

ハイパースペクトルカメラによる染料分析の測定方法 ——アイヌの繊維資料を前提とした分析方法の検証——

Measurement Method of Dye Analysis by Hyperspectral Camera
——Verification of the Analysis Method for Ainu Textile Materials——

赤田昌倫 (AKADA Masanori, Dr.)

国立アイヌ民族博物館 研究員 (Research & Curatorial Fellow, National Ainu Museum)

要旨

国立アイヌ民族博物館ではアイヌの繊維資料に用いられた染料の調査を検討しており、ハイパースペクトルカメラを導入した。染料分析に適した分析条件を策定するため、試料と装置の距離と分析範囲に着目し、機器の精度に関する検証を行った。その結果、複数の条件で染料分析に有効な結果が得られた。また、この結果を基にアイヌ文化に特徴的な染色試料について分析を行った結果、イチイ染めの試料については特徴的なスペクトルを得ることができた。

キーワード：ハイパースペクトルカメラ、染色、可視分光分析、オヒョウニレ、シナノキ、イチイ、ハンノキ

Abstract

Since its opening in 2020, the National Ainu Museum has investigated dyes used in Ainu textile materials and has installed a hyperspectral camera. In order to formulate suitable analysis conditions for dye analysis, the author conducted a verification on the accuracy of the device, with a focus on the distance between the sample and the device, and the analysis range. As a result, effective results for dye analysis were obtained under several conditions. Based on these results, an analysis of dyed samples typical within Ainu culture was conducted, and characteristic spectra were obtained for yew-dyed samples.

Key Words : Hyperspectral Camera, Dyeing, Visible Spectroscopic Analysis, Manchurian Elm, Japanese Lime, Japanese Yew, Japanese Alder

はじめに

時代や地域におけるアイヌの文化を知るためには、人々の日常生活に密着したものについて深く追究し明らかにすることが重要である。衣服などの繊維資料はその代表的なものであり、繊維や染料などの材質に係る調査、織りや編みなどの構造調査、模様やデザインに係る調査など多角的なアプローチから当時のアイヌ

文化を知るための研究が行われている。国立アイヌ民族博物館においても収蔵品である近世近代のアイヌの繊維資料について繊維や染料の調査を行い、材質に係る情報を付与することが重要であると考えられている。材質に係る情報の中で、繊維や染料の材質情報は、収蔵品の復元や修理時の材料や技法の選択、収蔵品の展示方法や保管環境といった資料管理の判断根拠に役立ち、さらには時代ごと地域ごとの材料または技法によって製作したものかを明らかにするための足掛かり

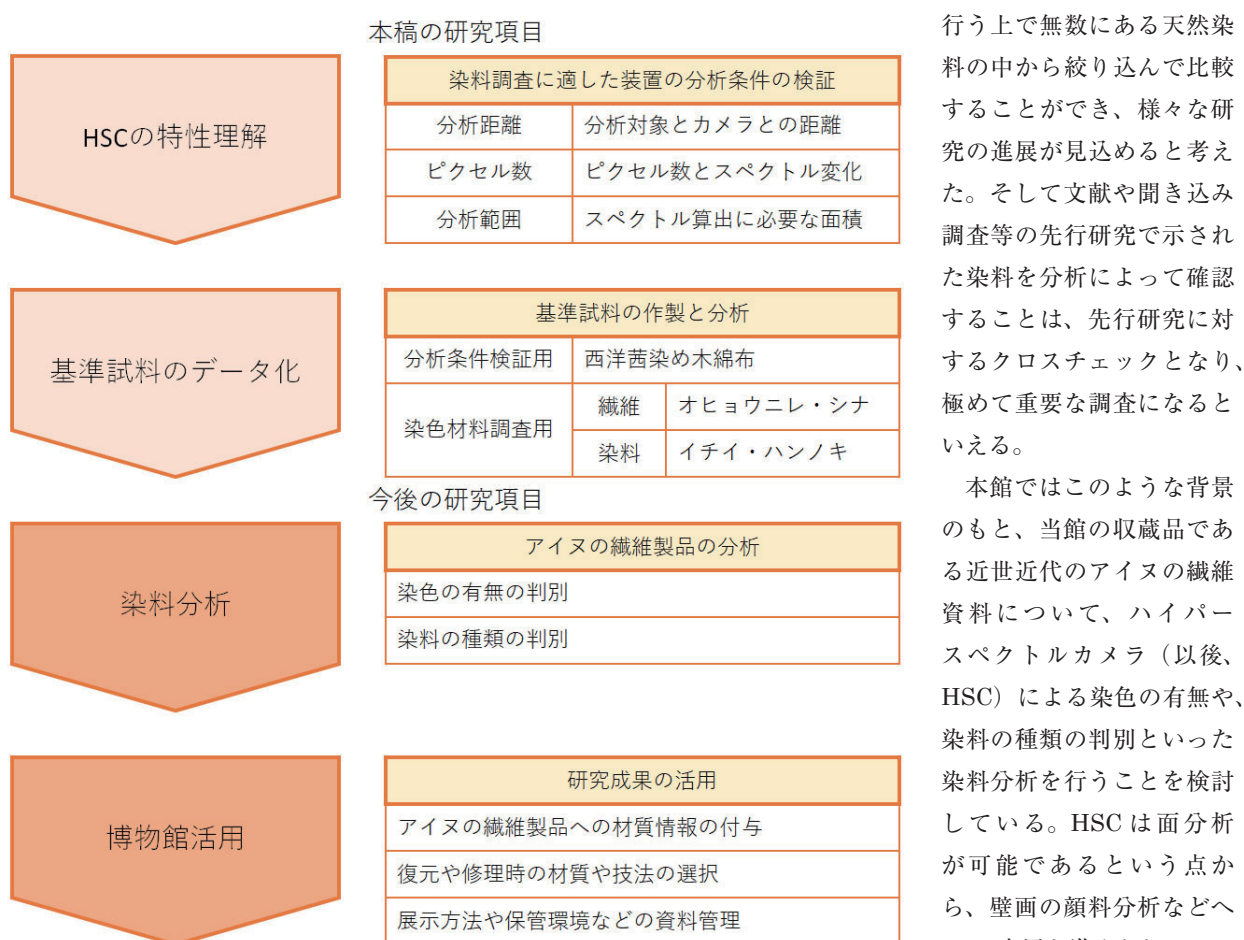


図1 研究フローチャート

となりうる。このことはアイヌの繊維資料の価値の明確化に繋がり、当時のアイヌ文化の理解に大きく役立つと考えられる。

近世近代のアイヌの繊維資料の材質に関する先行研究は複数あるが、代表的なものとして以下の報告がある。河野広道氏は文献資料の活用や聞き取り調査を行い、染料とその染色方法について地域ごとに詳細にまとめている（河野 1971）。齋藤玲子氏はハンノキを中心にアイヌを含む複数の北方民族における染料の使用例などを信仰や色の意味と合わせて報告している（齋藤 1992:134-148）。大坂拓氏はアイヌの繊維資料について繊維種や繊維構造の調査を行い、資料の年代観の推測と合わせて報告している（大坂 2019:25-60）。著者は、上記の研究などに染料の材質情報が加わることによって、当時使用されていた染料が明らかになるだけでなく、調査結果の蓄積によって時代による染料の変遷や染色方法といった研究への派生が期待できると考えた。また複数の先行研究において、近世近代の染色材料が示されていることから、実際の染料分析を

行う上で無数にある天然染料の中から絞り込んで比較することができ、様々な研究の進展が見込めると考えた。そして文献や聞き込み調査等の先行研究で示された染料を分析によって確認することは、先行研究に対するクロスチェックとなり、極めて重要な調査になるといえる。

本館ではこのような背景のもと、当館の収蔵品である近世近代のアイヌの繊維資料について、ハイパースペクトルカメラ（以後、HSC）による染色の有無や、染料の種類の判別といった染料分析を行うことを検討している。HSCは面分析が可能であるという点から、壁画の顔料分析などへの応用が進められているが、染料分析の報告例はほとんどなく染料分析に

必要な精度などの検証もほとんどなされていない（小原 1999:230-234；末森 2021）。そこで本稿では、実際にアイヌの繊維資料について染料分析を行う前段階として、染料分析に適したHSCの分析条件の策定を行った。またその結果を基にアイヌ文化で多く使用されるイチイとハンノキの染色試料について染料分析を行ったので報告する。【図1】に装置特性の研究からアイヌの繊維資料の染料分析を行い、その結果に関する展示活用までを図示した研究フローチャートを示す。

2. 分析手法と使用機器

2.1. 可視分光分析法

染料分析が可能な分析装置や分析手法は複数あるが、当館ではHSCによる可視分光分析を行うことを検討している。可視分光分析とは、測定対象である物質について波長ごとの光を吸収または反射するかを調べる手法である。例として、りんごは青色や緑色にあたる光を吸収し赤色の光を反射することから、人の目には

赤色として映る。どの光を吸収または反射するかは物質によって異なるという特性をもつため、この特性を調べることで染料の判別を行うことができる。ただし、染料は様々な原因で劣化し変退色していることが多く、得られるデータ（スペクトル）もピークや変曲点が不明瞭であり、染料の判別が困難になることがある（佐々木 2007:172-182）。

可視分光分析の装置にはHSC 以外に、光ファイバーを用いるものもある。これは分光器本体に取り付けた光ファイバーを伸ばし、分析位置の数ミリから数センチ離れた状態で測定を行う。試料採取の必要がない非破壊非接触式の分析手法であり、一か所の分析が短時間で済むという特徴があるため染料分析では普遍的に用いられている（吉田 2011:207-215; 大下 2017:17-25）。測定範囲は円形で光ファイバーの直径に依存し、複数の調査ポイントがある場合は、その都度装置本体に付属する光ファイバーを移動させ、位置調整する必要がある。また複数の色の染糸を用いた織物や編み物に対して染料分析を行う場合、光ファイバーの直径によっては測定範囲の中に複数の色の染糸が入ってしまう可能性がある。特に緻密な織りや編みでは糸の太さは1 ミリに満たないこともあり、測定対象の染糸と隣接する染糸が異なる色である場合、測定し得られたスペクトルが測定対象のみのデータであるかの判断が困難となる。これはアイヌの繊維資料においても同様であり、着物や編袋、刀掛け帯などを中心に様々な繊維資料について、経糸と緯糸で異なる染糸が用いられていることがある（北海道教育庁社会教育部文化課編 1986）。このような繊維資料の染料分析では、糸の太さによってはそれぞれの糸における染料判別は困難になることが考えられた。

2.2. ハイパースペクトルカメラ

HSC とは、前述の可視分光分析が可能な装置の一つである。デジタルカメラ（RGB カメラ）と同じく、レンズに入ってきた資料からの反射光を捉え、そのデータをデジタル画像（以後、ハイパースペクトルイメージ）とする装置である。【図2】にRGB カメラとHSC の波長の分離性能のイメージ図を示す。RGB カメラと異なる点は、RGB カメラは赤、緑、青を中心とする3つの波長で画像を構成するが、HSC は紫から赤までの400 以上の波長に分けて画像を構成することができるため、RGB カメラよりも色の正確性や再現性が高い。

ハイパースペクトルイメージはカメラに映った範囲全てが分析対象となることから、資料全体が入るような画像を得ることで調査を完結することが可能となる（ケイエルブイ(株) 2019:71-73）。画像に写る範囲は、カメラと同じくレンズから資料までの距離が長いと広範囲のデータとなり、距離が短いと狭い範囲のデータとなる。ハイパースペクトルイメージには1 ピクセルごとにスペクトルデータが含まれていることから、ピクセルを多く選択すればスペクトルは平均化され、ノイズと色むらの影響が少ない正確な色情報を含んだデータを得ることができる。一方でピクセル数を多くするために資料とレンズの距離を近づけると分析範囲が小さくなり調査時間は増大する。

ハイパースペクトルイメージからスペクトルを算出するにあたって、任意の範囲と形状のピクセルを選択することが可能である。前述のような1mm に満たない糸に対しても糸の形状に沿って調査範囲を選択することができるなど、これまでの可視分光分析装置にはない特徴を持つ。

当館では、このような装置特性は絵画や染織品と

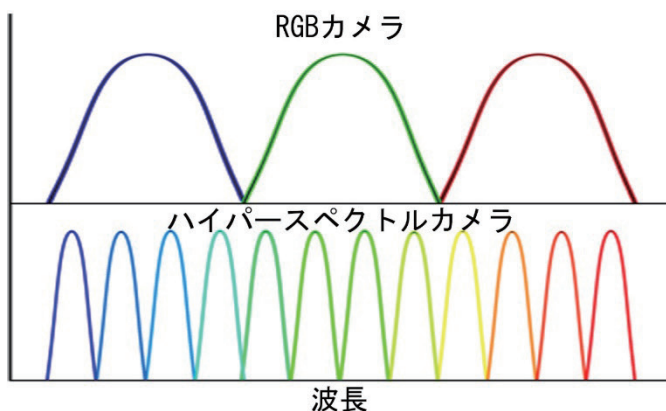


図2 RGB カメラとHSC の波長の分離性能

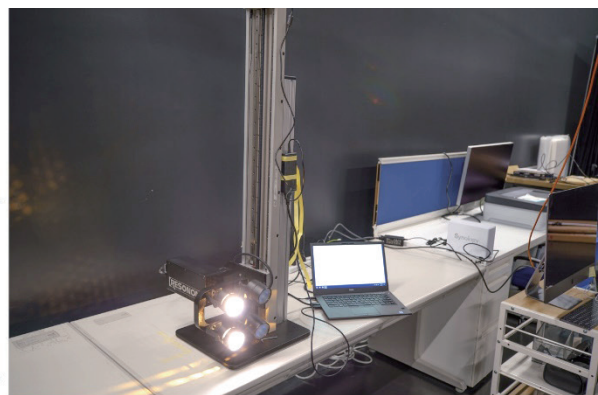


図3 HSC の装置外観

いった多数の色が点在するような資料に対して特に有効であると考え、ハイパースペクトルカメラの運用を検討している。【図 3】にハイパースペクトルカメラ（以後、HSC）の装置外観と分析の様子を示す。今回の調査では RESONON 社製「Pika XC2」を使用した。

3. 調査方法

3.1. 試料作製

3.1. (1) 装置特性検証用試料

装置の検証用試料は天然染料の中で色の濃淡の差が現れやすく、天然染料として様々な研究や検証で用いられているものが適していると考え、西洋茜で染色した木綿の染色試験布を使用した（柏木 1971:43-47）。染料としての西洋茜は繊維の種類によって鮮やかな赤色から紫がかった赤色に染着する。古代よりヨーロッパから西アジアにかけての広い地域で用いられており、染着性が良いという特徴がある。染色試験布は㈱田中直染料店の綿ファイン未晒で、幅 50mm、長さ 100mm で裁断し試料とした。【図 4】に装置特性の検証に使用した試料の画像を、【表 1】に試料一覧を示す。染色方法については、布の 1 枚の重量は約 1.6g であったため、水 490g と西洋茜の粉末 0.16g から染液を作製した（柏木 1971:43-47）。染色作業は、水温が 80℃ まで上昇した後に西洋茜の粉末を入れ、30 分間温度を維持させた後、60℃ まで温度を下げ染色試験布を浸漬させた。なお、先行して HSC における色の濃淡の差による可視スペクトルの検出限界について予備調査を行っており、調査用試料として染色時間を 3 秒（木綿布試料②）、10 秒（木綿布試料③）、20 秒（木綿布試料④）、30 秒（木綿布試料⑤）、60 秒（木綿布試料⑥）、90 秒（木綿布試料⑦）とした試料と、15 分間の染色を行った後、一度乾燥させ再度 15 分間の染色を行った試料（木綿布試料⑧）を作製した（花田 2014: 27-36; 花田 2015: 33-41; 黄川田 2016: 74-81）。これらの試料の中で、最も色の濃い木綿布試料⑧は肉眼でも鮮やかな赤色が見られ、可視スペクトルも西洋茜の特徴が明確に見られた。一方で最も色の薄い木綿布試料②は染色時間が 3 秒と非常に短かったため、【図 5】の西洋茜染め木綿布の可視スペクトル（レンズとの距離 400mm、スキャンスピード 0.01578mm/s、ピクセル数 19000）で示したように、肉眼でも

可視スペクトルでも西洋茜染めによる染着は認められなかった。木綿布試料⑧のような色の濃い試料は HSC では問題なく分析できることと、木綿布試料②のような極端に淡い色の試料の判別は不可能であることから、以後の検証にはこれらを除外し、色の濃淡による比較には木綿布試料③と木綿布試料⑦（染色時間 90 秒）を選択した。

3.1. (2) アイヌの染色材料への適用調査用試料

【図 6】にアイヌの染色材料への適用調査の画像を、【表 2】に試料一覧を示す。本研究で使用したオヒョウニレとシナノキの繊維は、内皮を繊維化するために樹皮を沸騰した水に木灰を入れ数時間かけて軟化させ、ぬめりをとる作業などの精練がなされているものであるが、一部の繊維についてはその精練方法は不明であり、色調が一定ではなくオヒョウニレ未染色試料③のように褐色に近いものもあった。そのため実際のアイヌの繊維資料の色調観察だけでは、繊維が褐色であっても、これが染色されたものなのか、未染色で繊維自体の色であるのかの判別が困難であることが考えられた。そこで、繊維については色調が異なるものを複数準備し、その中で最も淡い色調の繊維について染色を行った。なお繊維によって大きさにばらつきがあるため一定の幅の試料を作製することが困難であった。そのため、試料は幅 5mm 以上、長さ 20mm 以上とした。上記の繊維を西洋茜、イチイ、ケヤマハンノキ（以後、ハンノキ）で染色し、染色材料調査用試料とした。西洋茜による染色は上記の木綿布と同じである。イチイやハンノキは、先行研究から熱水で色素を抽出し染色を行ったとされている（河野 1971）。そこで、イチイとハンノキは樹皮片 10g に対して水 1000g とし、樹皮片投入後 15 分で約 90℃ まで加温した。蓋をしてこの温度を維持しつつ 165 分経過後に繊維を投入した。60 分後に保温をやめ、さらに 60 分漬け置きした。

3.2. 染料分析に適した分析条件の検証

HSC は、ハイパースペクトルイメージ内で選択した範囲内にどれだけのピクセル数が含まれているかによってスペクトルの精度が大きく変化する。また 1mm²あたりのピクセルの大きさとピクセル数はレンズと試料との距離（以後、WD）やスキャンスピードによって変化する。そのため、調査が必要な範囲や資



図4 装置特性検証用試料

表1 装置特性検証用試料の一覧

繊維の種類	染料	番号・試料名	染色時間
木綿	-	木綿布試料①	未染色
	西洋茜	木綿布試料②	3秒
		木綿布試料③	10秒
		木綿布試料④	20秒
		木綿布試料⑤	30秒
		木綿布試料⑥	60秒
		木綿布試料⑦	90秒
		木綿布試料⑧	15分2回

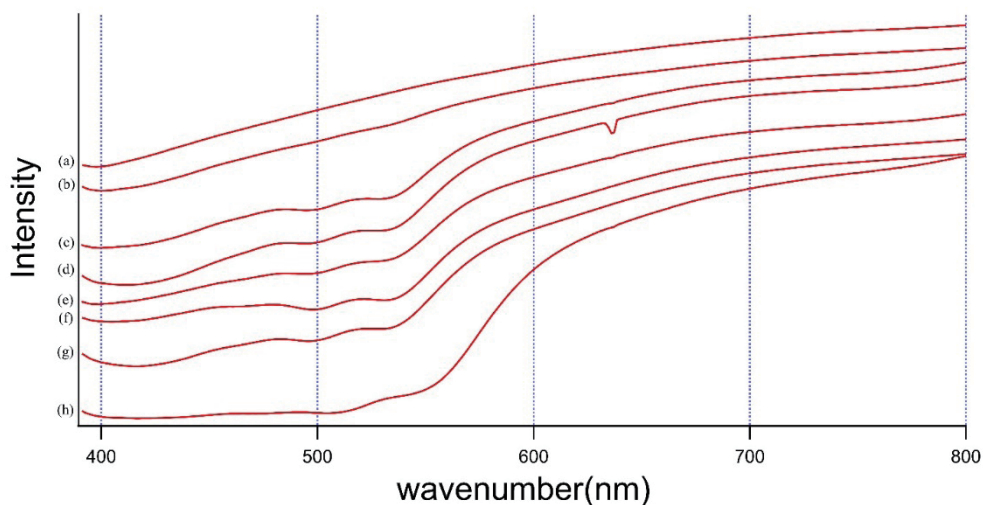


図5 西洋茜染め木綿布試料の可視スペクトル

- (a) 木綿布試料①、(b) 木綿布試料②、(c) 木綿布試料③、(d) 木綿布試料④
(e) 木綿布試料⑤、(f) 木綿布試料⑥、(g) 木綿布試料⑦、(h) 木綿布試料⑧



図6 アイヌの染料材料への適用調査資料

表2 染料調査用試料の一覧

繊維の種類	染料	試料名
オヒョウニレ	未染色	未染色オヒョウニレ試料①,②,③,④
	西洋茜	西洋茜染めオヒョウニレ試料⑤
	イチイ	イチイ染めオヒョウニレ試料⑥
	ハンノキ	ハンノキ染めオヒョウニレ試料⑦
シナノキ	未染色	未染色シナノキ試料⑧,⑨,⑩
	西洋茜	西洋茜染めシナノキ試料⑪
	イチイ	イチイ染めシナノキ試料⑫
	ハンノキ	ハンノキ染めシナノキ試料⑬

料の色の濃淡に応じた最適な分析条件の策定が必要である。そこで、ピクセル数とスペクトルの相関性と、WD ごとのピクセル数の相関性を調査項目とし、各種パラメータを変えて検証を行った。試料は西洋茜で染色した木綿布を用いた。なお、HSC にはステップモードと非ステップモードを選択することができる。ステップモードはモーションブラーなどのブレの要素がなく、1mm 以下の微小な部位の分析に効果的である。予備調査から染料分析には非ステップモードの連続スキャンでも十分な分析精度が得られており、ステップモードのパラメータの検証は行っていない。

スキャンスピードの数値は 0.0158mm/s から 3.175mm/s まで調整でき、スキャンスピードが遅すぎるとイメージは縦長に引き延ばされ、早すぎるとイメージは圧縮されて横長になる。特に縦方向に圧縮された横長のイメージは、イメージを構成する縦方向のピクセルの数が少なくなり、特定の範囲を選択するために必要なピクセルの取得が困難になる。ハイパースペクトルイメージ内で範囲選択を行う場合、実資料やその写真を見比べながら進めることがあるためイメージ内資料と実資料はアスペクト比を揃えることが望ましい。アスペクト比を揃えるためには、WD に対して適切なスキャンスピードを設定する必要がある。WD はレンズと試料との距離であるため数値の制限はないが、レンズ先端からハロゲンランプの先端までの距離が約 150mm であるため、それよりも離れた位置でハロゲンランプの光が当たるように調整する必要がある。予備調査の結果から、WD400mm ではスキャンスピード 0.0158mm/s が、WD1000mm ではスキャンスピード 0.3100mm/s $\pm$ 0.010mm/s の分析条件で資料のアスペクト比を最も反映することがわかっている。

3.2. (1) ピクセル数とスペクトルの相関性の検証

1 ピクセルに割り当てられたスペクトルはノイズが多く、ピークとノイズの判別が困難である。スペクトルはピクセル数が増えるほど平均化され SN 比が良化することから、ピクセル数によるスペクトル変化を検証し、染料分析に有効なピクセル数の基準作成を行った。分析条件は非ステップの連続スキャンモードで WD400mm、スキャンスピード 0.0158mm/s とした。

スペクトルの特徴を理解するためには最も吸収の強い波長（吸収極大波長 $\lambda_{\max}$ ）または波長の変曲点について求める必要がある。そこで、本報告で

は可視スペクトルに対して二次微分の計算を行った。二次微分スペクトルの微分値は、もとなるスペクトルの半値幅の逆数の二乗に比例する（尾崎 2005:9-12）。微分によりピークの存在が強調されることで、ノイズとピークとの判別を効果的に行うことができ、ピークの判別が難しい微小ピークやショルダーピークの判別といったピークサーチに有効な手法である（佐々木 2008:36-44）。なお、微分のスムージングポイントは 17 とした。

3.2. (2) WD とピクセル数の相関性の検証

WD とピクセル数の相関性について検証するため、WD を 400mm（撮影幅 163mm）と 1000mm（撮影幅 408mm）とし、それぞれのハイパースペクトルイメージから実資料の 25mm² にあたる面積のピクセル数を算出した。さらに 3.2. (1) の検証で算出した値から、それぞれのピクセル数に必要な実資料の面積を算出した。なお試料には西洋茜で染色した木綿布試料③を用いた。

3.3: アイヌの染色材料への適用調査

3.3. (1) 未染色試料とイチイ、ハンノキ染め試料の判別調査

近世近代のアイヌの繊維資料で多く用いられるオヒョウニレとシナノキの繊維は、精練によってやや白色に近い色にはなっているものの、苛性ソーダ等による脱色作業を行っていないため黄褐色から黄白色を呈しており、繊維自体の色素成分が含まれていると考えられた（眞岡 1996:641-646; 長坂 2000:60-62）。また近世近代のアイヌの繊維資料は長期間の使用による染料の退色や、当時の様々な作業によって汚れの付着などがあると、現在のアイヌの繊維資料の色が当時の染色によるものかの判別は困難になると考えられた（杉山 1939:427-443）。このような背景から、染色材料の調査には材料の判別とともに、染色の有無の判別が求められる。そこで本稿では試験的に【図 6】と【表 2】で示した未染色のオヒョウニレとシナノキ試料と、イチイとハンノキの樹皮で染色したオヒョウニレとシナノキ試料について HSC で分析し、これらの試料に対して染料分析が適用可能かどうかの検証を行った。なお、分析条件は WD400mm、スキャンスピード 0.0158mm/s とした。またピクセル数はノイズが少なく再現性が高いスペクトルであることが望まし

いと考え、繊維の染色部を可能な限り選択した。なおオヒョウニレのピクセル数は約 3000、シナノキのピクセル数は約 2000 となった。

3.3. (2) 同系色染料の判別調査

繊維資料について、その染料の種類を特定するには比較対象となる染料とのスペクトル比較が必要である。しかしながら同系色の染料のスペクトルは近いものになることが多い。そこで今回はオヒョウニレとシナノキに対して西洋茜及びイチイで染色した試料について可視スペクトルと二次微分スペクトルを比較し、判別が可能か検証を行った。

4. 結果と考察

4.1. 分析条件の策定結果

4.1. (1) ピクセル数とスペクトルの相関性の検証結果

【図 7】に西洋茜で染色した木綿布のハイパースペクトルイメージを示す。このイメージは【図 4】で示した木綿布と比べるとやや横長になったが、装置パラメータの限界があり、これよりもスキャンスピードを遅くすることができない。またイメージ内で試料を拡大してみてもピクセルの重なりやピクセルの潰れなどは見られていないことから検証に用いた。

【図 8】と【図 9】は木綿布試料③（染色時間 10 秒）、【図 10】と【図 11】に木綿布試料⑦における、ピクセルごとの可視スペクトルと二次微分スペクトルを示す。ピクセル数は上から順番に (a)10、(b)50、(c)100、(d)300、(e)500、(f)1000、(g)5000、(h)10000、(i)50000、(j)190000 である。なお (j) のピクセル数は木綿布のほぼ全域を選択したものである。分析の結果、淡い色を呈した木綿布試料③（染色時間 10 秒）では、ピクセル数が 10 の可視スペクトルについてノイズ量が多く、全体的なスペクトルの強度も低いため 400nm から 600nm の小さなショルダーピークの判別が困難となることがわかった。ピクセル数が 50 や 100 になると、このショルダーピークの判別は可能となるが、二次微分スペクトルをみると、480nm と 515nm の 2 つの下向きのピークについてはピークトップの波長位置がノイズによって不明瞭であった。ピクセル数が 300 を超えると二次微分スペクトルの 480nm と

515nm の 2 つのピークが明瞭になり、ピクセル数が 1000 を超えると二次微分スペクトルの 430nm から 440nm 付近の微小なノイズも見られなくなった。またピクセルの選択数が 10000 を超えると 600nm から 800nm までの波長域について、ノイズが少なく良好な可視スペクトルと二次微分スペクトルが得られることがわかった。木綿布試料⑦（染色時間 90 秒）は木綿布試料③（染色時間 10 秒）よりも濃く染まっていることから、ピクセル数が 10 の可視スペクトルでもピークを判別することができた。また、ピクセル数が 100 を超えると二次微分スペクトルの 480nm と 515nm の 2 つのピークが明瞭になり、ピクセル数が 1000 を超えると二次微分スペクトルの 430nm から 440nm 付近の微小なノイズも見られなくなった。両者の結果から、600nm までのピークや変曲点の判別に必要な可視スペクトルを得るには 300 以上のピクセル数が必要であることがわかった。また詳細なピーク判別にはピクセル数が 1000 以上必要であることがわかった。

4.1. (2) WD とピクセル数の相関性の検証結果

【図 12】に WD400mm と WD1000mm のピクセル範囲を示す。また、【表 3】に分析条件一覧と試料における面積ごとのピクセル数を示す。WD400mm のハイパースペクトルイメージにおける 25mm^2 のピクセル数は 2500、100mm² で 10000 である。また WD1000mm のハイパースペクトルイメージにおける 25mm^2 のピクセル数は 289、100mm² で 1225 である。再現性の高い可視スペクトルの算出には 300 ピクセルが必要であることから、このピクセル数を実資料の分析範囲に換算すると、WD400mm では約 3mm^2 、WD1000mm では約 25mm^2 となることがわかった。また詳細なピーク判別を行うための二次微分スペクトルの算出には 1000 ピクセル以上が必要であることから、同様に実資料の分析範囲に換算すると、WD400mm では約 10mm^2 、WD1000mm では約 100mm^2 となり、この面積を超える範囲選択が必要であることがわかった。

この結果から、WD が 400mm の時、幅 1mm の糸のような微小部について染料分析を行うには糸の長さ 10mm まで分析範囲として選択すると可視スペクトルと二次微分スペクトルで有効な



図7 西洋茜で染色した木綿布のハイパースペクトルイメージ

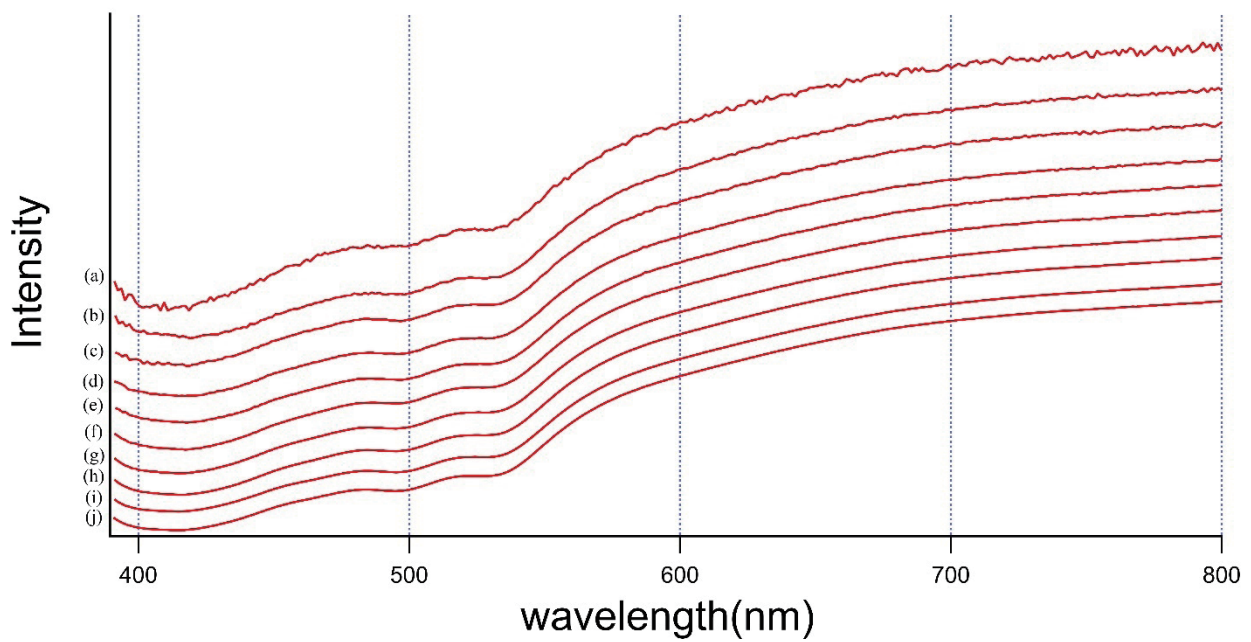


図8 木綿布試料③（染色時間 10 秒）の可視スペクトル
ピクセル数 (a)10、(b)50、(c)100、(d)300、(e)500、(f)1000、(g)5000、(h)10000、(i)50000、(j)190000

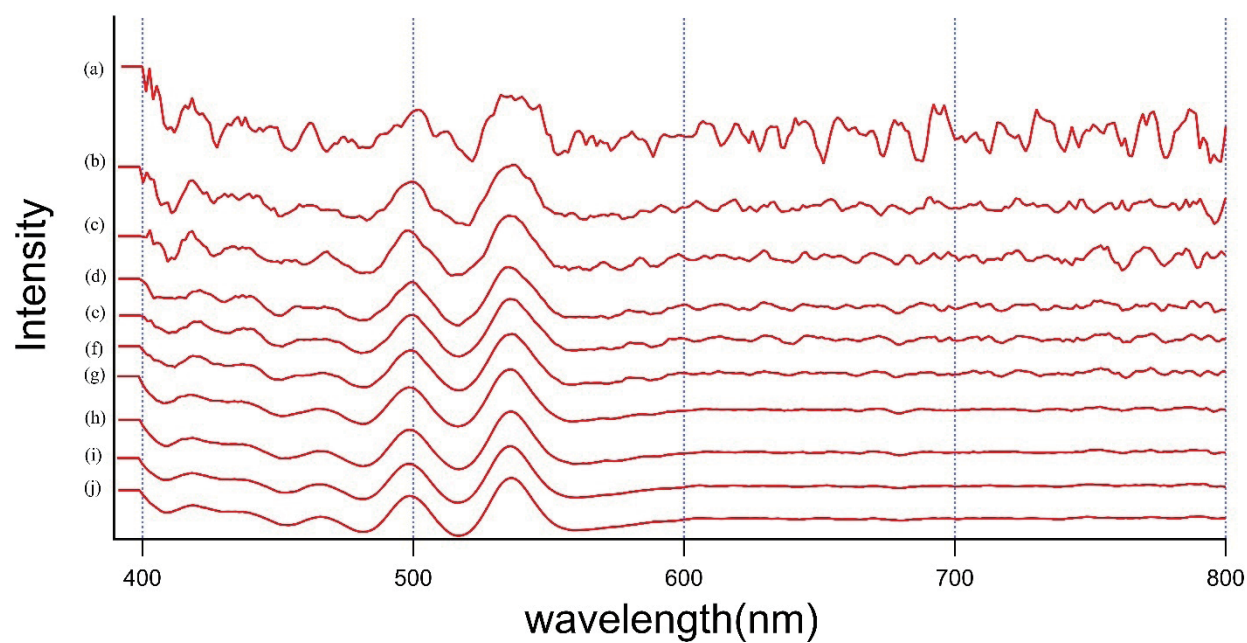


図9 木綿布試料③（染色時間 10 秒）の二次微分スペクトル
ピクセル数 (a)10、(b)50、(c)100、(d)300、(e)500、(f)1000、(g)5000、(h)10000、(i)50000、(j)190000

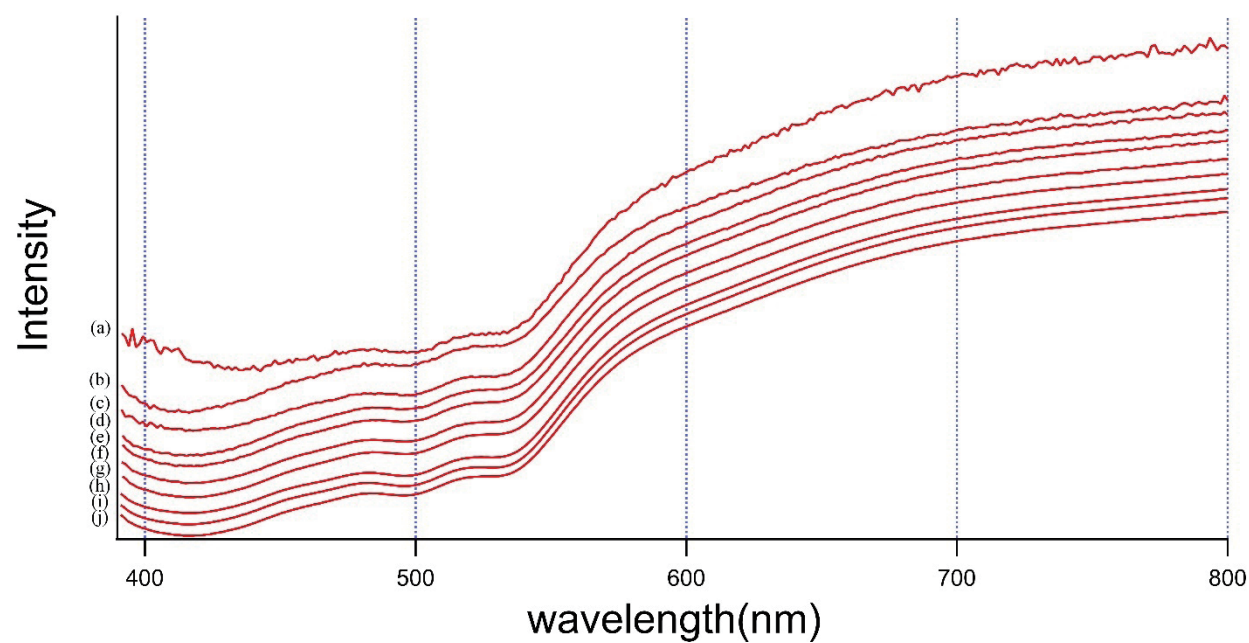


図10 木綿布試料⑦（染色時間 90 秒）の可視スペクトル
ピクセル数 (a)10、(b)50、(c)100、(d)300、(e)500、(f)1000、(g)5000、(h)10000、(i)50000、(j)190000

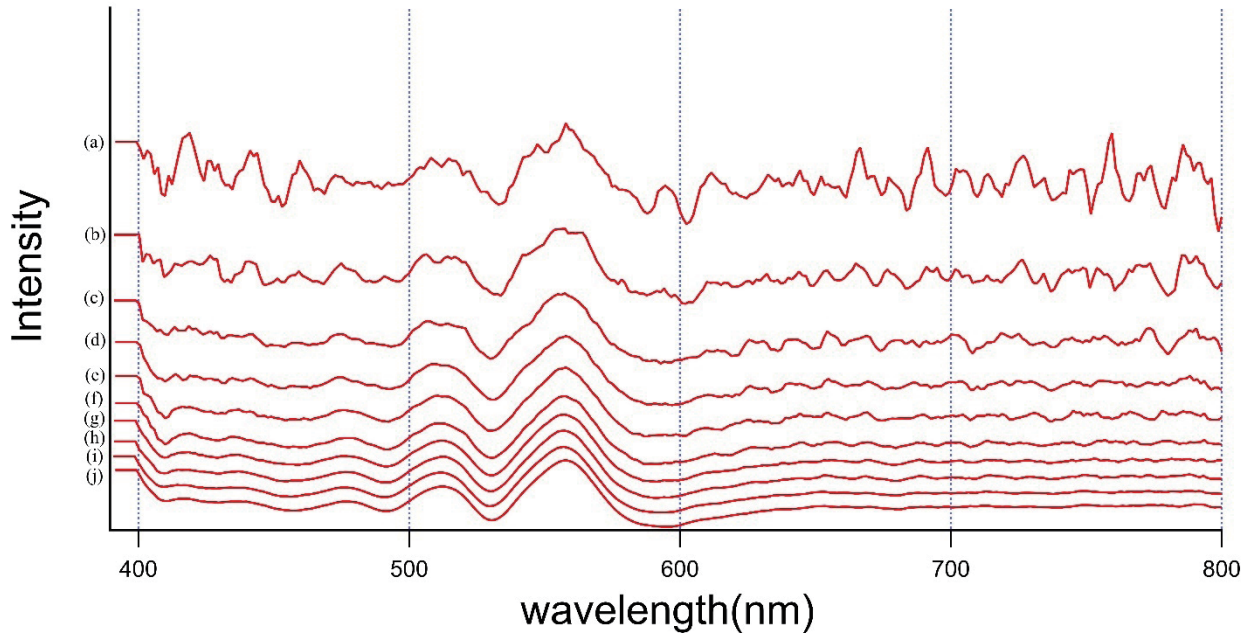


図 11 木綿布試料⑦（染色時間 90 秒）の二次微分スペクトル

ピクセル数 (a)10、(b)50、(c)100、(d)300、(e)500、(f)1000、(g)5000、(h)10000、(i)50000、(j)190000

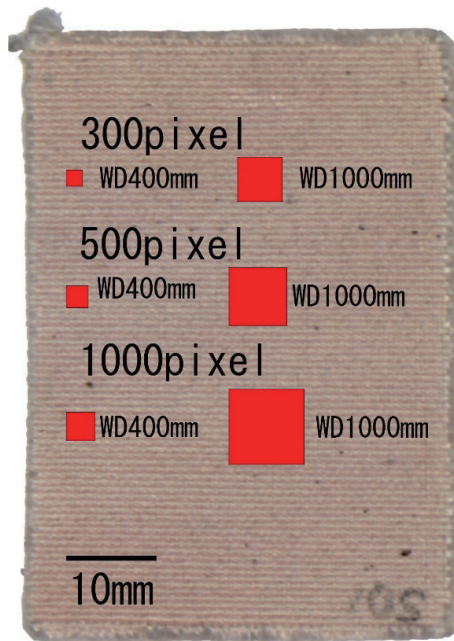


図 12 WD400mm と WD1000mm のピクセル範囲（木綿布試料③）

Working Distance(mm)	Scan Speed(mm/scan)	Pixel(25mm ²)
400	0.0158	2500
1000	0.031	289

Working Distance(mm)	Scan Speed(mm/scan)	Pixel(100mm ²)
400	0.0158	10000
1000	0.031	1225

表 3 分析条件一覧と面積ごとのピクセル数

分析結果が得られることがわかった。また WD が 1000mm でも 10mm 四方の範囲を選択することができれば可視スペクトルと二次微分スペクトル分析結果を得ることができると言える。

4.2. 染色材料の適応調査結果

4.2. (1) 未染色試料の分析結果

【図 13】と【図 14】に未染色のオヒョウニレ試料の可視スペクトルと二次微分スペクトルを、【図 15】と【図 16】に未染色のシナノキ試料の可視スペクトルと二次微分スペクトルを示す。未染色オヒョウニレ試料①、②、③、④の可視スペクトルは高波長側に右肩上がりになる特徴が見られたが、スペクトルのばらつきが大きい。未染色オヒョウニレ試料③のみ、精練不足のためか褐色が顕著であり、可視スペクトルも他の未染色のオヒョウニレ試料とは異なるスペクトルが得られた。次に、二次微分スペクトルをみると未染色オヒョウニレ試料①、②、③では 460nm から 470nm に下向きのピークが見られ、特に未染色オヒョウニレ試料③の 465nm のピークは顕著であった。その他、未染色オヒョウニレ試料②、③について 550nm から 560nm にピークはみられず、同じようなスペクトルを示した。なお、変曲点については 650nm から 680nm にあると思われるが、不明瞭であり判別で

きなかった。

未染色シナノキ試料⑧、⑨、⑩も高波長側に右肩上がりの特徴が見られたが、直線に近い形状であった。これらの試料も同じようなスペクトルを示した。二次微分スペクトルをみると、540nmと555nmに下向きのピークが、さらに600nmから700nmにかけて5つの下向きのピークが見られた。シナノキ繊維に含まれる特徴的な色素成分の可能性が考えられたが、不明である。また変曲点については650nm以降にあると思われるが、不明瞭であり判別できなかった。

4.2. (2) イチイ染め試料の分析結果

【図17】と【図18】に未染色オヒョウニレ試料とイチイ染めオヒョウニレ試料の可視スペクトルと二次微分スペクトルを示す。イチイは煮出すことによって赤褐色から茶褐色の染液となる。未染色のオヒョウニレ試料をイチイ染めした結果、繊維は茶褐色に呈色した。イチイ染めオヒョウニレ試料⑥の可視スペクトルからは520nmに赤色成分の増加によるスペクトルの変曲点が見られた。二次微分スペクトルからは、485nmと550nmに下向きのピークが見られた。

【図19】と【図20】に未染色シナノキ試料とイチイ染めシナノキ繊維の可視スペクトルと二次微分スペクトルを示す。未染色のシナノキ試料をイチイ染めした結果、繊維は茶褐色から赤褐色に近い色に呈色した。イチイ染めシナノキ試料⑫の可視スペクトルからはイチイ染めオヒョウニレ試料⑥と同じく520nmに赤色成分の増加によるスペクトルの変曲点が見られた。二次微分スペクトルからは、490nmと553nmに下向きのピークが見られたが、未染色シナノキ試料⑨などからも近い波長位置にピークが出現するためイチイ染めによるものかどうかは判断できなかった。

各繊維のイチイ染め試料は赤褐色から茶褐色に呈色したが、オヒョウニレ試料の方がシナノキ試料よりも濃く染まる結果が得られた。各繊維の染色方法は同じであることや、色調に大きな差がないことから、色の差は繊維の染着性の違いによるものと考えられる。各繊維のイチイ染め試料と未染色試料（未染色オヒョウニレ試料①～④、未染色シナノキ試料⑧～⑩）の可視スペクトルを比較すると、可視スペクトルは比較的似たスペクトルを示すことがわ

かった。次に各繊維のイチイ染め試料と未染色試料の二次微分スペクトルを比較すると、イチイ染めによって未染色試料では見られなかったピークが現れることがわかった。このことから、イチイ染めの有無については二次微分スペクトルから判別できる可能性があると言える。

4.2. (3) ハンノキ染め試料の分析結果

ハンノキは煮出すことによって茶褐色の染液となる。本試験でのハンノキ染めは各繊維試料に対する染着性が非常に悪く、未染色試料と色の差はわずかであった。

ハンノキ染めオヒョウニレ試料⑦、ハンノキ染めシナノキ試料⑬の可視スペクトルからは、ハンノキ染による特徴的なピークや変曲点については確認できなかった。また、ハンノキ染めオヒョウニレ試料⑦は未染色試料②と近いスペクトル形状を、ハンノキ染めシナノキ試料⑬は未染色試料⑧と近いスペクトル形状を示した。二次微分スペクトルも未染色試料と近いスペクトル形状を示し、ハンノキ染めに由来する特徴的なピークは確認できなかった。

ハンノキ染めによる繊維の染着性の悪さについては、ハンノキから抽出した染液の濃度不足や各繊維試料の染着性の向上のための前処理が不足していたことが考えられた。しかし、今回使用した繊維試料は他の染料でも染色を行っており問題なく染色できていることから、繊維試料の前処理方法よりも染色に用いるハンノキの樹皮の量や色素成分抽出のための加熱時間不足などに問題があると思われる。また、染色方法については他の赤色系の天然染料の染色方法を参考に行ったが、それらの方法ではハンノキ染料に対しては不十分であった可能性が考えられた（花田 2014: 27-36）。

4.2. (4) 同系色染料の判別調査結果

【図21】に茜染めオヒョウニレ試料⑤とイチイ染めオヒョウニレ試料⑥のスペクトルを、【図22】に茜染めシナノキ試料⑪とイチイ染めシナノキ繊維⑫のスペクトルを示す。また【表4】にピークの波長一覧を示す。可視スペクトルと二次微分スペクトルから、茜染めオヒョウニレ試料⑤からは変曲点が543nm前後に、また483nm、520nmに明瞭な下向きのピーク、560nmには小さい下向きのピーク、590nmには幅広で下向きのピークが見られた。

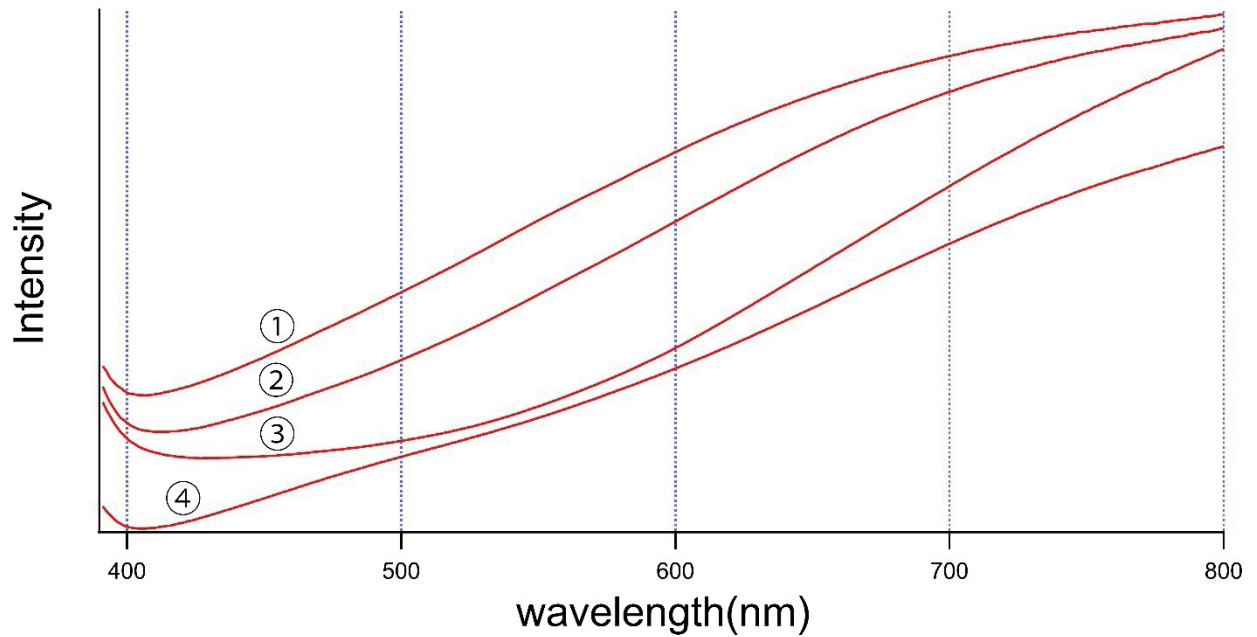


図 13 未染色オヒョウニレ試料の可視スペクトル

未染色オヒョウニレ試料①、未染色オヒョウニレ試料②、未染色オヒョウニレ試料③、未染色オヒョウニレ試料④

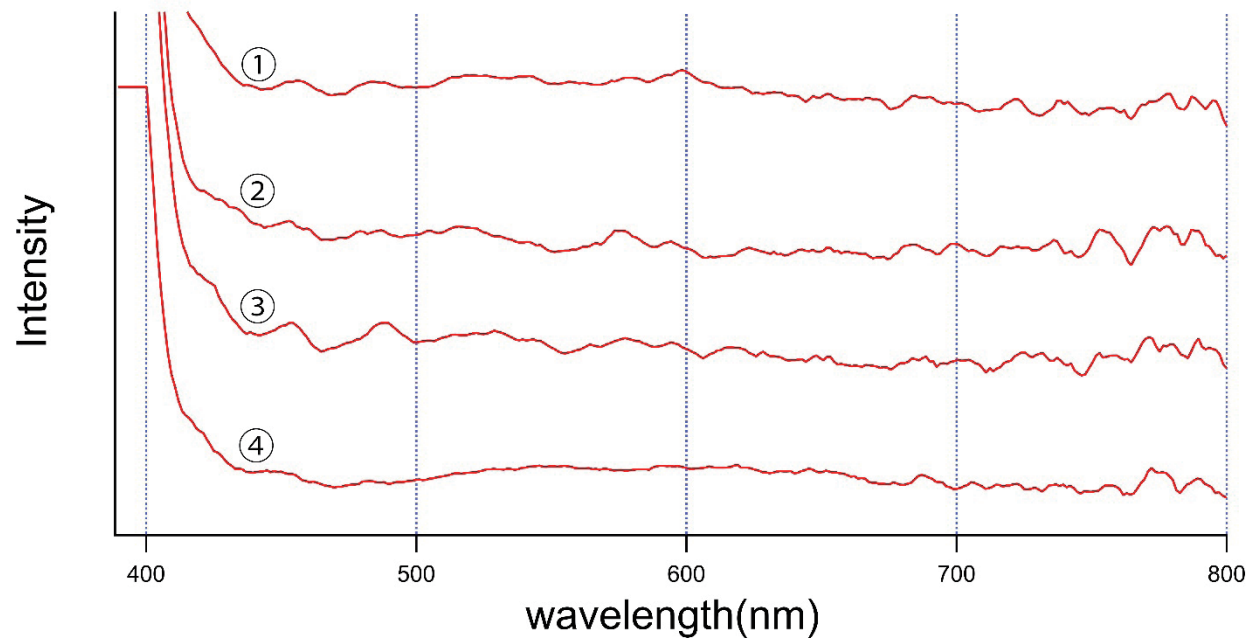


図 14 未染色オヒョウニレ試料の二次微分スペクトル

未染色オヒョウニレ試料①、未染色オヒョウニレ試料②、未染色オヒョウニレ試料③、未染色オヒョウニレ試料④

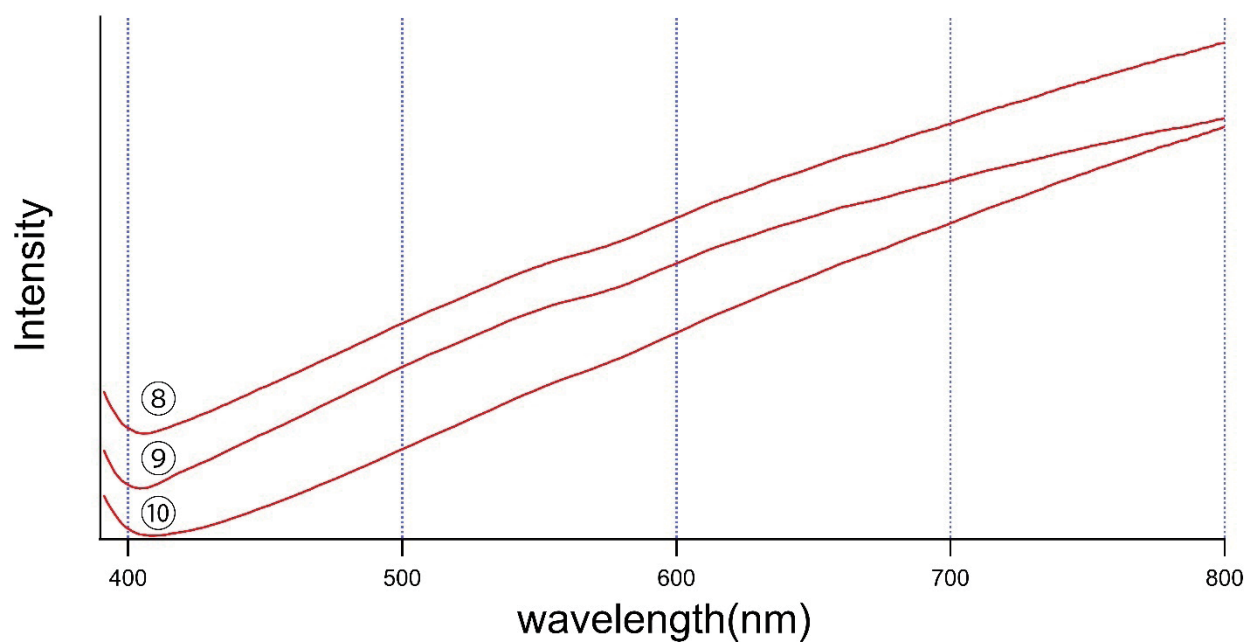


図 15 未染色シナノキ試料の可視スペクトル
未染色シナノキ試料⑧、未染色シナノキ試料⑨、未染色シナノキ試料⑩

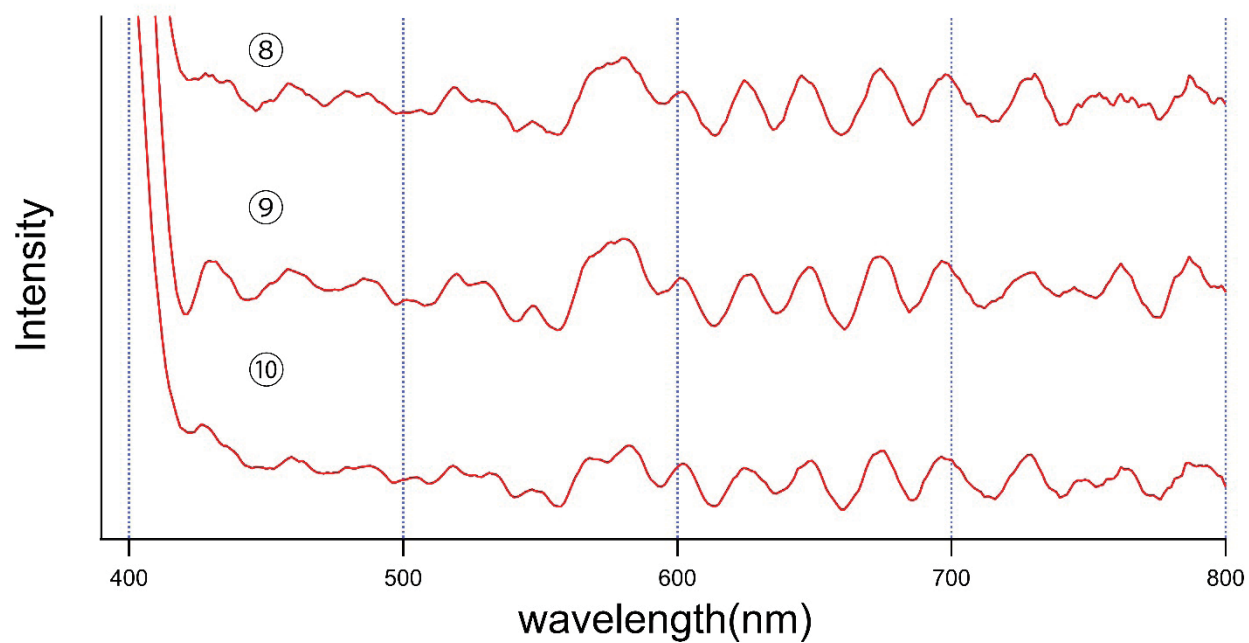


図 16 未染色シナノキ試料の二次微分スペクトル
未染色シナノキ試料⑧、未染色シナノキ試料⑨、未染色シナノキ試料⑩

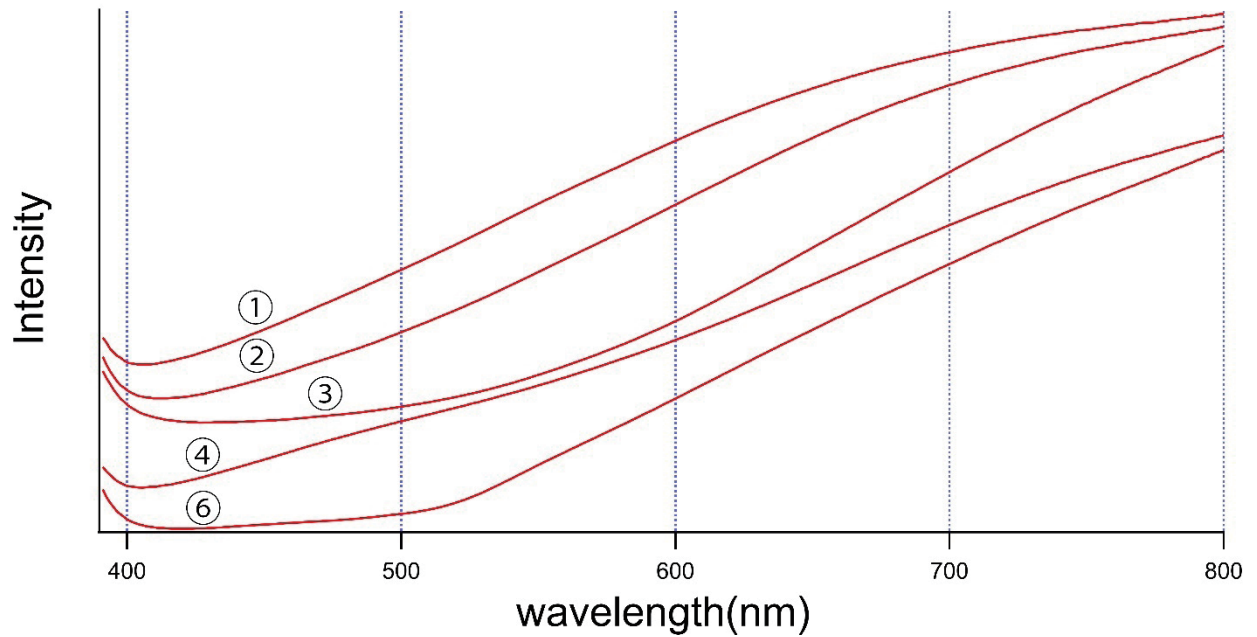


図 17 未染色オヒョウニレ試料とイチイ染めオヒョウニレ試料の可視スペクトル
未染色オヒョウニレ試料①、未染色オヒョウニレ試料②、未染色オヒョウニレ試料③、
未染色オヒョウニレ試料④、イチイ染めオヒョウニレ試料⑥

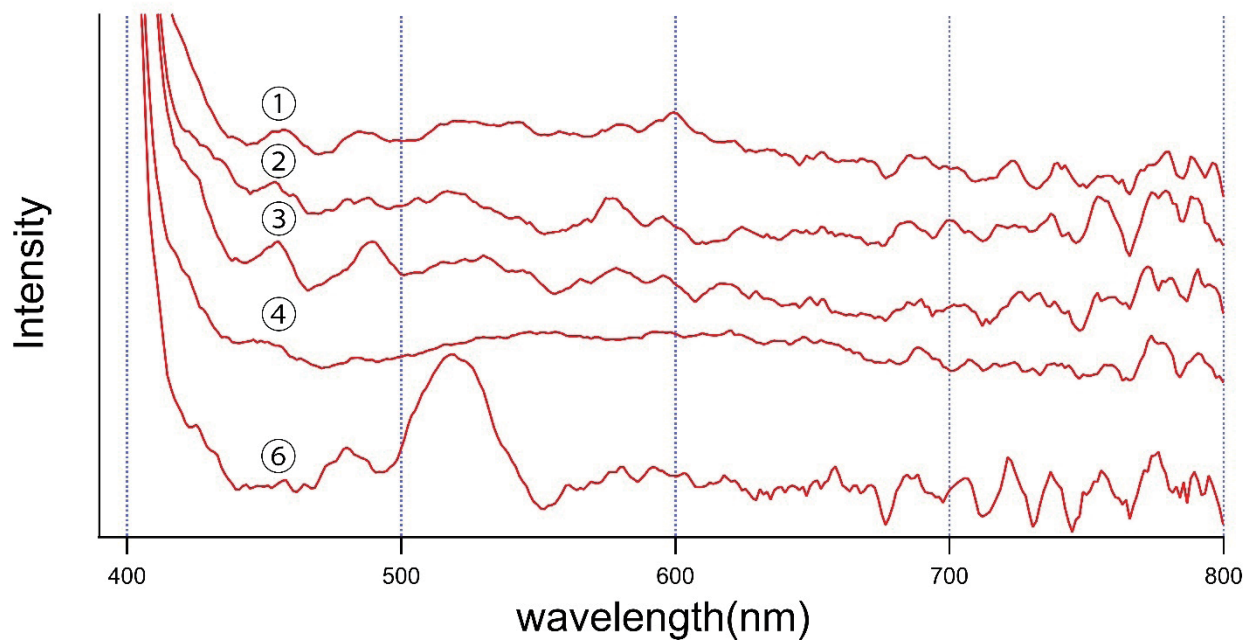


図 18 未染色オヒョウニレ試料とイチイ染めオヒョウニレ試料の二次微分スペクトル
未染色オヒョウニレ試料①、未染色オヒョウニレ試料②、未染色オヒョウニレ試料③、
未染色オヒョウニレ試料④、イチイ染めオヒョウニレ試料⑥

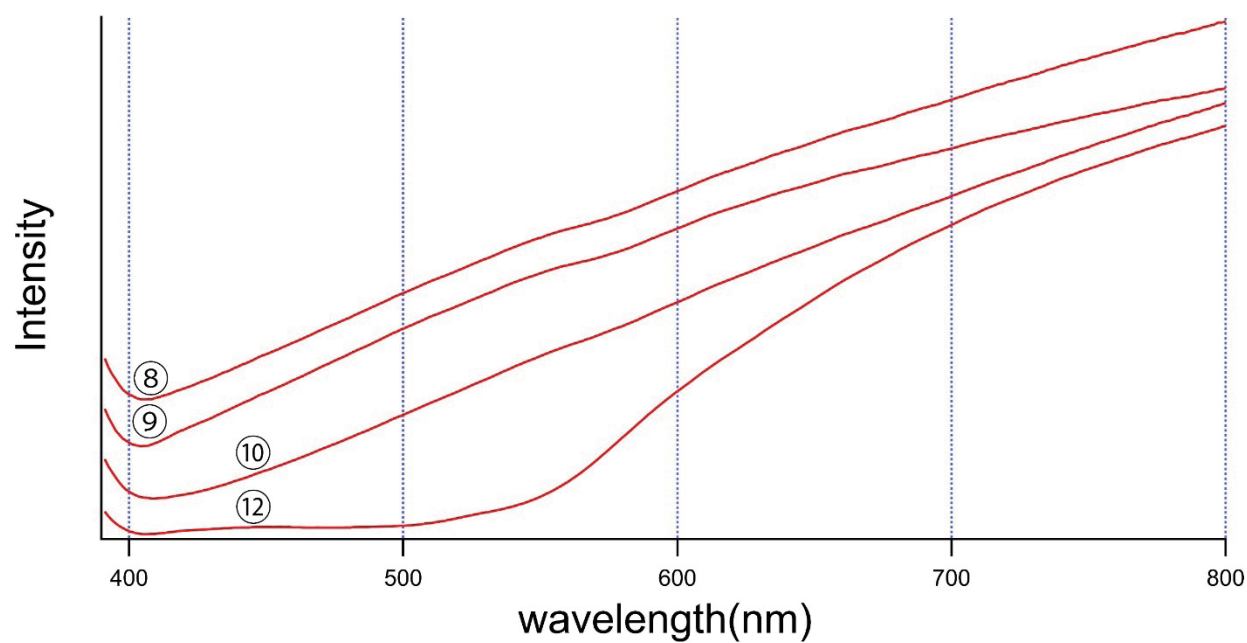


図 19 未染色のシナノキ試料とイチイ染めシナノキ試料の可視スペクトル
未染色シナノキ試料⑧、未染色シナノキ試料⑨、未染色シナノキ試料⑩、イチイ染めシナノキ試料⑫

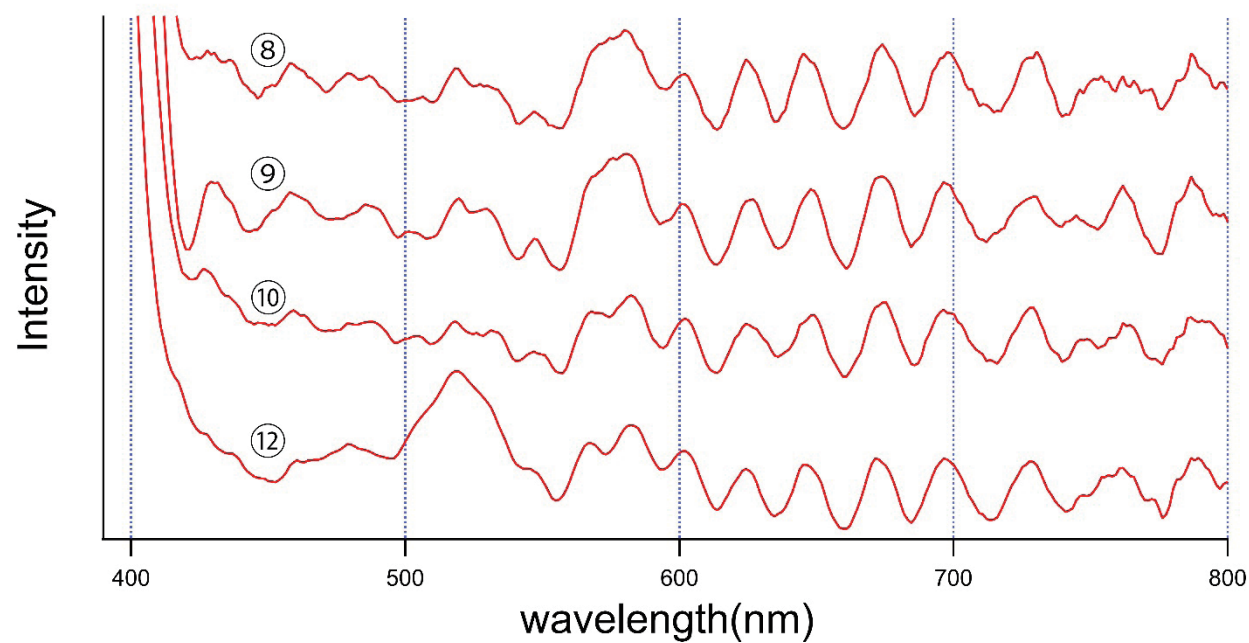


図 20 未染色のシナノキ試料とイチイ染めシナノキ試料の可視スペクトル
未染色シナノキ試料⑧、未染色シナノキ試料⑨、未染色シナノキ試料⑩、イチイ染めシナノキ試料⑫

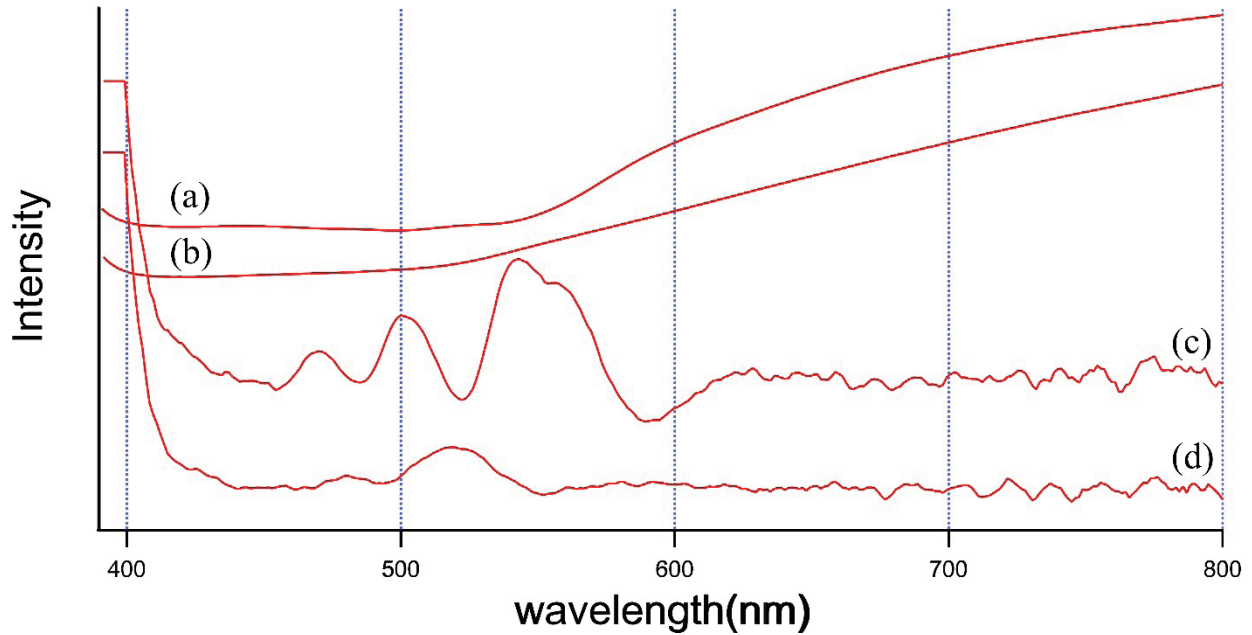


図 21 西洋茜染めとイチイ染めのオヒョウニレ繊維のスペクトル

(a) 茜染めオヒョウニレ繊維⑤の可視スペクトル、(b) イチイ染めオヒョウニレ試料⑥の可視スペクトル
(c) 茜染めオヒョウニレ繊維⑤の二次微分スペクトル、(d) イチイ染めオヒョウニレ試料⑥の二次微分スペクトル

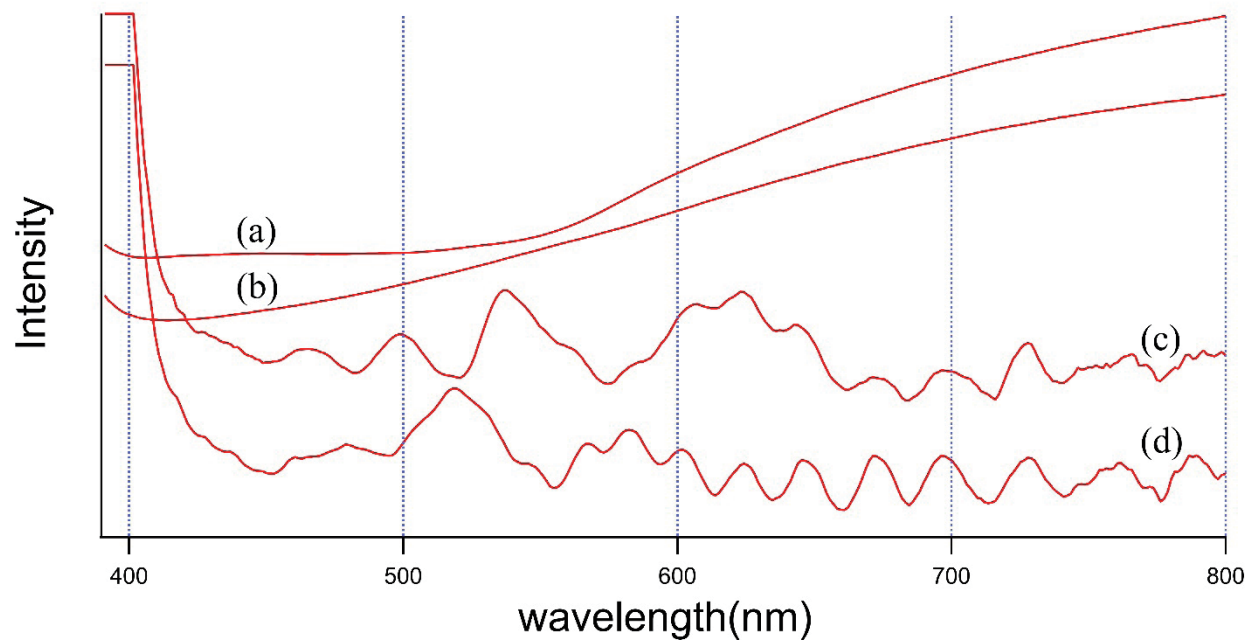


図 22 西洋茜染めとイチイ染めのシナノキ繊維のスペクトル

(a) 西洋茜染めシナノキ繊維⑪の可視スペクトル、(b) イチイ染めシナノキ繊維⑫の可視スペクトル
(c) 西洋茜染めシナノキ繊維⑪の二次微分スペクトル、(d) イチイ染めシナノキ繊維⑫の二次微分スペクトル

表4 変曲点及びピーク位置一覧

繊維名	オヒョウニレ		シナノキ	
染料名	イチイ	西洋茜	イチイ	西洋茜
変曲点	520	543	520	537
	490	483	490?	490
	555	520	553?	525
		560		550
		590		

また茜染めシナノキ試料⑪では537nmに変曲点が、490nm、525nm、550nmに幅広い下向きのピークを確認した。

西洋茜染め試料とイチイ染め試料は同色の結果であることから、可視スペクトルは比較的近いスペクトルパターンとなるが、西洋茜染め試料はイチイ染め試料より変曲点が約15nm高波長側に現れることと、二次微分スペクトルから各ピーク位置に大きな違いが見られたこと。これはオヒョウニレ試料もシナノキ試料も同様の傾向であり、繊維を問わず西洋茜染めとイチイ染めは区別化が可能であることがわかった。

5. まとめ

HSCによる染料分析の有効性についての検証を行った。具体的には染料調査に適した分析条件の策定を行い、染料分析に最適なパラメータを得た。WDは、WD400mmではスキャンスピード0.015mm/s前後が、WD1000mmではスキャンスピード0.31mm/s前後の分析条件で試料のアスペクト比を最も反映するハイパースペクトルイメージが得られることがわかった。染料分析に必要な再現性のある可視スペクトルの取得には300以上のピクセル数が、二次微分スペクトルの取得には1000以上のピクセル数が必要であることを明らかにした。また、ピクセルの選択数が10000を超えると全体的にノイズが少なく良好な可視スペクトルと二次微分スペクトルが得られることがわかった。特に可視スペクトルは600nm以降の波長域についてもノイズが軽減され良好なスペクトルが得られることがわかった。

次にWDごとのピクセル数の変化について検証を行った。ハイパースペクトルイメージはWDが変わると撮影範囲も変化することから、WDが異なるデー

タに対して同じピクセル数を選択しても、実際の資料において選択された範囲は異なる。そこで、可視スペクトルと二次微分スペクトルに必要なピクセル数を300ピクセル、1000ピクセルと定め、それぞれのピクセル数に対応する実資料の面積範囲を算出した。その結果、ハイパースペクトルイメージの300ピクセルは、WD400mmで約3mm²、WD1000mmでは約25mm²の面積となることがわかった。また、ハイパースペクトルイメージの1000ピクセルは、WD400mmでは約10mm²、WD1000mmでは約100mm²の面積となることがわかった。この結果から、WDが400mmであれば、幅1mmの染糸のような微小部について染料分析を行うには糸の長さ10mmまで分析範囲として選択すると有効な分析結果が得られることがわかった。またWDが1000mmでも10mm四方の範囲を選択することができれば有効な分析結果が得られることがわかった。WD1000mmは着物のような比較的広範囲に同じ染料が用いられていると考えられる資料の調査で特に有効であると言える。このことから、HSCによる調査は、調査時間に応じてできるだけ広い範囲が分析できるような距離を基本としつつ、細かく分析したい部位のピクセル数が300以上になるようにWDを調整することが重要となることがわかった。

この結果をもとに、近世近代のアイヌ文化に用いられるイチイ染めとハンノキ染めについて調査を行った。ハンノキ染めは濃度不足のため判別が困難であったが、イチイ染めの有無の判別には選択するピクセル数を増やすことで二次微分スペクトルから判別できることがわかった。また、同系色染料との区別についてはサンプル数が少ないものの、西洋茜染めとイチイ染め試料は可視スペクトルと二次微分スペクトルを比較することで区別化が可能であることがわかった。

ファイバー式の可視分光分析装置による染料分析では、分析範囲はファイバー径に依存してしまうため、ファイバー径よりも細かな部位を狙って分析を行うと分析対象周辺の色を含むデータになってしまう。HSCでは、WDを調整しこのような微小部を含む範囲について面分析を行うことで、ハイパースペクトルイメージにおいて特定の細かな部位のみのピクセルを多く選択することができ、可視スペクトルと二次微分スペクトルを算出することができる。このことは可視分光分析による染料分析の可能性が広がったと言える。

6. おわりに

本研究は近世近代におけるアイヌの染織品に対して科学分析を行い、当時の染料利用を明らかにするだけでなく、博物館資料に材質情報を付与することで資料の活用を図ることを目的としている。本稿ではその研究のとりかかりとして、使用する分析装置であるHSCの染料分析への有効性の検証を行った。HSCの導入は、調査漏れや追加調査、調査による文化財の破損汚損リスクの軽減や調査時間の短縮につながり、限られた時間で分析による成果を出す必要がある文化財調査において大いに役立つと考えられてきた。本稿では分析によって得られた各種スペクトルから、HSCは数ミリ程度の微小部の分析にも有効性があることを明らかにした。このことから実際のアイヌの染織品を調査する時に資料の大きさに応じたパラメータの設定ができるようになるなど、基本的な分析計画などが立てられるようになった。このようにHSCの活用によって、これまで以上に文化財の材料分析の精度上昇につながり、より詳細で正確性のある成果がもたらされることが期待できることから、当館でも積極的な活用を検討している。

また、HSCの検証結果を基に近世近代のアイヌ文化において多く使用されるイチイとハンノキの染料分析を行ったが、試料点数も少ないことから試験的な意味合いが強い。また染色方法の精査も十分であるとは言えず、さらなる検証が必要である。現在、イチイやハンノキ以外のハマナスといった当時のアイヌ文化で使用されていたと考えられる染料についても試料を作製し各スペクトルの蓄積とデータベース化を進めている。なお、延喜染鑑（上村 1986）などの市販されている100点を超える染色試験布の染料分析とデータベース化は完了しており、実際のアイヌの繊維資料の分析時にこれらのデータとの比較を行う予定である。

その他、染料データとの比較についての新たな試みとして、分析対象のスペクトルと比較対象となる基準のスペクトルをベクトル間角度から類似性を検証するスペクトルアングルマップ法や主成分分析法などの多変量解析について試行している。これによって可視スペクトルや二次微分スペクトルの比較に客観性を持たせ、染料分析の精度を上げることが期待できる（ZHU Chunmao 2020:1-9; 横矢 2014:357-365）。今後はこのような分析や解析によって得られた結果についても精査し、アイヌの染色文化の解明に役立て、

当館の展示や資料管理に活用することにつなげていきたい。

引用文献

- 河野広道 1971「北方文化論 河野広道著作集 1 1931」北海道出版企画センター。
- 齋藤玲子 1992「北方地域における植物性染料、特にハンノキの利用と信仰について」『北海道立北方民族博物館研究紀要』1: pp.134-148。
- 大坂拓 2019「アイヌ民族の編袋」『北海道博物館アイヌ民族文化研究センター研究紀要』4: pp.25-60。
- 小原奈津子 1999「考古学と繊維材料学の接点」『繊維学会誌』55(7): pp.230-234。
- 末森薫、川口拓哉、森田吉嵩、安室喜弘 2021「光源選択式輝度変換プログラムを用いたハイパースペクトル画像彩色情報の可視化——敦煌莫高窟再現壁画が有する視覚情報の検証——」：日本文化財科学会第38回大会
- 佐々木望、長縄美香、眞鍋佳嗣、千原國宏 2007「染織物の分光反射率計測に基づく退色過程のモデル化と原色推定」『日本色彩学会誌』31(3): pp.172-182。
- 吉田直人 2011「可視反射スペクトルと二次微分スペクトルによる青色色材の判別に関する検討」『保存科学』(50): pp.207-215。
- 大下浩司 2017「光ファイバー分光蛍光光度計を用いた反射スペクトル測定の実験条件」『文化財情報学研究』(14): pp.17-25。
- 北海道教育庁社会教育部文化課編 1986「アイヌ女性が伝承する衣文化」『北海道教育委員会』
- ケイエルブイ(株) 2019「人間の目を超えるハイパースペクトルカメラ」『画像ラボ』31(8): pp.71-73。
- 柏木希介、近藤憲子 1971「草木染の研究(II)」『家政学雑誌』22(4): pp.43-47。
- 花田美和子、金井千絵 2014「神戸・六甲山系の植物による染色に関する研究」『木材化学』(3): pp.27-36。
- 花田美和子、金井千絵 2015「神戸・六甲山系の植物による染色に関する研究(第2報)」『木材化学』(4): pp.33-41。
- 黄川田翔、吉田直人、佐野千絵 2016「美術館・博物館の資料保護に向けた光曝露量の評価方法——染色布を事例に」『照明学会誌』100(2): pp.74-81。
- 尾崎幸洋 2005「近赤外分光法による毛髪中の自由水、結合水の非破壊構造解析」『コスメトロジー研究報告』(13): pp.9-12。
- 佐々木良子 2008「科学の眼で文化財染織品を視てみると……」『繊維学会誌』64(1): pp.36-44。
- 眞岡孝至、伊藤義博、藤原靖弘、橋本圭二 1996「日本産イチイ(Taxus cuspidata) 果実のレトロタイプカロテノイドの構造と酸化作用」『日本油化学会誌』45(7): pp.641-646。
- 長坂有 2000「オヒョウ種子の発芽と休眠について」『日本林学会北海道支部論文集』48(0): pp.60-62。
- 杉山壽榮男 1939「原始服装としてのアイヌのハヨクベ」『人類学雑誌』54(10): pp.427-443。
- 上村二郎 1986「昭和版延喜染鑑」岩波書店。
- ZHU Chunmao, et al. 2020 Characterization of microplastics on filter substrates based on hyperspectral imaging: Laboratory assessments. *Environmental Pollution*. (263): 114296。
- 横矢直人、岩崎晃 2014「ハイパースペクトル画像処理が拓く新しい地球観測」『人工知能』29(4): pp.357-365。