

二色型色覚者の色知覚シミュレーションに対する評価

Evaluation of Color Reproduction for Dichromats

下 健太郎 Kentaro Shimo
 エリック・クーパー Eric Cooper
 篠田 博之 Hiroyuki Shinoda
 八村広三郎 Kouzaburo Hachimura
 福永 義昭 Yoshiaki Fukunaga

立命館大学 Ritsumeikan University
 立命館大学 Ritsumeikan University
 立命館大学 Ritsumeikan University
 立命館大学 Ritsumeikan University
 キステム Kistem Co., Ltd.

キーワード: 色知覚シミュレーション、二色型色覚、sRGB 規格ディスプレイ

Keywords: color reproduction, dichromat, sRGB display

1. はじめに

色彩は情報を直感的に伝達する手段として有効であり、様々な場面で活用されている。近年ではパソコン・インターネットの普及によって、ディスプレイ上でも色の違いから重要な情報を判断しなければならない機会が増えている。ところが、映し出される色を誰もが同じ色に知覚しているとは限らない。黒地に赤色で文字が強調されている場合、第1色盲の人たちには赤色が黒っぽく見えるため、文字自体を見落としてしまう危険性がある。¹⁾したがって、このような色覚弱者ユーザーを支援する、あるいはデザイナー側が色覚弱者の見えを確認しながら作業できるようなソフトウェアが必要となる。

本研究では、二色型色覚者の見ている色をシミュレートするプログラムを作成し、sRGB 規格ディスプレイを用いた場合のシミュレーション画像について評価を行う。

2. シミュレータの色変換原理

RGB→XYZ→LMS

sRGB 規格ディスプレイに映し出すことのできる色の範囲は、RGB 値のガンマ補正後、以下に示す行列式 (1) (2) より L cone, M cone, S cone の反応を示す LMS 色空間の平行六面体として表される。

LMS→L'M'S'色変換

片眼が色盲、もう片眼は色覚正常である被験者の実験から 475nm の青色と 575nm の黄色、等エネルギー白色 E は、第1色盲・第2色盲の人と色覚正常者が同じ色に認識していることが分かっている。²⁾つまり第1色盲・第2色盲の人が見える色の範囲は図1に示すように OE と 475nm に挟まれた平面と OE と 575nm に挟まれた平面で表される。モニタに映し出される任意の色 ●(l,m,s) は混同色線である

第1色盲は L 軸、第2色盲は M 軸に沿って平行移動し、平面との交点 ×(l',m',s') に変換される。

第3色盲の場合には 475nm、575nm の代わりに 485nm の青緑と 660nm の赤が用いられる。

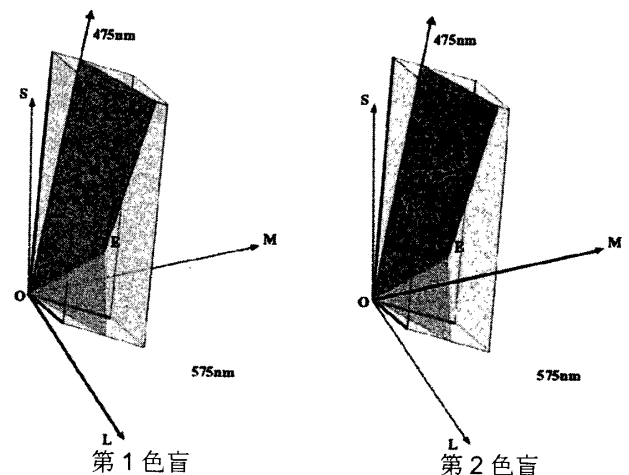


図1 シミュレータの色変換原理

L'M'S'→X'Y'Z'→R'G'B'

行列式 (3) (4) を用いて RGB→XYZ→LMS の逆変換を行い、ディスプレイにシミュレーション画像を再現する。

$$\begin{array}{c} \text{RGB} \\ \downarrow \\ \text{XYZ} \\ \downarrow \\ \text{LMS} \end{array} \quad \begin{array}{l} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1) \\ \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3897 & 0.6890 & -0.0787 \\ -0.2298 & 1.1834 & 0.0464 \\ 0 & 0 & 1.0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{L'M'S'} \\ \downarrow \\ \text{X'Y'Z'} \\ \downarrow \\ \text{R'G'B'} \end{array} \quad \begin{array}{l} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.9102 & -1.1122 & 0.2019 \\ 0.3709 & 0.6291 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L' \\ M' \\ S' \end{bmatrix} \quad (3) \\ \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \quad (4) \end{array}$$

3. 予備実験

色の判別に不便を感じたことのある 12 名に石原色覚検査表と日本色研 100 色相配列検査器を用いて色覚タイプの判定を行った。

結果、被験者は表 1 に示すように振り分けられた。なお、被験者を厳密には色盲・色弱に判別できないため、以下では第 1 色盲・色弱をまとめて Protan、第 2 色盲・色弱を Deutan として扱う。

表 1 被験者の色覚タイプ

	強度の色盲	軽度の色盲
Protan	1名	
Protan or Deutan		3名
Deutan	6名	2名

4. 評価実験

暗室に置かれたモニタには原画像の下に原画像とシミュレーション画像が並べて表示され、被験者は原画像だと思われる方を選択する。全くシミュレートされていないときの誤答率は 0%、シミュレーションが理想的であれば 50%（色盲の人には左右の画像が同じに見えることを示す）となる。

使用した画像はモザイク・イラスト・自然風景からなる 60 画像、シミュレーションは 4 種類で計 240 試行が行われる。

本実験では第 1 色盲にシミュレートされた画像を P タイプ、第 2 色盲を D タイプ、第 3 色盲を T タイプ、そして白黒画像を G タイプと呼ぶことにする。

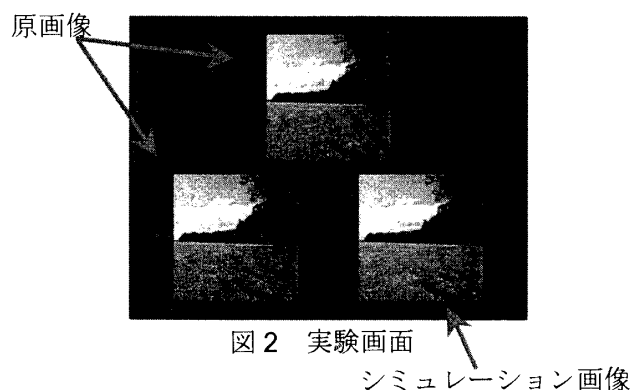


図 2 実験画面

5. 結果

Protan、Deutan でのシミュレータ評価

Protan1 名、Deutan8 名の誤答率を画像種類別に分けた結果を表 2 に示す。Protan の場合 P タイプ平均で約 34%、Deutan の場合 D タイプ平均で約 29%の誤答率を示し、被験者の色覚タイプに合わせたシミュレーション画像での誤答率が高くなった。これよりシミュレータが作動していることを確認できた。

表 2 Protan、Deutan の誤答率

	Protan1名				Deutan8名			
	Pタイプ	Dタイプ	Tタイプ	Gタイプ	Pタイプ	Dタイプ	Tタイプ	Gタイプ
自然風景	35.3	29.4	0.0	0.0	24.3	27.9	2.2	0.0
イラスト	33.3	36.4	0.0	0.0	23.1	28.8	2.7	0.8
モザイク	33.3	0.0	0.0	0.0	18.1	29.2	0.0	0.0
平均	33.9	28.8	0.0	0.0	22.7	28.6	2.1	0.4

ところが Protan の D タイプ、Deutan の P タイプといった別の色覚タイプシミュレーションでもある程度の誤答率があった。

強度 Deutan、軽度 Deutan でのシミュレータ評価

色盲の程度によるシミュレータ評価を行うため、被験者の多かった Deutan を強度 Deutan6 名と軽度 Deutan2 名に分け、結果を表 3 にまとめる。強度 Deutan の誤答率は被験者の色覚タイプである D タイプが P タイプよりも大きくなった。これに対して軽度 Deutan では色覚タイプであるはずの D タイプが P タイプよりも小さくなるという結果となった。

表 3 強度 Deutan と軽度 Deutan の誤答率

	強度のDeutan6名				軽度のDeutan2名			
	Pタイプ	Dタイプ	Tタイプ	Gタイプ	Pタイプ	Dタイプ	Tタイプ	Gタイプ
自然風景	30.4	36.3	2.0	0.0	5.9	2.9	2.9	0.0
イラスト	27.3	34.8	2.5	1.0	10.6	10.6	3.0	0.0
モザイク	20.4	38.9	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0
平均	27.1	35.9	2.0	0.6	9.3	6.8	2.5	0.0

6. 結論

未構成の sRGB 規格ディスプレイでもある程度のシミュレーションができていることを確認できた。ただし、被験者の色覚タイプ、程度によって色覚再現には大きな誤差を生じた。

参考文献

- 1) 岡部正隆、伊藤啓：色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション：細胞工学 Vol.21 No7 (2002)
- 2) Hans Brettelle、Francoise Vienot、John D. Mollon：Computerized simulation of color appearance for dichromats：J.Opt.Soc.Am.A Vol.14 No.10 (1997)