

〔報文〕 古代染織資料の非破壊分析

松田 泰典*・三好 正毅**

(1989年8月31日受理)

Non-destructive Analysis of Japanese Ancient Fabrics

Yasunori MATSUDA* and Tadaki MIYOSHI**

Several fragments of Japanese ancient fabrics, most of which have been attributed to the Shoso-in Repository Fragments (8th century), were examined non-destructively in order to confirm some latent properties of these fragments. Analysis of fibrous material was carried out using the FT-IR-ATR method. Although these fragments have already seriously deteriorated, their IR spectra coincide closely with those of modern silk fibres. Dyeing mordants applied to these fragments were analysed by means of energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF). Several elements, S, Si, K, Ca, Al, P, Fe, Mn and so on, have been detected from the fragments, some of which are particularly rich in aluminum content. Compared with the EDXRF data for the mordanted reference samples, the fragments examined were shown to be mordanted with certain plant-ash. Also, it was surmised that the use of Fe mordant was probably avoided in preparing these fragments, suggesting that ancient Japanese dyers had already been aware of some kind of plant-ash which brings about a dull colour tone on dyeing. In an attempt to identify dyes applied to these fragments, laser-induced fluorescence and optical reflection spectra were measured for both samples, i.e. the fragments and reference fabrics dyed with natural dyes using a traditional technique. Identification was performed by a comparison of various spectral characteristics for both the fragments and reference samples. *Shikon* and/or Japanese madder have been identified for purple and/or reddish-purple coloured fragments. Combination dyeing of *kihada* (or *wo-ren*) and indigotin has been determined for the fragment of yellowish-green colours. The possibilities and limits of these non-destructive

所属：* ミキモト 真珠研究開発室, 三重県鳥羽市鳥羽 〒517

Pearl Research Laboratory, K. MIKIMOTO & Co., Ltd., Toba, Mie 517

** 山口大学工業短期大学, 山口県宇部市常盤台

Technical College, Yamaguchi University, Tokiwadai, Ube, Yamaguchi 755

キーワード：染織文化財 (textile property), 非破壊分析 (nondestructive analysis), 繊維 (fibre), 媒染剤 (dyeing mordant), 天然染料 (natural dye)

methods available for the analysis of ancient fabrics are also discussed. It is proposed that a combination of several non-destructive methods is needed to be applied in cases where some valuable dyed samples are concerned.

1. はじめに

染織文化財の材質分析は、繊維素材、媒染剤、着色材料（染料、顔料）を対象に各種の分析方法が応用されており、その結果は当該文化財の考古学、美術工芸史上における意義、あるいは古代染織技法の研究において重要な知見となる。また、資料の修理・復元のために貴重な保存科学的情報を提供することはいうまでもない。材質分析の方法は文化財資料の取扱いの点から、1) 試料の部分的採取をとまらぬ破壊法、2) 試料に物理的、化学的損傷をあたえない非破壊法とに大別することができる。

これまで実施されてきた染織文化財の材質分析は多くが前者に属する。例えば、染料同定における、各種のクロマトグラフィ（PC, TLC, GC, HPLC）や湿式系統分析、紫外可視分光分析、赤外分光分析、蛍光分光分析、媒染剤分析における原子吸光法、特殊な例であるが顔料分析におけるX線回折法などである。

一方、後者については欧米ではこれまでほとんど研究されていない。これは、わが国と欧米との文化財保存に対する考え方の違いが大きき原因になっていると思われる。本邦では以前から蛍光観測による材質分析がおこなわれており、さらに最近の分析機器の急速な発達とともに非破壊法の応用例がいくつか報告されている。非接触型分光光度計¹⁾は従来の積分球付き分光光度計を文化財用に改良したもので、開放空間での染料同定が可能である。繊維中の天然染料の発する蛍光を分光し、スペクトルを観測することにより染料同定をおこなう方法も提唱されている²⁾。しかし、これらの分析方法を単独で応用しても高精度の染料同定は期待できないのが現状である。

筆者らもここ数年、レーザー誘起蛍光法と分光反射スペクトル法を組み合わせた染料同定に関する基礎研究を進めてきた。前者は励起光源に窒素レーザーを用いることで微弱な蛍光も観測でき、かつ蛍光の時間変化についても情報を得ることができる。後者は通常の方法であるが、とくに微細なスペクトルを測定することで同定の精度向上を目指している。また両者を組み合わせることにより、相互を補完し合うことができると考えられる。これまでは主に天然染料の同定に欠かすことのできない基礎資料（単染および交染布、変退色布のスペクトル）の収集を積み重ね、測定結果を報告した^{3~5)}。

本研究では、これらをもとに古代染織資料の分析を試み、単染および交染裂の染料を同定した。また、繊維素材の分析方法としてフーリエ変換赤外分光法（以下、FT-IRと略称）、媒染剤の分析方法としてエネルギー分散型蛍光X線法（以下、EDXRFと略称）を試み、二三の知見を得た。さらに染織文化財に対するこれら非破壊分析法の実用の可能性および限界を検討した。

2. 試験と実験方法

今回分析に供した古代染織裂（以下、資料と略称）は東京芸術大学保存科学教室所蔵の正倉院裂と伝えられる6種と出自不明の1種で、すべて単色織物である。資料の諸元をTable 1に示す。保存状態は、資料3がきわめて悪く粉化寸前であり、比較的良好である資料7を除きその他もほとんどが力を加えると繊維が切断するような状態であった。組織および文様の鑑定

は宮内庁正倉院事務所保存課長、松本包夫氏によった。資料の色表示は、測色色差計（日本電色 ND-1001 DP）で測定した CIE Lab 値^{注1)}によった。

一方、天然染料および媒染剤を用いて伝統的技法で作製した染色絹布も供試し、これら参照試料から得られた情報をもとに染料の同定、媒染剤の分析をおこなった。試料は伝統染織技術の研究者であった故吉岡常雄氏および筆者のなかの一人（松田）が作製した⁹⁾。

資料の FT-IR スペクトルは、ATR装置（日本分光 ATR-6）を用いて、フーリエ変換赤外分光光度計（パーキン・エルマー 1640）により測定した。ATR 結晶として KRS-5（屈折率 2.4）を使用した⁷⁾。分解能は 2 cm^{-1} である。

供試試料の媒染剤の元素分析は EDXRF 装置（セイコー電子 エレメントモニター SEA 2001）により減圧下（ 10^{-1} Torr）で実施した。Al, Fe および K の半定量分析には絹を主成分としてシミュレーションをおこなった。各元素（地球化学の常法にしたがい酸化物で表記）の測定値（濃度）は装置内蔵のプログラム^{注2)}により X線エネルギースペクトルの面積比で算出した。

レーザー誘起蛍光法による蛍光スペクトルの測定は既報⁹⁾と同様の方法によった。光源として用いた窒素レーザー（NDC JS-100 L）は波長 337.1 nm の紫外パルス光を出す。パルス光の持続時間は約 5 ns であり、1秒間に4パルス放出される。この紫外光を石英レンズで集光し、 1 mm^2 程度のスポットにして試料に照射した。レーザー光強度を減光フィルターでピーク強度 50 kW/cm^2 程度とし、測定中の試料の変退色を防いだ。試料からの蛍光はガラスレンズで集光し、分光器（応用分光 ASI-50 S）を通し、光電子増倍管（浜松ホトニクス R 955）で電気信号に変換した。この電気信号をボックスカー積分器に入れ、スペクトルをレコーダで記録した。試料は無色ガラス板に挟んだ状態で測定に供した。

可視部分光拡散反射スペクトル（以下、反射スペクトルと略称）は積分球を用いて二光束可視紫外分光光度計（日本分光 UVIDEC-610 C）で測定した。ベースラインは Al_2O_3 の標準白板によった。

3. 実験結果と考察

3.1 織組織と文様⁹⁾

松本包夫氏の鑑定から、資料の織組織は平織、綾地綾および紗であることがあきらかになった（Table 1）。綾地綾のうち資料4は経糸3枚、緯糸6枚で経糸が2本ずつ組になっているが、このタイプは上代には例がない。資料5は経糸3枚、緯糸5枚であり、奈良時代の織りとしては珍しく後世の可能性が強い。資料6は経糸5枚、緯糸6枚で上代裂にはまったく例がないため平安時代以降の遺品と推定された。また紗は羅とならび搦織で、漢代以来の古い伝統もっているが、正倉院裂中での遺存量は、比較的簡単な織の紗が羅に比べきわめて少ない⁹⁾。一方、資料7の文様は有識文様の一つ、小葵であることから、鎌倉ないしは室町時代、あるいはそれ以降の染織品と推定される。

3.2 繊維素材

Fig. 1 に資料の FT-IR スペクトルを示す。3267, 1612, 1514 cm^{-1} などに特徴的な吸収

注1) 国際照明委員会 (CIE) が1976年に定めた加法混色に基づく表色系で、任意の色を $L^*a^*b^*$ 色相空間で表す。最も信頼性の高い表色系の一つとされている。

注2) 半定量は標準試料を使用せず、ファンダメンタルパラメータ法によった。定量値の信頼性は乏しいが、同一主成分系における濃度比較は十分可能と考える。

Table 1 Description of the ancient

Fragment	Colour	CIE Lab values		
		L*	a*	b*
1	Reddish-purple	38.2	13.1	8.8
2	Deep purple	42.4	6.2	3.5
3	Yellow ochre	39.2	7.9	12.6
4	Brown	40.7	9.3	13.7
5	Reddish-purple	46.6	8.7	1.7
6	Reddish-purple	40.4	13.9	10.4
7	Yellowish-green	45.1	-1.6	21.4

- a) Weaving design of the fragments excepting No.7 cannot be identified because
 b) *Ko-aoi* (small three *Asarum*-leaves) is a traditional design of family insignia

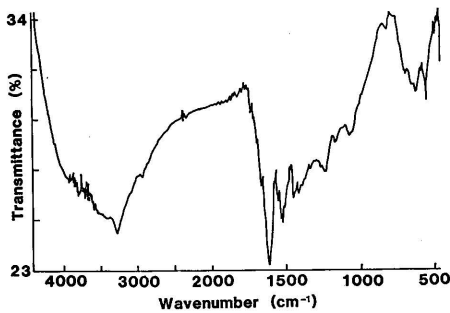


Fig. 1 FT-IR spectrum for Fragment 4.

が観測され、これらの吸収位置は現代の絹繊維と完全に一致した。また他の資料においても同様のスペクトルが得られたことから、資料は絹製と判明した。

分散型分光では困難であった繊維素材の非破壊同定も干渉型分光と分析機器の発達により可能になった。ATR法は、一般に試料とATR結晶を密着させるだけでスペクトルを得ることができ、試料は解放空間に設置されるため大型試料にも適する。試料の測定最少限度は今後の検討課題である。

る。糸の太さは顕微鏡観察から直径約5~10 μ mと判明した。

3.3 媒染剤¹⁰⁾

EDXRFによる媒染剤分析は、有機物中の微量含有元素濃度の正確な絶対値を知ることが困難なことから定性分析に限定されてきた。本研究では、1) 含有元素の確認と、2) 媒染に関するAl, FeおよびKの半定量分析をおこないこれら元素の挙動を検討した。

Fig. 2にEDXRFスペクトルの一例を、Table 2に参照試料(媒染・染色布)のEDXRF定性分析結果をそれぞれ示す。無媒染・無染色布(参照試料9)と比較すると、稲藁灰汁を媒染剤としたとき(参照試料1および2)はSi, Al, Fe, Tiが、椿灰汁を媒染剤としたとき(参照試料3および4)はAl, Ca, Si, Fe, Ti, Pが吸着したと考えられる。明ばん溶液媒染(参

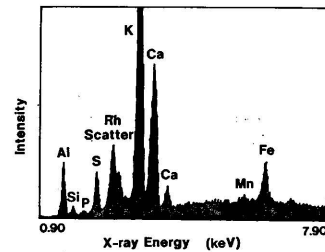


Fig. 2 EDXRF spectrum for Fragment 2.

textile fragments in this study.

Weaving pattern	Design ^{a)}
<i>Aya-ji iho aya-mon no aya</i> (綾地異方綾文綾) (Twill on twill in two directions)	Not identified
<i>Sha</i> weave (紗)	Not identified
Plane weave (平織)	Not identified
<i>Aya-ji doho aya-mon no aya</i> (綾地同方綾文綾)? (Twill on twill in one direction)?	Not identified
<i>Aya-ji doho aya-mon no aya</i> (綾地同方綾文綾) (Twill on twill in one direction)	Not identified
<i>Aya-ji iho aya-mon no aya</i> (綾地異方綾文綾) (Twill on twill in two directions)	Not identified
<i>Aya-ji iho aya-mon no aya</i> (綾地異方綾文綾) (Twill on twill in two directions)	<i>Ko-aoi</i> (小葵) ^{b)}

of a fragility of samples.
in Japan.

照試料5および6)ではCa, Si, Fe, Ti, Pの吸着が観測された。さらにFe化合物溶液の媒染(参照試料7および8)ではFe, Pの吸着が着認された。これらの元素は媒染と染色の両工程において絹繊維に吸着したと推定される。

一方、Table 3は資料の定性分析結果であるが、資料1~6ではCr, Mn, Mgなどを除いてTable 2であきらかとなった植物灰汁媒染による吸着元素とほぼ同様の元素が検出された。この結果は資料1~6における植物灰汁媒染の痕跡を示唆している。参照試料では認められなかったMnが資料に共通して確認されたのは興味深い。資料7は媒染による元素が検出されなかったため、無媒染の可能性が高い。

本実験ではAl, Feの挙動の観測にあたり絹灰分の主成分元素であるSを指標とした。絹のS含有量は、蚕の品種、加工方法、時代の変遷などによりわずかの異同はあろうが、他の元素に比べ媒染や染色の工程による量的変化をほとんど受けない。一方、植物灰汁を媒染剤とした場合、上述のようにいくつかの陽イオンが同時に吸着される。そこで媒染に関する代表的元素であるAl, Feについて、 Al_2O_3/SO_3 と K_2O/SO_3 の関係および Fe_2O_3/SO_3 と K_2O/SO_3

Table 2 Results of EDXRF analysis of the reference samples.

Reference	Mordant treated	Elements detected ^{a)}
1	Ash of <i>Oryza sativa</i> L.	Si, Ca, S, Al, Fe, K, Ti
2	Ash of <i>Oryza sativa</i> L.	Si, Ca, S, Fe, K, Ti
3	Ash of <i>Camellia japonica</i> L.	Ca, Si, S, Fe, K, Ti
4	Ash of <i>Camellia japonica</i> L.	Al, Si, Ca, S, Fe, K, Ti, P
5	Alum	Ca, Si, S, Fe, Al, K, Ti, P
6	Alum	Si, Ca, S, Fe, K, Al, Ti, P
7	Fe compounds	S, Fe, Ca, Si, K, Al, P
8	Fe compounds	Fe, S, K, Ca, P, Si
9	without mordant	S, Si, K, Ca

a) Descending order of weight percent.

Table 3 Results of EDXRF analysis of the ancient textile fragments.

Fragment	Elements detected ^{a)}	Suggested mordant
1	S, Si, Al, Ca, K, Fe, Cr, Mn, P, Mg	Plant ash
2	Al, K, S, Ca, Si, Fe, Mn, P	Al-rich plant ash
3	Al, Si, K, P, Ca, S, Fe, Mn	Al-rich plant ash
4	Al, K, S, Si, Ca, Fe, Mn, P	Al-rich plant ash
5	Al, K, S, Si, Ca, P, Fe, Mn	Al-rich plant ash
6	S, K, Ca, Si, Al, Fe, Mn, Mg, P	Plant ash
7	S, K, Si, Ca, Fe, Al	without mordant?

a) Descending order of weight percent.

の関係を検討した^{注3)}。Fig. 3 によれば資料中の相対的 Al 濃度はかなり幅広く分布しており低濃度と高濃度では約 10^5 倍の開きがあるが、無媒染布（参照試料 9）と比べると資料 2～5 ではあきらかに Al 媒染（Al が豊富な木灰汁か？）を施していることがわかる。

一方、 Fe_2O_3/SO_3 と K_2O/SO_3 の関係（Fig. 4）は、資料の Fe 含有量が相対的に少なく、いずれも鉄漿媒染ではないことを示唆した。Fe 媒染布は K に比べ Fe を多量に含むこともあきらかになった。一般に Fe 媒染は色調を鈍くさせるため、鮮やかさを得るためには染色工程で Fe を避ける必要があるが、本実験の結果は古代におけるこのような技術の存在を暗示している。

EDXRF による分析は資料の比較的浅い部分の情報を提供するが、一般に試料表層部と内部とでは元素の濃度分布が異なることが多いため注意を要する。媒染剤分析の場合、発色に関与するのは主に表層部であるためこの点はあまり問題にはならないと考えられる。

今回の試みは、染料分析や技法解明にとって重要な媒染剤の情報を非破壊的に得る一方法の提示である。EDXRF による繊維分析は、短時間に多元素を定性的にあるいは半定量的の把握することができる。参照試料の元素濃度を信頼のおける方法で定量し、EDXRF 分析結果とのク

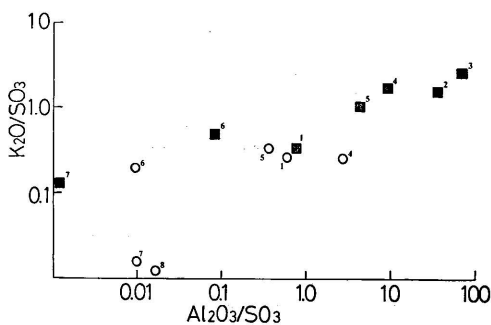


Fig. 3 Relation between Al_2O_3/SO_3 (concentration ratio) and K_2O/SO_3 , resulted from EDXRF analysis. The circles and the squares indicate the references and the fragments, respectively. Numbers are their own numbers shown in Table 2 and 3.

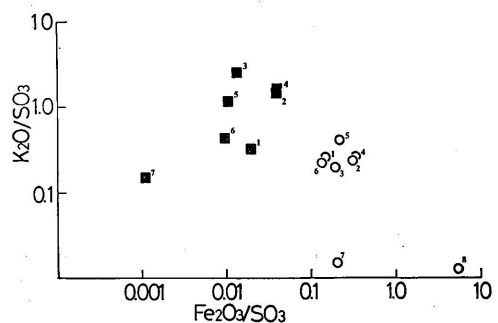


Fig. 4 Relation between Fe_2O_3/SO_3 and K_2O/SO_3 , resulted from EDXRF analysis. The circles and the squares indicate the references and the fragments, respectively. Numbers are their own numbers shown in Table 2 and 3.

注3) 各試料における SO_3 含有量は同オーダーと考えられる。したがってこれら諸量の比較検討には意味がある。

ロスチェックをすればさらに効果的であろう。

3.4 染料

Fig. 5~Fig. 12 に資料および参照試料 (Table 2 の媒染剤分析用参照試料とは異なる) の蛍光(a)および反射スペクトル(b)を示す。後述のように資料1および資料6は資料5とほぼ同様のスペクトルであったので省略した。

資料2 (濃紫色) の蛍光スペクトル (Fig. 5(a)) は 460 nm 付近にのみ蛍光ピークを示した。このピークは絹からの蛍光であり³⁾, 染料由来の蛍光は観測されなかった。古代の紫色を得たとされる紫根は 700 nm 付近に微弱な蛍光を示すが (Fig. 6 (a実線)), 退色が進むと喪

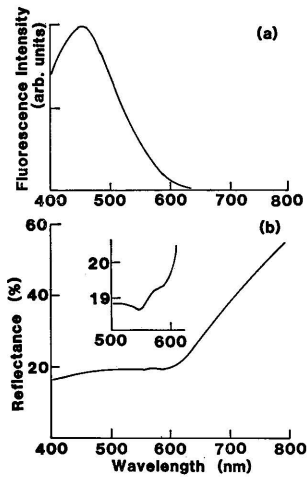


Fig. 5 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for Fragment 2. The inset shows the enlarged reflection spectrum.

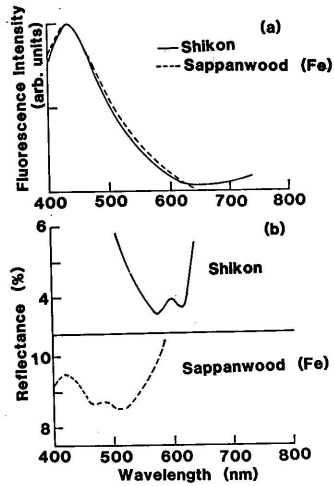


Fig. 6 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for references dyed with *shikon* (solid line) and Fe mordanted sappanwood (dashed line).

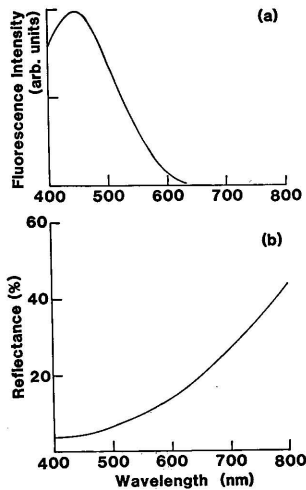


Fig. 7 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for Fragment 3.

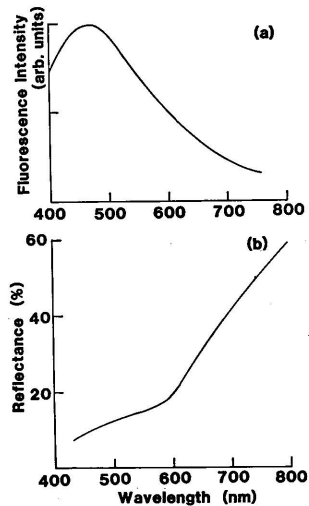


Fig. 8 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for Fragment 4.

失する⁵⁾。一方, Fig. 5 (b) に示すように反射スペクトルは 550 および 600 nm 付近に吸収(肩)をもった。これは紫根の特有吸収 (Fig. 6 (b 実線)) で, 同系統色の蘇芳鉄媒染 (同破線) とは大きく異なる。また, 上述したように資料 2 は Fe 媒染の痕跡は認められない。以上の結果から, 資料からの蛍光は検出できなかった。また, 反射スペクトル (Fig. 7 (b)) から染料に基づく特徴的な吸収はみられなかった。蛍光の挙動から, 資料 3 は, ペルペリンを主色素とする黄蘗あるいは黄蓮以外の染料によると推定されるが, 変退色が著しく染料の特定には至らなかった。

Fig. 8 (a) によれば資料 4 (茶褐色) は 480 nm 付近に蛍光ピークを示し, 長波長側にもわ

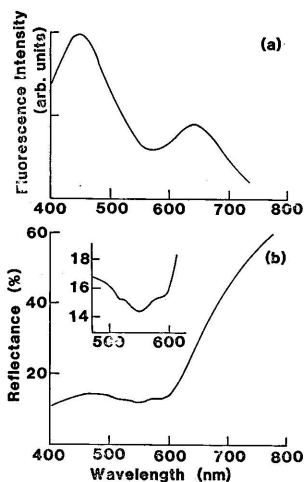


Fig. 9 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for Fragment 5. The inset shows the enlarged reflection spectrum.

ずかな蛍光を観測するが, これは変退色によるものと考えられ, 染料を特定できる程の情報ではない。600 nm 付近に変曲点をもつ反射スペクトル (Fig. 8 (b)) は, これも染料同定に決定的ではないが, 紫根染が著しく変退色した結果⁵⁾ との解釈も可能性がある。

資料 5 (赤紫色) は 460 nm 付近に絹の蛍光, 650 nm 付近に染料由来の蛍光を観測した (Fig. 9 (a))。後者のピーク波長に該当する染料には, 日本茜や西洋茜, 蘇芳など赤系統の染料が挙げられる^{4,5)}。一方, 反射スペクトル (Fig. 9 (b)) は 510, 550, 595 nm に吸収や, 肩 (変曲点) の存在を示した。Fig. 10 (b) は二種の参照交染布, 西洋茜と紫根 (実線), 日本茜と紫根 (破線) の反射スペクト

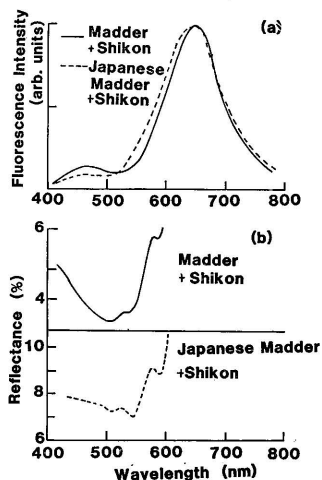


Fig. 10 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for references dyed with madder+shikon (solid line), and Japanese madder+shikon (dashed line).

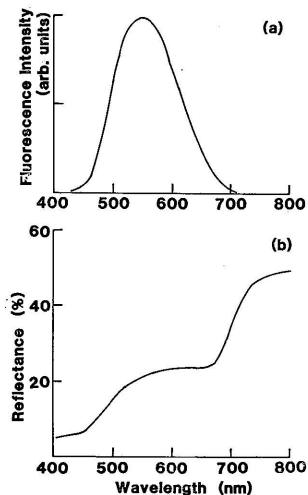


Fig. 11 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for Fragment 7.

ルであるが、前者は 505, 538, 588 nm に比較ブロードな吸収と肩を、後者は 510, 545, 590 nm にシャープな吸収をもった。このうち、長波長側の二つの吸収（肩）は上述の紫根に由来している。また、単波長側の吸収は西洋茜あるいは日本茜によるものである⁵⁾。これらの情報から資料 5 は、紫根と日本茜で染められた交染布と同定された。資料 1 および資料 6 から資料 5 とほぼ同様のスペクトルを観測したので、これらも紫根と日本茜による交染布と推定された。三資料の色調の違いは紫根と日本茜の繊維上の濃度比に起因すると考えられる。両者の交染の度合いを変えることで微妙な色合いを醸し出していることは、反射スペクトルも暗示している。

Fig. 11 (a) は資料 7 (黄緑色) の蛍光スペクトルで、545 nm 付近に強い蛍光を確認した。これはベルベリン色素に基づくもので¹¹⁾、染料としては当色素を主成分とする黄蘗あるいは黄蓮と断定できる。一方、反射スペクトル (Fig. 11 (b)) は、600~700 nm において藍に特徴的なパターン (Fig. 12 (b)) を示したため、資料 7 は黄蘗あるいは黄蓮と藍との交染による裂と同定した。また Fig. 12 (a) の蛍光スペクトルは黄蘗と藍による交染布の測定結果であるが、これは資料 7 のそれと一致し、この同定を強く支持した。

このように、蛍光スペクトルと反射スペクトルの情報を組み合わせることにより染料を非破壊的に、単一法より精度よく同定することが可能である。しかし、変退色が進行し色素の分解等でスペクトルの特徴が失われてしまっている場合や、色素が顕著なスペクトル上の特徴をもたない場合などでは染料の推定は困難であり、一定の限界が存在する。いずれにしても天然染料の同定には参照染色布から得られる情報の蓄積が重要である。

4. まとめ

古代染織資料の繊維、媒染剤、染料を非破壊的方法により分析した。その結果、当該資料の繊維素材は FT-IR スペクトルから絹、施されている媒染剤は EDXRF 分析により Al が豊富な植物灰汁 (資料 7 は無媒染) と判明した。一方、染料はレーザ誘起蛍光スペクトルと分光反射スペクトルの情報を組み合わせることにより紫根の単染、日本茜と紫根の交染、黄蘗 (黄蓮) と藍の交染の存在をあきらかにした。これらは正倉院裂において分析・解明された染料

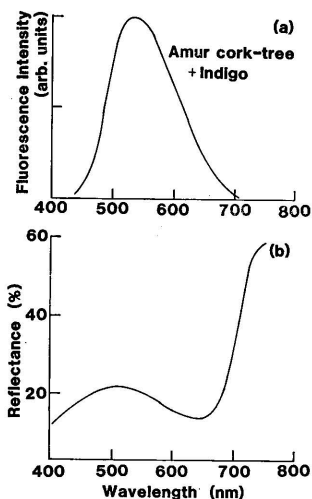


Fig. 12 Fluorescence (a) and reflection (b) spectra for reference dyed with Amur cork-tree (*kihada*) + indigo.

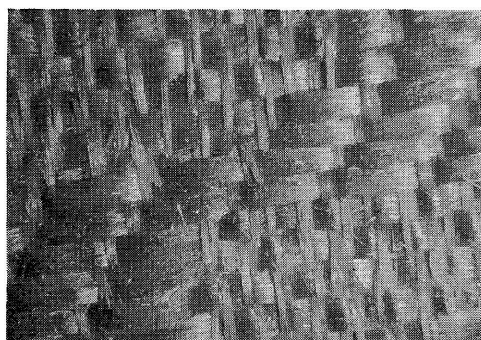


Photo. 1 Magnified surface of Fragment 4, showing a weaving pattern ($\times 25$, see Color Plate).

例¹²⁾と一致する。さらに非破壊分析法の染織文化財への実用の可能性および限界について検討した結果、これらの分析方法は精度に限界はあるが、実用に十分耐えうることが判明した。

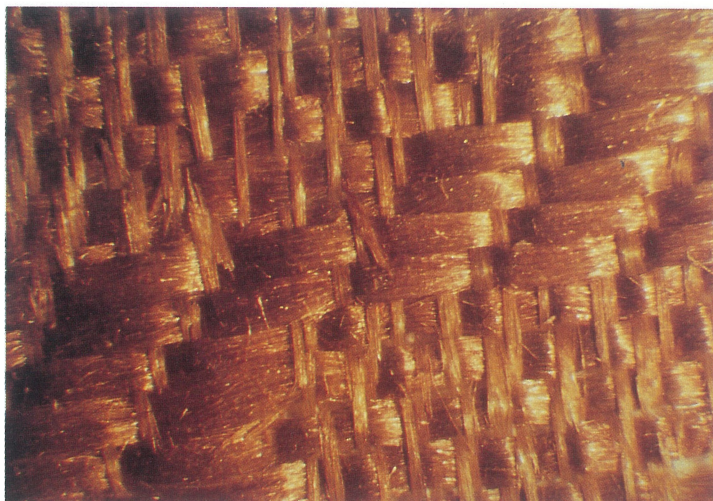
貴重な染織文化財の分析は、まず各種の非破壊分析から始めるべきであることはいうまでもない。現代では各種の分析方法を組み合わせることにより相当量の情報が得られるはずである。もし非破壊分析結果が不満足であれば、次の段階として微量の染料採取を試み、他の方法で分析する必要があるが、この場合も非破壊分析結果があれば採取量の減少、測定範囲の限定あるいは分析精度の向上が可能となるであろう。

謝 辞

本研究の遂行にあたり貴重なご助言・ご援助を賜った東京芸術大学保存科学教室の杉下龍一郎教授、稲葉政満助手に深謝の意を表します。資料の組織および文様の鑑定を快く引き受けてくださった宮内庁正倉院事務所の松本包夫保存課長にも謹んで感謝致します。EDXRFの測定にはセイコー電子工業、井上充氏のご協力があったことを記します。

引用文献

- 1) 湊幸衛：分光光度計による色彩の調査，“法隆寺・東大寺伝来上代裂（東博保管）の技法，文様に
関する調査研究 昭和55年度科学研究費補助金（特定研究1）昭和56，57年度科学研究費補助金（総
合研究A）研究成果報告書”，研究代表者 三宅敏之，p. 38（1983）。
- 2) 那須佳子，中沢文子，柏木希介：紅色天然染料による染色絹布の退色前後における発光および励起
スペクトル挙動，考古学と自然科学，**15**，105-113（1983）。
- 3) 三好正毅，松田泰典：天然染料による染色布のレーザー励起発光，考古学と自然科学，**17**，51-60
（1984）。
- 4) Miyoshi, T., Matsuda, Y.: Laser-Induced Fluorescence and Optical Reflection Spectra of
Japanese Natural Dyes on Silk, Japanese Journal of Applied Physics, **26**, 239-245 (1987).
- 5) 三好正毅，松田泰典：赤色及び紫色天然染料による染色絹布のレーザー誘起蛍光と反射スペクトル，古文化財の科学，**32**，47-53（1987）。
- 6) 吉岡常雄：“日本の色”（1979），紫紅社，京都。
- 7) 田隅三生：“FT-IRの基礎と実際”，p. 67（1986），東京化学同人，東京。
- 8) 西村兵部：正倉院の綾，書陵部紀要，**12**，56-89（1969）。
- 9) 松本包夫：“正倉院裂と飛鳥天平の染織”，p. 167（1984），紫紅社，京都。
- 10) Koestler, R. J., Sheryll, R. Indictor, N.: Identification of Dyeing Mordants and Related
Substances on Textile Fibers: A Preliminary Study Using Energy Dispersive X-ray Spectrometry, Studies in conservation, **30**，58-62（1985）。
- 11) 松田泰典：色料ベルベリンの染色挙動と光退色について，古文化財の科学，**31**，24-31（1986）。
- 12) 高木豊：正倉院の染色材料について，服装文化，**156**，76-87（1977）。



1 Magnified surface of Fragment 4, showing a weaving pattern (see page 9).