

令和元年6月25日現在

機関番号：87106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01144

研究課題名(和文)文化財に使用された彩色材料に関する面的調査法の検討

研究課題名(英文) Investigation of surficial analysis method about coloring material used for cultural property

研究代表者

秋山 純子 (AKIYAMA, JUNKO)

独立行政法人国立文化財機構九州国立博物館・学芸部博物館科学課・主任研究員

研究者番号：10532484

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：文化財の面的な調査に赤外線画像を活用し、文化財に使われた彩色材料を面的に捉える方法を検討した。高松松平家伝来の博物図譜を調査し、実際の作品で赤外線画像の有効性を確認した。本研究により、顔料と染料とで赤外線画像の写り方に違いがあり、画面上で両者を見分けるのに赤外線画像の利用が有効であることが分かった。顔料と染料の基本的なデータを蓄積し、赤外線画像から彩色材料を判断するための情報を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで一般に行われてきた赤外線画像を墨線などの検出に活用するのではなく、彩色材料の面的調査への適応を検証した。赤外線画像は、非破壊で簡単に有益な情報が得られる、面的な調査が可能となる、面的な情報を得ることで次に行う元素分析などの点分析に役立てられるという利点がある。本研究により赤外線画像の活用は彩色材料の面的調査に有効であることが確認でき、今まで点でしかなかった情報を面の情報へと広げることができるようになった。

研究成果の概要(英文)：This research project examined the surficial or aspect analysis method using infra-red images to identify coloring material on paintings. In order to evaluate the effectiveness of the method, we selected "the illustrated book on natural history" owned by the Takamatsu Matsudaira family for the analysis. In addition, it was found that there is a difference in how pigment and dye appears on an infra-red image. Therefore, the infra-red image can be effectively used to distinguish the two from each other. We obtained sufficient standard data of pigments and dyes that can be used to determine the coloring materials.

研究分野：保存科学

キーワード：赤外線画像 彩色材料 面的調査

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、文化財の科学調査が一般的に行われるようになってきた。しかし文化財は脆弱な材質、構造のものが多く、移動を伴ったり長時間を要したりする調査は文化財の保存を考える上であまり好ましくない。したがって文化財の科学調査は調査のための作品移動の機会をなるべく少なくし、短時間に非破壊で行うことが求められる。また、これまでは制限がある中で点分析が主流であった。しかし文化財を総合的に理解するには面的な広がりで見える調査が必要である。特に絵画などの二次元の文化財では、面的な情報を得ることが非常に重要である。

これまで平成 24 年から 26 年度まで科学研究費により「赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究」というテーマで研究を進めてきた。国内・国外の主に古代～中世の東洋絵画を中心に赤外線撮影を行い、赤外線撮影法で見分けられる彩色材料（顔料）を特定し、彩色材料の面的調査方法としての有効性を明らかにすることを目的に行った。赤外線画像は絵画上の同じ材料で描かれた箇所領域の面的広がりを把握するには非常に有効な手段であることが分かった。さらに蛍光 X 線分析によって点で分析した彩色材料がどのような広がりを持つのか理解を深めることができた<sup>1)</sup>。

しかし、対象とした古代から中世の絵画では彩色材料に限られ、近赤外領域に明確な差が見られず、赤外線画像においてこの時代に使用された顔料では明確な有意差がないことが明らかとなった。すなわち、絵画上に同じ顔料でどのくらいの範囲に塗布されているかを把握するには有効だが、赤外線画像だけでは彩色材料を特定することは難しいことが分かった<sup>2)</sup>。以上の研究成果を踏まえ、彩色材料を特定するには顔料だけでなく、染料のみと顔料と染料を混合した場合についても赤外線画像の見え方を検討し、総合的に判断する必要性が見えた。

### 2. 研究の目的

本研究は文化財の彩色材料の分析に面的な手法を導入した有効な調査法を検討することが目的である。これまでの顔料調査に加え、赤外線画像による彩色材料の面的調査を確実にするため、合成顔料および染料、顔料と染料を塗り重ねた 2 種類の指標となるカラーチャートを作成し、赤外線画像から彩色材料を把握するためのデータを蓄積した。また、赤外線画像のみで彩色材料を見極めることはできないので、その他の非破壊調査を組み合わせ、赤外線画像から彩色材料の面の広がりや材料を把握することを試みた。以上のことから、赤外線画像による面的調査を確実なものとすることができ、安全で簡便な面的調査が可能となる。さらに様々な彩色を持つ文化財の科学調査において点分析による結果も面の広がりとして把握することができるようになると考えられる。

### 3. 研究の方法

#### 3-1. 染料及び顔料と染料を塗り重ねたカラーチャート作成

彩色材料の成分が赤外線画像にどのような違いをもたらすのか明らかにするために、現在日本画で使用されている染料および合成顔料の標準となる染料カラーチャートを作成した。臙脂・コチニール・蘇方・紅花・茜・藤黄・黄檗・藍・プルシャンブルーの 9 種類を選び、それぞれ染料のみと胡粉、鉛白と混ぜたものを帯状に塗った。

顔料と染料を塗り重ねた場合、赤外線画像でどのように写るのか検証するために、顔料を膠で溶いて縦方向に帯状に塗布し、その上に染料を横方向に帯状に塗り重ねて、標準となる顔料+染料カラーチャートを作成した。使用した顔料・染料は現在日本画材料として入手可能な群青（8 番、12 番）、白群、緑青（8 番、12 番）、白緑、辰砂（10 番、14 番）、鎌倉朱赤口、丹、弁柄、岱赭、藤黄、日本黄土、鉛白、白土、胡粉、墨の 14 種類と、染料の青花・藍・黄檗・藤黄・茜・紅花・蘇方・コチニール・臙脂である。

#### 3-2. 赤外線撮影と科学分析

カラーと赤外線の撮影には、非接触大型画像取得装置 Niji-H（高精細スキャナ、株式会社サビア製）を使った。高精細スキャナは一定の光と間隔で対象をスキャンすることができるため、ムラのない標準となる画像を得ることができる。赤外線撮影はモノクロカメラ（レンズ Micro Nikkor 55mm f2.8、絞り 5.6）を用いて、可視光に近い近赤外領域の赤外線（IR-LED 光源、紫外線吸収フィルタ SC70）で行った（図 1）。

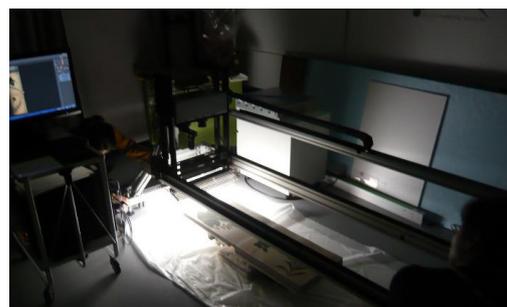


図 1 高精細スキャナによる画像取得の様子

赤外線画像に濃淡として表れる特徴をスペクトルで把握するため、可視分光分析（分光光度計 Oceanoptics 社製 USB-2000、外部光源 同 LS-1（ハロゲンランプ）、長さ 3m、照射・受光部は同軸の石英製 Y 字型光ファイバー）を行った（図 2）。

赤外線画像で見分けられる彩色材料を推定するため、蛍光 X 線分析装置で成分を把握した。蛍光 X 線分析では成分分析しかできないが、赤外線画像と分析結果を照らし合わせるには非破壊調査が求められるため、今回は簡易型の蛍光 X 線分析装置（オリンパス製、デルタハンドヘルド蛍光 X 線分析計 Premium、Rh 管球、分析ソフトウェア：岩石鉱石モード、型式：DP-4000）を使用した。これらの分析は実際の絵画の調査分析を想定しているため、彩色材料そのものではなく、膠で塗布したカラーチャートの分析を行った。

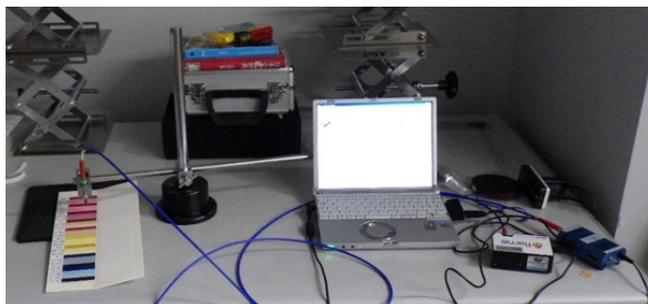


図2 可視分光分析の様子

### 3-3. 高松平家伝来の博物図譜の調査

実際の作品で赤外線画像の有効性を確認するために香川県指定有形文化財に指定されている高松平家伝来の博物図譜（香川県立ミュージアム保管）を調査した。博物図譜は魚類を集めた「衆鱗図」、鳥類を集めた「衆禽画譜」、植物を集めた「衆芳画譜」「写生画帖」と多岐にわたっている。これらの図譜は非常に精緻に様々な彩色で描写されており、江戸時代に作られた博物図譜の中でも貴重な作品群として位置づけられる。カラーチャートの調査結果を踏まえ、赤外線画像で彩色材料の面的広がりをつまえて、さらに可視分光分析及び蛍光 X 線分析で彩色の成分を調査した。

## 4. 研究成果

### 4-1. カラーチャートの赤外線画像

顔料カラーチャート（図3）の赤外線画像（図4）を見ると、群青、緑青は濃灰色を呈し、特に粒子の粗い濃色（8番）は黒色に近い。群青、緑青の中でも粒子の細かい白（びやく）の試料が多少薄い灰色を示したがわずかな差でしか無く、いずれも赤外線を吸収し、濃い灰色に写ることがわかった。赤色部分のうち辰砂、鎌倉朱赤口、丹はどれも同じように白く抜けた。丹は鉛、鎌倉朱赤口と辰砂は水銀を主成分とするが、成分の違いは赤外線の反射吸収に影響は与えず、これらの顔料は赤外線を反射し、白く写ることがわかった。一方、岱赭、弁柄はいずれも鉄を主成分とする赤に近い茶色の顔料であるが、他の赤色顔料とは違い、赤外線画像では濃い灰色を呈し、赤外線を吸収した。黄色の顔料である黄土は薄い灰色を示した。鉛白は鉛、白土はアルミニウムなどの軽元素、胡粉はカルシウムを主成分とするが、いずれも同じように赤外線画像には白く写った。墨は赤外線をもっともよく吸収し、黒く写った<sup>1)</sup>。



図3 顔料カラーチャート



図4 同左赤外線画像



図5 染料カラーチャート

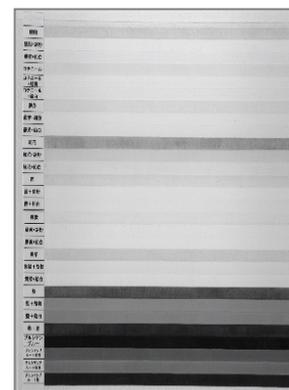


図6 同左赤外線画像

染料カラーチャート（図5）の赤外線画像（図6）は顔料と同様に赤色の彩色材料である臙脂、コチニール、蘇方、茜は赤外線を反射し白く写ったが、少し茶色がかった紅花は赤色の染料の中では比較的赤外線を吸収する様相を呈した。黄色の染料である藤黄、黄檗は赤外線を強く反射し、白く写った。青色の染料である藍は赤外線を吸収し、灰色に写ることがわかった。一方、同じ青色のプルシャンブルーは墨と同様にもっとも赤外線を吸収し、黒く写った<sup>2)</sup>。

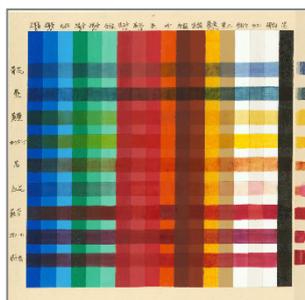


図7 顔料+染料カラーチャート

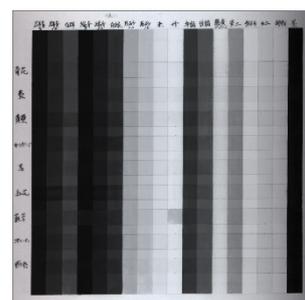


図8 同左赤外線画像

顔料と染料を重ねたカラーチャート(図7)の赤外線画像を見ると(図8)、全体的に顔料のみのカラーチャートの写り方と大きな違いはないことが分かった<sup>4)</sup>。

#### 4-2. カラーチャートの可視分光分析

顔料カラーチャートの分光反射スペクトルを見ると、群青と緑青は赤外領域(800nm~1000nm)に吸収を持ち、白緑は少し反射を示した。朱と丹は600nm以上の波長領域をほとんど反射し、岱赭、弁柄、黄土は同領域の光を少し吸収する特徴的なスペクトルを示した(図9)。

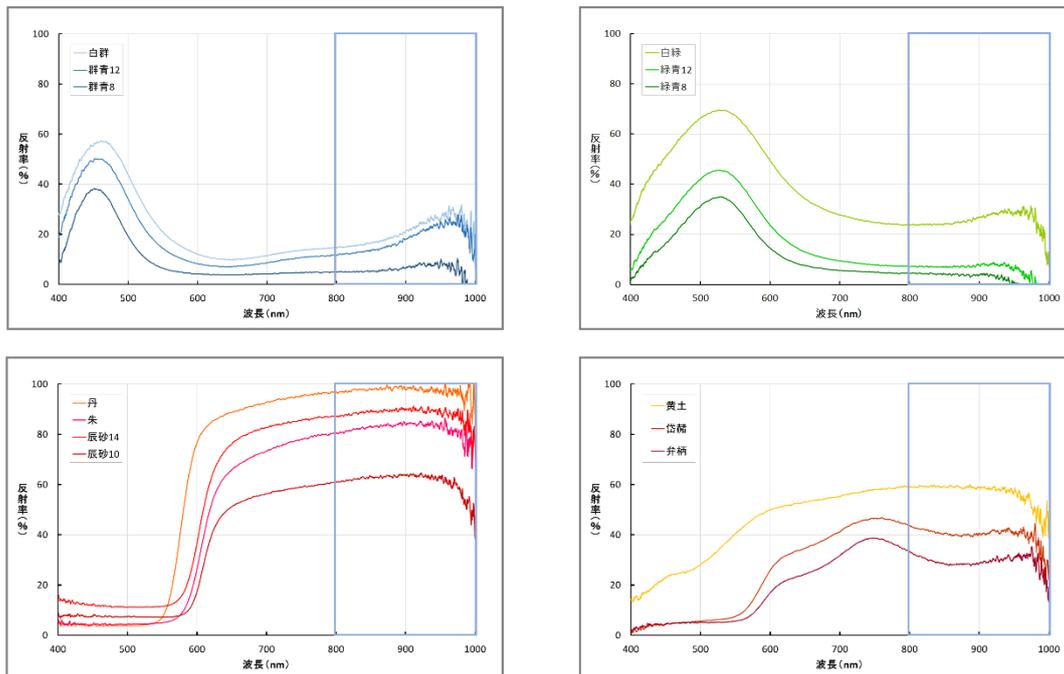


図9 顔料カラーチャートの分光反射スペクトル

染料カラーチャートの分光反射スペクトルを見ると、臙脂、コチニール、蘇方、茜は赤外領域で反射を示し、紅花は同じ赤色染料であるが、黄色領域の反射が少なく赤外領域でも少し反射率が低い様相を呈した。黄色染料である藤黄と黄檗は2者ともに赤外領域は全反射を示した。染料で特徴的な違いが見られたのは藍とプルシアンブルーであった。藍は700nm 辺りから立ち上がりを見せ、そのまま赤外領域でも反射している様相を示した。一方、プルシアンブルーは青色領域に少し反射を示すが、赤外領域では藍に比べるとほとんど反射を示さなかった(図10)。分光反射スペクトルの結果は顔料・染料ともにいずれも赤外線画像の濃淡と一致した<sup>5)</sup>。

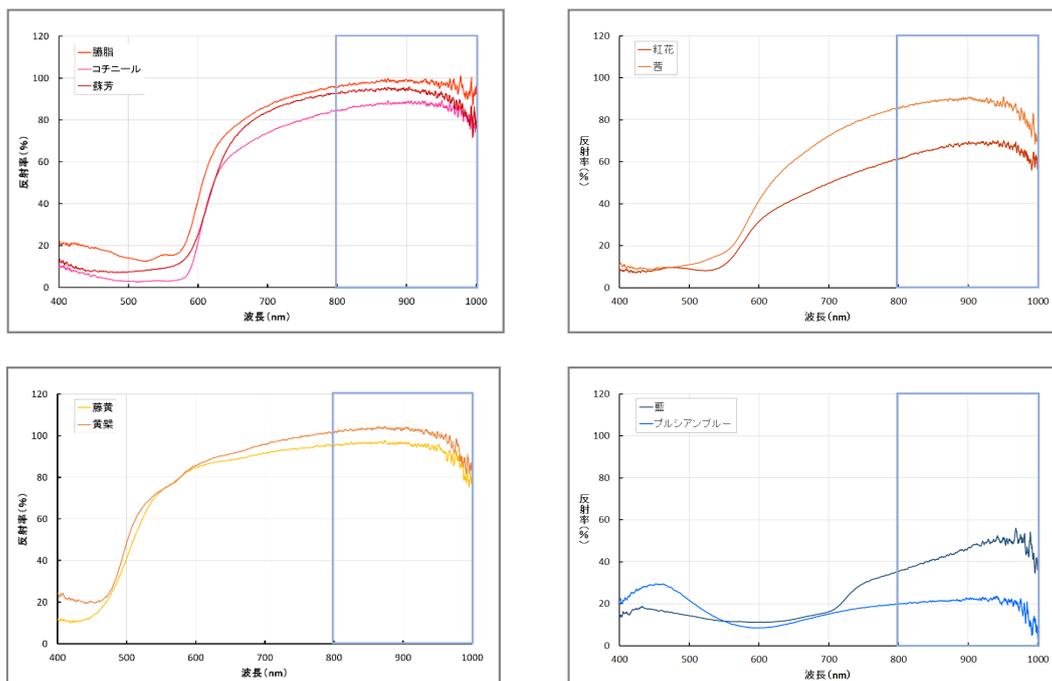


図10 染料カラーチャートの分光反射スペクトル

顔料と染料を塗り重ねたカラーチャートの特に緑色部分の分光反射スペクトルを見ると、白群は青色を示す460nmにピークがあり、藤黄を重ねることで510nmへピーク位置が移動した。しかし赤外線画像から分かる通り、近赤外領域では同じ反射率を示した。白緑は緑色を示す530nmにピークがあり、藤黄を重ねることで430nm 辺りから立ち上がりを見せ、幅の狭い形のピークを示した。ピーク位置は550nm とほんのわずか移動した。近赤外領域は白群と同様に藤黄を重ねても分光反射スペクトルに変化は見られなかった。

近赤外領域の分光反射スペクトルから、顔料と染料を混合しても赤外線画像の写り方には大きな違いはないことが分かった。分光反射スペクトル全体を見ると、緑色を示すピーク位置が長波長側へ移動したが、染料の存在を示すと思われた700nm 以降の反射率の立ち上がりは見られず、顔料と染料の組み合わせの違いなど、今後さらに検討が必要であると考えられる<sup>4)</sup>。

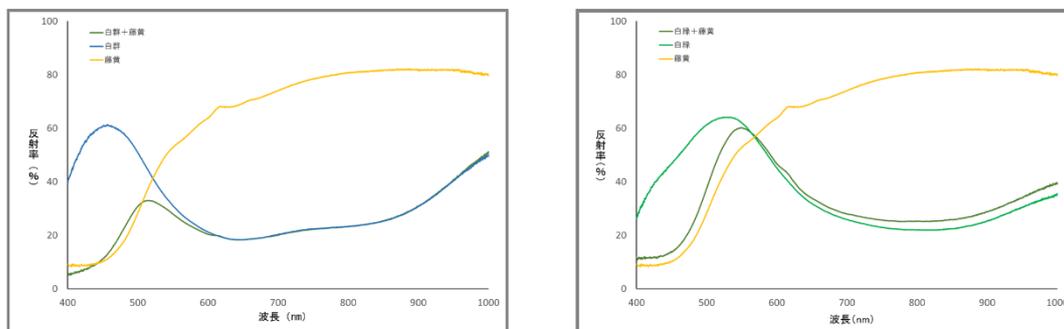


図 11 顔料+染料カラーチャートの分光反射スペクトル

#### 4-3. 博物図譜の科学調査

カラーチャートの結果を踏まえ、実際の作品でも赤外線画像の調査を行った<sup>3),4),6)</sup>。ここでは博物図譜のうち「写生画帖」(菜蔬 裏 16)の緑色箇所を解析した<sup>4)</sup>。この画面には植物が2種類描かれており、向かって右側に緑色の細い線で葱が表現され、左側には糸瓜の深緑色の葉と黄色い花が描かれている。葱の緑色は赤外線画像では薄い灰色に写っており、銅がほんのわずか検出された(図 12)。分光反射スペクトル(図 13)では、520nm 付近にピークが見られ、680nm 付近から反射率が大きく上昇する様相を呈した。これは染料で描かれた箇所では特徴的に見られる分光反射スペクトルの様相と思われる。

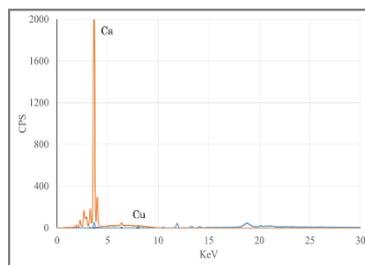


図 12 蛍光 X 線分析の結果  
(右側の葱の緑色部分)

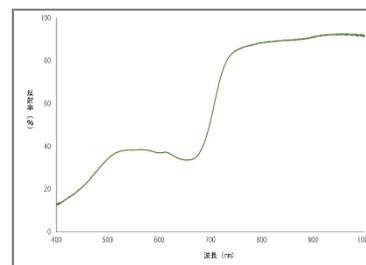


図 13 可視分光分析の結果  
(同左)

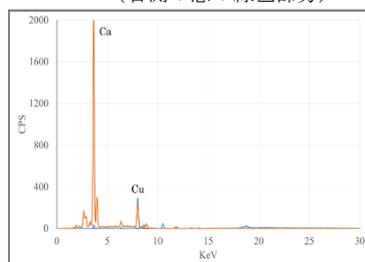


図 14 蛍光 X 線分析の結果  
(左側の緑色の糸瓜)

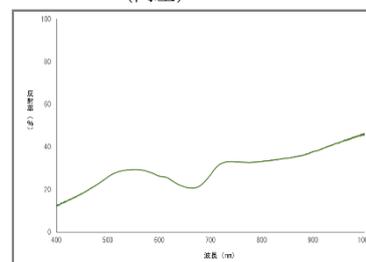


図 15 可視分光分析の結果  
(同左)

向かって左側の糸瓜の緑色は赤外線画像で暗灰色に写っており、銅が検出された(図 14)。しかし鮮やかな緑色ではなく深緑色で描かれており、顔料と染料を混ぜて塗ったと推測された。分光反射スペクトル(図 15)では、530nm 付近にピークがあり、680nm 付近から反射率の上昇が見られたが、図 13 の箇所ほどではなかった。この 680nm 付近からの立ち上がりは染料カラーチャートの分光反射スペクトルを見ると(図 10)、藍に特徴的に見られる形である。藍は染料であるので蛍光 X 線分析では元素を検出することはできないが、赤外線画像と分光反射スペクトルの結果から銅系の顔料に藍が混ぜられていると推察される。

以上の結果から、葱の葉は有機化合物、おそらく黄色と青色の染料を混ぜた緑色で塗られ、糸瓜は銅由来の緑色顔料(もしくは青色顔料)と黄色と青色の染料との混色で描かれたのではないかと推測される。

今回の作品のように同じ画面でも様々な彩色材料で描かれることは多々ある。従来の点分析で行われる蛍光 X 線分析だけでは、緑色の箇所は同じ彩色材料とみなされ、一箇所の緑色のみの分析で済まされることは十分考えられる。しかし、赤外線画像を活用すれば彩色材料の面的広がり捉えることができ、点分析をするのにも非常に有効であるといえる。

以上、本研究により赤外線画像の濃淡は彩色材料の赤外線領域での反射・吸収を反映していることが確かめられた。顔料に加え、染料及び顔料と染料を塗り重ねたカラーチャートを作成し、標準となるデータを蓄積することで、赤外線画像から彩色材料を判断するための情報を得ることができた。また、顔料と染料とで赤外線画像の写り方に違いがあり、画面上で両者を見分けるのに赤外線画像が有効であることを明らかにできた。

#### <参考文献>

- 1) 秋山純子、森實久美子、赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究 1、文化財保存修復学会第 35 回大会要旨集、2013 年、pp.254-255
- 2) 秋山純子、森實久美子、赤外線撮影法による彩色材料調査の有効性に関する研究 2、日本文化財科学会第 31 回大会要旨集、2014 年、pp.418-419
- 3) 秋山純子、三好賢子、高木敬子、赤外線画像を使った彩色材料の面的調査、日本文化財科学会第 33 回大会要旨集、2017 年、pp.280-281
- 4) 秋山純子、上野進、鹿間里奈、赤外線画像を使った彩色材料の検討-顔料と染料を混合した場合-、日本文化財科学会第 35 回大会要旨集、2019 年、pp.264-265
- 5) 秋山純子、高木敬子、赤外線画像を利用した彩色材料の検討、東アジア文化遺産保存学会第 6 次国際学術検討会文集、2019 年、pp.569-578
- 6) 秋山純子、三好賢子、高木敬子、森實久美子、一瀬智、歴史資料に使用された彩色材料の調査研究、日本文化財科学会第 32 回大会要旨集、2016 年、pp.312-313

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- ① 秋山純子、高木敬子、赤外線画像を利用した彩色材料の検討、東アジア文化遺産保存学会第 6 次国際学術検討会文集、査読無、2019、pp.569-578
- ② 秋山純子、高松松平家博物図譜の科学調査、自然に挑む 江戸の超(スーパー)グラフィック、展覧会図録、査読無、2019、pp.64-65
- ③ 秋山純子、三好賢子、高木敬子、森實久美子、一瀬智、歴史資料に使用された彩色材料の調査研究、日本文化財科学会第 32 回大会要旨集、2016、pp.312-313
- ④ 秋山純子、三好賢子、高木敬子、赤外線画像を使った彩色材料の面的調査、日本文化財科学会第 33 回大会要旨集、2017、pp.280-281
- ⑤ 秋山純子、上野進、鹿間里奈、高木敬子、赤外線画像と彩色材料の成分との比較について、日本文化財科学会第 34 回大会要旨集、2018、pp.354-355
- ⑥ 秋山純子、上野進、鹿間里奈、赤外線画像を使った彩色材料の検討-顔料と染料を混合した場合-、日本文化財科学会第 35 回大会要旨集、2019、pp.264-265

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① 秋山純子、高木敬子、赤外線画像を利用した彩色材料の検討、東アジア文化遺産保存学会第 6 次国際学術検討会、2017、中国 上海
- ② 秋山純子、三好賢子、高木敬子、森實久美子、一瀬智、歴史資料に使用された彩色材料の調査研究、日本文化財科学会第 32 回大会、2016、奈良
- ③ 秋山純子、三好賢子、高木敬子、赤外線画像を使った彩色材料の面的調査、日本文化財科学会第 33 回大会、2017、山形
- ④ 秋山純子、上野進、鹿間里奈、高木敬子、赤外線画像と彩色材料の成分との比較について、日本文化財科学会第 34 回大会、2018、奈良
- ⑤ 秋山純子、上野進、鹿間里奈、赤外線画像を使った彩色材料の検討-顔料と染料を混合した場合-、日本文化財科学会第 35 回大会、2019、東京

#### 6. 研究組織

研究代表者のみ