

感性情報としての色彩のグラデーションに着目した  
色彩表現と色変換に関する研究

2017年3月  
大阪市立大学大学院  
工学研究科  
こまつくみこ  
小松 久美子

# 目次

|            |                                      |           |
|------------|--------------------------------------|-----------|
| <b>第1章</b> | <b>序論</b>                            | <b>1</b>  |
| 1.1        | マルチメディア情報処理の重要性と課題 . . . . .         | 1         |
| 1.2        | 色彩に関する画像情報処理への感性工学によるアプローチ . . . . . | 3         |
| 1.3        | 論文の構成 . . . . .                      | 6         |
| <b>第2章</b> | <b>感性語に対応した色彩のグラデーション</b>            | <b>7</b>  |
| 2.1        | はじめに . . . . .                       | 7         |
| 2.2        | 色空間とグラデーション . . . . .                | 8         |
| 2.3        | 色彩散布図からのグラデーション生成 . . . . .          | 9         |
| 2.4        | 意味のあるグラデーション . . . . .               | 10        |
| 2.5        | SD法を用いた画像の感性語抽出実験 . . . . .          | 12        |
| 2.6        | テキストマイニングによる画像の印象の抽出 . . . . .       | 30        |
| 2.7        | 意味のあるグラデーションを生成するしくみの検討 . . . . .    | 32        |
| 2.8        | おわりに . . . . .                       | 34        |
| <b>第3章</b> | <b>画像のグラデーション分布に基づく色変換法</b>          | <b>45</b> |
| 3.1        | はじめに . . . . .                       | 45        |
| 3.2        | 各種色空間とグラデーションの関係 . . . . .           | 46        |
| 3.3        | 色変換の方法 . . . . .                     | 47        |
| 3.4        | 実験及び考察 . . . . .                     | 52        |
| 3.5        | おわりに . . . . .                       | 65        |
| <b>第4章</b> | <b>グラデーション分布に基づく色変換法の客観的感性評価</b>     | <b>67</b> |

---

|              |                                     |           |
|--------------|-------------------------------------|-----------|
| 4.1          | はじめに . . . . .                      | 67        |
| 4.2          | 実験 . . . . .                        | 69        |
| 4.3          | おわりに . . . . .                      | 74        |
| <b>第 5 章</b> | <b>結論</b>                           | <b>80</b> |
| 5.1          | 感性語に対応した色彩のグラデーション . . . . .        | 80        |
| 5.2          | 画像のグラデーション分布に基づく色変換法 . . . . .      | 81        |
| 5.3          | グラデーション分布に基づく色変換法の客観的感性評価 . . . . . | 82        |
| 5.4          | おわりに . . . . .                      | 83        |
|              | <b>謝辞</b>                           | <b>84</b> |
|              | <b>参考文献</b>                         | <b>85</b> |

# 第 1 章

## 序論

### 1.1 マルチメディア情報処理の重要性と課題

近年，P Cやインターネットの普及により，誰もが手軽にデジタルコンテンツを制作，発信できる環境が整ってきている．コンピュータグラフィックスや動画技術の進歩とインターネット技術の発達に伴い，文字，静止画像，音声，動画などを統合的に扱うマルチメディア情報の通信やマルチメディアコンテンツの流通はますます盛んになってきている．今後はモバイル環境を含むさまざまな場所やシーンにおいて，よりマルチメディア化が進むであろう．そのため，配信される効果的なマルチメディアコンテンツをより効率的に作る必要がありますとなる．

色彩は形と共にデザインの重要な要素である．グラフィックデザインをはじめ，映像制作や3次元グラフィックスの生成等を含んだ画像システムにおける色彩の役割と効果を考えるとき，色彩の占める位置は重要なものであると言える．色は観察者に心理的，物理的影響を及ぼす．対象物の色から受ける色感，印象はコンテンツにとって非常に大きな意味を持つ．色は人間の感性に与える影響が大きいとされる [1, 2].

グラフィックデザインにおけるデジタル化の進展は目覚ましいものがある．コンピュータの普及とともに，グラフィックデザインや印刷物作成は，アナログツールによる手作業からコンピュータグラフィックスやDTPなどコンピュータを利用したデジタルツールに置き換わってきている [3].

色の表現手法にはデザイナーなど色を表現する者の知識や技術における専門性が必要とされる．従前，美術やデザインなど色彩を扱う場面や作業では，特定の色見本や色彩環などから任



意の色を捉え、選択し、彩色していくアナログツールによる方法が取られている。例えば、印刷物を作る際の色指定にはカラーチャートという色見本を参考にする [4]。コンピュータの描画ツールで2次元や3次元のグラフィックスを生成する場合は、描画ソフトウェア上のカラーパレットを用いるなどして色を選択していくことになる。つまり、デジタルツールを用いる場合でも、彩色における色の選択は制作者の持つ感覚、感性や経験など、主観的な部分が重要な位置を占めている。

その一方で、色の再現や伝達は定量的に行われるべきであると考え、色の同一性を求めることは今の画像システムの課題である。この課題には二つの要因がある。一つは、ディスプレイの性能の差やカラーマッチングが適切でないことにより、同じ色彩データでも色の再現に差が生じるといった画像システム自体の問題の要因である。もう一つは、コンテンツの色を表現する際に、彩色（さいしき）つまりものに色をつけることはデザイナーの主観や技能によって行われることが一般的であるといった手法の要因であると考え、前者については画像システムの高度化が望まれる。ここでは後者の課題について考える。これまで、グラデーションをはじめとする彩色技法は、配色の知識やセオリーを理解し、豊富な経験を持つデザイナーなど専門家の技能によって実現されてきた。つまり、専門的スキルを持たないとコンテンツの持つメッセージを効果的に伝えることは難しいと言える。定量的な彩色の手法が実現できれば、専門家でなくともコンピュータを用いた効果的なコンテンツ制作が可能になる。

先に述べたように色は感性との関連が深いので、コンテンツ制作においては感性工学的な視点で色彩をコンテンツの重要な要素として扱えるようになることが望まれる。感性工学とは、科学的手法を用いてデザインをすることで、人間が持っているイメージや感性を形にする技術である [1, 5, 6, 7, 8, 9]。感性工学を用いることにより定量的な彩色が可能となる。例えば、彩色技法としてのグラデーションや画像の色変換を定量的なデータ入力によりコントロールする。

一般的なグラフィックソフトでは段階的に色や濃度を変化させるツールを用いてグラデーションを対話型で作成することができる。2色間の色演算により線形や円形のグラデーションを生成するものが一般的である。この他にも、例えば色材の立体感を表現するためにメッシュを用いて複数方向へのグラデーションを作成するツールがある。このように従来のグラデーションツールでは、任意の色を選択することにより彩色する。

直接的な彩色ではないが、画像の色変換は、写真素材などの画像の色合いを変えることによりその印象やイメージを変えることができる。デジタルツールの画像処理により対象物や全体の色を変換する。色変換は、コンテンツ制作において画像を伝えたい印象やデザインにするた

めに有用である。

例えば、デジタルコンテンツの中に配置される画像を、そのコンテンツの趣旨に見合った色合いにすることによって、作り手のメッセージをより正確に効果的に伝えることができる。コンテンツデザインは、多くの人に受け入れられる普遍性や共通性が必要とされる。芸術作品であれば、受け手によって印象が大きく違うこともあるし、作家の意図とは違う感性で鑑賞されることもあるであろう。しかし、ユニバーサルデザインに代表される万人向けのデザインにおいては共通の認識や共感が伝わることを求められる。

画像の印象を変えるためのさまざまな色変換法 [22, 23, 24, 25, 26, 27, 28] が考えられているが、その印象がどのように変化したかについての評価は主観的なものにとどまっている。つまり、人が画像から受ける印象の評価は実験者が変換結果を観察して評価していると言える。色変換の効果の評価するため画像の彩度や類似性を数値化して客観的に評価する手法がいくつか提案されている [26, 36, 37, 38] が、これらは人が画像から受ける印象を比較、評価しているものではない。もちろん、これらの手法のような画像から得られる数値データによる比較は、有効かつ必要であるが、画像を見る人の印象の変化を評価する必要があると考える。このような課題を解決するためには、画像の印象の変化に対する客観的評価が必要である。色変換法が、一人の観察者にではなく、画像を見る人々に思い通りに印象を伝えられたかどうかの評価を定量的に行うことにより客観的評価ができると考える。この場合、一人一人の印象評価は主観的に行われるが、平均値などの統計値から複数人の評価が得られる。この評価結果から大勢の人の大方の評価や感性を引き出すことができ、デザインとして多くの人に伝えたい印象が客観的評価として得られる。

感性工学を用いて、色変換法を客観的に評価し、開発することが可能となる。画像の印象を、作り手が受け手に思い通りに伝えるための色変換法を色彩の専門家でなくとも可能とするツールがあれば、デジタルコンテンツ制作の効率化と高度化に資すると考える。

## 1.2 色彩に関する画像情報処理への感性工学によるアプローチ

本論文では、コンピュータのディスプレイに表示される色彩に着目し、色彩により構成される色空間を扱うことで、色彩の新しい表現方法や特徴を見つけ出すことを目指す。今までになかった色彩のデザインツールや色彩に関する画像処理手法を見つけ、それらを実現する可能性があると考えられる。

その際、色彩が人間の感性に与える影響を定性・定量化するために感性工学を取り入れ、画

像データや画像の感性評価から得られたデータを感性情報として扱うこととする。本論文では、色彩の中でも特にグラデーションに着目する。それは、グラデーションが代表的な彩色技法であるということと、画像の色空間におけるグラデーションを感性の特徴量として捉えることが、感性工学の新しいアプローチとなる可能性があると考えられるためである。本論文では、感性工学を用いた感性情報処理 [10] や感性評価実験を行っている。人間の持つ感性やイメージをグラデーションなどのデザイン要素に取り入れるには、感性工学によるアプローチ [1, 11] が有効である。例えば「～のようなグラデーション」を作りたいという思いを形にするのである。

そのアプローチとして次の3つの色彩に関する画像・感性情報処理について論ずる。まずはじめに、感性語に対応したグラデーション生成方法について述べ、次に、画像のグラデーション分布に基づく色変換法について述べる。そして、その色変換法の客観的感性評価について議論する。

### 1.2.1 感性語に対応したグラデーションの生成

色空間や色立体には、さまざまな種類、形態のものが用途に応じて存在する [12, 13, 14, 15]。その中で、「カラー・キュービック・パレット」 [16] が、藤幡正樹により提唱された。藤幡は、コンピュータのディスプレイ上に表示された色彩が、実際の色空間でどういった場所にあるのかを考えた。そして、RGB 色空間内に画像の色分布を3次元表示するツールを作成した。

本論文では、このようなツールで色空間を用いて画像情報を扱うことにより、色空間内に可視化された色情報から、色彩の新しい表現方法を見つけ出すことや感性情報など別の情報の抽出の可能性について考察する。

グラデーション (gradation) とは、一般的には連続的な変化や移行を意味する。画像においては、濃淡の段階的な推移や階調を意味する。色彩におけるグラデーションとは、連続的に色が変わること、あるいは、変化させることである。

3次元色空間内にはさまざまなグラデーションが存在する。色彩の表現方法の中でもグラデーションに着目し、グラデーション生成のグラフィックツールの作成とその応用について検討する。感性工学に基づき画像から感性語を抽出し、その画像の感性語をグラデーションに関連付けることにより、コンテンツの制作意図が伝わりやすく、意味のあるグラデーション (meaningful gradation) を生成する方法について議論する。

グラデーション生成に感性工学を取り入れることにより、専門技能を持たなくてもグラデー

ション彩色ができるようなツールの実現を目指す。

### 1.2.2 画像のグラデーション分布に基づく色変換法

前述の通り、これまで写真や絵画などのための様々な色変換法が報告されてきた。これらの先行研究 [22, 23, 24, 25, 26] では、参照画像の色情報の特徴量を求め、それらを対象画像に外挿し色変換を行っている。しかしながら、色変換が意図通りに行われ、画像の印象が転写できているかどうかの評価は実験者による主観的なものであり、客観的評価が課題であると考えられる。

本論文では、感性情報としてのグラデーションを用いた色変換法を提案する。色分布には画像ごとに特徴があり、色は連続的に変化していて、色分布に連続性があり、色空間の中でグラデーションを形成する。画像を色変換すると印象が変わる。本論文で扱う色変換とは、印象を変化させたい対象画像に、変化させたい印象を持つ参照画像の色調を転写することである。画像の色分布であるグラデーションは、画像から感性情報を抽出する手段となると考える。

この論文で扱うグラデーションは、HSV 色空間を横切る断面上の分布である。このグラデーションを特徴づける断面をグラデーションプレートと呼ぶことにする。対象画像のグラデーションプレートを参照画像のグラデーションプレートに近づけることにより色変換を行う。

本論文では、感性評価実験により画像から感性語を抽出し、画像の持つグラデーションと感性語の対応付けについて議論する。そして、感性語と対応づけることができる画像固有のグラデーションを使って画像の色変換を行う方法を提案する。

### 1.2.3 グラデーション分布に基づく色変換法の客観的感性評価

前述の通り、色変換法の結果の評価は主観的なものにとどまっている。そこで、本論文では、色変換法の効果を客観的に評価する方法を検討し、感性評価実験を行う。その結果、画像の印象が転写できているかどうかについて議論する。

色変換された画像の印象が意図通りに変化していると評価されれば、その変換法は効果的であることが示される。また、グラデーション分布を用いて画像を色変換することにより、コンテンツの趣旨に合った意味を持たせることが可能になることが期待できる。

逆に、色変換が意図通りでないという結果になれば、その色変換法は有効とは言えず、より良い色変換のためのグラデーション分布の使い方や効果的な変換パラメータを探り、改善する

必要があると考える。

本論文では、色変換の目的は画像の色調を変えて、コンテンツの趣旨に合った意味を持たせることであると捉え、評価実験を受けて色変換法を改良することにより、専門技能や知識がなくても画像の印象を変えるための色変換が行えるようなデジタルツールの実現を目指す。

### 1.3 論文の構成

第2章で感性語に対応した色彩のグラデーション生成法について述べる。まず、色空間を扱うグラフィックツールを応用したグラデーション生成ツールについて論じる。次に、感性語に対応付けられた意味のあるグラデーション (meaningful gradaton) の生成のためにグラデーション生成ツールに感性表現を加える方法について考察し、そのために必要な画像の感性語抽出実験を行う。その結果をふまえ、意味のあるグラデーションを生成するしくみを検討する。

第3章では画像のグラデーション分布に基づく色変換法を提案する。画像の色分布であるグラデーションの特徴を感性情報として用いた色変換法について述べ、その色変換法の効果を測定する感性評価実験の手順についても述べる。評価に用いる感性語を抽出してからその感性語で評価実験を行う。実験結果から色変換法の効果について考察する。感性情報を用いることにより、画像の印象を思い通りに変えることのできる色変換法とそれを実現するツール開発の可能性について考察する。

第4章では、第3章で提案した色変換法の効果を確かめるための感性評価実験について述べ、結果を報告する。第3章で取り入れた感性語を抽出する感性評価実験の手順で実験を行い、これまで、主観的評価であった色変換の効果を、感性工学を用いることにより客観的に評価する方法について考察する。実験の結果、画像の印象が転写できているかどうか考察し、色変換法の改善について議論する。

最後に第5章で本研究の結論を総括する。グラデーションが感性情報として用いられることにより、感性語に対応した意味のあるグラデーション生成、グラデーション分布に基づく色変換法の可能性、感性評価による色変換法の客観的評価、及びそれらの持つ課題について述べる。

## 第2章

# 感性語に対応した色彩のグラデーション

### 2.1 はじめに

本章では、感性語に対応した色彩のグラデーション生成について論ずる。

よりよいコンテンツ制作のためには、大量の統合化されたデータ送信が可能であるというだけでなく、そのメッセージの持つ意味をより正確に伝えることが重要である。さまざまな種類の構成要素を統合して伝送することができるマルチメディアの特性を生かし、メッセージを効率的に効果的に他者に伝えるためには、メッセージの感性的側面をも含む必要がある。それゆえに、コンテンツ制作には、感性工学的な視点を今まで以上に重要な要素として扱えるようになることが望まれる。色は観察者に心理的、物理的影響を及ぼす。色彩情報は、人が画像から受け取る感性情報の中で、画像の対象物の形状と共に重要な位置を占めるものである [1, 20]。

文献 [17] では、感性工学的な視点を取り入れ、コンテンツ制作環境の高度化を図る目的で、代表的な彩色技法のひとつであるグラデーションの生成ツールを提案した。この内容については 2.3 節で述べる。次に、そのグラデーションツールの応用として、画像から受けるイメージや感性を抽出し、ある意味を持つ画像から取った色彩散布図を使って意味のあるメッセージ性を持ったグラデーションを生成する可能性について考察する。そして、画像の意味を測るための SD 法による実験方法について述べる。最後に、その生成されたグラデーションの感性への反映を検証する方法について考察する。

## 2.2 色空間とグラデーション

色空間や色立体と呼ばれるものには、用途や目的に応じたさまざまな種類、形態のものがある [12, 13].

近年、「カラー・キュービック・パレット」 [16] が、RGB をマッピングする座標空間として藤幡正樹により提唱された。藤幡は、コンピュータのディスプレイ上に表示された色彩が、実際の色空間でどういった場所にあるのかを考えた。この考え方は、ツールとして制作された Adobe Photoshop 用のプラグイン・ソフトとして実現されている。つまり RGB 空間での色分布である。「このような色分布は、しばしばカラーヒストグラムと呼ばれる。」 ([19], p.1134)

本論文では、コンピュータで扱う RGB の値を、それぞれ、X 軸、Y 軸、Z 軸に割り当てる単純な方法で、立方体として表し、色彩立方体を生成する。(図 2.1)



図 2.1 色彩立方体

一般に、グラデーション (gradation) とは、連続的な変化や移行である。写真、絵画、テレ

ビ画像、グラフィックスなどにおいては、濃淡の調子、濃淡の段階的な推移、階調、ぼかし、濃淡法を意味する。色彩におけるグラデーションとは、ある色からある色に連続的に色が変化すること、あるいは、変化させることを言う。

グラフィック・ソフトウェアに備わっている機能、表現効果として、段階的に色や濃度を変化させるグラデーションツールなどでグラデーションを作成することができる。平板なディスプレイに表示されるコンテンツでは、単色ではなく、複数の色からなるグラデーションによる彩色が、人の目にやさしく、感性豊かな印象を与える。美しいグラデーションとは、見る人の感性に訴えるものである。

一般的なグラデーションの生成には、大きく分けて下記のような2つの方法がある。

- ・光源や物体について反射等を計算する方法
- ・色演算による方法

前者は3次元コンピュータグラフィックスなどで用いられる光線追跡法やラジオシティ法に代表されるレンダリングアルゴリズムである。後者は複数の色からシェーディングを計算、または単色から色相、明度、彩度、トーンを単一または複合的に変化させるものである。

## 2.3 色彩散布図からのグラデーション生成

著者は、2つのツールを作成した。ひとつは、前述のカラーヒストグラムと呼ばれるRGB空間での色分布を散布図で図示するプログラムである。3次元グラフィックマルチメディアライブラリ『じゅん for Java』[18]を用いて作成した。画像ファイルを指定してその画像データのRGB値を座標値として3次元色空間内に点でプロットする「色彩散布図ツール」である。いくつか画像を選んで色彩散布図（カラーヒストグラム）を取ってみた。次に、日本の伝統模様の織物の写真とその色彩散布図（図2.2, 図2.3）、錆びた機械の写真とその色彩散布図（図2.4, 図2.5）をそれぞれ示す。この3次元で図示された色彩散布図から、画像の色分布の傾向が観察できる。色の分布はゆるやかな曲線を描いている。

もうひとつは、前述の色彩立方体をいろいろな角度の平面で切り出して、その切り口を表示するグラデーションツールである。「cutter tool」（図2.6）と呼ばれるこのツールを著者は、同じく『じゅん for Java』を用いて作成した。色彩立方体の中に存在するさまざまなグラデーションを平面として表示するものである。本ツールは平面の位置や角度をインタラクティブに変化させることができる。平面だけでなく曲線や曲面で切り出して平面に展開すれば、さらに豊富なグラデーションが生成できるであろう。



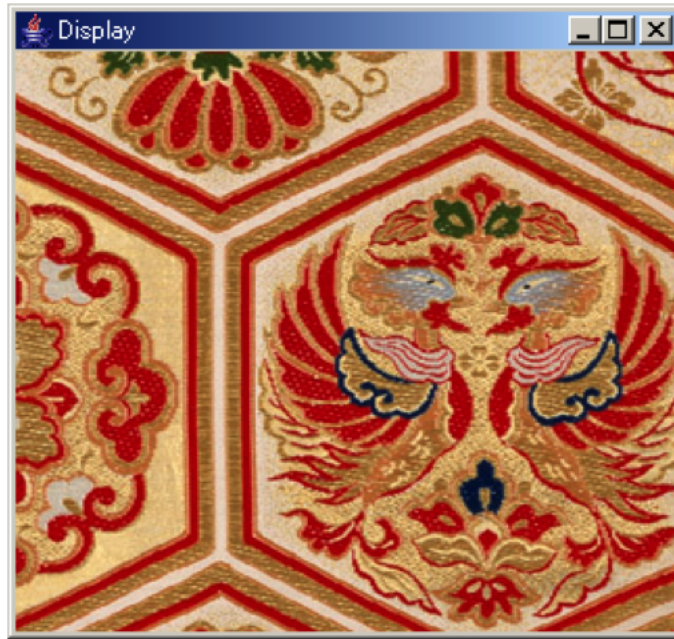


図 2.2 日本の帯

文献 [17] では、これら 2 つのツールの組み合わせによるグラデーションツールの可能性について述べた。「色彩散布図ツール」でプロットされた散布図の点群を補完し、曲面に近似する。色彩立方体を切り出す「cutter tool」に、近似で得られた曲面をパラメータとして入力することにより、新しいグラデーション生成が可能になると考える。この方法は、3次元グラフィックスによるツールを利用したもので、色彩のグラデーション表現に関する新しい試みであり、これまでのグラデーション生成とはアプローチを異にするものである。

## 2.4 意味のあるグラデーション

コンテンツで使用されるグラデーションも意味を持つべきだと考える。それは、色を含めてそのコンテンツが伝える内容を正確に伝える必要があるからである。デザイナーがグラデーションをデザインするとき、その色の変化を持つグラデーションになんらかのノンバーバルなメッセージを持たせる意図があると考えられる。マルチメディアコンテンツの文章や画像、デザインの要素にいたるまでが個々にメッセージを持っている。

一方、画像からもなんらかの感じるものがあり、コンテンツを構成するものとしての意味が

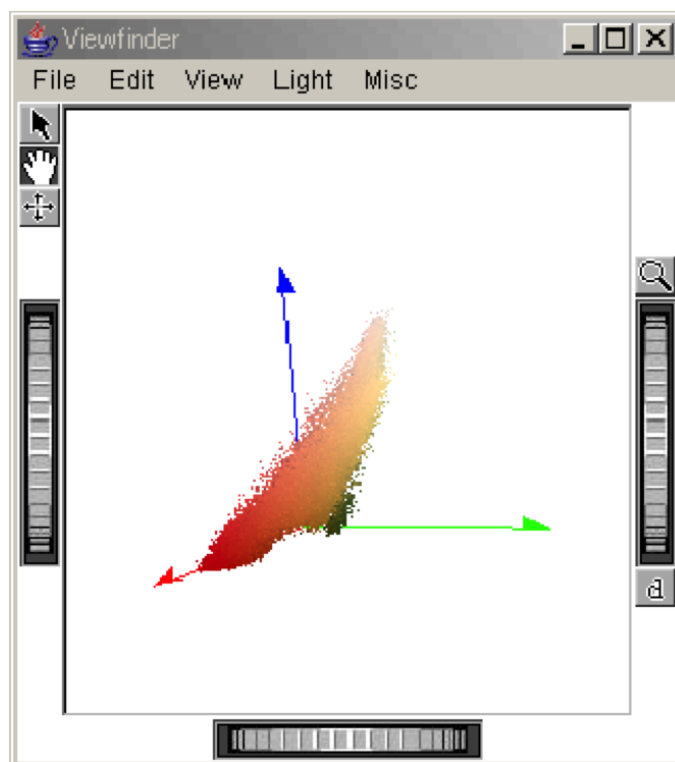


図 2.3 日本の帯の色彩散布図

ある。自然や風景などの写真，絵画，工業製品，工芸品などのさまざまな画像は，見る人にイメージや感性なども読み取らせることができる。

本章では，2.3節で述べたグラデーションツールに感性表現を加える方法，つまり，人間が画像に対して持つ印象やイメージを感性語として抽出し，デザイン要素に置き換える方法について考察する。

画像には，その構成要素の形状，色彩及び色彩の調和に意図があり，コンテンツとしての意味を持つ。画像から受ける印象を画像の持つ意味とする。その意味のある画像から，コンテンツとしての制作意図を伝わりやすくするための意味のあるグラデーション（meaningful gradation）を作り出すのである。

2.3節で述べたように，画像から色彩散布図（カラーヒストグラム）を取ることができる。意味のある画像のカラーヒストグラムを用いることにより，意味のあるグラデーションを生成することが可能となる。

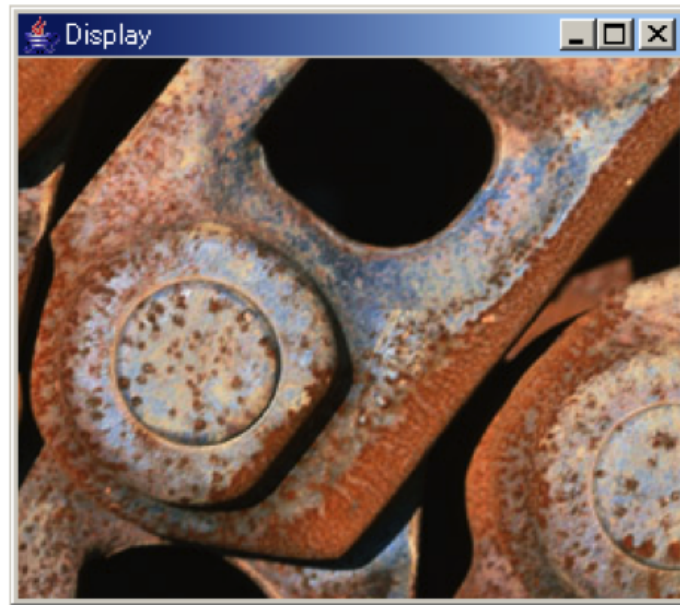


図 2.4 錆びた機械

人間の持つ感性やイメージをグラデーション生成に取り入れる方法として感性工学 [1, 10, 11] によるアプローチが考えられる。「～のようなグラデーション」を作りたいという思いを形にするのである。

## 2.5 SD 法を用いた画像の感性語抽出実験

### 2.5.1 画像の意味抽出

意味のあるメッセージ性を持ったグラデーションの生成を考えると、ある画像から感性語を抽出することにより、感性語に対応したその画像からのグラデーション生成の可能性について論ずる。この可能性を検討するため、最初のステップとして、元になる画像の意味を抽出する。次のステップでは、ある画像から生成されたグラデーションがその画像の持つ意味に対応しているかを検証する。

感性の測定には SD 法 (Semantic Differential) [35] がよく用いられる。抽象的で漠然としたイメージや感性を測るための一方法である。相反する形容詞対を用いて刺激を評価することにより、その刺激に対してどのようなイメージを持っているかがわかる。

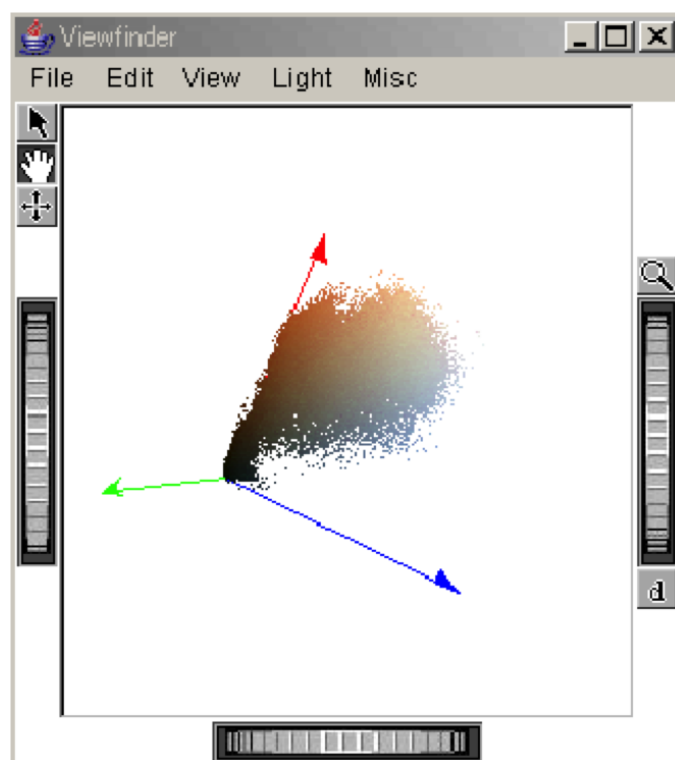


図 2.5 錆びた機械の色彩散布図

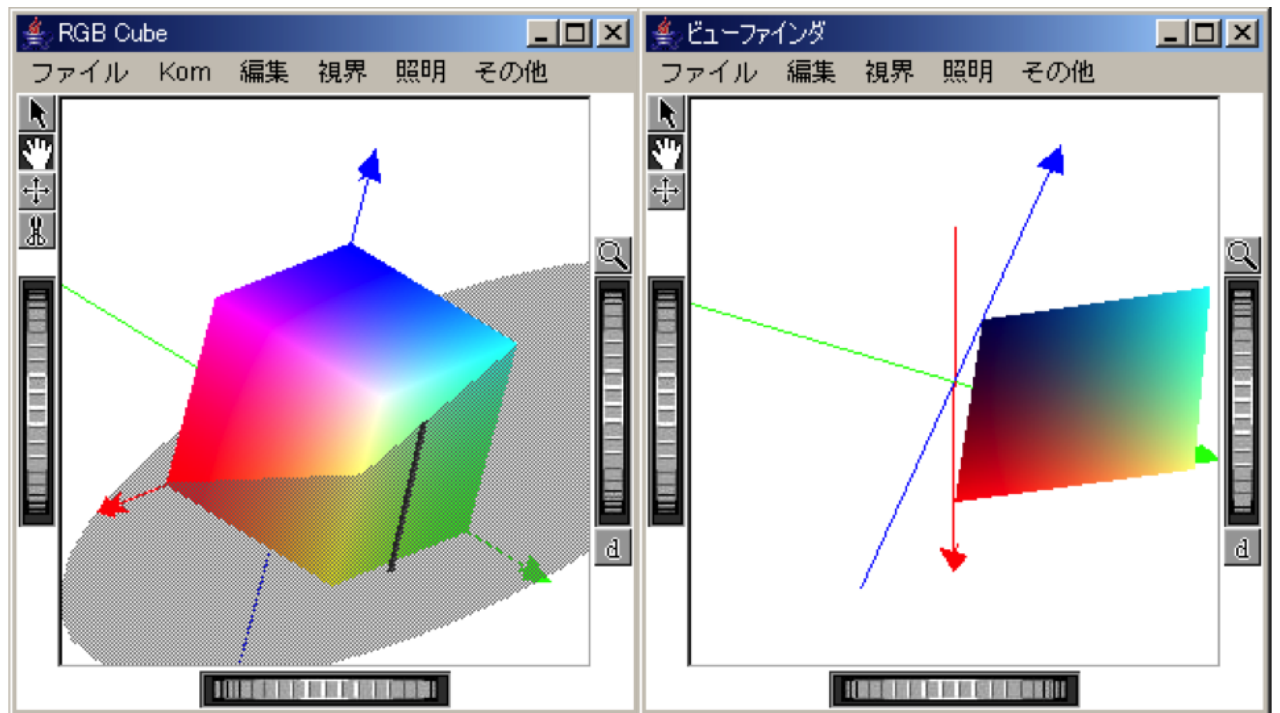
最初のステップのための SD 法を用いた画像の意味を抽出する予備的实验を行なった。そして、SD 法で用いる形容詞対の選定により一般性を持たせる目的で、追加实验として画像の印象に関するアンケート調査を行い、その回答から得られたデータをテキストマイニングすることにより形容詞を抽出した。

これらの实验方法と結果を次節で述べる。

## 2.5.2 实验方法

画像のイメージについてのアンケートをとり、評価してもらうことにより感性語を抽出する实验を行なった。

今回の实验では調査対象の刺激画像として写真を提示した。自然風景、工芸品、機械、花、魚などさまざまな写真 10 点（図 2.8-図 2.17）を用意し、コンピュータディスプレイ上に表示し被験者に提示した。



(a)cutter tool の外観

(b)cutter tool の切り出し面

図 2.6 cutter tool

ディスプレイは色光であるので、実験環境の整備は比較的容易である。被験者が評定用紙に記入するための明るさを確保するため、部屋の通常の照明を利用した。紙の評定用紙を準備し、画面を見ながら筆記具にて記入してもらった。観察時間の制限は設けず、被験者がブラウザを操作して次の設問に進めるようにした。

被験者は、30代から50代の8名で、内訳は、男性6名、女性2名で、30代4名、40代3名、50代1名である。

実験に使用した形容詞対（評価尺度）は、表 2.1 の 10 項目の言葉である。それぞれの形容詞対は、反対の意味を持つ形容詞である。被験者は各画像を観察し、図 2.7 のような評定用紙に、評価尺度に基づき 5 段階で回答を記入する。

表 2.1 形容詞対 (評価尺度)

|          |   |        |
|----------|---|--------|
| 1. 明るい   | — | 暗い     |
| 2. 重い    | — | 軽い     |
| 3. 暖かい   | — | 冷たい    |
| 4. おもしろい | — | たいていつま |
| 5. きれいな  | — | 汚れた    |
| 6. 意味のある | — | 意味のない  |
| 7. 動的な   | — | 静的な    |
| 8. 鮮やかな  | — | 地味な    |
| 9. 爽やかな  | — | うんざりした |
| 10. 複雑な  | — | 単純な    |

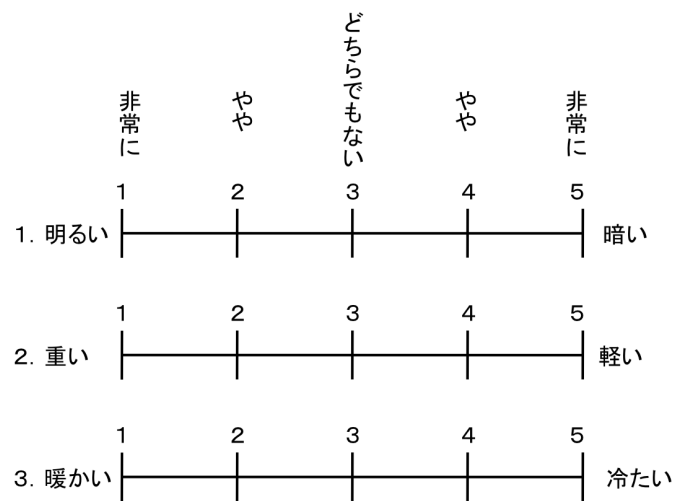


図 2.7 評定用紙 (部分)

### 2.5.3 実験結果

結果を表 2.2 に示す。表は SD 法による被験者の評定値の平均値 (Average, Av. と標準偏差 (Standard Deviation, S.D) を示す。

評定の平均値の全グラフを図 2.18 - 図 2.27 に示す。

これらの内 2 点の画像、錆びた機械 (図 2.10) と雅な文様の帯 (図 2.11) について図 2.20, 図 2.21 に評定の平均値のグラフを示す。雅な文様の帯の画像には「明るくきれいで鮮やかで複雑な」イメージを持つようである。錆びた機械の画像からは「重くて汚れていて静的で地味な」イメージを受けることがわかった。

一般性を確保するには、十分な量のデータとは言えないが、評価が一致する傾向にある尺度と評価が分かれるものとどちらとも言えないものが画像ごとにあることがわかる。回答にばらつきが少なく、傾向がはっきりしている尺度は、その画像のイメージを表す感性語になりうると考えられる。

今回の実験では、SD 法を提唱した Osgood らが作成した評価尺度から選定し、それを元に多少アレンジを加えたものを使用した。画像の感性語として適していない語もあると考える。回答にばらつきがある評価尺度は、被験者の評価が分かれるものであり、その画像の一般的なイメージを表す言葉ではないと言える。また、どちらとも言えないという評定が多い尺度も、その画像のイメージを表すに適していない。回答にばらつきが少なく、傾向がはっきりしている項目は、その画像のイメージを表す感性語になりうる。

### 2.5.4 考察

この実験のために選ばれたいくつかの形容詞対は感性語にふさわしくないので、感性語になりうる評価尺度の形容詞対をできるだけたくさんの感性語らしきのある言葉の中から用意する必要がある。しかしながら、実験者が形容詞を選定すると、実験者の意図が大きく反映されることとなる。それゆえその影響の少ないひとつの方法として一般的にテキストマイニングが考えられる [11]。この方法では SD 法による実験を行う前に形容詞が選ばれる。この方法によれば一般性が得られると同時により感性を表すのに適した形容詞が抽出される。

今回の実験をふまえて、より多くの被験者と評価尺度による実験を行なう必要があると考える。

表 2.2 実験結果：評定値の平均値 (Av.) と標準偏差 (S.D)

| 設問番号            | 第 1 問 |     | 第 2 問 |     | 第 3 問 |     | 第 4 問 |     | 第 5 問  |     |
|-----------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|-----|
|                 | Av.   | S.D | Av.   | S.D | Av.   | S.D | Av.   | S.D | Av.    | S.D |
| 形容詞対            |       |     |       |     |       |     |       |     |        |     |
| 1 明るい - 暗い      | 2.0   | 0.7 | 2.1   | 0.6 | 3.9   | 0.8 | 1.6   | 0.5 | 4.4    | 1.0 |
| 2 重い - 軽い       | 2.9   | 1.1 | 3.3   | 0.8 | 1.8   | 0.7 | 2.8   | 0.7 | 2.3    | 1.0 |
| 3 暖かい - 冷たい     | 3.4   | 0.9 | 3.5   | 0.7 | 3.9   | 0.8 | 2.8   | 0.7 | 3.8    | 0.8 |
| 4 おもしろい-たいくつな   | 2.5   | 0.7 | 3.3   | 0.8 | 3.3   | 1.3 | 2.4   | 1.0 | 3.4    | 0.7 |
| 5 きれいな - 汚れた    | 2.3   | 0.8 | 1.6   | 0.7 | 4.1   | 0.6 | 1.8   | 0.7 | 3.0    | 0.9 |
| 6 意味のある-意味のない   | 2.3   | 0.8 | 3.0   | 1.0 | 3.6   | 1.1 | 2.3   | 1.1 | 2.8    | 0.7 |
| 7 動的な - 静的な     | 3.4   | 1.5 | 3.8   | 1.4 | 4.1   | 1.1 | 3.8   | 1.2 | 3.5    | 0.7 |
| 8 鮮やかな - 地味な    | 1.8   | 0.4 | 1.9   | 0.6 | 4.0   | 1.0 | 2.0   | 1.1 | 4.1    | 0.8 |
| 9 爽やかな - うんざりした | 2.0   | 0.5 | 2.0   | 1.0 | 3.8   | 0.7 | 2.8   | 0.4 | 3.4    | 0.5 |
| 10 複雑な - 単純な    | 3.3   | 1.1 | 3.4   | 1.0 | 3.0   | 1.4 | 1.8   | 0.7 | 2.6    | 1.0 |
| 設問番号            | 第 6 問 |     | 第 7 問 |     | 第 8 問 |     | 第 9 問 |     | 第 10 問 |     |
| 形容詞対            | Av.   | S.D | Av.   | S.D | Av.   | S.D | Av.   | S.D | Av.    | S.D |
| 1 明るい - 暗い      | 2.5   | 0.9 | 1.8   | 0.7 | 1.4   | 0.7 | 3.3   | 1.5 | 2.3    | 0.8 |
| 2 重い - 軽い       | 3.1   | 0.6 | 3.9   | 0.8 | 3.8   | 1.0 | 2.1   | 1.3 | 4.0    | 0.5 |
| 3 暖かい - 冷たい     | 2.5   | 1.1 | 2.6   | 1.1 | 2.0   | 1.0 | 3.1   | 1.4 | 3.3    | 1.1 |
| 4 おもしろい-たいくつな   | 2.1   | 0.8 | 3.1   | 0.9 | 2.0   | 0.9 | 2.8   | 1.2 | 1.8    | 1.0 |
| 5 きれいな - 汚れた    | 1.8   | 1.0 | 1.6   | 0.5 | 1.5   | 0.7 | 4.0   | 1.0 | 2.0    | 0.9 |
| 6 意味のある-意味のない   | 2.0   | 0.5 | 2.6   | 0.9 | 2.1   | 0.8 | 3.1   | 0.9 | 2.4    | 0.9 |
| 7 動的な - 静的な     | 3.3   | 1.2 | 2.9   | 1.4 | 2.5   | 1.0 | 2.9   | 1.3 | 1.6    | 0.9 |
| 8 鮮やかな - 地味な    | 1.6   | 0.7 | 1.9   | 0.8 | 1.6   | 1.0 | 4.3   | 0.8 | 1.9    | 0.6 |
| 9 爽やかな - うんざりした | 2.1   | 0.6 | 1.6   | 1.0 | 1.8   | 0.7 | 3.4   | 0.9 | 2.3    | 0.7 |
| 10 複雑な - 単純な    | 2.1   | 0.6 | 3.3   | 1.2 | 3.5   | 1.0 | 2.6   | 1.1 | 3.8    | 0.7 |



グラデーションを表す感性語としては、単純な形容詞で「鮮やかなグラデーション」と表すか、形容詞の羅列で「明るくきれいで静的で鮮やかで複雑なグラデーション」とするか、より具体的な言葉で形容詞と名詞の組み合わせによる「錆びた機械のようなグラデーション」、「雅な文様の帯のようなグラデーション」などいろいろな表現が考えられる。

前述したように評価尺度に、より一般性を持たせるためにはテキストマイニングが有効である。2.5節の実験結果を基に一般性のある多様なキーワードを選出し、それらをSD法の評価尺度として用いて再度実験を行う。



図 2.8 第 1 問 電車



図 2.9 第2問 高層ビル



図 2.10 第3問 錆びた機械



図 2.11 第 4 問 雅な文様の帯



図 2.12 第 5 問 地味な布地

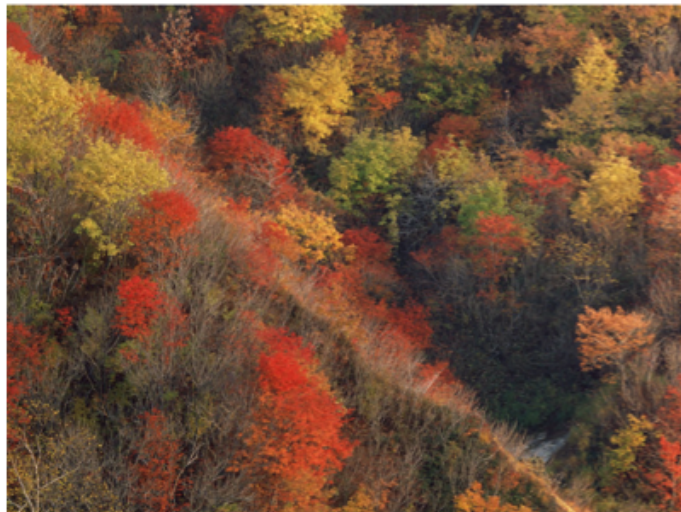


図 2.13 第 6 問 紅葉





図 2.14 第 7 問 新緑



図 2.15 第 8 問 ひまわり



図 2.16 第9問 ギア

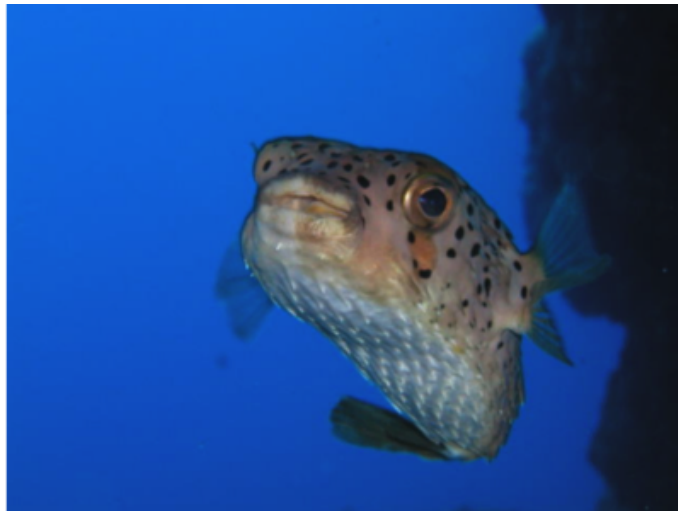


図 2.17 第10問 ハリセンボン

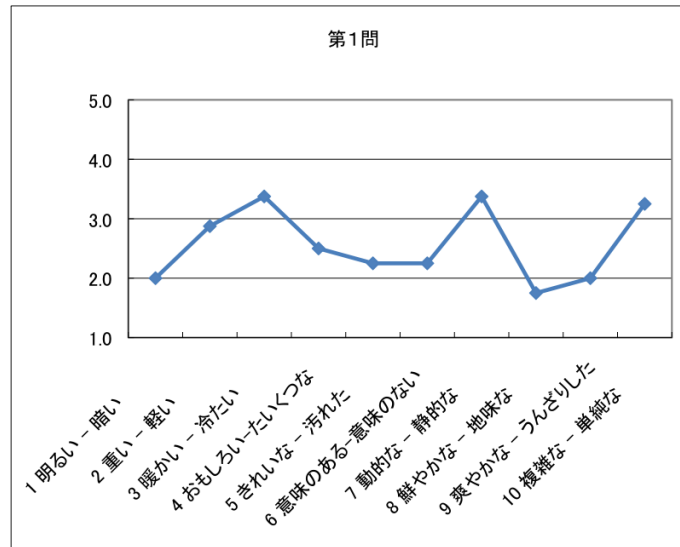


図 2.18 第 1 問 電車の評定値グラフ

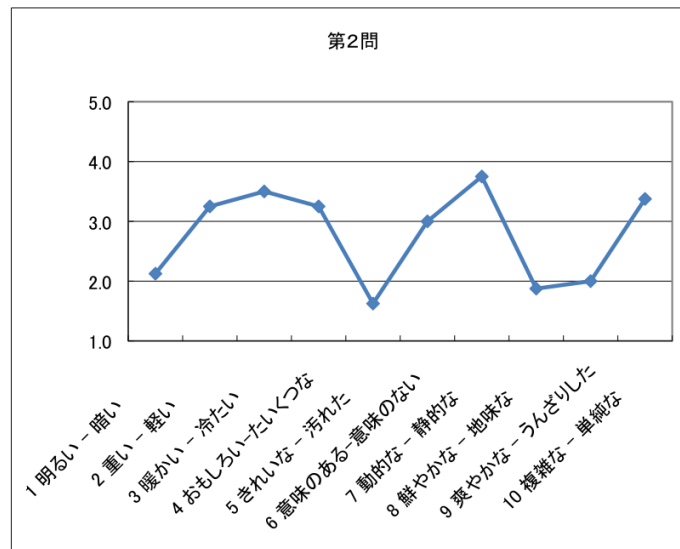


図 2.19 第 2 問 高層ビルの評定値グラフ



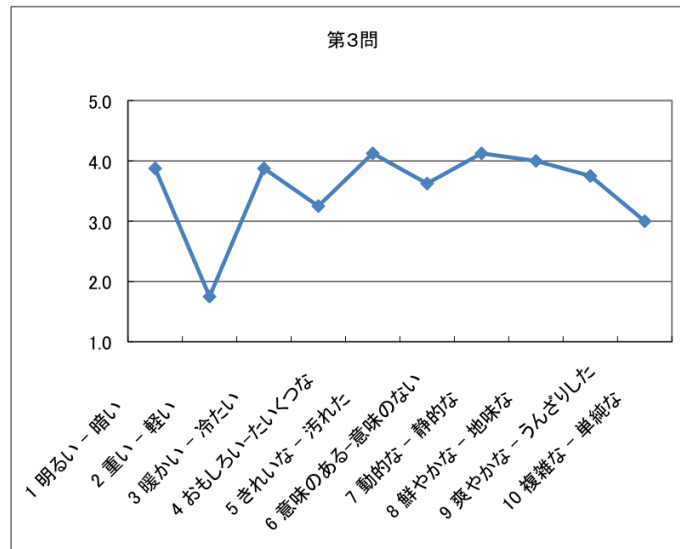


図 2.20 第3問 錆びた機械の評定値グラフ

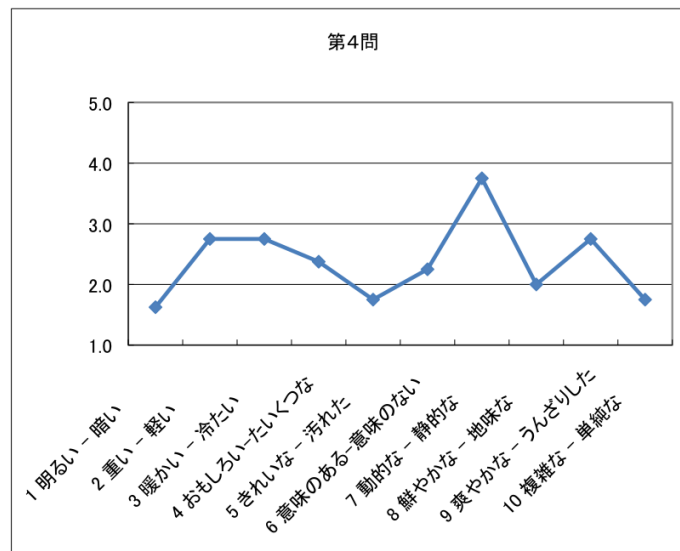


図 2.21 第4問 雅な文様の帯の評定値グラフ

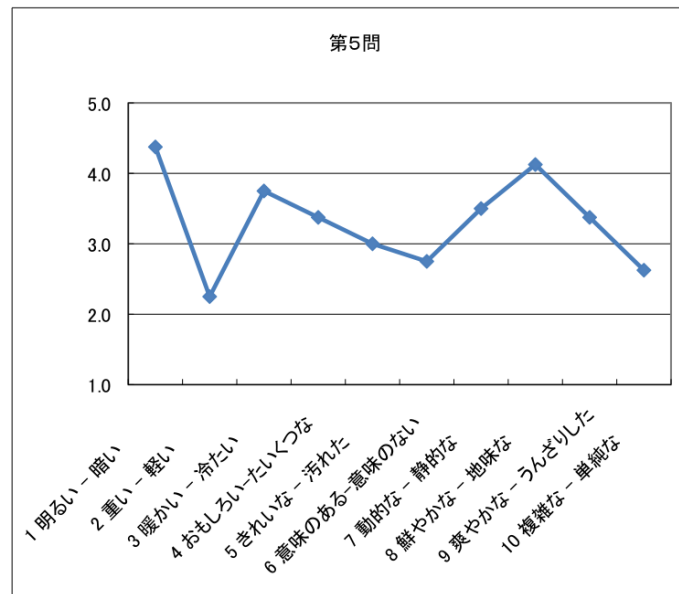


図 2.22 第 5 問 地味な布地の評定値グラフ

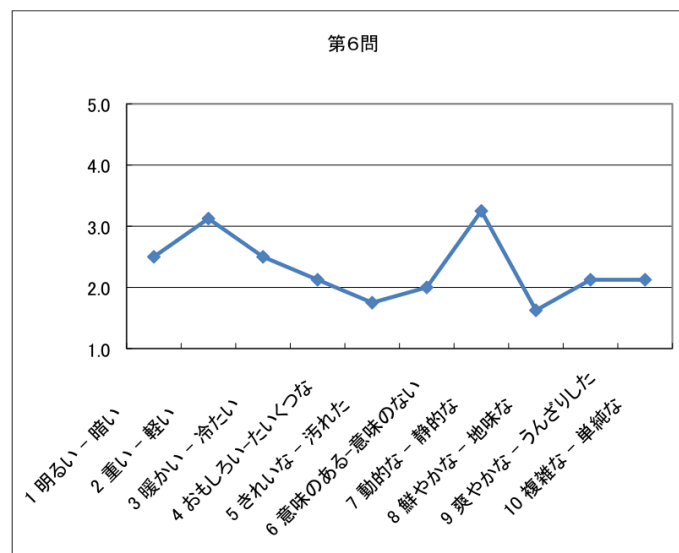


図 2.23 第 6 問 紅葉の評定値グラフ

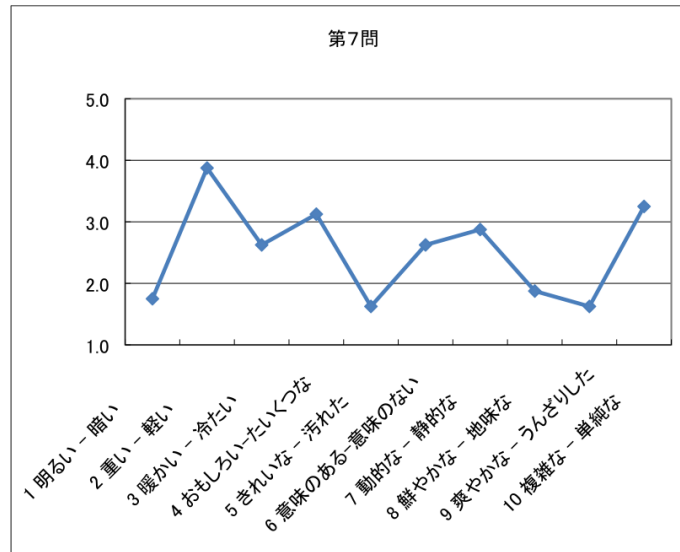


図 2.24 第7問 新緑の評定値グラフ

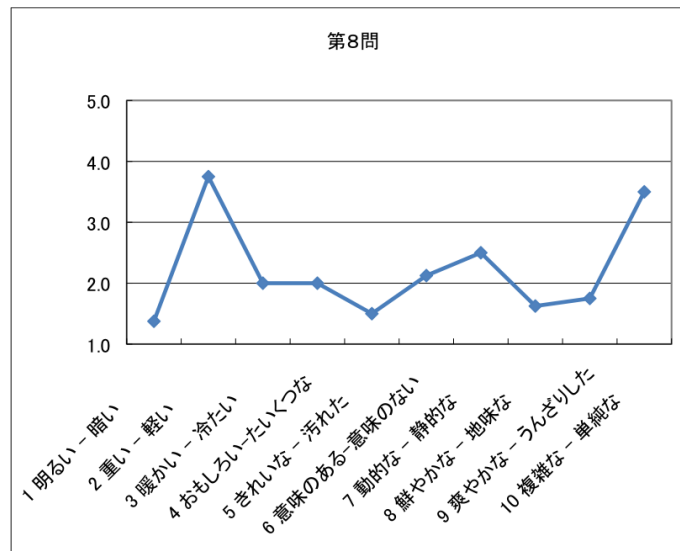


図 2.25 第8問 ひまわりの評定値グラフ

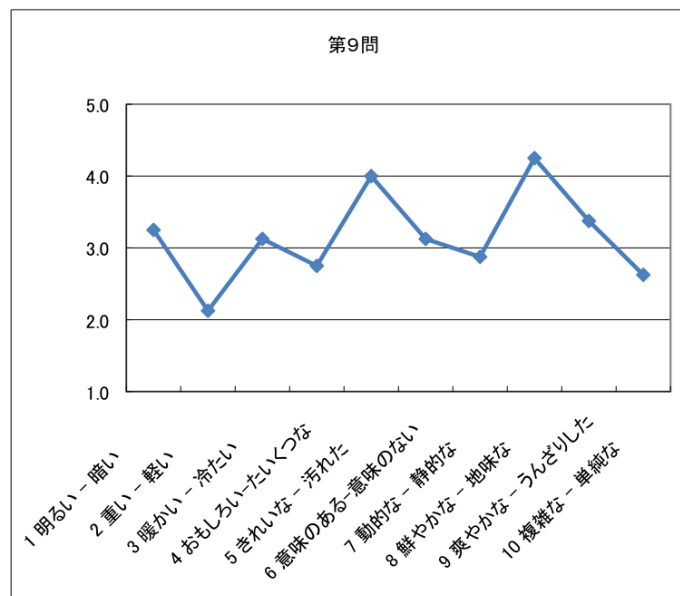


図 2.26 第9問 ギアの評定値グラフ

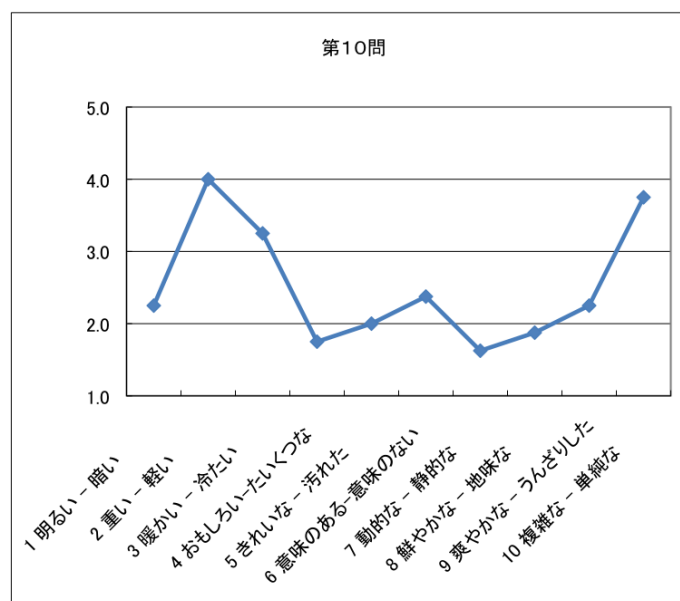


図 2.27 第10問 ハリセンボンの評定値グラフ

## 2.6 テキストマイニングによる画像の印象の抽出

前述のように実験者が形容詞を選定すると、実験者の意図が大きく反映されてしまうという問題がある。また、感性語としては、もっと多様でおもしろい評価尺度がほしいところである。そこで、形容詞の選定に一般性を持たせ、多様な感性語を得るため、テキストマイニングを実施した。以下にその実験方法を述べる。

### 2.6.1 実験方法

2.5 節の SD 法による実験で用いたものと同じ画像について、画像の印象に関する自由記述のアンケート調査を実施した。図 2.28 のようなアンケート用紙の空欄に記入する形式の定義法という方法である。被験者は、20 代から 50 代の 19 名で、内訳は、男性 13 名、女性 6 名で、20 代 6 名、30 代 8 名、40 代 3 名、60 代 2 名である。ディスプレイに表示された画像を閲覧しながら、その画像から受ける印象を形容詞や「… な」などの言葉でアンケート用紙に自由に記入していただいた。次に、そのアンケートに記入された言葉をテキストデータとして書き起こし、解析した。解析方法を実験結果と共に次に記す。

|  |
|--|
| <p>第1問<br/>この画像は、<br/>(            ) 感じで、(            ) 感じで、(            ) 感じで<br/>(            ) 感じで、(            ) 感じで、(            ) 感じである。</p> <p>第2問<br/>この画像は、<br/>(            ) 感じで、(            ) 感じで、(            ) 感じで<br/>(            ) 感じで、(            ) 感じで、(            ) 感じである。</p> <p>第3問<br/>この画像は、<br/>(            ) 感じで、(            ) 感じで、(            ) 感じで<br/>(            ) 感じで、(            ) 感じで、(            ) 感じである。</p> |
|--|

図 2.28 アンケート用紙 (部分)

## 2.6.2 実験結果

各テキストをキーワード化し、昇順に並べ替えた。キーワードのうち漢字表記とひらがな表記のもの、および、概念の似ている言葉を統一した。例えば、「さわやかな」と「爽やかな」は同一のキーワードとして表記しなおした。その結果、約 360 のキーワードに集約された。これらのキーワードについて、画像別にその出現頻度のヒストグラムを作成し、頻度が 2 以上のものをグラフにした。

錆びた機械の画像（図 2.10）と日本の伝統模様の画像（図 2.11）のキーワードのヒストグラムを図 2.29 と図 2.30 に示す。

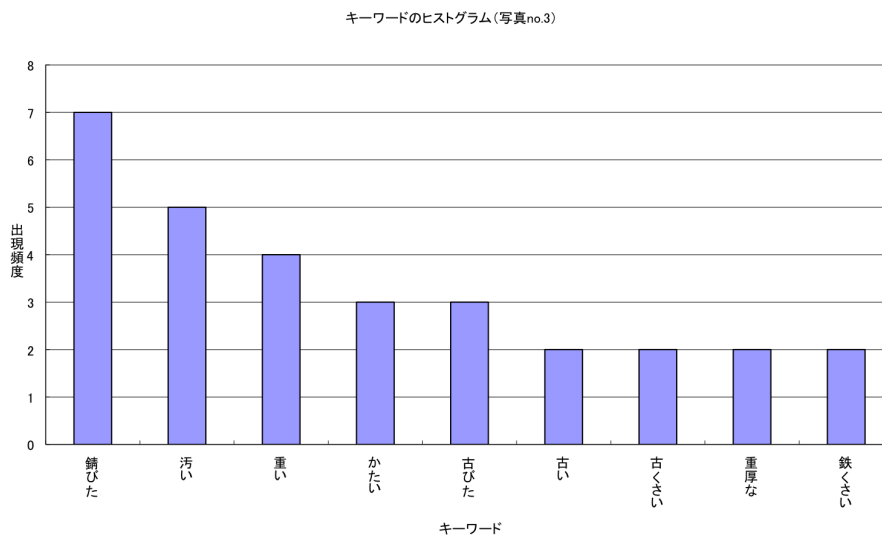


図 2.29 錆びた機械のヒストグラム

錆びた機械のヒストグラムにおいては、9 個のキーワードがあり、「錆びた」と回答された頻度が 7 と最も多い。「汚い」、「重い」、「かたい」、「古びた」のキーワードが頻度 5 から 3 と続く。日本の伝統模様のヒストグラムでは、13 個のキーワードに分かれた。「伝統的な」と回答された頻度は 8 で、「きらびやかな」、「中国的な」、「豪華な」、「美しい」が頻度 4 から 3 となっている。

前述の通り、10 枚の画像について、約 360 のキーワードが出現した。そして、頻度 2 以上のキーワードは、各画像において 7 個から 14 個に絞られた。

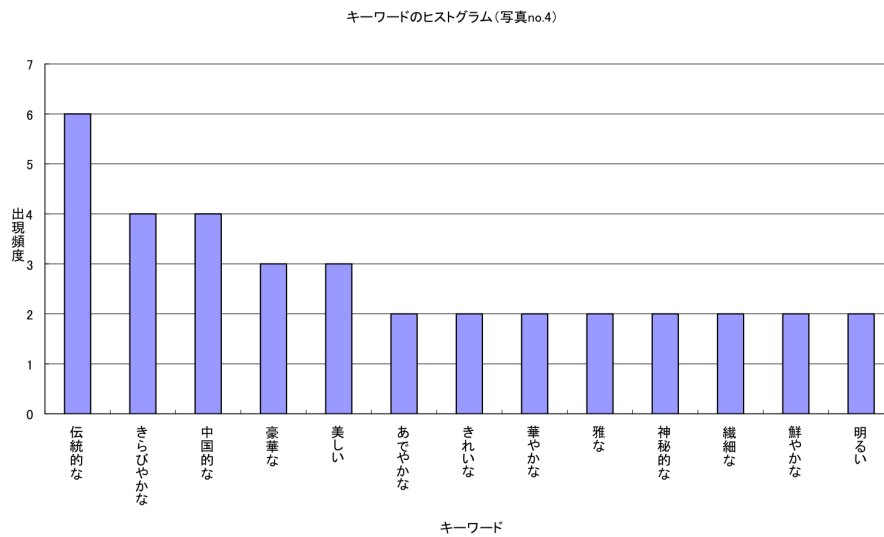


図 2.30 日本の伝統模様のヒストグラム

キーワードのヒストグラムの全グラフを図 2.31 - 図 2.40 に示す。

## 2.7 意味のあるグラデーションを生成するしくみの検討

前述のグラデーション生成ツールにより画像からグラデーションを生成できるとすると、画像の色彩散布図や図の近似値である曲面は、データのハッシュ値あるいはメッセージ・ダイジェストのごとく、画像内の色彩の代表値と考えることができる。画像の代表値であるグラデーションは、元の画像の意味を少なからず反映していると考えられる。

グラデーションのデータには、画像上の形状や位置情報は含まれない。当然ながら、グラデーション自体が、元の画像に匹敵するほどの意味を持つことはない。つまり、グラデーションから意味や多様な感性語を直接抽出することは難しいと言える。そこで、グラデーションに対応する感性語を見つける方法について以下のように検討する。

画像から抽出された感性語とグラデーションの関係については、次のように考える。画像から受ける印象とその画像から生成されたグラデーションの印象には、共通するものがあるものとする。画像から抽出された感性語と同一画像から抽出されたグラデーションのマッチ度を評価する実験を行う。実験の結果、マッチ度の高いものがグラデーションを表す感性語の候補と

なる。このようにして、感性語とグラデーションの関係を示すことが可能であると考える。

感性語に対応した意味のあるグラデーションを生成するしくみを実現するため、著者は、次に述べるようなデータベースと2つのツールについて検討する。

### 2.7.1 感性語と画像のグラデーションにおけるデータベース

データベースの項目として、画像のリスト、画像から生成されたグラデーションのリスト、感性語のリストを用意する。各画像のテキストマイニングの結果やSD法による評価実験の結果をデータとして持つておく。そのためには、あらかじめ、テキストマイニングで画像の感性語を得て、SD法による画像の感性語抽出実験を行う必要がある。

### 2.7.2 データベース保守ツール

ひとつめのツールはデータベース保守ツールである。これは、感性語とグラデーションを関連づけるためのツールである。このツールの動作を次に示す。

利用者が、感性語を選択すると、SD法による評価の平均値の高い順から画像が選出される。または、テキストマイニングで得られた感性語の頻度の高い順から画像が選出される。どちらのデータがよいかは、結果や運用面を含めて検討することとする。

ツールは、選出された画像から生成されたグラデーションを表示する。利用者は、感性語がグラデーションを表す語としてどのくらいマッチしていると感じるかを評価する。

例えば、次のような6段階評価で評価点数をつけるとする。

- ぴったり (5点)
- まあまあ近い (4点)
- どちらとも言えない (3点)
- かけ離れている (2点)
- かなり違う (1点)
- あてはまらない (0点)

この評価された値が、グラデーションと感性語のマッチ度としてデータベースに蓄積される。マッチ度は、例えば評価点数と頻度の積から計算する。

このようにして、感性語とグラデーションを関連づける。



### 2.7.3 データベース利用ツール

ふたつめは，データベース利用ツールである．これは，前述のツールで保守されたデータベースを利用し，感性語に対応するグラデーションを探し出すツールである．

利用者が，感性語を入力すると，データベースから，感性語に結びつけられたグラデーションの候補がいくつか表示される．マッチ度の高い順に表示されるしくみとする．利用者は候補の中から，使用したいグラデーションを選ぶ．同時に，選ばれたグラデーションと感性語とのマッチ度を利用者に評価してもらおうと，その結果がデータベースにフィードバックされる．

さらに，グラデーションの用途，ターゲットに応じた画像の属性や利用者の属性による候補の絞り込みやデータ分析などの応用を検討することができると思う．

## 2.8 おわりに

本章では，色彩を立方体内に配置して生成した RGB の色空間モデルを用いて，感性豊かなグラデーションの表示を試みる新しいアプローチについて提案し，意味のある画像から意味のあるグラデーションを作り出す方法として画像から感性語を抽出し反映する可能性について論議した．

次章では，画像の色分布が形成するグラデーションを感性情報ととらえ，グラデーションを用いた画像の色変換方法について述べる．

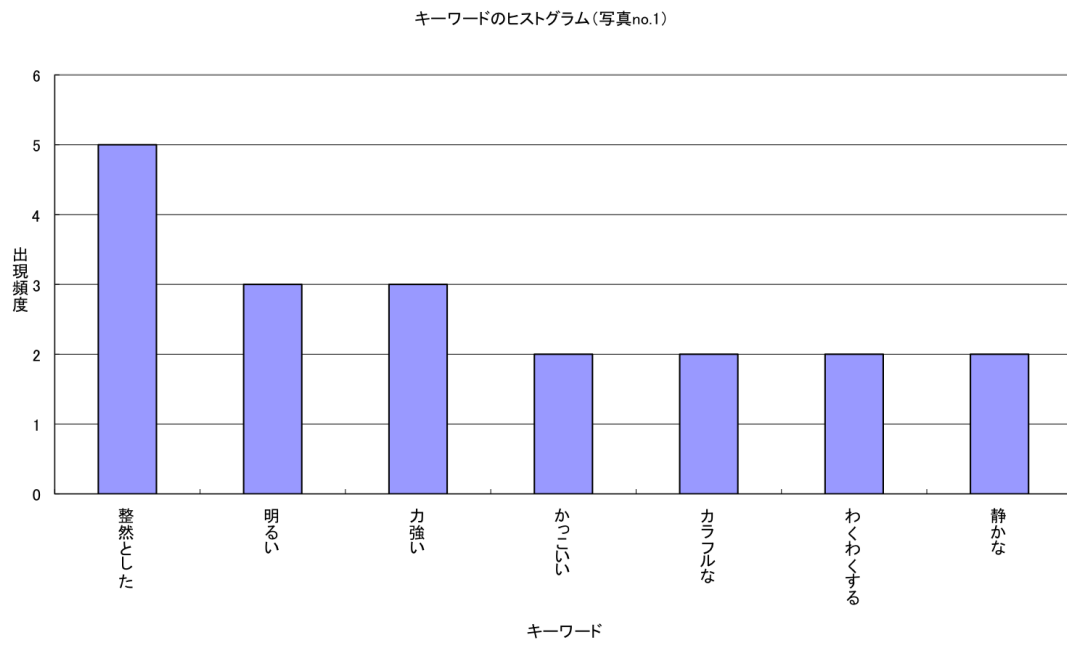


図 2.31 第 1 問 電車のヒストグラム

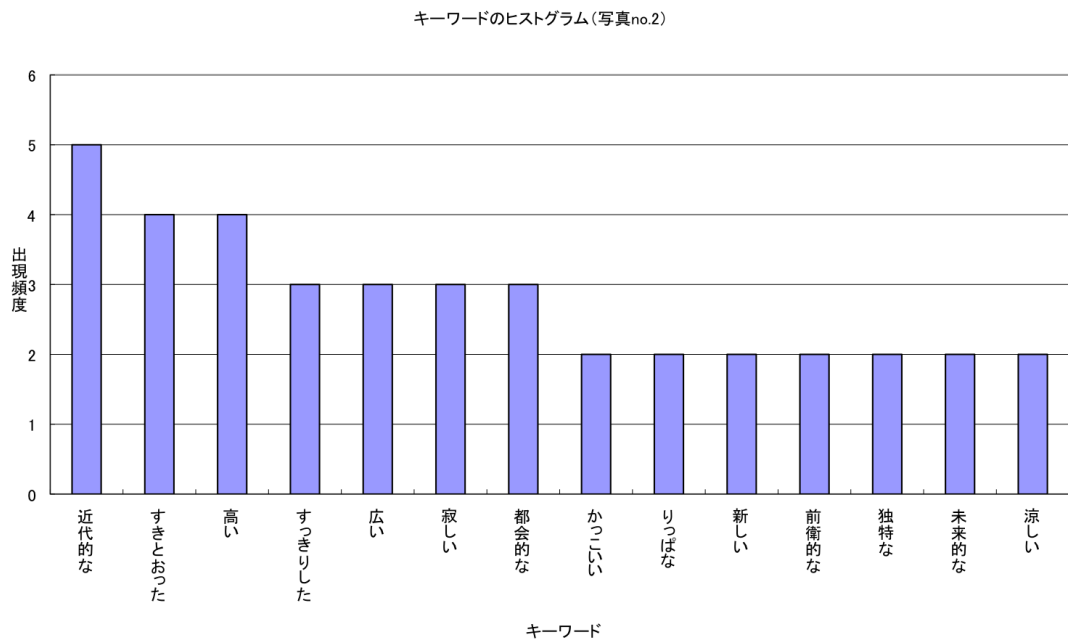


図 2.32 第2問 高層ビルのヒストグラム

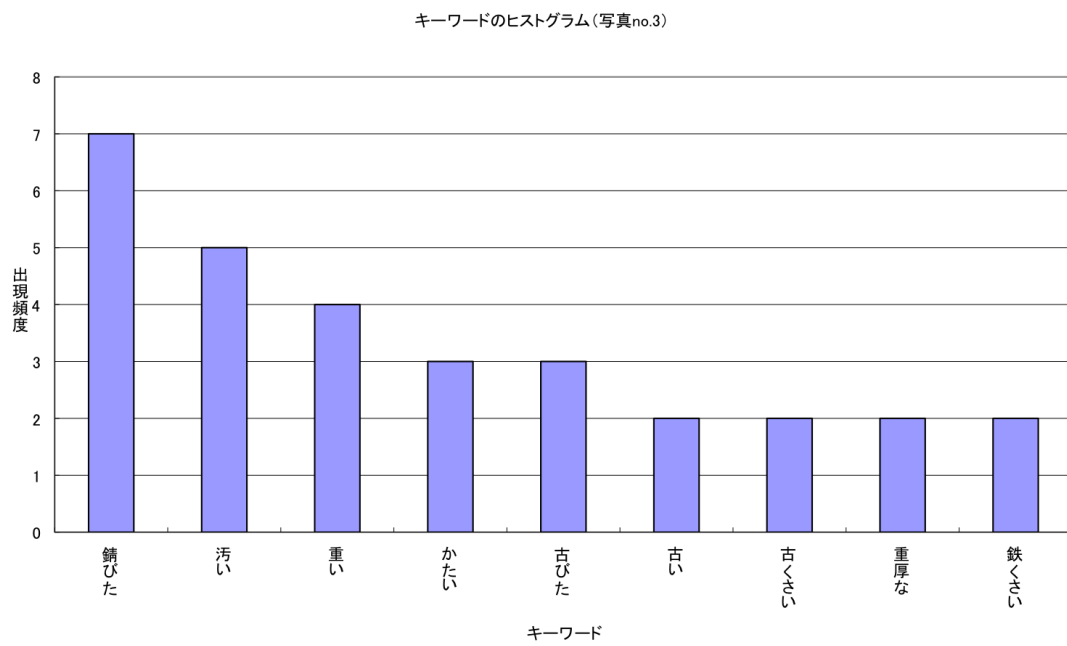


図 2.33 第 3 問 錆びた機械のヒストグラム

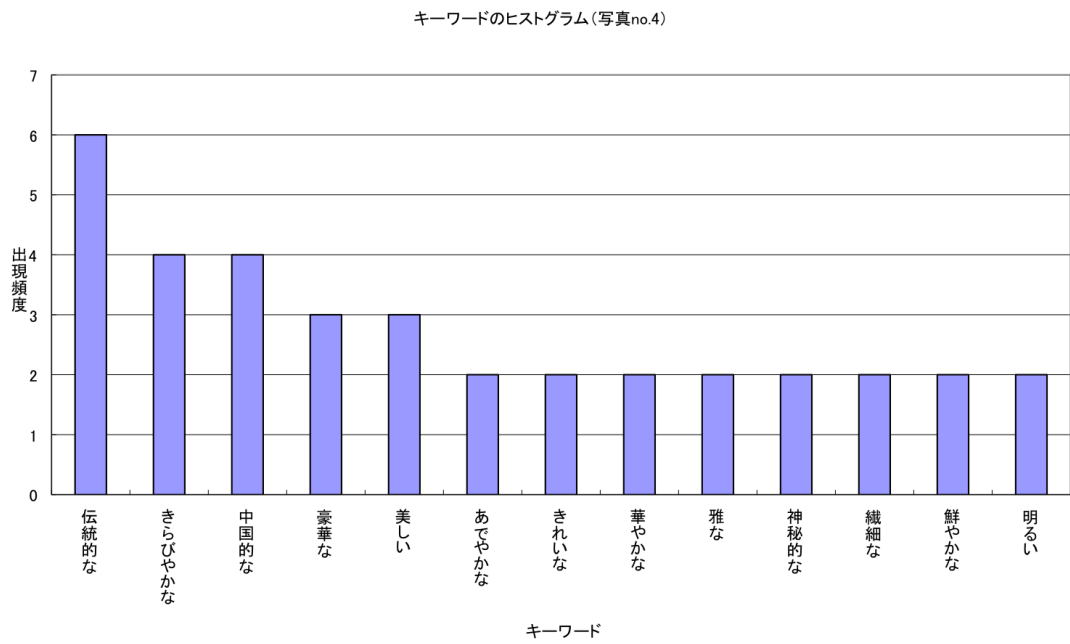


図 2.34 第4問 雅な文様の帯のヒストグラム

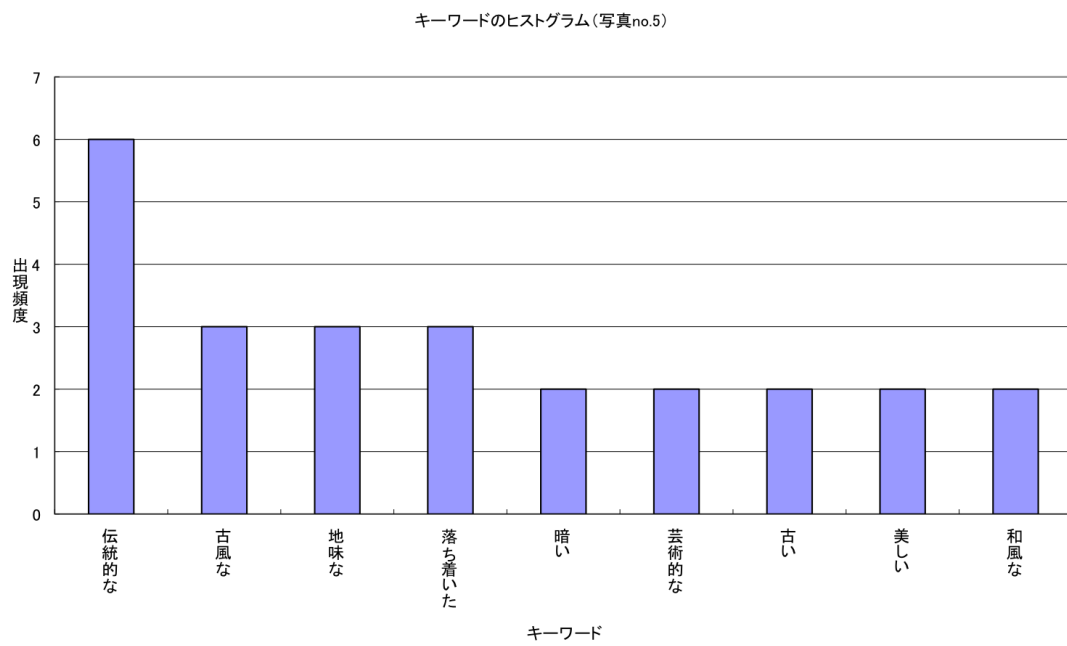


図 2.35 第 5 問 地味な布地のヒストグラム

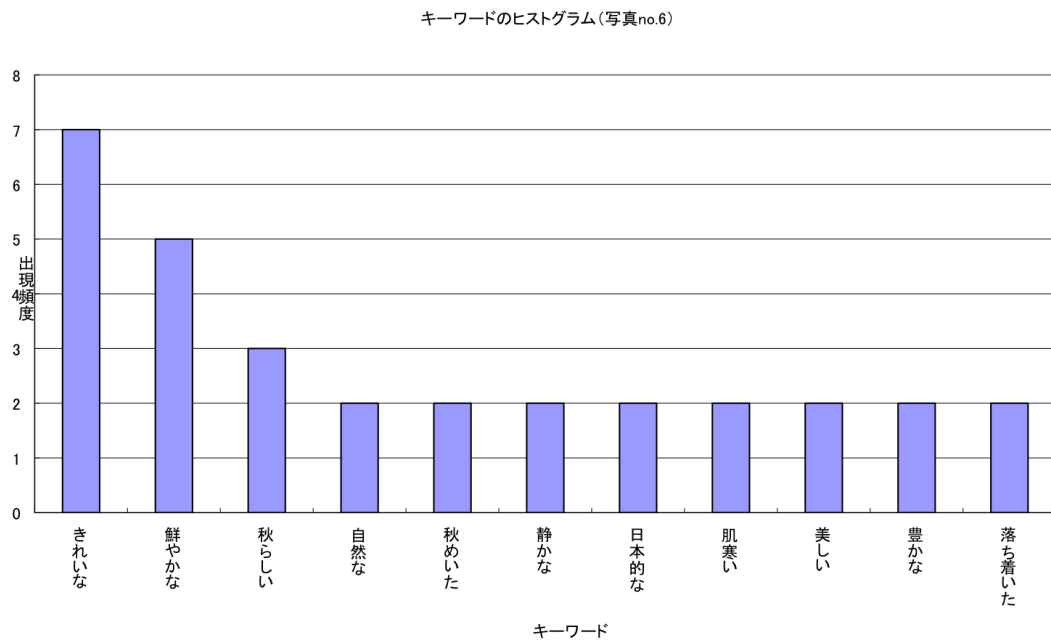


図 2.36 第6問 紅葉のヒストグラム

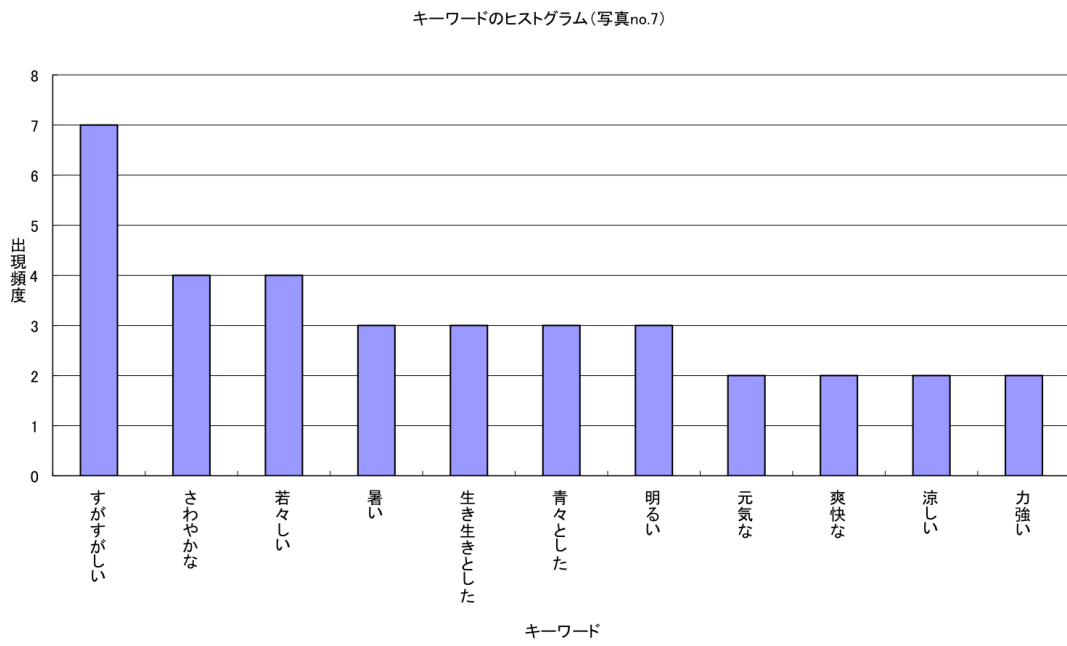


図 2.37 第 7 問 新緑のヒストグラム



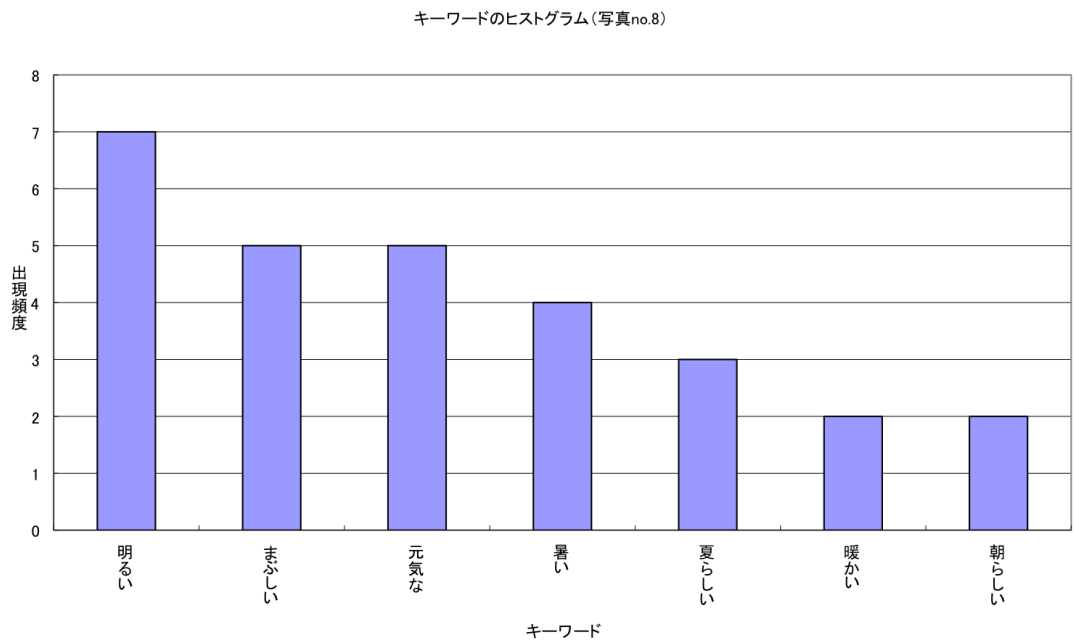


図 2.38 第8問 ひまわりのヒストグラム

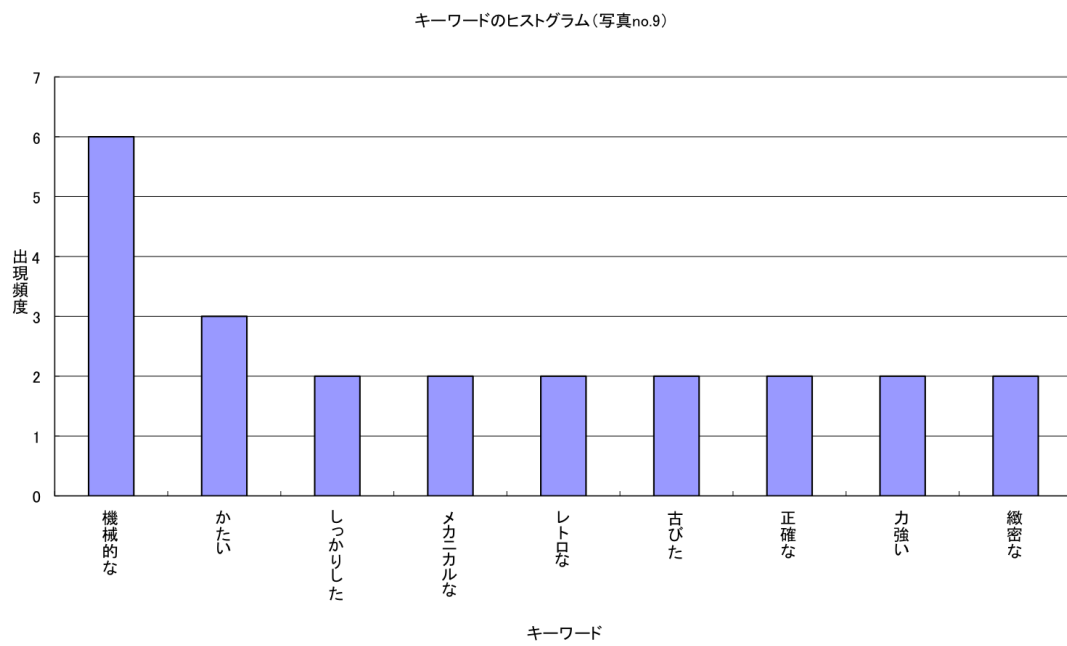


図 2.39 第 9 問 ギアのヒストグラム

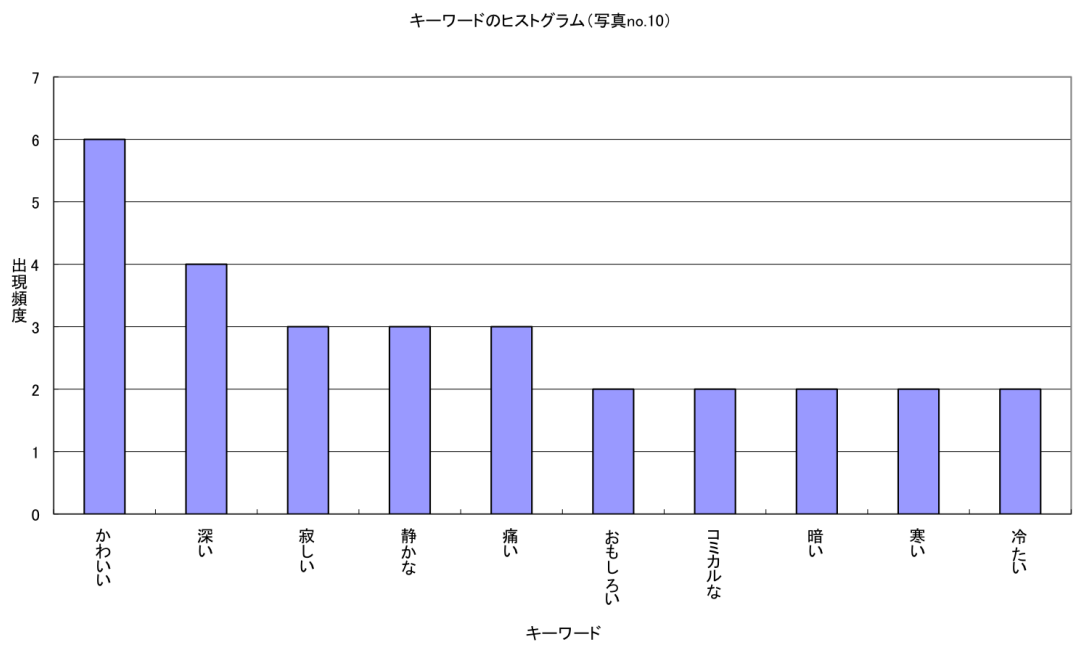


図 2.40 第10問 ハリセンボンのヒストグラム

## 第3章

# 画像のグラデーション分布に基づく 色変換法

### 3.1 はじめに

第2章では代表的な彩色技法としてのグラデーションを画像から生成する方法について論じた。本章では色変換法の必要性和提案手法の基礎となった画像のグラデーションを用いた色変換法の考え方について述べる。

文献 [21] では、色情報であり彩色技法の一つであるグラデーションに着目し、ある画像のグラデーションがどのような感性に対応し得るのかを調査した。具体的には、画像の印象に対する感性語を調べ、その画像が持つ主たるグラデーションと対応付けを行うのである。実際、自然風景を撮影した写真の画像は、光の反射、透過、陰影、物体相互の照り返しなどの豊かなグラデーションで構成される。

画像の色分布 [19] は、画像ごとに特徴がある。色は連続的に変化していて、色分布に連続性があり、色空間の中でグラデーションを形成する。著者は、画像の色分布であり構成要素であるグラデーションは、画像から感性を抽出する手段となると考える。画像を色変換すると印象が変わる。本章で扱う色変換とは、印象を変化させたい対象画像に、変化させたい印象を持つ参照画像の色調を転写することである。また、色変換の目的は画像の色調を変えて、コンテンツの趣旨に合った意味を持たせることである。本章で扱うグラデーションは、HSV 色空間を横切る断面上の分布である。このグラデーションを特徴づける断面をグラデーションプレートと呼ぶことにする。対象画像のグラデーションプレートを参照画像のグラデーションプレート

に置き換えることにより色変換を行う。空間を横切る断面はさまざまな向きが考えられるが、与えられた画像のある対象領域の色分布はほぼ同じ色合いを持つことが多い。そのためグラデーションプレート上の色分布は色相成分は大きく変化しないが、彩度成分と明度成分は大きく異なる。

写真や絵画などの画像における色変換に関する研究がいろいろと行われている。Reinhardらは、種々の色空間における対象領域の色の統計量を比較し、対象画像の色分布を参照画像のそれに変換する手法を提案している [22]。Greenfieldらは、Lab色空間で、Palette Colorを用いて主要な色の対応付けを行い、絵画の色変換を行う方法を提案している [23]。いずれも参照画像の色情報の特徴量として平均や分散を求め、それらを対象画像に外挿し色変換を行っている。これら先行研究の方法で、例えば、夕日写真の色温度変換や絵画の Palette Color による再彩色が行われており、視覚的には変換は意図通り行われている。このような評価は主観によるものであり、意図を反映し、効果的に変換されているかの客観的評価についての検証はこれからの課題である。

本章では、感性語と対応づけることができるグラデーションプレート上の、画像固有のグラデーションを使って画像の色変換を行う方法を提案する。参照画像のグラデーションの特徴で変換された対象画像の印象の変化を検証し、グラデーションの特徴が画像の感性評価に与える影響と感性の抽出について考察する。

## 3.2 各種色空間とグラデーションの関係

この節では、本章で使用する色空間について述べる。デジタル画像の色空間には、RGB色空間、HSV色空間、XYZ色空間、Lab色空間など様々なものがあり、用途に応じて利用できる。中でも色を絶対値で表す Lab色は、均等な色空間であり、色差を表すのに適しているため、前節で述べた Reinhard, Greenfield らの先行研究で色変換操作に用いられている。Xiaoらは RGB色空間で直接操作する方法 [24] を、畔津らは RGB色空間を用いた画像強調法 [39] を提案している。

また、Cohen らが行った color harmonization [25] という手法の研究では、Itten [29] により定義された色相環上における harmony を醸し出すとされる色相値 (hue) から構成される harmonic template に沿って対象画像の色構成の変換処理を行なう。harmonic template とは、Itten の色彩の調和に関する研究成果をもとに松田 [30] がまとめた 8 タイプの色相の配色構成を指す。さらに、岡ら [28] は、harmonic template を用いた色転写で、空間的整合性を

保持するため、画像を HSV 色空間に転写した後、参照テンプレートの hue 分布を対象画像の hue 分布に転写し、良好な結果を得ていると報告している。また、田中ら [40] も、色相のヒストグラムを用いたデジタルカラー画像間の色転写法を実現している。

本研究はデジタルコンテンツのための配色ツールへの応用を目的とするので、利用者のインタラクティブな操作を想定している。一般的な画像編集ソフトウェアのカラーパレットの操作は RGB や HSV ないし HSB で行われることが多い。また、本研究で扱う対象は、入出力とも RGB データからなるデジタルコンテンツである。また、本稿の実験において被験者が観察する画像は RGB データをディスプレイに表示したものである。本章の色変換処理は、前節で述べたように参照画像のグラデーションプレートの有りように近づける処理であることから、色相差が均等でなくても計算ができるため、内部処理を均等空間で行う必要は必ずしもないと考える。従って、RGB 色空間や RGB 値から変換された HSV 色空間で処理が可能である。写真など自然を写した画像の色分布は、RGB 色空間では曲面を描いているように見えるが、HSV 色空間では平面になる傾向があり、平面あてはめを適用しやすい [31] ため、処理を単純化できる。これらの理由により、HSV 色空間を用いることとした。

本章で扱うグラデーションは、HSV 色空間を横切る断面上の分布である。画像の RGB 値を HSV 値に変換し、HSV 色空間における色彩のヒストグラムを作成する。そのヒストグラムに変換操作を行う。本章では HSV 色空間を立方体モデルで表現する。色分布に対して回帰平面による平面あてはめを行う際、円柱モデルおよび円錐モデルでは彩度が低い部分における色分解能が彩度の高い部分に比べ低下するが、立方体モデルの場合にはそれがない。また、平面あてはめを考えると反対色も同じ平面上に存在することの意味を捉えにくい。これらを考慮して立方体モデルで表現する。ただし、実際の処理では H 座標での両端はループしているものとして扱う。

### 3.3 色変換の方法

グラデーションプレートは HSV 色空間の平面と仮定する。まず、HSV 色空間を 3 次元の直交座標系で表し、その空間において色分布を計算し、色分布に対して回帰平面による平面あてはめを行う。円柱モデルや円錐モデルの座標系を用いないのは、彩度の低い部分では色分解能が彩度の高い部分に比べて低下するからである。それゆえ、著者は直交座標系を用い、そこでは H 座標での両端はループしてつながっているものと仮定する。

色変換の方法は次の通りである。まず、対象画像と参照画像の両方において色変換の対象

となる領域を指定する。次に、HSV 色空間上でそれぞれの領域の色分布を算出し、それに平面を当てはめることでグラデーションプレートを得る。具体的には、 $h(x_i y_i), s(x_i y_i), v(x_i y_i)$  を画素  $(x_i y_i)$  における色の三成分とし、 $h(x_i y_i), s(x_i y_i), v(x_i y_i)$  から 3次元色空間上のある平面  $T$  に垂線を下ろしたときの垂線の長さの2乗を  $D(h(x_i y_i), s(x_i y_i), v(x_i y_i), T)$  としたとき、 $D$  の全ての画素に対する総和が最小となるように平面  $T$  を定め、それをグラデーションプレートとする (図 3.1 参照)。また、色分布をグラデーションプレートで近似した時の残差の標準偏差を算出する。算出されたグラデーションプレートと標準偏差は、色変換時に指定した領域の色分布を表す特徴量として用い、対象画像の特徴量が参照画像の特徴量に近づくように変換する。

### 3.3.1 グラデーションプレートによる変換

グラデーションプレートは、回帰平面を HSV 色空間内の色分布に近似的に当てはめることで得られる (図 3.1 参照)。このとき、残差の標準偏差も計算しておく。予備実験からグラデーションプレートが H 軸にほぼ直交することが分かったので、残差の標準偏差は H 軸に沿った残差の標準偏差で近似することとした。言い換えれば、本章ではグラデーションプレートが H 軸にほぼ直交するような色相の変化が少ない画像だけを扱うこととした。

対象画像のグラデーションプレートの式を  $h = f_{obj}(s, v)$ 、参照画像のグラデーションプレートを  $h = f_{ref}(s, v)$  とする。また、対象画像の残差の標準偏差を  $\sigma_{obj}$  とし、参照画像の残差の標準偏差を  $\sigma_{ref}$  とする。図 3.2 は色変換がどのように行われるかを示す。対象画像内の一つの色  $(h, s, v)$  は、次式のように  $(h', s', v')$  に変換される。

$$\begin{aligned} h' &= \frac{\sigma_{ref}}{\sigma_{obj}}(h - f_{obj}(s, v)) + f_{ref}(s, v) \\ s' &= s \\ v' &= v; \end{aligned} \tag{3.1}$$

### 3.3.2 グラデーションプレート内の変換

色変換は、まず、前節のように対象画像と参照画像のグラデーションプレートの平面の間の関係に応じて行う。その後、対象画像と参照画像のグラデーションプレート上の色分布の間の関係に応じて、引き続き色変換を行う。図 3.3 はどのように色変換が行われるかを示す。グラ

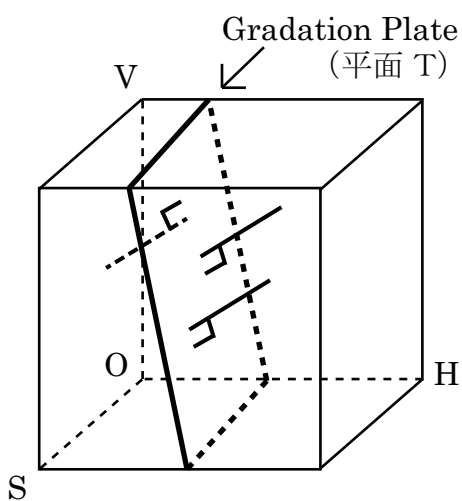


図 3.1 グラデーションプレートの概念図

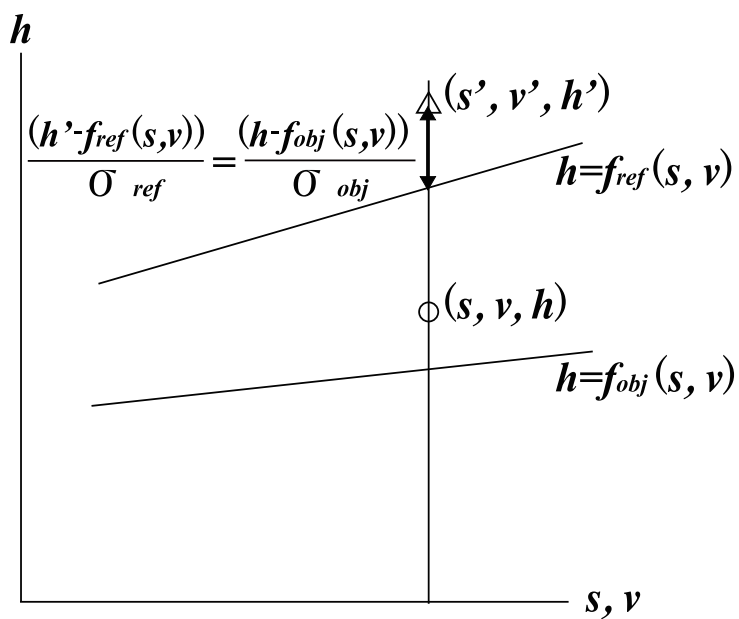


図 3.2 グラデーションプレートによる変換



レーションプレートはH軸方向にほぼ直交すると仮定するため、グラデーションプレート上の色分布は色の構成要素のうち  $s$  (彩度) と  $v$  (明度) の分布によって近似される。

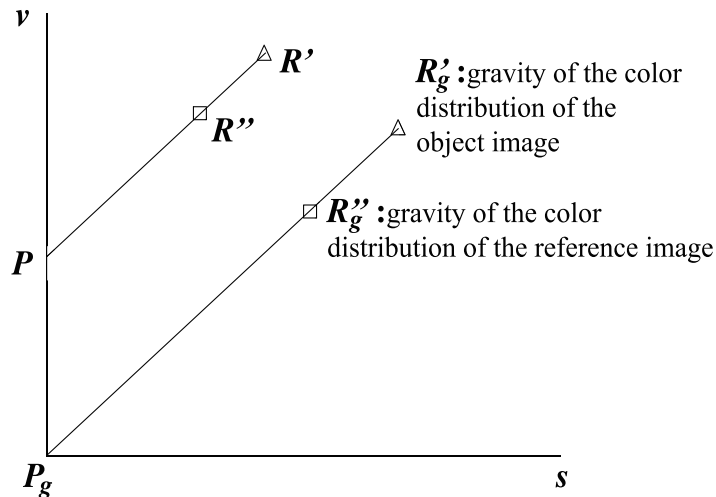


図 3.3 グラデーションプレート内の変換

まず、各画素  $(x_i, y_i)$  における明度  $V$  の値を  $v(x_i, y_i)$ 、彩度  $S$  の値を  $s(x_i, y_i)$  とし、対象画像と参照画像のそれぞれにおいて  $|v(x_i, y_i) - s(x_i, y_i)|$  が 0.05 以下である画素だけを対象として重心を求める。次に、求めた重心を HSV 色空間内の色度  $H$  が一定である断面（図 3.3 参照）において、 $v = s$  の直線に投影する。図 3.3 において、対象画像において求められた重心を投影した点（以下、重心投影点という）が  $R'_g$  であり、参照画像の重心投影点が  $R''_g$  である。これらの点は  $v = s$  の直線上にある。なお、参照画像と対象画像では  $H$  の値が異なるので  $H$  が一定である断面も一般には一致しないが、図 3.3 では分かりやすいように重ねて表示している。0.05 の値は予備実験により得られた。図 3.3 において  $P_g$  は  $H$  が一定である断面を  $S$  と  $V$  に関する二次元平面とみなしたときの原点 ( $v = 0, s = 0$ ) である。この例において参照画像の重心投影点  $R''_g$  のほうが対象画像の重心投影点  $R'_g$  より原点  $P$  に近い。すなわち、 $\lambda = P_g R''_g / P_g R'_g$  は 1 より小さい。グラデーションプレート内での変換は対象画像の  $S$  と  $V$  をこの比率  $\lambda$  だけ  $R'_g$  から  $P_g$  に向かう方向に縮めることで行う。具体的には、グラデーションプレート上の色変換は、前節で得られた対象画像の色  $R'$  を  $(h', s', v')$ 、変換後の色  $R''$  を  $(h'', s'', v'')$  としたとき、 $PR''/PR' = \lambda$  となるよう行われる。ここで、 $P$  は  $R''$  を  $R$  から  $P$  に向かう方向に移動させたときに  $V$  と  $S$  のどちらかがゼロとなる点である。より具体的には、

前節で得られた対象画像の色  $(h', s', v')$  は  $(h'', s'', v'')$  に次式のように変換される。

$$\begin{aligned} h'' &= h' \\ s'' &= \lambda s' && \text{when } s' < v' \\ v'' &= v' - s' + s'' \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} h'' &= h' \\ s'' &= s' - v' + v'' && \text{when } s' \geq v' \\ v'' &= \lambda v' \end{aligned} \quad (4.3)$$

なお、本手法には2種類の変換方式がある。一方は、3.3.1節のグラデーションプレートによる変換と3.3.2節のグラデーションプレート内の変換の両方の変換を行うもので、これをメイン方式と呼ぶこととする。もう一方は3.3.1節の変換を使用せず、3.3.2節のグラデーションプレート上の分布による変換のみを使用する方式である。以下これをサブ方式と呼ぶ。メイン方式は、同系統の色相の画像領域に、サブ方式は複数の色相を持つ色相差の大きい領域に対して適用可能である。

色相差の大きい画像については、領域を代表値としてサンプリングし、サブ方式で、H座標の値をSV平面に射影することで色変換を行うことができる。

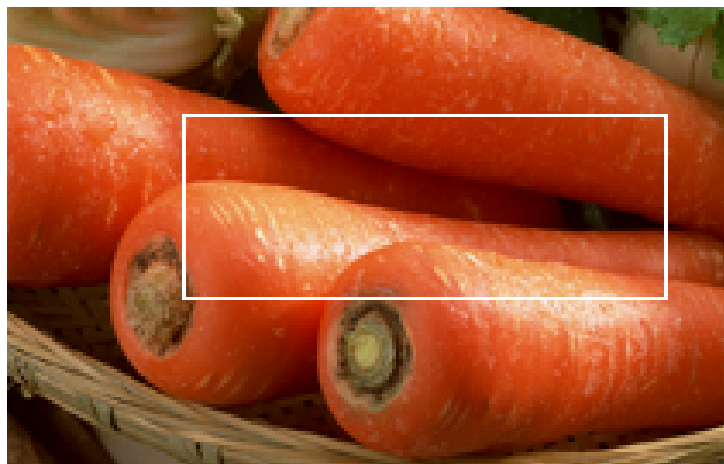


図 3.4 画像 i: 西洋人参.



図 3.5 画像 ii : 金時人参.



図 3.6 画像 iii : 変換後の金時人参.

### 3.4 実験及び考察

色変換の目的は、色調を変えることにより画像の印象を変化させて意味を持たせることであることは 3.1 節で述べた。この節では、色変換された画像に意図した印象を転写できているかどうかを検証するために、いくつかの対象画像について参照画像のグラデーションの特徴で色変換する。その色変換前後の画像の印象の変化を調べる実験を行い、グラデーションの特徴が画像の感性評価に与える影響について考察する。



図 3.7 画像 iv：変換後の西洋人参.

感性評価により，変換後の対象画像が参照画像の印象に近づいた分，印象が転写されていると考える．この実験では 2 種類の感性評価を行う．まず，定性的感性評価で画像ごとに感性語を抽出しキーワードとする．被験者を色彩や配色の知識のある専門家に絞ることにより，質的及び専門的な評価を行う．変換後の対象画像と参照画像のキーワードに概念的な共通性があれば，印象や感性の転写が質的に行われていると考察する．次に，定性的感性評価で得られた感性語から，定量的感性評価を行う．パソコンを用いてインターネットにアクセスできる学生及び社会人を被験者とする．対象画像と参照画像間の感性評価の変化と，変換前後の対象画像の感性評価の変化が同一方向，同一傾向であれば印象や感性の転写が定量的に見いだしうると考察する．

### 3.4.1 画像の色変換

「画像 i：西洋人参」（図 3.4）を参照画像とし，そのグラデーションプレートを使って，対象画像の「画像 ii：金時人参」（図 3.5）を変換する．提案方法のメイン方式は同系統の色合いのグラデーションに適用可能なため，人参の色を含む小領域を目視により切り出してグラデーションの作成に用いた．図 3.4 および図 3.5 の矩形は切り出す小領域を示す．図 3.6 は「画像 iii：変換後の金時人参」である．また，図 3.7 は「画像 ii：金時人参」のグラデーション特徴を使って「画像 i：西洋人参」を変換した「画像 iv：変換後の西洋人参」である．

前述の色相差の大きさの定量的な指標から，「画像 i：西洋人参」と「画像 ii：金時人参」は

表 3.1 回帰平面の係数と残差の標準偏差.

| 画像種別         | 係数 a      | 係数 b      | 係数 c   | 残差 $\sigma$ |
|--------------|-----------|-----------|--------|-------------|
| 画像 i : 西洋人参  | -0.000424 | 0.000466  | 0.0452 | 0.01199     |
| 画像 ii : 金時人参 | 0.000036  | -0.000191 | 0.0174 | 0.00952     |

画像全体の色相差は大きいですが、人参の領域は同系統の色相である。観察者が注目する物体、つまり画像の大部分を占める主たる対象と考え、画像全体も色相差が小さいと判断する。周囲の物体の色も小領域のグラデーションプレートによって一斉に変換されているが、感性評価は主たる対象の物体に注目して行われ、その結果評価項目のすべてではないにせよいくつかの項目については感性の転写が行われると考える。自然画像の「金時人参」はメイン方式による変換前後において、竹やかごの色が大きく変化することなく、全体の自然さは残っていると見られる。グラデーションプレート間の色相差が小さいこともあり、明るさやトーンに応じた背景の変化が自然さを保っていると考察する。

「画像 i : 西洋人参」と「画像 ii : 金時人参」で求めた回帰平面の各係数と残差の標準偏差を表 3.1 に示す。HSV の各座標の値は 0.0 から 1.0 に正規化している。グラデーションプレートは、図 3.1 のように少し斜めに傾いている。

### 3.4.2 定性的感性評価実験と考察

変換後の画像の印象がどのように変化するかをグラフィックデザイナーあるいはデジタルクリエイタであるデザインの専門家の目で主観評価する。画像の印象を自由記入する定義法でテキストマイニング [11] を被験者 5 名にて実施した。テキストマイニングにより、画像の印象を表す言葉（感性語）を得る。用いた画像は色変換前後の 12 枚で、色変換の対象画像と参照画像の関係を表 3.2 に示す。

被験者が回答したテキストはキーワードとして扱い、同じような概念を持つキーワードは同じグループにまとめる。その結果、各画像につき 8 個から 14 個のキーワードが得られた。それらを頻度の降順に並べた。各画像のテキストマイニング結果の一部を次に示す。表 3.3 は、「画像 i : 西洋人参」、表 3.4 は、「画像 ii : 金時人参」、表 3.5 は、「画像 iii : 変換後の金時人参」のテキストマイニング結果である。

表 3.5 の「画像 iii：変換後の金時人参」には「明るい」、「西洋人参の」、「普通な」、「北海道的な」というキーワードがあり、表 3.4 の「画像 ii：金時人参」のキーワードとは相違がある。この結果から、変換前後の画像に対する印象は変化していると考察できる。表中の下線で記したキーワードに注目する。表 3.3 の「画像 i：西洋人参」のキーワードの「明るい」、「元気そうな」、「健康的な」、「自然な」といった印象は、表 3.5 の「画像 iii：変換後の金時人参」のキーワードの「明るい」、「北海道的な」に反映されていると考えられる。表 3.5 にある「違和感」、「だまされたみたいなの」という評価は、画像中に写っている人参の形状と色相の違和感から来ていると推察できる。

他に、日本の伝統文様の帯を西洋のクラシックな布地の色調に変換した。「画像 v：日本の帯」、「画像 vi：西洋の布地」(図 3.8) の繰り返しパターンを 1 周期を目視により切り出して代表値としてサンプリングし、グラデーションプレート作成領域とする。領域を画像中に矩形で示す。前述の色相差の大きさの指標から、色相差の大きい画像、及び領域であるため、サブ方式にて変換した。

続いてこれらの画像のテキストマイニングを行った。「画像 v：日本の帯」(図 3.8 左) の印

表 3.2 色変換の対応表.

| 図          | 画像番号： 画像名         | 対象画像  | 参照画像  |
|------------|-------------------|-------|-------|
| (図 3.4)    | 画像 i：西洋人参         |       |       |
| (図 3.5)    | 画像 ii：金時人参        |       |       |
| (図 3.6)    | 画像 iii：変換後の金時人参   | 画像 ii | 画像 i  |
| (図 3.7)    | 画像 iv：変換後の西洋人参    | 画像 i  | 画像 ii |
| (図 3.8 左)  | 画像 v：日本の帯         |       |       |
| (図 3.8 右)  | 画像 vi：西洋の布地       |       |       |
| (図 3.9 左)  | 画像 vii：変換後の日本の帯   | 画像 v  | 画像 vi |
| (図 3.9 右)  | 画像 viii：変換後の西洋の布地 | 画像 vi | 画像 v  |
| (図 3.10 左) | 画像 ix：松と橋         |       |       |
| (図 3.10 右) | 画像 x：鳥と雲          |       |       |
| (図 3.11 左) | 画像 xi：変換後の松と橋     | 画像 ix | 画像 x  |
| (図 3.11 右) | 画像 xii：変換後の鳥と雲    | 画像 x  | 画像 ix |

表 3.3 「画像 i: 西洋人参」のテキストマイニング結果.

| 頻度 | キーワード   |
|----|---|
| 3  | おいしそうな  |
| 2  | 新鮮な   |
| 1  | 赤みがあった, <u>明るい</u> , 鮮やかな,<br>おいしそうにみえない, かたそうな,<br><u>元気</u> そうな, <u>健康的な</u> , <u>自然な</u> , まぶしい,<br>優しそうな, 古い, 動物のえさのような |

表 3.4 「画像 ii: 金時人参」のテキストマイニング結果.

| 頻度 | キーワード   |
|----|---|
| 2  | 甘い, お正月のような, 金時人参の, 和風な                                     |
| 1  | 色が薄い, おいしそうな, おだやかな<br>古風な, 匂な, 新鮮な, 外で撮影したような,<br>土の感触のような |

表 3.5 「画像 iii: 変換後の金時人参」のテキストマイニング結果.

| 頻度 | キーワード   |
|----|---|
| 2  | <u>違和感のある</u>   |
| 1  | <u>明るい</u> , <u>北海道的な</u> , 黄色みが強い,<br>絵画のような, <u>だまされたみたい</u> な,<br>西洋人参の, 普通な |

象は「荘厳な」, 「派手な」, 「雅な」, 「ゴージャスな」といったものである。「画像 vi: 西洋の布地」(図 3.8 右)の「地味な」, 「落ち着いた」, 「古い」, 「カーテンのような」といった印象が、「画像 vii: 変換後の日本の帯」(図 3.9 左)に「暗い」, 「重い」, 「古い」, 「ふすまの一部分の」などのキーワードとして反映される結果となった。





図 3.8 画像 v : 日本の帯 (左), 画像 vi : 西洋の布地 (右) .

また、日本の布地の文様を相互に変換する実験も行った。図 3.10 にその変換前の画像を、図 3.11 に変換後の画像を示す。図 3.10 の「松と橋」「鳥と雲」は、ある色相に絞って目視により領域を決めている。領域の色相差は前述の「色相差の大きい領域」の定量的な指標から標準偏差の範囲内であるが、画像全体は範囲外、つまり、色相の差が大きいと言える。色相差が大きい画像にはサブ方式が適しているが、参考的にメイン方式を適用してみた。このような場合、グラデーションプレートが表す色相から大きく離れている色は、標準偏差の比によって大きく移動するため、予想外の配色となる。デザインされた画像である「松の橋」や「鳥と雲」(図 3.10) は、明度と彩度が同時に変化するトーン配色を反映しつつ、複雑な模様が予想外の配色に変換されていると考えられる。





図 3.9 画像 vii : 変換後の日本の帯 (左), 画像 viii : 変換後の西洋の布地 (右) .

### 3.4.3 定量的感性評価実験

前節のテキストマイニングで得られたキーワードを元に形容詞を選定し, SD 法 (Semantic Differential Method) [35] による感性評価実験を実施した. 参照画像のグラデーションプレートによる対象画像の色変換が対象画像の印象やイメージに及ぼす影響を調べる.

表 3.6 の 12 種類の形容詞対を評定項目とし, 図 3.12 の 7 段階で 55 人の被験者に表 3.2 の 12 枚の画像を評価してもらった. 評定項目のうち 1 から 6 は画像 i から画像 vi の人参のテキストマイニングで得られた形容詞で, 評定項目のうち 6 から 12 は画像 v から画像 xii の帯や布地のテキストマイニングで得られた形容詞である. それぞれ, 反対の意味の形容詞と対にして評定項目としている. 図 3.13 に「画像 i : 西洋人参」(図 3.4) の評定値の平均をグラフで示す. 評定項目 1 から 6 の評定値はいずれも 4 以上である. 図 3.14 は「画像 ii : 金時人参」(図 3.5) で, 評定項目 1 から 4 及び 6 の評定値は 4 以下である.



図 3.10 画像 ix：松と橋（左），画像 x：鳥と雲（右）。

図 3.15 から図 3.17 は対象画像と参照画像の評定値の平均の差で，評価が変化した方向を横軸に示している．縦軸は評定項目である．青色の折れ線グラフは参照画像と変換前の対象画像の差，赤色の折れ線グラフは変換後の対象画像と変換前の対象画像の差である．グラフ中の凡例の番号は表 3.2 の画像番号を示す．折れ線グラフの傍らの実線の矢印は，統計的検定（T 検定）により各グループの平均値が有意に差を持っている（ $p < 0.05$ ）ことを示す．点線の矢印はやや有意差がある（ $0.05 < p < 0.1$ ）ことを示す．赤の矢印は赤色の折れ線グラフ，青の矢印は青色の折れ線グラフの項目の評定値に対応する．

図 3.15 左のグラフ中の青色の折れ線グラフ「i - ii」は画像 i から画像 ii の評定値を減じたもので，赤色の折れ線グラフ「iii-ii」は画像 iii から画像 ii の評定値を減じたものである．赤色の折れ線グラフを見ると，1, 2, 4 の評定項目について平均値に有意差があるとは言えないが，「画像 iii：金時人参」は「画像 i：西洋人参」の影響を受けてややプラスの差があることを示している．評定項目 5 には有意差がありマイナスの差がある．変換後は「人工的な」印象になっており，これは「画像 i：西洋人参」の影響ではない．評定項目 6 についてはやや有意差





図 3.11 画像 xi：変換後の松と橋（左），画像 xii：変換後の鳥と雲（右）。

|   |       | 非常に   | かなり | やや | どちらでもない | やや | かなり | 非常に |     |
|---|-------|-------|-----|----|---------|----|-----|-----|-----|
|   |       | 1     | 2   | 3  | 4       | 5  | 6   | 7   |     |
| 1 | 新鮮でない | ----- |     |    |         |    |     |     | 新鮮な |
| 2 | 元気のない | ----- |     |    |         |    |     |     | 元気な |

図 3.12 調査用紙（部分）。

表 3.6 評定項目 (形容詞対).

|           |   |        |
|-----------|---|--------|
| 1. 新鮮でない  | — | 新鮮な    |
| 2. 元気がない  | — | 元気な    |
| 3. まずそうな  | — | おいしそうな |
| 4. 不健康な   | — | 健康的な   |
| 5. 人工的な   | — | 自然な    |
| 6. 和風な    | — | 洋風な    |
| 7. 田舎じみた  | — | 雅びな    |
| 8. 落ち着かない | — | 落ち着いた  |
| 9. 古風な    | — | 現代的な   |
| 10. 地味な   | — | 派手な    |
| 11. 不安定な  | — | 安定な    |
| 12. 伝統的な  | — | 革新的な   |

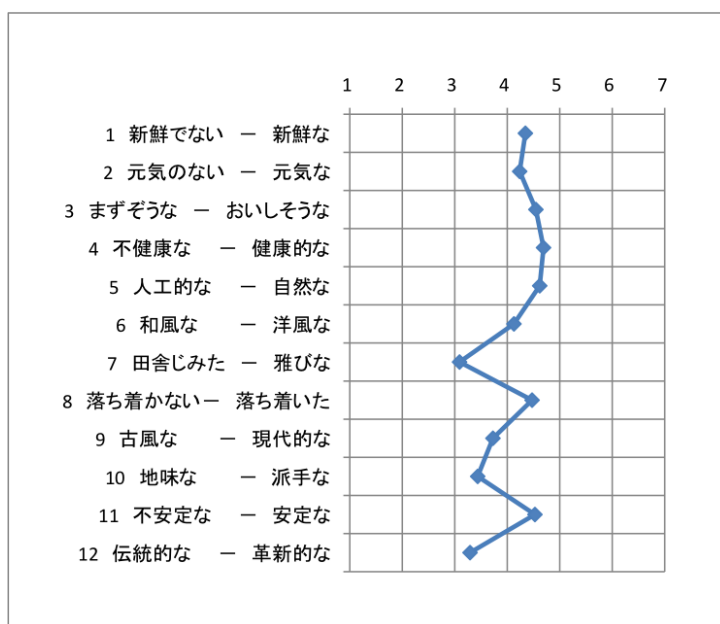


図 3.13 画像 i: 西洋人參の評定値 (平均値).

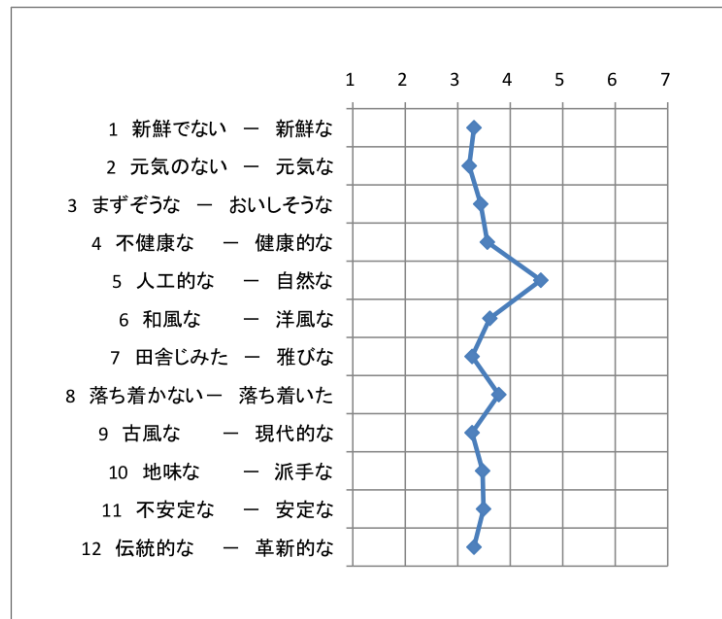


図 3.14 画像 ii：金時人参の評定値（平均値）。

を持ってプラス側に差があり、「画像 ii：金時人参」の評価は変換前の「和風」から変換後には「洋風」の方向に変化しており、「画像 i：西洋人参」の印象を反映していることがわかる。「人工的な」印象があるものの、評定項目 1 から 6 について、赤色と青色の折れ線グラフの形状が一致することから、参照画像の印象を反映する一定の傾向はあると考察する。

図 3.15 右は「画像 i：西洋人参」から「画像 iv：変換後の西洋人参」の評価の変化を示す。グラフは画像 ii から画像 i の評定値を減じたものと画像 iv から画像 i の評定値を減じたものである。「画像 iv：変換後の西洋人参」は、参照画像である「画像 ii：金時人参」の影響を受けて 1 から 4 の評定項目についてマイナス側に移動している。評定項目 5 に関しては、大きくマイナス側に転じており、即ち「人工的」に向かっており、定性評価におけるキーワード「違和感」を裏付けている。評定項目 6 についてはやや有意差を持って逆方向のプラス側に転じており、「画像 ii：金時人参」の影響を受けていないと言える。1 から 4 の評定項目について参照画像の印象を反映しているが、「人工的な」との評価が大きく、また参照画像の「和風な」印象を反映していないと考察する。

図 3.16 左は「画像 v：日本の帯」から「画像 vii：変換後の日本の帯」の評価の変化である。評定項目 7,8,10,12 について相関が見られる。図 3.16 右は対象画像と参照画像を入れ替えた

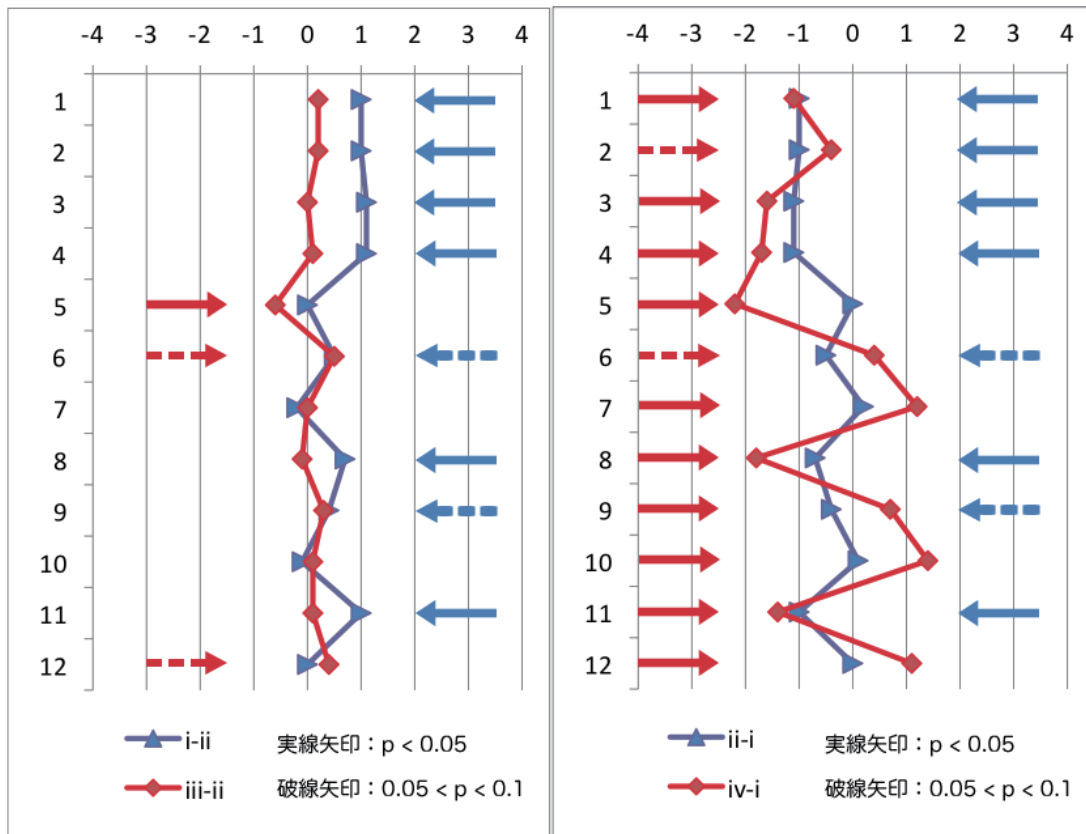


図 3.15 画像 ii：金時人参の評定値の差（左），画像 i：西洋人参の評定値の差（右）。

場合の変化を示し，評定項目 7,8,10,11 について相関が見られる．総じて，参照画像の影響を大きく受けていると見られる．

図 3.17 左は「画像 ix：松と橋」から「画像 xi：変換後の松と橋」の評価の変化である．評定項目 6,7,9-12 に一定の相関が見られ，参照画像である「画像 x：鳥と雲」の印象に近づいている．図 3.17 右は「画像 x：鳥と雲」から「画像 xii：変換後の鳥と雲」の評価の変化である．この場合には両者には相関がほとんど見られない．

### 3.4.4 考察

評価の結果，「画像 i：西洋人参」，「画像 ii：金時人参」，「画像 v：日本の帯」，「画像 vi：西洋の布地」の変換後は，いずれも参照画像に向かって印象が変化することがわかった．「画像

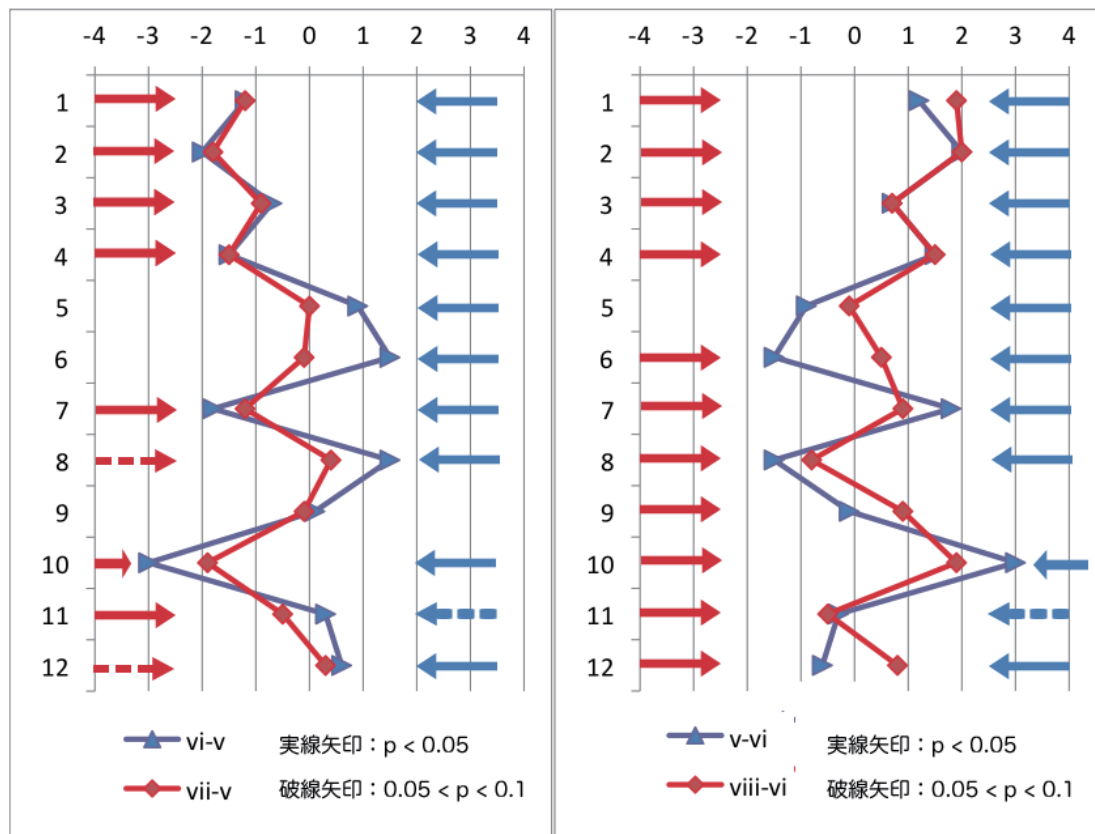


図 3.16 画像 v : 日本の帯の評定値の差 (左), 画像 vi : 西洋の布地の評定値の差 (右) .

ix : 松と橋」は「画像 x : 鳥と雲」の印象に近づいたが、「画像 x : 鳥と雲」は「画像 ix : 松と橋」の影響を受けなかった. 3.4.2 項の表 3.5 「画像 iii : 変換後の金時人参」のテキストマイニング結果のところで述べたように, 画像の形状と色相の間に生じる違和感や不自然さの問題で印象が近づかない場合があると考えられる.

画像の組合せによって評価の変化に違いが出るものの, 提案手法で変換された対象画像には参照画像の印象が反映され, 参照画像の印象に近づくと考察する. 色変換によって参照画像の感性が対象画像に転写され得ると考えられる,

3.4.1 項で述べたように, グラデーションプレートには傾きがある. ある色合いを持つ物体が単一の色相 (h 値) を反射しているのではなく, 明るい部分と暗い部分の色相には差があると観察できる. グラデーションプレートの傾きが, Rood が述べた現象に関係しているのではないかと推察する. Rood は, 太陽光下の緑葉の照らされた部分は黄色みに, 蔭の部分は青み

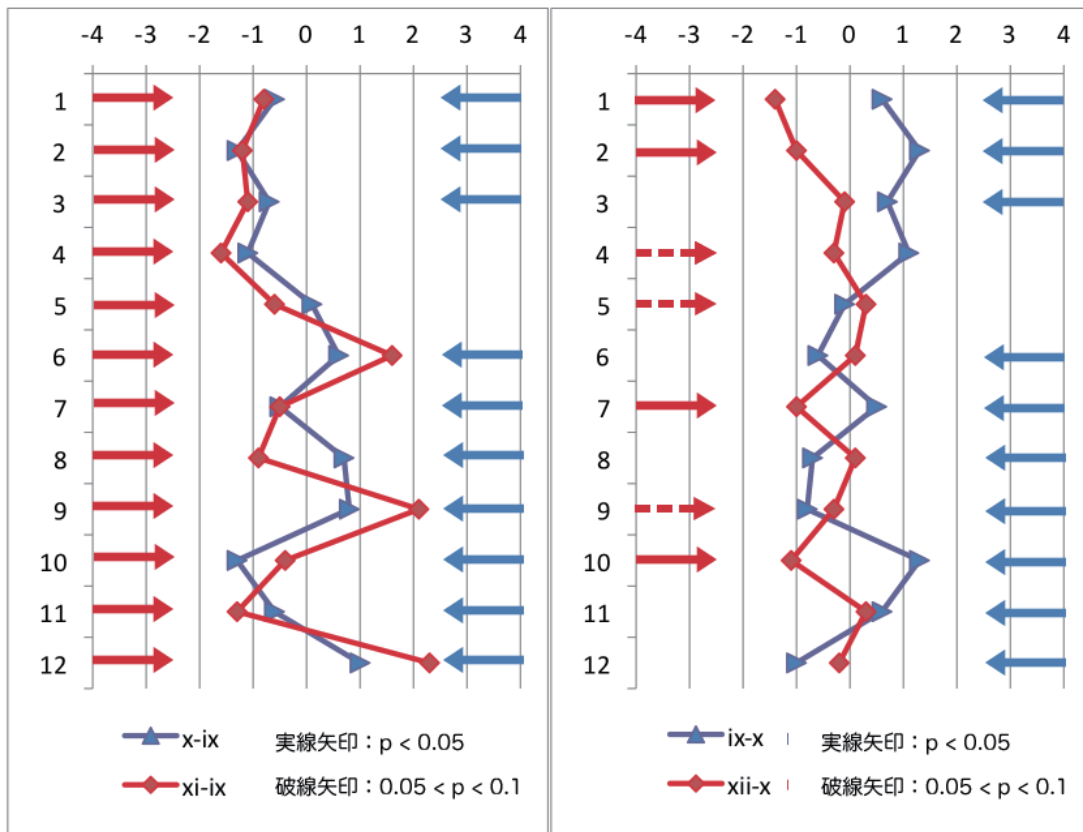


図 3.17 画像 ix：松と橋の評定値の差（左），画像 x：鳥と雲の評定値の差（右）。

がかった灰色に見える」と述べた [32]。この現象とグラデーションプレートとの関係については今後、検証してみたい。

### 3.5 おわりに

画像の色分布をグラデーションのかたまりとして捉え、グラデーションの特徴を数値化して扱うことにより、画像のグラデーションの特徴を変換する方法を提案した。そして、この変換により画像の印象がどのように変化するかをテキストマイニングにより定性的に評価し、評価をSD法により定量的に測った。

評価の結果、グラデーションプレート用いて色情報が変換された対象画像の印象は変化することが示された。また、変換されたいくつかの対象画像には参照画像の印象が反映され、参照



画像の印象に近づくとの考察が得られた。印象を変化させたい対象画像に、変化させたい印象を持つ参照画像の色調を転写することができうると考える。グラデーションプレートは画像の感性情報を抽出する手段になり、グラデーションは感性的な意味を持つと考える。

次章では、本章で提案した色変換法の効果を感性評価実験により評価する。評価結果から、グラデーションを用いて画像を色変換することにより、趣旨に合った色変換が可能になるかを検証する。

## 第4章

# グラデーション分布に基づく色変換法の客観的感性評価

### 4.1 はじめに

第3章では、画像のグラデーションを用いた色変換法について述べた。本章では、その色変換法の感性評価実験を行い、効果的に変換されているかを検証する。

コンピュータとインターネットの普及によりデジタルコンテンツの制作や伝達が社会に大きな役割を果たすようになった。デジタルコンテンツの制作者や発信者はデザイン、配色、イメージなどといった様々なコンテンツの要素に感性情報として自分の意図を反映させたいと願うであろう。その実現には、例えばデジタルコンテンツの制作等に感性工学の分野の研究成果が適用されることが望ましい。とりわけ色は人間の感覚に影響を与えるデザイン要素の一つとして最も重要な意味を持っており、画像のコンテンツの感性表現において重要な役割を担っている [1]。

これまで、著者は典型的な配色技術としてのグラデーションについて研究を進めてきた。論文 [33] で、色のグラデーションが人間の印象を反映すると想定し、画像の色分布を利用してグラデーションを生成する方法について論じた。その後、色のグラデーションに基づいた新しい色変換方法の研究を進めてきた [34, 46]。しかし、これまで変換結果が意図通りになっているかどうかは主観的評価にとどまっており、客観的評価が課題として残っていた。本論文では、[34] で述べた方法の概要を説明するとともに、SD法を用いた感性評価実験を通じて、色変換によって画像を見たときの印象が思い通りに移し替えることができるかどうかを考察する。

そもそも色変換の目的は、画像の色の質を変えることによって画像から受ける印象を変化させ、コンテンツの制作意図が伝わり、見る人がコンテンツの持つ意味を理解しやすくすることにある。そのために、著者は所望の色調を持つ画像を参照画像として用意し、参照画像の色を対象画像に転写する方法を開発した。色変換はグラデーションの特徴を利用して行うが、色彩のグラデーションとはある色からもう一つの色への連続的な変化を言う。一般に、色の分布は3次元色空間においてそれぞれの画素がどのように分布するかによって表現されるが、グラデーションのある画像ではその分布が偏っている。3次元色空間の広い領域に分布するのではなく、ほとんどの画素が3次元色空間内のある2次元多様体上に分布することが多い。そこで、グラデーションを3次元色空間内の2次元多様体上の色分布とみなした [33]。従って、グラデーションは2次元多様体を表す式と多様体上の色分布で特徴付けられる。本論文では2次元多様体は、簡便のためにHSV色空間内の平面であると仮定し、グラデーションプレートと呼ぶこととする。

色変換のアルゴリズム [34] の概要は次の通りである。まず、対象画像のグラデーションプレートを参照画像のグラデーションプレートに一致させるように修正する。さらに、色の分布をグラデーションプレートの平面で近似したときの残差の分散を計算し、対象画像の残差が参照画像のそれに一致するよう対象画像の色分布を補正する。その後、一致させたグラデーションプレート上の対象画像の色の分布を参照画像の色の分布に近づけるための補正を行う。

これまで、写真や絵画などの画像のための様々な色変換法が報告されてきた [22, 23, 24, 25, 26, 28, 40, 41, 42, 43]。Reinhardらは、種々の色空間における対象領域の色の統計値を比較し、参照画像から色の特徴を借りてきて対象画像を色補正する手法を提案している [22]。GreenfieldらはPalette Colorを用いて主要な色の対応付けを行い、絵画を色変換する方法を提案している [23]。いずれも参照画像の色情報の特徴量として平均や分散を求め、それらを対象画像に外挿し色変換を行っている。これら先行研究の方法で、例えば、夕日写真の色温度変換や絵画のPalette Colorを用いた再彩色が行われており、結果は主観的には許容できると言われている。

しかしながら、色変換が意図通りに行われているかどうかの客観的評価はこれまで課題であった。本章では、[47]で行った色変換方法の効果を評価する感性評価実験について述べる。より具体的には、提案した色変換法の効果をグラデーションプレートと感性語の対応に基づく評価実験を通じて示す。

4.2節では感性評価実験について説明し、実験結果を報告する。最後の節で、その実験から結論を引き出す。

## 4.2 実験

提案手法の色変換は、対象画像に対して参照画像の印象に近づけるための処理を行い、変換後の画像として出力する。この色変換手法によって参照画像の印象が変換後の画像にうまく転写されているかどうかを確認するために実験を行った。すなわち、参照画像のグラデーションの特徴を用いて対象画像の色を変換した時、変換前後の画像の感性評価がどのように変化したかを調べた。そして、グラデーションの特徴が画像の感性評価にどのように影響するかを考察した。変換後の画像の感性評価が参照画像に近づいていたら、対象画像の印象が参照画像に近づいたと考えられ、意図どおりに色変換されたと言える。

この実験では2段階で感性評価を行った。一つ目は定性評価で、もう一つは定量評価である。定性評価では定量評価の準備として、感性語をそれぞれの画像（対象画像、参照画像、変換後の画像）からキーワードとして抽出した。次に、定量評価では、まずSD (Semantic Differential) 法 [35] により、各画像（対象画像、参照画像、変換後の画像）について、定性評価で得られた感性語のふさわしさを評定値として定量化した。これを感性ベクトルと呼ぶ。その後、対象画像の感性ベクトルが変換によって参照画像に近づいたかどうかを定量的に評価した。近づいていれば画像の印象や感性がうまく転写されたと考えられる。

### 4.2.1 画像の色変換

図 4.1 (a) は西洋人参の画像で、図 4.1 (b) は金時人参の画像である。これらの画像から枠で示す部分をそれぞれ部分領域として切り出した。これら2つの画像を用いて色変換実験を行った。図 4.1 (a) は参照画像、図 4.1 (b) は対象画像である。対象画像である図 4.1 (b) の各画素の色は、図 4.1 (a) を参照画像とし、前節の式 (3.1), (4.2) 及び (4.3) に基づいて変換される。その結果を図 4.2 (c) に示す。逆方向の変換も行った。このとき図 4.1 (a) が対象画像、図 4.1 (b) は参照画像である。対象画像である西洋人参に対して処理が行われた変換後の画像は図 4.2 (d) である。これらの変換後の画像から、参照画像の色合いが変換後の画像に転写されていることが観察される。



(a)



(b)

図 4.1 (a) 西洋人参, (b) 金時人参

#### 4.2.2 定性的感性評価

図 4.1 (a), (b), 図 4.2 (c), (d) から 5 人のグラフィックデザイナーやデジタルクリエイターといった専門家によって感性語が抽出された。画像の印象を自由記入してもらう定義法で、5 人の被験者によりテキストマイニング [11] を実施した。各画像に対して 8 から 14 の感性語が抽出された。

これらの語を、表 4.1 に示すように頻度の降順に並べる。この表で (a), (b), (c), (d) はそれぞれ、図 4.1 (a), 図 4.1 (b), 図 4.2 (c) 及び 図 4.2 (d) の画像に対応している。変換後の金時人参 (c) には「明るい」、「西洋人参の」、「普通な」、「北海道的な」というキーワードが見ら



(c)



(d)

図 4.2 (c) 変換後の金時人参, (d) 変換後の西洋人参

れる。これらは、元の金時人参の画像 (b) のキーワードとは異なり、元の金時人参と変換後の金時人参では共通するキーワードが見られない。この結果より画像の印象は色変換により変化したことがわかる。

逆方向の変換、つまり、変換後の西洋人参で得られたものには、「鮮やかな」、「古い」、「動物のえさのような」のように変換前後で同じ語が存在する一方で、「赤すぎる」、「合成的な」、「違和感のある」といった否定的な印象を持つキーワードが付け加わっている。

同様に、変換後の金時人参にも「違和感のある」や「だまされたみたい」といったキーワードがあり、人参の形状に変換後の色合いがふさわしくないと感じたことから生じたのかも知れない。

これらの定性的評価の結果から、手法の効果を裏付けるほどのデータは得られていないが、この定性的感性評価は定量的感性評価を行う際の感性語を取り出すための予備実験としては有効な手段である。なぜなら、評価項目となる感性語を実験者が意図的に選ぶことなく、その選定に客観性を持たせることができるからである。

### 4.2.3 定量的感性評価

色変換の効果を定量的に調べるため、SD (Semantic Differential) 法 [35] により、感性評価実験を行った。評価項目となる感性語は、実験を実施する者が意図する感性評価が得られたかどうかを測るために主観的に決めることがあるが、ここではより客観性を持たせる目的で前述の定性評価のテキストマイニングで得られたキーワードを使用することとした。SD法の評価項目として適していると考えられる語をそれらのキーワードから選定し、一般的な形容詞の形にする。その形容詞と反対の意味を持つ対義語からなる6個の形容詞対 (adjective pairs) を評価項目とする。(表4.2を参照) 55人の被験者が4枚の画像を表4.3で示される7段階のスケールで評価した。

図4.3は、図4.1(a)「西洋人参」の画像から得られた評定値の平均のグラフである。1から6の評価項目は、4かそれ以上に評価されている。図4.4は、図4.1(b)「金時人参」の画像から得られた評定値の平均のグラフである。1から5の評価項目は、4かそれ以下に評価されている。

評価の結果(表4.4, 図4.5を参照)として、評価項目の1,2,3及び4において対象画像の図4.1(b)「金時人参」の画像の印象は、その参照画像である図4.1(a)「西洋人参」の印象に向かって変化し、「変換後の金時人参」(図4.2(c))に変換されている。つまり「西洋人参」の持つ印象である「新鮮な」、「元気な」、「健康的な」そして「洋風な」印象に近づいており、色変換の目的にかなっている。しかしながら、評価項目5「おいしそうな」については変化がなく、評価項目6に関しては対象画像(a)、参照画像(b)ともに「自然な」印象であったものが、変換後の画像(c)では逆に「人工的な」の方向に変化している。これは被験者が同じシェイプを持つ違う色合いの画像((b)及び(c))を連続して閲覧、評価したことにより、色変換による不自然さを感じたためであると推察する。全体としては、参照画像の印象が提案手法によって変換画像に反映されて、参照画像の感性が変換後の対象画像に転写されていると見る。

図4.7は、評定値の平均と、t分布に基づく平均値の信頼区間(信頼水準95%)を横棒で示すグラフである。

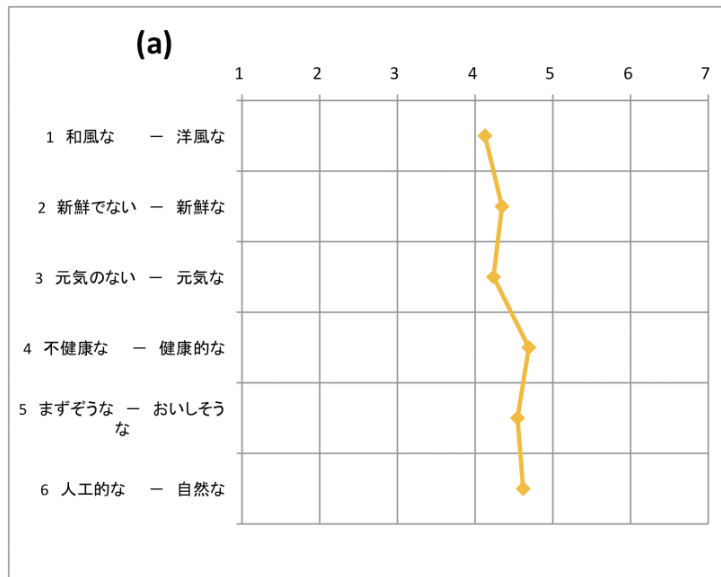


図 4.3 評定値の平均値 (a) 西洋人参

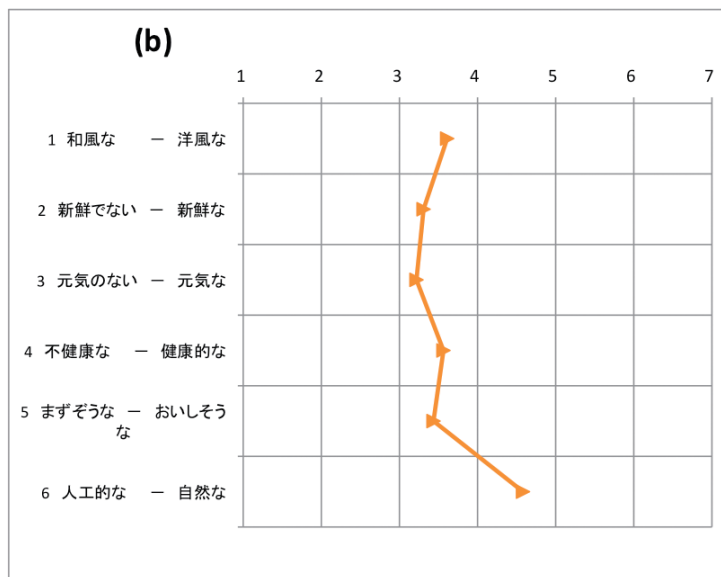


図 4.4 評定値の平均値 (b) 金時人参

図 4.6 は、(a)「西洋人参」から (d)「変換後の西洋人参」の評価の変化を示すグラフである。「変換後の西洋人参」の 2, 4, 5, 6 の評価項目は、参照画像 (b)「金時人参」の方向に移動してはいるが行き過ぎている。特に評価項目 6 に関しては、大きくマイナス側に転じており、即ち「人工的」に向かっており、定性評価におけるキーワード「違和感」を裏付けている。評定



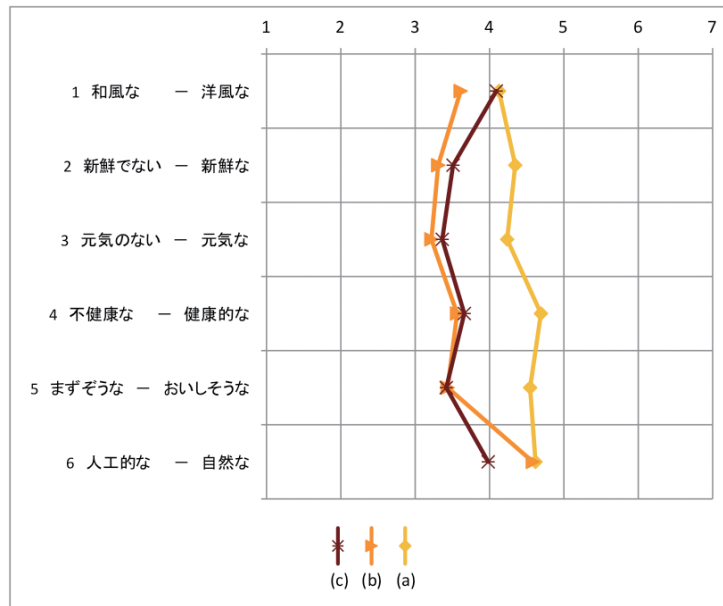


図 4.5 評定値の平均値 (c) 変換後の金時人参, (a) 西洋人参, (b) 金時人参

項目 1 については逆方向の「洋風な」に転じており、「金時人参」の「和風な」影響を受けていないと言える。2 から 5 の評定項目について参照画像 (b) 「金時人参」の印象を反映しているが、「人工的な」との評価が大きく、また「和風な」印象を反映していないと考察する。

これらの評価結果は、色変換されたことが明らかにわかる状態であることから被験者が画像に不自然さを感じたことが一因として考えられる。つまり金時人参のように細い西洋人参は存在するが、西洋人参の形状で金時人参の色を持つ人参の存在は経験的に不自然であると被験者が認識したと推察する。このことにより、評定に被験者の先入観が加味されていると考えられるので、画像が色変換されたことによる不自然さを感じさせない工夫が必要である。そのためには、色変換前後の画像の評価は同一被験者ではなく、別途、別の被験者に評価してもらうなどの方法を検討する必要がある。

### 4.3 おわりに

グラデーションの特徴を数量化することで、ある画像から別の画像にグラデーションの特徴で色転写し変換する手法を提案した。

実験では、テキストマイニングにより画像の印象を定性的に評価し、その評価結果から画像

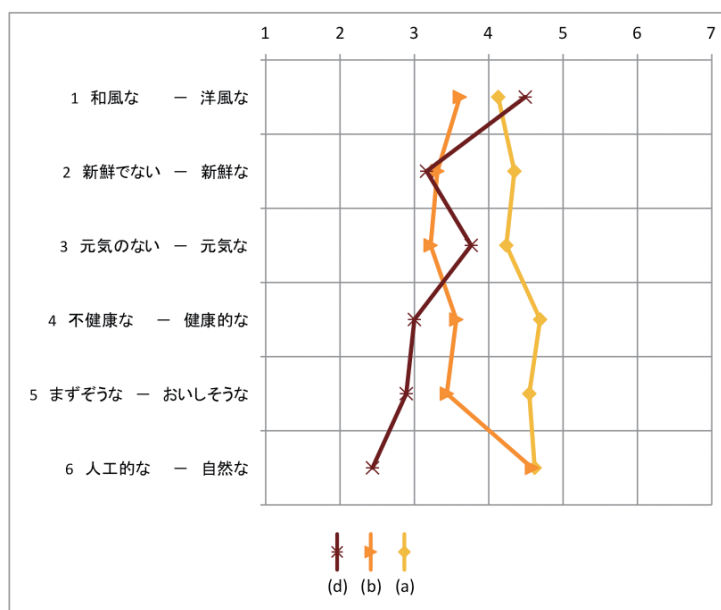


図 4.6 評定値の平均値 (d) 変換後の西洋人参, (a) 西洋人参, (b) 金時人参

の感性語を選定した。そしてSD法により感性語を評定項目として用い、定量的に評価した。この評価の結果、画像の印象は色変換により参照画像の印象に向けて変化させることができた。一方で、感性評価実験方法において被験者に不自然さを感じさせないような工夫が課題となる。また、より自然で違和感のない色変換のためのグラデーションプレートの使い方や効果的な変換パラメータを探すためのさらなる評価実験が望まれる。その際、グラデーションプレートは画像の感性情報の特徴づけるものとして有用であると考えられる。

将来的には、感性語に関連付けられたグラデーションパターンのデータベースを用いた色変換システムのようなデジタルコンテンツを制作するツールを開発する予定である。

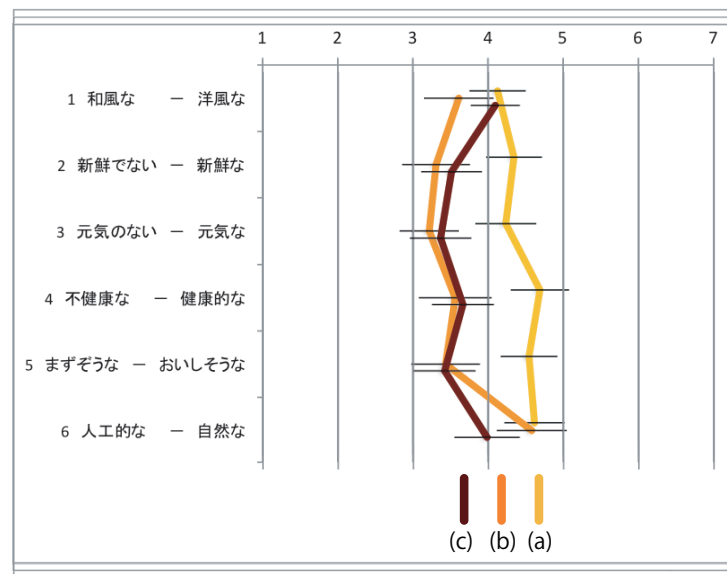


図 4.7 評定値の平均値と信頼区間 (c) 変換後の金時人参, (a) 西洋人参, (b) 金時人参

表 4.1 画像のテキストマイニング結果

| (a) 西洋人参     |   |
|--------------|---|
| 頻度           | キーワード   |
| 3            | おいしそうな  |
| 2            | 新鮮な   |
| 1            | 赤みがかった, <b>明るい</b> , 鮮やかな,<br>おいしそうにみえない, かたそうな,<br>元気そうな, 健康的な, 自然な, まぶしい,<br>優しそうな, 古い, 動物のえさのような |
| (b) 金時人参     |   |
| 頻度           | キーワード   |
| 2            | 甘い, お正月のような, 金時人参の, 和風な   |
| 1            | 色が薄い, おいしそうな, おだやかな<br>古風な, 匂な, 新鮮な, 外で撮影したような,<br>土の感触のような   |
| (c) 変換後の金時人参 |   |
| 頻度           | キーワード   |
| 2            | 違和感のある  |
| 1            | <b>明るい</b> , <u>北海道的な</u> , 黄色みが強い,<br>絵画のような, だまされたみたいな,<br><u>西洋人参の</u> , <u>普通な</u>              |
| (d) 変換後の西洋人参 |   |
| 頻度           | キーワード   |
| 2            | 赤すぎる  |
| 1            | 合成的な, 違和感のある, <b>鮮やかな</b> , 暗い,<br><b>古い</b> , <b>動物のえさのような</b> , 丸味を強調した                           |

表 4.2 評定項目 (形容詞対)

|    |       |   |        |
|----|-------|---|--------|
| 1. | 和風な   | — | 洋風な    |
| 2. | 新鮮でない | — | 新鮮な    |
| 3. | 元気がない | — | 元気な    |
| 4. | 不健康な  | — | 健康的な   |
| 5. | まずそうな | — | おいしそうな |
| 6. | 人工的な  | — | 自然な    |

表 4.3 調査用紙 (部分)

|    |       | ど     |   |    |    |   |   |   |     |  |
|----|-------|-------|---|----|----|---|---|---|-----|--|
|    |       | 非     | か | もち | か  | 非 |   |   |     |  |
|    |       | 常     | な | や  | なら | や | な | 常 |     |  |
|    |       | に     | り | や  | いで | や | り | に |     |  |
|    |       | 1     | 2 | 3  | 4  | 5 | 6 | 7 |     |  |
| 1. | 和風な   | ----- |   |    |    |   |   |   | 洋風な |  |
|    |       | 1     | 2 | 3  | 4  | 5 | 6 | 7 |     |  |
| 2. | 新鮮でない | ----- |   |    |    |   |   |   | 新鮮な |  |

表 4.4 SD 法で得られた評定値 (平均値:Av. 標準偏差:S.D)

| 評価画像         | 統計値 | 評価項目 (形容詞対) |      |      |      |      |      |
|--------------|-----|-------------|------|------|------|------|------|
|              |     | 1           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| (a) 西洋人参     | Av. | 4.13        | 4.35 | 4.24 | 4.69 | 4.55 | 4.62 |
|              | S.D | 1.39        | 1.38 | 1.50 | 1.44 | 1.40 | 1.48 |
| (b) 金時人参     | Av. | 3.61        | 3.31 | 3.22 | 3.56 | 3.44 | 4.58 |
|              | S.D | 1.72        | 1.67 | 1.46 | 1.80 | 1.69 | 1.72 |
| (c) 変換後の金時人参 | Av. | 4.09        | 3.51 | 3.36 | 3.66 | 3.42 | 3.98 |
|              | S.D | 1.21        | 1.50 | 1.52 | 1.53 | 1.52 | 1.61 |
| (d) 変換後の西洋人参 | Av. | 4.49        | 3.16 | 3.76 | 3.00 | 2.89 | 2.44 |
|              | S.D | 1.29        | 1.65 | 1.56 | 1.67 | 1.60 | 1.47 |

## 第5章

# 結論

本論文では、感性情報としてのグラデーションに関する研究について述べた。以下に、本研究で開発、提案したツール、手法および実験についてまとめる。

### 5.1 感性語に対応した色彩のグラデーション

第2章では、感性語に対応した意味のある色彩のグラデーション生成法について述べた。本研究ではグラデーション生成のための2つのツールを試作、開発し、これらのツールの組み合わせによるグラデーション生成ツールの可能性について述べた [17]。画像の色分布を3次元RGB色空間内に散布図で図示する「色彩散布図ツール」でプロットされた散布図の点群を補完し、曲面に近似する。そして、色彩立方体の内部を切り出す「cutter tool」に、近似で得られた曲面をパラメータとして入力することにより、画像の色分布からのグラデーション生成が可能になる。

次に、意味のあるグラデーションの生成のためにグラデーション生成ツールに感性表現を加える方法について考察し、そのために必要な画像の感性語抽出実験を行った。

画像のイメージを表す感性語を得るためのSD法による感性評価実験を行った。評価尺度として形容詞対を用いた。この予備実験からは、評価が一致する傾向にある尺度と評価が分かれるものとどちらとも言えないものが画像ごとにあることがわかった。回答にばらつきが少なく、傾向がはっきりしている尺度は、その画像のイメージを表す感性語になりうると考察された。

予備実験のように実験者が形容詞を選定すると、実験者の意図が大きく反映されることに問

題がある。また、感性語としては、もっと多様でおもしろい評価尺度がほしいところである。そこで、形容詞の選定に一般性を持たせ、多様な感性語を得るため、テキストマイニングによる画像の印象の抽出実験を実施した。画像の印象を表す感性語がそれぞれの画像について得られた。

テキストマイニングで得られた一般性のある多様なキーワードを導き出し、それらの形容詞をSD法の評価尺度として用い、再度実験を行うこととした。

これらの結果をふまえ、意味のあるグラデーションを生成するしくみを検討した。画像の色彩散布図から近似値として得られる曲面は、画像の色彩情報の代表値と考えられる。つまり、画像の代表値であるグラデーションは元の画像の意味を少なからず反映していると考えられる。しかし、グラデーションのデータには画像上の形状や位置情報は含まれないので、それ自体が元の画像に匹敵するほどの意味を持つことはない。

そこで、感性語に対応した意味のあるグラデーションを生成するしくみを実現するため、データベースと2つのツールについて検討した。データベースには、画像データ、画像から生成されたグラデーション、画像から抽出された感性語を持っており、感性語とグラデーションを関連付ける。利用者が感性語を選択すると対応する画像が選び出され、その画像から生成されたグラデーションがいくつか候補として表示されるので、そこからさらに絞り込みを行う。このグラデーションデータを用いてコンテンツの彩色を行うことが可能であると考えられる。

今後の課題は、「色彩散布図ツール」と「cutter tool」を組み合わせた、画像の色分布からグラデーションを生成するツールを開発し、意味のあるグラデーションを生成するためのしくみとしてのデータベースシステムを構築することである。グラデーションのデータベースを活用し、利用者の評価を蓄積して、グラデーションの用途やターゲットに最適な結果を出力するための分析方法についても検討したい。

## 5.2 画像のグラデーション分布に基づく色変換法

第3章では画像の色分布であるグラデーションの特徴を感性情報として用いた色変換法を中心にその感性評価方法についても述べた。

この章では、画像のグラデーションを特徴づける2次元多様体をグラデーションプレートと呼び、対象画像のグラデーションプレートを参照画像のグラデーションプレートに近づけることにより色変換を行う方法を提案した。

色変換された画像に意図した印象を転写できているかどうかを検証するため、いくつかの対



象画像について参照画像のグラデーションの特徴で色変換を行い、その色変換前後の画像の印象の変化を調べる感性評価実験を行った。変換後の対象画像が参照画像の印象に近づいた分、印象が転写されていると考えられる。評価の結果、グラデーションプレートを用いて色情報が変換された対象画像の印象は変化することが示された。また、変換されたいくつかの対象画像には参照画像の印象が反映され、参照画像の印象に近づくとの考察が得られた。印象を変化させたい対象画像に、変化させたい印象を持つ参照画像の色調を転写することができうると考える。一方で、画像の形状と色相の間に生じる違和感や不自然さの問題で印象が近づかない場合も見られた。不自然さのない色変換ができている場合は、グラデーションプレートは画像の感性情報を抽出する手段になり、グラデーションは感性的な意味を持つと考える。

色変換法の課題としては次の2点が考えられる。まず、グラデーションプレート作成領域の決定は目視による矩形の切り出しにより行っていたが、この処理を定量化すべきと考える。画像内の注目物体の色相に絞って領域を切り出すことで色変換の質が向上すると考えられる。領域分割処理 [44, 45] を取り入れることにより、領域を決定する手法を組み込むことが可能になる。そして、専門技能を持たなくても画像の印象を変える色変換ができるようなツールの実現を目指して、感性評価実験の結果をふまえながら、色変換の方式やパラメータの入力方法を検討していきたい。

### 5.3 グラデーション分布に基づく色変換法の客観的感性評価

第4章では、第3章で述べた色変換法の概要を述べ、その効果を確かめるための感性評価実験を行い、結果を報告した。まず、色変換の効果を、感性工学を用いることにより客観的に評価する実験を行った。

実験では、テキストマイニングにより画像の印象を定性的に評価し、その評価結果から画像の感性語を選定した。そしてSD法により感性語を評定項目として使い、定量的に評価した。その結果、画像の印象は色変換により参照画像の印象に向けて変化させることができたと評価された。色変換されたことが明らかにわかる画像で、被験者が画像に不自然さを感じたことがテキストマイニングの結果でも見られるような場合を除き、参照画像の印象が提案手法によって変換画像に反映されて、参照画像の感性が変換後の対象画像に転写されている。

この結果を受け、より自然で違和感のない色変換のためのグラデーションプレートの使い方や効果的な変換パラメータを探すためのさらなる評価実験が望まれる。その際、グラデーションプレートは画像の感性情報を特徴づけるものとして有用であると考えられる。

将来的には、感性語に関連付けられた画像とグラデーションのデータベースを用いたグラデーション生成及び色変換システムを作成し、デジタルコンテンツ制作ツールへの応用を考えている。その際、グラデーション生成や色変換の感性評価に多くの被験者のデータを取り入れ、感性評価の結果をデータベースに蓄積、反映することができるように、ソーシャルメディアの仕組みを取り入れた統合的なシステム構築を検討したい。

## 5.4 おわりに

本論文では、色彩が人間の感性に与える影響を定性・定量化するために感性工学を取り入れ、色彩を感性情報として扱ってきた。そして、色彩の中でも特にグラデーションに着目した。それは、第1章で述べたように、グラデーションが代表的な彩色技法であるということと、画像の色空間におけるグラデーションを感性の特徴量として捉えることが、感性工学の新しいアプローチとなる可能性があると考えたためである。

グラデーションが感性情報として用いられることにより、感性語に対応した意味のあるグラデーション生成、グラデーション分布に基づく色変換法が可能であると考えた。また、感性評価を取り入れることにより、グラデーション生成や色変換法の効果を客観的に評価できると考える。

人間は、ディスプレイの放つ電磁波としての色および光を物理的な振動現象として視覚で捕らえている。その現象を人間の感性や感覚で色彩として主観的に捕らえたとき、美しさ、興味深さや様々な印象と共に形成される新たな色空間が現れる。その間を橋渡しするような技術が今後、ますます必要になるであろう。

## 謝辞

本研究の遂行，本論文の執筆にあたり，終始懇切丁寧なご指導を賜りました大阪市立大学大学院工学研究科電子情報系専攻 鳥生隆教授に衷心より御礼申し上げます。

研究の遂行にあたり，研究テーマの選定等に関して，様々な面でご指導賜りました愛媛大学大学院 柳原圭雄教授に厚く御礼申し上げます。

また，本論文作成にあたり，ご懇篤なるご指導とご高配を賜った大阪市立大学 辰巳昭治名誉教授に厚く御礼申し上げます。

研究活動中に多大なご支援，ご助言をいただきました大阪市立大学大学院工学研究科電子情報系専攻 中島重義准教授，上野敦志講師に御礼申し上げます。

著者の修士課程でご指導いただき，研究テーマの選定や方向性について長年に渡りご指導，ご支援賜りました帝塚山学院大学人間科学部情報メディア学科特任教授・大阪市立大学 中野秀男名誉教授に御礼申し上げます。

研究活動中に多大なご助言，ご支援を賜った大阪市立大学大学院創造都市研究科 大西克実准教授に御礼申し上げます。

研究活動中に多方面からのご助言をいただきました大阪市立大学大学院創造都市研究科の院生の皆様に御礼申し上げます。

本研究のグラフィックツール作成に当たり，株式会社 SRA 先端技術研究所の当時の「じゅん」開発チームの青木淳氏，浅岡浩子氏，西中芳幸氏，浅田充弘氏に多大なるご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

著者の研究活動や感性工学の扉を開く契機となった財団法人イメージ情報科学研究所の研究者，役員，職員の方々及びその関係諸氏に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 長町三生: “感性工学 感性をデザインに活かすテクノロジー”, p.86, 海文堂, (1989).
- [2] 木村敦, 和田有史, 野口薫, “感情効果の類似が形と色の調和的關係に及ぼす影響”, デザイン学研究, 日本デザイン学会, Vol.52, No.6, pp.1-8 (2006).
- [3] “印刷白書 2013”, 公益社団法人日本印刷技術協会 (JAGAT) (2013).
- [4] 技法叢書編集室 (編): “基礎技法講座 グラフィックデザインの用具と使い方”, 株式会社美術出版社 (1979).
- [5] 井上勝雄 (編): “デザインと感性”, 海文堂出版 (2005).
- [6] 椎塚久雄 (編): “感性工学ハンドブック”, 朝倉書店 (2013).
- [7] 矢川元基, 松田聡浩, 吉村忍: “感性と設計”, 培風館 (1999).
- [8] 長町三生: “感性工学と商品開発イノベーション”, 日本色彩学会誌, Vol.34, No.3, pp.286-291 (2010).
- [9] S. Nagasawa: “Kansei and Business”, *Journal of Japan Society of Kansei Engineering*, Vol.3, No.3, pp.3-12 (2002).
- [10] 井口征士ほか: “感性情報処理”, オーム社 (1994).
- [11] 福田忠彦研究室 (編): “人間工学ガイド 感性を科学する方法”, サイエンティスト社 (2004).
- [12] 永原康史: “デザイン・ウィズ・コンピュータ [改訂版]”, エムディエヌコーポレーション (2003).
- [13] ウィリアム・J. ミッチェル (著), 福岡洋一 (訳): “リコンフィギュアード・アイーデジタル画像による視覚文化の変容”, アスキー (1994).
- [14] 画像情報教育振興協会 監修: “デジタル画像処理”, 画像情報教育振興協会 (2006).
- [15] 小林光夫: “絵画の色彩表現とその数理的的分析手法”, 日本色彩学会誌, Vol.34, No.1,

- pp.73-78 (2010).
- [16] 藤幡正樹: “カラー・アズ・ア・コンセプト—デジタル時代の色彩論”, 美術出版社 (1997).
  - [17] 小松久美子, 中野秀男, 辰巳昭治: “3次元色彩空間とグラデーション”, カラーフォーラム JAPAN 2006 論文集 (2006).
  - [18] “3次元グラフィックマルチメディアライブラリ じゅん for Java”, <http://www.sra.co.jp/people/nishinaka/Jun4Java/> (2010年10月閲覧)
  - [19] 日本色彩学会 (編): “新編色彩科学ハンドブック 第2版”, pp.1134, 東京大学出版会 (1998).
  - [20] シーズ: “Web 配色事典 フルカラー編”, 技術評論社 (2002).
  - [21] Kumiko Komatsu, Hideo Nakano and Shoji Tatsumi: “3-Dimensional Color Space and Expression of Gradation Associated with the KANSEI (Sensitivity) Words”, Abstract of International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2009 (2009).
  - [22] E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, and P. Shirley: “Color transfer between images”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.21, No.5, pp.34-41 (2001).
  - [23] G. R.Greenfield, D. H.House: “Image Recoloring Induced by Palette Color Associations”, Journal of WSCG, Vol.11, No.1, pp.189-196 (2003).
  - [24] X. Xiao, and L. Ma: “Color transfer in correlated color space”, VRCIA '06 Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications, pp.305-309 (2006).
  - [25] D. Cohen-or, O. Sorkine, R. Gal, T. Leyvand, and Y.-Q. Xu.: “Color harmonization”, *SIGGRAPH 2006*, pp.1235-1244 (2006).
  - [26] X. Xiao and L. Ma: “Gradient-Preserving Color Transfer”, *Computer Graphics Forum*, Vol.28, pp.1879-1886 (2009).
  - [27] Youngha Chang, Suguru Saito and Masayuki Nakajima: “Color Transformation Based on the Basic Color Categories of a Painting”, ACM SIGGRAPH 2002 Conference Abstracts and Applications, pp.157-157 (2002).
  - [28] 岡瑞起, 加藤和彦: “高性能 Recoloring 手法”, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム Vol. J91-D(5), pp.1452-1460 (2008).
  - [29] J. Itten: “The Art of Color”, Van Nostrand Reinhold Company, New York (1960).
  - [30] 松田豊: “色彩のデザイン”, 朝倉書店 (1995).

- 
- [31] 小松久美子, 柳原圭雄, 中野秀男, 辰巳昭治: “色彩のグラデーション分布が画像の感性評価に与える影響に関する考察”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35, No.39, pp.13-16 (2011).
- [32] Ogden Nicholas Rood: “Modern chromatics”, p.60, D. Appleton and Company, New York (1879).
- [33] K. Komatsu, H. Nakano and S. Tatsumi: “Study on Gradation of Colors Corresponding to KANSEI Words”, *Transactions of Japan Society of Kansei Engineering*, Vol.10, No.3, pp.357-364 (2011).
- [34] Y. Yanagihara, K. Komatsu, S. Tatsumi and H. Nakano: “A study of color transfer methods with color gradation and distribution of nature picture”, *2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, pp.60-65 (2012).
- [35] C. E. Osgood, G. J. Suci and P. H. Tannenbaum: *The measurement of meaning*, University of Illinois Press (1967).
- [36] Y. Xiang, B. Zou and H. Li: “Selective color transfer with multi-source images”, *Pattern Recognition Letters*, Vol.30, No.7, pp.682-689 (2009).
- [37] D. Hasler and S. E. Suesstrunk: “Measuring colorfulness in natural images”, *Proceedings of the SPIE*, Vol.5007, pp.87-95 (2003).
- [38] G. H. Chen, C. I. Yang and S. I. Xie: “Gradient-Based Structural Similarity for Image Quality Assessment”, *2006 International Conference on Image Processing*, pp.2929-2932 (2006).
- [39] 畔津忠博, 上田千晶, 末竹規哲, 内野英治: “RGB 色空間における色相を保持した彩度調整によるカラー画像強調”, 映像情報メディア学会誌, Vol.68, No.11, pp.J482-J487 (2014).
- [40] 田中豪, 末竹規哲, 内野英治: “色相のヒストグラムを用いた色転写法”, 電子情報通信学会技術研究報告. SIS, スマートインフォメディアシステム, Vol.108, No.334, pp.153-156 (2008).
- [41] P. Pouli and E. Reinhard: “Progressive Color Transfer for Images of Arbitrary Dynamic Range”, *Computers and Graphics*, Vol.35(1), pp.67-80 (2011).
- [42] Youngha Chang, Keiji Uchikawa and Suguru Saito: “Example-based color stylization based on categorical perception”, *Proceedings of the 1st Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, pp.91-98, (2004).

- 
- [43] R. Ironi, D. Cohen-or and D. Lischinski: “Colorization by example”, Proceedings of the Sixteenth Eurographics Conference on Rendering Techniques, pp.201-210 (2005).
- [44] S. Sural, G. Qian and S. Pramanik: “Segmentation and histogram generation using the HSV color space for image retrieval”, International Conference on Image Processing (ICIP), pp.589-592 (2002).
- [45] H. Wang and D. Suter: “Color image segmentation using global information and local homogeneity”, International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA) , pp.89-98 (2003).
- [46] Kumiko Komatsu, Yoshio Yanagihara, Shoji Tatsumi, Hideo Nakano and Takashi Toriu: “Color Transfer Methods Based on Distribution of Color Gradation and KANSEI Evaluation”, ICIC Express Letters Part B: Applications, Vol.7, No.3, pp.531-538 (2016).
- [47] 小松久美子, 柳原圭雄, 中野秀男, 辰巳昭治, 鳥生隆: “色彩のグラデーション分布に基づく色変換法とその感性評価”, システム制御情報学会論文誌, Vol.30, No.2, pp.52-59 (2017).