

研究論文

ラマン散乱分光イメージング法による  
多色摺木版画の色材分子分布解析法の開発  
**Development of molecular distribution analysis method  
of color pigments on Japanese woodblock prints  
by Raman spectral-imaging**

南川丈夫<sup>1\*</sup>, 永井大規<sup>2</sup>, 金子貴昭<sup>3</sup>, 谷口一徹<sup>4</sup>, 原田義規<sup>1</sup>, 高松哲郎<sup>1</sup>, 竹中健司<sup>2</sup>  
Takeo MINAMIKAWA<sup>1\*</sup>, Daiki NAGAI<sup>2</sup>, Takaaki KANEKO<sup>3</sup>,  
Ittetsu TANIGUCHI<sup>4</sup>, Yoshinori Harada<sup>1</sup>, Tetsuro Takamatsu<sup>1</sup>, and Kenji TAKENAKA<sup>2</sup>

1 京都府立医科大学医学研究科

Graduate School of Medical Science, Kyoto Prefectural University of Medicine

〒601-8213 京都府京都市上京区河原町広小路梶井町465

E-mail: tminami@koto.kpu-m.ac.jp

2 有限会社竹笹堂

Takezasado Co., Ltd.

〒600-8471 京都府京都市下京区綾小路通西洞院東入新釜座町737

3 立命館大学衣笠総合研究機構

Kinugasa Research Organization, Ritsumeikan University

〒603-8577 京都府京都市北区等持院北町56-1

4 立命館大学理工学部

College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1

\*連絡先著者 Corresponding Author

錦絵をはじめとする多色摺木版画において、色材は木版画を特徴付ける重要な要素である。そのため、色材の分子構造および分子分布の詳細な解析が実現されれば、江戸時代の錦絵制作過程の重要な一部を推察することができる可能性がある。そこで本研究では、分子構造を強く反映した情報が得られるラマン散乱分光法に着目し、色材の分子構造と空間分布を同時に解析が可能な非侵襲的色材解析法の開発を行った。その結果、ラマン散乱分光法を用いることで色材の分子構造解

析およびその空間分布を可視化することに成功した。特に、紙面内イメージングから紙の繊維上の色材分布を可視化することに成功した。また、紙面と垂直方向のイメージングから、色材の立体的空間分布を可視化することに成功した。さらに、膠含有/不含色材の空間分布の違いも明らかにし、色材分布に基づく摺刷技術解析の可能性を示した。以上の結果から、本手法は多色摺木版画制作技法の新たな解析手法となると考えられる。

*Ukiyo-e* prints, Japanese multicolor woodblock prints, is a traditional Japanese art that has been flourished since Edo period. To surmise the production technologies of woodblock prints, such as materials, carving technologies, and printing technologies, detailed analysis of color pigments that are one of the most important essential materials used in woodblock prints is required. In this study, we proposed a noninvasive analytical method of color pigments by means of Raman spectral-imaging. Pigment species and its molecular structures were clarified via Raman spectra of pigments. Raman imaging of woodblock prints revealed pigment distribution in plane and cross-section, which provided adhesion states of pigments on paper fibers. We also visualized a different pigment distribution on paper depending on glue content in pigment mixture. Our results indicated that Raman spectral-imaging would be a promising technique for evaluating a production technologies of ancient *ukiyo-e* prints that was still unknown at present.

キーワード: 錦絵, 多色摺木版画, ラマン散乱分光イメージング, 色材

*Ukiyo-e* prints, Multicolor woodblock prints, Raman spectral-imaging, color pigments

## 1 はじめに

錦絵は、江戸時代に発展した多色摺木版画であり、その彫摺技術は現在、日本を代表する伝統美術である現代木版画のベースにもなっている。錦絵は、主に絵師、彫師、摺師と呼ばれる複数の職人による分業で制作される。絵師は主に錦絵の原画となる版下を担当し、彫師は版下に基づき版木を彫り、墨線のみで主版ができあがる。主版によって校合摺りが摺り上がり、絵師が色分けと呼ばれる色の指定を行い、その色数に従って彫師が色版を彫る。摺師は版木に色をのせて和紙に摺刷する。これらの制作技法の細部は、主に師弟間の直伝で受け継がれてきたため、当時の制作技法を記した

資料は非常に少ない。当時の制作手法や使用した材料の論考も行われているが、いまだ不明な点も多い<sup>1-3</sup>。そのため、現在に残る錦絵や版木から、当時の錦絵制作手法および使用した材料を推定することが強く求められている。

特に、色材は個々の錦絵の色感を特徴付ける重要な要素である他、制作年代により使用される色材の変遷も認められる。そのため、電子顕微鏡、X線蛍光分光法、可視-近赤外光反射分光法、三次元蛍光分光法など様々な分析手法が提案されている<sup>4,7</sup>。電子顕微鏡は、紙繊維や色材の非常に微細な形状解析が可能である。また、エネルギー分散型X線分析などと組み合わせることで、色材の元素の同定も可能である。しかし、電子線を利用

するため環境を真空にする必要がある, チャージアップを防ぐためプラチナなどの金属を蒸着する必要があるなど, 測定試料へのダメージが問題となる. また, エネルギー分散型X線分析は, 元素分析であり, 分子を構成する化学結合などの分子構造的情報に乏しいといった問題点がある. X線蛍光分光法, 可視-近赤外光反射分光法, 三次元蛍光分光法は, 試料に対して非侵襲的な解析が可能である. しかし, これらは電子エネルギー状態間遷移に基づく蛍光, 反射・吸収スペクトルに基づいた分析法であり, 化学結合などの分子構造的情報に乏しいといった問題点がある.

ラマン散乱分光法や赤外吸収分光法は, 化学結合を介した原子-原子間の振動(分子振動)に由来する赤外吸収スペクトルや波長シフトスペクトル(ラマン散乱スペクトル)を計測する<sup>8,9</sup>. そのため, 直接的な分子構造情報を得ることができ, 分子構造に基づく色材同定などが行われている<sup>10-12</sup>. しかし, これまでのラマン散乱分光法や赤外吸収分光法は, 色材同定のみを対象としていることが多く, 色材の空間分布について検討された例は非常に少ない. 色材の空間分布は, 木版画の摺刷工程において, 色材と紙繊維の接着度や多色色材の混合度などを明らかにする上で非常に重要な意味を成すと考えられる.

そこで本研究では, 分子構造に基づいた色材分子分析と空間分布分析を同時に解析可能な非侵襲的な色材解析法の開発を行った. 測定原理には, ラマン散乱分光法を採用した(図1). ラマン散乱分光法は, 前述のとおり分子振動に由来したラマン散乱スペクトルから原子や化学結合などの分子構造に関する情報が得られる. また, 可視光を用いることができることから, 高い空間分解能(数百マイクロメートル)で分子構造の空間的な解析が可能と

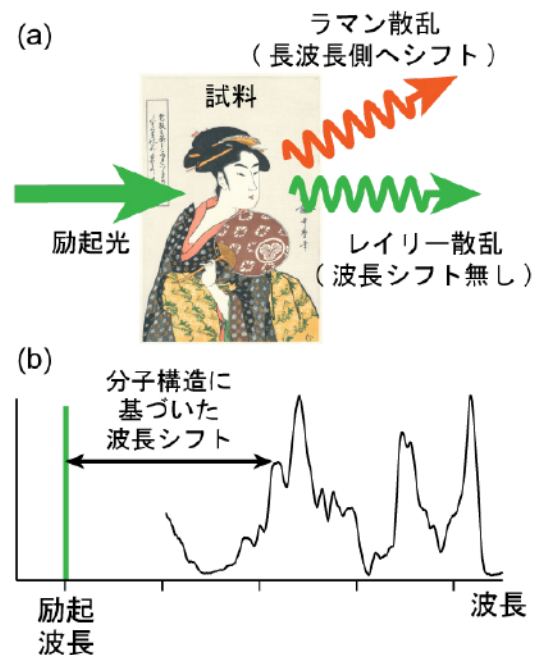


図1 ラマン散乱分光法. (a) 試料に励起光を照射し, 長波長側に波長シフトした光(ラマン散乱光)を測定する. 一方, 波長シフトしない散乱光をレイリー散乱と呼ぶ. (b) ラマンスペクトル. 分子構造(分子振動)に由来したスペクトルピークが現れる.

なる. 本研究では, まずラマン散乱分光法による色材同定能について検討するため, 既知の色材を用いて単色および混色色材の分子分析を行った. 次に, 現代の木版摺刷手法により制作された試料を用いて, 紙繊維上の面内色材分布計測を試みた. また, 紙面に垂直報告のラマンイメージングを行い, 色材の立体的空間分布計測能についても検討した.

## 2 実験方法

### 2.1 ラマン散乱分光システム

ラマン散乱分光システムには, スリット走査型ラマン散乱分光顕微鏡(RAMAN-11; ナノフォトン)を用いた. 励起光源には波長532 nmを用いた. 励起光は, シリンドリ



カルレンズおよび対物レンズ (UPlanFL N, x10, NA = 0.3; オリンパス) を通して、ライン状に試料へ照射した。励起光により発生したラマン散乱光は、同じ対物レンズを介し、励起光をフィルターでカットしてから分光器へ導光した。分光器の回折格子定数, スリット幅は, それぞれ600 本/mm, 70  $\mu\text{m}$ に設定した。分光器により波長分解されたラマン散乱光は, 2次元イメージセンサー (Pixis 400BR,  $-70^\circ\text{C}$ , 1340x400 pixels; Princeton Instruments) で検出した。本システムでは, ライン状に照明・ラマン散乱光の検出を行っているため, 1次元空間および波長の情報を一度に取得することができる。2次元空間イメージングは, ライン状の照明を走査することで実現した。励起光強度は30  $\mu\text{W}/\mu\text{m}^2$ に設定した。

## 2.2 試料

### 2.2.1 単色・混色色材試料

ラマン散乱分光法を用いた色材の分子同定能を評価するため, 単色および混色色材試料を作成した。色材には, 黄色色材 (クロームエロー, 10GA-1; 上羽絵惣) および新橋色材 (FS#487; 上羽絵惣) を用いた。黄色色材は,  $\text{PbCrO}_4 \cdot x\text{PbSO}_4$ の混晶を主成分とする顔料である。新橋色材は, C.I. Pigment Blue 17:1,  $\text{BaSO}_4$ , KAOLIN, ケイ酸アルミニウムなどを主成分とする混合顔料である。混色色材は, 黄色色材と新橋色材を1 g : 2 gの割合で混合し, 作製した。また, 粉末状の色材を蒸留水に溶解し, 中性紙 (TP PAPER, 901221; リコー) に塗布, 乾燥させ, 2次元ラマン画像の取得を行った。

### 2.2.2 多色摺木版画試料

紙面上色材分布および, 紙面に垂直な色

材分布計測では, 手摺り木版画 (京の色, 竹中健司作; 竹笹堂) を用いた。用紙には, 越前奉書紙 (岩野市兵衛作) が用いられている。

### 2.2.3 膠含有/不含木版画試料

膠による色材分布の変化を測定するため, 膠含有/不含木版画試料を作製した。色材には, 黄色色材 (クロームエロー, 10GA-1; 上羽絵惣) を用い, 膠には粉膠 (ダイヤグルー; 足立顔料店) を用いた。また, 用紙には新鳥の子和紙 (渡辺紙店) を用いた。版木には, シナベニヤ合板材を用い, 線状 (線幅2 mm) に彫刻したものをを用いた。

膠含有木版画試料は, 黄色色材を蒸留水で溶解したものをを用いた。膠不含木版画試料は, 膠を予め温水で溶解させた膠水に黄色色材を溶解させたものをを用いた。これら溶解色材は, 彫刻された版木に塗布後, 馬簾を用いて用紙に摺刷した。

## 2.3 スペクトル処理

スペクトル処理には, ナノフォトン社製 RAMAN-11に付属のソフトウェアを用いた。スペクトルの波長は, エタノールの既知のラマンスペクトルピークを用いて校正した。

得られた発光スペクトルには自家蛍光とラマン散乱光が含まれるため, ラマン散乱成分のみを抽出する必要がある。本研究では改良多項式フィッティング法を採用した<sup>13</sup>。8次の多項式で改良多項式フィッティングを10回実行し自家蛍光成分の推定を行うことで, ラマン散乱光と自家蛍光を含む発光スペクトルから, ラマン散乱成分と自家蛍光成分の分離抽出を行った。

### 3 実験結果と考察

#### 3.1 単色・混色色材のラマンイメージング

ラマン散乱分光法を用いた色材の分子同定能を評価するため、単色および混色色材を用いたラマンスペクトル解析を行った。図2aに紙に塗布した黄色色材、新橋色材、および紙の発光スペクトルを示す。励起光波長（532 nm）に対して長波長側に非常に幅の広い自家蛍光スペクトルと、急峻なピークを複数持つラマン散乱スペクトルが得られた。自家蛍光は、主に紙や色材から発生する。黄色色材塗布部の自家蛍光スペクトルはおよそ600 nm付近にピーク強度をもつ。この特徴は紙の自家蛍光スペクトルにも見られることから、紙の自家蛍光を強く受けていると考えられる。一方、新橋色材塗布部は、555 nm付近にピーク強度を持つことから、色材自体の自家蛍光が強く影響されていると考えられる。

ラマン散乱スペクトルから分子構造を解析する際、前述の自家蛍光バックグラウンドノイズとなる。そのため、得られた発光スペクトルから、改良多項式フィッティング法を用いることでラマン散乱スペクトルのみを抽出した。得られたラマン散乱スペクトルを図2bに示す。なお、波長軸は、ラマン散乱分光解析の慣例である波数に変換した。

新橋色材は、1328, 1525  $\text{cm}^{-1}$ などを中心に複数のピークが認められた。黄色色材では、333, 826  $\text{cm}^{-1}$ に少数のピークが認められた。このように、黄色色材と新橋色材のラマン散乱スペクトルのピーク位置が大きく異なることから、黄色色材と新橋色材は分子構造が大きく異なることが明らかである。一方、緑色色材は、上述の黄色色

材と新橋色材のピークを併せ持つことがわかる。即ち、緑色色材は、上述の黄色色材と新橋色材の混色であることが、ラマンスペクトル解析から明らかである。

単色および混色色材のラマンスペクトルイメージを図3に示す。新橋色材、黄色色材、および緑色色材溶液を図3aのように隣接して塗布し、全体のラマンイメージを取得した。新橋色材に由来する1525  $\text{cm}^{-1}$ の強度分布を取得することで、新橋色材単色の部位および緑色色材の部位が選択的に可視化された（図3b）。一方、黄色色材に由来する826  $\text{cm}^{-1}$ の強度分布を取得することで、黄色色材単色の部位、および緑色色材の部位が選択的に可視化された（図3c, d）。

また、ラマン散乱光強度は分子濃度に比例する。即ち、ラマン散乱光強度分布を解析することで、色材の濃度分布を明らかにすることができる。本実験で用いた試料で

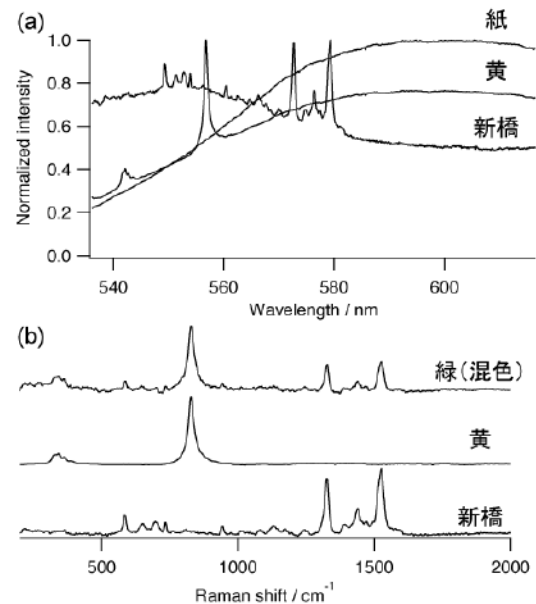


図2 単色・混色色材のラマン散乱スペクトル。(a) 黄色色材、新橋色材、および紙の自家蛍光を含む発光スペクトル。(b) 自家蛍光成分を除去したラマン散乱スペクトル。

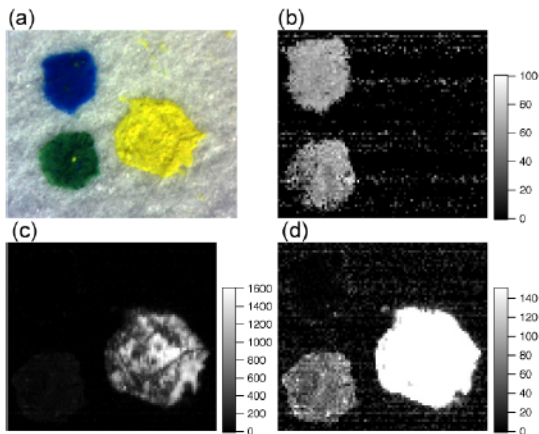


図3 単色・混色色材のラマンイメージング。(a) 全体像 (左上, 新橋色材; 左下, 緑色色材; 右, 黄色色材)。(b)  $1525\text{ cm}^{-1}$ の強度分布。(c)  $826\text{ cm}^{-1}$ の強度分布。(d)  $826\text{ cm}^{-1}$ の強度分布 (微弱光を強調)。カラーバーは強度値を示す。

は、黄色色材を塗布した部位 (図3c) で色材の顕著な偏在が見られた。

以上のことから、ラマン散乱分光法を用いることで、色材分子の解析および同定、および各種色材の選択的可視化と、濃度分布の推定が可能であることが明らかとなった。

### 3.2 木版画の3次元イメージング

ラマン散乱分光法による3次元色材分布計測能を評価するため、多色摺木版画のラマンイメージングを行った。試料には図4aに示す多色摺木版画を用い、緑色および赤色色材を用いた摺刷部を測定対象とした。

まず、緑色色材摺刷部および赤色色材摺刷部のラマンスペクトルを図4bに示す。緑色色材摺刷部では、 $1235, 1267, 1283, 1333, 1532, 1602\text{ cm}^{-1}$ などに特徴的なラマンピークが見られた。一方、赤色色材摺刷部では、 $964, 1167, 1245, 1292, 1366, 1458, 1491,$

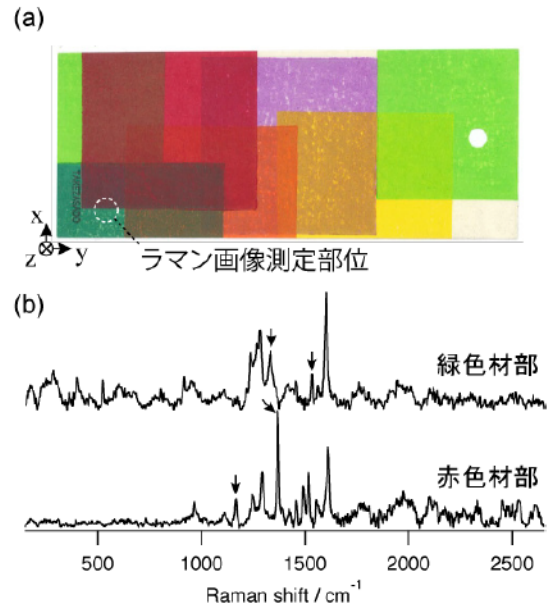


図4 多色摺木版画のラマンスペクトル。(a) 多色摺木版画の全体像。点線円は、ラマンイメージング測定部 (図5) を示す。上部は、緑色色材で摺刷された上に赤色色材が重畳して摺刷されている。下部は、緑色色材のみで摺刷されている。(b) 緑色色材のみ、および赤色色材のみの摺刷部のラマンスペクトル。矢印は、ラマン画像の測定ピークを示す。

$1517, 1555, 1610\text{ cm}^{-1}$ に特徴的なラマンピークが見られた。

赤色色材および緑色色材のラマンスペクトルから、特に $1167, 1333, 1366, 1532\text{ cm}^{-1}$ で顕著な違いが見られた。そこで、それらのラマンピーク強度を用いたxy面内ラマンイメージングを行った (図5a)。緑色色材に特徴的なラマンピーク $1333, 1532\text{ cm}^{-1}$ では緑色色材部が、赤色色材に特徴的なラマンピーク $1167, 1366\text{ cm}^{-1}$ では赤色色材部が明瞭に可視化された。各色材領域内でのラマン光強度分布を詳細に観察すると、紙の繊維に沿った強度分布が見られた。即ち、色材は、紙の繊維と繊維の隙間に存在しているのではなく、紙の繊維に付着し



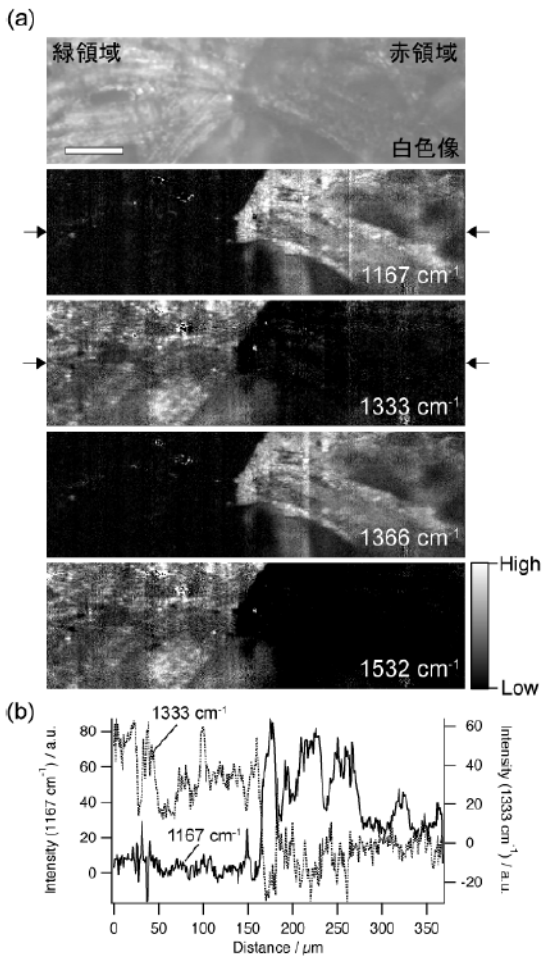


図5 多色摺木版画のxy面内イメージング (測定部位：図4aの点線円部)。(a) 白色像および各スペクトルピークのラマン画像。スケールバーは50 μmを示す。(b) ラマン画像1167 cm⁻¹, 1333 cm⁻¹における矢印部の強度プロファイル。

て分布していることが明らかである。また、赤色色材および緑色色材ともに、ラマン散乱光強度が強い微小輝点領域が紙繊維上に複数見られた。これは、色材の微小な凝集が可視化されていると考えられる。

また、緑色色材部と赤色色材部の境界部では、明瞭な境界線が観察された。図5bにラマン画像1167, 1333 cm⁻¹の断面強度プロファイル (図5a矢印部) を示す。低強度値 (色材無し) から高強度値 (色材有り) の

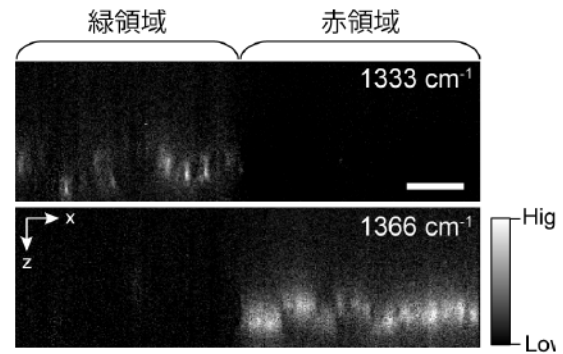


図6 多色摺木版画のxz面内イメージング (測定部位：図4aの点線円部)。緑色色材に特徴的な1333 cm⁻¹, 及び赤色色材に特徴的な1366 cm⁻¹のラマン画像を示す。スケールバーは50 μmを示す。

変化距離を計測した所、1167 cm⁻¹ (赤色色材部) では17.5 μm, 1333 cm⁻¹ (緑色色材部) では11.0 μmであった。即ち、本試料ではエッジ精度10~20 μm程度で摺刷されたことがわかる。これらの結果は、木版画から版木の彫刻精度等を推察する上で重要な情報となると考えられる。

次に紙面に対して垂直方向における色材分布計測を行うため、xz面内ラマンイメージングを行った (図6)。緑色色材および赤色色材に特徴的な1333 cm⁻¹及び1366 cm⁻¹のラマン画像を取得することで、緑色色材および赤色色材の紙面方向の色材分布が可視化された。和紙は、紙の繊維が3次元的に複雑に絡合している。そのため、木版画の摺刷によって、紙の表層のみに色材が付着する場合と、深層まで達する場合があると考えられる。即ち、xz面内イメージングによって、紙の立体的走行と、それに摺刷された色材の深達度を推定することができると考えられる。ただし、本研究では赤色色材の下部に摺刷された緑色色材を可視化することは出来なかった (図4a

点線円部上部の赤と緑色色材の重摺部) .  
 これは、励起光あるいはラマン散乱光が、  
 上部に摺刷された赤色色材によって吸収  
 され、緑色色材のラマン散乱光を取得する  
 ことができなかつたためと考えられる. 色  
 材の積層を観察するためには、色材に吸収  
 され難い励起波長を選択するなどの工夫  
 が求められる.

### 3.3 膠含有/不含木版画のラマンイメージ ング

多色摺木版画では、細線から面まで様々  
 な面積を有する版画を摺刷する必要がある.  
 より美しい摺刷を実現するためには、  
 摺師の摺刷技術のみならず、色材の粘性や  
 乾燥速度などの調整なども重要な要素と  
 なる. 色材の粘性や乾燥速度などの調整に  
 は、膠や糊などが用いられる事が多い<sup>1-3</sup>.  
 そこで、本研究では膠を含有した色材と不  
 含の色材を用いて、その色材空間分布に与  
 える影響について検討した.

図7cに膠含有/不含黄色色材で摺刷した  
 木版画(図7a, b)のラマン・自家蛍光スペ  
 クトルを示す. 膠含有/不含黄色色材におい  
 て、特に自家蛍光成分に顕著な違いが見ら  
 れた. そこで、より詳細な比較を行うため、  
 改良多項式フィッティング法により自家  
 蛍光成分のみを抽出した(図7d). その結  
 果、膠不含色材では1500 cm<sup>-1</sup>付近(波長580  
 nm付近)を最大強度とする短鋒的な自家  
 蛍光スペクトルが得られた. 一方、膠含有  
 色材では1245 cm<sup>-1</sup>付近(波長570 nm付近)と  
 2322 cm<sup>-1</sup>付近(波長607 nm付近)に2つの  
 ピークを有する自家蛍光スペクトルが得  
 られた. 以上のことから、1245 cm<sup>-1</sup>付近と  
 2322 cm<sup>-1</sup>付近の自家蛍光スペクトルピー  
 クは、膠に由来するピークであると考えら

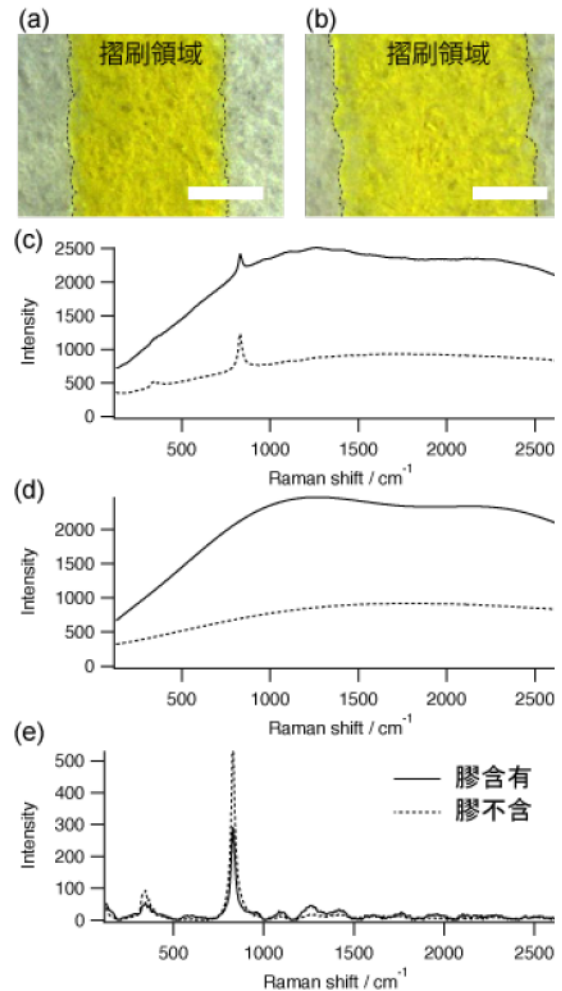


図7 膠含有/不含黄色色材を用いた木版画の  
 ラマン・自家蛍光スペクトル. (a) 膠不含,  
 (b) 膠含有木版画の全体像. スケールバーは1  
 mmを示す. (c) 自家蛍光とラマン散乱光を含  
 む発光スペクトル. (d) 自家蛍光成分のみを  
 抽出したスペクトル. (e) ラマン散乱光成分  
 のみを抽出したスペクトル.

れる. また、自家蛍光強度の比較から、ラ  
 マンスペクトル解析においては、膠が非常  
 に強いバックグラウンドとなることが明  
 らかとなった.

膠含有/不含黄色色材で摺刷した木版画  
 の発光スペクトルから抽出したラマンス  
 ペクトルを図7eに示す. 黄色色材に由来す  
 る344, 828 cm<sup>-1</sup>のラマンバンドが明瞭に得



られた。また、 $828\text{ cm}^{-1}$ のスペクトルピーク強度を比較した所、膠不含色材のほうが膠含有色材よりも強いという結果が得られた。これは、膠不含色材の方が色材密度の高い状態で摺刷されていることを示唆すると考えられる。しかし、膠含有黄色色材と膠不含黄色色材でラマンスペクトル形状の違いは見られず、膠由来のラマンスペクトルを得ることはできなかった。これは、本研究で用いた励起波長 $532\text{ nm}$ では、膠の自家蛍光が強くラマンスペクトルが弱いためであると考えられる。膠のラマンスペクトル解析をするためには、励起波長の最適化が求められると考えられる。

図8に黄色色材に由来する $828\text{ cm}^{-1}$ のラマンイメージングの結果を示す。膠不含色材の木版画のラマン画像では、不均一な強度分布が見られた(図8a)。これは、黄色色材の凝集に伴う、不均一な色材分布に由来すると考えられる。色材の凝集の面積は $10\text{ }\mu\text{m}^2$ 程度から数百 $\mu\text{m}^2$ 程度まで様々な形状が見られた。一方、膠含有色材の木版画のラマン画像では、均一な強度分布が得ら

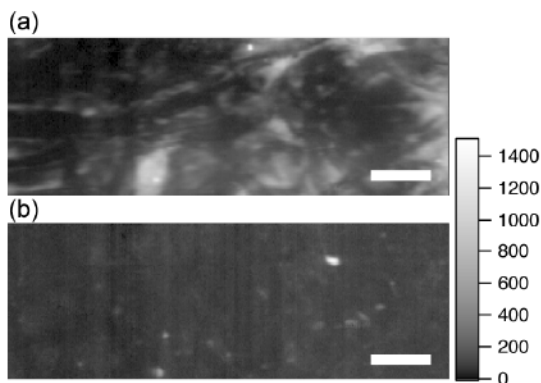


図8 膠含有/不含黄色色材を用いた木版画のラマンイメージング。(a) 膠不含、(b) 膠含有木版画のラマン画像 ( $828\text{ cm}^{-1}$ の強度画像)。スケールバーは $100\text{ }\mu\text{m}$ を示す。

れた(図8b)。これは、膠を含有することで色材に適度な粘性が得られ、色材が均一に分布したことによると考えられる。

膠は江戸時代の錦絵制作工程にも用いられたことが知られている<sup>1-3</sup>。しかし、使用される量については、摺師の経験に依るところが大きく、文献等から当時の状況を正確に把握することは困難である。ラマンイメージングを行うことで、膠の含有量によって色材の分布に影響が与えられることが明らかとなったことから、ラマン散乱分光法は膠の使用方法を推察する上でも有用である可能性が示された。

## 4 おわりに

本研究では、ラマン散乱分光法を用いて木版画の非侵襲的色材分布解析法の開発を行った。ラマン散乱分光法を用いることで、非侵襲的に色材同定を含む分子分析を実現し、かつ色材空間分布を可視化できることを明らかにした。

本手法は、非侵襲的な方法であることから、これまで化学的分析調査が困難であった貴重な錦絵を含め、様々な多色摺木版画へ適用することができる。そのため、今後は本手法を江戸～明治期の様々な多色摺木版画へ適用し、得られた色材分子データおよび色材分布データのデータベース化を行っていく。そのデータベースを元に多変量的にデータ解析することで、ラマン散乱分光法による色材分子解析および色材分布解析に基づいた近世錦絵の摺彫技術の新たな解析法の開発につながっていくと考えられる。

## 謝辞

本研究は、文部科学省共同利用・共同研究拠点立命館大学アート・リサーチセンター日本文化資源デジタル・アーカイブ研究拠点2014年度共同研究助成金により実施された。

## 参考文献

- [1] 石井研堂: 「錦絵の彫と摺」. 芸艸堂, 1965.
- [2] 原色浮世絵大百科事典編集委員会編, 「原色 浮世絵大百科事典 第3巻 様式・彫摺・版元」. 大修館書店, 1982.
- [3] 小林忠; 大久保純一: 「浮世絵の鑑賞基礎知識」, 至文堂, 1994.
- [4] 下山進; 野田裕子; 勝原伸也: 「光ファイバーを用いる三次元蛍光スペクトルによる日本古来の 浮世絵版画に使用された着色料の非破壊同定」, 分析化学, Vol. 47, No. 2, pp. 93–100, 1998.
- [5] 貴田啓子; 北田正弘: 「江戸時代の浮世絵版画 に用いられたフェロシアン化鉄顔料の劣化」, 日本金属学会誌, Vol. 74, No. 3, pp. 158–164, 2010.
- [6] 吉田直人: 「可視反射スペクトルと二次微分スペクトルによる青色色材の判別に関する検討」, 保存科学, Vol. 50, pp. 207–215, 2011.
- [7] Noda, Yasuko; Shimoyama, Susumu: “Non destructive analysis of Ukiyo-e, traditional Japanese woodblock prints, using a portable X-ray fluorescence spectrometer”, *Dyes in History and Archaeology*, Vol. 18, pp. 73–86, 2002.
- [8] 濱口宏夫; 平川暁子: 「ラマン分光法」. 学会 出版センター, 東京, 1988.
- [9] 古川行夫; 高柳正夫; 長谷川健: 「赤外・ラマン 分光法」. 日本分光学会編, 2009.
- [10] Sakamoto, Akira; Ochiai, Shukichi; Higashiyama, Hisamitsu; Masutani, Koji; Kimura, Jun-ichi; Koseto-Horyu, Emi; Tasumi, Mitsuo: “Raman studies of Japanese art objects by a portable Raman spectrometer using liquid crystal tunable filters”, *Journal of Raman Spectroscopy*, Vol. 43, No. 6, pp. 787–791, 2012.
- [11] 坂本章; 落合周吉: 「ラマン分光法と文化財測定用携帯型ラマンイメージング装置」, 『錦絵はいかにつくられたか』, 国立歴史民俗博物館, pp. 85-89, 2009.
- [12] Wiedemann, Hans G.; Gunter, John R.; Oswald, Hans R.: “Investigation of ancient and new Japanese papers”, *Thermochimica Acta*, Vol. 282–283, pp. 453–459, 1996.
- [13] Lieber, Chad A.; Mahadevan-Jansen, Anita: “Automated method for subtraction of fluorescence from biological Raman spectra”, *Applied Spectroscopy*, Vol. 57, No. 11, pp. 1363–1367, 2003.