

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 9 月 9 日現在

機関番号：82620

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H01365

研究課題名(和文) 絵画に使用された絹・自然布の非破壊分析方法の開発と製法・修復に関する総合的調査

研究課題名(英文) Development of Non-Destructive Analytical Methods for Silk and Natural Cellulose Fabric Used in Paintings, and Research on Their Production Techniques and Restoration

研究代表者

早川 典子 (HAYAKAWA, Noriko)

独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・保存科学研究センター・室長

研究者番号：20311160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、絵画の基底材を科学的に調査し、その情報を美術史的に、あるいは保存修復上で活用することを目的とする。

1) 絹繊維に関する調査研究：絹の繊維断面形状の測定を非破壊で行い系統的にデータベース化することで、時代的変遷や産地の同定を可能とし、さらに修復材料の基礎資料することを目的とした。

2) 自然布の非破壊同定方法の開発：自然布については、目視と顕微鏡による形状観察のみで植物種が判断されてきた。近年は赤外分光分析による非破壊分析が可能になったが、セルロースとは判定されるがその植物種の識別は不可能とされてきた。本研究では、多変量解析の手法を用いることで植物繊維の非破壊同定を可能とすることを旨とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では日本及び東洋の絵画で使用されてきた基底材に着目し、特に絹および自然布と言われる植物の靱皮繊維を使用した繊維を調査した。基底材は作品の作られた時代や背景などにも資する情報を有している。産地や製作年代により、絹の断面形状や繊維組織が異なることから、製作年代の明確な作品でデジタルマイクロスコプを用いて調査を行い、データベースを作製した。その際に、その精度についても確認した。また、自然布に関しては赤外分光分析のスペクトルと多変量解析した判別フローを作成することで、非破壊での植物種同定が可能であることが明らかとなり、実際の作品の同定も行なった。併せて微量試料による同定方法も適用評価した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted scientific investigation on the substrate of paintings, and to utilize the obtained results for art history and conservation cite. (1) Research on silk fibers: We aimed to contribute to the identification of the chronological transition and production area of silk fibers, compiling a database of the cross-sectional shape of silk fibers using digital microscope. (2) Development of a non-destructive identification method for bast fibers used in artifacts: Most of plant species of bast fibers have been determined only by visual and microscopic observation. Recently, non-destructive analysis by infrared spectroscopy has become possible, but it has been difficult to identify the plant species, although it has been determined that the material is cellulose. We aimed to enable non-destructive identification of plant fibers by using multivariate analysis.

研究分野：文化財保存修復、高分子化学

キーワード：絹 セルロース 非破壊分析 繊維形状 絵画 自然布 多変量解析 赤外分光分析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究では日本（及び東洋）の絵画で使用されてきた基底材に着目した。その中でも絹および自然布と言われる植物の靱皮繊維を使用した繊維を対象とした。基底材は作品の作られた時代や背景などにも資する情報を有していると考えられるが、従来、基底材に関する詳細な調査は行われてこなかった。本研究以前に絹の断面形状が絵画の発色や光沢に大きな影響を与えることが明らかにされつつあり、また、産地や時代によりその形状が異なることも示唆されていたため、本研究ではこの点について複数の作品を非破壊手法で横断的に調査することで、修復材料の作製のみならず歴史学的にも有用な情報提供を目指した。また、自然布に関しては絵画基底材としてほとんど認識されてこなかったが、実際には用いられている可能性が本研究の研究分担者により指摘されていた。そのため、同定方法に最新の非破壊分析手法を応用・開発することで、使用された基底材の種類を明らかにし作品の保存修復に資する情報提供を目的とした。

一方、絵画の基底材に関しては別の課題があった。日本において古来使用されてきた繊維としては、麻・絹や木綿などが挙げられるが、それ以外にも自然布と呼ばれる芭蕉、科（シナ）、葛（クズ）、藤（フジ）なども生活に密着した形で使用されてきた。しかし、これら自然布については十分な科学的な調査が行われているとは言えず、絵画の基底材としての情報はあまりない。最近では絹とされてきた基底材が植物の靱皮繊維であった可能性が高い事例も報告されている（安永、2017）。また、近年可搬型の赤外分光分析器を使用することで、非破壊で有機質材料の同定が可能になってきた（濱田・早川、2018）。前述の安永の研究でもこの手法を用いることで、絹と言われていた基底材がセルロース系物質であることを申請者は明らかにしていた。しかし、植物由来のセルロースを主成分とする材料の場合、セルロースであることは明らかにできるものの、その植物種については赤外分光分析では同定が不可能とされてきた。東京農工大学の高柳氏らは、近年、スペクトルの詳細な解析を行うことによるセルロースの種別同定の可能性を示した（高柳、2017）。そこで、本研究では高柳氏らと共同で自然布の非破壊同定とそのデータベース構築も目的とした。

2. 研究の目的

絹については、絵画に使用される絹繊維の断面形状や粒（繭）の凝集の程度、加えて織密度の調査を計画した。絹繊維の断面形状については、布目らにより産地・時代などにより形状の傾向が異なると指摘されていたため、本研究では、絹繊維形状の非破壊調査を作品横断的に行い、データを蓄積することで、修復に使用する絹の作製及び歴史学的研究にも資する資料の蓄積を目的の一つとした。

また、自然布については、多変量解析を用いて赤外分光分析の結果を解析し、非破壊での種別同定手法の開発と、データベース構築を目的とした。

これら、絹本と植物由来繊維の双方の基底材調査を通じ、絵画の保存修復のみならず、歴史的観点においても有用な情報のデータベースの構築と修理材料作製に資する情報提供を行うことを目指した。非破壊の自然布分析を可能にできれば、目視でのみ判定されていた絵画の基底材について、初めて科学的な識別が可能となると考えられたためである。

3. 研究の方法

3.1 絹に関する調査研究

絹に関しては、繊維の立体形状に関する調査を遂行した。

研究開始の時点で、ケンネル式と座繰りの糸形状の差異が存在することを明らかにしていたため、その知見を元に、絵画基底材の絹に対しデジタルマイクロスコープを用いて、絹繊維の立体形状の調査を行った。具体的には、平織の絹本文化財の繊維を35倍、50倍、200倍、500倍(または350倍)で観察し、その繊維形状を三次元計測データとして記録する。得られた繊維の幅と厚みを5箇所以上測定し、それらを統計処理してその繊維の形状とした。この調査を製作年代の明確な作品において行った。得られたデータを経年的に整理し、絹繊維形状の変遷を把握できるようにデータベース化し、その一部を公開した。また、得られた数値と実際の繊維との数値の誤差についても科学的に検証した。

さらに、補修用の絹の作製方法の改善を目指し、電子線劣化のみでなく、紫外線劣化を用いた補修絹の作製方法についても検討し、実際の文化財修理現場への適用を行なった。

3.2 自然布に関する調査研究

非破壊でのセルロースの植物種同定を目指した。加えて自然布を基底材として用いた絵画等美術工芸品の現地調査を行い、その所在を明確化することを目的とした。

日本で用いられてきた自然布は多様な種類があり、また同一植物種でも産地、種、作製方法など複数の変動条件がある。そのため、それら条件の異なる、しかし植物種の明確なデータベースを作成し、そこから多変量解析を用いて判別フローの作成を行なった。具体的には赤外分光分析を行い、そのデータに判別分析の手法を適用した。

また、上記データベースを作成する際、植物種を明確化した資料を得るため、微量の繊維を用いて植物種を同定する手法を模索した。

4. 研究成果

4.1 絹に関する調査研究

1) 絹繊維形状・織組織に関するデータベースの作成

製作年代の明らかな作品について Hirox デジタルマイクロスコープ RH2000 を用いて、35倍、50倍、200倍、500倍(または350倍)で複数箇所を撮影し、絹繊維の三次元形状の記録を行った。調査点数は120点以上になり、経年的に俯瞰して絹糸の形状や織組織を把握することが可能になった。これらの調査結果のうち、東京国立博物館との共同研究「美術工芸品に用いられた画絹及び染織品の組成にかかる共同研究」の成果については、その一部を「東博所蔵品画絹データベース」として公開した。

<https://webarchives.tnm.jp/dbs/gaken>

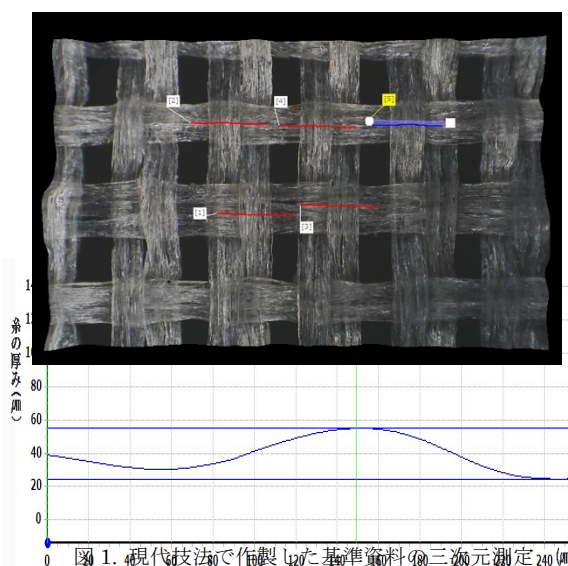


図1. 現代技法で作製した基準資料の三次元測定

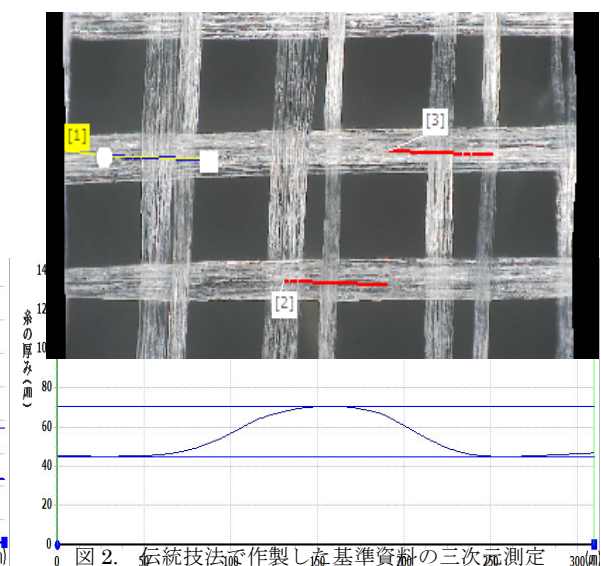


図2. 伝統技法で作製した基準資料の三次元測定

2) 三次元計測データと実測データとの誤差の検証

三次元計測データは、光の反射を利用して測定しているため、繊維の後ろの裏打ちの色や、その形状などによって、実際の値と乖離が生じる。糸断面を実際に観察することが可能な現代の絹糸を用いて、その誤差の検証を行なった。破壊可能な基準試料を用い、この試料の断面実測値と三次元計測値の差が生じることを確認した。この差分は糸の形状や繊維の背景の色などにより傾向が異なることが明らかになった。これにより、破壊調査が許されない状況においても三次元計測のみの測定から、より実際の値に近い数値を導き出すことができるようになった。

さらに、この検証手法を利用すれば、別機種のデジタルマイクロスコップで計測した三次元計測値においても同一の繊維試料の断面観察を行うことで両者のデータの補正を行い、両立して扱うことが可能になると考えられる。

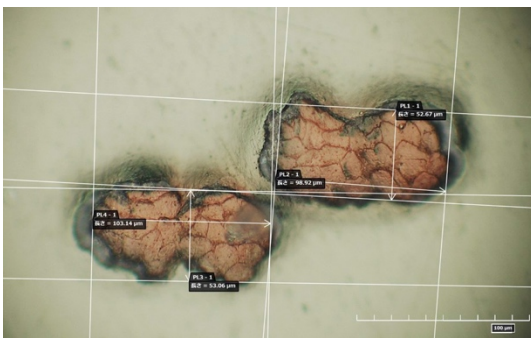


図 3. 現代技法で作製した基準試料の断面実測

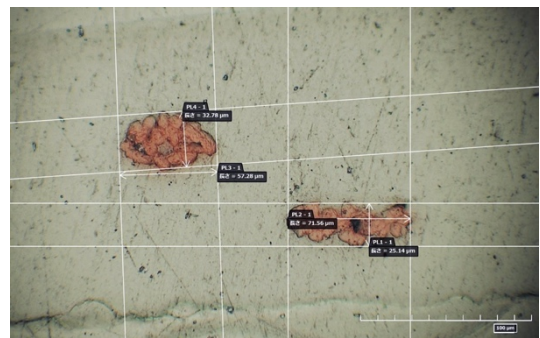


図 4. 伝統技法で作製した基準試料の断面実測

3) 紫外線劣化絹の作製方法についての検討

絵画修復に用いる絹についての試行を行なった。近年、絹の欠失部分には電子線で劣化させた絹を補填しているが、現在は電子線照射装置の今後の使用が懸念されている状況であり、また、手で作品に合わせた微調整を行いたいとの希望が修理現場で生じており、紫外線照射による劣化絹の試作を行なった。紫外線照射による補修絹の作製は、30年前から行われてきており電子線劣化絹よりも風合いが自然の劣化に近いと評価されていた。ただし、作製に数週間かかる等の課題があり、実際の修復技術者に提供しつつ試験的な使用から開始した。その結果、照射時の湿度条件などを変えることで、より自然な風合いの劣化絹が作成できた。この成果をもとに、本紙のみならず表装裂などの調整も紫外線照射行うなど、現場での適用を行なった。

また、この絹を修理に使用した場合に、その後の変化を確認するために、紫外線劣化絹と電子線劣化絹の加速劣化を行い、今後の変化を、引張試験、色差測定、pH測定、SEM観察などで評価した。その結果、紫外線劣化絹は出来上がりの状態は、電子線劣化絹より劣化程度が低いものの、加速劣化により徐々に劣化は進行していくこと、それでも電子線劣化絹ほどは劣化しない傾向があ

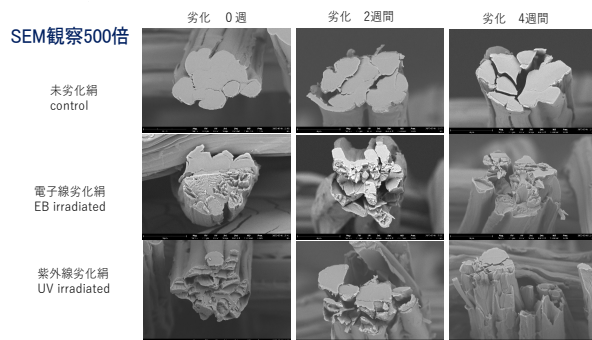


図 5. 強制劣化試験による各種劣化絹の繊維断面の変化

ること、などが確認された。

4.2 自然布に関する調査研究

1) 赤外分光スペクトルを利用した判別フローの作成

赤外分光分析で得られたスペクトルに多変量解析を行うことにより判別フローを作成し、非破壊での植物繊維種の同定を試みた。多変量解析は複数の変数で示されたデータに関して、変数間の相互関連を分析する手法であり、この手法を赤外分光分析で得られた測定データに応用することで、複数の試料間の相関性を把握する方法については、現在広い分野で多くの研究がなされている。得られたスペクトルデータ（各波数での吸光度のデータ）を数値情報の集合として、

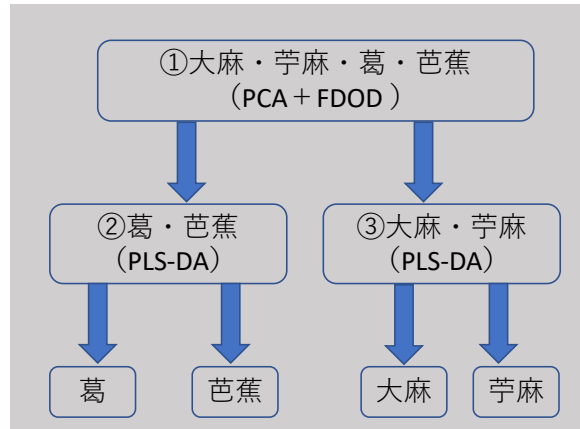


図 6. 植物種の判別フロー

これに一定の数学的処理を与えることで情報の整理を行う手法である。本研究ではこの手法をセルロースの赤外分光分析で得られたスペクトルに適用することで、植物種判別の可能性を検討した。

この手法で植物種の同定を行うためには、事前に由来の明確な植物試料を用いてモデル作成を行う必要がある。本研究では靱皮繊維に焦点を当て、中でも国内で使用可能性の高い大麻、苧麻、葛、芭蕉の基礎資料を収集し赤外分光分析を行い、これらのデータを元に判別モデルを作成した。このフローの精度の検証も行い、事前に植物種を目視等で識別し、PLS-DAの判別の二択にすることが可能な場合は、高い精度で判別が可能となることを確認した。

また、このフローを用いて、実際の伝世資料についての適用も行なった。葛と伝世してきた資料について、非破壊の赤外分光分析を行なった結果、芭蕉と判別された。この資料について、その後、脱落片を用いて、繊維の断面観察を行なったところ、芭蕉であることが確定し、今回作成した判別フローが有効であることが確認された。

また、この多変量解析を行うにあたり、機材特有の解析の結果が機材によらず、有効であるかどうかの検証も行なった。他の機材を用いても、同様にデータベースを作成することで有効なフローが得られることも確認された。

2) 微量資料を用いた同定方法の確定

上記の判別フローを作成するにあたり、植物種の明確な繊維で、各植物の基礎データを多数得ることが必要であった。しかし、現代において、すでに作製が極めて少なくなっている自然布も多く、新たに製作された資料を多数入手することは難しかった。そのため、伝世されてきた布を微量採取し、繊維分析を行い、同定した上で、赤外分光分析のスペクトルを得ることとした。そのために、安定的な繊維分析方法を確定した。具体的には繊維断面の顕微鏡観察による判別と、C 染色液を用いた判別を組み合わせた手法であり、この手法により、数十以上の資料数を得ることが可能になった。併せて、この手法を公開することで、文化財の実資料において、微量の脱落片がある場合、植物種同定が可能であることを公表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 山田 祐子・安永 拓世・菊池 理予・早川 典子	4. 巻 62
2. 論文標題 〔報告〕 デジタルマイクロスコープによる3次元計測値の補正方法について 繊維計測の精度向上のための事前検証	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 保存科学	6. 最初と最後の頁 119-128
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 菊池 理予・趙 依寧・西田 典由・安永 拓世・早川 典子	4. 巻 63
2. 論文標題 植物繊維の同定 大麻・苧麻の識別	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 保存科学	6. 最初と最後の頁 119-129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Chihiro Yagi, Norio Yoshimura, Masao Takayanagi, Riyo Kikuchi, Takuyo Yasunaga, Noriko Hayakawa	4. 巻 123
2. 論文標題 Discrimination of traditional plant fibers used in Japanese cultural artifacts by infrared spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Vibrational Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.vibspec.2022.103466	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 早川典子、八木千尋、山府木碧、安永拓世、菊池理予、高柳正夫
2. 発表標題 植物由来染織文化財の種同定における非破壊赤外分光分析利用の可能性 - 葛・芭蕉を中心に -
3. 学会等名 文化財保存修復学会第43回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川典子、安永拓世、菊池理予、仙海義之
2. 発表標題 呉春「白梅図」に使用された絵画基底材料と自然布系基底材に関する研究
3. 学会等名 文化財保存修復学会第42回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡部迪子、早川典子
2. 発表標題 作製条件の異なる補修絹の劣化特性評価
3. 学会等名 文化財保存修復学会第42回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 八木千尋、吉村季織、高柳正夫、菊池理予、安永拓世、早川典子
2. 発表標題 赤外分光法による植物性染織品に使用された地入れ材料の非破壊判別
3. 学会等名 第36回近赤外フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 八木千尋、吉村季織、高柳正夫、岡部迪子、菊池理予、安永拓世、早川典子
2. 発表標題 赤外分光法による葛繊維と芭蕉繊維の判別：文化財への応用
3. 学会等名 第35回近赤外フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤真衣、吉村季織、高柳正夫、菊池理予、安永拓世、早川典子
2. 発表標題 赤外分光法を用いた植物繊維判別 伝統的ヘンプと現代ヘンプの判別
3. 学会等名 第38回近赤外フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齋藤真衣、吉村季織、高柳正夫、菊池理予、安永拓世、早川典子
2. 発表標題 赤外分光法を用いた伝統的 4 種の植物繊維判別
3. 学会等名 第39回近赤外フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菊池 理予、趙 依寧、西田 典由、安永 拓世、早川 典子
2. 発表標題 植物繊維の同定 苧麻・大麻の識別
3. 学会等名 文化財保存修復学会第46回大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高柳 正夫 (TAKAYANAGI Masao) (50192448)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (12605)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	安永 拓世 (YASUNAGA Takuyo) (10753642)	独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・文化財情報資料部・室長 (82620)	
研究分担者	菊池 理予 (KIKUCHI Riyo) (40439162)	独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・無形文化遺産部・主任研究員 (82620)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	山田 祐子 (YAMADA Yuko)	独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・保存科学研究センター・研究補佐員 (82620)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関