

NAIST-IS-DT9861019

博士論文

面の傾き知覚決定機構に関する研究

福永 克己

2001年6月13日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報処理学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科において
博士(工学)授与の要件として提出された博士論文である。

提出者： 福永 克己

審査委員： 千原 國宏 教授
湊小太郎教授
石井信教授
川人光男教授

面の傾き知覚決定機構に関する研究*

福永 克己

内容梗概

人間は、面の傾きを知覚する際に水平視差、垂直視差、遠近法情報などの様々な手がかりを利用する。しかし、それぞれの情報がどのように処理されその他の情報と統合されているのかは明らかでない。特に、垂直大きさ視差と面の傾きの定量的な関係、情報の統合過程の定量的な性質については明確でない。そこで、本研究ではこれらを調べることを目的とした。

本論文では、まず垂直大きさ視差の性質を調べるため、その分布を様々な変化させたときに知覚される面の傾きを測定した。その結果、その統合範囲は水平方向に約6度、鉛直方向に約24度の縦長の領域内の垂直視差が統合された量が、面の傾き量と対応することが明らかになった。また、垂直大きさ視差と水平大きさ視差による面の傾き知覚における脳活動をMEGを用いて探った。すると、水平視差、垂直視差ともその検出、処理は脳内のほぼ同じ部位で行なわれるが、垂直視差処理は若干の遅れがあり、その遅れは、心理物理実験に見られる垂直視差による傾き知覚の遅れと相関があることが示唆された。

次に、垂直大きさ視差と水平視差の統合による面の傾き知覚を調べたところ、それぞれの視差情報による傾きがほぼ線形に足し合わされて、知覚される傾きが決まることがわかった。また、面の傾き知覚の際に視差情報と遠近法情報の統合の際に使われる重みが、刺激の種類によってどう変化するのか

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士論文, NAIST-IS-DT9861019, 2001年6月13日.

を調べた。その結果、視差情報が示す傾きと遠近法情報が示す傾きの差の絶対値が大きくなるにつれ、遠近法情報の重みが増すことが明らかになった。

以上の実験結果から、水平視差、垂直視差、遠近法情報の三つの情報による面の傾き知覚決定機構に関するモデルを提案する。

キーワード

立体視, 面の傾き, 手がかり統合, 垂直視差, MEG

Study on the mechanism for the perception of the surface slant*

Yoshiki Fukunaga

Abstract

For the perception of the surface slant, we use many cues - horizontal disparity, vertical disparity, and perspective cues. However, it's not clear how we process and integrate each cues. Especially it's not also clear the quantity relationships between vertical-size disparity and surface slants and quantity properties of cue integration processing. We aimed to investigate them in this study.

In this paper, at first to investigate the properties of vertical-size disparity, we measured the perceived slant when the its distribution is varied. The results show the vertical disparities extracted within the 6-degrees-wide and 24-degrees-high portrait region are integrated, and correspond to the magnitude of surface slant. Second, we used MEG to measure the brain activity when we perceived surface slant by the vertical- or horizontal-size disparity. The results indicated although horizontal and vertical disparity detect or process in the same region, there is the correlation between the delay of vertical disparity processing and that of the slant perception by vertical disparity, that we observed in the psychophysical experiment.

Next, researching the perception of surface slant by the integration of vertical- and horizontal-size disparity, we discover the magnitude of perceived slant is almost the linear sum of the slants by each cue.

*Doctoral Dissertation, Department of Information Processing, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DT9861019, June 13, 2001.

We investigate how the weights used when we integrate between disparity and perspective cues for the surface slant are varied by the stimulus types. The results shows weight of the perspective cues is increased, as the absolute value of the difference between the slant by disparity and that by perspective cues is increased.

Finally, we propose the model for the perception of the surface slant by the three informations - horizontal disparity, vertical disparity, and perspective cues.

Keywords:

stereopsis, surface slant, vertical disparity, cue integration, MEG

目次

1	序論	1
1.1	はじめに	2
1.2	様々な奥行き情報	2
1.2.1	水平視差と垂直視差情報	2
1.2.2	遠近法情報	6
1.3	奥行き情報統合モデル	6
1.4	本研究の目的	7
2	視差情報による面の傾き	9
2.1	方法	10
2.1.1	刺激	10
2.1.2	刺激呈示装置	11
2.1.3	応答方法および応答装置	11
2.1.4	手続き	15
2.2	傾いた平面を生む一様な大きさ視差	16
2.2.1	はじめに	16
2.2.2	刺激と方法	16
2.2.3	実験結果	17
2.2.4	考察	20
2.3	垂直大きさ視差を水平方向に正弦波変化させたときの面の傾き	21
2.3.1	刺激	21

目次

2.3.2	方法	21
2.3.3	結果及び考察	22
2.4	垂直大きさ視差を鉛直方向に正弦波変化させたときの面の傾き	26
2.4.1	刺激	26
2.4.2	方法	28
2.4.3	結果及び考察	28
2.5	実験2—最大視差, 周波数特性	34
2.5.1	はじめに	34
2.5.2	刺激と方法	34
2.5.3	結果及び考察	35
2.6	水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚モデル	38
2.7	実験3 水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における 脳磁場応答	39
2.7.1	はじめに	39
2.7.2	方法	39
2.7.3	結果及び考察	43
3	奥行き情報の統合による面の傾き	51
3.1	垂直大きさ視差と水平視差の統合による面の傾き	52
3.1.1	はじめに	52
3.1.2	刺激	52
3.1.3	結果	54
3.1.4	考察	54
3.2	両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き	56
3.2.1	方法	56
3.2.2	結果	61
3.2.3	考察	62
3.3	両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾きへの順応の 効果	68

目次

3.3.1	はじめに	68
3.3.2	実験	70
4	総合的考察	77
4.1	視差による面の傾き	78
4.1.1	垂直大きさ視差の統合範囲	78
4.1.2	垂直大きさ視差処理システムの利点	80
4.2	今後の課題	80
5	結論	83
	謝辞	85
	参考文献	87
A	予備実験—角度応答法の精度	I
A.1	目的	I
A.2	装置	I
A.3	手続き	III
A.4	実験結果	III
	筆者研究業績	V

目次

図一覽

1.1	視差パターンと知覚される面	3
2.1	刺激	10
2.2	刺激呈示装置	12
2.3	応答風景	13
2.4	角度応答器	14
2.5	一様な垂直大きさ視差	18
2.6	一様な水平大きさ視差	19
2.7	実験 1-a で用いられた刺激の視差の分布 (a) と知覚された面の 模式図 (b). 横軸は画面上での X 座標, 縦軸は画面上での Y 座 標, 矢印の始点は左眼像の位置, 終点は右眼像の位置, 点線は 視差がゼロの点の位置を示す.	22
2.8	実験 1-a の結果 [Md=20(arc min),Px=90(deg)]. 各グラフの横軸 は画面上での X 座標, 縦軸は固視点上で知覚された局所的な 面の傾き, 左肩の数字は水平方向の周波数 Fx(cpd), 誤差棒は 標準誤差, 点線 (縦線) は視差がゼロの点の位置を表す. こ こで, 正の場合は知覚された面が右方向を向いていること (右 側が奥), 負の場合は知覚された面が左方向を向いていること (右側が手前) を表す.	24
2.9	実験 1-a の結果 [Md=20(arc min),Px=-90(deg)]. 他は図 2.6 と同 様.	25

図一覧

2.10 実験 1-b で用いられた刺激の視差の分布 (a) と知覚された面の 模式図 (b). 他は図 2.5 と同様.	27
2.11 実験 1-b の結果 [Md= 6 (arc min),Px=90(deg)]. 各グラフの縦軸 は画面上での Y 座標, 横軸は固視点上で知覚された局所的な面 の傾き, 左肩の数字は鉛直方向の周波数 $F_y(\text{cpd})$, 誤差棒は標 準誤差, 点線 (横線) は視差がゼロの点の位置を表す. 図 2.5 と同様に, 正の場合は知覚された面が右方向を向いていること (右側が奥), 負の場合は知覚された面が左方向を向いている こと (右側が手前) を表す.	29
2.12 実験 1-b の結果 [Md= 6 (arc min),Px=-90(deg)]. 他は図 2.6 と同 様.	30
2.13 実験 1-b の結果 [Md=20(arc min),Px=90(deg)]. 他は図 2.6 と同 様.	31
2.14 実験 1-b の結果 [Md=20(arc min),Px=-90(deg)]. 他は図 2.6 と同 様.	32
2.15 実験 1-b の結果 [Md=60(arc min),Px= ± 90(deg)]. 左段が Px =90 の時, 右段が Px =-90 の時で他は図 2.6 と同様.	33
2.16 水平方向の周波数特性	36
2.17 鉛直方向の周波数特性	37
2.18 水平方向に統合範囲を変化	40
2.19 鉛直方向に統合範囲を変化	41
2.20 視覚野	42
2.21 全視野刺激	42
2.22 右半視野刺激	43
2.23 ダイポール解析結果 (HK)	44
2.24 全チャンネルのパワー平均	45
2.25 等磁場図	46
2.26 ダイポール解析結果 (HK)	47
2.27 ダイポール解析結果 (NG)	48

図一覧

2.28	ダイポール解析結果 (YF)	49
2.29	ダイポール解析結果 (NG)	50
3.1	足し合わせ	53
3.2	Effective Horizontal Disparity	55
3.3	刺激	58
3.4	知覚した傾き	61
3.5	線形モデルから求められた重み	66
3.6	線形モデルを用いたときの誤差	67
3.7	非線形モデルで決定される遠近法情報の相対的な重み	69
3.8	実験 3a で用いた順応刺激 (枠無し)	71
3.9	実験 3b で用いた順応刺激 (枠有り)	72
3.10	実験 3a,3b のテスト刺激	72
3.11	実験 3a の結果	73
3.12	実験 3b の結果	74
3.13	実験 3a,b の結果	74
3.14	予備実験の結果	75
3.15	予備実験のテスト刺激	75
A.1	角度呈示器	II
A.2	角度応答法の精度	IV

圖一覽

表一覽

2.1	実験 3 a の刺激条件	17
2.2	実験 1 a の刺激条件	23
2.3	実験 1 b の刺激条件	27
2.4	実験 2 の刺激条件	35
3.1	実験 1 の刺激条件	52
3.2	奥行き情報の主効果とそれらの交互作用	62
3.3	重みの刺激構成や情報の差に対する主効果と交互作用	68

表一覽

第 1 章

序論

本論文は垂直大きさ視差と水平視差を持つ刺激から知覚される面の傾きを予測するモデルを提案し、その妥当性を検討することを目的とする。本章では本研究の背景、目的および構成について述べる。

第1章 序論

1.1 はじめに

現在開発されている立体テレビは、臨場感が不十分であり、眼精疲労の原因となったりと様々な問題を抱えている。これは、観察者が幾何学的に単純な立体視メカニズムを持つロボットではなく、より複雑な未知の立体視モデルを持つ人間であることがあまり意識されていないことが一因であると考えられる。そこで、人間の視覚特性を調べることにより、より臨場感のある人に優しい立体画像の可能性を探ることが必要である。

既存の両眼融合方式の立体画像では、主に水平視差（網膜上での左目像と右目像の水平方向のずれ）のみを利用して奥行き感を与えている。そのため、普通のテレビ程度の画角（視覚20度以下）では、その効果が明確に観察されない垂直視差（鉛直方向のずれ）はあまり注目されていなかった。しかし近年、マルチメディア時代の要素技術の一つである大画面ディスプレイが開発されたため、垂直視差も奥行き知覚に影響を与えることが注目され始めている。そこで、垂直視差の性質を調べて利用することにより、立体画像の臨場感の向上が期待できる。

1.2 様々な奥行き情報

人間は、複数の手がかりによる情報を統合して奥行きを知覚する。その手がかりとして、両眼視差 (binocular disparity)、遠近法情報 (perspective cues)、運動視差 (motion parallax)、動眼的情報 (oculomotor cues) 他にも色、陰影、重なりなどが挙げられる。以下に、本研究に関連する両眼視差と遠近法情報について詳しく述べる。

1.2.1 水平視差と垂直視差情報

両眼視差とは、左右眼が水平方向に異なる位置にあることにより生じる網膜像差のことである。そして鉛直軸周りに傾いている平面は、水平大きさ視差1.1を作り出す。水平大きさ視差とは、左右眼に呈示される二枚の画像の

1.2. 様々な奥行き情報

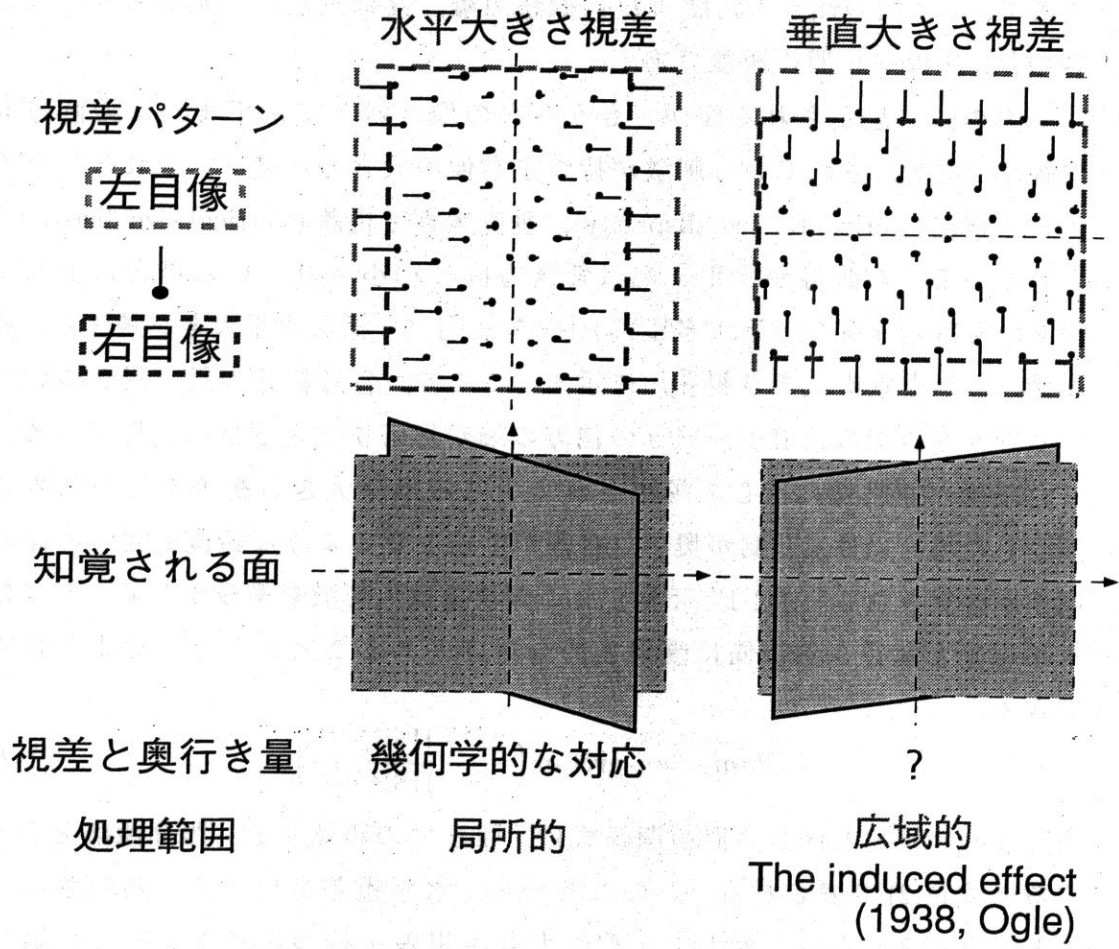


図 1.1 視差パターンと知覚される面

第1章 序論

一方が、もう一方に対して、水平方向に圧縮されている場合にその刺激が持つ視差のパターンである。水平大きさ視差と面の傾きの幾何学的な関係は以下に示すとおりである。

$$\tan\theta = \frac{2D R - 1}{I R + 1} \quad (1.1)$$

ここで、 θ は面の傾きの角度、 D は観察距離、 R は左右像の水平方向の大きさの比、 I は両眼間の距離である。

一方の眼に呈示される像が、もう一方の像に対して水平または鉛直方向に縮小（拡大）されている刺激が持つ左右像の大きさの差は、それぞれ水平大きさ視差 (Horizontal-size disparity)、垂直大きさ視差 (Vertical-size disparity) と呼ばれる。右眼像が水平または鉛直方向に縮小されている場合に生じる個々の視差の分布を、それぞれ図 1.1の左上図（一様な水平大きさ視差）、右上図（一様な垂直大きさ視差）に示す。ここで、各短線分の黒い円がついている端が右眼像の位置で、線分の方の端が対応する左眼像の位置である。

右眼像が左眼像に対して縮小されて生じる水平大きさ視差を持つ刺激を観察した場合には、左側が奥で、右側が手前となるような鉛直軸回りの面の傾きが知覚される（図 1.1左下図）。この現象は、刺激を構成する個々の点の水平視差と奥行き量の間で幾何学的な対応があることからその意味が説明できる。

$$\text{Slant}_h = -\arctan\left(\frac{2D}{I} \cdot \frac{\text{HSR} - 1}{\text{HSR} + 1}\right) \quad (1.2)$$

両眼像の水平比と傾きとの関係式は、面までの距離を D 、眼間距離を I とすると式 (1.2) で表される。このことから、水平視差は局所的に処理されることがわかる。それに対して、垂直大きさ視差を持つ刺激を観察した場合も、鉛直軸回りの面の傾きが知覚される。しかし、水平大きさ視差の場合と異なり、右眼像が縮小された場合には、左側が手前で、右側が奥となるような傾きが知覚される（図 1.1右下図）。そして、個々の点の垂直視差と奥行き量の間で幾何学的な対応がとれない。

垂直視差を初めて発見したのは Lippincott [12] であり、初めて定量的に研究したのは [14, 15] である。しかし、垂直大きさ視差によって面の傾きが生

1.2. 様々な奥行き情報

じることを否定する研究もあった [2,23]. Kanekoら [10] は, 垂直大きさ視差によって生み出される面の傾きは, 刺激サイズが小さくなったり, 視差を持たない周辺刺激が存在したりすることによって減少することを示し, 過去の研究結果の矛盾が刺激の空間的形状によることを明らかにし, 垂直大きさ視差が確かに知覚的面の傾きを生み出すことを示した.

垂直大きさ視差と水平大きさ視差は異なる処理過程を持つと考えられる. 例えば, 刺激サイズが視角 80 度の時, 垂直大きさ視差によって生じる知覚される面の傾き量は, 水平大きさ視差によって生じる傾き量の 70% である [16]. また, 水平視差は 3 cycle/deg の視差変調まで個々の視差に対応した奥行きが知覚される [17,20-22] のに対し, 垂直視差はある領域内で垂直大きさ視差を構成してはじめて奥行き知覚に影響を与える. 画面上で視差がないドットと視差を持つドットが混ざった刺激を観察した場合, 水平視差の場合は傾いた面と平らな面の 2 枚が知覚されるが, 垂直大きさ視差の場合は 1 枚の傾いた面しか知覚されない [1,10,19]. このことは垂直視差が個々の点で処理されているのではなく, 視野の広い範囲から抽出された垂直大きさ視差が, 広い範囲の奥行き知覚に影響していることを示している.

垂直大きさ視差の統合範囲の上限に関して次のような報告がなされている. Rogersら [18] と Kanekoら [10] は視野の左右に, 符号が逆の垂直大きさ視差を与え, それぞれの部分にその場所の周囲の垂直大きさ視差に対応した面の傾きが観察されることを報告した. また, Kanekoら [7,9] は, 垂直大きさ視差が水平方向に正弦波状に変化する刺激を用い, 視差の変化の周波数が 0.04cpd より低い場合に傾きが知覚されることを報告した. これらのことから, 垂直大きさ視差が抽出されるのは視野全体ではなく, 水平方向に限定された領域であることが示唆される.

以上のようにこれまでの研究から, ある領域中の垂直大きさ視差が面の知覚的形状に寄与することがわかっている. しかし, 垂直大きさ視差の統合がどれくらいの範囲でどのように行われているのかは明確ではない. 特に, 水平方向に関しては垂直大きさ視差の統合範囲が推定されているが [10], 垂直方向に関しては調べられていない. また, 垂直大きさ視差を持つ刺激の個々

第1章 序論

の場所における局所的な傾きを定量的に測定した研究も報告されていない。そこで本研究では、水平方向および垂直方向に変調された垂直大きさ視差を持つ刺激に対して、個々の場所で知覚される局所的な面の傾きを定量的に測定することにより、面の傾き知覚のための垂直視差処理過程の空間特性を詳しく調べ、水平のみならず垂直方向の垂直大きさ視差の統合範囲を探ることを目的とした。

1.2.2 遠近法情報

遠近法情報は絵画的情報とも言われ、単眼情報の中では代表的なものの一つであり、以下の4つに大別される。鉛直（水平）軸に対する面の傾きが増すにつれて、1) その面上の水平（垂直）線の像が短くなる縮約 (foreshortening), 2) その面上の平行水平（垂直）線の像が面の遠い方で先細る線遠近法 (linear perspective), 3) その面の構成要素の像が面の遠い方で小さくなり密集する肌理の勾配 (texture gradient), 4) 構成要素の像が持つアスペクト比の変化 (例えば円から楕円への変化) である細部遠近法 (aspect-ratio perspective) である。線遠近法の方が縮約より精度が高く、縮約に線遠近法を加えても精度は変わらないと言われている (Gillam, 1968)。

1.3 奥行き情報統合モデル

このように奥行きを決定するための手がかりは多数あるが、必ずしも全ての手がかりによる情報が同一の奥行きを示しているわけではなく矛盾する場合がある。例えば、水平視差情報は左右眼の網膜に写った像を比較することにより定まる相対的な情報であるため、眼球位置（水平または垂直輻輳位置、回旋位置）が明らかでないと求められない。しかし、人間の眼球位置を知るためのセンサーは視差検出の精度と比較にならないほど劣るため、垂直視差により眼球位置や絶対距離を計算し、それに基づいて水平視差を補正していると考えられている。他の統合の例を挙げる。運動視差と水平視差情報の統合は、線形モデルで説明できる。他にも奥行き手がかりの統合の種類

1.4. 本研究の目的

がある。

また、風景写真において遠近法情報は3次元構造を表しているにも関わらず、視差情報は平面(2次元)であること示している。しかし、このような場合でも適当な立体感を感じることができる。さらに片目で見ると立体感が増すことは容易に体験できるであろう。さらに、近距離に対象がある場合は視差情報を、遠距離に対象がある場合は相対的に遠近法情報を重視することも経験的に明らかであろう。このように、矛盾した情報をその時々に応じて統合していることがわかる。しかし、実際にどのように手がかりを統合して奥行きを決定しているのだろうか。どちらかの情報を選択的に使うのではなく、線形和で足し合わされているというモデルがある(someone2, year)。奥行き手がかりが統合されて面の傾きを説明するための最も単純なモデルとして、線形モデルが挙げられる。しかし、2つの情報の差が大きくなるにつれ、線形モデルが成り立たなくなる傾向が見られる。

1.4 本研究の目的

以上のようにこれまでの研究から、ある領域に広がる垂直視差から、垂直大きさ視差量が決定され、面の知覚的形状に寄与することがわかっている。しかし、垂直大きさ視差の統合がどれくらいの範囲でどのように行われているのか、そして、垂直大きさ視差が水平視差と足し合わされた場合、どのような効果を及ぼし合うのかについては明確ではない。

そこで本研究では、垂直大きさ視差と水平視差を持つ刺激の知覚的奥行き形状を定量的に調べ、それらの視差と知覚の関係を説明するモデルを提案することを目的とした。そして、このような人間の視差処理過程の特性を調べることにより、より臨場感のある人に優しい立体画像の作成に役立つ基礎データを提供することを長期的な目標とする。

第 1 章 序論

第 2 章

視差情報による面の傾き

実験 1 -a では，垂直視差の分布を水平方向に正弦波変化させて，知覚される面の傾きを水平線上で調べた [8]。また，実験 1-b では，垂直視差の分布を鉛直方向に正弦波変化させて，知覚される面の傾きを鉛直線上で調べた。実験 2 では垂直視差の分布の水平，鉛直方向の周波数，最大視差量を様々に設定した時の，画面の中心点（固視点）での面の傾きを調べた [3,4]。

第2章 視差情報による面の傾き

2.1 方法

本研究の実験では、視野内の垂直大きさ視差が二次元的に正弦波変化する刺激を用い、その刺激の局所的な面の傾きの知覚を測定することにより、垂直大きさ視差と面の傾き知覚の関係を定量的に調べた。ここでは、全ての実験に共通する、刺激の様相、刺激呈示装置、応答方法、応答装置、手続きについて記す。

2.1.1 刺激

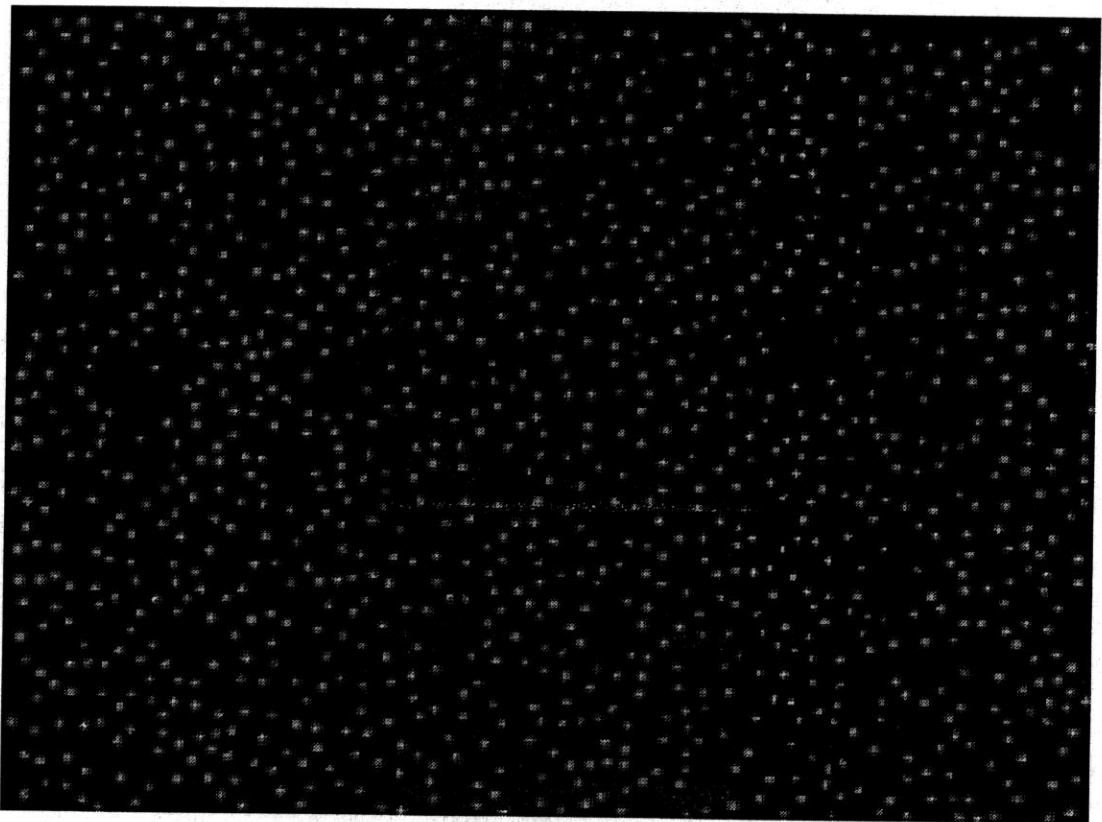


図 2.1 刺激

図 2.1に、本実験で用いた刺激の概形を示す。刺激は、左右眼像用の2枚の画像からなるステレオグラムであり、暗黒の背景上に様々な視差を持った白

2.1. 方法

色の円形のドットと、中心にある固視点で構成されていた。画像は縦1,022画素、横1,838画素で構成され、各画素は256階調のグレイスケールで表現されていた。各ドットは、直径1.03度(18.0mm)であり、固視点やドット同士が重なり合わないようランダムに配置されていた。各ドットの位置は本来1画素以下の精度で変えることはできないが、中心を最大輝度(20cd/m²)とするガウス状の輝度分布を持たせたため位置を変えずに輝度に変化を持たせることにより、その位置を模擬的に1/100画素単位(視角2.83秒、画面上の距離0.0137mmに相当)で制御できた。また、画面中央に、固視点として、他のドットより小さく一様な輝度(20 cd/m²)、直径20.6分の白いドット(6.0mm)を呈示した。一つの刺激中にドットの数最大5,700個あった。

2.1.2 刺激呈示装置

ステレオグラムの作成と実験の制御にはパソコン(Power Macintosh 9500/150)を用いた。左右眼用の2枚の画像は、2台のプロジェクションモニタ(SANYO Hi-Vision LCD PROJECTOR HVP-100)で、リヤスクリーンの縦70.0度(1.40m)、横101度(2.43m)の範囲に偏光フィルターを通してそれぞれ投影された(図2.2)。被験者は、呈示した2枚の画像を左右眼に分離するため偏光フィルターを用いてこの刺激を観察した。視距離は1mであった。被験者にはスクリーン枠を含めて刺激以外のものが見えないように、装置の周辺を暗幕で囲い、暗室で実験を行った。

2.1.3 応答方法および応答装置

面の傾きを応答するには、Gauge figure法[11]や、経時比較法などがあるが、これらの応答法は、測定対象の刺激以外の画像が呈示されるため、調べたい刺激の見えが影響を受ける可能性がある。そこで、本研究では、被験者は視覚情報を使わず指示棒の角度を手で調節する角度応答法[6,10](図2.3)を用いて、知覚される面の傾き角度を応答した。

角度応答に用いた角度応答器(図2.4)には、水平の指示棒がその一端を

第2章 視差情報による面の傾き



図 2.2 刺激呈示装置

2.1. 方法

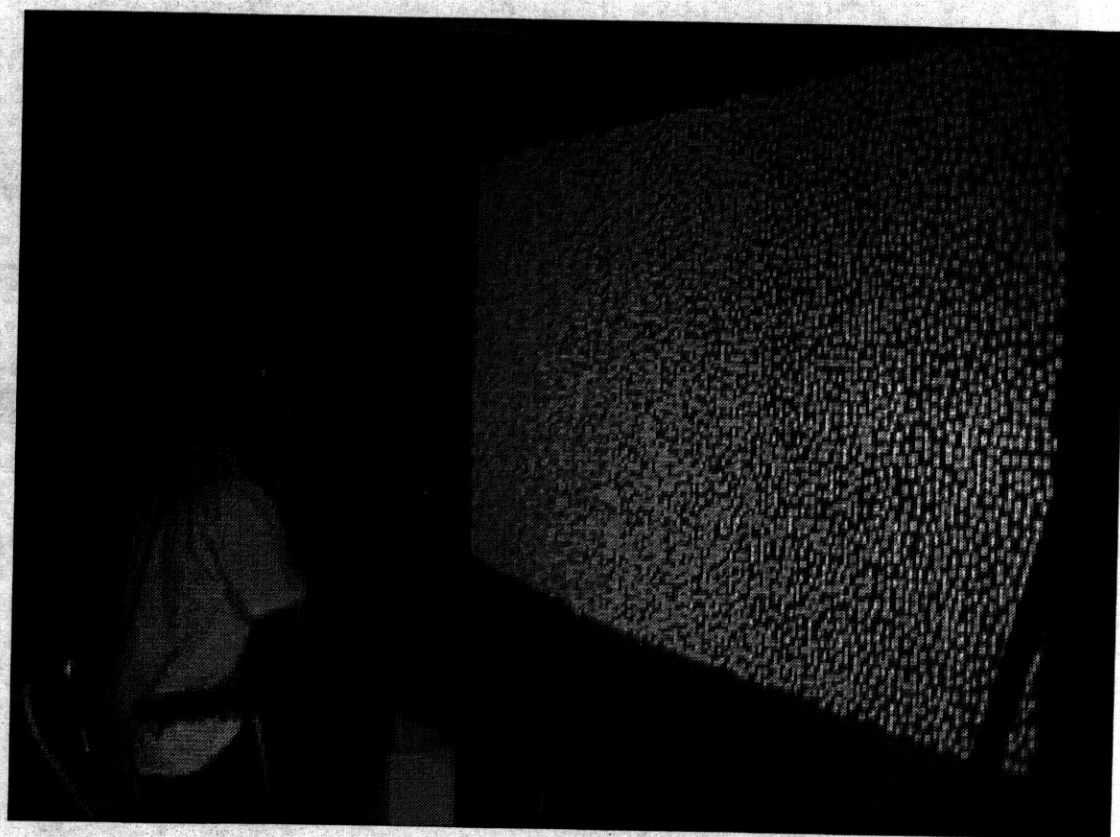


图 2.3 应答風景

第2章 視差情報による面の傾き

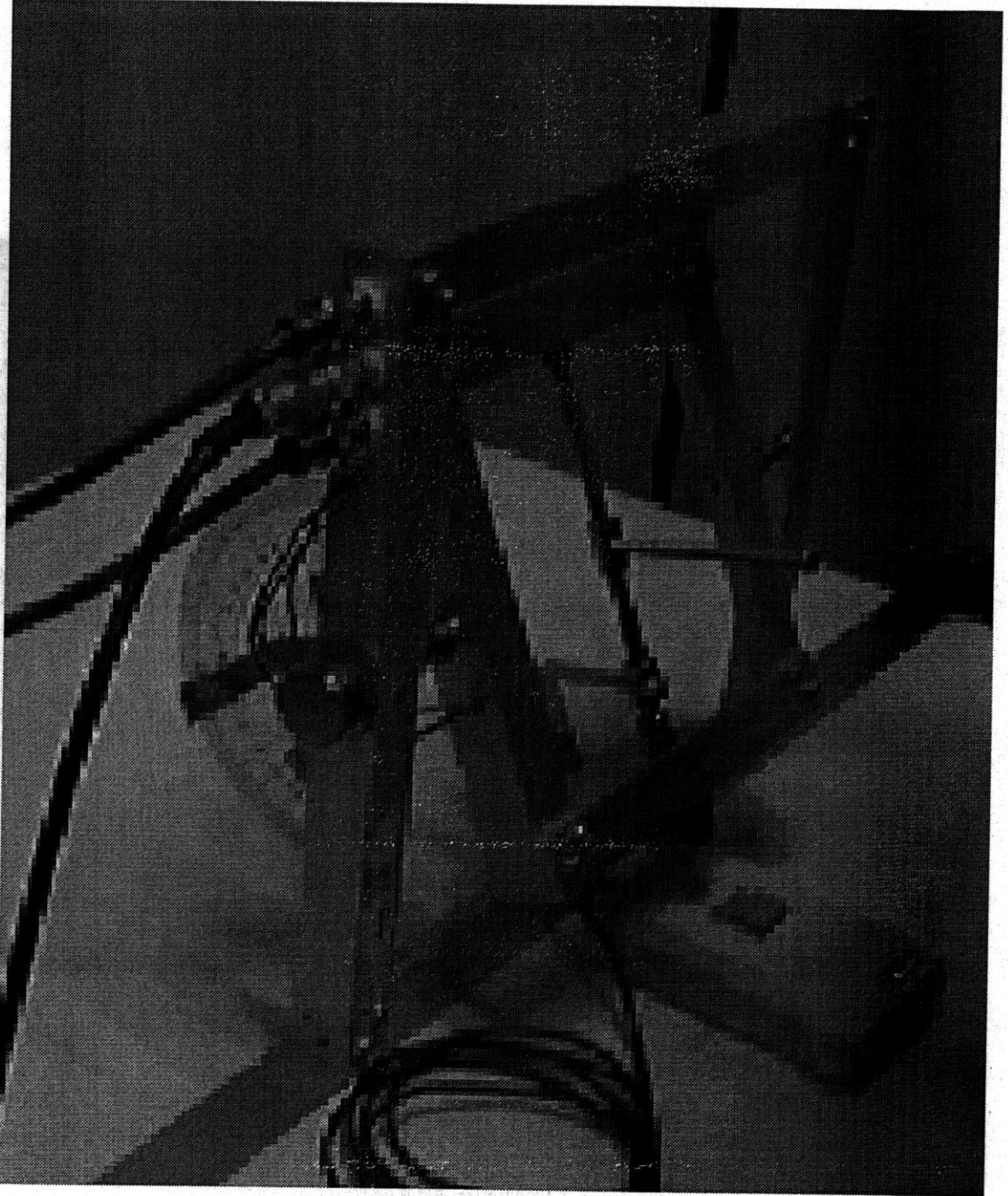


図 2.4 角度応答器

2.1. 方法

中心に鉛直軸のまわりに回転できるように取り付けられていた。そして、指示棒は鉛直軸に対して±70度まで自由に傾けられた。この装置は黒い布で覆われ被験者からは観察されなかった。ここで、指示棒を画面に対して垂直にしたときを0度とし、これに対して左に傾けた場合を負の傾き（知覚される面は左が奥で右が手前の場合）、右に傾けた場合を正の傾き（知覚される面は左が手前で右が奥の場合）とした。指示棒の傾きが0度になると引っかかりが感じられるように作られていたので、被験者はそれを手がかりとして使い、0度からの相対的な傾きであることを考慮して応答した。装置は、刺激の観察を妨げないように被験者の視線と刺激の中心を結ぶ線分の下方約30cm辺りに固定された。本実験で用いた応答法は、他の視覚刺激による本刺激の知覚への影響はないが、視覚情報を触覚情報に変換して応答するため、その変換に伴って生じる誤差（絶対量の増減、再現性）を考慮しなければならない。そこで、被験者毎に実際の対象物を観察した時の対象物の角度と今回の方法により得られた触覚による角度の関数を求め、それにしたがって得られたデータを補正した注).

2.1.4 手続き

実験において、被験者は椅子に座って顎台で頭部を固定した状態で刺激を観察した。このとき被験者の眼の位置を、刺激の中心と同じ高さ(床から1.42m)になるように調整した。被験者は刺激が呈示されると、画面中央あるいは指定された点における局所的な面の法線方向の角度に、指示棒の角度が一致するように調節した。注視位置が変わることにより見かけの傾きが変化する可能性があるが、それらは量的な変化であり、傾きの方向、傾き量の相対的な関係は変化がないと考えられ、本実験の目的に対してこの方法を用いることは特に問題ないと思われる。調節時間は無制限であったが、通常5秒程で調節を完了した。この際、融像できない場合や、面が知覚できない場合は、その旨を応答した。応答後、被験者は指示棒を0度に戻してから、次の刺激に備えた。刺激の呈示が完了すると電子音となり、被験者に応答入

第2章 視差情報による面の傾き

力待ち状態であることを知らせた。同様の手順で全ての刺激に対して面の傾きを応答した。

2.2 傾いた平面を生む一様な大きさ視差

2.2.1 はじめに

垂直大きさ視差量を決定する際に統合される垂直視差の統合範囲が推定された。しかし、その範囲内で、垂直視差はどのように統合され、垂直大きさ視差が決定されているのであろうか。そこで、実験3では視差の分布を変化させずに、刺激を構成する要素であるドットの密度を変化させて、面の傾きを測定することにより垂直視差の統合過程における性質を探った。

実験3 aでは一様な垂直、水平大きさ視差、すなわち、垂直、水平大きさ視差が、視野全体で一定であるような視差の分布を用いた。

2.2.2 刺激と方法

刺激は一辺が70.0度(1.40m)の正方形のステレオグラムであり、ドットの密度が変数であった。画面上での水平視差 h_p または、垂直視差 v_p は一様な垂直、水平大きさ視差を構成しており、式(2.1)より計算された。

$$\begin{aligned}h_p(x, y) &= (1 - \text{HSR}) x \\v_p(x, y) &= (1 - \text{VSR}) y\end{aligned}\quad (2.1)$$

ここで、HSR, VSRはそれぞれ視野全体で両眼像の垂直比、水平比であり、 (x, y) は画面上での座標を表す。

表2.1に実験3 aの刺激条件を示す。この組合せ $63 [9 (\text{VSR}, \text{HSR}) \times 7 D_{dot}]$ 刺激と視差ゼロでドット密度が $1570 (\text{dots}/\text{m}^2)$ の7刺激、計70刺激をランダムに呈示した。直前の刺激による影響を除去するため、視差ゼロでドット密度が $1600 (\text{dots}/\text{m}^2)$ の画像を各刺激の呈示前に2秒間呈示した。被験者は、画面中央の固視点上で知覚される面の傾きを応答した。それぞれの刺激

2.2. 傾いた平面を生む一様な大きさ視差

表 2.1 実験 3 a の刺激条件

VSR	0.96, 0.98, 1.00, 1.02, 1.04, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00
HSR	1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 0.96, 0.98, 1.02, 1.04
D_{dot}	24.5, 49.0, 98.0, 196, 392, 784, 1570(dots/m ²)

に対し、8回の測定を行った。参加した被験者は4名（HK, HE, NU, YF）で、内2名（HE, NU）は実験目的を知らないナイーブな被験者、内3名は実験1と共通であった。

2.2.3 実験結果

図 2.5, 図 2.6 に一様な垂直大きさ視差、一様な水平大きさ視差を持つ刺激を、観察した場合に知覚される面の傾きをそれぞれ記す。これは被験者ごと、および4名の平均の結果である。各グラフの横軸はドット密度、縦軸は固視点上で知覚された局所的な面の傾き、各シンボルは5種類のVSRまたはHSR、誤差棒は標準偏差（誤差）を表す。ここで、正の傾きは指示棒を鉛直軸に対して右に傾けたことを表す。

図 2.5 から、一様な垂直大きさ視差を持つ刺激を観察した場合、知覚される面の傾きは被験者によってばらつきが大きかった。各被験者から共通して見られる傾向は、ドット密度が増加すると傾きの値が以前に報告された研究、または、実験 1, 2 で得られた値を大きく異なることである。例えば、ドット密度が大きい場合は被験者 HE, NU, YF では傾きの方向が逆転しており、被験者 HK では傾きの量が減少している。この傾向は平均のデータで顕著になる。ドット密度の増加すると共に、傾きは減少していき、VSD が大きい時（0.96 or 1.04）は、逆の傾きが知覚されることもあった。

一方、図 2.6 から、一様な水平大きさ視差を持つ刺激を観察した場合は、垂直大きさ視差の場合と違って、被験者によるばらつきはあまり見られなかった。しかし、ドット密度が増大するにつれて傾きは減少する傾向は、垂直大

第2章 視差情報による面の傾き

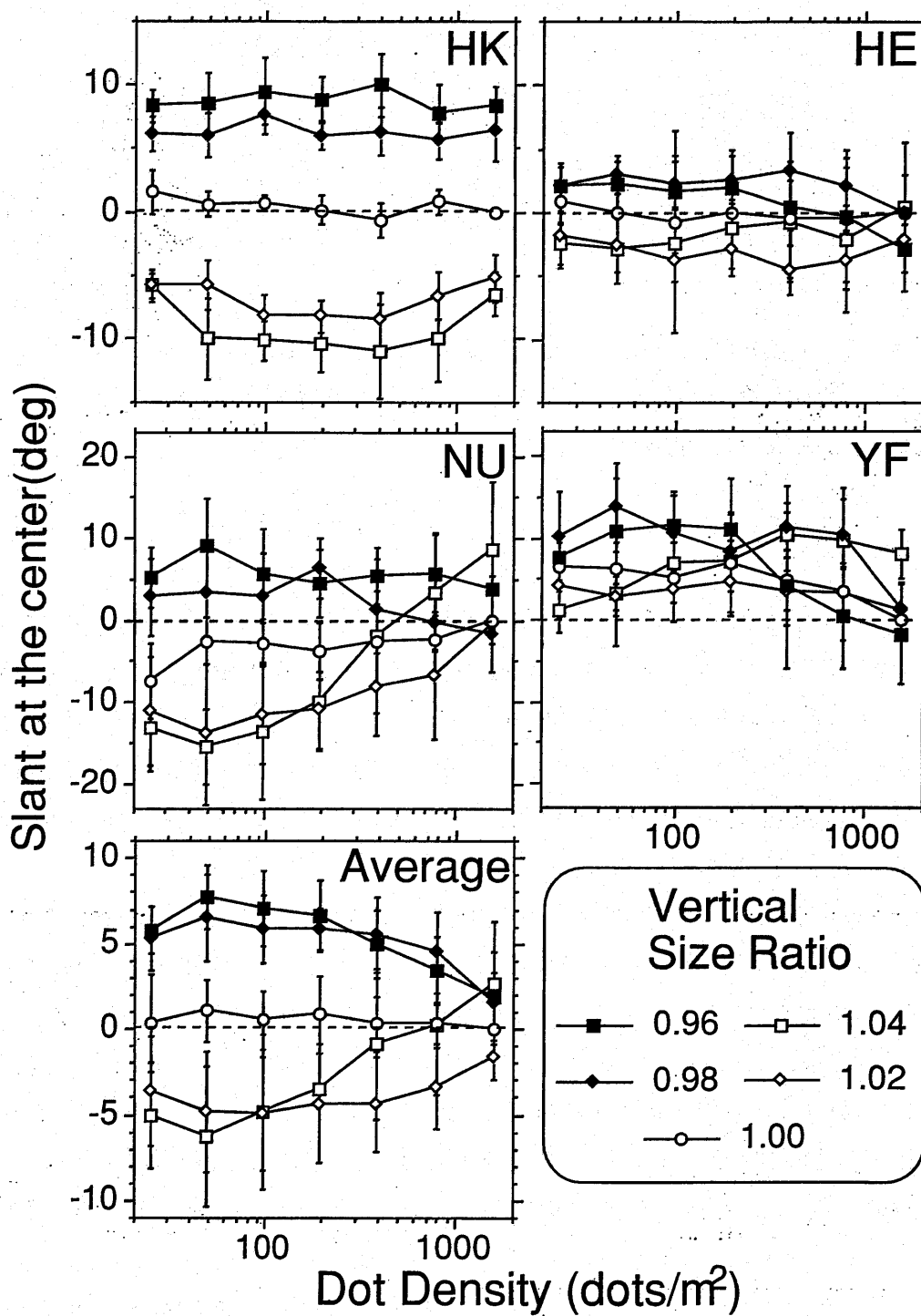


図 2.5 一様な垂直大きさ視差

2.2. 傾いた平面を生む一様な大きさ視差

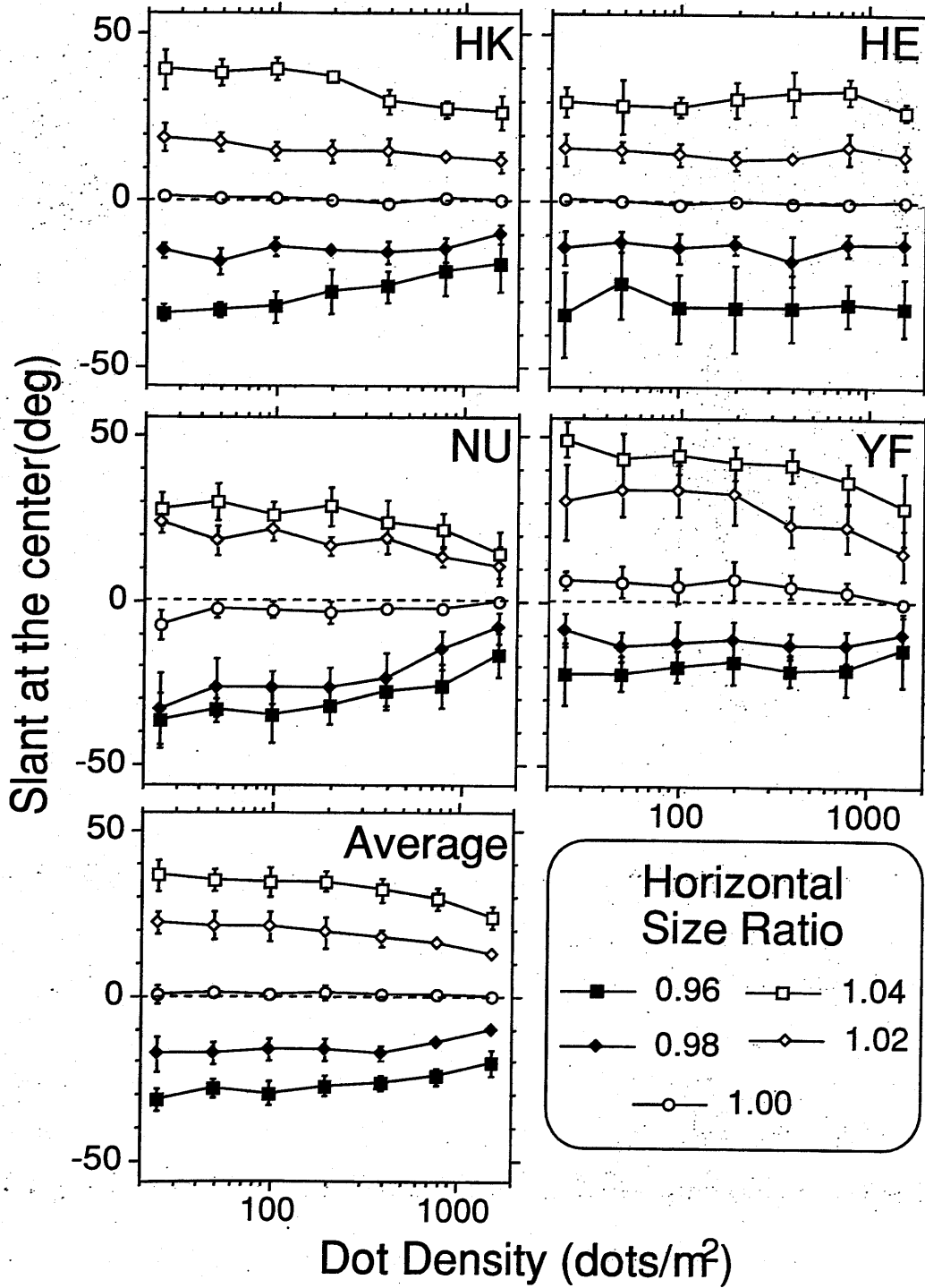


図 2.6 一様な水平大きさ視差

第2章 視差情報による面の傾き

きさ視差の場合と同様に見られた。

2.2.4 考察

一様な垂直大きさ視差を持つ刺激を用いた場合、被験者によって知覚される面の傾きの傾向が異なった。この理由として、第1に、傾きが常に一定であるような平面を知覚した場合、その平面内で比較する対象がないため、傾きを過小評価してしまう可能性が考えられる。この現象は傾きが大きいときによく生じると考えられる。

次に、対象の知覚的な大きさが奥行きに影響を与える可能性がある。視角が等しいが、異なる奥行き位置に対応する視差情報を持った2つの対象の大きさは異なって知覚されることが知られている。より遠くの位置に対応する視差情報を持った対象は、近くの位置に対応する視差情報を持った対象により、より大きく知覚される。これは実際に同じ大きさの対象を視距離に関わらず常に一定にするために、人間が持っている大きさの恒常性のためのメカニズムによるものである。しかし、一方、この大きさ感が視覚的に解釈されると奥行き感の変化を生み出してしまう。すなわち、大きいものは近く、小さいものは遠く感じてしまう。これらの現象により、視差情報から遠く、そして大きさの恒常性が大きく、さらに大きさから近くと、最初の視差情報と逆方向の奥行き感を得てしまうことが説明できる。そして、この現象はドット密度が高いときに顕著であると考えられる。

図2.5の結果から被験者HKは視差情報を重視し、被験者HE, NU, YFは上で述べたプロセスによる視差情報による大きさ感を重視する傾向があると思われる。

2.3. 垂直大きさ視差を水平方向に正弦波変化させたときの面の傾き

2.3 垂直大きさ視差を水平方向に正弦波変化させたときの面の傾き

2.3.1 刺激

縦 70.0 度 (1.40m), 横 101 度 (2.43m) の範囲内に約 5,700 個のドット (ドット密度 1,680dots/m²) から構成されるランダムドットのステレオグラムを用いた。画面上での水平方向のずれは 0 に固定し, 画面上での垂直方向のずれ V_p は, 式 (2.2) にしたがって決定した。

$$V_p(x, y) = M_d \sin(2\pi F_x x + P_x) \sin(2\pi F_y y + P_y) \quad (2.2)$$

ここで, M_d (arc min) を画面上での最大視差量, F_x, F_y (cpd) をそれぞれ水平方向, 鉛直方向の大きさ視差変化の空間周波数, P_x, P_y (deg) をそれぞれ水平方向, 鉛直方向の位相とした。

この組合せ 36 [{ 4 M_d (1.75, 5.82, 17.5, 34.9) \times 4 F_x (0.720, 1.45, 2.17, 2.90) + 1 M_d (5.82) \times 2 F_x (3.62, 4.35) } \times 1 F_y (0.720) \times 2 P_x (90.0, -90.0) \times 1 P_y (0.00)] 刺激と視差ゼロを 4 刺激, 計 40 刺激をランダムに呈示した。図 2(a) に刺激の視差分布の一例を示す。横軸は画面上での X 座標, 縦軸は画面上での Y 座標, 矢印の始点は左眼像の位置, 終点は右眼像の位置, 点線は視差がゼロの点の位置を示す。この図から垂直大きさ視差が X 軸に沿って変化しているのがわかる。

2.3.2 方法

被験者は, どちらか一方の眼に直径 20.6(arc min) の白いドットを呈示することにより指定された応答場所での局所的な面の傾きを応答した。応答場所は, 固視点を中心として水平方向の視差変化の一周分を含む一直線上の 13 点であった (式 (2.3))。

$$x = \frac{n-6}{12F_x} \quad (n = 0, 1, 2, \dots, 12), \quad y = 0 \quad (2.3)$$

第2章 視差情報による面の傾き

測定の順番はランダムであった。ただし、コントロール刺激の場合の応答場所は、 $F_x = 0.0126(\text{cpd})$ のときの一周期分とした。

参加した被験者は3名 (HK, NU, YF) で、いずれも矯正視力1.0以上であった。その内1人 (NU) は実験目的を知らないナイーブな被験者であった。

2.3.3 結果及び考察

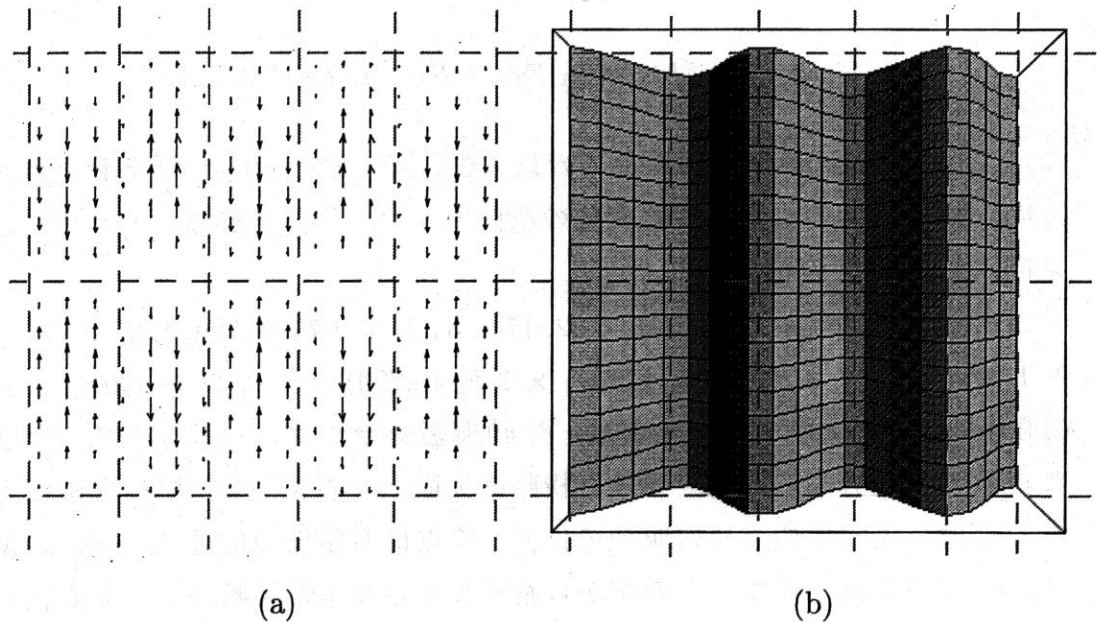


図 2.7 実験1-a で用いられた刺激の視差の分布 (a) と知覚された面の模式図 (b)。横軸は画面上での X 座標，縦軸は画面上での Y 座標，矢印の始点は左眼像の位置，終点は右眼像の位置，点線は視差がゼロの点の位置を示す。

図 2.7(b) に図 2.7(a) の視差の分布を持つ刺激から知覚される面の形状の概略図を示す。横軸は画面上での X 座標，縦軸は画面上での Y 座標，点線は視差がゼロの点の位置を表す。図 2.7(a) と図 2.7(b) を比べることにより，垂直方向に左眼像が右眼像より大きければ，右端が遠く左端が近い面を，逆に右

2.3. 垂直大きさ視差を水平方向に正弦波変化させたときの面の傾き

眼像が左眼像より大きければ、左端が遠く右端が近い面を、そして、左右像の大きさが同じであれば平らな面を局所的に知覚することがわかる。

表 2.2 に刺激条件を示す。この組合せ 36 [{ 4 M_d (1.75, 5.82, 17.5, 34.9) \times 4

表 2.2 実験 1 a の刺激条件

	画面上		網膜上	
M_d	1.74, 5.82, 17.5, 34.9	mm	6.00, 20.0, 60.0, 120	arc min
F_x	0.720, 1.45, 2.17, 2.90, 3.62, 4.35	cpm	0.0126, 0.0253, 0.0379, 0.0506, 0.0632, 0.0759	cpd
F_y	0.720	cpm	0.0126	cpd
P_x	90.0, -90.0	deg	90.0, -90.0	deg
P_y	0.00	deg	0.00	deg

F_x (0.720, 1.45, 2.17, 2.90) + 1 M_d (5.82) \times 2 F_x (3.62, 4.35) } \times 1 F_y (0.720) \times 2 P_x (90.0, -90.0) \times 1 P_y (0.00)] 刺激と視差ゼロを 4 刺激, 計 40 刺激をランダムに呈示した。

図 2.8 に $M_d=20$ (arc min), $P_x=90$ (deg), 図 2.9 に $M_d=20$ (arc min), $P_x=-90$ (deg) の時の結果を示す。この結果は 3 名の被験者の平均であり, 全ての被験者が 4 回中 3 回以上, 面の傾きを知覚できたことを意味している。各パネルの横軸は画面上での X 座標, 縦軸は固視点上で知覚された局所的な面の傾き, 右上の数字は水平方向の周波数 F_x (cpd), 誤差棒は標準誤差, 点線 (縦線) は視差がゼロの位置を表す。ここで, 正の傾きは指示棒を鉛直軸に対して右に傾けたことを, 負の傾きは指示棒を鉛直軸に対して左に傾けたことを表す。画像のひずみにより生じる視差の影響を除外するため, 実際の測定値からコントロール刺激 (画面上で左右眼像に違いのない刺激) に対する応答値を差し引いた値をデータとして用いた。

図 2.8, 2.9 から, 傾きの測定が行われた画面中央の水平線上では視差がないにもかかわらず, 面の傾きが知覚されることがわかった。また, 水平方向

第2章 視差情報による面の傾き

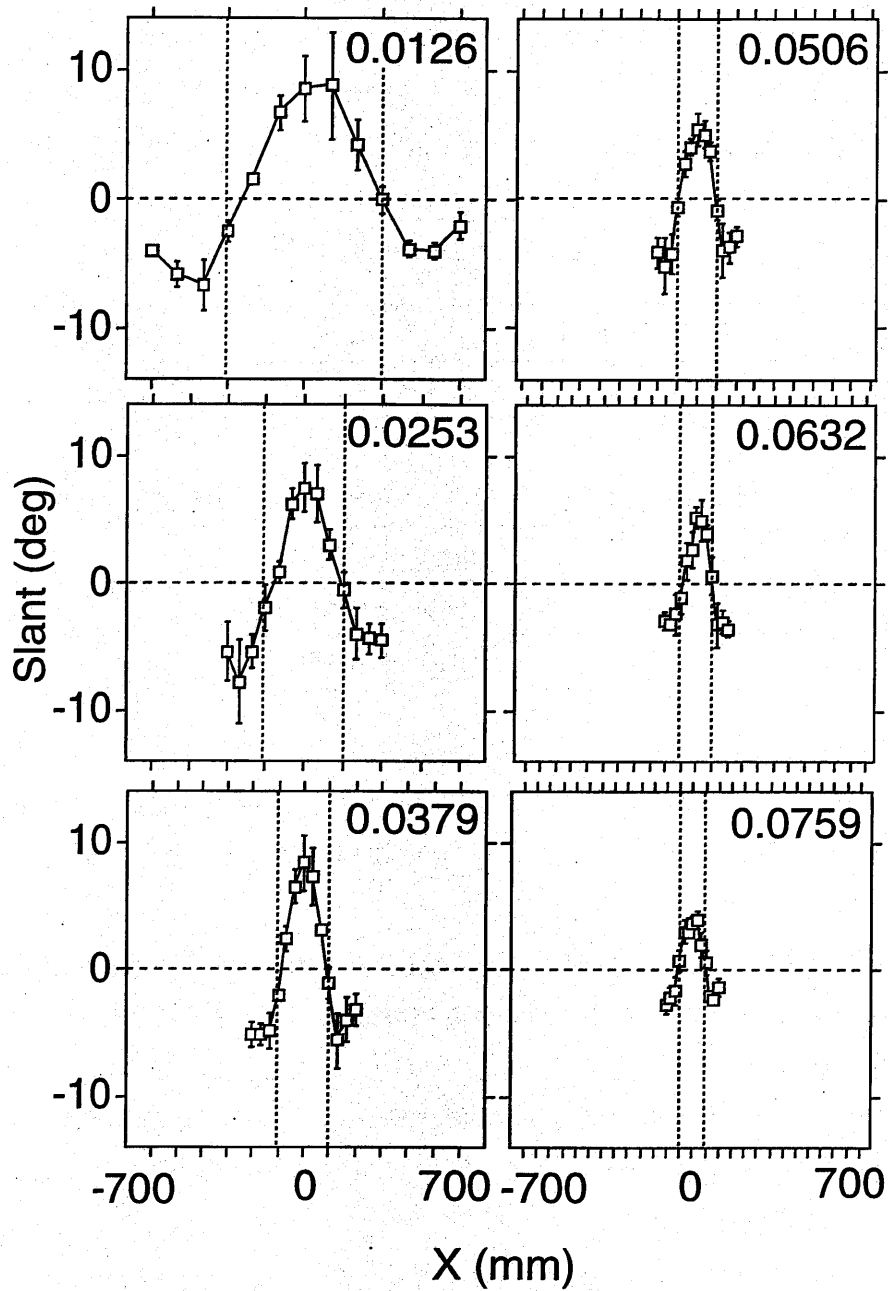


図 2.8 実験 1-a の結果 [$Md=20(\text{arc min}), P_x=90(\text{deg})$]. 各グラフの横軸は画面上での X 座標, 縦軸は固視点上で知覚された局所的な面の傾き, 左肩の数字は水平方向の周波数 $F_x(\text{cpd})$, 誤差棒は標準誤差, 点線 (縦線) は視差がゼロの点の位置を表す. ここで, 正の場合は知覚された面が右方向を向いていること (右側が奥), 負の場合は知覚された面が左方向を向いていること (右側が手前) を表す.

2.3. 垂直大きさ視差を水平方向に正弦波変化させたときの面の傾き

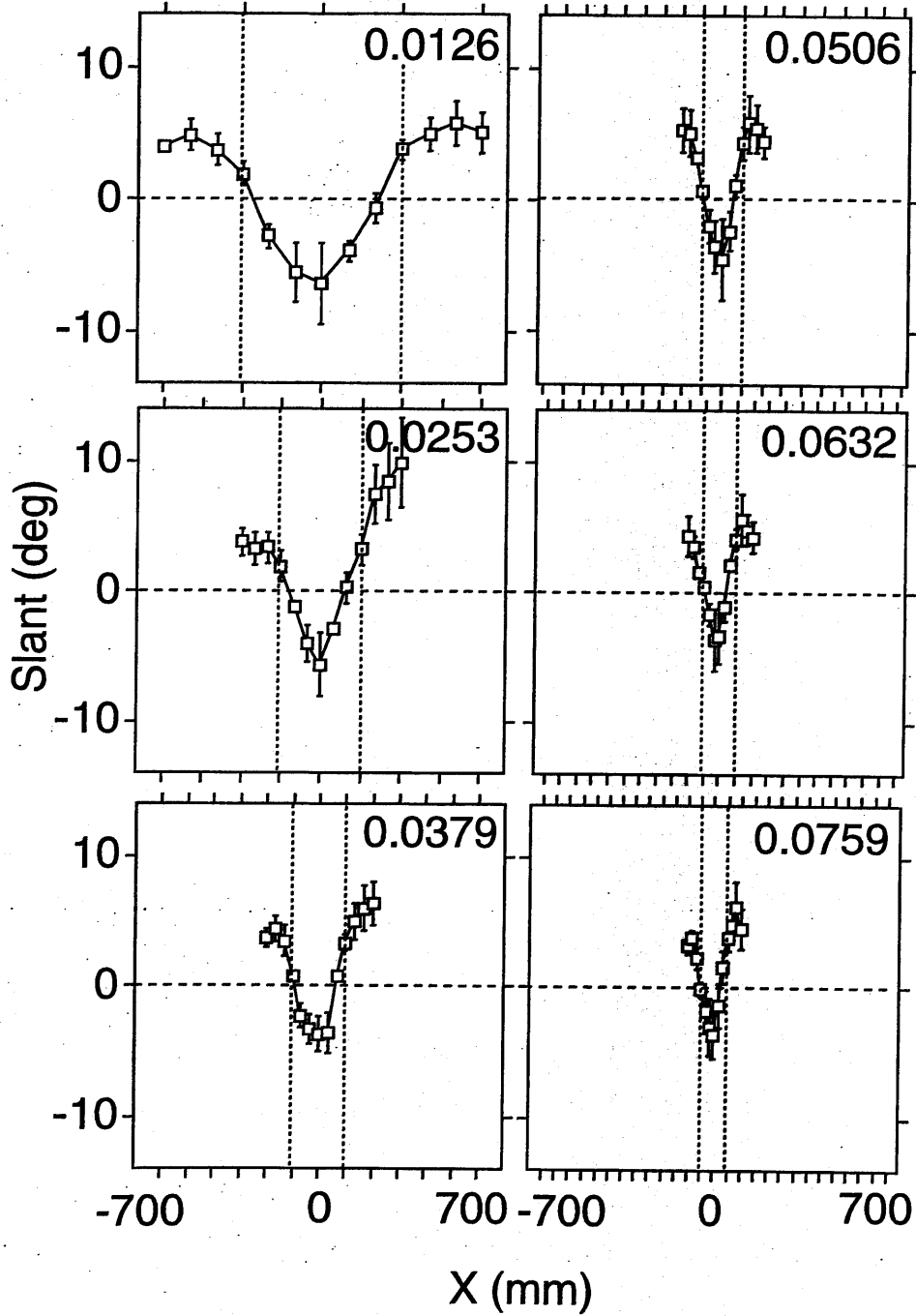


図 2.9 実験 1-a の結果 [Md=20(arc min), Px=-90(deg)]. 他は図 2.6 と同様.

第2章 視差情報による面の傾き

の周波数の変化に対応して、知覚される面の形状が変化した。どのグラフにおいても、測定点を含む水平線上での垂直大きさ視差の変化と、傾き量の変化の周期と位相が一致した。このことは図3, 4中の垂直の線分が引いてある点で傾きがゼロになることから明らかである。この垂直線分は図2に示すように、刺激中の垂直視差分布の垂直大きさ視差成分がゼロとなる位置を示している。これらの結果は、各測定点の標準偏差が小さいことから信頼できる。また、中央での面の傾き量は水平方向の周波数の増加に伴って減少する傾向が見られた。この傾向を分散分析によって調べると、水平方向の周波数の効果は、 $P_x=90$ では統計的に有意であったが ($F_{5,10}=7.61, p<0.01$) , $P_x=-90$ では有意差は見られなかった ($F_{5,10}=2.01, p=0.16$) .

2.4 垂直大きさ視差を鉛直方向に正弦波変化させたときの面の傾き

2.4.1 刺激

刺激は実験1-aと条件だけが異なっていた。式(2.2)の F_x を固定し、 F_y を変化させることにより、鉛直方向に垂直大きさ視差が変化する刺激を作成し本実験に用いた。この組合せ $30 [3 M_d \times 1 F_x \times 5 F_y \times 2 P_x \times 1 P_y]$ 刺激と視差ゼロを4刺激、計34刺激をランダムに呈示した。図5(a)に刺激の視差分布の一例を示す。横軸は画面上でのX座標、縦軸は画面上でのY座標、矢印の始点は左眼像の位置、終点は右眼像の位置、点線は視差がゼロの点の位置を示す。この図から垂直大きさ視差がY軸に沿って変化しているのがわかる。

図2.10(a)に刺激の視差の分布の一例を示す。横軸は画面上でのX座標、縦軸は画面上でのY座標、矢印の始点は左目像の位置、終点は右目像の位置、点線は視差がゼロの点の位置を示す。この図から垂直視差がY軸に沿って変化しているのがわかる。

表2.3に刺激条件を示す。この組合せ $30 [3 M_d \times 1 F_x \times 5 F_y \times 2 P_x \times 1$

2.4. 垂直大きさ視差を鉛直方向に正弦波変化させたときの面の傾き

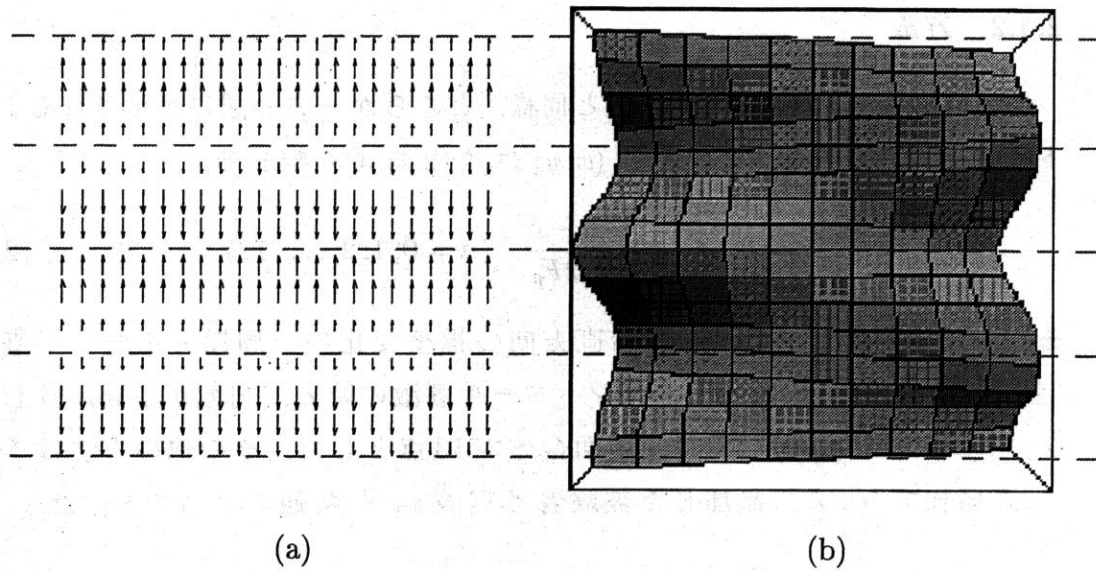


図 2.10 実験 1-b で用いられた刺激の視差の分布 (a) と知覚された面の模式図 (b). 他は図 2.5 と同様.

表 2.3 実験 1 b の刺激条件

	画面上		網膜上	
M_d	1.75, 5.82, 17.5	mm	6.00, 20.0, 60	arc min
F_x	0.710	cpm	0.0126	cpd
F_y	0.360, 0.710, 1.43, 2.86, 4.29	cpm	0.00630, 0.0124, 0.0250, 0.0499, 0.0749	cpd
P_x	90.0, -90.0	deg	90.0, -90.0	deg
P_y	0.00	deg	0.00	deg

第2章 視差情報による面の傾き

P_y] 刺激と視差ゼロを4刺激, 計34刺激をランダムに呈示した。

2.4.2 方法

傾きを応答する場所は実験1-aと同様, どちらか一方の眼に呈示されるドットによって指定され, その座標 (x, y) は式(2.4)より定まる。

$$x = 0, \quad y = \frac{n-6}{12F_y} \quad (n = 0, 1, 2, \dots, 12) \quad (2.4)$$

それらは固視点を中心として鉛直方向の視差変化の一周期分を含む一直線上の13点であった。ただし, コントロール刺激の時と, 刺激が半周期分しかない $F_y = 0.0063$ (cpd) の時は, 画面全体で13点とした。その他の方法は実験1-aと同様であった。参加した被験者は実験1-aと共通の3名であった。

2.4.3 結果及び考察

図2.10(b)に図2.10(a)の視差の分布を持つ刺激から知覚される面の形状の概略図を示す。図2.11に $M_d = 6(\text{arc min}), P_x = 90(\text{deg})$, 図2.12に $M_d = 6(\text{arc min}), P_x = -90(\text{deg})$, 図2.13に $M_d = 20(\text{arc min}), P_x = 90(\text{deg})$, 図2.14に $M_d = 20(\text{arc min}), P_x = -90(\text{deg})$, 図2.15の左段に $M_d = 60(\text{arc min}), P_x = 90(\text{deg})$, 右段に $M_d = 60(\text{arc min}), P_x = -90(\text{deg})$ の時の結果を示す。この結果は3名の被験者の平均である。各グラフの縦軸は画面上でのY座標, 横軸は測定点上で知覚された局所的な面の傾き, 左肩の数字は鉛直方向の周波数 F_y (cpd), 誤差棒は標準誤差, 点線(横線)は視差がゼロの点の位置を表す。なお, $M_d = 60(\text{arc min}), F_y = 0.0499, 0.0749(\text{cpd})$ の条件では, 視差が大きすぎたため左右像が融像できず, 面が知覚されなかったため, 結果から省いた。

図2.11-2.15から, 鉛直方向の周波数の変化に対応して, 知覚される面の形状が変化することがわかる。また, どのグラフにおいても測定点を含む鉛直線上での垂直視差の変化と, 面の傾き量の変化とは周期が一致しているが位相は90度ずれている。しかし, 垂直大きさ視差の観点で見ると実験1-aと同様に, 面の傾き量はその点の周囲の垂直大きさ視差量に対応している。こ

2.4. 垂直大ききさ視差を鉛直方向に正弦波変化させたときの面の傾き

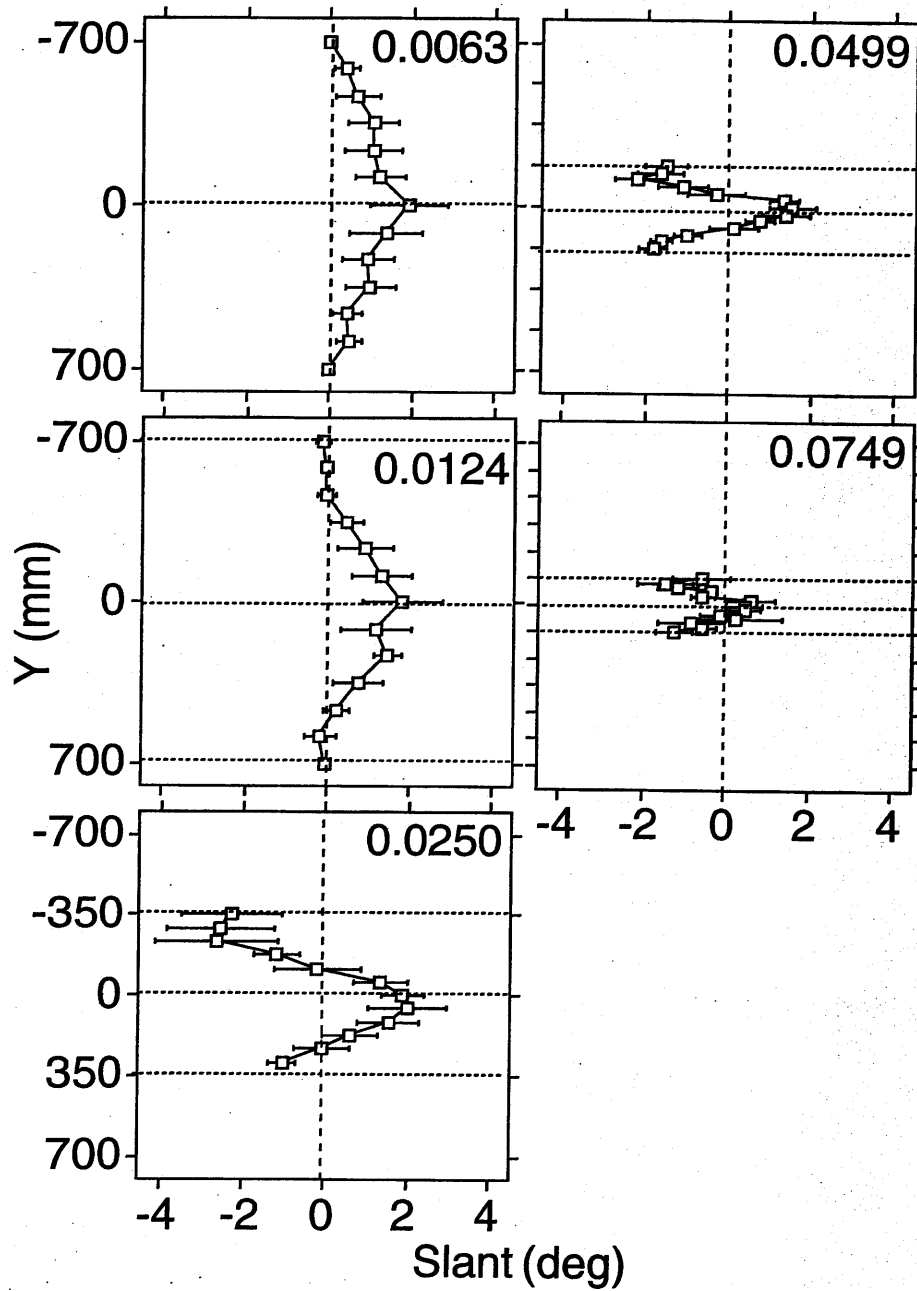


図 2.11 実験 1-b の結果 [Md= 6 (arc min), Px=90(deg)]. 各グラフの縦軸は画面上での Y 座標, 横軸は固視点上で知覚された局所的な面の傾き, 左肩の数字は鉛直方向の周波数 F_y (cpd), 誤差棒は標準誤差, 点線 (横線) は視差がゼロの点の位置を表す. 図 2.5 と同様に, 正の場合は知覚された面が右方向を向いていること (右側が奥), 負の場合は知覚された面が左方向を向いていること (右側が手前) を表す. 29

第2章 視差情報による面の傾き

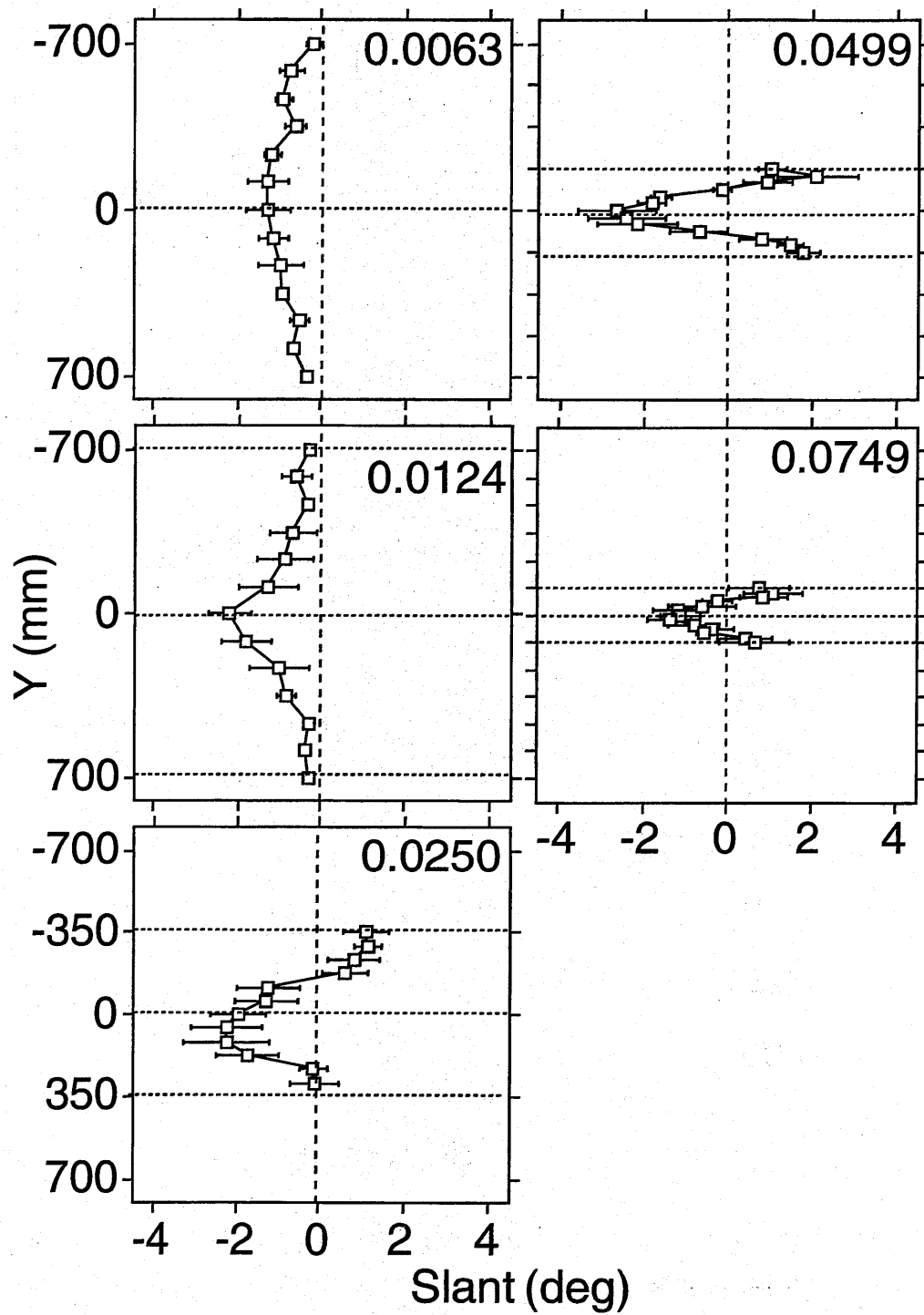


図 2.12 実験 1-b の結果 [Md= 6 (arc min), Px=-90(deg)]. 他は図 2.6 と同様。

2.4. 垂直大きさ視差を鉛直方向に正弦波変化させたときの面の傾き

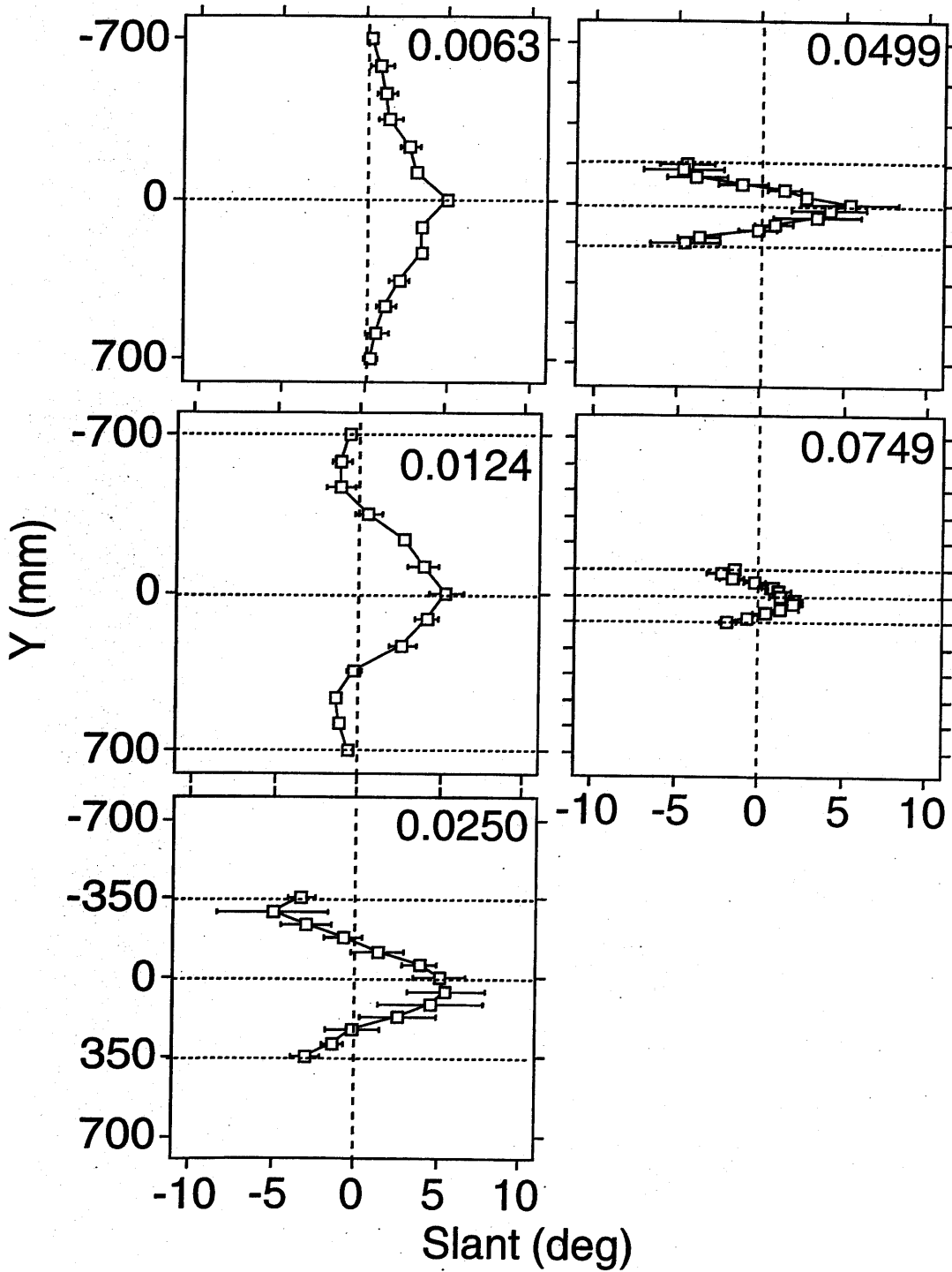


図 2.13 実験 1-b の結果 [Md=20(arc min), Px=90(deg)]. 他は図 2.6 と同様.

第2章 視差情報による面の傾き

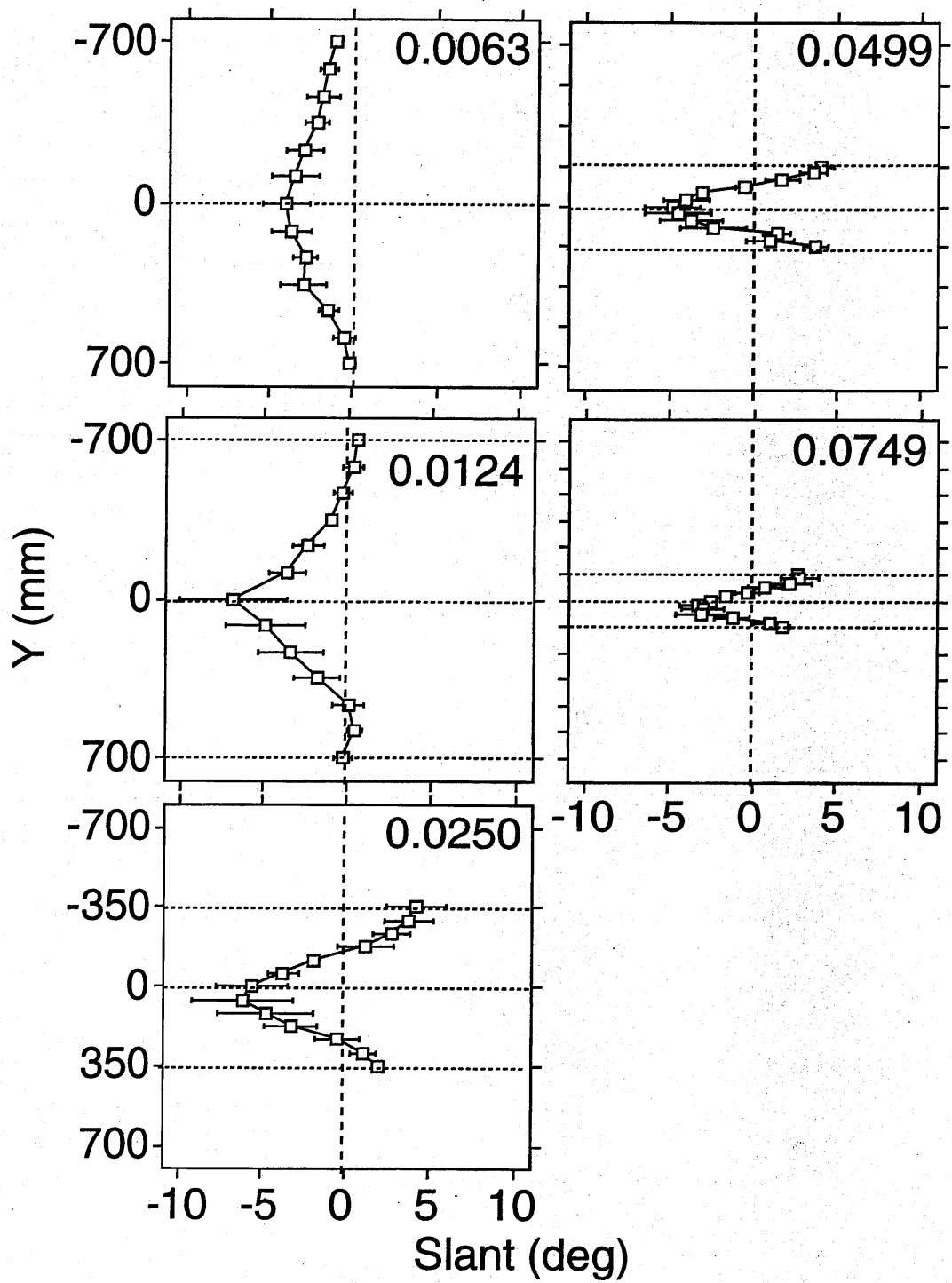


図 2.14 実験 1-b の結果 [Md=20(arc min), Px=-90(deg)]. 他は図 2.6 と同様.

2.4. 垂直大きさ視差を鉛直方向に正弦波変化させたときの面の傾き

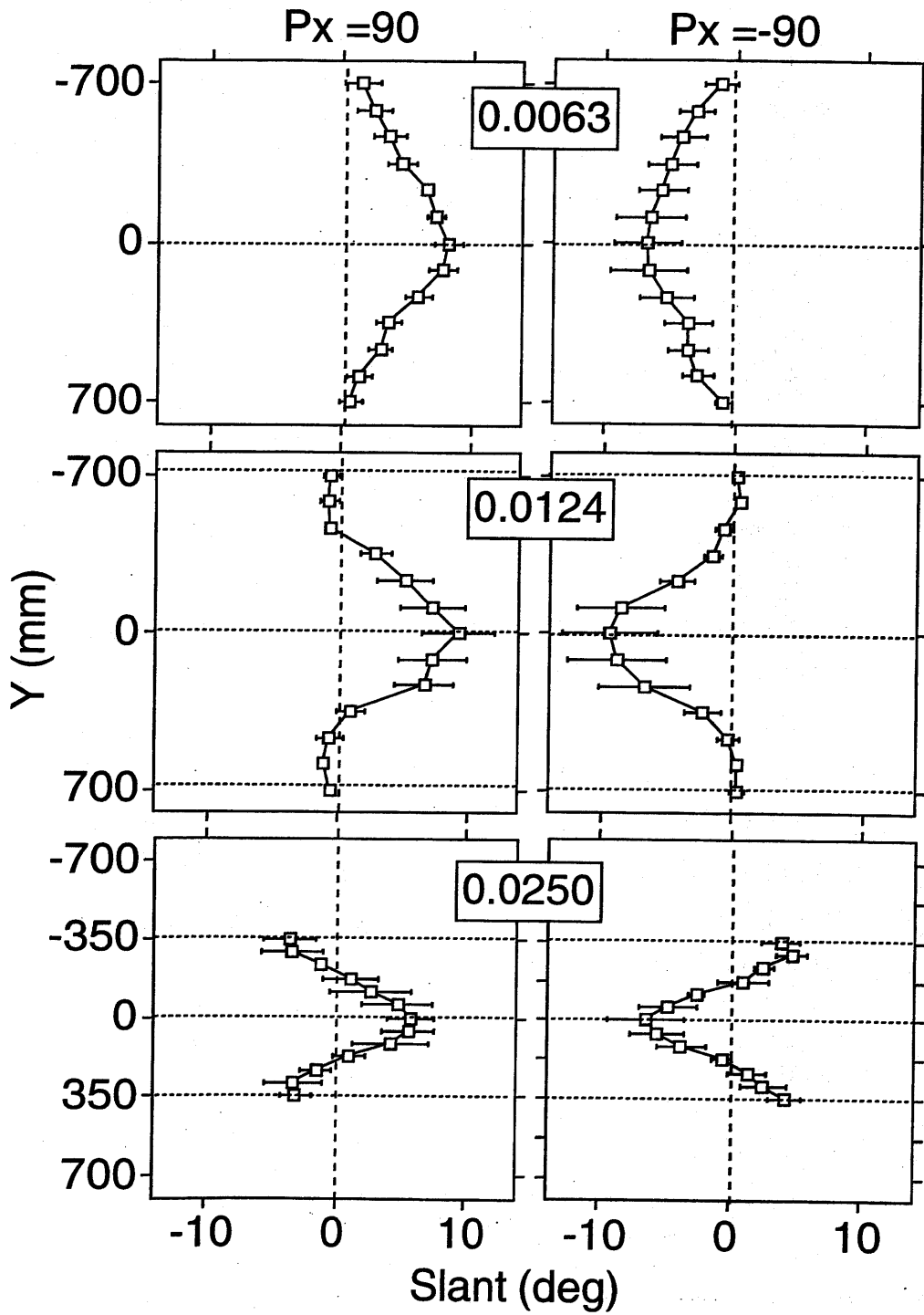


図 2.15 実験 1-b の結果 [$M_d=60(\text{arc min}), P_x=\pm 90(\text{deg})$]. 左段が $P_x = 90$ の時, 右段が $P_x = -90$ の時で他は図 2.6 と同様.

第2章 視差情報による面の傾き

のことは図6-10中の水平の線分が引いてある点で傾きが最大になることから明らかである。この水平線分は図5に示すように、刺激中の垂直視差分布の垂直大きさ視差成分が最大または最小（逆符号）となる位置を示している。F_y=0.0063, 0.0124の場合は画枠付近でその点の周囲の垂直大きさ視差量に関わらず、面の傾きが0度に近付いた。また、各測定点の標準偏差が小さいことからこの結果は信頼できる。

2.5 実験2—最大視差、周波数特性

2.5.1 はじめに

実験1-a,bの結果から、水平および鉛直方向の垂直視差変化の周期と知覚される面の傾き変化の周期が対応しており、ある点の傾きはその点の周囲の垂直大きさ視差量に対応していることがわかった。また、実験1-aの結果より画面の中心で測定された最大傾き量は水平方向の周波数の増加に伴って減少していく傾向がみられた。実験2では、この後者の傾向を詳しく測定することを目的とした。そのために、実験1-a,bで変数とした垂直視差の分布の水平、鉛直方向の周波数に加えて、最大視差量も変数として、垂直視差変化を持つ刺激を観察した場合の知覚的な面の傾きを画面の中心点（固視点）のみで測定した。これにより、傾き知覚のための垂直大きさ視差統合の様式に関する知見が得られると考えられる。

2.5.2 刺激と方法

刺激の視差条件以外は実験1-a,bと同じであった。スクリーン上での左右眼像のずれは式(2.2)に従った。表2.4に実験2の刺激条件を示す。この組合せ $228 [6 M_d(1.09, 2.18, 4.36, 8.73, 17.5, 34.9) \times \{ 3 F_x(0.00, 2.87, 4.29) \times 5 F_y(0.350, 0.710, 1.43, 2.87, 4.29) + 2 F_x(0.710, 1.43) \times 2 F_y(0.350, 0.710) \} \times 2 P_x(90.0, -90.0) \times 1 P_y(0.00)]$ 刺激と視差なしを8刺激、計236刺激をランダムに呈示した。傾きを応答する点は常に刺激の中心、固視点の位置であっ

2.5. 実験2—最大視差, 周波数特性

表 2.4 実験2の刺激条件

	画面上		網膜上	
M_d	1.09, 2.18, 4.36, 8.73, 17.5, 34.9	mm	3.75, 7.50, 15.0, 30.0, 60.0, 120	arc min
F_x	0.00, 0.710, 1.43, 2.87, 5.73	cpm	0.00, 0.0125, 0.0250, 0.0500, 0.100	cpd
F_y	0.35, 0.710, 1.43, 2.87, 5.73	cpm	0.0625, 0.0125, 0.0250, 0.0500, 0.100	cpd
P_x	90.0, -90.0	deg	90.0, -90.0	deg
P_y	0.00	deg	0.00	deg

た. 参加した被験者は実験1-a,bと共通の3名であった.

2.5.3 結果及び考察

図 2.16, 2.17に実験2の結果を示す. この結果は3名の被験者の平均であり, 全ての被験者が8回中6回以上, 面の傾きを知覚できたことを意味している. 図の上段は $P_x=90(\text{deg})$, 下段は $P_x=-90(\text{deg})$ の時の結果である. 図 2.16は鉛直方向の周波数一定の条件で, 横軸は水平方向の周波数 F_x (cpd), 縦軸は固視点上で知覚された局所的な面の傾き, グラフ上の数字は鉛直方向の周波数 F_y (cpd), 各シンボルは6種類の最大視差量 M_d (arc min), 誤差棒は標準誤差を表す. 図 2.17は, 水平方向の周波数一定の条件で, 横軸は鉛直方向の周波数, 縦軸は面の傾き, グラフ上の数字は鉛直方向の周波数を表す. とともに, 各シンボルは6種類の最大視差量, 誤差棒は標準誤差を表す.

図 2.16から, 垂直大きさ視差の水平方向の周波数が増大するにつれて, 知覚される面の傾きの絶対量は $F_x=0(\text{cpd})$ の場合を除いて減少することがわかった. また, 図 2.17から知覚される面の傾き量は, 垂直視差の鉛直方向の周波数が低い時は増大し, 周波数が高い時は減少することがわかった. そして,

第2章 視差情報による面の傾き

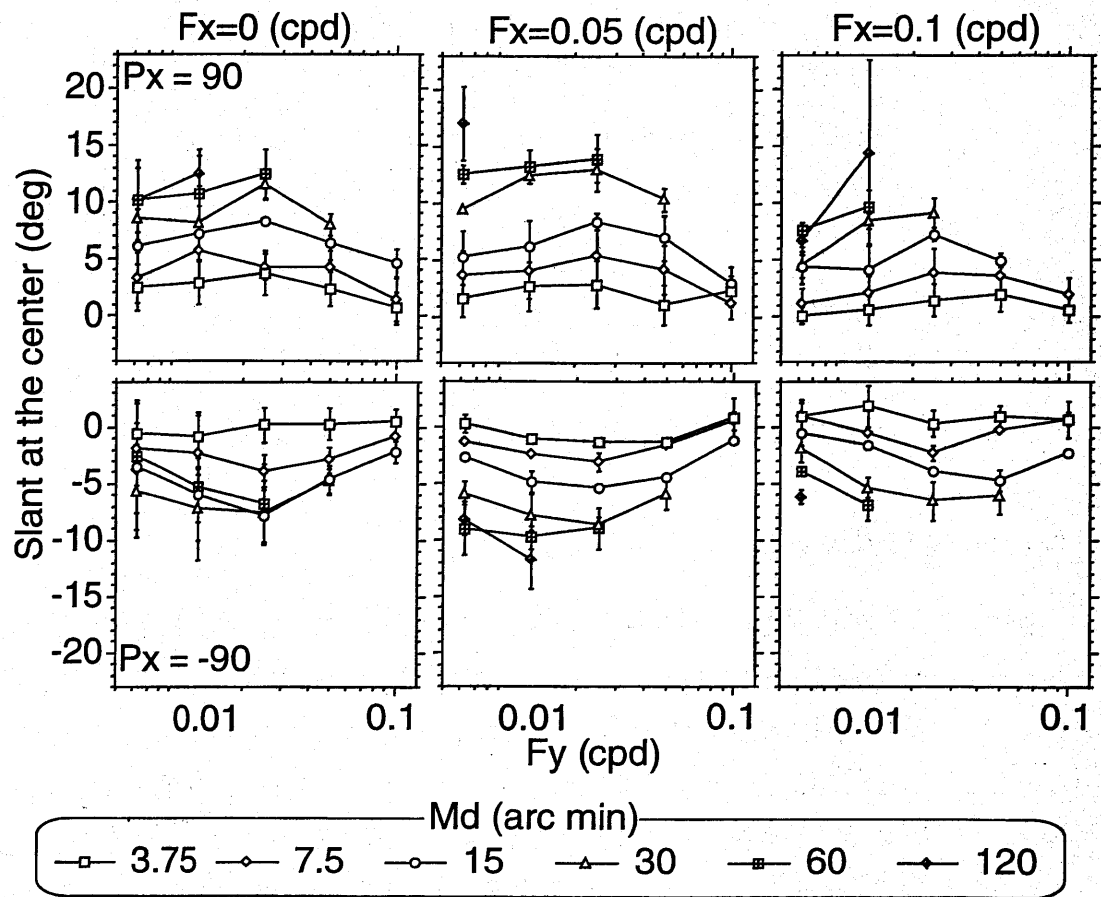


図 2.16 水平方向の周波数特性

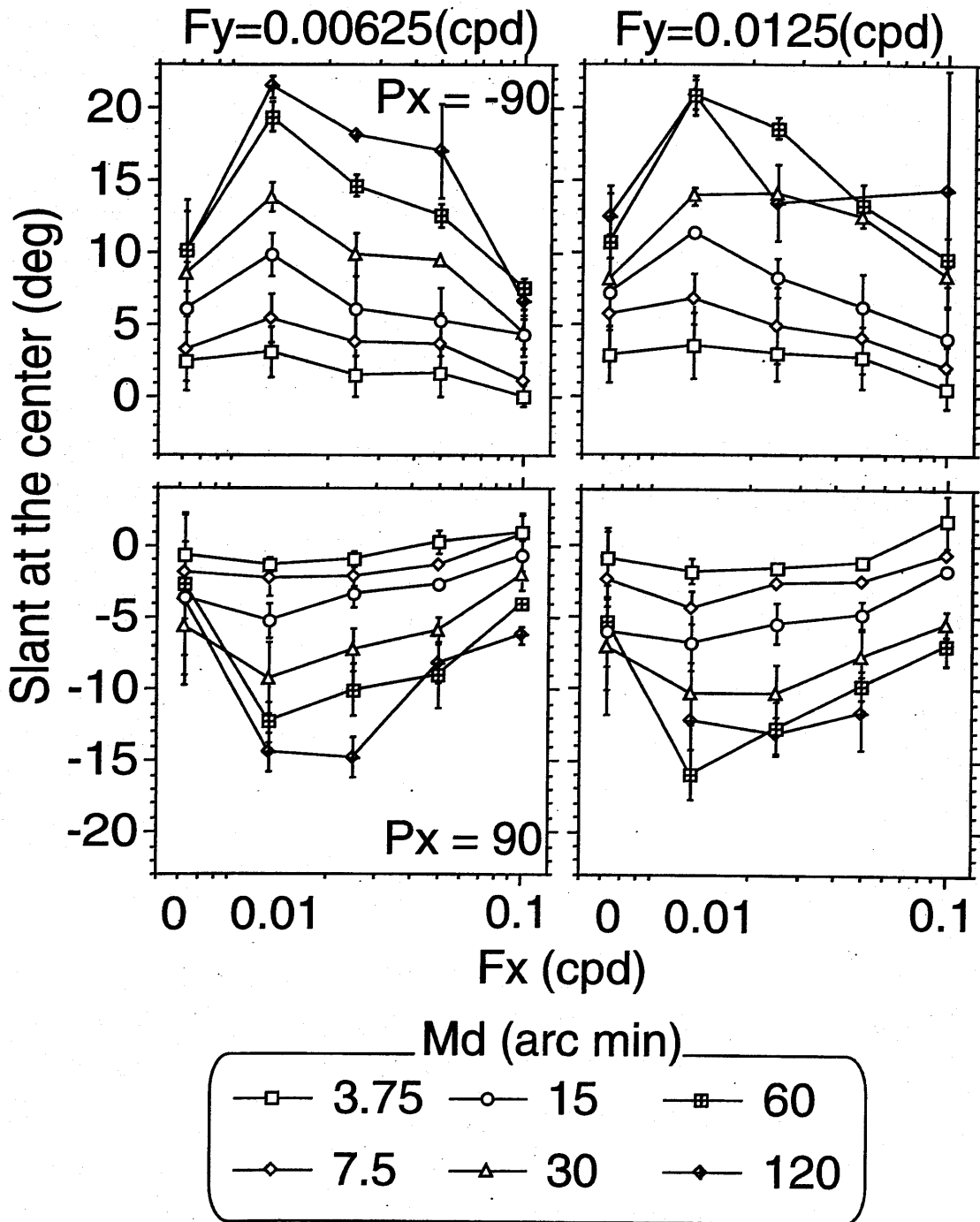


図 2.17 鉛直方向の周波数特性

第2章 視差情報による面の傾き

図2.16,2.17の両方から最大視差量の増大につれ、知覚される面の傾き量は増大することがわかる。各グラフの任意の周波数において最大視差量が小さいものから縦軸に沿って順に見ていくと、傾き量は最大視差量が小さい範囲ではほぼ線形に増加し、視差量が大きくなると、その増加率は下がり始め、ついには融像が困難となり、面の知覚さえできなくなる場合があることがわかる。これらの結果は多くの条件で統計的に確かめられた。分析は図11,12のパネルごとのデータに関して行った。この結果、水平方向の周波数の効果は4つのデータグループ中(図11の各パネルに対応)で、3条件で統計的に有意であったが($F_y=0.00625, P_x=90$ の場合 $F_{4,8}=12.62, p_i0.01$; $F_y=0.00625, P_x=-90$ の場合 $F_{4,8}=4.15, p_i0.05$; $F_y=0.0125, P_x=90$ の場合 $F_{4,8}=6.82, p_i0.05$)、1条件では有意差は見られなかった($F_y=0.0125, P_x=-90$ $F_{4,8}=2.59, p=0.12$)。また、鉛直方向の周波数の効果は、6つのデータグループ中(図12の各パネルに対応)で、4条件で統計的に有意であったが($F_x=0.05, P_x=90$ の場合 $F_{4,8}=5.52, p_i0.05$; $F_x=0.05, P_x=-90$ の場合 $F_{4,8}=14.76, p_i0.01$; $F_x=0.10, P_x=90$ の場合 $F_{4,8}=7.34, p_i0.01$; $F_x=0.10, P_x=-90$ の場合 $F_{4,8}=7.00, p_i0.05$)、2条件では有意差は見られなかった($F_x=0.00, P_x=90$ の場合 $F_{4,8}=2.66, p=0.11$; $F_x=0.00, P_x=-90$ の場合 $F_{4,8}=2.68, p=0.11$)。最大視差量の効果はどの条件でも5%水準において統計的に有意であった。

2.6 水平、垂直大きさ視差による面の傾き知覚モデル

モデルで述べたように、一定の範囲の垂直視差が統合されて垂直大きさ視差が決まり、その垂直大きさ視差から面の傾きが知覚されると仮定すると、本実験から得られた垂直視差の分布の周波数と、知覚される面の傾きの関係から、垂直視差の統合範囲を推定できると考えられる。そこで、本実験の各刺激から式??に基づいて予測される垂直大きさ視差の理論値を同じ刺激から得られた傾き知覚の実験値と比較した。このとき、式の統合範囲を様々に変化させて比較する。

実験2の結果(図2.16, 2.17)において、 P_x が90度の時と、-90度の時の

2.7. 実験3 水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における脳磁場応答

傾向が同じであったので, 平均をとったグラフを図2.18, 2.19の最上段に示す. このグラフの形状と本モデルから得られたグラフの形状を比較した. 式()に定数 k が含まれるので絶対量は無視した. ここで, 被験者からスクリーンまでの距離 D は1 mとし, 各被験者の眼間距離 I は表??に示した値を用いた. その結果, 垂直大きさ視差の統合範囲は, 水平方向に約6度, 鉛直方向に約24度であることがわかった.

図2.18に統合範囲の鉛直方向の広さを約24度に固定して, 水平方向の広さを変化させたとき, モデルから得られた面の傾きの変化を示す. 図2.19に統合範囲の水平方向の広さを約6度に固定して, 鉛直方向の広さを変化させたとき, モデルから得られた面の傾きの変化を示す.

2.7 実験3 水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における脳磁場応答

2.7.1 はじめに

心理物理実験から垂直視差は水平視差より数秒遅れて知覚に影響することや, 垂直視差は大視野に分布した場合のみ面の傾きに影響することが知られている. このように面の傾き知覚において水平視差と垂直視差の処理過程の違いが示唆されるが, 知覚時の脳活動を調べることにより, それらの違いがピークの潜時の違いにあるのか処理部位の違いにあるのかを明らかにすることを本研究の目的とする.

2.7.2 方法

面の傾き知覚における水平視差と垂直視差の処理過程の違いを探るために, 傾きを知覚させるような視差分布を持つ刺激を観察した際の, 脳磁気の変化をMEG(島津脳磁気計測装置SBI-200,201ch)により1秒間測定した. ゼロ視差によって額面平行面を示す刺激と, 水平視差や垂直視差によって傾いた面を示す刺激を交互に1秒間ずつ呈示した.

第2章 視差情報による面の傾き

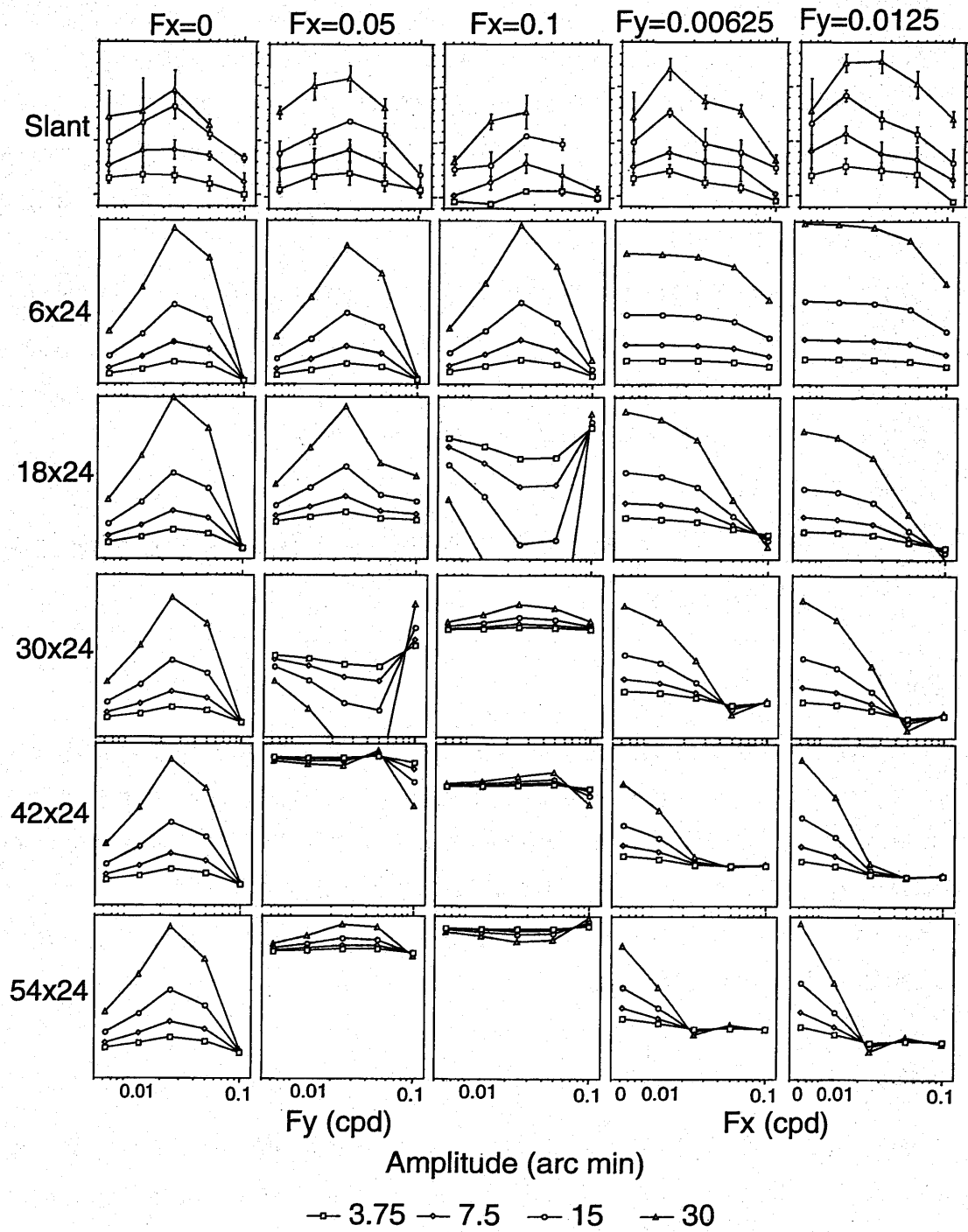


図 2.18 水平方向に統合範囲を変化

2.7. 実験3 水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における脳磁場応答

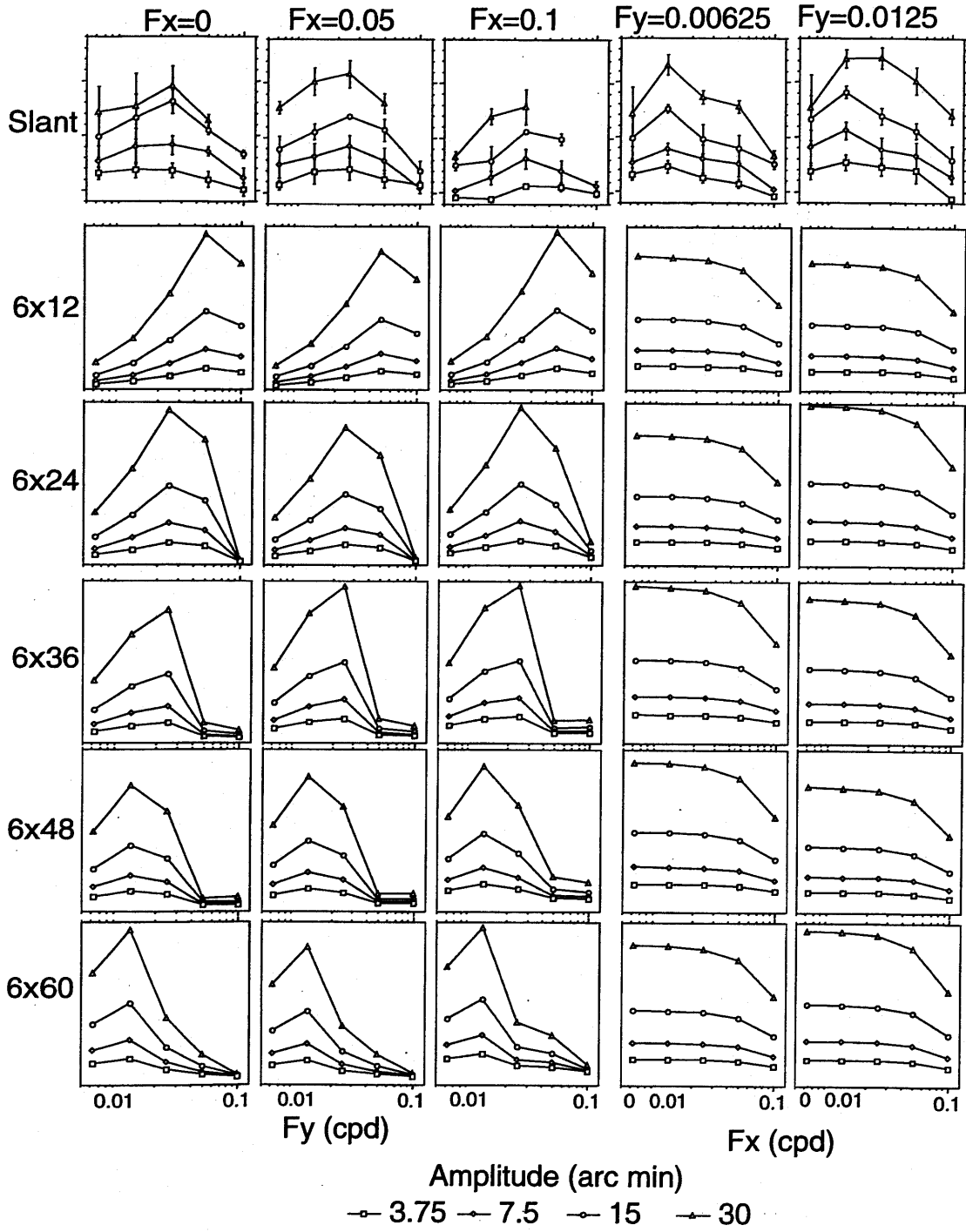


図 2.19 鉛直方向に統合範囲を変化

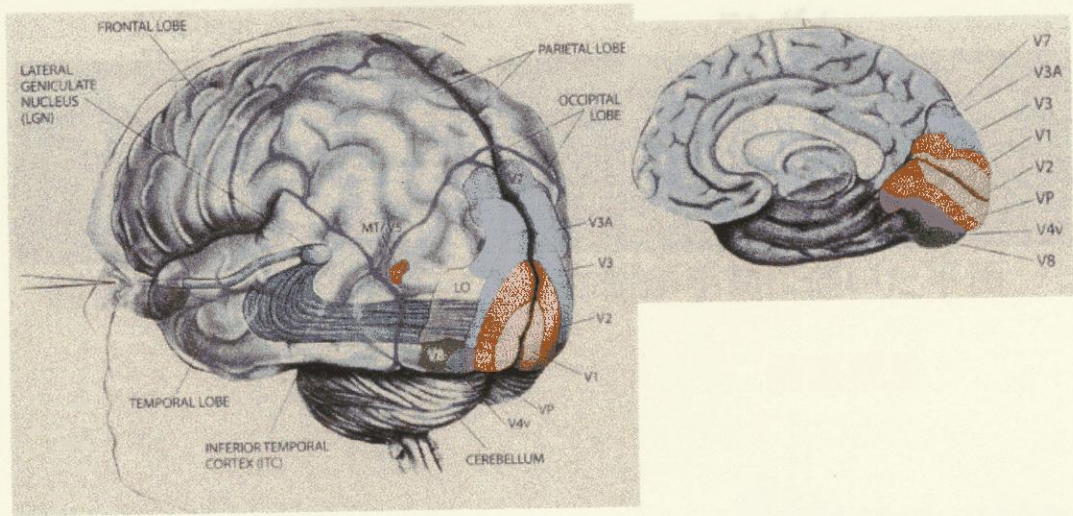


図 2.20 視覚野

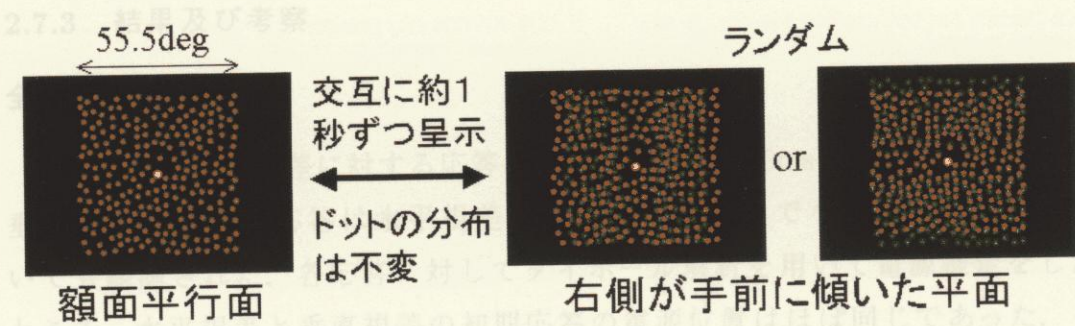


図 2.21 全視野刺激

2.7. 実験3 水平、垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における脳磁場応答

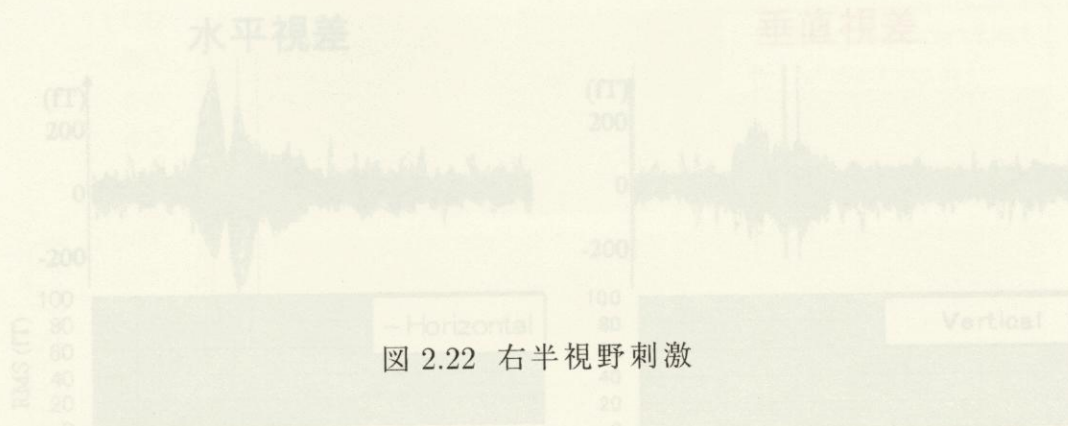
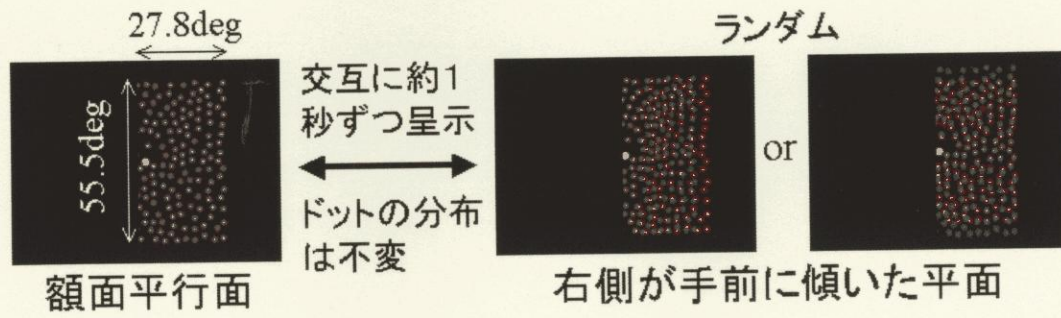


図 2.22 右半視野刺激

2.7.3 結果及び考察

全視野刺激

その結果、水平視差に対する応答は潜時 180ms と 240ms 前後に観測された。垂直視差に対する応答は水平視差とほぼ同潜時だけでなく 280ms 前後においても観測された。各応答に対してダイポール解析を用いて電源推定をしたところ、水平視差と垂直視差の初期応答の電源位置はほぼ同じであった。また、水平視差の 240ms 前後の応答と垂直視差の 280ms 前後の応答も類似していた。このことから、水平視差、垂直視差ともその検出、処理は同じ部位で行なわれるが、垂直視差処理の遅れは、心理物理実験に見られる垂直視差による傾き知覚の遅れと相関があることが示唆される。

右半視野刺激

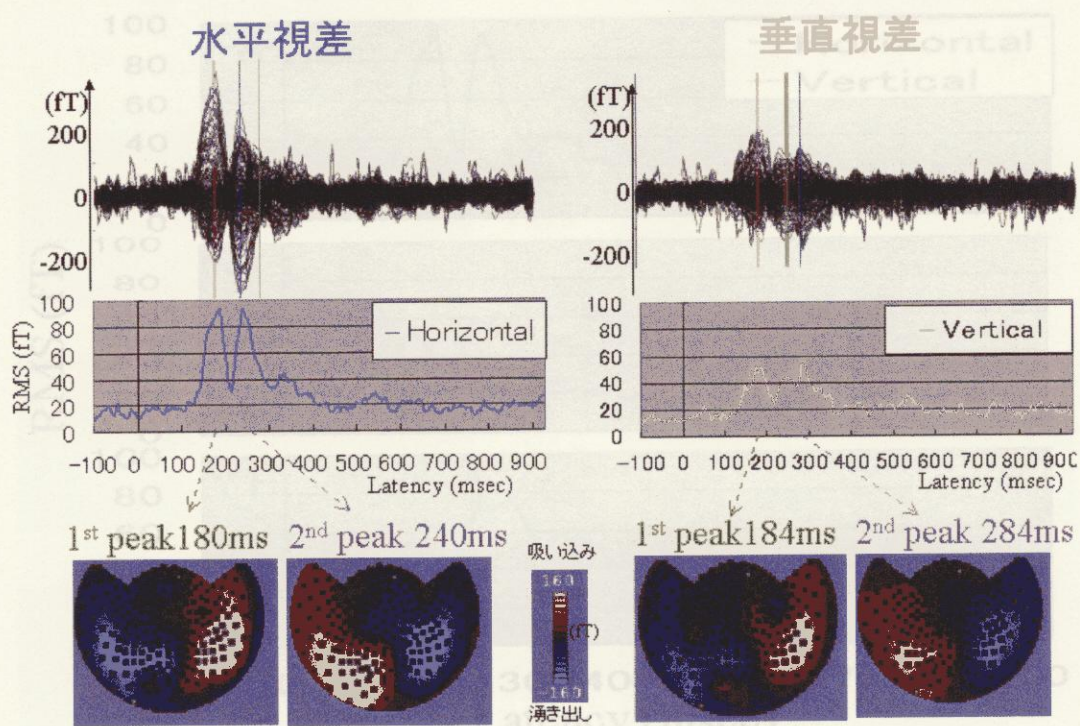


図 2.23 ダイポール解析結果 (HK)

2.7. 実験3 水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における脳磁場応答

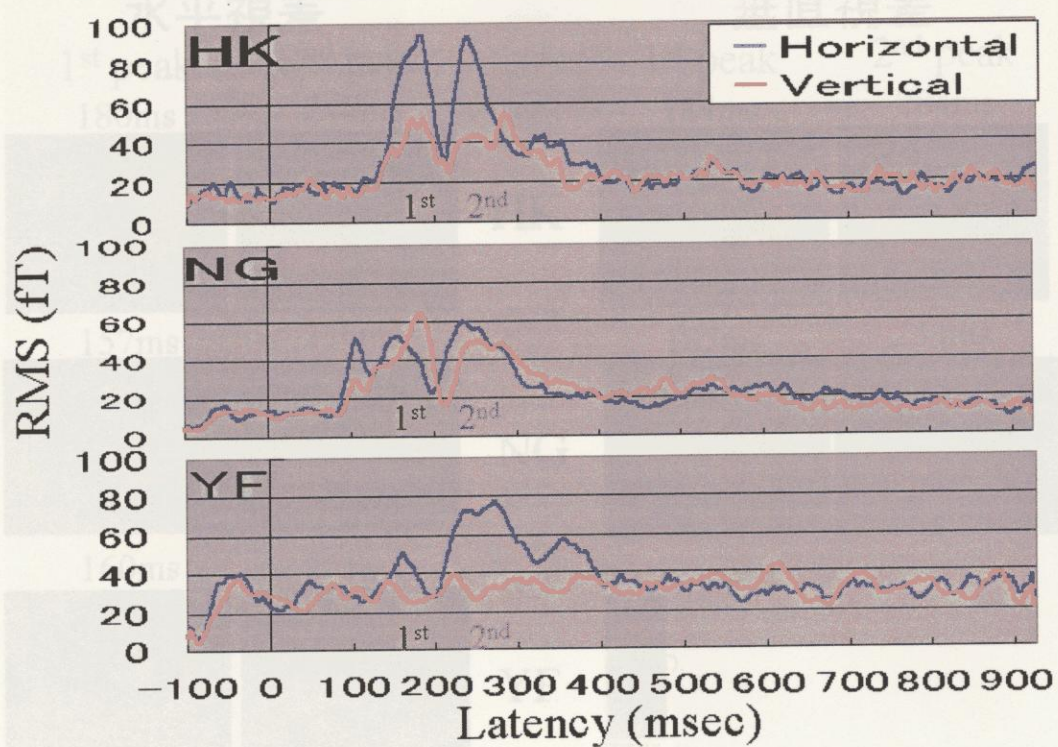


図 2.24 全チャンネルのパワー平均

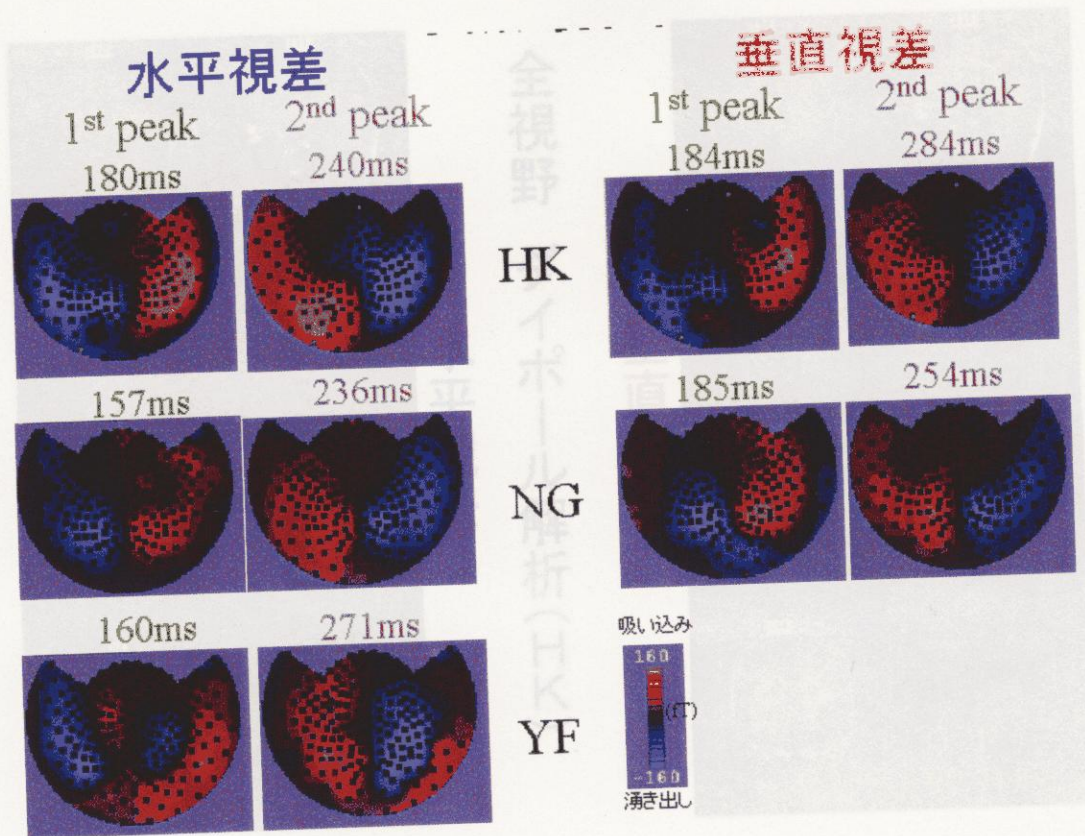


図 2.25 等磁場図 (HK)

2.7. 実験3 水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における脳磁場応答

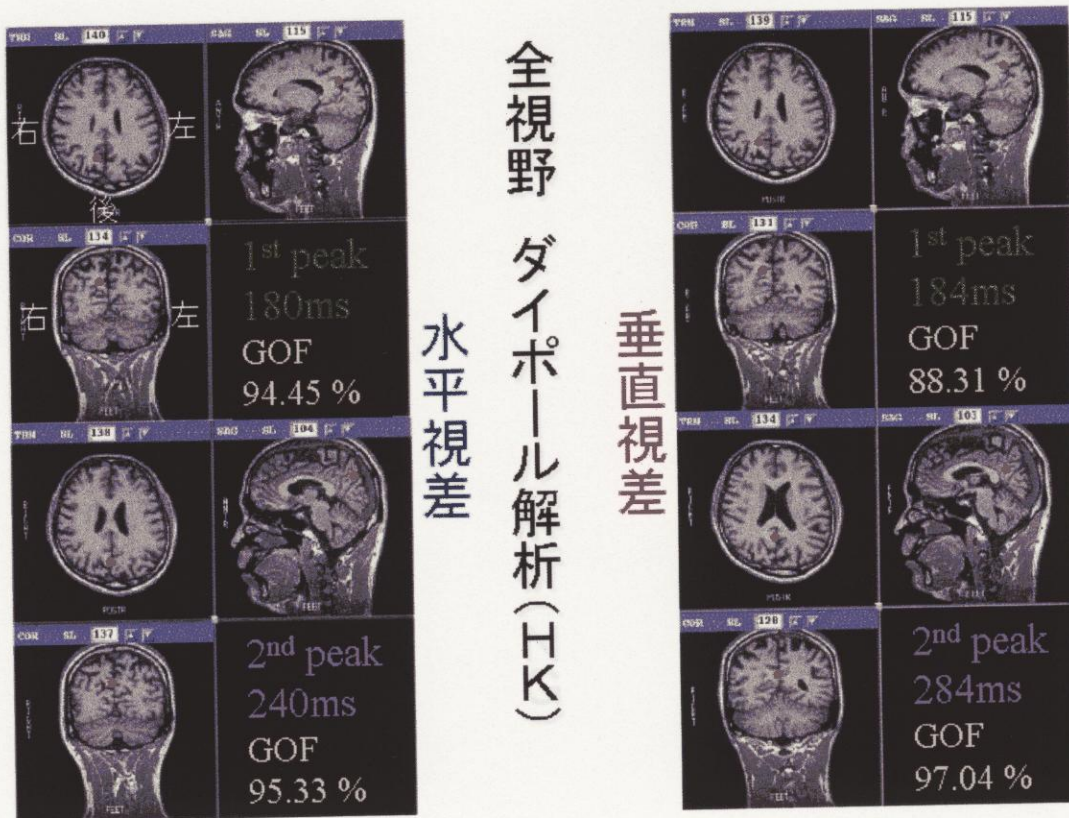
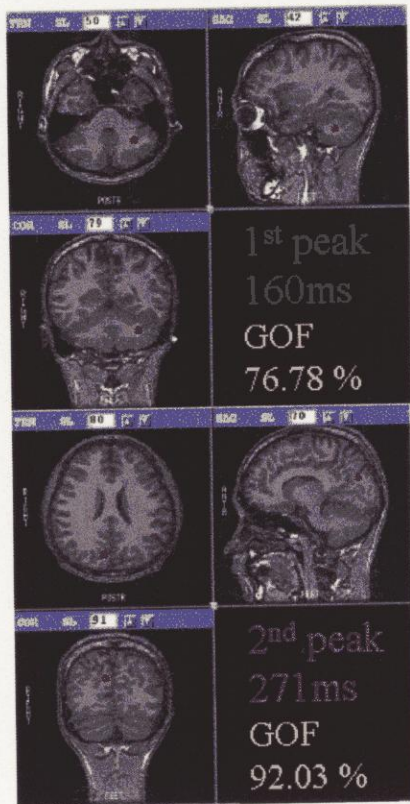


図 2.26 ダイポール解析結果(HK)



図 2.27 ダイポール解析結果 (NG)

2.7. 実験3 水平, 垂直大きさ視差による面の傾き知覚時における脳磁場応答



全視野
ダイポール解析(YF)

水平視差

垂直視差



図 2.28 ダイポール解析結果(YF)

第3章



図 2.29 ダイポール解析結果 (NG)

第 3 章

奥行き情報の統合による面の傾き

本章では、様々な奥行き情報がどのように統合されて面の傾き知覚に影響を与えるかを調べることを目的とする。実験 1 では、垂直大きさ視差による傾きと水平視差による傾きがどのように足し合わされるかを調べた。実験 2 では、両眼視差情報と遠近法情報がどのように統合されて面の傾きに影響されるかを調べた。実験 3 では、両眼視差情報と遠近法情報の統合が順応によりどのような影響を与えるかを調べた。

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

3.1 垂直大きさ視差と水平視差の統合による面の傾き

3.1.1 はじめに

実験1では垂直大きさ視差と水平大きさ視差を持つ刺激から知覚される面の傾きを測定し、実験3 aで得られた垂直大きさ視差と水平大きさ視差を単独で持つ刺激から知覚される面の傾きを足し合わせた値と比較する。

3.1.2 刺激

刺激は一辺が70.0度(1.40m)の正方形であり、ドット密度 D_{dot} は 392 dots / m^2 (768個のドット) に固定されたランダムドットのステレオグラムであった。そして、水平大きさ視差変化と垂直大きさ視差変化をいろいろな組み合わせで足し合わせた。画面上での視差は式にしたがった。

表 3.1 実験1の刺激条件

	画面上		網膜上	
F_x	0.71	cpm	0.0125	cpd
VSR	0.96, 0.98, 1.02, 1.04			
HSR	0.96, 0.98, 1.02, 1.04			
D_{dot}	24.5, 98.0, 392, 1570 (dots/ m^2)			

表3.1に実験4の刺激条件を示す。この組合せ64 [4 VSR × 4 HSR × 4 D_{dot}] 刺激と視差なしを8刺激、計72刺激を1セッション中にランダムに呈示し、全部で8セッション行った。前回の刺激による知覚への影響を除くため、ドット密度が1600 (dots/ m^2) の視差ゼロ刺激を2秒間呈示した後、本刺激を呈示し固視点上で知覚される面の傾きを測定した。被験者は実験3 bと共通の4名が参加した。

3.1. 垂直大きさ視差と水平視差の統合による面の傾き

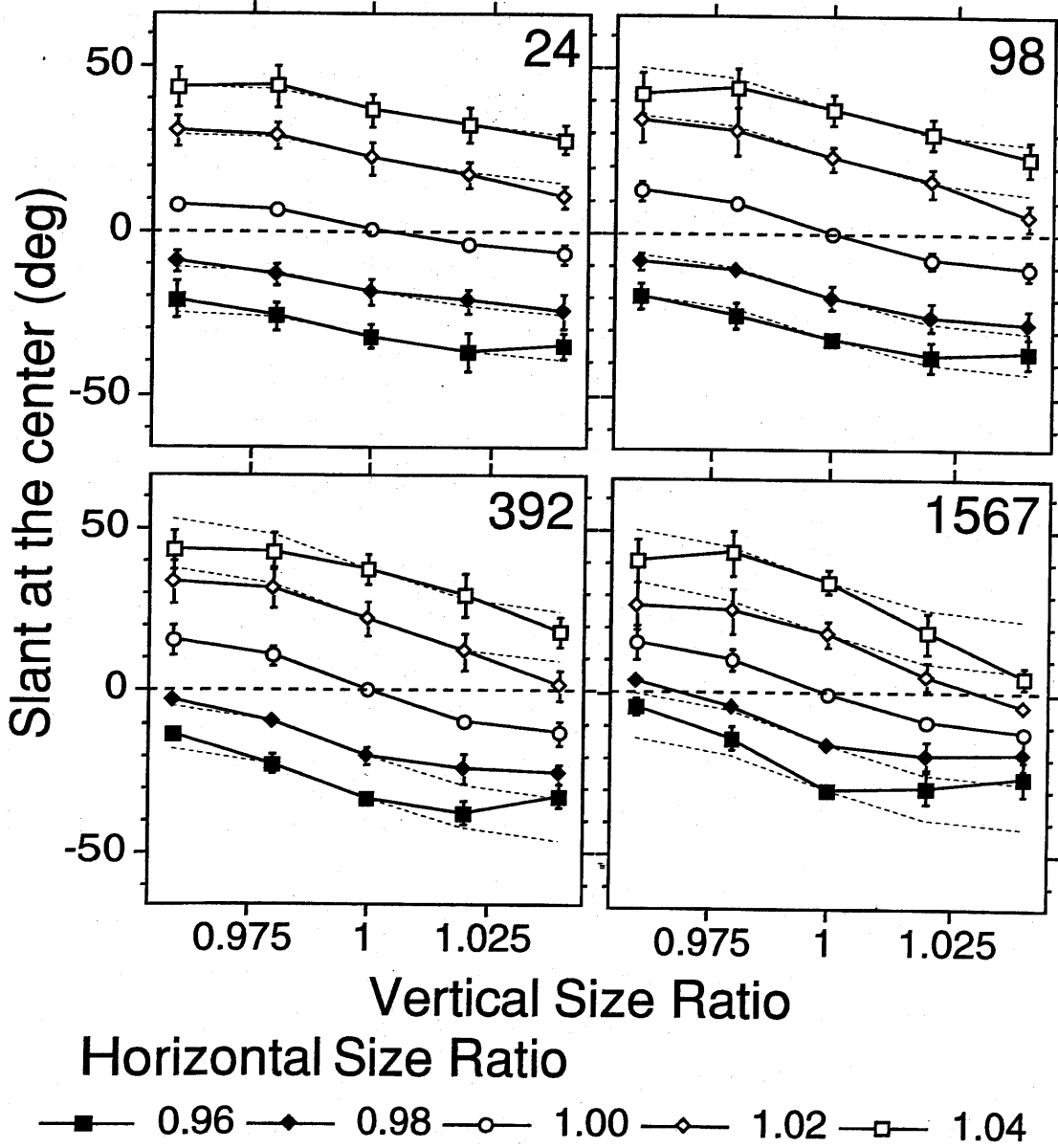


図 3.1 足し合わせ

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

3.1.3 結果

図3.1に実験4の結果を示す。この結果は4名の被験者の平均であり、各グラフの横軸はVSR、縦軸は固視点上で知覚された局所的な面の傾き、右肩の数字はドット密度、各シンボルは5種類のHSR、細点線は実験3bで得られた垂直大きさ視差と水平大きさ視差をそれぞれ単独で持つ刺激を呈示したときに、知覚される傾き量を足し合わせた値、誤差棒は標準誤差を表す。ここで、正の傾きは指示棒を鉛直軸に対して右に傾けたことを表す。

垂直大きさ視差と水平大きさ視差を同時に持つ刺激から知覚される面の傾き量は、ドット密度が小さいときは、それらを単独で持つ刺激から知覚される面の傾き量の足し合わせた値と一致するが、ドット密度の増加と共に傾き量が減少する方にずれてきた。

3.1.4 考察

実験結果から、(仮定4)垂直大きさ視差の成分と水平大きさ視差の成分は面の傾きに関して足し合わされることが実証されたが、ドット密度の増加とこの線形性がくずれてきた。それは、垂直視差と水平視差が足し合わされて斜め方向の視差になり、ドット密度が高い状態ではマッチングが困難となる。そのため、それぞれが単独で持つ性質を保持しつつも、それらの効果は減少したためと考えられる。

図3.1は垂直大きさ視差による傾きと水平視差による傾きの足し合わせ(仮定4)の検討を行ったが、次に、視差の足し合わせの検討を行った。図3.2は実験4のドット密度が $392\text{dots}/\text{m}^2$ の時の結果に、実験3bで得られた垂直大きさ視差を持つ刺激から知覚される傾きを式でその傾きを生み出すHSRに変換した。そして、その値とHSRと足し合わせた値をHSRとして、逆に式で傾きに変換した値(細点線)を重ねたものである。各グラフは4名の被験者ごと、および4名の平均で、横軸はVSD、縦軸は面の傾き、誤差棒は標準偏差(誤差)を表す。ここで、正の傾きは指示棒を鉛直軸に対して右に傾けたことを表す。

3.1. 垂直大きさ視差と水平視差の統合による面の傾き

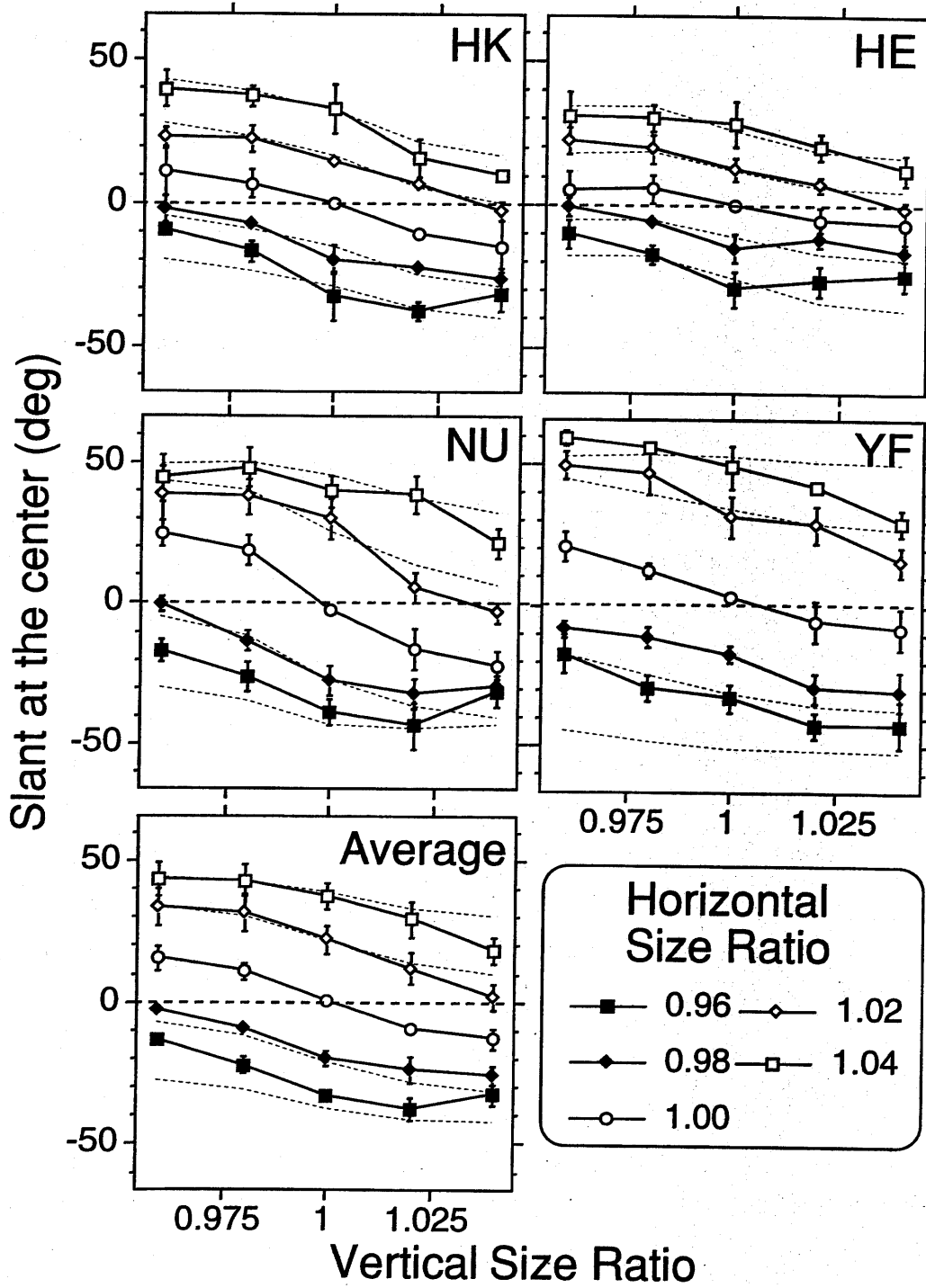


図 3.2 Effective Horizontal Disparity

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

図3.2から被験者 Y F の HSR が 0.96, 0.98 の時に大きくずれていることを除いて考えれば、ほとんど一致しているため、視差の次元で垂直大きさ視差と水平視差を持つ刺激からの面の傾きは、それぞれの成分を単独で持つ刺激からの面の傾きの足し合わせになるといえる。すなわち、今回の実験で用いた VSR, HSR の範囲内では知覚される傾きとの間は、ほぼ線形の関係にあることがわかる。

3.2 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き

本研究の目的は、視差情報と遠近法情報の統合の際に使われる重みが刺激の種類（本研究では異なる遠近法情報を組み合わせて刺激を構成した）によって、重みがどう変化するかを調べることである。さらに情報の矛盾度に対する重みの変化を調べ、重みが統合する情報の差によって、変化するような新しい非線形統合モデルを提案する。さらに、同一の刺激を用いても被験者により異なる重みを用いて、異なる知覚をえることを示すことも目的とする。実験では、参照刺激として額面平行面を呈示した後、実際の傾いた平面が持つ視差情報と遠近法情報を一致させたり、矛盾させた場合に知覚される面の傾きを測定した。この実験の結果、視差情報と遠近法情報の統合の際に使われる重みは、刺激の種類や被験者だけでなく、視差情報と遠近法情報が示す傾きの差にも依存することがわかった。さらに、この差が大きくなるにつれ遠近法情報の重みが増すといった、非線形な統合が行なわれていることが明らかになった。

3.2.1 方法

被験者は、それぞれが単独で垂直軸回りに傾いた平面を示す両眼視差情報と遠近法情報を持つ刺激を観察し、知覚される面の傾きを応答した。刺激変数は刺激構成（刺激の構成要素の配置方法）と両眼視差情報が示す傾き (S_d) と遠近法情報が示す傾き (S_p) であった。これらは独立にコントロールすることができ、その方法は後に述べる。実験では、これらの2つの情報をそれぞれ

3.2. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き

れランダムに変化させた。この実験により、両眼視差情報が示す傾きと遠近法情報が示す傾きを様々に変化させた場合に使われるそれぞれの情報の重みを調べた。

刺激

刺激はステレオペアであり、左右の眼用に呈示される2枚の画像は、2台のプロジェクションモニタ (SANYO Hi-Vision LCD PROJECTOR HVP-100) で、視距離は1mのところにある1枚のリヤスクリーンの縦70.0度(1.40m)、横101度(2.43m)の範囲に投影された。偏光フィルターを用いることにより、2枚の画像は左右の眼に分離して呈示された。画像は縦1,035画素、横1,920画素で構成され、各画素は256階調のグレイスケールで表現されていた。

テスト刺激は両眼視差と遠近法情報を独立にコントロールするために、以下の通り作成された。まず、暗黒背景上に多数の白いドットを配置して構成した原画像を、その面の中央にある固視点を通る鉛直軸に対して遠近法情報が示す面の傾き (Sp:Slant from Perspective) だけ回転させる。次に、cyclopean eye (両眼間の中心位置) を視点としてスクリーンに透視変換して像を作る。その像に対して、両眼視差情報による面の傾き (Sp:Slant from Disparity) を生み出すような水平大きさ視差を式に基づいて加える。原画像から刺激画像を作製する際にアフィン変換を用いた。その際、補間法として線形補間法を用いた。

原画像は、暗黒背景上に後に述べるように適当に配置された多数の白いドットと、刺激の中央に置かれた固視点で構成される。各ドットは、直径2.0度(18.0mm)の円であり、固視点やドット同士が重なり合わないよう配置されていた。また、各ドットの輝度分布は、中心を最大輝度(20cd / m²)とするガウス分布状であったため、その位置を模擬的に1画素以下で制御できた。また、画面中央に、ドット密度(全画素中で輝度が0でない画素数の割合)は30%であった。固視点は他のドットと同じ大きさであるが、一様な輝度(20cd / m²)を持つため固視点である事は容易に区別できた。

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

参照刺激はドット密度が10%であることと、ドットの分布範囲が画面いっぱいを除いてテスト刺激と同じである。視差情報も遠近法情報もともに傾きが0であることを示しているの、スクリーン上に額面平行面が知覚される。

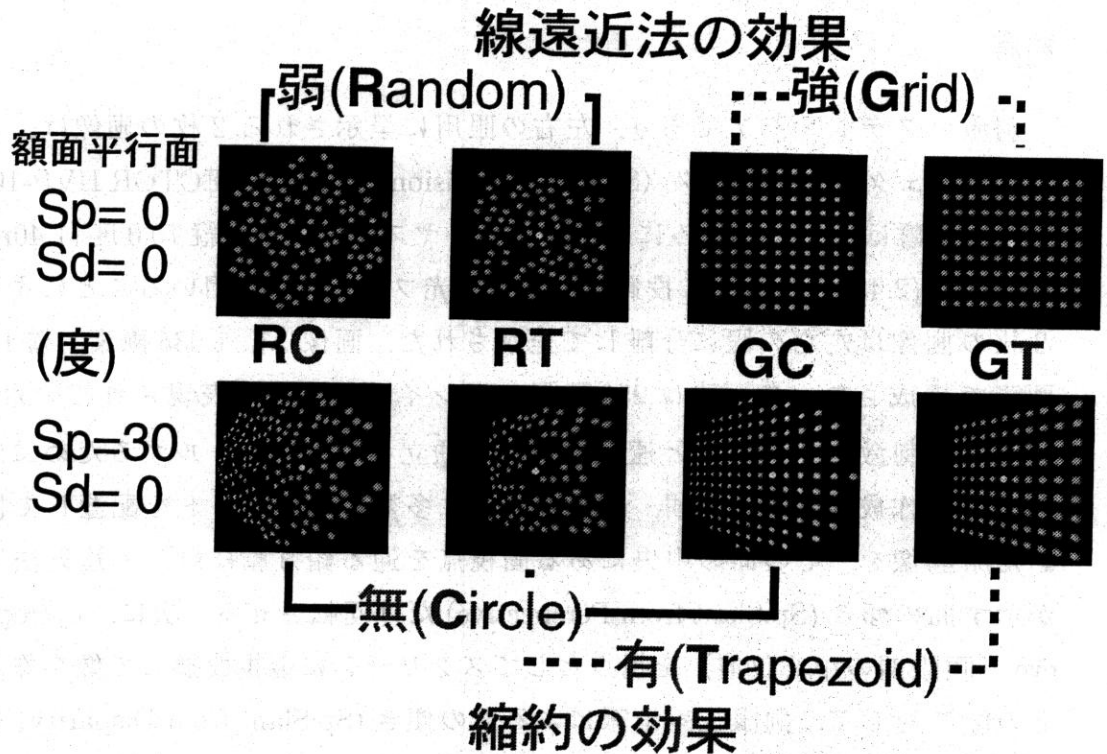


図 3.3 刺激

図3.3に、本実験で用いた刺激の概形を示す。遠近法情報の寄与率を変化させるため、ドットの並べ方とドットが分布する領域の形状の2つの要素を制御した。ドットの並べ方として、ドットをランダムに配置する Random 条件と、ドットをグリッド状に配置する Grid 条件を用いた。また、ドットが分布する領域の形状として、一辺が58.5度の正方形を面の傾きとともに台形変化させる Trapezoid 条件と、面の傾きによらず常に直径が70.0度の円である Circle 条件を用いた。ここで、Trapezoid 条件において30度傾けた時には、Circle 条件の領域の大きさとほぼ一致した。これらを組み合わせた以下の4

3.2. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き

種類の刺激構成を用いて実験を行った。RC：ドットの並び方がRandom条件で、その領域の形状がCircle条件である刺激構成、RT：ドットの並び方がRandom条件で、その領域の形状がTrapezoid条件である刺激構成、GC：ドットの並び方がGrid条件で、その領域の形状がCircle条件である刺激構成、GT：ドットの並び方がGrid条件で、その領域の形状がTrapezoid条件である刺激構成。

本実験で刺激は(Sp, Sd)それぞれ鉛直軸に対して $-30, -15, 0, 15, 30$ 度の傾きによって構成される。ここで、鉛直軸に対して左側が奥に右側が手前にくるように傾いた場合を負の傾き、逆に左側が手前に右側が奥にくるように傾いた場合を正の傾きとした。このとき、水平大きさ視差による左右像間の水平方向の大きさの違いが、 $-3.53, -1.62, 0.00, 1.62, 3.53\%$ に対応する。ここで、眼間距離は 60mm とした。

応答方法

被験者は指示棒の角度を触覚のみを手がかりとして調節し、知覚される面の傾きを応答した。面の傾きを応答するには、Koenderink et al.(92) [11]のGauge figure法や、Kaneko and Howard(97) [9]の水平視差を持つ参照刺激を用いる方法がある。これらの応答法は、本刺激以外の画像が呈示されるため、本刺激の知覚が影響を受ける可能性がある。そこで、目では観察されない指示棒の角度を手で調節して、面の傾きを応答する角度応答法 [6,10]を用いた。

角度応答は、角度応答器を用いて行った。この装置は黒い布で覆われ被験者からは観察されなかった。ここで、指示棒を画面に対して垂直にしたときを 0 度とし、鉛直軸に対して左に傾けた場合を負の傾き、右に傾けた場合を正の傾きとした。指示棒の傾きが 0 度になると引っかかりが感じられるように作られていたので、被験者それを手がかりとして用い、 0 度からの相対的な傾きであることを考慮して応答した。この方法は、他の視覚刺激による本刺激の知覚への影響はないが、視覚情報を触覚情報に変換して応答するた

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

め、その変換に伴って生じる誤差（絶対量の増減，再現性）を考慮しなければならない。そこで，被験者毎に実際の平面を観察した時の面の角度と，今回の方法により得られた触覚による角度の関係を測定し，それにしたがって得られたデータを補正した。この予備実験に関しては，付録で詳しく述べる。また，画像のひずみにより生じる視差の影響を除外するため，実際の測定値から画面上で視差がない刺激に対する応答値を差し引いた値をデータとして用いた。

角度応答器は，被験者の視線と刺激の中心を結ぶ線分の下方約30cmの刺激の観察を妨げない位置に固定された。その指示棒は10cmの長さがあり，鉛直軸回りに-80度から80度まで回転させることができた。角度の値は，ポテンシオメータにより電圧に変換されパソコンに入力された。

手続き

被験者は額面平行面が知覚される参照刺激を2秒間観察した後，呈示されたテスト刺激に対して知覚される面の鉛直軸回りの傾きの法線方向の角度に，角度応答器の指示棒の角度が一致するように調節した。調節時間は無制限であり，その間テスト刺激は呈示されたままであった。応答後，被験者は指示棒を0度に戻してから，次の刺激に備えた。刺激の呈示が完了すると電子音となり，被験者に応答入力待ち状態であることを知らせた。同様の手順で全ての刺激に対して面の傾きを応答した。各被験者毎に，1つの刺激構成を1つのブロックとし，異なる25種類の条件（両眼視差情報が示す傾き (S_d) と遠近法情報が示す傾き (S_p) とも -30, -15, 0, 15, 30度の5種類でそれらの組み合わせ) がランダムに8回ずつ呈示された。これが4種類の刺激構成に対して行なわれた。4人の被験者が実験に参加し，そのうち2人の被験者は視力矯正して実験を行なった。また，被験者全員が通常の立体視機能を有していた。実験において，被験者は椅子に座って顎台で頭部を固定した状態で常に固視点を観察した。このとき被験者の眼の位置が固視点と同じ高さ(床から1.42m)になるようにした。装置の周辺は暗幕で覆われ，被験者からは角

3.2. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き

度応答器も含めてスクリーン上の刺激以外のものは見えないようにした。

3.2.2 結果

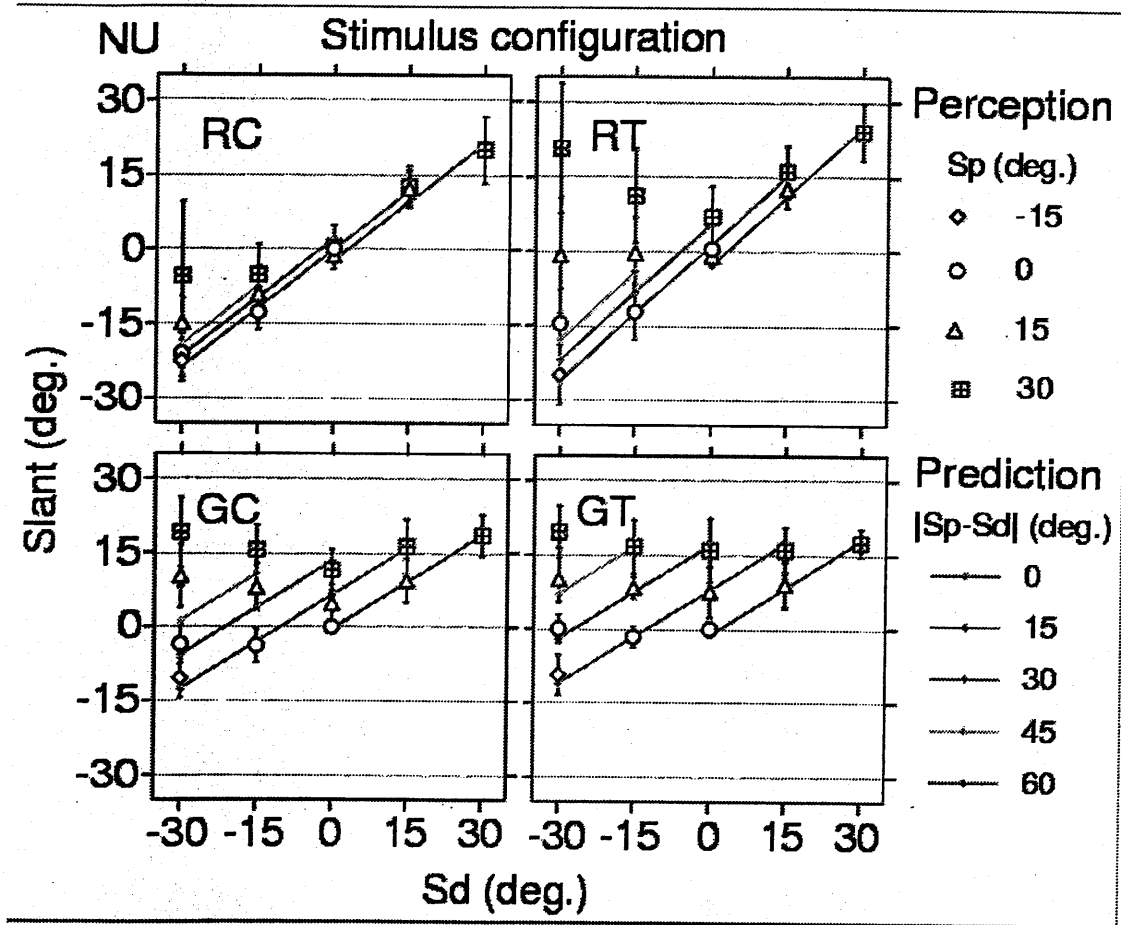


図 3.4 知覚した傾き

図 3.4に 4 人の被験者の平均の結果を示す。上段から順に被験者 NG, H K, Y F, NU の結果であり、各グラフは刺激構成の違いを表していて、一番左のグラフから順に RC 条件：ドットの並び方が Random 条件で、その領域の形状が Circle 条件である刺激構成、右上のグラフは RT 条件：ドットの並び方が Random 条件で、その領域の形状が Trapezoid 条件である刺激構成、左下のグラフは GC 条件：ドットの並び方が Grid 条件で、その領域の形状

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

が Circle 条件である刺激構成，右下のグラフは GT 条件：ドットの並び方が Grid 条件で，その領域の形状が Trapezoid 条件である刺激構成である。グラフの横軸は視差情報が示す傾き (S_d) を表していて、縦軸は知覚された傾きを示している。各シンボルは遠近法情報が示す傾き (S_p) を，誤差線はその標準偏差を表している。波線は後述する線形モデルから予測される傾きを表す。

図3.4から，たとえ同一条件の刺激を観察しても，被験者や刺激構成が変わると知覚される傾きは大きく異なることがわかる。

表3.2に，これらの結果に対して分散分析をおこなった結果を示す。 S_p, S_d

表 3.2 奥行き情報の主効果とそれらの交互作用

	F 確率分布 (%)			
	RC	RT	GC	GT
主効果 S_p	3.7	1.7	0.0	0.1
主効果 S_d	0.0	0.0	0.2	3.4
交互作用 $S_p \times S_d$	15.4	0.6	33.0	10.0

とも強い，主効果を持つものの，交互作用はほとんど見られない。

3.2.3 考察

最初に，本研究で用いた線形モデルについて述べ，その後新しく提案する非線形モデルについて述べる。そして，実際にこれらのモデルに実験結果を当てはめて重みを計算する。

以下に，の影響についてそれぞれ詳しく述べる。

3.2. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き

線形モデルと非線形モデル

線形モデルと非線形モデルを説明した後、線形モデルが成り立たなくなる事を示す。それを改良した非線形モデルによりモデルの予測値と実験値の差が減少したことを示す。

線形モデルと非線形モデルの2つのモデルを提案し、その有効性を比較する。

両眼視差情報が示す傾きと遠近法情報が示す傾きの差が同じであれば重みが定まるとする。

それぞれ

線形モデルがいかに成り立たなくなるかを、情報の差に着目して調べる。

この線形モデル

次に、以下のような仮定を置く。

線形モデル 各々の情報の重みは刺激構成に固有であり、それぞれが示す傾きによらず一定である（常に線形）。

非線形モデル 視差情報が示す傾きと遠近法情報が示す傾きの差の絶対値 S_{dif} に依存する。

まず、仮定1に基づいた場合の重みを考える。

まず、仮定1が正しければ、ある S_{dif} の時に求められる重みが、他の両眼視差情報が示す傾きが S_p 、遠近法情報が示す傾きが S_d の時に予想される傾き： $\hat{S}(S_p, S_d)$ をとすると、

$$\hat{S}(S_p, S_d) = W_p S_p + W_d S_d + \sum_i W_{c_i} S_{c_i} \quad (3.1)$$

で表される。ここで、 S_p, S_d, S_{c_i} ：遠近法情報、視差情報、その他の手がかりから予想される傾き、 W_p, W_d, W_{c_i} ：それぞれが示す傾きの重みとする。遠近法情報の示す傾きの重みと両眼視差情報の示す傾きの重みの和を a とし、それに対する遠近法情報の示す傾きの重みの割合を W'_p とする。また本実験では、遠近法情報、両眼視差情報以外の奥行き手がかりが示す傾きは変わらな

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

いので、それぞれに対応する重みを掛け合わせたものの和を定数 b であるとする、

$$\begin{aligned} a &= W_p + W_d \\ b &= \sum_i W_{c_i} S_{c_i} \\ W'_p &= \frac{W_p}{W_p + W_d} \end{aligned} \quad (3.2)$$

のように表され、式(3.1),(3.2)より、

$$\hat{S}(S_p, S_d) = a(W'_p S_p + (1 - W'_p) S_d) + b \quad (3.3)$$

となる。

$C(S_{dif})$ を、視差情報が示す傾きと遠近法情報が示す傾きの差の絶対値が S_{dif} であるような (S_p, S_d) の集合であるとする、

$$C(S_{dif}) = \{(S_p, S_d) \mid |S_p - S_d| = S_{dif}\} \quad (3.4)$$

で表される。ここで、 m を集合 $C(S_{dif})$ に含まれる要素の数とすると、

$$m(S_{dif}) = |C(S_{dif})| \quad (3.5)$$

となる。

まず、2つの情報が一致する場合 ($S_p = S_d$) に知覚される傾きを利用して a, b の値を定める。すなわち $S_{dif} = 0(deg)$ のとき、 n 回の試行にわたって知覚される傾きの平均値を $\bar{S}(S_p, S_d)$ とおくと、式(3.3)は、

$$\hat{S}(S_p) = a S_p + b \quad (3.6)$$

となり、 a, b は最小二乗法を利用して以下のように定まる。

$$a = \frac{m(0)(\sum S_p \bar{S})(\sum S_p)(\sum \bar{S})}{m(0)(\sum S_p^2) - (\sum S_p)^2} \quad (3.7)$$

$$b = \frac{(\sum \bar{S})(\sum S_p^2) - (\sum S_p)(\sum S_p \bar{S})}{m(0)(\sum S_p^2) - (\sum S_p)^2} \quad (3.8)$$

3.2. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き

ここで、全ての Σ は、 $C(0)$ すなわち $S_p = S_d$ を満たす全ての (S_p, S_d) における総和を求める

誤差を $\epsilon(S_{dif})$ とすると、

$$\epsilon(S_{dif}) = \sqrt{\frac{\sum_{(S_p, S_d) \in C(S_{dif})} \{\bar{S}(S_p, S_d) - \hat{S}(S_p, S_d)\}^2}{m(S_{dif})}} \quad (3.9)$$

が最小となるときの $W_p'(S_{dif})$ と定義すると、

$$W_p'(S_{dif}) = \frac{1}{2} - \frac{\sum_{(S_p > S_d)}^{\frac{m}{2}} \bar{S}(k) - \sum_{(S_p < S_d)}^{\frac{m}{2}} \bar{S}(k)}{a \cdot m \cdot S_{dif}} \quad (3.10)$$

となる。

例えば $S_{dif} = 15(deg)$ の場合は、本実験においては $S_p, S_d = -30, -15, 0, 15, 30(deg)$ であるから、となる。

$$S_{dif} = 0, 15, 30, 45, 60 \quad (3.11)$$

図 3.5 に、2 つの情報が示す傾きの差が小さい ($S_{dif} = 15(deg)$) 時に、式 3.10 から計算される重みを示す。各グラフにおいて横軸は共通で刺激構成の違いを表しているが、縦軸はそれぞれ異なる重みを表している。左上のグラフは遠近法情報から予想される傾きの重み W_p 、右上のグラフは視差情報から予想される傾きの重み W_d 、左下のグラフはこれら 2 つの重みを足し合わせた値 $W_p + W_d$ 、右下のグラフは $W_p / (W_p + W_d)$ である。また、グラフ上の各シンボルは被験者の違いを表す。

視差情報の重みが遠近法

被験者 NG, HK, YF, NU の順で

被験者 NG に関してはどの刺激構成に対しても、ほとんど視差情報のみで傾きを知覚しているが、

2 つの重みを足しても 50% ぐらいであることから、

式 3.10 から計算された重みを図 3.6 に示す。各グラフにおいて横軸は共通で刺激構成の違いを表しているが、縦軸はそれぞれ異なる重みを表している。左上のグラフは W_p 、右上のグラフは W_d 、左下のグラフは $W_p + W_d$ 、右

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

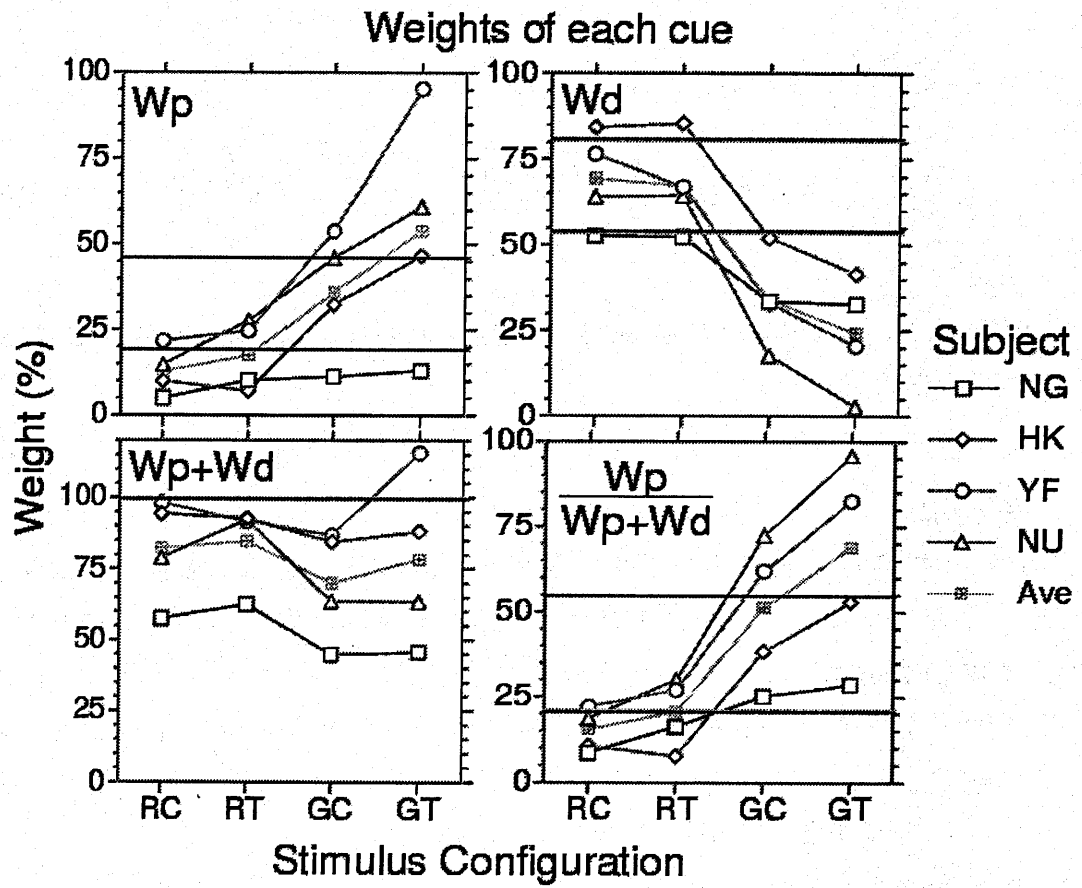


図 3.5 線形モデルから求められた重み

3.2. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾き

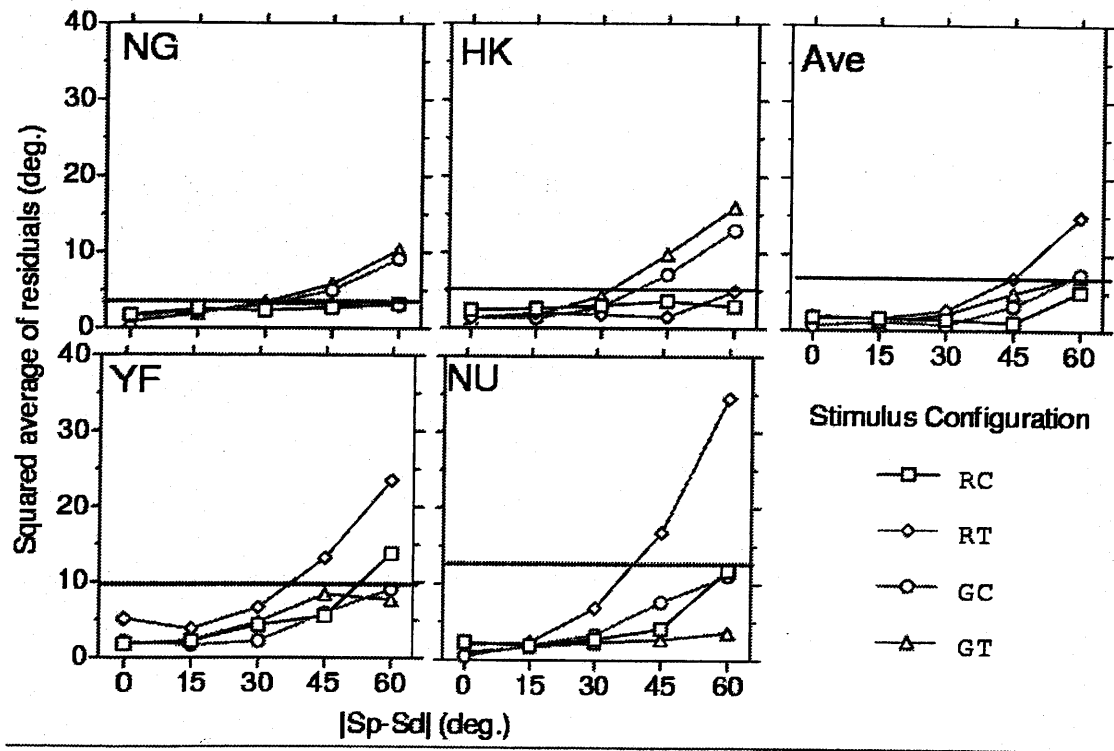


図 3.6 線形モデルを用いたときの誤差

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

下のグラフは $W_p/(W_p+W_d)$ である。また、グラフ上の各シンボルは被験者の違いを表す。各グラフに書かれている2本の平行線はその間に挟まれた領域が線形領域で、その両側が非線形領域であることを表している。

このように、

非線形モデルで決定される重み

表3.3に、分散分析の結果を示す。刺激構成は極めて強い主効果、 $|S_p - S_d|$

表 3.3 重みの刺激構成や情報の差に対する主効果と交互作用

		F 確率分布 (%)		
		W_p	W_p	W_p'
主効果	刺激構成	0.6	0.0	0.0
主効果	$ S_p - S_d $	1.2	1.2	1.1
交互作用	刺激構成 \times $ S_p - S_d $	42.6	42.6	57.4

は強い主効果を持つものの、それらの交互作用をあまりないことが明らかである。

3.3 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾きへの順応の効果

3.3.1 はじめに

奥行き手がかりの統合に際に用いる重みはそれぞれの情報が持つ誤差に反比例する。すなわちその誤差が小さい情報ほど信頼性が高いため、その情報が持つ重みは大きくなる。情報の信頼性が高い場合として、以下に例を挙げる。例えば、信頼性があるのは、ノイズの少ない情報だと考えられる。

3.3. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾きへの順応の効果

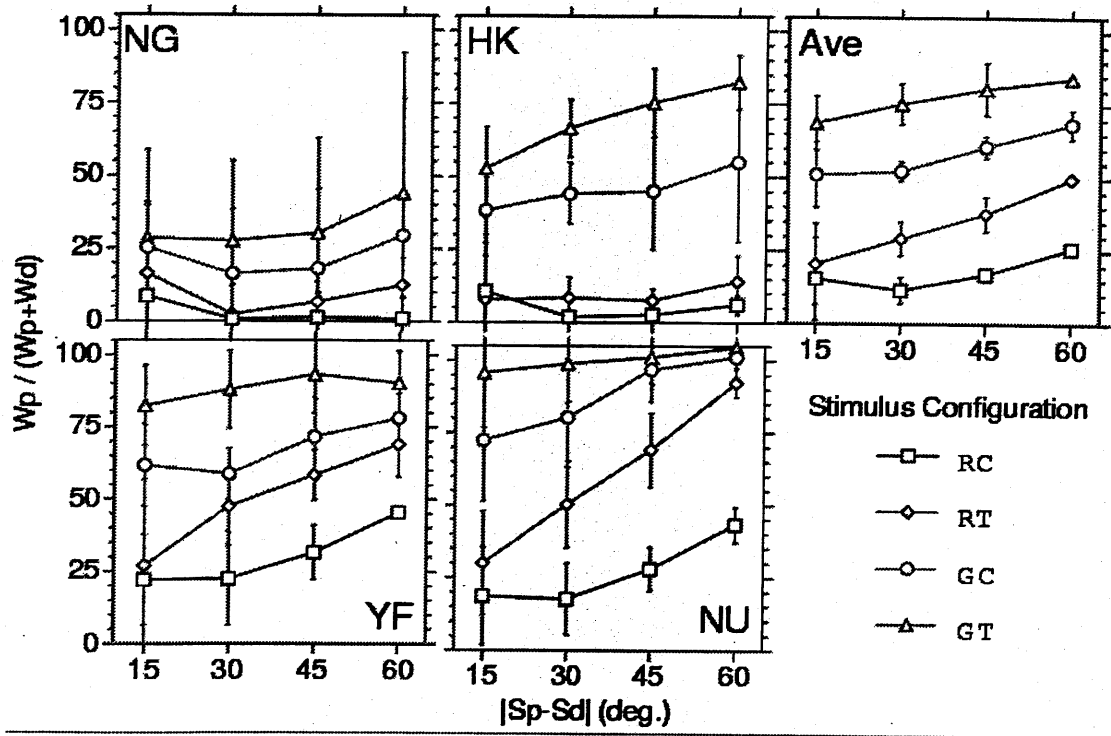


図 3.7 非線形モデルで決定される遠近法情報の相対的な重み

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾きへの生来情報の重みが決まっているのではなく、過去の経験に影響

特に、直前の刺激に影響するのではないか？

過去の経験により重みが変わる可能性を検討する。

順応により情報の重みが変わり、それに伴い知覚も変化することを、順応条件によって重みがどのように変化するかを明らかにすることを本実験の目的とする。

3.3.2 実験

変化している情報と

一つの情報を

手順

- 順応刺激を 120 秒間観察。
- テスト刺激の面の傾きを指示棒で応答。
- 再び順応刺激を 10 秒間だけ観察。
- テスト刺激, 再順応, テスト刺激…。

刺激

4 (3 : 順応刺激 + 1 :) × 7 (テスト刺激) × 4 (試行) = 84

被験者 3 名。

順応刺激は

視差情報

順応刺激は以下の 4 種類を用いた。P 条件では、視差情報を鉛直軸に対して 0 度の傾きに固定したまま、遠近法情報のみを 0 度から 30 度または -30 度に 10 度ずつせた。

0.5 秒

3.3. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾きへの順応の効果

1.0 秒

6 種類の中からランダムに一つ交互に呈示した.

D: 視差情報のみ変化

B: 両方の情報とも変化

N: 両方の情報とも不変

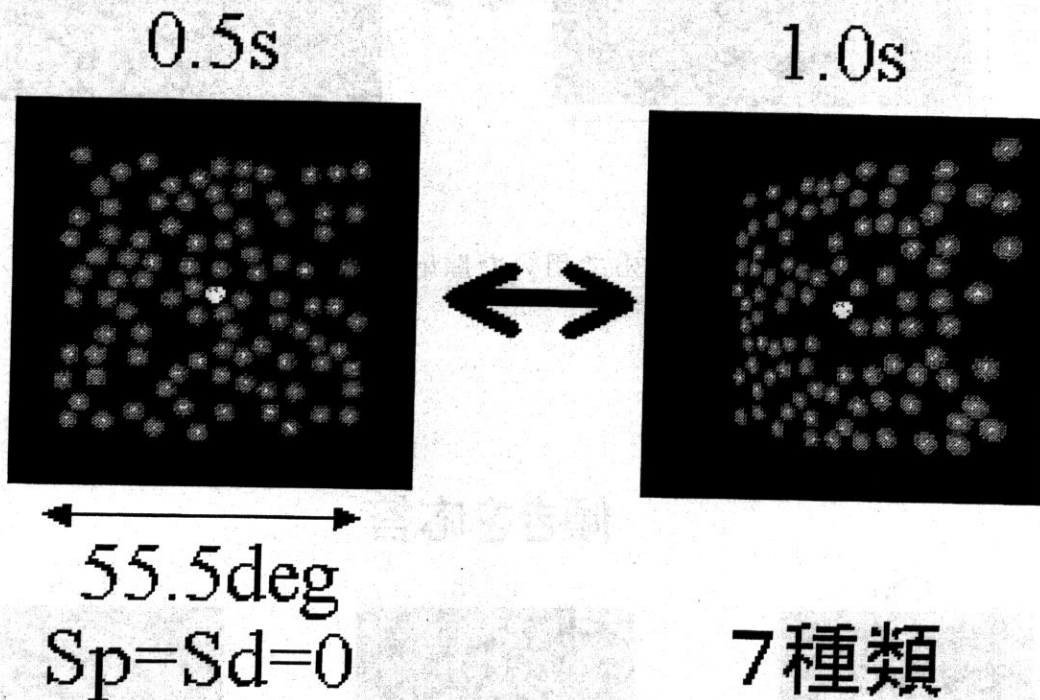


図 3.8 実験 3a で用いた順応刺激 (枠無し)

テスト刺激は、図 3.10 に示す手順で呈示した。暗黒背景に固視点のみのマスク刺激を 0.5 秒間呈示した後、テスト刺激を 1.0 秒間呈示した。テスト刺激は $(S_p, S_d) = (-30, 30), (-20, 20), (-10, 10), (0, 0), (10, -10), (20, -20), (30, -30)$ の情報を持つ。

結果

図 3.11 に実験 3a の結果を示す。横軸は

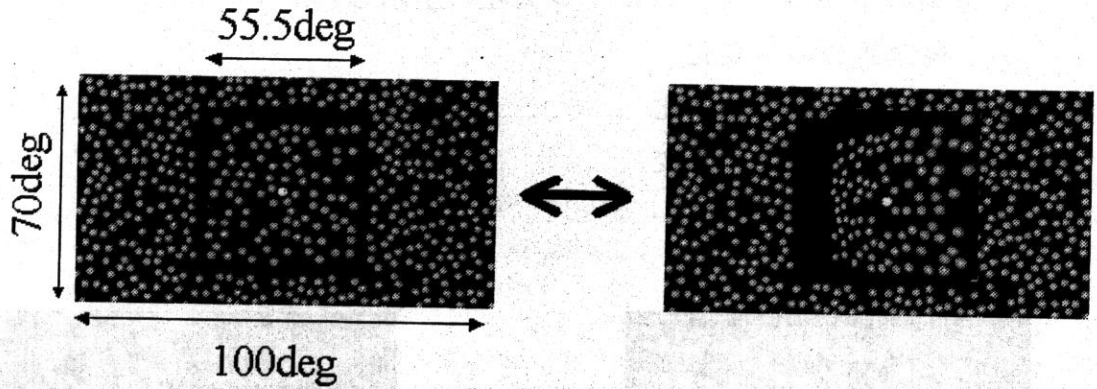


図 3.9 実験 3b で用いた順応刺激 (枠有り)

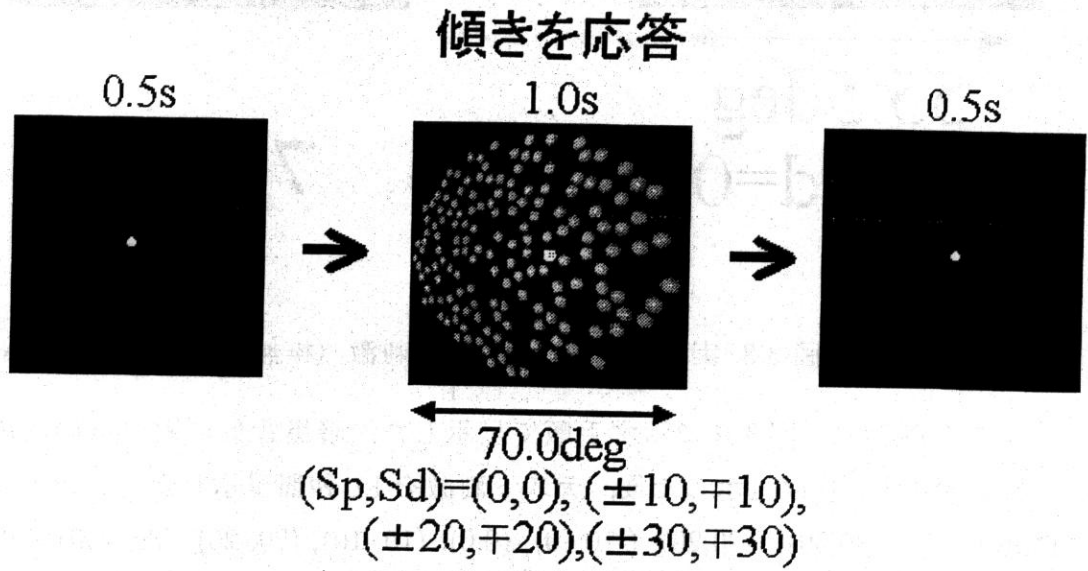


図 3.10 実験 3a, 3b のテスト刺激

3.3. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾きへの順応の効果

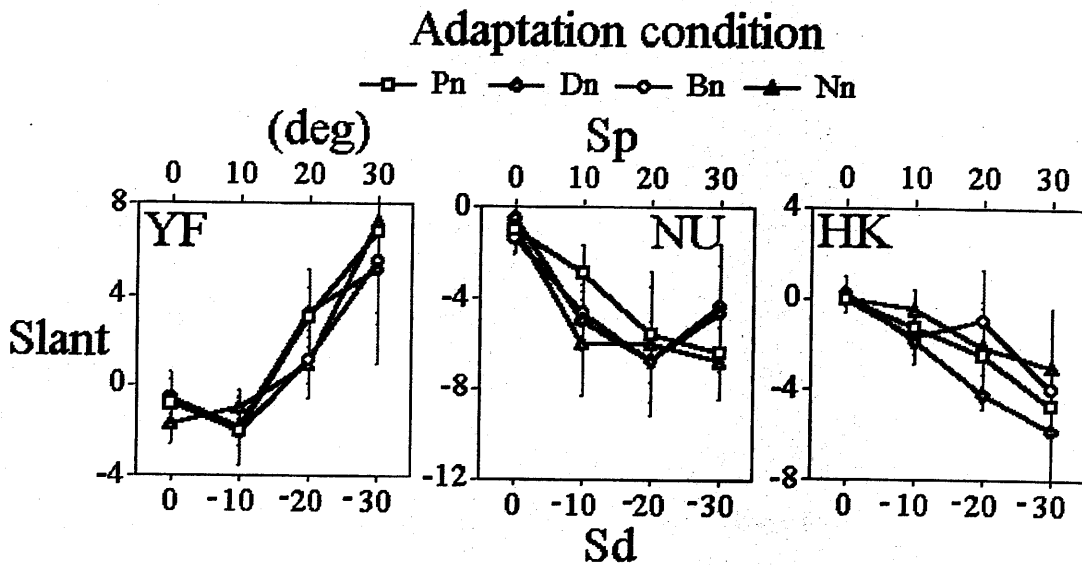


図 3.11 実験 3a の結果

縦軸は被験者が応答した傾きを示す。

各グラフは被験者ごとの結果を示している。

変化する刺激を信頼するのであれば、

考察

0 特異点?

順応の効果が明確でなかった理由

短時間の順応では、その効果の定量的な評価は困難であった。フィードバック無しの順応では、信頼性が大きく上がらなかった。統合における順応は context sensitive [?] であった。刺激サイズが大きかったため、枠の効果が十分でなかった可能性が挙げられる。

順応によって情報の重みが変わったと考えられる。

知覚と一致している方の情報の重みが大きくなる可能性が示唆される。

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

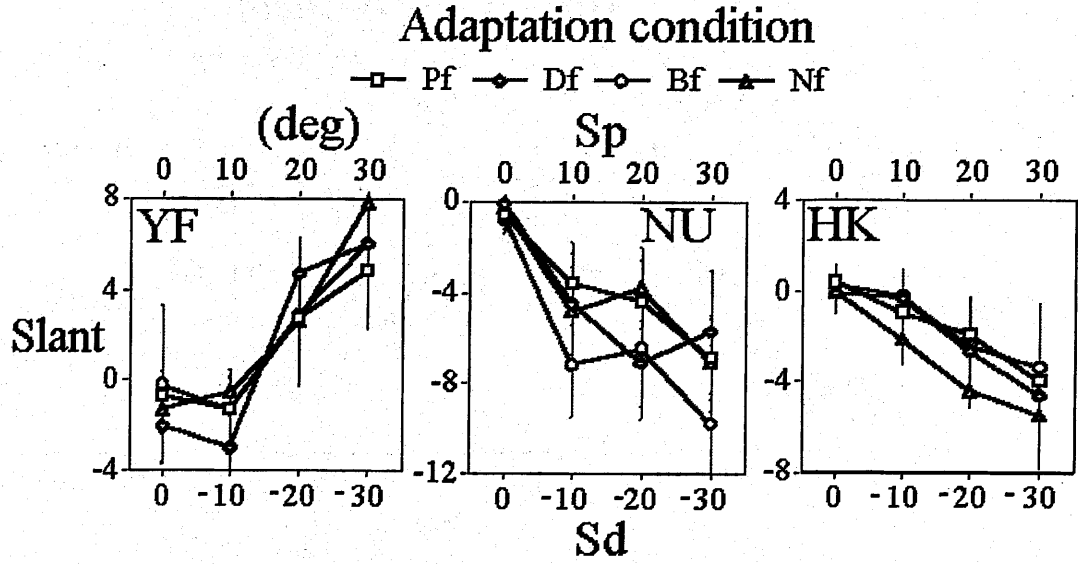


図 3.12 実験 3b の結果

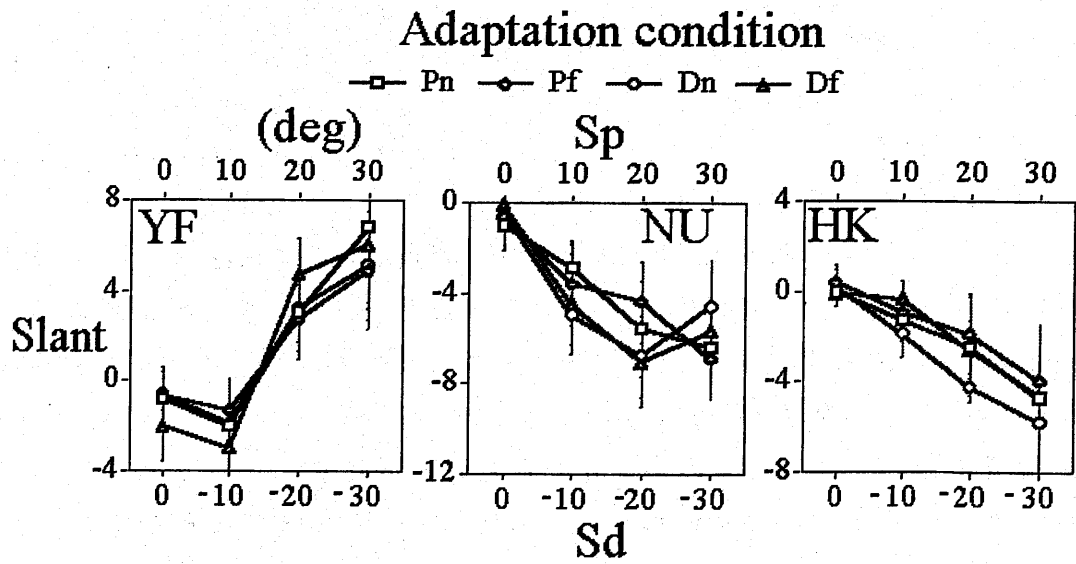


図 3.13 実験 3a,b の結果

3.3. 両眼視差情報と遠近法情報の統合による面の傾きへの順応の効果

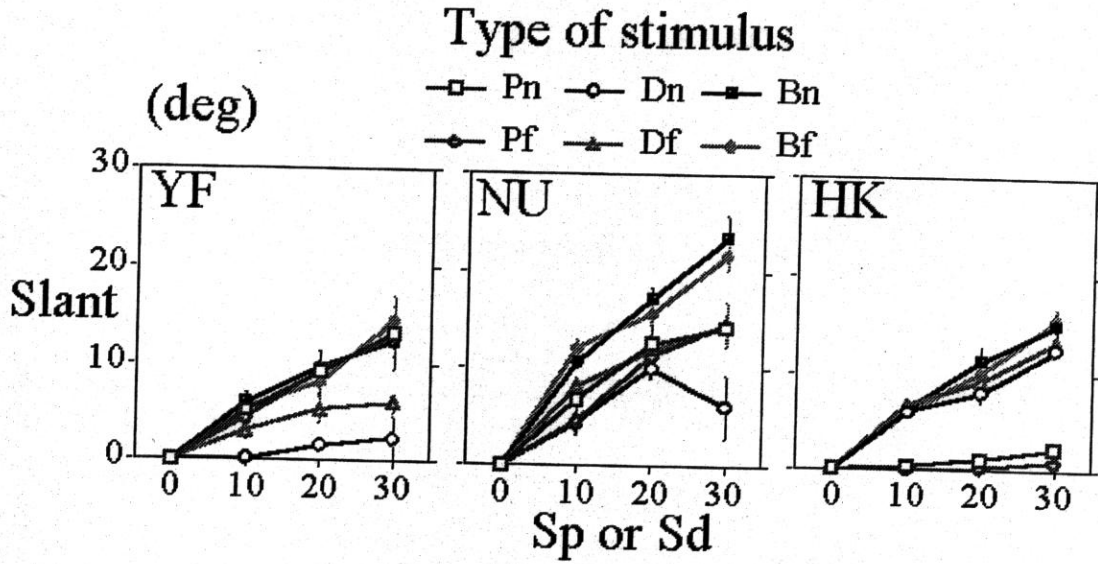


図 3.14 予備実験の結果

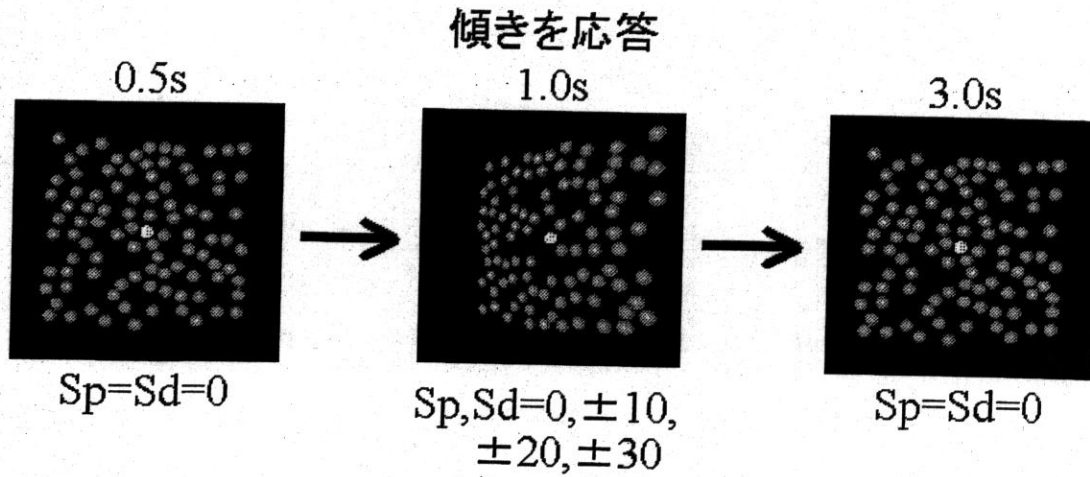


図 3.15 予備実験のテスト刺激

第3章 奥行き情報の統合による面の傾き

第 4 章

総合的考察

本章では提案したモデルの仮定の検討と、垂直視差処理システムの利点について考察する。そして、今後の課題について述べる。

第4章 総合的考察

4.1 視差による面の傾き

4.1.1 垂直大きさ視差の統合範囲

実験1-aより、周囲の垂直大きさ視差が最大となる固視点において面の傾きが最大となり、逆に固視点から視差変化の半周期分だけ水平方向に左または右に移動した点すなわち垂直大きさ視差が最小（逆符号）の点では、面の傾きが最小（逆向き）となることがわかった。また実験1-bより、垂直視差を鉛直方向に正弦波変化させたときも水平方向の場合と同様に、局所的なある点の知覚的傾き量が、その点の周囲の垂直大きさ視差量に対応していることがわかった。また実験2において、垂直視差変化の周波数が低い領域では、周波数が増加するにつれて知覚される面の傾き量が増加し、垂直視差変化の周波数が高い領域では、周波数が増加するにつれて知覚される面の傾き量が減少することがわかった。また、垂直視差変化の周波数が同じ場合は視差量の増加に伴って傾き量も増加した。これらの結果は、Kanekoら10)の結果を、刺激中の異なる位置での局所的な面の傾きを測定するという異なった方法により確かめると同時に、傾き知覚のための垂直大きさ視差統合範囲が垂直方向にも限定されていることを示唆するものである。

実験2の結果を、垂直視差の統合範囲という観点から考察する。以下、鉛直方向視差変化の低周波数領域、鉛直および水平方向視差変化の高周波数領域、水平方向視差変化の低周波数領域、の3つの領域に分けて考える。まず、鉛直方向視差変化の低周波数領域では、周波数が増加するにつれて知覚される面の傾き量が増加したが、これは統合範囲内において垂直大きさ視差量が増加したためだと考えられる。すなわち、この周波数範囲では、鉛直方向視差変化の一周期が鉛直方向の統合範囲より大きい周波数領域であったため、統合範囲内に同符号の垂直大きさ視差のみが含まれ、周波数の増加と共に大きい値の視差がその領域に入ったためだと考えられる。次に、鉛直および水平方向視差変化の高周波数領域では、周波数が増加するにつれて知覚される面の傾き量が減少したが、これらは統合範囲内に正と負の垂直大きさ視差が同時に存在し、互いに打ち消し合うためだと考えられる。最後

4.1. 視差による面の傾き

に、水平方向視差変化の低周波数領域では、周波数が増加するにつれて知覚される面の傾き量が増加したが、これは、上の2つの説明に用いた面の傾きは測定点周りの垂直大きさ視差量に対応しているという考えには合致しない。いまのところこの結果に対する明確な説明はないが、この場合は水平方向に一様に傾いた平面が知覚されるため、正弦波状に変化する曲面が知覚されるその他の場合に比べて、面の傾きを過小評価した可能性が考えられる。このように、垂直大きさ視差による面の傾き知覚は、視野の各位置において、その点を中心とする水平方向(7,10)、鉛直方向ともある広がりを持つ領域内での垂直大きさ視差が統合されて決定されるという考えによってほぼ説明できる。実験1-a,1-bから得られた、水平方向および鉛直方向の垂直大きさ視差変化の空間周波数に対応して知覚される面の形状が変化するという結果もこの考えと矛盾がない。垂直大きさ視差の統合範囲が垂直、水平方向に限定されているということは、このメカニズムが、統合範囲が視野全体だと考えられる垂直剪断視差(左右像の水平軸に沿った垂直軸方向のずれにより生じる視差分布) 3,5,9)のメカニズムとは異なることを示唆している。

垂直大きさ視差は現実には両眼から対象物への視距離の差によって生じる。現実には顔の正面付近ではゼロになり、それより左側になるにつれ左眼像がだんだん大きく、右側になるにつれ右眼像が大きくなるような分布を持つ。また垂直大きさ視差は抽出される面の鉛直軸回りの傾きにも影響を受けず6)、水平軸回りの傾きにも相対的には影響を受けない4)。このため、垂直大きさ視差は、ある距離での水平方向の離心角がわかっている場合は、絶対距離の判断の材料となる6)。このように、垂直大きさ視差を絶対距離と視方向の指標として用いれば、同じ傾きを持っているにも関わらず絶対距離と視方向の違いにより異なる値を持つ水平視差を補正でき4,14)、物理的に一定の面の傾きを常に一定に知覚させることが可能である。垂直大きさ視差は、このような理由で使われると考えられる。しかし、今回の実験で用いたような垂直大きさ視差の分布を生み出すような対象は、実際には存在しない。それにもかかわらず、面の傾きに影響を及ぼす。例えば、顔の正面に垂直大きさ視差が呈示されても、面の傾きが知覚される。また、位相を

第4章 総合的考察

180度変えても、すなわち左眼像と右眼像の刺激を入れ換えても、面の傾きに同様の傾向が見える。これは、人間が垂直大きさ視差をその空間位置にかかわらず処理していることを示す。また、先に述べたように垂直大きさ視差は空間位置により異なる値で分布しているため、視野全体で一意に定まる垂直剪断視差とは異なり、水平、垂直方向にも限定された統合範囲が存在する、と考えられる。

4.1.2 垂直大きさ視差処理システムの利点

以下に垂直大きさ視差処理システムが何のために存在するかについて考察する。

まず、垂直大きさ視差により、左右眼の調節状態の不一致や眼球の形状の不均一等により生じた視差を補正し、眼球の状態に起因する視差の奥行き感への影響を除去することができる。水平大きさ視差は、対象物の奥行きと像の大きさの影響を受けるため、この補正をすることができない。

また、垂直大きさ視差は対象面の視距離と視方向による水平視差への影響を補正できる。同じ傾きを持った面でも、その視距離と視方向が異なると水平視差の値は異なるが、絶対距離と視方向の指標として垂直大きさ視差を用いることにより [5,13]、物理的に一定の面の傾きを常に一定に知覚させることが可能である。

垂直視差は、上記のような理由で使われると考えられるため、広域的に処理される必要がある。そして、これは実験から明らかになった垂直視差の空間性質とうまく合致する。一方水平視差は微小な奥行き形状の変化を知覚するために使われるため、局所的に処理される必要がある。

4.2 今後の課題

今後の課題は、垂直大きさ視差処理の空間特性を説明するモデルの精緻化することである。本研究から垂直大きさ視差の統合範囲は水平方向、鉛直方向とも視野全体でなく、測定点を中心とするある広がりを持つ領域である

4.2. 今後の課題

ことが示唆されたが、その領域が明確に限定されたわけではない。そこで、実験により得られたデータに合致するように定められた統合範囲を持つモデルを構築することが必要である。また、本研究とは直接関係はないが、垂直大きさ視差処理の時間特性を調べることも重要な課題である。多くの被験者は、垂直視差を持つ刺激を観察したとき、面の傾きを知覚するまでに水平視差に比べてより時間を要することを報告した。この事実から、水平視差処理過程と垂直視差処理過程の時間特性は異なっていると考えられる。このため、水平視差処理過程と垂直視差処理過程の時間特性の違いを定量的に調べ、その原因を明らかにすることが垂直視差処理過程全体の理解のために必要であろう。

第4章 総合的考察

第5章

結論

以下に本研究から得られた主要な実験結果および結論を述べる。

変調された垂直大きさ視差によって定義された面の知覚的傾きを測定した。その結果、水平方向のみならず、鉛直方向の垂直大きさ視差の変化からも局所的な傾きの変化が生じ、その傾きは局所的な垂直大きさ視差に依存することがわかった。したがって、面の傾き知覚のための垂直大きさ視差の統合範囲は、水平方向だけでなく鉛直方向にも限られていると考えられる。そして、垂直大きさ視差は必ずしも視野全体に渡って統合されているわけではないと結論づけられる。

本論文では、まず垂直大きさ視差の性質を調べるため、その分布を様々に変化させたときに知覚される面の傾きを測定した。その結果、その統合範囲は水平方向に約6度、鉛直方向に約24度の縦長の領域内の垂直視差が統合された量が、面の傾き量と対応することが明らかになった。また、垂直大きさ視差と水平大きさ視差による面の傾き知覚における脳活動をMEGを用いて探った。すると、水平視差、垂直視差ともその検出、処理は脳内のほぼ同じ部位で行なわれるが、垂直視差処理は若干の遅れがあり、その遅れは、心理物理実験に見られる垂直視差による傾き知覚の遅れと相関があることが示唆された。

次に、垂直大きさ視差と水平視差の統合による面の傾き知覚を調べたところ

第5章 結論

ろ、それぞれの視差情報による傾きがほぼ線形に足し合わされて、知覚される傾きが決まることがわかった。また、面の傾き知覚の際に視差情報と遠近法情報の統合の際に使われる重みが、刺激の種類によってどう変化するかを調べた。その結果、視差情報が示す傾きと遠近法情報が示す傾きの差の絶対値が大きくなるにつれ、遠近法情報の重みが増すことが明らかになった。

以上の実験結果から、水平視差、垂直視差、遠近法情報の三つの情報による面の傾き知覚決定機構に関するモデルを提案した。

謝辞

本研究を行うにあたり、研究者としての心構えから、公私にわたって熱心にご指導をしていただいた、東京工業大学の金子寛彦助教授に深く感謝いたします。

すばらしい研究環境で勉強する機会を与えてくださった上、さまざまな面でご指導していただきました本学連携講座の川人光男教授に感謝いたします。

本研究に関して貴重なご意見をいただきました本学連携講座の銅谷賢治助教授に感謝いたします。

本研究を行うにあたり、様々なご支援をしていただいた本学像情報処理学講座の千原國宏教授に感謝いたします。

日頃から様々なアドバイスをしていただいた本学像情報処理学講座の皆様
に感謝いたします。

本研究を行うにあたり励みとなってくださいました、本学同期の森本淳氏
に感謝いたします。

あらためてこれらの人々のご協力に深く感謝いたします。

最後に、陰ながら支えていただきました両親に心から感謝いたします。

参考文献

- [1] W Adams, J P Frisby, D Buckley, J Gårding, S D Hippensley-Cox, and J Porrill. Pooling of vertical disparities by the human visual system. *Perception*, Vol. 25, pp. 165–176, 1996.
- [2] A Arditi, L Kaufman, and J A Movshon. A simple explanation of the induced size effect. *Vision Research*, Vol. 21, pp. 755–764, 1981.
- [3] 福永克己, 金子寛彦. 垂直大きさ視差の分布と面の傾き. 日本視覚学会会誌, Vol. 9, No. 3, p. 201, 1997. (Abstract).
- [4] 福永克己, 金子寛彦. 垂直大きさ視差処理過程の空間特性. 日本視覚学会会誌, Vol. 9, No. 1, p. 55, 1997. (Abstract).
- [5] B Gillam and B Lawergren. The induced effect vertical disparity and stereoscopic theory. *Perception & Psychophysics*, Vol. 34, pp. 121–130, 1983.
- [6] I P Howard and H Kaneko. Relative shear disparities and the perception of surface inclination. *Vision Research*, Vol. 34, No. 19, pp. 2505–2517, 1994.
- [7] H Kaneko and I P Howard. Spatial organization of vertical disparity pooling. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, Vol. 36, No. 4, p. S230, 1995. (Abstract).
- [8] H Kaneko and I P Howard. Spatial limitation of vertical-size disparity processing. *Vision Research*, Vol. 37, No. 20, pp. 2871–2878, 1997.

参考文献

- [9] 金子寛彦, C Bourgoin. 周辺視における立体視情報の役割. 日本視覚学会会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 54-55, 1997. (Abstract).
- [10] 金子寛彦, イアンハワード. 垂直剪断視差による立体視と回旋眼球運動. 日本視覚学会会誌, Vol. 8, No. 1, p. 82, 1996. (Abstract).
- [11] J J Koenderink, A J van Doorn, and A M L Kappers. Surface perception in pictures. *Perception & Psychophysics*, Vol. 52, No. 5, pp. 487-496, 1992.
- [12] J A Lippincott. On the binocular metamorphopsia produced by correcting glasses. *AMA Archives of Ophthalmology*, Vol. 18, pp. 18-30, 1889.
- [13] J E W Mayhew and H C Longuet-Higgins. A computational model of binocular depth perception. *Nature*, Vol. 297, pp. 376-378, 1982.
- [14] K N Ogle. Induced size effect I A new phenomenon in binocular vision associated with the relative sizes of the images in the two eyes. *AMA Archives of Ophthalmology*, Vol. 20, pp. 604-623, 1938.
- [15] K N Ogle. *Researches in binocular vision*. Hafner, New York, 1964.
- [16] B J Rogers and M F Bradshaw. Vertical disparities differential perspective and binocular stereopsis. *Nature*, Vol. 361, pp. 253-255, 1993.
- [17] B J Rogers and M Graham. Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision Research*, Vol. 22, pp. 261-270, 1982.
- [18] B J Rogers and J J Koenderink. Monocular aniseikonia: A motion parallax analogue of the disparity-induced effect. *Nature*, Vol. 322, pp. 62-63, 1986.
- [19] S P Stenton, J P Frisby, and J E W Mayhew. Vertical disparity pooling and the induced effect. *Nature*, Vol. 309, No. 4, pp. 622-623, 1984.

参考文献

- [20] C W Tyler. Stereoscopic vision: cortical limitations and a disparity scaling effect. *Science*, Vol. 181, pp. 276-287, 1973.
- [21] C W Tyler. Depth perception in disparity gratings. *Nature*, Vol. 251, pp. 140-142, 1974.
- [22] C W Tyler. Spatial organization of binocular disparity sensitivity. *Vision Research*, Vol. 15, pp. 583-590, 1975.
- [23] G Westheimer. Vertical disparity detection: is there an induced size effect? *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, Vol. 17, pp. 545-551, 1978.

付録 A

予備実験—角度応答法の精度

A.1 目的

角度応答法では、視覚情報を触覚情報に変換して応答するため、その変換に伴って生じる誤差（絶対量の増減、再現性）を考慮しなければならない。また、仮に視覚的には同じ傾き量を知覚したとしても、被験者によって指示棒を傾ける量が異なるといった個人差を少なくすることが求められる。そこで、この実験では角度応答器により得られた角度と、実際の面の傾きの相関関数を求め、触覚から得られる角度と視覚的に知覚される角度の対応をつけることを目的とする。

A.2 装置

図 A.1 に角度呈示器を示す。この装置により、中央の面を鉛直軸の回りの任意の角度にセットすることができる。板は直径 19.9 度 (350mm) の円に内接するような八角形であり、黒く塗られている。その表面に、本実験で使われた刺激を模して、直径 55.0 分 (16.0mm) の白丸のシールを 123 枚、他と重ならないようにランダムに貼った。また、板の中心に固視点として直径 27.5 分 (8.0mm) の白丸のシールを 1 枚貼った。この装置は、その固視点が被験者の両眼の中央に対して真正面の位置にくるように固定された。呈示距離

付録 A 予備実験—角度応答法の精度

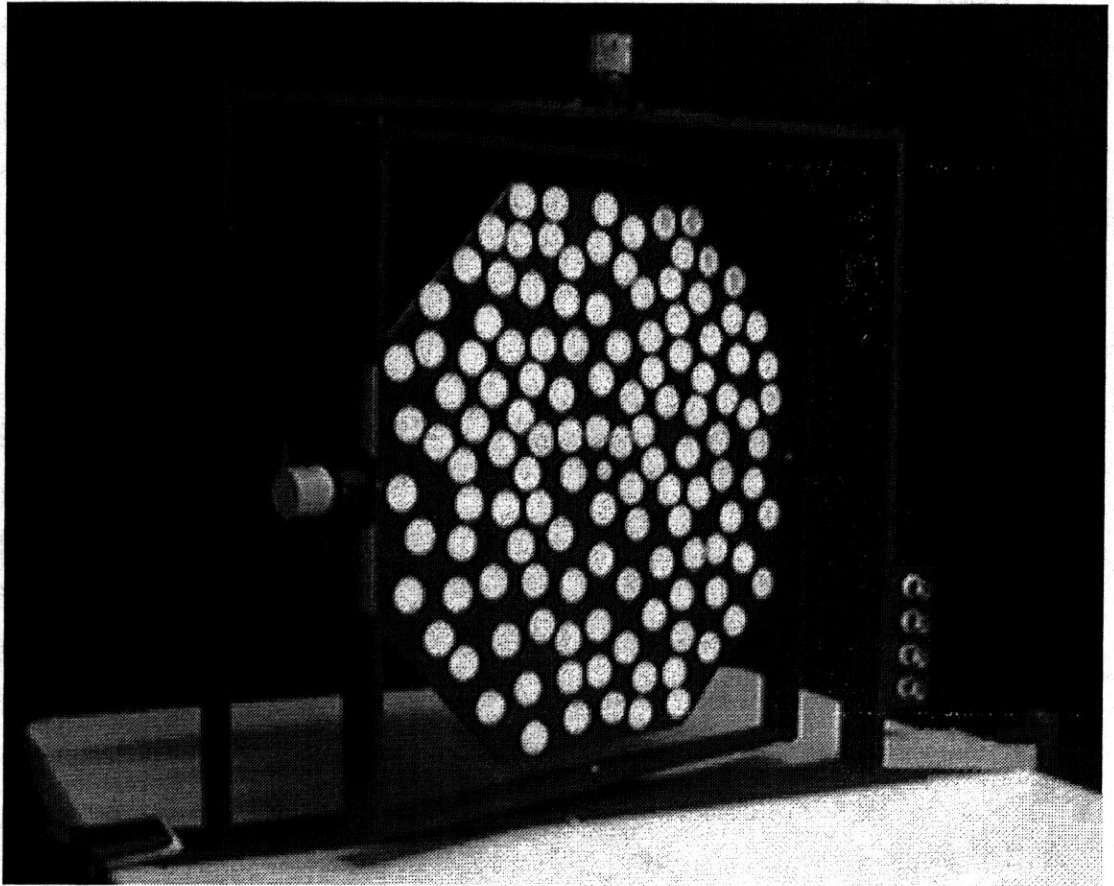


図 A.1 角度呈示器

は本実験と同じく 1 m であった。

A.3 手続き

実験者が角度呈示器の板を鉛直軸の回りに傾け、被験者はその時視覚的に知覚される傾きを角度応答器により応答した。呈示された角度は、-60度から60度では10度刻み、-30度から30度では5度刻みの計19種類であった。それらをランダムに呈示し、それぞれ8回繰り返した。

参加した被験者は本実験を行った5名 (HK, HE, NU, YF, MB) であった。

A.4 実験結果

図 A.2 に各被験者毎の結果を示す。各グラフの横軸は固視点上で知覚される角度、縦軸は実際の板の傾きの角度、点線は傾き 1 の直線、誤差棒は標準偏差を表す。また、これらのデータを 3 次関数で近似したものを式 (A.1) に示す。近似には各被験者ごとに今回の実験で応答された角度の範囲内の値を用いた。

$$HK: y = -8.34e^{-5}x^3 - 1.73e^{-4}x^2 + 1.38x + 2.45e^{-1} \quad r^2 = 0.993$$

$$HE: y = 1.69e^{-4}x^3 - 1.89e^{-3}x^2 + 8.95e^{-1}x - 1.67e^{-1} \quad r^2 = 0.993$$

$$NU: y = 1.22e^{-4}x^3 - 8.38e^{-4}x^2 + 9.37e^{-1}x - 2.24 \quad r^2 = 0.993$$

$$YF: y = -1.01e^{-4}x^3 - 2.12e^{-4}x^2 + 1.52x + 1.91 \quad r^2 = 0.993$$

$$MB: y = 1.01e^{-3}x^3 - 1.70e^{-3}x^2 + 1.67x + 8.59e^{-1} \quad r^2 = 0.993 \quad (A.1)$$

これらの式を用いて本実験のデータを各被験者で補整した。その相関係数 r^2 から近似の精度が高いことは明らかである。また、その標準偏差が小さいことから、本応答法の再現性の高さが示された。全体の傾向としては、角度応答法によって得られた角度は、実際の角度より小さくなる傾向が見られた。これは過去の研究結果と矛盾がない [10]。

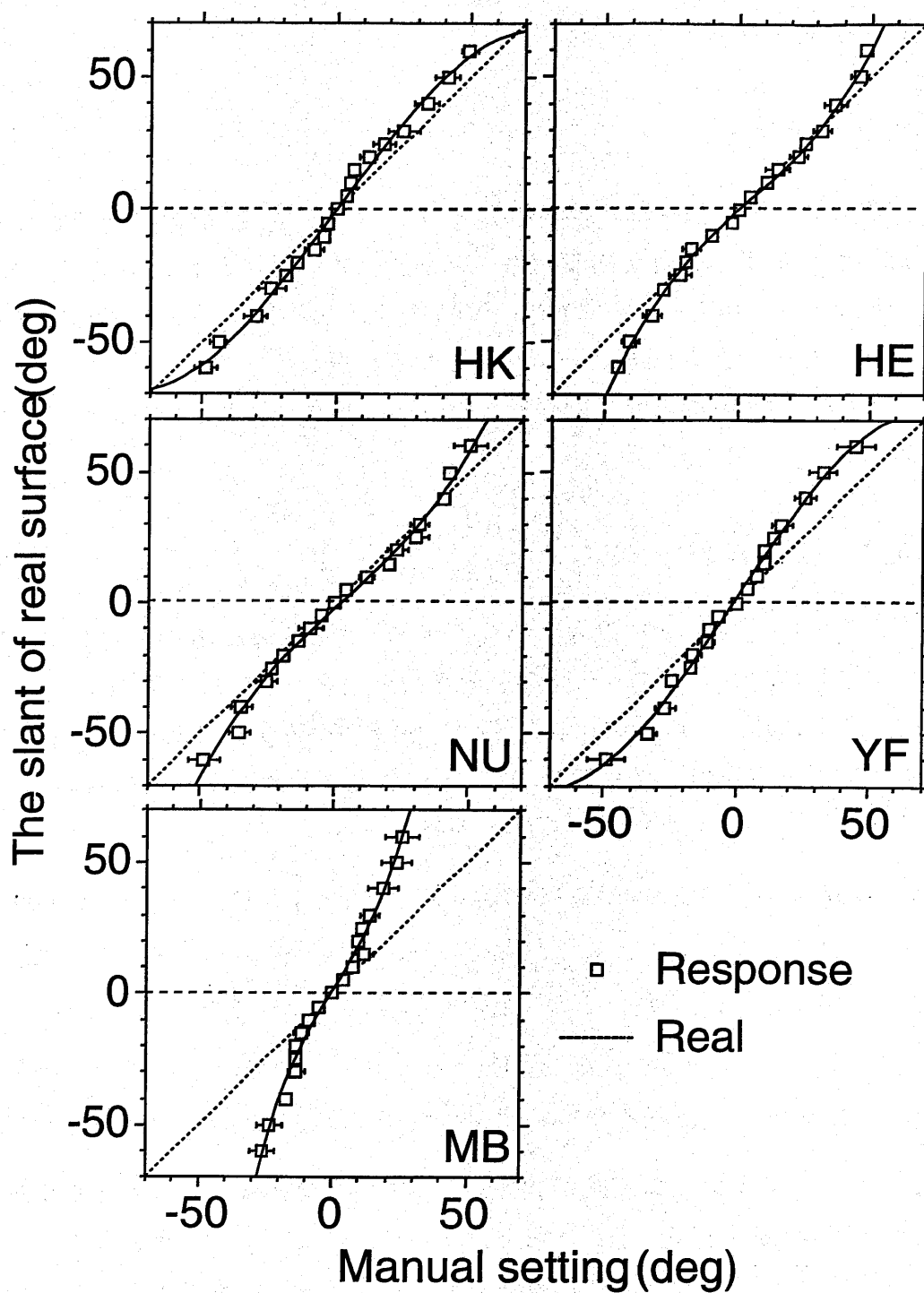


図 A.2 角度応答法の精度

筆者研究業績

学術論文

1. 福永克己, 金子寛彦, "垂直大きさ視差モジュレーションを持つ刺激による局所的な傾き知覚", 日本視覚学会会誌. (印刷中)

国際会議

2. H. Kaneko & Y. Fukunaga, "Appearance of a surface defined by vertical- and horizontal-size disparity modulation", ARVO Investigative Ophthalmology & Visual Science Abstract Book-Part II, Vol.38, No.4, p.S905, 1997.
3. H. Kaneko & Y. Fukunaga, "Vertical-size disparity and the perception of surface form", ATR Workshop on Human Visual Perception, pp.10-11, 1997.
4. Y. Fukunaga & H. Kaneko, "Spatio-temporal properties of a process to integrate binocular disparity and perspective cues for depth perception", International Conference on Vision and Attention, 1999.
5. Y. Fukunaga & H. Kaneko, "Process to integrate binocular disparity and perspective cues for depth perception", ATR Symposium on Face and Object Recognition, pp.69-70, 1999.

口頭発表等

6. 福永克己, 金子寛彦, "垂直大きさ視差処理過程の空間特性", 日本視覚学会会誌, Vol.9, No.1, p.55, 1997.

筆者研究業績

7. 福永克己, 金子寛彦, "垂直大きさ視差の分布と面の傾き", 日本視覚学会会誌, Vol.9, No.4, pp.279-282, 1997.
8. 金子寛彦, 福永克己, "垂直大きさ視差と水平視差からの奥行き知覚モデル", 日本視覚学会会誌, Vol.9, No.3, p.201, 1997.
9. 福永克己, 金子寛彦, "刺激密度と垂直または水平大きさ視差による面の傾き", 日本視覚学会会誌, Vol.10, No.3, p.173, 1998.
10. 福永克己, 金子寛彦, "両眼視差情報と遠近法情報の統合過程の時間特性", 日本視覚学会会誌, Vol.11, No.1, pp.58-59, 1999.
11. 福永克己, 金子寛彦, "面の傾き知覚における両眼視差情報と遠近法情報の統合", 日本視覚学会会誌, Vol.11, No.3, p.139, 1999.
12. 福永克己, 金子寛彦, "両眼視差情報と遠近法情報の統合における順応の効果", 日本視覚学会会誌, Vol.12, No.1, p.47, 2000.
13. 福永克己, 山岸典子, 郷田直一, 金子寛彦, 川人光男, "水平, 垂直大きさ視差を持つ刺激に対する脳磁場応答", 日本視覚学会会誌, Vol.13, No.1, p.69, 2001.