



## 陰影情報の両眼立体視形成への影響

塩入 諭\*・佐藤 隆夫\*\*

ATR 視聴覚機構研究所 〒619-02 京都府相楽郡精華町光台 2-2

(1992年5月26日受付, 1992年10月13日受理)

### Influence of Depth from Shading on Binocular Stereopsis

Satoshi SHIOIRI\* and Takao SATO\*\*

ATR Auditory and Visual Perception Research Laboratories,  
2-2, Hikaridai, Seika-cho, Souraku-gun, Kyoto 619-02

(Received May 26, 1992; Accepted October 13, 1992)

Influences of depth information based on shading perception on binocular stereopsis was investigated. We used random-dot stereograms of corrugated surfaces, in which lighter dots carried gradual luminance change to provide shading perception. The depth information of shading was either coherent or conflictive with that of binocular disparity. Measurement of perception time for stereoscopic depth showed that the perception time was shorter when the depth from shading and stereoscopic depth were coherent than when they were conflictive (experiment 1). Since this difference was not shown when isoluminant color change was used instead of the luminance change (experiment 2), where observers could see no depth from shading, we conclude that the influence of shading on binocular stereopsis found in experiment 1 cannot be attributed to the presence of the spatial pattern itself. These results suggest that binocular depth system uses depth information from shading in the process of constructing stereoscopic depth.

#### 1. はじめに

視覚系は、両眼の網膜に投影された2次元画像から、外界の3次元形状を知覚するために、左右網膜像のわずかな差異、すなわち両眼視差を用いている。一方、写真や映画が楽しめることは、2次元画像(両眼視差を考えると平面と知覚されるべき画像)においても自然な3次元知覚がなされることを意味する。視覚刺激には、両眼視差の持つ奥行き情報と、単眼の網膜像のみからも得られる奥行き情報(画像性の奥行き情報)が混在している

が、われわれは通常、それらを別々の奥行きとして知覚することはない。両眼視差と画像性の奥行き情報は、相互に影響しあいより有益な3次元情報を与えていることが予想される。例えば、両眼視差と画像性の奥行きの両方があるときはいずれか単独の場合に比べ、より速く、より安定した奥行きが得られるなどの効果が考えられ、逆にそれらが不整合的であるならば不安定な奥行きを与えるかも知れない。

両眼視差の奥行きと画像性の奥行きの間の相互作用の研究は少なからずあるが、明らかにされていることは少ない。例えば、両者に競合がある不整合的な刺激に対して、両眼視差の持つ奥行きが優位となるとの報告<sup>1-3)</sup>、単眼の奥行きが優位となるとの報告<sup>4-6)</sup>の両方がある。刺激条件に依存するものと考えられるが、これらの結果の一般化は難しい。しいてあげれば、ランダムドットなど多くのエッジを含む刺激では両眼視差が優位となる、また線画においては輪郭線の形状が与える奥行きは両眼視

\* 現在: 千葉大学工学部画像工学科 〒263 千葉市稲毛区弥生町 1-33

Present address: Department of Image Science, Faculty of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263

\*\* 現在: NTT 基礎研究所 〒180 武蔵野市緑町 3-9-11  
Present address: NTT Basic Research Laboratories, 3-9-11, Midori-cho, Musashino 180

差より優位となるなどの傾向がみられる。しかし、この問題に関して系統的な実験は少なく、また異なる奥行き手掛かりの間での奥行きを比較する手法も確立されていない。異なる奥行き手掛かり間の相互作用をいかに検討するかは、それ自体大きな問題である。

本研究では、これまで明確な議論がなされていない両眼視差の奥行きと画像性の奥行きとの相互作用の生じているレベルの検討を目的とする。ここではそのために、画像性の奥行き手掛かりと両眼視差が混在する刺激において、刺激の呈示から両眼立体視が成立するまでの時間(両眼立体視形成時間)への画像性の奥行き手掛かりの影響を測定した。もし、画像性の奥行き情報が両眼立体視の形成時間に影響を与えないとすれば、両眼視差の奥行きと画像性の奥行きとの相互作用(それが存在するとして)はそれぞれの奥行きが決められた後に生じると予測される。逆に、画像性の奥行きが不整合であるときに両眼立体視の形成時間が長くなるとすれば、両者の相互作用は、両眼立体視の形成過程に存在することになる。なお、画像性の奥行き手掛かりとしては、非常に有効な奥行き情報を与えるもののひとつである陰影情報を用いた<sup>7,8)</sup>。

実験1では、両眼視差の持つ奥行き情報と陰影の持つ奥行きが一致する条件(整合刺激)と不一致である条件(不整合刺激)で両眼立体視の形成時間を測定した。実験結果は、不整合条件において形成時間が長いことを示し、両眼立体視の形成過程に画像性の奥行き手掛かりが影響を与えていることを示唆する。しかし、この結果が、陰影による奥行きのために生じたものであるか、単に明暗のパターンが刺激上に存在するための効果であるかの検討が必要である。実験2ではこの点を明らかにするために、奥行きとは無関係のパターンとして赤緑の色度変化を与えて、両眼立体視形成時間の測定を繰り返した。赤緑パターンでは明暗パターンで見られた不整合条件での形成時間の延長は得られず、明暗条件での結果が陰影による奥行きの影響であることが支持された。

なお、実験に先立ち、整合条件と不整合条件での奥行き知覚の差異についての観察も行った。

## 2. 刺 激

他の奥行き手掛かりの影響を最小にして、両眼視差の奥行き情報を取り出すために、ランダムドットステレオグラムを刺激とした。ランダムドットパターンに適当な輝度変化を加えることにより、ランダムドット刺激の中に陰影の知覚を生じさせることができる(ここでは、こ

の輝度変化を陰影輝度分布と呼ぶ)。このステレオグラムにおいては、両眼視差と独立に陰影輝度分布を変化させることができ、両眼視差および陰影に基づく奥行き手掛かりの間の整合性を系統的に変えることが可能である。

ランダムドットステレオグラムは、コンピュータ制御のCRTディスプレイ上に併置呈示され、左右眼それぞれで2枚のミラーを介して観察することで両眼立体視が可能となる。ステレオグラム中の各ドットは、奥行き方向にサイン波状に変化する面(以後サイン面と呼ぶ)を与える視差を持つ。サイン面のCRTディスプレイ上への投影は長方形となり、したがって、被験者は長方形内にランダムに散らばるドットを観察することになる。ドットの半数は明、半数は暗(ただし、陰影輝度分布を加えるために、明ドットの輝度は一定でない)となっている。また、ドット密度はCRT上の画像で一樣となるように配慮されている。

CRT上に作り出したステレオグラムは、振幅1cm、周期6.5cmのサイン面の2周期分を60cm離れた距離から観察したときの左右の網膜像に対応する。各ステレオグラムの大きさは、視角にして横 $12.3^\circ \times$ 縦 $6.5^\circ$ (380ドット $\times$ 200ドット)であり、サイン面の山の位置(手前に凸の部分)と谷の位置(凹の部分)との視差は、 $0.2^\circ$ である。ドットの大きさは $2' \times 2'$ である。

それぞれのステレオグラムの中心には、固視点として直径 $0.3^\circ$ の円が、またランダムドットパターンの外側には、黒( $0.01 \text{ cd/m}^2$ )の領域を挟んで灰色の枠(幅 $0.3^\circ$ で枠の外側で $13.6^\circ \times 7.8^\circ$ )が与えられる。

このランダムドット刺激に陰影を与える輝度分布を加えるために、明ドットの輝度を水平軸に沿って変化させる。陰影に対応する輝度分布は、サイン面が完全拡散面であるとして、その一次反射のみを考慮する単純な手法を用いて求めた。光源は、画面に垂直な軸から左方に $30^\circ$ 傾いた方向からの平行光とした。Fig. 1に用いた陰

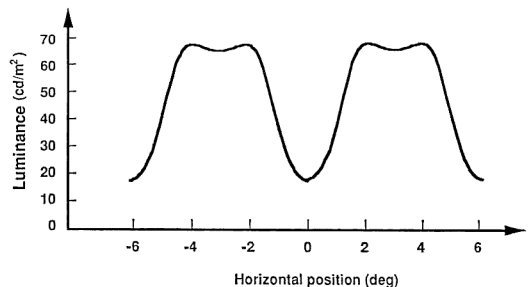


Fig. 1 The luminance profile used to approximate shading on the sinewave shaped surface (shading luminance function).

影輝度分布を示す。ただし輝度の最大値は  $67.2 \text{ cd/m}^2$  としており、そのとき最小値は  $18.1 \text{ cd/m}^2$  となる。

サイン面に対する陰影輝度分布は周期関数となり、その位相を変えることは、仮定されたサイン面の位相の変化 (つまり水平位置の移動) に対応する。この輝度分布の位相は、ドットの位置を固定したまま制御できるので、両眼視差によるサイン面と陰影の与えるサイン面の水平位置を独立に変化させることができる (なお、光源の方向の変化も陰影輝度分布の形状を変化させるが、位相の変化とは明らかに異なるため、両者は混同されるようなものではない)。

陰影輝度分布は左右両画像に含まれるため、その輝度分布の対応関係、すなわち視差はドットの視差と独立に付加することができる。これは陰影の奥行き、ドットの持つ視差の奥行きのいずれとも異なる要因であり、考慮する必要がある。陰影輝度分布の視差が、ドットの視差と同様にサイン面を与える条件を考えると、すべての両眼視差の情報は一致し実験の目的に合致した条件になる。しかし、輝度変化のないランダムドット刺激との比較においては、陰影の視差が加わる分だけ両眼立体視は容易となる可能性がある。一方、輝度分布の視差が平面を示す条件とすれば、陰影を加えることにより両眼立体視が容易になる理由はないが、異なる視差が混在するため逆に難しくなるかも知れない。実験 1 では、陰影がサイン面と同じ視差を持つ条件と平面となる視差を持つ条件の両条件が行われた。前者を陰影視差サイン面条件、後者を陰影視差平面条件と呼ぶことにする。

刺激の例を Fig. 2 に示す。Fig. 2 a は整合刺激の例

であり、両眼視差により形成されたサイン面に対する陰影と一致する輝度分布が加えられている。ここで固視点の位置を原点とし、紙面の手前方向を正とするとき、サイン面は位相  $0^\circ$  のサイン波状であるが、このときの陰影輝度分布の位相も  $0^\circ$  とする。Fig. 2 b は不整合刺激の例であり、Fig. 2 a と同じランダムドットステレオグラムに  $3/4$  周期移動した陰影輝度分布 (位相が  $270^\circ$ ) を加えたものである (ここでは陰影輝度分布が右に移動する方向を正の位相としている)。両者とも陰影視差サイン面条件である。

ここで用いた陰影輝度分布が、実際に陰影として知覚されることを以下のように確認した。両眼立体視によりサイン面が知覚されている状態で、陰影輝度分布が陰影として自然に感じられるように位相を合わせるという課題を 3 人の被験者に課した。結果は平均で  $5.9^\circ$  (被験者 3 名  $\times$  5 回、計 15 の判断の平均で標準偏差は  $12.9^\circ$ ) という  $0^\circ$  に近い位相を示し、ここで用いた陰影輝度分布は陰影として知覚されるとみなせる。

### 3. 観 察

実験に先立ち用いた刺激に対する知覚を調査した。これは、Fig. 2 に示す整合刺激、不整合刺激を 6 名の被験者が観察し、知覚される奥行きなどを報告するものである。被験者は、まず刺激を自由に観察し知覚される奥行きを報告する。もしそれが両眼立体視による奥行きでなければ (両眼立体視の有無は自覚的に容易に判断できる)、両眼立体視の奥行きが得られるまで観察を続ける。両眼立体視の奥行きが得られた場合は、陰影輝度分布が

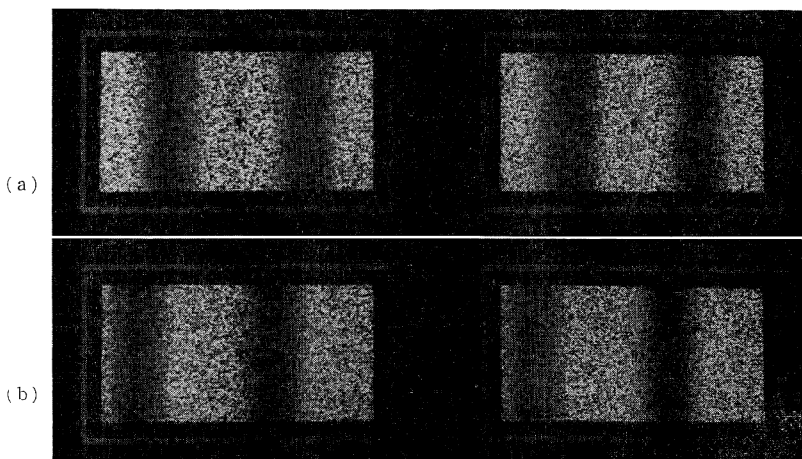
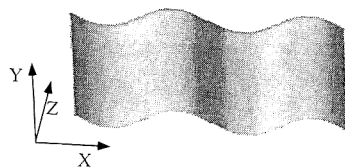


Fig. 2 Examples of random-dot stereograms used as stimulus. Depth cues from binocular disparity and shading are (a) coherent or (b) conflictive.

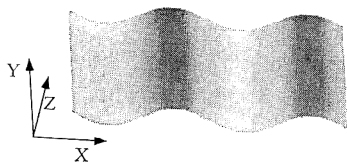
どのように知覚されているかを報告する。以下に観察結果をまとめるが、これらは、Fig. 2 を両眼融合することで確認していただきたい。

- (1) 奥行き手掛かりの整合, 不整合に係わらず, 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得られた。
- (2) 不整合刺激に対し, 両眼視差と陰影による異なる二つの奥行きが知覚されることはなかった。
- (3) 不整合刺激において, 両眼立体視が安定して知覚されるとき, その輝度変化は陰影としては知覚されず, サイン面上の縞模様として知覚された (Fig. 3 b). これは, 整合刺激において, 輝度分布が陰影と知覚されたのと異なる (Fig. 3 a).
- (4) 両眼立体視の形成されるまでの時間は, 不整合刺激において整合刺激より長いとの内観が得られた。

観察結果(1)は, ここで用いた刺激に対しては, 両眼視差は陰影に比べ奥行きへの寄与が大きいことを意味する。これは, ランダムドット刺激に対する両眼立体視の奥行きへの反転が, ほとんど不可能との報告と一致する<sup>4)</sup>。しかし, 異なる手掛かりの間の奥行きへの寄与を比較する場合, 刺激条件により結果が異なる可能性があり, 安易に一般化することはできない (両眼視差についてはドットの密度やコントラスト, 陰影に対してはコントラストや刺激の形状などによって奥行き印象の強さは変化する)。 (2), (3) および (4) は, 両眼視差の持つ奥行き情報と陰影の持つ奥行き情報が, 独立ではないことを意



(a)



(b)

**Fig. 3** Luminance change is perceived as shading in the coherent condition (a), while it is perceived as paints on the surface in the conflictive condition (b).

味する。

#### 4. 実験 1 陰影輝度分布と 両眼立体視形成時間

実験 1 では, 両眼視差の奥行きへの陰影の影響を定量的に検討することを目的とし, 両眼立体視の形成時間を, 陰影輝度分布の位相の関数として, すなわち両眼視差と陰影に基づく奥行きの整合性の関数として測定する。

##### 4.1 刺激および方法

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るが, 異なる 2 種類の両眼視差が用いられる。その 2 種類とは, Fig. 2 に示すような奥行き方向にサイン波状に波打つ面 (サイン面) となるものと, すべてのドット対の視差がゼロの平面となるものである。実験の各試行においていずれかの視差を持つ面が提示され, 被験者はそれがサイン面であるか平面であるか判断する。この判断は, 観察時間が十分であれば, 陰影の持つ奥行きに左右されずに正答でき, 後述のように誤答はほとんどない。判断はコンピュータに付属するマウスの二つのボタンを押し分けることでなされ, 刺激の提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る。判断は両眼視差に基づくので, この応答時間は両眼立体視の形成時間を反映することになる。判断が誤りであった場合は, コンピュータのビーブ音によって被験者に警告され, その応答時間はデータから除かれた。

サイン面が提示されたとき, 両眼立体視が形成される前にドットの二重像による不对応点が知覚されることがあったが, それにとらわれずに刺激の形状に基づく判断をすることは容易であった。

陰影輝度分布の位相としては,  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$  の 8 条件を選び, 明ドットの輝度がすべて同一 ( $67.2 \text{ cd/m}^2$ ) で陰影のない一様条件も加えて 1 セッションが構成された。一様条件の明ドットの輝度は,  $67.2 \text{ cd/m}^2$  である。これら 9 条件に対しサイン面と平面の刺激があり, 1 セッションではこの 18 種の刺激がランダムにそれぞれ 4 回ずつ提示された。前述のように, 陰影の視差に関して陰影視差サイン面条件, 陰影視差平面条件の 2 条件があり, それらは別のセッションで各 4 セッションずつが行われた。

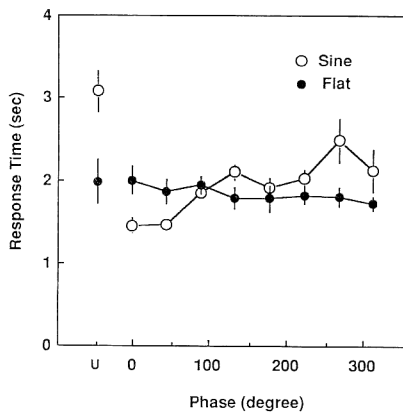
被験者は, 男性 5 名, 女性 1 名であり, いずれも視覚正常か, 眼鏡により正常に矯正されていた。被験者のうち 2 名は, 著者らである。

#### 4.2 実験結果

陰影視差サイン面条件に対する応答時間の平均値が陰影輝度分布の位相の関数として Fig. 4 に示されている。各データ点は各被験者の 16 判断の平均値を全被験者について平均した値であり、誤差棒は被験者間の標準誤差を示す。白丸はサイン面に対する応答時間、黒丸は平面に対する応答時間である。横軸左端の U は一様条件を意味する。誤答時の応答時間は含まれていないが、誤答率は陰影視差サイン面や陰影視差平面の両条件のすべての被験者の平均で、サイン面に対し 2.5%、平面に対して 0.7% と低い。

サイン面の結果は、陰影輝度分布の位相が  $0^\circ$  近傍 ( $0^\circ, 45^\circ$ ) で応答時間は短く、位相差が大きいとき ( $90^\circ$  から  $270^\circ$ ) は応答時間が長くなっている。陰影輝度分布の位相の両眼立体視形成時間への影響は明らかであり、応答時間は位相により 1 秒程度の差がある。一方、平面刺激に対しては、陰影輝度分布の位相によらず応答時間はほぼ一定となった。陰影の奥行きはすべての位相で不整合となることを考えると、この結果は予想されたものである。

また、一様条件 (U) では、サイン面では位相差が大きい条件よりも長い応答時間を示す。この理由は明らかではないが、一様条件の刺激は単眼での観察に対して平面として知覚されるため、これがサイン面の知覚に要する時間を長くする要因のひとつとも考えられる。しかし、平面刺激に対しては一様条件は他の条件とほぼ同一の応

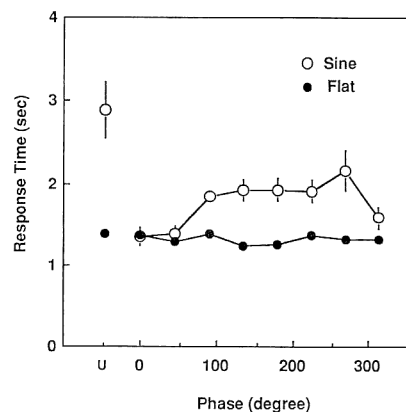


**Fig. 4** Average response time over all of the six observers as a function of phase of the shading luminance function in the shading-disparity-sinewave-condition. Open circles represent data for the stereograms of a sinewave surface, and filled circles represent data for the stereograms of a plane. The character of U at the horizontal axis represents the uniform condition.

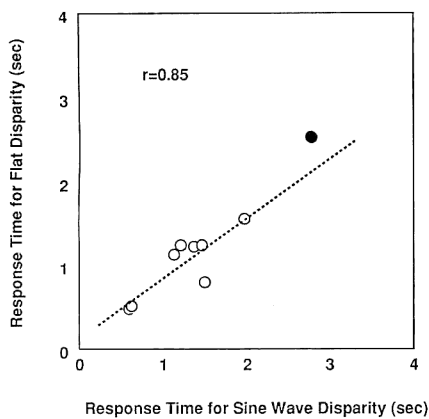
答時間となっており、一様条件が平面と整合的であるとの考えとは矛盾する (その場合、他の条件より短い応答時間が予想される)。両眼視差が平面を与える刺激については、陰影の有無による影響がないとも考えられるが、現段階では満足できる説明はない。

Fig. 5 に陰影視差平面条件に対する全被験者の応答時間の平均値を示す。シンボルなどは Fig. 4 と同一である。サイン面に対する結果は位相の効果、応答時間の絶対値ともに、Fig. 4 に示される陰影視差サイン面条件とほぼ同様であることがわかる。陰影輝度分布の位相が  $0^\circ$  近傍で応答時間は短く、位相差が大きいときに長くなっており、二つの陰影視差条件の間には顕著な差が見られない。平面に対しても、Fig. 4 と同様に位相の効果が見られずほぼ一定の値となっている。応答時間は全体に 0.5 秒程度短くなっているが、一様条件 (これは二つの陰影視差条件で同一である) においても同程度の差があることから、判断基準の変動の結果と考えられる。

両陰影視差条件で得られた応答時間の間の相関を Fig. 6 に示す。Fig. 6 は、各位相条件に対し、横軸に陰影視差サイン面条件の応答時間、縦軸に陰影視差平面条件の応答時間をとり、Figs. 4, 5 のサイン面に対するデータをプロットしたものである。破線は回帰直線、 $r$  の値は相関係数であり、これらは一様条件 (黒丸) を除いた 8 条件のデータ点について求められた。もし、陰影視差の影響がなければ、データ点は原点を通り傾き 1.0 の直線上にのるはずである。回帰直線の傾きは 0.71 とやや 1.0 より小さいが、相関係数は 0.85 と高い。陰影輝度分布の視差が平面を示す場合もサイン面を示す場合も、両眼立体視の影響に関してはほぼ同様の効果があると結論できる。



**Fig. 5** The same as Fig. 3, but in the shading-disparity flat condition.



**Fig. 6** Correlation between response time in the shading-disparity-sinewave-condition and those in the shading-disparity-flat-condition. Filled circle represents the datum from the uniform condition (the values at U in Figs. 3 and 4).

#### 4.3 考 察

応答時間の測定から、陰影輝度分布の位相が、両眼立体視の形成時間に影響を及ぼすことが確認された。陰影輝度分布の与える奥行きが両眼視差の示すものと一致するときに応答時間が短く、両者の不整合性が大きな条件ほど応答時間が長くなる。この結果は、陰影に基づく奥行きの知覚が、両眼立体視形成に関与していることを意味する。つまり、両眼立体視のメカニズムは、おそらく先行して処理された陰影の奥行き手掛かりを利用していることを示唆する。

このような画像性手掛かりの両眼立体視への影響のひとつとして、輻輳眼球運動によるものが考えられる。しかし、われわれの実験では輻輳は常に刺激の中心部の固視点に固定されており、その影響は無視できると考える。この点についてわれわれは、実験的な証拠も得ている。整合刺激と不整合刺激を同時に提示して両者の奥行き知覚を比較すれば輻輳の影響は無視できるが、このような条件でも両眼立体視は整合刺激において短時間で成立するのである<sup>9)</sup>。したがって、この陰影奥行きの両眼立体視形成時間の影響は脳における処理にかかわると考えるべきである。

Figs. 4, 5 において位相  $315^\circ$  の条件で、それと位相ずれが等しい  $45^\circ$  の条件より両眼立体視形成時間が長いとの結果が得られている。これは、前述の陰影として自然に見える位相を求めた結果が  $5.9^\circ$  とやや正の方向に片寄っていることと定性的に一致する。両眼視差と陰影の奥行き情報の間の整合性は、位相ずれの方向に依存す

ると考えられる。事実、暗い部分が両眼立体視の奥行きで手前にくるとき(位相  $270^\circ$  近傍)は、最も不自然な印象を与え(明暗の縞としての解釈はできるが)、逆に明るい部分が手前にくるとき(位相  $90^\circ$  近傍)ではその不自然さは小さいとの内観報告が得られている。これは、Fig. 3 b をそのまま観察した場合(輪郭線の山の部分が暗い)と、上下を反転して観察した場合(輪郭線の山の部分が明るい)では、前者の方がより不自然に感じられるのと同様である。一般に明るいものは手前に知覚されやすい傾向があるので、実験にその要因が関与していた可能性もある。

左右画像の陰影輝度分布の持つ視差に関しては、両眼立体視の形成に影響を与えないとの結果を得たが、その理由は陰影輝度分布の視差が両眼立体視にほとんど関与していないためと考えられる。これは、用いた陰影輝度分布が、主に低空間周波数成分のみを持つためと考えられ、多面体などの場合は、照明により急勾配な輝度変化が引き起こされるので、結果も異なるであろう。

実験1では、陰影輝度分布は陰影として知覚されると仮定して議論を進めてきた。しかし、陰影輝度分布は必ずしも陰影と知覚されるとは限らない。観察の項で述べたように、条件によっては面上の縞模様としてとらえられる。実験1で示された陰影輝度分布の両眼立体視形成時間への影響は、陰影による奥行き知覚とは無関係で縞模様がランダムドット刺激上に存在することによる効果であったとの議論も成り立つ。実験2では、縞模様は知覚されるが陰影は知覚されない刺激を用いて、この点の検討をする。

## 5. 実験2 等輝度色差縞と 両眼立体視形成時間

実験2では、等輝度で色差のみ変化する赤緑の縞を加えたランダムドットステレオグラムを用いた。これは、陰影の知覚は輝度差のみにより<sup>10-12)</sup>、等輝度で色度変化のみでできた縞では陰影は知覚されないとの考えに基づく。

### 5.1 刺激および方法

刺激は、赤緑の縞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種類のものが用いられた(サイン面と平面)。赤緑の縞模様は、赤の蛍光体の輝度を陰影輝度分布に用いたものと同一の関数(Fig. 1)で変化させ(ただし輝度の絶対値は異なる)、それに緑の蛍光体の輝度を加えることにより各明ドットの輝度が常に一定値、 $11.5 \text{ cd/m}^2$  となるようにした。したがって刺激

は、赤緑の縞に黒いドットがランダムに配置されたものとなる。赤および緑の蛍光体の CIE 色度座標は、それぞれ、 $x=0.63$   $y=0.33$  および  $x=0.43$ ,  $y=0.49$  である。青の蛍光体の輝度は常に CRT 上の最小値 ( $0.01 \text{ cd/m}^2$  以下) とした。

このような赤緑刺激に加え、赤の蛍光体の輝度のみを変化させた赤黒刺激も用いた。この刺激状態は、実験 1 で用いられた陰影輝度分布と相対的な輝度変化については同一で、輝度レベルと明ドットの色が異なるが、陰影は知覚される。実験 1 で用いた陰影輝度分布を、白黒陰影輝度分布、ここで用いる赤黒刺激を赤黒陰影輝度分布と呼ぶことにする。

実験の手法と手順は実験 1 と同一であり、提示された刺激がサイン面であるか平面であるかの判断に要する時間が測定された。位相も実験 1 と同じ 8 条件と縞のない一様条件が用いられた。一様条件では、明ドットはすべて  $11.5 \text{ cd/m}^2$  の赤である。被験者は実験 1 に参加した 6 名であり、各被験者は、赤緑刺激および赤黒刺激条件それぞれについて 4 セッションずつ行った。

## 5.2 実験結果

Fig. 7 に、赤緑条件に対する全被験者 6 名の応答時間の平均値を示す。Fig. 4 と同様に、各データ点は各被験者の 16 回の判断の平均値の全被験者に対する平均であり、誤差棒は被験者間の標準誤差を示す。白丸がサイン面に対する応答時間、黒丸が平面に対するものである。横軸左端の U は一様条件を意味する。誤答率はサイン面に対し 1.7%，平面に対して 0.4% であった。

Fig. 7 によると、サイン面に対しても平面に対しても、色度分布の位相の変化に伴う応答時間の顕著な効果は見られない。つまり赤緑の縞模様の位置は、両眼立体

視の形成時間に系統的な影響を与えないといえる。この結果は、サイン面に対する応答時間が、陰影輝度分布の位相が  $0^\circ$  近傍で他の位相条件より短いとの実験 1 の白黒陰影輝度分布の結果と大きく異なる。

一方、赤黒刺激に対する応答時間は Fig. 8 に示される。記号などは Fig. 7 と同一である。誤答率はサイン面に対し 3.3%，平面に対して 0.7% であった。サイン面に対する応答時間は位相が  $0^\circ$  近傍で他の位相条件に比べ短く、実験 1 の白黒陰影輝度分布の結果と類似している。

Figs. 7, 8 から輝度差が、したがっておそらく陰影が、両眼立体視形成時間に影響を及ぼすことがわかるが、Fig. 7 を注意してみると赤緑条件において位相の効果は皆無とはいえない。そこで、実験 1 の白黒陰影輝度分布の条件と実験 2 の赤緑条件および赤黒条件で得られた応答時間の間の相関を検討した。もし、両眼立体視形成時間が縞の位置に影響されるのであれば、白黒、赤緑、そして赤黒のいずれの縞でも同様となり、条件間の相関は高くなるであろう。一方陰影の影響を考えると、白黒と赤黒条件の間の相関のみが高くなるであろう。白黒陰影輝度分布条件と赤黒条件での応答時間の間の相関を Fig. 9 に、白黒陰影輝度分布条件と赤黒条件での応答時間の間の相関を Fig. 10 に示す。図中の記号などは Fig. 6 と同一であり、ここでも回帰直線、および相関係数を求めるために、一様条件を除く 8 条件の結果を用いている。

Fig. 9 は、条件間の相関が非常に弱いことを示し(相関係数 0.04)、輝度分布と色度分布では、両眼立体視の形成に対する影響は全く異なることがわかる。それに対し、Fig. 10 は、条件間に強い相関(相関係数 0.90)が

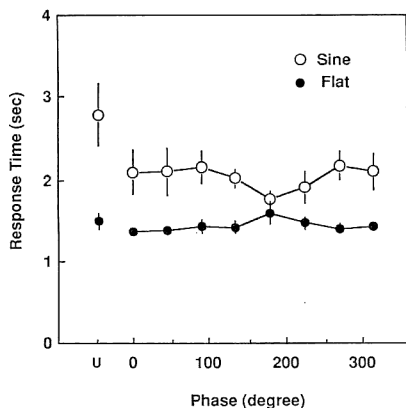


Fig. 7 The same as Fig. 3, but for the red/green grating condition of Exp. 2.

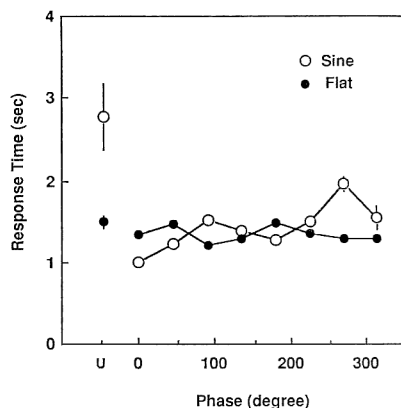
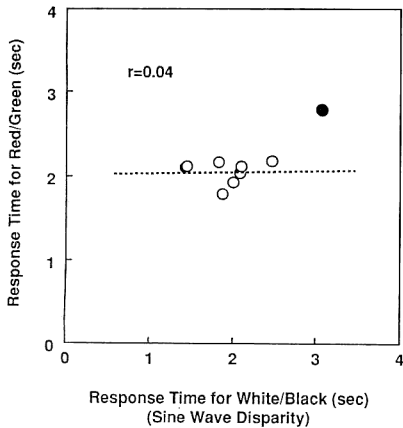
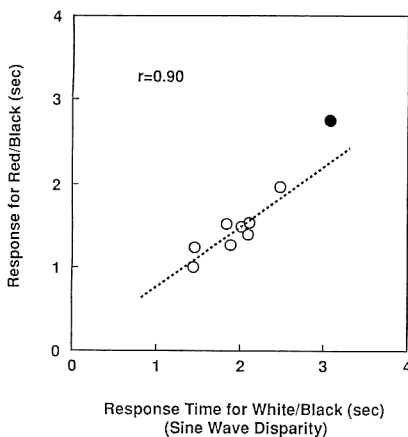


Fig. 8 The same as Fig. 6, but for the red/black grating condition.



**Fig. 9** The same as Fig. 5, but the correlation between data in shading-disparity-sinewave-condition of Exp. 1 and in the red/green grating condition of Exp. 2.



**Fig. 10** The same as Fig. 8, but the correlation between data in shading-disparity-sinewave-condition of Exp. 1 and in the red/black grating condition of Exp. 2.

あり、回帰直線の傾き (0.73) も 1.0 に近い値を示す。白黒陰影分布と赤黒陰影分布は、両眼立体視に対して同様の影響を与えるといえる。

### 5.3 考察

陰影輝度分布に代わり、等輝度で色度のみが赤緑方向に変わる縞模様が刺激のランダムドットステレオグラムに加えられたとき、その色度分布の位置は両眼立体視の形成時間に系統的な効果を与えなかった。これは、実験1で得られた陰影輝度分布の両眼立体視形成時間への影響が、単に縞模様がランダムドット刺激上に存在することに基づく効果ではないことを意味し、陰影の奥行き効果であることが支持される。

また、赤黒陰影輝度分布刺激に対しては、実験1の白黒陰影輝度分布の結果と同様に、陰影の奥行き情報が両眼視差の奥行きと整合的であるとき、両眼立体視の形成時間は短いとの結果を得た。さらに、両条件の間で得られたデータ間に強い相関が見いだされたことから、両条件において同一のおそらく陰影にかかわるメカニズムが両眼立体視の形成に影響を与えたと考えられる。白黒陰影条件と赤黒陰影条件では色度と輝度レベルが異なることを考えると、両眼立体視形成時間への陰影の奥行きの影響は、その色度や輝度レベルに依存しないといえそうである。

## 6. ま と め

陰影の持つ奥行き情報と両眼視差の持つ奥行き情報が整合的である刺激と不整合的である刺激を用い、陰影の奥行きと両眼視差の奥行き形成過程への影響を検討した。実験1では、両眼立体視の形成時間が、陰影の持つ奥行きと両眼視差の持つ奥行きの整合性に依存し、整合的である場合は、不整合条件より短時間で両眼立体視が形成されることが明らかとなった。さらにこの結果は、陰影を与えるために加えた明暗の模様自体の効果でないことが実験2で示され、両眼立体視の形成時間が陰影からの奥行き情報に依存するとの考えが支持された。これら結果から、両眼立体視の形成過程に、おそらく処理の速い陰影の奥行き手掛かりを利用するメカニズムが存在することが予想される(陰影による奥行きが、両眼視差の奥行きより早く形成されるとの報告もあるが<sup>13)</sup>、これは閾値レベルのデータであるので、高いコントラストを用いた本研究の場合とは比較できない)。同様の効果は輪郭線の持つ奥行きについても発見されているので<sup>14)</sup>、このメカニズムは画像性手掛かり一般にかかわると考えられる。一方、Fig. 2 a の不整合刺激の観察において、両眼立体視が形成された後は陰影輝度分布は、サイン面に塗られた明暗の縞として知覚されるとの報告を考えると、陰影形成のメカニズムに対する両眼立体視からの影響も考えられる。効率のよい、また信頼性の高い3次元の知覚のために、奥行き手掛かりの間の相互作用は重要な役割をはたしているであろう。このような相互作用の研究は、奥行き知覚メカニズム解明の研究のなかで今後さらに発展が望まれる。

本研究を行う機会を与えてくださった ATR 視聴覚機構研究所の淀川英二社長に感謝します。また、多くの貴重な討論をいただいた同研究所の緒形昌美氏にも感謝します。



## 文 献

- 1) H. H. Bülthoff and A. Mallot: "Integration of depth modules: stereo and shading," *J. Opt. Soc. Am. A*, **5** (1988) 1749-1758.
- 2) P. C. Smith and O. W. Smith: "Veridical perception of cylindricality: a problem of depth discrimination and object identification," *J. Exp. Psychol.*, **62** (1961) 145-152.
- 3) A. van den Enden and H. Spekreijse: "Binocular depth reversals despite familiarity cues," *Science*, **244** (1989) 959-961.
- 4) J. I. Yellott and Jr. L. Kaiwi: "Depth inversion despite stereopsis: the appearance of random-dot stereograms on surfaces seen in revers perspective," *Perception*, **8** (1979) 135-142.
- 5) W. M. Youngs: "The influence of perspective and disparity cues on the perception of slant," *Vision Res.*, **16** (1976) 79-82.
- 6) K. A. Stevens and A. Brookes: "Integrating stereopsis with monocular interpretations of planer surfaces," University of Oregon Technical Report, CIS-TR-86-05 (1986).
- 7) J. T. Todd and E. Mingolla: "Perception of surface curvature and direction of illumination from patterns of shading," *J. Exp. Psychol.: Human Percept. Perform.*, **9** (1983) 583-595.
- 8) J. T. Todd and F. D. Reichel: "Ordinal structure in the visual perception and cognition of smoothly curved surfaces," *Psychol. Rev.*, **96** (1989) 643-657.
- 9) 塩入 論, 佐藤隆夫: "両眼視差と陰影の興行き知覚における相互作用", 1990年テレビジョン学会年次大会予稿集 (1990) pp. 177-178.
- 10) S. Shioiri and P. Cavanagh: "Achromatic form pathway is based on luminance not brightness," *J. Opt. Soc. Am.*, **9** (1992) 1672-1681.
- 11) P. Cavanagh and Y. G. Leclerc: "Shape from shadows," *J. Exp. Psychol.: Human Percept. Perform.*, **15** (1989) 145-152.
- 12) 須長正治, 塩入 論, 久保走一: "陰影知覚メカニズムにおける輝度加法則の検討", *光学*, **21** (1992) 808-814.
- 13) 長田昌次郎: "異なる手がかりによる興行き知覚の時間特性", *日本心理学会第45回発表論文集* (1981) p. 193.
- 14) 塩入 論, 佐藤隆夫: "輪郭線形状および両眼視差に基づく3次元形状の知覚", *テレビジョン学会誌*, 投稿中.