

奥行知覚研究の動向—1982—

A Survey of Papers on the Visual Depth Perception in 1982

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) 経験的要因
- III 実体鏡視
 - (1) ダイナミック・ヴィジュアル・ノイズ・ステレオ現象 (D.V.N 現象)
 - (2) ランダム・ドット・ステレオグラム
 - (3) その他の研究
- IV 大きさ—距離関係
 - (1) 視空間モデル
 - (2) 視えの奥行距離の測定
- V 運動の奥行視
 - (1) 運動の奥行視の生理
 - (2) 運動と奥行に応答する空間周波数チャンネル
 - (3) Pulfrich 現象
 - (4) その他の研究
- VI 平面画像の奥行視
 - (1) 幾何学的錯視と Perspective theory
 - (2) 交差文化的研究
 - (3) その他の研究
- VII ヒトの乳児と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
 - (2) 実体鏡視能力
 - (3) 暗飼育実験
 - (4) その他の研究
- VIII おわりに

I はじめに

本報には、奥行知覚研究に関連した論文を、Psychological Abstract 誌の1982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。尚、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

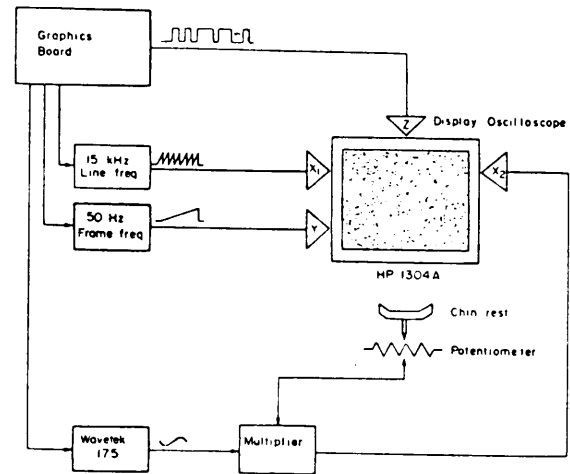
(1) 運動視差

先年, Rogers & Graham (1976) は, ランダム・ドット・パターンが観察者の頭部運動と常に連動して変化するように提示することによって現実の空間で運動視差が働らくのと同様な状況をシミュレートしたところ, そこに見事な3次元面が出現することを見出した。今回, Rogers & Graham (31) は, 同様なテクニックを用い, 運動視差の奥行検出能力がどの程度

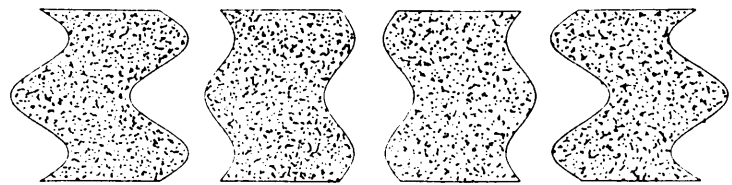
のものか, その閾値の測定を試みた。方法は図1-(a)に示されている。CRT上に提示されたランダム・ドット・パターンは, チン・レストに試けられたポテンシオメータによって検出される頭部運動に連動し, 図1-(b)のようにシフトされる。すなわち, 頭部が左→右に運動する時には, 凸凹面の凸領域のドットは頭部と同方向に, 凹領域のそれは逆方向にシフトされる。ドット・パターンのこのようなシフトは頭部と完全に連動しているので, 頭部が運動する限りその方向へと変化される。運動視差の奥行検出感度

(閾値)は, 凸凹面のドットの相対的運動速度を変化することによって求められた。また, 凸凹の反復頻度となる空間周波数が独立変数として操作されている(0.05 c/deg~1.6 c/deg)。その結果, 運動視差の奥行検出感度は, 0.2~0.5 c/degで最大となることが示された。こ

の結果を, 同様なパターンを用い disparity を変化することによって求められた奥行検出感度と比較すると, 最大値の得られる空間周波数帯が完全に一致することがわかった。このことから, 運動視差と両眼視差のしくみは極めて類似したシステムではないかと示唆されている。

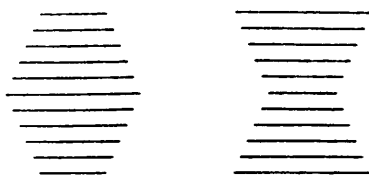


(a)

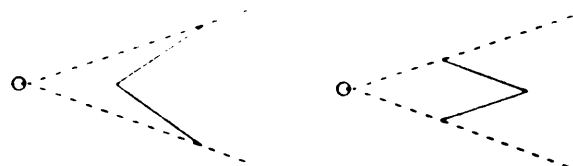


(b)

図1 頭部運動に連動した運動視差を作成する装置および生成された運動視差パターン (Rogers, B. J. & Graham, M. E. 1982)



(a)



(b)

図2 運動速度の勾配と奥行出現の方向 (Braunstein, M. L. & Andersen, G. J. 1981)

Braunstein & Andersen (6) も, 図2-(a)のように, ランダム・ドット・パターンの水平方向に運動速度の勾配を設けると, 図2-(b)のように, 中央手前あるいは向う側に折れ曲って見えることを示した。条件分析の結果, ドットの運動速度が大きい程(最大10.4°/sec), また刺激提示時間が長い程, さらに凝視点を固定しない条件において, いずれも奥行出現は顕著に

なることが明らかにされている。

Hagen & Teghtsoonian (13) も, Rogers らと同様に, 頭部運動に随伴生起する運動視差の奥行手がかりとしての有効性についてしらべている。実験は, 市松パターン上に配された2つの対象の相対的奥行距離を, 頭部固定条件と頭部運動条件で観察させることによった。その結果, 頭部運動条件での相対的奥行距離判断は, 頭部固定条件でのそれよりも劣ることが示され, このことから, 観察者の運動に随伴する手がかりは, 有効な奥行情報を提供するとの考えは否定されている。

同様に, Reinhardt-Rutland (28) は, 矩形カードを奥行方向に傾けて提示し, 頭部固定単眼視, 頭部運動単眼視, 頭部固定両眼視の各条件で, その傾き方向を判断させた。この時, その他の奥行手がかりはすべて除去されている。観察距離 75 cm。実験の結果, 頭部固定両眼視条件が他の2条件よりも正確に傾きを知覚していることが示された。このことから, 運動視差よりも両眼視差要因の方が奥行手がかりとして有効である, と考えられている。

(2) 経験的要因

Topper & Simpson (35) は, 絵画に表現されている奥行の測定を試みた。選ばれた絵画は, ルネッサンス期の linear perspective をもつもの, 中世のフラットに表現されたもの, 中世の inverse linear perspective のものなどであった。視えの奥行は, Gregory の考察した Pandora box 法によった。実験の結果, linear perspective, inverse linear perspective と同等しく深い奥行が表現されていることが確かめられている。

Gillam (11) は, これまで教科書に引用される perspective についての説明図が誤って描かれていることを指摘した。良く引用されているのは, 図3-(a) である。ここでは, 絵画面に直角な線分は消失点に向って正しく描かれているが, 一方, 絵画面に平行な線分の間隔は, 距離の2乗に逆比例しなければならないのに, 距離のたんなる逆比例となっていて誤って描かれている。平行(水平)線分の正しい間隔を決めるためには次のような方法をとると良い。図3-(b) に示されたように, まず, 消失点CVをもった直線を描く。次に, 任意の間隔でもっとも近接した水平線分を描き, 水平線分と直線との交点を通る斜線を引き, 消失点CV線上でのもうひとつの消失点Dを求める。水平線分は, Dからの斜線と直線との交点を2点求めることによって決まる。このようにすると, 距離の2乗に逆比例した水平線分の間隔が容易に求められる。同様な誤りは, エームズの梯形として引用される図形にも示されていることが指摘してある。

Biederman (3) は, 描かれた対象の背景とその認知閾について吟味した。条件変化された背景は, perspective のある肌理勾配, 格子状パターン, 無地背景であった。実験の結果, perspective gradient 条件は, 対象の認知の速さや正確さに対し何らメリットをもたないことが示された。奥

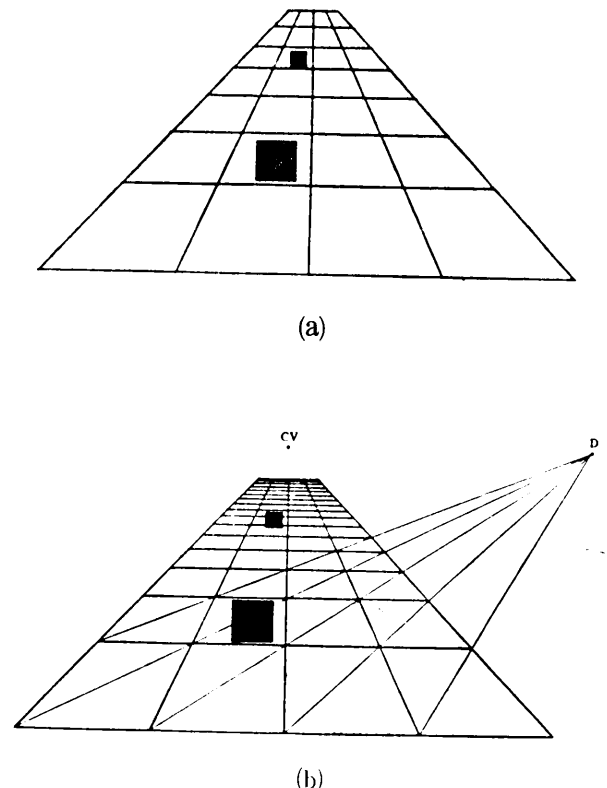


図3 誤ったパースペクティブ(a)と正しいパースペクティブの作成(b) (Gillam, B. 1981)

行について首尾一貫していることの知覚的利益は、たんに対象を認知をする場合に生ずるのではなく、対象間の意味的関係を知る場合にあると考えられる。

Ⅲ 実 体 鏡 視

(1) ダイナミック・ヴィジュアル・ノイズ・ステレオ現象 (D. V. N. ステレオ現象)

TVの空きチャンネル画面にみられよるようなダイナミック・ヴィジュアル・ノイズを片眼に density filter を装着して観察すると、ノイズが奥行方向に分離し、前面に出現したノイズは非装着眼から装着眼方向への、また後退面は反対方向へのストリームとなって見える。この現象は、ダイナミック・ヴィジュアル・ノイズ・ステレオ現象と呼ばれ、Pulfrich 現象と同一のしくみによると考えられている。

周知のように、Pulfrich 現象は density filter の装着によって刺激強度が低下し、他眼に較べて求心性視覚信号伝達に時間的遅延が生ずることによると説明されている。この時間的遅延はそれに相当する両眼視差を生み出し、結果として奥行方向への運動が現出される。この latency 仮説で重要なことは、density filter の装着が刺激強度の低下をもたらすと考えていることにある。この種の刺激強度の低下による信号伝達の遅延が生じるためには、visual persistence を増大させる心要がある。事実、刺激強度が低下すると visual persistence が増大するとの結果も出されている (Wilson & Anstis 1969, Rogers & Anstis 1972, Julesz & White 1969)。これにもとづいて、Morgan & Thompson (1975) は、図4のような differential visual persistence model を提唱した。このモデルでは、図に示されたように、visual persistence の差分がフィルター装着眼と裸眼との間に空間的位置のずれをもたらすことが仮定される。Neill (25) は、この differential visual persistence モデルが D. V. N. ステレオ現象にも適用可能か否かについて次のように検討した。もし各刺激点の視かけの位置が時間的一空間的な平均によってきまるとすれば、D. V. N. ステレオ現象は frame rate には影響を受けないと予想される。実験は frame rate を 20, 25, 35, 45, 60, 90, 120 Hz の7条件に設定して行われた。その結果、ストリームの視かけの速度と frame rate の間には何ら関係は見い出されなかった。この結果をもとに、D. V. N. ステレオ現象を説明

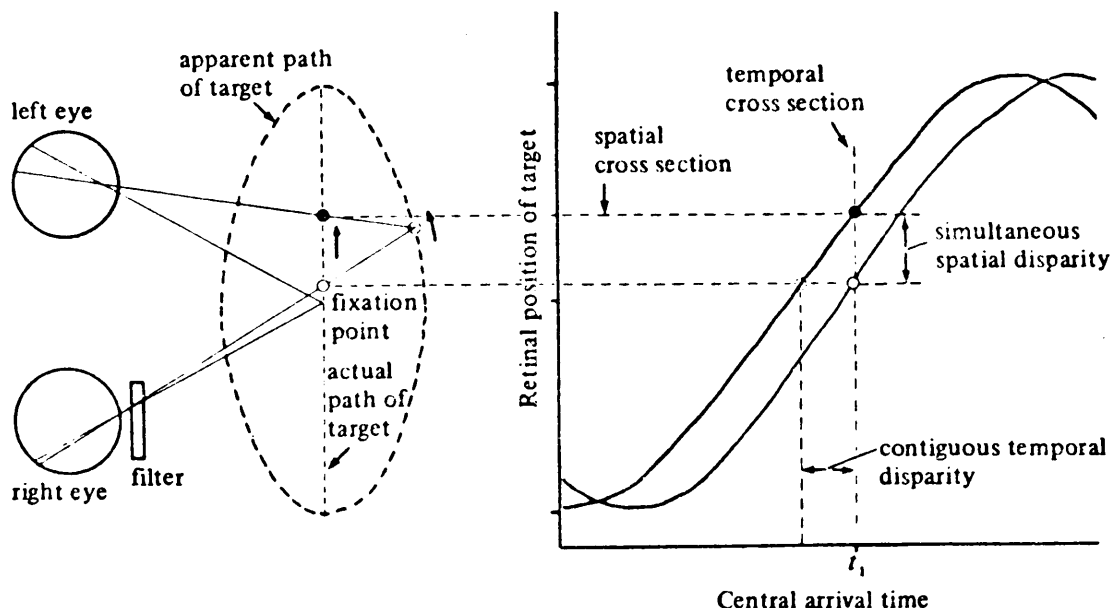


図4 Pulfrich 現象と latency 仮説 (Morgan, M. J. & Thompson, P. 1975)

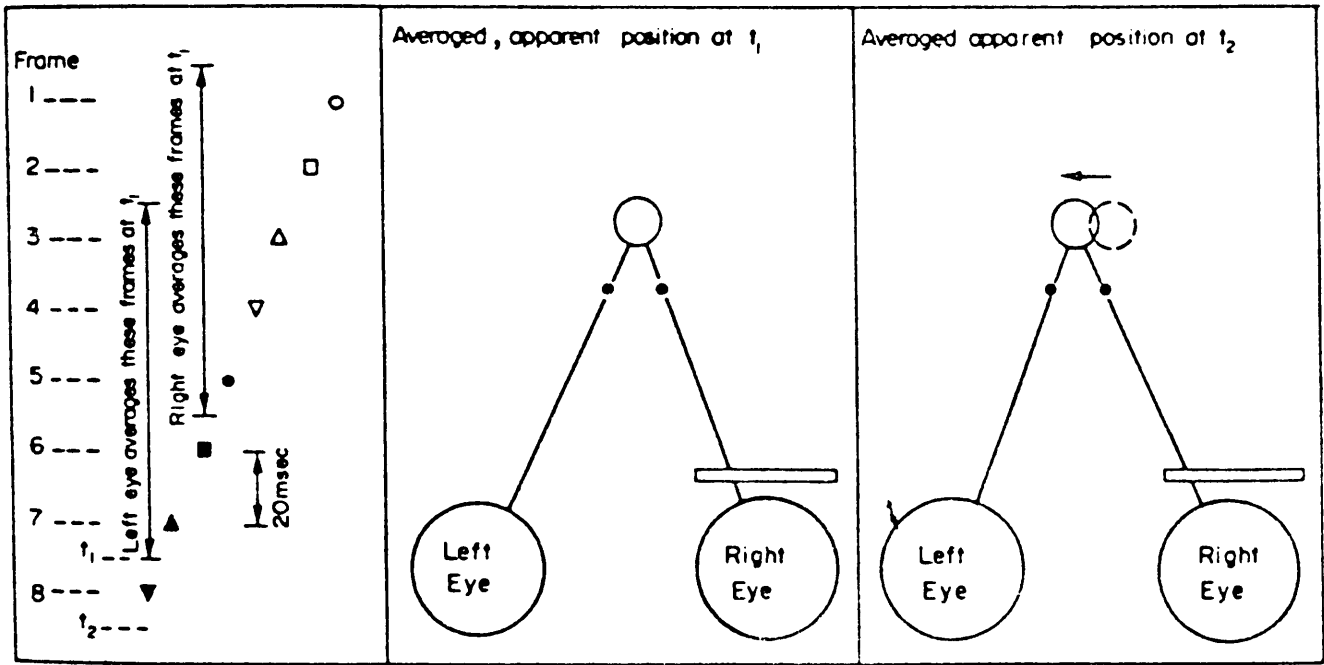
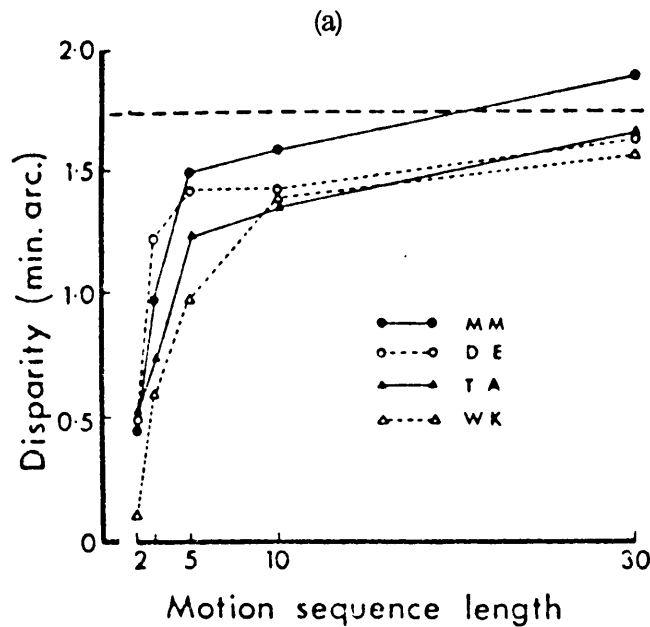
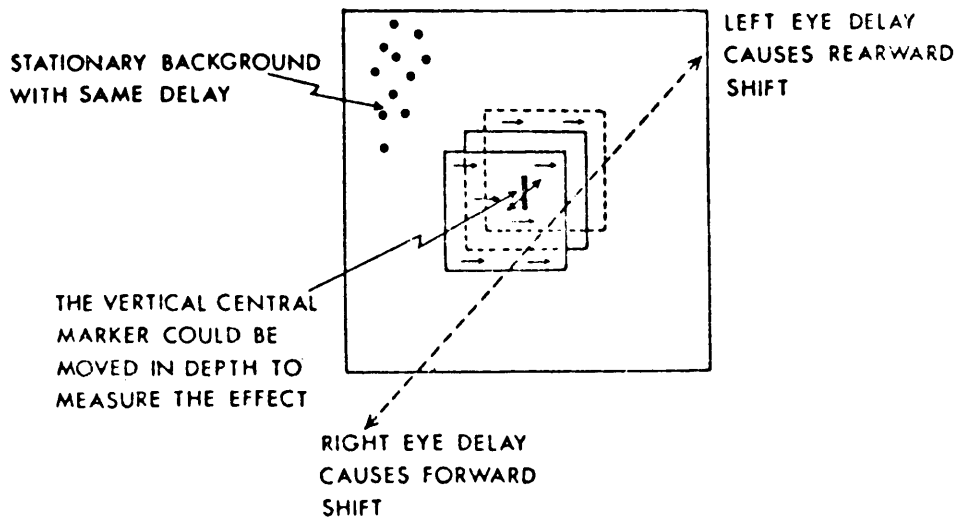


図 5 Spatial-temporal averaging モデル (Neill, R. A. 1981)



(b)

図 6 ダイナミック・ドット・ディスプレイを用い、左右眼間遅延を設けた時に出現する立体視(a), とその実験結果(b) (Morgan, M. J. 1981)

するためのモデル—spatio-temporal averaging model—が提唱されている。今、両眼間の遅延 40 msec が導入されたとしよう。また、各眼の刺激位置の時—空的平均化 (spatio-temporal averaging) がなされて視かけの位置が決定されると仮定する。この spatio-temporal averaging は 100 msec の間で行われ、その時の frame rate は 50 Hz とする。この時、時—空的平均化は、図 5 のように、5 個のフレーム間でなされることになる。いま、図 5 に示されたように、右眼が遅延されたとすると、右眼の時—空平均化は 1～5 番のフレームでなされ、左眼のそれは 3～7 番でなされる。3, 4, 5 番のフレームは両眼で共通し、これは背景面を構成する。そしてこの背景面上に、右眼 1, 2 と左眼 6, 7 のフレームにもとづく random disparity が形成され、奥行が出現する。

一方、Morgan (23) は、図 6-(a) のように、中心領域のドットが継時的にシフトするパターンを構成し、これを左右眼に遅延を設定して提示した。左右眼は同一のパターンを時間をおいてみることになる。このようにすると Pulfrich 現象と同様な右向 (あるいは左向) の立体的なストリームが中央領域に観察される。この事態でドットの移動間隔時間 (ISI) を 25 msec 両眼間遅延時間 12 msec にとり、ドットの移動距離 (motion sequence length) を変化させ、奥行出現の程度が吟味された。その結果、図 6-(b) に示された関係が得られている。

(2) ランダム・ドット・ステレオグラム

線画ステレオグラムでは、左右でどの部分に対応しているかの検出は容易であると考えられるが、ランダム・ドット・ステレオグラムでは、局所的な両眼対応の可能性が無数に存在するので、視覚中枢はこの多義性をどのように解決しているかが問題となる。鬚櫛 (4) は、この問題を吟味するため、異なる値の視差が相互に近接している条件を奥行反転立体視に導入し、その立体視の成立過程を累積時間を測定することによって分析した。使用されたステレオグラムは図 7 のようなものである。ここでは、背景部の奇数行の画素は 3 画素単位で、偶数部のそれは 4 画素単位で規則的に反復されている。背景部の視差は左右端の反復画素を左右のステレオグラムでずらせることによって設定する。この条件の場合には 2 画素ずらしてあるので、3 画素反復の奇数行では 1 画素と 2 画素の視差に、4 画素の偶数行では 2 画素ずつの視差に分割でき、一方が交叉視差に、他方が非交叉視差となる。この条件の場合には、中央矩形領域のターゲットを凝視すると、背景部は 2 画素視差の平面となってターゲットより手前に見えるか、あるいは 1, 2 画素視差からなる面となってターゲットより後退して見えるかのいずれかで奥行反転する。このような奥行反転ステレオグラムを用い、異視差が接する境界部の数、異視差の間の 2 次元距離、異視差間の差異量を変化させて実験が試られた。その結果、視差値の異なる領域が 2 次元空間的に隣接する条件では、異視差が接する境界数が多いほど、また境界数が多い条件では、視差値の異なる領域が 2 次元的に近接しているほど、異視差からなる全体的立体視は成立しにくかった。このことから、異なった視差同士は各々の視差検出を抑制しあい、その抑制は近接しているほど、また視差値が異なるほど強いと考えられる。

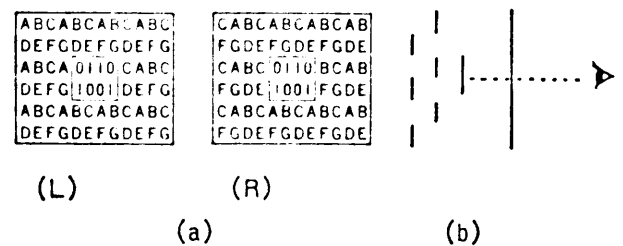


図 7 奥行反転ステレオグラム(a)とその立体視 (b)(鬚櫛, 1980)

Mowforth, Mayhew & Frisby (24) は、低帯域炉波したランダム・ドット・ステレオグラムを提示し、融合時に出現する眼球輻輳運動を測定した。その結果、disparity を大きくとった場合には 1.75 から 3.5 cycles deg⁻¹ の範囲の低空間周波数で適切な眼球輻輳運動が生起

し立体視が出現したが、 $7.0 \text{ cycles deg}^{-1}$ あたりの比較的高い空間周波数では融合が生起せず、その代わりに、眼球は **diverging** と **converging** との間を約 1.5 Hz の周期で反転運動すること、さらにこの時、すなわち比較的高い空間周波数で **disparity** を大きくとった場合に単眼視手がかり（短い黒線）を付加すると適切な眼球輻輳運動が出現し融合されること、が示された。これらの結果から、低空間周波数チャンネルは比較的大きい **disparity** を、高空間周波数チャンネルは小さい **disparity** を各々処理し、また、眼球輻輳運動は低空間周波数によってのみ解発されとの考え方 (Marr, 1979) が否定されている。

(3) その他の研究

Ogle (1938) は、水平方向を拡大するレンズをかりに右眼に装着させ前額平行面を観察させると、右視野が後退し逆に左視野は前方に進出して見えることを示し、この現象を “**geometric effect**” と呼んだ。また、垂直方向に拡大を与えるレンズを同様に右眼に装着させると、今度は右視野が進出し左視野は後退することを見出し、これを “**induced size effect**” とした。後者の現象をこのように名づけたのは、図8のように、垂直方向への拡大が水平方向の拡大も誘導し両眼間に視差が生ずるからである。Arditi (1), Ardit, Kaufman & Novshon (2) は、図8のような斜線分を垂直方向に拡大して提示した場合、拡大刺激図形と非拡大刺激図形のどの点が **disparity** に関し対応するかについて検討した。従来、この事態での **disparity** の両眼対応点は、非拡大線分と拡大線分の水平間距離の両端 (図8ではG, D) である (**horizontal meridian** 仮説) とされていた

のに対し、それは非拡大線分と拡大線分間の最短距離の両端 (図8のF, D) である (**nearest neighbor** 仮説), と考えた。この考え方に立つと、斜線の角度 (θ) と **disparity** の関係は逆

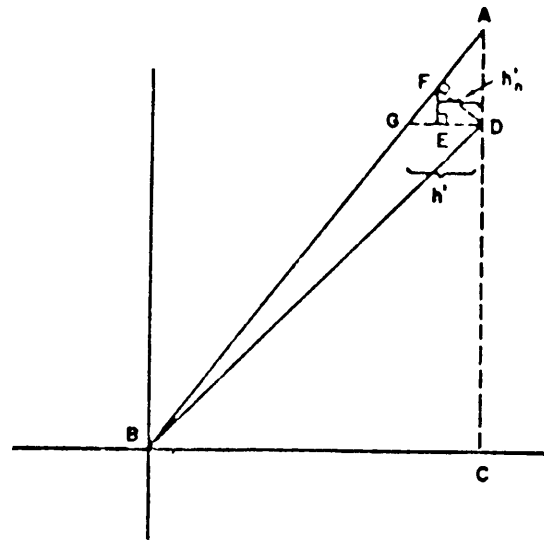
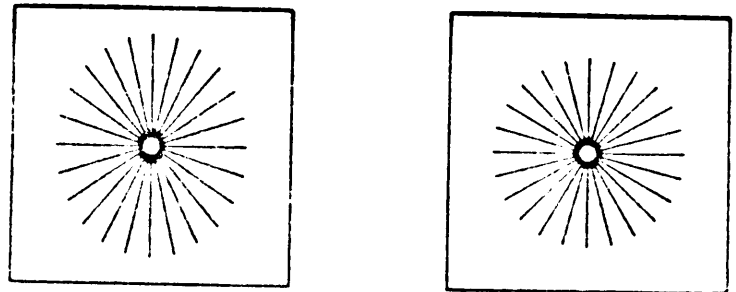
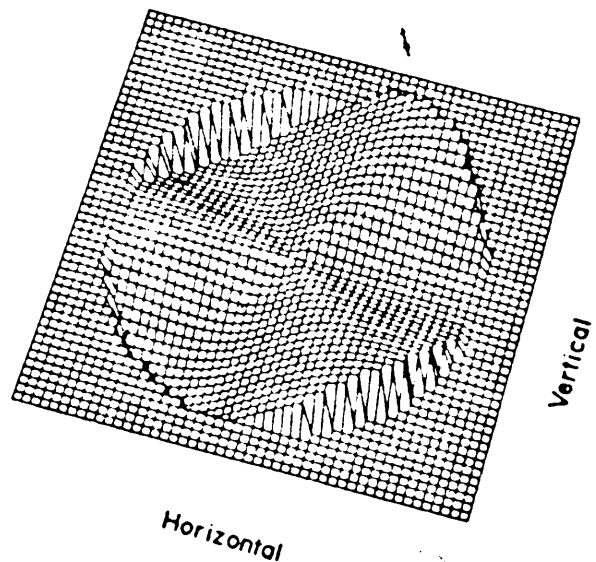


図8 nearest neighbor disparity (Arditi, A. 1982)



[a]



[b]

図9 nearest neighbor 仮説によるライン・ステレオグラム(a)とその立体視(b) (Arditi, A. 1982)

U型関数となると予測されるのに対し, horizontal meridian 仮説では単調な減少関数となる。これを検証するために, 斜線の角度を種々変化して実験がなされた。その結果, 斜線分の角度の増大に伴って奥行弁別の容易さは逆U型になることが示され, nearest neighbor 仮説が支持された。これを例証するためのステレオグラムとして図9(a)が作成されている。ここでは, 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° の角度で両パターンの線分が構成されているが, 左のパターンのみ垂直方向に20%拡大してある。これを実体鏡視すると, 図9(b)に類似したみごとな奥行変化面が出現する。

一般に, 交叉視差は手前(凸状)に, 非交叉視差は遠方(凹状)にみえるが, これは経験によらない生得的なしくみと考えられてきた。Shimojo & Nakajima (33) は, 左右逆転プリズムに長期間順応させれば視差と立体視の関係が逆転するのではないかと考えた。そのため, 左右逆転プリズムを9日間連続着用させ, その後でプリズムをはずし実体鏡視テストを線画ステレオグラムとランダム・ドット・ステレオグラムとで試みた。その結果, 線画ステレオグラムでは, 視差と奥行出現の関係が逆転し, 交叉視差は遠方に, 非交叉視差は手前に奥行出現した。この効果は, プリズム脱着後4日間程度持続し, その後も実体鏡持続視時, 奥行反転が生ずるなど異常な知覚が生じたという。これに対し, ランダム・ドット・ステレオグラムでは視差と奥行出現との関係の逆転は生じなかった。これらのことから, 実体鏡視には経験に依存するものとそうでないものとの2つの相互に独立な過程の存在が示唆されている。

この他, Herring & Bechtoldt (16) は線画ステレオグラムを用い, 視差の方向, 視差の大きさ, 図と地のコントラスト, 形(BarかDiskか)の4要因を条件分析し, 奥行出現の程度を5段階評定でしらべた。その結果, 交叉と非交叉視差は奥行出現の明瞭度に対し等価であること, 15' 視差に対し45' 視差がより多く奥行を出現させること, 但しこの場合, 視差が大きいほど変動も大きいことなどを明らかにしている。

IV 大きさ—距離関係

(1) 視空間モデル

Higashiyama (17) は, triangle method を用い Luneburg-Blank の視空間モデルについて検討した。triangle method とは図10に示したように, 観察者の前方, Vieth-Müller 円上に固定して提示された標準刺激(Q_f)が, それと正中線を中心対側に提示された比較刺激(Q_m)と視えの奥行について等距離になるように比較刺激を調整させる方法である。実験は標準刺激と正中線との間になす角(ϕ)を種々変化しておこなわれた。その結果, 標準刺激が正中線から離れるに従い, 求められた値である標準刺激と比較刺激との間の角度($\angle Q_f O Q_m$)は, SD 値が一定であるにもかかわらず増大することが示された。これは,

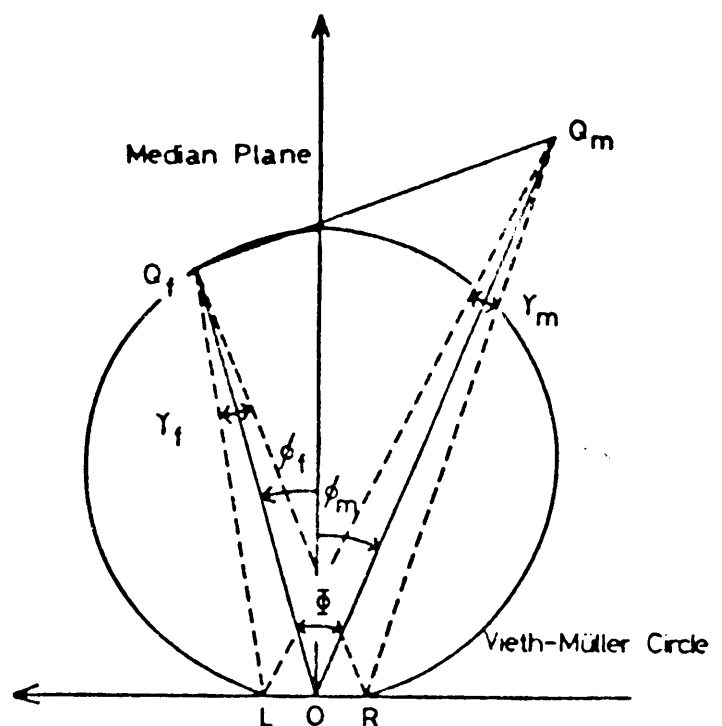


図10 triangle method (Higashiyama, A. 1981)

Luneburg-Blank の公式で仮定されている負の曲率が負から零へと変化していることを意味する。さらに、Luneburg-Blank の公式では、正中線をはさむ2つの対象との間になす視えの角度は等しいこと ($|\psi_m - \psi_f| = |\phi_m - \phi_f|$) が仮定されているが、実験の結果、物理的角度に対する視えの角度の指数関数の指数は 1.03 になることが見いだされた。このことから、Luneburg-Blank のモデルは修正が必要とされている。

(2) 視えの奥行距離の測定

絶対的奥行距離の手がかりを欠いている場合にも、特定距離定位傾向 (specific distance tendency) と動眼手がかりが働く結果、単独対象は egocentric reference distance に定位してみえる (Gogel 1972)。奥行距離を異にする2つの対象の場合には、観察者より遠くに置かれた対象は、reference distance に定位されるが、近くに置かれた対象はより手前に定位されてしまう。Mershon, et al (22) は、2つの対象間に複数の刺激を介在させてもこの種の傾向が生起することを実験的に確かめている。

V 運動の奥行視

(1) 運動の奥行視の生理

Clare-Bishop (CB) 領域 (medial bank of lateral suprasylvian cortex) のニューロンは、視覚刺激に対し他のニューロンと異なる反応をする。CB ニューロンは、スリットやエッジの代わりに、円形や矩形のスポット光に対して反応する他、静止刺激よりも運動するものに反応する。とくに、刺激が奥行的に運動する際の大きさの変化に対して鋭敏である。これらの事実から、CB ニューロンは3次元の運動視を担うと考えられている。Toyama & Kozasa (36) は、ネコの CB ニューロンのユニット電位を、disparity 要因および奥行方向の運動と連動して変化する大きさ要因とを各々独立に操作して測定した。その結果、測定したニューロンの約半数 (28/54) は、disparity と大きさが共に変化した時に、残りの半分は、disparity を変化させることによって刺激対象が奥行方向に動いて見える時に、各々活動電位を発することが示された。これらのことから、CB ニューロンは、刺激の disparity 要因と size 要因の変化に反応することによって3次元の運動視を担うと考えられている。

(2) 運動と奥行に応答する空間周波数チャンネル

Felton, Richards & Smith (1972) や Blakemore & Hague (1973) は、視差に選択的に応答する空間周波数チャンネルの存在を、また、Tolhurst (1973) や Sekuler, et al. (1976) は、運動方向に選択的に応答する空間周波数チャンネルの存在を示した。さらに、Anstis & Harris (1974) は、特定の奥行と運動の両方に選択的に応答するチャンネルの存在を示唆した。そこで、Chase & Smith (8) は、特定の奥行と運動の両方に選択的に応答するチャンネルが存在するか否かについて実験的に検討した。順応条件では、CRT 上に正弦波パターンを反復運動させて提示、これを片眼に ND フィルターを装着させ観察させることにした。ここでは、Pulfrich 現象が生起し、凝視点の前後をパターンが奥行方向に回転して見える。テストでは輝度比感度が測定されるが、この場合、順応とテストが同一の条件の事態およびテスト時、ND フィルターの装着眼を反対眼に代え、奥行出現の方向を逆転した事態とが設定された。その結果、順応とテスト条件とが相違する事態では、順応効果は有意に小さいことが示された。このことから、特定の奥行と運動の両方に選択的に応答する空間周波数の存在が確認されている。

(3) Pulfrich 現象

Katz & Schwartz (1955) は、各眼の視野の半分に density filter をあて、同側的 (temporal-temporal, nasal-nasal) あるいは対側的 (nasal-temporal) に減衰させても Pulfrich 現象が生起することを報告している。この場合、もし対側的減衰によっても 3 次元的印象が生起すれば、従来 Pulfrich 現象の有力な説明理論とされている latency 仮説に疑義が生じよう。そこで、このことを確認するために、Landrigan, David & Bader (20) は、同側的減衰条件、対側的減衰 2 条件を設定し、視えの奥行と運動パターンの測定を試みた。その結果、同側的減衰条件ばかりでなく対側的減衰条件でも有意な奥行効果が生起することが見いだされた。対側的減衰条件では、視覚中枢の各半球は刺激を同時的には受容しないので、視差も同時的には発生しない。対側的減衰条件での Pulfrich 現象の生起は、したがって、単純な latency 仮説に大きな問題を提起したといえよう。なお、滑らかな 8 の字運動パターンは同側的減衰条件にのみ生起した。このことから、中枢レベルでは、奥行出現過程と運動出現過程とは各々独立した過程ではないかと示唆されている。

(4) その他の研究

針金物体を回転させ、これをスクリーンに投影すると、2 次元画像が歪んで見えるのではなく 3 次元の物体として見える。これは運動の奥行効果 (kinetic depth effect) と呼ばれる。Wallach & O'connell (1953) は、音波の特定周波数の振動が特定の ピッチ音を作るように、長さや方向の共変化が奥行を構成するとしたのに対し、Rock & Smith (30) は、運動の奥行効果を推理あるいは問題解決のプロセスによるのではないかと考えた。この考えによると、まず、回転する刺激は知覚システムにどんな事象が生起しているかについて問いを投げる。次にその事象に適合する仮説が提示される。この場合、前額に平行に長さや方向が共に変化する刺激が存在するとの仮説と奥行方向に回転する一定の長さの物体があるとの仮説が成り立つ。そして、どの仮説が採択されるかはその仮説の事象の適合度によるが、刺激事態が多義的な場合には、仮説の選択は好みに委ねられる。

実験事態は、図11のように、矩形枠の中心で斜線が方向と長さを変えて反復運動するように設定された。観察の結果、条件 a, c は斜線が奥行方向に運動するように知覚されるのに対し、条件 b では斜線は矩形面上にとどまり、しかも前額平行面上で回転するようにしか見えなかった。

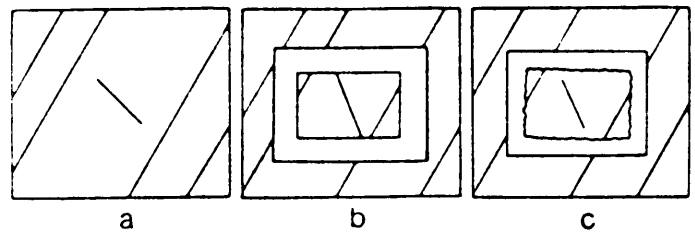


図11 運動の奥行効果 (Rock, I. & Smith, D. 1981)

このことから、他の知覚的解決が可能な場合には、刺激事態に直接規定されない知覚が成立しうることが示唆されている。

Shoji, Sumi & Fujita (34) も、針金で作られた 3 次元物体を回転させてスクリーンに投影し、polar projection 条件 (光源を回転物体の近傍に設定) と parallel projection 条件 (光源を無限に設定) とでその視え方を比較した。これらの事態は、実際には CRT 上にシミュレートされて提示される。実験の結果、veridical な運動は、連続性、持続性の点で polar projection 条件の方が生じ易いこと、これに対し、運動の反転は parallel projection 条件でより多く生起することなどが明らかにされている。

Noguchi & Taya (26) は、kinetic size constancy について検討した。kinetic size constancy とは、奥行方向に運動する対象についての size constancy をいう。従来、大きさの恒常性についての研究は静止した対象の分析を通してのみなされ、運動する対象については無視されてきたし、一方、運動対象についての研究は 2 次元面上での運動に限定され、奥行

方向の運動はとりあげられなかった。kinetic size constancy の分析は、この双方の研究領域に橋渡しをする試みである。実験は、奥行方向に運動する対象が停止した時の視えの奥行距離をマグニチュード推定法で求めることによった。その結果、観察者の前方への運動は対象の視えの大きさを恒常に保ち、同時に対象までの視えの奥行距離を実際のそれに近似させる傾向をもつことが示された。また、大きさ一距離不変仮説 ($S'/D' = K\theta^n$) も成立している。とくに注目すべきことは、静止条件では恒常性が生起しない奥行手がかり縮減事態でも、kinetic size constancy は生起することである。kinetic size constancy が成り立つためには、対象の視角が連続的に変化することが重要であって、奥行手がかりや認知要因は不要と考えられる。

この他、Caelli (7) は視えの運動の幾何学的特性に及ぼす時空要因について分析している。また、Gogel (12) は、Shebliske & Profitt の批判に答え、再度、頭部運動に随伴して生ずる静止対象の視かけの運動には、そこまでの視かけの奥行距離要因が重要な働きを担っていることを強調している。

VI 平面画像の奥行視

(1) 幾何学的錯視と perspective theory

19C以来、幾何学的錯視についての研究が多数行われてきた。これは、錯視の発生機構が視覚過程での基本的問題と深く関わりと考えられたからである。いままでのところ、視覚過程そのものが心理学的、生理学的に十分解明されていないと同様に、錯視研究も未解決の多くの問題を残したままである。

Eijkman, Jongasma & Vincent (9) は、これまで提出された Müller-Lyer 錯視のデータを3つのモデルに照らして量的分析を試みた。第1のモデルは filter model である。これは円形の on および off 中心型の受容野をモデル化したもので、刺激図形に対する出力は相互抑制回路を主体とした二重構造の線形神経回路を想定することによって表わされる。第2のモデルは oriented line detector model である。ここでは、視覚過程のある段階で方向特徴検出器が長さの情報をすべて担うと仮定され、方向線分が水平線分に与える影響が計算される。第3のモデルは perspective theory である。3つのモデルから予測される錯視量とデータを照合した結果、filter model と oriented line detector model は十分な錯視の生起を予測できないこと、これに対し perspective theory は予測値と実測値との間に近似的な一致がみられることが明らかにされている。

(2) 交差文化的研究

Hamdi, knirk & Michael (15) は、6~7才のアメリカとアラブの子どもたちに絵画奥行テストを試みた。その結果、絵画奥行テストの成績は各々が育った文化と深く関わっていること、とくに大きさと距離の手がかり要因は文化的背景によって差が生じることなどが明らかにされている。

(3) その他の研究

主観的輪郭がなぜ生じるかについて、いまのところ、次の8つの仮説が提唱されている。(1) ゲシュタルト法則のひとつである閉合の要因によるゲシュタルト説 (Kaniza 1976, Osgood 1953, Pastore 1971), (2) 単純な線画(漫画)から意味が抽出されるのと同じように、図形の部分的特徴に反応することによる図形手がかり説 (Gregory 1972, Piggins 1975, Rock & Anson 1979), (3) 平面画像のなかに奥行をみるための絵画的手がかり、とくに重なり

因が作用するとする奥行手がかり説 (Coren 1972), (4)主観的輪郭図形以外の図形も出現して見えることから, 注意の作用を強調する注意説 (Bradley & Dumais 1975, Bradley & Petry 1977, Kennedy 1976), (5)主観的輪郭で囲まれた図形内の明るさコントラストが異なるためとする明るさコントラスト説 (Brigner & Gallagher 1974, Day & Jory 1978, 1980, Frisby & Clatworthy 1975, Jory & Day 1979), (6)輪郭を検出するのに固有な neural unit が物理的に存在するエッジの影響を受けて輪郭線を誘導することによる特徴検出器作動説 (Smith & Over 1975, 1976, 1977, 1979, Stadler & Dieker 1972), (7)物理的に存在する刺激によって生じたエッジ効果が刺激全体をみまわす眼球運動中に網膜全体に塗布されるとする retinal-smearing 仮説 (Kennedy & Chattawang 1975), (8)主観的輪郭をもたらす刺激特性をフーリエ分析すれば, 主観的輪郭に対応する刺激対件が存在すると考える空間周波数仮説 (Ginburg 1975)。このうち, 前半4仮説では, 主観的輪郭が認知的要因によって生起すると考えるのに対し, 後半4仮説では, 生理的要因が重視されている。Halpern(14)は, 上記の仮説のうち, 図形手がかり説, 明るさコントラスト説, 奥行手がかり説について, 図12に示したような刺激図形によって検討した。刺激図形は, その誘導領域が面図形とストライプ図形とから構成され, 主観的矩形あるいは主観的三角形が出現する。実験では, 各々の刺激図形について, 主観的輪郭の明瞭度, 明るさコントラスト, 奥行効果, 図形手がかり効果 (実線による三角形あるいは矩形を36の部分に裁断し, その切片を次々とつなぎ合わせたスライド図形を提示し, 形が知覚されるための断片の程度をみる) が測定された。その結果, これら4つの効果は, 誘導領域, 誘導される図形特性によって異なり, 主観的輪郭の生成過程は多次元的であることが示されている。

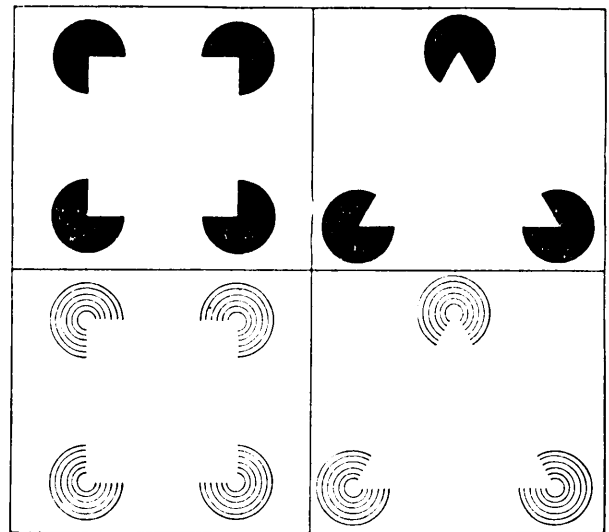


図12 主観的輪郭刺激図形 (Halpern, D. F. 1981)

Zhang, et al. (39) も Kaniza パターンの誘導領域の大きさを変化させることによって奥行手がかりの程度を操作し主観的輪郭の出現度をしらべた。その結果, 主観的輪郭は奥行手がかりの明瞭さによって変化することが示されている。

Yellot (38) は, 奥行反転図形 (例えばネッカーの立方体) と3次元物体の奥行反転 (例えば凹面に作成されたレリーフが凸面に視える inside-out 図形) の相違を明らかにしようと試みた。3次元物体の奥行反転を説明する仮説としては, ①両眼の片方が抑制を受ける結果, 両眼視差が機能しなくなり単眼視的奥行反転が生ずる (monocular-suppression 仮説), ②交叉視差は凸面を, 非交叉視差は凹面を定位させるが, 脳中枢が左右眼の入力を取り違える結果, 視差のあり様が逆転し, 奥行反転が生ずる (disparity-reversal 仮説) があげられている。両仮説の検証が, inside-out face 物体にランダム・ドット・ステレオグラム (赤と緑のドットを用い左右のペアをひとつに重ね合わせたもの) を投射した事態および Pulfrich の振子に inside-out face 物体を置き換えた事態を設定して試みられた。前者の事態では, monocular-suppression 仮説によれば, 凹面図形の凸面反転が出現している時には, ランダム・ドット・ステレオグラムの立体視は出現せず, また, disparity-reversal 仮説によれば, inside-out face の奥行逆転が出現する時には, ランダム・ドット・ステレオグラムの出現方向は設定さ

れた視差の逆になると考えられる。後者の事態では、同様に、monocular-suppression 仮説によれば、inside-out face 物体の奥行反転時には pulfrich 現象は生起せず、また、disparity-reversal 仮説によれば、奥行反転時の振子の視かけの回転方向は、通常の pulfrich 効果の逆になることが予測される。実験の結果、前者の事態では、奥行反転時にステレオグラムの立体視が出現するものの、その出現方向は設定された視差の方向であること、後者の事態では、同様に奥行反転時に pulfrich 現象が生ずるものの、その視かけの回転方向は逆転しないこと、が各々明らかにされた。これらの事実から、この種の3次元物体奥行反転は、両眼視差を含めすべての奥行手がかり要因が正常に作動した状況下でも出現する現象であると考えられる。

Ⅶ ヒトの乳児と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

ヒトの乳児の落差弁別能力が生得的か否かについては、這行前の視覚経験を統制することができないためにいつも論議される。視覚的断崖や陥穴法を用いてのこれまでの多くの研究は、①這行開始期には落差弁別が可能となること、②この弁別能力は這行経験とともに発達し、12月齢頃までその能力を高めること、③這行前乳児(1.5~5月齢)は視覚的断崖の深側上で心拍を有意に減少させるのに対し、這行乳児(9月齢)は心拍を増大させる、などを明らかにした。しかし、これらの結果は、ある時期になると落差弁別が可能となることを示したのみであり、その能力が生得的であるか否かについてのデータは提供していない。このことを確認するための適当な手段が思いつかないまま、乳児を対象とした条件分析的研究がなされている。Richards & Rader (29) は、視覚的断崖回避成績と這行開始日齢、テスト時までの這行経験、テスト日齢の3要因について分析、検討を試みた。その結果、回避成績と這行開始日齢との間に有意な相関が認められた。這行開始日齢が150~200日の乳児の回避成績は20%、201~250日のものでは50%、251~300日のものでは76.5%を示し、這行開始日齢が遅くなるに従い回避成績は向上することが示された。テストは、這行開始後、30日目または60日目のいずれかにおいて行われ、這行経験のテストへの影響がしらべられたが、回避成績には差は生じてこなかった。この結果から、這行経験が視覚に舵取りされる落差回避を誘導するとの考えを否定している。

動物を対象とした場合には、落差回避テストまでの視覚経験の統制が容易になる。Saeki (32) は、ラットの視覚経験を種々統制して断崖回避テストを試みた。その結果、完全暗飼育ラット(120~165日齢)は浅側偏好を示さないこと、また、浅側暴露飼育ラットは浅側を偏好するのに対し、深側暴露飼育ラットは有意な偏好を示さないこと、さらに、テスト時に使用した市松パターンが飼育時と同一の場合には、両飼育条件ラットとも浅側を選択しやすいこと、などを見出した。これらの結果は一義的に解釈しにくい、落差事態や特定のパターンに対する視覚経験は、生得能力である落差弁別に対し影響を与える可能性のあることを示す。

(2) 実体鏡視能力

最近の研究によると、8週齢児にはすでに実体鏡視能力が備わっているとの報告がなされている(Hutz & Becholdt 1980)。この報告では、奥行視を探るための指標反応として乳児の実体鏡視像に対する手腕伸張が用いられたが、Petrig (27) は実体鏡視時の視覚誘発電位を測定することによって乳児の実体鏡視能力の始発年齢を探った。対象とされた乳児は7~48週齢のもの17名であり、提示されたステレオグラムはランダム・ドット様式のものであった。その

結果、実体鏡視による視覚誘発電位は10~19週齢間で出現し始めることが明らかにされている。

また、Birch, Gwiazda & Held (5) は、2~12月齢の乳児を対象とし実体鏡視能力の発達についてしらべた。指標反応としては乳児の注視偏好反応が用いられた。乳児にはポラロイド・フィルターを装着させ、スクリーン上に左右のステレオグラムを重ね合わせたものと視差を付してない同形のパターンを重ね合わせたものを同時に提示し、どちらの刺激図形を乳児は注視するかが観察された。実験の結果、実体鏡視能力の始発時期は3~6月齢の間にあること、また交叉視差の方が若干早く発達することが明らかにされた。この結果は、先の Petrig の視覚誘発電位を指標とした結果とも良く一致している。

Kaye, Mitchell & Cynader (19) は、ネコの17, 18野の除去および19野の1部の除去が両眼奥行視の機能を著しく損うことを示した。実験は、まず、予備訓練として跳躍課題を課すことから始められた。この課題は、両眼視では跳躍距離を容易に弁別しえたが、単眼視では困難なものであった。訓練習得後、17, 18野および19野の1部が外科的に切除され、手術回復後跳躍テストが行われた。その結果、除去後の両眼視による結果は手術前の単眼視によるものよりも悪くなることが示された。このことから、17, 18野の除去は実体鏡視能力を奪い、結果として奥行視を著しく損うと考えられる。

また、Martinoya, Rey & Bloch (21) はハトの両眼融合視野を測定した。ハトの奥行視を探るためには、ハトの両眼融合野がどの程度のものか確定しておく必要がある。両眼融合野の測定は、カメラを用いハトの瞳孔の位置を分析することによった。カメラは、ハトの全視野をカバーするように、そしてその光軸がいつもハトの両眼間の中点を指すように置かれた。写真分析の結果、ハトの両眼融合野は卵形をしており、その大きさは幅40°、縦110°でくちばしの下23°~25°の傾きをもっていることが明らかにされた。このことから、ハトは、その眼球が前額に平行に位置していないにもかかわらず、両眼非対応を用いる光学的、形態学的可能性のあることが指摘されている。

(3) 暗飼育実験

Kaye, Mitchell & Cynader (18) は、ネコを暗飼育し、その後で光刺激にさらした時、実体鏡視能力をもつことができるか否かについて実験的に検討した。その結果、暗飼育ネコは通常の視力を回復することができたが、両眼での奥行弁別は回復しなかった。とくに、通常飼育されたネコと比較した場合、暗飼育ネコは両眼視機能が著しく損われていることが特徴的であった。これらのことから、暗飼育されたネコでは、奥行弁別のための両眼視メカニズムが欠如してしまう可能性のあることが示唆されている。

(4) その他の研究

ネコによくみられる生得的反応に視覚的着地予期反応 (visual placing response) がある。Walters (37) は、ヒトの乳児の視覚的着地予期反応の発達をみることによって奥行視の発達を探ることを思いついた。視覚的着地予期反応とは、上方から着地面に被験体を接近させた時の着地に備える四肢の突張り反応のことをいう。実験は、着地面のパターン密度、着地面までの落差距離を変えて試行された。その結果、この反応は170~190日齢に急激に出現するようになること、また、反応出現直後は、落差距離が短い場合に多く出現するのに対し、日齢が高く(290日前後) となると落差距離にかかわらず出現するようになること、さらに、日齢が高い場合、パターン密度が細かい条件では反応出現がやや頻繁になること、などが明らかにされた。視覚的着地予期反応は視覚に誘導されて出現する反応であるため、這行前のヒトの乳児の奥行

視の発達を探るひとつの有力な測度となると考えられる。

この他、Fuji & Kojima (10) は、ニホンザルの奥行視力を2桿法で測定し、その結果、単眼視による奥行弁別閾値は 77.1 mm、両眼視のそれは 23.6 mm であることを明らかにしている。

VIII おわりに

本報告をおわるにあたり、展望にかえ、若干のコメントを付したい。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、以然として実体鏡視メカニズムについての研究が盛んである。しかし、本年度は、これまでのような研究の勢いは感じられない。これまで、ランダム・ドット、空間周波数パターン、ダイナミック・ヴィジュアル・ノイズなど主として刺激側に新たな方法を用いることによって、視差情報の検出、照合過程が分析されてきた。その結果、実体鏡視を出現させるものは空間的視差に限定されないこと、また、特定の空間周波数に選択的に応答する空間周波数チャンネルが存在することなどが明らかにされた。これらは実体鏡視のメカニズムの解明のために貴重な知見を提供したが、しかし、この方向での研究はひとわたりし、そろそろまとめの段階に入っているものと考えられる。多くの研究者によって多面的な分析がなされたが、これまで明らかにされた事実は何か、さらに探究しなければならないものは何かを整理する必要がある。

網膜非対応と並ぶもうひとつの重要な手がかり要因である運動視差については、ようやく本格的な機構解明のための研究が緒についた感がある。本報告でも述べたように、Rogers & Graham の研究は、観察者の頭部運動と連動させたランダム・ドット・パターンの流れの中に奥行を現出させる手法を考案し、運動視差の奥行検出感度を測定するなど、運動視差メカニズムについてのこれからの研究技法や視点を提供している点でとくに興味深い。

また、本報告では、Pulfrich 現象の解明に重要であると考えられる研究が2, 3報告されている。とくに、Neil の D.V.N. ステレオ現象についての研究、および Landrigan & Bader の研究は注目されてよい。前者は、刺激の時間的遅延が空間的視差に変換される過程についての詳細なモデルを提供しているし、後者は、時間的遅延説 (latency 仮説) そのものに疑問を投げている。Pulfrich 現象の発現機構がどのようなものであれ、単眼視では生起しない現象であるので、実体鏡視メカニズムと深く関わっていることは間違いなからう。今後の研究が待たれる。

最後に、運動視差と網膜非対応の検出能力の個体発生的研究について触れておきたい。ヒトにおいて、運動視差がいつ頃から検出され始めるのか、その初発日齢はいまのところ判然としない。今回も、Richards & Rader によって分析がなされたが、這行開始日齢、這行経験の長短と断崖回避成績とが照合されたのみで、運動視差の初発時期は明らかにされていない。これに対し、両眼視差の初発時期は、Petrig および Birch, Gwiazda & Held によって相当程度詰められている。前者は注視偏好を、後者は視覚誘発電位を各々指標としたものであるが、いずれもその初発時期を10~19週齢の間においている。知覚機能の出現時期の同定にあたっては、多くの指標を用い総合的に判定する必要がある。

文 献 (1982)

- (1) Arditi, A. The dependence of the induced effect on orientation and a hypothesis concerning disparity computations in general. *Vision Research*, 1982, 22, 247-256.
- (2) Arditi, A., Kaufman, L. & Movshon, J. A. A simple explanation of the induced size effect. *Vision Research*, 1981, 21, 755-764.
- (3) Biederman, I. Do background depth gradients facilitate object identification? *Perception*, 1981, 10, 573-578.
- (4) Bingishi, K. Local correspondence and global stereopsis in random-dot stereograms. *Japanese Journal of Psychology*, 1980, 51, 250-258.
- (5) Birch, E. E., Gwiazda, J. & Held, R. Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants. *Vision Research*, 1982, 22, 507-513.
- (6) Braunstein, M. L., & Andersen, G. J. Velocity gradients and relative depth perception. *Perception & Psychophysics*, 1981, 29, 145-155.
- (7) Caelli, T. On the spatio-temporal determinants of some motion effects. *Acta Psychologica*, 1981, 48, 175-185.
- (8) Chase, W. & Smith, R. Spatial frequency channels tuned for depth and motion. *Vision Research*, 1981, 21, 621-625.
- (9) Eijkman, E. G., Jongsma, H. J. & Vincent, J. Two-dimensional filtering, oriented line detectors, and figural aspects as determinants of visual illusions. *Perception & Psychophysics*, 1981, 29, 352-358.
- (10) Fuji, K. & Kojima, S. Acquisition of depth discrimination in a Japanese Macaque: A preliminary study. *Perceptual & Motor Skills*, 1981, 52, 827-830.
- (11) Gillam, B. False perspectives. *Perception*, 1981, 10, 313-318.
- (12) Gogel, W. C. Perceived depth is a necessary factor in apparent motion concomitant with head motion: A reply to Shebilske and Proffitt. *Perception & Psychophysics*, 1981, 29, 173-177.
- (13) Hagen, M. A. & Teghtsoonian, M. The effects of binocular and motion-generated information on the perception of depth and height. *Perception & Psychophysics*, 1981, 30, 257-265.
- (14) Halpern, D. F. The determinants of illusory-contour perception. *Perception*, 1981, 10, 199-213.
- (15) Hamdi, N., Knirk, F. & Michael, W. B. Differences between American and Arabic children in performance on measures of pictorial depth perception: Implications for valid interpretation of test scores based on items reflecting dissimilar cultural content. *Educational & Psychological Measurement*, 1982, 42, 285-296.
- (16) Herring, R. D. & Bechtoldt, H. P. Categorical perception of stereoscopic stimuli. *Perception & Psychophysics*, 1981, 29, 129-137.
- (17) Higashiyama, A. Variation of curvature in binocular visual space estimated by the triangle method. *Vision Research*, 1981, 21, 925-933.
- (18) Kaye, M., Mitchell, D. E. & Cynader, M. Depth perception, eye alignment and cortical ocular dominance of dark-reared cats. *Developmental Brain Research*, 1981, 2, 37-54.
- (19) Kaye, M., Mitchell, D. E. & Cynader, M. Selective loss of binocular depth perception after ablation of cat visual cortex. *Nature*, 1981, 293, 60-62.
- (20) Landrigan, D. T., David, T. & Bader, I. A. The Pulfrich effect: Filtering portions of both eyes. *Journal of Psychology*, 1981, 109, 165-172.
- (21) Martinoya, C., Rey, J. & Bloch, S. Limits of the pigeon's binocular field and direction for best binocular viewing. *Vision Research*, 1981, 21, 1197-1200.
- (22) Mershon, D. H., Granberry-Hager, S., Bartlett, K. & DeCamp, B. Scalar perceptions of distance in a multiobject binocular display. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1981,

- 18, 249-252.
- (23) Morgan, M.J. Vernier acuity and stereopsis with discontinuously moving stimuli. *Acta Psychologica*, 1981, 48, 57-67.
- (24) Mowforth, P., Mayhew, J.E. & Frisby J.P. Vergence eye movements made in response to spatial-frequency-filtered random-dot stereograms. *Perception*, 1981, 10, 299-304.
- (25) Neill, R.A. Spatio-temporal averaging and the dynamic visual noise stereophenomenon. *Vision Research*, 1981, 21, 673-682.
- (26) Noguchi, K. & Taya, K. A neglected problem: Kinetic size constancy. *Acta Psychologica*, 1981, 48, 187-194.
- (27) Petrig, B. et al. Development of stereopsis and cortical binocularity in human infants: Electrophysiological evidence. *Science*, 1981, 213, 1402-1405.
- (28) Reinhardt-Rutland, A.H. Perception of slant under reduced viewing conditions. *Perceptual & Motor Skills*, 1981, 53, 146.
- (29) Richards, J.E. & Rader, N. Crawling-onset age predicts visual cliff avoidance in infants. *Journal of Experimental Psychology: Human perception & Performance*, 1981, 7, 382-387.
- (30) Rock, I. & Smith, D. Alternative solutions to kinetic stimulus transformations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 1981, 7, 19-29.
- (31) Rogers, B.J. & Graham, M.E. Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision Research*, 1982, 22, 261-270.
- (32) Saeki, Y. Modification of rats' visual cliff behavior by visual experience. *Annual of Animal Psychology*, 1979, 29, 1-20.
- (33) Shimojo, S. & Nakajima, Y. Adaptation to the reversal of binocular depth cues: Effects of wearing left-right reversing spectacles on stereoscopic depth perception. *Perception*, 1981, 10, 391-402.
- (34) Shoji, K., Sumi, S. & Fujita, H. Depth perception in moving line patterns. *Perceptual & Motor Skills*, 1980, 51, 683-687.
- (35) Topper, D.R. & Simpson, W.A. Depth perception in linear and inverse perspective pictures. *Perception*, 1981, 10, 305-312.
- (36) Toyama, K. & Kozasa, T. Responses of Clare-Bishop neurones to three dimensional movement of a light stimulus. *Vision Research*, 1982, 22, 571-574.
- (37) Walters, C.P. Development of the visual response in the human infant. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1981, 32, 313-329.
- (38) Yellott, J.I. Binocular depth inversion. *Scientific American*, 1981, 245, 148-159.
- (39) Zhang, H. et al. Subjective contour depth cue. *Acta Psychological Sinica*, 1980, 12, 63-67.

参 考 文 献

- Anstis, S.M. & Harris, J.P. Movement aftereffects contingent on binocular disparity. *Perception*, 1974, 3, 153-168.
- Blakemore, C. & Hague, B. Evidence for disparity detecting neurones in the human visual system. *Journal of Physiology*, 1972, 225, 437-455.
- Bradley, D.R. & Dumais, S.F. Ambiguous cognitive contours. *Nature*, 1975, 257, 582-584.
- Bradley, D.R. & Petry, H.M. Organizational determinants of subjective contour: The subjective Necker cube. *American Journal of Psychology*, 1977, 90, 253-262.
- Brigner, W.L. & Gallagher, M.B. Subjective contour: Apparent depth or simultaneous brightness contrast? *Perceptual & Motor Skills*, 1974, 38, 1047-1053.
- Coren, S. Subjective contours and apparent depth. *Psychological Review*, 1972, 79, 350-367.
- Day, R.H. & Jory, M.K. Subjective contours, visual acuity, and line contrast. In *Visual Psychophysics and Physiology: A Volume Dedicated to Lorin Riggs* Eds. Armington

- J. C., Krauskopf, J. & Wooten, B. R. (N. Y. Academic Press.) 1978.
- Felton, T. B., Richards, W. & Smith, R. A. Jr. Disparity processing of spatial frequencies in man. *Journal of Physiology*, 1972, 225, 349-362.
- Frisby, J. P. & Clatworthy, J. L. Illusory contours: Curious cases of simultaneous brightness contrast? *Perception*, 1975, 4, 349-357.
- Gogel, W. C. Depth adjacency and cue effectiveness. *Journal of Experimental Psychology*, 1972, 92, 176-181.
- Ginsburg, A. P. Is the illusory triangle physical or imaginary? *Nature*, 1975, 257, 219-220.
- Gregory, R. L. Cognitive Contours. *Nature*, 1972, 238, 51-52.
- Hutz, C. S. & Bechtoldt, H. P. The development of binocular discrimination in infants. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 1980, 16, 83-86.
- Jory, M. K. & Day, R. H. The relationship between brightness contrast and illusory contours. *Perception*, 1979, 8, 3-9.
- Julesz, B. & White, B. Short term visual memory and the Pulfrich phenomenon, *Nature*, 1969, 222, 639-641.
- Kaniza, G. Subjective contours. *Scientific American*, 1976, 234, 48-52.
- Katz, M. S. & Schwartz, I. New observation of the Pulfrich effect. *Journal of the Optical Society of America*, 1955, 45, 523-524.
- Kennedy, J. M. Attention, brightness, and the constructive eye. In *Vision and Artifact*, Ed. Henle, M. (N. Y., Springer), 1976.
- Kennedy, J. M. & Chattaway, D. Subjective contours, binocular and movement phenomena. *Italian Journal of Psychology*, 1975, 2, 353-367.
- Marr, D. P. A computational theory of human stereo vision. *Proceeding of the Royal Society of London B*, 1979, 204, 329-343.
- Morgan, M. J. & Thompson, P. Apparent motion and the Pulfrich effect. *Perception*, 1975, 4, 3-18.
- Ogle, K. N. Induced size effect-I, A new phenomenon in binocular space perception associated with the relative sizes of the images of the eyes. *Archives of Ophthalmology*, 1938, 20, 604-623.
- Osgood, C. E. *Method and Theory in Experimental Psychology*, (N. Y., Oxford University Press) 1953.
- Pastore, N. *Selective History of Theories of Visual Perception: 1650-1950* (N. Y., Oxford University Press) 1971.
- Piggins, D. J. Cognitive space, *Perception*, 1975, 4, 337-340.
- Rock, I. & Anson, R. Illusory contours as the solution to a problem. *Perception*, 1979, 8, 665-681.
- Rogers, B. J. & Anstis, S. M. Intensity versus adaptation and the Pulfrich effect. *Vision Research*, 1972, 12, 909-928.
- Rogers, B. J. & Graham, M. E. Motion parallax as an independent cue for depth perception. *Perception*, 1979, 8, 125-134.
- Sekuler, R., Pantel, A. & Levinson, E. Physiological basis of motion perception. In *Handbook of Sensory Physiology*, Vol. VIII, 1976.
- Shebilske, W. L. Proffitt, D. R. The priority of perceived distance for perceiving motion has not been demonstrated: Critical comments on Gogel's "The sensing of retinal motion". *Perception & Psychophysics*, 1981, 12, 139-145.
- Smith, A. & Over, R. Tilt aftereffects with subjective contours. *Nature*, 1975, 257, 581-582.
- Smith, A. & Over, R. Color-selective tilt aftereffects with subjective contours. *Perception & Psychophysics*, 1976, 20, 305-308.
- Smith, A. & Over, R. Orientation masking and the tilt illusion with subjective contours.

- Perception*, 1977, 6, 441-447.
- Smith, A. & Over, R. Motion aftereffect with subjective contours. *Perception & Psychophysics*, 1979, 25, 95-98.
- Stadler, M. & Dieker, J. Untersuchungen zum Problem virtueller Konturen in der visuellen Wahrnehmung. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 1972, 19, 325-350.
- Tolhurst, D.J. Separate channels for the analysis of the shape and the movement of a moving visual system. *Journal of Physiology*, 1973, 231, 395-403.
- Wallach, H. & O'Connell, D.N. The kinetic depth effect, *Journal of Experimental Psychology*, 1953, 45, 205-217.
- Wilson, J.A. & Anstits, S.M. Visual delay as a function of luminance. *American Journal of Psychology*, 1969, 82, 350-358.