

# 紙が滑りやすくなる条件について

班員 柴田 俊太郎、関野 拓也、二口 晃太郎、山口 竜河  
担当教諭 井藤 龍真

キーワード：滑る、揚力、空気

A piece of paper that drops from a desk may slide and move on the floor. An experiment was conducted to research the cause of this phenomenon. The results showed that room temperature and lift force had little relationship to the sliding of paper, but that the angle at which the paper was dropped, the height at which it was dropped, and the type of paper had a great influence on the sliding of paper.

## 1 はじめに

机の上から落ちた紙が床に着地した後に床の上で滑ることがある。私たちは、この現象の紙が床の上で滑っている距離に着目し、実験を行った。

本研究は、この現象が起こる条件、起こりやすくなる条件を解明することを目的としている。

## 2 材料と方法

本実験を行うにあたって「紙が滑っている」の定義を、紙の全ての端が着地した後から床の上を動いている間と定めた。また、紙の全ての端が着地した状態を影がない状態<sup>(図1)</sup>となったときと定めた。



図1 影がない状態



図2 影がある状態

<実験1, 2, 3, 4で使用した材料>

- 紙を落とす角度 $\theta$ <sup>(図3)</sup>を変更するための台
- 実験用紙(コピー用紙)  
実験1, 2, 3, 4ではA4サイズを使用した。  
実験4では15cm四方のサイズを使用した。
- 実験用紙(折り紙)  
15cm四方のサイズを実験4で使用した。

- 実験用紙(厚紙)  
A4のサイズを実験4で使用した。
- A0サイズの方眼用紙(はば1cm)  
紙の中心の座標を求めるために使用した。
- デジタルカメラ  
紙が床に着地する様子を撮影するために使用した。
- スマートフォン  
紙の移動距離を計測するために使用した。

<実験方法>

- 紙を台において方眼用紙を敷いた床に向かって落とした。
- 床と水平な位置からデジタルカメラで紙が床に着地する瞬間を撮影し、方眼用紙の真上からスマートフォンで紙が滑っている状態を撮影した。
- スマートフォンの映像から座標を分析し、紙が滑った距離を求めた。

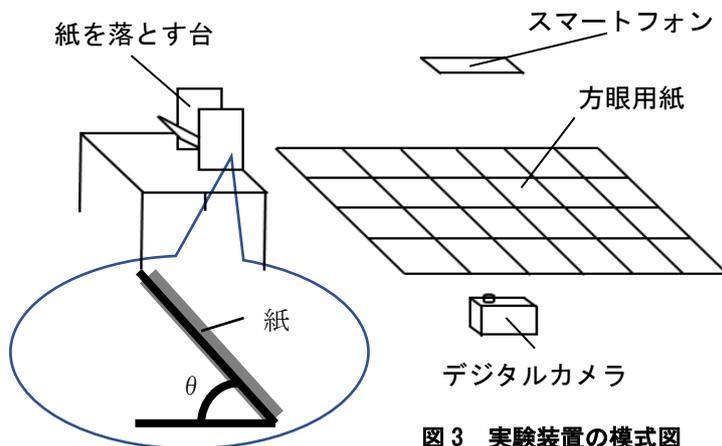


図3 実験装置の模式図

<移動距離の測定方法>

- 1 紙の全ての端が着地した位置を滑る前の位置a、紙が静止した位置を滑った後の位置bとした。
- 2 スマートフォンの映像からaとbの中心の座標をaとbそれぞれの対角上の2点の座標を分析し、求めた。
- 3 滑った距離をaとbの中心間の距離<sup>(図4)</sup>とした。

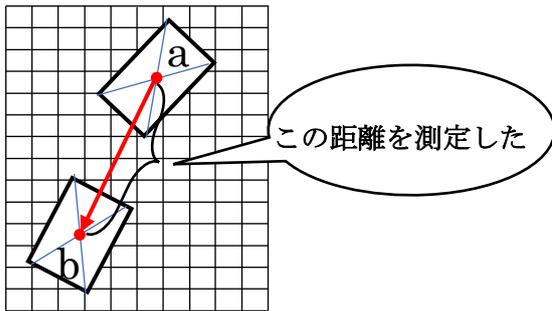


図4 移動距離の測定方法

<実験1>

気温(室温)と平均移動距離の関係を調べた。室温を25℃、28℃、31℃に変更し、実験を行った。

<実験2>

紙を落とす角度と平均移動距離の関係を調べた。紙を落とす角度 $\theta$ を30°、45°、60°、90°に変更し、実験を行った。

<実験3>

紙を落とす高さで平均移動距離の関係を調べた。紙を落とす高さを20.3cm、43.2cmに変更し、実験を行った。

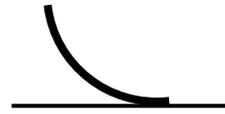
<実験4>

紙の種類と平均移動距離の関係を調べた。紙の種類をA4サイズの厚紙、15cm四方の折り紙、15cm四方のコピー用紙に変更し、実験を行った。

3 結果

紙が床に着地したときの様子をA~Eの5タイプに分類した。

進行方向  
  
 A: 進行方向の1辺が初めに着地



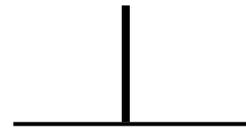
B: 反りながら床に着地  
 (全ての端以外が初めに着地)



C: 進行方向と逆の辺が初めに着地  
 (空中で反りながら床に着地)



D: 床と垂直に着地



E: 紙が床でバウンドしてから着地



図5 5つのタイプ分け

<実験1の結果>

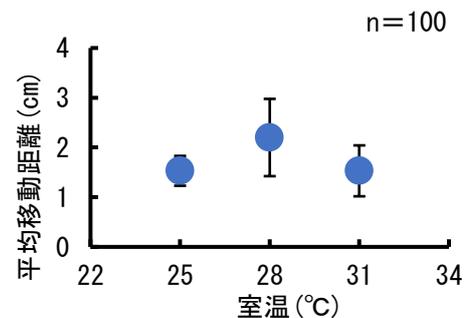


図6 室温と平均移動距離の関係

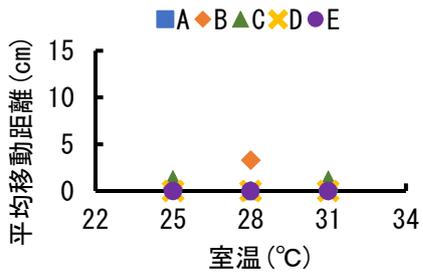


図7 各タイプの平均移動距離

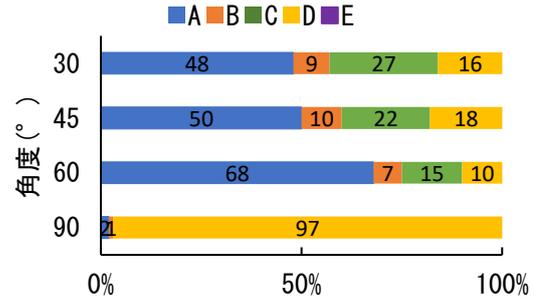


図11 角度の各タイプの割合

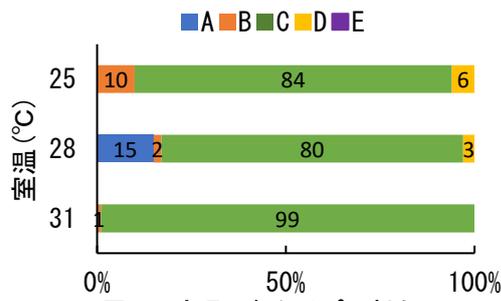


図8 室温の各タイプの割合

室温によって平均移動距離はほとんど変化しなかった。25°C、28°CではAタイプの平均移動距離が最も大きかった。31°CではCタイプが99%、Aタイプが0%であったため、Cタイプの平均移動距離が最も大きくなった。また、どの室温でもCタイプの割合が最も高かった。

<実験3の結果>

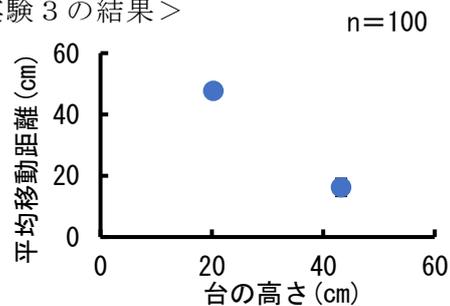


図12 高さとう平均移動距離の関係

<実験2の結果>

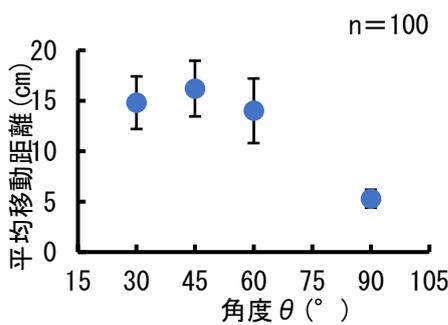


図9 角度とう平均移動距離の関係

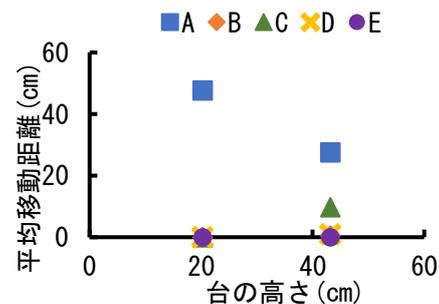


図13 各タイプの平均移動距離

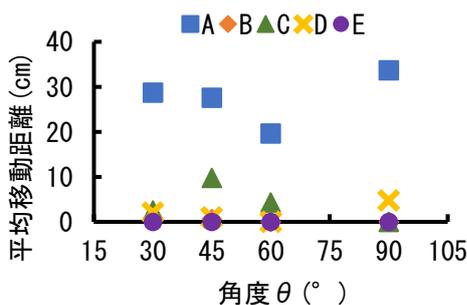


図10 各タイプの平均移動距離

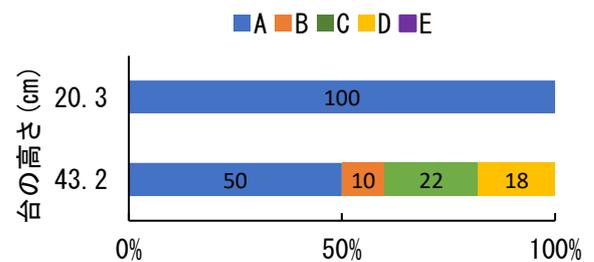


図14 高さとう各タイプの割合

台の高さを低くすると平均移動距離は大きくなった。どちらもAタイプの平均移動距離が

最も大きかった。また、どちらもAタイプの割合が最も高かった。

＜実験4の結果＞

α：A4の厚紙                      β：A4のコピー用紙  
 γ：15cm四方の折り紙          δ：15cm四方のコピー用紙

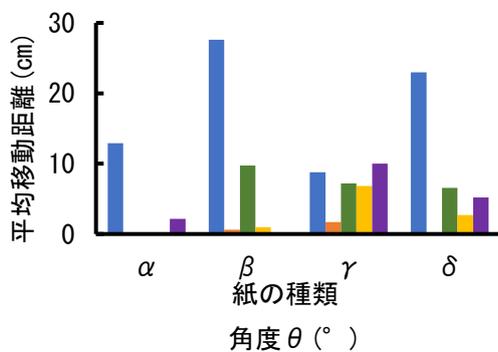
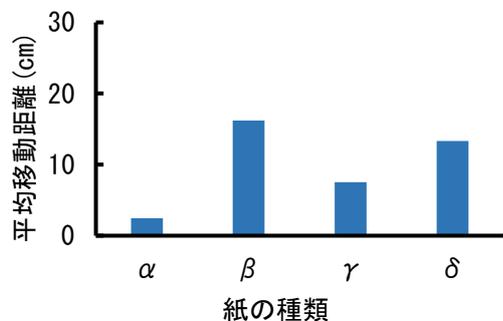


図16 各タイプの平均移動距離

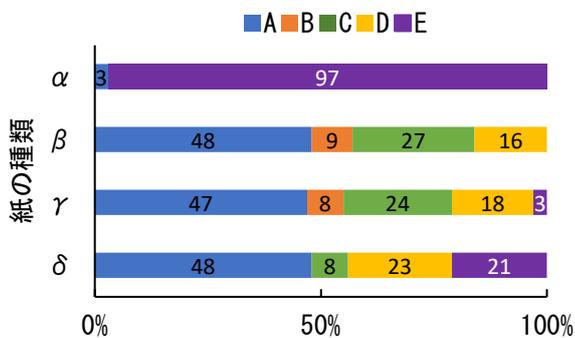


図17 紙の種類の各タイプの割合

A4のコピー用紙の方が厚紙より平均移動距離が大きかった。15cm四方のコピー用紙の方が折り紙より平均移動距離が大きかった。どの紙でもAタイプの平均移動距離が最も大きかった。厚紙はEタイプの割合が最も高く、厚紙以外はAタイプの割合が最も高かった。

#### 4 考察

滑りやすさに室温は影響を与えておらず、紙を落とす角度、紙を落とす高さ、紙の種類は滑

りやすさに影響を与えていた。台の高さを低くするとよく滑るようになった。折り紙やA4の厚紙よりもA4のコピー用紙の方が滑りやすかった。また、私たちは床と紙の間の空気が滑りやすさに影響を与えていると考え、揚力について注目した。揚力は物体を上を押し上げる力である。揚力の大きさは次の式で求められる。

$$\frac{1}{2} \rho V^2 S C_L$$

ρ：流体の密度[kg/m<sup>3</sup>]    V：速度[m/s]  
 S：射影面積[m<sup>2</sup>]            C<sub>L</sub>：揚力係数

本実験では速度以外の値が一定であると考えられるため、揚力の大きさは速さの2乗に比例すると考えられる。紙の速さが最大となるときの移動距離が最大をとると仮定し、図18を作成した。

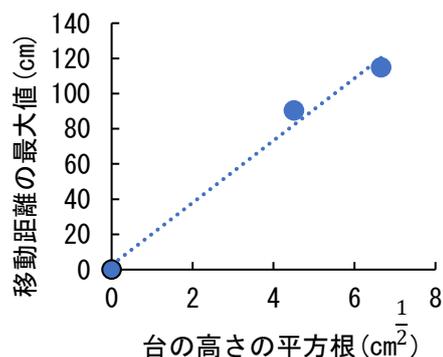


図18 移動距離の最大値と高さの平方根

図18より台の高さの平方根は、紙の速さの最大値と比例すると考えた。速度と移動距離は比例し、速度の2乗(揚力)とは関係しないと考えられる。このことより、滑りやすさに揚力は影響を与えていないと考えた。以上のことから、紙が床の上で滑りやすくなる条件として紙を落とす角度、紙を落とす高さ、紙の種類が考えられる。

#### 5 結論

紙の滑りやすさには紙を落とす角度、紙を落とす高さ、紙の種類が関係している。

#### 6 参考文献

森田泰司.流体の力学計算方法.学校法人東京電機大学東京電機大学出版局,1996,164p