

古文書料紙の科学分析データベースの構築に向けて

坂本昭二 岡田至弘
龍谷大学 古典籍デジタルアーカイブ研究センター

近年のデジタルアーカイブ事業によって古文書研究が一段と進めやすくなってきている。しかし一方で、保存修復や材料などの分野から古文書にアプローチする研究者が必要とする情報が欠落していることも事実である。本稿では従来の古文書のデジタルアーカイブでは扱われないような古文書料紙の科学分析に関するアーカイブについて検討する。

Toward the Establishment of Scientific Analysis Database of Old Document Papers

SHOUJI SAKAMOTO YOSHIHIRO OKADA
Ryukoku University, Digital Archives Research Center

Digital archives for old documents are progressing by many institutions. It makes easy to study of old documents. However, such archives lack material data of old documents, e.g. paper fibres, important information for researchers and conservators. This paper treats archives of scientific analysis data of old documents.

1. はじめに

近年、デジタルアーカイブ事業が盛んに行われており、古文書のデジタル化に関しても所蔵機関である図書館等を中心に進められている。そしてこれらの成果がインターネット上にデータベースとして多数公開されており、このような古文書データベースが提供する高精細な画像によって古文書研究は一段と進めやすくなってきている。しかし一方で、保存修復、書誌学、材料などの分野から古文書にアプローチする研究者が必要とする情報が欠落していることも事実である。例えば、古文書料紙の材料、制作年代、制作地域などの情報が不足していたり、不明のままであることが多い。しかし、近年の分析機器の性能向上や小型化によって科学的な分析が比較的容易になり、このような情報不足状況が徐々に変わりつつある。本稿では、従来のデジタル化を主としたものではなく、古文書の科学分析データに関する新しいアーカイブについて述べる。

2. 古文書の材質分析

本稿が対象としている古文書には、そこに書かれている文字や内容以外にも様々な情報が残されており、このような情報を調べて記録していくことは重要であろう。以下ではとくに古文書を形成する紙を主とした材料についての分析について述べる。

まず、紙の原材料である楮、雁皮、三椏、大麻、苧麻、稲藁などの植物繊維の種類が顕微鏡による形態観察や染色溶液による試験によって同定される。紙によっては1種類の植物繊維だけで漉かれた紙もあれば、数種類の繊維を混

ぜて作られたものもある。また、製紙行程の一つである叩解（繊維を叩き潰したり、刷り潰す行程）によって繊維が潰され、マイクロフィブリル（繊維を構成する糸上のセルロース分子鎖の集合体）が見られる繊維が観察されることもある。

また、紙漉きの際には繊維以外にもトロロアオイ、ノリウツギのようなネリ（紙料液中の繊維の凝集と沈殿を防ぐための粘材）や、米粉、白土、胡粉などの填料を紙料に混ぜて紙を漉く場合がある。このような填料が混入している料紙からは澱粉や胡粉等の粒状物が観察される。

この他にも、紙の表面からは様々な夾雑物や異物などが見つかる。例えば、原材料に使われている植物の茎や皮の断片、羽毛や人毛、害虫、カビなどが見られるものもある。

料紙には原材料に関する情報以外にも、紙の制作過程で使用された道具の痕跡が残っている。紙を漉くためには漉き簀や紙を乾かすために使用する板や刷毛などの道具が使用される。紙にはこれらの使用による痕跡が残っており、例えば、簀の目や糸目は紙を漉いた簀の形状に関する情報であり、料紙の反射又は透過光画像を分析することによってこれらを調べることができる。板目、刷毛目もそれぞれ紙を貼った板と刷毛の情報を与える。

さらに、紙には紙を漉いた方法に関する情報も残されている。これまで、紙漉き方法は主に溜め漉きと流し漉きの2通りに分類されてきたが、近年、紙表面の繊維の配向性を分析することによって、これらの2種類の方法に分類することが困難になってきている。また、紙の地合（紙繊維分布の均一性）や紙厚や坪量（1 m²あたりの重量）なども紙漉きによる情報である。

最後に、紙は漉かれたままの形で使用されることは少なく、紙の耳を断ち、紙を継ぐこともある。これらは裝潢に関する情報であり、紙幅、紙高、面積などを調べる。経典等の書写に使用された料紙は染色などの加工がされていることから紙色や刷毛による染色の場合は刷毛目が残ることもある。また、紙の平滑化や滲み止めのために紙表面を滑らかにする打紙加工などが行われているかどうかも観察できる。

以上のような紙に関するデータは製紙に関する研究や保存修復の分野で役立つだけでなく、古文書研究の分野でも有用なデータである。従来からある書誌学的な古文書分析のデータ（記年、界高、界幅、行数、文字数、文字種など）を補完するものでもあり、紙に関する分析データと書誌学的なデータを統合的に扱うことは古文学のさらなる進展に繋がるものと考えられる。また、古い文書の原材料に関する知見は、当時の植生等の環境を伺い知る上でも重要な情報である。

我々は古文書をデジタル化する際や分析する際には、できる限り以下のデータの取得も行っている。

面積、重量、坪量、紙厚、紙色、地合、簀の目、糸目、刷毛目、紙の表裏、繊維配向性、繊維長、繊維幅、含有元素、墨の粒径、紙の原材料(繊維の種類、填料)など

これらの計測には、古文書を直接観測する必要があることから、分析は非破壊の方法によって行なわれることが望ましい。

3. 観測対象物とそのサイズ

上述した様々なデータを採取するには様々な方法が行なわれるが、本節では観測対象物の大きさに対する観測方法の違いについて述べる。

1) 紙高、紙幅、紙厚、重量、面積

一紙の紙高と紙幅は巻き尺等を用いて測定する。紙厚は専用の紙厚計を用いて測定し、重さはデジタルスケールで測定する。面積については、一般に紙は正確な長方形をしていないことから、撮影したデジタル画像の実解像度の情報を用いて積分することによって紙領域の面積を求める方が正確な計測結果が得られる。また、紙の重量と面積から坪量が算出される。

2) 紙色

測色計による計測では正確な色情報が得られるが、紙表面の局所的な計測になる。撮影した文書のデジタル画像の色情報を用いることも可能であるが、事前の色補正が必要になる。また、測色計ほど正確な色情報は得られない。しかし、デジタルアーカイブによる大量の古文書デジタル画

像がすでに存在し、その画像は紙全体の大域的な色情報を持っていることから、大量の古文書に対しての画像の色情報を用いた大まかな紙色分析は可能であると考えられる。

3) 簀の目、糸目、紗の目

簀の目（3 cm 当たりの簀の目の本数）と糸目（糸目の間隔）は定規を用いて目視で計測できるが、局所的な観測である。簀の目が細かい場合はルーペ等を用いた方が良い。

紙全体に渡る大域的な観測では反射光または透過光撮影したデジタル画像を用いて、簀の目や糸目の模様を強調する画像処理を行い、スペクトル解析等の手法を用いて分析する。

4) 襤褸布片

古い紙の中には襤褸布を原料として作られているものがある。このような紙をラグペーパーと呼ぶが、これを同定するために襤褸布のかけらの存在を調べる。例えば、世界最古の記年（868 年）を持つ印刷物として知られている大英図書館所蔵の敦煌文書「金剛般若波羅蜜経」(Or.8210/P.2)にはシルクの糸片が紙の中に混入しており、原材料として襤褸布が使用されたことが分かる（図.1 参照）。[1]

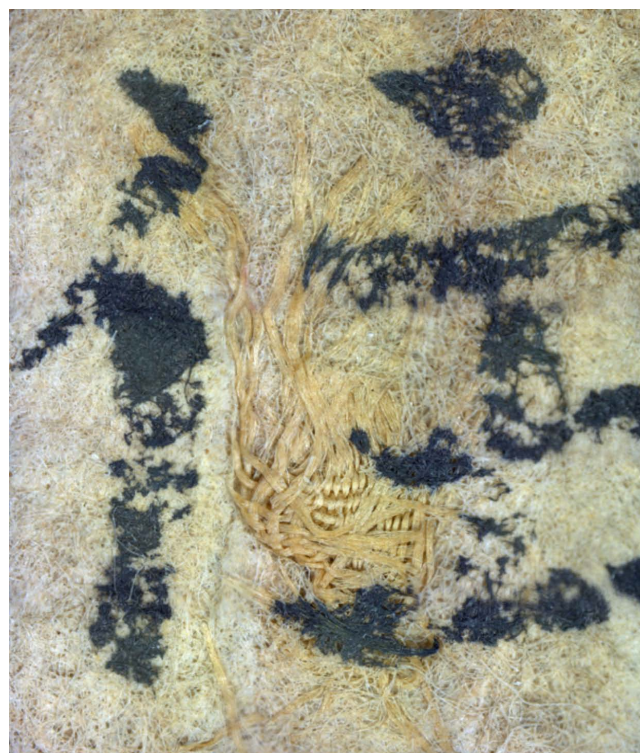


図.1 金剛般若波羅蜜経 (Or.8210/P.2) の紙表面に残るシルクの襤褸布片

上記1)～4)の観測項目の多くは専用の計測器を用いるが主に目視やルーペによる観察が可能なマクロな観測である。以下に列挙するものは顕微鏡観察が必要となるミクロな観測対象物である。

5) 繊維配向性

紙表面の繊維の配向性を観察することによって、紙を漉いた時の手法を類推することができる。一般に紙を漉く際には、漉き簀を前方から手前に動かし、紙料液の中の繊維を漉く動作を行なう。これによって、紙の簀に接している面（簀肌面と呼ぶ）は簀の方向と垂直方向に繊維が並ぶことになる。一方、紙の簀に接していない面（汲み込み面と呼ぶ）は、紙漉工の動作によって繊維配向が生じたり、繊維配向が見られない場合もある。紙漉工が捨て水や簀を揺らすと汲み込み面に繊維配向が生じ、紙漉工が何もせずに水が落ちるまで待った場合には繊維配向は生じない。例えばフランス国立図書館所蔵の神龍三年（707年）の記年を持つ敦煌文書「廣百論疏卷第一」（Pel liot Chinois 2101）の第7紙は簀肌面（表側の書写面）に繊維配向が見られ（図.2a 参照）、汲み込み面（裏側）には見られない（図.2b 参照）。

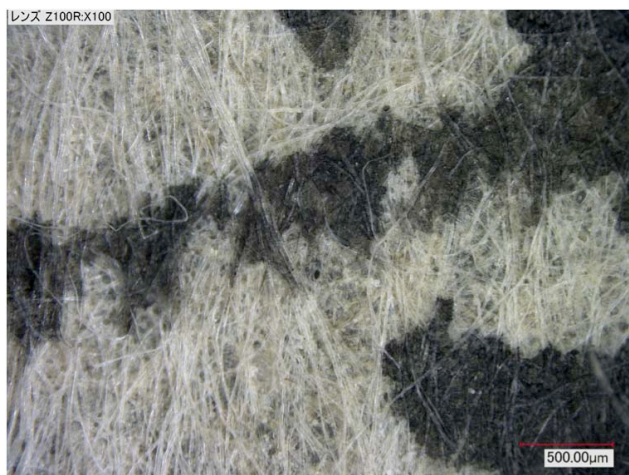


図.2a 廣百論疏卷第一 第7紙 簀肌面（繊維配向あり）

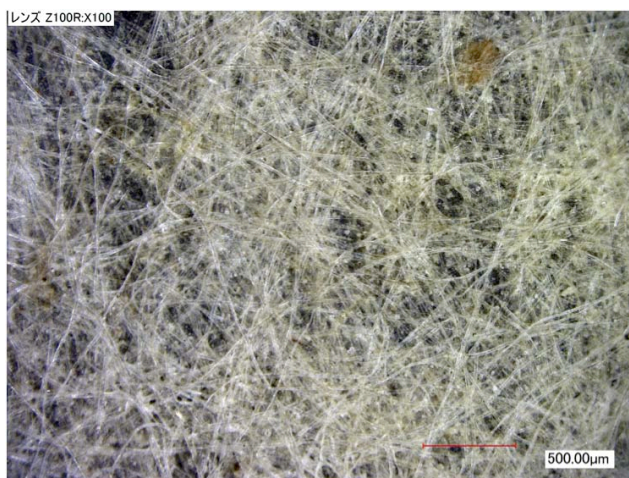


図.2b 廣百論疏卷第一 第7紙 汲み込み面（繊維配向なし）

6) 植物片

紙の原料は主に植物の樹皮から抽出した繊維であるが、

繊維を抽出する際に繊維以外のものも混じってしまう。これらを観察することによって繊維を抽出した植物の情報を得ることができることがある。例えば、楮紙には図.3a のような楮の樹皮の混入がしばしば見られ、大麻紙には図.3b のような大麻の茎のかげらの混入が見られる。概ねこれらの大きさは数 mm 程度である。



図.3a 楮樹皮（受菩薩戒文一卷（Pel liot Chinois 2147）第5紙）



図.3b 大麻茎（進新譯大方廣佛花嚴經表（Pel liot Chinois 2314）第2紙）

7) 繊維

繊維を観察する場合には以下のような特徴を観察する。線條痕（Striation）, Dislocation, 十字痕（Cross mark）, 内腔（Lumen）, 細胞壁（Fibre cell wall）など。これらのいくつかは繊維幅よりもさらに小さな部分を観察することになる。また、繊維を構成するマイクロフィブリルの観察に関しても同様である。

繊維長の範囲（0.4～250[mm]）

繊維幅の範囲（1～80[μ m]）

以下に代表的な紙繊維（楮、苧麻、大麻、雁皮、三椏）の顕微鏡画像を示す（図.4a-e 参照）。繊維に色が付いてい

るものは偏光観察によるものである。

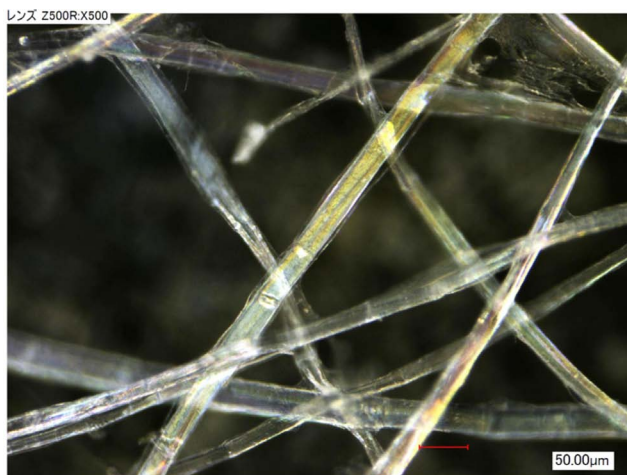


図.4a 桧繊維

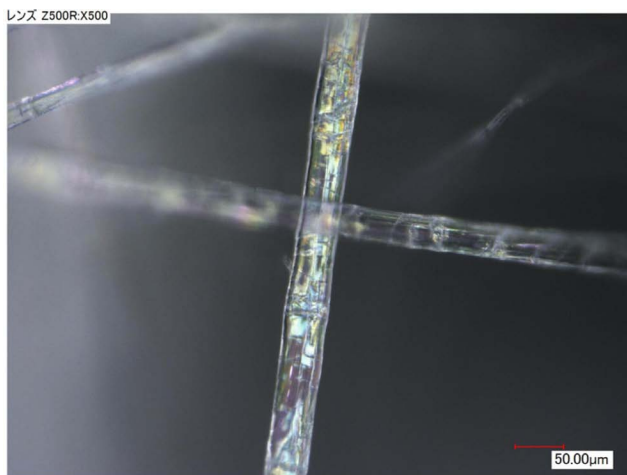


図.4b 苧麻繊維

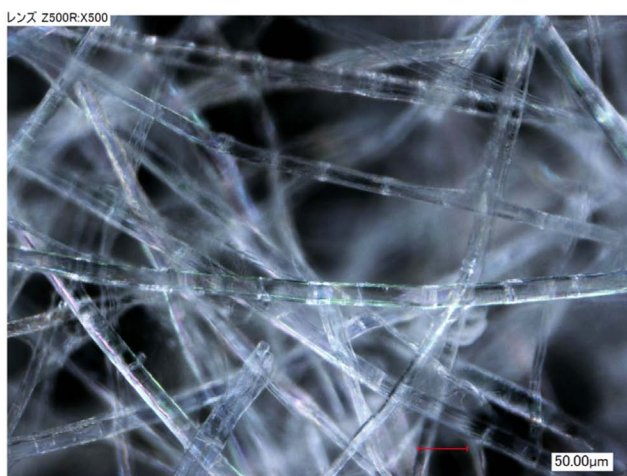


図.4c 大麻繊維



図.4d 雁皮繊維

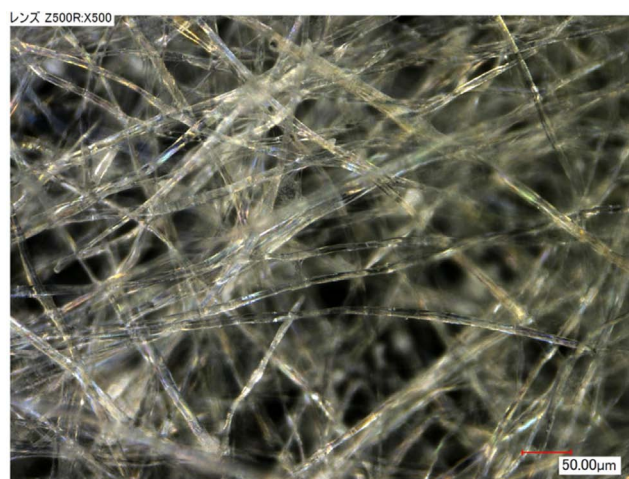


図.4e 三椏繊維

8) その他の植物由来細胞 (導管細胞 (Vessel cell), 柔細胞 (Parenchyma cell), 表皮細胞 (Epidermal cell))

これらの細胞も繊維を抽出した植物の情報を与えてくれる。例えば、竹紙は導管細胞を多く含み、稲藁紙は多数の表皮細胞を含んでいる。

様々な大きさの細胞があるが、これらの細胞の中では導管細胞が比較的大きく、数十 μm から数百 μm のサイズで、柔細胞や表皮細胞は数 μm から数十 μm の大きさのものが多。

9) 植物由来の物質 (蔞酸カルシウム結晶、珪酸体)

紙の材料となる植物は蔞酸カルシウムの結晶や珪酸体 (プラントオパール) などを含んでいる。これらは繊維を抽出する際に繊維とともに抽出され、結果として紙の中に混入して存在する。これらも繊維を同定する際の情報になる。例えば、桧はキュービック結晶 (図.5 参照) とクラスター結晶 (共に蔞酸カルシウム結晶であるが結晶構造が異なる。) を持っているが、苧麻はクラスターク

リスタルを持つが、キュービックリスタルはあまり見られない。また、イネ科植物には珪酸体を含んでいるものが多い。

蓆酸カルシウム結晶のサイズ (～15[μm])

珪酸体のサイズ (～数[μm])

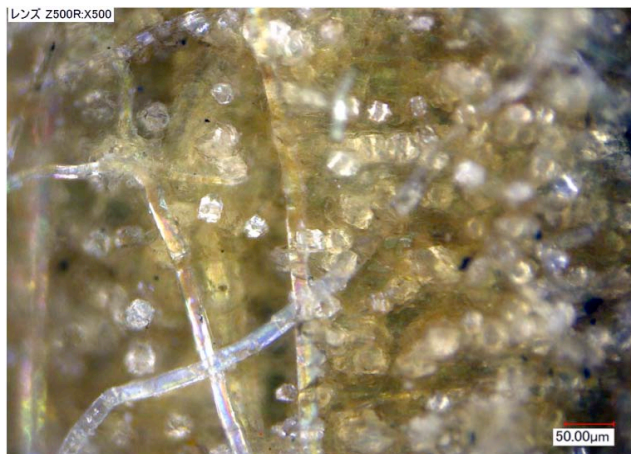


図.5 楮紙に含まれる蓆酸カルシウムのキュービックリスタル

1 0) 填料 (澱粉, 鉱物)

製紙の際には填料として澱粉を混ぜる場合がある。これらも重要な情報として観測する。日本では米粉を入れた紙が多数見られ、アラブ地域ではインクの滲みを抑えるためのサイジング材として小麦粉を使用していたことが知られている。また、敦煌文書からは小麦、粟、黍、米と見られる澱粉が見つまっている。(図.6 参照) [2]

澱粉のサイズ (直径 (1～50[μm]))



図.6 小麦澱粉粒 (戊辰年十月十八日就東園算會小印子群牧馳馬牛羊見行籍 (Pelliot Chinois 2484) 第 2 紙)

1 1) 顔料

古文書の中には訓点として朱点があったり、絵が描かれているものがある。これらには顔料が用いられており、これらも重要な情報として観測、分析する。含量の分析には

顕微鏡による観察と蛍光 X 線元素分析を行なう。例えば、図.7 の朱色の顔料は水銀 (Hg) と硫黄 (S) を成分に持つ辰砂である。

顔料のサイズ (～数[μm])

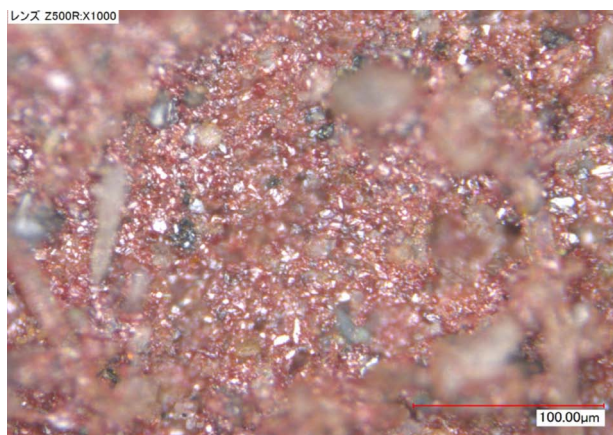


図.7 辰砂 (六門陀羅尼經論并廣釋開決記 (Pelliot Chinois 2165) 第 1 紙)

1 2) 墨

墨も顔料の一つであるが、墨粒子の直径(10～300[nm])はナノメートルのサイズである。光学顕微鏡では波長550[nm]の可視光を用いて観察するのでこの波長より小さな墨粒子の形状を観察することは難しい。従って、より分解能が高い共焦点レーザー顕微鏡 (非破壊分析) や電子顕微鏡 (破壊分析) などを使用しなければならない。

以上のことから、古文書を観察するには、その観測対象によって目視で観察できるものから、ナノレベルでの観察が必要な小さなものまであらゆる解像度での観察が必要になる。参考として、以下の表にフラットベッドスキャナのスキャン解像度と実解像度 (本稿では 1 ピクセル(px)当たりのサイズで単位は μm とした。)の対応、及び、光学顕微鏡の倍率と実解像度 (撮像素子は 200 万画素を使用) の対応を示す。但し、顕微鏡の倍率は 15 インチモニタに表示した際の倍率として定義する。また、撮像素子の画素数が増加すれば計算上実解像度も向上するが、レンズの分解能がそれに伴って高いものでないと鮮明な画像は得られないし、レンズの明るさも関係する。

表.1 スキャン画像と顕微鏡画像の実解像度

スキャナ[DPI]	600	1200	2400	4800	6400	
実解像度[$\mu\text{m}/\text{px}$]	41.7	21.3	10.6	5.3	3.97	
顕微鏡の倍率	x5	x10	x20	x40	x50	
実解像度[$\mu\text{m}/\text{px}$]	40	20	10	5	4	
顕微鏡の倍率	x100	x200	x500	x1000	x2000	x5000
実解像度[$\mu\text{m}/\text{px}$]	2	1	0.4	0.2	0.1	0.04

4. 科学分析データのアーカイブについて

古文書の科学分析によって前節で述べたようなデータが得られるが、これらのデータを古文書を扱う研究者や保存修復技術者を主な対象として公開する必要がある。実際に筆者らはこれまでにフランス国立図書館に所蔵されている敦煌文書のコレクションであるペリオコレクションの科学分析を行なったが、得られたデータの公開を研究者から望まれており、以下のサイトで公開を進めている(図.8参照)。

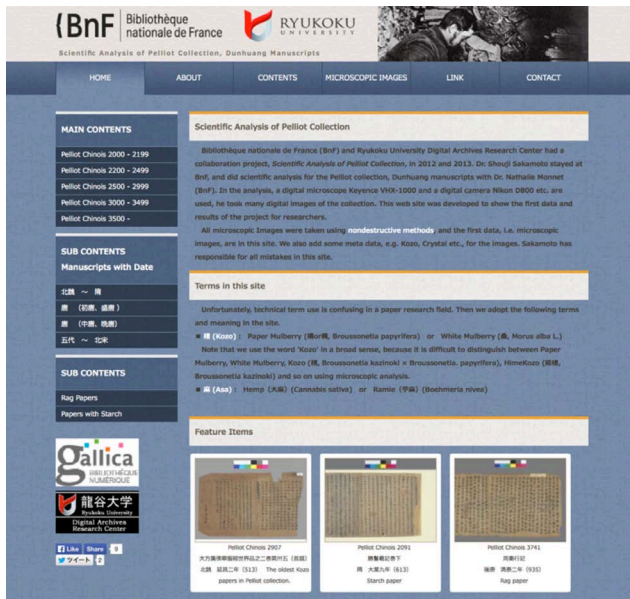


図.8 <http://www.afc.ryukoku.ac.jp/pelliot/index.html>

一般的な古文書のデータベースでは扱わないような特殊なデータを扱うので、科学分析データベースを作成するにあたっていくつか考慮した点を以下に述べる。

1) ペリオコレクションのデジタルアーカイブはすでに済んでおり、画像データもフランス国立図書館のデータベース Gallica (<http://gallica.bnf.fr>) や国際敦煌プロジェクトのデータベース (<http://idp.bnf.fr>) で公開されている。しかし、図書館が公開しているデータベースは書誌学情報を元にして設計されており、登録されている件数も数万件～数百万件に昇る。このような既存の書誌情報を基本としたデータベースに科学分析で得られた特殊なデータを追加入力し、専門家が利用しやすい形で公開することは難しい。そこで、我々はペリオコレクションの科学分析データベースを独自に作成した。但し、科学分析データベースに登録されている文書は Gallica に登録されている文書にリンクされている。従って、文書の画像や書誌情報は Gallica を参照し、科学分析データは科学分析データベースを参照する形になる。

2) 現段階で分析した文書数が数百点であるが、これらすべてを明示する表示方法を採用することによってデータベースのブラックボックス化を防いだ。従って、ユーザーがデータベースに関する事前知識なしに登録されたすべてのデータを把握できるようにした。

3) 専門用語の統一がなされておらず、その使用に関して混乱していることと、外国語の専門用語との対応が取れない場合があるので、その使用方法についてはサイト内で使用する用語の定義を明示する必要がある。

例えば、用語「楮」に関して、桑科の植物である楮(学名: *Broussonetia kazinoki* × *Broussonetia papyrifera*) は梶の木(学名: *Broussonetia papyrifera*) と姫楮(学名: *Broussonetia kazinoki*) の雑種といわれており、姫楮の学名に *kazinoki* が使用されていることから混乱が生じていたことがわかる。また、顕微鏡でこれらの樹皮繊維を観察しても分類することが非常に難しく、桑(学名: *Morus alba*) の樹皮繊維とも非常に似ており、楮と桑の繊維も顕微鏡観察では区別がつかない。また、用語「麻」に関しては、狭義の意味では大麻(学名: *Cannabis sativa*) を指すことが多いが、広義の意味では、大麻、苧麻(学名: *Boehmeria nivea*)、黄麻(学名: *Corchorus capsularis*)、亜麻(学名: *Linum usitatissimum*) などの総称としても使用される。また、古代の日本や中国では麻を繊維の意味で使用していたことも知られている。繊維分析では日本や中国では大麻や苧麻が繊維として用いられていたことから、麻を大麻又は苧麻として使用することもあるが、英語やフランス語などにはこのような意味での麻に対応する用語は存在しない。

5. まとめ

本稿では、古文書の材料分析と分析によって得られるデータを紹介した。さらに、このような科学分析データのアーカイブの一例としてペリオコレクションの科学分析のサイトを構築した。ここで扱われるデータは極めて専門的なデータであり、研究者を主な対象者としたものである。今後は研究者が使いやすいように研究成果と連動した形でのデータの整理や表示方法について検討していかなければならない。

参考文献

- 1) 坂本昭二 他: 大英図書館蔵スタインコレクション「金剛般若経」の科学分析 ~最も古い記年のある印刷本の料紙について~, 日本文化財科学会第 29 回大会, pp.386-387 (2012)
- 2) 坂本昭二 他: 敦煌文書料紙における澱粉の使用について, 日本文化財科学会第 31 回大会, pp.364-365 (2014)