような6種のネッカーキューブの、同一種類についてさらにその傾きを3または4通りにしたものを用意して、全く同じやり方で10人の被験者に見掛けの3次元性の評定をさせ

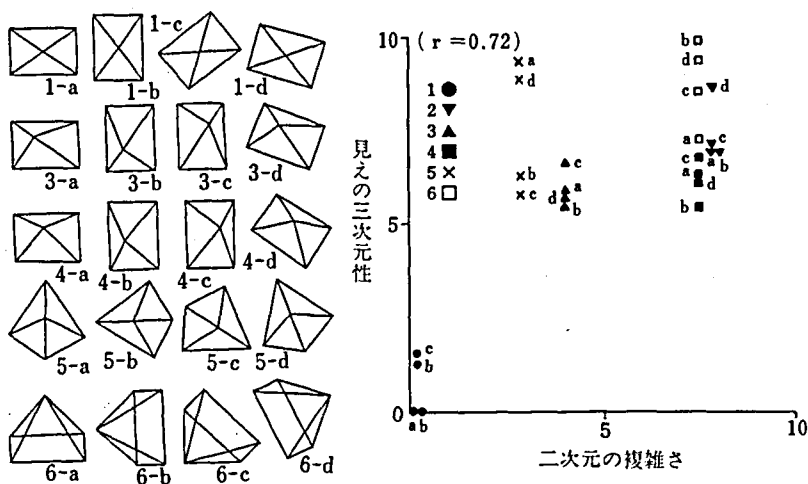
図17 野澤の実験結果 (野澤, 1986)



た。その結果は図17に示したが、見掛けの3次元性示数 Y_i と被験者の3次元評定値との相関係数は.96という高い値で彼等の結果と良く一致し、メツガーの観察を裏書きする結果になった。但し、注目すべきことは本来 Y_i 値が同一である同じ種類の図形内でも図形の傾きの方向によって反応にかなりの差異が生じているものもあるという点

である。例えば図bの(2)と(4)の反応値の差異のように、メツガーによって貫通するか否かが問題にされているこの図形の中心線が空間の主方向(垂直または水平)に一致するときは3次元になり難いといえる結果で、これはメツガーやホックバークが問題にしている図形内部の構造特性だけでなく、その図形が置かれた空間の方向の効果にも注目する必要があることを

図18 5種類の四角錐とその結果



示すものである。なお同時に行った四角錐による観察(図18)では、Yiが僅か3なのにどの図も評定値が5以上で、殊に(1)と(4)は立体感が9前後という予想外の結果になったことを付記しておきたい。

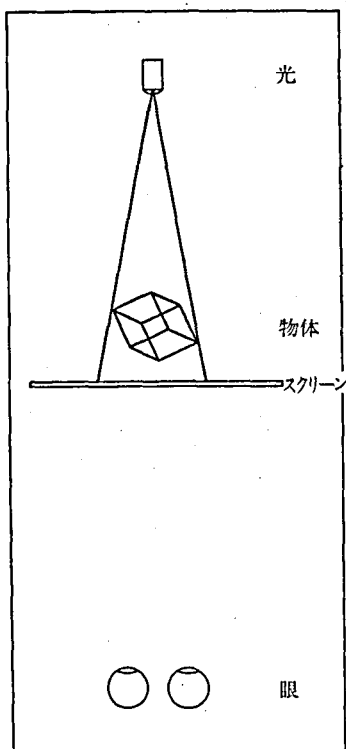
C マッハ・エデンの観察

ネッカーキューブと同類の図形としてより単純な「マッハの本」、より複雑な「シュレーデルの階段」があるが、マッハは有名な「感覚の分析」(E. Mach, 1975)の中では紙に描かれた投影図ではなく、中央で折り曲げた名刺のような対象を片目で観察する場合を取りあげている。その場合も観察者の網膜投影図は2次元であると考えられるが、普通の場合は3次元的に知覚される。しかもその見掛けの3次元はときに奥行の反転を起こすのである。その場合に紙片の傾きが正立のときは変ること、さらに正立のときの照明で照らされた面と陰影になった面との明るさの知覚上の差異が、奥行が反転したときには紙の表面の色彩の差異として(明るい面は白く、暗い面は灰色に塗り分けられたように)全く異なって知覚されることを注意深く記述している。この単眼による実物の奥行の反転は紙に描かれたネッカーキューブのように簡単ではなく、一種の努力を必要とするが、馴れれば色付きのジュースを入れたコップを反転させることも可能である。最近MITのエデン(M. Eden)はマッハの本の観察をW型に折り曲げた紙片で行い、それが反転したときに片目を閉じたままで観察者が顔を動かすと傾いた紙片がそれにつれてふらふらと揺れて見える現象を記述している。ミラー(G. A. Miller, 1970)の紹介によると、この見掛けの揺れ(ミラーはtwistと表現している)は片手の指さきで紙片の端をつまんでいても確かに知覚されるという。

D グレゴリーの観察

BBCのテレビジョンによる講義に基づいた「インテリジェント・アイ」においてグレゴリー(R. L. Gregory, 1970)は夜光塗料を塗った針金枠

図19 グレゴリーの投影装置
(グレゴリー、1970)



の正六面体の暗室内での観察、および針金枠正六面体の実物とその紙に描かれた画像の観察について詳細な報告を記載している。メツガーやホックバーグラの並行光線による影絵だけではなく、グレゴリーは図19に示すように点光源を使用して、丁度光源の位置から見た対象の遠近法的投影像が得られることを利用しての遠近法的投影図の観察、さらには2個の光源を両眼間の距離だけ横に離して赤と緑のフィルターによる赤と緑の影絵を作り、これを例えば右眼赤、左眼緑のフィルターの眼鏡の使用により両眼立体視画像の観察も試みている。

最初の発光骨格正六面体は1辺の長さが4インチで1つの角で机にしっかり固定したものを完全暗室の中で観察する。観察中正六面体のどの面が前に

見えるかを口頭で報告させ、これをテープレコーダーで記録した。また観察中対象を手で触れることを許さない条件と、許す条件の結果を比較した。両条件とも見掛けの奥行反転が生じたが、触覚情報が加わった場合には反転の回数は半減したという。そして立方体が反転すると視覚空間と触覚空間とが分離して立方体の面がある位置に見えながら、同時に触覚的には別の位置に知覚されるという奇妙な体験が報告された。

次に視距離を変えたときの網膜投影像を考えて実物、そのステレオ画像、その2次元投影像を単眼または両眼で観察して結果の比較を行った。すなわち、単眼で(1)骨格正六面体の実物、(2)その遠近法による2次元投影図、

(3)ゼロ遠近度の立方体の実物（実際は正六面体ではなく、末広がりの骨格六面体を用意し、前後の正方形面の網膜投影像の大きさが丁度一致する距離でこれを観察させる）、(4)ネッカーの立方体投影図、すなわち(3)の2次元投影図、の4条件の観察をする。次に今度は両眼で(5)骨格正六面体の実物、(6)立方体のステレオ遠近法画像、(7)ゼロ遠近度の立方体の実物：(3)と同じ、(8)ゼロ遠近度の立方体ステレオ画像、の4条件による観察を行ってこれらを相互に比較する。

図20 図19の投影装置による骨格正六面体の影絵（グレゴリー、1970）

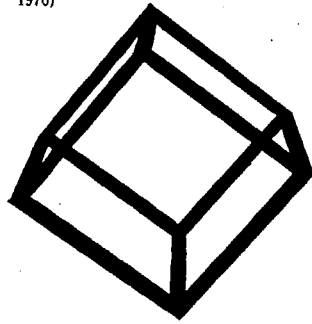


図20は遠近法による奥行視差を加味した骨格正六面体の2次元投影図であるが、普通にはこれは正六面体には見えず、末広がりの六面体、グレゴリーの云う上部を切ったピラミッド形と見ることもできる（筆者註：但しこれを奥行反転すると前面の六面体の大きさは後面の正方形よりも僅かに大きいだけで殆ど正六面体に見える筈であるから、読者はできればこの図について試みて頂きたい）。ところでこの図は図10の点光源が立方体の両端となす角 θ と等しい視角で実際に骨格正六面体を観察する被験者の単眼の網膜像と相似の筈なのであるが、実際にこの観察をしてみると、立方体はそのまま正六面体として知覚され、前後の正方形面は同じ大きさに見え、すべての角は直角に見える（網膜投影図では直角にはなり得ない）のである。グレゴリーの関心は正にこの網膜投影像が一致しているのに実物の知覚と画像の知覚の間に生じる差異の意味を明らかにしようとするところにある。従って上に示した8つの条件の(1), (3), (5), (7)は実物刺激に対する反応を、(2), (4), (6), (8)はそれぞれ対応する実物刺激が作り出す投影像と相似の画像が用意されており、それらに対する反応をとらえて両者の比較を試みようとする。これらの刺激はいずれも立体的に知覚されるので、比較の基準としては立方体の前面の四角形と後面の四角形が同じ大きさに見える（Y反応）か、或いは異なる大きさに見える（N反応）かを問題にし、さらに奥行が反転し

表2 グレゴリーの表 (グレゴリーの表を筆者が大幅に書き直したもの)

	(Y) 前後の正方形部分が等大に見える, (N) 前後の正方形部分が等大に見えない			
	奥行が正しく見える場合			
	単眼視		両眼視	
	遠近性あり	遠近性なし	遠近性あり	遠近性なし
実物 画像	(1) Y	(3) N	(5) Y	(7) N
	(2) N (矛盾)	(4) Y* (矛盾)	(6) Y	(8) N
	知覚的奥行反転が起った場合			
	単眼視		両眼視	
	遠近性あり	遠近性なし	遠近性あり	遠近性なし
実物 画像	(1) N	(3) N	(5) N	(7) N (希)
	(2) N (矛盾)	(4) Y* (矛盾)	(6) Y (矛盾)	(8) N (希)

た場合についても比較を行う。表2はその結果をグレゴリーが纏めたものである (一部表記法を改めた)。

(1)は或る角度に固定された骨格正六面体の実物を単眼で眼や身体を動かさずに観察した場合で、このときに前面の正方形と後面の正方形が(相似形の両者の網膜像が同大でないのに)同じ大きさに知覚されることは「大きさの恒常現象」として説明されて来た通りである(Y反応)。(5)ではこの同じ刺激事態を両眼で観察するのだから恒常現象は一層現われ易く、前後の正方形部分は完全に同じ大きさに知覚される(Y反応)。実物の正六面体は容易には反転しない(ことに(5)ではきわめて希)のだがもし反転が起れば大きさの恒常性を発動させる機構が逆に作用するので両正方形は決して同じ大きさには見えなくなる(N反応)。

(2)は(1)を図19の投影装置で影絵にしたものでその1例が図20である。グレゴリーはこれについて「遠近法的投影によってスクリーン上に投影された立方体は歪んで見える。一方の面は他方の面よりも小さく見える(N反応)。小さい方の面は立方体の後面のように見えるが、同時にスクリーン上に大きな前面と同じ距離にあるようにも見える。すなわち奥行矛盾があり、立方体であると同時に、スクリーン上の平坦な線画でもある。反転を起こしても、立方体の実物を見たときのように、形が変化しない」(以

上金子, 1972の訳による), のように述べているが, これは同書の20図(本論文の図20)に対する彼自身の説明とは少し違うようである(筆者註: もともと遠近法は画家が奥行視差に基づく遠近による対象の大きさの違いを意図的に画面に描きこむもので, これを見る人もそれを了解している, といえる。その意味ではN反応が生じる, といって良いが不自然にならない程度の遠近法であればむしろ図20の反転時に見られるようにY反応が生じると考えるべきではないか)。

これに対して両眼で立方体のステレオ画像を見る(6)ではグレゴリーの言葉によれば「信じ難い程リアルな立体的画像を見ることができ」, 明瞭なY反応が得られ, これが反転したときには(5)と同様にN反応になる。

次に(3)は前面の正方形と後面の正方形の網膜投影像の大きさが丁度等しくなるように工夫した骨格正六面体の実物を単眼観察する事態である。この布置では対象は立体的に知覚されるので当然前面と後面の奥行差が感じられる筈である。その状況で両者の網膜投影像の大きさが等しければ遠いものは近いものよりも大きく知覚される(N反応)。知覚上で奥行の反転が生じて刺激としての投影像が等しいという関係は不変であるから, やはり後面の正方形部分は前面のそれよりも大きく見える(N反応)。

(7)は(3)と同じ実物刺激の両眼視察事態である。恒常現象の働きによって実際に大きい後面の正方形部分は前面のものよりも(その網膜投影像が同大であっても)大きく知覚される(N反応)。そしてこの両眼観察事態では見掛けの反転は容易には起こらないが, もし反転が生じれば後面は前面よりもさらに大きく見えるという(N反応)。

(4)は平面上に描かれたネッカーキューブの単眼観察である。グレゴリーは「ネッカーの立方体は前面と後面の遠近法的区別がない。何れも同じ大きさに見え, 反転しても大きさは変らない(但しスクリーンの肌目の効果については後述)。画像の奥行矛盾が存在する。」(金子訳, 1972による)のように記載している(ともにY反応)。

(筆者註: スクリーンの肌目というのは図形の描かれた画用紙などの表面の粗さを用いるので, どんな滑らかな紙を使用しても充分な照明の下では観察者は表面色の

な紙面の微細構造をかなり知覚でき、これがその上に描かれた図形を平板的に知覚させ易くする。グレゴリーは有名なミュラー・リエルの錯覚の実験 (R. L. Gregory, 1963) で光線刺激図形を使用したときには図形の背景になる平面が除去された感じ (removal of background) によってこの錯視図形の矢羽根による奥行感が紙に描かれたものより生じ易くなることを注意している。筆者は相称三分割錯視図形による錯視量測定をパーソナルコンピュータの CRT 画面で試み (野澤, 1987, p 184), この刺激事態で副次的に起こる図形の奥行効果が同じ図形を紙に描いた場合よりもはるかに大きいことを報告したことがある。また同書の別のところで, CRT 画面に呈示したネッカーキューブの観察 (同書 p 52-54) について, この図形が立体感をもって3次元的に認められるときには僅かに末広がりの見えることを指摘したことがある。そしてこの末広がり現象は極く僅かではあるが紙上に印刷されたネッカーキューブにも認められるのである。グレゴリーの観察(4)は単眼観察であるが筆者は注意深く観察すればこの場合もまたその反転の場合も末広がり現象が起こること (すべて N 反応) を確信している)

最後の(8)は両眼で, (7)の事態を実物ではなくステレオ画像で観察する場合である。このときも前後面とも画面上では同じ大きさであるが, 見掛けは後面が前面よりも大きく見える (N 反応)。反転は非常に困難であるがもしも反転が起こればやはり後面は前面よりも大きく見える (N 反応)。反転したときは立方体は奇妙な非現実的様相を呈する旨が書き加えられている。

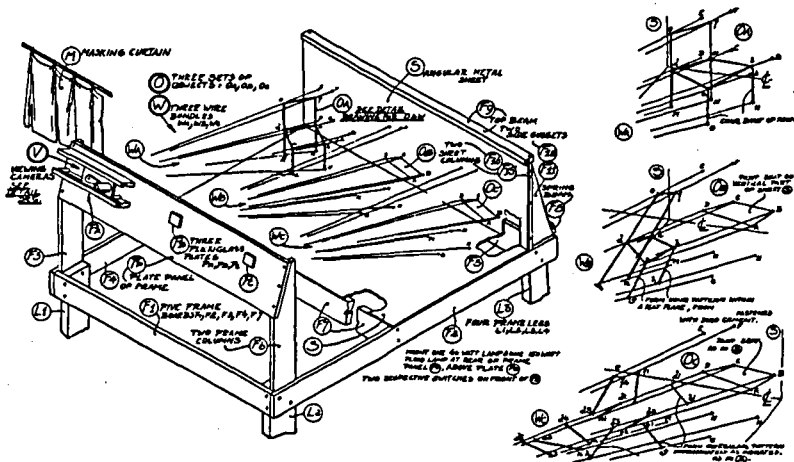
以上の結果はかなり複雑でグレゴリー本人もやや混乱しているところもあるように見えるが, 一応単眼—両眼, 実物—画像, 正常—反転の交錯した現象を刺激上の異同対見掛け上の (現象的) 異同という基準で整理したものといえよう。単純に纏めれば, その網膜投影像による知覚像がその原対象と考えられる骨格正六面体にどれ程近いのか, という点で表2における Y 反応に注目するとすれば, 実物の正六面体を両眼で観察するとき(5)が一番確実で, 反転なども起こり難く, その次が両眼で遠近法によるステレオ画像を見る(6)で, それに続くのが実物の正六面体を単眼観察する場合(1)になろう。そしてこの考え方によれば4番目は単眼でネッカーキューブ (平

面のゼロ遠近法画像)を見る(4)になるということになるかもしれないが、グレゴリー自身は結論として画像を見るのと実物を見ることとは非常に異なっていることを指摘して、「画像は眼にとって普通の事物ではないわけで、非常に特殊なケースとして処理されるのだ」と言い、「画像による実験の結果を普通の物体の知覚に直接適用しようとするときには、特に注意が必要である」ことを強調している。同時にこの観察はグレゴリーが視知覚過程を単なる受動的な感覚受容の連鎖過程とは考えず、知覚系は1つの検索システムであり、感覚情報は「知覚仮説」の内的目録を次第に形成してゆくために使用され、これによって「實在に最も近いものに到達しようとする」のだ、という彼の知覚説の構築に大いに役だっている、と評価できよう。

2 エーミスの椅子の観察

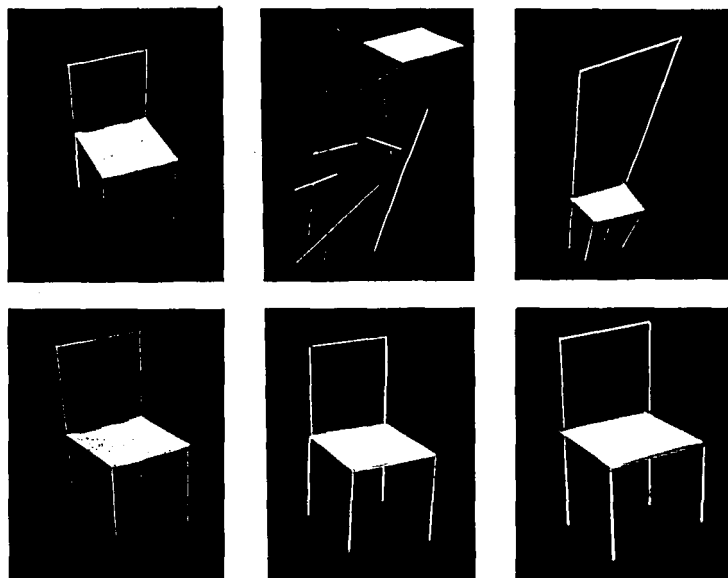
1950年にアメリカのエーミス (A. Ames, Jr., 1946), カントリル (E. Cantril,

図21 エーミスの椅子の観察装置



48インチ×60インチの木製の暗箱で3群の刺激が糸で吊っており、正面の3個の小さな覗き穴からそれぞれを観察できる。正面から見ると3群とも同一の椅子型の網膜投影像により椅子に見えるが、背面の覗き穴から見ると右の2つは形をなさない。(エーミス, 1968)

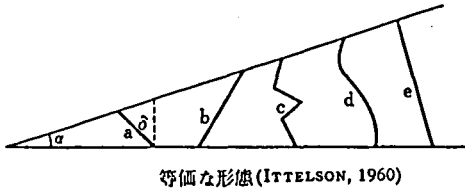
図22 エーミスの椅子の観察結果 (エーミス, 1952)
上段は背面の、下段は前面の観察窓から見たもの。



1950), イッテルソン (W. H. Ittelson, 1960, 1961) らは経験説に基づく知覚理論を提案し transactional functionalism と称した。なかでもエーミス (A. Ames, Jr., 1968) は幾種類もの斬新な実験室的デモンストレーションを創案し注目を集めたが、ここに述べる「椅子の観察」はその代表例である。図21はその装置の構造を示し、図22はその観察結果を示している。

先の図11のコッフェルマンの装置では骨格正六面体の投影図の12本の辺を3枚のガラス板の面上に分散して奥行を変えて呈示してこれを観察窓から眺めさせたが、エーミスは椅子の投影図を構成する坐板、背もたれ、椅子の脚を6乃至10の要素部分に分解したものを暗箱の内部の予め計算した位置に細い糸で吊って呈示した。観察箱の内部には3脚の椅子の投影像が用意されており、この箱の正面の3個の小さな観察窓から覗くとそれぞれ図13の下段のように同じ椅子の模型が認められる。しかし次に同じ箱の背面の3個の観察窓から覗くと今度は図13の上段のように右端の1つ以外は

図23 同一の網膜投影像を生じる幾つもの等価な状態



形が崩れたり、ばらばらに分解されて椅子とは知覚できない状況になってしまう。

彼等是我々の網膜投影像と少し離れた位置にある対象物の形態の関係は図23に示す通りであり、視覚を α 、対象の物理的大きさを S 、視線に対する傾きを σ 、対象までの距離を D とすれば、 $\tan \alpha = S \cos \sigma / (D - S \sin \sigma)$ の関係が成立し、大きさ、形、傾き、距離の異なる a 、 b 、 c 、 d 、 e の張る視角は等しい。Ittelson らは刺激がこのような関係にあるときにそれらは等価な形態 (equivalent configuration) を持つという。3次元空間についても当然、同様に等価な形態の空間布置が考えられる。上記の椅子の観察装置における3種類の刺激布置は箱の背面からの観察結果に見られるようにそれぞれ全く別のものであるが、正面の窓からそれぞれ特定の距離において見直せば等価な形態になるのである。このように考えるとすれば、これと同じ等価な形態を持つ刺激布置は無限に存在する可能性があると言わなければならない。彼等はこのいわば無限の知覚の可能性の中で、何故に椅子の知覚が生じるのだろうか？ そこが重要な問題である、と云う。彼等が自ら transactional functionalism と呼ぶ理論によれば、知覚は常に何らかの仮説 (assumption) に基づき、生活体はその仮説によって外界に反応する。その反応が適応的であれば仮説は強化されるが、適応しなければ仮説は修正され、再構成されて新しい知覚を生じる。上記の3つの刺激布置についていえば正面から見たばらばらな破片のようなものや、歪められた椅子のようなものに比べれば正常な椅子の反応は最も多く経験され、最も強化された仮説により支持されたものといえるのである。いまこれを

図12のCの(4)のコッフェルマンのネッカーキューブの合成図に当てはめれば、このような投影像を構成する等価な形態は無数にあり、(1), (2), (3)のような分割はその内の1つに過ぎず、エーミスのような装置を使用すればもっと複雑な分割を行って、しかも同種の結果を呈示できるのであろう。つまりこの2つの観察は全く同じことを試みているのであって、ただその説明が異なるに過ぎないのである。ゲシュタルトの良い形態の法則に対して、良い形態とは過去に最も多数回経験された形態ではないか、とする反論は今までに幾つも存在しており(例えばリニャノ(E. Rignano, 1928)など)、ゲシュタルト側からもゴッシャルト(K. Gottschaldt, 1929)による経験効果の吟味が行われているが、ここでは深く立ち入らない。しかしエーミス達が過去経験の回数の効果を主張するのであれば、それを実証するもっと具体的データを示す必要があることは指摘しておきたい。

3 逆理図形(impossible figure)の問題

イギリスの数学者ペンローズ(R. Penrose)は現代物理学における「超ひも理論」(super string theory)の中でも最新の「ツイスター理論」(twister theory)の提案者として有名であるが、もともとは複素数の研究家でその複素世界の射影幾何学的視覚化を試みていた。彼はさまざまな次元の複素空間を辿ってその断面や内部構造の射影をスケッチし、これらの抽象空間でねじれたり、曲がったりしている線を視覚化しているときに逆理図形に出遭ったのである。彼は遺伝学者でダウン症候群の研究家である父親と連名(L. S. Penrose & R. Penrose, 1958)で「あり得ない対象物——特殊な錯覚」という標題で図24の奇妙な輪郭線図形を発表した。これらの図形は一見したところでありふれた輪郭線による3次元図形のように見える。しかし例えば(a)図の左側だけを見れば3本の水平で互いに平行な円柱が知覚される。ところが同じ図の右側に眼を移すとコの字形の枠があるだけで、真中の円柱に対応する部分には何も存在しない空虚な空間しかないという、全く矛盾した状況を認めざるを得ないことに気付く。そしてこのような対象

物が現実には存在し得ないことを発見するのである。この種のだまし絵は例えば遠近法を意図的に誤用したホガース (W. Hogarth) のような画家の悪戯として知られていたが、ペンローズらはこれを新しい錯覚の一種として記載登録したわけである。オランダの版画家エッシャー (M. C. Escher, 1971) はそれまでは専らルビン (E. Rubin, 1915) の図地反転現象を取り入れただまし絵を製作して来たが、その後はすっかりこの逆理図形の応用に転向してしまった (図25)。我が国の安野光雅や福田繁雄らもその追随者である。

既にエーミスの椅子の観察箱を承知している我々にとっては図24はそれ程不思議な現象ではない。仮に図24の左半分に当る投影像を形成するように3次元刺激群をエーミスの手法で暗箱の中に構成したとする。次のその右側に位置をずらして右半分の投影像に対応する3次元刺激群を構成し、両刺激の中途半端な6本の直線の末端が投影像的に丁度良い連続を構成するように配置すればよいのである。グレゴリーの云い方に従えば、左右の刺激部分はそれぞれに観察者の創り出した仮説によって3次元の実体とし

図24 逆理図形

いずれも陰影が描き込まれているが、単なる輪郭線画でも効果は本質的には等しい。

(a) (グレゴリー, 1970) (b) (c) (d) (ペンローズ・ペンローズ, 1958)

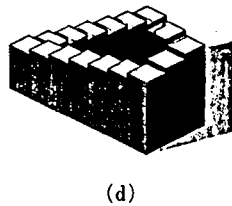
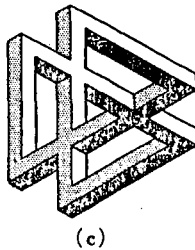
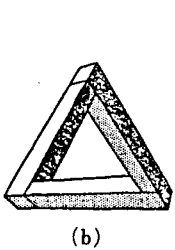
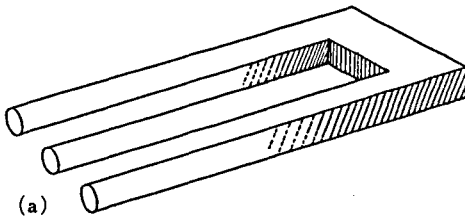


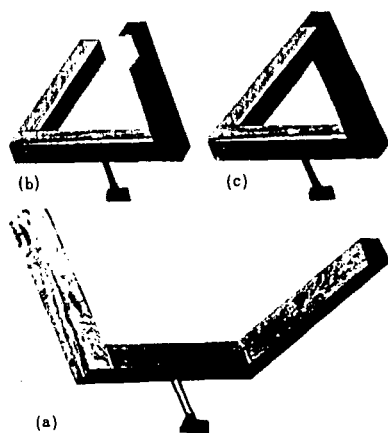
図25 エッシャー “Belvedere” 1958



て知覚される可能性をもっているが、偶々それらの末端部分は画面の中央で良い連続の関係を有しているときにのみ、左右の図形の奥行体制が別々であるに拘わらず1つに連続されて矛盾現象を起こすのである。もしこの部分が不一致で不連続であれば、多分同時に2つの異なる対象が知覚され矛盾を生じることはなくなるに違いない。但しもし被験者が与えられた投影像を3次元ではなく、2次元平面に押しつぶされた針金棒のように見るとすれば、そのときはなにかに不規則な線の繋がりだけが認められ、なんの矛盾も生じないであろう。既にグレゴリーも指摘しているように、われわ

れが画像を見せられるときには(1)表面に斑点や線、塊りが描かれた紙面の知覚、(2)紙面に描きこまれた対象物の立体的(多くの場合)な画像の知覚、の2つの場合があり、殆どの場合、(1)は無意識の内に無視して(2)だけが問題にされることを指摘し、しかも(2)の場合には少なからぬ制約が存在していることを注意する必要がある。ところでグレゴリーはペンローズが「あり得ない対象物」と呼んだその言葉尻をとらえて図24のb

図26 あり得ない三角形の実現
3つの視点からの写真。(グレゴリー、1970)



の不可能な三角形を造って見せようとした。図26がその物体を色々な視点から見た写真(グレゴリー、1970の42-43図)でその実体はもちろん三角形ではなく、同図のbがもっとも良くその実体を示している。すなわちこれを同図のcの視点から見たときに限って、これが不可能な三角形に見えるという仕掛けである。グレゴリーはブリストルにある彼の展示場で壁面のやや高いところに据え付けた回転円板に図の物体の下部に付けた把手でこの物体を螺子留めしたものをゆっくり回転させて供覧していた。会場の都合の良い場所に立ち止まってこの回転する物体を見ていると、丁度cの視点に到達した瞬間だけ不可能な三角形が可能になるのである。短い間ならばこの視点を保つように追隨することもできるし、この最適の視点は場内に次々に与えられて行くわけで、見せ物としては面白いが、実際にはこの対象に対する最適視点は唯1線上にとどまるのであって丁度その視点から写された図cの写真や絵を見る場合と同じ条件に過ぎないのである。

4 MITの積木事態の人工知能的解析

MITのグッツマン(A. Guzman, 1969)は図27のような積木ブロックの複

図27 ゲッツマンの使用した積木ブロック群の輪郭線図形 (ゲッツマン, 1969)

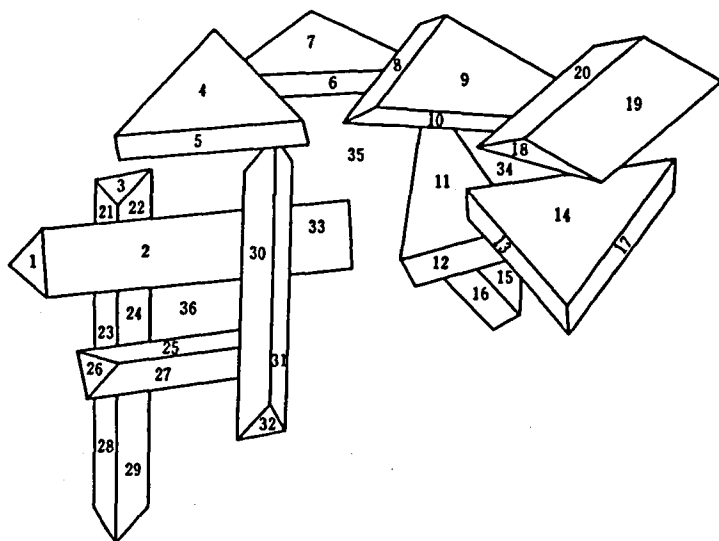
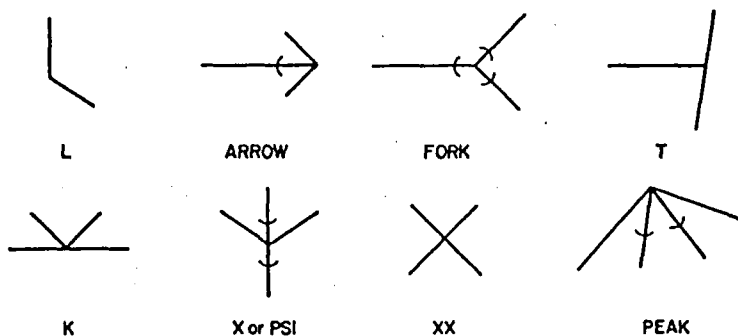












図28 ゲッツマンの8つの交点とそれによる面のまとまり (ゲッツマン, 1969)



雑な集合の輪郭線投影図が呈示されたときに、幾つかの線によって囲まれた面が隣接する他の面とともに1つの物体を構成するか、それとも全く別の存在であるのかをどのようにしてコンピュータに判別させ得るかを問題として取りあげた。具体的にいえば、図の内の20番と18番の面が同じ物体に所属するか？ 或いは3番と29番の面ではどうか？ という問題であ

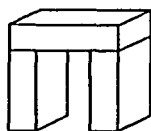
表3. ワルツのラベル付け (ワルツ, 1972)

	組合せ論的に 可能なラベル づけの概数	物理的に可能 なラベルづけ の概数
	3,249	92
	185,000	86
	185,000	826
	185,000	623
	11×10^4	10
	11×10^4	435
	11×10^4	213
	11×10^4	128
	11×10^4	160
	600×10^4	20

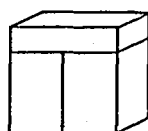
る。彼はここで問題解決にとってもっとも重要な情報は交点、すなわち複数の輪郭線が互いに交わっている点にあると考えた。図28は彼が注目した8種類の型を示している。図の中の孤は2つの面が同じ物体に属するというラベル付けを常識的判断から示している。これに続いてワルツ (D. Waltz, 1972) は11種類の交点について、線分の組み合わせによって起こり得るすべての場合を想定算出するとともに、その内の物理的拘束によって実際に存在し得ない場合を捨てた視覚世界に実際に存在可能な場合を算定し、さらにこれを図形全体に及ぼして全体について矛盾のない極く少数の

図29 ウィンストンのアーチとニアミス (非アーチ) (ウィンストン, 1970)

a アーチ



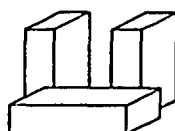
b ニアミス



c アーチ



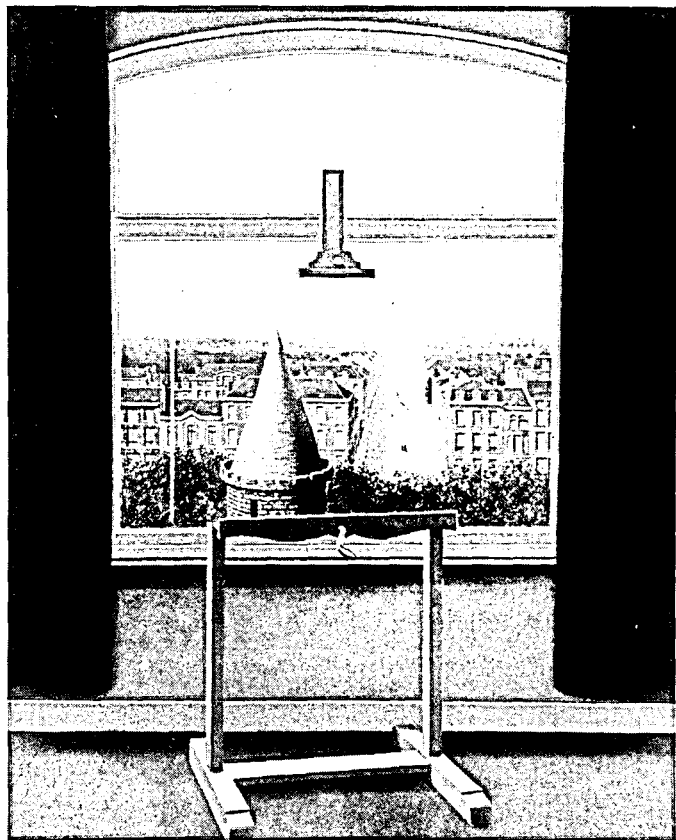
d ニアミス



限定的な場合に追い込むことによってこれによるラベル付けを試みた(表3)。さらに彼は画面に陰影による明暗を導入することによってこのラベル付けを一層明確なものにした。さらに白井良明(1973)はこの解析の基礎になる正しい線画を得ることが実際には画面のノイズなどによってそれ程簡単ではないので、画面の明るさの配列から(1)物体と背景を分ける輪郭線、(2)2つの物体の境界線、(3)同じ物体の面を分ける内線のような順序でステップを踏んで、しかも前のステップの結果を利用しながら逐次線画を実際に近いものに追い込んでゆく画像解析プログラムを推進した。またウィンストン(P. H. Winston, 1970)は機械の学習過程を問題にした。例えば3個のよく似たブロックを重ねて図29のアーチを作ることができるが、この中でaとcは別の素材を使用しながら共にアーチであるが、aとdとは全く同じ素材を使用しており、投影像のパターンから見てもよく似ているがdはアーチではない。彼は図のaのアーチに対してbやdをニアミスと呼び、機械にこの4つの刺激の細部のラベル付けを比較させて「アーチとはなんであるか?」を機械に学習させるプログラムを考案した。機械に構造を認識することを学ばせるという野心的目的を目指す研究である。

MITで行われて来た以上の目覚ましい研究はウィンストン(1975)によって纏められ、多くの認知科学の教科書にも積極的に紹介されており、ネッ

図30 マグリットの「ユークリッドの散歩道」(マグリット, 1958)



カーキューブのような単純なものとはともかく、グレゴリーの作った実在するペンローズの三角形などにも適用できるのかどうか、興味深い研究方向であるといえよう。但し直線の稜線から成る物体にしか適用できないこと、また陰影の利用に当っては当面は光源は1個に仮定されていることなどに注意する必要がある。有名な情報処理心理学の教科書を書いたリンゼイとノーマン (P. H. Lindsay and D. A. Norman, 1977) はMITのこれらの研究を紹介した後に図30の「ユークリッドの散歩道」(Euclidean Walks)と題するマグリット (R. Magritte, 1955) の作品を掲げて、交差する線の解析による

情報だけでは不十分でその他に意味情報が必要であることを指摘している。

3 2 次元的輪郭線刺激図形による 3 次元的知覚についての考察

前章でかなり詳細に紹介した 4 つの研究はその時期も、対象も、手法も、目的もさまざまであるが、2 次元的輪郭線刺激による 3 次元的知覚の成立過程を解明しようとする点では一致している。本章ではこの共通線を追って先ず各研究に共通する部分について相互の比較を試み、その異同を検討した上で全体に共通する問題点を明らかにしてみたい。

1 2 次元的刺激図形の意味

既に見て来たように前章で取りあげた観察の刺激呈示法は様々である。もっとも簡単なのは平面の紙に描かれた図形（グレゴリーの(2), (4), (6), (8), ペンローズ, MIT の観察。但しグレゴリーの(6), (8)はステレオ図形の観察である）であり、メツガーは並行光線による影絵、グレゴリーは点光源による遠近法的影絵を使用している。実際の立体的対象物を観察させるのはグレゴリーの(1), (3), (5), (7)とエーミスで、コッフェルマンも立体的呈示だがこれは 3 枚のガラス板に分解して描かれた平面図形を使用するものであった。しかし実物と画像の差異を問題にするグレゴリーを除くと、コッフェルマンでは観察に当ってなるべく眼球を動かさないように注意が与えられているし、エーミスでは覗き窓の大きさが小さくて視点の移動を全く許さない構造になっている。ということはこれらの観察では被験者に与えられる刺激は殆どすべて平面の紙に描かれた図形や、スクリーンに投影された動かない影絵と同様に、ある特定の立体的対象物を特定の視点から固定的に見た 2 次元投影像である、ということである。グレゴリーの立方体の実物の場合も、そのステレオ画像の場合も前面と後面の正方形部分の大きさを遠近法的、或いはゼロ遠近法的のような変化を問題にしているのは、やはり

観察の際の刺激条件を被験者の網膜投影像と相似になるように配慮していることを示すものである。これを要するに様々な刺激呈示法を使用しながら、これらの諸観察はいわゆる近刺激としての網膜投影像と相似の2次元的刺激図形に対して如何なる反応が期待されるか？ という同一の立場に立つものと考えて良いであろう。但し網膜投影像が同一という云い方は1枚の画像または影絵を呈示する場合の他は単眼観察の場合に限っていえることで、グレゴリーの結果を待つまでもなく、日常経験でも両眼は単眼の場合よりも遙かに知覚の精度が高いことは明らかであるから、両眼の場合の網膜像の視差の要因を無視するわけにはゆかない。

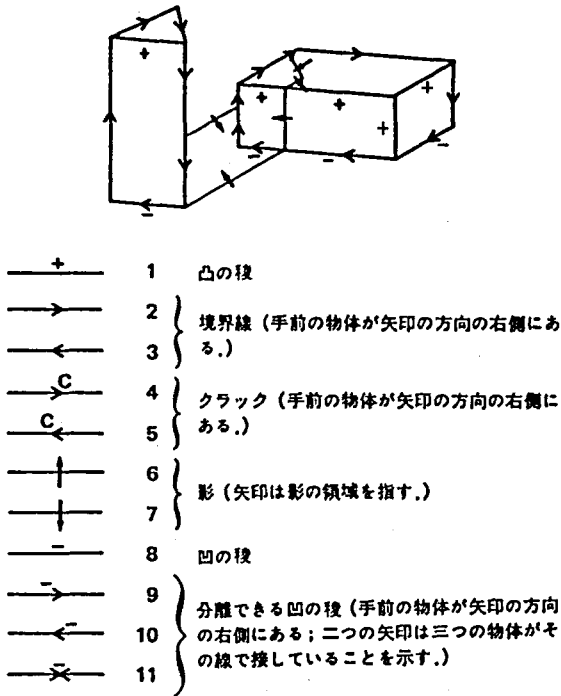
2 3次元的知覚の成立という反応の意味

前掲の諸実験が刺激条件の点ではほぼ統一的に考えられているとすれば、それによって求められる結果はどのようなものになるだろうか。もともとこれらの観察は呈示される刺激が2次元であるのに、3次元的知覚が生じる可能性を問題にしているのであるから、その意味では反応の取り上げ方についても共通の線上にある、といえよう。最初のコッフェルマン、メツガー、ホックバークらでは、問題の図形を3次元的に見るという反応の率が指標にされている。しかしこれを単に文字の上から取り上げたのであれば正しいとは云えない。例えばコッフェルマンの図12のaの(3)とcの(4)とは3次元的に見えたという意味が同じではない。aの場合は刺激のガラス板の順序通りに見えたことであるが、cでは3次元刺激をそれとは違う仕方で3次元的に認めるので、しかもそこにこの観察の意味があるのである。従って単に3次元的に知覚されたというだけでは言葉が足りないので、投影図を実験者が描くときに想定していた立方体のように3次元的に知覚されたか否かが問題にされなければならないのである。その意味で上記の3研究はその結果についてもっと適切な表現をすべきであった。その点ではグレゴリーが結果として知覚された立体の前面の正方形にあたる部分と後面のそれとの大きさの大小の量的判断を被験者に求めるものは、より適

切な方法であると評価できる。

次にネッカーキューブについての観察では、このときに投影像のもとになった原刺激が復元されるのだと考えたくなるが、これは正しくない。何故ならば、確かに正六面体は問題の2次元投影像を生じるであろうが、実はそれは同じ投影像を作ることができる無数の原刺激の内の1つに過ぎないのである。ということは図12のcの(4)のような2次元図形が呈示されたときに、被験者はこの投影図の原因となると考えられる無数の立体の中から立方体を選ぶ可能性が極めて高いということなのであり、それが如何なる理由によるのかを問うのがこの一連の研究の目的になるのである。これについてゲシュタルト心理学者は知覚過程のゲシュタルト性をその理由とし、ホックバーグラは図形の単純化と見掛けの3次元性とが関連連していることを示した。そしてエーミスらは問題の投影図を形成する筈の無数の立体の中で、過去に経験された回数が最多であると推定されるとして立方体を選ばれるのだと結論したのである。これらに比べるとグレゴリーは8種類の刺激条件の変化に伴う上記の量的判断の結果を比較しているだけに、考察の手掛りが豊富である、といえる。その結果は表2に見られる通りで、(5)、(7)の両眼で実体を見る場合の知覚が最も正確 [(5)では網膜像的には前後面で大きさの差があるのに、前後面は等大に知覚され、(7)では網膜像的には前後面は等大であるのに、実物通りに前面は後面よりも小さく見える] であり、(6)、(7)のステレオ画像で観察する場合が次に正確である。一般的に単眼視の知覚は両眼視に比べてその精度が低くなるといえるが、単眼による(1)から(4)までの相互の関係は両眼の場合のように単純には割り切れないようである。第一に実際に正六面体を見る場合は両眼で実体を見る場合の正確さに次ぐ精度を示している。また(4)の単眼で前後面の大きさに差のないネッカーキューブの画像を見るときも立体感のある立方体が知覚される。本文の21頁で指摘したように、グレゴリーはこのときには前後面の大きさは等大に知覚され、それは反転しても変らない、と書いている程で、原刺激への復元度は極めて高いというべきであろう。しかし同じと

図31 ワルツのラベル付けとその適用例 (ワルツ, 1972)



ここで筆者が触れたように、注意深い観察によれば平面に描かれたネッカーキューブでも大きさの恒常性が作用して後面になった部分は僅かながら末広がり的に大きく知覚されるのである。また単眼観察では奥行手掛りが減るために(2)の遠近法画面や(3)のゼロ遠近度の立体の観察では網膜像上の大きさの差異が実際以上に誇張されて不自然な見え方や矛盾した感じが生じ易いように思われる。前述のようにグレゴリーは実体と画像の差異を強調して画像による心理学的観察には慎重な注意が必要であると主張しているが、これを要するに画像の知覚では実体の観察において与えられる多くの手掛りが激減するために、知覚が著しく不安定、不正確になるということである。

再び元に戻って MIT の実験で機械に求められている反応とはどんなも

のであるか？ を考えてみたい。本文32頁で述べたように機械の反応はラベルづけという形で出力される。すなわち図31に示した「凸の稜」、「凹の稜」、「境界線」、「クラック」、「陰影」それに「分離できる凹の稜」などで、これに適宜→のような矢印を書き込むことによって「手前の物体が矢印の右側にある」影の部分については「影の所在」を示す、などである。これらのラベルづけの効用は心理学の用語でいう「図—地分凝」を機械に行わせるもので図27のような平面に描かれた錯雑した輪郭線画像について、例えば18, 19, 20は同一のプリズム型ブロックで8, 9, 10や13, 14, 17のブロックよりも前にあるとか、3, 21, 22; 23, 24; 28, 29もまた同一のブロックを形成している筈である、などを示すものである。もし図27に陰影を描き込めば奥行についてもかなりの情報を出力できることになる。従ってこれにウィンストンの考えを発展させた意味情報の効果が加味されればさらにその有効性が増大することが期待されるかもしれない。機械の反応（出力）は心理学者が全く注目しなかった刺激の小部分である輪郭線の交点によって分割される領域の「同一物体に帰属するか否か」であるが、各部分における反応を纏めて隣接するより大きい部分の「帰属関係」を決定し、その作業を次第に拡大することにより、終には画面全体の状況理解という全体的反応を導くことになるのである。従ってMITのこの研究の目的は直線輪郭線によって構成される積木状物体の集合の2次元投影図を呈示したときに、機械がその3次元の実体像をどこまで復元することができるか？ という問題である。それはネッカーキューブなどを見たときのわれわれの知覚過程のシュミレーションであるといえるが、上述のグレゴリーの観察などで見て来たように、画像が呈示されたときの知覚はその実体を呈示したときに比べ著しく不安定、不正確になることを免れ得ないのである。その場合にそのような不備を補うのは日常経験では過去の経験に基づく情報である（エーミスらのように、この効果を過大に評価してすべてを経験効果に帰せしめようとするには反対せざるを得ないが）が、先に述べたようにMITの研究ではこの意味情報についての資料は未だ不十分であった。

このように見て来るとこの方法で2次元投影図から3次元の実体を復元しようとするのはそれ程簡単ではなく、かなりの飛躍を冒す危険があるのではないと思われる。というのは図27を準備したり、その結果を評価したりする人々は充分過ぎる「積木体験」を持っており、それがかなり楽観的にこの実験の成果を評価する原因になっているのではないかということを筆者は危惧するのである。この絵を見る人の側の共感や理解というような意味情報に甘んじる点は実はMIT実験だけに止まらず、ネッカーキューブを始めすべての2次元スクリーン上に描いた図形を使用する心理学実験に共通していえることではないかとさえ考えるものである。

3 2次元的刺激による3次元の知覚成立現象の問題点

ここまでの筆者の本問題についての関心は「3次元の物体の2次元投影像を刺激として呈示したときに、それが2次元ではなく3次元的に知覚される事実があり、しかもネッカーキューブや三角積木の投影像は原刺激の実物に極めて近い実体的知覚が生じる」という点にあった。そしてそこから「2次元投影図を与えられたときに、その原刺激である実体を復元する機械」についての関心も生じたといえよう。けれどもそれ程知覚の原刺激への復元という性質が強いものであるならば、むしろ「何故平面の紙に描かれたキューブや逆理図形が刺激通りに偏平に見えないのか？」も問題とすべきではないだろうか。逆理図形の如きはそれを偏平な線の集合と見る限り、なんの問題も生じないのである。先にも触れたがグレゴリーは「絵画の知覚の2重性」としてカンヴァスに描かれた絵画を単に絵具をなすり付けられた2次元の画布と見ることも、画布の向こうに広がる3次元の画像の世界と見ることもできる、としているが、何故現実の前者が認められるよりも虚構の后者が知覚され易いのかについては充分な説明をしていない。原刺激の知覚をこのように考えるとすれば、それが立体的に知覚される場合であっても、原刺激への完全な復帰というようなことは求める方が無理であって、それができる限り原刺激に近付き得る条件について考察す

る方がより妥当な考え方ではないだろうか。そしてそれについては先ず3次元的実体の知覚過程において有効に作用している要因で、2次元的画像の知覚過程に欠けている要因を指摘することが必要であろう。そのときに第1に挙げられるのは「両眼視差」の要因である。画像にこの要因を加えるために工夫されたのがステレオ画像であるが、その要点は2つの異なる視点からの刺激を観察者に与えることである（もちろんそのときには2刺激間に対応が存在していることが必要であるが）。この対応のある2視点からの画像による情報が同時に活用されるとすれば、当然唯1視点からの知覚よりも精度の高い知覚が得られることを期待して良いであろう。ユレシュ (B. Julesz, 1971) は彼の創案した2次元的刺激であるランダムドットステレオグラムを使用して、極めて複雑な刺激図形によって明確な3次元知覚が生じることを実証した。これは先のグレゴリーの8つの観察条件において、両眼視条件による結果が単眼視条件によるよりもより正確でより安定していた事実を裏書きするものである。彼の観察について注目すべきことは多いが、(1)ドットパターンに線状の部分が全く存在しないのに、3次元的に落差のある領域間の境界部分にはっきりした輪郭線が知覚されること、(2)視差を有する2つのドット刺激の間の対応は必ずしも完全である必要はなく、70%近い対応がありさえすれば両刺激は融合した自然な奥行感が生じること、(3)ステレオ図形は左右の刺激を取り替えると奥行が反転することが知られているが、それは無意味図形の場合に限られ、意味を持った対象、例えば人の顔とか風景などでは反転が起こらないこと（筆者註：最も遠い水平線が一番手前に見えるようなことはない。そのためか、ユレシュの本には100葉近いステレオ図形が掲載されているが、実写は月の表面の写真だけである。このことは奥行知覚の成立についても空間的刺激の解析による情報だけでなく、意味情報が有効であることを示す）を示している。

ところで次に両眼視の条件下で、実際の対象を見る場合と静止ステレオ画像の場合の精度の差異は何によるのだろうか？ここに今まで全く問題にして来なかった観察者の位置の変化（観察者の身体的移動、頭の動き、意識

的または無意識的眼球運動)の要因を考えることが必要になるのである。さらに付け加えれば手許の物体を良く見ようとして廻して見る場合、また緩やかに動いている対象を観察する場合なども考えるべきである(運動視差要因)。言い換えれば視点の連続的变化による網膜投影像の連続的变化という刺激条件である。グREGORYは全く言及していないが、彼の観察条件には瞬間視のような時間の制限は行われていないし、顔面固定装置なども使用されていないから、実物観察の場合には網膜投影像は決して固定的ではなく、極く自然に動揺していたと考えられるのである。これに対してステレオ画像の観察の場合には、この仕組の特性上から両画面が融合して立体視が成立するためには、各眼球の視方向は極く狭い一定の範囲に限られてしまうし、画像そのものは動かないから投影像の変化はないものと考えて良い(註:ステレオ眼鏡を掛けてスクリーンに投影されたステレオ画像を見ながら顔を動かすと画像は揺れて見えることがあるが、小田(小田浩一、1985)が指摘しているように実際の運動視差による動きとは異質のものである)。ステレオ画像でない普通の画像の場合は、それが遠近法で描かれていても、観察者が動く場合も、対象を動かす場合もその投影像は網膜上の位置は変化してもその形状は一定不変であって、動きによる奥行感の変化はあり得ない。対象の観察中にその網膜投影像の形態が変化するか、それとも変化せずに固定的であるか、が実物観察と画像観察の場合の対象の知覚の精度の差異を生ずる原因なのである。別の言い方をすれば運動視差が認められるか、認められないかの相違である。(1)のステレオ画像を見る場合は両眼視差によって単眼による画像観察のときに倍する情報が利用できるとすれば、運動視差の存在するときにはさらにそれに数倍する量の情報の利用が期待できるのである。

以上により、2次元的刺激による3次元的知覚の成立に関しては意味情報とは別に両眼視差と運動視差の2つの要因が極めて重要な意味を有することが理解できたと思う。

4 運動視差要因についての観察と考察

以上の2つの要因の内、先ず運動視差の問題を取り上げることにしたい。今日では両眼視差要因を導入した立体映画や3-Dビデオのようなものも機会があれば鑑賞できるが、それらの装置を使用しない普通の映画やビデオの画像でもわれわれは殆ど支障なく立体的知覚を経験できるので、両者を切り離して見ることから始めるのが適当であると考えらる。

1 ワラッハ、オコーナーとナイサーの研究 (H. Wallach, D. N. O'Connell and U. Neisser, 1953)

任意に捻じ曲げた針金を垂直に立てたものをモーターでゆっくり回転させ、それを背後から照明した影絵を手前から観察する。これの静止した影絵、またはその幾場面かを時間をおいて次々に呈示するときには、被験者はその都度2次元面で不規則に曲がった線を見るだけである。ところが一度これが連続的に動き出すと、そのときには被験者はありありと回転する3次的に捻じ曲げられた針金を知覚することができるのである。

この有名な実験をホックバーグは彼の知覚心理学の教科書 (J. Hochberg, 1978) においてネッカーキューブの観察の次に取りあげ、幾つかの図形(ネッカーキューブも含まれている)を使用する仮現運動的手続による観察を紹介し、先に述べたゲシュタルト法則を量的に測定可能なかたちにするという主張に添って、次々に呈示されるパターンを継時的なものとして見るか、線の形を一定に保ったまま空間内で回転する1つの物体と見るか、の選択を迫られる場合、後者の方が遙かに単純であるので後者が選ばれる、というワラッハのゲシュタルト的見解に従っている。

グレゴリーも又彼のテキスト (1970) の先に引用した部分の少し後の章で針金の代りに自然の枯枝によるワラッハの観察を紹介し、彼の主張する

知覚の検索システムが影絵の形態的变化を、スクリーンの2次元平面上で生き物のようにうねうねと動く線と見るか、一定不変の形を保って3次的に回転をする枯枝と見るかの選択を行うとして、枯枝（物体）仮説が採られたときに後者の知覚が生じるとしている。彼は赤緑2光源による影絵の赤緑フィルターによるステレオ眼鏡によるネッカーキューブの観察も行い、この場合は物体仮説が断然優勢になると述べている。

ワラハの問題提起に対する2人の代表的知覚研究者の見解は非常に接近していて、敢えて相違点を求めればゲシュタルト説に好意的か否かという位になりそうである。そこで次に筆者の意見を述べることにしよう。

問題を考える前提として(1)影絵からその正しい静止時の3次元刺激形態を求める機能はなにか、が当面の課題であるとすれば、先ず静止時の刺激事態における知覚的検索の過程に立ち返って検討してみる。(2)それとは逆の方向で、どうして動かない影絵の観察のような迂遠な研究が始まったのかを反省してみるところから始めたい。静止した骨格正六面体のような単純な形態であれば、単眼観察であっても被験者は全く容易に立体的対象を知覚できることは自明である（グレゴリーの観察(1)）。しかし観察距離が遠いとか、場面が著しく暗いというような不利な条件に加えて、対象を見る視点が悪くて丁度図13のaのようであったとしたらどうであろうか？ 日常場面では、そのようなことは障害でもなんでもないのであって、観察者は僅かに身体を上下左右、さらに斜めに動かすことによって、容易に同図のb, c, dのような投影像を得て正しい対象判断に到達するに違いないのである。ところが先のグレゴリーの実物を観察する事態の説明には被験者の身体、頭部、眼球の意識的乃至無意識的動きについての記載は全くなかったのである。最初のコッフェルマンでは眼球を動かさないことが条件とされており、エーミスでは小さな覗き穴によって眼球の動きが封じられていたことを想起して欲しい。一連のこれらの3次元対象の観察実験で、観察の際の被験者の動きを「無視」または敢えて「抑制」しようとする傾向はこれらの研究の「盲点」であったというべきである。このような次第

になったことについては理由がないわけではなく、消極的理由としては、最近までは観察中の眼球の正確な測定が困難であったこと、まして眼球運動を制御するようなことは全く考えられなかったことである。次に積極的理由としては、すべての視知覚現象の起点は網膜像にあり、それが近似的には2次元平面と考えられることから、額面並行の2次元スクリーン上の画像を基本的な刺激条件と考えても大きな支障はあるまい、という考え方が支配的であったことによる。その基礎には眼球における水晶体と網膜の関係とカメラのレンズとフィルムの関係の類似から考えられた安易な視覚—カメラモデル説が強固に存在しており、比較的最近でもヨハンソン (G. Johansson, 1975) のような人が、自らの研究を紹介するに当って、先ずこの点について「網膜の真の機能は、カメラのように静止像をとらえることではなく、ビデオカメラのように光の流れを仲介することである」などと断わらなくてはならない状況なのである。又極めて素朴な意見として動く画像がこわれてしまい、不正確になる、という考え方があるが、これは動きの速さの違い、例えば見廻わしたり、歩き廻ったりする人間的な低速度と、機械による高速回転や高速移動などを区別せずに前者の生態的運動の効果を無視するものである。このような従来の研究者達の風潮を見れば、(2)の先ず平面のスクリーン上の動かない図形による観察から出発しようとする立場もあり得たかもしれない。もともとこの紙に描かれた図形の網膜投影像は観察者がどのように動いてもその網膜上の位置が移動するだけで、極めて安定した刺激と考えられたのであるから。しかしこの誤った出発によって知覚心理学は両眼視差と運動視差によって生じる興味ある多くの現象事実の大半を見落してしまい、そのために解決できない問題を表面的な経験説や不毛な意味説にしわ寄せすることにもなったのである。結論的にいえば本論の問題解決のためには、静止画像ではなく先ず運動画像による観察から出発し直す必要がある。

2 回転運動を導入した図形の観察

A ネッカーキューブを回転して見る (野澤, 1986)

目的：われわれの視知覚が1種の検索過程であるとするならば、先のコッフェルマンの図12のbの場合に視点を固定して一定方向から見ると、本来3次元的刺激であったものが2次元の正六角形に見えるというのではなく、もともと2次元的に見え易いというこの図形に、回転を予想させるような運動印象を付加することによって、3次元的知覚を生じさせることはできないだろうか？ というのが本観察の目的である。

観察：図32の(1), (2), (3)の3種の図形を用意する。各図形はそれぞれa, b, cの視点を少しずつ変化した投影図から成っている。これらの図形をパーソナルコンピュータのグラフィックスコマンドにより、それぞれ別々のスクリーンに割り当て、(1), (2), (3)の各々について適当な時間間隔をおいてa-b-a-cの順序で仮現運動を起こす最適の時間関係で反復してモ

図32 ネッカーキューブの回転観察

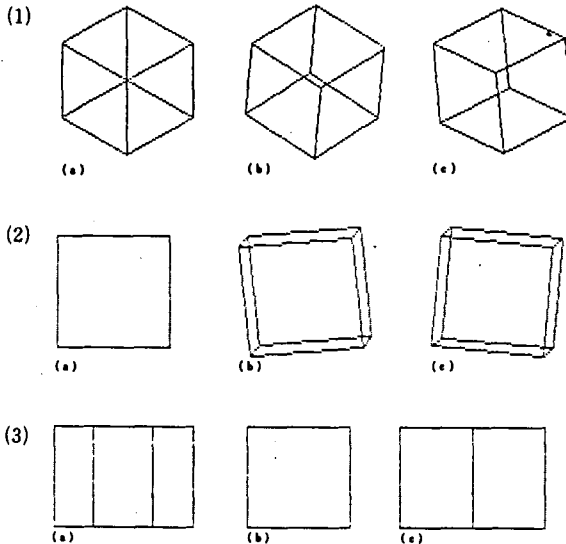
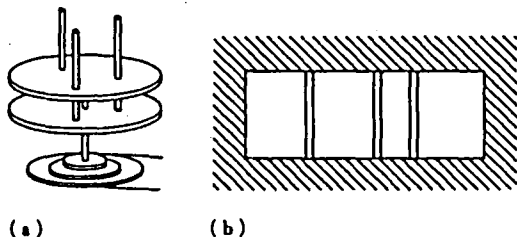


図33 回転する3本の円柱とその影絵 Metzgerの実験装置 (1953)

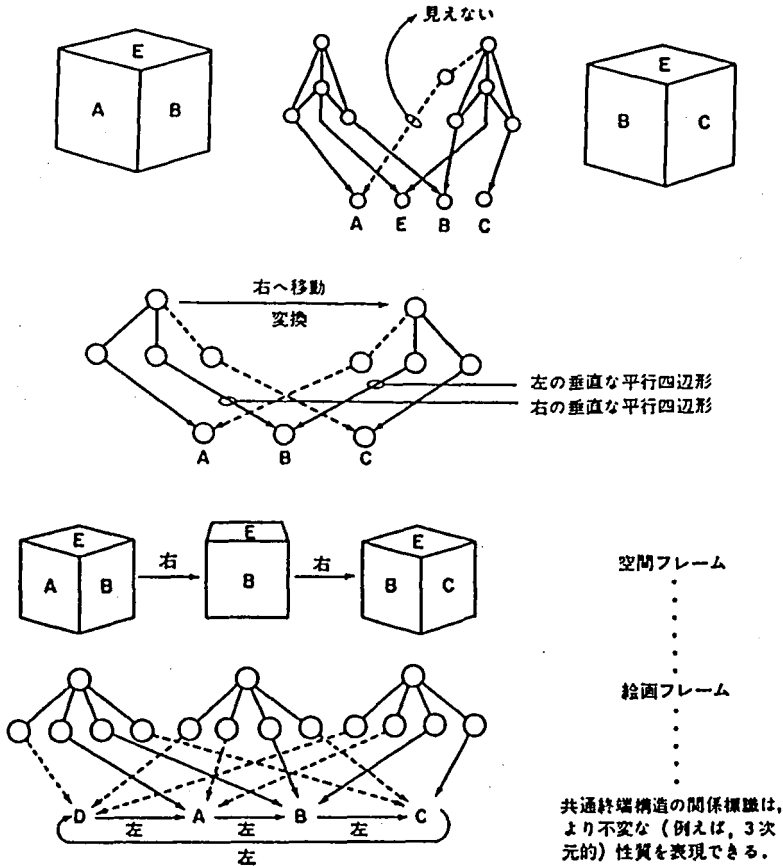


ニタレヴィのスクリーンに呈示する。

結果：いずれの場合も仮現運動が起こって各図形は円滑な連続的な形態の変化を生じる。(1)と(2)ではa図形はこれ1つだけが独立で呈示されれば、平面図形として認められるが、連続呈示のときには疑問の余地なく回転する立方体の1コマになってしまう。ここまでは容易に予想できるところであるが、(3)についてはa, b, cのどの図形を取りあげてもその1つ1つは2次元図形であって3次元的に見える要因を含んでいないように考えられる。確かに多くの観察者は最初は長方形の伸縮の印象を持ち易いが、縦線の数の増減に気付くと、これが不自然で処理に困難を感じる。ところがやがて殆どの観察者が真正面から見た立方体の垂直軸を中心にした回転運動を認めるようになるのである。その場合に縦線の数が減るのは、線が消失するのではなく、他の線の陰に隠されるのだ、といえる。この(3)の興味ある現象については3画面の構成では仮現運動を起こす回転角が 22.5° で多少無理があるので、12画面によるより観察の容易なものに改めたところ、多少の時間を必要とするが観察者全員がこの3次元的回転を認めた。

考察：このように回転する物体の2次元投影像が元の3次元的回転の知覚を生じる例は既にメツガーによって報告(W. Metzger, 1953)されている。彼はゆっくり回転するターンテーブルに3本の柱を垂直に立てたものを並行光線で照明したときの影絵を観察すると(図33)、各柱の運動方向や速度はそれぞれの柱の位置によって複雑に変化するのに、観察者ははっきりと3次元的回転を知覚できることを確かめている。但しこの回転の方向は

図34 ミンスキーによる立体像の追跡のフレームによる説明 (ミンスキー, 1972)

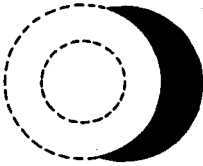


ジンスターデンの風車 (Sinsteden's windmill) やブラウン管のリサージュ運動の方向のように随時反転を起こす。彼は円板上にランダムに立てられた十数本の柱の時間順の20通りの投影図の写真を示して、これを静止状態で呈示するときは全く理解不能であるが、仮現運動的に呈示すれば、柱の数などの細部は分らなくても回転運動の印象は直ちに成立する、と述べている。彼は柱の数からいって個々の対応は取り難く、遠近法的解析なども困難であろうとしているが、むしろ数が多い方が運動の軌道をつかみ易いの

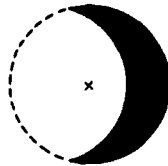
ではないか。同一円周上であれば3点が決まれば中心が定まると思われるから、立方体の場合、4本の稜線が決まれば回転の知覚には充分なのではないだろうか。

MITの研究を支持してフレーム理論を展開したミンスキー (M. Minsky, 1972) は「立方体の像の追跡」を問題にして、左45度から俯瞰された立方体が正面を経て右45度に移る過程を論じて (図34)、最初正面から見えていたA、B面の内のA面が見えなくなって、新しくC面が見えて来たときに、これを機械にどのように対処させるかを考えている。当然Aに関する知識を消して、Bを計算し直し、さらにCの記述を計算するというような方策は取られないのであって、左の図で「左の面」という終端であったAに代って、右の図ではBが第2立方体フレームの「左の面」という終端を割り当てられ、Aはその新しい立方体の「隠された面」という終端になる、という仕方で包括的フレームシステムを作ることができる、としている。ここで彼が取りあげているのは背面が見えない不透明な立体の場合で、骨格立方体やメツガーの回転する柱群のように背面の動きも見ることのできる場合とは少し事情が違うが、筆者が提議したいのは、図34のように3つの異なる視点から見られた場面を先ず3つの別々のフレームとしてとらえ、次にそれらの連関を考えようとする立場と、最初からBの平行四辺形を1つの全体としてとらえ、それが次第に変形して正方形になり、もう1度平行四辺形に戻ってゆく経過を辿ることによって3次元的な変化をキャッチしようとする立場のどちらが知覚のシュミレーションとして、より効率的であろうか、という点である。前者のミンスキーのような考え方について、既に1953年にメツガーは「運動をあたかも静止状態の継起であるかのように考える立場は、正にアキレスがカメに追い付けないことを証明したと信じていた昔の論理学者と同断である」として退け、問題の核心は「運動そのものにある」と断じている。しかしそれだけでは問題は依然としてとらえどころがないので、筆者のネッカーキューブを廻して見るという試みは2次元投影像の複雑多岐な動きの中から、単純で規則的な、或いは統一的

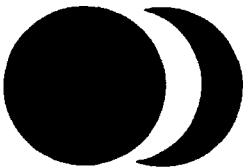
図35 鷺見 (1982) の円盤の回転による錯視的輪郭の観察刺激図形



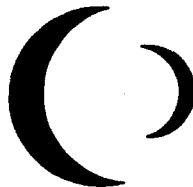
- (a) 黒色円の中心は小点線円の円周上を移動する。
大点線円が見えてくる。



- (b) 黒色円の回転の中心は×印。白い円が見えてくる。



- (c) 中心は白い三日月をつくる白円。黒白黒の3円が立体的に回転する。



- (d) (b)と同じことが大小の三日月で起り、両円の三次元的隔りが生じ図形が浮き出してくる。

な基準、具体的にいえば3次元空間における回転軸を検出する機能をわれわれが持っているのではないか、という仮説を検証しようとするものであり、それはある程度証明されたといえよう。

B 2次元平面における円運動とその連鎖運動—3次元の対象の生起

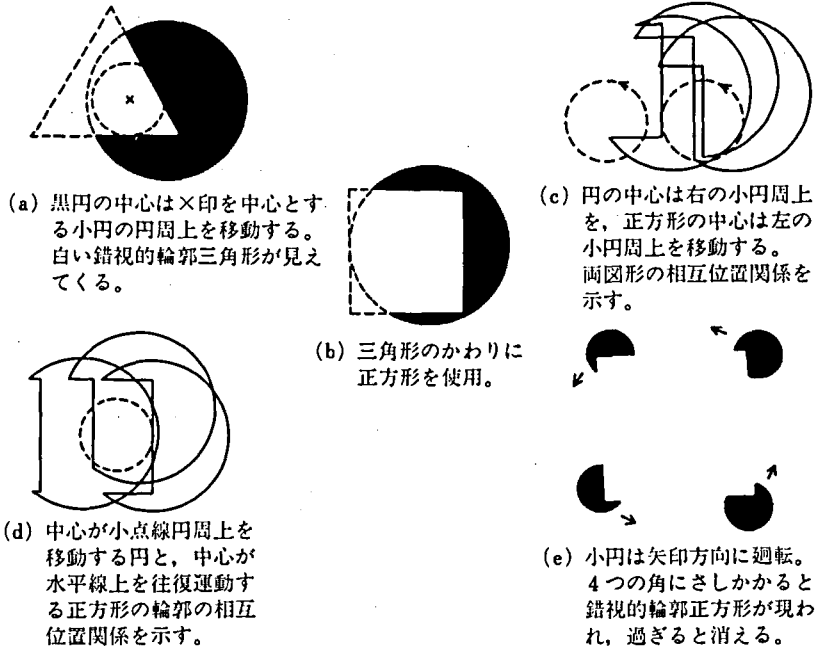
目的：前節では画面のY軸（垂直）を中心として廻る回転による3次元の知覚の生起を取りあげたが、本節ではZ軸（前後軸）を中心とする場合について観察を行う。メテリ（F. Metelli, 1942）の観察を発展させて鷺見（鷺見成正, 1982）は額面平行面で緩やかに回転する円板に黒色の三日月形を描いたものにより、次のような観察を報告している。図35のaの三日月形の内側の弧がこの回転円板と同心円の円周と合致するときには中央に静止した白色円が現われ、その背後を黒色円が回っているように見える。次に図bのように図形の外側の弧を同心円の円周に合致させると今度は静

止した黒色円を被い隠すようにして白色円が回転しているように見える。刺激は1枚の平面の円板に過ぎないのにaでは一その背後に一とか、bでは一被い隠す一とかいうのは明らかにそこに前後関係が認められるということである。2枚の円板の相互の関係についていえば、常に被い隠す白が前になるが、その後ろを通る黒色円板のさらに背後に一面の白い背景が広がっているわけで、この観察場面は3相の奥行構造を持つことになる。そして一番前の白色円板と三番目の背景の間の奥行差が錯視的輪郭線となって現われるのである。この観察を実際の回転円板で行うときには観察者は容易に最初から回転運動の中心を知覚できるけれども、これをCRTディスプレイ上で行うときには、回転運動がはっきり知覚できない内は一番前の円板は知覚されず、錯視的輪郭線も現われない。この最前部の円板の円周は黒い三日月の外周または内周の回転によって与えられるので、円周全体が同時に示されるわけではないのに、1度回転が知覚されさえすれば、回転が止まらない限りははっきり全円周が知覚されるのである。この事例も前項と同様に2次元刺激図形の運動によって奥行が成立し、それに伴って輪郭や表面の知覚が成立することを示すものである。

次に図35のcでは回転の中心は中間の白い三日月を形成する円の中心で左の全円と右の黒い三日月はそれぞれ回転円板の中心から左右に僅かずつ離れた点を中心に描かれているものとする。この円板をゆっくり回転させると左側の黒い円板を前面とする立体的な糸巻が揺れながら回転するように見える。さらに同図のdでは前方の白い小円板の背後を回る黒い小円板と、後方の白い大円板の背後を回る黒い大円板が明確に立体的に知覚される。a、bの場合は回転の中心は1個であるが、c、dでは2又は3個になるので2つ又は3つの中心を結ぶ回転軸が問題になり、3次元空間内を動き回るこの回転軸を廻る対象の知覚が認められるのである。

この種の観察図形は回転円板上に作図するのが最も簡便であるが、円以外の図形を使用し難い欠点がある。そこで筆者はコンピュータグラフィックスによってディスプレイ上に各種の図形を回転させることを試みた。図

図36 円以外の図形も含んだ回転刺激布置



36のaとbは図35のaの事態を正方形と三角形で試みたもの、cは円と正方形の中心がそれぞれ画面の中心を廻るサイクロイド曲線の上を辿る場合であり、dはそのような円に対して正方形は水平往復運動をする場合である。いずれの場合も運動の開始と同時に2つの図形がそれぞれ背景から浮き出て、且つ図形相互の間にも奥行の違いが現われ、それぞれについて錯視的輪郭が知覚されるのである。

最後のeでは同一円周上にある4個の小円が円周上をゆっくり回転するのだが、背景に隠された正方形の4隅の位置に差し掛かると円はあたかもそれが白い正方形の背後を通過するように一時的に円の部分が欠けて、通り過ぎるとまた復元するようになっている。すると円がその4隅を通過するときだけ正方形の錯視的輪郭図形が出現してはまた消失する。この図

形布置だと小円を4隅の位置に重ねて静止させたときには、錯視的輪郭効果はあまり顕著ではなく、運動が加わるとにわかに見易くなるのである。

錯視的輪郭現象は前号の冒頭に述べたようにカニッツァ（1955）が取りあげて以来30年以上も経つのに最近まで多数の研究者達の関心を集めながら、未だ定説を得るに至っていない興味ある現象である（野澤，1990）。筆者は「明るさの対比」とか「側抑制」，あるいは「奥行効果」のように単一要因によって説明するのは困難で、複数要因によって生じる「図一地分疑」現象を介して説明されるのではないかと考えるものであるが、その場合にここに示したような「運動の要因」が極めて重要且つ強力な役割を果たすことは否定できないであろう。

最後に2“3次元的に知覚される2次元輪郭線刺激図形の観察”で事例として挙げたネッカーキューブや三角積木図形の輪郭線の意味についても述べておく必要がある。その場合に問題とされた細い黒い線刺激は、通常錯視的輪郭線と対照する意味で「実輪郭」と考えられている。しかし最初に触れたようにシューマンやコフカでは領域間の色彩や反射率の差異による「実輪郭」ではなく、幅を持たない線でありながら実際の輪郭線と類似の機能を持つ存在として区別して考えられている。それはむしろ第1部の図4のピカソの作例における多面的な性質の差異を示す境界としての輪郭線の機能を有する存在と云うべきである。もし、そこには既に絵画を観る人達の了解が含まれているという点についての反省なしに心理学者達がこれらの線を単なる周辺受容器に与えられる刺激として扱って来たとすれば、それは正しくないと云わねばならない。ということは、形態視研究の出発点として、自明のことのようにして黒色の細い輪郭線刺激を取り上げるのは誤りで、シューマンの反射率差のある境界が何故輪郭線の知覚を生じるのか、を問題にするところから出発すべきなのである。そしてこのことは色彩や反射率の差異以外の差異によっても輪郭の機能が生じる可能性にも注目すべきことを教えるものでもある。その実例はネッカーキューブを回転させた観察における3次元的表面の発生によって、さらには鷲見の回

転円盤事態の CRT 上の追試観察における錯視的輪郭とみかけの奥行の発生によっても示されていると云えるが、紙数の関係で今後の問題とせざるを得ない。

3 運動要因についての考察

前項では僅か2つしか観察例を挙げられなかったが、2次元刺激図形が運動によって立ち上がって3次元的知覚を生じる現象は、最初に取りあげた静止図形による場合よりも、遙かに確実でしかも容易であることを示すことができたと確信する。その理由は殆どの動物が名前通りに環境の中で動き廻りながら生活しているものであり、その視知覚器官は三脚に据えられたカメラのようにワンショットで得られた固定的現象で足れりとする存在ではないからである。この間の事情はギブソン (J. J. Gibson, 1979), ヨハンソン (G. Johansson, 1975), 宮崎清孝・上野直樹 (1985) らによつて的確に指摘されているところであるが、実際の具体的実験や観察の事態では、実験条件の制御や設定の困難もあり、さらに従来の方先ず静止2次元条件からという誤った考え方を払拭しきれないものが少なくないのが実状である。ところで運動条件を導入するに当っては、前項で行ったような回転運動が最も取り扱い易く、しかも条件の制御を厳密に行うことができるようである。殊にモーターのような物理的運動によるときは直線運動の速度制御でさえ非常に難しいと云わねばならない。その点ではコンピュータによる CRT 画面上での運動制御ははるかに容易であるから、今後は回転運動軌道に止まらず、より多種類の運動の側面について観察を進めたい。特に今後は前後軸 (Z 軸) 上の前進後退に伴う投影像の変化を問題にする必要があるであろう。

5 結論的考察

本稿の目的は視知覚心理学における輪郭線の取り扱いについて再検討を

試みることにあり、そのために先ず視覚世界の観察者の先達である画家の中で輪郭線の問題に関係が深く、且つ特徴的だと思われる人達の仕事を辿るところから始めた。技法の上ではスーラは全く輪郭線を描かず、逆にルオーは実世界には存在しない対象を取り巻く黒々とした輪郭線を描き込むことによって、共に独自の絵画世界を創り出しているが、いずれも画家としての体験から心理学的輪郭線の意味を充分に活かして成果を挙げたものといえる。

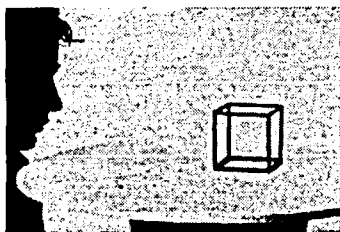
知覚心理学においては、シューマンは反射率の差のある2領域間の境界線を「輪郭線」(実輪郭)と呼び、大正方形を縦横の線で分割して生じた小正方形群(図3)の個々の図形の境界を示す細い線のようなものとは区別している。メツガーは蜂の巣模様の境界線はそれぞれの六角形の輪郭が二重に重なったものとして解されるとしている。この後者の場合の細い線の境界線が心理的には真の「輪郭線」と殆ど同じ機能を持つところからカニッツァなどは錯視的輪郭に対して、これを「実輪郭」と呼んでいる。ゲシュタルト心理学者やメツガー達の云う囲まれる領域と囲む領域の境界線という意味での輪郭である。メツガーなどの挿絵の囲まれる領域と囲む領域には通常反射率の差は存在しない。存在するのは「囲む」、「囲まれる」という心理的な差異である。つまり反射率の差に限らず、隣接する2領域間になんらかの心理的な質的差異がありさえすれば、その境界には輪郭が知覚されるのであるといえる。単色の輪郭線画を描く人達は、この差のある2領域間の境界線を具象化して対象物の周囲を取り巻く黒い細い線を描き込むことによって、そのままでは表現できない反射率の差、色彩の差、材質の差異、奥行の差など、ときには動くか動かないかの差までも唯1本の線で表現する(前回の論文の図4)。とはいえ、やはりそれは不完全、不十分にしか示すことができないことはいうまでもない。製作者はこの線は色の差の境界を示し、こちらの線は奥行差を表わす心算で絵を描き、それが鑑賞者によってそのように理解されることを期待しているのだが、多くの場合永年培われた一種の共感によって、その期待は適えられて来た。この画

家と鑑賞者との共感性を心理学者は「経験効果」とか「意味情報」などと云っているが、画家達は自分達の作品の不完全性（対象世界は3次元で運動するのに画像は2次元で動かすことができない）を承知の上で、充分努力を尽した（例えば図30のマグリットの絵のような紛らわしい構図は避けるなど）上で鑑賞者の了解を期待している、といえよう。この点について実験心理学者が先に指摘した意味での共感性については殆ど配慮せず、極めて多義的になり易い図形を呈示している嫌いがあることは十分に反省する必要があるのではないか。

本論では以上を考慮した上で心理学における「上に述べた欠点を持った2次元刺激からどのようにして3次元知覚が生じるか」という問題について、比較的単純な2次元的輪郭線の集合から3次元知覚が生じるというネッカーキューブ、エーミスの椅子、ベンローズの図形、MITの積木パターンについて考察を試みた。4つの観察実験に共通する問題点として刺激条件については、いずれの研究者も行動主義心理学的立場から遠刺激ではなく、近刺激網膜像と相似であると考えられるところから、額面平行面に対する遠い刺激の2次元投影像を問題にしている。この場合一部には両眼視差を配慮してステレオ画像を左右別々に与えるものもあるが、その場合も含めてその刺激図形は1視点から眺められた固定像であり、さらにそれが視野を制限したり、小さな覗き穴を用いたりして、意図的にそれを強制していることは極めて問題である。

被験者の反応については、求められる反応が単純明快であることは必要ではあるが、単に「3次元に見えたか?」、「隣接する2つ乃至は3つの面が同一物体に属するか否か?」を反応の基準として、実際にはその際の2次元刺激からその投影像の元の3次元の実体像を復元する反応が生じるかのように結論を導いてしまうようなことは問題である。現象観察の結果というものは、一見して結果のすべてが了解されたような印象を観察者に与え、その上にデモンストレーションの場面に同時に臨んだ観察者の間に一種の共感が拡がることから、ドラスティックな現象の1側面、例えば現

図37 頭や目の動きは制約されていない



両目で立方体の実物を見る

象的3次元性からもっと立ち入った、実際には十分に確かめられていない原刺激（正六面体）の復元が結論されてしまったりすることになる。ネッカーキューブでも積木でも、確かに実験者は予め、極めて規則的な原刺激を想定し、その正確な2次元投影像を用意しているのであるが、既に図23で見たよ

うに1つの投影像について無数の原刺激が存在し得るのであって、問題は現在の投影像によって如何なる刺激が原刺激として認められ易いか？ またそれは何故か？ ということではなければならない。その場合に実験者が被験者に求める反応は、例えばグレゴリーが行ったように、3次元に見える図形の前面と後面の大きさの比較のようなあいまい性の少ない問い方ではなければならない。

次に筆者はグレゴリーの両眼視で骨格六面体の実物を視る観察(5), (6) (図37)において、観察者の身体、頭、眼の運動が可能な状況であるのに、グレゴリーがそれらの運動が観察に及ぼす効果について全く考察を加えていないことを指摘した。彼はその少し後の章でネッカーキューブを回転させると立体感が容易に現われることを述べているのだから、これは全く不可解である。対象を僅かに回転させるか、頭を僅かに動かすことによって図23の視点を固定したときに考えられた無数の等価な形態の可能性は解消され、知覚の精度が高くなることが期待されるわけで、日常生活ではこれが無意識に行われているのは周知のことである。最近になって漸く「頭部の前後運動に伴う刺激の放射流動からの奥行知覚」(例えば桜井, 1989) のような研究が出て来はじめたようであるが、上述のような必要な運動要因を見落したり、敢えて無視したりする傾向は実験心理学の歴史が単純に思われる2次元事態からより複雑な3次元事態へ、確実な静止事態からより流動的な運動事態へ、というような伝統的研究態度から未だ脱却できない

でいる姿を示しているものと考えられる。

そしてこの傾向が最新の研究の方向を目指す認知科学における MIT の積木事態の人工知能的アプローチにも未だ根強く残っているように思われてならない。確かにわれわれは図27の積木ブロック群を一瞥しただけで、グッツマンの意図した積木群の実体的状況をかなり正確に把握できるに違いない。しかしその理解は射影幾何学だけでは殆ど不可能で、有効に働いているのは「積木体験」とでもいえるような意味情報によるのではないだろうか。図31のワルツのラベル付けによって示されるのは実は隣接する幾つかの面が同一物体に所属するのか否か？ ということに過ぎず、従ってこれを直方体の挿絵と切り離して、ラベルだけからイメージアップするとすればトポロジ的な塊の連続、不連続のようなものに過ぎず、方向や距離のような空間情報さえ不明確なままなのではないだろうか？ 図31で最も有効に働いているのは3万年も前から人類が体験を通して獲得して来た絵画理解の意味情報であって、それに比べると MIT 研究の成果は未だ小さなものといわざるを得ない。

これを要するにやはり1つの固定視点からの平面投影像からその原刺激実体像を復元することは極めて困難であり、方法としては至って非能率的であると考えられる。これを直ちに意味情報に転稼するのではなく、3次元対象を視点を変えて見るという意味で運動する対象の2次元投影像の変化による対象の知覚を調べることによって画像知覚の問題を掘り下げるべきであろう。

その第一は3つの異なる視点から見たネッカーキューブの3枚の2次元投影像を、丁度仮現運動を起こすような適当な時間間隔で反復提示して観察するときは、疑う余地なく往復回転する3次元立方体の運動が知覚された。使用した投影図は遠近法を無視したもので、厳密には実物の回転する投影像とは一致しない筈であるが、知覚上では一切矛盾は認められなかった。この観察において図32のcは被験者の眼の高さの位置に真直ぐ置いた立方体をその中心を貫くY軸について22.5度ずつ回転する場合で投影

像は3枚とも単独で呈示すれば平面にしか認められない刺激であるが、この場合にも容易に3次元運動が生じることが確かめられ、この現象の理解のためには、呈示される個々の画像の合成というようなことではなく、2次元投影像の連続的変化が3次元空間における回転軸を検出する過程を生じるように考えられた。従って人工知能による2次元図形の理解も異なる視点による幾つか画像による方法を考えるべきではないか？。

第二にはその回転の中心検出過程を明らかにするために、メテーリ(1942)の回転円板による観察をコンピュータディスプレイによって試みた。回転する円周上に中心を持つ円が元の中心に一致する第二の円を遮蔽する場合、或いは逆に遮蔽される場合、いずれの場合とも不完全な円周が補完されて錯視的輪郭を有する完全な円図形の知覚が得られる結果で、平面の刺激でありながら、遮蔽する或いは遮蔽されるという見掛け上の奥行感が生じる。回転する円を増して2つの中心を作るとその2つの中心を連ねる中心軸が知覚され、大きく揺れ動く深い奥行を持つ回転が認められる。さらに回転する構造は同じであるが、円以外の図形の回転による錯視的輪郭の形成、奥行感の発生が確かめられた。何れの場合も運動を通じて刺激としては呈示されていない中心、或いは中心軸が発生する過程が注目される。

最後に以上の観察と考察を通じて視覚世界において対象物を正確に知覚するためには観察者の身体的移動、頭部や眼球の探索的運動、無意識的運動さらには手による対象物のゆさぶりや、対象の側の小さな動きなどの運動視差情報を作り出す過程の検討が今後は益々行われる必要があり、殊に最近の液晶ステレオ装置を取り入れることによって運動視差と両眼視差の要因を同時に操作できれば研究はさらに進むに違いない。その際に観察者が主体的に動く場合とむしろ受動的に動かされる場合とで両眼視差が同一であってもその情報量に差異があるか否かなどは極めて興味ある問題になるに違いない。そしてそれは今後の影像表現の手法にも関連して来ることになるだろう。

参考文献

- Ames, A., Jr. 1946. Binocular vision as affected by relations between uniocular stimulus-patterns in commonplace environments. *Amer. J. Psychol.* 59, pp. 333-357.
- Cantril, H. 1950. *The why of man's experience*. Macmillan Co. 安田三郎訳 1957. 人間経験の謎 創元社
- Ehrenfels, C. von. 1890. Über Gestaltqualitäten.
- Gelb, A. und Granit, R. 1923. Die Bedeutung von "Figur" und "Grund" für die Farbenschwelle. *Zts f. Psych.*, 93, pp. 83-118.
- Gibson, J. J. 1979. *The ecological approach to visual perception.*, Houghton Mifflin.
- Gottschaldt, K. 1929. Über den Einfluss der Erfahrung auf die Wahrnehmung von Figuren. II. *Psychol. Forsch.* 12. pp. 1-87.
- Gregory, R. 1963. Distortion of visual space as inappropriate constancy scaling. *Nature*, 199, pp. 678~.
- Gregory, R. 1970. *The intelligent eye*. Weidenfeld and Nicolson. 金子隆芳訳 (1972) インテリジェント・アイ 見ることの科学 みすず書房
- Guzman, A. 1969. *Computer recognition of three-dimensional objects in visual scene* MIT, Cambridge Mass.
- Hochberg, J. and Brooks, V. 1960. The psychophysics of form. Reversible perspective drawings of spatial objects. *Amer. J. Psychol.*, 73, pp. 337-354.
- Hochberg, J. 1978. *Perception* 2nd ed., Prentice Hall, Inc. 上村保子訳 1981 知覚 岩波書店
- Ittelson, W. H. 1960. *Visual space perception.*, Springer.
- Ittelson, W. H. and Ames, A. Jr. 1968. *The Ames demonstrations in perception.*, Hafner.
- Johansson, G. 1975. *Visual motion perception.*, Scientific Amer. 河内十郎訳 1975. 人は動くものをどう見る 別冊サイエンス イメージの世界 日本経済新聞社
- Julesz, B. 1971. *Foundations of Cyclopean perception.*, Univ. of Chicago Press.
- Jung, R. und Baumgartner, G. 1965. Neuronenphysiologie der visuellen und paravisuellen Rindenfelder. *Proceedings of 8th I.C. of Neurology.*, Vol. 3, pp. 43-75.
- Koffka, K. 1922. Perception, an introduction to the Gestalt theory. *Psych. Bull.* 19, pp. 531-585.
- Koffka, K. 1935. *Principles of Gestalt psychology.*, Kegan Paul. 鈴木正 訳 1988 ゲシュタルト心理学の原理 福村出版
- Köhler, W. 1920. *Die Physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand.*, Erlangen. 吉岡修一郎訳 1935. ゲシュタルトの根本原理 内田老鶴園
- Kopfermann, H. 1930. Psychologische Untersuchungen über die Wirkung zweidimensionaler darstellungen körperliche Gebilde., *Psychol. Forsch.*, 13, pp. 293-364.

- Lindsay, H. and Norman, D. A. 1977. Human information processing. An introduction to psychology. I 中溝・箱田・近藤訳 1983. 情報処理心理学入門 サイエンス社
- Mach, E. 1875. Die Analyse der Empfindungen und das Verhältniss des Physischen zum Psychischen., Verlag von Gustav Fischer. 須藤・広松訳 1971 感覚の分析 法政大学出版局
- Metzger, W. 1953. Gesetze des Sehens. Waldemar Klammer. 盛永四郎訳 1968. 視覚の法則 岩波書店
- Miller, G. E. 1970. Psychology., 戸田・新田訳 1971 ミラーの心理学 白楊社
- Minsky, M. 1972. A framework for representing knowledge. in Winston, P. H. 1975. 宮崎清孝・上野直樹 1985. 視点 認知科学選書 1 東京大学出版会
- 野澤 1977. 図形の場の強さの測定による“主観的輪郭線”の実験的研究, 聖心女子大学論叢50集, pp. 141-180.
- 野澤 1986. パソコン BASIC 心理学実験 東海大学出版会
- 野澤 1990. 錯視的輪郭現象とその理論 日本心理学会54回大会報告, S 21.
- 小田浩一 1985. ランダムドットステレオグラム. 中谷和夫: 心理学実験入門, プレーン出版, pp. 134-147.
- Penrose, L. S. and Penrose, R. 1958. Impossible objects : A special type of visual illusion., Brit. J. Psychol., 49, pp. 31-33.
- Ratcliff, F. 1972. Contour and contrast., Scientific American. 船津孝行訳 1975 輪郭とコントラスト 別冊サイエンス イメージの世界, pp. 24-36.
- Rubin, E. 1975. Synsoplevede Figurer. Studier i psykologisk analyse. Kobenhavn og Kristinia Gyldendalske.
- Rignano, E. 1928. Problème de psychologie et de morale. Alcan.
- Schumann, F. 1990. Beiträge zur Analyse der Gesichtswahrnehmungen. Erste Abhandlung, Zts f. Psychol. und Physiol., 23, pp. 1 -32. Translated by Hogg, A. 1987. Contribution to the analysis of visual perception in Petry, s. and Meyer, G. E. ed. 1987 : The perception of illusory contour.
- Shirai, Y. 1973. Analyzing intensity arrays using knowledge about scenes. in Winston, P. H. 1975.
- 鸛見成正 1982. 知覚の完結性における運動の効果 日本心理学会46回大会報告 p. 93.
- Wallach, H., O'Connell, D. N. and Neisser, U. 1953. The memory effect of visual perception of three dimensional form., J. Exp. Psychol. 45, pp. 360-368.
- Waltz, D. 1972. Understanding line drawings of scenes with shadows. in Winston, P. H. 1975.
- Wertheimer, Max, 1912. Experimentelle Studien über das sehen von Bewegung. Zts. f Psychol. 61, pp. 161-265.
- Wertheimer, Max 1923. Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. Psychol.

Forsch 4, pp. 301-350.

Winston, P. H. 1970. Learning structural descriptions from examples. in Winston, P. H. 1975.

Winston, P. H. 1975. The psychology of computer vision. McGraw-Hill. 白井・杉原

訳 1989 コンピュータビジョンの心理 産業図書

横瀬善正 1955. 視覚の心理学 共立出版

前号の正誤表

69頁10行目	物理的明度→反射率
69頁20行目	物理的に明度差→反射率に差異
70頁13行目	単色→明暗
72頁2行目	図1→図2
75頁図4	“髪を結う女” → “髪を結う”
76頁13行目	明度→明るさの違い
78頁22行目	お腕→お椀