

奥行知覚研究の動向 —1985—

A Survey of Papers on the Visual Depth Perception in 1985

林 部 敬 吉
Keikichi HAYASHIBE

目 次

- I は じ め に
- II 奥行知覚の手がかり分析
 - (1) 運動視差
 - (2) familiar size 要因
 - (3) 肌理勾配, パースペクティブ要因
- III 実 体 鏡 視
 - (1) 網膜非対応の検出
 - (2) 垂直視差
 - (3) salience 効果
 - (4) Panum 融合閾
 - (5) 実体鏡視異常 (stereomanomaly)
 - (6) 実体鏡視仮現運動 (stereoscopic apparent motion)
 - (7) 実体鏡視的奥行恒常性 (stereoscopic depth constancy)
 - (8) 眼球運動
 - (9) その他の研究
- IV 大きさ—距離関係
 - (1) 物理的奥行距離と視えの奥行距離
- V 運動の奥行視
 - (1) 運動の奥行効果 (kinetic depth effect)
 - (2) フリッカーの奥行効果 (flicker induced depth)
- VI 平面画像の奥行視
 - (1) 矩形波パターン照明による奥行効果
 - (2) 主観的輪郭
 - (3) object-superiority 効果
 - (4) 発達的研究
- VII ヒトの乳児および動物を対象とした奥行知覚研究
 - (1) 視覚的断崖法を用いての研究
 - (2) 乳児における肌理勾配要因
 - (3) 乳児における運動の奥行効果
 - (4) 乳児における経験的要因の奥行手がかり効果

- (5) 動物の奥行弁別反応
 VIII その他の奥行知覚研究
 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1985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) 運動視差

図1-aに示されたように、線分上にドットを配列し奥行方向に回転させると、polar projection をとる網膜上ではパースペクティブな刺激配列の変化をもたらす。このパースペクティブな変化は、幾何光学的に分析すると、各点の運動の方向、順序、速度の諸要素の組み合わせにもとづいていることがわかる。方向要素とは、proximal な刺激配列の変化のうち、運動の方向性についての変化をいう。いま、図1-bに示されたように、distal stimulus として2点(A, A')がOを中心として反時計方向(B, B')の位置に動く時、proximal stimulus としては、AからB, A'からB'へと同方向に変化する。同方向への変化はこの円弧の範囲内に限られ、それ以外では、各点(A, B), (A', B')は互に逆方向に変化する。順序要素とは次のようなものを指す。いま、図1-cのように、distal stimulus である各点A, B, Cが反時計方向に回転する時、proximal stimulus としては、その点の限界点まで移動し、次いで方向を反転させることになる。この場合、各点の反転に時差が生じ、図1-cの場合にはAがもっとも早く反転し、以下、B, Cの順序になる。速度要素とは、proximal stimulus 上での各点の運動速度勾配をいう。いま、distal stimulus 上での各点が等速に回転する時、それが観察者の方へと接近する場合

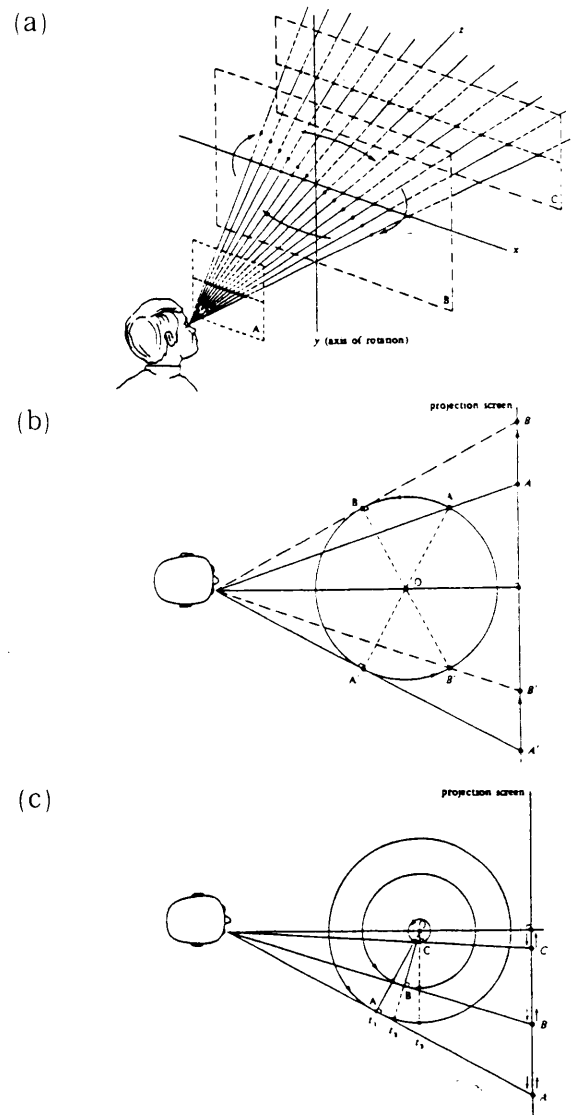


図1 運動視差の幾何光学的分析。(a)運動視差を誘導する刺激布置。(b)運動視差成分中の方向要素を表す解析図。(c)運動視差成分中の順序要素を表す解析図。(Carpenter, D. L. & Dugan, M. P. 1983)

には, proximal stimulus 上の各点の速度勾配は増大し, 逆に遠去かる場合には, その速度勾配は減少する。したがって, proximal stimulus の各点が, 左方向に速度を増大する場合には, distal stimulus では各点は時計方向に回転する。Carpenter & Dugan (8) は, proximal 上でのこの種の変化要因の中, 順序と方向の各要素をとりあげ, 各要素の単独での奥行効果の検討を試みた。刺激は, CRT上にコンピュータの制御の下, 各要素が単独で作用するように提示され, また, 奥行効果の判定のために, ドットの回転方向についての判断がもとめられた。その結果, 順序, 方向の両要素とも単独で独立した奥行効果が認められた。このことから, 一般に運動視差といわれる要因は, 速度勾配要素ばかりでなく, 順序, 方向要素も加味されている。

(2) familiar size 要因

Higashiyama (16) は, familiar size の奥行手がかり効果についての2つの仮説の検証を試みた。その2つの仮説とは, cue-conflict 仮説と viewing-attitude 仮説である。前者の仮説によれば, familiar size が手がかりとしての効果をもつのは, 他のこれと拮抗する手がかりが存在しない場合に限るとされ, また後者の仮説によれば, 観察者がその対象についてある態度をもつ時のみ familiar size は奥行効果をもつ, とされる。両仮説の検証のために, 奥行手がかり条件を full cue, 両眼視, 単眼視のように段階的に縮減する事態を設定し, familiar size を無視する態度とそれを積極的に利用する態度とを指示して対象の視かけの大きさや奥行距離について観察, 報告させた。この場合, cue-conflict 仮説によれば, 視かけの大きさや奥行距離判断に影響を与えるのは, 奥行手がかり条件のみと予測されるのに対し, viewing attitude 仮説によれば, 奥行手がかり条件の如何にかかわらず, 観察態度が視かけの大きさや奥行距離判断に影響を与えると予測される。実験の結果, 観察態度は視かけの大きさや奥行距離判断に影響を与えるのに対し, 奥行手がかり条件は影響を与えないこと, また, 教示によって観察態度を指示しない場合には, 奥行手がかりが縮減されると, 観察態度が familiar size を積極的に利用する方向へと自然に変化することが示された。これらの結果から, viewing attitude 仮説が支持されている。

(3) 肌理勾配, パースペクティブ要因

地面やものの表面に散在する様々な物体が知覚者の網膜に投影すると, その投影像のなかには対象の位置と距離に対応してある規則性が生ずる。これは, 一般に, 肌理勾配 (texture gradient) と呼ばれ, 地面やものの表面の形態や奥行についての重要な情報源となる。Cutting & Millard (10) は, 肌理勾配要因を幾何光学的に分析し, それが3つの構成要素, すなわち, perspective, compression, density から成ることを見出した。perspective gradient とは, 視線と直交する投影面 (前額平行面) を考えた場合のその面上での奥行距離に伴う対象の横長 (x) の変化を, compression gradient とは, 同様な投影面での奥行距離に伴う対象の縦長 (y) と横長の比の変化 (y/x) を, そして density gradient とは, ある一定の視覚内に存在する対象の個数の奥行距離に伴う変化を, 各々指す。対象までの奥行距離を d , 対象の大きさを t (ラジアン), 観察者の眼の高さを e , ある一定の視覚内の対象の散布度を n とすると, perspective gradient (P), compression gradient (C), density gradient (D) は, 各々, 次式で表される。

$$P = \sqrt{2} \cdot \arctan [t / (d^2 + e^2)^{1/2}]$$

$$C = \arctan [(d+t) / e] - \arctan [(d-t) / e]$$

$$D = 1 / \{ \arctan [(d+n) / e] - \arctan [(d-n) / e] \times 2 \arctan [n / (d^2 + e^2)^{1/2}]$$

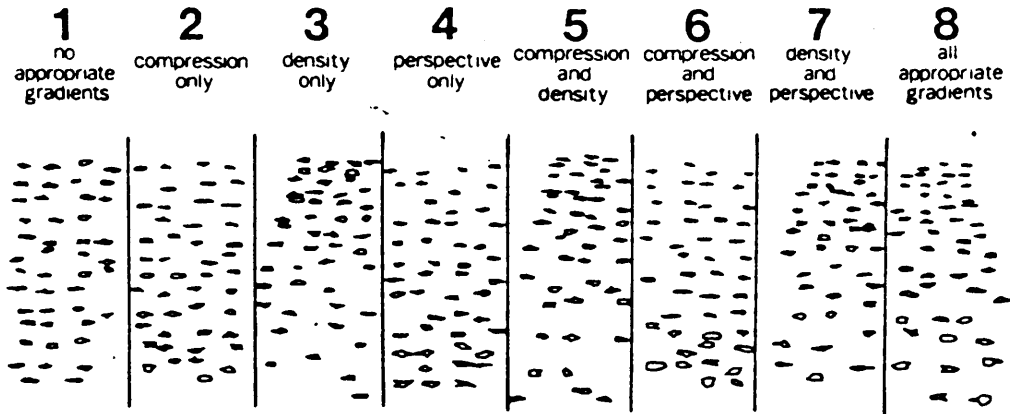


図2 肌理勾配の幾何光学的分析。図中、刺激要素は不規則に配され、また、肌理勾配の3成分、compression, perspective, densityが、単独あるいは複数、組み合わせられている。
(Cutting, J. E. & Millard, R. T. 1984)

Cutting らは、これらの要素を、図2に示されたように、単独あるいは組合わせてフラットな面あるいは湾曲面になるようにシミュレート、3要素のうちどの要因がもっとも奥行情報を担うかを検討した。刺激はコンピュータによりディスプレイ上に公式にもとづいて提示、観察者には、「よりフラット」または「より湾曲」して見える方の選択を一对比較で求めた。その結果、表面がフラットであるか否かの知覚には、perspective gradient がもっとも重要な要素であること、また、表面の湾曲の知覚には compression gradient が重要な要素であること、が明らかにされている。

ところで、飛行機を夜間着陸させる場合、パイロットは、しばしば、自飛行機と着陸目標点の高さの関係を過大に誤認し、その結果として侵入角度を小さくとり、目標点の手前で接着するというミスをする事が知られている。Perrone (25) は、これを奥行視の問題として取りあげ分析を試みた。それによると、パイロットが目視により飛行機を着陸させようとする場合には、図3-aに示されたように、パースペクティブ要因が唯一の奥行手がかりとなって飛行機の侵入角度を決定する。侵入角(θ)は、図3-bのようにX、Yを規定した場合、次式で示される。ここで、fは定数である。

$$\tan \theta = \{ Y^2 / (Y - X) \} \times 1 / f$$

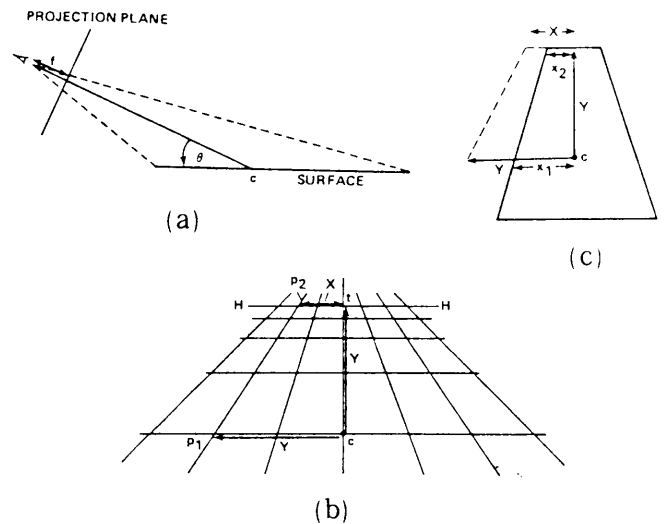


図3 飛行機着陸時の奥行視の分析。(a)着陸時の侵入角とパースペクティブ。(b)着陸時の刺激布置。(c)夜間着陸時の刺激布置。
(Perrone, J. A. 1984)

公式に示されたように、侵入角はYとXの差に反比例するので、Yを長くすればそれだけ侵入角は正確に知覚されることになる。一方、夜間着陸の場合、図3-cに示されたように、侵入を誘導する侵入灯は滑走路の両縁と両端にしか設置されていないため、Yの距離を指示するパースペクティブ要因が存在しない。したがって、YとXの距離を不正確に知覚することになり、その結果としてミスランディングを招く。この仮説は、実験データとも良く一致することが確認されている。

Ⅲ. 実 体 鏡 視

(1) 網膜非対応の検出

ランダム・ドット・ステレオグラムを用いた実体鏡視の研究は、実体鏡視の基本的問題が網膜非対応の検出にあることを明確にさせた。とりわけ、ランダム・ドット・ステレオグラムを帯域濾波することによってその空間周波数成分を操作し、それにある限定された空間周波数からなるマスキングノイズをかけることによって網膜非対応の検出過程をみた実験によると、ステレオグラムとマスキングノイズの空間周波数の差が2オクターブ以内の場合には、実体鏡視が著しく妨害されること (Julesz & Miller 1975)、また、ランダム・ドット・ステレオグラムの左右パターンの各々を別々に帯域濾波し、左右パターンの空間周波数が重複しないようにすると、例え左右パターン内に実線からなる輪郭が存在しても立体視が生じないこと (Mayhew & Frisby 1976, Frisby & Mayhew 1978) などから、現在のところ、網膜非対応のマッチングは空間周波数から検出される像 (イメージ) にもとづいて左右眼間でなされる、と考えられている。

Boothroyd & Blake (3) は、ひとつのステレオグラムに複数の抗争する網膜非対応を導入し、その検出過程を探ろう

と考えた。刺激は、図4-aに示されたように、test grating (TG) と comparison grating (CG) という2つのステレオグラムから成る。TGのステレオグラムでは、左右の空間周波数に位相差を設定して非対応をつくとともに、左右の各々に2種類の空間周波数を用いることによってもうひとつの非対応を導入する。このとき、TGの左右パターンの各々の明るさコントラストを別々に変化させる条件も付加する。TGの立体出現の程度は、左右とも同一の空間周波数からなるCGの位相差を変化させることによって測定される。実験の結果、2種類の

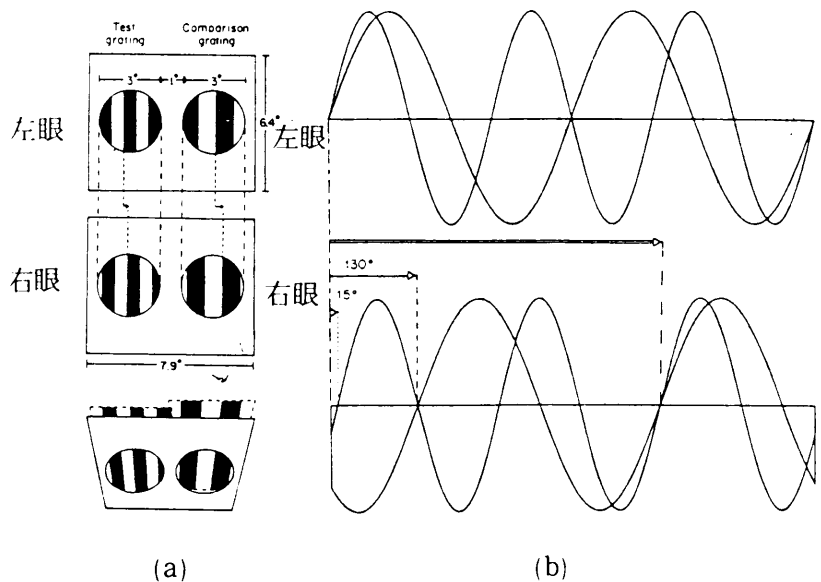


図4 (a)複数の抗争する網膜非対応をもつステレオグラム (Test grating) と、その奥行出現の程度を測定するためのステレオグラム (Comparison grating)。 (b) 6 c/deg と 9 c/deg の2種類の成分をもつ複合 grating を表す解析図。図中、二重矢印で示された部分は、2種類の成分の複合された非対応を示す。
(Boothroyd, K. & Blake, R. 1984)

空間周波数が導入されても、その明るさコントラスト比が近似する条件では、立体出現は、図 4 - b に示されたように、2 種類の空間周波数が複合して作り出す非対応によって規定されることが示された。とくに、複合による非対応が各々の空間周波数のつくる非対応よりも相当大きくても、立体視が生じることがわかった。しかし、左右パターンの一方の明るさコントラスト比が異なる場合には、コントラストの小さい方の空間周波数は、視かけ上、輪郭が明瞭に知覚されても、立体出現のための非対応としてその役割を果たさないことも示された。さらに、左右パターンの明るさコントラスト比が等しい場合で、かつ、左右の空間周波数が同期せず、したがって、複合による非対応が生じない場合には、複数の奥行面が生じることを見いだされた。これらの結果は、網膜非対応の検出過程のモデルを構成する上で重要な手がかりを与えている。

(2) 垂直視差

垂直視差の融合閾については、近年、研究が盛んに成されている。Fender & Julesz (1967) は、stabilized image を用いることによって眼球運動要因を取り除いた条件で垂直視差の融合閾を測定し、それが 9 ~ 14' であるときとめているし、また、Duwaer (1982) も、残像法を用いて眼球運動要因を除去した条件で、融合閾が 8 ~ 15' であることを確認した。Nielsen & Poggio (20) は、Panum の融合閾の範囲内で水平視差を変化させた時、垂直視差をどの程度付与すると実体鏡視の成立が妨害されるのか、その閾値を測定することによって垂直視差の許容限界の測定を試みた。刺激はランダム・ドット・ステレオグラムとし、垂直視差をその「図」に当る領域（正方形と菱形）と「図」と「地」の両領域に付与したものが作成された。被験者には、実体鏡視時の形とその奥行方向についての報告が求められた。その結果、水平視差が 1.8' または 5.4' をとる時、「図」に当る領域にのみ視差を付与した条件での実体鏡視成立のための許容限界閾は 3.5'、また、「図」と「地」の両領域に垂直視差を付与した条件のそれは 6.5' であることが見いだされた。

(3) Saliency 効果

実体鏡視は、一般的には、両眼間に存在する網膜非対応にもとづいて成立する。しかし、網膜非対応を付与した対象の近傍に他の刺激を導入すると、網膜非対応の検出閾が著しく影響されることが知られている。Mitchison & Westheimer (18) は、図 5 - a に示されたように、網膜非対応をもつ垂直線分に種々な線分を付加して、その網膜非対応の検出閾（この場合、2本の垂直線分の一方が他方よりもより手前に見えるか否かの境目の値）を求めたところ、種々な線分を付加した条件での閾値は、より大になることが示された。そこで、図 5 - b に示されたような刺激布置を考案し、同様に、テスト線分の網膜非対応検出閾を求めたところ、テスト線分の検出閾は近傍の線分の非対応の程度によって直接影響されることが示された。これらの結果にもとづいて、Mitchison らは、テスト線分の視えの奥行がこれらの間の網膜非対応によって直接規定されるのではなく、テスト対象の網膜非対応とこの近傍にある他の対象の網膜非対応との合計によって規定される、とする saliency 仮説を立てた。すなわち、この仮説を公式化すると、Saliency (L) は以下の式で表される。

$$L = \sum w_i (d_i - d)$$

ここで、 w_i は重み係数、 d_i は近傍対象の網膜非対応、 d はテスト対象の網膜非対応を、各々

表す。いま、図5 - bの (a) を例にとり、仮に、テスト刺激の左線分の網膜非対応を凝視面に対して $(d/2)$ 、右線分のそれを $(-d/2)$ 、近傍のそれを $(-D)$ とする時、テスト刺激の左線分の Saliency (L_1) は、

$$L_1 = -W_1 \cdot d - W_2 \{(d/2) + D\}$$

また、テスト刺激の右線分の Saliency (L_2) は、

$$L_2 = W_1 d - W_1 \{D - (d/2)\}$$

となる。テスト刺激の各々が、視かけ上、等しい奥行に視えるのは、 $L_1 = L_2$ の時と考えられるので、両式を解くと、

$$d(5W_1 + W_2) = 2D(W_1 - W_2)$$

が得られる。ここで、 $r = W_1 / W_2$ と仮定すれば、

$$d = 2D(1 - r) / (5 + r)$$

となる。この式から、 d は D の linear な関数であることから、テスト線分の網膜非対応は近傍対象のそれによって直接規定されることになる。Mitchison らは、その他の刺激配置についても同様な計算を行い、Saliency 仮説がデータと良く一致することを確認している。

(4) Panum 融合

実体鏡視は、Panum 融合閾を越える網膜非対応をもつ場合でも成立することが知られている (Richards 1971)。一方、空間周波数を刺激とする場合、低空間周波数は Panum の融合閾を拡大し、高空間周波数はそれを縮小させる (Kulikowski 1978)。したがって、実体鏡視成立のための網膜非対応の限界は、空間周波数によって異なると考えられる。そこで、Schor, Wood & Ogawa (26) は、空間周波数、網膜非対応と両眼視融合、実体鏡視との関係を再吟味した。その結果、高空間周波数の場合、両眼視融合閾は従来の融合閾とほぼ重なり、実体鏡視成立のための上限より小さいのに対し、低空間周波数の場合には、融合閾は大きく、実体鏡視成立のための網膜非対応の上限に近づくことがわかった。これらのことから、高空間周波数に関する disparity detector は、光学的に精巧であるのに対し、低空間周波数のそれは粗い精

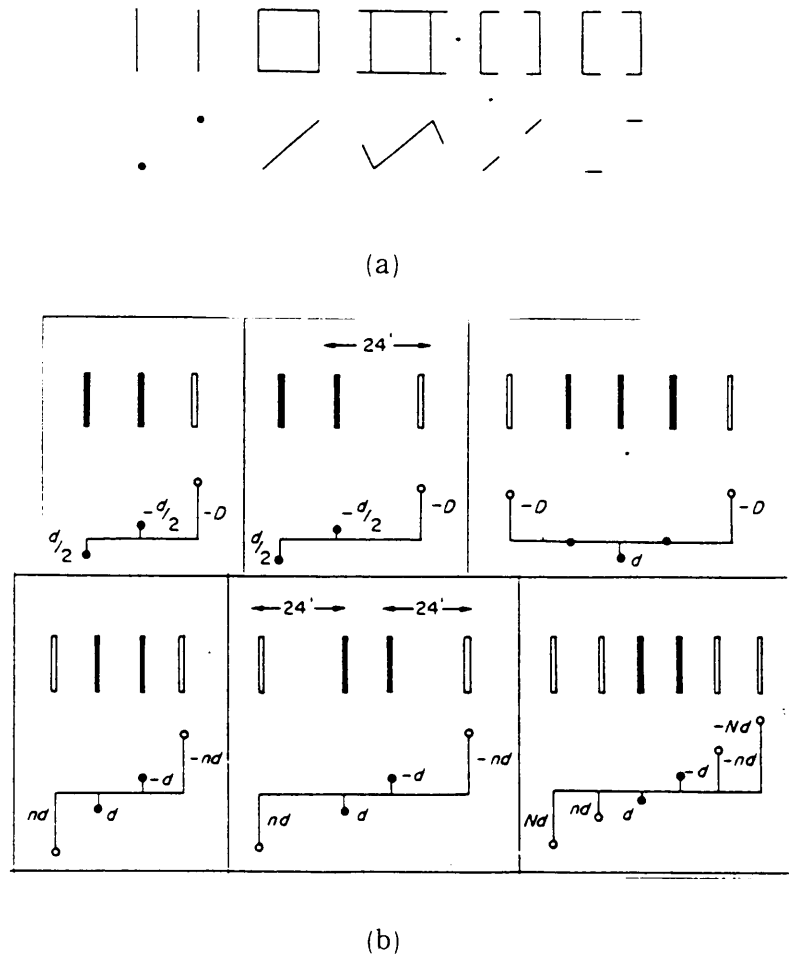


図5 Saliency 効果を誘導するステレオグラム。(a)網膜非対応を付与された垂直2線分を基本に、それに種々な線分を加えた刺激配置とその立体出現の仕方。(b)網膜非対応を付与された垂直2線分(黒)と、それに付加された線分(白)の刺激配置とその立体出現の仕方。(Mitchison, G. J. & Westheimer, G. 1984)

度をもつと考えられる。

(5) 実体鏡視異常 (stereoanomaly)

Richards (1970, 1971) の研究によれば、ランダムに抽出した被験者の3割は、いずれか一方の方向(交差又は非交差)の網膜非対応に無感覚である(stereoanomaly)といわれる。Patterson & Fox (23) は、Richards の測定法が眼球運動を制限する必要上(自由な眼球運動を許すと凝視点を変更して非対応の方向を変えてしまう)、ステレオグラムを瞬間提示しているので、stereoanomaly と診断されたものが神経生理学的欠陥をもつというよりは、網膜非対応を検出、処理するに十分な時間が保証されないために異常とされるのではないかと考えた。これを検証するために、眼球運動要因を除去し、かつ、観察時間を十分長くさせることができる残像法を用いて測定を試みた。残像法とは、フラッシュ・ガンを用いてステレオグラムを提示することによって強い残像を形成し、次いで、投映スクリーンに残像を投映させながら実体鏡視を成立させる方法である。実験の結果、従来の方法で実体鏡視異常(stereoanomaly)とされたもの15名の中、12名のものは通常の実体鏡視能力をもっていることが明らかにされた。

また、Shimono, Kondo, Shibuta & Nakamizo (28) は、stereoanomaly のものを対象として大脳半球間での視差情報の統合過程を探ろうと考えた。対象とされた stereoanomaly には、凝視点に対し対称に提示された刺激のいずれかの方向の視差に対して無感覚であるものを選んだ。このものは、両半球のいずれか、あるいは両方でこの視差の検出ができないものと考えられる。この被験者には、視野の中心にある凝視点の左又は右に提示される3種の非対応(交差、非交差、ゼロ視差)を付与された対象の奥行位置(前、同、後)の判断が求められた。その結果、10名の stereoanomaly のうち、7名のものは両周辺視野に提示された対象の非対応をすべて、あるいはそのいくつかを識別することができた。これらの被験者は、各半球での視差情報は処理できるが、両半球の統合を必要とする視差情報処理はできないことを示す。このことから、各々の大脳半球の視差検出過程が、両半球からの視差情報を統合する過程と独立であることが示唆される。

さらに、Shimono (27) は、3人の stereoanomalous な被験者を対象とし、ある広い範囲の視差について視差の増大に伴う視えの奥行量を測定した。その結果、これらのうち2名のものは、比較的小さい視差(1', 3')では、視差と視えの奥行量との関係は健常者と同等であったが、比較的大きい視差(30', 50')では、視差に対する視えの奥行量は減衰を示した。この結果は、実体鏡視が fine stereopsis と coarse stereopsis の2つのサブシステムから成るとする Bishop & Henry (1971) の仮説を支持する。

stereoanomalous なものを対象とした研究では、いずれにしても、Patterson らが指摘するように、その診断のための明確な技法を確立させることが急務と考える。

(6) 実体鏡視仮現運動 (stereoscopic apparent motion)

実体鏡視下で交差視差と非交差視差を交替させると、視差を付与された対象が奥行方向に運動して見える実体鏡視仮現運動(stereoscopic apparent motion)が報告されている(Richards 1972, Regan & Beverley 1973)。単眼的手がかりを除去したランダム・ドット・ステレオグラムを用いた実体鏡視仮現運動は、Julesz & Bosche (1966) によって試みられ、同様に、奥行方向への運動が観察されている。Norcia & Tyler (21) は、図6のようなダイナミック・ランダム・ドットをCRT上に提示し、交差視差と非交差視差の交替頻度を種々変

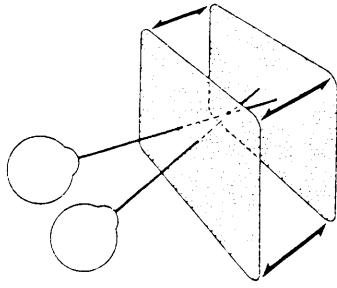


図6 実体鏡視仮現運動を誘導する刺激布置。CRT上に提示されたランダム・ドットの網膜非対応の交差成分と非交差成分を交替させることによって仮現運動を生起させる。
(Norcia, A. M. & Tyler, C. W. 1984)

化させることによって、実体鏡視仮現運動がどのように変化するかを分析するとともに、同時に、実体鏡視仮現運動に伴う誘発電位の測定も試みた。その結果、まず、実体鏡視仮現運動での運動相が生起するのはおおよそ6 Hzまでであり、これを越えると振動する2つの奥行面が同時に視える振動相に変わり、さらに14 Hzを過ぎると2つの奥行面が同時に視える同時相へと移行すること、また、誘発電位は運動相の限界である6 Hz前後では減少するが、これを過ぎると逆に増大を示し、12~14 Hz前後で最終的に消失すること等が明らかにされている。

(7) 実体鏡視的奥行恒常性 (stereoscopic depth constancy)

網膜非対応は、対象までの観察距離が長くなると、それに伴って小さくなる。網膜非対応が小さくなれば、それによって生起する視えの奥行量は小さくなるが、実際には、視えの奥行量は恒常を示す。この現象は実体鏡視的奥行恒常性 (stereoscopic depth constancy) といわれる。これまでの研究によると、観察距離が2 m以下の場合には、実体鏡視的奥行恒常性が生起することが確認されている (Ono & Comerford 1977)。しかし、この距離を越えるものについては、いまだ明確な結果は見い出されていない。Cormack (9) は、観察距離が数 m 以上ある時の実体鏡視的奥行恒常性についてしらべた。実験上、2つの問題がある。それは、観察距離を種々変化した時に網膜非対応をどのように一定に保つかという問題と網膜非対応以外の奥行手かかりをどのように除去するかという問題である。そこで、残像法が用いられた。残像法では、観察距離 (残像投影距離) が変わっても、残像形成時の特性 (大きさ、網膜非対応、位置) はそのまま保持される。観察距離は1 m~7.8 kmまで変化され、観察距離が20 mを越える場合には、夜間、屋外で実験が行われた。また、網膜非対応は交差条件のみとしてある。視えの奥行量は、指標 (赤と白の縦縞模様からなるロッド) を用いてのマッチング、距離単位 (cm) による推定、および量推定の3種の方法によって求められた。その結果、視えの奥行量は、観察距離の増長に伴ってほぼ linear に増大することが示された。このことから、網膜非対応は観察距離に対応して再計算されること、この時の観察距離は視かけの奥行絶対距離とはほぼ等価となること等が示唆されている。

(8) 眼球運動

実体鏡視の観察は、通常、頭部をできる限り固定した条件で行われる。これは、網膜非対応のマッチングを容易にするためと運動視差など他の手かかりの混入を防ぐためである。Peterson & Fox (24) は、頭部を左右に運動する条件下でも網膜非対応の検出が可能か否かを試みた。観察者にはCRT上に提示されるダイナミック・ランダム・エレメント・ステレオグラムを、頭部を左右に運動させながら観察させ、対象認知のための閾値を測定する。頭部運動では、その速度 (0.5と2 Hz) と大きさ (10と20 deg) が操作された。実験の結果、頭部

運動は実体鏡視下での立体視出現に影響を与えないことが示された。このことから、眼球運動は網膜非対応のマッチングを可能にさせるよう補償的な働きをもつ、と考えられる。

(9) その他の研究

実体鏡視能力の判定及び実体鏡視力の測定には、ランダム・ドット・ステレオグラムを利用するのがもっとも正確である。しかし、被験者（患者）が幼く、また十分に対象を注視できない場合には、この方法は必ずしも適切ではない。Somers & Hamilton (29) は、実体鏡視能力の検査の1種である Titmus fly テストでの視えの奥行量を測定した。その結果、実体鏡視力と視えの奥行距離とは対応関係をもつことが示された。このことから、Titmus fly テストでも、実体鏡視力測定の代用になると考えられる。

Grabowska (13) は、実体鏡視下での左右の異方性についてしらべた。刺激はランダム・ドット・ステレオグラムとし、立体出現する矩形は、視野の左、または右方向に偏位させて瞬間提示 (30msec) した。その結果、対象となる矩形が視野の右よりも左に提示された方がより正確に検出されることが明らかにされた。

Mustillo (19) は、これまで試みられた実体鏡視研究を概観し、論評した。はじめに、網膜非対応の神経生理学的基礎について触れた後、交差あるいは非交差に特異的に作用する2種類の働きを仮説することの妥当性について、精神物理学的、眼球運動、発達の、実体鏡視異常、動物実験、電気生理学的、などの各側面からのデータにもとづいて論証した。そして、その結果、これら2種類の働きを仮定することが、実体鏡視のしくみを解明するためにもっとも重要であると結んでいる。

IV. 大きさ—距離関係

(1) 物理的奥行距離と視えの奥行距離

Bradley & Vido (5) は、眼前に展開されている距離の知覚ではなく、記憶された距離の知覚（推定）を検討した。手続は、ある山の頂上（地上からの高さ100～200ft）から見渡せる15個の対象物（石柱、木、建造物、教会、ラジオ塔、鉄道の支脚、高架道、山など）の位置を記憶させ、1日後に量推定法を用いて距離判定を行わせるというものであった。この時、統制条件として、眼前に展開される奥行距離の知覚も、同様に、量推定法によって求められた。実験の結果、物理的距離に対する視えの奥行距離の関数関係を表すべき指数は、知覚条件では0.811、記憶条件では、0.596となった。そこで、もっとも遠方の対象までの距離判断ともっとも近い対象のそれとの比を算出したところ、知覚条件では677：1、記憶条件では79：1であった。実際の距離比が3770：1であることを考えると、両条件、とくに記憶条件での視かけの奥行距離は大幅に圧縮されていることがわかる。

da Silva & dos Santos (11) は、視かけの奥行距離判断に及ぼす観察者の態度（構え）について量推定法を用いて吟味した。観察態度は、教示を通し、物理的奥行距離を判断する条件と視かけの奥行距離を判断する条件とした。実験は野外で行われ、対象は1.60～102.40 mまでの範囲に7個設定された。実験の結果、物理的奥行距離に対する視かけの奥行距離の関数関係を表すべき指数は、物理的態度条件で0.88、「視え」の態度条件で0.85となり、両態度間に差がないことが明らかにされた。このことから、量推定法の手続を用いると、観察態度による条件差は生起しない、と考えられる。

V. 運動の奥行視

(1) 運動の奥行効果 (kinetic depth effect)

Braunstein & Anderson (6) は、運動の奥行効果を成立させる要因について次のような仮説を立てた。① 各ドットが水平方向に運動する時、水平方向の速度成分がサイン波的に変化する場合には、それらは一定の速度で奥行方向に回転するものとして知覚される。② 各ドットが水平方向に運動する時、垂直方向の速度成分に勾配がある場合には、それらは凸または凹様の形をもつものとして知覚される(図7)。③ 同一領域内で反対方向に運動するドッ

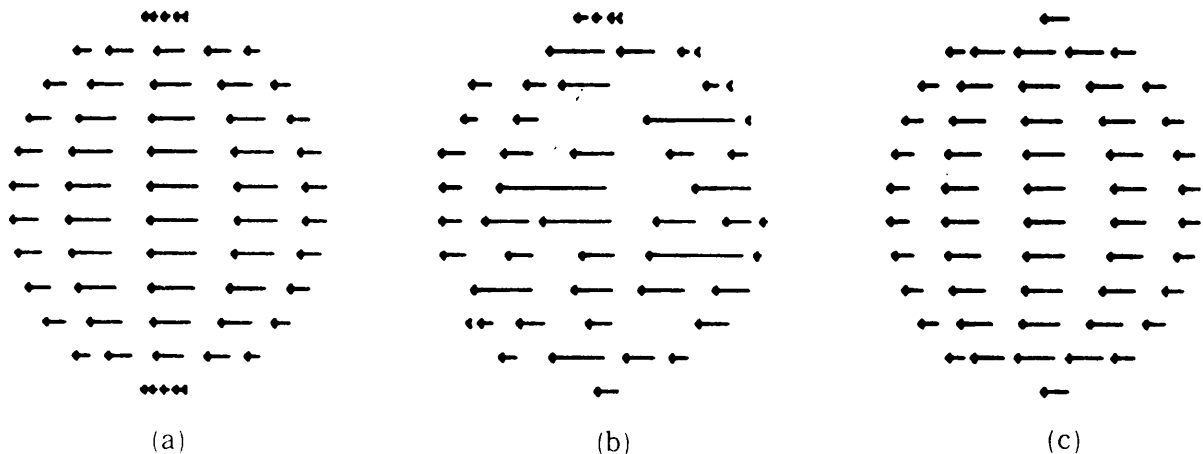


図7 運動の奥行効果を生じさせる速度勾配成分の分析。図中、(a)は速度勾配成分中、垂直方向に一定比率の速度勾配をもつ。(b)同様に、垂直方向にランダムな速度勾配をもつ。(c)垂直方向には、速度勾配はもたない。

(Braunstein, M. L. & Audersen, G. J. 1984)

トがある場合には、それらは前面と後面の両面をもつものとして知覚される。これらの仮説を検証するために、上記の3要素は各々独立に操作され、ディスプレイ上にコンピュータに制御されて提示された。被験者は、運動するドットを観察し、形状あるいは奥行について評定を行った。実験の結果、水平次元上でのサイン波的速度成分が、立体的形状の知覚の可否にもっとも大きい影響をもつこと、また、垂直次元上での速度勾配成分は視えの奥行(立体)量を規定していることが明らかにされた。これまで、運動の奥行効果の成立要因については、Wallach & O'Connell (1953)の実験以来、諸説が述べられてきたが、Braunsteinらの結果はそれに一定の決着を与えるものと言えよう。

一方、Ullman (31) は、運動の奥行効果を実行するコンピュータ・モデルの作成を試みた。モデル作成のために、以下の前提が置かれた。① 観察された対象の3次元構造の判断を各時間ごとに行う。この時構成された対象についての心的モデルは、観察当初、粗く不正確なものであるが、判断が進むにつれて改良される。② このスキームでは、rigidな形をできうる限り選択するように判断がなされる。③ このスキームでは、変形に対してできうる限り抵抗する。④ 観察時間が拡張されても、情報の統合を行うことができる。⑤ 最終的には、正確な3次元構造をもつ形、あるいはそれに近似したものを再生する。これらの前提にもとづいて、コンピュータ・モデルが作成された。いま、観察された対象の心的モデルを $M(t)$ とすると、 $M(t)$ は (X_i, Y_i, Z_i) の3次元から構成される。ここで、 (X_i, Z_i) は i 番目の点の心的座標であり、 Y_i はこのモデルによって推定される奥行距離である。観察当初は、

観察した対象の3次元性についての情報が欠けているので、最初のモデル ($M(t)$, $t=0$) は2次元であり、したがって $Y_i=0$ である。次に、対象が運動すると (t'), $M(t)$ はできる限り構造を変えないようにしながら $M(t')$ へと変る。この時、 $M(t')$ は (x_i, y_i) 座標で示されるが、いまだ y_i は未定である。 y_i は次のようにして算出される。 t 時の i と j 点の距離を L_{ij} とすると、

$$L_{ij}^2 = (X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2 + (Z_i - Z_j)^2$$

また、 t' 時の i と j 点の距離を l_{ij} とすると、

$$l_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2$$

スキーマは形の構造をできる限り変えないように推定させるという前提をとるので、 L_{ij} と l_{ij} とはできる限り近い値をとるように y_i の値を選択せねばならない。そこで、 L_{ij} と l_{ij} の間の差の測度を $D(L_{ij}, l_{ij})$ とすると、 y_i の値を決定するには $\sum D(L_{ij}, l_{ij})$ を最小にするよう演算すればよい。このようにして y_i の値が決定されれば、 (x_i, y_i, z_i) が新しいモデル $M(t')$ となり、レジスターされる。こうして、以下、この手順が繰り返される。Ullman は、このコンピュータ・モデルを形の構造が不変を保つ運動対象条件 (rigid) と変形する条件 (nonrigid) のもとで実行し、このモデルが運動の奥行効果にもとづく人間の知覚過程と質的に類似するという興味ある事実をあかしている。

(2) フリッカーの奥行効果 (flicker induced depth)

Wong & Weisstein (34) は、CRT 上に提示されたドットをフリッカーさせると、フリッカー領域は非フリッカー領域に較べて奥行的に後退して見える現象を見出し、これに条件分析的吟味を加えた。検討された要因は、フリッカー領域の大きさ (視角 $0.14 \sim 2.7^\circ$)、フリッカーの時間的要因 (12.5Hz), temporal modulation (25~100%), フリッカー領域の輝度 (輝度比 $0.75 \sim 2.0$) である。観察は単眼視で行われた。その結果、フリッカー領域が比較的大きい条件 (1.35 または 0.68°) でフリッカーの時間的条件が比較的高い (6.3 または 7.1 Hz) 時、奥行分離がもっとも大きいこと、またフリッカー領域の輝度が非フリッカー領域の輝度の2倍になってもフリッカー領域は奥行的に後方に見えること、さらに、temporal modulation が減少するにつれて奥行分離が小さくなること、などを明らかにした。フリッカーに誘導されて生起するこの種の奥行現象 (フリッカーの奥行効果, flicker induced depth) の特徴は、フリッカー領域の方が奥行的に背景を成すことであろう。運動に誘導されて出現する奥行現象 (運動視差など) では、一般的には運動領域あるいは運動速度の速い領域が前方に出現して見える。フリッカーの奥行効果の場合、フリッカー領域の方が「地」となり非フリッカー領域が「図」となるという逆転が生じている。この点については今後の検討を待ちたい。

VI. 平面画像の奥行視

(1) 矩形波格子パターン照明による奥行効果

Bergström, Gustafsson & Putaausuu (1) は、図8のようなテストパターンを矩形格子パターンで照明し、その見え方を観察した。照明を受けるテストパターンは、等質な灰色パターンおよび赤と緑の市松パターンのうち中央領域のみが灰色からなるものである。被験者に

は、このパターンが矩形格子パターンで照明された時に、3次元的（凸凹が波状に反復した3次元的な面）あるいは2次元的（フラットな面）のいずれに視えるかが尋ねられた。その結果、等質パターンに比較して市松パターンの方が、より3次元的に視えること、また、3次元性が出現した時の視かけの照明方向は、格子パターンの格子が水平方向に提示された場合には上方からが優位であるが、格子パターンの提示方向が垂直の場合には、左右方向のいずれについても差がない、などが明らかにされた。これらの結果の中、とくに、等質パターンより市松パターン照明を受けた時、視かけ上より多くの3次元性をもつとの結果は、伝統的な奥行手がかり論の予測するところとは異なることに注目されよう。

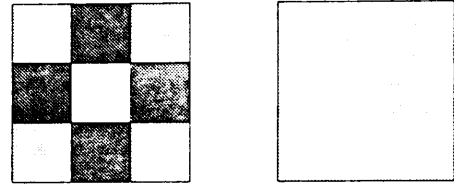


図8 矩形波格子パターンの照射を受ける図形。
(Bergström, S. S., Gustafsson, K. A. & Putaansuu, J. 1984)

(2) 主観的輪郭

Dumais & Bradley (1976) は、主観的輪郭図形の大きさが小さく、かつ照明強度が低い程、主観的輪郭の図形明瞭性は高まることを見い出しているが、Bradley & Dumais (4) は、今回、図形の大きさと照明強度が、主観的輪郭効果に随伴して出現する視えの奥行にどのような影響を与えるかを吟味した。大きさは視角1.2~18.9deg の範囲で5段階、照明強度は0.10~2.89loglux の範囲で5段階に変化、また、視えの奥行は量推定法によって測定した。実験の結果、対象の大きさと視えの奥行量の関係はほぼ反比例となること、また、低照明ほど視えの奥行も大きくなることなどが明らかにされた。このことから、主観的輪郭図形は、輪郭線の視かけの明瞭度とそれに随伴して生起する視かけの奥行によって生ずる現象であることが示唆される。

(3) object-superiority 効果

Weisstein & Harris (1974) は、1本の短斜線分の識別を課す時、その短斜線分が図形パターンの1部、とくに2次元的パターンの1部よりも3次元的パターンの1部である方が識別が正確であることを見い出し、これを object-superiority 効果となづけた。また、Williams & Weisstein (1978) は、あるパターンの1部である線分の識別をテストする場合、線分を単独で提示するよりもパターンと同時に提示する方が識別が容易であることを見い出し object-line 効果と呼んだ。Williams & Weisstein (33) は、今回、テスト線分（1本の短斜線）とこの線分を含む図形パターンの中に種々な遅延時間（30~270ms）を設定して提示した。図形パターンは、図9に示されたように、図形の3次元性あるいは図形の連続性が操作されている。実験手続は、テスト線分である右傾斜線分あるいは左傾斜線分の

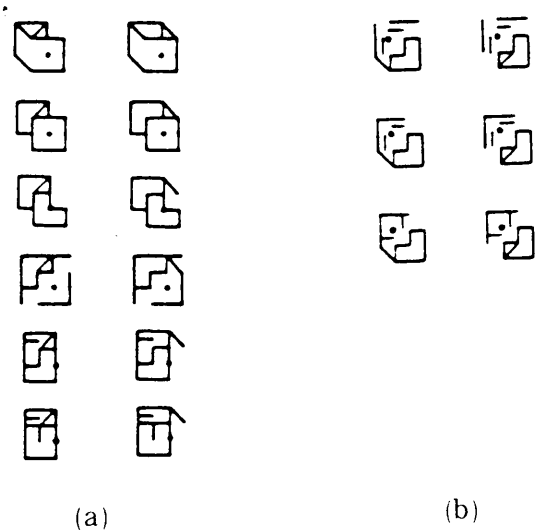


図9 Object-superiority効果を誘導する刺激パターン。各パターン中には、右傾短斜線分、あるいは左傾短斜線分のいずれかを含み、(a)では図形の3次元成分が、(b)では図形の連続性成分が変化されている。(Williams, M. C. & Weisstein, N. 1984)

いずれかを先行提示し、次いで、種々なる遅延時間後にマスクング刺激である図形パターンを提示した後、先行提示されたテスト線分の方角について問うものである。実験の結果、図形の連続性を一定とし、その3次元性を変化させた条件で、遅延が零、すなわちテストとマスクング刺激が同時提示の場合には、object-line 効果が生起し、テスト刺激の識別性が高まること、とくに、2次元パターンよりも3次元パターンでその効果が著しいこと、さらに、識別の正確性は時間の増大に伴ってU型の変化を示すが、この時、3次元パターンの方がマスクング効果を最大にするのにより長い遅延を必要とする、等が示された。また、図形の3次元性を一定とし、その連続性を変化した場合には、マスクング効果と遅延時間には特定の関係が見い出されないが、図形の連続性との間には図形の連続性が乏しくなるとマスクング効果が大きくなるなどの関係のあることが明らかにされた。これらのことから、メタコントラストのような低次の感覚過程は、3次元性の知覚のような高次の変数によって影響される、と考えられる。

(4) 発達的研究

5才前後の子どもは、平面画像上に奥行関係を表現するのに、対象を上下に配するかわりに左右に配しやすいことが知られている (Freeman, et al 1977, Cox 1981)。Bremner (7) は、このことを再検討するために、4～6才齢の幼児を対象とし、奥行位置を異にするように配された2個または3個のレンガの描画を課した。この時、2個のレンガから先に描写する条件と3個のレンガから描写する条件とを設定した。3個のレンガの配置は、2個を奥行的に等距離に、1個をその背後に配してあるので、左右水平配列と奥行配列を共に含み、奥行的配列の描画を誘導しやすいと考えられた。実験の結果は、予想通り、3個配列条件では対象を上下に描画する傾向が自然と出現することを明らかにしている。

Ⅶ. ヒトの乳児および動物を対象とした奥行知覚研究

(1) 視覚的断崖法を用いての研究

Sorce, Emde, Campos & Klinnert (20) は、視覚的断崖の回避に、信号として出された母親の顔面表情がどのような影響を与えるかを吟味した。対象とされた乳児は、12月齢のもの108名である。顔面表情は、喜び、恐怖、興味、怒りの4種とされた。また、視覚的断崖の深さは、明らかな回避を生じさせないが、しかし母親に尋ねてみたくなる程度(30cm)に設定された。その結果、乳児は、母親が喜びあるいは興味の表情を示している時には深側を渡る傾向のあることが、また、怒り、恐怖の表情では深側回避の傾向を示すことが明らかにされた。母親の顔面表情は、乳児が自己の判断に確信を持ってない時、行動に大きく影響を与える。

Berthenthal & Campos (2) は、這行経験と視覚的断崖の回避の間には有意な関係はなく、また、恐怖は回避の発達に関係しないとする Richards & Rader (1983) の実験結果を次の点で批判した。まず、這行経験の有効性を比較するための経験日数が30日と60日であるが、この条件では十分な経験の差を設定することができない。とくに、這行可能ではあるが、経験に乏しい条件を設定する必要がある。Berthenthal らの実験によれば、這行経験11日と41日とでは、断崖回避率に差が生じることが示されている。次に、断崖回避と恐怖の関係についての問題である。Richards らは、12月齢までは断崖上での心拍数は一貫した増大傾向を示さないことから、回避と恐怖との間には機能的依存関係は存在しないとした。これに対し、Berthenthal らは、断崖の回避には恐怖の存在が前提とならねばならないことから、疑問を提起した。彼ら

の実験結果によれば、這行前の乳児は、断崖上に置かれた時、心拍数に変化を示さないのに対し、這行経験が41日程度ある被験児は、心拍数の増大を示すことが見いだされた。これらの諸点については、這行経験を細く変化して検討する必要がある。

Walk & Walters (32) は、2～3日齢のアヒルを対象とし、社会的要因が落差弁別にどのような影響を与えるかを吟味した。社会的要因の操作としては、単独試行かペア試行（2個体を一緒にして行う）かのいずれかが採られた。落差弁別は、ある高さ（5 cmと46cm）をもつ台上に被験体を置き、その降下をみる一種の物理的断崖法、及び視覚的断崖法の2技法で試みられた。その結果、ペア条件の方が降下反応が少く、また、視覚的断崖の回避傾向も高いことが示された。

(2) 乳児における重なり要因

Granrud, et al (14) は、乳児における重なり要因の奥行手がかりとしての有効性についてしらべた。刺激は、コンピュータによって作成されたランダム・ドットからなり、CRT上に提示された（図10）。画面は2つの領域からなり、領域内のドットは互に反対方向に同速度でシフトされる。

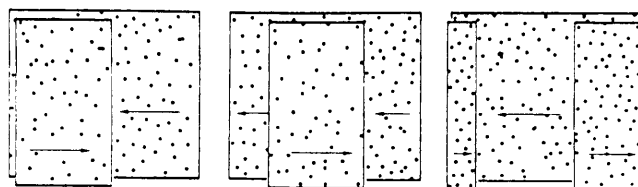


図10 乳児の重なり要因の奥行効果を吟味する実験。図中、矢印はドットの運動方向を示す。
(Granrud, C. E. et al. 1984)

ただし、前面と後面の奥行印象を形成するため、前面のドットは後面に比し下方向へと

シフトされる。したがって、奥行と形の情報は、2つの領域間の境目に生起するドットの出現と消失によってのみ与えられる。これは、ある対象が1方向に運動する時、その運動方向のエッジは背景の肌理を次々と覆ってゆくのに対し、反対側のエッジは肌理を次々と現わしてゆく事態をシミュレートしたものである。こうすることによって、視かけ上、2つの領域内に輪郭と奥行をもたらすことができる。対象とされた乳児は5月齢と7月齢、計20名である。実験の結果、いずれの乳児も、視かけ上、前面に視えるパターンに対し、より多く手伸ばし反応を出現させることが示された。

(3) 乳児における運動の奥行効果

Bower (1966) が、自立移動や確実な手の操作反応が出現する以前の乳児にも、大きさや形の恒常性が存在することを見い出して以来、乳児には3次元の視覚世界を知るための能力が広範囲にわたって備わっていることが明らかにされつつある（Bower 1972, Bruner & Koslowski 1972, Yonas et al 1977, Cook et al 1978, Caron et al 1979, Hofsten & Lindhagen 1979）。

Owsley (22) は、運動視差、パターンの収縮・拡大、肌理勾配やパースペクティブ要因など運動の奥行効果をもたらす要因が3～4月齢（平均117日齢）の乳児に知覚されるか否かについてしらべた。実験手続は視覚的馴化法（visual habituation procedure）

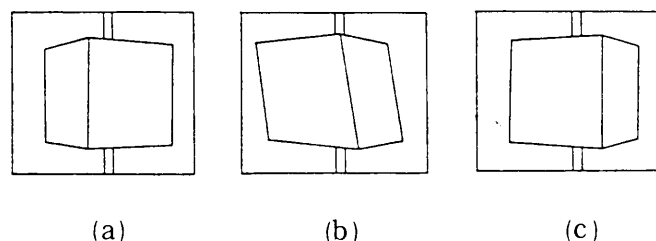


図11 乳児における運動の奥行効果を吟味するための刺激。(a)は先行馴化刺激、(b), (c)はテスト刺激。
(Owsley, C. 1983)

によった。この方法では、先行経験として、あらかじめあるパターンに視覚的に馴化させ、その後、新奇な形を含むいくつかのテストパターンを提示し、それに対する注視反応の程度から被験児の知覚過程を探る。先行馴化刺激としては、楔形の立体物（図11-a）を提示する。成人の観察者の結果によれば、この刺激は立方体として知覚される。乳児は、静止対象に馴化する条件、運動対象に馴化する条件の2群に分けられた。運動対象は左右45°の範囲内で連続して反転させてある。テスト刺激には、先行刺激と同一の楔形立体、新奇な楔形立体（図11-b）、そして立方体（図11-c）である。観察はいずれも両眼視差要因を除くため単眼視で行われた。もし、運動の奥行効果にもとずいて楔形を知覚し、それに視覚的に馴化されていれば、運動対象群の乳児は、テストでは、立方体により多く注視反応を示すはずであり、逆に静止対象群は、どのテスト刺激も先行刺激と同形の立体と知覚すると予想された。実験の結果はこの予測を支持した。このことから、3～4月齢の乳児が、運動の奥行効果にもとずいて形の立体性を知覚する能力があると考えられる。

Kellman (17) も、同様な観点から4月齢（平均119日齢）の乳児の運動の奥行効果について実験した。先行馴化刺激には、図12のような立体物が用いられ、運動対象提示群には、垂直軸、前額平行上に45°傾けた軸、および背後方向に45°傾けた軸を中心に回転させたものの中から、2種類を選択して提示、また、静止対象群には、これらの回転位置の中から15°あるいは60°ごとに抽出した対象を継時的に連続して提示した。刺激はすべて、ビデオ装置によってCRT上に提示された。テスト刺激には先行馴化刺激に使用した

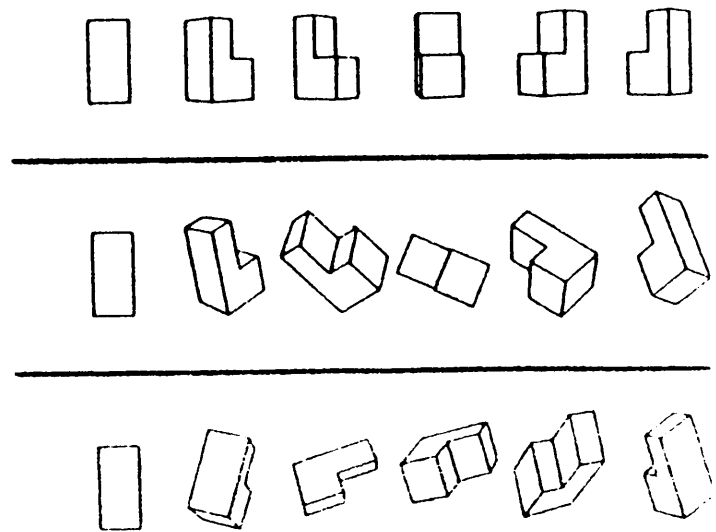


図12 乳児の運動の奥行効果を吟味するための刺激。上段は垂直軸を中心とする回転を、中段は45°前額斜方向の回転を、下段は奥行方向に45°斜方向の回転を各々示す。

(Kellman, P. J. 1984)

立体と新奇な立体とを用意し、運動対象群には先行刺激では用いなかった回転角度で回転して提示、また、静止対象群には、それらを回転位置15°または60°ごとに抽出したものを提示した。実験の結果、新奇な立体に顕著な注視反応を示すものは、運動対象群のみであった。このことから、4月齢の乳児は、静止パターン、あるいは継時的にその形を変化させるパターンからは立体を知覚しえないのに対し、連続して回転するパターンからは立体を知覚しうることが明らかにされた。

Owsley 並びに Kellman の研究は、いずれも、少なくとも4月齢乳児に運動の奥行効果にもとずく立体の知覚能力があることを示した点で興味深い。

(4) 乳児における経験的要因の奥行手がかり効果

Yonas, Granrud & Pettersen (35) は、5, 5½, 7月齢児を対象にして、経験的要因の中、とくに大きさ要因の奥行手がかり効果についてしらべた。刺激には、大きさの異なる円形あるいは三角形を同等の奥行距離のところに提示、指標反応には、手伸ばし偏好反応を用

いた。実験の結果、5½、7月齢児は、両眼視条件では、大きさの異なる対象に対して何らの反応差を示さなかったが、単眼視条件では、より大きい対象に対して偏好傾向を示すこと、また、5月齢児は、単眼視条件でもこのような傾向を示さないことが見いだされた。このことから、少なくとも5½月齢児においては、大きさ要因が奥行手がかり効果をもつこと、また、その発達の臨界期は5～5½月齢の間にあること、が明らかにされ、これまでの研究、すなわち、7月齢児においては、経験的要因の中、familiar size 要因や重なり要因は奥行手がかり効果をもつが、5月齢児以前では、未だ手がかり性を有しない、とする結果 (Yonas, Pettersen & Granrud 1982, Granrud & Yonas 1984) と良く一致を示している。

(5) 動物の奥行弁別

Ellard, Goodale & Timney (12) は、Mongolian gerbil を対象とし、跳躍法事態での奥行弁別過程をビデオ装置を駆使して解析した。それによると、被験体の縦（垂直）の頭部運動の大きさと頻度とは、奥行弁別の精度と密接に関連していることが示された。これは、運動視差を積極的に用いて奥行弁別を試みた事態と考えられ、注目される。

VIII. その他の奥行知覚研究

Hatfield & Epstein (15) は、知覚現象の説明原理としての minimum principle の理論的有効性について論じた。minimum principle とは、一般に、知覚が、より簡素な、より単純な方向へと収斂しようとする傾向を説明するため構成された概念である。これまで試みられた perceptual economy の研究を概観した後、問題は単純性 (simplicity) をどのように定義し、測定するかにあることが指摘された。その後、知覚システムは、何故、perceptual economy な傾向を有するかが論議されている。

IX. おわりに

本報告を終るにあたり、本年度の奥行知覚研究の特徴を概観しておきたい。

奥行知覚研究の主要なテーマは、手がかり機構の解明である。これについては、本年度、実体鏡視研究が数多く報告され、その研究視点も、網膜非対応の検出過程、垂直視差、Saliency 効果、実体鏡視異常、実体鏡視仮現運動、眼球運動など多岐に渡っている。とりわけひとつのステレオグラムに複数の抗争する網膜非対応を導入し、そのマッチング過程を探る Boothroyd らの研究、あるいは、実体鏡視異常者を対象とし、大脳半球間での視差情報の統合過程をしらべた研究 (Shimono, et al) などは、注目されよう。このように、実体鏡視研究は、多岐な分析視点から多くのデータが収集されつつあり、いずれ、コンピュータ・モデルなど総合化への段階に移行すると思われる。

実体鏡視と並ぶ重要な奥行手がかり機構については、まだ十分な分析が試みられていない。しかし、本年度、Carpenter らは、運動視差成分を幾何学的に分析し、それが速度要素、方向要素、順序要素から成り、各々が単独で独立した奥行効果をもつことを明らかにした。さらに Braunstein らは、運動の奥行効果についても同様な分析を行い、この種の効果は、前額平面上での刺激（ドット）の水平・垂直方向の速度勾配成分、および順序成分に支配されていることを突きとめている。Carpenter と Braunstein の両結果は、いずれも、同一のこと

を指し示し、奥行視については運動成分がもっとも重要であることを示唆しているが、このことは、乳児を対象とした運動の奥行視の実験結果（Owsley または Kellman）にも裏づけられている。もし、奥行（立体）視において運動成分が重要であるならば、乳児においてもこの働きが生得的に備わっていると考えられるからである。

今後の奥行手がかり問題を解明するにあたっては、運動要因が奥行視の成立に不可欠であるのか否か、を明らかにしていく必要がある。

文 献

- (1) Bergström, S.S., Gustafsson, K.A. & Putaansuu, J. Information about three-dimensional shape and direction in a square-wave grating. *Perception*, 1984, 13, 129-140.
- (2) Bertenthal, B.I. & Campos, J.J. A reexamination of fear and its determinants on the visual cliff. *Psychophysiology*, 1984, 21, 413-417.
- (3) Boothroyd, K. & Blake, R. Stereopsis from disparity of complex grating patterns. *Vision research*, 1984, 24, 1205-1222.
- (4) Bradley, D.R. & Dumais, S.T. The effects of illumination level and retinal size on the depth stratification of subjective contour figures. *Perception*, 1984, 13, 155-164.
- (5) Bradley, D.R. & Vido, D. Psychophysical functions for perceived and remembered distance. *Perception*, 1984, 13, 315-320.
- (6) Braunstein, M.L. & Anderson, G.J. Shape and depth perception from parallel projections of three-dimensional motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 1984, 10, 749-760.
- (7) Bremner, J.G. Provoked use of height in picture as a depth cue in young children's drawings. *British Journal of Developmental Psychology*, 1985, 3, 95-98.
- (8) Carpenter, D.L. & Dugan, M.P. Motion parallax information for direction of rotation in depth: Order and direction components. *Perception*, 1983, 12, 559-569.
- (9) Cormack, R.H. Stereoscopic depth perception at far viewing distances. *Perception & Psychophysics*, 1984, 35, 423-428.
- (10) Cutting, J.E. & Millard, R.T. Three gradients and the perception of flat and curved surfaces. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1984, 113, 198-216.
- (11) da Silva, J. & dos Santos, R. The effects of instructions on scales for perceived egocentric distance in a large open field. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1984, 22, 189-192.
- (12) Ellard, C.G., Goodale, M.A. & Timney, B. Distance estimation in the Mongolian gerbil: The role of dynamic depth cues. *Behavioral Brain Research*, 1984, 14, 29-39.
- (13) Grabowska, A. Specjalizacja polkulowa w zakresie stereoskopowego widzenia glebi. (Hemifield differences in stereoscopic depth perception.) *Przegląd Psychologiczny*, 1983, 26, 621-634.
- (14) Granrud, C.E., Yonas, A., Smith, I.M., Arterberry, M.E., Glicksman, M.L.

- & Sorknes, A.C. Infants' sensitivity to accretion and deletion of texture as information for depth at an edge. *Child Development*, 1984, 55, 1630-1636.
- (15) Hatfield, G. & Epstein, W. The status of the minimum principle in the theoretical analysis of visual perception. *Psychological Bulletin*, 1985, 97, 155-186.
- (16) Higashiyama, A. The effects of familiar size on judgement of size and distance: An interaction of viewing attitude with spatial cues. *Perception & Psychophysics*, 1984, 35, 305 - 312.
- (17) Kellman, P.J. Perception of three-dimensional form by human infants. *Perception & Psychophysics*, 1984, 36, 353-358.
- (18) Mitchison, G.J. & Westheimer, G. The perception of depth in simple figures. *Vision Research*, 1984, 24, 1063-1073.
- (19) Mustillo, P. Binocular mechanisms mediating crossed and uncrossed stereopsis. *Psychological Bulletin*, 1985, 97, 187-201.
- (20) Nielsen, K.R. & Poggio, T. Vertical image registration in stereopsis. *Vision Research*, 1984, 24, 1133-1140.
- (21) Norcia, A.M. & Tyler, C.W. Temporal frequency limits for stereoscopic apparent motion processes. *Vision Research*, 1984, 24, 395-401.
- (22) Owsley, C. The role of motion in infants' perception of solid shape. *Perception*, 1983, 12, 707 - 717.
- (23) Patterson, R. & Fox, R. The effects of testing method on stereoanomaly. *Vision Research*, 1984, 24, 403-408.
- (24) Patterson, R. & Fox, R. Stereopsis during continuous head motion. *Vision Research*, 1984, 24, 2001-2003.
- (25) Perrone, J.A. Visual slant misperception and the "black-hole" landing. *Aviation, Space, & Environmental Medicine*, 1984, 55, 1020-1025.
- (26) Schor, C.M., Wood, I. & Ogawa, J. Binocular sensory fusion is limited by spatial resolution. *Vision Research*, 1984, 24, 661-665.
- (27) Shimono, K. Evidence for the subsystem in stereopsis: Fine and coarse stereopsis. *Japanese Psychological Research*, 1984, 26, 168-172.
- (28) Shimono, K., Kondo, M., Shibuta, K. & Nakamizo, S. Hemispheric processing of binocular retinal disparity. *Psychologia*, 1983, 26, 246-251.
- (29) Somers, W. & Hamilton, M.J. Estimation of the stereoscopic threshold utilizing perceived depth. *Ophthalmic and Psychological Optics*, 1984, 4, 245-250.
- (30) Sorce, J.F., Emde, R.N., Campos, J.J. & Klinnert, M.D. Maternal emotional signaling: Its effect on the visual cliff behavior of 1-year-old. *Developmental Psychology*, 1985, 21, 195-200.
- (31) Ullman, S. Maximizing rigidity: The incremental recovery of 3-D structure from rigid and nonrigid motion. *Perception*, 1984, 13, 255-274.
- (32) Walk, R.D. & Walters, K. Ecological depth perception: Duckling tested together and alone. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1984, 22, 368-371.
- (33) Williams, M.C. & Weisstein, N. The effect of perceived depth and connectedness

on metacontrast function. *Vision Research*, 1984, 24, 1279-1288.

- (34) Wong, E. & Weisstein, N. Flicker induces depth: Spatial and temporal factors in the perceptual segregation of flickering and nonflickering regions in depth. *Perception & Psychophysics*, 1984, 35, 229-236.
- (35) Yonas, A., Granrud, C.E. & Pettersen, L. Infants' sensitivity to relative size information for distance. *Developmental Psychology*, 1985, 21, 161-167.

参 考 文 献

- Bishop, P.O. & Henry, G.H. Spatial vision. *Annual Review of Psychology*, 1971, 22, 119 - 160.
- Bower, T.G.R. Slant Perception and shape constancy in infants. *Science*, 1966, 151, 832 - 834.
- Bower, T.G.R. Object perception in infants. *Perception* 1972, 1, 15-30.
- Brunner, J.S. & Koslowski, B. Visually preadapted constituents of manipulatory action. *Perception*, 1972, 1, 3-14.
- Carron, A.J., Carron, R.F. & Carlson, V.R. Infant perception of the invariant shape of objects varying in slant. *Child Development*, 1979, 50, 716-721.
- Cook, M., Field, J. & Griffiths, K. The perception of solid form in early infancy. *Child Development*, 1978, 49, 866-869.
- Cox, M.V. One thing behind another: Problems of representation in children's drawings. *Educational Psychology*, 1981, 1, 275-287.
- Dumais, S.T. & Bradley, D.R. The effects of illumination level and retinal size on the apparent strength of subjective contours. *Perception & Psychophysics*, 1976, 19, 339 - 345.
- Duwaer, A.L. Nonmotor component of fusional response to vertical disparity: A second look using an afterimage method. *Journal of the optical Society of America*. 1982, 72, 871 - 877.
- 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.
- Freeman, N., Eiser, C. & Sayers, J. Children's strategies in producing three-dimensional relationships on a two-dimensional surface. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1977, 23, 305-314.
- Frisby, J.P. & Mayhew, J.E.W. The relationship between apparent depth disparity in rivalrous texture stereograms. *Perception*, 1978, 7, 661-678.
- Granrud, C.E., Yonas, A. & Pettersen, L. Infants' perception of pictorially specified interposition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1984, 37, 500-511.
- Hofsten, C. von & Lindhagen, K. Observations on the development of reaching for moving objects. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1979, 28, 158-173.
- Julesz, B. & Bosche, C. Studies on visual texture and binocular depth perception. A computer generated movie series containing monocular and binocular movies. Bell

- Telephone Laboratories, Inc. 1966.
- Julesz, B. & Miller, J.E. Independent spatial frequency tuned channels in binocular fusion and rivalry. *Perception*, 1975, 4, 125–143.
- Kulikowski, J.J. Limit of single vision in stereopsis depends on contour sharpness. *Nature*, 1978, 276, 126–127.
- Mayhew, J.E.W. & Frisby, J.P. Rivalrous texture stereogram. *Nature* 1976, 264, 53–56.
- Ono, H. & Comerford, T. Stereoscopic depth constancy. In W. Epstein (Ed.), *Stability and constancy in visual depth perception: Mechanismus and processes*. New York: Wiley.
- Regan, D. & Beverley, K.I. Some dynamic features of depth perception. *Vision Research*, 1973, 13, 2369–2379.
- Richards, W. Stereopsis and stereoblindness. *Experimental Brain Research*, 1970, 10, 380–388.
- Richards, W. Anomalous stereoscopic depth perception. *Journal of the Optical Society of America*, 1971, 61, 410–414.
- Richards, W. Response functions for sine-and square-wave modulations of disparity. *Journal of the Optical Society of America*, 1972, 62, 907–911.
- Weisstein, N. & Harris, C.S. Visual detection of line segments: An object-superiority effect. *Science*, 1974, 186, 752–755.
- Williams, A. & Weisstein, N. Line segments are perceived better in a coherent context than alone: An object-line effect. *Memory Cognition*, 1978, 6, 85–90.
- Richards, J. & 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.
- Yonas, A., Bechtold, A.G., Frankel, D., Gordan, F.R., McRoberts, G., Norcia, A. & Sternfels, S. Development of sensitivity to information for impending collision. *Perception & Psychophysics*, 1977, 21, 97–104.
- Yonas, A., Pettersen, L. & Granrud, C.E. Infants' sensitivity to familiar size as information for distance. *Child Development*, 1982, 53, 1285–1290.