

ポータブル蛍光X線分析装置による 国宝源氏物語絵巻の顔料分析

早川 泰弘・平尾 良光・三浦 定俊・四辻 秀紀*・徳川 義崇*

1. はじめに

蛍光X線分析法は非破壊で短時間に元素分析（定性・定量分析）を行うことができるため、各種の分野で幅広く利用されている。文化財の分野においても蛍光X線分析法は古くから用いられ、現在も材料の組成分析を行う際に、最も頻繁に用いられている分析手法の一つである。

近年、蛍光X線分析法に関連する分野の技術開発は著しく、 μm オーダーのX線を入射できる装置、元素分布のマッピング機能を有した装置、あるいは1mを超える試料をそのまま測定できる装置など、数々の新しい機能が登場している¹⁾。しかし、いずれの装置も大型で、測定に際しては分析すべき試料を測定室まで持ち込む必要がある。これは蛍光X線分析装置だけに限ったことではないが、文化財の分野では、測定試料を移動させることが不可能な場合も多く、また移動が可能な場合でも、移動させることによって資料が損傷したり、環境の変化に伴う温度変化や結露などによって何らかの影響を受けてしまうことが少なくない。一方、発掘現場などでは、出土遺物を直ちに分析したいという要求も強くある。

最近、どこへでも持ち運びが可能なポータブル蛍光X線分析装置が開発された²⁾³⁾。この装置を用いれば、測定試料が置かれている現場に分析装置を持ち込み、その場で迅速に資料の元素分析を行うことができる。

本報告では、東京国立文化財研究所に昨年度導入されたポータブル蛍光X線分析装置の概要を述べるとともに、文化財試料への適用例として、徳川美術館に所蔵される国宝源氏物語絵巻の顔料分析を試みた結果について報告する。国宝源氏物語絵巻の顔料分析結果については、別途詳細な報告書が作成される予定であるので、ここでは分析結果の一例を報告するのみにとどめる。

2. ポータブル蛍光X線分析装置

2-1. 装置の概要

導入されたポータブル蛍光X線分析装置はセイコーインスツルメンツ(株)によって開発されたものである。分析装置はX線分析計本体、電源部、制御・解析用パソコンから構成されている。本体および電源部は縦・横・奥行きともに30cm以下の大きさであり、重量は5～7kg程度である。

本体はエネルギー分散型蛍光X線分析計を基本とし、試料室を持たない開放型であるため試料サイズ・形状の制限を一切受けない。X線発生源は空冷式の小型X線管球（Rhターゲット）であり、管電圧は最大50kV、管電流は最大1mAである。X線照射径はX線照射ヘッド部内のコリメータを交換することで2～15mmまで変更可能である。X線検出器にはSi半導体検出器（分解能約250eV）を用い、ペルティエ効果を利用した冷却方式を採用しているため、液体窒素は不要である。照射ヘッド部にはカラーCCDカメラが装備され、照射部分の画像をパソコンモニター上で確認しながら測定することができる。

電源はAC100Vまたは自動車用バッテリーによって供給可能であり、他のユーティリティは特に必要がない。また、ヘッド部内をHeガスで置換する機構も備えており、軽元素への対応もで

* 徳川美術館

きるようになっている。制御・解析用ソフトウェアは従来の据置型装置に搭載されていたものが、ほぼそのままの形で利用されており、定性・定量分析を直ちに行うことができる。

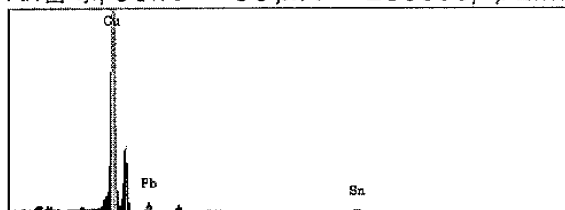
2-2. 特性評価

2種類の標準物質を用いて、ポータブル蛍光X線分析装置の検出特性を評価した。銅標準物質 IARM 92 A について、ポータブル蛍光X線分析装置と従来の据置型装置によって得られた蛍光X線スペクトルを図1に示す。従来装置としては東京国立文化財研究所に設置されているセイコーインスツルメンツ(株)製エネルギー分散型蛍光X線分析装置 SEA 5230 E を使用した。両装置ともにX線照射径を $\phi 2\text{ mm}$ とし、管電圧を最大に設定して大気中で 200 秒の測定を行った。管電流はポータブル蛍光X線分析装置では $50\ \mu\text{A}$ に設定したが、従来装置では検出器の不感時間を小さくするために $4\ \mu\text{A}$ に設定せざるを得なかった。

銅標準物質 IARM 92 A の主成分組成は Cu 79.6%, Sn 9.8%, Pb 9.6% であり、青銅試料によくみられる化学組成に近いものである。この主成分3元素の主要ピークに着目して、ポータブル蛍光X線分析装置と従来装置で得られたピーク強度およびバックグラウンド強度を比較した結果を表1に示す(従来装置のピーク強度は管電圧 50 kV, 管電流 $50\ \mu\text{A}$ の条件に換算した値)。CuK α 線 (8.04 keV) に着目すると、管電圧、管電流が同じ条件に設定されている場合、ポータブル蛍光X線分析装置で得られるX線強度は従来装置の約 1/25 であることがわかる。さらに、ポータブル蛍光X線分析装置では、高エネルギーになると検出効率が低下していることもわかる。SnK α 線 (25.19 keV) に着目すると、従来装置では CuK α 線の約 1/50 の強度が得られているのに対し、ポータブル蛍光X線分析装置では約 1/200 の強度である。これらの結果は、X線管球~コリメータ~試料~検出器の配置の違いによる検出効率の差異、さらにはポータブル蛍光X線分析装置で用いている PIN 型 Si 検出器の検出厚みの薄さなどが原因になっていると考えられる。しかし、従来装置に比べ 1/25~1/100 程度の検出感度しか有していないポータブル蛍光X線分析装置であっても、主成分を分析するには十分な感度を有しており、この測定においても 200 秒という短い測定時間にも関わらず、十分な定量結果を得ることができた。

<ポータブル蛍光X線分析装置>

Rh管球, 50kV \times $50\ \mu\text{A}$ \times 200sec, $\phi 2\text{mm}$, 大気中



<従来装置>

Rh管球, 45kV \times $4\ \mu\text{A}$ \times 200sec, $\phi 2\text{mm}$, 大気中

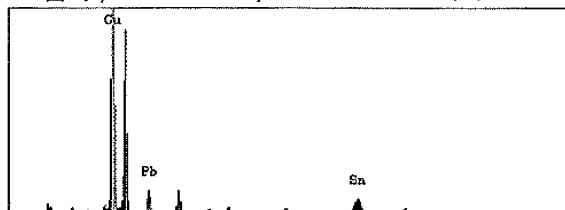


図1 ポータブル蛍光X線分析装置および従来装置による銅標準物質 IARM 92 A の測定スペクトル

表 1 銅標準物質 IARM 92 A の測定結果の比較

			(測定条件: 50kV × 50 μA に換算)		
			ポータブル装置		従来装置
Cu	Kα(8.04KeV)	Intensity (cps)	1086.4 <100>	→ ×25.6	27757.9 <100>
	Back Ground	Intensity (cps)	11.7		4.9
Pb	Lα(10.55KeV)	Intensity (cps)	19.3 <1.78>	→ ×31.7	612.0 <2.20>
	Back Ground	Intensity (cps)	6.4		1.6
Sn	Kα(25.19KeV)	Intensity (cps)	5.3 <0.49>	→ ×122.7	650.1 <2.34>
	Back Ground	Intensity (cps)	0.3		1.5

・ < >内はCu Kαの強度を100としたときの相対強度

・ 従来装置のB.G Intensityは45kV × 4 μAによる測定時のデータ

次に検出器の分解能低下に伴う近接ピークの重なりを確認するために、岩石標準物質 JB 1 a の測定を行った。ポータブル蛍光 X 線分析装置、従来装置ともに X 線照射径を φ 2 mm とし、軽元素の測定を行うために管電圧を 15 kV に設定して 300 秒間の測定を行った。従来装置では減圧雰囲気の下で測定したが、ポータブル蛍光 X 線分析装置では試料を減圧空間に置くことができないため、試料表面に He ガスをパージしながら測定を行った。管電流はポータブル蛍光 X 線分析装置では 500 μA に設定したが、従来装置では不感時間を小さくするために 100 μA に設定した。

ポータブル蛍光 X 線分析装置および従来装置によって得られた蛍光 X 線スペクトルを図 2 に示す。岩石標準物質 JB 1 a の主成分組成は SiO₂ 52.1%, Al₂O₃ 14.5%, CaO 9.2%, MgO 7.8%, FeO 5.9%, Fe₂O₃ 2.5% であり、軽元素を主体とした酸化物によって形成されている。ポータブル蛍光 X 線分析装置では第 1 主成分の Si は検出されているが、第 2 主成分の Al はほとんど検出されていない。He パージが効果的に行われたかどうかという点で若干疑問が残るが、Al, Si については 10% 程度以下の含有率では検出するのは難しいと考えられる。ピークの重なりに着目すると、従来装置に比べ隣接ピークとの重なりは大きいですが、主成分元素ならば十分ピーク分離を行うことができることがわかった。

以上の結果から、ポータブル蛍光 X 線分析装置を用いて試料中の主成分元素の定性・定量分析を行うことには何ら問題がないことが確認できた。

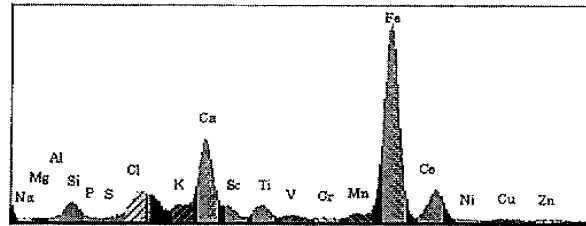
3. 国宝源氏物語絵巻の分析

3-1. これまでの研究

「隆能源氏」として広く知られている国宝源氏物語絵巻は平安時代の紙絵を代表するものとして美術史上重要な位置を占めている。現在、国宝源氏物語絵巻は徳川美術館に絵 15 面、詞 28 面、五島美術館に絵 4 面、詞 9 面が所蔵されている。これまでに美術史的観点に基づいた論説は数多くなされているが、自然科学的手法を用いて調査が行なわれたのはただ一度だけである。昭和 24~28 年にかけて東京国立文化財研究所の前身である美術研究所の秋山光和らが中心となり、

<ポータブル蛍光X線分析装置>

Rh管球, 15kV × 500 μA × 300sec, φ2mm, Heパージ



<従来装置>

Rh管球, 15kV × 100 μA × 300sec, φ2mm, 真空中

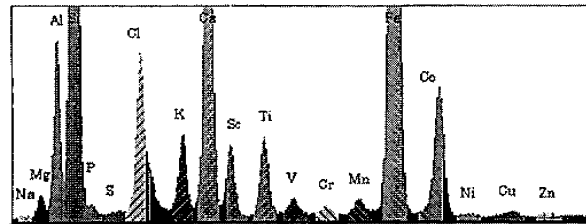


図2 ポータブル蛍光X線分析装置および従来装置による岩石標準物質 JB 1 a の測定スペクトル

「光学的方法による古美術品の鑑識」という研究テーマのもとに、系統的な調査が行われた。原寸写真の他、拡大写真や赤外線写真が数多く撮影されるとともに、紫外線蛍光観察/撮影により顔料の剥落、塗り重ねあるいは膠の検出などが行われた。さらに、X線透過写真撮影もこのとき初めて行われ、X線透過度の違いによって用いられている顔料およびその厚みの推定がなされた。これらの調査結果は報告書⁴⁾に詳しく述べられている。

この調査は当時の最先端の調査・分析技術を用いた画期的なものであった。しかし、顔料の推定に関してはX線透過写真の感光度の違いと当時の日本画顔料に関する知識をもとになされたものであり、顔料自体を直接検出したのではないことが大きな課題として残されていた。さらに、変色部分や微妙な色合いの違い、あるいは塗り重ねが行われている部分などについては適切な判断が下せないなどの問題も含んでいた。

3-2. 分析の概要

今回の調査では、上記の問題点を十分に踏まえた上で、顔料構成元素を直接検出することを第一の狙いとして分析が行われた。国宝源氏物語絵巻は台紙を含めても最大 60 cm × 35 cm 程度の大きさであり、従来装置での測定も可能である。しかし、館外への移動に伴うリスクを考慮し、ポータブル蛍光X線分析装置を徳川美術館内に持ち込んで測定が行われた。測定の様子を写真1に示す。

源氏物語絵巻は木板上に載せられ、装置本体の設置台を兼ねた厚さ 10 mm の Al 製架台の下部に置かれた。架台上面中央にポータブル蛍光X線分析装置本体を設置し、下方向に向けてX線を照射した。照射ヘッド部から約 10 mm の距離に源氏物語絵巻を配置し、φ 2 mm のX線ビームを照射した。装置本体を架台上に固定したまま、パソコンモニター上に表示される CCD カメラの画像によって分析位置を確認し、源氏物語絵巻が載せられている木板を手動で動かして、分析位置を決定した。

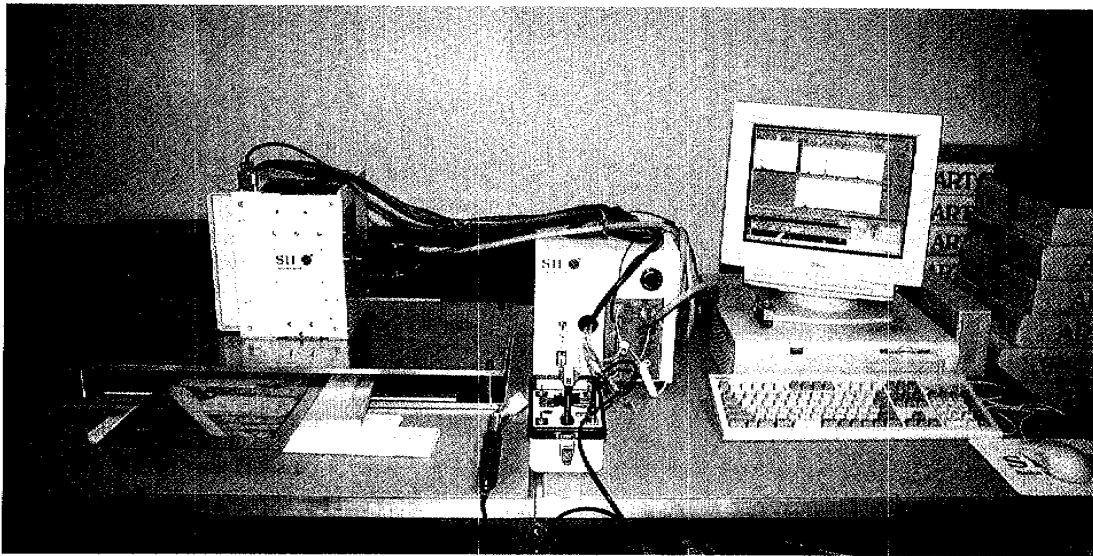


写真1 徳川美術館での国宝源氏物語絵巻測定の様子

3-3. 測定条件

国宝源氏物語絵巻の分析に先立ち、測定条件を決定するために、各種の日本画顔料を様々な条件で和紙上に塗布した試料片を多数作成し、管電圧、管電流、測定時間を変化させてX線強度およびその統計誤差を調べた。X線を照射することによる資料への影響を極力抑えるとともに、信頼に足るデータを得るために、下記の条件を選定した。

まず、X線照射径としてはできる限り細かい部分まで測定できるように最小のビーム径を選定し、 $\phi 2\text{ mm}$ のX線ビームで測定を行うこととした。

また、蛍光X線ピークは低エネルギー側では元素同士の重なりが大きくなるため、より高エネルギーの蛍光X線までK線で得ることを考慮し、管電圧については最大電圧(50 kV)を設定することとした。

管電流および測定時間については、それぞれの条件が変化すると蛍光X線強度は比例的に変化する。このため、得られる蛍光X線強度の統計誤差を考え、その誤差が3~5%程度以下になるような条件を設定することを考えた。和紙上に下地として鉛白を塗り、その上に厚さ約 $15\ \mu\text{m}$ の群青、さらにその上に厚さ約 $1\ \mu\text{m}$ の銀を線状に描いた試料片と、鉛白の上に厚さ約 $5\ \mu\text{m}$ の水銀朱を塗った二つの試料片を例に、X線強度およびその統計誤差を調べた結果を示す。図3は両試料片の上層にあるCu, Ag, Hgの主要ピークについて、管電流を30, 50, $100\ \mu\text{A}$ に設定したときのX線強度およびその統計誤差を調べた結果である(Hgについては $L\alpha$ 線ではなく、近接ピークとの分離に優れた $L\beta$ 線を用いた。源氏物語絵巻の顔料分析の際にも、Hgについては $L\beta$ 線を用いて定量的評価を行っている)。X線強度は管電流の増加に従って比例的に増大している。一方、統計誤差はX線強度の平方根に従って変化するため、管電流が大きくなるほど誤差が小さくなっている。この例では、管電流が $50\ \mu\text{A}$ を越えるとCu, Ag, Hgともに誤差が4%程度以下に低下することがわかった。

また、図4には管電圧50 kV、管電流 $50\ \mu\text{A}$ の条件で測定時間を変化させたときの、X線ピークの統計誤差の変化を示した。測定時間が100秒以上になるとCu, Ag, Hgともに誤差が3%以下に低下することがわかった。

なお、軽元素を高感度に測定するためにはHeガスをパージしながら測定することが望ましい

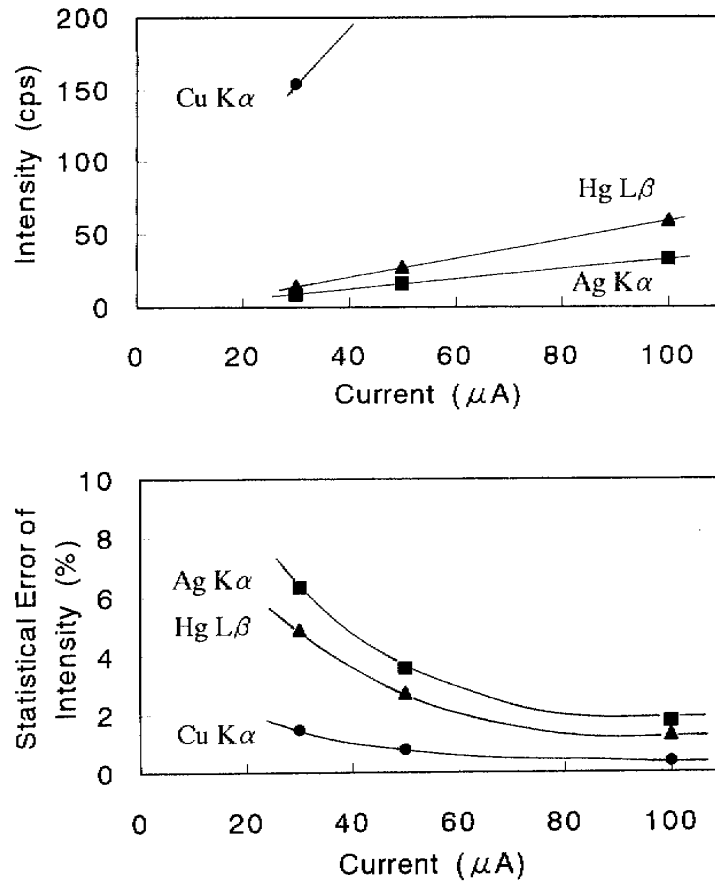


図3 蛍光X線強度およびその統計誤差に及ぼす管電流の影響 (測定条件: 50 kV \times 100 sec)

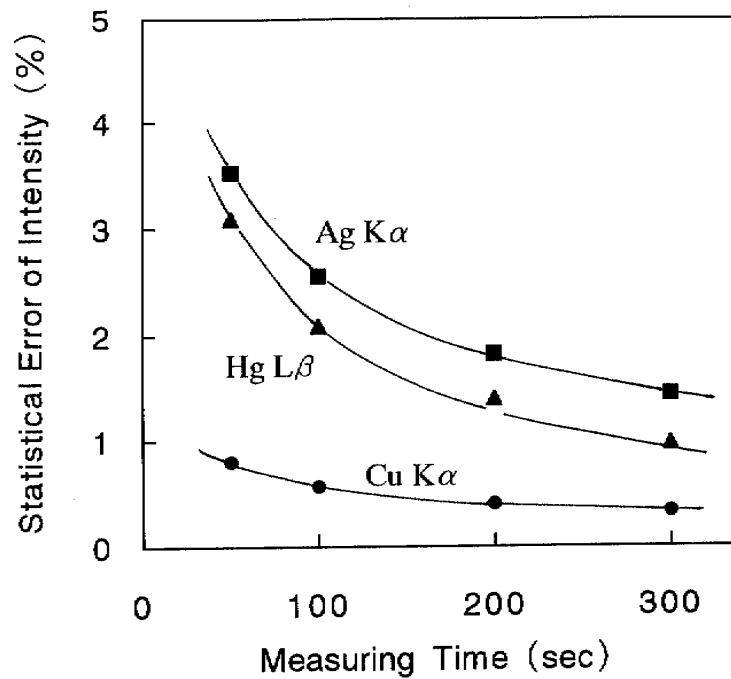


図4 X線強度の統計誤差に及ぼす測定時間の影響 (測定条件: 50 kV \times 50 μA)

が、測定中 He ガスが常時資料に吹き付けられてしまうため、今回は He ガスをパージせず、大気中での測定を行うこととした。

以上のような検討を多数の顔料試料片について行った結果、 $\phi 2\text{ mm}$ の X 線ビームを用い、管電圧 50 kV の条件で管電流を 50 μA 、測定時間を 100 秒に設定すれば、多くの元素に対して統計誤差 3～5% 程度以下で測定が出来ることを確認した。そして、これらの検討結果に基づき、この条件を国宝源氏物語絵巻の顔料分析のための測定条件として決定した。

3-4. 測定部位

これまでに徳川美術館が所蔵する国宝源氏物語絵巻の絵 15 面すべて、および詞 2 面について上記の測定条件による顔料の分析を行った。場面によって色彩の多少が異なるため、測定ポイント数は場面によって当然異なるが、どの場面においても特徴的な色を示している部分ではできる限り網羅的に測定した。また、変色が激しい部分あるいは顔料の推定が難しい部分など従来から議論になっている部分などについてもできる限り多くのポイントを測定するように心掛けた。各場面について測定を行ったポイント数は以下の通りである。

<絵>

蓬生	:	26 ポイント
関屋	:	20 ポイント
柏木 (一)	:	46 ポイント
柏木 (二)	:	19 ポイント
柏木 (三)	:	59 ポイント
横笛	:	13 ポイント
竹河 (一)	:	23 ポイント
竹河 (二)	:	54 ポイント
橋姫	:	80 ポイント
早蕨	:	26 ポイント
宿木 (一)	:	23 ポイント
宿木 (二)	:	40 ポイント
宿木 (三)	:	17 ポイント
東屋 (一)	:	16 ポイント
東屋 (二)	:	21 ポイント

<詞>

早蕨 第一紙	:	1 ポイント
早蕨 第二紙	:	1 ポイント
東屋 (二) 第一紙	:	1 ポイント
東屋 (二) 第二紙	:	1 ポイント

絵の各場面については、一場面当たりおおよそ 20～30 ポイントとなったが、橋姫のように色彩の多い場面では 80 ポイントというように非常に測定ポイントが多い場面もある。図 5 に一例として、柏木 (三) の一部分 (源氏が薫を抱いている部分) について、測定を行ったポイントを示した。人物の顔については特に重点的に測定を行った。この例では、源氏の顔について鼻、頬、唇の 3 ポイント、薫の顔についても額、頬、唇の 3 ポイントを測定している。また、源氏の直衣の変色部分や銀色の文様、さらには緑色の畳部分など特徴的な色を示している部分も測定した。

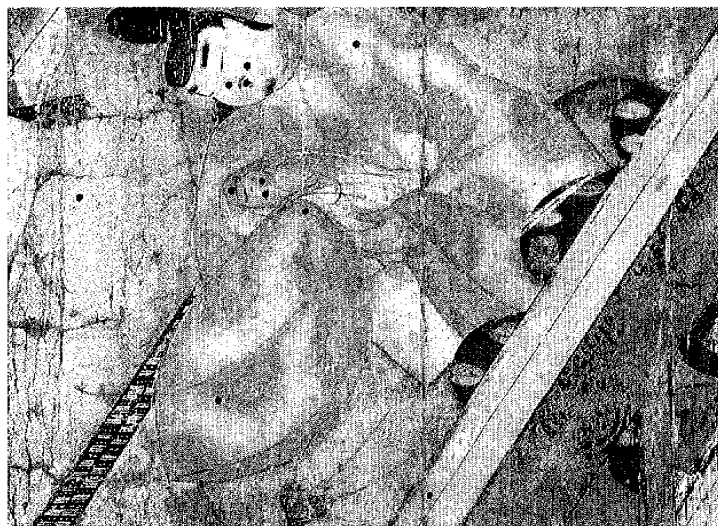


図5 ポータブル蛍光X線分析装置による測定ポイント（柏木（三）絵部分）

3-5. 測定結果

測定中にパソコンモニター画面に映し出される情報の一例を図6に示す。図6は図5に示した場面の中で、源氏の鼻の部分測定しているときに得られたものである。測定ポイントをCCDカメラの映像で確認することができるとともに、蛍光X線スペクトルがリアルタイムに表示され、含有元素の同定を直ちに行うことができる。画面上には測定条件も同時に表示され、測定後には得られた結果をもとに直ちに定量分析を行うことも可能である。

本報告では測定ポイントすべてについての測定結果を示すことはできないので、今回の調査において見出された、代表的な色と検出元素との対応、さらにはそれから推定される顔料を表2に表記するにとどめる。ここで示した色の分類は、参考文献⁹⁾において山崎によってなされた分類に準じたものである。

白色についてはこれまで鉛白が主体であると考えられており、測定結果もそれを裏付けるようにPbを主成分とするものがほとんどであった。ただし、特に人物の顔部分の白色については微量のHgが検出されることが多く、鉛白に極少量の辰砂を混ぜ、わずかに赤みがかかった白色として描かれていた可能性がある結果が得られた。一方、白色部分でもまったくPbが検出されず、多量のCaが検出されたポイントがあった。白色についてはこれらとは異なる検出元素が得られたケース

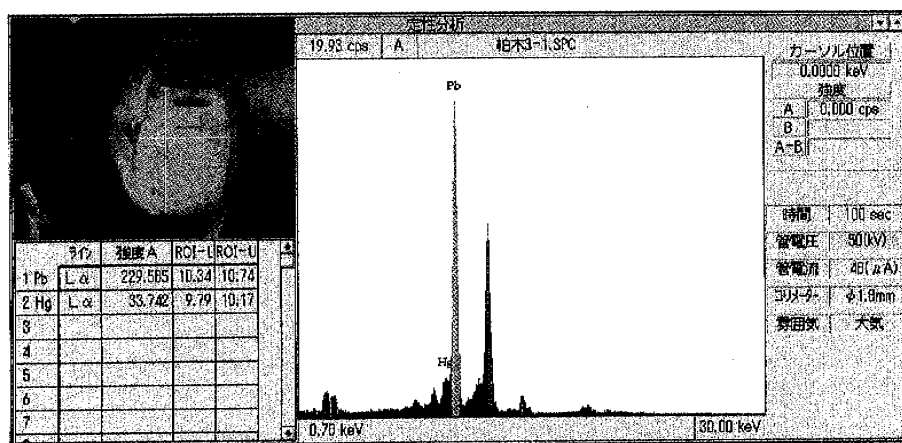


図6 ポータブル蛍光X線分析装置による測定画面の一例（柏木（三）絵部分）

もあり、次節で詳しく述べることにする。

また、多くの測定ポイントでPbが最大ピークとして検出された。これは下地に塗られている鉛白に起因していると考えられる。例えば、銀色部分を測定すると、最も検出量が多い元素はPbであり、Agの検出量が少量であるケースも多かった。また、黄色の部分については検出元素がPbだけであるポイントが多かった。これは従来から言われていたように、黄色に藤黄が用いられていたためと考えることができる。今回の測定では有機物をほとんど検出することができないために、下地の鉛白のみを検出したと解釈することができる。その他の色と検出元素との対応については表2を参照されたい。

3-6. 白色部分の測定結果

徳川美術館に所蔵される国宝源氏物語絵巻の絵15面を測定した結果、白色を表現するのに少なくとも4種類の材料が用いられていることが認められた。その4種類について、それぞれ典型的な蛍光X線スペクトルを図7~10に示す。

(1) Pbを主成分とする白色(図7)

従来から言われていた鉛白を基本とする白色であると推測される。白色部分の多くのポイントにおいて図7とほぼ同様のスペクトルが得られた。上述したように、人物の顔部分については微量のHgが検出されるケースが多く、辰砂をわずかに含んでいたと考えられる。

描かれている人物や場面によってHgの存在量が異なっていたかどうかを比較した結果を図11に示した。ここには、多くの色彩が用いられている代表的な3場面(柏木(三)、竹河(二)、橋姫)を選び、人物の肌部分の測定結果を示した。図の縦軸は得られた蛍光X線スペクトルからHg L β 線とPb L β 線の強度比(Hg L β /Pb L β)をとったものである。柏木(三)、竹河(二)については、若干のばらつきがあるものの、Hg L β /Pb L β はほぼ同じ値を示した。これに対し、

表2 国宝源氏物語絵巻に見出された代表的な色と検出元素との対応

色	主成分	少量(微量)成分	考えられる顔料
1 白	Pb Ca	Hg	鉛白(+水銀朱) 胡粉
2 銀	Pb, Ag		銀
3 濃赤	Hg, Pb,	Cu, Fe	水銀朱
4 黄赤(橙)	Pb		鉛丹
5 淡紅(肌)	Pb, Hg		鉛白+水銀朱
6 褐(薄茶)	Pb	(Cu, Fe)	鉛白+有機染料(えんじ?)
7 黄	Pb	(Cu)	鉛白+有機染料(藤黄?)
8 緑	Cu	Fe, Pb	緑青
9 青	Cu	Fe, Pb	群青
10 紫	Pb	(Cu)	鉛白(+白群?)
11 黒			

柏木(三) 源氏の顔

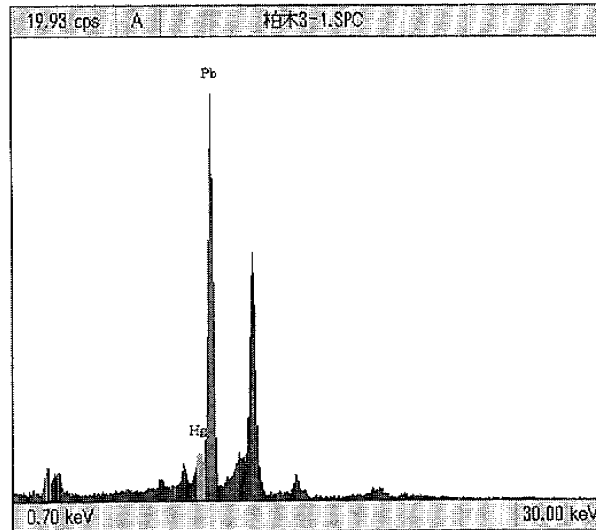
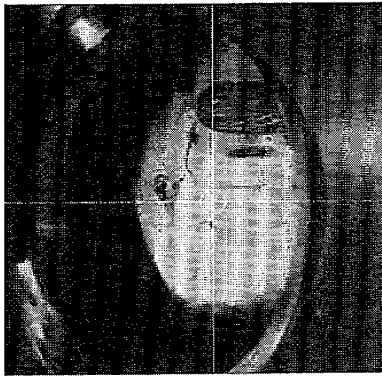


図7 Pbを主成分とする白色部分の蛍光X線スペクトル

橋姫に描かれた人物は柏木(三)、竹河(二)から得られた $\text{Hg L}\beta/\text{Pb L}\beta$ の値に比べるとはるかに大きな値を示すことが明らかになった。Hgが辰砂の赤色を反映しているとする、橋姫に描かれた人物の肌は柏木(三)、竹河(二)に描かれた人物に比べ、はるかに赤味が強かったと考えることができる結果である。

(2) Caを主成分とする白色(図8)

早蕨の赤衣女房の顔、あるいは弁の尼の顔など数少ないポイントではあるが、Pbがほとんど検出されず、Caを第一主成分とする白色の部分があることが見出された。Caが主成分であることから胡粉による白色であると考えることができる。製作当初からこの顔料が使われていたのか、あるいは後の時代に補筆として用いられたのかは、この測定結果だけでは判断できないが、重要な測定結果である。

早蕨 赤衣女房の顔

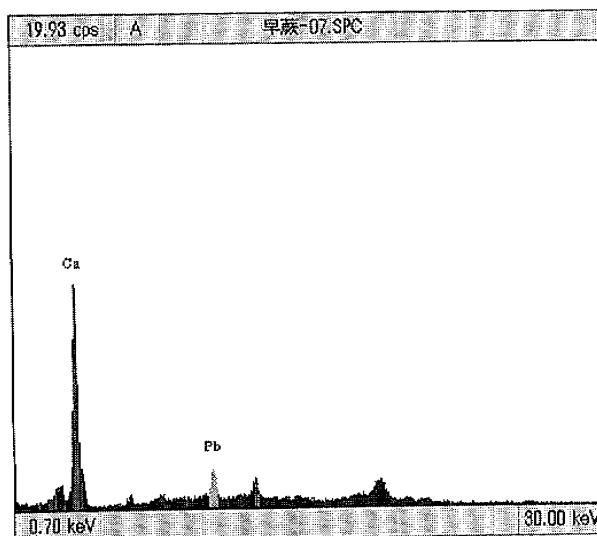


図8 Caを主成分とする白色部分の蛍光X線スペクトル

橋姫 大君の顔

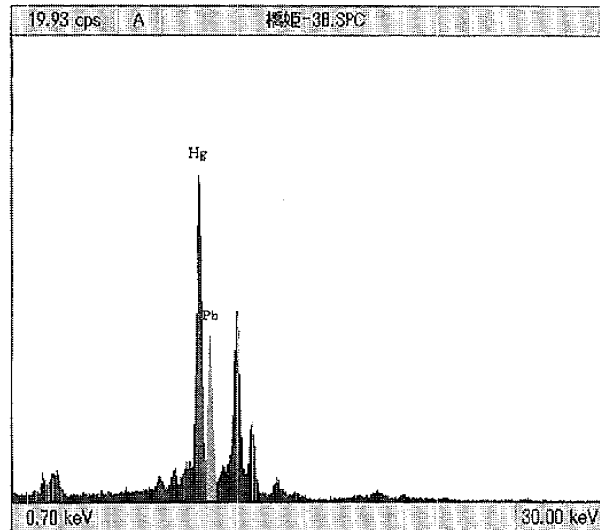
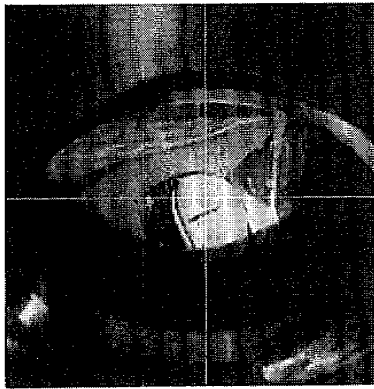


図9 Hgが大量に検出される白色部分の蛍光X線スペクトル

(3) Hgが大量に検出される白色 (図9)

橋姫の大君の顔、あるいは薫の顔など数少ないポイントではあるが、(1)で示した白色に比べ、圧倒的に多くのHgが検出される白色部分があることも新たに見出された。図9に示した例では検出量は $Hg > Pb$ であり、どんな顔料を用いていたのか大変興味深い結果である。Hgを主原料とする白色顔料が存在したのか、あるいは複雑な重ね塗りがなされていたのかなど様々な可能性を考えることができる。

(4) 主成分元素が検出されない白色 (図10)

蓬生の老女の顔や宿木(二)に描かれた匂宮、六君、女房らの顔、あるいは東屋(二)の弁の尼の顔などで、主成分元素がほとんど検出されない白色があることが見出された。図10からも明らかのように、得られたスペクトルはほぼバックグラウンドレベルであり、蛍光X線ピークはほとんど検出されていない。参考文献⁴⁾には、白色として顔料を塗らず地紙のままの部分が存在することが明記されているが、今回の測定ポイントは明らかに何かが塗られており、地紙のままではな

蓬生 老女の顔

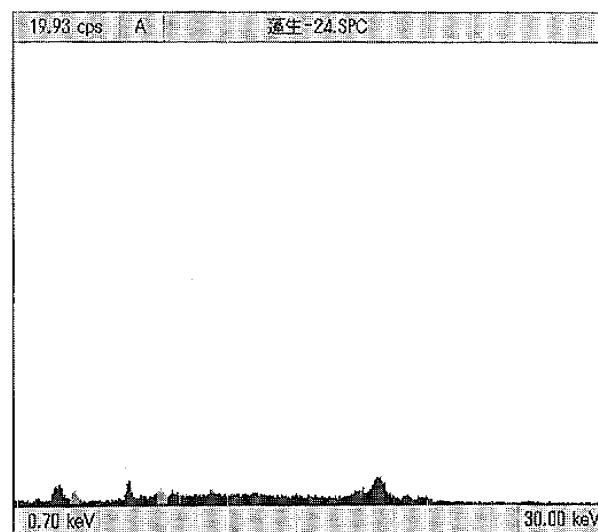
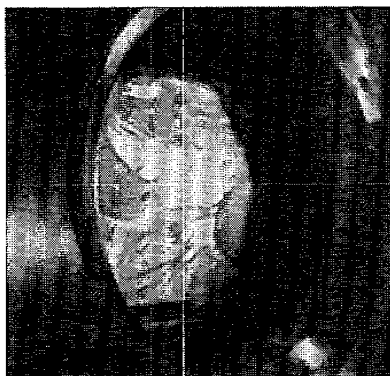


図10 主成分元素が検出されない白色部分の蛍光X線スペクトル

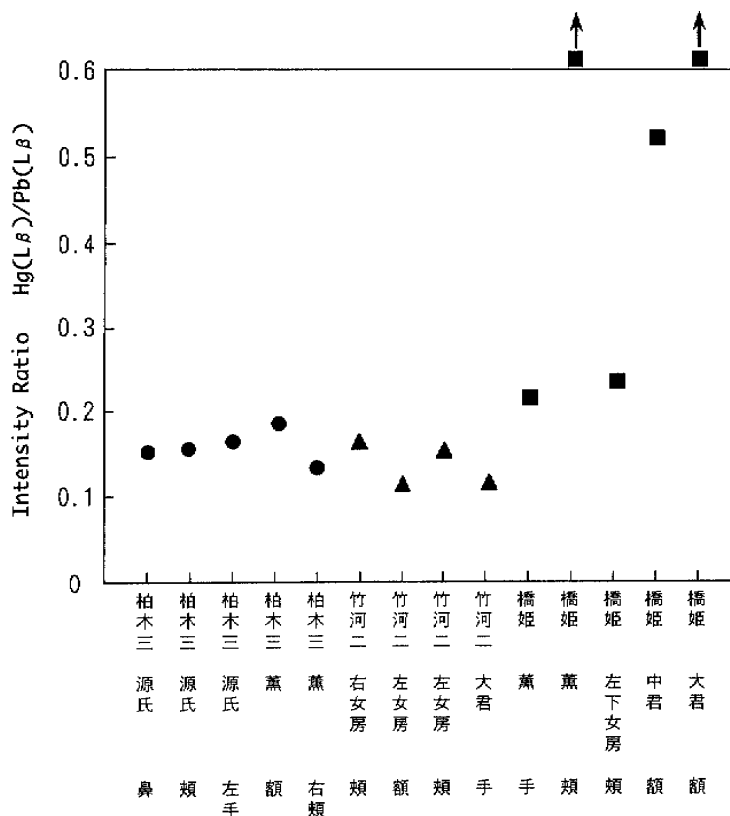


図11 柏木(三), 竹河(二), 橋姫に描かれた人物の肌の色の比較

い。今回の測定条件では軽元素を検出することが困難なため、例えば Al, Si を主成分とした純粋な白土が用いられていた場合、図 10 のような測定結果が得られる可能性がある。あるいは、白色を呈する有機染料が存在したという説も否定できない。いずれにしろ、非常に興味深い測定結果である。

4. まとめ

- (1) どこへでも持ち運びが可能なポータブル蛍光 X 線分析装置が最近開発され、東京国立文化財研究所への導入を図った。この装置を用いれば、測定試料が置かれている現場に分析装置を持ち込み、その場で迅速に資料の元素分析を行うことが可能である。
- (2) 導入したポータブル蛍光 X 線分析装置の検出特性などをこれまでに十分検討し、文化財試料の測定に実用できることを確認した。
- (3) ポータブル蛍光 X 線分析装置の文化財試料への適用として、徳川美術館に所蔵される国宝源氏物語絵巻の顔料分析を試みた。これまでに徳川美術館に所蔵される絵 15 面すべてについて、各場面平均 20~30 ポイント (最大 80 ポイント) の測定を終了した。その結果、4 種類の白色が存在していること、あるいは場面による色の相違などに関して数多くの新しい情報を得ることができた。源氏物語絵巻の測定データについては、今後さらに詳細な検討を重ね、調査報告書としてまとめられる予定である。

謝 辞

源氏物語絵巻の分析に多大なご協力をいただいた徳川美術館の吉川美穂氏、東京国立文化財研究所情報資料部の米倉迪夫氏、島尾新氏、津田徹英氏に感謝申し上げます。また、ポータブル蛍

光X線分析装置の開発において数々の要求を汲んでいただくとともに、源氏物語絵巻測定の際にご協力をいただいたセイコーインスツルメンツ(株)田村浩一氏、杉原敬一氏、佐藤正雄氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 早川泰弘, 平尾良光: 各種の蛍光X線分析装置による文化財試料の分析, 保存科学, **37**, 137 (1998)
- 2) 早川泰弘, 平尾良光, 三浦定俊, 田村浩一, 杉原敬一, 佐藤正雄, 四辻秀紀, 徳川義崇: ポータブル蛍光X線分析装置の開発と文化財試料への適用, 日本文化財科学会第16回大会講演要旨集, 1999.6, pp.54
- 3) 早川泰弘, 平尾良光, 三浦定俊, 田村浩一, 杉原敬一, 佐藤正雄, 四辻秀紀, 徳川義崇: ポータブル蛍光X線分析装置の開発と国宝源氏物語絵巻の分析, 日本分析化学会第48年会講演要旨集, 1999.9, pp.65
- 4) 秋山光和, 山崎一雄, 中山秀太郎, 鈴木敬三, 中村義雄: 美術研究—源氏物語絵巻 特輯一, 174 (1954)

Analysis of the Pigments Used in the Scroll Paintings of the Tale of Genji, National Treasure, by Portable X-ray Fluorescence Spectrometer

Yasuhiro HAYAKAWA, Yoshimitsu HIRAO, Sadatoshi MIURA,
Hideki YOTSUTSUJI* and Yoshitaka TOKUGAWA*

X-ray fluorescence spectrometer (XRF) is frequently applied for the measurement of the chemical composition of cultural properties because of its rapidity and non-destructiveness. However, it is hard to analyze a sample at the site by conventional XRF. In order to solve this problem, a portable XRF has been introduced at the Tokyo National Research Institute of Cultural Properties. The performance and characteristics of this instrument were investigated using certified reference materials of metal and rock. As a result, it is certain that the instrument can be used effectively in the field of cultural properties.

The pigments used in the Scroll Paintings of the Tale of Genji in the possession of the Tokugawa Art Museum have been analyzed by portable XRF. The instrument was brought into the museum to avoid various risks that may be caused by moving the paintings. The Scroll Paintings of the Tale of Genji are considered as most important in understanding the materials and techniques of drawing paintings in the 12th century. The pigments used in the fifteen illustrated sheets in the museum were once estimated by an examination using X-ray radiography and ultra-violet fluorescence spectroscopy in 1950-1954. However, the elements and the compounds of the pigments have not been detected yet.

In the present study, the elements of the pigments were measured by using X-ray beam with $\phi 2$ mm diameter. As a result of measurement of about 20-30 points per one illustrated sheet, composition of pigments corresponding to different colors were identified. For example, 4 kinds of white pigment were detected; major component is (1) Pb (2) Ca (3) Hg (4) not detectable. It was also made clear that the white pigment consisting mainly of Pb used for drawing a human face contains a trace of Hg. Furthermore, the color used for drawing human face was slightly different between illustrated sheets. Detailed data obtained by using portable XRF will be published with the results of many other examinations in a final report for the present study.

* Tokugawa Art Museum