

19. 水が紙に及ぼす影響

静岡県立科学技術高等学校 自然科学部
2年 佐藤良亮 法月秀斗 曾根拓巳 青藤郁哉

1 動機

雨や飲み物で濡れてしまった教科書やノート、プリントを乾かそうとした経験の中で、ほとんどの場合は元の様には戻らずしわができてたり歪んだりした。「紙は一度濡れると乾かしても元の形状には戻らずにしわができる」のはなぜかと興味を持ち、紙が濡れて乾くとはどのような事かと調べてみることにした。

2 研究目的

しわはどのような原因でどのような過程を経て形成されるのか。また、水に濡れた紙を乾かしても元の状態にもどらないのは何故かを明らかにする。

3 研究予想

紙は濡れると伸び、乾くと元の大きさまで縮む。この「縮む」という過程の時にしわが形成されるのではないかと。乾かす温度と紙の伸縮は関係しているのではないかと。紙が伸縮するのは、紙の繊維が太くなっているからではないかと。という予想を立てた。

4 予備知識

紙の流れ目とは、パルプを一定方向に流して作る工程のためにできる繊維のまとまった方向で、紙は流れ目に平行な方向に破れやすく折れやすいが、垂直な方向には破れにくい。

5 実験に使用した紙の種類

4種類の紙（新聞紙、教科書、コピー用紙、ティッシュペーパー）を使い水に濡れた時とそれを乾燥させた時でどのように大きさが変化するかを調べるため、伸縮率の測定、紙の表面の観察、紙の繊維の太さを測定した。紙を一边が5cmの正方形に切り、流れ目の向きに矢印を書き込む。

6 紙の伸縮率の測定

(1) 測定方法

- ア 濡らす前に紙の縦横の長さ、質量を測定する。
- イ 紙を5秒間水に浸し軽く水を切り、再び紙の縦横の長さや質量を測り乾燥させる。
- ウ その後に乾燥させた紙の縦横の長さを測る。温度による比較実験を行うため、自然乾燥とドライヤー乾燥(22℃、40℃、50℃、72℃)の2種類の方法を使った。

(2) 乾燥方法

- ア 自然乾燥（乾燥させた日の温度、湿度、を記載する）の場合、測定後にそれぞれの紙を濡らし順番にアクリル板の上に乗せ、紙の質量が濡らす前の質量と同じ質量になったら紙が乾いたと判断し再び測定する。

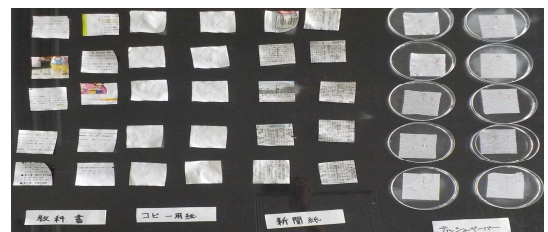


図1 自然乾燥の様子

- イ ドライヤー乾燥の場合紙に当たる温度が22℃、40℃、50℃、72℃になるように高さを調整し、紙の真上にドライヤーの吹口がくるように力学台に固定し、自然乾燥と同じタイミングで乾燥をやめた。

(3) 結果

- ア (ア) 実験時（自然乾燥）の室温、湿度の平均

室温 26.93℃ 湿度 72.43%

(イ) 縦横比の変化

ここでは縦の長さを横の長さで割った値を縦横比とし、参考としてコピー用紙の表を載せる。start は濡らす前、wet は濡らした後、dry は乾燥後、nd は自然乾燥、数字は温度を表す。

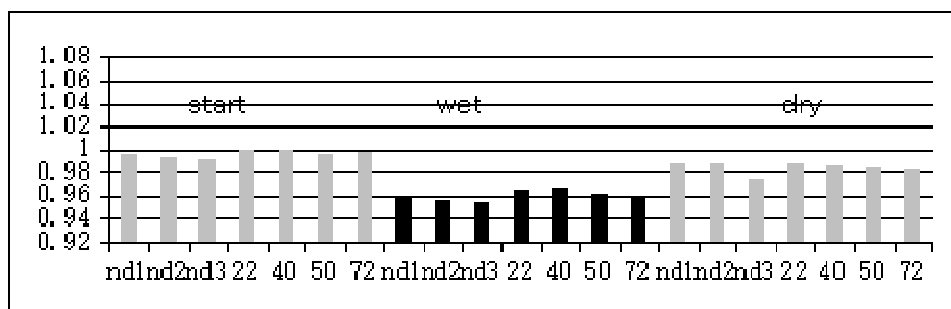


図2 コピー用紙の縦横比のグラフ

- ① 新聞紙…… 濡らすと、横に1に対して縦1.5の割合で伸びる。乾燥後は横1に対して縦1の割合になり縦が縮む。
- ② 教科書…… 濡らすと、縦1に対して横10の割合で大きく伸びた。乾燥後は縦1に対して横2の割合になり横が大きく縮み、縦横比が0.99となる。
- ③ コピー用紙…… 濡らすと、縦1に対して横1.4の割合で大きく伸びた。乾燥後は縦1に対して横3の割合になり横が大きく縮み、縦横比が0.98となる。
- ④ ティッシュペーパー…… 濡らすと、横1に対して縦8の割合で大きく伸び、乾燥後は横1に対して縦5の割合で縮み、縦横比が1.01となる。

イ 面積変化率

実験後の面積から実験前の面積を引いて出した値を実験前の面積で割りそこに100をかけて出した値を面積変化率とし、濡らした時の大きさの変化を比較する。コピー用紙の縦横比のグラフと同じく nd は自然乾燥を数字は温度を表す。

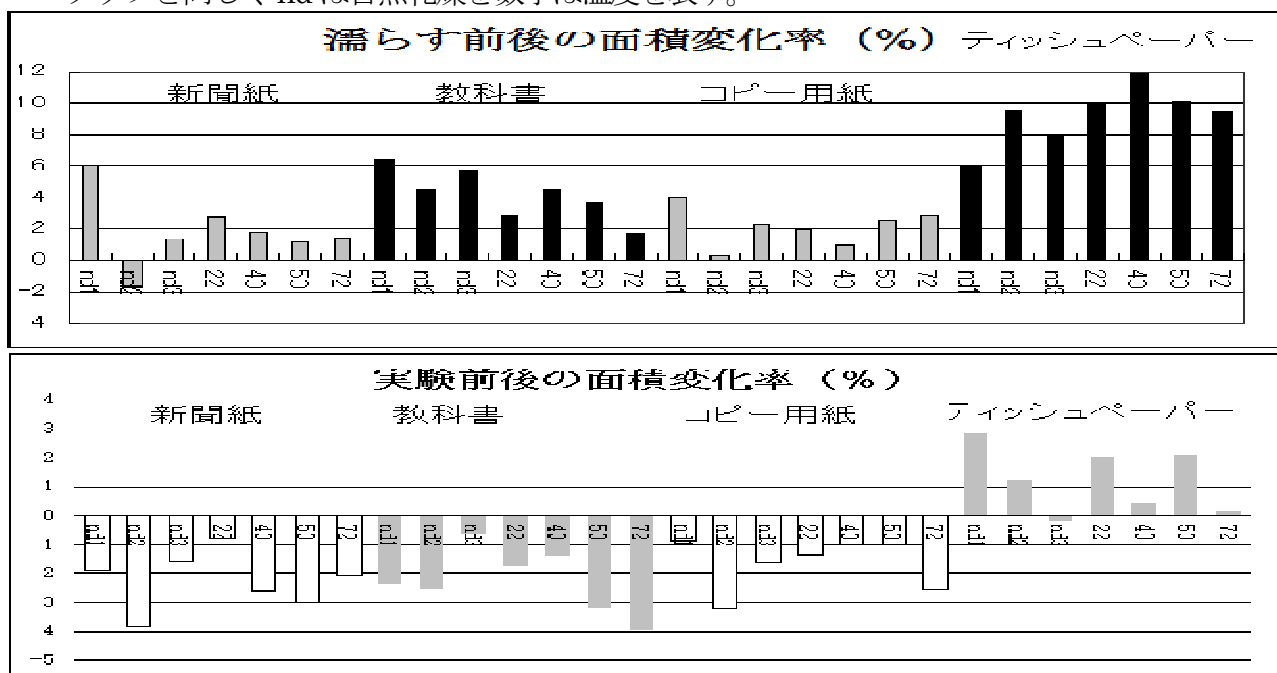


図3 面積変化率のグラフ

- (ア) 濡らす前後の面積変化率は水に濡らすと全て伸びる。ティッシュペーパーが一番大きく伸び、次いで教科書、コピー用紙、新聞紙の順である。
- (イ) 実験前後の面積変化率はティッシュペーパーのみが伸びたままで (1.23%増)、そ

れ以外の紙はどの乾燥温度においても縮んでいる。新聞紙(2.23%縮み)、教科書(1.64%縮み)、コピー用紙(2.26%縮み)は乾燥温度が高いほうが変化率(縮みの程度)が大きい。

(4) 考察

- ア 縦横比、乾燥後の伸縮の長さのグラフから紙は濡れると伸びる。また、紙の種類により伸びる方向が異なる。(新聞紙は縦と横に均等に、教科書やコピー用紙は横に、ティッシュペーパーは、縦に伸びている。)
- イ 自然乾燥でもドライヤー乾燥でも乾燥後には、最初に比べ紙の大きさは、縮む。
- ウ 新聞紙は濡れても乾いても縦、横が同じ割合で変化する。
- エ 教科書、コピー用紙は濡れると横に伸び、乾くと横より縦に縮む事になる。
- オ ティッシュペーパーは濡れると縦方向に大きく伸び、乾いても伸びたままである。
- カ 「濡れる」→「乾く」という過程が「紙が伸びる」→「縮む」ということだとわかった。
- キ 「伸びる」「縮む」の2つの過程で紙の縦横での「伸びる割合」、「縮む割合」が紙ごと異なるためそれがしわの形に影響があるのではないかと考えた。

7 紙の表面の観察

紙の伸縮により、形が変形することがわかったので、しわとの関係を調べるために以下の実験を行った。

- (1) 観察方法……乾燥後の紙の歪み方や波打ち方を肉眼で観察する。
- (2) 観察結果(流れ目に平行な断面を縦断面と呼び垂直な断面を横断面と呼ぶ。)

- ア 新聞紙の縦断面を見ると、波長2cm位の波打ちが見られ、横断面にはさらに細かな波打ちが見られる。横断面の波打ちは奥へと続いており、縦方向のしわとなっている。一方で縦断面の波打ちは奥へと続いているようには見えず、表面のでこぼこを作っている。
- イ 教科書の横断面を見ると、奥まで続く波長2cm位の波打ちが見られた。一方で縦断面は横断面よりも緩やかな波打ちが見られた。コピー用紙の横断面を見ると、大きな波打ちが見られ、縦断面を見ると、緩やかな波打ちが2つほど見られる。
- ウ ティッシュペーパーは、ちりめん状のしわが流れ目と垂直な方向にいくつも見られた。
- エ 全体としては、角がせりあがっている。

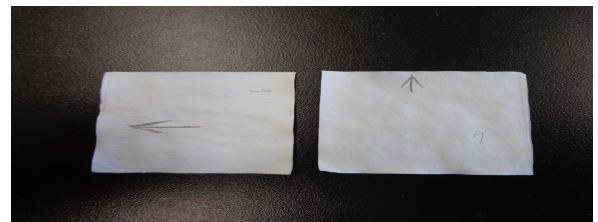
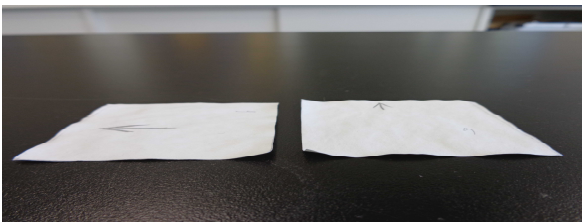


図4 実験後のコピー用紙の様子

(3) 考察

- ア 新聞紙は全体で縦横両方向の波打ちがみられたのは、縦横が均等に縮んだと考えた。
- イ ティッシュペーパーの細かいちりめん状のしわは縮む際、横に対し縦の割合が大きかったことにより出来たものではないかと考えた。
- ウ 教科書、コピー用紙は横断面に大きな奥まで続く波打ちが見られたことから、ティッシュペーパーと逆に横方向の縮みが大きかったことによるのではないかと考えた。以上より、濡れて乾燥したことによる伸縮の度合いの小さい向きにしわができると考えた。
- エ 次に紙が濡れると縦、横に伸びるは何故なのか、繊維を顕微鏡で観察しようと考えた。

8 繊維の太さの測定

(1) 測定方法

- ア 4種類の紙を縦横1cmに切り試料を薄くする。繊維を見やすくするために紙の真ん中に

鉛筆で少し黒く色を付ける。スライドガラスの上に紙を乗せ、カバーガラスで挟み光学顕微鏡（100 倍）を使って未処理の状態で紙を観察し、写真を撮る。

イ 繊維の上に水を一滴たらしてアと同様に観察し、写真を撮る。ティッシュペーパーのみ、カバーガラスを外し、乾燥後にもう一度観察した。撮った写真を印刷し肉眼で繊維を 50 本数え、繊維の太さを測る（単位は mm）。次に、マイクロメーターから写真におけるスケールの比を計算し、繊維の太さの単位を μm に直す。

(2) 繊維の様子

ア 新聞紙…… 未処理の新聞紙は横向きの繊維が多いように見える。

イ 教科書…… 繊維が細く全体的にととても見にくい。繊維は入り乱れているように見える。

ウ コピー用紙…… 未処理と濡れた状態で、あまり変化が見られない。繊維は全体的に確認しやすく、縦向きのものが多いように見える。

エ ティッシュペーパー…… 繊維同士の間隔が広く隙間が多くみられる。濡らすと繊維が広がっているよう、乾燥状態では中央に大きな隙間が見える。

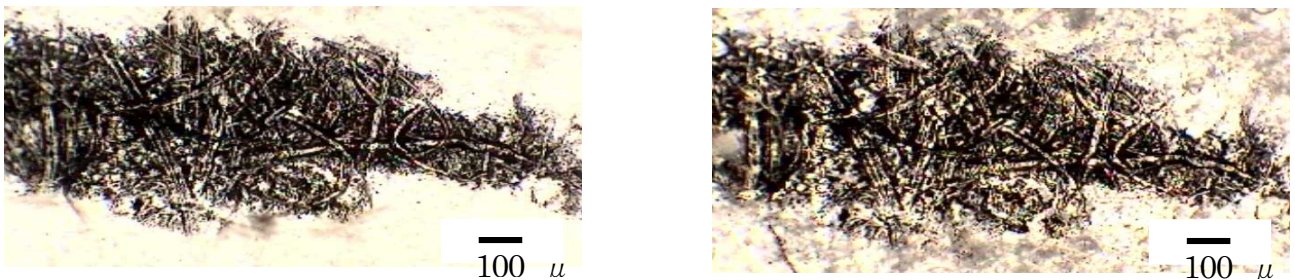


図5 コピー用紙 右：未処理 左：濡らした状態

(3) 繊維の太さの測定結果

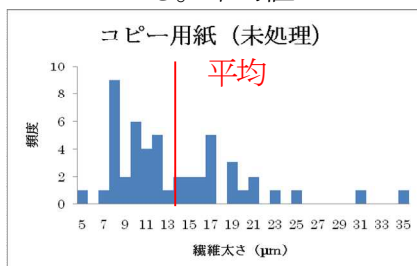
繊維の太さを測定し、代表してコピー用紙の結果をヒストグラムに表した。太さの最小値、最大値、平均値を以下に示し、ぬらす前後での繊維の膨張率（%）を計算した。

ア 新聞紙は、濡らす前後で平均値は変わらないが、濡らした繊維は太さにばらつきが大きくなる。また、ピークは 15 から $14\mu\text{m}$ へと小さくなっている。

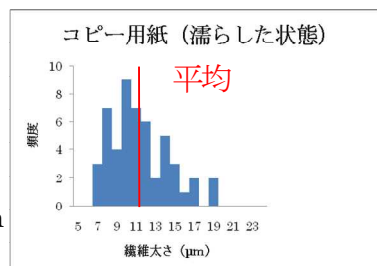
イ 教科書は平均値は、18 から $17\mu\text{m}$ に小さくなり、太い繊維のデータが減っている。未処理の場合は細かな繊維が多い。濡らすと太さのバラつきが少なくなり、ピークが 14 から $17\mu\text{m}$ に大きくなっている。

ウ コピー用紙は平均値は、14 から $12\mu\text{m}$ に小さくなっているので太い繊維のデータが減っている。平均値とピークがずれている。ピークよりも太いほうに平均値があり、数値の広がり方が太いほうに偏っている。濡らしても 7 から $12\mu\text{m}$ の範囲に値がまとまっている。

エ ティッシュペーパーは、平均値は濡らす前後では変化がなく自然乾燥処理をすることで $16\mu\text{m}$ から $14\mu\text{m}$ に小さくなっているので乾燥させることで太い繊維のデータが減っている。平均値とピークがずれている。



データ数：50
平均値： $14\mu\text{m}$
ピーク： $8\mu\text{m}$
最大値： $36\mu\text{m}$
最小値： $3.8\mu\text{m}$



データ数：50
平均値： $12\mu\text{m}$
ピーク： $10\mu\text{m}$
最大値： $19\mu\text{m}$
最小値： $7.7\mu\text{m}$

濡らす前後の繊維の膨張率
 $\{(14-12) \div 14\} \times 100 = 14\%$

図6 コピー用紙の繊維の太さ

(4) 考察

- ア 新聞紙は、濡らした後の方がデータのばらつきが大きくなっていることから横に幅が広がったものと縦に伸び、幅が狭くなったものがあるのではないかと考える。
- イ 教科書は、平均値にほとんど変化が見られないが、未処理ではピークが $13\mu\text{m}$ と $17\mu\text{m}$ にみられるが、濡らした後は $17\mu\text{m}$ へとシフトしており、全体的には $3\mu\text{m}$ ほど太くなっているのではないかと考える。
- ウ コピー用紙は、濡らす前より後の方が 7 から $11\mu\text{m}$ の値の範囲へと繊維の太さの集中が高まっている。平均値は濡らした前後で $2\mu\text{m}$ 小さくなっているが、濡らす前後で山の形はピークに集中し、ピークは $2\mu\text{m}$ 大きくなっているため、全体として $2\mu\text{m}$ 程度太くなっていると考えの方が合っているように思われる。
- エ ティッシュペーパーは濡らす前の値の集中は 7 から $17\mu\text{m}$ であったが、濡らした後は 9 から $20\mu\text{m}$ に変化したことから、繊維が太くなっている様子がわかる。また、自然乾燥処理をすると 6 から $19\mu\text{m}$ に多く分布するようになる。

9 全体の結果のまとめ及び考察

- (1) それぞれの紙の特徴を見るとほとんどの紙は濡れて伸び、乾燥すると元の大きさより小さくなる。縦横に縮んだ際にその割合が大きい方と直行する向きにしわができると考えられる。また、縦横が伸縮する割合の大小がしわの形成となると考えられ、濡らして伸びた以上に乾燥後の縮みが大きいと紙の面積が小さくなっており、それもしわの原因だと考えられる。
- (2) 濡れて紙が伸びるのは、繊維が吸水して太くなるからだと考えられ、ティッシュペーパーの場合は繊維の広がりも原因の一つと考えられる。また、濡らした時に伸縮すると水を含んで繊維が太くなり、乾かすときに水分が抜けそのときに繊維の太さが未処理の時とは違う太さに変化するため元に戻らないと考えられる。ティッシュペーパーの場合は、濡れて繊維が広がったまま元に戻らない事もその理由の一つと考えられる。
- (3) 自然乾燥よりドライヤー乾燥の方が縮みにくい。理由として、自然乾燥を行った部屋の湿度は3回とも 60% 以上と高かったのに対してドライヤー乾燥では短時間で乾かしたため繊維に吸着した水分が均等に飛ばされるため縦横の偏った縮みが出にくいのではないかと考えたが詳しい実験は行っていないのでわからない。

10 反省と課題

(1) 反省

多種のコピー用紙があるが、実験に用いたのは一種類だけである。ほかの紙も同様の結果が得られていないが同じであると判断した。自然乾燥では、日時が違うため部屋の温度と湿度も異なっていたはずであるがその事を全く考慮していないので実験に多くの誤差を与えてしまった。ドライヤー乾燥では、紙に当てる温度を変えるため紙とドライヤーの距離を変えたが、紙に当たる風の強さも変化したので温度による対象実験にならなかった。また、ドライヤーの温度も一定の間隔を空けずとびとびの温度で乾かした。

(2) 課題

目的の「紙のしわの原因」はまだ分からないので実験の問題点を改善して、さらに実験を行っていきたい。また、実験に用いる紙の種類を増やして実験を行い紙としわの関係性を追求していきたい。

11 参考文献

(1) 株式会社TT トレーディングング 紙の基礎知識

<http://www.tokushu-papertrade.jp/digimon/basic/bas-02.html>