

# 奥行きの対比効果と Cornsweet 錯視における刺激の形状の効果

佐藤 雅之・安部 弘人

北九州市立大学国際環境工学部情報メディア工学科 〒808-0135 北九州市若松区ひびきの 1-1

## Effects of the Stimulus Shape on Depth Contrast and Cornsweet Illusion in Depth

Masayuki SATO and Hiroto ABE

Department of Information and Media Sciences, Faculty of Environmental Engineering, University of Kitakyushu, 1-1 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu 808-0135

The magnitudes of depth contrast and Cornsweet illusion in depth were measured with horizontal or vertical slant orientations for 33 observers. In the depth-contrast experiment, the test stimulus consisted of two small dots and the inducer was a random-dot pattern with the same size and similar depth profile to the pattern used for Cornsweet illusion in depth. Although there were large individual differences in the results of both experiments, positive correlation was found between them, indicating a common responsible process exists for the two illusionary phenomena. The stereoscopic anisotropy was not found in depth contrast in spite of the previous study where a central test stimulus and a surrounding inducer were used. It appears that the shape or configuration of the stimulus is a critical factor affecting the anisotropy.

**Key words:** stereoscopic depth perception, anisotropy, individual difference, depth contrast, Cornsweet illusion

### 1. はじめに

人間の立体視による奥行きの知覚には異方性があると考えられている<sup>1-9)</sup>。水平な軸を回転軸とする傾斜（上に行くほど遠い、あるいは近いというような面の傾き）に比べて、垂直な軸を回転軸とする傾斜（右に行くほど遠い、あるいは近いというような面の傾き）に対する感度は低いといわれている。例えば、傾斜が知覚されるまでの時間遅れが長く<sup>2,3)</sup>、網膜像差勾配の閾値が高いこと<sup>4-6)</sup>、また、閾上の刺激では傾斜がより小さく知覚されること<sup>7-9)</sup>などが報告されている。RogersとGraham<sup>1)</sup>は、明度の錯視としてよく知られている Craik-O'Brien-Cornsweet 錯視の奥行き版をランダムドットステレオグラムにより作成し、エッジの向きによる効果の違いを測定した。ランダムドットで構成される面に Fig. 1A に曲線で示すような網膜像差変調を加えると、点 a と点 d の間には網膜像差がないにもかかわらず、Fig. 1A' のように、点 d のほうが点 a よりも近くに感じられる。これが奥行き版 Cornsweet 錯視である。RogersとGrahamは、エッジが水平の場合

に比べて、エッジが垂直のときに効果が大きくなることを報告している（この図の例では、パターンの中央に垂直な奥行きのエッジが形成される）。また、網膜像差に対する感度の空間周波数特性は、輝度の場合と同様に、バンドパス型であることが知られている<sup>5,10-13)</sup>が、BradshawとRogers<sup>5)</sup>はさらに、奥行きの正弦波グレーティングの方位による感度の違いを測定し、横縞に対する感度に比べて、縦縞に対する感度が低空間周波数領域で低いことを報告している。

奥行きの知覚においても、色や明度の知覚と同様に、同時対比効果が存在する<sup>14-24)</sup>。例えば、Fig. 1B において線分 eh で示すような右が奥に傾いた平面が存在すると、点 f と点 g の間には網膜像差がないのにもかかわらず、Fig. 1B' のように、点 g のほうが点 f よりも近くに感じられる。

同時対比や Cornsweet 錯視はなぜ生じるのであろうか。Cornsweet<sup>25)</sup>は、これらの錯視現象が明度の次元において生じる原因として、側抑制によるエッジの強調を挙げて

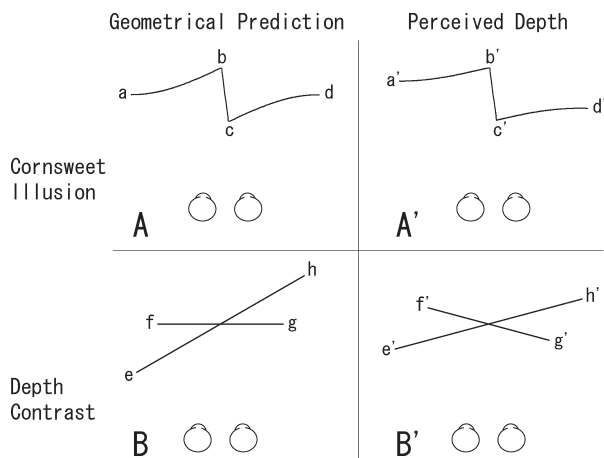


Fig. 1 Disparity profiles and perceived depth in Cornsweet illusion in depth and depth contrast.

いる。輝度変化の空間周波数成分のうち、高周波成分が強調され、低周波成分が相対的に無視されることによりこれらの錯視現象が生じるというのがCornsweetの説明である。奥行き次元においても、同様のメカニズムを仮定することにより、これらの錯視現象を説明することができる。例えば、Fig. 1Aにおいて、点aと点bや点cと点dの間に存在するような網膜像差変化の低周波成分に対しては、人間の視覚系の感度が相対的に低いので、Fig. 1A'のように奥行きの差が過小評価されるが、点bと点cの間に存在するような網膜像差変化の高周波成分に対しては、視覚系の感度が相対的に高いので、Fig. 1A'のように奥行きの差が比較的大きく知覚される。その結果として、点aと点dの間に奥行きの差が知覚される。同様に、Fig. 1Bでは、点eと点hの間の奥行きの差は過小評価されるが、点eと点f、点hと点gの間の奥行きの差は比較的大きく知覚されるので、Fig. 1B'のように、点fと点gの間に奥行きの差が知覚される。明度の次元と同様に、奥行きの次元においても空間周波数特性がバンドパス型になっているという事実<sup>5,10-13</sup>)は、この説明とよく一致している。

奥行きの同時対比効果がCornsweet錯視と同様のメカニズムによって生じているのであれば、奥行き対比においてもCornsweet錯視と同様に異方性が存在することが予想される。また、顕著な奥行き対比効果を示す被験者は、Cornsweet錯視においても大きな効果を示すことが予想される。佐藤<sup>26)</sup>は、これらの予想を確かめるために、奥行き対比とCornsweet錯視の効果の大きさを2つの傾斜の方向について測定した。異方性の有無や2つの錯視現象の効果の大きさの相関について分析を行い、これらの予想に反する興味深い事実を明らかにしている。第1に、ランダムドットを用いた実験では、奥行き対比では異方性が認

められたが、Cornsweet錯視では異方性が認められなかった。しかし、グリッドパターンを用いた実験では、RogersとGrahamによる研究<sup>1)</sup>と同様の異方性が、奥行き対比とCornsweet錯視の両方において認められた。RogersとGrahamが用いた刺激はランダムドットであった。矛盾する結果になった原因として、佐藤はドット密度の違いを可能性のひとつとして挙げている。RogersとGrahamによる実験ではドット密度は50%であったが、佐藤の実験では3.0%であった。しかし、ドット密度を系統的に変化させた研究はなく、それが本当に重要な要因であるかどうかは明らかでない。また、ランダムドットとグリッドパターンでなぜ異方性の有無に差が生じたのかについても、確たる説明はない。遠近法的な手がかりの寄与が可能性として指摘されているが、遠近法的な手がかりの寄与に異方性があるという確かな証拠はなく、さらなる研究が必要である。第2に、奥行き対比とCornsweet錯視の両方において大きな個人差が認められたが、両者の相関は低かった。これは、2つの錯視現象が共通するメカニズムにより生じていて、その特性に個人差があるのではなく、それぞれの錯視現象あるいは実験条件に固有の要因が存在し、それが効果の大きさに重要な影響を及ぼすことを示している。

2つの錯視現象の効果の大きさに相関がみられなかった原因として、刺激の形状の違いが考えられる。先行研究<sup>26)</sup>における奥行き対比の実験では、円盤状のテスト刺激とそれを取り囲むリング状の誘導刺激が用いられた。Cornsweet錯視の実験では、正方形のランダムドットパターンが3つの領域に分割され、それぞれの領域に正弦波状もしくは直線状の網膜像差勾配が与えられた。先に紹介したCornsweetの説では、緩やかな傾斜に対する感度とエッジに対する感度の差が錯視を生じる原因であるとされるが、先行研究では、奥行き対比とCornsweet錯視の実験で用いた刺激の形状が異なるために、刺激の空間周波数成分の分布が異なっていたと考えられる。また、奥行き対比の実験におけるテスト刺激が大きな面積をもっていたために、調整法により面の傾斜を変化させた際に、テスト刺激が誘導刺激の知覚に影響を及ぼしたということも考えられる。これらの要因が複雑に作用し、応答に個人差が生まれ、奥行き対比とCornsweet錯視の間に相関がみられない原因となったのではないだろうか。本研究の目的は、奥行き対比の刺激の形状を工夫しCornsweet錯視と比較しやすい条件で実験を行うことにより、2つの実験の結果に相関が認められるようになるかどうかを明らかにすることである。また、奥行きの知覚において異方性の有無を決定

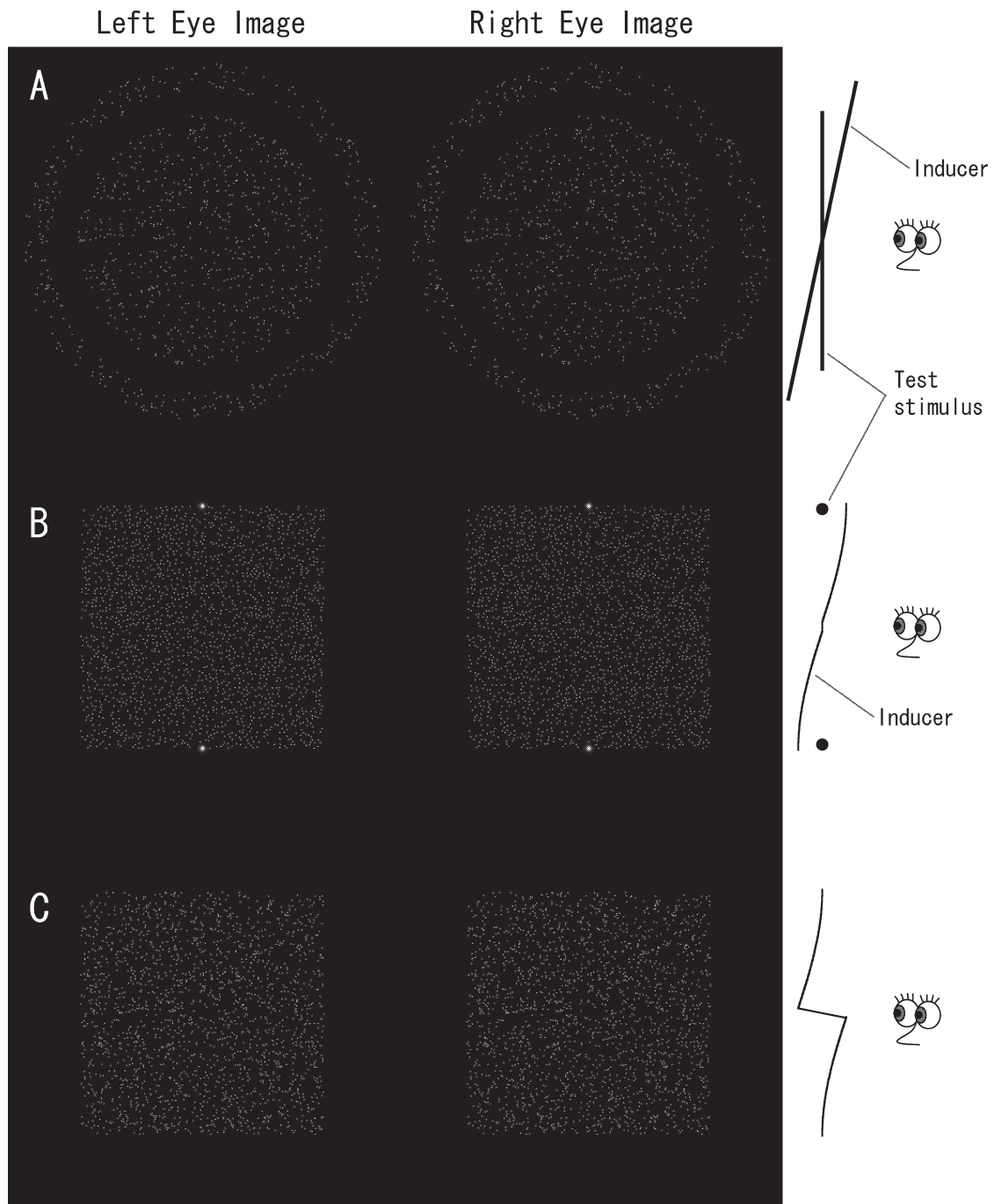


Fig. 2 (A) Depth contrast stimulus used in the previous study.<sup>26)</sup> (B) Depth contrast stimulus used in the present study. (C) Stimulus configuration for Cornsweet illusion in depth used in both previous and present studies.

する真の要因を知る手がかりを得るために、ここで設定する新しい実験条件において奥行き対比に異方性がみられるかどうかについても着目する。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験原理

Fig. 2 に、先行研究<sup>26)</sup>と本研究で用いた刺激パターンをステレオグラムにより示す。右のイラストは、網膜像差か

ら幾何学的に予想される奥行きの変化を模式的に表したものである。Fig. 2A は、先行研究で用いられた奥行き対比の刺激パターンである。リング状の誘導刺激に与えられた網膜像差勾配の影響により、前額平行面上にある中央のテスト刺激が誘導刺激と反対の方向に傾いて見える。これが奥行き対比効果である。Fig. 2B は、本研究で用いた奥行き対比の刺激パターンである。上と下にある少し大きい点がテスト刺激であり、ランダムドットによる曲面が誘導刺

激である。Fig. 2C は、先行研究と本研究で用いた奥行き  
の Cornsweet 錯視の刺激パターンである。視覚系が急峻  
な変化に比べて緩やかな変化に対して相対的に感度が低い  
ために Cornsweet 錯視が生じるのであれば、その効果の  
大きさは、中央のエッジにおける急峻な変化とパターン全  
体に広がる正弦波状の緩やかな変化に対する感度の差を表  
していることになる。Fig. 2B に示す刺激を用いた場合、  
奥行き対比でも同じ要因により錯視が生じるのであれば、  
その効果の大きさはテスト刺激近傍の奥行きの急峻な変化  
と誘導刺激全体に広がる正弦波状の緩やかな変化に対する  
感度の差を表していることになる。しかし、Fig. 2A に示  
す刺激を用いた場合には、奥行きのエッジがパターンの広  
い範囲に分布しているために、効果の大きさと空間周波数  
成分の関係は Fig. 2B や 2C のパターンを用いた場合ほど  
明確でないと思われる。空間周波数成分がこれらの錯視現  
象の効果を決定する重要な要因であるならば、Fig. 2B と  
2C のパターンを用い、刺激の形状を統制することにより、  
2つの錯視現象の効果の大きさに相関があらわれることが  
予想される。あるいは、それぞれの錯視現象に固有の要因  
が存在し、それらが効果の大きさにより重要な影響を及ぼ  
しているのであれば、今回の実験においても先行研究と同  
様に、2つの錯視現象の効果の大きさに高い相関がみられ  
ないことが予想される。

## 2.2 実験装置

VSG 2/5 グラフィックスカード (Cambridge Research  
Systems 社) を用いて計算機により生成されたランダム  
ドットステレオグラムは、CRT プロジェクター (Chris-  
tie Digital Systems 社, Marquee8500/3D) により 100 イン  
チの透過式スクリーンに投影された。被験者は、液晶シ  
ャッターゴーグル (Cambridge Research Systems 社,  
FE-1) を用いた時分割方式により立体画像を観察した。  
プロジェクターのフレームレートは 120 Hz であった。し  
たがって、右眼用と左眼用のパターンは、それぞれの眼に  
毎秒 60 フレームずつ呈示された。シャッター開放時の液  
晶の透過率は約 30% であり、閉鎖時の透過率はその値の  
およそ 1000 分の 1 であった。被験者は実験中に、ちらつ  
きや左右の画像のクロストークを知覚することはなかつ  
た。白色のドットの輝度は、定常的に液晶シャッターを開  
放にした状態でゴーグルを通して測定した値が  $5.5 \text{ cd/m}^2$   
であった。刺激観察時には半分の時間において液晶シャッ  
ターが閉じるので、実効的な輝度値はその半分の値であ

る。黒い背景の輝度は  $0.0 \text{ cd/m}^2$  であった。実験は暗室の  
中で行われ、被験者には刺激以外のものは何も見えなかつ  
た。刺激の観察距離は 115 cm であった。1つのピクセル  
の大きさは、スクリーンの中央において、5.8 min であつ  
た。刺激の空間解像度を擬似的に向上させるために、アン  
チエイリアシングを行った\*1。

## 2.3 刺激および手続き

次に示す実験手続きにより、奥行きの対比効果と Corn-  
sweet 錯視の効果の大きさを測定した。半分の被験者は  
Cornsweet 錯視の実験を先に行い、残りの半分は奥行き  
対比を先に行った。

### 2.3.1 奥行きの Cornsweet 錯視

刺激として用いたパターンを Fig. 2C に示す。正方形の  
ランダムドットパターンは、上下もしくは左右に並ぶ3つ  
の長方形の領域から構成された。ここでは、図のように長  
方形が上下に並ぶ条件を水平エッジ条件、左右に並ぶ条件  
を垂直エッジ条件とよぶ。2つの周辺領域では、Fig. 2C  
に示すように、網膜像差が正弦波状（それぞれ  $1/4$  波長  
分）に変化した。Cornsweet 錯視の効果の大きさはキャ  
ンセレーション法により測定された。被験者は、手元にあ  
る2つのボタンを操作することにより、刺激全体の上端と  
下端（水平エッジ条件の場合）あるいは右端と左端（垂直  
エッジ条件の場合）が被験者から見て同じ距離になるよう  
に、刺激に与えられる網膜像差を調整した。被験者のボタ  
ン操作に伴い、正弦波の振幅を一定に保ったまま2つの周  
辺領域の相対的な距離が変化するように、2つの周辺領域  
に同じ大きさで逆向きの一様な網膜像差が加えられた。中  
央の領域には、2つの周辺領域が連続するように線形な網  
膜像差勾配が与えられた。刺激は、被験者が調整を終了し  
決定ボタンを押すまで持続的に呈示された。先行研究<sup>1,5,26)</sup>  
と同様に、固視点は設けず、視点の移動は自由とした。1  
回の試行に要する時間は 10 秒から 20 秒程度であった。

刺激の大きさは、Bradshaw と Rogers<sup>5)</sup> のデータに基  
づき、奥行きの Cornsweet 錯視の効果が最大になるよう  
に定められた。すなわち、奥行きの変調に対する感度のピ  
ークは  $0.5 \text{ c/deg}$  付近にあるので、中央領域の奥行きのギ  
ャップに対する感度を最大にするために、中央領域の幅を  
 $1^\circ$  ( $0.5 \text{ c/deg}$  の正弦波の半波長分) とした。周辺領域の  
大きさは  $12^\circ \times 25^\circ$  であった。それぞれの周辺領域は正弦  
波の  $1/4$  波長分に相当したので、その周波数は  $0.021 \text{ c/}$   
 $\text{deg}$  であった。振幅は 5.8 min であった。ランダムドット

\*1 黒い背景上に 1ピクセルの大きさをもつ白いドットを描画するために、実際には 2行2列の4つのピクセルを 256 階調のグレーで着色し、その輝度の比率を変えることにより、ピクセルサイズ以下の刺激呈示位置制御を擬似的に実現した。4つのピクセルの輝度の和が、仮想的なドットの輝度に等しく、輝度の比が、仮想的なドットが各ピクセルを占有する面積の比と等しくなるように、4つのピクセルの輝度を決めた。

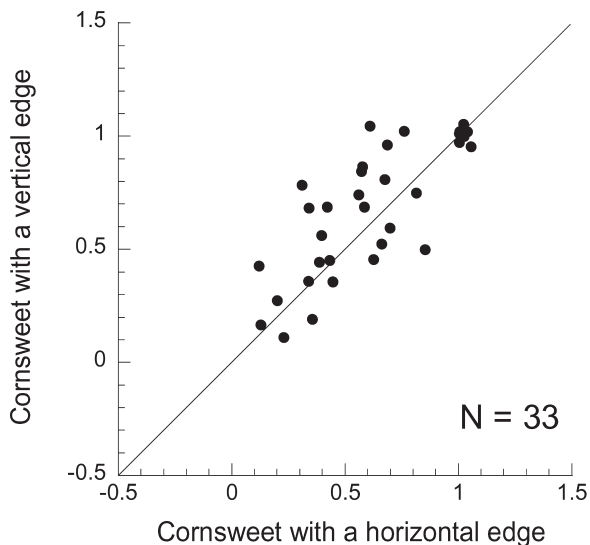


Fig. 3 The magnitudes of Cornsweet illusion in depth compared between horizontal and vertical-edge conditions.

の密度は3.0%であった。これらの条件は先行研究<sup>26)</sup>における大刺激条件と同じである。

1つのセッション内では、奥行きのエッジの方向は水平か垂直のどちらか1つに固定された。正弦波状に奥行きが変化する周辺領域が正（上が遠いあるいは右が遠い）の傾斜をもつ条件と負（上が近いあるいは右が近い）の傾斜をもつ条件について、4回ずつ合計8回の試行をランダムな順序で行い1セッションとした。すべての被験者は、水平エッジと垂直エッジの2つの条件について、2セッションずつ合計4セッションの実験を行った。本実験を開始する前に、水平エッジと垂直エッジの条件につき、1セッションずつの練習セッションを行った。練習セッションでは、1セッション内の試行回数は、正と負の傾斜方向についてそれぞれ2回ずつであった。練習や疲労の効果により実験結果に異方性があらわれることを防ぐために、水平エッジと垂直エッジの条件は交互に行われ、半分の被験者は水平エッジの条件から、残りの半分は垂直エッジの条件から実験を開始した。

### 2.3.2 奥行き対比

刺激として用いたパターンを Fig. 2B に示す。刺激は、2つの光点からなるテスト刺激と、ランダムドットからなる誘導刺激により構成された。ここでは、図のようにテスト刺激が上下に並び、誘導刺激の奥行きが垂直方向に変化する条件を水平軸条件とよび、テスト刺激が左右に並び、誘導刺激の奥行きが水平方向に変化する条件を垂直軸条件とよぶ。奥行き対比の効果の大きさは、Cornsweet 錯視の場合と同様にキャンセレーション法により測定された。被験者は、手元にある2つのボタンを操作することによ

り、テスト刺激を構成する2つの光点が被験者から見て同じ距離になるように、テスト刺激に与えられる網膜像差を調整した。これらの光点は、標準偏差を5.8 minとするガウス関数状の輝度分布をもっていた。誘導刺激は、Cornsweet 錯視の実験と同様に、上下もしくは左右に並ぶ3つの長方形の領域から構成された。2つの周辺領域は正弦波状の網膜像差勾配をもっていた。中央の領域は前額平行面上に呈示された。3つの領域は、Fig. 2B に示すように連続した奥行きの変化をもっていた。誘導刺激の大きさ、正弦波状に変化する網膜像差の振幅およびドットの密度は Cornsweet 錯視で用いた刺激パターンと同じであった。

1つのセッション内で行われる試行の数やセッションの数は Cornsweet 錯視の実験と同様であった。

## 2.4 被験者

被験者は、2名の筆者を含む北九州市立大学の学生および教職員33名（男性24名、女性9名）であった。年齢は20～37歳であった。筆者を除くすべての被験者は実験の目的を知らなかった。33名のうち20名は前回の実験<sup>26)</sup>にも参加した。新しく加わった13名のうち5名は、立体視に関するいくつかの心理物理実験に被験者として参加した経験をもっていた。残りの8名に関しては、心理物理実験の被験者の経験はなく、ランダムドットステレオグラムを観察した経験についても皆無かごくわずかであった。実験に際して、立体視力検査などによる被験者のスクリーニングは一切行われなかったが、実験の前に実際に実験で用いた刺激を示しながら実験の手順を説明した際には、すべての被験者は、特に練習を必要とすることもなく、両眼視差を操作することによって生じる奥行きの変化を幾何学的に予測される方向に正しく知覚することができた。

## 3. 実験結果

Fig. 3 に、奥行き of Cornsweet 錯視の実験結果を示す。横軸は奥行きのエッジが水平であった場合の効果の大きさを、縦軸はエッジが垂直であった場合の効果の大きさを表している。ここでは、先行研究<sup>26)</sup>と同様に、刺激の上端と下端あるいは右端と左端が同じ距離に見えるために被験者が必要とした網膜像差の大きさを、正弦波の振幅の2倍で正規化した値を効果の大きさとして定義した。例えば、正弦波の振幅に相当する網膜像差が2つの領域に逆向きに与えられ、中央領域における奥行きギャップが相殺された状態において刺激の両端が同じ距離に知覚された場合（すなわち、正弦波状の網膜像差の変化が完全に無視された場合）には、効果は1となる。それぞれのデータ点は被験者1名分の結果を表している。周辺領域が正の傾斜をも

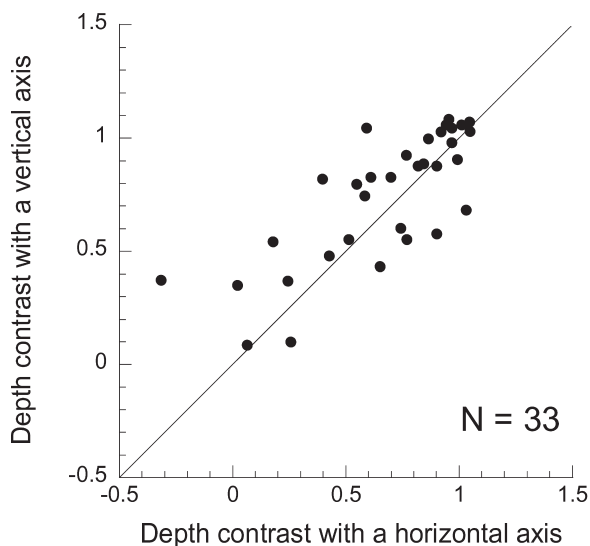


Fig. 4 The magnitudes of depth contrast compared between horizontal and vertical-axis conditions. The anisotropy was not found in spite of the previous study,<sup>26)</sup> indicating that the stimulus shape is a critical factor affecting the anisotropy.

つ8回の試行と、負の傾斜をもつ8回の試行の合計16回の結果の平均値をプロットした。被験者は、水平エッジの条件から実験を開始した群と垂直エッジの条件から開始した群に分けることができるが、2つの群の間で実験結果に系統的な差がみられなかったため、実験結果を分けて表示することは行わなかった。

33名分のデータ点は広い範囲に分布し、Cornsweet 錯視の効果に大きな個人差があることを示している。データ点が傾き1の直線から外れていけば異方性があるということができる。RogersとGraham<sup>1)</sup>が示したものと同様な異方性が存在するのであれば、データ点は傾き1の直線よりも上に分布するはずである。効果の大きさの平均値は、水平エッジの条件では0.61、垂直エッジの条件では0.67であった。垂直エッジのほうが平均ではわずかに効果が大きかったが、一対の標本に対する $t$ 検定の結果、その差は有意ではなかった( $p > 0.05$ )。これは、奥行きCornsweet 錯視において3%のランダムドットを用いた条件では異方性が認められないとした、前回の実験結果<sup>26)</sup>を追認するものである。

Fig. 4に、奥行き対比の実験結果を示す。横軸は水平軸条件における効果の大きさを、縦軸は垂直軸条件における効果の大きさを表している。ここでは、テスト刺激を構成する2つの光点が同じ距離に見えるために被験者が必要とした2つの光点の網膜像差の大きさを、正弦波の振幅の2倍で正規化した値を効果の大きさとして定義した。例えば、正弦波の振幅に相当する網膜像差が2つの光点に逆向

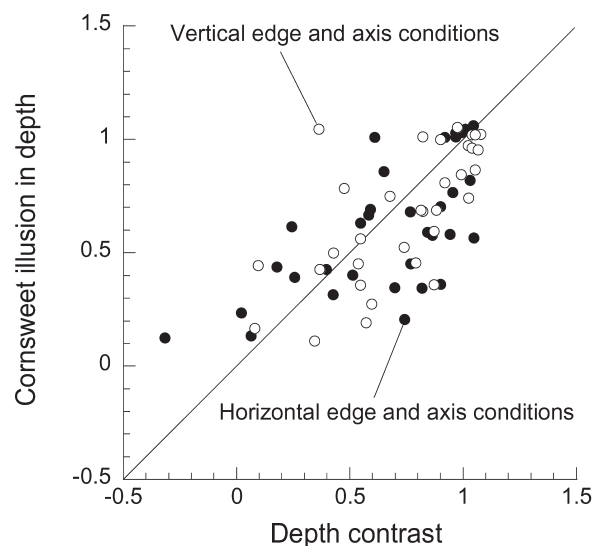


Fig. 5 Positive correlation was found between the magnitudes of depth contrast and Cornsweet illusion in depth.

きに与えられ、テスト刺激が誘導刺激と同じ距離に呈示された状態において2つの光点が同じ距離に知覚された場合(すなわち、誘導刺激に与えられた正弦波状の網膜像差の変化が完全に無視された場合)には、効果は1となる。それぞれのデータ点は、被験者1名分の結果を表している。誘導刺激が正の傾斜をもつ8回の試行と、負の傾斜をもつ8回の試行の合計16回の結果の平均値をプロットした。被験者は、水平エッジの条件から実験を開始した群と垂直エッジの条件から開始した群に分けることができるが、2つの群の間で実験結果に系統的な差がみられなかったため、実験結果を分けて表示することは行わなかった。

33名分のデータ点は広い範囲に分布し、奥行き対比の効果に大きな個人差があることを示している。データ点が傾き1の直線から外れていけば、異方性があるということができる。前回の実験<sup>26)</sup>が示したものと同様な異方性が存在するのであれば、データ点は傾き1の直線よりも上に分布するはずである。効果の大きさの平均値は、水平軸条件では0.67、垂直軸条件では0.74であった。垂直軸条件のほうが平均ではわずかに効果が大きかったが、一対の標本に対する $t$ 検定の結果、その差は有意ではなかった( $p > 0.05$ )。これは、奥行き対比において、ランダムドットを用いた条件でもグリッドパターンを用いた条件でも、中心-周辺型の刺激配置を用いた条件では異方性が認められた前回の実験<sup>26)</sup>とは異なる結果である。これは、奥行き対比の異方性に刺激の形状が影響を及ぼすことを示している。

Fig. 5に、奥行きCornsweet 錯視と対比効果の相関を示す。黒丸は水平エッジと水平軸条件の相関を表してい

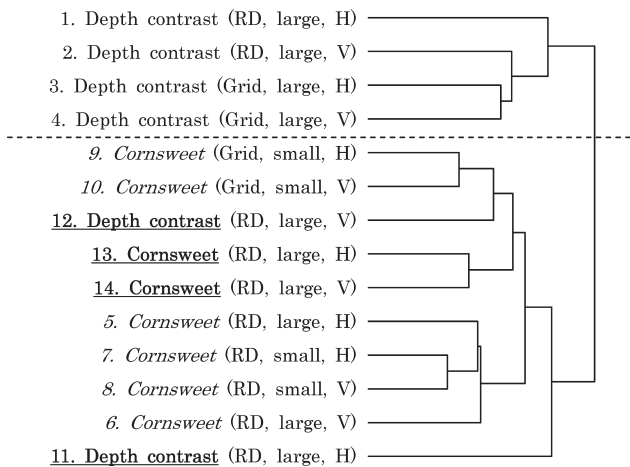


Fig. 6 The experimental conditions in the previous<sup>26)</sup> and present studies were classified by the cluster analysis. Both conditions in the present study labeled as depth contrast and Cornsweet illusion in depth (indicated by bold letters) were classified to the same category as Cornsweet illusion in depth in the previous study.

る。相関係数は 0.65 であった。白丸は垂直エッジと垂直軸条件の相関を表している。相関係数は 0.68 であった。先行研究<sup>26)</sup>において、ランダムドットを用いた奥行きと Cornsweet 錯視と対比効果の相関が相関係数において 0.2 前後であったことに比べると、今回の実験では 2 つの錯視現象の間に大きな相関が認められたとすることができる。

#### 4. 考 察

先行研究<sup>26)</sup>では、奥行きの対比効果と Cornsweet 錯視について、刺激としてランダムドットを用いた場合とグリッドパターンを用いた場合、さらにランダムドットの Cornsweet 錯視に関しては、大きい刺激パターンと小さい刺激パターンを用いた場合について、全部で 5 つの条件について効果の大きさを測定した。26 名の被験者についてこれらの条件で得られた結果の相関を分析したところ、奥行き対比と Cornsweet 錯視の間では相関がみられないという結果が得られた。これは、2 つの錯視現象が共通するメカニズムにより生じていて、その特性に個人差があるのではなく、それぞれの錯視現象あるいは実験条件に固有の要因が存在し、それが効果の大きさに重要な影響を及ぼすことを示している。本研究では、その要因として刺激の形状がもつ効果について検討した。そのために、奥行き対比の実験で用いる刺激の形状を工夫し、Cornsweet 錯視と比較しやすい条件で効果の大きさを測定した。本研究においても、実験結果に大きな個人差が認められたが、今回の奥行き対比の実験における各被験者の応答は、前回の実験における奥行き対比と Cornsweet 錯視のどちらにより

近いものであったのだろうか。ここでは、これまでに行った実験の条件間の類似度を明らかにするために、前回と今回のすべての実験に参加した 19 名の被験者の実験データに基づいてクラスター分析を行った。Fig. 6 に、群平均法を用いた場合の樹状図を示す。条件 1~条件 4 が前回の奥行き対比、条件 5~条件 10 が前回の Cornsweet 錯視を表している。太字と下線で示した条件 11~条件 14 が今回の実験条件を表している。RD は刺激としてランダムドットを用いたこと、Grid はグリッドパターンを用いたことを表している。Large と small は刺激パターンの大きさを表している。H は奥行きのエッジもしくは回転軸が水平であることを、V は垂直であることを表している。

実験条件は大きく 2 つに分類された。第 1 のグループは条件 1~条件 4 により構成され、第 2 のグループは条件 5~条件 14 により構成された。この 2 つにグループが分割されることは、分析の手法に対してロバストであった。群平均法のかわりに最近隣法、最遠隣法、重心法、ワード法を用いても結果は同じであった。

前回の実験において奥行き対比と Cornsweet 錯視の相関が低かったことは、奥行き対比は第 1 のグループに、Cornsweet 錯視は第 2 のグループに分類されたことにある。興味深いのは、今回の奥行き対比 (条件 11 と条件 12) が第 2 のグループに分類されたことである。ここで奥行き対比と Cornsweet 錯視とよんでいる実験条件の違いが被験者の応答を決定する重要なものであるならば、今回の奥行き対比の条件は第 1 のグループに分類されることが予想される。しかし、条件 11 と条件 12 がいずれも第 2 のグループに分類されたということは、奥行き対比あるいは Cornsweet 錯視とよんでいる実験条件の違いは被験者の応答を決定する本質的な違いではなく、より重要な要因は刺激の形状であることを示している。

#### 5. ま と め

先行研究<sup>26)</sup>は、奥行きの対比効果と Cornsweet 錯視の間で効果の大きさに相関がないという結果を示した。本研究では、その原因として刺激の形状が異なっていた点に着目した。刺激の形状をそろえた今回の実験では、2 つの錯視現象の間に高い相関が認められた。これは、奥行きの対比効果と Cornsweet 錯視が共通する要因により生じていて、その特性に個人差があることを示している。その要因としては、1 章でも述べたように、視覚系の空間周波数特性が奥行きの次元においてもバンドパス型であり、低周波数領域において感度が低いことが挙げられる。もしそうならば、これらの錯視現象においてより大きな効果を示す被

験者は、低周波数領域における感度低下がより顕著であることが予想される。一方、先行研究が示したように、刺激の形状が異なる場合には2つの錯視現象の間に相関がないということは、刺激の形状の違いが及ぼす影響にも個人差があることを示している。これらの個人差が空間周波数特性と実際にどのような関係にあるのかという問題は、今後検討されるべき興味深い課題であると考ええる。

先行研究では、奥行き対比において異方性が報告されたが、本研究で用いた条件では異方性が認められなかった。また、先行研究では、奥行きのCornsweet錯視における異方性が刺激のパターンに依存することが示されている。BradshawとRogers<sup>5)</sup>は、奥行きの正弦波グレーティングに対する感度に異方性があることを示しているが、本研究で測定した2つの錯視効果が奥行き知覚の空間周波数特性と関係があるのであれば、空間周波数特性の異方性も刺激のパターンに依存することが予想される。今後の課題として、奥行き知覚の異方性の要因を明らかにするために、刺激パターンにおけるドットの密度や配置などを系統的に変化させた、より詳細な実験が必要であると考ええる。

## 文 献

- 1) B. J. Rogers and M. E. Graham: "Anisotropies in the perception of three-dimensional surfaces," *Science*, **221** (1983) 1409-1411.
- 2) H. Wallach and J. Bacon: "Two forms of retinal disparity," *Percept. Psychophys.*, **19** (1976) 375-382.
- 3) B. Gillam, T. Flagg and D. Finlay: "Evidence for disparity change as the primary stimulus for stereoscopic processing," *Percept. Psychophys.*, **36** (1984) 559-564.
- 4) R. Cagenello and B. J. Rogers: "Anisotropies in the perception of stereoscopic surfaces: The role of orientation disparity," *Vision Res.*, **33** (1993) 2189-2201.
- 5) M. F. Bradshaw and B. J. Rogers: "Sensitivity to horizontal and vertical corrugations defined by binocular disparity," *Vision Res.*, **39** (1999) 3049-3056.
- 6) P. B. Hibbard, M. F. Bradshaw, K. Langley and B. J. Rogers: "The stereoscopic anisotropy: Individual differences and underlying mechanisms," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, **28** (2002) 469-476.
- 7) G. J. Mitchison and S. P. McKee: "Mechanisms underlying the anisotropy of stereoscopic tilt perception," *Vision Res.*, **30** (1990) 1781-1791.
- 8) B. Gillam and C. Ryan: "Perspective, orientation disparity, and anisotropy in stereoscopic slant perception," *Perception*, **21** (1992) 427-439.
- 9) C. Ryan and B. Gillam: "Cue conflict and stereoscopic surface slant about horizontal and vertical axes," *Perception*, **23** (1994) 645-658.
- 10) C. W. Tyler: "Stereoscopic vision: Cortical limitations and a disparity scaling effect," *Science*, **181** (1973) 276-278.
- 11) C. W. Tyler: "Spatial organization of binocular disparity sensitivity," *Vision Res.*, **15** (1975) 583-590.
- 12) B. Rogers and M. Graham: "Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception," *Vision Res.*, **22** (1982) 261-270.
- 13) R. A. Schumer and B. Julesz: "Binocular disparity modulation sensitivity to disparities offset from the place to fixation," *Vision Res.*, **24** (1984) 533-542.
- 14) H. Werner: "Dynamics in binocular depth perception," *Psychol. Monogr.*, **49** (1937) 1-127.
- 15) H. Werner: "Binocular depth contrast and the conditions of binocular field," *Am. J. Psychol.*, **51** (1938) 489-497.
- 16) N. Pastore: "Induction of a stereoscopic depth contrast," *Science*, **144** (1964) 888.
- 17) N. Pastore and M. Terwilliger: "Induction of stereoscopic depth effects," *Br. J. Psychol.*, **57** (1966) 201-202.
- 18) M. Graham and B. J. Rogers: "Simultaneous and successive contrast effects in the perception of depth from motion-parallax and stereoscopic information," *Perception*, **11** (1982) 247-262.
- 19) T. Kumar and D. A. Glaser: "Influence of remote objects on local depth perception," *Vision Res.*, **31** (1991) 1687-1699.
- 20) T. Kumar and D. A. Glaser: "Shape analysis and stereopsis for human depth perception," *Vision Res.*, **32** (1992) 499-512.
- 21) T. Kumar and D. A. Glaser: "Temporal aspects of depth contrast," *Vision Res.*, **33** (1993) 947-957.
- 22) R. van Ee and C. J. Erkelens: "Anisotropy in Werner's binocular depth-contrast effect," *Vision Res.*, **36** (1996) 2253-2262.
- 23) R. van Ee, M. S. Banks and B. T. Backus: "An analysis of binocular slant contrast," *Perception*, **28** (1999) 1121-1145.
- 24) M. Sato and I. P. Howard: "Effects of disparity-perspective cue conflict on depth contrast," *Vision Res.*, **41** (2001) 415-426.
- 25) T. N. Cornsweet: *Visual Perception* (Academic Press, New York, 1970) pp. 270-364.
- 26) 佐藤雅之: "奥行き次元の同時対比効果とCornsweet錯視における異方性と個人差", *光学*, **33** (2004) 667-677.