

色覚の異なるユーザの視線解析による誘目度モデルの評価

日大生産工 (院) ○和田 凌平
日大生産工 目黒 光彦

1 まえがき

人は、常に目から入る視覚情報を処理し、あらゆる状況の判断を行なっている。瞬時に処理を行うために、目に入ってきた全ての視覚情報に処理を行うことはせず、無意識の内に注目すべきと思われる領域に注意を向ける仕組みが備わっている。この仕組みをモデル化した研究として、Saliency Map (顕著性マップ) がある[1]。色や角度等の情報から、視線を送る度合いを誘目度として算出し、マップ化したものである。しかし、この方法は色覚正常者に向けてモデル化されたものであるため、色の見え方の異なる色覚異常者の場合は、正しく適用されないと考えられる。

本研究では、色覚異常者の色の見え方のモデルを通したカラー画像に対し、Itti らによる顕著性マップを算出することで、誘目度を定量的に評価する。これにより、色覚正常者の誘目度との差異を定量的に図ることができる。また、視線追跡カメラを用いることで、各色覚特性の画像に対するディスプレイ上での視線位置を測定する。画像上の視線位置と、顕著性マップによって求めた各色覚特性における誘目度領域を対応させることで、実際に色覚異常者に対して顕著性マップが適切であるか評価する。

適用例として、色覚正常者のC型色覚と色覚特性の一つであるP型強度の見え方の画像に対して顕著性マップの処理を行ない、顕著領域における誘目度の定量化を試みる。算出された顕著領域と、視線追跡カメラによって取得した各色覚特性における視線情報を、顕著性マップの評価手法である、Normalized Scanpath Saliency (NSS) を用いることで、各色覚特性における顕著性の高さを評価する[2]。

2 色覚特性モデル

2.1 色覚特性の種類

人により色覚特性が異なることが知られている[3]。三種の正常な錐体細胞を有するC型色覚のほかに、錐体細胞を持たないか、または、一種類の錐体細胞しか持たないU型色覚、L錐体細胞に関するP型色覚、M錐体細胞に関するD型色覚、S錐体細胞に関するT型色覚がある。本研究では、P型色覚の中でも、いわゆる色盲者に当たるP型強度色覚者を対象とする。

2.2 色覚特性モデル

RGB データを CIE-XYZ 表色系の値に変換する。RGB 値は、各チャネルの最大値を1で正規化した、 R' G' B' を用いる。以下の式(1)を用いる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40.96 & 35.50 & 17.91 \\ 21.34 & 70.67 & 7.98 \\ 1.86 & 11.46 & 91.2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \quad (1)$$

次に XYZ から錐体細胞の反応値である LMS に変換する。赤系統の長波長を主に識別する L 錐体、緑系統の中波長を識別する M 錐体、青系統の短波長を識別する S 錐体がある。以下の式(2)を用いて XYZ 値から LMS 値を求める。

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.155 & 0.543 & -0.0031 \\ -0.155 & 0.457 & 0.0329 \\ 0.0 & 0.0 & 0.016 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

以下の式(3)により、LMS 錐体の中から L_p , M_p , S_p , 成分を抜き出すことで P 型強度の反応値を算出する。

$$\begin{bmatrix} L_p \\ M_p \\ S_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0 & 2.02 & -2.52 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (3)$$

3 Saliency Map の処理

入力画像から、ガウシアンフィルタを用いて段階的にガウシアンピラミッドを作成する。

次に、各画像に対して、輝度・色相・方向成分を計算する。 σ 番目のスケール画像のRGB成分を、赤成分 $r(\sigma)$ 、緑成分 $g(\sigma)$ 、青成分 $b(\sigma)$ としたとき、 σ 番目のスケール画像に対する各ピクセルの輝度 $I(\sigma)$ を式(4)で求める。

$$I(\sigma) = \frac{r(\sigma) + g(\sigma) + b(\sigma)}{3} \quad (4)$$

輝度を求めたら、色相に対する輝度の影響を除外するため、RGB成分を輝度で正規化した値を使って、色相成分として赤 $R(\sigma)$ 、緑 $G(\sigma)$ 、青 $B(\sigma)$ 、黄 $Y(\sigma)$ を式(5)–(8)で求める。

$$R(\sigma) = r(\sigma) - (g(\sigma) + b(\sigma)) / 2 \quad (5)$$

$$G(\sigma) = g(\sigma) - (r(\sigma) + b(\sigma)) / 2 \quad (6)$$

$$B(\sigma) = b(\sigma) - (r(\sigma) + g(\sigma)) / 2 \quad (7)$$

$$Y(\sigma) = (r(\sigma) + b(\sigma)) / 2 - |r(\sigma) - g(\sigma)| / 2 / b(\sigma) \quad (8)$$

最後に、方向成分を求める。ここではガボールフィルタを利用して、 $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の四方向に対して畳み込み積分を行う。ガボールフィルタを $\phi(\theta)$ としたとき、方向成分 $O(\sigma, \theta)$ は式(9)で求める。

$$O(\theta, x, y, \sigma) =$$

$$\sum_{x_0=-h_x}^{h_x} \sum_{y_0=-h_y}^{h_y} \psi(x_0, y_0, \theta) \cdot I(x+x_0, y+y_0, \sigma) \quad (9)$$

(4)–(9)の処理により、合計81枚のスケール画像が作られる。

続いて、各スケール画像間の差分を求める。各スケール画像の大きさを大きい方に合わせた上でピクセル毎に差分を計算する。各スケール間差分(-)の計算は式(10)–(13)で求める。

$$I(c, s) = |I(c)(-)I(s)| \quad (10)$$

$$RG(c, s) = |(R(c) - G(c))(-)(G(s) - R(s))| \quad (11)$$

$$BY(c, s) = |(B(c) - Y(c))(-)(Y(s) - B(s))| \quad (12)$$

$$O(c, s, \theta) = |O(c, \theta)(-)O(s, \theta)|(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ) \quad (13)$$

各成分42枚のスケール画像が得られる。これらのデータを特性マップと呼ぶ。

最後に特性マップを重ね合わせることで顕著性マップが完成する。輝度 I 、色成分 C 、方向成分 O の重ね合わせ処理は式(14)–(16)で求める。

$$\bar{I} = \oplus_c \oplus_s N(I(c, s)) \quad (14)$$

$$\bar{C} = \oplus_c \oplus_s [N(RG(c, s)) + N(BY(c, s))] \quad (15)$$

$$\bar{O} = \sum_{\theta \in \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}} \oplus_c \oplus_s N(O(c, s, \theta)) \quad (16)$$

最後に、もう一度各成分に対して正規化処理を行い、重ね合わせ処理を行う。式(17)を用いることで顕著性マップ S が完成する。

$$S = (K_I \cdot N(I) + K_C \cdot N(C) + K_O \cdot N(O)) \quad (17)$$

4 評価実験

本研究では、色覚特性の一つである、P型強度に対する顕著性マップの評価を行うために、人間の視線情報との一致性を用いた評価を行う。ディスプレイ上に表示した1280×960pixelの画像に対する、被験者の視線情報を取得する。本実験では、The Eye Tribeという視線追跡カメラを用いている。また、実験環境を統一する為に、ディスプレイ上の環境を、輝度100cd/m²・色温度6500K・ガンマ値2.20に設定する。以下に実験の手順を示す。

1. 視線のキャリブレーション処理を行い、ディスプレイ上で被験者の視線を取得する環境を整える。
2. ディスプレイ上に対象画像を表示し、8秒間画像を眺める。この時、視線の初期位置は、あらかじめ設定した領域に置く。初めにP型強度の画像に対して行ない、約1週間の時間を置いた上で、C型色覚の画像に対して同実験を行う。
3. それぞれの視線情報と顕著性マップの結果を、評価法であるNSSを用いて評価する。

本研究で用いるNSSは、視線位置での顕著度 $S(x_h, y_h)$ と、画像内での平均顕著度の差 μ_s を評価尺度とし、他の結果と比較して評価する手法である。評価尺度を式(18)で求める。

$$NSS = \frac{1}{\sigma} (S(x_h, y_h) - \mu_s) \quad (18)$$

算出したC型色覚とP型強度の評価尺度から、今回用いた顕著性マップが、P型強度色覚者に正しく適用されるかを評価する。

5 適用例

本研究では、3種類の画像を用いる。一枚はランダムに色を配置した画像であり、残りの二枚は道路標識等の人の目に付き易い対象を含んだ画像になっている。

道路標識を含むC型色覚の画像(画像A)を図1に、P型強度の画像を図2に、C型色覚の顕著領域を図3に、P型強度の顕著領域を図4に示す。

各色覚特性における被験者の視線情報を、顕著領域上に表示した画像を図5－図6に示す。視線の動きにある程度の類似性が見られる。



図1．C型色覚の見え方の画像（画像A）



図2．P型強度の見え方の画像（画像A）



図3．C型色覚の顕著領域（画像A）



図4．P型強度の顕著領域（画像A）

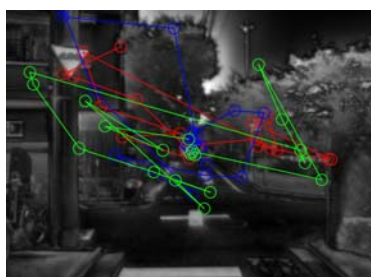


図5．C型色覚の視線画像（画像A）

以下に他の画像に対するC型色覚及び、P型強度の顕著領域と視線画像を図7－図14に示す。

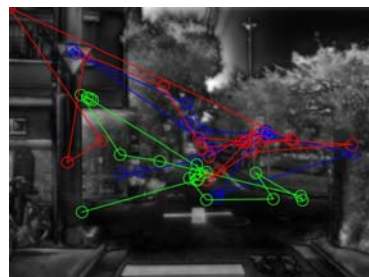


図6．P型強度の視線画像（画像A）

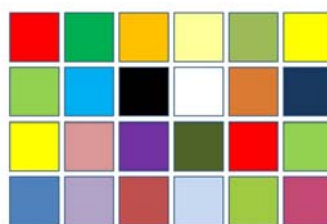


図7．C型色覚の見え方の画像（画像B）

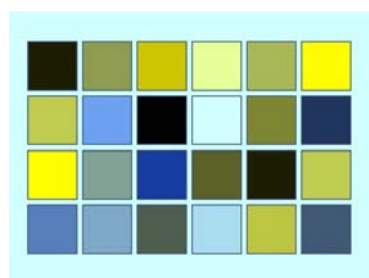


図8．P型強度の見え方の画像（画像B）

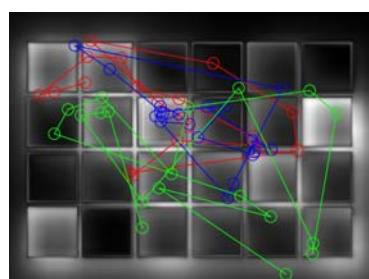


図9．C型色覚の視線画像（画像B）

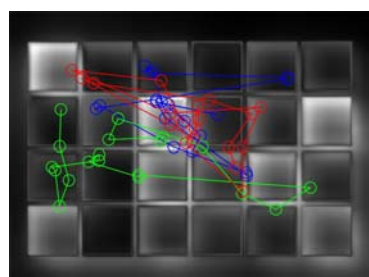


図10．P型強度の視線画像（画像B）



図 1 1. C型色覚の見え方の画像（画像C）



図 1 2. P型強度の見え方の画像（画像C）

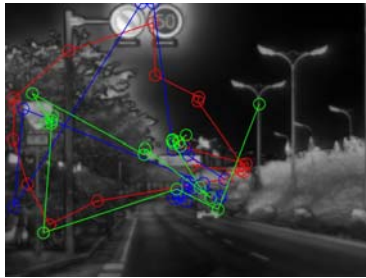


図 1 3. C型色覚の視線画像（画像C）

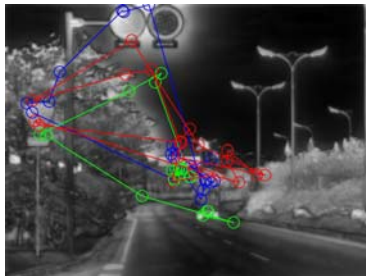


図 1 4. P型強度の視線画像（画像C）

画像A、B、CのC型色覚、及びP型強度のNSS値をまとめたグラフを図15に示す。本実験において、画像Aでは、顕著性マップによる顕著領域と、実験協力者による視線軌跡との間に、ある程度の相関は認められるものの、NSS値において、大きな値になっていない。「止まれ」標識の顕著性が、P型強度色覚者において、相対的に下がっていることは確認されるものの、木と空との境の顕著性が高く出ているが、実際の視線はそこに行かず、NSS値が小さくなっている。画像B、及びCの場合は、顕著性マップによる顕著領域と視線追跡結果に相関が認められる結果となっている。

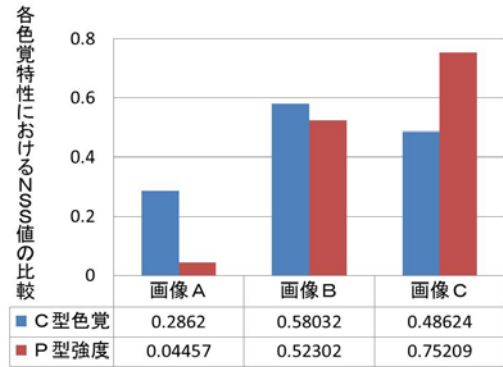


図 1 5. 各色覚特性におけるNSS値

6 まとめ

本研究では、C型色覚とP型強度の色の見えによる顕著領域を、視線追跡結果と比較することで、Ittiらによる顕著性マップが色覚正常者、色覚異常者による視線追跡結果と沿っているのかを評価した。画像B、及び画像Cに関しては、C型色覚、および、P型強度色覚者とも、顕著性マップによる顕著領域と、実際の視線追跡結果に相関があることが認められた。また、視線追跡の結果から、視線の動きも実験協力者個人の違いによって動きに違いが生じることが明らかとなった。今後は、より多くの画像に対して実験を行なうと共に、実験方法を再検討し、実際の色覚異常者の誘目度モデルとして適切であるかの検証を続ける。

「参考文献」

- [1] L. Itti, C. Koch, and E. Niebur “A Model of Saliency-based Visual Attention for Rapid Scene Analysis.” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.20, No.11, pp.1254-1259, Nov, 1998.
- [2] Ali Borji, Member, IEEE, and Laurent Itti, Member, IEEE “State-of-the-Art in Visual Attention Modeling” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.35 No.1, pp.185-207, Jan, 2013.
- [3] F. Vienot, H. Brettel, and J.D. Mollon, “Digital video colormaps for checking the legibility of displays by dichromats”, COLOR research and Application, Vol.24, no.4, pp.243-252, Aug. 1999.