

Multi-stage Color Model を用いた配色の視認性の予測のための色覚モデル A model of human color vision for prediction of visibility with a multi-stage color model

吉岡 拓耶†
Takuya Yoshioka

篠沢 佳久‡
Yoshihisa Shinozawa

1. まえがき

近年、インターネットの普及によって、様々な付加価値を持つ情報が利用されるようになった。付加価値を持つ情報の一つとして、色情報が挙げられる。本研究においては、このような色情報の中で、配色の視認性を対象とする。配色の視認性の予測については、人間の色覚モデルの一つである Multi-stage Color Model[1]を用いて、視認性の要因となる特徴を抽出し、ニューラルネットワークを利用して配色の見やすさを予測する手法が提案されている[2]。本研究においては、先行研究[2]を拡張し、実画像を対象とした配色の視認性を予測可能なモデルの考案を試みる。

2. 提案モデル

2.1 Multi-stage Color Model

本研究においては、De Valois らの提案する Multi-stage Color Model[1] (以下 MSC モデルと略す) を利用し、人間の色の見えの過程を MSC モデルによって計算機上で再現し、実画像の配色の視認性の予測を試みる。MSC モデルは多段階から構成された色覚モデルである。MSC モデルの第一ステージにおいては、可視光 (RGB 値) を LMS 錐体での反応値に変換する。第二ステージでは、LMS 錐体での反応値を基に、6 個の反対色型細胞の反応値を求める。第三ステージでは第二ステージの 6 個の反対色型細胞の応答を組み合わせ、各色 (赤、緑、青、黄) に対する反応値及び輝度値を求める。

2.2 MSC モデルによる色覚モデルの再現

提案モデルは、画像 (大きさ $X \times Y$, RGB 値) を入力した場合、輝度および色情報の点から、その画像の視認性を指標化することを目的としている。提案モデルの流れを以下に示す (図 1)。提案モデルは、入力層、錐体細胞層、明暗細胞層、反対色細胞層、色応答細胞層から構成される。

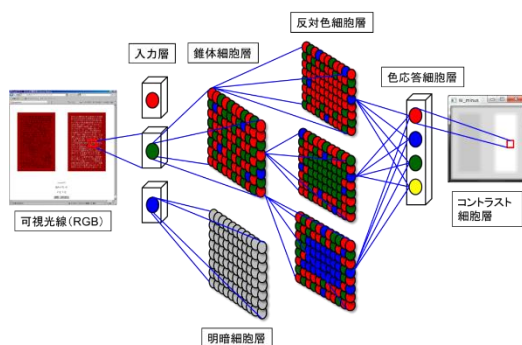


図1 提案モデルの構造

†慶應義塾大学大学院理工学研究科

‡慶應義塾大学理工学部

① 入力層 (入力層 L, M, S)

入力層は3個の細胞層 (入力層 L, M, S) から構成され、各細胞層は入力画像と同じ大きさ ($X \times Y$) である。入力層には対象となる画像が入力され、各画素の RGB 値が LMS 値に変換される。入力層 L においては、LMS 値の中で L 値が入力され、そのまま L 値を出力する。入力層 L 中の座標 (x, y) から出力される L 値を $f_L(x, y)$ 、入力層 M からの値を $f_M(x, y)$ 、入力層 S からの値を $f_S(x, y)$ とする。

② 錐体細胞層 (L, M, S 錐体細胞層)

入力層の LMS 値から錐体細胞層の反応値を求める。L 錐体細胞層中の座標 (x, y) における反応値を $L(x, y)$ 、M 錐体細胞層の反応値を $M(x, y)$ 、S 錐体細胞層の反応値を $S(x, y)$ とする。L (x, y) の求め方を式(1)に示す。

$$L(x, y) = \sum_{j=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{i=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} f_L(x+i, y+j) F(i, j) \quad (1)$$

F はガウシアンフィルターを、K はガウシアンフィルターの大きさ (錐体細胞層の受容野の大きさ) を表す。

③ 明暗細胞層

入力層の LMS 値から明暗細胞層の反応値を求める。明暗細胞層中の座標 (x, y) の反応値を $\lambda(x, y)$ とした場合、式(2)より求める。

$$\lambda(x, y) = \sum_{j=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{i=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} (f_L(x+i, y+j) + f_M(x+i, y+j)) F(i, j) \quad (2)$$

③ 反対色細胞層 (L_0, M_0, S_0 細胞層)

錐体細胞層の反応値から三種類の L_0, M_0, S_0 反対色細胞層の反応値 $L_0(x, y)$, $M_0(x, y)$, $S_0(x, y)$ を求める。MSC モデルの反対色細胞においては、 L_0 細胞層の場合、中心部分が L 錐体、周辺が L 錐体、M 錐体、S 錐体から構成され、中心の興奮性細胞と周辺の抑制性細胞の比は 1 : 1 とし、抑制性細胞中の L 錐体、M 錐体、S 錐体の比は 10 : 5 : 1 としている。そこで、 L_0 細胞層の場合、上記の条件を満たすように各錐体細胞を配置する。

L_0 細胞層中の座標 (x, y) において、興奮性の L 錐体が配置されている場合、 $P_{L_0}(x, y) = (1, 0, 0)^t$ 、M 錐体の場合、 $P_{L_0}(x, y) = (0, 1, 0)^t$ 、S 錐体の場合、 $P_{L_0}(x, y) = (0, 0, 1)^t$ とする。一方で、抑制性の L 錐体の場合、 $P_{L_0}(x, y) = (-1, 0, 0)^t$ 、M 錐体の場合、 $P_{L_0}(x, y) = (0, -1, 0)^t$ 、S 錐体の場合、 $P_{L_0}(x, y) = (0, 0, -1)^t$ とする。 L_0 細胞層の反応値 $L_0(x, y)$ を式(3)より求める。

$$L_0(x, y) = \sum_{j=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{i=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} (f_L(x+i, y+j), f_M(x+i, y+j), f_S(x+i, y+j)) P_{L_0}(x+i, y+j) F(i, j) \quad (3)$$

⑤ 色応答細胞層 (R, G, B, Y 細胞層)

反対色細胞層の反応値から色応答細胞層 (R, G, B, Y 細胞層) の反応値 $R(x, y)$, $B(x, y)$, $G(x, y)$, $Y(x, y)$ を求める。

$R(x,y)$, $B(x,y)$ の求め方を式(4)(5)に示す ($G(x,y)$ は $R(x,y)$, $Y(x,y)$ は $B(x,y)$ の符号を逆にした値) .

$$R(x,y) = \sum_{j=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{i=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} (L_0(x+i,y+j), M_0(x+i,y+j), S_0(x+i,y+j)) \begin{pmatrix} 10 \\ -5 \\ 2 \end{pmatrix} F(i,j) \quad (4)$$

$$B(x,y) = \sum_{j=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} \sum_{i=-\frac{k}{2}}^{\frac{k}{2}} (L_0(x+i,y+j), M_0(x+i,y+j), S_0(x+i,y+j)) \begin{pmatrix} -10 \\ 5 \\ 2 \end{pmatrix} F(i,j) \quad (5)$$

2.3 視認性の評価

視認性の要因として、輝度値の差、色差が影響すると考えられている。そこで細胞層ごとで、コントラスト抽出(エッジ抽出)を行ない、細胞層中での反応値の大きさを求め、その大きさを視認性の指標として用いる。視認性を指標化する流れを以下に示す。

- ① 視認性を評価したい画像を対象として、各細胞層の反応値を求める(2.2節)。
- ② 明暗細胞層、反対色細胞層、色応答細胞層の反応値に対してガボールフィルターを用いてコントラスト情報を抽出する (C_λ , C_{L0} , C_{M0} , C_{S0} , C_R , C_G , C_B , C_Y) . 例として L_0 細胞層のコントラスト値 C_{L0} の求め方を式(6)に示す(コントラスト細胞層) .

$$C_{L_0}(x,y) = \sum_{j=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} \sum_{deg} L_0(x+i,y+j) H_{deg}(i,j) \quad (6)$$

ここで H はガボールフィルターを表す。 N はガボールフィルターの大きさ、 deg は方位を表す。

- ③ 各コントラスト細胞層において、細胞層中での反応値の合計値を求める。 L_0 細胞層の場合、式(7)に示す。

$$V_{L_0} = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y C_{L_0}(x,y) \quad (7)$$

これらの反応値によって入力画像の視認性の評価を行なう。図2に各細胞層の応答の一例を示す。図2の入力画像の場合、明暗細胞層では、左領域と右領域の反応値はほぼ同じであるため、明暗からは左右の領域の視認性を判定できない。一方で、 L_0 錐体細胞層では、左領域の方が反応値は大きく、視認性が高いと判断される。

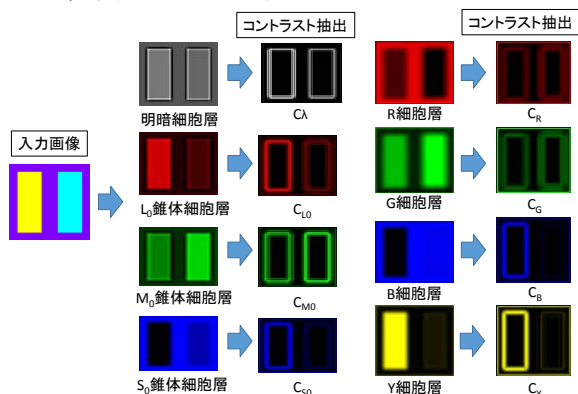


図2 各細胞層の応答

3. 評価実験

3.1 一対比較実験

提案モデルの有効性を評価するため、一対比較実験を行なった[2]。これは、被験者20人に対し、同一の背景色上に左右でそれぞれ異なる文字色からなる文章(左右で文章の内容は同一とする)を横書きで表示し、左右どちらの文字色が見やすいかを判断するという内容の実験である(図3左図)。実験には、文字色に有彩色10色の系統色(赤、緑、青、シアン、マゼンタ、黄、ウェブセーフカラーより #ff**99, **9900, #99cc**, **66**の4色系統)から各5段階、背景色には文字色と同じ有彩色10色の系統色から各段階4色を使用した。従って一対比較実験の回数は、文字色10系統×10(文字色の組み合わせ C_2)×背景色10系統×4段階より、4,000回となる。

3.2 実験結果

以上の一対比較実験を提案モデルによって再現する。一対比較実験の画面を、図3の右図のように簡略化した上で、この画像(大きさは100×100)を提案モデルに入力し、画像の左右領域のどちらの方が、視認性が高いか(すなわち、ある背景色のもとで、どちらの文字色が見やすいか)、各コントラスト細胞層の反応値によって評価し、実際の一対比較実験の結果と比較した。その結果を表1に示す。

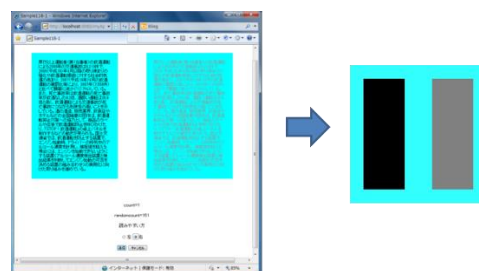


図3 一対比較実験

表1 提案モデルによる視認性の評価

	提案モデル
明暗細胞層 (V_λ)	91.1%
L_0 細胞層 (V_{L0})	86.3%
M_0 細胞層 (V_{M0})	81.6%
S_0 細胞層 (V_{S0})	59.2%
反対色細胞層 ($V_{L0}+V_{M0}+V_{S0}$)	85.2%
色応答細胞層 ($V_R+V_B+V_G+V_Y$)	66.6%

表1より、明暗細胞層では91%、反対色細胞層では85%の精度で一対比較実験の結果と一致することが分かった。

4. まとめ

本研究においては、実画像を対象として、視認性を予測可能な色覚モデルを提案した。今後は、より複雑な画像に対応するための改良を試みていく予定である。

参考文献

[1] Rusell L.De Valois and Kareb K.DeValois : A Multi-stage Color Model, Vision Research, Vol.33, No8, pp.1053-1065, 1993.
 [2] 山口美樹, 篠沢佳久 : Multi-stage Color Modelを用いた配色の視認性の予測手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.3, pp.1-12, 2013