

異常三色型色覚異常者のための線形的色補正 A linear color correction method for supporting anomalous trichromats

久保 麗¹⁾ 國島 丈生¹⁾
Urara Kubo Takeo Kunishima

1 はじめに

一般に異常三色型色覚異常者は色の認識、識別が困難であるが、その程度には個人差がある。また人間の色知覚は外部から観測することが難しく、色彩補正技術の実現のためには、個人の色知覚特性を推定する技術が不可欠である。

望月ら [4][5] は、色空間のリーマン空間としての幾何学的特性に着目し、色覚異常者と正常三色型色覚者の色弁別しきい値データからリーマン正規座標系を構築し色差感覚の補正を行う方式を提案しており、評価実験においては極めて良好な結果が得られている。しかし、この研究では多数の色弁別しきい値データの測定を必要とし、色覚異常者が手軽に利用できる技術とは言い難い。

色覚異常者が不都合なく認識できるように実際の色情報を補正するためには、色を弁別可能にすればよく、精度の高い色空間を構築しなくても実現できる可能性がある。本研究では、Brettel ら [3] が提案した色見えシミュレーション手法を応用することで、望月らによる先行研究より簡便な方法で充分な色弁別を可能とする方式を提案し、異常三色型第 2 色覚異常者 1 名を被験者として検証実験を行った。この結果についても報告する。

2 先行研究

ここでは、Brettel らが提案した、二色型第 2 色覚異常者の見る色のシミュレーション方法について述べる。

まず、RGB 色空間から LMS 色空間への変換を行うために、Brettel らが測定した、R, G, B の単色光のディスプレイ上の最大出力に対する L 錐体, M 錐体, S 錐体の反応値の組をそれぞれ、 $P = (L_i, M_i, S_i)^T (i = R, G, B)$ とすると、任意の色刺激 Q の RGB-LMS 変換式は、次のように書ける。

$$\begin{pmatrix} L_Q \\ M_Q \\ S_Q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} L_R & L_G & L_B \\ M_R & M_G & M_B \\ S_R & S_G & S_B \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R_Q \\ G_Q \\ B_Q \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、LMS 色空間を三次元的に図示し、正常三色型色覚者の見ている色刺激を二色型第 2 色覚異常者の見ている色刺激に移すことを考える。その変換アルゴリズムを模式的に表したのが図 1 である。

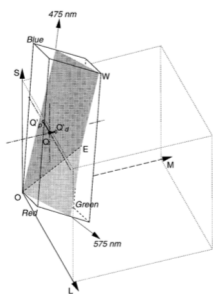


図 1 LMS 空間における変換アルゴリズムの幾何学的模式図

1) 岡山県立大学 Okayama Prefectural University

図 1 において、平行六面体はディスプレイ上で表現可能な色空間を表しており、斜線部で示される平面 P はその中でも二色型第 2 色覚異常者の感じる色空間を表している。色 Q に対応する二色型第 2 色覚異常者が感じる色 Q' を求めるためには、色 Q を平面 P へ射影することを考えるから、 $(E \times A)Q' = 0$ を解けばよい。(E は無彩色, A は赤緑系二色型色覚の色覚特性を表す色刺激をそれぞれ表し、 A の波長は 475nm および 575nm である。) その結果、 $Q' = (L_Q, M_Q, S_Q)^T$ を得る。

3 提案手法

本研究では、まず Brettel らが提案したアルゴリズムにおいて、錐体の分光感度を用いて LMS 空間を定義し、任意の色刺激 Q から二色型第 2 色覚異常者の感じる色刺激 Q' への変換を実装する。

次に求めた色刺激 Q' から逆変換を考え Q_{max} とし、補正できる色の限界点とする。被験者の感じる色刺激 Q'' は図 2 のように、元の色 Q と二色型第 2 色覚異常の見る色 Q' を内分する位置にあると考え、その内分比を $r (0 \leq r \leq 1)$ とする。この時、補正後の色刺激 Q_x は、 $Q - Q_{max}$ の内分点にあると考えられるから、内分比 r を“補正度”と定義して測定すれば良いと考えた。いくつかの色に対して測定し集めた点から L, M, S の三つを変数として補正度 r を近似することで、任意の画素に対する、被験者にとって最適な色の補正度を求めるという手法を提案した。

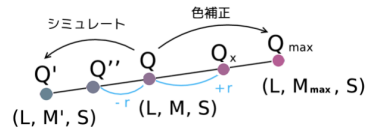


図 2 シミュレーションの逆変換から補正方向を考える模式図

今回は測定点はパネル D-15 (図 3) から得られる 16 点とし、補正度 r の近似には最小二乗法を用いその次数は 1 次とした。なお、パネル D-15 は色覚異常検査に用いられ、低彩度の 16 色から成り、はじめの色を基準として順に並び替えることで色覚異常の検出ができる医療器具である。今回はその色のデータはスマートフォン用アプリ [7] から得たものを使用した。



図 3 パネル D-15 テストの色

4 実験

4.0 実験環境

- 使用機器
 - モニター: MacBookAir
- 開発環境
 - X-code(使用言語: swift, obj-C)
 - openCV [6]

4.1 補正度 r の測定

本実験では、補正度 r の測定値を集めるために簡単な GUI を設計した。被験者はパネルの上に白文字で書い

た色名を参考に、自らの中の色認識と一致するように各色を調整し、補正度を確定する作業をする。

測定結果を図3に示す。色ごとに測定した補正度 r_i [%] は画面下部に表示されている。第二色覚異常者にとって認識が困難な黄緑、オレンジ、桃色付近で r_i の値が大きくなっていることがわかる。

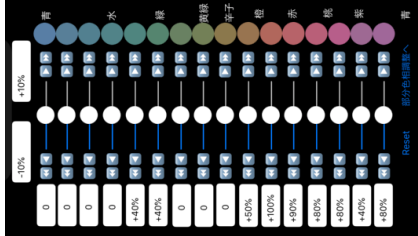


図4 測定結果

4.2 補正度 r の近似と適用結果

測定結果から、16個の色データ (L_i, M_i, S_i, r_i) ($n = 0, 1, \dots, 15$) が得られた。これを最小二乗法近似で近似すると、 $r = 11.54L - 28.17M + 1.21S - 0.027$ を得た。図2にしたがってこれを適用すると、色刺激 $Q = (L, M, S)$ に対する色補正の変換式は、 $M' = M + r * (M_{max} - M)$ とすれば良いことがわかる。図1に対してこの変換をかけて比較したところ、図3を得た。



図5 元の色(上)と変換後の色(下)

次にこの変換結果を評価するため、元の色と変換後の単色パネルをそれぞれ被験者が並び替え、元の色と並び順に番号をつけたところ、図4.5のようになった。どちらも並び替えエラーが起こっているが、補正後の方が並び替えやすいという評価を得た。また、先に補正後の方を並び替えたため、元のパネルの並び替えの時には慣れが生じた可能性がある。



図6 元のパネル D-16 テストの並び替結果



図7 変換後のパネル D-16 テストの並び替結果

5 その他の画像への適用

次に、測定により近似した r を用いて同様の変換を図8に示したに対して行った。これは石原検査表の画像の一つで、第一および第二色覚異常者にとっては文字が見えないことが多いが、正常三色型色覚者には"6"という数字が中央に見えるものである。

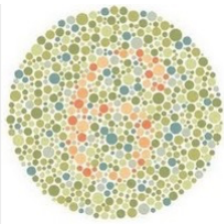


図8 石原検査表の一つ

まず、近似して求めた補正度 r を図8に対して適用したところ、図9を得た。この時、被験者には文字が全く見えなかった。

次に、補正度を徐々に上げていく実験を行った。 $r+2.0$ まで補正度を変更したところ、図10を得た。この時、被験者には"6"という文字が見えるようになった。

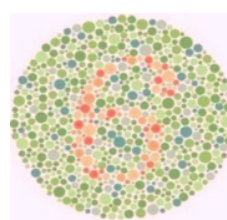


図9 補正結果

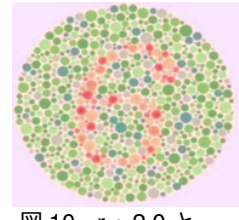


図10 $r+2.0$ として補正した結果

6 問題点

実験結果(図6)より、今回の変換によって認識しにくい色の識別が完全にできるようになったとは言えなかった。その原因として、補正度 r_i の測定の際にすでにグラデーションに並んだ状態のパネルを調整するようにしたことで、補正度を低く測定してしまったのではないかと考えられる。今後の解決策として、補正度 r_i の測定方法を検討する必要がある。例えば、被験者にとって見分けが付きにくい色同士を隣に置いて比較することや、望月らの測定手法に倣って被験者と正常三色型色覚者の色差感覚を対応づけることなどが挙げられる。

また、被験者が石原検査表の文字を認識できるようになった図10では、3節で述べた補正後の色の限界点 Q_{max} を超えていることから、補正後の色の限界点についても今後検討する必要がある。

7 結論

本稿では、元の色に対応する二色型色覚異常者の感じる色を求めることで、その逆変換を線形的に考え、補正後の色の限界点とし、被験者にとって最適な補正度を求めて全ての色に対して変換ができることを目指した。結果として、単色で表示した時には被験者が正しい色味を認識することは可能となったが、隣り合った色の識別ができるほどの十分な結果は得られなかった。今後の解決策として、補正度の測定方法の検討と、補正後の色の限界点についての検討が挙げられた。

参考文献

- [1] 篠田 博之、藤枝 一郎、色彩工学入門、森北出版株式会社、東京都、2009年。
- [2] 小瀬 輝次・ほか、川上 元朗、色彩の辞典、朝倉書店、東京都、1992年。
- [3] Brettele, H., Vienot, F., and Mollon, J. D. "Computerized simulation of color appearance for dichromats," *Journal of the Optical Society of America*, A, Vol.14, No.10, pp.2647-2655, 1997.
- [4] R. Mochizuki, T. Nakamura, J. Chao, and R. Lenz, Color-weak correction by discrimination threshold matching, In Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision, Vol.2008, No.1, pp.208-213, Jan. 2008.
- [5] 大島 哲, 望月 理香, 趙 晋輝, リーマン正規座標系を用いた色空間における色差保存写像の構築と色弱補正方式への応用, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J94-D, No.1, pp.68-76, 2011.
- [6] <https://opencv.org>
- [7] マンセル d-15-テスト <https://itunes.apple.com/jp/app/マンセル-d-15-テスト/id576175224?mt=8&ign-mpt=uo%3D4>