

# りんご剪定枝パルプおよび楮パルプを用いた紙の物性 Properties of paper from apple pruned branches pulp and mulberry pulp

廣瀬 孝\*, 八島 光勇\*, 山科 則之\*\*  
Takashi HIROSE\*, Mitsutoshi YASHIMA\*, Noriyuki YAMASHINA\*\*

## 概要

本稿では、1) りんご剪定枝パルプおよび楮パルプを異なる率で混合し、手すきで作製した紙の物性、2) りんご剪定枝パルプを手すきおよび抄紙機を用いて作製した紙の物性を比較し、りんご剪定枝パルプの一般的な紙等への利用の可能性を評価した。その結果、繊維長は広葉樹であるポプラのパルプと同等であることが分かった。密度は手すきが  $0.25 \sim 0.31 \text{ g/cm}^3$  の範囲にあったのに対して、抄紙機を用いて作製した紙は、手すきと比較して2.1倍大きかった。引張強さは楮パルプの混合率0%の紙と他との間に差があったが、その他の間では差がなかった。また抄紙機を用いて作製した紙は、手すきと比較して13.8倍大きかった。

キーワード：りんご剪定枝，パルプ，紙，密度，引張強さ

## 緒言

弘前市相馬地区には「紙漉沢」という土地が存在し、ここには「第98代長慶天皇の潜幸伝説」がある。伝説の内容は、室町時代に足利氏からの追及を逃れるため、長慶天皇がこの地に下った、というものである。また、その際、同行していた高野山の僧侶が、紙すきの技術を伝授したと伝えられている。これより、相馬地区ではこの技術より作製された紙を「高野紙」と呼び、現代に継承している<sup>1)</sup>。一方、紙は、幕府や朝廷に献上品としても活用され、弘前藩中興の祖とされる4代藩主・津軽信政公は、紙の産業育成を目指していた。具体的には、津軽藩に職人を呼び寄せ、専門の役人を置き、紙の原料となる楮の栽培を行っていた。しかし、寒冷な気候や飢饉等の影響等から産業として自立できず、紙は北前船等で輸入することで対応し、藩内での紙作製を定着させることができなかった<sup>2)</sup>。

農林水産省の調査によると国内のバイオマスは、間伐材等の林地残材、農作物非食用部（もみ殻や剪定枝等）等の利用率が低い<sup>3)</sup>とされている。これは収集作業の難しさや高付加価値化に関する利用技術の未確

立等に起因していると推察される。一方、青森県内では、りんご剪定枝の年間発生量約15万トンのうち、約3割を占める細い枝約4.5万トンの大半が園内で野焼きされている<sup>4)</sup>。これは利用率が低いとされる農作物非食用部に該当し、解決のためには、上述の通り、新たな利用技術を開発する必要がある。

JISによると「和紙」は、「我が国で発展してきた特有の紙の総称。手すき和紙と機械すき和紙とに分類される。本来は、じん皮繊維にねりを用い、手すき法によって製造された紙。現在では化学パルプを用い、機械すき法によるものが多い」<sup>5)</sup>と定義されている。

本稿では、上述のJIS内容を比較項目とし、1) りんご剪定枝パルプおよびじん皮繊維である楮パルプを異なる率で混合し、手すきで作製した紙の物性、2) りんご剪定枝パルプを手すきおよび抄紙機を用いて作製した紙の物性を比較し、りんご剪定枝パルプの一般的な紙等への利用の可能性を評価した。

\* 弘前大学教育学部技術教育講座  
Department of Technology Education, Faculty of Education, Hirosaki University  
\*\* 弘前大学研究・イノベーション推進機構  
Institute for the Promotion of Research and Innovation, Hirosaki University

## 実験方法

### 2.1 試料の作製

#### 2.1.1 チップの作製

りんご剪定枝は2020年4月に青森県弘前市内にて剪定されたものを用いた。チップ化は、図1のようなチップパー（山陽機器社製，グリーンフレカ）を用いて行った。



図1 チップ化に用いた可動式チップパー

#### 2.1.2 パルプ化および紙化

りんご剪定枝のパルプ化は、図2のりんご剪定枝チップを用いた。パルプ化は、始めに4Lの蒸解釜に300g（乾燥質量）のチップおよび水道水に溶解した対チップ質量当たり16.0%のNaOH, Na<sub>2</sub>S, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を投入した。次に170℃まで1時間、その後43分間、温度を維持して行った。また楮パルプは市販のものを用いた。紙化は、手すきおよび抄紙機を用いて行った。手すきの工程として、始めにりんご剪定枝パルプをスティックブレンダー（テスコム社製，THM310）、楮パルプをナイヤガラビーター型の叩解機（メーカー等不明）にて叩解（紙を抄造するための前処理として製紙用繊維を水道水とともに機械的に処理すること<sup>5)</sup>）した。次に流槽（ながしぶね）にとろろあおいを原料としたねり（和紙をすくとき長繊維が沈降するのを防ぎ、これを均等に分散させ、重ね合わせた和紙の接着を防ぐために用いられる粘質物<sup>5)</sup>）を溶かした水道水を充填し、パルプを混合、150mm×100mmの木枠を用いて手すきにて作製した。また、りんご剪定枝パルプに対する楮パルプの混合率は0%、20%、60%、100%とした。40%、80%等他の混合率については、今後の課題である。一方、機械紙すきの一つである抄紙機を用いた紙の工程として、りんご剪定枝パルプのみを原料とし、丸形抄紙装置（熊谷理機工業社製）を

用いて、230mm径の型枠を用いて作製した。



図2 りんご剪定枝チップ

### 2.2 基本物性の評価

叩解前後のりんご剪定枝パルプの繊維長測定は、始めに試験管に蒸留水（共栄製薬社製）とパルプを投入し、ボルテックスミキサー（サイエンティフィックインダストリーズ社製，SI-0286）を用いて分散した。次に試験管中の混合水をスポイトにてスライドグラスに滴下し、100℃・12時間で乾燥、顕微鏡（サンワサプライ社製，LPE-06BK）を用いて、スライドグラスに定規型微小目盛りMR-2目盛り（全長20mm，最小0.05mm）を挿入して画像を撮影した。その後、画像より100本を任意に選び、面積や長さ等を測定可能なソフトであるLeafareacounter Plusを用いて測定し、叩解前後の繊維長を比較した。一方、楮パルプは叩解前の繊維長を鋼尺（新潟精機社製，SD-300S）にて10本、叩解後の繊維長を上記と同様の方法にて同じく10本を測定した。

密度の測定は、りんご剪定枝パルプに対する楮パルプの混合率を0%、20%、60%、100%として手すきにて作製した紙（150mm×100mm）および抄紙機にて作製した紙（230mm径）より150mm×30mmを3枚切り出し、厚さは中央付近をマイクロメーター（ミットヨ社製，MDC-25M）、長さおよび幅は上記の鋼尺を用いて、また質量は電子天秤（島津製作所社製，TW323N）を用いて測定し、これらの値より密度を算出、3枚の結果を平均した。引張強さの測定は、始めに密度測定で用いたそれぞれの紙より切り出した150mm×15mmの試料を5枚と硝酸マグネシウム六水和物（関東化学社製，特級）をデシケーターに入れ、それぞれ23℃の定温乾燥器（アズワン社製，ONW-450S）内に置き、相対湿度50±2%で24時間調湿した<sup>6)</sup>。次に卓上型引張圧縮試験機（A & D社製，MCT-1150）を用いてJISP8113に準じて20mm/minで行い、5枚の最大応力等から得られた引張強さの結果を平均した。



## 結果および考察

図3, 図4にりんご剪定枝パルプの叩解前後のマイクロスコープ画像を示した。外観は, どちらの繊維も細長い形状であったが, 叩解後の方がより起毛した状態であることが確認された。図5に叩解前後のりんご剪定枝パルプの繊維長を示した。繊維長は, 叩解前の平均が0.80mmであったのに対して, 叩解後が0.68mmであった。また, これらの値に対して有意差があるかt検定を行ったところ,  $p < 0.05$ の有意差が確認された。これより, 繊維長は叩解することによって短くなることが確認された。守屋らは, 63種類の木材をパルプ化し, それらの繊維長を測定したところ0.6~2.6mmの範囲にあったことを報告している<sup>8)</sup>。またはらは, 繊維長3.7mmの針葉樹パルプを研究に用い, 宮西は広葉樹であるポプラの繊維長は0.77~0.79mmと報告している<sup>8), 9)</sup>。りんご剪定枝パルプの繊維長は, 針葉樹パルプには及ばないものの, 広葉樹であるポプラとは同様の繊維長であることが分かった。一方, 木材は, 上質紙を代表とする一般的な紙には広葉樹が主体となるが, 風合いの変化や強度面の補強で針葉樹を混ぜる場合があると報告している<sup>10)</sup>。既往の研究より, 本稿のりんご剪定枝パルプは広葉樹であるポプラのパルプと同等の繊維長であることから, 一般的な紙への利用が可能と考えられた。図6, 図7に叩解前後の楮パルプを示した。楮パルプは叩解前の繊維長が1405mmであったのに対して, 叩解後が10.17mmであった。また叩解後のりんご剪定枝および楮パルプの繊維長を比較すると, 前者は後者の1/14程度であることが分かった。



図3 叩解前のりんご剪定枝パルプ



図4 叩解後のりんご剪定枝パルプ

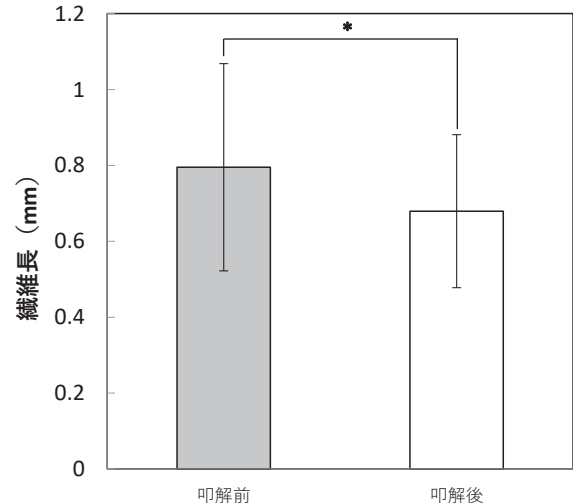


図5 りんご剪定枝パルプの繊維長  
\* :  $p < 0.05$



図6 未晒パルプを原料とした紙の表面画像



図7 晒パルプを原料とした紙の表面画像

図8~図12に種々の混合率で作製した紙の表面画像を示した。楮の混合率が高くなるに従って, きめが細くなる様子が観察された。また, 手すきと抄紙機を用いて作製した紙を比較すると, 後者の方が繊維と繊維の隙間が少ない様子が観察された。これより紙すき方法によって, 得られる紙の隙間等の状態は異なることが分かった。

図13に混合率と密度との関係を示した。密度は, 手すきが $0.25 \sim 0.31 \text{g/cm}^3$ の範囲にあった。これらの0%と20%, 0%と60%の様に個々の値間に有意差があるかt検定を行った(以下同様)ところ, 混合率0%と20%, 0%と100%のそれぞれの間に $p < 0.05$ の有意



図8 楮の混合率0%の紙の表面



図9 楮の混合率20%の紙の表面



図10 楮の混合率60%の紙の表面

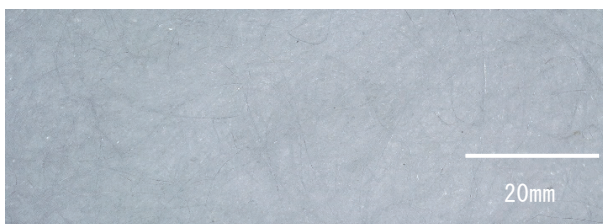


図11 楮の混合率100%の紙の表面



図12 抄紙機を用いて作製した紙の表面

差が確認されなかったが、その他の値との間には有意差が確認された。一方、抄紙機を用いて作製した紙の密度は $0.57\text{g/cm}^3$ であり、手すきで作製したものと比較して2.1倍大きかった。密度に関して、河野はケント紙 $0.93\text{g/cm}^3$ 、中村はオフィス紙 $0.7\text{g/cm}^3$ 、韓らは楮紙 $0.29\text{g/cm}^3$ と報告している<sup>11), 12), 13)</sup>。本稿において手すきで作製した紙は、韓らの研究と同程度、抄紙機を用いて作製した紙は中村の研究と同程度であることが分かった。

図14に混合率と引張強さとの関係を示した。引張強さは0%で $0.53\text{kN/m}$ であったが、20%で $2.77\text{kN/m}$ と急激に大きくなり、それより上の混合率ではほぼ同等の値となった。これらの個々の値間に有意差があるかt検定を行ったところ、混合率0%と20%、0%と60%、0%と100%のそれぞれの間には $p < 0.05$ の有意差が確認されたが、その他の値との間には有意差が確認されなかった。これより手すきの場合、りんご剪定枝パルプに楮パルプを20%混合することで、楮パルプ100%と同等の値を示すことが分かった。また抄紙機を用いて作製した紙は $7.41\text{kN/m}$ であり、0%の13.8倍、20%の2.7倍の値を示すことが分かった。

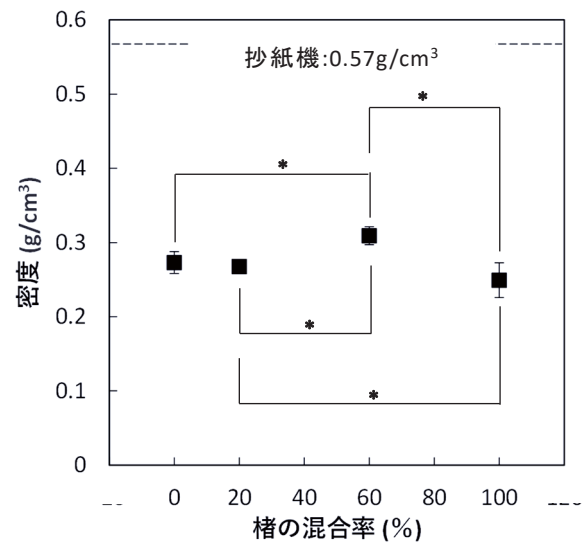


図13 楮の混合率と密度との関係  
\* :  $p < 0.05$

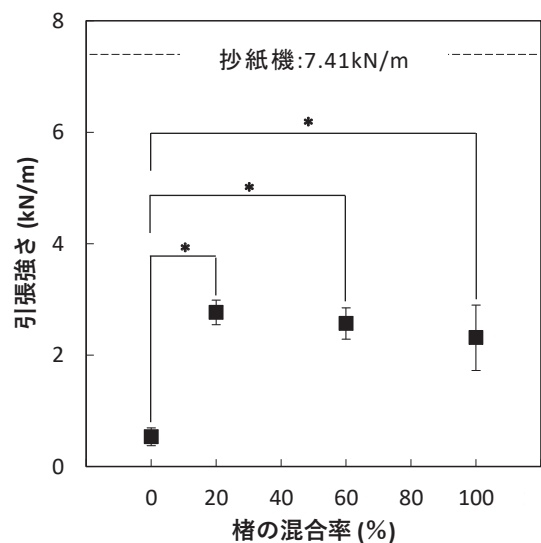


図14 楮の混合率と引張強さとの関係  
\* :  $p < 0.05$



## おわりに

本稿では、1) りんご剪定枝パルプおよびじん皮繊維である楮パルプを異なる率で混合し、手すきで作製した紙の物性、2) りんご剪定枝パルプを手すきおよび抄紙機を用いて作製した紙の物性を比較し、りんご剪定枝パルプの一般的な紙等への利用の可能性を評価した結果、以下の知見が得られた。

- (1) りんご剪定枝パルプの繊維長は、叩解前が0.80mmであったのに対して、叩解後が0.68mmであり、広葉樹であるポプラのパルプと同等の繊維長であることが分かった。
- (2) 密度は手すきが $0.25\sim 0.31\text{g/cm}^3$ の範囲にあったのに対して、抄紙機を用いて作製した紙は $0.57\text{g/cm}^3$ であり、手すきで作製したものと比較して2.1倍大きかった。
- (3) 引張強さは混合率0%で $0.53\text{kN/m}$ であったが、20%で $2.77\text{kN/m}$ と急激に大きくなり、それより上の混合率ではほぼ同等の値となった。また抄紙機を用いて作製した紙は手すきで作製したものと比較して13.8倍大きかった。

## 引用文献

- 1) 船水 清：わがふるさと 新津軽風土記，第4編，陸奥新報社（1963）
- 2) 花田要一：津軽の紙漉（1～8），紙の博物館機関誌『百万塔』53～55号，57～59号，63号（1982～1985）
- 3) 農林水産省：バイオマスの活用をめぐる状況，<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-96.pdf>（2021.1.5）
- 4) 青森県：青森県バイオマス活用推進計画（2011）
- 5) 日本工業規格：“JIS P0001：1998 紙・板紙及びパルプ用語”（日本規格協会）
- 6) 日本工業規格：“JIS P8111：紙，板紙及びパルプ—調湿及び試験のための標準状態”（日本規格協会）
- 7) 守屋正夫：木材繊維の形態的特性と紙の性質について，紙パ技術紙，第21巻，第3号，pp.112-221（1967）
- 8) 哈 斯，木村照夫：加熱成形可能なパルプ/PLA機能紙の開発と特性，Journal of Fiber Science and Technology，73巻，12号，pp.355-362（2017）
- 9) 宮西孝則：ユーカリ植林木の高白色度メカニカルパルプ製造技術，紙パ技協誌，73巻，4号，pp.328-333（2019）
- 10) 木村篤樹：紙メディアの未来と動向，日本画像学会誌，第56巻，第5号，pp.530-536（2017）
- 11) 河野孝央：減塩しおで作る自然放射能線源および教材としての実用性評価，RADIOISOTOPES，67巻，11号，pp.559-569（2018）
- 12) 中村昌英：オフィス製紙機を実現する乾式古紙再生技術の開発，紙パ技協誌，72巻，7号，pp.779-785（2018）
- 13) 韓知佑，貴田啓子，半田昌規，稲葉政満：楮紙の湿潤強さへの煮熟方法の影響，紙パ技協誌，74巻，9号，pp.921-927（2020）

謝辞：りんご剪定枝のパルプ化および紙化を行って頂いた三菱製紙株式会社八戸工場様，紙漉きに関する情報を提供頂いた紙漉隊大場良子様へ深く感謝の意を表す。

（2022. 1. 18 受理）