

敦煌漢文文書の紙に使用されている粒状物の分析

坂本昭二 ・ 岡田至弘

●キーワード：敦煌文書 (Dunhuang document), 紙分析 (paper analysis), デンプン (starch), 填料 (filler)

1. はじめに

20世紀初頭、敦煌莫高窟を管理していた道士の王円籙によって莫高窟の第17窟に封じられていたおよそ4万点ともいわれる大量の文書が発見された。1907年に文書発見の噂を聞きつけたイギリスの探検家のオーレル・スタイン (Aurel Stein) が敦煌を訪れ、王円籙から馬蹄銀4枚で大量の文書を購入し、イギリスに持ち帰った。翌年、フランスの探検家ポール・ペリオ (Paul Pelliot) が敦煌を訪れ、中国語など多数の言語に精通するペリオは敦煌文書が封印されていた藏経洞 (第17窟) 内での3週間の調査を許され、残されていた大量の文書に目を通し価値の高い文書数千点を選び出して購入した。

これらはそれぞれスタインコレクション、ペリオコレクションと呼ばれ、現在、両コレクションはロンドンの大英図書館とパリにあるフランス国立図書館にそれぞれ保管されている。敦煌文書は5世紀から11世紀に書かれた文書からなり、その大半は仏教経典が占めているが、道教や儒教の経典、世俗文書など多岐にわたっている。この数万点に昇る敦煌文書は他に類を見ない量と質を兼ね備えたものと見なされており、敦煌学と呼ばれる新たな学問領域が生み出された程である。このような貴重な研究資料であるが、その文書の紙についての視点から見ても中国を起源とする製紙の歴史を伺い知る上で貴重なコレクションである。

本研究では数百点の敦煌漢文文書の紙を分析した結果、

多数の文書の紙に粒状物が混入しており、粒状物はその大きさと形状から3種類に分類できることを示す。さらに、時代によって紙に使用されている粒状物の種類が異なることを示す。

尚、本稿中に現れる「Pelliot Chinois XXXX」はフランス国立図書館で使用されているペリオコレクションの文書番号で、「Or 8210/S.XXXX」は大英図書館のスタインコレクションの文書番号である。これらの文書はデジタル化されており、デジタル画像が国際敦煌プロジェクトのデータベース (<http://idp.afc.ryukoku.ac.jp>) やフランス国立図書館のデータベース Gallica (<http://gallica.bnf.fr>) にて公開されている。

2. 分析

今回の調査では漢文で書かれた敦煌文書414点 (ペリオコレクションから309点、スタインコレクションから105点) の紙を非破壊の方法で分析した。観察には高解像デジタル顕微鏡 (Keyence VHX-1000) を用い、紙表面に見られる粒状物を直接観察した。この結果、125点の文書の紙から明瞭に粒状物を確認することができ、さらに、31点の文書の紙から不明瞭に粒状物を確認することができた。従って、分析した414点の敦煌漢文文書の紙のうち4割弱の合計156点の文書の紙から粒状物が見つかった。

粒状物が不明瞭に観察される文書は過去の修理によって紙表面にシルクガーゼが糊付けされたものである (後

にシルクガーゼが剥がされたものもあるが、糊は紙表面に付着したまま残っている。この修復糊によって紙表面を明瞭に観察できないが、糊の層を通して不明瞭ながら粒状物を確認できる。但し、不明瞭なので粒状物の粒径計測は行っていない。この粒状物が修復糊由来でないことは、修復糊の表面に粒状物がないことと修復糊が塗布されているにもかかわらず粒状物が見えない紙が多数存在すること（即ち、粒状物が混入していない紙の表面に修復糊を塗布したと考えられる。）から推定される。

一方、粒状物が明瞭に観察される文書については、紙表面に修復糊の塗布がなされていないか、修復糊の塗布が不十分（紙表面に糊が塗布されていない箇所がある。）な文書であり、これらについて粒状物の粒径計測を行った。このうち 65 点は記年を持つ文書で、残りの 60 点は記年のない文書である。

後述するが、観察された粒状物はデンプン粒と思われる。一般的に行われているデンプン粒の分析には透過型の偏光顕微鏡を用いてサンプルとして採取されたデンプン粒の偏光十字を観察する方法（図 13 参照）とデンプンをヨウ素で染色して呈色を観察する方法がある。しかし、前者の方法は紙の厚さのために透過光によるデンプンの偏光十字の観察は困難である。また後者の方法も敦煌文書が貴重な文化財資料であるため、試料サンプリングや染色を行うことは難しい。従って、今回の顕微鏡観察は主に反射偏光観察を行った。

なお、紙の平滑化や不透明性の向上には白土や胡粉など鉱物質の填料が使用されることがある。敦煌文書の紙の中にも鉱物質の填料の使用が見られるものも存在するが、本稿では議論しない。

2.1 粒状物の分類

顕微鏡観察で粒状物の混入が確認された文書の紙 125 点について、粒状物の形状とその粒径を調査した。それらを比較した結果、以下に述べるような特徴を持つ 3 つのクラスに分類できた。

Class 1：平均粒径がおよそ 4～6 [μm] で標準偏差がおよそ 1、形状は多角形。

Class 2：平均粒径がおよそ 9～10 [μm] で標準偏差がおよそ 2、形状は多角形で、丸みのあるものも見られる。

Class 3：粒径がおよそ 1～40 [μm] で標準偏差がおよそ 7～10、概ね円形の形状を持つ大型の粒子（およそ 15～35 [μm]) と小型の粒子（およそ 3～10 [μm]) がある。

これらの 3 つのクラスの具体例を以下に挙げる。例 1～3、例 4～6、例 7～9 はそれぞれ Class 1、Class 2、Class 3 の例である。

<例 1>

『勝鬘義記卷下』（Pelliot Chinois 2091）は隋時代の太業九年（613）の記年を持つ勝鬘經（仏教経典の一つ）の注釈書であるが、この卷子本の第 4 紙に含まれる粒状物の粒径を計測した結果、平均粒径 5.68 [μm]、標準偏差 1.05（サンプル数：33 個）であった。また、形状は図 1 に示すように多角形をしている。

<例 2>

『諸經要集』（Pelliot Chinois 2163）は仏教経典から善悪に関する記述を集めたものであり、唐時代の開元二十三年（735）の記年を持つ文書である。第 1 紙に含まれる粒状物の粒径を計測した結果、平均粒径 4.89 [μm]、標準偏差 0.8（サンプル数：44 個）であった。また、形状は図 2 に示すように多角形をしている。

<例 3>

『天請問經疏』（Pelliot Chinois 2135）は天請問經の注釈書で記年はない。第 4 紙に含まれる粒状物の粒径を計測した結果、平均粒径 5.04 [μm]、標準偏差 0.8（サンプル数：68 個）であった。また、形状は図 3 に示すように多角形をしている。

<例 4>

『春秋穀梁傳集解』（Pelliot Chinois 2536）は唐時代の龍朔三年（663）の記年を持つ道教経典で、この卷子本の第 4 紙に含まれる粒状物は平均粒径 9.16 [μm]、標

準偏差 1.83（サンプル数：61 個）であった。形状は図 4 に示すような多角形をしている。

<例 5>

『太玄真一本際經卷第二』（Pelliot Chinois 2475）は唐時代の開元二年（714）の記年を持つ道教經典で、この卷子本の第 10 紙に含まれる粒状物は平均粒径 9.12 [μm]，標準偏差 1.91（サンプル数：50 個）であった。形状は図 5 に示すような多角形をしている。但し、この文書は 3 種類の異なる紙（第 1～9 と 11 紙，第 10 紙，第 12 紙）からなる卷子本であることが目視観察でわかる（第 10 紙と第 12 紙は上下の界線のずれが見られることから差し替えられた紙と思われる。）が、第 9 紙と第 10 紙を顕微鏡観察したところ、第 9 紙には粒状物は確認できなかったが、第 10 紙から粒状物が確認できた。

<例 6>

『文子道德第五』（Pelliot Chinois 3768）は唐時代の天宝十年（751）の記年を持つ道教經典で、この卷子本の第 3 紙に含まれる粒状物は平均粒径 9.32 [μm]，標準偏差 1.94（サンプル数：81 個）であった。形状は図 6 に示すような多角形をしている。

<例 7>

『發病書』（Pelliot Chinois 2856）は唐時代の咸通三年（862）の記年を持つ文書で、この文書の第 5 紙に含まれる粒状物は平均粒径 20.66 [μm]，標準偏差 7.71（サンプル数：45 個）であった。形状は図 7 に示すように概ね円形である。

<例 8>

『清泰三年六月沙州僦司教授福集等狀』（Pelliot Chinois 2638）は後唐時代の清泰三年（936）の記年を持つ文書で、この文書の紙に含まれる粒状物は平均粒径 14.49 [μm]，標準偏差 8.66（サンプル数：74 個）であった。形状は図 8 に示すように概ね円形である。

<例 9>

『天福七年十一月廿二日歸義軍節度使曹元深捨施廻向

疏』（Pelliot Chinois 4046）は後晋時代の天福七年（942）の記年を持つ文書で、この文書の紙に含まれる粒状物は平均粒径 16.0 [μm]，標準偏差 8.26（サンプル数：142 個）であった。形状は図 9 に示すように概ね円形である。

図 10 は例 1～9 の粒状物の粒径分布のヒストグラムを比較したものである。図 11 は粒状物を含む各文書の紙の粒状物の平均粒径と標準偏差を平面上にプロットしたものであるが、粒径に関する統計情報のみでも上述の 3 つのクラスターを形成していることが確認できる。図 11 中の青色が Class 1（11 点），緑色が Class 2（16 点），赤色が Class 3（103 点）を表す。紙を分析した際に紙繊維の分析を行ったのでこの情報も加えた。丸は楮紙で、三角は麻質の紙を表している。（但し本稿では、楮紙はカジノキの繊維やクワの繊維で作られた紙を指し、麻質の紙はタイマ繊維を主な原材料としたと見られる紙で再生紙や襤褸布片などを含む紙も総称して麻質の紙と表す。）すなわち、Class 1（青丸のみ）と Class 2（緑丸のみ）の粒状物は楮紙のみから見つかった。また、Class 3 の粒状物を持つ紙は 2 点の楮紙の例外（図 11 中の赤丸）を除いては全て麻質の紙（図 11 中の赤三角）であった。

2.2 時系列解析

敦煌文書の中には文書が書かれた年月日や場所、書写した人物の名前などが記されているものが存在する。このような文書は敦煌文書全体からすれば数パーセントであるが、数百点の記年を持つ文書がある。本研究で調査した記年のある漢文文書は 227 点であるが、このうち上述の明瞭に粒状物を観察できた文書 65 点の粒状物の粒径計測結果と記年情報を手掛かりとして年単位での時系列分析を行った。

敦煌文書で最も古い記年を持つ文書は西涼の建初元年（405）の記年を持つ『十誦比丘波羅提木叉戒本』（Or 8210/S.797）で、最も新しい記年を持つ文書は北宋の至道元年（995）の記年を持つ『至道元年正月一日沙州何石住等戸受田籍』（Or 8210/S.4172 + Pelliot Chinois 3290）であることから、およそ 5 世紀から 10 世紀頃までの文書で構成されていることがわかる。本分析において粒状物が確認できた最も古い記年を持つ文書の紙は例

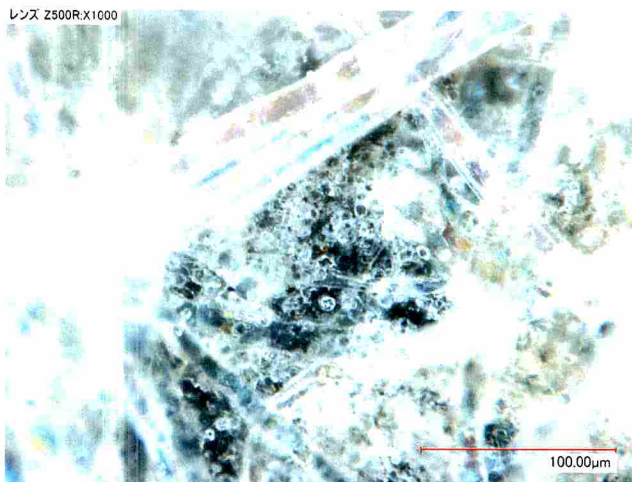


図1 粒状物 (Pelliot Chinois 2091 第4紙 隋 大業九年 (613))
Fig. 1 Particles (Pelliot Chinois 2091 Panel 4 Sui (613))



図4 粒状物 (Pelliot Chinois 2536 第4紙 唐 龍朔三年 (663))
Fig. 4 Particles (Pelliot Chinois 2536 Panel 4 Tang (663))



図2 粒状物 (Pelliot Chinois 2163 第1紙 唐 開元二十三年 (735))
Fig. 2 Particles (Pelliot Chinois 2163 Panel 1 Tang (735))

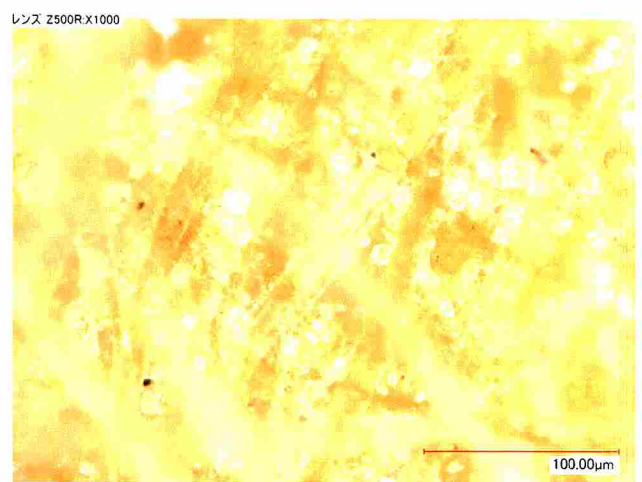


図5 粒状物 (Pelliot Chinois 2475 第10紙 唐 開元二年 (714))
Fig. 5 Particles (Pelliot Chinois 2475 Panel 10 Tang (714))

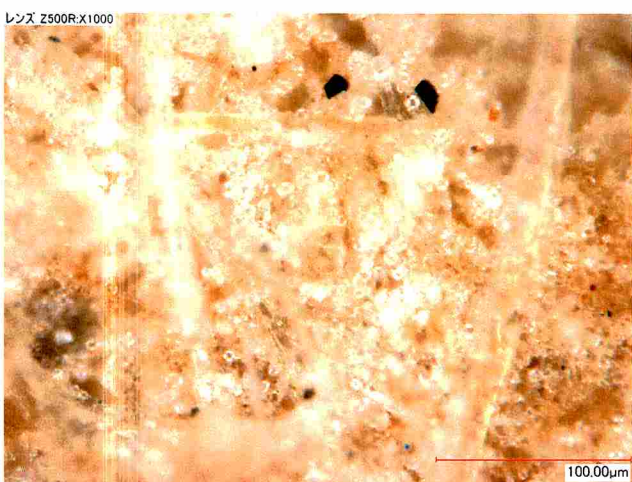


図3 粒状物 (Pelliot Chinois 2135 第4紙)
Fig. 3 Particles (Pelliot Chinois 2135 Panel 4)

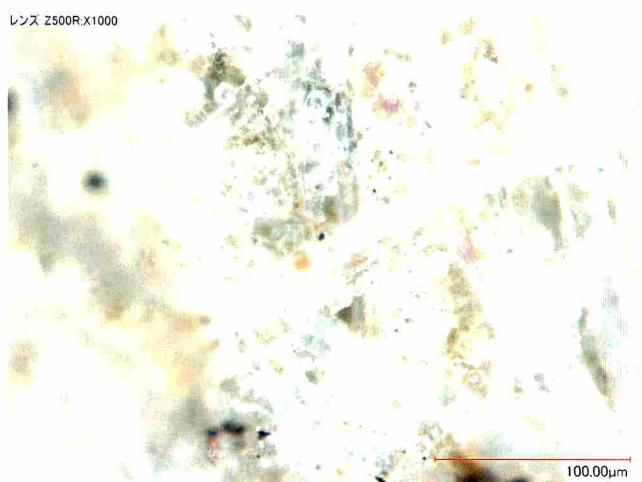


図6 粒状物 (Pelliot Chinois 3768 第3紙 唐 天寶十年 (751))
Fig. 6 Particles (Pelliot Chinois 3768 Panel 3 Tang (751))

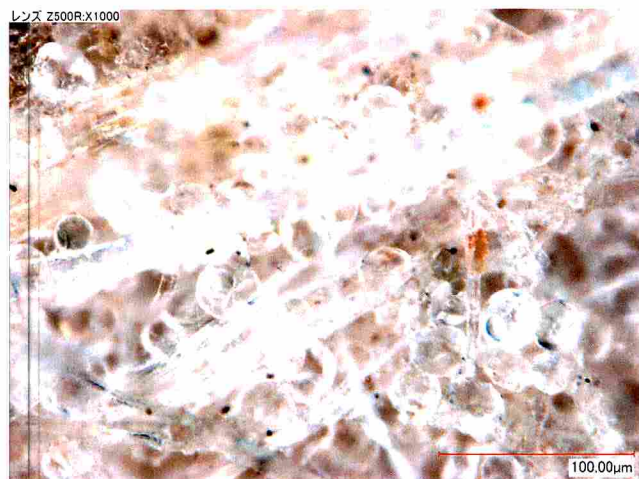


図7 粒状物 (Pelliot Chinois 2856 第5紙 唐 咸通三年 (862))
Fig. 7 Particles (Pelliot Chinois 2856 Panel 5 Tang (862))

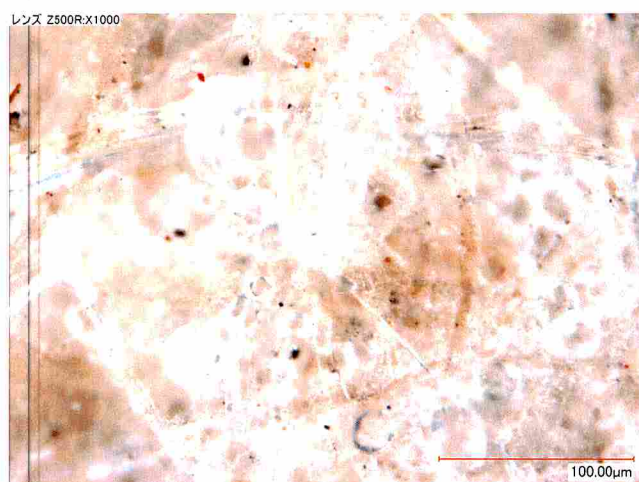


図8 粒状物 (Pelliot Chinois 2638 第2紙 後唐 清泰三年 (936))
Fig. 8 Particles (Pelliot Chinois 2638 Panel 2 Tang (936))

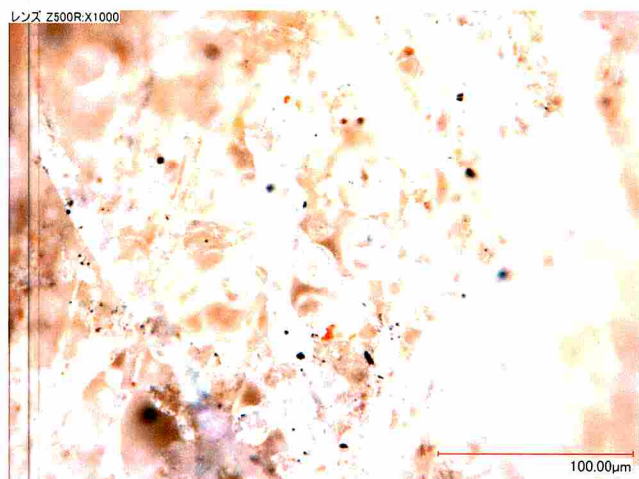


図9 粒状物 (Pelliot Chinois 4046 後晋 天福七年 (942))
Fig. 9 Particles (Pelliot Chinois 4046 Tang (942))

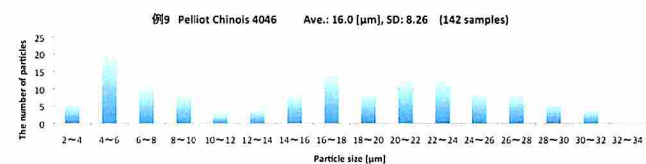
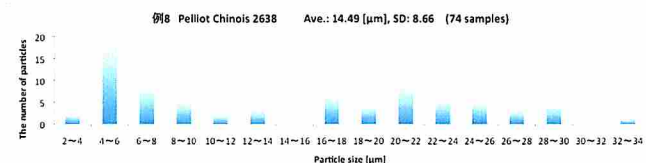
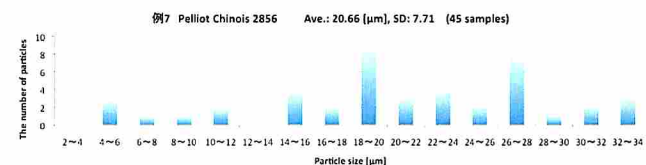
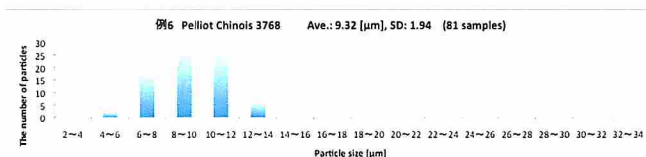
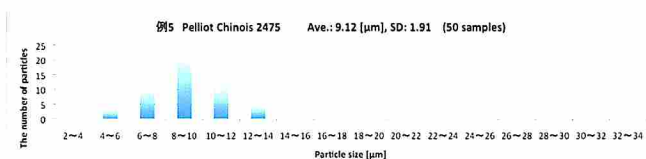
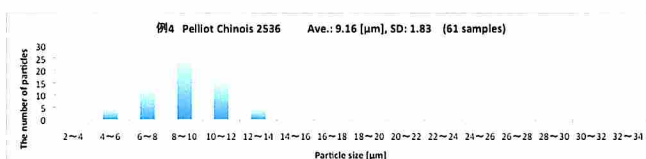
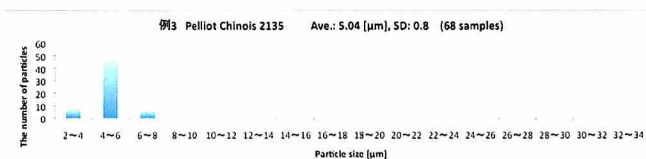
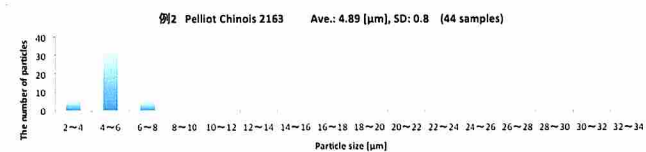
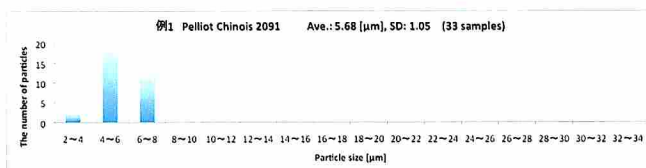


図10 例1～9の粒径のヒストグラム

Fig. 10 Histogram of particle size of examples 1 ~ 9

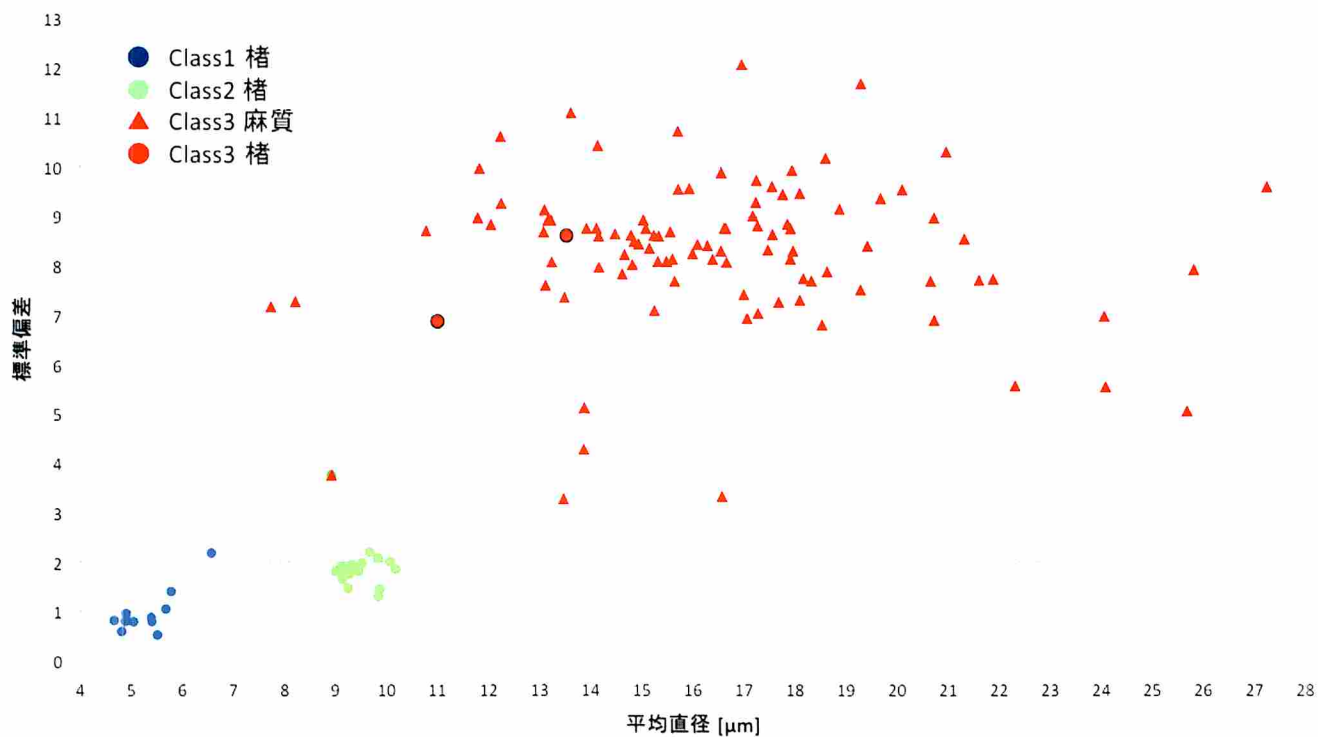


図 11 粒状物の平均粒径とその標準偏差（文書数：125 点）

Fig. 11 Average diameter and one standard deviation of particles (125 documents)

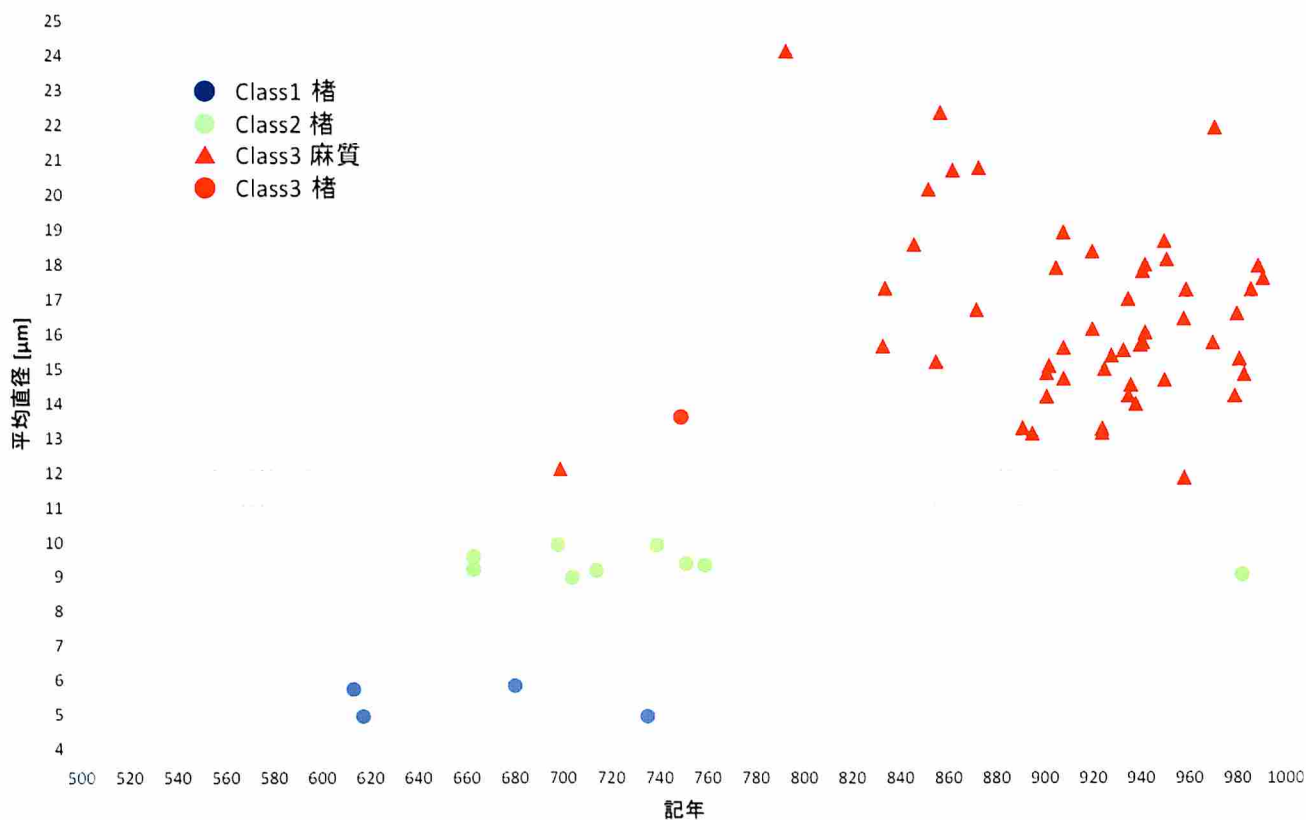


図 12 粒状物の平均粒径と記年（文書数：65 点）

Fig. 12 Average diameter of particles and date of documents (65 documents)

1 に挙げた隋代の太業九年（613）八月五日に沙門の曇
皎によって書写された『勝鬘義記卷下』（Pelliot
Chinois 2091）で、Class 1 の特徴を持つ粒状物を含む
楮紙であった。図 12 は粒状物を含むものを記年順に並
べたものである。Class 1 の粒状物を持つ紙は 4 点（図
12 中の青丸）しかないが、613 年から 735 年の期間にわ
たって存在し、Class 2 の粒状物を持つ紙は 663 年から
759 年の期間にわたって 8 点が存在し、飛んで 982 年
（北宋の太平興国七年）に 1 点存在（『千手千眼觀世音菩
薩廣大圓滿無礙大悲心陀羅尼』（Pelliot Chinois 3912）
した（図 12 中の緑丸）。上でも述べたようにこれらは全
て楮紙であった。Class 3 の粒状物を持つ紙は、699 年
の記年をもつ『大周進新譯大方廣佛花嚴經進表及總目』
（Pelliot Chinois 2314）の麻質の紙と 749 年と 759 年の
記年をもつ『天寶八載三月二十二日史令狐良嗣牒』（Or
8210/S.2703）の楮紙（図 12 中の赤丸）以外は全て中唐
以降の麻質の紙 48 点（図 12 中の赤三角）であった。

3. 考察

3.1 デンプン粒の可能性

本節では、分析によって見つかった粒状物がデンプン
粒である可能性について検討する。

紙を作成するにあたって書写に適したものにするため
製紙の段階で様々な工夫がなされる。例えば、紙を平滑
にするための打紙加工、墨やインクなどの滲みを防ぐた
めのサイジング処理、そして、紙が透けるのを防ぐため
の填料混入などの処理がある。このような加工処理にデ
ンプンを使用したケースがあったことはよく知られてお
り、文献資料の調査から日本でも古くから繊維の他にコ
メ粉を入れて紙を漉いていたことが知られており（久米：
2008）、実際にそのような古文書の紙が多数存在するこ
とは先行研究によって示唆されている。例えば、近年行
われた正倉院文書の紙の調査においてもコメ粉らしき填
料の使用が示唆されており（杉本：2010）、中世の版本
の紙からもコメデンプンとみられる粒状物が見つかって
いる（坂本ら：2015）。一方、紙を発明した中国からシ
ルクロードを経て西方へと製紙法が伝わり、アラブ世界
でも紙が作られるようになったが、ここではペン書きに
適するようにサイジング処理が施されていた。このサイ

ジング処理にはコムギデンプンやコメデンプンが使われ
ていたことが記録として残っており、デンプンに水を加
えて加熱したものを紙に塗布したことも記録として残っ
ている（Bloom：2001, Barkeshli：2003）。これらは身
近に存在していたコメ粉やコムギ粉が製紙に使用された
例である。

次に、敦煌文書の紙から見つかった粒状物とデンプン
粒の比較を行う。一般に、顕微鏡観察によるデンプン粒
のサイズや形状の情報のみからその植物を同定すること
は難しいとされている（西田：2015）。しかし、幸いに
も敦煌文書の中には当時の穀物に関連した記述のある文
書が少なからず存在し、植物の候補を絞ることができる。
このような歴史史料や考古学研究によると、古代中国に
おける主な穀物はオオムギ、コムギ、アワ、キビ、ヒエ、
コメ、モロコシなどの穀類、そして、ダイズ、エンドウ、
ソラマメ、アズキなどの豆類などが生産されていた。特
に敦煌においては敦煌文書の記述から当初はアワやキビ
が主食であったが、唐代にはコムギが主食になっていた
と考えられている（高：2013）。製紙にデンプンを使用
するには製粉する必要があるが、穀物を加工するための
石製の臼が多数発見されていること、敦煌文書にも穀物
の加工を行う業者である「蓋戸」の記述や穀粉の記述が
あること（那波：1941, Pelliot Chinois 2094 vb など）
が知られており、コムギ粉やアワ粉などの穀粉は麺類、
餅、酒の醸造など様々な食品の材料として一般的に使用
されていた。製紙への利用についてもこれらの穀粉を利
用した可能性がきわめて高いと考えられることから、こ
れらの穀物とそのデンプン粒の形状や粒径などの特徴を
以下に示す。

まず、参考として現代のコメ、ダイズ、キビ、ヒエ、
アワ、コムギのデンプンの粒径計測結果と顕微鏡画像を
それぞれ表 1 と図 13-18 に示す。

表 1 現代のデンプンの粒径
Table. 1 Particle size of modern starch

粒径	コメ	ダイズ	キビ	ヒエ	アワ	コムギ
平均 [μm]	4.89	5.34	6.78	7.52	9.18	13.18
標準偏差	0.80	1.27	1.43	1.36	1.96	7.75
最小 [μm]	3.05	3.33	3.27	4.45	4.11	2.92
最大 [μm]	7.80	7.97	11.22	12.51	17.7	34.79
サンプル数	142	17	121	209	225	186

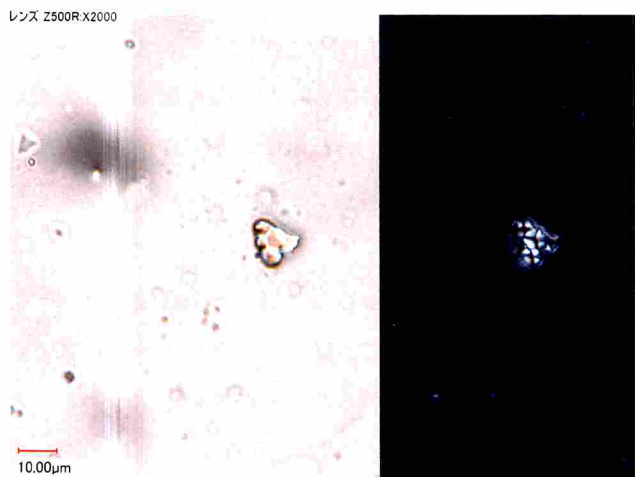


図 13 ダイズデンプン (透過光観察, 左: Open Nicol, 右: Cross Nicol)

Fig. 13 Soybean starch (Transmitted light, Left: Open Nicol, Right: Cross Nicol)

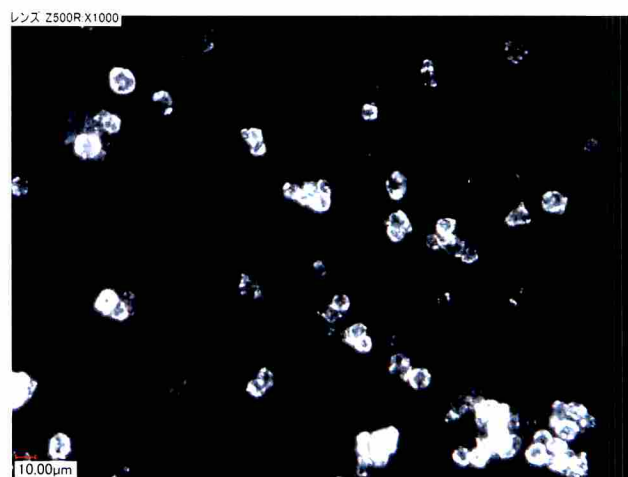


図 16 ヒエデンプン (反射光観察, Cross Nicol)

Fig. 16 Japanese barnyard millet starch (Reflection light, Cross Nicol)

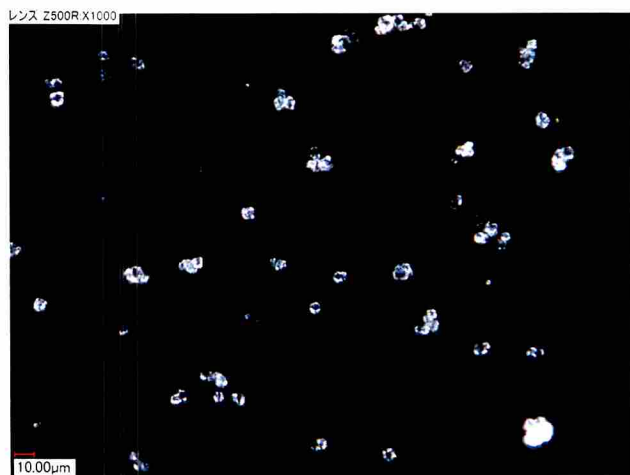


図 14 コメデンプン (反射光観察, Cross Nicol)

Fig. 14 Rice starch (Reflection light, Cross Nicol)

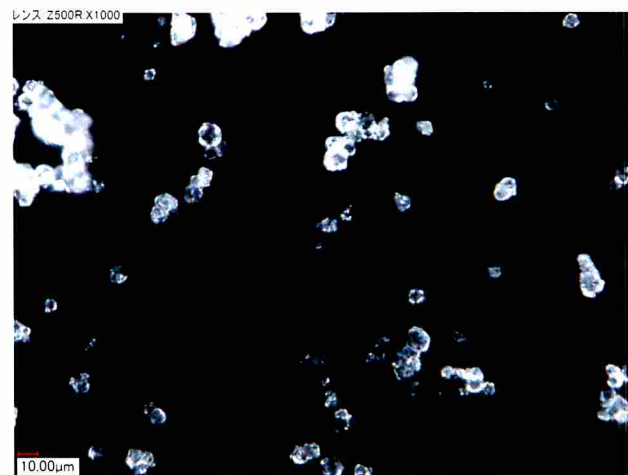


図 17 アワデンプン (反射光観察, Cross Nicol)

Fig. 17 Foxtail millet starch (Reflection light, Cross Nicol)

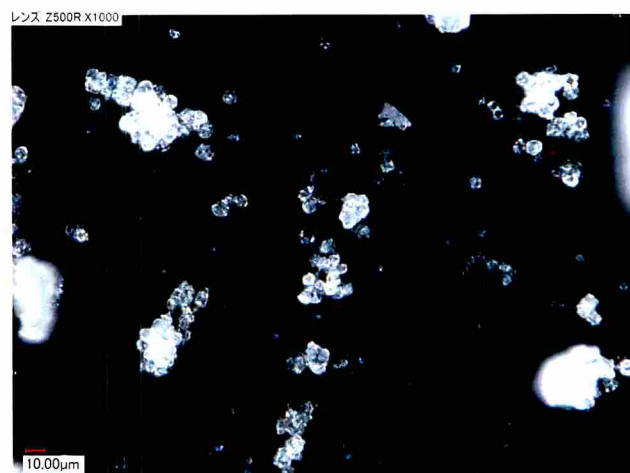


図 15 キビデンプン (反射光観察, Cross Nicol)

Fig. 15 Proso millet starch (Reflection light, Cross Nicol)



図 18 コムギデンプン (反射光観察, Cross Nicol)

Fig. 18 Wheat starch (Reflection light, Cross Nicol)

次に、デンプンに関しては食品や考古学などの分野において様々な植物のデンプンに関する研究がすでに行われており、その形状や大きさについての調査も行われている。これら先行研究も参考にし、各種デンプンの特徴を以下に示す。

- ・コメは小さなデンプン粒を持ち、平均粒径はおおよそ 5 [μm]、標準偏差はおおよそ 1、粒径範囲はおおよそ 3 ~ 8 [μm] で、形状は多角形の粒子である（不破・杉本：1987、渋谷：2010、今中：2014）。この特徴は Class 1 の粒状物のそれと同様である。特に稲作に関しては主に温暖湿潤な気候である揚子江沿いなど華南で行われていることが知られている。

- ・ダイズもコメ同様に小さなデンプン粒を持ち、平均粒径はおおよそ 4 ~ 5 [μm]、標準偏差はおおよそ 1、その粒径範囲はおおよそ 1 ~ 7 [μm] で多角形の粒子で、丸みのあるものもある。但し、ダイズのデンプンはダイズの成長とともに減少してしまい、デンプン含有量が穀類や他の豆類と比較して少なく、デンプン粒を見つけにくい（多田・川村：1963、Wilson et al.：1978、Stevenson et al.：2006）。成長したダイズは子葉接合部にデンプンが多く分布し、種皮周辺側に少ないことが報告されている（今中：1988）。

形状は Class 1 の粒状物に似ている。しかし、図 1 ~ 3 に見られるように粒状物が大量に混入していることから、これらがダイズデンプンであるとは考えにくい。

- ・キビのデンプン粒は平均粒径がおおよそ 7 ~ 8 [μm]、標準偏差がおおよそ 1.3 ~ 1.4、粒径範囲がおおよそ 5 ~ 11 [μm] で多角形の粒子である（星野：1984、不破・杉本：1987、渋谷：2010、葛ら：2010、楊ら：2010）。敦煌文書の中にキビに関する記述も見られる。

- ・ヒエのデンプン粒は平均粒径がおおよそ 7 ~ 8 [μm]、標準偏差がおおよそ 1.3 ~ 1.4、粒径範囲はおおよそ 6 ~ 12 [μm] で多角形の粒子である（星野：1984、不破・杉本：1987）。

- ・アワのデンプン粒は平均粒径がおおよそ 9 ~ 11 [μm]、標準偏差がおおよそ 2、粒径範囲がおおよそ 5 ~ 17 [μm] で、形状は丸みのある多角形の粒が多く、円形に近いものも若干見られる（川上：1975、不破・杉本：1987、星野：1984、渋谷：2010、葛ら：2010、楊ら：2010）。ヒエやキビのデンプンと比較して若干サイズが大きく、粒径範囲も広い。

この特徴は Class 2 の粒状物のそれと最も近いものである。アワに関しては税として納められるほど一般に流通しており、敦煌文書の中にも多数のアワに関する記述が見られる。

- ・モロコシのデンプン粒は平均粒径がおおよそ 11 [μm]、粒径範囲がおおよそ 5 ~ 30 [μm] で多角形の粒子で、丸みのあるものもある（星野：1984、Ai et al.:2011、Fan：2014）。

このような特徴を持つ粒状物は今回調査した文書の紙からは見つからなかった。

- ・コムギとオオムギのデンプン粒は大小 2 種類のタイプに分類され、大型デンプン粒の粒径はおおよそ 15 ~ 35 [μm] で概ね円形の形状をしており、小型デンプン粒の粒径はおおよそ 3 ~ 10 [μm] である（横沢：1954）。

オオムギは粒食が可能であるが、コムギは粒食に適さないので製粉されることが一般的であった。また、漢代以降の華北や中央アジアにおいてはすでにオオムギに取って代わってコムギが主流であった。敦煌文書の中にはコムギに関する記述が多数見られる（高：2013）。これらのことから、敦煌文書が作られた時代には同様の特徴を持つ Class 3 の粒状物はコムギデンプンである可能性が高い。

- ・アズキ、エンドウ、ソラマメなどの豆類は比較的大きなデンプン粒を持ち、その形状は円形や楕円形で、短径の範囲はおおよそ 10 ~ 40 [μm]、長径の範囲はおおよそ 15 ~ 65 [μm] である（横沢：1954、川村：1958）。

このような特徴を持つ粒状物は今回調査した文書の紙からは見つからなかった。

以上に述べたデンプン粒のサイズと形状の特徴、及び、当時の穀物生産状況や製粉加工状況と前節で述べた敦煌文書の紙から見つかった粒状物の分析結果を照らし合わせると、Class 1 の粒状物はコメデンプン、Class 2 の粒状物はアワデンプン（もしくはキビ、ヒエデンプン）、そして、Class 3 の粒状物はコムギデンプンの可能性が高いと考えられる。

但し、コムギデンプンには、円形で粒径 15～35 [μm] のデンプン粒の他に、粒径 3～10 [μm] で形状や大きさのうえでコメデンプンなどと似ているものが存在するので、これらの識別には注意が必要である。

3.2 粒状物の変化に関する考察

隋、初唐、盛唐時代の楮紙に見られる粒状物は Class 1 や Class 2 で、中唐以降の麻質紙に見られる粒状物は Class 3 で、紙の材料が時代によって大きく変化している。このような変化は粒状物に限ったことではなく、紙の簀の目などにも変化が見られることがわかっている（坂本ら：2013）。さらに、敦煌学研究によって筆記具が筆のみからペンも使われるようになり、書体も変化することが知られている（藤枝：1999）。この変化は 755 年から 763 年にかけて起こった安史の乱によって説明できる。

隋、初唐、盛唐時代、敦煌は隋と唐の領土内にあったが、唐の西域への領土拡大が本格的になった初唐、盛唐時代には大量の屯田兵が敦煌やトルファンなどを含む西域の各地に送り込まれ、それに伴って大量の物資や資金（絹織物など）が駅道を通して唐全土から西域に運び込まれるなど流通が活発であった（荒川：2010）。しかし、755 年から 763 年にかけて起こった安史の乱は華北を中心に大混乱を引き起こし、洛陽や長安などが陥落し、この影響で敦煌はチベット系の吐蕃に占領された。その後 851 年に漢人の張議潮によって吐蕃からの独立に成功すると、唐に帰順して帰義軍期がしばらく続くことになる。しかし帰義軍期の敦煌は周囲を吐蕃など他国に囲まれ孤立した独立国家の様相を呈しており、唐中央との流通はほとんどなかった。従って、中唐以降の吐蕃期と帰義軍期の漢文文書の紙の多くは敦煌またはその周辺で作られたものである可能性が高く、敦煌文書中に大量に記述が

出てくるタイマやコムギのような入手が容易であった材料を使って紙を作成したと思われる。以上のことから、安史の乱を境にして、隋、初唐、盛唐時代の Class 1 や Class 2 の粒状物を持つ楮紙から中唐以降の Class 3 の粒状物を持つ麻質の紙への変化は敦煌における歴史的経緯、繊維作物や穀物生産が原因であると考えられる。

4. まとめ

414 点の敦煌漢文文書の紙を調べた結果、156 点の文書の紙にデンプン粒と見られる粒状物が使用されていたことを確認した。これらの粒状物はその粒径と形状から 3 種類のクラスに分類できることを示し、Class 1 の粒状物はコメデンプン、Class 2 の粒状物はアワデンプン（もしくはキビ、ヒエデンプン）、そして、Class 3 の粒状物はコムギデンプンの可能性がきわめて高いことを示した。

さらに、記年情報のある 65 点の文書中の粒状物を手がかりにして時系列分析を行った結果、Class 1 の粒状物は隋代から盛唐時代の楮紙に見られ、Class 2 の粒状物は北宋時代の楮紙の文書 1 点を除いては初唐から盛唐時代の楮紙に見られ、そして、Class 3 の粒状物は盛唐時代の文書 2 点を除いては中唐時代以降の文書に見られ、1 点の楮紙を除いてはすべて麻質の紙に見られた。さらに、Class 1 や Class 2 の粒状物を持つ楮紙から Class 3 の粒状物を持つ麻質の紙への変化は安史の乱による敦煌の状況変化、繊維作物と穀物生産によって説明できることを示した。

分析したペリオコレクションの文書の顕微鏡撮影画像データを以下の URL で公開している。

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

謝辞

本研究を行うにあたって、フランス国立図書館の Nathalie Monnet 博士、大英図書館の Susan Whitfield 博士、Frances Wood 博士、松岡久美子氏に御協力頂き感謝致します。

引用文献

- 荒川正晴 2010 『ユーラシアの交通・交易と唐帝国』 名古屋大学出版会, 630p
- 今中鏡子 1988 「食品組織の基礎的研究 (I) - 乾燥ダイズの組織構造とデンプンの分布について -」 広島文化学園短期大学紀要 (21), pp.27-39
- 今中鏡子 2014 「各種食品デンプン粒の形態観察および光学顕微鏡標本の作り方」 広島文化学園短期大学紀要 (47), pp.1-20
- 川上いつゑ 1975 『デンプンの形態』 医歯薬出版, pp.39-42
- 川村信一郎 1958 「豆類のデンプンの研究(第7報) 総合的考察:デンプン粒の大きさとアミロース含有量とアミログラムとの関係」 デンプン工業学会誌, Vol. 6, No. 2, pp.57-59
- 葛威, 刘莉, 金正耀 2010 「几种禾本科植物淀粉粒形態比較及其考古学意義」 第四紀研究, Vol.30, No. 2, pp.377-384
- 久米康生 2008 『和紙づくりの歴史と技法』 岩田書店, pp.118-120
- 高啓安 2013 『敦煌の飲食文化』 東方書店, pp.4-7
- 坂本昭二, Nathalie Monnet, 岡田至弘 2013 「敦煌文書の科学分析」 Proc. of 3rd International Symposium on Conservation of Cultural Heritage in East Asia, pp.23-26
- 坂本昭二, 小田寛貴 2015 「中世の版本料紙の比較分類」 Proc. of the 2015 International Symposium on Conservation of East Asian Cultural Heritage in Nara, pp.86-87
- 渋谷綾子 2010 「日本列島における現生デンプン粒標本と日本考古学研究への応用—残存デンプン粒の形態分類をめざして」 植生史研究, 第18巻, 第1号, p.13-27
- 杉本一樹 2010 「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, pp.1-71
- 那波利貞 1941 「中晩唐時代に於ける敦煌地方佛教寺院の碾磑經營に就きて」 東亞經濟論叢, 1(3), pp.549-577
- 多田稔, 川村信一郎 1963 「生育及び発芽における大豆炭水化物の変化(第1報)」 香川大学農学部学術報告, 14(2), pp.148-155
- 西田泰民 2015 「残存デンプン分析の進展」 考古学と自然科学, Vol.69, pp.49-57
- 潘吉星 2009 『中国造紙史』 上海人民出版社, pp.158-160
- 藤枝晃 1999 『敦煌学とその周辺』 プレーンセンター, pp.40-106
- 不破英次, 杉本温美 1987 「穀類澱粉の走査電子顕微鏡による観察」 大阪市立大学生活科学部紀要, 第35巻, pp.45-53
- 星野正彦 1984 『デンプンの鑑別』 雄文社出版企画室, pp.114-125
- 楊曉燕, 孔昭宸, 劉長江, 葛全勝 2010 「中国北方現代粟, 黍及其野生近縁种的淀粉粒形態数据分析」 第四紀研究, Vol.30, No.2, pp.364-371
- 横沢一二 1954 「澱粉粒の鑑別法に就いて」 澱粉工業学会誌, Vol. 2 (1954-1955), No. 3, pp.112-117
- Ai YF, Medic J, Jiang HX, Wang DH and Jane JL. 2011 "Starch characterization and ethanol production of sorghum" J Agric Food Chem, 59, pp.7385-7392
- Barkeshli, Mandana 2003 "Historical and scientific analysis on sizing materials used in Iranian manuscripts and miniature paintings" The Book and Paper Group Annual, 22, pp.9-16
- Bloom. J. M. 2001 "Paper before print: The history and impact of paper in the Islamic world" New Haven, Yale University Press, pp.68-69

- Fan Zhu 2014 "Structure, physicochemical properties, modifications, and uses of sorghum starch"
Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13, pp.597-610
- Li, Chun-Yan, Li, Wei-Hua, Lee, Byron, Laroche, Andre, Cao, Lian-Pu, and Lu, Zhen-Xiang 2011
"Morphological characterization of triticale starch granules during endosperm development
and seed germination" Canadian Journal of Plant Science, 91(1), pp.57-67
- Stevenson, David G., Doorenbos, Russell K., Jane, Jay-lin and Ingletta, George E. 2006 "Structures
and functional properties of starch from seeds of three soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)
varieties" Starch 58, pp.509-519
- Yang XiaoYan, Yu JinCheng, LuhouYuan, Cui TianXing, Guo JingNing and Ge QuanSheng 2009
"Starch grain analysis reveals function of grinding stone tools at Shangzhai site, Beijing"
Science in China Series D: Earth Sciences, vol. 52, no. 8, pp.1164-1171
- Wilson, L. A., Birmingham, V. A., Moon, D. P. and Snyder, H. E. 1978 "Isolation and characterization
of starch from mature soybeans" Cereal Chem., 55(5), pp.661-670

(2015 年 12 月 7 日受付, 2016 年 10 月 31 日受理)

Analysis of Particles on the Paper of Dunhuang Documents

Shouji SAKAMOTO and Yoshihiro OKADA

Digital Archives Research Center, Ryukoku University, 1-5 Yokotani, Oe-cho, Seta, Otsu-shi, Shiga 520-2194, Japan

Dunhuang documents were discovered in sealed cave 17 by the Daoist monk Wang Yuanlu (王圓籙) in the early 20th century. About 40,000 documents, including Buddhist manuscripts and social documents, were produced from the 5th to 11th century. This huge collection of documents is a very important historical research resource and has opened up a research field called Dunhuang study. The collection also provides much information about ancient paper and papermaking. We investigated 414 Dunhuang Chinese documents by a nondestructive method using a high-resolution microscope. We found that 156 documents consisted of paper containing starch-like particles on the surface. We classified the particles into three categories based on their shape and size as follows.

Class 1: Polygonal particles with an average particle diameter of $4\text{--}6\text{ }\mu\text{m}$ with one standard deviation of $1\text{ }\mu\text{m}$, similar to rice starch.

Class 2: Polygonal particles with an average diameter of $9\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ with one standard deviation of $2\text{ }\mu\text{m}$, similar to foxtail millet starch.

Class 3: A mixture of nearly round small and large particles. The diameter of the small particles is $3\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ and that of the large particles is $15\text{--}35\text{ }\mu\text{m}$. The particles are similar to wheat starch.

For 65 documents, the production ages were estimated from the recorded dates, places described in the documents, and the names of transcribers, and we performed temporal analysis. Paper with Class 1 particles was used for the documents produced from the Sui (隋) to the High Tang (盛唐) eras, and all the paper was made from mulberry. Paper with Class 2 particles was from the Early Tang (初唐) to the High Tang (盛唐) eras, except for one document from the Northern Song (北宋) era, and was also made from mulberry. Most of the paper with Class 3 particles was from the Middle Tang (中唐) to the Northern Song (北宋) eras, and was made from hemp.