

物理部門

排水口にできる渦

青森県立青森南高等学校 自然科学部  
3年 小鹿 志翔 阿部 颯大 山田 明輝

1 はじめに

私たちは以前、水を用いた実験を行い、水の動きに興味を持った。今回文献を調べたところ、次のことが分かった。

- ・排水口にできる渦の回転は、転向力により北半球では反時計回り、南半球では時計回りであるという俗説がある。
  - ・数値シミュレーションより、残留渦がない場合、俗説が正しいことが証明された。
  - ・日常的にみる渦は残留渦の性質による。
- 以上から、下の2つを目的として研究を行った。

- 1 渦のしくみと発生する条件
- 2 転向力は渦のでき方に影響するのか

2 方法

- ・大きさの異なる3種類の容器(A, B, C)に、4, 8, 12cmの高さに目盛りを付け、直径5, 10, 15, 20mmの排水口を用意した(図1)。



図1 容器と排水口

・容器に水を入れ、ビーズを浮かせ、上と横から水の動きを動画で撮影した。・側面から撮影した動画をwindowsの「フォト」でコマ送り再生、水面に凹みができた時刻と管ができた時刻を測定した(図2)。

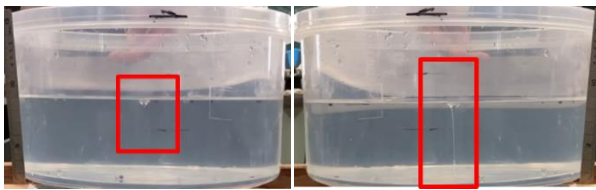


図2 凹み(左)と管(右)

- ・水の回転する速さを調べるために、上方向から撮影した動画を「ステライメージ8」で10フレームごと計4枚の静止画をつくり合成、「マカリ」で動いているビーズ5個、各4点の位置を測定した。
- ・測定したデータを用いて、角速度、回転速度、半径rの変化、向心加速度、単位質量当たりの角運動量(以後、「角運動量」と表記)を計算した。

3 結果・考察

(1) 実験1 静止した水

[仮説]水が静止した状態では、転向力により反時計回りに渦ができる。[実験]水が静止した状態で

実験した。容器：A, 排水口：10mm, 水量：高さ4, 8, 12cm, 回数：各3回 [結果]渦は発生しない。

(2) 実験2 静止した水(3種類の容器)

[仮説]容器を大きくし、水量を増やせば渦ができる。[実験]大きさが異なる3つの容器(A, B, C)を用い、水が静止した状態で実験した。排水口：10mm, 水量：高さ12cm, 回数：各3回 [結果]渦はできない。最後に一瞬回転したのがある。[考察]僅かにあった水の動きにより回転したと考えられる。

(3) 実験3 回転している水(3種類の容器)

[仮説]はじめから水を回転させると渦(凹み・管)ができる。[実験]時計回り、反時計回りに回転させた状態で実験した。容器：A, B, C, 排水口：10mm, 水量：高さ12cm, 回数：各3回 [結果]容器Cでは、すべて管ができた。回転が速くなると凹み・管の発生時刻が早くなるので仮説は正しい。A, Bでは回転速度が小さいとき渦が形成されないものがあった。[考察] A, B に渦が形成されないのは渦ができる回転速度までに達することができていないのではないかと考えられる。

(4) 実験4 水量の違い

[仮説]水量を少なくすると渦ができにくくなる。[実験]高さ4, 8, 12cmの3つの水量で実験した。容器：C, 排水口：10mm, 回転：時計回り、反時計回り、回数：各3回 [結果]全て管が発生した。4cmのときの発生時刻が最も早いことから、仮説は誤り(図3)。[考察]排水口から出る水を補うには、高さが低い程、外から中央への水の移動が多く、フィギュアスケートのスピンのように加速されるためと考えられる。

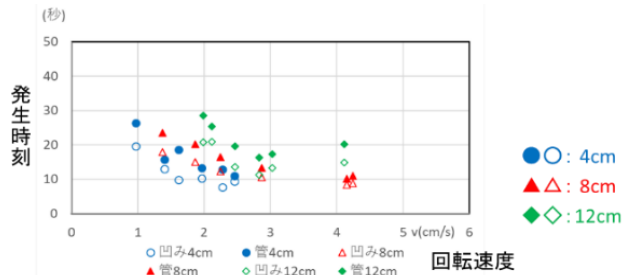


図3 実験4の結果

(5) 実験5 排水口の直径の違い

[仮説]排水口を大きくすると渦が早くできる。[実験]5, 10, 15, 20mmの排水口を使い実験した。容器：C, 水量：高さ8cm, 回転：時計回り、反時計回り、回数：各3回 [結果]排水口が5mm以外は管ができた。排水口が大きいほど短時間で管が発生した。仮説は正しい(図4)。[考察]排水口が大きいほど多く水が排出されるため、中央に向かう水が多くなり、渦が早く形成されると考えられる。

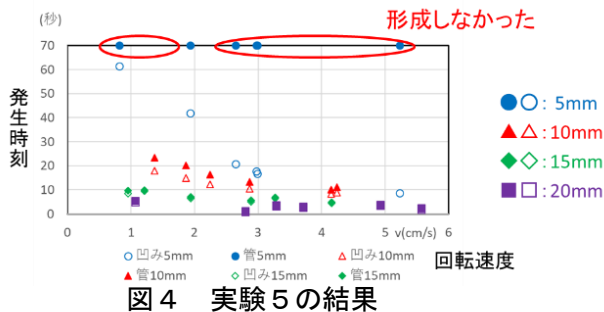


図4 実験5の結果

### (6) 転向力

[仮説] 転向力により、反時計回りに回転させると渦ができやすい。仮説が正しいければグラフの反時計回りが下にずれる。[結果] すべてのグラフで、ずれは見られなかった。仮説は誤り。

[考察] 水に働く二つの力、向心力 ( $F_1 = \rho \times \text{向心加速度}$  …  $\rho$ : 水の密度) と転向力 ( $F_2 = 2\rho \omega v \sin \phi$  …  $\omega$ : 地球の自転角速度,  $v$ : 水の速さ,  $\phi$ : 観測地の緯度) の大きさを比較する。実験で得られたデータを入れると、向心力は  $F_1 = 0.02\rho$  になり、転向力は  $F_2 = 0.0000028\rho$  になる。転向力は向心力と比べると小さすぎるため、排水口の渦に転向力の影響はない。

### (7) 水の流れの変化

[仮説] ①最初、回転速度、角運動量は外の方が大きい。②その後、内側の水が流れ出し、角運動量が大い外側の水が内側に来るので、内側の回転速度が大きくなる。③管があるものは無いものより回転速度、角運動量は大きい。[方法] 実験5の動画から、回転速度と排水口の

直径が次の条件のもの9個を選び、管ができる前後の流れの変化を、合成画像を作成して調べた。排水口: 5, 10, 15mm, 開始直後の回転速度: 約2, 3, 4 cm/s [結果] 仮説①, ②は正しい (図5)。③はわからなかった。[考察] ③がわからない理由は、内側のデータが少ないためである。

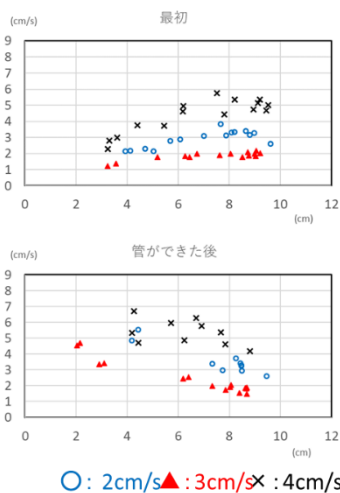


図5 最初と管ができた後の回転速度

### (8) 吸い込まれるビーズの動き

[仮説] ①ビーズの角運動量は変わらないので、ビーズの回転速度はだんだん速くなる。②管があるものは無いものより回転速度、角運動量は大きい。[方法] 管のできたケース3個と、できなかったケース1個について、ビーズが中心に吸い込まれて

いく様子の合成画像を作成し、動きを調べた。[結果] 角運動量は内側のほうが少し小さいが、仮説①はほぼ正しい。仮説②は正しい (図6)。[考察] 角運動量は、周りとの摩擦で少し減少する。管ができるには回転速度がある値 (▲と×の境目) より大きくなる必要がある。

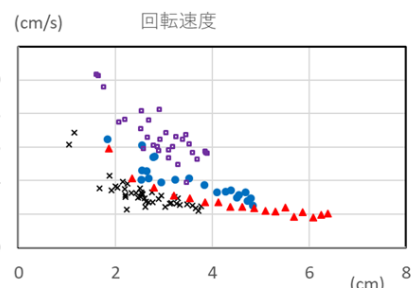


図6 吸い込まれるビーズの回転速度 (□●▲: 管あり, ×管なし)

### (9) 遠心力

[仮説] 遠心力が一定のところ渦 (凹み・管) になる。[方法] (7) で使用した静止画から、マカリで渦の半径を測定し、半径とビーズの角運動量から渦の淵の部分の単位質量あたりの遠心力を計算した。[結果] 渦の半径は2~9mm, 遠心力は  $0.8 \sim 2.1 \times 10^3 \text{ cm/s}^2$  になった。穴の直径には無関係である。測定誤差を考慮すると、仮説は誤りとはいえない。[考察] 渦は遠心力がほぼ一定のところのできるため、回転速度を速くするか、容器の半径を大きくして角運動量を大きくすると渦ができる。

## 4 結論

- ・排水口の渦に転向力の影響はない。
- ・水槽の外側の角運動量が大い水が内側に移動し、角運動量保存の法則で内側の流れが速くなり、一定の遠心力になったときに渦が形成される。
- ・水の回転が最初速いと、早く渦が発生する。
- ・水位が低い、または排水口が大い外側から内側に向かう水が多くなり、早く渦が発生する。
- ・静止している場合は、僅かな水の動きによって最後に回転が起きるが、渦 (凹み・管) にはならない。

## 5 今後の課題

1. 水中と底の水の動きを測る
  2. 回転台を使い、回転の速度を一定にする
  3. 水の温度 (粘性) の違いを調べる
- 1~3から、渦発生 of 仕組みを詳しく調べる。

## 6 参考文献

- 1 飯島徹穂, 佐々木隆幸, 青山隆司『アビリティ物理 物体の運動』共立出版 1999 P65-74
- 2 浜島書店『ニューステージ地学図表』2020 P178
- 3 バスタブ渦の起源 <https://www.jps.or.jp/books/jpsjselectframe/2012/files/12-07-1.pdf>