

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	視空間における物体の大きさ知覚決定機構に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	金子寛彦
Author(English)	Hirohiko Kaneko
出典(和文)	学位:工学博士, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第2476号, 授与年月日:1992年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:内川恵二
Citation(English)	Degree:Doctor of Engineering, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第2476号, Conferred date:1992/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

視空間における物体の大きさ知覚

決定機構に関する研究

平成4年1月

指導教官 内川恵二 助教授

提出者 東京工業大学 総合理工学研究科
物理情報工学専攻 89D95039

金子寛彦

目次

第1章 序論	1
1.1 人間の空間知覚	1
1.2 空間視の手がかり	3
1.3 物体の知覚的大きさと知覚的距離、奥行き	5
1.4 本研究の目的及び概要	9
第2章 輻輳による知覚的大きさと知覚的距離の比較	12
2.1 はじめに	12
2.2 実験1（静止した輻輳）	13
2.2.1 実験原理	13
2.2.2 実験方法	14
2.2.3 実験結果	17
2.2.4 考察	26
2.3 実験2（輻輳の時間的変化）	27
2.3.1 実験原理	27
2.3.2 実験方法	28
2.3.3 実験結果及び考察	29
2.4 まとめ	32

第3章 運動する対象の知覚の大きさと知覚的奥行きと比較 3 4

- 3.1 はじめに 34
- 3.2 実験3 (2列の刺激) 35
 - 3.2.1 実験方法 35
 - 3.2.2 実験結果 39
- 3.3 実験4 (速度勾配を持った刺激) 46
 - 3.3.1 実験方法 46
 - 3.3.2 実験結果 48
- 3.4 考察 53
- 3.5 まとめ 54

第4章 二種類の知覚の大きさ 5 5

- 4.1 実物の大きさと見えの視角 55
- 4.2 実験5 (両眼視差と二種類の知覚の大きさ) 57
 - 4.2.1 実験方法 59
 - 4.2.2 実験結果 63
 - 4.2.3 考察 70
- 4.3 まとめ 80

第5章 二種類の知覚の大きさに及ぼす周辺刺激の効果 8 1

- 5.1 はじめに 81
- 5.2 実験6 (段階的な周辺刺激) 82
 - 5.2.1 実験方法 82
 - 5.2.2 実験結果及び考察 85
- 5.3 実験7 (錯視的な周辺刺激) 92
 - 5.3.1 実験方法 93
 - 5.3.2 実験結果及び考察 96
- 5.4 まとめ 105

第 6 章 総合的考察	1 0 6
-------------------	-------

6.1 知覚の大きさと知覚的距離、奥行き	106
----------------------	-----

6.2 物体の大きさ知覚決定機構	116
------------------	-----

6.3 知覚現象の説明	123
-------------	-----

6.4 今後の課題	127
-----------	-----

第 7 章 結論	1 2 9
----------------	-------

謝 辞	130
-----	-----

参考文献	131
------	-----

第1章 序論

1.1 人間の空間知覚

人間はさまざまな感覚を通して外界の三次元構造を認識する。中でも視覚は非常に重要である。音速を越える速度で飛ぶジェット機を操縦できるのも、小さい針の穴に糸を通すことができるのも、われわれが視覚情報から瞬時に外界の空間構造を認識できるからである。近年、マシンビジョン等工学的手法によって外界の構造を把握する試みがなされているが、それは容易には達成されていない。このことから、人間の視覚過程における情報処理がいかに優れているかが再認識される。

このように優れた働きを持つ視覚系の基本となる情報は、眼球の網膜上に投影される像である。しかしその像が、写真のように認識されても、それだけでは意味がない。われわれ人間が生きていく上で必要なのは、ある対象の網膜像ではなく、対象それ自体の属性—形や大きさ、色、あるいはその位置—に関する情報である。視覚系もそれらを知覚しなければならない。網膜像は外界の対象に対して非常に多義的である。例えば網膜像自体からは、その原因である外界の対象物の実際の形や大きさ、距離を全く特定できない（図1-1）。ある一つの網膜像を作り出す対象は、無数に存在するからである。網膜像は、可能性を少しばかり限定しているにすぎない。また逆に、ある一つの対象物を作り出す網膜像は、無数に存在する（図1-2）。このように網膜像それ自体は不確かであるにもかかわらず、われわれは図1-1のような場合には、図形の実際の形を区別するだろうし、図1-2のように異なる網膜像に対して、“同一の対象”と知覚する場合もある。視角系は網膜像ではなく、外界の空間を表現しているのである。

このように、網膜像から意味のある外界の認識に及ぶ過程が、視覚系の優れ

た点であり、未知な部分でもある。

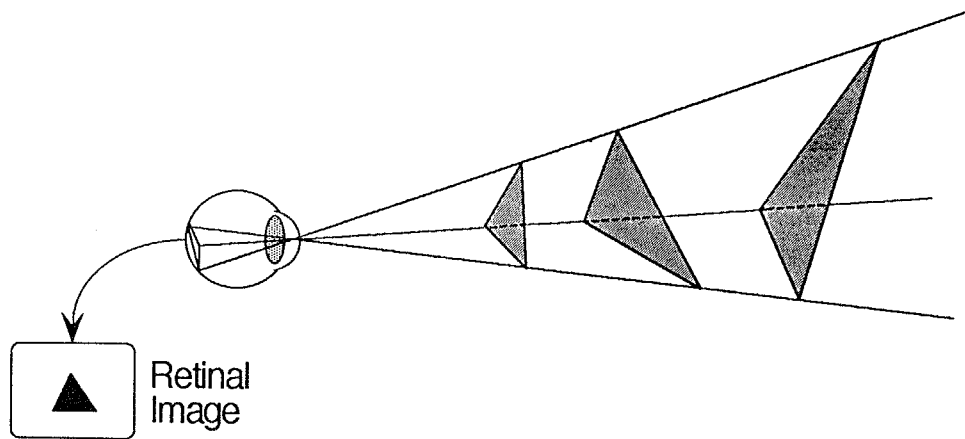


図1-1
一つの網膜像に対応する，多数の外界の対象

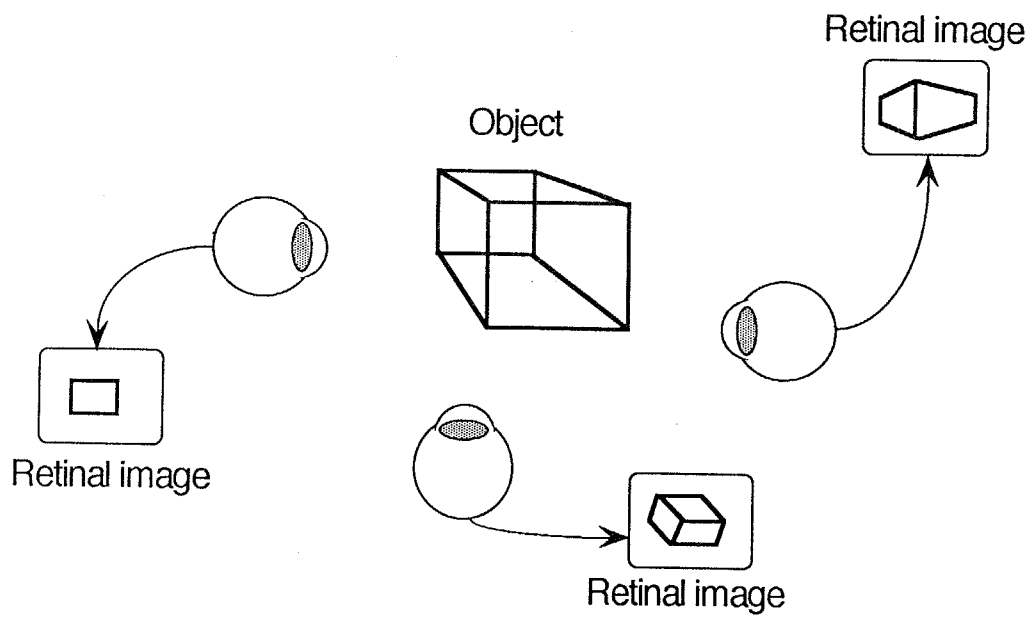


図 1 - 2
外界の一つの対象に対応する，多数の網膜像

1.2 空間視の手がかり

人間の空間認識における情報処理の特徴の一つは、さまざまな手がかりを用いるという点である。人間の視覚系は、物理的空間構造に対応する各種の手がかりを取り入れ、知覚的空間を再構築していると考えられる（図1-3）。それらの手がかりは、いわゆる生理的要因と画像的要因に分けられる。前者には、両眼視差、輻輳、水晶体調節が含まれ、後者には運動視差、大きさ（視角）、線遠近法、きめの密度勾配、陰影、重なり等があると言われている（下条1982）。

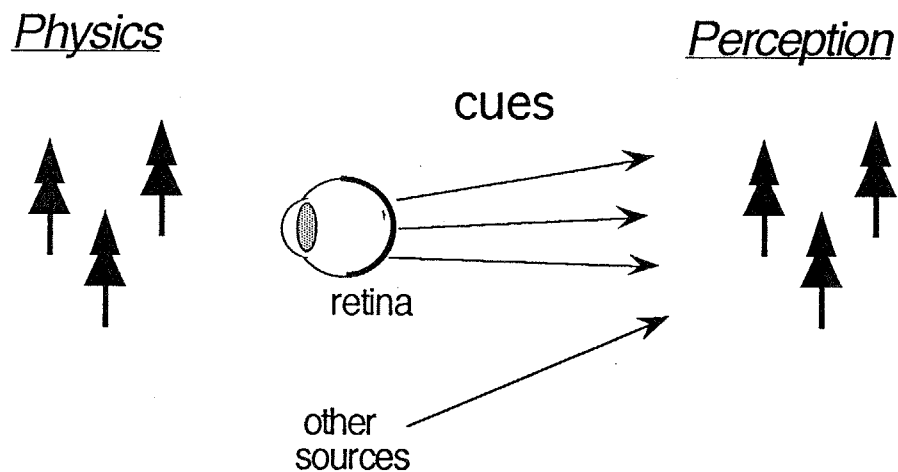


図 1 - 3
物理空間と知覚空間を結ぶ手がかり

マシンビジョンでは空間構造を計測するため、三角法、動きの分析、超音波計測などの手法が用いられるが（出口 1989）、それらはそれぞれ原理的に正確に距離を計ることが可能であるため、どれか一つで十分である。しかし人間の場合は、上の手法に対応する手がかり、輻輳（両眼視差）、運動視差、だけでなく、先に上げた数多くの手がかりをすべて用いている。特に両眼視差に関しては、この手がかりによる奥行き弁別閾が、視差にして数分、良い条件では

1 分以下と非常に小さい上 (Foley 1976; Mckee, Welch, Taylor and Bowne 1990; Enright 1991)、両眼視差が物理的位置と一対一に対応しているにもかかわらず、視覚系は両眼視差に絶対的な信頼を置いてはいない。図1-4は、人の顔を凹型に彫った彫刻であるが、実際の人の顔のように凸型に知覚される。この知覚は両眼で観察する場合でも起こる。これは、一見不確かであると思われる、陰影あるいは親近性 (familiarity) の手がかりが、両眼視差からの情報に打ち勝つ例である (Yellott 1981; Yellott and Kaiwi 1979)。個々の奥行き手がかりと空間知覚との関係を調べるとともに、手がかり間の統合過程も重要な問題の一つである。

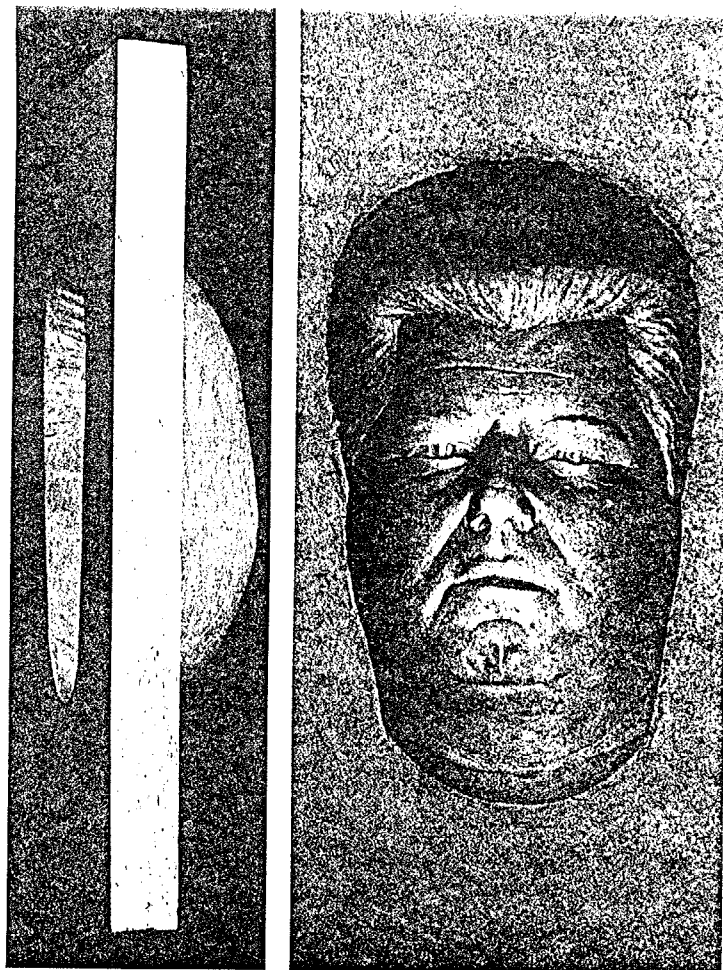


図 1 - 4
彫刻の奥行き逆転 (Yellott 1981)

1.3 物体の知覚的大きさと知覚的距離、奥行き

人間の空間視における重要な問題の一つとして、知覚的大きさと知覚的距離、奥行きとの関係が上げられる。

外界のある対象物を観察するとき、その網膜像の大きさは観察距離にほぼ反比例して減少する。しかし我々の大きさの知覚の変化は、網膜像の大きさの変化ほど急激ではない。ある一つの対象の大きさの知覚は、観察距離が変わっても一定であると言われる。この現象は大きさの恒常性と呼ばれる。

大きさの恒常性に関する研究は古くから数多く行われているが、代表的な方法は、さまざまな距離に提示されたテスト刺激の大きさを、一定距離に置かれた比較刺激と継時的に比べるというものである (Holway and Boring 1941; Rapoport 1967; Shallo and Rock 1988; Leibowitz and Harvey 1967, 1969;

Epstein 1963)。Holway and Boring (1941) は、(1)両眼、(2)単眼、(3)人工瞳孔使用、(4)薄暗くしたトンネル (単眼、人工瞳孔)、の四条件のもとで、被験者に10~120フィートの距離にテスト刺激を呈示した。この四条件は(1)~(4)の順に奥行き手がかりが減少すると考えられる。また被験者から見て、テスト刺激に対して90度方向、10フィートの距離に比較刺激を呈示した。そして被験者に比較刺激の大きさを変化させて両刺激をマッチングさせることにより、テスト刺激の見かけの大きさの応答を取った。この結果、奥行き手がかりが豊富なほど大きさの恒常性が増す、すなわち対象物の実際の大きさに近い大きさ応答をすることがわかった。

またステレオスコープを使った知覚的大きさの研究も行われている (Oyama 1974; Oyama and Sato 1967; Oyama and Iwawaki 1972; Komoda and Ono 1974; Leibowitz, Shiina and Hennessy 1972; Biersdorf, Ohwaki and Kozil 1963)。この場合は、輻輳、両眼視差、調節といった奥行き手がかりのみの寄与を調べることが可能である。Oyama (1974) は、偏光板とプロジェクターからなるステレオスコープを用いて、知覚的大きさに及ぼす輻輳と網膜像の大

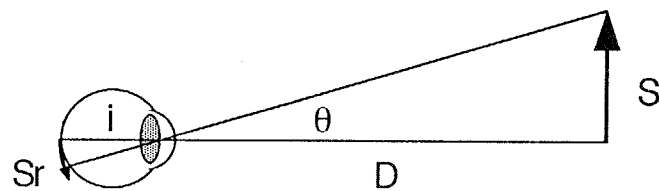
きさの影響を調べた。この結果、知覚的大きさは網膜像の大きさだけでなく、輻輳の影響も受けていることが確認された。視角が一定の場合、知覚的大きさは、輻輳角が増加するに従ってほぼ直線的に減少した。この結果も、恒常的な大きさの知覚をもたらす変化を示している。

知覚的大きさと知覚的距離の関係は下式(1-1)のように表される (Epstein, Park and Casey 1961; Kilpatrick and Ittelson 1953)。

$$S' = k D' \tan \theta \approx k D' \theta \quad (1-1)$$

ここで S' は知覚的大きさ、 θ は視角、 D' は知覚的距離である。これは大きさ—距離不変仮説 (size-distance invariance hypothesis: SDIH) と呼ばれる。

(a) Physical relationships



(b) Perceptual relationships

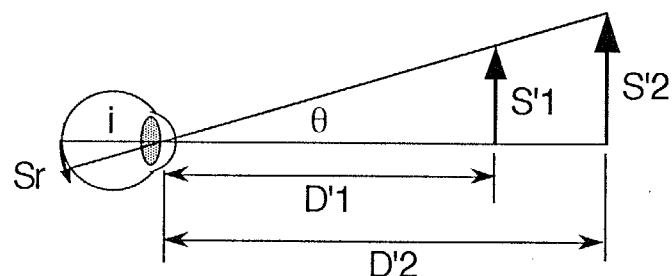


図 1-5

- (a) 対象の大きさ (S) , 距離 (D) , 視角 (θ) の物理的な関係.
 (b) 対象の知覚的大きさ (S') , 知覚的距離 (D') , 視角 (θ) の関係
 (i ; 眼球の直径, S_r ; 網膜像の大きさ)

図1-5(a)のように、物理的に距離Dの位置にある大きさSの対象を観察した場合、その網膜像の大きさは

$$S_r = i \tan \theta = i (S/D) \quad (1-2)$$

となる。また

$$\begin{aligned} S/D &= \tan \theta \approx \theta \\ \therefore S &\approx D \theta \end{aligned} \quad (1-3)$$

の関係がある。ここでiは眼球の直径である。

式(1-1)は、知覚的な大きさと距離の関係が、物理的な距離と大きさの関係(式(1-3))と同様であることを示している(図1-5(b))。そして知覚的距離が物理的距離に対し線形に増加すれば知覚的大きさは常に一定、すなわち大きさの恒常性が完全に成り立つことを示している。

以上のように知覚的距離と知覚的大きさは互いに密接に結びついていると考えられている。そのため知覚的大きさの錯視的現象の説明として、知覚的距離または奥行きがよく用いられる。一つの例は、ミュラーリヤー図形(図1-6(a))と呼ばれる、よく知られた錯視図形に対する、Gregory (1970)の説明である。左右の図形は、中央の線分の物理的な長さは同じであるが、左が長く右が短く知覚される。この長さの錯視は、これらの図形が下の写真(図1-6(b))に対応する異なる奥行き感を生み出し、その結果引き起こされると説明される。また知覚的距離と知覚的大きさの関係は、月の錯視の説明にもしばしば用いられる(Dees 1966; Kaufman and Rock 1962; King and Gruber 1962; Rock and Kaufman 1962)。月の錯視とは、視角が一定である月が、地平線近くでは大きく、天頂付近では小さく知覚されるという現象である。これに対する一つの説明が、月までの知覚的距離が、地平線付近では遠く、天頂付近では近いためこ

の現象が起こるとするものである（図1-7）。

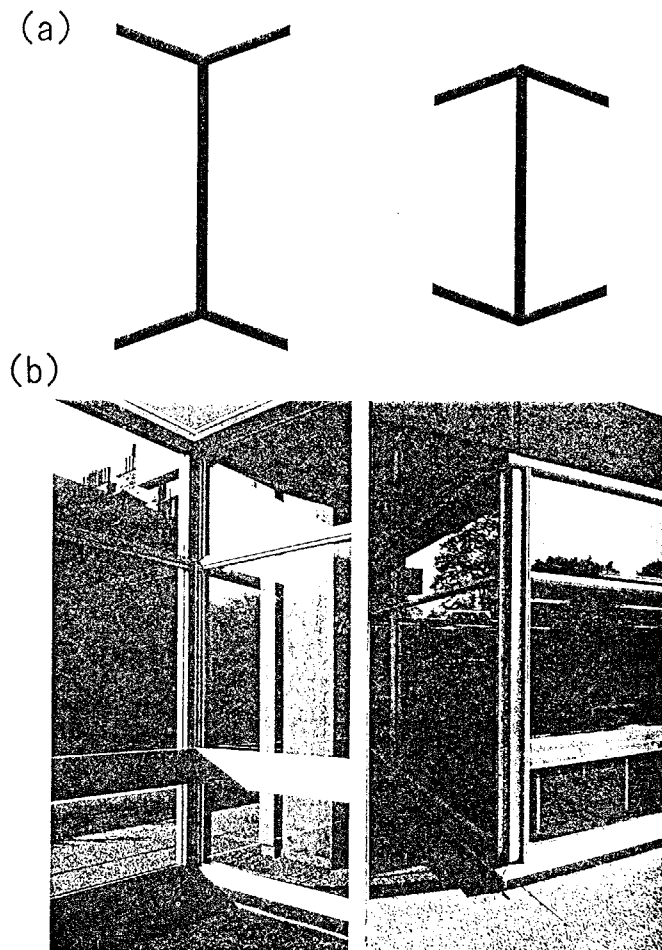


図1-6
Gregory (1970)
によるミュラー
リヤー図形の説明

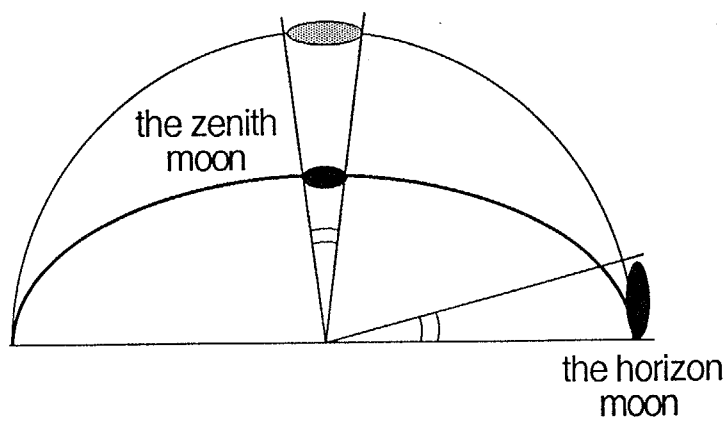


図1-7
月の錯視の説明に
おける知覚的距離
と知覚的大きさの
関係

しかし式(1-1)に示される知覚の大きさと知覚的距離のシンプルな関係を支持する研究がある一方（笠井 1984）、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も多い（Ono, Muter and Mitson (1974) ; Higashiyama (1979)）。特に知覚の大きさと知覚的距離が式(1-1)から予想される方向と反対に、すなわち知覚的距離が増大するにつれて知覚の大きさが減少する方向に変化する場合は、size-distance paradox と呼ばれる。また先に述べた錯視図形や月の錯視に対する説明は、知覚的距離と大きさの関係をを用いたものの他にも数多く存在する（今井 1969; Hershenon 1989）。

知覚の大きさが、知覚的距離によって決まるという考えは説得力のある説明ではあるが、それが唯一完全な原理であるとは言えないと思われる。このため知覚の大きさと知覚的距離及び奥行きの関係をさらに詳しく調べることは重要である。またこれらの知覚と、先に述べた個々の空間視の手がかりとの関係を調べることも、非常に重要であると思われる。

1.4 本研究の目的及び概要

本研究の目的は視空間における物体の知覚の大きさ決定メカニズムを調べることである。この中では知覚の大きさと知覚的距離または奥行きとの関係が重要である。また個々の空間視の手がかりと知覚の大きさ、知覚的距離、奥行きとの関係を調べることも目的とする。

先に述べたように、知覚的距離と知覚の大きさが、物理的な距離と大きさと同じような関係を持つとする仮説（SDIH）は、説得力があるが必ずしも成り立たない。しかしどのような場合に、この関係が成り立つ、あるいは成り立たないかは明確ではない。そこで、本研究ではまず最初に、個々の空間視手がかりと大きさ、距離の知覚の関係を調べる。そして、どのような手がかりが存在するときSDIHが成立するかを明確にする。次に知覚の大きさを記述するためのよ

りよいモデルについて述べる。そのモデルでは、大きさの知覚を”実物の大きさ”に対するものと、”見えの視角”と呼ぶ量に区別する。そして、そのモデルの妥当性を検討する。知覚的大きさが二つあるいはそれ以上の感覚に分けられることは過去の研究でも指摘されているが (Rapoport 1967; Leibowitz and Harvey 1967, 1969; Epstein 1963; Biersdorf, Ohwaki and Kozil 1963; Komoda and Ono 1974; Ono, Muter and Mitson 1974; Higashiyama, Ishikawa and Tanaka 1990; Epstein and Broota 1975)、それらの多くは単に現象を記述しているにすぎない。個々の奥行き手がかりと複数の知覚的大きさの関係を組織的、定量的に扱ったものは少ない。本研究では、二種類の知覚的大きさを決定する手がかりが何であるかを、両眼視差、輻輳、パースペクティブを変数として用い定量的に調べ、知覚的距離、奥行きと二種類の知覚的大きさの関係についても考察する。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章「序論」では、人間の空間知覚、特に知覚的大きさにかんする問題について記し、本研究の目的を述べる。

第2章「輻輳による知覚的大きさと知覚的距離の比較」では、空間視の手がかりの一つである輻輳を変数とし、それが静止している場合(実験1)と時間的に変化する場合(実験2)について知覚的大きさと知覚的距離の応答をとる。第3章「運動する対象の知覚的大きさと知覚的奥行きの比較」では、対象の相対運動の手がかり(運動視差)と知覚的大きさ、奥行きとの関係を最も単純な二列の刺激(実験3)と、速度勾配を持った、奥行き感のより強い刺激(実験4)を用いて調べる。以上の第2章、第3章では、知覚的大きさと知覚的奥行きの関係について重点を置いて調べる。そして個々の空間視の手がかりとSDIHの関連について検討する。

第4章「二種類の知覚的大きさ」では、知覚的大きさを記述するための、りよいモデルについて述べ、その妥当性を検討する。実験5では、”実物の大きさ”と”見えの視角”の二種の知覚的大きさが分離可能であるかどうかを、

両眼視差を変数として調べる。

第5章「二種類の知覚の大きさに及ぼす周辺刺激の効果」では、第4章で用いた両眼視差の手がかりに加えて、周辺の刺激による遠近法的な手がかりを用いて、二種類の大きさ知覚に与える影響を調べる。実験6では段階的に周辺の刺激を変化させて、また実験7では錯視的な周辺刺激を与えて実験を行った。後者では知覚的距離（奥行き）の応答も取り、二種の大きさ知覚との関係を検討した。

第6章「総合的考察」では、本研究で得られた結果から考えられる、知覚的大きさ及び距離決定機構のモデルについて述べ、その妥当性、個々の空間視の手がかりの役割などについて考察する。またいくつかの知覚的現象の説明も行う。

第7章「結論」では、本研究から得られた結論を述べる。

第2章 輻輳による知覚的大きさと知覚的距離の比較

2.1 はじめに

空間視の手がかりの中で輻輳(convergence)は奥行き知覚を達成するための重要な要因の一つであるとされる。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 and Whiteside(1984)及び von Hofsten(1976)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と同時に、対象物の知覚的大きさも変化する(Oyama 1974; Biersdorf, Ohwaki and Kozil (1963); Leibowitz and Moore 1966; Leibowitz, Shiina and Hennessy 1972; Komoda and Ono 1974; Oyama and Iwawaki 1972; Oyama and Sato 1967)。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序論で述べた大きさの恒常性の現象に合致する。

本実験では輻輳角の変化に伴う知覚的距離及び知覚的大きさが、どのようなメカニズムにより決定されるのか調べることを目的とする。SDIHの関係(序論、式(1-1))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、あるいはそれらは全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過ぎないのか、ということを実験的に明らかにする。

2.2 実験1（静止した輻輳）

2.2.1 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取る。「両眼」の条件では図2-1(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知覚的距離、及び大きさの応答を取る。輻輳角と知覚的距離、大きさの関係を調べた過去の研究はほとんどこの条件で行っている。一方「単眼」の条件では、図2-1(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、眼球の状態は全く同じだが、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

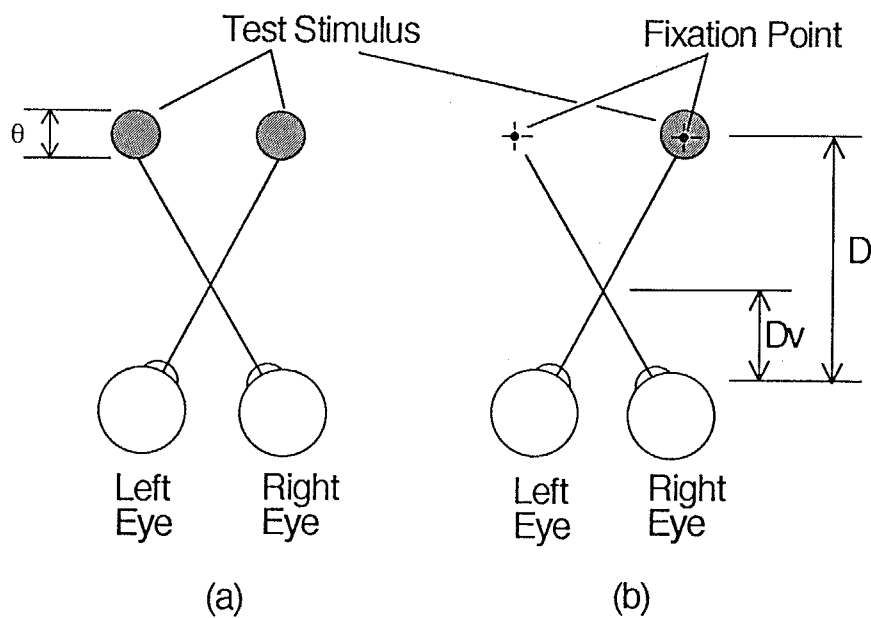


図 2 - 1
原理図

(a) 両眼条件、(b) 単眼条件

はテスト刺激の視角を一定に保ったまま、輻輳角を変化させた。このため二つのテスト刺激（両眼条件）または二つの固視点（単眼条件）を被験者からの物理的距離一定のまま、左右に動かした。

この実験では、序論で述べた知覚的距離と知覚的大きさの対応関係（SDIH）が、両眼及び単眼条件で共に見られるかを問題とした。例えば、単眼条件で知覚的距離、大きさの応答のいずれかが一定の傾向を示さなくなるなら、この条件ではその知覚のための情報が欠落したと考えられる。そして、もう一方の知覚は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、大きさが共に一定の傾向を持たなくなるなら、これらの知覚間の相互関係の存在は否定できない。

2.2.2 実験方法

（刺激、実験装置）

両眼条件では、視角 θ が 1.83° のテスト刺激を両眼に呈示する（図2-1(a)）。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、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（図2-1(b)）。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（Dv:vergence distance）とする。両眼条件のテスト刺激、及び単眼条件の固視点の物理距離Dは100cmであるが、単眼条件のテスト刺激の物理距離は50, 75, 100cm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（ 1.83° ）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。

図2-2に実験装置図を示す。(a)は両眼条件、(b)は単眼条件の場合である。

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持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、及び固視点の輝度はそれぞれ約 0.1cd/m^2 、 1.3cd/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及び固視点は、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ー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。

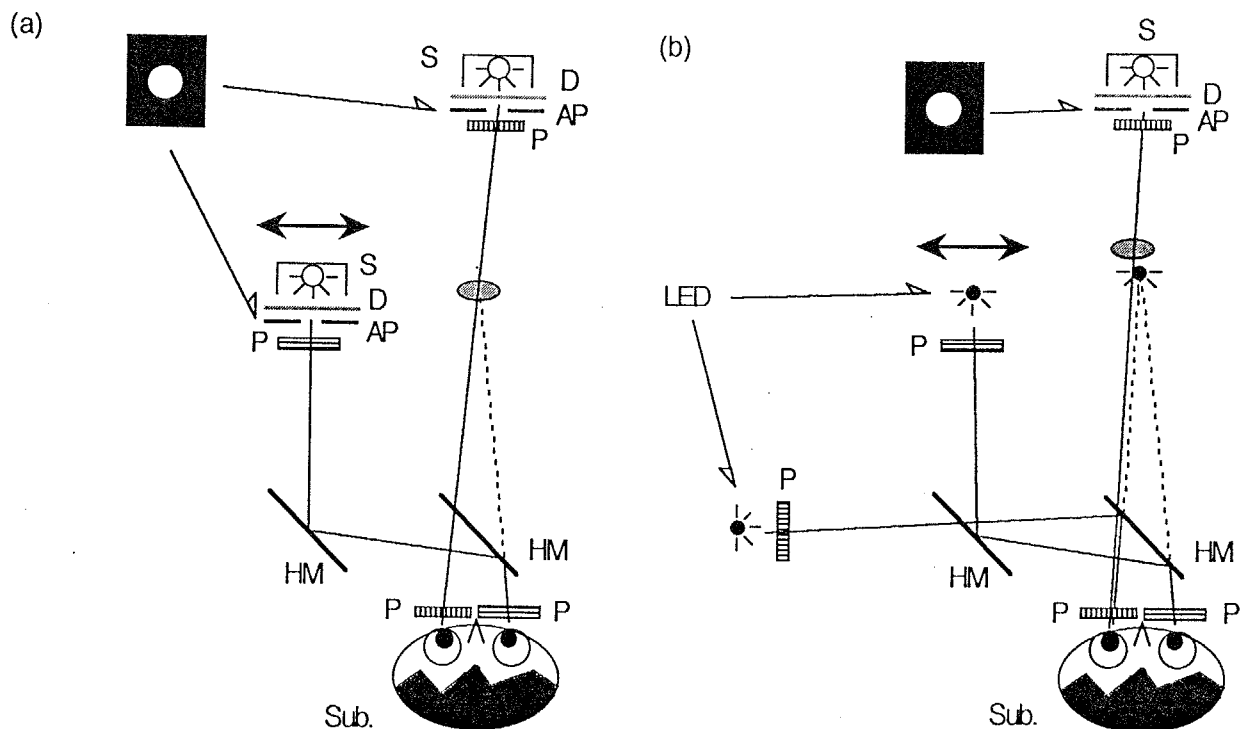


図 2-2
装置図

(a) 両眼条件、(b) 単眼条件

S; 蛍光灯, D; 拡散板, AP; アパーチャー, P; 偏光板, HM; ハーフミラー

(実験手順)

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 種を用いて測定を行った。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毎に計算して求めた。

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持った、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。そして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が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小 (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、100cm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回ずつの応答を取った。両眼条件と単眼条件の3種の調節距離の条件はそれぞれ異なったセッションでまとめて行われた。

（被験者）

男性8名（23～37才）を被験者として用いた。全員、視力矯正をして実験した。被験者のうち2名(KO, TT)は、単眼条件では物理距離100cm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。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。

2.2.3 実験結果

図2-3, 4に両眼条件の知覚的大きさ、知覚的距離、図2-5, 6に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3つのシンボルは刺激の物理距離の違いに対応している。

両眼条件の大きさ応答（図2-3）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（図2-4）でも輻輳距離の増大と共に増加の傾向が見られた。

単眼条件での大きさ応答（図2-5）も、ほとんどの被験者で輻輳距離の増加と共に増加している。被験者TIとHUはこの傾向が弱いように見えるが、各セッション毎の結果（各シンボル）に注目するとこのような関係があらわれている。

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。

単眼条件の距離応答の結果（図2-6）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、輻輳距離の増加と共に、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、H0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でもセッション毎の結果に注目すると右下がりの傾向が見られる場合がある。またTM, K0, 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。刺激の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, H0, K0, TT）すべての条件で応答にばらつきが大きい者（TI, HU）に大まかに分けられる。

Binocular

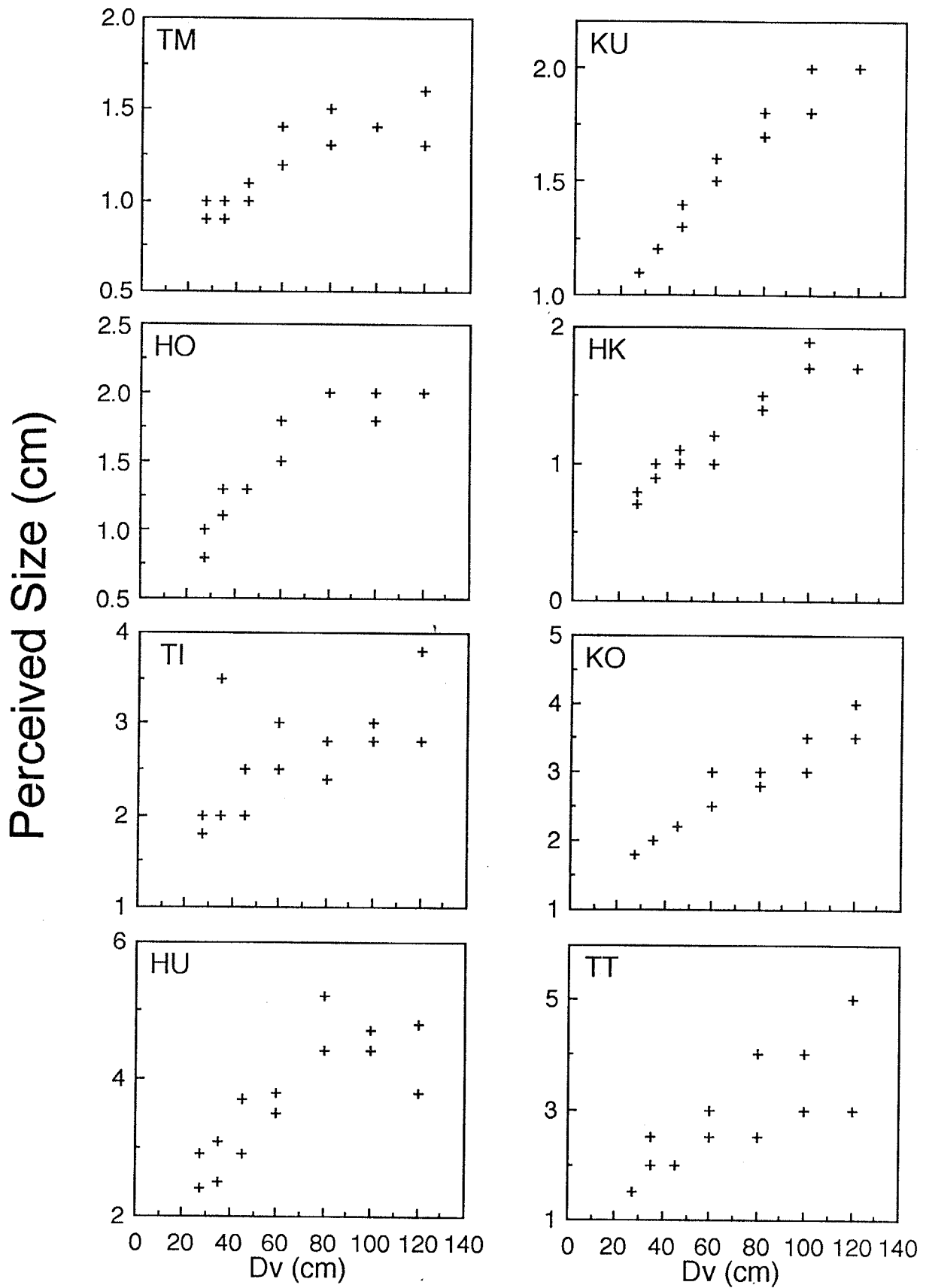


図 2 - 3
両眼条件における知覚的大小応答

Binocular

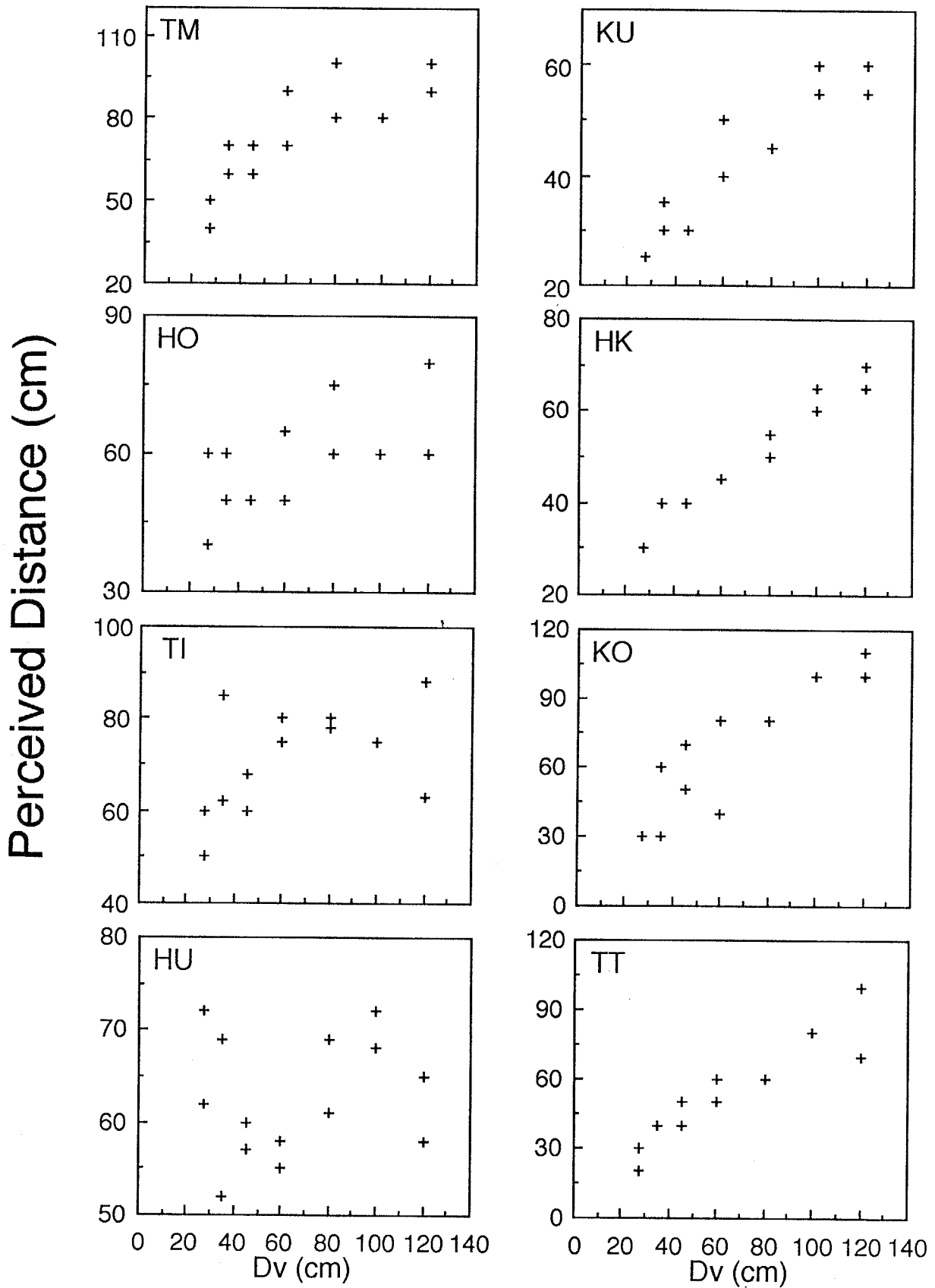


図 2-4
両眼条件における知覚的距離応答

Monocular

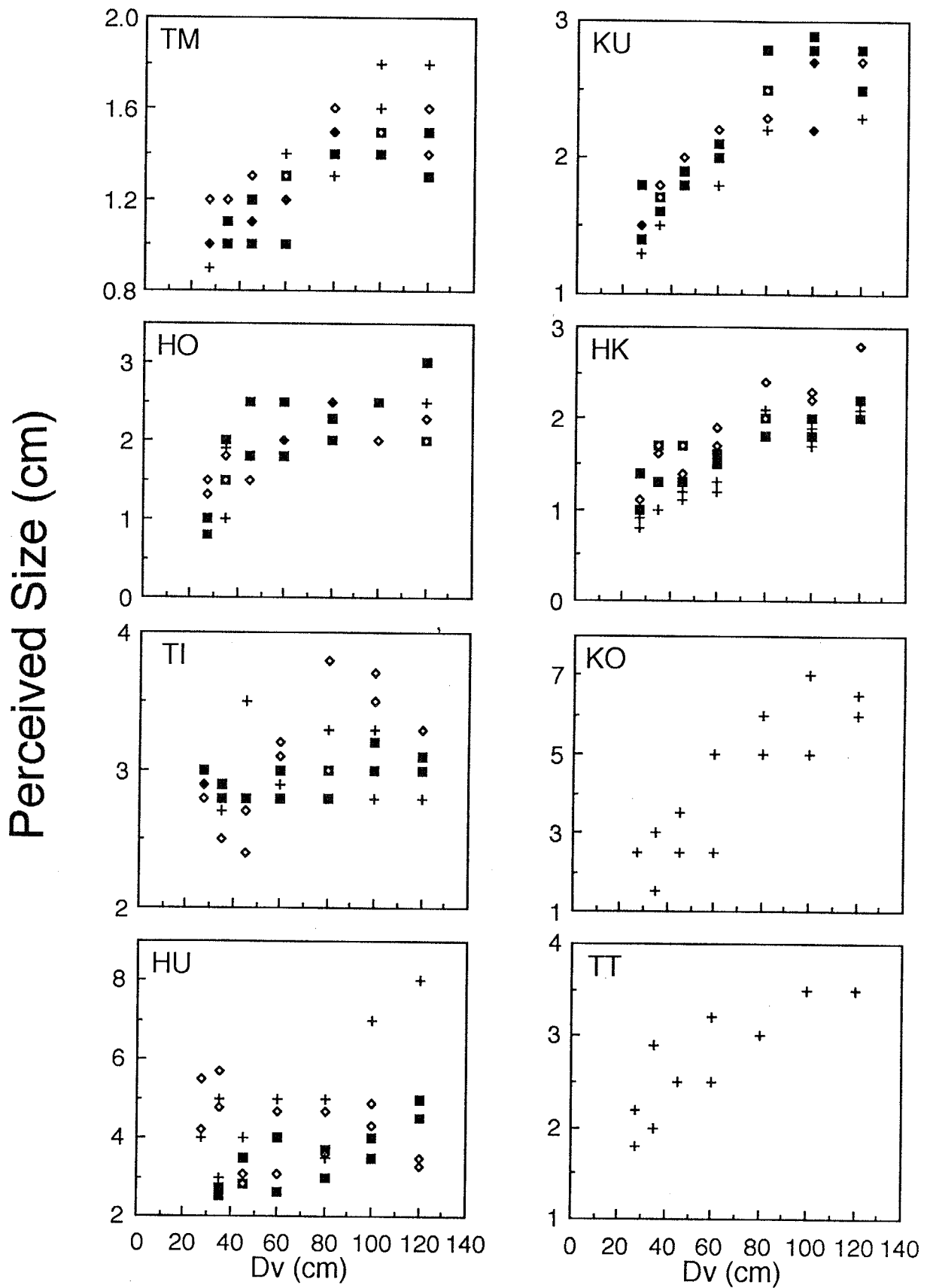


図 2-5
単眼条件における知覚的大きさ応答

Monocular

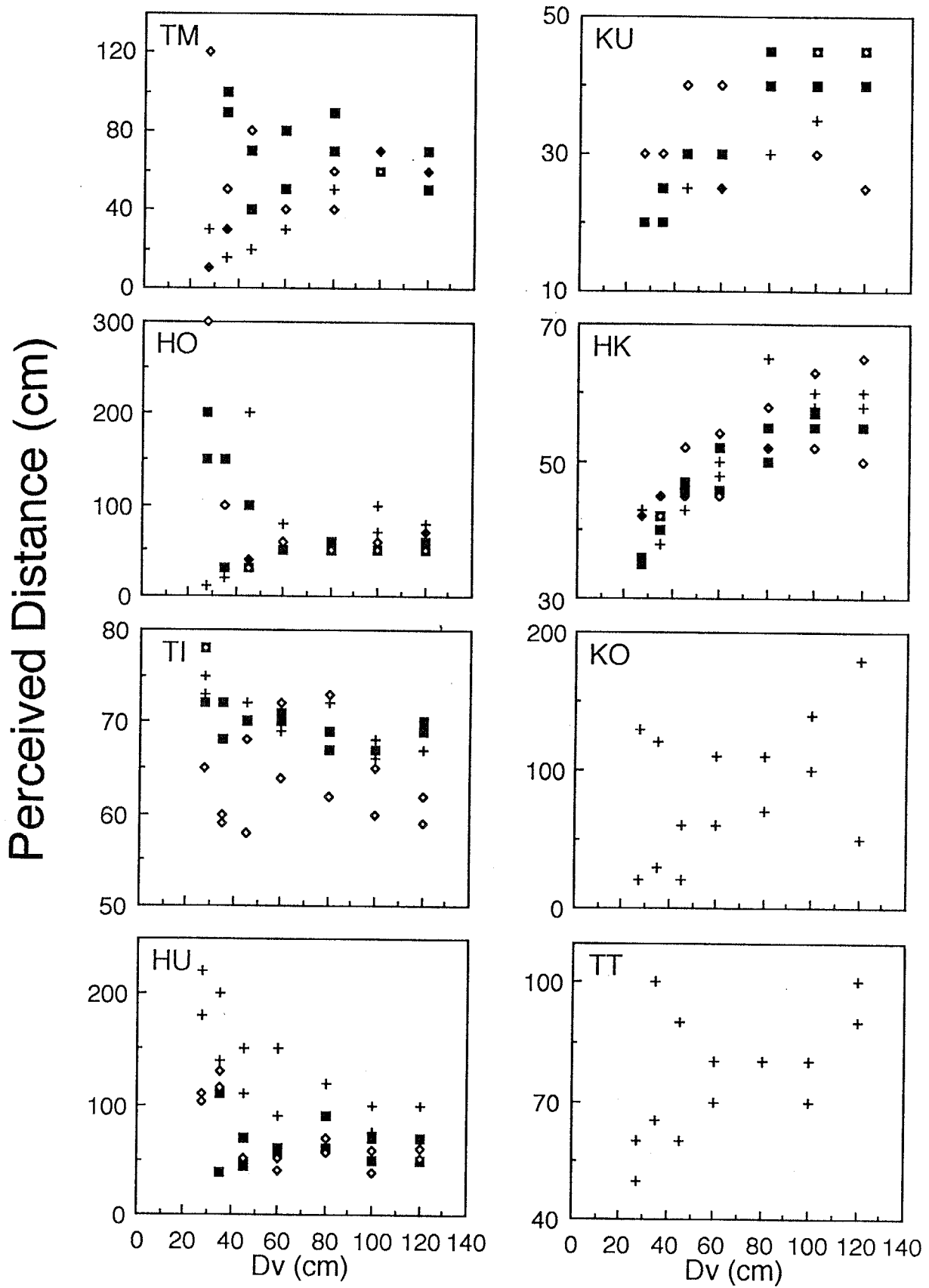


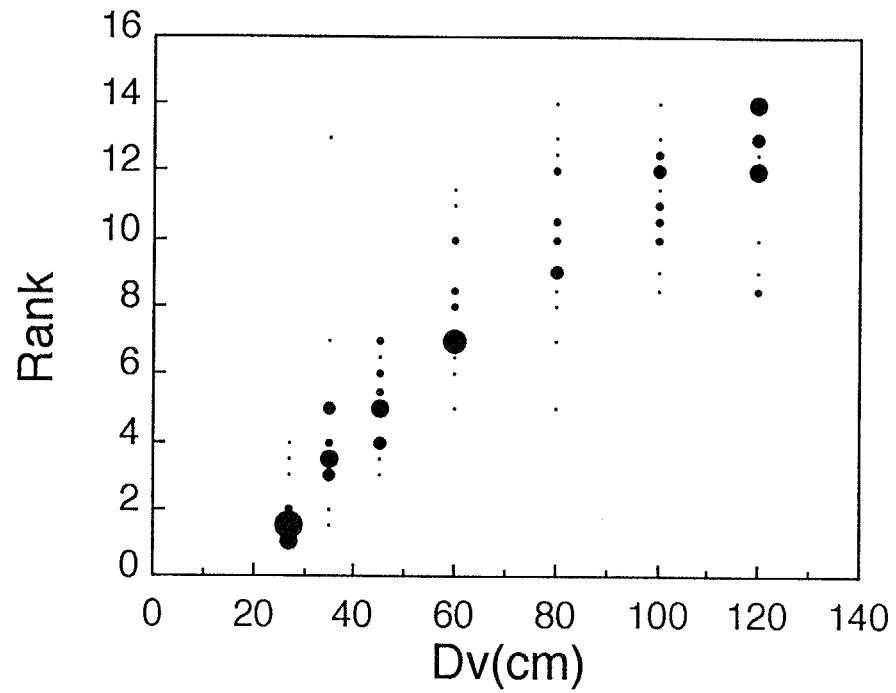
図 2-6
単眼条件における知覚的距離応答

結果の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。被験者毎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採用にもかかわらず、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、応答の言語化や応答練習の方法などが考えられる。ここでは応答の相対値だけを取り上げることにし、各被験者、各セッション毎に、応答値の量の小さいものから順に番号を付けた。同一の応答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図2-7, 8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。各シンボルの大きさが対応する順位の度数を示している。たとえば両眼条件で、 $Dv=27\text{cm}$ の刺激に対する大きさ応答（図2-7(a)）は、ほとんどの場合、各セッション中で1番か2番目となっている。両眼条件（図2-7）では全ての被験者の合計16セッションの結果であり、単眼条件（図2-8）では40セッションの合計である。

これより両眼条件の大きさ応答（図2-7(a)）と距離応答（図2-7(b)）及び、単眼条件の大きさ応答（図2-8(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（図2-8(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。

Binocular

(a) Size



(b) Distance

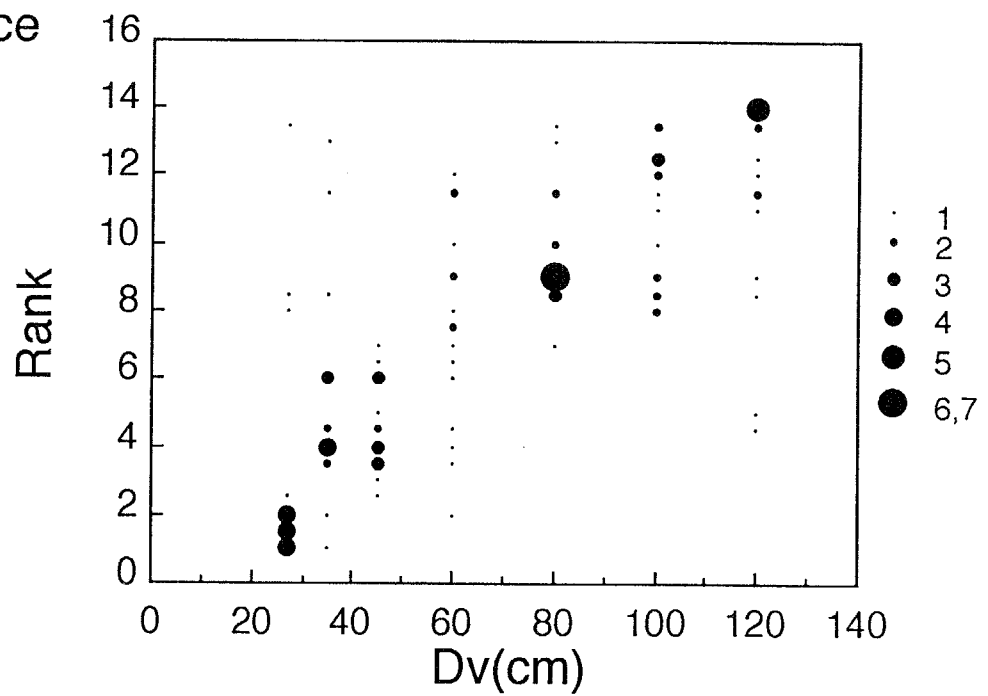
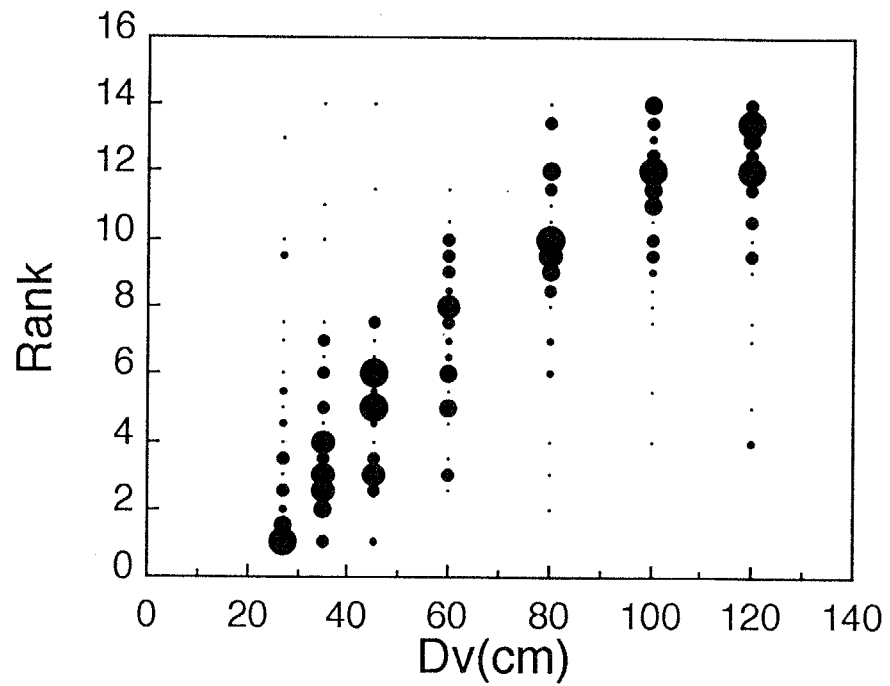


図 2-7
両眼条件における、(a) 知覚的大きさと
(b) 知覚的距離の応答順位の度数
シンボルの大きさは度数を示す

Monocular

(a) Size



(b) Distance

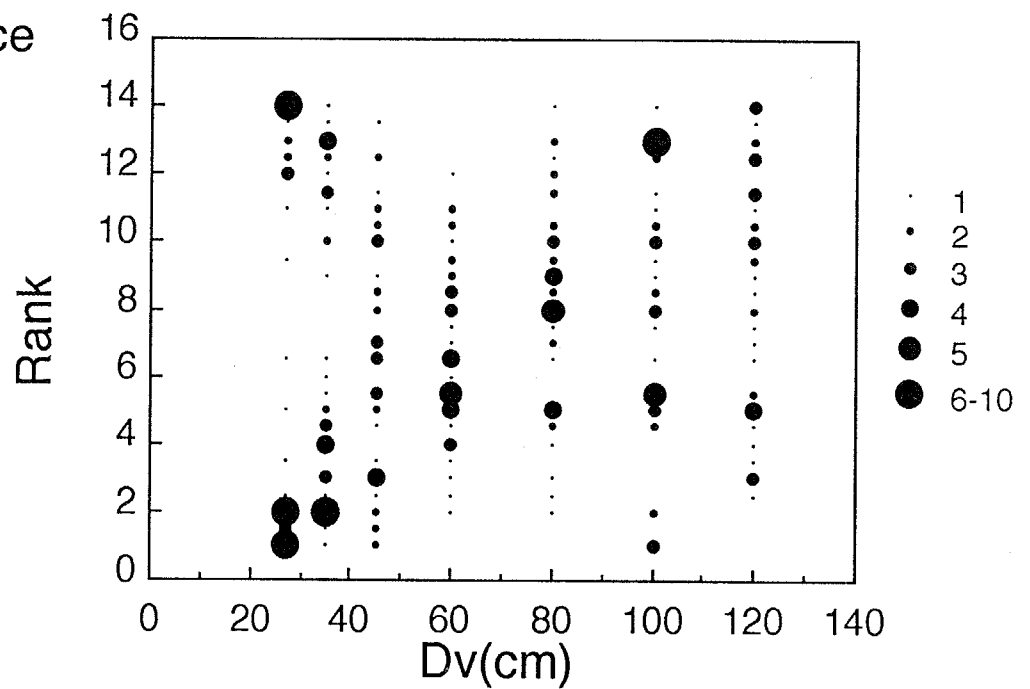


図2-8
単眼条件における、(a) 知覚的大きさと
(b) 知覚的距離の応答順位の度数
シンボルの大きさは度数を示す

2.2.4 考察

知覚的大きさは両眼、単眼条件の違いにかかわらず、輻輳の状態により一定の変化を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一意的に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。この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。また単眼条件による結果は、大きさ-距離不変仮説 (SDIH) 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場合があることを示唆する。

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、また被験者から「距離の応答がむずかしい」という内観が得られたことを考慮すると、単眼条件では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かの手がかり用いて距離の応答をし、その結果は、異なる傾向を持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。後者の結果の説明としては、知覚的大きさの影響が考えられる。輻輳に伴う知覚的大きさ変化は、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方向である。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”の変化として捕らえているならば、刺激の知覚的距離の変化を引き起こす可能性がある。

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、視角が時間的に変化する場合 (Beverley and Regan 1979; Regan and Beverley 1978; Heuer 1987) や、視角の異なる同型の刺激を継時的に提示する条件で行われており (Ono, Muter and Mitson 1974; Higashiyama 1979; Gogel and Sturm 1972)、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、このような、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。

2.3 実験 2 (輻輳の時間的变化)

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の増大と共に減少するという、予想される方向と逆の結果が見られた。そして、刺激の知覚的大きさ変化が視角の変化として捕らえられていると考えることにより、その結果が説明できることを述べた。しかし実験1で、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、輻輳の時間的な変化を引き起こすような刺激を用いた。この条件では、刺激が時間的に隔てられて呈示される場合 (実験1) に比べて、異なる輻輳距離にある刺激の同一性が増し、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やすいと考えた。

2.3.2 実験方法

(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65-80cmになるように周期的（正弦波状）に動かした（図2-9）。左右の刺激は同時に同じ量の運動をする。運動の周期は2、4、6sec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16mm）、二つの円の中心の間隔は 1.38° （24mm）である。両眼条件では上下の円が共に両眼像、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、面積を持つ刺激の方が、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1m、また両眼間の距離は全被験者共に6.4cmとして輻輳距離の計算をした。

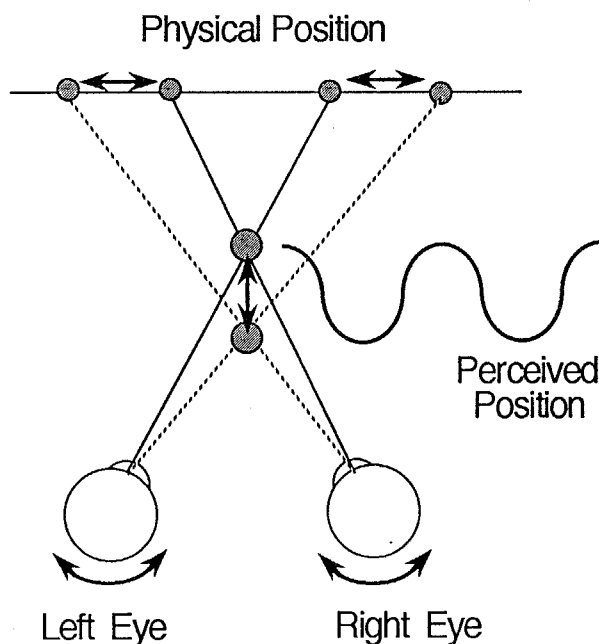


図2-9
刺激の実際の動きと
輻輳の変化から予想
される奥行きの変化

(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。この後、実験者の合図と共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、手に持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共に記録される。

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。各刺激の呈示順はランダムである。

(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。

2.3.3 実験結果及び考察

得られた結果を、距離応答の時間的变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）、一定の周期を持った規則的なものではなく不規則な運動が知覚された場合（R：ランダム）、の4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、知覚が安定と思われる後半の12秒を用いて行った。図2-10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, 6sec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4secの場合の被験者別のデータを図2-11に示した。これは図2-10(b)に対応し、各被験者、各条件の応答数は8である。

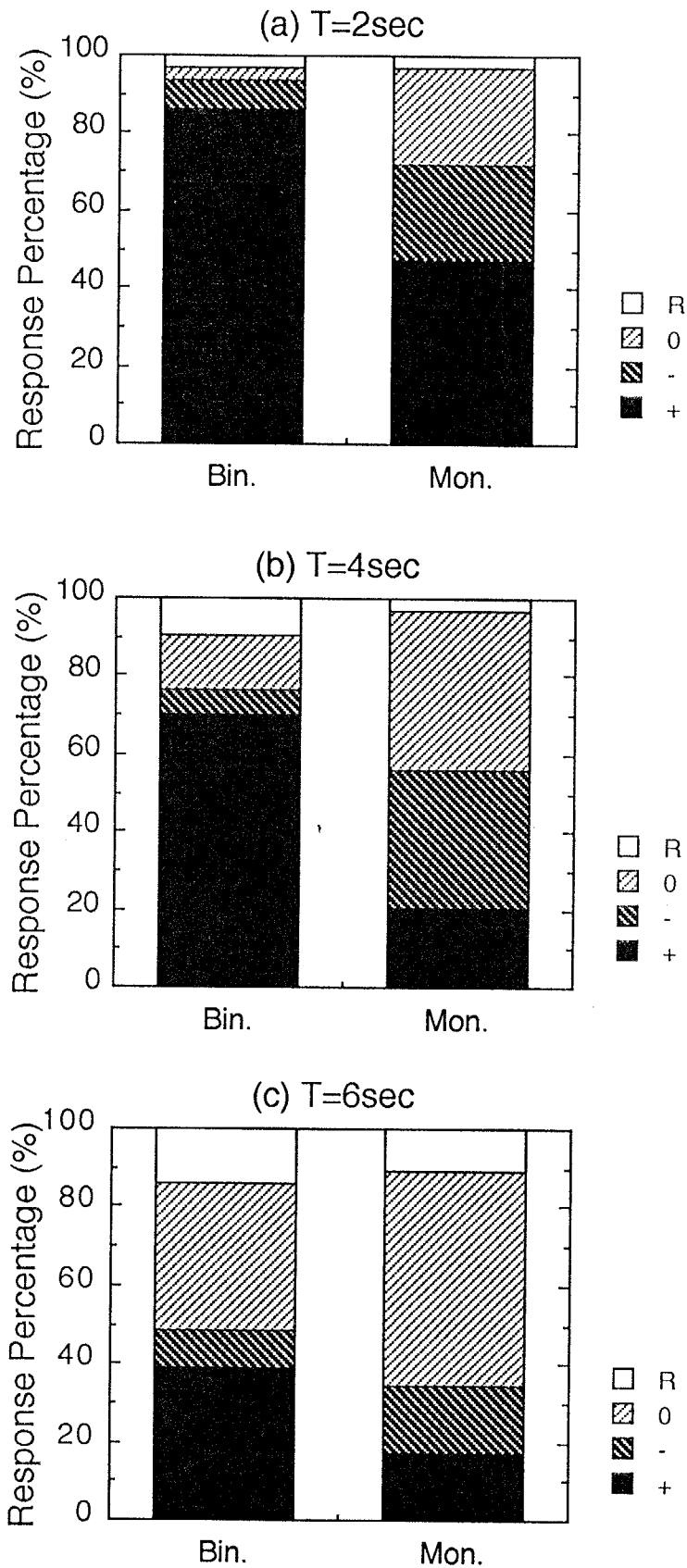


図 2-10

単眼、両眼条件における、知覚される動きの方向
 刺激の運動の周期 (a) 2sec, (b) 4sec, (c) 6sec
 知覚される運動のカテゴリ
 +; in-phase, -; anti-phase,
 0; no movement, R; no systematic movement

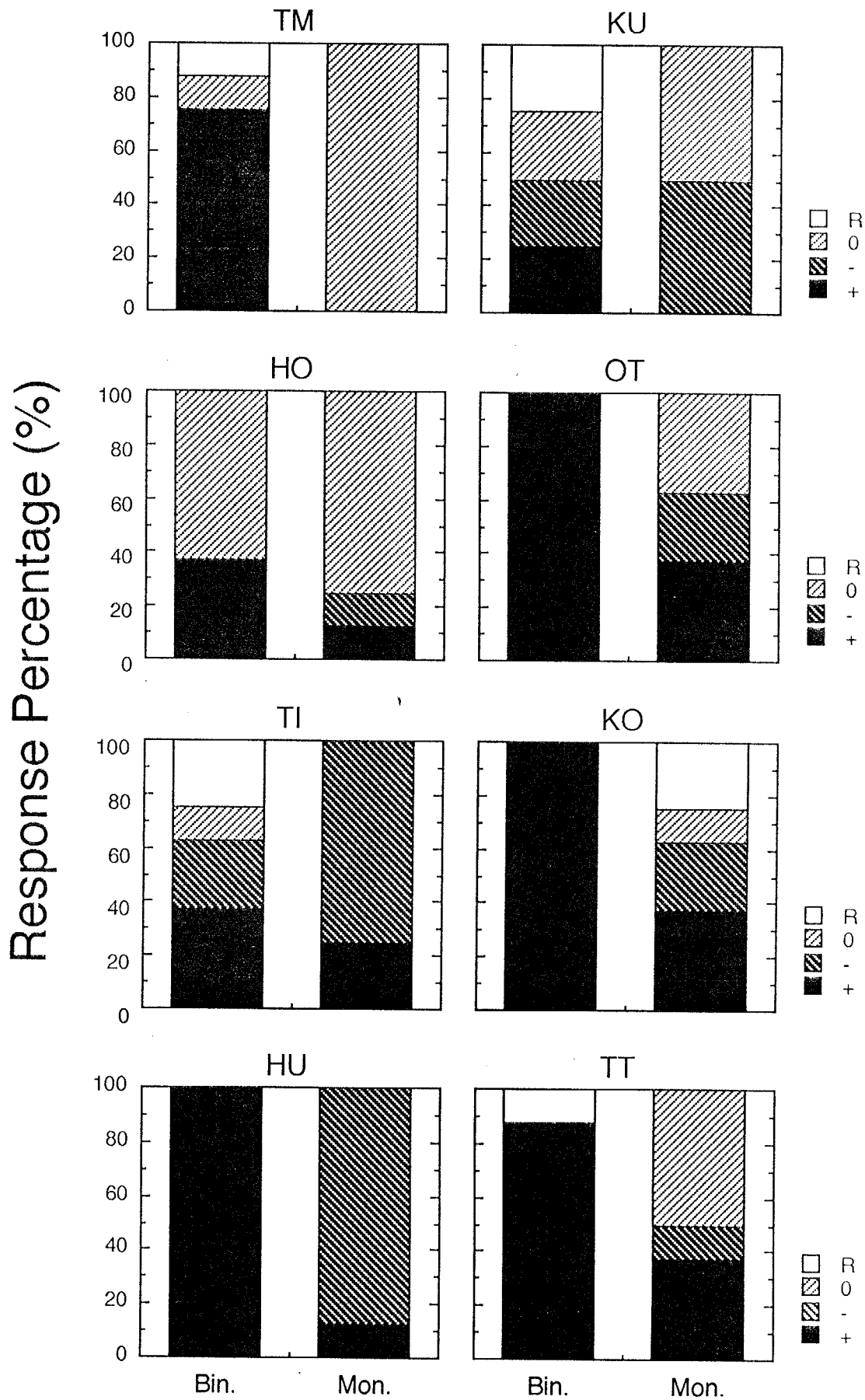


図 2-11
被験者別の単眼、両眼条件における、
知覚される動きの方向
刺激の運動の周期；4sec,
運動のカテゴリーは図 2-10 と同様

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、被験者に共通のものであった。図2-11に示すように、特に被験者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、応答の全てがそのようになった訳ではない。連続的に輻輳が変化する刺激を呈示するごとで、知覚的大きさ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。しかし単眼条件の場合、運動が知覚されないことを示す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。また単眼条件において、多くの被験者が、両眼刺激に対して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。

2.4 まとめ

実験1及び実験2の結果より、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共に変化するが、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時と同様な変化があることが示された。これより、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。von Hofsten (1976)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) との差によって成されたと述べている。この知見も、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唆するものである。

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。このことにより、知覚的大きさと知覚的距離は、お互いに規定しあって決まっているのでなく、異なった経路で決まる場合があることが示唆された。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つていはずである。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)があつたにもかかわらず、知覚的距離の応答はそれに一致していなかった。

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。

第3章 運動する対象の知覚的大きさと知覚的奥行きの比較

3.1 はじめに

対象物の網膜像の速度差が、対象物間の奥行き感を生み出す情報の一つであることが指摘されている (Nakayama 1985)。Braunstein and Andersen(1981)は速度勾配を持つ刺激に対する奥行き感は、長い提示時間(10sec)、速い最高速度(10.4deg/sec)のもとではかなり安定して、速い方が近くに、遅い方が遠くに知覚されるとしている。しかし刺激対象中の速度差だけでは奥行き方向の分離は可能 (unsigned depth) だが、どちらが近いかわいといつた奥行き方向に関する正確な知覚は得られないとする研究もある (Gibson, Gibson, Smith and Flock 1959; Farber and McConkie 1979; Ono, Rogers, Ohmi and Ono 1988)。Rogers and Graham (1979), 齊田(1988)は頭部の運動が伴えば、運動視差が正確な奥行き情報になると述べている。以上の研究より、対象の速度差が、それだけで完全な奥行き情報と言えないまでも、奥行き知覚と非常に密接な関係を持っていることは確かであろう。

序論で述べたように、対象の知覚的大きさが知覚的奥行きに影響されるといふ仮定 (SDIH) が成り立つなら、この網膜像の速度差の手がかりによっても知覚的大きさが増減すると考えられる。図3-1に、速度差によって生じられる知覚的奥行きと知覚的大きさの関係を図で示した。Virsu, Nyman and Lehtio (1974), Parker (1981, 1983)は、運動するグレーティングの見える空間周波数が増加することを報告している。この現象も、このような対象の動きを奥行き手がかりとする考えによって説明できるのではないだろうか。

本実験では、まず網膜像の速度差による知覚的大きさへの影響について、定量的に調べる。次に、知覚的大きさと知覚的奥行きとの関係について検討する。網膜像の速度差を手がかりとした場合、これらの知覚の間に序論で述べたよう

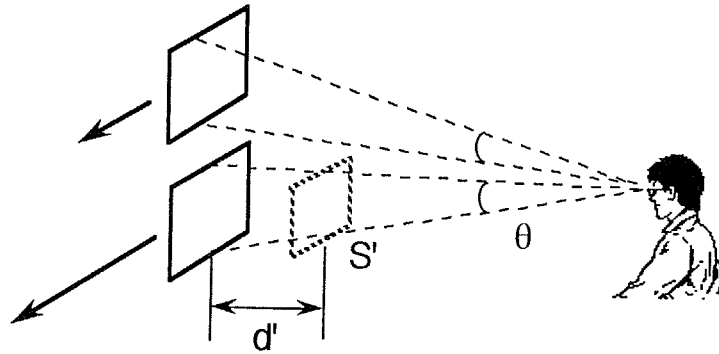


図 3-1
刺激速度と知覚的大小(S'), 知覚的奥行き(d'),
視角(θ)の関係

な比例関係は成り立つのか、あるいは第2章の結果のように、条件によって異なる関係が見られるのか、ということを実験的に調べる。

3.2 実験3 (2列の刺激)

この実験では、対象刺激中の速度差と知覚的大小及び知覚的奥行きの関係を調べる。速度の異なる対象としては、最も単純な刺激—異なる速度を持つ二つの刺激列—を用いた。そして、速度の異なる刺激の知覚的大小を、マッチング法により定量的に測定した。また刺激列に対する知覚的奥行きの応答も取り、知覚的大小との関係についても考察する。

3.2.1 実験方法

<実験 a>

(刺激、実験装置)

刺激はマイクロコンピュータ (Mac II) により、CRTモニター (480×640ドット) 上に呈示された。ディスプレイの視距離は1mであり、視角は10.0×13.2degであった。

刺激の形状は、図3-2(a)に示すように、横方向に運動する上下2段の四角形である。運動方向は、上下同じであるが、右向きと左向きがある。上下いずれかの列が、テスト刺激となりもう一方が比較刺激となる。テスト刺激1個の大きさは2.12degであり、比較刺激はこの1/50ステップ (0.04deg) で大きさ可変である。このとき、それぞれの列中の各四角形パターンは、常に同一の大きさ

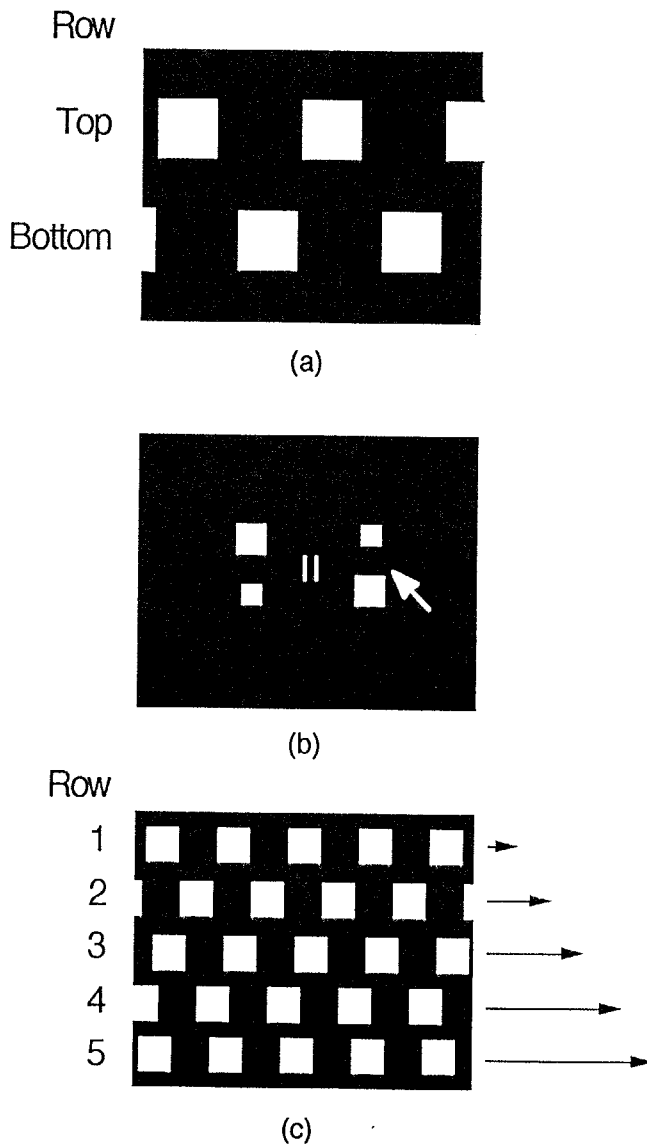


図3-2
 (a) 実験3の刺激図
 (b) 実験3の応答用画面
 (c) 実験4の刺激の一例
 (横運動, 5列)

である。各刺激列のとなりあう四角形の中心の間隔は 5.28deg 、上下の刺激列の中心の間隔は 4.23deg である。比較刺激の速度 (V_c) は 2.8deg/sec で一定であり、テスト刺激の速度 (V_t) は、 $2.8, 7.0, 13.9, 26.3\text{deg/sec}$ のいずれかである。この4種の速度は、ディスプレイの1フレーム (15msec) に刺激が移動する、スクリーン上のドット数で表すと、それぞれ $2, 5, 10, 20$ である。実験で用いた刺激条件は合計8種 ($4(\text{テスト速度}) \times 2(\text{上下})$) である。

四角形と背景の輝度は、それぞれ $22.5, 0.07\text{ cd/m}^2$ である。また実験ブースは薄暗い。被験者の頭部は、あご台とヘッドレストによって眼の高さがディスプレイの中央の高さと等しくなるように固定されている。

(実験手順)

大きさ応答の実験で、被験者は比較刺激とテスト刺激の知覚的大きさを極限法によりマッチングする。まず図3-2(a)に示す刺激が3秒間呈示される。続いて白色のマスクが 0.8 秒間呈示される。輝度は 22.5cd/m^2 である。これは被験者が刺激の残像によって大きさを判断してしまうのを防ぐためである。この後図3-1(b)の応答用画面が呈示される。ここで被験者は、上下の刺激列中の四角形の大きさの違いを応答をする。選択は” 上が大きい”、” 下が大きい”、” 上下等しい” の3種のいずれかである。この応答によって、次に呈示される比較刺激の大きさが 0.04deg ステップずつ変化する。1トライアルは、上下の四角形の大きさが明らかに異なる点から始まり、被験者の応答が” 上 (下) が大きい” から” 下 (上) が大きい” に変化した時点で終了する。” 上下が等しい” の応答の場合も含め、比較刺激の変化の方向は1トライアル中では変わらない。そして最も近い、” 上 (下) が大きい” と” 下 (上) が大きい” 応答時における比較刺激の物理的大きさの平均値を知覚的大きさの等しい点 (PSE: point of subjective equality) とした。

各被験者は32トライアル ($4(\text{テスト刺激速度}) \times 2(\text{テスト上段・下段}) \times 2(\text{上昇系列・下降系列}) \times 2(\text{繰り返し})$) を両眼、単眼観察で行った。両眼、

単眼条件はそれぞれ異なるセッションで行った。刺激の呈示順はランダムであり、両眼と単眼のセッションの順番は被験者間でバランスをとった。

奥行き応答の実験では、被験者は大きさの実験と同様の刺激を観察し、上下の刺激列の、奥行きの違いを応答する。選択は、“上段が近い” “下段が近い” “奥行きが知覚されない” の3種である。この実験は、四角形刺激の物理的大きさを常に一定（視角2.12deg）にして行った。各被験者は、64トライアル（4（テスト刺激速度）×2（テスト上段・下段）×8（繰り返し））を両眼、単眼観察条件でそれぞれ行った。この実験は、大きさ応答の実験とは異なるセッションで行われた。刺激の呈示順はランダムであり、両眼、単眼条件の順番は被験者間でバランスをとった。

（被験者）

6人の男性が被験者として実験に参加した。著者であるHK以外は実験の目的を知らないナイーブな被験者である。

<実験 b>

（刺激、実験装置）

刺激呈示装置、刺激の形状、輝度は実験 a と同様である。異なるのは刺激の速度の組み合わせである。実験 b で用いた刺激条件は、全部で28種 {14（速度の組み合わせ；（比較刺激の速度(V_c , deg/sec)：テスト刺激の速度(V_t , deg/sec)) = (0 : 0, 2.8, 8.4, 13.9, 26.3), (2.8 : 2.8, 8.4, 13.9, 26.3), (8.4 : 8.4, 13.9, 26.3), (13.9 : 13.9, 26.3)) × 2（テスト上段・下段）} である。運動の方向は、各コンディション中左右同数含まれる。

（実験手順）

この実験では、被験者は調整法による大きさマッチングを行った。まず実験

aと同様に刺激が3秒間呈示される。そして0.8秒の白色マスクの後、応答用画面が呈示される。ここで被験者が可能な応答は、“上が非常に大きい”、“上が大きい”、“下が非常に大きい”、“下が大きい”の四種である。この応答に従って、次に呈示される比較刺激の大きさが、0.04degあるいは0.12degステップで、変化する。被験者は、上下段の四角形の知覚的大きさの違いが最小になった時点で終了の応答をするが、このとき“上がわずかに大きい”“下がわずかに大きい”“上下まったく等しい”の3種の選択が可能である。これによって0.02deg単位で、大きさの等しい点（PSE）を求めた。

実験はすべて単眼視で行った。合計112トライアル（28（速度の組み合わせ）×4（繰り返し））の実験を、2～3セッションに分けて行った。また刺激の呈示順はランダムである。

（被験者）

3人の被験者（KT, MU, HK）が実験に参加した。KTとHKは実験aも行った。またKTとMUは実験も目的を知らないナイーブな被験者である。

3.2.2 実験結果

<実験 a>

全ての被験者の結果は、同様の傾向であったので、6人のデータを平均した。両眼、単眼のそれぞれの条件における、大きさマッチングの結果を図3-3(a), (b)にそれぞれ示す。黒ひし形シンボルはテスト刺激が上段の場合、白四角シンボルはテスト刺激が下段の場合の結果である。横軸はテスト刺激の速度である。縦軸は、上下段の四角形の知覚的大きさが等しくなった時（PSE）の、比較刺激の物理的な大きさのテスト刺激の物理的な大きさに対する比である。また誤差棒はSDである。この結果より2つのことが明かである。第一に、テスト

刺激の速度が大きくなるに従って、比較刺激に対する相対的な見かけの大きさが小さくなる。これはグラフの傾きに対応するが、単眼の場合の方が両眼の時より効果が大きい。第二に上段の刺激は下段に比べて相対的に大きい。これは、各グラフにおける、シンボルの異なるデータの上下のずれに対応する。この効果も、両眼の場合より単眼の方が大きい。またこれらの傾向は被験者個別のデータでも見られた。

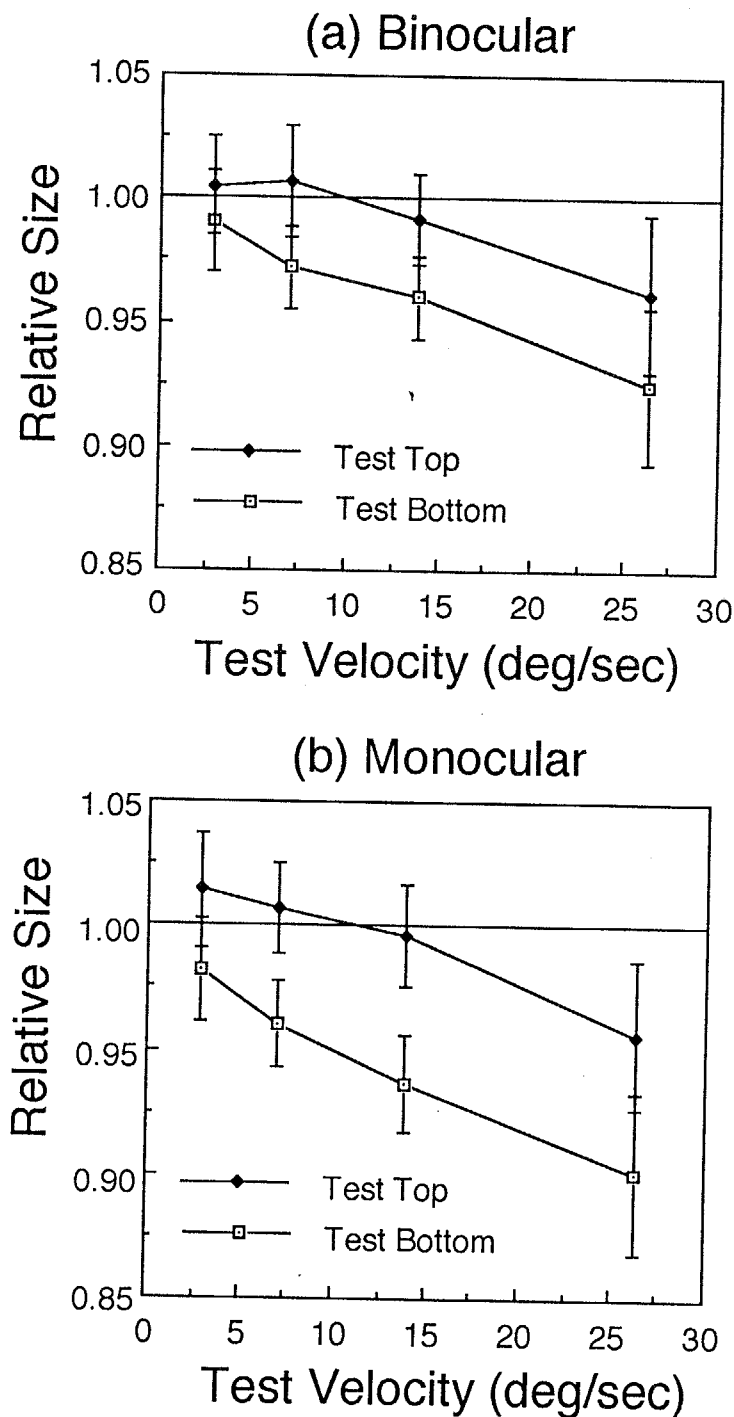


図 3-3
実験 3a の大きさ
応答の結果
(a) 両眼条件
(b) 単眼条件

表3-1(a), (b)に両眼、単眼観察における奥行きの応答の結果をそれぞれ示す。また、図3-4(a), (b)に、このデータをグラフ化したものを示す。これは6人の被験者の合計の値である。この表では、各コンディションにおいて、先に述べた3通りの応答（”上段が近い” ”下段が近い” ”奥行き感の差がない”）の割合を示した。この奥行き応答の中で、速度が速い段が近いと知覚される場合を”correct”、速度が遅い段を近いとした場合を”wrong”と定義する。これはBraunstein and Andersen (1981)の研究で用いられた定義である。

両眼、単眼の条件ともに、上下段が等速度の場合は、奥行きの違いが知覚されないという応答の割合が大きい。そして上下段の速度が異なると奥行きの違いが知覚される割合が大きくなる。しかし”correct”応答は必ずしも多くない。全体を通して”下段が近い”という応答の割合が多い。また多くの被験者は、「上下列の奥行きは分離しているが、方向は定かではない」と報告した。以上のような結果は、過去の研究（Gibson, Gibson, Smith and Flock 1959; Farber and McConkie 1979; Ono, Rogers, Ohmi and Ono 1988）と矛盾がない。

(a) Binocular

Velocity (deg/sec)	Top	2.8	7.0	13.9	26.3	2.8	2.8	2.8
	Bottom	2.8	2.8	2.8	2.8	7.0	13.9	26.3
Response(%) N=48	"Top Near"	6.3	6.3	14.6	4.2	8.3	29.2	25.0
	"Bottom Near"	25.0	70.8	68.8	83.3	79.2	62.5	50.0
	"No-Depth"	68.8	22.9	16.7	12.5	12.5	8.3	25.0

(b) Monocular

Velocity(deg/sec)	Top	2.8	7.0	13.9	26.3	2.8	2.8	2.8
	Bottom	2.8	2.8	2.8	2.8	7.0	13.9	26.3
Response(%) N=48	"Top Near"	12.5	37.5	43.8	12.5	25.0	35.4	33.3
	"Bottom Near"	35.4	60.4	45.8	70.8	75.0	50.0	50.0
	"No-Depth"	52.1	2.1	10.4	16.7	0.0	14.6	16.7

 "Correct" Response
 "Wrong" Response

表3-1
実験3aの奥行き応答の結果
(a) 両眼条件、(b) 単眼条件

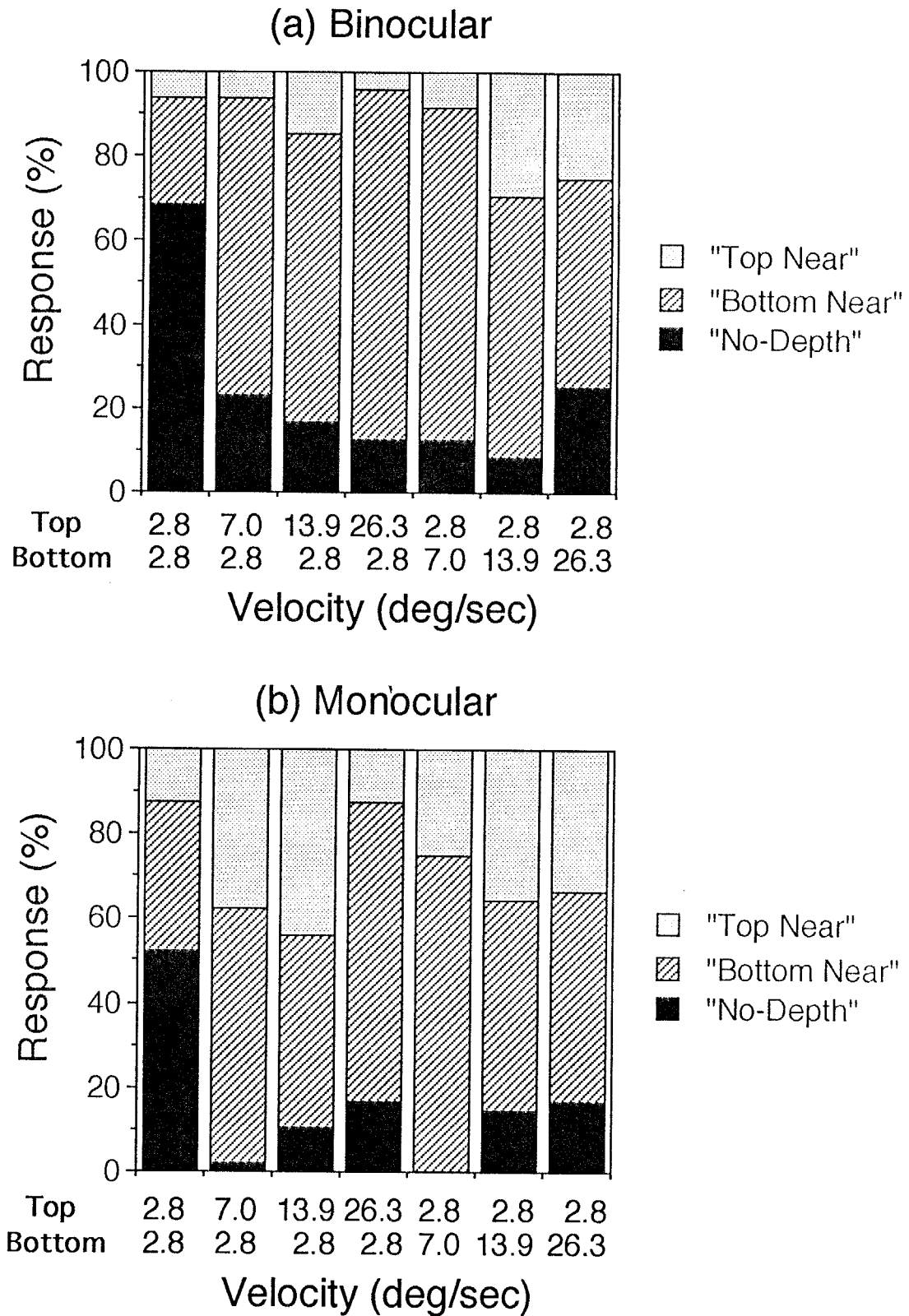


図 3 - 4
実験 3 a の奥行き応答の結果
(a) 両眼条件、(b) 単眼条件

<実験 b>

実験 b の大きさマッチングの被験者別の結果を図3-5, 6に示す。図3-5では横軸はテスト刺激の絶対速度 (V_t) である。図3-6では横軸はテスト刺激と比較刺激の相対速度 ($V_t - V_c$) となる。各グラフ中、白シンボルはテスト刺激が下段の場合、で黒シンボルはテスト刺激が上段の場合の結果であり、シンボルの形状の違いは比較刺激の速度 (V_c) に対応する。縦軸は、実験 a と同様、PSE における比較刺激の物理的な大きさのテスト刺激の物理的な大きさに対する比である。

この結果より、実験 a で見られた知覚的大きさの変化が、静止 (速度=0) を含む多くの比較刺激速度でも見られることが確認された。また横軸を絶対速度とした図3-5より、横軸を相対速度とした図3-6のデータ点がよりまとまっている。テスト刺激と比較刺激の知覚的大きさの比が、絶対的な速度が異なっても、相対速度が等しければ、変化が少ないことを示している。

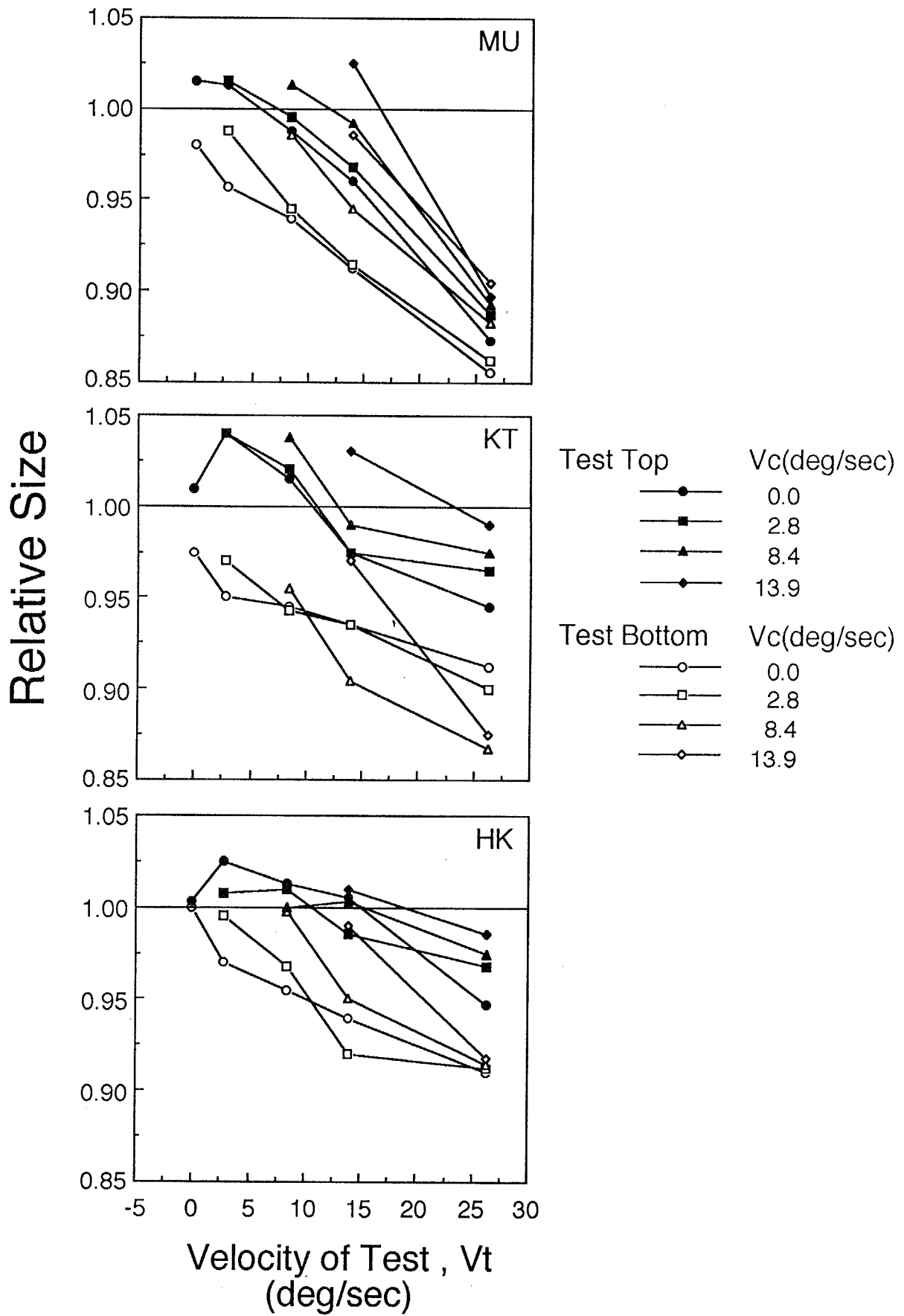


図 3-5
実験 3b の結果 (被験者 MU, KT, HK)
横軸はテスト刺激の速度 (V_t)

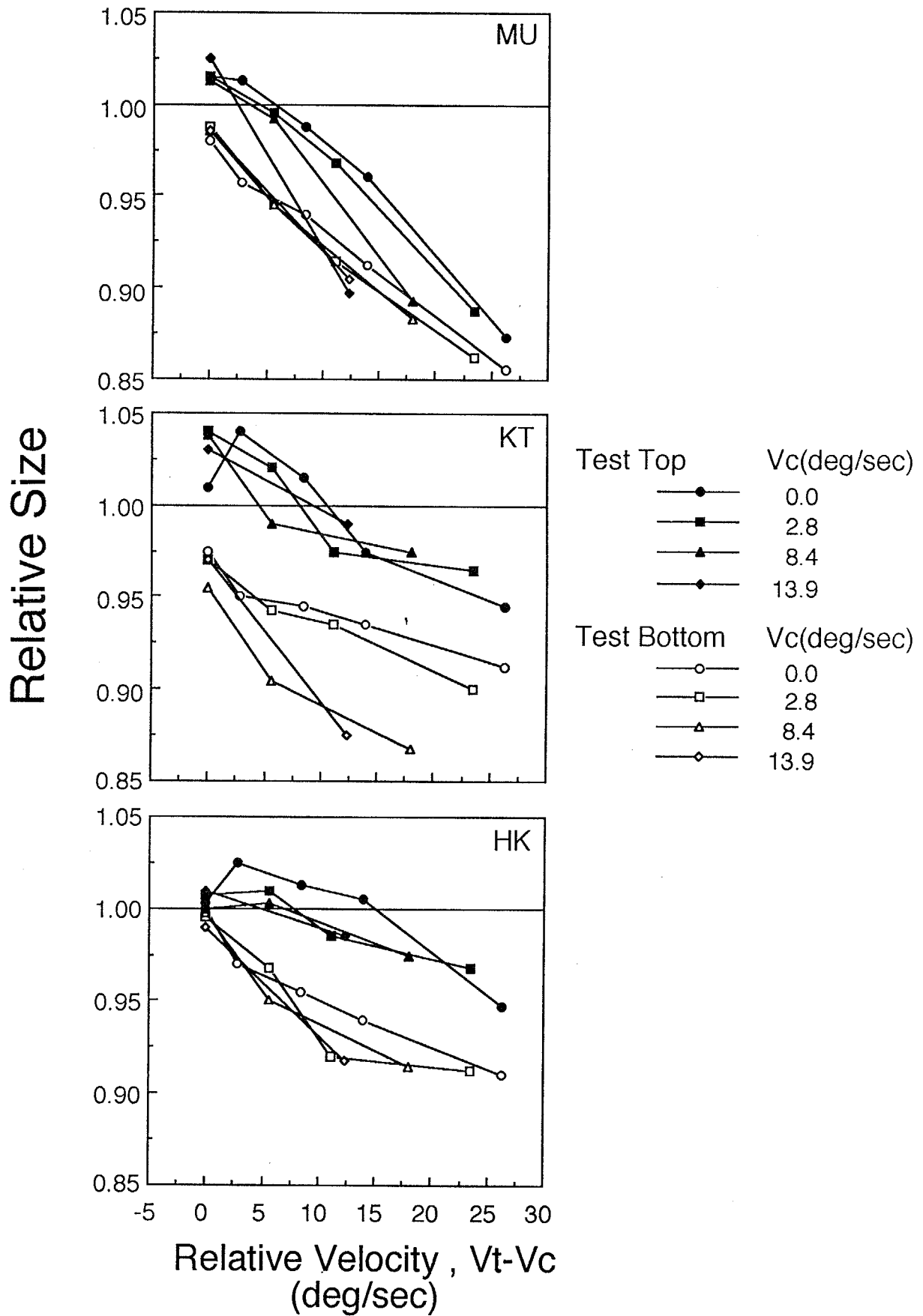


図 3-6
 実験 3b の結果 (被験者 MU, KT, HK)
 横軸はテスト刺激と比較刺激の相対速度 ($V_t - V_c$)

3.3 実験4 (速度勾配を持った刺激)

この実験では知覚的奥行きと知覚的大きさの関係をさらに詳しく調べる。そのため連続的な速度勾配を持った2~5段の刺激列を用い、長い提示時間(10.5 sec)、速い最高速度(13.9deg/sec)のもとで実験を行った。これらは Braunstein and Andersen(1981)が示した、頭の動き無しで奥行き感が安定して知覚される条件に近い。大きさを比較する刺激の速度は変えずに、刺激列数を変えることで異なる奥行き感を生み出せると考えた。この方法により、知覚的奥行きが知覚的大きさに与える影響を調べることができる。

3.3.1 実験方法

(刺激、実験装置)

刺激呈示装置、刺激の輝度及び被験者との位置関係は実験3と同様である。呈示刺激中で変数となるのは速度勾配の方向と刺激列の数である。それぞれ3種の条件があり、空間的条件は全部で9種類である。速度勾配の方向は、横方向に運動し上段から下段に向かって速度が速くなるもの(HTs;Horizontal Top Slow)、その逆で下段から上段に順に速くなるもの(HBs;Horizontal Bottom Slow)、縦方向に運動し、左から右あるいは右から左(これらは区別しない)に速度勾配を持つもの(V;Vertical)の3種であり、それぞれに対し刺激列の数が2, 3, 5列の3種がある。図3-2(c)に、一例として、HTs条件、5列の刺激を示す。各刺激の辺の長さは1.27degで一定である。各列中の四角形刺激の間隔は2.54deg。また刺激列の間隔は、列が5本の時1.70deg、3本の時が3.39deg、2本の場合は6.75degである。また各刺激列の速度は全ての場合で同方向であり、列の数が5本の時は遅い方から2.8, 5.6, 8.4, 11.2, 13.9 deg/sec、3本の場合は2.8, 8.4, 13.9 deg/sec、2本の場合は2.8, 13.9 deg/secであり、

速度に比はそれぞれ1:2:3:4:5、1:3:5、1:5になる。上下あるいは左右両端の刺激列の位置と速度は、刺激条件によらず一定である。一つの運動条件の中に、横運動の場合は右向きと左向きの2種が、縦運動の場合は運動方向（上向き・下向き）と速度勾配（右から左・左から右）の組み合わせにより4種がある。それらの違いは、結果の整理の段階では区別されない。

（実験手順）

被験者は、刺激画面の両極端の2刺激列中の四角形（縦運動なら左右端列、横運動なら上下端列の四角形）の大きさの比と画面全体の奥行き構造を応答する。一つのトライアルでは、まず刺激が10.5秒、続いて白色マスクが0.8秒呈示される。次に大きさ応答用の画面が呈示される。その中には、横または縦に並んだ二つの静止した四角形が描かれている。どちらか一方の四角形は被験者のコントロールによって大きさが可変である。これによって被験者は、運動刺激中の四角形の知覚的大きさの比を表現する。大きさ応答用画面に続いて、奥行き応答用画面が呈示される。ここには、呈示刺激に対して知覚され得る三次元構造のパターンが描かれている。被験者は一つのパターンを選択することにより知覚的奥行き配置を応答する。

実験はすべて単眼視で行われた。各被験者は、合計114トライアル（9（刺激条件）×16（繰り返し））の実験を2セッションに分けて行った。刺激の呈示順はランダムである。

（被験者）

6人の男性（KT, MU, TY, HM, MS, HS）が、被験者として実験に参加した。KT及びMUは実験3も行った。全ての被験者は、実験の目的に関してナイーブである。

3.3.2 実験結果

奥行き感の応答は、以下の4つのカテゴリーに分類した。第一に奥行きが知覚されない場合 ("No Depth")。第二にスピードの速い列から遅い列に順番に、近くから遠くへ知覚される場合 ("Correct") で第三はこの逆に遅い列から順に近くから遠くへ知覚される場合 ("Wrong") である。例えば、刺激列が5列で、速度が上段から下段に向かって速くなっている刺激 (HTs: 図3-2(c)) に対して、被験者が "床面" の上に四角形が配置されているような知覚を持った場合は "Correct" であり、 "天井" から釣り下がっているという知覚であれば、 "Wrong" である。第四番目は、奥行き感はあるが列の速度の順ではない、あるいは知覚が安定しない場合 ("Random") である。5列の刺激の場合、4段以上がなめらかな奥行きを持っていれば "Correct" または "Wrong" に分類した。

図3-7, 8, 9に被験者別の大きさ応答の結果を示す。それぞれ、縦運動 (Vertical)、横運動で上段が遅い (HTs: Horizontal Top slow)、横運動で下段が遅い (HBs: horizontal Bottom slow) 条件に対応する。横軸は刺激列の数を表す。縦軸は、応答画面によって得られた、両端列中の四角刺激の相対的な見かけの大きさであるが、速度の遅い刺激の値に対する速い刺激の値の割合である ($S'f/S's$: (Perceived Size of fast square)/(Perceived Size of slow square))。またシンボルの違いは奥行き応答の違いであり、各シンボルの近傍に書かれた数字は、一つの条件16トライアル中にその奥行き応答があった回数である。このグラフは、特定の奥行き応答をした場合の、大きさ応答 ($S'f/S's$) の値の平均をプロットしたものである。また煩雑さを避けるため2回以下の奥行き応答に対応するデータ点はプロットしなかった。また $S'f/S's$ が統計的に1.0と有意差がある場合はデータ点の近傍に* (5%水準) または** (1%水準) の印をつけた。

縦運動の結果 (図3-7) では、刺激列の数が多くなるにつれて奥行きの "Correct" 応答が増える被験者が多い。また全被験者のすべてのデータ点が1.0

以下であることより、彼らが奥行きの応答が"Correct"である場合に限らず、常に速い刺激が遅い刺激より相対的に小さいと知覚していることがわかる。また被験者MUとTYの結果は、刺激列の数が増加するとともに、大きさ変化が大きくなっている。

横運動で刺激速度が上段から下段に向かって速くなる場合 (HTs) の結果 (図3-8) は、ほとんどの奥行き応答が"Correct"であった。また $S'f/S's$ の値も全て1.0以下であり、これまでの実験結果と一致している。また被験者によって、刺激列の数が増えるにつれて $S'f/S's$ の値が小さくなる傾向が見られた。これは被験者TY, MUで顕著であった。この結果は、本実験で用いた奥行き応答では区別がつかないが、刺激列の数が増えるにつれて大きさを比較した上下端の列の奥行きの差が増し、それによって知覚的大きさの差も増大したという説明が可能である。

横運動で下段から上段に向かって速度が増す場合 (HBs) の結果 (図3-9) は、上の2つとはかなり異なったものであった。被験者KT, MU, HSは、すべての条件で $S'f/S's$ の値が1.00以下であった。それはほとんどの場合で統計的にも有意であった。また被験者MUでは、刺激列の数が増えるにつれて $S'f/S's$ の値が減少する傾向も見られる。奥行きの応答は、HTsの条件に比べると"Correct"応答が減っている。これに対し被験者TY, MS, HMでは、 $S'f/S's$ の値が1.00より大きいデータが見られる。HMの二つのデータは統計的にも有意である。また刺激列の増加にともなって $S'f/S's$ が増加する傾向が見られた。この大きさ応答は、奥行きと大きさの幾何学的関係 (SDIH) によれば、"Wrong"の奥行き応答に対応するものである。被験者HMの2.5列、MSの2列の条件では、この"Wrong"応答が見られた。

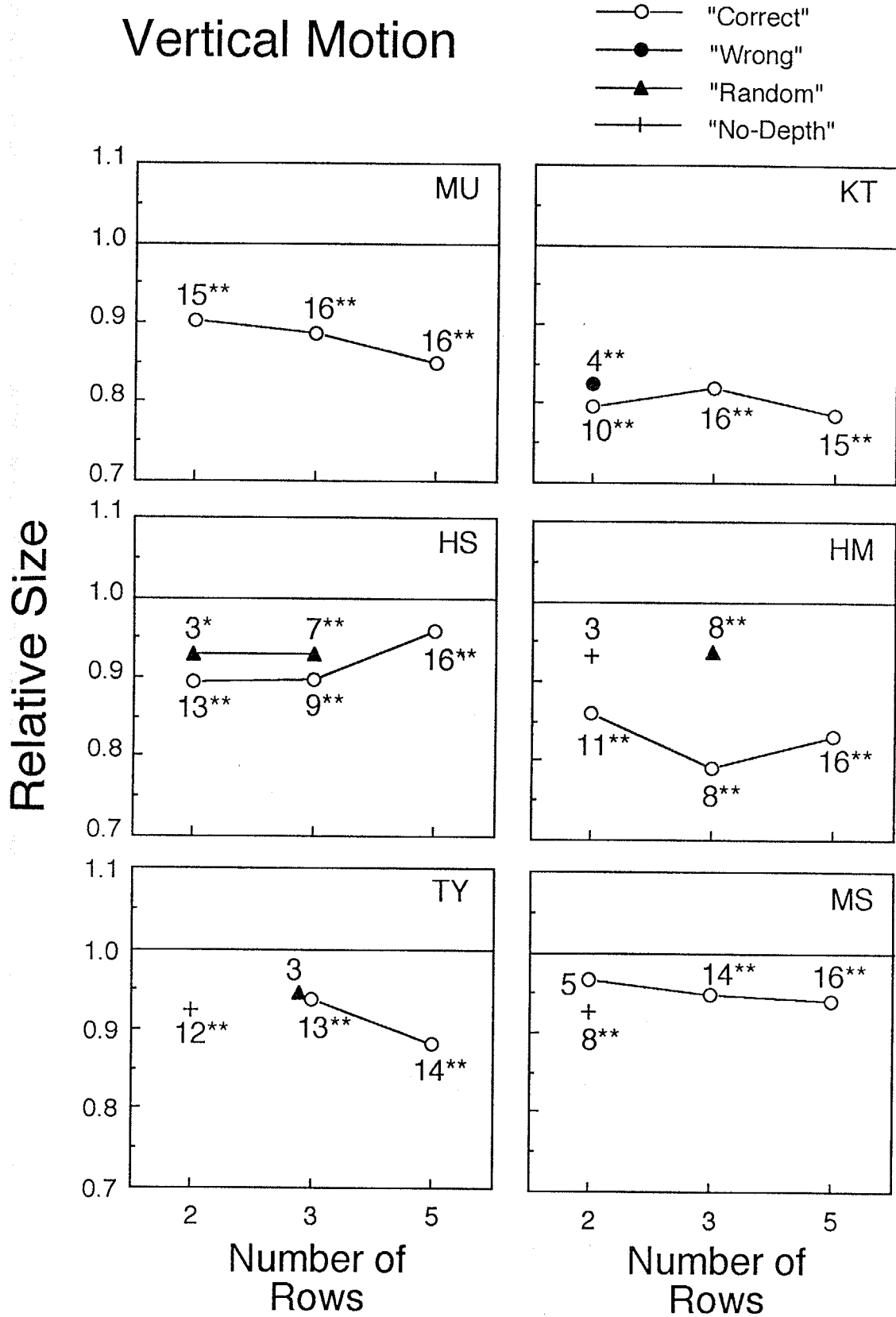


図 3-7
実験 4 の結果
縦運動刺激 (V)

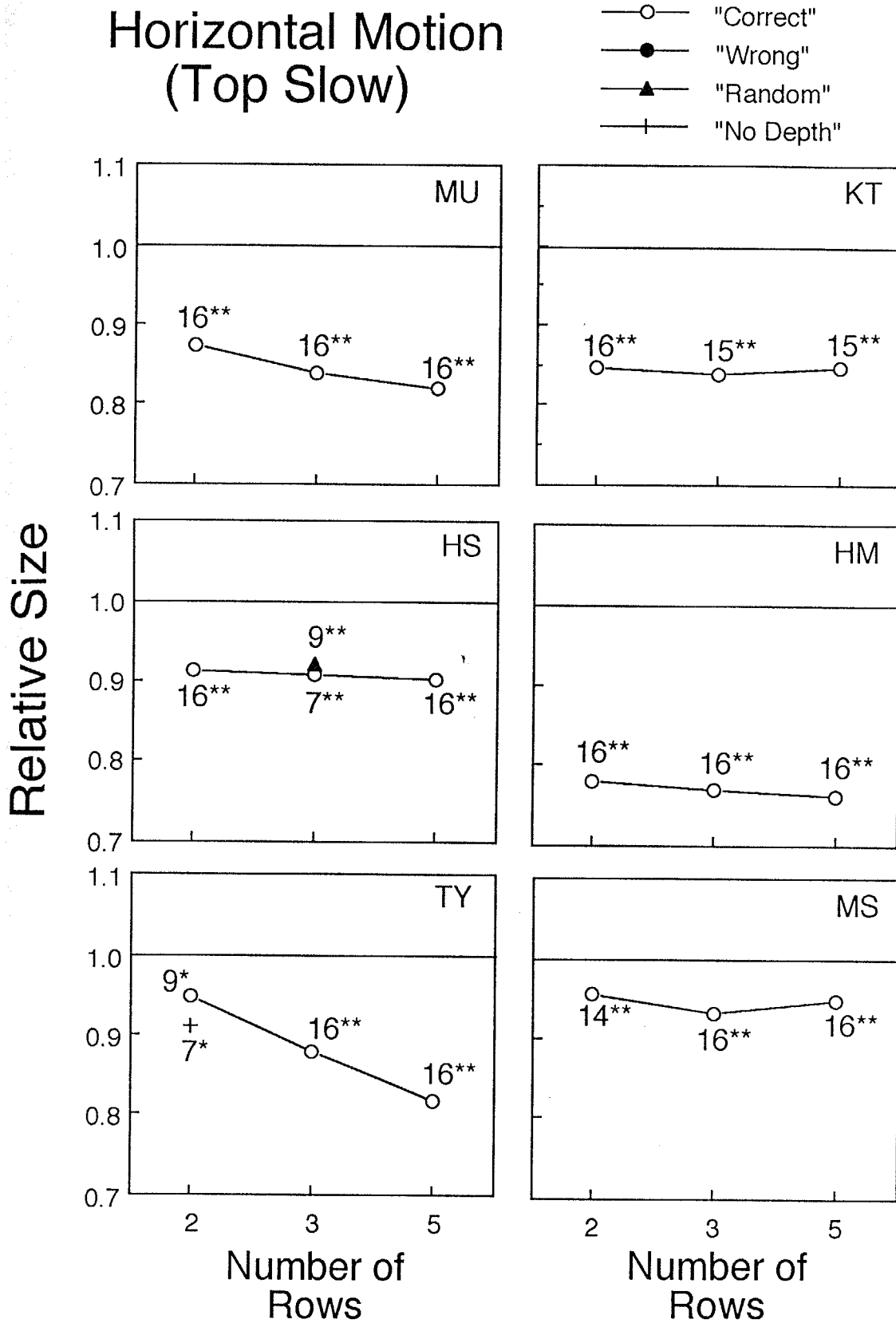


図3-8
実験4の結果
横運動で上段が遅い刺激 (HTs)

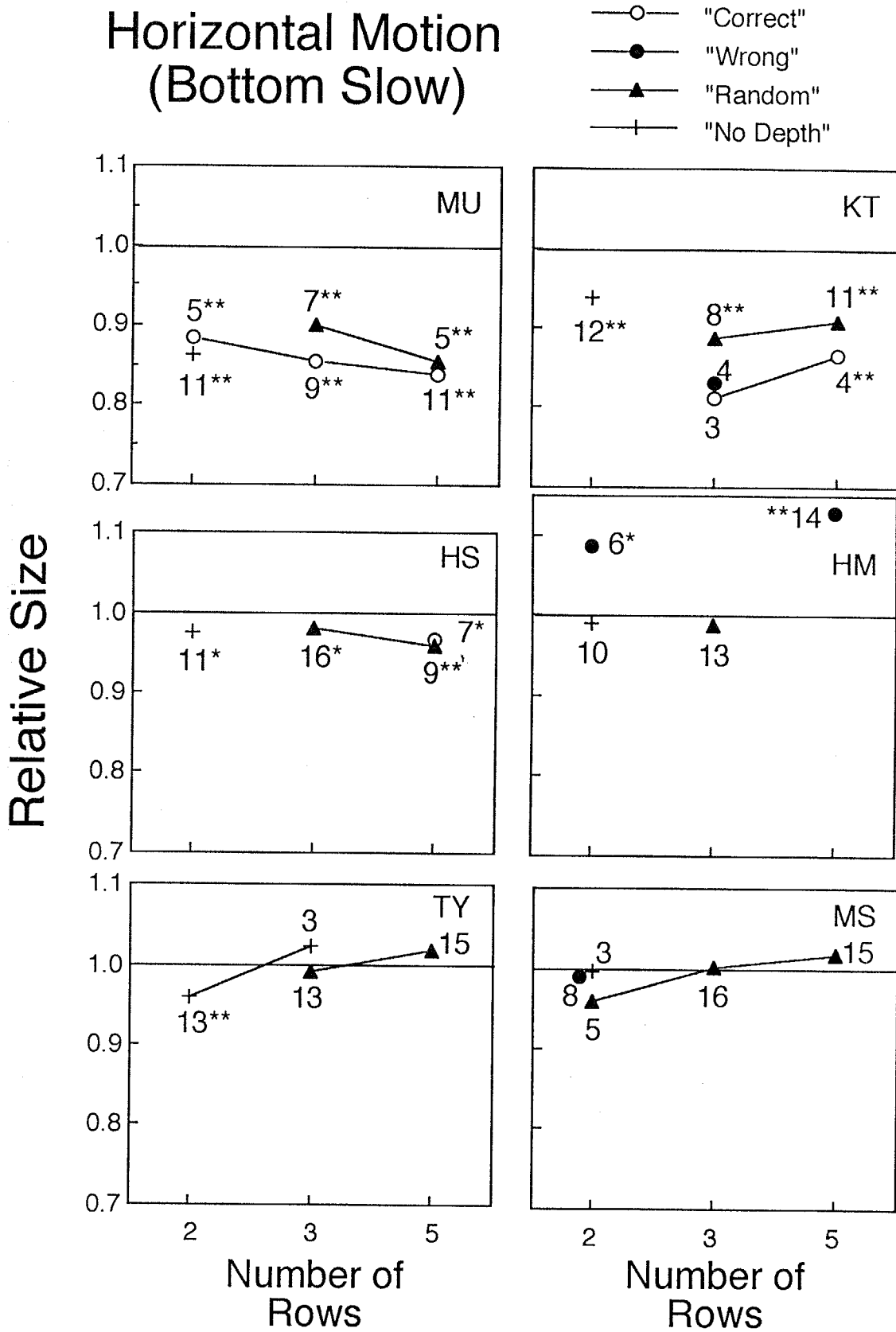


図 3-9
実験 4 の結果
横運動で下段が遅い刺激 (HBs)

3.4 考察

本実験の結果は、運動する対象の知覚の大きさが、物理的な視角だけでなく速度にも影響を受けていることを示している。より速い速度を持つ対象の大きさは、遅い対象より相対的に小さく知覚される。この速度による大きさ変化は、非常に安定しており、被験者、応答方法によらず見られた。

大きさ変化の方向は、冒頭で述べたような論理で説明できる。まず、刺激対象中の速度の違いが奥行き手がかりとなり、速い対象が近距離に知覚される。次に、序論で述べた大きさと距離（奥行き）の関係により、視角が一定なら近い対象が小さいと知覚される。しかし、知覚的奥行きに関する被験者の応答は、必ずしもこの論理に従っていなかった。実験3aでは、大きさの応答は、常に上の論理から予想される方向に変化したが、奥行き応答は必ずしも"Correct"応答、すなわち速い対象が近いという知覚を示すものではなかった。この場合の奥行き応答は、上下の配置による影響が強いと思われた。また、実験4の、縦運動の条件でも、大きさ応答は上の理論と矛盾がないが、奥行き応答を伴わない場合が見られた。序論で述べた大きさ距離不変仮説(SDIH)はここでは成り立っていない。これらの結果は、実験1、2で得られたものと似ている。

しかし今回の実験では、知覚の大きさが知覚的奥行きに影響されていると思われるデータも見られた。第一は、実験4で行われた、横運動で上段が遅い条件(HTs)の結果(図3-8)である。被験者MU及びTYで顕著であるが、刺激列の数が増加するにつれて知覚の大きさの変化も増している。これは、知覚の大きさが、単に刺激の速度と一対一の対応関係を持っているのではないことを示している。そこで考えられる説明が奥行き感の変化によるものである。今回用いた奥行き応答には示されていないが、多くの被験者は、HTsの5列の刺激に対して、2列または3列の刺激に比べより明確な奥行きが知覚されると報告している。第二の例は、実験4、横運動で下段が遅い条件(HBs)の被験者HM, TY, MSの結果(図3-9)である。これらの場合は、これまで常に観察されてきた知覚

的大きさと速度の関係がもはや見られない。速い刺激が必ずしも小さく知覚されていない。しかし同時に奥行きの"Correct"応答もまったく見られなくなっている。代わりに"Wrong"または"Random"応答が増加している。速度が速い刺激が相対的に大きいという大きさ応答と、"Wrong"奥行き応答は、SDIHの関係と合致している。この場合も知覚的大きさが知覚的奥行きに影響されていると考えるのが自然ではないだろうか。

3.5 まとめ

これらの実験結果より、(1) 速度の異なる対象の知覚的大きさは、それらの視角の大きさだけで決まるものではないことが明らかになった。刺激列が2列の場合は、常に速い刺激が遅い刺激に比べて相対的に小さく知覚された。

(2) 知覚的大きさの変化と奥行き感の関係は、単純なものではなかった。奥行き感が強くない2列の条件では、速い刺激が相対的に小さく知覚された。この変化の方向は、大きさの恒常性と合致する。しかし、知覚的奥行きの応答は、必ずしもその大きさ応答から予想されるものではなかった。一方、刺激中に速度勾配を与え、強い奥行き感を与えた場合は、知覚的大きさが知覚的奥行きに影響を受けていると思われるケースがあった。

知覚される奥行きと知覚される大きさの変化の方向の不一致が今回の実験でも見られた。すなわち、視角が等しい対象の場合、大きさが小さく知覚されている対象が必ずしも近いと知覚されていない。この結果はSDIHに反するものであり、実験1の結果を支持するものである。しかし一方で、SDIHに合致するような応答、すなわち知覚的大きさと知覚的奥行きが相互関係を持っていると考えられるものも見られた。

第4章 二種類の知覚の大きさ

4.1 実物の大きさと見えの視角

第2、3章の実験より、知覚の大きさと知覚的距離、奥行きは、序論で述べたようなシンプルな関係 ($SDIH:S' = k\theta D'$) では書き表せないことが示唆された。しかし実験4のように、知覚の大きさと知覚的奥行きが互いに関係しあうと思われる場合も観察された。このような複雑さを引き起こす原因は、“知覚の大きさ”のあいまいさであると考えられる。

知覚の大きさの応答は、被験者に与えるインストラクションによって影響を受けることが知られている (Rapoport 1967; Leibowitz and Harvey 1967, 1969; Epstein 1963; Biersdorf, Ohwaki and Kozil 1963; Komoda and Ono 1974; Ono, Muter and Mitson 1974; Higashiyama, Ishikawa and Tanaka 1990; Epstein and Broota 1975)。インストラクションは、対象の実際の大きさ (objective size, linear size) と見かけの大きさ (apparent size, angular size, analytic, phenomenal) に対応する二種を用いる場合が多いが、さらに細かく分類する場合もある。このような研究は、“大きさ”というものが単一の概念ではないということを示すものであろう。

“対象の大きさ”という場合、それには少なくとも二種の解釈がある。一つはそのものの持つ“実物の大きさ”であり、もう一つは“見かけの大きさ”である。この二種の知覚の大きさは日常的にも無意識に区別されていると思われる。例えば、観察者から異なる距離に立つ、身長の違いを人間を観察した場合について考えてみよう。図4-1(a)に示すように、身長1.8mの男性が10mの距離に、身長1.6mの女性が5mの距離に立っているとする。視角はそれぞれ10.2degと17.7degである。このとき観察者は男性の実際の身長は女性の実際の身長よりも大きいという応答 (図4-1(b)) ができる一方、男性の見かけの大きさは女性

の見かけの大きさよりも小さいという応答（図4-1(c)）も可能であろう。前者が”実物の大きさ”の応答であり、後者が”見かけの大きさ”の応答である。

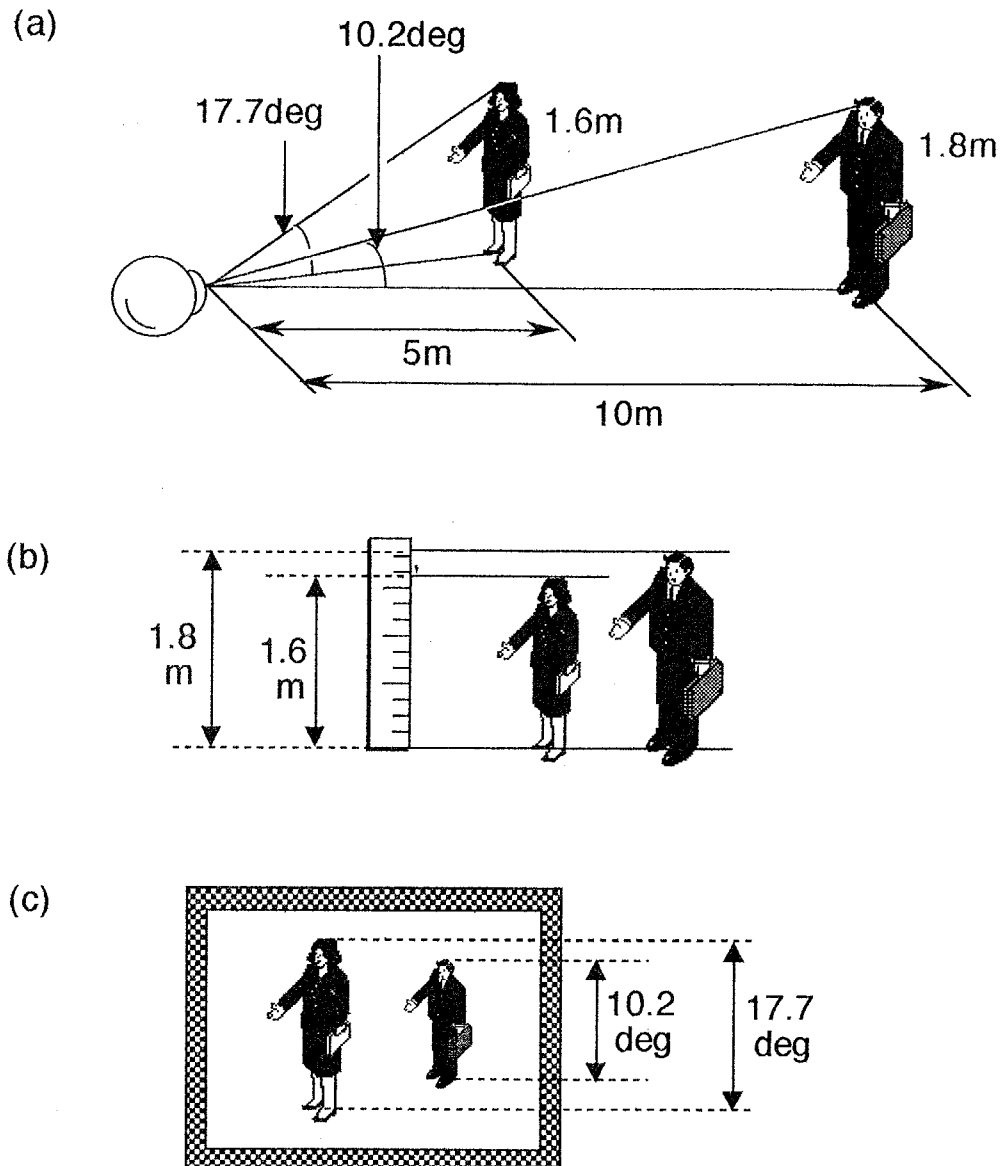


図4-1

”実物の大きさ”と”見えの視角”

(a) 物理的關係, (b) ”実物の大きさ”に対する感覚

(c) ”見えの視角”に対する感覚

McCready (1985)は、網膜上の実際の広がりである物理的な視角 (visual angle) と見えの視角 (perceived visual angle) は異なるものであり、区別すべきだとしている。私は、彼の言う”見えの視角”と、実験的な研究でよく用いされてきた”見えの大きさ”は同一のものであると考える。そこで本研究では、大きさを表す二つの言葉として”実物の大きさ (objective size)” ”見えの視角” (perceived visual angle) を用いることにする。

見えの視角が物理的な視角に対応したものであれば、実験1～4で見られた知覚の大きさと知覚的距離の不一致の理由を他に求めなければならない。しかし私は、McCready (1985)と同様、見えの視角は物理的視角とは異なると考える。見えの視角と実物の大きさに対する知覚がそれぞれ別々に、同時に存在するが、被験者が知覚の大きさという判断基準で応答をするとき、そのいずれで答える場合も有り得るため、先のような矛盾が生じるのではないだろうか。

4.2 実験5 (両眼視差と二種類の大きさ知覚)

”大きさ”が二つあるいはそれ以上の感覚に分けられることは、前節で述べたように過去の研究でも示唆されている。しかし、それらの多くは単に現象を記述しているにすぎず、人間の視覚系が外界を知覚するために使っている両眼視差、輻輳といった個々の手がかりとそれらの大きさの知覚との関係を定量的に扱ったものは少ない。これはインストラクションの違いによる知覚の大きさの研究において通常用いられる大きさ応答が、継時的な比較や口頭による評価であるため、先に上げた手がかりによって生じる二種類の知覚の大きさの小さな差異を検出することが難しいことも理由の一つであろう。しかしこの二種類の知覚の大きさが存在するなら、両眼視差によって生じたわずかな奥行きによっても、それらの間に違いが生じるはずである。知覚の大きさが二種に分けられるならば、それらを決定している要因が何であるか調べることは、視空間内

の物体の大きさ知覚決定のメカニズムを考える上で重要であろう。二種の知覚的大きさは、それぞれ異なる要因によって別々に決まっているのか、または単に一つの知覚を別の基準で答えている結果なのか、ということも問題である。また見えの視角、実際の大きさ及び知覚的距離（奥行き）の三者の相互関係も明かではない。

そこで本研究では両眼視差を変数とし、二種類の知覚的大きさとの関係を定量的に調べることを目的とする。実験では、さまざまな距離に呈示されたテスト刺激の大きさを、一定の距離にある比較刺激の実際の大きさを変えてマッチングすることにより調べる。実験の概略図を図4-2に示す。

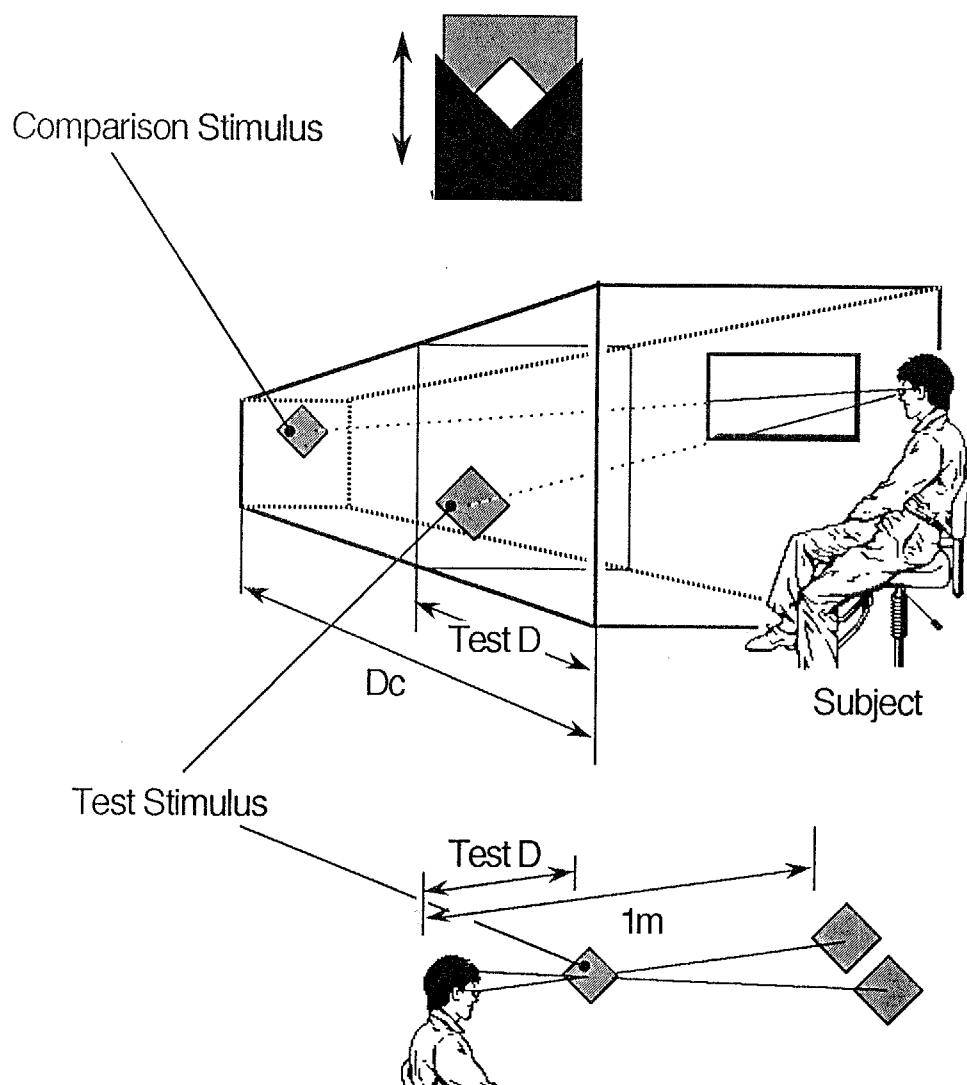


図4-2
実験概略図（テスト刺激と比較刺激）

知覚的大きさの判断基準は、“実物の大きさ” “見えの視角” の二種である。またテスト刺激と比較刺激は同時に、同一視野内に呈示される。テスト刺激は、両眼視差または輻輳の手がかりのみをコントロールされる。このため、刺激はステレオスコープにより呈示される。以上のような方法により、二つの判断基準の違いによるわずかな知覚的大きさの差異が定量的に調べられると考えた。

4.2.1 実験方法

(実験装置)

装置としては三つの光路からなるステレオスコープを用いた(図4-3)。これらの光路は2枚のハーフミラーによって、光学的に重ね合わされている。

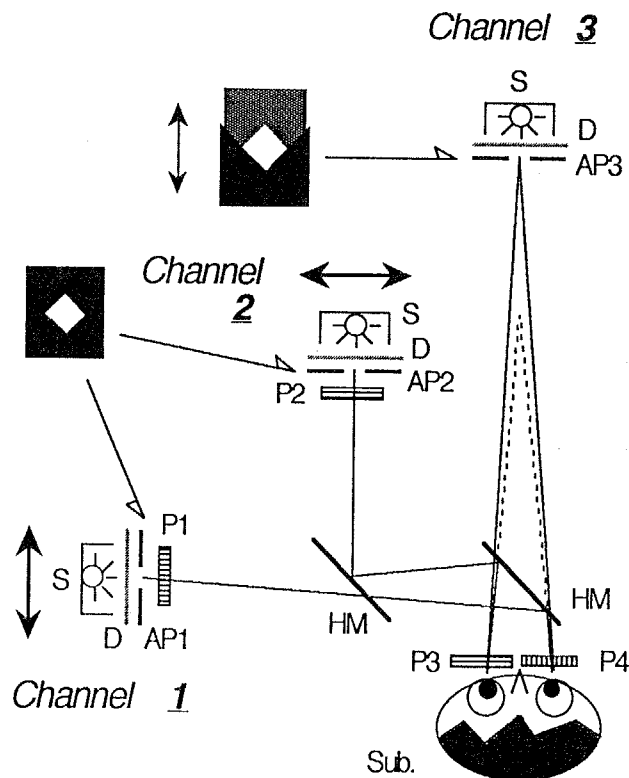


図4-3
実験装置図
S; 蛍光灯, D; 拡散板,
AP; アパーチャー,
P; 偏光板
HM; ハーフミラー

光路1及び2には、被験者の視軸に対して直角方向に移動する、刺激呈示ボックスがある。この中の4wの蛍光灯が側面にあるひし形のアパーチャーAP1, AP2を裏面より照射する。刺激の大きさはアパーチャーを交換することにより、変えることができる。また刺激呈示ボックスの前と被験者の左右の眼前に偏光板P1, P2とP3, P4が配置されて、光路1の刺激は右眼に、光路2の刺激は左眼に選択的に呈示される。被験者はこれらを融合し奥行きのある一つの刺激として観察する。この刺激をテスト刺激と呼ぶ。光路1, 2の刺激の位置はパルスモーターとマイクロコンピュータによりコントロールされ、任意の幅縁を定めることができる。テスト刺激の観察距離は1mである。

光路3の刺激も、光路1, 2と同様にひし形であり、アパーチャーAP3を背後から蛍光灯により照射することにより作られる。この刺激を比較刺激と呼ぶ。比較刺激は両眼で観察される。このアパーチャーAP3は、DCモーターにより逆方向に動く2枚のV字型のアパーチャーから作られている。被験者はスイッチによって、形状と中心位置を変えずに刺激の大きさを変えられる。比較刺激の観察距離は1.1～3.0 m の範囲で三種類用いた。。

比較刺激とテスト刺激は同時に上下方向に並んで観察される。各刺激の輝度は約 0.1 cd/m^2 である。ここでは、刺激の輝度を低くし、偏光板による左右眼への選択的刺激呈示を完全にし、また刺激の周囲が見えないように特に注意した。低輝度のために立体視が劣化するようなことは観察されなかった。さらに刺激の周囲が見えてくることを防ぐために、被験者は明順応用のライトを刺激観察の合間に見るようにした。被験者の頭部位置は、あご台及びヘッドレストにより固定した。

(実験条件)

実験は刺激を両眼で観察する両眼条件と、刺激を単眼で観察し、両眼視差の手がかりが得られない単眼条件とからなる。

テスト刺激のひし形の一辺の長さ (St; size of test stimuli) は、20, 28,

36mmの3種であり、両眼条件の場合左右の眼に入力される刺激は同一の大きさである。これらの刺激から被験者の眼までの距離 (Dt: distance of test stimuli) は 1m であるので、その視角 (θ t: visual angle (θ) of test stimuli) はそれぞれ 1.15, 1.60, 2.06 deg である。

比較刺激のひし形の一辺の長さ (Sc: Size of comparison stimuli) は、先に述べたように可変であり、変化の範囲は 7 ~ 148 mm である。また被験者との距離 (Dc: distance of comparison stimuli) は、1.1, 2.0, 3.0 m の3種とした。

両眼条件の場合、テスト刺激と比較刺激の間の両眼視差 (Disparity = $V_t - V_c$; V_t : vergence angle of test stimuli, V_c : vergence angle of comparison stimuli) は、+2.0, +1.0, +0.5, 0.0, -0.5, -1.0, -2.0 deg の七種である。+符号は、テスト刺激が比較刺激に対して理論的に近距離 (交差視差) の場合、-符号は遠距離 (非交差視差) の場合である。またこれらの刺激の両眼視差 0.0 deg は、比較刺激に対しテスト刺激が等距離であると”知覚”される場合であると定義した。この”等距離”位置を基準として他の六種の両眼視差を作り出すように、二つのテスト刺激の位置を左右に移動する。単眼条件の場合は、両眼で観察したとき両眼視差が +2.0, 0.0, -2.0 deg となる刺激を左眼のみで観察した。

テスト刺激と比較刺激は同時に呈示されるが、両眼条件の場合、これらは被験者から見て上下に並んで位置している。比較刺激の中心が被験者の眼の高さと同じであり、テスト刺激はその中心が比較刺激の下方 4 deg の方向になるように呈示される。このような上下の配置を用いたのは、被験者がこれらの像を観察するとき、二つの刺激の融合を解き、単眼像同士で大きさを比べることを不可能にするためである。人間の左右の眼は、横方向には互いに反対の方向に動くことができるが、縦方向の運動は常に同方向である。このため左右に並んだ刺激の場合は、意識的に通常と異なる左右像の対応をとることができるが、上下に並んだ刺激では不可能である。単眼条件の場合の刺激の位置関係は、両

眼で観察したときに両眼視差が $+2.0$ deg となる刺激では比較刺激に対してテスト刺激が右方に、 0.0 deg の場合は真下に -2.0 deg の場合は左方にずれている。

(実験手順)

実験では、まず両眼視差 0.0 deg の位置を決める。左右のテスト刺激を動かすパルスモーターの動作性能が1パルスあたり 0.4 mm であるので、この単位でテスト刺激は動く。被験者はテスト刺激が比較刺激の真下で等距離に知覚されるように、左右のテスト刺激の位置を調整した。この調整は実験の各セッション毎に行った。その後テスト刺激と比較刺激が同時に呈示される。被験者は呈示された両刺激の”実物の大きさ”または”見えの視角”(これらのインストラクションについては、後述する)を等しくするように、スイッチ操作によって比較刺激の実際の大きさを調整する。このとき眼球運動、及び観察時間は制限していない。また、被験者が比較刺激の大きさを調整している間は、この刺激の光は消えている。比較刺激の可変範囲内でマッチングができない場合は、被験者は比較刺激を最も大きく、または小さくした状態で観察し、外挿して口頭で応答する。また被験者は、トライアル間には刺激呈示窓の左方にある明順応用の光源を見る。

刺激条件の組み合わせは、両眼条件では63種 (3 (Dc; 比較刺激の距離) $\times 3$ (St; テスト刺激の実際の大きさ) $\times 7$ (Disparity; テスト刺激と比較刺激の間の両眼視差)) あり、単眼条件は27種 (3 (Dc) $\times 3$ (St) $\times 3$ (位置)) がある。それぞれの条件に対し二通りの大きさマッチングを行う。各被験者は各条件において四回の繰り返しを行った。両眼14応答 (1 (Dc) $\times 1$ (St) $\times 7$ (Disparity) $\times 2$ (応答)) と単眼6応答 (1 (Dc) $\times 1$ (St) $\times 3$ (位置) $\times 2$ (応答)) の合計20応答を1セットとし、この中で異なる刺激条件はランダムに呈示される。またSt の異なる3セットを1セッションとし、続けて実験を行った。St の順番はランダムである。各被験者は、Dcとインストラクションの異なるものを、合計12セッ

ションを行った。各被験者は一方のインストラクションによる実験が終わった後、もう一方に移った。またDcの順番は被験者間でバランスをとった。

(インストラクション)

大きさマッチングする際に被験者に与えた二通りのインストラクションは以下のとおりである。

”実物の大きさ” マッチング

「刺激それ自体の大きさを等しくする。たとえば、一方の刺激をもう一方の刺激の位置に移動すると、正確に重なるという見え方に基づいた判断をする。または定規を使ってそれぞれの刺激の大きさを測ると同じになるだろうという判断をする。」

”見えの視角” マッチング

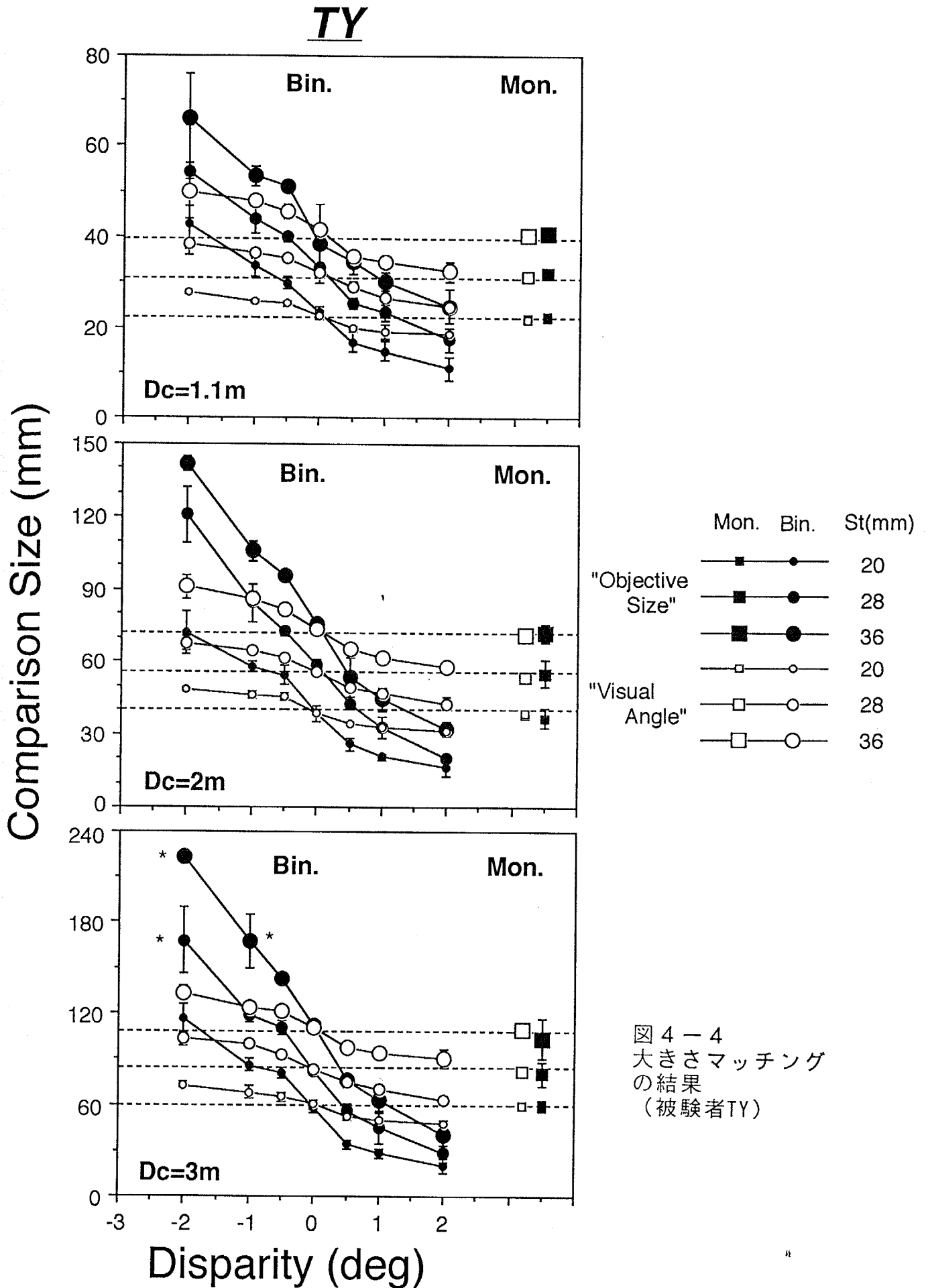
「刺激の見えたままの大きさを等しくする。たとえば、二つの刺激のうち自分に近い方が、日食の時の月のように、後方の刺激を覆い隠すような見え方に基づいた判断をする。または、二つの刺激を写真に撮ると、それらがフィルム上で同じ大きさで写っているだろうという判断をする。」

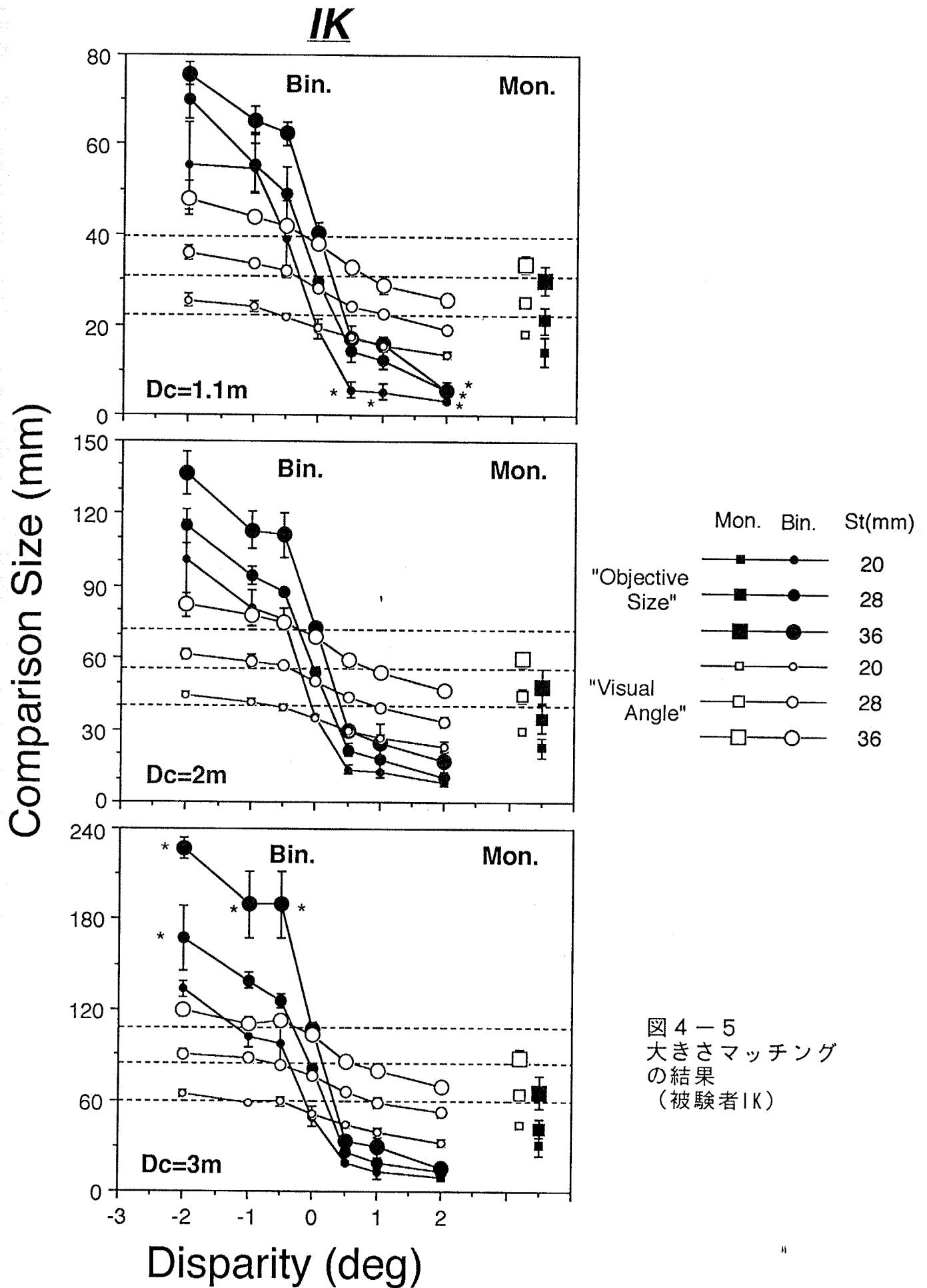
(被験者)

男性3名(TY, IK, HK)を被験者として用いた。全員心理物理学の実験の経験を有する。TY, HKの二名は視力矯正をして実験を行った。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(二分の両眼視差が検出可能)を確かめた。

4.2.2 実験結果

図4-4, 5, 6に、被験者TY, IK, HKの両眼及び単眼観察時の結果をそれぞれ示す。





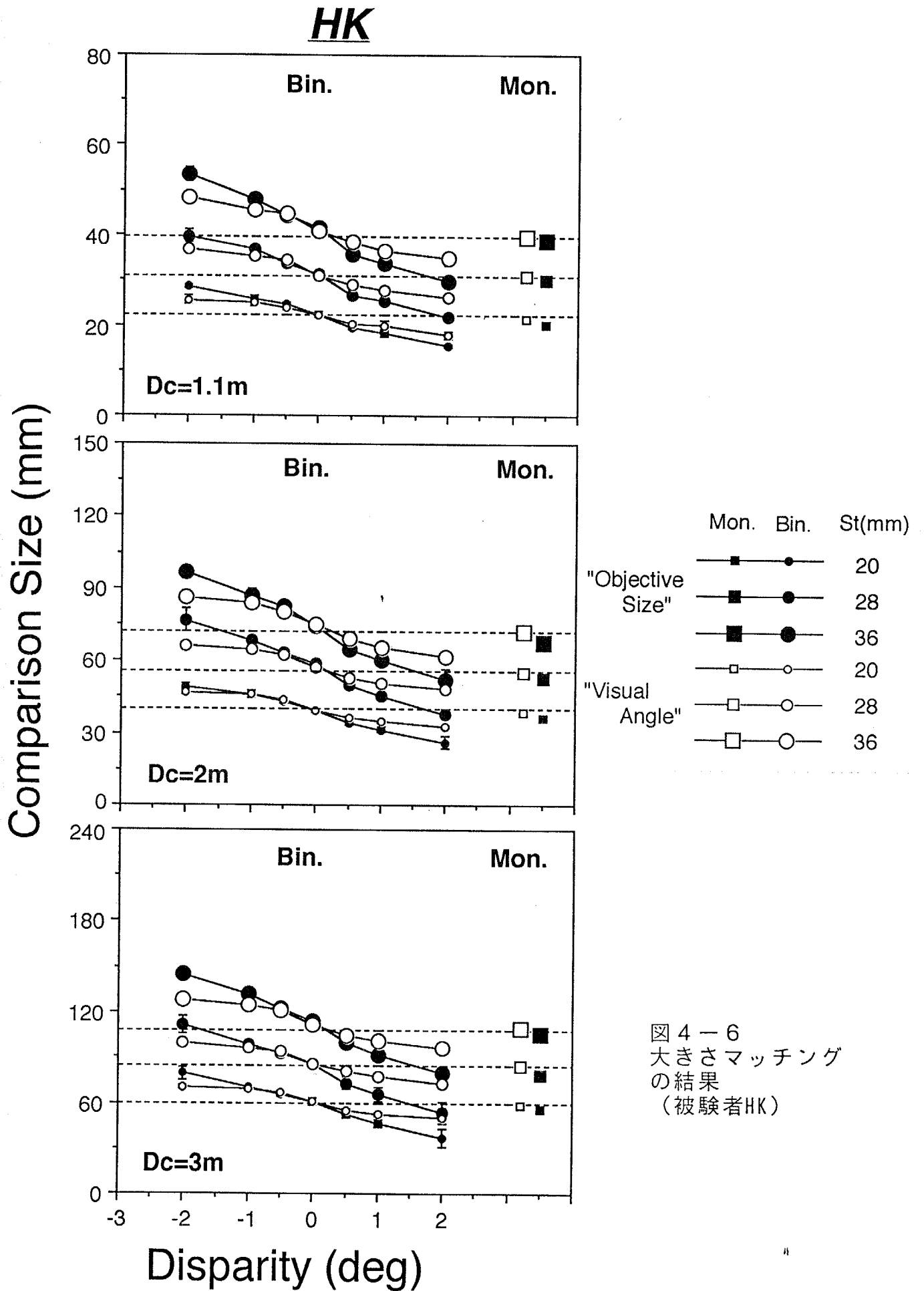


図4-6
大きさマッチング
の結果
(被験者HK)

各図中で、円形シンボルは両眼条件、四角シンボルは単眼条件の結果である。図中のパネルは比較刺激の距離 $D_c = 1.1, 2.0, 3.0 \text{ m}$ の結果を示している。両眼の結果では、各グラフの横軸は比較刺激に対するテスト刺激の両眼視差であり、プラスの符号は交差視差、マイナスは非交差視差である。縦軸は大きさマッチングしたときの比較刺激の実際の大きさ (S_c) である。各グラフ中の黒シンボルは”実物の大きさ”マッチング、白シンボルは”見えの視角”マッチングの結果を示す。シンボルの大きさの違いはテスト刺激の実際の大きさ (S_t) の条件に対応し、大きいものから順に $S_t = 36, 28, 20 \text{ mm}$ の結果である。両眼の場合、各点は四回の応答の平均であり、外挿による応答を含むものには、*印を付けた。一方、単眼の場合では、テスト刺激の横方向のずれの違いによる影響はなかったので、各点は位置の違いを含めた12回の応答の平均である。また各グラフ中の三本の点線は、三種の S_t が張る物理的な視角の値に相当する。また誤差棒はSDを示すが、多くの場合（特に被験者HK）の結果においてSDはシンボルの大きさより小さくなった。

まず両眼、単眼条件ともに、シンボルの大きさの違いにより結果のグラフが縦方向にシフトしていることから、テスト刺激の物理的大きさ (S_t) によって知覚の大きさが変化することがわかる。これは当然の結果であると考えられる。次に、両眼条件の結果では、各被験者とも、全ての D_c 条件、及びインストラクションの違いによらず、両眼視差が大きくなりテスト刺激が手前に見えるにしたがって、二つの刺激の知覚の大きさが等しくなる点 (PSE; point of subjective equality) における、比較刺激の物理的大きさがより小さくなることが確認された。これは、視角が一定なら近い刺激が相対的に小さく知覚されることを示している。この結果は大きさの恒常性から予想される方向であり、過去の研究（金子、内川、池田 1991; Oyama 1974; Oyama and Sato 1967; Oyama and Iwawaki 1972; Komoda and Ono 1974; Leibowitz, Shiina and Hennessy 1972; Leibowitz and Moore 1966; Biersdorf, Ohwaki and Kozil 1963）と矛盾がない。同一距離に知覚される刺激（両眼視差 0.0° ）において、

被験者IKの結果は、理論的な値よりもやや下回っているが、被験者TY, HKは、ほぼ物理的な視角どうりのマッチングを行っていることがわかる。各被験者ともインストラクションによって、異なる結果を示した。二種の知覚的大きさが分離していることは、それぞれの結果のSDが小さいことから明かである。

図4-7に図4-4, 5, 6より $D_c=2m$, $St=36mm$ の三人の被験者の結果を抜き出してリプロットしたグラフを示す。上の図は”見えの視角”下は”実物の大きさ”マッチングの結果である。これより”見えの視角”マッチングでは、三人の被験者が同様の形状の曲線を示したのに対し、”実物の大きさ”マッチングでは個人差が大きいことが明かである。この傾向は他の D_c , St の条件でも同様であった。

単眼条件では、被験者TY, HKの場合にはインストラクションによる影響はあまり見られなかった。また彼らの場合、”実物の大きさ”及び”見えの視角”マッチングは、ともに物理的な視角に基づいたものであった。一方被験者IKの場合は、全ての場合に於いて”実際の大きさ”マッチングの結果が”見えの視角”マッチングの結果より小さい値であり、どちらも物理的な視角よりも常に小さかった。

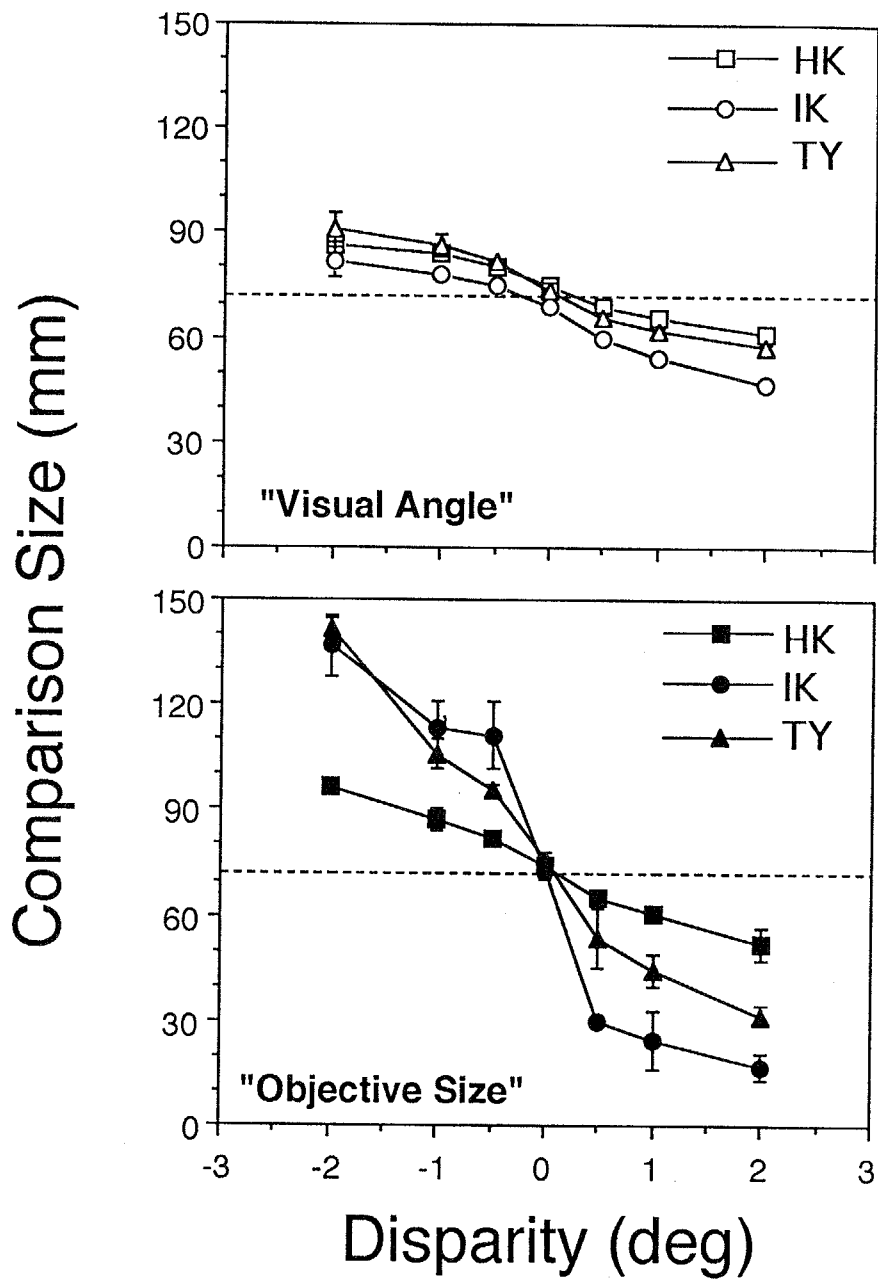


図 4-7
 "見えの視角" と "実物の大きさ" マッチングにおける
 個人差 ($D_c=2.0m$, $S_t=36mm$)

4.2.3 考察

(見えの視角)

実験結果より、“見えの視角” マッチングは、被験者内で安定しており、被験者間でも同様の傾向を示すことがわかった。そこでまず、この見えの視角について考察する。

実験では三種の比較刺激の距離 (D_c) を用いたが、この違いによって刺激間の両眼視差が同じでも絶対的な輻輳角の大きさが異なる。そこで見えの視角に及ぼす D_c の影響を調べる。図4-8は、両眼の場合の見えの視角の結果 (図4-4.5, 6) をリプロットしたものである。各グラフは各被験者の結果であり、横軸は図4-4.5, 6の両眼のグラフと同様に両眼視差であるが、縦軸は視角である。結果の各点は比較刺激の大きさ (S_c) を D_c に応じて換算した物理的な視角により表されている。各グラフには、テスト刺激の大きさ (S_t) と D_c に応じた九本のデータがプロットしてあり、三本の直線は三種の S_t に対応する物理的視角である。

三人の被験者の結果とも、九本のデータが三本ずつまとまっている。これは、 S_t が同一ならば、 D_c の異なる場合でも結果がよく一致していることを示している。このことより、少なくともこの実験で用いた D_c の範囲内では、絶対的な輻輳の値に関わらず、対象間の両眼視差によって、相対的な見えの視角が決まっていると考えられる。

Comparison Visual Angle (deg)

"Visual Angle" Matching

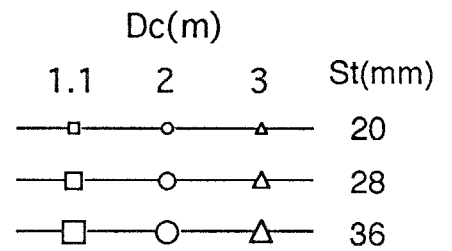
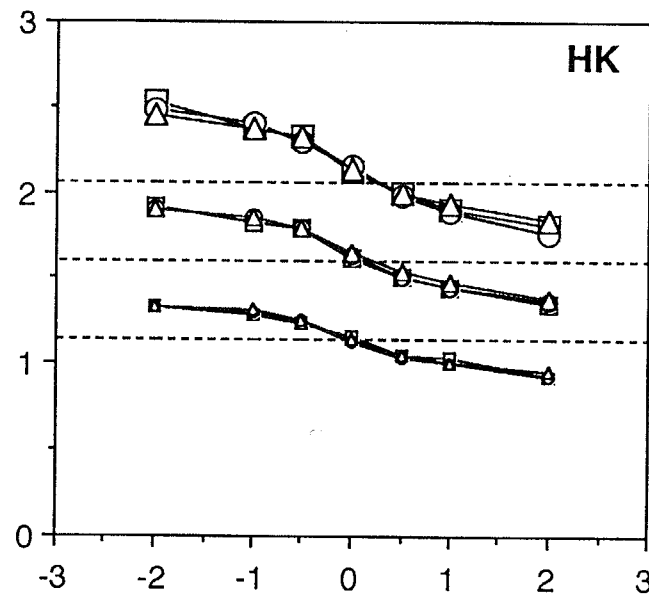
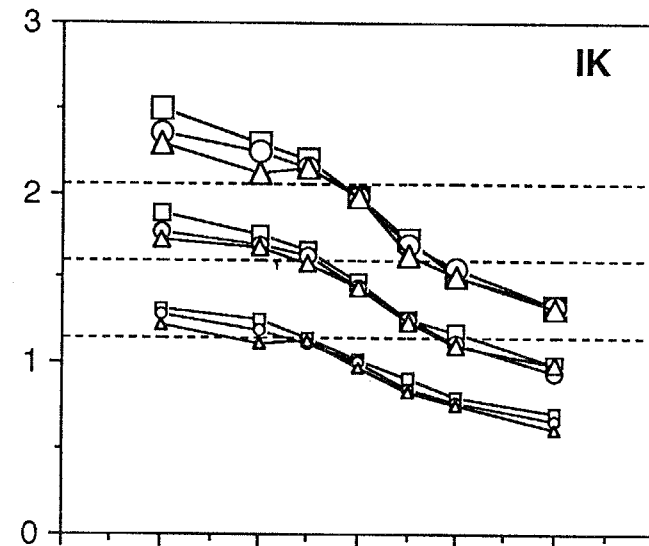
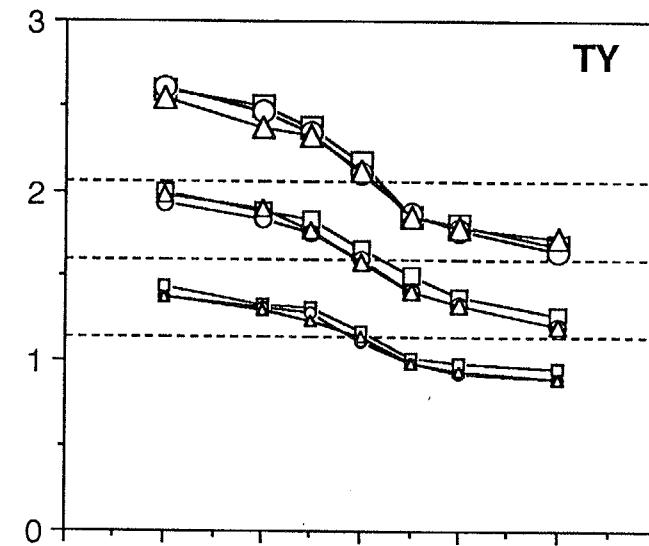


図4-8
"見えの視角"
マッチングの
Dcによる影響

Disparity (deg)

図4-9に、結果をテスト刺激に対する比較刺激の視角の比としてプロットしたものを示す。左列のグラフは両眼、右列は単眼の結果である。両眼のグラフの横軸はこれまでのグラフと同様、両眼視差である。各パネルは被験者の違いであり、シンボルの違いはStに対応しており、大きいものから順にSt=36, 28, 20 mmの結果である。各点は、Dcの異なるものをまとめてあり、両眼の場合は12応答、単眼の場合は36応答の平均である。また誤差棒はSDを示す。

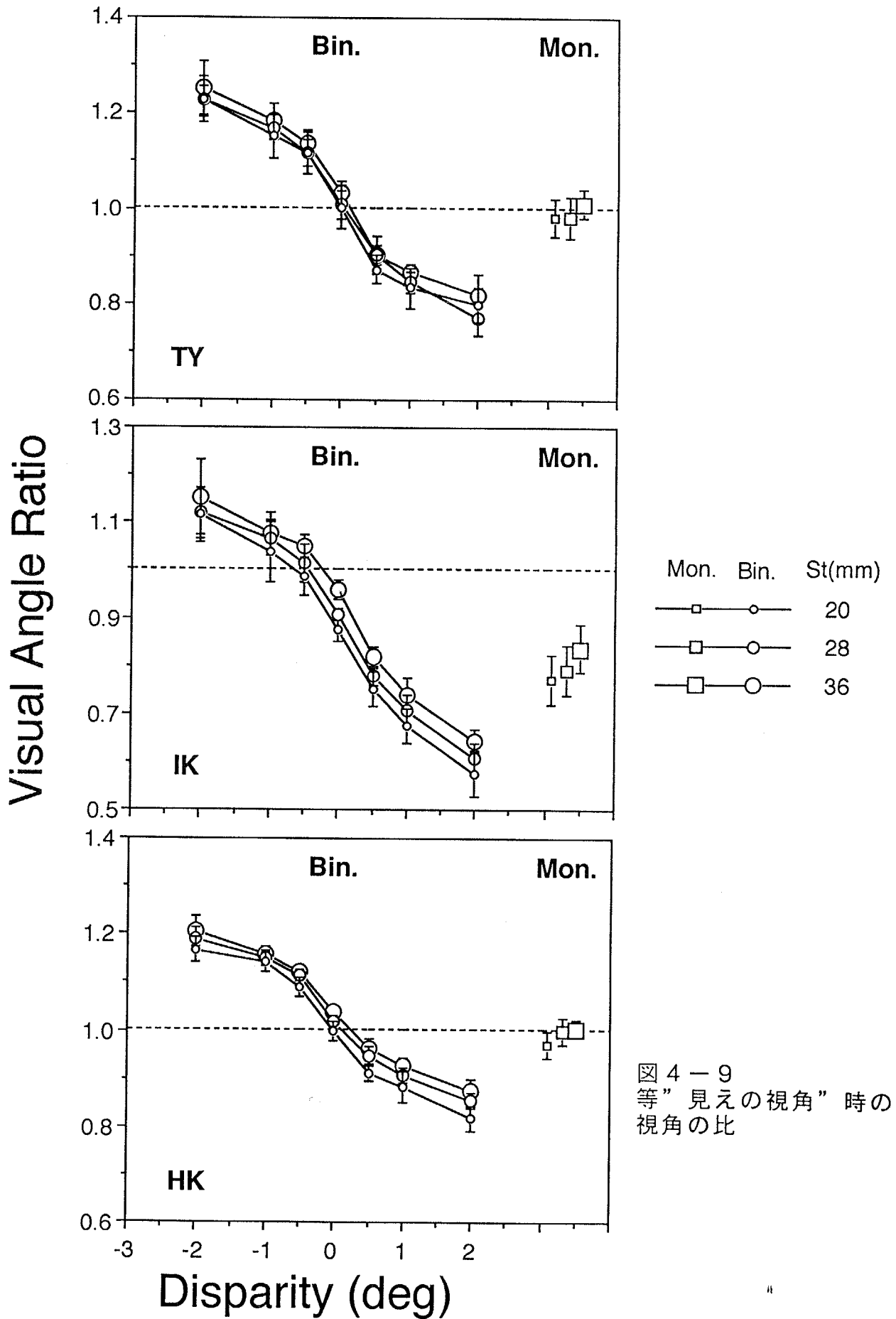
これより、両眼の場合は視角の比が両眼視差0.0deg付近を中心にS字型の曲線を描いていることが明かである。被験者TY, HKの場合は、両眼視差0.0degの場合に視角の比がほぼ1.0になっている。一方IKの場合は曲線全体が下方に移動しているが、形状は同様である。IKとHKの結果には、Stの大きい条件ほど視角の比が大きいという傾向が多少見られる。しかしそれはグラフの形状には影響を及ぼしてはいない。一方単眼の場合では、被験者TY, HKは物理的な視角どうりのマッチングを行っていることが確認される。また被験者IKの結果は全体に下方にずれているが、この被験者は両眼の場合も同様の傾向があり、単眼の結果は両眼時の視差0.0degの結果と近い値を示している。また、Stの影響が三人の被験者において若干見られるが、両眼の場合と同様、顕著ではない。

これらの結果より、対象間の見えの視角が等しい場合、それらの物理的な視角の関係は以下のように一般化が可能である。

$$\theta_c / \theta_t = f(\delta) + a \quad (4-1)$$

ここで θ_c は比較刺激の物理的視角、 θ_t はテスト刺激の物理的視角、 δ は刺激間の両眼視差、を示す。また関数fの形状は図4-9に示されるS字型のものであり、aは被験者IKで見られた、刺激の大きさ等による因子である。

"Visual Angle" Matching



本実験の結果は”見えの視角”の比が、両眼視差を変数として、同一被験者内及び被験者間で非常に安定して決まっていることを示している。本研究で”見かけの視角”と表現している感覚が過去の研究では様々な呼び方をされているが、今回の単眼条件の、見えの視角マッチングが物理的な視角を等しくすることに他ならなかったことを考慮すると、この感覚が”視角”に対する感覚であることを示していると思われる。すなわちこの感覚を表現するためにはやはり”見かけの視角”または”視角に対する感覚”といったものが適当なのではないか。

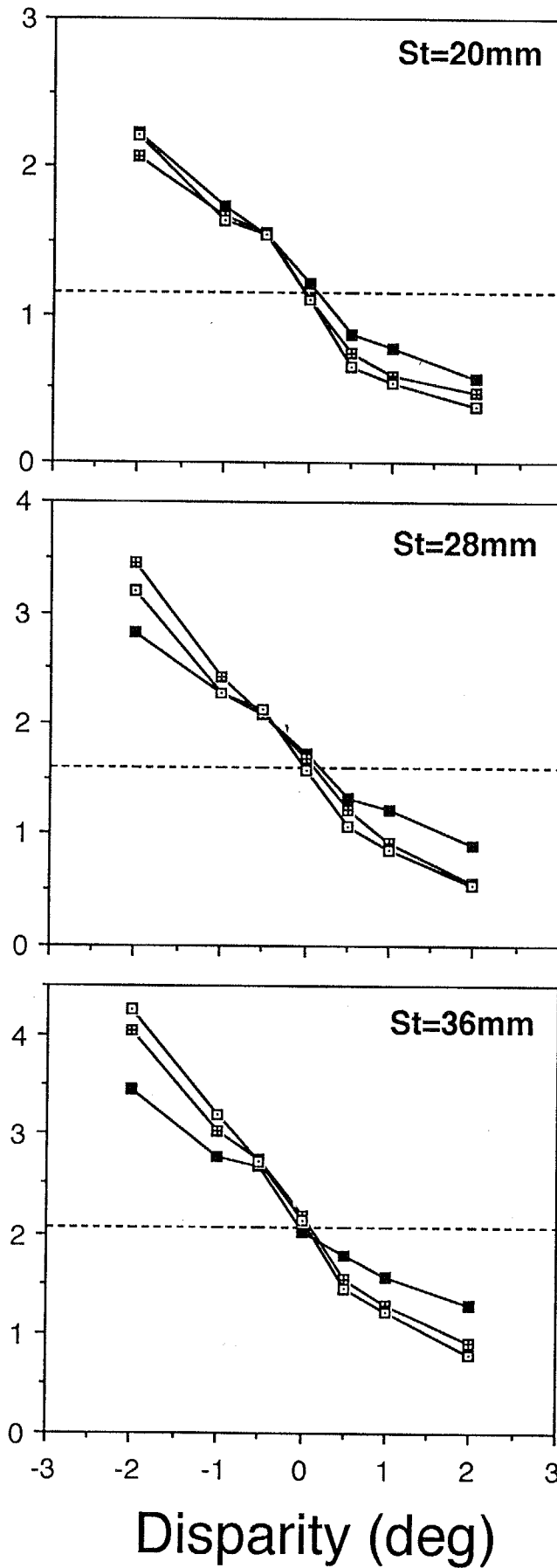
(実物の大きさ)

次に”実物の大きさ”マッチングについて考察する。図4-10, 11, 12に、被験者TY, IK, HKの両眼条件、”実物の大きさ”応答の結果(図4-4, 5, 6)をリプロットしたものをそれぞれ示す。これは、図4-8と同様に、図4-4, 5, 6の各点の値を D_c に応じて視角に換算したものである。それぞれの図中の三枚のパネルは、上から順にテスト刺激の大きさ(St)が、20, 28, 36mmの結果である。各グラフの横軸はこれまでと同様に両眼視差であり、シンボルの違いは比較刺激の距離(D_c)に相当する。

これらのグラフより、多くの場合で、 D_c によって異なる結果を示していることが確認される。例えば、被験者TYの各グラフで、 $D_c=1.1m$ の結果(■シンボル)は $D_c=2.3m$ の結果と比べて、視差が正の場合はより大きい値を示し、視差が負の場合は小さくなっている。またこのような傾向は、被験者HKの $St=20, 28mm$ の場合やIKの $St=20, 36mm$ の視差が正の場合でも見られる。これは”見えの視角”マッチングの結果とは明らかに異なる。すなわち実物の大きさに対する知覚は両眼視差のみの関数ではなく絶対的な輻輳の値に影響されることを示している。

"Objective Size" Matching

Comparison Visual Angle (deg)

TY

Dc(m)

—■— 1.1

—□— 2.0

—□— 3.0

図 4-10
 "実物の大きさ"
 マッチングの
 Dcによる影響
 (被験者TY)

"Objective Size" Matching

IK

Comparison Visual Angle (deg)

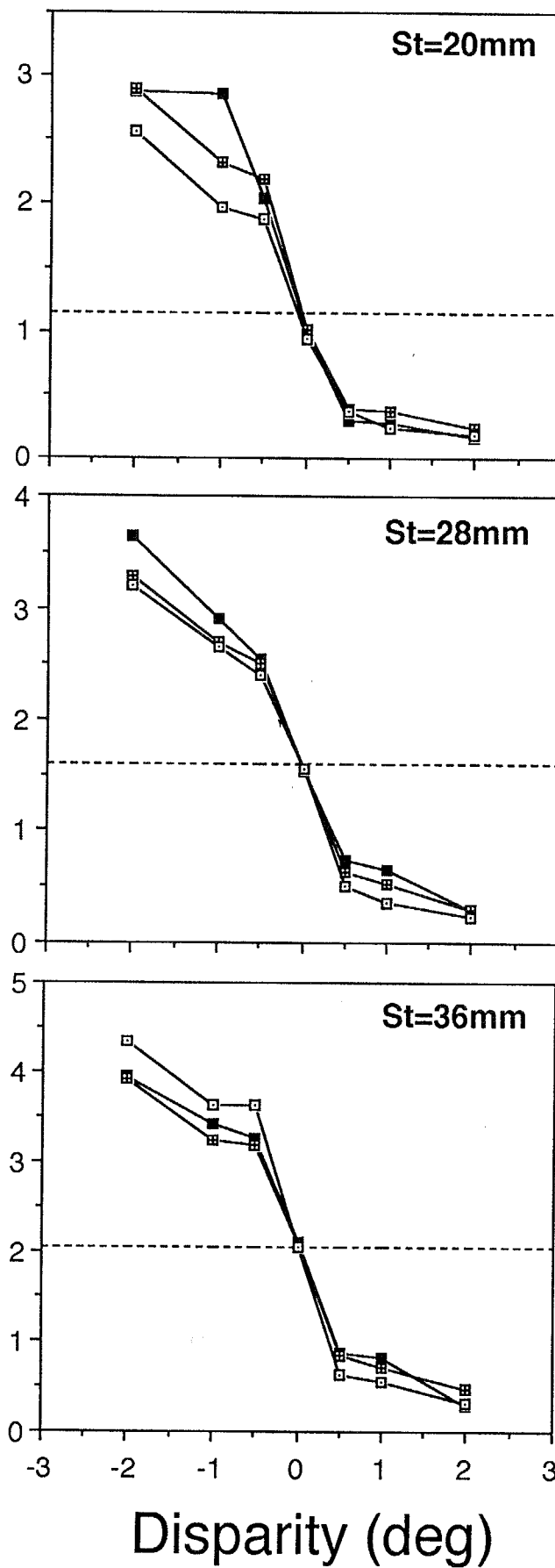
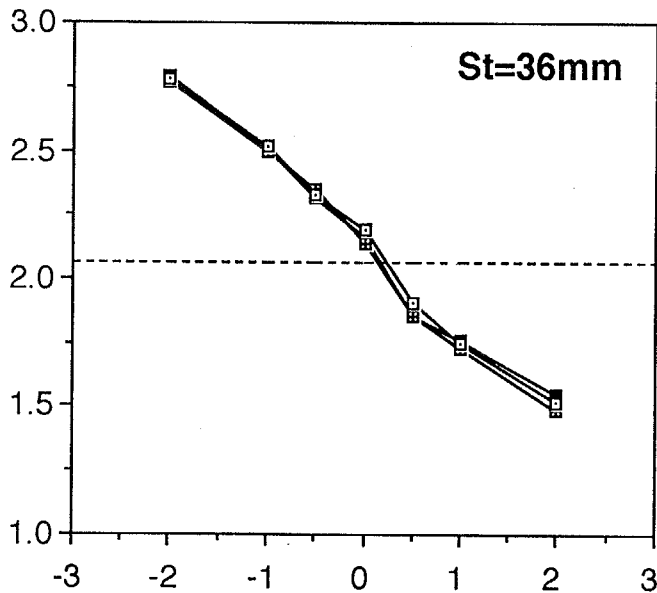
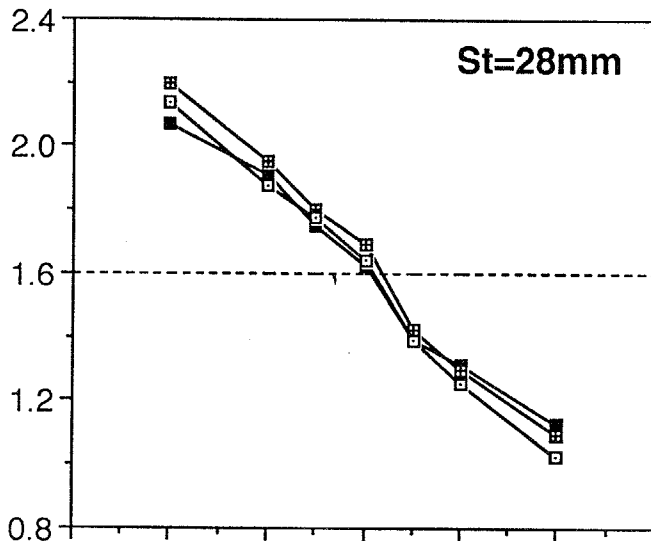
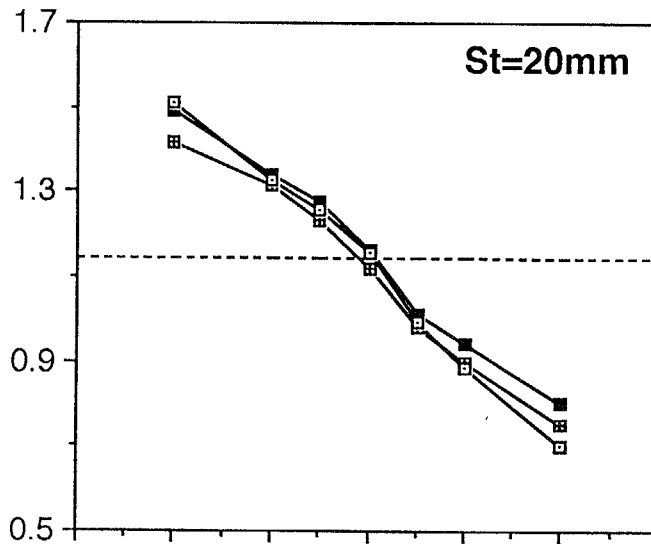


図 4-11
”実物の大きさ”
マッチングの
Dcによる影響
(被験者IK)

"Objective Size" Matching

Comparison Visual Angle (deg)



HK

Dc(m)
 —■— 1.1
 —□— 2.0
 —□— 3.0

図 4-12
 "実物の大きさ"
 マッチングの
 Dcによる影響
 (被験者HK)

Disparity (deg)

上の結果、すなわち両眼視差が正の場合は D_c が小さいほど S_c が大きい値になり、負の場合は D_c が小さいほど S_c が小さいという傾向は、以下のように説明することができる。ある一定の両眼視差量とそれに対応する実際の物理的距離の関係は下の式で表される。

$$\begin{aligned}\delta &= V_t - V_c = 2\{\tan^{-1}(i/2D_t) - \tan^{-1}(i/2D_c)\} \\ &= i(D_c - D_t)/D_c D_t\end{aligned}\quad (4-2)$$

と近似できる。ただし δ は二つの対象間の両眼視差、 V_t, V_c はそれぞれテスト刺激、比較刺激までの輻輳角、 D_t, D_c はそれぞれテスト刺激、比較刺激までの物理的距離、 i は両眼間の距離である。

またこれらの距離にある二つの対象が実際に同じ大きさである場合に、それらが張る視角の比は

$$\begin{aligned}\theta_c / \theta_t &= \tan^{-1}(S/D_c) / \tan^{-1}(S/D_t) \\ &= D_t / D_c\end{aligned}$$

(4-2)式により

$$= i / (i + D_c \delta) \quad (4-3)$$

となる。ここで δ が正の場合すなわちテスト刺激が比較刺激より近くにある場合に、 θ_c / θ_t は D_c が大きいほど小さくなり、 δ が負の場合その逆で D_c が大きいほど θ_c / θ_t は大きくなる。

網膜上の両眼視差による知覚的奥行きが、絶対距離の手がかりによって補正されることは過去の研究によって確かめられている (Wallach and Zuckerman 1963; O'Leary and Wallach 1980; Wallach, Gillam and Cardillo 1979; Foley 1980)。同じ視差量であれば、絶対距離が大きいほど、知覚的奥行き量が増加する。実物の大きさに対する知覚の変化は、知覚的奥行きの影響を受け

るものであり、上のような物理的な関係に対応していると考え、本実験で見られた、実物の大きさマッチングに及ぼすDcの影響が説明可能である。

(大きさ応答のための手がかり)

本実験で得られた大きさ応答にはいくつかの手がかりが関与していると思われる。考えられるものは、刺激の実際の大きさ(視角)、両眼視差、輻輳、調節、である。実験装置にステレオスコープを用いたためこれ以外の手がかりの影響は少ないと考えられる。

図4-9に示すように、“見えの視角”応答の物理的な視角からのずれは刺激間の両眼視差量に対してS字形に変化し、両眼視差が小さい範囲では曲線の傾きが大きく、視差が大きくなるとなだらかになる。このことから“見えの視角”応答に対して網膜両眼視差と輻輳の二種の手がかりが関与していると考えられる。網膜両眼視差によって奥行き感が得られるのは、視差が 1° 付近までであることが知られている(Ogle 1952; Richards 1971)。この限界点は、本実験の見えの視角応答の傾きの変化する点に近いと思われる。またこの応答に対して比較刺激の距離の影響が見られなかったことから調節による寄与はないと考えられる。

“実物の大きさ”の知覚には、上述した網膜両眼視差、輻輳、調節、そしてこれらによって生み出された知覚的奥行きが関与していることが示唆される。これは先に述べたように、実物の大きさの応答が両眼視差量だけでは決まらず、絶対的な距離を考慮したかのように変化したことから考えられる。しかし被験者間の差が大きく定量的な考察はむずかしい。被験者IK及びTYは、内観として実物の大きさの応答に与える相対的な大きさの影響を述べている。それは比較刺激の大きさを変えると奥行き感が変化してしまい“実物の大きさ”マッチングが難しい、というものである。このように実物の大きさは、多くの手がかりによって決まっておりその関数も被験者によっても異なる可能性がある。それはすなわち“実物の大きさ”に対する知覚が、“知覚的奥行き”とも関係して

より高次で決まっており、経験によってもそのプロセスが変化を受ける場合もあることを示唆する。また大きさ応答までの時間がインストラクションによって異なるという過去の研究 (Epstein and Broota 1975) があるが、今回の実験でも同様の傾向が得られた。本実験では特に時間制限を設けなかったが、各被験者とも”実物の大きさ”マッチングは”見えの視角”マッチングより時間を要した。このことも”実物の大きさ”に対する知覚が複数の要因で決まっており、経験や推測の過程を経ているという考えを支持すると思われる。

4.3 まとめ

刺激の同時比較によるマッチング法を用いることにより、”見えの視角”と”実物の大きさ”に対する知覚を分離することができた。”見えの視角”は、両眼の場合には物理的な視角とは異なっていたが、単眼の場合は視角に対応していた。またその応答は被験者間で同様の傾向を示し、両眼視差量のみの関数として記述できた。”見えの視角”には、物理的な視角のみならず網膜両眼視差及び輻輳の手がかりが関与していると考えられる。一方”実物の大きさ”は個人差が大きく、多くの手がかり、そして知覚的奥行きによる影響を受けていることが示唆された。

第5章 二種類の知覚の大きさに及ぼす周辺刺激の効果

5.1 はじめに

第4章の実験により、対象の大きさに対する知覚が、“見えの視角”と“実物の大きさ”に分離できた。比較刺激とテスト刺激の間の相対的な見えの視角比は、両眼視差量によって一意的に記述できることが確認された。一方実物の大きさに関しては、両眼視差が同じ量であっても、刺激の絶対的な距離によって異なる結果が得られた。これは、“実物の大きさ”が距離（奥行き）の知覚による影響を受けていることを示唆している。

Holway and Boring (1941)の研究以来、奥行きの手がかりが豊富になるのにつれて大きさの知覚が正確になる、すなわち大きさの恒常性が増すと言われている。この考えに従うと、暗黒の中で二つの刺激の大きさを比べた第4章の実験条件に加え、知覚的距離のリファレンスとなる周辺の刺激の手がかりを与えることで、“実物の大きさ”と“見えの視角”は、完全な大きさの恒常性に向かって共に変化することが予想される。しかし、個々の奥行き手がかりが、二種類の知覚の大きさそれぞれに及ぼす影響を調べた研究は過去になく、これは明かではない。

そこで本実験では、第4章で用いた両眼視差の手がかりに加え、周辺の刺激による手がかりをコントロールし、それに対する二種類の知覚の大きさの変化を調べる。そして“実物の大きさ”と“見えの視角”がこれらの手がかりによってどのように決まっているか詳しく調べる。従来言われているように、大きさの知覚が、「奥行きの手がかりの量」という一つの変数によって決まっており、実験5で分離された二つの知覚の大きさは単に一つの知覚量を別の基準で答えている結果にすぎないのか、あるいは異なる情報源によって決まっているまったく別の知覚量なのか、という疑問に答えるべく実験を行う。また実験7

では、知覚的距離（奥行き）の応答も取り、“実物の大きさ”、“見えの視角”との関係についても考察する。

5.2 実験6（段階的な周辺刺激）

本実験は、実験5と同様に、テスト刺激と比較刺激の大きさを“実物の大きさ”と“見えの視角”の二種類の判断基準でマッチングする。実験5と異なるのは、周辺の刺激の条件を加えた点である。テスト刺激と比較刺激以外は暗黒で何も見えない条件から、周囲が明るく照明されている full-cue の条件まで、段階的に4種の周辺刺激を設けた。このような実験により、二種類の知覚の大きさに対する、両眼視差と周辺刺激の手がかりそれぞれの影響を調べることができる。

5.2.1 実験方法

（刺激、実験装置）

テスト刺激と比較刺激の呈示装置は第4章の実験で用いたものと同様である。それに加えて、それらの刺激を取り囲むように周辺の刺激が呈示される。図5-1(a)に示すように、被験者と比較刺激の間（被験者から0.4~3.0mの部分）に36×36cmの筒が設置され、その内部に赤色LED（輝度 3cd/m^2 , $x=0.72$, $Y=0.28$ ）または白熱電球（輝度 1190cd/m^2 , $x=0.53$, $Y=0.41$ ）による周辺刺激が呈示される。また筒の内壁は反射の少ない黒く一様な面である。白熱電球（図5-1(a), S）は、被験者から65.5cmの位置から52cm間隔で、筒の上壁面の中央に五つ並んでいる。赤色LEDは、筒の左右及び床面それぞれに、三個ずつ九列、合計で81個配置されている。図5-1(b)に示すように、一列中の三個のLEDは、左右面では

床面から5.2cmの高さから13cmの間隔で、また床面では、中央線上とその左右にやはり13cmの間隔で並んでいる。そして被験者から78.5cmの距離に第一番目の列があり、そこから26cm間隔で286.5cmの距離まで九列が並んでいる（図5-1(c)）。

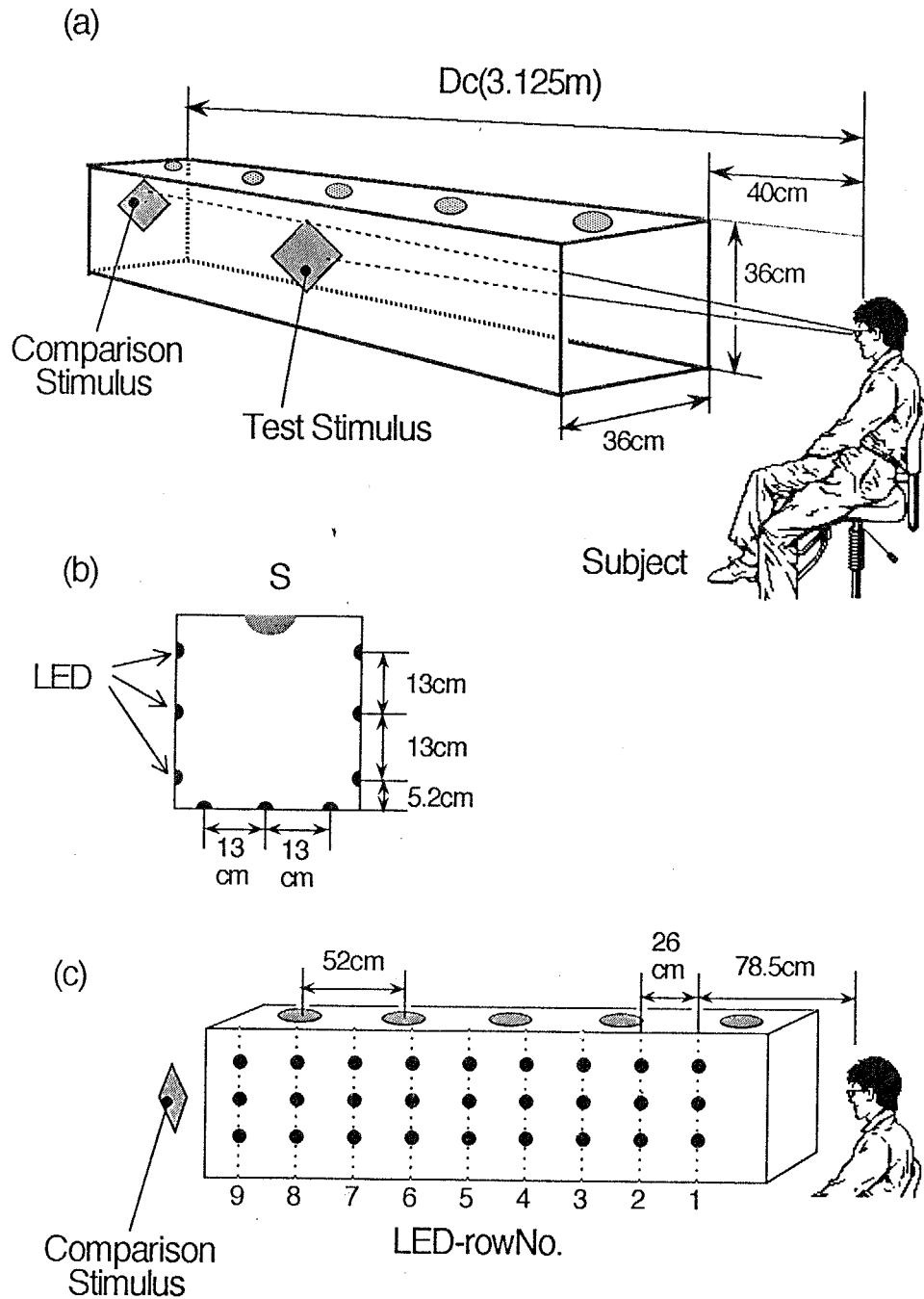


図5-1

装置図

(a) 全体図

(b) 周辺刺激正面図, S; 白熱電球, LED; 赤色LED

(c) 周辺刺激側面図

周辺刺激の条件は四種である。第一は” Full-cueコンディション”である。このとき筒の内部は、五つの白熱電球と左右及び床面の81個すべての赤色LEDが点灯している。第二は” 9LEDコンディション”で、左右の9列、計54個のLEDのみが点灯している。第三は、被験者から近い左右4列のLEDのみが点灯している。これは” 4LEDコンディションと呼ばれる。。第四はテスト刺激と比較刺激以外は何も見えない” No-cue コンディション”である。

テスト刺激と比較刺激は同時に観察される。これらの刺激の輝度は約 0.1 cd/m^2 である。また被験者の頭部位置は、あご台及びヘッドレストによって固定した。

(実験条件、手順)

観察はすべて両眼視で行った。テスト刺激の一边の長さ (St) は36mm (視角 2.1 deg)、実際の距離 (Dt) は1m。比較刺激の大きさ (Sc) は7mm~148mm (視角 $0.1 \sim 2.7 \text{ deg}$) の範囲で可変であり、距離 (Dc) は3.125mである。これは周辺刺激の九列目のLEDから、LED列の間隔と同じ距離 (26cm) だけ離れた位置である。テスト刺激と比較刺激の間の両眼視差 (Disparity) は-1.0, -0.5, 0.0, +0.60, +1.15, +2.34, +3.48 deg の7種であり、観察者の両眼間の距離を64mmとしたときにそれぞれの値は23, 5.5, 3.125, 2.07, 1.58, 1.04, 0.78mの距離に対応する。理論的距離の短いものから四種は、壁面の第1, 2, 4, 6列のLEDの距離にそれぞれ対応している。

刺激条件は、28種 ($7 (\text{Disparity}) \times 4 (\text{周辺刺激})$) がある。それぞれの条件に対し、” 見えの視角” と” 実物の大きさ” の二通りのインストラクションで実験を行った。応答回数は各条件8回である。56応答 ($7 (\text{Disparity}) \times 4 (\text{周辺刺激}) \times 2 (\text{応答})$) を1セッションとしたので、各被験者は8セッションの実験を行った。各セッション中での刺激の呈示順はランダムである。各被験者は、一方のインストラクションによる実験が終わった後、もう一方に移った。またインストラクションの順番は被験者間でバランスをとった。

実験の手順、インストラクション、応答の方法などは実験5と同様である。

(被験者)

男性4名(1K, MS, HM, HK)が被験者として実験に参加した。全員、大学院の学生であり、心理物理学の実験の経験を有する。MS, HKは視力矯正をして実験を行った。また各被験者は通常の立体視機能を有している。HK以外は、実験の目的を知らないナイーブな被験者である。

5.2.2 実験結果及び考察

図5-2, 3に、被験者MS, 1K及びHM, HKの結果をそれぞれ示す。横軸はテスト刺激と比較刺激の間の両眼視差、縦軸は比較刺激の大きさを示す。データ点は二つの刺激の知覚の大きさが等しくなった時点の比較刺激の大きさであり、8回(MSでは異なる場合がある)の応答の平均である。各グラフ中の黒シンボルは”実物の大きさ”マッチング、白シンボルは”見えの視角”マッチングの結果である。シンボルの形は周辺刺激の条件に対応する。被験者MSの”実物の大きさ”マッチングでは、同一条件の他のデータと大きく異なる結果が数点観測されたので、それらは別に一点ずつでプロットした。各図中の直線は物理的な視角であり、曲線は、両眼視差から計算される距離と物理的な視角から計算される、理論的な実物の大きさ、すなわち大きさの恒常性が完全である場合の値を示す。

この結果より、両眼視差に従って二種類の大きさ知覚が恒常性の方向に変化することが確認された。そしてそれぞれの知覚の大きさの結果は、明らかに互いに異なる。これらの傾向は実験5の結果と同様である。また”実物の大きさ”の結果では被験者HMがほぼ理論的な恒常性の値を示したのに対し、被験者MS, HKは未恒常性(under constancy)、1Kは過恒常性(over constancy)であった。

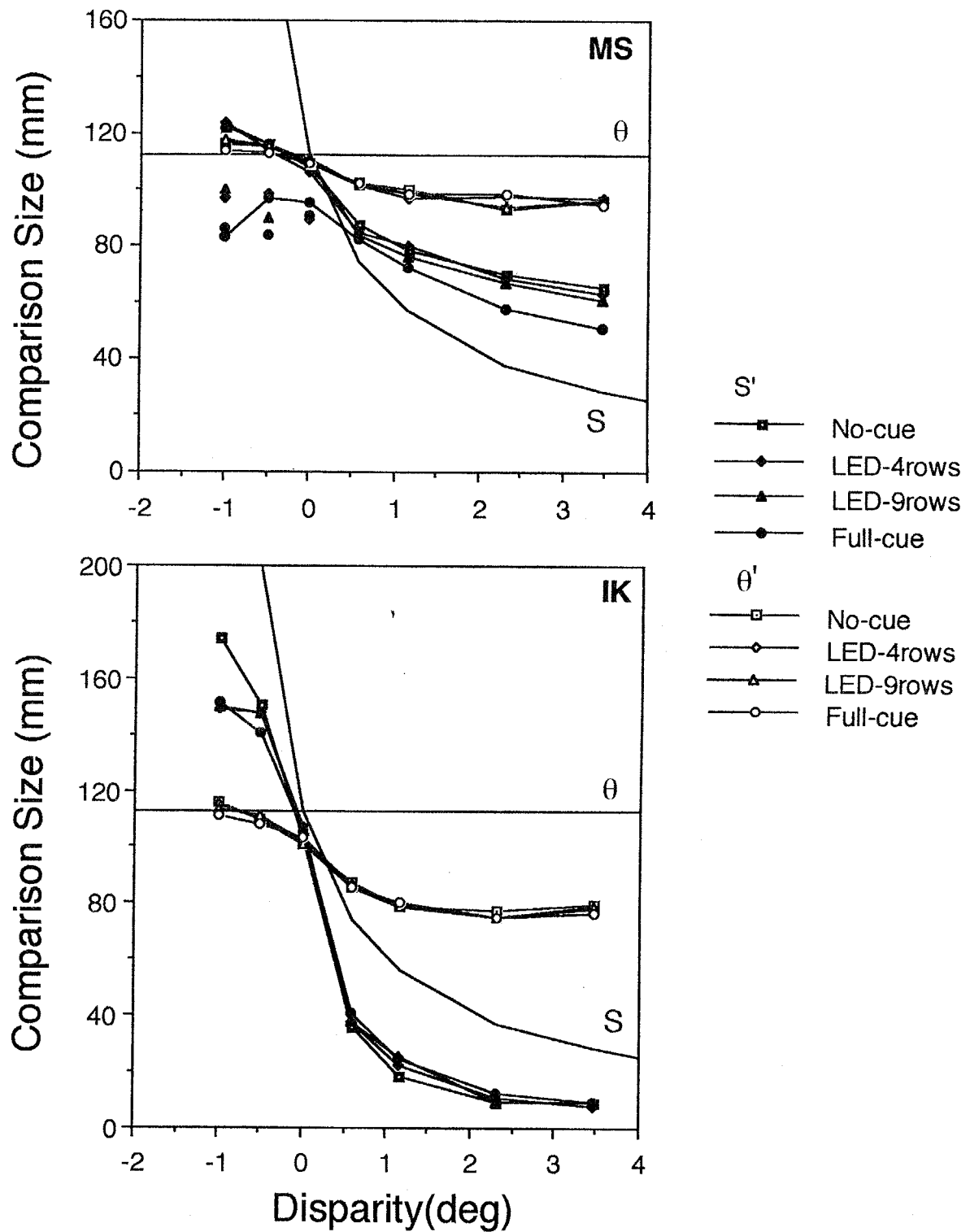


図5-2
 周辺刺激の違いによる
 ”実物の大きさ(S')”と”見えの視角(θ')”
 (被験者MS, IK)

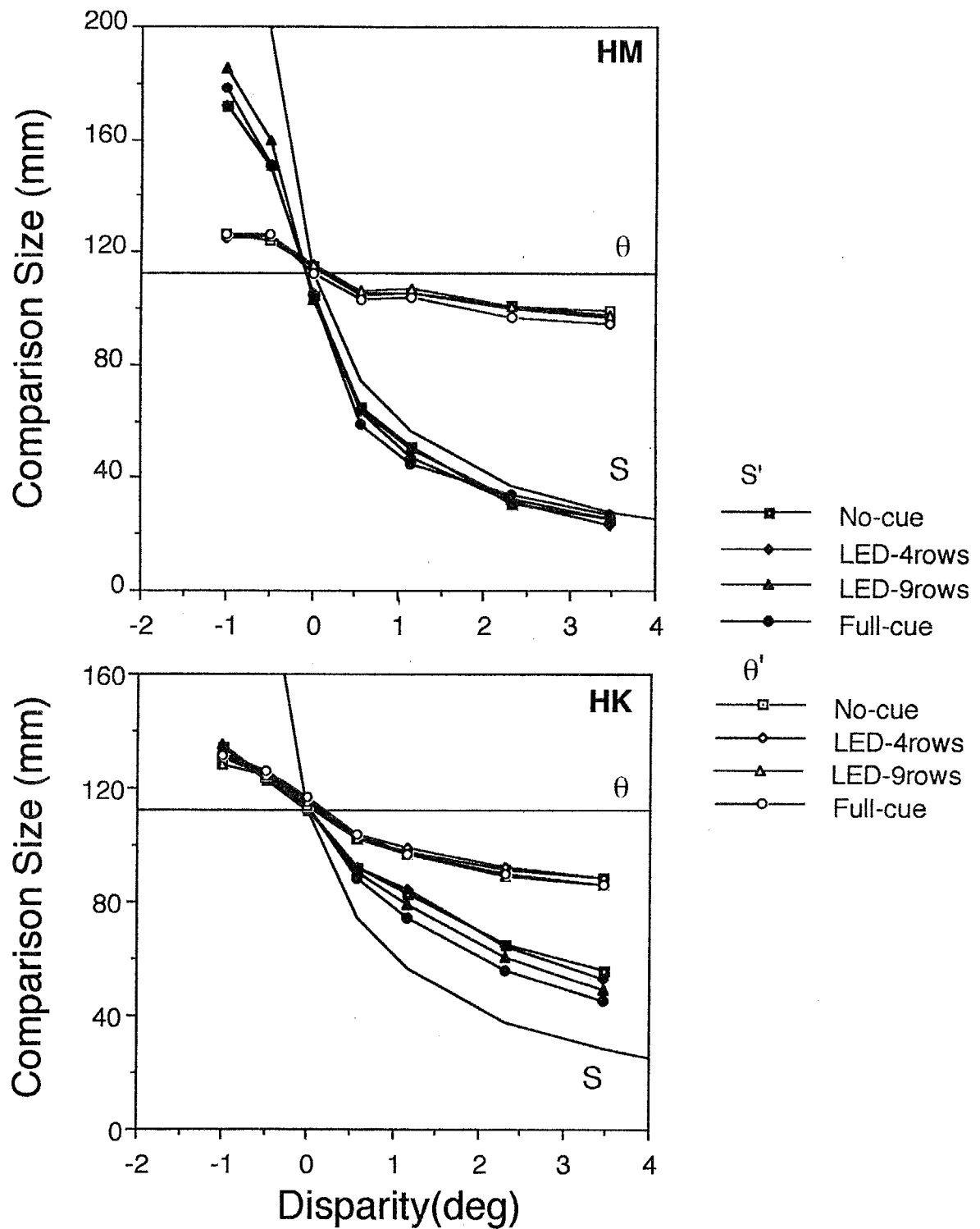


図5-3
 周辺刺激の違いによる
 ”実物の大きさ(S')”と”見えの視角(θ')”
 (被験者HM, HK)

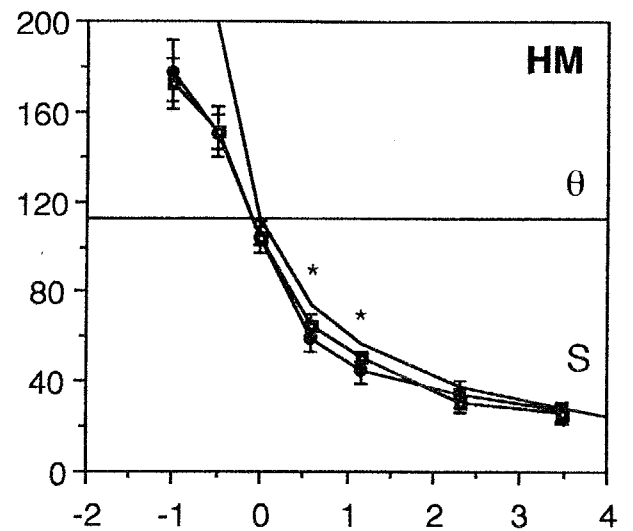
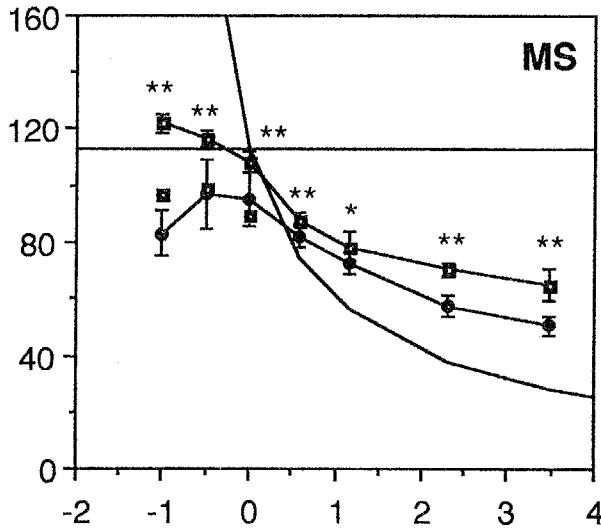
周辺刺激による影響は、“見えの視角” マッチングの場合では各被験者ともあまり見られなかった。一方“実物の大きさ” マッチングではある程度確認された。被験者MSの場合は、Full-cueコンディションの結果が他の結果と大きく異なっている。またHKの場合は視差が正の範囲で、周辺刺激の変化につれてマッチングの値が徐々に変わっている。両者とも変化の方向は、周辺の刺激による手がかりが増すに従って理論的な恒常性に近づくものである。この傾向は、過去の研究で述べられている考えにより説明される。しかし被験者IK, HMの場合は“見えの視角”と同様、周辺による影響が明かではなかった。

周辺刺激の影響を明確にするため、No-cueとFull-cue コンディションによるデータを抜き出して比べた。これを図5-4 (“実物の大きさ”) 及び図5-5 (“見えの視角”) に示す。4枚のパネルは、それぞれ被験者MS, IK, HM, HKの結果である。各図には、図5-2と同様に物理的な視角と理論的な大きさのラインが示されている。またシンボルの形が周辺刺激の条件に対応しており、丸がNo-cue、四角がFull-cue コンディションの結果である。各点の誤差棒は、SDを示す。同じ両眼視差の値に対する二つの周辺コンディションによる結果の差が、統計的に有意である場合は、データ点の近傍に* (5%水準) または** (1%水準) 印を付けた。これより、被験者MS、及びHKの視差が正の範囲で“実物の大きさ”に対する周辺刺激の影響が明確である。

"Objective Size Matching"

—■— No-cue
—●— Full-cue

Comparison Size (mm)



Comparison Size (mm)

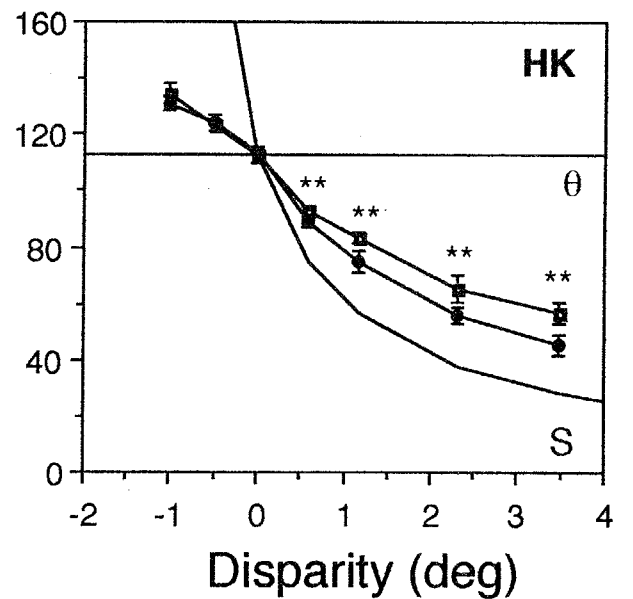
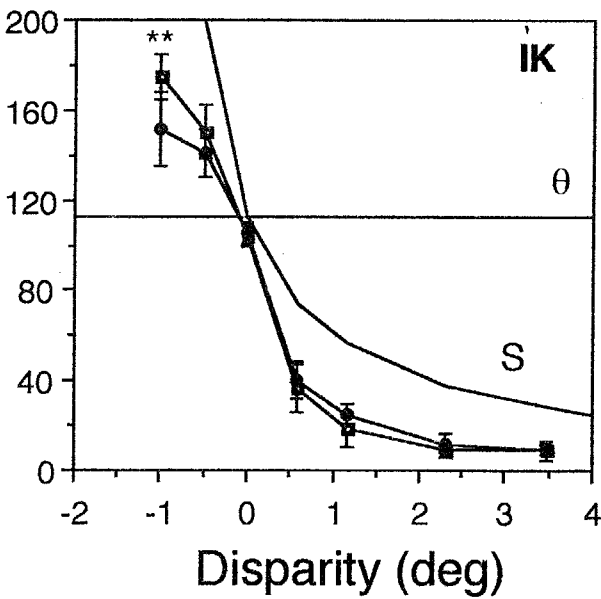


図 5-4
No-cue, Full-cue コンディションの "実物の大きさ (S')"

"Visual Angle Matching"

—□— No-cue
—○— Full-cue

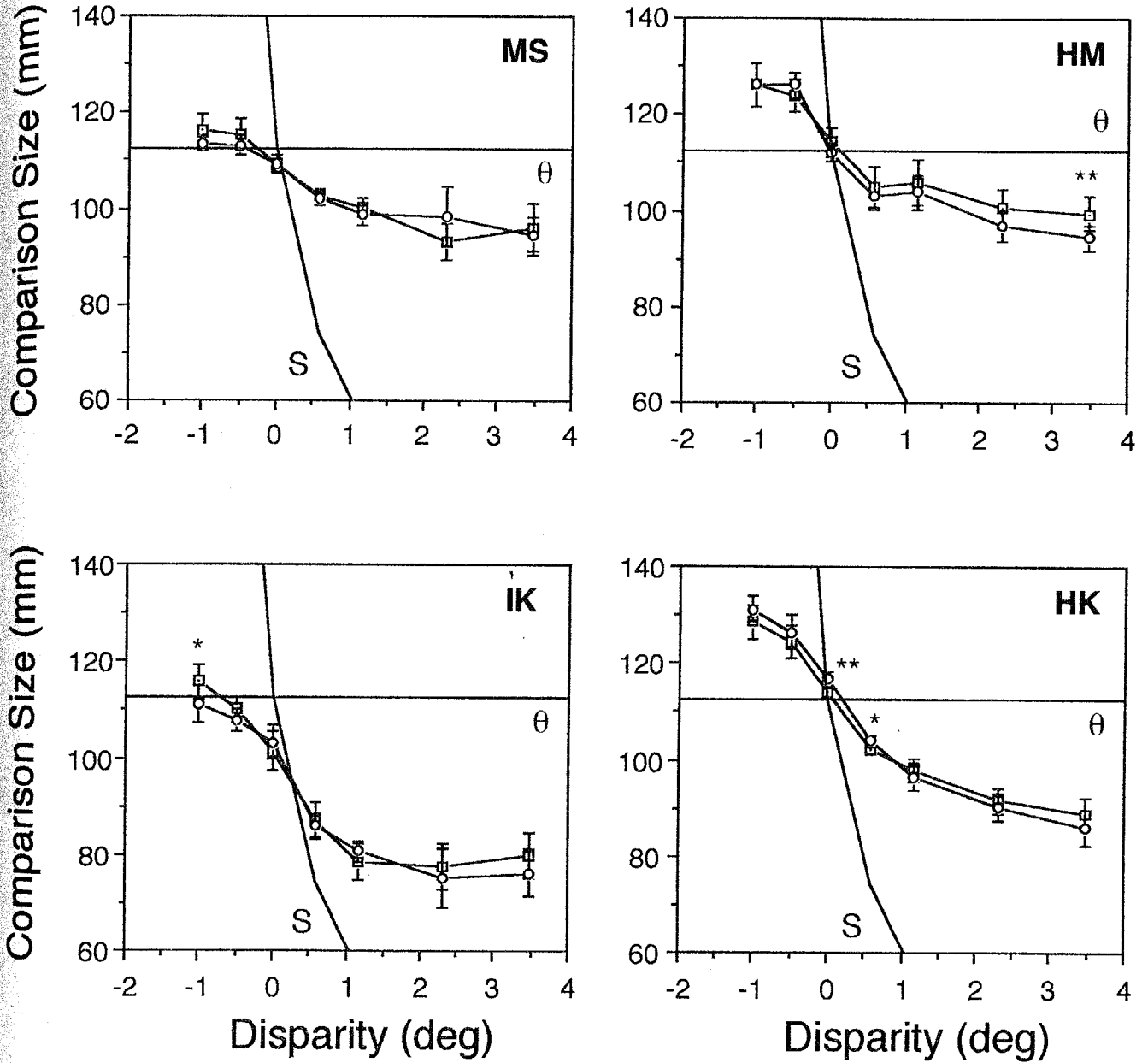


図 5-5
No-cue, Full-cue コンディションの"見えの視角 (θ')"

MSの”実物の大きさ”の結果は、両眼視差が負の場合（非交差視差）においてNo-cueとFull-cueの結果が大きく異なっている。Full-cueの場合には、比較刺激の大きさが逆に減少している。これは両眼視差の手がかりからはテスト刺激が比較刺激より”遠い”という情報が与えられているにもかかわらず、逆に”近い”と知覚したためと考えられる。この実験では、テスト刺激が比較刺激の 4° 下方に位置している。このためFull-cue条件の時、非交差視差を持つテスト刺激の理論位置は、内部が照らされている筒の外側である。このような刺激は現実には有り得ない。被験者MSが、両眼視差と周辺刺激の手がかりの間に矛盾がある場合に、周辺の刺激による情報を活用して、”テスト刺激が壁面の内側にある”と知覚したと考えることにより、Full-cueの場合の大きさマッチングの結果が説明できる。この関係を図5-6に示す。図中のAが両眼視差のから予想されるテスト刺激の位置、Bが周辺の刺激の手がかりから予想されるテスト刺激の位置である。

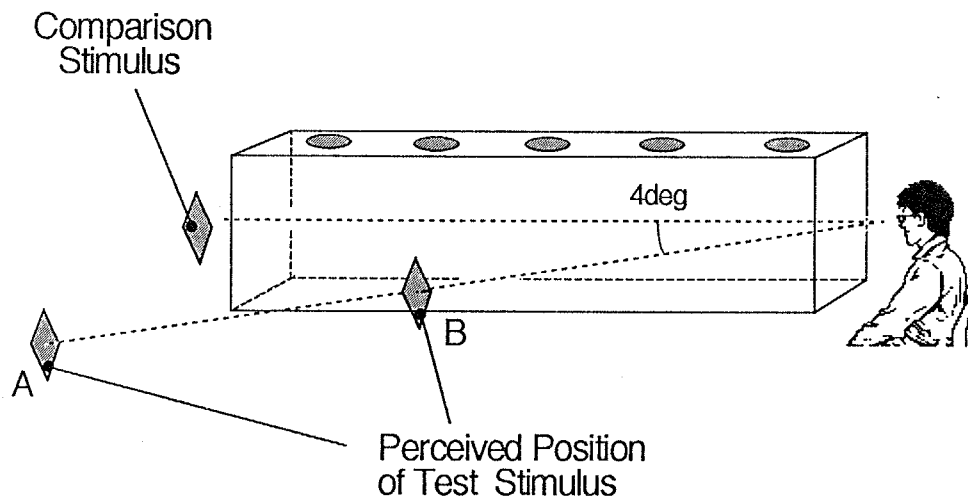


図5-6

被験者MSのFull-cueコンディション，非交差視差刺激における，両眼視差から予想されるテスト刺激の位置(A)と周辺刺激による手がかりから予想されるテスト刺激の位置(B)

被験者MS, HKの結果は、第4章で述べた「”見えの視角”は両眼視差量により決まっており、”実物の大きさ”はそれ以外に他の手がかりあるいは知覚的距離（奥行き）の影響を受ける」という考えを支持する結果である。また被験者MSの”実物の大きさ”では、非交差視差を持つテスト刺激が逆に”近い”と知覚されていると考えることにより説明される応答が見られたが、”見えの視角”マッチングでは、そのような応答は見られなかった。このことも、二つの知覚の大きさが全く異なるものであり、単に同じ知覚を違う判断基準で答えているのではない、という考えを支持する。

5.3 実験7（錯視的な周辺刺激）

実験6では、周辺刺激の違いによって”実物の大きさ”の知覚がある程度影響を受けたが、それは余り顕著ではなかった。そこで実験7では錯視的な周辺刺激を用いる。錯視的な刺激とは、遠近法の手がかりを用いて実際とは異なる奥行き情報を与えるものである。絵画で用いられるように、遠近法は空間知覚の手がかりの一つである。刺激対象中に、連続的に大きさ（視角）が変わる図形があれば、それは実際の大きさが連続的に変化している物体が一つの面にあると知覚するよりも、同じ大きさのものが奥行き方向に並んでいると知覚する。また、一点に集束するような線画的成分を持った図形でも同様の効果がある。この遠近法の手がかりを利用し、被験者から遠ざかるにつれて互いの間隔が過剰に狭まる、あるいは広がるように周辺の刺激を与えることで、両眼視差量は変化させずに知覚的距離（奥行き）を大きく変えることを試みる。この方法により、二種の知覚の大きさに及ぼす、周辺刺激または知覚的距離（奥行き）の効果をさらに詳しく調べる。また本実験では、二種の大きさマッチングに加えて奥行きに関する応答も取り、三者の知覚を比較する。

5.3.1 実験方法

(刺激、実験装置)

テスト刺激と比較刺激の呈示装置、被験者のあご台などは、実験5、実験6で用いたものと同様である。周辺刺激は三種であり、テスト刺激と比較刺激を挟む左右の面に赤色LEDで与えられる。図5-7に、周辺刺激及びテスト、比較刺激の位置関係を上から見た図を示す。

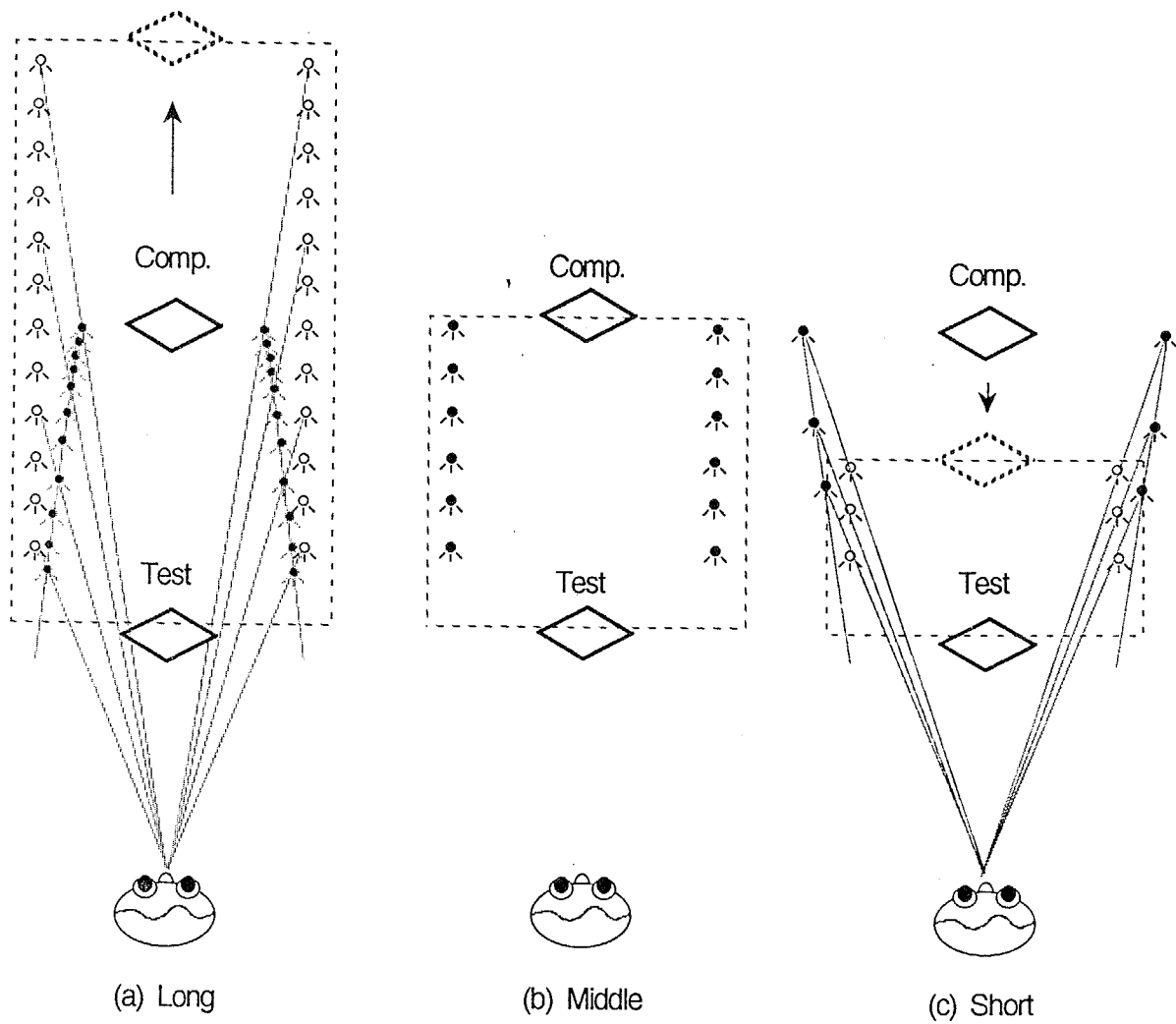


図5-7
周辺刺激のコンディション
(a) Long, (b) Middle, (c) short

第一の周辺刺激条件は"Long"コンディションである。これは、図5-7(a)に示すように、被験者と比較刺激の間の左右壁面それぞれに2個ずつ12列のLEDが、比較刺激に近づくにしながら間隔を狭めるように配置されている。この配置は、長く直線的な配列（図中点線）をシミュレートしたものである。実際のLEDの位置（図中黒丸）は、被験者から163～300cmの距離であり、上下2個のLEDの間隔は遠くに行くに従って12.5から8.6cmに減少していく。またシミュレートしているのは、被験者からの距離が170～456cmで、奥行き方向に26cm、上下方向に13cmの等しい間隔で並ぶ直線的な配列（図中白丸）である。この周辺刺激が空間知覚の手がかりとして働くなら、図中の実線で示された位置にある比較刺激は、点線の位置の方向に移動し、二つの刺激の奥行き方向の間隔が長くなって知覚されることが予想される。

第二は"Middle"コンディションであり、図5-7(b)に示すように左右6列のLEDが直線的に等間隔で並んでいる。被験者からの位置は、最も近いLEDが170cm、最も遠いLEDが300cmであり、この間は26cmの間隔で並んでいる。2個のLEDの上下方向の間隔は、13.0cmで一定である。このコンディションでは、錯視的ではない"素直な"刺激を用いている。

第三は"Short"コンディションである。これは図5-7(c)に示すように、左右面それぞれに3列のLEDが、被験者から遠ざかるにつれて互いの間隔が広がるように配置されている。これは短い直線的（図中点線）な配列をシミュレートしている。LEDの実際の位置は、被験者から186, 237, 300cmの距離であり、上下の間隔はそれぞれ14.2, 15.7, 17.6cmである。これは、170, 196, 222cmの距離に上下の間隔が13.0cmで規則正しく並んでいるLEDをシミュレートしている。このコンディションでは、図中点線のように比較刺激とテスト刺激の間隔が短く知覚されると予想される。

以上三種の周辺刺激は、実際には全て1.7～3.0mの範囲に置かれている。このため、両眼視差による奥行き情報としては変化がない。

(実験条件、手順)

実験はすべて両眼視で行った。テスト刺激の大きさ (St) は36mm (視角 2.1deg)、実際の距離 (Dt) は1m、比較刺激の大きさ (Sc) は7mm~148mm (視角 0.1~2.7 deg) の範囲で可変であり、距離 (Dc) は3.26mである。テスト刺激と比較刺激の間の両眼視差 (Disparity) は 0.0, +0.60, +1.15deg の3種であり、観察者の両眼間の距離を64mmとしたときにそれぞれの値は 3.26, 2.13, 1.61 mの距離に対応する。周辺刺激は実際には常に1.7~3.0m の範囲に置かれているため、両眼視差の条件が+1.15 deg (Dt が1.61m) のとき、周辺刺激はテスト刺激と比較刺激にのちょうど間に位置することになる。

刺激条件は、9種 (3 (Disparity) $\times$ 3 (周辺刺激)) がある。大きさ応答の実験では、各被験者はこれら9種の条件に対して、“見えの視角”と“実物の大きさ”の二通りのインストラクションでそれぞれ8回応答を行った。36応答 (3 (刺激条件) $\times$ 4 (応答)) を1セッションとしたので、各被験者は4セッションの大きさ応答実験を行った。一つのセッション中は、同一のインストラクションによる実験である。実験の手順、インストラクション、応答の方法は実験5、実験6と同様である。奥行き応答の実験では、被験者は、知覚されるテスト刺激までの距離 (Dt') と、テスト刺激と比較刺激の間隔 (d') を口頭によりセンチメートル単位で応答する。このとき触覚による情報を参考にする。奥行き応答の時、被験者は90cmの長さの細い棒を手にとっており、これを用いて距離、奥行き応答の基準とする。この棒には、10cm刻みに浅い切れ込みが、また両端から30cmの位置には深い切れ込みがある。被験者はそれらの長さ、切れ込みの位置をあらかじめ知らされている。一つの刺激呈示に対し、距離 (Dt') 及び奥行き (d') 応答は連続して一回ずつ行われる。また応答の間、刺激は呈示されたままであり、時間の制約はない。応答回数は、各刺激条件でそれぞれ四回である。この実験の時、比較刺激の大きさは、テスト刺激の視角と等しくなるように調整されている。

(被験者)

8人の男性 (MS, IK, HM, TY, TS, YN, TT, HK) が、被験者として実験に参加した。彼らは、大学の研究室に所属する学生または職員であり、心理物理学実験の経験を有する。MS, TY, TS, TT, HKの5人は視力矯正をして実験を行った。各被験者は、通常の立体視機能を有しており、著者であるHK以外は実験の目的に関してナীবである。

5.3.2 実験結果及び考察

図5-8に、テスト刺激の距離応答 (Dt') の結果を、被験者別に示す。横軸はテスト刺激と比較刺激の間の両眼視差である。各点は被験者が口頭で応答した Dt' であり、四回の応答の平均である。シンボルの違いは周辺の刺激に対応している。またいくつかのグラフ中に見られる曲線は、両眼視差から計算された理論的な Dt である。各被験者の結果とも、両眼視差が増加するにつれて知覚的距離も減少している。これは予想される方向の知覚変化であるが、全ての被験者の応答値は理論値よりかなり小さい。また周辺の刺激による影響も若干見られる。同じ両眼視差量であれば、被験者TS, IK, HK, HM, の場合は"Short"の時に Dt' が最も小さくなり、TY, MSでは逆に"Long"の時に Dt' が小さくなる。

図5-9に、テスト刺激と比較刺激の奥行きの応答 (d') 結果を示す。横軸は両眼視差であり、各点は被験者の応答による d' である。図5-8と同様に、三種のシンボルは周辺刺激に対応し、グラフ中の曲線は両眼視差から計算される理論的な d である。各被験者の応答値は、両眼視差とともに増加している。この変化は両眼視差から予想される方向である。また多くの被験者で、周辺刺激の影響が明かである。この実験の意図のように、両眼視差量が同じであれば d' は、"Short"コンディションでは小さく、"Long"では逆に大きくなっている。しかし今回得られた d' 応答は、 Dt' の場合と同様に、理論的な d の値よりもかなり小

さかった。

図5-10に、上の Dt' と d' の応答から計算した、テスト刺激と比較刺激の知覚的距離の比を示す。各点は下の式によって計算された値である。

$$\text{ratio} = d' / (d' + Dt') \quad (5-1)$$

距離の比を求めた理由は、今回の実験で求めた、二つの刺激によるマッチングによる相対的な大きさ応答と比較するためである。図5-8, 9と同様に、シンボルは周辺刺激に対応し、曲線は理論的な距離の比の値を示す。この結果より、多くの被験者で、 Dt' の応答と同様に、二つの刺激の知覚的な距離の比が周辺の刺激から予想される方向で変化していることがわかる。すなわち周辺刺激の条件がshort, middle, long となるにつれて二つの刺激の知覚的距離の比が増加する。この傾向は被験者TS, HK, IK, では非常に顕著であるが、TT, HMでは明確ではない。

以上のように、錯視的な周辺刺激によって、両眼視差は一定のままテスト刺激と比較刺激の知覚的奥行きを変化させるというこの実験の試みは一応成功したと思われる。序論で述べた知覚の大きさと知覚的距離の間に比例関係 (SDIH) があれば、図5-10に示されるような、知覚的距離の比の変化が、相対的な知覚の大きさの比に変化を与えられられる。

図5-8
周辺刺激コンディションの違いによる
テスト刺激の知覚的距離 (Dt')

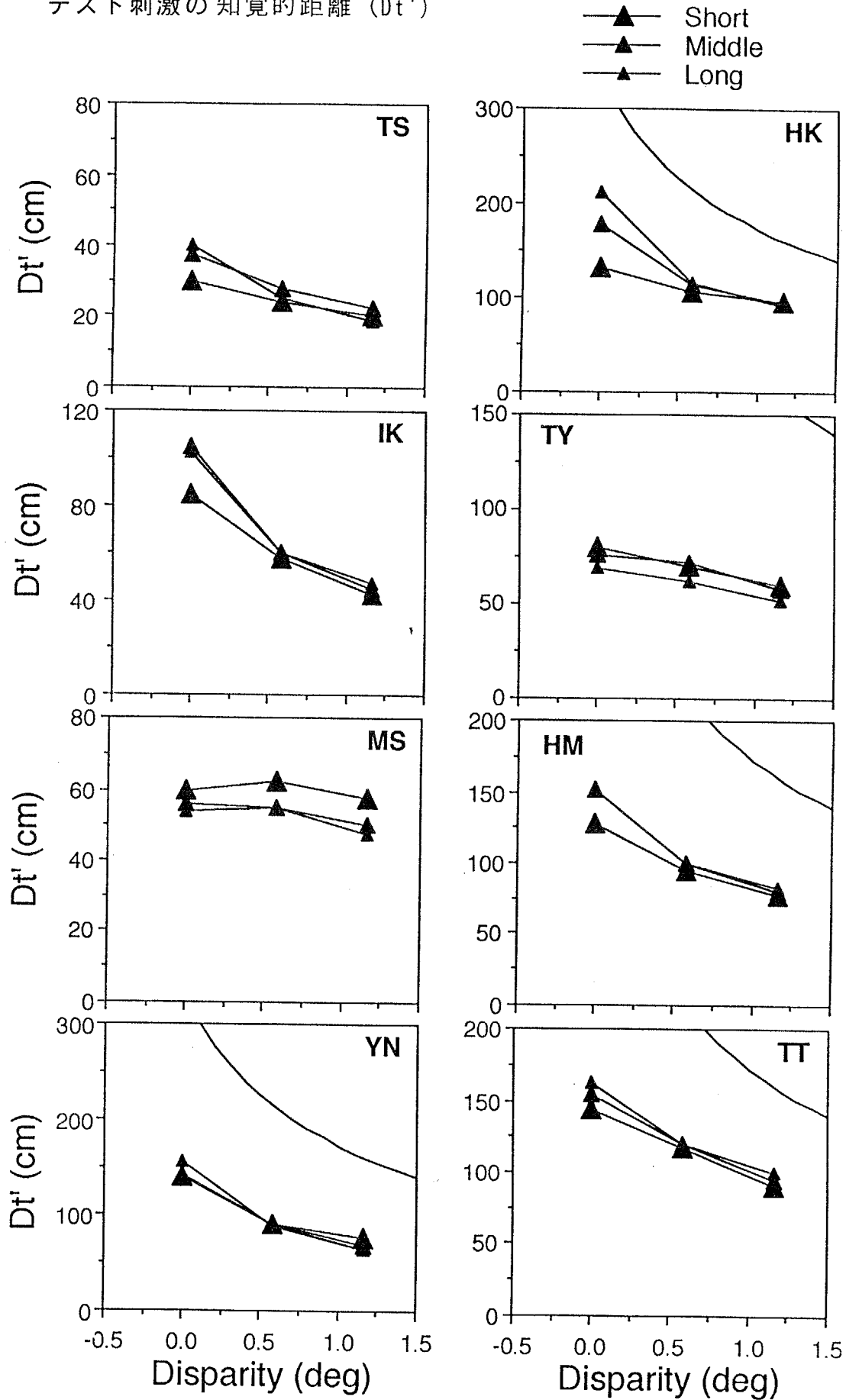


図5-9
周辺刺激コンディションの違いによる
テスト刺激と比較刺激の間の奥行き (d')

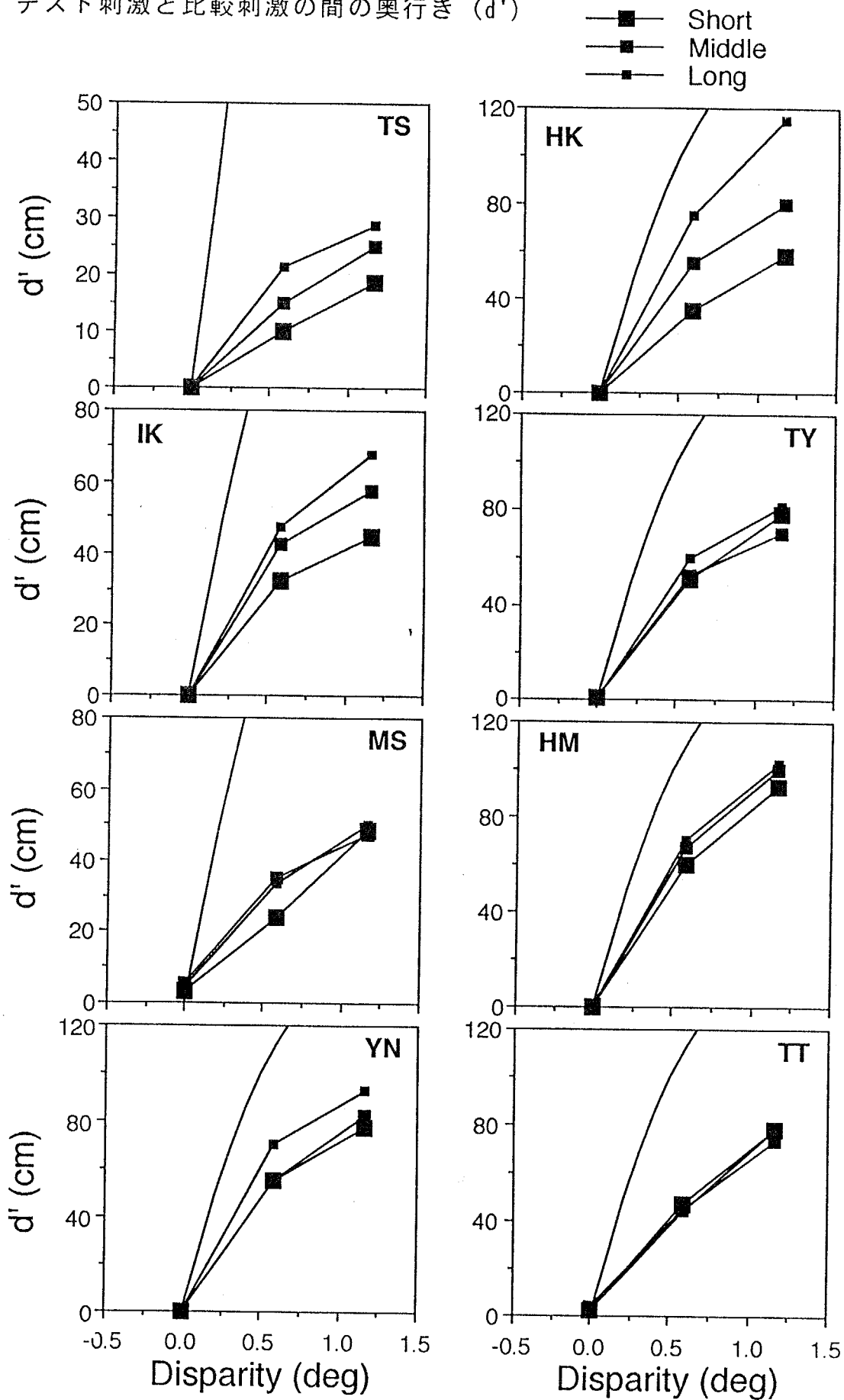


図5-10
 周辺刺激コンディションの違いによる
 テスト刺激と比較刺激の知覚的距離の比
 ($d'/(d'+Dt')$)

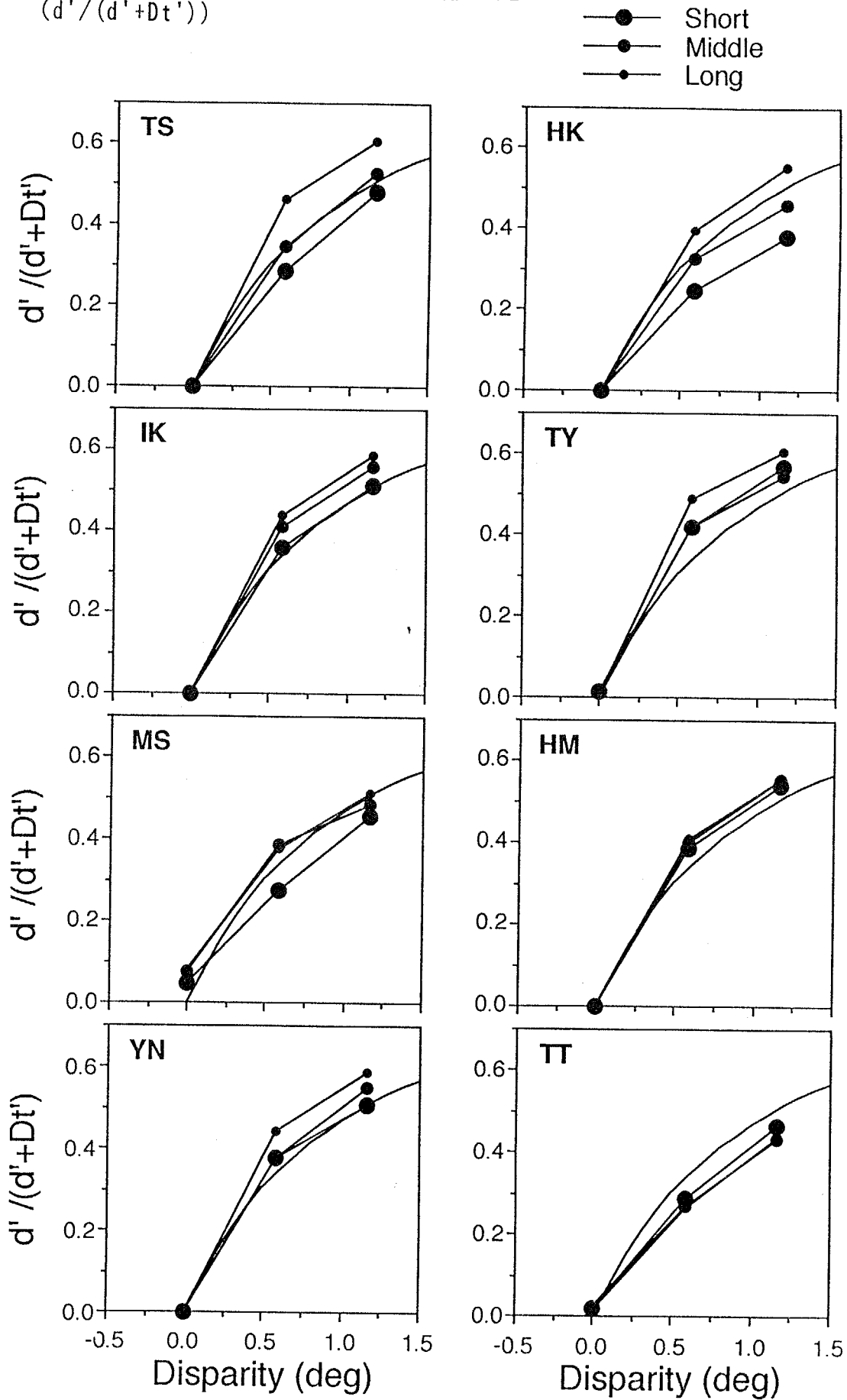


図5-11, 12に、被験者TS, IK, HK, TY及びMS, YN, HM, TTの大きさ応答の結果をそれぞれ示す。横軸は両眼視差、縦軸は比較刺激の大きさを示す。データ点は、大きさマッチング時の比較刺激の大きさである。黒シンボルは”実物の大きさ”、白シンボルは”見えの視角”マッチングの結果であり、シンボルの大きさは大きいものから順に”Short”, ”Middle”, ”Long”の周辺刺激に対応する。また図中の直線は物理的な視角、曲線は理論的な実物の大きさの値を示す。

これより、”見えの視角”マッチングでは、ほとんどの被験者の結果は周辺刺激に影響されない。一方”実物の大きさ”マッチングの結果は周辺刺激によって影響される被験者が多かった。特に被験者TS, HK, IK, TYではこの傾向が顕著である。表5-1に、各両眼視差条件における三種の周辺刺激の結果を、t検定によって比較した結果を示す。これより、両眼視差が0.6, 1.15degの場合に、多くの被験者の”実物の大きさ”は周辺刺激による違いが見られるが、”見えの視角”は有意な差がないことが確認される。しかし個人差も見られる。被験者YNでは、二種の大きさマッチングで共に周辺刺激に影響があり、HMでは常に周辺刺激の影響が見られない。

大きさマッチングの変化の方向は、奥行きに応答（知覚的距離の比）から予想されるものである。この結果は、実験5、6と同様に”実物の大きさ”の知覚が知覚的奥行きに伴って変化することを、示唆している。また、被験者HMの”実物の大きさ”応答及び奥行き応答は、共に周辺刺激の影響が見られなかった。このことも、”実物の大きさ”の知覚と距離（奥行き）の知覚が互いに関係し合っている、という考えを支持するものである。

図5-11
周辺刺激コンディションの違いによる
“見えの視角”と“実物の大きさ”
(被験者: TS, IK, HK, TY)

- S'-Short
- S'-Middle
- S'-Long
- θ' -Short
- θ' -Middle
- θ' -Long

Comparison Size (mm)

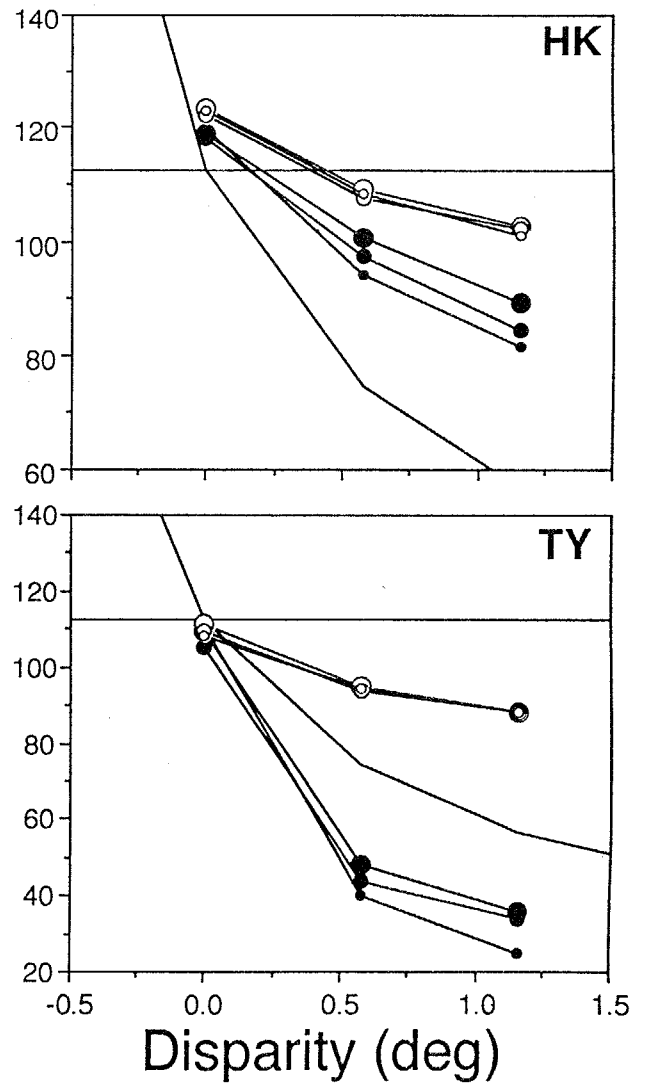
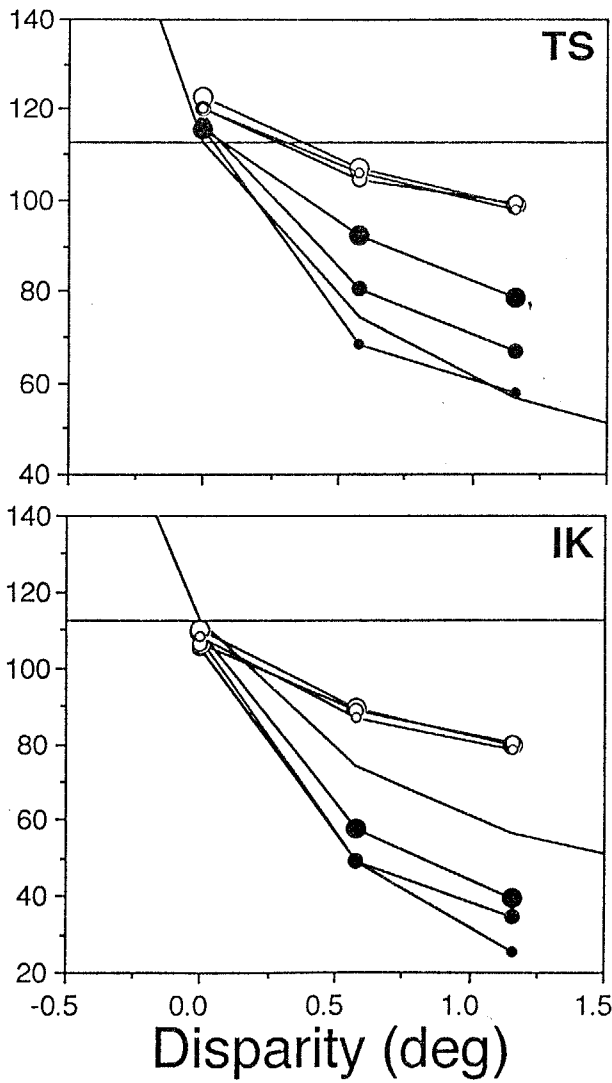
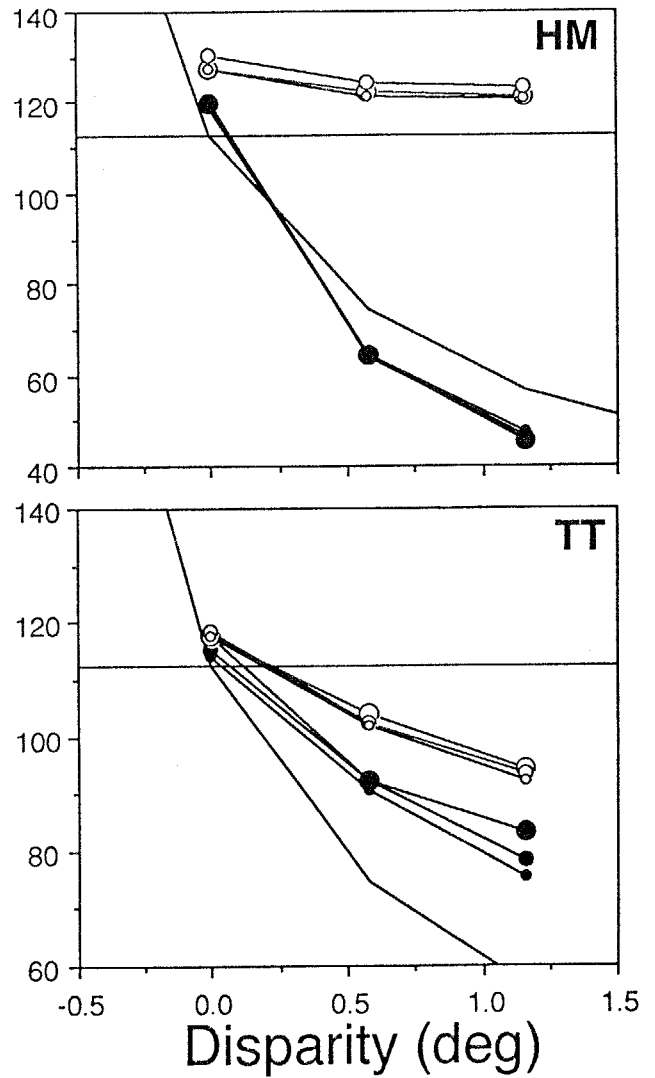
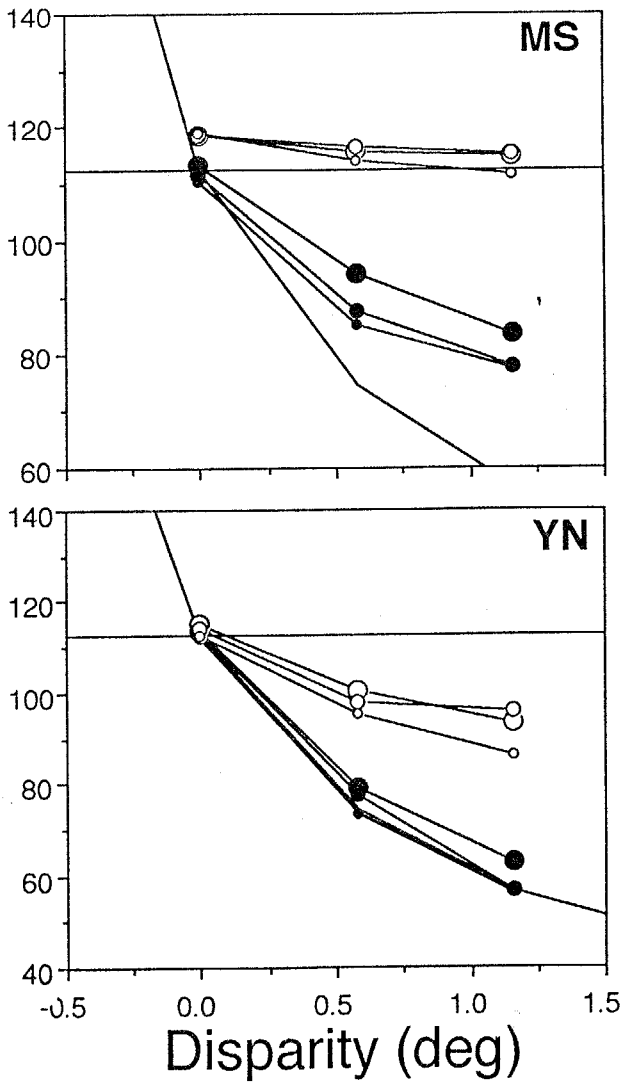


図 5-12
周辺刺激コンディションの違いによる
”見えの視角”と”実物の大きさ”
(被験者: MS, YN, HM, TT)

Comparison Size (mm)

- S'-Short
- S'-Middle
- S'-Long
- θ' -Short
- θ' -Middle
- θ' -Long



Sub.	Condition	S'			θ		
		0.0 deg	0.6 deg	1.15deg	0.0 deg	0.6 deg	1.15deg
TS	S-M	ns	* *	* *	ns	*	ns
	S-L	ns	* *	* *	*	ns	ns
	M-L	ns	* *	* *	ns	ns	ns
IK	S-M	ns	* *	*	ns	ns	ns
	S-L	ns	*	* *	ns	ns	ns
	M-L	*	ns	* *	ns	ns	ns
HK	S-M	ns	* *	* *	ns	ns	ns
	S-L	ns	* *	* *	ns	ns	ns
	M-L	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TY	S-M	*	ns	ns	ns	ns	ns
	S-L	ns	* *	* *	*	ns	ns
	M-L	ns	ns	*	ns	ns	ns
MS	S-M	*	* *	* *	ns	ns	ns
	S-L	* *	* *	* *	ns	ns	ns
	M-L	ns	ns	ns	ns	ns	*
YN	S-M	ns	ns	* *	ns	ns	ns
	S-L	ns	* *	* *	*	* *	* *
	M-L	ns	*	ns	ns	ns	* *
HM	S-M	ns	ns	ns	*	ns	ns
	S-L	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	M-L	ns	ns	ns	# #	ns	ns
TT	S-M	*	ns	*	ns	ns	ns
	S-L	* *	ns	* *	ns	ns	ns
	M-L	ns	ns	ns	ns	ns	ns

表5-1

周辺刺激のコンディションが異なる場合に、
大きさマッチングの結果が違わない

という仮定に基づく t 検定

S; Short, M; Middle, L; Long

** ; $P < 0.01$, * ; $P < 0.05$ ($S > M > L$), # # ; $P < 0.01$ ($S < M < L$),

ns; not significant

5.4 まとめ

”見えの視角”の知覚は、周辺の刺激を変えても変化がなかった。相対的な見えの視角は両眼視差の値により一意的に決まっていると思われる。一方”実物の大きさ”は、周辺の刺激による影響を受けた。変化の方向は、周辺の刺激から予想される奥行きに合致するものである。そして実験7の結果から、実物の大きさの応答が奥行きの応答と合致していることが確認された。この章の冒頭で述べたように、知覚的奥行き（距離）が”実物の大きさ”の知覚を決める要因になっていると考えられる。

第6章 総合的考察

6.1 知覚の大きさ知覚の距離、奥行き

<本研究の概観>

実験1、2では、輻輳の手がかりと知覚の大きさ、距離の関係について調べた。これより、輻輳角の変化に伴う知覚の大きさの変化は、刺激が両眼像でなくとも安定していた。しかし輻輳が距離の手がかりとなるためには、両眼像が必要であった。両眼像の条件では、知覚の大きさと知覚の距離の間に相互関係があるかのような結果であったが、単眼像の場合は相互関係を否定するものであった。単眼の結果は、両眼のときに見られる関係が見かけ上のものにすぎず、序論で述べた「視角が一定であれば、知覚の大きさと知覚の距離に比は一定となる」という大きさ、距離不変仮説(SDIH)は成り立っていないことを示している。

また実験3、4では、刺激対象中の速度と知覚の大きさ、奥行きの関係について調べた。これより、最も単純な二列の刺激の場合(実験3)では、速い速度で運動する刺激が遅いものよりも常に小さく知覚されることが示された。しかし奥行きに関しては、大きさの応答とSDIHから予想される、「速い刺激が近い」という応答が、常に見られるとは限らなかった。また、刺激中の列の数を増やして速度勾配を与えた場合(実験4)は、奥行き応答と大きさ応答の間にSDIHの関係があることが示唆された。

実験1、2及び3の結果は、知覚の大きさが網膜像の大きさあるいは視角と知覚の距離、奥行きのみによって決定されるのではないことを示している。実験1、2で知覚の大きさを決定していると考えられるのは、動眼性の輻輳及び網膜像の大きさである。また、実験3で知覚の大きさの手がかりと考えられるのは、刺激対象中の速度と網膜像の大きさである。しかし実験4の結果は、知

覚的大きさが知覚的奥行きと相互的な関係を持つ場合があることも示唆している。また、距離または奥行き知覚の手がかりと考えられるのは、実験1、2では融像性輻輳であり、実験4では刺激中の速度勾配である。

第4章では、まず知覚的大きさを二種類に分けることを提案した。これらは”実物の大きさ”と”見えの視角”である。これによって、実験1～4で得られた一見複雑に見える知覚的大きさと距離の関係を簡潔に説明できると考えた。実験5では、両眼視差（輻輳）、視角、絶対距離を変数として、二種の知覚的大きさを同時マッチング法により測定した。この結果、”実物の大きさ”と”見えの視角”は明らかに分離可能な知覚であった。また、ステレオスコープを使って異なる距離に呈示された二つの刺激の”見えの視角”の比は、それらの視角（網膜像の大きさ）と両眼視差量によって決まっていた。そして、この比の値は、刺激の絶対的な距離、すなわち絶対的な輻輳が異なる場合でも、両眼視差が同じであれば変化がなかった。また単眼による観察では、二つの刺激の”見えの視角”マッチングは、物理的な視角によるマッチングと同じであった。一方”実物の大きさ”は、網膜像の大きさと両眼視差量に加えて、刺激の絶対的な距離による影響を受けた。

第4章の結果から、”見えの視角”のための手がかりは両眼視差及び輻輳、そして網膜像の大きさであると考えられる。また”実物の大きさ”には、両眼視差、輻輳、網膜像の大きさに加えて何らかの絶対的な距離に関する手がかり（絶対的な輻輳の値）が関与していると考えられる。”実物の大きさ”は”見えの視角”と”知覚的な距離”によって決まっていると言ってもいいかもしれない。

第5章では、周辺刺激の手がかりが、知覚的距離、奥行き及び二つの知覚的大きさに与える影響について調べた。この結果、周辺の刺激、特に錯視的な刺激（実験7）が、”知覚的距離、奥行き”と”実物の大きさ”に影響を及ぼすことがわかった。これらの知覚の関係は、SDIHから予想される方向である。ここで、”実物の大きさ”に関与していると考えられる手がかりは、両眼視差及

び輻輳、網膜像の大きさ、そしてパースペクティブ、または知覚的距離（奥行き）である。一方”見えの視角”は周辺刺激によって変化は見られなかった。”見えの視角”は、両眼視差及び輻輳、そして網膜像の大きさの手がかりによって決まっており、パースペクティブの手がかりからは、影響を受けないことが確認された。これらの結果は、実験5と矛盾しない。

＜大きさ応答から計算される知覚的距離、奥行き＞

実験5、7において、”実物の大きさ”と知覚的距離、奥行きがSDIHの関係に対応した方向で変化したことから、これらの知覚の間に相互関係があることが示唆された。そこで、実験7の結果から、”実物の大きさ”と物理的な視角、及び”実物の大きさ”と”見かけの視角”から、知覚的奥行きをそれぞれ計算した。

まず、比較刺激（comparison）とテスト刺激（test）の大きさ（S）、距離（D）、視角（ θ ）の物理的な関係はそれぞれ以下の通りである。

$$S_c/D_c = \tan \theta_c \quad (6-1)$$

$$S_t/D_t = \tan \theta_t \quad (6-2)$$

これらの関係を図6-1(a)に示す。

次にSDIHに従って、知覚的大きさ（S'）と知覚的距離（D'）が決まっているとした場合、比較刺激及びテスト刺激のS', D', θ' の間には以下の関係がある。

$$S'_c/D'_c = k \tan \theta_c \quad (6-3)$$

$$S'_t/D'_t = k \tan \theta_t \quad (6-4)$$

kは比例定数である。ここで”実物の大きさ”マッチングの場合には、

$$Sc' = St' \quad (6-5)$$

となっていると考えられるので、知覚的距離の比は

$$\begin{aligned} Dt'/Dc' &= \tan \theta_c / \tan \theta_t \\ &\approx \theta_c / \theta_t \end{aligned} \quad (6-6)$$

と計算される。これらのSDIHの関係を図6-1(b)に示す。

そして最後に、実物の大きさ (S')、知覚的距離 (D')、見えの視角 (θ') の間に式(6-1,2)のような関係があるとした場合である。このとき、比較刺激とテスト刺激の S' , D' , θ' の関係は以下のように示される。

$$Sc'/Dc' = k \tan \theta_c' \quad (6-7)$$

$$St'/Dt' = k \tan \theta_t' \quad (6-8)$$

ここで”実物の大きさ”マッチングの場合には、

$$Sc' = St' \quad (6-9)$$

となっていると考えられるので、知覚的距離の比は

$$\begin{aligned} Dt'/Dc' &= \tan \theta_c' / \tan \theta_t' \\ &\approx \theta_c' / \theta_t' \end{aligned} \quad (6-10)$$

と計算される。この関係を図6-1(c-1)に示す。そして”見えの視角 (θ') ”と視角 (θ) に間には、以下の関係があるとする。

$$\theta c' = fc(x) \theta c \quad (6-11)$$

$$\theta t' = ft(x) \theta t \quad (6-12)$$

$fc(x)$, $ft(x)$ は、両眼視差によって決まると思われる、視角と”見えの視角”の違いを生み出す係数である。ここで”見えの視角”マッチングの場合には、

$$\theta c' = \theta t' \quad (6-13)$$

となると考えられるので、式(6-7,8)より、

$$\begin{aligned} fc(x) \theta c[\theta'] &= ft(x) \theta t[\theta'] \\ \therefore fc(x) &= ft(x) \theta t[\theta'] / \theta c[\theta'] \quad (6-14) \end{aligned}$$

となる。ここで、 $\theta t[\theta']$ 、 $\theta c[\theta']$ は”見えの視角(θ')”が等しい場合のテスト刺激及び比較刺激の視角(θ)を示す。この関係を図6-1(c-2)に示す。ここで $fc(x)$ は、両眼視差が一定なら変化しないと仮定する。そこで、式(6-11, 12, 14)を式(6-10)に代入すると、

$$\begin{aligned} Dt'/Dc' &= \theta c' / \theta t' \\ &= fc \theta c / ft \theta t \\ &= (\theta c \theta t[\theta'] / \theta c[\theta']) / \theta t \quad (6-15) \end{aligned}$$

と計算される。

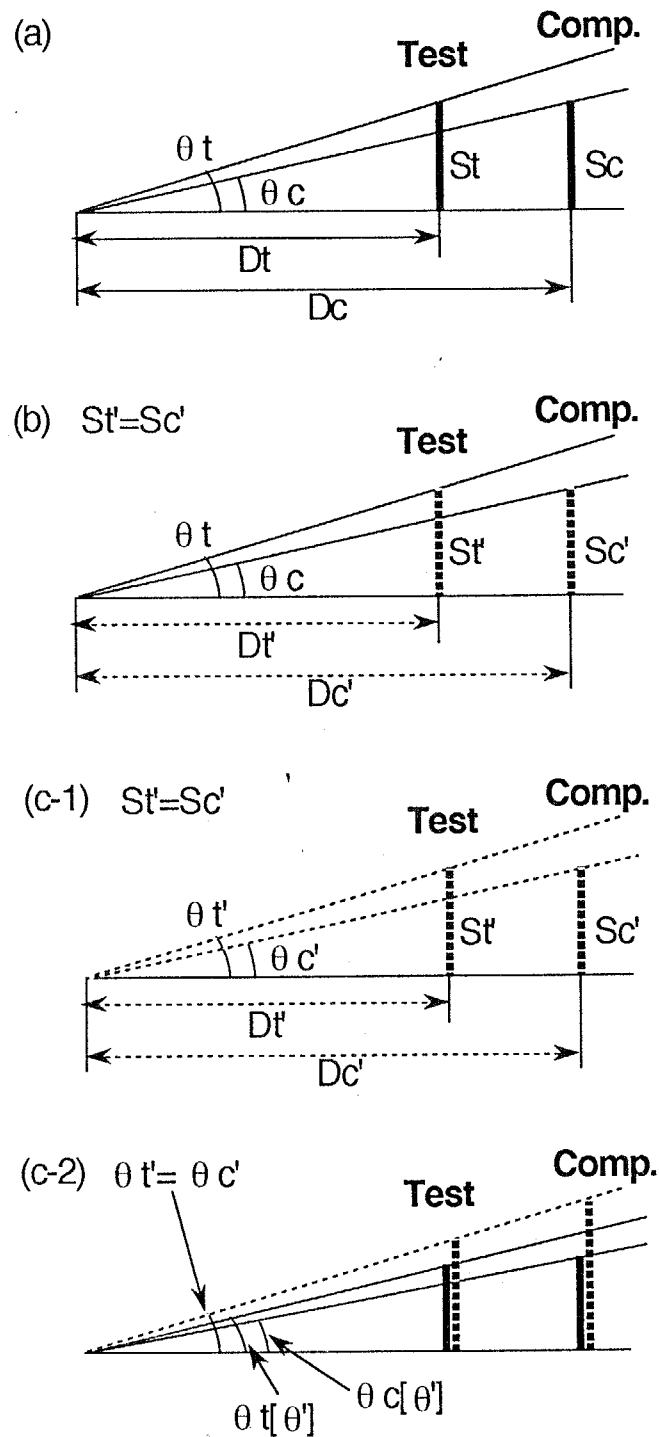


図 6-1

比較刺激(Comp.) とテスト刺激(Test) の

(a) 大きさ(S), 距離(D), 視角(θ) の関係

(b) 知覚的実物の大きさ(S'), 知覚的距離(D'), 視角(θ) の関係

(c-1) 知覚的実物の大きさ(S'), 知覚的距離(D'), 見えの視角(θ') の関係

(c-2) 見えの視角(θ') と視角(θ) の関係

式(6-6)及び(6-15)に、実験7の結果を当てはめたものを、図6-2(TS, IK, HK, TY)及び図6-3(MS, YN, HM, TT)に示す。各図には、 $d/(Dt+d)(=1-Dt/Dc)$ に対応する値がプロットしてある。これは、被験者の実際の応答がテスト刺激までの距離(Dt')とテスト刺激と比較刺激の間隔(d')であったためである。また横方向に同じ被験者の結果であり、左から順に、(6-6)式、(6-15)式、そして被験者の Dt' , D' 応答により計算したものである。右端のグラフは図5-1と同じものである。各図の横軸は両眼視差であり、シンボルの大きさが周辺刺激の条件に対応しており、大きいものから順にShort, Middle, Longの結果である。また図中の曲線は、両眼視差から計算される理論的な $d/(Dt+d)(=1-Dt/Dc)$ を示している。

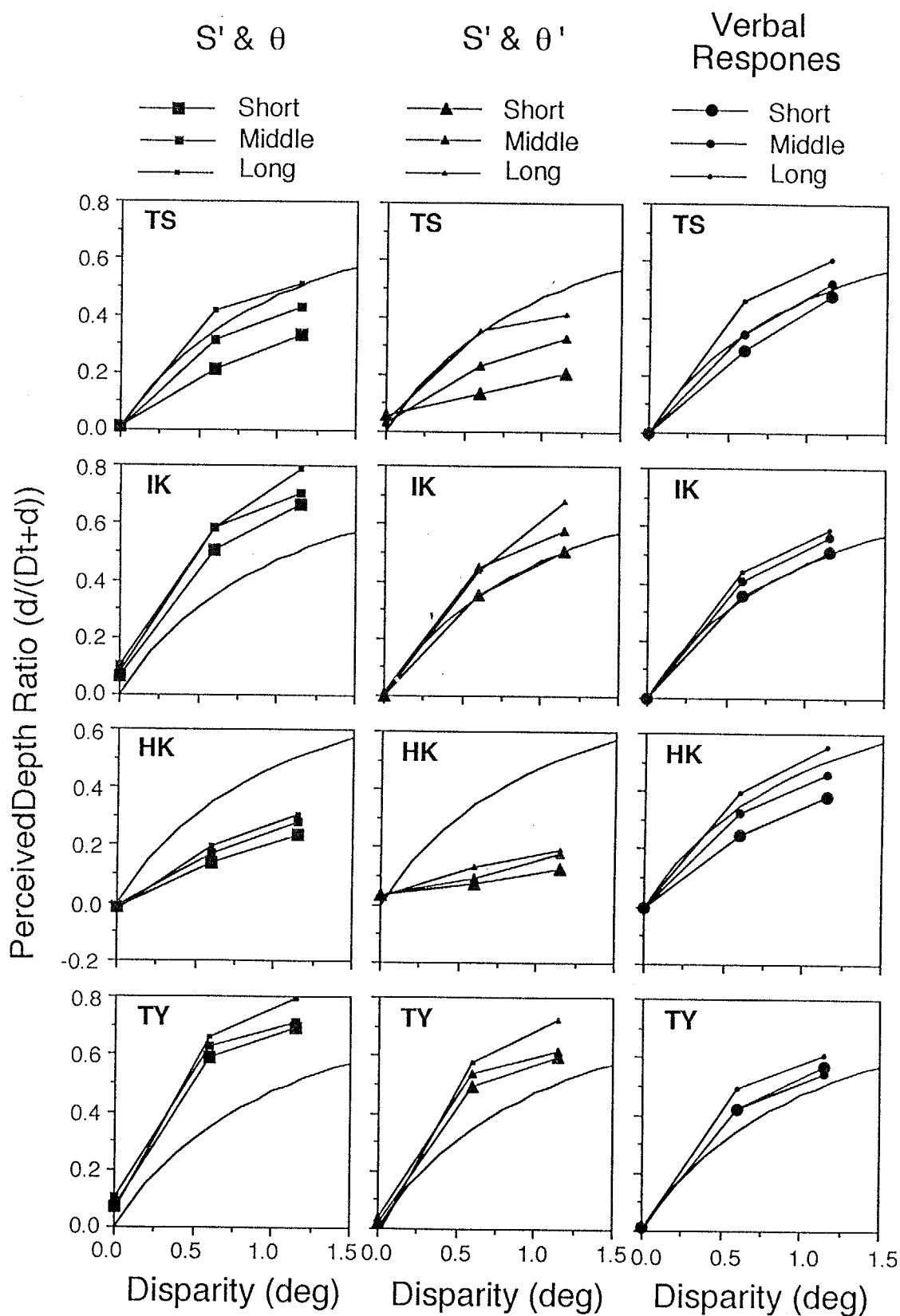


図6-2

視角 (θ) と実物の大きさ (S') (左),
 見えの視角 (θ') と実物の大きさ (S') (中央),
 口頭による応答 (右),
 から計算した知覚的奥行き ($d/(Dt+d)$)'
 (被験者; TS, IK, HK, TY)

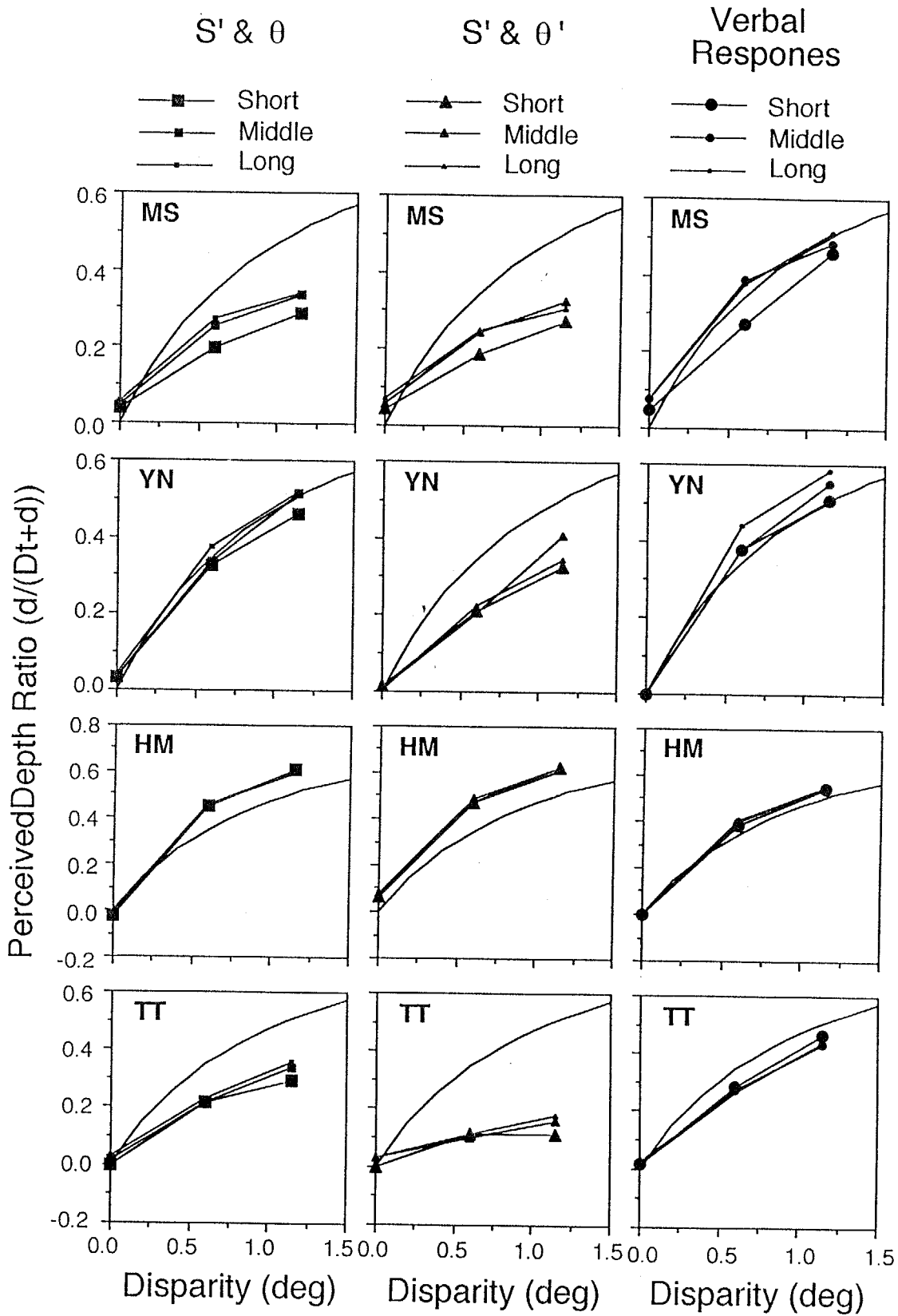


図 6-3
 視角 (θ) と実物の大きさ (S') (左),
 見えの視角 (θ') と実物の大きさ (S') (中央),
 口頭による応答 (右),
 から計算した知覚的奥行き ($d/(Dt+d)$)'
 (被験者; MS, YN, HM, TT)

全体的に、上の三つの算出方法による知覚的奥行きの中では、口頭による応答によるものが理論的な値にもっとも近い。しかし、口頭による応答が実際の知覚を正確に記述しているとは限らない。Gogel and Da Silva(1987)は、大きさと距離の応答に関して二段階のプロセスがあるとしている。第一段階は、大きさと距離の間にはSDIHの関係が成り立っている”知覚的(perceptual)”なプロセス、そしてそれに続く第二段階は、記憶や実験者からの示唆による影響を受ける、”認知的(cognitive)”なプロセスである。前者の応答は、被験者が頭を動かすことにより生じる、外界の対象の見かけの動きを打ち消す方法によって得られ、後者は、被験者の口頭による応答などによって得られるとしている。この二つのプロセスによって、図6-2,3の口頭による奥行きの比と、大きさ応答(実物の大きさと視角、及び実物の大きさと見えの視角)から計算した奥行きの比の違いを説明できると思われる。しかし口頭による”認知的”応答では得られない”知覚的距離、奥行き”を計算するために、”見えの視角”を用いることが、物理的な視角を用いる場合よりも適当であるかということに関しては、図6-2,3から結論を出すことはできない。しかし、見かけの動き打ち消し法によって測定した知覚的距離と、大きさ応答とSDIHの関係を使って求めた知覚的距離は、非常に良い相関があるが、大きさ応答による距離の方が常にやや大きいことが示されている(Gogel, Loomis, Newman and Sharkey 1985)。もし、実物の大きさと見かけの視角を用いて知覚的距離(奥行き)を計算すれば、動き打ち消し法による距離と一致するかも知れない。これらのことに関しては、更に詳しい研究が必要であろう。

6.2 物体の大きさ知覚決定機構

<モデル>

本研究の実験結果から、“見えの大きさ”、“実物の大きさ”、“距離（奥行き）”の三つの知覚の関係および、それらの手がかりについてある程度明らかになったと思われる。それらの関係を示したものを図6-4に示す。上段が各種手がかりであり、下段が最終的な知覚を示している。

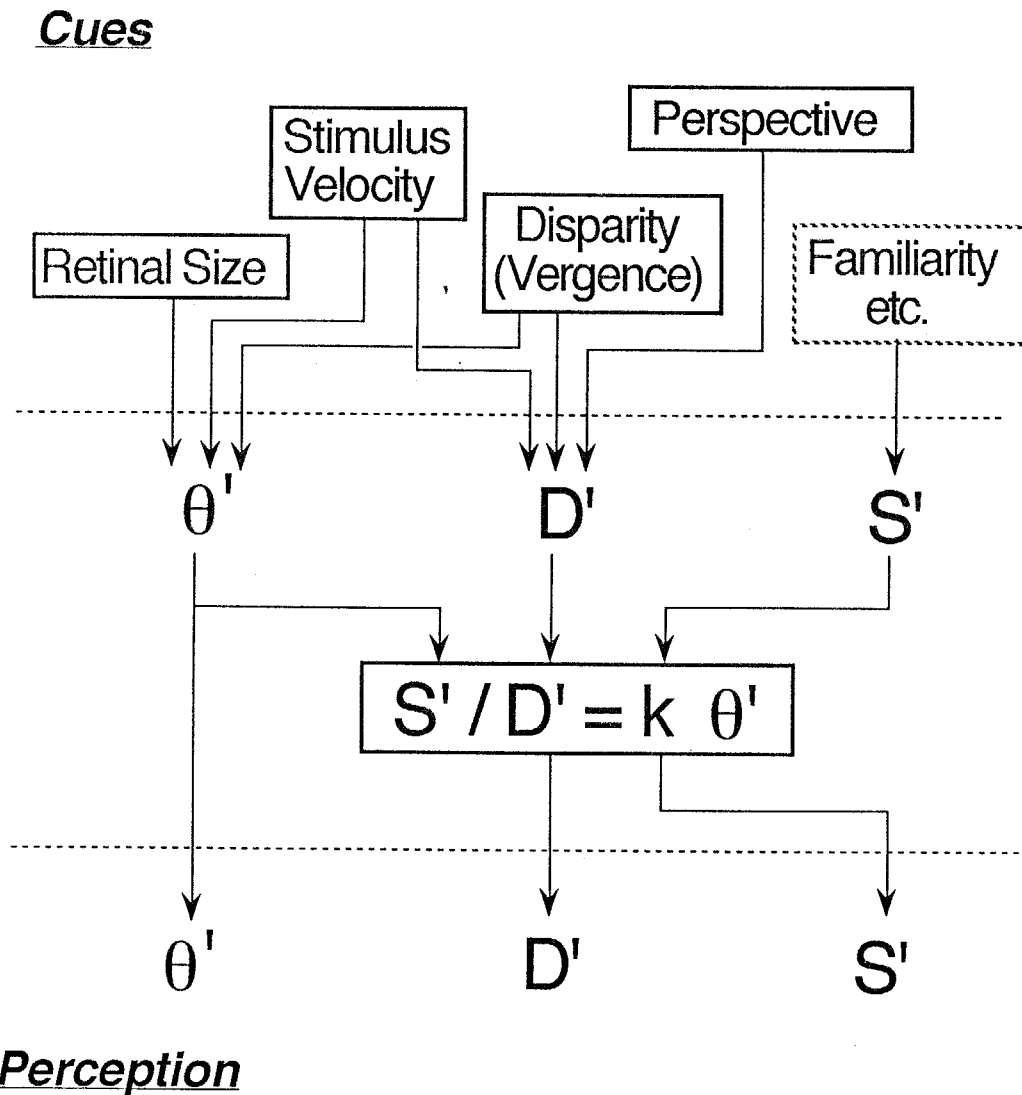


図6-4
見えの視角 (θ')、知覚的距離 (D') 及び
知覚的実物の大きさ (S') の決定機構モデル

まず、上段から中段に入る段階では、各手がかりの情報を処理し三つの知覚の原型をそれぞれ決めていると考える。見えの視角 (θ') は、両眼視差または輻輳と網膜像の大きさによって決まっている。また刺激の速度の影響もある。次に知覚的距離 (D') (奥行き (d')) は、両眼視差 (輻輳)、刺激速度 (速度勾配)、そしてパースペクティブの影響がある。実物の大きさ (S') に対しては、親近性 (familiarity) (Gogel 1981; Higashiyama 1984) による手がかりや、継時的に同じ形状で大きさの異なる刺激 (Higashiyama 1977, 1979) または、形状は一定のまま大きさが時間的に変化する刺激 (Beverley and Regan 1979; Regan and Beverley 1978; Heuer 1987) が呈示された場合に被験者がそれらを同一であるとみなしてしまう傾向による手がかり、などの影響が考えられる。大きさの時間的変化の手がかりは、奥行きの手がかりとして考えられがちだが、それが奥行き運動の知覚を生み出すためには、実物の大きさには変化がないと解釈されていなければならない。

次の段階で、三つの知覚が互いに結びついている。この関係を下式に示す。

$$S' / D' = k \tan \theta' \\ \approx k \theta' \quad (6-16)$$

この式は図6-4の中央に示されているが、大きさ距離不変仮説 (SDIH) を表すものとほぼ等しい。異なるのは、“物理的な視角 (θ)” の代わりに、“見えの視角 (θ')” としている点である。“実物の大きさ (S)” と“距離、奥行き”の知覚 (D' (d')) のどちらかと“見えの視角 (θ')” によって、もう一方の S' または D' (d') が、(6-16) 式の関係により決まる。ここでは、 θ' は基本的な量であり、 D' (d') または S' によって影響されないと思われる。

そして最終段階で、“見えの視角 (θ')” “実物の大きさ (S')” “距離 (奥行き) (D' (d'))” が知覚として現れる。ここで重要なのは、 θ' と S' が同時に存在するということである。

以上のモデルにおいて、問題となる点がいくつかある。第一は、(6-16)式に入力される、 θ' , S' , D' (d') が矛盾している場合、その後の出力はどうなるのかという問題である。先に述べたように、 θ' は基本的な量であると考えられるので変化はない。また、 S' と D' (d') は(6-16)式の以前に強く決まっている方が、もう一方を決めているのが通常であると思われるが、それぞれの強さによって重み付けされ、中間的な値で S' と D' (d') の最終的な知覚が決まっている可能性もある。

問題の第二は、“実物の大きさ”と“見かけの視角”区別されていない場合、“大きさ”の応答としてどちらを用いるかという点である。Ono (1966) は、奥行き手がかりが豊富に得られる観察条件と、単眼観察、アパーチャーによる視野制限によって奥行き手がかりが減少している条件において、被験者に二つの刺激の大きさ判断をさせた。このとき一群の被験者には、実際の大きさの判断が正確にできるように、またもう一群には物理的な視角に対する正確な判断ができるように、フィードバックを与えて実験を行った。そしてそれぞれの場合の学習の速さを調べた。この結果、奥行き手がかりが豊富にある場合は、実物の大きさの正確な判断が速く学習され、奥行き手がかりがない場合は視角の判断が速く学習された。“実物の大きさ”と“見かけの視角”の知覚も Ono の研究の結果に対応していると思われる。被験者は、単に“大きさ”を答えるという指示を与えられた場合、奥行き手がかりが豊富なときは“実物の大きさ”の知覚を“大きさ”として答え、手がかりが少ないときは“見えの視角”の知覚を“大きさ”応答としやすいと考えられる (Higashiyama 1984)。しかし、これらの二つの大きさの知覚が、一つの刺激に対して同時に存在していることは、本研究の実験から示されている通りである。人間が通常の生活する上で必要なのは、対象の実際の大きさに関する情報であり、網膜像の大きさではない。だから通常の状態、すなわち奥行き手がかりが豊富な場合では、“見えの視角”より“実物の大きさ”を答え易いのは自然であると思われる。

このモデルで用いている、“見えの視角” “実物の大きさ”と“知覚的距離、

奥行き”の三つの知覚が、それぞれ物理的な量に対応していること、またこの三種の知覚の関係が、それらと対応している三種の物理量の間の関係が同じであることも非常に重要であると思われる。われわれの知覚は、外界の空間を表現している。このため物理空間で存在するある固有な量、及びそれらの関係は知覚空間でも再現されているべきである。

次に”見えの視角”の意味について考える。人間の視覚過程の目的は、外界の対象の実際の大きさと距離、奥行きを知ることである。だから視角に対する感覚はそれ自体を知覚することが目的ではない。いままで述べてきたように、”見えの視角”が感覚として存在するのは、それが実際の大きさと距離、奥行きの知覚に有利なためであろう。”見えの視角”が物理的な視角と異なるのは、実物の大きさの知覚のための第一次補正のためという解釈も可能である。実物の大きさの知覚が知覚的距離、奥行きを唯一の拠り所にした場合、リスクが大きくなると思われる。それよりも、情報源の異なる二種類の知覚、すなわち見えの視角と知覚的距離、奥行きを用いて実物の大きさを計算した方が、仮にどちらか間違った場合でもダメージが少ない。また”見えの視角”が知覚として存在することは、相対的な距離の手がかりとなり得る視角としての情報を、高次のレベルあるいは意識のレベルで取り出せる、という意味もある。

<個人差>

大きさの知覚においても、他の視覚特性と同様に個人差は存在すると思われる。一つの例は実験6、7における、パースペクティブの手がかりの影響である。多くの被験者の”実物の大きさ”応答が周辺刺激によって変化する場合、被験者HMの”実物の大きさ”は常に変化がなかった。そして両眼視差量に対して、応答は非常に安定していた。HMの視覚系は、両眼視差の手がかりに大きい重みを置いて奥行き（距離）を知覚しているのではないか。また一方、実験6の被験者MSの場合では、両眼視差の手がかりがあるのにも関わらず、それをま

まったく無視し、周辺の刺激による手がかりに重みをおいた結果であるような応答が見られた。MSの視覚系にとっては、両眼視差よりも周辺の刺激の方が重要なのであろう。奥行きまたは大きさの知覚に関して、HMのような被験者は視差型、MSのような被験者は周辺型と呼ことができよう。

以上のように、本研究で用いた空間視の手がかりの範囲でも個人差が見られた。一般的に見れば、個人差は当然大きくなる。例えば、片眼を失った人にとっては、両眼視差や輻輳はまったく意味を持たない。しかし距離、大きさの知覚は当然あるだろう。空間視全体において、個人差を定量的に扱うことはまだ難しい。しかし、空間視の各手がかりに対する重み付けが各被験者によって異なることによって個人差が生じると考えられる。図6-4では上段から中段に至る部分である。外界の情報を取り入れるハードウェアに関する部分は、各個人で異なっているとしても当然である。しかしそれ以降の、知覚間の関係及び最終的に表現される知覚の形態には個人差はないと思われる。それは、“実物の大きさの知覚”、“見えの視角”、“知覚的距離、奥行き”がすべて外界の物理量に対応したものだからである。外界の物理法則は各個人に対して変化することはなく、また知覚は外界を表現している。

<大きさと距離、奥行き知覚に関する他のモデルとの比較>

知覚的大きさと知覚的距離の関係を記述するもっとも基本的なモデルが、序論で述べた大きさ距離不変仮説（SDIH）である。これによると、対象の知覚的大きさは、網膜像の大きさ（視角）と知覚的距離によって計算される。しかしこのモデルでは、本研究の実験1～4のよう矛盾が生じる場合がある。また月の錯視をSDIHによって説明すれば、月が地平線付近で観察される場合は、天頂付近の場合より“遠く”に知覚されるため、より“大きく”知覚される、となる。しかし、実際に被験者に、「どちらの月が遠いと知覚されるか」と質問した場合、天頂付近の月が“遠い”という答えの方が多い。この矛盾（size-

distance paradox) を説明するために、Rock and Kaufman (1964)は、意識下の距離 (registered distance) という概念を用いている。視角、registered distance とSDIHの関係によって地平線上の月が大きく知覚され、その後その知覚的大きさの影響で大きい月が近距離に知覚されるという説明である。そしてこのような解釈は、広く受け入れられている (Plug and Ross 1989)。

この考えを一般的な形にしたのが、Gogel and Da Silva(1987)の two-process theory である。大きさと距離に対する応答を、SDIHの関係に従う”知覚的”なprimary processとそれに続く、”認知的”な secondary process に分ける考えである。Higashiyama (1977)も、二つのモードによる知覚的距離と大きさがあると述べている。知覚的大きさが、知覚的距離またはregistered distance によって影響を受けるprimary processing mode と、このprimary processによって得られる知覚的大きさと、継時的な二つの刺激を同一であると思なすことにより相対的な距離を決定するsecondary processing mode である。そして、距離の手がかりが減少するに従い、知覚に対する重みが第一プロセス (primary mode) から第二プロセス (secondary mode) に移行していくとする。

これらの考えに対し、McCready は”perceived visual angle”という言葉を導入することにより、幾何学的錯視 (McCready 1985) と月の錯視 (McCready 1986) における、知覚的距離と知覚的大きさの矛盾を説明した。この考えが、先に上げたRock and Kaufman (1964)のregistered distance による説明等と大きく異なるのは、距離 (知覚的距離または意識下の距離) と関係がなく、メートル、キロメートルといった長さの単位を持たない”視角”が、幾何学図形などによる影響を受けるとした点である。またEnright (1989)は、実際の風景の中に両眼で観察される人工的な月を呈示し、月の知覚的大きさに対する知覚的距離の影響を調べた。被験者は、3km遠方の対象物と等距離に知覚される人工月と、その対象物に対して数分の交差両眼視差を持つ人工月の大きさを比べた。この結果、二つの人工月の知覚的距離は大きく変化するのに対し、それら

の知覚的大きさの比は、13人の被験者の平均で1.08であった。そしてEnrightは、月の錯視は、“perceived visual angle”に関する問題であって、知覚的距離あるいはregistered distanceの影響によるものではないと結論している。

図6-4に示すモデルは、上のMcCready, Enrightの考えに近いものである。彼らと同様に、距離、奥行き知覚とは関係のない“見えの視角”が各種の手がかりによって影響を受けていると考えている。そして“見えの視角”は最も基本的な量であり、その決定においては両眼視差量が重要な役割を果たしている。またGogel (1987)らの述べる、cognitive processに相当する過程が、図6-4の下段のさらに下に存在する可能性はあると考えられる。しかし認知的ではなく“知覚的”なレベル内で、いわゆる知覚的距離と大きさの矛盾 (size-distance paradox) が説明できると思われる。

<視覚過程における大きさ決定メカニズムの位置>

Blakemore, Garner and Sweet (1972)は、グレーティングに対する順応によって引き起こされる、テスト刺激のコントラスト閾値上昇に関する実験を、被験者からの距離が異なる二つのグレーティングを用いて行った。これは、テスト刺激の物理的な空間周波数 (cycle/deg) (視角) が順応グレーティングと等しいときに順応の効果が最大になるのか、あるいは見えの空間周波数 (cycle/cm) (大きさ) (大きさの恒常性が完全ならば実際の空間周波数はこれと等しい) が等しい場合なのか、調べるためである。この結果、テスト刺激の感度の低下は、視角が等しいときに最大であった。またグレーティングの順応による効果は、両眼間の移動が起こることが知られている。これらのことから、Blakemoreらは、大きさの恒常性のプロセスが、グレーティングによる順応が起こる部位よりも高次であり、視覚野以降にあるだろうと述べている。

Humphrey and Weiskrantz (1969)は、刺激の呈示距離に関わらず、実際の大きさの判断ができるように猿を訓練した後、その下部側頭葉 (inferotemporal

cortex) を除去した。そして再び手術前と同様の大きさ判断実験を行なった。その結果、手術によって猿の大きさ判断の能力が失われてしまうことがわかった。

これらの研究は、“実物の大きさ”決定のプロセスが視覚過程の高次、そしてたぶん下部側頭葉にあることを示している。一方“見えの視角”は、“実物の大きさ”よりも低次で決まっていると考えられるが、このプロセスの位置は明確ではない。

6.3 知覚現象の説明

<実験1～4の結果の説明>

まず実験1、2の結果を図6-4のモデルに当てはめて考えてみる。「単眼」条件では、大きさの応答は輻輳から予想されるものであったが、距離応答は曖昧であった。この場合は輻輳が距離の手がかりになっていなかったと考えられる。動眼性の輻輳は“見えの視角”の手がかりにはなっていたが、距離の手がかりではなかったと考えられる。そこで異なるトライアルの刺激が同一の“実物の大きさ”と見なされることと“見えの視角”によって、図6-4中央の式(式(6-16))より“知覚的距離”が計算された。これがこの「単眼」条件の結果で見られた、輻輳から予想される方向と逆の変化を持つ距離応答である。またこの実験では、大きさに関するインストラクションは“見えの大きさ”というものの一つであったが、被験者は“見えの視角”によって応答をしていたと考えられる。

一方「両眼」条件では、輻輳が“見えの視角”のみならず“知覚的距離”の手がかりにもなっていたと考えられる。ここでは「単眼」の場合とは逆に、“知覚的距離”、“見えの大きさ”と式(6-16)によって“実物の大きさ”を決めていたと思われる。また大きさ応答としては“実物の大きさ”が使われていた

可能性があるが、対象刺激以外は暗黒であったことを考えると、両眼輻輳だけでは奥行き手がかりとして十分ではなく、やはり”見えの視角”を使っていたかも知れない。「両眼」の場合は、どちらの”大きさ”にしろ輻輳の変化に対して同様の変化を示すので、これらの応答を区別することは困難である。

次に実験3、4の結果を図6-4のモデルに従って考える。実験3の二列の刺激では、大きさの応答は速い刺激を近いと知覚したかのような結果であったが、奥行き応答は明確な傾向を持っていなかった。この場合は、刺激速度が”見えの視角”の手がかりにはなっていたが、奥行きの知覚のための明確な手がかりではなかった。しかしこの奥行き応答は、刺激の速さの関係に対して一定ではなかったが、奥行きの分離は知覚された。この応答には実験1、2の「単眼」条件と同様に、上下段の四角形刺激の実際の大きさを同じにみなしてしまうという”実物の大きさ”の手がかりと”見えの視角”と式(6-3)によって計算された”奥行き”が含まれていると思われる。またこの実験で、被験者が”大きさ”として応答していたのは”見えの視角”であろう。

また実験4では、速度勾配を持った刺激が”見えの視角”だけでなく、”奥行き”の手がかりにもなっていた。このため”知覚的奥行き”と”見えの視角”から、”実物の大きさ”を決めていたと考えられる。また被験者は、”見えの視角”ではなく”実物の大きさ”の知覚によって大きさ応答をしていたと思われる。これは、二列の刺激の場合に常に見られた、「速い刺激が小さく見える」という傾向が見られるか否かにかかわらず、大きさ応答と奥行き応答が対応していたことによる。

<月の錯視の説明>

月の錯視とは、序論でも述べたように、常に一定の視角(0.52deg)を張る月が、地平線近くにある時は大きく、天頂付近にあるときは小さく知覚される現象である。月の錯視に関する研究は、紀元前600~300年ごろ古代ギリシャの

哲学者によって始められたと言われる (Plug and Ross 1989)。しかし現在でも、月の錯視を説明するさまざまな理論があり、どれも決定的ではない (Hershenson 1989)。またそれらの理論については、前節の (大きさと距離、奥行き知覚に関する他のモデルとの比較) の項で多少述べた。ここでは、図6-4に示すモデルを月の錯視の現象に当てはめてみたい。この現象における知覚を整理すると、(1)「地平線の月は天頂の月より大きい」及び(2)「地平線の月は天頂の月より近い」である。(1)に関して、“大きい”と知覚しているのが“実物の大きさ”なのか“見えの視角”であるか、実験的に明らかにした研究はない。

まず月が地平線付近に位置する場合 (horizon moon) である。この場合は月の周辺に地上の建造物等がある。このような風景を両眼で観察した場合、月は地上物に対して非交差視差を持つ。また本研究の実験5の結果から明らかになったように、両眼視差によって“見えの視角 ($\theta h'$)”が“物理的な視角 (θ)”からずれる。これらのことより、地上物の存在によって月の“見えの視角 ($\theta h'$)”が変化していると考えられる。実験5では二つの刺激を比べたが、両眼視差が0.5deg付近でそれらの“見えの視角”が等しい場合の物理的な視角は約10%の違いがあった。また実際の風景では、多くの地上物がありそれらの間にも両眼視差がある。だから“見えの視角”の“物理的な視角”からの変位は、観察者から近い対象と月を比べた場合にはさらに大きくなるかもしれない。また地上物が、距離に対する手がかりとなると考えられるので、月までの“知覚的距離 (Dh')”もある程度明確だろう。そしてこれらより月の“実物の大きさ (Sh')”の知覚も決まっている。もちろん月の“知覚的距離 (Dh')”と“実物の大きさ (Sh')”は実際の距離 (D ; 384,400 km)、実際の直径 (S ; 1738km) とはまったく異なるがそれは問題ではない。これら知覚の関係を図6-5(a)に示す。

次に天頂付近の月 (zenith moon) である。この場合には、月との間に両眼視差を持つような対象は周囲に何もない。この場合“見えの視角 ($\theta z'$)”の

変化は、周囲に対象物がある場合に比べ少ない。また輻輳が”見えの視角 ($\theta z'$)”に影響すると考えられるが、両眼視差の手がかりが存在する場合に比べ小さいと考えられる。これは実験5の結果による。そして、”知覚的距離 (Dz')”のための手がかりも、両眼で観察するとはいえ、周囲に対象物がある時よりも少ない。このために先に述べた、地平線の月より天頂の月が”遠い”という応答がみられる。これは、位置の違う月を同一のものと見てしまうことによる”実物の大きさ (Sz')”の手がかりと”見えの視角 ($\theta z'$)”による手がかりによる。これらの知覚の関係を図6-5(b)に示す。

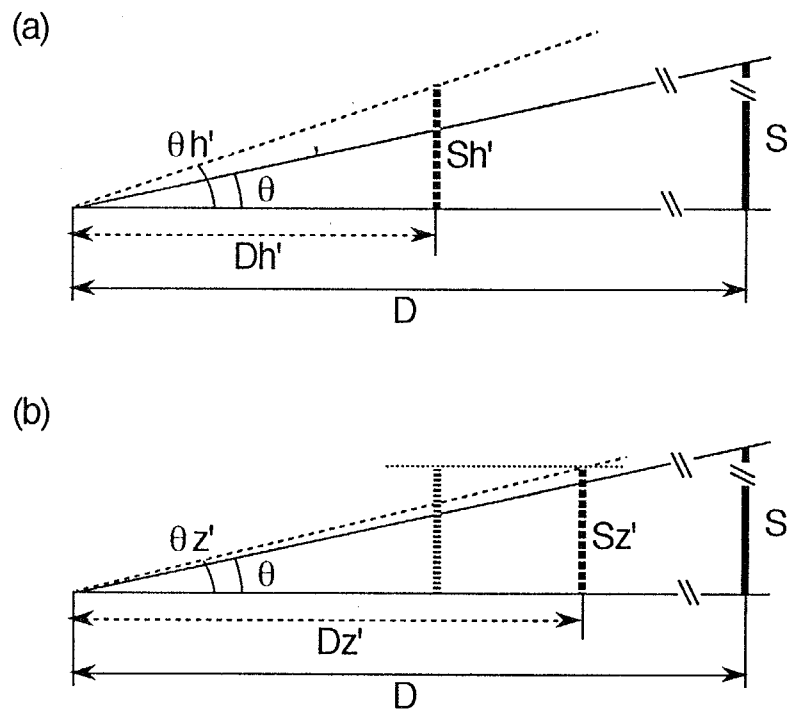


図 6-5
 (a) 地平線付近の月 (Horizon Moon) と
 (b) 天頂付近の月 (Zenith Moon) における
 視角 (θ), 大きさ (S'), 距離 (D') および
 見えの視角 (θ'), 知覚的実物の大きさ (S'), 知覚的距離 (D')

Enright (1989), McCready (1985)は、月の錯視が”見えの視角 (perceived visual angle)”に関する現象だと述べている。私も”見えの視角”が、天頂の月と地平線上の月とで異なるという点では彼らの考えに同意する。しかし”大きさ”という単一のインストラクションが与えられた場合に、地平線上の月の場合は”実物の大きさ”を答え、天頂の場合は”見えの視角”を答えているとも考えられる。これは”知覚的距離”の手がかりの違いから予想されることである。またTaylor and Boring (1942)は、先天的な単眼視者では月の錯視がまったく見られないことを、また両眼視者も単眼で観察した場合に錯視量が非常に減少してしまうことを報告している。この研究は、上に述べた両眼視差による月の錯視の説明を支持するものである。

現段階では、上の理論は月の錯視に関する一つの考察といったものであろう。先に述べたように、月の錯視を説明する多くの理論が存在する。この現象を説明するためには、他の理論の検討や多くの実験的研究が必要である。

6.4 今後の課題

本研究の結果より、知覚的大きさが同時に存在する”見えの視角”と”実物の大きさ”に分けることができ、それらは異なる手がかりによって決まっていることが示唆された。しかし各手がかりと二種の大きさとの関係については多くの課題が残っている。ここではその中のいくつかについて述べたい。

本研究の後半部では、両眼視差による手がかりを用いてこれが二種の大きさ知覚にとって重要であることを述べてきた。しかし本研究で用いていたのは二つの刺激であり、それらの間の両眼視差が変数であった。実験6、7では、その他の刺激も呈示したが、それらは”周辺の刺激”という単一の言葉で一括されていた。まず今後の第一の課題として、複数の刺激の配置、その中の両眼視差の関係、あるいは今回用いなかった他の手がかりを定量的に扱い、大きさ知

覚との関係を調べることで上げられる。例えば、本研究で明らかになった、二つの刺激間の両眼視差と”見えの大きさ”の関係が常に成り立っていれば、奥行き方向に連続的に刺激が配置された場合にその両端の刺激の”見えの視角”を比べた場合には、本研究の実験5のようにそれらの間に何もない場合に比べて”見えの視角”の変化は非常に大きくなるはずである。我々が実際に見ている外界には、さまざまな方向あるいは奥行きに対象物が並んでいる。このような場合でも、刺激配置から知覚的大きさ（”見えの視角”及び”実物の大きさ”）を予測できるようになることが、応用的にも重要である。

第二の課題は、”実際の大きさ”が本当に”知覚的距離、奥行き”によって影響されているのか明らかにすることである。本研究では、これら二つの知覚が、ある変数に対して”伴って”変化する場合が観察されたため、「”実物の大きさ”が”知覚的距離、奥行き”に影響される」と述べてきた。しかし実際には、これらが本当に相互的な関係を持っているのか明かではない。これを明確にするのは非常に困難である。考えられる可能性は、更に多くの場合でこれらの知覚が伴って変化していることを示し、帰納的に相互関係の存在を言うか、またはトップダウンのプロセスを利用してどちらかの知覚に変化を与えてもう一方の知覚への影響を見る方法である。いずれにしても困難であることは変わらない。

また大きさ知覚と眼球運動の関係も興味深い。Enright (1987)は、奥行き感のある絵画が輻輳の変化を引き起こすことを示した。このことと、本研究より明らかになった輻輳、両眼視差と”見えの視角”の関係により、幾何学的図形の大きさの錯視の説明が可能かも知れない。

いずれにしても、知覚的大きさに関する問題は古くから研究され、多くの現象が知られているが、そのメカニズムは明確ではない。一般的に、対象の大きさを知覚するためには、経験的なプロセスが重要であると考えられているように思われる。しかし知覚的大きさと眼球運動、両眼視差といったいわゆる生理的な手がかりとの関係を調べることで、まず重要であると思われる。

第7章 結論

本研究から得られた結論を以下に述べる。

- (1) 対象の知覚的大きさ (S')、知覚的距離 (D') 及び視角 (θ) の関係は、 $S' = k \theta D'$ のように単純には書き表せない。
- (2) 輻輳角の変化に伴う知覚的大きさの変化は、刺激が両眼像でなくとも安定して変化した。が、輻輳が知覚的距離の手がかりとなるためには両眼像が必要であった。
- (3) 刺激対象の速度は、知覚的大きさに影響があった。単純な二列の刺激の場合は、奥行き感の方向にかかわらず、速い速度で運動する刺激が遅いものよりも常に小さく知覚された。しかし速度勾配を持った刺激の場合には、知覚的大きさは知覚的奥行きに伴って変化した。
- (4) 知覚的大きさは、“見えの視角”と“実物の大きさ”の二つの感覚に分離することができた。
- (5) 二つの刺激の相対的な“見えの視角”は、物理的な視角と刺激の両眼視差量によって一意的に決まっていた。
- (6) “実物の大きさ”の知覚は、物理的な視角と刺激の両眼視差量だけでなく周辺の刺激や絶対的な距離の手がかりに影響を受けた。この知覚は、知覚的距離、奥行きと相互的な関係があると考えられる。

謝 辞

本研究を進めていく上で、熱心にご指導をしてくださり、明るく励ましてくださった内川恵二助教授に心から感謝いたします。

修士課程卒業までご指導していただき、本研究の初期の段階で多くの助言をしてくださった、池田光男元教授に感謝いたします。

いろいろと相談に乗っていただき、多くの助言をしてくださった中野靖久助手、研究に対し多くの示唆を与えてくださった中枝みよし元助手に感謝いたします。

被験者あるいは実験者として、また研究に関する議論の相手となってくださった、研究室の諸先輩方、卒業生、在学生の皆様すべてに感謝いたします。特に多くの実験で被験者として協力してくださった吉沢達也さん、丸山秀樹さん、佐藤雅之さん、栗木一郎さん、どうもありがとうございました。

最後に、自由に研究する環境を与えてくれ、精神的支えとなってくれた両親に感謝いたします。

皆様どうもありがとうございました。

参考文献

- 今井省五, (1969) "幾何学的錯視", 感覚・知覚心理学ハンドブック 誠信書房, 537-576.
- 笠井 健, (1984) "脳内空間地図の仮説", 生体の科学, 35 206-214.
- 金子寛彦, 内川 恵二, 池田光男, (1991) "輻輳による距離知覚と大きさ知覚の比較", 光学, 20 285-293.
- 斎田真也, (1988) "運動視差が奥行き知覚に果たす役割", 光学, 17 565-571.
- 下条信輔 (1986) "奥行き「手掛かり」論: 奥行き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, 30-48.
- 出口光一郎 (1989) "コンピュータービジョン", 丸善, 75-113.
- Beverley K I and Regan D, (1979) "Separable aftereffects of changing-size and motion-in-depth: different neural mechanisms?", Vision Research, 19 727-732.
- Biersdorf W R, Ohwaki S and Kozil D J, (1963) "The effect of instructions and oculomotor adjustments on apparent size", American Journal of psychology, 76 1-17.
- Blakemore C, Garner E T and Sweet J A, (1972) "The site of size constancy", Perception, 1 111-119.
- Braunstein M L and Andersen G J, (1981) "Velocity gradients and relative depth perception", Perception & Psychophysics, 29 145-155.
- Dees J W, (1966) "Moon illusion and size-distance invariance: an explanation based upon an experimental artifact", Perceptual and Motor Skills, 23 629-630.

- Enright J T. (1987) "Art and the oculomotor system: perspective illustrations evoke vergence changes", *Perception*, 16 731-746.
- Enright J T. (1989) "Manipulating stereopsis and vergence in an outdoor setting: Moon, sky and horizon", *Vision Research*, 29 1815-1824.
- Enright J T. (1991) "Stereo-thresholds: simultaneity, target proximity and eye movements", *Vision Research*, 31 2093-2100.
- Epstein W. (1963) "Attitudes of judgment and the size-distance invariance hypothesis", *Journal of Experimental Psychology*, 66 78-83.
- Epstein W and Broota K. (1975) "Attitude of judgment and reaction time in estimation of size at a distance", *Perception & Psychophysics*, 18 201-204.
- Epstein W, Park J and Casey A. (1961) "The current status of the size-distance hypthses", *Psychological Bulletin*, 58 491-513.
- Farber J M and McConkie A B. (1979) "Optical motions as information for unsigend depth", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5 494-500.
- Foley J M. (1976) "Successive stereo and vernier position discrimination as a function of dark interval duration", *Vision Research*, 16 1269-1273.
- Foley J M. (1980) "Binocular distance perception", *Psychological Review*, 87 411-434.
- Gibson E J, Gibson J J, Smith O W and Flock H. (1959) "Motion parallax as a determinant of perceived depth", *Journal of Experimental Psychology*, 58 40-51.
- Gogel W C. (1981) "The role of suggested size in distance responses", *Perception & Psychophysics*, 30 149-155.

- Gogel W C and Da Silva J A. (1987) "A two-process theory of the response to size and distance", *Perception & Psychophysics*, 41 220-238.
- Gogel W C, Loomis J M, Newman N J and Sharkey T J. (1985) "Agreement between indirect measures of perceived distance", *Perception & Psychophysics*, 37 17-27.
- Gogel W C and Sturm R D. (1972) "A comparison of accommodative and fusional convergence as cues to distance", *Perception & Psychophysics*, 11 166-168.
- Gregory R L. (1970) "Distorting figures", *The intelligent eye*, London: Weidenfeld and Nicolson, 74-96.
- Hershenson M (Ed.), (1989) "The moon illusion", Hillsdale N. J.: Erlbaum.
- Heuer H. (1987) "Apparent motion in depth resulting from changing size and changing vergence", *Perception*, 16 337-350.
- Higashiyama A. (1977) "Perceived size and distance as a perceptual conflict between two processing modes", *Perception & Psychophysics*, 22 206-211.
- Higashiyama A. (1979) "The perception of size and distance under monocular observation", *Perception & Psychophysics*, 26 230-234.
- Higashiyama A. (1984) "The effects of familiar size on judgments of size and distance: An interaction of viewing attitude with spatial cues", *Perception & Psychophysics*, 35 305-312.
- Higashiyama A, Ishikawa T and Tanaka K. (1990) "Visual alleys as a function of instructions under informative and reduced conditions of viewing", *Perception & Psychophysics*, 47 468-476.
- Holway A H and Boring E G. (1941) "Determinants of apparent visual size with distance variant", *American Journal of Psychology*, 54 21-37.

- Humphrey N K and Weiskrantz L. (1969) "Size constancy in monkeys with inferotemporal lesions", Quarterly Journal of Experimental Psychology, 21 225-238.
- Kaufman L and Rock I. (1962) "The moon illusion. I", Science, 136 953-961.
- Kilpatrick F P and Ittelson W H. (1953) "The size-distance invariance hypothesis", The Psychological Review, 60 223-231.
- King W L and Gruber H E. (1962) "Moon illusion and Emmert's law", Science, 135 1125-1126.
- Komoda M and Ono H. (1974) "Oculomotor adjustments and size-distance perception", Perception & Psychophysics, 15 353-360.
- Leibowitz H W and Harvey L O. (1967) "Size matching as a function of instructions in a naturalistic environment", Journal of Experimental Psychology, 74 378-382.
- Leibowitz H W and Harvey L O. (1969) "Effect of instructions, environment, and type of test object on matched size", Journal of Experimental Psychology, 81 36-43.
- Leibowitz H and Moore D. (1966) "Role of changes in accommodation and convergence in the perception of size", Journal of the Optical Society of America, 56 1120-1123.
- Leibowitz H W, Shiina K and Hennessey R T. (1972) "Oculomotor adjustments and size constancy", Perception & Psychophysics, 12 497-500.
- McCready D. (1985) "On size, distance, and visual angle perception", Perception & Psychophysics, 37 323-334.
- McCready D. (1986) "Moon illusions redescribed", Perception & Psychophysics, 39 64-72.
- Mckee S P, Welch L, Taylor D G, Bowne S F. (1990) "Finding the common bond: stereoacuity and the other hyperacuties", Vision Research, 30 879-891.

- Morrison J D and Whiteside T C D. (1984) "Binocular cues in the perception of distance of a point source of light", *Perception*, 13 555-566.
- Nakayama K. (1985) "Biological image motion processing: A review", *Vision Research*, 25 625-660.
- Ogle K N. (1952) "On the limits of stereoscopic vision", *Journal of Experimental Psychology*, 44 253-259.
- O'Leary A and Wallach H. (1980) "Adaptation in stereoscopic depth constancy", *Perception & Psychophysics*, 27 403-408.
- Ono H. (1966) "Distal and proximal size under reduced and non-reduced viewing conditions", *American Journal of Psychology*, 79 234-241.
- Ono H, Muter P and Mitson L. (1974) "Size-distance paradox with accommodative micropsia", *Perception & Psychophysics*, 15 301-307.
- Ono H, Rogers B J, Ohmi M and Ono M E. (1988) "Dynamic occlusion and motion parallax in depth perception", *Perception*, 17 255-266.
- Oyama T. (1974) "Perceived size and perceived distance in stereoscopic vision and an analysis of their causal relations", *Perception & Psychophysics*, 1 175-181.
- Oyama T and Iwawaki S. (1972) "Role of convergence and binocular disparity in size constancy", *Psychologische Forschung*, 35 117-130.
- Oyama T and Sato F. (1967) "Perceived size-ratio in stereoscopic vision as a function of convergence, binocular disparity and luminance", *Japanese Psychological Research*, 9 1-13.
- Parker A. (1981) "Shifts in perceived periodicity induced by temporal modulation and their influence on the spatial frequency tuning of two aftereffects", *Vision Research*, 21 1739-1747.

- Parker A. (1983) "The effects of temporal modulation on the perceived spatial structure of sine-wave gratings", *Perception*, 12 663-682.
- Plug C and Ross H E. (1989) "Historical review", Hershenson M (Ed.), *The moon illusion*, Hillsdale N. J.: Erlbaum, 5-27.
- Rapoport J L. (1967) "Attitude and size judgment in school age children", *Child Development*, 38 1188-1192.
- Regan D and Beverley K I. (1978) "Illusory motion in depth: aftereffect of adaptation to changing size", *Vision Research*, 18 209-212.
- Richards W. (1971) "Anomalous stereoscopic depth perception", *Journal of the Optical Society of America*, 61 410-414.
- Rock I and Kaufman L. (1962) "The moon illusion. 2", *Science*, 136 1023-1031.
- Rogers B and Graham M. (1979) "Motion parallax as an independent cue for depth perception", *Perception*, 8 125-134.
- Shallo J and Rock I. (1988) "Size constancy in children: A new interpretation", *Perception*, 17 803-813.
- Taylor D W and Boring E G. (1942) "The moon illusion as a function of binocular regard", *American Journal of Psychology*, 55 189-201.
- Virsu V, Nyman G and Lehtio P K. (1974) "Diphasic and polyphasic temporal modulations multiply apparent spatial frequency", *Perception*, 3 323-336.
- von Hofsten C. (1976) "The role of convergence in visual space perception", *Vision Research*, 16 193-198.
- Wallach H, Gillam B and Cardillo L. (1979) "Some consequences of stereoscopic depth constancy", *Perception & Psychophysics*, 26 235-240.
- Wallach H and Zuckerman C. (1963) "The constancy of stereoscopic depth", *American Journal of Psychology*, 76 404-412.

Yellott J I. (1981) "Binocular depth inversion", Scientific American, 245 118-125.

Yellott J I. Kaiwi J L. (1979) "Depth inversion despite stereopsis: the appearance of random-dot stereograms on surfaces seen in reverse perspective", Perception, 8 135-142.