

# 和紙の簀目の幾何学的構造と大徳寺文書における簀目数解析

## 1 古文書料紙における簀目の意義

### 1.1 簀目の目とは

和紙では、植物繊維の水懸濁液からろ水して紙層を形成する網にあたる抄紙具が簀(す)であり、一様な太さの細い竹ひご(カヤのひごや馬の毛を使っていた例もある)が糸で結わえられ等間隔に並んでおり、その痕跡が「簀の目」として紙に残る。図1に、簀の写真と簀の目が残る和紙の写真を例として示す。簀の目は使用した簀の竹ひごの配置と同様に等間隔の規則正しい縞となって見える。この古文書は大徳寺文書の中から選んだ1つの試料例で、透過光によって得られた画像である。

古文書、史料、絵画等の紙文化財を保護し、修復していくことは、史的、文化的及び美術的価値を継承するという観点から近年重視され、広く行われている。紙文化財の修復には和紙を使うことが多く、適切な復元補修紙の選択にあたっては、外観の調和のために簀の目の数を一致させる必要がある。目の数だけではなく、さらに見え方の鮮明さや濃淡のコントラストなども合わせる必要があると考えられる。そのためには、どのようなメカニズムで簀の目残り、それが人の目に認識されるのかを知る必要がある。

### 1.2 簀目の見え方

紙に残る簀の目は、通常光に透かすことによつて容易に見ることができ、正確な濃淡の分布を知るには、フラットベッドスキャナの透過モードで画像を取り込むとよい。図2は、現代の紙漉き技術者である長谷川聡氏(長谷川和紙工房)が目数10(左)及び25(右)本/寸(1寸≒30・3mm)の簀

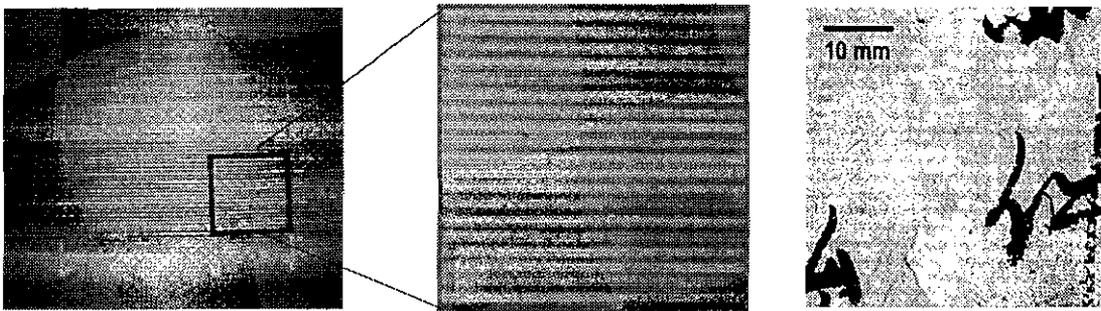


図1 抄紙具である簀(す)と簀の目が残る大徳寺文書料紙の例

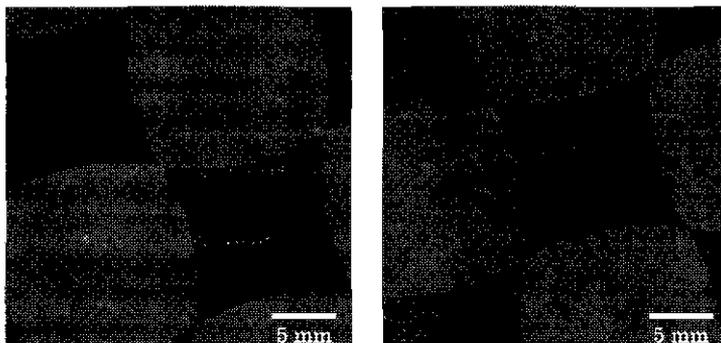


図2 スキャナー透過光像の簀の目の見え方。10及び25本/寸。

韓允熙<sup>1)</sup>、江前敏晴<sup>2)</sup>、保立道久

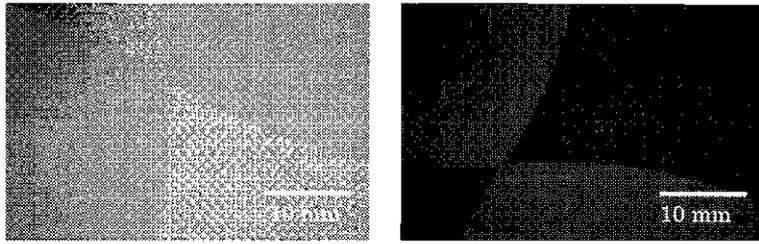


図3 a 拡散反射光による簀の目の見え方。25及び15本/寸。

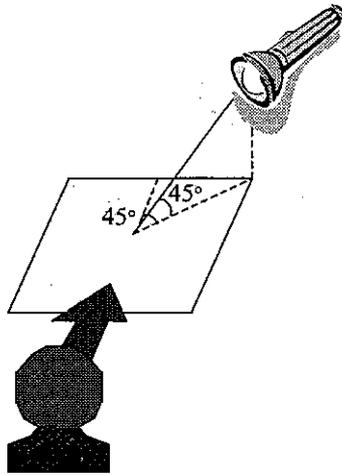


図3 b 拡散反射光の照明の位置

を用いて漉いた和紙（美濃紙）の透過光画像である。10本/寸では簀の目がよくわかるが25本になるとほとんど簀の目がわからず、実際に光に透かして肉眼で直接観察しても規則的な縞をほとんど認識することができない。単に縞の間隔が狭いということではなく、拡大しても地合（紙のランダムなむら）の濃淡が目立つだけで、規則的な縞はやはりが認識できない。しかし、これは目が細かくなると簀の目の痕跡が残らないということではない。

図3 aに拡散反射光の照明による簀の目の画像を示す。これは図3 bに示すような右斜め前約45度の角度で高さも約45度として照明光を当て、低い位置から観察して見える簀の目を撮影した写真である。向こう側から手前に平行に走る縞が明瞭に観察される。図3 aの左側がガンピを原料とする25本/

表1 簀の目の見え方とでき方（推測）

A) 透過光像に濃淡の縞（簀の目が粗い場合に明瞭となる）	
a. 隙間部分に繊維が落ち込む	
b. 粗密ができる	
B) 反射光でのみ簀の目が見える（簀に当たっていた面だけがよく見える）	
a. 隙間部分に繊維が落ち込む	
b. 隙間部分に添加物が集中	

寸の簀で作った和紙、右側が同じくガンピ15本/寸の例である。このような拡散反射光による見え方は、光の角度によって明瞭になったり不明瞭になったりするが、この照明光位置が最も明瞭に観察された。

このような観察結果から簀の目の見え方は、いくつかのパターンに分類できることがわかる。断面の模式図も合わせて表1に示す。Aは、繊維量の多少がシート内で分布（むら）を持つ場合である。Bのaでは簀の反対側の面でも簀の目が見えることになり、事実と合わない点がある。bではこのような簀の目の見え方は十分考えられるが、今回検証した和紙試料では、無色透明のネリ以外の添加物は配合していないため、この見え方に該当しない。したがって、通常考えられるような以上の理由とは異なるメカニズムにより拡

散反射光で簀の目が見えるようになると考えられる。

1. 3 古文書における簀の目の意義

紙の製造工程上、繊維懸濁液からの脱水により紙が形成されるため、簀には必ず脱水するための隙間が必要である。網目状の隙間は布を簀に敷くことよって可能であるが、目が細かすぎると脱水が遅くなり作業効率が悪くなる。また、布は吸水しやすく、水の保持量が大きくなりすぎる点で、やはり紙抄きには不向きである。また、脱水は紙の面内で均一に進行しないとムラができやすい。したがって必然的に材料自身の吸水性が少なく均一な隙間を作り、なおかつ重い懸濁液を支えられる強度のある構造にしなければならぬ。そう考えると、竹などのひごを平行に等間隔で並べた簀がもつとも適切であろうである。

加工技術が高ければ竹ひごを細くすること及びそれを結わえる糸を細くすることが可能になる。竹ひごを細くするか、太くするか、結わえる糸を細くするか、太くするかによって、脱水速度と簀の目の現れ方は大きく変わりそうである。脱水速度は一定でないと紙漉き作業が難しくなると考えられるので、太い竹ひごを使う場合は隙間(糸)も太くするであろうし、細い竹ひごを使う場合は隙間(糸)も細くするであろう。しかし簀にある隙間の合計面積が同じであっても、細い隙間をたくさん作ると脱水速度は下がるので、竹ひごが細くなるほど相対的には隙間を広くとるはずである。紙の原料となる植物繊維には、コウゾ、ガンピ、ミツマタなどを使用するが、簀の隙間の幅が大きいとそこにたくさん繊維が落ち込んで、光に透かすとその部分が濃く見えるので簀の目が非常にはっきりしてくると予測される。しかしその度合いは繊維の長さとも関係してくるので、繊維の短いガンピなどでは、簀の目数が多くなっても簀の目がはっきりしそうである。そう考えると、簀の目の本数を調べれば繊維の種類を判別するデータになる可能性もある。このように、簀の目は古文書料紙を調べるに当たって、使用されていた簀の加工精

度以外にもさまざまな潜在的情報を提供してくれる。

2. 1 試料

2 簀の目部分の幾何学的構造の解析

測定の対象とした試料は、表2に示すようなミツマタ及びガンピを繊維原料とする和紙で、使用した簀の目数は10〜25本/寸であった。

表2 和紙試料

繊維	簀の目*	板張り面	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
ミツマタ	10	簀肌面	65.1	0.50
ミツマタ	15	簀肌/取液面	66.4/62.2	0.48/0.46
ミツマタ	20	簀肌/取液面	57.2/65.8	0.47/0.46
ミツマタ	25	簀肌/取液面	63.0/64.9	0.49/0.64
ガンピ	15	簀肌面	73.0	0.64
ガンピ	20	簀肌/取液面	71.4/66.9	0.62/0.64
ガンピ	25	簀肌/取液面	73.8/67.0	0.67/0.63

\* 30.3mm (1寸) あたりの本数

## 2.2 実験

最初に試料の坪量及び厚さを測定し、密度を計算した。ここで紙の基本的な物理量について補足説明する。坪量とは、1平方メートルあたりの紙の質量を指し、単位は $g/m^2$ である。厚さは2枚の平滑な金属板に挟んだときのその間の距離として測定する。単位は $mm$ である。挟む圧力は規定されているが、紙文化財では無理に変形させることのないようにやや小さい圧力の方がよい。携帯できる大きさのマイクロメータで測定すれば十分である。密度は、坪量を厚さで割り、 $g/cm^3$ の単位で表す。

次に、和紙に残る簀の目の幾何学的な構造を調べるために、現代の和紙の光学顕微鏡観察を行った。さらに、ベータ線地合測定装置 (Beta Formation Tester, Amberteck社, SWEDEN) を用いた面内坪量分布、ソフトX線装置 (PRO-TEST 150, SOFTEX社製) を使った面内坪量分布の測定も行った。最後に表面の形状測定 (キーエンス製レーザー顕微鏡 V-F-7500) を行った。坪量はシート全体の平均的な値を求めるのが普通であるが、1枚のシート内でも坪量の変動があり、その変動は局所質量分布又は坪量分布という呼び方をされ、紙のむらを表す。ベータ線の透過量が局所的な坪量と相関があることから、ベータ線透過量を測定し、局所的な坪量の分布に換算する装置がベータ線地合測定装置である。これを図4に示す。ベータ線ビームのスポット径 (直径) は $1mm$ であり、このスポットを $1mm$ 間隔で移動させながら簀の目と平行な方向に $10mm$ 、直角方向に $50mm$ 走査し、2次元的な坪量分布情報を得た。和紙試料間で同じ坪量に対する輝度が同一の関係になるように各画素の輝度を調整して画像化した。

ソフトX線透過画像は図5に示す装置で撮影した。同じ原理で、可視光に比べると光の散乱が少なく坪量に比例した透過量が得られるといわれているが、予備的に調べたところでは、X線管球にかける加速電圧が $10kV$ 程度と低い場合はX線の波長が長くなり明らかに散乱の影響が現れた。すなわち、

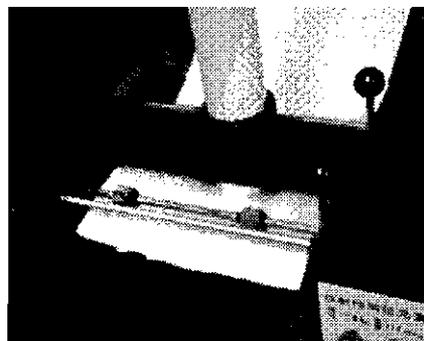
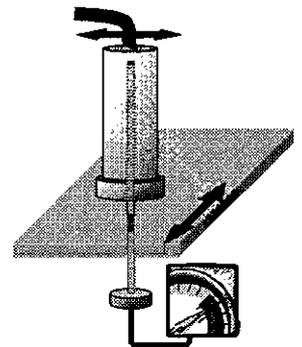


図4 ベータ線の坪量分布測定装置と紙及びベータ線の走査方向

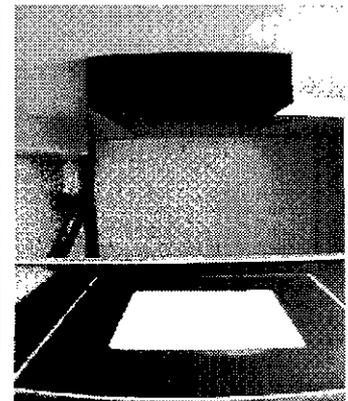


図5 ソフトX線装置とイメージングプレート上の試料

同一の繊維量でも密度が高い箇所はX線の透過量が多くなる現象が見られた。具体的には、均一な紙の一部を爪でこすって線状に潰してやると、X線透過量が多くなることからそのように判断された。したがって、加速電圧は $40 \sim 60kV$ の高電圧にし、管電流を $1.5mA$ 、イメージングプレートに露光する時間は $1 \sim 3$ 秒程度にした。感光したイメージングプレートはリガク製イメージングプレートリーダーで読み取った。面方向 (XY方向) には $50\mu m$ の分解能があるので、細かい簀の目の有無を画像化できるが、X線の出力条件の安定化がむずかしく、定量的に坪量に換算した画像化はできない。

表面形状は、図6に示す装置で測定した。簀の目と直交する方向に $20mm$  (256画素)、簀の目方向に $2.7mm$  (35画素) の範囲で測定した。面方向

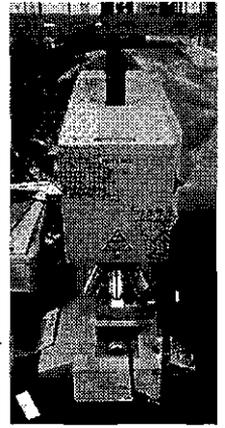


図6 表面形状測定器

の分解能は78 $\mu$ mで、高さ方向は1 $\mu$ mである。

低角度照明による光学顕微鏡観察を行った。照明が当たる方向に対して直角に並ぶ繊維が、繊維側面が光を反射するのでよくわかるようになる。その低角度照明を篋の目と平行な方向及び直行する方向の2方向から同時に照明した。オリンパス製顕微鏡を用い、接眼レンズ $\times 10$ 、対物レンズ $\times 4$ の40倍で観察した。デジタルカメラで撮影した画像をつなぎ合わせ、比較的広範囲での繊維の向きを調べた。

### 2. 3 結果と考察

和紙試料の基本的な物性である坪量と密度が、篋の目の細かさなどのような影響を与えたかを図7に示す。横軸は篋の目の細かさを表しており右側ほど細くなる。左軸は坪量である。ガンピ、 $\square$  ミツマタ $\square$ とも篋の目の細かさに関わらずほぼ一定の坪量であった。脱水速度が異なる複数の篋であったはずであるが、それにも関わらず坪量を一定にできる紙漉き技術者の経験と技術によるものである。一方、右軸に示されている密度に関しては、同一の繊維原料では篋の目によらず一定であったが、ガンピ $\circ$ が0.65g/cm<sup>3</sup>、ミツマタ $\circ$ が0.50g/cm<sup>3</sup>程度であり、明らかに繊維の細いガンピの方が高密度になる傾向があった。江戸時代以前の紙で打ち紙処理されて高密度になった紙について、以前は、その触感から斐混じり楮紙などと呼称されていたこともあったが、最近ではその多くがコウゾ紙であることがわかってきた。このような従来の誤った判断も高密度化しやすいガンピ紙の特徴ゆ

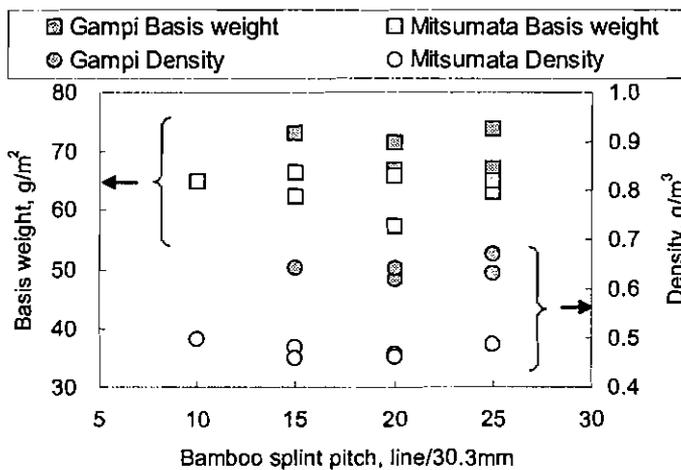


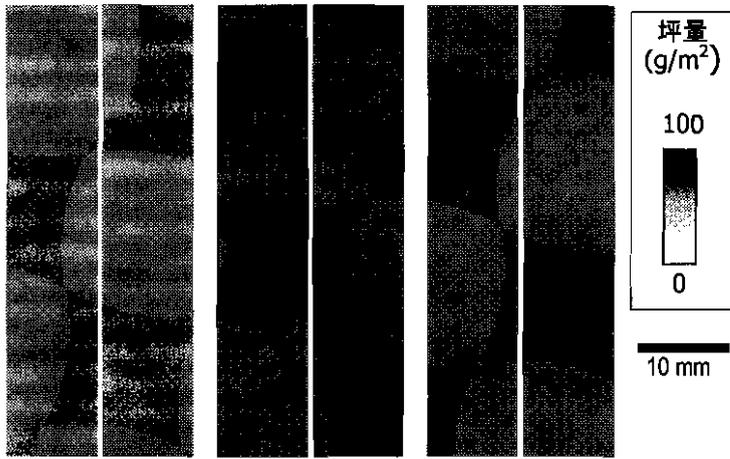
図7 ガンピ及びミツマタを原料とする和紙試料の坪量と密度

表3 ベータ線坪量分布測定に供した試料

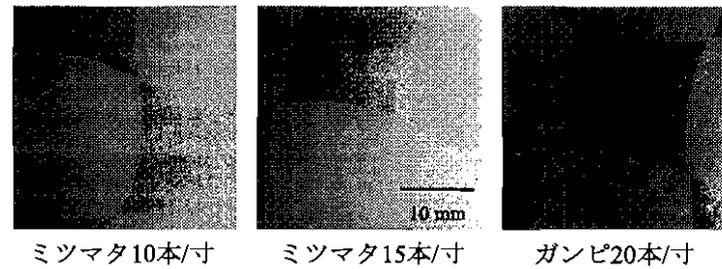
繊維	篋の目*	板張り面	坪量 (g/m <sup>2</sup> )
ミツマタ	10	篋肌面	50.6
ガンピ	15	篋肌面	72.4
ガンピ	15	取液面	63.6

\* 30.3mm (1寸) あたりの本数

えになされたものである。  
表3は、ベータ線透過量の変動を利用した坪量分布を求めるのに使用した試料の物性等を示す。「板張り面」は、乾燥時にどちらの面を板に接したかを区別している。図8は、ベータ線透過量から求めた坪量分布画像である。紙の種類については例えば、「ミツマタ 10 篋」とあるのは、ミツマタを繊維原料とし、10本/寸の篋を用い、篋に当たっていた面を板に張り付けて乾燥した紙、の意味である。10本/寸の紙では篋の目数に相当する濃淡の画像がはっきり現れており、繊維量の多少のむらも、篋の目となって見えることがはっきりわかる。15本/寸のガンピでは板張り面がどちらの側かに関わらず、篋の目がわかりにくくなっている。しかし、途切れ途切れではあるもの



ミツマタ 10 簀  ガンピ 15 簀  ガンピ 15 上  
 図8 ベータ線坪量分布画像



ミツマタ10本/寸  ミツマタ15本/寸  ガンピ20本/寸  
 図9 ソフトX線透過像

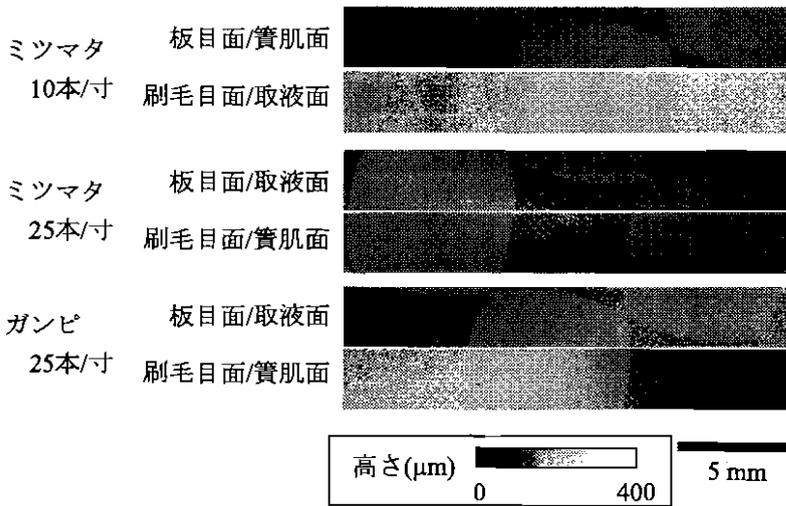


図10 表面形状画像

の目数に対応した縞を何とかこの画像から感じ取ることが出来る。計算上では、15本/寸は約2mm間隔に相当し、本測定のスプレット間隔である1mmは2mm間隔の周期性を検出できるかどうかのぎりぎりの間隔になっているため簀の目が不明瞭になっている。濃淡の濃度差に関しては「ミツマタ10簀」は非常にはっきりしているのに対し、「ガンピ15簀/上」については、濃淡の差が小さいことがわかる。これを実際の坪量に換算した結果について、局所坪量の最大値と最小値の差を見ると、画像の左から順に、 $\Delta 44 \text{ g/m}^2$ 、 $\Delta 24 \text{ g/m}^2$ 、 $\Delta 24 \text{ g/m}^2$ であり、簀の目が細かいと坪量の変動は小さくなることがわかる。

ベータ線透過像では装置の仕様によりベータ線のスポット間隔に限界があ

り、これ以上の面分解能は期待できないため、50mmの分解能があるソフトX線透過像も同様に撮影した。ただし、ソフトX線透過像では濃淡から坪量分布に換算することができず、簀の目の有無を定性的に判断するしかない。図9は、ソフトX線透過像である。10本/寸では濃淡の縞が非常に明瞭で、15本/寸でも十分明瞭であるが、20本/寸になると、濃淡が不明瞭となる。分解能は十分高いので、単に縞の間隔が狭いために不明瞭になるのではなく、実際に繊維量の多少によるムラがないと判断すべきと考えられる。

図10は、表面形状画像で、各点での高さ情報を濃淡として示してある。「ミツマタ10本/寸」では、刷毛目面（板張り乾燥のときに板に当たっていない方）の面を指す。刷毛で広げるほうの面になるのでこう呼ばれる。

に周期的な縞が見える。この縞の間隔は、ちょうど10本/寸に相当する約3mmの間隔となっており、簀の目は凹凸としても現れていることがわかった。通常は、簀の竹ひごの隙間に繊維が落ち込むことを考慮すると、簀の目側に凹凸ができそうであるが、簀の面を板に張り付けて乾燥するのが普通であり、その場合、凹凸が反対側に現れると考えられる。ペータ線の坪量分布画像やソフトX線透過画像から明らかのように繊維量の多少が存在するために、湿潤時に簀の面にあった凸部は乾燥時に反対側に押し上げられるようである。25本/寸の紙になるとこのような周期的な凹凸はまったくなくなることがわかる。実際には微小な凹凸が存在するのであるが、和紙自体の表面が繊維サイズのオーダーになると非常に粗いため簀に由来する凹凸が目立たなくなると考えられる。なお、特に25本/寸の紙に共通して見られる約1・3mm間隔の非常に規則正しい縞は、測定に使用した低倍率レンズの収差によるもので、非常に平滑とわかっていて表面の測定でも現れるはずみであるので簀の目とは関係がない。また一番下の画像の右側は黒の部分は試料の端部をはみ出した計測のためである。

以上、坪量分布と表面形状の測定結果からわかることは、次の通りである。和紙を光に透かしたときに観察される簀の目の縞は、簀の目が粗いときには坪量の分布、すなわちシート内での繊維量の不均一に由来するものであり、また同時に表面の凹凸も形成している。簀の目が細かくなると簀の目が不明瞭となるが、それは簀の目の間隔が小さくなり肉眼での識別能を超えて見えにくくなるからではなく、繊維量の不均一も表面の凹凸もなくなるためである。したがって拡散反射光で観察される簀の目は繊維量の不均一や表面の凹凸ではない他のメカニズムによって発現していると推測できる。

このことを考慮に入れ、図11に示すような低角度照明による光学顕微鏡観察を行った。

個別の画像を連結して合成した画像を図12に示す。画像の上方からの照明

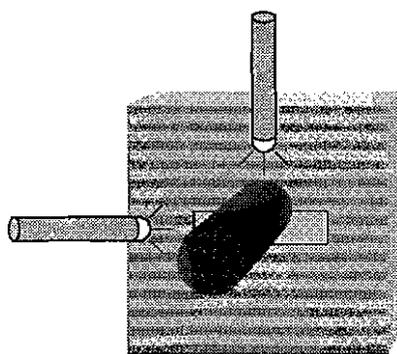


図11 低角度照明での観察

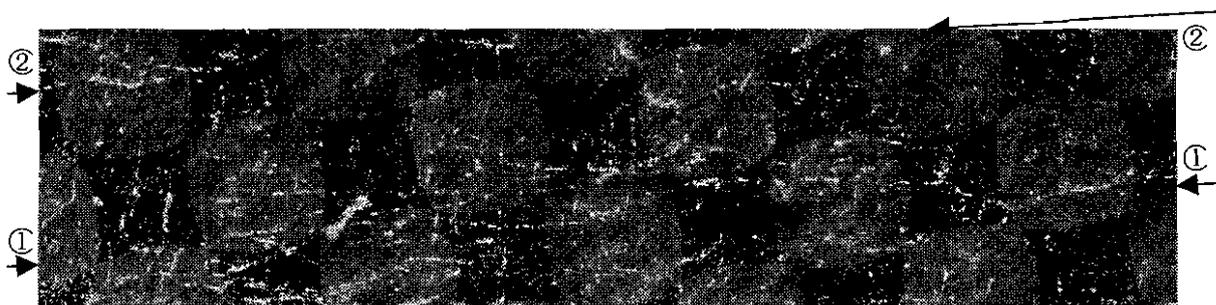


図12 低角度照明により横方向及び縦方向に並ぶ繊維を目立たせた紙の表面写真

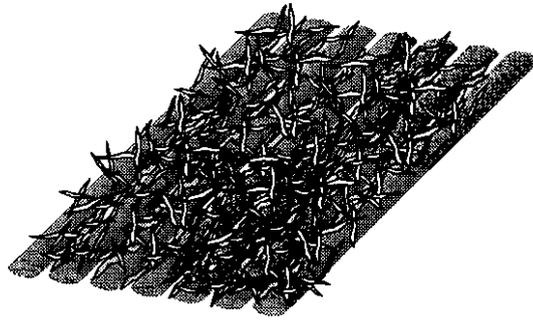
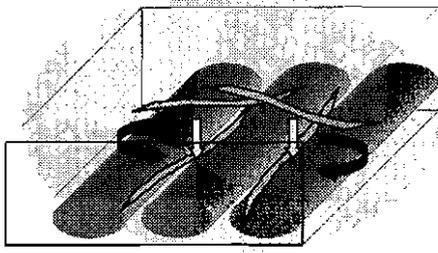


図13 脱水時の繊維の回転 (左) と簀の目に沿った特異的繊維配向 (右)

をやや強くしたため横(画像の水平)方向に並ぶ繊維が特に強調されている。画像を注意深く観察すると、横方向に並ぶ繊維が矢印①ではさまれた直線上につながるように伸びていることに気づく。中央やや右にある黒い印は、拡散反射光を使って目視で観察したときに見える簀の目のライン部分に鉛筆で印をつけたもので、ラインが伸びる方向に短い線を引いた。まさにその線に沿って横方向に繊維が並んでいることがわかる。このラインから少しおいてその隣にも同じように横方向に伸びる簀の目のラインの一部が観察される。矢印②ではさまれた部分である。このような特徴的な繊維の列は、簀の目と垂直な方向からの低角度照明によって始めて認識できるものであり、通常の照明では、簀の目と垂直な繊維の数が非常に多いためほとんど認識できない。

以上の観察結果から、簀の目が拡散反射光によって浮かび上がる理由は、簀の目の隙間に沿った繊維の配向であると考えられる。このような簀の目部分特有の配向は、図13に示すように初期脱水時に水の流れとともに繊維が回転して簀の目に平行に並びやすく、簀に形成された紙層の簀に接していた面の表層付近では簀の目の隙間に沿って並ぶ繊維が多くなる」と予測される。通常、流し漉きでの繊維配向は、簀の目に対して直行する方向に

起こる。簀の目の隙間部分だけは、大方の繊維に対して直行する方向に並ぶことになる。繊維は繊維軸方向に光を多く反射するため、簀の目と平行に近い光を当てると簀の目の隙間部分の繊維が強く反射するが、照明光をやや傾けて45度方向から当てた方が、簀の目と直行する繊維からの反射光が非常に弱くなるため反射光の強度のコントラストが大きくなり、簀の目をはっきり認識できるようである。照明位置を一定にして紙を平面内でゆっくり回転させると、簀の目が明瞭になったり不明瞭になったりし、また濃淡の関係が入れ替わるのを認識できる場合もあるが、繊維配向に由来する光の反射方向依存性、すなわち紙に対する照明光の角度により反射光の強度が変わるといった性質のために起こる現象として説明できる。

### 3 大徳寺文書料紙の簀の目数計測

#### 3.1 目数計測の目的

簀の目は、文書の料紙を製造した工程で使用した漉き具の痕跡であり、簀の形状などを推定することで、その紙を製造した時代の加工技術などを知ることができると考えられる。料紙に残る刷毛目や板目などからわかる乾燥技術と合わせれば当時の抄紙工程をかなり推定できる可能性もある。刷毛目や板目ははっきりわからない場合も多く、それに比べると簀の目は多くの紙で観察され、肉眼でも容易に観察可能であることから系統的に過去の抄紙技術を推定するのに適している。ここでは簀の目の持つ情報のうち、目数(めかず、1寸 $\parallel$ 30mmあたりの本数)を計測し、時代による目数の変遷、紙の他の物性との関連を調べた。

#### 3.2 透過光像の撮影

東京大学史料編纂所写真室において、京都の大徳寺文書(鎌倉~室町期の天皇綸旨や幕府奉書、寄進状)の透過光像をデジタルカメラ(コダック製 ProBack 850万画素)で撮影した。大徳寺文書のうち、撮影に供した試

料については別紙に掲載することにする。

### 3.3 透過光像からの目数の計測

フーリエ変換は規則的に現れる信号の変化を見つけ出すのによく利用される。たとえば一定の音階をもつ音は空気の規則正しい振動の波であり、その音を録音してフーリエ変換し、周波数軸上に信号の強度をプロットすると、その音階に対応した周波数位置にピークが現れる。2次元フーリエ変換は、XYの2つの変数に対してある値を持つ信号に対するフーリエ変換を指し、通常画像情報の中に含まれる周期性を見つげるのに使われる。図14に2次元フーリエ変換の例を示す。左図は規則的に並んだドットの写真でXY方向とも512点の画素からなる。これをフーリエ変換し、パワースペクトルを图示すると中図のようになる。この図で見られる多数のドットは左図に含まれる周期的なドット配列をすべて表現している。その中央部分の $256 \times 256$ 画素だけを拡大すると右図のようになる。中心点を座標の原点と考へ、1つのピークである点(35, 77)を例として考えると、原点からその点に向かう方向と直交する方向に周期的なドット配列又は縞が存在することを意味する。そしてその縞の間隔は、元の図の縦又は横の幅が512 (例えばmm)であったとすると、 $512$ を $84.6$ で割った値である $6.1$  (例えばmm)であると計算できる。具体的には右図に書き込んだ縞模様と平行な周期性が元の図に存在することを意味する。このように計算するプログラムを、Visual Basic 6.0, Microsoftを使い自作した。非常に明瞭な罫の目の周期性は、パワースペクトルの中の最も強度の大きいピーク、あるいは周囲に比べて相対的に最も強いピークと考へて計算

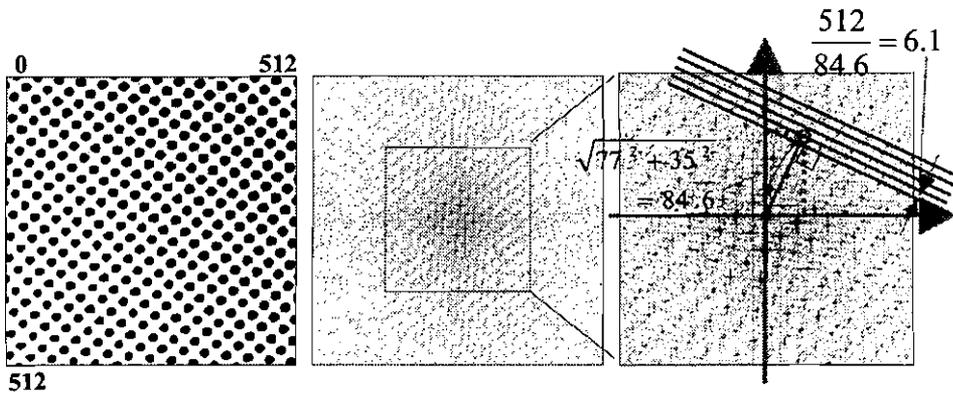


図14 2次元フーリエ変換により周期性の間隔を求める方法の例

できるが、実際には目でピークを認識できても計算で見つけるのは簡単ではない。プログラムでは、いくつかのピークを拾い出すと同時にそのピークに対応する縞を描き、元の透過光像との対比を目視で行ってから目数を判断した。

このプログラムを使って計算した例を図15に示す。上左図は大徳寺文書のある料紙を試料とする透過光像で、罫の目が非常にはっきりしていることが

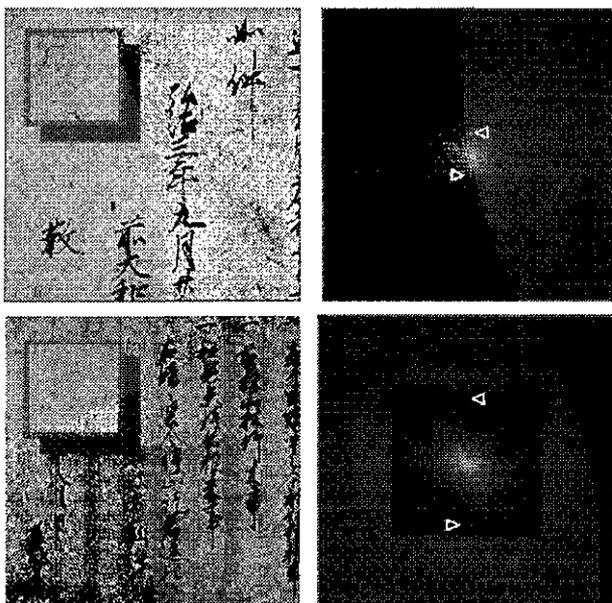


図15 古文書の透過光像とパワースペクトル

拡大図からもわかる。上右図はその画像をフリーエ変換して得られたパワースペクトル図であり、周期的な縞である簀の目の間隔に対応した位置にスポット(図の▷印)が現れている。点対照となった位置に2点のスポットがあるが、パワースペクトル図は点対照となる性質があるため実際には上半分を見ればよい。図15の下段は、同じく大徳寺文書の別の料紙であるが、この透過光像は簀の目が不明瞭で、目視では簀の目が存在しないと判断されそうであるが、パワースペクトル図では、スポットが現れており、周期的な縞が存在していることがわかる。なお、このパワースペクトル図の中央部分だけをわかりやすいようにコントラストを高くして表示している。簀の目が細くなるほど、間隔が狭くてわかりにくくなるのではなく、繊維量の変動が小さくなることよって簀の目が不明瞭になることは前に述べたとおりだが、この例からもわかるように簀の目が細かく不明瞭な場合でも、フリーエ変換によつて簀の目数を推定することができるようになる。また目視では、料紙全体の簀の目が目立つ箇所だけに注目して目数を数えがちであるが、当時の技術不足のために一つの簀の中で細かい部分と粗い部分が混在することもあり、また部分的に紙が伸びている場合があるかもしれない。そのような場合でもフリーエ変換法では、処理した領域の平均的な簀の目数を知ることができる長所がある。

透過光像をフリーエ変換し、パワースペクトル図から周期的な特徴(図の▷印)を見つけ、1寸(3.03cm)あたりの簀の目数を計算した。309点の料紙を調査対象とした。ただし、文書の記述から年号や年を特定できないものもあったので、年代と簀の目数の対応がわかるものは1168年から1669年の紙248点であった。また、簀の目数は関係しないが、文書料紙の坪量(g/m<sup>2</sup>)、厚さ(mm)、密度(g/m<sup>3</sup>)、年代(西暦)の相互の関係について何らかの傾向があるかどうか併せて調べた。

### 3. 4 結果と考察

図16は、大徳寺文書のうちの調査対象とした料紙の簀の目数の分布を示す。計算された簀の目数は8〜25本/寸と分布が広く、2本ずつ区切った分布では18〜20本/寸がもっとも頻度が高く、全体の平均値は16.4本/寸であった。

一般に時代とともに簀の目が細くなる傾向が知られており、加藤<sup>2)</sup>によれば1600年代から1700年代半ばまでは20本弱/寸であり、1700年代の終わりから1900年頃にかけて20〜30本/寸程度に急激に増えており、抄紙具の進歩が伺われる、と述べている。図17は1100年代半ばから1600年代後半にかけて簀の目数がわずかに増加していることを示す。その本数は15本/寸程度から18本/寸程度への増加である。加藤らの調査対象は龍

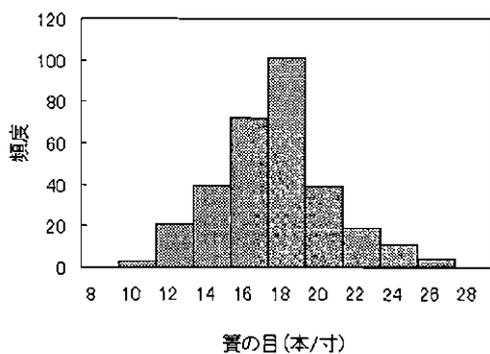


図16 大徳寺文書料紙309点での簀の目数(本/寸)の分布

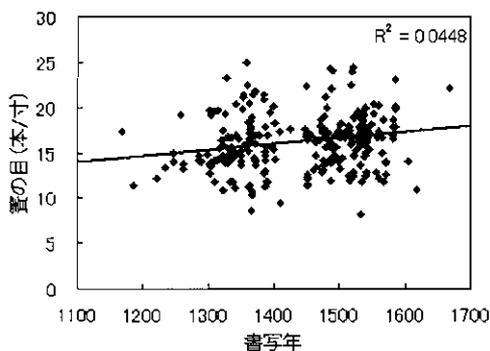


図17 大徳寺文書料紙248点での簀の目数の時代的な変化

谷大学所蔵の文書であったが、これとはまったく異なる大徳寺文書を調べた結果を考え合わせても、連続性があるようである。1700年代以降の急激な簀の目数の増加に比べれば、この時代(中世→近世)には歴史的に抄紙具(簀)の技術的な進歩はゆっくりとしたものであったと判断できる。しかし、平均値の漸増に比べてこの時代でも簀の目数の分布が非常に幅広いということに注目すべきである。これは、繊維原料の種類や煮熟の程度による繊維の細かさなどによって繊維懸濁液の脱水速度が変わるため、一定の抄紙方法でむらのない紙を抄くには、目数の異なる複数の簀の中から適宜最適なものを選択して用いることが望ましい。そのためにそのような簀を何種類か用意していたものと考えられる。また地域によって繊維原料などが異なり、それに適した目数の簀を製造していた可能性もある。その意味では繊維原料に適した簀を製造していたのであって、けっして抄紙用具製作の技術レベルが低かったとは言えない。

この推論の真偽は簀の目数とその簀を用いて製造した紙の物性と何か関連がないかを調べることによりある程度推測できる。図18は簀の目数が、料紙の面積(a)、坪量(b)、厚さ(c)及び密度(d)との間にどのような関係があるかを示す。いずれも相関係数(グラフ中のR<sup>2</sup>)で示してある。1に近いほど相関が高く、明らかな因果関係があることを示す。は低かったが、厚さに関しては、厚いものほど簀の目数が少なくなる傾向を示した。厚い紙を漉くときは脱水が遅くなるため、迅速に作業ができるように必然的に粗い簀の目を使って脱水時間を短くする工夫をしていたものと考えられる。坪量に関しても同様の傾向がある。時代による変遷を料紙の面積(e)、坪量(f)、厚さ(g)及び密度(h)について見てみると、面積は右下がりの減少傾向にあるが、写真撮影の便宜を考えて小さめの料紙を自ずと選んだり、巻物にするために一番幅の狭い紙に合わせて切りそろえたりするので必ずしも簀の大きさは一致しない。坪量及び厚さについては分布の幅を考えると、時代による差はほとんどないと言

える。密度に関しては、時代によらず一定で分布の幅も比較的狭い。密度に影響する因子は、叩解(打解)とウェットプレス(圧搾)の程度であるが、特にウェットプレスの影響が出やすい。密度が一定であるということは、ウェットプレスの圧力や時間が一定であったということであり、製造方法が安定していた時期であったと考えられる。

#### 4 結論

和紙は、製造に使用した簀の目の痕跡を光に透かすことによって見ることができ、それは繊維量の多少の分布が1枚の紙の中に存在するためであり、また簀の目に応じた表面の凹凸も存在する。しかし簀の目が細かくなると、透過光で見ても簀の目が観察されず、反射光でのみ観察できる場合もある。このような紙は繊維量の多少の分布はなく、繊維の配向が関係している。通常流し漉きで漉かれた和紙の繊維は簀の目と直行する方向に強く配向するが、簀に接触した面では繊維懸濁液の脱水過程で繊維が回転して簀の目に沿って繊維が並ぶ。繊維が配向すると繊維軸方向に光を強く反射するので、配向する方向の異なる繊維が反射光のコントラストを作り、反射光でのみ簀の目が見えるようになる。したがってこのような紙では簀に当たっていなかった面では簀の目がまったく観察されない。

大徳寺文書料紙の簀の目数を測定した。透過光写真の画像を二次元フーリエ変換し、パワースペクトル図のスポット位置から1寸(30・3mm)あたりの簀の目の本数を計算する手法を用いた。大徳寺文書料紙309点の測定結果では、8〜25本/寸と分布が広く、平均値は16・4本/寸であった。書記年代との対応がわかる1168年から1669年の間の502年間の紙248点について歴史的な変遷を見ると、平均的には15本/寸程度から18本/寸程度へ増加していた。しかし同じ時代でも非常に分布が広いことから、目数の異なる複数の簀が混在し、その中から適宜最適なものを選択して用い

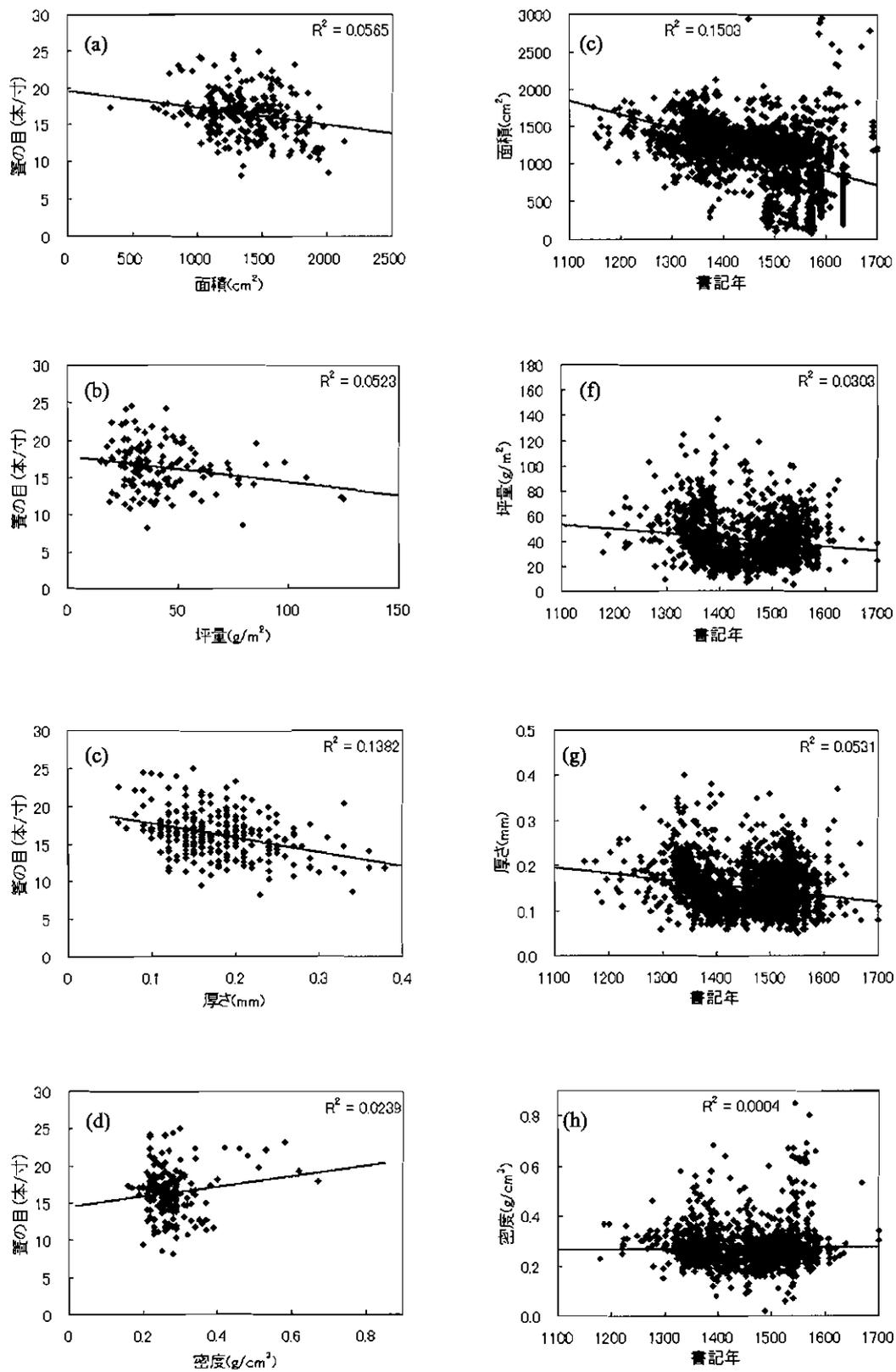


図18 大徳寺文書料紙の各種物性と簀の目数との関係及び物性の時代的な変化

しよけていたか、又は地域ごとの分業体制が自然と形成されていたと想像される。この248点については、紙が厚いものほど簀の目数が少なくなる傾向を示しており、厚い紙を漉くときは脱水が遅くなるため、迅速に作業ができるように必然的に粗い簀の目を使って脱水時間を短くする工夫をしていたことが伺われる。

## 5 謝辞

長谷川和紙工房の長谷川聡氏には目数の異なる簀を使って紙を漉いて頂きました。東京大学史料編纂所写真部の方々には透過光写真を撮影して頂きました。日本製紙㈱の小野克正氏及び山本准司氏にはベータ線透過像の撮影をして頂きました。ご協力を頂いた方々に謝意を表します。

## 〔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) 加藤雅人、平成13年度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、

龍谷大学、pp.125-128 (2002)

### 大徳寺文書の料紙簀目数一覧表

(透過光画像のフーリエ変換処理によって計算した)

(簀の目数測定を行った試料についてだけ示した)

(『大日本古文書』番号順に並べ、書記年については便宜年号に従った)

文書番号	小番号	面積 (cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	書記年	簀の目 (本/寸)
161		1722					20.1
163		1724	0.12	0.37	45.25	1187	11.4
165		1764	0.27	0.27	71.43	1321	16.4
167		1726	0.18	0.26	46.35	1326	19.3
168		1751	0.2	0.58	116.52	1329	23.2
171		1941	0.32	0.39	125.17	1333	11.7
172		1940	0.32	0.34	108.24	1337	11.8
173		1663	0.17	0.29	51.12	1338	14.4
178		1571	0.16			1354	21.4
179		1619	0.21	0.23	47.57	1354	21.1
190		1605	0.16	0.29	45.47	1365	16.3
191		1527	0.13	0.27	34.7	1365	17.8
192		1936	0.24	0.29	69.75	1366	10.3
193		1867	0.27	0.32	84.11	1367	10.7
197		1420	0.1	0.28	28.52	1399	15.8
202		1259	0.15			1477	19.0
203		1334	0.11	0.26	27.74	1478	17.6
217		1243	0.19	0.27	49.89	1500	17.5
218		1282	0.16	0.26	40.56	1502	16.7
219		1521	0.21	0.31	66.42	1502	13.2
227		1327	0.16	0.23	36.16	1517	16.7
229		1317	0.19	0.27	52.39	1522	18.9
233		1258	0.27	0.24	64.37	1534	17.0
251		1315	0.12	0.34	40.29		22.4
252		1756	0.23	0.3	70.04	1538	19.1
253		1504	0.24	0.24	57.2	1538	14.6
263		1854	0.13	0.62	79.3	1553	19.3
266		821	0.14	0.34	46.26	1531	16.1
267		1756	0.23	0.28	64.36	1557	12.8
293		1862	0.18	0.33	60.15		14.9
305		1140	0.2	0.28	54.36	1566	16.7
307		1390	0.22	0.27	61.16	1568	11.8
316		1838	0.25	0.28	67.45	1302	13.7
318		1769	0.21			1305	13.8
319		1794	0.24			1310	14.1
320		1958	0.29			1310	11.7
321		1833	0.25	0.32	81.31		14.8
337	1		0.18			1222	12.1
337	2					1247	15.0
337	3					1285	14.6

文書番号	小番号	面積 (cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	書記年	簀の目 (本/寸)
337	4					1299	14.8
338		1592	0.22	0.26	56.52	1343	14.8
341		1604	0.13	0.28	36.17	1346	16.5
346	2						14.1
346	3					1248	14.0
346	5					1314	14.1
346	6					1331	14.2
346	8					1286	14.1
346	9					1290	14.0
346	11					1305	13.5
348		1635					17.7
351		1657	0.16	0.27	44.06	1400	15.3
352		1607	0.19	0.27	49.8	1350	14.6
353	1		0.19			1350	15.2
357		1565	0.14	0.51	71.57	1353	19.9
364	1						19.4
364	2					1168	17.3
364	5					1258	19.2
364	7					1315	19.6
364	8					1304	19.1
364	9					1303	19.7
366		1576	0.19	0.46	85.65	1360	22.4
369		1640	0.16	0.26	40.86	1343	16.9
370		1587	0.14	0.23	31.52	1362	18.3
372		1512	0.12	0.25	29.76		18.9
373	1	1899	0.24			1363	11.4
373	2		0.14			1360	15.4
376		1569	0.16	0.26	41.42	1363	20.5
377		1446	0.16	0.23	35.27	1363	16.5
378		1676	0.16	0.28	42.97	1364	16.2
380		1494	0.18	0.22	39.48	1365	17.6
382		2011	0.34	0.25	87.5	1365	8.6
384		1446	0.15	0.25	38.05	1365	18.5
386		1446	0.14	0.29	40.82	1365	16.6
388		1579	0.14	0.23	33.56	1367	18.8
397		1492	0.16	0.25	40.23	1373	21.8
455	1	1321	0.19			1262	13.2
455	2	1400	0.2				12.9
455	3	1448	0.21			1262	13.7
455	4	1674	0.26			1235	13.4
457		1314	0.18	0.37	67.73	1303	12.7
463		1615	0.22	0.23	51.39		20.9
464		1550	0.23	0.24	55.5	1330	16.8
465		1661				1330	14.7

文書番号	小番号	面積 (cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	書記年	簀の目 (本/寸)
466		1656				1330	15.5
476		1563	0.24	0.22	52.46	1335	15.3
477		1658	0.21	0.25	53.68	1335	15.6
481		1606	0.22	0.23	49.8	1335	16.7
486		1931	0.33	0.24	78.19	1341	11.2
518		1329	0.16	0.23	35.37	1472	17.8
519		1329	0.15	0.22	32.36	1472	18.0
523		1862	0.2	0.27	53.72	1480	15.5
532	1	1023	0.17			1514	12.4
532	2	1121	0.17			1514	18.0
532	3	1311	0.22			1528	16.7
532	4	1312	0.21			1528	19.5
532	5	1114	0.19			1529	19.5
532	6	1114	0.19			1529	16.3
532	7	1308	0.26			1531	15.6
532	8	1215	0.25			1531	18.9
532	9	1197	0.23			1534	19.3
535		1482	0.22	0.26	56.68	1521	12.4
549		1383	0.19	0.34	62.92		21.0
558		1043	0.1	0.26	26.37	1531	17.0
566		1380	0.21	0.25	50.35	1532	16.5
568		1303	0.19	0.22	41.45	1533	16.7
570		1273	0.25	0.23	58.9	1533	16.0
577		1354	0.24	0.24	57.62	1536	18.5
598	2	1210	0.13			1542	12.8
598	4					1309	19.5
644		1783	0.31	0.26	80.21		15.9
656		1572	0.15	0.29	43.24	1363	17.1
658		1504	0.16	0.25	39.22	1371	14.4
701		1344	0.2	0.23	46.12	1501	18.2
705		1087	0.11	0.24	25.76	1517	16.9
706		1299	0.16	0.22	33.87	1517	15.9
707		881	0.06	0.42	26.09	1517	22.5
712		1335	0.23	0.28	64.43	1532	8.1
715		1574	0.27	0.36	95.63		12.2
734		1607	0.16	0.25	40.44	1361	15.2
736		1274	0.15			1503	18.3
739		1522	0.19	0.28	53.2	1536	18.6
743		1252	0.23	0.21	46.72	1539	16.2
747		1377	0.27	0.25	66.1		16.1
772		1364	0.2	0.23	44.71	1510	17.4
783		1113	0.13	0.21	26.06		15.5
785		1340	0.21	0.25	54.5	1511	17.2
795		1336	0.25	0.22	55.4	1516	17.8

文書番号	小番号	面積 (cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	書記年	簀の目 (本/寸)
798		1432	0.19	0.23	45.38	1521	12.8
804						1372	16.0
805		1445	0.16	0.26	41.51	1378	16.9
808		1472	0.16	0.22	36.01	1389	15.6
809		1313	0.16	0.29	45.71	1395	19.4
811		1103	0.15	0.28	40.8	1401	18.3
817		956	0.11	0.28	31.38	1470	16.4
821		1488	0.2	0.23	44.36	1474	12.9
824	1	1262	0.18	0.29	50.73	1475	14.1
824	2	1120	0.12	0.21	24.11	1491	14.0
827		1371	0.29	0.22	65.65	1475	13.1
831		1325	0.14	0.25	36.23	1481	20.0
832		1088	0.18	0.26	45.96	1481	13.9
835	1	1127	0.11			1483	17.1
835	2	1171	0.11			1486	13.9
839		1018	0.1	0.22	22.6	1486	24.3
840		1208	0.29	0.23	66.23	1487	11.8
843		1034	0.11	0.26	27.09	1490	24.1
845		1171	0.2	0.31	61.47	1493	14.7
847		1469	0.2	0.32	64.65	1495	15.6
852		1366	0.36	0.26	94.44	1499	14.0
858		1242	0.15	0.2	29.79	1504	17.0
865		1054	0.15	0.34	49.33	1508	16.7
884		335	0.09	0.38	32.8	1516	17.5
885		1235	0.18	0.29	51.03	1516	11.9
889		1129	0.2	0.3	58.47	1519	16.2
890		1283	0.13	0.22	28.05	1520	24.0
893		1072	0.24	0.25	59.7	1522	14.7
894		1282	0.09	0.28	25.75	1522	24.5
897		1092	0.28	0.26	71.43	1524	14.7
902		1084	0.08	0.31	23.99	1524	18.8
905		1111	0.15	0.29	44.1	1526	15.2
907		1028	0.12	0.19	23.36		16.0
912		1135	0.14	0.26	35.24	1533	15.8
915		1359	0.17	0.26	44.14	1533	16.3
920			0.19			1533	13.6
938		1109	0.15	0.28	41.47	1541	16.3
940		1131	0.21	0.3	61.02	1542	16.2
941		1206	0.14	0.26	37.33	1548	17.1
945		758	0.1	0.33	32.96	1559	16.6
946		1460	0.18	0.27	47.94	1561	12.2
947		1248	0.19	0.24	45.69	1561	17.4
948		1089	0.12	0.23	27.54	1561	20.2
951		1416	0.15	0.27	40.97	1565	14.9

文書番号	小番号	面積 (cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	書記年	簧の目 (本/寸)
956		1215	0.2	0.31	62.55	1567	18.6
972		1464	0.18	0.27	47.13	1607	14.0
980		1578	0.17	0.23	40.56	1617	10.8
984		2573	0.08	0.53	42.37	1669	22.0
985		2561	0.33	0.24	77.72	1707	20.3
1085		1339				1505	14.4
1159		1294	0.17	0.29	51.02	1541	15.6
1216		878	0.18	0.25	43.29	1583	16.5
1218		1102	0.19	0.29	55.35	1583	17.9
1219		1112	0.18	0.31	56.68	1583	18.7
1230		1343	0.17	0.22	37.97	1471	18.6
1236	4		0.17				18.0
1236	5	1311	0.16	0.2	32.8	1475	17.1
1236	6	1268	0.13	0.19	26.04	1487	16.1
1236	7	1270	0.11	0.23	25.19	1487	16.0
1236	8	1388	0.17	0.23	40.34	1491	15.4
1236	9		0.13			1465	13.4
1236	10		0.14			1465	14.6
1236	11	1170	0.1	0.24	24.79	1477	16.7
1246		1497	0.16	0.29	46.76	1492	14.5
1297		1237	0.15	0.33	48.52	1330	16.6
1298		1239	0.15	0.29	44.39	1330	13.8
1353		1494	0.11	0.21	22.09	1373	16.9
1374		1564	0.09	0.25	22.38	1400	20.1
1431		1475	0.15	0.3	44.74	1359	25.0
1529		1246	0.17			1552	20.4
1542	1	1824	0.22			1452	12.3
1542	2	1814	0.21			1452	12.0
1542	3	1809	0.19	0.29	56.38	1452	11.5
1543		1808	0.24	0.33	77.45	1452	12.6
1545		1584	0.16			1452	11.4
1562	1	1396	0.22			1539	16.3
1562	4	1283	0.19			1539	16.3
1562	5	1147	0.2			1539	16.9
1562	6	1120				1539	17.4
1563	2	1001	0.11			1539	16.1
1563	4	739	0.11			1539	17.8
1563	5	869	0.12			1539	16.6
1563	7	930	0.2			1539	16.8
1563	11	939	0.13			1494	16.9
1565		1299	0.22	0.24	53.11	1541	16.9
1651		1429	0.21	0.3	63.69		18.5
1656		1480	0.24	0.19	45.26	1457	16.9
1699		785	0.09	0.27	24.22	1488	22.1

文書番号	小番号	面積 (cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	書記年	簀の目 (本/寸)
1788		1647				1343	20.3
1798		1241	0.12	0.28	33.44	1535	11.8
1815		1583	0.14	0.23	32.23	1537	18.5
1817		1550	0.07			1455	17.1
1895		1320	0.12	0.21	24.25		19.1
1898		1509	0.1	0.23	23.86	1391	16.9
1901		1351	0.16	0.2	31.82	1409	9.4
1907		965	0.14	0.22	31.1	1449	22.3
1908		1338	0.12	0.17	19.43	1449	17.0
1913			0.14			1460	13.0
1967			0.12			1545	15.3
2112		1125				1410	17.4
2189		1688				1322	17.5
2190		1709				1322	10.9
2194	1	1210				1539	16.9
2194	2	1156	0.15			1539	12.5
2194	3	1157	0.15			1539	14.7
2194	4	1147	0.24			1540	19.9
2194	5	1142	0.2			1540	19.9
2194	6	1191	0.22			1540	16.9
2194	7	1172	0.19			1540	19.8
2194	8	1145	0.17			1540	16.0
2194	9	923	0.14			1540	15.0
2194	10	1096	0.21			1535	17.2
2194	11	1044	0.17				15.9
2194	12	913	0.15				17.1
2194	13	665	0.19			1543	17.5
2194	14	706	0.15			1543	17.1
2194	15	1023	0.12			1543	16.6
2194	16	1052	0.21			1543	17.5
2268		1246	0.11	0.4	44.15	1549	18.2
2269		933	0.16	0.16	25.72		17.3
2284		1292	0.18	0.29	52.25	1542	17.5
2306		1940					17.4
2345	1	1388	0.17			1464	16.1
2345	2	1409	0.18			1465	16.4
2345	3	1471	0.24			1475	13.7
2345	5	1271	0.15			1480	16.6
2345	6	1190	0.15			1491	15.9
2346		1296				1475	17.5
2359		1301				1533	17.6
2367		1231				1534	16.4
2379		1260				1479	17.0
2380		1305				1502	16.9

文書番号	小番号	面積 (cm)	厚さ (mm)	密度 (g/cm)	坪量 (g/m)	書記年	簧の目 (本/寸)
2396			0.12			1488	14.4
2400		1323	0.3	0.23	69.53	1361	11.2
2410		1451	0.21	0.22	45.47	1572	13.9
2411		1385	0.21	0.21	44.05	1572	12.5
2412		1389	0.21	0.22	47.51	1572	14.0
2604		1418				1479	21.2
2608						1402	14.3
2652		1584	0.29	0.33	96.58	1448	17.6
2662		1260	0.09	0.22	19.85	1449	16.8
2679			0.13			1452	16.4
2713	1		0.17			1326	13.9
2713	2	1138	0.15			1350	13.6
2713	3	1575	0.17			1355	15.9
2713	4	1116	0.12			1373	14.1
2713	5	1093	0.16			1373	13.6
2713	6	1108	0.14			1373	14.2
2713	7	1093	0.12			1387	12.9
2713	8	929	0.12			1387	17.9
2783		1677	0.26	0.27	70.98	1318	15.5
2784		1816	0.25	0.28	69.95	1318	14.3
2800		1466	0.16	0.23	37.52	1426	17.6
2934		1536	0.17	0.48	81.38	1368	21.4
2941		1469	0.2	0.37	74.19	1387	15.0
3016		1232	0.14	0.22	30.84	1386	21.4
3017		1158	0.15	0.25	38	1387	14.1
3019		1139	0.16	0.27	42.13	1387	15.0
3020		1161	0.14	0.26	35.33	1387	11.3
3021		2129	0.2	0.35	70.94	1386	12.7
3033		772	0.06	0.67	37.54	1531	17.9
3058		1910	0.38	0.28	105.24	1391	11.7
3062		1766	0.27	0.25	67.37	1323	14.7
3063		1856	0.19	0.26	49.56	1323	15.9
3077		1502	0.14	0.25	34.61		13.6
3079		1342	0.1	0.3	29.06	1386	20.9
3081		1966	0.33	0.29	95.11	1388	14.7
3088		1910	0.36	0.26	95.29	1389	11.7
3091		1540	0.15	0.21	31.16		15.8
1217		1116				1583	16.9
3252						1351	14.0
354	1					1350	15.2
705							20.4
1997	1	1133				1586	19.8
1997	2	860				1586	23.1
1997	3	1144				1586	20.1

文書番号	小番号	面積 (cm <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	坪量 (g/m <sup>2</sup> )	書記年	簧の目 (本/寸)
1997	4	1133				1586	23.2
1997	5	1133				1586	23.1
1997	6	1133				1586	20.1
1997	7	1133				1586	17.8
915							17.5

簧の目統計	データ数	309
	平均	16.4
	最多	25.0
	最少	8.1

頻度	累積 (%)	頻度
0	.00%	101
0	.00%	72
0	.00%	39
0	.00%	39
0	.00%	21
3	.97%	19
21	7.77%	11
39	20.39%	4
72	43.69%	3
101	76.38%	0
39	89.00%	0
19	95.15%	0
11	98.71%	0
4	100.00%	0
0	100.00%	0
0	100.00%	0
0	100.00%	0

309