

光沢ハイライト色による色恒常性への寄与

Contribution of specular highlight color to color constancy

永井岳大 Takehiro Nagai 山形大学
 須藤涼汰 Ryota Suto 山形大学
 川島祐貴 Yuki Kawashima 山形大学
 山内泰樹 Yasuki Yamauchi 山形大学

Yamagata University
 Yamagata University
 Yamagata University
 Yamagata University

Keywords: 色恒常性, 光沢, 質感, 心理物理学

1. はじめに

我々ヒトは日常生活において, 様々な照明の下で赤いリンゴを見て「赤い」と知覚する. この照明色によらず安定して物体の色を知覚できる現象は色恒常性と呼ばれる. 色恒常性の達成のために, 視覚系は網膜像に存在するシーン内平均色や輝度-色度統計などの照明光に関する様々な手がかりを利用していることが示されてきた¹⁾.

一方, より高次な色恒常性の手がかりの一つとして, 光沢ハイライトが考えられる. 多くの物体上で光沢ハイライトは物体色によらず照明光をそのまま反映する. したがって, 光沢ハイライトの色を用いることで照明色を精度よく推定し, 色恒常性の達成が容易になる可能性がある. この色恒常性に対する光沢ハイライトの影響について検討した従来研究もいくつかある^{2), 3)}が, 現状では光沢ハイライトの影響が見られる結果と見られない結果が両方存在し, 光沢ハイライトの役割ははっきりしない. また, ほとんどの従来研究では, 照明色に関する手がかりとなる一様背景が存在する刺激を用いており, その色恒常性への影響が非常に大きい状況下での検討であった.

そこで, 本研究では, 光沢ハイライトによる色恒常性への寄与を改めて検証することを目的とした. 実験刺激として, シーン内に光沢物体が複数存在するが照明光の手がかりとなる背景がない画像を用いる. この刺激上で無彩色マッチングを課題とした心理物理実験を行うことで, 光沢ハイライトの色恒常性への寄与を定量化する.

2. 実験方法

実験刺激は暗室内に置かれた LCD モニタ (EIZO ColorEdge CX241, 1,920 × 1,200 ピクセル) に呈示された. 被験者はスクリーンから 85



図1 実験刺激の例. A 光源下での gloss 条件, incongruent 条件の刺激.

cm 離れた位置から両眼で刺激を観察した. 実験は Ubuntu 14.04 LTS 上の GNU Octave 3.8.1 と Psychtoolbox⁴⁾にてコントロールされた.

実験刺激の一例を図1に示す. 実験刺激は黒背景上にある複数の物体から構成された. 中心の球体をテスト物体, それ以外の物体を周辺物体と呼ぶ. 各物体の拡散反射成分と鏡面反射成分の輝度は, それぞれはじめに LightWave 11.0 にて生成された. その後, 実験条件に応じて, Octave 上で輝度調整と色度付与を行い, 鏡面反射 (光沢ハイライト) 成分と拡散反射成分を足しあわせることで, 周辺物体画像を生成した.

テスト物体には常に鏡面反射成分が含まれていたが, 周辺物体には鏡面反射成分が含まれる条件 (gloss 条件) と含まれない条件 (mat 条件) があった. ただし, gloss 条件と mat 条件の間で, 全周辺物体の平均輝度と rms コントラストが同じになるよう輝度を調整した.

照明色は, CIE 標準の A 光源, D65 光源と, CIE 昼光 25000K の3条件とした. 各周辺物体の拡散反射成分の色度は, 各照明光下でシミュレートした4色のマンセル色票 (5R 5/4, 5G 5/4, 5B 5/4, 5Y 5/4) の色度とし, 各物体において全ピクセルが同一色度を持っていた. また, 鏡面反射成分の色度については, 全物体で照明色とした congruent 条件と, 各物体の拡散反射成分の色度

と一致させた **incongruent** 条件の2条件を設定した。鏡面反射成分についても、各物体中の全ピクセルで同一色度とした。

実験の各試行において、はじめにランダムな初期色度を持つテスト物体を含む刺激が呈示された。その後、被験者はトラックボールによりテスト物体の色度を $u'v'$ 色度図上で調整し、テスト物体が無彩色と知覚されるまで調整を続けた。なお、テスト物体の色度は全ピクセル間で常に同一であった。調整に満足しトラックボールのボタンをクリックすると、次の試行へ進んだ。各セッションでは、同一の照明色条件に関する試行のみを行うが、**congruent** 条件・**incongruent** 条件と **gloss** 条件・**matte** 条件の全てが同一セッションに含まれていた。

被験者は色覚正常な5名の男性であった。

3. 実験結果

(3-1) 無彩色点

被験者が調整した無彩色点の一例 (**gloss** 条件・**congruent** 条件の被験者間平均) を図2に示す。この図からわかるように、Aや25000K下で被験者が調整した無彩色点は、D65光源下での無彩色点と比較してわずかに各照明色の色度方向へずれることがわかる。したがって、弱いながら本実験条件下で色恒常性が生じていると考えられる。この色恒常性の成立具合を定量的に扱い条件間の違いを検討するため、Aと25000Kに対し、以下に示す式により **Constancy Index (CI)** を定義することにする。

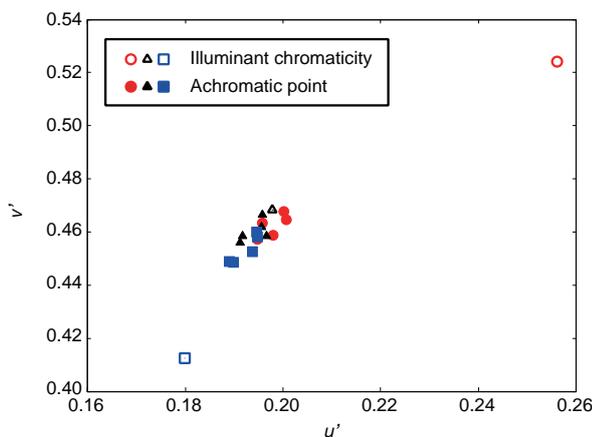


図2 無彩色点の一例。Gloss条件、congruent条件の結果。グラフの色の違いが照明条件の違い(赤…A、黒…D65、青…25000K)を表し、各プロットが被験者1名分の結果である。

$$CI = 1 - \frac{| \text{被験者調整色度} - \text{照明色度} |}{| \text{被験者調整色度 (D65)} - \text{照明色度} |}$$

ここで、分子にある「被験者調整色度」とはAまたは25000Kにおいて被験者が調整した無彩色点の色度を表し、「照明色度」とは対応する照明条件の色度を表す。CIは1に近いほど色恒常性の成立が強いことを示し、0に近いほど色恒常性の成立が弱いことを示す指標となる。

(3-2) Constancy Index

Congruent 条件のCIを図3(a)に示す。全体的にCIは0に近く大きな値ではないが、全条件・全照明光下で有意に正の値であり、弱いながら色恒常性が生じていることが確認された。色恒常性の弱さの原因として、測定される色恒常性の強さに大きな影響を与えるテスト物体近傍が照明色の情報を持たない黒背景であったことが考えられる。また、**gloss** 条件と **mat** 条件のCIを比較

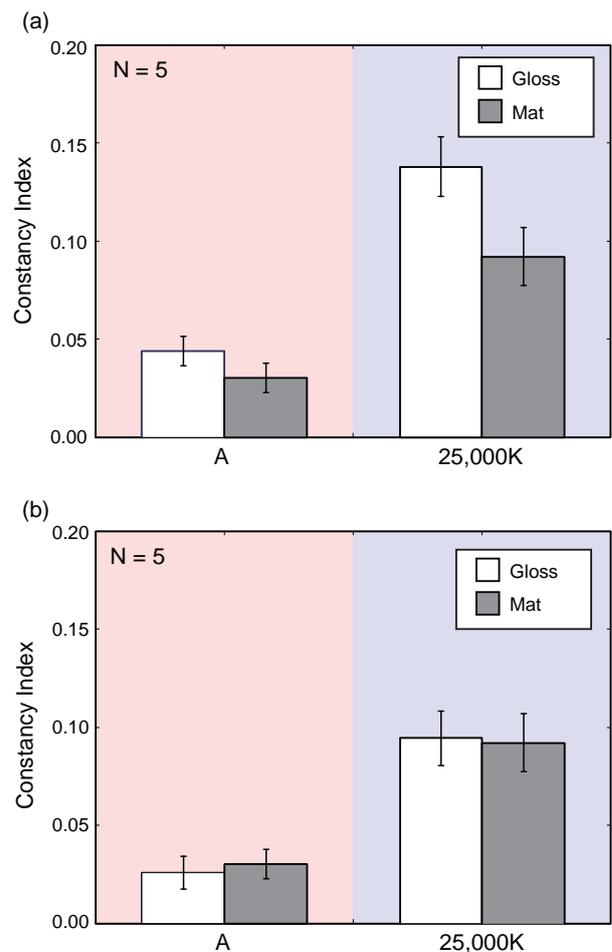


図3 Constancy Index. (a) Congruent条件. (b) Incongruent条件.

すると、特に 25000K 下では gloss 条件の方が有意に大きかった ($p < 0.05$, permutation test). この結果は、光沢ハイライトが色恒常性に寄与する可能性を示すものである。しかし、その影響量に着目すると、CI において 0.05 程度の向上であり、顕著な影響があるとは考えにくい。

Incongruent 条件の CI を図 3 (b) に示す。図 3 (a) と同様に、CI は大きくはないが全条件・全照明下で有意に正であった。しかし、gloss 条件と mat 条件を比較しても、照明色によらず有意な差は見られなかった。また、congruent 条件と incongruent 条件の gloss 条件同士の CI を比較すると、25000K 照明下では congruent 条件の方が有意に大きかった ($p < 0.05$, permutation test). したがって、光沢ハイライトが色恒常性に寄与するためには、光沢ハイライトが照明色をそのまま反射するような状況でなければいけないと考えられる。

4. 考察

本研究の結果から、複数の物体上の光沢ハイライトがいずれも照明光をそのまま反射するような状況下においては、光沢ハイライトによる色恒常性を促進させる効果が現象として確認された。この結果から、光沢ハイライトは色恒常性の手がかりの一つなる可能性がある。しかしながら、光沢ハイライトの存在による CI の向上はさほど大きくなく、光沢ハイライトが存在する場合でも CI は最大 0.15 程度にとどまった。このことから、光沢ハイライトに強く依存して色恒常性を達成するようなメカニズムがあるわけではなく、光沢ハイライトの色はあくまで色恒常性の手がかりの一つに過ぎないと考えられる。

光沢ハイライトによる色恒常性への影響はなぜ生じるのであろうか。最も短絡的に考えれば、光沢ハイライトの色が照明色を反映しやすいというある種のヒューリスティクスを人間の視覚系が取り入れ、光沢に特化したようなメカニズムが存在する可能性がある。この考えは質感情報と色認知との関わりという観点からは興味深いものである。しかしながら、本研究の結果は比較的低下な画像要因からでも説明できる可能性もある。例えば、色恒常性においては高輝度領域の色度の方が低輝度領域の色度よりも強く影響することがいくつかの従来研究⁵⁾から示されており、本研究の光沢ハイライトが高い輝度を持つ領域であ

ることを考えれば、本実験の結果の説明には、光沢ハイライトの存在が必要条件ではないことになる。さらに、本研究の実験結果における光沢ハイライトの効果量が大きくないことを考慮すれば、光沢ハイライトによる色恒常性への効果は、低次手がかりによる副次的効果である可能性も十分にある。この問題に関しては、本研究で用いた刺激と色度・輝度分布がほぼ同一で光沢感を喪失させた実験刺激における色恒常性の強さを測定することで検討することができると考えられる。また、本研究はディスプレイ上の刺激を両眼観察することにより行ったため、光沢ハイライトの輝度不足やシミュレートした空間の認知不足による結果への影響も否めず、その点も今後の実験では考慮する必要がある。

5. おわりに

本研究では、周辺物体の光沢の有無による色恒常性の成立度合いの違いを心理物理実験により調べ、光沢ハイライトが照明色を反映する場合には弱いながらも光沢ハイライトの色が色恒常性に寄与することを示した。光沢ハイライトに含まれるどのような画像成分が色恒常性促進に有効であるかをさらに検討することにより、色恒常性の機序の一端を明らかにできることが期待される。

参考文献

- 1) D. H. Foster: Color constancy. *Vision Research*, 51 (2011) 674-700.
- 2) B. Xiao, B. Hurst, L. MacIntyre, & D. H. Brainard: The color constancy of three-dimensional objects. *Journal of Vision*, 12(4):6 (2012) 1-15.
- 3) J. J. M. Granzier, R. Vergne, & K. R. Gegenfurtner: The effects of surface gloss and roughness on color constancy for real 3-D objects. *Journal of Vision*, 14(2):16 (2014) 1-20.
- 4) D. H. Brainard. The psychophysics toolbox. *Spatial Vision*, 10 (1997) 433-436.
- 5) J. J. M. Granzier, E. Brenner, F. W. Cornelissen, & J. B. J. Smeets: Luminance-color correlation is not used to

estimate the color of the illumination.
Journal of Vision, 5 (2005) 20-27.