

## 2次元分光放射測定による 文化財染織資料の計測データを用いた 統計的解析

▶瀬川かおり ▶大崎綾子  
▶藤井裕子 ▶坂田勝亮

### 1. はじめに

染織品の歴史は古く、国内外の博物館にも多くの収蔵品がみられる。文化財保存には、対象資料の素材の特定、劣化状態などについて科学的な調査分析が不可欠となっている。19世紀ごろから化学染料が使われるようになったが、それまでは天然染料のみで染織が行われていた。天然染料は現在の化学染料に比べ堅牢度は低く、使用している媒染材の影響から劣化も生じやすいが、資料の保存状況次第ではその多彩な色彩を現在に遺しているものもある。女子美術大学美術館の収蔵資料（以下、女子美染織コレクション）には、日本の小袖をはじめ、世界各地の染織品など芸術的および学術的に価値の高い優品が揃っている。「女子美術大学染織文化資源研究所」は文部科学省の「私立大学研究ブランディング事業」に選定され、2016年に設立された。これまでに本学芸術学部美術学科芸術文化専攻で行われていた色彩学に関する蓄積された知見に基づく分析に加え、最新鋭の光学測定手法を用いることにより非破壊による分析技術の確立、文化財染織資料のデジタルアーカイブ化を目指している。

染織資料の色彩にかかわる分析は、染織材料（以下、染材）の推定が中心に行われている。これまでの染織資料の染材の推定には、HPLC（高速液体クロマトグラフィー）による判定が一般的に行われてきた。しかし、この手法は資料の一部の採取が必要な破壊検査法であり、文化財保存の側面からは望ましくない。近年では、文化財の破損を伴わない非破壊検査法の需要が高まっており、いくつかの手法が開発されている。蛍光分光分析法 [1, 以下, [ ] 内の数字は参考文献の番号を示す。]、ラマン分光分析法、反射分析法などがある。そのなかでも、蛍光分光分析法の研究報告は複数みられ、文化財保存や修復の分野への導入が図られている。この手法は、単色光源を照射し、対象物から発する蛍光を分光分析する方法である。これは、染材の推定にある程度有効であることが示されているが、小型の装置内という限られた範囲での測定という制約がある。光ファイバーシステムの

導入により測定のコストは増しているが [2]、蛍光を発しない染材には使用できないという欠点もある。

反射分析法は任意の標準照明下において、制約のない空間に資料を設置することが可能であり、大型資料の測定でも比較的容易に測定が可能である。一般的に色彩というと、3刺激値で色を表す CIEXYZ 表色系が用いられ、輝度や色度座標を測定する。染織品の色彩に関する研究の多くはこのような色情報の報告である [3-5]。しかし、このような色情報による分析では染材を特定できない。染材の種類が異なると、反射する波長の光の特性が異なってくる。分光反射特性が異なる2種類の染材が、CIEXYZ 表色系の3刺激値では同じになる場合もあるため、見た目では判断できない。反射分析法はこの波長に対する反射特性の測定が可能である。これまでの研究から、保存状態のよい伝世品であれば反射特性で染材の種類を推定可能であることを示した [6]。また、抽出法と反射法のピーク波長にはずれが生じているため、吸収率のピーク位置で比較する必要があることを報告している [7]。これらの報告は、反射分析法での染材推定の可能性を示唆している。

一方で、破壊分析法による染材分析と比較して、反射分析法は染材の推定精度は低いとの報告もある [8,9]。その理由の1つとして、破壊分析法と反射分析法の解析方法の違いが挙げられる。HPLC では液体に溶解した成分を分析し、定性、定量のためのデータ処理を行い、染材の高精度分析を行うことができる。一方、反射分析法は、分光吸収特性の最大値、最小値、変曲点の波長域から染材の推定を行っている。分光吸収特性の形状はなだらかな曲線となっており、最大値や最小値の波長を筆者らが目測で特定している。最大値や最小値が比較的わかりやすい形状がある一方、判断が難しいものもある [8]。このように反射分析法では HPLC のような明確な分光特性の特徴はみられず、染材の推定は難しい。そこで、我々は染材推定の精度を上げる方法として、分光データの最大値や最小値で比較するのではなく、統計学的に分光データの類似度を定量化する方法を提案している [10-12]。

2つ目の理由として、反射分析法によって得られる測定デ

ータ量の少なさが挙げられる。これまでの反射分析法で用いられている分光放射測定機は、測定面に対して1つの分光放射値のみが得られる。そのため、対象資料から得られる測定データの数は限られる。文化財である染織資料は経年劣化や汚れにより、同じ染材で染織されている部分にも色ムラが生じている場合が多い。測定データの数が少ないと、これらの色ムラの影響を大きく受け、データにばらつきが生じる可能性がある。近年の分光放射測定機の技術の進歩により、測定データの数の問題が解消されつつある。それが2次元分光測定機である。2次元分光測定機では、1画素ごとの分光データが得られるため、測定対象を広い領域で詳細な分光データを得ることが可能となった(図1)。そして、それらのデータの平均や分散値も算出できる。このことは、より信頼性の高い分光データが得られることが予想され、染材の推定の精度の向上にもつながる。「女子美術大学染織文化資源研究所」では、この2次元分光測定機を導入し文化財染織資料の測定に利用している。これまでの我々の報告では、染材の染織の状態が良い色ムラの少ないわずかな範囲を5点抽出し、その平均値を測定結果として扱っていた[12]。そこで本研究では、測定対象範囲を広範囲に設定し、これまでの測定面に対して1つの分光放射値のみが得

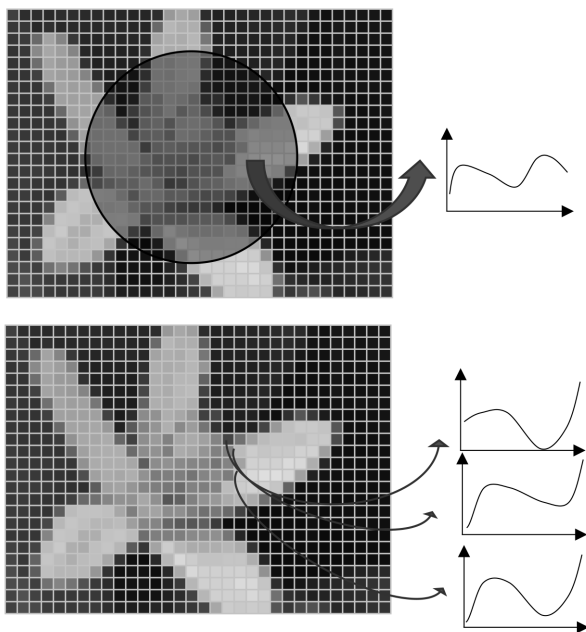


図1 データ取得方法の違い(イメージ図)。  
通常の分光測定機(上)、2次元分光測定機(下)

られていた分光測定機(以下、単点分光機とする)との測定結果の違いを明確にすることで、2次元分光測定機(以下、2次元分光機とする)の特性を捉えることを目的とした。

## 2. 測定

### 2-1. 測定装置

染織資料の測定は、暗室内にアングルを組み立て(縦×横×高さ:120cm×90cm×150cm)、蛍光灯(FL20S・D-EDL-D65、Toshiba)を4本設置した(図2(a))。2次元分光測定機(SR-5000H、トプコンテクノハウ) (図2(b))はアングル上部中央に下向きに設置し、そこを囲むように蛍光灯を4本取り付け付けた。測定機から机までの距離は72cmであり、机上、測定機真下に測定対象(以下、資料と呼ぶ)を設置した。机上の照度は、中心部で約270lxであった。測定機の有効画素数は1376×1024 pixelsであり、測定波長範囲は380nm～780nm、測定波長間隔は1nmであった。その他、詳細は文献[10]を参照のこと。

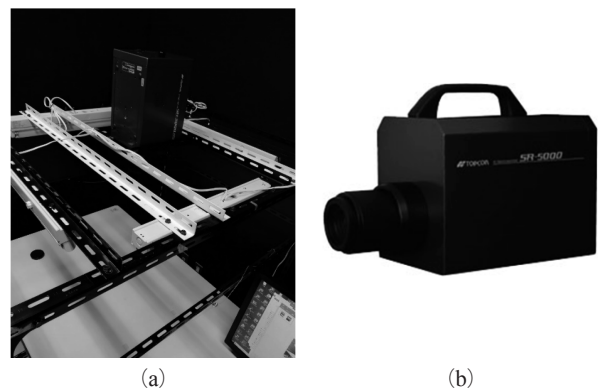


図2 (a) 測定装置外観、(b) 2次元分光測定機(SR-5000H)

### 2-2. 資料の種類

女子美染織コレクションのなかで桃山時代の小袖裂5点を対象とした(表1)。この5点は、小袖裂のなかでも、地色の領域が比較的広範囲となる資料として選択した。これらの資料はすべて、平成22年度科学研究費補助研究「女子美術大学コレクション「日本の染織品」の学際的調査に基づく意匠・素材・技法研究」においてHPLCによる染材の色素抽出が行われている((株)島津テクノリサーチ)。詳細は文献[10]を参照のこと。以下、各資料を表1の通し番号で呼ぶ。抽出された色素に相当する染材も表1に記した。資料5

表 1 測定対象の資料 5 点

資料 No.	資料番号	名称 (所蔵)	時代	HPLC で抽出された染材	
1	1101-75-1	赤地稲穂丸紋散し模様裂 (女子美術大学美術館所蔵)	16 世紀 桃山時代	紅花	—
2	1101-76	白紅染分地撫子朝顔模様裂 (女子美術大学美術館所蔵)	16 世紀 桃山時代	黄檗	蘇芳
3	1101-257	赤地桐短冊模様裂 (女子美術大学美術館所蔵)	16 世紀 桃山時代	黄檗	—
4	1101-591	茶地丸紋散し模様裂 (女子美術大学美術館所蔵)	16 世紀 桃山時代	黄檗	藍
5	1101-656-2	茶地扇面短冊に桜模様裂 (女子美術大学美術館所蔵)	16 世紀 桃山時代	—	—

は染材が抽出されなかったため、空欄となっている。資料の多くは部分的に退色やシミ、亀裂などの経年劣化がみられた。

### 2-3. 測定方法

PC モニタ上で二次元分光測定機の標準付属ソフトウェアを用いて測定可能範囲を確認し、その全体域の測定を行った。測定可能な範囲は測定角  $20.5 \text{ deg} \times 15.8 \text{ deg}$  ( $26\text{cm} \times 20\text{cm}$ ) であった。1回の測定につき、5分程度の測定時間を要した。測定終了後、保存データから、任意のピクセルの分光データを取り出すことが可能となる。

データ解析では、測定した領域の画像を付属ソフトウェア上で確認し、分光データを取得したい範囲をマウス操作で選択する。測定した資料の領域から、解析する範囲の選択領域として、できる限り一様に染織された範囲が望ましい。退色や亀裂、汚れがあるところは可能な限り避け、最低

20か所選択できるよう正方形の選択範囲を設定した。図3は、各資料の測定された全範囲と、分光データ取得のために選択した領域 (白い枠) を示している。二次元分光機で取得した領域は、大小2重枠の外側枠内部を示している。単点分光機で取得した領域は、大小2重枠の内側枠の内部を示している。単点分光機は所有していないため実際の測定はできないが、代用データとして、2重枠の内側枠の内部の全データの平均値として1つの分光データを求めた。単点分光機は、測定角として一般的に、 $0.1\text{deg}$ 、 $0.2\text{deg}$ 、 $1\text{deg}$ 、 $2\text{deg}$  の選択が可能である。本研究では、そのなかでも使用頻度の高い  $1\text{deg}$  を採用した。表2は、各資料で測定した領域の個数、二次元測定および単点測定 of 1つの測定領域で得られたピクセル数とその大きさに相当する測定角を示している。

表 2 測定領域のピクセル数と測定角

資料 No.	測定箇所	二次元測定		単点測定	
		ピクセル数	測定角	ピクセル数	測定角
1	20	10000	2.4	1681	1.0
2	22	10000	2.4	1681	1.0
3	26	10000	2.4	1681	1.0
4	20	22500	3.6	1681	1.0
5	22	22500	3.6	1681	1.0

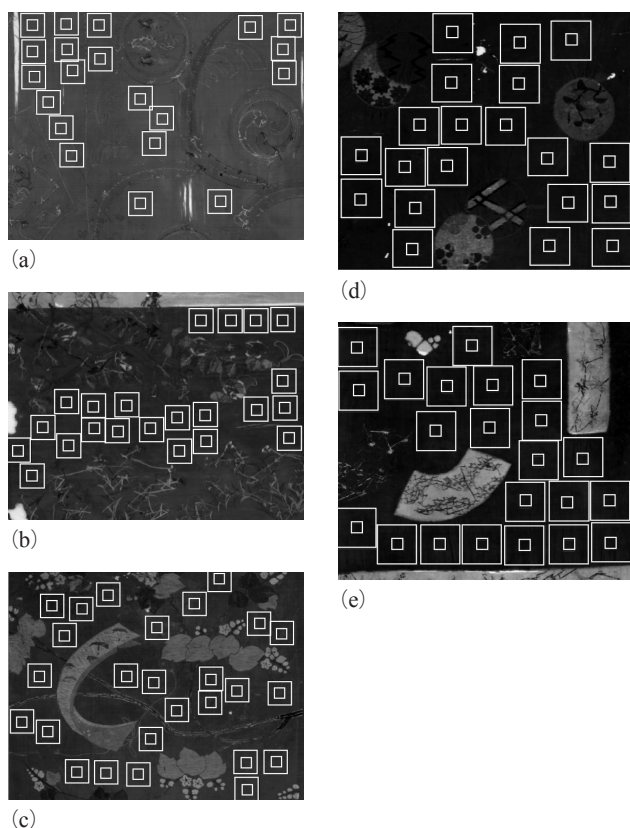


図 3 測定領域 (外枠が二次元分光機、内枠が単点分光機) (a) ~ (e) 資料 1 ~ 5

## 3. 結果

### 3-1. 測定結果

二次元分光機で得られた分光データ (以下、二次元測定データとする) と単点分光機で得られた分光データ (以下、単点測定データとする) の結果を図4に示す。横軸が波長 (nm)、縦軸が正規化した放射輝度 ( $\text{W/s m}^2$ ) を示す。測定された分光データは、照明光の放射輝度に依存するため、照明光の特性の影響を取り除く必要がある。そのため縦軸は、照明光を直接測定した分光データで割ることで正規化を行っている。1nm ごとのデータを曲線で結んだ結果となっている。各グラフの1つの曲線は、資料で選択した1つの領域で得られた各ピクセルの分光データの平均値となっている。

図4 (a) からわかる通り、資料1では  $550\text{nm}$  付近から放

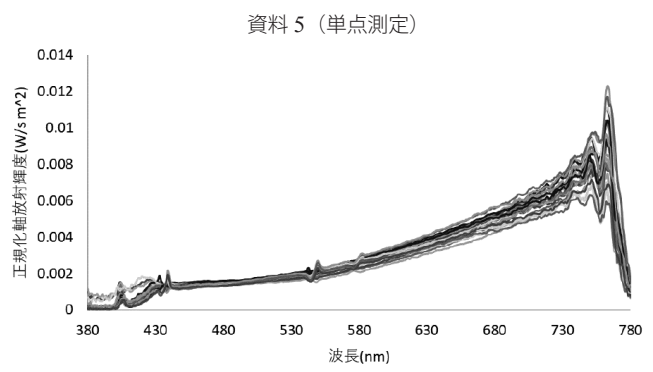
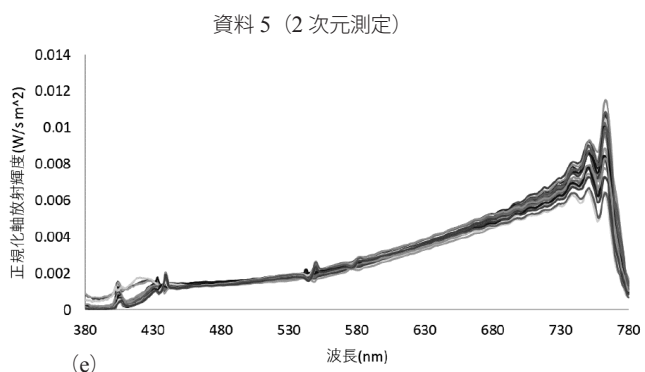
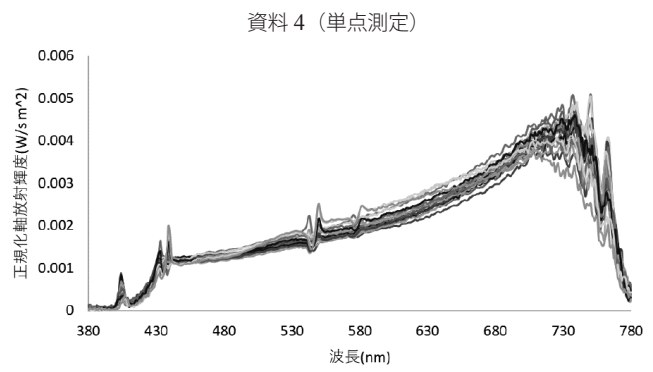
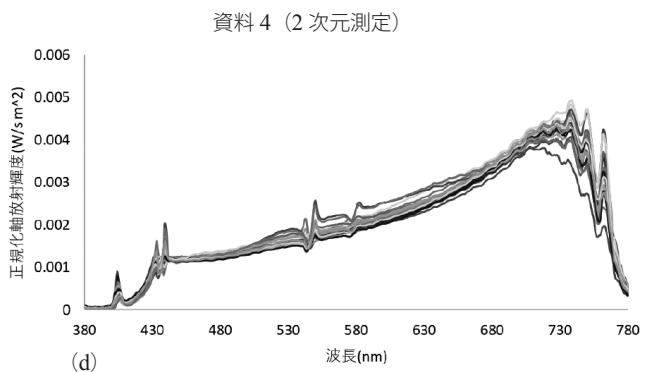
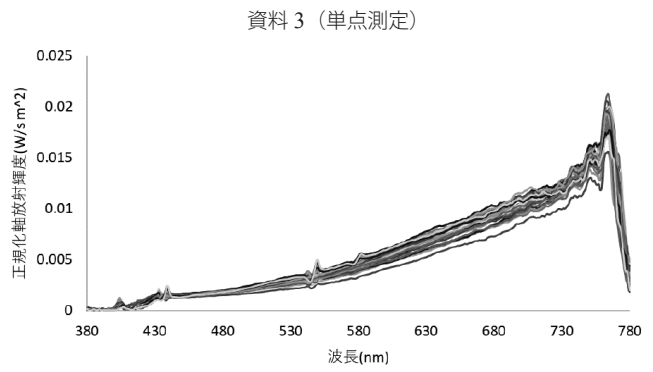
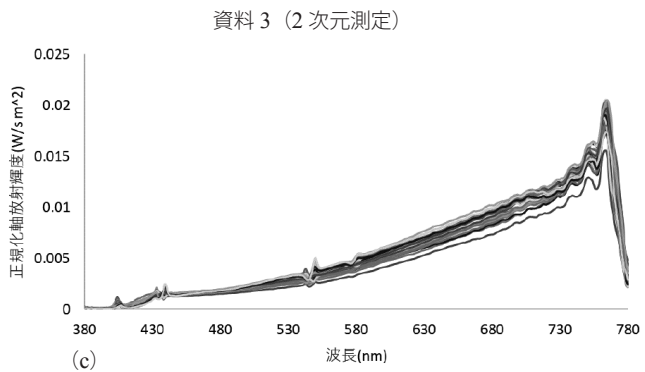
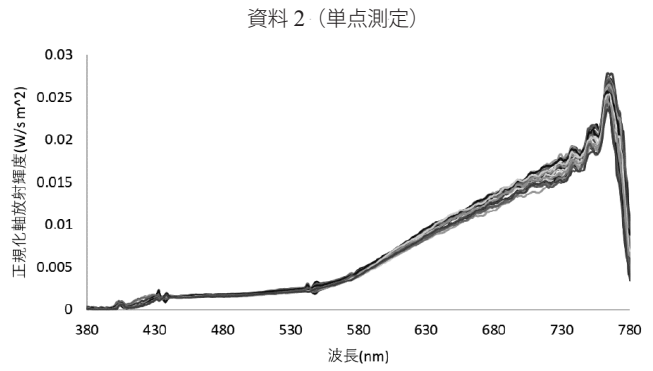
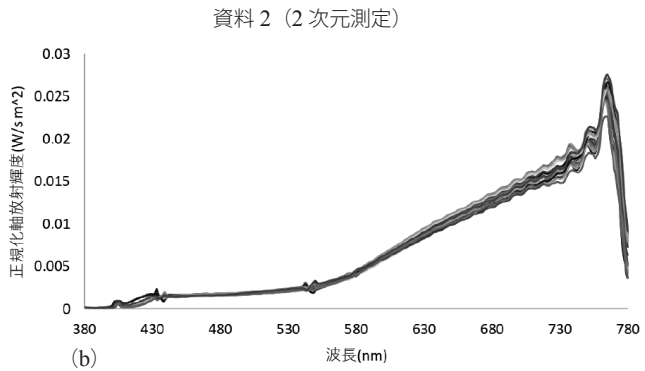
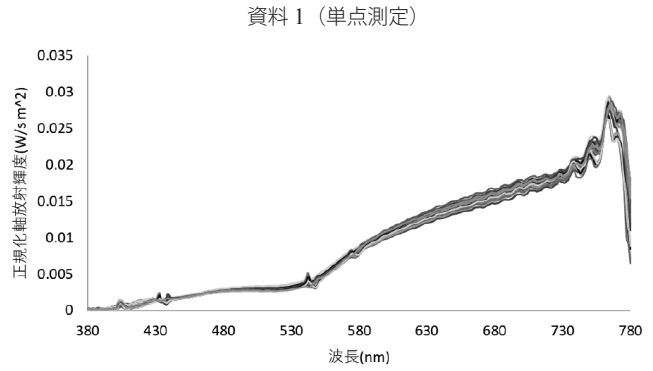
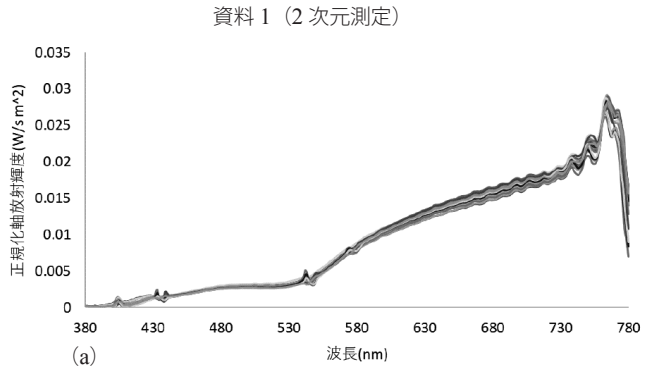


図4 測定結果 (左: 2次元測定データ、右: 単点測定データ) (a) ~ (e) 資料 1 ~ 5



射輝度の急激な上昇がみられた。これは紅花(赤)の特徴と一致する。測定データのばらつきは、単点測定データの方が600nm-730nm付近でわずかに大きい。また、図4(b)から、資料2でも550nmから放射輝度の上昇がみられるが、資料1ほどの顕著な上昇はみられなかった。これは、紅花(赤)だけでなく、茜の特徴とも類似している。測定データのばらつきは、単点測定データの方が600nm-730nm付近でわずかに大きい。図4(c)、(e)から、資料3、資料5では430nm付近から長波長に向けてなだらかに上昇した。長波長側に向けてなだらかに上昇する傾向は黄色染材の特徴と一致し、うこんや黄檗の特徴に類似している。データのばらつきは、単点測定データの方が500nm付近から長波長方向に大きくなっている。図4(d)から、資料4は資料3、5と類似した特徴がみられるが、縦軸の値が極端に小さい。これは資料の色が黒く、波長領域全域で反射輝度が低くなっていることを示している。データのばらつきは、単点測定データの方が500nm付近から長波長方向に大きくなった。波長ごとに標準偏差を求め、その値の全波長の平均を求めた値を表3に示す。結果から、すべての資料で2次元測定データの標準偏差が小さいことが示された。このように、すべての資料において、2次元測定データの方がデータのばらつきが小さい傾向がみられた。

### 3-2. 統計解析

2次元測定と単点測定でデータのばらつきの程度を数値化するため、各測定結果の変動係数を求めた。変動係数は標準偏差を平均値で割った値であり、単位に関係なくばらつきの量を比較できる数値である。2次元測定データと単点測定データの変動係数を以下の通り求めた。2次元測定データと単点測定データの変動係数は、各資料における測定箇所数分の分光データに対し、波長ごとに標準偏差の値と平均値を求め、これより変動係数を求めた。資料ごとに全波長の変動係数の平均値を求めた結果が表4である。その結果、2次元測定の変動係数は0.091～0.160の範囲であった。一方、単点測定の変動係数は0.098～0.182であり、すべての資料において2次元測定の変動係数の方が小さかった。この結果から、2次元測定データの方がばらつきの量が小さいことが示された。

次に、2次元測定と単点測定でデータのばらつきの程度を統計的に求めるため、各測定データで多重比較の検定を行った。この検定は、2つの測定位置間での分光データに統

表3 標準偏差

	2次元測定	単点測定
資料 No.	標準偏差	標準偏差
1	0.00038	0.00040
2	0.00039	0.00042
3	0.00044	0.00046
4	0.00013	0.00016
5	0.00025	0.00034

表4 変動係数

	2次元測定	単点測定
資料 No.	変動係数	変動係数
1	0.09314	0.09823
2	0.09126	0.10413
3	0.11515	0.12480
4	0.08704	0.11000
5	0.16045	0.18201

表5 多重比較検定結果

資料 No.	多重比較検定結果 (Tukey 法) (平均値最大対最小)					
	2次元測定			単点測定		
	t 値	p 値	有意差	t 値	p 値	有意差
1	4.38697	0.19178		4.65038	0.11991	
2	3.65958	0.56490		3.76660	0.50652	
3	11.24378	0.00000	***	11.35773	0.00000	***
4	7.63706	0.00003	***	10.98148	0.00000	***
5	5.25353	0.03983	*	10.47006	0.00000	***

\*:p<0.05、\*\*:p<0.01、\*\*\*:p<0.001

計的に有意差があるか比較することができる。本研究では、母平均について群間ですべての対比較を検定する Tukey 法を用いた。対象とするデータ範囲は、分光放射輝度データが単調増加している350nm-750nmの範囲として、繰り返し数 N が201(波長数)、群数が20～26個で、各群間の有意差を求めた。各群間の対比較のなかでも、差が大きい比較データとして、分光放射輝度値の平均値が最大と最小の群の比較結果を表5に示す。結果から、t 値はすべての資料で2次元測定より単点測定の方がわずかに大きくなった。このことから、単点測定データの方がデータのばらつきが大きいことが示された。有意差を比較すると、資料3～5は2次元測定と単点測定両者とも統計的に有意差がみられるが、単点測定の方の p 値が大きかった。資料5では2次元測定では p<0.05、単点測定では p<0.001となり、有意差にも顕著な違いが生じた。この結果から、2次元測定データのばらつきが統計的に小さいことが示された。

## 4. 考察

### 4-1. 2次元測定データの有用性

結果から、2次元測定データで得られたデータの方が、単点測定データよりばらつきが小さいことが示された。単点測定データは、狭い領域、つまり対象データ数が少ない範囲の平均値であり、2次元測定データは、より広い領域、つまり対象データ数がより多い範囲の平均値となっている。本研究のデータでは、1つの資料で20～26個の平均値が得られた。もし、測定した領域がすべて一様に色ムラのない状態であった場合、データのばらつきは対象データ数に関係なく生じない。しかし、文化財染織資料を経年劣化による色ムラのない状態で保存するのは難しい。また、合成染材より天然染材の染織は色ムラが生じやすいという報告もある[13]。染織技術的に面積が増大すると色のばらつきが大きくなり、データ数が増大すると測定値のばらつきが大きくなることが予想される。しかし、本研究結果はこの予想に反し、色ムラのある染織資料でも、平均値を代表値として大量のデータから複数求めることで、あるデータに収束していくことが示された。つまり、単点測定データでは測定箇所でのばらつきがデータの信頼性を低下させることになる。一方、2次元測定データは測定箇所でのばらつきがより小さく、信頼性の高いデータが得られると言える。

これまでの研究の多くは、単点測定機が用いられ、且つ測定箇所が1か所であった。単点測定機では多くの回数の測定が理想的であるが、染織文化財の測定を短時間で行うには回数に制約が生じる。染織文化財は取り扱いが厳密に行われ、環境が徹底された収蔵庫で保管されている。しかし、測定時には測定室への移動を伴うため、できる限り光照射による光劣化を避け、短時間で測定を行うことが望ましい。一方、2次元分光測定機では1回の測定で資料を面として捉え、ピクセル単位での測定データが得られる。このように、2次元の反射分析法は、信頼性の高いデータが得られるだけでなく、大量のデータを短時間に取得可能であり、文化財保護の側面からも有益な手法であるといえる。

### 4-2. 染材の推定

本研究で得られた2次元測定データについて、使用されている染材の推定を行った。複数の測定箇所から得られた2次元分光データの平均値についてさらに波長ごとに平均値を求め、各資料の代表分光データとした。非破壊での染材

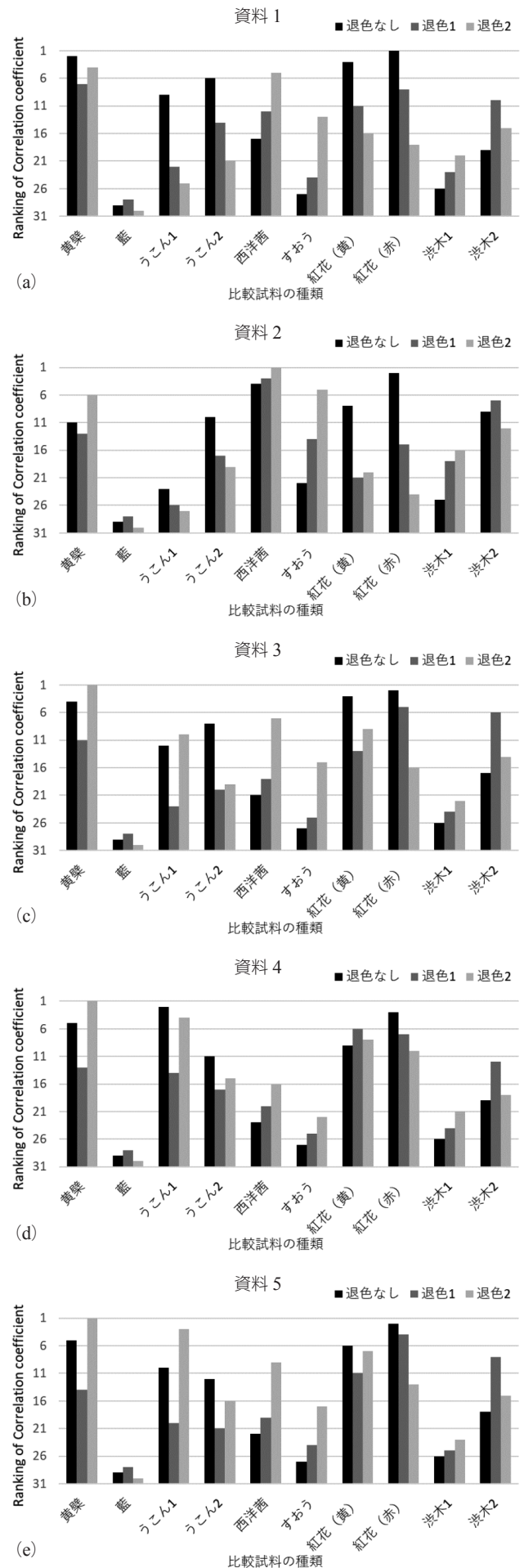


図5 染材の推定順位 (a)～(e) 資料1～5

表6 比較試料（天然染材、媒染剤、露光日数）

比較試料 No.	天然染材	媒染剤	露光日数
1	黄檗	アルミ	0, 35, 70
2	藍	なし	0, 35, 70
3	うこん1	アルミ	0, 35, 70
4	うこん2	木酢酸鉄	0, 35, 70
5	西洋茜	酢酸アルミニウム	0, 35, 70
6	すおう	アルミ	0, 35, 70
7	紅花（黄）	錫酸ナトリウム クエン酸	0, 35, 70
8	紅花（赤）	炭酸カルシウム クエン酸	0, 35, 70
9	渋木1	木酢酸鉄	0, 35, 70
10	渋木2	アルミ	0, 35, 70

表7 染材の推定結果（上位3位）

資料 No.	推定1位	相関係数 r	推定2位	相関係数 r	推定3位	相関係数 r
1	紅花（赤）（退色なし）	0.991	黄檗（退色なし）	0.973	紅花（黄）（退色なし）	0.973
2	西洋茜（退色2）	0.970	紅花（赤）（退色なし）	0.968	西洋茜（退色1）	0.960
3	黄檗（退色2）	0.950	紅花（赤）（退色なし）	0.943	紅花（黄）（退色なし）	0.935
4	黄檗（退色2）	0.733	うこん1（退色なし）	0.726	紅花（赤）（退色なし）	0.719
5	黄檗（退色2）	0.904	紅花（赤）（退色なし）	0.891	うこん1（退色2）	0.885

の推定には、比較対象として各染材の既知の分光データが必要となる。1. はじめに述べたように、これまで我々は、ある2次元分光データと、統計学的に各染材の既知の分光データとの類似度を数値化し、染材の推定を行った[10-12]。既知の分光データとして、天然染材8種類、そのうち2種類は媒染剤が異なる2種（計10種類）を用いた。本研究で使った5点の資料も含め、複数の染織資料の染材の推定を行った結果、推定3位以内までを許容範囲とした場合、退色がそれほど進んでいない資料については、ある程度の染材推定が可能であることを報告した。しかし、この推定結果は精度がまだ高いとは言えない。今回の染材の推定では、次の2点で先行研究と異なる。1つめが、分光データの信頼性の違いである。今回の2次元分光データの方が多くのデータから求められた代表分光データであり、より信頼性の高い分光データが得られているといえる。2つめが、比較データに光退色の影響を加えた点である（表6）。これまでの研究から、太陽光照射により、同一の染材による試料の分光データが変化することが明らかになっている[11]。今回の測定対象の5点の資料には経年劣化による退色がみられるが、これまでの染材の推定では光退色のない比較試料を使用していた。そこで本研究では、光退色による分光データ[11]も含めて染材の推定を行った。各比較試料に対して、光退色のないもの（退色0）のほか、35日間（退色1）および70日間（退色2）太陽光に照射した試料を測定したものとなっている。つまり、比較試料は $10 \times 3 = 30$ 種類となっている。この30種類の分光データに本研究の測定対象の各資料の分光データを加え、31種類の布の分光データ間で全相関値(r)を求めた。なお、分光データの絶対値の影響を除

去するため、すべての分光データは、放射輝度の最大値と最小値で正規化を行っている。

各資料で相関係数(r)が高い順に3位までを示した結果が表7である。表7とHPLCによる色素抽出結果（表1）を比較して、染材が一致しているものを太字で示している。表7から資料1、3、4で推定1位の染材と一致していることがわかる。色素抽出結果が出ている4点の資料のうち3点で正しい推定がなされた。資料1では退色なしの紅花（赤）が1位になったことから、資料1は退色が進んでいない比較的保存状態のよい紅花（赤）の染織資料であることが伺える。資料3、4は黄檗（退色2）が1位であった。文献[10]では黄檗が3位だったため、本研究での推定結果の方がより精度が高くなった。このことから、資料3、4はある程度退色の進んだ黄檗の染織資料であることが示された。資料2は、推定3位までは正しい染材は選ばれなかった。これは、黄檗と蘇芳の重ね染めであることが推定を困難にさせていると思われる。資料5はHPLCによる色素抽出はできていないが、黄檗（退色2）との相関が0.9以上であった。これは、HPLCでは抽出できなかった色素が反射分析法で抽出できた可能性も考えられる。

各資料の30位まで全順位づけをした結果が図5である。線の濃さの違いは露光日数の違いを示す。縦軸は、上部ほど推定順位が高いことを示す。資料2は上位3位までには正しい染材の推定が行われなかった。しかし、図5から黄檗と蘇芳の退色2では推定順位が上位に位置している。このことから、資料2の分光データは、さらに退色した状態の黄檗と蘇芳との相関はさらに高くなる可能性も考えられる。これらの結果から、文化財染織資料の染材の推定には、光退



色による分光特性の変化を踏まえた解析が有用であることが示された。

## 5. まとめと今後の研究

本研究では、「女子美術大学染織文化資源研究所」で導入した2次元分光測定機で、女子美染織コレクションの小袖裂5点の分光測定を行った。各資料について、複数箇所で、2次元測定データとこれまでの一般的な単点測定データを抽出し、平均値を求めた。複数求めた平均値のばらつきをみるため、変動係数の算出と Tukey 法による多重比較の検定を行った。これらの結果から、データのばらつきは2次元測定データの方が小さいことが示された。このことから、2次元分光測定による大量データの取得により、各測定箇所得られる平均値のばらつきが小さくなり、信頼性がより高い分光データが得られたと言える。よって、2次元分光測定と統計解析を組み合わせることの有用性が確認された。また、大量データの取得によって得られたデータを用いて染材の推定を行った。比較試料データは、光退色を考慮し、相関係数という統計的手法を用いて染材の推定を行った。その結果、先行研究より精度が高い染材の推定が可能となった。

今後は、さらに多くの染材サンプルで光退色の影響を含めた比較データを取得していきたい。また、複数の染料が使用されている重ね染めは、減法混色の原理から、染料が重なるほど分光データの放射輝度は低下し、放射輝度の凹凸の特徴は減少していく。そのため、重ね染めの分光データの解析はより困難になるが、サンプルデータを多く取得することで、重ね染めの解明も行っていきたい。さらに、「女子美術大学染織文化資源研究所」のテーマの1つである、染織資料の保存の側面から、デジタルアーカイブ化を進めていきたい。通常のデジタルアーカイブでは、ある特定の照明条件のもとでの忠実な再現が可能なデータの保存が目的となる。一方で、我々が所有する2次元分光測定機では、資料画像のピクセル単位での分光放射輝度データの蓄積が可能である。このデータは照明条件に寄らず、本来の色を忠実に再現できるデータである。これらのデータを後世に向けてアーカイブ化することも大切な役割である。

## 参考文献

- [1] 渡部光夫、『機器分析ガイドブック』、日本分析化学会、丸善出版、1996、p.26。
- [2] 松田泰典、「紅花染色布の変退色挙動に関する分光学的研究」、『東北芸術工科大学紀要』、6、1999、pp.24-38。
- [3] Omar, A., “Preparation of experimental deteriorated dyed textile samples simulated to ancient ones”, *International Journal of Conservation Science*, 6(2), 2015, pp.151-164.
- [4] 古濱裕樹、「CIELAB 色空間から考察した天然染料の色彩的特徴」、『繊維製品消費科学』、54(12)、2013、pp.49-56。
- [5] Paul, M. W., Glen, R. C., “The ozone fading of traditional Japanese colorants”, *Studies in Conservation*, 33, 1988, pp.29-40.
- [6] Gulmini, M., Idone, A., Diana, E., Gastaldi, D., Vaudan, D., Aceto, M., “Identification of dyestuffs in historical textiles: Strong and weak points of a non-invasive approach”, *Dyes and Pigments*, 98(1), 2013, pp.136-145.
- [7] Z. Koren, “Non-Destructive vs. Microchemical Analyses: The Case of Dyes and Pigments.”, *9th International Conference on NDT of Art*, Jerusalem Israel, May 2008, pp.25-30.
- [8] 佐々木良子、佐藤昌憲、肥塚隆保、河合貴之、前川善一郎、佐々木健、「反射分光分析法による文化財染織品に用いられた天然染料の同定」、『日本文化財科学会誌』、40-41、2000、pp.1-15。
- [9] 佐々木良子、「科学の目で文化財染織品を視てみると……」、『繊維学会誌』、64-1、2008、pp.36-44。
- [10] 岡田宣世、瀬川かおり、藤井裕子、「桃山時代から江戸時代前期の小袖裂の染料分析」、『女子美術大学研究紀要』、50、2020、pp.64-73。
- [11] Kaori Segawa, Ayako Osaki, and Katsuaki Sakata, “Spectral analysis of historical dyed textile”, *THE VISUAL SCIENCE OF ART CONFERENCE 2018 Conference program*, 2018, pp.29-30.
- [12] 青谷 徳子、瀬川 かおり、荒 姿寿、大崎 綾子、「2018年度染織文化資源研究所活動報告 女子美術大学美術館所蔵《近江八景模様小袖》に用いられた紫色染料とその染色技法について」、『女子美術大学研究紀要』、49、2019、pp.97-106。  
<https://iss.ndl.go.jp/books/R000000004-I029686264-00>
- [13] 川人 美洋子、安川 涼子、「天然藍で染めた色と合成藍で染めた色の比較」、『繊維学会誌』、63(2)、2007、pp.48-53。



## **Statistical analysis for spectral data of historical dyed textile by measuring with 2D spectroradiometer**

SEGAWA Kaori / FUJII Hiroko / OSAKI Ayako /  
SAKATA Katsuaki

Non-destructive methods are an important concern in the analysis of cultural assets. We measured five historical dyed textiles using raster scan 2D reflectance spectrophotometry to obtain the spectral reflectance of each pixel. The spectral reflectance data was partially averaged by setting several sections (2D data). The 2D data were compared with the spectral reflectance data that could obtain using a general spectroradiometer (single data). We characterized the variability of spectral reflectance using statistical analysis. The results show that the variance coefficients of the 2D data are smaller than those of the single data. By Tukey's multiple comparison test, the P-values of 2D data are smaller than the single data. These results show that spectral reflectance of 2D data is low variable among each section. Moreover, 2D data can identify dyeing colorants of textiles relatively well by correlating with comparable data of several colorants. These results indicate that 2D data are useful for historical dyed textiles to obtain the characteristics of spectral reflectance in combination with statistical analysis.