

その他

左上一箇所でホチキス留め

受付番号: SJ1135
エントリーID: 2526

筑波大学

朝永振一郎記念

第14回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ1135
応募部門 : 中学生部門
応募区分 : 個人応募
題名 : 波打った紙を元に戻す方法～紙のバリバリ, ザラザラから考える～
学校名 : 慶應義塾湘南藤沢中等部
学年 : 3年生
代表者名 : 坂本 帆南

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

波打った紙を元に戻す方法

～紙のパリパリ、ガラガラから考える～

慶應義塾湘南藤沢中等部 3年B組15番 坂本帆南

1. 動機 水に濡れた紙を乾かすと波打ってしまうのは当たり前だと思われている。実際水のりシートにフリオを貼ると、乾いた後波打ってしまう。一方、スタックのりではそのようなことが起こらないことから、水が紙に影響していると思われる。波打った紙は触るとザラザラしていて、紙質もパリパリしているように感じられる。今回はこの感覚に注目して事実なのかを確かめ、波打った紙の性質を調べる。そして、元の紙に近づける方法は無いかを考える。

☆ 以後、1度濡らしてから乾かした紙を「波打った紙」と呼ぶ。

2. 実験

2-1 波打った紙の性質

2-1-1 パリパリしているのか? ~机に固定した時のしり具合~

仮説: パリパリ感は紙の柔軟性が低下することで感じている。波打った紙はしならないのではないかと。

<器具>

- 10cm x 10cmの教科書, Campus1-1, コピー用紙, 厚紙 (各1枚)
- 10cm x 10cmの波打った教科書, Campus1-1, コピー用紙, 厚紙
- 分度器 • 文鎮 • セロハンテープ (各1枚)

波打った紙のつくり方

- 紙・容器に入れた水・網・電子ばかり
- ① 電子ばかりで紙の重さを量った。
- ② 紙を容器に入れた水でよく濡らした。
- ③ 網の上に置いて、自然乾燥させた。
- ④ 乾燥した紙が①と同じ重さになったら乾燥をやめた。

<手順>

- ① 直角の机の角に分度器を貼る(写真1)
※ 机の板を真横から見ると、分度器の90°の線と板の上辺が一直線になるようにした。
- ② 紙を机の上に置いて、1cm机から出して文鎮で押さえた。
- ③ 紙のいちばん先端が指す角度を讀んで、 $90^\circ - \text{讀んだ角度} = \text{しりた角度}$ の計算式に沿って、しりの角度を求めた。
- ④ 紙を机から2cm, 3cm, 4cm, ..., 9cm出した時も②~④と同様に行なった。

<結果>

何もしない紙

| しりた角度(°) | 出した長さ(cm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|-----------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---|
| 教科書 | — | — | 0.0 | 1.0 | 1.5 | 5.0 | 7.0 | 7.5 | 11.5 | |
| Campus1-1 | — | — | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 4.0 | 7.5 | |
| コピー用紙 | — | — | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.1 | 2.5 | 4.7 | 8.0 | |
| 厚紙 | — | — | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |

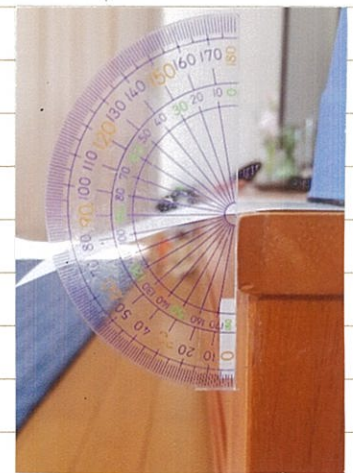


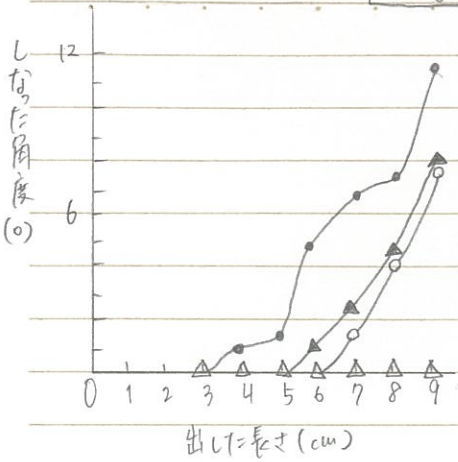
写真1: 装置図

波打った紙

| しりた角度(°) | 出した長さ(cm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|-----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---|
| 教科書 | — | — | -13.0 | -11.0 | -8.0 | -5.0 | -1.1 | -1.0 | 8.0 | |
| Campus1-1 | — | — | -19.0 | -17.0 | -16.5 | -15.0 | -13.0 | -7.0 | -2.0 | |
| コピー用紙 | — | — | -12.0 | -8.0 | 2.0 | 8.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | |
| 厚紙 | — | — | 0 | 2.0 | 3.0 | 4.1 | 1.0 | 0.0 | 1.0 | |

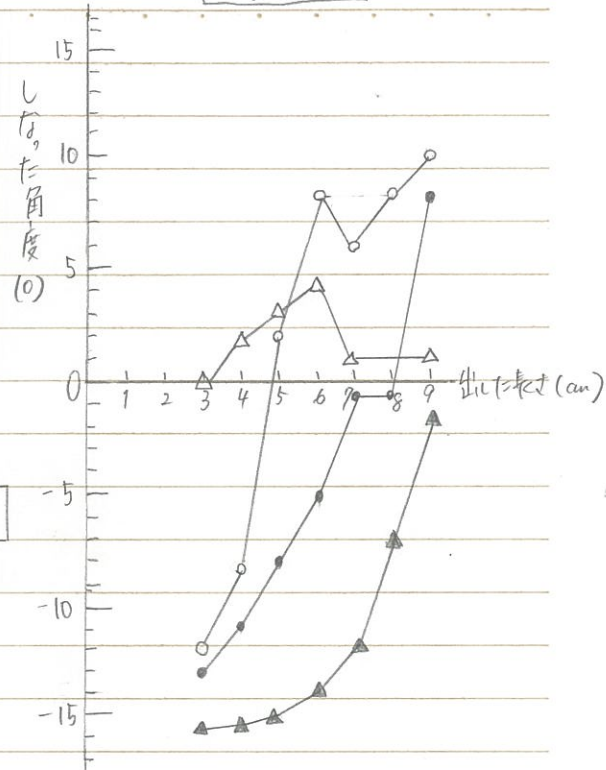
☆ 1cm, 2cm 出した時の分度器の目盛りと高さの寸法を正確に読めないのを記録した。

何もしていない紙



○厚紙は厚くならない
 ○他の紙は、しり始めが早い程
 同じ長さ出した時のしり角が大きくなる
 ○出し長さが長い程、よくなる。
 → 机を支えられていない方の重さを
 紙自身で支える時、支えられな
 くなる。このしり角で
 ける性質が柔らかさを感じ
 させている。

波打った紙



波打った紙

凡例 ● 教科書 ▲ Campus 1 ○ 70度紙 △ 厚紙

○何もしていない紙のように規則性はなかった。

○しり角がマイナスになったものもあった。

→ 文鎮で押さえている部分を支点として浮いた紙もあった。

そのため、しり角の角度はマイナスと別、それぞれ異なる形になった。

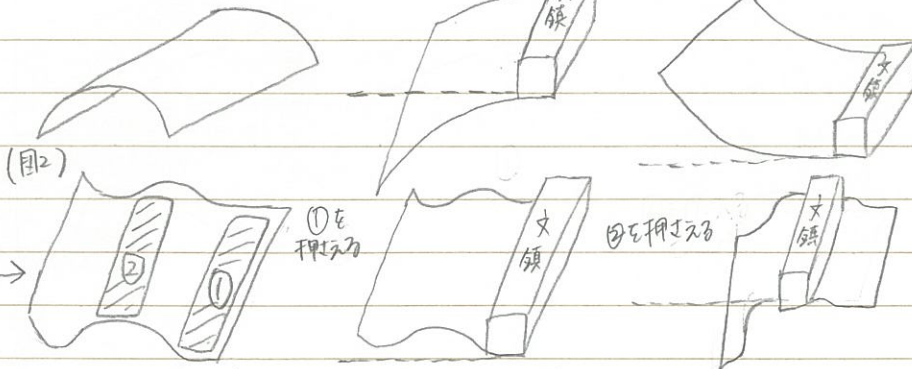
波打った紙の形状を保持していると言え、柔軟性は下がっている。

(図1) しり角が正に見える紙も紙の向きを変えるとそれぞれ異なる。(図1)

波打った紙

押さえる①

紙の向きを変える(押さえる②)



…紙の波うち方と文鎮で押さえる位置によってしり角に異なることがある。

★1つ1つと触り比べると波打った紙が柔軟性を持たないことが感じている。

2-1-2 どのくらい波打っているのか? ~風でのびやすさ~

解説: 波打った紙のしり角を測定すると紙ごとに波打ち方の違いがあることがわかる。波打った紙は地面に置くと
 隙間ができる。そのため、波打ちが大きければ、風をさらしてびびやすさ。

- <器具>
- 2-1-2 で使用した紙8枚
 - 四角くて固い板
 - 70°

<手順>

- 下準備
- 2-1-2 で使用した紙全てを 2cm x 2cm に切った。
 - 紙を広げる位置を決め、70°から 45cm 先の床に
 70°を貼った。(写真2)

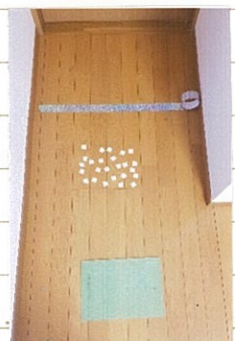


写真2: 装置図

(ZaurZaur紙2枚)



写真3: 実験の様子

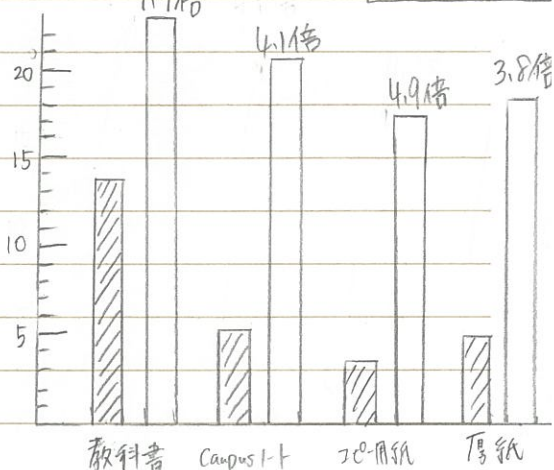
- ① 下準備で決めた位置に1枚目の切り紙を広げる
- ② ①の位置から30cm下がった所から四角い板が風を送る
※ 同様の風にするのに常に、板を目の高さまで上げてから思いっきり床に落とす
- ③ 床に貼ったテープ裏にヒンダ紙の数を数える (写真3)
- ④ 1種の紙につき5回①~③を行う
- ⑤ 8種全てで①~④を行う

<結果> ヒンダ紙の数

| | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均 |
|----------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 教科書 | 何もしていない紙(枚) | 14 | 13 | 13 | 12 | 15 | 13.4 |
| | 波打った紙(枚) | 23 | 24 | 22 | 22 | 23 | 22.8 |
| Campus1+ | 何もしていない紙(枚) | 6 | 5 | 5 | 6 | 3 | 5 |
| | 波打った紙(枚) | 23 | 19 | 18 | 22 | 21 | 20.6 |
| F2用紙 | 何もしていない紙(枚) | 3 | 7 | 2 | 1 | 5 | 3.6 |
| | 波打った紙(枚) | 20 | 18 | 17 | 15 | 19 | 17.8 |
| 厚紙 | 何もしていない紙(枚) | 9 | 6 | 3 | 4 | 2 | 4.8 |
| | 波打った紙(枚) | 18 | 17 | 19 | 20 | 18 | 18.4 |

[ヒンダ紙枚数の平均]

何もしない紙
波打った紙



全ての紙で波打っている方が良くヒンダ紙は

波打った紙のヒンダ紙数は何もしていない紙の

教科書 → 1.7倍 Campus1+ → 4.1倍 F2用紙 → 4.9倍 厚紙 → 3.8倍

と比較した。

→ ヒンダ紙は風の受けやすさと考えれば、この値と同じだけ地面と紙との隙間が大きくなる。

値が大きい程、紙の波打ちの程度が大きくなる。

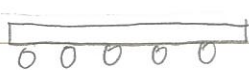
F2用紙 > Campus1+ > 厚紙 > 教科書 111頁で波打ちが大きくなる。

2-1-3 表面はザラザラしているのか? ~吸水時間~

仮説: 表面がザラザラ = 凹凸があるという事なので、事実ならば波打った紙は吸水が早い。

何もしていない紙

波打った紙



凹凸に水滴がつかやすく、紙にしみこみやすい。

<器具>

- 10cm x 10cm の教科書, Campus1+, F2用紙, 厚紙 (各1枚)
- 10cm x 10cm の波打った教科書, Campus1+, F2用紙, 厚紙 (各1枚)
- 容器に入れた水 • 赤の絵の具
- ストックワック

<手順>

- ① 容器に入れた水に赤い絵の具をよく溶かした。
- ② 紙を1枚ずつ水面においた。
おくと同時にストップウォッチをスタートした。
- ③ 水が紙の上面にしみ渡るまでの様子と時間を測った。

★ 赤い絵の具を溶かした理由★

白い紙にしみつけた時に、赤く染まる結果がわかりやすいと考えた。
しかし実際は紙の繊維を吸って赤く染らなかつた。
絵の具がしっかり混ざってあらず、沈殿していた可能性もある。その
絵の具の成分は水で吸い取らなく、筆などで使って自ら紙に付着す
せる必要がある。

<結果> ★ 測定したのは5分で。



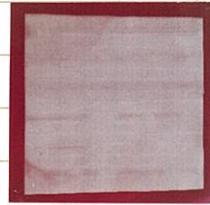
すぐ：紙の辺りが染まった。
↓
13秒：全体にしみ渡った。



少ししみる
6秒後：紙の辺りが染まった。
↓
2分後：一部にしみ渡った。
↓
5分後：その後変化しなかった。



すぐ：全体にしみ渡った。



すぐ：紙の2割くらいにしみ渡った。
↓
4分13秒後：全体が染まらなくなった。
↓
5分後：その後変化しなかった。



すぐ：紙の辺りが染まった。
↓
1分30秒後：染まりが収まった。
↓
5分後：しみ渡らなくなった。



すぐ：紙の外側が染まった。
↓
36秒後：全体にしみ渡った。
↓
5分後：その後変化しなかった。



すぐ：紙の辺りが染まった。
↓
17秒後：一部にしみ渡った。
↓
38秒後：全体にしみ渡った。



すぐ：紙の辺りが激しく染まった。
↓
38秒後：全体にしみ渡った。

[全体にしみ渡るまでの時間] 5分後：その後変化しなかった。

| | 教科書 | Campus1-T | コピー用紙 | 厚紙 |
|---------|-----|-----------|-------|------|
| 何も打たない紙 | 3秒 | 5分以上 | 5分以上 | 5分以上 |
| 波打った紙 | すぐ | 5分以上 | 5分以上 | 38秒 |

- 1 波打った紙は予想通り早くしみ渡った。
- 1 5分以上かかった1-Tとコピー用紙も、何も打たない紙より波打つる方がしみ渡った範囲が広かった。
- 1 ほとんどの紙が水に置くとすぐに辺りが染まった。

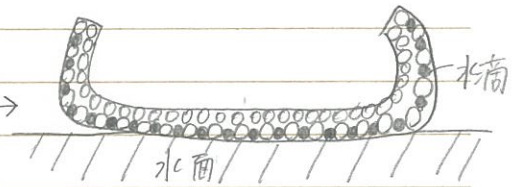
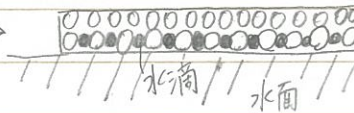
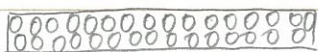
→ 波打った紙の表面は凹凸が付きやすいため、水を吸いやすい。手に触った時のザラザラ感も事実であると言える。

水のしみやすさと、範囲の違いはなぜ?

紙の繊維同士の間隔の強さが異なっていて、強い程水が入りにくく、しみにするのには時間がかかると考えられる。

水面に置くとどうなるのはなぜ?

水に接触している面は先に水がしみこんでいくことで繊維同士の間が狭くなる。すると、水に接触している面の面積が拡大して、面積変化の起きている上面に向かって曲がる。



2-1-4

ザラザラを正確に測定できるか? ~ 表面の凹凸を正確に使う ~

<器具>

- 教科書, Campus1+ , コピー用紙, 厚紙 (各1枚)
- 波打った教科書, Campus1+ , コピー用紙, 厚紙 (各1枚)
- 鉛筆 (2B) ・ 定規 ・ 電子ばかり

<手順>

- ① 紙の重さを量った。
- ② 紙に鉛筆で10cmの直線を引いた。※筆圧が同じになるようにした。
- ③ もう一度重さを量った。
- ④ ①~③を全ての紙で行った。

★ 波打った紙の表面には凹凸があり、摩擦力が大きい。そのため鉛筆の芯がよく削れて重くなる。重さを比較すれば凹凸の大きさを比べられる。

<結果>

測定ができていた。

[実験の問題点]

- 鉛筆の芯は軽すぎて電子ばかりの測定可能な0.1g目盛りでは変化がなかった。

この方法で正確な値を得るためには

1. 下2桁以上が測定可能な精密ばかりを使用する。
2. 4B程度の削れやすい芯を使い、長い直線を引く。

10cmの直線を100本書いておけば、0.1g目盛りでの測定が出来る。この方法を使った方が容易に実験ができる。

～浜手での実験から～

1度濡らしてから乾かした紙は紙にぶつて程度は異なるが、波打っている。また、柔軟性を失っていることでバキバキと感じられ、表面の凹凸によってザラザラとした感触も生み出されている。ただし、表面の凹凸については、精密な機器をそろえてより正確な結果を得る必要がある。

元の紙に戻せないか？

2-2 元の紙に近づける。

2-2-1 波打たない紙をつくる。

仮説：<波打たない紙のつくり方>に沿って作業していると、濡らした時は波がぶつのに乾くにつれて現れず関係しているのは水の量と時間か？

予想：濡らした紙の水気を吸ってから短時間で乾かせれば波が小さくなる。

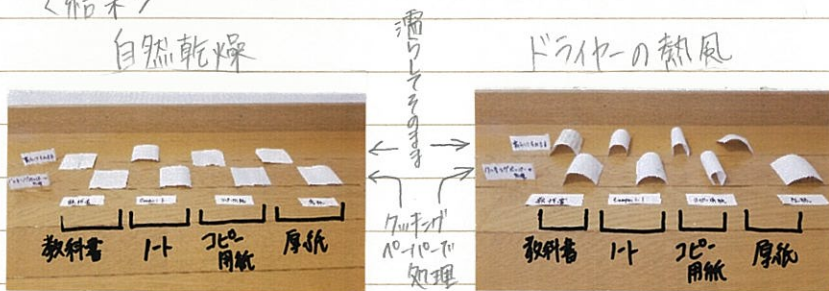
<器具>

- 同大寸の教科書, Campus1+, フレ-用紙, 厚紙 (各4枚)
- 容器に入れた水 • 網 • ドライヤー • ヴックキングA0-A0-

<手順>

- ① 4種の紙それぞれ2枚を容器に入れた水で濡らした。
- ② ①のうち1枚は網の上のせて自然乾燥させた。
もう1枚は ヴックキングA0-A0-で水気を吸ってから網の上で乾燥させた。
- ③ それぞれの紙残り2枚を①と同様に濡らした。
- ④ ③のうち1枚は網の上に置き、ドライヤーの熱風で乾かした。
もう1枚は ヴックキングA0-A0-で水気を吸ってから④と同様に乾かした。

<結果>



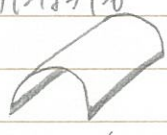
• ヴックキングA0-A0-で水気を吸ってから乾かしても、何も処理しなかった紙と変わらなかった。
→ 紙が含む水の量は波打ちに関係ない。

• 自然乾燥した紙の方が波打ちが小さかった。ドライヤーで乾かした紙は全てア-キを描いていた。
→ ドライヤーで乾かした時のア-キは波打ちとは違う現象ではないか。

自然乾燥 ... 辺りが細かく波打った。
ドライヤー ... 辺りが1つのカーブを描いた。 } 熱が影響している？

アークが生まれる原因は？

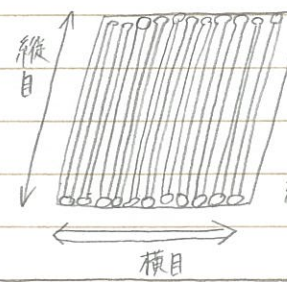
- 特徴 → ドライヤーの熱風をあてた面がアークの外側になった
- 地面に付いている刃がますぐだった
- トンネルの刃に付いている



地面に付いている刃に平行に曲がっていることから縦目はトンネルの奥行きに作る向きである



紙の縦目と横目



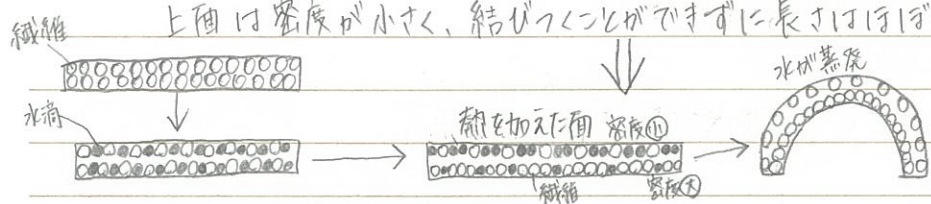
紙のセルロース繊維の
流水の向きを縦目、
縦目と垂直な向きを横目
縦目と平行に曲げやすく、
縦目に沿って切りやすい

- 縦目の方向には水で濡らしても乾かしても伸縮しないので、ますぐなま保っているのではないから
- アークは紙の面ごとに長さの違いが生じることで、短い方を内側にして曲がってアークと考えられる。

アークが生まる仕組みを考える

- ① 水で濡らした時に繊維の間に水が入り結合がゆるくなった
- ② ドライヤーで熱し始めると繊維はドライヤーをあてている面の方へ逃げていき、下面の繊維の密度が大きくなった
- ③ 温度が上がると水が蒸発すると繊維同士が再び結合しようとして

その際、下面では密度が大きいため繊維同士の絡み合いが生まれ、縮むようになった
上面は密度が小さく、結びつくことができずに長さはほぼ変化しなかった



ドライヤーをあてた面 > 下面 となり、
ドライヤーをあてた面を外側にしてアークを描いた
と考えられる。

仮説：繊維は熱を避ける。予想：冷風ならば長さの差は生じずに平らになる。

2-2-2 冷風にすれば平らに乾かせるのか？

<器具>

- 教科書, Campus1+, 30-用紙, 厚紙 (各1枚)
- 容器に入れた水
- ドライヤー ・ 網

<手順>

- ① 容器の水で紙をしっかりと濡らした
- ② 網の上に置いて、ドライヤーの冷風で乾かした
- ③ 2-2-1で乾燥させた紙と比較した

<結果> 写真4... 熱風で乾かした時と冷風の時の比較、
写真5... 自然乾燥と冷風の比較

- 冷風で乾かすとアークにはならなかった。自然乾燥と同じ程度に波打った



写真4: 左熱風 右冷風



写真5: 左自然乾燥 右冷風

- ① → アークを生む原因は熱を避ける繊維の性質である。
- ② → 波打ちの程度と乾燥にかかる時間は関係ない

2-2-1, 2-2-2 について

- 1. 紙が含む水分量, 乾燥にかかる時間は波打ちに影響を与えない
- 2. 紙の繊維は水を含んでいる時, 熱を避けて移動する

波が打たないようにはじめから乾かせ方がいい?

2-2-3 重りをのせて乾かす

前述: 水分量や時間などの簡単に変えられる条件では波打ちに変化がなかった

波が打たないようにはじめから乾かせ方がいいのではないかと

<器具>

- 教科書, Campus1+, 3色用紙, 厚紙 (各4枚)
- 容器に入った水
- おもり (教科書) 500g, 1kg, 1.5kg, 2kg → 体重計にのせておもりごとの重りに応じて教科書の重さを調節した
- 網 • プラスチック板 • クッキングペーパー

<手順>

- ① 全ての紙を容器に入れた水で濡らす
 - ② 網の上のせて, その上にプラスチック板をのせる
 - ③ 各種類4枚それぞれに 500g, 1kg, 1.5kg, 2kg のおもりをのせる
 - ④ 30分に1回 おもりを外して, 紙の水分をクッキングペーパーで吸わせる
- ※ おもりをのせた面は水が蒸発しにくいから

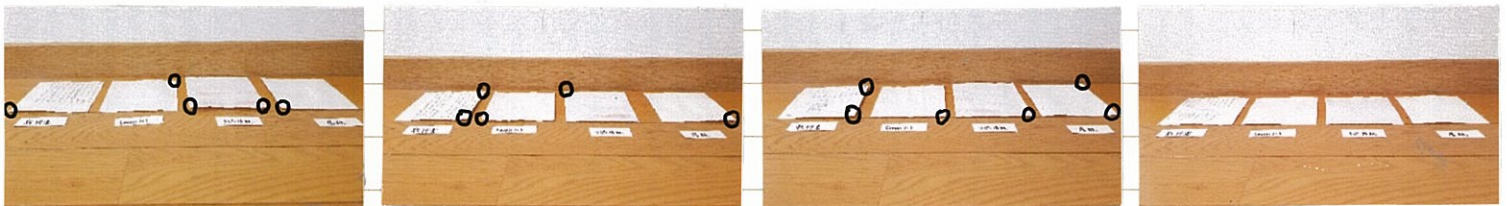
<結果> 各写真の教科書, Campus1+, 3色用紙, 厚紙

500gの時

1kgの時

1.5kgの時

2kgの時



※ ○がわいている所は濡れている

- 500g ~ 1.5kg の時は紙の4つ角の辺りが濡れている紙があった
 - 2kg の時は4種類全てで4つ角が地面についていた。目で見ても何もしていない紙と変わらないうちに見えた
 - 500g, 1kg ではまだパリパリとした感触があった
 - 1.5kg では 500g に比べると柔軟な感じがした
 - 2kg では元の紙と同じくらいの柔らかさがあり, 表面のザラザラも感じなくなっていた
- 元の紙と近い状態の紙になっている
おもりがどのような影響をおよぼしているのか?
- 水を含んだ繊維は結合がゆるくなっていて, 蒸発した時に再び結びつく。おもりをのせることによって繊維の重なりや動きを防ぎ, 元の紙のように並んだ状態で乾かせる。負荷をかけずに乾かした時の不規則な繊維の並び

によって表面に凹凸が作り、紙の柔軟性が失われていると言える。

→ どのくらい平らにしたいか?

「2-1-2風でのびやむら」と同じ実験をした時、何もしていない紙と結果が同じならば平らにしたいと言える。

<器具>

• 2-2-3で2kgのおもりをのせて乾かした紙 (教科書, Campus1, PC用紙, 厚紙の4枚)

• 四角くて固い板 • T-70

<手順>

下準備 • 紙全てを20x20cmに切った。

• 紙を広げる位置を決め、そこから45cm先にT-70を貼った。

①~⑤は2-1-2と同じ手順で行った。

⑥ 2-1-2の何もしていない紙の結果と比較した。

<結果> とんだ紙の値

何もしていない紙 (2-1-2の結果)

2kgのおもりで乾かした紙

| | 1日目 | 2日目 | 3日目 | 4日目 | 5日目 | 平均 | | 1日目 | 2日目 | 3日目 | 4日目 | 5日目 | 平均 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 教科書 | 14 | 13 | 13 | 12 | 15 | 13.4 | 教科書 | 12 | 15 | 16 | 11 | 12 | 13.2 |
| Campus1 | 6 | 5 | 5 | 6 | 3 | 5 | Campus1 | 10 | 9 | 7 | 9 | 9 | 8.8 |
| PC用紙 | 3 | 7 | 2 | 1 | 5 | 3.6 | PC用紙 | 7 | 7 | 9 | 7 | 8 | 7.6 |
| 厚紙 | 9 | 6 | 3 | 4 | 2 | 4.8 | 厚紙 | 8 | 5 | 6 | 6 | 5 | 6.0 |

• 教科書はほぼ差がなかった。

Campus1 → 約1.8倍 PC用紙 → 約2倍 厚紙 → 約1.3倍 何もしていない紙よりびやむらした。

→ 2kgのおもりで教科書は元の紙に戻った。他の紙は見ても目ではわからず波打っていた。

このことから、紙によって波打とうとする力が異なり、それに応じておもりの重さも変える必要がある。

3 結論

<波打った紙の性質>

• 紙ごとに異なる波打ちをしている。

• ガラガラした触り感と10リパリの質感は存在していて、繊維の不規則な並びによるものである。

<元の紙に戻す方法>

• もう一度水で濡らし、おもりをのせて乾かす。これにより、繊維の重なりをなくすることができる。

4 感想

波打った紙がガラガラしているように思っていたが、実際に触ると硬い感じがする。実際に数値で確かめられてよかった。まだ凹凸の程度や紙ごとの最適なおもりを見つけられていないので、実験を進める必要がある。

<参考文献>

1 紙を知る～紙の特性～富士ゼロックス https://www.fujixerox.co.jp/support/colorprint/howto/basic/paper_08.html

2019年9月1日閲覧

1 前田秀一 「トコトヤらしい紙の本」 日刊工業新聞社 2001年12月1日発行