

奥行知覚研究の動向 — 1986 —

A Survey of Papers on the Visual Depth Perception — 1986 —

林 部 敬 吉

Keikich HAYASHIBE

目 次

I 奥行知覚の手がかり分析

- (1) 運動視差
- (2) 眼球調節、両眼輻輳
- (3) 経験的要因

II 実体鏡視

- (1) 実体鏡視を担うニューロン
- (2) 実体鏡視の情報処理過程
- (3) 実体鏡視と視野闘争
- (4) 実体鏡視閾と時間的要因
- (5) ステレオシネマトグラム
- (6) ランダムドット ステレオ錯視
- (7) 眼球間刺激遅延
- (8) 色長と実体鏡視
- (9) 実体鏡視下での運動視
- (10) 主観的輪郭と実体鏡視
- (11) その他の研究

III 運動の奥行視

- (1) 運動の奥行効果
- (2) 3次元運動残効
- (3) フリッカー運動による奥行効果
- (4) Mach-Dvorak 現象
- (5) Pulfrich 現象
- (6) 運動視事態での視覚中枢の受容野
- (7) 運動による「まとまり」の効果

IV 大きさ—距離関係

- (1) 大きさ—距離不変仮説
- (2) 物理的奥行距離—心理的奥行距離関係

V 平面画像の奥行視

- (1) 発達的研究
- (2) ホログラフィ映像

VI 交差文化的研究

(1) 絵画的奥行手がかりの比較

VII 乳児および動物を対象とした奥行知覚研究

(1) 乳児の片眼視力、両眼視力、実体鏡視力

(2) 乳児の familiar size 要因と陰影要因

(3) 動物の奥行知覚

VIII その他の奥行知覚の研究

IX おわりに

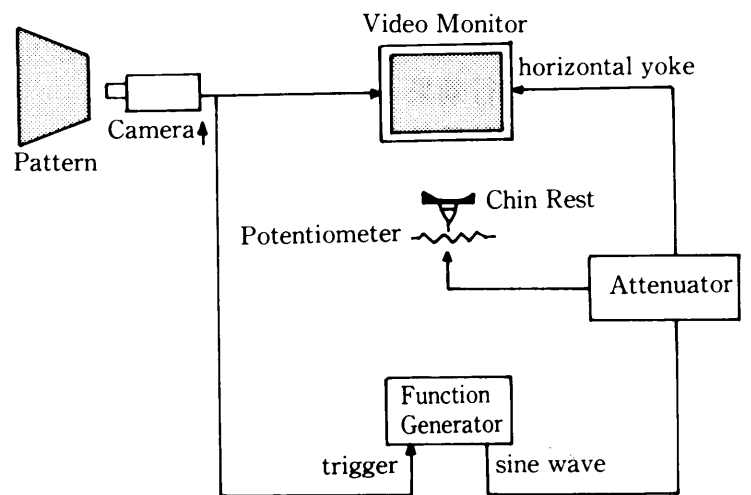
はじめに

本報には、奥行知覚に関連した論文を、Psychological Abstract 誌の1986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。

I 奥行知覚の手がかり分析

(1) 運動視差

運動視差とは、観察者の自己生産的運動による網膜像の相対的角速度差をいう。この運動視差は、奥行の前後関係を示し得ても、それ自体では奥行距離を見積るための情報は持ち合わせていない。絶対的奥行距離の情報が付け加えられてはじめて、運動視差は奥行距離を示し得る。Ono, Rivest & Ono (26) は、そこで、絶対的奥行距離情報を与えたとき、運動視差は対象間の相対的奥行距離を示し得るかを検討した。運動視差は、図1に示されたように、観察者の頭部運動をフィードバックさせ、CRT上のパターンと連動させることによって操作した。CRT上に提示されたパターンは、波形パターンで、波形の頂は頭部運動と連動して同方向に、波形の谷は逆方向にシフトする。絶対的奥行距離情報は、CRTまでの観察距離の操作(80, 40cm)によって、また、運動視差量は、観察距離に関わらず、両眼視差換算0.47度に固定された(頭部水平運動が6cmの場合、両眼視差では眼球間距離6cmに相当する)。



運動視差によって生じた視かけの奥行 (波形パターンの頂と谷) は、ポインタの調整によって測定された。運動視差が一定に保たれた事態では、視かけの相対的奥行距離は対象までの観察距離の2乗に比例して増大すると予想され、次式が成り立つ。

$$d = \{(D (D + d) \delta) / 6 = \delta D / (6 - \delta D)\}$$

(d : 視かけの相対的奥行距離, D : 観察距離, δ : 運動視差)

実験の結果, 運動視差は絶対的奥行距離と随伴的關係にあることが示されたが, しかし, 運動視差にもとづいて測定された相対的奥行距離は, 上式から予想されるものとは若干異なる値が得られている。

この研究は, これまで定性的にのみ吟味されていた運動視差を, 定量的に分析しようと試みたものとして評価できる。

(2) 眼球調節, 両眼輻輳

Morrison & Whiteside (22) は, 絶対的奥行距離判断での眼球調節と両眼輻輳の奥行手がかり効果を検討した。実験装置は, 図2に示されている。眼球調節はレンズによって, 両眼輻輳はスプリットミラーによって操作した。刺激には小光点を用い, また, 奥行距離の変化に伴う明るさの減衰は距離の2乗の法則に則って調整した。絶対的奥行距離は0.5–9.2mの範囲で変えられ, その視かけの距離は評定法によって測定された。実験の結果, (1)輻輳要因のみが変化させられた場合には, 視かけの絶対的奥行距離は正しく評定されるが, 調節要因のみが変化させられた場合には, 一貫した評定値が得られない, (2)輻輳と調節要因が共に変化させられた場合の視かけの距離評定は, 視標を移動し, 奥行距離を実際に設定した事態と比較した場合, 必ずしも良好ではない。(3)視標を瞬間露出した事態 (0.1あるいは0.2 s) での距離評定は良好である, などの知見が得られている。

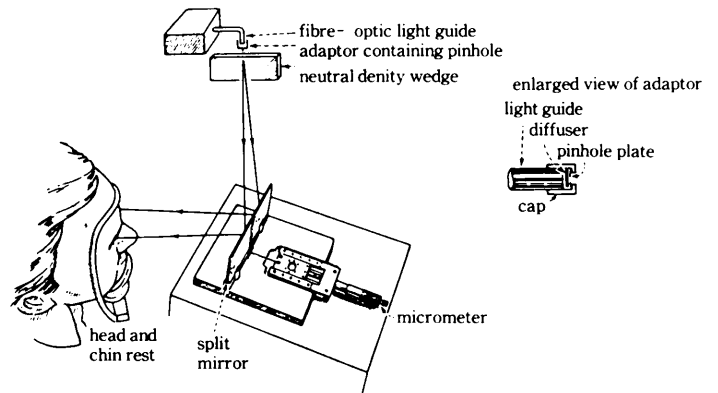


図2 眼球調節, 両眼輻輳測定のための実験装置(Morrison & Whiteside 1984).

(3) 経験的要因

Pillow & Flavell (28) は, 3歳と4歳児を対象とし, ものの形や大きさについての知識を吟味した。もの大きさについては, 2つの同形, 同大の対象を奥行を異にして提示し, 1方が他方と大きさが等しくなるように調整させる方法によって, 形については, 円形対象を回転させ, 円あるいは楕円に視える位置を指定させる方法によって各々検討した。その結果, 大きさと形についての知識は, 4歳児にはほぼ備わっていること, 3歳児は大きさと形についての知識はまだ持たないものの, その次元の変化については気が付いていること, が明らかにされている。

II 実体鏡視

(1) 実体鏡視を担うニューロン

Poggio et al (29) は, 網膜非対応に選択的に反応するニューロンの存在をサル (rhesus monkey) の視覚領 (V1, V2) で確認したと報告している。刺激は, 輪郭図形を持つステレオグラム

(Solid Figure Stereogram, SFS) とダイナミック ランダムドット ステレオグラム (Dynamic Random Dot Stereogram, DRS) とを用い、反応は、大部分、foveal striate cortex(V1) の単一ニューロンから、そして若干 prestriate cortex から検出された。その結果、まず、網膜非対応に選択的に対応するニューロン (depth neuron) と奥行に非感受的なニューロン (flat neuron) が区別された。depth neuron は、さらに、2種類に大別される。その1は、凝視距離近辺 (0 disparity) の狭い範囲の網膜非対応に同期するもので、これには両眼融合を促進する “tuned excitatory” ニューロンと両眼融合を抑制する “tuned inhibitory” ニューロンが含まれている。その2は、交差、非交差視差に対して拮抗的な反応を生じるもので、例えば、観察者により近い刺激に選択的に興奮するニューロンは、遠方刺激に対して抑制反応を起こす。depth neuron のこれらの特性は、図3のように、図式化できる。また、SFSに反応するニューロンのみではなく、DRSにも反応するニューロンの存在も明らかにされている。これらのニューロンには、反応の最大値が得られる刺激の大きさと方向に関して相違があり、特に、DRSに反応するのは、ほとんど、複雑ニューロン (complex cell) である、といった特性の相違がある。

これらの実体鏡視に関わるニューロンの発見は、その神経メカニズムを解明していく端緒になると考えられる。

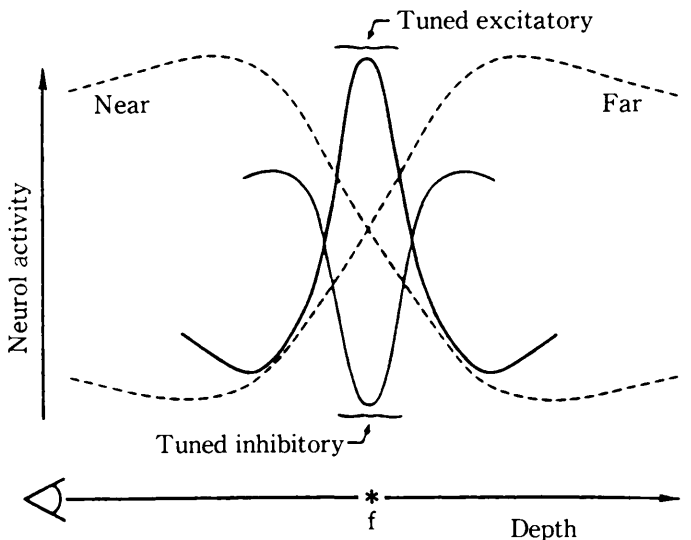


図3 4種類の網膜非対応感受ニューロンの感度曲線 (Poggio, et al 1985).

(2) 実体鏡視の情報処理過程 (stereoscopic processing)

実体鏡視メカニズムについての理論モデル

(Marr & Poggio 1979, Mayhew & Frisby 1980)

では、網膜非対応の検出過程が中心の問題となる。モデルの構成にあたっては、両眼に入力される刺激は、網膜非対応を除いて図形特性がすべて等価であることが前提である。この場合、網膜非対応も両刺激間で等質性と連続性を持つことになる。

Gillam, Flagg & Finlay (9)は、そこで、非等質、不連続な網膜非対応条件での実体鏡視の実験を試みた。非等質、不連続な網膜非対応は、片眼に水平方向拡大レンズ (5%と8%) を装着させることによって導入した。図4は、レンズ装着時の左右眼の視野を示す (Aは片眼全体を拡大、Bは片眼の上半分のみを拡大、Cは上半分を拡大、下半分を遮蔽してある)。この種の不等像視 (aniseikonia) 事態では、前額平行面はY軸を中心として奥行方向に傾いて見える。実験では、その傾きの程度と傾き出現までの潜時が測定された。その結果、非等質、不連続な網膜非対応を持つ条件 (図中、B) で奥行出現の程度が高く、また、出現潜時も短いことが示された。この条件は、他の2条件と異なり、実

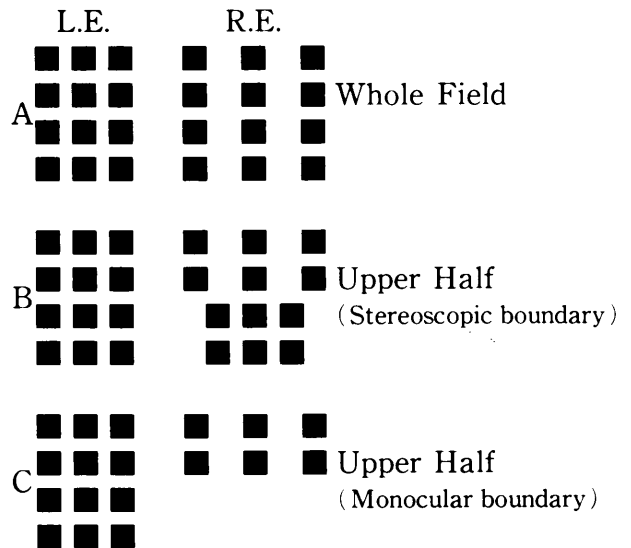


図4 非等質、不連続な網膜非対応 (Gillam, Flagg & Finlay 1984).

体鏡視した時、その視野限界 (stereoscopic boundary) をもつ事態である。網膜非対応の検出過程の理論化にあたっては、この stereoscopic boundary の実体鏡視促進効果を考慮する必要がある、と Gillam らは主張する。

一方、Richards(1970,1971) は、交差視差と非交差視差を検出する過程が各々独立した別個の回路 (チャンネル) であると主張する。彼は、2本線分のステレオグラムを提示し、さらに、片眼にのみ視差を伴わない2本線分を重ねて提示したところ、交差視差あるいは非交差視差とこの視差を伴わない単眼刺激とを識別することができない少数の観察者がいることがわかった。これらの観察者は、交差あるいは非交差視差を検出する回路のいずれかが欠けている (stereoanomalous) と考えた。そこで、Lasley (20) は、視差検出がいくつの回路で担われているかを、Tanner の認知理論 (1956) を応用して決定しようと試みた。Tanner は、2個の異なる刺激が1つの回路を作動させるか、あるいは、2つの回路を作動させるかを、どちらかの刺激を検出する能力と2個の刺激を弁別する能力の比較を通して決定できると考えた。そのための一般式として、2つの回路のノイズの相関関係を刺激の検出可能性と2個の刺激の弁別性とに関連づけて次の式を導いた。

$$\cos\theta = \{d(1)^2 + d(2)^2 - d(1, 2)^2\} / 2d(1)d(2)$$

この式で、 θ は2個の刺激のノイズについての相関係数、 $d(1)$ と $d(2)$ は2個の刺激の検出可能性、 $d(1, 2)$ は2個の刺激間の識別性を示す。 $\cos(\theta)$ が0の時は、2つの独立した回路が存在することを、 $\cos(\theta)$ が+1の時、1つの回路の存在を、 $\cos(\theta)$ が-1の時、検出可能性より識別性の方が容易であることを、各々示す。Lasleyは、この方法を用い、実験を試みた。刺激は、視差を持つ縦縞と視差を持たず単眼にのみ提示される横縞とからなり、交差視差刺激—単眼的刺激(視差を持たない刺激)、非交差視差刺激—単眼的刺激、交差視差刺激—非交差視差刺激の組合せで提示した。はじめに、奥行が存在するか否かの検出可能性が、次いで、どの方向に奥行が出現するかの識別性がテストされた。ここで得られた正答と誤答から d が求められ、これにもとづいて $\cos(\theta)$ の値が計算された。実験の結果、 $\cos(\theta)$ の平均値は、-1.66となった。これは、検出可能性より識別性の方が容易であることを示す。また、各被験者の $\cos(\theta)$ の値を個別に検討すると、視差を担う回路 (チャンネル) は1つであるとする仮説は有意に否定されている。この研究は、信号検出理論を応用して実体鏡視を担うチャンネル数を確定しようと試みたもので、結果の確認のための追試が望まれる。

(3) 実体鏡視と視野闘争

実体鏡視と視野闘争は、両眼視における2つの基本的過程であるが、これまで、共存できないものと考えられてきた。実体鏡視は両眼からの情報の統合を必要とするのに対し、視野闘争は片眼の刺激入力抑制を必要とする。

Wolfe (37) は、これまでの研究を整理した上で、図5にまとめられたような新たなモデルを提唱した。このモデルでは、実体鏡視と視野闘争は各々別個の過程であるが、しかし、両過程は時間的、空間的に共存できる。視野闘争は、たとえ、同一刺激が両眼に入力されても必然的に存在し、実体鏡視は視野闘争とは無関係に妨害される。このように、視覚処理の初期の段階では、実体鏡視と視野闘争が共存しているが、それにもかかわらず、両眼視が可能なのは、両

過程の最終結果を最後の段階で加重平均することによってひとつに統合できるためである。Wolfe は、このモデルを検証するために、視野闘争が必然的に存在するか、また、実体鏡視と視野闘争は各々独立した回路をもつか、の2点について実験を試みた。視野闘争の必然的存在性については、次のような実験パラダイムで検討された。これまでの研究によれば (Wolfe 1983), 明らかに視野闘争を誘導する2つの異なる刺激も、瞬間同時提示 (150msec 以内) すると、両眼視融合を起こすこと、この融合を続けるには150msec 以上の間隔をおいて提示する必要があることが明らかにされている。視野闘争の回路が働いているときには、この種の異常

な融合は150msec 以上の blank interval がないと生起しないわけである。いま、明らかに視野闘争を出現させる刺激を数秒間提示して視野闘争を起こし、次いで、別の視野闘争を出現させる刺激を150msec 以内に提示すれば、この種の異常な融合は生起しないと予想される。実験の結果は、この予想を実証した。実体鏡視と視野闘争が各々独立した回路をもつかについては、次のようなパラダイムで検討された。もし、Aの操作がX機能を阻止し、Y機能を妨害しなかった場合、そして、Bの操作がYを阻止し、Xを妨害しない場合には、XとYは各々独立していると論理的にいえる。そこで、連続提示では明らかに視野闘争を起こす刺激を継時的に提示し、この時間的的操作が視野闘争を阻止し、実体鏡視を成立させるかをみた。その結果、実体鏡視が明らかに成立することが確認された。この結果と先の結果とを併せて考えたとき、実体鏡視と視野闘争の回路は各々独立であるといえる、と Wolfe は結論する。

(4) 実体鏡視閾と時間的要因

奥行や立体を生起させるのに必要な最小の視差 (実体鏡視閾) は、ステレオグラムの提示時間によって変わる。これまでの研究によれば、local stereopsis (単眼でも識別できる形態特性をもつもの)、global stereopsis (ランダムドットで構成されていて単眼では形態が識別できないもの) と、実体鏡視閾は提示時間が短くなると上昇することが確認されている (Ogle & Weil 1958, Harwerth & Rawlings 1977, Uttal et al 1975)。White & Odom (35) は、global stereopsis で両眼立体視の成立のために必要な時間的要因を吟味した。刺激には、融合されると水平、垂直あるいは市松パターンが奥行的に知覚される dynamyc random element stereogram を用いた。このステレオグラムは、交差視差と非交差視差とを連続して交替提示する。実体鏡視成立のための時間的要因は、両視差の交替時の間隔時間の操作 (33-4267 sec) を通して行われた。この他、ステレオグラムの空間周波数 (0.3-0.55 cpd)、融合図形の方法 (横縞と縦縞) とパターン (市松模様) が操作された。その結果、(1)実体鏡視閾は、視差交替のための間隔時間が33-500 msec の間は、ほぼ直線的に減少を示し、500 msec で最小となり、その後は平準化すること、(2)実体鏡視閾は空間周波数が0.18 cpd で最小となること、(3)縦縞は、立体視されるためには横縞の2倍の視差を必要とすること、が見いだされた。交差-非交差視差間の間隔時間を短くすると実体鏡視閾が小さくなるという結果は、実体鏡視メカニズムに時間的

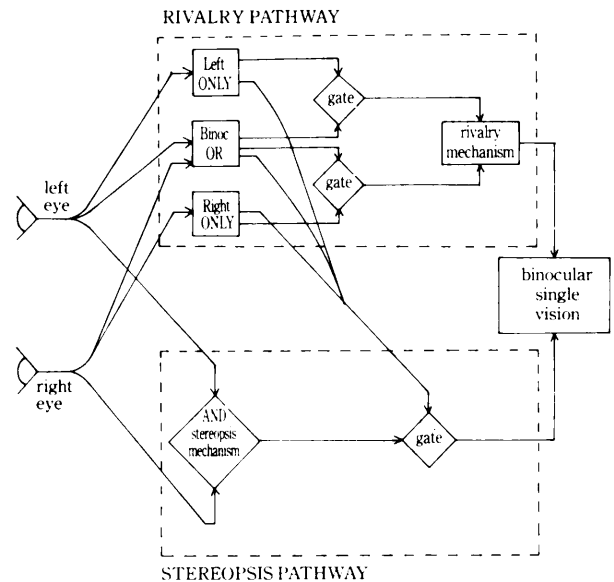


図5 実体鏡視の視覚回路 (Wolfe 1986)。

統合作用のあることを示唆すると White らは考えている。

(5) ステレオシネマトグラム (stereocinematogram)

Prazdny (30)は、ステレオシネマトグラムなるものを考案している。これは、映画のように、何コマかのステレオグラムを連続的に提示したときに立体感が生ずるステレオグラムである。図6には、2コマ (frames) のステレオシネマトグラムが示されている。静止したままでは、何等の形や奥行が出現しないが、刺激提示時間を1/30 sec, I S Iを1/60 secで連続提示すると、2本線分が奥行的に分離して見える。これは、あるコマから別のコマへの移動にともなって視差が出るように作られているからである。奥行的に分離する2本線分は、連続して提示されるコマの間で縦と横の位置をそれぞれシフトすることによって kinetic に作られ、また、視差は、この kinetic に作られた輪郭の位置を変えることによって作り出される。ステレオシネマトグラムでも両眼立体視が可能であるということは、はじめに、点对点对応の検出にもとづく両眼視過程が先行するのではなく、エッジや輪郭を検出する単眼視過程が先行することを示唆する。

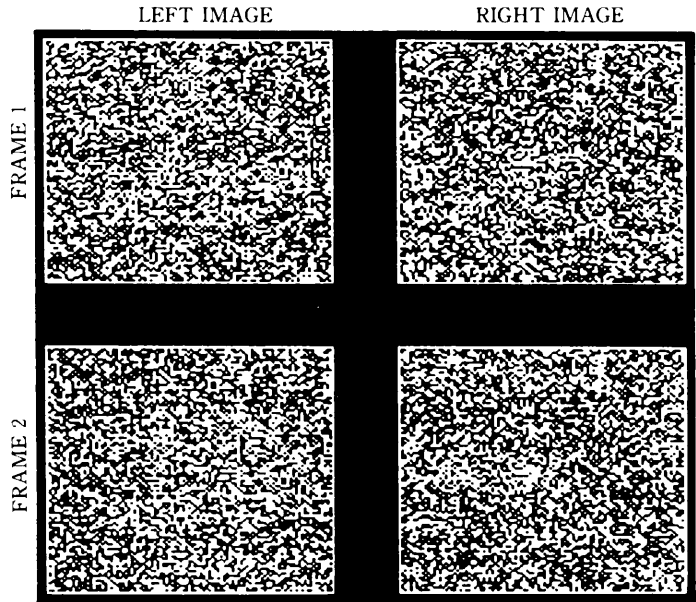


図6 ステレオシネマトグラム (Prazdny 1984).

(6) ランダムドット ステレオ錯視

Enright (4)は、次に示すような新しいランダムドット ステレオ錯視を見いだした。CRTの空きチャンネルを片眼にレンズ (+3 D) を装着して両眼観察させるが、この時、その眼前に矩形状の遮蔽ボード (30×4×1 mm) を置く。このようにすると、遮蔽ボードによって片眼の像はボケ、さらに、そのボケた像の一部は遮蔽されて影を作る。その結果、Anstis Howard-Rogers 効果 (A H R 効果) に非常に類似した錯視が生起するという。A H R 効果とは、 Craik-O'Brien Cornsweet 様の凹凸パターンを、その中央の凹凸部を観察者に対して垂直になるように提示して観察すると、凹部分を挟む両側の領域が物理的に等高であるにもかかわらず、右領域の方が高く (奥行的に観察者の手前になる) 見えるという現象を言う。Enright は、この奥行的錯視を次のように説明する。図7に示されたように、レンズを装着させ網膜の手前で結像させる場合には (b), 対象 (O, X) は網膜上では像のボケ (blur circle) を生ずる (O₂, X₂)。この時、対象 O₂, X₂間の距離は、正常に焦点を網膜上に結んだ場合と等しくなる (S₁ = S₂)。しか

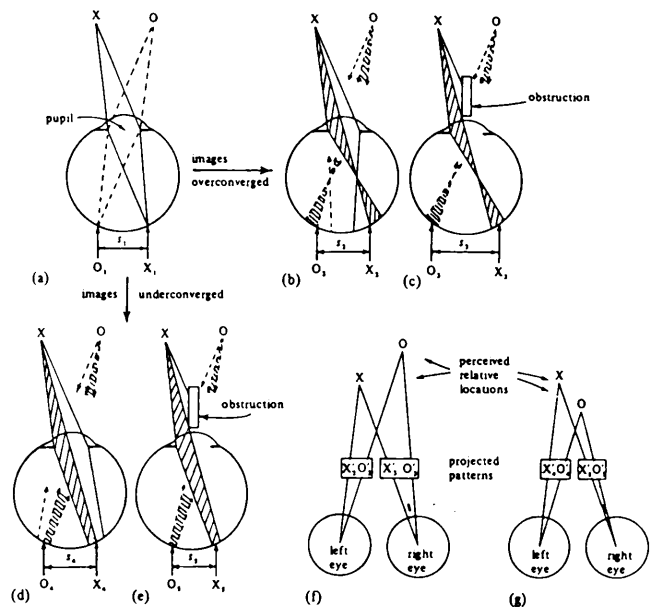


図7 Anstis-Howard-Rogers 効果に類似した実体鏡視錯視の説明仮説 (Enright 1984).

し、レンズの眼前に遮蔽ボードを置いた場合には (c), ひとつの対象は鼻側の瞳孔を, 他はこめかみ側の瞳孔を通してのみ投影されるので, ボケた像はその投影位置を片寄せ, 両対象の像のボケの中心間の距離 (X_3 と O_3) を拡大させる ($S_3 > S_2$)。その結果, 正常眼と「レンズ装着+遮蔽ボード眼」との間には, 対象OとXについて網膜非対応 (O_2 と X_2 , O_3 と X_3) が生み出され, 奥行視が生じる (f)。焦点を長くするレンズを用いた場合 (d, e, g) も, 全く同様に考えられる。この仮説は, 両領域間に奥行の差を生じさせることを旨く説明するが, しかし, その奥行が起伏状の凹凸にどうしてなるかについては説明できていない。

(7) 眼球間刺激遅延

Guttman & Spatz (16) は, 眼球間刺激遅延と対象の輻輳角の要因が, 両眼視融合と実体鏡視にあたる影響について検討した。図8の実験装置に示されたように, 眼球間刺激遅延時間は眼前の円盤の回転速度の変化によって, 輻輳角は対象間の距離の増減によって, 各々操作された。実験の結果, 20人の被験者中, 13人は眼球間刺激遅延時間や輻輳角が変化しても融合頻度に影響が現れないが, 7人は輻輳角が大きくなると融合頻度が顕著に高くなることが示された。また, 注目される事実は, 各眼に反対視野の対象が刺激入力される事態 (parallel light guide) で, 対象を中心から側方へと運動させると, 後方への奥行運動が観察されたことである。この奥行運動は, 輻輳の角速度が遅い場合 ($0.05 \text{ deg}^{-1}\text{s}$ 以下) には観察されないことから, 網膜非対応の連続的变化によるものではなく, 対象の移動に対応した眼球自体の輻輳的運動によってもたらされるものと考えられている。

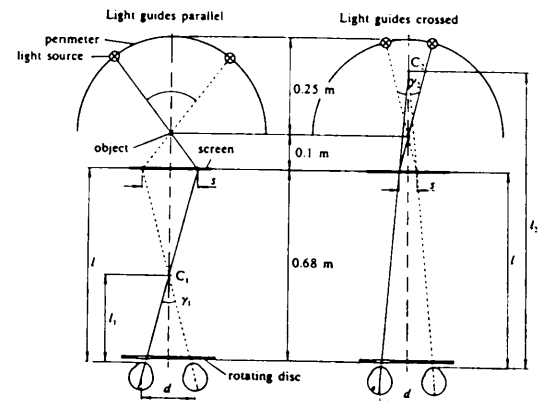


図8 眼球間刺激遅延と輻輳角の要因が両眼視融合と実体鏡視にあたる効果を見るための実験装置(Guttman & Spatz 1985).

(8) 色長と実体鏡視

Lu & Fendy(1972),Gregory(1977) は, 網膜非対応を構成する刺激要素の中から輝度要因を分離し, 純粹に色長要因のみで視差を構成すると, 実体鏡視しても立体が出現しないことを明らかにした。同様に, Ramachandran & Gregory(1978) は, 純粹に色長のみで輪郭 (ランダムドットから作られている) を構成した場合, 運動視が妨害されること, さらに, Wolfe & Owens (1981) は色長のみからなる事態では眼球調節も働かないことを示した。これらの事実は, 人間の視覚システムが輝度差による輪郭と同等には色調にもとづく輪郭情報を奥行知覚の中で利用できないことを示唆する。そこで, Grinberg & Williams (15) は, 網膜非対応が Blue-sensitive Mechanism (Bメカニズム) によってのみ検出される刺激事態を設定し, 実体鏡視下で立体視が可能か否かをしらべた。Bメカニズムとは, 440nm 近辺に強い感受性を持つ色覚機構を言う。刺激は, Maxwellians のレンズ装置を用いて提示された。ステレオグラムの色長は, 視標を440nmまたは480nm, 背景を580nmとし, 視標がBメカニズムによって検出されるように輝度を調整した。ステレオグラムには輪郭図形によるものとランダムドットによるものを用意した。実験の結果, 両ステレオグラムとも交差視差と非交差視差の立体識別が可能であることが示された。この結果は, 実体鏡視が色長のみから構成された網膜非対応を検出できることを明らかにしている。

(9) 実体鏡視下での運動視

運動視は知覚の基礎的しくみのひとつである。運動知覚を可能にさせる要因は、位置変化 (angular position) と対象の大きさ変化である。位置変化を考えた場合、両眼間での網膜上での投影位置は、ホロプター上での移動を別にすれば、両眼間で相違するが、しかし、視かけ上はひとつの融合された運動を知覚できる。Erkelens & Collewijn (5)は、実体鏡視下で視標を左右に連続的にシフトし、その時の運動視の出現の様子を観察した。実験では、菱形が背景から浮かび出るランダムドット ステレオグラムを視覚枠組 (visual frame of reference) となるものが存在しないようにして提示した。この時、3角波状 (triangular wave) に振幅を種々変えながら左右に、それぞれが反対方向にシフトする。このような事態では、左右で振幅を相違させると立体視が維持されながら、ステレオグラムは全体として左右方向にシフトするのが観察され、また、左右の振幅が等しい場合には、完全に静止した立体視が生じることが示された。ステレオグラムが奥行方向にシフトして見えるのは、視覚枠組、例えば縦縞パターンを付加した場合のみであった。このことから、奥行視に重要な要因は、視覚枠組であると思われる。

(10) 主観的輪郭と実体鏡視

Ramachandran & Cavanagh (31)は、主観的輪郭図形の背景に、図9-a, b, c, dに示したようなドット、縦線、横線、斜線などを付加した図形から構成されたステレオグラムを考案した。ここでは、主観的輪郭図形 (矩形) 間に視差が付してある。これらのステレオグラムを実体鏡視したところ、主観的輪郭図形部分が立体的に見えるとともに、その枠内の肌理パターンも密着して浮き上がるように見えることを発見した。詳細な観察の結果、この現象 (stereoscopic capture) は、肌理パターンがドット、縦線、斜線の場合に生起し、横線の場合には主観的輪郭をつくるセクター部分で弱い浮き上がり効果をもつものの、主観的輪郭図形内の横線は背景上にとどまること、また、この現象は交差視差のみに生起し、非交差視差では消失してしまうこと、などが明らかにされた。そこで、Ramachandranらは、図9-eに示されたような主観的輪郭効果をもたないステレオグラムを用意し、観察したところ、stereoscopic capture は生起しないことが分かった。このことから、この現象は主観的輪郭図形に固有な効果と考えられる。

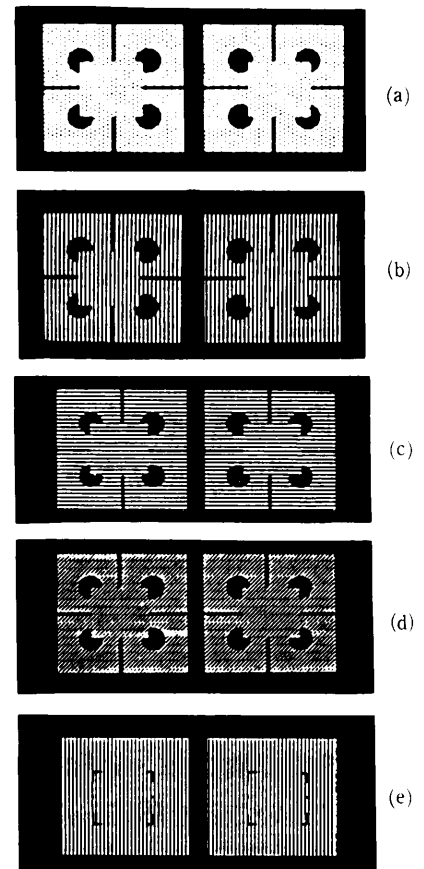


図9 stereoscopic capture を生起させる主観的輪郭ステレオグラム (Ramachandran & Cavanagh 1985).

(11) その他の研究

Wade & Ono (33)と Ono & Wade (25)は、実体鏡視が発見された19世紀の Wheatstone と Brewster の間で行われた未決着な論争を再検討した。その論争というのは、Wheatstone が考案した図10のようなステレオグラムについての見え方についてである。

Wheatstoneはこのステレオグラムの立体視が可能であると主張するのに対し、Brewsterは不能と報告する。Wadeらは、当時の実験条件を忠実に再現して検討した結果、ステレオグラムの観察時に眼球を静止したままに保つと立体視が消失すること、また、ステレオグラムの上半

分だけを提示すると立体感が明瞭になることを新たに見いだした。このことから、当時の論争は、ステレオグラムの図形特性と観察条件によって生じていたものと結論できる。

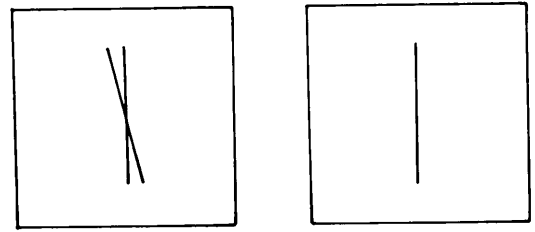


図10 Wheatstone考案のステレオグラム(Ono & Wade 1985).

Ⅲ 運動の奥行視

(1) 運動の奥行効果 (Kinetic depth perception)

Todd (32)は、運動の奥行 (立体) 効果を成立させる要因について詳細な分析を試みた。その1は、3次元対象が回転あるいは移動した時に生じる「対応づけ (correspondence)」の問題である。対象が移動すれば、その前後でどの点とどの点に対応するかを知覚しなければならない。もし、この対応づけを誤れば、図11に示されたように、運動する対象の3次元性について正しい知覚ができないことになる。そこでToddは、対象を回転させた時、対象の表面に散在させたドットのシフトに対象の運動方向とは異なるシフトをするノイズを混入させ、この対応づけ問題点を検証した。実験では、2次元対象を垂直軸を中心として種々な角度で反転 (10, 20, 30, 40, 50度) させ、観察者にはその反転角度を判断させるが、この時、シフトに伴うドットの対応関係 (0, 12, 25, 50, 100%) をノイズの混入を種々変化させることによって操作する。実験の結果、対象の回転角度の判断とシフトに伴う対応関係とは密接な関係があり、その対応関係が0%になると正しい回転角度の知覚が成立しないこと、しかし、対応関係が12%あればほぼ正しい知覚が成立することが明らかにされた。そこで、さらに、回転にともなってドットがシフトした時、そのシフトの距離をできるだけ短くするように操作したら、対応関係が0%でも正しい知覚が成立することが示された。分析のその2は、運動の奥行視を成立させる図形パターンについてなされた。回転する3次元対象のスクリーン影像を観察した場合、その連続して変化するパターンから奥行効果が生じる。しかし、Wallach & O'connell (1953)は、球や楕円体のように滑らかな輪郭線を持つ物体は、運動の奥行効果を生じさせにくいことを報告した。そこで、Toddは、図12に示されたように、2個の楕円体の回転位置の組み合わせを変えて観察させたところ、2個の対象が相互に交差し (intersection), かつ、互いに他を一時的にも遮蔽するパターン (図12-b) で強い奥行効果の生じることが示された。さらに、分析のその3として、物体の表面の明るさと肌理分布の要因を調べた。回転する物体表面の明るさあるいは肌理に非均質性を導入して観察すると、均質条件に比較して非均質条件の方が強い奥行効果があらわれた。これらの結果は、従来不明確であった運動の奥行視を可能にさせる基本的要因を明らかにしたものである。

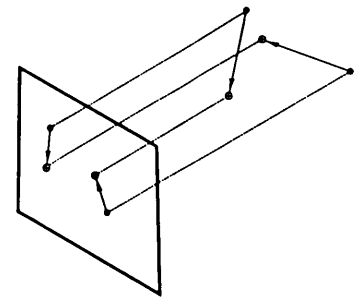


図11 運動刺激とその投影像とのコレスポネンズ (Todd 1985).

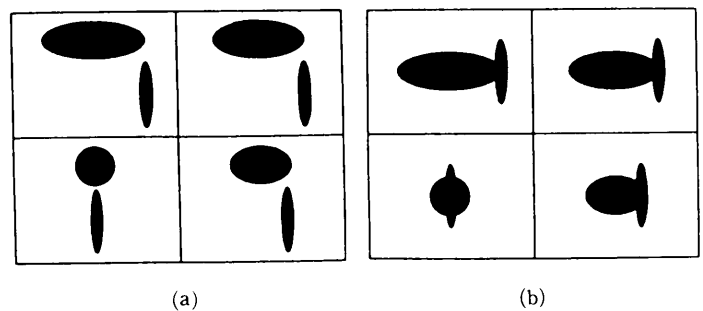


図12 運動の奥行効果を見るための2種類の刺激布置 (Todd 1985).

(2) 3次元運動残効

Regan & Beverley(1978)は、前方に拡大あるいは縮小する矩形を連続提示した後、静止図形を提示すると反対方向への運動残効が発現することを見だし、奥行方向への接近・後退を選択的に検出する“changing size”チャンネルの存在を仮定した。

Petersik, Shepard & Malsch (27)は、対象を前後運動させるのではなく回転させた場合の運動残効についてしらべた。刺激は、CRT上の4つの小光点で矩形の4頂点の位置に相当するところに提示され、矩形がY軸を中心として回転したのと同様な方向に運動する。この時、4小光点の動きに、点投影事態 (polar projection) で生じる遠近法的情報を付け加える。CRT上に提示された対象までの観察距離もシミュレートされ、それにともない、遠近法的情報は観察距離に比例して操作される。CRTのシミュレーション刺激に順応後、遠近法的情報を除いた静止パターンを提示し、その視かけの回転方向を報告させたところ、3次元の運動残効の出現程度は観察距離に反比例することが見いだされた。この3次元の運動残効は、2次元上での運動刺激では生起しないことが確認され、したがって、3次元方向での運動に固有なものである。

(3) フリッカー運動による奥行効果

Wong & Weisstein (38)は、フリッカー運動による奥行効果を分析した。フリッカー運動される領域は、図13に示されたように、ひとつ置ききの縦枠、横枠、あるいは中側の矩形であり、その他の領域は静止を保つ。これを観察すると、フリッカー領域と静止領域とが奥行的に分離し、フリッカー領域が静止領域の背後に後退して見える。フリッカー頻度を3.6, 5.0, 6.3, 8.3, 12.5 Hz に変化し、視かけの奥行分離の最大値を求めたところ、6 Hz 前後であることが確認されている。

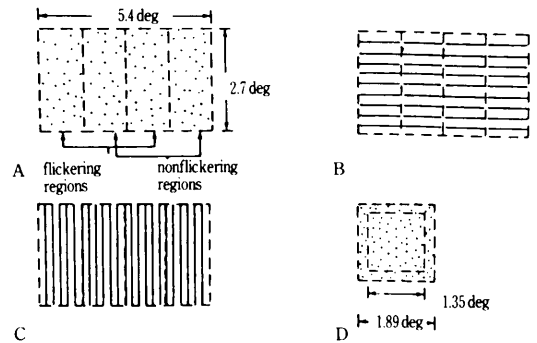


図13 フリッカー運動による奥行効果 (Wong & Weisstein 1985).

(4) Mach-Dvorak 現象

Harker & Jones (17)は、Mach-Dvorak現象の成立要因を分析した。実験は、図14に示されたようなパラダイムで実施された。その結果、左右眼の入力に眼球間遅延 (interocular delay) を導入すると、Mach-Dvorak現象 (運動物体が奥行方向に回転して見える) が生起すること、また、左右眼の入力遅延に際し重複する時間帯を設け、その時間帯の長さを増大すると、Mach-Dvorak現象は減弱すること、さらに、眼球間の入力に輝度差を導入すると、現象生起は弱まることが明らかにされた。これらの結果から、Mach-Dvorak現象は、眼球間の入力遅延の結果として引き起こされた継時的な興奮を伴う眼球間相互作用が脳内のある領域、多分、外側膝状体で統合され、実体鏡視的連合を生じさせるために生起すると考えられている。

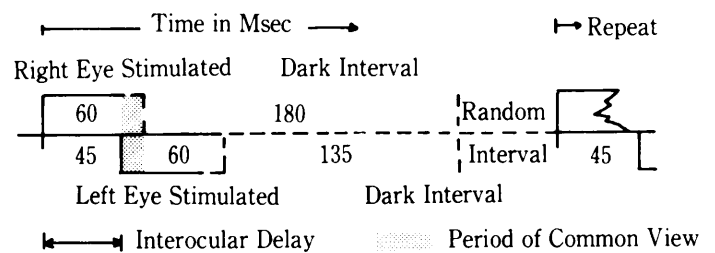


図14 Mach-Dvorak現象分析のための刺激提示時間条件 (Harker & Jones 1985).

これらの結果から、Mach-Dvorak現象は、眼球間の入力遅延の結果として引き起こされた継時的な興奮を伴う眼球間相互作用が脳内のある領域、多分、外側膝状体で統合され、実体鏡視的連合を生じさせるために生起すると考えられている。

(5) Pulfrich 現象

中溝と近藤(24)は、Pulfrich 現象について、凝視条件と追視条件を設定し、その現象生起の程度を検討した。現象の測定は、視標の軌道を操作することによって視かけ上の奥行回転を相殺させ、それに必要な軌道修正の程度を求める方法によった。実験の結果、視標追視条件の方が、現象生起の程度が大きいことが明らかにされた。この結果は、Pulfrich 現象についての2つの仮説、刺激遅延説と背景の奥行誘導説(Rogers et al 1974)に照らして解釈が試みられた。ここでは、視標追視条件の方が現象生起の程度が大きい結果が得られたわけであるから、背景に生じた網膜非対応による奥行誘導の方が、視標自体の網膜非対応によるものよりも大きいと、一応、考えられた。しかし、ここでは、現象の指標として視標の軌道操作を行っているために、凝視条件と追視条件とでは輻輳要因に代表されるように視標観察時に働く奥行手がかりが相違してしまうことが指摘できる。したがって、この実験結果は、各々の条件下で生じた奥行手がかりの相互作用の相違を反映したものと、中溝らは考えている。

(6) 運動視事態での視覚中枢の受容野

神経生理学は、視覚を担う中枢のしくみを電気生理学的手法で明らかにし、とくに、受容野の概念は視覚中枢機構の基本単位を構成するものと考えられている。しかしながら、受容野の構造を明らかにするために神経生理学者達によって使用された刺激パターンは、光点や光線分など「図」に当たるもののみを操作したものであり、視覚心理学が重要と考える「地」が無視されている点が指摘できる。

Allman et al (1)は、背景となる「地」のテクスチャの方向や速度を操作した場合、受容野はどのような構造をもつかをフクロウザル(owlmonkey, Aotus lemurinus griseimembra)の middle temporal visual area(MT)の単一ニューロンの反応を測定することによって確定した。刺激パターンは、図15に示されたような3種のペアである。実験の結果、表1に示されたような、4種類のニューロンが発見された。この種の反応を起こす受容野の大きさは、Wiesel と Hubel の受容野(classical receptive field)の50-100倍の広さをもつと推定されている。ここで明らかにされたMT野の受容野は、図地分離、前注意的知覚、運動的奥行手がかりにもとづく奥行視に関係するものと考えられている。

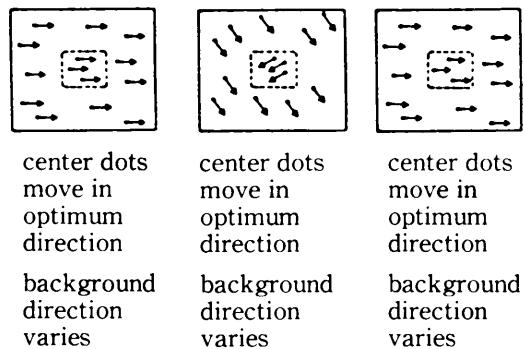


図15 運動視事態での視覚中枢受容野をしらべるための刺激条件 (Allman, et al 1985).

表1 背景を運動させた事態での受容野

(Allman et al 1985)

タイプ	特 性
タイプ 1	周囲の運動方向に選択的に反応し、抑制をかけるもの
タイプ 2	classical な受容野に対して、90度方向の周囲の運動刺激に選択的興奮反応を起こす
タイプ 3	周囲のすべての方向の運動刺激に抑制反応を起こす
タイプ 4	周囲の運動刺激に反応をしめさないもの

(7) 運動による「まとまり」の効果

Gillam & Grant (8)は、運動時、全体を構成する各部分がどのようにまとまろうとするか、をしらべた。実験では、CRT上に図16のようなパターンをY軸を中心として回転して提示し、2線分が同方向に運動するかあるいは相互に反対方向に運動して見えるか、を検討した。その結果、線分間の間隔距離が短いほど「まとまり」効果は高いこと、また、この効果には2線分が直線上にあるか否かは関与せず、互いの近縁性によってのみ規定されることが明らかにされている。

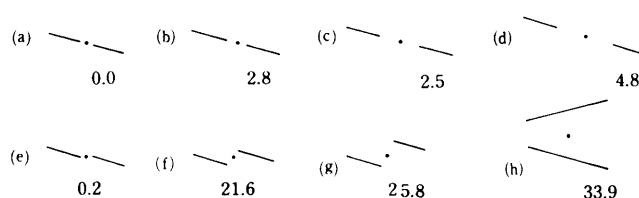


図16 運動による「まとまり効果」をみるための刺激条件、数値(秒)は両線分が非統一運動をするように視えた時間(Gillam & Grant 1984).

IV 大きさ—距離関係

(1) 大きさ—距離不変仮説

大きさ距離不変仮説は、一般に、次式で表される。

$$S' / D' = k V$$

(S' : 視えの大きさ, D' : 視かけの奥行距離, V : 視角, k : 定数)

これによると、視かけ上、大きく見えるものは遠方に定位される。この種の関係がどのような場合でも成立するのかについては、これまで多くの検討がなされた。McCready (21)は、問題が生じるのは、「視えの視角」の概念を導入しないためと考えた。そして、上記の公式を次のように書き換える。

$$S' / D' = V' \quad (V' : \text{視えの視角})$$

「視えの視角」とは、対象の大きさについての proximal な値を意味する。対象の大きさについての distal な値は、したがって、視かけの大きさになる。

さらに、この式は

$$S' / D' = m' V$$

と書き直される。ここで、m' は物理的視角に対する視えの視角の比を指す。一般に、m' = 1.0をとる場合と m' > 0あるいは m' < 0となる場合の2通りがある。m' = 1.0では、V' = Vなので、大きさ—距離不変仮説が成立する。m' < 0あるいは m' > 0の場合は、V' ≠ Vなので、S' / D' ≠ S / Dとなる。エビングハウス錯視の中心円は、視かけ上、大きくかつ近くに定位されるが、このケースは V' ≠ Vの事例に該当する、と McCready は考える。

(2) 物理的奥行距離—心理的奥行距離関係

物理的奥行距離—心理的奥行距離関係についての研究は、これまで多数試みられた。Wiest

& Bell (36)は、量推定法をもちいて行われた70の研究例を再検討し、Stevensのベキ指数(n)を変動させる要因を統計的に抽出しようと試みた。多重回帰分析や単変量解析を駆使した結果、nはそのデータを得るための実験条件、すなわち距離を直接観察して得られたものか、記憶による推定で得られたものか、あるいは推測によるものかの諸要因で主として変動することが突きとめられた。直接観察条件による研究例のnの平均値は1.08、記憶によるものは0.91、推測によるものは0.75、となることが明らかにされている。

また、Gogel et al (10)は、視かけの奥行距離を2通りの方法、すなわち、視かけの大きさを測定し、大きさ-距離不変仮説にもとづいて視かけの奥行距離を算出する方法と、頭部を左右にシフトさせながら対象を注視した時に生じる対象の視かけの運動の方向と大きさから視えの奥行距離を算出する Adjustable Pivot Distance 法 (A P D法、奥行知覚研究の動向-1977-参照)とで測定を試み、両測定法の一致程度を検討した。図17は、A P D法による測定事態である。2光点は、ポラロイド・フィルタを通して各眼に別々に投影され、融合される。観察者は頭部を運動させながら光点の視かけの運動の大きさを報告する。この視かけの運動の方向と大きさから apparent-distance/pivot-distance 仮説にもとづいてみかけの奥行距離を算定する。算出式は次のようである。

$$W = k \left\{ (1 - D) / D_p \right\}$$

(ここで、W : 視かけの運動の大きさ、D : 視かけの奥行距離、D_p : 頭部をシフトさせた時、頭部と対象との運動支点までの距離 (pivot distance))

実験の結果、大きさ-距離不変仮説にもとづく方法とA P D法とで得られた視かけの奥行距離の算定値は、良く一致することが示されている。

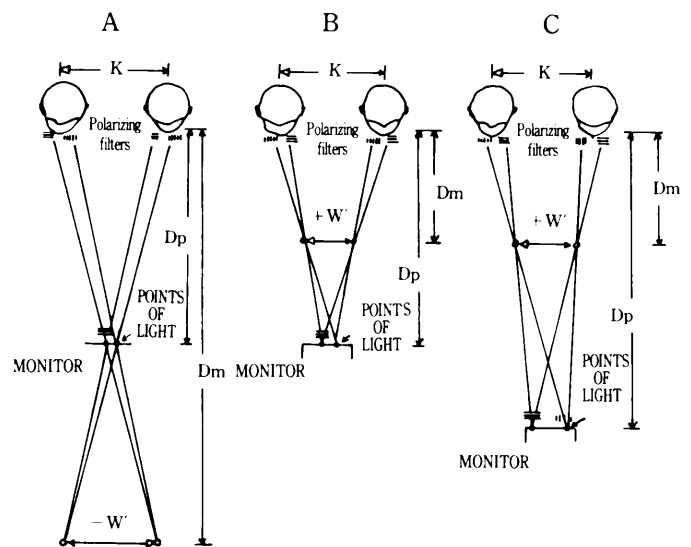


図17 adjustable pivot distance 法 (Gogel, et al 1985).

V 平面画像の奥行視

(1) 発達的研究

立体物を描画するためには、3次元物体を2次元面に変換するための知識情報を必要とする。Chen & Cook (3)は、6-8歳のオーストラリアの児童40名を対象とし、この知識情報の獲得についてしらべた。描写課題は、幾何学的立体物(球、円柱、三角錐、円錐)、この立体物の写真、写真をもとにした線画である。描写された図形が正しく描かれているかについて評定が行われた。その結果、実物からの描画は難しい課題であること、写真は線画より良い教材であるとは言えないこと、年齢が高くなると遠近法的特徴がしだいに捉えられるようになることなどが明らかにされた。しかしながら、この研究では、立体を描画するのに必要な知識情報は何等明確にはされていない。

(2) ホログラフィ映像

ホログラフィ (holography) は、実物を立体的に視えさせる。Frey & Frey (7) は、ホログラフィ映像までの視かけの奥行距離について測定した。刺激は、水晶体と円錐体、および、そのホログラフィ映像であり、対象までの視かけの距離は、ポイントの調整によって求められた。実験の結果、全般的に、ホログラフィ映像までの視かけの距離を判断するのは困難であること、また、実物対象までの視かけの距離が物理的距離に対応して、ほぼ直線的に変化するのに対して、ホログラフィ映像のそれは、単眼視、両眼視ともある距離 (50–80cm) に固定される傾向にあることが示された。ホログラフィ映像は、その視かけの奥行距離に関して、実物とはかなり相違した知覚を生じている。

VI 交差文化的比較研究

(1) 絵画的奥行手がかりの比較

Jahoda & McGurk (1974a,b) と McGurk & Jahoda (1974,1975) の一連の研究は、文化が相違しても (Ghana, HongKong, Zimbabwe, Scotland), 大きさ要因は絵画的奥行手がかりとして共通の効果を持つことを明らかにした。今回, Ireson & McGurk (18) は、7歳、13歳と成人の Malawi 人を対象として、相対的大きさと遠近法的配置要因の手がかり効果について吟味した。刺激は、奥行を異にして配置された大きさの相違する2個のミルクカンの写真であり、反応は、その写真シーンを3次元に再現することである。その結果、Malawi 人は、相対的大きさと遠近法的配置要因を絵画的手がかりとして利用できることを示した。さらに、Ireson & McGurk (19) は、3–4歳、7–8歳と成人の Malawi 人を対象とし、奥行を異にするが視角の等しい2個の実物対象に対する奥行判断を試みた。これについても、3歳児から成人にいたるすべての Malawi 人は、正しい奥行判断を示し、とくに、頭部運動などによって運動視差を積極的に活用させると、その正確度が増大することも見いだされている。

VII 乳児および動物を対象とした奥行知覚研究

(1) 乳児の片眼視力、両眼視力、実体鏡視力

乳児の視力測定は、斜視、片眼白内障、片眼眼瞼下垂症 (Ptosis)、不同視 (Anisometropia) など両眼間アンバランス障害を早期に発見し、その治療を可能にする。Birch (2) は、2–40週齢の114名の乳児を対象とし、一般視力 (片眼、両眼)、実体鏡視力の測定を試みた。一般視力は、空間周波数パターン (0.38–24c/deg) と灰色刺激とを対提示し、その偏好反応を指標として測定、また、実体鏡視力は、shadow-casting 法を用い、網膜非対応のあるパターン (縦縞パターン) とそれの付してないパターンとの偏好テストによって測定された。その結果、(1) 眼球間視力差 (右視力マイナス左視力) は、0–5月齢で1オクターブの差があるが、その後、減少し、9–11月齢では0.5オクターブまで縮まる、(2) 両眼視力が片眼視力より優れるのは、6月齢以降である、(3) 3–5月齢に実体鏡視力が備わるか否かは、眼球間視力差と関係があり、眼球間視力差が最小になる時に実体鏡視が始発する、など興味ある有益な知見が見いだされている。

同様に、Granrud (11) は、4–5月齢児を対象として両眼奥行視力と実体鏡視力について測定した。両眼視力は、2個の対象 (おもちゃのクマ) を奥行を異にして提示 (視角は同等)、近い対象に対する手伸ばし反応の出現の有無によって判定、また、実体鏡視力は、Shadow-cast-

ing法を用い、網膜非対応のあるパターン（縦縞パターン）とそれの付してないパターンの偏好反応を視標として測定された。その結果、(1)この時期の乳児は、単眼視よりは両眼視において優れた奥行弁別を示す、(2)実体鏡視力を持つと判定された乳児は、両眼視での手伸ばし反応テストでも優れた奥行弁別力を示すが、単眼視では実体鏡視能力を持たないと判定された乳児と差がない、などの事実が明らかにされた。また、実体鏡視能力を持つ乳児は、形の恒常性を示すことも見いだされ、これらのことから、実体鏡視能力の獲得は、空間知覚の全体的発達と深く関わることが示唆される。

(2) 乳児の familiar size 要因と陰影要因

奥行知覚が直接的過程か、あるいは間接的過程かについては種々論議されている。奥行知覚が何等かの媒介過程によって構成されたものとするものは、familiar size 要因を記憶過程の媒介を介在させて説明する。一方、奥行知覚を刺激から直接生起すると考えるものには、familiar size 要因の奥行効果を十分説明することはできない。Granrud, Haake & Yonas (12)は、5月齢と7月齢の乳児を対象として、familiar size 要因の手がかり効果についてしらべた。実験は、2段階から構成されていて、最初の段階では、図18に示されたような、大きさの異なる2個の対象を与え、10分間、それで遊ばせる。次いで、大きさの等しい2個の対象を等距離に提示し、どの対象に手伸ばし反応が生じるかをテストする。もし、対象の大きさが記憶されれば、familiarization で用いられる対象の中で、より小さな対象は、テストでは対象が等大、等距離のため、より手前に知覚されることになる。実験の結果、7月齢乳児は単眼視条件で、familiar size 要因の手がかり効果を有意に示したが、5月齢乳児では、その効果は示されなかった。このことから、奥行知覚は記憶過程の媒介を必要とする過程であると視差される。

一方、奥行手がかり効果を顕著に示す要因に陰影がある。しかしながら、この要因は、照明の方向、強さ、勾配などに応じて変化するもので、本来、手がかりとしては多義的であるが、一般に陰影が下方にある場合には凸に、上方にある場合には凹に視える。Granrud, Yonas & Opland (13)は、5月齢と7月齢乳児を対象とし、陰影要因の奥行手がかり効果を吟味した。テスト刺激は、凹あるいは凸状の形を持つ対象とその写真である。実験は、凹と凸の刺激を並べて提示し、どちらの刺激により多くの手伸ばし反応が生じるかを単眼視と両眼視とでしらべた。その結果、5月齢および7月齢乳児は、単眼視、両眼視の両条件でともに、凸刺激に対して有意に手伸ばし反応を出現させること、また、写真対象に対しては、7月齢乳児のみが単眼視条件で凸刺激に有意に反応すること、などが見いだされた。これらの結果は、7月齢乳児が陰影要因の奥行手がかり効果を持つこと、また、この効果は、5月齢から7月齢の間に獲得されることを示唆する。

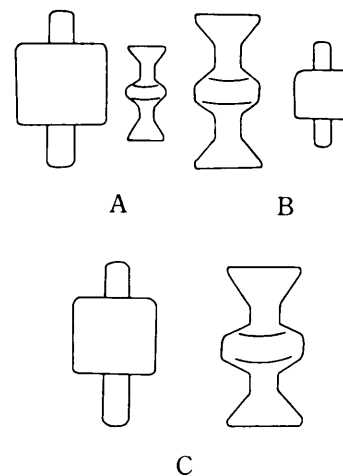


図18 familiar size 要因の奥行手がかり効果をしらべるための刺激 (Granrud, Haake & Yonas 1985).

(3) 動物の奥行知覚

Mustaca & Haut (23)は、7月齢の南アメリカ産のオポッサム (*Didelphis albiventris*) 14個体を視覚的断崖法でテストした。その結果、浅側を選択したもの7個体、深側を選択したもの3個体、選択反応せずプラットフォームに滞留したもの4個体であった。オポッサムは、視覚奥

行弁別能力をこの時期に有している、と考えられる。

Greenberg (14)は、8—12月齢の gerbil(*Meriones unguiculatus*)と2種類の7—28月齢の spiny mouse(*Acomys russatus*と *Acomys cahirinus*)を視覚的断崖でテストした。テストでは、プラットフォームの高さが5.08—25.4cmまで変えられた。実験の結果、gerbil および spiny mouse は、視覚的断崖を回避できること、また、プラットフォームの高さを変化した場合には、gerbil は降下時間と orienting response に差を示さないが、spiny mouse はそれらの反応を増加させる傾向のあること、などが見いだされた。この結果から、奥行弁別能力という点で、spiny mouseの方が優れていると考えられる。

Feeny & Hovda (6)は、視覚領を除去されたネコが、アンフェタミン (amphetamine) を与えられると、奥行弁別能力を回復することを示した。まず、ネコの両側の17, 18, 19野を吸引法によって除去する(実験後の解剖によれば、17, 18野の84%, 19野の55%が除去されていた)。手術後、4日目に視覚的断崖法でテストしたところ、すべてのネコは断崖回避に失敗した。そこで、これらのネコは3群に分けられた。1群は、アンフェタミンを手術後10, 14, 18, 22日目に与え、投薬後、1, 2, 3, 6時間後に断崖テストを行う。2群は、アンフェタミンの代わりに塩水を1群とおなじように与え、その後テストする。3群は、アンフェタミンを手術後、10, 14, 18, 22, 26, 30, 45日目に投薬し、投薬後は24時間暗室に閉じ込め、その後、断崖テストを行う。実験の結果、アンフェタミンを投薬されかつ、その後、通常の視覚経験を許された被験体(1群)は、アンフェタミンが利いている間は、奥行弁別能力が劇的に回復することを示した。これに対し、アンフェタミンを投薬されても、視覚経験を随伴されなかった被験体(3群)には、この種の回復は見られなかった。また、アンフェタミンとその後の視覚経験を与えた群を単眼視条件でテストしたところ、断崖回避はチャンスレベルにとどまった。これらの結果は、実験鏡視において17, 18野が不可欠である、とのこれまでの考えを否定している。

VIII その他の奥行知覚研究

形の恒常性の説明仮説には、(1)ものの形についての知識や記憶が網膜像を修正して実物の形を知覚させる、(2)ものまでの奥行距離が網膜像を補償し実物の形を知覚させる、の2通りの考えが提唱されている。Wallach & Marshall (34)は、両者の仮説について次のように検討した。一般に、点投影事態の歪みは、ものの奥行に比例し、ものまでの奥行距離に反比例する。そこで、人工的に、この歪みを偽造し、形の恒常性の出現がどのように変化するかを分析した。もし恒常性が記憶によっていれば、何等の変化を生じないであろうし、もし、恒常性にもものまでの奥行距離の手がかりが関与していれば、歪みは拡大されることになる。すなわち、観察距離が短ければ網膜像の歪みは大きくなり、これが結果として形の恒常性を引き起こす。そこで、実験では、対象の歪みを観察距離とは独立に操作することによって観察距離が短い時の対象の歪みを逆に弱めた事態を設定した。この場合、観察距離が短いので、依然として強い補償作用が生起すると予想される。実験の結果は、この予想を支持するものであった。

IX おわりに

本報告を終るにあたり、今年度の奥行知覚研究の特徴を概観しておきたい。

奥行知覚の最近の研究は、実体鏡視研究と運動の奥行視研究との2大問題に絞られてきつつ

あると考える。

実体鏡視研究は、周知のように、ランダムドット ステレオグラムドットの考案以来、長足の展開を遂げている。本年度も、実体鏡視の情報処理過程、ステレオシネマトグラムの開発、ランダムドット ステレオ錯視、色長と実体鏡視、stereo capture、実体鏡視を担うニューロン、実体鏡視閥に与える時間的要因の分析、実体鏡視と視野闘争の関係など様々な角度からの吟味が試みられた。これらの研究は、それぞれ興味ある結果を報告しているが、実体鏡視の機構を考える上では、実体鏡視と視野闘争との関係を探った研究は注目されていいであろう。実体鏡視は両眼からの情報の統合を、視野闘争は片眼の刺激入力抑制をそれぞれ必要とし、相反する過程のように考えられてきたが、Wolfeの主張するごとく、この点についての再検討が必要であろう。また、今年度の実体鏡視研究の特徴のひとつは、staticなものからdynamicなステレオグラムを用いる研究が増えたことであろう。その典型をステレオシネマトグラムに見ることができる。日常の視知覚を追うとき、観察者が移動あるいは運動し、また環境内の事物も変化する。入力される刺激は、常に、流動し、変化している。実体鏡視事態でも同様で、日常空間では、そのステレオグラムはステレオシネマトグラムとして入力されていることの方が多い。普通のステレオグラムの観察では、立体視が生起しても対象と対象との間が空疎に感じられるのも刺激がstaticなためと考えられる。視知覚研究が日常の視覚事態に迫るためには、流動する刺激パターンをより多く用いる必要がある。

運動刺激事態が重要であることは、神経生理学的にも裏づけられる。すでに、報告したように、Allmanらは、背景(地)と視標(凶)とが運動する事態での視覚受容野を測定し、Hübelらの発見した受容野とは大きさやタイプが異なることを見いだしている。この結果は、これからの奥行知覚にとって運動刺激事態が重要であることを示唆する。

このことは、もうひとつの大きなテーマである運動の奥行視と密接に関連する。運動の奥行視には、従来からの研究テーマであるkinetic depth effect、Pulfrich現象、Mach-Dvorakに加えて、3次元運動残効やフリッカーによる奥行効果なども報告されている。これらの研究では、いずれも、どのような奥行手がかりにもとづいてこの種の奥行視が成立するかが分析されている。これまでの研究を総合して考えると、Pulfrich現象やMach-Dvorak現象は、実体鏡視の問題に、その他の問題は運動視差要因の問題に究極的には還元されると思われる。実体鏡視については、すでにみたように多くの研究がなされている。そこで、これからの奥行知覚研究にとって必要なことは、運動視差の働き、しくみの解明であろう。運動視差とは、観察者の自己生産的運動による網膜像の相対的角速度差をいう。運動視差が他の奥行手がかりからは独立した手がかりであり、しかも離巢性種であれば相当下等な種にまで備わる生得的能力であることが、視覚的断崖法や視覚的陥穴法を用いた研究で確認されている。しかしながら、運動視差の成立要因、そのしくみ等については、未だほとんど明らかにされていない。これは、運動視差事態を、実体鏡視におけるステレオグラムのごとくにシミュレートが困難であるという事情がある。

先年Rogers & Graham(1979,1982)は、CRT上に提示したパターンを観察者の頭部運動に連動してシフトさせる方法を開発することによって、運動視差事態をシミュレートした。これは、運動視差と自己生産的運動との関係、運動視差にもとづく奥行効果に影響する要因の分析など、そのしくみの解明に大いに貢献する技法と考えられる。この意味で、この技法を利用し、運動視差量と絶対的奥行距離、相対的奥行距離との関係を吟味したOnoらの研究が現れたことは注目してよい。今後、実体鏡視研究に比肩できる運動視差研究の出現を期待したい。

文 献

- (1) Allman, J., Miezin, F. & McGuinness, E. Direction- and velocity-specific responses from beyond the classical receptive field in the middle temporal visual area (MT). Special Issue: Human motion perception. Perception, 1985, 14, 105–126.
- (2) Birch, E.E. Infant interocular acuity difference and binocular vision. Vision Research, 1985, 25, 571–576.
- (3) Chen, M. & Cook, M. Representational drawings of solid objects by young children. Perception, 1984, 13, 377–385.
- (4) Enright, J.T. A new random-dot stereo illusion and its application to the Anstis-Howard-Rogers effect. Perception, 1984, 13, 547–553.
- (5) Erkelens, C.J. & Collewijn, H. Motion perception during dichoptic viewing of moving random-dot stereograms. Vision Research, 1985, 25, 583–588.
- (6) Feeney, D.M. & Hovda, D.A. Reinstatement of binocular depth perception by amphetamine and visual experience after visual cortex ablation. Brain Research, 1985, 343, 352–356.
- (7) Frey, A.H. & Frey, R.D. Distance perception with holographically reconstructed objects. Journal of the Optical Society of America A, 1985, 2, 1217–1219.
- (8) Gillam, B. & Grant, T. Aggregation and unit formation in the perception of moving collinear lines. Perception, 1984, 13, 659–664.
- (9) Gillam, B., Flagg, T. & Finlay, D. Evidence for disparity change as the primary stimulus for stereoscopic processing. Perception & Psychophysics, 1984, 36, 559–564.
- (10) Gogel, W.C., Loomis, J.M., Newman, M.J. & Sharkey, T.J. Agreement between indirect measures of perceived distance. Perception & Psychophysics, 1985, 37, 17–27.
- (11) Granrud, C.E. Binocular vision and spatial perception on 4- and 5-month-old infants. Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 1986, 12, 36–49.
- (12) Granrud, C.E., Haake, R.J. & Yonas, A. Infants' sensitivity to familiar size: The effect of memory on spatial perception. Perception & Psychophysics, 1985, 37, 459–466.
- (13) Granrud, C.E., Yonas, A. & Opland, E.A. Infants' sensitivity to the depth cue of shading. Perception & Psychophysics, 1985, 37, 415–419.
- (14) Greenberg, G. Depth perception in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) and spiny mice (*Acomys russatus* and *A. cahirinus*). Journal of Comparative Psychology, 1986, 100, 81–84.
- (15) Grinberg, D.L. & Williams, D.R. Stereopsis with chromatic signals from the blue-sensitive mechanism. Vision Research, 1985, 25, 531–537.
- (16) Guttmann, J. & Spatz, H. Frequency of fusion and of loss of fusion, and binocular depth perception with alternating stimulus presentation. Perception, 1985, 14, 5–12.
- (17) Harker, G.S. & Jones, P.D. Interocular intermittence, retinal illuminance, and apparent depth displacement of a moving object. Perception & Psychophysics, 1985, 37, 50–58.
- (18) Ireson, J. & McGurk, H. Perception of depth in photographs: A study of young Malawians. International Journal of Behavioral Development, 1985, 8, 345–353.
- (19) Ireson, J. & McGurk, H. Utilization of static and kinetic information for depth by young Malawians. Journal of Experimental Child Psychology, 1985, 40, 233–243.

- (20) Lasley,D.J. Discrimination of crossed and uncrossed disparities. Journal of the Optical Society of America A, 1985, 2, 399—403.
- (21) McCready, D. On size, distance, and visual angle perception. Perception & Psychophysics, 1985, 37, 323—334.
- (22) Morrison,J.D. & Whiteside,T.C. Binocular cues in the perception of distance of a point source of light. Perception, 1984, 13, 555—566.
- (23) Mustaca,A.E. & Haut,G. Percepcion visual de profundidad en la zarigueya *Didelphis albiventris*. (Visual depth perception in the opossum(*Didelphis albiventris*)).Revista Latinoamericana de Psicologia, 1985, 17, 73—78.
- (24) Nakamizo,S. & Kondo,M. Pulfrich stereoeffect during tracking eye movement. Japanese Journal of Psychology, 1985, 56, 75—78.
- (25) Ono,H. & Wade N.J. Resolving discrepant results of the Wheatstone experiment. Psychological Research, 1985, 47, 135—142.
- (26) Ono,M.E.,Rivest,J. & Ono,H. Depth perception as a function of motion parallax and absolute-distance information. Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 1986, 12, 331-337.
- (27) Petersik,J.T.,Shepard,A. & Malsch,R. A Three-dimensional motion aftereffect produced by prolonged adaptation to a rotation simulation. Perception, 1984, 13, 489—497.
- (28) Pillow,B.H. & Flavell,J.H. Young children's knowledge about visual perception: Projective size and shape. Child Development, 1986, 57, 125—135.
- (29) Poggio,G.F.,Motter,B.C.,Squatrito,S. & Trotter,Y. Responses of neurons in visual cortex (V1 and V2) of the alert macaque to dynamic random-dot stereograms. Vision Research, 1985, 25, 397—406.
- (30) Prazdny,K. Stereopsis from kinetic and flicker edges. Perception & Psychophysics, 1984, 36, 490—492.
- (31) Ramachandran,V.S. & Cavanagh,P. Subjective contours capture stereopsis. Nature, 1985, 317, 527—530.
- (32) Todd,J.T. Perception of structure from motion: Is projective correspondence of moving elements a necessary condition? Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 1985, 11, 689—710.
- (33) Wade,N.J. & Ono,H. The stereoscopic views of Wheatstone and Brewster. Psychological Research, 1985, 47, 125—133.
- (34) Wallach,H. & Marshall,F.J. Shape constancy and polar perspective. Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 1986, 12, 338—342.
- (35) White,K.D. & Odom,J.V. Temporal integration in global stereopsis. Perception & Psychophysics, 1985, 37, 139—144.
- (36) Wiest,W.M. & Bell,B. Stevens's exponent for psychological scalling of perceived, remembered, and inferred distance. Psychological Bulletin, 1985, 98, 457—470.
- (37) Wolfe,J.M. Stereopsis and binocular rivalry. Psychological Review, 1986, 93, 269—282.
- (38) Wong,E. & Weisstein,M. A new visual illusion: Flickering fields are localized in a depth plane behind nonflickering fields. Perception, 1985, 14, 13—17.

参考文献

- Gregory,R.L. Vision with isoluminant color contrast: 1.A projection technique and observations. Perception, 1977, 6, 113－119.
- Harweth,R.S. & Rawlings,S.C. Viewing time and stereoscopic threshold with random-dot stereograms. American Journal of Optometry and Physiological Optics, 1977, 54, 452－457.
- Jahoda,G & McGurk,H. Pictorial depth perception: A developmental study. British Journal of Psychology, 1974a, 65, 141－149.
- Jahoda,G & McGurk,H. The development of pictorial depth perception: Cross-cultural replications. Child Development, 1974b, 45, 1042－1047.
- Lu,C. & Fender D.H. The interaction of color and luminance in stereoscopic vision. Investigative Ophthalmology and Visual Science, 1972, 11, 482－489.
- Marr,D. & Poggio,T. A computational theory of human stereo vision. Proceedings of the Royal Society (London), Series B, 1979, 204, 301－328.
- Mayhew,J.E.W. & Frisby,J.P. The computation of binocular edges. Perception, 1980, 9, 69－86.
- McGurk,H. & Jahoda,G. The development of pictorial depth perception: The role of figural elevation. British Journal of Psychology, 1974,65,361-367.
- McGurk,H. & Jahoda,G. Pictorial depth perception by children in scotland and Ghana. Journal of Cross-Cultural Psychology,1975,6.279-296.
- Ogle,K.N. & Weil,M.P.Stereoscopic vision and the duration of the stimulus. Archives of Ophthalmology,1958, 59,4-17.
- Ramachandran,V.S. & Gregory,R.L. Does color provide an input to human motion perception?Nature,1978, 275,55-56.
- Regan,D. & Beverley,K.I. Illusory motion in depth:Aftereffect of adaptation to changing size. Vision Research, 1978,18,209-21.
- Richards,W. Stereopsis and stereo blindness. Experimental Brain Research,1970,10,380-388.
- Richards,W. Anomalous stereoscopic depth perception. Journal of the Optical Society of America,1971,61,410-414.
- Rogers,B.J. & Graham,M.E. Motion parallax as an independent cue for depth perception.Perception,1979,8,12-134.
- Rogers,B.J. & Graham,M.E. Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. Vision Research,1982,22,261-270.
- Rogers B.J., Steinbach,M.J. & Ono,H. Eye movement and the Pulfrich phenomenon. Vision Research,1974,14, 181-185.
- Tanner,W.P.Jr. The theory of recognition,Journal of the Acoustic Society of America,1956,28,882-888.
- Uttal,W.R., FitzgeraldJ. & Eskin,T.E. Parameters of tachistoscopic stereopsis. Vision Research,1975,16,705-712.
- Wallach,H. & O'Connell,D.N. The kinetic depth effect. Journal of Experimental Psychology,1953,45,205-217.
- Wolfe,J.M. Influence of spatial frequency, luminance and duration on binocular rivalry and abnormal fusion of briefly present, dichoptic stimuli. Perception, 1983, 12, 447-456.
- Wolfe,J.M. & Owens,D.A. Is accommodation colorblind? Focusing chromatic contours. Perception,1981,10, 53-62.