

# 輻輳による距離知覚と大きさ知覚の比較

金子 寛彦 内川 恵二 池田 光男

## 研究

## 輻輳による距離知覚と大きさ知覚の比較

金子 寛彦・内川 恵二・池田 光男\*

東京工業大学総合理工学研究科 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

(1990年12月10日受付, 1991年2月25日受理)

## Comparison between Distance and Size Perceived with Convergence

Hirohiko KANEKO, Keiji UCHIKAWA and Mitsuo IKEDA\*

Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology Graduate School,  
4259, Nagatsuta, Minori-ku, Yokohama 227

(Received October 12, 1990; Accepted February 25, 1991)

Effects of convergence on perceived size ( $S'$ ) and perceived distance ( $D'$ ) were investigated in binocular and monocular conditions. In the binocular condition, a test stimulus of constant visual angle was stereoscopically presented. Whereas in the monocular condition, test stimulus was viewed monocularly and a fixation point was presented binocularly to control the convergence angle of two eyes. The results shows that  $S'$  increases as the convergence distance increases in both conditions, but  $D'$  consistently increases with increasing convergence distance only in the binocular condition. In the monocular condition, the  $D'$ -vs-convergence functions may be divided into two groups. One for those having the same tendency as in the binocular condition, the other for those having the inverse relationship between  $D'$  and convergence. These findings indicate that eye muscle cue of convergence is insufficient for rigid distance perception, and  $S'$  and  $D'$  are not mutually depended. The inverse relationship between  $S'$  and  $D'$  in the monocular condition can be explained by regarding variable perceived size as the relative size cue for distance.

## 1. はじめに

人間は外界の3次元的構造を認識するのにさまざまな視覚情報を用いている<sup>1)</sup>。そのなかでも輻輳 (convergence) は奥行き知覚を達成するのに重要な要因であると考えられている。ある対象を両眼で注視するとき、その対象が近いときには両眼は内転し、遠いときには外転する。両眼内転は輻輳、外転は開散、またこれらを総称して輻輳と呼び、注視点を頂点として両眼の視線のなす角を輻輳角と呼ぶ。このときの動眼筋の働きが、絶対距離知覚の一つの手がかりであると考えられている。Morrisonら<sup>2)</sup>および Hofsten<sup>3)</sup>は刺激に点光源を用

い、明るさや大きさなどの輻輳以外の刺激変数の影響を極力排除した条件下で実験を行い、輻輳が距離知覚の形成に寄与していることを示した。

輻輳に伴って知覚的距離が変化するのと同時に、対象物の知覚的大きさも変化する<sup>4-7)</sup>。これは対象の視角が一定の場合、輻輳角が大きくなる、すなわち近距離を見ようとするとき対象が小さく見え、逆に輻輳角が小さくなる、すなわち遠距離を見ようとするとき対象が大きく見えるというものである。このような見えの変化の方向はいわゆる大きさの恒常性と呼ばれる現象に合致する。大きさの恒常性とは、外界の物体の大きさに対するわれわれの知覚が、物体が眼の位置に対して張る視角によって決まっているのではなく、対象物それ自体の物理的大きさによって決まっているという視覚特性を指す。視角が一定の刺激を見るときに、輻輳角の増加にともなってその刺激の知覚的大きさが減少するということは、ある一定の大きさをもった物体が近づいたときには、距離に反比

\* 現在：京都大学工学部建築学教室 〒606 京都市左京区吉田本町

Present address: Department of Architecture Faculty of Engineering, Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606

例して大きくなる視角の影響を減らし知覚的大きさを物理的大きさと等しくするのに役立つ。上記の大きさの恒常性は式(1)のように表される。

$$S' = \theta D' \quad (1)$$

ここで  $S'$  は知覚的大きさ,  $\theta$  は視角,  $D'$  は知覚的距離を表す。これは大きさ-距離不変仮説 (size-distance invariance hypothesis; SDIH) と呼ばれ, 知覚的距離が物理的距離と完全に一致していれば, 知覚的大きさも対象の実際の大きさとまったく同じ, すなわち恒常性が完全に成り立つ, という関係を示している。

以上のように知覚的距離と知覚的大きさは互いに密接な関係をもっていると考えられている。式(1)のように知覚的大きさが知覚的距離によって決まるプロセスを仮定すると, 輻輳に伴う知覚的大きさの変化を, 恒常的な知覚を与えるための補正の現れとして解釈できる。しかし大きさ-距離不変仮説を支持する研究<sup>8)</sup>がある一方, 奥行き手がかりが少ない条件下での実験などではこの関係が成り立たない例<sup>9,10)</sup>も多い。とくに知覚的距離, 知覚的大きさが式(1)から予想される方向と反対に変化する場合は size-distance paradox と呼ばれる。

そこで本研究では輻輳角の変化に伴う知覚的距離, 大きさがどのようなプロセスを通じて決定されるのか調べることを目的とする。式(1)に従って知覚的距離が知覚的大きさを決定しているのか, あるいはその逆か, またそれらはまったく異なった経路によって決まっており, 密接な関係は見かけ上の物にすぎないのか, ということを実験的に明らかにする。

## 2. 実験 1

### 2.1 実験原理

輻輳の変化に伴う距離知覚と大きさ知覚の関係を調べるために, 以下に示す「両眼」「単眼」の二つの条件を設定し, 輻輳角の値を変数として知覚的距離と知覚的大きさの応答をとる。「両眼」の条件では Fig. 1(a) に示すように左右の眼に同一のテスト刺激を呈示し, それらを融合することにより輻輳を決定し, その融合された刺激に対する応答をとる。輻輳角と知覚的距離, 大きさの関係を調べた過去の研究<sup>4-8)</sup>はほとんどこの条件で行っている。一方「単眼」の条件では, Fig. 1(b) に示すように, 輻輳角を決定する固視点を両眼に呈示し, テスト刺激は単眼のみに呈示される。これらの二つの条件において, ある輻輳角の値を設定したとき, 眼球の状態はまったく同じだが, 評価すべきテスト刺激が, 両眼融合像か単眼像であるかという点が異なる。実験ではテ

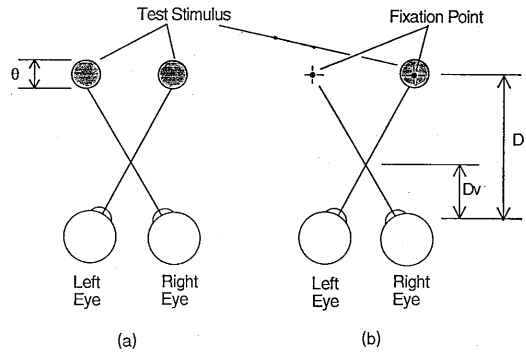


Fig. 1 Illustration of experimental conditions. (a) binocular condition, (b) monocular condition.  $D$  and  $D_v$  indicate physical distance and vergence distance respectively.

ト刺激の視角を一定にしたまま輻輳角を変化させるために, 両眼条件では二つのテスト刺激, 単眼条件では二つの固視点の被験者からの物理的距離を一定にしたまま, それらの左右の間隔を変化させるようにした。

この実験では, より確かな奥行き知覚が得られると思われる両眼条件における刺激の知覚的距離と知覚的大きさの対応関係が, 単眼条件でどのようなようになるかを問題とする。たとえば, 単眼条件で知覚的距離, 大きさの応答のいずれかが同一被験者内, または被験者間で一定の傾向を示さなくなるから, この条件ではその知覚のための情報が弱くなったと考えられる。そして, もう一方の知覚は被験者内, 被験者間で一定の傾向を示すなら, 距離と大きさの知覚が相互的に決まっているのではないと解釈できる。すなわちこれらの知覚の間でこれまで考えられてきたような因果関係は, 見かけ上のものであると考えられる。また単眼条件で知覚的距離, 大きさがともに一定の傾向をもたなくなるなら, これらの知覚間の相互関係の存在は否定できない。

### 2.2 実験方法

#### 2.2.1 刺激, 実験装置

両眼条件では Fig. 1(a) に示すように, 視角  $\theta$  が  $1.83^\circ$  のテスト刺激を両眼に呈示する。そしてこれらを単一視することにより輻輳角が決定される。単眼条件では Fig. 1(b) のように輻輳角決定用の固視点 (視角  $1'$ ) を両眼に, 円形テスト刺激を左眼のみに固視点重ねて呈示する。ここでは図中に示すように, 輻輳角から計算される理論的距離を輻輳距離 ( $D_v$ : vergence distance) とする。両眼条件のテスト刺激, および単眼条件の固視点の物理距離  $D$  は 100 cm であるが, 単眼条件のテスト刺激の物理距離は 50, 75, 100 cm の 3 種でそれぞれ

実験を行った。これらの値は実験で用いた輻輳距離の範囲内である。刺激の実際の大きさは、その視角を一定に保つようにそれぞれの物理的距離に応じて変化させた。

単眼条件の固視点には赤色発光ダイオードを用いた。テスト刺激は円形のアパーチャーを背後から蛍光灯で照らすようにして作った。左右の固視点あるいはテスト刺激をハーフミラーにより光学的に重ね、それらの前と、被験者の左右の眼前にそれぞれ対応した傾きをもった偏光板を配置することにより、左右の眼に選択的に刺激を提示した。テスト刺激、および固視点の輝度はそれぞれ約  $0.1 \text{ cd/m}^2$ ,  $1.3 \text{ cd/m}^2$  である。また左右の眼に入れるテスト刺激の間に光漏れがないように、フィルターを挿入した。このためテスト刺激は赤みを帯びている ( $x=0.67$ ,  $y=0.33$ )。また周囲は暗く、刺激と固視点以外は何も見えない。

右眼に呈示されるテスト刺激および固視点は、レール上を動くパルスモーター上に置かれ、マイクロコンピュータによって任意の距離を左右に移動できる。これによって、刺激と固視点の位置を設定し、輻輳角を変化させた。歯型により被験者の眼の位置を固定した。

### 2.2.2 実験手順

この実験では、両眼、単眼条件ともに輻輳距離 ( $D_v$ ) を 27, 35, 45, 60, 80, 100, 120 cm の 7 種の場合で測定を行った。輻輳を決定するテスト刺激、または固視点までの距離 (100 cm) と各被験者ごとに測定した両眼間の距離 (58~68 mm) により、上記の輻輳距離になるような刺激の位置を各被験者ごとに計算して求めた。

実験に先立って、被験者は距離応答の練習をする。練習用の箱はテスト刺激の観察ブースの上方に据え付けられ、被験者は立ち上がってこれを観察する。練習用の箱は高さ 38×幅 60×奥行き 160 cm の大きさの直方体で、観察のための 18×28 cm の開口が正面に開けられている。箱の内面には規則性をもった、間隔が一定の格子縞パターンが描かれて、天井に取り付けられた蛍光灯によって明るく照明されている。箱の中心線上には細い棒が垂直に立っている。練習では、実験者がこの棒を観察窓から任意の距離に立て、被験者はその距離を答える。実験者は実際の距離を被験者にフィードバックする。このような練習により、実際の距離と知覚における距離のスケールを対応付ける。これを繰り返すうち、すべての被験者は、高い精度 (5 cm 以内) で物理距離を言い当てることのできるようになった。

本実験では、被験者はテスト刺激の観察ブースを見る。観察ブース内は暗黒で、被験者の頭部は歯型を咬む

ことで固定される。両眼条件の場合は左右のテスト刺激が同時に、単眼条件では輻輳角を決める左右の固視点が先に呈示され、それらが単一視された後、テスト刺激が左眼に呈示される。輻輳距離は 7 種のうちのいずれかが設定される。テスト刺激の呈示時間は 10 秒である。刺激呈示後、被験者はまず、テスト刺激の知覚的大きさ ( $S'$ ) を応答する。被験者はあらかじめ大きさを教えられている 8 種類の円盤 (0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 10, 15 cm) が張り付けてある板を手で触れ、この大きさを基準として、テスト刺激の大きさを内挿または外挿して、ミリメートルの単位で答える。次に同じテスト刺激が 10 秒間再び呈示される。被験者は知覚される距離 ( $D'$ ) をセンチメートル単位で応答する。以上で 1 試行となる。

被験者は試行間に、距離応答の練習に使用した箱 (このとき、先の練習で用いた移動可能な細い棒は 50, 100 cm の位置に固定されている) を覗く。これは距離応答の助けになるとともに、実験中に完全に暗順応してしまうことを防ぐためである。呈示する輻輳距離の順番はランダムであり、各被験者ごと各条件に対し 2 回ずつの応答をとった。また両眼条件と単眼条件は異なったセッションで、また単眼条件での 3 種の物理距離の条件も異なったセッションでそれぞれまとめて行われた。

### 2.2.3 被験者

男性 8 名 (23~37 歳) を被験者として用いた。全員、視力矯正をして実験した。また被験者のうち 2 名 (KO, TT) は、単眼条件では物理距離 100 cm の場合のみで実験を行った。著者の一人である HK 以外は、全員実験の目的を知らないナイーブな被験者である。またステレオグラムにより被験者全員が通常の立体視機能を有していること確かめた。

### 2.3 実験結果

Fig. 2~5 に両眼条件の知覚的大きさ、知覚的距離、単眼条件の知覚的大きさ、知覚的距離の被験者別の結果をそれぞれ示す。横軸は理論的距離である輻輳距離 ( $D_v$ )、縦軸は被験者が応答した値である。単眼条件のグラフ中の三つのシンボルは刺激の物理距離の違いによるものである。

両眼条件の大きさ応答 (Fig. 2) は、各被験者とも輻輳距離に伴って増加している。また両眼条件の距離応答 (Fig. 3) でも輻輳距離の増大とともに増加の傾向が見られた。これらの結果は大きさの恒常性から予想される方向の変化であり、過去の研究<sup>4-8)</sup>と矛盾がない。

単眼条件での大きさ応答 (Fig. 4) も、ほとんどの被験者で輻輳距離の増加とともに増加している。被験者

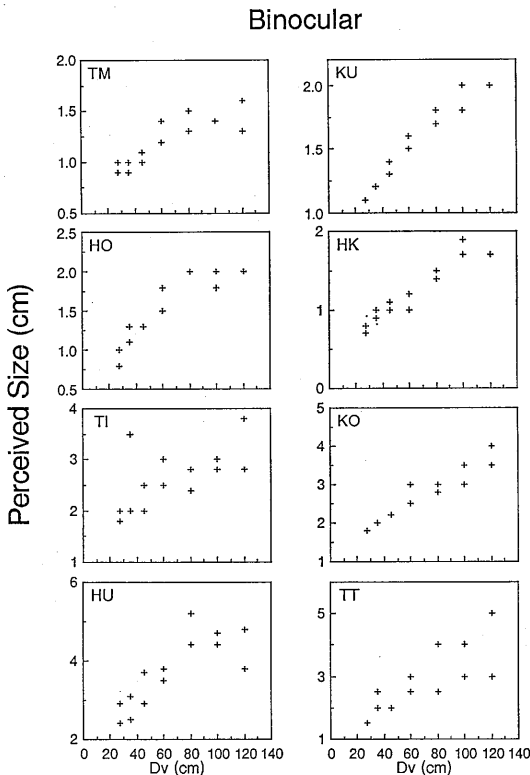


Fig. 2 Perceived size ( $S'$ ) as functions of vergence distance ( $D_v$ ) in the binocular condition for all subjects.

TI と HU はこの傾向が弱い、各セッションごとの結果(各シンボル)に注目するとこのような関係が見られる。また刺激の物理距離の違いによる影響は顕著に現れなかった。一方、単眼条件の距離応答の結果(Fig. 5)は、被験者間で一定した傾向がないように見えるが、大別すると、輻輳距離の増加とともに、知覚的距離が増加する応答群と減少する応答群の2通りに分けられる。前者は両眼条件の応答と同様の傾向である。たとえば、被験者 HK, KU ではこれまでの結果と同様に右上がりの結果を示しているのに対し、HO は逆に右下がりの傾向である。傾向がはっきりとしない TI, HU でもセッションごとの結果に注目すると右上がりの傾向が見られる場合がある。また TM, KO, TT はこれらの二つの傾向を合わせもっているような結果を示している。物理距離の違いによる影響は、大きさ応答の場合と同じく、明らかではなかった。

8人の被験者は、すべての応答が同じ傾向を示す被験者(KU, HK)、単眼条件の距離応答だけ異なった傾向を示す者(TM, HO, KO, TT)すべての条件で応答に

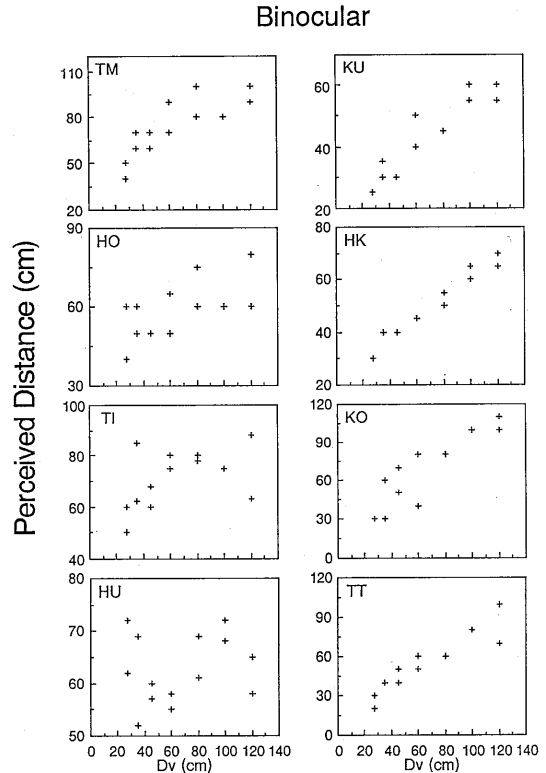


Fig. 3 Perceived distance ( $D'$ ) as functions of  $D_v$  in the binocular condition for all subjects.

ばらつきが大きい者(TI, HU)に大まかに分けられる。

以上のような傾向を明確にするため、8人の結果を以下の手続によりまとめた。まず被験者ごとのグラフの縦軸が一致していないことからわかるように、距離応答の練習や大きさ応答の触覚基準の利用にもかかわらず、被験者間で応答の絶対値に違いが見られた。この原因としては、応答の言語化に伴うものが大きいと思われる。また応答練習の方法による影響なども考えられる。しかしここでは応答の相対値だけを取り上げるために、各被験者、各セッションごとに、応答値の量の小さいものから順に番号を付けた。同一の対応値が複数ある場合は、それらに対応する順位の平均の値をそれらの順位とした。これをグラフにしたものを Fig. 6.7 に示す。横軸は輻輳距離であり、縦軸は応答値の順位である。そして各シンボルの大きさが対応する値の頻度を示している。たとえば両眼、 $D_v=27$  cm の条件に対する大きさ応答(Fig. 6(a))は、ほとんどの場合、各セッション中で1番か2番目に小さい。両眼条件(Fig. 6)ではすべての被験者の合計16セッションの結果であり、単眼条件(Fig. 7)では40セッションの合計である。これより両

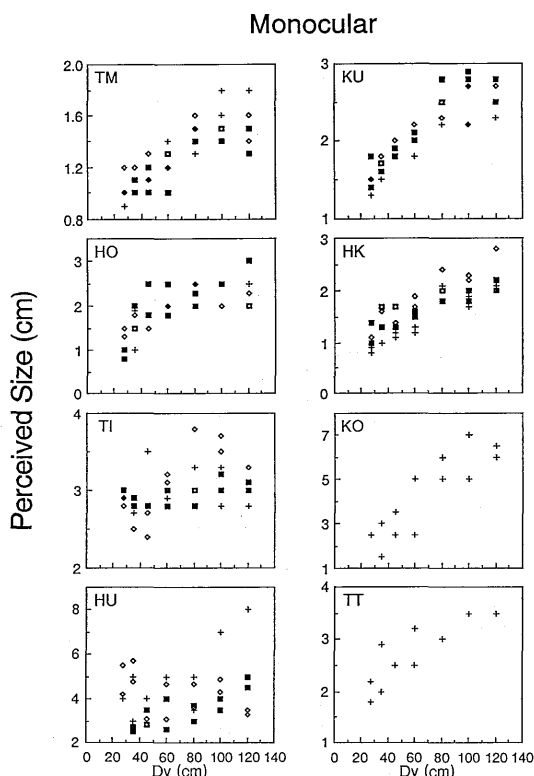


Fig. 4 Perceived size ( $S'$ ) as functions of  $D_v$  in the monocular condition for all subjects. Physical distance ( $D$ ): 50 cm (■), 75 cm (◇), 100 cm (+).

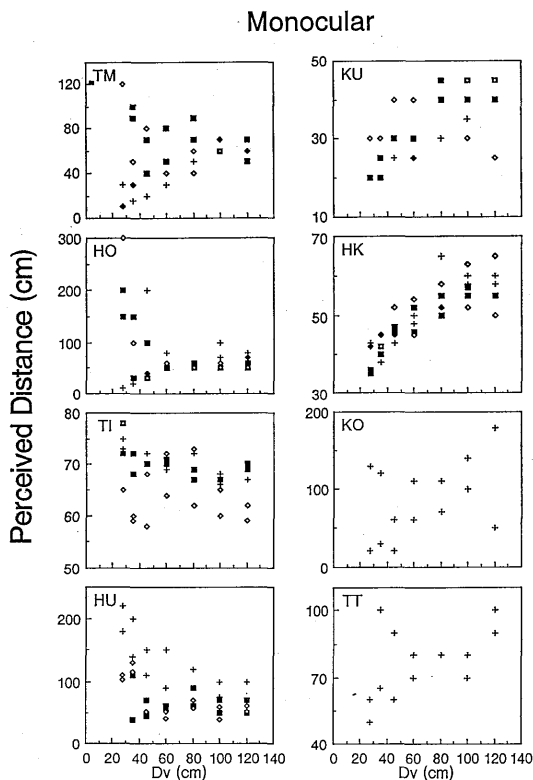


Fig. 5 Perceived distance ( $D'$ ) as functions of  $D_v$  in the monocular condition for all subjects. Physical distance ( $D$ ): 50 cm (■), 75 cm (◇), 100 cm (+).

眼条件の大きさ応答 (Fig. 6 (a)) と距離応答 (Fig. 6 (b)) および、単眼条件の大きさ応答 (Fig. 7 (a)) は、輻輳距離の増加にしたがって応答値が大きくなっているのに対し、単眼条件の距離応答 (Fig. 7 (b)) は、輻輳距離の増加に対し応答量が増加する応答群に加えて、減少する応答群も存在することが明確になった。

以上の結果より輻輳距離と知覚的大きさとの関係は、両眼と単眼条件で差がないことがわかった。これは、刺激の大きさ応答のために必要な手がかりは、両条件の間で違いがないことを示している。一方、距離応答に関しては、単眼条件で、両眼条件の結果と同様の傾向を示す応答群と、逆の傾向を示す応答群の存在が明らかになったことにより、両条件で距離応答のための手がかりに何らかの変化があったと解釈できる。

また以上のような結果は被験者の内観とも一致する。多くの被験者が、両眼条件の場合では大きさ、距離ともに応答が容易であるが、単眼条件では大きさの応答は容易だが距離の応答が困難になると述べた。

#### 2.4 考 察

知覚的大きさは両眼、単眼条件の違いにかかわらず、輻輳の状態により同様に変化することが示された。しかし知覚的距離は両眼条件では輻輳変化によって予想される方向に変化するが、単眼条件では被験者によって、あるいは同一被験者内でも異なった応答がみられた。このことは輻輳によって距離知覚が成立するには眼筋からの信号だけでは不十分であり、対象の像が両眼にあることが必要であることを示している。単眼条件による結果は、大きさ-距離不変仮説に反するものであり、知覚的距離と知覚的大きさは、どちらかがもう一方を規定するといった相互的な関係が常に存在するのではなく、それぞれ異なる手がかりによって決まる可能性が強いことがわかった。

単眼条件ですべての応答に一貫した傾向がなかったこと、また被験者の内観が「距離が応答しづらい」というものだったことを考慮すると、距離を知覚する手がかりが弱いものであったと考えられる。しかし被験者は何ら

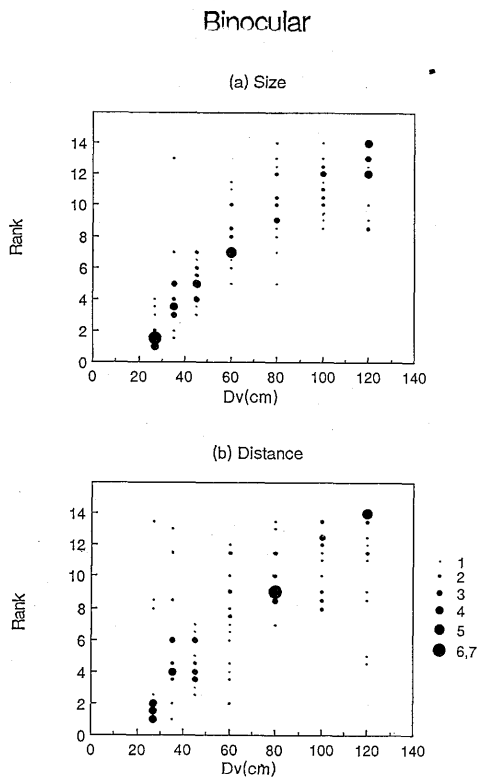


Fig. 6 Ranks of perceived size  $S'$  (a) and perceived distance  $D'$  (b) as functions of  $D_v$  in the binocular condition. Symbol sizes indicate the frequencies of responses. Data for all subjects are combined.

かの手がかりを用いて距離の応答をし、その結果は、異なる傾向をもった二つのグループに分けられた。第一のグループは両眼条件と同様に、輻輳距離の増加にともなって距離応答も増大するもの、第二はこれと逆方向の変化を示すものである。前者のグループの結果は、テスト刺激の近傍にある固視点の知覚的距離を用いて応答してしまう、という解釈が可能である。後者のグループの結果の一つの可能な説明は、知覚的大きさの影響であろう。輻輳に伴う知覚的大きさは、輻輳距離が小さくなると縮小し、輻輳距離が大きくなると拡大するという変化を示した。通常、ある物体の視角が小さくなれば、それはその物体の実際の大きさが縮小した結果であるというよりは、実際の大きさは変わらないまま遠くへ移動した結果であると解釈される。視覚系が、輻輳に伴う知覚的大きさの変化を刺激の視角が変化したとしてとらえているならば、刺激の知覚的距離の変化となる可能性もある。この視角の違いによって生み出される奥行き感に関する研究は、映画やアニメーションでよく見られるような、視

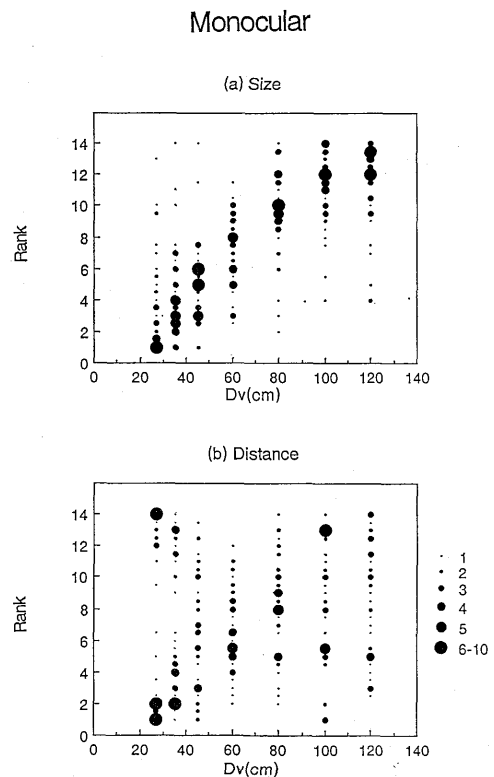


Fig. 7 Ranks of perceived size  $S'$  (a) and perceived distance  $D'$  (b) as functions of  $D_v$  in the monocular condition. Symbol sizes indicate the frequencies of responses. Data for all subjects are combined.

角が時間的に変化する場合<sup>11-13)</sup>や、視角の異なる同型の刺激を継続的に提示する条件<sup>9,10,14)</sup>で行われており、その奥行き情報としての有用性が明らかになっている。距離の手がかりが少ない単眼条件では、このようにして距離応答をする場合も生じたと考えられる。実験2では、以上のような、輻輳に伴う知覚的大きさの変化が新たに距離の手がかりとして働く可能性、について検討する。

### 3. 実験 2

#### 3.1 実験原理

実験1の単眼条件で、距離応答が輻輳距離が増大しても減少するという、予想される方向と逆の場合があり、これは刺激の大きさ応答が刺激の視角の変化としてとらえられていると解釈できることを述べた。しかし刺激の視角的变化が知覚的距離の変化を生じさせるためには、異なるトライアルで呈示される刺激が同じものであるという仮定がなければならない。そこで実験2では、刺激を見続けることによって刺激の同一性を増加するため、輻

輻輳を時間的に変化させた。時間的に隔てられて呈示される場合(実験1)に比べて、輻輳の変化にともなう知覚的大きさの変化が、知覚的距離の変化をより生じさせやすいと考えた。

### 3.2 実験方法

#### 3.2.1 刺激, 実験装置

刺激呈示装置は実験1のものとはほぼ同じである。ここでは左右の眼に呈示されるテスト刺激を、被験者からの輻輳距離が65~80 cm になるように周期的(正弦波状)に動かした。運動の周期は2, 4, 6 sの3種類を用いた。刺激呈示時間は24秒とした。それぞれの周期で12, 6, 4回ずつ同じ運動が観察される。

テスト刺激としては上下に並んだ同じ大きさの二つの円形刺激を用いた。それぞれの円の直径は視角で0.92°(実際の値は16 mm), 上下の円の間隔は0.46°(8 mm)である。両眼条件では上下の円がともに両眼像, 単眼条件ではどちらか一方が両眼像だがもう一方は単眼像となる。輻輳をコントロールするための刺激を実験1のように面積の小さい固視点としなかったのは、面積をもつ刺激のほうが、運動する対象に対して融合を保つことが容易であったためである。被験者は上下の円の中央付近を固視する。観察中に両眼の像の融合が崩れて二重像が知覚されることはなかった。刺激の調節距離は1 m, また両眼間の距離は全被験者ともに6.4 cmとした。

#### 3.2.2 実験手順

試行に先立って、被験者は上下いずれの円に対して応答すべきか指示される(「単眼」条件では、当然単眼像の円が指示される)。その後、実験者の合図のと同時に刺激が呈示される。被験者はこの刺激呈示の間、指示された円が「近づいてくる」と知覚されたとき、手にもった応答スイッチを押し続ける。この応答はペンレコーダーによって実際の刺激の動きとともに記録される。

各被験者は、6種の刺激(3周期, 2条件)設定に対しそれぞれ8回ずつ、合計48回の試行を2セッションに分けて行った。各設定はランダムな順番で行った。

#### 3.2.3 被験者

8名の被験者(HO, HU, KU, TI, TM, KO, TT, OT)が実験に参加した。OT以外は実験1も行った被験者たちである。

### 3.3 実験結果および考察

得られた結果を、距離応答の時間的変化が輻輳距離の変化に一致する場合(+ : プラス), 逆方向の場合(- : マイナス), 運動がまったく知覚されない場合(0 ; ゼロ), 一定の周期をもった規則的なものではなく不規則

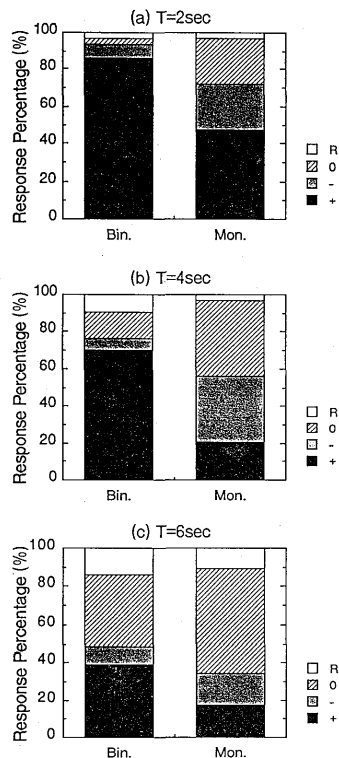


Fig. 8 Response percentage of perceived direction of motion in depth in two conditions. Time periods (T) are 2s (a), 4s (b), 6s (c). Perceived directions are categorized into in-phase (+), anti-phase (-) compared with vergence phase, no movement (0), no systematic movement (R).

な運動が知覚された場合(R:ランダム), の四つのカテゴリーに分類した。またこの応答の判断は、24秒間の刺激呈示中、知覚が安定すると思われる後半の12秒を用いて行った。

Fig. 8 にプラス, マイナス, ゼロ, ランダム応答の占める割合を示す。(a), (b), (c)はそれぞれ、周期が2, 4, 6sの結果である。各グラフの中の左右の群は、両眼, 単眼の条件に対応する。この結果は8人の被験者の合計であり、それぞれの群は64応答から成っている。また周期4sの場合の被験者別のデータをFig. 9に示した。これはFig. 8(b)に対応し、各被験者、各条件の応答数は8である。

両眼像の刺激を評価した場合は、プラスの応答すなわち輻輳距離から予想された方向に距離応答も変化する場合が多かった。これは予想されたとおりであった。実験1と同様にここでも輻輳が知覚的距離の手がかりとして使われているのであろう。単眼像に対する応答は、両眼



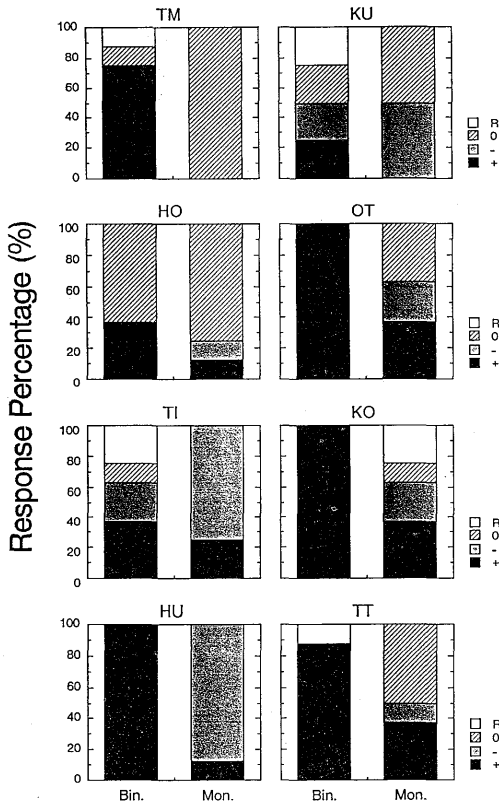


Fig. 9 Response percentage of perceived direction of motion in depth in two conditions for all subjects. Time periods ( $T$ ) is 4 s. Perceived directions are categorized into in-phase (+), anti-phase (-) compared with vergence phase, no movement (0), no systematic movement (R).

像の場合とかなり異なったものであった。全体にプラスの応答が減り、マイナスまたはゼロの応答が増えている。周期が大きくなるにつれ全体にゼロ応答が増加したが、このような傾向は異なる周期、被験者でも共通のものであった。とくに被験者 TM, OT, KO, TT, HU では、両眼条件でプラス応答がほとんどであったに対し、単眼条件ではマイナスまたはゼロ応答の割合が大きく増加している。

マイナス応答が、輻輳に伴う知覚的大きさ変化を手がかりとして距離の判断をした場合であると解釈できる。しかし、単眼の場合は両眼に比べるとマイナスが確かに増加するが、ほとんどの応答がそのような訳ではない。連続的に変化する刺激を呈示することで、大きさ知覚の変化が強い奥行き手がかりになることを予想したが、必ずしもそのようにはならなかった。単眼条件の場合、運動が知覚されないゼロ応答の増加も考えると、両

眼条件とは明らかに異なった知覚を得ていることは確かである。またこの単眼条件において、多くの被験者が、両眼刺激に対しては、輻輳距離の変化と同じ方向の大きな奥行き運動を知覚している。それと同時に単眼刺激に対しては、静止もしくは逆方向の運動を知覚している。つまり上下の刺激で明らかな奥行き知覚の違いがある。これらの結果は、輻輳が距離知覚の手がかりとなるためには両眼像を伴わないとならないという、実験1の結果を支持するものであることは確かであろう。

#### 4. 総合的考察

実験1の結果より、輻輳角の値に応じて知覚的距離が変化するためには、両眼像が必要であることが示唆された。これは実験2の結果からも支持された。これらの結果より、輻輳が知覚的距離の手がかりになるには、眼筋からの信号があるだけでは不十分であり、両眼に像がありそれらが融合することが必要であることがわかった。このことは、輻輳の手がかりと呼ばれているものが、両眼視差の情報と同じようなプロセスにより処理されている可能性を示唆している。Hofsten<sup>9)</sup>は、知覚的距離の決定が、輻輳の絶対的な値ではなく、休止状態の輻輳 (rest convergence) との差によってなされると述べている。また Hubel & Wiesel<sup>15)</sup>は、マカクザルの18野において、特定の位置ずれをもって両眼同時に刺激が提示されたときのみに応答する細胞を発見している。これらの知見は、輻輳の手がかりと呼ばれるものが、両眼視差の手がかりと同様のプロセスによるものであることを示しているかもしれない。しかしこの実験のように、左右の像が単一視されている場合は、刺激がどのような輻輳距離で提示されても網膜像は変化がない。このため外眼筋の働きを考慮しなければならない。以上のように、輻輳と両眼視差の関係は密接であると思われるが、さらなる研究が必要であろう。

輻輳角の変化にともなう知覚的大きさの変化は、必ずしも両眼像がなくとも安定しているが、確かな距離知覚を得るためには両眼像が必要であった。これらのことにより、知覚的大きさと知覚的距離が、少なくとも輻輳を手がかりとする系に関する限り、それぞれ異なった経路によって決まっていると考えられる。

もし、視角が一定な対象物の知覚的大きさの変化が、大きさの恒常性を得るためのプロセスによって生じていると考えると、知覚的大きさが変化する場合は、必ずそれに見合う知覚的距離の変化があていはずである。今回の実験のように、意味のない図形を刺激に選んだ場

合、視覚系が知覚的距離と網膜上に与えられている刺激の視角から計算して、知覚的大きさを得ていると考えられる。しかし、本研究の結果はこのような知覚決定の過程では説明がつかない。距離の知覚が決まらないような場合(単眼条件)でも、大きさの知覚は安定して変化した。つまり「輻輳角が大きく、眼は近くを見ている」という仮定の上で成り立つような知覚的大きさの変化(同じ視角なら、近距離の対象物は物理的に小さい)があったにもかかわらず、知覚的距離の応答はそれに一致していなかった。

知覚的距離と知覚的大きさの関係は、古くから研究されているが、明確にその関係が説明されているとはいえない。一般的に、大きさに対する知覚は、経験的なプロセスによって得られると考えられているように思われる。しかし、この大きさ知覚と眼球運動、両眼視差、調節といったいわゆる生理的な手がかりとの関係は重要であると思われる。

## 5. ま と め

両眼の輻輳の状態により、対象の知覚的距離と知覚的大きさはともに変化するが、距離の知覚を得るためには両眼像が必要であるのに対し、大きさの知覚は単眼像のみでも両眼像のときと同様な変化があることが示された。ある対象に対する、知覚的大きさと知覚的距離は、知覚的距離が知覚的大きさを規定する、あるいは、その逆の関係ではなく、異なった経路で決まるそれぞれの知覚を単に記述しているにすぎない見かけ上のものであることが示唆された。また、輻輳角の変化に伴う知覚的大きさの変化が、新たな奥行き情報となる可能性を示す傾向がみられたが、これは、視覚系がこの知覚的大きさ変化を視角的な情報であると解釈しているためであると考えられる。

## 文 献

- 1) 下条信輔：“奥行「手掛り」論：奥行知覚研究の現状と将来”，電子技術総合研究所調査報告，第215号(1986)30-48.
- 2) J. D. Morrison and T. C. D. Whiteside: "Binocular cues in the perception of distance of a point source of light," *Perception*, **13** (1984) 555-566.
- 3) C. von Hofsten: "The role of convergence in visual space perception," *Vision Res.*, **16** (1976) 193-198.
- 4) M. K. Komoda and H. Ono: "Oculomotor adjustments and size-distance perception," *Percept. Psychophys.*, **15**(2) (1972) 353-360.
- 5) H. W. Leibowitz and D. Moore: "Role of changes in accommodation and convergence in the perception of size," *J. Opt. Soc. Am.*, **8** (1966) 1120-1123.
- 6) T. Oyama and S. Iwawaki: "Role of convergence and binocular disparity in size constancy," *Psychol. Forsch.*, **35** (1972) 117-130.
- 7) T. Oyama: "Perceived size and perceived distance in stereoscopic vision and analysis of their causal relations," *Percept. Psychophys.*, **16**(1) (1974) 175-181.
- 8) 笠井 健：“脳内空間地図の仮説”，生体の科学，**35**(3) (1984) 206-214.
- 9) H. Ono, P. Muter and L. Mitson: "Size-distance paradox with accommodative micropsia," *Percept. Psychophys.*, **15**(2) (1974) 301-307.
- 10) A. Higashiyama: "The perception of size and distance under monocular observation," *Percept. Psychophys.*, **26**(3) (1979) 230-234.
- 11) D. Regan and K. I. Beverley: "Illusory motion in depth: Aftereffect of adaptation to changing size," *Vision Res.*, **18** (1978) 209-212.
- 12) K. I. Beverley and D. Regan: "Separable aftereffects of changing-size and motion-in-depth: Different neural mechanisms?," *Vision Res.*, **19** (1979) 727-732.
- 13) H. Heuer: "Apparent motion in depth resulting from changing size and changing vergence," *Perception*, **16** (1987) 337-350.
- 14) W. C. Gogel and R. D. Sturm: "A comparison of accommodative and fusional convergence as cues to distance," *Percept. Psychophys.*, **11**(2) (1972) 166-168.
- 15) D. H. Hubel and T. N. Wiesel: "Stereoscopic vision in Macaque monkey," *Nature*, **225** (1970) 41-42.