

# 〔報文〕 画絹の物性に及ぼす断面形状・殺蛹方法の影響 —大和文華館所蔵作品調査データ含めて—

早川 典子・岡部 迪子・濱田 翠\*・山府木 碧・菊池 理予・  
古川 攝一\*\*・秋本 賀子\*\*\*・志村 明\*\*\*

## 1. はじめに

東洋絵画において、絹は古くから使用されてきた支持体である。絵画に使用される絹（画絹）に着目し、デジタルカメラなどの撮影機材を用いながらその織りの組成・絹の継ぎ方・加工精練の状態などを観察した研究が近年報告されるようになってきている<sup>1),2)</sup>。これらの情報の中でも織組成が着目され、時代や地域などにより異なる傾向を持つ可能性があることが、これらの研究の中で述べられている<sup>1),2)</sup>。また、画絹に限らず考古遺物や染織文化財の調査において、糸の太さや織組成が時代や地域により異なることは既に布目によって報告されている<sup>3),4)</sup>。絵画の構成要素として画絹は彩色材料に比べると着目されることは少ないが、上記のように絹そのものの持つ情報量は多く、特に最近では画絹の太さに着目し、絵画の見え方に影響を与えている可能性が森田ら、山田らによって指摘されている<sup>5),6),7),8)</sup>。絹の厚みが近代製糸技法の導入とともに大きく変化したことは複数の先行研究に述べられている<sup>1),3),9)</sup>が、森田ら・山田らによる上記の研究では、それにより絵画の発色や表現方法も影響を受けたとされる<sup>5),6)</sup>。一方で、実際の画絹に使用されている糸の厚みについて国指定品を測定した事例は植松の報告<sup>1)</sup>があるに過ぎず、これは宋代の画絹についての報告であり、日本の絹本について実測した報告はまだなされていない。

これらの先行研究をもとに、本研究では、日本の絹本作品の糸の形状について着目し、時代の異なる作品の調査を行なった。さらに、自動繰糸機を用いて作られた現在の画絹と、在来技法で繰糸された画絹において、顔料の付着状況および劣化後の状態の差異について検討した。これらの結果を踏まえ、繰糸のみでなく殺蛹方法の異なる絹についても劣化後の差異を確認し、在来技法により作製された絹糸と現代の絹糸を複数の観点から比較した。本報告は、実資料における糸形状を元に、その形状による絵画の見え方への影響、さらに経年後の状態予測を検討したものである。

## 2. 大和文華館所蔵作品の画絹形状

伝世資料に使用されていた画絹の形状を把握するために大和文華館所蔵の下記の作品の調査を行なった。デジタルマイクロスコープにより撮影を行い、絹糸の幅と高さを測定した。対象作品、測定方法は下記の通りである。

### 2-1. 調査作品

- ・国宝「雪中帰牧図」中国・南宋時代（12世紀）
- ・重要文化財「柿本宮曼荼羅図」鎌倉時代（13世紀）

\*埼玉県立歴史と民俗の博物館、\*\*大和文華館、\*\*\*勝山織物株式会社

- ・「瀑岩等紳頂相」室町時代（1528年著賛）
- ・重要文化財「中村内蔵助像」江戸時代（1704年著賛）

また、対照資料として現代の市販画絹（特上二丁樋：得應軒販売，渡辺絵絹株式会社製）も測定した。二丁樋とは絹糸2本を経糸とした絹であり，その中でも薄手のもので緯糸も絹糸2本を一本として構成しているものを対照資料とした。

## 2-2. デジタルマイクロスコープによる観察と測定

HiRox 製 RH200を用いて50倍，200倍，500倍の倍率で観察し，200倍の3次元画像上で画絹の経糸・緯糸の幅と高さを測定した。測定は次のように行なった。各作品につき高さ情報も含む画像を200倍で3ヶ所撮影し，その画像上で経糸11ヶ所，緯糸11ヶ所を測定し，その最大値・最小値を省いた9点の平均値をその画絹絹糸の幅と高さの値とした。測定にあたっては，糸の高さが明瞭になる経糸と緯糸の重なる部分に着目し，その中から糸の幅と高さに影響の少ない箇所（付着物が少なく，糸の形状変化が少ないと考えられる部分）を選択して測定箇所とし，その部分の最大幅，最大高さを測定した。これを1カ所と数え，上記11カ所から算出した。高さの測定においては糸の重なりの中のすぐ外側の沈みこむ箇所を底面としそこからの高さを測定した。













## 2-3. 結果と考察

得られた糸の幅と高さの平均値とその標準偏差，変動係数を表1に示す。測定で得られた幅と高さを楕円断面と仮定して作成した断面のイメージ図も合わせて示す。実際には糸断面の形状は楕円ではないが，測定最大値をその糸の幅と高さとしていることから把握しやすい形状としてイメージ図に楕円を採用した。絹の断面形状の詳細については3章にて調査結果を報告する。

また，各作品の200倍画像の例と高さ測定例を写真1から6に示す。

「雪中帰牧図」の画絹が他3作品に比べ極めて幅が広く，高さもあることが明らかになった。他の3作品は幅も狭く，高さも相対的に低い。また，糸の幅に関して，織る際の打ち込みの影響を受けにくい経糸で比較すると，現代の絹が最も幅も高さも大きく，日本の伝世作品である3作品は時代の経過とともに糸が太くなる傾向が見られる。糸の幅がどの程度一定であるかを変動係数の値で比較すると，江戸期の作品である「中村内蔵助像」は値が小さくなっており，この時期には国内で絹糸が安定して繰糸されるようになっていたことが推察される。また，それぞれの作品の画像を比較すると「雪中帰牧図」は織密度も高く，他の3作品とは大きく異なる。経糸と緯糸の形状に着目すると，総じて緯糸の方が長軸が長い平板な断面であることが確認された。

表1 調査作品に使用されていた画絹糸の幅と高さ

		雪中帰牧図(牽牛)		雪中帰牧図(牽牛)		柿本宮曼荼羅図		瀑岩等紳頂相		中村内蔵助像		特上二丁樋	
		緯糸(μm)	経糸(μm)	緯糸(μm)	経糸(μm)	緯糸(μm)	経糸(μm)	緯糸(μm)	経糸(μm)	緯糸(μm)	経糸(μm)	緯糸(μm)	経糸(μm)
幅	平均値	194	92.8	186	96.2	99.2	68.7	85.2	87.1	127	88.8	141	109
	標準偏差	18	9.4	16	16	10	7.5	12	16	10	7.2	13	6.8
	変動係数	0.093	0.101	0.086	0.166	0.101	0.109	0.141	0.184	0.079	0.081	0.092	0.062
高さ	平均値	34.3	31.2	28.7	32.9	21.2	25.4	19.2	31.1	20.1	32.5	28.2	37.4
	標準偏差	7.4	7.0	8.5	6.3	7.3	11	6.3	7.3	3.2	7.1	5.0	6.2
	変動係数	0.216	0.224	0.296	0.191	0.344	0.433	0.328	0.235	0.159	0.218	0.177	0.166
経糸断面イメージ図													
緯糸断面イメージ図													

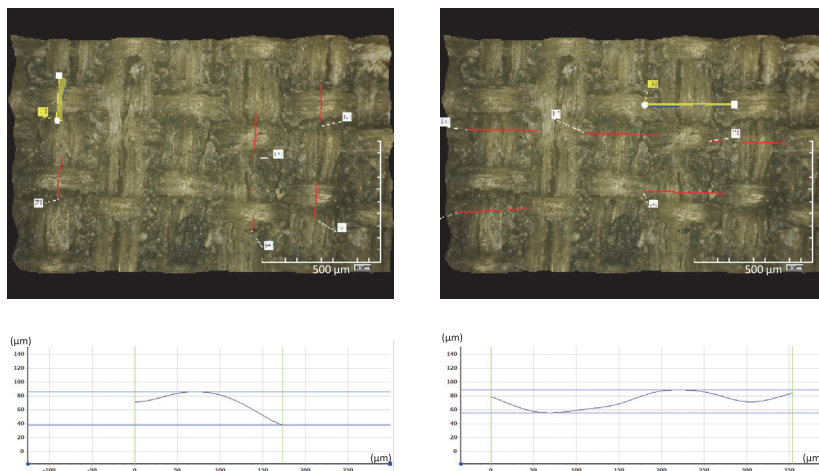


写真1 雪中帰牧（騎牛）の画絹デジタルマイクロскоп画像例

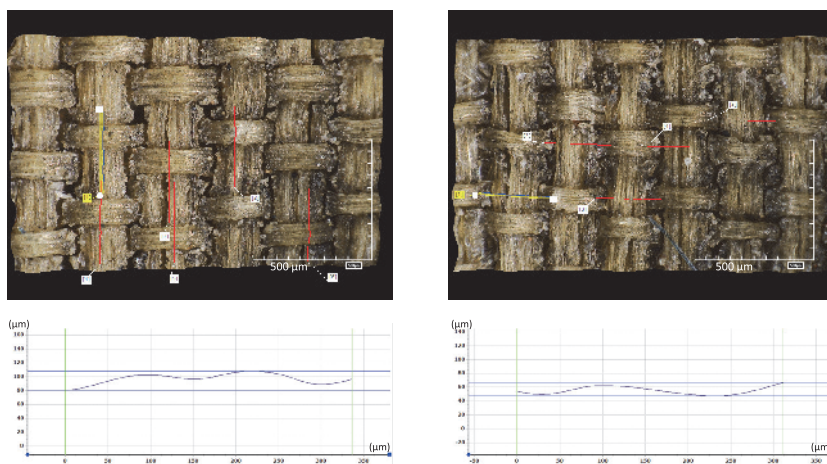


写真2 雪中帰牧（牽牛）の画絹デジタルマイクロскоп画像例

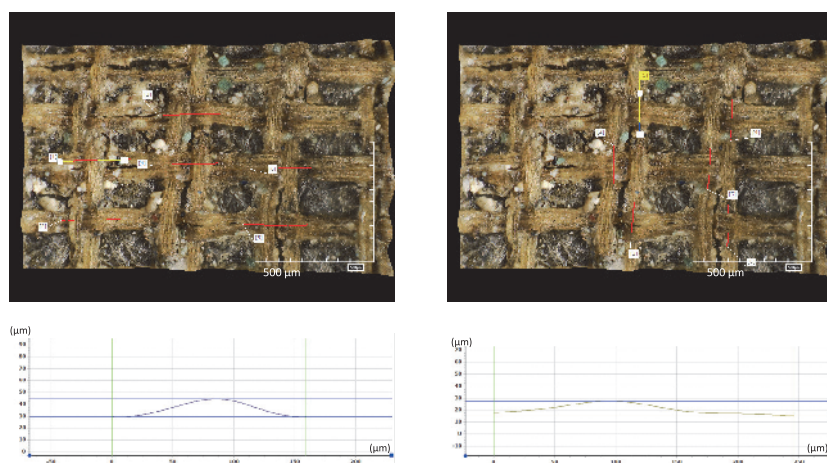


写真3 柿本宮曼茶羅図の画絹デジタルマイクロскоп画像例

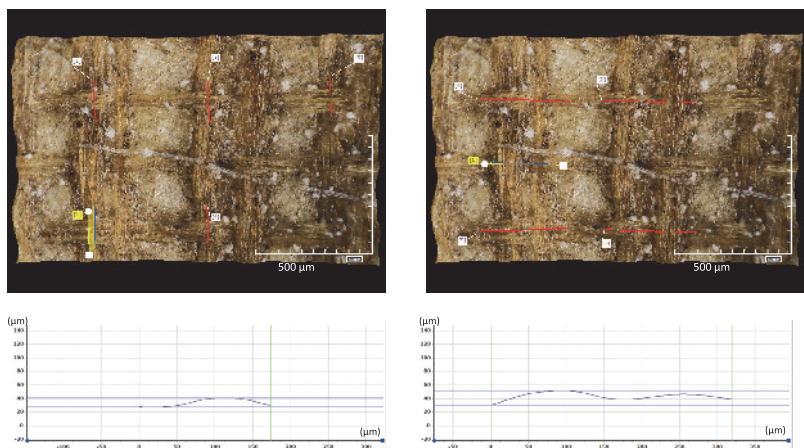


写真4 瀑岩等紳頂図の画絹デジタルミクロスコブ画像例

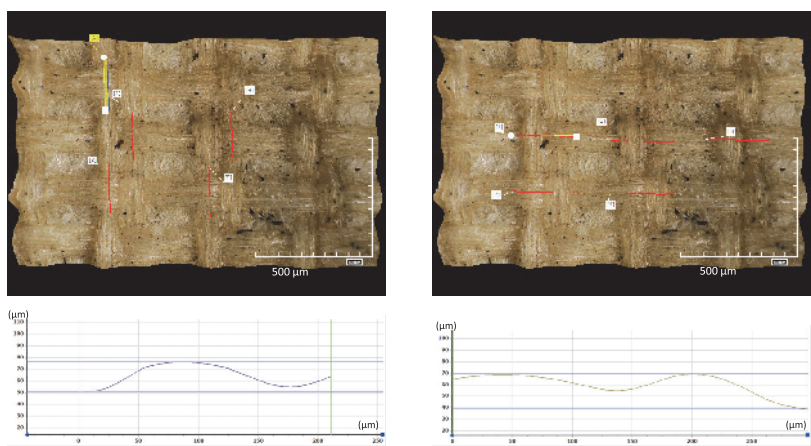


写真5 中村内蔵助像の画絹デジタルミクロスコブ画像例

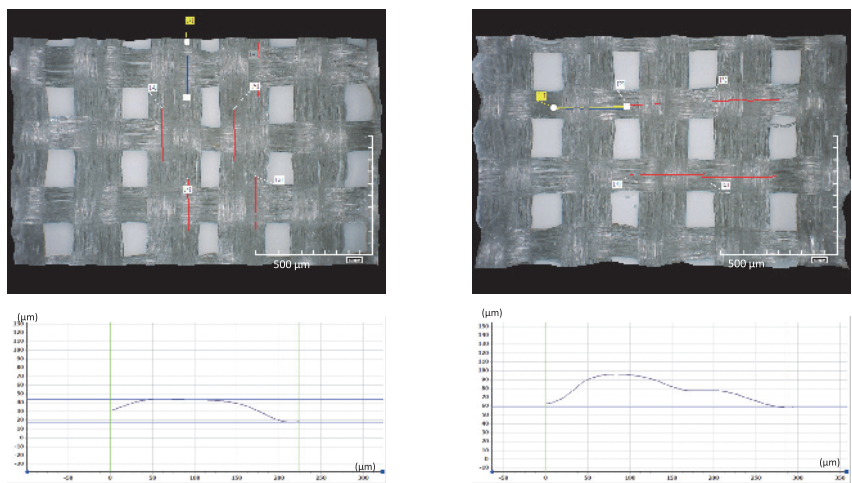


写真6 現代の市販画絹（特上二丁樋）の画絹デジタルミクロスコブ画像例



今回の対象作品のうち「雪中帰牧図」はすでに植松がデジタルマイクロスコープにより幅と高さを計測している<sup>1)</sup>。この時の測定では、経糸のみを測定し、かつ糸の幅範囲における高さをその糸の高さとしている。今回の測定は、経糸と緯糸の交点周辺も含めて測定し、糸の幅よりも外側の沈み込みの部分から糸の高さを測定しているため、数値としては植松の測定値より大きな値となった。植松の測定は、糸の幅の中での高さを利用しており、本研究では糸の外側の沈み込み部分を糸の底として算出しているため結果が数値としては完全には一致しなかったが、騎牛図よりも牽牛図の方が糸の幅も高さも大きな値となる傾向は一致している。このことから、測定の具体的な数値は、使用機種や測定箇所を選択により差異が生じると考えられるが、傾向の把握は機種が異なっても可能であると考えられる。ただし、異なる作品を比較する場合は、同一機種かつ同一方法の測定箇所選択を行うことが望ましい。

### 3. 画絹とそこに施された顔料の状態観察

絵画に使用された絹の形状が、明治以降のケンネル装置による綴<sup>注1</sup>掛け（よりかけ）が行われるようになる前とそれ以降では異なる傾向を持つことが、先行研究で指摘されており<sup>5)6)</sup>、2章においても現代の絹と比較して伝世資料の経糸は断面高さが低い傾向があることが確認された。本章では、この形状が絵画の「見え方」にどのような影響を与えているかについて、走査電子顕微鏡（SEM）とデジタルマイクロスコープを用いて観察を行なったので報告する。

#### 3-1. 観察試料

SEM を使用して下記の絹の形状の観察を行なった。また、これらの絹に下記の方法で顔料を塗布した試料を作製し、その顔料の付着状態をデジタルマイクロスコープで観察した。

- a. 市販されている画絹（特上二丁樋（渡辺絵絹株式会社））

織密度：経糸 60本/cm, 緯糸 33本/cm, 生地厚さ：0.14 mm

- b. 文化財修復に使用されている画絹（廣瀬賢治製）

織密度：経糸42-44本/cm, 緯糸 28-29本/cm, 生地厚さ：0.13 mm

- c. 在来技術で繰糸した無綴（むより）<sup>注2</sup>の糸を用いて試料bと同様の織密度で作製した画絹（志村明氏製）

織密度：経糸 42本/cm, 14 D<sup>注3</sup>, 10粒付, 繭糸織度 1.36 D

緯糸 26-28本/cm, 28 D, 12粒付, 繭糸織度 2.32 D

生地厚さ：0.08 mm

絹を枠張りし、ドーサ引き（膠濃度1%, 明礬0.1%）した上で、日本画の技法で表からの塗布と裏彩色を施すことで顔料の塗布を行なった。用いた顔料は水銀朱（鶏冠朱, 金開堂）と緑青（白緑青, 金開堂）であり、日本画家の柏谷明美により a～c の3種の絹に同様に塗布し試料とした。

<sup>注1</sup> 綴（より）とは生糸を繰製する場合に、繭から生糸を繰り取る枠までの糸道の間に、生糸同士をからめ合わせる箇所を設けることを指す。日本では明治以降に導入され、その目的は、生糸の水分を除去することで抱合性を高め、糸を乾燥し易くするためとの説明が定説になっている。糸の加工方法である「撚糸」とは異なる内容を指す。

<sup>注2</sup> 本実験では綴掛けしてある現代の製糸と対比させるため綴のない糸を使用した。

<sup>注3</sup> 1D（デニール）：糸や繊維の太さの単位でありキログラム毎メートルの1/(9×10<sup>6</sup>)で定義される。

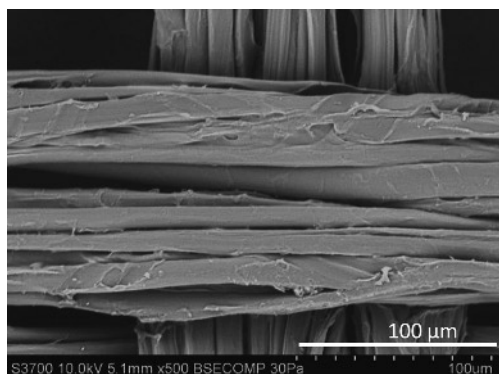


写真7 試料 a 市販画絹(特上二丁樋)  
(500倍)

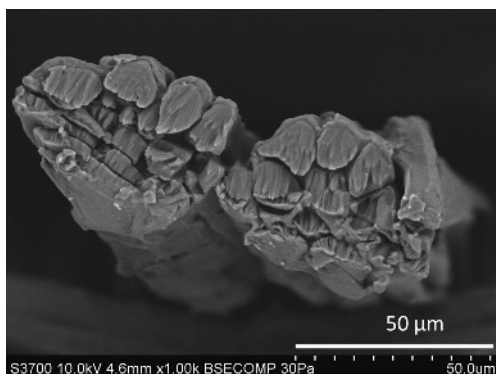


写真8 試料 a 市販画絹(特上二丁樋)  
断面 (1000倍)

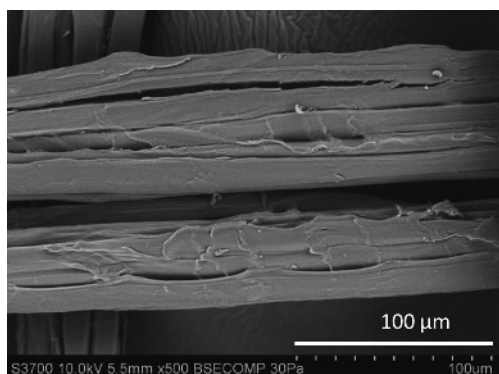


写真9 試料 b 修復用絹 (500倍)

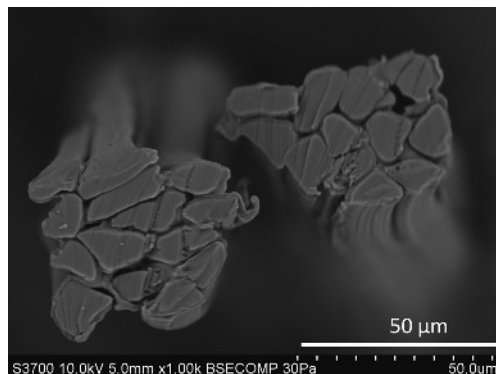


写真10 試料 b 修復用絹断面 (1000倍)

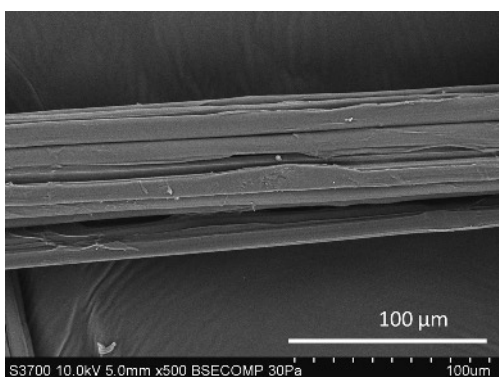


写真11 試料 c 在来技法で作製された  
絹 (500倍)

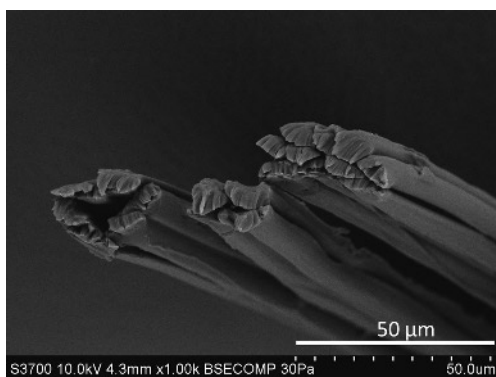


写真12 試料 c 在来技法で作製された  
絹断面 (1000倍)

## 3-2. 走査電子顕微鏡観察

### 3-2-1. 観察条件

試料断面は鋭利な刃物で切断し、エッチング等の処理はせずに観察試料とした。観察装置は日立ハイテクノロジーズ製 S-3700 N、低真空 (30 Pa)、加速電圧 10 kV、試料表面には金蒸着を行なった。

### 3-2-2. 観察結果

観察結果を画像7~12に示す。現在の製糸方法で作製された試料 a と b においては、繭糸（フィブロイン繊維）が密に圧着しており、絹糸全体として密度の高い状態であることが断面の観察から確認された。それに伴って絹糸断面の形状も正円に近く、高さのある糸となっている。これは、製糸の際に強く繅（より）を掛ける現代の自動製糸技法により生じた形状と考えられる。一方で在来技法により作製された試料 c は繭糸が緩くまとまっており、断面形状は扁平で高さが低く、薄い状態であることが確認された。また、試料 c に使用された蚕品種の繭糸繊維度は 1.36 D という非常に細い品種であったが、SEM 画像上でも繭糸の断面は試料 a、b に比較して小さく、SEM を用いた観察からもこのことが明瞭になった。

## 3-3. デジタルマイクロ스코プによる観察

### 3-3-1. 観察条件

観察装置は KEYENCE 製 VHX-1000 を用い、全て絹枠に画絹を貼りこんだ状態で観察した。

### 3-3-2. 観察結果及び考察

観察結果を画像13~21に示す。右側に緑青、左側に水銀朱の試料を示す。いずれも 200 倍の画像である。

市販の絹である試料 a は糸の断面が正円に近いため、頂点部分にあたる糸の表面にほとんど顔料が付着せず（写真13）、その一方、使用されている糸が繅糸 2 本で構成されているため、その 2 本の隙間に顔料が厚く残っている。つまり、絹糸 1 本の表面において繅糸上とその隙間とで顔料の付着具合の乖離が大きいことが明らかとなった。また、裏彩色の場合、施された顔料は繊維の隙間では視認できるものの繊維上ではほとんど認識できないことが確認できた（写真14）。これは、SEM で観察されたように糸を構成するフィブロイン繊維の密度がこの試料では高く、糸の厚みもあるため裏の彩色が表面に見えにくいからと考えられる。

修復用絹である試料 b においては、試料 a より繊維密度が低いため、試料 a に比較すると裏彩色はやや見えやすいが、詳細に観察すると経糸と緯糸の交わる部分などの糸の頂点に近い部分には顔料が付着しにくく、裏彩色が表面からの観察では認識しにくい状態である（写真17）。また、糸同士が作る空隔部分（糸の隙間）への顔料の付着状態も、ばらつきが大きい（画像18（緑青）の枠内）。目視で見た場合、ムラがあると認識されるのはこのような現象に起因するのではないかと考えられる。

在来技術で作製された試料 c においては、顔料の絹への付着が他 2 試料より均一であり、顔料が均一に付着しやすいことが明らかとなった。これは糸断面の形状が扁平であることが関与していると考えられる。裏彩色の顔料については、試料 a、b よりも表側から視認が容易である傾向があり、これは糸の断面形状が薄く、かつフィブロイン繊維の密度が低いため、裏の彩



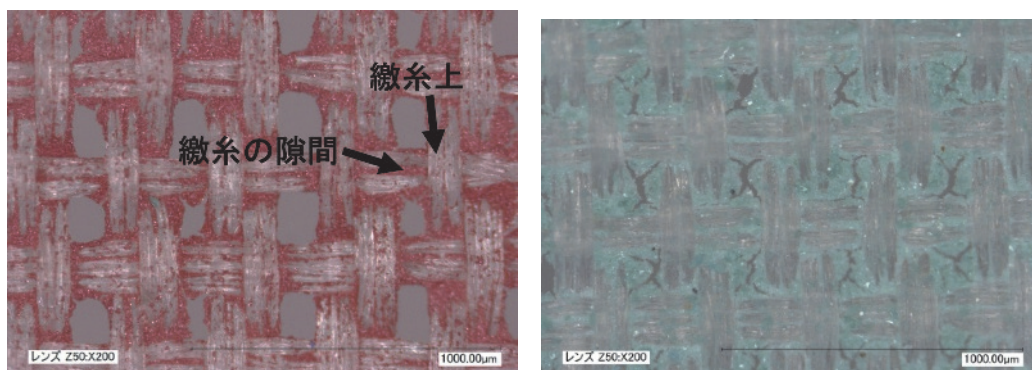


写真13 試料 a 市販画絹表面デジタルマイクロ스코プ画像 表彩色のみ



写真14 試料 a 市販画絹表面デジタルマイクロ스코プ画像 裏彩色のみ

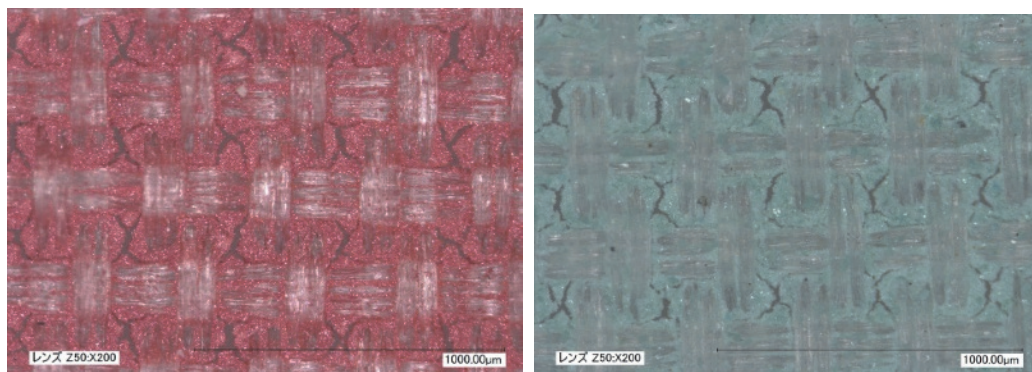


写真15 試料 a 市販画絹表面デジタルマイクロ스코プ画像 表裏ともに彩色

色が透過しやすく裏彩色の効果が発現しやすいからと考えられる。また、糸の空隙部分（隙間）への顔料の付着具合も試料 b より均一で絹目の織組成の形状（長方形）がそのまま残る傾向が見られた（写真21）。

以上により、絹糸の製糸技法により変化する絹糸の断面形状とフィブロイン繊維の密度が顔料の付着にも影響を与えていることが明らかとなった。



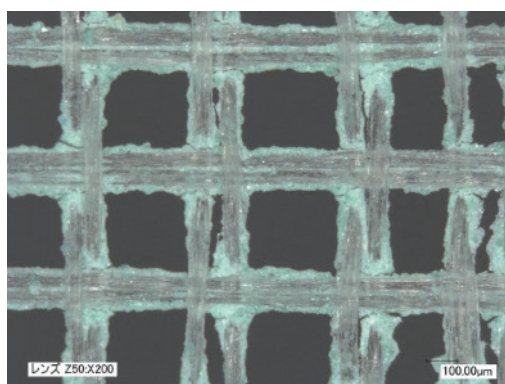
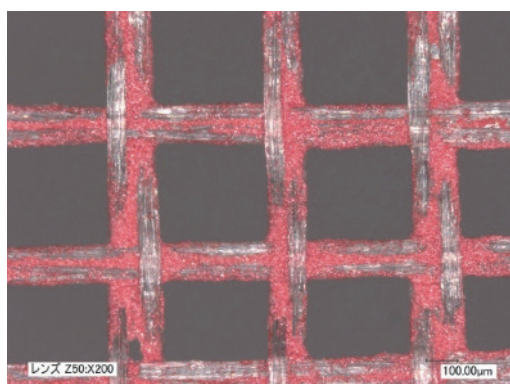


写真16 試料b 修復用絹表面デジタルミクロスコブ画像 表彩色のみ

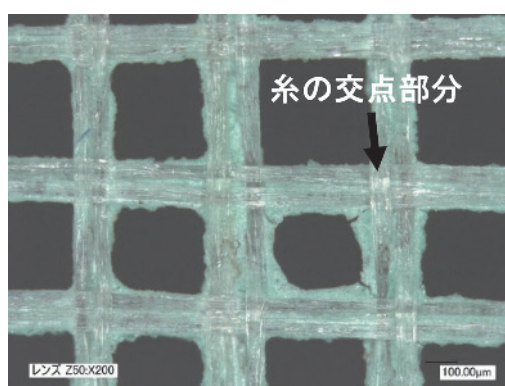
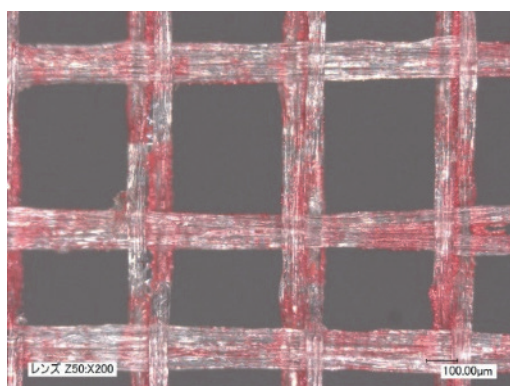


写真17 試料b 修復用絹表面デジタルミクロスコブ画像 裏彩色のみ

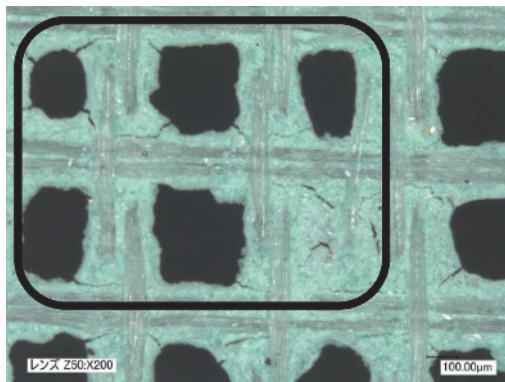
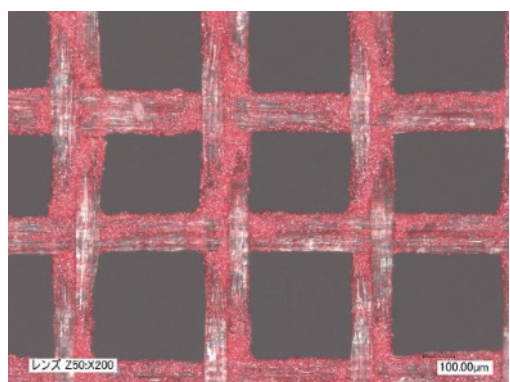


写真18 試料b 修復用絹表面デジタルミクロスコブ画像 表裏ともに彩色

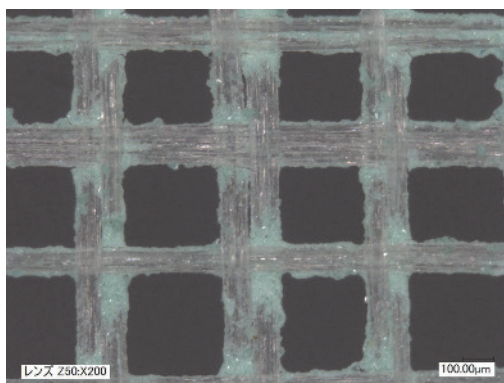
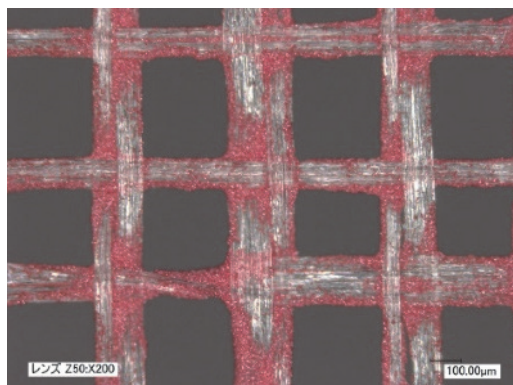


写真19 試料c 在来技法絹表面デジタルミクロスコープ画像 表彩色のみ

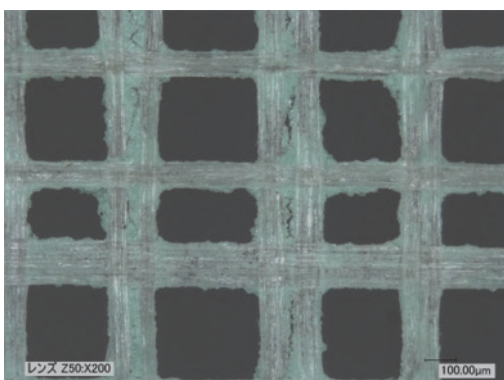
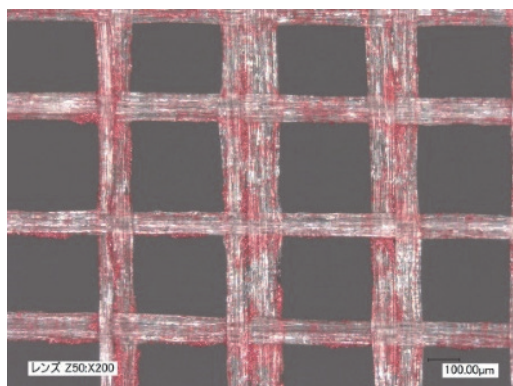


写真20 試料c 在来技法絹表面デジタルミクロスコープ画像 裏彩色のみ

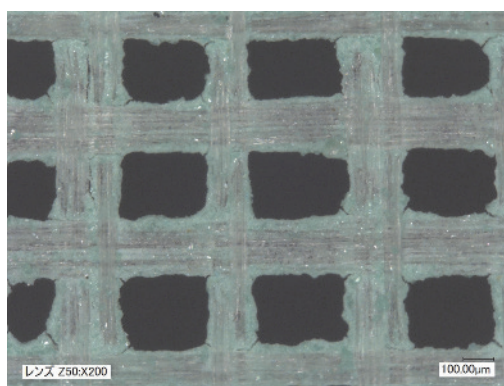
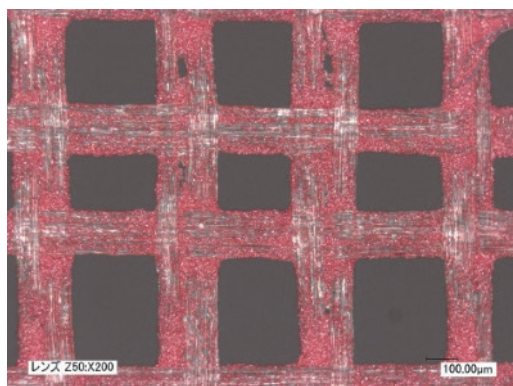


写真21 試料c 在来技法絹表面デジタルミクロスコープ画像 表裏ともに彩色

## 4. 異なる技法で作製された画絹の強制劣化後の差異

前章において、同じように彩色を施しても、繰糸（製糸）方法によって顔料の付着状態や裏彩色の見え方が異なることが明らかになった。指定文化財に指定されている絵画は明治以降の作品を除き全て織のない伝統的な繰糸方法で作られたものであるが、現在、絵画の作製に使用されている絹も修復に用いられている絹も自動繰糸機で繰糸されたものであり、これらの絹の経年劣化の状況はまだ十分には確認できない。そこで、この材料の劣化後の状態について強制劣化試験を用いて比較したので本章で報告する。

### 4-1. 試料及び実験方法

#### 4-1-1. 紫外線照射および湿熱処理試験

試料は、3章で用いた市販の試料aを現代の絹として、試料cの製作者によるものを在来技術の絹として使用した。

#### 4-1-2. 劣化方法

紫外線照射試験と湿熱処理試験及び電子線照射の3種の強制劣化を行なった。前者2方法は劣化状態を確認するために用いられる一般的な条件であり、電子線照射は現在、修復用の絹の作製に用いられている方法である。電子線照射試料については、経時変化ではなく処理前後の比較のみ行う。

##### 1) 紫外線照射

照射波長：254 nm（SUM-16：エンゼル工業製）、照射時間：3時間及び24時間 照射距離：4 cm

##### 2) 湿熱処理

温度：80 °C、湿度：65% rh、劣化期間：2週間、4週間、8週間

##### 3) 電子線照射

放射線発生装置：コックロフト・ウォルトン装置、照射：電子線及びX線、加速電圧1.99 MeV、電流4.20 mA、コンベアー速度2.39 m/min、8回照射

#### 4-1-3. 評価方法

##### 1) 色差測定

それぞれの試料につき $L^*a^*b^*$ 値を正反射光除く条件で3回測定し、その平均値を算出した上で、未劣化試料との色差 $\Delta E^*_{ab}$ を $(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ として算出した。測定時には、ろ紙を10枚重ね、試料をその上に置いて測定した。測定機器はコニカミノルタセンシング製CM-2600dである。

##### 2) 走査電子顕微鏡観察

観察条件は3-2と同様である。

#### 4-1-4. 結果および考察

紫外線照射と湿熱処理試験の色差変化を図1と図2に示す。電子線照射試験の結果は $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 含め照射前後の色差で図3に示す。どの劣化方法においても現在の画絹の方が変色の程度が大きい。特に湿熱処理試験においては、4週間までは大きな差異はないものの、そ



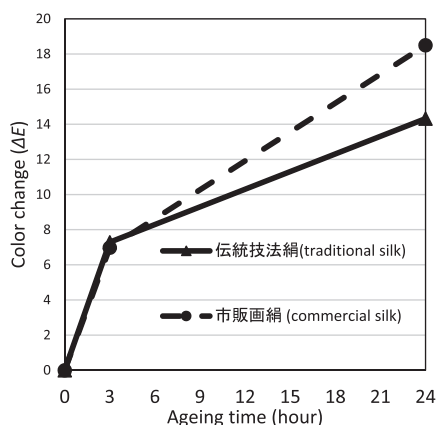


図1 紫外線照射による色差変化

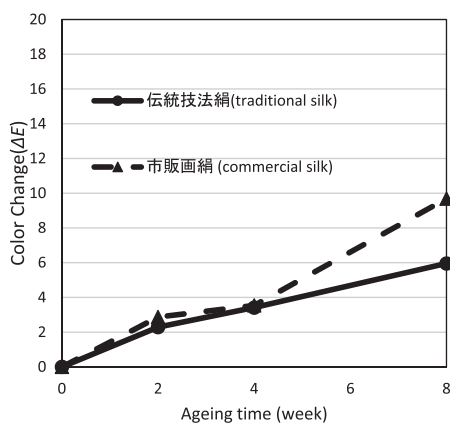


図2 湿熱処理による色差変化

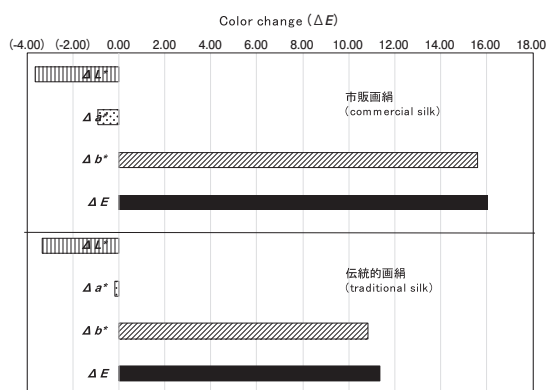
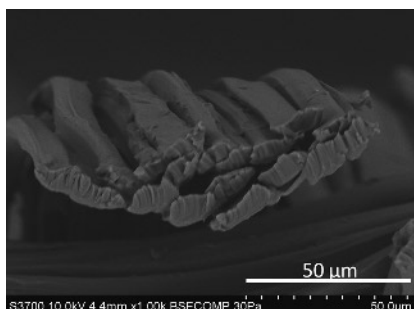
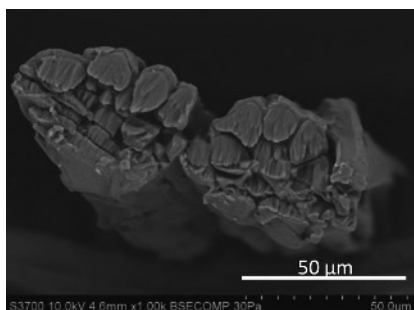
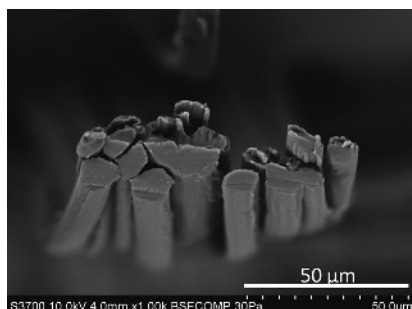
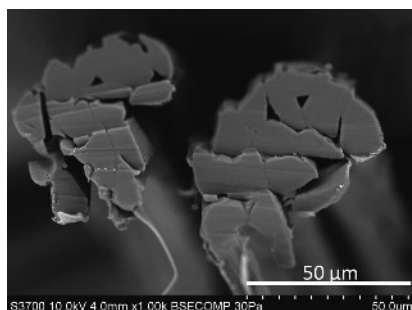


図3 電子線照射前後の色差変化（市販画絹と伝統技法画絹）

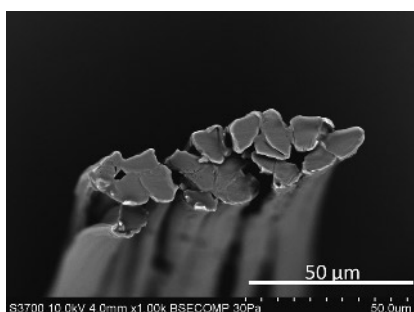
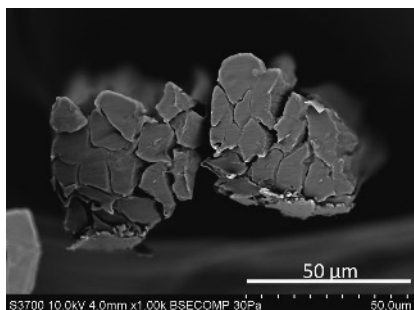
の後の4週間で大きく変色していることが確認された。川野邊らは紫外線照射絹の作製に関して検討を行なっているが、その中で紫外線照射を高湿度下で行なった場合の方が変色の程度が大きいことを見出している<sup>10)</sup>。変色に関しては湿度の影響が大きいことが今回のデータからも推察され、川野邊らの結果と矛盾しない。また、佐野らの先行研究では、短波長紫外線照射の場合、ペプチド結合部位の劣化が優先して生じる可能性について指摘しており<sup>11)</sup>、この場合は長波長紫外線による劣化より黄色く変化しやすいと述べている。しかし、佐野は長波長紫外線照射の方が化学的には実際の経年劣化と近いのではないかと推定しており<sup>12)</sup>、伝世品が黄変や茶変などの変色を生じることは既に知られていることを考えると<sup>3)</sup>、短波長紫外線は黄変は進行しやすいものの、実際の劣化とは異なる化学変化を生じている可能性がある。今回の試験では短波長紫外線照射より湿熱処理の方が緩やかに変色が進行しており、経年劣化に近い可能性も考えられるがこの点についてはあくまで推定の域を出ず、今後の詳細な検討が必要である。以上の結果を踏まえ、在来技術の絹よりも市販画絹の方が $\Delta E^*ab$ の値が高い、特に湿熱処理でその差異が大きいことは、現在まで伝世されてきている絹よりも、現代の絹の方が保存中に変色が早まる可能性が示唆されたと考えられる。現在、絵画修復に絹を用いる場合は現代の絹を強制劣化させオリジナル部分と違和感のない強度と色味に調整して用いているが、この結果を踏まえると保管中にオリジナル部分よりも変化が大きくなることが考えられ、修理



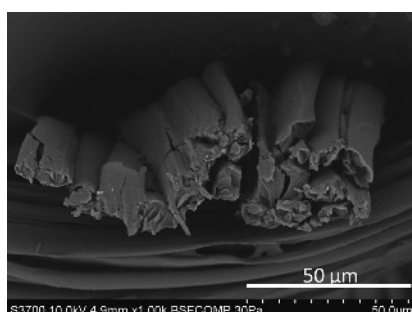
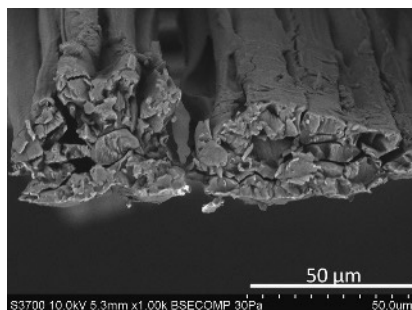
**写真22** 未劣化（対照試料）  
上：市販画絹  
下：在来技法画絹



**写真23** 紫外線照射試料  
上：市販画絹  
下：在来技法画絹



**写真24** 湿熱処理試料  
上：市販画絹  
下：在来技法画絹



**写真25** 電子線照射試料  
上：市販画絹  
下：在来技法画絹

の際にオリジナル部分と調整したはずの強度や色味が合わなくなる可能性を考慮する必要がある。

走査電子顕微鏡で得られた断面画像を写真22～25に示す。紫外線24時間照射の試料よりも湿熱処理8週間の試料の方が断面の滑らかさが失われる様子があり、劣化が進行していると推定される。色差の変化は前者の方が大きいと考え合わせると、色の変化と糸の健全性とは必ずしも完全な正相関ではないことが示唆された。また、電子線照射を行なった試料では未劣化に比較して明瞭に断面の状況が異なり、著しい劣化を生じているが、これは照射8回という回数による影響も大きいと推察され、修復に最適な絹の状態は各劣化方法ごとに劣化時間や劣化回数を調整する必要があると考えられる。

また、各劣化試験において、市販画絹と在来技術の画絹を比較すると、特に劣化の進行した湿熱処理や電子線照射においては、市販画絹の方が断面が荒れる傾向があり、劣化試験などの外的影響により糸の強度が落ちやすいと推定された。

在来技術で作製された絹の方が伝世品に近い工法で作られ、本研究の成果により劣化の状況も市販絹よりも近いと考えられることから、絵画修復用の補絹などに用いる材料としては、より適している可能性が考えられる。

## 4-2. 電子線照射を用いた修復用絹としての検討

以上の結果を検討すると、在来技術で作製された絹が絵画修復用の絹として良好な可能性があることから、実際の絵画修復用絹として用いられている試料bとそれと同じ織組成の試料cを用いて、実際に使用されている強制劣化方法である電子線照射を行い、その変化を色差と強度測定を用いて比較した。

### 4-2-1. 電子線照射条件

4-1-2と同様に行なった。

### 4-2-2. 評価方法

色差測定と引張強さの測定により評価を行なった。色差測定方法は4-1と同様の方法で行なった。引張強さは下記の方法で測定した。

2 mm × 20 mm となるよう試料を用意し、厚紙支持体に接着剤で設置し測定試料とした。測定機器は株式会社島津製作所製 Autograph AGS-G、測定は23 ℃、65% rh の条件下で行なった。引張速度は未劣化試料は5 mm/min、電子線照射試料は1 mm/min であった。1条件につき試料30組を測定し、最大値と最小値を除いた平均値をその試料の引張強さとした。

### 4-2-3. 結果

#### (1) 色差測定結果

図4に得られた色差結果を示す。4-1と同様に現代の絹の変色が大きく（試料b）、在来技術の絹（試料c）の変色の程度が低かった。また、どちらの試料でも $\Delta b^*$ が最も大きく変化しており、劣化した場合に黄変～茶変することが改めて確認された。電子線を使用した絹の劣化では、長波長紫外線を利用した場合に比べ黄色味が強いことは佐野らの先行研究でも確認されており<sup>11)</sup>この点について電子線照射を利用した場合は布表面のアミノ酸が部分的に分解される紫外線照射の場合と異なり、分子全体の分解がランダムに生じているからと推定している。その場合でも在来技術で作製された試料cの方が変色の程度が低い理由として、絹糸そのもの



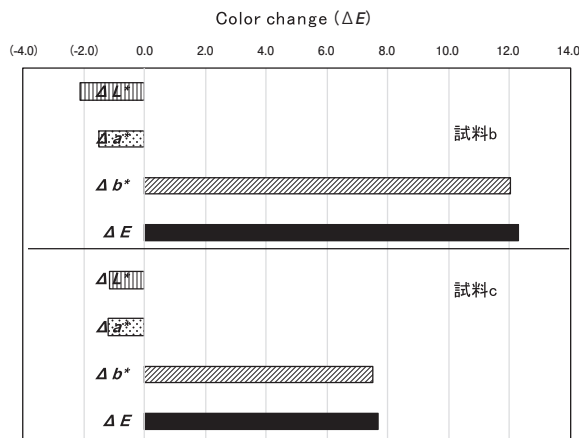


図4 電子線照射前後の色差変化（試料bと試料c）

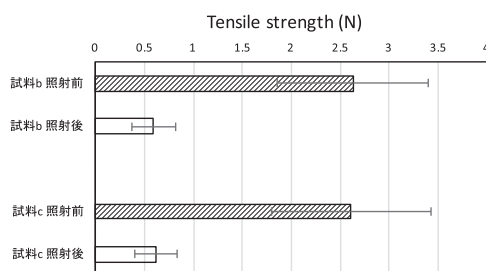


図5 電子線照射前後の引張強度

が変色しにくい、つまりタンパク質が分解されにくい可能性と、絹糸が扁平な断面で薄いために変色が目立ちにくいという2つの要因が考えられる。

## (2) 引張強さ試験

得られた結果を図5に示す。変色の程度としては試料cの方が少ないことが明らかになったが、引張強さの値としては、試料bと試料cに大きな差異は確認できなかった。若干、現代の絹である試料bの方が劣化後に強度が低下しているが、測定強度そのものが低いことから誤差の範疇を出ない。しかし、試料cは繭糸織度の細い糸を使っており、3-2のSEM観察の結果からも試料bより試料cの方が断面積が小さいことが明らかになっている。にもかかわらず、ほぼ同様の強度を示していることは、在来技術で作製された絹糸の方が強度が高い可能性があり、絹糸そのものに関して、より詳しい検討が必要と考えられるため、絹糸に関して次章の実験を行なった。

## 5. 殺蛹方法の異なる絹の強制劣化後の差異

前章までの結果から、現代の絹と在来技術で作られた絹では、劣化後の色差が異なり、現代の絹の方が変色しやすい傾向があり、引張強さ測定でも在来技術で作られた絹は繭糸織度の小さいものにもかかわらず強度はほぼ同等であることが明らかになった。現代の絹と在来技術の絹では繰糸方法のみではなく、繭の段階での殺蛹方法も異なる。前者は110-120℃程度の気相に接触させ60℃前後まで6時間程度で降温させることで繭内の湿度を調整しながら殺蛹する

### 5-1. 試料

## 「あけぼの」平成26年春蘭（飯田産）

3) 生繭：対照試料として殺蛹せず保存した繭を使用した。

全て在来技法で行なった。

2) 紫外線照射 波長: 362 nm (GL40SH: 極光電気株式会社製)。劣化期間: 3時間、24時間。照射距離: 3 cm

2本の絹糸を1組として1試料とした。全長20 mm となるよう用意し、幅5 mm の厚紙支持体に接着剤で設置し試料とした。測定は4-2-2と同条件で行なった。

どちらの劣化促進試験においても、塩蔵繭が最も強度が高く、劣化時間が経過してもその傾

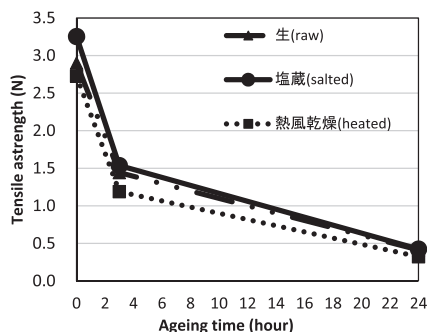


図6 各殺蛹方法で作製された糸の紫外線照射による強度変化

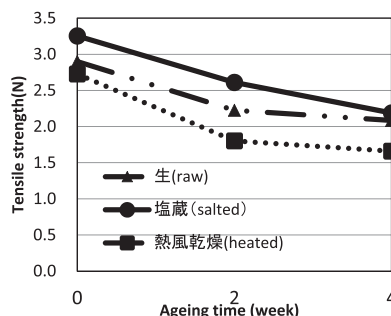


図7 各殺蛹方法で作製された糸の湿熱処理による強度変化

向は変わらなかった。また、塩蔵繭は生繭に比して高い強度を示した。塩蔵繭は南宋時代の「蚕織図」（黒竜江省博物館所蔵）にもすでに描かれており、また、1149年の陳旉の「農書」にも技法として記載されている<sup>13)</sup>ことから、少なくとも12世紀には使用されていたことが明らかな伝統的な殺蛹方法の一種であるが、全ての文化財作品の絹が塩蔵繭とは限らず、他にも蒸殺や天日干しなどの複数の伝統的な殺蛹方法が伝えられている<sup>13)</sup>。また、繭の種類によっては塩蔵よりも蒸殺の方が引張強さの値が高い場合もあることも確認されている<sup>14)</sup>。絹の状態には蚕品種、繭の保存法（殺蛹方法）、糸繰り道具（繰糸方法）の3要素が関与し<sup>9)</sup>、さらに繭の粒数など様々な因子があり、それらの複合的な影響により経年した絹の物性は変化すると考えられるが、今回の繭に関しては熱風乾燥よりも塩蔵の方が高い強度を示したことは、殺蛹の段階での加熱が絹タンパク質の変性に関与していると考えられ、今後の作品の保存、修復用絹の調製の際に考慮すべき情報と考える。

また、塩蔵繭についても考察しておく。封入後の温湿度と二酸化炭素濃度を測定したが、温度は封入後9時間で最高温度に達し、二酸化炭素濃度は測定開始後1時間以内に測定範囲を超え、測定不能になった。封入直後に内部が昇温した理由として、繭内の生命活動により放熱することが原因と考えられ、これが封入後9時間を経過した時点で降下し始めたことはこの時点で生命活動が停止したと推定される。また、湿度は上部と底部で76-78% rhを推移したが、この値は塩化ナトリウムの飽和蒸気圧とほぼ一致することから、塩蔵繭において食塩は殺蛹目的ではなく湿度の維持効果のために添加されと考えられ（殺蛹後の繭は適度な湿度で保存する必要がある）、殺蛹は二酸化炭素濃度の上昇により生じていると推定される。バケツ中央部で湿度が低いのはこの部分の平均温度が高いことと相関し、初期に内部で発生した熱が放散しにくく部分的にやや乾燥していると考えられる。小石丸のような在来種系統の蚕品種の場合、熱風乾燥では繰糸の際の解じょ率が44.4%に過ぎず、塩蔵の場合は95%前後である（生繭の場合は69.2%）との先行研究もあり<sup>13)</sup>、在来種系統では塩蔵が効率よい繰糸に適切だったのではないかと考えられる。

## 6. まとめ

本報告では、在来技術で作製された絹と現在の一般的な方法で作製された絹について着目し、その断面形状の把握、強制劣化試験を用いた劣化予測、また繰糸方法・殺蛹方法の画絹への影響を確認した。実際の絹資料として大和文華館所蔵作品のうち制作年代の明らかな作品の画絹調査を行い、断面形状の把握を行なった。



その上で在来技術で作製された絹と現在の絹について、断面のSEM観察、顔料の付着状態の観察を行い、在来技術で作られた場合、断面は扁平になっており、顔料が均一に付着していること、裏彩色の透過性が良好であることを確認した。

さらにこれらの絹を強制劣化し、在来技術の絹は変色が少ないことを見出したため、その要因の一つとして繰糸前の殺蛹方法に影響があると推定し、生繭・塩蔵・熱風乾燥の3種類の殺蛹方法を経た絹糸について強制劣化試験を行なった。その結果、塩蔵繭が最も強度低下が低いことが明らかになった。

以上から、在来技術で作製された絹と現在の絹は、彩色の発現性や劣化状態が異なることが見出され、それは繰糸方法と殺蛹方法の差異が影響を与えていることが明らかになった。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、日本画の試料作製を行なってくださった柏谷明美氏、塩蔵繭の保管環境の測定をしてくださった川野邊渉特別研究員、画絹に関する研究成果と試料提供を行なってくださった(株)修美 山田祐子氏、絹の調査や情報について御教示くださった安永拓世研究員に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 植松瑞希：デジタルマイクロスコープによる大和文華館所蔵宋代絵画絹の観察、大和文華125、29-44 (2013)
- 2) 杉本欣久、竹浪遠：[調査報告] 黒川古文化研究所所蔵の日本・中国絵画の画絹について、古文化研究8、86-115 (2008)
- 3) 布目順郎：I 絹-C 時代による絹の変遷、『絹と布の考古学』、88-106 (1988)
- 4) 布目順郎：I-2 絹繊維と平絹—とくにその織り密度の変遷、『絹の東伝 —衣料の源流と変遷—』38-69 (1988)
- 5) 森田早織、志村明、秋本賀子：絹本著色古典絵画の模写制作における基底材に関する研究 —在来製糸製織絵絹をもとにした描画実験をとおして—、文化財保存修復学会第35回大会研究発表要旨集 (東北大学)、322-324 (2013)
- 6) 山田祐子、志村明、秋本賀子、加藤雅人、吉田直人：画絹の生糸性状が発色に与える影響、文化財保存修復学会第38回大会研究発表要旨集 (東海大学)、56-57 (2016)
- 7) 森田早織、志村明、秋本賀子：近世～近代を中心とした絹本作品における絵絹の織構成に関する研究—山形美術館所蔵「長谷川コレクション」の調査をとおして—、文化財保存修復学会第38回大会研究発表要旨集、236-237 (2016)
- 8) 森田早織、志村明、秋本賀子：山形美術館所蔵絹本作品調査における絵絹織構成のまとめ、文化財保存修復学会第40回大会研究発表要旨集、248-249 (2018)
- 9) 志村明：日本の製糸技術 —在来技術から近代技術への変遷—、『絹文化財の世界 —伝統文化・技術と保存科学—』、34-42 (2005)
- 10) 川野邊渉、佐野千絵、米山めぐ美、三浦定俊、田畔徳一、岡岩太郎：紫外線劣化絹の修復材料への応用の可能性、保存科学35、40-48 (1996)
- 11) 佐野千絵、米山めぐ美、川野邊渉、増田勝彦、三浦定俊、馬淵久夫：電子線劣化など各種劣化促進処理された補修用絹の劣化機構に関する考察、保存科学40、1-12 (2001)
- 12) 佐野千絵、増田勝彦：絹繊維の放射線劣化による美術工芸品の補修材料の開発、繊維学会誌 (織

維と工業) 57(4)、110-116 (2001)

13) 関根理恵：繭保存方法に関わる古典技法とその糸品質について、日本シルク学会誌15、23-30 (2006)

14) 中島洋一、花乃内智彦：生繭・蒸殺繭・塩蔵繭による比較研究、日本シルク学会誌14 日本シルク学会研究発表要旨録、98-99 (2005)

キーワード：画絹 (painting silk)；在来繰糸 (hand reeling)；断面形状 (cross-sectional shape)；殺蛹方法 (killing pupa method)；劣化 (degradation)

## Influence of Cross-sectional Shape and Pupa Killing Methods on Painting Silk

Noriko HAYAKAWA, Michiko OKABE, Midori HAMADA\*,  
Midori YAMABUKI, Riyo KIKUCHI, Shoichi FURUKAWA\*\*,  
Shigeko AKIMOTO\*\*\* and Akira SHIMURA\*\*\*

The present study aims to clarify the differences of traditional painting silk and commercial painting silk from the cross-sectional point of view. Traditional silk which was made by hand-reeling method had thinner cross-section than commercial silk which was made by auto-reeling machine on the results of scanning electron microscope observation. It also showed loose fibroin bunch as compared with commercial silk which showed thick fibroin bundle. It is suggested that this difference influences the degree of transparency on the painting silk based on digital microscope observation, especially in the case of reverse paintings.

On the accelerating test with UV, moist heating method and electron irradiation methods, traditional silk showed lower color changes than commercial silk, and the result was presumed to occur by influence of the pupa killing method. Drying cocoon as commercial method, salted cocoon as traditional method and raw cocoon were tested by UV and moist heating accelerating ageing. Salted cocoon showed lowest change of tensile strength as a result.

The present study also reports about the measuring data of the width and height of silk thread which was used in 4 paintings in the collection of Yamato Bunkakan. Silk thread prepared in Song dynasty showed wide cross-section, and Japanese silk thread showed thin cross-section than contemporary commercial silk.

---

\*Saitama Prefectural Museum of History and Folklore

\*\*The Museum Yamato Bunkakan

\*\*\*KATSUYAMA CO., LTD