

# 分光画像推定による動物の見る色彩のシミュレーション

淵之上 風太<sup>†</sup> 藤堂 英樹<sup>‡</sup> 柿本 正憲<sup>†,††</sup>

東京工科大学 メディア学部<sup>†</sup> 中央学院大学 現代教養学部<sup>‡</sup> ドワンゴ CG リサーチ<sup>††</sup>

## 1. はじめに

人間とその他の動物では色覚が異なるため、同じ物を見ても違う色彩に見える。そういった人間以外の動物が見た色彩を推定する研究は今まで多く行われてきた。本研究では、人間以外の動物が見る色彩を網膜の分光感度特性の違いからモデル化できると考え、少ない種類の物体の分光反射率データと入力 RGB 画像から分光画像を生成し、動物の分光感度特性データを用いて視細胞が受ける刺激量を計算する。これにより、通常は動物の種類ごとに特殊な装置を用いる必要がある動物の見た色彩を、データのみから推定した。特にミツバチに着目し、本手法を用いてミツバチの色覚を人間が有したと仮定した際に見える色彩をシミュレートする実験を行った。

## 2. 関連研究

関連研究として実際に動物の見る色彩をシミュレートした画像を生成した物や、動物の分光感度特性を求める物が挙げられる。ミツバチを始めとした昆虫の分光感度特性を求めたもの[1]は本研究でもデータを参考にしている。また、ミツバチの分光感度特性を模擬した撮像装置を作成し RGB 画像を作成する研究[2]もある。しかし、これには大掛かりな撮像装置が必要な上、ミツバチの見た色彩しか再現できないという問題点がある。

## 3. 提案手法

### 3.1. 提案手法の流れ

図 1 に本研究の処理の流れを示す。本研究では、大まかに 1. 分光画像の作成、2. ミツバチと人間の受ける XYZ 刺激値の推定、3. 刺激値の HSV 値化と元画像の陰影の反映という 3 つの段階を経て結果画像を出力する。

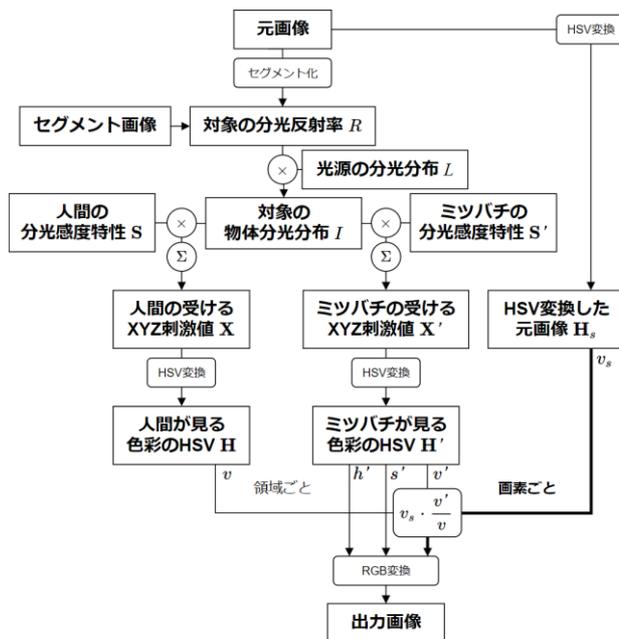


図 1 提案手法の処理の流れ

### 3.2. 分光画像の作成

本研究ではまず、通常の花の画像、光源の分光データ、対象の花の領域ごとの分光反射率データ[3]から分光画像を構成する。

通常の花の画像を、分光反射率が異なる領域ごとにセグメント分けする。今回はクロッカスを対象の例として使用した(図 2 左)。セグメント分けには手動で作成したセグメント画像(図 2 右)を用いる。



図 2 使用するクロッカスの画像・セグメント

ある領域 $\Omega_i$ の分光反射率を $R_i$ 、光源の分光分布を $L_i$ 、光の波長を $\lambda$ とすると、 $\Omega_i$ における物体分光分布 $I_i$ は以下ようになる。

$$I_i(\lambda) = L(\lambda)R_i(\lambda) \quad (1)$$

Simulation of animal color vision using spectral image estimation

<sup>†</sup>Futa Fuchinoue, <sup>‡</sup>Hideki Todo, <sup>††</sup>Masanori Kakimoto

<sup>†</sup>Tokyo University of Technology

<sup>‡</sup>Chuo Gakuin University

こうして求める物体分光分布 $I_i$ は領域内で一般的な値となる。これをすべての領域 $i$ に対して求めることで分光画像 $I$ を構成した。

### 3.3. 分光感度特性を用いた刺激値の推定

まず人間の見る色彩を基準とするため求める。ある領域の物体分光分布 $I_i$ に対して、等色関数 $\mathbf{S} = (S_x, S_y, S_z)^T$ を掛け合わせ、最大の値に対する割合を求めることで、人間の錐体細胞が受ける刺激値 $\mathbf{X}_i = (X_i, Y_i, Z_i)^T$ を推定する。以下に $X_i$ を求める計算式を示す。 $Y_i, Z_i$ についても同様に求める。

$$X_i = \frac{\sum_{\lambda} I_i(\lambda) S_x(\lambda)}{\sum_{\lambda} S_x(\lambda)} \quad (2)$$

同様に[1]から引用したミツバチの分光感度特性を用いてミツバチの網膜が受ける刺激値を求めることができる。しかし、ミツバチの網膜には紫外線によって刺激を受けるUV錐体細胞があり、人間にとって赤色にあたる波長の光に刺激を受ける錐体細胞が存在しない。UV錐体細胞が短波長領域で刺激を受ける特性を考慮し、本研究では図3のように当てはめる刺激値をずらす事によってミツバチの網膜が受ける刺激をシミュレートする。

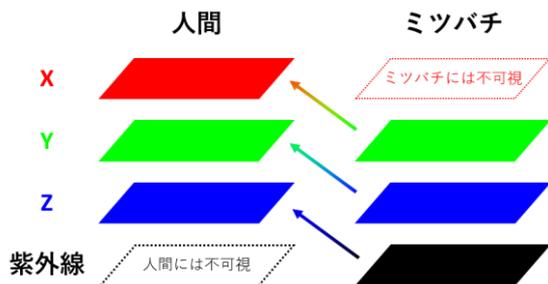


図3 刺激値置き換えのイメージ

刺激値をずらした後、すなわちミツバチの分光感度特性を $\mathbf{S}' = (S'_x, S'_y, S'_z)^T$ とし、これを用いて求めた刺激値を $\mathbf{X}'_i = (X'_i, Y'_i, Z'_i)^T$ とする。

### 3.4. 刺激値の変換と陰影の反映

3.3にて推定したある領域における刺激値を、色彩として表現するために、元画像の同領域に貼り付ける。

推定した領域内XYZ刺激値をRGB値に変換し貼り付けると、各領域を単色で一様に塗り潰した画像が出力されてしまう。これを避け、元画像の陰影を反映した画像を出力する。

まず、推定した各刺激値 $\mathbf{X}_i, \mathbf{X}'_i$ をそれぞれ対応するHSV値 $\mathbf{H}_i = (h_i, s_i, v_i)^T, \mathbf{H}'_i = (h'_i, s'_i, v'_i)^T$ に変換する。そして、元画像についてもHSV値 $\mathbf{H}_s = (h_s, s_s, v_s)^T$ に変換し、 $\mathbf{H}_i, \mathbf{H}'_i$ を利用して出力HSV値 $\mathbf{H}_o = (h_o, s_o, v_o)^T$ を次のように求める。陰影に直接関係しない色相・彩度については、 $h_o = h'_i \cdot$

$s_o = s'_i$ と置き換える。陰影と関係する明度 $v_o$ については、次式により求める。

$$v_o = v_s \frac{v'_i}{v_i} \quad (3)$$

この式は色とは独立した陰影刺激値についても人間からミツバチに置き換えることを意味する。

最後に、こうして求めた $\mathbf{H}_o$ をRGB値に変換し、各画素における色の値とした。

### 4. 色彩のシミュレーション結果

本手法によって出力された、人間の見る色彩とミツバチの見る色彩の結果画像が図4である。



図4 人間(左)とミツバチ(右)の見る色彩

図4左は人間が見た色彩を本手法でシミュレートしたものであり、図2左に示した元画像と非常に近い色合いを再現できている。人間の見る色彩では花びらと雌しべの色合いが似通っており雌しべが目立っては見えないが、ミツバチの見る色彩では雌しべが非常に際立って見えることがわかった。

### 5. おわりに

本研究ではまず分光反射特性のデータベースを利用して分光画像を構成し、次にミツバチの分光感度特性を利用して色彩の置き換えを行うことによりミツバチの見る色彩を推定した。その結果、ミツバチが見る色彩が、人間が見るそれとは大きく異なっていることを可視化することができた。また、本手法を用いれば各分光感度特性データを用意することで様々な動物の見る色彩を推定することができるようになった。今後の課題として鳥類に代表される4色色覚を持つ動物の見る色彩の推定への対応を行うことが挙げられる。

### 参考文献

[1] Briscoe A. D., Chittka L, "THE EVOLUTION OF COLOR VISION IN INSECTS," Annual review of entomology, 41(1), pp. 471-510, 2001.  
 [2] 瀧口吉郎, 久保田節, 加藤務, 山崎順一, "昆虫の色覚に類似した紫外光カラー化カメラ," テレビジョン学会技術報告, 第18巻, 67号, pp. 25-30, 1994.  
 [3] Arnold SEJ, Faruq S, Savolainen V, McOwan PW, Chittka L, 2010 FRoD: The Floral Reflectance Database - A Web Portal for Analyses of Flower Colour. PLoS ONE 5(12): e14287. doi:10.1371/journal.pone.0014287