

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 31 日現在

機関番号：12606

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300323

研究課題名(和文) 耐久性に優れた楮紙の製造方法の開発

研究課題名(英文) Development of a manufacturing method for high permanence kozo paper

研究代表者

稲葉 政満 (Inaba, Masamitsu)

東京藝術大学・美術研究科・教授

研究者番号：50135183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円、(間接経費) 3,510,000円

研究成果の概要(和文)：より保存性が高く、機械的強度に優れた薄美濃紙(楮)はどのように生産すれば良いかを明らかにすることを目的とし、生産者・修復家・材料研究者の3者が共同研究を行った。

煮熟強度は通常行われているものよりもバランスが取れた良い紙である。熟練者は明らかに地合いが良く、初心者の紙はそれよりは劣る。繊維が短い場合は非常に地合いが良くなる。漉き順は、繊維の追加がなければ後になるほど地合いがよくなった。染色や裏打ちを行った時に古田製の紙はどの条件下でも、驚くほど扱い易い。その他の紙に関しては、灰汁媒染のものは、灰汁に付けると同時に紙の生が無くなり、くたくたになるなどの問題があった。

研究成果の概要(英文)：To achieve higher permanence and more durable usumino-gami (kozo paper), a joint research was carried out by a paper maker, conservators and material scientists.

Normal cooking condition produced paper of the most well-balanced quality.

Concerning formation index, experiment showed that paper sheet made by an experienced and skillful person (the late Mr. Furuta) was excellent, while that made by an unexperienced person was inferior. Shorter fibre strongly contributes to good formation. When new fibre was not added later in the experiment, formation improved as sheets of paper continued to be made. For dyeing and back lining, Furuta's paper was easiest to handle. Paper made by others became mushy when treated with ash mordant solution.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：文化財科学

キーワード：長寿命化 実用強度 楮紙 地合

1. 研究開始当初の背景

美濃紙は、長年文化財保存修理の現場において、様々な形で活用されている。特に、文化財を直接支える肌裏紙は、薄手の美濃紙が頻繁に使用されている。修理に携わる技術者は、使用する紙の選定にあたっては、紙の生産者、使用されている原材料、製造工法、紙の表情と触感、使用してきた実績・信頼性、価格、流通業者からの情報など多岐にわたる内容から、慎重かつ適切な判断が行われてきたものと思われる。加えて、国宝・重要文化財の絵画・書跡修理技術で、選定保存技術保存団体に認定されている国宝修理装こう師連盟に加盟する各工房の間においても、使用する肌裏紙の選択にはそれぞれ独自の視点を持っているように思われる。

20年程前、美濃地域において、肌裏紙に使用するような薄美濃紙を生産する業者は10戸ほど営業していたが、現在では薄美濃紙を主力としている生産者は3戸にすぎず、その生産量を以前と比較した場合、産地全体でもおよそ2割程度にまで減少しているものと推測される。

肌裏紙に使用されている紙は、美濃地域から産するものだけではなく全国各地の和紙産地の紙も使用されてきてはいるが、各産地の状況も美濃地域とほぼ同じ様相を呈している。

これらの状況は、修理に携わる技術者にとって、選択しうる紙の種類と数量が徐々に減少していることを意味している。この選択肢の減少は、紙の数量のみならず、品質や安定性も含めて将来に向けての肌裏紙の安定した確保が困難になりつつあることを意味していると考えられる。修理に携わる技術者にとって、使用する紙の確保に対する懸念を減らし、より修理の作業に専心できる環境を整えていくことは今後の大きな課題となっていくものと確信する。

以前に比べ、紙生産業者の製造に関する情報公開は、かなり進展している。これは、修理技術者と生産者の意見交換が行われてきたことによるものであるが、紙を使用する際の不具合や、フォクシングなどの保管中のトラブルなど未だに

解明されていない点が残っていることも事実である。これらのような製法に関する不明な点や、品質および安定性などに関して懸念する点などが残っていることは、新規の紙の生産者や長期的に紙を確保しようとする流通業者らの活動を抑制する要因となる。紙の原材料や製法と、肌裏紙としての使い勝手や紙の安定性との相関について、客観的なデータをもとに生産者と修理技術者および研究者らが多角的な考察を加えることは、今後の安定した肌裏紙の生産活動に対して大きな支えとなることを確信する。本研究では第一段階として、同一原材料を使用した上で製法を変えることにより、肌裏紙としての使い勝手にどのような違いが見いだされるのか、また各種のデータと紙を使用する技術者の感覚との間にどのような相関が認められるのかを明らかにしたい。

2. 研究の目的

薄美濃紙(楮紙)の紙を漉く工程の担い手による違いが、紙の各種の強度に与える影響と、煮熟の強さと填料の添加が、紙の各種の強度および保存性に与える影響について明らかにすることを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 試料

岐阜県美濃市長谷川和紙工房で那楮白皮を炭酸ナトリウムで煮熟して以下の試料を作成した。

- 地合および染色試験用
 - 古田行三製 (20年程度前に製造)
 - 加納製 N(B)
 - 長谷川製 N (通常の抄紙法)
 - 長谷川製 N(T) (縦揺りのみ)
 - 長谷川製 N(F) (袋洗いした紙料)
 - 長谷川製 N(先) (緒皮の先端部を使用)
- 強度および保存性評価用
 - 通常の煮熟 N
 - 袋洗いした紙料 N(F)
 - 填料として炭酸カルシウムを使用 N(Ca)

填料として米粉を使用 N(R)

煮熟の弱い紙料 W

煮熟の強い紙料 S

(2) 地合測定

地合測定は、フラットベッドスキャナ EPSON GT-X820 で、フィルムホルダに挟んだ透過モードで走査した。1枚の紙につき、中央付近の4画像を得た後、画像上で縦 102 mm×横 44 mm (800 画素×350 画素)に切り出してから各画素の輝度レベル(0黒~255白)の標準偏差を計算した。

(3) 染色および裏打ち試験

矢車液(矢車玉8kgを80Lの水で沸騰して20分間煮出す)を染料とし、媒染液としては灰汁(木灰15kgに熱湯75Lを注ぎ、偶に混ぜながら一週間ほど置く。木灰が完全に沈殿した後、上澄み液を採取)および酢酸液(80%酢酸1kgを80Lの水で希釈)を用いて試験紙を浸し染めし。これをさらに肌裏をイメージした絹本用の濃いめの新糊および紙本用の薄めの新糊を塗布した際の印象で評価した。

また、染色していない試験紙に薄い新糊を直接塗布した場合についても評価した。

(4) 強度および保存性試験

試料を80%、65%rhという高温高湿環境下において最大12週間加速劣化させた。酸に対する耐性を検討する目的で、何もしない生紙(未塗布)に加え、ドウサを塗布した試料を用意した。膠7.0g、ミョウバン3.5gを1Lの蒸留水に溶かし、通常のドウサ(ドウサ)とした。さらに、この濃度の約3倍にあたる膠20.0g、ミョウバン10.0gを1Lの蒸留水に溶かし、高い濃度のドウサ(濃ドウサ)とした。この二種類のドウサ液を刷毛を用いてできるだけ均一に試料表面および裏面に塗布し、自然乾燥させた。結果は色、pH、強度(比引張エネルギー吸収、耐折強さ、比引裂強さ)で評価した。

4. 研究成果

(1) 地合の違い

地合(標準偏差)測定結果を図1に示す。試料Nに比べると、縦揺りだけ(N(T))にしても地合は変わらなかった。木灰成分と柔細胞を除く(N(F))と地合は悪化したが、抄紙時のpHが下がったためにネリ(ウロン酸など)の解離度が下がり、分散効果が下がったものと考えられる。また熟練者(古田)の紙は明らかに地合いが良く、長谷川の紙(N)、そして初心者の紙(N(B))と地合は低下した。繊維が短い場合(N(先))は非常に地合が良くなる傾向が洋紙と同様であった。漉き順は、繊維の追加がなければ後になるほど地合がよくなったが、初期にはる過効果により長繊維が紙に多く含まれ、後になるほど短繊維が増えることによる。

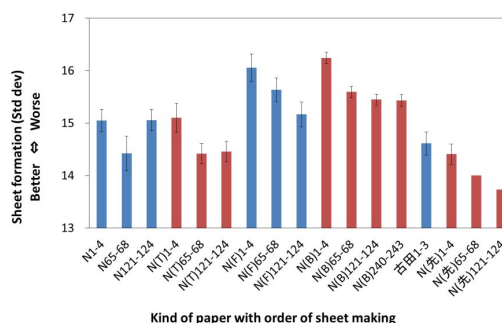


図1 紙の地合

(2) 染色および裏打ち試験

古田製の紙は、どの条件下においても、容易に扱うことが可能であった。その他の紙について、灰汁媒染を施した紙は、灰汁に付けると同時に紙の生が無くなり、くたくたになる。なお、今回の実験では、染めの後半、pHが落ちてくるに従って紙の扱いも容易なものとなった。紙の灰汁液への浸水作業時、水面からの出し入れで、紙の負荷がかかる箇所から紙が伸びたり、破れたりすることが見られた。紙の部分的な伸びは、糊付け時に地皺や破れの原因となる。灰汁とは対照的に、酢酸媒染を施した紙は、くたくたすることなく扱い易い。どの種類の紙でも印象に差は見られない。

水に溶いた糊を刷毛にて塗布する場合、紙の表面がももける現象が見られたが、染色時において紙の表面を傷めてしまったものもある。通常の紙(無加工の紙)に水に溶いた糊を刷毛にて塗布する場合でも、糊を付ける加減で毛羽立つ場合があるが、この場合とは別である。また、紙の厚さも扱いに影響していると考えられる。厚みのある紙の場合、繊維結合がよく、扱いが容易であると考えられる。同じ種類(漉き方、漉き手、原料処理)の紙の中でも比較的紙の厚みがあるものについても同様である。また、耳の部分が傷んでいるものなどは破損個所から破れてしまうといった不都合がみられた。

通常、半田九清堂において長谷川の薄美濃紙を浸し染めする際は、漉いてから最低2年は経過したものを使用している。同じ長谷川製の紙でも、この実験で見られる紙の脆さは見られないため紙を寝かせるという工程に重要性があるのではないかと考えている。

染色しないで、直接水に溶いた糊を塗布した場合には、煮熟の弱いもの、強いもの、填料が入っているもの、袋洗しいしたものについては糊の浸透が容易であったことを確認した。

(3) 紙の強度と保存性

色について普通の薄美濃紙を基準とすると、煮熟の強い試料は L^* 値が高く、 b^* 値が低い、つまりやや白っぽい色味を示した。これに対し煮熟の弱い試料は L^* 値が低く b^* 値が高い、つまり黄色味が強かった。加速劣化試験の結果評価の為に縦軸に変色の総量 E^*ab 、横軸を劣化期間(週:W)の平方根とした時、変色がほぼ直線的に進んだので、その傾きを変色速度定数とした。どの試料もドウサ塗布量が増える程に変色の度合いは大きく、煮熟の弱い試料が他の2種類に比べて変色の度合いが大きいという傾向が確認できた(図2)。これは、普通の薄美濃紙と煮熟の強い試料の初期 pH が 7.5 と 7.3 と中性であるのに対し、煮熟の弱い試料の初期 pH は 6.5

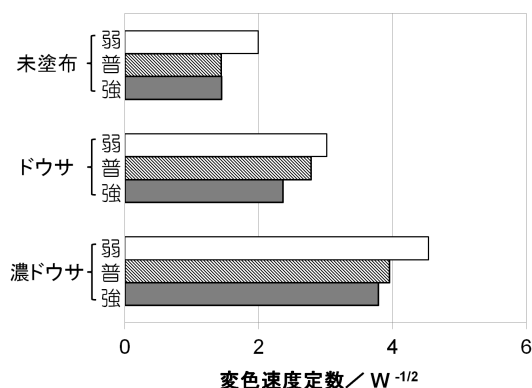


図2 煮熟強度の影響 - 変色速度の違い

というように、他に比べて低く酸性寄りであった事が関係していると考えられる。

初期物理強度について比引張エネルギー吸収および耐折強さでは、煮熟が弱くなるにつれて強度が増すような傾向が認められた(図3および4)。

初期物理強度については比引張エネルギー吸収、耐折強さ、比引裂強さにおいて、填料を加えない普通の薄美濃紙に比べ、填料入りの試料の強度は低い傾向を示した。これは、填料が紙の繊維間結合を阻害している為である。

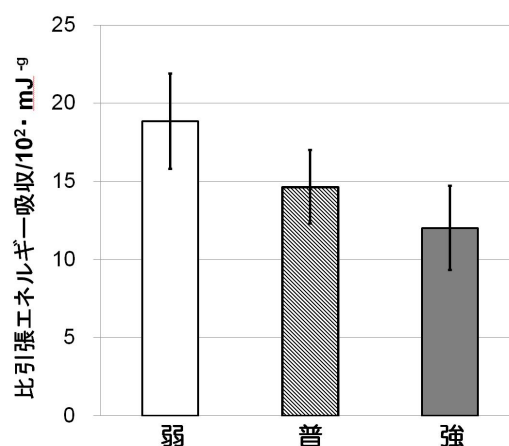


図3 煮熟強度の影響 比引張りエネルギー吸収の初期値

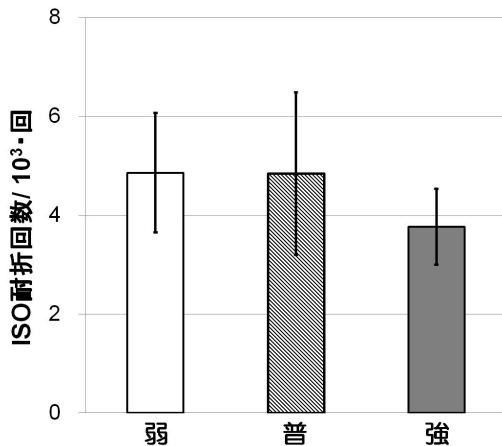


図4 煮熟強度の影響 耐折強さの初期値

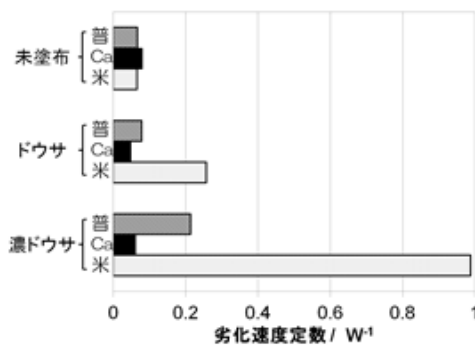


図5 填料の影響—劣化速度の違い
(耐折強さ)

加速劣化した時の時間に対する耐折強さの低下を直線で近似し、劣化速度定数とした。これに着目すると、炭酸カルシウム入りの試料の強度低下が、高い濃度のドウサを塗布した場合でも抑えられた(図5)。これは紙に滲き込まれた炭酸カルシウム、つまりアルカリ成分がドウサに含まれる酸に対して緩衝剤として働いた為である。逆に、ドウサを塗布した米粉入り試料の強度低下は他よりも速かった。この原因としては、填料入りの紙は内部に空隙が多い為にドウサを多く吸収してしまい、米粉入り試料の初期 pH が他より低かった為と考えられる。一方、炭酸カルシウム入り試料ではその緩衝作用の為、pHは高いままである。そして生紙と通常のドウサ塗布試料の場合、普通の薄美濃紙と炭酸カルシウム入り試料の強度低下に殆ど差がない。これは、

ソーダ灰で煮熟した際に紙中に十分量のアルカリ成分が残り、このアルカリ成分がドウサに含まれる酸に対する緩衝剤として働いた事を示唆している。

以上、ソーダ灰を用いた煮熟について、以下の結果を得た。(1)弱い煮熟では、紙は黄色味を帯び変色し易い。(2)強い煮熟では、紙の初期強度が低下した。(3)ソーダ灰煮熟を行った紙は、通常のドウサに対して炭酸カルシウム入りの紙と同等の酸への耐性を示した。なお、填料の添加は、紙の初期強度を低下させた。よって、普通の煮熟で漉かれた薄美濃紙は、色、強度ともに程良い具合で漉かれた紙である事に加え、酸への耐性も十分に持つ最もバランスの取れた紙であると言える。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2件)

江前敏晴、染谷汐織、稲葉政満、半田昌規、長谷川聡、文化財修復のための超耐久性楮紙の開発 和紙の漉き方と地合、第64回日本木材学会大会(松山 2014年3月13-15日)

内田優花、稲葉政満、半田昌規、長谷川聡、江前敏晴、煮熟強度の異なる薄美濃紙の保存性、文化財保存修復学会第36回大会(東京 2014年6月7-8日)

6. 研究組織

(1)研究代表者

稲葉 政満 (INABA, Masamitsu)
東京藝術大学・大学院美術研究科・教授
研究者番号: 50135183

(2)研究分担者

半田 昌規 (HANDA, Masaki)
東京藝術大学・大学院美術研究科・講師
研究者番号: 20538764

江前 敏晴 (ENOMAE, Toshiharu)
筑波大学・生命環境科学研究科(系)・教授
研究者番号: 40203640

(3)連携研究者

加藤 雅人 (KATO, Masato)

東京文化財研究所・保存科学修復センター・
研究員

研究者番号:10415622

高島 晶彦 (TAKASHIMA, Akihiko)

東京大学・史料編纂所・技術専門職員

研究者番号: 10422437

(4)研究協力者

長谷川 聡 (HASEGAWA, Satoshi)

長谷川和紙工房・代表