

紙の落下の不思議

研究者氏名 武田和也 中野貴博 六鹿拓哉

【概要】

私たちは一見不規則な紙の落下に法則性があるのかどうか調べようと考えた。研究を始める前の簡易実験の結果から私たちはある仮説を立てた。それは、「紙の四隅をある程度折って落下させると、折り込んだ側が下になって着地する。」である。しかしこれが成り立つには折り込む割合は制限されると考えられる。そして、最も仮説に近い結果を出すための割合（折る割合 K ）はどこかを研究することになった。100mm×100mm、200mm×200mm、300mm×300mmの紙をそれぞれ違う割合で折り込み、空気の流れを最小限に抑える。そしてそれぞれ（表向き・裏向きにしたとき）の紙を落とし、着地にかかる時間と着地したときの表裏を調べた。その結果、50%折りでは裏は一度も出ず、落ち方も真っ直ぐに落ちていった。また、30%付近がどのサイズも最も裏の出る割合であるということがわかった。このことから、折る割合 K はサイズによってそれぞれ違う割合になると考えられる。

We tried to examine whether there is a rule when paper falls. We proposed a hypothesis from the previous experiment.

The hypothesis is that papers always land face down when four corners of a piece of paper are folded/ the folded side should be its face. After we examined our previous hypothesis, we designed a new experiment to fold papers different percentages and study the outcome. We thought constant K was limited to the variable of the percentage of paper folded. 100mm×100mm and 200mm×200mm papers were dropped several times starting with the folds on top, and on the bottom. As the result, all of the paper folded 50% landed with face up, and 30% was the best percentage that is suitable for hypothesis 3. Judging from this, we can say constant K is about 30%.

【研究の目的】

紙の落下の規則性を発見する。

何も手を加えていないコピー用紙（長方形や正方形）でも四隅を一定の割合で折った場合、何らかの決まった落下の仕方をするのではないかと考え、折る割合を変化させることでその規則性を発見する。

また、ある程度の高さから落としてもまっすぐに落下していく紙の形についても研究する。

◆表・裏の定義

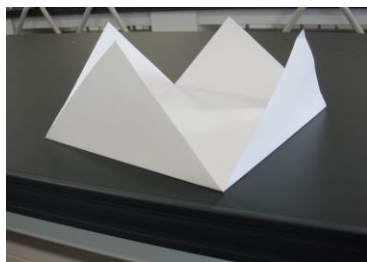


図1 表

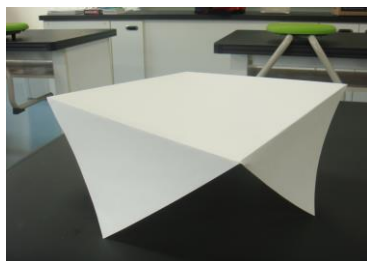


図2 裏

【仮説】

この実験をするにあたって、予備実験を行い、3つの仮説を立てた。

1、紙の面積が大きくなればなるほど、空気抵抗を受けやすく落下にかかる時間は長くなる。

面積が大きくなるにつれて質量も大きくなるのでより早く落下するのが普通だが、紙の質量は小さすぎるためあまり影響されることはないと考えた。

2、紙の大きさによって折る割合 K が異なる。

紙の大きさが大きくなるにつれて、折る割合 K は小さくなるのではないかと考えた。紙の大きさが大きいほど、少し折るだけで落下に影響するのではないかと考えたからである。

3、着地するまでにかかる時間は折る割合を大きくするほど短くなる。

予備実験の結果から、折る割合を大きくするほど落下させたところから真下にまっすぐ落下した。落下中の横への移動がないために、その分の時間が短縮されると考えたからである。

【実験器具】

正方形に切り取ったA4のコピー紙

100mm×100mm、200mm×200mm、300mm×300mm

ストップウォッチ

デジタルカメラ

ハイスピードカメラ

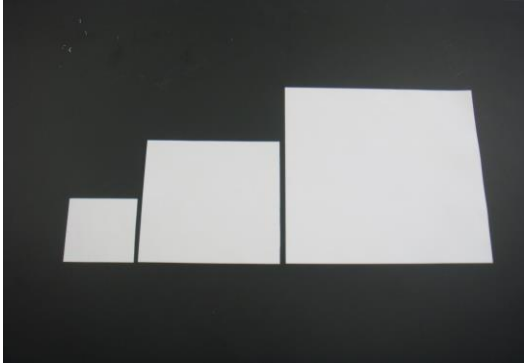


写真1 左から 100mm×100mm、200mm×200mm、300mm×300mm の正方形

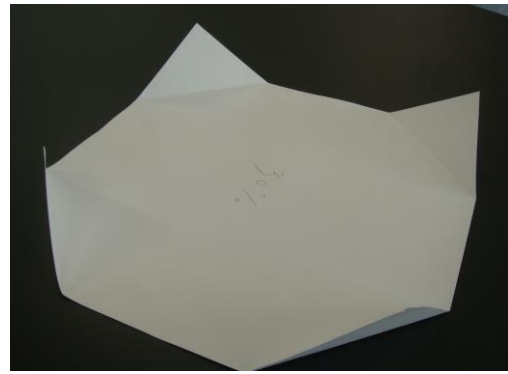
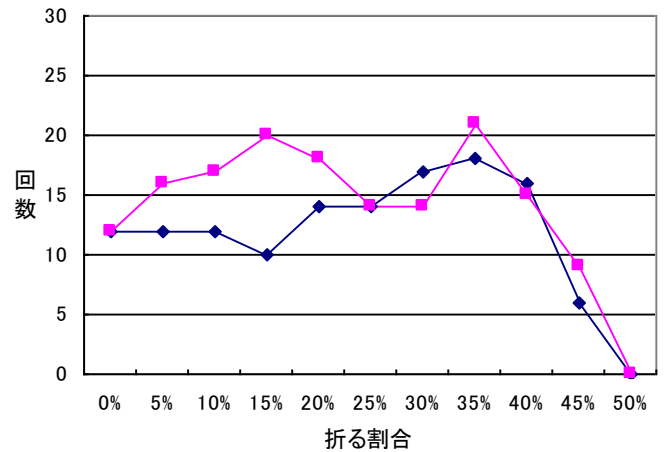


写真2 100mm×100mm の紙の四隅を30%で折った紙

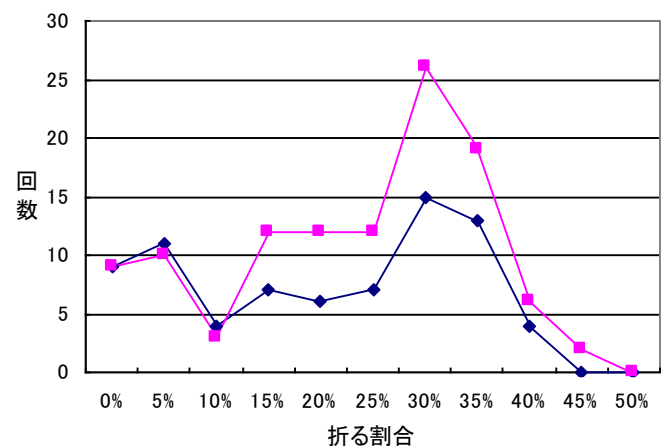
【実験結果】

折る割合と着地状態の関係のグラフ

- ◆ 表向きに落下させたとき
- 裏向きに落下させたとき



グラフ1 100mm×100mm

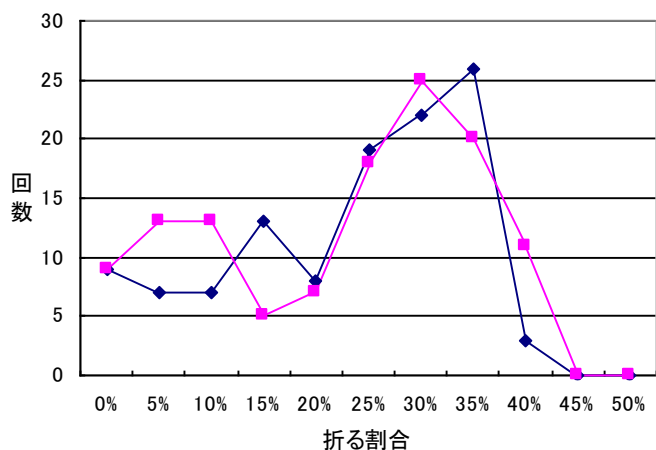


グラフ2 200mm×200mm

【実験方法】

- 100mm×100mm 200mm×200mm 300mm×300mmの正方形を作り、四隅を折る。折りたたむのではなく、折った面がもとの紙に垂直に折る。0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、50%の割合に分けて四隅を折る。この基準は、たとえば写真2のように100mm×100mmの30%であれば一辺を30mmだけ隅を折り込むようにする。この時、折り目が上向きになっている側を表と決める。
- 空気の流れを最小限にするために学校内にあるすべての窓を閉める。
- 学校の吹き抜けを使って、5. 3メートルの高さで床に水平に紙を配置して、紙をそれぞれ垂直に落下させる。人の移動によって空気に流れが生まれるので、人の移動がない時をねらって落下させる。このとき、表向きに落としたときと裏向きに落としたときとの両方のデータを測定する。データはそれぞれ30回ずつ測定する。手で紙を落下させるので、できるだけ多くのデータを採り、誤差を最小限に抑えようと考えた。
- 観察したのは、
 - 落下の様子
 - 落下したときの表・裏
 - 落下するまでの時間の3つの項目である。

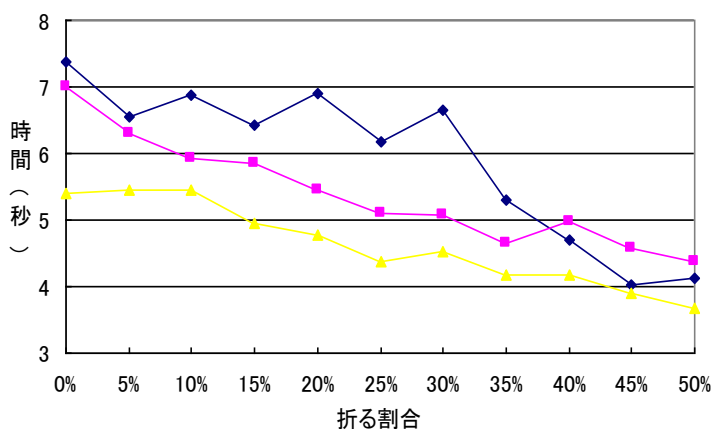
【流体実験による分析】



グラフ3 300mm×300mm

どの大きさの紙も、折る割合が30%付近のところで裏向きに着地した回数が最も多くなっている。

また、どのデータも50%で折り込むとすべて表向きに着地している。



グラフ4 紙の面積と平均落下時間の関係

折る割合を大きくしていくほど、より落下時間は短くなっていることがわかる。また、詳しく見ると紙の大きさが大きいほど、落下にかかる時間が短くなっている。



写真3 実験風景

空中に四隅を30%の割合で折った紙を設置し、扇風機で風を当てる。

結果、紙は回転しながら風が来る方向に向かって表向きになって静止した。このことから、30%で折った紙は風の当たる方向に表向きになって安定するといえ、実験結果を裏付けることができた。

【考察】

実験の結果から実験前の3つの仮説をもとに考察する。

1 紙の面積が大きくなればなるほど、空気抵抗を受けやすく落下にかかる時間は長くなる。

紙が大きくなるにつれて、紙の質量が大きくなり、落下にかかる時間は短くなると言える。これは、面積が大きくなるとその分空気抵抗を受けやすくなるということにはならないことを示している。

2 紙の大きさによって折る割合Kが異なる。

折る割合Kは紙の大きさによって変化せず、常に30%~35%の値になった。このことから、紙の大きさによって折る割合Kの値は変わらず一定であるとわかる。

3 着地するまでにかかる時間は折る割合を大きくするほど短くなる。

滞空時間について、着地するまでにかかる時間は折る割合を大きくするほど短くなった。これは、落下中の横への移動が少ないためにその分かかっていた時間が短縮されたからだと考えられる。

4 折る割合が大きくなっていくと、落下にかかる時間にも影響する可能性がある。

グラフ4を見ると、40%~50%のところで100mm平方が200mm平方のデータを下回っている。普通なら200mm×200mmのほうが100mm×100mmよりも落下時間は短くなるはずだが、折る割合が40%を超えると100mm×100mmのほうが速く落下している。このことから上記のことが考えられる。

【結論】

- ・紙の面積が大きくなるにつれて、落下にかかる時間は短くなる。
- ・紙の大きさを変えても折る割合Kの値は30%~35%の間である。
- ・まっすぐ落下させるのは、50%折りの紙が有効である。
- ・折る割合が40%よりも大きくなると、落下時間にも影響が出る可能性がある。

【感想】

紙の材質や落下させる高さによって結果にどのような違いが出るかを調べてみたい。紙が落下するときの空気の流れの様子を観察したい。それによって、紙が裏向きに着地する謎に深く迫りたい。