

色の光沢感に影響する物理的要因と観察条件

Physical Factors and Viewing Condition Influence Gloss Perception

岡嶋 克典 防衛大学校応用物理学科
後藤 兼人 //
高原 邦光 //
高瀬 正典 //

Katsunori Okajima
Ken'to Goto
Kunimitsu Takahara
Masanori Takase

1. はじめに

光沢を用いた色があらゆる分野で多用されるようになってきているが、光沢感の知覚的な尺度化は未だ確立されておらず、その知覚メカニズムも明らかにされていない。物理的光沢度の測定方法については標準的方法が確立しているが、特に有彩光沢色や微小光沢については試行錯誤と目視評価で行なっているのが現実である¹⁾。通常の色は色相・彩度・明度によって表わすことができるが、光沢やテクスチャを有する色はこの三属性だけでは記述できない。例えば「金色」は色度的には「黄色」と同じであるが、カテゴリー的には異なる色として認識される²⁾。光沢色は、ローカルな色で全体が決まるのではなく、光沢情報を含むグローバルな表面の光変化によって決定されると考えられる。我々は以前、金色と銀色の知覚に必要な画像の光分布条件等のメカニズムについて実験的に検討した結果、これら光沢色の知覚には鏡面反射光成分のピーク値やエネルギーだけではなく、輝度の傾き(gradient)が大きく影響していることを明らかにした³⁾。本研究では、金や銀色だけでなく、他の有彩色の刺激を用いて、色の違いによって光沢感が異なるのかどうか、また観察条件によっても光沢感に変化するかを測定し、その結果から光沢色の物理的要因と認識メカニズムを考察した。

2. 実験 1 色による光沢感の違い

2. 1 実験原理

7色(red, orange, green, yellow, blue, purple, gray)の色刺激を用いた。ただし、yellow (gold)はマッチング用の比較刺激として用いた。色度は表1の通りである。各色の円柱オブジェクトを3次元CGで作成した。輝度分布が等しいテスト刺激(red, orange, green, yellow, blue, purple, grayの6色のいずれか)とマッチング刺激

(yellow)が2秒毎に交互に呈示され、被験者はテスト刺激とマッチング刺激の光沢感が同じになるように、マッチング刺激の鏡面反射率を調整した。また、同様に拡散反射光成分と鏡面反射光成分の明るさマッチングも行なった。

表1 使用した刺激のxy色度

色	x	y
Red	0.505	0.315
Orange	0.530	0.580
Green	0.290	0.600
Yellow	0.456	0.445
Blue	0.191	0.141
Purple	0.285	0.145
Gray	0.288	0.300

2. 2 実験装置

CGの作成にはグラフィックス・スーパーコンピュータ ONYX-RE2 (Silicon Graphics社)とOpenGLライブラリを使用した。また、刺激の表示にはキャリブレーション機能付ディスプレイGDM-2000TC (SONY)を使用した。モニタ上のガンマ値は、RGB値と輝度値が線形になるように調整した。被験者とdisplayの距離は80cmである。

2. 3 実験条件

被験者正面に円柱側面を垂直方向に設置し、照明光を真上(被験者方向)から照らしている照明環境をシミュレートした。反射光モデルはPhongモデルを用いた。Lを眼に入る全光量、L_dを拡散光、L_sを鏡面反射光とすると、

$$L = L_d + L_s$$

で、L_dとL_sは

$$L_d = I \cdot d \cdot \cos \theta, \quad L_s = I \cdot s \cdot \cos^n \Phi$$

で定義される。Iは光源強度、dは拡散反射率(diffuse)、 θ は光源方向と物体表面法線のなす角、sは鏡面反射率(specular)、nは鏡面反射係数(shininess)、 Φ は視線方向と光源正反射方向のなす角である。今回、色に依らず反射率1.0で最大輝度($\theta=0$ 時)17 cd/m²になるように正規化した。拡散反射率は0.2と0.3、鏡面反射係数は15と30、周辺光は拡散反射光成分の最大値と同じ輝度を有する均一光でxy色度は(0.354, 0.356)とした。円柱のサイズは7.2×7.2(deg)、テスト刺激の鏡面反射率は0.35, 0.50, 0.65を用いた。色覚正常のKG, HH, YKの3名が被験者として実験に参加した。

2. 4 実験方法

実験開始時に5分間暗順応した後、ランダムな順

序であるテスト刺激とマッチング刺激が画面上に継時的に表示され、被験者は光沢感が一致するようにマッチング刺激の鏡面反射率の値をマウスで調整した。これを全条件分くり返して1セッションとし、各被験者で6セッション行なった。また、テスト刺激の拡散反射光成分と鏡面反射光成分の明るさマッチングも同様に6回ずつ行なった。

2. 5 結果と考察

3人と結果とも、輝度条件が同じにもかかわらず、色によって光沢感が異なるという結果が得られた。その違いが、明るさによって説明できないかを調べるために、横軸にテスト刺激と光沢感が等しいマッチング刺激の鏡面反射率、縦軸にテスト刺激の鏡面反射光成分と等明るさになるマッチング刺激の鏡面反射率をプロットした例を図1に示す。被験者KGの拡散反射率0.3、鏡面反射率0.35、拡散反射係数15の結果である。

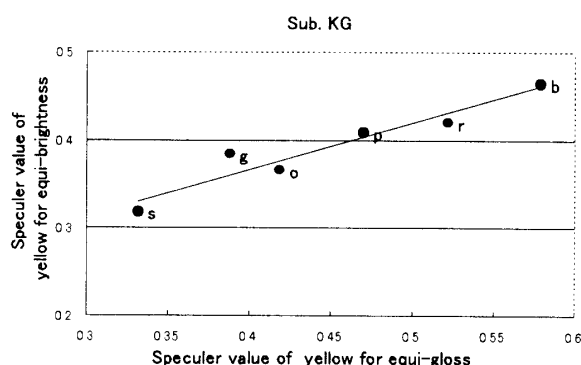


図1 鏡面反射光の明るさと光沢感の関係

図1から、鏡面反射光の明るさが大きいほど、光沢感も大きくなる相関関係があることが示唆される。他の結果についても、多くの場合、このような相関が見られた。したがって、輝度が同じでも、色の違いによって光沢感は異なり、その原因に明るさの違い（ヘルムホルツコーラウシュ効果）が影響している可能性があることが分かった。言い換えると、輝度が同じでも彩度が高い色ほど、光沢感が大きい傾向があることが示された。この結果は、光沢感の決定メカニズムに、輝度チャンネルだけでなく、色チャンネル或いは明るさチャンネルの出力も関与していることを示している。

3. 実験2 両眼立体視による光沢感の変化

3. 1 実験原理

次に、観察条件によって光沢感が変化するかを調べた。具体的には、両眼視差のあるステレオ刺

激と両眼視差のないモノラル刺激とを一对比較し、どちらがより光沢感が強いかを調べた。

3. 2 実験装置

CGの作成には実験1と同様に、グラフィックス・スーパーコンピュータ ONYX-RE2 (Silicon Graphics社) とOpenGLライブラリを使用した。また、刺激の表示は3管式立体プロジェクタと大型スクリーン(130inch)を用いた円偏光方式の立体表示方式で行なった。ガンマ値は、RGB値と輝度値が線形になるように調整した。被験者とスクリーンの距離は4mである。

3. 3 実験条件

拡散反射率は0.25、鏡面反射係数は15、ステレオ刺激の鏡面反射率は0.6に固定した。モノラル刺激の鏡面反射率を0.51~0.69まで0.03ステップで設定したものをランダムな順序で選択した。刺激の色は実験1のyellowを用いた。刺激の形状には、ティーポットを用いた(25.1×9.6 deg)。実験1同様、色覚正常のKG, HH, YKの3名が被験者として実験に参加した。

3. 4 実験方法

実験開始時に5分間暗順応した後、ランダムな順序でモノラル刺激とステレオ刺激が画面上に6秒毎継時的に表示され、被験者はどちらが光沢感が大きいかを各30回ずつ応答した。

結果と考察

実験結果は、横軸をモノラル刺激の鏡面反射率としてプロットすると、累積分布分布として得られる。これをプロビット解析し、50%となる鏡面反射率の値を求めた。その結果、3人の被験者とも0.6よりも大きな値が得られた。これは、刺激条件（輝度分布）が同じでも、ステレオ刺激の方がモノラル刺激よりも光沢感を強く感じることを示しており、立体視メカニズムの関与が示唆される。

4. 結論

リアルタイム3次元CGを用いて、色物体の光沢感は刺激の色によって異なり、明るさと相関があること、ならびに立体視することによって光沢感が増大することを示した。

参考文献

- 1) Robert Seve : "Problems Connected with the Concept of Gloss," Color Res. Appl. 18-4, pp. 241-252 (1993)
- 2) 富永昌治 : "現代色彩語彙の調査と分析" 日本色彩学会誌 15-2, pp. 119-126 (1991)
- 3) 岡嶋克典他 : "メタリック色の画像条件と光沢認識メカニズム", 日本色彩学会誌 22, suppl. pp. 14-15 (1998)