

## 陰影のハイライトの大きさと位置が奥行き知覚に及ぼす効果

井上 浩 義

陰影 (shading) は奥行き知覚の手がかりの一つである。我々は陰影を付けられた平面を見ると、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、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)。

Ramachandran (1988, 1990) は円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知覚に及ぼす効果について明らかにした。それによると、ハイライトが上部に来るように明暗を付けた陰影は円刺激を凸型に見せる。逆に、下部にハイライトが来るように明暗を付けた陰影は円刺激を凹型に見せる。これらの結果は、我々の視覚系が、唯一の光源が視野の上部にあるという仮定を行っているという特性による。以上のような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来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、Ramachandran と同じような明暗の陰影を付けた円刺激を用いて上方光源仮説による説明を実験的に検討した。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 $30^{\circ}$  から $60^{\circ}$  ほど傾いた左上方向に光源があるときにすなわち、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。

井上・渡辺 (2004, 2005) 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、楕円形状の明暗のグラデーションを付けた円刺激を用いた際の、ハイライトの方向と位置の変化が円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、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、ハイライトが円刺激の中心から半径の $\frac{2}{3}$ 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。さらに、対象となる刺激の大きさが、陰影による奥行き知覚に影響しないという結果を得た。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付けた。

さて、円形グラデーションを用いた井上・渡辺 (2004, 2005) は、ハイライトとなる部分の大きさは常に一定であり、ハイライトの大きさが見えの奥行き知覚に及ぼす影響について検討がなされてい

ない。また、Ramachandran(1990)は、明暗を付けた円刺激と同様の輝度極性を持ちながら、陰影情報を持たない円刺激に関して検討を行った。すなわち、円刺激にグラデーションではなく、単純に円刺激の上部半分を白色で、下部半分を黒色に塗り分けていた。その結果、このような円刺激は奥行き情報を持たず、陰影を付加された円刺激と違って、知覚的な群化を達成することは不可能であることが分かった。そして、彼の実験において観察された群化は、輝度の極性よりはむしろ三次元的な形に基づくものであると結論付けた。しかし、円形グラデーション刺激において同様の検討を行ってはいない。

本研究ではハイライトの大きさが陰影による奥行き知覚に及ぼす影響について、すなわち、最も凸と判断されるハイライトの大きさの条件について検討する。また、Ramachandran(1990)において検討された、同じ輝度極性を持ちながら陰影情報を持たない円刺激の奥行き知覚は、円形グラデーション刺激においても同様に、奥行き情報を生じないのであろうか。この点に関しても、ハイライトの方向とあわせ検討する。

具体的には、実験1においては、ハイライトの大きさが、知覚される形状、および見えの奥行きにどのような効果を持つかを、図形描写およびマグニチュード推定法によって検討する。実験2においては、グラデーションを伴わない刺激図形を用い、ハイライトの位置が、奥行き知覚に及ぼす効果を、一対比較法によって検討する。

## 実 験 1

目 的 円形グラデーションの輝度勾配を変化させた刺激を用い、ハイライトの大きさ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

装置 Apple Power Mac G4で制御した19インチのカラーCRTディスプレイ(ナナオ, T765)を用いた。

刺激図形 刺激はAdobe Photoshopを用いて作成した。Figure 1のように、視角で $4.6^\circ$ 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刺激を作成し、ハイライトを円の中心に配置した。円刺激の中心を0%として、円刺激の外周上を100%として、白( $156\text{cd/m}^2$ )から黒( $0.25\text{cd/m}^2$ )へと変化する円形グラデーションで塗りつぶすのであるが、その間の中灰色( $41.5\text{cd/m}^2$ )の位置を変化させることによって、輝度勾配を変化させて、15%、30%、50%、70%、85%の5条件のグラデーションを用意した。これらの刺激を、中灰色の背景の画面中央に1つずつ配置した。

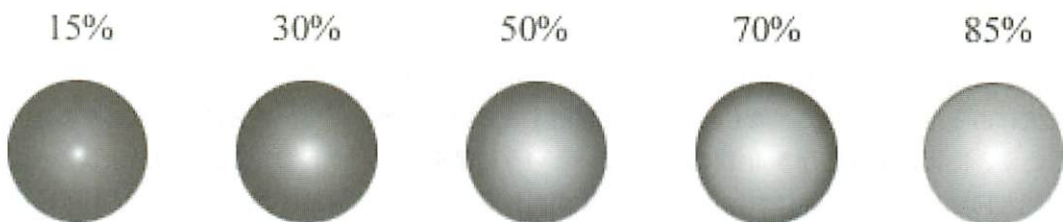


Figure 1 Stimulus displays used in Experiment 1.

**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57cmの距離から実験参加者に観察させ、見えの凹凸感の評価をマグニチュード推定法にて求めた。すなわち、陰影を付けた円刺激を球体と見たとき、手前に半球分の凸として立ち上がって見えた場合を100として、各円刺激の凹凸感を評定するように求めた。また、その際の各刺激図形がどのような形状であるかを評価するように求めた。どちらの反応も、実験参加者自身に紙に描かせることによって求めた。各条件とも1試行ずつ含むブロックを4ブロック行った。

**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3名、女6名の計9名の大学生であった。

## 結果

各条件とも4試行の凹凸感の評価値の平均値および形状判断の回数をデータとして用いた。各条件における9名の実験参加者の評価値をFigure 2に示す。グラフより、凹凸感の評価値は、50%の条件の際に最大で、これより70%条件で小さく、30%と85%の条件で更に小さく、15%条件で最小となった。また、形状の判断回数は、おおよそすべての条件においてドーム型と判断されているが、とりわけ50%条件、70%条件、85%条件と、ハイライトの大きさが大きくなるにつれて、ドーム状と判断さ

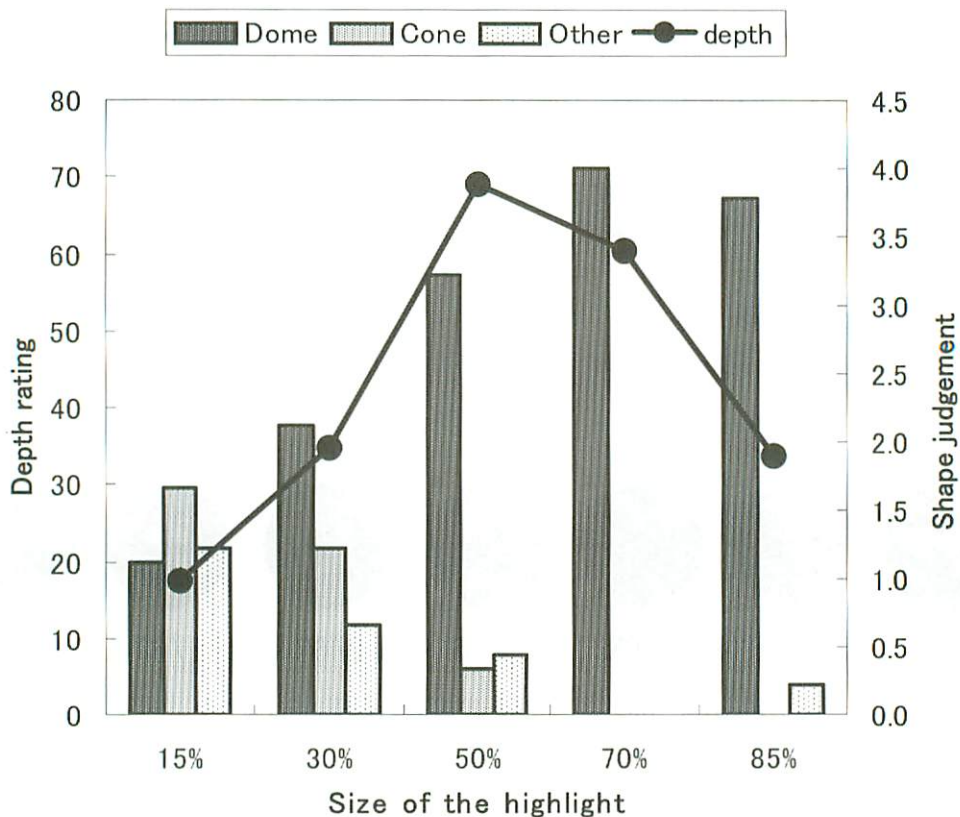


Figure 2 Depth and shape rating for each condition of size of the highlight : 15%, 30%, 50%, 70%, and 80%.(Experiment 1)

れる傾向が強いことがわかる。

凹凸感の評価値に関して、ハイライトの大きさの1要因の分散分析を行ったところ、主効果に関して有意な差が見られた ( $F(4, 32) = 2.88, p < .05$ )。続いてLSD法による下位検定を行ったところ、15%条件と50%条件対間、15%条件と70%条件対間に有意な差が見られた ( $LSD = 35.814, p < .05$ )。

## 実験 2

**目的** Ramachandran (1990) において、同じ輝度極性を持ちながら陰影情報を持たない円刺激は、奥行き知覚を生じなかった。これは、円形グラデーション刺激においても、同様の刺激条件においては奥行き情報を生じないのであろうか。グラデーションの無い刺激を用い、ハイライトの位置が奥行き知覚に及ぼす効果を検討する。

### 方法

**装置** SOTEC、CPD-G200Jで制御した19インチのカラーCRTディスプレイ（ナナオ、T765）を用いた。

**刺激図形** 刺激はAdobe Photoshopを用いて作成した。Figure 3のように、視角で $5.5^\circ$ の黒色の円の内部に、直径が視角で $0.8^\circ$ のハイライトとなる白色の円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、 $1/6R$ 、 $2/6R$ 、 $3/6R$ 、 $4/6R$ 、 $5/6R$ 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。これらの円刺激を、視角で $11^\circ \times 14.5^\circ$ の大きさの中灰色の背景の画面中央に1つずつ配置した。さらにこれらの刺激図形を、白色背景のディスプレイの中央にランダムに2つ並列して配置したものを、各試行ごとに提示した。

**手続き** 暗室でCRTディスプレイ上に提示した2つの刺激図形を約57cmの距離から実験参加者に観察させ、一対比較法により、いずれの刺激図形がより立体的に見えるかを、キーボードの左右の矢印キーを押して評価するように求めた。5試行の練習試行の後、14通りの組合せに対してランダムな順序で2回ずつ、計28試行を行った。

**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9名、女5名の計14名の大学生であった。

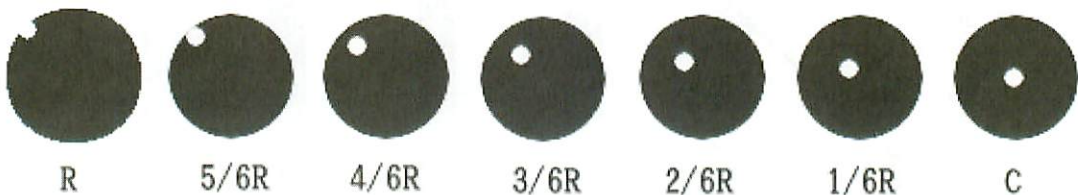


Figure 3 Stimulus displays used in Experiment 2.

## 結果

結果をもとにThurstone法CaseVを用いて間隔尺度を構成した。得られた間隔尺度をFigure 4に示す。グラフに示されるように、立体感の判断に関して、半径の $1/2$ にハイライトがある条件におい

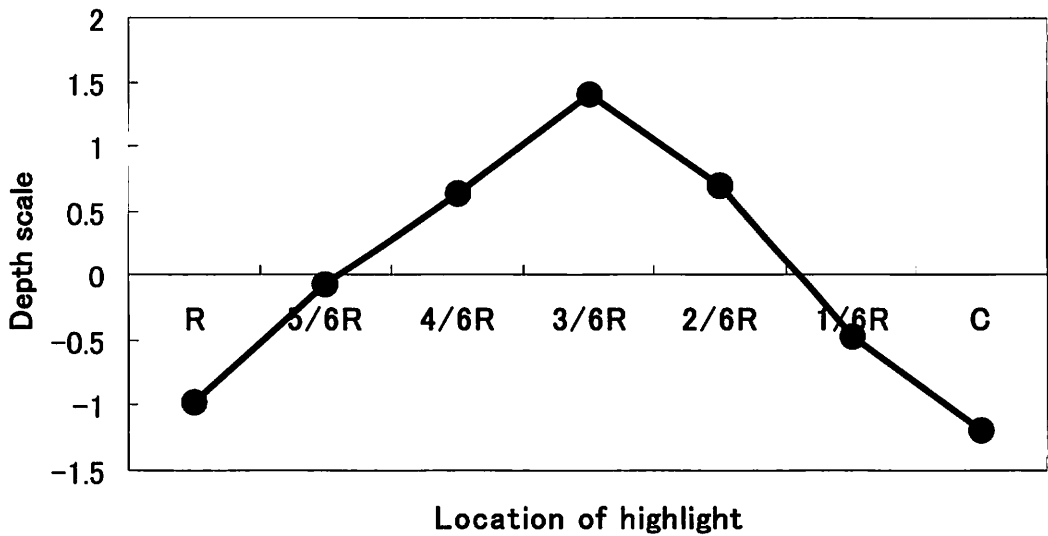


Figure 4 Depth scale for each condition of location of the highlight  
: C, 1/6R, 2/6R, 3/6R, 4/6R, 5/6R, and R.(Experiment 2)

て、最も凸への選好が見られた。また、1/2R 条件よりもハイライトの位置が円の内側または外側に移動するにつれて低くなった。

### 考 察

実験1より、円形グラデーション刺激の場合、ハイライトの大きさによって凹凸感と形状が変化して知覚されることが分かった。

凹凸感に関して、ハイライトとなる部分の大きさが、50%条件を頂点として、小さくなるほど凸と見られなくなった。これは、照明光の強度が弱く、対象から読み取る情報量が少なくなったためと考えられる。また、大きくなるほど凸と見られなくなったのは、照明光の強度が強すぎて、いわゆるホワイトアウトのような状況と判断されたと考えられる。

形状判断に関して、ハイライトとなる部分の大きさが小さい条件において、ドーム状ではなく円錐状などと判断された。実験参加者の報告等より、これは、照明光の面積が小さくなったというよりは、反射している部分の面積が小さいためと判断されたからと考えられる。すなわち、ドームの頂点を部分的に照射しているのではなく、照明は一定なのだが、その形状の特性より円錐の頂点周囲の部分のみが反射していると判断したのではないだろうか。しかも、本実験では、ハイライトが円刺激の中央部分に配置されていたため、円錐形を想像しやすい条件であったと考えられる。ハイライトが中心からずれて配置される場合、対象が円錐状であるという状況は合理的でないと言われ、円錐状という形状判断はされなかったかもしれない。以上の点については、今後検討を必要とする。

ハイライトの大きさが凹凸感の判断および形状判断に影響を及ぼすというこれらの結果は、我々が物体を見る際に、これまで言われてきた光が単一で上方から来るという制約条件（上方光源仮説）のほかに、その光が均一の強度であるという制約条件が働いている可能性を示唆するものである。

実験2より、グラデーションを伴わない、すなわち、白黒に均質に塗り分けた円刺激であっても、ハイライトの位置はその立体感の判断に影響することが分かった。

Ramachandran (1990) においては、線形グラデーション刺激を単純化し、同じ輝度極性を持っていても陰影情報を持たない円刺激の奥行き知覚は不可能であった。しかし、本研究で用いた、円形グラデーション刺激を単純化し同じ輝度極性を持ちながら陰影情報を持たない円形刺激に対する奥行き知覚の結果は、その配置条件によって選好を示した。しかも、半径の2分の1の位置にハイライトがある際に最も凸であると判断され、ハイライトが円周上および円の中心に近づくにつれて、凸と判断されなくなるという結果は、渡辺・井上 (2004) をはじめとした、これまでのグラデーションを伴った条件の際と、全く同じ選好を示している。この結果は、陰影を伴わないハイライトのみの条件においても、奥行き知覚が可能である可能性を示している。すなわち、円形グラデーション刺激という条件において、陰影という輝度勾配が奥行き知覚を可能にすることはすでにわかっているが、ハイライトそのものも、奥行き知覚を可能にする要因の一つであるという可能性を示唆する。これは、ハイライトが奥行きをもたらす手がかりになるという Todd & Mingolla (1983) や Bühtoff (1991) の主張を支持するものである。

これまでの陰影による奥行き知覚研究においては、輝度勾配区域の条件に着目し研究を行ってきた。本研究においては、とりわけハイライトとなる部分に着目して実験を行ったわけであるが、ハイライト部分の大きさや位置が、奥行き知覚に影響を与え、その対象の形状や奥行き感に変化をもたらしていた。以上の結果より、陰影とは独立して、ハイライトもまた奥行き知覚を規定する要因の一つである可能性が示唆された。すなわち、陰影による奥行き知覚は、その輝度勾配部分とハイライト部分の二つの要因が、相互に係わり合い奥行き知覚を可能にしていると考えられる。

## 引用文献

- Bühtoff, H.H. 1991 Shape from X :Psychophysics and computation. In M.S.Landy and J.S.Moushou (Ed.), *Computational Models of Visual Processing*. Cambridge: MIT Press. Pp.305 - 330.
- 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.
- 日本視覚学会(編) 2000 単眼性・絵画の手がかり 視覚情報処理ハンドブック 朝倉書店, 310-320.
- 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.
- Sun, J., & Perona, P. 1998 Where is the sun? *Nature Neuroscience*, 1, 183-184.
- Todd, J.T. & Mingolla, E. 1983 Perception of surface curvature and direction of illumination from patterns of shading. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*. 9, 583-595.
- 渡辺功・井上浩義 2004 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 熊本大学文学部論叢, 80, 29-38.

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

INOUE Hiroyoshi

Two experiments were conducted to examine how the highlight affects the apparent depth and shape from shading. Experiment 1 showed that the size of the highlight affected perception of the apparent depth and shape. Too large or small highlight resulted in perceiving shaded circle as lower convex. Experiment 2 showed that the location of highlight affected the apparent depth of stimuli without shading, which is the same as stimuli with highlight and shading. The depth scale was the highest when the highlight was located at a half of the diameter from the center of the circle, and the lowest when the highlight was on the edge or in the center of the circle. These results suggest that the highlight is one of key factors to depth perception.