

跳ね返った液体の変化 ～渦運動の影響～

静岡県立浜松北高等学校
物理・化学部 2年 内山倭太 河原崎 琉

1 初めに

液体を液体に落下させると跳ね返る。この時、落下させる液体を滴下液、受ける側の液体を被滴下液と表記すると、跳ね返った液体の被滴下液と滴下液の割合はどうなっているのか。被滴下液の方の割合が大きいのか、滴下液の方の割合が大きいのかを私たちは調べてきた。昨年度までの研究では2013年度の基本的な跳ね返りに加えて、被滴下液や滴下液において粘性、界面活性剤に注目した上での割合の変化を調べてきた。

なお、「跳ね返った液体の変化」は2013年度からの継続研究である。今年度は、ホットスターラーにより渦を作って実験をし、初年度の実験を参考にした。

ここでは、2013年度の実験を簡単に説明する。

<2013年度の研究>

まず、ガラス管内から砂糖水を100mLの水が入っているビーカーに落下させた。そのとき跳ね返った液の滴下液と被滴下液の割合が、ガラス管の高さを変えること(30cm～60cm)によりどのように変化するのか調べた。また、水を砂糖水に落として同様に調べた。

二つ目の実験として上の実験の様子をハイスピードカメラによって撮影した。

<2013年度の研究の結果>

- ① 水を砂糖水に落とす場合、そして砂糖水を水に落とす場合においてどちらとも被滴下液の割合の方が大きい。
- ② 砂糖水を水に落とす場合においては砂糖水の濃度が、高い方がそして、水を砂糖に落とす場合においては砂糖水の濃度が低い方が深くまで達する。
- ③ 滴下液が被滴下液を持ち上げるようにして跳ね返る。ゆえに滴下液がより深くまで達するとき跳ね返った液体は被滴下液をより多く含む。

なお、今年度の我々の実験は上の下線部を前提として実験を行う。

2 実験αの内容

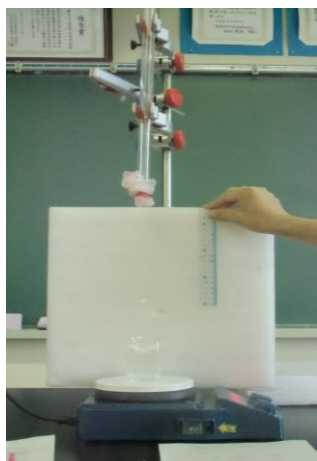
液体をガラス管から渦の回転数の異なった液体に落下させる。このとき、回転数を変えた時の、跳ね返った液体の濃度の変化や跳ね返り方を明らかにする。また、過去のデータ、つまり回転したものとそうでないものを比較する。なお、ガラス管の高さはビーカーの底から30cm、渦の中心に液を落とすように固定した。

以下、砂糖水を水に落下させる場合を「糖→水」、水を砂糖水に落下させるときに「水→糖」と表記する。

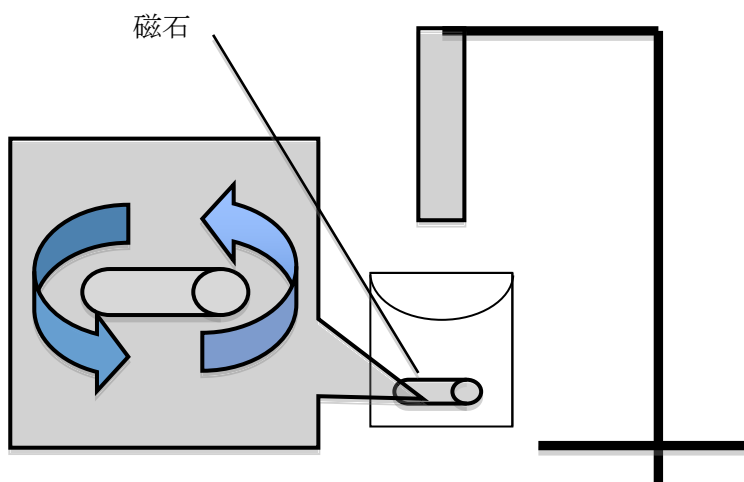
3 実験αの方法

<使った器具>

ガラス管、ホットスターラー、発泡スチロール、ビーカー、水切りストッキングスタンド、1mものさし、水、糖度計、ピペット、5%の砂糖水



実験装置の全体図



実験装置の概略図、なお磁石は回転している。

まず、スタンドに水切りストッキング付きのガラス管と、カメラによる撮影の関係で発泡スチロールを取り付ける。その横に、ホットスターラーを設置し、その上に100mLの水が入ったビーカーをのせる。このときビーカーの底とガラス管までの距離は30cmとし、ビーカーの中の水の回転数を100rpm～500rpmまで50刻みで変化させ、ガラス管に砂糖水を1mL入れて落下させる。その次に、跳ね返った液体の濃度を糖度計で測る。この作業を何度か行い濃度の平均値を出す。その濃度の平均値と回転数の変化の関係をグラフにする。

※rpm・・・一分間に何回転するかを表す単位。

同様に、ビーカーに砂糖水を入れ、水を落下させることも行う。

跳ね返った液体に含まれる砂糖水と水の割合の計算方法(5%の砂糖水を使った場合)

「砂糖水：水=1：x」として考える

砂糖水をM[g]とすると、水はxM[g]と表せる。

このとき溶質は $M \times 5 / 100$ [g]、溶液は $M + xM$ [g]と表せる。

よって濃度を $M \times 5 / 100 \div M + xM \times 100$ と表せる。

また実験Aで出た濃度の平均値を α とすると

$$\alpha = M \times 5 / 100 \div (M + xM) \times 100$$

$$\alpha = 5 \div (x + 1) \quad \text{これを計算すると}$$

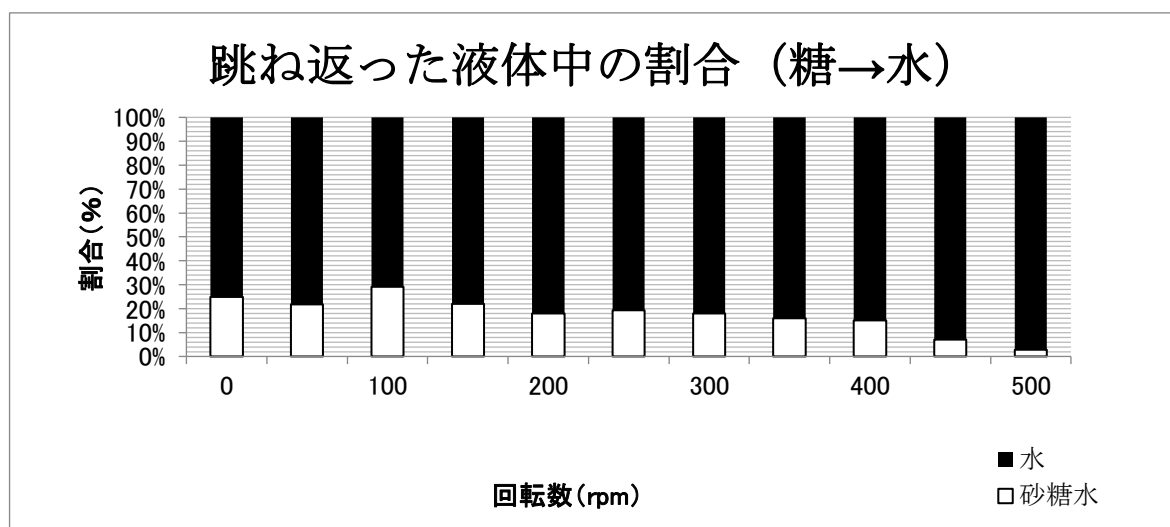
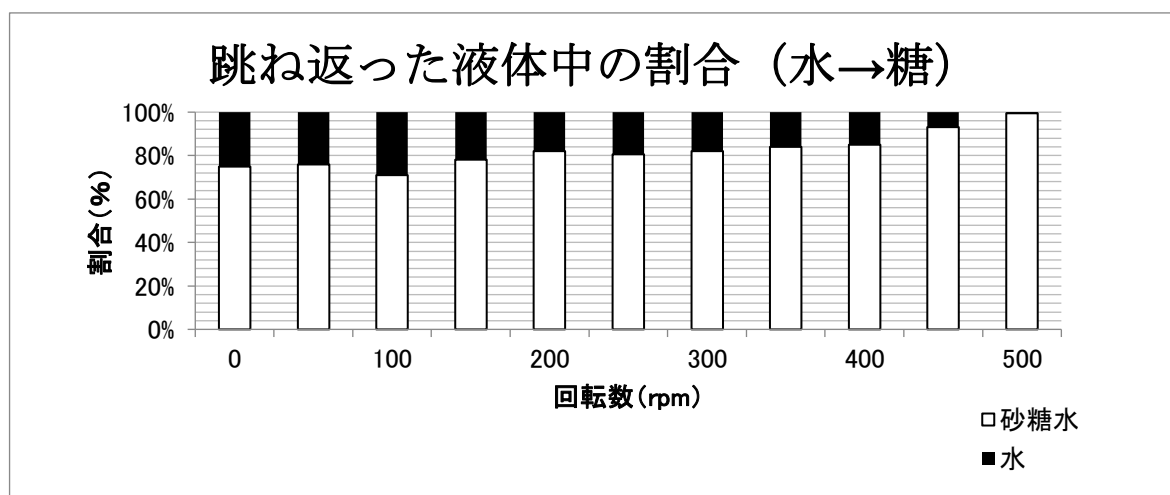
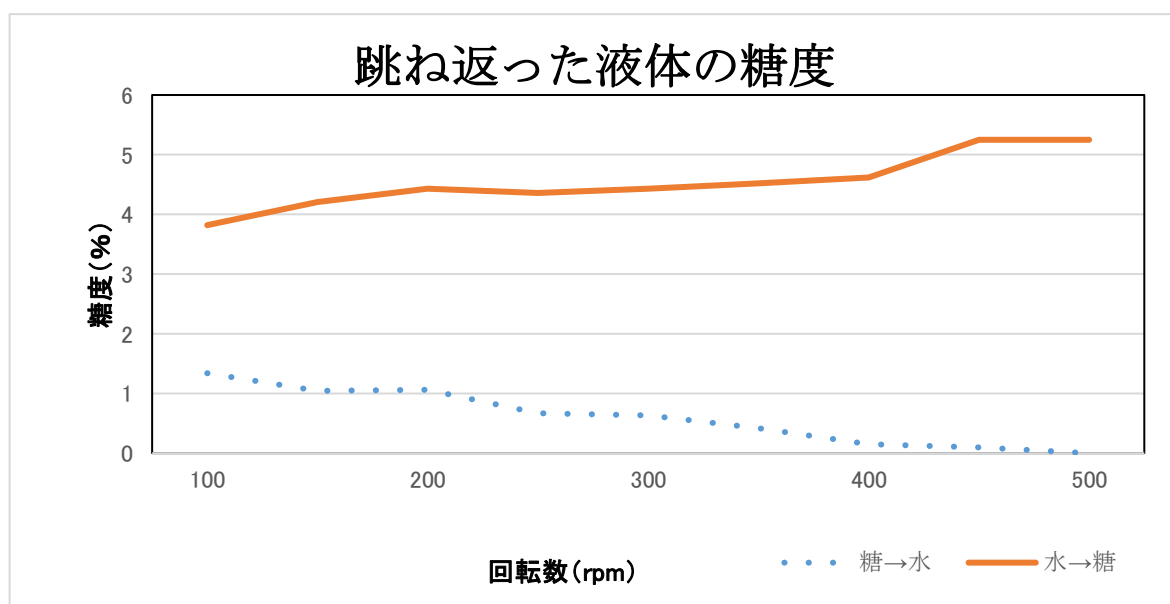
$$x = 5 \div \alpha - 1$$

この式に α を代入して砂糖水と水の比率を計算する。

4 実験αの結果

「水→糖」のグラフは回転数が大きくなるにしたがって、濃度が大きくなる。反対に「糖→水」の場合は濃度が小さくなる。ゆえに、回転数が大きくなるほど被摘下液の占める割合が大きくなる。

なお、図1は濃度と回転数の関係、図2跳ね返った液体(糖→水)の、図3跳ね返った(水→糖)の割合の関係を示す。



回転数が大きいくほど被滴下液の占める割合が大きくなる原因を調べるために実験βを行った。

5 実験βの方法・内容

実験αにおいて、ハイスピードカメラにより滴下液の達する深さを調べた。

<使った器具>

ガラス管、ホットスターラー、 1000 mL ビーカー、2000 mL、

ビーカー、スタンド、1mものさし、水、カメラ、食紅

滴下液と被滴下液を区別するために滴下液を食紅により染め、落下させた。被滴下液はそのまま使う。落下させる高さは30cmとし、5パーセントの砂糖水を使用し、水から砂糖水、砂糖水から水に落下させた。そのときの様子をハイスピードカメラにより撮影し滴下液の達した深さを定規によりおよそその長さを測る。また、跳ね返り方を動画により確認する。なお、測った地点は渦のくぼみの最深点からである。



＊糖→の時は1000mLビーカーを、水→糖の時は1000mLの時に滴下液が底についてしまったため2000mLを使用した。単位はcmとする。

6 実験βの結果

回転数 (rpm)	水→水 (cm)	水→糖 (cm)	糖→水 (cm)
0 rpm	6.0 cm	5.5 cm	9.0 cm
200 rpm	8.5 cm	7.5 cm	9.5 cm
400 rpm	8.5 cm	9.0 cm	12.0 cm

回転数が大きくなることにより、どちらともより深くまで滴下液が達することがわかる。

なぜ回転数が大きいとより深くまで達するのか、その疑問を解決するために、以下の実験γ、δを行った。

7 実験γの方法・内容

＜使用した器具＞

ホットスターラー、1000mLビーカー、ハイスピードカメラ、おがくず、水、砂糖水
ハイスピードカメラで、渦状態の水の中にあるおがくずの動きを調べる。

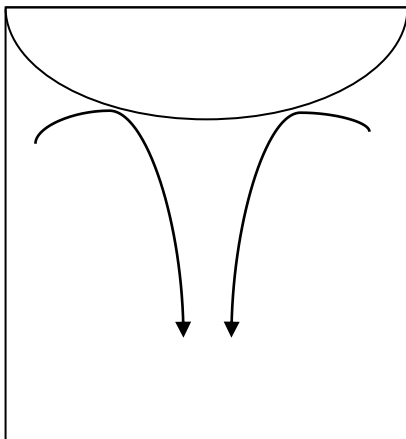
8 実験γの結果

下図のようなおがくずの動きが見られた。

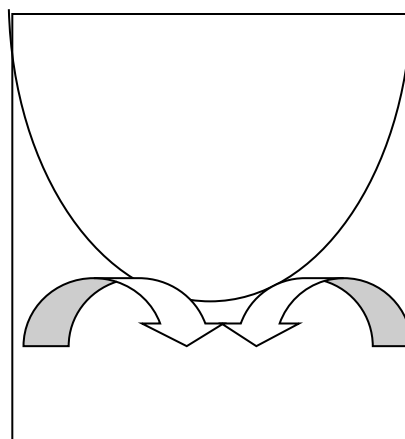
また、回転数が増加するごとにその動きが強くなった。

以下の図は矢印の太さが水流の強さを示す。

100 rpm の場合



800 rpm の場合



9 実験δの方法・内容

＜使用した器具＞

ホットスターラー、定規、カメラ

中心部のくぼみ方を調べるためにビーカーの底からくぼみの頂点までの距離を測った。

10 実験δの結果

回転数 (rpm)	水 (cm)	砂糖 (cm)
2 0 0 rpm	4. 7 cm	5. 1 cm
4 0 0 rpm	3. 8 cm	3. 6 cm
6 0 0 rpm	1. 5 cm	1. 5 cm

中心部のくぼみは回転数が大きくなるほど大きくなる。よってガラス管の口からくぼみの頂点への距離は長くなり、滴下液の被滴下液のくぼみの頂点からの位置エネルギーは大きくなる。

11 実験γおよびδの考察

2013年度の実験では5%の砂糖水(糖→水)を使用したときにおいて、跳ね返った液体中の被滴下液の割合が10%変化したとき、高さは10cm変化していた。このことから、本年度の実験を考えてみたとき、回転数を200rpmから400rpmに変化させると跳ね返った液体中の被滴下液の割合は5%変化するのでくぼみの(4.7cm-3.8cm=)0.9cm分の変化をのぞくと、水流による液体の影響は高さを4.1cm変化させる事に相当すると考えられる。

12 まとめ

- ① 渦運動において回転数を大きくすればするほど滴下液がより深くまで達し、故に被滴下液の割合が大きくなる。
- ② 回転数が大きくなるほどくぼみが大きくなる、ゆえに滴下液の、被滴下液面での運動エネルギーが大きくなる。そのことにより滴下液が深く達する。
- ③ 中心部では、下向きの水流が発生する。また、回転数が大きくなるほどその水流は強くなる。そのことにより滴下液が深くまで達する。

①の原因が②③といえる。

13 今後の課題

本実験は、2013年度のみの実験を考慮しており昨年または一昨年の実験などを考慮していなかった。そのため比較が薄くなってしまったともいえるだろう。故に、来年からは一昨年および昨年の実験をふまえて考えていきたい。

また、本実験のほかに跳ね返った液体がその後どのように運動をするのかを調べようとしたが回転数600rpm以上になると、跳ね返った液体はほぼ0となってしまった。その原因としては落とす液体の量が少なすぎたり、水にかかる下向きの力が大きすぎたりしたためと考えられる。そのことをふまえて、液体の量を調節するなどをして工夫をしき、より力学的なことを調べていきたい。

14 参考文献

「流体力学（前編）」今井功 裳華房

神戸大学理学部 2006年度サイエンスセミナー資料「コーヒーカップの低気圧」岩山隆寛（自然科学研究科）