



運動視差が奥行き知覚に果す役割

斎田 真也

製品科学研究所基礎人間工学部 〒305 つくば市東 1-1-4

(1988年6月30日受理)

The Role of Motion Parallax in the Perception of Depth

Shinya SAIDA

Human Factors Research Department, Industrial Products Research Institute,
1-1-4, Higashi, Tsukuba 305

1. はじめに

本解説は、運動視差 (motion parallax) が奥行き知覚 (depth perception) にどのくらい有効であるか? について述べたものである。ここで言う奥行き知覚とは、奥行き (depth) すなわち二つ以上の対象物の相互の隔たり (相対距離, relative distance, exocentric distance) の知覚のことで、観察者から対象までの距離 (distance) (絶対距離, absolute distance, egocentric distance) の知覚 (distance perception) は含まない。

1.1 運動視差の定義

運動視差は古くから知られている事柄であるので、その定義の仕方いろいろあるが、二通りに大別できよう。一つの定義の仕方は“観察者の頭部の運動によって生じた、対象網膜像の運動 (retinal motion) の速度差”であり、もう一つは“観察者の頭部の運動、または視野内の対象物の運動、あるいはその両者によって生じた、対象網膜像の運動の速度差”である。前者はHelmholtz¹⁾, Gibson ら²⁾, Ono ら³⁾の立場で、後者は Tschermak-Seysenegg⁴⁾, Graham⁵⁾, Rogers ら⁶⁾の立場である。ここでの定義の仕方については1.3項にて述べる。

1.2 今まで行なわれた運動視差に関する研究

今世紀の始めから行なわれてきている運動視差に関する研究を実験手法の違いから分類したのが表1である。各分類ごとに研究内容を概観する。

分類A: 観察者が移動し、対象物は静止している場合、Eriksson^{7,8)}の一連の研究は奥行きの方向に関する

もので、Ferris⁹⁾ や Gogel¹⁰⁻¹²⁾, Gogel ら^{13,14)}の一連の研究は距離の知覚に関するものである。これらの研究では対象物として実物体を使用しているので、運動視差以外の奥行きに関する要因 (畑田¹⁵⁾, 付録1参照) が刺激に混在している。したがって運動視差情報のみを扱った研究とはいいがたい。

分類B: 観察者は静止して、実際に奥行きのある運動する実物体を提示する場合で、報告はGraham ら¹⁶⁾一つである。刺激に実物体を用いている点、および被験者に課した課題が奥行き知覚における運動視差の役割を調べたことにはならない可能性があること (Sedgwick¹⁷⁾) などの問題点がある。

分類C: 観察者は静止して、距離一定の所に置かれたディスプレイ (多くの場合スクリーンやCRTを使用) 上に運動する刺激を提示する場合。この条件は刺激提示が便利であるので、運動視差を扱っているほとんどの研究がここに分類される。代表的な研究は Braunstein¹⁸⁻²¹⁾, Braunstein ら²²⁾, Gibson^{23,24)} および Gibson ら^{2,25)}の一連の研究で、ともにスクリーン上に速度差のある刺激 (多くの場合はドット) を提示し、知覚された奥行きの量 (amplitude of depth) と奥行きの方向 (direction of depth) を計測している。たくさんの研究が行なわれているにもかかわらず結果には一貫性が見られない。その主なる原因は提示条件にある。すなわちこの刺激提示条件では身体または頭部が運動することによって得られる固有受容的 (proprioceptive) 情報が除外されているからである。このことに関しては3.1, 3.2項にて詳しく述べる。

表 1 運動視差に関する研究の分類 (代表的なもの)

| 対 象 物 | | 観 察 者 | |
|---|----|---|---|
| | | 静 止 | 運 動 |
| 物理的に奥行きのある実物体 | 静止 | — | A : Eriksson ^{7,8)} , Ferris ⁹⁾ , Gogel ¹⁰⁻¹²⁾ , Gogel <i>et al.</i> ^{13,14)} , Hell ³⁸⁾ , Helmholtz ¹⁾ , Johansson ³⁹⁾ , Shebilske <i>et al.</i> ⁴⁰⁾ |
| | 運動 | B : Graham <i>et al.</i> ¹⁶⁾ | No report |
| 物理的には奥行きのない対象が運動 (多くの場合スクリーン, CRT 等を使用) | | C : Braunstein ¹⁸⁻²¹⁾ , Braunstein <i>et al.</i> ²²⁾ , Dees ⁴¹⁾ , Farber <i>et al.</i> ⁴²⁾ , Flock ⁴³⁾ , Gibson ^{23,24)} , Gibson <i>et al.</i> ²⁵⁾ , Gibson <i>et al.</i> ²⁾ , Gibson <i>et al.</i> ⁴⁴⁾ , Mace <i>et al.</i> ⁴⁵⁾ , McConkie <i>et al.</i> ⁴⁶⁾ , Prazdny ⁴⁷⁾ , Smith <i>et al.</i> ⁴⁸⁾ , Willey <i>et al.</i> ⁴⁹⁾ | D : Ono <i>et al.</i> ³⁾ , Ono <i>et al.</i> ³⁷⁾ , Graham <i>et al.</i> ³⁰⁾ , Rivest ³⁶⁾ , Rogers <i>et al.</i> ⁶⁾ , Rogers <i>et al.</i> ^{27,32,33)} |

なお Gibson²⁶⁾ は視空間は面と縁とによって構成され、面はきめ (texture) をもち、観察者から遠方に連なる面は網膜上できめの勾配 (texture gradient) を生むので、運動視差に関しても比較的多数の事物の運動によって生じる網膜像の運動の勾配 (retinal motion gradient or image velocity gradient) は奥行きと方向に関する情報を与えると考え、これを motion perspective と称した。

分類D : 観察者は左右に運動し、一定距離に置かれたディスプレイ (多くの場合スクリーンや CRT を使用) 上に観察者の動きに連動して動く刺激を提示する場合。この提示条件では、分類 A, B, C で述べたような刺激提示上の不備がなく、結果にも曖昧さが報告されていない。したがって本解説では分類Dに含まれる研究のみを取り上げることとし、2. 節では両眼視差と対比させて、また 3. 節では最近のトピックについて述べる。

1.3 本解説での運動視差の定義

純粋に運動視差情報のみを提示するために、刺激提示にはディスプレイを使用することを条件とし、さらに 3.1 項にて明らかにされることであるが、たとえ観察者が静止していても刺激を提示するディスプレイ全体が左右に運動し、その運動に連動してディスプレイ内の刺激が左右に運動する場合も結果には曖昧さが生じないので、このことも考え合わせて、本解説では、運動視差とは、“観察者の頭部の運動に連動した、またはディスプレイ面全体の運動に連動した、ディスプレイ面内の対象の運動速度差” と定義する。

2. 運動視差と両眼視差

運動視差も両眼視差もともに網膜像の差が視覚系への入力情報という点では同じであるが、運動視差が運動に

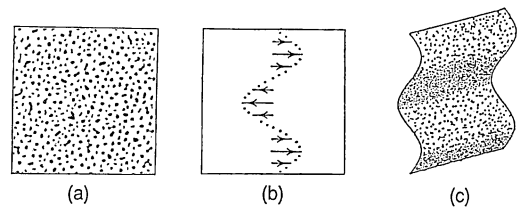


図 1 (a) 提示されるランダム・ドット, (b) 頭部の運動 (右または左) に連動した提示面内のランダム・ドットの運動方向と速度, (c) 頭部の左方向の運動に対してランダム・ドットが (b) に示された方向に運動をする場合に知覚される奥行きのある三次元面

よって生じる網膜像の継時的な変化であるのに対して、両眼視差は各眼に同時に形成された網膜像の差である。時間的に変化のある情報を処理するメカニズムと、同時に入ってくる情報を処理するメカニズムはいろいろの点で異なっても不思議ではないが、奥行き知覚としての機能には類似する点が多い。以下にその概要を述べる。

運動視差と両眼視差との比較に関する研究は Rogers らによって行なわれた。その最初の研究が 1979 年の Rogers ら⁶⁾のもので、実験手法が画期的である。その手法とは図 1 に示されているように CRT 上に提示されたランダム・ドット (図 1(a)) の左右の動きを被験者の左右の頭部運動に連動させるもので、サイン波状の運動 (図 1(b)) を与えると被験者は前後方向にサイン波状に凹凸のある奥行き面 (depth corrugation, 図 1(c)) を知覚する。この論文では (1) 運動視差は、他の奥行き手がかりがなくとも、三次元表面の形 (奥行き方向) と奥行き量について十分な手がかりとなること、(2) 頭部を運動させた条件 (selfproduced parallax) でも、頭部は

静止した状態でディスプレイ全体を左右に運動させ、その運動に連動してディスプレイ面内のランダム・ドットを左右に運動させた条件(externally produced parallax)でも、奥行き手がかりとなるが前者のほうが効果的であること、(3)運動視差は奥行きについての正確な量的情報源であることが報告されている。

Rogers ら²⁷⁾は、同様の実験手法にて、凹凸の奥行き面の空間周波数をパラメータにして、運動視差による奥行き知覚の絶対閾値を測定し、両眼視差によるそれとの比較をしている。結果はどちらの絶対閾値も空間周波数が 0.2~0.5 c/deg のとき最小となり、それより低くても高くても奥行き知覚感度は低下した。運動視差と両眼視差とで類似性のある奥行き感度特性が得られたことは、今まで考えられていたよりも両者の奥行き知覚メカニズムが似ていることを示唆している。

三次元の凹凸面を一定時間持続して観察し、その直後物理的にはフラットな面をみると、提示された三次元凹凸面とは位相が逆の凹凸面が知覚される。これが奥行きの継時的コントラスト効果(残効)で、両眼視差によって生み出された奥行きのある面を一定時間観察してもこの効果は起こる(Blakemore ら²⁸⁾, Long ら²⁹⁾). Graham ら³⁰⁾は運動視差にて奥行きのある面を提示してもこの継時的コントラスト効果が起こることを報告している。被験者の課題は物理的に奥行きのある面を 8 秒間観察した後、運動視差ディスプレイまたは両眼視差ディスプレイを観察し、提示された面がフラットに見えるように運動視差の大きさまたは両眼視差の大きさを調整することで、相殺するのに要した量を順応に使用した奥行きのある面の奥行き量のパーセントで表わすと、運動視差の場合も両眼視差の場合も平均で 40~50% であった。また同時コントラスト効果(周辺面を傾けるとその面に囲まれた部分は物理的には垂直であっても傾いて見える効果)を同じ手法で計測すると、効果の大きさは、運動視差の場合も両眼視差の場合も平均 30% であった。

明るさの研究分野で報告されているクレイク・オブライエン・コーンスイート効果(Craik-O'Brien-Cornsweet effect)は、両眼視差による奥行きにおいても報告されている(Anstis ら³¹⁾). Rogers ら³²⁾は運動視差による奥行きにも同効果があることを報告している。

Rogers ら³³⁾は運動視差を処理するシステムと両眼視差を処理するシステムとの相互作用についても報告している。空間周波数 0.2 c/deg の凹凸のある面を両眼視差にて作り出し、10 秒間順応した後、頭部を静止させた状態で被験者の片眼に凹凸面をシミュレートしたランダム・ドットによる運動視差を与えた。運動視差をこの提示条件で提示した場合は奥行きの方向は曖昧であるが

(Rogers ら⁶⁾, 3.1 項参照), システム間に相互作用があるなら、いずれかの奥行きの方向にバイアスがかかるはずである。実験結果は順応パターンの凹凸とは逆の位相の奥行き方向を多く知覚した。また運動視差にて奥行きのある面を提示し、順応を行ない、その後曖昧な奥行き方向を持つ両眼視差パターンを提示したときも、結果は同様に、順応パターンの凹凸とは逆の位相の凹凸パターンをより多く知覚した。これらの結果は、運動視差システムと両眼視差システムとが処理の階層構造のどこかの段階で相互作用していることを強く示唆している。

3. 運動視差に関する最近のトピックス

3.1 奥行きの方向に関する研究

中溝ら³⁴⁾は運動視差による奥行きの方向知覚の要因に関する研究を行なっている。図 2 に実験条件を示す。

(a)はパターンの提示位置も被験者の頭部位置も静止して、提示パターン内でランダム・ドットが図 1(b)のように相対的に運動する場合。(b)は被験者の頭部は静止しており提示パターン全体が左右に運動すると同時に、その動きに連動して中のランダム・ドットが図 1(b)に示した相対運動をする場合。(c)は被験者の頭部は左右に運動し、その運動に連動して提示パターン内のランダム・ドットが相対運動をする場合。(d)~(f)は被験者の頭部運動に連動して提示パターン全体が頭部と同方向に移動する場合で、移動距離は頭部移動の 1/2 (d), 1(e), 2(f) 倍で、いずれの条件でも提示パターン内のランダム・ドットは頭部運動に連動した相対運動をする。すべての条件で、ランダム・ドットの相対運動量は等価視差(付録 2 参照)で 14.4' である。(頭部はど

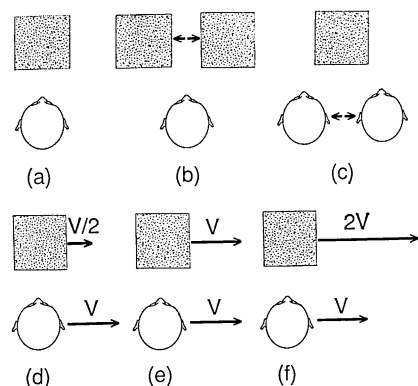


図 2 実験条件の説明図(詳しくは本文参照)

の条件でも 10 cm 運動させるように被験者に求めたので、(a)条件でのランダム・ドットの移動量は頭部が 10 cm 運動したときに相当する量である。被験者の課題は提示パターンの中央部が手前に知覚されるか奥に知覚されるかを判定することである。結果は、どの条件でも同程度の奥行きを知覚したが、奥行きの方に関しては(b), (c), (f)条件では 90% 以上の確率で判定できたが、(a)と(e)条件では判定できず、(d)条件はその中間値を示した。この結果は身体運動による固有受容的な情報、または提示ディスプレイと被験者との相対位置関係に関する視覚的な情報が得られれば、奥行きの方を判定することができることを意味している。このことは、1.2 項の分類 C に属する研究で奥行きの方で曖昧さが報告されているが、その原因の一つを示唆している。

3.2 奥行きと刺激までの距離に関する研究 (運動視差と逆二乗法則)

図 3 に示したように観察者が距離 D にある固視点 F を注視したまま左に M 移動したとき、固視点 F の前後 d 離れた点 A と B の網膜像 a, b の運動の大きさと、距離 $1/2 D$ にある固視点 N を注視したまま右に M 移動したとき、固視点 N の前後 $1/4 d$ 離れた点 A' と B' の網膜像 a', b' の運動の大きさは同じである。したがって対象物までの距離に関する情報がなければ、網膜上に形成された対象物の運動の速度差だけでは、奥行きは決まらない。

Ono ら³⁾は運動視差による奥行き量が距離に関する情報といかなる関係にあるかを明らかにした最初の論文である。彼らは Rogers ら⁶⁾と同様に CRT 上にランダム・ドットを表示し、被験者の頭部の運動と連動して動くドットの動きの大きさを一定にした条件にて、被験者から CRT までの距離を 40, 80, 160, 320 cm と変化させ、知覚される奥行き量を計測し、奥行き量とドット提示位置までの距離との関係は両眼視差で確認されている関係式(いわゆる逆二乗法則、付録 2 等価視差参照)にて記述できると報告している。ただしこの関係式が成り立つ範囲は約 1 m までで、それ以上の距離では、知覚された奥行きは逆二乗法則から予測される奥行き量より少なかった。彼らは、距離が大きいほどロッキング運動(凹凸のある面がある垂直軸を中心に回転して見える現象)が生じるので、この運動と奥行き量とがトレード (trade off) 関係にあることが原因の一つではないかと推定している。

齋田ら³⁵⁾は運動視差提示範囲をどの提示距離において

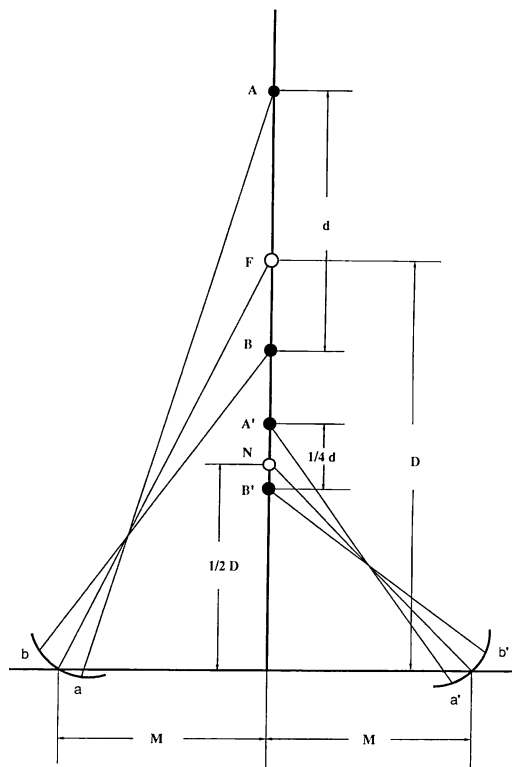


図 3 F, N は固視点, A, B および A', B' は F および N の前後ある点, それぞれの奥行きは d および $1/4 d$. 図中の円弧は網膜を, 3 直線の交点は眼球節点を示す (詳しくは本文参照)

も視角で一定にし、かつ提示範囲と逆二乗法則から予測される奥行き量との比が一定となる条件で Ono ら³⁾と同様の実験を行ない、逆二乗法則から予測される奥行き量と提示範囲との比が小さい場合は、知覚される奥行き量と距離との関係は約 4 m まで逆二乗法則に従うことを報告している。

逆二乗法則への適合性を調べるのに、上記の二つの研究では被験者から提示位置までの距離として物理量を用いている。Rivest³⁶⁾は視覚系が運動視差から奥行き量を推定するときは、見かけの距離を用いていることを報告している。

3.3 運動視差と動的視覚遮蔽 (dynamic occlusion)

三次元的空間を知覚しているとき、手前にある物体はその奥にある物体を視覚的に遮蔽している。この遮蔽の状態は観察者が運動することにより変化する。すなわち運動により遮蔽されていたある部分は現われ、ある部分は遮蔽され見えなくなる。これが動的視覚遮蔽である。この効果と運動視差とを組み合わせた実験を Ono ら³⁷⁾

は行なっている。その結果、奥行きの方向について運動視差と動的視覚遮蔽とが相反する情報を与えている場合は、シミュレートした奥行きの量が等価視差で 25' より小さいときは、動的視覚遮蔽情報ではなく運動視差情報が奥行きの方向を決めており、シミュレートした奥行きの量が等価視差で 25' より大きいときは運動視差情報ではなく動的視覚遮蔽情報が奥行きの方向を決めていることが判明した。

4. 今後の問題点および応用性

奥行き知覚における運動視差の役割に焦点をあて、運動視差と両眼視差の類似性、運動視差による奥行きの量と方向の知覚、動的視覚遮蔽との協調関係など、現在までにわかっている事柄について述べた。しかし観察者の動きを刺激に連動させるという新しい手法を用いた研究は始まったばかりであるので、解決しなければならない問題はたくさんある。そのなかのいくつかを考えてみる。まず、大きな問題は、観察者が運動したとき得られる情報は、平衡感覚器官などからの固有受容的な情報なのか、それとも視覚的な情報なのか、さらに眼球運動情報は関与しているのか？ このことは 1.2 項の分類 C に属する研究で、結果に曖昧さが報告されているが、その原因を解明するためには大切な研究項目である。次にロッキング運動とトレード関係も大事な研究課題である。すなわちなぜサイン波状に奥行きをシミュレートしたときはロッキング運動が生じやすく、矩形波状に奥行きをシミュレートしたときは左右方向の運動が知覚されやすく、サイン波のときのように 1 枚の連続した面として知覚されないのか？ そして運動視差量を増加させるとロッキング運動または左右方向の運動知覚が増加して、奥行きの知覚量が減少するが、その時の定性的なトレード関係は？ 両眼視差で cross disparity の場合は刺激提示面より手前に像を知覚するが運動視差の場合は刺激提示面より手前に知覚することはない、それはなぜか？ 運動視差を生み出す最小運動速度はどのくらいか？ など解決すべき問題はたくさんある。

しかし運動視差の応用面では期待すべき事柄が多い。運動視差は単眼視でも得られる情報なので、両眼視差を利用した立体ディスプレイとは原理を異にした立体ディスプレイが可能であろう。またロボット工学の分野には現在行なわれている 2 台のカメラによる距離および奥行きの検出アルゴリズムに代る、1 台のカメラによる空間認知アルゴリズムを提供できよう。さらには単眼視の幼児や児童の空間知覚に運動視差を役立てるプログラムも

提供できるかもしれない。

本解説を書くにあたり、福岡教育大学中溝幸夫助教授には草稿の段階からいろいろとご協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) H. von Helmholtz: *Treatise on Physiological Optics*, vol. 3, ed. and trans. J. P. C. Southall (Dover, New York, 1962). From the third German edition, 1910.
- 2) E. J. Gibson, J. J. Gibson, O. W. Smith and H. Flock: "Motion parallax as a determinant of perceived depth," *J. Exp. Psychol.*, **58** (1959) 40-51.
- 3) M. E. Ono, J. Rivest and H. Ono: "Depth perception as a function of motion parallax and absolute-distance information," *J. Exp. Psychol.*, **12** (1986) 331-337.
- 4) A. Tschermak-Seysenegg: "Über Parallaxoskopie," *Pflug. Arch. ges. Physiol.*, **241** (1939) 454-469.
- 5) C. H. Graham: "Visual space perception," *Vision and Visual Perception*, ed. C. H. Graham (Wiley, New York, 1965) pp. 504-547.
- 6) B. Rogers and M. Graham: "Motion parallax as an independent cue for depth perception," *Perception*, **8** (1979) 125-134.
- 7) E. S. Eriksson: "Distance perception and the ambiguity of visual stimulation: A theoretical note," *Percept. Psychophys.*, **13** (1973) 379-381.
- 8) E. S. Eriksson: "Movement parallax during locomotion," *Percept. Psychophys.*, **16** (1974) 197-200.
- 9) S. H. Ferris: "Motion parallax and absolute distance," *J. Exp. Psychol.*, **95** (1972) 258-263.
- 10) W. C. Gogel: "The sensing of retinal motion," *Percept. Psychophys.*, **28** (1980) 155-163.
- 11) W. C. Gogel: "Perceived depth is a necessary factor in apparent motion concomitant with head motion: A reply to Shebilske and Proffitt," *Percept. Psychophys.*, **29** (1981) 173-177.
- 12) W. C. Gogel: "Analysis of the perception of motion concomitant with a lateral motion of the head," *Percept. Psychophys.*, **32** (1982) 241-250.
- 13) W. C. Gogel and J. D. Tietz: "Absolute motion parallax and the specific distance tendency," *Percept. Psychophys.*, **13** (1973) 284-292.
- 14) W. C. Gogel and J. D. Tietz: "A comparison of oculomotor and motion parallax cues of egocentric distance," *Vision Res.*, **19** (1979) 1161-1170.
- 15) 畑田豊彦: "奥行き知覚と多眼式ディスプレイ," *光学*, **17** (1988) 333-346.
- 16) C. H. Graham, K. E. Baker, M. Hecht and V. V. Lloyd: "Factors influencing thresholds for monocular movement parallax," *J. Exp. Psychol.*, **38** (1948) 205-223.
- 17) H. A. Sedgwick: "Space perception," *Handbook of Perception and Human Performance*, vol. 1, Sensory Processes and Perception, eds. K. R. Boff, L. Kaufman and J. P. Thomas (John Wiley and Sons, New York, 1986) Chap. 21.
- 18) M. L. Braunstein: "Depth perception in rotating dot patterns: Effects of numerosity and perspective," *J. Exp. Psychol.*, **64** (1962) 415-420.
- 19) M. L. Braunstein: "Sensitivity of the observer to

- transformations of the visual field," J. Exp. Psychol., **72** (1966) 683-689.
- 20) M. L. Braunstein: "Motion and texture as sources of slant information," J. Exp. Psychol., **78** (1968) 247-253.
- 21) M. L. Braunstein: *Depth Perception through Motion* (Academic Press, New York, 1976).
- 22) M. L. Braunstein and G. J. Andersen: "Velocity gradients and relative depth perception," Percept. Psychophys., **29** (1981) 145-155.
- 23) J. J. Gibson: "The visual perception of objective motion and subjective movement," Psychol. Rev., **61** (1954) 304-314.
- 24) J. J. Gibson: "Optical motions and transformations as stimuli for visual perception," Psychol. Rev., **64** (1957) 288-295.
- 25) J. J. Gibson and W. Carel: "Does motion perspective independently produce the impression of a receding surface?" J. Exp. Psychol., **44** (1952) 16-18.
- 26) J. J. Gibson: *The Perception of the Visual World* (Houghton Mifflin, Boston, 1950).
- 27) B. Rogers and M. Graham: "Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception," Vision Res., **22** (1982) 261-270.
- 28) C. Blakemore and B. Julesz: "Stereoscopic depth aftereffects produced without monocular cues," Science, **171** (1971) 286-288.
- 29) N. Long and R. Over: "Stereoscopic depth aftereffects with random-dot patterns," Vision Res., **13** (1973) 1283-1287.
- 30) M. Graham and B. Rogers: "Simultaneous and successive contrast effects in the perception of depth from motion-parallax and stereoscopic information," Perception, **11** (1982) 247-262.
- 31) S. M. Anstis, I. P. Howard and B. Rogers: "A Craik-O'Brien-Cornsweet illusion for visual depth," Vision Res., **18** (1978) 213-217.
- 32) B. J. Rogers and M. E. Graham: "Anisotropies in the perception of three-dimensional surfaces," Science, **221** (1983) 1409-1411.
- 33) B. J. Rogers and M. E. Graham: "Aftereffects from motion parallax and stereoscopic depth: Similarities and interactions," *Sensory Experience, Adaptation, and Perception*, eds. L. Spillmann and B. R. Wooten (Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1984) pp. 603-619.
- 34) 中溝幸夫, 齋田真也: "運動視差と見かけの奥行", 日本心理学会第51回大会発表論文集 (1987) p. 189.
- 35) 齋田真也, 中溝幸夫: "運動視差と奥行き知覚", 第34回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 (1987) p. 604.
- 36) J. Rivest: "The roles of convergence and apparent distance in the perception of motion-parallax depth," Master Thesis, York University, Ontario (1987).
- 37) H. Ono, B. J. Rogers, M. Ohmi and M. E. Ono: "Dynamic occlusion and motion parallax as reafference and exafference," Perception (1988) (in press).
- 38) W. Hell: "Movement parallax: An asymptotic function of amplitude and velocity of head motion," Vision Res., **18** (1978) 629-635.
- 39) G. Johansson: "Monocular movement parallax and near-space perception," Perception, **2** (1973) 135-146.
- 40) W. L. Shebiliske and D. R. Proffitt: "The priority of perceived distance for perceiving motion has not been demonstrated: Critical comments on Gogel's 'The sensing of retinal motion'," Percept. Psychophys., **29** (1981) 170-172.
- 41) J. W. Dees: "Accuracy of absolute visual distance and size estimation in space as a function of stereopsis and motion parallax," J. Exp. Psychol., **72** (1966) 466-476.
- 42) J. M. Farber and A. B. McConkie: "Optical motions as information for unsigned depth," J. Exp. Psychol.: Hum. Percept. Perform., **5** (1979) 494-500.
- 43) H. R. Flock: "Some conditions sufficient for accurate monocular perceptions of moving surface slants," J. Exp. Psychol., **67** (1964) 560-572.
- 44) J. J. Gibson, P. Olum and F. Rosenblatt: "Parallax and perspective during aircraft landings," Am. J. Psychol., **68** (1955) 372-385.
- 45) W. M. Mace and R. Shaw: "Simple kinetic information for transparent depth," Percept. Psychophys., **15** (1974) 201-209.
- 46) A. B. McConkie and J. M. Farber: "Relation between perceived depth and perceived motion in uniform flow-fields," J. Exp. Psychol.: Hum. Percept. Perform., **5** (1979) 501-508.
- 47) K. Prazdny: "A note on 'Optical motion as information for unsigned depth'," J. Exp. Psychol.: Hum. Percept. Perform., **7** (1981) 286-289.
- 48) O. W. Smith and P. C. Smith: "On motion parallax and perceived depth," J. Exp. Psychol., **65** (1963) 107-108.
- 49) R. Willey and J. W. Gyr: "Motion parallax and projective similarity as factors in slant perception," J. Exp. Psychol., **79** (1969) 525-532.

付 録

1. 三次元的視空間知覚の手がかり

三次元的視空間知覚の手がかりとしては、距離 (distance) を知覚するのに有効な手がかりと奥行き (depth) を知覚するのに有効な手がかりとに分けることができる。これら手がかりは単眼視で得られるものと両眼視で得られるものとに分類でき、さらに手がかりは比較的高次の視覚的情報処理 (たとえばパターン認識) を必要とするものと、そうでないものとに分類することができる。

空間知覚の手がかりのなかで、比較的高次の視覚的情報処理が関与しないものとしては、調節 (accommodation)、輻輳 (convergence)・開散 (divergence)、両眼視差 (binocular disparity) および運動視差がある。調節は網膜像のボケが情報で、単眼視、両眼視ともに有効で、距離の手がかりとなる。輻輳・開散は対象物を各眼の中心窩で捕えるための両眼の眼球運動で、そのときの眼球運動または運動後の各眼位が情報で、距離の手がかりとなる。両眼視差は両眼の網膜像の像差が情報で、奥行き手がかりとなる。運動視差は網膜像の運動が情報で、距

離および奥行きの手がかりとなり、単眼視でも両眼視でも有効である。(運動視差の定義に関しては本文参照)。

一方、比較的高次の視覚的情報処理が関与する手がかりとしては、既知対象の大きさ (familiar size), 視対象の網膜像の大きさ (retinal size), きめの密度の勾配 (gradient of texture density), 遮蔽 (occlusion) または重なり (interposition, overlapping), 陰影 (light and shade), 線遠近法 (linear perspective), 大気遠近法 (aerial perspective) などがあげられ、これらの手がかりは両眼視、単眼視いずれのばあいも有効で、奥行き手がかりであり、既知対象の大きさは距離の手がかりとしても有効である。

2. 等価視差 (equivalent disparity) の定義

運動視差には両眼視差に相当する視差量はまだ定義されていない。一つの理由は観察者が運動する条件での定量的な研究が始まったばかりだからであろう。現在多くの研究^{3,6,27,30,32-37})においては、運動視差における視差量を両眼視差に置き換えた場合の視差量で表記しており、これを等価視差と称している。このことを図 A1 にて説明する。図の左側が両眼視差の説明図で、正中線上近点 N (距離 D) と両眼とが張る角度 θ_n と遠点 F (距離 $D+d$) と両眼とが張る角度 θ_f との差が両眼視差 δ であるから、

$$\delta = \theta_n - \theta_f = 2[\tan^{-1}\{I/2D\} - \tan^{-1}\{I/2(D+d)\}]$$

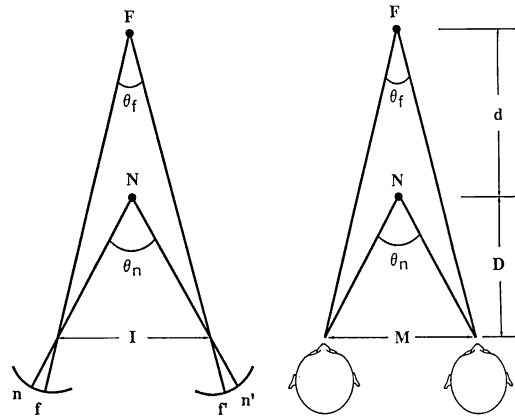


図 A1 両眼視差と等価視差の説明図
左図の円弧は網膜を示す

$$\delta \approx 2\{I/2D - I/2(D+d)\} \approx Id/D^2 \quad (A1)$$

となる。ただし I は両眼間距離。

これに相当する運動視差は図の右側に示されているように、両眼間距離に相当する M だけ頭部が運動したとき、近点 N (距離 D) が張る角度 θ_n と遠点 F (距離 $D+d$) が張る角度 θ_f を考え、 θ_n と θ_f との差 ω を等価視差と定義する。式 (A1) を導いたときと同様に

$$\omega \approx Md/D^2 \quad (A2)$$

なる。 M としては 6.0 cm が用いられる。