

記憶色特性を利用した色弱度の推定及び色弱補正に関する研究 Estimation and compensation of color-weakness based on properties of color memory

高田 峻太郎[†] 阿山 みよし[‡] 趙 晋輝[†]
Ryotaro Takada Miyoshi Ayama Jinhui Chao

1. はじめに

最近バリアフリー技術の中で、色彩のユニバーサルデザインのための、色弱者に対する色弱補正が注目されている。とくに色弱者の色弁別閾値特性に基づき補正を行う方式[3]が提案されているが、主観的色彩感覚が個人ごと異なるためそれに対応する必要があると考えられる。本研究は、記憶色の特性を利用して主観的色彩感覚を考慮に入れ、自然画像への対応も可能な色弱補正を提案する。

2. 提案手法

本研究では、記憶色における彩度の変化幅を健常者と色弱者で比較、その度合いから個人に適切な補正值を算出すること。また、算出した補正值を用いた自然画像の補正結果をSD法により心理的尺度で評価する。

2.1 記憶色の特性

先行研究により、記憶色は元の色より彩度が高くなり、輝度が低くなることがわかっている。本研究では、色弱者はその記憶色の特性が健常者よりも大きく表れるという仮定のもと、変化量の程度の差から補正值とする色弱度を求める。

2.2 記憶色実験

色弱度を求める上でテストに用いる単色画像は、LMS色空間において輝度を一定に保ったままLまたはM方向のみ変化させた色を用いることが理想的である。そのため、等輝度平面を考え、LとM方向の混同色線を等輝度平面に射影した直線上の色をテスト色として用いる。(以下ではM方向のみを考える)

等輝度平面は、LMS色空間においてSは輝度に関して仕事をしないとされているため、輝度aとしたときの等輝度平面Eを

$$E: L + M = a \quad (1)$$

とする。EにM方向の混同色線 $\Gamma := (L_0, M, S_0)$ を射影すると、射影は下記の2点を端点とする線分となる。

$$P_1 := (\alpha, 0, \alpha S_0/L_0)^T, P_2 := (0, \alpha, 0)^T$$

従って、線分 Π は以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \Pi: \alpha P_1 + (1-\alpha)P_2 \\ = \alpha(\alpha, 1-\alpha, \alpha S_0/L_0)^T \end{aligned} \quad (2)$$

この式に基づいてL, M, Sの値を決定していく。

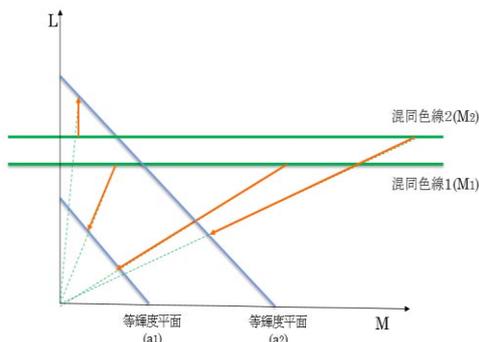


図1 二次元平面における混同色線

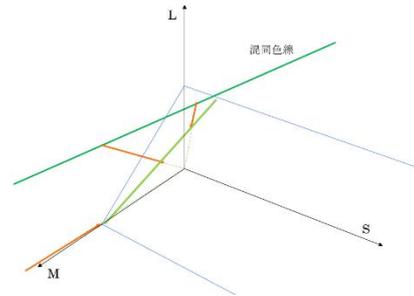


図2 三次元平面における混同色線

2.3 色弱モデルと補正法

2.3.1 色弱モデル

色弱度推定をするにあたって以下の色弱モデルを用いた。LMS空間内において、3D分布している刺激値を完全に平面へ投影する色盲モデルに対し、色弱モデルはその投影の途中段階と仮定する。まず、色弱の程度を表すパラメータ ω

($0 < \omega < 1$) を色弱度と定義する。次にある色刺激をQ, 色盲者の知覚する色刺激をQ', 色弱者の知覚する色刺激をQ'' とすると、Q'' は色弱度 ω を用いて、

$$Q'' = f(Q, Q') = Q' + (1-\omega)(Q - Q') \quad (3)$$

と表すことができる[3]。

2.3.2 色弱の補正法

色弱モデルでは、Q' を基準として、長さ(Q - Q') を(1 - ω)倍に縮小したものを色弱者の知覚する写像とした。従って、その逆写像として、長さ(Q - Q') をあらかじめ1/(1 - ω)倍したものを色弱者に提示すれば、健常者と同様の色刺激として知覚することができるとされている。補正式は以下の式のようになる。

$$P = Q' + (Q - Q')/(1-\omega) \quad (4)$$

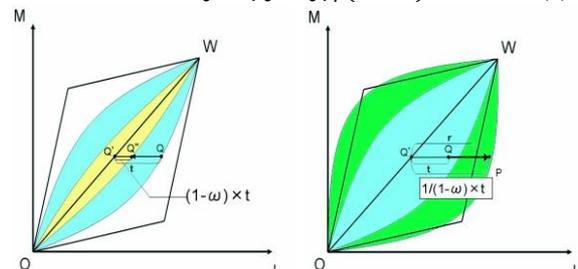


図3 色弱モデル(左)と補正モデル(右)

2.4 実験方法

等輝度平面上に射影した混同色線上から等間隔 Δ の7点を用いる。これらは彩度の違う等輝度の単色画像になる。こ

の単色画像のうち彩度が中間のものを元画像、残りを比較画像として扱う。実際の実験手順は以下のとおりである

- Step 1: 暗室に入り 1 分間の順応時間を設ける
- Step 2: 元画像を見て覚えてもらう
- Step 3: グレー画像を 5 秒間表示する
- Step 4: 比較画像を表示し、彩度に関して 5 段階で評価してもらう
- Step 5: グレー画像を 5 秒間表示する
- Step 6: Step 2 ~ Step 5 を比較画像全てに対して評価を行う

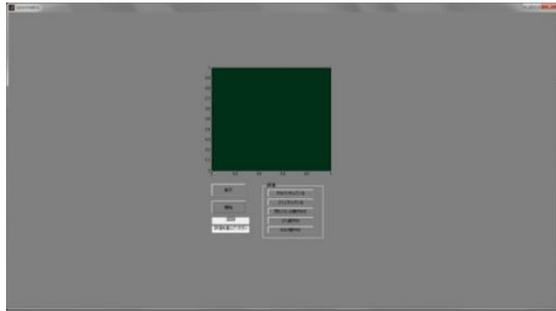


図 4 実験画面

2.5 色弱度推定

本実験では記憶色による変化量の程度から色弱度を求めるため、実験結果をもとにグラフ化する。横軸は実験に用いた単色画像の彩度に対応させる。その際、原点は元画像の彩度をする。縦軸は実験での被験者の評価に対応させる。原点は元画像と変わらないという評価とする。

このグラフ上の点から最小二乗法を用いて近似直線を求める。健常者の近似直線の x 切片を a、色弱者の近似直線の x 切片を b とし、色弱度 ω を

$$1 - \omega = a / b \quad (5)$$

と定義する。

2.6 SD 法

実験から求めた色弱度を自然画像の補正に用いた補正画像を用意し、画像の心理的尺度の評価に用いられる SD 法により元画像と比較する。

3. 結果と考察

3.1 色弱度推定の結果

今回は間隔 Δ が 0.02 と 0.015 の 2 つのパターンで色弱度推定を行った。どちらも色弱者の x 切片のほうが大きくなり、色弱者の記憶色は健常者に比べてより鮮やかに変化しているといった結果となった。以下の実験結果の図では健常者の結果を黒、色弱者の結果を緑としている。また、どちらも破線が近似直線となっている。

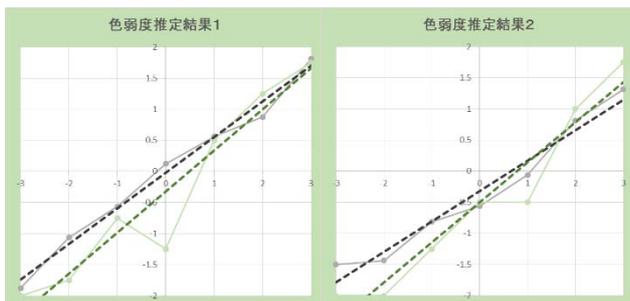


図 5 色弱度推定結果

3.2

3.3 SD 法の結果

SD 法で比較するにあたって、

- (1) 元画像に対する健常者の評価と元画像に対する色弱者の評価
- (2) 元画像に対する健常者の評価と補正画像に対する色弱者の評価

で比較し、評価の相関係数を算出している。相関係数 S は、

- $0 \leq S < 0.2$: 相関なし
- $0.2 \leq S < 0.4$: 弱い相関
- $0.4 \leq S < 0.7$: やや強い相関
- $0.7 \leq S \leq 1.0$: 強い相関

実験結果では、(1) は相関係数 0.24, (2) は 0.55 となり、補正前よりも強い相関が表れている。

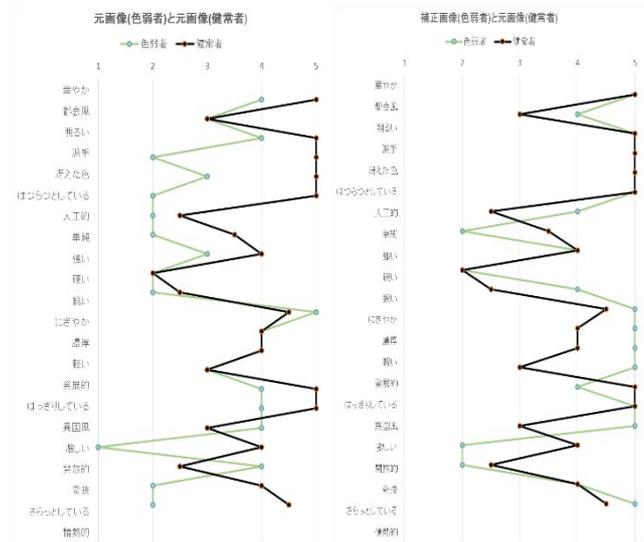


図 6. SD 法実験結果 左が(1) 右が(2) 両方とも健常者が黒、色弱者が緑

4. まとめ

今回の研究で色弱者は健常者に比べて記憶色がより鮮やかに変化するという事実。またその変化量から色弱度を求め、画像補正を行った結果、心理的評価において補正を行わないよりもよい結果が出るということがわかった。今後、より適切な色弱度の算出方法を検討する予定である。

参考文献

- [1] 内川恵二, “色覚のメカニズム”, 朝倉書店, (1998).
- [2] 日本色彩学会, “新編 色彩科学ハンドブック 第 3 版”, 東京大学出版会(2011)
- [3] 望月理香、中村竜也、趙晋輝, “色弁別閾値を用いた色弱補正法” 電子情報通信学会論文誌 A

† 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻
 Information and System Engineering, graduate school of
 Science of Engineering, Chuo University
 ‡ 宇都宮大学大学院工学研究科先端光工学専攻
 Department of Optical Engineering, graduate school of
 Engineering, Utsunomiya University