

〔報告〕モノクローム資料写真をもとにした オリジナルの彩色推定に関する基礎的検討

吉田 直人・鷹野 佳世子*・平 諭一郎*²・石井 恭子*²

1. はじめに

本研究は、災害や戦乱など様々な理由により失われた彩色文化財を対象に、残されたモノクローム（以下、モノクロ）資料写真から、撮像の科学的原理に依拠した方法によってオリジナル（正確には、撮影時における）の彩色を推定する方法を見出すことを目的とするものである。モノクロ写真からの色復元そのものは、当事者の記憶や被写体の固有色、またカラーチャートのグレースケール画像など手がかりに色付けするという方法で、商業ベースでは広く行われている¹。これはいわば“モノクロ写真のカラー写真化”であるが、絵画などの彩色文化財では、色彩を表現するための色材が重要な要素である。従って、本研究でも色のみならず、さらに踏み込んで、使われている色材の推定も可能な方法論を見出し、復元や美術史学的研究などに資することを主眼としている。本稿は、これまでの2年間に行った基礎的な検討によって得た知見について報告するものである。

2. 彩色推定方法の検討

本研究は、色に関する情報を持たないモノクロ写真から、被写体である彩色文化財の配色、さらに色材を高い正確性で推定するための方法を確立する試みである。しかし、前述したように、モノクロ写真から被写体の色材まで明らかにするというのは前例がなく、そのための方法から想定しなくてはならなかった。そこでまずは、適正露出のもとで撮影されていれば、一枚のモノクロ写真に写るモチーフ間の相対的な明暗が、(1)感光材料（フィルムや乾板）の感光特性、(2)撮影光源の波長特性、(3)被写体の光反射特性の主に3つに大きく依存するという前提を立てた。そのうえで、同系色の色材でも、それぞれに固有の光反射特性があることから、撮影条件に関わる(1)と(2)が明らかになれば(3)、すなわち色や色材の推定に直結する情報を得られると考えた。そして、この考えのもとで、まずは日本絵画の彩色復元の実現を目指して研究を進めるという方針を立てた。これは、昭和初期に出版された写真技法書の彩色絵画複写に関する項目²に、基本的な原則として「第一に注意しなければならないことは原圖の色彩の調子をそのまま、黑白の濃淡に換えて寫し取ることであります」(原文ママ)と記述され、これを実現するために、後述するオルソ、またはパンクロタイプの感光材料を用いて、太陽光やこれに近い発光特性の撮影用電球を光源とした均一な照射のもとで撮影することが推奨されていることから分かるように、モノクロ写真技術の発展が一段落した段階で、かなりの定型化が完成していることから、彩色推定のための方法論構築に比較的アプローチしやすいと考えたためである。

具体的な方法としては次の2通りを想定した。ひとつは現存する関連資料や有職故実、また美術史学的見地などをベースに数通りの配色見本を作成し、資料写真の技法に沿ってモノクロ

*日本学術振興会特別研究員（PD） *²東京藝術大学大学院美術研究科

撮影を行い、両者の明暗を比較しながらひとつに絞り込むプロセス（再現撮影法）である。これは、端的に言えば資料写真と同じ写りをする配色を見つけることである。この方法を実行するには資料写真の撮影技法、つまり前述の（1）と（2）を可能な限り詳細に把握する必要がある。また、配色見本を作成するには、使われたと考えられる色材に関する知見が必要であり、実行可能性は関連資料や先行研究の量と質による。もうひとつの方法は、色材で彩色したサンプルを当時の技法に沿って撮影し、相対的な明暗情報をデータベース化したうえで、これと資料写真の明暗とを画像解析によってマッチングすることによりオリジナルを推定するものである（画像解析法）。これは資料写真の撮影技法が不明、または検証困難なものが対象と考えているが、予め膨大な数の（種類、単色、混色、重ね塗りを含めた）色材サンプルの撮影を、感光材料と光源の複数の組み合わせのもとで行わなければならない、また具体的なマッチング方法とその妥当性についての検討も必要となるだろう。

我々は、まず再現撮影法の可能性についての検討を行った。

3. 撮影技法とモノクロ写真の明暗との関係についての検証

再現撮影法では、資料写真を撮影した技法の再現が彩色推定結果の信頼性を大きく左右すると考え、その重要性を裏付けるために、前述の技法書に沿った条件のもとで、彩色サンプルなどのモノクロ撮影を行い、感光材料と光源の違いが明暗に与える影響を実験的に検証した。本章では、モノクロ感光材料開発の歴史を概観したうえで、本検証の結果について報告する。

3-1. モノクロ感光材料について

銀塩モノクロ写真の画像化プロセスは、乾板やフィルムの表面に塗布された乳剤に懸濁しているハロゲン化銀がレンズを通った光を吸収することによってイオン化し、さらに銀イオンが還元されて金属銀の黒色微粒子が生成することに始まる³⁾。しかし、ハロゲン化銀自体は青色より短い波長の光のみを吸収するため、初期の写真は黄色や赤色には感光せず、このような色の被写体は相対的に暗く写る特徴があった。例えば女性が被写体となっている古写真では、紅をさした唇が黒く写っているのはそのためであり、500nm程度までしか感光しないこのタイプの材料はregular chromatic（レギュラー・クロマチック）と呼ばれている。その後、写真化学が発展し、感光色素を介在させることによって、緑～黄色（600nm程度）まで感光する材料が開発されたのが1873年であり、その数年後にorthochromatic（オルソ・クロマチック）として市販されるようになった。そして、20世紀はじめには、赤色を含むすべての色の光に対応したpanchromatic（パン・クロマチック、いわゆるパングロ）が市販された。ただし、初期のパングロは非常に高価だったこと、また現象のために完全な暗室が必要だったことから、普及は急速には進まず、オルソの売上を上回ったのは1926年のことである。国内では、レギュラータイプの乾板は“普通乾板”，オルソタイプは“整色乾板”，パングロは“全整色乾板”という名称で呼ばれ、大正後期には全てのタイプが国内外のメーカーより販売されていた（図1）。

3-2. 感光材料と光源によるモノクロ写真明暗の違い

デジタルカメラ（Nikon D60+AF-S DX NIKKOR 18-55mm F3.5-5.6G VR）とショートパスフィルター（朝日分光株式会社製SV0490、およびSV0590）の組み合わせによって、3タイプの銀塩感光材料を擬似的に再現して、彩色サンプルのモノクロ撮影を行い、明暗の違いを検討した。図2は、青、緑、黄色、赤色の顔料彩色サンプルのモノクロ写真である。カメラの撮影素子はCMOSであり、感光特性の違いから、銀塩の完全な再現とは言えないものの、オル

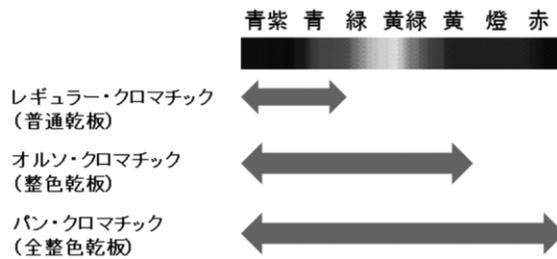


図1 各タイプの感光材料の光色に対する感光性

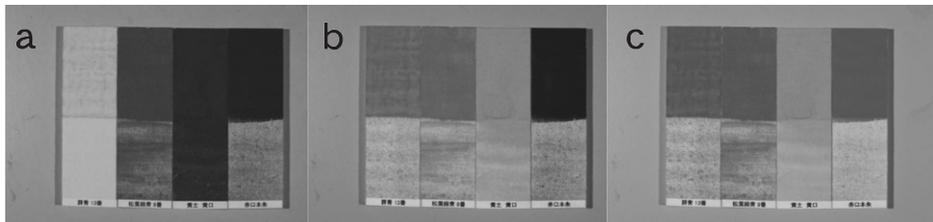


図2 デジタルカメラで3タイプの感光性を再現し(a レギュラー, b オルソ, c パンクロ), モノクロ撮影した彩色サンプル(左から, 群青, 緑青, 黄土, 朱, それぞれ上段が厚塗り, 下段が薄塗り)。レギュラーとオルソでは, それぞれ490nm, 590 nm以下を透過するショートパスフィルターを用いた。

ソタイプでは赤色が, レギュラーでは加えて緑と黄色もパンクロに比べて非常に暗く写っている。この結果からも, 特にレギュラータイプでは「原圖の色彩の調子をそのまま、黑白の濃淡に換えて寫し取ること」は彩色絵画に対しては不可能であり, であるからこそ, パンクロまで出揃った時代には, 少なくともオルソタイプを使うことが推奨されていたことがわかる。

また, 図3は木版浮世絵を銀塩カメラ(Nikon F-801s + Ai AF NIKKOR 50mm f/1.8 : 以下, 同機材を使用)とオルソ, およびパンクロタイプのフィルム(それぞれ, Rollei ORTHO25, および PAN25)を用い, 異なる2つの色温度の撮影用電球(岩崎電気製アイランプ 3,200K, および5,900K)を光源としてモノクロ撮影したものである。題簽の地色などに使われている赤色や最下部の地面の茶色部分では, オルソに比べて, パンクロの方が明るく写っている。また, この部分では長波長成分の割合が高い3,200Kで照射した写真の方がより明るく, 推奨されている条件のもとでも, 感光材料と光源色の両者が明暗に少なくない影響を及ぼしていることが分かる。

さらに, 図4は10種類の色材を和紙に塗布したサンプルを図3と同条件で撮影し, フィルムスキャナでデジタル化した後, 相対的な明暗度の比較を画像解析ソフトImageJ (National Institute of Health, USA)を用いて行ったものである。浮世絵の写真と同様に, 特に赤色色材の明暗がオルソとパンクロでは大きく異なり, 感光性が大きく影響していることを如実に示している。ただし, 丹の明暗度は朱や弁柄ほどの違いがみられなかった。これは, 黄色に相当する波長の光反射率が, 丹は朱と弁柄よりも比較的高いためと推測できる⁴⁾。また光源色, 言い換えれば照射光の波長分布の違いも色材によっては明暗の差に影響する要素となっていることが分かった。これらの検証を通して, 推奨されていた技法に沿ったとしても, 彩色絵画のモノクロ写真の明暗には, オルソとパンクロのどちらを使ったか, またどのような光源色のもとで

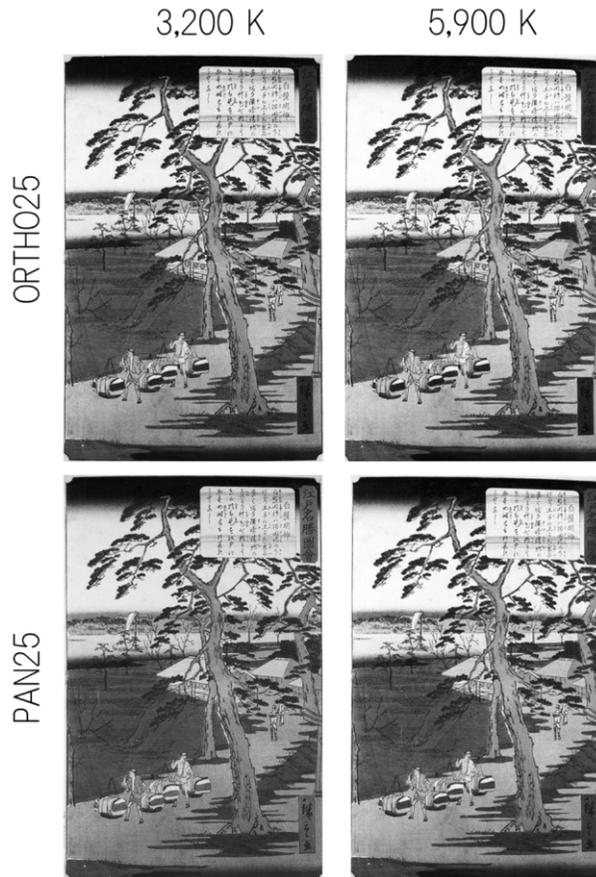


図3 オルソとパングロタンブのフィルムを使い、2つの色温度の光照射のもとで撮影した木版浮世絵（二代目歌川廣重「江戸名所図会一白髭明神一」）のモノクロ銀塩写真

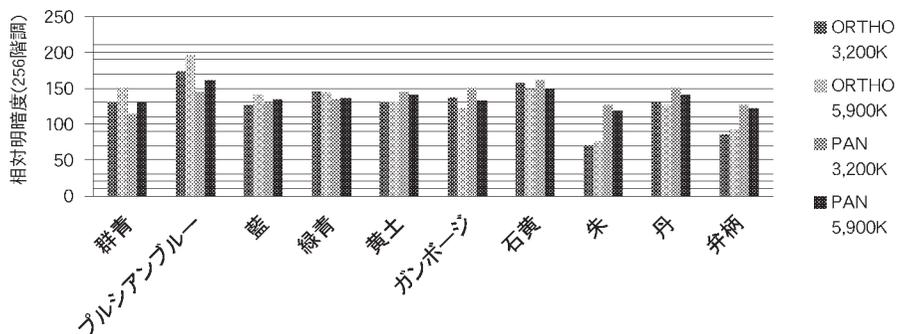


図4 オルソとパングロタンブのフィルムを使い、2つの色温度の光照射のもとで撮影した10種類の色材サンプルのモノクロ銀塩写真の相対明暗度（256階調）

撮影されていたかに大きく影響されていることが分かった。特に再現撮影法を用いる場合は、資料写真撮影時の感光材料と光源に関する詳細な把握と、配色サンプル撮影におけるその正確

な再現が、最終的な配色と色材の推定結果に対する信頼性にとって非常に重要であることを、実証的に認識した。

我々は機会を得て、第二次大戦で所在不明となった琉球王朝国王肖像画の大正末期に撮影されたモノクロ乾板写真からの配色と色材推定を、再現撮影法によって実施することとなった。そして、撮影技法の把握→配色サンプルの作成→モノクロ撮影→明暗比較による決定という予め想定していた一連のプロセスを実験的かつ実践的に経験した。次章では、これについて報告する。

4. 再現撮影法による「御後絵」の彩色推定

琉球王朝第二尚氏国王肖像画「御後絵」のオリジナルは首里城（那覇市）北面にあった円覚寺内に収められており、多くの複製が描かれたが、そのうち近代に作成されて尚伯爵邸に保管されていたものを大正13年に鎌倉芳太郎氏が乾板を使って撮影している⁵⁾。円覚寺のオリジナルも、尚伯爵邸の複製も沖縄戦によって焼失、または所在不明となり、現在では鎌倉氏による写真（以下、「鎌倉写真」と表記）のみがその図像を伝え、これが現在「御後絵」と呼ばれているものである。今回は、そのうち第18代尚育王御後絵を対象に、鎌倉写真（図5）をもとにした配色と色材推定を行った。

4-1. 鎌倉写真撮影技法の検討

鎌倉氏は大正13年から翌年にかけて、文部科学省の委託で琉球芸術調査を行い、様々な文化財調査を行うとともに、御後絵を含む膨大な資料写真を撮影している。調査記録は、いわゆる「鎌倉ノート」（重要文化財）として現存しているが、撮影条件に関する記述はほとんどない。御後絵に関しても、1日（大正14年3月6日）の間に尚伯爵邸において尚育王を含む11枚を撮影したことのみが記されているのみである⁶⁾。ただ唯一、後年に記述された「室内で南を向いた



図5 鎌倉芳太郎氏撮影「尚育王御後絵」（参考文献4より）

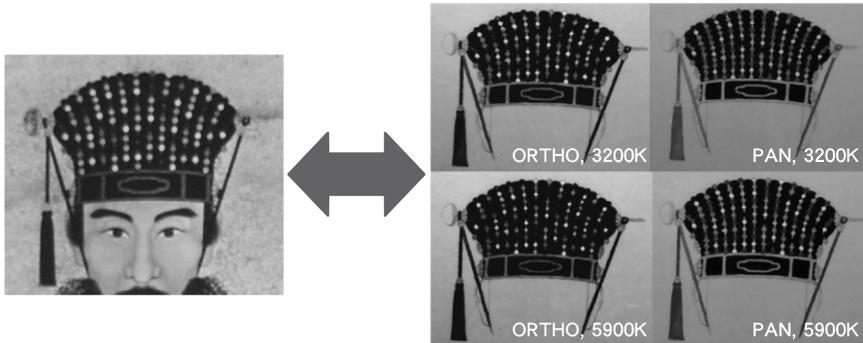


図6 「尚王御後絵」鎌倉写真の王冠部分(左)と、皮弁冠をもとにした彩色見本を4つの条件下で撮影したモノクロ銀塩写真(右)の比較

障子を閉め、さらに白布を吊るした状態で撮影」という文章⁷⁾により、太陽光を使って撮影したことがわかるのみである。そこで、撮影条件、特に感光材料のタイプを特定するために、現存する尚家伝来の皮弁冠(那覇市歴史博物館像「玉御冠」)をもとに、王冠部分の彩色見本を作成し、オルソとパングロフィルム、また3,200Kと5,900Kの撮影用電球を使った4通りの条件のもとでの撮影を行った(機材等は第3章で記載したものと同一)。その結果、オルソフィルムを使い、さらに日中の太陽光と近い5,900Kの撮影用電球を光源として撮影した写真が、鎌倉写真の王冠部分、特に様々な色の玉や紐の相対的な明暗がよく一致することが判明した(図6)。これは鎌倉氏が整色乾板を使い、比較的晴天時の日中に御後絵の撮影を行ったことを示すものである(鎌倉氏はレンズを最大限に絞って、非常に長いシャッタースピードで撮影していた。御後絵の鎌倉写真にはブレがほとんどなく、比較的明るい空間で撮影を行ったことが推測されることから、この結論は妥当といえるだろう)。以降は、この条件での彩色見本撮影を行い、配色と色材の推定を進めることに決定した。

4-2. 配色見本に用いた色材について

配色見本のための色材は、先行研究^{8,9)}によって同時代の琉球絵画に使用されたと判明しているもの(表1)を主に使用することとした。

表1 琉球絵画に用いられている彩色材料

赤系統	鉛丹, 朱, 臙脂, 鉛白+臙脂	紫系統	臙脂+プルシアンブルー, 臙脂+墨または藍
黄系統	石黄, 黄土, 鉛白+染料	白系統	鉛白, 胡粉
緑系統	緑青, 花緑青	黒系統	墨
青系統	群青, プルシアンブルー, 藍		

これらの色材による彩色サンプルを先に決定した条件下でモノクロ撮影したところ(図7)、以下に示すような特徴が見出された。

- ・大まかには基本色では、白、青、緑、黄色、赤、黒の順に明るく写る。
- ・しかし、同じ青色でも藍やプルシアンブルーは暗く写る傾向にある。

白緑	白緑 (鉛白 下地)	緑青	緑青 (鉛白 下地)	白群	白群 (鉛白 下地)	群青	群青 (鉛白 下地)	ブル シア ン プ ル	ブル シア ン プ ル (鉛白 下地)	藍	藍 (鉛白 下地)
ガン ボー ジ	ガン ボー ジ (鉛白 下地)	朱	朱 (鉛白 下地)	丹	丹 (鉛白 下地)	コチ ニ ー ル	コチ ニ ー ル (鉛白 下地)	弁柄 (赤)	弁柄 (赤) (鉛白 下地)	朱十 焼白 緑の 上澄 み (鉛白 下地)	朱十 焼白 緑の 上澄 み (鉛白 下地)
黄土	黄土 (鉛白 下地)	純金 泥	純金 泥 (鉛白 下地)	雄黄	雄黄 (鉛白 下地)	石黄	石黄 (鉛白 下地)	臙脂	臙脂 (鉛白 下地)	鉛白 十臙 脂	鉛白 十臙 脂 (鉛白 下地)

図7 琉球絵画に用いられている色材で彩色したサンプルの再現撮影写真
(それぞれ上段は薄塗り, 下段は厚塗り)

- ・藍や赤系染料は薄塗りでは色斑が目立つ。
- ・藍＋赤系染料での紫色は暗く写る。

このような特徴は、次に配色見本を作成する上で有益な情報となった。

4-3. 配色見本の作成と再現撮影による絞込み

現存資料や同時代の琉球絵画などを参考に、地色や装飾品、王衣の文様などの各モチーフに関して、複数の配色見本を作成し、再現撮影を行い、鎌倉写真との明暗比較を行いながら、配色と色材の絞込みを繰り返した。ここで全てについて述べるのは不可能なので、2箇所の例について報告する。

4-3-1. 幕の地色に関する検討

幕の地色については、参考となるような同時代の作品に乏しいため、鎌倉写真に写る王衣の地色との明暗差などから配色を想定し、見本を作成することにした。まず、王衣の地色については、現存する「赤地龍瑞雲剣山文様繻珍唐衣裳」(那覇市歴史博物館蔵)などの唐衣裳から赤系であるという推定を行い、また「孔子像及び四聖配像」(沖縄県立博物館蔵)の赤衣が朱によって彩色されているという先行研究⁷⁾の知見などから、同じく朱であるという前提を立てた。その



図8 幕部分の配色見本の再現撮影写真
 上段左から、黄色（ガンボージ）、青紫色（藍＋麝脂，藍多め）、青色（プルシアンブルー）
 下段左から、橙色（丹）、赤紫色（藍＋麝脂，麝脂多め）、灰青色（藍）。
 王衣はすべて朱で彩色している

上で、鎌倉写真の明暗差や写りの特徴，また絵画としてのバランスなどから6種類の配色見本を作成し，再現撮影を行ったところ（図8），藍と麝脂の混色（藍を多めに）による青紫色で幕の地色を彩色したものが最も鎌倉写真（図5）に近い王衣の地色との明暗差を示すことが判明したので，これを採用することとした。

4-3-2. 王衣の波文様について

王衣の右半身側に描かれている渦巻状の波文様の配色に関しても，唐衣装や鎌倉写真を参考に見本を作成した。当初は，最も外側を群青による青色，その内側を緑青による緑色としていたが，再現撮影の結果，両者の明暗差が鎌倉写真とは大きく異なった。そのため，緑青を黄口のものに変えて，改めて見本を作成し撮影したところ，明暗差はほぼ一致した（図9）。

このように，まずは鎌倉氏の撮影技法を実証的に確定したうえで，関連資料や鎌倉氏撮影写真の写りの特徴などを参考に作成した複数の配色見本の再現撮影を行い，明暗を比較することによって一つに絞り込むプロセスを各部分について細かにを行い，また沖縄の歴史学や美術研究者による結果の検討も繰り返し行われた後，全体の配色と色材が決定された。この御後絵の復元模写は，東京藝術大学の受託研究「琉球王朝第18代尚育王御後絵」復元模写として行われ，

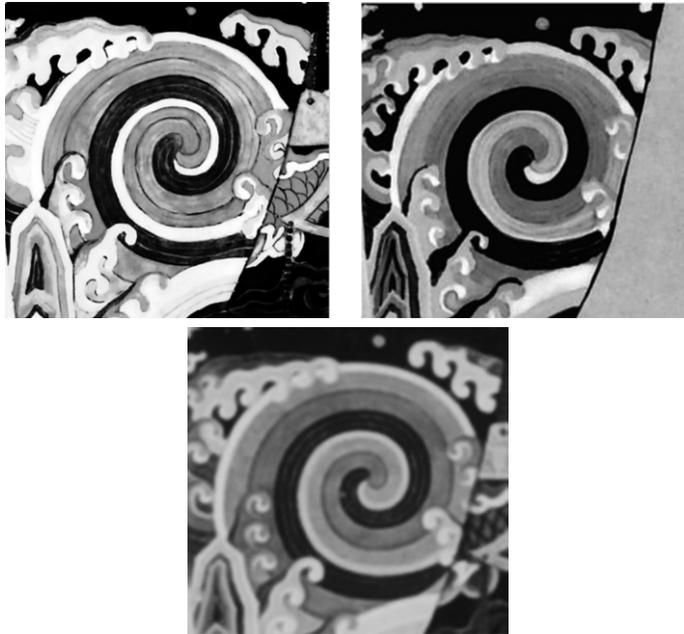


図9 王衣の波文様部分配色見本の再現撮影写真
 (左上) 外側から2番目の渦巻きを緑青で彩色
 (右上) 黄口の緑青に変更して彩色
 (下) 同部分の鎌倉写真

この推定結果をひとつの根拠とし、また鎌倉氏撮影写真からは彩色の厚みや筆致に関する情報も得ながら、完成に至った。

5. まとめ

モノクローム資料写真からオリジナルの配色と彩色を推定することは、関連資料や先行研究が豊富であれば、かなりの程度は美術史や歴史学などの人文学的見地からのみでも可能であるかも知れない。しかし、写真が自然科学的現象を利用した技術である以上、推定根拠にも自然科学の視点を持ち込むことは結果の信頼性をより高めることになるはずであるという考えが、この研究に取り組む大きなきっかけであった。もちろん、配色見本の作成や推定結果の妥当性検討には人文学的視点が不可欠であることは言うまでもない。その意味では、この方法は極めて学際的になりうる可能性を内包している。

本稿で報告したように、この研究は前例のないゼロからのスタートであった。その中で、まずは机上の論理から始まった再現撮影法を、尚育王御後絵を対象に実行し、配色と色材の推定に至るまでのプロセスを具体的に提示することが出来たことは幸運であった。ただし、現物が所在不明であるために、推定結果の正確性を完全に検証することは実質的に不可能であり、まずは現物もモノクロ資料写真も現存する作品から着手すべきであったことは筆者も認めざるをえない。この点については、今後早急に実施することによってこの方法をより具体化し、次の作品の彩色推定に繋げたい。また、本研究で用いたオルソフィルムは、この原稿の執筆時点ではすでに生産が終了している。他のメーカーからもオルソフィルムが商業ベースで供給される見通しが立たず、フィルムを使った再現撮影法の継続には限界が見えてきた。今後、デジタルカメラによる正確な銀塩感光材料の再現を実現することが必要になってきたといえる。さらに、

机上の論理で考えたもうひとつの「画像解析法」にも早く着手し、あらゆる絵画作品のモノクロ写真からの彩色復元を可能とし、社会の要請に応じられる確固たる方法論を確立したいと考えている。

本研究は、平成23～24年度科学研究費補助金・挑戦的萌芽研究「科学的原理に基づいたモノクローム資料写真からの色材分析」（研究代表者：吉田直人）によって実施したものである。

参考文献

- 1) 例えば “http://sun-media.info/change_1.html” (平成25年1月7日現在, 閲覧可能) など
- 2) 光村利藻: 『繪畫寫眞複寫法』(アルス寫眞大講座第一卷)(1929) アルス社
- 3) 大野隆司他: 『写真のケミストリー(画像工学11)』(2001) 丸善
- 4) 朽津信明 他: 顔料鉱物の可視光反射スペクトルに関する基礎的研究, 保存科学, **38**, 108-123 (1999)
- 5) 鎌倉芳太郎: 『沖縄文化の遺宝』(1982) 岩波書店
- 6) 上江洲安享: 御後絵の色彩に関する事例調査(上)～戦前の記録, 証言, 現存実物資料を参考として～, 首里城研究 **12**, 26-37 (2010)
- 7) 鎌倉芳太郎: 『失われた沖縄50年前の琉球文化財の写真 世界写真年鑑 1973-74』(1974) 平凡社
- 8) 下山進 他: 国宝「琉球国王尚家関係資料」工芸品(染織資料等)の非破壊分析調査報告 那覇市歴史博物館紀要 **1**, 2-88 (2009)
- 9) 早川泰弘 他: 琉球絵画および関連作品の彩色材料調査 首里城研究 **12**, 38-52 (2010)

キーワード: モノクローム写真 (monochrome photograph); 彩色復元 (decision of the original coloring); 画像解析 (image analysis)

Methods for the Decision of the Original Coloring and Coloring Materials from Monochrome Photographs

Naoto YOSHIDA, Kayoko KARINO*,
Yuichiro TAIRA*² and Kyoko ISHII*²

Since the dawn of history, a large number of cultural heritage have been lost or reported missing due to many reasons, including war and disaster. It is sure that clarifying the original coloring of such heritage will contribute to research in many fields such as history and art history.

The aim of this study is to establish methods for deciding the original coloring and coloring materials of painted works from monochrome photographs taken as reference materials. Generally, the black and white contrasts of monochrome photographs are dependent on (i) the characteristic of photosensitive materials, (ii) illumination spectra of light source and (iii) characteristics of light reflection of subjects. Based on this assumption, it was found that taking monochrome photographs of coloring samples under the same conditions as the reference photographs and comparing the contrasts of both can lead to the decision of the original coloring. Using this method, decision of the original coloring of a portrait of a king of Ryukyu Kingdom, Sho-Iku (1813-1847), which has been reported to have been lost during World War II, was carried out.

*Research fellow(PD), Japan Society for the Promotion of Science

**Graduate School of Fine Arts, Tokyo University of the Arts