

浮世絵の色材研究 —浮世絵非破壊分析法の開発研究と浮世絵研究者との出会い—

下山 進・下山 裕子

はじめに

浮世絵¹⁾の非破壊分析による色材調査に携わって22年になる。これまで、多色摺木版画の創始者として知られる江戸中期の鈴木晴信から、鳥居清長、東洲斎写楽、喜多川歌麿、溪斎英泉、葛飾北斎、歌川豊国、五渡亭国貞（歌川国貞）、歌川国芳、歌川広重、そして幕末から明治初期にかけて活躍した月岡芳年（大蘇芳年）など、江戸の浮世絵師が描いた多くの作品に触れて分析することができた。中でも清長作品については、ボストン美術館所蔵のスポルディング・コレクション²⁾と日本の美術館が所蔵する同一作品を比較分析することができた^{3)・4)}。浮世絵は、初摺り200枚と言われ、同一作品が複数存在し、同一作品でもスポルディング・コレクションにある作品から得られた分析結果は、貴重な色材情報となった。

ここでは、非破壊分析法の新たな開発につながった木版画家と浮世絵研究者との出会いにふれながら、浮世絵の制作技術と使用された色材について紹介する。

1. 染料非破壊分析法の開発

1994年10月、平塚市美術館・学芸員の端山聡子氏（現：横浜美術館学芸員・教育プロジェクトリーダー）が企画したワークショップ「浮世絵版画の魅力を語る」に参加し、講師の立原位貫氏（木版画家1951-2015）が語る「彫り・摺りの技術からみた浮世絵」を聴いた。このとき初めて浮世絵の色材に染料が多用されていることを知った。染料であれば、私達が開発した三次元蛍光スペクトル非破壊分析法（3DF分析法）^{5)・6)}によって浮世絵に摺られた染料が解析できる。

すでに、筆者らは、3DF分析法によって、佐賀県・吉野ヶ里遺跡から出土した弥生時代中期（1世紀）の布片が茜や貝紫で染められていることを明らかにし⁷⁾、ベルギー王立文化財研究所で開催された国際学会DHA（Dyes in History and Archaeology）で発表していた⁸⁾。また、平安時代中期に編纂された延喜式（律令の施行細則）にある植物染料の蛍光特性を解析し、その中の一つ「紅花」の蛍光特性を活かしたメーキャップを大手化粧品メーカーと共同開発し商品化していた。この3DF分析法が染織物から浮世絵の分析に適用拡大できる。

立原氏と話せば、彼は、多色摺木版画の高度な彫りと摺りの技術を持ち、探求心が強く、江戸の色を化学的に裏付けたいと切望していた。この22年前の立原氏との出会いが、浮世絵の色材研究をスタートさせた。

この共同研究では、下山が浮世絵の局所部分から蛍光測定を行うシステム開発を担当し、野田裕子がアルミニウムを含む礬水⁹⁾を引いた和紙と染料との吸着と発色について研究した¹⁰⁾。そして、立原氏は、版木を用い、巧みな摺りの技術で色材を和紙に摺り込み、基準となる標準サンプルを作成した。

古代の染織物は、紅花、鬱金、黄蘗、あるいは藍などの植物染料で染められている。同一染料であれば同一の分子構造を持つことから、それが和紙に摺られていても、また染織物に染め

られていても、同一のデータが得られた。

そして、年が明けて1995年、光ファイバーを用いる3DF非破壊分析法(**Fig. 1**)によって実物の浮世絵に摺られた染料の解析に成功し、先ずアムステルダムで開催された国際学会DHAで発表¹¹⁾、その後、多数の浮世絵を実測してデータを整理し、日本分析化学会に論文投稿した¹²⁾。その結果、日本分析化学会から、「この解析システムは、光ファイバーによる小面積部分の三次元蛍光測定を可能にし、

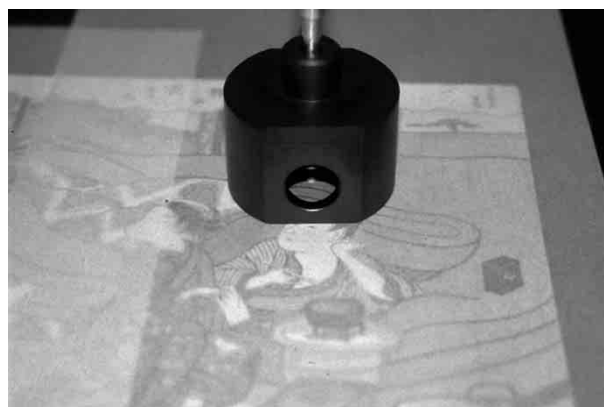


Fig. 1 3DF 非破壊分析法における光ファイバー非破壊的に染織物に用いられた染料の同定に 一の先端

成功して、さらに浮世絵に適用拡大し、考古学的にも貴重な結論を得た実用性の高い分析手法である」と認められ、1998年度の学会賞「分析化学論文賞」を野田ならびに立原氏と共に受賞した。そして、この研究論文の要旨は、実測した浮世絵と共にアメリカ化学会(American Chemical Society)が発行する2000年カレンダー The Colors of Chemistry found in Chemical Abstractsの9月のページを飾り紹介された。また、さらに2002年には、L'OREAL Art and Science Foundation¹³⁾から、浮世絵を彩る色の秘密を非破壊分析という最先端科学で明らかにし、その輝きを現代のメーキャップに蘇らせた業績論文「Scientific Scrutiny of Ukiyo-e Prints and Color Revival」で第5回 ロレアル 色の科学と芸術賞(奨励賞)を受賞した。

立原氏から提供された当時の標準サンプルから得られたデータが、今でも浮世絵の色材調査における基準データとなっている。また、立原氏は、江戸の色彩を現代に蘇らせ、世絵の復刻を成し遂げて¹⁴⁾、夢枕獏氏の連載小説「大江戸恐龍伝」(小学館)の挿絵など、オリジナル作品を数多く制作発表し活躍した。

2. 顔料非破壊分析法の開発

しかし、この共同研究によって新たな課題が生まれた。浮世絵に摺られた色材は、染料だけではなく、顔料も使われていた。顔料は3DF分析法では解析できない。蛍光X線分析法であれば分析できるが、当時の分析装置は、浮世絵のような大きな画面を持つ試料の特定部分を非破壊的に測定することは不可能であった。試行錯誤の結果、1997年にNASAから打ち上げられた火星探査機 Mars Pathfinder の無人移動探査車「ソジャーナー」に搭載されたラジオアイソトープ(放射性同位体)を線源とするX線分光計がヒントとなり、低レベル放射性同位元素(RI)を放射線源(**Fig. 2**)とする蛍光X線非破壊分析法(RI 蛍光X線分析法)を開発した^{15)~17)}。これによって、前記した3DF非破壊分析法を併用し、浮世絵に使用された染料と顔料のほぼ全てを解析できるようになった。



Fig. 2 RI 蛍光X線分析法における非接触線源

3. 浮世絵に登場する青

2001年5月、浮世絵連絡協議会主催の研究大会に招かれ「浮世絵の非破壊分析」について講演した。このときお会いしたのが礪川浮世絵美術館館長の松井英男氏（医学博士 1930-2013）であった。松井氏は、杏林大学医学部生化学講座主任教授を退官された後、1996年から浮世絵研究に没頭、1998年には礪川浮世絵美術館を設立し、科学的な知識を持って精力的に浮世絵の研究を続けた方である¹⁸⁾。この出会いが、浮世絵に登場する青の研究をスタートさせた。

浮世絵の青には、染料であれば青花（露草）¹⁹⁾と藍²⁰⁾、顔料であれば鉄とカリウムを主成分元素とするプルシアンブルー²¹⁾の三つがある。しかし、これらの色材は、目視によって判定することはできず、特に藍とプルシアンブルーの判定は困難とのこと。また、浮世絵にプルシアンブルーが登場する時期については、科学的な分析データに基づく客観的な結論が得られていないという。

そうであれば、これまで我々が開発してきた3DF非破壊分析法とRI蛍光X線分析法を併用することによって、この三つの青は非破壊的に判定でき、浮世絵における青の変遷を明らかにすることができる。このことから、時代ごとに変化した浮世絵の青について松井氏と分析調査することになった。この研究は、「RI蛍光X線非破壊分析法による浮世絵版画へのプルシアンブルー導入過程の研究」として日本原子力研究所²²⁾の公募型研究2002年「黎明研究」に採択され進めることができた。

この共同研究をスタートさせるにあたって、分析に要する時間が問題となった。青の変遷を探るためには、年代ごとに数多くの浮世絵を分析しなければならない。たしかに、3DF非破壊分析法とRI蛍光X線分析法を併用すれば三つの青は識別できる。しかし、いずれの分析法も1回の測定に数十分を要した。多くの浮世絵を短時間で分析していくにはどうしたらよいのか。これがスタート時の課題であった。

ここで、特定の色材であれば可視光線領域（波長370~780nm）における反射スペクトルが固有のパターンを示すことに気づいた。それは、この年（2001年）の4月、米国から返還された「琉球国惣絵図（間切集成図）²³⁾」の色材調査を実施したとき、赤色の染料「臙脂（ラック）」が固有のスペクトルパターンを示していたからである²⁴⁾。そこで、ポータブルなミノルタCM-2600d型分光測色計（Fig.



Fig. 3 ミノルタ CM-2600d 型分光測色計

3) を使用し、青花 (a)、藍 (b)、そしてプルシアンブルー (c) の可視反射スペクトルを測定した。その結果、Fig. 4 に示したように、この三つの青から得られる可視光線領域のスペクトルは、それぞれ異なる固有のパターンを示すことがわかった。

このスペクトル解析によって、先ず浮世絵に摺られている青の可視反射スペクトルを測定すれば、そのパターンから、いずれの青か短時間で判別でき、必要に応じRI蛍光X線分析法で鉄元素の存在を確認して、プルシアンブルーと確定できる。

この共同研究では、浮世絵の中でも役者絵（芝居絵）に重点を置き、文政初期（1818年）から天保7年（1836年）までの18年間に刊行された128点の浮世絵に摺られている青を分析し、

分析結果を時代考証にもとづき年代順に整理した。その結果、天保2年河原崎座正月興行歌舞伎「河津繫曾我本説(かわづがけそがほんせつ)」の前宣伝となる歌川国芳の役者絵(三枚続き)「工藤左衛門祐経・松本幸四郎、十郎祐成・沢村源之助、五郎時宗・市川団十郎」の中の一枚「五郎時宗・市川団十郎」(Fig. 5)に描かれている五郎時宗の袴の地色「青」からプルシアンブルーが初めて登場し、それ以降の役者絵には、すべてプルシアンブルーが使われていた。役者絵は、浮世絵の中で最も多く刊行され、原則的に版木保存による後年後摺が無く、歌舞伎番付け等で興行年が考証でき、当時の歌舞伎上演が2か月単位であることから月まで判別可能となる。また、興行前の宣伝出版であり、制作年も興行前ということになる。この役者絵の場合は、興行が天保2年(1831年)正月であることから、その前年に制作され刊行されたことになる。すなわち、浮世絵にプルシアンブルーが登場したのは、天保元年(1830年)後半であることがわかった^{25)・26)}。

4. 葛飾北斎「富嶽三十六景」と「諸国瀧廻り」の青

これに引き続き、葛飾北斎の「富嶽三十六景」シリーズ36図(代表作 Fig. 6)と「諸国瀧廻り」シリーズ8図(代表作 Fig. 7)の青を解析した。これらの浮世絵には、空や海が濃い青から薄い青へとグラデーションをもって摺られた「ぼかし摺²⁷⁾」があり、また特徴的なのは文字や輪郭線が青で摺られていることであった。分析の結果、この「ぼかし摺」は、すべてプルシアンブルーであった。プルシアンブルーが「ぼかし摺」を容易にさせ、浮世絵の世界に風景画ジャンルを誕生させたこともわかった。さらに、ここで注目したのは、浮世絵の文字や輪郭線の青である。

浮世絵の多色摺りは、一枚の和紙に、先ず主版(おもはん)で絵師の名前などの文字や絵の輪郭線を摺り、それに色分けされた色版を使って、構図の各所に指定された色材を摺り込んで仕上げる。通常の浮世絵は、主版に黒の墨を使って摺られる。しかし、「富嶽三十六景」シリーズや「諸国瀧廻り」シリーズのいずれの浮世絵においても、その文字や輪郭線は、青の色材で摺られていて、その青は、プルシアンブルーであると言われていた。

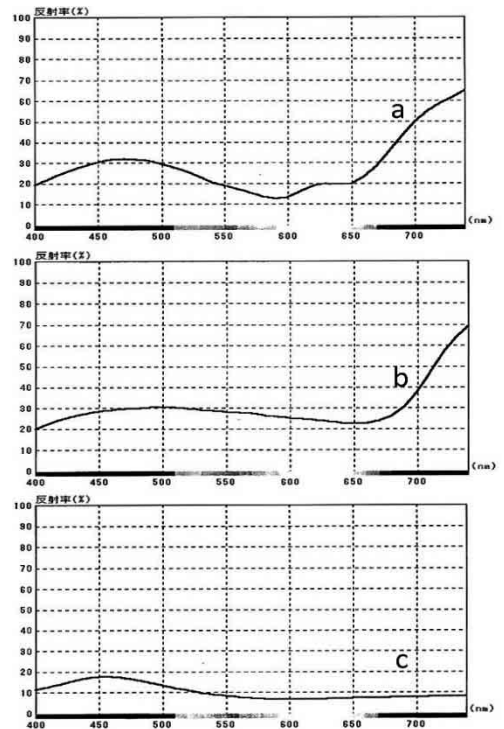


Fig. 4 青花 (a)、藍 (b)、プルシアンブルー (c) の可視反射スペクトル



Fig. 5 歌川国芳《工藤左衛門祐経・松本幸四郎、十郎祐成・沢村源之助、五郎時宗・市川団十郎》三枚続きのうち《五郎時宗・市川団十郎》

浮世絵の細い輪郭線を摺った色材のみを測定するにはどうしたらよいか、ここで課題が生じた。それまで使用してきた分光測色計 (Fig. 3) の測定面積は広い。絞り込んでも直径 3 mm の円形の中にある色材の反射スペクトルを測定する。この円形の中に同じ色材があればよいが、浮世絵の輪郭線を測定する場合、輪郭線の青と同時に周辺の他の色材も測定してしまう。また、もう一つの課題は、可視光線領域 (780nm) から、さらに近赤外線領域 (1000nm) まで測定波長を拡げること

によって、三つの青のスペクトルパターンをよりの確に捉えて識別することであった。そこで探し出したのが、Ocean Optics 社 (USA) の光ファイバー (Fig. 8) とハンディな分光器を使用する装置であった。この装置を用いた可視-近赤外反射スペクトル分析法 (Vis-Nir 反射スペクトル分析法) であれば、約 1 mm のスポット光を照射するだけで細い輪郭線の青の色材のみを測定することができる。そして、測定された青花 (a)、藍 (b)、そしてプルシアンブルー (c) の可視-近赤外反射スペクトルは、Fig. 9 に示したように、それぞれ固有のパターンを示し、的確に識別できることがわかった。また、灰色に褪色した露草であっても、そのスペクトルの特徴を捉えることができた。

そして、この Vis-Nir 反射スペクトル分析法によって「富嶽三十六景」シリーズ 36 図のすべてと「諸国瀧廻り」の内の 5 図に摺られている輪郭線の青を測定した。その結果、いずれの場合も、輪郭線の青は、プルシアンブルーではなく、藍であることが明らかとなった。北斎は、主版に藍を使用し、色版にはプルシアンブルーを使用して斬新な色彩感覚を表現していた²⁸⁾。

この分析調査にあたっては、「富嶽三十六景」全図を松井氏の美術館所蔵作品だけでは完結できず、全図を所蔵する山口県立萩美術館・浦上記念館にお世話になり、追加調査と再確認ができた。また、この時点では、「諸国瀧廻り」(8 図) すべての分析を完結できなかったが、これも全図を所蔵している太田記念美術館にお世話になり、後日、8 図すべての調査を完結でき、同様の結論を得た。



Fig. 6 葛飾北斎 富嶽三十六景シリーズのうち《神奈川冲浪裏》

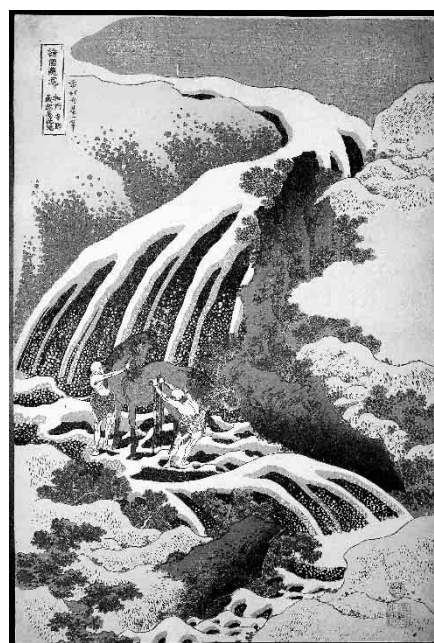


Fig. 7 葛飾北斎 諸国瀧廻りシリーズのうち《和州吉野義経馬洗瀧》



Fig. 8 Vis-Nir 反射スペクトル分析法における光ファイバーの先端

5. 浮世絵に使用された青の変遷

松井氏は、その後も、この Vis-Nir 反射スペクトル分析法によって、時代考証とともに 800 点以上の浮世絵に摺られていた青の分析を継続し、江戸で刊行された明和期から寛政期頃（1765～1800 年頃）までの浮世絵には青花が使われ、寛政後期から文化末期（1817 年）頃に藍の使用が散見され、文政期（1818 年）に入ると藍の使用が多く見られようになり、文政中期（1824 年前後）には、青花から藍へと青の色材が完全に移行し、藍が一般化している。そして、続く天保元年（1830 年）には、藍からプルシアンブルーへの転換が始まり、天保 2 年（1831 年）後半には浮世絵の 86%が、天保 3 年（1832 年）以降は、ほぼ 100%の浮世絵にプルシアンブルーが使われていると報告している。また、浮世絵には、上方の文化圏で生まれた「上方絵」と江戸の文化圏で生まれた「江戸絵」があるが、西洋文化との接触が早かった「上方絵」では、文化期（1804-1816 年）の後期にまで遡ってプルシアンブルーが検出されたと報告している²⁹⁾。

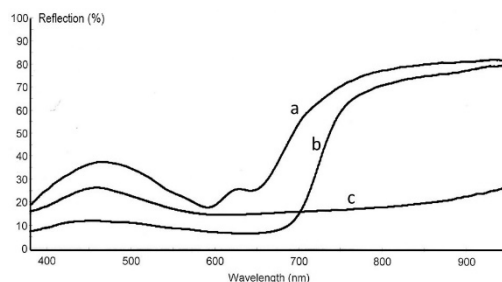


Fig. 9 青花 (a)、藍 (b)、プルシアンブルー (c) の可視-近赤外反射スペクトル

6. 浮世絵に使用された色材

前記した非破壊分析法によって、実物の浮世絵に使用されていた色材は、「青」の青花、藍、プルシアンブルー、「黄」の藤黄³⁰⁾、鬱金³¹⁾、石黄³²⁾、「赤」の紅³³⁾、朱³⁴⁾、丹³⁵⁾、弁柄³⁶⁾・³⁷⁾、そして「黒」の墨、また初期の浮世絵にみられた白の鉛白³⁸⁾などであった。昭和四年刊の石井研堂著「錦絵の彫と摺」³⁹⁾にある黄色の棠梨（ずみ）⁴⁰⁾や黄蘗⁴¹⁾は、これまでの分析調査で確認されていない。この中で青の青花や藍は、前記したように変遷し、単色の青としては使われなくなっていく。しかし、青花は「紫」を、藍は「緑」を発色させるために使い続けられていた。

浮世絵の紫は、“歌麿の紫”といわれ、歌麿独自のものと思われがちであるが、初期の浮世絵から明治期に入った浮世絵にアニリン染料（化学染料）が登場するまで、浮世絵の紫は青花と紅による混色であった。また緑は、染料の藍と顔料の石黄との混色であり、これも清長の浮世絵あたりから使い続けられている。青花や藍は、単色の青としては使われなくなっていくが、紫や緑を発色させるために必要な色材であった。

7. 浮世絵の色材として使われた顔料の特性

浮世絵の色材として使われた顔料には共通した特性がある。浮世絵の制作⁴²⁾における摺の工程では、罌水を引いて滲み止めをした一枚の和紙に、先ず主版を用いて文字や輪郭線を墨で摺り、これに複数（色分けされて彫られた複数）の色版を用いて、構図の各所に指定された色を摺り込んでいく。色摺は、色版を表にして、これに米を煮た糊（姫糊）を置き、それに色料となる色材を加えて刷毛（ブラシ）で広げ、その上に文字や輪郭線が摺られている和紙を裏返しにして、“見当”に合わせて位置を決め、その背を馬連で擦って圧を加え、色料を和紙に滲み込ませて着色する。通常は、繊維が長く強靱で破れにくい楮を漉いた和紙（楮紙）が使われる。

この楮紙の表面を拡大した顕微鏡写真をみると **Fig. 10** のように繊維と繊維の絡み合う間に空孔がある。この空孔の中に顔料が入り込んで色が定着する。染料の場合は、繊維が染色されて定着するが、顔料の場合は、この空孔の中に入り込める大きさの粒子でなければ定着しない。顔料の粒子の大きさを表す番手で5番の岩絵具「緑青（ろくしょう）」⁴³⁾は、鮮やかで深みのある緑である。しかし、**Fig. 10** と同じ倍率に拡大した5番緑青の顕微鏡写真 (**Fig. 11**) を視れば明らかなように、この番手の緑青では、粒子が大きく、繊維と繊維の空孔に入り込むことができず定着しない。粒子を細かくすればよいが、一般的に、岩絵具は、粒子が細かくなると彩度が下がり（鮮やかさを失い）、明度が高くなり（明るくなり）、本来の鮮やかさと濃さを失い白に近い色彩となる。そのため、浮世絵の色料としては使えない。このような一般的な岩絵具の中で、浮世絵に使われていた顔料には共通した特性があった。プルシアンブルーや石黄、朱、丹、弁柄、そして鉛白などは、人差し指と親指に挟み、擦れば“滑らかで指先の指紋の中にまで入り込む”、それほど粒子が細かくなっても、鮮やかで濃い色彩を保っている。

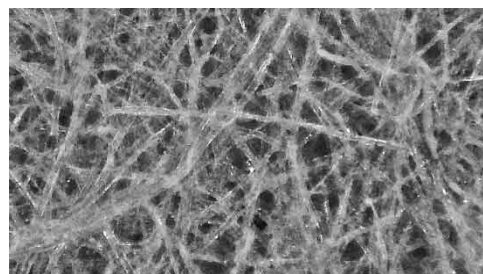


Fig. 10 和紙（楮紙）の顕微鏡写真
(x 9.6)

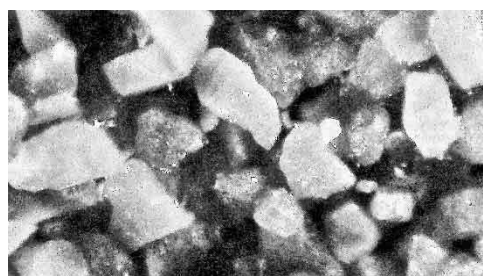


Fig. 11 5番「緑青」の顕微鏡写真
(x 9.6)

特にプルシアンブルーは、極めて微細な粒子となって水に良く分散し、粒子が凝集して濃い青から、粒子が広く分散して明るく澄んだ空色のように定着する。この特性が版木で摺る浮世絵の風景画にとって絶好の青となり、“ぼかし摺”を容易にさせ、葛飾北斎の「富嶽三十六景」シリーズを始めとする風景画ジャンルを誕生させた。

8. 絵画に登場するプルシアンブルー

版木を用いて摺り出し描く浮世絵とは異なり、顔料を膠で溶いた絵具を用いて筆で描き出す絵画の世界では、浮世絵よりも早い時期にプルシアンブルーが使われていた。

2003年、降旗千賀子氏（現：目黒区美術館・学芸係長）、安村敏信氏（元：板橋区立美術館館長）、そして金子信久氏（現：府中市美術館・学芸員）らは、「秋田蘭画における緑の表現およびこれに関連する青の色材について」共同研究⁴⁴⁾を展開していた。その研究グループから依頼され、板橋区立美術館が所蔵する小田野直武（1749～80年）筆の秋田蘭画を調査した。前記した3DF、RI、そしてVis-Nir反射スペクトル分析法によって非破壊分析を行った結果、《老松図》（絹本着色）の松葉の緑にはプルシアンブルーが混色されており、また《鷺図》（絹本着色）の背景に塗られた薄い青は、プルシアンブルーであると推定された。直武の活動期（1774～80年）から考え、これらの絹本着色絵画には、浮世絵よりも五十数年も前にプルシアンブルーが使われていた。しかしながら、このプルシアンブルーを濃い青から流れるように薄く澄んだ空や海のように表現できる色材として使用したのは、多色摺木版画の世界で活躍した絵師であり彫師や摺師の制作集団であった。

おわりに

江戸の色彩を現代に蘇らせた木版画家との出会い、そして洞察力に富んだ浮世絵研究者との出会いによって、非破壊分析法の開発が加速され、未知の世界であった浮世絵の色材を明らかにすることができた。いかなる研究分野においても同じように、異分野の方との「一期一会」の出会いを大切に、互いに協力し合えば、新たな成果が生まれ、その過程で新たな発想が生まれる。共同研究とは、「一期一会」の出会いによって、視点の異なる刺激を互いに受け、課題を解決していく作業かもしれない。本稿が浮世絵研究者にとって少しでも参考になれば幸いである。

(付記)

本稿は、2016年10月22日から12月18日に目黒区美術館で開催された展覧会「色の博物誌」に寄稿した原稿に追記し、浮世絵研究に関連する文献と説明を補う補注を書き加えて執筆した。

【文献ならびに補注】

- 1) 浮世絵：本稿では、錦絵とも呼ばれ江戸で刊行された多色摺浮世絵版画を「浮世絵」とした。また、浮世絵を「江戸絵」と「上方絵」にわけるとすれば、「江戸絵」の色材研究となる。
- 2) スポルディング・コレクション：William Stuart Spaulding (1865-1937) と John Taylor Spaulding (1870-1948) の兄弟が浮世絵愛好家として知られた建築家のフランク・ロイド・ライトなどに託して収集した色鮮やかな逸品を含む約 6500 点の浮世絵。1921 年、スポルディング・コレクションとしてボストン美術館に寄贈される。スポルディング兄弟は、寄贈する際、光や湿度などの破壊的要素から作品の褪色を防ぐため、美術館での展示を禁じた。現在も展示されず完璧な保存状態で収蔵されている。
- 3) 米国ボストン美術館スポルディング・コレクション（浮世絵版画）色材共同調査：2007年7月1日～2010年3月31日の間、(社)東京倶楽部および(財)文化保護・芸術研究助成財団の助成を受け、スポルディング・コレクションにある鳥居清長作品について実施した色材調査（代表者：下山 進）。米国ボストン美術館収蔵作品および山口県立萩美術館・浦上記念館所蔵作品については、いずれも非破壊分析装置を美術館に移送しそれぞれ分析した。
- 4) 下山 進：ボストン美術館スポルディング・コレクション色材共同調査－浮世絵版画“鳥居清長作品”に使用された色材（第1報）－，文化財情報学研究，5，pp.43-53（2008）。※ここでは千葉市美術館所蔵の清長作品について報告した。
- 5) 下山 進，野田裕子：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的同定法，分析化学，41，pp. 243-250（1992）。
- 6) 下山 進，野田裕子：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的同定法の再検討，分析化学，43，pp. 475-480（1994）。
- 7) 前田雨城，下山 進，野田裕子：吉野ヶ里遺跡出土染織遺物の染色鑑定科学調査について，佐賀県文化財調査報告書第113集「吉野ヶ里《神崎工業団地計画に伴う埋蔵文化財発掘調査概要報告集》本文編」，pp. 522-554，佐賀県教育庁文化財課（1992）。
- 8) S. Shimoyama, Y. Noda : Non-destructive Determination of Natural Dyestuffs used for Ancient Coloured Cloths using a Three-Dimensional Fluorescence Spectrum Technique,

Dyes in History and Archaeology, 12, pp. 45-56 (1993).

9) 礬水 (どうさ) : 膠と明礬をそれぞれ水で煮て、季節によって異なるが、おおむね二対一の割合で混ぜた溶液。“礬水を引いた和紙”とは、この溶液を柔らかい毛の刷毛を使って和紙一面に塗り、湿度を考慮して乾かした和紙をいう。礬水を引いた和紙は、耐水性を持つようになり、強靱な馬連の摺りにも耐えられるようになる。

10) 礬水による染料の吸着と発色 : 植物染料による染色では、茜や紫根などの媒染染料に椿灰の灰汁や明礬水などを媒染剤として使用する。これは、媒染剤に含まれるアルミニウムイオンが絹繊維と染料との結合をはかるとともに、染料の発色を良くする。このことと同様に、和紙(セルロース)にアルミニウムを含む礬水を引くことによって、鬱金や黄蘗などの直接染料であっても、その発色は良くなり、染料の定着もよくなる。

11) S. Shimoyama, Y. Noda and S. Katsuhara : NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS OF UKITYO-E PRINTS Determination of Plant Dyestuffs used for Traditional Japanese Woodblock Prints, Employing a Three-Dimensional Fluorescence Spectrum Technique and Quar' z Fibre Optics, *Dyes in History and Archaeology*, 15, pp. 27-42 (1996).

12) 下山 進, 野田裕子, 勝原信也 (立原位貫) : 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*, 47, pp. 93-100 (1998).

※(社)日本分析化学会 1998年「分析化学」論文賞 受賞論文

13) L'OREAL Art and Science Foundation (ロレアル アーツ アンド サイエンス ファンデーション) : 科学と芸術の創造的な出会いを積極的に推進した団体。1995年にフランスに本部を置くロレアルグループの拠出金で創設される。1997年から10年間、新鮮でオリジナルな科学と芸術の出会いを実現した人物に国際賞「ロレアル 色の科学と芸術賞」を授与。2006年度には、応募件数が226件(37ヶ国)に及んだ。

14) 立原位貫著「一刀一絵」ポプラ社(2010)。

15) Y. Noda, S. Shimoyama : Non-Destructive Analysis of *Ukiyo-e*, Traditional Japanese Woodblock Prints, Using a Portable X-rat Fluorescence Spectrometer, *Dyes in History and Archaeology*, 18, pp. 73-86 (1999).

16) 下山 進, 野田裕子 : 低レベル放射性同位体 (^{241}Am) を線源として用いる簡易携帯型蛍光X線分析装置及び日本古来の絵馬に使用された無機着色料の非破壊分析への応用, *分析化学*, 49, pp. 1015-1021 (2000) .

17) 下山 進, 野田裕子, 朽津信明 : 低レベル放射性同位体 ^{55}Fe を線源として用いる簡易携帯型蛍光X線分析装置, *分析化学*, 51, pp. 1045-1047 (2002).

18) 松井英男著「浮世絵の見方ー芸術性・資料性を正しく理解するー」誠文堂新光社(2012)。

19) 青花 : 露草と表記されることもある。植物のツユクサよりも大型の栽培変種(オオボウシバナ)で、ツユクサと同じように、花弁に含まれている青色色素のコンメリニン(commelinin)である。この青花の色素は、水に浸れば流れて滲み出し、褪色しやすく青味の灰色に変色する。初期の浮世絵が暖色調(赤味)に変わってくるのは、この時代に多用された青花(露草)の青が褪色し、他の暖色系の色材が強調されてくることによる。

20) 藍 : 染料植物の蓼藍、琉球藍、インド藍などの茎や葉に含まれるインジカンが加水分解してインドキシルとなり、これが二量体を形成し、空気中の酸素などによって酸化されて結合し生成

する青色色素のインジゴ (indigo) である。これを浮世絵の色材として使用するには工夫がいる。当初は、藍の葉を発酵させた“すくも”を投じて“藍建て”した藍甕 (還元発酵溶液) の染液表面に浮く泡 (藍花) をすくい集めて乾燥したものが使われ、後には藍染の古布を石灰と水飴 (水飴の麦芽糖が弱い還元剤となる) を加えた水の中で煮沸し、煮沸する泡の中に遊離してくる藍の粒子を集めて乾燥させたもの (藍蠟) が使われた。

21) プルシアンブルー : ドイツの Diesbach によって 1704 年に合成された無機顔料で、ベルリン・ブルー、ベルリン・ブラウ、ミロリー・ブルー、ベレンス、ヘロリン、ペロ、ペロ藍、あるいは紺青などとよばれているが、いずれの場合も同一物質であり、化学名はヘキサシアノ鉄(II)酸鉄(III)カリウム、化学式は $\text{Fe}^{\text{III}}\text{K}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ と示され ($\text{FeK}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ と示されることもある)、鉄とカリウムを主成分元素とする。近年市販されている「紺青」は、化学式で $\text{Fe}^{\text{III}}\text{NH}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$ と示され、カリウム塩ではなくアンモニウム塩のものもある。なお、「花紺青」とは別物である。この「花紺青」は、天然のコバルト鉱石を溶けたガラスに投じて得られるコバルトガラスを粉碎し製する顔料「スマルト」である。

22) 日本原子力研究所 : 現在の独立行政法人「日本原子力研究開発機構」である。

23) 琉球国惣絵図 (間切集成図) : NP0 法人「琉米歴史研究会」によって米国ボストンで発見され、2001 年に沖縄県に返還される。その後、2003 年に沖縄県立博物館へ寄贈され、名称を「間切図」と変更し、国の重要文化財に指定されている。

24) 高木秀明, 下山 進 : 琉球国惣絵図 (間切集成図) に使用された色材の非破壊分析, 吉備国際大学 社会学部 研究紀要, Vol.12 , pp. 215-222 (2002). ※Photo Research 社製 PR-650 測色計によって、色材「臙脂 (ラック)」から得られる可視反射スペクトルは、固有のパターンを示していた。

25) 下山 進 (研究代表者), 松井英男 : RI 蛍光 X 線非破壊分析法による浮世絵版画へのプルシアンブルー導入過程の研究, 日本原子力研究所, 第 7 回 黎明研究報告会報告集, JAERI-Conf 2003-021, pp. 440 - 454 (2003).

26) 松井英男, 下山 進, 野田裕子 : 錦絵青色着色料の非破壊同定法に基づくベルリン・ブルー導入過程と「富嶽三十六景」を嚆矢とする浮世絵風景版画確立経緯の研究, 北斎研究, 通巻第 37 号, pp. i-liv (2005) (東京美術).

27) ぼかし摺 (拭きぼかし) : 版木自体に特別な細工をせず、版木の面に充分水気を与え、その上部、あるいは下部に色料を一字に (一直線に) 塗り、版木に残された水気で色料を上から下へ、あるいは下から上へ流して、色料が濃い部分から徐々に薄く広がった状態を摺る。この“ぼかし摺”が容易なのがプルシアンブルー²¹⁾であり、浮世絵の風景画で見られる天空一字に濃い青から下方に薄い青へと変化する空や手前一字に濃い青から上方に薄い青へと変化する水面が表現でき、浮世絵に空気感と奥行感を与えることができる。

28) 下山 進, 松井英男, 下山裕子 : 光ファイバー接続簡易携帯型分光器を用いる可視 - 近赤外反射スペクトルによる浮世絵版画青色着色料の非破壊同定, 分析化学, **55**, pp. 121-126 (2006).

29) 松井英男 : 浮世絵 3 青色絵具の使用変遷と「富嶽三十六景」成立の意義, 浮世絵の名品に見る「青」の変遷, pp. 6-11 (アートシステム) (2012).

30) 藤黄 (とうおう) : インド、東南アジアに生育し、高さ 18 メートルほどに成長するオトギリソウ科の熱帯常緑喬“海藤樹 (ガンボージ)”の幹に切り込みを入れ、流れ出るミクル状の液を

空気に触れさせて黄褐色の塊とした樹脂。古くから黄色の絵具として用いられ、ガンボージともいう。雌黄（石黄）の代替絵具として使われたことから混同されることがある。

31) 鬱金（うこん）：植物ウコンの根から得られる黄色色素のクルクミン（curcumin）である。

32) 石黄（せきおう）：化学名は三硫化二砒素、化学式は As_2S_3 と示される。雄黄（ゆうおう）とよばれることもあるが、これは化学名を一硫化砒素、化学式を AsS とする赤色のリアルガー（鶏冠石）であり石黄とは異なる。また雌黄（しおう）とよばれることもあるが、これは染料の籐黄と混同するよびかたである。

33) 紅（べに）：植物ベニバナ（紅花）の花弁から得られる赤色色素のカーサミン（carthamin）である。

34) 朱：化学名は硫化水銀、化学式は HgS と示される。中国では天然に産出する純度の高い辰砂を砕いて製していた。このことから「辰砂（しんしゃ）」と言われることもある。また、この語源「辰砂」は、辰砂を中国では「丹砂（たんしゃ）」と呼ぶこともあり、辰州に産するものが優品であったことから、“辰州の丹砂”をもって「辰砂」と呼ばれるようになったと言われている。また、中国の古書「天工開物」には水銀と硫黄によって人工的に製する方法が記載されている。

35) 丹（たん）：鉛丹ともいわれ、化学名は四酸化三鉛、化学式は Pb_2O_3 と示される。鉛白などの鉛化合物を強熱して製造される。この丹は、酸化数の上昇により暗色化するため、空気中の酸素によって酸化され黒変する。この現象は、清長の浮世絵の中でもみられ、まばらに黒変した丹の色材が分析される。朱の呼び名である丹砂と混同されやすい。

36) 弁柄：紅柄、紅殻と書かれることもある。主成分は化学名で酸化第二鉄、化学式は Fe_2O_3 と示される。古くは、赤鉄鉱（hematite ヘマタイト Fe_2O_3 ）などの酸化鉄が風化して産する赤い土が天然土性顔料として使われた。インドのベンガル地方で良質なものが産出したことが名称の由来といわれている。日本では江戸中期の初めごろから大正時代にかけて備中（岡山県）吹屋地方で盛んに生産された。

37) 吹屋弁柄：記録によれば「吹屋の弁柄は宝永年間（1704年）より銅山の捨石の中から硫化鉄鉱を拾い出し」「硫化鉄鉱石を薪と共に積み30日ないし50日焼鉱すると鉱石に含有する硫黄などが燃える。この焼石を水槽にいれ溶液を作り、その溶液を釜で煮沸、乾燥したものをローハという、このローハをホーロクにもり焼釜にて数日焼き、水洗し粉末調整を行い、石臼で微粉となし、清水により数拾回攪拌脱酸し、天日乾燥または火力乾燥し再度トンコと称する精粉機にて粉状を揃え製品とする。」とある。この記録によれば、まず硫化鉄鉱 ($Fe_{1-x}S$) を薪と共に焼き、酸化還元して生成する硫酸鉄 ($FeSO_4$) を水槽に入れる。そして、溶出した硫酸鉄の水溶液を煮沸し、濃縮して析出した青緑色の結晶を取り出す。この結晶が「緑礬（りょくばん）」ともいわれたローハ ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) である。そして、このローハを素焼きの皿（ホーロク）にもって焼釜で焼いて酸化させて赤色の弁柄 (Fe_2O_3) が生産された。

38) 鉛白：化学名は塩基性炭酸鉛、化学式は $2PbCO_2 \cdot Pb(OH)_2$ と示される。起源は古く、最古の人造顔料の一つで、その製法が中国の古書「天工開物」にもある。方鉛鉱 PbS から得られる金属の鉛を原料とし、鉛の表面に酢酸やクエン酸などのカルボキシル基 ($-COOH$) を持つ有機酸の蒸気を接触させて鉛の炭酸塩とし製する。奈良時代には日本に伝来し、古くは鉛白のことを“胡の国（ペルシャ）”から伝来した粉ということから“胡粉”と呼んでいた。中国の古書「天

工開物」にも“胡粉”と表記されている。しかし、後の“胡粉”は、貝殻胡粉（主成分：炭酸カルシウム CaCO_3 ）のことを意味するようになった。

なお、この鉛白（塩基性炭酸鉛）は、硫黄元素（S）を含む顔料と接して、あるいは空気中の硫化物（例えば、自動車の排気ガスに含まれる亜硫酸ガス）と接して、黒色の硫酸鉛（ PbS ）になり黒変する。

39) 石井研堂著「錦絵の彫と摺」：昭和4年（1929）に刊行される。この再販本（昭和40年）を改訂覆刻した新版（1994）（芸艸堂）の pp. 61-73 に「乙、絵の具」があり、これに浮世絵で使用された絵具が記載されている。

40) 棠梨（ずみ）：昭和四年刊の石井研堂著「錦絵の彫と摺」には、「棠梨の樹の皮を煎じて出す、稍褐色がかかった黄である」とある。また、日本の古書「実用色染学」には、「梨樹の皮を椿灰の灰汁で煮だし、明礬を加えて沈殿させ、ろ過して黄色の沈殿物とする」とあることから、落葉小高木「小梨・桷」の皮から得られる黄色色素と考えられるが、まだ十分に調査が進んでいない。

41) 黄蘗（きはだ）：ミカン科の落葉高木「オウバク」の周皮を除いた樹皮から得られる黄色色素のベルベリン（berberine）である。

42) 浮世絵の制作：浮世絵は、出版の権利と責任を担う「版元」の企画の下で、刊行する版下絵と摺色の指定を行う「絵師」、主版と色版を彫る「彫師」、彫られた版木（主版と色班）を使って多色摺りに仕上げる「摺師」の技術が動員されて制作される。制作された浮世絵は、版元が自ら、あるいは小売業者の「絵草紙屋」に卸されて一般大衆に販売された。初版の浮世絵は、先ず絵師が版元の企画に従って版下絵を描き彫師に渡す。版下絵は、文字と輪郭線のみであり、彫師は、この版下絵を裏返しにして版木に張り付け、版下絵の文字と輪郭線を彫って主版を作り、その主版を使って薄墨で軽く摺った色指し用の「校合摺」を色数だけ絵師に渡す。絵師は、この校合摺によって主版の彫の状態を校正し、完成図の色彩を念頭におき、使用する色を色分けして各校合摺に書き入れて（色指しして）彫師に戻す。彫師は、指定された色ごとに、競合摺りを裏返しにして版木に張り付け、それぞれ版木を彫って色摺用の版木（色版）を作る。そして、一枚の競合摺に全部の色を彩色して完成図の見本を作り、絵師に戻して確認を得る。次に、主版と複数の色版を用いた摺師による木版印刷が始まる。摺師は、礬水を引いた一枚の和紙を用いて、各版木の二カ所に彫り残されている「見当」に合わせ、色ずれ（版ずれ）が起きないように重ね摺りを行う。先ず「主版」で文字と輪郭線を摺り、それに色分けされた「色版」を用いて、構図の各所に指定された色材を摺り込み仕上げていく。摺師は、何百枚もの浮世絵を摺りあげていくが、一日に摺ることができる枚数は、標準的に200枚といわれている。また、初摺の場合は、版元の指示を受けた絵師の監督の下で彫師、摺師が作業を進め、絵師が意図した色彩表現が再現されていく。

43) 緑青（ろくしょう）：岩絵具の岩緑青ともう。鉱石の孔雀石（くじゃくせき malachite）を粉砕して製する。主成分は化学名で塩基性炭酸銅、化学式は $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ と示される。一般的に、岩絵具は、粒子の大きさによって5番から13番（白／びやく）に選別され、数字が大きくなるほど粒子が細くなり、粒子表面の乱反射が多くなって白っぽくなる。

44) 安村敏信，金子信久，降旗千賀子（代表）：「美術における色材の歴史的変遷の考察(1)―“洋風表現”に表わされた緑色をめぐる」《秋田蘭画における緑の表現およびこれに関連する青の色材について》、2002年度 花王・学芸員研究助成報告書（2003）. 以上