原著論文

イメージ語のクラスタリングを利用した配色支援システム

小川 早紀, 萩原 将文

慶應義塾大学大学院

Color Combination Support System using Image Words Clustering

Saki OGAWA and Masafumi HAGIWARA

Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

Abstract : This paper proposes a color combination support system using image words clustering. In order to design color combination effectively, analyses of the relationship between various colors and the image humans have is important. We have collected such data produced by many color designers and analyzed them to find the relationships between hue, tone and the combinations. At the same time, several color combination techniques are also utilized to develop a software algorithm to implement a color combination support system. The proposed system has been examined in respect of user-friendliness, ease of use, and degree of coincidence between the output of the proposed system and human's image. According to the evaluation experiments, the proposed system obtained fairly good results.

Keywords : Color Combination, Image Words Clustering, Support System

1. 序 論

デザインを行う上で、色は非常に重要な要素である。色を適切に用いることでデザインに対して機能的効果の向上を図ったり、情緒的效果を持たせたりすることができる[1]。しかし配色には唯一解は存在せず、非専門の人間が適切な配色を選択するのは困難である[2]。

特定の対象物に対する配色支援の研究は今までに多く行われている[3-7]。また、対象物に応じて用いる色やイメージ語に偏りがあることが明らかになっている。例えば徳丸らの研究[4,5]では、仮想試着システムでの色彩調和の定量的評価手法が検討されている。しかし、女性用の衣服は形状が複雑なものが多いため、徳丸らは紳士服に特化したコーディネート支援システムを扱った。そして分析された紳士服の色彩調和の検討の際に用いられる色は、暗いトーンのものが多いとであった。井上らの研究[6,7]では、配色モデルおよび配色システムをユニフォーム配色に応用している。しかし、アンケートデータを元にしたイメージ感情モデルの信頼性には問題があったと言及している[7]。

多くのものはデザインを必要としており、色やイメージ語を限定することのない人間のイメージと配色との関連性の分析は重要である。イメージと配色の関連性を分析する既存研究には、小林らによって作成された「配色イメージスケール」[8]がある。デザインの分野ではこのようなカラーイメージスケールを用いた研究が数多く行われている[9-12]。以降、本論文では3色の配色イメージスケールを単に「配色イメージスケール」と呼ぶことにする。

配色イメージスケールでは、数十のイメージ語とそれに対応した配色がソフト-ハード軸およびクール-ウォーム軸で示される2次元上にマッピングされている。したがってユーザは直感的に配色の表すイメージを理解でき、容易に使用することができる。しかし、スケール上では1つのイメージ語に対して1つの配色しか用意されておらず、多様な配色を行うことが困難である。

徳丸らはファジィ推論を用いて配色のイメージ判定を行う研究を手がけている[13,14]。これらは前述したカラーイメージスケールの知識に基づいてファジィルールを作成し、配色のイメージ判定を行っている。また、パラメータを変更することで個人の嗜好にも対応している。しかしこれらは作成された配色の評価を行うものである。

井上ら是对話型進化計算を用いた配色作成支援システムを構築している[15]。これは配色を評価していくことで好みに合致した配色作成を支援するシステムである。しかしこのシステムはユーザの好みの配色を生成することを目的として構築されており、特定のイメージに対応する配色を作成することは意図されていない。

そこで本論文では、まず人間のイメージと配色の関連性を分析し、その結果を利用した配色支援システムを提案する。まず複数のデザイナーがまとめているイメージと配色のデータを取得し、イメージ語をベクトル化しクラスタリングを行う。その後、クラスタごとに使用されている単色や配色において、頻出する色や配色技法を分析し、その結果から配色支援システムを構成する。分析の際には色をPCCS表色系[9]で表し、色相とトーンを利用する。システム構築の際には、調和する配色の出力の為に社団法人全国服飾教育者連合会が

実施している色彩検定で取り上げられている配色技法をアルゴリズム化し利用している。

以下、本論文では第2章でイメージと配色の関連性の分析について述べ、第3章では構築したシステムの説明を行う。第4章では評価実験について説明し、第5章で結論を述べる。

2. イメージと配色の関連性の分析

2.1 配色データの収集

分析のためにまず配色データを収集した。収集したデータは複数の文献[1, 2, 16]に基づいた1774個の配色パターンについての「イメージ語」「説明語」「配色で用いられている色の数値データ」の3種類である。

イメージ語とは配色を一番よく表している言葉を示す。また、説明語とは配色を説明するために用いられている言葉を示す。例えば、「スポーティな配色」[2]と紹介されている配色の説明文に、以下のような記述がある。

強さやたくましさだけでなく、現代のスポーツには爽やかさやクリーンなイメージが重要です。…(中略)…

清潔感と躍動感とが両立するスポーティなデザインは、老若男女を問わず幅広い層で好感が持たれるデザインでもあるからです。

この場合、この配色のイメージ語は「スポーティ」であり、説明語には「強さ」「たくましさ」「爽やかさ」「クリーン」「清潔感」「躍動感」などを挙げるができる。また、配色で用いられている色の数値データについては、RGB値の記載がある場合はそれをシステムでそのままデータとして用いる。PCCS表色系での表記の場合は、対応表[9]を用いてCMYK値に置き換え、それを以下の式でRGB値に変換することで配色データとした。

$$\begin{cases} R = (1 - \min(1, C \times (1 - K) + K)) \times 255 \\ G = (1 - \min(1, M \times (1 - K) + K)) \times 255 \\ B = (1 - \min(1, Y \times (1 - K) + K)) \times 255 \end{cases} \quad (1)$$

ここでminは引数内での最小値を求める関数である。

取得した配色データにおいて、イメージ語は231語となった。このうち複数文献でイメージ語が重複したもの、具体的には、1) 全く表記が同一であるもの、2) かな表記と漢字表記の違いのみであるもの、3) 接尾語の有無のみの違いであり同一とみなせるもの、については同一と見なした。その結果、最終的にイメージ語は212語となった。説明語については、1つのイメージ語に対して最小1語、最大9語、平均3.3語取得した。また、数値データについては、各イメージ語に対して最小9色、最大150色、平均32.7色分のRGB値を取得した。

2.2 イメージ語のクラスタリング

次に取得したイメージ語をベクトル化し、イメージ語のクラスタリングを行う。

ベクトル化には先程取得した説明語を用いる。説明語には、例えば1つのイメージ語に対して「自然」「ナチュラル」

表1 説明語の形容詞対

1	貴い－賤しい	2	特別な－普遍的な
3	緩やかな－急な	4	新しい－古い
5	公的な－私的な	6	都会の－田舎の
7	明るい－暗い	8	清らかな－濁った
9	誠実な－怠惰な	10	自然な－人工的な
11	豪華な－素朴な	12	温かい－寒い
13	優しい－厳しい	14	動的な－静的な
15	自然光の－蛍光の	16	大衆的な－少数派の
17	機能的な－無駄な	18	男性的な－女性的な
19	派手な－控え目な	20	艶っぽい－色気のない
21	大人っぽい－子供っぽい	22	かたい－やわらかい
23	甘い－辛い	24	洗練された－粗悪な
25	軽い－重い	26	現実的な－幻想的な
27	強い－弱い		

という2語が存在することがある。それを考慮し、まず説明語を27の形容詞対に基づき分類する。表1に用いた形容詞対を示す。イメージ語がそのカテゴリの形容詞を説明語として持つ場合は、どちらのイメージにより近いかを判断して+1/-1の値を設定し、それ以外は0とすることでイメージ語のベクトル化を図った。例えばイメージ語が「スポーティ」の場合、説明語には前述のもの以外に「先進的」「機能性」「クール」「ダイナミック」「力強さ」「健康的」「エネルギー」が挙げられた。この場合、形容詞対では説明語は「新しい－古い」「清らかな－濁った」「温かい－寒い」「動的な－静的な」「機能的な－無駄な」「強い－弱い」のカテゴリに分類される。これを用いてベクトル化すると、次のように表現される。

スポーティ = {0, 0, 0, -1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, -1, 0, 1, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27}

ベクトルの要素の下にある数字と表1は対応している。このベクトルを用い、イメージ語の階層クラスタリングを行った。階層クラスタリングにはウォード法を用いた。階層クラスタリングの結果を表したデンドログラムを図1に示す。

図1 イメージ語の階層クラスタリング

イメージ語のクラスタリングを利用した配色支援システム

2.3 クラスタごとの配色特徴分析

階層クラスタリングを施し、その後階層の高さごとにクラスタの抽出を行った。そしてそれぞれに対して含まれる配色をPCCS表色系で表した際の色相およびトーンの分析を行った。表2にPCCS表色系で用いられる色相およびトーンの表記について示す。また、PCCS表色系で用いられるビビッドトーンにおける色相環を図2に示す。なお、これらは文献[1]で用いられている表記に基づいている。

PCCS表色系では色相を24以下の自然数で表す。トーンは色の明度と彩度を合わせて表現したもので、色調とも呼ばれる。トーンの表記は色の見え方を表した単語の頭文字を用いて表される。

分析では「色相の出現頻度」「トーンの出現頻度」「全体に対する相対的なそれぞれの出現頻度」などの点に着目した。例えば「甘い」に関連した言葉が多く含まれるクラスタでは、色相は暖色の2や4、8が多く用いられ、トーンは鮮やかさの

表2 PCCS表色系の色相およびトーン表記 [1]

色相	トーン
2 赤	p+ うすい (pale+)
4 赤みのだいだい	lt+ あさい (light+)
6 黄みのだいだい	b あかるい (bright)
8 黄	v さえた (vivid)
10 黄緑	dp こい (deep)
12 緑	dk くらい (dark)
14 青緑	dkg くらいはいみの (dark-greyish)
16 緑みの青	ltg あかるはいみの (light-greyish)
18 青	sf やわらかい (soft)
20 青紫	s つよい (strong)
22 紫	d にぶい (dull)
24 赤紫	g はいみの (greyish)

図2 ビビッドトーンにおける色相環 [1]

低いp+ トーンやltg トーンが多く用いられていることが分かった。全体に対しての割合ではこの結果と異なり、色相は8や12が多く用いられ、トーンはlt+ トーンが特に多く用いられている。この結果から、「甘い」に関連した言葉を表す配色は、主に暖色系の色相が用いられやすく、明度が高く彩度が低めな色が用いられやすいことが分かる。また、「暗い」に関連した言葉が多く含まれるクラスタでは、色相は寒色の18や中間色の22が多く用いられ、トーンは明度の高いものは全く用いられないことが分かった。多く用いられるトーンは明度の低いg トーンやdk トーン、dkg トーンなどであった。この結果から、「暗い」に関連した言葉を表す配色は、主に寒色系から中間色系の色相が用いられやすく、トーンは明度の低いものに制限されていることが分かった。

また、配色を目にしたときに受ける主観的なコントラストの大小や、実際に例として挙げられている配色の色の組み合わせなどから用いられやすいと考えられる配色技法の分析を行った。配色技法については、第3章のシステム説明において詳しく述べる。

3. 提案システム概要

図3に提案システムの処理の流れを示す。システム起動後、ユーザはイメージ語を選択し、使用したい色を入力する。システムは選択されたイメージ語に基づき、適切と考えられる配色技法を選択し配色案を生成する。システムはそれをユーザに提示する。ユーザは配色を確認し、次の動作を選択する。満足した場合は配色を保存してシステムは終了する。

図3 提案システムの処理の流れ

作り直す場合は配色技法の選択からのやり直しが行われる。現在の配色を一時的に保存する場合は、別のウィンドウで現在の配色を提示し、新たな配色が配色技法の選択からのやり直しにより生成される。配色を微調整する場合は、3色のうち1色を指定し、PCCS表色系の色相やトーンに基づき微調整が行われる。戻る場合は、直前の動作が取り消され1つ前の配色が提示される。

3.1 イメージ語選択

ユーザがシステムを開始すると、システムはイメージ語の選択肢を提示する。ここで提示されるイメージ語は2.2のクラスタリング結果に基づいて新たに定義された、クラスタを表現するそれぞれのイメージ語である。そのため2.1で収集したイメージ語とは異なるので、これを新たにクラスタイメージ語と定義し以下この表記を用いる。ユーザは提示される選択肢の中から、自分のイメージに一番近いクラスタイメージ語を選択する。それを1回または複数回繰り返すことで、システムはユーザのイメージがどのクラスタに属しているかを推定する。

階層クラスタリングでは木構造の根から葉の方に行くにつれて大きなクラスタから小さなクラスタへと細分化されていく。クラスタの細分化に伴い、クラスタに属するイメージ語を代表する説明語が見えてくる。この説明語を、システムではクラスタイメージ語として用いる。例えばあるクラスタで、「子供っぽい」「可愛い」「可憐な」「ガーリー」などのイメージ語が含まれ、これらは共通して「甘い」という説明語を持つとする。このような場合は、クラスタイメージ語として「甘い」が用いられる。ユーザのイメージがどのクラスタに属するかは、このクラスタイメージ語を用いて判別する。表3に、システムが最初にユーザに提示する最も大きな17のクラスタを表すクラスタイメージ語を示す。

3.2 使用色入力

次にユーザは自分の使いたい色（使用色）を選択する。この際に、システムはユーザのイメージが属するクラスタで頻出する色を最大10色提示し、色選択を支援する。提示の際は1色につき縦横共に200ピクセルの大きさで、色相とトーンが記載されているものを1列に並べて提示する。使用色はPCCS表色系で入力する。無彩色は白・黒・灰色の3色に分類し、灰色は文献[1]に基づき明度により3段階に分けて分類し使用した。システムが提示した色を入力しなければならないなどの制限は設けていない。

表3 システムが最初に提示するクラスタイメージ語

新しい	自然豊かな	控え目な
幻想的な	動きのある	豪華な
さっぱりした	カジュアルな	甘い
田舎っぽい	大自然のような	静かな
暗い	艶っぽい	男性的な
特別感のある	誠実な	

3.3 配色技法選択

システムはユーザからのクラスタイメージ語と使用色を受け取ると、ユーザのイメージが属するクラスタの配色案作成に適した配色技法を選択する。

配色技法とは、調和する配色を作り出すための色選びのテクニックのことである。文部科学省が後援する色彩検定では、配色技法が出題分野の1つとなっている[17]。本システムでは文献[17]に述べられている配色技法のうち、技法として類似性のあるものを除き、3色配色として再現が可能な8種類の配色技法を実装した。配色技法は人間が視認しながら色を選ぶことを前提に書かれており、数式等の記載はない。そのため、言語での記載をアルゴリズム化しての実装を行った。また、実装にあたり、トーンの明度および彩度を定義する必要があったため、文献[1]のPCCSのトーンマップに基づきそれぞれを表4のように定義した。

また、文献[17]にある配色技法は明度と彩度を利用して調和する配色を生み出すことを前提としているため、彩度の存在しない無彩色を用いて配色を生み出すことができない。そのため、無彩色を使用色とする場合については別に配色生成の為の関数を作成した。

システムは2.3で述べた分析結果を利用し、クラスタで用いられやすい配色技法の中から使用する技法を選択する。クラスタに対応する配色技法を表5に示す。システムで最初に提示するクラスタイメージ語は1列目に示すように17語あったが、さらにその下位に複数のクラスタがある場合は2列目に示している。3列目には配色技法に対応する番号が示されており、番号はこの後の配色技法名の横の番号と対応している。また、無彩色を選択した場合はイメージ語に関係なくその無彩色に対応した配色技法が選択される。その後、使用色にそれを適用することで調和する色を選択し、3色配色を生成する。この時、ユーザが先程入力した使用色が、一般的に最初に選択したイメージに適合していない場合でも、システムは選択した配色技法を用いて配色を生成する。次節から配色技法の詳細について述べる。その際、ユーザの入力した使用色をベースカラー、使用色に対応する調和する色をアソートカラーと呼ぶことにする。

表4 PCCS表色系のトーンの明度および彩度

トーン		明度 (V)	彩度 (S)
p+	うすい	4	1
lt+	あさい	4	2
b	あかるい	3.5	3
v	さえた	2.5	4
dp	こい	1.5	3
dk	くらい	1	2
dkg	くらいはいみの	1	1
ltg	あかるいはいみの	3	1
sf	やわらかい	3	2
s	つよい	2.5	3
d	にぶい	2	2
g	はいみの	2	1

イメージ語のクラスタリングを利用した配色支援システム

表5 クラスタに対応する配色技法

クラスタ	下位クラスタ	使用配色技法
新しい	軽やかな	④, ⑥, ⑦, ⑧
	都会的な	②, ⑥, ⑦, ⑧
	クールな	③, ⑥, ⑦, ⑧
	動きのある	⑥, ⑦, ⑧
	その他	③, ④, ⑥, ⑦, ⑧
自然な	緩やかな	①, ④, ⑤
	暖かな	①, ④
	優しい	①, ④, ⑤
	清らかな	①, ③, ④
控え目な	落ちついた	④, ⑤
	洗練された	②, ④, ⑤
幻想的な	やわらかい	④
	派手な	④, ⑥, ⑦, ⑧
	豪華な	④, ⑥, ⑦, ⑧
動きのある	爽やかな	④, ⑥
	力強い	⑥, ⑦, ⑧
豪華な	動きのある	⑥, ⑦, ⑧
	洗練された	④, ⑤
さっぱりした		④, ⑤
カジュアルな		⑥, ⑦, ⑧
甘い	子供っぽい	④
	優しい	③, ④, ⑤
田舎っぽい		③, ④, ⑤
大自然のような		④
静かな	高級感のある	④, ⑤
	洗練された	④, ⑤
暗い		④, ⑤
艶っぽい		④
男性的な		③, ④, ⑤
特別感のある		④, ⑤
誠実な		④, ⑤

3.3.1 ナチュラル (①)

ナチュラル配色とは、自然光の中での色の見え方を参考にした技法で、黄色に近い色相のトーンを明るく、青に近い色相のトーンを暗くすることで作成することができる。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. ベースカラーの色相 H_{base} と黄色の色相 H_{yellow} との差を取得する。

$$diff_{base} = H_{base} - H_{yellow} \quad (2)$$

2. ベースカラーのトーンの明度 $V(T_{base})$ に応じて、ベースカラーの色相を用いてアソートカラーの色相 H_{assort} を決定する。

$$H_{assort} = H_{base} + n \quad (3)$$

$$if V(T_{base}) = 4$$

$$\begin{cases} n = 2 & (8 \leq H_{base} < 20) \\ n = -2 & (1 \leq H_{base} < 8 \text{ or } 20 \leq H_{base} \leq 24) \end{cases} \quad (4)$$

$$elseif V(T_{base}) = 1$$

$$\begin{cases} n = -2 & (8 \leq H_{base} < 20) \\ n = 2 & (1 \leq H_{base} < 8 \text{ or } 20 \leq H_{base} \leq 24) \end{cases} \quad (5)$$

else

$$n = 2, -2 \text{ (random)} \quad (6)$$

3. アソートカラーの色相と黄色の色相の差を取り、ベースカラーとどちらが黄色に近いかを判断する。

$$diff_{assort} = H_{assort} - H_{yellow} \quad (7)$$

4. アソートカラーの色相の方が黄色に近ければ、ベースカラーのトーンより明度が高いトーンをアソートカラーのトーンとする。

ベースカラーの色相の方が黄色に近ければ、ベースカラーのトーンより明度が低いトーンをアソートカラーのトーンとする。

$$\begin{cases} V(T_{base}) > V(T_{assort}) & (|diff_{base}| < |diff_{assort}|) \\ V(T_{base}) < V(T_{assort}) & (|diff_{base}| > |diff_{assort}|) \end{cases} \quad (8)$$

3.3.2 コンプレックス (②)

コンプレックス配色とは、ナチュラル配色とは逆に黄色に近い色相のトーンを暗く、青に近い色相のトーンを明るくすることで作成することができる。この配色は、普段見慣れないような新鮮な配色を得ることができる。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. ベースカラーの色相 H_{base} と黄色の色相 H_{yellow} との差を取得する。

$$diff_{base} = H_{base} - H_{yellow} \quad (9)$$

2. ベースカラーのトーンの明度 $V(T_{base})$ に応じて、ベースカラーの色相を用いてアソートカラーの色相 H_{assort} を決定する。

$$H_{assort} = H_{base} + n \quad (10)$$

$$if V(T_{base}) = 4$$

$$\begin{cases} n = -2 & (8 \leq H_{base} < 20) \\ n = 2 & (1 \leq H_{base} < 8 \text{ or } 20 \leq H_{base} \leq 24) \end{cases} \quad (11)$$

$$elseif V(T_{base}) = 1$$

$$\begin{cases} n = 2 & (8 \leq H_{base} < 20) \\ n = -2 & (1 \leq H_{base} < 8 \text{ or } 20 \leq H_{base} \leq 24) \end{cases} \quad (12)$$

else

$$n = 2, -2 \text{ (random)} \quad (13)$$

3. アソートカラーの色相と黄色の色相との差を取り、ベースカラーとどちらが黄色に近いかを判断する。

$$diff_{assort} = H_{assort} - H_{yellow} \quad (14)$$

4. アソートカラーの色相の方が黄色に近ければ、ベースカラーのトーンより明度が低いトーンをアソートカラーのトーン T_{assort} とする。

ベースカラーの色相の方が黄色に近ければ、ベースカラーのトーンより明度が高いトーンをアソートカラーのトーンとする。

$$\begin{cases} V(T_{base}) < V(T_{assort}) & (|diff_{base}| < |diff_{assort}|) \\ V(T_{base}) > V(T_{assort}) & (|diff_{base}| > |diff_{assort}|) \end{cases} \quad (15)$$

3.3.3 トーン オン トーン (③)

トーンオントーン配色とは、「トーンを重ねる」という意味で、同系色相で明度差を比較的大きく取る配色技法である。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. ベースカラーの色相 H_{base} と同じものをアソートカラーの色相 H_{assort} とする。

$$H_{assort} = H_{base} \quad (16)$$

2. ベースカラーのトーンの明度 $V(T_{base})$ もしくは彩度 $S(T_{base})$ から 1 以上離れているトーンをアソートカラーのトーン T_{assort} とする。

$$\begin{aligned} & V(T_{base}) + 1 \leq V(T_{assort}) \leq V(T_{base}) + 3 \\ & \text{or } V(T_{base}) - 3 \leq V(T_{assort}) \leq V(T_{base}) - 1 \\ & \text{or } S(T_{base}) + 1 \leq S(T_{assort}) \leq S(T_{base}) + 3 \\ & \text{or } S(T_{base}) - 3 \leq S(T_{assort}) \leq S(T_{base}) - 1 \end{aligned} \quad (17)$$

3.3.4 トーン イン トーン (④)

トーンイントーン配色とは、「トーンの中で」という意味で、同じ色調でまとめる配色技法である。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. アソートカラーの色相 H_{assort} を以下の範囲でランダムに決定する。

$$1 \leq H_{assort} \leq 24 \quad (18)$$

2. ベースカラーのトーンの明度 $V(T_{base})$ と彩度 $S(T_{base})$ が同じ、もしくは 1 以下離れているトーンをアソートカラーのトーン T_{assort} とする。

$$\begin{aligned} & V(T_{base}) \leq V(T_{assort}) \leq V(T_{base}) + 1 \\ & \text{or } V(T_{base}) - 1 \leq V(T_{assort}) \leq V(T_{base}) \\ & \text{or } S(T_{base}) \leq S(T_{assort}) \leq S(T_{base}) + 1 \\ & \text{or } S(T_{base}) - 1 \leq S(T_{assort}) \leq S(T_{base}) \end{aligned} \quad (19)$$

3.3.5 フォカマイユ (⑤)

カマイユとはフランス語で単色画法のことであり、フォ(faux)とは「まがいもの」「偽りの」と言う意味である。カマイユ配色とは、一見すると単色に見えるようなほんやりとした微妙な配色のことを言い、フォカマイユ配色ではそれに少し変化を持たせた配色技法である。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. ベースカラーの色相 H_{base} と同じもの、あるいは 2 以下離れたものをアソートカラーの色相 H_{assort} とする。

$$H_{assort} = H_{base} \text{ or } H_{base} + 2 \text{ or } H_{base} - 2 \quad (20)$$

2. アソートカラーの色相がベースカラーの色相と同じ場合、ベースカラーのトーンの明度 $V(T_{base})$ および彩度 $S(T_{base})$ が 1 以下離れているトーンをアソートカラーのトーン T_{assort} とする。

アソートカラーの色相がベースカラーの色相と異なる場合、ベースカラーのトーン T_{base} をアソートカラーのトーンとする。

$$\text{if } H_{base} = H_{assort}$$

$$\begin{aligned} & V(T_{base}) < V(T_{assort}) \leq V(T_{base}) + 1 \\ & \text{or } V(T_{base}) - 1 \leq V(T_{assort}) < V(T_{base}) \\ & \text{or } S(T_{base}) < S(T_{assort}) \leq S(T_{base}) + 1 \\ & \text{or } S(T_{base}) - 1 \leq S(T_{assort}) < S(T_{base}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\text{else if } V(T_{base}) = 1$$

$$T_{assort} = T_{base} \quad (22)$$

3.3.6 トリコロール (⑥)

トリコロール配色とは、色相やトーンに明快なコントラストのある 3 色配色のための配色技法である。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. ベースカラーのトーンの彩度 $S(T_{base})$ が 3 以上であることを確認する。2 以下である場合、この配色技法は用いない。
2. 白および黒を使用するかを確率的に決定する。

$$\begin{cases} T_{assort} = W(m [\%]) \\ T_{assort} = Bk(m [\%]) \\ T_{assort} = \text{chromatic color}(100 - 2m [\%]) \end{cases} \quad (23)$$

今回のシステムでは白および黒が採用される確率 m を 25 [%] とし、有彩色が採用される確率を 50 [%] とした。

3. アソートカラーの色相 H_{assort} は、ベースカラーの色相 H_{base} から 6 以上離れたものからランダムに生成する。またアソートカラー同士も色相が 6 以上離れるように生成する。

$$H_{assort} \geq H_{base} + 6 \text{ or } H_{assort} \leq H_{base} - 6 \quad (24)$$

4. アソートカラーのトーン T_{assort} は、ベースカラーのトーン T_{base} と同じものを用いる。

$$T_{assort} = T_{base} \quad (25)$$

3.3.7 スプリットコンプリメンタリー (⑦)

スプリットコンプリメンタリーは別名を分裂補色配色と言う。補色関係にある片側の色相の、両隣の色相を使用した 3 色配色のための配色技法である。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. アソートカラーの色相 H_{assort} は、ベースカラーの色相 H_{base} の補色関係にある片側の色相をとり、その色相から 2 離れた色相を使用する。

$$\begin{aligned} & H_{assort} = H_{base} + 10 \\ & H_{assort} = H_{base} + 14 \end{aligned} \quad (26)$$

2. アソートカラーのトーン T_{assort} は、ベースカラーのトーン T_{base} と同じものを用いる。

$$T_{assort} = T_{base} \quad (27)$$

イメージ語のクラスタリングを利用した配色支援システム

3.3.8 トライアド(⑧)

トライアド配色は色相環を3等分し、正三角形になるように色相を決定する3色配色のための配色技法である。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. アソートカラーの色相 H_{assort} は、ベースカラーの色相 H_{base} から8および16離れた色相を使用する。

$$\begin{aligned} H_{assort} &= H_{base} + 8 \\ H_{assort} &= H_{base} + 16 \end{aligned} \quad (28)$$

2. アソートカラーのトーン T_{assort} は、ベースカラーのトーン T_{base} と同じものを用いる。

$$T_{assort} = T_{base} \quad (29)$$

3.3.9 白・黒による配色生成

白および黒を使用色とする場合の配色技法は、3.3.6にあるトリコロールを参考にした。白と黒は有彩色と明確な差異を感じやすく、コントラストを感じやすいためである。配色に統一感を持たせるため、色相またはトーンが2つのアソートカラーで同一になるようにした。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. 色相とトーンのどちらかを2つのアソートカラーで同一にするかをランダムで決定する。
2. アソートカラーの色相 H_{assort} を以下の範囲でランダムに決定する。色相を同一にする場合は1つ、トーンを同一にする場合は2つの色相を決定する。

$$1 \leq H_{assort} \leq 24 \quad (30)$$

3. アソートカラーのトーン T_{assort} をPCCS表色系の中からランダムに決定する。色相を同一にする場合は2つ、トーンを同一にする場合は1つのトーンを決定する。

3.3.10 灰色による配色生成

灰色を使用色とする場合の配色技法は、3.3.4にあるトーンイントーンを参考にした。有彩色との調和を保つために、灰色の持つ明度の値を活用するためである。

システムでは、以下のアルゴリズムを作成し実装した。

1. アソートカラーの色相を以下の範囲でランダムに決定する。

$$1 \leq H_{assort} \leq 24 \quad (31)$$

2. ベースカラーのトーンの明度 $V(T_{base})$ と同じ、もしくは1以下離れており、かつ彩度 $S(T_{base})$ が1以下離れているトーンをアソートカラーのトーンとする。

$$\begin{aligned} V(T_{base}) &\leq V(T_{assort}) \leq V(T_{base}) + 1 \\ \text{or } V(T_{base}) - 1 &\leq V(T_{assort}) \leq V(T_{base}) \\ \text{or } S(T_{base}) &\leq S(T_{assort}) \leq S(T_{base}) + 1 \end{aligned} \quad (32)$$

3.4 配色提示

生成した配色は、縦200ピクセル、横600ピクセルの長方形で提示される。1色は縦横共に200ピクセルで示され、無彩色が使用色に選択されている場合は左から順にアソートカラー1、

ベースカラー、アソートカラー2が示される。それ以外の場合は左から順にベースカラー、アソートカラー1、アソートカラー2が示される。これは白または白に限りなく近い灰色、および黒または黒に限りなく近い灰色にはセパレーション効果があり、中央に配置することで横の2色を引き立てる効果があるということが分かっているためである[17]。また有彩色が片方に固まることによって、無彩色との間に不調和を生み出さないようにするためである。ユーザはそれに基づいて提示された配色を確認し、図3に示した動作の中から次の動作を選択する。

4. 評価実験

提案した配色提案システムの性能や使用感を検証するために評価実験を行った。

4.1 実験概要

既存研究である小林らの提唱した配色イメージスケール[8]との使用感の比較を行った。被験者は20代の男性7名、女性3名の計10名である。被験者に配色イメージスケールと本システムを使用してもらい、イメージに対応する配色を生成してもらった。

公平性の為、配色イメージスケールのイメージ語で用いられている言葉(①とする)を5つ、本システムのクラスタイメージ語で用いられているもの(②とする)を5つ、どちらのシステムにも用いられていないもの(③とする)を5つ選択した。表6にイメージとして用いた言葉を示す。①については、配色イメージスケール上の距離がある程度離れるように抜粋して使用した。スケールの原点から端までの距離を1としたとき、語同士の距離は平均して1.1となった。②については、意味が近いものがないように筆者が任意に選択した。③については、言語イメージスケール[8]上に記載があり、かつ容易にユーザが印象を想像することができると想定される言葉を、言語イメージスケール上の距離がある程度離れるように抜粋して使用した。スケールの原点から端までの距離を1としたとき、語同士の距離は平均して1.2となった。実験では被験者ごとにAからEまでのグループを偏りがないように選んでもらうことで3語を選択し使用した。

選択した3語に対し配色イメージスケールと本システムを利用してもらい、それぞれから1語に対し3組ずつ、合計9組の配色を選択または生成してもらった。

また実験後にシステムの使用感についてのアンケートを行い、被験者の従来手法との主観的な比較のデータを得た。配色イメージスケールはあくまで配色パターンを示している

表6 実験に用いたイメージ

	①	②	③
A	にぎやかな	さっぱりした	なつかしい
B	明快な	控え目な	可憐な
C	風格のある	甘い	情熱的な
D	ロマンチックな	男性的な	気高い
E	エレガントな	動きのある	すがすがしい

表7 実験結果

評価値平均	①		②		③		全体	
	スケール[8]	提案型	スケール[8]	提案型	スケール[8]	提案型	スケール[8]	提案型
使いやすさ	-	4.3	-	4.2	-	3.9	-	4.1
選択の容易さ	3.0	3.0	3.5	3.7	3.1	3.0	3.2	3.2
イメージの合致度	3.2	4.0	3.7	4.0	2.8	3.7	3.2	3.9
分散	①		②		③		全体	
	スケール[8]	提案型	スケール[8]	提案型	スケール[8]	提案型	スケール[8]	提案型
使いやすさ	-	0.46	-	0.40	-	0.54	-	0.46
選択の容易さ	0.44	0.67	0.28	0.68	0.77	0.88	0.51	0.81
イメージの合致度	0.62	0.22	0.23	0.67	0.84	0.46	0.67	0.44

※下線は有意水準5%で有意差あり

ものであり、配色を支援するシステムではない。そのため、配色イメージスケールを使用した後はアンケートの設問を「配色の選択が容易であったか」「配色が全て自分のイメージに合致しているか」の2つとした。システムを使用した後はアンケートの設問に「システムが使いやすかったか」の項目を増やした3つとし、それぞれ5段階で評価値を得た。

配色選択の実験後、被験者に自分が作りだした配色から最も自分のイメージに合致している配色を選択してもらい、図4に示す3色配色パターンを利用して着色してもらった。

4.2 結果・考察

表7に実験後に実施したアンケートの結果を示す。また、実験時に出力された配色の一例を図5に、図4の配色パターンへ着色してもらったものの一例を図6に示す。表7で、 t 検定を行った際に有意水準5%で有意差があったものは下線で示されている。また、配色提示後のユーザの選択のグラフを図7に示す。このグラフは、ユーザが計9組の配色を生成・

図4 3色配色パターン

図5 出力配色例

図6 パターン着色例

図7 配色提示後のユーザの選択

イメージ語のクラスタリングを利用した配色支援システム

決定するまでに要した配色提示後の選択の数をそれぞれ示している。

全体を通じて、選択の容易さについての評価値は両者において有意差がなかった。既存研究と提案システムの評価値において、使いやすさとイメージへの合致度の差の平均がそれぞれ0.73と0.67であるのに対し、選択の容易さの評価値の差の平均は0.03であり、大きな差がないことが評価値からも分析できる。

以前一時保存や微調整の機能を提案システムに付与していなかった際に行ったほぼ同条件の実験[18]では、有意差が存在した。このことから、配色を提示した後の選択肢が増えたことで選択の容易さの評価の有意差がなくなったと考えられる。多くの選択肢を与えられるよりも、少ない選択肢を与えられた方が対象は自分の決断に対して確信を持つことができ、満足度が上がることは社会心理学の実験でも証明されている[19]。このことから選択肢を増やしたことで、ユーザは提示された配色が最善であるかを判断するのが困難となり、選択の容易さの評価が低下したと考えられる。イメージの合致度の評価についてはそれぞれ有意差が見られた。

配色提示後のユーザの選択回数は、ユーザごとに差があることが分かる。選択回数の多い5人と少ない5人に分けて分析すると、選択回数が多いユーザは特に一時保存を多用する傾向にある。それぞれで一時保存の回数の平均を算出すると、10.6回と1.8回となり大きな差があることがわかった。このことから、より少ない回数でユーザが満足する配色を生成するためには、ユーザの満足しない配色の生成を減少させつつ、一時保存の多さにも着目する必要があると考えられる。

一時保存の機能は、提示された配色に不満はないけれども決め手に欠ける場合に用いられることが多い。そのため、満足していないという点では作り直しを選択させる配色との類似性が見られる。相対的には作り直しを選択させる配色よりは一時保存した配色の方が満足度が高い。そのため、一時保存された配色を用いて好まれる色やその組み合わせに基づいて出力を制限していくことによりユーザの満足する配色を提示できる確率が向上すると考えられる。しかし学習によって提示される配色が制限される場合、提示される配色の多様性が損なわれるため、適当な配色が提示されるよう慎重に検討する必要がある。

5. 結 論

本論文では感性表現を用いた配色提案システムを提案した。

まず、人間のイメージと配色の関連性を分析し、その結果を利用して新たな配色提案システムの作成を目指した。複数の文献からイメージと配色のデータを取得し、説明語を用いてイメージ語のベクトル化を行い、イメージ語のクラスタリングを図った。その後クラスタごとに使用されている色の色相やトーン、配色にした時のコントラストなどから、頻出する色や配色技法を分析した。その結果から配色生成システム

を構成した。

評価実験では、イメージと配色の関係を分析している既存研究と比較し、配色に対するイメージの合致度の観点において有意差が示された。

今後はイメージ語の自由入力を実現するため、入力されたイメージ語のクラスタリング手法の検討・実装を行っていく。

参 考 文 献

- [1] 都外川八恵：配色&カラーデザインープロに学ぶ、一生枯れない永久不滅テクニックー、SBクリエイティブ株式会社、p.13, pp.68-120, 2013.
- [2] 伊達千代：配色デザイン見本帳 配色の基礎と考え方が学べるガイドブック、株式会社エムディエヌコーポレーション、pp.16, pp.50-157, 2014.
- [3] Shih-Wen Hsiao, Chiao-Fei Hsu and KaiWei Tang: A Consultation and Simulation System for Product Color Planning Based on Interactive Genetic Algorithms, Color research and application, 38(5), pp.375-390, 2013.
- [4] M. Tokumaru, N. Muranaka, S. Imanishi: Virtual Stylist Project –Examination of Adapting Clothing Search System to User's Subjectivity with Interactive Genetic Algorithms, Evolutionary Computation, 2, pp.1036-1043, 2003.
- [5] 徳丸正孝：紳士服コーディネート支援システムの為の色彩調和の定量的評価、ファジィシステムシンポジウム, 25, 2C2-04, 2009.
- [6] 井上博行, 田端浩之, 辻春香：数量化I類による感情配色モデルとユニフォーム配色への応用, 日本感性工学会論文誌, 8(3), pp.775-781, 2009.
- [7] 井上博行, 村本善之：感情配色モデルとイメージ感情モデルを用いた配色システムとユニフォーム配色への応用ーイメージ語選択型アンケートを用いたイメージ感情モデルとトーン選択機能の導入ー, 11(2), pp.273-280, 2012.
- [8] 小林重順：カラーシステム, 講談社, pp.65-71, pp.148-155, 1999.
- [9] 清澤雄：かわいい色の調査結果に基づく評価者のクラスター分類とその嗜好特性, 日本感性工学会論文誌, 13(1), pp.107-116, 2013.
- [10] 川野邊誠, 亀田昌志：音楽作品の感情価測定尺度と配色イメージスケール間のマッピング, 映像情報メディア学会誌, 63(3), pp.365-370, 2009.
- [11] 飯田拓也, 梶山朋子, 大内紀知, 越前功：読者の印象を反映させた書籍表紙画像生成のための色抽出手法, 電気情報通信学会論文誌, J97-D, 1, pp.75-84, 2014.
- [12] 坂本牧葉, 須藤秀紹：タッチパネルインタフェースの色彩デザインの印象と操作時間及び正確性との関係, 日本感性工学会論文誌, 10(4), pp.543-550, 2011.
- [13] 徳丸正孝, 山下一美：ファジー推論を用いた配色のイメージ判定システムの構築, 電子情報通信学会論文誌, J83-D-II,

2, pp.680-689, 2000.

- [14] 徳丸正孝, 村中徳明, 今西茂: 配色イメージ判定における個人差を考慮したシステム構築の試み, 電子情報通信学会論文誌, J84-D-II, 4, pp.688-698, 2001.
- [15] 井上博行, 袁丹, 岩谷香栄: 対話型進化計算による配色作成支援システム, 日本知能情報ファジィ学会誌, 21(5), pp.757-767, 2009.
- [16] 南雲治嘉: カラーイメージチャート, 株式会社グラフィック社, pp.12-174, 2009.
- [17] 文部科学省認可社団法人全国服飾教育者連合会 (A・F・T): 文部科学省後援 色彩検定 公式テキスト2級編, 株式会社A・F・T企画, pp.32-45, 2010.
- [18] 小川早紀, 萩原将文: 感性表現を用いた配色提案システム, 日本感性工学会 第42回あいまいと感性研究部会ワークショップ講演論文集, 2015.
- [19] シーナ・アイエンガー: コロンビア大学ビジネススクール 特別講義 選択の科学, 櫻井祐子訳, 文藝春秋, p.236, 2010.

小川 早紀 (非会員)

2014年3月 慶應義塾大学理工学部卒業.
2016年3月 同大学大学院開放環境科学専攻
修士課程修了. 色とイメージの関係を利用し
たシステムの研究に従事.

萩原 将文 (正会員)

1982年 慶大・工・電気卒. 1987年 同大学院
博士課程修了. 工博. 現在, 同大教授.
1991-92年度スタンフォード大学訪問研究員.
視覚・言語・感性情報処理とその融合の研究
に従事. 1990年 IEEE Consumer Electronics
Society 論文賞, 1996年 日本ファジィ学会著述賞, 2004年・
2014年 日本感性工学会論文賞, 2013年 日本神経回路学会最優
秀研究賞受賞. 現在, 日本知能情報ファジィ学会会長.