

光源色下における影の明るさと色見えについて
 - 背景が白色および三原色の場合 -

日大生産工 ○内田 暁, 元日大生産工 大谷 義彦

1. はじめに

近年、映像における高い画質の設計や、綿布の多種多様な着色・色再現などを目的とした「黒」についての工学的な研究がいくつか報告されている^{1)~6)}。

我々が日常経験する「黒」の一つとして、光源と遮光物体によって生じる「影」をあげることができる。影は作業を行う妨げとなるが、一方で人間や物体の存在を知るための手掛かりにもなる。よって、影の明るさや色といった、影の見え方のメカニズムが明らかになれば、非常に有益であると考えられる。しかしながら、影の見え方に関する既往の研究は少ない^{7)~9)}。

そこで本研究では、特に光源色下における影の見えとして、影の明るさと色について明らかにすることを目的としている。本報告では、CG (Computer Graphics) による影の画像を用いて、CG の背景が白色および三原色 (赤色、緑色、青色) の場合の評価実験から明らかになった結果について述べる。

2. 実験の概要

図 1 に、実験の概要として被験者の目と CG を呈示するための液晶ディスプレイ (以後、ディスプレイと称する) との位置関係を示す。なお、実験は暗室で行った。

実験には、24.1 型 (横 0.5184 m × 縦 0.324 m, 1920 × 1200 画素) のディスプレイ (EIZO 製 SX2461W-U) を用いた。被験者は、ディスプレイの画面中央部に呈示された横 13.5 cm × 縦 10 cm (512 × 384 画素) の CG を、1 m 離れた位置から見て評価を行う。

図 2(a) に CG を作成する際の場面設定を、

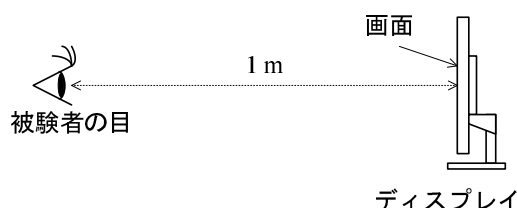
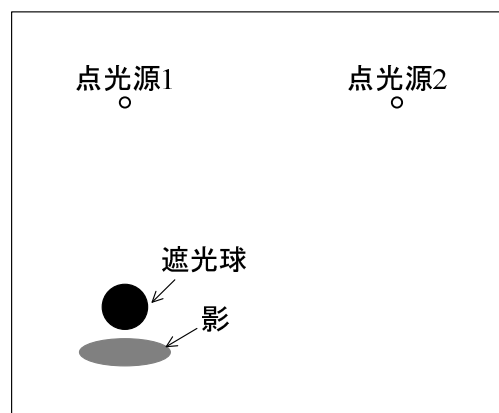
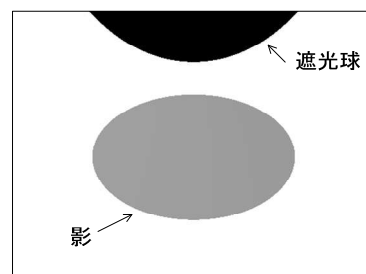


図 1 実験の概要



(a) CG の場面設定



(b) CG の一例 (背景: 白色, 光源 2 の光量: 100 %)

図 2 CG の場面設定と CG の一例

図 2(b) に作成した CG の一例をそれぞれ示す。CG の場面は、影を生じさせるための点光源 1 と周囲を照らすための点光源 2, また遮光球と影が生じる無限平面によって構成される。

実験に用いる CG として、白色、赤色、緑色、青色の 4 色の背景について、点光源 1 の光量を 100 % 一定とし、点光源 2 の光量を 0 ~ 100 % の範囲で 5 % ずつ変化させた計 84 枚を作成した。

図 3 に、背景の色をパラメータとした、光源 2 の光量を 0 ~ 100 % の範囲で変化させた場合の、CG の影の xy 色度を示す。また、図 4 に背景の色をパラメータとした、光源 2 の光量に対する CG の影の輝度を示す。なお、影の色度と輝度の測定には、分光放射輝度計 CS-1000 (Konica Minolta 製) を用いた。

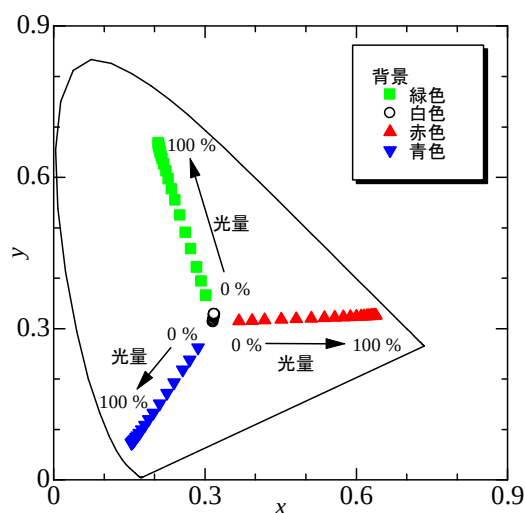


図3 CGの影の色度

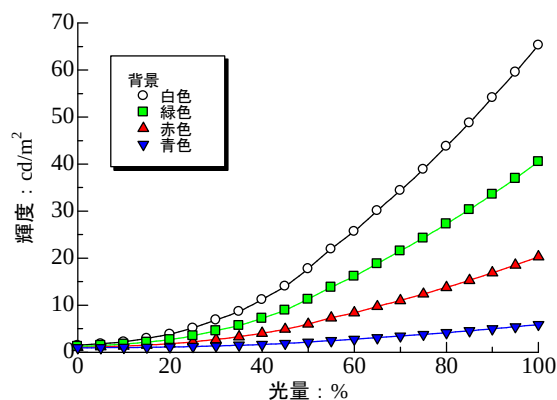


図4 光量に対する影の輝度

図3より、光量が増加すると、有彩色である三原色(赤色、緑色、青色)の色度は、無彩色の座標から遠ざかる。一方、白色の色度は、光量の変化に対してほとんど変化しない。また図4より、背景の色によって変化の範囲が異なるが、光量の増加に対して影の輝度も増加し、両者の関係はガンマ特性¹⁰⁾に近似する。

次に、評価実験の方法について説明する。被験者は暗室に入室した後、暗順応を含めて実験環境に5分間順応する。なお、順応する間、被験者は実験者から評価実験に関する説明を受ける。

実験環境に順応した後、被験者はディスプレイに呈示されたCGに対して影の明るさ、および影の色の成分をそれぞれ評価する。影の明るさについては、一番暗い場合を1、一番明るい場合を10とした1から10の範囲で、また影の色の成分については、反対色のカラーネーミング法¹¹⁾により、無彩色成分(白色、黒色)と有彩色成分(赤色、青色、緑色、黄色)の和が10となるようにそれぞれ回答する。

評価実験では、先に述べた背景を4色、光源2の光量を21段階それぞれ変化させた、計84枚のCGを用いた。ディスプレイの画面には、背景1色につき光量の異なるCGが、ランダムに21種類呈示される。CGの呈示時間は、被験者が評価および回答する時間を考慮し、影の明るさの評価では5秒、また影の色の成分の評価では制限を設けなかった。

被験者は色覚に問題の無い、明るさや色に関する主観評価実験の経験の少ない20代前半の男性3名、女性1名の計4名である。被験者は、影の明るさの評価と影の色の成分の評価をそれぞれ3回行った。なお、被験者の負担を考慮し、背景1色の影の明るさ評価または影の色の成分の評価を、被験者1名につき1日1回実施した。

3. 結果および検討

3.1 影の明るさ

図5に、背景の色をパラメータとした、影の輝度に対する影の明るさの評価結果を示す。なお、影の明るさの評価は、4名の被験者全員ならびに実験回数の平均としている。また、プロットの縦棒は標準偏差である。

図5より、影の輝度と影の明るさの関係は、背景の色によって傾きが異なるが、ウェーバー・フェヒナーの法則¹²⁾を満足するような対数比例となる。影の輝度と影の明るさの関係を、最小二乗法により対数関数に当てはめたところ、すべての背景の色について相関係数0.95以上で回帰できることを確認した。

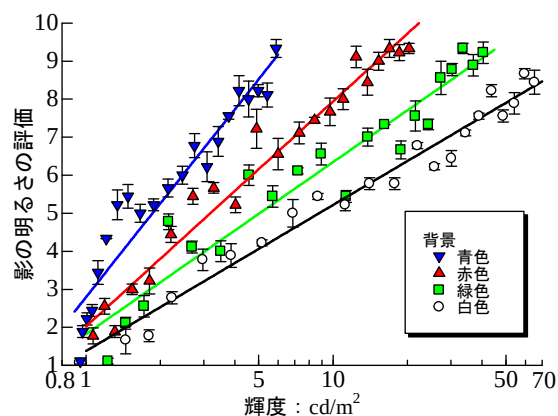
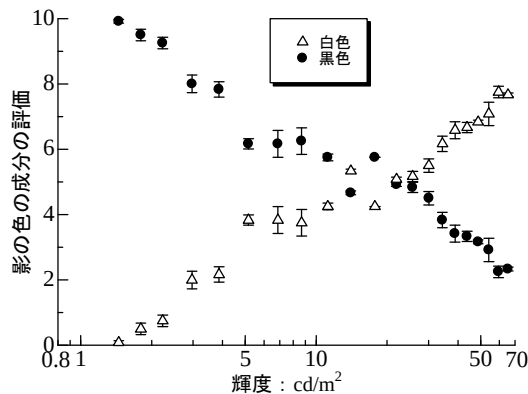


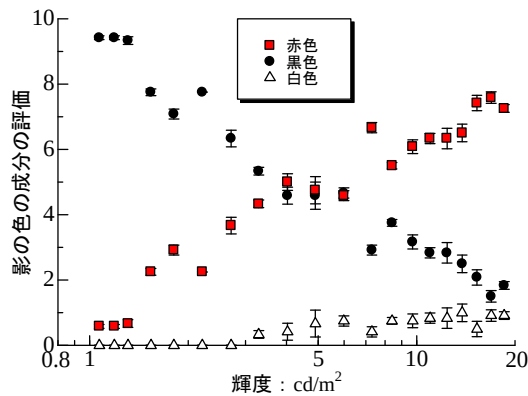
図5 影の輝度に対する影の明るさの評価

3.2 影の色の成分

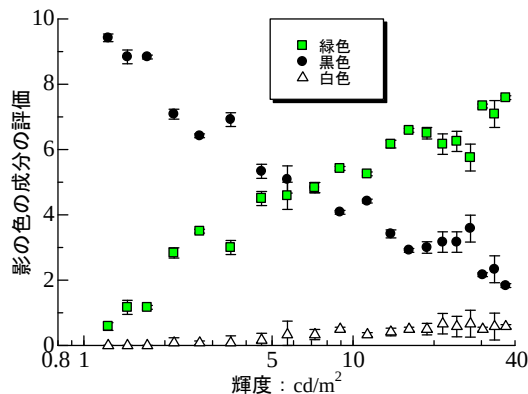
図6に、影の輝度に対する影の色の成分の評価結果を示す。(a)は背景が白色の場合、(b)は赤色の場合、(c)は緑色の場合、(d)は青色の場合である。なお、影の色の成分の評価



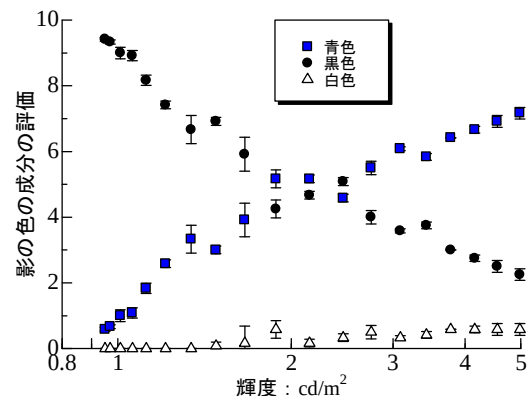
(a) 背景：白色



(b) 背景：赤色



(c) 背景：緑色



(d) 背景：青色

図 6 影の輝度に対する色の成分の評価

は、4名の被験者全員ならびに実験回数の平均としている。また、プロットの縦棒は標準偏差である。

図 6 より、影の色の成分の 80 %以上が、背景の色(白色、赤色、緑色、青色)と黒色によって評価(知覚)されることがわかる。特に背景が三原色の場合、白色の評価は 10 %未満である。よって、白色は明るさ成分にほとんど寄与しないと考えられる。また、各背景の最大の輝度値において、黒色成分の評価が 1~2 で最小となる。

3.3 影の深さと影の見えの関係

次に、影の状態を定量的に表すことのできる影の深さ¹³⁾を用いて、影の中における色の見えを検討する。ここでは、CG の場面における無限平面が均等拡散面に近似すると仮定し、式(1)より影の深さ S を算出した¹⁴⁾。

$$S = \frac{E_0 - E_s}{E_0} = \frac{L_0 - L_s}{L_0} \quad (1)$$

$$\text{ただし, } E_0 = \frac{\pi L_0}{\rho}, \quad E_s = \frac{\pi L_s}{\rho}$$

ここで、 E_0 は影のないときの照度、 E_s は影の中の照度、 L_0 は影のないときの輝度、 L_s は影の中の輝度、 ρ は CG の場面で設定された無限平面の反射率である。

図 7 に、影の深さに対する影の色の成分の評価結果を示す。(a)は背景が白色の場合、(b)は赤色の場合、(c)は緑色の場合、(d)は青色の場合である。なお、影の色の成分の評価は、図 6 と同様に 4名の被験者全員ならびに実験回数の平均としている。

図 7 より、背景の色と黒色が評価される割合は、背景に関わらず影の深さが 0.85~0.95 で逆転し、評価が変化する最大の範囲は 5 となる。式(1)より影の深さは 0~1 の範囲であることから、影の深さが 0.15 と狭い範囲で評価が大きく変化することとなる。

また、図 7(d)より、影の深さが 0.85 以上で、背景の色の青色と黒色の評価が、同じ影の深さの値であっても異なることが示されている。影の深さは、光源と遮光物体によって生じた影のみを定量的に表す値であり、影の周囲の明るさや色などの情報が含まれていない。よって、光源色下における影の見えを説明するためには、影以外の視覚情報を考慮する必要があると考えられる。

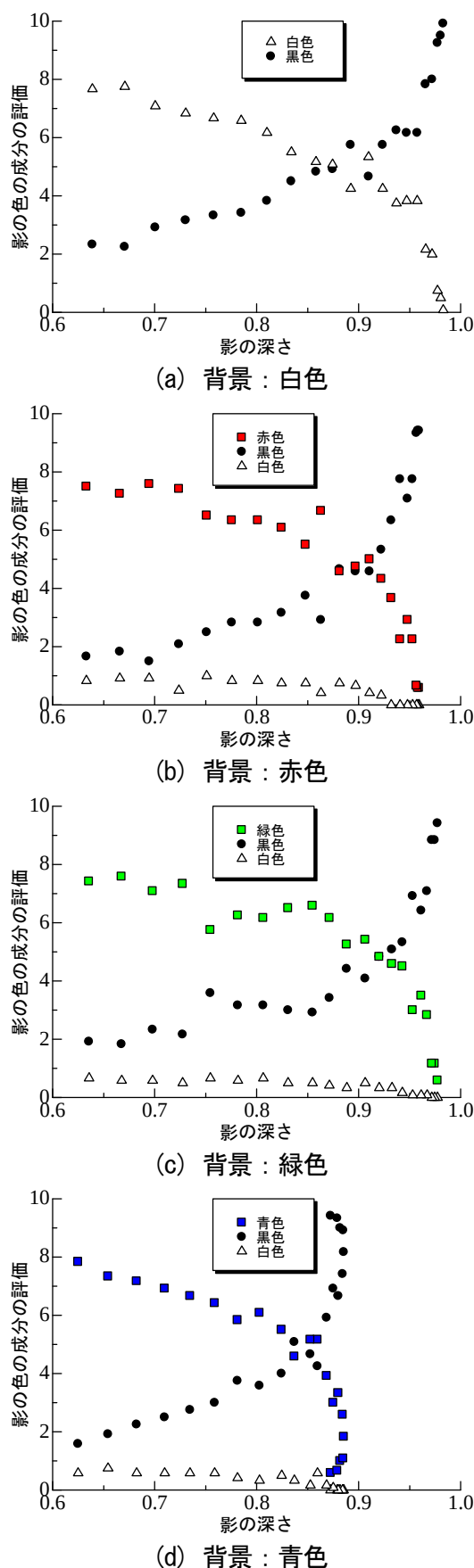


図7 影の深さに対する影の色の成分の評価

4. おわりに

本報告では、CG を用いて背景が白色および三原色(赤色、緑色、青色)の場合の、光源色下における影の明るさと色の見えに関する評価実験を行った。

その結果、今回の実験条件において、以下のことが明らかとなった。

- ① 影の明るさの評価は、背景の色により傾きが異なるが、輝度に対して対数比例が成立する。
- ② 影の色の成分は、80 %以上が背景の色と黒色の組み合わせで評価される。
- ③ 背景が三原色の場合、影の色の成分における白色の評価は10 %未満であり、影の明るさにほとんど寄与しない。
- ④ 影の深さが0.85~1の範囲で、影の色の成分の評価は大きく変化する。

今後は、背景が混合色の場合の、光源色下における影の見えの評価実験を行う予定である。

最後に、卒研究生(当時)の藤澤萌美さんには実験の遂行とデータ整理を、また太田智也君、鍛冶谷智也君、奈良澤友里さん、峯村和樹君には評価実験の被験者としてご協力いただきました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- (1) 阿山ほか: 知覚的黑みの研究, 電子情報通信学会誌, 93-4, pp.316 ~ 321 (2010)
- (2) 内田: 綿布における黒色について, 倉敷市立短期大学研究紀要, 42, pp.27 ~ 34 (2005)
- (3) 内田: 黒色度について—綿布—, 日本色彩学会誌, 32-1, pp.2 ~ 12 (2008)
- (4) 窪田ほか: 液晶ディスプレイに要求される黒レベルの輝度, 映像情報メディア学会誌, 63-3, pp.349 ~ 354 (2009)
- (5) 江田ほか: 黒みと色相・彩度の関係—物体色モードと光源色モードにおける黒み評価—, 日本色彩学会誌, 34-1, pp.30 ~ 49 (2010)
- (6) 内田: 照明光源を変化させた場合の黒色度—綿布—, 日本色彩学会誌, 34-2, pp.143 ~ 150 (2010)
- (7) 山縣, 内川: 色に基づいた画像中の影の認識, VISION (日本視覚学会誌), 8-2, pp.125 ~ 128 (1996)
- (8) 川上ほか: スポーツ照明における影の評価の研究—TV観戦の場合—, 照明学会誌, 84-5, pp.267 ~ 272 (2000)
- (9) 内田, 大谷: JIS 標準色票を用いた評価実験による影の中の照度変化に対する物体色の見えについて, 日本大学生産工学部研究報告 A(理工系), 38-1, pp.69 ~ 72 (2005)
- (10) 照明学会編: 照明ハンドブック(第2版), オーム社, pp.544 ~ 545 (2003)
- (11) 内川ほか: 視覚心理入門—基礎から応用視覚まで—, オーム社, pp.48 ~ 49 (2009)
- (12) 日本視覚学会編: 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店, p.568 (2000)
- (13) Norden, K.: Shadow and Diffusion in Illuminating Engineering, Sir Isaac Sons, Ltd., London, pp.3 ~ 5 (1948)
- (14) 大谷ほか: 画像処理装置による照明評価の一方法について, 日本大学生産工学部研究報告, 25-2, pp.55 ~ 63 (1992)