

錦絵資料の測色値画像データベースの構築と色彩分析の試み

鈴木卓治	国立歴史民俗博物館
安達文夫	国立歴史民俗博物館 / 総合研究大学院大学
大久保純一	国立歴史民俗博物館 / 総合研究大学院大学
小林光夫	電気通信大学情報通信工学科

Construction of a Database of Colorimetric Images of “*Nisikie*” and Analysis of Colors in the Images

SUZUKI, Takuzi	National Museum of Japanese History
ADACHI, Fumio	National Museum of Japanese History / The Graduate University for Advanced Studies
ÔKUBO, Junichi	National Museum of Japanese History / The Graduate University for Advanced Studies
KOBAYASI, Mituo	The University of Electro-Communications

Abstract

現在、国立歴史民俗博物館が所蔵する錦絵コレクション(約 2,300 枚)を対象に、資料をデジタルカメラで撮影し、これを測色値画像に変換し、画像データベースを構築することを試みている。歴史文化情報の発信に寄与するとともに、人文情報の科学的な分析を試みる研究者のためのサンプルデータとしての活用が期待できる。

本稿では、デジタルカメラの撮影画像から測色値画像を得るための具体的な手順を示す。また、データベース利用の一例として試みた、錦絵画像の色彩分析について述べる。

1. はじめに

博物館の資料は、研究や展示に積極的に利用すると同時に、大切に保存していかなければならない。この背反する要求を満たすには、資料の画像を撮影して利用するのが有効である。

これまで、銀塩フィルムが画像記録の役割を担ってきたが、近年、デジタルカメラが急速に普及し、フィルムに迫る能力をもつにいたっている。デジタルカメラは、フィルムに比べて、色情報をより正確に記録する能力がある[1]ので、積極的に利用したい。ただしいまのところ、デジタルカメラの撮影画像は、色情報が機械依存の値で記録されているので、そのままでは記録に耐えない。これを、色の測定器で計ることのできる、機械独立の、国際的な標準規格に準拠した色値表現に変換しなければならない。こうして得られる画像を測色値画像(colorimetric image)と呼ぶことにする。

デジタルカメラを利用して絵画資料等の測色値画像を撮影する試みが各所でなされている(MARCプロジェクト[2]など)。インターネット時代に博物館がなすべき情報サービスを考えるとき、資料の測色値画像の作成と公開は、必須の業務となるであろう。

現在、国立歴史民俗博物館が所蔵する錦絵コレクション(約 2,300 枚)を対象に、資料をデジタルカメラで撮影し、これを測色値画像に変換し、画像データベースを構築することを試みている[3]。歴史文化情報の発信に寄与するとともに、人文情報の科学的な分析を試みる研究者のためのサンプルデータとしての活用が期待できる。

本稿では、デジタルカメラの撮影画像から測色値画像を得るための具体的な手順を示す。また、データベース利用の一例として試みた、錦絵画像の色彩分析について述べる。

はじめに、記録すべき色情報とその意味について説明する。つぎに、デジタルカメラによる錦絵資料の撮影について、撮影環境、撮影の手順、および測色値画像を得る方法を述べる。さいごに、錦絵の色情報を抽出して、マンセル色空間上でその分布を観察し、計量すべき特徴量の検討を行なった結果について報告する。

本研究の一部は、総合研究大学院大学共同研究「数量的手法による美術様式論の再構築」(平成 13 年度～15 年度)の一環として実施された。

2. 記録すべき色情報とは

2.1 色刺激値と知覚色

人間の眼に入った光は、網膜上の視細胞に色の刺激を与える。視細胞はこの刺激を信号(色刺激値)に変えて脳に送り、脳による複雑な情報処理の結果、外界の情景が色彩画像として知覚される。記録すべき色情報とは、この人間が見ている色の画像、すなわち知覚色画像である。

色刺激値は、色を表わすものとなる情報ではあるが、眼に見える色そのものを表わすものではない。色刺激値と知覚される色との関係は単純ではない。人間の色彩情報処理のメカニズムはいまだ不明の部分が多く、一般の観測条件下での知覚色の推定は難しいのが現状である。

1931年にCIE(国際照明委員会)によって勧告されたXYZ表色系^[4]は、与えられた光から色刺激値(XYZ三刺激値¹⁾)を計算する標準的な方法として用いられる。XYZ三刺激値を計測する測色器も存在する。

そこで、知覚色画像のかわりに、XYZ三刺激値の画像、すなわち測色値画像を記録し保存しておくことにする。測色値画像が、画像を見る環境を含めて正しく再現されれば、それを見た人間は常に同じ知覚色画像を知覚するはずである。

デジタルカメラの撮影画像は、色刺激値(多くはRGB値で表わされている)の画像ではあるが、測色値画像ではない。そこで、RGB値とXYZ三刺激値の対応関係を調べ、RGB値をXYZ値に変換するための色値変換関数を作成することによって、はじめて測色値画像を得ることができる。

2.2 光源色と物体色

色の感覚は光によってもたらされる。すなわち、光がなければ色は見えない。しかし、人間は物体を見るとき、光を見ているとは思わず、“物に色がついている”と認識する。じっさいには、物体に反射した光や、物体を透過した光を見ているので、“物の色”は、物体がもつ反射や透過の特性と、物体を照らす照明光の特性とによって決まる。

XYZ表色系は、色刺激値の表わし方を2種類定めている。一つは、光の色として見たときの“光源色”としての表わし方であり、もう一つは、物の色として見たときの“物体色”としての表わし方である。XYZ表色系では、物体色は、完全拡散反射面²を基準にして光源色の色刺激値を相対化³した値として計算される。すなわち、物体色の色刺激値は、照明光の強さによらず定まる。

デジタルカメラの撮影画像から得られる測色値画像のXYZ三刺激値は、光源色の色刺激値である。物体色の色刺激値を求めるためには、物体の各点における照明の照度と、相対化の基準となる、視感反射率が既知の参照色票の情報が必要である。

錦絵は、平面であることと光沢をもたないことから、物体色色刺激値の画像を安定して記録することができる対象といえる。陶磁器、金属、染織品のように、立体的な形状をもつもの、光沢の強いもの、見る角度によって大きく色が変わって見える対象では、照明の当て方や、どの方向から撮影するか、などの決定が難しく、そもそも物体色としての記録が妥当であるかどうか検討を要する場合もある。詳しくは文献^[5]の論考を参照されたい。

2.3 色順応と参照白

人間の色の見えには、色恒常という特徴がある。これは、白熱電球のような赤い(相関色温度⁵の低い)光でも、曇天時の外光のような青めの(相関色温度の高い)光でも、白い物体は白く見え、色つきの物体

¹XYZ三刺激値のうちY値は人間の明暗の感覚に相関する量として定義されている。

²入射光を100%反射し、かつ面上の輝度がどの方向から見ても同一であるような平面。

³完全拡散反射面の物体色色刺激値がY=100となるように相対化する。

⁴人間の明暗の感覚にもとづく物体の反射率。物体色のXYZ三刺激値のうちY値は視感反射率に一致する。

⁵同じ色の光を発する黒体(すべての光を吸収する物質)の温度で光の色を表わす方法。単位はK(ケルビン)。低いほど赤く、高くなるにつれ青くなる。

もほぼ同じような色に見える現象である。

それぞれの照明条件下で同じ物体の光源色を測定すると、その三刺激値はまったく異なる。にもかかわらず同じ色に見える、ということは、白が白く見えるようなある種の色値変換が行なわれ、照明の種類によらず同じ知覚色画像を作成するようなメカニズムが人間の脳に存在する、と考えられる。

異なる照明のもとで、同じ色の見えを与える XYZ 三刺激値の組を求める方法のひとつとして、von Kries 変換が知られている。それぞれの照明下での白色点⁶が与えられると、照明間における von Kries 変換がひとつ定まる。

CIE が 1976 年に勧告した、物体色の表記法である $L^*a^*b^*$ 色空間および $L^*u^*v^*$ 色空間[6]は、色恒常性を考慮しており、XYZ 三刺激値と $L^*a^*b^*$ 表色値および $L^*u^*v^*$ 表色値との間の変換は、白色点をパラメータに与える必要がある⁷。

錦絵の測色値画像を広く利用に供するためには、白色点が標準の光⁸のそれに一致するように変換してやる必要がある。今回は D_{65} 光⁹の白色点に変換した画像を作成した。

3. デジタルカメラによる錦絵の撮影と色値の推定

3.1 撮影環境について

錦絵資料の撮影環境を図 1 に示す。中央に見えるコピースタンドに被写体(錦絵画像および色票)を置き、上方からデジタルカメラにより撮影する。照明は2灯のストロボ光源(フラッシュキセノンランプ)により与え、デジタルカメラからのシンクロ信号により発光させる。(図 1 では天井の蛍光灯が点灯しているが、撮影時には消灯する。)機器の設定および撮影の作業は、写真技術の専門教育を修めたプロカメラマンが行なっている。

デジタルカメラとしてコダック社 Kodak DCS ProBack を用いた。これは、商業写真等の撮影を想定して作られたプロ向けの製品である。それ自体はレンズやボディをもたず、市販の中判カメラにフィルムバックの代わりに装着して用いる。ボディには Mamiya RZ67 ProII を用い、レンズは Mamiya SEKOR Z 50mm F4.5W を用いた。Kodak DCS Proback はパーソナルコンピュータ(Apple PowerBook G4)から制御され、コンピュータ側からの指令によってシャッターが切られる。撮影された画像はただちにコンピュータに転送され、独自の画像フォーマットでハードディスクに格納される。画像サイズは 4072×4072 画素である。画像データは RGB 各 12 ビットの情報を持ち、専用ソフトウェアにより一般の画像フォーマットに変換することができる。とくに、コントラスト強調などの処理が施されていない raw 出力を、RGB 各 16 ビットの TIFF 形式画像として取り出すことができる。今回はこの形式の画像から、測色値画像を求めた。

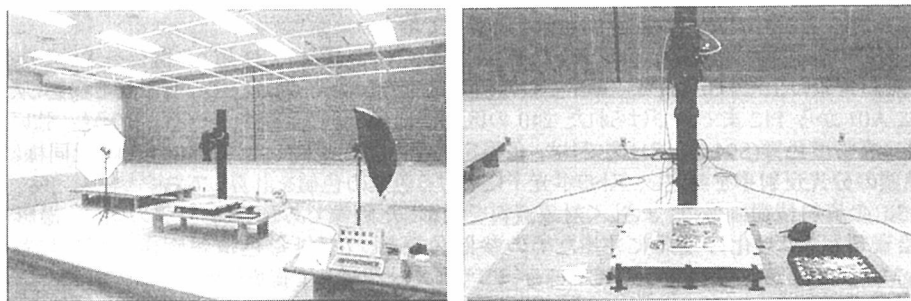


図 1 撮影環境の設定

⁶(その照明下での)完全拡散反射面の物体色値。このとき常に $Y=100$ となるので、 xy 色度座標(XYZ 三刺激値から計算される、明暗によらない色刺激値の性質を示す値)で表わされることもある。

⁷白色点は常に $(L^*, a^*, b^*)=(100, 0, 0)$ および $(L^*, u^*, v^*)=(100, 0, 0)$ に移される。

⁸CIE が定めている、物体色を求めるときの標準となる光。相対分光分布により規定される。

⁹標準の光のうち、相関色温度が約 6500K の光。

ストロボとして、電源部にコメット社製 CB-2400(出力 2400Ws)を、発光部に CLX-25 mini G(クリアタイプのガラスグローブつき)を用いた。これもプロ用の機材であり、発光ごとの光量のばらつきがほとんどない(カタログ値で誤差±0.03EV 未満)。光はアンブレラで拡散して資料に照射する。アンブレラは紫外光成分を取り除く働きも担っている。強力な光を遠方から低角度で照射することによって、照明ムラを極力排するよう心がけた。また、発光量の安定を考慮して、撮影間隔を2分以上に設定し、十分な充電時間を確保するようにした。ストロボの相対分光分布を図2に示す。測定には PhotoResearch 社製の分光放射輝度計 PR-704 を用いた。このストロボの白色点は $(X,Y,Z)=(96.096,100,94.064)$ 、色温度は 5556K であった。

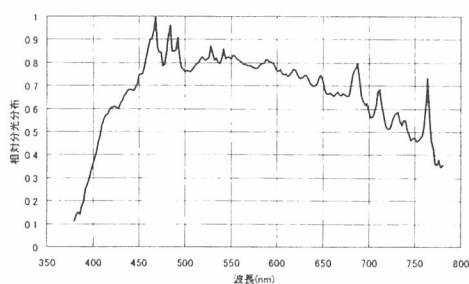


図2 ストロボ光の相対分光分布

3.2 撮影する画像について

撮影する画像は図3に示す4種類である。すべての画像は同一の照明条件で撮影する。これらの図において、照明は画像の左右からなされている。

図3aの照明ムラ情報画像は、撮影面上の照度情報を記録するために撮影する。光沢のない中程度の均一な無彩背景が適している。図には灰色の色画用紙を用いた例が示されているが、のちに写真撮影の背景等に用いられる堀内カラー製 NEW カラーペ(202番メジウムグレー)を用いた。こちらのほうが灰色としての均一性に優れている。

図3bの無彩色情報画像は、デジタルカメラにおける、無彩色の Y 値と RGB 値との関係を求めるために撮影する。無彩背景の上に、GretagMacbeth 社製の色票集である ColorChecker(ミニサイズ)を載せて撮影した。この色票集には 24 枚の色票が収録されているが、そのうち 6 枚の無彩色票を利用する¹⁰。この画像からは、色票はあらかじめその分光反射率をミノルタ製 CM-2600d で測定¹¹し、ストロボ光の相対分光分布を用いて、物体色の XYZ 三刺激値を計算しておく。

図3cの有彩色情報画像は、デジタルカメラにおける XYZ 値と RGB 値との関係を求めるために撮影する。無彩背景の上に、GretagMacbeth 社製の色票集である ColorCheckerDC を載せて撮影した。この色票群は A01 から T12 まで名づけられた 240 の区画の上に色票が配列されている。このうち、強い光沢をもつ 8 枚の高彩度色票(S04からS11まで)は、色推定に用いないようにした。ColorCheckerと同様に、あらかじめ色票の分光反射率を測定し、ストロボ光下における色票の色値を計算しておく¹²。

図3dの資料情報画像は、まさしく対象資料を撮影した画像である。無彩背景の上に、撮影対象である錦絵資料と、相対化の基準にするための参照色票として、無彩色情報画像の撮影にも用いた、GretagMacbeth 社製の色票集 ColorChecker(ミニサイズ)とを載せて撮影した。

¹⁰色値の推定に使用する色票は、なるべく無光沢のものが望ましい。とくに低明度の色票では光沢による“てかり”が大きく、接触型の測色器で得られる色値と、実際の照明環境下で色票をカメラ方向からみたときの色値との差は、無視できない量になる。

¹¹ メーカーより公開されている分光反射率とほぼ同じであったので、そちらを使っても差し支えない。

¹² メーカーは、色票の D₅₀照明下における 2 度視野 XYZ 物体色値を公表している。これを用いて色推定を行っても、推定誤差はほぼ同じであった。

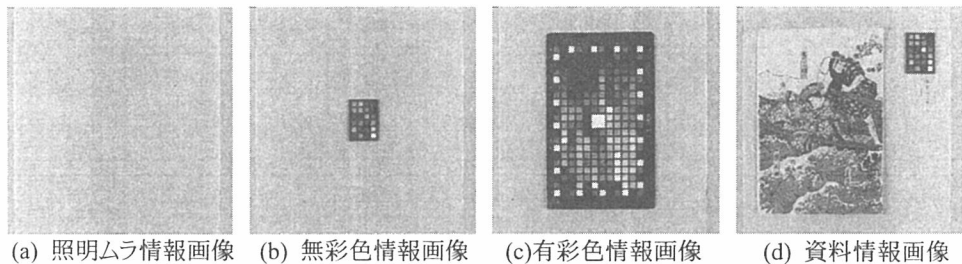


図3 撮影する4種類の画像

錦絵の色推定に直接必要なのは、照明ムラ情報画像と資料情報画像である。無彩色情報画像と有彩色情報画像は、色値推定関数を求めるために必要となる。

一日当たりの撮影量は 100～110 カット程度である。最初に、照明ムラ情報画像、無彩色情報画像、有彩色情報画像を撮影する。照明ムラ情報画像における適正露出値を基準(0EV)として、絞り値を変えて¹³、それぞれの画像について、0EV, ±1/2EV, ±1EV の計5つの露出値で、合わせて 15 カット撮影する。ついで、錦絵資料約 30 枚分について、各資料ごとに、資料情報画像を、露出値を 0EV、および±1/2EV として、計3枚撮影する。撮影に用いている部屋は、ふだん資料の熟覧に利用しており、撮影環境を恒常的に組み上げておくことができない。そのため、少なくとも照明ムラ情報画像は、撮影機会ごとに取り直す必要がある。無彩色情報画像と有彩色情報画像は、毎回撮影の必要はないが、カメラおよび照明の経時変化の検出とデータの補正に備えて撮影している。

撮影した錦絵画像から錦絵の部分のみをトリミングすると、Photo CD の BASE16 画像(2048×3072 画素)とほぼ同じサイズ(約 2200×3200 画素)のデジタル画像が得られる。錦絵のほとんどは A3 大より一回り小さいぐらいの大きさ(24～26cm×35～38cm)なので、およそ 220dpi 程度の解像度をもつ計算になる。通常の研究利用には十分であろう。

3. 3 測色値画像を求める手順

撮影した資料情報画像から、測色値画像を求める手順を以下に示す。なお、無彩色情報画像および有彩色情報画像を用いて、RGB 値から XYZ 値を求める色値変換関数を作成する方法については、文献[3]を参照されたい。また、文献[5]には、色値変換関数の簡便な作成法が紹介されている。

- (1) 資料情報画像に RGB→XYZ 色値変換関数を適用し、照明ムラを含む XYZ 値画像を作成する。
- (2) 照明ムラ情報画像に RGB→XYZ 色値変換関数を適用し、照明ムラ情報を表わす Y 値画像を作成する。(X と Z の値は不要。)
- (3) (1)の画像の各画素の XYZ 値を、(2)の画像の対応する画素の Y 値で割り、照明ムラを除去した XYZ 値画像を作成する。
- (4) (3)の画像に写しこまれた無彩色票の Y 値がその色票の視感反射率に一致するように、画像の XYZ 値を相対化して、物体色の XYZ 値に変換した画像を作成する。
- (5) 白色点をストロボ光から D₆₅光に移す von Kries 変換により、(4)の画像の XYZ 値を変換し、最終的な測色値画像を得る。

元の撮影画像と、そこから得られた測色値画像を図 4 に示す。もとの画像では絞り値を変えて撮っているため画像の暗い明るいがあるが、測色値画像はまったく同じ明るさになっていることがわかる。

2003 年 7 月に資料の撮影を開始し、2004 年 2 月末までに 3000 カット、約 900 枚の錦絵資料の撮影を行なった。撮影は現在も継続中であり、2006 年度末までにすべての錦絵資料の撮影を終える予定である。

¹³ ストロボの発光時間は極めて短い(1 万分の1秒ないし 10 万分の1秒のオーダー)ので、シャッタースピードによって露出値を制御することはできない。また、ストロボの光量を変化させると、分光分布が変わる恐れがあるので、今回はもっぱら絞り値によって露出値を制御した。

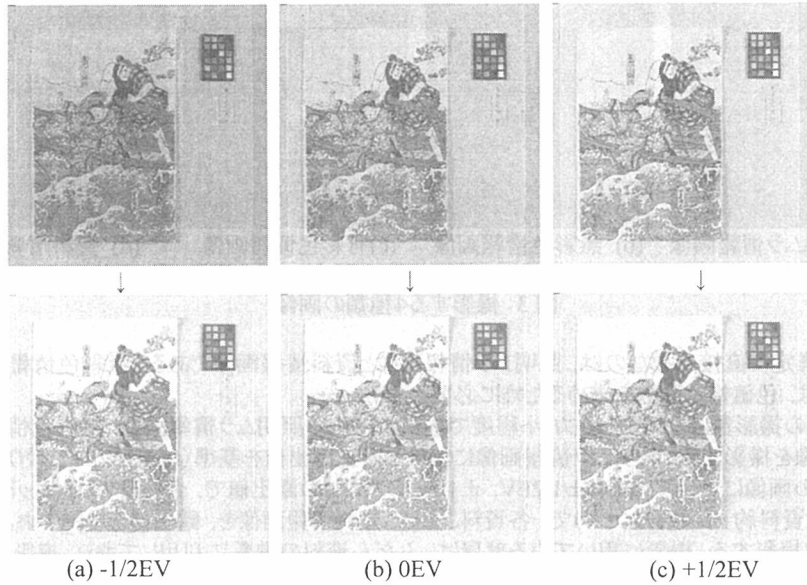


図4 元の撮影画像と得られた測色値画像

画像データの館外への公開については、現時点では未定である。画像の諸権利にまつわる問題について館内で包括的な合意を形成する必要がある。画像の有用性と、公開の社会的意義とに鑑み、なるべく大量の資料画像を、より制限のない形で、広く世界に公開していく方向で努力したい。

4. 測色値画像を用いた色彩分析の例

4.1 藍色の違いを調査する

作成した測色値画像から、さまざまな色彩分析を行なうことができる。図5は分析の一例であり、「1850年ごろを境に、錦絵に用いられる藍色の種類が増え、藍だけの刷色に加え、藍に墨をまぜたくすんだ刷色が加わる」という仮説を検証するため、錦絵の測色値画像から該当すると思われる箇所を200あまり抽出し、その色をCIELAB色空間上および a^*-b^* 平面上にプロットしたものである。

A群は“藍だけの刷色”を表わし、B群は“くすんだ藍色”を表わしている。A群の点が、紙の黄色から緑を経て藍の深い青に向かうにつれ、彩度が増し、明度が小さくなる様子が観察できる。また、B群は、ほとんど無彩に近い色であるが、A群と同様の色の变化を観察することができる。

この結果が仮説を裏付ける証拠となるかどうかは、より詳細な分析を必要とするが、人文学的な分析を科学的な方法で検証するひとつの手段を提供している点で、測色値画像の有効性を示しているといえる。

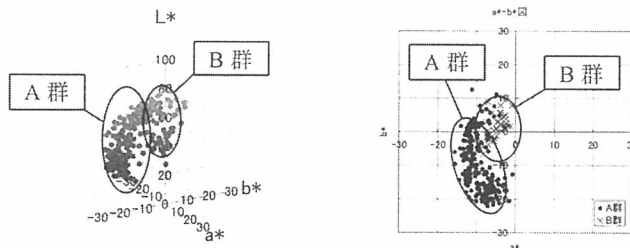


図5 錦絵に現れる2種類の藍色の比較検討

4. 2 錦絵に含まれる色の分析

錦絵画像に含まれる色の種類を調べるため、画像に含まれる色をマンセル色空間上の分布として表わし、分析を行なった。図6に、3つの錦絵の例を示す。

図6aでは、表題や袖に見える赤は色相5R~10Rに、家並みの橙は10YR~5Yに、衣服の青は5B~10Bに、それぞれ見ることができる。山のところにわずかに現れる緑も、色相10GY上にとらえられている。色相10YRのところにある大きな丸は、顔や背景に見える紙の色である。赤、青、緑の三色配色に黄がアクセントを添えていることがよくわかる。

図6bは、“源氏絵”の典型例である。源氏絵とは、当時流行した絵入り小説『修紫田舎源氏(にせむらさきいなかげんじ)』に取材した作品群のことで、紫色に特徴があるといわれている。色分布を見ると、他の錦絵には見られない色相10PBの色が使われていることがわかる。また色相5GY~10GYの明るい緑色も他の錦絵には見られず、この絵の特徴となっている。

図6cは明治期の錦絵であり、衣服やのれんに見える色相5P~10Pの高彩度の紫、桜の花に見える5RP~10RPのピンク、そして5Rの強い赤色が、強い印象を与えている。紫やピンクはこの時期より前の錦絵では使われていない。

200あまりの錦絵画像について、このような観察を行なった結果、以下の知見が得られた。

- 紙の色は色相10YR、明度7~8、彩度2~4のごく狭い範囲に現れる。
- 色相5R~5Yにかけての赤、橙、黄、茶の色は、たくさんの少しづつ違う色が使い分けられている。
- 緑は色相5GYの深い緑と10GYの黄緑の2系統が主に用いられる。
- 背景に多用される暗い青緑は、色相5G~5PBの彩度3未満の色である。高彩度の青は5Bから5PBの範囲に明度3程度で出現する。
- 色相5Pから10RPにかけての色は、幕末から明治期の錦絵に多く現れ、逆にそれ以前のものにはほとんど現れない。

今後は、これらの知見をもとに、紙色部分の自動抽出や、色相に着目して、各色相に含まれる色の面積比を求めて、これを情報量とした錦絵画像の自動分類などを試みたい。

5. おわりに

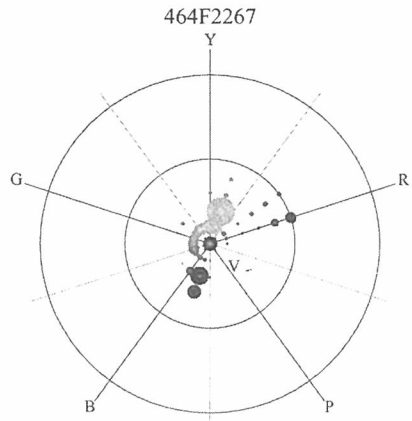
錦絵資料の測色値画像データベースの構築と、測定値画像を用いた色彩分析の試みについて述べた。現代の博物館が文化情報発信の荷い手として機能するために、今後も技術の検討と誠実な作業をすすめていきたい。

博物館資料の正確な色彩画像情報を記録するための具体的な作業のきっかけとして、錦絵以外の資料についても画像作成の可能性を考えていきたい。

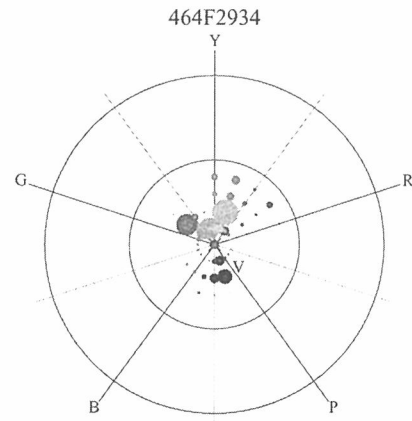
今後の課題として、測色値画像の記録・保存形式の検討が挙げられる。

参考文献

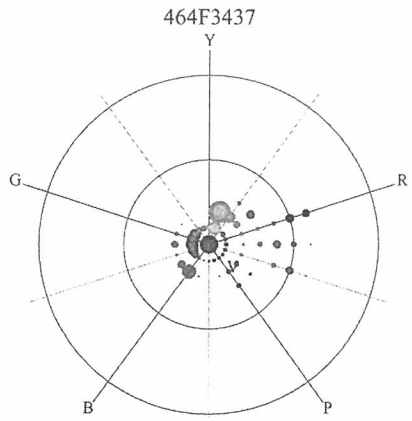
- [1] Suzuki,T., Kobayashi,M.: Accurate Recording of Color Information of Museum Materials by Digital Still Cameras --- In case of "Ukiyo-e" and "Kimono", AIC 2002 SI Color & Textiles Proceedings, pp.212-218(Maribor, Slovenia, 2002-08-31).
- [2] J.Cupitt, K.Martinez, D.Saunders: A methodology for art reproduction in colour: the MARC project, Computers and the History of Art Journal, Vol.6, No.2, pp.1-20(1996).
- [3] 鈴木卓治: 錦絵資料画像の測色値画像データベースの構築, 日本色彩学会誌, Vol.28, Suppl.(第35回全国大会講演予稿集), pp.152-155(2004-5).
- [4] JIS Z 8701 “色の表示方法 —XYZ表色系及び $X_{10}Y_{10}Z_{10}$ 表色系”, 日本工業規格.
- [5] 小林光夫, 鈴木卓治, 室屋泰三: 美術作品のデジタル画像の記録手法に関する一提案, じんもんこん2004論文集, 2004.
- [6] JIS Z 8729 “色の表示方法 — $L^*a^*b^*$ 表色系及び $L^*u^*v^*$ 表色系”, 日本工業規格.



(a) 「東海道五十三次の内 京 二 真柴久吉」



(b) 「花遊由縁四阿屋」



(c) 「東京名所浅草観世音之図」

図6 錦絵画像とその色分布の例