

論文

染織物の分光反射率計測に基づく退色過程のモデル化と原色推定

Estimation of the Original Color of Dyed Textile based on a Model of Discoloring Process

佐々木 望	Nozomi SASAKI	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology (NAIST)
長縄 美香	Mika NAGANAWA	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology (NAIST)
眞鍋 佳嗣	Yoshitsugu MANABE	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology (NAIST)
千原 國宏	Kunihiro CHIHARA	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology (NAIST)

Abstract

Many of cultural properties were made by dyed textiles have been discolored with time, so their original colors are unknown. It is important to know the original color in understanding the design of the textile and building digital archives of cultural properties. However the estimation of the original color relies on empirical knowledge of a curator. This paper proposes an estimation method to retrieve original color numerically, without any discoloration and deterioration. In this method, a sample of dyed textile is discolored by a metal halide lamp. During the discoloring process spectral reflectance is measured. A discoloring model is made from the obtained data, and the original color of cultural properties are estimated using this discoloring model. For demonstrating the effectiveness of this method, the original color of 10 samples were estimated and the color differences were calculated in $L^*a^*b^*$ and $L^*u^*v^*$ color space. The average of color differences for cotton clothes was about 1.3, thereby showing the effectiveness of this method.

Keywords: Dyed Textile, Original Color, Discoloring, Spectral Reflectance, Principal Component Analysis

要 旨

文化財の元の状態を知ることは、レプリカの作成や、学術研究の面から必要である。多くの文化財の中でも染織文化財は元の状態を失いやすく、原色を知ることが重要であるが、現在、染織物の原色は学芸員の経験や、破壊を伴う化学分析によって得られた染料からの推測で行われているため、原色推定は、長い経験と知識が必要な技能となっている。

本論文では、染織物サンプルの退色過程の分光反射率を用いた染織物の原色推定手法を提案する。提案手法は、メタルハライドランプでサンプルを退色させ、その過程での分光反射率の変化をモデル化する。分光反射率取得のための照射光には可視光を用い、対象染織物の再退色の促進を抑える。原色推定は、推定の対象がどのモデルに属するかをクラスタリングを用いて決定し、対象にモデルを適用することで行う。

提案手法の有効性を示すため、複数のサンプルの原色を推定し、退色前の色との色差を算出した。平均色差は実用色差の範囲内にあり、本手法の有効性を示すことができた。

キーワード: 染色物, 原色, 退色, 分光反射率, 主成分分析

1. はじめに

現存する多くの染織文化財は退色している。原色を知ることは文様・絵柄の理解やデジタルアーカイブ等の面で重要である。しかし、現在原色の推定は学芸員の経験によるところが大きく、数値的に推定する研究は行われていない。

原色は、染料、媒染剤、繊維の3つの要素から作られており、それらが退色することで現在の状態になっている。退色の原因としては、温度、水[1]、光[2]、大気汚染物質[3]などが挙げられる。これらの中で最も大きな影響を及ぼしているのは光であると考えられている[4]。また、光は波長により及ぼす影響の度合いが違っていることが知られている。霜鳥らは、同一照度のD65蛍光ランプ、白色蛍光ランプ、美術・博物館用蛍光ランプを用いて退色の変化を調べ、紫外線をカットしたランプで退色度が小さくなることを確認している[2]。

構成要素の中で染料については、簡単な化学分析で推定が行われてきた。しかし近年、保護の観点から非破壊分析が必要とされ、光を用いた分析が研究されている。非破壊分析の例としては下山ら、松田による蛍光三次元分析[5][6]、佐々木らによる反射分光分析がある[7]。これらは、物質によって蛍光・反射スペクトルがそれぞれ異なることを利用し、既知の染料の蛍光・反射スペクトルとの比較を行い、染料の同定を行っている。しかし、蛍光による同定は銅・鉄媒染の染織物には適用できない。また、反射分光分析は不確定要素が多く、そのみでの推定は困難である。

また、松田は文化財の退色前の状態を知るために、退色途中の色・分光反射率・蛍光の挙動について確認を行っている[8]。しかし詳細な解析は行っていない。

本論文では、染織物の退色時の色の変化の仕方を知ることで、総合的に原色を知ることができると考え、退色過程の分光反射率変化を表すモデルの作成手法と、それを用いた原色の推定手法を提案する。博物館等での染織文化財の原色推定に使用することを想定しているため、推定対象の退色・劣化を促進しないこと、簡便な測定で原色の推定を行えることを条件とする。

2. 提案手法

2.1 退色モデル作成における仮定

まず、退色モデルを作るために強制退色を行う。退

色には多くの要因があり、それぞれが及ぼす影響を加味してモデルを作成することが理想である。しかしながら、全ての要因を考慮したモデルを作成することは困難であるため、本論文では退色に最も影響があるとされる紫外線(UV-A)を用いて退色のモデルを作成し、このモデルでどの程度原色を再現できるのかについて検討する。以下、モデル作成のための染織物をサンプルと表記する。

強制退色は暗室内で行い、暗室内の温度・湿度を一定に保つことで、温度・湿度変化の影響を除外する。光源にはメタルハライドランプを使用する。メタルハライドランプは太陽光の約20～30倍程度の紫外線量があり、退色を促進させる促進倍率は太陽光による退色に比べ約100倍程度とされている。これは、他の方式に比べ、圧倒的な速さである。一般にフィルタを用いて波長を補正しており、太陽光にはない290nm以下の波長域をカットし、UV-Aをピークに持つ[9]。

2.1.1 分光反射率による分析

退色過程を観察する方法としては、様々な方法がある。破壊できない対象にモデルを適用する可能性を考え非破壊で観察を行うと第1章で述べたが、計測方法としては色差計測、各種光計測など様々な手法がある。その中で、

- ・ S/N比が大きく装置が大掛かりでない
- ・ 対象を選ばずに使用可能

の2点を考慮して、分光反射率計測手法を用いた。

光がある物質にあたると、その光の一部は物体に吸収される。そして、その残りが反射、または透過する。これが我々の眼に入り、色という知覚を引き起こす。すなわち、我々の感じている物質の色は、照らしている光の波長が、物質に吸収されることで変化した結果である。分光反射率とは物質を照らしている光のうち、物質が反射した光の割合であり、波長に対してグラフ化した分光反射率分布は、物質の色を表している。さらに、分光反射率は光源情報に左右されず、その性質上どのような対象からも計測できる。また、再現される「色」を対象の蛍光特性も含めた、より自然光下の状態に近いものにする考え、照射光として紫外線を含む光源を使用する。ただし、原色を推定する対象に光を照射する時間は1分程度であり、染色物のそれ以上の退色を最小限に抑えることができる。

2.1.2 分光反射率の解析

退色モデル作成のために、退色過程のサンプルか

ら複数回分光反射率を計測する。1回の計測で得られるデータは、可視波長帯を計測器の波長分解能でサンプリングされた波長ごとに値を持つ多次元のデータとなる。この計測されたデータ群の持つ特徴を分かりやすく観察するために、主成分分析を行う。

主成分分析とは、多変量データをできるだけ情報の損失なしに、少数個の新たな統合的指標(主成分)で表す多変量解析手法の一つであり、総合的な指標を統計的に設定することで変数間の関係を把握することができる。主成分分析を行うことにより、より少ない次元で分光反射率の変化を確認することが可能になる。計算方法としては、相関行列を使用する方法、分散共分散行列を使用する方法があるが、本論文ではデータ群の多変量データからその平均値を差分し、分散共分散行列を算出し、主成分分析を行った。なお、本研究では主成分分析の計算は、Matlabを用いて行った。

2.1.3 退色過程のモデル化

提案するモデル化の流れを図1に示す。まず、退色過程のサンプルから得られた計測データ群に対して主成分分析を行う。次に各主成分ごとに評価を行うために、得られた主成分得点を、各主成分を縦軸に紫外線照射量を横軸とする平面上にプロットする。そして、主成分得点の紫外線照射量に対する変化を多項式によって曲線近似し、その結果をモデルとする。本論文でのモデルは各主成分ごとに得られた多項式群である。一つのモデルに複数の多項式が存在するため、便宜上それぞれ第1主成分モデル、第2主成分モデルと呼称する。近似の評価はR-square（重決定係数）を用いて行った。

2.2 推定手法

原色の推定は、推定を行いたい染織物の現在の分光反射率にモデルを適用し、紫外線照射量が0にあ

る部分を求めることで行う。以下、この染織物を推定対象と表記する。

退色モデルが、媒染剤を変えたもの、染料を変えたものなど複数ある場合、推定対象にどのモデルを用いるべきか判断しなければならない。そこでまず、複数のモデル作成に用いたサンプル群全てと推定対象を併せて主成分分析を行い、第1主成分-第2主成分平面にプロットを行う。主成分は、第1主成分から順にデータセットの分散が大きくなるような直交したベクトルである。このため、第1、第2主成分ベクトルによって張られる平面上に各主成分得点をプロットすることで、最もよくデータセットの関係を把握することができる。この平面上での判別分析を行い、推定対象がどのサンプル群に属するかを決定する。

次に、決定したサンプル群のモデルを、推定対象に適用する。適用から分光反射率推定の流れを図2に示す。

モデルと同じ平面上で対象を評価するためには、推定対象の各主成分得点と、紫外線照射量を知る必要がある。そこで、予め求められている各主成分の固有ベクトルと、モデルの作成に用いたサンプルの平均分光反射率を用いて、モデルの各主成分における推定対象の主成分得点を算出する。また、推定対象は紫外線照射量が未知であり、モデルの主成分-紫外線照射量平面にプロットできない。このため、紫外線照射量と主成分得点の変化の傾向が比例関係または単調増加(減少)の関係を示す主成分に着目し、紫外線照射量を推定する。そして、推定された照射量における推定対象の各主成分の得点を通してモデルの多項式を平行移動させる。最終的に、紫外線量を推定した主成分モデルの切片(紫外線量0の主成分得点)と、平行移動したその他の主成分モデルの切片を、原色時の主成分得点と推定する。

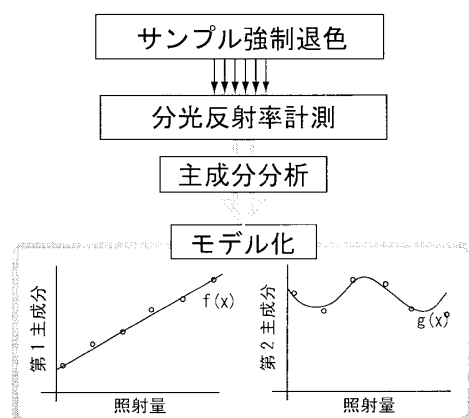


図1 モデル化の流れ

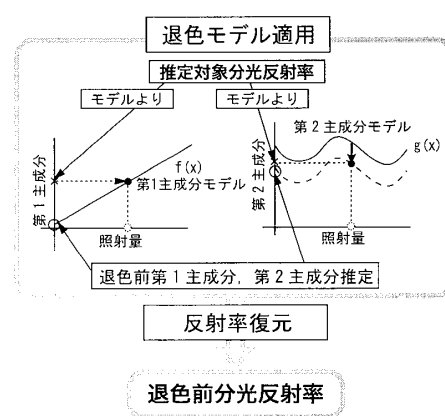


図2 分光反射率推定の流れ

主成分分析で得られた主成分ベクトルならびに主成分得点から元のデータは、データ群の平均値に各主成分ベクトルに主成分得点を重みとしてかけたものを足すことで近似される。そのため、原色の推定も同様に、得られた原色の各主成分得点をもとに(1)式より、原色の分光反射率($\hat{X}$)を推定する。

$$\hat{X} = \mu + \sum_{i=1}^k w_i Z_i \quad (1)$$

なお、 μ はモデル作成時の分光反射率の平均値、 w_i はモデルの主成分ベクトル、 Z_i はモデルの各主成分における推定対象の主成分得点である。また、 k は原色推定に用いる主成分数である。

3 実験

3.1 実験の概要

4×4cmのサンプル数点をを用い実験を行った。退色は、図3の環境で行った。試験機を、暗室内に設置し、装置内は温度25±5℃、湿度37±3%に保持した。促進試験機で使用するメタルハライドランプのフィルタ補正後の分光分布特性を図4に示す。縦軸は相対放射強度である。図4に示されるように主にUV-A域(320～400nm)に強い放射を持っている。デジタル紫外線強度計UV-340で計測したところ、サンプルの染織物を置くランプ直下の平均紫外線放射照度は約16700μW/cm²であった。熊本県宇土市での1日の平均総UVA量が660kJ/m²である[10]ため、紫外線量から単純に計算すると、本試験に用いたメタルハライドランプの促進倍率は約22倍である。

サンプルの染織物を一定時間ごとに取り出し、分光反射率をTOPCON製SR-3を用いて計測した。SR-3のスペクトル波長幅は5nmである。測定時の光源入射角は45°、反射角は0°である。SR-3での測定範囲は計測器の測定角を2°としたので、80cmの距離から

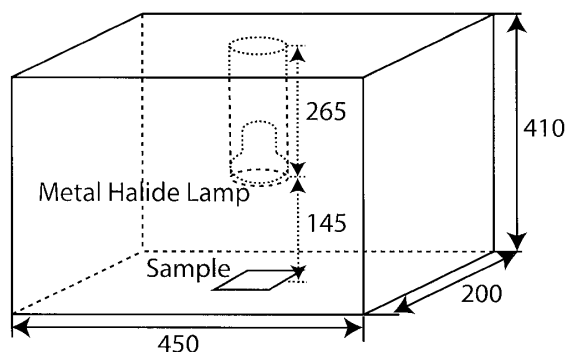


図3 促進試験機(図中の数字は全てmm)

の測定径は2.54cmとなった。なお、測定誤差を軽減するため、測定値は10回計測の平均値とした。380～780nmの間を1nmごとに計測しているため、分光反射率は1回の計測あたり401個の値を持つ。これを401次元のデータとして、主成分分析を行った。

3.2 退色過程における挙動の確認

本論文では、退色過程の分光反射率から退色モデルを作成するため、退色過程での分光反射率の挙動に再現性がなければ有効なモデルは作成できない。この再現性を検証するために、同一の布から切り取った5つのサンプルを退色させ、主成分分析を行った。布の繊維は綿、染料は槐(えんじゅ)、媒染剤は銅である。5つのサンプルのうち3つは退色試験機(メタルハライドランプ)で退色を行い、2つは太陽光で退色を行った。

サンプルの退色前の分光反射率を図5に示す。分光反射率に差があるのは、元の布にわずかな染めむらがあるためである。サンプルを代表してメタルハライドで退色したサンプル(MH lamp1)の退色過程の分光反射率を図6に、太陽光で退色したサンプル(Sun1)の分光反射率を図7に示す。主成分分析の結果は図8、図9のようになった。なお、図9中の“0”は、サンプルの退色前の主成分得点を示している。以降、第1主成分および第2主成分の軸を、PC1、PC2と表記する。

3.3 綿布による実験

3.3.1 モデル化

提案モデルの評価を行うため、実際に布を退色させ退色過程の分光反射率を用いて退色モデルを作成した。サンプルは媒染剤の異なる槐染織布で、繊維は綿である。銅系・アルミ系の2種の媒染剤で染織された布を用いた。なお、退色前のサンプルの色値は、銅媒染の染織布が(L*, a*, b*) = (53.5, 9.1, 39.9)、

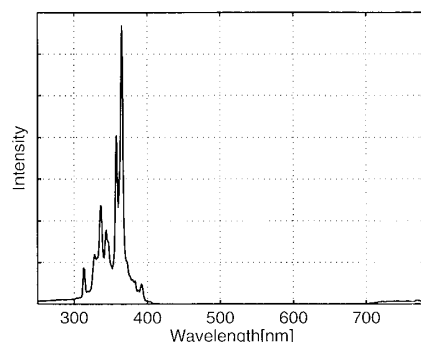


図4 使用メタルハライドランプの分光分布特性(フィルタ補正後)

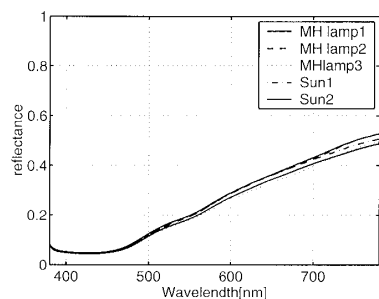


図5 退色前分光反射率(同一条件での結果の再現性)

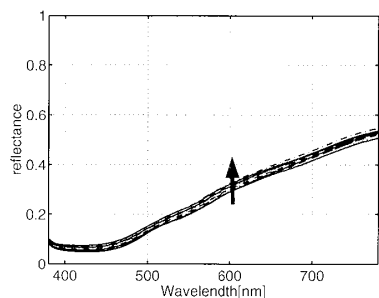


図6 メンタルハライドランプによる退色過程分光反射率(0～12時間)

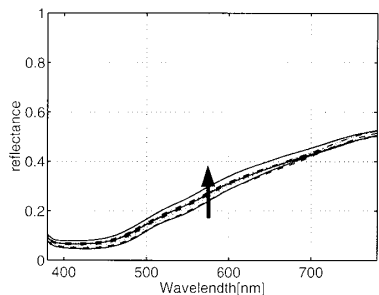


図7 日光による退色過程分光反射率(0～8日)

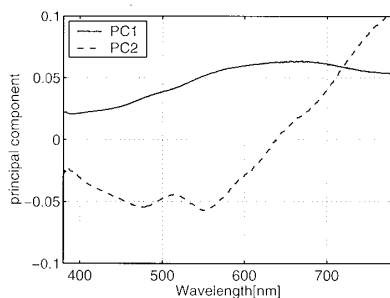


図8 固有ベクトル(挙動確認実験)

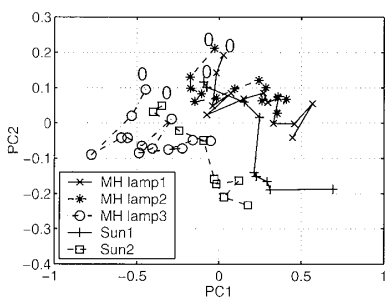


図9 主成分得点(挙動確認実験)

図中のOは退色前の得点を表す

表1 主成分分析によって得られた固有値, 寄与率, 及び累積寄与率(銅媒染槐染織物)

主成分	1	2	3
固有値	0.61	0.0048	0.0015
寄与率 [%]	98.87	0.7726	0.2479
累積寄与率 [%]	98.87	99.64	99.89

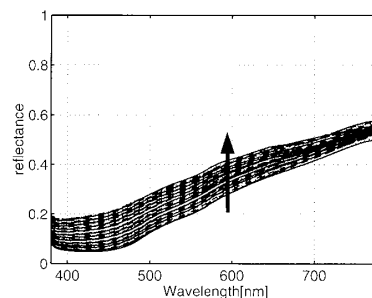


図10 退色過程の分光反射率(銅媒染槐染織物), 図中の矢印は挙動の向きを表す

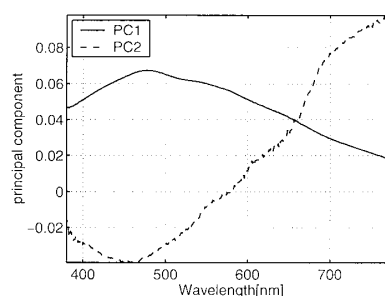


図11 固有ベクトル(銅媒染槐染織物)

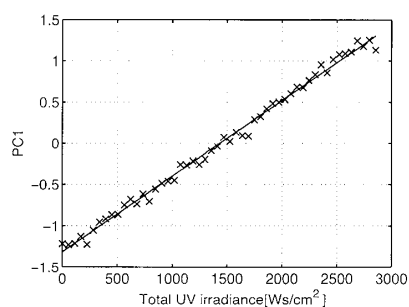


図12 第1主成分モデル(銅媒染槐染織物)

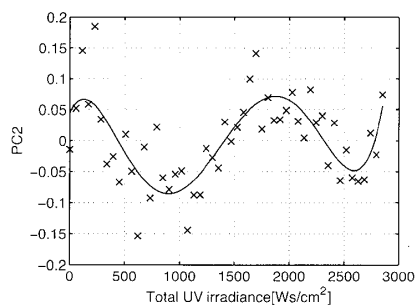


図13 第2主成分モデル(銅媒染槐染織物)

アルミ媒染のものが(L^* , a^* , b^*) = (65.4, 0.8, 38.9)であった。

まず、銅媒染槐染織物のモデルを作成した。銅媒染槐染織物を退色させ、分光反射率を52回測定した。測定結果を図10に示す。これを主成分分析を用いて解析した。固有値と累積寄与率は表1のとおりである。

図11は、第1主成分と第2主成分の固有ベクトルである。また、52個の主成分得点を、各主成分得点を縦軸、紫外線照射量を横軸としてプロットしたものを、図12、図13に表す。第1主成分は1次式で近似した。R-squareは0.99であり、良い近似であることを示している。また、多項式の次数を変えて第2主成分を近似した場合、R-squareは図14のようになった。5次のところで、増加率が大きく変化していることから5次式で近似を行った。R-squareは0.57であった。

同様に、アルミ媒染槐染織物のモデル化を行った。アルミ媒染槐染織物は退色過程で43回測定を行った。測定結果を図15、主成分分析から得られた固有ベクトルを図16に示す。表2は各主成分の寄与率である。作成した第1主成分モデルを図17、第2主成分モデルを図18に示す。次数を変えて近似した場合、第1主成分モデル、第2主成分モデルのR-squareは図19のようになった。第1主成分モデルは1次から9次まで、次数が増えてもR-squareの変化はほぼないため、1次を使用した。第2主成分モデルも変化が少ないが、4次でより変化が少なくなる。7次以降の変化量の増加は誤差を多く含んでいると考え、4次を使用した。

3.3.2 原色推定

前節で作成したモデルを用いて、原色の推定実験を行った。推定を行う布は、銅媒染槐モデルの作成に使ったものと同じ布から切り取ったものである。これを太陽光に長期間曝露した。

まず、適用するモデルの決定を行った。推定対象のサンプルは、モデル作成に用いたサンプルのどちらか

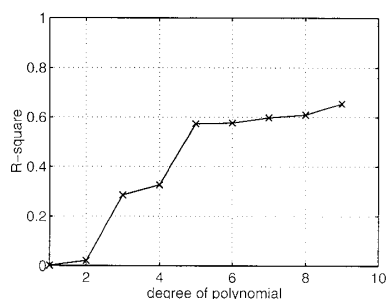


図14 次数によるR-squareの変化(銅媒染第2主成分モデル)

表2 主成分分析によって得られた固有値, 寄与率, 及び累積寄与率(アルミ媒染槐染織物)

主成分	1	2	3
固有値	0.093	0.0073	0.0014
寄与率 [%]	91.28	7.201	1.368
累積寄与率 [%]	91.28	98.48	99.85

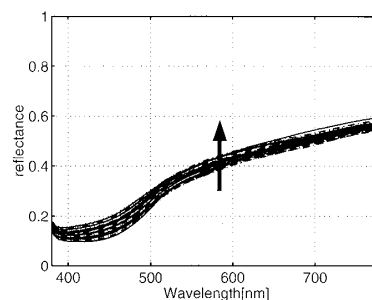


図15 退色過程の分光反射率(アルミ媒染槐染織物), 図中の矢印は挙動の向きを表す

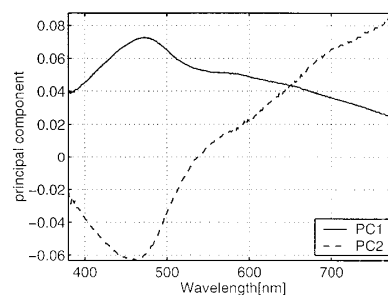


図16 固有ベクトル(アルミ媒染槐染織物)

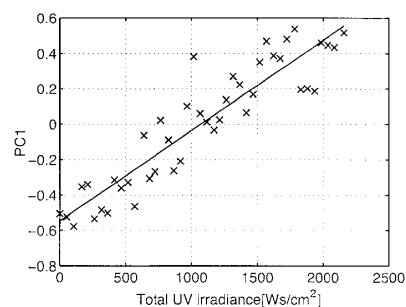


図17 第1主成分モデル(アルミ媒染槐染織物)

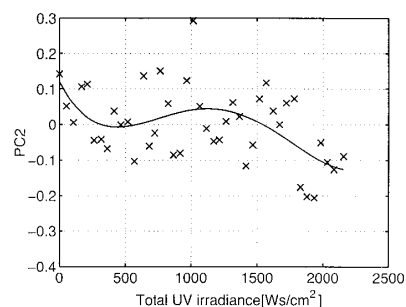


図18 第2主成分モデル(アルミ媒染槐染織物)

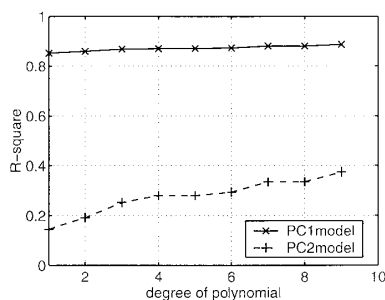


図19 次数によるR-squareの変化(アルミ媒染モデル)

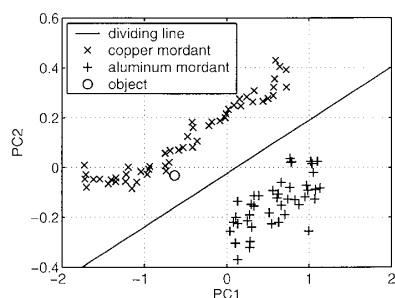


図20 クラスタリング

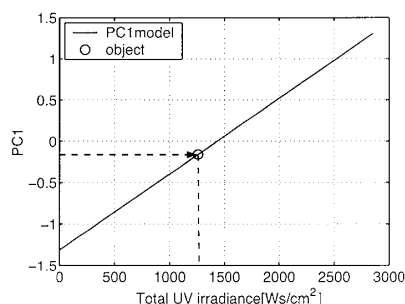


図21 対象に第1主成分モデル適用

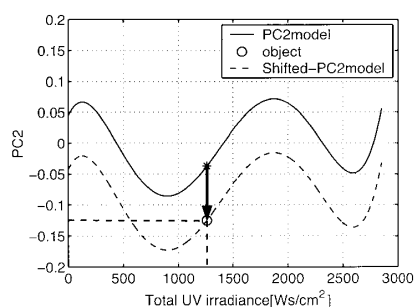


図22 対象に第2主成分モデル適用

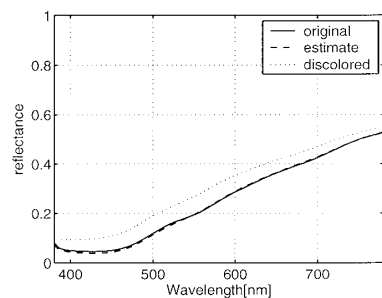


図23 反射率推定

の退色過程のどこかに近いと考えられる。そのため、モデル作成に用いた各サンプル群と、推定対象のサンプルを併せて主成分分析を行い、第1主成分-第2主成分平面上で判別分析を用いてクラスタリングを行った。これは、主成分得点を第1主成分-第2主成分平面上にプロットした場合、モデル作成に用いたどれかのサンプルの分布に近い場所に推定対象が位置すると考えられるためである。結果を図20に示す。この結果より、推定対象は銅媒染の槐染織物であると考え、モデルの適用を行った。

モデルの適用を行うために、銅媒染槐染織物モデルの固有ベクトルと平均分光反射率から第1主成分得点・第2主成分得点の算出を行った。図21のように紫外線照射量に対して比例関係であると考えられる第1主成分モデルから、対象の第1主成分の点での紫外線照射量を推定した。この場合、推定紫外線照射量は1259.27Ws/cm²となる。推定された照射量および第2主成分の得点に対して、第2主成分モデルを縦軸方向にシフトして適用した。結果を図22に示す。なお、図20、21および22中の○が、原色推定を行う対象を示しているが、図20では適用するモデルの決定のために、モデル作成に用いた全サンプルと合わせて主成分分析を行っており、また、図21、22では決定されたモデルのサンプル群とのみ合わせて主成分分析を行っているため、計算された主成分得点は異なっている。

第1主成分モデル、シフトした第2主成分モデルの紫外線照射量が0の時の各主成分の得点を用いて、分光反射率を復元した。実際の退色前分光反射率と、復元した分光反射率、推定対象(退色後)の分光反射率とを図23に示す。同様に、退色度の異なる10の推定対象から原色を復元し、予め計測しておいた分光反射率との差をL*a*b*, L*u*v*表色系で評価した結果、平均L*a*b*色差は1.300であり、平均L*u*v*色差も1.300であった。

3.4 絹布による実験

現存する文化財の多くは絹で作られている。そのため、綿だけでなく絹での原色推定が求められている。絹のモデルを作成する際に想定される綿との違いは、絹の持つ蛍光特性である[11]。本節では、絹の蛍光特性を加味しながら提案手法を絹のサンプルに適用し、原色推定を行った結果を示す。なお、退色前のサンプルの色値は(L*, a*, b*) = (85.1, -14.0, 65.7)であった。

3.4.1 モデル化

実験には、黄蘗染めアルミ媒染の布を使用する。絹布は強制退色過程で51回計測した。強制退色時の分光反射率変化を図24に示す。この結果を用いて、まず綿と同様にモデルを作成した。絹では、第3主成分を使用することも考え、第3主成分のモデルも作成する。主成分分析から得られた固有ベクトルを図25に、第1、第2主成分の平面上にサンプルの得点をプロッ

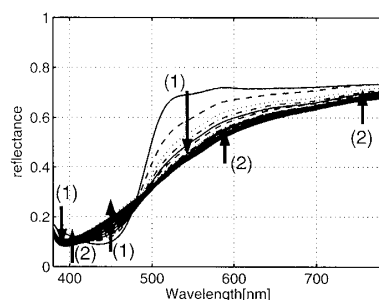


図24 退色過程の分光反射率(アルミ媒染黄蘗染絹) 図中の矢印は(1)は初期の挙動、(2)は後の挙動を表す

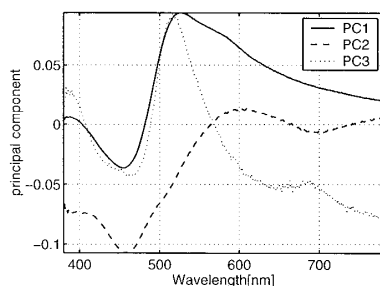


図25 固有ベクトル(アルミ媒染黄蘗染絹)

表3 主成分分析によって得られた固有値、寄与率、及び累積寄与率(アルミ媒染黄蘗染絹)

主成分	1	2	3
固有値	0.26	0.019	0.0024
寄与率 [%]	92.07	6.876	0.8663
累積寄与率 [%]	92.07	98.95	99.81

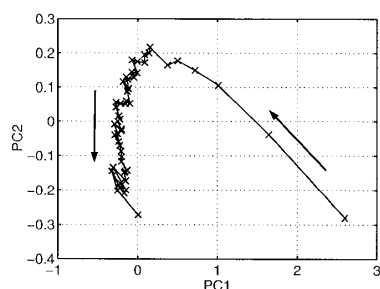


図26 主成分得点(アルミ媒染黄蘗染絹), 図中の矢印は挙動の向きを表す

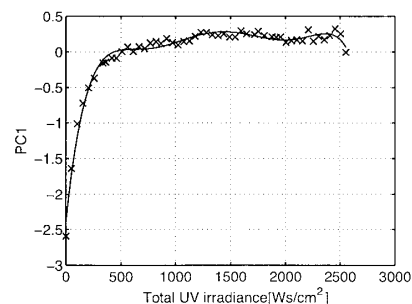


図27 第1主成分モデル(アルミ媒染黄蘗染絹)

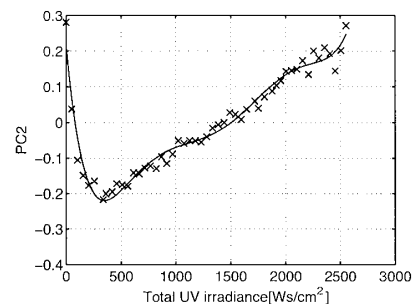


図28 第2主成分モデル(アルミ媒染黄蘗染絹)

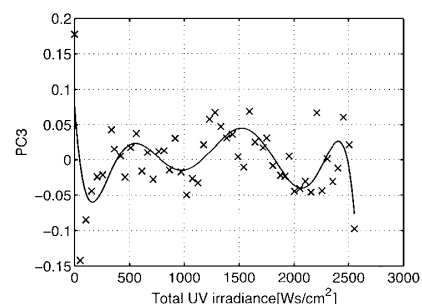


図29 第3主成分モデル(アルミ媒染黄蘗染絹)

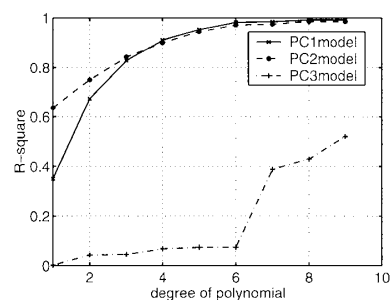


図30 次数によるR-squareの変化(アルミ媒染黄蘗染絹モデル)

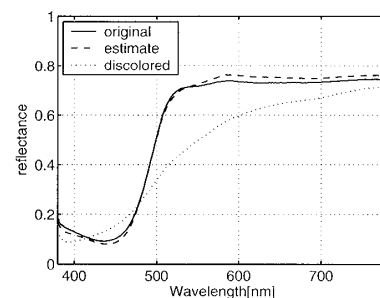


図31 反射率推定

トしたものを図26に示す。表3は各主成分の寄与率である。作成した第1, 第2, 第3主成分モデルを図27, 28, 29に示す。また、各主成分において近似多項式の次数を変化させたときのR-squareの変化を図30に示す。R-squareの変化より第1, 第2主成分モデルは6次で、第3主成分モデルは7次で近似した。

3.4.2 原色推定

図27のように第1主成分モデルは1000Ws/cm²以降ほぼフラットになっており、紫外線照射量が推定できないが、図28に示される第2主成分モデルは400Ws/cm²以降がほぼ線形になっている。原色推定が求められる染織物は、400Ws/cm²以上の紫外線を浴びたものであると考え、この部分を用いて紫外線照射量の推定を行った。

推定した分光反射率、退色前の分光反射率、推定対象(退色後)の分光反射率を図31に示す。L*a*b*表色系での色差は3.4, L*u*v*表色系での色差は3.7であった。

4 考察

4.1 挙動確認

図8を見ると、第1主成分ベクトルは全体になだらかな値をとっている。第2主成分は短波長側と長波長側で大きく変化しており、470nm付近で最小値をとる。このことから、第1主成分得点の増加は全体的な反射率の増加を表していることが分かる。反射率が増加すると色は白に近づく。つまり第1主成分ベクトルは、明度の上昇を表していると言える。一方、第2主成分得点の増加は、長波長域の増加と470nm付近の減少を表している。全てのサンプルで、紫外線照射量が増加するにつれて第1主成分得点は増加し、第2主成分得点は減少している。メタルハライドランプと日光では細かな挙動は異なるが、サンプリングの頻度が一定でないため、その原因について述べることは難しい。また、メタルハライドランプによる退色では湿度・温度共に保たれているが、日光による退色ではそれらのパラメータについて考慮を行っていない。このため、細かな挙動の違いが現れたと考えられる。

4.2 綿布による実験結果について

4.2.1 モデル化

図12のように、第1主成分得点は、時間と線形の関係になっている。図11に示されるように第1主成分ベクトルは全体的に高い値を持ち、第1主成分の増加は染織物の全体的な明度の変化を示唆している。つ

まり、第1主成分モデルは、明度と紫外線照射時間の線形な関係をモデル化したものと言える。一方、第2主成分得点は図13のように、時間軸に対し大きく上下に波打っている。図11に示されるように第2主成分ベクトルは短波長と長波長で大きく変化していることから、第2主成分の値の変化は、短波長側のみか長波長側のみで大きな変化が起こったことを表している。このため、この波は退色の過程で長波長側のみや、短波長側のみでの変化が定期的に起こっていることを表していると思われる。退色時の様子を知るためには興味深い指標である。

アルミ媒染槐染織物のモデルについては、図17, 18に見られるように、第1主成分得点、第2主成分得点共に、時間軸に対してばらつきが大きい。図16に示される第1主成分ベクトルは、全体になだらかな値を持っており、銅媒染の場合と同様に明度を示唆している。第2主成分ベクトルは短波長域が負、長波長域が正の値になっており、470nm付近に最小値をもつ。銅媒染の場合に比べ多少のばらつきはあるが、アルミ媒染でも第1主成分モデルは明度と紫外線照射時間の線形な関係を表し、第2主成分モデルは、紫外線照射時間が変化した際の、470nm付近での変化を表していると考えられる。

4.2.2 原色推定

図23に示すように、復元した分光反射率はほぼ同じになっており、復元した色もほぼ同一となっている。

また、10個のサンプルの退色前の分光反射率との平均色差はL*a*b*, L*u*v*ともに1.3となった。工業用に用いられる色差の評価では、1.3の色差は、実用色差の範囲内である。元の染布の染色の精度を考慮すれば、十分満足できる結果と言える。

4.3 絹布による実験結果について

4.3.1 モデル化

第1主成分が図27のように1000Ws/cm²以降フラットになっているのは、退色初期に大きく変化する蛍光特性を表したモデルであるためと考えられる。また、第2主成分は図28に見られるように、退色初期に大きく変化し、その後線形に変化している。図32のように綿のサンプルと共に主成分分析を行うと、綿のみの主成分分析では第1主成分であったベクトル、すなわち明度変化を表していたベクトルが、絹の第2主成分ベクトルと同方向に現れる。このことから、第2主成分は蛍光の影響を受けた明度変化ではないかと予想される。第3主成分得点は、図25のように530nm付近

に顕著なピークを持つ。物理的な意味合いは不明だが、ピークが黄蘗の蛍光ピークとほぼ同一であることを考えると蛍光の影響を表していると考えられる。

4.3.2 原色推定

図31に示すように分光反射率はほぼ復元できている。色差は綿に比べると大きい。経時比較するとほぼ同等と認められるレベルであり、不明なものを復元した値としては十分であると考えられる。サンプルが少ないが、蛍光を持つ推定対象に対しては、第2主成分を用いて紫外線量の推定を行うことで原色推定が可能であることを示した。

4.4 分光反射率データ群への主成分分析の適用に関して

本研究では、退色した染織物の原色推定のために、退色過程をモデル化するにあたり分光反射率データ群に主成分分析を用いて解析を行った。これは、染色物の色が、繊維、染料、媒染剤の構成要素からなっており、蛍光のような性質を使われている構成要素が持っている場合、退色過程において複雑な分光反射率の変化を示すことが考えられたためである。実際、絹を対象とした実験では効果があった。

しかしながら、図10や図15に示したように、実験に使用したサンプルの退色過程における分光反射率の変化の挙動は比較的単純なものとなった。これらの分光反射率データ群に関しては、主成分分析ではなくもっと簡単な解析方法の導入も考えられる。今後、様々な染色物での実験を行いながら、解析手法の検討を行う必要があると思われる。

また、本研究では、使用した計測器の関係で可視光域の分光反射率のみを用いて、モデル化、原色推定を行ったが、可視光域以外の紫外線域や赤外線域も利用することで、さらに推定の精度を高められる可能性もある。今後、可視光域以外も含めた検討を行いたい。

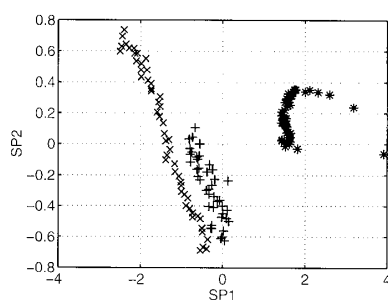


図32 綿、絹の主成分得点

4.5 モデル化手法および原色推定手法に関して

退色過程のモデル化において、本研究では得られた主成分得点の紫外線照射量に対する変化を多項式で近似し、R-squareで近似の評価を行った。本論文では、多項式の次数をR-squareの変化により決定したが、これは理論的に原色の再現性が良くなると思われる最低の次数を決めるためである。しかしながら、色再現の観点から考えると、多項式の次数はもっと低くても十分に原色を推定できる可能性もある。モデルの次数については今後検討を行いたい。

また、原色推定において、紫外線照射量と比例関係にある主成分から紫外線照射量を決定し、その値をもとに他の主成分のモデルをシフトさせ補正を行った。第2主成分以降の寄与率は小さく、主成分のモデルをシフトさせても推定精度にはそれほど大きな影響は与えないが、補正を行わない場合、全てモデルを作成したサンプルと同じ色になってしまう。本論文では、原色は異なるが退色過程は同じであるという仮定に基づき、モデルをシフトさせる方法を用いたが、モデルの補正方法についてはさらなる検討が必要である。

5 結論

本論文では、文化財のデジタルアーカイブ化などに用いるために、染織物の退色過程のモデルを作成して原色推定を行う手法を提案した。分光反射率計測は推定対象の劣化・退色をあまり進ませず、簡便に計測可能である。また、実用に耐えうる色差で推定出来たことから提案した手法は有用と考えられる。本手法の利用により、今まで経験によって直感的に得られていた染織物の原色を、数値的に知ることが可能になる。さらに推定された原色から、より深い染織物の学術研究や、正しい色彩でのレプリカやデジタルアーカイブの作成が可能になると思われる。

今後は、可視光・湿度・温度による影響は変化の仕方を変えるのか、変化のスピードを変えるのかの検証と、それを用いたより実際の退色状況に沿ったモデルの作成が必要である。また、より多くの実験から染織物の構成要件ごとの退色の仕方の共通項を見つけることも今後の課題である。

謝辞

本研究にあたり、協力いただいた大阪歴史博物館の中野朋子氏に感謝する。また、実験に用いた絹サン

プルの染色をしていただいた嬉染居谷尾允康氏に御礼申し上げます。

付記：本研究の一部は、日本色彩学会画像色彩研究会2005年度研究発表会にて研究発表[12]を行った。

参考文献

- [1] 笠作奈樹, 霜鳥真意子, 河本康太郎, 齋藤昌子. 天然色素染色布の変退色に及ぼす光源と湿度の影響. 文化財保存修復学会誌, Vol.45, pp.1-11, 2001.
- [2] 霜鳥真意子, 河本康太郎, 齋藤昌子. 各種蛍光灯による天然色素染色布の変退色への影響に関する比較検討—同一照度による評価—. 照明学会誌, Vol.87, No.2, pp.85-89, 2003.
- [3] 齋藤昌子, 後藤純子, 柏木希介. 天然染料(草木染め)染色布の変退色に及ぼすNO₂ ガス濃度の影響. 古文化財の科学, Vol.39, pp.67-74, 1994.
- [4] 齋藤昌子. 染織文化財の材質・技法の解明と保存・管理. 繊維学会誌, Vol.55, pp.222-225, 1999.
- [5] 下山進, 野田裕子. 光ファイバーを用いる三次元蛍光スペクトルによる古代の“緑”の染織物に使用された染料の同定. 分析化学, Vol.46, pp.791-799, 1997.
- [6] 松田泰典. 黄色系天然染料の三次元蛍光スペクトル測定による非破壊染料分析. 文化財保存修復学会誌, Vol.41, pp.54-63, 1997.
- [7] 佐々木良子, 佐藤昌憲, 肥塚隆保, 河合貴之, 前川善一郎, 佐々木健. 反射分光分析法による文化財染織品に用いられた天然染料の同定. 考古学と自然科学, Vol.40, 41, pp.1-15, 2000.
- [8] 松田泰典. 色料ベルベリンの染色挙動と光退色について. 古文化財の科学, Vol.31, pp.24-31, 1986.
- [9] 日本試験機工業会規格メタルハライドランプ方式試験機. 日本試験機工業会, 2000.
- [10] 植木肇, 福島宏暢. 熊本県宇土市におけるA領域およびB領域紫外線量(1999-2000). 全国環境研会誌, Vol.27, No.3, pp.171-177, 2002.
- [11] 下山進, 野田祐子. 三次元蛍光スペクトルによる古代染織遺物に使用された染料の非破壊同

定法の再検討. 分析化学, Vol.43, No.6, pp.475-480, 1994.

- [12] 佐々木望, 長縄美香, 眞鍋佳嗣, 千原國宏. 染色物の退色過程のモデル化と原色推定. 日本色彩学会画像色彩研究会2005年度研究発表会論文集, pp.67-72, 2006.

(投稿受付日：2006年5月2日)

(掲載決定日：2007年5月10日)

著者紹介



ささき のぞみ
佐々木 望

1980年9月9日生

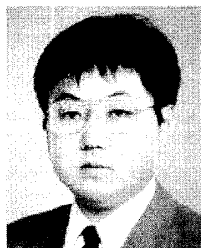
2006年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科。修士(工学)。日本色彩学会, 情報処理学会。現在, 株式会社リコー



ながさわ みか
長縄 美香

1976年4月1日生

2004年東京大学複雑理工学専攻。博士(科学)。日本生体医工学会, 日本核医学会, 計測自動制御学会, IEEE。現在, 東京都老人総合研究所・日本学術振興会特別研究員PD。



まなべ よしつぐ
眞鍋 佳嗣

1969年1月9日生

1995年大阪大学基礎工学研究科。博士(工学)。日本色彩学会, 電子情報通信学会, 情報処理学会, システム制御情報学会, IEEE。現在, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科准教授



ちはら くにお
千原 國宏

1945年5月14日生

1973年大阪大学基礎工学研究科。博士(工学)。システム制御情報学会, 日本超音波学会, 日本バーチャルリアリティ学会, IEEE等。現在, 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授