

## 前方・後方照明強度比による透明感知覚の変化

Change of Translucency Perception with Lighting Intensity Ratio Between Front and Back Illuminations

谿 雄祐<sup>†</sup>, 西島 遼<sup>†</sup>, 永井岳大<sup>††</sup>,  
 鯉田孝和<sup>†</sup>, 北崎充晃<sup>†</sup>, 正会員 中内茂樹<sup>†</sup>  
 Yusuke Tani<sup>†</sup>, Ryo Nishijima<sup>†</sup>, Takehiro Nagai<sup>††</sup>, Kowa Koida<sup>†</sup>,  
 Michiteru Kitazaki<sup>†</sup> and Shigeki Nakauchi<sup>†</sup>

あらまし 前後に照明を設置した衝立に埋め込んだ樹脂製ボトルの透明感を評定する実験を行った。後方照明の存在、強度を知らない被験者による評定は概ね正確だが、後方照明強度の影響も認められた。この手法は実物体の透明感を操作する簡便な方法として発展が期待できる。

キーワード：透明感、実物体刺激、質感知覚

### 1. ま え が き

対象物の見え方は、どのような光が網膜に到達するかによって決まり、それは照明光のスペクトル、方向、物体表面の特性と観察者の視点位置の相互作用によって決まる<sup>1)</sup>。このうち、表面特性とは反射、透過、散乱に関する特性であり、それぞれ双方向反射率分布関数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function: BRDF)、双方向透過率分布関数 (Bidirectional Transmittance Distribution Function: BTDF)、双方向散乱分布関数 (Bidirectional Scattering Distribution Function: BSDF) によって記述できる。BSDFはBRDFとBTDFを合わせたものである。

一方、視覚系はこれら3つの要素を区別する術を持たないと考えられており、何らかの方法であたかもこれらを区別して処理したかのような知覚が実現されていると考えられている<sup>3)</sup>。すなわち、反射、透過、散乱によって生じる質感である光沢感や透明感が単純な、低次元レベルで処理可能な画像情報によってもたらされている可能性に関する議論が活発に行われている<sup>4)~6)</sup>。

本研究では、半透明物体の透明感を評定する実験を行うにあたり、刺激の背後から照明することで、知覚者にとって透過光、散乱光に相当する成分を積極的に操作した。非常に単純な仕組みではあるが、知覚される透明感に影響を及ぼすことが確認された。さらに、画像解析により透明感知覚と関連する画像要素について検討した。

### 2. 心理実験

#### 2.1 方法

実験刺激として、同一形状で透過率の異なる5種類の樹脂製ボトルを用いた。透過率は白色の着色剤の配合比率 (0.25%~2.5%) によって決められ、光学的に計測したところ、34.5%~2.9%であった。すべてのボトルを並べてD65光源下に置いたものを参照刺激とし、透過率の低い順に番号 (1~5) を付与した。

テスト刺激は暗幕を貼った衝立の中に埋め込んだ状態で1つずつ提示し、衝立の前後から色温度6500Kの同一製品LED電球で照明した。図1に参照刺激、実験環境全容および被験者から見た様子を示す。

被験者側にある前方照明の強度は実験を通じて一定であったのに対し、後方照明は調光器を用いて5段階の強度とした。後方照明の最大強度は、調光器の目盛りを等しくすることで前方照明強度と等しくした。被験者には後方照明の存在および強度を知らせなかったため、テスト刺激を透過した後方照明光は、前方照明によって生じる透過光および散乱光として知覚された。図2に各条件におけるテ



図1 実験環境の全容と被験者から見た状態

2014年7月23日受付, 2014年9月5日再受付, 2014年9月20日採録

<sup>†</sup> 豊橋技術科学大学

(〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1, TEL 0532-47-0111)

<sup>††</sup> 山形大学工学部

(〒992-8510 米沢市城南4-3-16, TEL 0238-26-3005)

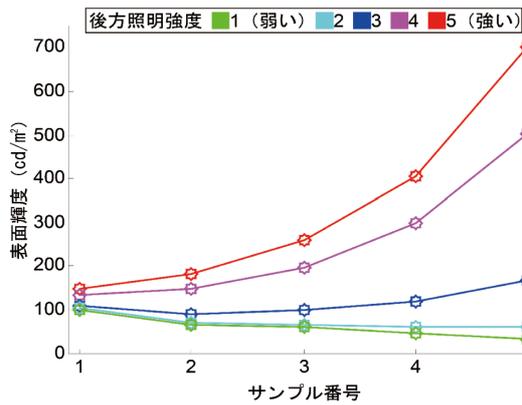


図2 後方照明によるサンプル表面の輝度変化

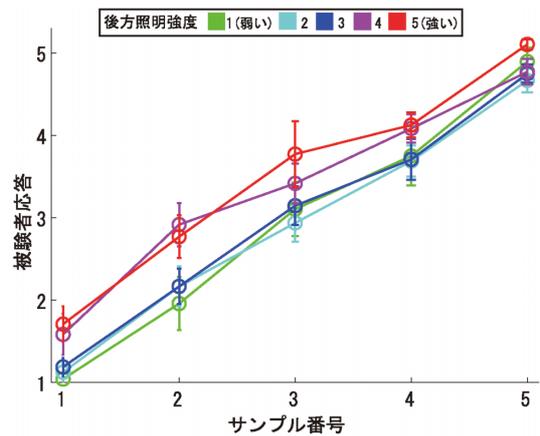


図3 テスト刺激, 後方照明と透明感の関係

ト刺激中央部表面の輝度を示す。弱い後方照明強度では透過率が高いほど暗く、強い(強度3以上)では透過率が高いほど高かった。また、後方照明強度が強いほど、サンプル間の表面輝度差が大きかった。

被験者は正常な範囲の視力(矯正含む)および色覚を有した20代, 30代の男女6名であった。被験者の課題は、提示されたボトルの透明感が参照刺激のどれに最も近いかを0~6の範囲を0.5刻みで回答することであった。テスト刺激が参照刺激1よりも不透明であれば0.5あるいは0, 参照刺激5よりも透明であれば5.5あるいは6と回答するよう教示した。テスト刺激5種類に対して、後方照明強度が5段階あったため、刺激条件は全部で25条件であった。被験者は25条件を1試行ずつランダムな順に行うセッションを4回行った。

## 2.2 結果

6名の被験者が各条件について回答した透明感の平均値を図3に示す。図の横軸はテスト刺激のサンプル番号を、縦軸は被験者応答を示す。

いずれの後方照明強度においても概ね正確な透明感マッチングが行われていたと言える。テスト刺激と参照刺激は照明環境が異なるため、このことは透明感知覚が照明環境の違いに対してある程度の頑健性を持つことを示すと考えられる<sup>7)</sup>。この頑健性あるいは恒常性は物体形状の複雑さに依存し、本研究で用いたような単純な形状においては恒常性が高いことが示されている<sup>8)</sup>。

しかし、後方照明強度が強い2条件において、知覚される透明感が高くなっていたことが伺える。この傾向は透過率の低いボトル(サンプル番号1, 2, 3)がテスト刺激として提示されたときに顕著であった。

提示したテスト刺激のサンプル番号と後方照明強度を要因とした2要因の分散分析を行ったところ、サンプル番号と後方照明強度の主効果(それぞれ $F(4, 20) = 418$ ,  $F(4, 20) = 41.4$ ), 交互作用( $F(16, 80) = 2.16$ )のすべてが5%水準で有意となった。単純主効果の検定を行ったところ、テスト刺

激としてサンプル番号1, 2, 3を提示し、後方照明強度が最も強い条件と2番目に強い条件における透明感評定値が、同じテスト刺激における後方照明強度が弱い3条件と比べて有意に高かった。すなわち、透過率の低いサンプルに対して強い後方照明が照射されていると、弱い後方照明における同一サンプルよりも透明感が高く知覚された。

## 3. 光沢感と関連する画像特徴の探索

後方照明の強度が増すと低透過率刺激の透明感が増すことが明らかになった。この時に生じた画像的な変化の中に、知覚に影響した要因があると考えられる。そこで、各条件を撮影し、ボトル部分の輝度の平均, 分散, 歪度, RMSコントラスト(Root Mean Square Contrast: RMSC)を算出し、被験者応答との相関を調べたが、いずれにおいても強い相関関係は認められなかった。

Motoyoshiによると、鏡面反射成分は表面下での光の振舞いの影響を受けず、透明感知覚への影響も小さい<sup>5)</sup>。本研究においても、全画像を通じて鏡面反射成分であるハイライトと見られる画像部位の形状, 位置, 強度はほぼ一定であった。そこで、閾値処理によりハイライト部分を除去した上で、再度画像統計量と被験者応答の相関を調べたところ、RMSCとの間に強い負の相関が認められた(表1)。この結果は、鏡面反射成分を除いた成分、すなわち拡散反射成分のRMSCが透明感知覚に関する重要な手がかりである可能性を示唆している。

物体の透過率が高くなるほど、表面下散乱の影響が強くなる。その影響とは、照明光が当たらないことで生じる陰影, アタッチドシャドウ(attached shadow)のコントラストが下がることである。後方照明にも同様の効果があった

表1 画像統計量と透明感の関係(ハイライト以外)

統計量	平均	分散	歪度	RMSC
相関係数	0.20	0.23	0.54	-0.96

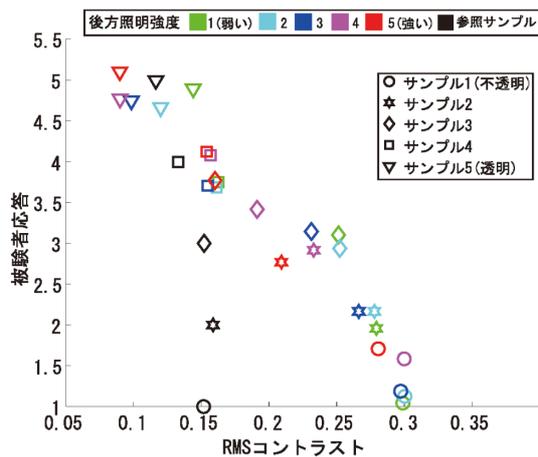


図4 拡散反射成分のRMSコントラストと透明感の関係

が、その存在を知らない被験者は、後方照明によるアタッチドシャドウのコントラスト低下をテスト刺激の透過率に帰属させたと考えられる。その結果、被験者が知覚した透明感と拡散反射成分のRMSCの間に強い負の相関が見られたのだろう。

しかし、RMSCだけでは説明できない結果も得られた。参照刺激についても拡散反射成分のRMSCを算出すると、評定値が同じテスト刺激と値が異なっていた(図4)。このような恒常性は、RMSC以外にも透明感知覚に影響する要因の存在を示唆している。相関の大きさから歪度がその候補である可能性もあるが、サンプル中の最も明るい部分と暗い部分の輝度比が透明感評定値と非常に高い相関を示した( $r = 0.97$ )ことから、視覚系は局所的な情報から透明度を推定している可能性も考えられる。

#### 4. むすび

本研究では、CG画像ではなく実物体を刺激として、透明感知覚に影響する画像統計量について検討を行った。その結果、先行研究が示す通り、画像における刺激部位のうち、ハイライトを除いた輝度のRMSCと被験者の評定値の間に強い相関があることを見出した。しかし、異なる照明下にあった参照刺激は、RMSCの値からはその透明度を説明することはできず、透明感知覚の手がかりとなる情報が他にも存在することが示唆された。

また、本研究で用いた手法が、非常に単純なものでありながら、実物体の画像情報および透明感がある程度操作できることも併せて示された。後方照明として前方照明と異なる光源を使用することで、物体の色、発光感、蛍光感の操作に応用できる可能性があると考えられる。

#### 〔文 献〕

- 1) Y. Tani, K. Araki, T. Nagai, K. Koida, S. Nakauchi and M. Kitazaki: "Enhancement of Glossiness Perception by Retinal-Image Motion: Additional Effect of Head-Yoked Motion Parallax", PLoS ONE, 8, 1: e54549 (Jan. 2013)
- 2) R.W. Fleming and H.H. Bühlhoff: "Low-Level Image Cues in the Perception of Translucent Materials", ACM Trans Appl Percept, 2, 3, pp.346-382 (2005)
- 3) 本吉: "質感知覚の心理学", 心理学評論, 51, 2, pp.235-249 (2008)
- 4) I. Motoyoshi, S. Nishida, L. Sharan and E.H. Adelson: "Image Statistics and the Perception of Surface Qualities", Nature, 447, 7141, pp.206-209 (May 2007)
- 5) I. Motoyoshi: "Highlight-Shading Relationship as a Cue for the Perception of Translucent and Transparent Materials", J Vis, 10, 9:6, pp.1-20 (Sep. 2010)
- 6) B.L. Anderson and J. Kim: "Image Statistics Do Not Explain the Perception of Gloss and Lightness", J Vis, 9, 11:10, pp.1-17 (Oct. 2009)
- 7) I. Motoyoshi and H. Matoba: "Variability in constancy of the perceived surface reflectance across different illumination statistics", Vis Research, 53, 1, pp.30-39 (Jan. 2012)
- 8) B. Xiao, B. Walter, I. Gkioulekas, T. Zickler, E. Adelson and B. Kavita: "Looking Against the Light: How Perception of Translucency Depends on Lighting Direction", J Vis, 14, 3:17, pp.1-22 (Mar. 2014)



原 希 2011年、東京大学大学院博士課程修了。同年より、豊橋技術科学大学大学院研究員。視覚心理学、質感知覚に関する研究に従事。博士(心理学)。



西島 遼 2012年、豊橋技術科学大学工学部卒業。2014年、同大学大学院修士課程修了。透明感、光沢感に関連する画像情報に関する研究に従事。修士(工学)。



永井 岳大 2007年、東京工業大学大学院博士課程修了。カリフォルニア大学サンディエゴ校博士研究員、豊橋技術科学大学助教を経て、現在、山形大学大学院准教授。博士(工学)。



鯉田 孝和 2000年、東京工業大学大学院博士課程修了。生理学研究所博士研究員、助教を経て、現在、豊橋技術科学大学エレクトロニクス先端融合研究所テニユアトラック准教授。博士(工学)。



北崎 充晃 1997年、東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。東京大学大学院助手、豊橋技術科学大学講師を経て、現在、同大学大学院准教授。博士(学術)。



中内 茂樹 1993年、豊橋技術科学大学大学院博士課程修了。1998年、ラッペンランタ工科大学客員研究員。現在、豊橋技術科学大学情報・知能工学系教授、系長。ヒト色覚、質感知覚、ヒト視覚機能の工学応用に関する研究に従事。2011年、文部科学大臣表彰、経済産業大臣賞受賞。博士(工学)、正会員。