

# データサイエンスによる紙の道の解明 —量的・質的調査と AI 多面的解析に基づいて—

Elucidation of the Paper Road by data science.  
-Based on Quantitative, Qualitative research and AI Multidimensional analysis-

---

柴崎 幸次・神谷 直希・本田 光子・大柳 陽一・阪野 智啓  
鈴木 美賀子・岩田 明子・周 業欣・健山 智子  
SHIBAZAKI Koji, KAMIYA Naoki, HONDA Mitsuko, OHYANAGI Yoichi, BANNO Tomohiro,  
SUZUKI Mikako, IWATA Akiko, ZHOU Yexin, TATEYAMA Tomoko

There are diverse paper cultures throughout the world. Paper has been an important medium in the development of civilization since prehistoric times. It continues to evolve and gradually diversify in accordance with the most advanced technology of its time and place, which was established with the emergence of human culture.

In the leftover fibers and components of paper, remnants of several paper cultures can be identified. This research focuses on the “Paper Road” prior to the 18th century, when papermaking technology became standardized, and clarifies the reality of paper distribution in a world where papermaking technology has been severed and cultural continuity is uncertain. The study is a collaborative multinational effort to pave the route for recovery.

Utilizing current portable microscopes and artificial intelligence for deep learning, this research collaborates with colleges, museums, and libraries in Asia, Europe, and the United States in the field of data science. Utilizing observation and photographic technology, a multifaceted image analysis system is employed to identify fiber structure and trace components. This is the first study initiative in the world to clarify new historical facts from an art and cultural history perspective.

## 1. はじめに

本稿は、2022 年度に、日本学術振興会の科学研究費助成事業（以下、科研費）基盤研究（A）に採択された「データサイエンスによる紙の道の解明 —量的・質的調査と AI 多面的解析に基づいて—」（令和 4 年度～8 年度）について報告する。

本研究は、現在も不明な点が多い“紙の道”（紙の伝播）の解明に焦点をあて、世界の紙の歴史の中でどのような紙文化の多様性があったかを、データサイエンス領域と共同し、紙の文化に潜んだ真実を明らかにし解明することが目的である。昨今の民生用デジタルカメラによるマクロ撮影の多くの紙の繊維画像とディープラーニングによる画像解析を活用し、さらに様々な観察や計測、画像

シミュレーションを用いた多面的な解析結果を融合させ、非破壊で簡易に撮影できる画像を用いた紙質分析の飛躍的な向上を目指す。

この研究アイデアは、これまで実施してきた研究拠点形成事業「現代に生きる“手漉き紙と芸術表現”の研究(H.29～R.1)」と国際共同研究加速基金「世界の紙の伝播とサマルカンド紙の解明(H.30～R.4)」において研究に取り組んできた紙の組成解明に人工知能(以下AI)を用いる方法から、さらに多面的解析システムを結合させ、紙文化の実体解明アプローチを大幅にアップデートした研究である。紙の考古学と再生などの実践的研究の立ち位置から、ユーラシア大陸全体を研究範囲とし、世界中で不明な点が多い紙の組成や伝播の謎を、時代を越えて残る紙の資産を活用し解明する。

本報告では、まずは研究内容、これまでの研究経緯、及び今後の研究計画について述べる。また、過去の紙の伝播ルートの解明のためには、国際的な共同研究組織の構築などが重要な課題であるが、今後の美術史や紙の文化史に対する学術的意義を問うために、研究内容を国内外の機関へ周知を広げ、様々な議論を導き出すことを目的としている。

本報告では、第2章において、研究概要と学術的背景、研究課題の核心をなす学術的「問い」について述べる。さらに、これまでの研究経緯、及び今後の研究計画について報告する。第3章では、本研究における技術の中核となる、紙の多面的解析システムの構築についてその計画を述べる。第4章では、紙の道の解明において重要となる、紙の観察のための「標品」ポリシーについてまとめることとする。第5章は、今後の展望として、紙文化の研究の再構築について述べる。

## 2. 本研究の概要

### 2-1. 研究概要と学術的背景

本研究に関連する学術的背景として、“紙と芸術表現”に関するトピックを図1にまとめたが、世界の紙文化の歴史を紐解くには製紙技術が画一化される18世紀以前に着目することが重要である。まず東方を見ると中国から日本まで植物鞣皮による多様な植物原料の探求が重要な要素であり、同時に紙の用途に合わせた紙の加工方法及び、書画表現の探求が極められてきた。また西方では、8世紀後半、中国から中央アジアのサマルカンドに伝播した紙の探求は紙の歴史の上で重要な課題として捉えている。地域的にも、イスラム世界において正式なコーランの支持体である羊皮紙などの代替として、宗教的に貴重な書物などは精細な描画・金彩表現を伴うミニアチュールに使用された。また、西方への紙の伝播はサマルカンド紙以降、西洋紙の原点となったと考えられるがその実態は不明な点が多く、西アジアや北アフリカなどは、近代製紙への接続性が特に不明確な地点としてあげられる。

“紙と芸術表現”などの芸術実践の立場では、その時代、地域に求められる重要な表現があり、その為に様々な紙や加工方法が探求されてきたことから、世界各地の製紙方法には文化の粋を集めた多様性が存在する。しかし、文化財の保存修復事業や、厳密な復元模写など、紙と芸術表現の探求に関わる調査においても、重要な文化財は非破壊・非接触のルールの中で、実際に紙の種類が特定できずに研究が進められている現状があることは、世界共通の一筋縄では解決できない問題でもある。

そもそもユーラシア大陸の様々な地域における紙の伝播に関する論説は不明な点が多い。日本の和紙など、正倉院文書のように 1300 年前の歴史が遡れるケースは稀であり、世界の歴史において民族の栄枯盛衰のたびに紙文化は抹消され、また更新されてきた。

本研究のチームは、2007 年から和紙の研究を継続的に行い、その研究成果の応用として 2017 年からサマルカンド紙を始めユーラシアの紙の研究を行ってきた。それらの研究経緯から、国内外の紙の研究事情において以下の問題意識を持っている。

- (1) 製紙が断絶した後、研究が滞り、紙が持つ情報を評価できず伝承される事項などにより文化史研究がされていることが多い。
- (2) 世界的に紙文化には解明されていない事実も多いが、過去の研究として定説を深めることはなく多量のサンプルが未検証であること。
- (3) 紙は表現と共に発展してきた経緯があり、技術史や文化性の探求を科学に求め、芸術実践の研究として厳密な復元に取り組むことが重要であること。

これらの問題意識から本研究では、前述の研究拠点形成事業と国際共同研究加速基金による研究で提示した、芸術表現分野におけるデータサイエンスの応用により、最新技術を活用した実体解明のアプローチをユーラシア全体に応用し、紙の伝播の解明と紙質分析における問題の解決を実践的に導き出すことが目標である。

## 2-2. 本研究の着想に至った経緯、国内外の研究動向と本研究の位置づけ

これまでのサマルカンド紙研究において、ウズベキスタンの JICA と UNESCO が紙の復興を支援したコニギルメロス工房 [註 1] では、桑の鞣皮から製作されたと結論付けているが、これは伝承を元にタラス河畔の戦いなどで鞣皮の紙が伝わったと読み解いたものである。しかし歴史の中で初めて顕微鏡観察を本格的に導入し、19 世紀後半、最初にサマルカンド紙を定義したカラバチェック [註 2] による調査では、古麻布のリネンと結論付けるなど異なる説が存在する。また、これまでの研究で 8 から 10 世紀の古い書籍の紙質調査を実施してきた中で、布を由来とした麻などの紙の痕跡は多数発見されているが、桑などの鞣皮の紙は見つかっていない。それに対し考慮すべき歴史的事実は、この地域は西トルキスタンのホータン（和田：Xoten）に近く、9 世紀と特定されている遺跡から発掘された紙は桑科の鞣皮繊維の紙が存在する調査結果もありコニギルメロス工房の漉く、桑である説も十分考えられるがその実態は明解には解き明かされていない。[註 3]

国内の紙質調査の現状をみると文化財修復時の再調査で、定説では楮紙であるが、三極混合紙であるなどの結果が出るなど、定説から逸脱することがある。愛知県立芸術大学における例をあげれば、近世以降の彩色屏風絵は調査の限りほぼ「雁皮紙」で、直前の室町時代も当然「雁皮紙」と考えていたが、現在判っている室町時代の屏風の調査事例を調べるといづれも「楮紙」であった [註 4]。ウズベキスタンでの調査では、12 世紀と特定される文書の紙から近代の針葉樹パルプが検出された例もある [註 5]。そもそも紙の組成調査は決して容易なものではなく、正倉院宝物特別調査・紙などの例をみても非破壊、非接触のルールの中で、試料がごく微量であくまで参考であることが

補足されていることや〔註6〕、国宝・重文などの修理や再調査が頻繁に行われることはない。このように紙に注目し歴史をみれば不明なことや辻褃が合わない点が多い。また文化財の保存修復時は紙の厳密な調査が要求されるが、世界の博物館や図書館に残る文書や写本絵画の研究事例を参照しても、書かれた内容が中心で紙そのものには注目してこなかった研究態度が一因であるとも考えられる。紙の歴史研究は伝説の継承が中心で不明確な中、紙そのものを科学的にとらえる研究例や学術情報は未だ少なく、歴史の真実の解明への糸口は見つかっていない。

本研究において探求したいことは、多くの紙をまずは簡易マクロ撮影による量的調査を通じて参照し、AI活用により、定説が疑わしきものをまずは可視化する方法論である。現存する世界に無数にある未調査の紙を調査することは時間とコストの問題があり、さらに重要な文化財になれば、繊維の抜き取りは疎か接触さえも困難である。しかし多量の紙の画像の中、それらと類似した紙が存在する可能性は高く、そこから年代や紙の性質を他の事例調査と照合し推測することは可能である。これまで受け継がれた現存する古代の紙などの文化財には、国家権力や宗教に関連する写本が多く、その製作年代を特定することができる事例が比較的多い。また過去に滅びた文化や抹消された歴史は解明のしようがなかったが、紙と芸術表現に託された優れた文化財は、動乱の場を逃れ博物館や個人により保存されている可能性も高い。本研究は、このような現状の中、非破壊の画像のみで紙料の詳細分析ができる可能性があることは大変有効な手段となる。この方法論を世界中で活用すれば、明らかにされていなかった事実や食い違った歴史解釈において、地域と時間軸を越え、過去に埋没した歴史を紐解くことができる世界初の科学的アプローチとなりうる。

### 3. 研究方法と多面的解析システムについて

#### 3-1. 紙の量的調査と質的調査

本研究の立ち位置は、紙の研究を伝説から科学へ導くものであり、断片的であった紙の伝播と歴史研究をデータサイエンス領域と融合し、現代の携帯できる顕微鏡相当の機器とAIを活用した画像解析と多面的な解析の結合により、“紙の道”の文化的関連性を結び付けることを重要視している。まずは、様々な世界の紙を民生用デジタルカメラによるマクロ撮影（以下簡易マクロ撮影）により、簡易な撮影のみでその判別や他の紙繊維のデータとの類似性、同一性を高確率で判別できる方法論を追求する。

〔1次調査〕は量的調査であり、年代の解る紙などを目視観察と簡易マクロ撮影による撮影を行い、できるだけ多くの繊維の画像と紙の情報を収集し学習用データベースを作成する。〔2次調査〕でこれらの画像をディープラーニングによりデータに含まれる紙の潜在的な特徴を分析し様々な種別に分類・可視化する。〔3次調査〕は質的調査であり、特徴のある繊維の紙に対して、元々破損した部分や自然に崩落した紙の繊維などを採集し、科学的な分析 JIS P8120（紙、板紙およびパルプ繊維組成試験方法、C染色液による光学顕微鏡調査）により繊維特性や混入物を分析し紙の原料・紙質を特定する。これらの情報を、ディープラーニングを使い特徴のある紙の分析データとのヒモ付けを繰り返していく。

また [1 次調査] は、簡易マクロ撮影による量的調査として、世界各地での画像収集力を向上させる為にデータアップロードシステムを構築する。これにより、世界各地から多くのデータを収集する方法として、研究協定校や協力者が、専門家でなければ扱えない古い写本や、持ち出し禁止の個人コレクションなども簡易マクロ画像を自ら撮影しアップロードできる仕組みを提供する。[図 2]

現在までのディープラーニングへの画像入力は、前処理として解像度を調整し、ピントがあまい部分をトリミング後、さらにピントが明解な一部画像（パッチ）の選択を行い、ディープラーニングは EfficientNet のアーキテクチャを使用している [註 7]。この解析プロセスにより、初期段階のものであるが綿と麻の判別では 90% 以上の識別精度を達成している。これは人の目視や触覚による判別より遥かに高いが、画像素材数の増加や処理画像の解像度を上げ学習データを充実させ、より深層なアーキテクチャを用いれば、さらに高い判別結果を得られることが期待できる。

## 3-2. 多面的解析システムについて

### (1) 多面的解析システム、観察方針

[3 次調査] の質的調査においては、JIS P8120 による検証と同様に高い観察精度の情報を得るため、超高精細機器での高解像度、深度合成、3D 形状の撮影や放射線分析を用いれば判別精度は大きく向上する。本研究では、顕微鏡に接続するハイパースペクトルカメラや超高精細マイクロスコプの観察や画像シミュレーションによる撮影、検証結果を反映させることで、実物観察の精度を向上させ、学習データの解析をさらに深層化させることを実現する。また、これまでの検証では生紙（素地の顔料等が乗らない紙）を判別しているが、塗布剤や顔料があるなど複雑な紙質判別の方法として、別の高精細機器による撮影結果と簡易マクロ画像を紐付けするシステムを構築する。同じ原料の紙でも様態は様々で紙質判別は①繊維種別、②繊維圧縮度合、③他繊維の混入、④紙の平滑性検証、⑤塗布剤の成分検証、⑥他物質の混入検証などが必要である。研究では従来の JIS P8120 の紙質試験も活用するが、微量とはいえ破壊調査であり不要な塵などの紙片がなければ調査できないことから、より非破壊で正確な情報を判別する有効なシステムになると確信している。[図 3]

### (2) ハイパースペクトル顕微鏡による観察

古紙の製作年代の特定や原材料の真偽判定の簡易手法構築のため、ハイパースペクトルカメラを活用した顕微鏡を構築し、スペクトル特徴に基づき、画像解析による分類を試みる。解析方法としては、サンプルの指定領域から教師スペクトルの特徴を抽出し、そのスペクトルに基づき、全ての画像内のピクセルがどの繊維に属するかを分類する方法を用いる。また、異物などの学習用データも加えることができれば、繊維内の異物も検出の可能性が広がる。今後、スペクトル取得データを増やし検証することでハイパースペクトルイメージングの効果が期待できる。

本研究で活用する機種の候補は、エバ・ジャパン株式会社、NH-1S（測定波長範囲：380~1000 nm 波長分解能：5 nm、画像解像度：1200 × 1024 pixel（122.9 万画素）、データビット数：12bit、撮影速度：5.9 秒）を想定している。

### (3) 超高精細デジタルマイクロスコープ

これまでの研究では、紙の紙片を提供された場合には、JIS P8120 により検証を外部にて実施していたが、顕微鏡に載せることができる検体においては、超高精細デジタルマイクロスコープの導入により、高解像度、深度合成、3D 形状の観察など、光学的な観察のレベルを向上させ、これまでの繊維観察の経験から繊維原料などを特定する。また、ファイバー以外の塗布材、顔料などの調査に、簡易な元素特定が可能になるレーザー元素分析ヘッドの導入を検討している。これらの多面的解析システムによる詳細な画像や観察データを教師データとし、簡易マクロ画像などの量的データと連動させることにより、簡易な紙の撮影により、その紙の正解、または類似性などを検証する仕組みとして構築する。

本研究で活用する機種候補は、キーエンスのデジタルマイクロスコープ VHX-8000、レーザー元素分析ヘッド EA-300 を想定している。

## 4. 紙の観察のための標品の設定

紙の観察における多面的解析システムの構築を進めてゆくために必要な要素のひとつとして、調査対象とするサンプルの判定結果に対する「確からしさ」を確立することが挙げられる。標品とは、解析システムが「楮」の繊維を判別する時、あるいは、光学的にサンプルを観察する際の比較、すなわち「リファレンス」として適用できるような標本のことである。

紙の研究を進める中で直面する問題として、時代を遡った古い時代の紙サンプルにおいては、特にその紙質について、理化学的な判定がなされず、伝承として何らかの「認定」がなされているようなものへの対応をどうすれば良いかがある。それらの判定は、もちろん必ずしも誤っているわけではないが、AI によるシステムで解析すると、結果が異なって判定されるケースも幾つか見つかり、リファレンスとして用いられるレベルの標品の特定は、非常に重要である。

### 4-1. 「標品」の設定

本研究において、紙の標品を設定するために、現時点で、確実に繊維や年代が特定されているサンプルからの標品への認定や、本研究中で撮影されたサンプル画像を標品に設定することに加えて、新たに標品を製作することを検討している。観察の目的に沿った紙の原料から、新たにサンプルを製作することについては、後述するとおり検討すべき要素があり、現時点においては製作まで至っていないものの、なるべく早い時期に、愛知県立芸術大学にある和紙工房にて実施できるよう検討している。本報告では、特に、標品の製作工程や検討課題について示す。

また、既に調査したサンプルから撮影した画像についても、明らかに特定の繊維であることが認められるものについては、標品として運用することを検討している。研究機関や調査研究の中で、出自や素材が明らかにされている古典作品について、対象を特定した後、拡大画像の撮影等を依頼し、これらも標品として運用することも構想している。

### (1) 標品の新規製作に向けた検討課題とその工程

本研究における標品とは、多面的解析システムにおける、繊維特定のリファレンスとなりうる標本である。故に、標品とするものは、少なくとも楮、三桮、雁皮の標準的な繊維によって抄紙された紙であることが求められる。標品となり得る対象は二つあり、一つはすでに理化学的な調査が行われ、基準として認定するに十分な信頼があるものであり、これに加えて、これまでの調査の中から、撮影対象とした幾つかのサンプルについても標品としても設定できるかについて、調査、検討、検証を行なっている。もう一つは、新たに製作する、すなわち抄紙して作られるものの二つである。[図 4]

### (2) 植物素材の選定

新たな標品サンプルの製作について、植物素材については、楮、三桮、雁皮の繊維を含む和紙とし、それぞれの素材の含有比率を 100% とするサンプルの製作を構想している。これらのサンプルを明確な標品とするためには、素材植物の持つ特性を考慮する必要がある。以下に現在検討中の素材選定のパラメータ（特性）を示す。

①植物の種類・品種、②栽培あるいは採取される産地、③繊維を使用する部位の地上高（註 基準高を設定する必要がある）、④樹皮の幹からの距離（幹に近い樹皮と、幹から遠い樹皮（枝先）など）、⑤幹の中心からの繊維までの距離（枝の中心に近い樹皮と枝の外側の樹皮（表面）など）、⑥成長度（若い枝と古い枝の差）、⑦狭雑物の有無（黒皮、植物（楮）由来の独特な細胞組織 など）とする。もちろん、ここで挙げたパラメータは最終的なものではなく、今後検討を加えることが求められると考えており、作業を開始し、進捗するための初期候補として挙げているものである。

### (3) 抄紙にむけた「前後処理」と「抄紙方法」のパラメータ

和紙の場合も、繊維の仕立てから、抄紙する際の条件によって、仕上がりに差異が現れると考えられる。そのため、使用される機材や道具、素材、および、その温度等の物理条件を統一することが求められる。紙漉き工程も、流し漉き、半流漉き、溜漉きなどの抄紙方法の統一が必要である。漉簾、漉型の統一または、同等のコンディションを確保することも必要である。漉いた後の、板干し、プレス方法なども統一する必要がある。また、「ネリ」については、粘度を統一、或いは条件を記録（粘度計測）することが必要と考える。以下は、検討中の項目である。

①前工程（繊維の処理）におけるパラメータは、(i) 煮熟（1. 時間 2. 温度 3. 圧力）、(ii) 薬剤処理（1 使用薬剤（カセイソーダ、灰等）2. 煮熟時の pH 値 3. 溶液濃度 4. 薬剤処理時間）、(iii) 叩解（1. 叩解時間 2. 叩解力）である。

②後工程（抄紙工程）におけるパラメータ及び統一するべき要素は、(i) 漉舟、漉簾の寸法、素材などの状態、(ii) 漉舟内の状態、(iii) ネリの状態、(iv) 漉舟内 pH 値、(v) 抄紙方法、(vi) サンプルサイズ、(vii) 乾燥方法である。

## 4-2. 多面的解析システムにおける標品の運用方針

標品サンプルのデータ化と運用のイメージは、(i) 実験室レベルでの「基準紙サンプル (A4 サイズ程度)」を製作する。(ii) 製作された「基準紙サンプル」を民生用デジタルカメラでマクロ撮影する。各サンプルについて 50 箇所程度撮影する。(iii) 撮影データを、AI 判定の基準に加える。(iv) すでに調査のため撮影した画像データについて、再度 AI による画像判定を試みることを計画している。

製作したサンプルは、実物と撮影画像を保存管理する。一つの標品ごとの撮影数は、撮影に使用している民生用デジタルカメラ (OLYMPUS TG-6) では、AI による判定のために必要な画像の撮影数は、各サンプルについて 50 枚 必要と考えるので、その撮影枚数を撮影可能なサンプルサイズが最低限の大きさではある。TG-6 は、レンズ先端から 1cm の距離にある被写体に対し、光学ズームと併用することで顕微鏡写真のような拡大撮影が可能である。さらに、光学顕微鏡などによる詳細な撮影も併せて行い、実際の紙サンプルと、その画像データ、およびその特性情報を統合したデータベースとして管理し、既存のシステムからも参照可能とするような開発を実施する。

## 4-3. 今後の課題

現時点においては、主として国内の和紙に関する標品をどのように確立するかという段階である。今後の目標としては、これを例えば、宣紙、竹紙などの中国の紙や、そのほか多様な紙へ適用を進めてゆくこと、更に、本研究の目標でもある中央アジアにおける古代紙分析へ適用することや、リネンや麻、コットンを素材とする紙への標品適用に関する研究と考察を深めてゆくことが必要である。

世界の紙に着目すると、麻といわれる植物鞣皮は襤褸布から様々な地域での紙文化に繋がっており、繊維単位の観察では JIS P8120 にて判別可能である。しかし、大麻、苧麻、亜麻という原料から、実際にどのような紙の製紙が起源であるのか確定的な情報が無いままである。本研究の標品を使った探究は、紙の原料単体としてのみでは無く、総じて紙の性質を量的・質的調査の両側面から探求し、紙の実態を解明することに狙いがある。

## 5. 紙文化の研究の再構築について

### 5-1. 本研究の目標

本研究の目標としては、博物館、図書館などの持つ紙資料のデジタルアーカイブにおいて、紙判別のための簡易マクロ画像を 1 枚加えるなどの状態をつくることである。そこからその紙の時代性の疑わしき部分を見つけ出す仕組みをまずは構築したい。さらに、これまで十分に着目できなかった紙自体の歴史や伝播過程に言及し、技術史・文化史的観点から、紙から紐解く探求が可能な繋がりを、紙の研究分野の中で再構築することを重視したい。現在、紙の研究は、決して盛んとはいえないが、ディープラーニングや新たな顕微鏡を用いることにより、従来の歴史研究・美術史研究の成果を補完し、再確認できるなどの意義がある。量的な紙の簡易マクロ画像と、詳細な観察画像の連動と学習により、ディープラーニングによるデータベースの連動性が高まり、重要な資料も非破壊・



非接触の撮影のみで、紙の種類や成分をほぼ特定することが可能になることを実現したい。

## 5-2. 本研究の研究計画

[2022 年度] は、これまでの成果を生かし多面的画像解析システムの構築、及び画像解析の仕組みの充実させるためデータサイエンス分野のアップグレードを目標とする。研究協力関係の拡張のため研究会の開催や、協力機関とのキックオフミーティングを開くが、海外調査やデータ収集の効率化や紙片再検証を滞りなく行うために遠隔システムも活用する。

[2023 年度] は、ハイパースペクトル顕微鏡による観察や、超高精細デジタルマイクロスコープの整備を行う。それらの撮影結果とこれまでの AI の学習データと組み合わせ、シミュレーション画像による解析を行い、システム本格稼働を目指す。[2024、2025 年度] は博物館等の文化財事例に関する紙の画像検証により実証実験する。初期は現状での交流がある、芸術系大学の資料館や保存修復研究所の所蔵の作品などから実験を行い、徐々に国公立博物館、海外博物館などへ検証範囲を広げ、推論を実物検証の結果と重ね判別精度の向上とユーザーサイドへの情報提供のあり方を検証する。[2026 年度] は、簡易な撮影のみで紙を検証する紙のナレッジシステムとして活用を目指し、国内外で国際セミナー等により紙の復元も視野に理解を深めていく。また、個別の文化財紙質の類似や同一性の調査は [2024 年度] には可能となる。研究完成の暁には、簡易マクロ画像の仕様を公開し、紙繊維画像 1 枚から、紙の類似性、同一性検証ができる国際ネットワークを通じた共有システムとして提供したい。[図 5]

## 5-3. 本研究の研究体制

研究代表者、分担者、協力者は図 6 に示した役割分担とし、経験豊富な研究者と若手を中心に編成している。研究分担者は (i) 調査分析、多面的画像解析 (保存修復研究所拠点)、(ii) 博物館ネットワーク担当、調査推進戦略、(iii) AI 解析担当、多面的画像解析 (愛知県立大学拠点) の役割分担で研究を推進し、多くの作業が予想されるデータ入力や解析などは、愛知県立芸術大学、愛知県立大学のプロジェクト講座において学生の参加も推進する。

研究組織は、現時点で本研究に賛同している国内外協力機関との関係を図 7 に示している。特に海外の諸機関が本気でこの課題究明に協力してくれるのが重要であるが、これまでの研究活動として 2019 年の拠点形成事業における国際セミナーにおいてウズベキスタン、ロシア、中国から 12 名の研究者を招聘し、今年度の出版を目標に書籍を共同執筆しているなど、強い協力関係を構築済みである。さらに試料等の研究協力ネットワークを拡張する戦略として、重要な機関とは学術交流協定などを結んでいるが、さらに拡張し強い協力関係を構築していく。なお本研究アイデアは、2019 にウズベキスタンで行われたユネスコの国際会議「26.August.2019, “The Research on Propagation of paper in the world and Samarkand paper”」において発表したが、世界レベルでの紙の類似性、同一性を検証する紙質分析は、これまで無かった取り組みとして評価され、更なる発展を期待されている。

#### 5-4. これまでの学習用データの蓄積

現在までの AI の学習用データの蓄積に関しては、国内調査での実績として、『和紙大鑑』、『和紙総覧』、及び昭和・大正期の見本帳など、基本データとして 3200 点の簡易マクロ画像の撮影と 78 点の科学調査の結果との結合を行っている。また貴重な奈良、平安、鎌倉期の紙質調査に関しては、成田山書道美術館の所蔵の松崎コレクション「穂高」「濱千鳥」[註 8] の古筆 57 点、古写経 67 点など、簡易マクロ画像を実施済みである。

その他海外においては紙の歴史的に重要な、ウィーンパピルスミュージアムの Riner Collection 16 点、バイエルン州五大陸博物館（ミュンヘン）でのホータン文書 24 点の特別熟覧、サマルカンド紙に関する研究として、科学アカデミー東洋学研究所（タシケント）、ウズベキスタン国立図書館（タシケント）、芸術アカデミーミニアチュール美術館（タシケント）、サマルカンド大学（サマルカンド）、国際イスラームアカデミー（タシケント）などの協力によりウズベキスタンの写本書籍のサンプル検証は、簡易マクロ撮影と塵の提供による JISP8120 において原料を解析済みである。[図 7]

#### 6. おわりに

本稿は 2022 年度の科研費基盤研究（A）の申請に基づく内容であるが、学術的意義や研究内容を国内外の機関への周知を広げることを目的としている。科研費自体は、日本学術振興会が公募を募る形で、研究者の自由な発想に基づいて行われる学術研究のテーマから、政府として研究資金の援助により日本の科学技術の向上を目指すものであるが、現在の課題の研究と合わせて、大学における研究力強化を目標とする側面もある。今後も愛知県立芸術大学の紀要において 5 年間の研究実施の内容を適宜報告したい。

本研究の目的を達成する為には、世界中の様々な紙資料にアクセスすることが必須であり、今後国内外で多くの研究機関と連携し情報共有などの協力が必要である。また重要な文化財を扱う研究であるため、研究協定の締結なども必須となる。しかし 2022 年現在、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の影響や、ロシア・ウクライナ危機により世界情勢はこれまでにない危機的状態を迎えている。

それでも 2022 年度から、海外での研究も徐々に再開し、バイエルン州立図書館との連携実施や、洋紙のウォーターマークのコレクションが優れているライプツィヒ国立図書館などが深い興味を示してくれている。中国でも、ゼロコロナ政策により対面の交流は困難であるがリモート会議などは実施しており、南京信息工程大学の李曉岑（リギョウシン）教授や大連民族大学をはじめとした民族大学連合の組織などが興味を示してくれている。

スタート年度の課題としては、新型コロナウイルス感染症の影響で崩れそうになった関係の再構築を図りながらさらに強力な関係を導くことがまずは重要になる。また、これまでの研究実績を生かした上で研究を継続し、芸術大学の研究として紙の文化的側面から着眼し、世界中で不明な点が多い紙の伝播の研究を多くの国々と連携し取り組みたい。

[英語サイト]

本事業は、下記英語サイトにまとめている。

[https://labo.a-mz.com/paper/grant\\_a.html](https://labo.a-mz.com/paper/grant_a.html)

---

註

- 1 柴崎幸次、本田光子、佐藤直樹、阪野智啓、鈴木美賀子、浦野友理、大柳陽一、岩田明子、「現代に生きる“手漉き紙と芸術表現”の研究～サマルカンド紙の復興を中心に～」中間報告]、『愛知県立芸術大学紀要』No48、57-76 頁、2019 年。
- 2 Joseph von Karabacek, Arab Paper ,translated by Don Baker and Suzy Dittmar, Archetype Publications, 2001,pp21-22
- 3 五大陸博物館から中国ホータン地区の文書 13 点 (8c ホータンにおける発掘品) を、2019 年 7 月、高知県紙産業技術センターにて試験、撮影を行った。調査方法は JIS P8120。中国ホータン地区の文書は、麻繊維 10 点、楮に近い繊維 2 点、三椏に近い繊維 1 点と判明した。
- 4 阪野智啓、岩永てるみ、中神敬子、安井彩子「中世やまと絵屏風における雲母塗布技法の研究」、愛知県立芸術大学紀要 50 号、2021 年。検証の典拠資料は、(1)「日月四季山水図屏風」(金剛寺蔵)、15C ※米粉入り楮紙、『日月四季山水図屏風光学調査報告書』、東京文化財研究所、2020 年、(2)「松図屏風」(東京国立博物館蔵)、16C 『東京国立博物館文化財修理報告XI、平成 21 年度』、東京国立博物館、2011 年など。
- 5 ウズベキスタン共和国科学アカデミー付属アブー・レイハン・ビールニ東洋学大学研究所・タシケントとの共同調査から、12 世紀の書物の紙片調査から、針葉樹化学パルプ、針葉樹機械パルプの混合 C 染色液で青紫色に染色される 10～40 μm 程度の粒子状物質が観察された。調査方法は JIS P8120、2018 年、高知県紙産業技術センターにて同試験を実施した。
- 6 杉本一樹「正倉院宝物特別調査・紙(第 2 次)調査報告」、『正倉院紀要』第 32 号]、宮内庁正倉院事務所、p9、2010 年。
- 7 T. Kitamura, A. Iwata, Y. Urano, Y. Zhou, K. Shibazaki, and N.Kamiya, "Initial study on classification of Japanese paper by kozo name using EfficientNet with digital camera," in Proc. IEEE 9th Global, Conference on Consumer Electronics (GCCE), Oct. 2020, pp. 599–602.  
DOI: 10.1109/GCCE50665.2020.9291930.
- 8 成田山書道美術館『青鳥居清賞—松崎コレクションの古筆と古写経』古写経篇 102 - 175 頁、古筆篇 75 - 224 頁、2018 年、成田山書道美術館。
- 9 紙に関するトピックなどの写真は、記載している所有博物館等から本論の図版にて使用する許可を得るか、または利用規程に沿った形式で使用している。

執筆者

柴崎 幸次 (美術学部デザイン専攻 教授)

本田 光子 (美術学部芸術学専攻 准教授)

阪野 智啓 (美術学部日本画専攻 准教授)

大柳 陽一 (美術学部 非常勤講師)

鈴木 美賀子 (美術学部 非常勤講師)

岩田 明子 (文化財保存修復研究所 研究員)

周 業欣 (大学院美術研究科博士後期課程美術専攻 デザイン研究分野 3 年)

神谷 直希 (愛知県立大学情報科学部 准教授)

健山 智子 (藤田医科大学医療科学部 准教授)

# 紙文化研究の世界観と、歴史における注目すべきトピック

紙はパピルス、羊皮紙の進化形

羊皮紙 原点は紀元前2500年～?  
パピルスと同時代、紀元前1000～?



紙は、羊皮紙の代用 (申請者所蔵)  
紙は、パピルスの進化形 (メトロポリタン美術館)

パピルスから紙に変わる時代 9～10c

近代製紙の幕開け

レオミュール(仏)、木材原料に着目(1719年)  
ルイ・ロベール(仏)、紙漉機械(1798年)  
ケラー(独)木材ハルプでの機械製紙(1840年)

書画表現と紙の関係

Central Asia

世界に残る紙の資産  
年代のわかる古いコーラン、ミニチュールから、紙を調査する。



左・下: ミニアチュール (16世紀どちらもブラダで制作、アメリカメトロポリタン美術館) 現存する最高のレベル?



海外に散逸した紙資料も

China

China

最古の放馬灘紙(麻)から唐時代まで、部分的な記録のみ。元以前の紙の情報は少ない。



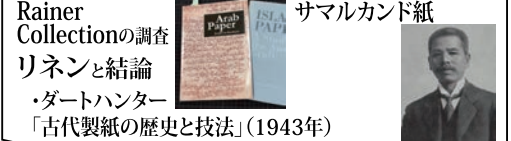
唐の時代紙の仏 元時代、世界初の紙幣“桑紙”を使った?  
ホータン文書(8世紀)からは、クワ科繊維も出る。



(Museum Fünf Kontinente, ミュンヘン)

サマルカンド紙は桑かも? 紙の道の説を形成する形成する主要な学説

• Arab Paper (1887年), Joseph von Karabacek, Rainer Collectionの調査  
リネンと結論  
• ダートハンター「古代製紙の歴史と技法」(1943年)  
• 旧ソ連の研究者 P.I.Pashino (1868)をはじめ歴史研究の一端としてサマルカンド紙



「紙の歴史」(1911年) 桑原隲蔵 (国立国会図書館「近代日本人の肖像」)

Europe

1445年頃にヨハネス・グーテンベルクが活版印刷術



古い洋紙は、コットン、リネン 携帯顕微鏡写真 (インディアナ大学 Lilly Library)

15世紀、羊皮紙と紙が同じ本に混ざる時代 (バイエルン州立図書館)

布を集める様子



17世紀以前のサマルカンド紙。布であった痕跡、繊維の独特の縮れ

綿の布由来 桑の鞣皮(植物由来) 現在の鞣皮によるサマルカンド紙。繊維は和紙に近い。

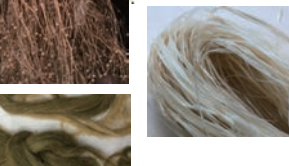
Cotton 綿 Hemp 麻



サマルカンド紙の実体は?

古布から作るラゲペーパー?

Linen 亜麻 Ramie 苧麻



South Asia

繊維は洋紙に似ている。インドの写本18c (国立民族学博物館)

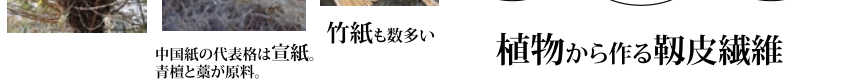
布由来



硬筆 西洋紙の特徴 毛筆 東洋紙の特徴

植物由来

Mulberry 桑 Xuan, Straw 青檀・葇 Bamboo 竹 Kozo 楮 Mitsumata 三椏 Gampi 雁皮



植物から作る鞣皮繊維 多くはクワ科、ジンチョウゲ科植物

優れた紙の資産は芸術として残されている。年代も研究されている。

紙の伝播の要因はタラス河畔の戦い?

紙・起源

China The Yellow River Basin 105 蔡倫、『後漢書』、紙の確立

China 751 大谷コレクション敦煌文書 タラス河畔の戦い?

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

China 751 中国紙

図1 世界の紙文化の歴史と“紙と芸術表現”に関するトピック [註9]

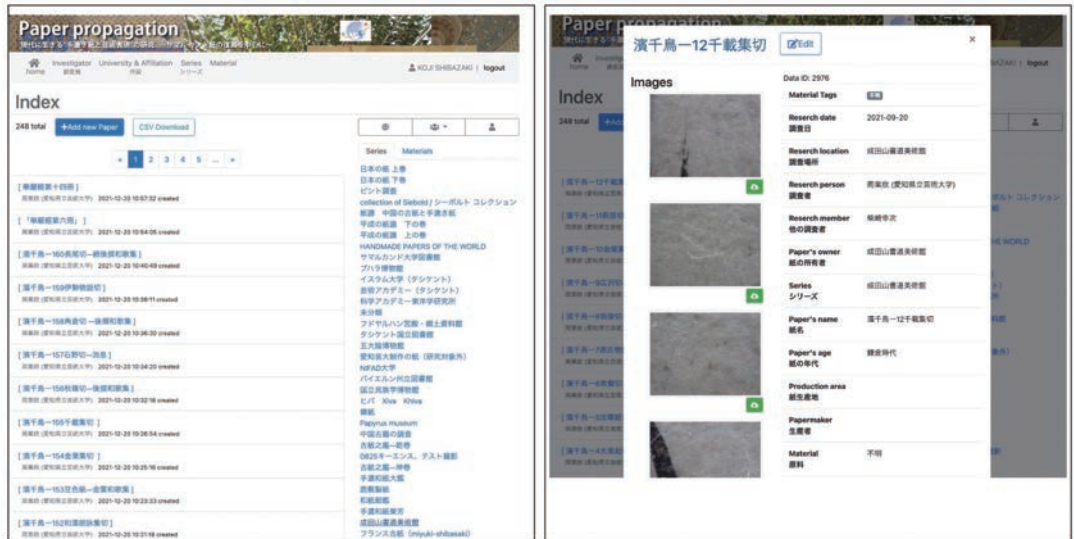


図2 紙のデータベース、及びデータアップロードシステム



図3 多面的解析システム概念図

紙の繊維の特定(同定)における、検査対象の評価のための「標品化」にむけた検討項目の洗い出し

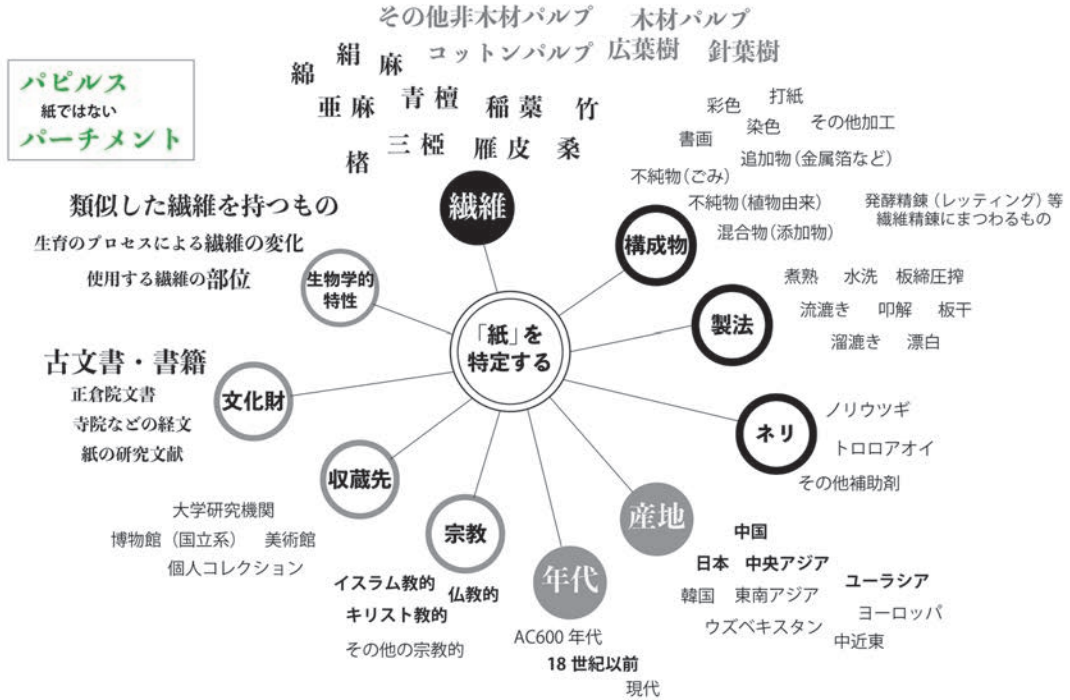


図 4 本研究における、紙の標品の概念図

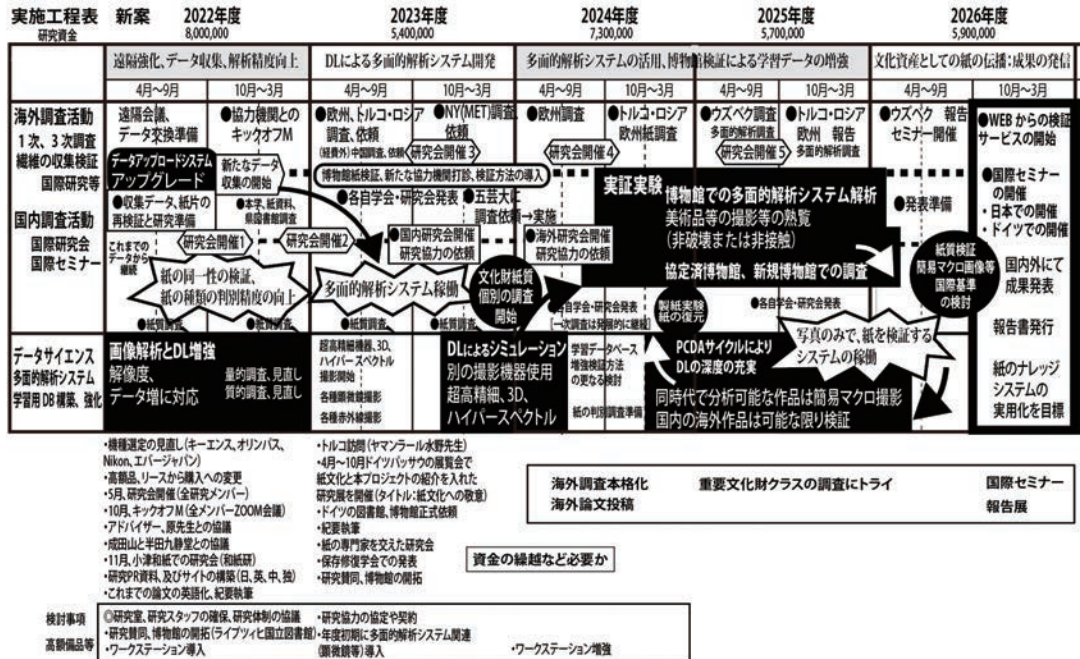


図 5 本研究の研究計画

研究組織図

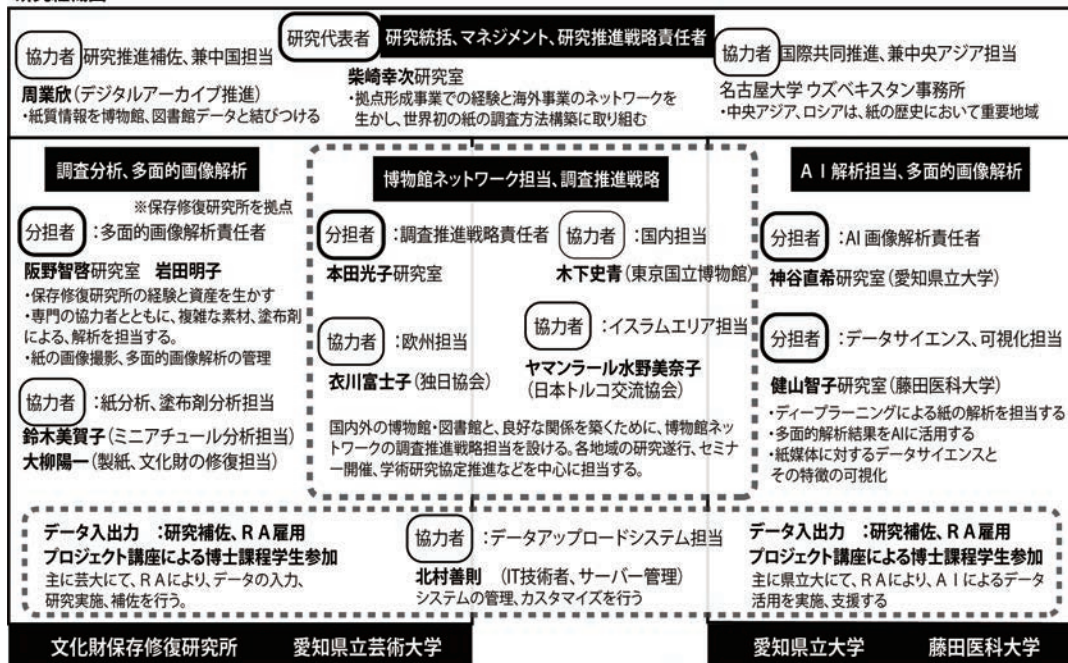


図6 本研究の研究体制

現在の連携可能なパートナー

●中央アジア関連

- ① 科学アカデミー東洋学研究所(タシケント) ☆学術交流協定締結 歴史、イスラム写本、紙の研究
- ※ウズベキスタン、アラブ地域との繋がりが強い★ミニチュール研究協定締結予定
- ② 国際イスラムアカデミー(タシケント) ☆学術交流協定締結 イスラム写本の蔵書
- ③ 芸術アカデミー(タシケント) ☆学術交流協定締結 ミニチュール研究
- ④ ウズベキスタン芸術大学(タシケント) ☆学術交流協定締結 拠点形成事業拠点校
- ⑤ タシケント国立図書館(タシケント) ☆学術交流協定締結 イスラム写本、紙の研究
- ⑥ サマルカンド大学・博物館・図書館(サマルカンド) ☆学術交流協定締結 写本蔵書数最大
- ⑦ プハラ国立図書館(プハラ) ★研究協力関係 イスラム写本、ミニチュール
- ⑧ イチャン・カラ博物館(ヒヴァ) ★研究協力関係 イスラム写本、ミニチュール

●中国紙に関する研究・調査・受け入れ先

- ⑨ 大連民族大学(大連) 周思昊、他2名 ★研究協力関係 中国の民族学連合と連携
- ⑩ 江南大学(江蘇省) 周道准教授 ★研究協力関係 唐宋古文、清代詩文の研究
- ⑪ 南京信息工程大学 李曉岑教授 ★研究協力関係
- ※その他・蘇州市第二図書館・敦煌博物館・敦煌研究院・甘肅省博物館・揚州市
- ・南京博物院・中国人民大学・蘇州大学 ★共同研究に前向き

●欧州に関する調査・セミナー・受け入れ先

- ⑫ バイエルン州五大陸博物館(ミュンヘン) ☆学術交流協定締結、ドイツでの発表拠点機関
- ⑬ バイエルン州国立図書館(ミュンヘン) ★研究協力関係、学術協定提案済
- ※⑫⑬は中国、イラン、アフガニスタンのコレクションを多く保有、ドイツ語圏最大の蔵書数
- ⑭ エルミターージュ美術館、ロシア国立図書館(サンクトペテルブルク) (2022年、状況不安定)
- ※⑭ベルシアの古い書籍を2万8千冊所有する。かなり広範囲の作品を保有
- ⑮ ウィーンパピルスミュージアム(ウィーン) ★研究協力関係、RinerCollectionの特別熱覧実施済
- ⑯ ライプツィヒ国立図書館(ライプツィヒ) ★研究協力関係

●その他の調査・受け入れ先

- ⑰ メトロポリタン美術館(NYC) ★研究協力関係、ベルシア写本の特別熱覧、実施済
- ⑱ トカピ宮殿(イスタンブール) ★研究協力打診済、ベルシア写本の特別熱覧、打診済
- その他、インディアナ大学(米)、クレーブランド美術館(米)、アイオワ大学の大学、ユネスコ国際会議からの繋がりと、重要地域は常に研究協力関係を拡張

本研究の準備状態、研究体制図

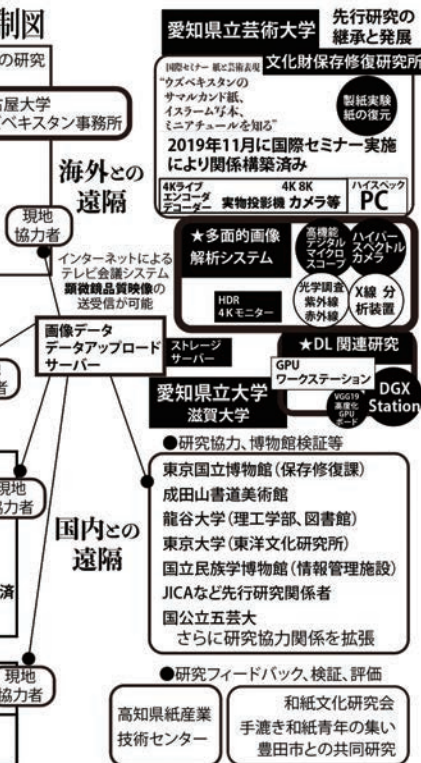


図7 現在の連携可能なパートナー