

大徳寺文書における繊維配向性の解析

韓允熙¹⁾、江前敏晴、保立道久、磯貝 明

1. 緒論

従来の中世紙に関する研究は、日本産業発達史の観点、文献による和紙の歴史的研究が主流であった。しかし最近²⁾は、補修や保存という観点から和紙で作られた文化財で使われている料紙の組織的及び物理的な研究が必要となり、繊維の種類、厚さ、密度、地合（じあい＝漉きむらの程度）、簀の目及び糸目の間隔と向き、成分分析などが議論されるようになってきている。

しかし製紙科学の立場からいうと和紙の分析についてはごく簡単な非破壊測定又は触感で十分判定できるものもあれば、精度の高い測定方法を必要とするものもある。

それをふまえ紙文化財や古文書で使われている料紙の特性を新たな科学的アプローチによって把握・整理することが本研究の最終的な目的である。その中で特に繊維の配向を非破壊で測定する技術を本研究では検討した。繊維配向性分析を通じて抄紙技術の歴史の変遷・紙の種類と特徴・紙の慣用的な使い方の特徴などを調べるために大徳寺文書の調査を行った。大徳寺文書はこの調査の過程で重要文化財に指定されたが、紙の使われ方という面から見ると様々な文書で構成されていると行うことができ、時代も幅が広い。

現在中世古文書については紙の分類判断基準が研究者によって異なり、整理の目処もついていない。そのような現状を打開するためには紙の材質調査に客観的な根拠を与える手法の導入が必要である。今回開発した画像処理は、そのために有効な方法であると考ええる。

2. 繊維配向性と抄紙技術

繊維配向は紙の力学的特性などに大きく影響する重要な構造因子の1つであり、製紙分野では繊維配向測定が製品の改質および品質管理において重視されている。現在、修復紙は絵画や古文書を修復するため、元の紙類文化財とできるだけ同じ性状を有することが望まれているが、繊維配向性はその性状の要因である紙の固さ、伸び、表面粗さなどに影響している。

紙の繊維は、細長い比較的剛直な性質があるために一本の繊維内で何重にも屈曲することはなく、簀又は網の上に定着するときには比較的直線的となり、どちらかの方向に向いている。紙全体で全ての繊維を見たとき多くの繊維が特定の方向に向いているときに「繊維配向性がある」とか「繊維が配向している」という言い方をする。

繊維の配向は紙の力学的特性などに大きく影響する重要な構造因子の1つである。紙を引っ張って破壊に至ったときの荷重が紙の縦と横で異なる、といったような紙の特性の方向性を紙の異方性と言うが、これは主に繊維の配向によって起こる。繊維の配向は抄紙時の紙料の流れによって生じるが、繊維に作用するせん断力の方向や乱流の程度に左右される。伝統的な和紙に見られる流し抄きは、簀を揺らしたり簀を傾けることによって余剰紙料を捨てたりするので繊維配向が顕著となる。漉き方によっては同じ紙の中でも配向の強さや方向が表裏で異なったり、面内の位置によって異なったりすることも十分に考えられる。

繊維配向と抄紙技術の関係について、これまでにわかっている点を整理し

てみることにする。一般的な和紙の漉き方である流し漉きは、簀桁にすくい取った繊維懸濁液を脱水させながら簀桁を傾け、余剰の懸濁液を桁の枠を飛び越えさせて捨てる方法である。このように繊維懸濁液を流すことにより紙の地合をよくすることができる。紙は、簀との関係で言うと簀に当たっていた簀肌面とその反対側に当たる繊維懸濁液が入り込む側の取液面がある。簀肌面の繊維配向が強いつ徴があるが、その理由は次のように推測される。1層目は、紙料の流れの中で配向した繊維の一端が、脱水が速いため簀に接地しやすく、しかも流れとともに他端が引つ張られるように伸ばされるため非常に配向しやすいつ。2層目は、簀を揺らしながら繊維の一部を沈降させたあと、残りの紙料を流すが、脱水が遅いために流れの中で配向した繊維のほとんどがそのまま捨て水として排出されると考えられる。以上のように簀肌面の配向強度が必ず強くなり、取液面の強度は低くなるので古文書の紙面の表裏判別に使えることになる。なお、配向の角度は必ず90度（漉き手から見て前後方向）となる。

手漉き技術は、抄紙ワイヤに相当する簀（す）の上での紙層形成の方式により、流し漉き法以外に、溜め漉き法及び澆紙法に区別することができる。溜め抄きの場合には繊維の動きが無いため繊維配向がない。また流し抄きと溜め抄きを組み合わせた場合は、その工程での簀の動きを反映した繊維配向のパターンを示す。

このように画像処理を用いて紙表面の顕微鏡写真から計算する繊維配向性は、抄紙技術—特に簀の動かし方をよく反映しており、そのため、その結果から様々な情報が得られることが分かっている。

3. 実験

紙表面をデジタルマイクロスコープ（スカラー製 DCS）を用いて100倍で撮影した。8方向から均等に低い角度で照明して真正面から撮影できる。

図1(a)のように、画像の中心部分1024×1024画素部分を切り出し、

照明むらを補正する動的2値化により繊維部分を抽出(b)、フーリエ変換によりパワースペクトル(c)を求め、振幅の角度分布を計算した。この計算では0〜180度の角度を2048等分して0〜2047×180/2048度までの2048個の各角度について距離 $r=2\sim 511$ までのフーリエ係数の振幅の平均を求めた。ただし、x-y座標を完全に極座標に変換することはないので周囲の4点の振幅から距離で按分した値で計算した。各試料について、2枚ずつ各10箇所合計20画像について計算し、平均値を求めた。配向強度は、近似した楕円の長軸/短軸比とした。

繊維配向性は角度と強度で判断するが、角度は繊維の並んでいる角度を意味しており強度は配向性がどのくらい強いのかを示す。繊維配向性を判断する基準として和紙の場合には角度が90度付近になっているのが一般的な漉き方である。その理由は和紙の場合簀を前後方向に揺らして紙を漉くためである。この見方では1・15以上は繊維配向性が強いと判断してよい。

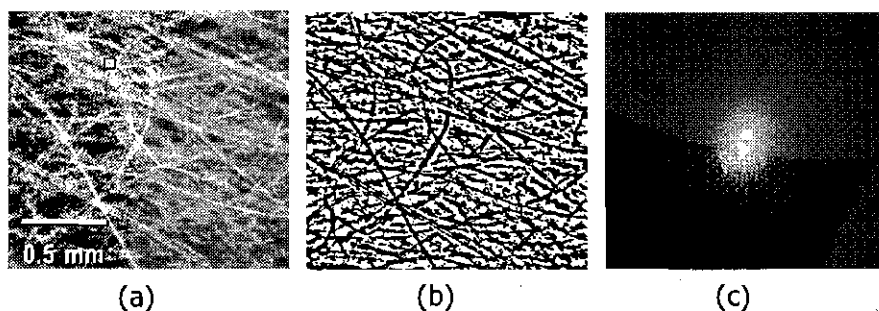


図1 紙表面の光学顕微鏡写真 (a)、二値化画像 (b) 及びパワースペクトル (c)

4. 大徳寺文書における繊維配向性の解析

大徳寺文書は12Cから18Cまで106点について分析を行い、時代分布は12Cは1点、13Cは2点、14Cは40点、15Cは20点、16Cは33点、17Cは3点、18Cは1点で不明が6点であった。

その中で14C、17Cの間の古文書を中心に分析を行った。抄紙技術が歴史的にどのように変遷したのかについて調べるために調査した古文書は、世紀別に分けて比較した。

4. 1 歴史的変遷の推定

図2は今回調査した大徳寺文書の中で書記面（文字が書かれている面）と非書記面とに分けて撮影を行い、書記された世紀別に繊維配向性を分析した結果である。書記面及び非書記面とも配向強度は十分大きく、繊維配向角度は90度付近になっていた。配向角度と配向強度からみると14、16Cの間が同様の傾向を示し、安定した抄紙技術が維持されていたことが伺える。14C、16Cの特徴は書記面は繊維配向強度が強く、1・15前後となるのに対して、非書記面は1・15未満であり、配向強度が低いことが分かった。ただし、13、17Cの場合は試料数が少ないので抄紙技術について判断するのは難しい。しかし、13Cから17Cまでの繊維配向方向は90度付近であり、前方向に繊維懸濁液を流す現代の和紙の抄造技術と同様の技術が既にあったことを示す。また、この繊維配向強度によって書記面と非書記面の区別を一部を除いて明確に行うことができた。

4. 2 重紙の解析

中世における、本紙と裏紙の関係や書状を記した人の紙の使い方について調べるために分析を行った。図3は書状式などのように2枚をまとめて巻いて使用する方式である（いわゆる重紙（かさねがみ））20点（書記年がは

きりしたものに限る）について分析した結果を示す。

重紙の料紙の表裏は、本紙については書記面||背肌面||表、非書記面||取液面||裏となり、裏紙については、重紙となった状態で本紙の書記面と同一側に向けた面が背肌面||表となっており、つまり、背肌面を同じ側に向けて重ね、その背肌面から書記を始めるというのが通常の重紙の執筆習慣である。

表（ここで言う表とは、本紙の書記面と、重紙となっている状態でのその面と同一の側となっている裏紙の面をさす。）については次のような結果が得られた。繊維配向角度は本紙も裏紙も90度付近であり、繊維配向強度は1・15（点線で示すライン）を超える試料が多く、これは強い繊維配向を

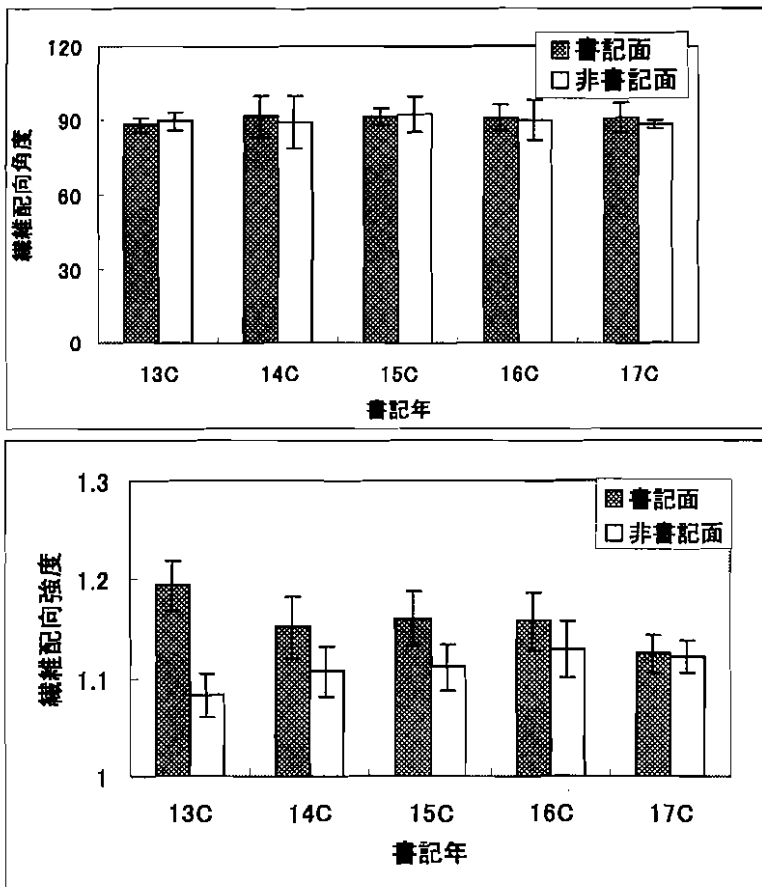


図2 大徳寺文書の繊維配向性の世紀別変遷

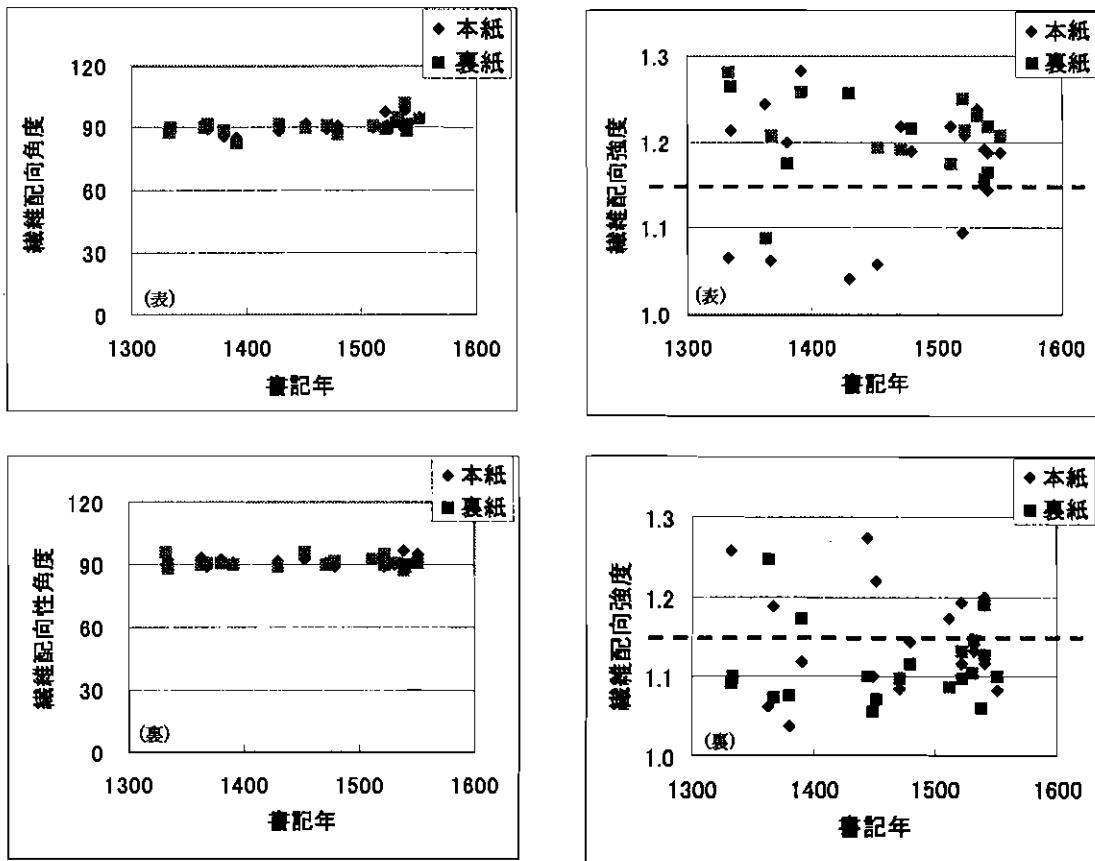


図3 重紙の本紙及び裏紙のそれぞれ表裏の繊維配向性

意味する。裏の場合、繊維配向角度は90度付近であるが、繊維配向強度は1・15を以下の試料が多く、表より繊維配向性が弱い。伝統的に日本で行われている流し抄きにおいては簧肌面の方が取液面より繊維配向が強いことがわかっており、また簧肌面は、紙の乾燥時に通常板に張り付ける面とするので平滑性が高くなり筆記に適する。中世の料紙も簧肌面を書記面として使用するのが一般的であったことがわかる。これについては別掲論文「書状の裏紙と料紙の表裏」(本報告書)をも参照されたい。

しかし、目視によっても、このような一般的傾向に反すると思われる例がたしかに存在するので、それらを取り上げて詳細に分析を加えた。その結果、たしかに、本紙の表で繊維配向強度の非常に低いものが5点(図3右上図において強度1・1未満の◆)あり、これらの試料の裏は、いずれも表より繊維配向強度が0・1以上大きかった。さらにこれら5点の本紙に重ねられていた裏紙は、いずれも表の繊維配向強度が裏よりも大きく、本紙とは反対の結果となっていた。つまり、これら5点の重紙に関しては、本紙を裏返した状態で書記をはじめたということ意味し、簧肌面を同じ側に向けて重ね、その簧肌面から書記を始めるという通常の重紙の習慣とは異なっていたことが明らかとなった。このような料紙の逆取がなぜ発生するかは、今後、料紙や筆跡を細かに観察していく必要がある。

同様に裏紙の方を裏返して重ねたと判断できる重紙試料が1点(図3右下図において強度約1・25の■)あった。つまり本紙では、表の繊維配向が裏より強く、裏紙では裏の繊維配向が表より強いという結果であった。この試料は宿紙(再生紙)である。宿紙については、伝統的分類による和紙の種類別解析の項を参照願いたい。

4・3 伝統的分類による和紙の種類別解析

表1に示すような和紙の分類基準に従って、種類別に分けたときの繊維配

表1 分析に用いた大徳寺文書の種類別点数

紙の種類	美濃紙	鎌倉杉原	室町杉原	檀紙	引合	宿紙	引合(上)	Total
点数	5	8	5	4	7	4	2	35

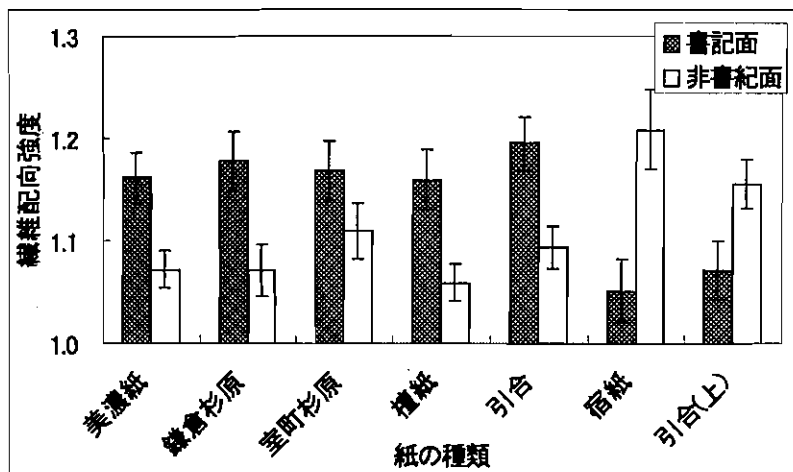
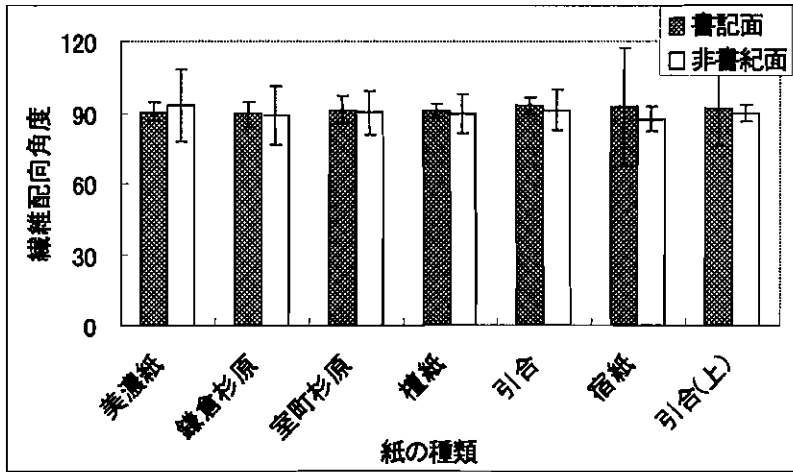


図4 繊維配向性による大徳寺文書の解析

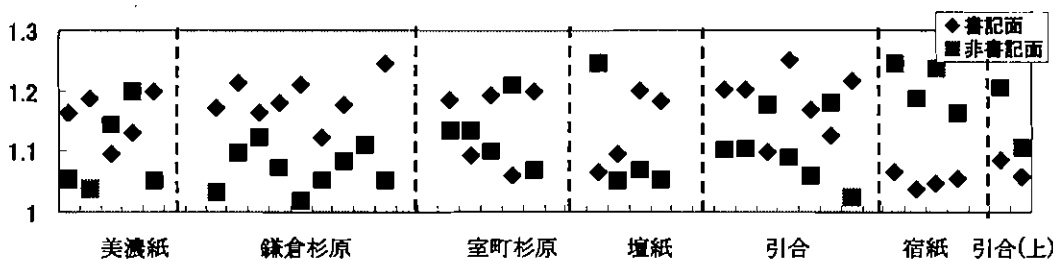


図5 紙の種類による繊維配向強度分布

向性の結果を整理した。この分類基準は当面のところはあくまでも便宜的なものであり、研究の進展によって、和紙の物理的判別分類基準が形成されて行かねばならないのは前記の通りである。しかし、これを前提としても、幾つかの重要な事実が判明した。

図4・5は紙の種類別の分析結果を書記面と非書記面に分けて示す。書記

面と非書記面の差がはっきりと現れ、美濃紙、鎌倉杉原、引合は書記面の方が非書記面より繊維配向強度が大きく、室町杉原、檀紙では面による繊維配向強度の差がほとんどなかった。

次に料紙の種類毎に若干の観察結果を示すと、まず美濃紙については、現代の美濃紙の繊維配向性を調べた結果を見ると、ここで調べた中世美濃紙の

繊維配向性と同様の傾向であることがわかった。現代美濃紙では91度方向（漉き手の右方向を0度、前方向を90度とする）を示した。配向強度は簧肌面が1・22、取液面は1・14で強い繊維配向があると判断した。大徳寺文書の中世美濃紙結果は繊維配向角度が90度付近であり、繊維配向強度について書記面は1・16でありやや強い繊維配向性を示し、非書記面は1・10で低かった。

次に注目したいのは宿紙である。宿紙の漉き方は検証実験結果と比較して推定することにする。ここでの宿紙の場合、繊維配向強度を見ると、書記面は1・05とほぼ無配向であり、非書記面は1・21の強い繊維配向を示す。繊維配向角度は90度付近であるが、書記面でバラツキが大きいのは、繊維が無配向であるためである。通常の料紙では繊維配向の強い簧肌面を表記面とする習慣があるが、宿紙の場合は明らかに取液面を表記面として使っていたことになる。宿紙は残留したスミの粒子が簧目の目に入り込んで簧肌面に明瞭な簧目を残すことがあり、その場合はあえて書記面とはしない習慣があったことが伺える。さらに、繊維配向強度の表裏差が非常に大きいことが他の種類の紙と大きく異なる点であるが、検証実験結果と照らし合わせると、通常の流し漉きではなく、流し漉きと溜め漉きを組み合わせで作ったモデル紙の繊維配向パターンに類することがわかった。最初の薄い一層目は流し漉きを行うことにより簧肌面は繊維配向が強くなり、そのあとは溜め抄きを行うために取液面の繊維配向が弱くなるという特徴が現れている。

さらに表に掲げた引合（上）について説明する。ここで引合（上）とした料紙は妙法院宮尊澄法親王請文（二元徳元年）十一月七日、大徳寺文書一六八号文書）と信濃伴野庄并下総葛西御厨相承次第（南北朝時代、年月日未詳、大徳寺文書六四九号文書）の二通である。前者は親王、後者も王領庄園の伝領に関わる文書であって、中世の文書のうち、上島有氏が奉書工とされ、しばしば「引合」とされる最上級の文書料紙である。表面に独特の光沢があり、

縦に細かな皺、いわゆる繭皺があり、史的には「繭紙」と呼ばれるものであると考えられる。この料紙は顕微鏡による透過光観察では、網目状の繊維の状態を観察することができ、澱粉などの填料はなく、いわゆる植物性非繊維物質もほとんど存在しない。（なお、ここで引合七点として掲げたのは、繭皺の存在などの点で、引合（上）と類似するものの、やや薄手であったり、粗製であったりする点で引合（上）とは区別されるものである）。注目されるのは、引合（上）では、書記面の繊維配向強度が1・07、非書記面は1・16であり、書記面の強度が低かったことである。これは引合（上）の執筆においては簧肌面を書記面とする一般的な習慣とは異なり、取液面を書記面としたことを意味する。この引合（上）は繭紙は、この時代においてもともに上質・高級な紙であることは明かであるので、この分析結果の意味は大きい。

5. 結論

本研究で適用した古文書料紙の分析手法は、繊維配向性によって簧肌面と取液面の判別が可能であるため、書記面が簧肌面であったか取液面であったかという紙の使用法の習慣を推定するのに有用であることがわかった。

本分析を大徳寺文書に適用した結果からの推定に限定されるが14〜16Cの間は書記面／非書記面の繊維配向性がほとんど変わらない傾向を示したことから、この時代は抄紙技術が安定していたと考察した。

重紙に関する分析では、通常本紙、裏紙とも簧肌面を上に向けて重ね、その面から書き出す習慣があるが、本紙を裏返して重ね取液面から書き出す例もたしかに存在することを確認した。

和紙の種類ごとに分析した結果では、美濃紙、鎌倉杉原、引合は書記面の方が非書記面より繊維配向強度が大きく、室町杉原、檀紙では、面による繊維配向強度の差がほとんどなかった。また分析の対象とした事例に関する限りでは、宿紙の場合も上製の引合の場合も、取液面を表記面として使ってい

たことがわかった。

〔註〕

- (1) 東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻製紙科学研究室
- (2) 上島 有、「埴紙・引合・杉原考—中世の紙に関する研究の動向—」8回和紙文化講演会「中世の紙」—手漉きの多彩な展開—、1998
- (3) Y. H. Han, T. Enomae, A. Isogai, H. Yamamoto, "Estimate of Hand-Making Processes of Asian Traditional Papers. Hanji and Washi, by Fiber Orientation Analysis", *Studies in Conservation*, accepted.
- (4) 韓允熙、江前敏晴、磯貝明、「画像処理から求めた表面繊維配向分布による和紙の特徴抽出」平成16年度繊維学会年次大会研究発表会（繊維学会予稿集2004）、72（2004）
- (5) 韓允熙、江前敏晴、磯貝明、「和紙の抄紙技法と繊維配向の関係」、第55回日本木材学会大会（京都）研究発表要旨集、114（2005）

大徳寺文書の料紙暫定分類ごとの分析結果

文書番号	積算配向角度 (95%信頼度区間)	積算配向強度 (95%信頼度区間)	積算配向角度 (95%信頼度区間)	積算配向強度 (95%信頼度区間)	積算配向角度 (95%信頼度区間)	積算配向強度 (95%信頼度区間)	積算配向角度 (95%信頼度区間)	積算配向強度 (95%信頼度区間)
美濃紙	Screen side				Top side			
251	92.11	1.87	1.16	0.02	105.29	14.74	1.06	0.02
366	92.64	4.33	1.19	0.04	86.66	25.01	1.04	0.02
1224	86.22	6.33	1.10	0.02	90.18	3.66	1.14	0.01
1567	92.55	2.14	1.13	0.03	92.64	2.50	1.20	0.02
1699	90.79	2.87	1.20	0.02	90.00	17.28	1.05	0.02
平均値	90.86	3.51	1.16	0.03	92.95	12.64	1.10	0.02

鎌倉杉原								
165	90.09	3.78	1.17	0.03	84.99	23.80	1.03	0.03
191	87.01	3.03	1.21	0.03	89.21	16.36	1.10	0.04
316	89.82	5.27	1.16	0.04	90.62	6.41	1.12	0.03
455	84.64	2.84	1.18	0.02	88.95	2.61	1.07	0.02
477	88.15	3.14	1.21	0.03	84.20	32.82	1.02	0.02
481	87.80	17.95	1.12	0.03	87.19	4.75	1.05	0.02
920	92.11	2.47	1.18	0.04	92.29	5.04	1.08	0.03
946	92.11	1.77	1.11	0.02	92.11	1.77	1.11	0.02
3063	92.64	4.10	1.24	0.03	90.62	17.89	1.05	0.02
平均値	89.38	4.93	1.18	0.03	88.91	12.38	1.07	0.03

室町杉原								
197	89.47	2.20	1.19	0.03	89.03	3.12	1.13	0.01
229	92.02	16.46	1.09	0.04	89.56	1.99	1.13	0.02
558	92.02	1.78	1.19	0.02	87.28	18.33	1.10	0.05
566	102.13	11.06	1.06	0.03	86.04	1.74	1.21	0.03
1542	91.23	2.72	1.20	0.03	93.34	13.85	1.07	0.02
平均値	92.62	6.84	1.15	0.03	89.61	7.81	1.13	0.03

檀紙								
171	94.83	17.66	1.06	0.03	87.36	3.34	1.25	0.05
373	89.74	2.66	1.09	0.03	88.07	7.33	1.05	0.02
1542	91.23	2.72	1.20	0.03	93.34	13.85	1.07	0.02
3021	91.67	2.76	1.18	0.03	86.13	4.36	1.06	0.01
平均値	93.18	6.45	1.14	0.03	88.90	7.22	1.11	0.03

文書番号	積算配向角度	(95%信頼度区間)	積算配向強度	(95%信頼度区間)	積算配向角度	(95%信頼度区間)	積算配向強度	(95%信頼度区間)
引合								
252	94.13	5.03	1.20	0.02	91.32	1.51	1.10	0.02
267	94.13	5.03	1.20	0.02	91.32	1.51	1.10	0.02
307	90.53	3.00	1.10	0.02	93.16	1.99	1.18	0.03
486	89.65	3.01	1.25	0.03	89.91	16.56	1.09	0.03
656	92.37	2.69	1.17	0.02	91.49	4.71	1.06	0.03
1543	96.24	2.74	1.13	0.03	94.57	3.25	1.18	0.02
3030	92.46	2.92	1.21	0.05	88.95	24.36	1.02	0.02
平均値	92.79	3.49	1.18	0.02	91.53	7.70	1.11	0.02

引合(上)								
168	92.20	15.30	1.08	0.04	89.47	2.67	1.20	0.03
649	91.58	16.46	1.06	0.02	90.00	4.63	1.11	0.02
平均値	91.89	15.88	1.07	0.03	89.74	3.65	1.16	0.02

宿紙								
170	94.92	17.53	1.06	0.03	87.36	3.34	1.25	0.05
360	92.90	32.30	1.04	0.03	87.10	4.24	1.19	0.04
378	89.56	23.69	1.05	0.03	88.86	3.01	1.24	0.04
386	93.08	25.33	1.05	0.03	85.08	9.76	1.16	0.04
平均値	92.61	24.71	1.05	0.03	87.10	5.09	1.21	0.04

