

# 空気抵抗は何に関係するのか

## 課題研究3班

### 目的と動機

学校の教科書には「小さな球形の粒子が流体中を落下するとき、粒子にはたらく抵抗力の大きさ $f[N]$ は速さ $v[m/s]$ に比例し、次のようにあらわされることが知られている $f=kv$ ( $k$ は比例定数)」(東京書籍 改訂物理)とあり、落下時の空気抵抗は速度に比例すると書いていたが、参考文献を調べていくと、空気抵抗の大きさは速度の二乗に比例する場合があると知った。そこで、実際の球体の落下時にはどちらの空気抵抗が適用されるのかを確かめ、その結果から、適用されるのに条件等があれば調べたいと思い、実験することにした。

### キーワード

#### 粘性抵抗

$$f=6\pi r\eta v=k_1v$$

( $r$ : 球体の半径[m]  $\eta$ : 粘性係数[kg/m・s]  $v$ : 球体の速度[m/s])

#### 慣性抵抗

$$f=\pi\rho r^2v^2/4=k_2v^2$$

( $\rho$ : 空気の密度[kg/m<sup>3</sup>]  $r$ : 球体の半径[m]  $v$ : 球体の速度[m/s])

### 仮説

- ・表面積の大きいものでは速度に比例し(粘性抵抗が優勢になり)、それ以外では速度の2乗に比例する(慣性抵抗が優勢になる)
- ・スポーツで用いる滑らかでないボールであれば空気抵抗は小さくなり、それ以外の表面が滑らかでない球体であれば空気抵抗は大きくなる

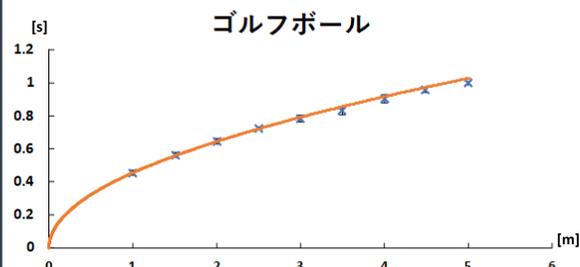
### 実験

#### 〈準備物〉

ボール(5種)、メジャー、ストップウォッチ、スマートフォン(スローモーション機能用※240fps)

#### 〈実験方法〉

- ①ボールの落ち始めから落ち終わりまでを1.0~5.0m間で0.5mずつスローカメラで撮影する。  
本実験で使用したボールは以下の5種である。  
(A)発泡スチロール球(直径7.90cm,質量4.85g)  
(B)ピンポン玉(直径3.85cm,質量2.38g)  
(C)ゴルフボール(直径4.267cm,質量45.83g)  
(D)バスケットボール(直径24.5cm,質量580g)  
(E)ソフトテニスボール(直径6.6cm,質量29.88g)
- ②実験から得たそれぞれの距離での秒数から速度を求める。  
(発泡スチロール: 偏差3.00未満,  
その他のボール: 偏差2.00未満)
- ③Excelで $a=g-k_1/m \cdot v-k_2/m \cdot v^2-\rho Vg/m$ ( $\rho$ は空気密度, $V$ は物体の体積, $k_1$ は粘性抵抗, $k_2$ は慣性抵抗)フィッティングし、グラフ作成する。



### 参考文献

- ・改訂 物理,著者:三浦登ほか15名,発行者:東京書籍株式会社,発行日:令和2年2月10日
- ・高校物理における空気抵抗の正しい理解-風洞実験、理論解析、落下実験とデータ解析を通して-,増井壮太ほか4名,次世代教員養成紀要37-42,2019

### まとめ

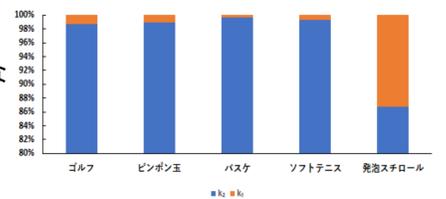
- ・今回使用したボール程度の大きさの滑らかな球体で、速さが大きいとき、粘性抵抗はほぼ無視できる。
- ・ボール表面により粘性抵抗、慣性抵抗どちらも大きな影響を受ける。
- \*今回は発泡スチロール,ゴルフボール,バスケットボール

### 実験結果

1.発泡スチロールの粘性抵抗が他と比べて $k_1$ (粘性抵抗の比例定数)が大きくなっている(図1より)

(図1) \* 下端が80%

$k_1, k_2$ の割合( $k_1, k_2$ は粘性抵抗,慣性抵抗の比例定数)

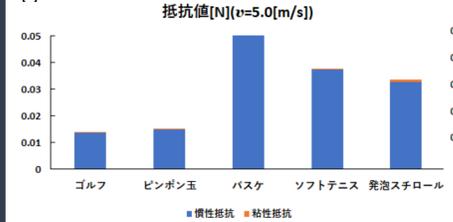


2.ソフトテニスボールが発泡スチロールより半径が小さいが抵抗が大きくなった(図2,実験方法①(A)(E)より)

3.ゴルフボールの方がピンポン玉より半径が大きいが抵抗が小さくなった(図2,実験方法①(B)(C)より)

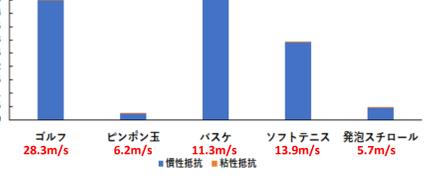
4.バスケットボールは他と比べて抵抗がとても大きくなっている(図2,3,実験方法①(D)より)

(図2)



(図3)

抵抗値[N](終端速度到達時)



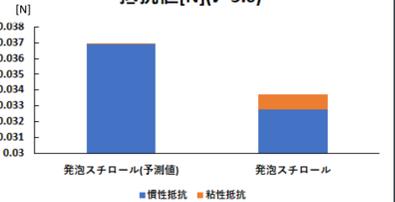
### 考察

結果1,2について(図1,2,4,5より)

- ・発泡スチロール表面が滑らかでなく空洞などもあるため、空気と触れる面積が大きくなり、粘性抵抗の値が大きくなった
- ・フィッティング時のずれとソフトテニスボールの性質から落下中に受ける抵抗でわずかに形が変形したため、ソフトテニスボールの実験値のほうが大きくなった

(図4) \* 下端が0.03

抵抗値[N](v=5.0)

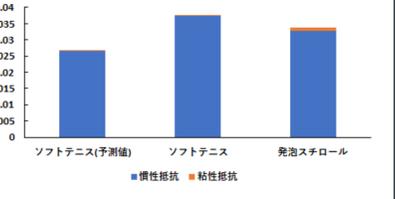


結果3について(図2,6より)

- ・ゴルフボール表面のディンプルと呼ばれる凹凸により終端速度が大きくなったため

(図5)

抵抗値[N](v=5.0)

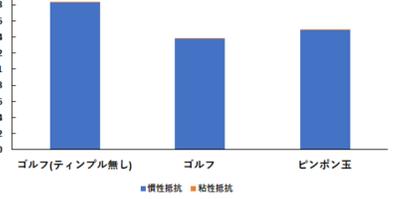


結果4について(図2,3,7より)

- ・バスケットボール表面により慣性抵抗が大きくなった
- ・測定値のずれ

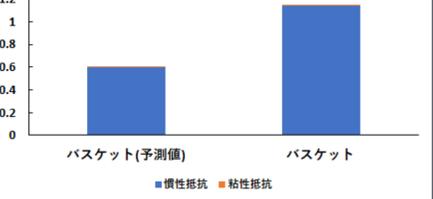
(図6)

抵抗値[N](v=5.0)



(図7)

抵抗値[N](v=5.0)



### 今後の課題

- ・図2について、ディンプルと同様の働きを発泡スチロール表面の凹凸が行ったのか確かめる
- ・バスケットボールの表面が抵抗に影響を及ぼしているのか他の同様の条件(半径,ボール表面\*今回なら皮など)のボールを用いて確かめる
- ・半径と抵抗の関係性をボール表面の種類ごとに調べる