

〔報告〕 国宝日月四季山水図の蛍光X線分析 — 日本絵画における白色顔料の特殊な利用例 —

早川 泰弘・城野 誠治

1. はじめに

大阪府河内長野市の真言寺院・天野山金剛寺に伝わる紙本著色日月四季山水図は、平成30年度に新たに国宝に指定された六曲一双の屏風である（図1，縦147.0 cm × 横313.5 cm¹⁾）。描かれている画題は日月，四季景物，浜松というやまと絵屏風に一般的なものであるが，釣鐘状に描かれた山々や独特の波頭の描写は非常に特徴的であり，金銀箔を用いた大胆な加飾と相まって独特の迫力を生み出している。制作時期については15世紀から16世紀まで諸説あり定説を見ないが，狩野派や土佐派といった流派として定型化した表現様式が現れていないことから，15世紀前半にさかのぼる可能性があるとの指摘もある。

本作品は平成9～10年に解体修理が行われ，縦約30 cm，横約45 cmの楮紙（米粉入り）を貼り継ぐという屏風絵としてあまり類例のない構造であることが明らかにされた。また，料紙に大きな欠失や改変の痕跡が認められないことから，後世の明らかな補加筆は存在しないと考えられている。

東京文化財研究所では，平成29年度末に本作品の蛍光X線分析を行う機会を得た。その結果，白色顔料の利用において，他の日本絵画でほとんど類例のない使い方が見出された。本稿では，蛍光X線分析とともに実施した高精細カラー，蛍光撮影の画像を参照しながら，分析結果の概要を報告する。

2. 日本絵画における白色顔料の利用状況

日本絵画に用いられる白色材料は，Pbを主成分とする鉛白（ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ），Caを主成分とする胡粉（ CaCO_3 ），AlやSiの複合酸化物を主成分とする白土（主成分は $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）の三種類が中心である。もちろん，これ以外の白色材料が使われている絵画も存在するが，古代から近世までの日本絵画を考えた場合，そのほとんどはこの三種類のいずれかの白色材料が使われていると考えられる。

著者らがこれまでに蛍光X線分析を中心とした科学的調査を行い，論文・解説などでその調査結果を公表した絵画の中から，代表的な作品について白色材料の比較を行った結果を図2に示す²⁾。上から時代順に作品を並べ，Pb系白色顔料（鉛白）が使用されている作品は左欄に，Ca系白色顔料（胡粉）が使用されている作品は右欄に記載した。提示した作品の数は多くないが，室町時代以前は左欄（鉛白）に，江戸時代以降は右欄（胡粉）に記載が集中していることがわかる。

日本における彩色絵画の原点と考えられている高松塚古墳壁画およびキトラ古墳壁画，奈良時代に麻布に描かれた吉祥天像，それに続く平安時代の絵巻物の代表作である源氏物語絵巻，伴大納言絵巻，信貴山縁起絵巻，あるいは絹本の十一面観音像や阿弥陀聖衆來迎図，板絵の平等院鳳凰堂中堂壁扉画，さらに鎌倉時代の代表作である春日権現験記絵巻などに使われている白色材料はPb系白色顔料である。室町時代になると，Pb系白色顔料が使われている作品が

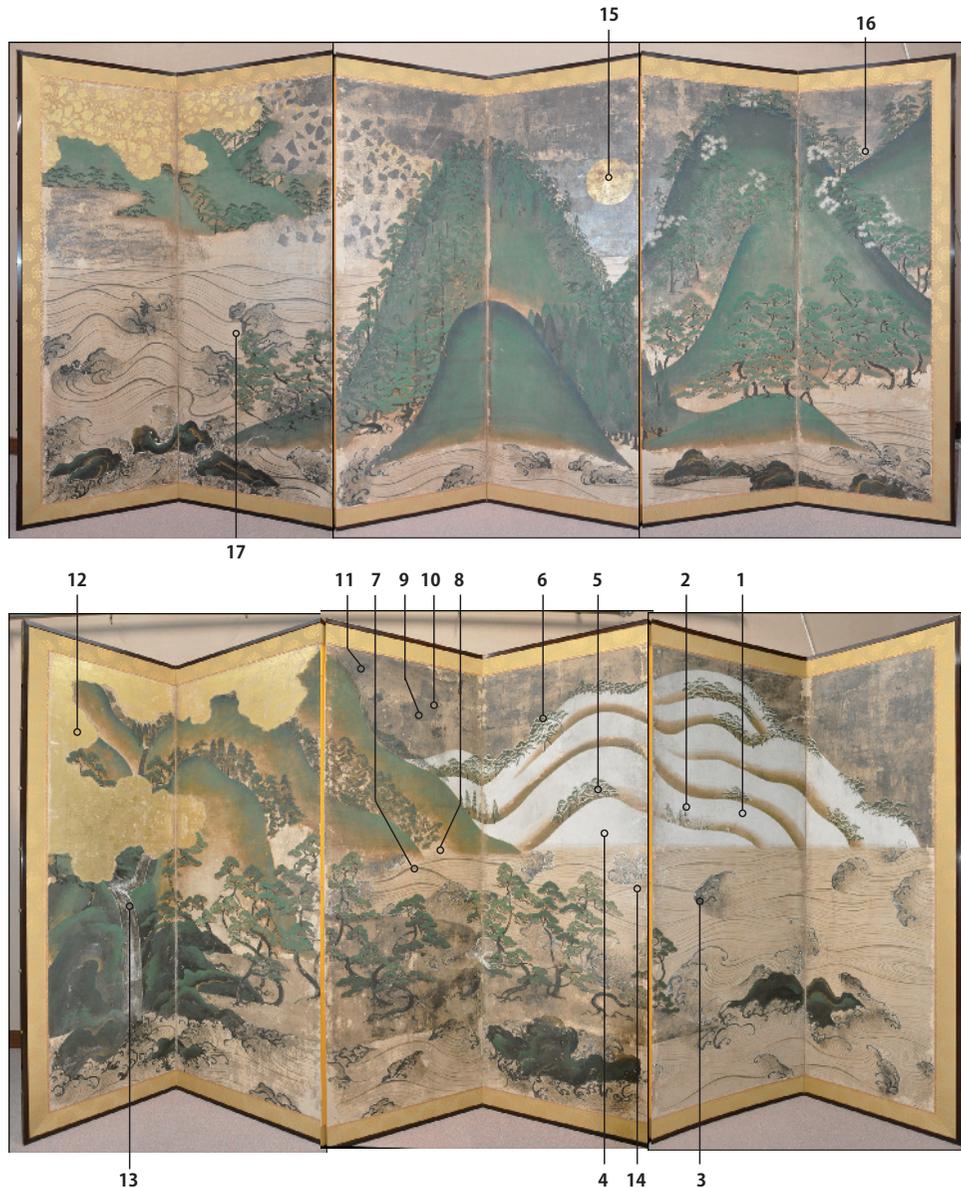


図1 天野山金剛寺所蔵 紙本著色日月四季山水図 (上) 右隻, (下) 左隻

依然として存在する一方で、Ca系白色顔料を使った作品が出現するようになる。室町時代に制作された絵画作品の調査は十分でなく、白色顔料の利用実態が未だ明らかになったわけではないが、Pb系顔料からCa系顔料へと変化が生じ始めているのは確かである。

一方、江戸時代の絵画に目をやると、初期の彦根屏風、中期の尾形光琳(1658-1716)の燕子花図屏風や紅白梅図屏風、あるいは伊藤若冲(1716-1800)の動植綵絵や菜蟲譜、さらには長沢芦雪(1754-1799)の牛図に至るまで、使われている材料はCa系白色顔料だけであり、Pb系白色顔料はまったく使われていない。近年、他の研究者によっても絵画をはじめとした彩色文化財の科学調査が多数進められている。それらの結果の多くは、一部を除いて³⁾、図2

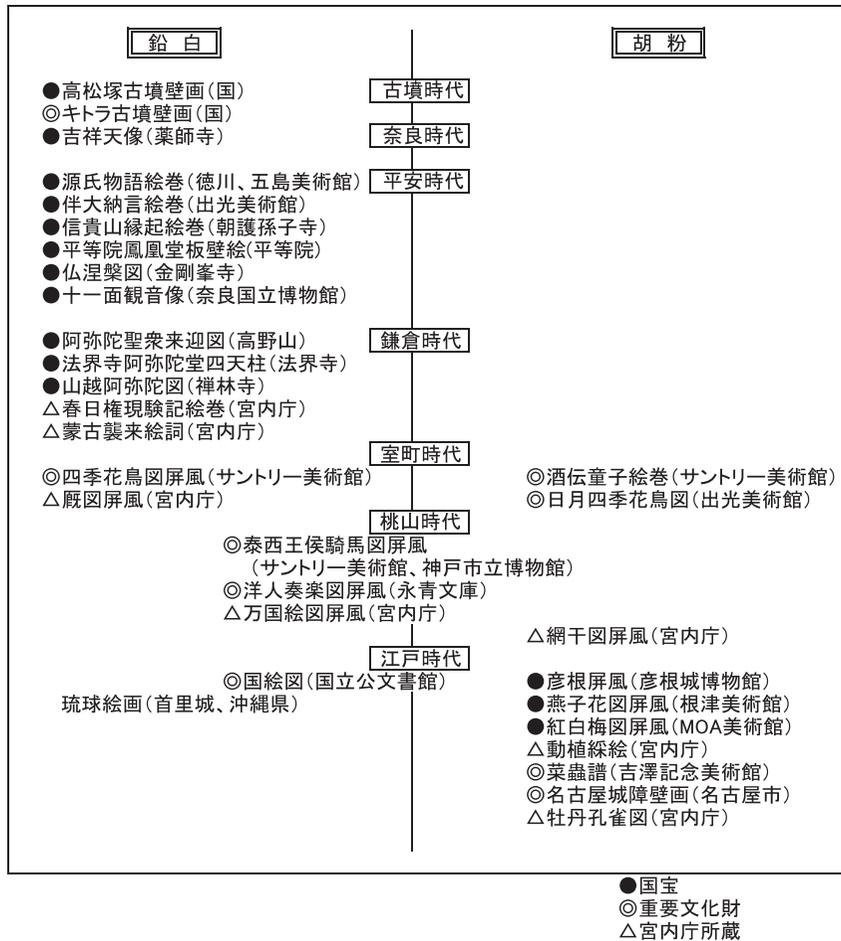


図2 日本絵画に使われている白色顔料

に示した傾向を支持している。

これらの結果からは、日本絵画の白色材料は古代から室町時代頃まではPb系顔料が中心であるが、室町時代から江戸時代初期にCa系顔料に切り替わり、それ以降Ca系顔料が中心になっていると判断して間違いない。

一方、白色顔料の転換期にあたる安土桃山時代から江戸時代初期に描かれた絵画の中に興味深い使用例が見出される。この時代にはキリスト教が日本に伝来し(1549年)、西洋絵画の影響を大きく受けた初期洋風画と呼ばれるジャンルの絵画が多数制作されている。その代表作である泰西王侯騎馬図屏風や洋人奏楽図屏風、さらには万国絵図屏風にPb系白色顔料とCa系白色顔料の両材料が見出される結果が得られている²⁾。Pb系顔料とCa系顔料の使い分けについては、比較的広い領域を平滑に仕上げるためにはPb系顔料を、部分的に立体感を出すために盛上げ彩色が行われている部分にはCa系顔料が使われていることが多い。Ca系顔料で盛上げられた部分には、その上に金箔が押されていることもある。Pb系顔料で塗られた部分では、他の顔料や染料を重ね塗りしている例もある。

これまで、一つの絵画作品の中に二種類の白色材料が使われ、それらが目的によって使い分けられているという例は、ここに紹介した初期洋風画以外にはほとんど報告されていない。

3. 分析方法

紙本著色日月四季山水図の彩色材料調査にはハンドヘルド型蛍光X線分析装置を使用した。白色顔料の分析を中心に、他の色材についても特定することを目的に、右隻で3箇所、左隻で14箇所の計17箇所の分析を行った(図1参照)。

使用した分析装置及び分析条件は次の通りである。

分析装置： ハンドヘルド型蛍光X線分析装置 BRUKER 製 S1 TURBO-SD

X線管球： パラジウム

管電圧, 管電流： 40 kV, 17 μ A

X線照射径： ϕ 7 mm

測定時間： 60秒

照射距離： 約10 mm

調査はすべて非破壊・非接触で行った。カメラ用の大型三脚に三軸方向に可動できる雲台を取り付け、その上に取り付けた伸縮可能(50~150 cm)な水平アームの先端にハンドヘルド型蛍光X線分析装置を固定した。装置先端を作品の直前まで移動し、分析装置先端に取り付けられている小型 CCD カメラによって作品から約10 mmの位置で分析位置の微調整・固定を行った後、遠隔操作によってX線を照射して分析を行った。装置の制御および分析データの解析は、装置本体に取り付けられているパームトップPCとBluetooth通信によって無線接続されたノートPCによってすべて行った。このため、ハンドヘルド型蛍光X線分析装置であっても、分析の最中に装置位置がずれることはまったくない。

また、蛍光X線分析を行った部分の粒子や色調を正確に知ることを目的に、高精細カラー画像撮影を行った。さらに、可変波長型光源装置を利用して、特定の波長域の光だけを照射して蛍光撮影も行った。この手法を利用すると、褪色によって認識できなくなっている有機染料の検出などを行うことができるとともに、日本絵画の調査ではPb系白色顔料が蛍光反応を示すことがあることがこれまでの調査で多数見出されている⁴⁾。本作品の調査においては、励起波長を354 nm、検出波長を400~780 nmに設定して撮影を行った。

4. 日月四季山水図の調査結果

日月四季山水図の蛍光X線分析結果を表1に示す。以下には、白色部分を中心に、分析結果の概要を報告する。

4-1 白色部分

日月四季山水図の左隻には第一扇から第四扇の上半分に雪山の景色が大きく描かれている。幾重にも重なる山並みが白色顔料で塗りこめられ、雪山の山頂には何本かの松が描かれ、松葉に雪が降り積もる様子が白色顔料によって描き出されている。第三扇に描かれている雪山と松の部分(分析ポイント5)の拡大図とその蛍光画像を図3に示す。雪山全体は白色顔料で平滑に塗られているが、松葉の上に積もる雪は絵具を立体的に盛り上げる表現(盛り上げ彩色)がなされている。雪山全体から蛍光反応は得られていないが、松葉に積もる雪の部分からは蛍光反応が得られていることがわかる。蛍光X線分析では、松葉の雪の分析ポイント5からはPb304 cpsが検出されるのに対し、Caは47 cpsが検出されただけであった。白色で平滑に塗られた雪山部分の分析ポイント4からはCaは122 cpsが検出されたが、Pbは10 cpsしか検

表1 日月四季山水図の蛍光X線分析結果

| No. | 分析箇所 | 色 | 蛍光X線強度 (cps) | | | | | | | | |
|-----|-------------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | Ca-K α | Fe-K α | Cu-K α | Zn-K α | Br-K α | Ag-K α | Au-L α | Hg-L α | Pb-L α |
| 1 | 左隻二扇 雪山 | 白 | 288.9 | 5.0 | 1.5 | | 1.3 | | | | 15.9 |
| 2 | 左隻二扇 樹木の雪 | 白(盛上げ) | 226.8 | 14.8 | 7.1 | | 2.8 | | | | 152.1 |
| 3 | 左隻二扇 波頭 | 銀黒 | 156.8 | 3.3 | 1.7 | | 3.2 | 33.0 | 2.1 | | 55.3 |
| 4 | 左隻三扇 雪山 | 白 | 122.0 | 3.2 | 1.9 | | 2.1 | | | | 9.5 |
| 5 | 左隻三扇 松の雪 | 白(盛上げ), 緑 | 47.3 | 32.2 | 1282.7 | 77.2 | 1.3 | | | | 303.5 |
| 6 | 左隻三扇 松の雪 | 白(盛上げ), 緑 | 28.7 | 5.6 | 110.6 | 7.0 | 1.2 | 14.3 | | | 167.1 |
| 7 | 左隻四扇 波文 | 金・銀 | 11.8 | 5.6 | 2.4 | 3.0 | 2.6 | 15.1 | 0.8 | | 47.4 |
| 8 | 左隻四扇 紙地 | 薄茶 | 28.2 | 7.7 | 2.9 | 6.1 | 1.7 | | | | 16.5 |
| 9 | 左隻四扇 月 | 黒灰 | 6.8 | 6.5 | 2.9 | | 3.8 | 42.7 | | | 212.3 |
| 10 | 左隻四扇 月(右下部) | 黒灰・金 | 7.7 | 4.6 | 1.8 | | 2.9 | 34.1 | | | 179.3 |
| 11 | 左隻四扇 背景・空 | 黒(刷毛目) | 9.5 | 4.3 | 2.7 | | 1.9 | 13.3 | | | 2.3 |
| 12 | 左隻六扇 金雲 | 金 | 9.2 | 4.9 | 2.7 | | 2.1 | 2.4 | 83.4 | | 2.0 |
| 13 | 左隻六扇 滝 | 銀黒 | 99.2 | 4.8 | 3.9 | | 4.6 | 25.3 | 2.5 | | 697.5 |
| 14 | 左隻三扇 波文 | 金 | 14.4 | 8.3 | 2.7 | 4.0 | 1.4 | | 0.6 | | 112.8 |
| 15 | 右隻三扇 太陽 | 金 | 1.9 | 3.5 | 3.4 | | 1.3 | 25.3 | 87.5 | | 403.0 |
| 16 | 右隻一扇 桜 | 白(盛上げ) | 46.8 | 4.0 | 17.4 | | | 21.9 | | 3.2 | 211.8 |
| 17 | 右隻五扇 波間(紙地) | 白 | 10.8 | 6.0 | 1.6 | | 1.2 | | | | 61.8 |

出されなかった。

第二扇でもPbとCaの検出量には同じ傾向が得られた。盛り上げ彩色がなされている松葉の雪の分析ポイント2からはPb152 cpsが検出されたのに対し、白色で平滑に塗られた雪山部分の分析ポイント1からはPb16 cpsが検出されただけである。分析ポイント1と2では雪山の描写が同じように存在しているため、Ca検出量は分析ポイント1で289 cps、分析ポイント2で227 cpsとほぼ同じ強度が得られた。分析ポイント1および2から得られた蛍光X線スペクトルを図4に示す。Ca検出強度はほぼ同じで、Pb検出強度だけが異なっていることがよくわかる。分析ポイント2のほうが分析ポイント1よりもわずかにCa検出強度が小さいのは、Caの上層にPbが存在しているためであると考えられる。

これらの結果からは、白色で平滑に塗られている雪山全体にCa系材料が使われ、盛り上げ彩色がなされている松葉の雪にはPb系材料が使われていると判断することができる。2節で紹介した初期洋風画に見られるPb系白色顔料とCa系白色顔料の使い分けとは全く逆の使い方がなされていると言える。

一方、左隻第一扇から第四扇の中ほどから下方、さらには第五、第六扇の下方には水流や波頭が描かれており、白色顔料が薄く塗られた上に、うねるような波紋が黒色線で表現されている。第三扇に描かれている水流部分(分析ポイント14付近)の拡大図とその蛍光画像を図5に示す。水流部分全体から弱い蛍光反応が得られていることがわかる。分析ポイント14からはPb113 cpsとCa14 cpsが得られ、他の水流部分(分析ポイント3や分析ポイント7)からはPb50 cps前後が得られた。分析ポイント14や分析ポイント7から検出されているCa10-15 cpsは本紙を含めた支持体からの検出量と同程度であり、彩色材料に由来しているとは考えにくい。これらの結果からは、水流部分全体にPb系顔料が薄く塗られていると判断することができ、その上に何らかの有機染料が塗られている可能性が高い。現在、水流部分全体が薄い褐色を呈しているのは、この有機染料の変色によるものと推定される。



図3 日月四季山水図 左隻第三扇 分析ポイント5付近 (上) カラー画像, (下) 蛍光画像

右隻についても、同様の傾向が得られた。右隻第一扇の桜の花(分析ポイント16)は白色で盛り上げる表現がなされており、Pb212 cpsとCa47 cpsが検出された。また、右隻第五扇の水流部分(分析ポイント17)からはPb62 cpsとCa11 cpsが検出された。

以上の結果からは、本作品中では白色顔料としてCa系顔料とPb系顔料の両方が用いられており、Ca系顔料は平滑部分に使われ、Pb系顔料が盛り上げ彩色部分に使われていると判断できる。さらに、Pb系顔料は何らかの色付けのための下塗り材料としても用いられており、二通りの目的で使われている。

4-2 黒色および暗灰色部分

右隻・左隻ともに中ほどから下方には水流や波頭が黒色線によって表現されている。4-1節で述べたように、これらの水流部分全体にはPb系白色顔料が薄く塗られている。左隻第二扇の波頭の黒色部分(分析ポイント3)を分析すると、Ca157 cps、Pb55 cpsとともにAg33 cpsが検出された。Caは波頭を表現するために水流部分の上に重ね塗りされている白色顔料に由

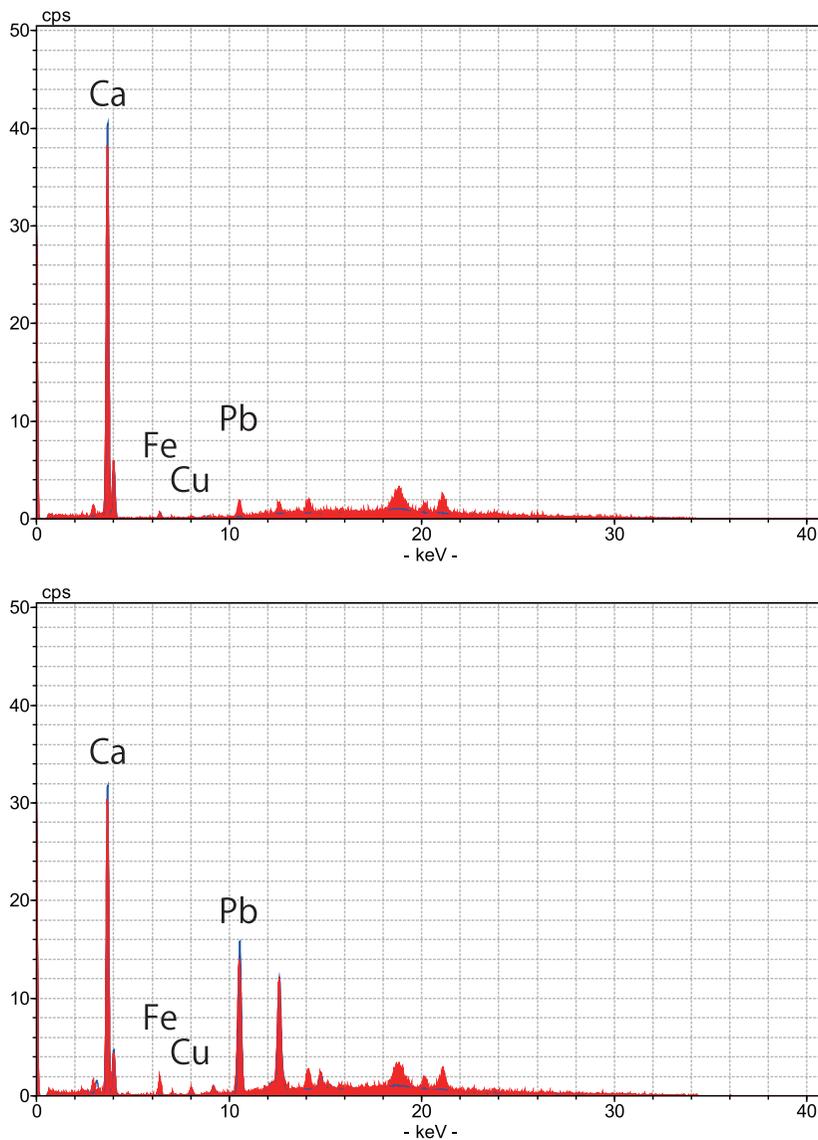


図4 日月四季山水図 左隻第二扇 蛍光X線スペクトル
 (上) 雪山 (分析ポイント1), (下) 松葉の雪 (分析ポイント2)

来するものであり、黒色線は銀泥によって表現されていると考えることができる。

左隻第六扇には山から流れ落ちる滝が表現されており、白色で塗られた上に薄い黒色が重ね塗りされている。滝の黒色部分 (分析ポイント13) からはPbが698 cpsと大量に検出されるとともにCa99 cpsとAg25 cpsが検出された。銀泥が使われているのか銀箔なのか、あるいは両者の併用なのか、その判断は難しいが、Pb系白色顔料による白色の下塗りが厚く存在していると推定される。今回の分析条件と同じ条件で、厚さ0.4 μm の銀箔を分析したときに得られるAg検出量は約34 cpsである。分析ポイント3や分析ポイント13では、0.3~0.4 μm 相当の銀が存在していることになる。

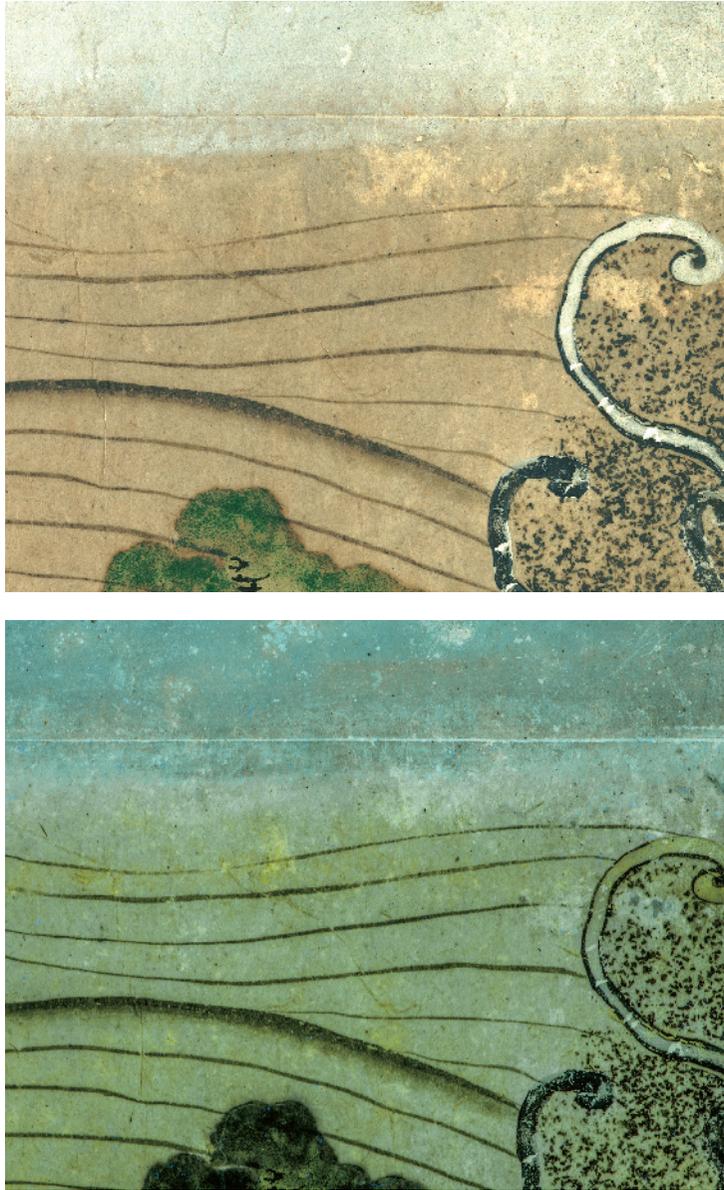


図5 日月四季山水図 左隻第三扇 分析ポイント14付近 (上) カラー画像, (下) 蛍光画像

さらに、本作品中でAgが大きく検出されたのは左隻第四扇の上方に描かれている月（分析ポイント9、10）であり、Ag34-43 cpsが検出された。同時にPb179-212 cpsも検出され、この部分においても左隻第六扇の滝の部分と同様、Pb系白色材料の下塗りが存在している。

背景からもAgが検出された。左隻第三扇の分析ポイント6、左隻第四扇の分析ポイント11、右隻第一扇の分析ポイント16からはAg13-22 cps程度が検出された。分析ポイント6は松葉に、分析ポイント16は桜の花部分を分析しているため、同時にPbが大きく検出された。分析ポイント11はモチーフの存在しない背景だけの部分を分析しており、ここからはPbもCaもほとんど検出されず、白色の下塗りは存在していないことがわかる。この背景全体についても、

銀泥が使われているのか銀箔が使われているのか、その判断は難しいが、両者が併用されている可能性もある。方形の箔が規則正しく配置された重なり（箔足）は存在しないが、切箔あるいは裂箔と思われるような断片が多数存在している。一方、切箔や裂箔とは異なり、刷毛で刷いた（押さえた）ような痕がはっきりと確認できる部分も多い。

4-3 金色部分

金色は左隻第五～六扇の上方および右隻第五～六扇の上方に描かれている金雲、さらには右隻第三扇上方に円状に表現されている太陽に使われている。金雲には、一辺が5～10 cm程度の比較的大きな不定形の裂箔が多数存在していることが見て取れる。一方、太陽には、裂箔の存在は確認できず、直径約20 cmのほぼ真円の中に褐色を呈している部分が認められるものの、薄い金色がほぼ一様に存在しており、金箔が使われていると判断できる。蛍光X線分析では、左隻第六扇の金雲（分析ポイント12）からはAu83 cpsが、右隻第三扇の太陽（分析ポイント15）からはAu88 cpsが得られた。太陽（分析ポイント15）からはAg25 cpsとPb403 cpsも同時に検出されたが、太陽は銀色の背景の上に重ね描きされていることから、ここで検出されているAgは金色材料（金箔）中に含まれているものではなく、背景のAgを検出したものと考えられる。一方、PbはPb系白色材料が下塗りとして存在していることを示している。上述したように、左隻第四扇の月（分析ポイント9, 10）にもPb系白色材料の下塗りが存在しているがPb検出強度は200 cps前後であり、太陽には月の2倍近い厚みのPb系白色材料の下塗りがなされていることがわかる。

今回の分析条件と同じ条件で、厚さ0.1 μm 前後の金箔を分析したときに得られるAu検出量は80～100 cps程度であり、金雲や太陽からは0.1 μm 相当の金箔に相当するAu検出量が得られていることになる。

4-4 緑色部分

緑色は山肌に広範囲に塗られているとともに、樹木の葉を表現するために使われている。今回の調査では、緑色部分の分析箇所は多くないが、左隻第三扇の松葉（分析ポイント5, 6）からはCuが大きく検出されるとともに微量のZnが同時に検出される結果が得られた。使われているのは緑青に代表されるCu系顔料であるが、Znを微量含む顔料であると言える。日本絵画の彩色材料調査において、微量のZnを含むCu系緑色顔料は平安時代以降、いくつかの絵画から見出されており²⁾、本作品が作られた15～16世紀頃においても流通していたことを示す結果である。

5. おわりに

以上、天野山金剛寺所蔵の紙本著色日月四季山水図に関する蛍光X線分析結果を簡単にまとめた。これまでの調査で、日本絵画に使われる白色顔料は、室町時代から江戸時代初期にかけてPb系顔料（鉛白）からCa系顔料（胡粉）に劇的に変化していることが明らかになってきたが、その転換期に近い安土桃山時代から江戸時代初期に制作された初期洋画には、一つの作品の中にPb系顔料とCa系顔料の両方を利用している例が見出される。その使い方は、比較的広い領域を平滑に仕上げるためにはPb系顔料を、盛上げ彩色を行うためにはCa系顔料が用いられているのが一般的である。

しかし、今回調査を行った日月四季山水図では、全く逆の使い方がなされていることが明らかになった。白色で平滑に塗られている部分にCa系材料が使われ、盛り上げ彩色にPb系材

料が使われていた。これまでこのような白色顔料の使用例はまったく報告されたことがなく、特殊な使用例として注目される。日月四季山水図はその描写や表現方法について、「他に類例のない」と形容されることが多いが、白色顔料の利用方法という点においても「他に類例のない」作品であることが明らかになった。

日月四季山水図の制作時期はPb系顔料からCa系顔料への転換時期とほぼ一致し、この時期に制作された日本絵画には白色顔料の特殊な使用例がさらに見つかる可能性もある。今後も日本絵画の彩色材料調査が継続して行われ、白色顔料変遷の全貌が明らかになることが期待される。

参考文献

- 1) 『月刊文化財』657 (2018)
- 2) 早川泰弘、城野誠治：『Color & Material ―日本絵画の色と材料―』ライブアートブックス (2018)
- 3) 石川優生、平尾良光、山田拓伸：「大分県内に所在する仏画・仏像の彩色に関する科学的調査」、大分県立歴史博物館研究紀要、13、pp.1-14 (2012)
- 4) 黒田泰三、城野誠治、早川泰弘：『国宝 伴大納言絵巻』中央公論美術出版 (2009)、『洋人奏楽図屏風 光学調査報告書』東京文化財研究所 (2015)、『鏡神社所蔵 重要文化財絹本着色 楊柳観音像 ―光学調査報告書―』東京文化財研究所 (2018) など

キーワード：日月四季山水図；蛍光X線分析；白色顔料；鉛白；胡粉

X-ray Fluorescence Analysis of “*Sun and Moon Landscape of Four Seasons*,” a National Treasure: A Special Example of the Use of White Pigment in Japanese Painting

Yasuhiro HAYAKAWA and Seiji SHIRONO

The *Sun and Moon Landscape of Four Seasons* collected in Kongoji temple is a pair of six-folding screens that was newly designated as a national treasure in 2018. It is believed to have been produced in the 15-16th centuries.

Tokyo National Research Institute for Cultural Properties conducted an analysis of the coloring materials by X-ray fluorescence spectrometry. As a result, unusual use of white pigment was found from other Japanese paintings.

It has been found that the white pigment used in Japanese painting changes dramatically from Pb pigment (lead white) to Ca pigment (calcite) in the 15-17th centuries. In paintings drawn at the time of conversion of white pigment, there are works using both Pb material and Ca material as white pigment. Pb pigment is generally used to finish a wide area smoothly, and Ca pigment is used to express voluminous sense.

However, it was revealed that the opposite use of white pigment was done in the *Sun and Moon Landscape of Four Seasons*. Ca material was used for the part painted smoothly with white color, and Pb material was used for expression with voluminous sense. Such use of white pigment has never been reported so far and is regarded as a special example.