

TR - A - 0083

3次元知覚における手がかり間の相互作用

塩入 諭

1990. 4.27

ATR視聴覚機構研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町乾谷 ☎07749-5-1411

ATR Auditory and Visual Perception Research Laboratories

Inuidani, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto 619-02 Japan

Telephone: +81-7749-5-1411

Facsimile: +81-7749-5-1408

Telex: 5452-516 ATR J

3次元知覚における手がかり間の相互作用

塩入 諭

ATR 視聴覚機構研究所

1. はじめに

人間の視覚系は、網膜に投影された2次元画像から3次元空間あるいは3次元形状を回復するために、両眼視差、陰影、輪郭線の形状や遮蔽による輪郭線の不連続、運動視差などいくつかの手がかりを利用している。それらの異なる情報の統合のメカニズムの解明は人間の視覚系の大脳における処理を考える上で重要であるとともに、近年開発の進む3次元画像提示ディスプレイの評価など応用も広いと考えられる。

3次元空間の知覚のために、視覚系が左右の網膜像のわずかなずれ（両眼視差）を利用していることはよく知られている。両眼視差により、まさにリアルな3次元形状の知覚が可能であることは、立体写真を観察したことのある者であれば誰でも同意するであろう。一方、単眼の奥行き情報が重要であることは、映画や写真など両眼視差としては平面と知覚されるべき観察条件においても、画像は3次元空間として知覚されることから明らかである。我々は通常、すべての奥行き手がかりから一つの整合された空間の知覚をしていが、これは異なるタイプの奥行き情報を巧みに統合している結果であろう。本研究では、両眼及び単眼の持つ奥行き情報が一致する条件とそうでない条件での奥行き知覚の間の相違を検出し、異なる奥行き手がかりの統合メカニズムの特性の解明を試みる。

奥行きに関する両眼性の手がかりと単眼性の手がかりの競合に着目したいくつかの研究は、両眼視差に基づく奥行きは他の単眼による手がかりに優先すると報告している^{1) -2)}。しかし、別の研究は（もちろん異なる刺激を用いた結果として）、両眼視差の奥行きは、単眼の奥行き手がかりによって強く影響を受け単眼情報の奥行きが優位となることもあると報告する^{3) -5)}。このような両眼視差と単眼性の奥行きが競合する刺激における、条件間の知覚の差は、良く知られる、人の顔を刺激としたときの奥行き知覚の例についても言える。人間の顔写真を刺激として用い、奥行きが反転するような両眼視差をつけステレオスコープで観察すると、一般に不自然な凹みのある顔を知覚する代わりに通常の凸の面をもつ顔が知覚される。しかし最近の報告によると、適当なテクスチャーを刺激画像に加えることで、顔の奥行き反転も可能であることがわかる⁶⁾。また、他の研究は、両眼性の手がかりと単眼性の手がかりが独立に処理されると解釈できる現象を報告する^{7) -9)}。例えば、ランダムドットステレオグラムにより両眼視差の奥行きの差だけで形成された線分を用い、ネッカーキューブを描くとき、ネッカーキューブの背景からの分離が両眼視差による奥行きのによるにもかかわらず、図形は3次元図形である立方体として知覚される^{7), 8)}。

以上のような多様な実験的事実には、両眼視差と単眼の奥行き情報の統合過程での処理が反映されていると考えられ、その処理の複雑さを示唆しているように思われる。両眼視差と単眼の奥行き情報の間の統合のメカニズムとして線形加算のモデルの提案もされているが¹⁰⁾、現在のところより詳細な定量的実験データの収集が待たれている段階であるといえよう。

本研究では、両眼奥行き情報と単眼奥行き情報の整合性が奥行き知覚に及ぼす影響を系統的に調べるために、両眼視差と、陰影を与える輝度分布（陰影輝度分布）あるいは奥行き情報をもつ輪郭線が存在するランダムドットステレオグラムを開発した（図3、

図13)。それらの刺激を用い、手がかり間の奥行き情報の整合性の関数として、被験者の奥行き知覚の特性の変化を測定し、主要な結果として次の2点を得た。1) 単眼の奥行き情報が両眼視差と競合するときでも、被験者は両眼視差の持つ奥行きを知覚する傾向が強い。その場合、陰影輝度分布あるいは輪郭線の形状は、奥行きに係わる情報としては知覚されず、それぞれ白黒の縞あるいは図形自体の形状として、つまり刺激自体の特性として理解される(詳細は2.2項及び3.2項)。2) しかし、両眼立体視が形成されるのに要する時間を測定すると、単眼性の奥行き情報が両眼視差のそれと一致する条件においては、不一致の条件に比べ短時間である。この結果は、単眼性の奥行きとして、陰影輝度分布を持つランダムドットステレオグラムにおいても(「2.3 実験1」)、輪郭線の形状を持つランダムドットステレオグラムにおいても(「3.3 実験4」)同様であった。

実験1で示された陰影輝度分布の両眼立体視形成への効果に関して、それが陰影による奥行きの知覚の効果であることを確証するために、2つの実験(「2.4 実験2」、「2.5 実験3」)を追加した。実験2は、陰影輝度分布によりもたらされる奥行きの効果と、やはりその輝度分布により縞模様が刺激上にもたらされる効果との分離を目的とし、陰影輝度分布の代わりに、それにより陰影が知覚されない等輝度の色度分布を用いた。その結果、色度分布に対しては、陰影輝度分布が両眼立体視に与えるような効果は得られず、陰影輝度分布の両眼立体視への影響は、陰影による奥行きに起因することが示唆された。また実験3では、輻輳眼球運動の影響が全く同一の条件下で陰影輝度分布の奥行き情報の両眼立体視への影響を測定し、陰影輝度分布の両眼立体視形成時間への効果が、輻輳眼球運動に係わるもののみでは説明しえないことを示した。

一方、実験4で得られた輪郭線の形状の両眼立体視形成への影響に対し、それが、輝度差でできた輪郭線特有の効果であるか否かを調べることを目的とし、実験5が行われた。実験5では、輝度差がなくテクスチャーの差のみでできた輪郭線を用いたが、輝度差でできた輪郭線の条件と同様の結果を得たことから、輪郭線の形状の両眼立体視形成への効果は、エッジの持つ輝度差によるのではなく、形状の知覚にかかわる効果であることが支持された。

2. 両眼視差と陰影

2.1 装置および刺激

両眼視差と陰影の持つ奥行き情報を独立に変化させるために、陰影輝度分布を含むランダムドットステレオグラムが開発された。ここでは3次元空間で奥行き方向にサイン波状に変化する面上にランダムドットを仮定し(図1a)、それに対するステレオグラムを作り出した。ステレオグラムは、Masscomp MC5600コンピューターにより発生され、そのコンピューターにより制御されるCRTディスプレイ上に呈示された。ディスプレイの輝度レベルは赤、緑、青の発光体それぞれについて8bit、256階調であり、その256階調をプログラムにより線形補正して用いた。

ランダムドットステレオグラムの形成は、以下の手順でなされた。まず、図1aに示す3次元空間で奥行き方向にサイン波状に変化する面を仮定し、その面上に白と黒がラ

ランダムに混じり合う254（水平）×200（垂直）のドットのマトリックスを考えた（白ドットと黒ドットの割合はそれぞれ50%）。それらのドットを持つ面について、それが60cmの距離から観察されたときに左右の網膜上に形成される像を算出し、左右眼に適切に呈示されたとき、それと同じ網膜像を与える2枚の画像をCRTディスプレイ上に作りだした。3次元空間の面上での水平方向254点は、ディスプレイ上の左右眼に対する各画像では380ドットの範囲を埋めるように並べられた。仮定された面上の254点は380点のどれかに対応し、380点のうち対応点とされなかったものはその左どなりのものと同じの視差を与えた。垂直方向には視差の変化はなかった。

ここで仮定された面は、長方形が奥行き方向にサイン波状に波打ったもので、それは2周期の長さを持っていた。そのサイン波の振幅は1cmであり、その奥行きは、60cmの距離から観察するとき山の部分と谷の部分の視差で0.2°となった（ただし左右眼の間隔は6cmとした）。刺激画像の大きさは、横12.3°×縦6.5°で、それはドットの配列で380×200に対応した（図1b）。また、左右両画像の中心には円形の固視点（直径0.3°）があり、ランダムドットパターンの外側には融像を助けるために長方形の枠が付けられていた（大きさは、枠の外側の縁に対して13.6°×7.8°、幅は0.3°）。なお、観察は4枚の鏡によるステレオスコープによった。

次に、陰影に対応する輝度分布をこのランダムドットステレオグラムに加えるために、ランダムドットパターンの白いドットの輝度をなめらかに変化した。ここでは、平行光が完全拡散面に照射するときの一次反射のみで面の輝度が決定されると仮定し、上述の奥行き方向に変化を持つ面の上の輝度分布を算出した。

用いられた輝度分布を図2に示す。仮定された面に向って、奥行き方向の軸（z軸）から左方30°に傾いた方向に光源があるとし、そこから照射する平行光に対する面上での反射率を各水平位置に対して表示してある。輝度分布中、最大値は67.2cd/m²であり、最小値は18.1cd/m²となった。なお、黒ドットおよび背景の輝度は0.01cd/m²、枠の輝度は14.7cd/m²であった。

ここで得られる輝度分布は周期関数となり、その位相を変えることは、仮定されたサイン波状の面の位相が変わる、つまり水平方向に位置が移動する、ことに対応する。この輝度分布の位相は、ドットの位置を変えずに制御することができるので、両眼視差の持つ奥行きと陰影の持つ奥行き情報を同一の刺激の中で独立に変化させることが可能となる。以下位相0°は、陰影輝度分布の奥行きと両眼視差の奥行きが一致した条件と指す。

陰影輝度分布は左右の両画像に持たされるため、その輝度分布の両画像間での対応関係（すなわち視差）に関して、2通りの方法が考えられる。まず、陰影をつくり出す輝度値が、両画像間でドットの対応と同じように視差を持ちうる。この場合、両画像間で視差について対応するドットは同じ輝度を持つことになる。一方、陰影の輝度変化が、左右の画像で全く同一であるように刺激をつくることも可能である。そうした場合、同一の輝度を持つ点は、視差に関して対応を持つ点でなく、各画像における空間位置が同一のものとなる。したがって、陰影の輝度分布自体は、面上すべての点で視差ゼロとなる。それぞれの条件を、陰影視差有り条件および陰影視差ゼロ条件と呼ぶことにする。

2. 2 観察

刺激に用いられたランダムドットステレオグラムを例を図3に示す（CRT上の刺激を写真撮影したもののゼロックスコピーであり、実際の刺激に比べ画質の劣化がある）。図3 aは、両眼視差と陰影輝度分布の与える奥行きが一致している整合刺激、図3 bは、陰影輝度分布の位相が 90° の不整合刺激である（両眼視差の奥行きについては、aとbで逆のものを示してある）。両者とも陰影視差有り条件であり、ここでは、陰影視差有り条件についてのみ述べるが、陰影視差ゼロ条件についても特に異なる特性は見られなかった。整合、不整合刺激に対する奥行きの知覚は、以下のようにまとめられる。

1) 不整合刺激に対し、両眼視差と陰影輝度分布による異なる2つの奥行きが同時に観察されることはなかった。

2) 陰影輝度分布の位相に係わらず数秒から数十秒の観察の後、両眼視差の持つ奥行きが安定して知覚されるようになった。

3) 不整合刺激に対し（特に、両眼視差の奥行きの山の部分が最も暗くなる時）、その輝度変化は陰影とは知覚されず面上の縞模様として知覚された。これは、整合刺激に対し、陰影輝度分布が陰影と知覚されたのと異なる。なお、陰影輝度分布の位相が 180° の刺激に対しても、輝度分布は陰影として感じられたが、この場合光源の方向は左方ではなく右方と知覚された。

4) 不整合刺激に対しては、整合刺激に対するより両眼視差による立体視の形成に時間がかかるとの内観があった。

1)と3)から、両眼視差と陰影輝度分布の与える奥行き情報は、独立に処理されるというわけではなく、両者を整合的な一つの像として処理するような相互作用があることがわかる。

2)は、ここで用いた刺激においては両眼視差の奥行きに対する寄与は陰影のそれより強い傾向があることを示す。これは、両眼視差の奥行きは陰影の奥行きに優先するとの報告¹⁾と一致する。しかし、異なる手がかりの間の奥行きの強さを比較する場合、それぞれの刺激条件をどう設定すべきかとの問題があり、この結果は一般化されるべきではない（例えば、ドットの密度、視差の大きさなどで両眼立体視の奥行きの強さは変わると予想されるし、陰影についても光源の強度などにより得られる奥行き感は変わりうる）。

4)の陰影輝度分布の両眼立体視の形成時間への寄与は、注目すべきである。両眼と単眼の奥行き情報の相互作用についての研究の多くは、いずれが優勢となるかに関心を持ったものであり、その際安定した奥行き知覚にいたるまでの過程に関しての所見はほとんど得られていない。このことは、たとえ両眼視差による奥行きが最終的に単眼奥行き情報に打ち勝ってしまう場合においても、単眼の奥行き手がかりの効果がないとはいえない、また、逆にある呈示時間で単眼性の手がかりの知覚が優位であっても両眼立体視が不可能であるとはいえないことを意味する。次ぎに述べる実験は、この陰影の両眼立体視の形成時間への寄与に関し、定量的な検討を目的とした。

2. 3 実験1 陰影の両眼立体視の形成時間への影響

前項で述べたように、今回用いた刺激においては、両眼視差の持つ奥行きと陰影輝度

分布の持つ奥行きが矛盾するとき、常に両眼視差の持つ奥行きが知覚された。しかし、それは両眼視差と陰影の奥行きの間には協調あるいは競合的過程がないということの意味しない。上記の観察の4)は、両眼立体視の形成に要する時間において、陰影の奥行きと両眼視差の奥行き情報の整合性が重要であることを示唆している。実験1は、両眼立体視の持つ奥行きと陰影輝度分布の持つ奥行きの間には整合性が、両眼立体視の形成時間に及ぼす影響を定量的に測定することを目的とした。

2. 3. 1 方法

刺激は、上述の陰影輝度分布を持つランダムドットステレオグラムであり、2種類のものが用いられた。一方は、図3に示すのと同様な奥行きがサイン波状に変化するもの（サイン面）、もう一方はすべてのドット対の視差がゼロで、CRT画面と同じ奥行きを示す平面（フラット面）であった。ここで、サイン面の位相条件は不変であり、図3bに示されるように、固視点に近い山（手前に凸の部分）が右側となっていた。各試行においては、いずれかの視差を持つ面が呈示され、被験者は、それが奥行き方向に変化を持つサイン面であるか、奥行きの変化のないフラット面であるかの判断を求められた。判断は、コンピューターのマウスに付属する2つのボタンを押し分けることによりなされ、刺激の呈示開始から、被験者がいずれかのボタンを押すまでの時間が応答時間として測定された。この判断は、両眼視差の情報に基づくため、求まる応答時間は両眼立体視の形成に要する時間を反映したものとなる。ここでひとつの問題は、サイン面が呈示されたとき、視差の大きい部分（面の山と谷の近傍）で、面の3次元的形状が知覚される前に、左右画像のドットの二重像による不対応が知覚される（ただし、両眼立体視形成後は、融像する）ことがあり、それにより刺激がフラット面かサイン面かを弁別される可能性があったことである。この問題はしかし、被験者へ、面の形状の知覚に基づいた判断をするように教示をあたえることで避けることができた（ドットの不対応が知覚されたときそれを無視することは容易であった）。

判断が誤りであった場合、コンピューターのビープ音により被験者に知らされ、その試行はデータ処理から除かれた。

陰影輝度分布の位相として、 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° の8条件を選び、陰影のない条件も加えて実験が行なわれた。陰影のない条件では、白いドットの輝度はすべて同一であり 67.2 cd/m^2 であった。1セッションでは、8種類の位相と陰影無し9条件について、サイン面とフラット面があり、計18条件それぞれに対し4回の刺激呈示がなされた。各被験者は、陰影視差有り条件と陰影視差ゼロ条件それぞれを4セッションずつ行なった。

被験者は、男性5名女性1名であり、いずれも視覚正常か眼鏡により矯正されていた。3名は心理物理実験に習熟しており、うち2名は、実験の目的についての詳細な知識を持っていた。

2. 3. 2 実験結果と考察

図4に、6名の被験者の各条件における応答時間の平均値を示す。陰影視差有り、陰影視差ゼロの両条件に顕著な差がみれなかったため、両条件のデータは、まとめて整理された（各被験者、計8セッションで各位相条件に対し32試行）。図中横軸は、陰影

輝度分布の位相であり、縦軸はそれぞれの位相に対する、刺激の呈示から被験者がマウスのボタンで応答するまでの時間（応答時間）である。左端のNという点に対する値は、陰影無しの条件に対するデータである。白丸は、サイン面に対する応答、黒丸はフラット面に対する応答である。誤差棒は、被験者間の標準誤差を示す。応答時間は正当に対するもののみが解析に用いられたが、全被験者全条件から求めた誤答率は、サイン面に対し2.5%、フラット面に対し0.7%であった。

図4によると、サイン面に対しては、陰影輝度分布の位相が 0° 近傍（ 0° 、 45° ）で応答時間は短く、位相差が大きいとき（ 90° から、 270° ）にはより長い時間を要したといえる。つまり、陰影の持つ奥行きと両眼視差の持つ奥行きが一致するとき、あるいはその差が小さいときに、両眼立体視の形成に要する時間が短いことを示している。観察結果から予想されたように、陰影が両眼立体視の形成時間に影響することが確認されたわけである。

一方、フラット面にたいする応答は、陰影の位相差に係わらずほぼ一定値を示した。すなわち、両眼視差の持つ奥行きが平面であるとき、陰影の持つ奥行きの形状によらず、同程度の時間で両眼視差が形成されることを意味する。陰影輝度分布の与える奥行き情報はいずれの位相でも平面とならず、両眼視差の与える奥行きと一致する事はないことを考えると、これは予想された結果といえる。

陰影なしの刺激（図中、N）においては、サイン面ではどの様な陰影がある条件より応答時間が長くなっているのに対し、フラット面の場合は、他の条件と同程度の時間しか要しないとの結果を得た。陰影輝度分布の奥行きと両眼視差の奥行きの整合性からの予測としては、前者では、協調も競合もないので平均的な応答時間が、後者では、陰影無しの条件のみ競合的でないので他のすべてより短い応答時間が期待される。したがってここで得られた結果は、単純に陰影輝度分布の奥行きと両眼視差の奥行きの整合性では説明できない。むしろそれに反するとも考えられ、興味深い結果であるが、現在のところ適切な説明はない（ここで陰影視差あり条件においても陰影視差ゼロ条件においても同様の結果を得ていることから、これを陰影輝度分布の持つ視差に帰着することはできない）。

以上は、全被験者の平均に基づいて述べたが、各被験者別のデータも、それと矛盾しない。しかし、陰影輝度分布の位相の両眼立体視形成時間への寄与のあり方には、被験者間の差がみられた。次項では、被験者間の差について検討する。

2.3.3 被験者別データ

図5に、各被験者別の応答時間を陰影輝度分布の位相の関数として示す。6名の被験者の結果は、得られた曲線の形状に基づき、3グループに分けて示されている。各グラフともサイン面に対する応答のみを示したが、フラット面に対する応答時間は、どの被験者も位相に係わらずほぼ一定値を示した。誤差棒は、32回の判断から求まる標準誤差を示す。

図5aの、第1のグループは、平均のデータと同様の傾向を示すものである。被験者YMは、他の2名に比べ2倍を越えるような長い応答時間を示すが、位相による応答時間の関数は3名とも類似しており、位相 0° 近傍で最小であり、位相が 90° から 270°

の範囲で長くなっている。

第2のグループのデータは図5 bに示されるが、位相が 0° から 180° 付近まではほぼ一定の応答時間を示し、 270° 及び 315° で長くなっている。位相が 0° 、すなわち陰影の奥行きと両眼視差の奥行きが一致しているときに、応答時間が短いという点においては、第1グループ及び平均の結果と同様であり、平均のデータから導いた結論と矛盾しない。

第3のグループは、1名の被験者のみであるが、位相 0° 及び 180° で応答時間が短くなっている。ここでもやはり、位相の持つ奥行きが両眼視差の奥行きと一致するとき両眼立体視の形成時間が短くなるとの点は、他の被験者と共通である。

いずれの被験者も、位相 0° 近傍においては、応答時間が最小値に近く、陰影輝度分布と両眼視差それぞれの奥行きが同一の場合に両眼立体視が短時間で形成されることがわかる。しかし、3つのグループの間には明らかな差がみられ、陰影輝度分布と両眼視差の奥行きの相互作用に、被験者間に質的な差があると考えられる。以下この点について考察する。

刺激中の陰影輝度分布の持つ奥行き情報について、「2.1 装置および刺激」の項では常に画面に向かい左方から光が入射している状況のみを考慮し議論をした。したがって位相 0° の位置でのみ陰影輝度分布と両眼視差の与える奥行きが一致するとしていた。しかし実際には、同一の陰影輝度分布に対しても、仮定される光源の方向により、知覚される面の3次元的形状は変わりうる。入射角が画面に向かって（左方でなく）右方 30° とすると、用いられた陰影輝度分布の位相が 180° のときに、両眼視差の奥行きと一致する奥行き情報を与えることになる。したがって、陰影輝度分布のみが奥行きの手がかりとして与えられたとき、もし被験者が用いられた陰影輝度分布に対し光源を左右いずれの方向にも同様に仮定しうるとすると、両眼立体視の形成時間に及ぼす陰影の効果は、陰影輝度分布の位相が 0° の条件と 180° の条件で等しくなり、同程度の応答時間が得られることになる。図5 cに示される被験者KHの結果は、まさにこれに一致する。一方、例えば、ある被験者が常に光の入射は、左側からであると知覚する傾向を持つならば、位相 0° 近傍のみで応答時間が短くなるであろう。そしてそれは、図3 aの3人の被験者の結果と一致する。

残りの2名（図5 b）の被験者の結果を解釈するためには別の要因を考える必要がある。このグループの特徴は、位相が 270° 及び 315° のときに応答時間が長いことであるが、この位相条件では、陰影輝度分布の暗い部分が両眼視差のつくるサイン面の山の位置にくることになる。明らかにこれは、陰影としては有り得ない輝度分布となるため、陰影輝度分布と両眼視差の持つ奥行き情報の不一致の効果が顕著にみられるとの予想が成り立つ。

一方、このグループでは、位相が 90° 付近の条件でも位相が 0° の条件と同程度の応答時間を持つ。これは、両眼視差の作るサイン面と似た形状の面が、陰影輝度分布に基づき知覚されることに起因すると推測される。ここで用いた陰影輝度分布は、サイン波状の面の陰影として以外に、しばしば円柱の側面の陰影として知覚された。陰影輝度分布を2つの円柱をつ横に並べたものの陰影としてとらえると、位相が 90° において、

サイン面の山の部分が明るくなり谷の部分が暗くなるため、陰影と両眼視差の奥行き情報は類似したものとなる(図6)。このような場合、陰影輝度分布の両眼立体視形成時間への影響は整合刺激の条件と大きくは変わらないとの予測が成り立つ。事実、山の部分が明るくなる位相条件においては、山の部分が暗くなる条件に比べ、両眼立体視によりサイン波状の奥行きを持つ面が安定して知覚された後も、陰影輝度分布を陰影として知覚することの不自然感は弱い。これらの点を考慮することにより、図5bの2名の被験者の結果は説明が可能である。

データに見られる被験者間の差は以上のようにすべて説明可能であるが、これを立証することはそれほど容易ではない。なぜなら、陰影輝度分布に対する奥行き知覚のあり方は一人の被験者においても、時間と共にあるいは、刺激に対する主観的な態度によって変化することが予想されるためである。ここでは、比較的大きな個人差が存在する要因として、陰影により得られる奥行きが、両眼視差の奥行きのように一意的に決まらず、多義的な知覚が可能であることが考えられることを指摘するにとどめる。なお、両眼の持つ奥行き情報と単眼の持つ奥行き情報の間に競争がある刺激において、その奥行き知覚は異なる被験者に対し、一定でないことは他の研究の示すところでもある^{8), 10)}。

2.4 実験2 等輝度色差パターンの両眼立体視形成時間への影響

実験1において、サイン面上の陰影に対応する輝度分布を用いてつくった明暗情報が、両眼立体視の形成時間に影響を及ぼすことを示した。実験2は、その影響が、明暗を陰影と知覚されたことによる効果であり(したがって単眼の奥行き手がかりの効果であり)、明暗の縞による奥行き以外の知覚の効果ではないことを確認することを目的として計画された。ここでは、陰影として(したがって奥行きとして)知覚されず、しかも陰影輝度分布により作り出されるものと同様の縞をもつ刺激として、等輝度の赤と緑の縞を考えた。陰影の知覚は主に輝度差により生じることは直感的にも理解できるし、実験的にも示されている^{9), 11)}。

2.4.1 方法

陰影として(したがって奥行きとして)知覚されない縞をつくり出すために、ここでは、等輝度で赤緑方向に色度変化を持つ縞をランダムドットパターン上につくりだした。実験1で用いた陰影輝度分布によるものと同様の縞となるように、図2に示す関数により色度を変化した。CRTの赤の発光体の輝度をこの関数で変化させ、緑の発光体の輝度は赤の輝度と合わせると常に一定の輝度(11.5 cd/m^2)となるように決められた(図7a)。これによりランダムドット刺激の上に、輝度変化がなく色度のみ変化する縞が得られた。ここで用いられた赤のCIE色度座標は $x=0.63, y=0.33$ 及び緑の色度座標は $x=0.43, y=0.49$ であった。

この赤・緑刺激とは別に、赤の発光体のみを用いた輝度及び色の差のある縞を持つランダムドットステレオグラムの条件でも実験が行なわれた。これは、赤・緑の刺激から緑の光を差し引いたものであり、赤・黒の刺激と呼ぶことにする(図7b)。

他の実験条件は、実験1とほぼ同じであるが、実験1の陰影視差ゼロ条件に対応する条件での実験は行なっていない。したがって、各被験者は、赤・緑あるいは赤・黒の縞

自体にも左右の画像間に視差がある条件のみを4セッションを行なった。被験者は、実験1に参加した6名である。

2. 4. 2 実験結果と考察

図8に6名の被験者の結果を平均したものを示す。図4と同様に応答時間が、赤・緑あるいは赤・黒の縞の位相の関数として示されている。位相 0° は、赤の発光体のみを考えたとき、その輝度分布を持つ陰影情報が両眼視差の奥行きと一致することになる条件である（等輝度条件に対してどのような意味を持つかは明らかでない）。左端のデータ（N）は、実験1の陰影無しに対応する条件であり、刺激中の明るい方のドットは、すべて同一輝度（ 11.5 cd/m^2 ）の赤であり、これは、赤・緑、赤・黒いずれの条件でも同一とされた。図8には、サイン面に対する応答時間のみを示した。図中黒丸は赤・緑の等輝度条件の結果であり、白丸は、赤・黒の陰影輝度分布条件の結果である。誤差棒は、被験者間の標準誤差である。なおフラット面に対する結果は、赤・緑、赤・黒いずれにおいても、実験1と同様に、位相による効果はみられなかった。また誤答率は、赤・緑条件に対し、サイン面で1.7%、フラット面で0.4%、赤・黒条件に対し、サイン面で3.3%、フラット面で0.7%であった。

まず、赤・黒条件の結果であるが、位相が 0° 近傍において最も応答時間が短く、位相が 90° から 270° の範囲で長くなっている。これは、実験1の白黒の陰影条件で得られた結果と一致する。陰影を形成する輝度分布の色が、赤であっても白であっても、さらに刺激全体の輝度レベルが異なったとしても（実験1で刺激の輝度分布中の最高輝度は 67.2 cd/m^2 、実験2の刺激では 11.5 cd/m^2 ）、両眼立体視の形成時間に与える影響は同様であることがわかる。

次に、赤・緑の等輝度条件の結果であるが、全被験者の平均に関して応答時間は位相の変化と独立にほぼ一定である。輝度差のない（したがって陰影の知覚されない）色差のみの縞は、その位相を変えるとき両眼立体視の形成時間に対し系統的な影響を与えていない。これは、赤・黒条件、及び、実験1の結果（図4）と異なる。したがって、実験1及び実験2の赤・黒条件で得られた、輝度分布の位相に依存した両眼立体視の形成時間の変化は、縞模様の効果でなく陰影による奥行きの効果であることが支持される。

実験1と同様に、ここでも各被験者別の結果を示しておく。図9は、図8と同様に、応答時間の色度あるいは輝度分布の位相に伴う変化を、被験者別に図示したものである。各点は、16試行の平均値であり、誤差棒は標準誤差である。被験者の間にあまり系統的でない差がみられる。赤・緑条件において、被験者KHとMOは、位相 0° 及び 180° 近傍で応答時間が短くなっているし、HHとYMは位相 0° 付近で逆に応答時間が長い。また、TSとSSは、位相に係わらずほぼ一定の値を示す。しかし、ここで重要なことは、KH以外のいずれの被験者においても、赤・緑条件の結果は、赤・黒の条件とは大きく異なる傾向を示しており、陰影が知覚される条件と、陰影として知覚されない等輝度の色差のみの縞の条件の間には、質的な差があることが示唆される点である。

2. 5 実験3 輻輳眼球運動の影響

実験1で得られた陰影の両眼立体視形成時間への影響を説明しうる要因の一つとして、

輻輳眼球運動の効果がある。ランダムドットステレオグラムで左右両画像間の対応するドットを、それぞれの網膜上で融像し奥行きとして取り出すためには、対応するドット間の視差がある範囲内（パナムの融合域）にあることが必要である。この網膜上での視差は、被験者の左右眼の位置に依存するため、刺激のすべてのドットに対して適切な眼球位置を早く見つけることは、両眼立体視形成時間の短縮につながる。実験1の結果は、あるいは、陰影の知覚がこの眼球運動に役立てられ（奥行きの知覚そのものによるというより）、適切な輻輳角を得ることから間接的に両眼立体視形成時間へ影響したとも考えることができる。

実験1では、被験者は注視点を固視するよう求められまた、ランダムドット刺激の周囲に呈示された長方形の枠がつねに融像していたため、大きな眼球運動の介在は考えにくい。しかしドットの大きさは視角で2'程度と小さいので、注視点近傍における小さな輻輳眼球運動が両眼立体視の形成に影響を及ぼした可能性はある。

実験3では、両眼視差の持つ奥行きと一致する奥行きの陰影輝度分布を持つ刺激（整合刺激）と、一致しない奥行きの陰影輝度分布を持つ刺激（不整合刺激）を同時に呈示し、その条件においても両刺激の間に両眼立体視の形成に差が生じることを示すことを目的とした。この刺激呈示条件においては、整合及び不整合刺激間で眼球運動の効果に差が生じないため、陰影の知覚の両眼立体視形成への、眼球運動による間接的な効果以外の要因が、もし存在すれば、取り出せることになる。

2. 5. 1 方法

2組のランダムドットステレオグラムを注視点を挟んで上下に呈示する（図10）。その2組の組合せは、3種類であり、（a）は整合刺激と不整合刺激の組であり、両眼視差がサイン面で陰影輝度分布の位相が0°と両眼視差がやはりサイン面で陰影輝度分布の位相が90°との組み合わせ、（b）は、両眼視差がサイン面で陰影輝度分布の位相0°と両眼視差がフラット面で陰影輝度分布の位相90°との組み合わせ、そして（c）は、両眼視差がフラット面で陰影輝度分布の位相0°と両眼視差がサイン面で陰影輝度分布の位相90°との組み合わせであった。実験では、それぞれの組合せにおいて、刺激を短時間呈示し（106, 242, あるいは500msec）上下いずれの面がサイン面であるかの判断を求めた。ただし、両者に奥行きの変化がみられた場合は、より大きな奥行き変化のある方を応答するよう教示した。

ここでは比較される刺激は同時に呈示されているので、整合刺激における両眼立体視形成時間の短さの要因として眼球運動以外のものがなければ、（a）の組において被験者の判断は整合、不整合両刺激に対して、等頻度でサイン面と知覚されることが期待される。逆に眼球運動以外の要因が、陰影の両眼立体視の形成時間への影響に存在すれば、整合刺激がより高頻度でサイン面と知覚されることが予想される

ここで、（a）の組合せにおける上下の刺激の差は陰影輝度分布の位相のみであり、両者の弁別に関するかぎり、奥行きの知覚を考慮する必要はない。このような刺激対に対し、被験者は（無意識的にせよ）陰影の情報のみによって判断の振り分けをする傾向を持つかも知れない。それを防ぐために（b）および（c）の組合せが混在された。

（a）、（b）および（c）の組合せをランダムに呈示することで、0°及び90°のど

ちらの位相に対してもサイン面として選ばれるべき条件が存在することになり、判断が位相の位置だけで振り分けられことは不可能となる。したがって、判断は両眼立体視の奥行きに基づくことになる。

各組合わせに対し32回の呈示が行なわれ、各組の2枚のステレオグラムの上下関係は、半数(16回)では一方が上であり、残りの半数では、他方が上となるように決められた。被験者は、実験1、2に参加した6名の内の4名であった。

2. 5. 2 実験結果と考察

ここでは興味の対象である(a)の整合刺激と不整合刺激の組合せの結果のみを示す(図11)。図11の横軸は、ここで用いられた3種類の呈示時間であり、縦軸は、整合刺激、つまり陰影輝度分布の位相が 0° の刺激がサイン面として選ばれた頻度である。

4名の被験者全員が、いずれの呈示時間に対しても、50%以上の頻度で、整合刺激をサイン面として選択していることがわかる。陰影の両眼立体視の形成時間に及ぼす影響として、眼球運動の制御のみでは説明できない要因を含むことが示されたことになる。

3 両眼視差と輪郭線の形状

本研究では、単眼の奥行き情報として陰影に加え、輪郭線の形状を取り扱い、陰影についてと同様に、輪郭線の形状が両眼立体視の奥行き知覚に及ぼす影響を、実験的に検討した。これは、陰影と両眼視差の間で明らかにされた相互作用が、陰影に特有のものであるか、あるいは他の単眼奥行き手がかりにおいても同様であるかの検討ともいえる。

3. 1 刺激

用いられた刺激は、実験1、2、及び3で使用されたものと同種のランダムドットステレオグラムである。しかし、刺激となる面上に陰影を与えるための輝度変化はなく、それに代わり、ランダムドットパターンの上下のエッジの形状がサイン波状に切り取られたものが用いられた。ここで用いたエッジの形状は、図1aで仮定された奥行き方向にサイン波状の変化を持つ面(サイン面)を、45度下方からのぞいたときの網膜像にほぼ対応するものである(図12)。これに対するステレオグラムは以下の手順で形成された。まず、水平方向の各位置に対し上下する振幅が7mmのサイン波($y = a \cdot \sin(x)$ 、 $a = 7\text{mm}$)を、仮定されたサイン面上にプロットする。その形状に沿ってサイン面の縁を切りとる(もとのサイン面は $x-y$ 平面に投影すると長方形である)。このサイン波による切り取りは、パターンの上下の端がサイン波状になり、しかも縦方向の長さが実験1、2、3で使用されたパターンと同一になるように(200ドット)上下2カ所でなされた(切り取られた後のサイン面は $x-y$ 平面に投影すると上下の輪郭がサイン波状となる)。

この刺激を用いると、陰影の場合と同様に、両眼視差の持つ奥行きを変えことなく輪郭線の持つ奥行き情報を変化できる。上下の輪郭線を作るサイン波(輪郭線サイン波)の位相を変えることで、輪郭線による奥行きで決められる面は水平方向に移動することになり、両眼視差の持つ奥行き情報(こちらは不変として)との整合性が変わる。

この刺激でエッジの形状は、3次元空間内に仮定された面の特性であるので、この面から左右両眼に対する画像を発生すると、それぞれの画像の間では、エッジ自体も(面

内のドットと同様に) 視差を持つことになる。このサイン波状のエッジの形成においては、しかし、実際の3次元空間内の面を見るときに存在する遠近画法的な効果は無視された。

陰影輝度分布に対して陰影視差有り条件と陰影視差ゼロ条件があったように、ここでもエッジが両画像間で視差を持つ刺激のほかに、エッジの形状が左右の画像で全く同一である、すなわちエッジは平面上にあることを示す視差を持つ刺激をつくることも可能である。しかし、エッジの形状がサイン面内部のドットと異なる視差を持つ刺激に対する奥行き知覚は、エッジの近傍で、エッジの持つ視差に強く影響され、エッジから遠ざかる程ドットの持つ視差により決められる傾向が見えた。このような条件では、異なる視差を持つ図形が空間的に隣接した条件での、両眼立体視の特性に関わる問題^{12)、13)}を含み、本研究の範囲を越えると考えられる。そのため、今回はエッジの両画像間で視差は、常にドットの視差と同一な刺激のみを扱った(同じ議論は、陰影視差ゼロ条件についても成り立つが、陰影においてはドットの持つ両眼視差への陰影の持つ視差の影響は全く見られなかったため、応答時間の実験に陰影視差ゼロ条件も採用した)。

3. 2 観察

刺激の例を、図13に示す。図13aは、輪郭線サイン波の位相が 0° である整合刺激を、図13bは輪郭線サイン波の位相が 90° である不整合刺激を示す。図13bの不整合刺激では、輪郭線サイン波の山と両眼視差の奥行きの山がずれている。両者の奥行き情報が整合的である場合、および不整合である場合に、刺激の奥行きは次のように知覚された。

1) 不整合刺激において、両眼視差と輪郭線の形状による2つの異なる奥行きが知覚されることはなかった。

2) 数秒から数十秒の観察により、両眼視差の持つ奥行きが安定して知覚されるようになった。

3) 輪郭線サイン波の位相が 0° (輪郭線が上に凸の部分で両眼視差の奥行きが手前に凸となる)の場合は、奥行き方向に波打っている長方形の面を、図12の略画と同様に下方から観察している(つまりランダムドットパターンの上部のエッジが下部のエッジより遠方にあるように、したがって上を向いている面として)と知覚され、サイン波状のエッジは、その奥行き変化に起因された(面の形状は長方形と認識され、サイン状のエッジを持つ図形とはみなされない)。また、位相が 180° の場合は、同じ面を上方から見下ろして観察しているごとく(つまりランダムドットパターンの下部のエッジが上部のエッジより遠方にあるように、したがって下を向いている面として)知覚された。

4) 不整合刺激(特に、輪郭線の位相が 90° のとき)に対しては、長方形の面が奥行き方向に波打っているとは知覚されず、サイン波状のエッジは刺激面の持つ特性と知覚された。このとき奥行き方向の変化も観察されるため、縁をサイン波状に切りとった帯状の面が奥行き方向にサイン状に波打っているとの形状認識がなされた。

5) 不整合刺激に対しては、両眼立体視の形成時間が長いとの内観があった。

これらの観察結果は、陰影輝度分布と両眼視差の混在する条件での奥行き知覚と類似

している（2. 2項参照）。1）、3）、4）から、両眼視差と輪郭線の形状の持つ奥行き情報は独立に処理されず、なんらかの統合メカニズムにより、ひとつ整合的な像として知覚されることがわかる。2）は、使用された刺激に関する限り、両眼視差の奥行きに対する寄与は輪郭線の形状より強い傾向があることを意味する。しかし、輪郭線の形状および両眼視差が持つ奥行きの強さは刺激条件で大きく変わる可能性があるため、この観察結果を一般化することはできない。これは2. 2項での陰影と両眼視差の奥行きの強弱に関する議論と同じである。5）についても、陰影輝度分布の場合と同様に、両眼立体視の形成に要する時間が、輪郭線の形状に影響されることを示唆する。

3. 3 実験4 輪郭線の形状が及ぼす両眼立体視の形成時間への影響

実験4では、両眼視差と輪郭線の形状の持つ奥行きが整合的である条件と、不整合的である条件の間に、両眼立体視の形成時間に差があることを検証するために、輪郭線の形状が両眼立体視の形成に及ぼす影響を測定した。測定は、実験1で陰影の両眼立体視の形成時間への影響を調べるために用いられたものと同じの手法で行なわれた。

3. 3. 1 方法

刺激は、上述のサイン波状のエッジを持つランダムドットステレオグラムであり、実験1と同様に、2種類を用いた。ひとつは、奥行方向に変化を持つ面（サイン面）であり、もう一方は奥行き変化のない面（フラット面）であった。実験手順は、実験1と全く同一であり、刺激図形のみが異なり、ここで用いられたランダムドットステレオグラムは、陰影輝度分布を持つ代わりにサイン波状のエッジを持ったものであった。

サイン面かフラット面かの判断をするとき、サイン面において両眼立体視が形成される以前にドットの不对応が知覚され（ただし、両眼立体視形成後は、融像する）、それがフラット面でないことが知られることがあった。しかしここでも、実験1と同様に、被験者に、面の3次元空間での形状に基づいて判断するよう教示することで、そのような手がかりによる判断を避けることができた。

輪郭線サイン波の位相は 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° のいずれかとされ、また、輪郭線が直線である条件も用いられた。輪郭線自体の視差は常にドットと同じであり、実験1の陰影視差ゼロ条件に対応する、輪郭線の視差が平面を示す条件は用いられなかった。

1セッションでは、輪郭線サイン波の8種類の位相条件に、輪郭線が直線の条件を加えた9条件に対し、サイン面とフラット面それぞれが4回ずつ呈示され、各被験者は、これを4セッション行なった。ただし、両眼視差の作るサイン面は、固視点に最も近い山（手前に凸の部分）が右側にくる条件（図13と同じ位置）と左側にくる（位相が反転した）条件があり、それぞれ2セッションずつ行なれた（データの解析時には両者はまとめて処理された）。なお、輪郭線サイン波の位相は、常に両眼視差のサイン面の位相を基準とした。被験者は、実験1の被験者のうちの、男性4名女性1名であった。

3. 3. 2 実験結果と考察

図14に、5名の被験者の平均の応答時間を示す。左端の点(N)は輪郭線が直線の条件に対する結果である。白丸がサイン面に対する応答時間の結果で、黒丸がフラット面に対する結果で、誤差棒は、被験者間の標準誤差を示す。誤答率は、サイン面で2.

2%、フラット面で1.5%であった。

図14から明らかなように、サイン面に対する応答時間は、輪郭線の形状により影響を受けることが示された。輪郭線サイン波の位相が、 0° と 180° のときに、他の位相に比べ応答時間は顕著に短くなっている。「3.2 観察」の項で述べたように、位相 0° と位相 180° いずれの場合も両眼視差と輪郭線の持つ奥行きは整合的である。違いは、面を上向きと（上部のエッジが下部のエッジより遠方にある様に）知覚するか、下向きと（上部のエッジが下部のエッジより手前にある様に）知覚するかのみである。したがって実験結果は、両眼視差の奥行きと輪郭線の形状の奥行きが整合的である条件において、両眼立体視の形成時間は短く、不整合的な条件では長くなることを示しているといえる。

ただし、輪郭線サイン波の位相 0° に対する応答時間は 180° に対するものより短い。これは単眼で輪郭線がサイン波状の刺激を観察する場合に、上向きの面であると知覚する傾向が強いという経験と一致する。つまり位相 0° の刺激は 180° に対するものに比べ、より整合的であるともいえる。興味深いことにある被験者は、位相 180° の刺激に対し、両眼立体視が形成された瞬間に、それまで上向きに見えていた面が突然下向きに見える様になると報告している。

一方、フラット面に対する応答は、すべての位相条件に対してほぼ一定であり、輪郭線の形状の効果はみられない。さらに、輪郭線が直線である条件の応答時間もほぼ同じであることから、輪郭線の形状はフラット面の知覚に対しほとんど関与していないと考えられる。

輪郭線が直線である条件の結果は、これは実験1の、陰影輝度分布のない条件に対するものと傾向を同じくしている。サイン面に対しては、ほとんどの位相条件より長い応答時間を示し、フラット面に対しては、輪郭がサイン波状である他の条件とほぼ同じ応答時間である。輪郭線の形状の奥行きと両眼視差の奥行きの整合性からの予測としては、前者では、協調も競合もないので平均的な応答時間が、後者では、輪郭線が直線の条件のみ競合的でないので他のすべてより短い応答時間が期待される。得られた結果は、この予測に反するが、実験1の陰影輝度分布のない条件に対する結果とともに、その説明は、今後の課題であろう。

3.3.3 被験者別データ

図15は、各被験者の応答時間の結果を、それぞれ別のグラフにプロットしたものである。図14と同様のグラフであるが、サイン面の結果のみを示している。誤差棒は、16試行の標準誤差である。

全被験者とも、位相 0° の近傍、または 180° の近傍の2箇所で、応答時間の極小が見られる。また、位相 90° と 135° の近傍、および 225° と 270° の近傍で極大が見られる。その極小あるいは極大の明確さについては、被験者により異なる。データのばらつきがの大きさを考えると、被験者間の差はさほど重要でないかも知れない。

しかし、ここで見られる被験者間の差は、陰影の場合と同様に、輪郭線の形状から得られる奥行きの多義性に起因するとも考えられる。前述のように、位相 0° の近傍、または 180° の近傍の両方で輪郭線の示す奥行きと両眼視差の示す奥行きが整合的にな

るが、両者は同等に整合的でない可能性は多分に存在する。例えば、図13を単眼で観察するとき、下を向いた面としてより上を向いている面として知覚しやすい。そしてその程度が被験者により異なるとすると、両眼立体視の形成時間への影響も同一の傾向は得られなくなるだろう。

3.4 実験5 輝度コントラストの影響

3.4.1 概略および方法

図13に示すように、実験4で用いたステレオグラムの背景は黒であり、エッジの輪郭線の形成には輝度差が関与していた。この刺激では輝度差に加えて、テクスチャーも輪郭線を挟んで異なっていたため、輪郭線はテクスチャーの差によるエッジでもあった（背景は一様な黒であり、刺激面内は50%の発生確率のランダムドットテクスチャーである）。日常の視覚刺激の中のエッジにおいても多くの場合、輝度差のみでなく、テクスチャーの差や色の差などが関与している。しかし動きの知覚、主観的輪郭などの様々な視知覚は、輝度差のない刺激においては非常に劣化する^{11)、14)~16)}ことから、視知覚における輝度の差によるエッジの重要性が知られている。実験4で得られた輪郭線の形状の両眼立体視形成への影響も、輝度差でできた輪郭線による効果であろうか。もしそうであれば、輪郭線の両側での平均輝度を同一にし、テクスチャーの差のみで輪郭線を形成した刺激においては、輪郭線の形状の両眼立体視形成への影響はなくなることになる。実験5では、この点を検討するために、背景の輝度として、ランダムドットパターンの平均輝度と同一のもの（ 33.6 cd/m^2 ）を用い、実験4と同じ実験を繰り返した。ここで背景とは、刺激の外側にある長方形の枠の内側を意味し、枠の外側は、黒のままとした。また比較のために、背景の輝度がランダムドットパターンの平均輝度の2倍となる条件（背景の輝度は白ドットと同じ 67.2 cd/m^2 ）でも実験を行なった。被験者も同じ5名が使われた。

3.4.2 実験結果と考察

図16に、サイン面に対する応答時間の5名の被験者の平均値のを示す。黒丸は、背景がランダムドットの平均輝度と同一の条件、十字は背景が2倍の輝度である条件、そして白丸は背景が黒のもので、図13のデータを再プロットしたものである。誤答率は、背景が平均輝度の条件に対し、サイン面で1.9%、フラット面で1.0%、平均輝度の2倍の条件に対し、サイン面で1.8%、フラット面で0.4%であった。

図16のによると、3条件ともよく似た傾向を示し、位相が 0° あるいは 180° の近傍で応答時間が短く、それ以外で長くなっている。等輝度のテクスチャーのみで形成される輪郭線によっても、両眼立体視の形成は影響を受けることがわかる。したがって輪郭線の形状の両眼立体視に対する効果は、輝度差をもつエッジに特有のものではなく、形状の知覚にかかわる効果であることが示唆される。

位相条件間の応答時間の差の大きさに関しては、3条件の間に差がみられる。背景がランダムドットの平均輝度と同一の場合、他の2条件に比べ最大値と最小値の差が小さくなっている。輪郭線の見えはこの条件で最も弱く知覚されることから、輪郭線の強さが奥行きへの寄与の大きさと相関があるとすれば理解できる結果である。

4 総合考察

以上の実験から得られた結果で重要な点は、陰影あるいは輪郭線の形状の持つ奥行きが、両眼立体視の形成時間への影響が実験的に確認されたことである。これは、単眼の奥行き情報と、両眼視差の奥行き情報の間に相互作用があるという過去の研究の示すところと一致する。さらに本実験から、その相互作用の一形態として、陰影あるいは輪郭線の形状の奥行きが、両眼立体視の形成時間を左右することが明らかにされた。

実験結果の示すところは、両眼立体視の形成に陰影および輪郭線の形状の奥行き情報が影響するということである。つまり陰影及び輪郭線の情報は、この場合、両眼立体視の形成に先立って処理されていることを意味する。視覚処理の初期段階において、両眼立体視に係わる処理過程が、輝度変化により物体の形状を処理する過程と独立であるとの仮定にたつと、ここでの陰影および輪郭線の形状による両眼立体視形成への影響は、トップダウン的なものであることになる。両眼視差を検出するメカニズムは、陰影および輪郭線の形状の持つ奥行きが示す刺激の3次元形状を参照しながら、ランダムドットステレオグラム内の各ドット対の対応付けをしているということになる。このような両眼立体視の形成へのトップダウン的影響が、どの様なかたちで定式化が可能であるか、そして視覚メカニズムがそれをどの様に実現しているかについての検討は、今後の大きな課題である。

5 結論

1. 単眼の奥行き手がかりである陰影あるいは輪郭線の形状と、両眼視差による奥行き手がかりが混在するランダムドットステレオグラムを開発した。

2. そのステレオグラムにおいて、単眼奥行き情報と両眼奥行き情報が整合的でない条件では、両眼視差の奥行きが知覚されるが、その場合陰影あるいは輪郭線の情報は奥行きの手がかりとしてでなく、それぞれ明暗の縞、あるいはエッジの形状として知覚されるため、全体としては整合のとれた知覚となるとの観察結果を得た。

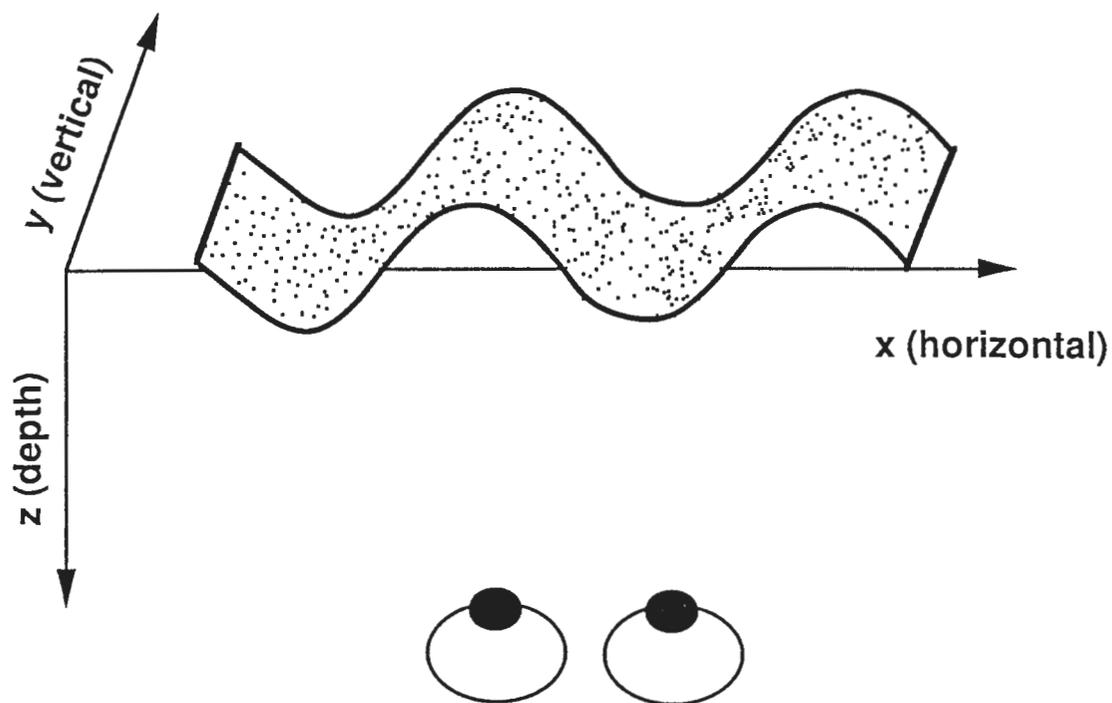
3. 両眼立体視の形成時間を測定した結果、陰影あるいは輪郭線の形状の持つ奥行き情報が、両眼視差の奥行き情報と整合するとき形成時間は短く、逆に不整合のとき長いとの結果を得た。

6 謝辞

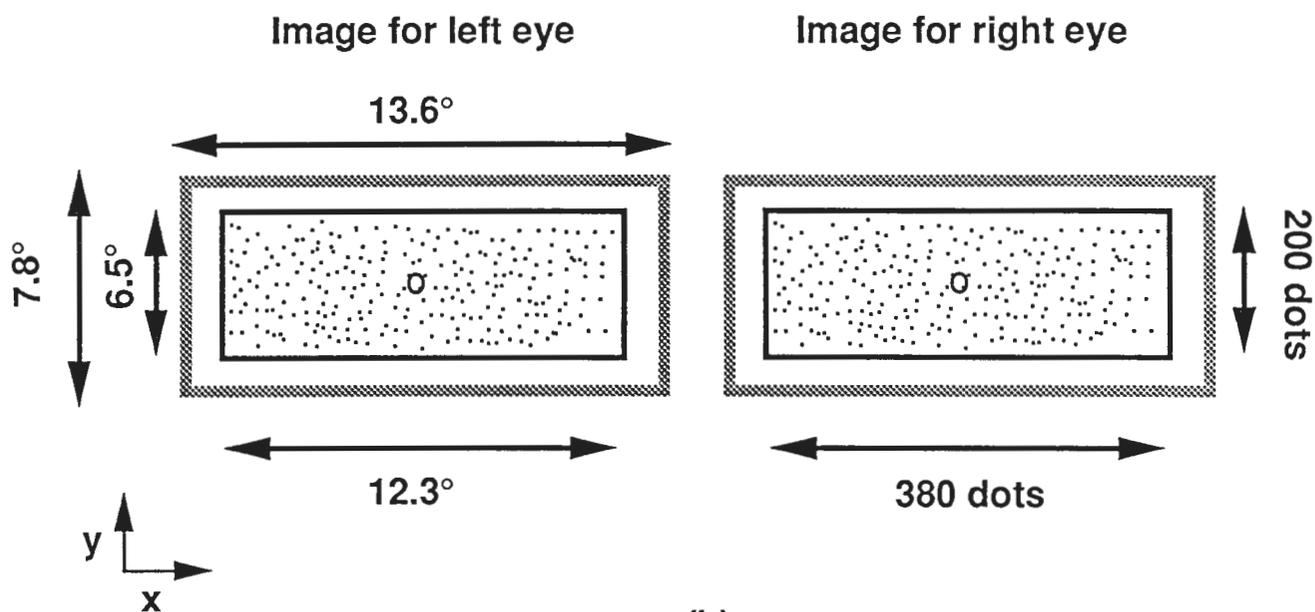
本研究を行なう機会を与えてくださったATR視聴覚機構研究所淀川英司社長に感謝します。この研究を進めるに当たって多大な協力と貴重な助言を頂いた佐藤隆夫主幹研究員、また、多くの討論を頂いた緒形昌美研究員をはじめATR視聴覚機構研究所の諸氏にも感謝します。

参考文献

- 1) H. H. Bulthoff & A. Mallot: "Integration of depth modules: stereo and shading", *Journal of Optical Society of America*, A5, 1749-1758, 1988
- 2) P. C. Smith & O. W. Smith: "Verical perception of cylindricality: a problem of depth discrimination and object identification", *Journal of Experimental Psychology*, 62, 145-152, 1961
- 3) J. I. Yellott & Jr. L. Kaiwi: "Depth inversion despite stereopsis: the appearance of random-dot stereograms on surfaces seen in reverse perspective", *Perception*, 8, 135-142, 1979
- 4) W. M. Youngs: "The influence of perspective and disparity cues on the perception of slant", *Vision Research*, 16, 79-82, 1976
- 5) K. A. Stevens & A. Brookes: "Integrating stereopsis with monocular interpretations of planar surfaces", *University of Oregon Technical Report*, CIS-TR-86-05, 1986
- 6) A. van den Enden & H. Spekreijse: "Binocular depth reversals despite familiarity cues", *Science*, 244, 959-961, 1989
- 7) B. Julesz: "Foundation of cyclopean perception", Chicago: University of Chicago Press, 1971
- 8) P. Cavanagh: "Reconstructing the third dimension: interactions between color, texture, motion, binocular disparity, and shape", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 37, 171-195, 1987
- 9) P. Cavanagh & Y. G. Leclerc: "Shape from shadows", *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, 15, 145-152, 1989
- 10) B. A. Doshier, G. Sperling & S. A. Wurst: "Tradeoffs between stereopsis and proximity luminance covariance as determinants of perceived 3D structure", *Vision Research*, 26, 973-990, 1986
- 11) P. Cavanagh, S. Shioiri & D. I. M. MacLeod: "Is the achromatic form pathway based on luminance or brightness?", *Investigative Ophthalmology and Visual Science Supplement*, 28, 362, 1987
- 12) S. P. McKee: "The spatial requirements for fine stereoacuity", *Vision Research*, 23, 191-198, 1983
- 13) G. J. Mitchison & G. Westheimer: "The perception of depth in simple figures", *Vision Research*, 24, 1063-1073, 1984
- 14) V. S. Ramachandran & R. Gregory: "Does colour provide an input to human motion?", *Nature*, 275, 55-56, 1978
- 15) P. Cavanagh, C. W. Tyler & O. E. Favreau: "Perceived velocity of moving chromatic gratings", *Journal of Optical Society of America*, A1, 893-899, 1984
- 16) R. Gregory: "Vision with isoluminant colour contrast", *Perception*, 6, 113-119, 1977



(a)



(b)

図1 奥行きがサイン波状に変化する面とそのランダムドットステレオグラムの概略

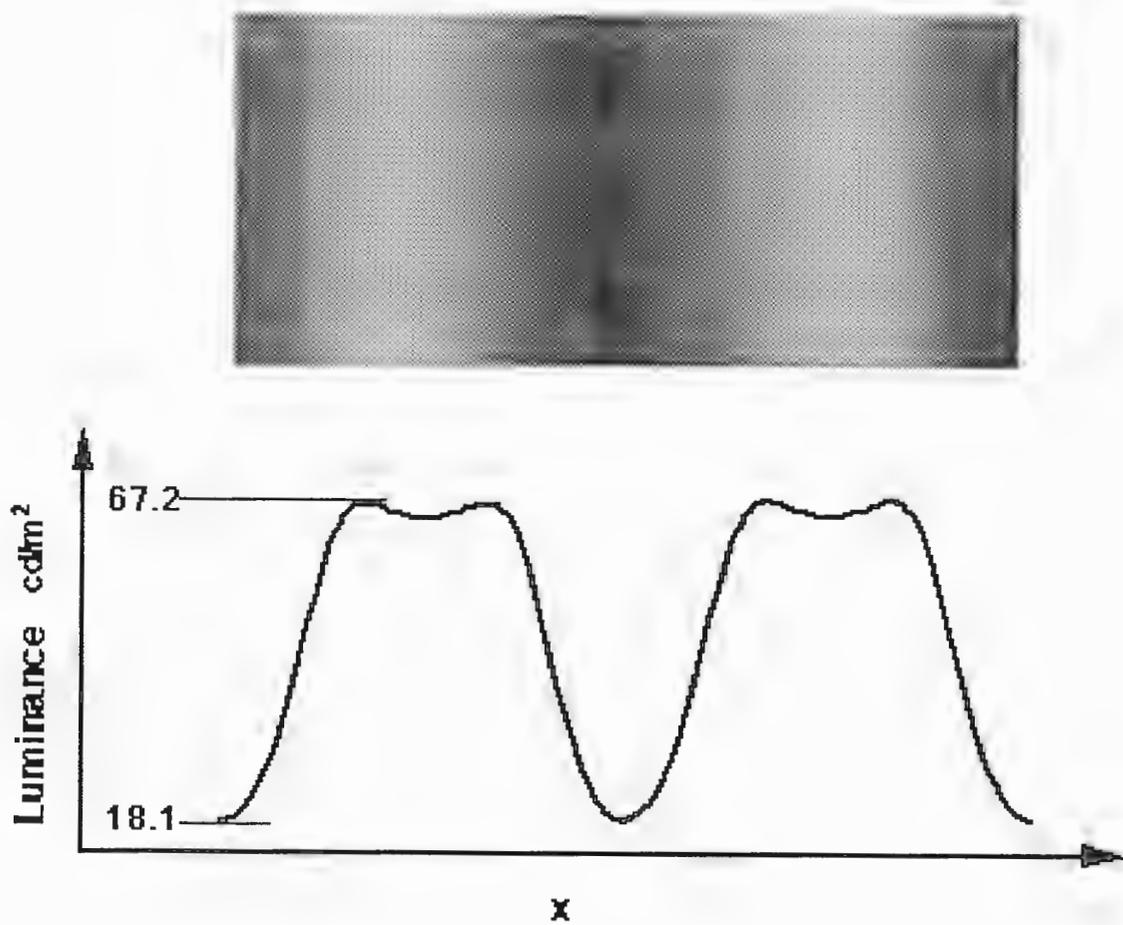
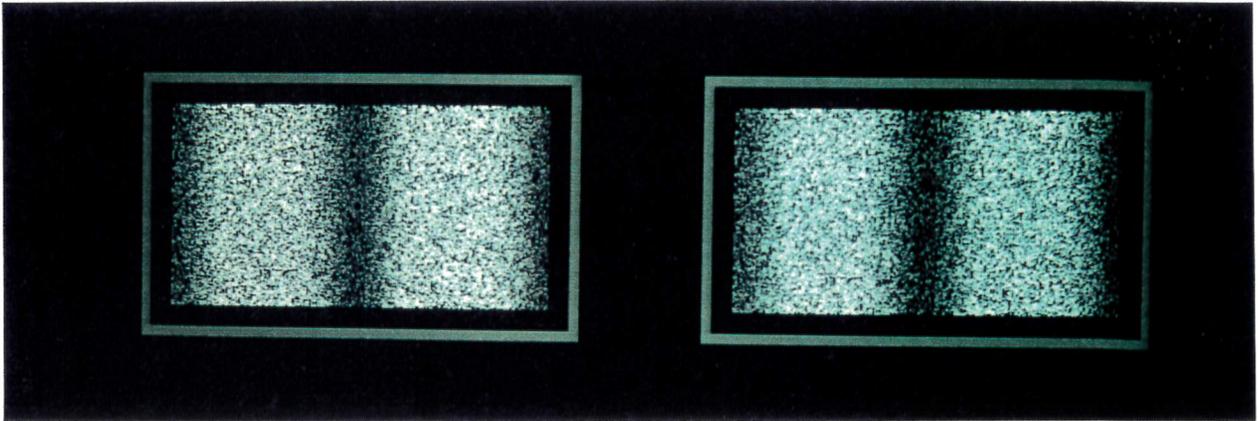
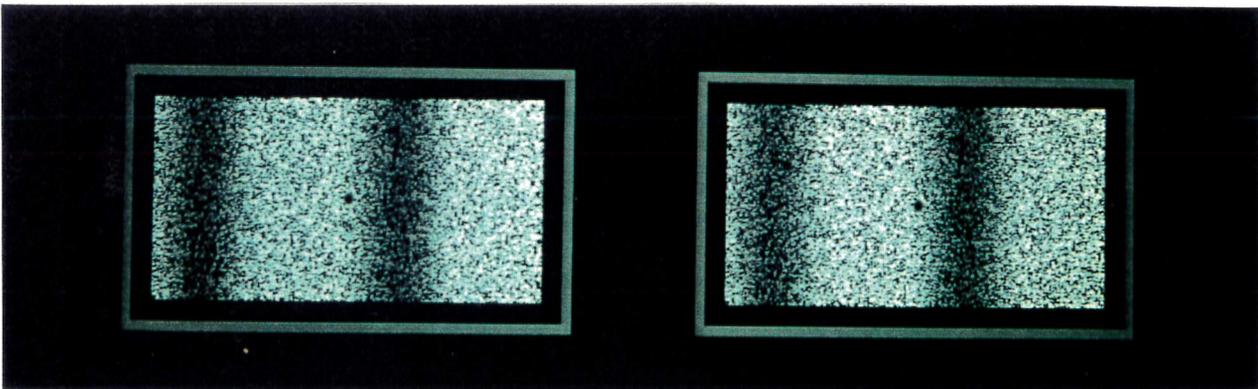


図2 奥行きがサイン波状に変化する面の陰影に対応する輝度分布



(a)



(b)

図3 陰影情報を持つランダムドットステレオグラムの例。
ただし、右図が右目に対する刺激で、左図が左眼に対する刺激。(a)整合刺激と(b)不整合刺激

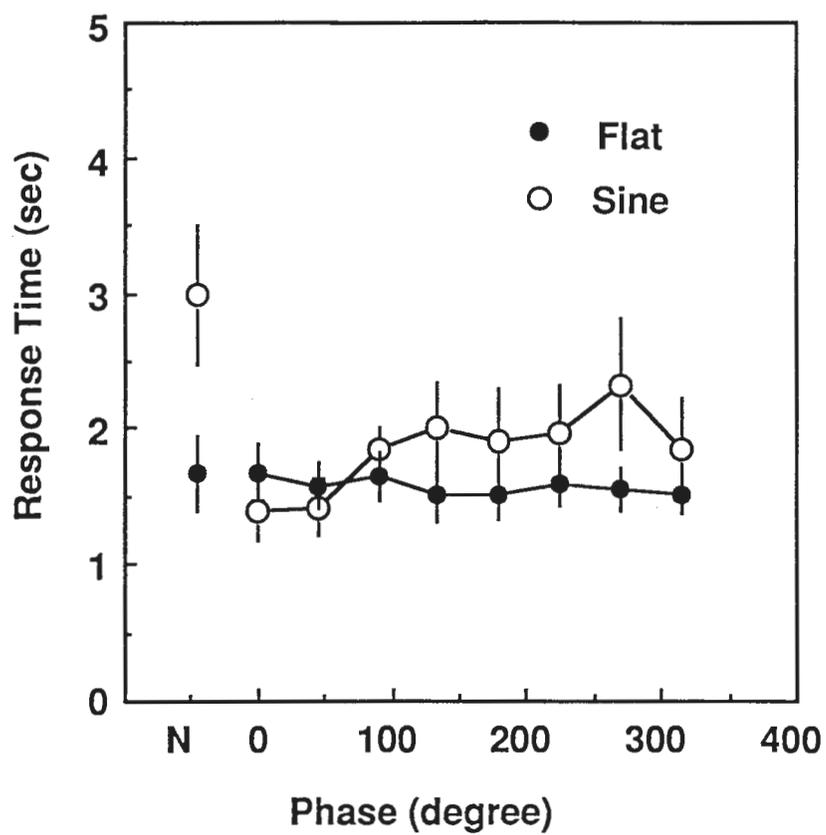
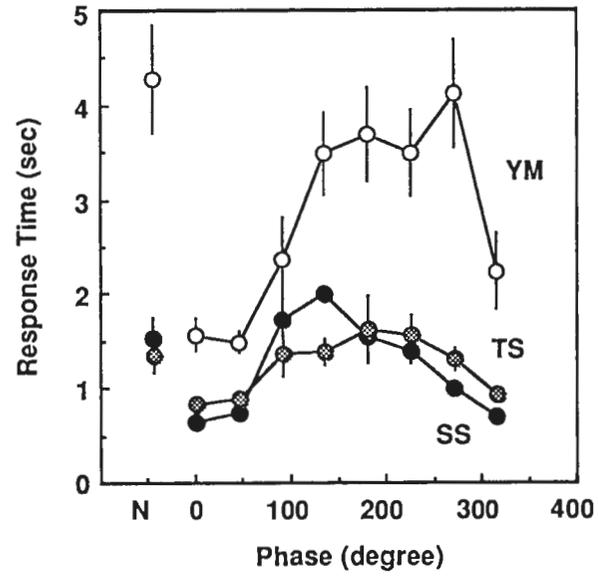
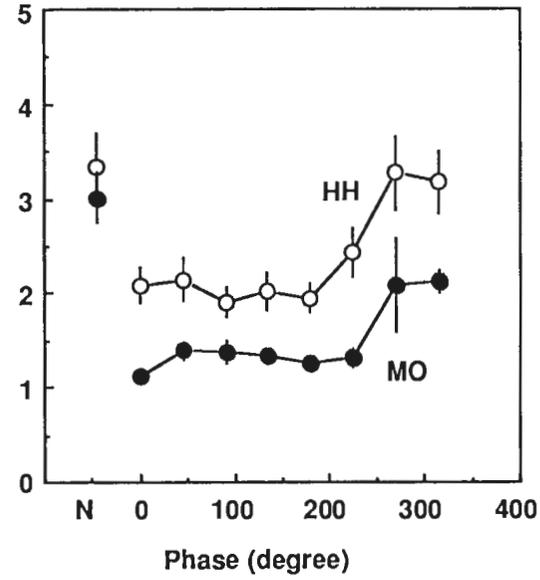


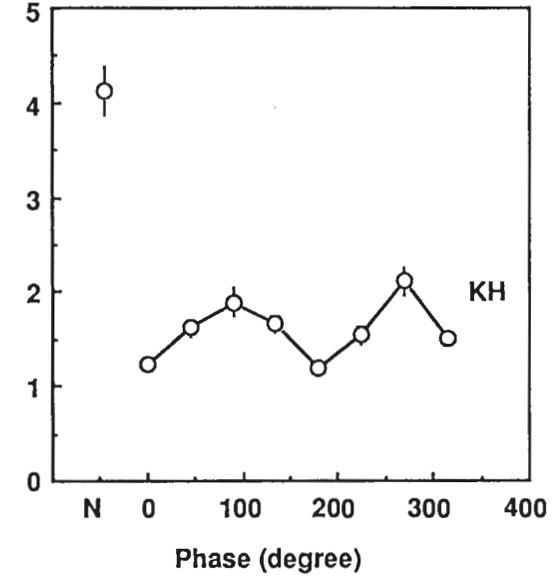
図4 実験1の全被験者の応答時間の平均



(a)



(b)



(c)

図5 実験1の各被験者の応答時間

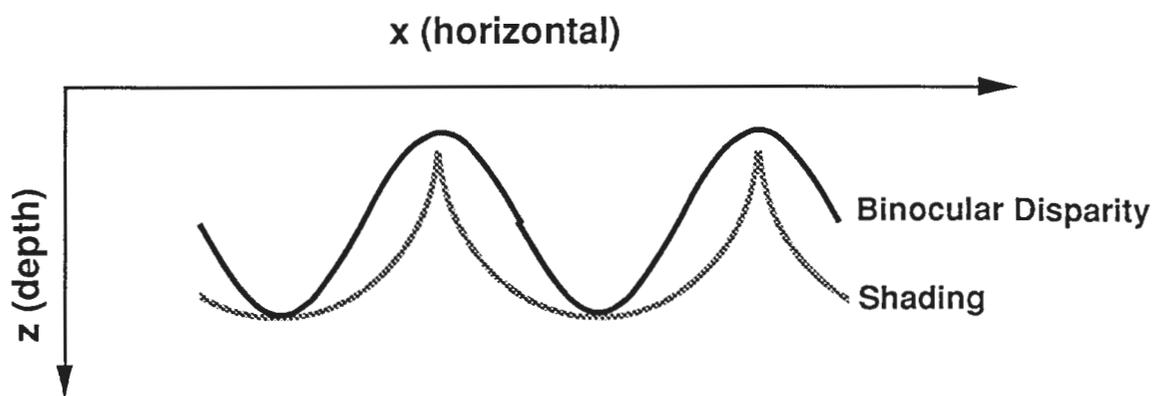


図6 位相90°の輝度分布が円柱の陰影として知覚された場合の、両眼視差によるサイン面との関係

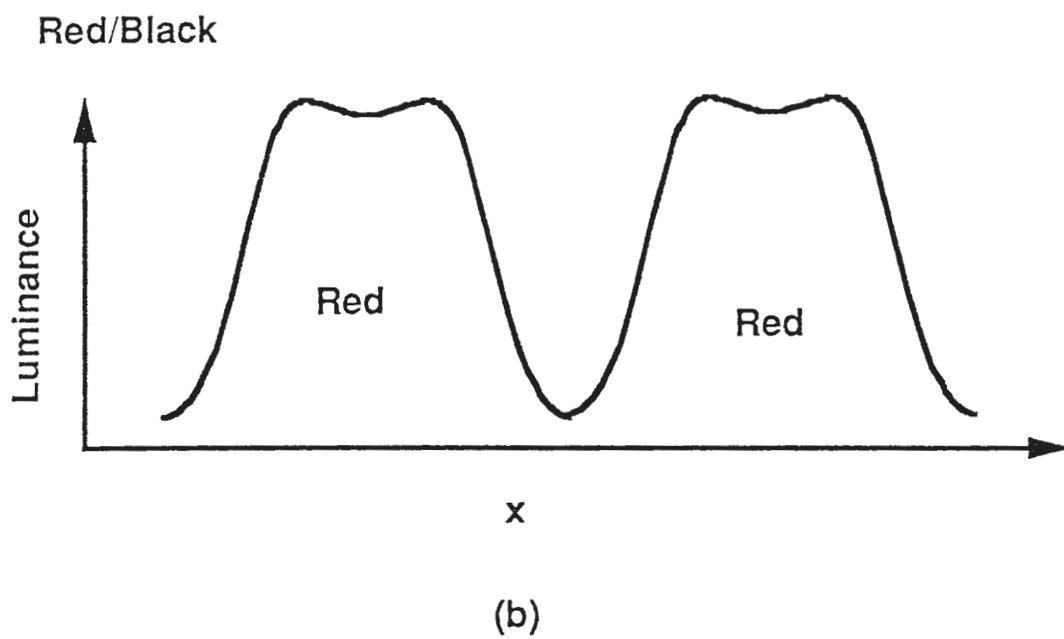
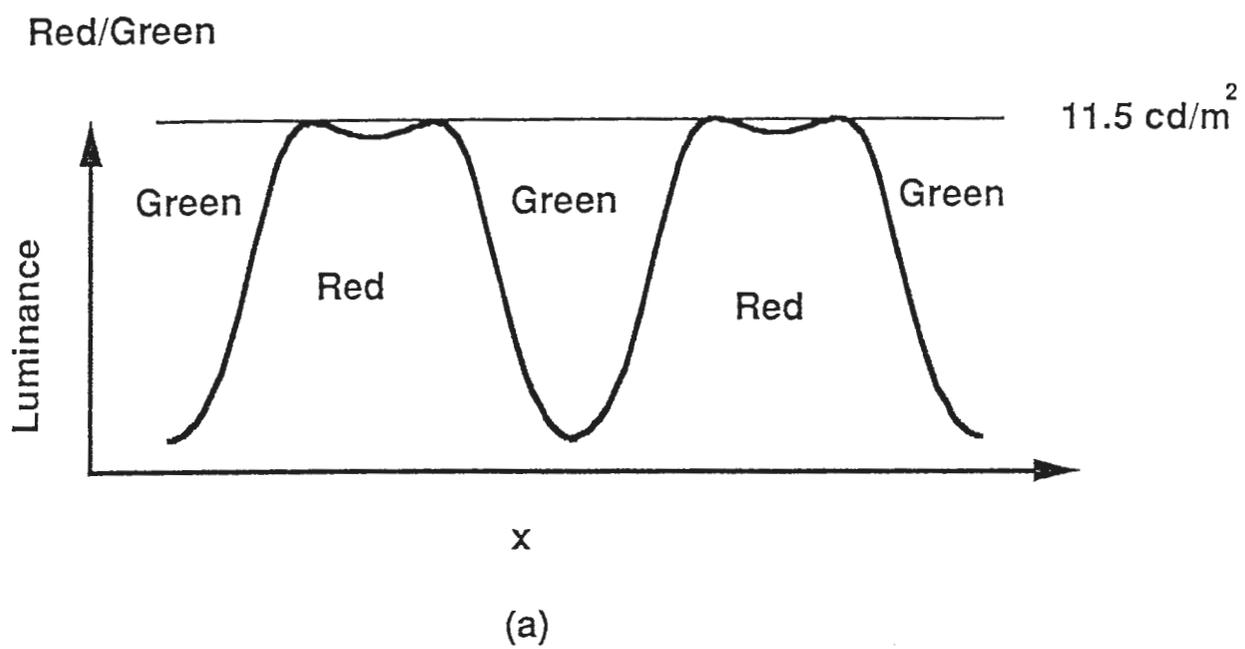


図7 (a)赤・緑及び(b)赤・黒条件の赤及び緑の発光体の輝度分布

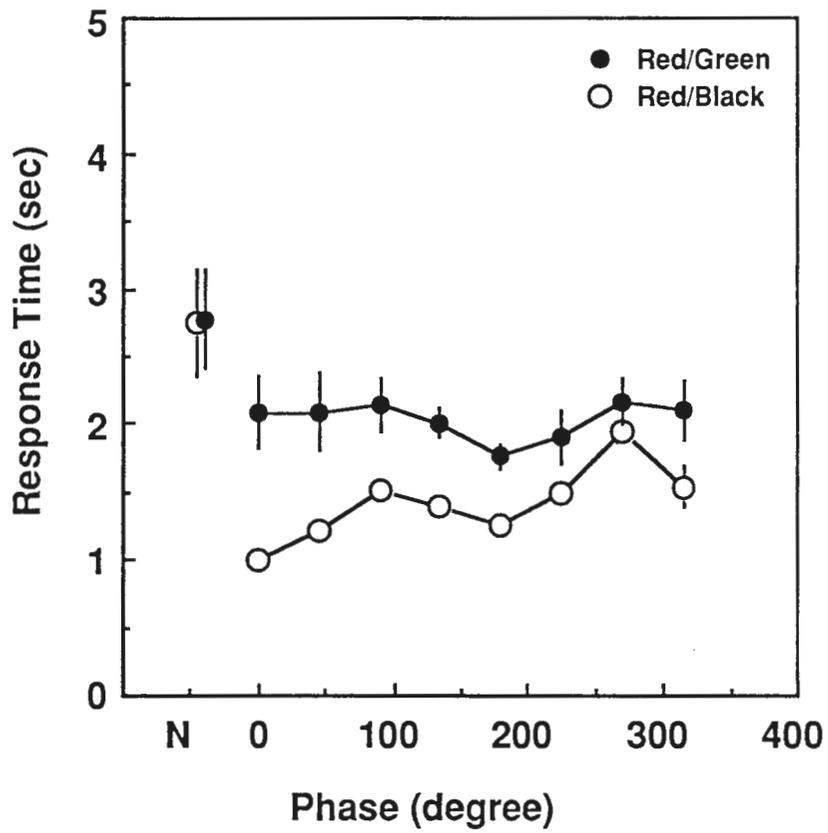


図8 実験2の全被験者の応答時間の平均

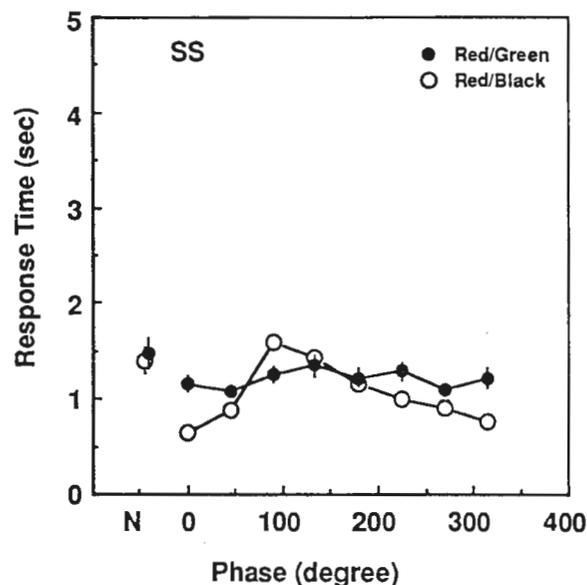
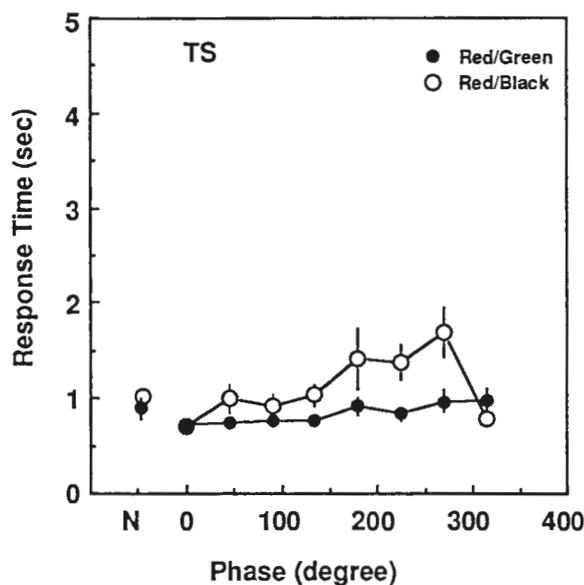
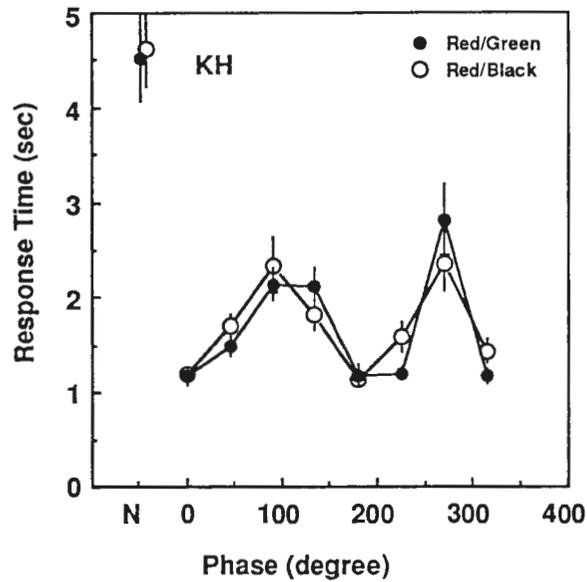
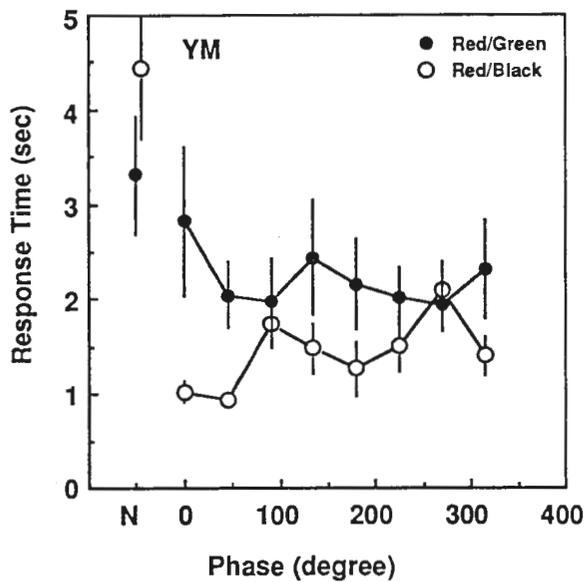
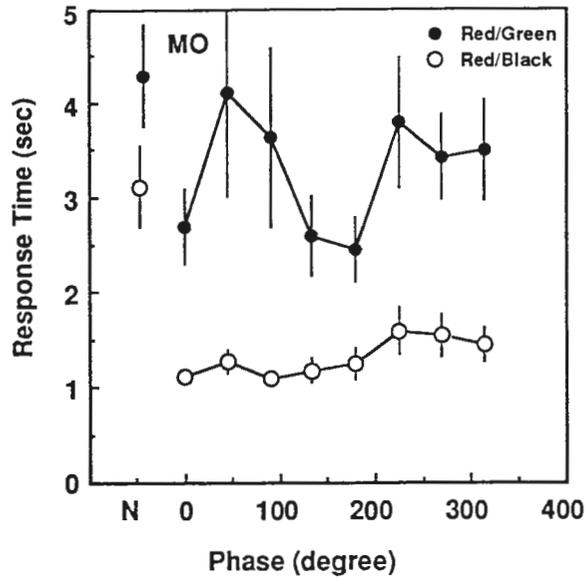
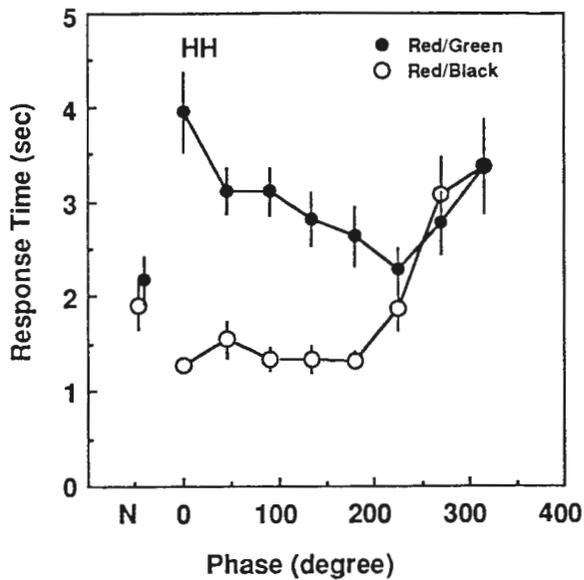


図9 実験2の各被験者の応答時間

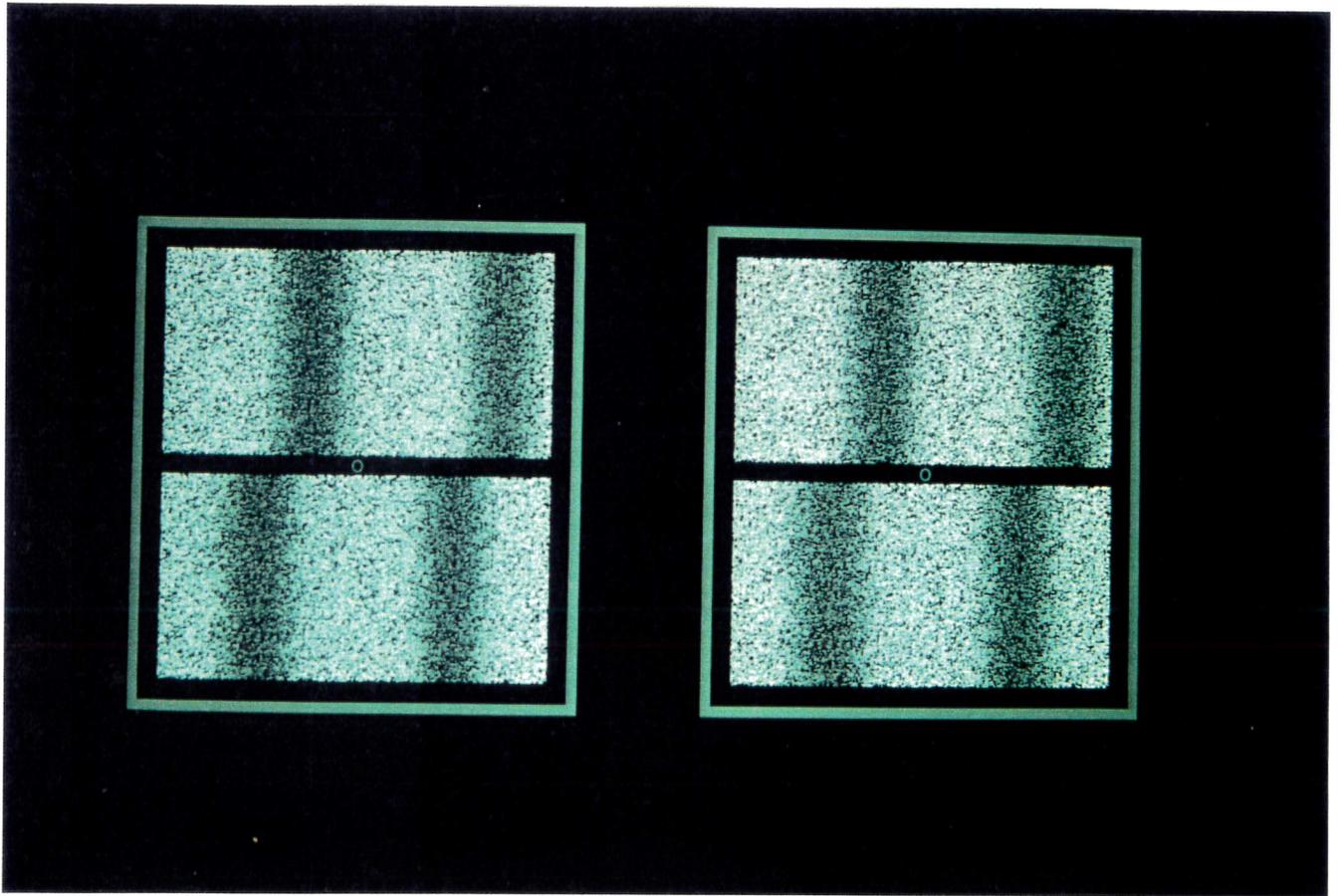


図10 実験3で用いた刺激

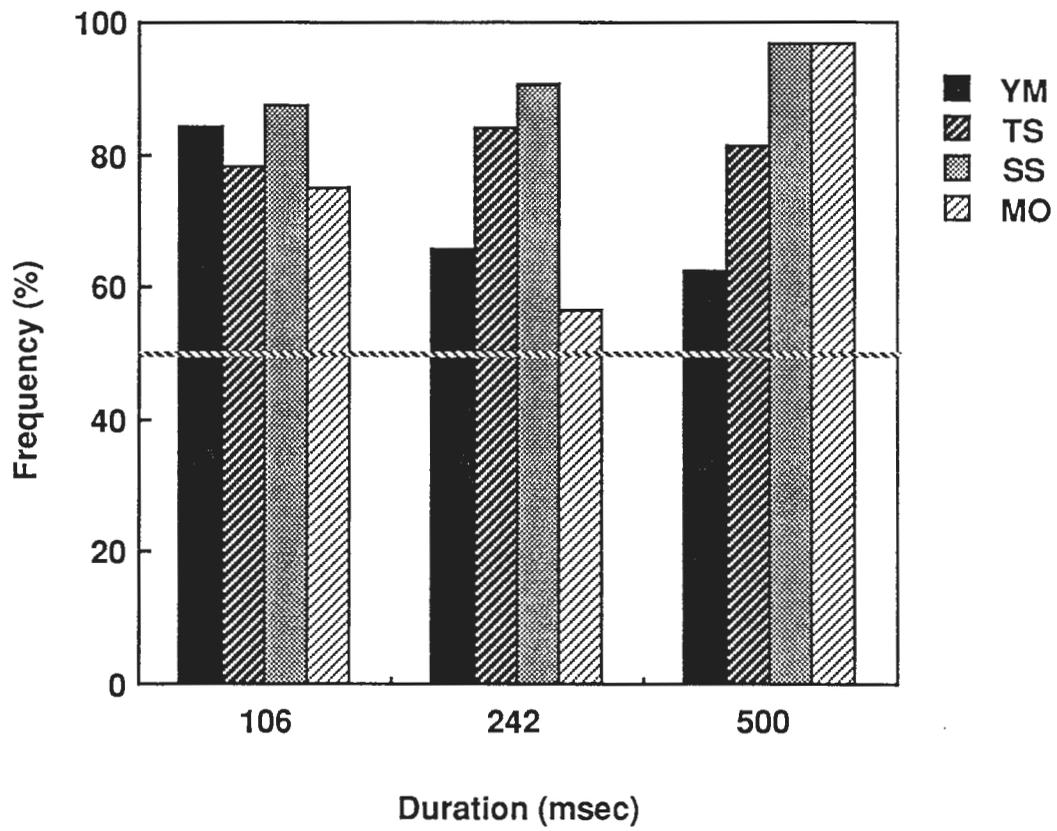


図1 1 実験3で整合刺激に奥行きがあると応答した割合

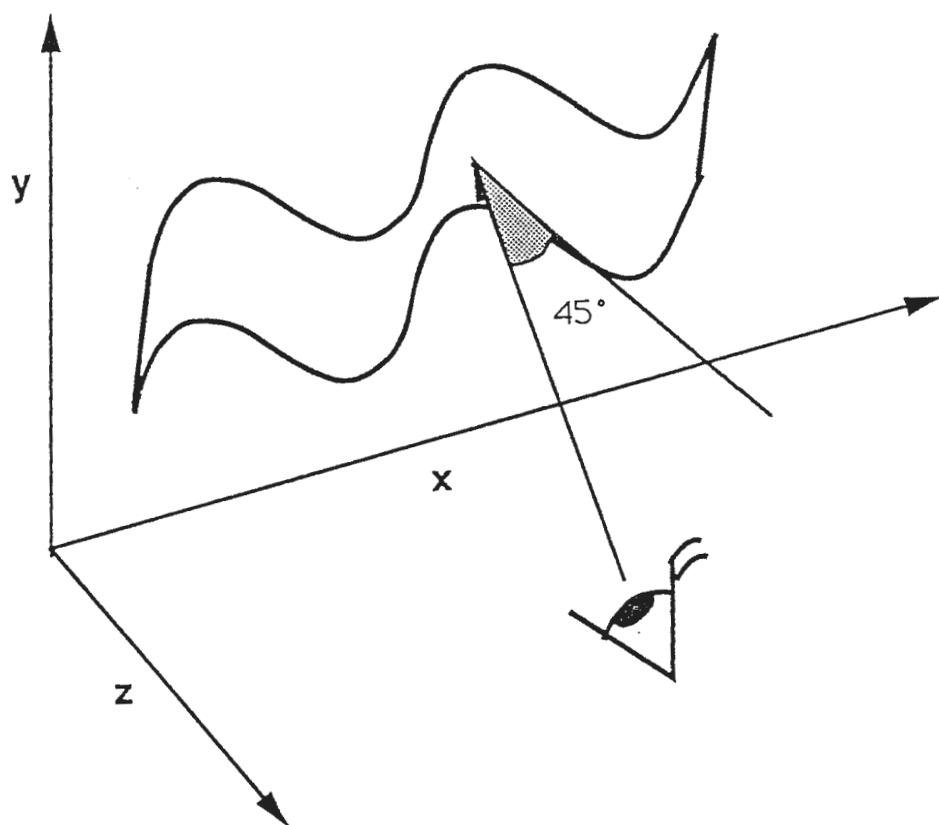
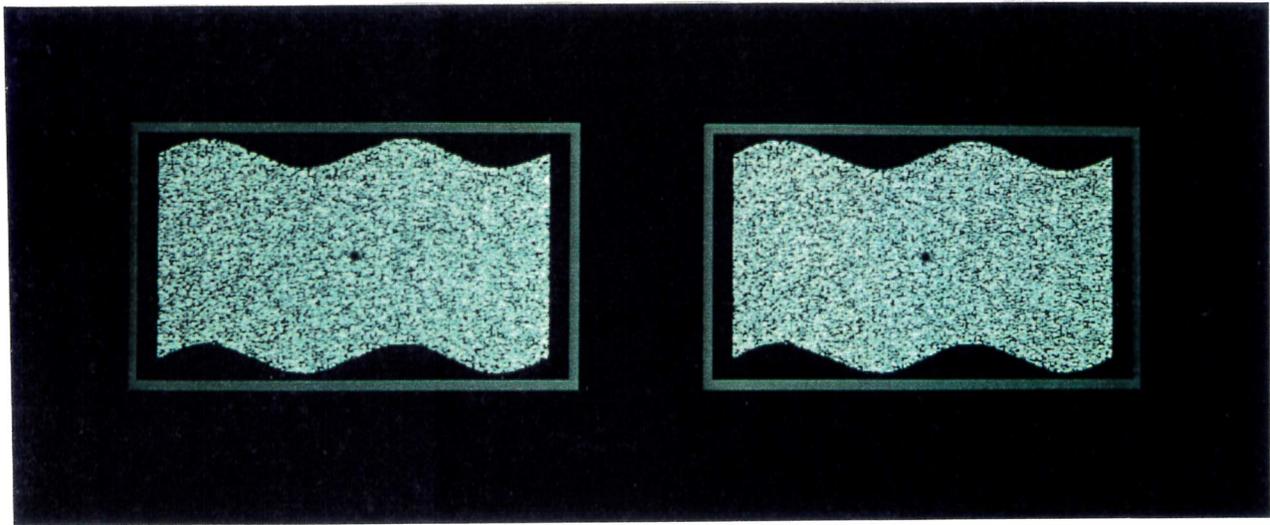
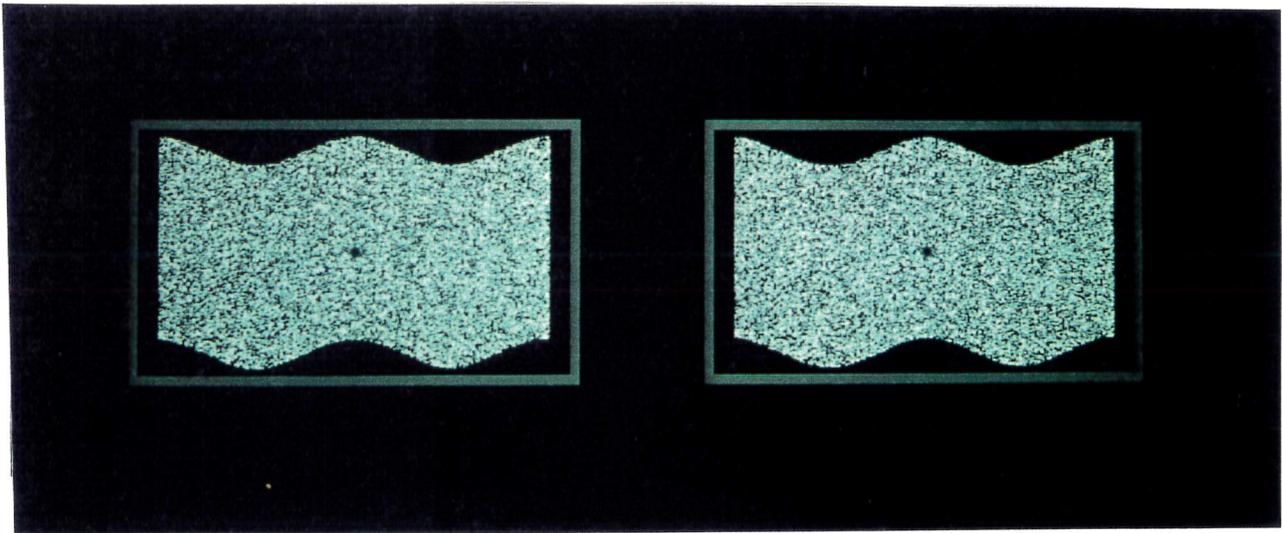


図 1 2 輪郭線の形状と観察者の眼の位置



(a)



(b)

図13 奥行き情報を持つ輪郭線を加えられたランダムドットステレオグラムの例。ただし、右図が右目に対する刺激で、左図が左眼に対する刺激。(a)整合刺激と(b)不整合刺激

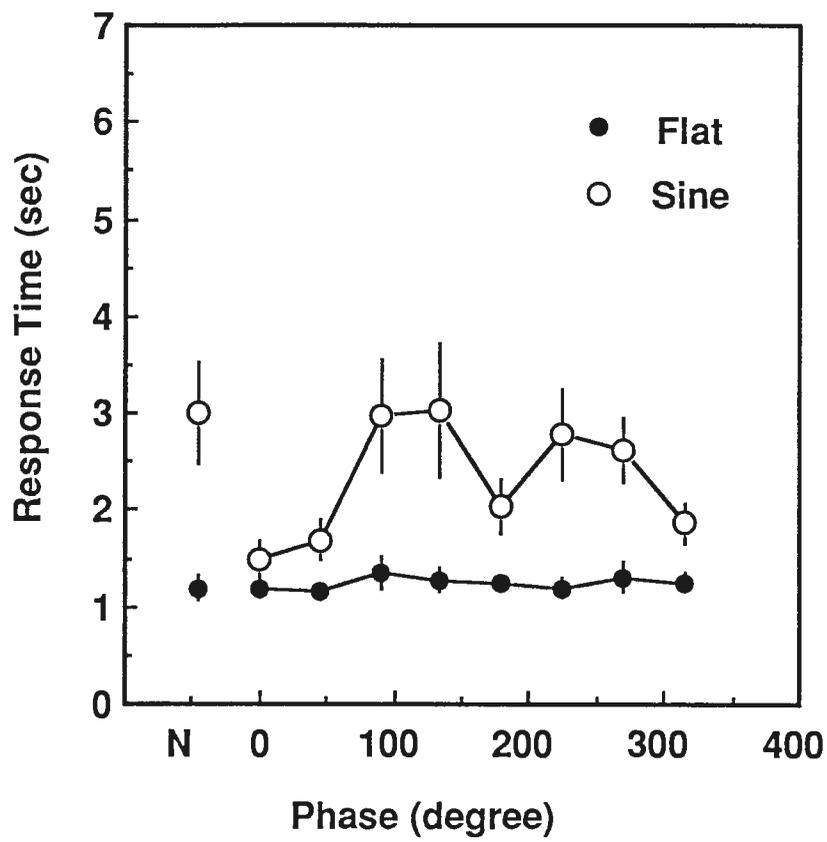


図14 実験4の全被験者の応答時間の平均

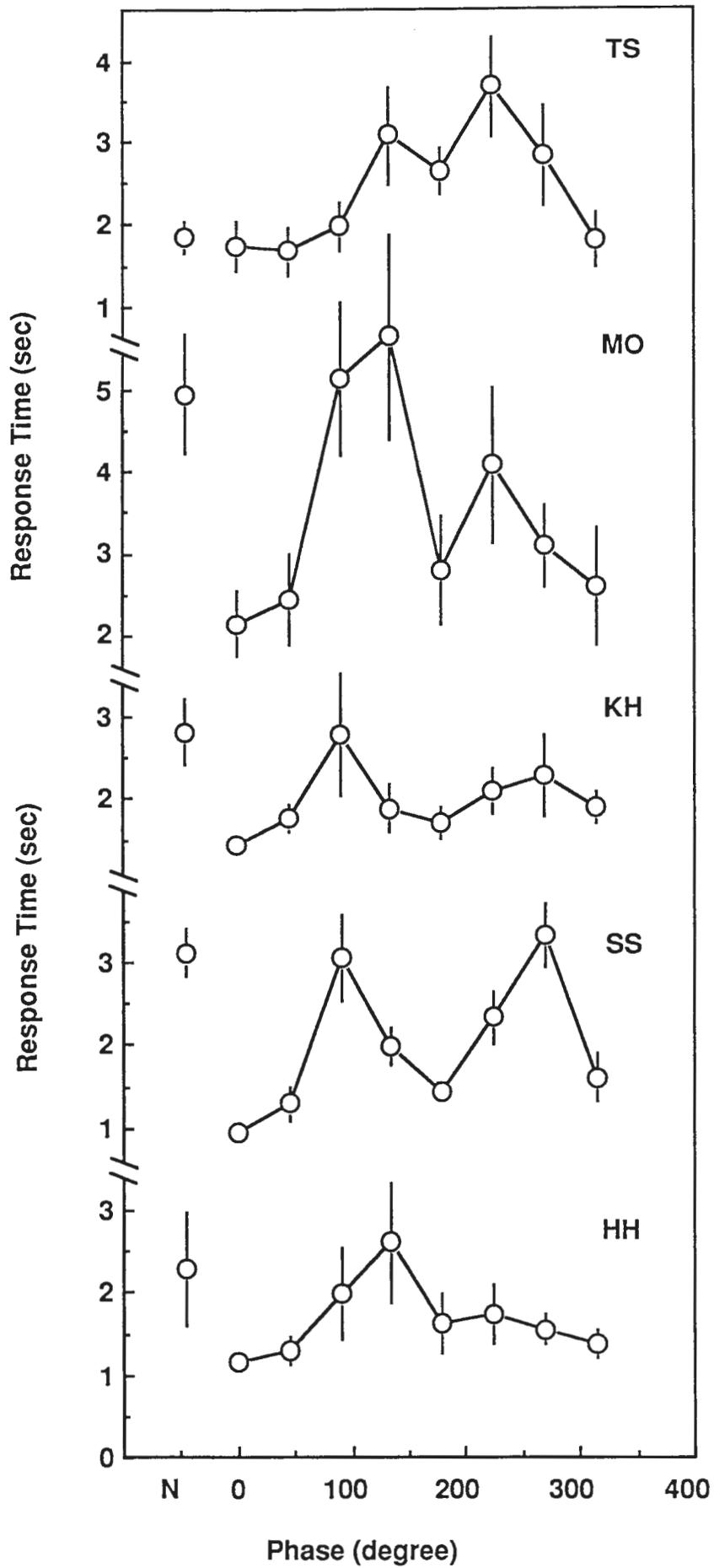


図 1 5 実験 4 の各被験者の応答時間

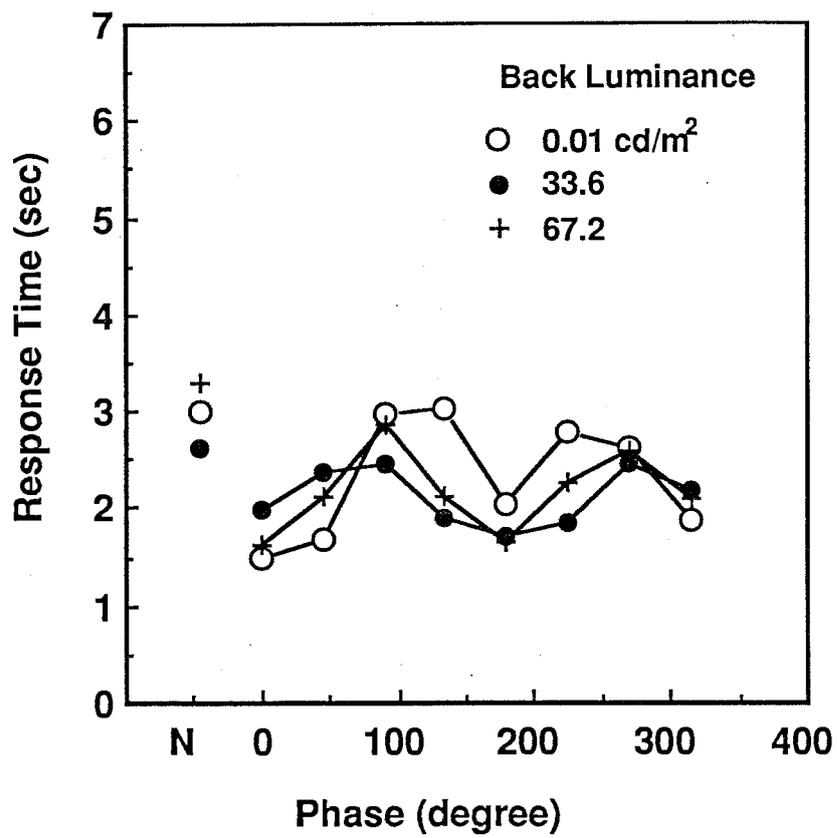


図 1 6 実験 5 の全被験者の応答時間の平均