

# 奥行き知覚に及ぼす陰影のハイライトの位置の効果

井上浩義 渡辺功 熊本大学

## The effect of location of a highlight in a shaded circle on depth perception

Hiroyoshi Inoue and Isao Watanabe (*Kumamoto University*)

Two experiments were performed to examine how the apparent depth of a shaded circle on a plane was affected by the direction and the distance of a highlight in the shaded area from the center of the circle. Fourteen undergraduates were asked to rate the concentrically shaded circle according to the apparent depth using the method of magnitude estimation. Experiment 1 showed that the rating was the highest in the upper-left, upper-right, and top conditions of the direction and the lowest in the bottom condition. Experiment 2 showed that the rating was the highest when the highlight was located at a third of the diameter of the circle apart from the center and the lowest when the highlight was on the edge of the circle or in the center. On the whole, the results support Ramachandran's "Assumption of Light From Above", which states that humans perceive a circle shaded bright in the top and dark in the bottom as convex due to their long experience on the earth since their birth.

**Key words:** visual depth perception, shading, location of highlight.

*The Japanese Journal of Psychology*  
2005, Vol. 76, No. 1, pp. 51-56

陰影 (shading) は奥行きの知覚の手がかりの一つとして古くから知られている。陰影が奥行きのある場合に生じ、平面には生じない経験を持つため、我々は陰影を付けられた平面を見るとき、その平面に凹凸の見えの奥行きを知覚する (河邊・三浦, 2002; Palmer, 1999; Sekuler & Blake, 1994)。Seyama & Sato (1998) は陰影の付け方と見えの奥行きの形の知覚の関係性を、また、Watanabe, Mitsue, & Anstis (1998) は見えの奥行きに及ぼす形と陰影の効果それぞれ実験的に明らかにした。

Ramachandran (1988, 1990) は円形刺激の内部に明暗の陰影を付けた刺激を用いて、陰影の付け方が見えの奥行きの知覚に及ぼす効果について検討した。それによると、上部が明るく下方向に徐々に暗くなるように、すなわち、ハイライトが上部にくるように明暗を付けた陰影は円形刺激を凸型に見せる。逆に、上部が暗く下方向に徐々に明るくなるように、すなわち、下部にハイライトがくるように明暗を付けた陰影は円形刺激を凹型に見せる。これらの結果から Ramachandran (1988, 1990) は次のように主張した。視覚系はまず唯一の光源を想定した上で、円形刺激に

付けられた陰影から見えの奥行きを読み出す。しかも、この唯一の光源は視野中の上方向にあるものと仮定する。以上のような我々の視覚系の持つ奥行き知覚の特性は、我々が唯一の太陽を持つ太陽系の中で生活してきた経験の結果であるとした。これが上方光源仮説 (assumption of light from above) による説明である。

Sun & Perona (1998) は様々な方向から明暗の陰影を付けた円形刺激を実験参加者に提示し、奥行きが知覚されるまでの反応時間を指標として、陰影の付け方が見えの奥行きの見え易さに及ぼす効果を調べた。その結果から Sun & Perona は、正確には真上ではなく少し左右にずれた上方向に光源を設定した場合に、より奥行き感を生じると結論し Ramachandran (1988, 1990) の上方光源仮説による説明を補足した。

さて、上述した Ramachandran (1988, 1990), Sun & Perona (1998) の研究においては、円形刺激の内部を線形グラデーションの明暗の陰影を付けた刺激を用いた。すなわち、円周上の 1 点にハイライトを、その 180 度反対の円周上の 1 点に暗点を設定し、この明暗の両極を結ぶ直線に沿って垂直に平行線状に変化する明暗のグラデーションを円形刺激に付けた。しかし、現実世界における陰影の付き方を観察すると、円形刺激の円周上にハイライトが位置することはまれであって、むしろ、円形刺激の内部にハイライトが位置

し、そこから楕円形状に漸次明暗の変化するグラデーションが付いた陰影を見ることの方が多い。しかし、楕円形状に明暗のグラデーションを円形刺激に付けた刺激を用いて奥行き知覚に関して上方光源仮説による説明を検討した研究はこれまで行われていない。また、Sun & Perona (1998) は見えの奥行き大きさを直接測定することはせず、奥行き見えるまでの反応時間を指標として見えの奥行きを間接的に測定した。

そこで本研究では、楕円形状の明暗のグラデーションを付けた円形刺激を用いた際の、ハイライトの位置の変化が円形刺激の奥行き知覚に対してどのように影響するのかを、マグニチュード推定法を用いて見えの奥行きを直接測定するやり方で検討する。実験 1 では、円形刺激に付けた陰影のハイライトの方向が見えの奥行き知覚に及ぼす効果を調べる。これは、Sun & Perona (1998) の研究により、真上ではなく斜め上方向からの光が効果的とされているからである。また、背景の明るさの効果も調べる。実験 2 では、陰影を付けた円形刺激の中心からハイライトまでの空間距離が円形刺激の見えの奥行きにどのような効果を持つのかを調べる。これは、円形グラデーションの陰影を使うために調べておくべき新しい変数となるからである。また、この変数がハイライトの方向の変数とともにどのような効果を示すのかも調べる。以上の実験を通じて上方光源仮説による説明を検討する。

## 実験 1

### 目的

円形グラデーションを用いた際の、見えの奥行きに及ぼすハイライトの方向及び、背景色の効果を明らかにすることを目的とする。

### 方法

**実験計画** ハイライトの方向を実験変数 1 として、下、左下、左、左上、上、右上、右、右下の 8 条件を用意した。背景色を実験変数 2 として、黒色、灰色、白色の 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 24 条件の下で見えの奥行きの評価値の測定を行った。

**装置** AMIGA4000 コンピュータで制御した 15 インチのカラー CRT ディスプレイを用いた。

**刺激図形** Figure 1 のように、視角で直径  $4.6^\circ$  の円の内部を、円周からハイライトの位置まで、輝度を  $0.21 \text{ cd/m}^2$  から  $116 \text{ cd/m}^2$  まで対数に従って変化させた明暗の円形グラデーションで塗りつぶすことにより円形刺激を作成した。そして、視角で  $1.6^\circ$ 、すなわち半径の約  $2/3$  の距離だけ円の中心から離れた位置に一つのハイライトを配置した。このハイライトを円の中

心から、下、左下、左、左上、上、右上、右、右下のいずれかの方向に配置した 8 種類の円形刺激を用意し、ハイライトの方向の 8 条件とした。更に、これらの内の一つを黒色、灰色、白色のいずれかの背景のディスプレイの中央に配置したものを実験用刺激として、合計 24 種類用意した。その他、いずれかの背景色の上にハイライトの方向の 8 条件すべての円形刺激を視角で横  $12^\circ$ 、縦  $10.2^\circ$  の仮想長方形上に Figure 1 のように配置したものを観察用刺激として 3 種類用意した。背景色として用意した黒色、灰色、白色の 3 条件の輝度は、それぞれ  $0.21 \text{ cd/m}^2$ 、 $58.2 \text{ cd/m}^2$ 、及び  $116 \text{ cd/m}^2$  であった。

**手続き** 約 3 分間の暗順応の後、暗室で CRT ディスプレイ上に提示した刺激図形を約 57 cm の距離から実験参加者に観察させた。まず、3 種類の観察用刺激を実験参加者に順に提示し、ハイライトの方向の 8 つの条件における見えの奥行きの違いを観察させた。続いて、見えの奥行きの評価方法について描画を用いて説明した後、ランダムな順序で提示した 24 種類の実験用刺激に対しての見えの奥行きの評価値をマグニチュード推定法にて求めた。すなわち、陰影を付けた円形刺激を球体と見たときの半径分の奥行きに立ち上がって見えた場合を 100、また、へこんで見えた場合を -100 と見立てた場合の、各円形刺激の見えの奥行きを評価するよう求めた。各条件とも 1 試行ずつ合計 24 試行を求め、続いて、異なるランダムな順序で更に 1 試行ずつ合計 24 試行、総計 48 試行を実験参加者に求めた。したがって、各条件とも 2 試行ずつ実験参加者に求めたことになる。画面の中心が眼の高さにほぼ等しくなるように実験参加者を顔面固定した。背景

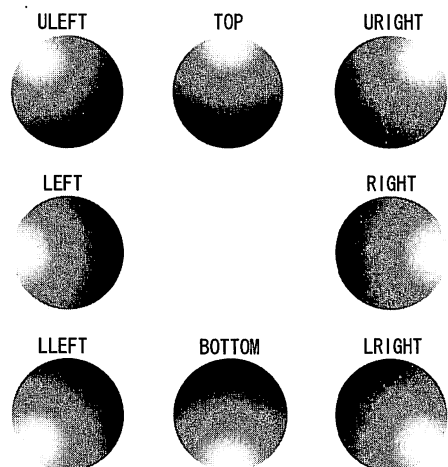


Figure 1. Example of the display used in Experiment 1 for each condition of the direction of the highlight of the shading: BOTTOM, LLEFT (lower left), LEFT, ULEFT (upper left), TOP, URIGHT (upper right), RIGHT, and LRIGHT (lower right) against a white background.

の試行順序による効果は実験参加者間でカウンターバランスした。

**実験参加者** 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4名、女7名、計11名の右利きの大学生であった。

## 結果

各条件とも2試行の評価値の平均値をデータとして用いた。各条件の11名の実験参加者の奥行きの評価値の平均値をFigure 2に示す。図より、評価値はハイライトが上方向にある場合に概して大きいこと、ハイライトが真上にある場合より、少し左右にずれた位置にある左上条件と右上条件において大きいことが分かる。また、下条件の評価値は他条件に比べて特に小さいことが分かる。背景の効果は概して明確ではないことが分かる。

奥行きの評価値に関して、8(ハイライトの方向)×3(背景色)の2要因の分散分析を行ったところ、ハイライトの方向の主効果に関して有意差が見られた( $F(7, 70) = 12.94, p < .01$ )。背景色の主効果( $F(2, 20) = 0.09, p > .05$ )及び、ハイライトの方向と背景色の交互作用( $F(14, 140) = 1.47, p > .05$ )に関して有意差は見られなかった。

## 実験 2

### 目的

見えの奥行きに及ぼすハイライトの方向の効果、円の中心からハイライトまでの距離の効果及び、これら間で交互作用が見られるかどうかを明らかにすることを目的とする。ハイライトの方向の条件に関しては、実験1により、その違いが特に明確であった、下、左下、左、左上、上の5条件に限定して検討し

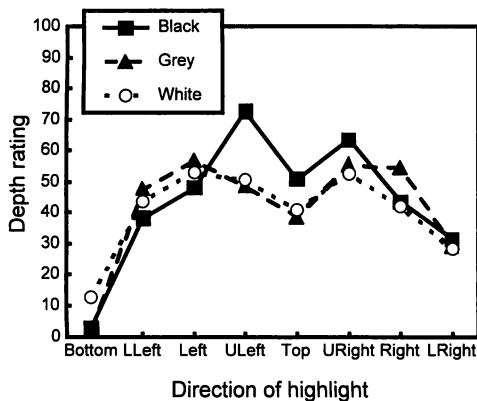


Figure 2. Depth rating for each condition of the direction of the highlight: BOTTOM, LLEFT, LEFT, ULEFT, TOP, URIGHT, RIGHT, and LRIGHT; Parameter is the background color: black, grey, and white.

た。背景色は黒色だけを用いた。

## 方法

**実験計画** ハイライトの方向を実験変数1として、下、左下、左、左上、上の5条件を用意した。円の中心からハイライトまでの距離を実験変数2として、円の中心からの距離を変えることによって1/3R、2/3R、Rの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15条件及び、ハイライトが円形刺激の中央にあるコントロール条件の下で見えの奥行きの評価値の測定を行った。

**装置** 実験1と同様の装置を用いた。

**刺激図形** 使用した刺激図形の例をFigure 3に示す。実験1と同様の仕方で視角で直径4.6°の円の内部を、明暗の円形グラデーションで塗りつぶすことにより円形刺激を作成した。ハイライトの方向を円の中心から、下、左下、左、左上、上に配置してハイライトの方向の5条件を用意した。また、円の中心からハイライトまでの距離を、半径の三分の一、半径の三分の二、半径にそれぞれ変化させることにより、1/3R条件、2/3R条件、R条件を設定し円の中心からハイライトまでの距離の3条件とした。以上の組み合わせによって15種類の円形刺激を作成した。ほかに、同様の仕方でハイライトを円の中心に配置するコントロール条件の円形刺激を用意した。実験2では刺激図形の数が増え、1画面にすべての条件の刺激図形を提示することができなくなったため、実際の刺激の提示方法は実験1とは若干変更した。すなわち、ハイライトの方向の各条件ごとに、1/3R条件、2/3R条件、R条件の円形刺激をコントロール条件の円形刺激とともに黒色の背景に視角で横7.3°、高さ7°の仮想平行四辺形上に並べてFigure 3のように配置したものを実験用刺激として合計5種類用意した。その他、黒色背景の中央に15種類の円形刺激及びコントロール

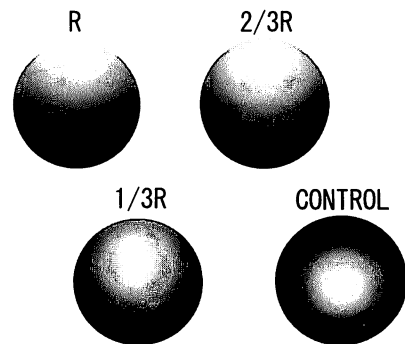


Figure 3. Example of the display used in Experiment 2 for each condition of the distance of the highlight from the center of the circle: 1/3R, 2/3R, and R; under TOP condition of the direction of the highlight with the CONTROL condition.

条件の円形刺激のいずれか一つだけを配置したものを観察用刺激として16種類用意した。

**手続き** 16種類の観察用刺激を実験参加者にランダム順に提示し、ハイライトの方向と円の中心からハイライトまでの距離の二つの実験変数の組合せによってできる16の条件における見えの奥行きの違いを観察させた。続いて5種類の実験用刺激を用いて、各条件の刺激ごとに1回ずつ合計16の見えの奥行きの評価値をランダムな順序で、実験1と同様のマグニチュード推定法にて求めた。すなわち、陰影を付けた円形刺激を球体と見たときの半径分の奥行きに立ち上がって見えた場合を100、また、へこんで見えた場合を-100と見立てた場合の各円形刺激の見えの奥行きを評価するよう求めた。また、5種類の実験用刺激に同じコントロール条件の刺激が含まれるため、この条件に関しては、最初の実験用刺激に含まれるコントロール条件に対してのみ1回の評価を求めることとし、他の条件との試行数を等しくした。続いて、異なるランダムな順序で5種類の実験用刺激図形を提示し更に1回ずつ合計16の奥行きの評価値、総計32の評価を実験参加者に求めた。したがって、各条件とも2回ずつの評価を実験参加者に求めたことになる。以上の他の手続きは実験1と同様であった。

**実験参加者** すでに実験1を経験した実験参加者8名を含む、裸眼視力あるいは矯正視力が正常な右利きの男4名、女8名、計12名の大学生であった。

## 結果

各条件とも2試行の平均値をデータとして用いた。各条件の12名の実験参加者の奥行きの評価値の平均値をFigure 4に示す。図より、ハイライトの方向の左上条件で評価値が最も大きく、上条件、左条件、左下条件と、ハイライトが下方向に移動するにつれて小

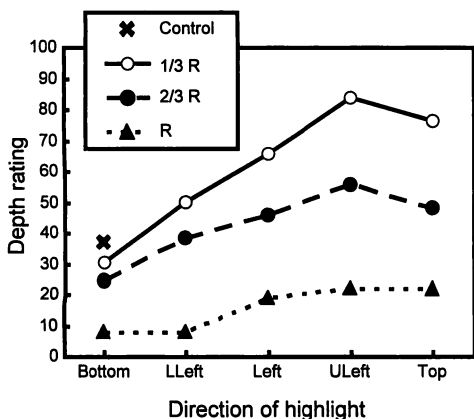


Figure 4. Depth rating for each condition of the direction of the highlight: BOTTOM, LLEFT, LEFT, ULEFT, and TOP; Parameter is the distance from the center: 1/3R, 2/3R, and R; with the CONTROL condition.

さくなり、下条件で最も小さくなるのが分かる。また、ハイライトまでの距離の1/3R条件で評価値は最も大きく、R条件で最も小さかった。特に1/3R条件の評価値は他条件と比べて大きく、上条件、左上条件、左条件の評価値は、中央にハイライトを配置したコントロール条件より顕著に大きいことが分かる。

奥行きの評価値に関して、5 (ハイライトの方向) × 3 (円の中心からハイライトまでの距離) の2要因の分散分析を行ったところ、ハイライトの方向 ( $F(4, 44) = 16.72, p < .01$ )、円の中心からハイライトまでの距離 ( $F(2, 22) = 30.94, p < .01$ ) の主効果及び、これらの交互作用 ( $F(8, 88) = 7.07, p < .01$ ) に関して有意差が見られた。

円の中心からハイライトまでの距離の各条件ごとに、ハイライトの方向に関して分散分析を行ったところ、1/3R, 2/3R, Rの各条件においてそれぞれ有意差が見られた ( $F(2, 22) = 26.60, p < .01$ ;  $F(2, 22) = 9.69, p < .01$ ;  $F(2, 22) = 3.09, p < .05$ )。続いてハイライトの方向に関してLSD法による下位検定を行った。1/3R条件では、上条件と左上条件対、上条件と左条件対を除く八つの条件対間で有意差が見られた ( $LSD = 11.80, p < .05$ )。2/3R条件では、上条件と下条件対間、左上条件と左下条件対間、左上条件と下条件対間、左条件と下条件対間、左下条件と下条件対間でそれぞれ有意差が見られた ( $LSD = 10.82, p < .05$ )。R条件では、上条件と左下条件対間、上条件と下条件対間、左上条件と左下条件対間、左上条件と下条件対間においてそれぞれ有意差が見られた ( $LSD = 11.75, p < .05$ )。

ハイライトの方向の各条件ごとに、円の中心からハイライトまでの距離に関して分散分析を行ったところ、上、左上、左、左下、下の各条件においてそれぞれ有意差が見られた ( $F(2, 22) = 36.57, p < .01$ ;  $F(2, 22) = 23.88, p < .01$ ;  $F(2, 22) = 39.64, p < .05$ ;  $F(2, 22) = 17.36, p < .01$ ;  $F(2, 22) = 8.07, p < .05$ )。続いて、ハイライトまでの距離の条件に関してLSD法による下位検定を行った。上条件、左上条件、及び左条件においてはそれぞれ、ハイライトまでの距離のすべての条件対間で有意差が見られた ( $LSD = 13.74, p < .05$ ;  $LSD = 18.56, p < .05$ ;  $LSD = 10.98, p < .05$ )。左下条件では、1/3R条件とR条件対間、2/3R条件とR条件対間で有意差が見られた ( $LSD = 15.38, p < .05$ )。下条件では、1/3R条件とR条件対間、2/3R条件とR条件対間で有意差が見られた ( $LSD = 12.11, p < .05$ )。

また、ハイライトの方向とハイライトまでの距離の組み合わせによってできる15条件の各条件とコントロール条件との間でt検定により対比較を行ったところ、上-1/3R条件 ( $t(11) = 3.10, p < .01$ )、左上-1/3R条件 ( $t(11) = 3.24, p < .01$ )、左-1/3R条件

( $t(11) = 2.35, p < .05$ ) 及び、下-R条件 ( $t(11) = 2.49, p < .05$ ) との間にそれぞれ有意差が見られた。

## 考 察

ハイライトの方向に関して以下のことが分かった。実験1より、ハイライトが下方向にある場合より上方向にある場合に見えの奥行きの評価値が大きく、また、ハイライトが真上にある場合より少し左右にずれた方向にある場合に大きかった。この結果は、ハイライトが真上ではなく左右にずれた方向にあるときに見えの奥行きが鮮明であるという点で Sun & Perona (1998) の結果と似ている。しかし、Sun & Perona (1998) の実験結果では、ハイライトが左方向にずれた上方向にあるときに限って最も見えの奥行きが鮮明であった。この違いの原因は次のように考えられる。Sun & Perona (1998) が円形刺激に線形のグラデーションの陰影を付けたのに対し、本実験では円形のグラデーションの陰影を付けたこと、また、Sun & Perona (1998) は反応時間を使って間接的に見えの奥行きを測定したのに対し、本実験では見えの奥行きの大きさを直接測定したことが異なる。我々と Sun & Perona (1998) の実験方法における以上の違いが両研究において上記の異なる結果をもたらしたものと考えられるが、その原因を明らかにするには本実験の結果だけでは不十分である。この問題は今後実験的に明らかにする必要がある。

実験2より、ハイライトの方向の効果は、円形刺激の中心からハイライトまでの距離の条件によって若干異なることが分かった。すなわち、ハイライトが円の中心から半径の三分の一離れた位置にある 1/3R 条件では、左上条件と上条件間に統計的な有意差は得られなかったものの、評価値は、左上条件、上条件、左条件、左下条件、下条件の順で大きかった。ハイライトが円形刺激の中心から半径の三分の二離れた位置にある 2/3R 条件と、ハイライトが円周上にある R 条件では、1/3R 条件ほど鮮明ではないが、ハイライトが上方向にある場合の評価値が、下方向にある場合より概して大きかった。これらの結果も、ハイライトが真上ではなく左にずれた方向にある場合に最大の見えの奥行きが知覚されるという点において Sun & Perona (1998) の結果と似ている。したがって、円形グラデーションによる明暗の陰影を付けた、より日常的な陰影を持つ円形刺激を使い、見えの奥行きを直接測定した本研究の結果においても上方光源仮説による説明をほぼ支持することとなった。

実験2では、Sun & Perona (1998) が取り上げなかった新たな実験変数、すなわち、円の中心からハイライトまでの距離を導入した。実験より、評価値はハイライトの方向が上あるいは左上方向にある場合に大きくなるのであるが、円の中心からハイライトまでの距

離が 1/3R 条件において特に鮮明であり、2/3R 条件、R 条件となるにつれ不鮮明となることが分かった。以上のような、円刺激の中心からの距離に関する実験結果は、我々が円形グラデーションを付けた刺激を用いたために獲得した新しい発見である。

Ramachandran (1988, 1990) と Sun & Perona (1998) は、上あるいは左上方向にハイライトを持つ陰影を付けた場合により大きな奥行きを持って見える結果を、我々の視覚的な経験に基づくとする上方光源仮説を用いて説明した。実験2において我々の得た上記の実験結果も同様に、以下のように説明できよう。すなわち、コントロール条件におけるように円の中心にハイライトが位置することになるのは、観察対象となる刺激と観察者を結ぶ直線上に光源がある場合であり、日常経験の中でそのような空間配置となることはほとんどない。また、R 条件におけるように円周上にハイライトが位置することになるのは、観察者から見て、刺激と光源が同一の前額平行面上にある場合であり、日常経験でこのような配置になることもあまりない。最もよくある観察者と照明光源の位置関係とは、刺激の上あるいは斜め上でしかも刺激の前方、観察者側から刺激を明るく照明する場合である。これは本研究の実験2の 1/3R 条件と 2/3R 条件で、しかも上方向あるいは斜め上方向にハイライトを配置した上条件と左上条件に相当する。

それでは、1/3R 条件の評価値が 2/3R 条件より大きかったが、これはどのように説明できるであろうか。経験的に、ハイライトが円形刺激の中心あるいは円周上にある状態を見るのが非常に少ないため、コントロール条件と R 条件において見えの奥行きの評価値は最低となる。そして、ハイライトが円形刺激の中心あるいは円周から離れるにつれて評価値は大きくなり、半径の二分の一の位置近辺にある場合に最大となるのではないだろうか。本研究ではハイライトがこの位置にある条件を設定してはいないが、本実験の結果を検討すると、上述した推測を間接的に支持することが分かる。すなわち、本研究の実験2では黒色の背景を使用した。黒色背景とした場合、外側に向かって暗く変化する陰影を付けた円形刺激を観察者が見たとき、この円形刺激は背景の黒の影響によって実際より縮小して見える。そのため、ハイライトの見えの位置は 1/3R 条件では円の中心からハイライトまでの距離の二分の一付近に、2/3R 条件ではかなり円周付近にあるように見える。したがって、本研究では、1/3R 条件で最大の見えの奥行きの評価値を得たのではあるまいか。しかし、以上の考えを主張するためには実際に位置を変化させた実験結果を必要とする。

最後に、Ramachandran の場合と違って本研究においては下部にハイライトを持つ陰影を付けた刺激においてもすべて正の評価値を得ており、凹んでは見えな

かったことについて検討する。まず、これまでの研究と本研究とで使用した実験刺激に大きな違いがある。これまでの研究においては線形グラデーションの陰影を円刺激に付けたものであったのに対し、我々は円形グラデーションの陰影を付けたものを使用した。このことが以上の違いをもたらしたものと考えられる。

さて、これに関連して、上方光源仮説と矛盾する現象がある、すなわち、下部にハイライトを持つ凹んだ人の仮面が凸に見える現象 (Gregory, 1973) や、下部にハイライトを持つ陰影を付けたジャガイモが凸に見える現象 (Hill & Bruce, 1994) である。下部にハイライトを持つ陰影を付けたこれらの例において凸に見えるのは、人の顔やジャガイモが日常的に親近性を持つ対象であること、また、現実世界で行動の対象となるものは概して凸であるという経験を持つためだと説明されている (河邊・三浦, 2002)。本研究で用いた円形グラデーションの陰影を付けた円刺激も日常的に見る機会の多いものであるため、凹んで見えないのかもしれない。しかも、凸に見えながらも、依然としてハイライトが上部にある条件で、下部にある条件より凸に見えることは意味深い。いずれにせよ、上方光源仮説を、太陽や照明光の位置に対する経験が陰影による見えの奥行き知覚に影響すると主張するものと理解するならば、我々の得た研究結果はほぼ上方光源仮説を支持すると言えよう。

以上のように、円刺激に円形グラデーションの陰影を付けた刺激を用いることにより我々はいくつかの発見をした。しかし、円形グラデーションの特性については依然として不明な点も多く、今後実験的に検討していく必要がある。

- Gregory & E. H. Gombrich (Eds.), *Illusion in nature and art*. London: Duckworth. pp. 49-96.
- Hill, H., & Bruce, V. (1994). A comparison between the hollow-face and "hollow-potato" illusions. *Perception*, **23**, 1335-1337.
- 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.
- (Kawabe, T., & Miura, K. (2002). Shape from shading: Convex or concave? *Japanese Psychological Review*, **45**, 180-191.)
- Palmer, S. E. (1999). Perceiving surfaces oriented in depth. In *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. In *Perception*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill. pp. 215-249.
- Seyama, J., & Sato, T. (1998). Shape from shading: Estimation of reflectance map. *Vision Research*, **38**, 3805-3815.
- Sun, J., & Perona, P. (1998). Where is the sun? *Nature Neuroscience*, **1**, 183-184.
- Watanabe, I., Mitsue, S., & Anstis, S. (1998). Shading and outline generate a 3-D shape on a plane surface. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, **39**, S856.

—2003. 5. 29 受稿, 2004. 11. 6 受理—

## 引用文献

- Gregory, R. L. (1973). The confounded eye. In R. L.