

〔論文〕

陰影のハイライトの位置と刺激の大きさが 奥行き知覚に及ぼす効果

渡辺 功・井上浩義

The effects of location of a highlight in a shaded circle and stimuli size on depth perception

Isao WATANABE and Hiroyoshi INOUE

We performed two experiments to examine how the apparent depth of a shaded circle on a plane was affected by the distance of a highlight in the shading from the center of the circle and the size of the circle. Fifteen undergraduates were asked to rate the concentrically shaded circle according to the apparent depth using the Magnitude Estimation method. Experiment 1 showed that the rating was highest when the highlight was located at half of the diameter from the center of the circle and lowest when the highlight was on the edge or in the center of the circle. Experiment 2 reproduced the finding in Experiment 1 irrespective of the size of the circle, showing that there was no difference in the rating due to the size of the circle. The results were explained by Ramachandran's "assumption of light from above," which ascribes "depth perception from shading" to our experiences.

キーワード psychology, visual perception, depth, shading, location, size

陰影 (shading) は奥行きの知覚の有力な手がかりの一つである。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、我々は陰影の付けられた平面を見ると、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) は見えの奥行きの形の知覚に及ぼす陰影の効果を、また、Watanabe, Mitsue, & Anstis (1998) は見えの奥行きに及ぼす形と陰影の効果をそれぞれ実験的に検討した。

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を検討した。上

が明るく下方向に向かって暗く変化する陰影を付けた円形刺激は凸型に見え、上が暗く下方向に向かって明るく変化する陰影を付けた円形刺激は凹型に見える。Ramachandran (1988, 1990) はこのような凹凸の見えの奥行きを上方光源仮説 (assumption of light from above) によって説明した。すなわち、陰影から見えの奥行きを知覚するとき、視覚系は唯一の光源が上方向にあると想定した上で、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想定する。そして我々の視覚系の持つこのような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来た経験の結果であるとした。

Sun & Perona (1998) は、Ramachandran と同じように明暗の陰影を付けた円形刺激を用いて、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。彼らの結果によると、正確には上方向ではなく、垂直方向から左に 30° から 60° ほど傾いた左上方向に光源がある場合に、すなわち、ハイライトの位置が真上ではなく左右に寄った場合、特に左上側にある場合に、奥行きが見えるまでの反応時間が短くなる結果を得た。以上の結果から 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。

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。

井上・渡辺 (2002) は、これまでの研究において用いられてきた線形グラデーション刺激ではなく、楕円形状に明暗のグラデーションを付けた円形刺激を用いた際の、ハイライトの方向と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した。その結果、円形グラデーション刺激を用いた際も、ハイライトの方向に関して、これまでの研究と同様に上方向にハイライトがあると思われる条件の際に、とりわけ、左上方向と右上方向に光源があると思われる条件において最も凸であると判断されるという結果を得た。また、ハイライトの位置に関して、ハイライトが円形刺激の中心から半径の3分の1だけ離れた位置にある条件において最も凸であると判断するという結果を得た。そして、これらの結果はこれまでの研究と同様に、現実世界における我々の経験が関係していると結論づけた。

さて、井上・渡辺（2002）が検討したハイライトの位置の条件は、陰影を付けた円形刺激の中心と円周上の2点と、これらの2点を三分割してできる三分の一の点、三分の二の点、の合計4つの位置に限定されている。しかし、これらの間に最も凸と判断される条件が存在する可能性があり、細かくハイライトの位置の効果を確認する必要がある。また、実験に用いられた円形刺激は、直径が視角で 4.6° の円に限定されており、井上・渡辺（2002）の得たハイライトの位置についての発見が円形刺激の大きさを変化させた場合にも普遍的に当てはまるのかどうかを検討していない。そこで本研究では、円形刺激の半径を6分割した位置にそれぞれハイライトを配置することによって、ハイライトの位置の効果をより詳細に検討する。さらに、円形刺激の大きさを井上・渡辺（2002）の用いた刺激より25%大きく、または小さくした刺激を用いて、刺激の大きさが陰影による奥行き知覚に及ぼす影響を検討する。

実験 1

目的

円形刺激の中心からハイライトまでの距離を変化させた刺激を用い、その凹凸感の評価を被験者に求める。これによって、井上・渡辺（2002）において得られた、ハイライトが円の中心から半径の $1/3$ の位置にある条件が最も好まれるという発見をより詳細に検討することを目的とする。ハイライトの方向に関しては、同研究において最も凹凸感の評価値の高い結果を得た左上

方向を用いた。

方法

実験計画 ハイライトまでの位置を実験変数として、円の中心からハイライトまでの距離を変えることによってC (center)、1/6 R、2/6 R、3/6 R、4/6 R、5/6 R、Rの7条件を用意した。これら7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 4.6° の円の内部を、円周からハイライトの位置まで、輝度を 0.21cd/m^2 から 116cd/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、ハイライトを円の中心から左上方向に配置した。ハイライトを、円の半径を6分割したいずれかの位置に配置することにより、1/6 R、2/6 R、3/6 R、4/6 R、5/6 Rの5条件、及び、円の中心に配置するC条件と、円周上に配置するR条件を用意した。これらの円形刺激を、中灰色 (58.2cd/m^2)の背景の画面中央に1つずつ配置した。

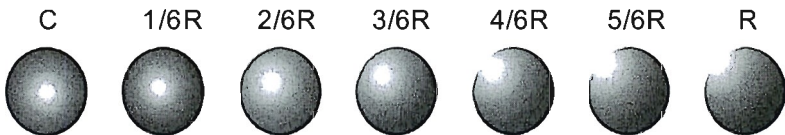


Figure 1 The stimulus displays used in Experiment 1.

手続き 約3分の暗順応の後、暗室でCRTディスプレイ上に提示した刺激図形を約57cmの距離から被験者に観察させた。まず、凹凸感の評価方法について描画を用いて説明した。凹凸感の評価は、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、くぼんで見えた場合を-100と見立てた場合の、各円形刺激の凹凸感の評価するように求めた。その後、左上方向以外の条件で作成した刺激図形について凹凸感を判断させる練習試行を行った。続いて本試行に入るのであるが、7条件をランダムな順序で提示しそれぞれの評価値を求めたものを1ブロックとし、それを5ブロック行ない、総計35

試行を行った。従って各条件とも5回ずつの評価を被験者に求めたことになる。両面の中心が眼の高さにほぼ等しくなるように被験者を顔面固定した。

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6名と女8名の合計14名の大学生であった。

結果

各条件とも5試行の凹凸感の評価値の平均値をデータとして用いた。各条件における14名の被験者の評価値をFigure 2に示す。グラフより、評価値は、3/6R (1/2R) の条件の際に最も高く、1/2R条件よりも円の内側または外側の条件になるにつれて低くなっているのが分かる。

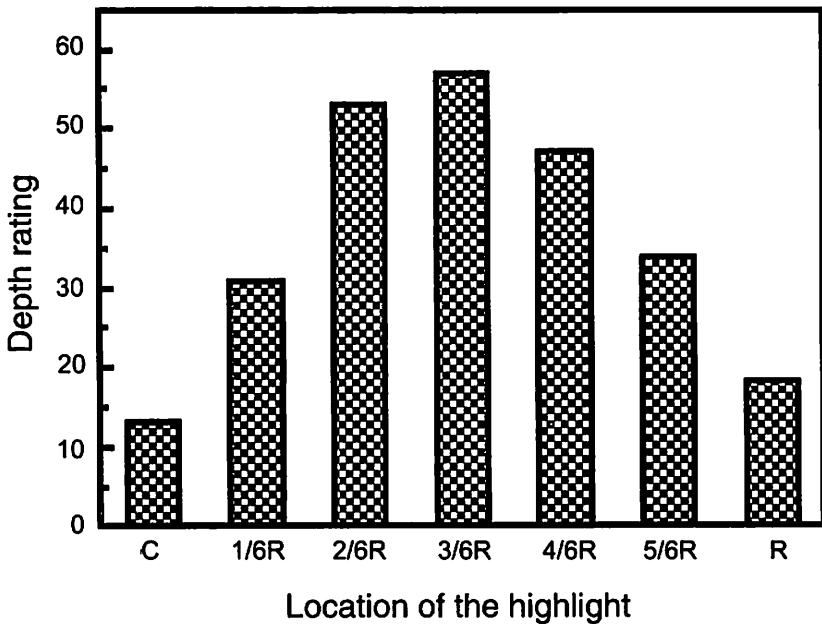


Figure 2 Depth rating for each condition of the location of the highlight: C, 1/6R, 2/6R, 3/6R, 4/6R, 5/6R, and R (Experiment 1).

評価値に関して、ハイライトの位置の1要因の分散分析を行なったところ、主効果に関して有意な差が見られた ($F(6, 78) = 7.26, p < .01$)。続いてLSD法による下位検定を行なった。C条件と1/6R条件対間、C条件と2/6R

条件対間、C条件と3/6R条件対間、C条件と4/6R条件対間、C条件と5/6R条件対間、1/6R条件と3/6R条件対間と、2/6R条件とR条件対間、3/6R条件と5/6R条件対間、3/6R条件とR条件対間、4/6R条件とR条件対間の10の条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 19.31, p < .05$)。

実験 2

目的

これまで、本研究の実験1及び井上・渡辺(2002)において用いられた刺激は、いずれも視角で 4.6° の直径をもつ円形刺激であった。しかし、現実世界においては、様々な大きさの物体が存在し、見えの大きさは常に一定ではない。そこで、円形刺激を変化させるとともに、円形刺激の中心からハイライトまでの距離を変化させた刺激を用い、ハイライトの位置が凹凸感の判断に及ぼす効果を検討することを目的とする。

方法

実験計画 ハイライトの位置を実験変数1として、C、1/6R、2/6R、3/6R、4/6R、5/6R、Rの7条件を用意した。円形刺激の大きさを実験変数2として、S (small) 条件とL (large) 条件の2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14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と同じ装置を用いた。

刺激図形 刺激図形の大きさを、S条件で直径を視角で 3.45° 、L条件で 5.75° とする以外は、実験1と同様のやり方で作成した。

手続き 半数の被験者にはまず、S条件下で実験1と同様のやり方で各条件とも5試行、合計35試行を求めた後、L条件下で同様のやり方で各条件とも5試行、合計35試行を求めた。残りの被験者にはL条件下で35試行を求めた後、S条件下で35試行を求めた。以上を除く手続きは実験1と同様であった。

被験者 正常な視力を有する男4名と女4名の合計8名の大学生であった。彼らの内、女性1名だけが本実験に関して未経験であり、残り7名は実験1を経験していた。

結果

実験2の結果を Figure 3 に示す。グラフより、凹凸感の評価値は、S条件、L条件ともに、実験1と同様に、3/6R (1/2R) の条件の際に最も高く、この条件より、ハイライトが円の中心または円周に向かうにつれて低くなっているのが分かる。

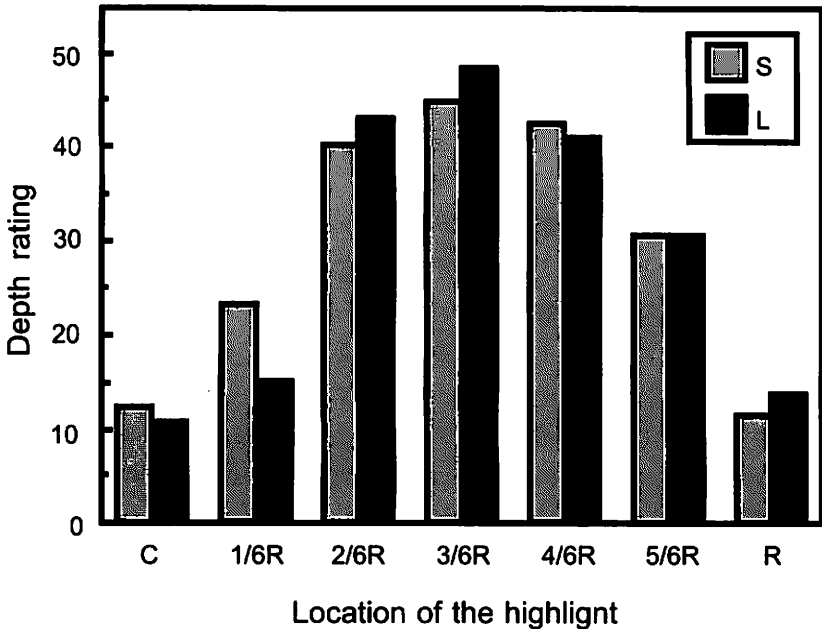


Figure 3 Depth rating for each condition of the location of the highlight: C, 1/6R, 2/6R, 3/6R, 4/6R, 5/6R, and R ; as a function of the size of the shaded circle : S (small) and L (large) (Experiment 2).

評価値に関して、2 (刺激の大きさ) × 7 (ハイライトの位置) の2要因の分散分析を行った結果、ハイライトの位置の主効果に有意な差が見られたが ($F(6, 42) = 3.02, p < .05$)、刺激の大きさの主効果に関して有意な差は見られなかった ($F(1, 7) = 0.04, p > .05$)。また、S条件とL条件に分けて、ハイライトの位置の1要因の分散分析を行なったところ、それぞれ主効果に関して有意な差が見られた ($F(6, 42) = 3.03, p < .05$; ($F(6, 42) = 2.88, p < .05$)。続いて、SとLの各条件ごとに、LSD法による下位検

定を行なった。S条件では、C条件と2/6R条件対間、C条件と3/6R条件対間、C条件と4/6R条件対間、2/6R条件とR条件対間、3/6R条件とR条件対間、4/6R条件とR条件対間の6つの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 23.04, p < .05$)。L条件では、C条件と2/6R条件対間、C条件と3/6R条件対間、C条件と4/6R条件対間、1/6R条件と2/6R条件対間、1/6R条件と3/6R条件対間、2/6R条件とR条件対間、3/6R条件とR条件対間、4/6R条件とR条件対間の8つの条件対間において有意な差が見られた ($LSD = 26.47, p < .05$)。

考 察

本研究は円形刺激に円形のグラデーションの陰影を付けるとき、陰影のハイライトの位置と刺激の大きさが奥行き知覚に及ぼす効果を、マグニチュード推定法を用いて円形刺激の凹凸の奥行き感を測定することにより検討した。

実験1より、ハイライトの位置に関して以下のことが分かった。凹凸感の評価値は、ハイライトが円の中心から半径の二分の一離れた位置にある3/6R条件で最大となり、半径の三分の一離れた位置にある2/6R条件と三分の二離れた位置にある4/6R条件で大きく、半径の六分の一離れた位置にある1/6R条件と六分の五離れた位置にある5/6R条件で小さく、ハイライトが円の中心にあるC条件及び、円周上にあるR条件において最も小さかった。すなわち、凹凸感の評価値は3/6R条件を頂点とし、そこから円刺激の中心あるいは円周に向かうにつれて小さくなる山型のグラフを形成した。

また、本研究の結果は以下の点において井上・渡辺(2002)の結果と若干異なる。すなわち、井上・渡辺(2002)においては1/3R条件の凹凸の評価値が2/3R条件より大きかった。しかし、本研究においては、これらの条件に相当する2/6R条件の方が4/6R条件より凸であると14名中12名の被験者が知覚していたものの、これら2条件間に統計的な有意な差が得られなかった。本研究及び、井上・渡辺(2002)の研究でこのような結果の違いが見られこれについて次のように考えることができる。両研究とも、同じような円形のグラデーションを付けた円形刺激を用いた。しかし、この円形刺激の背景が井上・渡辺(2002)では黒色であったのに対し、本研究では中灰色であり、

この背景の違いが両研究の結果の違いを生み出したと考えられる。すなわち、黒背景の場合の円形刺激は背景にとけ込んで実際より収縮して見える。このため、1/3 R条件が実際には灰色背景の場合の3/6 R条件に近づいて見え、同様に2/3 R条件は5/6 R条件に近づいて見える。従って、見えの奥行きが最大に見えたのはハイライトが、見かけ上半径の半分の位置にある場合であつたろうと考えられる。中灰色の背景の場合には、円形刺激がこのように収縮して見えることはない。従って、両研究の結果から、見えの奥行きのもっと大きくなるのは半径の中心付近の3/6 R (1/2 R) であると結論できよう。

実験2より、刺激の大きさとハイライトの位置に関して以下のことが分かった。凹凸感の評価値はS条件とL条件のどちらにおいても、実験1とまったく同様に3/6 R条件で最大で、2/6 R条件と4/6 R条件で大きく、5/6 R条件と1/6 R条件で小さく、R条件とC条件において最も小さかった。すなわち、凹凸感の評価値は1/2 R条件を頂点とし、そこから円形刺激の内側及び外側に向かうにつれて小さくなる山型のグラフを形成した。また、刺激の大きさに関してS条件とL条件対間に有意な差が見られなかったことから、刺激の大きさは陰影による奥行き知覚に影響しないものと考えられる。

以上のように、本研究では照明光源の方向を右上方向に限定し、円形刺激に楕円形のグラデーションを付けた刺激を用いて、ハイライトの位置を円形刺激の中心と円周の間で変化させた2つの実験を行った結果、見えの奥行きの評価値は一貫して、3/6 R条件を頂点とし、そこから円形刺激の内側及び外側に向かうにつれて小さくなる山型のグラフを形成した。これらの結果は次のように説明できよう。日常の経験において、球体にC条件のような陰影が生起するのは照明光源が観察者の位置にある場合であり、現実的にこのような照明条件となることはほとんどない。また、球体にR条件のような陰影が生起するのは、照明光源が球体のちょうど真上に位置する場合であり、日常経験の中でそのような空間配置で観察することもほとんどない。逆に、日常経験の中でよくある球体、観察者、及び照明光源の位置関係とは、観察者の斜め上方向から照明が球体に照射される場合であり、これが本実験における2/6 R条件や4/6 R条件、とりわけ3/6 R条件なのである。Ramachandran (1988, 1990) による上方光源仮説を、陰影から凹凸の奥行きを知覚するこ

との主要因が日常の照明光と対象の位置関係によって変化する陰影を経験したことにあり、と主張するもの考えるならば、本研究の結果は上方光源仮説を支持する。

引用文献

- 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.
- Sekuler, R., & Blake, R. 1994 Depth perception. *Perception*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill Inc. 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.
- 井上・渡辺 2002 陰影のハイライトの位置が奥行き知覚に及ぼす効果 九州心理学会第63回大会発表論文集, P. 6.