

照明光の変化を考慮したカテゴリカル色知覚モデル A Categorical Color Model in consideration for changing the illumination.

矢田 紀子† 長尾 智晴† 内川 恵二‡
Noriko Yata Tomoharu Nagao Keiji Uchikawa

1. はじめに

我々人間は、色の微妙な違いを見分けることができる。一方、その色を他者に伝えようとするときには、赤・青などのように色をいくつかのカテゴリにまとめて表現することが多い。これを色のカテゴリカル知覚という。この色のカテゴリの中には、誰もがよく用いる色があり、これを基本カテゴリ色という。

基本カテゴリ色には白・赤・緑・黄・青・茶・オレンジ・紫・ピンク・灰・黒の 11 色があることが知られている。これは、言語によらず等しく用いられることが示されている。

また、我々人間は、環境光のスペクトルが変化しても、物体の色を安定して知覚することができる。これを色恒常性という。

ある物体の色の見えがどのカテゴリ色になるかは、その物体の反射光スペクトルだけではなく、周囲の環境にも影響され、色恒常性を伴って決まる[1]~[3]。

本研究では、このようなカテゴリカル色知覚における色恒常性が、人間の視覚系でどのような処理を施された結果、実現されているのかを推定することを目的として、ニューラルネットワークにさまざまな照明光の下での基本カテゴリ色(11色)の知覚を学習させた。なお本研究では、獲得した色恒常性を伴ったカテゴリカル色知覚獲得を実現するニューラルネットワークを用いて画像処理を行うことを目標としている。

2. 学習データ

学習に用いたニューラルネットワークの教師データセットは、3種類の照明光下でのカテゴリカル色知覚を測定した内川らの心理物理実験から用意した。

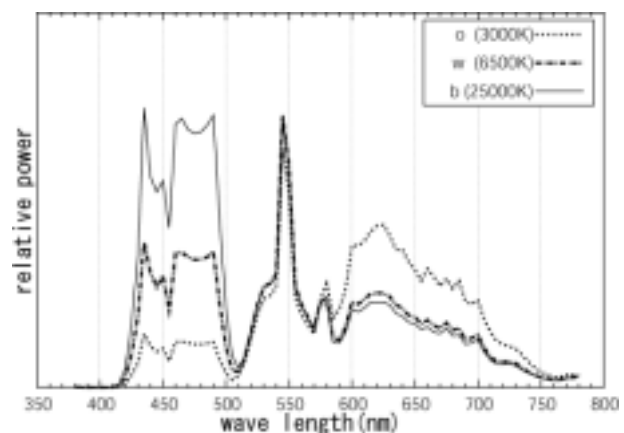
この実験では、刺激として OSA 色票 424 枚を用いた。刺激は天井より LCD プロジェクタにより照明され、N5 のボード上に 1 枚ずつ提示される。照明光の相関色温度および CIE(1931)xy 色度を Table.1 に示す。

Table.1 Light

Light's name	Temperature	Chromaticity
o	3000K	(0.448,0.420)
w	6500K	(0.313,0.329)
b	25000K	(0.251,0.225)

色の見えはカテゴリカルカラーネーミング法で測定した。これは、11 個の基本色の中から、その色票の見えをもっとも良く表す色名を 1 個答えるという方法である。被験者は 4 名で、それぞれ色票 424 枚に対してのネーミングを 1 セッションとして、同一照明光で 2 回のセッションを行い、3 照明光 × 2 回 = 6 セッションを行った。これらの照明光の分光分布を Fig.1 に示す。

Fig.1 照明光の分光分布



色の見えはカテゴリカルカラーネーミング法で測定した。これは、11 個の基本色の中から、その色票の見えをもっとも良く表す色名を 1 個答えるという方法である。被験者は 4 名で、それぞれ色票 424 枚に対してのネーミングを 1 セッションとして、同一照明光で 2 回のセッションを行い、3 照明光 × 2 回 = 6 セッションを行った。

教師データセットには、3 照明光 × 424 枚 × 1 セッション = 1272 セットを用意した。入力データは、それぞれの照明光で測定された OSA 色票の輝度 Lum と CIE(1931)xy 色度座標(x,y)以下のようにして求めた。まず、式(1)を用いて XYZ 表色系の値(X,Y,Z)へと変換した[4]。

$$\begin{aligned} X &= \frac{x}{y} \times Lum \\ Y &= Lum \\ Z &= \frac{1-x-y}{y} \times Lum \end{aligned} \quad (1)$$

次に、得られた(X,Y,Z)を式(2)に示す Smith-Pokorny の錐体分光感度関数を用いて L,M,S 錐体応答値へ変換した。

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.15514 & 0.54312 & -0.03286 \\ -0.15514 & 0.45684 & 0.03286 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2)$$

†横浜国立大学 大学院環境情報学府
Graduate School of Environment and Information
Sciences, Yokohama National University

‡東京工業大学 大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and
Engineering, Tokyo Institute of Technology

ここで得られた(L,M,S)を[0,1]の間に正規化したものを入力データに用いた。

教師データには、実験で4名×1セッション中に得られた結果のある色票の見えに対してある基本色名が何度用いられたかを表す色名使用比率を、[0,1]に正規化した値を用いた。このような教師データをネットワークに学習させることで、ニューラルネットワークは人間の脳が行っているLMS錐体応答から基本カテゴリ色名への写像という計算課題として学習することが期待される。

また、ここで得られたニューラルネットワークは、学習データ以外の点が期待通りの出力をすることが保証されていないので、未知データに対しても人間と同様なカテゴリカル色知覚を行うことを確認するために、実験結果のうち学習データとして用いた以外のセッションのデータを用いて未知データを作成した。

3. ニューラルネットワークの学習

本実験に用いたニューラルネットワークは3層のフィードフォワードネットワークで、入力層6ユニット、中間層12ユニット、出力層11ユニットからなる。中間層と出力層は入出力関数にシグモイド関数を用いた。

入力ユニットは3種類の錐体(L,M,S)に相当するユニットをテスト刺激、照明光のみの刺激それぞれに対して1セットずつ、合計6ユニットを用いた。出力層は11ユニットで、それぞれのユニットが11色の基本カテゴリ色に対応している。

ネットワークの学習は誤差逆伝播法の修正モーメント法で行った。学習結果をTable.2に示す。学習データに対する出力誤差は平均で8.01%、もっとも大きい出力値を示した色名が学習データの色名と一致した正解率は平均で98.9%となっており、学習が十分に行われたことが分かる。

Table.2 Matching rates with training data

Light's name of input data	w	o	b	All
Error of output (%)	7.41	8.17	8.57	8.01
Rate of right (%)	99.1	99.5	98.1	98.9

4. 検証結果

獲得したニューラルネットワークの未知データに対する出力を検証した。

4.1 未知のテスト刺激に対する検証

2.で作成した未知データを入力値とした時のニューラルネットワークの出力結果をTable.3に示す。

Table.3 Matching rates with unknown data

Light's name of input data	w	o	b	All
Error of output (%)	9.51	9.79	10.17	9.83
Rate of right (%)	98.1	96.7	98.2	97.6

出力誤差は平均で9.83%、色名が一致した正解率は平均で97.6%となっており、獲得したニューラルネットワークは未知の入力に対しても適切な出力をすることが分かった。

4.2 未知の照明光に対する検証

未知の照明光として色温度が5000K～20000Kの10種類のDaylightデータ(Color Science, p.8～p.10 [5])を入力値に用いたときの出力値を調べた。このとき用いたDaylightデータの分光分布をFig.2に示す。

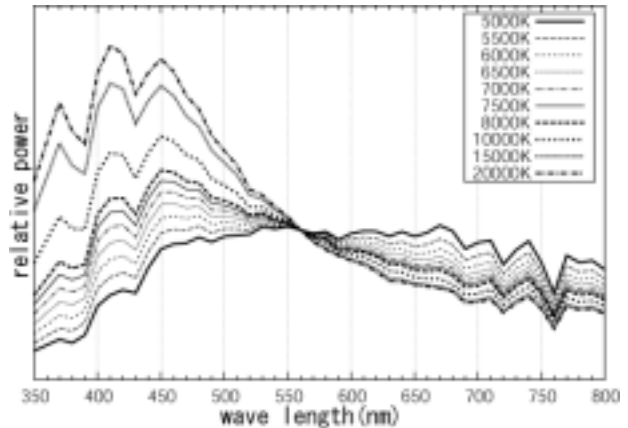


Fig.2 Daylight の分光分布

このときの出力結果の正解率を求めるために2.の心理物理実験の結果を各色票の色名の正解として用い、5000K～6000Kの出力結果は3000Kか6500Kの実験結果のいずれかと一致したものを正解とした。同様に、7000K～20000Kの出力結果は6500Kか25000Kの場合、6500Kの出力結果は6500Kの場合と一致したものを正解とした。

Table.3から、用いた照明光の色度が学習した照明光と遠いほど出力結果の正解率が低くなってしまっていることがわかった。

Table.3 Matching rates with unknown illuminant

Temperature	Rate of right (%)	Temperature	Rate of right (%)
5000K	37.5	7500K	76.7
5500K	47.9	8000K	72.9
6000K	63.9	10000K	69.3
6500K	81.8	15000K	78.8
7000K	88.0	20000K	82.8

5. まとめ

人間のカテゴリカル色知覚を測定した心理物理実験の結果をニューラルネットワークに学習させることで、人間と同様なカテゴリカル色知覚を行うニューラルネットワークを獲得し、人間の視覚系での処理を推定する手法を提案した。今後、さらに汎化能力の高いモデルを作成していく。

6. 文献

- [1]内川 恵二:色覚のメカニズム,朝倉書店(1998)
- [2]栗木 一郎,内川 恵二:色恒常性の二つの段階:完全色恒常性と部分的色恒常性 照明学会誌,81,55-65(1997)
- [3]内川 恵二:異なった照明光下でのカテゴリカル色知覚に関する研究 照明学会誌,80,44-46(1996)
- [4]池田 光男:色彩工学の基礎,朝倉書店(1980)
- [5]Wyszecki & Stiles: Color Science. Concepts and methods, Quantitative data and formulae. Second edition, Wiley - Interscience(2000).