

TR-H-211

0011

広い視野における両眼視差の分布と  
絶対距離知覚

小阪朋也（東京工業大），金子寛彦

1997.3.11

ATR人間情報通信研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町光台2-2 TEL: 0774-95-1011

ATR Human Information Processing Research Laboratories

2-2, Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02, Japan

Telephone: +81-774-95-1011

Fax : +81-774-95-1008

# 目次

第1章 序論	1
1.1 視空間と絶対距離知覚	2
1.2 絶対距離知覚と視差分布	4
1.3 本研究の目的と構成	7
第2章 実験方法	8
2.1 はじめに	8
2.2 原理	8
2.2.1 輻輳の制御	8
2.2.2 視差分布の制御	10
2.3 応答方法	18
2.4 装置	21
2.5 刺激	23
2.6 手続き	25
第3章 実験1：異なる距離情報の同時対比	26
3.1 はじめに	26
3.2 刺激	27
3.3 実験結果	31
3.4 考察	33
第4章 実験2：視差分布の影響	35
4.1 はじめに	35
4.2 刺激	35
4.2.1 縦横視差分布	36

4.2.2	縦視差分布	39
4.2.3	横視差分布	42
4.3	実験結果	45
4.4	考察	51
<b>第5章</b>	<b>実験3：同時対比と視差分布</b>	<b>53</b>
5.1	はじめに	53
5.2	刺激	54
5.2.1	縦横視差分布	54
5.2.2	縦視差分布	62
5.2.3	横視差分布	69
5.3	実験結果	76
5.4	考察	79
<b>第6章</b>	<b>総合的考察</b>	<b>81</b>
6.1	両眼視差が絶対距離知覚生成に果たす役割	81
6.2	絶対距離知覚の決定機構	82
6.3	今後の課題	84
<b>第7章</b>	<b>結論</b>	<b>85</b>
<b>付録A</b>	<b>実験条件詳細</b>	<b>89</b>
A.1	はじめに	89
A.2	距離変換式	89
A.3	装置の寸法	91
A.4	眼間距離の測定	92
<b>付録B</b>	<b>視覚学会前の実験</b>	<b>93</b>
B.1	はじめに	93
B.2	刺激	93
B.3	結果グラフ	94
B.4	考察	99

付録 C 光学連合シンポジウムまでの実験	100
C.1 はじめに	100
C.2 刺激	100
C.3 結果グラフ	100
C.4 考察	113
付録 D 光学連合シンポジウム後の実験	115
D.1 はじめに	115
D.2 刺激	115
D.3 結果グラフ	115
D.4 考察	122

# 第1章

## 序論

人間は外界から感覚を通して得られるさまざまな情報を処理することにより、周囲の空間構造を認識している。中でも視覚によるものは重要であり、視覚系による情報処理は人間の空間構造認識能力の大部分を占めていると考えられる。われわれが障害物を避けて歩けるのも、さまざまなスポーツを楽しむことが出来るのも、われわれの視覚系が外界の情報から瞬時に空間構造を認識するからである。視覚系が聴覚や運動系などと連携しながら、観察対象の位置や属性を知覚することで、われわれは観察対象に対して近づく、触れるといった行動を確実にこなうことが出来るのである。

このように高度な情報処理の連携を有する人工物はいまだ実現されていない。さまざまな分野で生物の持つ情報処理機構を工学的に応用することが重要視されてきている現在、視覚系を含む人間の優れた空間認識機構に学ぶことの重要性も増していると考えられる。しかし、多くの複雑な生物の情報処理系が理解し難いと同様に、人間の空間認識機構を理解することもまた困難であり、ほとんど知られていない。

生物の情報処理機構を知るために、さまざまなアプローチが取られている。心理物理的手法は、人間の情報処理過程を調べる方法のひとつである。これは巧みに制御された刺激に対する被験者の応答を、定量的、定性的に解析するための手法であり、これまでに視覚研究の分野で広く利用されている。本研究では人間の視覚系による空間認識機構を、心理物理的手法を用いて調べている。

## 1.1 視空間と絶対距離知覚

人間の視覚系は、大きく2つの情報を利用して空間認識を行なっていると考えられている。ひとつは輻輳や調節といった眼球の動きに伴う筋肉の収縮という内的な運動系の情報である。そしてもうひとつが外界を投影した網膜像による外的な情報である。外界の物理的な情報は視覚系として唯一、網膜像により取り入れることが出来る。視覚系ではこれらの情報を処理し統合することで空間認識を行なっていると考えられている。

網膜像には特に多くの情報が含まれている。観察対象を知覚する過程において、位置、色、形状、性質などの知覚を決定するには網膜像からの情報が不可欠である。また、網膜像に投影された外界の情報は、網膜上で異なる形状をしていても同一の対象として認識されたり、網膜上で同じ大きさであってもことなる大きさの対象として知覚されたりすることから、視覚系は網膜像をそのまま受け入れるのではないことがわかる。このように集められた情報は統合され、外界の空間を表現し直した3次元の空間として知覚されることになる。この、視覚系で処理されて知覚された空間のことを視空間<sup>[1]</sup>と呼ぶ。

知覚された対象は視空間中に3次元で配置されていると考えられる。配置には、複数の物体の位置関係や、向き、形状など様々な要素が考えられるが、この空間がどのように広がっているのかについては分かっていない。ただ、われわれが視空間を考えるとときには、自分を中心に周囲に広がっているとするのがわかりやすい。(もちろん、背後や遮蔽されていて見ることの出来ない部分については、網膜像からの情報や輻輳などの情報だけで考えることは出来ない。これらの部分には、記憶や推測など視覚系以外との関係を考慮しなければならなくなってくる。そこで、以下、視空間を正面で見える範囲の空間だけに限定して考える。)見える範囲の対象であれば「遠い」「近い」「歩いて何歩くらい」「手を伸ばせば届くだろう」という風に、観察対象までの距離を知覚することが出来る。この観察者から観察対象までの距離を絶対距離と呼び、その知覚を絶対距離知覚という。絶対距離は図 1.1の上段に示すように、観察者から観察対象までの距離であり、これを周囲に見える全ての対象について知覚し、構成したものが下段に示す視空間ということになる。

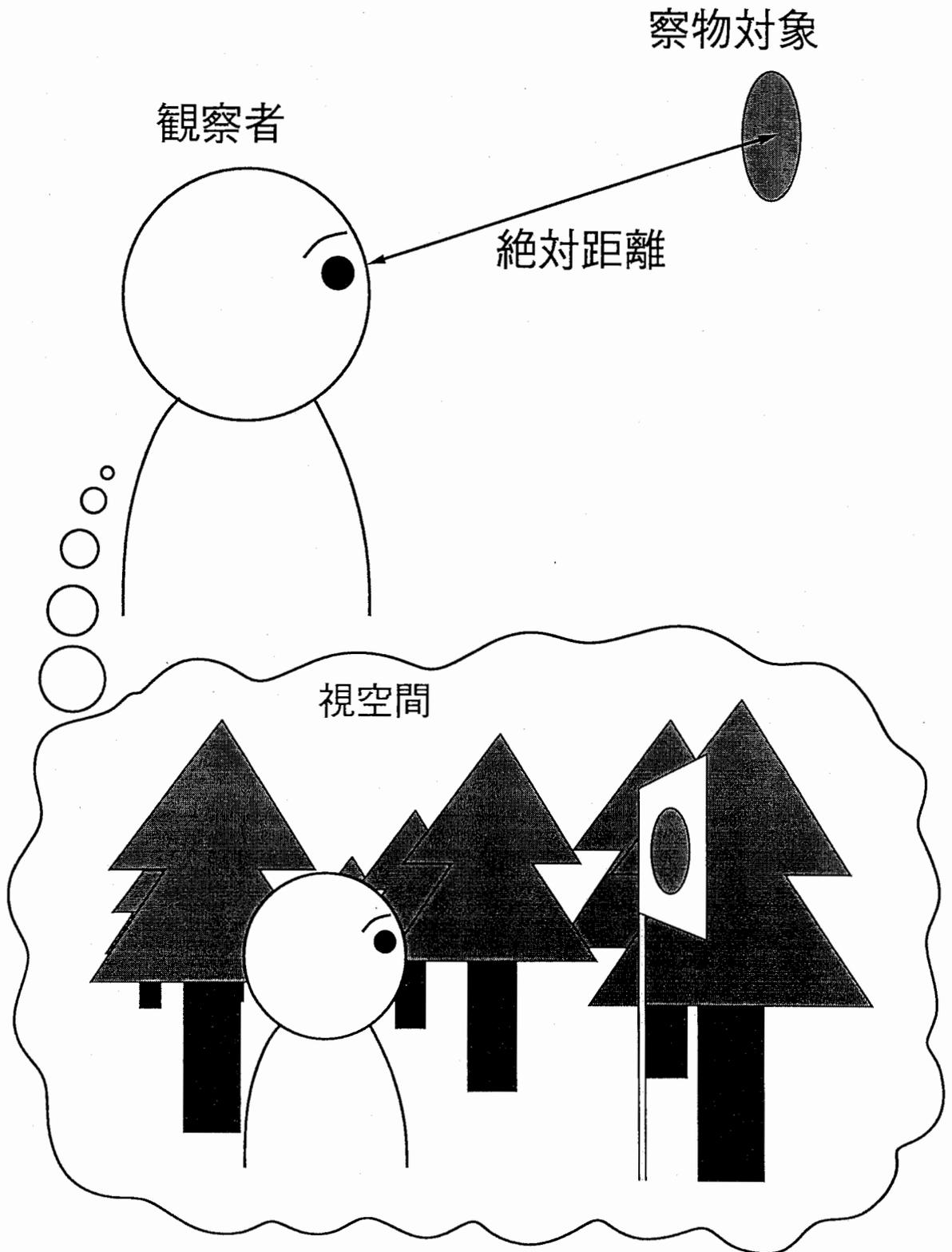


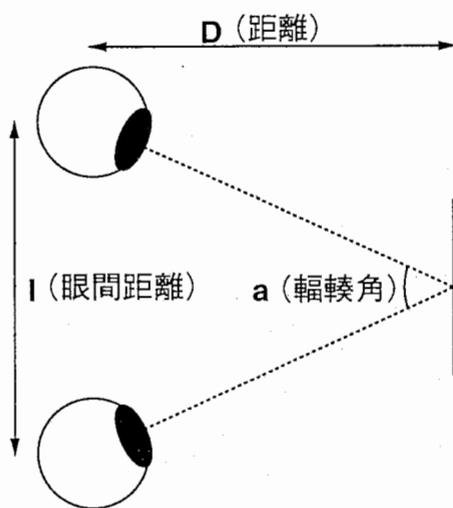
図 1.1: 絶対距離知覚と視空間

本研究では、このように視空間の生成過程を探る上で、観察者と周囲にある物体との位置関係を抜きに考えることは出来ないという立場から、視覚系情報処理過程の中で特に絶対距離知覚に注目した。

## 1.2 絶対距離知覚と視差分布

過去の研究で、輻輳などの運動系が絶対距離知覚の手がかりとなっていることが報告されている。<sup>[2,3]</sup>また、輻輳角 ( $a$ ) と絶対距離 ( $D$ ) との関係は物理的にも 1 対 1 に対応している (図 1.2) ことから、知覚絶対距離 ( $D'$ ) が輻輳角 ( $a$ ) の関数になっているという考え方が一般的であり、輻輳は絶対距離知覚の手がかりとして広く信じられている。

幾何学的関係 ( $D = l/a$ )



知覚 ( $D' = f(a)$ )

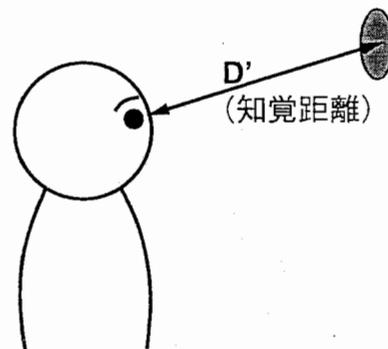


図 1.2: 輻輳角と (知覚) 絶対距離との関係

ところが、左右眼に呈示する視差パターンをスクリーン上で一定に保ったまま、輻輳・開散運動するように左右方向に時間的に変化させた場合 (輻輳と左右眼の像のずれが同時に変化する) に、輻輳角から予想される面の奥行き変化

が見られなかったという報告<sup>[4]</sup>があり、時間的に変化した輻輳に対して距離の知覚が追従しないなど、輻輳だけでは絶対距離知覚手がかりとしては不十分であることも示唆されている。

また近年、図 1.3に示すような両眼網膜像の視差分布が、絶対距離知覚の手がかりとなるという報告がある。この図は、無限遠方にある正方形格子を見た時には図の左側に示すように右眼像と左眼像に差は見られず、近くにある正方形格子を見た時には図の右側に示すように右眼像の右側が大きく、左眼像の左側が大きくなり視差が生じることを示している。視差分布とは、この視野全体に分布する一定の視差勾配のことである。Mayhew ら (1982) が縦視差分布の情報を考慮した両眼奥行き知覚モデルが示されており<sup>[5]</sup>、Gillam ら (1983) によって、理論的に両眼立体視との関係が説明された。<sup>[6]</sup>

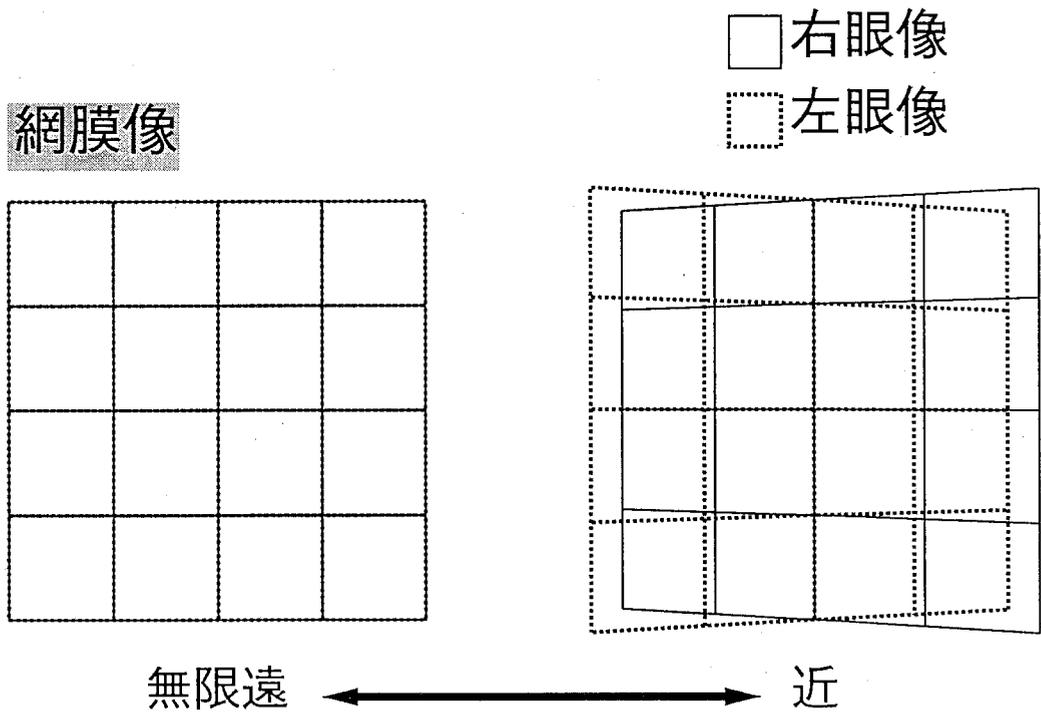


図 1.3: 視差分布と絶対距離との関係

この理論に対して、実験的には否定的な報告がなされた。Cumming ら (1991) や Sobel ら (1991) は、いずれもステレオグラムを用いた実験で、縦視差分布の

絶対距離知覚への影響は認められないという報告をした。これらの実験ではいずれも奥行きの変動が絶対距離知覚の指標として考えられていた。横視差量の等しい刺激を呈示したときに、呈示された距離が遠いほど奥行きが大きく知覚されるという現象があり、縦視差分布が知覚距離に影響するのであれば、知覚される奥行き量は縦視差分布の変化にしたがって変化するはずであった。ところが、実験では縦視差分布を変化させても知覚される奥行き量には変化が見られなかった。<sup>[7, 8]</sup>

視差分布が絶対距離知覚に及ぼす影響については、1993年にRogersらによって実験的に初めて確認され、輻輳などの手がかりを固定していても、視差分布を変化させると絶対距離知覚が変化することが確認された。<sup>[9]</sup>更に、これまで実験的に視差分布と絶対距離知覚の影響が否定されてきた理由として、視差分布が視野の中心部分ではきわめて小さいためであったことが示された。<sup>[10]</sup>実際に、Cummingらの実験では最大でも視角11度、Sobelらの実験で視角25度(横)×30度(縦)であった。また、Bradshawら(1996)によって、大きさと奥行きの知覚に対する視差分布の影響は刺激の大きさに依存することが示されている。<sup>[10]</sup>

しかし、これまでの両眼視差と絶対距離に関する研究では、絶対距離応答を実際にとったものがほとんどなく、Rogersら(1995)のAppendix Aで触れられているだけだった。ほとんどの実験では、大きさや奥行きなどの恒常性の成立割合を測定することで距離応答に代替していた。ところが、実際に距離応答を取った場合には65%<sup>[11]</sup>、奥行き恒常性の成立割合から知覚距離を割り出した場合には15%<sup>[10]</sup>で、同じ条件であるにも関わらず絶対距離の評価が異なっていることになっている。このことは、そもそも大きさや奥行きといった情報自体が絶対距離知覚を左右する可能性があることを示唆しており、恒常性の成立が視差分布だけで絶対的に論じることが出来ないことを示している。従って、奥行きや大きさの恒常性を距離応答の代わりに利用することについては慎重になるべきだと考えられる。

また、横視差が奥行きの情報を示していること、縦視差と横視差では空間的な処理が異なっていること<sup>[12]</sup>などにも関わらず縦視差分布を視差分布から分離して調べた実験が存在しなかった。横視差は、高い空間周波数での奥行きの変化を生み、縦視差は広い視野でしか働かないことなどの性質があり、横視差と

縦視差は分けて考えることが必要ではないかと考えられる。

そして、奥行きなどの情報が絶対距離知覚に影響するかもしれないという問題に関連するが、これまでの実験では常に単一平面を仮定して、複数の距離情報が絶対距離にどのように影響するのか、それともしないのかについて考慮されていなかった。実際に絶対距離応答を取った場合と、奥行き恒常性の成立度合から知覚絶対距離を計算した場合とで、その大きさが異なるのだから、その妥当生も含めて、奥行き情報についても考慮すべきだと考えられる。

本研究ではこれらの問題に対処するために、常に絶対距離応答をとる方法で次のような実験を行なった。まず、実験1で2つの距離情報(面)の同時対比が絶対距離知覚に及ぼす影響を調べた。実験2で縦横視差分布、縦視差分布、横視差分布が絶対距離知覚の手がかりとなることを確認し、実験3で2つの距離情報の同時対比がある場面で、視差分布が絶対距離知覚に及ぼす影響を調べた。

### 1.3 本研究の目的と構成

絶対距離知覚を決定するための手がかりは数多く存在し、さまざまに研究され報告されてきた。本研究では、網膜像の両眼視差に絞り、それがどのように絶対距離知覚の決定に影響しているのかを調べることを目的とした。

本論文の構成は以下の通りである。

第2章で、本研究を通じて取られた実験方法について説明する。第3章からは、絶対距離知覚に関する実験を行ない、その結果をもとに絶対距離知覚の手がかりについて考察する。第3章では、異なる距離情報をもつ対象が絶対距離知覚に与える影響を調べる実験(実験1)、第4章では、縦横視差分布、縦視差分布、横視差分布が絶対距離知覚に与える影響を調べる実験(実験2)、第5章では、異なる距離情報の同時対比と視差分布との関係を調べる実験(実験3)について、それぞれ解説して結果と考察を示す。第6章で、本研究を通して総合的に考察する。第7章で、本研究から得られた結論を述べる。

## 第2章

# 実験方法

### 2.1 はじめに

本実験では輻輳と広い視野における視差分布とを制御した刺激を呈示し，知覚絶対距離応答を取ることで，両眼視差と絶対距離知覚との関係を調べた．全ての実験を通して，被験者はプロジェクションモニタに投影されたコンピュータ制御のステレオグラム刺激を観察し，知覚絶対距離を角度調整法で応答した．本章では，全ての実験に共通する実験原理，応答方法，装置，刺激，そして実験の手続きについて説明する．

### 2.2 原理

#### 2.2.1 輻輳の制御

呈示する刺激を制御して，網膜像に投影される情報を変化させずに被験者の輻輳だけを変化させることで，輻輳の制御を行なう．図 2.1 に示すように，物理的には輻輳と絶対距離は 1 対 1 の関係にあり，眼間距離を  $I$  とすると，観察対象の絶対距離  $D$  は輻輳角  $a$  の関数として次式で表すことができる．(図 2.1)

$$D = \frac{I}{2 \tan\left(\frac{a}{2}\right)} = \frac{I}{a}$$

図 2.1b に示すように，観察対象の絶対距離が遠く ( $D' > D$ ) になると，輻輳角は小さく ( $a' < a$ ) なる．したがって，輻輳が絶対距離知覚手がかりになっているのなら，輻輳角が大きいほど知覚絶対距離は近く，輻輳角が小さいほど知覚絶対距離は遠くなるはずである．実験的には，ステレオグラム刺激の中に注視点を設定し，それを注視することで輻輳が一意に決まる．

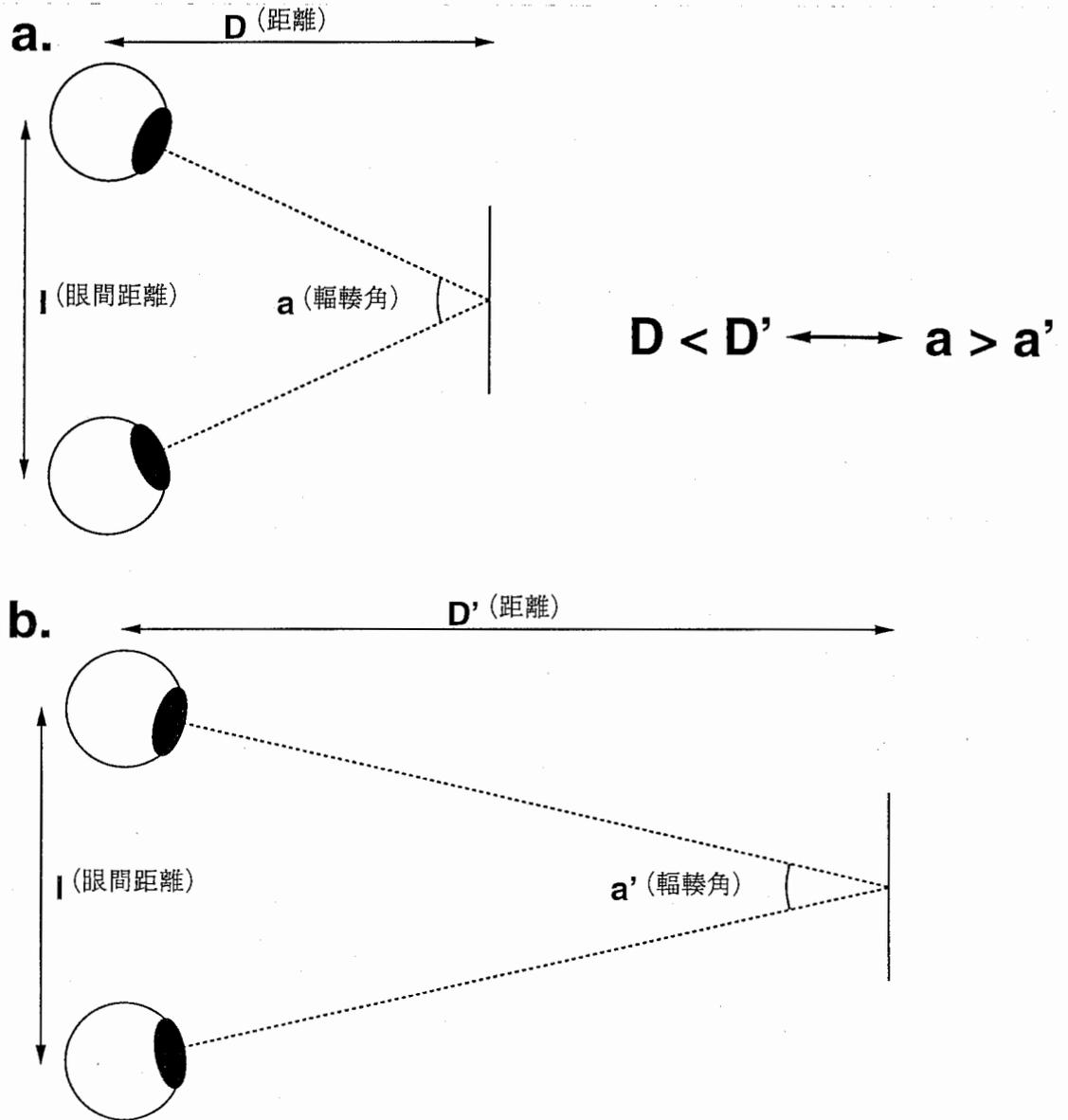


図 2.1: 輻輳と絶対距離との関係

### 2.2.2 視差分布の制御

スクリーン上にステレオグラムの刺激を呈示する場合、輻輳を制御するためにスクリーン像を左右に動かすと、スクリーン像は物理的には仮想的な現像を拡大または縮小したものになる。(図 2.2a) スクリーン像の形状は変化せず、輻輳と視差分布の関係は物理的に正しく、それぞれの示す距離は常に等しくなる。輻輳と分離して視差分布を変化させるには、それぞれが独立に距離情報を示せるようにすればよい。図 2.2にその方法を示す。

まず、a) では距離  $D_a$  の一にある単一の原像を両眼で見ている状態を示しており、輻輳と視差分布が同じ距離情報 ( $D_a$ ) を示している。このとき、スクリーン像は原像の形状を保ったまま縮小したものになる。右眼像がスクリーンの右側に、左眼像がスクリーンの左側にそれぞれ投影されていて、両眼はスクリーンより遠方を注視(スクリーンより遠方で視線が交差)している。視差分布による距離情報を  $D_a$  に保ったまま、輻輳による距離情報を  $D_b$  に変化させることを考える。このとき、両眼は図 2.2b に示すようにスクリーンより手前を注視するように制御される。網膜像の視差分布を保つためには、図 2.2a の原像を左右眼それぞれを中心として距離  $D_b$  を示す輻輳に重なるように回転させればよい。このとき、スクリーン像は原像が台形に歪んで、右眼像がスクリーンの左側に、左眼像がスクリーンの右側に投影される。

これにより、原理的には実験条件で任意の輻輳条件で任意の視差分布を呈示することが出来る。

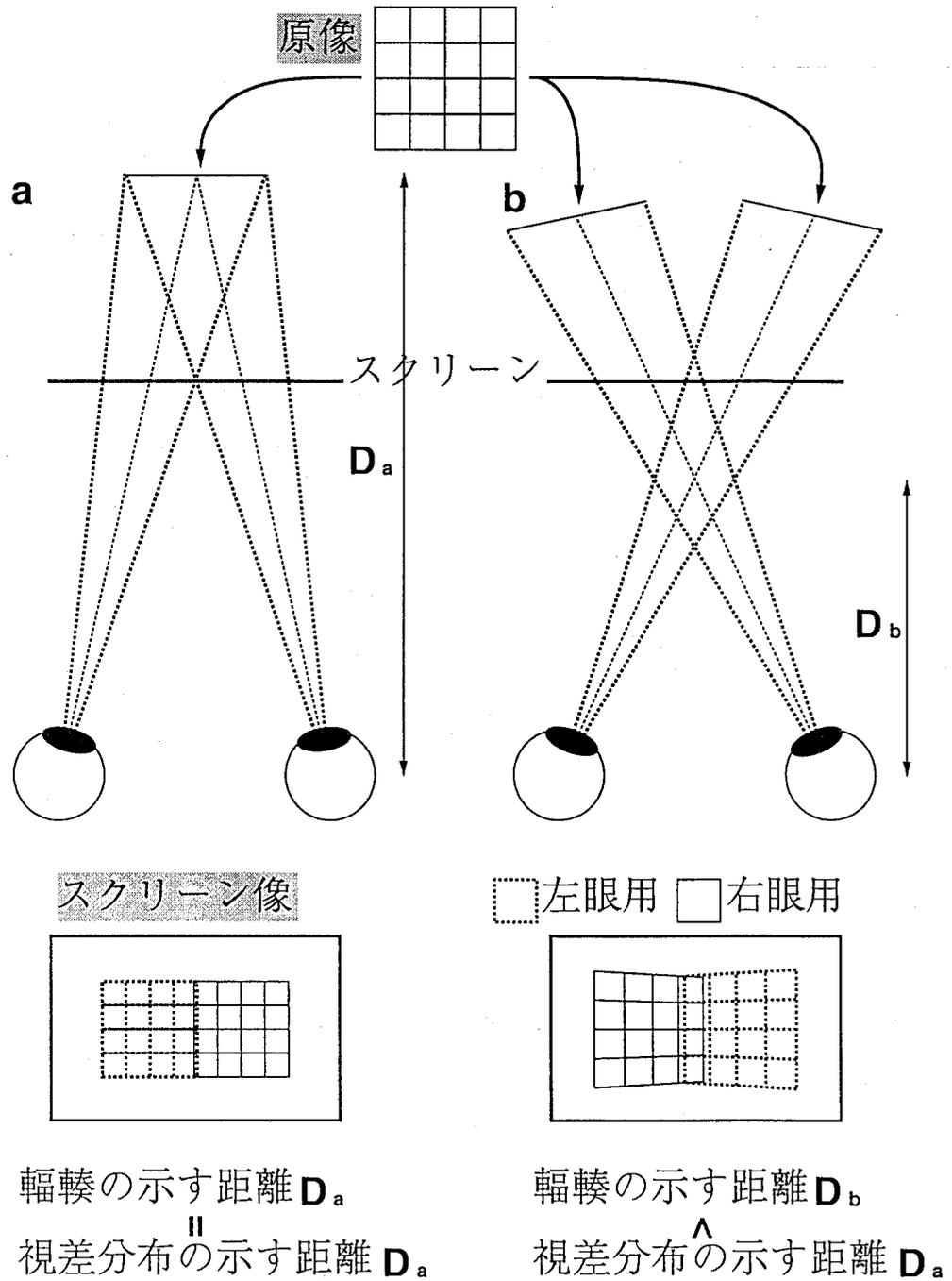


図 2.2: 輻輳と視差分布を独立に呈示する方法の概略

実際には、原像は仮想的なものであり、図 2.2で示したのと同じように回転させてスクリーンに投影することは出来ない。そのため、スクリーン上に呈示するステレオペアの分布を、前述の回転をシミュレーションすることによって変化させ、視差分布を制御する。

任意の距離にある仮想面の任意の点を回転させてスクリーンに投影するということをシミュレーションするための式を以下に示す。図 2.3において、 $H(V)$ と表示されている線が横視差分布(縦視差分布)距離の面、 $C$ と表示されている線が輻輳距離の面、 $S$ と表示されている線がスクリーン面を表している。原点  $O$ は両眼の中心、 $Eh$ は眼間距離の半分でありここでは右眼の位置(眼球の大きさは無視している)を表している。図において上下方向が奥行きを表しており、各面の奥行き方向の座標は  $Vd$ (縦視差分布距離の面)、 $Hd$ (横視差分布距離

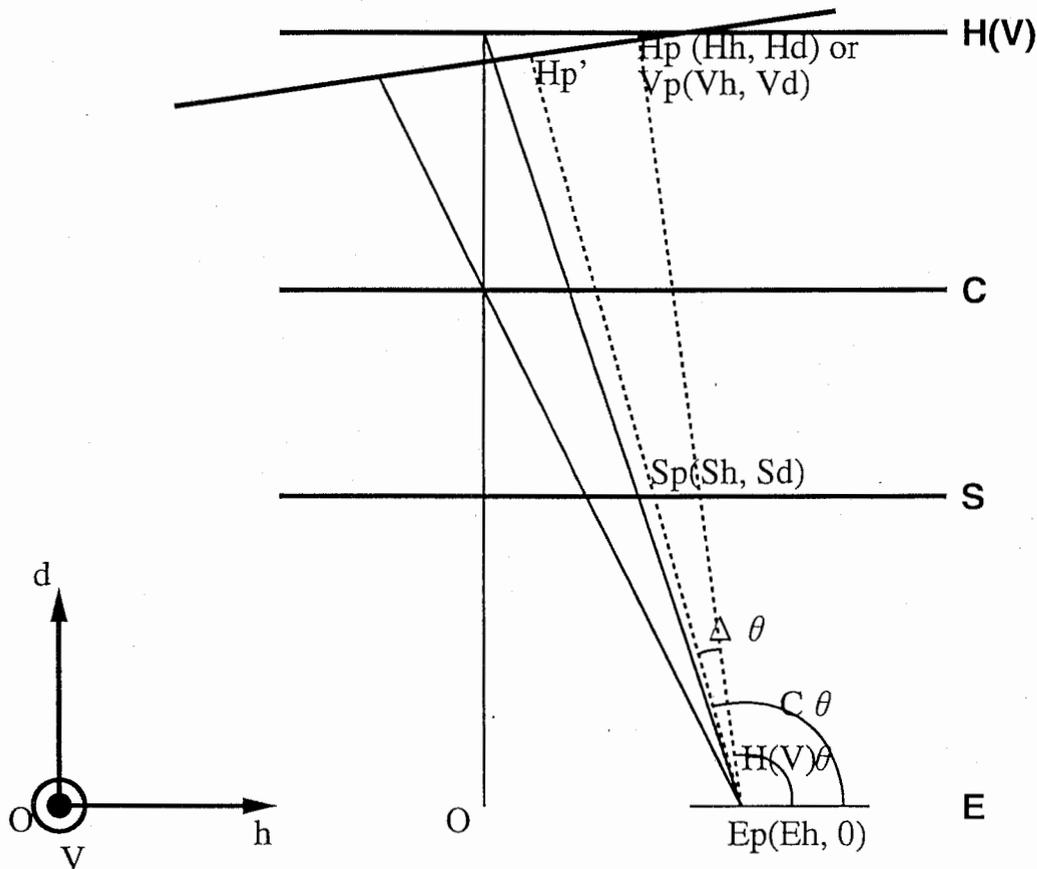


図 2.3: 仮想的な原像の回転と投影シミュレーション

の面),  $Cd$ (輻輳距離の面),  $Sd$ (スクリーン面),  $Ed(=0)$ (両眼で張られる面)とした。

輻輳を横視差分布距離の面  $H$ 上の原点  $Ho(0, Hd)$  から, 輻輳距離の面  $C$ に変化させる場合を考える。このとき, 横視差分布距離の面  $H$ は  $Ep(Eh, 0)$  を中心として  $\Delta\theta$ 回転させた面になる。視差分布距離の面  $H$ 上の任意の点  $Hp$  の位置ベクトルを  $(Hh, Hd)$  とすると, 回転後の位置ベクトル  $Hp'$  は,

$$\begin{pmatrix} \cos\Delta\theta & -\sin\Delta\theta \\ \sin\Delta\theta & \cos\Delta\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Hh - Eh \\ Hd \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Eh \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (Hh - Eh)\cos\Delta\theta - Hd\sin\Delta\theta + Eh \\ (Hh - Eh)\sin\Delta\theta + Hd\cos\Delta\theta \end{pmatrix}$$

で表される。 $Hp'$ と  $Ep$  で張られる直線は,

$$d = \frac{(Hh - Eh)\sin\Delta\theta + Hd\cos\Delta\theta}{(Hh - Eh)\cos\Delta\theta - Hd\sin\Delta\theta}(h - Eh)$$

の様な  $d$ と  $h$  の方程式で表される。この直線がスクリーン面  $S$ と交わる点を  $Sp(Sh, Sd)$  とすれば,  $Sh$ と  $Sd$ の関係は,

$$Sd = \frac{(Hh - Eh)\sin\Delta\theta + Hd\cos\Delta\theta}{(Hh - Eh)\cos\Delta\theta - Hd\sin\Delta\theta}(Sh - Eh)$$

となり,  $Sh$ は次の様に表される。

$$Sh = \frac{(Hh - Eh)\cos\Delta\theta - Hd\sin\Delta\theta}{(Hh - Eh)\sin\Delta\theta + Hd\cos\Delta\theta}Sd + Eh$$

ここで,  $\sin\Delta\theta$ ,  $\cos\Delta\theta$ は以下の様に  $Hd$ ,  $Cd$ ,  $Eh$  の式で表すことが出来るので,

$$\Delta\theta = C\theta - H\theta$$

$$\tan C\theta = -\frac{Cd}{Eh}, \tan H\theta = -\frac{Hd}{Eh}$$

$$\sin\Delta\theta = \frac{(Hd - Cd)Eh}{\sqrt{Cd^2 + Eh^2}\sqrt{Hd^2 + Eh^2}}, \cos\Delta\theta = \frac{Eh^2 + HdCd}{\sqrt{Cd^2 + Eh^2}\sqrt{Hd^2 + Eh^2}}$$

$Sh$ は最終的に次の式で表すことが出来る。

$$Sh = \frac{(Hh - Eh)(Eh^2 + HdCd) - Hd(Hd - Cd)Eh}{(Hh - Eh)(Hd - Cd)Eh + Hd(Eh^2 + HdCd)}Sd + Eh$$

これは, 横視差分布を保存して回転させたものをスクリーン上に投影するための式を表しており, 横視差分布距離  $Hd$ , 変換する輻輳距離  $Cd$ , 眼球の水平位置  $Eh$ , スクリーン面距離  $Sd$ が分かっているならば, 横視差分布距離の面  $H$ 上の任意の点の水平位置  $Hh$ をスクリーン面  $S$ 上に投影したものをシミュレーション出来る。

同様にして、縦視差分布距離の面  $V$  の点  $V_p(V_h, V_d, V_v)$  をスクリーン面上の点  $S_p(S_h, S_d, S_v)$  に投影することを考えると、 $S_h$  と  $S_v$  は次の式で表すことが出来る。

$$\begin{aligned} S_h &= \frac{(V_h - E_h)(E_h^2 + V_d C_d) - V_d(V_d - C_d)E_h}{(V_h - E_h)(V_d - C_d)E_h + V_d(E_h^2 + V_d C_d)} S_d + E_h \\ S_v &= \frac{S_d V_v}{(V_h - E_h) \sin \Delta \theta + V_d \cos \Delta \theta} \\ &= \frac{\sqrt{C_d^2 + E_h^2} \sqrt{V_d^2 + E_h^2} S_d V_v}{(V_h - E_h)(V_d - C_d)E_h + V_d(E_h^2 + V_d C_d)} \\ &= \frac{(V_d - C_d)E_h(E_h - S_h) + (E_h^2 + C_d V_d)S_d}{V_d \sqrt{C_d^2 + E_h^2} \sqrt{V_d^2 + E_h^2}} V_v \end{aligned}$$

これは、縦視差分布を保存して回転させたものをスクリーン上に投影するための式を表しており、縦視差分布距離の面  $V$  の任意の点の垂直位置  $V_v$  のスクリーン面  $S$  上への投影  $S_v$  は、縦視差分布距離  $V_d$ 、変換する輻輳距離  $C_d$ 、眼球の水平位置  $E_h$ 、スクリーン面の距離  $S_d$ 、横視差分布距離の面  $H$  上の対応する点の水平位置  $H_h$  をスクリーン上への投影  $S_h$  が分かっているならば、シミュレーションすることが出来る。

以上の式で正方格子を回転してスクリーン上に投影したものの見えの概形を、図 2.4, 2.5, 2.6 に示す。図 2.4, 2.5, 2.6 はいずれも輻輳がスクリーンまでの距離を示している。図 2.4 は縦横視差分布を変化させた場合の見えで  $H_d = V_d$  となっている。図 2.5 は縦視差分布を変化させた場合の見えで  $H_d = C_d$  となっている。図 2.6 は横視差分布を変化させた場合の見えで  $V_d = C_d$  となっている。それぞれ上から、投影する正方格子がスクリーンより遠い、スクリーン上、スクリーンより近い場合である。投影する正方格子がスクリーン上の場合では、左右眼用の格子が重なっているが、網膜上では視差が生じる。同様に考えて、スクリーンより遠い場合では網膜上でより小さい視差が、スクリーンより近い場合では網膜上でより大きい視差が生じることになる。

視差分布が絶対距離知覚手がかりとなっているのなら、図 2.4, 2.5, 2.6 で示されている上段のような分布が示された時に知覚絶対距離は遠く、下段のような分布が示された時に知覚絶対距離は近くなるはずである。

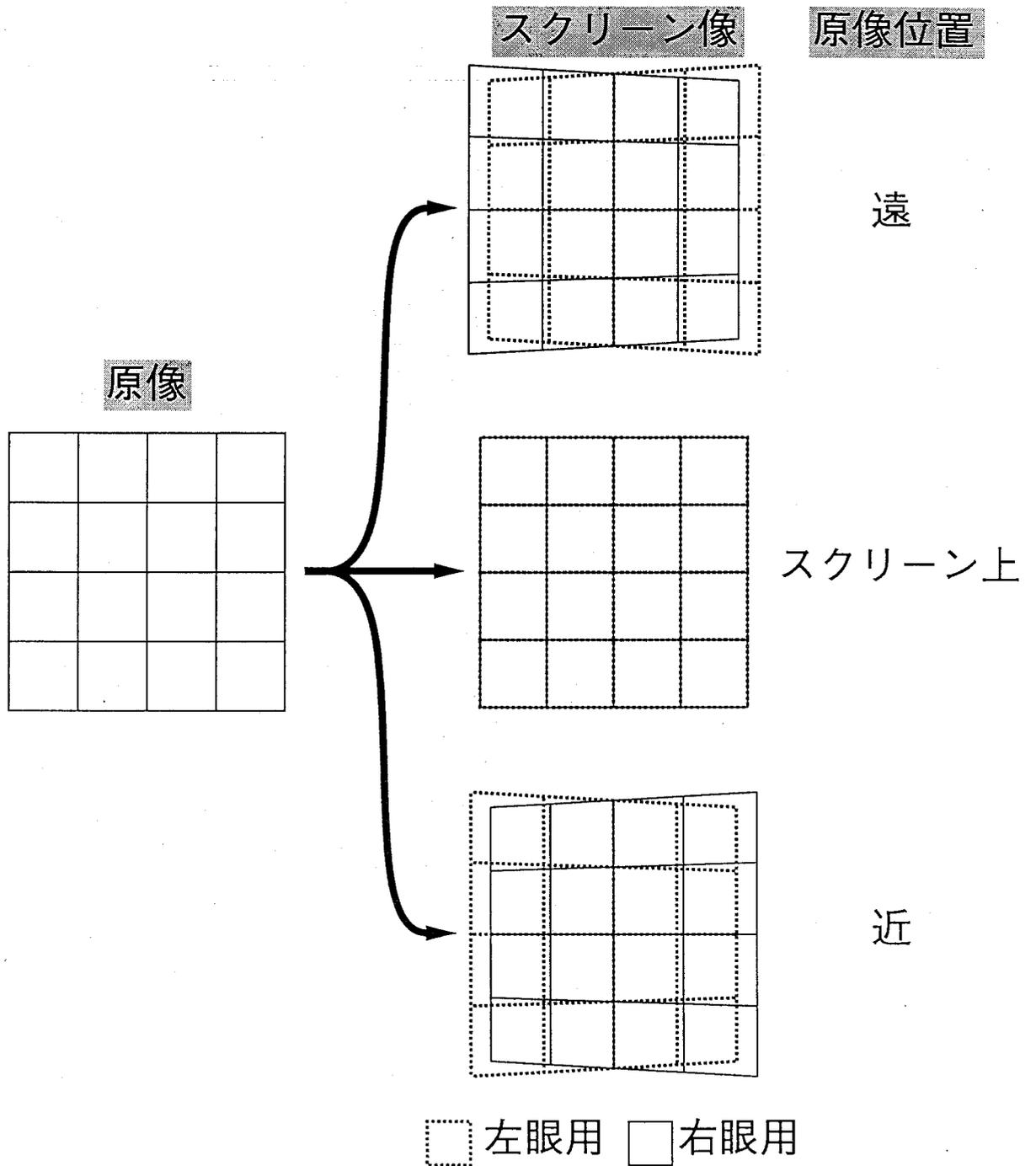


図 2.4: 縦横視差分布のスクリーン上での見え

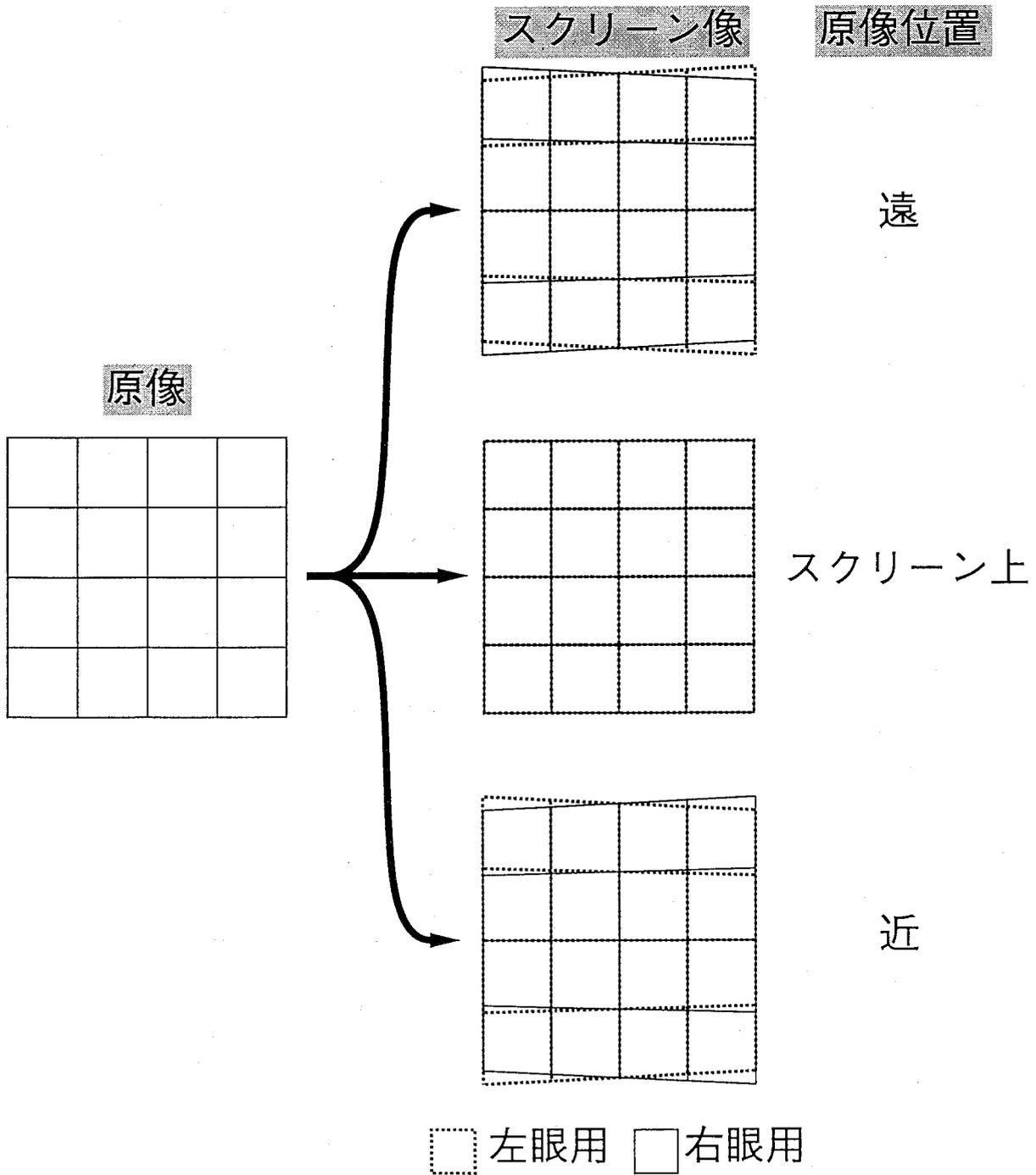


図 2.5: 縦視差分布のスクリーン上での見え

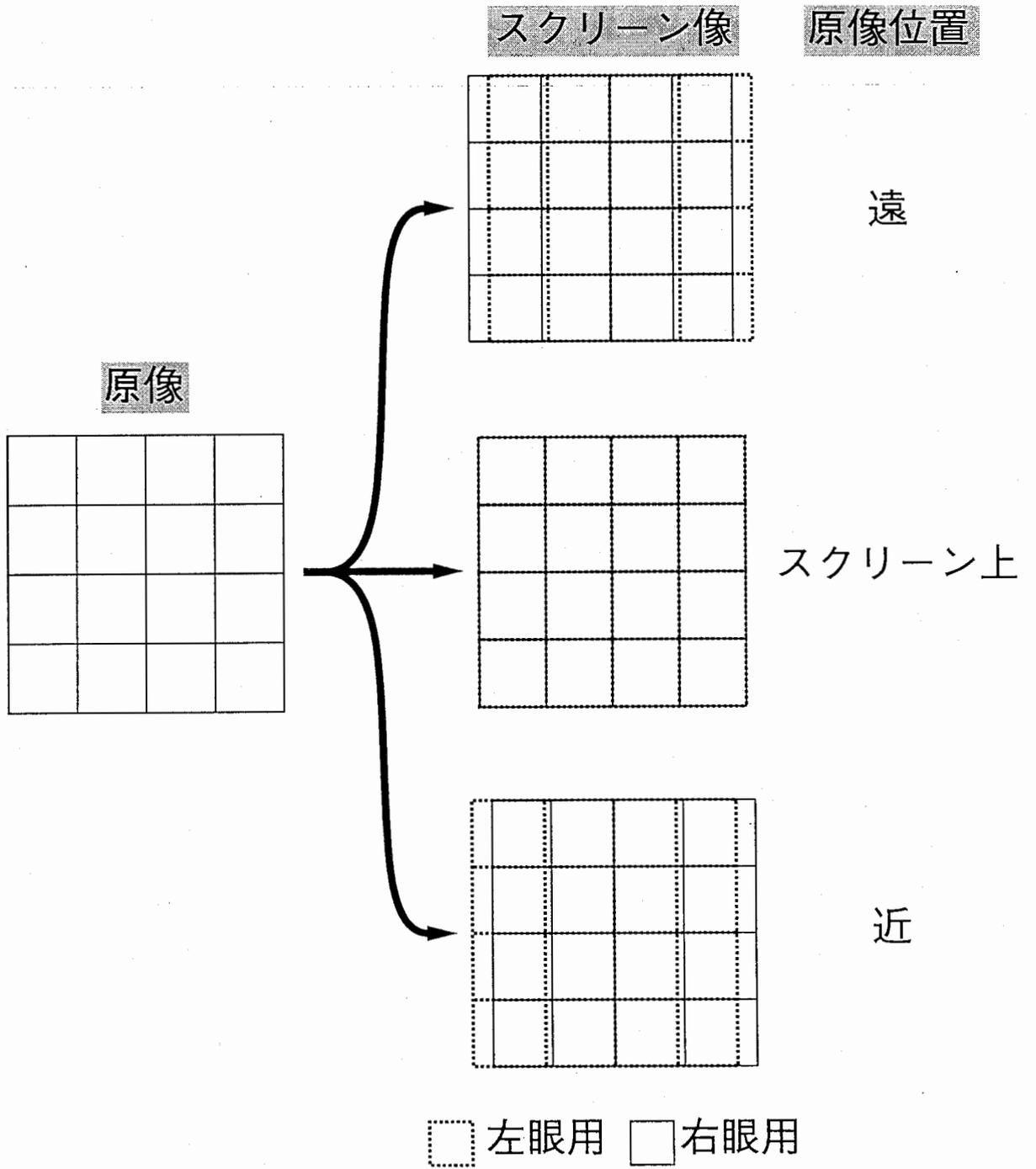


図 2.6: 横視差分布のスクリーン上での見え

## 2.3 応答方法

距離応答法として角度調整法を用いた。

これまでの距離応答には口頭によって距離を数値で応答するもの<sup>[13]</sup>や、観察した距離を記憶して実世界で指標を動かすもの<sup>[14]</sup>などがあった。これらの方法では応答をそのままデータとすることができるという利点があった。ところが、口頭による場合は安定（分散が小さい）しているが、知覚絶対距離を数値に変換する際には被験者の思考が入ってしまいがちで、距離を測る基準（長さの基準、見た距離を長さに変換する方法など）も被験者によってまちまちであるなどの問題があった。また、安定している分、小さい変化などが出にくく、思考が入ってくるために以前の応答の影響を受けやすい方法でもある。実世界で指標を動かすものも、実世界で指標を動かすまでの間に思考が入ってしまう。この方法では、観察対象を観察しながら応答することが出来ないため、観察対象の距離と実世界での指標の距離とをマッチングするために、数値化できない感覚を記憶しておくか、口頭による方法と同様に知覚絶対距離を数値化しておかなければならなかった。

本実験では、刺激によってはほとんど差異が分からない可能性があることから、小さな変化が出にくいこと、前の応答の影響を受けやすいということ为了避免するために上記の応答法の代わりに、角度調整法という距離応答法を考案して使用した。

原理を図 2.7 に示す。被験者は手元の指示棒をターゲットの中心に向けることで応答した。この方法では、被験者は常に指示棒の角度をイメージする必要があった。しかし、頭の中に距離の基準を考え続ける必要はなく、まったく同じ応答を続けることも困難であり、思考による以前の応答の影響も受けにくくなっていた。また、原理的にはあらゆる距離に対して応答することが出来た。

眼と指示棒の根本の間隔を  $t$  とすると、指示棒の角度  $\theta$  と眼からターゲットまでの距離  $D$  との間には物理的に、

$$D = t \cdot \tan(\theta)$$

という関係が成り立つ。被験者がターゲットを正確に指し示すことが出来るなら、この式から角度を距離に換算できる。ところが、この方法では被験者が指

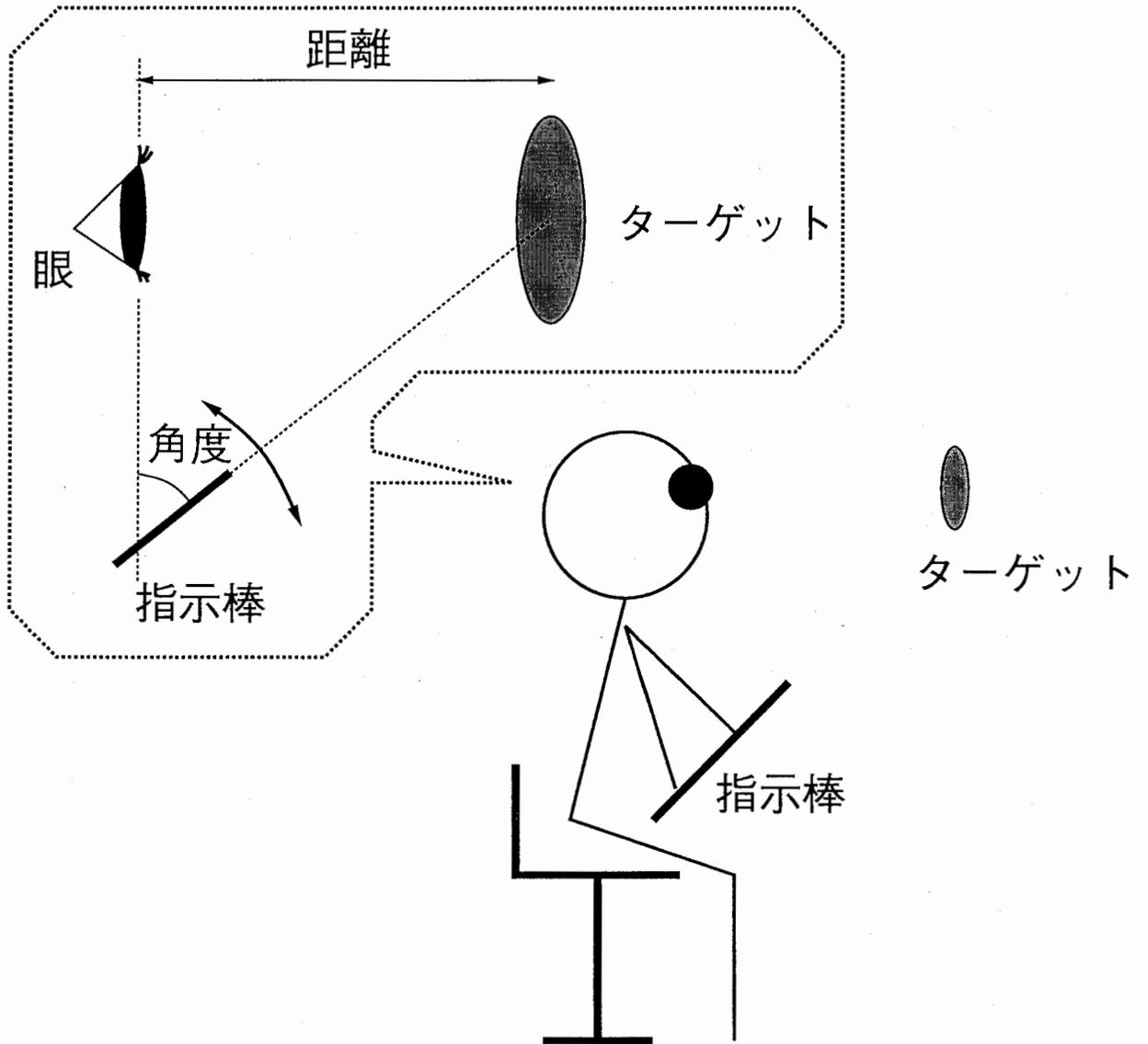


図 2.7: 角度調整法の概略

示棒を見ることはなく(単純に棒の向きを合わせることを避けるため), 角度は被験者の感覚だけで決定される. そのため, この式で単純に距離を求めることは出来ない.

実際には, 知覚距離  $D'$  に対して

$$D' = a \cdot \tan(f(\theta)) + b$$

のように, 未知の関数  $f$  を含む関数になってしまうため, 指示棒の角度から  $D'$  を求めることは困難である. 実世界で指標を使って応答を取ったところ, 各距離に対するの角度の平均値を

$$D' \cong \frac{a}{\theta - b} + c$$

で近似できたのでこれを用いた.

角度調整法を使用するために, 被験者は絶対距離知覚手がかりの豊富な環境で, 現実世界の指標を使って角度調整法の評価実験を行ない, 被験者ごとに係数  $a$ ,  $b$ ,  $c$  を決定した. それによって, 実験環境の角度  $\theta$  を実世界の距離に変換することができた. ここでは, 幅  $2m$ , 高さ  $3m$ , 奥行き  $20m$  程度の廊下を使って, 距離を 7 点 (50, 60, 75, 100, 146, 274, 2030cm) 設定し, 各距離 9 回の応答を平均して, 上記双曲線関数で最小 2 乗フィッティングを行なった.

実世界の同じ環境で各被験者の基準を測るので, 被験者ごとの違いを吸収しやすく, 異なる被験者のデータを比較することが容易であった. ただし, 指示棒の傾きがイメージしづらかったり練習が十分でない場合には分散が大きく, 指示棒を使う範囲が狭い場合には, 基準が少しずれるだけでデータが大きく変わってくるという問題もあった. 図 2.8 に被験者 HK の, 距離と指示棒の角度の関係を表したグラフを示す. 横軸が指示棒の角度, 縦軸がターゲットまでの距離である. 右上, 枠の中の数値は  $\circ$  シンボルでプロットされた点に対するフィッティング関数と求めた係数である.  $\circ$  シンボルをつないでいる曲線はこの関数を描いたものである.  $\circ$  シンボルについている横線は各点での標準偏差を表している.

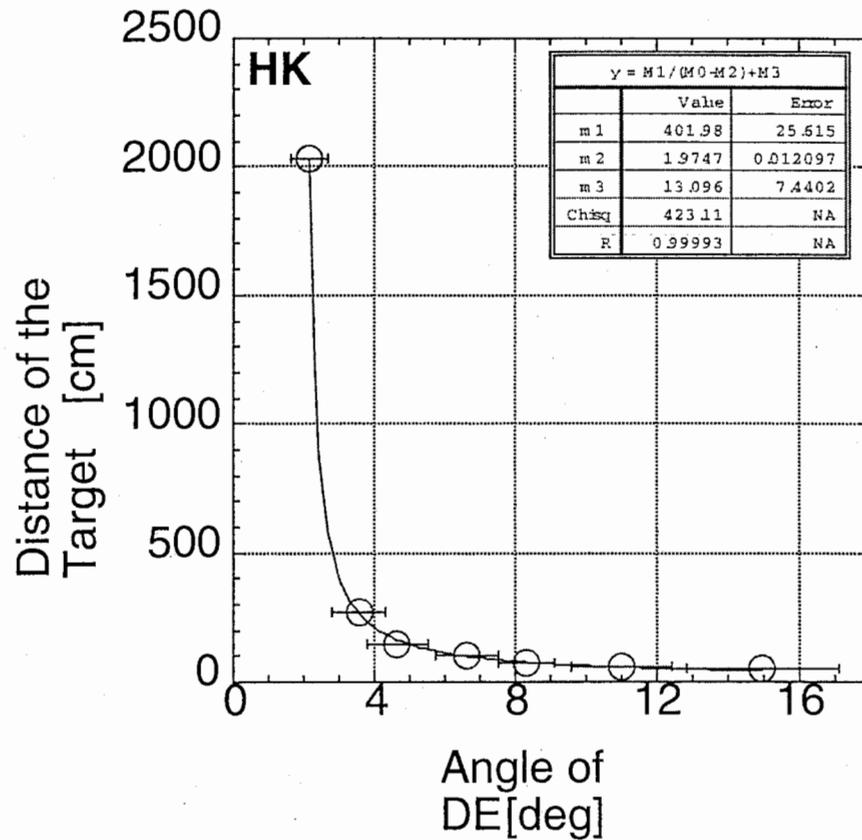


図 2.8: 双曲線関数によるフィッティング例

## 2.4 装置

図 2.9に、実験で用いた装置の概略図を示す。実験には、広い視野を確保するために、プロジェクションモニタを使用した。2台のプロジェクションモニタから1枚のスクリーンに刺激を投影し、偏光板で左右眼用の像を分離した。刺激と実験の制御はパソコン (Macintosh Quadra900) で行なわれた。グラフィックカードは NuVista を使い、縦 768 画素、横 1024 画素の解像度が表示可能であった。各画素は 8 ビットの数値を持つことが出来、256 階調のグレイスケールを表現できた。被験者の顔はスクリーンの正面に 100cm の位置に顎台を使って固定された。被験者は椅子に座り、顎台の下に設置された指示棒を使って応答した。指示棒は 30cm の長さがあり、ポテンショメータに固定されていた。指示棒はポテンショメータを軸として水平から垂直まで 90 度回転させることが出

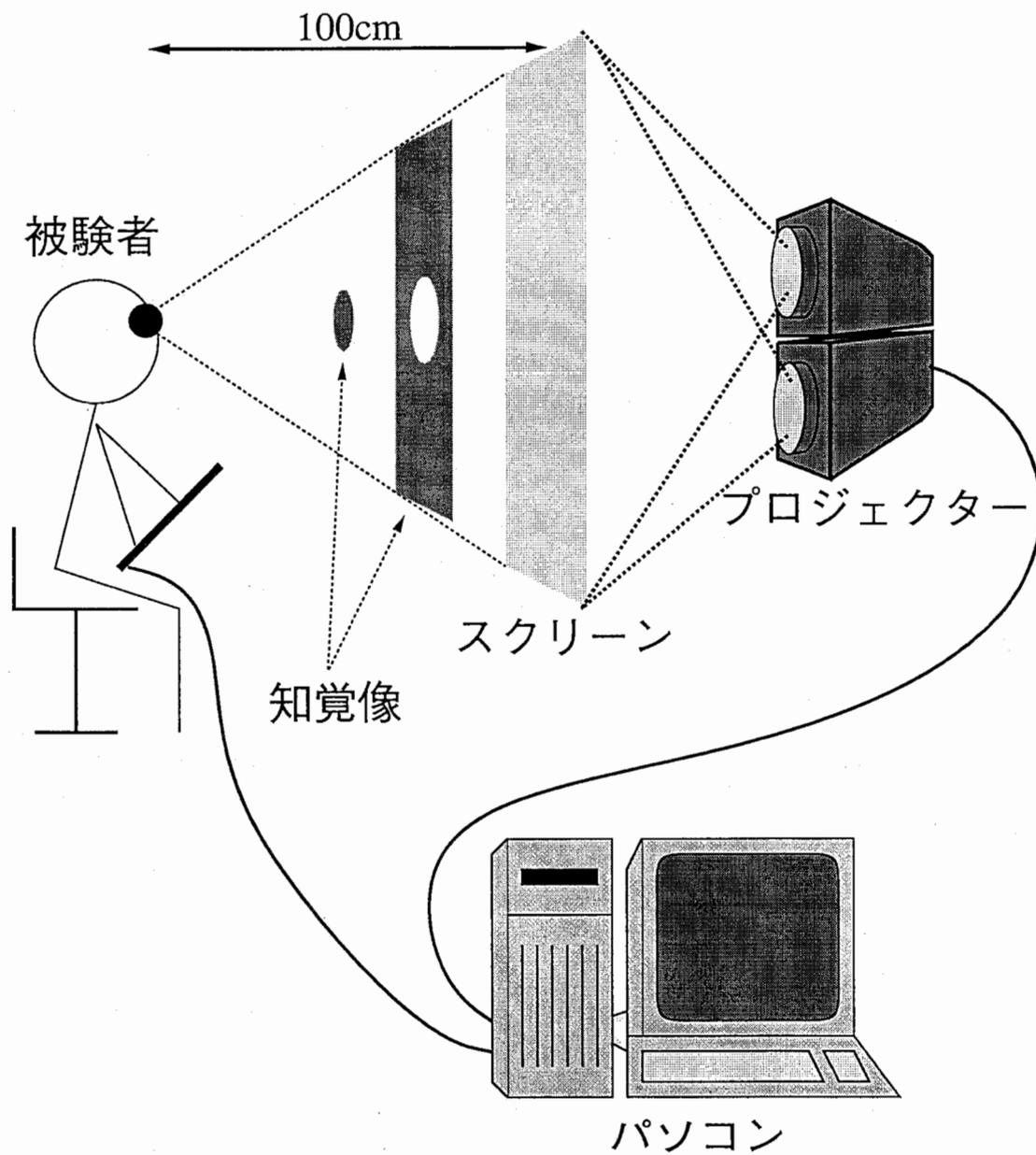


図 2.9: 実験装置の概略

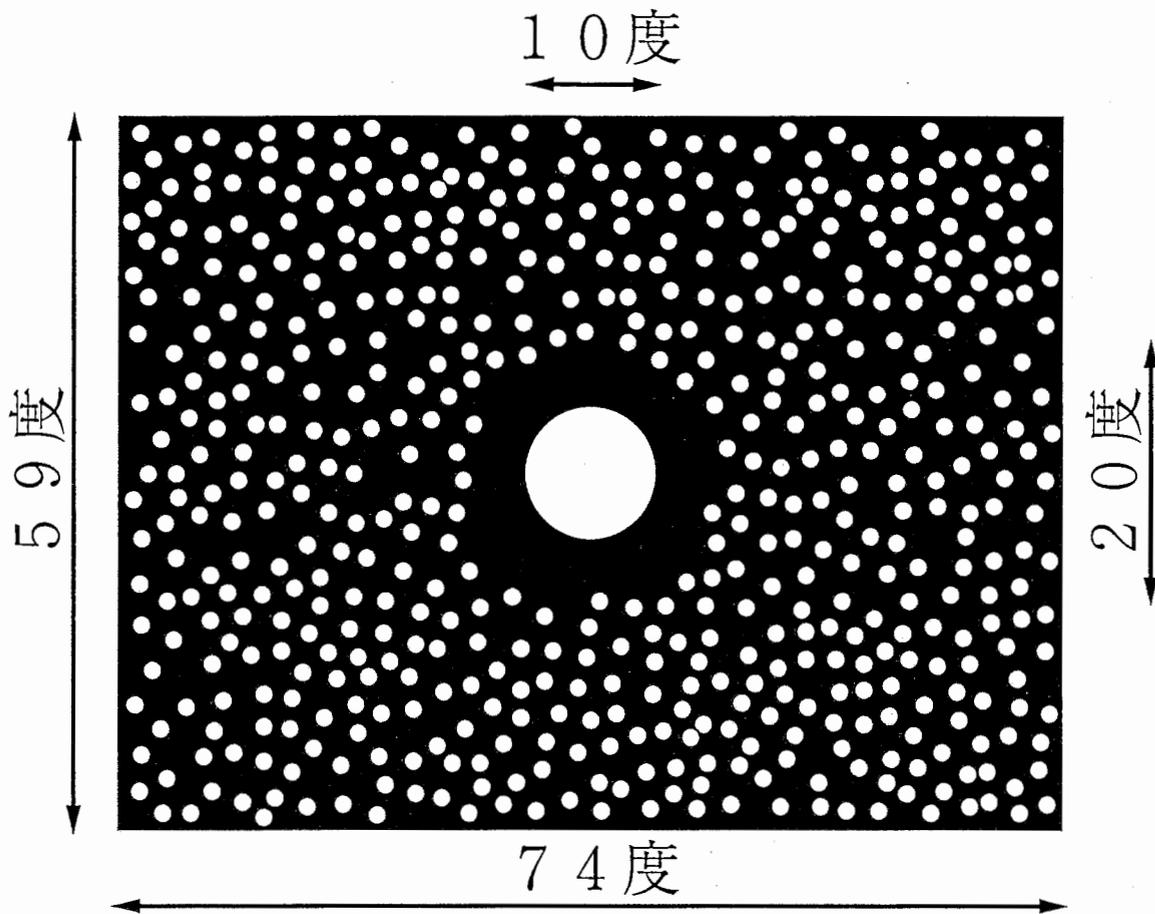
来た。指示棒の手元側にはボタンがあり、それを押すことで指示棒の角度を Quadra900 に入力することが出来た。装置の周辺は暗幕で囲っており、被験者には刺激以外のものは見えなかった。

## 2.5 刺激

図 2.10 に刺激の概形を示す。被験者が観察する刺激はステレオグラムであり、テスト刺激と周辺刺激の 2 つの領域で構成されていた。テスト刺激は視野の中心で直径が視角 10 度の円形であった。円形のテスト刺激は見やすいように濃淡のタイル模様になっており、中心部分は指示棒で指し示しやすいように黒い十字の印がしてあった。周辺刺激はガウス型分布をした直径視覚 1 度のランダムドットで構成されていた。ランダムドットは中心から直径が視角 20 度の円形より外側で縦 59 度横 74 度の矩形の内側に分布していた。刺激はコンピュータで制御されており、256 階調のグレイスケールで表現されていた。呈示された刺激は黒色 ( $0.2cd/m^2$ ) の背景の中に白色 (最大輝度  $30.0cd/m^2$ ) で呈示された。ランダムドットはガウス分布によって位置を模擬的に 1/100 画素単位で調節することが出来た。<sup>[15]</sup>これは視角 3 秒の解像度に相当した。

ただ、テスト刺激については、1 画素単位でしか位置を調節することが出来なかった。このため、実際の刺激を作る時には各被験者の眼間距離に合わせて理論距離が被験者間で等しい刺激を作ることはしなかった。刺激は全て、眼間距離 6.5cm の理想的な被験者を仮定して、その被験者にとっての理論距離で作った。従って、眼間距離が 6.5cm より短い被験者では刺激の理論距離の範囲が広くなり、眼間距離が 6.5cm よりも長い被験者では刺激の理論距離の範囲が狭くなった。

呈示刺激は、あるランダムドット分布を持った刺激を左右眼用に別々に変形させることで作り出した。そのため、全ての実験を通して刺激のランダムドットの並びは同じであった。変形させるための変数は、テスト刺激が輻輳距離、周辺刺激が輻輳距離 (刺激中央部分を注視した時の輻輳で決まる距離)、縦視差分分布距離、横視差分分布距離であった。テスト刺激は、スクリーン上で大きさ一定の円形刺激が左右に動くだけであった。テスト刺激に現われる視差分分布は輻



## 変数

テスト刺激 (中心円)

輻輳距離

周辺刺激 (ランダムドット)

輻輳距離, 縦視差分布距離,  
横視差分布距離 (, 縦横視左分布距離)

図 2.10: 刺激の概形と変数

轆と同じ距離情報を示すことになるが、本実験ではテスト刺激が視角直径10度と小さいので、Cummigら(1991)など過去の研究結果から、視差分布の影響は無視して考えた。

## 2.6 手続き

実験開始から終了まで、被験者は椅子に座って顎台に顔を乗せたままであった。実験の初期状態では、刺激は呈示されておらず、指示棒は水平であった。被験者は偏光眼鏡をかけて椅子に座り、顎台に顔を固定してスクリーンの方向を見ている。実験者の合図で最初の刺激が呈示されるので、被験者は指示棒を操り、先端がテスト刺激の中心に向くように調整する。この時、被験者は刺激全体を自由に観察することが出来た。指示棒の調整が終わったら、手元のスイッチを押して応答した。スイッチを押した瞬間の指示棒の角度がコンピュータに入力された。応答したら次の刺激が呈示されるまで2秒ほど背景のみの呈示になる。その間、被験者は指示棒を水平に戻しておき、両手を膝の上に乗せて待機する。次の刺激が呈示されたら同様に応答し、全ての刺激について同じように応答した。全ての刺激呈示が終るとブザーが鳴り、実験は終了した。

## 第3章

# 実験1：異なる距離情報の同時対比

### 3.1 はじめに

横視差は奥行きなどの3次元形状知覚を鮮明に呈示してくれる。ランダムドットステレオグラムやステレオ写真などは左右眼に相対的な視差を呈示することで違和感のない立体構造を人間の視空間に構築させる。ところが、実世界で感じられるほどの距離感覚が、絶対距離が輻輳で与えられるような実験環境では感じられない。物理的な観察距離が一定である場合には、水晶体の調節が矛盾するので、それが影響していることが考えられる。被験者の感想などによると、輻輳距離に比べて距離の感覚が小さくなる傾向が確かにあった。

輻輳は絶対距離と物理的に1対1で対応している。実験条件で絵画的な要素や水晶体の調節など、多くの絶対距離知覚手がかりが欠落していても、輻輳手がかりが十分な影響力を持っていれば、実験環境でも知覚絶対距離は実世界で得られるそれとほとんど変わらないはずである。実世界で感じられるような絶対距離知覚が輻輳だけでは得られない理由には、水晶体の調節など、輻輳による絶対距離知覚手がかりに矛盾する手がかりが邪魔していること、輻輳のような観察対象自身の持つ絶対距離知覚手がかりは、遠くなるほど眼筋の動きが微小になり雑音の比率が増大するなど、距離分解能の限界があり十分な手がかりとなり得ないことなどが考えられる。像の大きさや肌理の勾配など、網膜像を絵画的に解釈する手がかりは、距離分解能の問題に対する解答のひとつとなっている。

近年、絵画的な解釈を伴わない両眼視差分布が絶対距離知覚手がかりとなることが報告されており、両眼視差が絶対距離知覚に影響する可能性が示唆され

た。単一平面に対する直接の知覚絶対距離応答と、奥行き恒常性の成立度合から推測された知覚絶対距離とでは、その大きさが異なることが報告されており、奥行き情報が絶対距離知覚に影響する可能性が考えられる。この可能性を調べるために、異なる距離情報の同時対比を考え実験を行なった。この同時対比が絶対距離知覚に影響するならば、次の3つのような影響が考えられる。

1. 相互に引き合う
2. 相互に反発する
3. 絶対的な値に収束する

1は、観察対象が周囲の刺激の距離に引き付けられるということで、視空間が奥行き方向に圧縮されることを意味する。この場合、同時対比のない場合よりも、距離分解能が良くなることは考えづらい。2は、観察対象が周囲の刺激に対して浮き上がる(手前にある場合)か沈み込む(奥手にある場合)ということで、視空間は奥行き方向に広がることを意味する。この場合、同時対比のない場合よりも、距離分解能が良くなることが考えられる。また、1、2のどちらの影響が見られた場合でも、観察対象自体の持つ絶対距離情報だけでなく、刺激間の相対的な距離関係が絶対距離知覚に関わることを意味している。3のような影響見られた場合には、複数の絶対距離情報から、それぞれの関係を利用することで雑音を減らすなどして距離分解能を向上させ、絶対的な距離情報を修正していると考えられる。

本実験では、テスト刺激と周辺刺激を異なる絶対距離の面として呈示することで、2つの面の同時対比が絶対距離知覚にどのように影響するのか調べることを目的とした。

## 3.2 刺激

刺激は、視野の中心で直径が視角10度である円形のテスト刺激と、その周辺、視角20度より外側に分布するランダムドットによる周辺刺激で構成されていた。テスト刺激は変数、輻輳距離だけで決定され、スクリーン上では水平方向に並行移動しているだけであった。周辺刺激は、輻輳距離、縦視差分分布距

離，横視差分布距離の3変数で決定された。本実験では，テスト刺激の輻輳距離と周辺刺激の輻輳距離で独立の値を取り，縦視差分布距離と横視差分布距離は周辺刺激の輻輳距離と等しい値を取った。変数は，52, 68, 100, 182, 1057cmの5種類の値を取った。テスト刺激と周辺刺激の組み合わせで25通りの刺激が用意された。被験者は5人で，いずれも矯正視力1.0以上であった。うち3人は実験目的を知らないナイーブな被験者であった。

図3.1に周辺刺激の分布を格子で表した刺激の説明を示す。上から，a) 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合，b) 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合，c) 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合の，両眼視差と観察時の見えを表している。格子はテスト刺激を注視しているものとして表現してある。また，本実験中ではスクリーン上で周辺刺激の形状が一定であることが分かる。

図3.2に，実際に実験に用いた刺激を示す。左端と右端が左眼用，中央が右眼用の刺激となっている。左側のステレオペアは平行法，右側のステレオペアは交差法で観察できる。上から，周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合，周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合，周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合である。ただし，実験時とは視野，輻輳などの条件が一致しないので見えは保証されない。

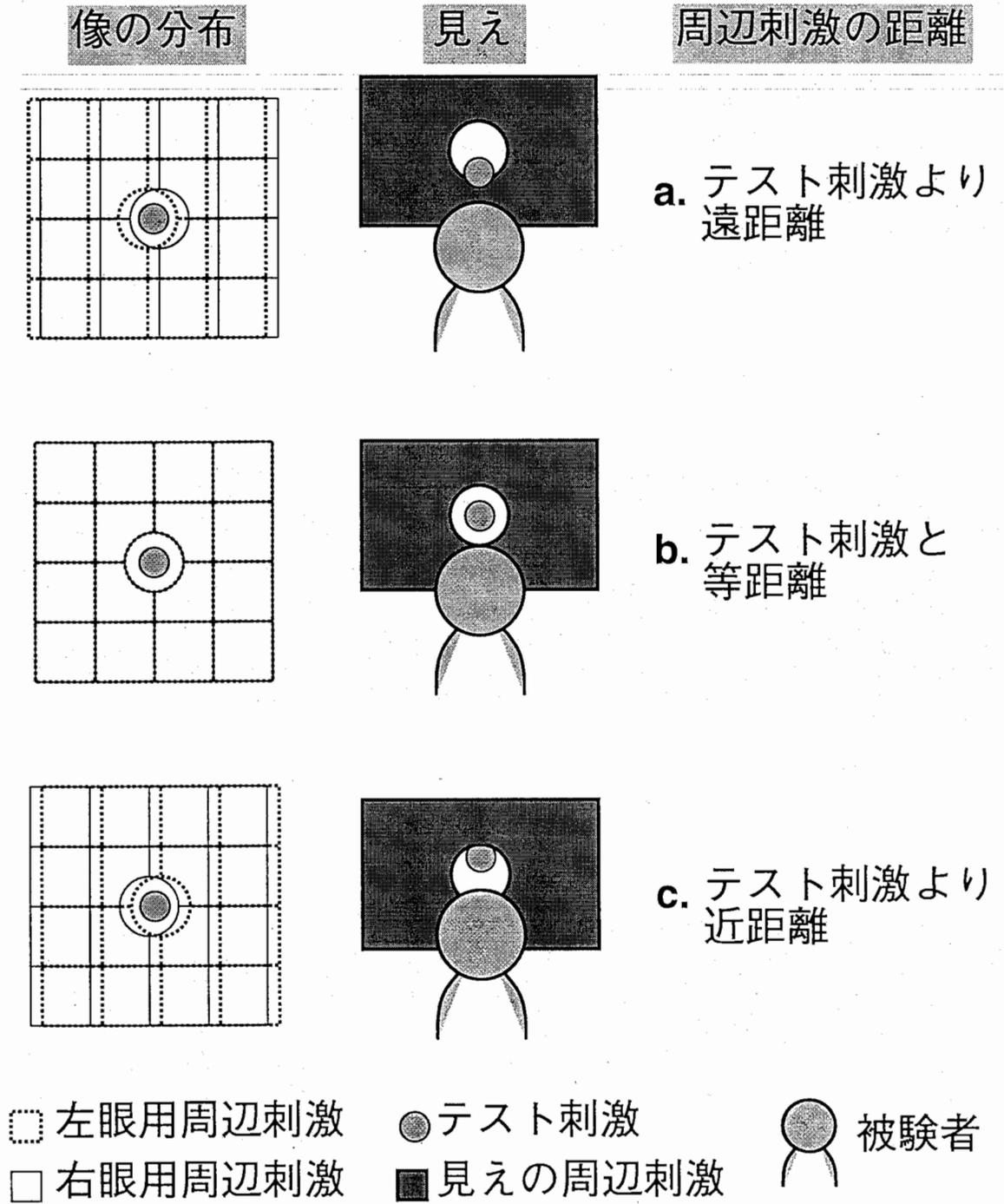


図 3.1: 同時対比実験でのスクリーン上での像の分布と見え

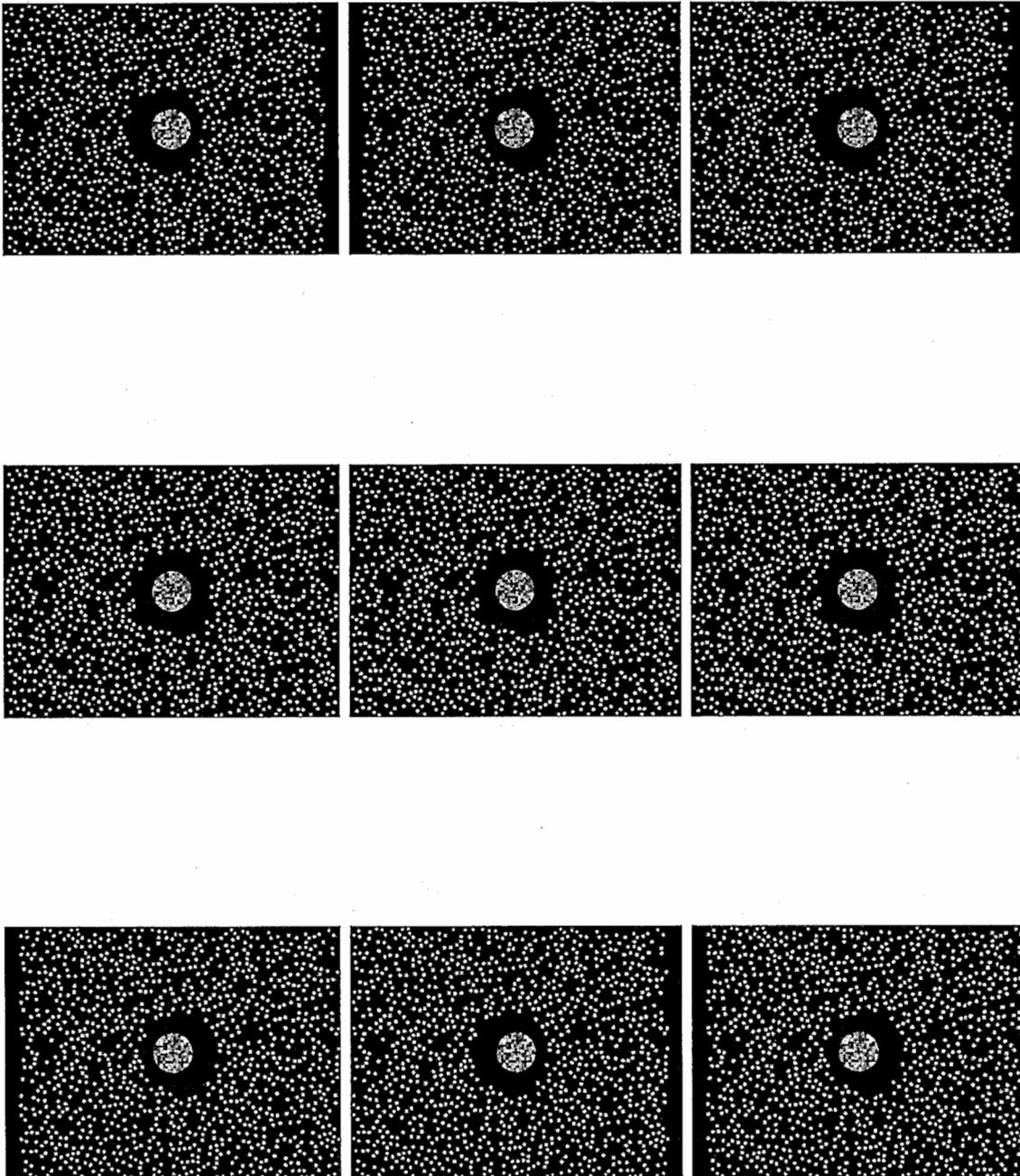


図 3.2: 同時対比刺激の例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

### 3.3 実験結果

各刺激について8回の応答の平均値を求めテスト刺激の輻輳距離ごとにグラフにプロットした。(図 3.3) 横軸に周辺刺激の輻輳距離, 縦軸にテスト刺激に対する知覚絶対距離応答を取った。シンボルの違いは, テスト刺激の輻輳距離の違いを表している。左と下の軸は輻輳角 [度] で表示し, 右と上の軸は長さ [cm] で表示した。軸は輻輳角に対して線形で, 長さで単調増加になるように設定した。グラフ中, 枠の中の数値はテスト刺激を注視した時の各被験者ごとの予想される距離に換算し, 眼間距離 6.5cm で輻輳角 [度] に変換したものである。値が大きいほど近い距離であり, 輻輳角 3.72 度は距離 100cm に相当する。被験者 KK, NU, YF がナイーブな被験者であり, HK, YF が眼鏡を着用, TK はコンタクトレンズを着用していた。眼間距離は被験者 KK が 6.75cm, HK が 6.35cm, NU が 6.35cm, TK が 7.10cm, YF が 6.15cm であった。

表 3.1: 実験 1 の分散分析結果。太字は有意水準 5%, 下線のある太字は有意水準 1% でグラフ中同一シンボルの平均値が等しいという帰無仮説が棄却されたことを意味する。

周辺距離 [cm]	HK	KK	NU	TK	YF
52	<b><u>9.912</u></b>	1.684	1.645	<b><u>28.69</u></b>	<b><u>7.277</u></b>
68	<b><u>4.728</u></b>	0.724	<b><u>4.984</u></b>	<b><u>11.99</u></b>	<b><u>4.260</u></b>
100	<b><u>5.761</u></b>	0.264	<b><u>4.078</u></b>	<b><u>17.17</u></b>	1.354
182	<b><u>4.501</u></b>	0.876	<b><u>3.172</u></b>	<b><u>17.45</u></b>	2.394
1057	0.129	0.388	0.390	2.530	0.922

結果のグラフを見ると, 被験者 KK を除いて全体的に右下がりの傾向が見られる。分散分析の結果(表 3.1), 被験者 HK, TK ではテスト刺激の輻輳距離が 52~182cm の 4 箇所 で 5% 有意水準で有意差があった。被験者 NU では, 輻輳距離 68~182cm の 3 箇所, 被験者 YF では, 輻輳距離 52~68cm の 2 箇所 でいずれも 5% 有意水準での有意差があった。全ての被験者に関して, テスト刺激の輻

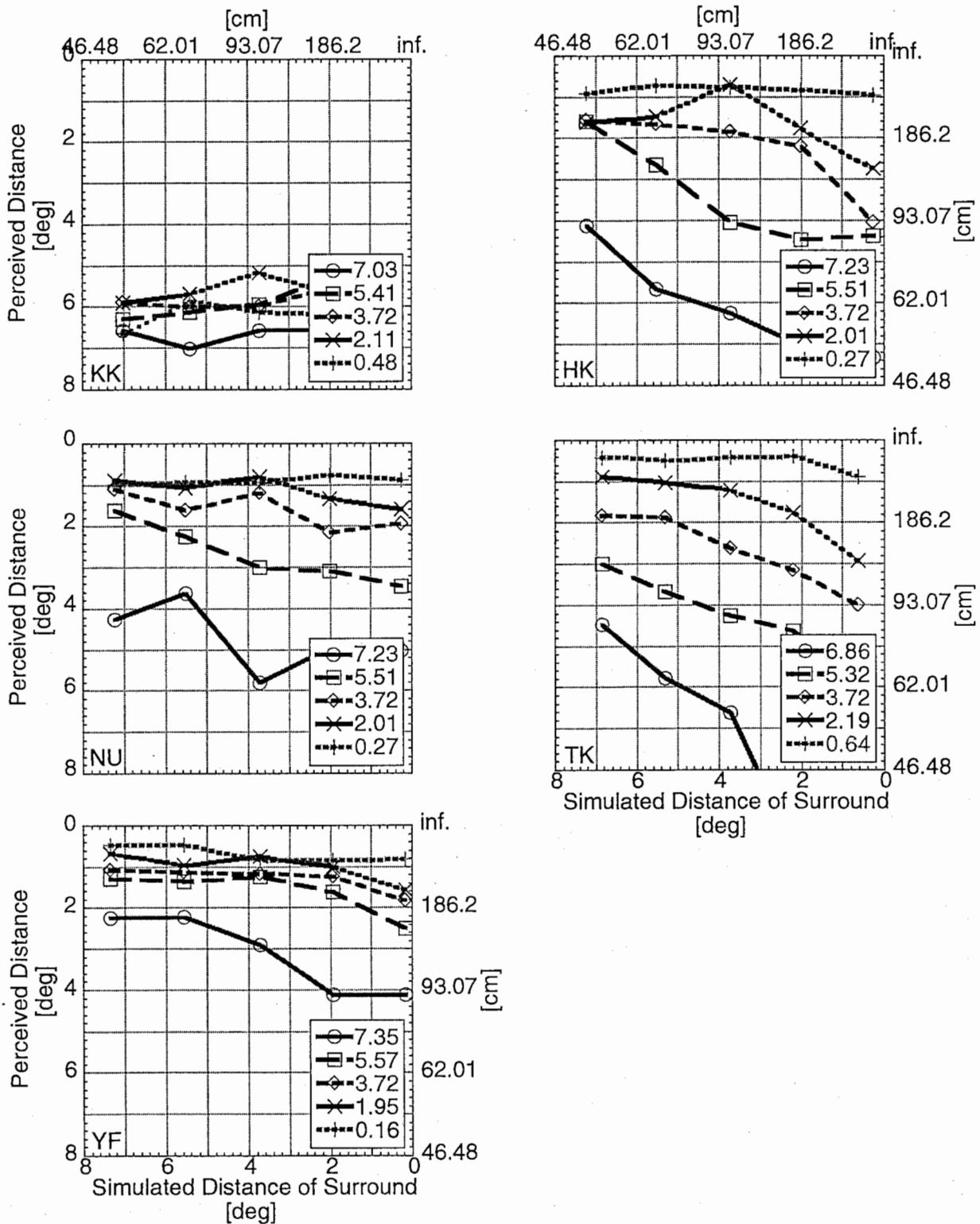


図 3.3: 周辺刺激に対する知覚絶対距離応答

輻輳距離が遠いほど、グラフの傾きは水平に近くなる傾向があった。この結果は、周辺刺激の輻輳距離が遠くなるとテスト刺激に対する知覚絶対距離が近く、周辺刺激の輻輳距離が近くなるとテスト刺激に対する知覚絶対距離が遠くなることを示している。これは、周辺刺激の輻輳距離の絶対距離知覚への影響が「相互に反発する」という傾向にあることを意味している。

### 3.4 考察

この実験の結果から、周辺刺激の距離情報がテスト刺激の絶対距離知覚に影響していることがわかった。その影響は、周辺刺激の距離情報が遠くなるに従ってテスト刺激はより近くに知覚され、周辺刺激の距離情報が近くなるに従ってテスト刺激はより遠くに知覚れるということだった。このことは、輻輳など観察対象自体の持つ手がかりだけでは絶対距離知覚が定まらないことを示している。

本実験では、テスト刺激の輻輳距離によらず絶対距離知覚の応答が周辺刺激の輻輳距離に反発している傾向が見られた。視覚系が絶対距離を決定するにあたっては、複数の距離情報をもとにそれぞれの関係を利用して雑音を減らし、絶対的な距離情報が収束するように修正することがないと考えられる。絶対距離知覚は、観察対象それ自身だけで絶対的に一意に決定されるものではなく、周辺のさまざまな手がかりも影響しあって相対的にその場に応じて決定されていると言えるだろう。

また、輻輳距離が遠い刺激ほどグラフの傾きが小さくなっている。グラフの傾きが比較可能であれば、テスト刺激の輻輳情報が遠くを示すほど、周辺刺激の影響を受けにくくなっていることを示すものである。ただし、ここで見られる傾きは応答法の影響を考慮する必要があるかも知れない。なぜなら、角度調整法では遠距離のテスト刺激を指し示すほど指示棒が水平に近くなっていくからだ。遠距離の場合には応答限界に近くなったため分散が小さくなったとも考えられる。

被験者 KK では、5%有意水準での有意差どころか傾向も見られなかった。しかし、この被験者の場合にはテスト刺激の輻輳を変数とした場合でもグラフで

も有意差は見られず(表 3.2左), 輻輳すら絶対距離知覚の手がかりとは言い難かった. 感想を聞いてみても全ての刺激で距離の差を感じていなく, 実験条件では距離の変化を感じる事がなかったようだ. ところが, 実世界(廊下)で行なった実験では指標の距離によって異なる距離応答をしていた. (表 3.2右)このことは, 被験者 KK が普段, 輻輳や視差分布などを絶対距離知覚手がかりとしてほとんど利用していない可能性も考えられる.

表 3.2: 被験者 KK の分散分析結果. 太字は有意水準 5%, 下線のある太字は有意水準 1%.

実験条件(テスト刺激のみ)	実世界
0.664	<b><u>40.17</u></b>

## 第4章

### 実験2：視差分布の影響

#### 4.1 はじめに

近年、広い視野における視差分布 (differential-perspective) が絶対距離知覚手がかりとなっているということが実験的に報告されている。<sup>[9]</sup> 本実験では、視差分布の絶対距離知覚に対する影響を確認し、さらに視差分布の縦成分と横成分についてそれぞれが単独であっても絶対距離知覚に影響するかどうかを調べることを目的とした。以下、視差分布の縦成分を縦視差分布、横成分を横視差分布とそれぞれ呼び、縦視差分布が表す距離を縦視差分布距離、横視差分布が表す距離を横視差分布距離とした。縦視差分布距離と横視差分布距離が等しい時、その分布を持つ平面は実世界に存在する。これを特に縦横視差分布と呼び、その距離を縦横視差分布とした。以後、単に視差分布と言えは、縦視差分布、横視差分布、縦横視差分布の全てを指す。

#### 4.2 刺激

刺激は、視野の中心で直径が視角10度である円形のテスト刺激と、その周辺、視角20度より外側に分布するランダムドットによる周辺刺激で構成されていた。テスト刺激は変数、輻輳距離だけで決定され、スクリーン上では水平方向に並行移動しているだけであった。周辺刺激は、輻輳距離、縦視差分布距離、横視差分布距離の3変数で決定された。本実験では、テスト刺激の輻輳距離と周辺刺激の輻輳距離が常に等しく、単に輻輳距離とした。本実験中は、(テスト刺激と周辺刺激の) 輻輳距離、縦視差分布、横視差分布の3変数のうち、1変数と2変数の組に分けて、それぞれを独立に変化させた。実験条件としては、

縦横視差分布距離を固定して輻輳距離を変化させた場合、輻輳距離を固定して縦横視差分布距離を変化させた場合、輻輳距離と横視差分布距離を固定して縦視差分布距離を変化させた場合、輻輳距離と縦視差分布距離を固定して横視差分布距離を変化させた場合の4通りが設定された。変数は、52, 68, 100, 182, 1057cmの5種類の値を取った。各実験条件ごとに25通り、全部で100通りの刺激が用意された。(実際には組み合わせの都合で65通りだった)被験者は4人でいずれも矯正視力1.0以上であった。うち2人は実験目的を知らないナイーブな被験者であった。

以下、絶対距離知覚に対する縦横視差分布、縦視差分布、横視差分布の影響を調べるための刺激の形状について説明する。

#### 4.2.1 縦横視差分布

図4.1に周辺刺激の分布を格子で表した刺激の説明を示す。変数は縦横視差分布距離で、上から、a) 縦横視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合、b) 縦横視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、c) 縦横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合の、両眼視差と観察時の見えを表している。格子はテスト刺激を注視しているものとして表現してある。縦横視差分布距離によって格子が歪み、例えば縦横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合には、右眼用のスクリーン像の中心より右側の区画が広く、中心より左側の区画が狭くなっている。左眼用のスクリーン像では正反対の分布が見られる。また、図中の見えを表す部分に?マークがついている。これらの刺激はほとんど平坦に知覚されるが、人によっては縦視差分布が強く見えたり、横視差分布が強く見えたりすることで、刺激が湾曲して知覚されることも考えられる。湾曲の形状については、縦視差分布距離、横視差分布距離を変数とした刺激の説明で述べる。

図4.2に、実際に実験に用いた刺激を示す。左端と右端が左眼用、中央が右眼用の刺激となっている。左側のステレオペアは平行法、右側のステレオペアは交差法で観察できる。上から、縦横視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合、縦横視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、縦横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合である。ただし、実験時とは視野、輻輳などの条件が一致しないので見えは保証されない。

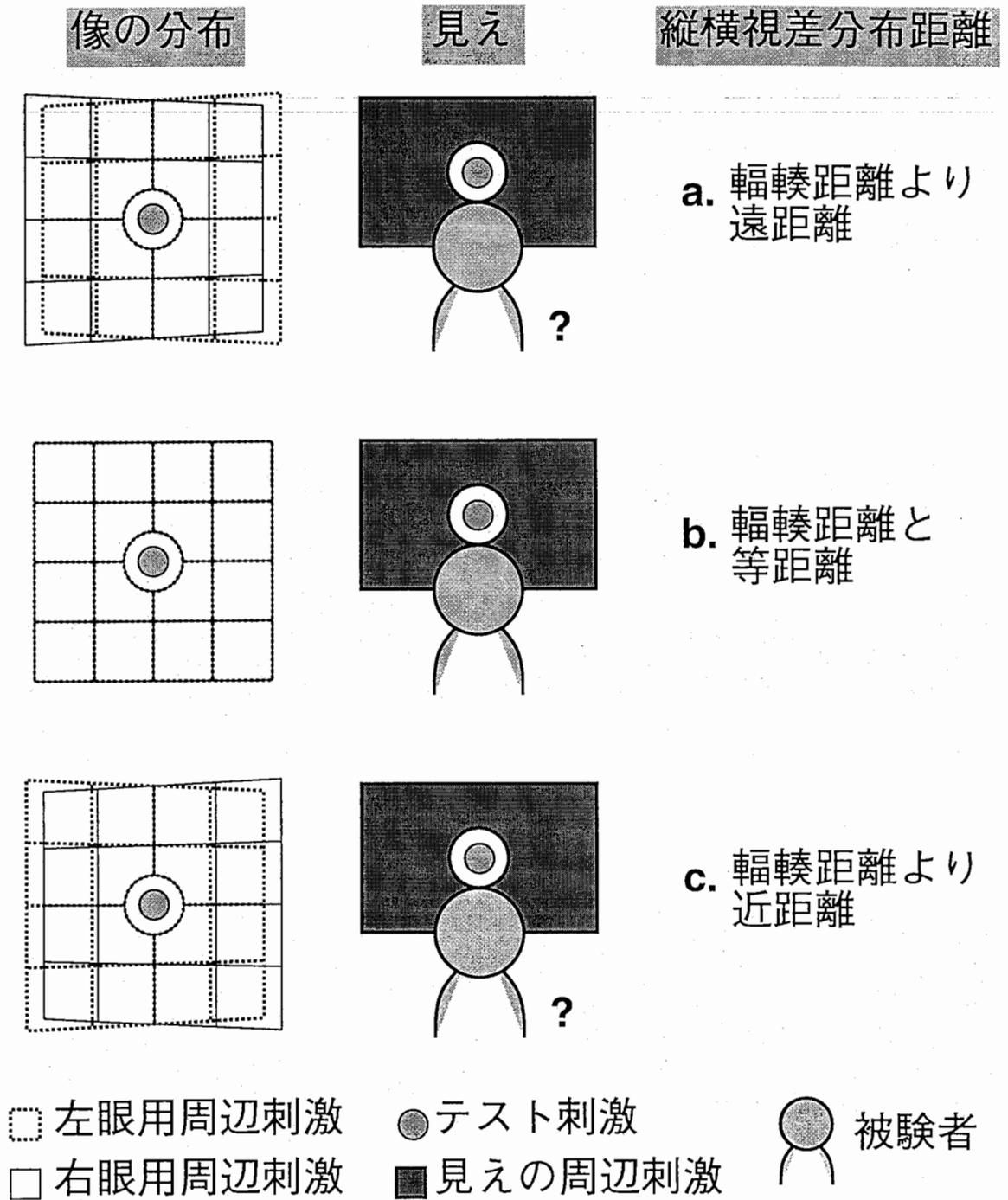


図 4.1: 縦横視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え.

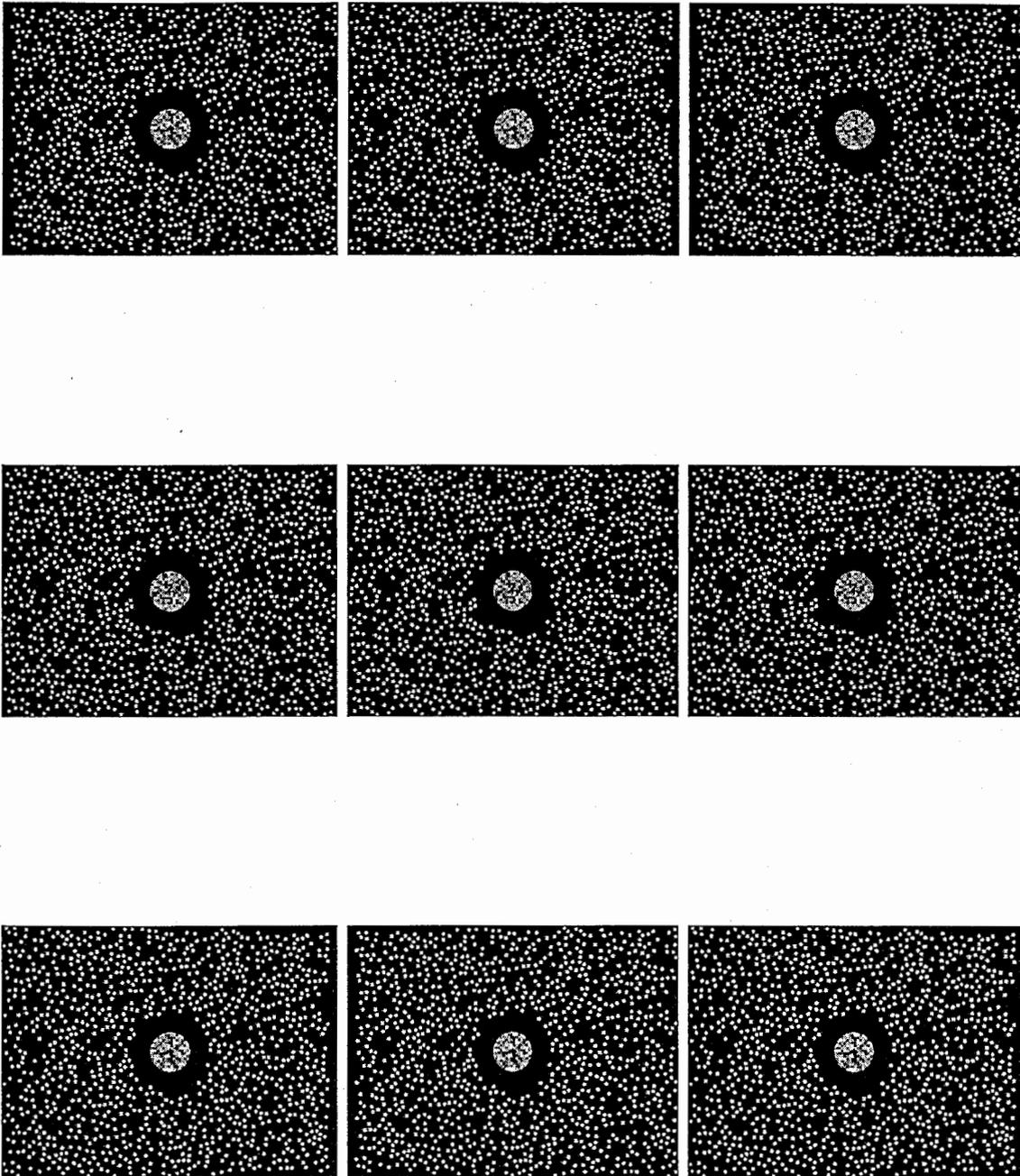


図 4.2: 縦横視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から縦横視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

### 4.2.2 縦視差分布

図 4.3に周辺刺激の分布を格子で表した刺激の説明を示す。変数は縦視差分布距離で、上から、a) 縦視差分布距離が輻輳距離 (正確には輻輳距離と横視差分布) よりも遠い場合、b) 縦視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、c) 縦視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合の、両眼視差と観察時の見えを表している。格子はテスト刺激を注視しているものとして表現してある。縦視差分布距離によって格子が歪み、例えば縦視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合には、右眼用のスクリーン像の中心より右側で縦方向に長く、中心より左側で短くなっている。横方向には伸縮が見られない。左眼用のスクリーン像では右目用と正反対の分布が見られる。縦視差分布距離が輻輳距離より遠い場合に見えは左右の周辺が奥に湾曲して知覚される。また、縦視差分布距離が輻輳距離より近い場合に見えは左右の周辺が手前に湾曲して知覚される。

図 4.4に、実際に実験に用いた刺激を示す。左端と右端が左眼用、中央が右眼用の刺激となっている。左側のステレオペアは平行法、右側のステレオペアは交差法で観察できる。上から、縦視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合、縦視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、縦視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合である。ただし、実験時とは視野、輻輳などの条件が一致しないので見えは保証されない。

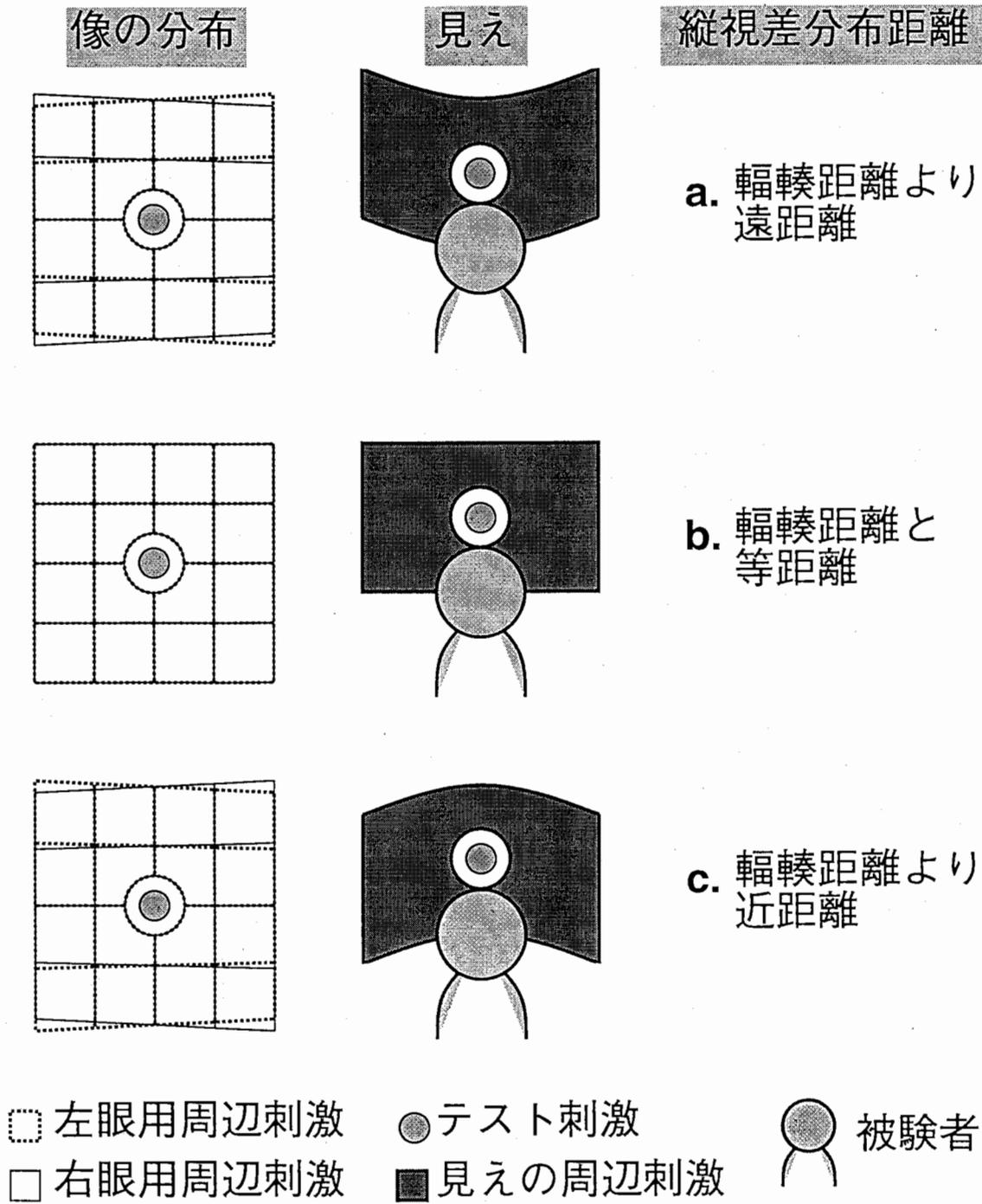


図 4.3: 縦視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え.

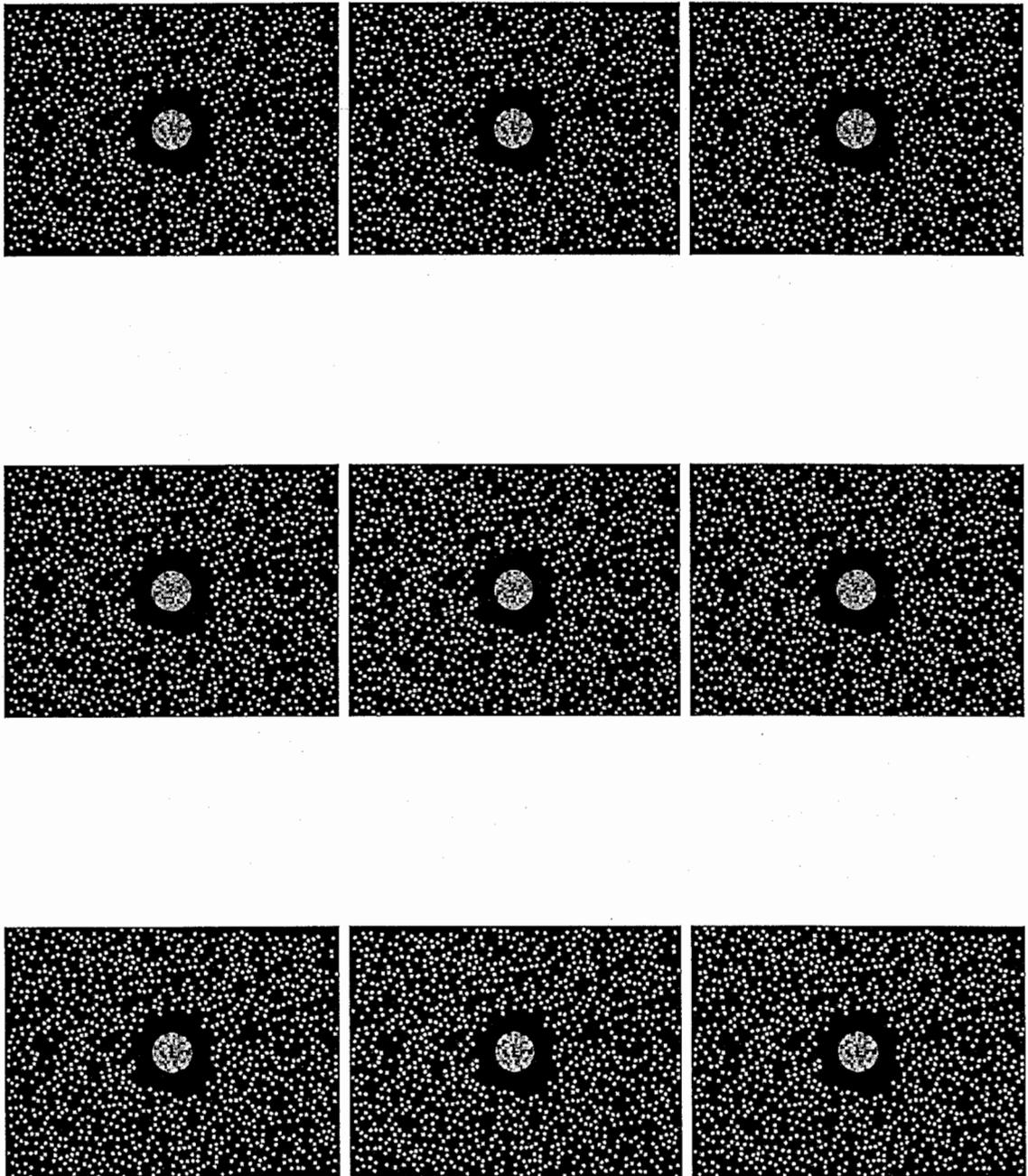


図 4.4: 縦視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から縦視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

### 4.2.3 横視差分布

図 4.5に周辺刺激の分布を格子で表した刺激の説明を示す。変数は横視差分布距離で、上から、a) 横視差分布距離が輻輳距離(正確には輻輳距離と縦視差分布距離)よりも遠い場合、b) 横視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、c) 横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合の、両眼視差と観察時の見えを表している。格子はテスト刺激を注視しているものとして表現してある。横視差分布距離によって格子が歪み、例えば横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合には、右眼用のスクリーン像の中心より右側の区画が広く、中心より左側の区画が狭くなっている。縦方向への歪みはなく、格子の形状は長方形になっている。左眼用のスクリーン像では右目用と正反対の分布が見られる。横視差分布距離が輻輳距離より遠い場合に見えは左右の周辺が手前に湾曲して知覚される。また、横視差分布距離が輻輳距離より近い場合に見えは左右の周辺が奥に湾曲して知覚される。

図 4.6に、実際に実験に用いた刺激を示す。左端と右端が左眼用、中央が右眼用の刺激となっている。左側のステレオペアは平行法、右側のステレオペアは交差法で観察できる。上から、横視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合、横視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合である。ただし、実験時とは視野、輻輳などの条件が一致しないので見えは保証されない。

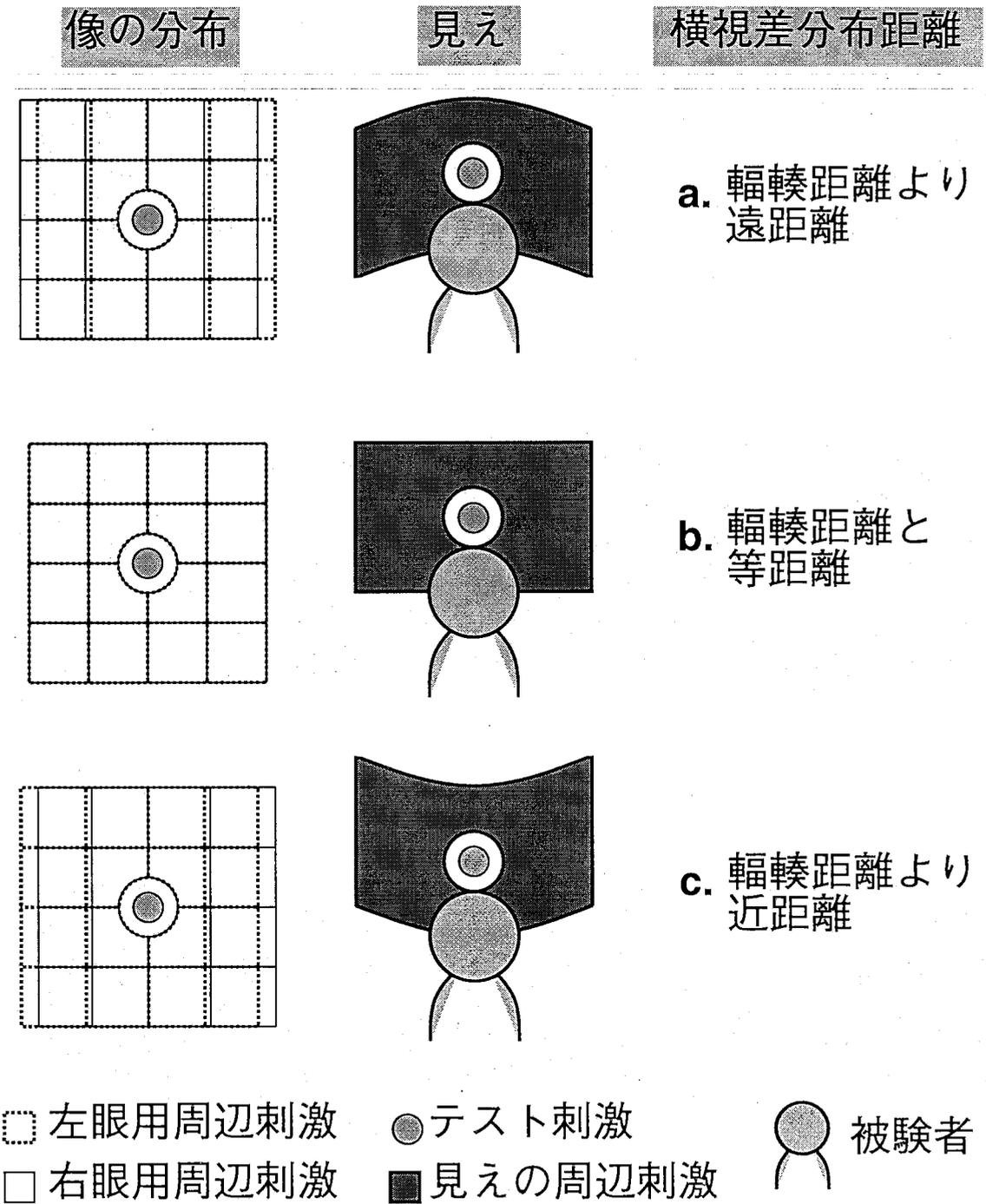


図 4.5: 横視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え.

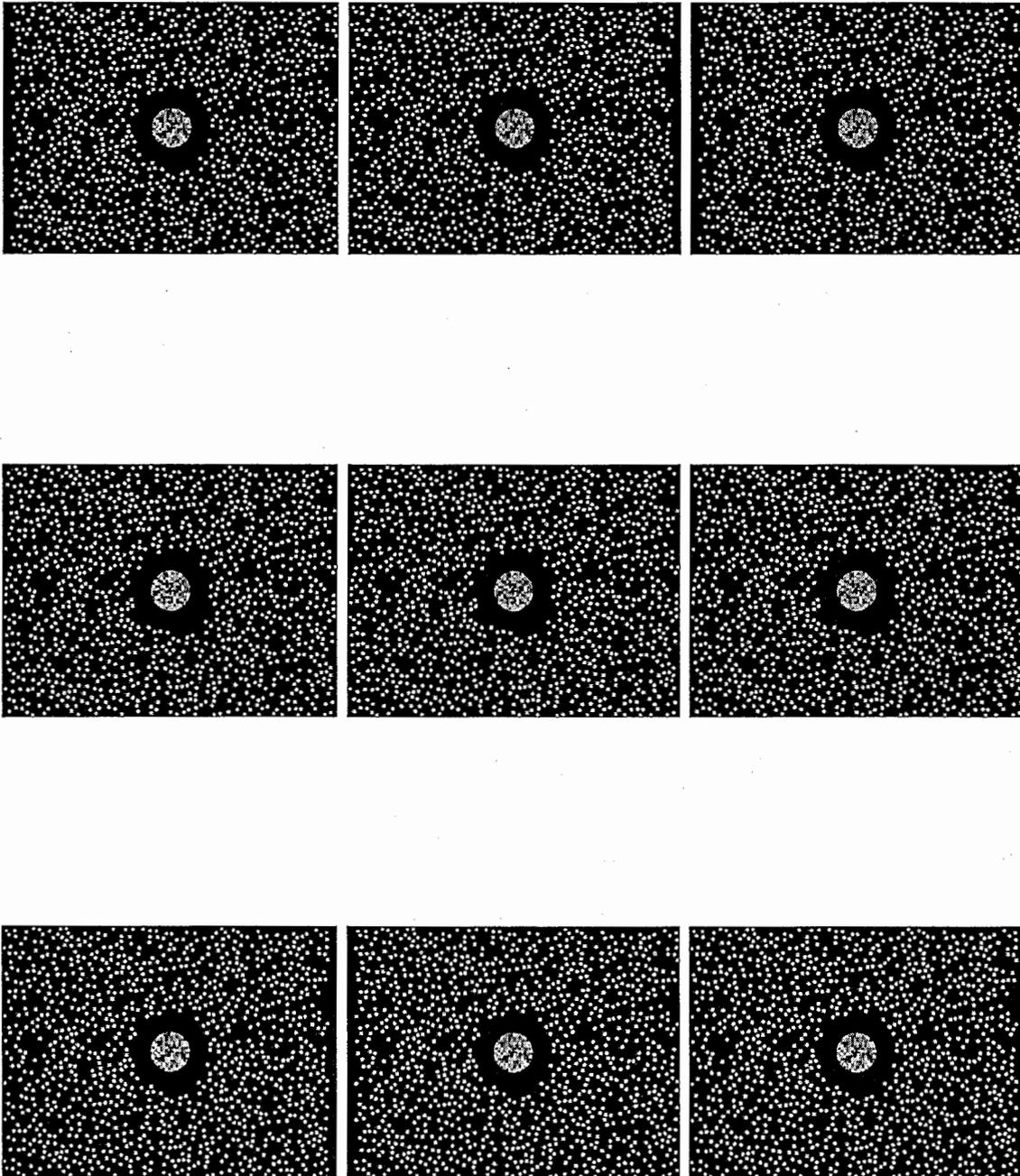


図 4.6: 横視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から横視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

### 4.3 実験結果

各刺激について8回の応答の平均値を求め固定した変数(縦横視差分布距離を変化させた場合には輻輳距離)ごとにグラフにプロットした。(図 4.7, 4.8, 4.9, 4.10) 左上のグラフは輻輳 (Convergence) の影響を調べた結果, 右上のグラフは縦横視差分布 (VHDD) の影響を調べた結果, 左下のグラフは縦視差分布 (VDD) の影響を調べた結果, 右下のグラフは横視差分布の影響を調べた結果である。略号は V が Vertical(垂直)で縦, H が Horizontal(水平)で横, DD が Disparity(視差) Distribution(分布)で視差分布を意味している。横軸に, 輻輳距離, 縦横視差分布距離, 縦視差分布距離, 横視差分布距離, 縦軸にテスト刺激に対する知覚絶対距離応答を取った。シンボルの違いは横軸に対して固定した変数の距離の違いを表している。左と下の軸は輻輳角 [度] で表示し, 右と上の軸は長さ [cm] で表示した。軸は輻輳角に対して線形で, 長さで単調増加になるように設定した。グラフ中, 枠の中の数値は角グラフで固定した変数の値を各被験者ごとの予想される距離に換算し眼間距離 6.5cm で輻輳角 [度] に変換したものである。値が大きいほど距離は近く, 輻輳角 3.72 度は距離 100cm 被験者 NU, YF がナイーブな被験者であり, HK, YF が眼鏡を着用, TK はコンタクトレンズを着用していた。眼間距離は被験者 HK が 6.35cm, NU が 6.35cm, TK が 7.10cm, YF が 6.15cm であった。

結果のグラフを見ると, 視差分布距離を変数とした場合で全ての被験者について右上がりの傾向を見ることができる。分散分析の結果(表 4.1), 被験者 TK では全ての輻輳距離の場合に 5%有意水準で有意差があった。被験者 NU では, 輻輳距離 52~182cm の 4 箇所, 被験者 HK では輻輳距離 52~68cm の 2 箇所ですれも 5%有意水準での有意差があった。被験者 YF では傾向はあるように見えるものの 5%有意水準での有意差はなかった。縦視差分布を変数とした場合には被験者 NU, TK だけに, 横視差分布を変数とした場合には被験者 HK, TK だけに, それぞれ輻輳距離 52cm の点だけで 5%有意水準での有意差があった。このように, 縦視差分布距離, 横視差分布距離を単独で変数とした場合には, 縦横視差分布を変数とした場合よりもグラフの右上がり傾向は小さかった。輻輳距離が遠くを示していたり, 縦視差分布距離, 横視差分布距離を単独で変数

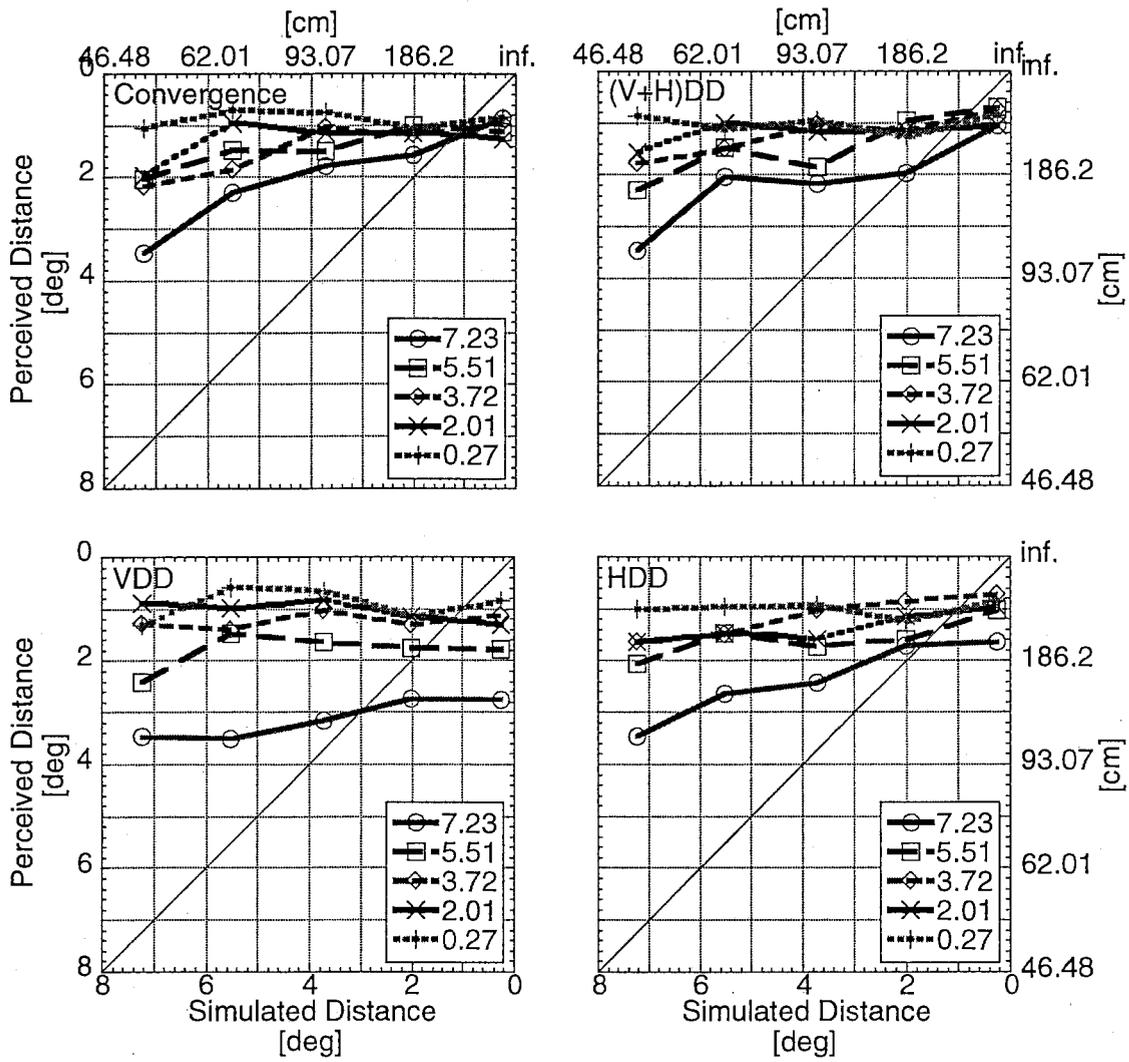


図 4.7: 被験者 HK の知覚絶対距離応答

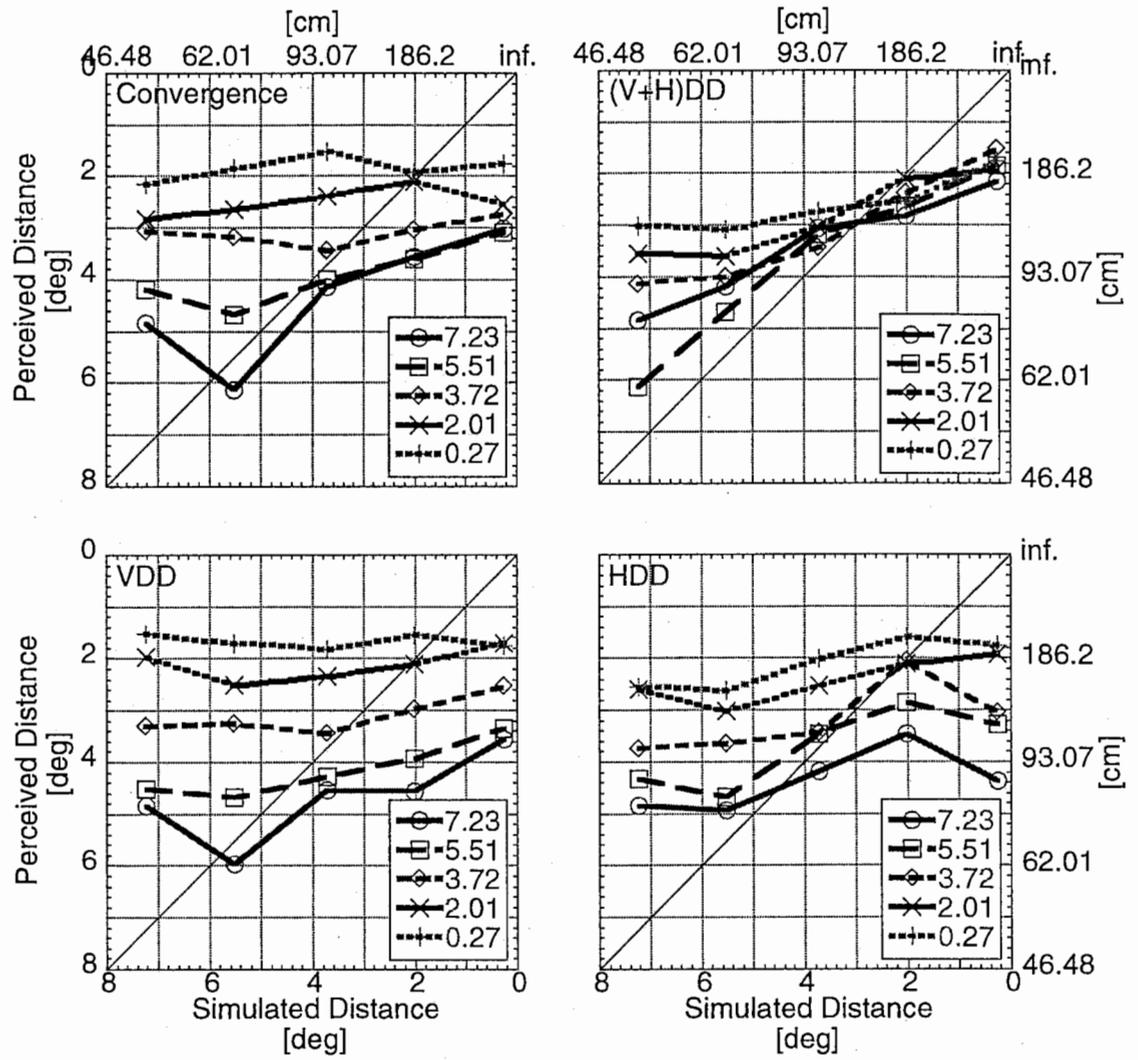


図 4.8: 被験者 NU の知覚絶対距離応答

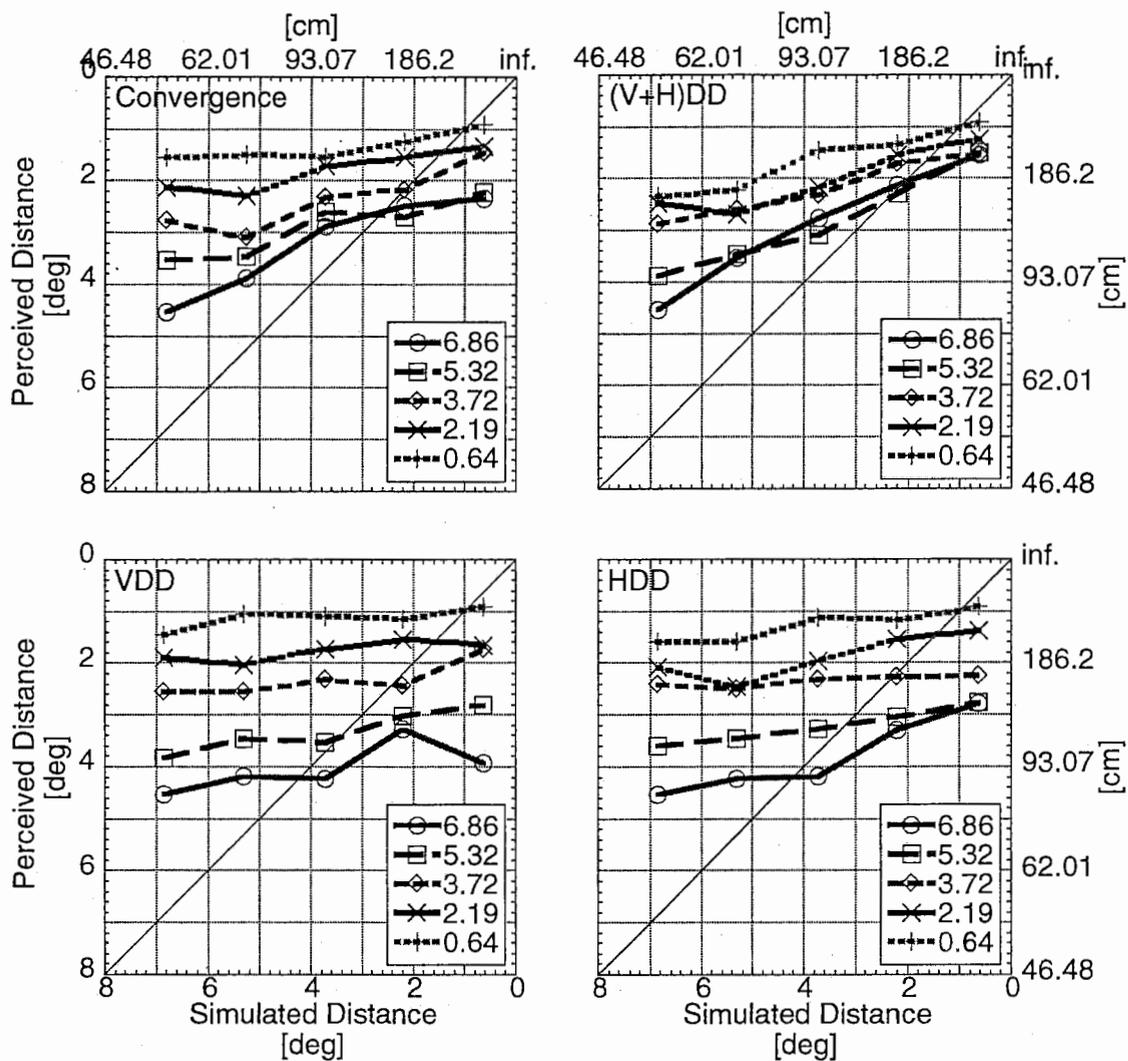


図 4.9: 被験者 TK の知覚絶対距離応答

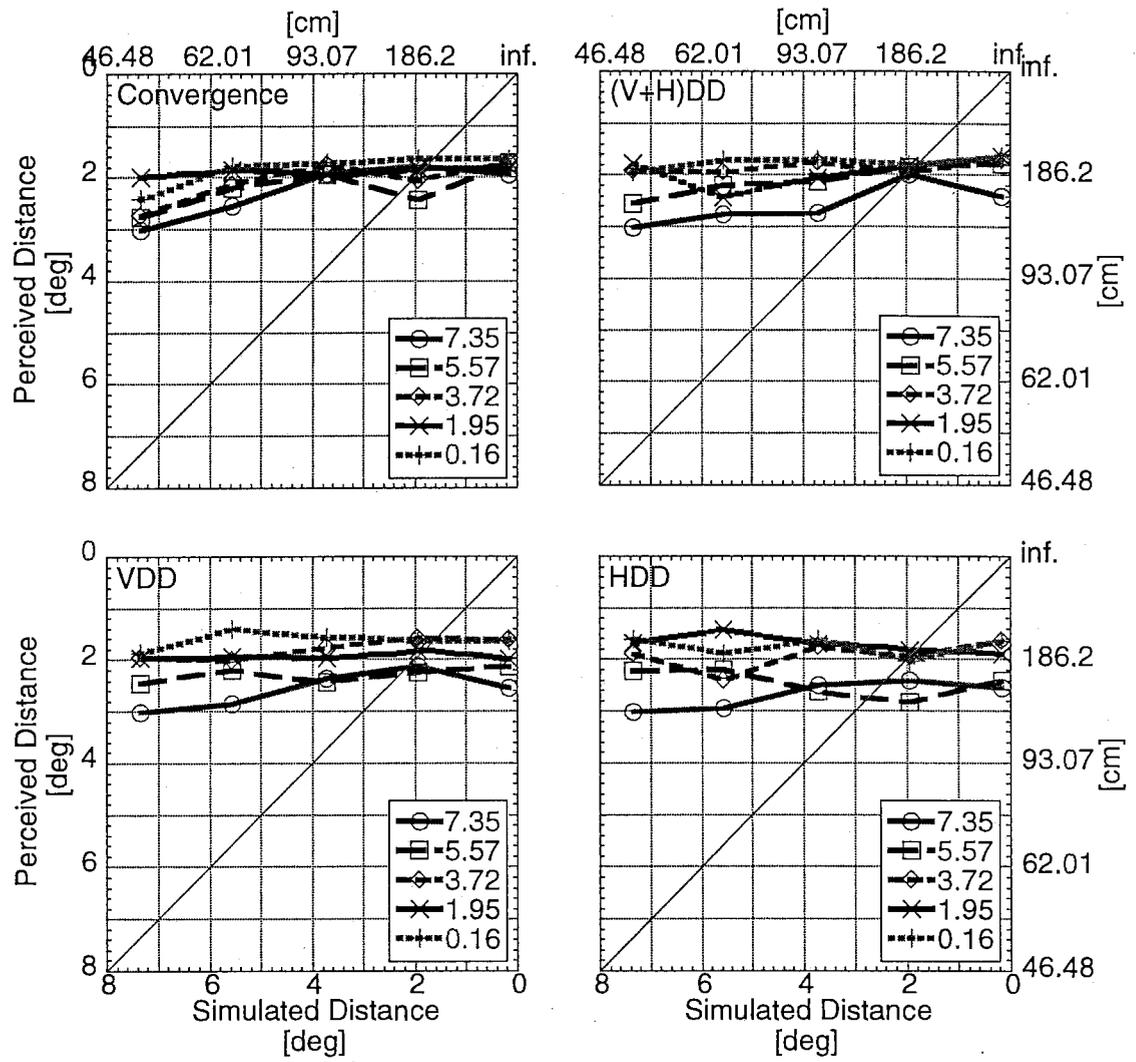


図 4.10: 被験者 YF の知覚絶対距離応答

表 4.1: 実験 2 の分散分析結果. 太字は有意水準 5%, 下線のある太字は有意水準 1%でグラフ中同一シンボルの平均値が等しいという帰無仮説が棄却されたことを意味する.

	距離 [cm]	HK	NU	TK	YF
輻輳距離	52	<b>9.912</b>	1.645	<b>28.69</b>	<b>7.277</b>
	68	<b>4.728</b>	<b>4.984</b>	<b>11.99</b>	<b>4.260</b>
	100	<b>5.761</b>	<b>4.078</b>	<b>17.17</b>	1.354
	182	<b>4.501</b>	<b>3.172</b>	<b>17.45</b>	2.394
	1057	0.129	0.390	2.530	0.922
縦横視差分布距離	52	<b>3.972</b>	<b>5.809</b>	<b>20.80</b>	0.834
	68	<b>3.022</b>	<b>18.45</b>	<b>20.82</b>	0.862
	100	1.805	<b>9.657</b>	<b>4.981</b>	0.095
	182	0.527	<b>7.877</b>	<b>6.388</b>	0.827
	1057	0.302	1.466	<b>5.670</b>	0.164
縦視差分布距離	52	0.701	<b>3.212</b>	<b>3.141</b>	0.665
	68	1.889	1.501	1.910	0.150
	100	0.286	0.853	1.904	0.427
	182	0.532	1.019	0.664	0.038
	1057	1.140	0.215	0.584	0.308
横視差分布距離	52	<b>3.420</b>	1.804	<b>6.597</b>	0.444
	68	1.926	2.086	1.448	0.405
	100	1.695	<b>3.860</b>	0.194	0.659
	182	1.056	1.964	<b>3.366</b>	0.507
	1057	0.542	2.628	1.461	0.766

とした場合には被験者 HK, YF ではほとんどのグラフが水平だった. また, 実験 1 と同様に, 輻輳距離が遠いほど全ての被験者でグラフの傾きは水平に近くなる傾向があった.

このグラフの傾向を見ると、視差分布は視差分布距離が遠くなればテスト刺激に対する知覚絶対距離も遠くなっていったと考えられる。また、縦視差分布と横視差分布が単独で与えられても同様の知覚が得られると考えられる。

#### 4.4 考察

この実験の結果から、視差分布、縦視差分布、横視差分布のいずれもテスト刺激の絶対距離知覚に影響していることが分かった。その影響は、テスト刺激は視差分布距離が遠くなるに従ってより遠くに感じられ、視差分布距離が近くなるに従って近くに感じられるということだった。このことは、輻輳などの手がかりと同様に、視差分布もそれが出現する観察対象自体の絶対距離知覚手がかりとなっていることを意味している。また、縦視差分布と横視差分布についても同様に、絶対距離知覚手がかりとなることを意味している。

縦横視差分布が絶対距離知覚手がかりとなることは、実世界で存在する視差分布であることからある程度予測できた。しかしここで、その縦成分と横成分が単独であっても絶対距離知覚手がかりとなっているということが示された。ただし、その影響は縦横視差分布に比べて非常に弱かった。このことは、次の2つの可能性を示唆する。ひとつは、視差分布が縦横視差分布として視覚系として処理される可能性である、これによると、縦視差分布や横視差分布を単独で影響が小さいのは、縦横視差分布の処理経路を弱く刺激するためであると説明できる。もうひとつは、視差分布が縦視差分布と横視差分布で別々に処理される可能性である。これによると、縦横視差分布は、縦視差分布の処理経路と横視差分布の処理経路を同時に刺激するため、影響が大きいと説明できる。この考え方は、縦視差と横視差の性質の違い(横視差は局所的で細かい視差であっても処理されるが、横視差は全体として処理されるなど)を考えると、妥当であるかも知れない。しかし、原時点ではどちらの可能性も否定することは出来ない。

絶対距離知覚に対する横視差分布の影響は同時対比(実験1)の結果に関連づけて、説明することも出来る。同時対比効果は、周辺刺激の輻輳距離が遠くなるとテスト刺激に対する知覚絶対距離が近くなるというものだった。横視差

分布距離を遠くすると、周辺に行くにしたがってステレオペアの輻輳距離が遠くなる。(図 4.11) 同時対比と横視差分布は、どちらも周辺部分が遠くにある

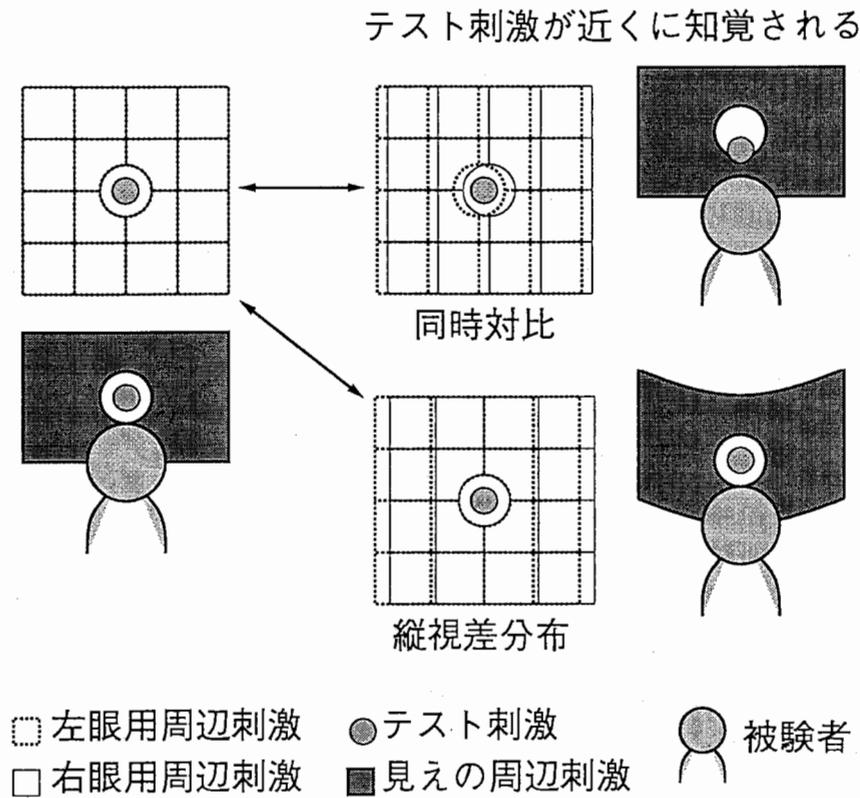


図 4.11: 同時対比と縦視差分布の比較

という情報を示している時にテスト刺激が近くに感じられる。このことから、同時対比と横視差分布は同じ経路で絵画的にまたは単純に横視差量进行处理されていると考えられる。

絵画的な解釈という経路を考えた場合、同時対比と横視差分布は前述の通り同じように考えることが出来る。ところが、縦視差分布距離を変化させた場合の見えは横視差分布距離を変化させた場合の見えと反対になってしまう。そのため同じような絵画的な説明をすることが出来ない。横視差分布を縦視差分布と一緒に処理系で考えるならば、絵画的な解釈は持ち込むことは困難であり両眼視差が絵画的に解釈されるのではなく単純に縦視差量や横視差量进行处理されていると考える方が妥当であろう。

## 第5章

### 実験3：同時対比と視差分布

#### 5.1 はじめに

ここまでの実験で、観察対象以外の刺激と視差分布が観察対象の絶対距離知覚にどのような影響を与えるのか調べてきた。それにより、テスト刺激に対して周辺刺激の距離が反発する方向に作用すること(実験1)、視差分布が輻輳手がかりと同じようにそれが出現するテスト刺激面の絶対距離手がかりとして働いていること(実験2)が示された。

ひとつの問題がある。視差分布は周辺刺激に現れているわけだが、実験2においては周辺刺激とテスト刺激の輻輳距離が等しかったため、周辺刺激はテスト刺激を含む単一面であると見なしていた。つまり、周辺刺激の視差分布をテスト刺激面の視差分布として扱うことが出来たのだ。それでは、周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と異なっていたらどうだろうか。視差分布は周辺刺激自体の絶対距離知覚手がかりとなっているのだろうか。それとも、周辺刺激とテスト刺激で輻輳距離が異なっても、周辺刺激の視差分布はテスト刺激の絶対距離知覚手がかりとなっているのだろうか。

もし、視差分布が周辺刺激自体の絶対距離知覚手がかりとなっているならば、周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合と異なる場合とで、視差分布がテスト刺激の絶対距離知覚に及ぼす影響が違ってくるはずである。例えば、周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と異なっている場合、視差分布距離が遠くなると周辺刺激に対する知覚絶対距離が遠くなる。すると、実験1の結果から、テスト刺激に対する知覚絶対距離は近くなることが予想される。これは、実験2で得られた視差分布の影響に反している。

本実験では、この問題に基づいて同時対比条件(周辺刺激とテスト刺激で輻輳距離の異なる場合)で、視差分布がテスト刺激の絶対距離知覚に与える影響を調べた。比較のために、周辺刺激の輻輳距離はテスト刺激の輻輳距離よりも近い条件、遠い条件、等しい条件について実験を行なった。

## 5.2 刺激

刺激は、視野の中心で直径が視角10度である円形のテスト刺激と、その周辺、視角20度より外側に分布するランダムドットによる周辺刺激で構成されていた。テスト刺激は変数、輻輳距離だけで決定され、スクリーン上では水平方向に並行移動しているだけであった。周辺刺激は、輻輳距離、縦視差分布距離、横視差分布距離の3変数で決定された。本実験では、テスト刺激の輻輳距離を100cmに固定した。周辺刺激の輻輳距離は、テスト刺激の輻輳距離より近い(68cm)、テスト刺激の輻輳距離と等しい(100cm)、テスト刺激の輻輳距離より遠い(182cm)という3通りを考えた。それぞれについて、実験2で行なったように、縦横視差分布、縦視差分布、横視差分布の知覚絶対距離応答への影響を調べた。変数は、縦横視差分布距離、縦視差分布距離、横視差分布距離で52, 68, 100, 182, 1057cmの5種類の値を取った。周辺刺激の輻輳距離条件ごとに25通り、全部で75通りの刺激が用意された。(実際には組み合わせの都合で39通りだった)被験者は4人でいずれも矯正視力1.0以上であった。うち2人は実験目的を知らないナイーブな被験者であった。

以下、周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い、等しい、近い場合について、絶対距離知覚に対する縦横視差分布、縦視差分布、横視差分布の影響を調べるための刺激の形状について説明する。

### 5.2.1 縦横視差分布

図5.1, 5.3, 5.5に周辺刺激の分布を格子で表した刺激の説明を示す。図5.1は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合、図5.3は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合、図5.5は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合である。変数は縦横視差分布距離

で、上から、a) 縦横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合、b) 縦横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離と等しい場合、c) 縦横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも近い場合の、両眼視差と観察時の見えを表している。格子はテスト刺激を注視しているものとして表現してある。縦横視差分布距離によって格子が歪み、例えば縦横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合には、右眼用のスクリーン像の中心より右側の区画が広く、中心より左側の区画が狭くなっている。左眼用のスクリーン像では正反対の分布が見られる。また、図中の見えを表す部分に?マークがついている。これらの刺激はほとんど平坦に知覚されるが、人によっては縦視差分布が強く見えたり、横視差分布が強く見えたりすることで、刺激が湾曲して知覚されることも考えられる。湾曲の形状は実験2の縦視差分布、横視差分布に関する場所で説明した通りである。

図 5.2, 5.4, 5.6に、実際に実験に用いた刺激を示す。図 5.2は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合、図 5.4は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より近い場合、図 5.6は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い場合である。左端と右端が左眼用、中央が右眼用の刺激となっている。左側のステレオペアは平行法、右側のステレオペアは交差法で観察できる。上から、縦横視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合、縦横視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、縦横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合である。ただし、実験時とは視野、輻輳などの条件が一致しないので見えは保証されない。

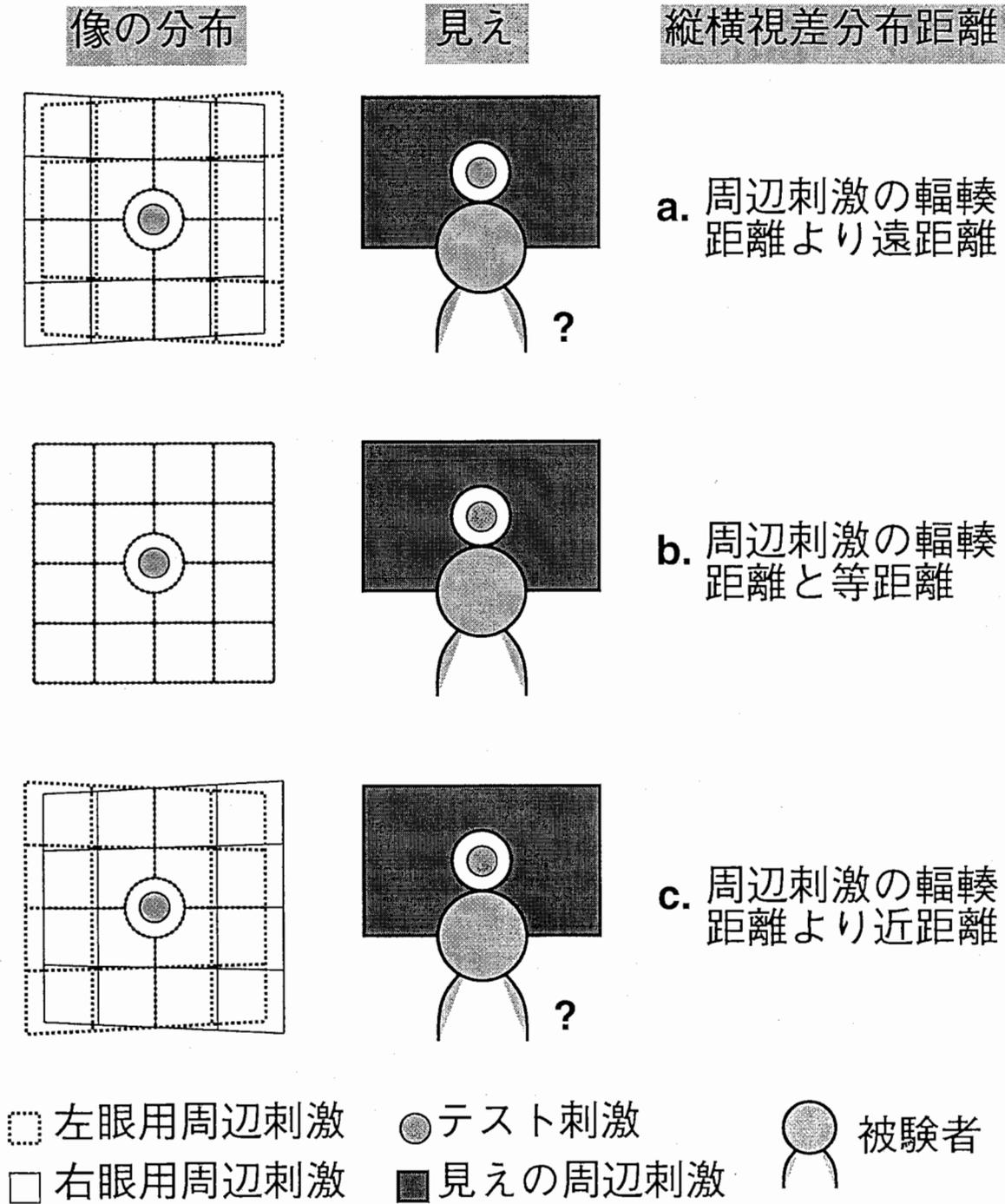


図 5.1: 周辺刺激の輻輳距離とテスト刺激の輻輳距離が等しい場合、縦横視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

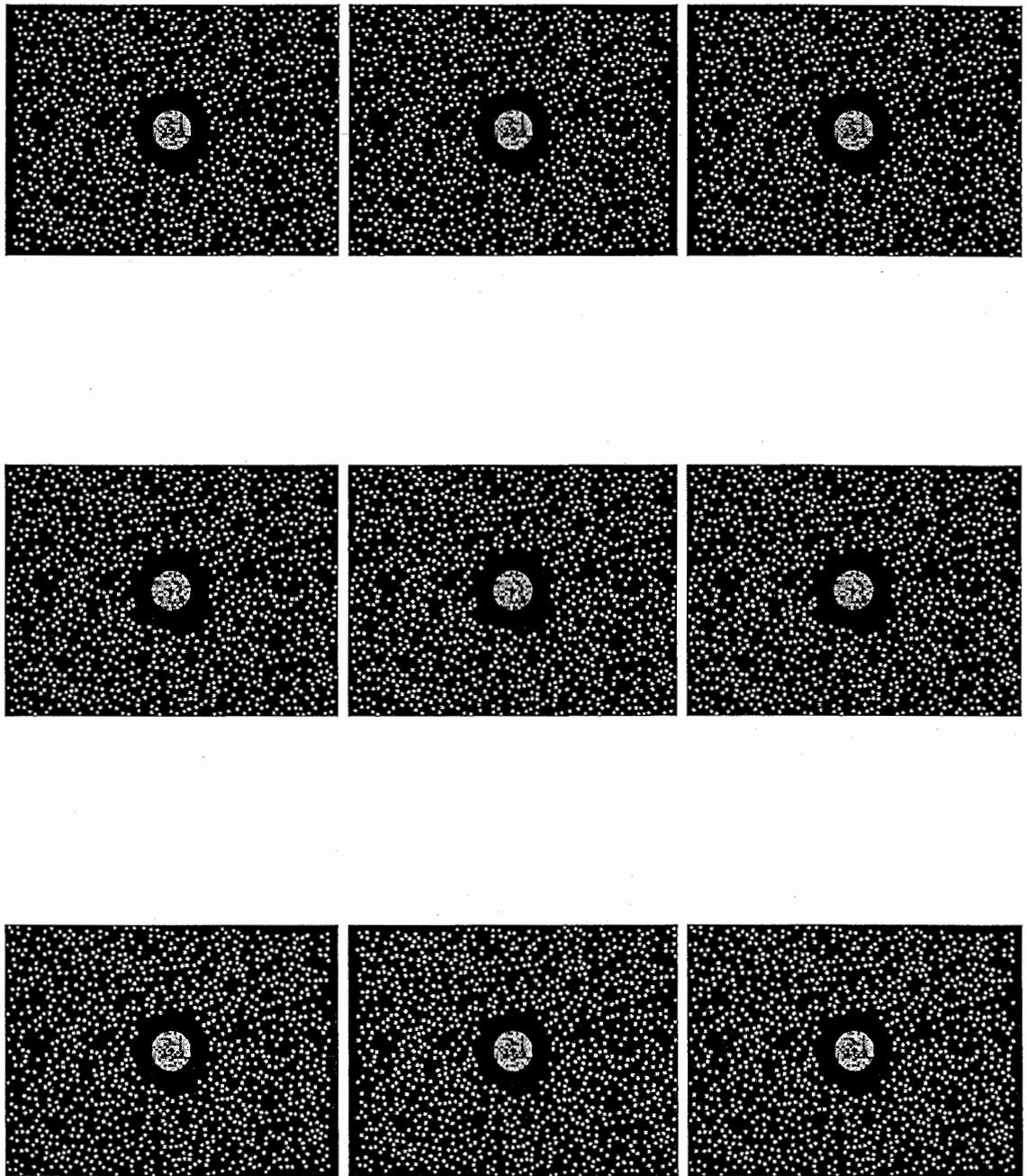
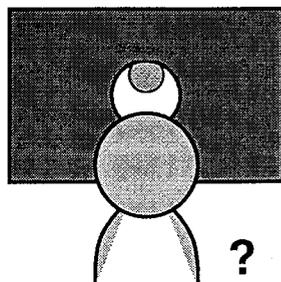
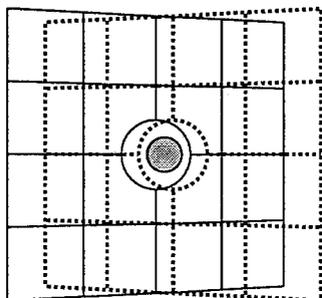


図 5.2: 周辺刺激の輻輳距離とテスト刺激の輻輳距離が等しい場合，縦横視差分布距離を変数とした場合の刺激例．左右端が左眼用，中央が右眼用で，上から縦横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合，等しい場合，近い場合．

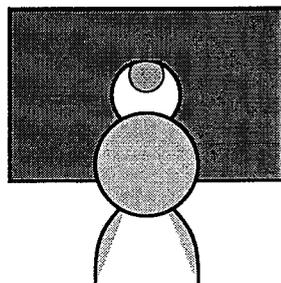
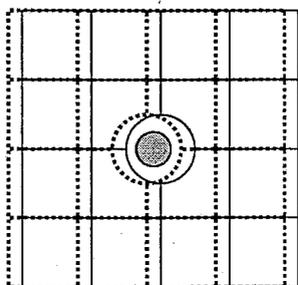
像の分布

見え

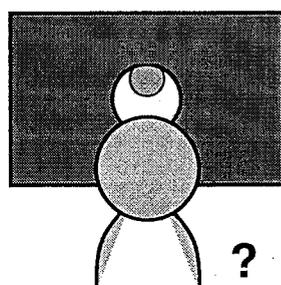
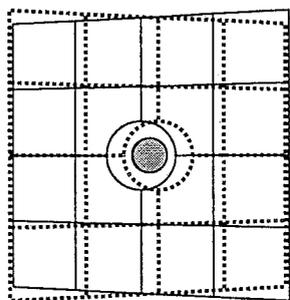
縦横視差分布距離



a. 周辺刺激の輻輳距離より遠距離



b. 周辺刺激の輻輳距離と等距離



c. 周辺刺激の輻輳距離より近距離

○ 左眼用周辺刺激  
□ 右眼用周辺刺激

● テスト刺激  
■ 見えの周辺刺激

被験者

図 5.3: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より近い場合、縦横視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

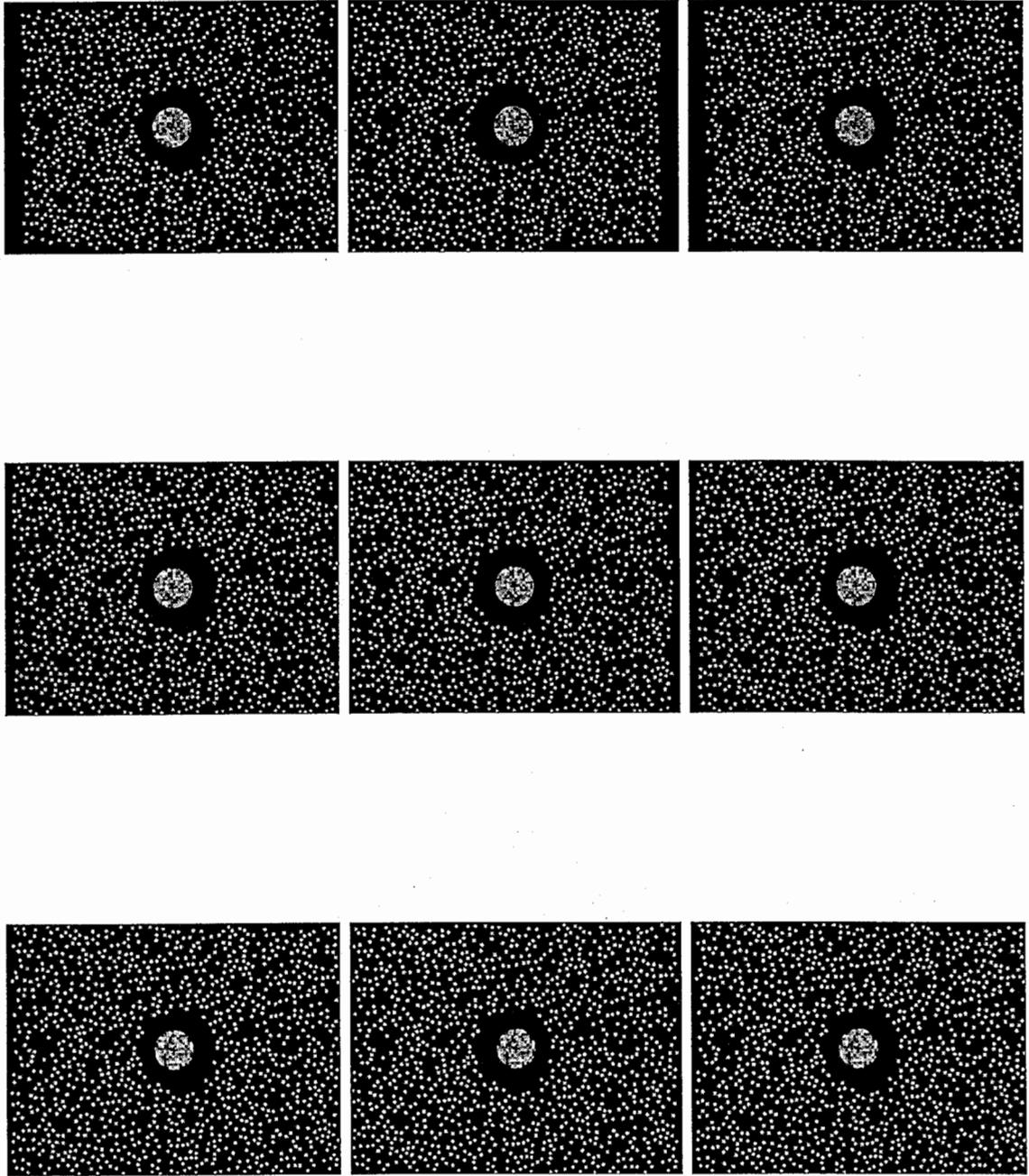
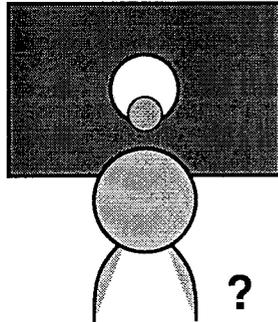
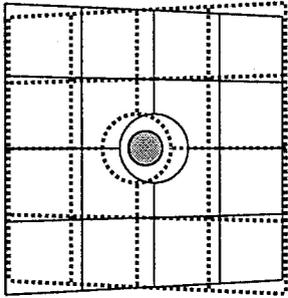


図 5.4: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合. 縦横視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から縦横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

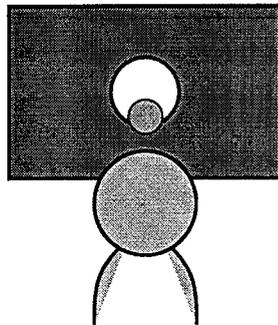
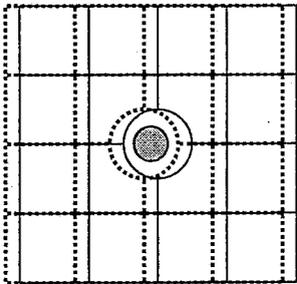
像の分布

見え

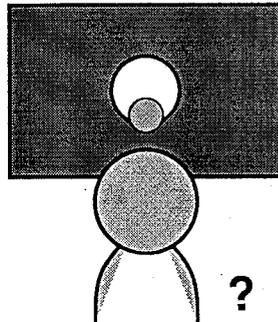
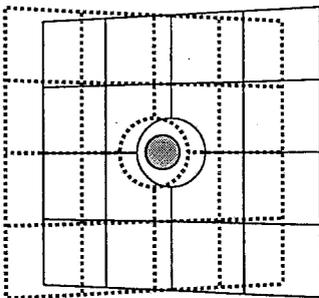
縦横視差分布距離



a. 周辺刺激の輻輳距離より遠距離



b. 周辺刺激の輻輳距離と等距離



c. 周辺刺激の輻輳距離より近距離

○ 左眼用周辺刺激  
□ 右眼用周辺刺激

● テスト刺激  
■ 見えの周辺刺激

被験者

図 5.5: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い場合、縦横視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

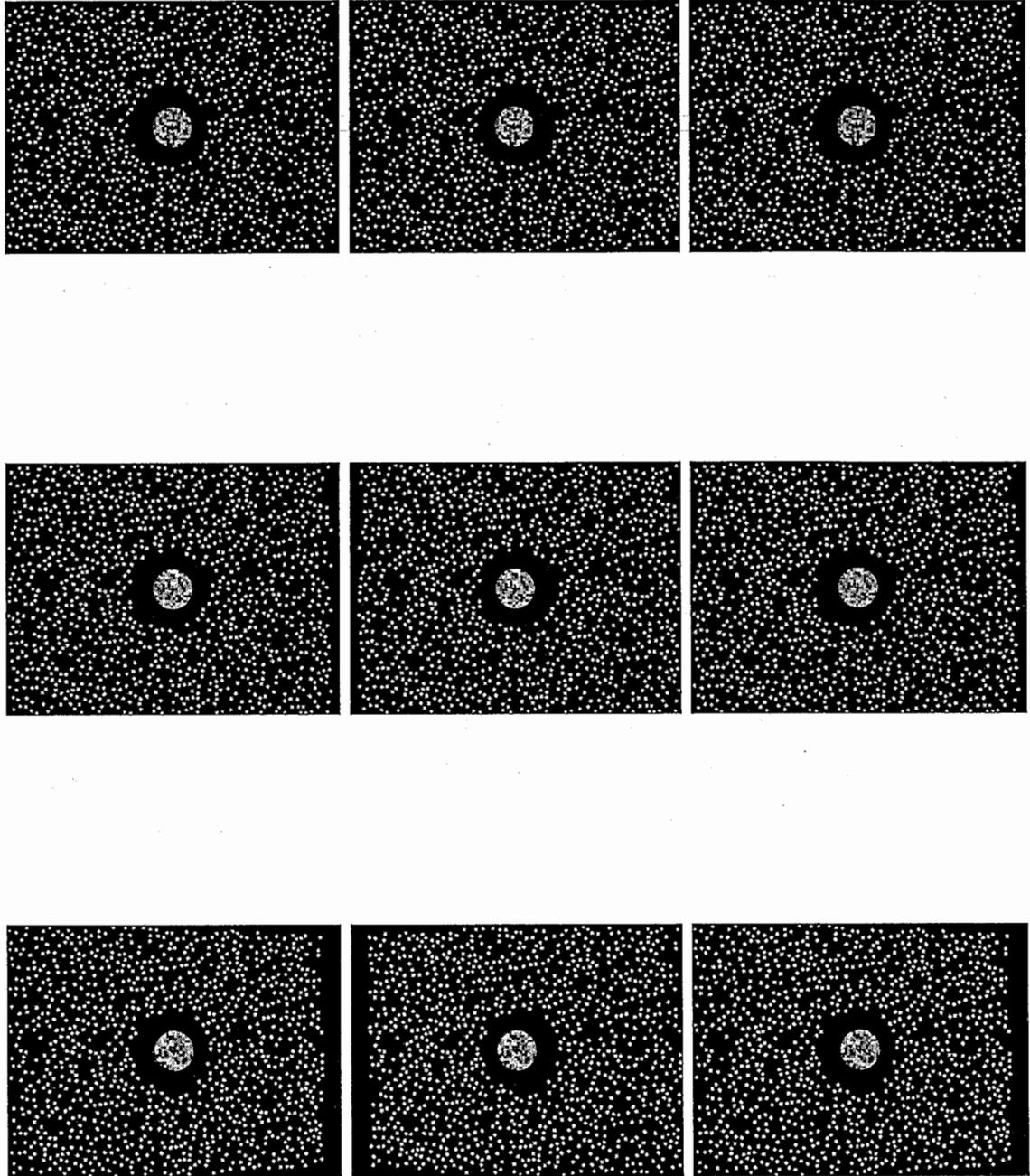


図 5.6: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合. 縦横視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から縦横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

### 5.2.2 縦視差分布

図 5.7, 5.9, 5.11 に周辺刺激の分布を格子で表した刺激の説明を示す。図 5.7 は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合、図 5.9 は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合、図 5.11 は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合である。変数は縦視差分布距離で、上から、a) 縦視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合、b) 縦視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離と等しい場合、c) 縦視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも近い場合の、スクリーン像と観察時の見えを表している。格子はテスト刺激を注視しているものとして表現してある。縦視差分布距離によって格子が歪み、例えば縦視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合には、右眼用のスクリーン像の中心より右側で縦方向に長く、中心より左側で短くなっている。横方向には伸縮が見られない。左眼用のスクリーン像では右目用と正反対の分布が見られる。縦視差分布距離が輻輳距離より遠い場合に見えは左右の周辺が奥に湾曲して知覚される。また、縦視差分布距離が輻輳距離より近い場合に見えは左右の周辺が手前に湾曲して知覚される。

図 5.8, 5.10, 5.12 に、実際に実験に用いた刺激を示す。図 5.8 は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合、図 5.10 は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より近い場合、図 5.12 は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い場合である。左端と右端が左眼用、中央が右眼用の刺激となっている。左側のステレオペアは平行法、右側のステレオペアは交差法で観察できる。上から、縦視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合、縦視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、縦視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合である。ただし、実験時とは視野、輻輳などの条件が一致しないので見えは保証されない。

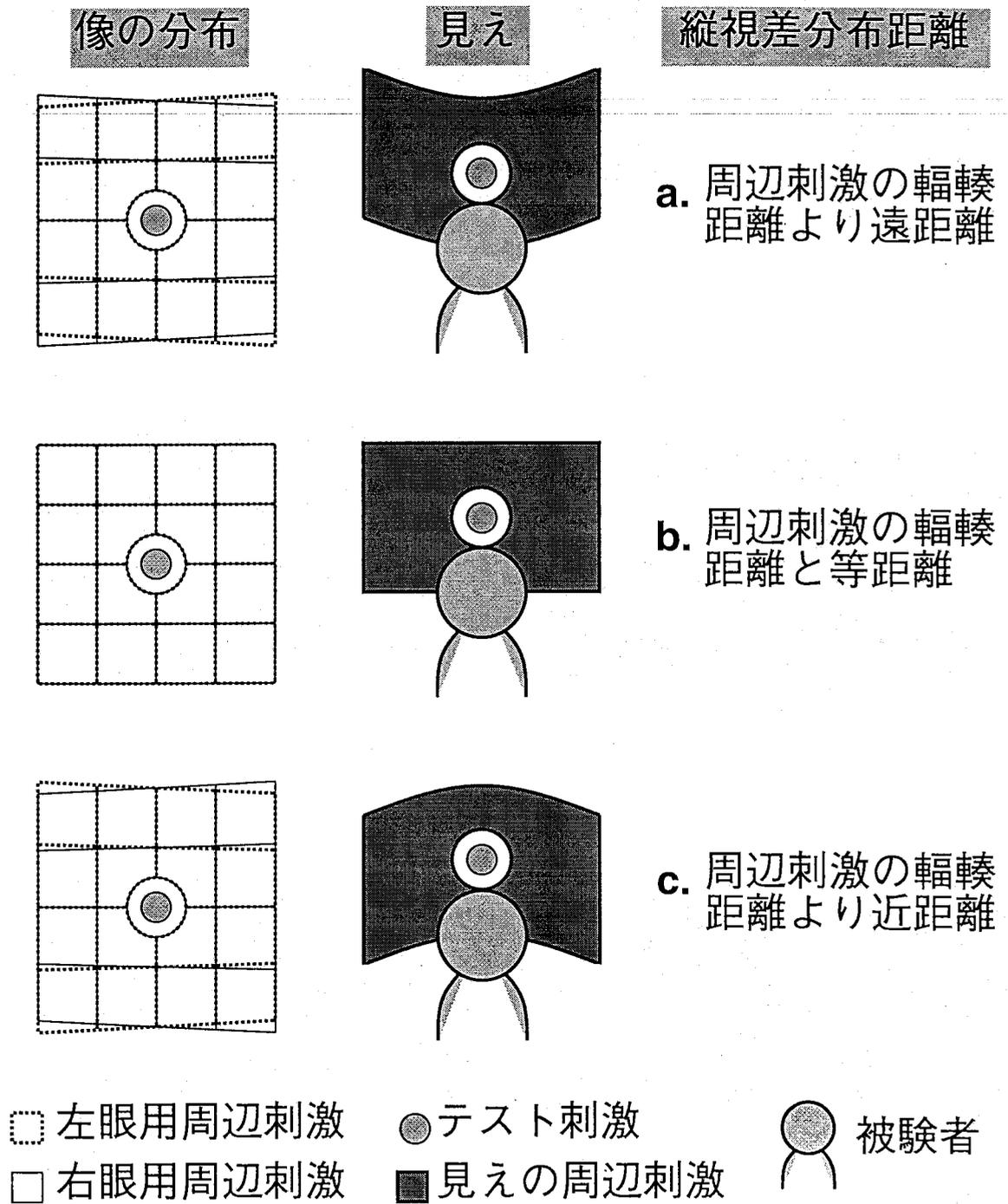


図 5.7: 周辺刺激の輻輳距離とテスト刺激の輻輳距離が等しい場合、縦視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

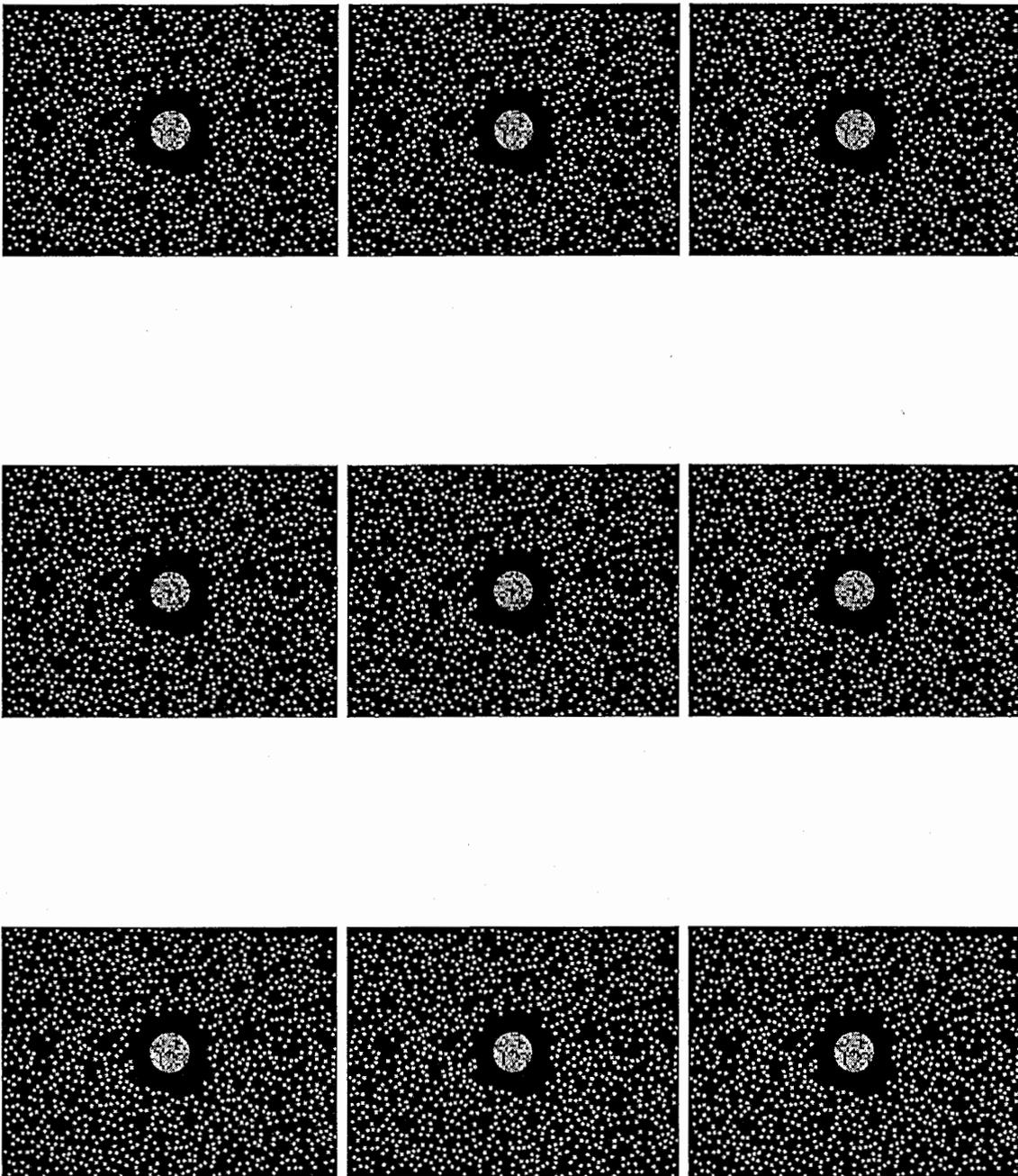


図 5.8: 周辺刺激の輻輳距離とテスト刺激の輻輳距離が等しい場合，縦視差分  
布距離を変数とした場合の刺激例．左右端が左眼用，中央が右眼用で，上か  
ら縦視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合，等しい場合，近い  
場合．

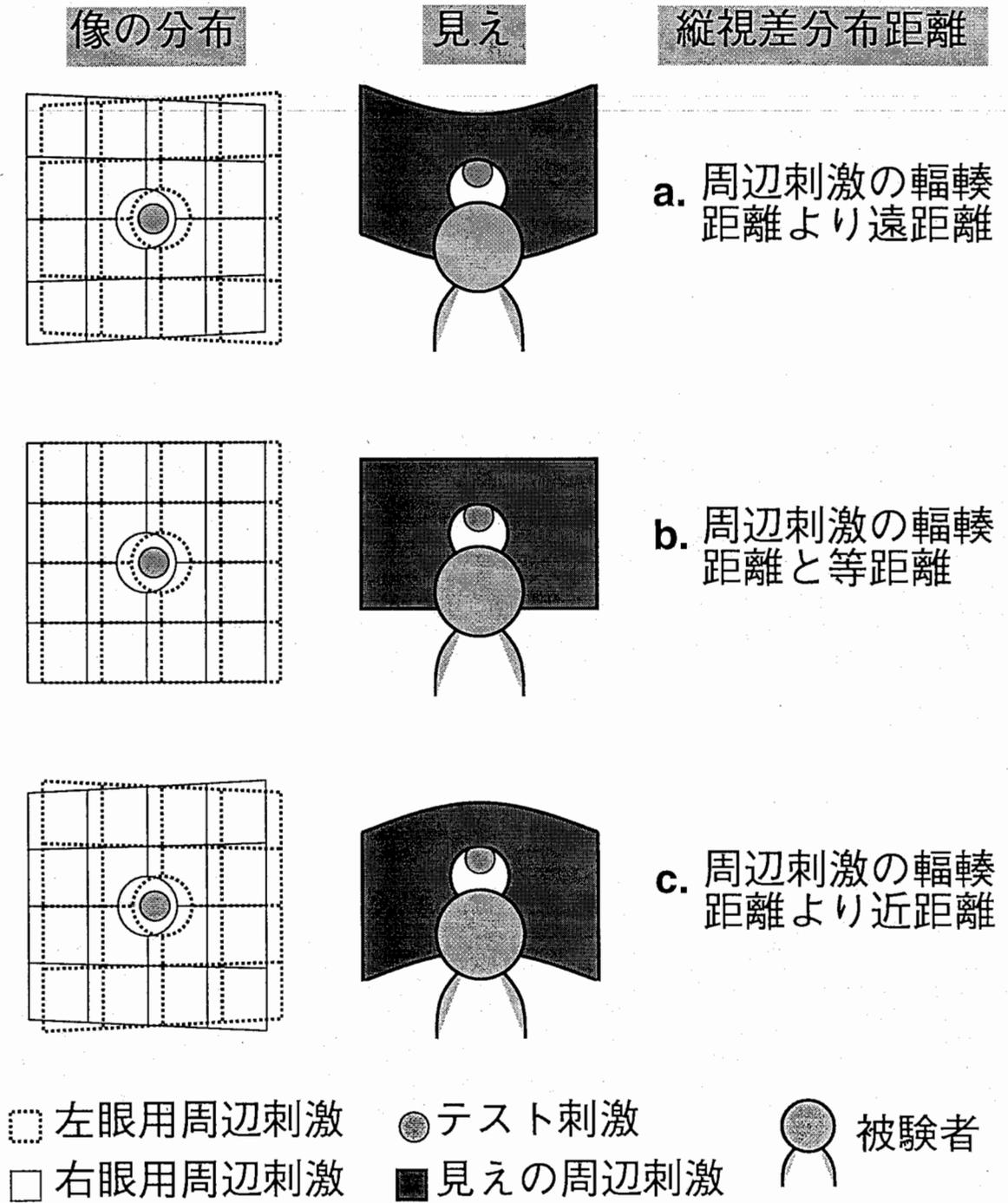


図 5.9: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より近い場合. 縦視差分分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え.

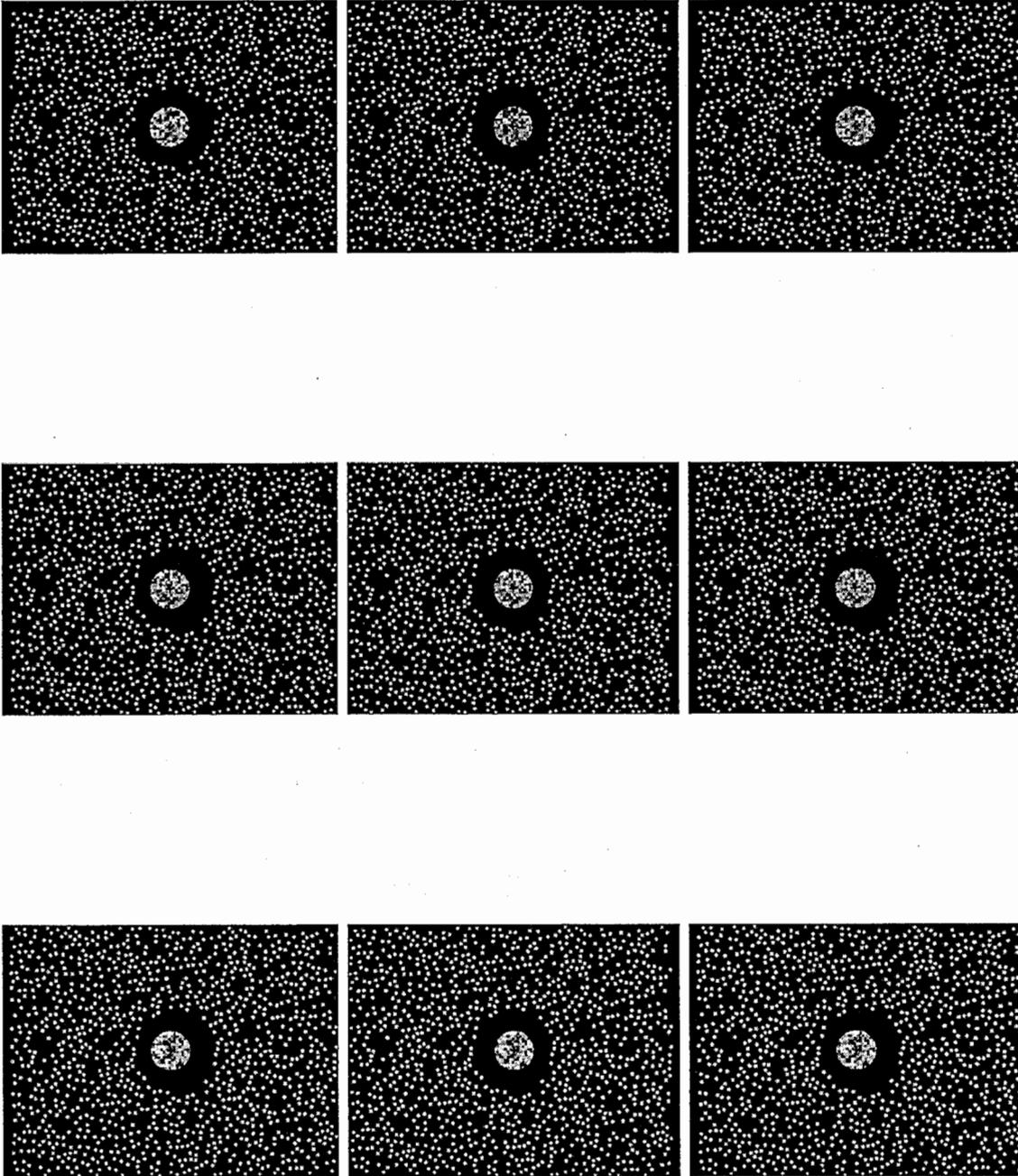


図 5.10: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合、縦視差分布距離を変数とした場合の刺激例。左右端が左眼用、中央が右眼用で、上から縦視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合、等しい場合、近い場合。

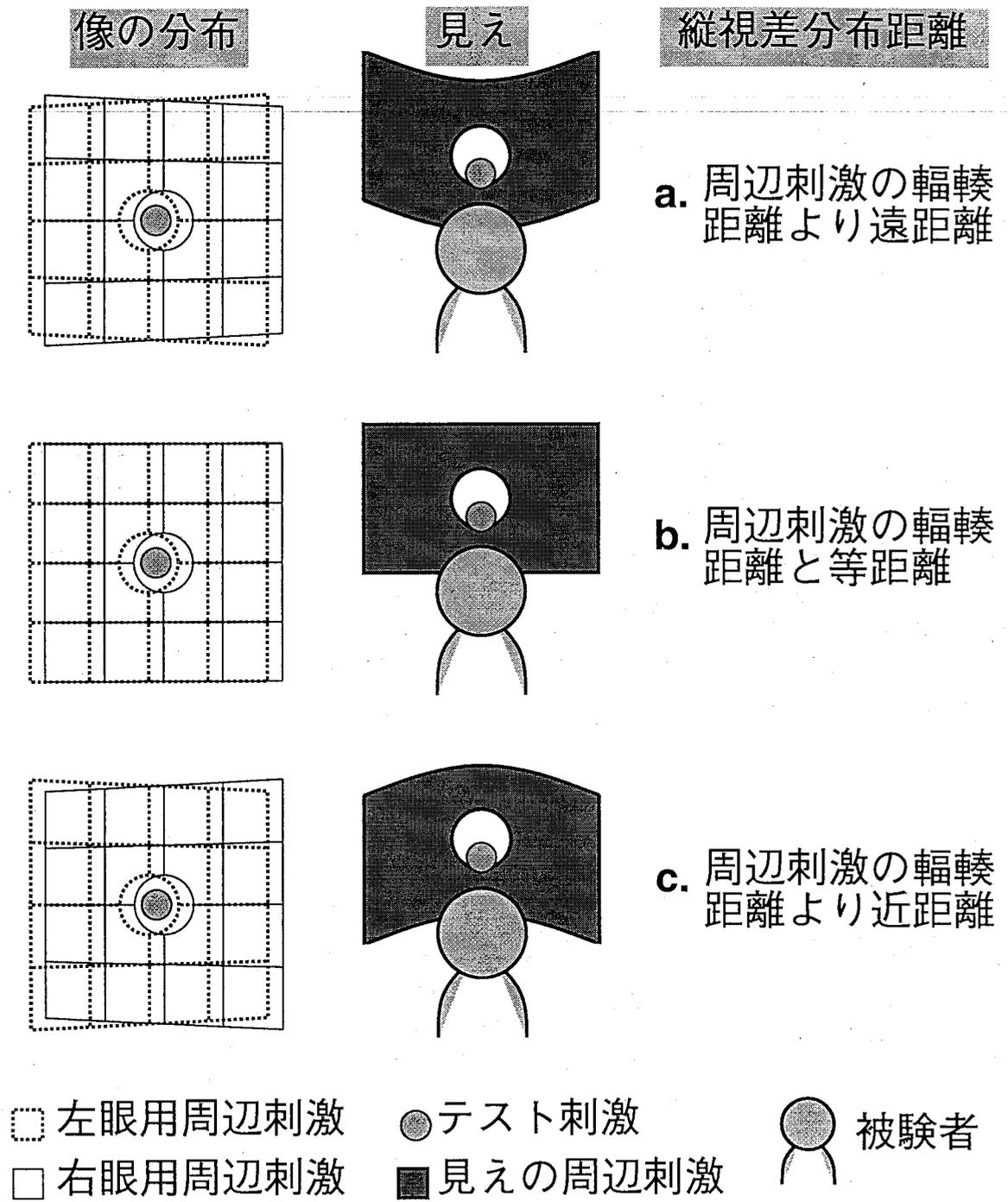


図 5.11: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い場合、縦視差分分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

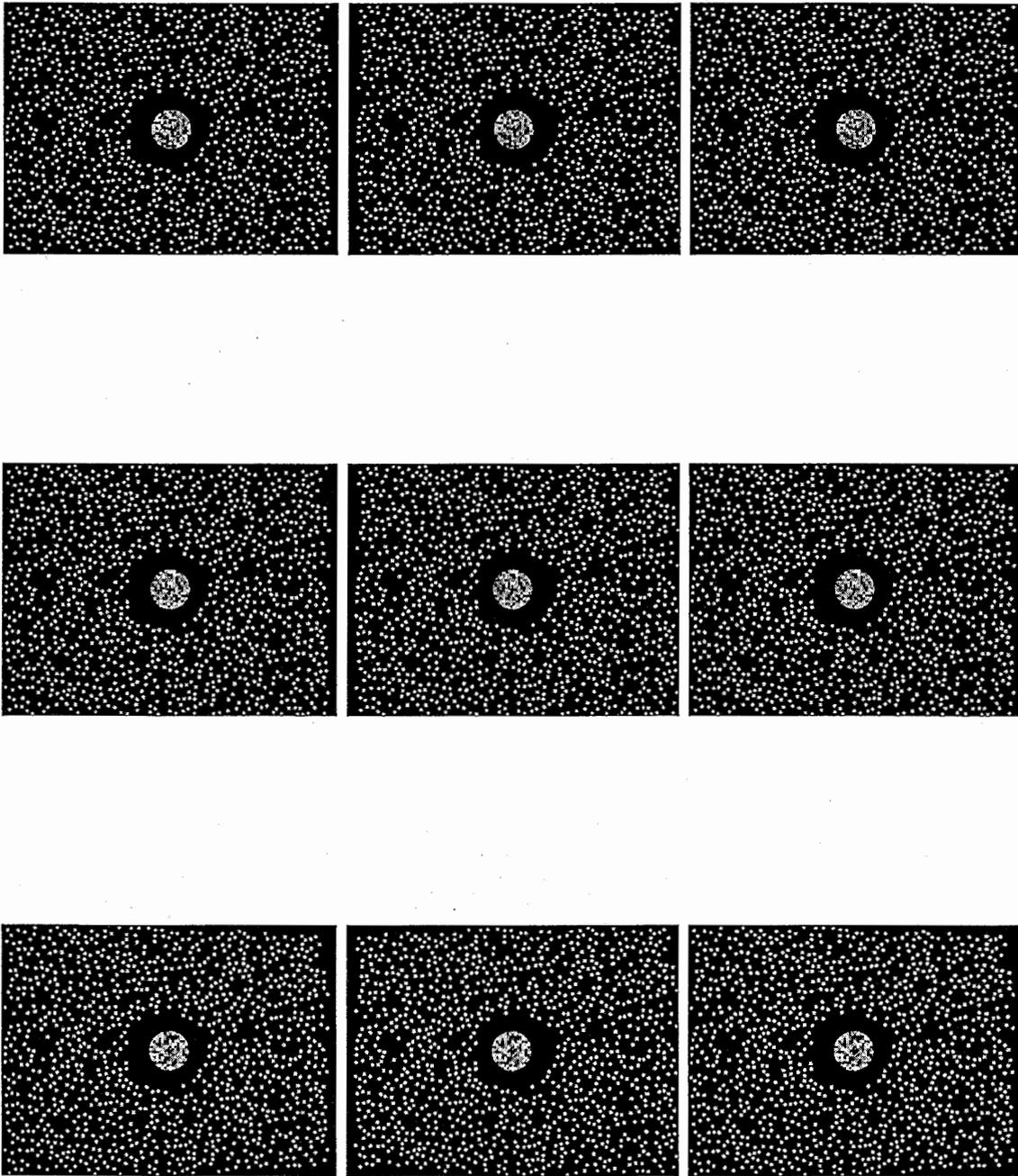


図 5.12: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合. 縦視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から縦視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

### 5.2.3 横視差分布

図 5.13, 5.15, 5.17に周辺刺激の分布を格子で表した刺激の説明を示す。図 5.13は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合、図 5.15は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合、図 5.17は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合である。変数は横視差分布距離で、上から、a) 横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合、b) 横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離と等しい場合、c) 横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも近い場合の、スクリーン像と観察時の見えを表している。格子はテスト刺激を注視しているものとして表現してある。横視差分布距離によって格子が歪み、例えば横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合には、右眼用のスクリーン像の中心より右側の区画が広く、中心より左側の区画が狭くなっている。縦方向への歪みはなく、格子の形状は長方形になっている。左眼用のスクリーン像では右目用と正反対の分布が見られる。横視差分布距離が輻輳距離より遠い場合に見えは左右の周辺が手前に湾曲して知覚される。また、横視差分布距離が輻輳距離より近い場合に見えは左右の周辺が奥に湾曲して知覚される。

図 5.14, 5.16, 5.18に、実際に実験に用いた刺激を示す。図 5.14は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と等しい場合、図 5.16は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より近い場合、図 5.18は周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い場合である。左端と右端が左眼用、中央が右眼用の刺激となっている。左側のステレオペアは平行法、右側のステレオペアは交差法で観察できる。上から、横視差分布距離が輻輳距離よりも遠い場合、横視差分布距離が輻輳距離と等しい場合、横視差分布距離が輻輳距離よりも近い場合である。ただし、実験時とは視野、輻輳などの条件が一致しないので見えは保証されない。

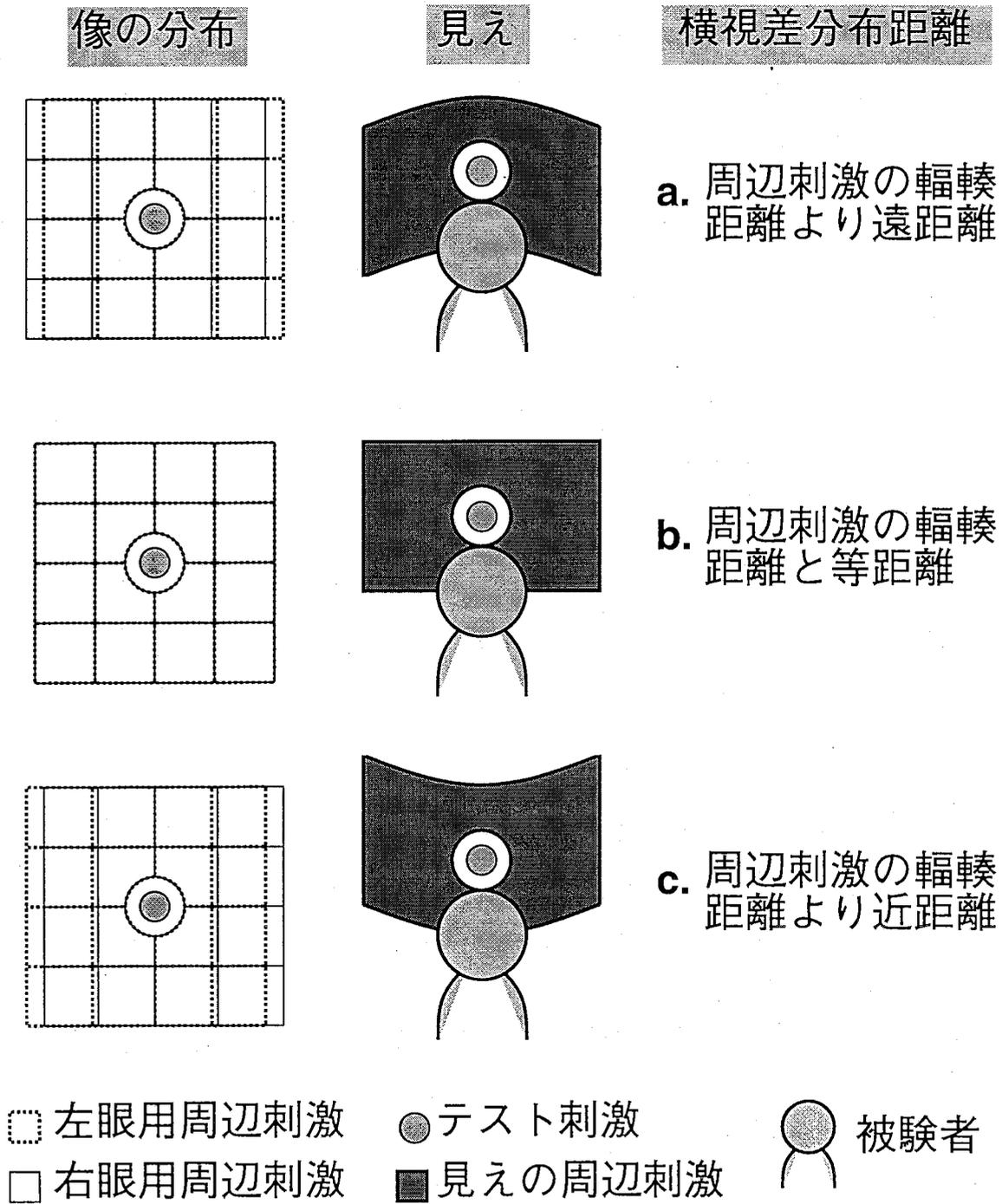


図 5.13: 周辺刺激の輻輳距離とテスト刺激の輻輳距離が等しい場合、横視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

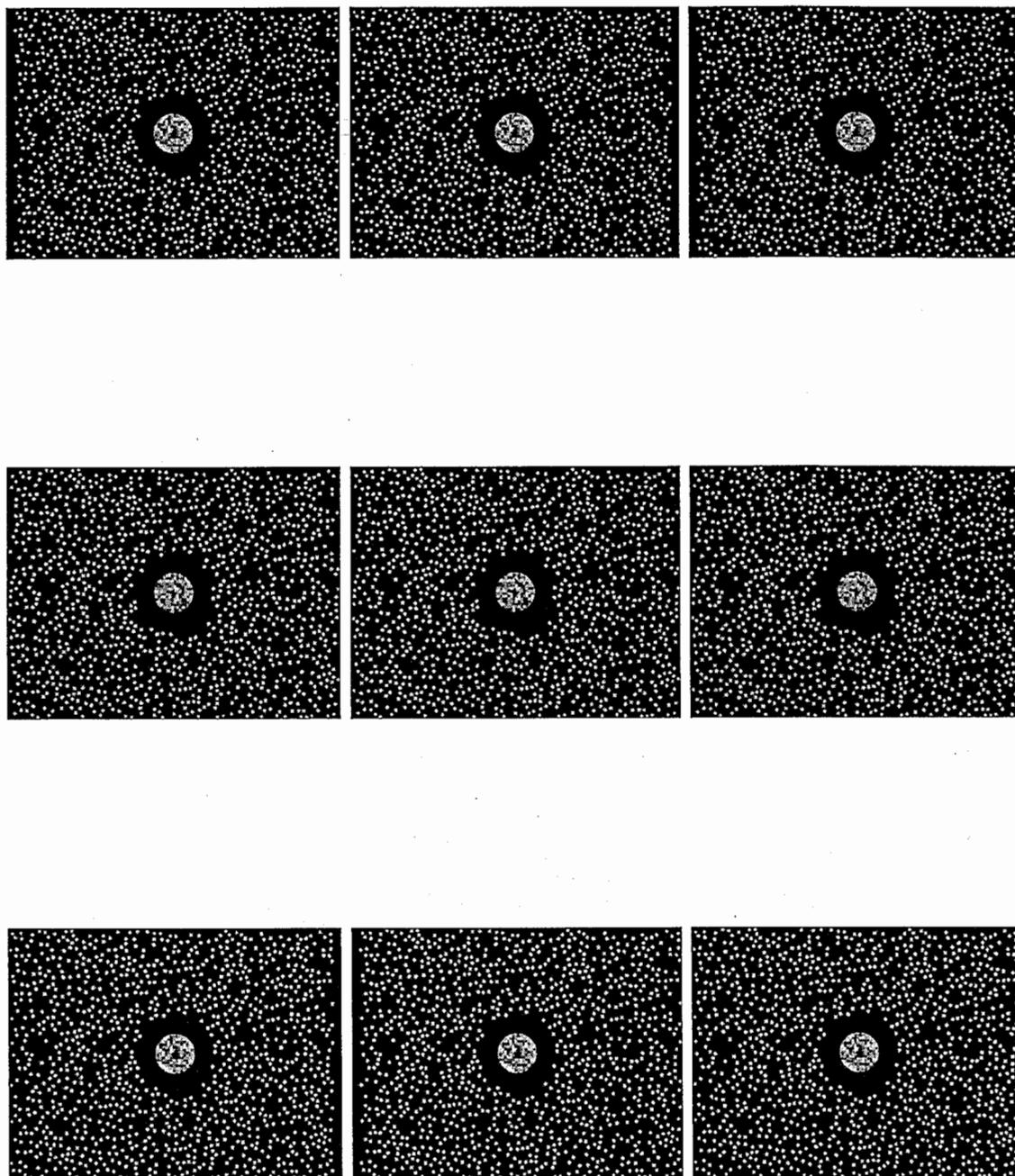


図 5.14: 周辺刺激の輻輳距離とテスト刺激の輻輳距離が等しい場合，横視差分  
布距離を変数とした場合の刺激例．左右端が左眼用，中央が右眼用で，上か  
ら横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合，等しい場合，近い  
場合．

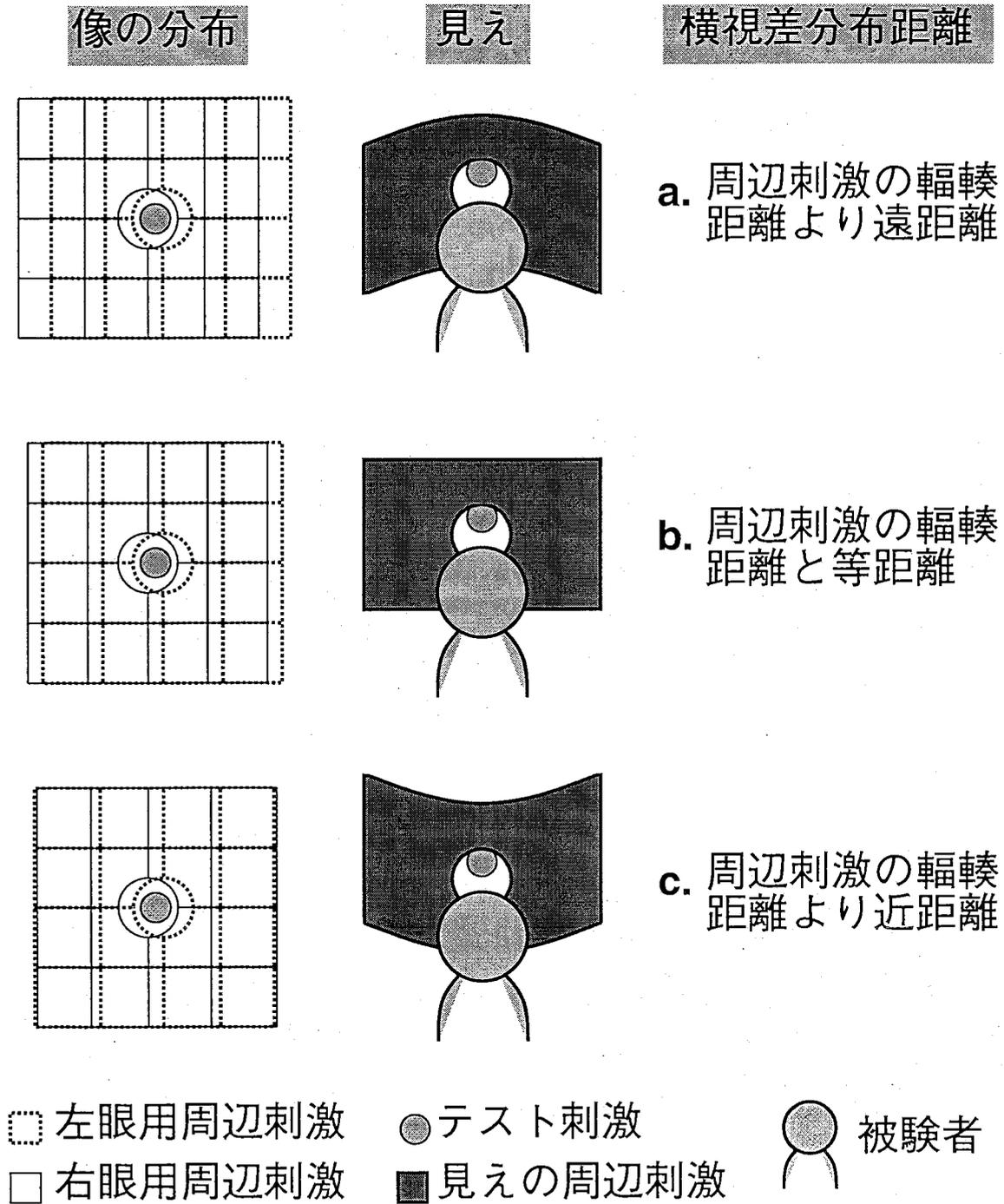


図 5.15: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より近い場合、横視差分分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

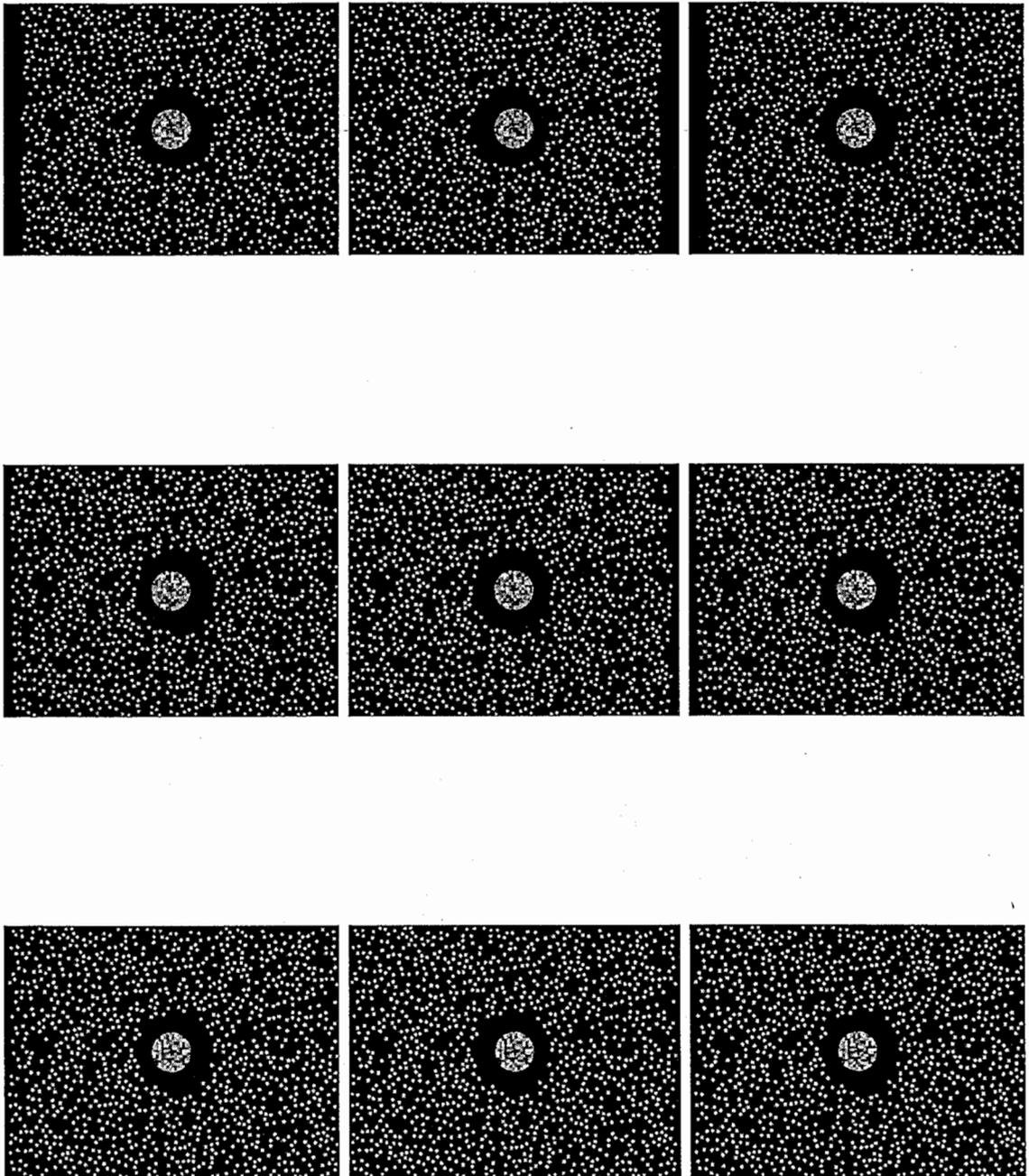


図 5.16: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも近い場合. 横視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

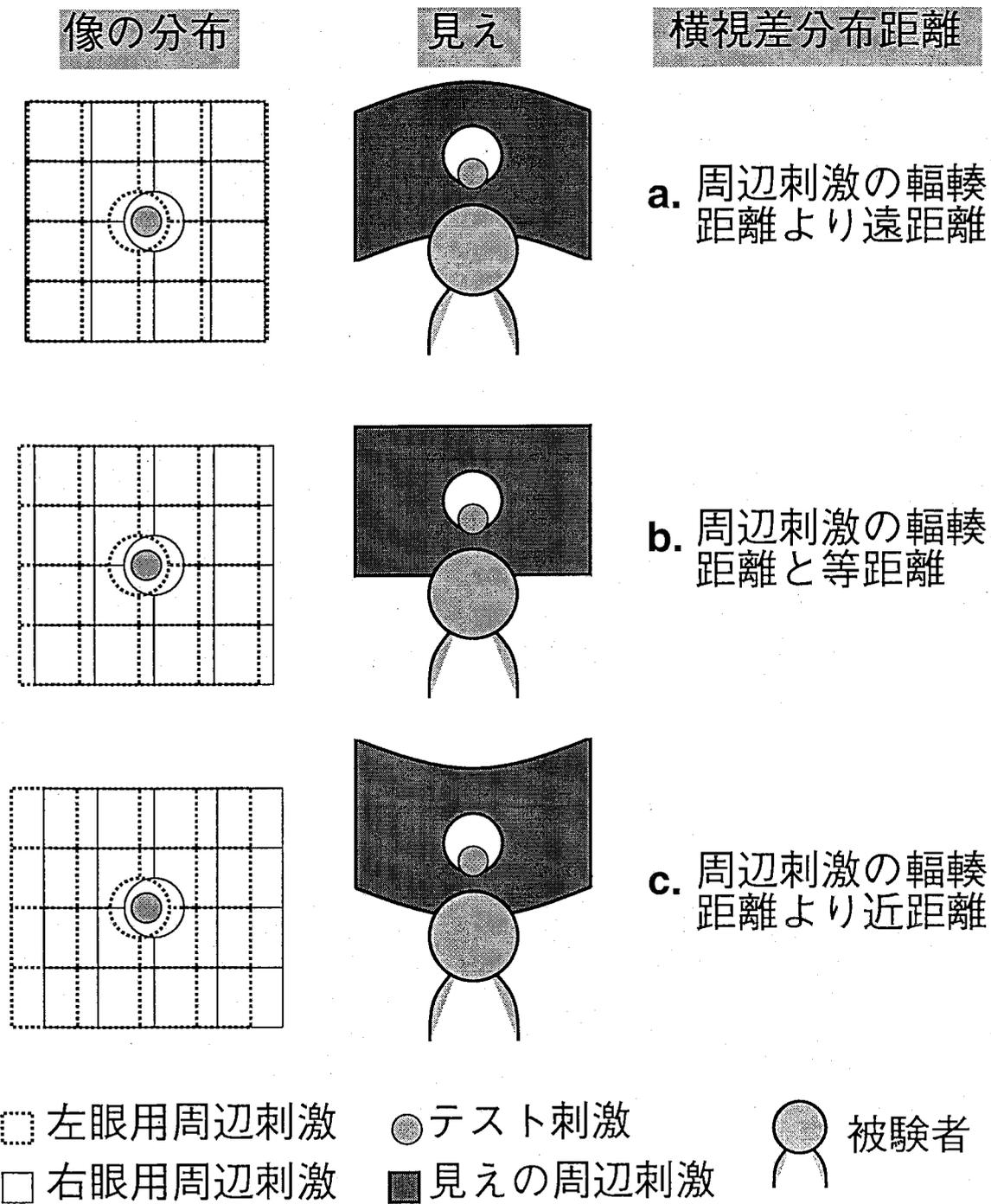


図 5.17: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い場合、横視差分布距離を変数とした場合のスクリーン上での像の分布と見え。

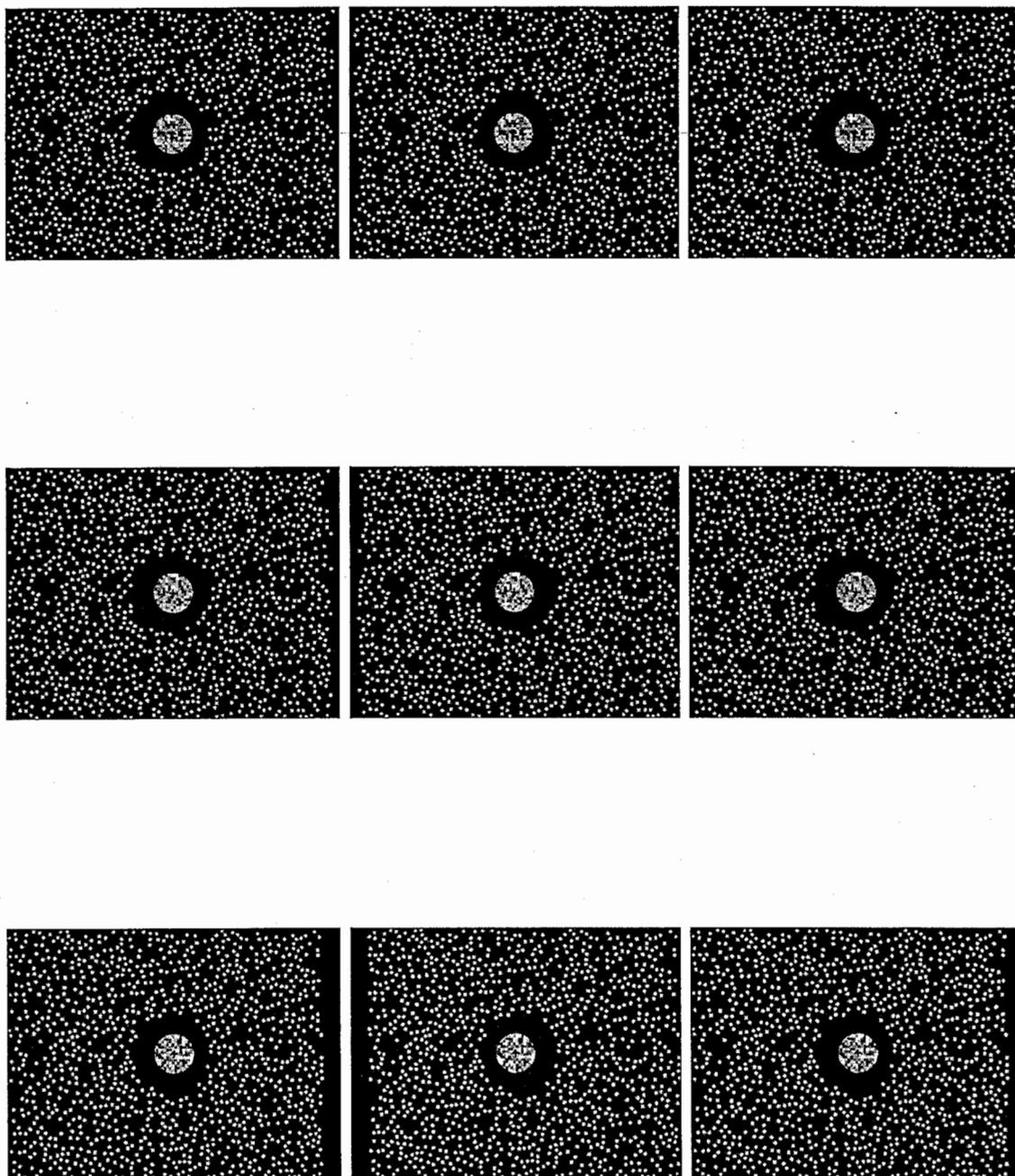


図 5.18: 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離よりも遠い場合. 横視差分布距離を変数とした場合の刺激例. 左右端が左眼用, 中央が右眼用で, 上から横視差分布距離が周辺刺激の輻輳距離よりも遠い場合, 等しい場合, 近い場合.

## 5.3 実験結果

各刺激について8回の応答の平均値を求め周辺刺激の輻輳距離ごとにグラフにプロットした。(図 5.19, 5.20) グラフは上から、縦横視差分布、縦視差分布、横視差分布の影響を調べた結果である。被験者ごとに縦1列で並んでいる。横軸に視差分布距離、縦軸に縦軸にテスト刺激に対する知覚絶対距離応答を取った。シンボルの違いは周辺刺激の輻輳距離の違いを表しており、□シンボルはテスト刺激の輻輳距離と等しい条件、○シンボルはテスト刺激の輻輳距離より近い条件、◇シンボルはテスト刺激の輻輳距離より遠い条件である。左と下の軸は輻輳角[度]で表示し、右と上の軸は長さ[cm]で表示した。軸は輻輳角に対して線形で、長さで単調増加になるように設定した。グラフ中、枠の中の数値は周辺刺激の輻輳距離を各被験者ごとの予想される距離に換算し、眼間距離6.5cmで輻輳角[度]に変換したものである。被験者 NU, YF がナイーブな被験者であり、HK, YF が眼鏡を着用、TK はコンタクトレンズを着用していた。眼間距離は被験者 KK が 6.75cm, HK が 6.35cm, NU が 6.35cm, TK が 7.10cm, YF が 6.15cm であった。

被験者 YF や HK でもグラフの傾きはほとんど見られなかった。被験者 TK では、全ての条件で、グラフが右上がりの傾向が見られた。特に視差分布距離を変数とした場合に顕著で、テスト刺激と周辺刺激の輻輳距離によらず、分散分析の結果 5%有意水準で平均値が等しいという帰無仮説が棄却された。縦視差分布距離、横視差分布距離を変数とした場合には、右上がりの傾向は見られたものの、5%有意水準での有意差はなかった。いずれの場合でもテスト刺激と周辺刺激で輻輳距離が異なる場合には、傾きが若干小さくなる傾向が見られた。被験者 NU でも、視差分布距離を変数とした場合にテスト刺激と周辺刺激の輻輳距離の関係によらず右上がりの傾向が見られたが、テスト刺激と周辺刺激の輻輳距離が異なる場合には、被験者 TK の場合と比べても傾きが極端に小さくなっていた。この関係は、縦視差分布距離や横視差分布距離を変数とした場合にも見られた。5%有意水準での有意差が見られたのは、視差分布距離を変数とした場合と横視差分布距離を変数とした場合のテスト刺激と周辺刺激で輻輳距離が等しかった場合だけである。

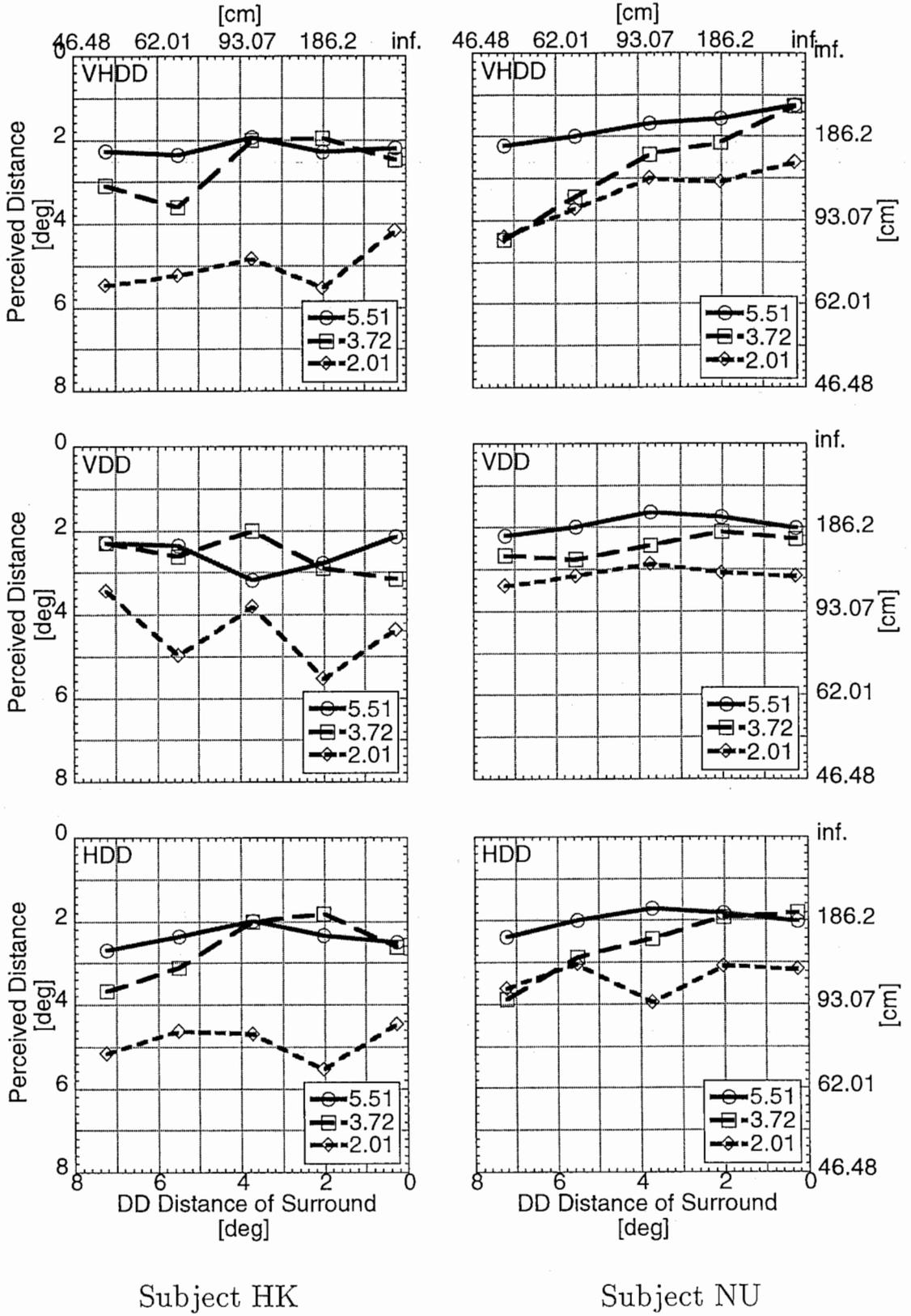


図 5.19: (縦横, 縦, 横) 視差分布に対する知覚絶対距離応答

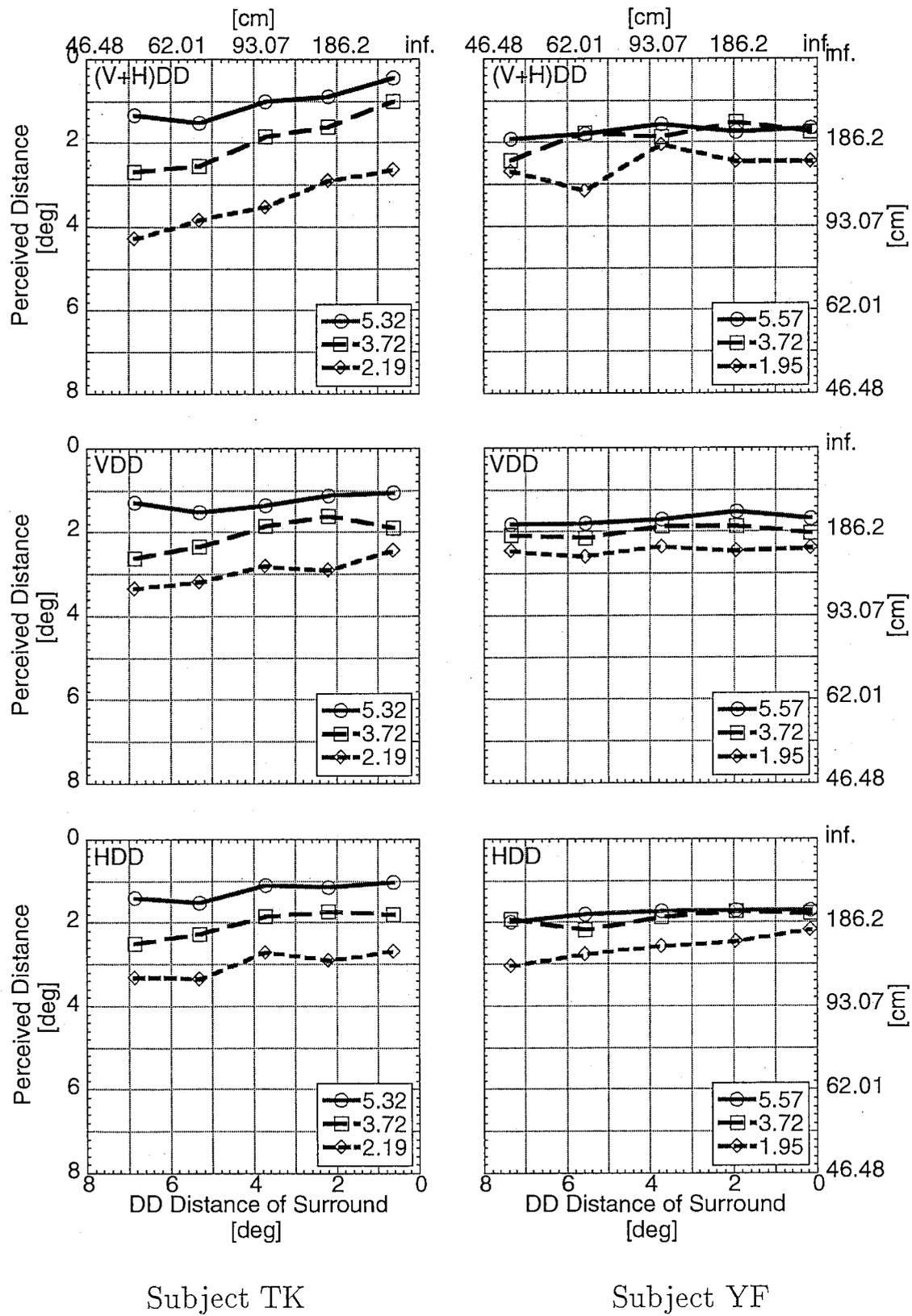


図 5.20: (縦横, 縦, 横) 視差分布に対する知覚絶対距離応答

表 5.1: 実験 3 の分散分析結果. 太字は有意水準 5%, 下線のある太字は有意水準 1%でグラフ中同一シンボルの平均値が等しいという帰無仮説が棄却されたことを意味する.

	周辺刺激の輻輳距離 (cm)	HK	NU	TK	YF
縦横視差分布	68	0.179	2.087	<b>3.505</b>	0.295
	100	<b>3.211</b>	<u>8.395</u>	<u>17.17</u>	1.670
	182	1.492	1.609	<b>3.317</b>	1.309
縦視差分布	68	0.795	0.746	0.487	0.292
	100	1.136	0.829	2.092	0.175
	182	<b>3.473</b>	0.182	1.046	0.089
横視差分布	68	0.358	0.677	1.135	0.274
	100	<u>5.557</u>	<u>4.078</u>	1.784	0.595
	182	0.782	0.454	1.001	0.549

## 5.4 考察

傾向がはっきりと現れていた被験者 TK と NU のグラフより, まず, テスト刺激と周辺刺激で輻輳距離が等しい場合の視差分布の影響については, グラフの形状が右上がりであることから実験 2 の結果と矛盾しなかったと言える. 視差分布距離が遠くなるとテスト刺激に対する知覚絶対距離も遠くなっていた. また, 縦視差分布と横視差分布単独の場合よりも, 縦横視差分布の方が影響が大きかった点も, 実験 2 の結果と類似していた.

テスト刺激と周辺刺激で輻輳距離が異なる場合には, 両者で傾向が若干異なっていたものの, グラフの形状が右上がりである傾向に違いはなく, 視差分布距離が遠くなるとテスト刺激に対する知覚絶対距離も遠くなっていた. ただし, 周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離より遠い場合でも近い場合でも, グラフの傾きは輻輳距離が等しい場合よりも小さかった. グラフ形状が右上がりであることから, 視差分布は, たとえ観察対象と同一面に出現しなくても, 観察対象に対するの絶対距離知覚手がかりのような働きを示すと言える.

また、周辺刺激とテスト刺激で輻輳距離が等しい場合よりもグラフの右上がり傾向が小さいことから、視差分布は、それが出現する面自体の絶対距離知覚手がかりになっているとも言える。

つまり、視差分布はそれが出現する面の絶対距離知覚手がかりになるとともに、出現しないの面に対しても絶対距離知覚手がかりであるかのように影響する。この、出現面に対する影響と出現しない面に対する影響は同じ性質のものであり、任意の面に対して同様の影響を及ぼすとすれば、視差分布は視空間全体の広がり情報となっているとすることが出来る。

十分に広い範囲で傾向を確認したわけではないが、この結果は、視差分布が輻輳などの観察対象自体の絶対距離知覚手がかりにならないものとは性質が異なり、観察対象それ自体の絶対距離知覚手がかりとなるだけでなく、視空間全体の広がりを示す手がかりとなっていることが示唆された。傾向としては、視差分布距離が遠くなると、視空間が奥行き方向に広がる。

傾向のはっきりしなかった被験者HKとYFについて。HKもYFも、周辺刺激の輻輳距離が遠くなるとテスト刺激の知覚絶対距離が知覚なる傾向は見られ、実験1に矛盾しなかった。実験2の結果と比較すると、HKは、テスト刺激の輻輳距離が50cmよりも遠い時には、実験2でほとんどグラフの傾きがなくなってしまうていた。本実験で用いたテスト刺激の輻輳距離は100cmであったため、視差分布の影響が出づらくなっていたと考えられる。HKに関しては、テスト刺激の輻輳距離を50cmにして本実験と同じ実験を行えば、グラフに明らかな傾向が現われるかもしれない。YFは、実験2の段階でそもそも傾きが小さかったので結果に矛盾はない。本実験でも傾きが見られるような気がするが、分散分析で検定すると誤差の範囲に埋もれてしまうという問題点がある。一点のデータを増やすなど、実験データの分散が小さくなるようにすれば、YFについても傾きを見ることが出来るようになるだろう。

## 第6章

### 総合的考察

#### 6.1 両眼視差が絶対距離知覚生成に果たす役割

実験1では、周辺刺激の距離情報がテスト刺激の絶対距離知覚に及ぼす影響を調べた。これにより、観察対象それ自身の持つ距離情報だけでなく、周辺刺激の距離情報も絶対距離知覚に影響していることが示された。テスト刺激の絶対距離知覚は周辺刺激の距離情報に反発するという同時対比の効果があった。

これまで、絶対距離知覚は奥行き知覚、大きさ知覚などの恒常性の基準になるものとして考えられてきた。しかし、この実験結果から絶対距離知覚も、奥行きなど周囲との関係のもとに生成される相対的な知覚であることが示された。

実験2では、広い視野の視差分布が絶対距離知覚に及ぼす影響を調べた。これにより、広い視野での視差分布が絶対距離知覚に影響していることが確認された。その影響は、視差分布距離が遠くなると知覚絶対距離も遠くなるというもので、視差分布が輻輳と同じように観察対象自体の絶対距離知覚手がかりとなっていることが示された。そして、視差分布の中で縦成分である縦視差分布と横成分である横視差分布それぞれが単独でも、縦横視差分布よりは弱いながらも絶対距離知覚手がかりとなっていることが示された。

これまでに、視差分布は、広い視野で与えなければ影響がないことがわかってきた。広い視野でという制限のため視差分布は、観察対象自体の絶対距離知覚手がかりとしては、狭い視野でも働く輻輳手がかりと比べて非常に限られた場面しか想定できなかった。実験環境では、単一面を仮定していたために、絶対距離知覚手がかりとして明確な視差分布を定義することが出来たが、実世界では広い視野の単一平面を正面から観察するという機会は考えづらい。以上のよ

うなことから、絶対距離知覚手がかりとしての視差分布は、実世界で果たして有効なのかという疑問もある。

実験3では、同時対比の中で視差分布がどのように働くのかを調べた。これにより、周辺刺激の輻輳距離がテスト刺激の輻輳距離と異なる場合でも、視差分布距離が遠くなると知覚絶対距離も遠くなり、視差分布がテスト刺激の絶対距離知覚手がかりであるかのような影響が見られた。ただし、その影響は周辺刺激の輻輳距離とテスト刺激の輻輳距離が等しい場合よりも小さかった。この結果から、視差分布が出現面自体の絶対距離知覚手がかりとなりつつ、出現面以外の絶対距離知覚にも影響することがわかった。ひとつの視差分布が視空間中の任意の点の絶対距離知覚に影響する可能性と、単一面を仮定しなくても視差分布は有効であるということが示唆された。

このように、網膜像の両眼視差は単一面を仮定した場合こそ、視差分布が輻輳や調節のように観察対象自体の絶対距離知覚手がかりとなるが、複数の面が見られる場合には、それぞれの面の相対的な関係が同時対比的に絶対距離知覚に影響したり、ある面に現われた視差分布が他の面の絶対距離知覚に影響するなど、両眼視差は絶対距離知覚の生成に輻輳や調節のような絶対的な手がかりというよりは相対的な手がかりを示していると言えるだろう。

## 6.2 絶対距離知覚の決定機構

以上のことから、視覚系における絶対距離知覚の決定には、大きく2つの経路を考えることが出来る。ひとつは、輻輳や調節に代表される観察対象自身の持っている絶対的な絶対距離知覚手がかりを処理する経路であり、観察対象の持つ視差分布や輻輳、調節などの示す絶対距離情報を重みづけして合成しているような形が考えられる。もうひとつは、同時対比や視差分布に見られるように空間の広い範囲での両眼視差を相対的な絶対距離生成の手がかりとして処理する経路であり、視差の勾配や、急激な変化などを処理しているような形が考えられる。以上のことをまとめて、視空間と観察対象から、知覚絶対距離が生成されるまでの流れ図を図6.1に示す。

それぞれの経路は、より高次で絵画的な解釈による距離情報と合流して、最

最終的に知覚絶対距離を生成する。横視差分布については、視差分布に含まれるので、基本的には絵画的解釈を伴わない手がかりであるが、実世界に横視差分布と同じ横視差を持つ湾曲面を作ることは可能であることから、絵画的解釈を伴う手がかりの中にも入れた。

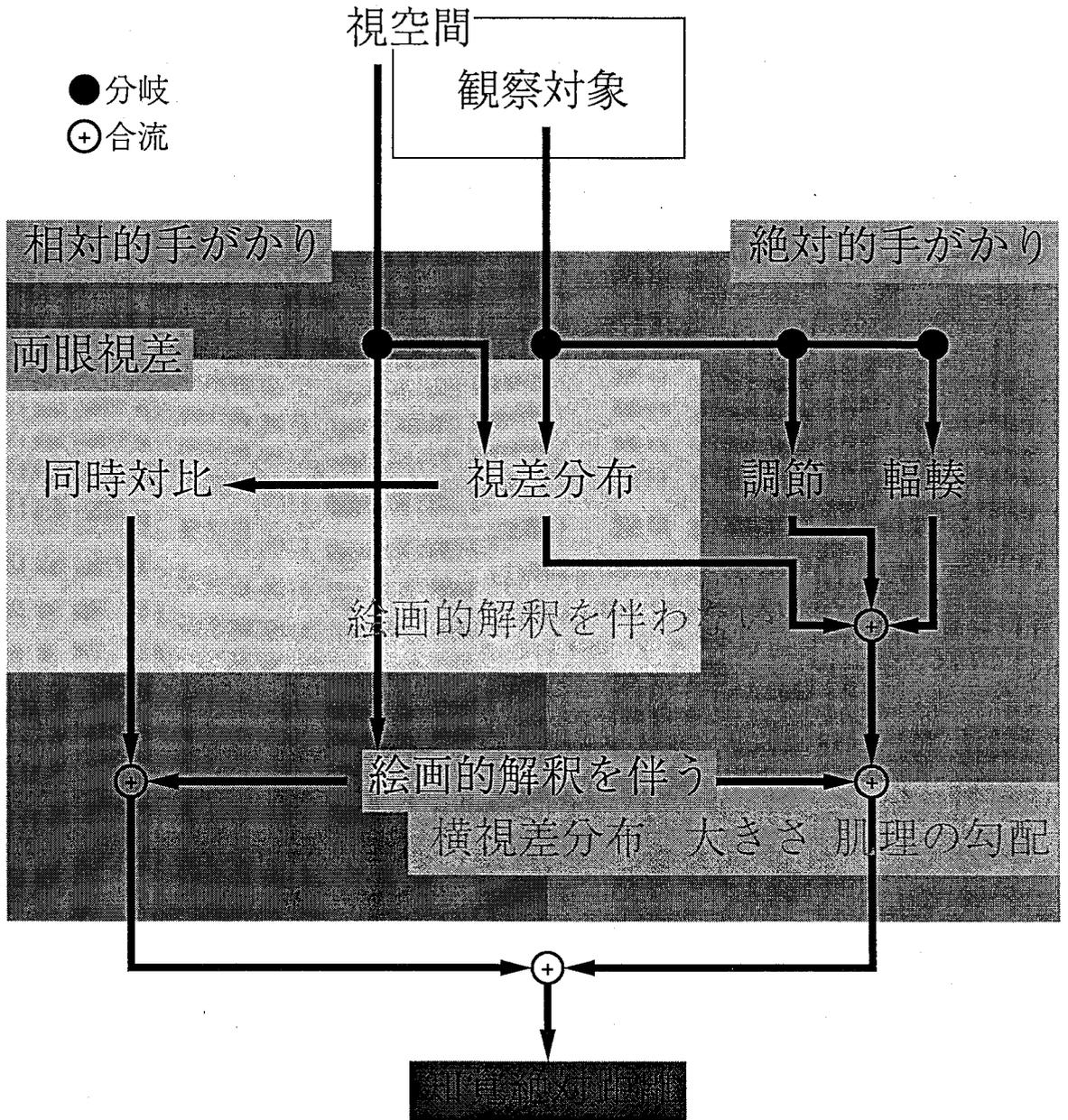


図 6.1: 視空間と観察対象から知覚絶対距離を得るまでの流れ

## 6.3 今後の課題

本研究では、同時対比と視差分布という絵画的な解釈を伴わない両眼視差が観察対象の絶対距離知覚に及ぼす影響について調べてきた。それにより、視差分布がそれが出現する面以外の絶対距離知覚にも影響することが分かった。だが、ここで行なった実験の条件は非常に限られており、同時対比の間隔や面の数など、様々な条件下での視差分布の影響を調べていく必要があるだろう。

同時対比効果が、視差のどの部分で現われているのかにも興味がある。急激な視差がついているエッジ部分だけでも十分な同時対比効果が現われるとすると、横視差分布と同時対比とを周辺部分の見えが似ているというだけで同じ処理経路を通っているとするわけにはいかなくなる。(横視差分布には急激な視差がつくようなエッジが存在しない)

また今回、角度調整法という距離応答方法を導入したが、雑音が大きいため有意差が出にくかったと考えられる。今後、実験で利用する時には応答時により広い角度範囲を使用するように練習したり、応答の回数を増やすなどの改善が必要になってくるだろう。

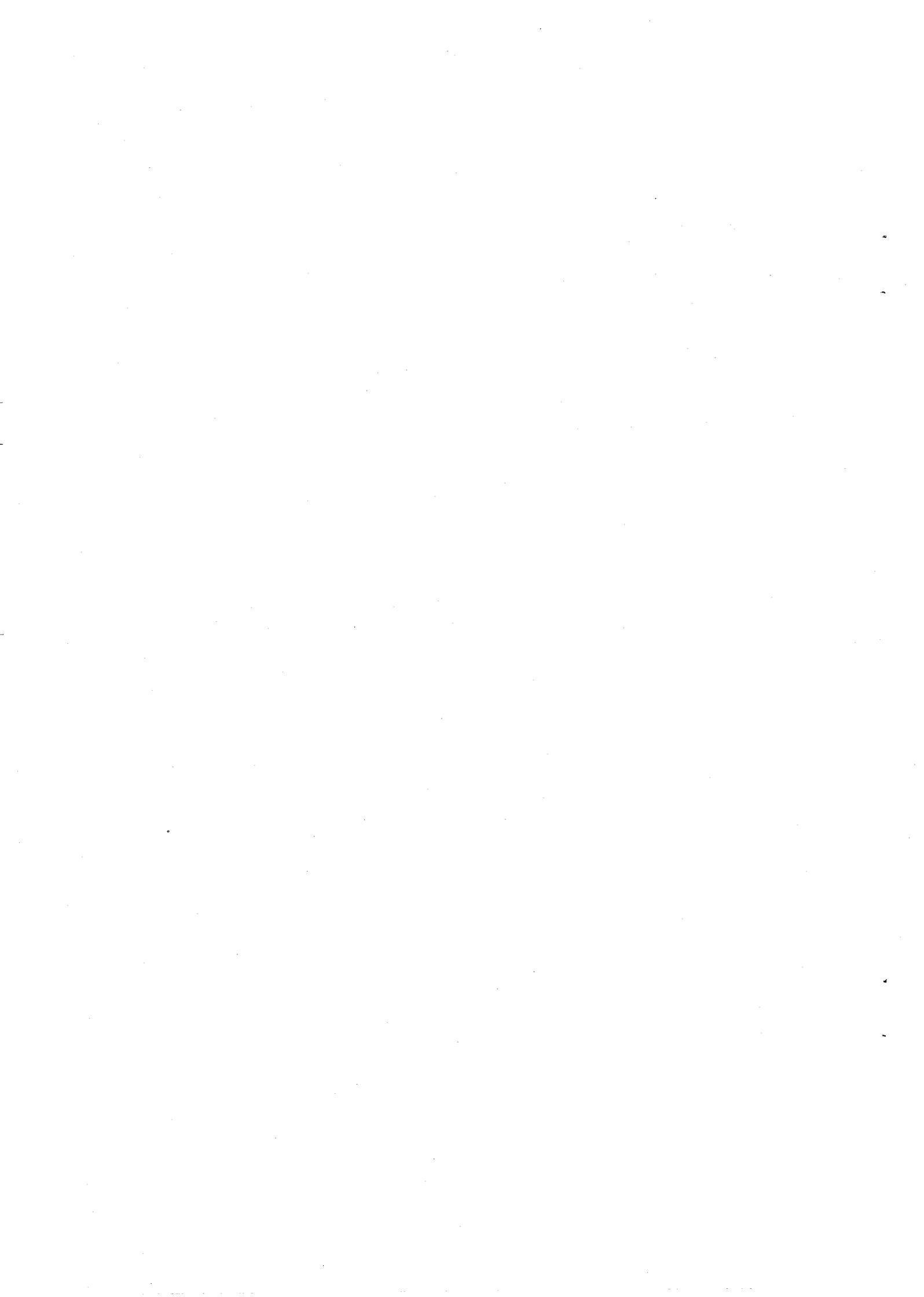
この実験では、全ての被験者に対して同じ刺激を呈示したために、眼間距離の異なる被験者同士では、シミュレートされた理論的な距離が異なっていた。そのため、被験者同士のデータを平均したりして、値同士を直接比較することが出来なかった。これは、テスト刺激が1画素単位でしか動かせなかったことに起因している。今後は、テスト刺激にもガウス分布のぼかしをつくって、各被験者で理論的な距離を等しくして実験を行なうことが望ましいだろう。

## 第7章

### 結論

本研究では、両眼視差が絶対距離知覚に及ぼす影響について調べ、次の結論が得られた。

1. 両眼視差には同時対比効果があり、視差が大きくなると近いものはより近く、遠いものはより遠く感じられる。
2. 広い視野での視差分布は絶対距離知覚の手がかりとなる。
3. 視差分布の縦成分、横成分は単独で絶対距離知覚の手がかりとなる。
4. 視差分布は、それが観察対象に現われない場合でもその絶対距離知覚に影響する。
5. 絶対距離知覚は、輻輳などの絶対的な手がかりだけではなく、同時対比などの複数の物体の相対的な位置関係などをもとに生成される相対的な知覚である。



## 参考文献

- [1] 金子寛彦, (1990) : “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”, 東京工業大学 総合理工学研究科 物理情報工学専攻 平成 4 年度 博士論文.
- [2] Foley, J. M. (1980) : “Binocular Distance Perception”, *Psychological Review*, **87**, pp411-434.
- [3] Foley, J. M. (1985) : “Binocular Distance Perception: Egocentric Distance Tasks”, *Journal of Experimental Psychology: human Perception and Performance*, **11**, pp133-149.
- [4] Erkelens, C. J. & Collewijn, H. (1985) : “Motion perception during dichoptic viewing of moving random-dot stereograms”, *Vision Research*, **25**, pp583-588.
- [5] Mayhew, J. E. W. & Longuet-Higgins, H. C. (1982) : “A computational model of binocular depth perception”, *Nature(London)*, **297**, pp376-379.
- [6] Gillam, B. & Lawergren, B. (1983) : “The induced effect, vertical disparity, and stereoscopic theory”, *Perception & Psychophysics*, **34(2)**, pp121-130.
- [7] Cumming, B. G., Johnstone, E. J. & Parker, A. J. (1991) : “Vertical disparities and perception of three-dimensional shape”, *Nature(London)* **249**, pp411-413.
- [8] Sobel, E. C. & Collett, T. S. (1991) : “Does vertical disparity scale the perception of stereoscopic depth?”, *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, **244**, pp87-90.
- [9] Rogers, B. J. & Bradshaw, M. F. (1993) : “Vertical disparities, differential perspective and binocular stereopsis”, *Nature(London)*, **361**, pp253-255.

- [10] Bradshaw, M. F., Glennerster, A. & Rogers B. J. (1996) : “The effect of display size on disparity scaling from vertical disparities and vergence cues”, *Vision Research*, **36**, pp1255–1264.
- [11] Rogers, B. J. & Bradshaw, M. F. (1995) : “Disparity scaling and the perception of frontoparallel surfaces”, *Perception*, **24**, pp155–179.
- [12] 金子寛彦, イアン・P・ハワード (1995) : “両眼立体視における垂直大きさ視差の役割”, テレビジョン学会技術報告, **19**, pp13–18.
- [13] Predebon, J. (1993) : “The familiar-size cue to distance and stereoscopic depth perception”, *Perception*, **22**, pp985–995.
- [14] 金次保明, 金子寛彦 (1996) : “両眼視における絶対距離知覚に関する検討”, 信学技報 (電子情報通信学会), **IE96-32**, pp111–116.
- [15] Kaneko, H. & Howard, I. P. (1996) : “Relative size disparities and the perception of surface slant”, *Vision Research*, **36**, pp1919–1930.

# 付録 A

## 実験条件詳細

### A.1 はじめに

本研究中では，テスト刺激呈示のための解像度の問題から，全ての被験者に対して同じ距離条件をシミュレートしていなかった．全ての刺激は眼間距離 6.5cm の被験者が，スクリーンから距離 100cm，テスト刺激の真正面で観察したと仮定して作成した．刺激は眼間距離が 6.5cm より広い被験者が観察すると，予定よりもスクリーンに近く，眼間距離が 6.5cm より狭い被験者が観察するとスクリーンから離れて知覚される．ここでは，作成した刺激が実際に示す距離と，被験者ごとの実験条件について説明する．

### A.2 距離変換式

異なる眼間距離の被験者用に作成された刺激の理論距離は，次に示す式で理論的に異なる距離に変換することが可能である．また，スクリーンまでの距離が異なる場合もあわせて示してある．以下の式は，ある眼間距離を持つ被験者の理論距離 ( $Cd_1, Hd_1, Vd_1$ ) からの別の眼間距離を持つ被験者の理論距離 ( $Cd_2, Hd_2, Vd_2$ ) への変換を示している．なお，各理論距離を示す変数は，縦方向視差分布による理論面までの距離 ( $Vd$ )，横方向視差分布による理論面までの距離 ( $Hd$ )，輻輳による理論面までの距離 ( $Cd$ ) であり，両被験者のスクリーン面までの距離 ( $Sd$ )，眼の中心からの距離 ( $Eh$ ) さえ分かれば変換可能である．

$$\begin{aligned}
Cd_2 &= \frac{Eh_2Sd_2}{(Eh_2 - Eh_1)Cd_1 + Eh_1Sd_1} \times Cd_1 \\
Hd_2 &= \frac{(Cd_1^2 + Eh_1^2)Eh_2Sd_1Sd_2 \times Hd_1}{SMALL \times Hd_1 + EH \cdot CD^2 \cdot SD^2} \\
Vd_2 &= \frac{(Cd_1^2 + Eh_1^2)Eh_2Sd_1Sd_2 \times Vd_1}{SMALL \times Vd_1 + EH \cdot CD^2 \cdot SD^2}
\end{aligned}$$

ただし,

$$\begin{aligned}
SMALL &= (-Cd_1Eh_1(Eh_1 - Eh_2)^2 - (Cd_1^2 - Eh_1^2)(Eh_1 - Eh_2)Sd_1 + Cd_1Eh_1(Sd_1^2 - Sd_2^2)) \\
EH \cdot CD^2 \cdot SD^2 &= Cd_1^2Eh_1(Eh_1 - Eh_2)^2 - 2Cd_1Eh_1^2(Eh_1 - Eh_2)Sd_1 + Eh_1(Eh_1^2Sd_1^2 + Cd_1^2Sd_2^2)
\end{aligned}$$

であった。SMALLは本研究の場合、ほとんど0に近い値であり、実験への影響はほとんどないと考えられた。また、HdとVdの変換も本研究でとった値の範囲ではほとんどCdの変換に近い値であったので、本研究ではCdの変換を用いていた。厳密には問題があるが、傾向を見る上では問題がなかったと考えられる。

## A.3 装置の寸法

実験には、100inchのHDTV用スクリーンを用いたが、その全ての領域を表示に使用したわけではなかった。ここでは、各装置の具体的な寸法を示す。

### スクリーン

刺激表示領域 113.0(V)×150.7(H)cm

画素 768(V)×1024dot

ドットサイズ 0.14713cm(113.0÷768)

解像度 6.80dot/cm(768÷113.0)

### 床からの垂直位置

表示領域中央 166.5cm(167.0cm)\*

教壇 45.0cm

指示棒の軸 92.0cm

実世界の指標 122.2cm

### 指示棒の軸から表示領域中央までの距離

水平 105.3cm

垂直 74.5cm

### 被験者ごとの個人差

被験者	目の高さ(ターゲットとの差)		表示面距離	眼間距離	
	実験室	廊下		眼間距離計	独自の方法
HK	165.5(-1.0(-1.5))	120.5(-1.7)	99.5	6.35	6.70( $\frac{101.3-51.3}{78.9-41.6} \times 5$ )
KK	167.1(+0.6(+0.1))	122.1(-0.1)	99.5	6.75	5.71( $\frac{102.1-52.1}{83.0-39.2} \times 5$ )
MK	165.5(-1.0(-1.5))	120.5(-1.7)	99.7	6.00	—
NU	166.3(-0.2(-0.7))	121.3(-0.9)	99.2	6.15	6.27( $\frac{103.3-53.5}{82.3-42.4} \times 5$ )
NU2	166.0(-0.5(-1.0))	121.0(-1.2)			
TK	166.8(+0.3(-0.2))	121.8(-0.4)	99.1	7.10	6.78( $\frac{102.6-52.6}{74.8-37.9} \times 5$ )
YF	164.2(-2.3(-2.8))	119.2(-3.0)	99.2	6.15	6.39( $\frac{102.6-52.6}{80.9-41.8} \times 5$ )
YF2	165.2(-1.3(-1.8))	120.2(-2.0)			

\*括弧内の数値は1996年9月24日測定。光学連合シンポジウム以降の実験に影響

NU2は、被験者 NU1996年8月1日以降の実験で、座っている椅子の高さをそれまでよりも低くし、顎台を傾けたため測定し直した状態である。本研究の実験1～3のデータは1996年8月1日以降の実験により得られている。スクリーンから顎台の先端までの距離は99cm、被験者 NUの眼までの距離は101.5cmであった。また YF2は、被験者 YFについて1996年9月24日に計測し直したものである。この変化理由は不明である。眼間距離以外の値は本研究を通じて利用されなかったが、1996年9月24日に計測した値は、物理的に視距離を変化させる実験での刺激呈示位置の補正のために用いられた。

## A.4 眼間距離の測定

本研究では、眼間距離の決定に専用の眼間距離計<sup>†</sup>の結果を用いた。独自の方法では、直径1mm程の穴が5cmの間隔で2つ水平方向に並んだ仕切りを用いた。ターゲットを2つの穴から(右の穴から右眼で、左の穴から左眼で)見ることによってある距離のターゲットを見るための仕切りの距離が決まる。ターゲットの距離を2種類用意してやれば、以下の式で眼間距離を求めることが出来る。

$$IOE = \frac{TD1 - TD2}{PD1 - PD2} \times IOA$$

*IOE*は眼間距離 (Interval Of Eyes), *TD*は被験者からターゲットまでの距離 (Target Distance), *PD*はターゲットから仕切りまでの距離 (Partition Distance from Target), *IOA*は穴の間隔 (Interval Of Apertures) である。

<sup>†</sup>メーカー：ニデック、製品名：PDメーター、型番：PM600

## 付録 B

### 視覚学会前の実験

#### B.1 はじめに

ここでは、1996年7月28日から3日間の日程で河口湖畔で行なわれた日本視覚学会夏期研究会までに行なった実験について説明する。

#### B.2 刺激

刺激は、視野の中心で直径が視角10度である円形のテスト刺激と、その周辺、視角20度より外側に分布するランダムドットによる周辺刺激で構成されていた。テスト刺激は変数、輻輳距離だけで決定され、スクリーン上では水平方向に並行移動しているだけであった。周辺刺激は、輻輳距離、縦視差分布距離、横視差分布距離の3変数で決定された。本実験では、テスト刺激の輻輳距離と周辺刺激の輻輳距離で独立の値を取り、縦視差分布距離と横視差分布距離は周辺刺激の輻輳距離と等しい値を取った。変数は、50, 60, 74, 100, 146, 274, 2030cmの7種類の値を取った。テスト刺激と周辺刺激の組み合わせで49通りの刺激が用意された。被験者は5人で、いずれも矯正視力1.0以上であった。うち3人は実験目的を知らないナイーブな被験者であった。この時の実験ではランダムドットのガウシアンは $SD=2.53$ であった。

図 B.1に、実際に実験に用いた刺激の例を示す。本研究で用いた形状とほとんど変わりなく、周辺刺激のランダムドットの配置とテスト刺激の大きさは本研究で用いたものと同じである。ただし、中央のテスト刺激には十字の印とタイル模様が描かれていなかった。また、テスト刺激の輝度は最も高いものよりも抑えてあった。

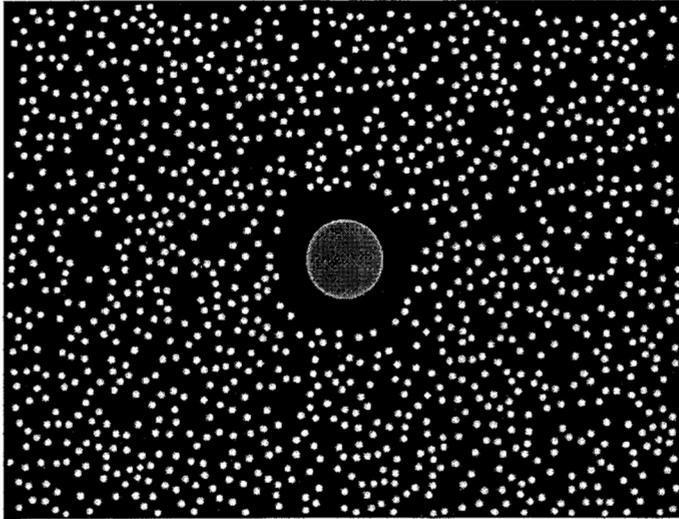


図 B.1: 視覚学会までで使用していた刺激の例.

### B.3 結果グラフ

以下に、視覚学会までの結果のグラフを示す。図 B.2は口頭応答を用いた実験結果のプロットであり、左側がテスト刺激の距離変化に対する応答、右側が周辺刺激の距離変化に対する応答をプロットしたものになっている。図 B.3は角度調整法のために廊下で行なった評価実験であり、その結果を用いて角度調整法による応答(図 B.4, 図 B.5)をプロットした。図 B.4は、テスト刺激の距離変化に対する応答になっており、図 B.2の左側に相当する。図 B.5は、周辺刺激の距離変化に対する応答になっており、図 B.2の右側に相当する。

口頭応答によるグラフは3回の応答の平均、角度調整法の評価実験は9回の応答の平均、角度調整法による応答は8回の応答の平均となっている。

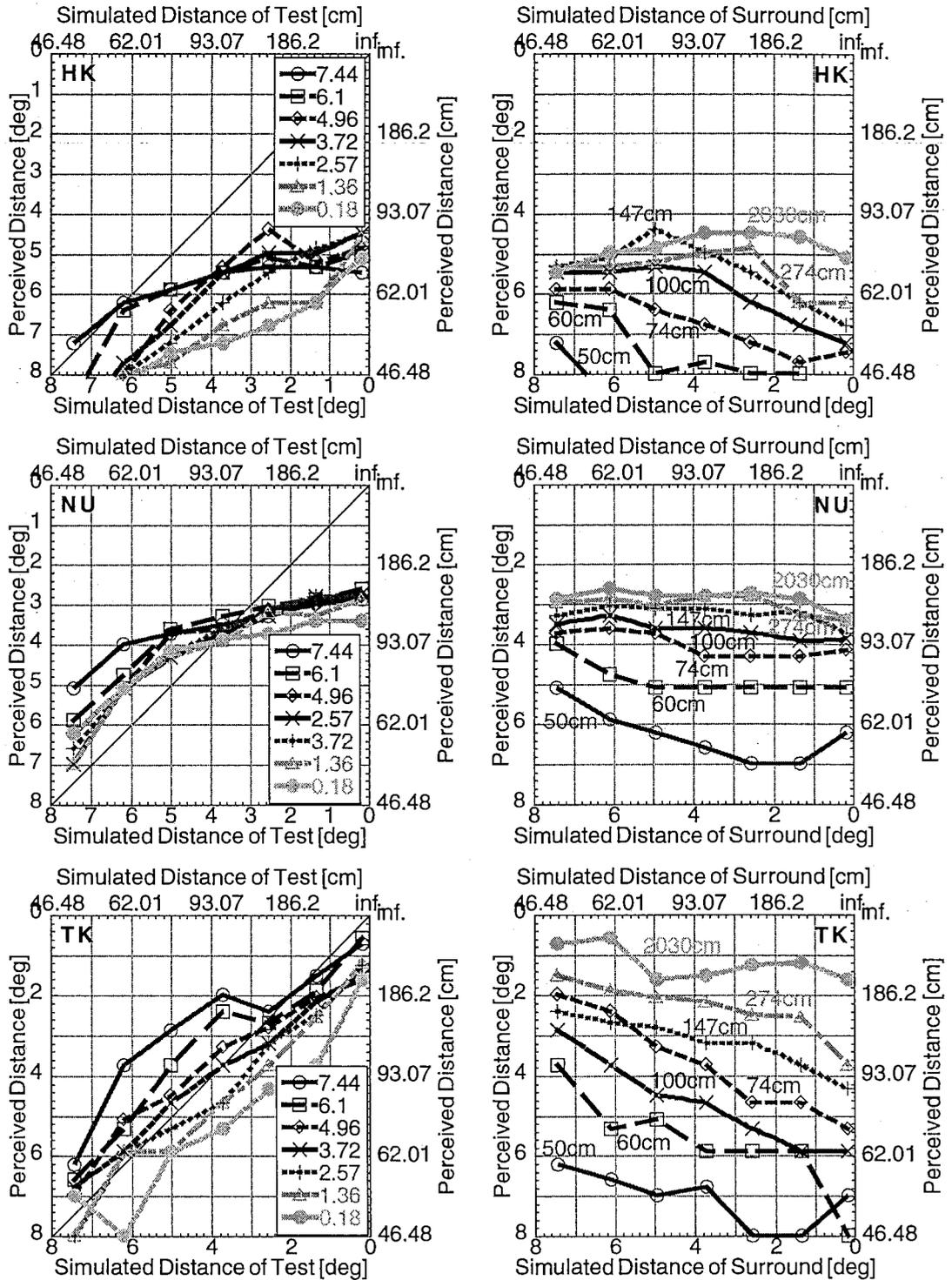


図 B.2: 口頭による応答実験. 左がテスト刺激の距離 (横軸) に対する距離応答のプロットで, 右が周辺刺激の距離 (横軸) に対する距離応答のプロット.

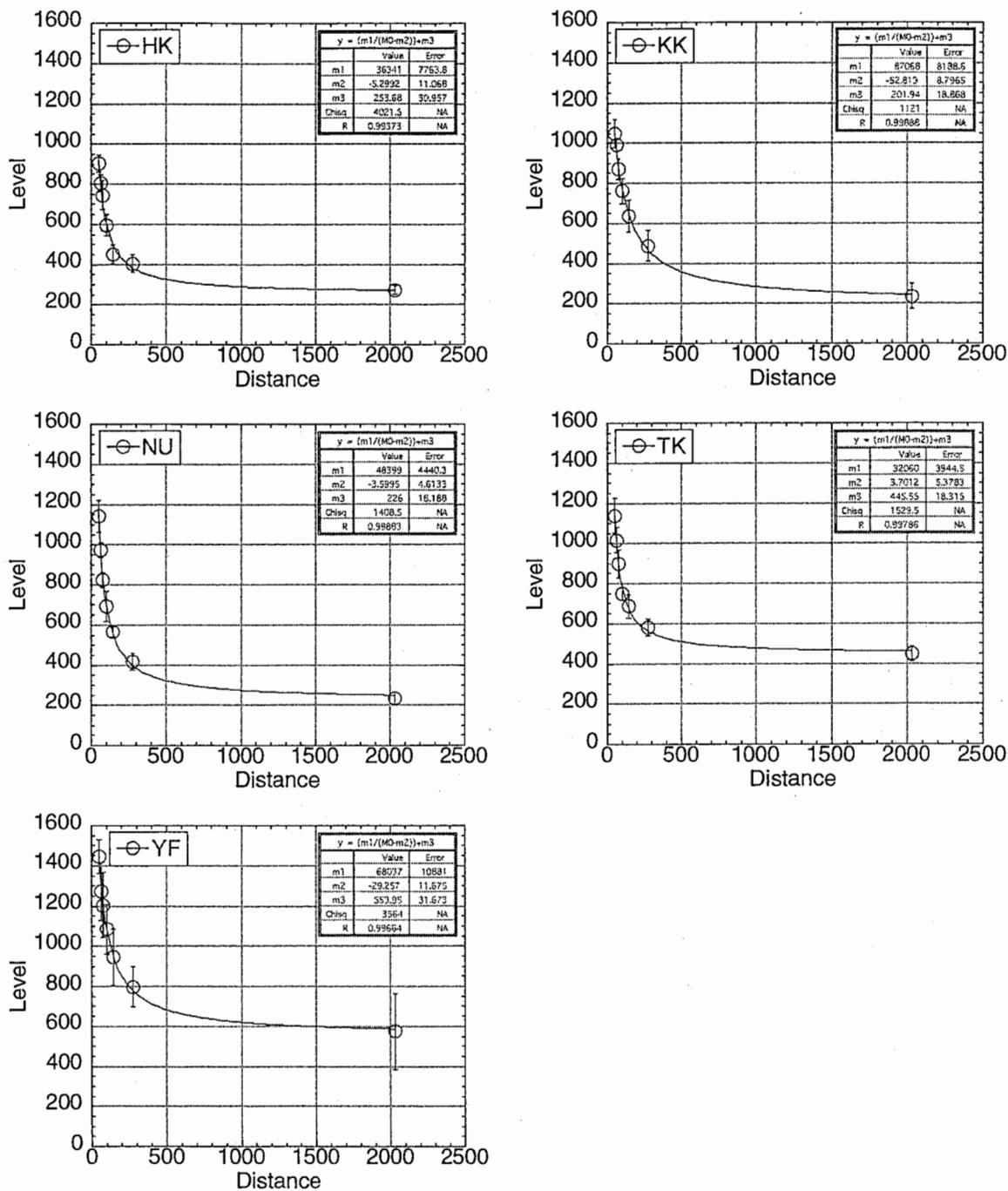


図 B.3: 角度調整法のための評価実験。横軸が指標の距離で、縦軸が支持棒の角度に相当する値となっている。

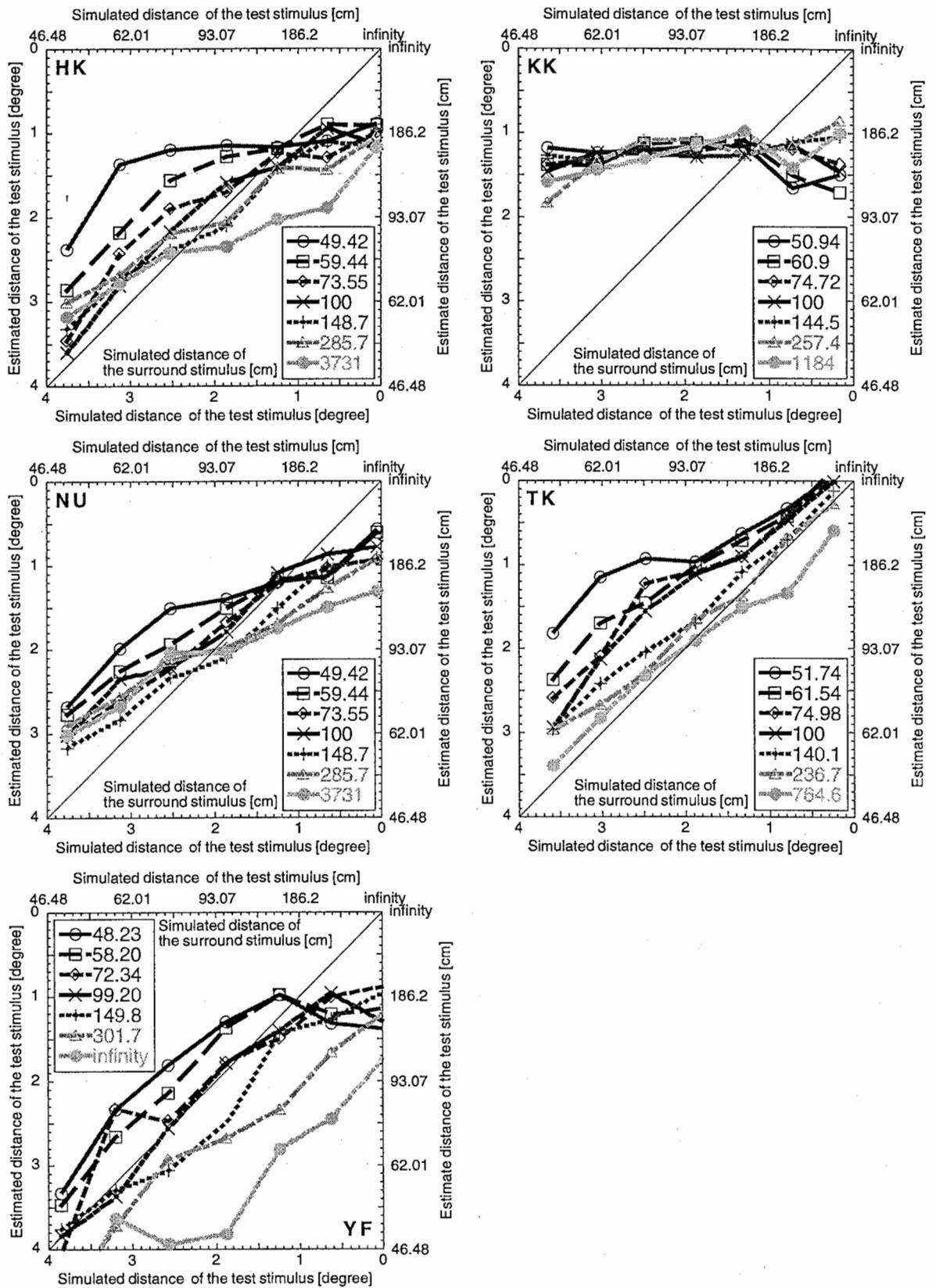


図 B.4: 実験 1 と同じ実験. ただし, 横軸はテスト刺激の距離である.

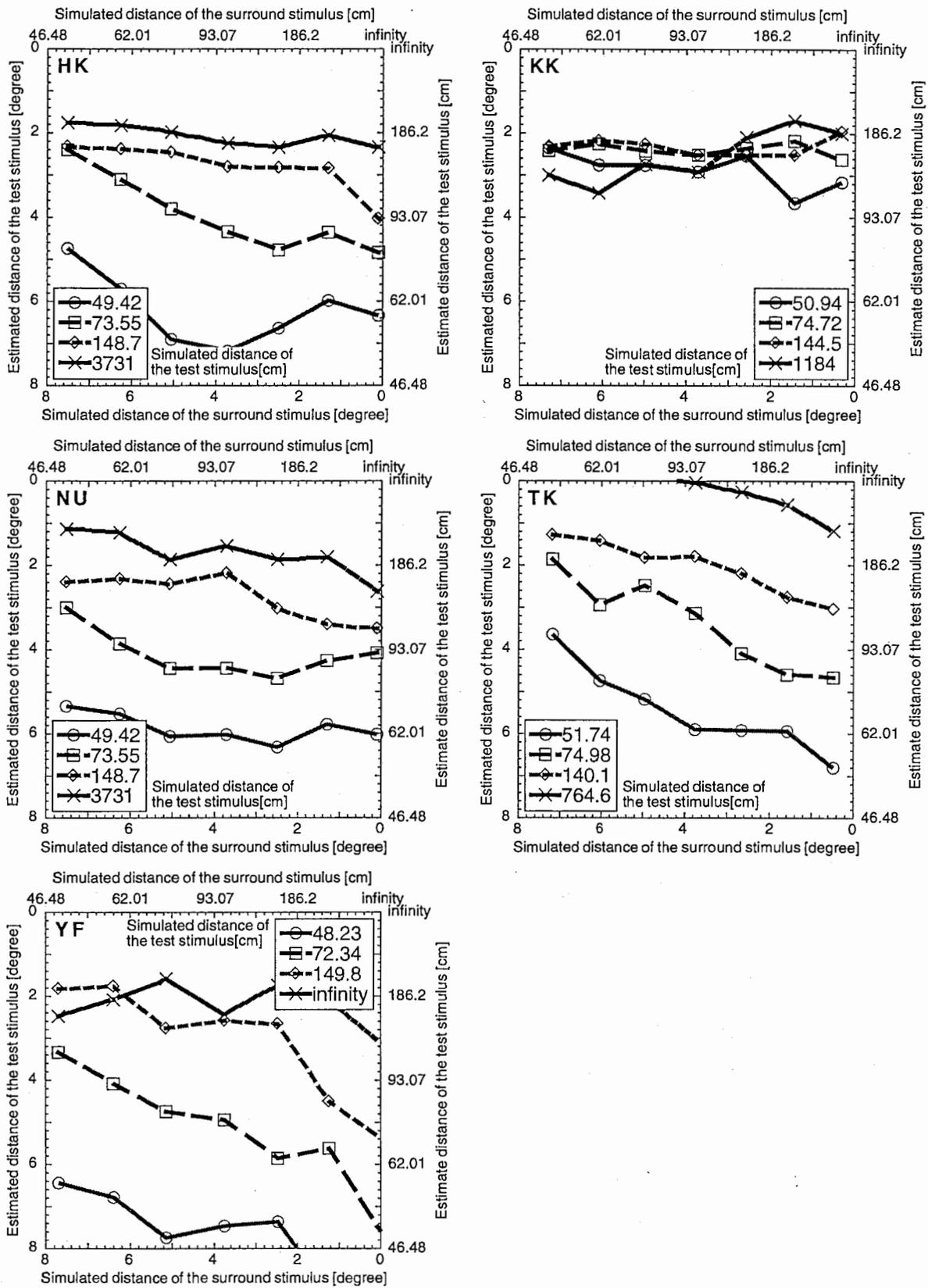


図 B.5: 実験 1 と同じ実験. 横軸は周辺刺激の距離を示している.

## B.4 考察

口頭による応答と角度調整法による応答は同じ傾向を示していた。双方とも、テスト刺激の輻輳距離が遠くなるに従って応答距離が遠くなっていった。(図 B.2左側, 図 B.4) また、周辺刺激の輻輳距離が遠くなるに従って応答距離が近くなる傾向が見られた。(図 B.2右側, 図 B.5) これは、本研究の実験1の結果と矛盾しない。

被験者 KK は、実験環境でテスト刺激の変化に対しても周辺刺激の変化に対しても鈍感であった。しかし、図 B.3に見られるように、廊下での角度調整法評価実験では被験者の中でも比較的小さい誤差の範囲で応答しており、応答する範囲も狭くはなかった。最も範囲が狭いのは被験者 HK で、グラフの中で650程度の範囲しか使っていなかった。逆に、最も範囲が広いのは被験者 NU で、900程度の範囲を使っていた。被験者 YF は一点に対する誤差が大きく不安定だった。

ここまでの実験では、絶対距離知覚に対して周辺刺激が影響すること、角度調整法がある程度妥当な結果を出す(口頭による応答と傾向が似ている)ことを確認したと言える。

また、次のようなことを考えた。

- 周辺刺激とテスト刺激の輻輳距離が輻輳角で等間隔の場合は、テスト刺激の距離の変化に対して応答は輻輳距離に依らず平行になるかもしれない。
- 周辺刺激とテスト刺激の輻輳距離が離れ過ぎると計算されなくなり、その影響が小さくなるかもしれない。そのため、グラフの傾きが端の方で水平に近くなったり、逆になったりするのかもしれない。(後に角度調整法による応答限界の可能性も考え、本研究中ではそちらについてしか言及していない)

## 付録 C

# 光学連合シンポジウムまでの実験

### C.1 はじめに

ここでは、1996年9月6日から2日間の日程で行なわれた光学連合シンポジウムまでに行なった実験について説明する。ここでは、実験2に示したような視差分布の影響について実験を行なった他、周辺刺激の影響をデータ点を増やして実験したり、テスト刺激と周辺刺激の輻輳距離を輻輳角について一定にしたまま、テスト刺激を変化させた場合の応答を調べたり、周辺刺激に縦線や横線を使った刺激に対する実験も行なった。

### C.2 刺激

刺激は、視野の中心で直径が視角10度である円形のテスト刺激と、その周辺、視角20度より外側に分布するランダムドットによる周辺刺激で構成されているものと、縦線または横線のみからなるものを用意した。

図C.1に、実際に実験で用いた刺激の例を示す。ランダムドット刺激は本研究で用いたものである。縦線、横線の刺激は中央部分が区切られており、それをテスト刺激として角度調整法のターゲットとした。

### C.3 結果グラフ

以下に、結果のグラフを示す。図C.3, C.4, C.5, C.6は被験者HK, NU, TK, YFに対する視差分布の影響をプロットしたもので、輻輳(左上), 縦横視差分布(右上), 輻輳と横視差分布(左中), 縦視差分布(右中), 輻輳と縦視差分布(左下), 横視差分布(右下)を横軸としている。図の右と左でちょうどシンボ

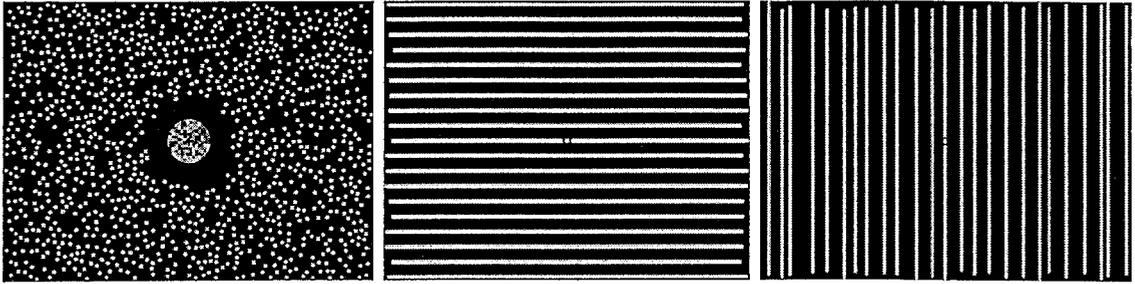


図 C.1: 視覚学会後に使用していた刺激の例. 左から, ランダムドット, 横線, 縦線.

ルと横軸を入れ換えた状態になっている. これらは全て, 図 C.2にある廊下で行なった評価実験の結果を利用している.

図 C.7は, シンボル数を減らした代わりにデータ点を増やした結果である.

図 C.8は, テスト刺激と周辺刺激の輻輳距離を輻輳角について一定に保ってテスト刺激の距離を変化させた場合の応答をとっている. シンボルの値がプラスの時は周辺刺激がテスト刺激よりも遠くにあることを示している. シンボルの値が0の時は, テスト刺激と周辺刺激は同一平面上にあることになる.

図 C.9と図 C.10は, 刺激に横線を用いることで, 横視差分布を排除した実験の結果である. 図 C.9が縦視差分布距離を変化させた場合, 図 C.10が輻輳距離を変化させた場合である.

図 C.11と図 C.12は, 刺激に縦線を用いることで, 縦視差分布を排除した実験の結果である. 図 C.11が横視差分布距離を変化させた場合, 図 C.12が輻輳距離を変化させた場合である.

角度調整法の評価実験は9回の応答の平均, 角度調整法による応答は8回の応答の平均である.

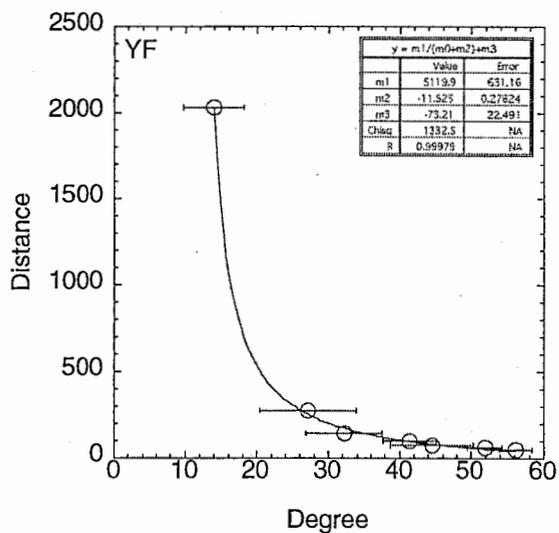
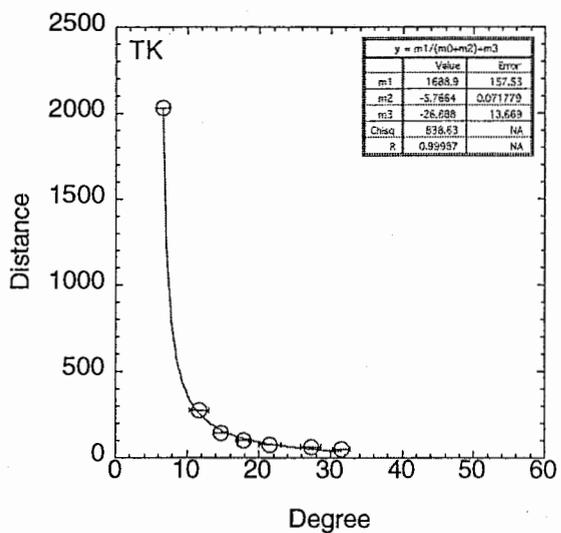
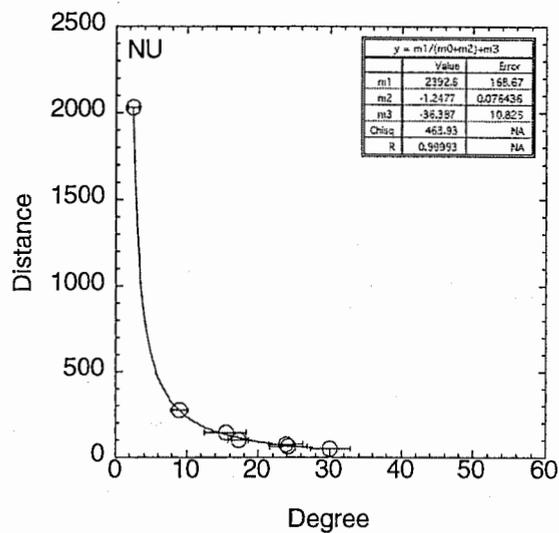
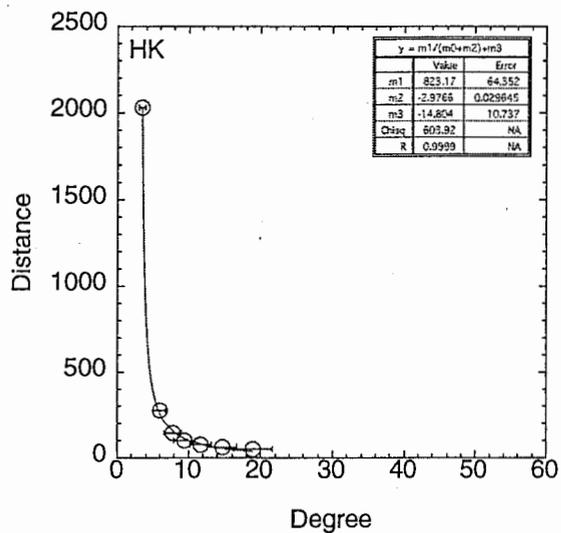


図 C.2: 角度調整法のための評価実験. 横軸が支持棒の角度で, 縦軸が距離となっている.

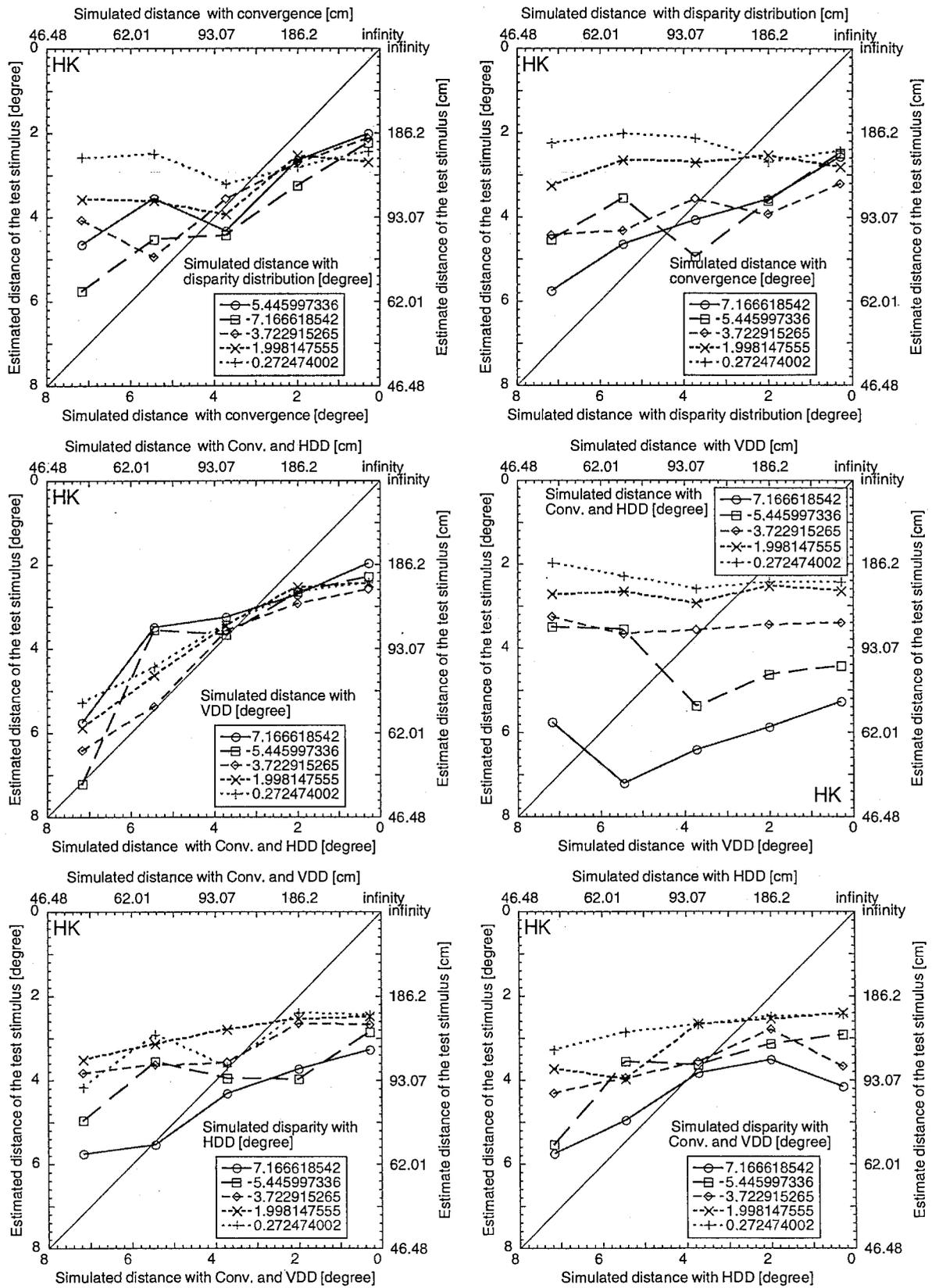


図 C.3: 被験者 HK. 視差分布の結果.

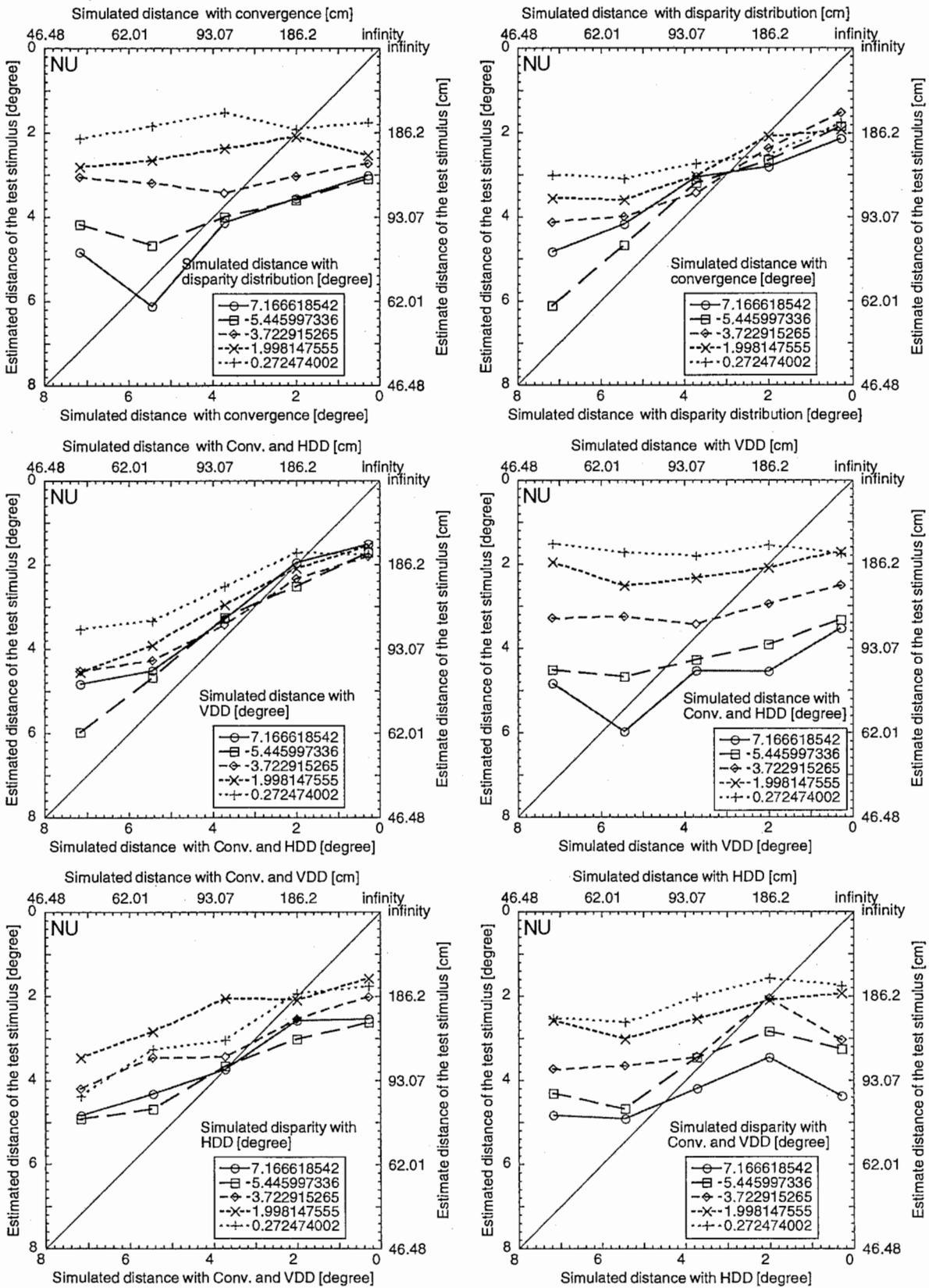


図 C.4: 被験者 NU. 視差分布の結果.

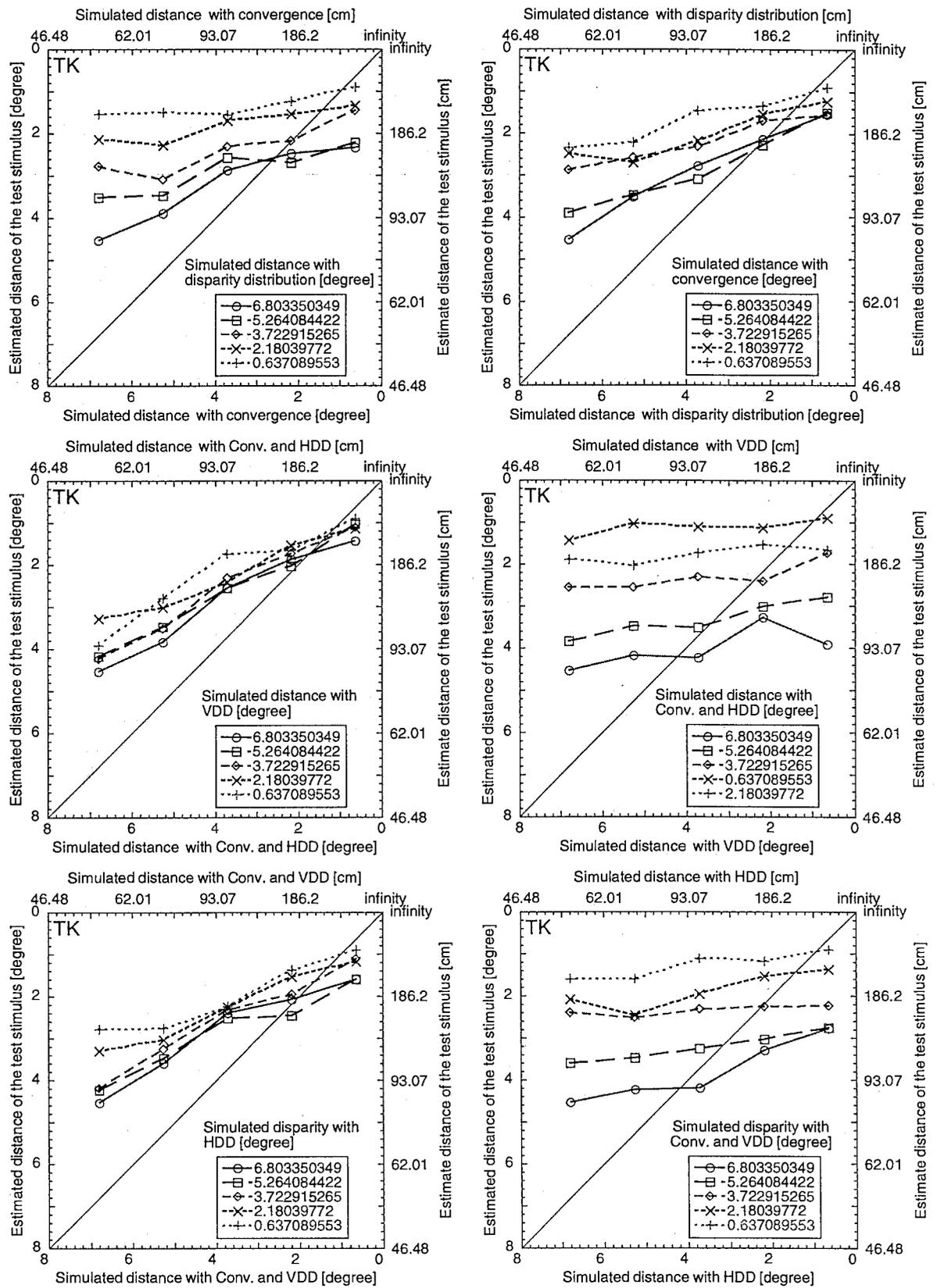


図 C.5: 被験者 TK. 視差分布の結果.

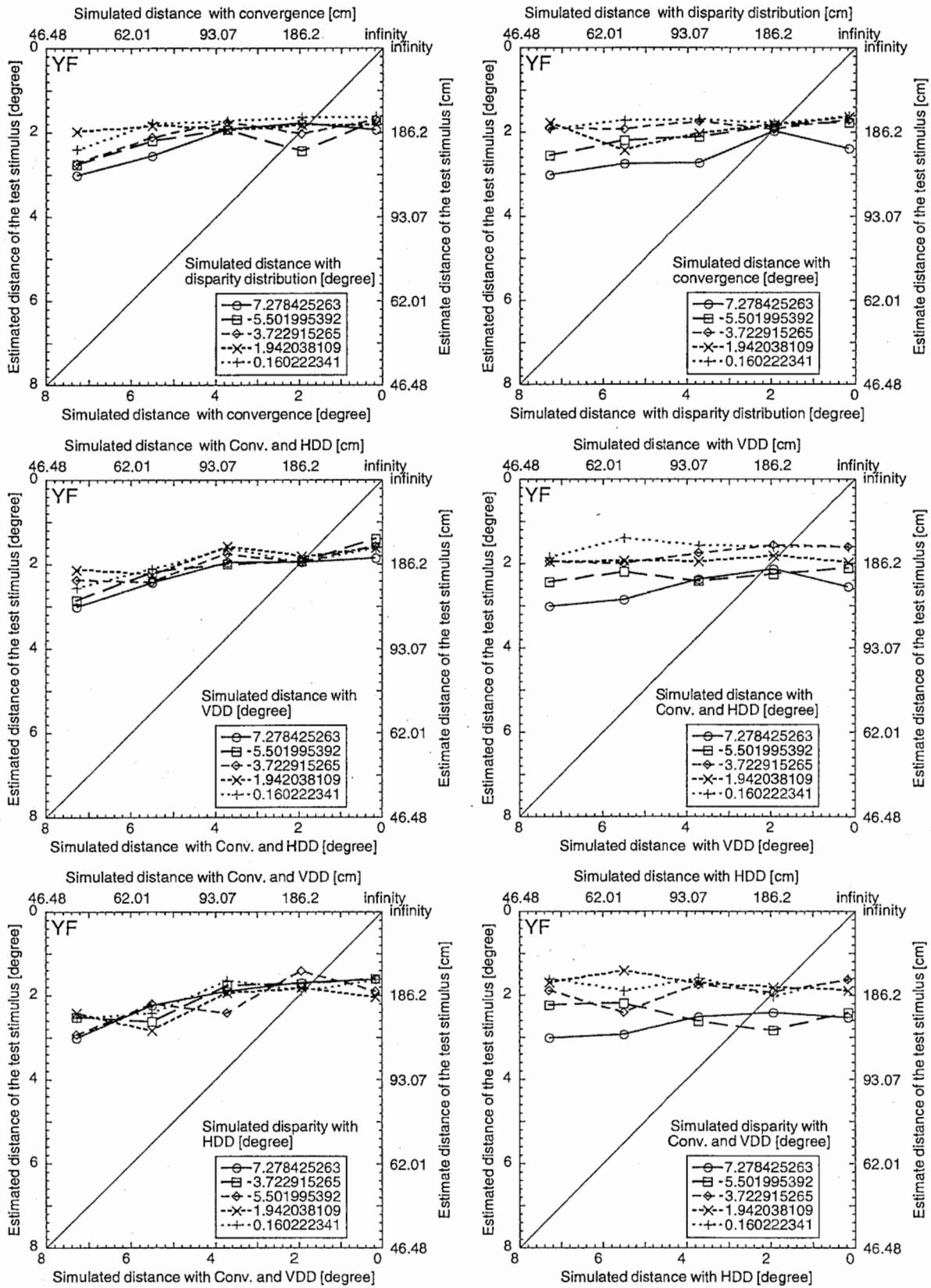


図 C.6: 被験者 YF. 視差分布の結果.

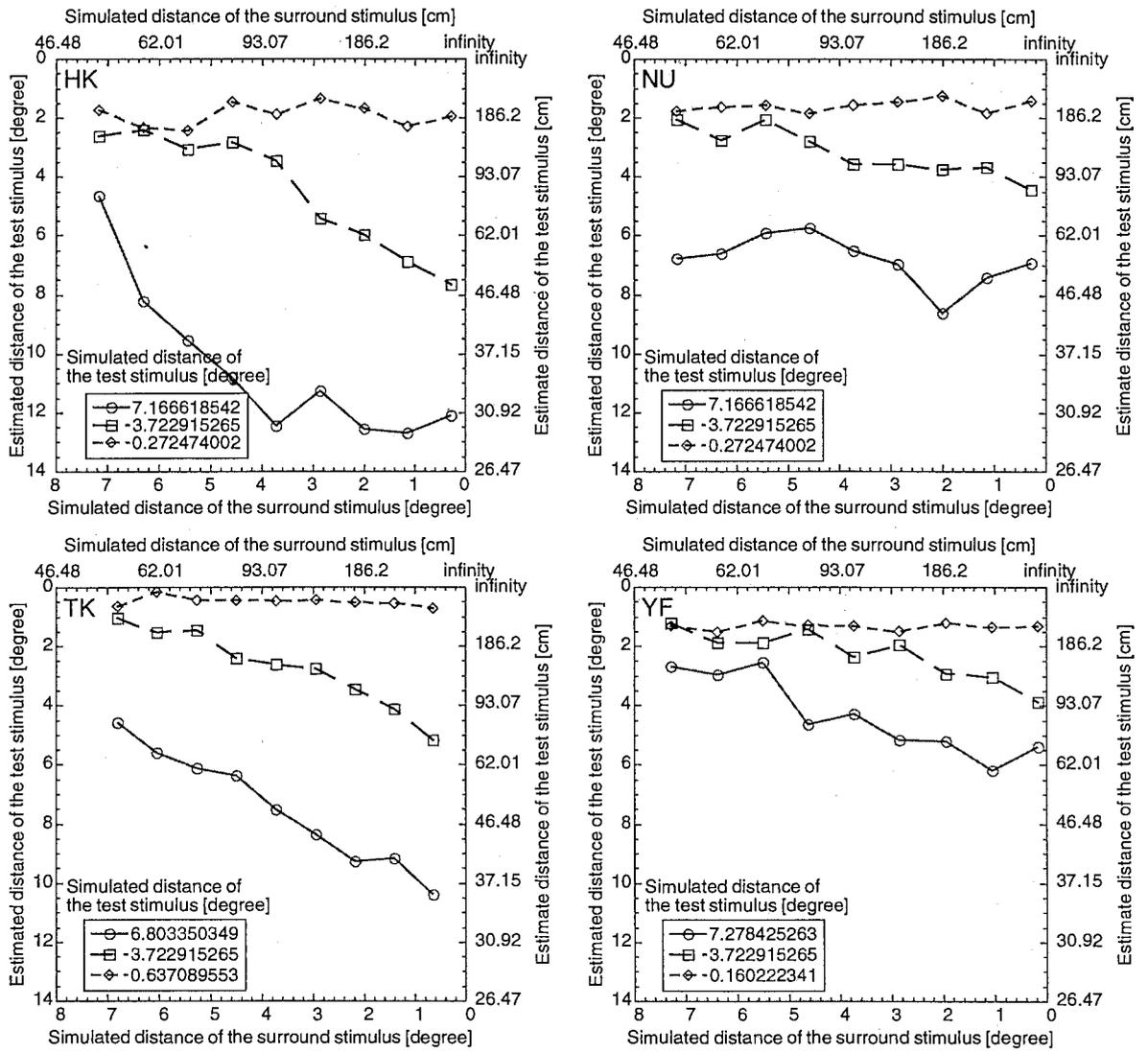


図 C.7: 周辺刺激 (横軸) の輻輳距離が絶対距離知覚に及ぼす影響.

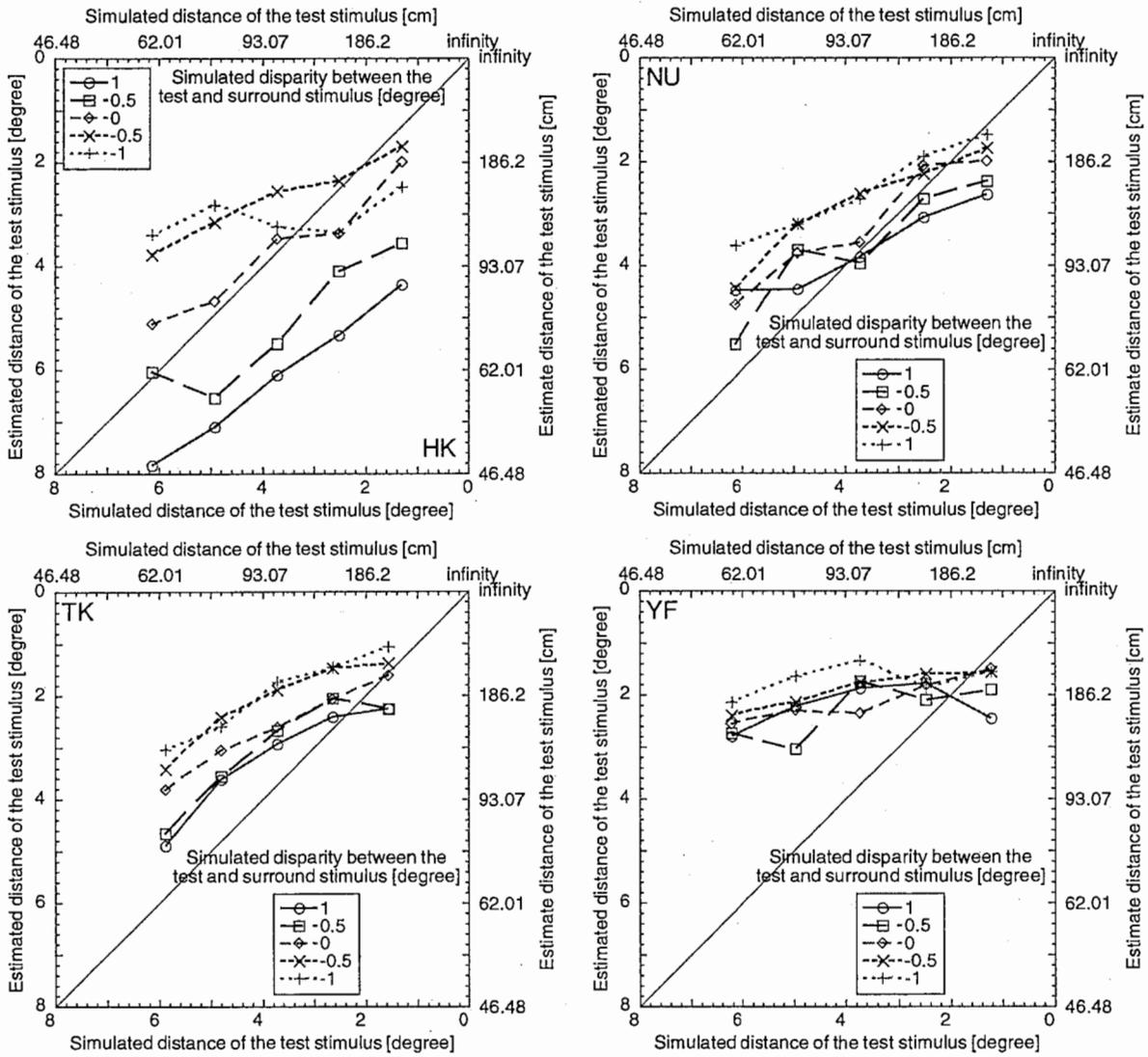


図 C.8: 周辺刺激とテスト刺激の輻輳距離が輻輳各一定の場合.

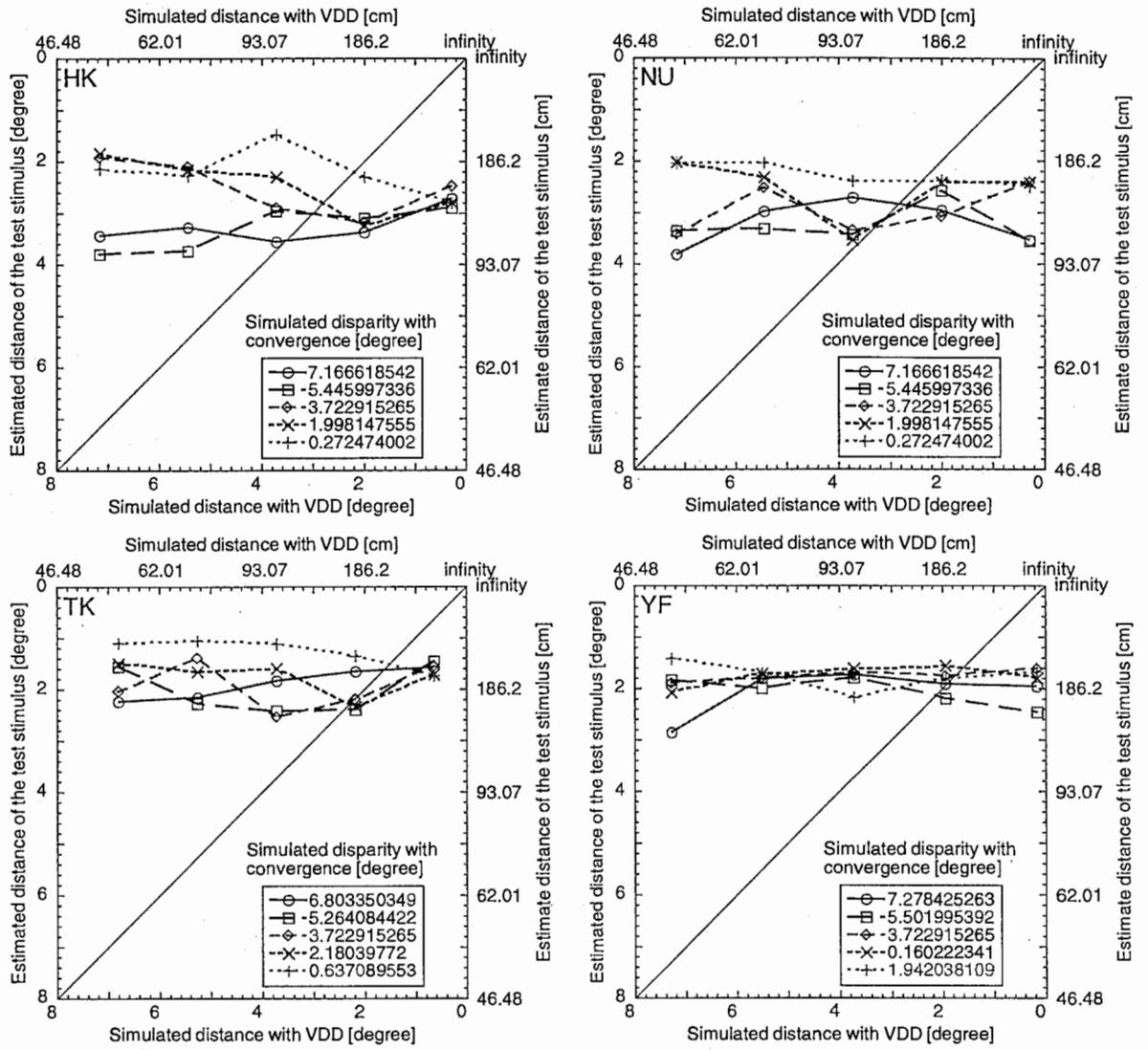


図 C.9: 横線. 縦視差分布距離の変化に対する距離応答.

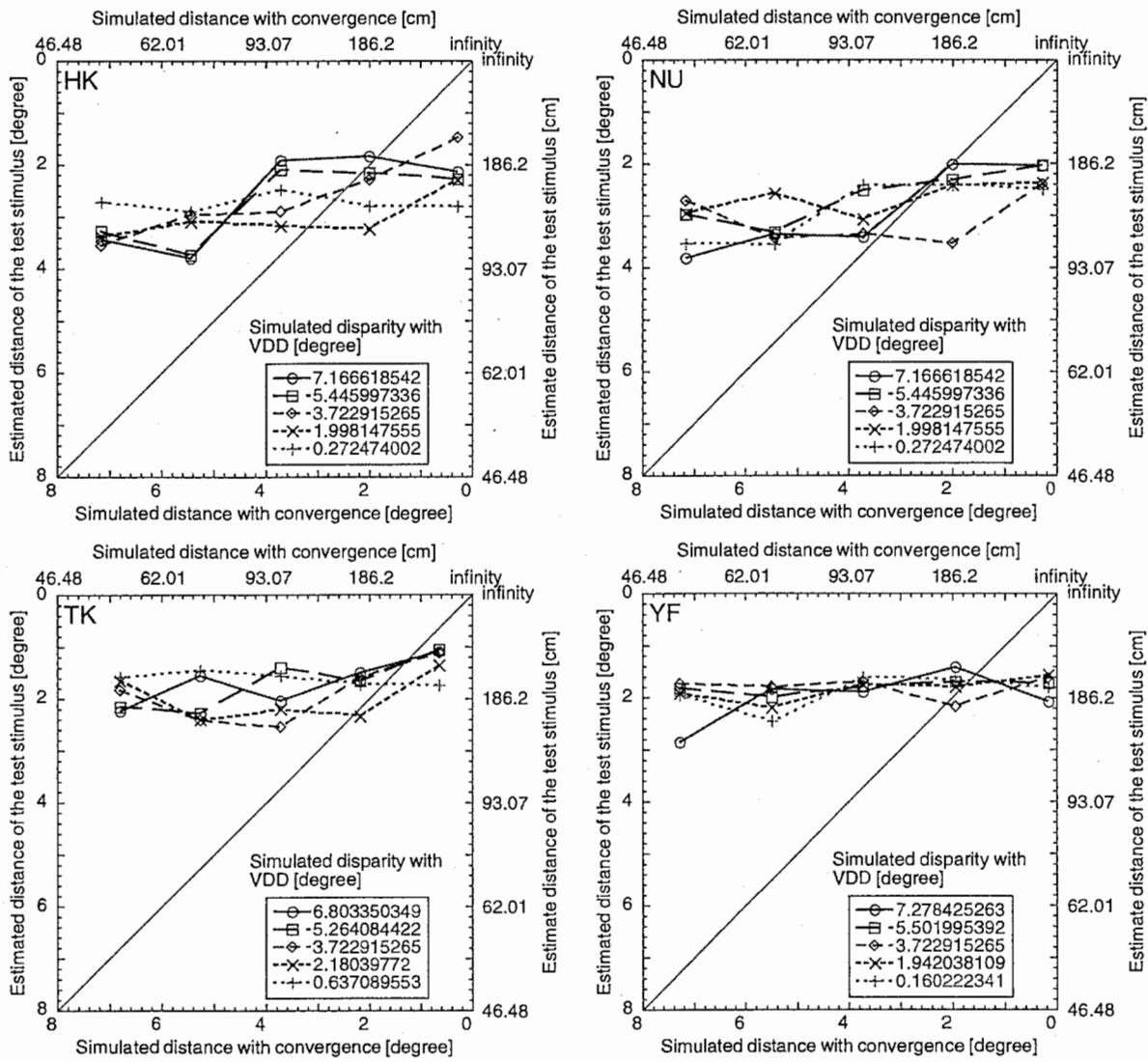


図 C.10: 横線. 輻輳距離の変化に対する距離応答.

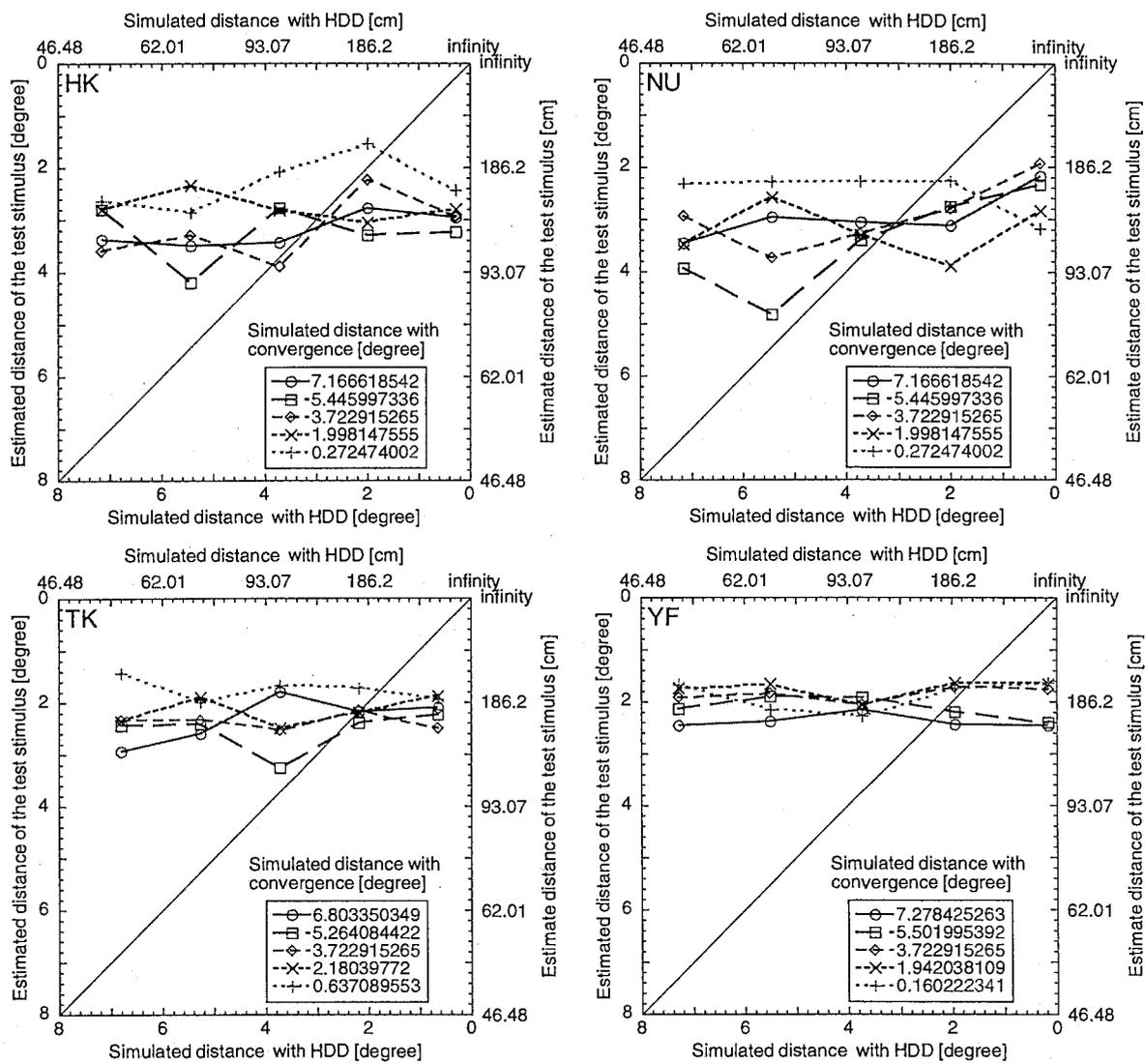


図 C.11: 縦線、横視差分布距離の変化に対する距離応答。

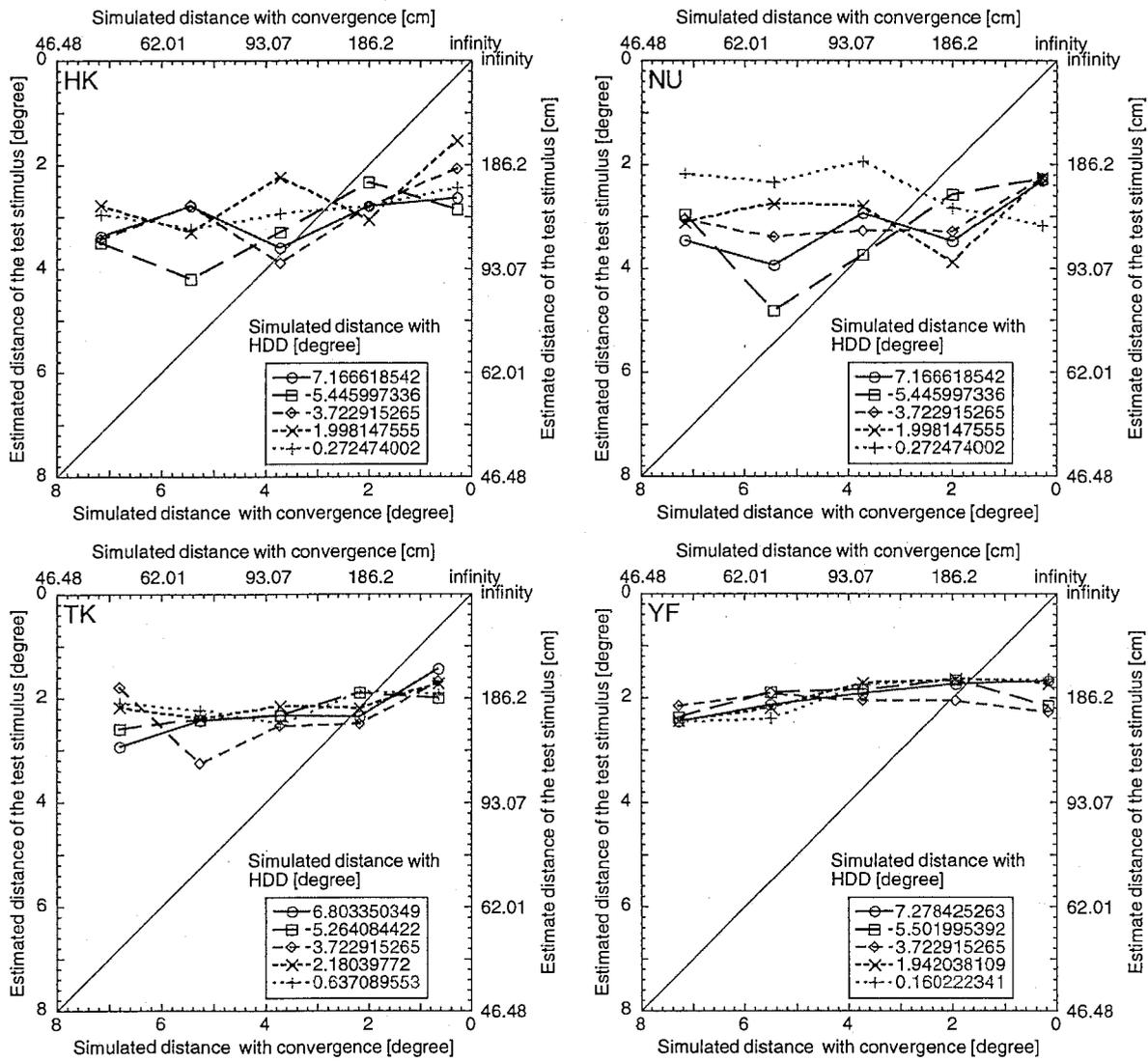


図 C.12: 縦線. 輻輳距離の変化に対する距離応答.

## C.4 考察

図 C.2より、被験者 NU, TK はいずれも使用する角度の範囲が 25 度程度で各点ごとの応答分散も比較的小さかった。被験者 HK は他の被験者に比べて使用する角度の範囲が 15 度程度と小さかった。使用範囲が狭いと雑音の影響を受けやすく、応答範囲がずれた時に換算される距離応答が大幅にずれやすいという問題がある。被験者 YF は使用する角度の範囲が 45 度程度と最も大きかった。しかし、各点ごとの応答分散が非常に大きく、雑音が大きい被験者であった。

図 C.3, C.4, C.5, C.6は視差分布の絶対距離知覚に対する影響を調べた結果である。被験者 YF は輻輳距離と縦視差分布距離、輻輳距離と横視差分布距離を変化させた場合で多少の傾きが見られるもののほとんど傾向は見られなかった。ただそれでも、輻輳距離単独よりも縦視差分布距離または横視差分布距離を合わせた場合の方が傾きが大きくなっていた。(図 C.6)他の被験者については、より右上がりの傾向が見られた。被験者によって輻輳の影響が強かったり(図 C.3)、縦横視差分布の影響が強かったり(図 C.4, C.5)していた。これらの結果は、本研究の実験 2 で考察した通り、視差分布が絶対距離知覚手がかかりとなることを意味していると言えるだろう。本研究中で示した被験者 HK の結果とここで示している被験者 HK の結果が異なっているが、それは本研究中の結果は、光学連合シンポジウムの後に取りなおしたものだからである。

図 C.7では、視覚学会前の実験で示された周辺刺激の影響についてデータ点を増やして調べられている。その結果、周辺刺激の輻輳距離が遠くなるとテスト刺激の距離知覚が近くなるという傾向は変わらなかった。周辺刺激とテスト刺激の輻輳距離が離れ過ぎると影響が小さくなる可能性については、被験者 HK の結果では見ることが出来た。ところが、被験者 TK ではどの線もほぼ直線になっており、視差が大きく(テスト刺激と周辺刺激で輻輳距離の差が大きくなり過ぎるとその影響が小さくなるのかどうかははっきりしていない。被験者 HK の場合には、角度調整法の応答範囲が非常に狭いので、応答限界に達してしまうと傾きが小さくなるという線を捨てることが出来ない。ただ、被験者 HK の感想では、視差が大きくなると周辺刺激が融像出来ないという視差が大きくなると影響が小さくなる可能性を示唆する話もあった。

図 C.8では、テスト刺激と周辺刺激の輻輳距離を視差が輻輳角で一定になるように保ったまま、テスト刺激の距離を変化させている。その結果、ほとんど平行と言っていいような結果が得られた。テスト刺激と周辺刺激の一定の視差は、一定の影響を与えるということが言えるかも知れない。

図 C.9, C.10, C.11, C.12では、横視差分布または縦視差分布が定まらないような刺激で、縦視差分布、横視差分布の影響を調べようとした。その結果、応答はほとんど傾向が見られず、横線または縦線の刺激では距離感が定まらないことがわかった。

また、次のようなことを考えた。

- 縦線、横線の刺激ではテスト刺激が小さ過ぎて支持棒で狙いづらいということが考えられる。テスト刺激をランダムドット刺激の場合と同じように円形にすることで、違った応答が得られるかも知れない。

横線を作るのに用いたガウシアンドットの形状がおかしかったため、斜め線ががたがたになってしまった。それが気になるという報告が被験者 NU からあった。ここまでの刺激ではランダムドット自体の形状がプログラム上の問題から、思うように出来ていなかったという問題もあった。

## 付録 D

# 光学連合シンポジウム後の実験

### D.1 はじめに

ここでは、1996年9月6日から2日間の日程で行なわれた光学連合シンポジウムの後に行なった実験について説明する。ここでは、本研究の実験3に示したような視差分布と同時対比の関係について実験を行なった他、物理距離を変えて同時対比の影響(物理距離100cmの結果は本研究の実験1)や物理距離自身の影響を調べたり、テスト刺激として円形の刺激を用いて、周辺刺激に縦線や横線を使った刺激に対する実験も行なった。

### D.2 刺激

刺激は、視野の中心で直径が視角10度である円形のテスト刺激と、その周辺、視角20度より外側に分布するランダムドットによる周辺刺激で構成されているものと、周辺刺激が縦線または横線のみからなるものを用意した。

図D.1に、実際に実験で用いた刺激の例を示す。ランダムドット刺激は本研究で用いたものである。縦線、横線の刺激は中央部分が区切られており、それをテスト刺激として角度調整法のターゲットとした。

### D.3 結果グラフ

以下に、結果のグラフを示す。同時対比と視差分布の関係のグラフは本研究の実験3に載せてあるので省略する。また、テスト刺激に円形刺激、周辺刺激に縦線または横線を使用した実験の結果は、輻輳の影響が若干大きくなった他は、光学連合シンポジウム前の実験と結果が変わらなかったので省略する。

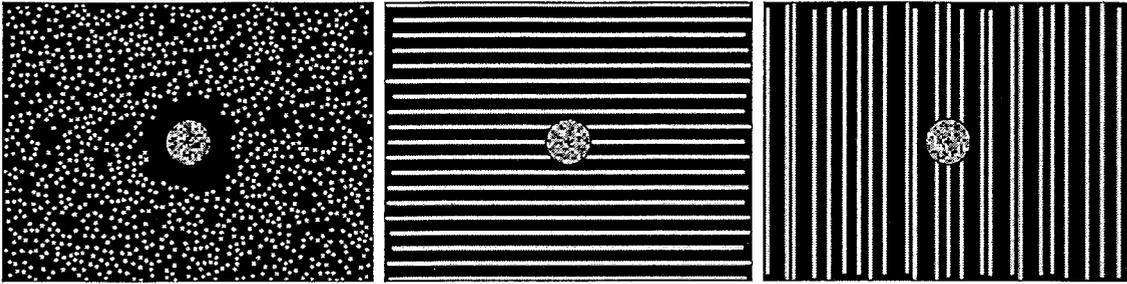


図 D.1: 光学連合シンポジウム後に使用していた刺激の例. 左から, ランダムドット, 横線, 縦線.

まず, 廊下で行なった角度調整法の評価実験の結果を図 D.2に示す. 本実験の結果の解析は, 全てこの評価実験をもとに行なっている. 図 D.3, D.4, D.5に物理距離 100cm と 50cm の絶対距離知覚に対する応答の違いを示す. なお, 図 D.5のグラフは本研究実験1の結果と同じものである. 図 D.3はテスト刺激だけを呈示したもので各人物理距離 50cm と 100cm で比較してあり, 図 D.4は物理距離 50cm, 図 D.5は物理距離 100cm での周辺刺激の同時対比効果を示している.

図 D.6は, 実世界(廊下)で角度調整法と口頭による応答を比較したものである. なお, 角度調整法の評価実験の時に, 各点3回ずつ4点について, 口頭による応答と角度調整法による応答を行なったものである.

角度調整法の評価実験は9回の応答の平均, 角度調整法による応答は8回の応答の平均である. ただし, 角度調整法と口頭による応答の比較では3回の応答の平均をプロットしてある.

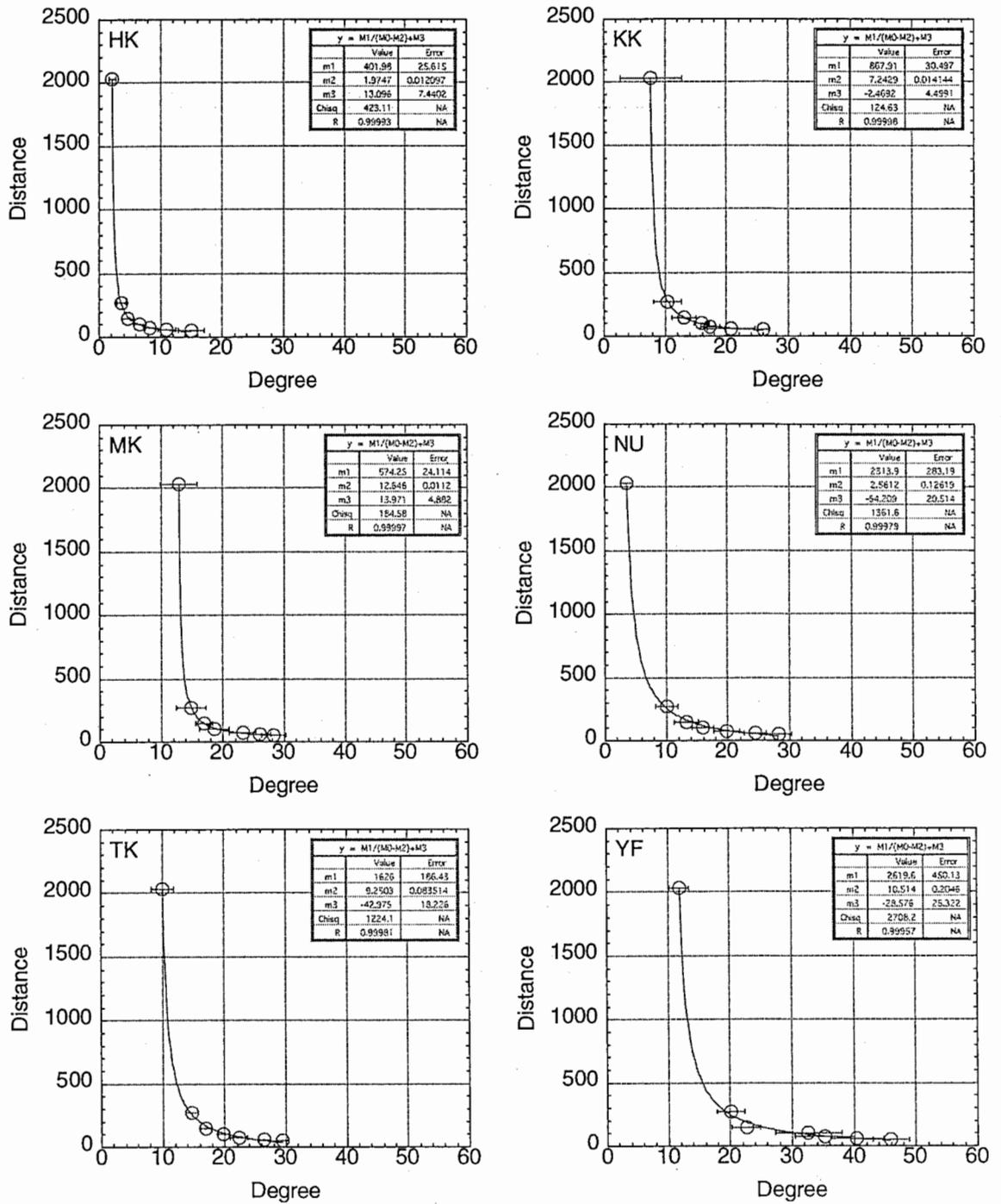


図 D.2: 角度調整法のための評価実験. 横軸が支持棒の角度で, 縦軸が距離となっている.

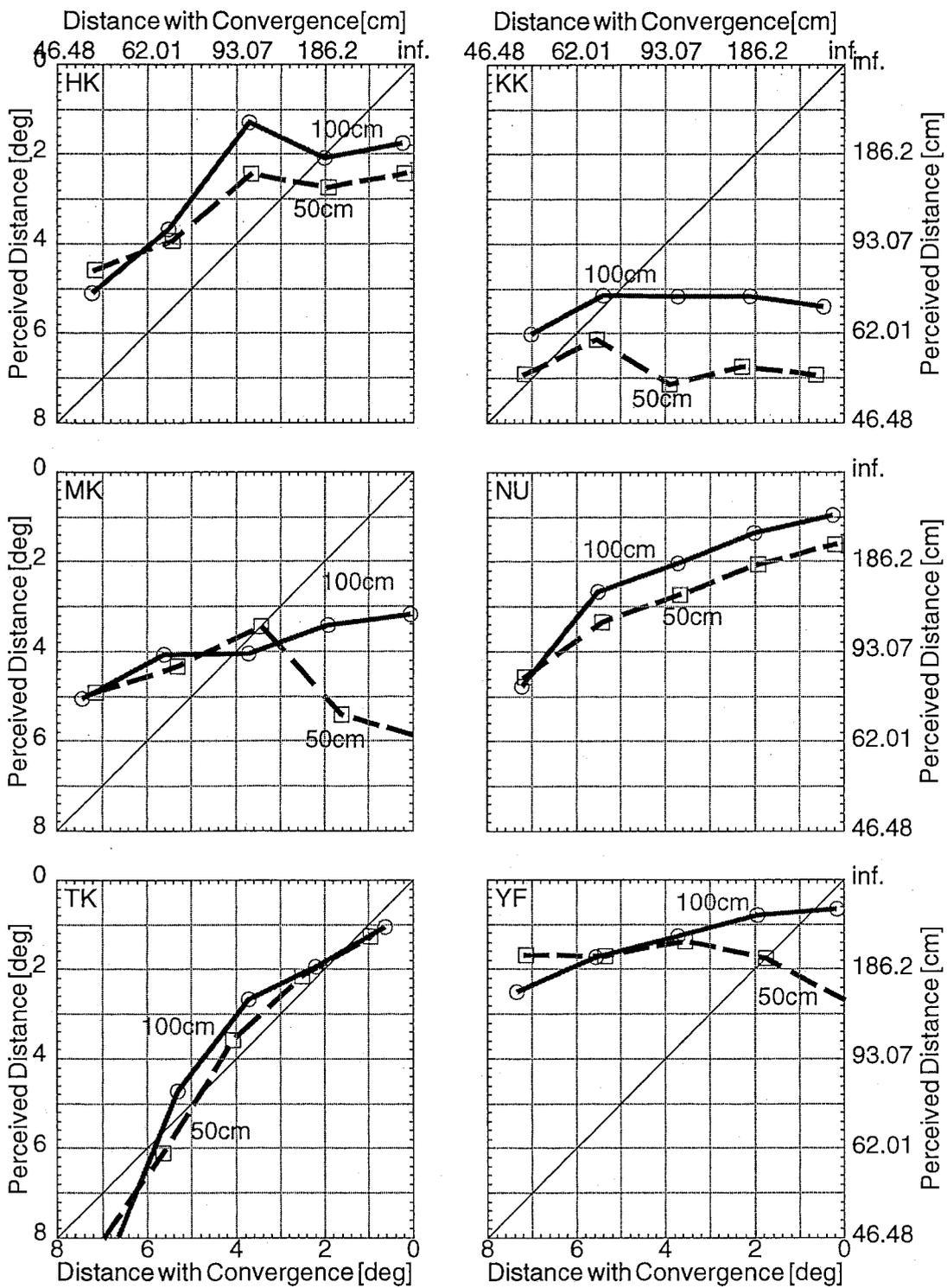


図 D.3: 物理距離 50cm と 100cm の比較. テスト刺激のみ.

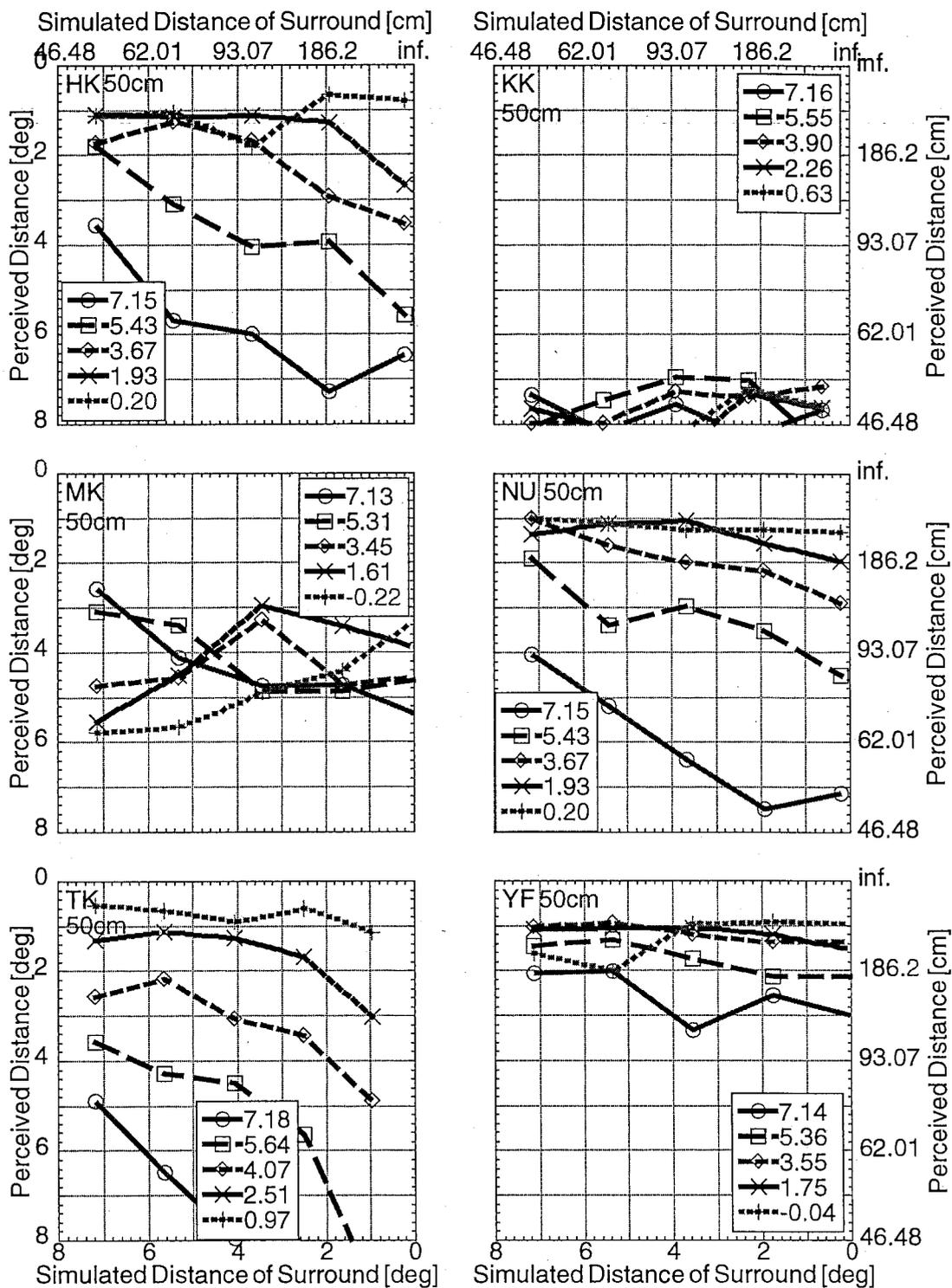


図 D.4: 物理距離 50cm. 同時対比.

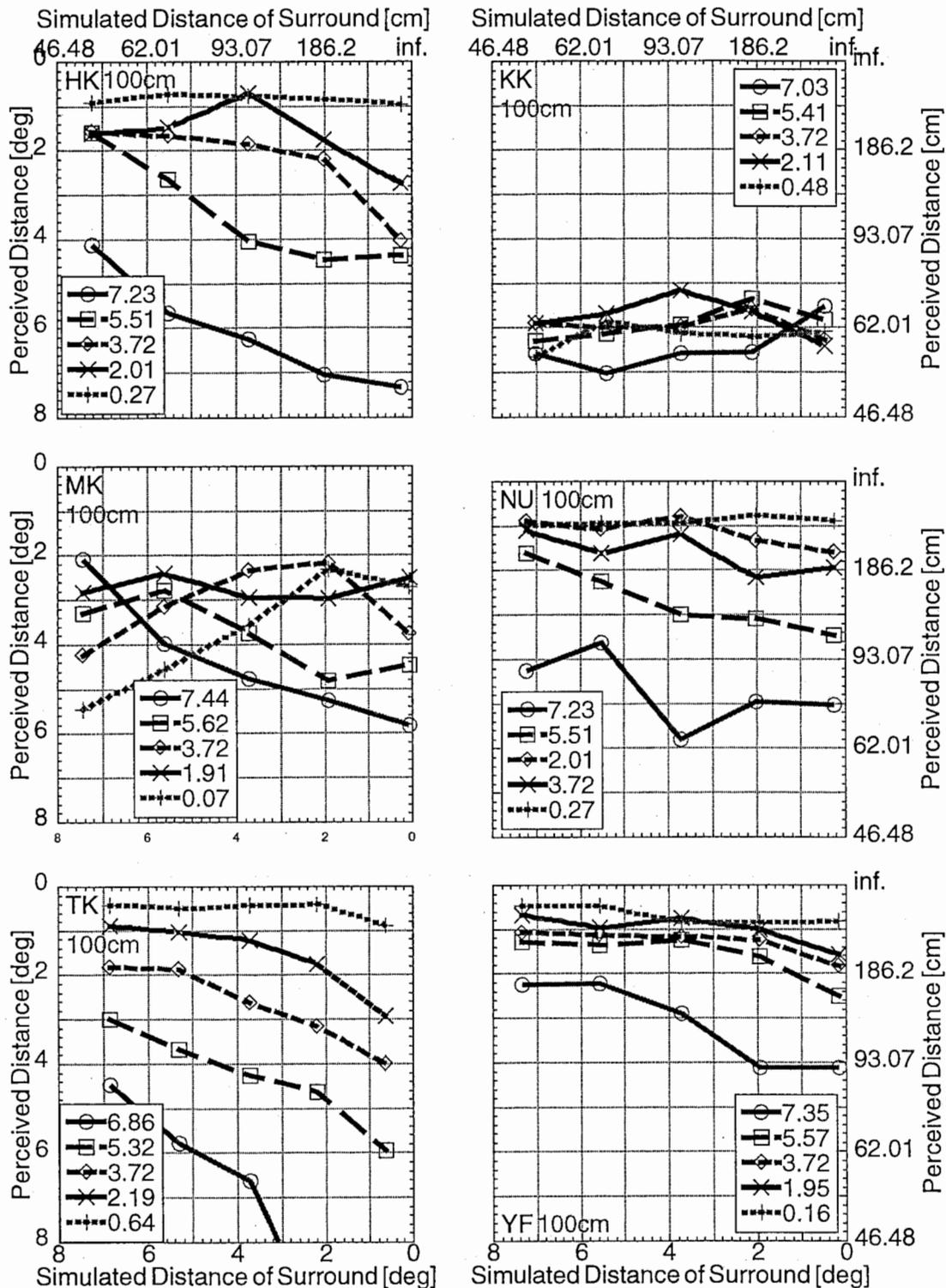


図 D.5: 物理距離 100cm. 同時対比.

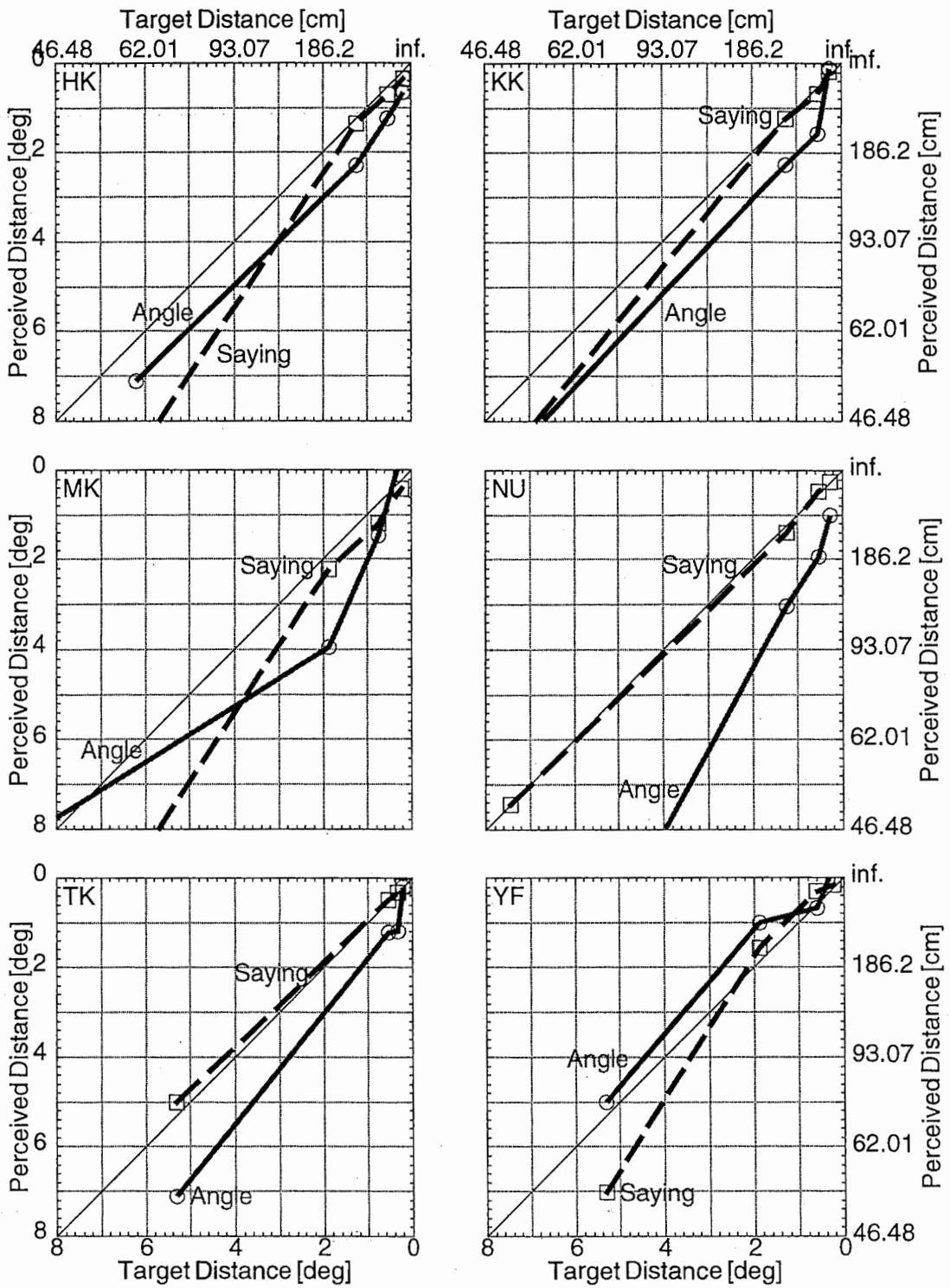


図 D.6: 角度調整法と口頭による応答の比較.

## D.4 考察

図 D.2より、支持棒の使用範囲は被験者 HK が 13 度 (2~15 度) 程度、被験者 KK が 19 度 (7~26 度) 程度、被験者 MK が 15 度 (13~28 度) 程度、被験者 NU が 24 度 (4~28 度) 程度、被験者 TK が 19 度 (10~29 度) 程度、被験者 YF が 34 度 (12~46 度) 程度であった。被験者間での傾向は変わらないが、被験者の応答は別の場合と比較して数度の変化が見られた。被験者 KK と被験者 MK は、使用範囲に比べて、各点ごとの応答分散が非常に大きかった。

物理距離の影響については図 D.3から、50cm と 100cm とでは輻輳距離 100cm 以下 (グラフの中央より左) ではあまり差が出ないようだった。輻輳、視差分布、同時対比いずれでも傾向が見られなかった被験者 KK であるが、ここでは物理距離 50cm と 100cm で有意な差が見られた。また、被験者 MK についても 5% 有意水準で有意差があった。被験者 TK については、物理距離による絶対距離知覚の違いは全く見られなかった。視差分布、同時対比などの手がかりが有効でない被験者に対しては物理距離は大いに有効であるということかもしれない。逆に、被験者 TK は視差分布、同時対比などの視差分布の影響を強く受けるため、物理距離がほとんど有効でないということが言えるかもしれない。

同時対比効果については、図 D.4 と図 D.5 に示す通りだが、被験者 HK, NU, TK, YF については物理距離 50cm でも 100cm でも同時対比効果が見られている。逆に、被験者 KK, MK についてはどちらの物理距離でも、同時対比効果は見られなかった。ただ、被験者 MK は変わった傾向を示しているようにも見える。それは、テスト刺激の輻輳距離が 100cm 以下の時には同時対比効果が、100cm 以上の時には、周辺刺激に引っ張られるような効果が見られる。これは、立体視や視差処理の個人差によるものとも考えることも出来、被験者 MK に見られるような処理が存在している可能性を示唆している。

図 D.6 は、実世界での角度調整法と口頭による応答の比較をしたものである。どちらもほとんど同じ傾向を示していると言えるが、より近い距離を示す時に角度調整法のばらつきが大きいように見える。この結果では、広い範囲の応答 (特に遠距離) が得られていることから、やはり実験条件では遠距離を知覚することが困難であるのかも知れない。