

# 斜面を下り落ちる流水中の球の運動

班員 酒本 瞬太、杉谷 明音、名山 幸那、林 佑羽也  
担当教諭 北原 点

キーワード：球の運動、水、粘度、流量

Balls drifting down a slope in flowing water stopped around the center of the slope. The balls are more likely to stop and tend to roll slower as the water temperature decreases. That is because the increase of viscosity prevents the rotation of a ball. This viscosity is in proportion to the water temperature. Also, the speed of the ball increased when the water volume increased. That is because the water volume has an effect on a ball. It lessens the friction between the slope and the ball.

## 1 はじめに

斜面を流れ落ちる流水中に球を置くと、斜面中央あたりで球は静止した。私たちはこの特異な現象を、河川の堤防が決壊する条件を研究している過程で発見した。

堤防を流水が超えることで決壊する過程があり、法面を下り落ちる流水の速さを測定することにした。土で堤防の模型を作成し、流水中に球 (BB 弾) を流してその速さを流水の速さにすることにした。しかし、堤防上に置かれた球は凹凸にはまり込むなどしてしまうので、板で堤防の法面を模した斜面を作って水を流し、そこに球を置いて下り落ちる速さを測定しようとした。ところが、斜面を流れ落ちる流水中に球を置くと、斜面中央あたりで球は静止してしまった。

水流の向きは斜面に対して下向き、球の回転方向も下向きであるのに、球の回転運動と並進運動が停止したことに疑問を感じた。この現象についての先行研究を調べたが、見つけることができなかったため、本研究を行うことにした。

また、今回の実験で使用した BB 弾以外にも、発泡スチロールの球 (質量  $3.3 \times 10^{-3} \text{g}$  直径 0.60cm) を流水中に置いた場合も球は静止した。

## 2 材料と方法

### ○実験材料

球 (BB 弾・質量 0.14g 直径 0.60 cm)

台 (縦 100 cm、幅 30 cm、角度  $8^\circ$ )

なお台の角度は、この現象を発見した以前の実験と同じ  $8^\circ$  にした。

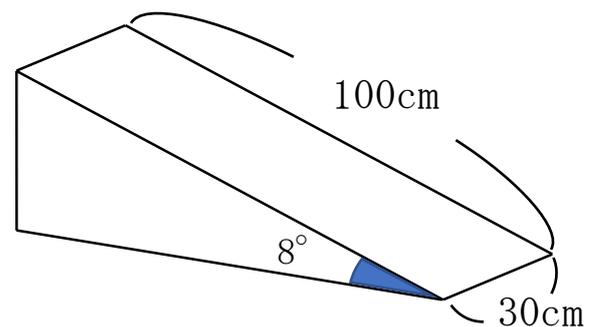


図1 実験装置の縮図

### ○実験方法

傾斜 ( $8^\circ$ ) をつけた台を板で作り、蛇口から水を流した。水の落下地点 (図 2-a) から 5 cm 下流に球を置き (図 2-b)、球が下り落ちる様子を上方から動画で撮影した。動画でも読み取りやすく、球の運動が安定するため、球を置いた 5cm 下から 20cm ごとに通過時間を測定し、球の速さを計算した。後述の条件で 3 回実験し、その平均を求めた。

また、5 mm 四方の紙を流した際、水の流れが一番安定していた上流の 20 cm (図 2-c) の区間のデータを用いた。流量については、1 秒あたりに流れ落ちる水の量 (mL) を計った。

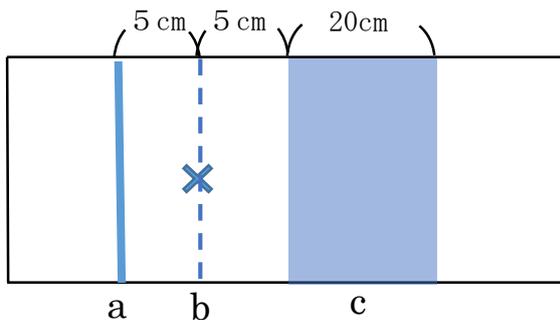


図2 実験装置を上から見た図



図3 斜面で球が静止した様子

○条件

水温 (°C)	20, 40, 70
流量 (mL/s)	60, 100, 150, 200

3 結果

実験全体を通して、球が下り落ちず静止しているときは、球の回転も止まっていた。球は流量60mL/sでは静止と並進・回転を繰り返したが、流量200mL/sでは水に浮いて下り落ちた。

【結果Ⅰ 球の下り落ち方と水温の関係】

水の流量を一定にし、水温と球の下り落ち方の関係について調べた。

表1 球の速さ (cm/s)

	流量			
	60mL/s	100mL/s	150mL/s	200mL/s
20°C	0.68	1.69	7.57	7.01
40°C	1.69	4.15	19.64	16.24
70°C	11.87	37.04	30.00	40.74

(単位 cm/s)

(1) 流量60mL/s

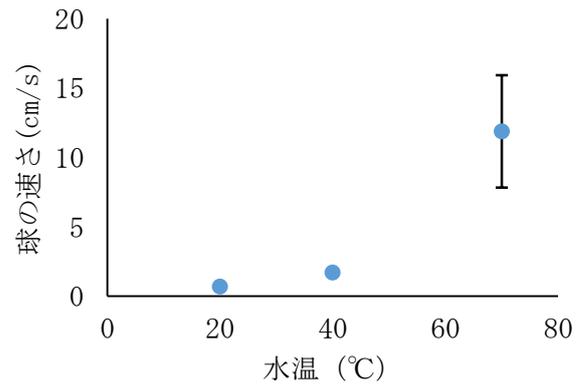


図4 流量 60mL/s における水温と球の速さの関係

図4・図5のグラフの縦軸は球の速さ (cm/s)、横軸は水温 (°C) を表している。

球の速さは水温20°Cでは0.68cm/s、水温40°Cでは1.69cm/s、水温70°Cでは11.87cm/sとなった。

(2) 流量100mL/s

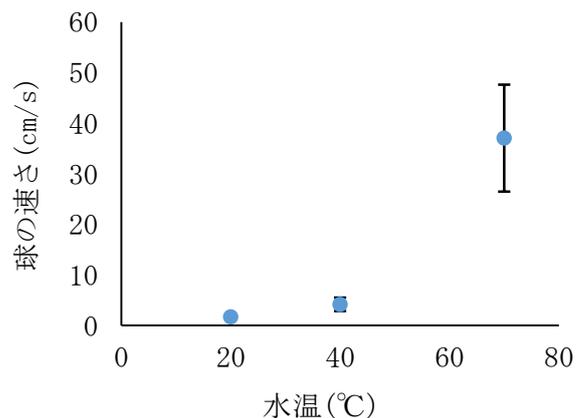


図5 流量100mL/sにおける水温と球の速さの関係

球の速さは水温20°Cでは1.69cm/s、水温40°Cでは4.15cm/s、水温70°Cでは37.04cm/sとなった。

図4・5から分かるように、どの流量でも水の温度が低いほど、球の下り落ちる速さが遅くなり、静止している時間が長くなった。

【結果Ⅱ 球の下り落ち方と流量の関係】

水温を一定にし、水の流量と球の下り落ち方の関係について調べた。図6・図7の縦軸は球の

速さ (cm/s)、横軸は水の流量 (mL/s) を表している。

(1) 水温20℃

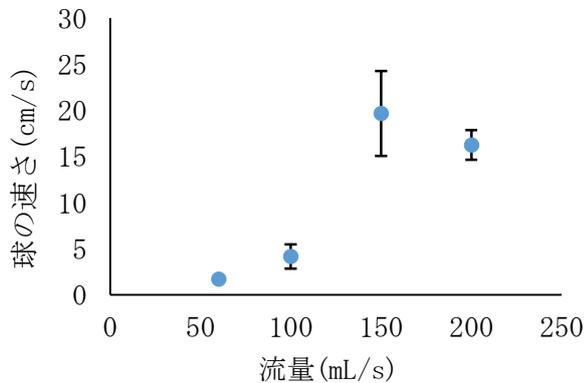


図6 水温 20℃における流量と球の速さの関係

球の速さは流量60mL/sでは0.68m/s、流量100mL/sでは1.69cm/s、流量150mL/sでは7.57cm/s、流量200mL/sでは7.01cm/sとなった。

(2) 水温40℃

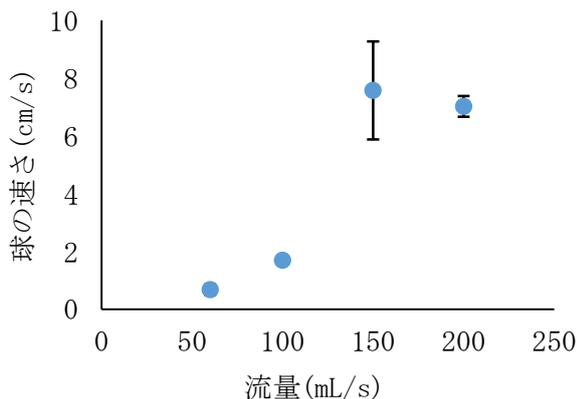


図7 水温 40℃における流量と球の速さの関係

球の速さは流量60mL/sでは1.69cm/s、流量100mL/sでは4.15cm/s、流量150mL/sでは19.64cm/s、流量200mL/sでは16.24cm/sとなった。

図6・7から分かるように、流量が少ないほど、球の下り落ちる速さが遅くなり、静止している時間が長くなった。

また、60mL/s～150mL/sには球の速さに増加傾向が見られたが、150mL/s～200mL/sには減少傾向が見られた。

#### 4 考察

##### 【考察I 球の下り落ち方と水温の関係】

球は水流から以下の力を受けていると考えられる。

##### 1. 圧力

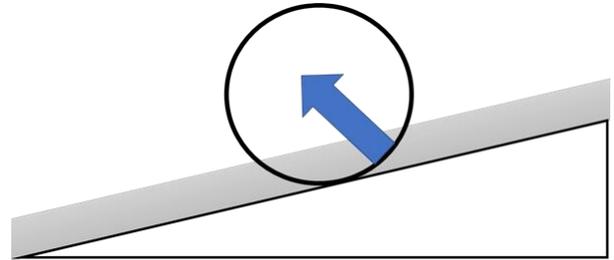


図8 流水中で球が受ける力 (圧力)

水の流れによって、図8のように球の中心方向への力が常にはたらく。従って、球は水流により斜面に沿って下向き of 力を受け続ける。

##### 2. 摩擦係

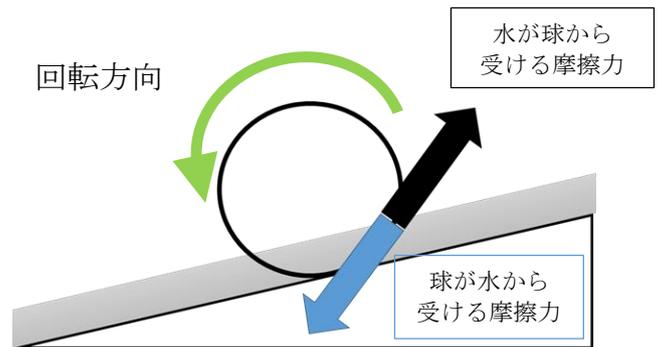


図9 流水中で球が受ける力 (摩擦係)

水の粘度により、球と水のあいだには球面の接線方向に摩擦係がはたらく。図9で示した青い矢印は、この球が水から受ける摩擦係を示している。黒い矢印は水が球から受ける摩擦係である。

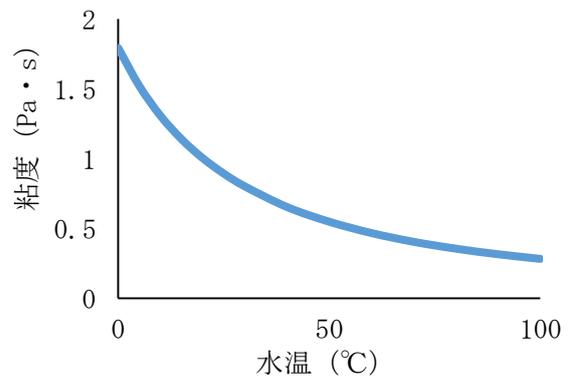


図10 水温と粘度の関係

図 10 のように、水の粘度は、70℃では 0.40 Pa・s、40℃では 0.65Pa・s、20℃では 1.0Pa・s と変化する。このように水温が低くなると、水の粘度は高くなる。

この球が受ける力は、球の接線方向で球の回転と逆向きにはたらき、水の粘度に比例することから、粘度が大きくなると球の回転が止まりやすくなる。つまり、水温が低い時は、球は静止しやすいと考えられる。

#### 【考察Ⅱ 球の下り落ち方と流量の関係】

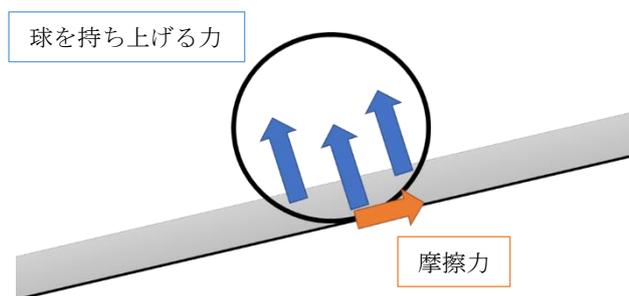


図 11 流量の増加により球が受ける力

流量が多くなると、水流による圧力が大きくなる。また、水深が深くなるために浮力（図 11 で示した青い矢印）が大きくなると考えられる。これにより球が斜面から受ける垂直抗力が小さくなり、球と斜面にはたらく摩擦力（図 11 で示した橙色の矢印）が小さくなる。このために球が下り落ちると考えられる。

150mL/s～200mL/s で見られた減少については、150mL/s において球の下り落ち方にばらつきが大きくなるために、標準誤差（流量 150mL/s において 1.70cm/s）が大きくなるので、ここから 150 mL/s～200mL/s において、球の速さが減少するとは言えない。今後、実験のデータを増やし、水の流量をさらに多くした際に球の運動はどうなるのか調べたいと思う。

## 5 結論

斜面を流れ落ちる流水中の球の回転が静止することには、水の粘度が関係している。  
球の並進が静止することには水の流量が関係している。

## 6 今後の展望

傾斜をつけた台についている水滴に、球を置くことと静止することと、表面張力の関係について調べたい。また、傾斜の角度や流す液体を変えて実験し、球の運動の変化を調べたいと思う。

BB 弾や発泡スチロール以外に、どのような球が静止するのか、またその大きさや質量にどのような関係があるのか見つけたい。

## 7 参考文献

国立天文台．理科年表．水の粘度と動粘度．丸善．2008．p.377