

# 色彩に対する人間のあいまいな情報のファジィ理論的分析

○加藤 駿\*1      森 文彦\*2  
菅野 直敏\*3

キーワード：ファジィ理論的分析    カラートライアングル    トーントライアングル  
人間のメンバーシップ値

## 1.はじめに

色彩の感覚は、人それぞれ異なっている。日本人の集合平均としての「あいまいさ」を可視化し、あいまいさのスケールを示すことを目的としている。

先行研究<sup>2) 3)</sup>では、人のあいまいさを知るために、色彩のあいまいさをファジィ集合と捉え、加法混色にファジィ理論を適応することで、色彩のファジィシステムを構築した。従来の研究では、加法混色を用いたカラートライアングル上の人間のあいまいな情報をカラートライアングル上にファジィ推論をすることで分析を行っていた。また、前研究ではトーントライアングル上の人間の赤色に対するあいまいな情報を用いて、カラートライアングル上にファジィ推論を行い、赤色のあいまいさを分析した。

本稿では、人のあいまいな情報をカラートライアングル上からトーントライアングル上にファジィ推論をすることにより分析を行った。

## 2.カラートライアングルとトーントライアングル

加法混色とは異なる2色あるいは3色を混ぜるときに起こる。赤 (Red)、緑 (Green)、青 (Blue) の3色の加法混色でほぼ全ての色彩  $C$  をつくることができる。図1は、加法混色を用いたカラートライアングルである。

このトライアングルは、加法混色を立体上に表現しているRGB色立体上(図2)の赤(Red)、緑(Green)、青(Blue)を頂点としたものである。このトライアングル上で鮮やかな全ての色彩を表現することができる。また色相と彩度の関係を示している。

図3のトーントライアングル<sup>1)</sup>では、図2のRGB色立体から色相(Hue)、白(White)、黒(Schwarz)を頂点としたトライアングルであり、明度と彩度の関係を示している。

図3のトーントライアングル<sup>1)</sup>では、図2のRGB色立体から色相(Hue)、白(White)、黒(Schwarz)を頂点としたトライアングルであり、明度と彩度の関係を示している。

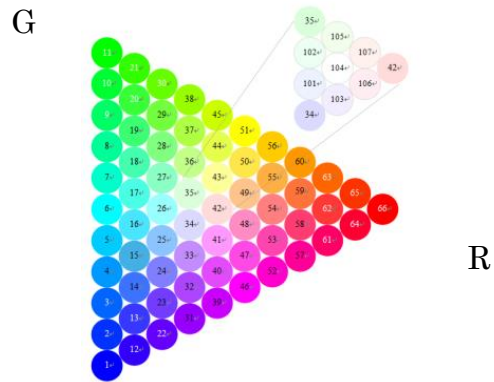


図1: カラートライアングル

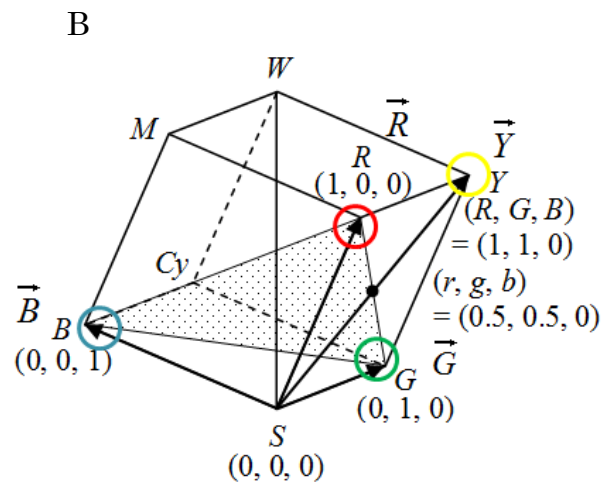


図2: RGB色立体

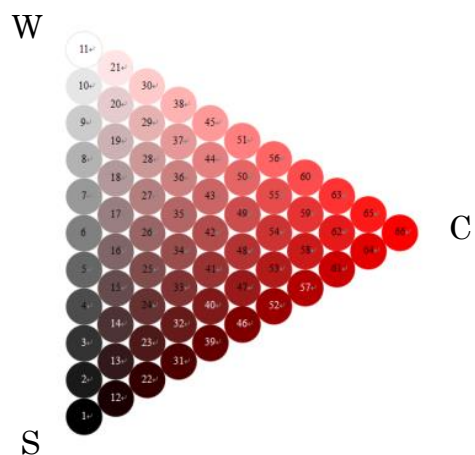


図3: トーントライアングル

### 3.色相のファジィシステム

図 4a は、ファジィシステムを表している。カラートライアングル ( $R_iG_iB_i$ ) の中線方向に平行な軸上に赤み (Redness)  $r_i$ , 緑み (Greenness)  $g_i$ , 青み (Blueness)  $b_i$  がある。図 4a では、赤みが増すと赤成分の度合い  $\mu_k$  が縦方向に増加することを示している。これが赤のファジィ集合を形成する(図 5a)。緑と青のメンバーシップ関数は図 5a の赤(Red)ファジィ集合を  $W$  中心に 120 度ずつ回転したものである。

また、このファジィシステムでは入力ファジィ集合 (Fuzzy set)  $A_k$  (前件部), ファジィ入力  $I_n$ , 出力クリस्प集合 (Crisp set)  $O_k$  (後件部), およびファジィ出力  $O$  を示している。図 4a は三角座標 ( $r_i, g_i, b_i$ ) で, 図 4b は三角座標 ( $r_o, g_o, b_o$ ) で, 図 4c は普通の座標 ( $r_o, uk$ ) で表されている。

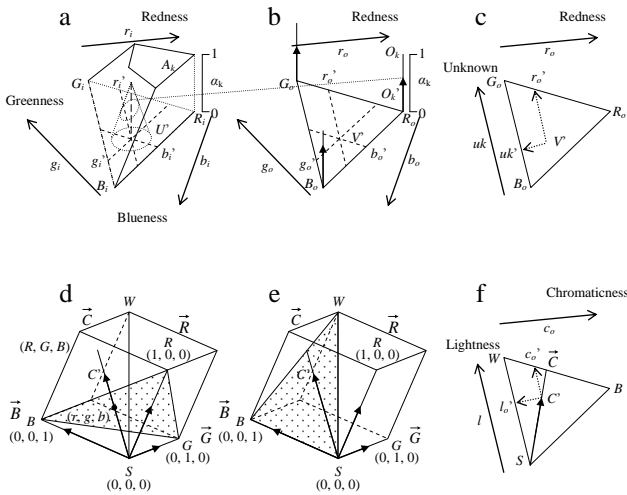


図 4: カラーのファジィシステム

ファジィルール(Fuzzy rule)は次のように示される。

$$R^1: \text{if } U \text{ is } A_1 \text{ then } V \text{ is } O_1 \quad (1)$$

$$R^2: \text{if } U \text{ is } A_2 \text{ then } V \text{ is } O_2 \quad (2)$$

$$R^3: \text{if } U \text{ is } A_3 \text{ then } V \text{ is } O_3 \quad (3)$$

ルール  $R^k$ :  $\text{if } U \text{ is } A_k \text{ then } V \text{ is } O_k$  ( $k=1, 2, 3$ ), ここで  $k$  はルール番号である。  $U=(r_i, g_i, b_i)$  は入力座標,  $V=(r_o, g_o, b_o)$  は出力座標である。入力ファジィ集合  $A_k$  (前件部) は頂点  $R_i, G_i$  あるいは  $B_i$  における三角錐台のような形状であり, ファジィ入力  $I_n$  は円錐, 出力クリस्प集合  $O_k$  (後件部) は頂点  $R_o, G_o$  あるいは  $B_o$  におけるシングルトン (Singleton) である。ファジィ集合  $O_k$  は縦矢印で示されている。もし入力が  $A_k$  であれば, 出力は  $O_k$  である。

ファジィ推論(Fuzzy inference)の方法は次のようであ

る。ここで入力を  $r_i=r_i', g_i=g_i', b_i=b_i'$  とすると  $U=(r_i', g_i', b_i')$  となる。

- 1) ルール  $R^k$  の入力で,  $\alpha_k=A_k(U)$ , ここで  $k=1, 2, 3$  である。
- 2) ルール  $R^k$  の出力で, 出力クリस्प集合  $O_k$  はシングルトン (縦棒) である。
- 3)  $O_k'=\alpha_k O_k$ , ここで  $O_k'$  はファジィ集合 (縦矢印), また  $O_k$  はクリस्प集合 (縦棒) である。ルール  $R^1, R^2, R^3$  の最終推論結果は  $O$  である。

$$O'=\alpha_1 O_1 \cup \alpha_2 O_2 \cup \alpha_3 O_3 = O_1' \cup O_2' \cup O_3' \quad (4)$$

出力座標  $V=(r_o', g_o', b_o')$  は三角座標上のファジィ集合  $O$  の重心 (Center of gravity) で,  $V=(r_o', uk')$  はグラフィカルな座標上のファジィ集合  $O$  の重心である。  $uk'$  は線分  $BG$  上の値 ( $B$  からの距離) である。

ファジィ入力  $I_n$  と前件部のファジィ集合  $A_k$  の積集合は  $A_k \cap I_n$  である。一致度  $\alpha_k'=\text{Height}(A_k \cap I_n)$  で決まる。  $\text{Height}$  は高さを求める関数である。もし入力がクリस्पであれば,  $\alpha_k'$  はダッシュのない  $\alpha_k$  と書くことにする。  $O_k'=\alpha_k O_k$  は後件部の  $R_o, G_o, B_o$  における各重み (Weight) と考えることができる (図 6)。

これら三角形の頂点にある 3 本の矢印をファジィ集合とみなし脱ファジィ化 (あるいは非ファジィ化) (Defuzzification) することになる (図 4b)。

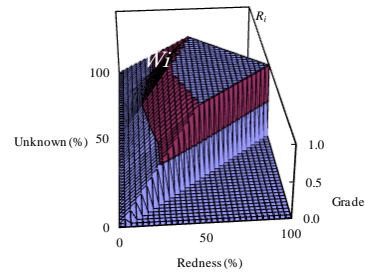


図 5: ファジィ集合 Red

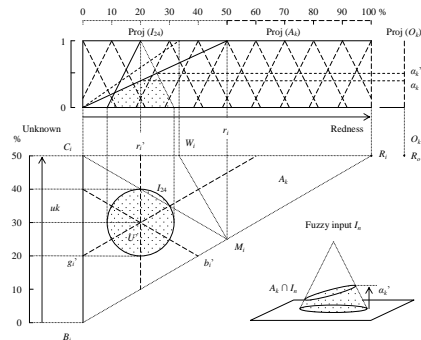


図 6: カラートライアングル上のファジィ集合 (前件部) と円錐

#### 4. 色彩に対する人間のあいまいさ

人間の色彩に関する「あいまいさ」のメンバーシップ値を集合平均したデータをファジィシステムに入力することで、どのような結果が出力されるか、6色のアンケート調査を行った。アンケート方法として、Visual Basic 6.0でアンケート調査プログラムを作成しタッチセンサ付きディスプレイを用いて、86名(男性47名,女性39名)の被験者に66色のカラートライアングルを見せもらう。被験者には、カラートライアングル上から赤(Red), 黄(Yellow), 緑(Green), 青緑(Cyan), 青(Blue), 赤紫(Magenta)の6色について各色を感じる場所にタッチし数値を入力してもらう実験を行った(図7)。

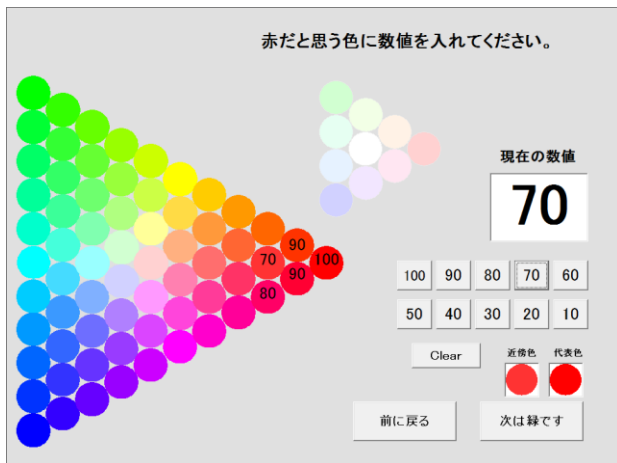


図7: 色彩アンケート(質問: 赤)

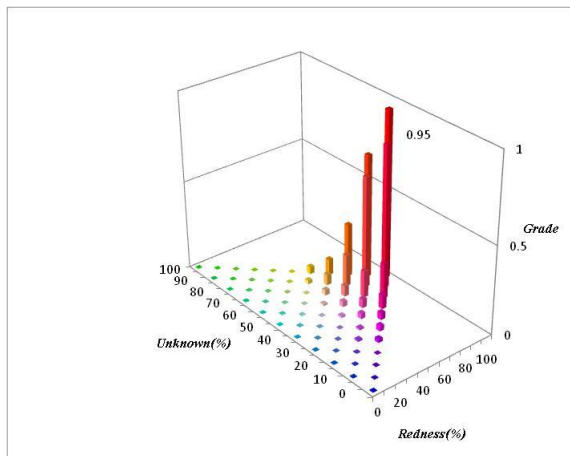


図8: カラートライアングル上の赤の集合平均

図8は、色彩アンケートによって得られた赤の実験結果の集合平均を示している。メンバーシップ値(Grade)が大きい色彩ほど被験者がその場所を各色と感じている可能性が高いことを示している。図8では、Gradeの値が1に近い色彩ほど被験者がその場所をRedと感じている可能性が高いことを示している。

#### 5. 色相ファジィシステムにおける推論結果

図9では、図8の実験結果を用いた6色のカラートライアングル(後件部)のクリस्प入力とファジィ入力の推論結果を示している。ファジィ入力は各色の集合平均とし、ファジィ入力の重心座標にシングルTONを入力したものをクリस्प入力とした。

図9は横軸: 赤み Redness の値  $r_0$  と縦軸: 不明 Unknown の値  $uk$  の関係を示している(図4c参照)。図9aはクリस्प入力(図4aの円錐の中線)に対する出力を示している。図9bはファジィ入力(図8の集合平均値)に対する推論出力を示している。6色すべての入力に対してカラートライアングルの中央  $W$  に集まる傾向がある。図9では、赤(Red)の推論結果から  $R$  に結果が近いほどあいまいさが少ない。逆に白(White)の位置に近いほどあいまいさが大きいことを示している。

クリस्प集合の推論結果と比較するとファジィ集合の推論結果の方が、全体的に白(White)に寄っていることからあいまいさが大きい。

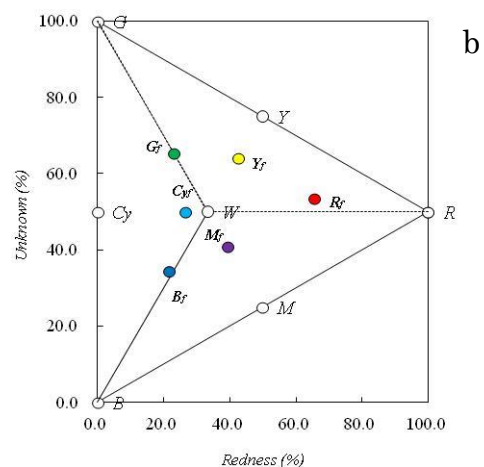
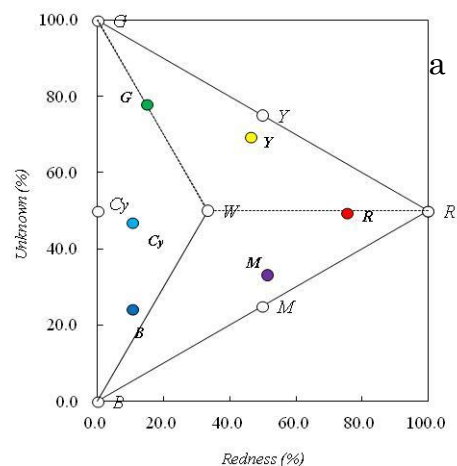


図9: クリस्प入力(a)とファジィ入力(b)に対するRGB 三角形上の推論結果

## 6.カラートライアングルからトーントライアングルへの変換結果

カラートライアングルからトーントライアングルへの写像<sup>3)</sup>を行い、推論結果をトーントライアングル上で表す。

図 4d は RGB 色立体であり、図 4b の各重み（縦矢印）をベクトル空間に戻し、これらの合成ベクトルを作る。図 4e でこのベクトルを含むトーントライアングルを切り出し、図 4f のように正三角形に直すことにより、トーントライアングル上の出力を示すことができる。

この際のトーントライアングルの頂点  $C$  (色相) の色彩は結果の各色相に対応している。

図 10 では図 8 の各色の集合平均を入力として用いた結果を示している。図 10 では、横軸：Chromaticness、縦軸：Lightness の関係を示しており、図 10a はファジィ集合（集合平均）の重心をクリस्प入力した結果を示しており、図 10b はファジィ入力の結果を示している。

また、図 10 はトーントライアングルの出力を示し、これは図 4f に対応している。図 5a はカラートライアングル上 (0% トライアングル) にクリस्प入力があると、 $C$  点で出力する。これはあいまいさがないことを示している。

ここでは、推論結果の位置関係から入力データの特徴を知ることができる。結果が  $S$  方向の位置に移動することで Grade (山の高さ) が低いことを示している。また図 10a のクリस्प入力の結果に比べ、図 10b のファジィ入力の結果では  $W$  方向に結果が移動していることから、 $W$  方向に近いほどあいまいさが増すことを示している。

$Cy$  (Cyan) と  $M$  (Magenta) のような集合平均の Grade (山の高さ) が低い場合、トーントライアングルの出力結果では、 $CW$  線分上から内側 (線分の下) に入ることになる (図 4f 参照)。

$Cy$  の結果を例にした場合、従来の手法である図 9b の  $Cy$  は  $W$  に近いことからあいまいであるということしか分からなかった。

トーントライアングル上に出力した図 10b では、 $W$  との位置関係から従来の手法と同様に  $Cy$  があいまいであることに加えて、 $CW$  上から  $S$  方向に寄っていることから、その色彩の可能性についても低いことがわかる。

## 7.まとめ

カラートライアングル (前件部) からトーントライアングル (後件部) への写像としてファジィシステムに人間の色彩の「あいまいさ」をファジィ集合として入力することで推論を行った。

従来の手法<sup>2)</sup>では、推論結果だけでは入力されたデータの Grade や集合全体の特徴がわかりにくかったが、トーントライアングルに推論結果を表すことにより、入力データ

の特徴がはっきりしてきた。

この結果とトーントライアングルの各頂点との位置関係を分析することが「あいまいさ」と「可能性」を表す重要な結果となるかもしれない。

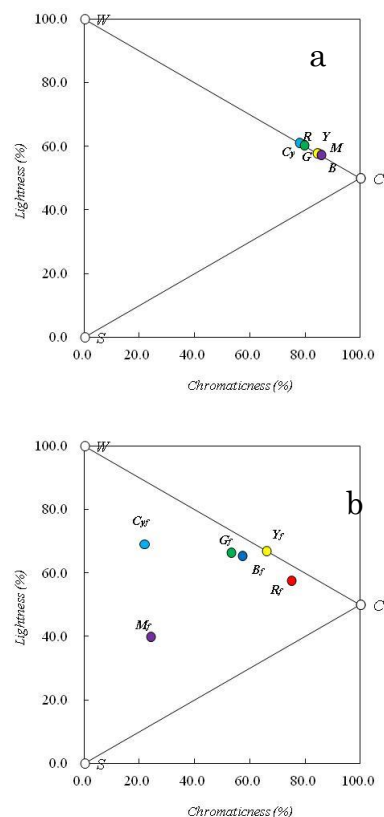


図 10: クリस्प入力 (a) とファジィ入力 (b) に対するトーントライアングル上の結果

## [参考文献]

- 1) L. Sivik, "Color systems for cognitive research." in *Color Categories in Thought and Language*. C. L. Hardin, and L. Maffi, Eds. Cambridge University Press, New York, 1997, pp. 163-193.
- 2) N. Sugano, "Fuzzy set theoretical approach to the RGB triangular system," *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, vol. 19, no. 1, pp. 31-40, February 2007.
- 3) N. Sugano, "Fuzzy set theoretical approach to the tone triangular system," *Journal of Computers*, vol. 6, no. 11, pp. 2345- 2356, November 2011.
- 4) 加藤駿, 山下巧, 森文彦, 菅野直敏: カラートライアングル上の人間のメンバーシップ値のファジィ理論的分析-色相から色調への推論-, バイオメディカル・ファジィ・システム学会, 第 25 回 バイオメディカル・ファジィ・システム学会, E-1-1, pp. 43-46, 2012.

\*1 玉川大学大学院工学研究科

\*2 玉川大学工学部機械情報システム学科 非常勤講師 博士 (工学)

\*3 玉川大学工学部機械情報システム学科 教授 工学博士