

# グラフィックデザインの色対比の認知的な計測方法のモデル化

## Modeling of Cognitive Evaluation Color Opponent in Graphic Design

経営システム工学専攻 高橋直己  
Industrial and Systems Engineering, Naoki Takahashi

### 1. はじめに

人間の眼には、明るさや色の変化を強調するように色みを補正して知覚する仕組みがある。この補正効果は“色の対比”として知られている[1]。

一方、商品や広告などは、消費者に与えたい印象を色によって表現することができる。我々は、商品の画像データから色などの画像特徴量を自動抽出し、その商品の視覚的な印象を推定する研究を進めてきた[2][3]。この研究では、人間が知覚している情報に近い画像特徴量の設計が必要であることが示されている。

そこで本研究では、人間の初期知覚過程における色の対比メカニズムを参考に、人間の知覚している色に近い色値を抽出する方法を提案する。

### 2. 色の対比効果

色の対比効果とは、異なる色が接しあうとき、その境界線付近における色の変化を強調するはたらきである。図1の異なる背景上の3つの灰色は、全て同じ色だが、背景が水色の時はやや赤みがかかり、背景が赤色の時はやや青みがかって見える。

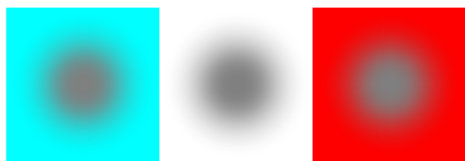


図1 色の対比効果の例

このように、色の対比効果によって知覚される色味と実際の色味は違う。色から受ける印象を分析するときは、実際の色値より認知的な色値を用いる方がよい。そのような値を得るためには、人間の眼で行われている補正を知る必要がある。

#### 2.1. 色対立型細胞

視覚の初期知覚過程において、色の対比を強調する機能は網膜神経節細胞の受容野に存在する[1]。

神経節細胞の受容野は、その中心部から伝達される信号と周辺部から伝達される信号に対して逆の応答をする。この特性は、明るさや色の変化を敏感に捉えるための機構であると考えられる。

#### 2.2. 関連研究

色の対比効果のモデル化に関わる研究として、明るさの対比の数理的なモデル化を行った研究がある[4]。またその結果を参考に、色の対比を打ち消すような画像の補正方法も研究されている[5]。

しかしこれらの研究では、受容野の構造的な特性は言及されていない。また[5]の評価実験では、補正のある場合とない場合とのどちらが主観的な色味に近いかを比較するにとどまり、色の対比効果と補正の定量的な計測・評価は行われていない。

本研究では色の対比効果をモデル化することで、認知的な色値を計算し、色の対比を再現する。

### 3. 色対比効果のモデル化

#### 3.1. 受容野のモデル化

色対比は受容野の構造の特性がもたらすので、これを反映したモデル化を行う。 $p \times p$ 個のピクセルの集合を受容野に対応させ、その内部の $(k \times p) \times (k \times p)$ のピクセルの集合を *Center*、外側のピクセルの集合を *Surround* とする。 $k$ は受容野の中心部と周辺部の大きさの比率を表すパラメータである。今回は  $k \times p = 1$  とし、 $p$ を実験的に調整する。

一つの受容野は、認知的な画素と対応する。この認知的画素を1つのピクセルとし、このピクセルの色値（興奮応答  $e$ ）を、周辺のピクセルの色値（抑制応答  $s$ ）との合成  $y$  によって置き換える。

$$y = e + ws$$

$$e = g(\text{Center}), \quad s = -g(\text{Surround})$$

パラメータ  $w$  は興奮応答と抑制応答の合成時の重み ( $0 < w < 1$ )。  $g(A)$  は、ピクセルの集合から

興奮応答を生成する関数で、集合  $A$  に属する各ピクセルの色ベクトルのガウシアンフィルタである。

なお、受容野への信号の入力形式に基づき[1]、色ベクトル  $x, y$  は RGB ではなく、以下の RG, BY, WBk で表すことにする。これにより、赤と緑、青と黄色といった補色の関係を表す。

$$RG = R - G$$

$$BY = B - (R + G) / 2$$

$$WBk = (R + G + B) / 3$$

### 3.2. 画像全体の認知的色値の計算

人間は視点を動かすことで、画像上の全てのピクセルを受容野の中心に置くことが出来る。そこで  $p \times p$  の窓により、畳込み計算を行う。すなわち、出力画像  $I^*$  の座標  $(u, v)$  のピクセル値  $I^*_{uv}$  は、

$$I^*_{uv} = e_{uv} + w s_{uv}$$

$$e_{uv} = g(\text{Center}_{uv}, \sigma_e), \quad s_{uv} = -g(\text{Surround}_{uv}, \sigma_s)$$

ここで  $\text{Center}_{uv}$  と  $\text{Surround}_{uv}$  は、一辺の長さがそれぞれ  $1, p$  で、重心の座標が  $(u, v)$  であるような正方形に収まる  $I$  のピクセルの集合とする。

### 3.3. ダイナミックレンジの調整

$0 < w < 1$  のとき、提案手法で色みを調整された画像は、色の変化する部分を強調する代わりに、色の変化がない部分は暗く灰色に近い色になる。しかし写真やグラフィックパターンから認知的色値を抽出するときは、色の変化がない部分の色は補正がかかっていないことが期待される。

そこで、色の対比が起こらない均一な部分の色が自然に見えることを基準とし、ダイナミックレンジの調整を行い、 $I^{**}$  を得る。色ベクトル  $I^*_{uv}$  にスカラー値  $1 / (1 - w)$  を乗算する。その結果得られる  $I^{**}_{uv}$  の各成分が最大値  $MAX$ 、最小値  $MIN$  の範囲を超えないよう、 $I^{**}_{uv}$  の各成分  $t$  を次の関数によって調整する。

$$t' = \min(MAX, \max(MIN, t))$$

なお、各成分の  $(MAX, MIN)$  は、RG と BY は  $(255, -255)$ 、WBk は  $(255, 0)$  である。

## 4. 実験 1 : パラメータによる補正結果への影響

3 章で説明した色対比アルゴリズムは、3 つのパラメータ  $p, w$  を持つ。これらのパラメータが色

対比に与える影響を調べるため、実験を行った。

実験に使ったテストイメージを図 2 左に示す。内側の色 (R, G, B) は  $(255, 152, 50)$ 、外側は  $(152, 255, 50)$  となっている。図 2 右は  $(p, w) = (51, 0.5)$  としてテストイメージの色値を計算した画像である。ここではダイナミックレンジの調整はしていないため、全体的には色みが落ち、暗くなって見えるが、色の境界部分の色が鮮やかになっている。

補正後の画像について、中心を通る水平線上の画素値を計測した。図 3 は横軸が画素の水平成分の座標で、縦軸が RG 値を表している。

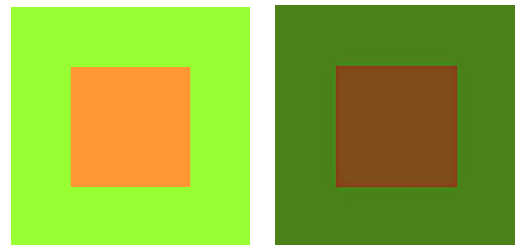


図 2 使用したテストイメージと計算結果

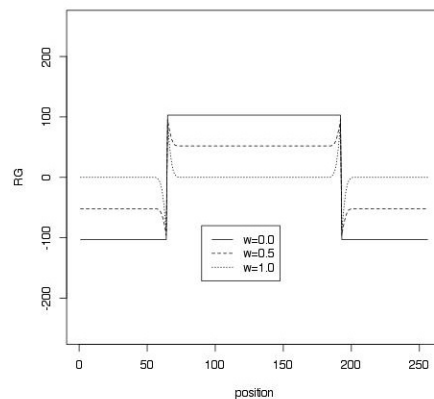
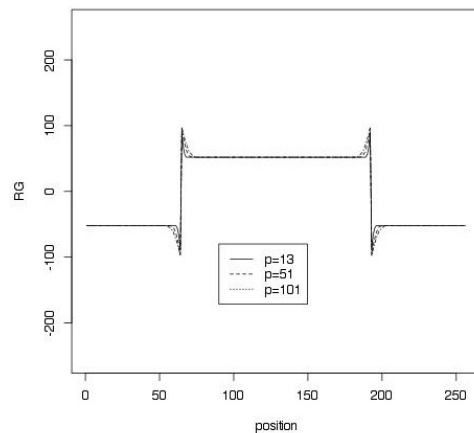


図 3 画素の RG 値の計測

図3上は  $w=0.5$  に固定し、 $p=13,51,101$  としたときの結果である。色が変化するのは水平座標 = 64, 192 で、その前後で勾配を強調する小さなカーブがある。 $p$  の値によってこのカーブの長さが変化している。 $p$  によって色が強調される範囲が変化することが分かるが、受容野の中心を1ピクセルとしているため、変化は小さい。

図3下は  $p=51$  に固定し、 $w=0.0, 0.5, 1.0$  としたときの結果である。 $w=0.0$  のときは元の色値と等しくなっている。 $w$  が 1.0 に近づくと、水平座標 = 64, 192 前後以外の値がゼロに近づく。これより、 $w$  は対比を強調する量を表すパラメータといえる。

## 5. 実験2：主観評価値との比較

自動補正アルゴリズムがどの程度人に自然にみえるかを評価するため、主観評価実験を行った。

### 5.1. 実験環境

被験者はディスプレイ上にテストイメージを提示され、実施者が指定する画素を観察する。被験者は指定された画素の色を、操作画面によって回答する。操作画面は、ペイントソフト等の色選択インターフェースを模しており、選択した色が灰色の背景上に表示される。こうして被験者の主観的な色値を計測し、自動補正とダイナミックレンジによって得られたとの類似度を求める。

実験時は、画面と眼の距離を一定に保ち、ディスプレイ上に周囲の光が当たらないよう覆いをした。ディスプレイは EIZO 社の ColorEdge CG243W を使用した。被験者は色覚に異常のない男性 10 名 (21~24 歳) とした。

### 5.2. テストイメージ



図4 テスト画像

テスト画像として図4を用いた。テスト画像の色は左端が(0,128,0)で、真ん中が(128,128,128)、右端が(128,0,128)となっており、縦長の長方形の色は均一である。左端と真ん中の間、右端と真ん中の間は色味が等間隔に変化している。

被験者が観察する画素は、テスト画像の色の境界線になるべく近い画素である。被験者は境界線の左側と右側の色をそれぞれ観察した。

## 6. 考察

図5は主観評価による色値と、その色の補正なしの色及び自動補正された色値の距離を示している。縦軸は RGB 値のユークリッド距離、横軸は観測した色のインデックスを表す。一番左の境界線の左側の色 (col1)、右側の色 (col2)、左から二番目の境界線の左側の色 (col3)、右側の色 (col4)、というように、八番目の境界線の右側 (col16) までの結果を表している。距離が小さいほど、認知的な色に近いと考えられる。境界線から非常に小さい範囲で色を観測しているので、パラメータ  $w$  のみについて、異なる値で結果を比較している。

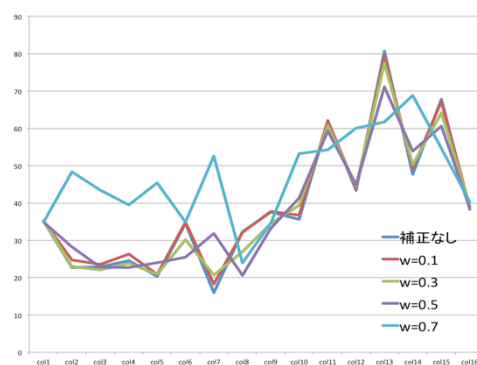


図5 主観評価値と補正值との距離

色によって対比の効果が有効な時とそうでない時があった。結果を見ると、彩度の高い色が作り出す抑制応答をさらに強くするか、彩度の低い色が作り出す興奮応答をさらに弱くする必要性を示唆している。視細胞は光の刺激を受けたとき、その光密度の変化に対して、非線形な応答をすることが知られている。そのような応答特性を反映させた受容野のモデル化が必要となる。

受容野の構造をモデル化した本研究の手法は、

テスト領域の縁辺にのみ対比効果を与える。一方でKirschmannの法則[6]として知られる色の対比に関する心理実験は、テスト領域全体の色の変化について述べている。この違いは色の同化という視覚効果によって説明できる。

色の同化は、視細胞の分布の不均一さがもたらす現象で、色が混ざり合ったように見える効果がある[1][6]。色の対比によって縁辺だけが色を強調されたのにも関わらず、テスト領域全体の色みが変わり見えるのは、縁辺の色と縁辺以外の色が混ざり合っているためと考えられる。しかし色の同化の詳しいメカニズムは今のところ分かっていない。

さらに視細胞の分布や、その応答特性の違いは、表色系を構築する上での基準となる。今回は受容野での色空間としてRG, YB, WBkを使ったが、RGBをこの色空間に変換するときの係数などは、厳密には視細胞の分布などの影響も受ける。

## 7. まとめ

本研究では、色の対比効果に注目し、色対立型の受容野の構造などの知見に基づいてモデル化を行った。そのモデルによって画像の認知的な色を計算する実験の結果、提案手法が有効であるケースとそうでないケースがあることが分かった。視細胞の非線形な応答特性や、色の対比以外の視覚特性に着目することで、今後の改善が見込める。

## 参考文献

- [1] Leo M. Hurvich, “Color Vision”, 誠信書房
- [2] Toshikazu Kato, “KANSEI engineering for advanced image media service”, Journal of the Imaging Society of Japan 47(3), 183-188, 2008
- [3] Naoki Takahashi, Toshikazu Kato, Kyoko Sudo, Yukinobu Taniguchi, “Modeling and Analyzing Impression from Pictures Based on Color, Texture, and Tagged Key Words”, IPSJ SIG technical reports 2013-HCI-152(25), 1-5, 2013-03-06
- [4] Toshikazu Kato, Takashi Sakamoto, Yuichi Kobayashi, “Computational Physiology of Lateral Inhibition : Mathematical Model based on Reverse-S-shape Transformation”, Technical report of IEICE. PRMU 96(247), 39-46, 1996-09-13
- [5] Mai Miura, Kazushi Murakoshi, “Image correction method for effect of color contrast” IEICE technical report. Neurocomputing 107(542), 43-48, 2008-03-05
- [6] 城一夫, 『カラー図版 徹底図解 色の仕組み』 新星出版社