

## 水中における物体の終端速度の測定

### (1) 実験の目的

本実験では、次のことを目的として、実験を実施する。

- ・水中における物体の終端速度を実験によって測定する。
- ・物体の質量や大きさや形を変えるとどのように終端速度が変化するか調べる。
- ・終端速度の定義は、「改訂版 物理 数研出版」より、「空気中を落下する球が、速度が増すと空気から受ける抵抗力が大きくなっていき、最終的に抵抗力が重力とつり合うと、一定の速度で落下する。この速度を終端速度という。」である。この定義から水中における終端速度について考えると、空気中では無視できた浮力について考える必要はあるが、重力と、水からの抵抗力と浮力の合計がつりあうときの一定の落下速度が水中における終端速度であり、そこから、水から受ける抵抗力が少なく受ける重力が大きいほど終端速度が大きくなるのではないかという仮説を立てた。この仮説が正しいか実験を通じて確かめる。

### (2) 実験方法

#### [a]実験の概要

- ・本実験は次のような手順で行った。一質量、大きさ、形の違う球体の試料を作成し、その試料を実験装置に入れて、水中における落下の様子をデジタルカメラで撮影し、実験データをコンピューターで解析する。
- ・実験の試料として、2つの大きさの球体を使用した。それらの球体の質量を等しくしても受ける浮力が変わり、大きさの変化のみの影響による、終端速度の変化の考察ができないと考えた。そこで、試料は、質量ではなく密度を基準とした。
- ・試料に糸を付け、その糸をクランプで挟むことで試料を固定し、クランプのねじを回して緩め試料を落下させることで、落下時のぶれを少なくした。

#### [b]実験装置の準備方法

図 1 に実験装置の様子を示す。アクリル製の筒（長さ 1000mm、外径 80mm、厚さ 3mm）の底にアクリル平板（縦 300mm、横 300mm）を接着剤（アクリルサンデー、バスボンド）で接着し、筒の中に水を全体の 9 割ほど入れ、水槽とする。水槽の横にクランプで固定したメジャー、水槽の後ろに、試料の糸を固定する用のクランプを置く。また、水槽の後ろには、実験の観察がしやすいようにホワイトボードを置き、実験装置約 30cm 手前には、クランプで固定したカメラ（iPhone7）を準備した。

### [c]測定方法

運動の様子を、iPhone7 のデジタルビデオカメラを用いて、フレームレートは 240fps で撮影した。その実験の動画は、動画解析ソフト「Kinovea」を用いて、経過時間と移動距離を解析した。また、1つの試料につき 3回計測を行い、経過時間と移動距離から出したそれぞれの時間の速度の平均をとり、実験データとした。

### [d]実験条件

大きさの違う球体として、ピンポン球（卓球の公式球、直径 40mm）とガチャガチャのカプセル（くら寿司のビックらぼんのカプセル、直径 48mm）を用意した。ピンポン球は電動ドリルで穴をあけ、フレーク状の鉄粉の中に入れて質量を調整しグルーガンとセロテープで穴をふさいだ。そしてそれぞれの大きさで密度  $1.1\text{g/cm}^3$ 、 $1.2\text{g/cm}^3$ 、 $1.3\text{g/cm}^3$  の球を用意した。また、形の違う試料として、密度  $1.1\text{g/cm}^3$  で、ピンポン球の上に円錐形に形成したおゆまる（ヒノデワシ プラスチックねんど おゆまる 300）をグルーガンで接着した流線型の試料も用意し、計 7つの試料を用意した。また、それぞれ試料にはたこ糸（約 80mm）をグルーガンで接着した。（図 2，表 1）

## （3）実験結果

大きさは同じで、密度が違う実験データを比較すると、ピンポン玉でも、カプセルでも、密度が大きいほど終端速度が速くなった（グラフ 1，グラフ 2，表 3，表 4）。また、同じ  $1.1\text{g/cm}^3$  の密度で、形の違う試料の実験データを比較すると、流線形、ピンポン球、カプセルの順で終端速度が速くなった。（グラフ 3，表 5）また、各グラフのうち、実験データが横方向に集まっているところをそれぞれのグラフの色と同じ色の楕円で囲んだ。楕円部分をその試料の水中の終端速度だとすると、それぞれの試料の終端速度は表 2 のようになると考えられる。

## （4）考察

実験結果より、同じ形なら密度が大きいほど試料が受ける重力が大きくなって終端速度は速くなり、また密度が同じなら、大きさが小さく、流線型のような水を受け流しやすい形のほうが、水から受ける抵抗力が小さくなり、終端速度が速くなったと考えられる。それぞれの試料の終端速度を比べると、密度  $1.3\text{g/cm}^3$ 、 $1.2\text{g/cm}^3$  の試料の終端速度と、密度  $1.1\text{g/cm}^3$  の試料の終端速度の比率はピンポン球でもカプセルでもほぼ同じであり、そこから、形が同じで大きさが違う物体同士なら、それらの物体の密度の変化による、終端速度の変化の割合はほぼ変わらないといえる。また、実験の後半のデータで、大きく誤差が出てしまうことがあったが、これは、今回の実験に

使用した水槽の内径が試料に比べて十分大きくなく、試料が水中を落下しているときに、試料が壁にぶつかってしまったためだと考えられる。

(5) 結論

ピンポン球(直径 40mm)とカプセル(直径 48mm)の形で、密度  $1.1\text{g/cm}^3$ 、 $1.2\text{g/cm}^3$ 、 $1.3\text{g/cm}^3$  の物体と、ピンポン球を利用した流線形で密度  $1.1\text{g/cm}^3$  の物体の終端速度は、表 2 のようになる。終端速度は、密度が大きいほど、また水から受ける抵抗力が小さいほど終端速度が速くなり、物体の大きさが違っても形が同じなら、密度の変化による終端速度の変化の割合はほぼ等しい。

(6) 参考文献 3

「改訂版 物理 数研出版」



図 1 実験装置



図 2 試料

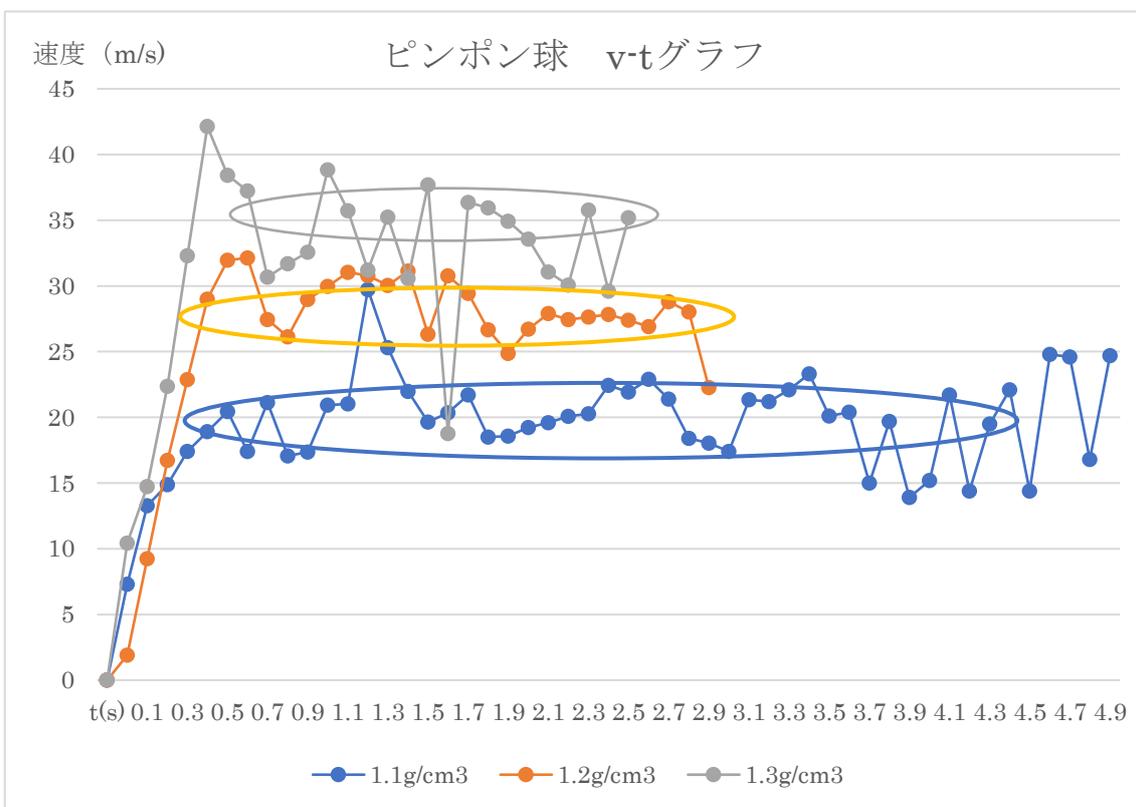
表 1 試料の質量・体積

	ピンポン玉	カプセル
$1.1\text{g/cm}^3$	36.8g	63.6g
$1.2\text{g/cm}^3$	40.2g	69.4g
$1.3\text{g/cm}^3$	43.5g	75.2g
流線形	43,78g	
(ピンポン球体積 $33.5\text{cm}^3$ )		
(カプセル体積 $57.9\text{cm}^3$ )		
(流線型体積 $39.8\text{cm}^3$ )		

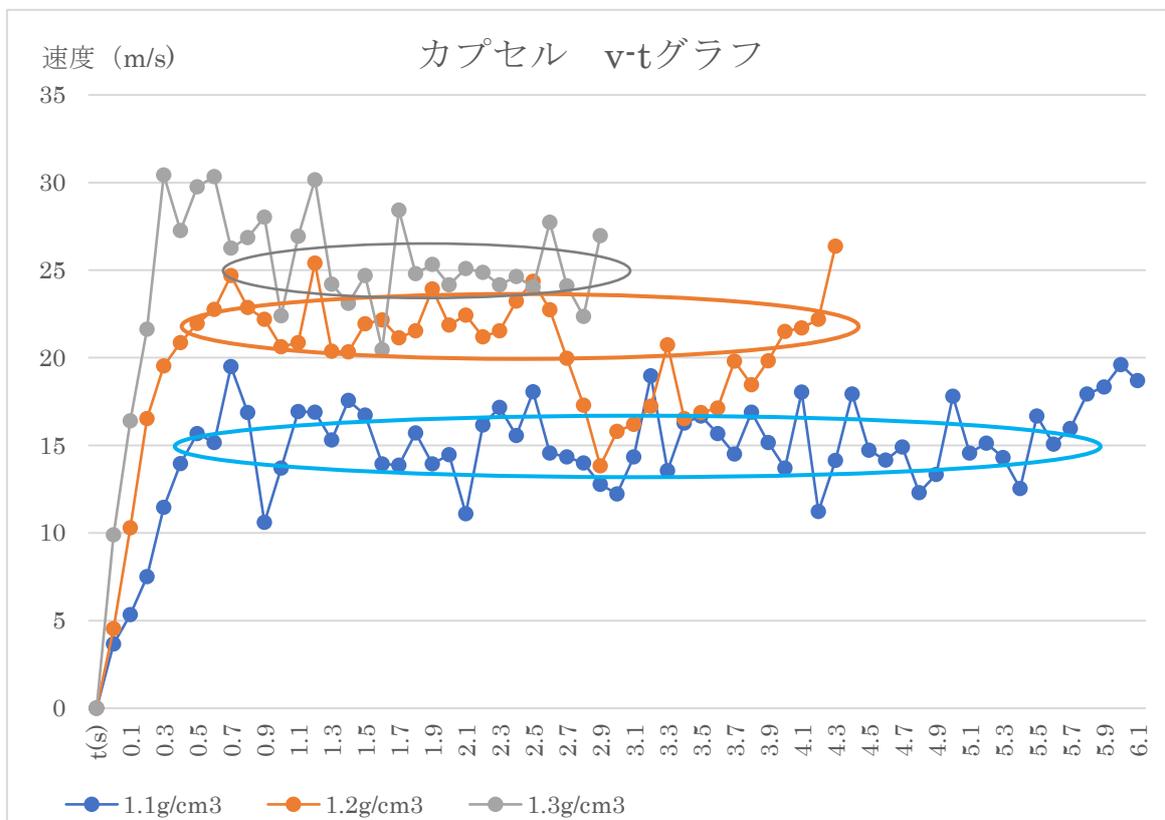
表 2 試料の終端速度

	ピンポン玉	カプセル		
1.1g/cm <sup>3</sup>	20	15	約1.4倍	約1.7倍
1.2g/cm <sup>3</sup>	28	22		
1.3g/cm <sup>3</sup>	35	25		
流線形	24			
単位(m/s)				

グラフ 1 速度と時間の関係 (ピンポン球の試料)



グラフ 2 速度と時間の関係 (カプセルの試料)



グラフ 3 速度と時間の関係 (密度 1.1g/cm<sup>3</sup> の試料)

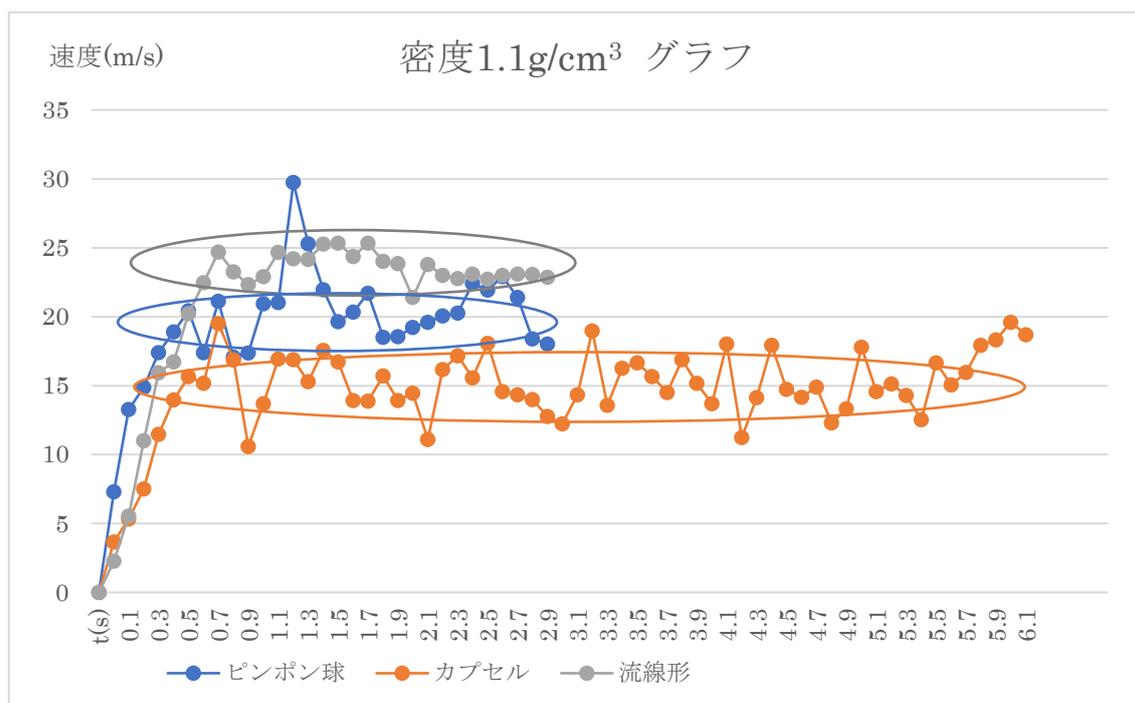


表3 ピンボン球試料測定データ

経過時間 t(s)	1.1g/cm <sup>3</sup> v(cm/s)	1.2g/cm <sup>3</sup> v(cm/s)	1.3g/cm <sup>3</sup> v(cm/s)
0	7.3	1.9	10.4
0.1	13.3	9.2	14.7
0.2	14.9	16.7	22.4
0.3	17.4	22.9	32.3
0.4	18.9	29.0	42.1
0.5	20.4	32.0	38.4
0.6	17.4	32.1	37.2
0.7	21.1	27.4	30.7
0.8	17.1	26.1	31.7
0.9	17.4	29.0	32.6
1	20.9	30.0	38.8
1.1	21.0	31.0	35.7
1.2	29.7	30.8	31.2
1.3	25.3	30.0	35.2
1.4	22.0	31.1	30.6
1.5	19.6	26.3	37.7
1.6	20.3	30.8	18.8
1.7	21.7	29.4	36.4
1.8	18.5	26.7	35.9
1.9	18.6	24.9	34.9
2	19.2	26.7	33.6
2.1	19.6	27.9	31.1
2.2	20.1	27.4	30.1
2.3	20.3	27.6	35.8
2.4	22.4	27.8	29.6
2.5	21.9	27.4	35.2
2.6	22.9	26.9	
2.7	21.4	28.8	
2.8	18.4	28.0	
2.9	18.0	22.3	
3	17.4		
3.1	21.4		
3.2	21.2		
3.3	22.1		
3.4	23.3		
3.5	20.1		
3.6	20.4		
3.7	15.0		
3.8	19.7		
3.9	13.9		
4	15.2		
4.1	21.7		
4.2	14.4		
4.3	19.5		
4.4	22.1		
4.5	14.4		
4.6	24.8		
4.7	24.6		
4.8	16.8		
4.9	24.7		

表4 カプセル試料測定データ

経過時間 t(s)	1.1g/cm <sup>3</sup> v(cm/s)	1.2g/cm <sup>3</sup> v(cm/s)	1.3g/cm <sup>3</sup> v(cm/s)
0	3.7	4.5	9.9
0.1	5.3	10.3	16.4
0.2	7.5	16.5	21.6
0.3	11.5	19.5	30.4
0.4	14.0	20.9	27.3
0.5	15.7	22.0	29.8
0.6	15.2	22.8	30.3
0.7	19.5	24.7	26.3
0.8	16.9	22.9	26.9
0.9	10.6	22.2	28.0
1	13.7	20.6	22.4
1.1	16.9	20.9	26.9
1.2	16.9	25.4	30.2
1.3	15.3	20.4	24.2
1.4	17.6	20.3	23.1
1.5	16.7	21.9	24.7
1.6	13.9	22.2	20.5
1.7	13.9	21.1	28.4
1.8	15.7	21.5	24.8
1.9	13.9	23.9	25.3
2	14.5	21.9	24.2
2.1	11.1	22.4	25.1
2.2	16.2	21.2	24.9
2.3	17.2	21.5	24.2
2.4	15.6	23.2	24.6
2.5	18.1	24.4	24.0
2.6	14.6	22.7	27.7
2.7	14.3	20.0	24.1
2.8	14.0	17.3	22.4
2.9	12.8	13.8	27.0
3	12.2	15.8	
3.1	14.3	16.2	
3.2	19.0	17.2	
3.3	13.6	20.7	
3.4	16.3	16.5	
3.5	16.7	16.9	
3.6	15.7	17.1	
3.7	14.5	19.8	
3.8	16.9	18.5	
3.9	15.2	19.8	
4	13.7	21.5	
4.1	18.0	21.7	
4.2	11.2	22.2	
4.3	14.1	26.4	
4.4	17.9		
4.5	14.7		
4.6	14.2		
4.7	14.9		
4.8	12.3		
4.9	13.3		
5	17.8		
5.1	14.6		
5.2	15.1		
5.3	14.3		
5.4	12.5		
5.5	16.7		
5.6	15.1		
5.7	16.0		
5.8	17.9		
5.9	18.3		
6	19.6		
6.1	18.7		

表5 密度 1.1g/cm<sup>3</sup>試料測定データ

経過時間 t(s)	ピンボン球 v(cm/s)	カプセル v(cm/s)	流線形 v(cm/s)
0	7.3	3.7	2.3
0.1	13.3	5.3	5.5
0.2	14.9	7.5	11.0
0.3	17.4	11.5	15.9
0.4	18.9	14.0	16.7
0.5	20.4	15.7	20.2
0.6	17.4	15.2	22.5
0.7	21.1	19.5	24.7
0.8	17.1	16.9	23.3
0.9	17.4	10.6	22.3
1	20.9	13.7	22.9
1.1	21.0	16.9	24.7
1.2	29.7	16.9	24.2
1.3	25.3	15.3	24.2
1.4	22.0	17.6	25.3
1.5	19.6	16.7	25.3
1.6	20.3	13.9	24.4
1.7	21.7	13.9	25.3
1.8	18.5	15.7	24.0
1.9	18.6	13.9	23.9
2	19.2	14.5	21.4
2.1	19.6	11.1	23.8
2.2	20.1	16.2	23.0
2.3	20.3	17.2	22.8
2.4	22.4	15.6	23.1
2.5	21.9	18.1	22.7
2.6	22.9	14.6	23.0
2.7	21.4	14.3	23.1
2.8	18.4	14.0	23.1
2.9	18.0	12.8	22.9
3		12.2	
3.1		14.3	
3.2		19.0	
3.3		13.6	
3.4		16.3	
3.5		16.7	
3.6		15.7	
3.7		14.5	
3.8		16.9	
3.9		15.2	
4		13.7	
4.1		18.0	
4.2		11.2	
4.3		14.1	
4.4		17.9	
4.5		14.7	
4.6		14.2	
4.7		14.9	
4.8		12.3	
4.9		13.3	
5		17.8	
5.1		14.6	
5.2		15.1	
5.3		14.3	
5.4		12.5	
5.5		16.7	
5.6		15.1	
5.7		16.0	
5.8		17.9	
5.9		18.3	
6		19.6	
6.1		18.7	