

偏光顕微鏡による光沢加工された和紙の 下地材同定の提案

Proposal to identify the base material of gloss-processed Japanese paper
using polarizing microscopes

成田 朱美・石倉 茉歩
NARITA Akemi, ISHIKURA Maho

When drawing Japanese Painting (Nihonga), the surface of Japanese paper is processed to prevent bleeding and improve brush strokes. Processing may cause gloss as a secondary effect. Among several surface treatment methods, in this study, a pigment was applied to Japanese paper and polished to obtain gloss, which was used as a sample. Oyster gofun, clam gofun, capiz, pearl powder, calcite powder, crystal powder, and mica were selected as pigments, and the goal was to compare these and identify the pigment used.

A digital microscope that is non-destructive, non-contact, and secures the distance from the lens to the sample was used as the identification method. While searching for the method of identification using the digital microscope, it was judged that polarization observation was effective. In this study, we propose polarization observation with the digital microscope as a means of identifying pigments applied to the surface of Japanese paper.

In this paper, we grasped the characteristics of each pigment, observed the sample actually applied, and tried to utilize the obtained knowledge for the investigation of cultural properties.

1. はじめに

絵画材料としての和紙は滲み防止や筆運びを良くするために、表面に加工が施されることがあり、方法によっては加工の二次的な作用として和紙表面に光沢が生じる。表面加工の手法は幾つかあり、紙表面を物理的に平滑にする打紙や、胡粉やいぼた蠟を表面に塗布し、さらに磨いて光沢を得る方法などが挙げられる。さらには、あえて光沢を得るために雲母引された和紙もある。しかし月日を経た和紙では、光沢が残っていても、どの手法を用いた和紙か見分けることが難しい場合がある。さらには上記で挙げたような技法は、添加物がある場合、非破壊の蛍光X線の測定で判別できるものもあるが、作品に近接するため、調査の許可が得られない場合が多い。

文化財は非破壊調査が原則であるため、調査可能な距離を保ちつつ同定できる方法を模索した中で、デジタルマイクロスコープでの観察、特に偏光観察が有効であることが分かった。

先行研究では、和紙の原料同定のために光学顕微鏡を用いた研究¹や、和紙の繊維・不純物・柔細胞・澱粉などを光学顕微鏡にて観察し分析を行っている研究²がある。また19世紀後半には、透過型顕微鏡の偏光観察による鉱物の見え方が盛んに研究され、鉱物の光学的性質が明らかにされている。しかし、デジタルマイクロスコープで偏光観察ができるようになってからおよそ40年の月日が経っているが、光沢加工に対して調査研究された事例はなく、デジタルマイクロスコープの偏光観察は、観察表面の乱反射を軽減する用途が主であり、偏光特性を観察する手法は注目されていなかった。

本研究では、表面加工の手法が幾つかある中で、和紙に顔料を塗布しそれを研磨し光沢を得たものを調査することによって、偏光観察による下地材の同定を試みた。

2. 光沢加工のための下地材について

小さな粒子の下地材を和紙に塗布すると、その粒子が繊維の間隙を埋めることとなり、表面は平滑となる。さらに研磨することで光沢が得られる。この和紙の繊維の隙間を埋める小さな粒子として、牡蠣胡粉、蛤胡粉、マド貝、真珠粉、水晶末、方解末、そして雲母を選択し試料を作成して調査を行った。本稿ではこれらの小さな粒子を総じて顔料と表記する。試料の支持体となる和紙は楮を使用し、顔料を膠水溶液で溶いたものを和紙に刷毛で塗布した。膠水溶液は牛皮和膠（天野山文化遺産研究所、特2-B）を用い、水10：膠1（重量比）とした。下地材はそれぞれ塗布後、乾燥を待って、蛤の貝殻の外側を紙面にあてがい、円を描くようにして磨いた。

牡蠣胡粉は、いぼた牡蠣の貝殻を粉碎し精製して作った顔料である。主成分は炭酸カルシウム $[\text{CaCO}_3]$ とされる³。また、牡蠣はアラゴナイトを含まず、カルサイトで構成されている。長波の紫外線蛍光撮影ではほとんど蛍光しないが、短波にて僅かに緑に蛍光反応する。紫外線反射撮影では白く反射する⁴。試料にはナカガワ胡粉絵具株式会社の金鳳を用いた。

蛤胡粉は、マルスダレガイ科の蛤の貝殻を粉碎して得る。蛤の粉は非常に硬く、対して牡蠣は軟らかく砕きやすい。牡蠣の炭酸カルシウムがカルサイト構造であるのに対し、蛤の炭酸カルシウムはアラゴナイト構造で屈折率が大きいため、牡蠣胡粉の明度が95以下であるのに対し、蛤胡粉は97に達し高白色度となる⁵。紫外線反射撮影では白く反射する。試料にはホルベイン画材株式会社の白鷺を用いた。

マドガイ末は、軟体動物門二枚貝綱マドガイ科の二枚貝を粉碎して得る。台湾以南の熱帯太平洋およびインド洋に広く分布し、浅海の砂底に生息する。殻表は銀白色を帯びた半透明で真珠光沢があり、微細な放射条もある。殻頂には八の字形の殻板があり、成長に合わせて栓皮葺状になる。紫外線反射撮影では白く反射する。江戸時代に浮世絵版画の雲母摺りに使用する雲母の代用品としての“貝の粉末”が使用された記録があり⁶試料に加えた。マドガイの持つ光沢や、貝殻の層状構造が貝の粉末の中で最も雲母に近いと、雲母に似た使用感が得られるのではないかと予想された。試料には、株式会社ホームテリアより購入したマドガイ（カピス自然）を、2～3 cm角程度まで手で割り、フードプロセッサーにて粉碎した。その後水干し、荒口、中口、細口の3段階に分けた。本

研究では細口を使用した。

真珠粉は真珠を育てるアコヤガイの内側の真珠層部分ないしは、真珠粒の核を取り除いた 0.5 - 1 mm の真珠層のみを粉砕したものである。炭酸カルシウム $[\text{CaCO}_3]$ が主成分。100 g 中カルシウムは約 95 %、他にマグネシウム 54.8 - 58.9 mg、亜鉛 9.94 - 18.9 mg、鉄 2.98 - 7.5 mg、カリウム 2.1 - 3.20 mg、銅 0.4 mg、タンパク質が約 4% と言われる⁷。紫外線蛍光・紫外線反射撮影は牡蠣胡粉と同様の反応を示す。マドガイ同様、雲母の代用品として、真珠層の光沢が料紙光沢にも影響するのではないかと考え試料に加えた。試料にはロハスタイル美夢工房の真珠末（パールパウダー）を用いた。

方解末の原石は炭酸塩鉱物の一種の方解石（白大理石）。主成分は炭酸カルシウム $[\text{CaCO}_3]$ 。紫外線反射撮影では白く反射する。日本画材料としての使用は近現代からと言えるが、白色顔料の比較のため試料に加えた。試料には株式会社放光堂の方解末を使用した。

水晶末の原石は石英（水晶）。主成分の無水珪酸（二酸化ケイ素） $[\text{SiO}_2]$ が錐面をもつ六角柱状結晶となっている鉱物を粉砕したものである。紫外線反射撮影ではやや暗いが白く反射する。1903（明治 36）年の第 5 回内国勸業博覧会にて、放光堂の創始者である石田吉作によって水晶末が、珊瑚末とともに新商品として出品されたのが始まりである⁸。日本画材料としては近代からの使用ではあるが、方解末同様、日本画材料の白色顔料として、比較のため試料に加えた。試料には株式会社放光堂の水晶末を使用した。

雲母は薄い層状を成した原石を粉砕して顔料にしたもの。半透明で光沢がある。雲母引（きらびき）といい、古くから絹や紙に膠液と混ぜて薄く引く下地の処理に用いられた⁹。

雲母の主成分はカリウムを主としたケイ酸塩鉱物で、含有物によって多種の色がある。顔料として用いられる白雲母は $[\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2]$ とされる。今回の顔料の中では唯一、紫外線蛍光・紫外線反射撮影ともに黒く反射する。試料には株式会社放光堂の雲母 中口を使用した。

3. 蛍光 X 線分析での比較

それぞれの試料に用いた顔料の主成分はすでに知られているが、実際に顔料を蛍光 X 線（Niton XL3t-950S）にて測定した。

牡蠣胡粉（図 1）、蛤胡粉（図 2）、マドガイ末（図 3）、真珠粉（図 4）、そして方解末（図 5）からはカルシウムが検出された。僅かにアルミや銅の検出が確認できた。試料に用いた顔料以外に、異なるメーカーや型番違いも測定した。僅かに検出元素の違いや含有比に差異が認められたが、カルシウムの検出以外の元素は、汚染や絵具などの他の要因が混在している作品では判別できる検出量や違いではなかった。

次に水晶末（図 6）からはケイ素が検出された。雲母（図 7）からは主にカリウム、鉄、ケイ素が検出した。アルミニウムも確認できた。雲母はメーカーによって検出量の差はあるものの、おおむね上記の元素の検出が認められた。天然の黒雲母からはカリウムの値が低くなり、代わりにカルシウムの検出が認められた。

同じカルサイトではあるが、貝殻が原料の顔料と鉱物が原料の方解末とでは、不純物などから差

が出ると予想を立てたが、測定条件が異なる場合に判別できるほどの検出元素の違いはなかった。

結果として、蛍光X線での調査が可能であれば、カルシウム系のものと、水晶末のようなケイ素質のもの、カリウムを検出する雲母は判別ができるといえる。

4. 実体顕微鏡観察での比較

顔料粒子の形状・特徴を明らかにするために、実体顕微鏡での観察を行った。観察には実体顕微鏡（オリンパス株式会社、BH）を用い、記録にはHD デジタルカメラ（ライカマイクロシステムズ株式会社、MC-170 HD）を実体顕微鏡に接続し用いた。試料に用いたそれぞれの顔料をプレパラートに封入して通常と偏光の観察を行った。偏光観察は2枚のニコル（偏光板）の間に顔料を封入したプレパラートを入れて観察するクロスニコル（直交ニコル）である。

貝殻を形成する炭酸カルシウムは結晶質で、その結晶は規則的に配列している。配列の仕方は幾種類あり、貝の属または科の範囲で一定している。

牡蠣の貝殻は、繊維状及び積層結晶構造で、稜柱層、葉状層またはチョーク層が混在する構造である¹⁰。観察においても牡蠣胡粉の顔料粒子は貝殻の葉状層の層状構造を反映していた。粒子の形状は縦方向に長く、縦方向の多片状断口が見られた。また、粒子サイズは不揃いで、チョーク層が微粒子になるためか非常に小さいものもあった。通常光では、粒子は無色。偏光観察では、対角位するとき粒子はへき開面に対して多彩な色の干渉色を示した（表1、左・上）。

蛤の貝殻は外層部分が構造形態型の異なる二層に分かれており、外層は複合稜柱構造と複合交叉板構造である¹¹。蛤胡粉は交差板構造部分と思われる細長い形状の粒子と、稜柱の形と同様に不規則な形の薄層が確認できた。粒径は全体的に小さく、粒の大きさは概ね揃っていた。通常光では、粒子は無色。偏光観察では、多彩な色の干渉色を示した（表1、右・上）。

マドガイは葉状構造をもつ。顔料化された粒子は、長方形をしており、長手方向に1方向の筋が見られた。顔料粒子になった大きさでも貝殻の形状と同様に、牡蠣胡粉は葉状層に厚みがありかまぼこ型をしていたのに対し、マドガイは雲母のように均一な厚さで薄層となっていた。また牡蠣胡粉は細長く角も鋭利な形状をしていたのに対し、マドガイは四角く、角はやや丸みを帯びていた。通常光では、粒子は無色。偏光観察では多彩な色の干渉色を示した（表2、左・上）。

真珠のパール光沢部分はレンガを積み重ねたような真珠構造で形成されている¹²。真珠粉の観察では、粒子は全体的に細かく、上記のような構造を特徴づけるような形状の粒子は見られなかった。通常光では、粒子は無色。偏光観察では、パール光沢部分の干渉色は緑と桃色とされ、観察でも緑と桃色の干渉色が確認できた（表2、右・上）。

方解石は複屈折を起こすことがよく知られている。その結晶は一軸性結晶の三方晶系である。方解石は割るとへき開に沿ってひし形の面を持つ6面体状に割れる。しかしへき開以外の方向に割れた面は非常にでこぼこした断口となる。顕微鏡観察では、6面体状の粒子は見られず、不定形のでこぼこした粒子であった。粒子径は小さいものから大きいものまで各サイズが均等に存在した。通常光観察では無色。偏光観察では多彩な色の干渉色が見られた（表3、左・上）。

水晶は結晶軸が4本の六方晶系である。結晶面での原子間の結びつきが強く、へき開を起こす前に応力で破断してしまうためへき開しにくい、柱を斜めに切るように割れる不明瞭なへき開がある。断口は貝殻状断口とされる。水晶の場合、クロスニコルで観察をすると、結晶軸方向に虹のような色彩の同心円状の干渉圏と、十字型のアイソジャイヤーと言われる黒い放射状の筋が見える。また旋光性がある。旋光とは物質に入射した光の振動面が回転する現象で、旋光性があると、結晶軸方向へ進む光に最も強く現れ、結晶軸との角度が大きくなると急速に弱くなる。そのため水晶玉の場合干渉圏に色が付き、偏光板を回転させたとき色に変化する。光の進行に伴って振動面が旋光するので、その振動面も回転するよう見える。観察した水晶末の粒子は、粒子径は不揃いであった。断面は凹凸がなく滑らかに見え、粒子の角は鋭利なものが多い。通常光観察では無色透明。偏光観察では、旋光性のためか、偏光フィルターを回転させると、多彩な干渉色はなく、消光という白く光ったり、黒くなったりと回転の角度によって粒子ごとに変化のタイミングが変わる様子が見られた(表3、右・上)。

雲母は弱い構造面に沿って薄層にへき開する板状結晶が特徴である¹³。顕微鏡観察では大きな粒子も見られたが、不揃いで小さいものも見られた。粒の形状は縦横比があまり変わらず、角がなく丸みを帯びている。通常光観察では極めて薄い薄片に見られ、表面に貝殻状断面や多辺状断面、針状断面といった筋状のものは見られず、無色透明である。偏光観察では、薄層は無色で粒子の輪郭がかるうじて観察されるのみであった。非常に小さい粒子のみ白く光った。薄層は観察面に対し平行になっているため干渉色を見せなかったが、小さな粒子は観察面に対して多辺状断面を向けていたため干渉色が観察されたと推測される(表4、上)。

顔料を実体顕微鏡で観察すると、貝殻が原料のものは顔料化のために粉砕しても構造が保たれていることが分かった。貝殻由来のものでも粒形や粒径での識別が可能と言える。偏光での干渉色の差異に着目すると、貝殻由来のものは干渉色が多彩な色をしているのに対し、真珠粉は緑と桃色の干渉色という違いがあることが分かった。また方解末も粒形に特徴があり、水晶末は偏光観察で特徴的な見え方をしたため、見分けが可能と言える。

5. デジタルマイクロスコープ観察での比較

それぞれの顔料を和紙に塗布した試料を、デジタルマイクロスコープで観察した。なお観察は中倍率：300倍(Hirox社、HRX-01、レンズ：HR-5040E、偏光アダプター：AC-5040P)と低倍率：160倍(Hirox社、KH-1300H、レンズ：MX-2016Z、偏光アダプター：AD-2016P)で行った。なお、高倍率：500倍(Hirox社、HRX-01、レンズ：HR-2500E、通常光観察：暗視野、偏光観察：明視野)の観察も補助的に行った。

デジタルマイクロスコープでの観察は1枚のニコルで観察する平行ニコル(開放ニコル、単ニコル)となる。

牡蠣胡粉は粒子が細かく、低・中倍率では粒子の形状は確認できないが(表1、左・中、下)、高倍率の偏光観察では粒子の形状が観察でき、その粒子は、実体顕微鏡観察同様、細長く長手方向に

多片状断口が確認できた (図 8)

蛤胡粉は粒子が非常に細かく、低・中・高倍率においても顔料粒子の粒は確認できなかった (図 9)。通常光観察では、牡蠣胡粉もだが、試料は和紙に顔料を塗布後に磨かれているため、光沢をもち、反射の光が、キラキラした粒子が散在しているようにも見えたが、偏光観察によって非常に小さい粒子が繊維の間に入り込んでいる様子が明らかとなった (表 1、右・中、下)。

マドガイ末は大きい粒子が混在していたこともあり、低倍率の観察でも粒子が観察できた。偏光観察では、胡粉ほどではないが、細かな粒子が繊維の間を埋めている様子も確認できた。また粒子の形状が実体顕微鏡でとらえた特徴を持つことが観察できた (表 2、左・中、下)。

真珠粉も粒子が細かく、中倍率の観察では粒子の形状は確認できなかった。偏光観察にて紙繊維の間に粒子が入り込んでいる様子が見られた (表 2、右・中、下)。高倍率の偏光観察で、特徴的な緑と桃色の光沢を観察することができた (図 10)。

方解末は、中倍率では粒子の形状は確認できなかったが、高倍率にて粒子の特徴的な不定形な形状が確認できた (図 11)。通常光観察では磨き処置のため紙繊維に光沢が目立ち、顔料粒子の有無も見分けにくかった。偏光観察では紙繊維の間に粒子が入り込んでいる様子が見られ、胡粉と比べると、紙繊維に入り込んでいる粒子の量には差がないようだが、白色の発色力が弱い様子が見られた。(表 3、左・中、下)。

水晶末は中倍率でかろうじて粒子粒が見られるが、粒子の形状から識別できるほどではなかった。しかし偏光観察では低倍率においても、偏光フィルターを回すと、実体顕微鏡で観察されたように消光が見られ、それぞれの粒子で暗く見える角度と明るく見える角度があった (表 3、右・中、下)。

雲母は低倍率でも通常光観察で光沢をもつ粒子が見られた。注意深く観察すると、その光沢は紙の繊維をまたがっているため、磨かれた試料表面で観察されたような反射ではなく、粒子によるものと判断できた。その表面は実体顕微鏡では透明に見えていたのに対し、デジタルマイクロスコープにおいては、不規則に揺らいでいるような光沢を示した。なおその粒子は、偏光観察では透明になり、その粒子の輪郭のみを観察することができた (表 4、中、下)。

低・中倍率ではカルシウム系の顔料のそれぞれの識別は困難である。方解末は明度の差が明らかになったが、比較できない場合は判断が難しいと考える。ただし、カルシウム系の顔料と水晶末、雲母の識別は可能と言える。高倍率で観察を行うと、それぞれの粒子の形状や特徴が現れ、識別が可能となった。

6. 調査への実用

奈良国立博物館が収蔵する『辟邪絵』『神虫』、『地獄草紙』『鶏地獄』、また同館が寄託管理している『信貴山縁起絵巻』『尼公巻』(朝護孫子寺蔵)を調査する機会を得た。その際に、偏光観察が下地材の同定に有効であったため、その調査結果を紹介する。

調査はデジタルマイクロスコープの低倍率にて観察を行った。

『辟邪絵』『神虫』においては、画面右の詞部分 (図 12) と左の絵部分ともに下地材となる顔料が

認められた。通常光観察ではその顔料は反射光沢のため白く光っていた。その白い反射は不規則に揺らいでいるような光沢であった。その形状は、縦横比は同じで正方形に近く、角はなく丸みを帯びていた。偏光観察では、かろうじて白い反射を残すにとどめ透明となった。これらの特徴を持つものとして下地材としての顔料を雲母と判断した。なお、下地材であるという根拠は、本紙全面に描画内容や色に関係なく、均一に顔料が散在している様子からである。

『地獄草紙』『鶏地獄』においても画面右の詞部分と左の絵部分(図13)に下地材となる顔料が認められた。『辟邪絵』『神虫』と同様に通常光観察で白く揺らいでいるような反射をする顔料があった。形状も丸みを帯びた正方形である。偏光観察では、僅かにその輪郭が認識できるが透明となった。得られた特徴から雲母と判断した。

また、通常光観察では墨や彩色層に生じていた剥落箇所は、剥落により本紙が露出したため白く見える。雲母も光沢のため同様に白く見える。剥落が本紙にひかれていた雲母と同じような大きさである場合、雲母との見分けは困難であった。偏光観察を行うことで、剥落箇所はそのまま剥落として観察でき、雲母は透明となり僅かに輪郭を残すため、剥落と雲母を見分けることが可能となった(同図12、13、▲:剥落)。

『信貴山縁起絵巻』『尼公巻』の調査においては、雲の描画箇所には通常光観察で白く揺らいでいるような反射をする顔料があった。形状も丸みを帯びた正方形であった。偏光観察では、僅かにその輪郭が認識できるが透明となった。これらの特徴から雲母が使用されていると判断した(図14)。さらに、同じ本紙上で上方の空部分を観察したが、紙繊維の間の顔料粒子さえ認められなかった。そのため下地材がないと判断した(図15)。

このように『信貴山縁起絵巻』『尼公巻』に関しては、下地材としてではなく、彩色材料として雲母を使っている様子を観察することができた。

本研究で調査を進めた顔料の中で、作品への調査で使用されていた顔料が雲母のみであったため、十分な成果を示しがたいが、光学的性質から用いられた顔料の判別に対し十分に成果が得られることを確信した。

謝辞

デジタルマイクロスコープの高倍率、中倍率の撮影は株式会社ハイロックスジャパン名古屋営業所の小島淳氏の協力を得た。また信貴山朝護孫子寺玉蔵院野澤密孝貫主、奈良国立博物館の谷口耕生氏に調査協力を得た。ここに記して謝意を表します。

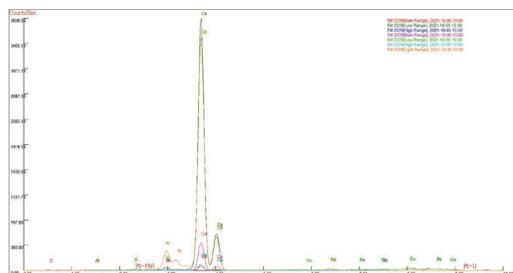


図1 牡蠣胡粉の蛍光X線スペクトル

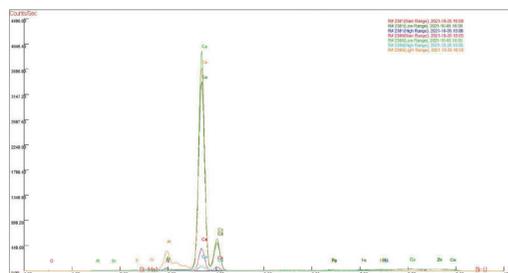


図2 蛤胡粉の蛍光X線スペクトル

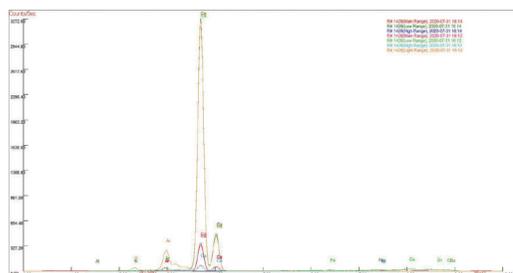


図3 マドガイ末の蛍光X線スペクトル

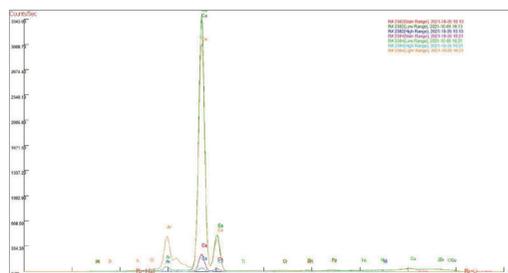


図4 真珠粉の蛍光X線スペクトル

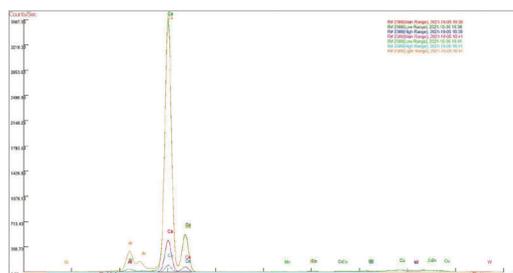


図5 方解末の蛍光X線スペクトル

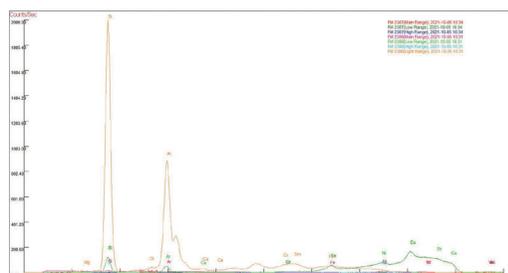


図6 水晶末の蛍光X線スペクトル

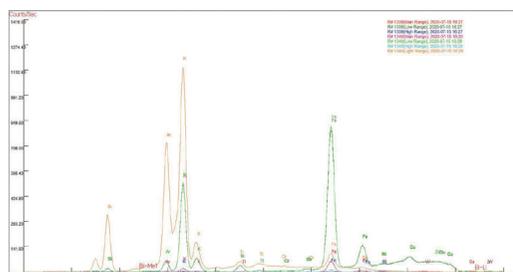


図7 雲母の蛍光X線スペクトル

表1

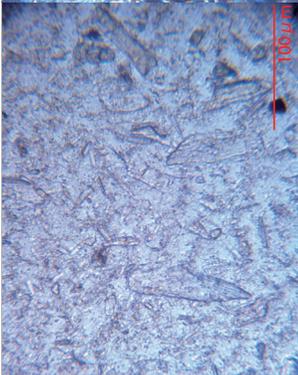
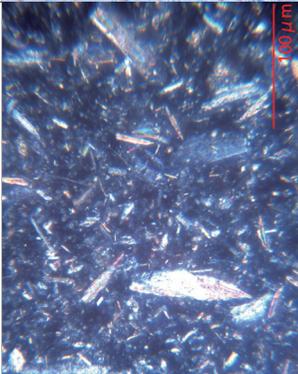
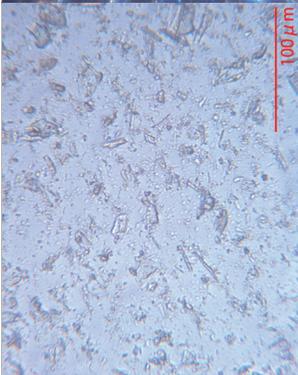
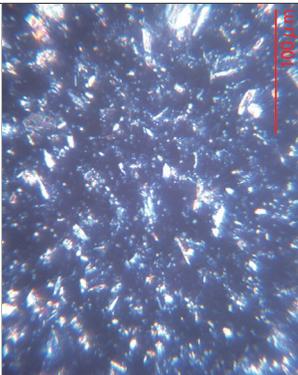
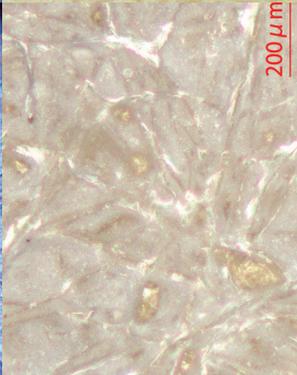
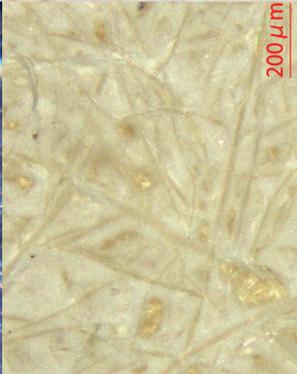
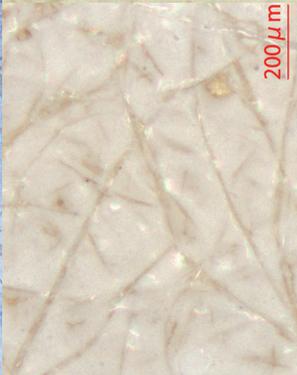
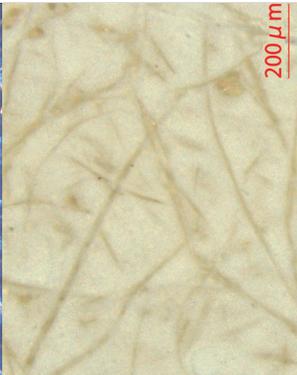
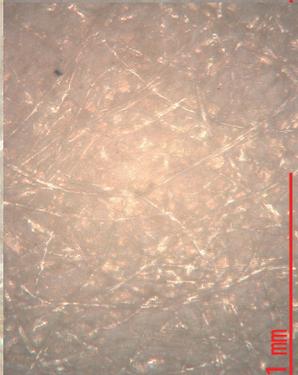
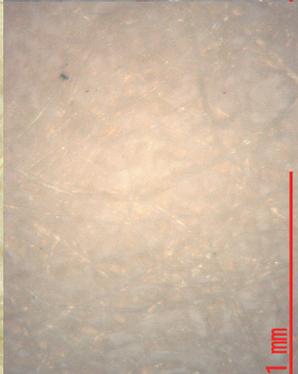
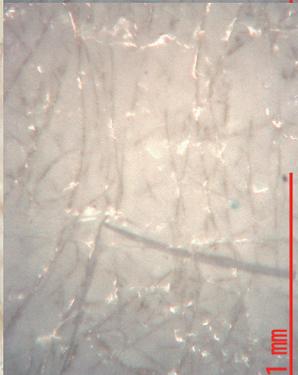
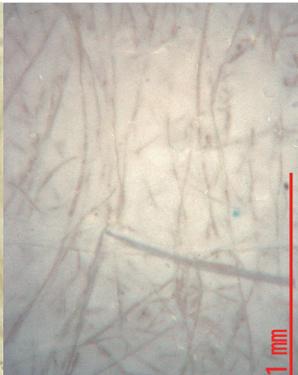
	牡蠣胡粉		蛤胡粉	
	通常光観察	偏光観察	通常光観察	偏光観察
顔料の顕微鏡観察				
顔料を塗布した和紙の観察 (中倍率・三百倍)				
顔料を塗布した和紙の観察 (低倍率・百六十倍)				

表2

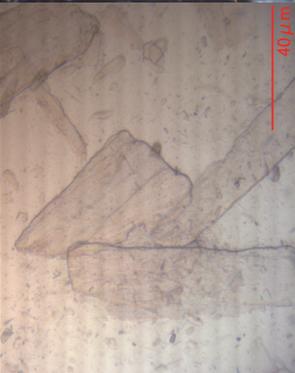
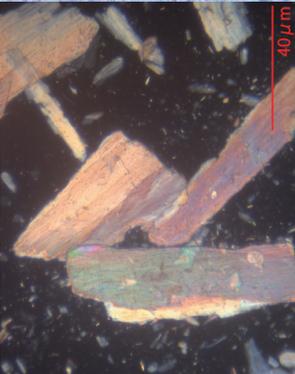
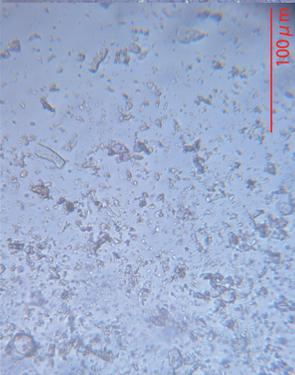
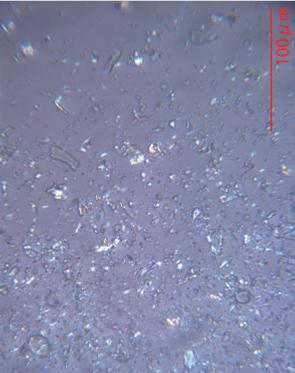
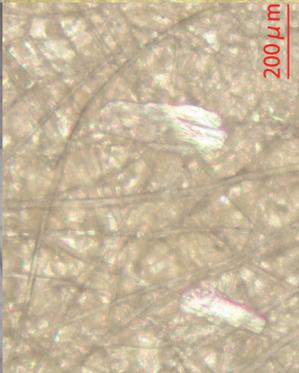
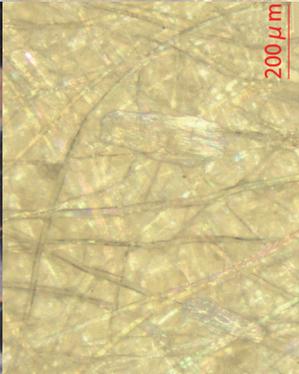
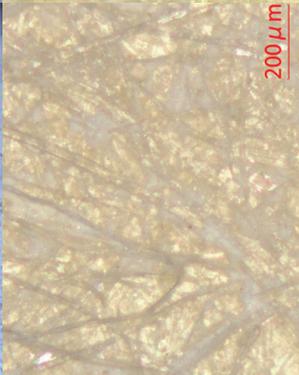
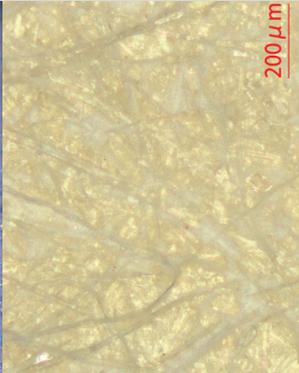
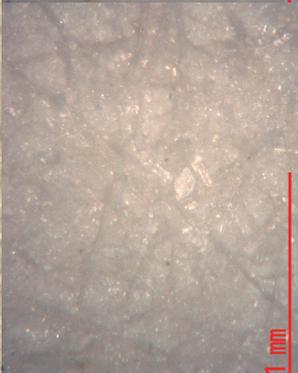
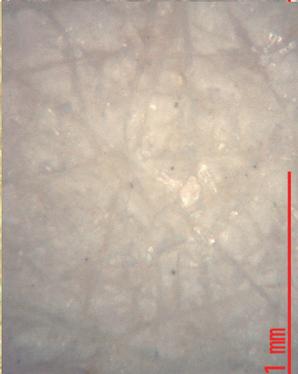
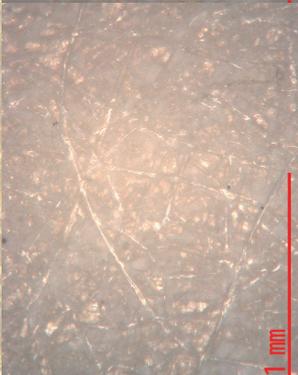
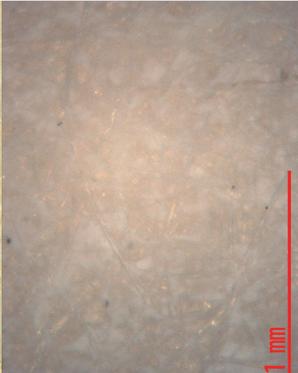
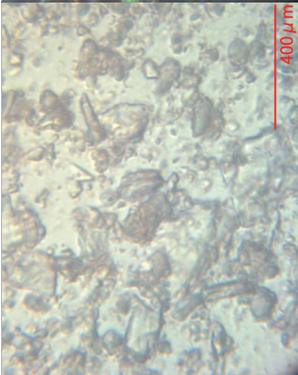
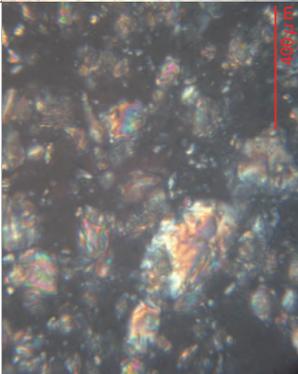
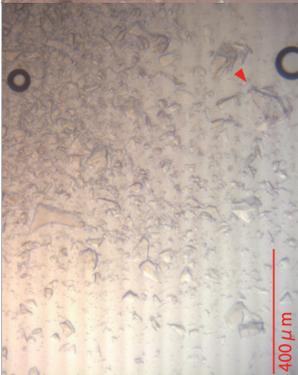
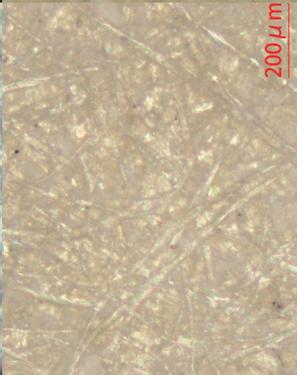
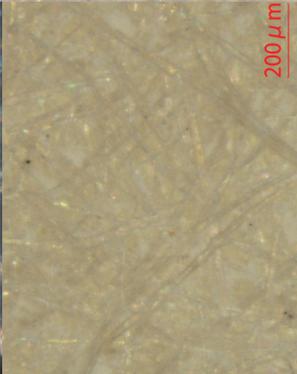
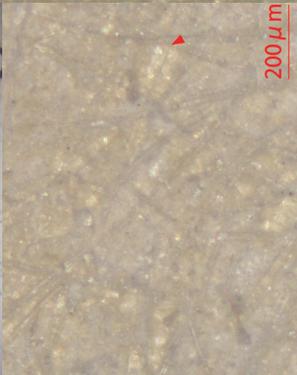
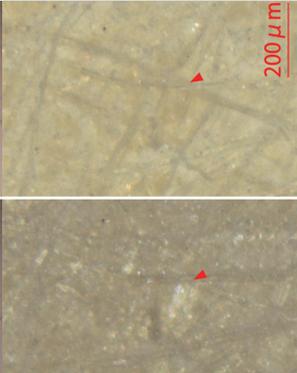
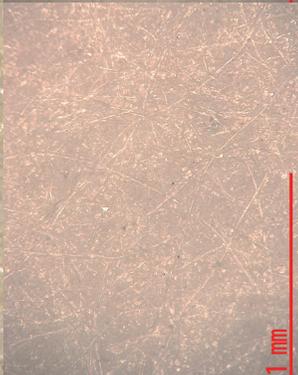
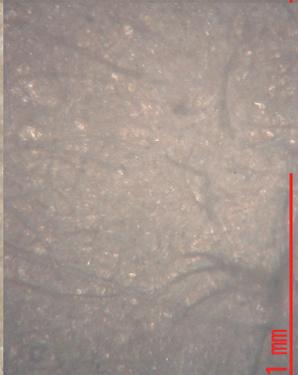
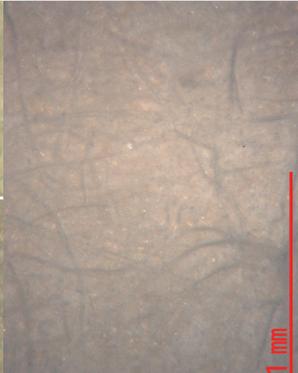
	マドガイ末		真珠粉	
	通常光観察	偏光観察	通常光観察	偏光観察
顔料の顕微鏡観察				
顔料を塗布した和紙の観察 (中倍率・三巨倍)				
顔料を塗布した和紙の観察 (低倍率・巨大十倍)				

表3

	方解末		水晶末	
	通常光観察	偏光観察	通常光観察	偏光観察
顔料の顕微鏡観察				
顔料を塗布した和紙の観察 (中倍率・三巨世)				
顔料を塗布した和紙の観察 (低倍率・巨大十世)				

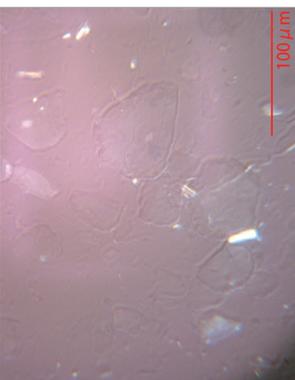
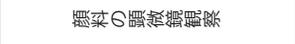
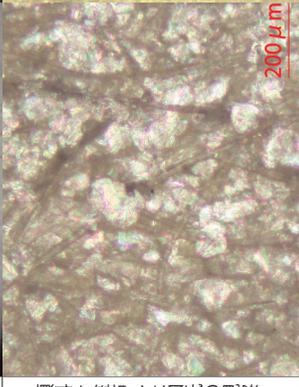
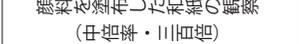
	雲母	
	通常光観察	偏光観察
<p>表 4</p> <p>顔料の顕微鏡観察</p> 		
<p>顔料を塗布した和紙の観察 (中倍率・三巨倍)</p> 		



図8 牡蠣胡粉：偏光観察、高倍率

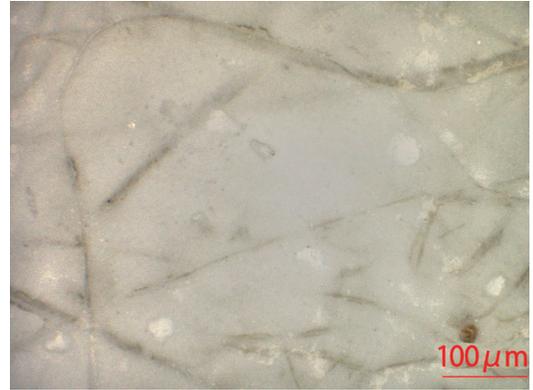


図9 真珠末：偏光観察、高倍率

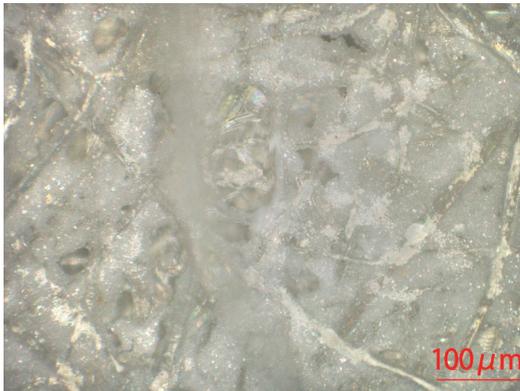


図10 蛤胡粉：偏光観察、高倍率

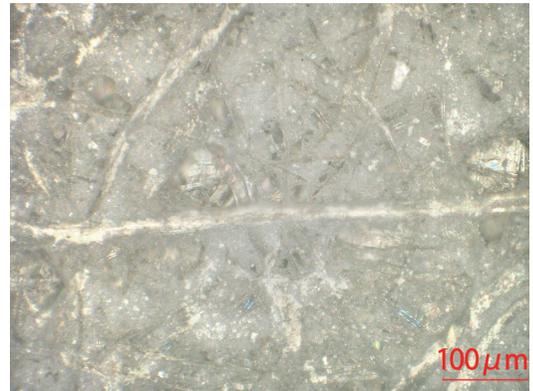


図11 方解末：偏光観察、高倍率



図12 『辟邪絵』「神虫」詞部分、右：通常光観察、左：偏光観察

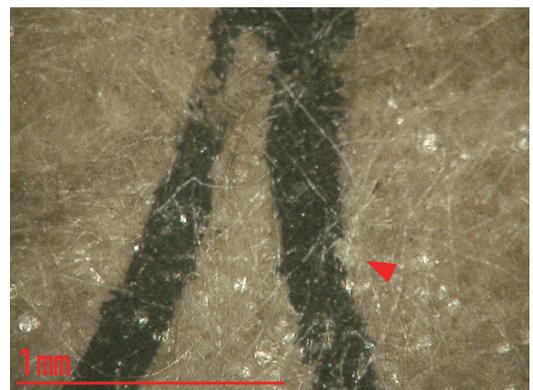




図13 『地獄草紙』「鶏地獄」くちばし下部、右：通常光観察、左：偏光観察

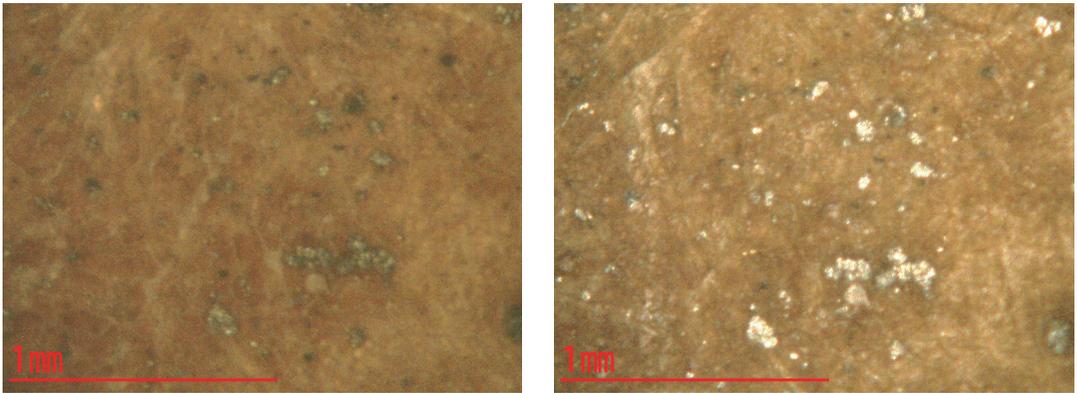


図14 『信貴山縁起絵巻』「尼公巻」雲の描画部分、右：通常光観察、左：偏光観察

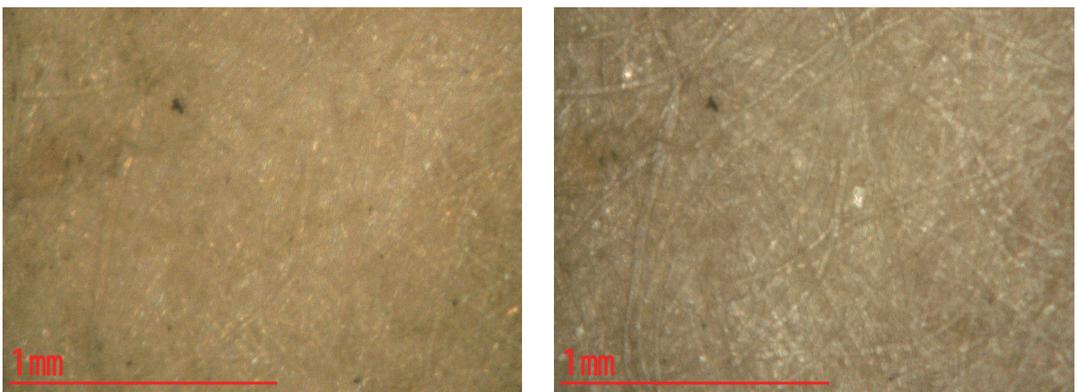


図15 『信貴山縁起絵巻』「尼公巻」空部分、右：通常光観察、左：偏光観察

註

1. 園田直子「素材としての和紙に関する基礎的研究」『国立歴史民俗博物館研究報告 第57集』1994、国立歴史民俗博物館
2. 保立道久「和紙の物理的分別手法の確立と歴史学的データベース化の研究」2008-2010、基盤研究（B）課題番号 20300287
3. 東京藝術大学大学院文化財保存学日本画研究室編『図解 日本画用語辞典』2007、東京美術
4. 成田朱美「マルチスペクトルイメージングによる文化財への活用の考察（2）：紫外線照射の反応及び、可視光誘起赤外線蛍光反応の分析」『愛知県立芸術大学紀要 第50号』、2020、愛知県立芸術大学、pp.177-189
5. ホルベイン技術情報 Q & A（<https://technical-info.holbein.co.jp/a80>：2021年10月閲覧）
6. 吉田漱『浮世絵の基礎知識』1987、雄山閣出版、pp.66-67
7. 株式会社銀座・トマト（<https://ginza-tomato.co.jp/product/pearl/>：2021年10月閲覧）
8. 荒井経「岩絵具 二つの危機を超えて①」『絲綢之路 No72』2013、公益財団法人文化財保護・芸術研究助成財団、p.10
9. 園田直子編『紙と本の保存科学』2009、岩田書院
10. 岡山県水産課『カキ殻を利用した総合的な底質改良技術ガイドライン』2013、岡山県、pp.8-9
11. 岩崎泰顕「貝殻構造について」『熊本地学会誌 52』1976、熊本大学
12. 鈴木道生「アコヤガイの真珠および貝殻形成に関与する有機基質に関する研究」『日本農学会第13回日本農学新歩賞受賞講演会抄録』2014、日本農学会
13. Nicholas Eastaugh Pigment Compendium : A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments, 2008 Routledge

執筆者

成田 朱美（文化財保存修復研究所 研究員）

石倉 茉歩（大学院美術研究科博士後期課程美術専攻 日本画研究分野3年）