

# 奥行知覚研究の動向—1984—

## A Survey of Papers on the Visual Depth Perception in 1984

林 部 敬 吉  
Keikichi HAYASHIBE

(Received Oct. 14, 1985)

### 目 次

- I はじめに
- II 奥行知覚の手がかり分析
  - (1) 眼球調節作用
  - (2) 運動視差
- III 実 体 鏡 視
  - (1) 実体鏡視と両眼視融合閾
  - (2) 両眼非対応の検出過程
  - (3) 実体鏡視と凶形特性
  - (4) induced effect
  - (5) 実体鏡視と輻輳
  - (6) ランダム・ドット・ステレオグラムの学習効果
  - (7) 実体鏡視力と両眼間転移
  - (8) 実体鏡視における形と奥行の知覚過程
  - (9) 実体鏡視の発達
  - (10) その他の研究
- IV 大きさ—距離関係
  - (1) 大きさ, 距離知覚と経験効果
- V 運動の奥行視
  - (1) 運動の奥行効果 (kinetic depth effect)
  - (2) Pulfrich 現象
  - (3) 立体的運動効果 (stereokinetic effect)
  - (4) ストロボ的な仮現運動
  - (5) その他の研究
- VI 平面画像の奥行視
  - (1) perspective theory と幾何学的錯視
  - (2) 主観的輪郭
  - (3) 平面画像の奥行視の成立要因
  - (4) 発達的研究
  - (5) 交差文化的研究
- VII ヒトの乳児及び動物を対象とした奥行知覚研究
  - (1) 視覚的断崖法及び視覚的陥穴法による研究

- (2) 動物の実体鏡視力
- (3) ヒトの乳児の奥行視能力
- (4) その他の研究
- VII その他の奥行知覚の研究
- IX お わ り に

## I. は じ め に

本報には、奥行知覚に関連した論文を、Psychological Abstract 誌の1984年版から抽出し、目次に示した各領域に分類して紹介してある。なお、文献抽出に際しては、DIALOG の文献検索システムを利用し、Distance perception, Depth perception, Stereoscopic vision をキー・ワードとして検索した。

## II. 奥行知覚の手がかり分析

### (1) 眼球調節作用

Iida (20) はレーザー光を応用したオプトメータを用い、奥行手がかり縮減下における眼球調節作用について測定した。それによると、奥行手がかりが十分に存在している条件下では、眼球調節作用は対象の明るさが減少するに伴って増大すること、しかし等質視野（ガンツフェルト）のような奥行手がかりが全く存在しない条件下では、対象の明るさに関係なく比較的高い値を恒常的にとること、さらに、暗黒視野と等質視野とでは眼球調節作用に有意な差は生じないことが明らかにされた。これらの結果から、night myopia は周囲の明るさが減少することに伴う奥行手がかりの縮減が原因して生ずると考えられる。

### (2) 運動視差

暗視野のなかで静止した対象を頭部を左右に移動させながら凝視すると、頭部運動に伴って対象が視かけ上運動するように見える。Gogel (1982) は、この種の視かけの運動が何故生起するのか検討した。それによると、図1—(a), (b)に示されたように、静止した小光点（距離

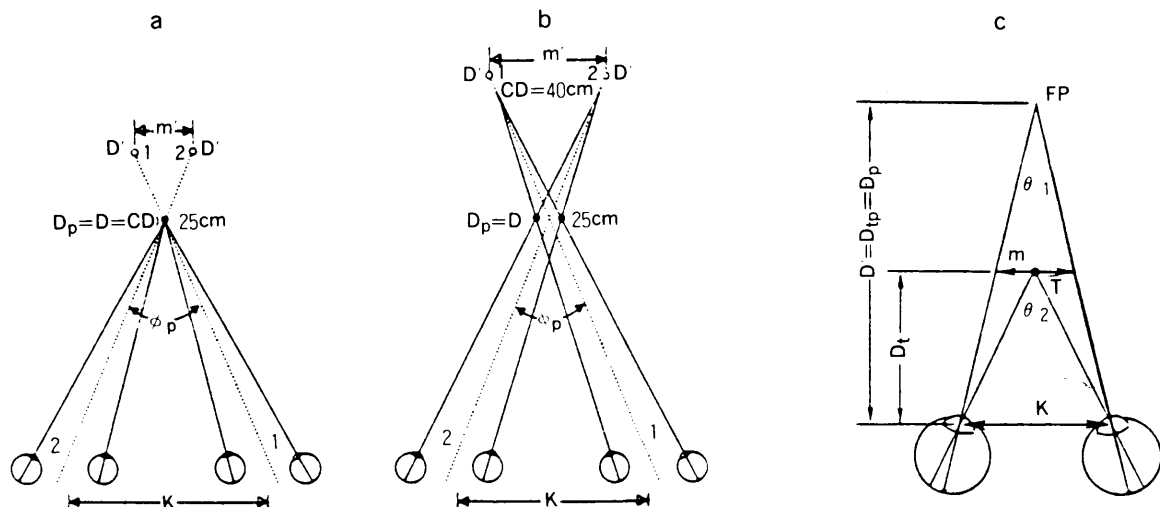


図1 頭部運動に伴って生起する retinal motion を説明するモデル。  
(Gogel, 1982 および Shebliske & Proffitt 1983 より作成)

25cm) を凝視, 頭部を1の位置から2のそれへと運動させる時, 凝視点を中心として回転運動が生ずる。この場合, 両眼融合のための輻輳距離は, 凝視点までの距離 (25cm) におくことも可能であるし (図中, a), またプリズムなどを用いることによって40cmの輻輳距離をとらせることも可能である (図中, b: この場合, 小光点を図のように2点提示し融合させる)。この時の対象までの視かけの距離は対象までの実際の距離より長くなる。その結果, 網膜上では対象の移動が生じていないのに, 頭部運動に伴って視かけの運動(m')が生起する。Gogelによれば, この視かけの運動の大きさは仮定されたpivot点に対する視かけの距離の比で決まる (apparent distance/pivot distance 仮説)。

頭部運動に伴って生ずる静止対象についてのこの種の視かけの運動が対象までの距離を見誤ることによるとするGogelの考え方に対して, Shebliske & Profitt (44) は頭部運動に伴って生起する視かけの運動には2種類あることを指摘して批判する。その1は, 視かけの位置変化を伴う運動で, 観察者はその位置の変化を指差などによって指し示すことができる (non paradoxical motion)。その2は, 視かけの位置変化を伴わない運動で, これは頭部運動に伴った網膜像運動 (図1—c中のm) を直接知覚することによって起る (paradoxical retinal motion)。Shebliskeらによれば, 頭部運動に伴って生起する静止対象の視かけの運動は, この paradoxical retinal motion によるものとされる。両仮説をめぐって論争が展開されている。

### Ⅲ. 実体鏡視

#### (1) 実体鏡視と両眼視融合閾

実体鏡視において二重像視がはじまる視差 (disparity) を diplopia 閾といい, 交叉, 非交叉の各 diplopia 閾によって規定される視差範囲が Panum の融合閾となる。Fender & Julesz (1967) は, 眼球運動を排除するために静止網膜像となるようにランダム・ドット・ステレオグラムを各眼の中心窩に投影し, 次いで視差を徐々に増大させたところ, diplopia 閾 (約 0.3deg) をはるかに越えても (約2deg), 実体鏡視が成立することを見出した。この結果は, 水平視差が徐々に増大されたため, Panum の融合閾がランダム・ドット・ステレオグラムを用いることによる特別の神経過程によって拡大したことによると解釈された。Duwaer (12) は, このような融合閾の拡大が生起するか否かについて次のように検討した。まず, diplopia 閾を求めるための2つの感覚基準, すなわち「一重像となっているか否か (「一重像限界」閾)», 「実体鏡視が成立し立体が生じているか否か (「実体鏡視限界」閾)」が作成された。これは diplopia 閾の測定に際し, 従来の方法を改善し, 測定の精微化を計ったものである。次に diplopia 閾は「残像法」によって測定された。これまでは二重像がはじまる段階の物理的な水平視差によって diplopia 閾は決められたが,

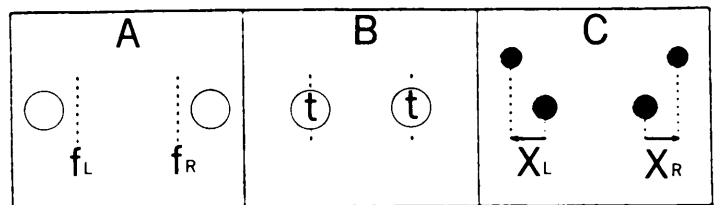


図2 残像法を利用した網膜上での水平視差の測定。図中, fは左右眼の視軸を○印は凝視図形を表す。また A はランダム・ドットパターンがこめかみ側に引き寄せられた場合を, Bはその最初の位置を示し, Cは A,B 条件で刻印された残像位置を示す。被験者は X<sub>L</sub>, X<sub>R</sub> が, こめかみ側に引き寄せられた時のランダム・ドット・パターンの水平視差を示す。  
(Duwaer, 1983)

Duwaerは、図2に示されたように、融合時と diplopia 時の網膜上での水平視差を残像を利用することによって求め、網膜上で実際に生起している視差の測定を試みた。その結果、「一重像限界」閾は $0.15\sim 0.3\text{deg}$ 、「実体鏡視限界」閾は $0.5\sim 1.3\text{deg}$ となり、各々、単一線分からなる通常のステレオグラムのそれと同等であることが示された。このことから、Fenderらの結果は diplopia 閾の測定に際し異なった2つの感覚基準を混同したためであり、したがってランダム・ドット・ステレオグラムに特有な、融合領域の拡大を生起させる神経過程は存在しないと結論されている。

一方、Hyson, Julesz & Fender (19) は、この種の神経過程上の融合閾の拡大が静止網膜像条件ばかりではなく眼球運動を伴う通常の実体鏡視下でも生起することを確かめている。実験ではランダム・ドット・ステレオグラムを実体鏡視させ、融合中に左右のステレオグラムの間隔を融合が消失するまで分離、あるいは左右のステレオグラムが重なるまで接近を繰り返し、その間の立体視や融合の程度について報告させた。また、同時に眼球運動も記録された。その結果、融合が消失するまでに左右のステレオグラムの分離は $5\text{deg}$ に達し、この間、視軸 (visual axis) は網膜像が移動するにつれて過剰開散から過剰輻輳へと変化することが示された。Hysonらは、このような網膜像と輻輳間の不一致が立体視や融合を妨げることなく10秒持続したら、そこに神経過程での再対応づけ (neural remapping) が生じたものと考え、その最大値を求めたところ、Panumの融合閾をはるかに越えた値、 $3\text{deg}$ が得られた。これらのことから、Hysonらは輻輳の変化に伴って恒常的に生起する視差の変動を補正し、視差対応を維持する特殊な神経過程の存在が確認されると主張する。

## (2) 両眼非対応の検出過程

実体鏡視の問題を考える時、両眼対応の多義性をどのように解決するかが重要な研究視点となる。両眼網膜像を対応づけるための両眼ネットワークを想定すると、そこには立体視に無関係な対応点が必ず存在する。立体視においては、この無関係な対応点 (false target) は抑制されねばならない。鬚櫛 (6) は、1～3本の直線からなる線画ステレオグラムを用い、両眼とも1本の線分だけの、無関係な対応の存在しない局所的立体視条件と、両眼とも2本以上の線分があり、無関係な対応が存在する全体的立体視条件とを設定し、ある刺激が他の刺激に対して促進的または抑制的効果を及ぼすかについて、ある観察時間内の立体視の累積消失時間を指標に採ることによって検討した。その結果、立体視の累積消失時間は、①局所的立体視条件と2本線分からなる全体的立体視条件では、両眼視差が増大する程、②Panumの融合閾パターンと2本線分からなる全体的立体視条件では、線分間の距離が縮小される程、③

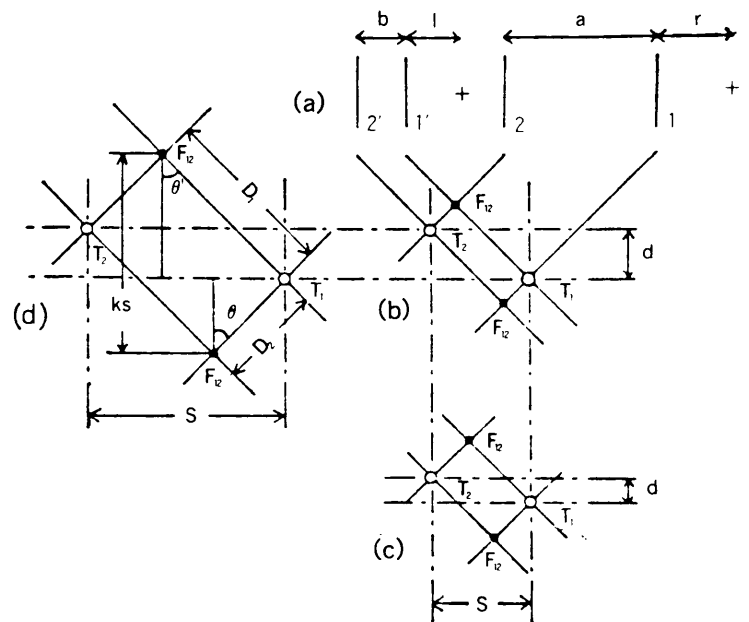


図3 両眼ネットワークにおける顕在対応点と潜在対応点についての模式図(鬚櫛、1983)

3本線分の全体的立体視条件では、検査線分が両脇よりも中央にある程、各々、減少傾向を示すことが明らかにされた。図3の両眼ネットワークに示されたように、両眼視差は $d$ を、刺激要素（線分）間の間隔は $s$ を各々変化させるので、これらの結果は、無関係な対応点（潜在対応点, false target）から対応関係のある点（顕在対応点, true target）への抑制がこれらの距離間に反比例の関係をもって存在することを示唆する。

(3) 実体鏡視と図形特性

Bacon & Wallach (2) は、実体鏡視での立体出現の程度を問題にする時、網膜非対応（視差）の要因とともにその図形特性も関与することを次のようなステレオグラムで実証した。図4のステレオグラムは、左右垂直線分の距離を違えることによって視差を付してあるが、但し、(b)図の右半分のステレオグラムの短線分は左のそれより若干長くってある。このステレオグラムの場合、(a)、(b)のステレオグラムの視差は各々等しいが、図形特性は異なる。このステレオグラムを実体鏡視し、その立体出現の程度を(a)、(b)のステレオグラムで比較すると、(b)の方がより深い立体感が出現する。ステレオグラムの左右の各々で垂直線分の長さを違えれば垂直視差は変化するが、しかし induced effect を除いては垂直視差のみでは立体を出現させない。実体鏡視におけるこの種の図形特性の効果については今後の検討がなお必要とされよう。

(4) induced effect

induced effect とは、垂直方向のみを拡大させるレンズを片眼に装着した時に前額平行面が垂直軸を中心に奥行方向に傾いて見える現象をいう。Gillam & Lawergren (15) は、この現象を説明するために理論的検討を試みた。これまでに提唱された諸理論、例えば Horizontal disparity 理論や Normal horopter 理論を考察した後に、彼らの考え方である Stereoscopic

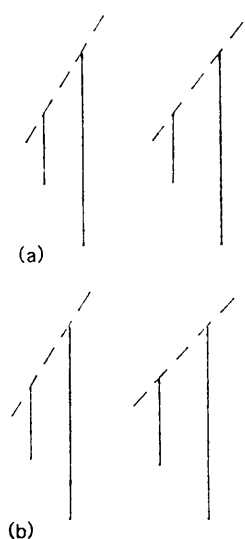


図4 図形特性の異なるステレオグラム。  
bでは、左右の短線分の長さが異なる。  
(Bacon & Wallach 1982)

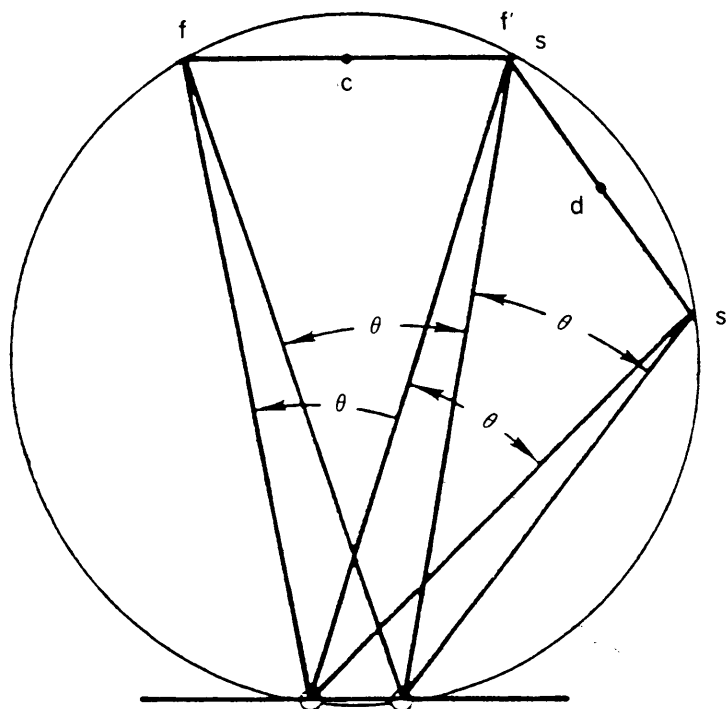


図5 stereoscopic constancy theory  
を説明するための模式図。  
(Gillam & Lawergren 1983)

Constancy 理論を展開した。この理論によれば, induced effect は次のように説明される。図5に示されたように, 前額平行面 (ff') と傾斜面 (ss') は等しい水平角 ( $\theta$ ) をとる。したがって, 水平視差は両面において同等となる。一方, 垂直視差に関しては, 前額平行面のそれは両眼からの ff' の中点 (c) が等距離となるため,  $0^\circ$  となるが, 傾斜面のそれは両眼からの ss' の中点 (d) が不等距離となるため, ある値をとる。それゆえに, 水平視差は刺激面が前額平行か傾斜かを決定する要因とはならず, 垂直視差が induced effect をもたらす鍵となる。計算によれば, 垂直視差は正中線からの離心角の近似的直線関数となり距離の増大に反比例する。片眼の垂直方向の拡大は垂直視差を変化させ, その結果, induced effect を生起させる。

Longuet-Higgins (27, 28) も, 同様に, 対象の3次元的配置を考える場合, 垂直要因, とくに垂直視差が重要であることを理論的に展開し, 垂直視差は奥行絶対距離の知覚に中心的役割を担うことを指摘した。

Mayhew (30) は, 水平, 垂直視差の数式的記述を試みる。それらを記述するための構成要素として, 両眼間距離 ( $I$ , cm), 観察距離 ( $d$ , cm), 凝視角 ( $g$ , ラジアン), 中心窩から測定した網膜投影位置としての水平離心角 ( $c$ , ラジアン), 同様な垂直離心角 ( $r$ , ラジアン), 凝視点距離 ( $z$ , cm) をおく, この時, 視差は, 視差を構成するいくつかの成分の加法によって表示されると仮定すれば, 水平視差 ( $H$ , ラジアン) は,

$$H = H_e + H_g + H_z$$

垂直視差 ( $V$ , ラジアン) は

$$V = V_e + V_g$$

となる。ここで,  $e$  は網膜上での投影像の離心角をあらわす。視差を構成するこれら成分は,

$$V_e = \frac{ICr}{d} \quad V_g = \frac{Irg}{d} \quad H_e = \frac{IC^2}{d} \quad H_g = \frac{ICg}{d}$$

$$H_z = \frac{IZ}{d^2}$$

となる。ここで,

$$Z = Px + Qy + K \quad (P \text{ と } Q \text{ は表面の傾きについての係数, } K \text{ は視線の移動係数})$$

また,  $x = Cd$ ,  $y = rd$  となる故に

$$H_z = \frac{IPC}{d} + \frac{IQr}{d} + \frac{IK}{d^2}$$

結局, 水平視差 ( $H$ ) は

$$H = \frac{IC^2}{d} + \frac{ICg}{d} + \frac{IPC}{d} + \frac{IQr}{d} + \frac{IK}{d^2}$$

となり, 垂直視差 ( $V$ ) は

$$V = \frac{ICr}{d} + \frac{Irg}{d}$$

となる。これらの理論式は, 人間の視覚システムの実際を示すものではなく, あくまで視差情報を解明するためのシミュレーションであるが, しかし, 有効な方法のひとつと考えられる。

このような試みを受けて, Poggio (36), Poggio & Poggio (37) は, 計算機科学を応用しての網膜非対応の検出過程についてのこれまでのモデル (理論) を概観している。また, Lee & Ciuffreda (25) は, induced effect に 1 ~ 4 時間順応させ, この順応に伴って induced

effect がどのように減衰するかを測定し、その結果、最終的には、順応前の20~45%まで減衰することを見い出している。

#### (5) 実体鏡視と輻輳

Nakamizo, Shibuta & Noguchi (33) は、両眼視差検出時の輻輳運動の変化を測定した。これまでの研究によると、両眼視融合が成立する直前に顕著な輻輳運動が生じることが確認されている (Westheimer & Mitchell 1969, Mitchell 1970)。ここでは、一定の両眼視差を付した光点を短時間提示し、これに対する輻輳運動を観察距離 (vergence level) を変化させて追跡した。その結果、観察距離の増大に伴って開散的な反応量が減衰することが示された。このことから、視差の大きさ、視差の種類 (交叉または非交叉)、視差の提示時間の他に、絶対距離の情報が輻輳運動の解発に関与していると考えられる。

Krol & Van de Grind (23) も、図6のような明るさ反転ステレオグラムを用い、実体鏡視成立時の輻輳運動について分析した。実体鏡視を成立させるステレオグラムは、通常、その左右の明るさコントラストが等しい。しかし、ステレオグラムの明るさコントラストを左右で逆転させても、そこに立体視が生じることが従来より明らかにされている (Helmholtz 1909, Treisman 1962)。Krol らが用いたステレオグラムでは、中央の明暗エッジに対して視差は付されていない。かわりに、エッジ上に小光点を提示し、この小光点については左右で若干の視差を付し、全体の立

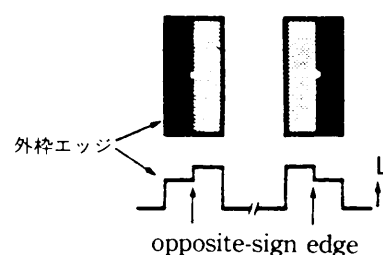


図6 明るさ反転ステレオグラム。  
(Krol & Van de Grind 1983)

体視を誘導させる。このステレオグラムを観察すると、はじめのうちは、視野闘争が出現するが、そのうち、左右領域の明るさが一樣となって安定し、それとともに中央にそれと明確に識別される垂直な帯状の線分が出現する。次いで、視差を付した小光点を提示すると、中央領域に奥行が出現し、また、その視差を増大させると、より深い立体視が出現する。Krol らはこの結果を次のように考える。すなわち、眼球の輻輳運動のうち、大きな変化は随意的に行うことが可能であるが、微妙な運動は不随意的でしかもそれは刺激特性に依存する。左右眼に刺激が与えられた時、視覚システムはこの微妙な輻輳運動によって左右の類似した明るさコントラストをもつ部分を Panum の融合閾内にできるだけ多く投影させるように働く。また、本実験のように、左右の刺激の明るさコントラストが逆転している場合には、この微小な輻輳運動は異質なエッジや部分が左右の対応点に投影されることに抵抗する。本実験の場合、ステレオグラムの外枠を形成するエッジは、両眼の視軸の交点 (F) を外枠側へ引き寄せるように働く一方、中央の明るさが異なることによって異質となっている領域は、F を自己の領域から押しやろうとする。その結果、交叉視差と非交叉視差が同時に生起し、この状態で定常化する。この時、もし、視差を付した小光点を導入し、どちらかの視差に加勢すれば、その時には安定した立体視が出現することになる。以上の結果は、実体鏡視と輻輳との関係をみる上で興味深い。

#### (6) ランダム・ドット・ステレオグラムの学習効果

ランダム・ドット・ステレオグラムを用いた実体鏡視の初見時には、立体出現までにかかなりの時間を要すること、また、一度立体出現が生起すれば、その後は立体出現に要する時間は大幅に短縮されること、さらにその学習効果は3週間後でも有効であること (Frisby & Clat-

worthy 1975, Ramachandran 1976) などの事実がこれまでに明らかにされている。

一方、実体鏡視は空間周波数に選択的に応答するチャンネルに担われていて、当該のチャンネルはそのまま、ステレオグラムの片領域の空間周波数を変化させても実体鏡視は損われないことが確認されている (Julesz, 1964)。この事実は、各々別々の空間周波数チャンネルで構成されたステレオグラム間では学習の転移が生起しないと予測される。Long (26) は、学習転移実験のパラダイムに依拠してこの仮説を検討した。訓練刺激としたステレオグラムには、矩形の浮び出る通常のランダム・ドット・ステレオグラムを、テスト刺激には、訓練刺激のステレオグラムの片領域を、①大きくボカしたもの、②破線斜線を付したもの、③明るさを増強したものを各々使用した。実験の結果、訓練刺激とテスト刺激間には学習の転移が生起せず、上述の仮説は検証されている。

#### (7) 実体鏡視力と両眼間転移

実体鏡視力と両眼間転移との間には高い相関があることがこれまでの研究によって明らかにされている (Mitchell & Ware 1974, Ware & Mitchell 1974)。これは、実体鏡視と両眼間転移を処理する過程が極めて近接した中枢部分で担われていることを示唆する。Mohn & Van Hof-Van Duin (31) は、実体鏡視能力に種々な程度の障害をもつ者を対象にしてこの事実の検討を試みた。両眼間転移に用いられた知覚現象は、運動残像と傾き残像 (Gibson 効果) である。実験の結果、実体鏡視力が低下すると両眼間転移は減ずるという全体的傾向は見い出されたが、しかし実体鏡視力を全く欠くステレオブラインドのものにも、若干の転移が示されたり、あるいは実体鏡視力の正常のものでも、転移が見い出されない、など不明瞭な結果となった。このことから、実体鏡視、両眼間転移そして中枢での両眼視融合の間に単純な関係は見い出せない。

#### (8) 実体鏡視における形と奥行の知覚過程

Chung & Berbaum (9) は、実体鏡視における形と奥行の両知覚過程間の関係をランダム・ドット・ステレオグラムと輪郭ステレオグラム間での実体鏡視成立過程の比較を通して分析するとともに、併せて、この際の輻輳の役割についても検討した。輻輳については、ステレオグラム提示直前に設定された輻輳距離 (凝視距離) とステレオグラム提示距離との間隔を種々変化させた時の実体鏡視の成立速度をランダム・ドットと輪郭の両ステレオグラムとで比較された。実体鏡視下での形要因と奥行要因については、2種類の形 (矩形または正方形) が出現するステレオグラムを短時間露出し、その際の形の弁別精度と立体視成立速度とをランダム・ドットと輪郭の両ステレオグラムで比較した。実験の結果、以下の事実が示された。ランダム・ドット・ステレオグラムでは事前の輻輳距離とステレオグラム提示距離との間隔が多くなる程、実体鏡視成立時間は長くなることから、ランダム・ドット・ステレオグラムの実体鏡視成立には輻輳が大きな役割を担う。また、輪郭ステレオグラムの実体鏡視は、その成立速度と形の弁別精度においてランダム・ドット・ステレオグラムのそれよりも遂行程度が高い。さらに、ランダム・ドット・ステレオグラムでは、奥行の弁別よりも形の弁別精度の方が高い。そして、ランダム・ドットと輪郭ステレオグラムを並置提示すると、ランダム・ドット・ステレオグラムの実体鏡視の成立が著しく妨害される。これらの結果から、ランダム・ドット・ステレオグラムでは、形の成立過程と立体の出現過程が人工的に強く分離されていることがわかる。



## (9) 実体鏡視の発達

ヒトの乳児の実体鏡視が機能する年齢は、おおよそ4月齢であることが確認されている (Atkinson & Braddick 1976, Birch, Gwiazda & Held 1982, Fox, Aslin, Shea & Dumais 1980)。実体鏡視のこの時期における発達は、両眼輻輳能力の成熟に帰因する。すなわち、実体鏡視能力は出生直後にすでに機能しうる状態にあるが、輻輳能力が未発達なために、この時期まで待たねばならないとこれまで考えられていた。Birch, Gwiazda, Held (7) は、実体鏡視の成立と両眼輻輳能力の発達との関係を実験的に吟味した。まず、6~10月齢の乳児に両眼視差を付してない縦縞からなるステレオグラムと両眼視差を付したステレオグラムを並置提示し、その偏好反応から実体鏡視能力の有無を判定した後、両眼輻輳を妨害するプリズムを装着して同様な偏好テストが試みられた。その結果、プリズム装着による輻輳妨害 (プリズムディオプターにして66.7deg まで) は、実体鏡視に影響を及ぼさないことが示された。

## (10) その他の研究

O'shea & Crassini (1982) は、図7のようなステレオグラムを実体鏡視させると、水平線分と垂直線分は各々、反対方向に傾いているにもかかわらず、垂直線分は融合されるのに対し、水平線分は二重像になることを見出し、これは水平方向の異方性 (anisotropy) の存在を示すものと主張した。Krekling & Blika (22) は、

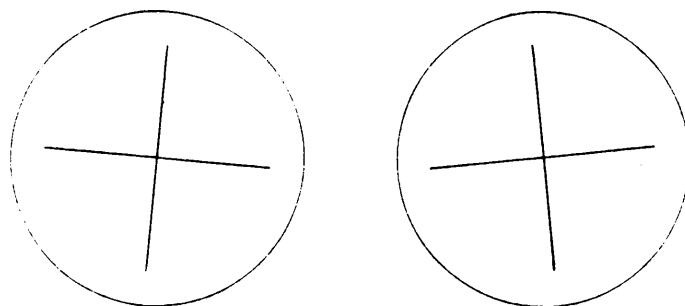


図7 二重像視的ステレオグラム。  
(Krekling & Blika 1983)

この現象を orientation-disparity bias で説明できると考える。orientation-disparity bias とは、一眼にある傾きにをもつ線分を提示し、他眼の線分をこれと平行になるように求めた時の偏向をいい、垂直方向で大きい。したがって、垂直線分方向の視差は水平方向よりも相対的に小さくなり、その結果として融合されやすいと考える。

## IV. 大きさ—距離関係

## (1) 大きさ、距離知覚と経験効果

Tyler, Allen & Parnak (46) は、未知の対象の大きさ判断に奥行情報が影響するか、また奥行判断に大きさの情報が影響するか否かについて実験的に検討した。実験は、奥行手がかり縮減下で大きさと奥行の各々についての推定がそれと対応する情報の有無ごとに求められた。その結果、奥行距離情報を与えられていない場合の大きさ判断は網膜像の大きさと対応をもつ のに対し、奥行距離情報を与えられた場合には、大きさ判断は実際の大きさに近似したものになること、また奥行距離判断では、大きさについての情報が与えられていない場合には、その推定値は分散したが、大きさ情報が与えられた場合には、実際の奥行距離に近い値をとる傾向を示した。これらの結果は、大きさ—距離不変仮説にほぼ合致する。

## V. 運動の奥行視

### (1) 運動の奥行効果 (kinetic depth effect)

物体を回転させながら投影する時、その連続して変形する像は奥行・立体情報を担う。Braunstein (1967) によれば、その種の情報には大別すると3種類あり、①非遠近法的変形 (parallel projection)、②遠近法的変形 (polar projection)、③幣一被幣関係の連続する変化 (dynamic occlusion)、である。Andersen & Braunstein (1) は、今回、輪郭を全く欠く条件での dynamic occlusion について実験的に吟味した。輪郭線をもつパターンの場合、図8中、A、Bのように、静止パターンでも一方の5角形が移動して他方の5角形の背後に動いたことがわかるが、図中、C、Dのように輪郭線を欠く場合には、幣一被幣関係は全く知覚できない。しかしながら、5角形内のドットを一団にして移動させると、輪郭線を欠いていてもそこに幣一被幣の関係が鮮やかに浮び上る (purely kinetic occlusion)。Andersenらの実験によれば、purely kinetic occlusion の効果は、ドットの密度要因や重なるドットの数によるよりはドットを構成要素とする形の大きさや重なる部分の数によって強く規定されること、また、この kinetic occlusion は奥行の順序を示すには有効であるが、相対的奥行距離や立体性の手がかりとはならないことが明らかにされている。

同様に、Doner, Lappin & Perfetto (11) は、図9のように、ランダム・ドットの集合体である球が回転した時にできる2次元パターンをCRT上に再現し、その時の3次元性の知覚に關与するパラメータを探った。実験では、回転している球が作り出すドット・パターンを継起

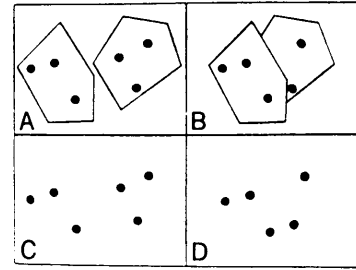


図8 ダイナミックな重なり (dynamic occlusion) をしらべるための刺激例。  
(Andersen & Braunstein 1983)

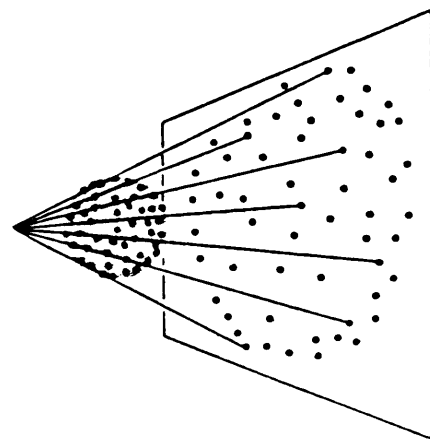


図9 ランダム・ドットからなる球体の投影を示す模式図。  
(Donner, Lappin & Perfetto 1984)

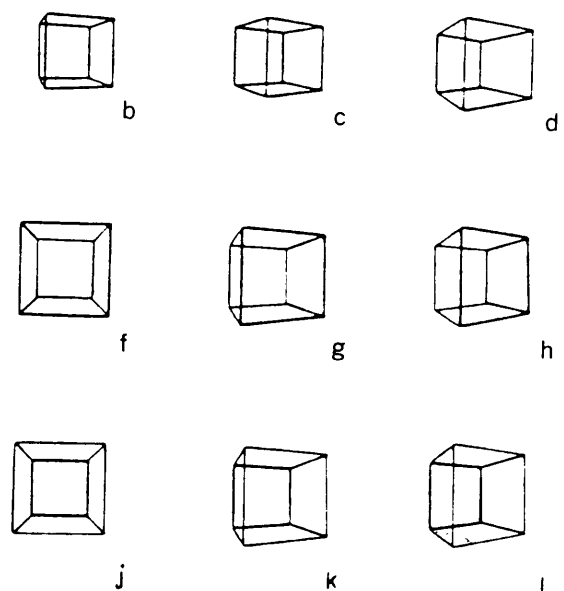


図10 運動の奥行効果をしらべるための種々の立方体図形。f-h では輝度要因とパースペクティブが同方向、j-l では、それが逆方向。  
(Schwartz & Sperling 1983)

的に2次元上に再現させ、この時のパターンの持続時間、回転角度、継起的に変化するパターン間の一致度などの変数が操作された。その結果、3次元性の知覚は、基本的には、連続して変化するパターンの運動が感知できるか否かに関わることが明らかにされた。

一方、Schwartz & Sperling (43) も運動する2次元パターンの3次元視効果に関わる要因について分析した。図10のような Necker cube として知られた奥行反転図形を用いた場合、運動する2次元パターンからそこに回転する立方体が視えるが、その回転方向は立体出現の反転方向によって変化して視える。しかし、この時、図のように、2次元パターンにパースペクティブを付与すれば、この視かけ上の反転は生じなくなる。Schwartz らは、パースペクティブ要因の他に輪郭線の輝度要因を付与して、この視かけ上の反転出現の程度をしらべた。一般に、観察者より手前に物体が接近する時には、その輪郭線は太く明るくなる。そこで、パースペクティブ要因と同方向に輝度変化した条件と逆にそれらが抗争する条件とで比較が試みられた。その結果、パースペクティブと輝度要因とが抗争する条件では、視かけの反転が多く出現することが示された。このことから、輝度要因は運動の奥行視効果に強い影響をもつと考えられる。

また、運動の立体効果と同様に、大きさや肌理要因の連続的变化は、対象の奥行方向への運動効果をもつ。Beverley & Regan (5) は、大きさと肌理要因とを各々独立に操作し、奥行方向への運動効果に対するそれらの手がかりの影響について分析した。刺激としては、図11— a に示されたように、肌理要因をもつ矩形を CRT 上に提示し、矩形の大きさと肌理要因とを各々が共に減少・拡大あるいは各々が互に相反する方向に変化するなど独立に操作した。また、奥行方向への運動効果は、大きさあるいは肌理の要因の連続的变化への順応によって生ずる奥行運動残像の強さを測定することによって求められた。実験の結果、①大きさ要因は単独でも強い奥行方向への運動効果をもつ、②大きさ要因の変化に同方向の肌理要因の変化が加えられても奥行方向への運動効果は大きくはならず、逆にその効果を減衰させる。これらの結果は、奥行方向への運動効果が大きさ要因と肌理要因の単純な加算総和として表されるのではなく、両要因の相互作用効果を考慮せねばならないことを示唆する。これらの関係を数式化すれば次のようになる。

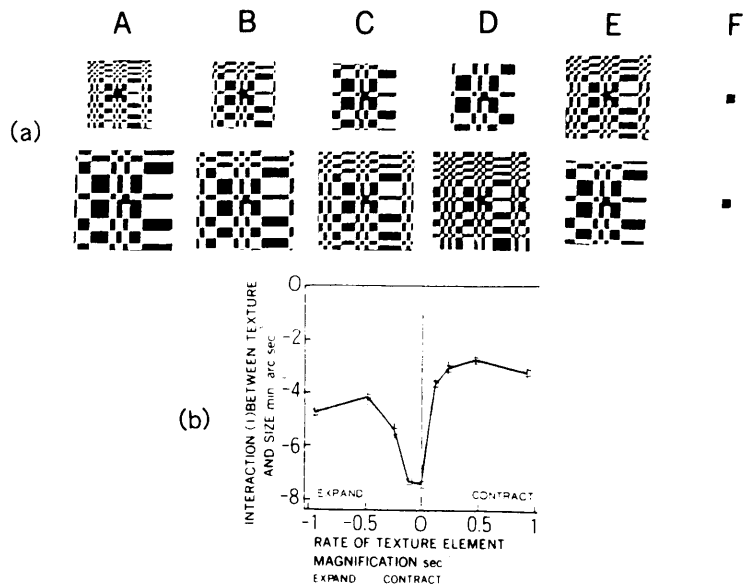


図11 (a)肌理要因と矩形の大きさ要因の変化パターン例。  
(b)肌理要因と大きさ要因の相互作用効果。  
(Beverley & Regan 1983)

$$A_{s+T} = A_s + A_T + I$$

$A_{s+T}$  : 大きさと肌理の両要因が変化したときの奥行運動残効量

$A_s$  : 大きさ要因が単独で変化したときの残効量

$A_T$  : 肌理要因が単独で変化したときの残効量

$I$  : 両要因の相互作用

この式から、

$$I = A_{s+T} - A_s - A_T$$

となり、これにもとづいて (I) をデータから計算し図示すると図11—b が得られる。この図からも明らかなように、(I) が最大になるのは肌理要因が零のときである。

## (2) Pulfrich 現象

Pulfrich 現象は、片眼に装着した density filter のために刺激の網膜への到着が遅延し、その結果として生じた両眼間の視差によって生起すると説明される。しかしながら、この説明が妥当であるためには、両眼は常に1点を凝視していなければならない。もし、両眼が運動する対象を追従すれば、対象は常に中心窩に投影され、両眼視差は生じないことになる。Roger, Steinbach & Ono (1974) は、これについて実験的に検討した結果、眼球が運動対象を追従しても背景が知覚できる場合には、Pulfrich 現象は生起することを明らかにした。そして、その説明として、片眼への刺激遅延の結果として、運動対象そのものではなく、その背景が奥行的に変化し、この背景の変化を対象の奥行運動と錯覚することから Pulfrich 現象は生ずると考えた (図12)。One & Steinbach (34) は、この仮説についての直接的な証拠を得るために、Pulfrich 現象が体験されている時の眼球運動の測定を試みた。眼球運動の測定は photometric 法によった。その結果、視かけの奥行運動現象が生起している時の眼球運動は、対象の実際的な動き (前額平行面上の左右運動) と一致していることが確認された。これは Rogers らの仮説の妥当性の証拠となろう。

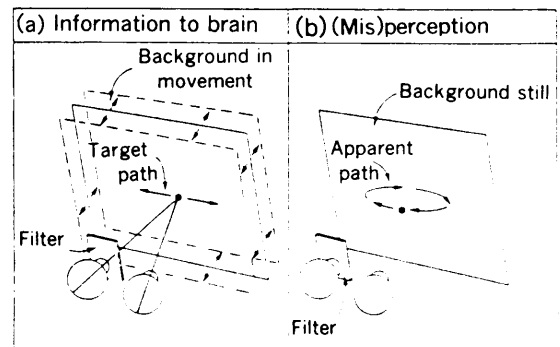


図12 Pulfrich 現象の新たな説明仮説。  
(Ono & Steinbach 1983)

## (3) 立体的運動効果 (stereokinetic effect)

同心円的の配置をもつパターンをゆっくりと回転させると、そこに円錐形状の立体や凹形が知覚されるが、これを立体的運動効果と呼ぶ。Wilson, Robinson & Piggins (48) は、図13に示された種々のパターンを考察し、その立体出現の程度を観察した。その結果、図中、a, b, c のように、パースペクティブをもち、かつ偏心的配置をもつパターンの場合には強い立体的効果が生じるのに対し、d, e, f のパターンのように、線分が帯状を描くのではなくストライプをなす場合には、その立体出現の程度が縮減されること、したがって帯状とストライプ状とを混合した g のようなパターンでは、帯状領域にしか立体が出現しないし、また、h のパターンにみられるように、帯状部分に刻線を付すと立体効果が大きく妨げられることも明らかにされた。これ

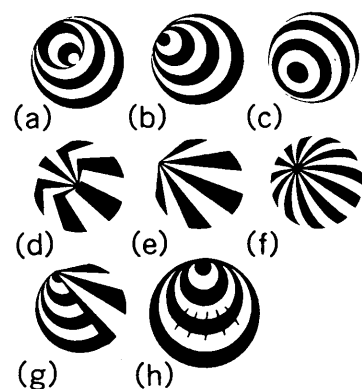


図13 立体的運動効果(Stereokinetic effect)を示す刺激パターン例。  
(Wilson, Robinson & Piggins 1983)

は、帯状パターンではストライプパターンに比較し、運動視差要因がより効果的にシミュレートされやすい布置のためと考えられる。

#### (4) ストロボ的な仮現運動

ストロボ的な仮現運動 (stroboscopic apparent motion) とは、通常、前額平行面上に、ある間隔をもっておかれた2点のある frequency をもって点滅させる時に生起する仮現運動を指す。Finlay (13) は、2点間の間隔を奥行方向に設定した場合にこの種の仮現運動の生起条件がどのように変わるかについて検討した。その結果、奥行的分離条件の場合には、仮現運動生起のための frequency の範囲が、両眼視観察において顕著に小さくなること、また、frequency が増大すると (4Hz)、奥行方向への視かけの運動距離が縮小すること、さらに、奥行的分離に前額平行面上での分離を付加した条件では、単眼視の場合にも仮現運動を生起させる frequency が小さくなること、などが示された。Regan, & Beverley & Cynader (1979) は、単眼視と両眼視両条件下の奥行方向の実際運動を説明するために、方向特異性運動フィルター、大きさ変化検出フィルター、および実体鏡視的運動フィルターの3種類の特徴検出器を仮定したが、Finlay は、これにならって、仮現運動を説明するための2種類の特徴検出器をこれらの結果にもとづいて想定した。その1は、ある限定された frequency の範囲内で精密に同期するフィルターで、これは両眼視条件下で機能する。その2は、広範な範囲に同期するフィルターで、これは一部の奥行方向の仮現運動、あるいは奥行をもたない前額平行面上での仮現運動を検出する。これらについては、今後の検討をまちたい。

#### (5) その他の研究

Klymenko & Weisstein (1981) は、図14に示されたパターンを垂直軸にそって回転させると、実際には描かれていない輪郭が、視かけ上、誘導されて出現する現象 (motion-induced contour) を見出した。今回、Klymenko & Weisstein (21) は、この現象を規定する時間的、空間的要因について分析、検討を試みた。その結果、この種の現象を生起させるためには、パターンを回転させることが必要条件ではなく、前後に反転させても可能であること、また、パターンの運動が連続的でなく間歇的でもかまわないこと、さらに、輪郭を誘導するパターンの上下の線分が非平行的でも可能なこと、などを明らかにした。この現象は、パターンが運動していない限り、輪郭が出現しないという特徴をもつため、視覚上での空間的—時間的な統合を探る格好な素材とも考えられる。

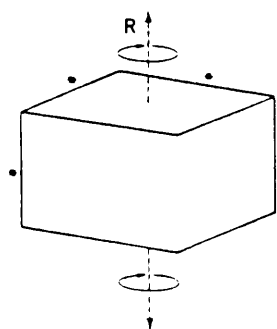


図14 運動に誘導されて出現する輪郭 (motion-induced contour) を示す刺激装置。

(Klymenko & Weisstein 1983)

運動する物体は、しばしば、奥行的な錯覚を生起させる。周知の「Amesの窓」は、誇張された奥行手がかりのために、実際には回転する物体が、視覚上では反転する物体に見える。Rubin (41) は、回転している「Amesの窓」を観察後、矩形を視線に対して斜方向に提示すると、左右の縦枠のうち、奥行的に後方にある方がより過大視されること、また、この残効は、テスト矩形が視線に対して垂直な場合には生じないこと、を明らかにした。このことから、この残効は奥行的配置に限って生起する特異なものといえよう。

## VI. 平面画像の奥行視

## (1) Perspective theory と幾何学的錯視

Patterson & Fox (35) は、ポンゾー錯視の誘導刺激部分（角度線分）と検査刺激部分（平行等長線分）間に奥行的分離を設定した事態での錯視効果をしらべた。奥行的分離はランダム・エレメント・ステレオグラムを用いて実体鏡によって提示してある。実験の結果、奥行的分離は錯視量に大きく影響すること、しかも、奥行的分離がない場合を基準にとると、誘導刺激部分が検査刺激部分よりも前面に出現するように見える場合には、錯視量はより大となり、一方、誘導刺激部分が後面にある場合には、より小さくなることが明らかにされた。この結果は、奥行情報処理過程が知覚情報処理過程全体のなかで極めて初期に行われ、それに引き続く知覚過程に大きな影響を与えていることを意味する、と Patterson らによって解されている。

## (2) 主観的輪郭

Kanizsa パターンに代表されるように、主観的輪郭図形は、そこに幣一被幣的關係（重なり）をも出現させる。Sato (42) は、そのような幣一被幣關係を量的に測定するための指標として仮現運動を利用することを思いついた。いま、仮現運動を生起させる2点間に矩形のような対象を挿入すると、それが同一面上であっても、仮現運動によって生じた視かけの点は矩形の背後を通過するように見える。この時、仮現運動を生じさせる2点の奥行距離を前方に移動させると、仮現運動は、しだいに、矩形の前面を横切るようになる。Sato は、挿入図形として、実際に重なり輪郭線をもったパターンと主観的輪郭によって重なりを示したパターンとを用い、仮現運動を生起させる2点の奥行提示距離を変化することによって視えの軌跡をしらべた。その結果、仮現運動間に主観的輪郭パターンを挿入した場合の視えの運動軌跡は、実際に輪郭線をもつ重なりパターンと比較し、パターンの背後をより強く通過しようとする傾向を示した。このことは、主観的輪郭パターンによって形成された重なりが、視かけ上、厚味のあるものであることを示唆する。

## (3) 平面画像の奥行視の成立要因

Berbaum, Tharp & Mroczek (4) は、平面画像の奥行視を成立させる基本要因を探るために、図15にみられるように、図形を種々分解して提示し、その奥行効果を Gregory (1968) の考案による「Pandora の箱」法によってしらべた。その結果、平面画像の奥行視が成り立

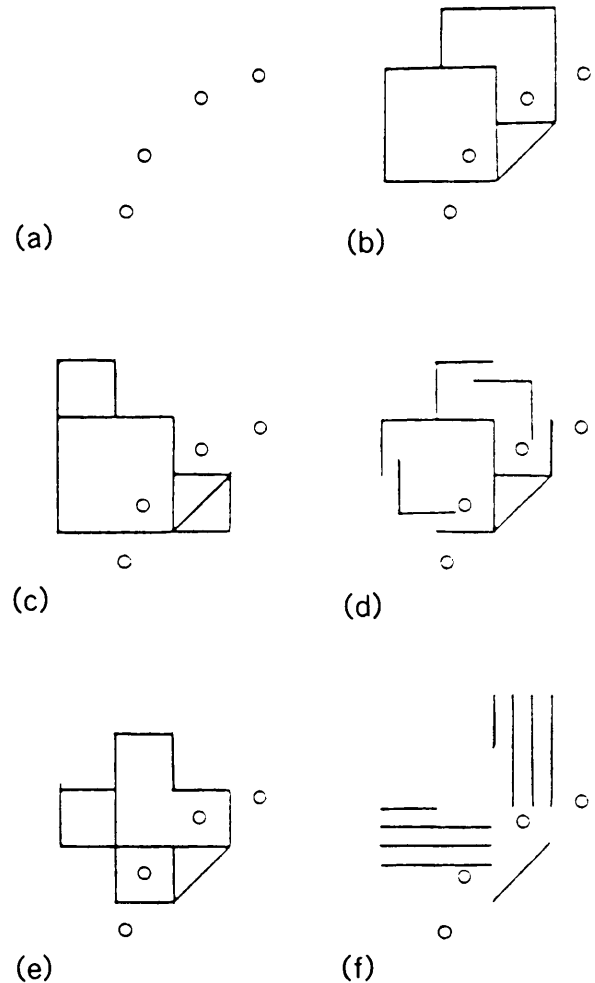


図15 奥行効果をもつ図形の分解。

図中○印は、奥行の測定箇所を示す。

(Berbaum, Tharp & Mroczek. 1983)

つためには、その表現形式の上で一定の規則があり、これを破壊すると、奥行効果が消失してしまうことが示された。奥行効果の基本要因としては、縁 (edge)、陰影、照明方向などが挙げられている。

#### (4) 発達的研究

Chevrier & Delorme (8) は、平面画像の奥行視の発達について実験的に吟味した。対象とされた児童の年齢は、6, 8, 11, 14歳である。操作された絵画的要因は、familiar size, 相対的位置, linear perspective, texture gradient および幣一被幣要因である。これらの要因は、描画図形のなかに段階的に付加されてゆく。平面画像の奥行効果は、「Pandra の箱」方法によって測定される他、パターン内の上方向と下方向に提示された2等辺3角形の大きさ測定も併用された。実験の結果、平面画像上の視えの奥行は、年齢とともに大きくなること、手がかりのなかでは texture gradient がもっとも強い効果をもつこと、さらに、大きさの錯覚は手がかり要因が多くなる程、強く生じるものの、年齢効果は存在しないこと、などが明らかにされた。

#### (5) 交差文化的研究

交差文化的視点から平面画像の奥行視を研究する場合に良く用いられるのが、Hudson test である。最近では、しかしながら、このテストの妥当性について、種々問題となっている。Fowler & Amajoyi (14) は、テストに描かれた対象の被験児にとっての親近性と平面画像の奥行視効果との関係を、ナイジェリアの Ibo 族の児童 (6~11歳) を対象にして検討した。その結果、描かれた対象に対しての被験児の親近性が高い程、奥行効果も強いこと、また被験児が都会生活者で兼つ教育水準が高い程、顕著に奥行視を示すこと、しかし、Ibo 族の児童では、なおヨーロッパの児童と比較すると、そこに差があること、などが見い出されている。

## Ⅶ. ヒトの乳児および動物を対象とした奥行知覚研究

### (1) 視覚的断崖法および視覚的陥穴法による研究

Richards & Rader (38) は、視覚的断崖上の乳児の回避反応を這行開始年齢、這行経験月数、並びに心拍数を指標とした情動性の諸側面から再吟味した。その結果、這行開始年齢の比較的早いものは視覚的断崖回避成績が悪いこと、また、視覚的断崖の深側上での心拍数は浅側上のそれより有意に減少すること、この心拍数の変化は12月齢児よりも9月齢児において顕著なこと、さらに、非回避であったもの (このものの這行開始年齢は回避したものより平均して早いことが示されている) の深側上での心拍反応は、回避したもののそれが増加傾向をとるのに対し、減少傾向を示すこと、などが見い出された。

### (2) 動物の実体鏡視力

Timney (45) は、ネコの片眼の視覚経験を開眼時および開眼から4箇月経過後に各々剥奪することを通して、両眼奥行視の阻害程度をしらべた。通常、ネコでは単眼奥行視力よりは両眼奥行視力の方が優れていて、このことから、ネコには実体鏡視能力が備わっていると考えられている。Timney は、開眼当初から視覚経験を30日以上にわたって剥奪すると、両眼奥行視能力の優位性が失われてしまうこと、しかし、開眼から4箇月経過後に片眼の視覚経験を剥奪

した場合には、両眼奥行視力に何ら障害が生じないことを示し、ネコでは実体鏡視のための発達の臨界期があることを明らかにしている。

動物の実体鏡能力については、非哺乳類ではカエル (Collett 1977)、ハヤブサ (Fox, et al 1977)、フクロウ (Pettigrew & Konishi 1976)、ハト (McFaden & Wild 1982)、また、哺乳類ではネコ (Fox & Blake 1971)、アカゲザル (Bough 1970) において見い出されている。Morgan, Timney, Sorensen & Desrochers (32) は、マングースの一種である merkat (*Suricata suricatta*) の奥行視力についてしらべた。この種は昼行性の食肉類で、主に虫などを常食とし、また、眼球は前額に平行に位置し視力の良好なことで知られる。奥行視力の測定は一種の跳躍法を用い、奥行距離の異なる2台の着地台のうち、より近い方を選択させる方法に依った。その結果、単眼視条件に較べ両眼視条件の方が、有意に正確な選択成績を示した。このことから、merkat は実体鏡視能力をもつと推定される。

Luthardt-Laimer (29) は、イモリ (*Salamandra salamandra*) の奥行弁別能力を単眼視と両眼視とで比較した。単眼化は、片眼を外科的に摘出する方法と片眼をキャップで遮蔽する方法とを用いてなされた。奥行視力は、種々の距離に提示した擬似餌に対する接近反応を指標として測定された。実験の結果、両眼視条件と単眼摘出条件では同等の奥行視力が示されたのに対し、遮蔽条件では有意に成績が劣ることが見い出された。イモリは、奥行視のための2種類のシステム、単眼視システムと両眼視システムをもつ、と Luthardt-Laimer は考えている。

Forster (1977) は、jumping spider にも実体鏡視能力があることを示したが、Rossel (40) はカマキリ (*Tenodera australasiae* と *Mantis religiosa*) についてしらべた。実験は、カマキリの生餌に対する前肢の捕獲反応を利用して行われた。カマキリは固定され、単眼視手がかりを変容させないプリズムレンズを装着された後に生餌を提示される。実体鏡視力は、前肢の捕獲反応が生じた時の生餌までの距離とプリズムの度との関係から計算によって算出された。その結果、カマキリは餌の奥行距離を実体鏡視にもとづいて知覚すると推定されている。

### (3) ヒトの乳児の奥行視能力

Ball, Ballot & Dibble (3) は、34~70日齢の乳児を対象とし、視覚的膨張法によってその奥行視能力の存在を確かめた。視覚的膨張法とは、スクリーン上の影絵を拡大あるいは縮小させることによって奥行感を出現させるものである。もし、影絵を連続的に拡大させた時、その拡大が視えの奥行運動を誘導すれば、乳児は衝突してくる対象を回避するために頭部を後屈させると予想される。実験の結果、X軸(水平方向)、Y軸(全直方向)の両方向を同時に拡大させた場合には、X軸単独の拡大よりも多くの頭部後屈反応が出現すること、また、拡大を随伴しない形の変化は頭部後屈反応を出現させないこと、などが明らかにされた。これらのことから、1~2月齢の乳児は刺激の2次元の拡大・縮小を対象の奥行的変化として知覚することが確認される。

乳児の初期視覚能力については、乳児の知覚恒常性の存在を実証した Bower (1966) の研究以来、活発に研究が成されている。Cook, Hine & Williamson (10) は、12週齢の乳児72名を対象として形の恒常性の存在について再吟味した。使用された刺激は、種々の方向に提示された立方体とその写真であり、指標とされた反応は刺激反復提示に伴う凝視時間 (habituation) である。実験の結果、立方体の提示方向を変化させた条件と固定条件との間には、刺激反復提示に伴う凝視時間に差が生じないこと、また、提示方向を固定した立方体の写真に対する凝視時間は、提示方向を変化させた立方体の写真に較べ変化の差が小さいこと、な



どが示された。このことは、提示方向を異にしても同一の物体であるとの形の恒常性が生起していることを意味する。そこで、Cookらは、さらに、提示方向が固定された立方体に十分に馴化させた後、提示方向を変化させた立方体を提示したところ、馴化からの顕著な回復が観察された。写真を使用した場合も目標であった。この結果は、乳児が proximal な刺激に対して反応していることを示し、形の恒常性の存在を否定する。乳児の知覚恒常性については、さらに多角的な検討が必要とされる。

Granrud, Yonas & Pettersen (17) は、5月齢と7月齢の乳児を対象として単眼視と両眼視での奥行弁別能力について比較した。実験は、視角を一定とした対象2個のうち、より小さい方を手の届く範囲内に提示し、それに対する手伸ばし反応の正確度を両観察条件で比較した。その結果、5月齢、7月齢の乳児とも、両眼視条件では90%強の、単眼条件では60%強の正反応を示した。5～7月齢の乳児は、このことから、両眼視により多く依存していると考えられる。

また、Granrud & Yonas (16) は、5月齢と7月齢の乳児を対象として絵画的幣一被幣要因についても検討した。指標とした反応は、同様に、手伸ばし反応である。実験の結果、7月齢児は絵画的にみてより近く表現されている面に対し有意に手伸ばし反応が生じたが、5月齢児ではこの傾向は示されなかった。絵画的幣一被幣要因は、5～7月齢の間に有効となる、と推定される。

#### (4) その他の研究

Vauclair, Emmanuelli & Etienne (47) は、golden hamster の奥行視についてしらべた。実験は、被験体を種々の高さの設定した台上に置き、床面に降下するまでの潜時が測定された。その結果、golden hamster は、床面からの高さが増すと潜時も長くなることを示し、奥行弁別能力を有していることがわかった。唯、この場合、視覚によってのみ奥行弁別がなされているかについては確認されていない。

### VIII. その他の奥行知覚の研究

図16—(a), (b)のような Craik-O'Brien Cornsweet 様の凹凸パターンを、その中央の凹部分を垂直になるように提示して観察すると、凹部分をはさむ両側の領域は物理的には等高であるにもかかわらず右領域の方が高く見える (Anstis, Howard & Rogers 1978)。

Rogers & Graham (39) は、この種の奥行的錯覚に異方性があることを発見した。彼らは中央領域の凹部分が垂直になる場合と水平になる場合とで錯覚量を測定した。刺激は、ステレオグラムを用いて提示する方式と運動視差を利用する方式とで作成された。運動視差を利用する場合には、運動視差は観察者の頭部運動と連動して変化させられた\*。また、この時の頭部運動の方向には、水平(左右)と垂直(縦)の2方向を設定した。実験の結果、異方性効果が存在し、実体鏡視条件と水平頭部運動随伴運動視差条件では中央凹部分が垂直方向の場合に、また、垂直頭部運動随伴運動視差条件では水平方向の場合に、各々錯覚が生じた。実体鏡視条件や水平頭部運動随伴運動視差条件の場合、垂直な輪郭をもつ中央部分に対して両眼視差や運動視差の変化が平行的になるのに対し(図16の Expansion 条件)、水平な輪郭に対しては垂直となる(図16の Shear 条件)。同様に運動視差の場合、垂直頭部運動条件ではこの関係が逆転する。実験結果は、Expansion 条件でのみ錯覚が生じることを示した。

Lappin & Fuqua (24) は、パースペクティブをもつ刺激配列下での奥行視力を測定した。刺激は奥行方向に傾斜した面上を運動する3光点からなり、図17に示されたように、これらの光点は共線的に移動するようにCRT上に提示される。奥行視力は、この3光点のうち、中央光点が奥行的にみてその中央を移動しているか否かを求めるによって測定された。その結果、この種の奥行視力は副尺視力 (vernier acuity) と同等の精度をもつこと、また、この精度を維持するには3光点が運動視差をもつように移動することが必要である、などが明らかにされている。

知覚研究の領域では、今日、多くのデータが積み重ねられ、また、様々な理論モデルが提唱されている。Grossberg (18) は、奥行、長さ、明るさ、形の知覚の相互の関係を統一的に説明する野心的な理論的試みを行った。理論化のために取り挙げられた知覚現象は、 Craik-O'Brien Cornsweet 錯視、主観的輪郭、明るさの両眼加重、等距離傾向、エンメルトの法則、実体鏡視、図一地問題などで、これまで知覚研究者が取り組んできた問題をほぼ網羅している。Grossberg の理論については、今後、詳細に検討する必要がある。

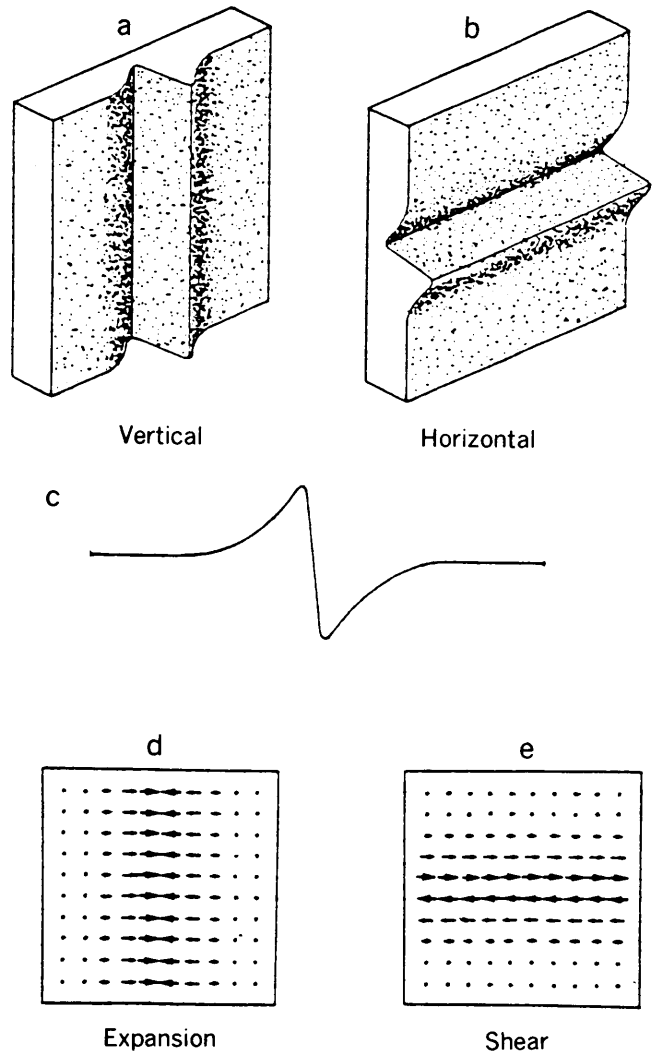


図16 Craik-O'Brien Cornsweet 様の凹凸パターン。  
(Rogers & Graham 1983)

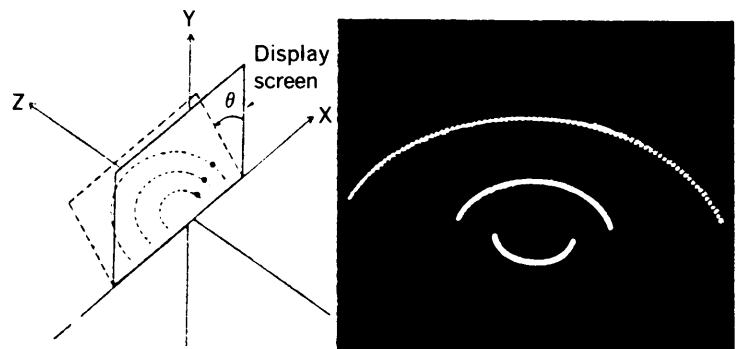


図17 3次元的に見える運動パターンの奥行視力を測定するための刺激  
(Lappin & Fugua. 1983)

## IX. おわりに

本報告を終わるにあたり、1984年の奥行知覚研究の特徴を概観しておきたい。まず、奥行知覚研究の主要なテーマである手がかり機構の解明の領域では、運動視差についての問題が第一にとりあげられるべきであろう。本年は、運動視差のメカニズムに直接踏み込んだ研究は見あたらなかった。しかし、それに代る興味あるものとして、Gogel (1982) に端を発した「頭部運動に伴って生起する静止対象の視かけの運動現象」の問題がある。従来、これは運動視差に付随する現象として看過されており、「静止対象が何故動いて見えるか」という問題の提起はなされてこなかったものである。Gogel が指摘するごとく、この種の視かけの運動は視かけの奥行距離を見誤ることに依るのか、それとも Shebilske & Profitt (44) の主張するように、paradoxical な retinal motion に依るのかは、運動視差の問題を解く上にも重要であると考えられる。また、運動視差の問題については、本年も、Rogers & Graham (39) が「観察者の頭部運動と連動した刺激の相対的運動を誘導させる方法」によって奥行（立体）を生起させ、 Craik-O'Brien Cornsweet 錯視の立体版について実験的分析を加えている。この実験はその結果とともに興味深いのが、それよりも注目されるのは、運動視差のみの操作によって実体鏡視ステレオグラムで得られるような立体パターンを自在に作成できる点であろう。論文からは、そのハードとソフトのノウ・ハウに関して詳らかに知り得ないが、多分、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  の3軸を同時に変化できる高品質のオシロスコープを使用したものと推定できる。今後、運動視差研究にはこの種のシステムの開発が必須となろう。

運動視差と並んで重要な奥行視メカニズムに実体鏡視がある。本報告でも述べたように、実体鏡視については、融合閾、輻輳、垂直視差、学習効果と発達、induced effect など、多面的に分析がなされたが、本年度とくに注目されるのは垂直視差の働きについての検討である。垂直視差は、もともと、induced effect の問題と関連して問題とされてきたが、未だその役割については明らかにされていない。垂直視差のみでは立体視が出現しないことも事実であるので、今後は水平視差と垂直視差との関連こそ追究されるべきであろう。実体鏡視の問題は、ランダム・ドット・ステレオグラムの開発以来、ここ20年間にめざましい進展をみたが、しかしこの方向での研究はほぼやり尽され、まとめの段階に達したようである。次の新たな展開を期す必要がある。

Braunstein (1967) も指摘するように、奥行視の問題には運動要因が密接に関係している。この点から、運動の奥行効果や立体的運動効果の問題は、Andersen & Braunstein (1) や Doner, Lappin & Perfetto (11) の研究にも示されたように、究極的には運動視差の問題にゆきつくと考えられるが、この方向での研究の進展も期待される。

奥行知覚の伝統的問題であった「大きさ—距離関係」、「恒常性」、「生得性—経験性」については、研究そのものが非常に少なくなり、評価すべき展開は見られない。これらの問題は、基本的解決をみたわけではないので、研究の継続が望まれる。

## —脚 注—

\* 拙著. 奥行知覚研究の動向. 1982, 1983参照

## 文 献 (1984)

- 1) Andersen. G.J. & Braunstein M.L. Dynamic occlusion in the perception of rotation in depth. *Perception & Psychophysics* 1983 34 356—362
- 2) Bacon, J. & Wallach, H. Configurational differences in stereovision. *Perception* 1982 11 607—613
- 3) Ball, W.A. ; Ballot, R. & Dibble, A. Stimulus dimensionality and infants' perceived movement in depth. *Journal of Genetic Psychology* 1983 143 193—200
- 4) Berbaum, K. ; Tharp, D. & Mroczek, K. Depth perception of surfaces in pictures : Looking for conventions of depiction in Pandora's box. *Perception* 1983 12 5—20
- 5) Beverley, K.I. & Regan, D. Texture changes versus size changes as stimuli for motion in depth. *Vision Research* 1983 23 1387—1400
- 6) Bingishi, K. Disappearance of stereopsis in the line stereograms. *Japanese Journal of Psychology* 1983 54 314—320
- 7) Birch, E.E. ; Gwiazda, J. & Held, R. The development of vergence does not account for the onset of stereopsis. *Perception* 1983 12 331—336
- 8) Chevier, J. & Delorme, A. Depth perception in Pandora's box and size illusion : Evolution with age. *Perception* 1983 12 177—185
- 9) Chung, C.S. & Berbaum, K. Form and depth in global stereopsis. *Journal of Experimental Psychology* 1984 10 258—275
- 10) Cook, M. ; Hine, T. & Williamson, A. The ability to see solid form in early infancy. *Perception* 1982 11 677—684
- 11) Doner, J. ; Lappin, J.S. & Perfetto, G. Detection of three-dimensional structure in moving optical patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance* 1984 10 1—11
- 12) Duwaer, A.L. Patent stereopsis with diplopia in random-dot stereogram. *Perception & Psychophysics* 1983 33 443—454
- 13) Finlay, D. Stroboscopic motion in depth. *Perception* 1982 11 733—741
- 14) Fowler, C.J. & Amajoyi, V.C. The effects of object familiarity on the pictorial depth perception of Ibo children. *Journal of Social Psychology* 1983 120 155—162
- 15) Gillam, B. & Lawergren, B. The induced effect, vertical disparity, and stereoscopic theory. *Perception & Psychophysics* 1983 34 121—130
- 16) Granrud, C.E. & Yonas, A. Infants' perception of pictorially specified interposition. *Journal of Experimental Child Psychology* 1984 37 500—511
- 17) Granrud, C.E. ; Yonas, A. & Pettersen, L. A comparison of monocular and binocular depth perception in 5- and 7- monthold infants. *Journal of Experimental Child Psychology* 1984 38 19—32
- 18) Grossberg, S. The quantized geometry of visual space: The coherent computation of depth, form, and lightness. *Behavioral & Brain Sciences* 1983 6 625—692

- 19) Hyson, M.T.; Julez, B. & Fender, D.H. Eye movements and neural remapping during fusion of misaligned random-dot stereograms. *Journal of the Optical Society of America* 1983 73 1665—1673
- 20) Iida, T. Accommodative response under reduced visual conditions. *Japanese Psychological Research* 1983 25 222—227
- 21) Klymenko, V. & Weisstein, N. The edge of an event: Invariants of a moving illusory contour. *Perception & Psychophysics* 1983 34 140—148
- 22) Krekling, S. & Blika, S. Meridional anisotropy in cyclofusion. *Perception & Psychophysics* 1983 34 299—300
- 23) Krol, J.D. & Van de Grind, W.A. Depth from dichoptic edges depends on vergence tuning. *Perception* 1983 12 425—438
- 24) Lappin, J.S. & Fuqua, M.A. Accurate visual measurement of three-dimensional moving patterns. *Science* 1983 221 480—481
- 25) Lee, D.Y. & Ciuffreda, K.J. Short-term adaptation to the induced effect. *Ophthalmic and Physiological Optics* 1983 3 129—135
- 26) Long, N.R. Transfer of learning in transformed random-dot stereostimuli. *Perception* 1982 11 409—414
- 27) Longuet-Higgins, H.C. The role of the vertical dimension in stereoscopic vision. *Perception* 1982 11 377—386
- 28) Longuet-Higgins, H.C. Appendix to paper by John Mayhew entitled: "The interpretation of stereo-disparity information: The computation of surface orientation and depth." *Perception* 1982 11 405—407
- 29) Luthardt-Laimer, G. Distance estimation in binocular and monocular salamanders. *Zeitschrift für Tierpsychologie* 1983 63 233—240
- 30) Mayhew, J. The interpretation of stereo-disparity information: The computation of orientation and depth. *Perception* 1982 11 387—403
- 31) Mohn, G. & Van Hof-Van Duin, J. On the relation of stereoacuity to interocular transfer of the motion and the tilt aftereffects. *Vision Research* 1983 23 1087—1096
- 32) Moran, G.; Timney, B.; Sorensen, L. & Desrochers, B. Binocular depth perception in the meerkat (*Suricata suricatta*). *Vision Research* 1983 23 965—969
- 33) Nakamizo, S.; Shibuta, K. & Noguchi, M. Magnitudes of disparity vergence responses at different convergence levels. *Japanese Psychological Research* 1982 24 181—187
- 34) Ono, H. & Steinbach, M.J. The Pulfrich phenomenon with eye movement. *Vision Research* 1983 23 1735—1737
- 35) Patterson, R. & Fox, R. Depth separation and the Ponzo illusion. *Perception & Psychophysics* 1983 34 25—28
- 36) Poggio, T. Vision and machine. *Scientific American* 1984 250 106—116
- 37) Poggio, G.F. & Poggio, T. The analysis of stereopsis. *Annual Review of Neuroscience* 1984 7 379—412
- 38) Richards, J.E. & Rader, N. Affective, behavioral, and avoidance responses on the visual cliff: Effects of crawling onset age, crawling experience, and testing age. *Psychophysiology*

- 1983-20 633-642
- 39) Rogers, B.J. & Graham, M.E. Anisotropies in the perception of three-dimensional surfaces. *Science* 1983 221 1409-1411
- 40) Rossel, S. Binocular stereopsis in an insect. *Nature* 1983 302 821-822
- 41) Rubin, D.C. A depth aftereffect caused by viewing a rotating Ames window. *Perception* 1982 11 703-705
- 42) Sato, T. Depth seen with subjective contours. *Japanese Psychological Research* 1983 25 213-221
- 43) Schwartz, B.J. & Sperling, G. Luminance controls the perceived 3-D structure of dynamic 2-D displays. *Bulletin of the Psychonomic Society* 1983 21 456-458
- 44) Shebilske, W.L. & Proffitt, D.R. Paradoxical retinal motions during head movements: Apparent motion without equivalent apparent displacement. *Perception & Psychophysics* 1983 34 476-481
- 45) Timney, B. The effects of early and late monocular deprivation on binocular depth perception in cats. *Developmental Brain Research* 1983 7 235-243
- 46) Tyler, Z.E.; Allen, J.A. & Pasnak, R. Instruction effects on size and distance judgments. *Perception & Psychophysics* 1983 34 135-139
- 47) Vanclair, J.; Emmanuelli, E. & Etienne, A.S. Sensory modalities on depth perception by golden hamsters. *Perceptual & Motor Skills* 1984 58 291-298
- 48) Wilson, J.A.; Robinson, J.O. & Piggins, D.J. Wobble cones and Wobble holes: The stereokinetic effect revised. *Perception* 1983 12 187-193

## 参 考 文 献

- Atkinson, J. & Braddick, O. Stereoscopic discrimination in infants. *Perception* 1976 5 29-38
- Birch, E.E.; Gwiazda, J. & Held, R. Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants. *Vision Research* 1982 22 507-513
- Bough, E.W. Stereoscopic vision in the Macaque monkey: A behavioral demonstration. *Nature* 1970 325 42-44
- Bower, T.G.R. Slant perception and shape constancy in infants. *Science* 1966 151 832-834
- Braunstein, M.L. Depth perception through motion. Academic Press 1976 New York
- Collet, T. Stereopsis in toads. *Nature* 1977 267 349-351
- Fender, D. & Julesz, B. Extension of Panum's fusional area in binocularly stabilized vision. *Journal of the Optical Society of America* 1967 57 819-830
- Forster, L.M. Visual mechanism of hunting behavior in *Trite planiceps*, a jumping spider (Araneae: Salticidae). *New Zealand Journal of Zool* 1979 6 79-93
- Fox, R.; Aslin, R.N.; Shea, S.L. & Dumais, S.T. Stereopsis in infants. *Science* 1980 207 323-324
- Fox, R. & Blake, R.R. Stereoscopic vision in the cat. *Nature* 1971 253 55-56
- Fox, R.; Lehmkuhle, S.W. & Buch, R.C. Stereopsis in the falcon. *Science* 1971 197 79-81
- Frisby, J.P. & Clatworthy J.L. Learning to see complex random-dot stereograms. *Perception* 1975 4 173-178

- Gogel, W. Analysis of perception of motion concomitant with a lateral motion of the head. *Perception & Psychophysics* 1982 32 241—250
- Gregory, R.L. Visual illusions. *Scientific American* 1968 218 66—76
- Helmholtz, H. *Physiological Optics* 1909 Dover New York
- Julesz, B. Binocular depth perception without familiarity cues. *Science* 1964 145 356—362
- Klymenko, V. & Weisstein, N. The motion induced contour. *Perception* 1981 10 627—636
- O'Shea, R.P. & Crassini, B. The development of cyclofusion on orientation. *Perception & Psychophysics* 1982 32 195—196
- Pettigrew, J.W. & Konishi, M. Neurons selective for orientation and binocular disparity in the visual Wulst of the barn owl (*Tyto alba*). *Science* 1976 193 675—678
- Ramachandran, V.S. Learning-like phenomena in stereopsis. *Nature* 1976 262 382—384
- Regan, D.; Beverley, K. & Cynader, M. The visual perception of motion in depth. *Scientific American* 1979 240 122—133
- Roger, B.J.; Steinbach, M.J. & Ono, H. Eye movements and the Pulfrich phenomenon. *Vision Research* 1974 14 181—184
- McFadden, S. & Wild, J.M. Stereopsis as a primary cue for depth perception in the pigeon. *Society of Neuroscience Abstract* 1982 8 942
- Mitchell, D.E. Properties of stimuli eliciting vergence eye movement. *Vision Research* 1970 10 145—162
- Mitchell, D.E. & Ware, C.W. Interocular transfer of a visual aftereffect in normal and stereoblind humans. *Journal of Physiology* 1974 236 707—721
- Treisman, A. Binocular rivalry and stereoscopic depth perception. *Quarterly Journal of Psychology* 1962 14 23—27
- Ware, C.W. & Mitchell, D.E. On interocular transfer of various visual aftereffects in normal and stereoblind observers. *Vision Research* 1974 14 731—734
- Westheimer, G. & Mitchell, D.E. The sensory stimulus for disjunctive eye movement. *Vision Research* 1969 9 749—755