

【論文】

見えの立体感に及ぼす陰影の形と位置の効果

渡 辺 功・劉 欧

Effects of shape and location of a cast shadow on 3D perception

Isao WATANABE and Liu OU

要旨

Two experiments were designed to examine how the shape and the location of an oval shadow attached to a circle affect the 3D perception. Ten undergraduates rated the circle with the shadow according to the position fitness as its cast shadow, and also 3D impression under conditions varying in shape (vertical axis) of the shadow and its location against the circle. The shadow was located downward the circle in Experiment 1, and rightward or lower-rightward in Experiment 2. Experiment 1 showed that the ratings were high for the thin shadow when it was located apart from the circle and low when overlapped, while the ratings were low for the thick shadow irrespective of the location. Experiment 2 showed that the ratings changed depending on relation of the shape and the location, when the shadow was located lower-rightward the circle. The ratings were equally low irrespective of the shape and the location when the shadow was located rightward the circle. The results were compatible with the hypothesis "Assumption of light from above."

キーワード：psychology, visual 3D perception, cast shadow, location, shape

人間の見る視覚的世界は三次元空間であるが網膜像上に直接的な三次元的特性は与えられていない。網膜像上の色々な奥行き手がかりをもとに奥行きを持つ三次元的な空間が再現され、人間に知覚されることとなる。その手がかりの1つが陰影である。奥行き知覚に及ぼす陰影の効果は、shadingによるものとcast shadowによるものに分けることができる。すなわち、前者は、対象そのものに明暗の陰影を付けることによる効果であり、後者は、床面に投じた陰影を対象に付加することによる効果である。(Palmer, 1999; Sekuler and Blake, 1994; 氏家, 1999)。

対象自身に付けた陰影の効果について以下のことが分かっている。Ramachandranは上部にハイライト、下部に陰影を付けた円形刺激は凸に、下部にハイライト、上部に陰影を付けた円形刺激は凹に見える事実を、上方光源仮説によって説明した。すなわち、陰影の方向によってこのような凹凸の知覚が生起するのは、上方にただ1つの光源がある世界での、生まれてからの長い経験に基づくものであるという(河邊・三浦, 2002; Ramachandran, 1988, 1990)。Sun & Perona (1998)は、視覚探索課題を用いた実験の結果から、光源は正確には上方ではなく若干左方向にずれた位置にある場合に陰影の効果により強いことを明らかにした。また、井上・渡辺(2005)は、同心円状の陰影を付けた場合にも

上方光源仮説が成り立つ詳細な条件を明らかにした。

渡辺・萩村（2006）は、均質な視野上で文字の部分的な陰影を提示することによって主観的輪郭線と奥行きを持って見える文字を主観的立体文字と名付け、主観的立体文字の見えに及ぼす陰影の方向の影響を視覚探索課題を用いて検討した。そして、文字の種類によって若干違いはあるものの、概して右下方向に陰影がある場合に視覚探索課題の反応時間が短かった。この結果は文字に付ける陰影の効果に対しても上方光源仮説が適用できることを示す。

床面に投じた陰影の効果について以下のことが分かっている。阿河らは、白色の円形刺激が床に投じる円形の陰影刺激を円形刺激と完全に重なる位置から円形刺激から離れた位置まで連続的に移動するとき、円形刺激と床面の間の見えの奥行きの評価を被験者に求めた。結果によると、円形刺激と重ねずに円形刺激から少し離れた位置まで移動するとき最大の見えの奥行きが見られ、それから更に離れた位置まで移動するとき再び見えの奥行きは減じた。また、赤色の陰影刺激では見えの奥行きが濃い灰色より減じることも分かった。（阿河，2001；阿河・篠森，2001）。

渡辺・劉欧（2007）は白色の円形刺激が床に投じる円形の陰影刺激の位置と色彩を変化させる静止刺激を用いて、円形刺激と床面の見えの奥行きの評価を被験者に求めた。結果によると、円形刺激と陰影刺激の色彩が見えの距離に影響すると共に、これら両刺激の配置、特に重なり具合によって見えの奥行きが異なって見えることが分かった。

これまでの研究は、床面に投じた陰影が対象と陰影の投げられた床面の間の見えの奥行きの知覚に及ぼす影響を主として扱ってきた。しかし、床面に投じた陰影は、その対象自身の立体感の知覚にも影響する。そこで本研究では、床面に投じる陰影を円形刺激に付加するとき、陰影の形とその配置が円形刺激の立体感の知覚にどのように影響するのかを問題とする。

円形刺激に付けた陰影刺激の配置つまり、方向を下、右、右下の3方向に変化させ、また、円形刺激との位置関係と陰影刺激の形を変化させた実験を行う。円形刺激は一定とし、これと共に配置する楕円形の刺激の水平方向の長軸は円形刺激の直径に固定したまま垂直方向の短軸の長さを変化させることにより陰影刺激の形を変化させた。床面に投じた陰影刺激の効果に限定して検討するため、円形刺激と陰影刺激とも黒色のシルエットとした。反応指標として、円形刺激を立体的に見せるために陰影刺激の付け方が適切かどうか（位置の適切性）、更にその結果として円形刺激が立体的に見える程度（立体感）の2つの評価を実験協力者に求めた。これにより、床面に投じる陰影刺激が刺激対象の立体知覚に及ぼす効果を検討する。また、対象に付けた陰影の研究から発見された上方光源仮説が床面に投じる陰影の効果に対しても同様に適用できるのかについても検討する。

実 験 1

目的

円形刺激の下方方向に楕円形の陰影刺激を付け加える時、陰影刺激の位置と形が見えの奥行きに及ぼす効果を検討する。

方法

実験計画 円形刺激に付加する楕円形の陰影刺激の位置を実験変数1とし4条件を用意した。また、陰影刺激の形を変化させるため、楕円形の垂直軸の長さを実験変数2とし6条件を用意した。これら

の実験変数の組み合わせによってできる24条件の下で、円形刺激に対する陰影刺激の位置の適切さと円形刺激の立体感の評価を実験協力者に求めた。

装置 コンピュータ（アップル社製Power Macintosh 7627J/A）で制御した19インチのカラーCRTディスプレイ（ナナオ社製Eizo Flex Scan T765）上に刺激を提示した。

刺激 白色背景に視角で直径 3° の黒色の円形刺激と、水平方向の長軸の長さを 3° に固定したまま垂直方向の短軸の長さを変化させた黒色の楕円形の陰影刺激を重ねてあるいは距離を置いて配置した。実際に実験協力者に提示した刺激をFigure 1に示す。

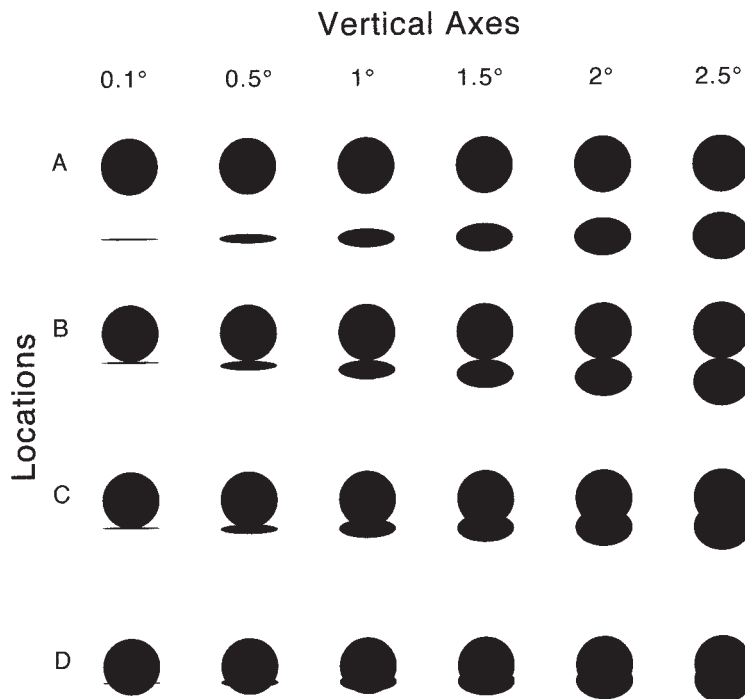


Figure 1 Illustration of stimuli used. A pair of a circle and an oval cast shadow were used as a stimulus for each trial. Rows: Locations of a cast shadow ; A, B, C, and D. The shadow was located 4° in visual angle distant from the center of the circle for A, 1.5° for C, and 1° for D, and located tangent to the circle for B. Columns : Vertical axes of oval cast shadow ; 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5 in degrees of visual angle (Experiment 1).

まず、円形刺激の下方方向に配置する陰影刺激の位置を実験変数1として4条件用意した。すなわち、円形刺激から中心間の距離で視角 4° 離して配置するA条件、円形刺激と接するように配置するB条件、円形刺激との中心間距離を視角 1.5° とし少し重ねて配置するC条件及び、円形刺激との中心間距離を視角 1° とし大きく重ねて配置するD条件である。次に楕円形の陰影刺激の垂直軸の長さを実験変数2として、陰影刺激の短軸の長さを視角で 0.1° 、 0.5° 、 1° 、 1.5° 、 2° 、及び 2.5° に変化させた6条件を用意した。以上の2つの実験変数の組み合わせによってできる24条件を設定した。刺激の輝度値は黒色部分で約 0.6cd/m^2 、白色部分で 155cd/m^2 であった。

手続き 実験協力者は画面の中心が目の高さにほぼ等しくなるように顔面固定され、約57cmの距離から刺激を両眼で観察し、陰影の位置の適切さと円形刺激の立体感の2つの評価を行った。陰影の位置の適切さの評価においては、球体である円形刺激に追加する陰影として適切かどうかを、非常に適切であれば“5”、まったく不適切であれば“0”とし、その適切さに関して0から5の整数値で報告するよう実験協力者に求めた。見えの奥行きの評価においては、陰影を付けることにより円形刺激が立体的に見えたかどうかを、非常に立体的に見えていれば“5”、平面的に見えていれば“0”とし、その見えの立体感を0から5の整数値で報告するよう求めた。

2分間の暗順応の後、陰影の位置の適切さの評価を求めるセッションと円形刺激の立体感の評価を求めるセッションを順に実験協力者に求めた。各セッションとも、任意に選んだ12の条件に対して練習試行を求めた後、本試行に入った。本試行では陰影刺激の位置と形の2つの実験変数の組み合わせによってできる24条件を1試行ずつ含むブロック4つを、第2ブロックと第3ブロックの間に約1分間の休憩を挟んで実験協力者に求めた。セッション間に約1分間の休憩を挟んだ。24条件の試行順序をブロックごとに異ならせることにより、試行順序による効果をカウンターバランスした。

実験協力者 裸眼視力あるいは矯正視力が正常で本実験に関して未経験な男5名、女5名の計10名の大学生であった。

結果と考察

1. 陰影の位置の適切さの評価値 各条件の10名の実験協力者の陰影の位置の適切さの評価値の平均値をFigure 2 (a) に示す。図より、陰影の位置と短軸の長さが互いに影響し合うことが分かる。

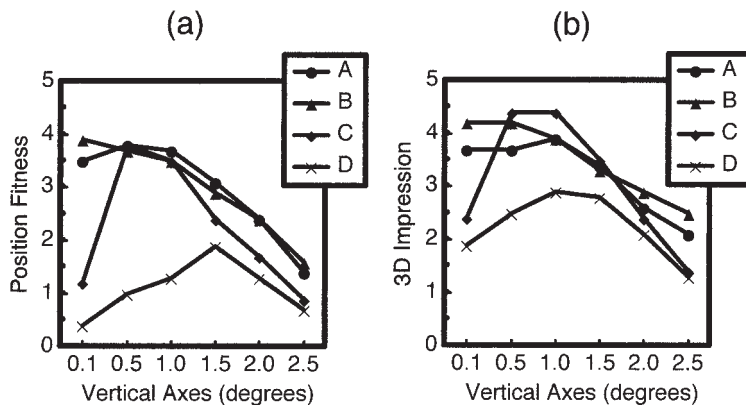


Figure 2 Ratings of position fitness (a) and 3D impression (b) for each condition of location of shadow as a function of vertical axis (Experiment 1).

まず、短軸の各条件ごとに位置の効果を見ると、陰影刺激の短軸の短い0.1°、0.5°及び、1°の条件では位置による違いが大きいですが、1.5°、2°及び、2.5°では違いが小さいことが分かる。次に、位置の各条件ごとに短軸の長さの効果を見る。円形刺激と陰影刺激が重なることのないAとBの位置条件においては、陰影刺激の短軸の短い0.1°、0.5°、1°及び、1.5°の条件で位置の適切性の評価値が高いこと、また、短軸が長い2°、2.5°の条件で評価値が低いことが分かる。円形刺激と陰影刺激がわずかに重なるCの位置条件においては、短軸の適度に短い0.5°、1°及び、1.5°の条件で評価値が高いことが分かる。円形刺激と陰影刺激が大いに重なるDの位置条件においては、短軸が1.5°の条件

で評価値が他条件に比べてわずかに高いが、概して評価値が低いことが分かる。

陰影位置の適切さの評価値に関して、4（陰影刺激の位置）×6（垂直軸の長さ）の2要因の分散分析を行ったところ、陰影刺激の位置 ($F(3, 27) = 16.35, p < .01$)、垂直軸の長さ ($F(5, 45) = 29.32, p < .01$) の主効果及び、これらの交互作用 ($F(15, 135) = 8.19, p < .01$) が有意であった。

陰影刺激の位置の単純主効果を調べるため垂直軸の長さの各条件ごとに分散分析を行ったところ、 0.1° 、 0.5° 、 1° 、 1.5° 、 2° 及び、 2.5° のいずれの条件においてもそれぞれ主効果が有意であった ($F(3, 27) = 23.17, p < .01$; $F(3, 27) = 16.57, p < .01$; $F(3, 27) = 8.77, p < .01$; $F(3, 27) = 3.99, p < .05$; $F(3, 27) = 7.16, p < .01$; $F(3, 27) = 3.78, p < .05$)。続いて垂直軸の長さの各条件ごとに、陰影刺激の位置に関してLSD法による下位検定を行った。

0.1° 条件においてはAとBの条件対、CとDの条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 1.0184, p < .05$)。 0.5° 条件においてはAとDの条件対間、BとDの条件対間及び、CとDの条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 1.0018, p < .05$)。 1° 条件においてはAとDの条件対間、BとDの条件対間及び、CとDの条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 1.0878, p < .05$)。 1.5° 条件においてはAとDの条件対間、BとDの条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.7937, p < .05$)。 2° 条件においてはAとBの条件対、CとDの条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.5798, p < .05$)。 2.5° 条件においてはAとDの条件対間、BとCの条件対間及び、BとDの条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.6210, p < .05$)。

次に垂直軸の長さの単純主効果を調べるため陰影刺激の位置の各条件ごとに分散分析を行ったところ、A、B、C及び、Dのいずれの条件においてもそれぞれ主効果が有意であった ($F(5, 45) = 24.75, p < .01$; $F(5, 45) = 23.95, p < .01$; $F(5, 45) = 15.63, p < .01$; $F(5, 45) = 4.13, p < .01$)。続いて陰影刺激の位置の各条件ごとに、垂直軸の長さに関してLSD法による下位検定を行った。

A条件においては 0.1° と 0.5° の条件対、 0.1° と 1° の条件対、 0.1° と 1.5° の条件対及び、 0.5° と 1° の条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.5337, p < .05$)。B条件においては 0.1° と 0.5° の条件対、 0.1° と 1° の条件対及び、 0.5° と 1° の条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.5154, p < .05$)。C条件においては 0.1° と 2° の条件対、 0.1° と 2.5° の条件対、 0.5° と 1° の条件対、 1.5° と 2° の条件対及び、 2° と 2.5° の条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.8488, p < .05$)。D条件においては 0.1° と 1° の条件対、 0.1° と 1.5° の条件対、 0.1° と 2° の条件対、 0.5° と 1.5° の条件対及び、 1.5° と 2.5° の各条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.7359, p < .05$)。

2. 円形刺激の立体感の評価値 各条件の10名の実験協力者の立体感の評価値の平均値をFigure 2 (b) に示す。図より、立体感の評価値も位置の適切性評価値と非常に類似しており、陰影の位置と短軸の長さが互いに影響し合うことが分かる。まず、短軸の各条件ごとに位置の効果を見ると、陰影刺激の短軸の短い 0.1° 、 0.5° 及び、 1° の条件では位置による違いが大きいことが分かる。次に、位置の各条件ごとに短軸の長さの効果を見る。円形刺激と陰影刺激が重なることのないAとBの位置条件においては、陰影刺激の短軸の短い 0.1° 、 0.5° 、 1° 及び、 1.5° の条件で立体感の評価値が高いこと、また、短軸が長い 2° 、 2.5° の条件で評価値が低いことが分かる。円形刺激と陰影刺激がわずかに重なるCの位置条件においては、短軸の適度に短い 0.5° 、 1° 及び、 1.5° の条件で評価値が高いことが分かる。円形刺激と陰影刺激が大いに重なるDの位置条

件においては、短軸が 1° と 1.5° の条件で評価値が他条件に比べてわずかに高いが、概して評価値が低いことが分かる。

立体感の評価値に関して、4（陰影刺激の位置） \times 6（垂直軸の長さ）の2要因の分散分析を行ったところ、陰影刺激の位置（ $F(3, 27) = 6.05, p < .01$ ）、垂直軸の長さ（ $F(5, 45) = 30.86, p < .01$ ）の主効果及び、これらの交互作用（ $F(15, 135) = 5.92, p < .01$ ）が有意であった。

陰影刺激の位置の単純主効果を調べるため垂直軸の長さの各条件ごとに分散分析を行ったところ、 0.1° 、 0.5° 、 1° 、 2.5° の各条件においてそれぞれ有意差が見られた（ $F(3, 27) = 10.73, p < .01$ ； $F(3, 27) = 6.54, p < .01$ ； $F(3, 27) = 7.12, p < .01$ ； $F(3, 27) = 4.08, p < .05$ ）。続いて垂直軸の長さの各条件ごとに、陰影刺激の位置に関してLSD法による下位検定を行った。

0.1° 条件においてはAとBの条件対、CとDの条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.9538, p < .05$ ）。 0.5° 条件においてはAとDの条件対間、BとDの条件対間及び、CとDの条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.9454, p < .05$ ）。 1° 条件においてはAとDの条件対間、BとDの条件対間及び、CとDの条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.6737, p < .05$ ）。 2.5° 条件においてはBとCの条件対間及び、BとDの条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.8161, p < .05$ ）。

次に垂直軸の長さの単純主効果を調べるため陰影刺激の位置の各条件ごとに分散分析を行ったところ、A、B、C及び、Dいずれの条件においてもそれぞれ主効果が有意であった（ $F(5, 45) = 5.11, p < .01$ ； $F(5, 45) = 5.16, p < .01$ ； $F(5, 45) = 15.16, p < .01$ ； $F(5, 45) = 3.84, p < .01$ ）。続いて陰影刺激の位置の各条件ごとに、垂直軸の長さに関してLSD法による下位検定を行った。

A条件においては 0.1° と 0.5° の条件対、 0.1° と 1° の条件対、 0.1° と 1.5° の条件対、 0.5° と 1° の条件対、 0.5° と 1.5° の条件対及び、 1° と 1.5° の条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.4925, p < .05$ ）。B条件においては 0.1° と 0.5° の条件対、 0.1° と 1° の条件対、 0.5° と 1° の条件対、 1° と 1.5° の条件対、 1.5° と 2° の条件対及び、 2° と 2.5° の条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.5319, p < .05$ ）。C条件においては 0.1° と 2° の条件対及び、 0.5° と 1° の条件対を除く、すべての条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.7900, p < .05$ ）。D条件においては 0.1° と 2° の条件対、 0.5° と 1° の条件対、 0.5° と 1.5° の条件対、 0.5° と 2° の条件対及び、 1° と 1.5° の条件対を除くすべての条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.5751, p < .05$ ）。

実 験 2

円形刺激の右横あるいは右下に楕円形の陰影刺激を付け加える時、陰影刺激の方向、位置、及び形が見えの奥行きに及ぼす効果を検討する。本実験では位置の実験変数を、実験1の結果より特徴的であった3つの位置の条件、すなわち円形刺激と陰影刺激が重ならない条件、接する条件及び、重なる条件の3条件とした。

方法

実験計画 円形刺激に付加する楕円形の陰影刺激の方向を実験変数1とし2条件及び、陰影刺激の位置を実験変数2とし3条件を用意した。また、陰影刺激の形を変化させるため、楕円形の垂直軸の長さを実験変数3とし3条件を用意した。これらの実験変数の組み合わせによってできる18条件の下

で、円形刺激に対する陰影刺激の位置の適切さと円形刺激の立体感の評価を実験協力者に求めた。

装置 実験1と同じ装置を用いた。

刺激 白色背景に視角で直径 3° の黒色の円形刺激と、水平方向の長軸の長さを 3° に固定したまま垂直方向の短軸の長さを変化させた黒色の楕円形の陰影刺激を重ねてあるいは距離を置いて実験1と同様に配置した。実際に実験協力者に提示した刺激をFigure 3に示す。

まず、円形刺激に付加して配置する陰影刺激の方向を実験変数1として、右 (Rightward) と右下

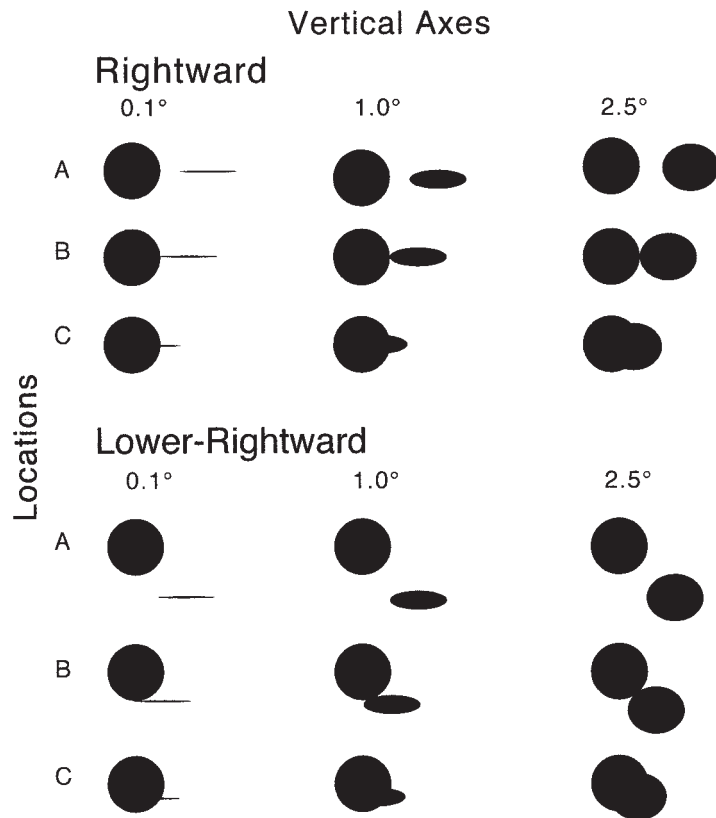


Figure 3 Illustration of stimuli used. A pair of a circle and an oval cast shadow were used as a stimulus for each trial. Upper nine pairs were prepared for Rightward direction, while bottom nine pairs, for Lower-rightward direction. Rows : Locations of a cast shadow ; A, B, C, and D. The shadow was located 4° in visual angle distant from the center of the circle for A, and 1° for C, and located tangent to the circle for B. Columns : vertical axes of oval cast shadow ; 0.1, 1.0, and 2.5 in degrees of visual angle (Experiment 2).

(Lower-Rightward) の2条件用意した。次に楕円形の陰影刺激の垂直軸の長さを実験変数2として、3条件用意した。すなわち、円形刺激との中心間距離を視角 4° 離して配置するA条件、円形刺激と接するように配置するB条件及び、円形刺激との中心間距離を視角 1° とし重ねて配置するC条件である。更に陰影刺激の形を実験変数3として、陰影刺激の短軸の高さを視角で 0.1° 、 1° 及び、 2.5° に変化させた3条件を用意した。以上の3つの実験変数の組み合わせによってできる18条件を設定した。

手続き 実験 1 と同様の仕方で、陰影の位置の適切さと円形刺激の立体感の 2 つの評価を実験協力者に求めた。

2 分間の暗順応の後、陰影の位置の適切さの評価をを求めるセッションと円形刺激の立体感の印象の評価をを求めるセッションを順に実験協力者に求めた。各セッションとも、任意に選んだ 9 つの条件に対して練習試行を求めた後、本試行に入った。本試行では 18 条件を 1 試行ずつ含むブロック 4 つを、第 2 ブロックと第 3 ブロックの間に約 1 分間の休憩を挟んで実験協力者に求めた。セッション間に約 1 分間の休憩を挟んだ。18 条件の試行順序をブロックごとに異ならせることにより、試行順序による効果をカウンターバランスした。

実験協力者 実験 1 に参加した 10 名の大学生であった。

結果と考察

1. 陰影の位置の適切さの評価値 各条件の 10 名の実験協力者の陰影の位置の適切さの評価値の平均値を Figure 4 (a), (c) に示す。図より、右条件では概して位置の適切さの評価値は低いこと、また、短軸の 0.1° の条件の評価値が 1.0° 及び 2.5° の条件に比べて低いことを除いてほとんど違いがないが分かる。

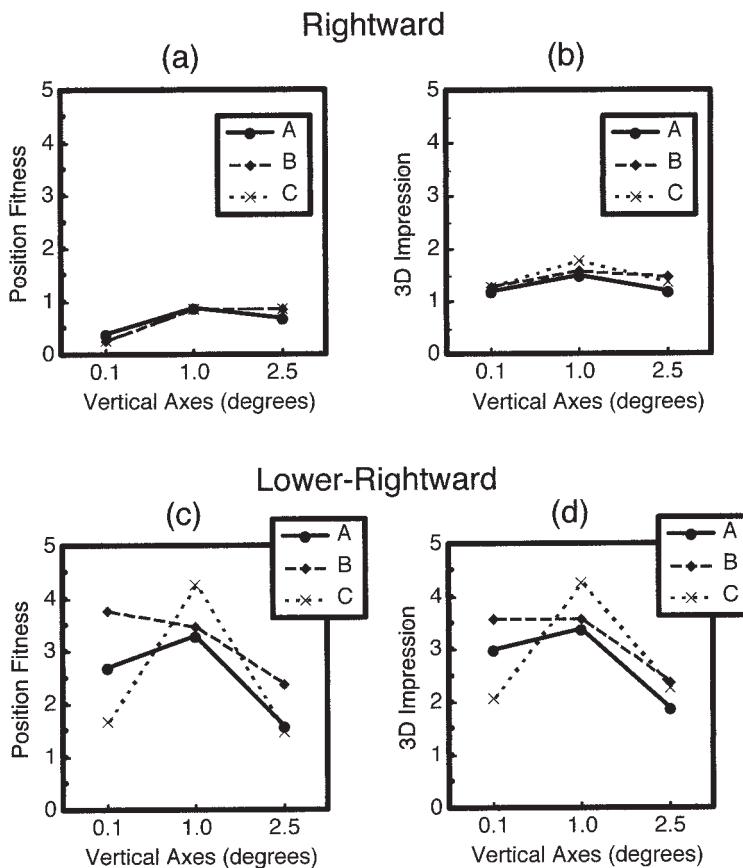


Figure 4 Ratings of position fitness (a, c) and 3D impression (b, d) for each condition of location of shadow as a function of vertical axis (Experiment 2). Top is for Rightward direction, while bottom, for Lower-Rightward direction.

右下条件では、陰影の位置と短軸の長さが互いに影響し合うことが分かる。まず、短軸の各条件ごとに位置の効果を見ると、陰影刺激の短軸が 0.1° の条件で、円形刺激と陰影刺激が接触するB条件、重なることのないA条件、重なるC条件の順で評価値が高い。短軸が 1° の条件で、C条件の評価値が他の2条件より高いこと、また、短軸が 2.5° の条件では、B条件の評価値が他の2条件より高いことが分かる。次に、位置の各条件ごとに短軸の長さの効果を見る。AとBの位置条件では、短軸が 0.1° と 1° の条件で等しく評価値が高く、これらより 2.5° 条件で低いこと、また、Cの位置条件では、 1.0° 条件だけが他の2条件より評価値が高いことが分かる。

陰影の位置の適切さの評価値に関して、2（陰影刺激の方向） \times 3（陰影刺激の位置） \times 3（垂直軸の長さ）の3要因の分散分析を行ったところ、陰影刺激の方向の主効果（ $F(1, 9) = 15.41, p < .01$ ）、垂直軸の長さの主効果（ $F(2, 18) = 17.91, p < .01$ ）、陰影刺激の方向と垂直軸の長さの交互作用（ $F(2, 18) = 13.26, p < .01$ ）、陰影刺激の位置と垂直軸の長さの交互作用（ $F(4, 36) = 7.23, p < .01$ ）及び、陰影刺激の方向、位置と垂直軸の長さの交互作用（ $F(4, 36) = 7.82, p < .01$ ）がそれぞれ有意であった。

以下に陰影刺激の方向の右条件と右下条件に分けて行った統計処理の結果を示す。

右条件においては以下の通りであった。3（陰影刺激の位置） \times 3（垂直軸の長さ）の2要因の分散分析を行ったところ、垂直軸の長さ（ $F(2, 18) = 4.18, p < .01$ ）の主効果が有意であった。続いてLSD法を用いて下位検定を行ったところ、 0.1° 条件と 1.0° の条件対間及び、 0.1° 条件と 2.5° の条件対間にそれぞれ有意差が見られた（ $LSD = 0.4234, p < .05$ ）。

右下条件においては以下の通りであった。3（陰影刺激の位置） \times 3（垂直軸の長さ）の2要因の分散分析を行ったところ、陰影刺激の位置（ $F(2, 18) = 4.91, p < .01$ ）、垂直軸の長さ（ $F(2, 18) = 36.88, p < .01$ ）及び、これらの交互作用（ $F(4, 36) = 9.69, p < .01$ ）のいずれも有意であった。

陰影刺激の位置の単純主効果を調べるため垂直軸の長さの各条件ごとに分散分析を行ったところ、 0.1° 、 1° 及び、 2.5° のいずれの条件においてもそれぞれ主効果が有意であった（ $F(2, 18) = 11.53, p < .01$ ； $F(2, 18) = 4.72, p < .05$ ； $F(2, 18) = 3.79, p < .05$ ）。続いて陰影刺激の位置の各条件ごとに、垂直軸の長さに関してLSD法による下位検定を行った。

0.1° 条件においてはすべての条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.9364, p < .05$ ）。 1° 条件においてはAとCの条件対間及び、BとCの条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.7416, p < .05$ ）。 2.5° 条件においてはAとBの条件対間及び、BとCの条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.7653, p < .05$ ）。

次に垂直軸の長さの単純主効果を調べるため陰影刺激の位置の各条件ごとに分散分析を行ったところ、A、B及び、Cのいずれの条件においてもそれぞれ主効果が有意であった（ $F(2, 18) = 10.90, p < .01$ ； $F(2, 18) = 11.19, p < .01$ ； $F(2, 18) = 33.60, p < .01$ ）。続いて陰影刺激の位置の各条件ごとに、垂直軸の長さに関してLSD法による下位検定を行った。

A条件においては 0.1° と 2.5° の条件対及び、 1° と 2.5° の条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.7629, p < .05$ ）。B条件においては 0.1° と 2.5° の条件対及び、 1° と 2.5° の条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.6670, p < .05$ ）。C条件においては 0.1° と 1° の条件対及び、 1° と 2.5° の条件対間で有意な差が見られた（ $LSD = 0.8056, p < .05$ ）。

2. 円形刺激の立体感の評価値 各条件の10名の実験協力者の立体感の印象の評価値の平均値を

Figure 4 (b)、(d) に示す。図より、立体感の評価値も位置の適切性の評価値と非常に類似していることが分かる。右条件では概して陰影刺激の位置の適切さの評価値は低いこと、また、短軸の長さと言位置による違いがほとんど見られないことが分かる。

右下条件では、陰影の位置と短軸の長さが互いに影響し合うことが分かる。まず、短軸の各条件ごとに位置の効果を見ると、陰影刺激の短軸が 0.1° の条件でAとBの位置条件の評価値がC条件より高く、短軸が 1° の条件でCの位置条件の評価値がAとBの条件より高く、短軸が 2.5° の条件では評価値は低く位置条件間の違いは見られないことが分かる。次に、位置の各条件ごとに短軸の長さの効果を見る。AとBの位置条件では、短軸が 0.1° と 1° の条件で等しく評価値が高く、これらより 2.5° 条件で低い。Cの位置条件では、 1.0° 条件だけが他の2条件より評価値が高いことが分かる。

陰影の立体感の評価値に関して、2（陰影刺激の方向） \times 3（陰影刺激の位置） \times 3（垂直軸の長さ）の3要因の分散分析を行ったところ、陰影刺激の方向の主効果 ($F(1, 9) = 9.59, p < .05$)、垂直軸の長さの主効果 ($F(2, 18) = 16.27, p < .01$)、陰影刺激の方向と垂直軸の長さの交互作用 ($F(2, 18) = 6.82, p < .01$)、陰影刺激の位置と垂直軸の長さの交互作用 ($F(4, 36) = 5.98, p < .01$) 及び、陰影刺激の方向、位置と垂直軸の長さの交互作用 ($F(4, 36) = 7.13, p < .01$) がそれぞれ有意であった。

以下に陰影刺激の方向の右条件と右下条件に分けて行った統計処理の結果を示す。

右条件においては以下の通りであった。3（陰影刺激の位置） \times 3（垂直軸の長さ）の2要因の分散分析を行ったところ、陰影刺激の位置 ($F(2, 18) = 0.45, p > .05$)、垂直軸の長さ ($F(2, 18) = 1.73, p > .05$) 及び、これらの交互作用 ($F(4, 36) = 0.30, p > .05$) のいずれも有意ではなかった。

右下条件においては以下の通りであった。3（陰影刺激の位置） \times 3（垂直軸の長さ）の2要因の分散分析を行ったところ、垂直軸の長さの主効果 ($F(2, 18) = 28.19, p < .01$) 及び、陰影刺激の位置と垂直軸の長さの交互作用 ($F(4, 36) = 6.72, p < .01$) が有意であった。

陰影刺激の位置の単純主効果を調べるため垂直軸の長さの各条件ごとに分散分析を行ったところ、 0.1° 及び、 1° の条件において主効果が有意であった ($F(2, 18) = 6.00, p < .01$; $F(2, 18) = 3.79, p < .05$)。続いて陰影刺激の位置の各条件ごとに、垂直軸の長さに関してLSD法による下位検定を行った。

0.1° 条件においてAとCの条件対間及び、BとCの条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.9228, p < .05$)。 1° 条件においてはAとCの条件対間及び、BとCの条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.6991, p < .05$)。

次に垂直軸の長さの単純主効果を調べるため陰影刺激の位置の各条件ごとに分散分析を行ったところ、A、B及び、C のいずれの条件においてもそれぞれ主効果が有意であった ($F(2, 18) = 14.47, p < .01$; $F(2, 18) = 7.50, p < .01$; $F(2, 18) = 20.84, p < .01$)。続いて陰影刺激の位置の各条件ごとに、垂直軸の長さに関してLSD法による下位検定を行った。

A条件においては 0.1° と 2.5° の条件対及び、 1° と 2.5° の条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.6285, p < .05$)。B条件においては 0.1° と 2.5° の条件対及び、 1° と 2.5° の条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.7142, p < .05$)。C条件においては 0.1° と 1° の条件対及び、 1° と 2.5° の条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 0.7992, p < .05$)。

考 察

円形刺激の立体感の知覚に及ぼす陰影刺激の配置の効果を検討するために、楕円形の陰影刺激を実験1では下方向に、実験2では右方向あるいは右下方向に配置するとともに、円形刺激と陰影刺激との位置関係を変化させた。陰影刺激の形の効果を検討するために、楕円形の垂直軸の長さを変えることにより陰影刺激の形も変化させた。陰影刺激の位置の適切性と、その結果生じる立体感の2つの評価値を反応指標とした。

実験1と実験2より、円形刺激と共に配置する楕円形の陰影刺激は、配置の方向、その形と位置によって、円形刺激の見えの立体感の知覚に対して相互に影響し合うことが分かった。

方向による効果は以下の通りであった。右方向に陰影刺激を配置した場合には位置の適切性と立体感の両評価値とも低く、陰影刺激の位置、形による効果はほとんど見られなかったことから、右方向に配置する陰影刺激は円形刺激の立体感の知覚にほとんど効果を持たないものと考えられる。下方向と右下方向に陰影刺激を配置した場合には、陰影刺激の形と位置の効果に少し違いは見られるものの、よく似た傾向を示した。方向ごとにそれらの効果を以下に検討する。

下方向に配置した場合、次のようであった。まず、垂直軸の長さの異なる各楕円形ごとに位置の効果を見ると、概して、垂直軸の長さが 0.1° 、 0.5° 、 1.0° であるときには位置によって評価値が異なるが、垂直軸の長さが 1.5° 、 2° 、 2.5° であるときには位置の違いは小さくなった。すなわち、陰影刺激の垂直軸が 0.1° の楕円形であるときには、円形刺激と離れてあるいは接して配置するAとBの条件で位置の適切性、立体感の両評価値とも高く、少しあるいは大きく重ねて配置するCとD条件で両評価値とも低かった。陰影刺激の垂直軸が 0.1° 、 0.5° であるときには、A、B、C条件で両評価値とも等しく高く、D条件に限って低かった。垂直軸が 1.5° 、 2° 、 2.5° であるときにはAとB条件で両評価値とも等しく高く、CとD条件で低かった。

次に位置の条件ごとに陰影の形の効果を見ると、概して、離れてあるいは接して配置するAとB条件では短軸の長さが 0.1° 、 1° 、 1.5° の条件で両評価値とも等しく高いが、 1.5° 、 2° 、 2.5° と、短軸が長くなるにつれて評価値は小さくなった。少し重なるC条件では短軸が 0.5° と 1° の条件をピークとし、それより小さくなくても大きくなっても両評価値とも低くなった。大きく重ねて配置するD条件では短軸が 1.5° の条件をピークとし、それより小さくなくても大きくなっても両評価値とも低くなった。

以上の結果より、下方向に配置するとき、縦方向に細い陰影刺激を離れて配置する場合に立体感を作り出し、重なる配置の場合には立体感を作りにくいと考えられる。厚みの大きい陰影刺激は概して立体感に貢献することは少ないこと、また、大きく重なる配置では、どの陰影の形においても立体知覚に貢献することが少ないものと考えられる。

右下方向に配置した場合、次のようであった。まず、位置の適切性の評価値については以下の通りであった。陰影刺激の垂直軸が 0.1° の楕円形では、評価値は円形刺激と接して配置するB条件、離れて配置するA条件、重ねて配置するC条件の順であった。 1° の楕円形では、C条件だけがAとB条件より高く、 2.5° の楕円形では、B条件だけがAとC条件より高かった。立体感の評価値については、 2.5° の楕円形において位置による違いが見られなかったことを除き、位置の適切性の評価値とほぼ同様であった。

次に位置の条件ごとに陰影の形の効果を見ると、位置の適切性、立体感の両評価値とも同様の結果であった。すなわち、離れて配置するA条件では短軸の長さが 1° 、 0.1° 、 2.5° の順で評価値が高かった。接して配置するB条件では 0.1° と 1° の条件で等しく高く、これらより 2.5° だけが低い評価値であった。重ねて配置するC条件では 0.1° と 2.5° の条件で評価値は等しく低く、これらより 1° の条件だけが低い評価値であった。

以上の結果より、陰影刺激を右下方向に配置した場合には下方向に配置した場合と違って、円形刺激と陰影刺激が接触したり、大きく重なる場合においても立体知覚に貢献することが分かった。

位置の適切性と立体感の2つの評価値に基づくと、陰影刺激を右方向に配置する場合より、下方向あるいは右下方向に配置する場合には、陰影刺激の形と、円形刺激との位置関係によってその効果に違いはあるものの、立体感の知覚を高めることが分かった。したがって、対象に付けた陰影が見えの奥行きの効果に対して適用された上方光源仮説が、床面に投影される陰影の効果に対しても適用できることを示す。

しかし、上方光源仮説では単純に説明できない結果も得られた。現実世界で経験するのは、円形刺激と陰影刺激が接触するか重なる場合、つまり、床面に対象が接触する事態である。しかし、本研究では厚みの少ない陰影刺激を円形刺激から離れて下方向にあるいは右下方向に配置した場合においても、十分大きな見えの奥行き知覚を生起した。現実場面で円形刺激と陰影刺激が離れる配置となるのは、円形刺激が宙に浮きその影を床面に映す場合であり、このような光景を現実場面で見ることはほとんどない。日常経験するのは、むしろ円形刺激と陰影刺激が接するか重なる場合であるが、そのような条件で立体感と適切さの評価値は必ずしも高くはなかった。これは次のように解釈できよう。すなわち、立体感の知覚とそれを作り出す対象とそれが床面に作り出す陰影の形と配置の関係に基づき、日常の経験の中で獲得した法則に従って、対象と陰影の配置の適切さと立体感を計算・推測して立体感を知覚するのではないか。そのため本研究におけるように、対象とその陰影の関係が例え初めての経験であったとしても、立体感の知覚にその推測の結果が大きく影響するのであろう。

引用文献

- 阿河智紀 2001 陰の重なりや見え方が陰による奥行き知覚に与える効果 高知工科大学情報システム工学科平成12年度学士学位論文。
- 阿河智紀・篠森敬三 2001 陰の重なりや見え方が陰による奥行き知覚に与える効果 *Vision*, 13, Pp. 82.
- 井上浩義・渡辺 功 2005 奥行き知覚に及ぼす陰影のハイライトの位置の効果 心理学研究, 76, 51-56.
- 河邊隆寛・三浦佳世 2002 陰影に基づく3次元形状知覚——“凸”か“凹”か——心理学評論, 45, 180-191.
- Palmer, S. E. 1999 Perceiving surfaces oriented in depth. *Vision science*. Cambridge : MIT Press, pp. 199-253.
- Ramachandran, V. S. 1988 Perceiving shape from shading. *Nature*, 331, 163-166.
- Ramachandran, V. S. 1990 Perceiving shape from shading. In I. Rock (Ed.), *The perceptual world*. New York : W.H.Freeman and Company, pp.127-138.
- 塩入 論 2000 奥行き手がかりの統合 日本視覚学会(編) 視覚情報処理ハンドブック 朝倉書店 pp. 327-333.
- Sekuler, R., & Blake, R. 1994 Depth perception. *Perception*. 3rd ed. New York : McGraw-Hill Inc, pp.215-249.

Sun, J., & Perona, P. 1998 Where is the sun? *Nature Neuroscience*, **1**, 183-184.

氏家弘裕 1999 立体視の情報処理機構——各奥行き手がかりの特性とその相互作用—— 光学 28, 5, 250-260.

渡辺 功・萩村 徹 2006 主観的輪郭を持つ立体文字の認知に及ぼす陰影の位置の効果 熊本大学文学部論叢88号, 41-54.

渡辺 功・劉欧 2007 渡辺 功・劉 欧 対象と陰影間の見えの奥行きに及ぼす陰影の色と位置の効果 熊本大学文学部論叢, 92号, 39-51.