

韓紙及び和紙の漉き方に由来する繊維配向の違いについて

(東大院・農生命) ○韓 允熙、江前敏晴、磯貝 明

1. 緒言

古代製紙技術は中国で始まり、韓国に、さらに日本に渡った。韓国には 2~4 世紀頃、日本には韓国を経由して 610 年頃に伝播したと言われる。このように韓国と日本には伝統的な抄紙技術があり、千数百年の歴史を持つ。そのため韓紙と和紙は同様の紙であるかのように見られるが、韓紙と和紙の古代製紙技術にはいくつかの違いがあったことが往時の文献からわかっている。本研究ではそれを紙の分析によって明らかにできないかどうかを検討した。さらに分析結果の相違がどのような要因で発生するのかを明らかにすることを目的として研究を行った。

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。そこで本研究では、繊維配向分布に注目し、和紙と韓紙が有するそのような特徴を抽出することによってそれぞれの抄紙工程履歴を推定する方法を検討した。

2. 実験

韓国と日本の伝統的な方法で漉かれた紙をまず調べた。和紙は長谷川聡氏が漉いた美濃紙（記号 H）、韓紙は、Zangji 及び Uiyreong 地域で漉かれた紙（それぞれ Z 及び U）を試料とした。坪量は試料 H が 61.2 g/m^2 、試料 Z は 56.9 g/m^2 、試料 U は 51.7 g/m^2 であった。厚さは H が 0.143 mm 、試料 Z は 0.158 mm 、試料 U は 0.141 mm であった。実際の古文書についても測定を行った。

まず紙の表面繊維配向を調べるため、各試料の表と裏の 8 ヶ所ずつについて 100 倍の倍率でデジタルマイクロスコープによる撮影を行い、画像処理を行った。そして 1024×1024 の画素数を持つ表面写真に動的閾値による 2 値化を行い、フーリエ変換後、角度ごとにフーリエ係数を積算して繊維配向の方向と配向強度を決定した。これとほぼ同一個所について、75 度光沢度及び超音波伝播速度（ヤング率）を 30 度ごとに測定した。光沢度は照明光及び反射光の方向と繊維の方向が一致すると高くなる。超音波は繊維に沿って伝播するので繊維の方向に最も高い伝播速度を示す。

3. 結果と考察

図 1 の最も左の写真は試料 Z の表面の顕微鏡写真を示す。一本一本の繊維についての向きは判断がつかねる。左から 2 番目の図は 2 値化したものでそれをフーリエ変換すると 3 番目の図となる。全方位について各点の輝度（フーリエ係数の振幅）を積算すると、一番右の図のようになる。この写真の場合は約 5° の方向（x 軸正方向を 0° 方向とし半時計回りにみる）にピークがある。これは 5° 方向と直交する 95° 方向に繊維が配向していることを示す。

韓国の簀と日本の簀を比較すると、図 2 に示すように簀の目及び糸目の方向に 90° の差が見られる。さらに糸目が日本の簀では全面に渡って等間隔だが、韓国の簀では左右で糸目にずれがあ

り、それが交互になっている。また、韓紙は簀を1枚ではなく2枚を重ねて紙を漉くのも特徴である。道具の差からみるとこのような違いが今回韓紙と和紙の差に影響を与えたことも考えられるが、その検証については今後の課題である。光沢度の縦横比を見ると、試料 H は 1.0 でほぼ等方性、試料 Z は 0.95 で横方向に配向、試料 U は 1.10 で縦方向に配向していた。なお、縦方向とは漉き手から見て前後方向を指す。超音波伝播速度では、試料 H と試料 U は縦方向に配向、試料 Z は無配向であることが分かった。特に試料 H は縦方向への強い配向と横方向への弱い配向の 2 つのピークを示した。この 2 軸配向は縦方向と横方向にそれぞれ揺らしの結果と予測される。縦にも横にも揺らすという美濃紙の特徴を表現する十字紙の技術が受け継がれていることが認められた。紙表面の顕微鏡画像のフーリエ変換から求めた繊維配向性では、紙料 H の場合は配向角度が 90 度で配向強度は 1.20、韓紙である試料 Z の場合は配向角度が 140 度で強度は 1.10 であった。韓紙より和紙の方が配向性が強かった。

本研究の結果から韓紙と和紙の違いはまず、簀の揺らし方の方向にあると考えられる。それ以外では漉桁、漉簾(糸目の差)などの道具の差に由来すると考えられる。以上の結果は、非破壊分析であるフーリエ変換画像処理によって、古文書・絵画などの紙文化財を修復する際に、その紙の古代抄紙技術の推定が可能であることを示唆する。

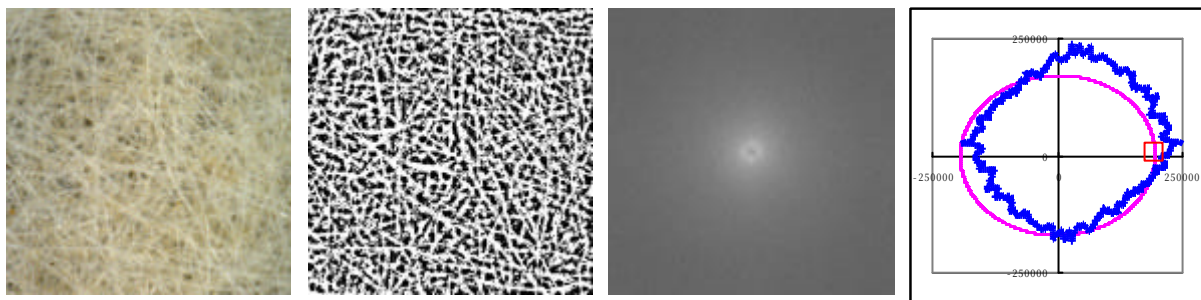


Fig.1 Micrograph of sample Z surface, binary image, Fourier transform spectrum and fiber orientation distribution diagram in the order from left to right.

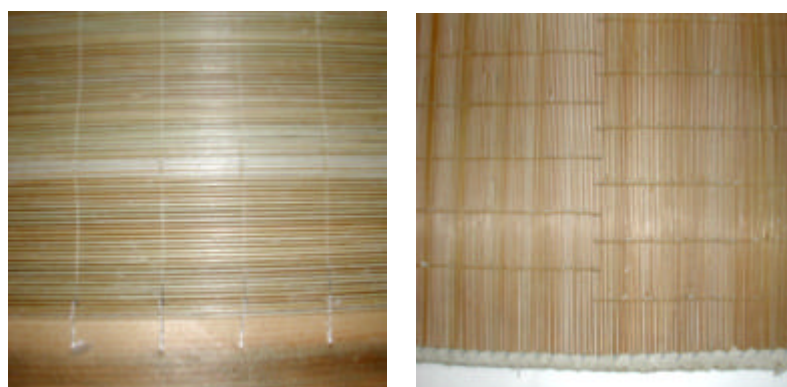


Fig.2 Sheet forming wires (Su) with bamboo rods for Japan (left) and Korea (right)