

[論文]

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

渡辺 功・劉 欧

The effect of color and location of a shading on apparent depth between a circle and a shading

Isao WATANABE and Liu OU

要旨

Ten students were required to rate apparent depth between a white circle and a shaded one using Magnitude estimation method. The white circle was presented against a mediate grey background together with the shaded circle which was occluded partly by the white one, located next to it, or apart from it. Color of the shaded circle was varied in red(R), blue (B), black (BK), dark grey (DG), or light grey (LG). The shaded circle in R, B, and BK conditions was seen at the rear of the white one when occluded by the white one irrespective of its location at the same distance as the white one when located next to it, in front of the white one when located apart from it. The shaded circle for LG was always seen at the same distance as the white one irrespective of the location. The shaded circle for DG was seen like those for R, B, and BK except when located apart from the white circle.

キーワード psychology, visual perception, apparent distance, shading, location, color of shading

人間の行動空間は前後左右に広がる三次元空間であるが、人が外界を視覚的に知覚するために感覚受容器で最初に捕らえる網膜像は二次元的特性を持つものであり、そこには直接的な奥行きの手がかりは与えられていない。しかし、この二次元的な網膜像から人は、奥行きを持つ三次元空間を作り出すのである。奥行きを作り出す手がかりについては古くから研究されてきたが、その手がかりの1つで近年注目されているものに陰影がある (Palmer, 1999;

Sekuler and Blake, 1994; 氏家, 1999)。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。この現象は生まれてからの長い経験によって上方にただ1つの光源がある経験に基づくものであるとする上方光源仮説によって説明される（河邊・三浦, 2002; Ramachandran, 1988）。その後の研究によって、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がより強いこと（Sun and Perona, 1998）、また、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も明らかとなった（井上・渡辺, 2005）。

陰影が見えの奥行きに影響する現象にはもう1つある。すなわち、対象が床面に自身の陰影を投じることによってこの陰影と対象との間に作り出される見えの奥行きである（氏家, 1999）。本研究ではこの見えの奥行き知覚の現象を問題とする。

阿河らは、白色の円形刺激を固定したまま床に投じる円形の濃い灰色の陰影刺激を、白色刺激と完全に重なる位置から遮蔽されずに離れた位置まで連続的に移動させることにより作り出される、白色刺激と陰影刺激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、白色刺激と重なること無く、しかも白色刺激から少し離れた位置まで陰影刺激を移動させる条件下で最大の見えの奥行きが見られ、それから更に離れると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た。（阿河, 2001; 阿河・篠森, 2001）。

さて、阿河らの研究は陰影刺激を連続的に移動させており、移動の効果を含んでいるため、白色刺激と陰影刺激とのおどのような位置関係が見えの奥行きに効果を持つのかを明らかにするためには静止した刺激を用いて新たに検討する必要がある。また、阿河らは白色刺激から離れた距離に応じて陰影刺激にぼけを加えた刺激を用いた。これまでの研究では、陰影刺激にぼけを加えることが見えの奥行きを増すことが分かっているため（Marshall, Burbeck, Ariely, Rolland, and Martin, 1996; Mather, 1996; O' Shea, and Govan, 1997; 氏家・本山・内川, 1995）、ぼけを加えない陰影刺激を使用して調べることも必要である。次に、陰影刺激に有彩色刺激を使用することは、色相の進出後退現象と関係することとなる。有彩色の進出後退現象について扱ったこれま

での報告では明るさの制御が行われていないため、本当に色相の違いが進出後退現象を生起しているのかどうか明らかでないとの指摘もある（塩入、2000）。

そこで本研究では、円形の白色刺激を固定したまま、その右下方向に配置する静止した円形の陰影刺激の位置を変化させた実験を行う。また、輝度を等しくした上で赤、青及び無彩色に色を変化させた陰影刺激を用意した。白色刺激と床面に投じた陰影刺激との間の見えの奥行きの評価をマグニチュード推定法を用いて被験者に求め、陰影刺激の位置と色が白色刺激と陰影刺激間の見えの奥行きに及ぼす効果を検討する。

方 法

実験計画 円形の白色刺激に付加する円形の陰影刺激の色を実験変数1として5条件を用意した。また、円形の白色刺激と円形の陰影刺激の位置を実験変数とし5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25条件の下で、白色刺激と陰影刺激との間の見えの奥行きの評価を被験者に求めた。

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 視角で直径 5.4° の円形の白色刺激と、同形同サイズで色の異なる陰影刺激を用意した。白色刺激と、その右下方向にその下に重ねてあるいは離れた位置に円形の陰影刺激を提示した。これらの刺激の右上に垂直方向に視角で高さ 1° の黒色の線分を基準刺激として常に配置した。実際に被験者に提示した刺激の例をFigure 1に示す。

まず、陰影刺激の色を実験変数1として、陰影刺激の色を変化させ、赤色のR (red) 条件、青色のB (blue) 条件、黒色のBK (black) 条件、暗灰色のDG (dark grey) 条件、及び明灰色のLG (light grey) 条件の5条件を用意した。各色の輝度値と色度値は次の通りであった。R条件では 37cd/m^2 、 $x=.58$ 、 $y=.36$ 、B条件で 37cd/m^2 、 $x=.20$ 、 $y=.25$ 、BK条件では 0.07cd/m^2 、 $x=.37$ 、 $y=.43$ 、DG条件で 37cd/m^2 、 $x=.37$ 、 $y=.43$ 、LG条件では 143cd/m^2 、 $x=.37$ 、 $y=.43$ であつ

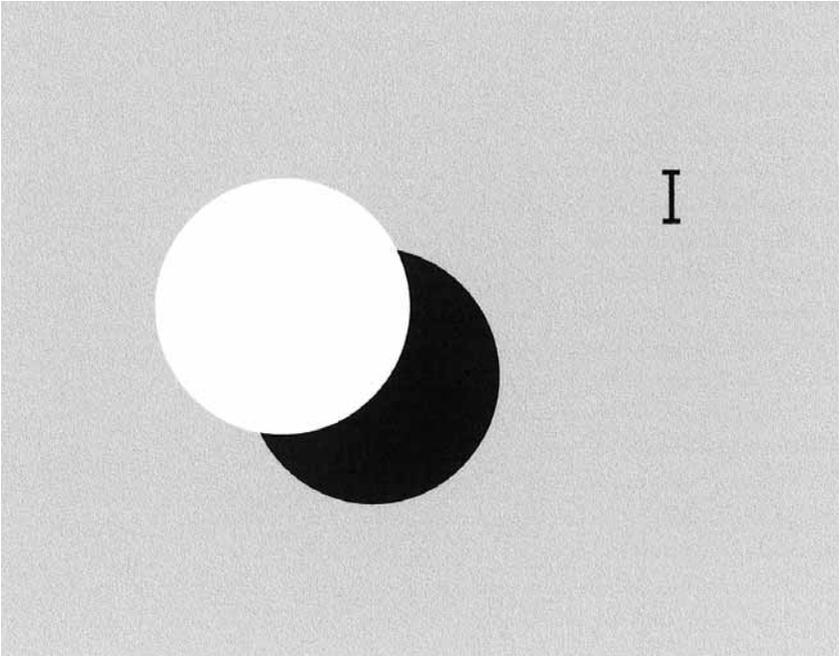


Figure 1 Illustration of stimuli used. A white circle was presented with a colored shaded circle. A vertical line was always presented at the upper right of the circles as a standard for judging an apparent depth.

た。白色刺激では 150cd/m^2 、 $x=.37$ 、 $y=.43$ 、背景刺激で 87cd/m^2 、 $x=.37$ 、 $y=.43$ であった。

次に陰影刺激の位置を実験変数2として、白色刺激の右下方向に付ける陰影刺激の位置を変化させることにより、Figure 2に示すように次の5条件を設定した。すなわち、白い円形刺激と85%重なるL1条件、50%重なるL2条件、15%重なるL3条件、重なることなく接するのみであるL4条件、白色刺激から中心間の距離で視角 8.5° 離して配置するL5条件である。

手続き 被験者は画面の中心が目の高さにはほぼ等しくなるように顔面固定され、約58cmの距離から刺激を両眼で観察し、基準刺激の高さを10と見立てた場合の白色刺激と右下に配置した陰影刺激との間の見えの奥行きを、マグニチュード推定法にて求められた。被験者は、陰影刺激が白色刺激の後ろに

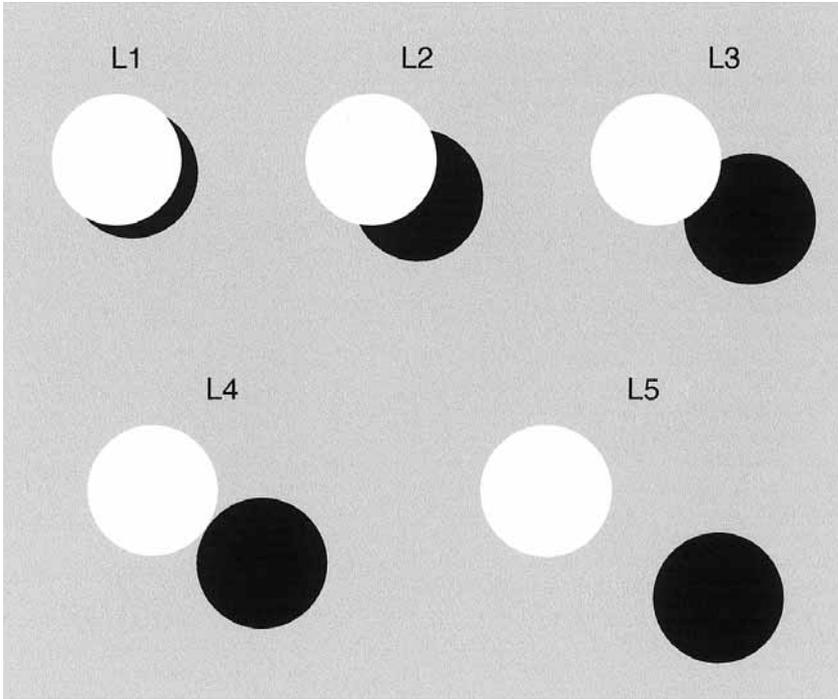


Figure 2 Location of a shaded circle: L (location) 1, L2, L3, L4, and L5. A shaded circle was occluded 15%, 50%, 85% by a white circle, located next to it, or apart from it, respectively.

見える場合は正の数値で、白色刺激の前方に見える場合には負の数値で答えた。

陰影刺激の色と陰影刺激の位置の2つの実験変数の組み合わせによってできる25条件を1試行ずつ含む1ブロックを6ブロックずつ被験者に求めた。5分間の暗順応の後、1ブロックの練習試行に続いて本試行に入った。25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。

被験者 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3名、女7名、計10名の大学生であった。

結 果

各条件とも6回の本試行の見える奥行きの評価値の平均値を各被験者ごとのデータとして用いた。位置の各条件における各色ごとの10名の被験者の見える奥行きの平均値をFigure 3に示す。

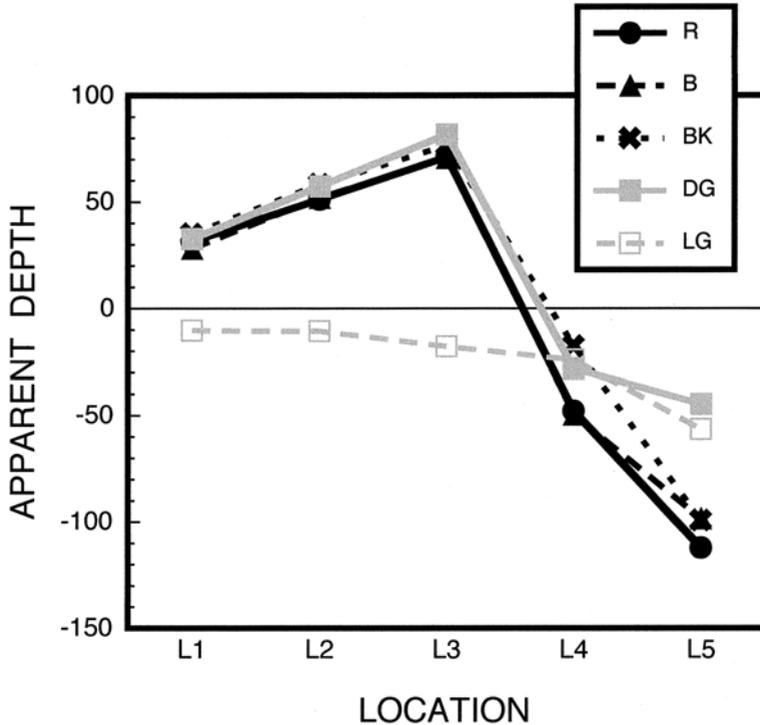


Figure 3 Apparent depth between a white circle and a shaded circle for each condition of color: R (Red), B (blue), BK (black), DG (dark grey), and LG (light grey) as a function of location of the shaded circle: L1, L2, L3, L4, and L5. Positive data means that a shaded circle appeared at the rear of a white one, while negative data means that the shaded one, in front of the white one.

図より、陰影刺激の位置と色により見える奥行きが変化することが分かる。位置の効果はR、B、BKの3つの色条件間で違いがほとんど見られず、以下の通りであった。陰影刺激が白色刺激に遮蔽されるL1、L2、L3の条件では

陰影刺激が白色刺激の後ろに見えること、陰影刺激が白色刺激と接触するL4条件では白色刺激と近い位置に見えていること、また、陰影刺激が白色刺激から離れて配置されるL5条件では陰影刺激が白色刺激の手前に見えていることが分かる。LG条件においては位置条件による違いは明かでなく、陰影刺激はいつも白色刺激と近い位置に見えていることが分かる。DG条件においては、陰影刺激が白色刺激に遮蔽されるL5条件においてLG条件と同様に見えているが、他の位置条件ではR、B、BKの条件と同様に見えていることが分かる。

まず、色と位置の組み合わせの各条件ごとに白色刺激との見えの奥行きの評価値が0と見なせるかどうかを*t*検定によって調べた結果をTable 1に示

| R | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
|------|-------|------|-------|-------|-------|
| t(9) | 5.468 | 4.49 | 2.868 | 2.148 | 2.586 |
| p | 0.01 | 0.01 | 0.05 | ns | 0.05 |

| B | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
|------|------|-------|------|------|-------|
| t(9) | 4.7 | 4.284 | 2.76 | 2.01 | 2.758 |
| p | 0.01 | 0.01 | 0.05 | ns | 0.05 |

| BK | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t(9) | 5.253 | 4.563 | 2.903 | 0.613 | 2.527 |
| p | 0.01 | 0.01 | 0.05 | ns | 0.05 |

| DG | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t(9) | 4.917 | 4.727 | 2.929 | 1.321 | 2.128 |
| p | 0.01 | 0.01 | 0.05 | ns | ns |

| LG | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
|------|------|-------|------|-------|-------|
| t(9) | 1.91 | 1.821 | 1.53 | 1.422 | 1.462 |
| p | ns | ns | ns | ns | ns |

Table 1 Result of t-test to examine a difference between each apparent depth and zero. "ns" means that a data for a condition can be regarded as zero.

す。表より、L4条件では陰影刺激のどの色条件においても見えの奥行きがゼロに近いこと、また、LG条件においてはどの位置の条件においても見えの奥行きがゼロに近いこと、DG条件においてはL4とL5の両条件において見えの奥行きがゼロに近いことが分かる。それ以外の条件においては、見えの奥行きがゼロと見なせないため、陰影刺激は白色刺激より後ろにあるいは前にあるように知覚されたと見なすことができる。

見えの奥行きの評価値を用いて、5（色）×5（位置）の2要因の分散分析を行ったところ、色 ($F(4, 36) = 8.37, p < .01$)、位置 ($F(4, 36) = 8.47, p < .01$) の主効果及び、これらの交互作用 ($F(16, 144) = 4.61, p < .01$) に関して有意な差が見られた。交互作用が見られたため、次に色と位置、それぞれの単純効果を調べた。

位置の各条件ごとに色に関して1要因の分散分析とLSD法による下位検定を行った。

L1条件においては色に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 16.92, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、RとLGの条件対間、BとLGの条件対間、BKとLGの条件対間、及びDGとLGの各条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 13.23, p < .05$)

L2条件においては色に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 20.31, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、RとLGの条件対間、BとLGの条件対間、BKとLGの条件対間、及びDGとLGの各条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 18.71, p < .05$)。

L3条件においては色に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 8.00, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、RとLGの条件対間、BとLGの条件対間、BKとLGの条件対間、及びDGとLGの各条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 42.34, p < .05$)。

L4条件においては色に関して有意な差が見られなかった ($F(4, 36) = 1.39, p < .05$)。

L5条件においては色に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 2.77, p < .05$)。続いて行ったLSD検定の結果、RとLGの条件対間、RとDGの条件対間、BとDGの条件対間、及びBKとDGの条件対間で有意な差が見られた ($LSD =$

51.18, $p < .05$)。

次に、色の各条件ごとに位置に関して1要因の分散分析とLSD法による下位検定を行った。

R条件においては位置に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 9.42, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、L1とL2の条件対間、L1とL3の条件対間、L2とL3の条件対間、L4とL5の条件対間を除く各条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 71.68, p < .05$)。

B条件においては位置に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 8.85, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、L1とL2の条件対間、L1とL3の条件対間、L2とL3の条件対間、L4とL5の条件対間を除く各条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 69.24, p < .05$)。

BK条件において、位置に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 7.17, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、L1とL5の条件対間、L2とL5の条件対間、L3とL4の条件対間、L3とL5の条件対間、及びL4とL5の条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 75.95, p < .05$)。

DG条件においては位置に関して有意な差が見られた ($F(4, 36) = 7.21, p < .01$)。続いて行ったLSD検定の結果、L1とL2の条件対間、L1とL3の条件対間、L2とL3の条件対間、L4とL5の条件対間を除く各条件対間で有意な差が見られた ($LSD = 58.14, p < .05$)。

LG条件においては位置に関して有意な差が見られなかった ($F(4, 36) = 1.53, p > .05$)。

考 察

白色刺激と共に配置する陰影刺激の位置が見えの奥行きに及ぼす効果は、陰影刺激の色によって異なっていた。

陰影刺激が赤色のR条件、青色のB条件、黒色のBK条件においては陰影刺激の位置の効果はほぼ同じであった。すなわち、陰影刺激が白色刺激に部分的に遮蔽されるL1、L2、L3の3条件では陰影刺激が白色刺激の後ろに見えること、陰影刺激が白色刺激と接触するL4条件では白色刺激と近い奥行きに見えることが分かった。また、陰影刺激が白色刺激から離れて配置されるL

5条件では陰影刺激が白色刺激の手前に見えることが分かった。陰影刺激が明灰色であるLG条件においてはどの位置条件においても常に、陰影刺激となる刺激は白色刺激とほぼ同じ奥行きに見えることが分かった。陰影刺激が暗灰色であるDG条件においては、L4及びL5条件でLG条件におけると同様、白色刺激と同じ奥行きに見えるが、他の位置条件ではR、B、BKの条件と同様、白色刺激と同じ位置に見えていることが分かった。

R、B、BK、DGの4条件においては、陰影刺激が白色刺激に遮蔽されるL1、L2、L3の3条件間に違いが見られず、遮蔽される陰影刺激の面積を変化させることの効果が見られなかった。見えの奥行きを作り出す有力な手がかりの1つに重なりの手がかりがある。重なりのある2つの図形の内、輪郭線の完結した図形が輪郭線の欠落して遮断されて図形の手前に見えるのである。したがって、本実験で使用した赤色、青色、黒色、及び暗灰色に関しては輪郭線が遮断されることによる重なりの手がかりだけが見えの奥行きにとって決定的であったことになる。

阿河（2001）、阿河・篠森（2001）が陰影刺激の位置の効果の違いを明らかにしたのに対し、本実験では明らかにできなかった。阿河らは我々と違って、陰影刺激を対象刺激と重なった状態から離れた位置まで連続的に移動させ、しかも対象から離れた距離に応じてほかしの強さも変化させて陰影刺激を提示した。この違いが実験結果に違いを与えたのである。以上の事実から、陰影刺激を運動させることと、ほかすことは見えの奥行きに大きな効果を与えるものと考えられる。静止した陰影刺激を用いた我々の研究において、R、B、BK、DGのどの色条件においても一貫して、L3条件、L2条件、L1条件の順で見えの奥行きの評価値が大きかったものの、これら3条件間で統計的な違い得られなかった。したがって、静止刺激においては、対象と陰影刺激の重なる位置の効果は非常に弱いものと思われる。

陰影刺激が白色刺激に遮蔽されことなく接触するL4条件において、すべての色の条件で等しく白色刺激と同じ位置に見えていることが分かった。重なりによる奥行き手がかりのない本条件においては互いに接触しているために、これら2刺激を同じ奥行きに知覚させるものと考えられる。

陰影刺激が白色刺激と離れており、重なり奥行き手がかりのないL5条

件においては、もっばら色の進出、後退現象が起きたものと考えられる。これまでの研究によると、背景色とは無関係に長波長の赤色刺激はより手前に短波長の青色刺激はより後ろに、また、白色刺激は手前に見えるとの報告がある（大山, 1958; Oyama and Nanri, 1960; Oyama and Yamamura, 1960）。また、無彩色の場合には背景色によって進出後退現象は異なって現れるとの報告もある（江草, 1977; Egusa, 1982）。本研究では、R、B、BKの3条件の陰影刺激は白色刺激より手前に見えているが、これらの条件間で見えの奥行きの評価値に違いは見られなかった。塩入（2000）によると、進出後退現象に関するこれまでの実験的研究が色相だけに注目し、これらの色の持つ明るさ、つまり輝度を制御していないため、色相にその原因があるとする進出後退の現象が、実は色相ではなく明るさと関連して生起するのではないかと指摘している。もしその考えが正しいとするなら、本研究でR条件とB条件間で評価値の違いが見られなくなったのは、これらの条件の陰影刺激の色相は異なるものの、その輝度を等しくしたことが原因であると考えられる。いずれにしても、本研究では色相の効果は見られなかった。

次に、R、Bの2条件と等輝度であるにも関わらず、DG条件の評価値はこれら2条件より低く、むしろ輝度の最も低いBK条件でDG条件より評価値が高い結果が得られた。これらの結果は次のように考えられる。すなわち、本研究では色相の違いではなく輝度の違いが進出後退現象を生起している。より正確には、陰影刺激の刺激そのものの輝度ではなく、各色条件の陰影刺激と背景となる中灰色との輝度差が進出後退現象を引き起こしたのではあるまいか。LG条件では白色刺激と同様に輝度が高く、背景との輝度差も白色刺激の場合とほぼ等しかったため、LG条件の陰影刺激と白色刺激がどの位置条件においても常に白色刺激と同じ奥行きに見える結果を得たのではあるまいか。この結果は上述した考えによってうまく説明できる。L4の位置条件において、背景色との輝度差の大きいBK条件の評価値が、背景との輝度差の小さいDG条件より大きい結果もうまく説明できる。しかし、背景色との輝度差だけで説明できない結果も得られた。すなわち、DG、R、Bの3条件は等輝度であるため、背景色との輝度差が等しいにも関わらず、R条件とB条件の評価値がDG条件より大きく、むしろ、これら3条件より輝度差の大

きいBK条件と等しかった。R、Bの両条件が有彩色であり、LGとBK条件が無彩色であったことも考え合わせると、これは背景色との色相の違いも進出後退現象に関わるものと考えられる。いずれにせよ、刺激そのものの色相だけでなく明るさ、つまり輝度、更にはこれらと背景色との関係性を制御した上で、進出後退現象について今後詳細な実験的検討を必要とする。

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年度学士學位論文。
- 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.
- 江草浩幸 1977 色の進出後退現象について 心理学評論, 20, 369-386.
- Egusa, H. 1982 Effects of brightness, hue, and saturation on perceived depth between adjacent regions in the visual field, *Perception*, 12, 167-175.
- 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.
- Marshall, J.A., Burbeck, C.A., Ariely, D., Rolland, J.P., & Martin, K.E. 1996 Occlusion edge blur: A cue to relative visual depth. *Journal of Optical Society of America. A*, 13, 681-688.
- Mather, G. 1996 Image blur as a pictorial depth cue. *Proceedings of Royal Society, London*, B236, 169-172.
- O' Shea, R.P., & Govan, D.G. 1997 Blur and contrast as pictorial depth cues. *Perception*, 26, 599-612.
- 大山 正 1958 色彩面の進出・後退現象の測定 照明学会誌, 42, 526-531.
- Oyama, T. & Nanri, R. 1960 The effect of hue and brightness on the size perception. *Japanese Psychological Research*, 2, 13-20.
- Oyama, T. & Yamamura, T. 1960 The effect of hue and brightness on the depth perception in normal and color-blind subjects. *Psychologia*, 3, 191-194.
- 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.
- Sekuler, R., & Blake, R. 1994 Depth perception. *Perception*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill Inc. Pp.215-249.
- 塩入 諭 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.
- Sun, J., & Perona, P. 1998 Where is the sun? *Nature Neuroscience*, 1, 183-184.S

- 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.
- 氏家弘裕・本山 雅・内川恵二 1995 視覚的ぼけによる立体画像の現実感への効果 *Vision*, 7, 153-156.