

デジタルアーカイブデータおよび分析データを用いた古文書料紙の分類

－ 天野山金剛寺所蔵の古写経を例として －

坂本 昭二

龍谷大学 古典籍デジタルアーカイブ研究センター

天野山金剛寺に所蔵されている中世に書写された『大宝積経』には宿紙と呼ばれる故紙を漉き返し、紙が大量に使用されている。本研究では経典のデジタル画像および透過光画像を用いた定量的な分析を行い、製紙方法の違い等からこれらの宿紙がいくつかに分類できることを示す。

Paper Classification of Manuscript Scrolls

－ The Case of the Maharatnakuta Sutra in the Amano san Kongo-ji Collection－

Shouji Sakamoto

Digital Archives Research Center, Ryukoku University

Amano san Kongo-ji holds the Maharatnakuta Sutra. The manuscript scrolls written the sutra consist of recycled papers and its paper-color is gray. This paper is the report of the paper classification of the manuscript scrolls using digital images and light transmission images.

1. はじめに

大阪の河内長野市にある天野山金剛寺は、中世の古写経を所蔵しており、その数は数千点にも及ぶ。現在、これらの調査が落合等によって進められており、同時に、デジタルアーカイブも進められている。[1]

これらの古写経の中に『大宝積経』があり、これは120巻から成る経典であるが、このうち105巻が現存している。この金剛寺が所蔵している『大宝積経』の特筆すべき点として、経典に使用されている料紙が宿紙であることがあげられる。宿紙とは故紙を漉き返して作った薄墨色(図1参照)をした再生紙であり、この経典においては約1,800枚の宿紙が現存している。全120巻分の料紙の枚数では約2,000枚に及ん

だことであろう。赤尾[2]によると、この他にも金剛寺一切経には『宝星陀羅尼経』『勝思惟梵天所問経』『入楞伽経』『月灯三昧経』『大威徳陀羅尼経』『大方等陀羅尼経』『観仏三昧海経』『法集経』『大智度論』『瑜伽師地論』『阿毘達磨順正理論』に宿紙が使われている。これ程大量の宿紙が残されていることは非常に珍しい。

本論文では、デジタル画像および比較的簡単に撮れる透過光画像を用いて、金剛寺所蔵の『大宝積経』に使用されている宿紙がその色、漉き方、地合により数種類に分類できることを示す。



図.1 『大宝積經』巻第57 巻頭部分

2. 『大宝積經』の宿紙について

「宿紙」に関する報告が上島[3][4]、高田[5]、末柄[6]らによってなされている。一般的には薄墨色の漉き返し紙を宿紙とするようである。しかし、中には故紙を漉き返した紙ではなく、墨等で薄墨色に染めた紙や刷毛で墨を塗り付ける引染による紙についても言及されている。従って、宿紙は様々な方法によって作られていたようである。

金剛寺所蔵の『大宝積經』について、色に関しては一見してすぐに薄墨色であることがわかるが、漉き返しの料紙であることは図.2 の中央部分に未叩解の故紙断片がみられることからわかる。



図.2 『大宝積經』巻第66 の故紙断片

巻第 66 の顕微鏡による観察では、料紙全体に渡って微小な墨跡が多数見られた。繊維に関しては楮を主原料としているが、稻藁の混入も確認されている。さらに料紙の裏側（質肌面：紙漉きの際に簀に接していた面）には縦方向の紙繊維の流れが確認されているが、表側の書記面

にはこのような繊維の配向性はみられない。[7]このような溜め漉きでも流し漉きでもない、料紙の片面だけに繊維の配向性がみられる漉き方は穴倉[8]の報告にある半流し漉きであろう。このような漉き方は中世から徐々に行われていったようである。

また、『大宝積經』の巻第 2, 6, 30, 66, 80, 83, 84, 87, 101 には記年があり、そのすべてが建久九年（1198 年）である。そして、巻第 2, 6, 30, 66, 101 の奥書には河内国丹南郡周辺（現在の大阪府堺市美原区周辺）で書写されたことが記されている。

3. 料紙の色による分析

目録作成のために『大宝積經』を調査された方々によると明るい色の紙や暗い色の紙等があり、何種類かの料紙からできているのではないかということであった。そこで、デジタルアーカイブのプロジェクトで撮影されたデジタル画像（但し、文字の書かれた表側）を用いて色による料紙の分析を行った。この調査の対象とした料紙は『大宝積經』の巻第 37 から巻第 104 の中から選んだ 116 紙（主に各巻の第 1 紙と第 2 紙を選択）である。

本分析では、表色系に CIE $L^*a^*b^*$ を用いた。この表色系は均等色空間の一つで、心理的に同じ色違いに見える色同士の距離を均等になるように定義した色空間である。 L^* を明度指数と呼び、 a^* および b^* をクロマティックネス指数と呼び、 a^* と b^* によって色相と彩度が表現される。宿紙は無彩色に近い色をしており、明度指数 L^* のみのパラメータで各料紙の色に関する分布の広がりをはば表現できることから都合が良い。これまでに、CIE $L^*a^*b^*$ 表色系を使った古文書の色での分類に関する報告が筆者等[9]によってされており、明度指数 L^* が分類において主要なパラメータであることが示されている。

『大宝積經』を撮影した機材は NIKON 社の D2X（約 1,200 万画素）で、撮影の際には KODAK 社の Color Separation Guide が経典とともに写し込まれている。 $L^*a^*b^*$ 表色系への変換は Adobe 社の Photoshop を用いて行った。指数 L^* , a^* , b^* の取りうる範囲はそれぞれ以下に示す通りである。

$$\begin{aligned} 0 &\leq L^* \leq 100 \\ -128 &\leq a^* \leq 127 \\ -128 &\leq b^* \leq 127 \end{aligned}$$

撮影は基本的に暗室で同じ環境、機材で行われているが、撮影日時によって画像に若干の色の差異が生じている。色による分類精度を向上させるにはこのような各画像間の色の差異をできるだけ小さくするほうが好ましい。今回は各画像に写っている Guide の黒色の部分の平均色を算出し、各画像の Guide の黒部分がこの平均色になるように色の補正を行った。但し、これは正確な色に近づけるための補正を目的としているのではなく、色による分類を行うための補正であることを注意しておく。

次に、比較のための料紙の色データを採取する。しかし、この経典は約 800 年もの時を経ていることから、図.1 にみられるような汚れやしみによって色が変化している部分が多く見られる。そこで今回は、料紙の汚れやしみが無いと思われる部分から 30,000 ピクセルを選び、これらのピクセルの色の平均値を料紙の平均色として比較データとした。全 116 紙から採取した平均色の各指数は以下に示す区間に分布している。

$$\begin{aligned} 63.1 \leq L^* &\leq 77.9 \\ -0.7 \leq a^* &\leq 1.4 \\ 6.0 \leq b^* &\leq 14.0 \end{aligned}$$

全ての料紙に対して、指数 a^* はほぼ 0 に近い値を示しているが、これは a^* が緑から赤を示す指数であり、料紙にはこのような色味が含まれていないためである。一方、指数 b^* は正の値を取っている。 b^* は値が大きくなるにつれ黄色味を帯びてくる指数であるので、このことから宿紙が若干の黄色味を含んでいることがわかる。この平均色データの L^*-b^* 平面での分布を図.3 に示す。指数 a^* はほぼ 0 に近い値なので無視した。この結果から、 L^* の軸に沿ってデータが広く分散していることがわかる。すなわち、料紙によって明度にばらつきがあることを示している。しかし、複数のクラスに分類することはこのデータだけでは難しい。

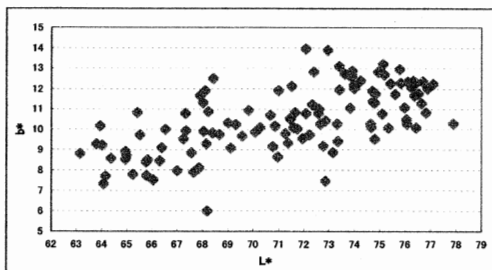


図.3 料紙の平均色の L^*-b^* 平面での分布

4. 簀の目および紗の目による分類

製紙の過程で使用される道具の一つに簀と呼ばれるものがあり、竹ひご、萱、葦などから作られている。(図.4 参照) 簀を桁に挟んだものを簀桁と呼び、紙漉きにはこの簀桁に紙料(紙のもととなる繊維や填料などが混ぜ合わされた溶液)を汲み込み、そして水分を取り除くことを数度繰り返す行程がある。簀の目はこの行程で紙に残される縞状の横線模様である。(図.5 参照)

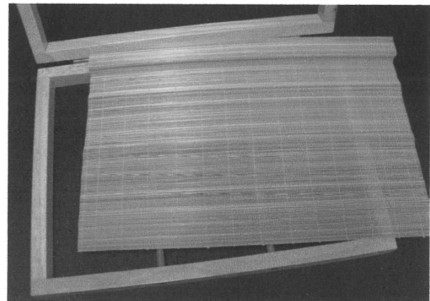


図.4 簀と桁

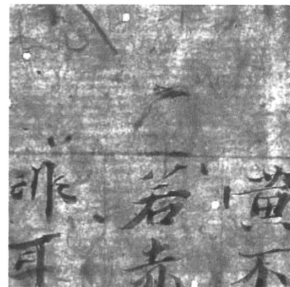


図.5 簀の目の例 (『大宝積経』巻第 42 第 2 紙) 透過光画像

一方、簀の上に紗と呼ばれる布を敷いて紙を漉く方法(または、布だけで紙を漉く方法)を紗漉きと呼び、この漉き方では簀の目模様が残りにくい。しかし、布の織り目の模様(紗の目模様)が紙に残る場合がある。一般的に、紗の目模様は簀の目模様に比べて細かい模様である。



図.6 紗漉きの料紙の例（『大宝積経』巻第 43 第 2 紙）透過光画像

このように、料紙には紙を漉いた時の簀や紗に関する情報が残されている。このような情報は紙の特徴を表すデータの一つであり、これによって料紙の分類も可能になる。ここで、簀の目や紗の目に関するデータは紙漉きに使用された道具に起因するデータであって、紙漉き職人の技量にはあまり影響を受けないデータであることを注意しておく。

簀の目、紗の目の計測には龍谷大学 古典籍デジタルアーカイブ研究センターで開発した簀の目測定ソフトウェアを使用した。（図.7 参照）[10] この計測では、透過光を用いた撮影で得られた画像（図. 5, 6 参照）を高速フーリエ変換を用いて周波数領域に変換する事によって、周期的に現れる簀の目や紗の目のパターンを解析している。ここで、透過光画像はフィルムスキャンが可能なフラットベッドスキャナーを用いて 150DPI でスキャンしたものを用いた。

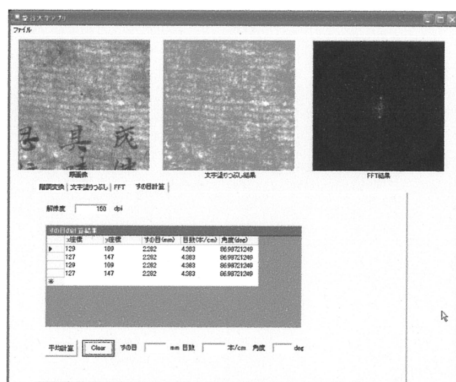


図.7 簀の目測定ソフトウェア

今回は、『大宝積経』の巻第 37 から巻第 104 から選んだ 118 紙（主に各巻の第 1 紙と第 2 紙を選択）の料紙に対する分析を行った。この結果、76 点の料紙から簀の目を計測することができ、18 点から紗の目を計測することができた。このうち 3 点は簀の目と紗の目の両方が観測された。残りの 27 点の料紙は簀の目も紗の目も観測できなかった。従って、簀の目の見える料紙、紗の目の見える料紙、簀の目も紗の目も見えない料紙の 3 つのクラスに分類できる。

まず、簀の目が見える 76 点の料紙の簀の目の数の分布を図.8 に示す。但し、本報告では簀の目の数を 1cm 当たりの簀の目の平均本数とした。この結果では、簀の目が 6.5~7 [本/cm] 辺りに分布のピークが見られる。また、8~8.5 [本/cm] の辺りにも小さな分布のピークが見られる。すなわち、簀の目の見えるクラスはさらに 2 つの小さなクラスに分類できるようである。

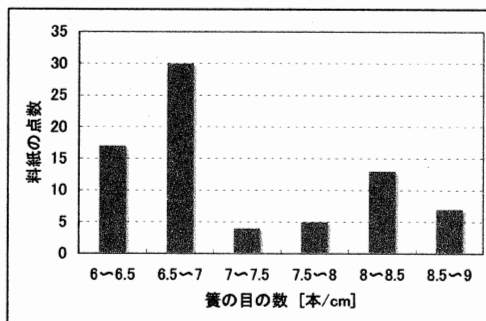


図.8 簀の目の本数のヒストグラム

次に、紗の目とみられる模様が見える 18 点の料紙において観測できた紗の目は縦方向（簀の目は横線模様）のみであった。用いた紗が平織りの布ならば、通常は経糸と緯糸の両方の模様が網の目状に見えるはずである。従って、使用された紗は平織りではなく、朱子織のような経糸または緯糸のみが布の表面に現れる紗を使用したと思われる。

縦方向の紗の目が観察できた 18 点の紗の目の数の分布を図.9 に示す。但し、本報告では紗の目の数を 1cm 当たりの紗の目の平均本数とした。この結果では、紗の目が 15 [本/cm] 辺りに分布のピークが見られる。

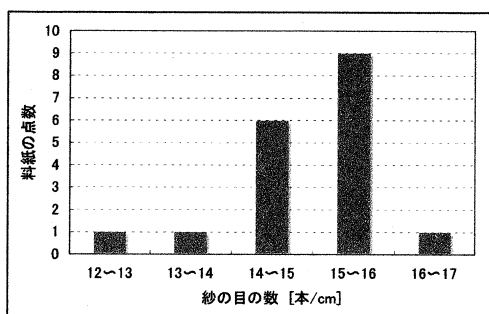


図.9 紗の目の本数のヒストグラム

明度のデータと前節に述べた簀の目等のデータとの関係を図.10 に示した。但し、縦軸の値は、簀の目の見える料紙は簀の目の数、紗の目の見える料紙は紗の目の数を表し、簀の目も紗の目も見えない料紙は縦軸の値を 0 としている。この図からわかるように、簀の目の見える料紙（図中では◆で表されている）は明度に関係なく暗いものから明るいものまである。一方、紗の目の見える料紙（図中では■で表されている）は比較的明るい（ L^* の値が 73~77）所に集中している。そして、簀の目も紗の目も見えない料紙（図中では▲で表されている）についても比較的明るい所に集中しているようである。これらの料紙も紗漉きの料紙だと思われる。

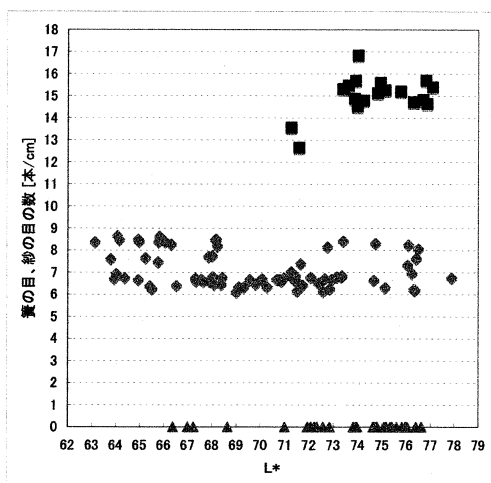


図.10 料紙の L^* と簀の目等の数の平面での分布
■は紗の目が見える料紙、◆は簀の目が見える料紙、▲は簀の目も紗の目も見えない料紙を表す。

5. 地合による分類

料紙を透過光で観察すると、紙繊維の絡まり具合が均一な紙や不均一な紙がみられる。均一に見える紙を地合の良い紙といい、逆に不均一な物を地合の悪い紙という。例えば、図.11 は『大宝積経』巻第 66、図.12 は同経典巻第 57 の巻頭部分の透過光撮影画像であるが、明らかに巻第 66 は地合の良い料紙であり、巻第 57 は地合の悪い料紙である。このように料紙の透過光画像によってその地合の良さを調べることができる。



図.11 『大宝積経』巻第 66 巻頭の透過光撮影画像

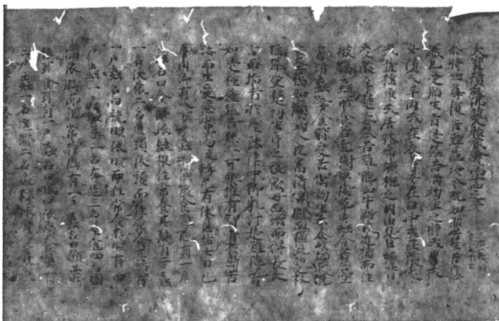


図.12 『大宝積経』巻 57 巻頭の透過光撮影画像

これまでに、透過光と周波数解析を用いた地合の評価が例えば篠原[11]によって行われているが、これは文字が書かれておらず、汚れやシミのない現代の紙を対象としたものである。従って、そのままでは古文書の地合の分析には適用できない。従って、古文書の地合の定量評価と分析を以下のように試みた。

地合の分析には簀の目の分析を行う際にも使用した 150DPI でスキャンした透過光画像を用いた。第 3 節の色による分析のところでも述べたように、料紙には汚れやしみによって色が変

化している部分が多く見られる。そこで、料紙の汚れやしみが無いと思われる紙の部分を約40,000ピクセル選ぶ。この選択した部分の指数 L^* のヒストグラムの形は、地合の良い紙の場合には濃淡が比較的均一であるので図.13のように縦に細長い形をとり、地合の悪い紙の場合には濃淡にムラがあるので図.14のように横長の形になる。



図.13 地合の良い紙の指数 L^* のヒストグラム



図.14 地合の悪い紙の指数 L^* のヒストグラム

地合の良さを評価する指標としてこのヒストグラムの分散や標準偏差等を採用することが考えられるが、虫食いによって穴が多数ある料紙ではこの虫食い部分の白色がノイズとなって大きく影響し、地合の評価には適さなかった。そこで、今回はこのヒストグラムから値 $s \in [0,100]$ と $l \in [0,100]$ （但し、 $s \leq l$ ）を求め、これらの値の差 $l-s$ を地合の評価値として定義する。ここで、 s はヒストグラムの中間値以下の値で、 s と中間値の間に全ピクセルの45%が含まれるような値とする。逆に l は中間値以上の値でかつ中間値との間に全ピクセルの45%が含まれるような値とする。言い換えると、この地合の評価値はヒストグラムの中間値を中心として全ピクセルの90%を含む区間長である。この定義より、地合の良い紙はこの評価値は小さい値を示し、逆に地合の悪い紙に対してはこの評価値は大きくなる。

96点の料紙に対して地合の評価値を求め、前節で調べた簀の目等のデータとの関係を図.15に示した。但し、縦軸の値は、簀の目見える料紙は簀の目の数、紗の目見える料紙は紗の目の数を表し、簀の目も紗の目も見えない料紙は縦軸の値を0としている。この図から、簀の目見える料紙（図中では◆で表示）は全体的に

紗漉きの料紙（図中では■または▲で表示）に比べて地合が悪いが、その中でも地合が悪いものから良い物まで分散している。特に、簀の目の本数が6~7[本/cm]の料紙が良い物から悪い物まで広く分布している。しかし、簀の目の本数が7~9[本/cm]の料紙は簀の目見える料紙（図中の◆）の中では地合が良いようである。一方、紗漉きの料紙（図中の■または▲）に関しては地合の良い紙であることがわかる。

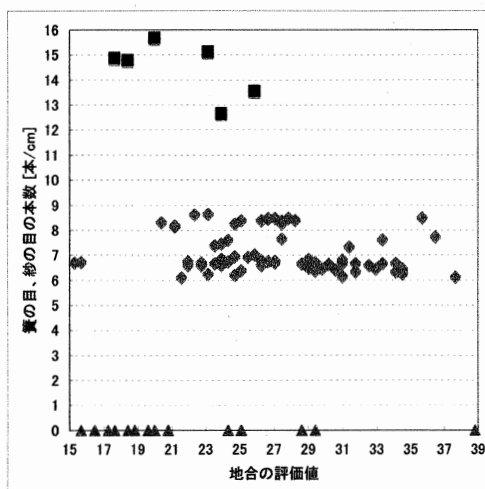


図.15 料紙の地合と簀の目等の数の平面での分布

■は紗の目見える料紙、◆は簀の目見える料紙、▲は簀の目も紗の目も見えない料紙を表す。

5. まとめ

宿紙を使用して作られた経典『大宝積経』を例として、デジタルアーカイブのプロジェクトによって撮影されたデジタル画像、および、フラットベッドスキャナーでスキャンした透過光画像から経典に使用されている料紙の分類を試みた。この結果、4つのクラスに分類でき、目録[1]には詳細な紙幅のデータが掲載されているので、この特徴も合わせて以下に示す。

1) 簀の目の数が6~7[本/cm]の料紙

色の暗いものから明るいもの、地合の良いものから悪いものまであり、目録データからこの料紙の紙幅は約46~47cmである。この中には記年（建久九年）のある巻に使用された料紙もある。

II) 簀の目の数が7-9[本/cm]の料紙

比較的地合の良いものが多く、糸目が見えり見えるものも多い。この料紙の紙幅は約46-49cmまで広く分布している。記年(建久九年)のある巻に使用された料紙もある。

III) 紗の目の見える紗漉きの料紙

15[本/cm]程度の縦線模様が見られ、地合が良く、比較的明るい色をした料紙。この料紙の紙幅の多くは約48cmである。

IV) 紗の目の見えない紗漉きの料紙

地合が良く、比較的明るい色をした料紙。この料紙の紙幅の多くは約47cmである。

このように、紙の漉き方や漉くための道具が異なる等、明らかに異なる宿紙が使用されている。宿紙の生産では京都の紙屋院や西洞院、大阪の湊紙、江戸の浅草紙などが有名であるが、久米[12]によると、中世にはこの他にも京都に原料関係の楮座や反故座、奈良の南市等に紙座、大阪の天王寺や伊勢神宮にも紙座があり、寺社のための紙の生産を担ったことがわかっている。しかし、宿紙座、雑紙座で扱う紙は粗質なもので、生産量も少なかったようである。従って、写経のための大量の料紙を用意するためには何か所かの製紙工房から料紙を調達する必要があると思われる。

謝辞

今回、貴重な資料の調査の機会を与えて下さった国際仏教学大学院大学の落合俊典教授、多岐に渡る御助言を頂いた京都国立博物館の赤尾栄慶先生、国際仏教学大学院大学の箕浦尚美博士ならびに龍谷大学の江南和幸名誉教授に感謝致します。

参考文献

[1] 落合俊典：金剛寺一切経の総合的研究と金剛寺聖教の基礎的研究, 2007.

[2] 赤尾栄慶：金剛寺一切経の紙-漉き返しの料紙-, 金剛寺一切経の基礎的研究と新出仏典の研究, 2004.

[3] 上島有：中世の宿紙について, 立命館文学, 509, pp.1277-1300, 1988.

[4] 上島有：再び中世の宿紙について, 花園史学, 15, pp.19-45, 1994.

[5] 高田義人：平安時代における宿紙と紙屋紙, 古文書研究, 52, pp.1-21, 2000.

[6] 末柄豊：室町時代の宿紙について, 禅宗寺院文書の古文書学的研究, pp.97-103, 2005.

[7] 坂本昭二, 江南和幸：天野山金剛寺所蔵古写本の科学分析, いとくら, 4, pp.3-4, 2008.

[8] 穴倉佐敏：和紙の歴史, 印刷朝陽会, 2006.

[9] 坂本昭二 他：自己組織化マップを用いた古文書の色による分類, 龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター研究成果報告書, pp.86-96, 2008.

[10] 加藤雅人 他：簀の目の測定法の開発および応用例, 第25回文化財保存修復学会, P004, 2003.

[11] 篠崎真 他：透過光量分布の分散およびその空間周波数解析による地合の評価, 繊維学会誌, 55(8), pp.383-392, 1999.

[12] 久米康生：和紙つくりの歴史と技法, 岩田書院, 2008.