

# くす玉の中の紙片の条件と落下の仕方の関係

3639 和田結佳 3608 小栗あおい 3619 田口春奈

## 要旨

学校行事の文化祭や表彰式等でくす玉を使用したらその場が盛り上がり、またそのくす玉の中の紙片の落ち方を自分たちでコントロールすることができたら演出がより効果的になると思いこの実験をはじめた。よりゆっくり大きく広がりながら落ちる紙片をきれいなものと定義して、正方形の紙片を一枚ずつ落として落下時間、落下距離、総回転数を測定したところ、一辺の長さ 4.0 cmの紙片が一番きれいな落ち方をした。これら紙片の落ち方は、紙片の落下の仕方「ヒラヒラ」と「回転」の、落下速度、距離、その組み合わせが関わっていることが分かった。

## 1.目的

- (1) より大きく広がりながらゆっくり落ちる紙片をきれいな紙片と定義し、その紙片の条件を見つける。
- (2) 紙片の大きさと、総回転数から、紙片の落ち方の原理を知る。
- (3) 自分たちの指定した範囲内に落ちる紙片の条件を見つける。

## 2.実験1

### 2-1.目的

1.5mの高さから落下させたときの紙片の大きさと、落下時間、くす玉の真下から落下点までの距離、回転数の関係を調べる。

### 2-2.仮説

大きな紙片ほどゆっくり落ち、くす玉の真下から落下点までの距離も長くなる(大きく広がる)。

理由:空気抵抗を大きく受けるから。

### 2-3.使用した器具、装置

- ・コピー紙 ・ハサミ ・定規 ・タコ糸 ・棒
- ・ガチャガチャのカプセル
- ・ストップウォッチ ・養生テープ ・カメラ
- ・厚紙(風を遮るため、ドアの隙間に貼る)

### 2-4.研究、実験の手順

- (1)コピー紙で一片の長さが異なる正方形の紙片を作る。(1.0 cm, 1.5 cm, 2.0 cm, 2.5 cm, 3.0 cm, 3.5 cm, 4.0 cm 4.5 cm, 5.0 cm, 5.5 cm, 6.0 cm, 6.5 cm, 7.0 cm) <図1>

- (2)ガチャガチャのカプセルとタコ糸で簡易くす玉を

作る。<図2>

- (3)くす玉の一番下の部分が床から 1.5mになるように棒でつるし、くす玉の真下の床に×印をつける。
- (4)くす玉の中に紙片を一枚入れて落とす。
- (5)床まで落ちる時間と×印からの直線距離、総回転数を測定する。総回転数はカメラのスロー再生撮影を使い、計測する。
- (6)一枚の紙片につき 10 回実験を行い、平均値を出す。

\* 実験はすべてコピー紙を使い、無風の状態で同じ場所で行った。風の影響は無いものとする。

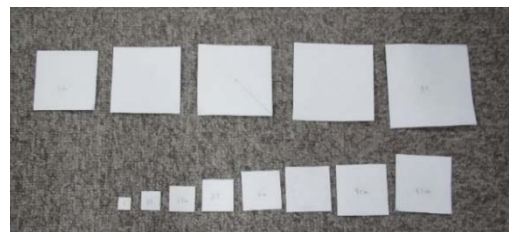


図1 作った紙片



図2 実験装置

## 2-5.結果

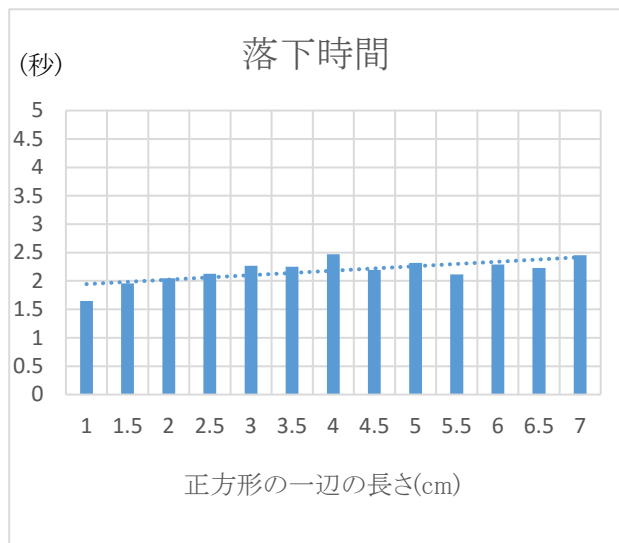


図3 落下時間

- 一辺 4.0 cmの紙片が一番ゆっくり落ちる。
- 大きな紙片ほどゆっくり落ち、グラフは右上がりの傾向がみられる。

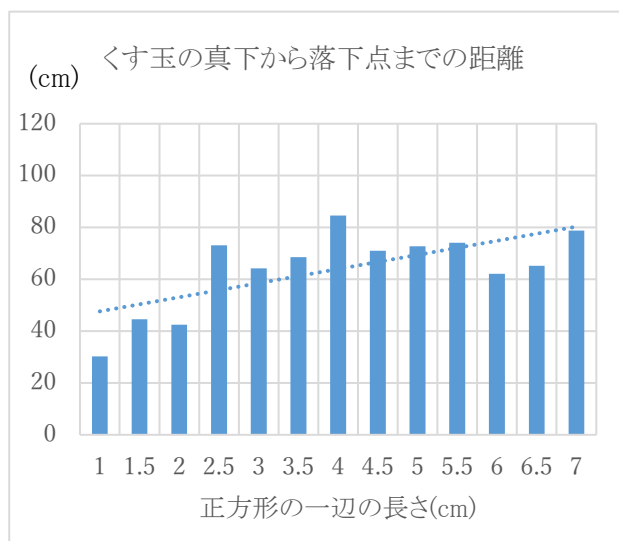


図4 くす玉の真下から落下点までの距離

- 一辺 4.0 cmまでは右上がりの傾向がある。
- 一辺 4.0 cmの紙片の水平移動距離が最も長い。
- 一辺 4.0 cm以降、移動距離は頭打ちになる。

## 2-6.実験1の考察

### (1) 落下時間

- 仮説通り、大きな紙片ほどゆっくり落ちた。大きな紙片ほど空気抵抗が大きいと考えた。

### (2) くす玉の真下から落下点までの距離

- 仮説通り、大きな紙片ほど、くす玉の真下から落下点までの距離は長くなった。落下中の紙片は、水平方向にも移動しており、落下時間が長いほど、水平方向の移動距離が増えるためと考えた。
- グラフの右上がりの傾向は一辺が 4.0 cmの紙片までであり、一辺が 4.0 cmを超えると成り立たない。この理由として、紙片は落下中、必ず回転しており、実験1では注目していなかった総回転数が、この結果に関係していると考えた。

よって、次に、紙片の大きさと総回転数の関係を調べる実験2を行った。

## 3.実験2

### 3-1.目的

紙片の大きさと、総回転数の関係を調べる。

### 3-2.仮説

大きな紙片ほど総回転数は少ない。

理由:紙片断面の、回転軸からの長さが小さく、一回転する時間が短くなるから。

3-3.使用した器具、装置 実験1と同じ。

3-4.研究、実験の手順 実験1と同じ。

### 3-5.結果

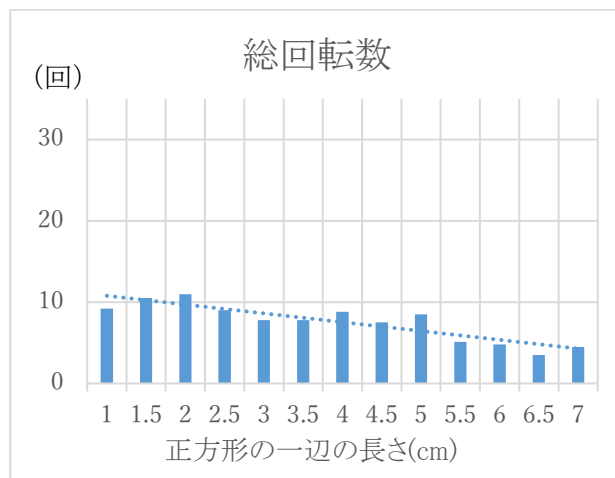


図5 総回転数のグラフ

- 大きな紙片ほど総回転数は少なく、右下がりの傾向がある。一辺 2.0cmの紙片の回転数が最も多い。

### 3-6. 実験2の考察

(1) 仮説通り、大きな紙片ほど総回転数は少ない。

実験1より、一辺が大きいほど落下時間は増すが、実験2より総回転数が減っていく。

これらの条件が組み合わさって全体の落下時間が決まるため、実験1においては、くす玉の真下から落下点までの距離が、一辺4.0cmを境に頭打ちになったのではないかと考えられる。

(2) 紙片の落ち方のパターンは決まっている。〈図6〉

これは実験中に繰り返し観察して気づいたことで、紙片は、

- ①まず、落ち始めると、回転せずに左右に揺れる。これを「ヒラヒラする時間」と呼ぶことにする。
- ②次に、ある時点から紙片が360°回りながら落下する。これを「回転する時間」と呼ぶことにする。
- ③一度紙片が回転始めると、地面に着くまで回転を続ける。

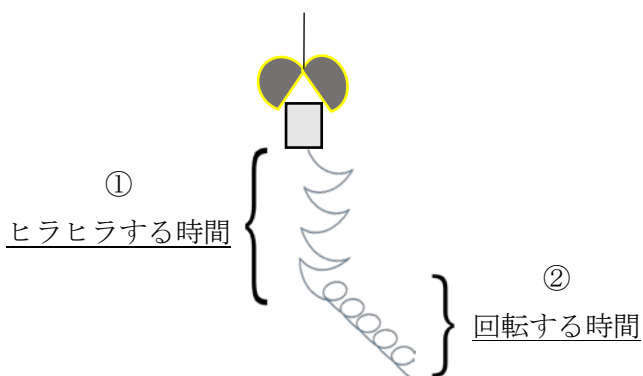


図6 紙片の落ち方

(3) 実験2まで注目していなかった紙片の落ち方が、実験1のような結果が出る原因の一つではないかと考えた。

そこで次は、各紙片の落下中に、「ヒラヒラする時間」と「回転する時間」がどのような値をとるのかを調べる実験3を行うことにした。

### 4. 実験3

#### 4-1. 目的

紙片の大きさと、落下中の「ヒラヒラする時間」および「回転する時間」の関係を調べる。

#### 4-2. 仮説

紙片の一辺が4.0cmより長くなると「ヒラヒラする時間」が増える。

理由：紙片の一辺が大きくなると、ヒラヒラと揺れながら落下する現象が著しくなり、実験1より、全体の落下時間も頭打ちになっているから。

#### 4-3. 使用した器具、装置 実験1と同じ。

#### 4-4. 研究、実験の手順

- (1) 実験1と同様の装置を使い同様の方法で13種類の紙片を10回ずつ落下させる。
- (2) 落下時間を「ヒラヒラする時間」と「回転する時間」に分けて測定する。
- (3) くす玉の真下から落下点までの距離を、実験1と同様に測定する。
- (4) 10回分の平均値を出し、グラフにまとめる。

#### 4-5. 結果

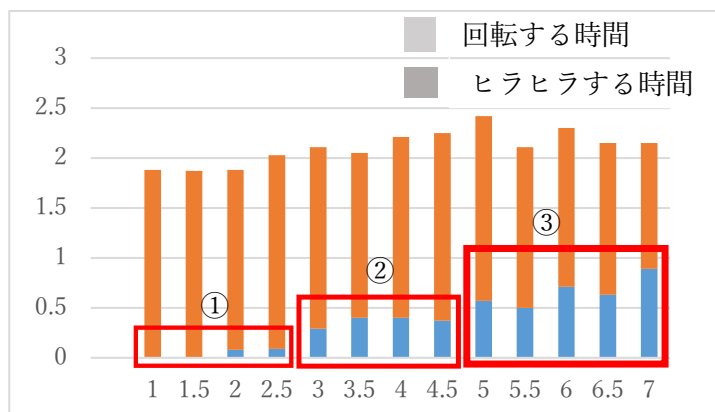


図7 実験3の結果

- (1) 一辺が1.5cmまでは、ほぼ始めから回転する。
- (2) 「ヒラヒラする時間」はグラフ中で右上がりの傾向が認められるが、〈図7〉をよく見ると、
  - ①「ほとんどヒラヒラしないグループ」
  - ②「少しだけヒラヒラするグループ」
  - ③「たくさんヒラヒラするグループ」
 に分かれているとも考えられる。
- (3) そこで、このグループ分けに従って、実験1のデータを見直した。以下にその考察を記す。

4-6. 実験3の考察： 実験1のデータの見直し

(1) 落下時間

見直し前： 右上がりの傾向。

見直し後： 4.0 cmから頭打ちになっている。

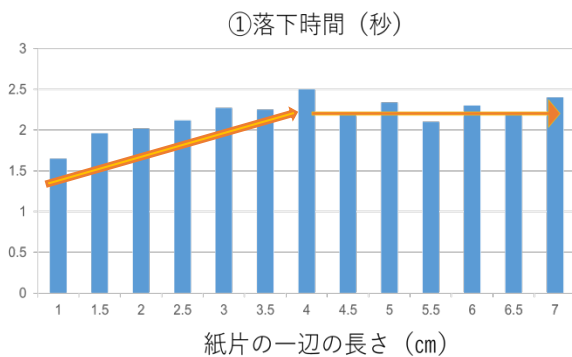
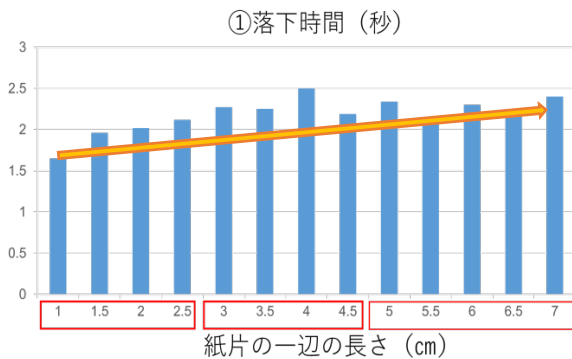


図8 落下時間

(2) くす玉の真下から落下点までの距離

見直し前： 4.0 cmで頭打ちになる。

見直し後： 3つのグループに分かれている。

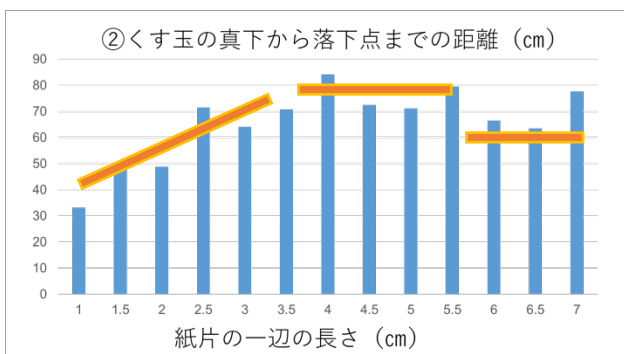
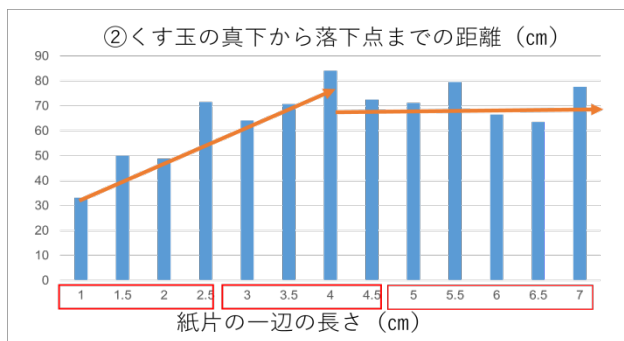


図9 くす玉の真下から落下点までの距離

(3) 総回転数

見直し前： 右下がりの傾向。

見直し後： 3つのグループに分かれている。

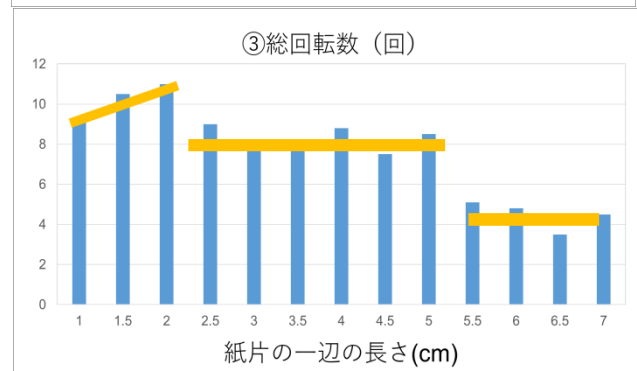
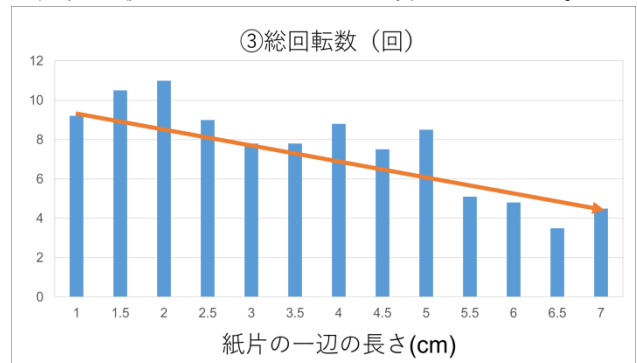


図10 総回転数

4-7. 新たな疑問

(1) 「落下時間」が、一辺4.0 cmより大きな紙片で頭打ちになるのはなぜか。

(2) 「くす玉の真下から落下点までの距離」と「総回転数」が、紙片の大きさによって3つにグループ分けできるのはなぜか。

実験3によってここまでの実験データを見直した結果、紙片の落ち方の原理に迫る疑問を見つけることができた。

この2つの(3つの)疑問を順に解き明かしていけば、私たちの知りたい紙片の落下に関わる原理を明らかにし、当初の目的である「くす玉の中の紙片の落ち方を自分たちでコントロールすること」に近づけると考えた。

よって次に、上記の新たな疑問のうち、まずは「落下時間が一辺4.0 cmより大きな紙片で頭打ちになる原理を調べるため、実験4を行った。

## 5. 実験 4

### 5-1. 目的

落下時間が頭打ちになる原理を明らかにする。

### 5-2. 仮説

4.0 cm以降は「ヒラヒラする時間」が増える。「ヒラヒラする時間」の間、紙片は、「回転する時間」より速く落下するため、落下時間が頭打ちになる。

理由：大きな紙片ほど空気抵抗を多く受けて紙片が上に持ち上げられる力が加わるため回転しにくい。しかし、紙片が回転しないときの運動は、空気中を横滑りし、かえって落下時間は速くなるから。

### 5-3. 使用した器具装置

実験 1 と同じ。

### 5-4. 実験方法

- (1) 実験 2 と同様の実験を、試行回数を 20 回に増やして行った。
- (2) 実験 2 に加え、紙片が回転し始める高さを測定する。これによって紙片が同じ高さを落下するとき「ヒラヒラしながら落下する」ときと「回転しながら落下する」とき、どちらが速く落下するかを調べる。
- (3) 今回は一辺 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm の紙片で測定する。

(3つのグループから2つずつの大きさを抽出)

### 5-5. 結果

- (1) 紙片が回転を始める高さ

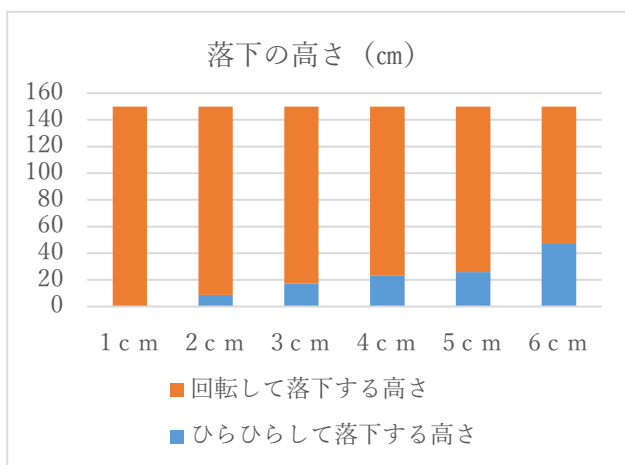


図 11 回転を始める高さ

- ・大きい紙片ほど、回転を始める高さが低い。

- (2) ヒラヒラする時間と回転する時間

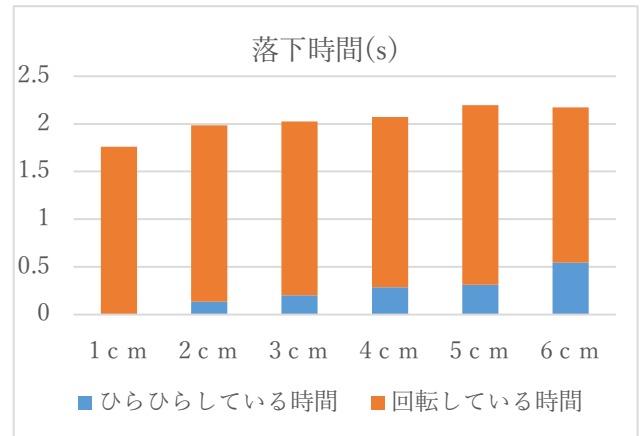
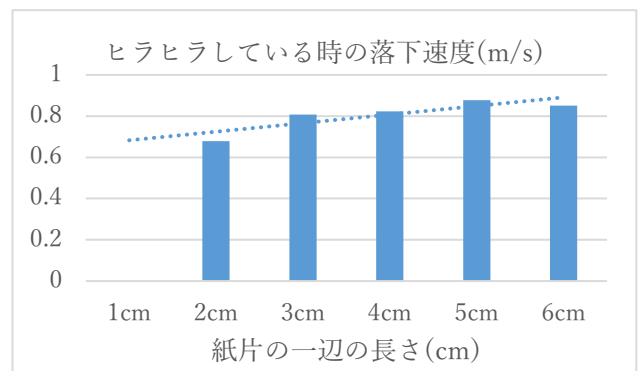


図 12 ヒラヒラ時間と回転時間の比較

- ・紙片が大きいほどヒラヒラしている時間が長い。

- (3) ヒラヒラしている時および回転している時の落下速度の算出

図 11, 12 のデータを用いて、ヒラヒラしている時の落下速度と回転中の落下速度を求めた。



- (1. 0cm の紙片はヒラヒラせず直ちに回転した)

図 13 ヒラヒラする紙片の落下速度

- ・大きい紙片ほど、落下速度が速い。

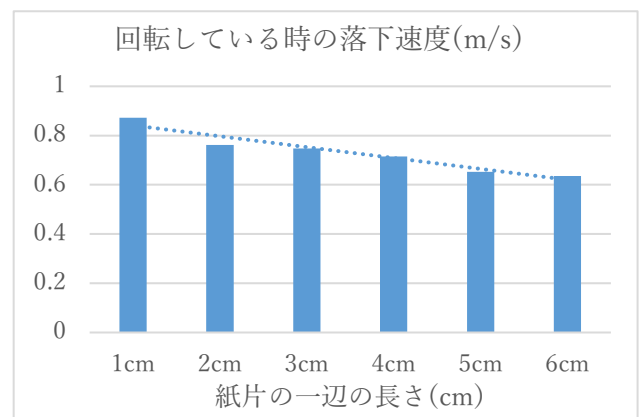


図 14 回転する紙片の落下速度

- ・大きい紙片ほど、落下速度が遅い。

- (4) 落下の仕方による紙片の落下速度の比較

(図 13, 14 をまとめたもの)

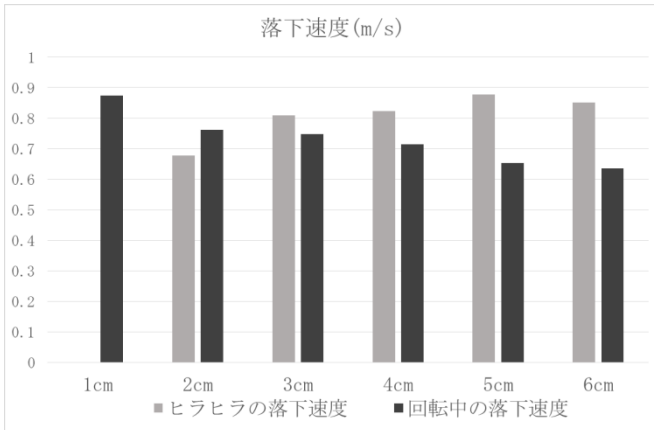


図 15 紙片の落下速度

・3.0cm から、ヒラヒラ落下する速度が速くなる。

#### 5-6. 実験 4 の考察

(1) 仮説通り、大きな紙片ほど「ヒラヒラする時間」が長い。(図 12)

(2) 仮説通り、紙片は「ヒラヒラする時間」の方が「回転する時間」より速く落下する。(図 15)

(3) 落下時間が頭打ちになる原理

ここまでの実験をふまえ、以下のように考えた。

① 全ての大きさの紙片が、落下開始後直ちに回転を始めたなら、大きな紙片ほど落下時間全体は長くなるはずである。(図 14 より)

② ところが、紙片が大きくなるにつれ、落下後に紙片が左右に揺れる現象が生じる。

この「ヒラヒラする時間」は、紙片が大きいほど長く(図 12)、この間の落下距離も長くなる(図 11)。

③ 従って、実験 1 で 4.0cm までグラフが右上がりになるのは、ヒラヒラする時間があまりないため全体の落下時間には影響を与えず、小さい紙片ほど回転している時の落下速度が大きくなる(図 14)からである。

④ そして落下時間が頭打ちになるのは、ヒラヒラしながら落下する距離が 4.0cm 以降は長くなり続け(図 11)、なおかつその落下速度は、回転している時の落下速度を超えて大きくなり続けるため(図 15)、落下速度全体が、ほぼ一定となるからである。(図 8)

#### 6. 結論

実験 1 から実験 4 から、目的であったくす玉を作るために、現段階では以下のことがいえる。

(1) 紙片が「よりゆっくり」落下するくす玉を作るには、4.0 cm 四方以上の紙片を使うとよい。

理由：正方形の紙片を使用する場合、4.0cm 四方より大きければ、落下時間はほぼ一定であるから。

原理：実験 4 の考察(3)の通り。

(2) 紙片が「大きく広がる」くす玉を作るには、4.0 cm 四方以上 5.5cm 四方までの紙片を使うとよい。

理由：実験 1、実験 3 の結果より。

原理：現段階ではまだ解明できたとはいえない。

(3) 自分たちの指定した範囲内に落ちるくす玉の紙片の条件は、実験 1、実験 3 の結果を基に、4.0 cm 四方以上の紙片を入れたものについては、その紙片の落ちる範囲を指定することができる。

理由：実験 3 図 9 より、紙片の大きさによって、くす玉の真下から落下点までの距離は決まっていると考えられる。しかし、この条件についてはさらに詳しい実験が必要。

原理：現段階ではまだ解明できていない。また、くす玉を設置する高さの条件も関わってくると考えている。

#### 7. 今後の展望

今回の実験を通して、生じた疑問の一つを解明し、紙片の落下モデル確立できた。同様な探究を続けて、以下の疑問もその原理を明らかにしたい。

① くす玉の真下から落下点までの距離が 3 つのグループに分けられるのはなぜか。

② 総回転数と紙片の大きさの関係が 3 つのグループに分けられるのはなぜか。

#### 8. 参考文献

小栗あおい 「ヒラヒラ舞え！紙ふぶき」  
第 55 回岐阜県児童科学作品展集録

科学の芽 第 38 集 2011 年