

# ユーザによる色の類似評価に基づく色覚特性の簡易判定

日大生産工（院）      ○小川剛史  
日大生産工              目黒光彦

## 1 はじめに

色覚は、網膜上に存在し、光の波長に応じた反応の異なる L, M, S の各錐体の、光に対する反応値の比で生じる。LMS 錐体のいずれかが欠落しているか、波長に対する特性のずれにより、色の弁別が困難な色覚特性である色覚異常が生じる<sup>1)</sup>。色覚異常のうち、LMS 錐体をすべて有していても、いずれかの錐体の特性にずれを生じている場合を異常三色型色覚と呼ぶ。LMS 錐体のうち、いずれか一つが欠落している場合を二色型色覚と呼ぶ<sup>2)</sup>。本稿では、色覚異常の中の二色型色覚のうち、L 錐体を欠いた二色型第一色覚、M 錐体を欠いた二色型第二色覚を対象に、いずれかの色覚特性であるか、ユーザによるコンピュータ操作を通じて色覚特性を判定する手法を提案する。

既存の色覚異常の検査法として、仮性同色表を用いた石原式色盲表や色光を用いたアノマロスコープ検査がある。石原式色盲表は色覚異常であるかないかを調べる検査法であり、二色型第一色覚異常か二色型第二色覚異常かまでは特定できない<sup>3)</sup>。アノマロスコープ検査は仮性同色表で検出された色覚異常、あるいは疑いのあるものを検査して、色覚異常の型と程度を判定する検査法である。アノマロスコープを用いた検査法によって、二色型第一色覚異常と二色型第二色覚異常が確定診断でき、また色覚異常の程度の判定が可能である<sup>3)</sup>。これらの検査は、眼科医による検査で判定されることが原則である。しかしながら、ユーザのコンピュータ操作により簡易判定の実現も有用である。

コンピュータを利用した色覚検査法も既に提案されている。Seohan らの 100 hue test は、コンピュータ上に仮性同色表を表示し、検査することで色覚特性を判定するものである。照明やモニターからの距離、モニターの設定など検査環境を厳しく設定しながらの使用が前提である<sup>4)</sup>。

本稿では、検査環境を厳しく設定せずとも、誰でも手軽に検査ができるよう、コンピュータでの簡易なユーザ操作による Java アプレットで実現される簡易色覚検査法を提案する。検査手法としては、線上の色の組み合わせが混同色となる混同色線を用いて、一方の窓の色を第一色覚異常の混同色線上をユーザに操作させて表示し、もう一方の窓の色を第二色覚異常の混同色線上をユーザに操作させて表示して、ユーザに色の色相の変化が大

きい組合せを選択させることにより、二色型第一色覚であるか、二色型第二色覚であるかを判定する手法を提案する。

## 2 色の表現方法と色覚異常者の色覚モデル

### 2.1 XYZ 表色系

色の情報として最もよく用いられる RGB はディスプレイ、カメラ、コンピュータの OS のデバイスの違いにより見え方の異なる色空間である。色を取り扱う際に、CIE(国際照明委員会)において規定されている CIE-1931XYZ 表色系 (以降 XYZ 表色系と略す) を基準として用いることが一般的である<sup>5)</sup>。RGB 値から XYZ 値への変換は以下の式 (1) により行うことができる。R', G', B' は、R, G, B の各チャンネル値を 0~1 の値に正規化したものである。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40.9568 & 35.5041 & 17.9167 \\ 21.3389 & 70.6743 & 7.9868 \\ 1.8629 & 11.4620 & 91.2367 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}. \quad (1)$$

XYZ 表色系は色との対応関係を考慮して作られておらず、それぞれの数値と色彩との関係がわかりづらい。そこで、XYZ 表色系から輝度と色相情報を表現するための Yxy 表色系が、以下のように求められる。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}. \quad (2)$$

Y は輝度を表し、x, y は色の種類を表す色度を表す。x, y を色度座標と呼び、x, y からなる二次元平面を xy 色度図という。図 1 に xy 色度図を示す。xy 色度図中の馬蹄形の実線の内部が、人が知覚できる可視光の色の領域である。色度図上の三角形は sRGB のカラートライアングルで、三角形の頂点が sRGB で定義される赤、緑、青の三原色に当たる。パソコンのディスプレイで正確に表示されるのはこの三角形の範囲内のみで、三角形の外側の色を再現することができない。なお、Yxy 表色系から XYZ 表色系への逆変換は以下の式 (3) により行う。

---

## Simply Judgment of characteristics of color vision by user interaction

Tsuyoshi OGAWA and Mitsuhiro MEGURO

$$X = \frac{Y}{y}x, \quad Z = \frac{Y}{y}(1-x-y). \quad (3)$$

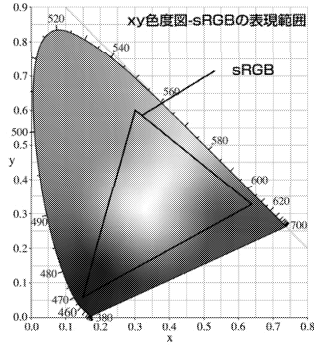


図 1:  $xy$  色度図

## 2.2 色覚異常者の色覚モデル

本稿において、実際に色覚異常者が知覚しているとされる LMS 錐体の反応値を再現する色覚異常者の色覚モデルについて説明する。二色型第一色覚異常と二色型第二色覚異常の見え方に変換する方法である。まず、 $RGB$  値を第一色覚異常の場合は式 (4)、第二色覚異常の場合は式 (5) を用いて色の調整を行う。調整後の  $R'G'B'$  値を正規化し、式 (1) によって  $XYZ$  値へと変換する。次に、 $XYZ$  値から色覚正常者における LMS 錐体の反応値を求める。 $XYZ$  値から  $LMS$  値への変換は式 (6) によって行う。

$$\begin{aligned} R' &= 0.992052R + 0.003974, \\ G' &= 0.992052G + 0.003974, \\ B' &= 0.992052B + 0.003974. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} R' &= 0.957237R + 0.0213814, \\ G' &= 0.957237G + 0.0213814, \\ B' &= 0.957237B + 0.0213814. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1551 & 0.5431 & -0.0032 \\ -0.1551 & 0.4568 & 0.0329 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0161 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}. \quad (6)$$

次に、求められた LMS 錐体の反応値を式 (7)、(8) によって色覚異常者における LMS 錐体の反応値へと変換する。ただし、第一色覚異常における  $LMS$  反応値を  $L_p, M_p, S_p$ 、第二色覚異常における  $LMS$  反応値を  $L_d, M_d, S_d$  とする。

$$\begin{bmatrix} L_p \\ M_p \\ S_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0 & 2.02344 & -2.52581 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}, \quad (7)$$

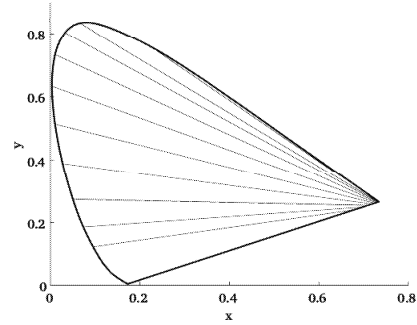
$$\begin{bmatrix} L_d \\ M_d \\ S_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.494207 & 0.0 & 1.24827 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix}. \quad (8)$$

式 (7), (8) によって求められた  $LMS$  値から、色覚異常者における  $XYZ$  値を算出する。 $LMS$  値から  $XYZ$  値への変換は、式 (6) の逆行列によって行う。以上の手順を踏むことで、色覚正常者においても色覚異常者の色の見え方を推測することができる<sup>5)</sup>。

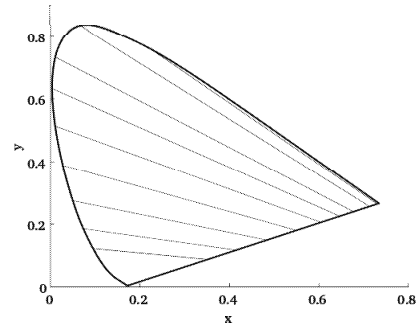
## 3 類似評価に基づく色覚特性の簡易判定

### 3.1 色覚異常者における弁別困難色

色覚正常者が弁別可能である色の組み合わせも、色覚異常者には弁別困難な色の組み合わせである混同色がある。色覚異常者にとって弁別が困難となる組み合わせは、混同色線とよばれる上に存在する色の組み合わせである。図 2 に  $Yxy$  表色系の  $xy$  色度図における混同色線を示す<sup>6)</sup>。



(a) 第一色覚異常の混同色線



(b) 第二色覚異常の混同色線

図 2:  $xy$  色度図における混同色線

### 3.2 色覚特性検査手法

本稿では、ユーザにディスプレイ上で色を提示させ、色の類似評価を行うことによって色覚特性の判定を行う手法を提案する。Java アプレットによる色覚判定システムの実現の様子を図 3 に示す。本システムはディスプレイにおいて提示するため、表示色は  $sRGB$  の範囲内の色に限定される。幾つかのステップに分け、 $xy$  色度図の混同色線を利用した本システムの検査手法を説明する。

スクロールバーで色を変化させます。色の変化が大きいほうを選択し、決定ボタンを押してください。1回目

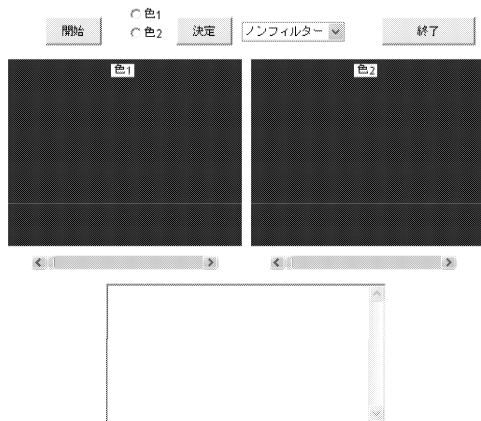


図3: 色覚判定システム

### 【ステップ1】

開始ボタンが押されると、まず、 $sRGB$  の3頂点の内、緑の原色  $(x, y) = (0.30, 0.60)$  と青の原色  $(x, y) = (0.15, 0.06)$  を結んだ線分  $GB$  上の一点をランダムに選択する。選択された点を  $O$  とし、点  $O$  の  $x$  座標を  $x_{min}$  とする。図4にステップ1の様子を示す。

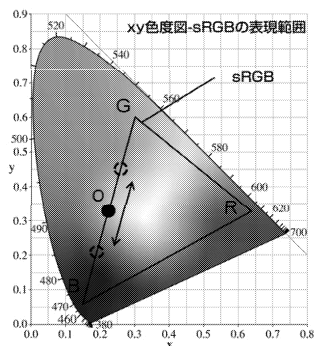


図4: ステップ1

### 【ステップ2】

第一色覚異常の混同色線中心  $(x, y) = (0.747, 0.253)$  を  $\alpha$ 、第二色覚異常の混同色線中心  $(x, y) = (1.08, 0.08)$  を  $\beta$  とすると、点  $O$  と第一色覚異常の混同色線中心  $\alpha$  を結んだ直線  $f(x)$  と、点  $O$  と第二色覚異常の混同色線中心  $\beta$  を結んだ直線  $g(x)$  を求める。このとき、 $f(x)$  は第一色覚異常の点  $O$  を通る混同色線を表し、同様に  $g(x)$  は第二色覚異常の点  $O$  を通る混同色線を表している。図5にステップ2の様子を示す。

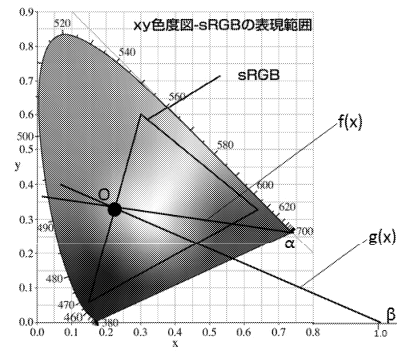


図5: ステップ2

### 【ステップ3】

$sRGB$  の範囲内で処理を行うため、直線  $f(x)$  と線分  $RB$  との交点  $P$ 、直線  $g(x)$  と線分  $RB$  との交点  $Q$  を求める。このときの点  $P$  の  $x$  座標を  $x_{1max}$ 、点  $Q$  の  $x$  座標を  $x_{2max}$  とする。直線  $f(x)$  の中で、実際に表示できる範囲は線分  $OP$  であり、 $x_1$  の範囲は  $x_{min} \leq x_1 \leq x_{1max}$  となる。同様に、 $g(x)$  の中で、実際に表示できる範囲は線分  $OQ$  であり、 $x_2$  の範囲は  $x_{min} \leq x_2 \leq x_{2max}$  となる。図3にステップ3の様子を示す。

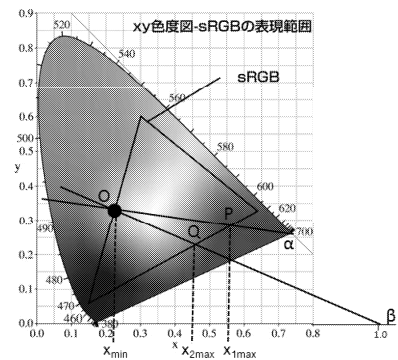


図6: ステップ3

### 【ステップ4】

線分  $OP$  上の色と線分  $OQ$  上の色を色1と色2の窓に表示する。色1の窓に第一色覚異常の混同色線上の色、色2の窓に第二色覚異常の混同色線上の色を表示させるなど、同様の表示を行うことで適正な検査を行えない。そこで、ランダムに右の窓と左の窓で、第一と第二のどちらの混同色を表示させるかはランダムに提示させることとする。さらに、各スクロールバーの範囲を  $x_1$  と  $x_2$  の範囲に設定する。スクロールバーを操作することで混同色線上を移動させ、スクロールバーから新しい  $x$  を取得してその時の色を対応する窓に表示する。

### 【ステップ5】

ユーザにスクロールバーを操作させて色を混同色線上を移動させ、色1と色2のどちらの色の色相の変化が大きいのに見えるか選択させる。色相の変化を観測させることで、明るさの変化を色の違いとして観測しないようにする。

### 【ステップ6】

ステップ1～5を複数回、繰り返し行う。終了ボタンが押されると、下のテキストボックスに、左右どちらの窓の色が類似色であるかを選択した履歴結果を表示する。実験の各回における選択結果を総合することから判断し、第一色覚であるか、または、第二色覚であるかの可能性を表示する。

本研究では、色覚正常者においても本システムが正常に動いているかをテストできるように、表示する色を色覚異常者の見える色へと変更するフィルターをかけられるようにしている。このフィルターにより、色覚正常者でも二色型第一色覚異常者や第二色覚異常者であると仮定してテストを行うことができる。

表 1: 第一色覚異常モデルでの結果

第一可能性 (%)	フィルター	モニター
100～80	5	6
80～60	2	1
60～0	0	0

表 2: 第二色覚異常モデルでの結果

第二可能性 (%)	フィルター	モニター
100～80	7	7
80～60	0	0
60～0	0	0

## 4 検証結果

提案システムを色覚正常の被験者に提示し、実験を行う。第一色覚、および第二色覚者の見えかたを模擬する処理を施した混同色による実験、および、第一色覚、および第二色覚者の見え方をリアルタイムに表示可能な色覚シミュレーションソフトウェア「UniColor Pro」を搭載するナナオ製の色覚シミュレーションモニター「Flex Scan SX2461W-U」において、第一色覚、および第二色覚者の見え方を模擬したうえで検証し、結果を比較する。「Flex Scan SX2461W-U」は色覚バリアフリーを目指している団体、CUDOによるカラーユニバーサルデザイン認証を取得しており、色覚シミュレーション表示の信頼性が高いとされている<sup>7)</sup>。

色覚判定システムでの検証の様子を図7に示す。七人の色覚正常者に協力してもらい、色覚判定システムと「SX2461W-U」での検証を行った結果を表1,2に示す。それぞれの表は、第一色覚者が第一色覚異常と判定される可能性と第二色覚者が第二色覚異常と判定される可能性を表す。

ありがとうございました。結果はテキストボックスにて。再開は開始ボタン。

10回目



図 7: 検証例

色覚判定システムとSX2461W-Uモニターでの検証結果がほぼ同じことから、色覚判定システムでの色覚モデルへの変換とSX2461W-Uモニターでの色覚モデルへの変換はほぼ同様の色変換を行っていることがわかる。色覚判定システムとSX2461W-Uモニターが共に色覚異常を高い可能性で正しく判定していることから、提案したシステムは第一色覚異常かあるいは第二色覚異常かを正しく判定していることがいえる。

## 5 おわりに

本稿では、 $xy$ 色度図上の混同色線を用い、誰でも手軽に色覚特性の検査ができるようにJavaアプレットによる簡易色覚検査法を提案した。

表1, 表2に示したように提案した色覚判定システムでの検査で良好な結果を得ることができ、提案した色覚判定システムで色覚特性の判定が正しく行われている。今後の課題として、インターフェース部の改善が挙げられる。

### 参考文献

1. 高橋知紘, “色覚バリアフリーのためのカラー画像の色変換”, 山形大学工学部情報科学科卒業論文, 2004.
2. 大槻昌人, “色覚モデルと主観評価に基づく色覚異常者における色弁別閾の測定”, 山形大学工学部情報科学科卒業論文, 2006.
3. 太田安雄, 清水金朗, “色覚と色覚異常”, 金原出版株式会社, 1999, pp134-186.
4. Y.J.Shin and K.H.Park, “A New Color Vision Test to Differentiate Congenital and Acquired Color Vision Defects”, *Ophthalmology*, 114, 2007, pp1341-1347.
5. F.Vienot, H.Brettel, and J.D.Mollon, “Digital Video Colourmaps for Checking the Legibility of Displays by Dichromats”, *COLOR research and application*, vol.24, no.4, Aug.1999, pp.243-252.
6. 星野隆太, 目黒光彦, 古関敏夫, “組合せ最適化に基づく色覚異常者におけるカラー画像中の弁別困難色の変換”, 電子情報通信学会技術研究報告, SIS2006-76, March.2007, pp27-32.
7. <http://www.eizo.co.jp/products/u/index.html>