

9. 跳ね返った液体の変化－粘性係数との関係－

静岡県立浜松北高等学校 物理・化学部

2 年 江間元春 渡邊陵太郎 大橋良太 仲山直歩 松田卓也

1 年 城内嶺 夏目達也

1 はじめに

液体に液体を落下させると液滴が跳ね返る。このとき跳ね返った液体は、どのような割合で構成されるのか。落下する液体が多く含まれているのか、それとも受ける側の液体が多く含まれているのか、あるいは混ざらないのか。昨年、私たちはこの現象に興味を持ち研究を行った。そのなかで液体の粘性係数が結果に影響を与えるのではないか、という疑問を持った。

今年度は、受ける側の液体の粘性係数を変化させたとき、跳ね返った液体に含まれる受ける側の液体の割合がどのように変化するか調べてみる。以下、落下する液体を滴下液、受ける側の液体を被滴下液と表記する。

なお「跳ね返った液体の変化」は昨年からの継続研究である。昨年の研究について簡単に説明する。

2 2013 年の研究

(1) 実験内容

ガラス管の高さを変化させ、液体をガラス管内から落下させた。そのとき跳ね返った液体の組成がどう変化するかを明らかにした。滴下液には水、被滴下液には砂糖水を使った。さらに砂糖水の濃度を変えて結果がどのように変化するか調べた。また滴下液に砂糖水、被滴下液には水を使った実験も行った。

(2) 結果

跳ね返った液体に含まれる滴下液と被滴下液の割合〔滴下液：被滴下液〕

砂糖水を水に滴下する場合

濃度 高さ	15%	5%
30 cm	1 : 3.64	1 : 2.79
40 cm	1 : 4.86	1 : 4.43
50 cm	1 : 6.77	1 : 5.41
60 cm	1 : 8.32	1 : 7.77

水を砂糖水に滴下する場合

濃度 高さ	15%	5%
30 cm	1 : 2.38	1 : 2.56
40 cm	1 : 3.44	1 : 3.57
50 cm	1 : 4.76	1 : 8.33
60 cm	1 : 6.25	1 : 11.11

上記の結果より以下のことがわかる。

- ① 跳ね返った液体には被滴下液の方が多く含まれている。
- ② 滴下液が被滴下液のより深くまで達する方が、跳ね返った液体に含まれる被滴下液の割合が大きくなる。
→跳ね返った液体は、滴下液が被滴下液を持ち上げるようにして跳ね返っているため。
- ③ 滴下液が達する深さは、滴下する高さと被滴下液の密度に関係する。滴下

する高さがより高く、滴下液の密度は大きく、被滴下液の密度は小さいほど、より深くまで達する。

→位置エネルギー増加により、滴下液の落下速度が速くなるため。また、滴下液の密度が大きいほど、液滴の質量が大きく、被滴下液の密度が小さいほど、滴下液にはたらく浮力が小さくなるため。

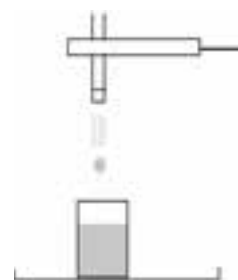
3 本年度の実験内容

- (1) 実験A：水をガラス管から、ビーカーに入っている菜種油に向けて滴下する。滴下後、跳ね返った液体を採取する。その液体に含まれる水と菜種油の割合を測定する。その割合と、去年のデータを比較する。
- (2) 実験B：水をガラス管からビーカーに入っているシリコンオイルに向けて滴下する。そしてシリコンオイルの疎水性と粘性係数が跳ね返った液体に与える影響について調べる。シリコンオイルを使った理由は、菜種油と同じ疎水性の物質であり、様々な粘性係数のものがあり、この実験に適していたためである。

4 実験Aの方法

スタンドにガラス管を机からの高さが 40cm に取り付ける。机上にトレイ、トレイ上に 100mL ビーカーを設置する。100mL ビーカーには菜種油を 100mL 入れる。ガラス管の方には水を 1 mL 入れ、滴下する。この操作を 30 回行う。30 回滴下した後、トレイ上の跳ね返った液体(水と菜種油の混合液)をピペットを使い採取する。それぞれの液体の体積をメスシリンダーを使い計測する。水と菜種油は分離するため、水と菜種油の割合を求めることができる。トレイ上に薄く残ってしまい、ピペットを使用しても採取できない菜種油については、キムワイプに染み込ませ、その質量の変化から、菜種油の体積を求めた。トレイ上に残った液体を菜種油と判断したのは、水を食紅で染色してから滴下し、跳ね返った液体をピペットで採取したところ、トレイ上にほとんど赤い液体が存在しなかったためである。菜種油の密度は日本植物油協会に掲載されているものを使った。以上のデータを 20 回ほど計測し、他のデータと大きく異なるものを除いた 18 個のデータの平均値を求めた。

実験の様子



5 実験Aの結果

跳ね返った液体に含まれる水と菜種油の割合は、水を 1 としたとき、菜種油は 0.76 となった。つまり滴下液(水)の方が多く含まれているということになる。これは去年の研究結果と相反する結果である。

6 実験Aの考察

昨年と相反する結果がでたため、昨年との相違点を考えてみた。昨年との違いは、被滴下液に砂糖水ではなく菜種油を使ったことである。

このことから考えられる原因は以下の二つである。

- (1) 砂糖水と菜種油の粘性係数が異なること
- (2) 菜種油が水と分離する疎水性の物質であり、滴下液と被滴下液が混ざらないこと

この2つがどのように跳ね返る液体に影響するのかを調べるため、シリコンオイルを使い実験Bを行う。

7 実験Bの内容

- (1) 滴下液に水を、被滴下液にシリコンオイルを使用し、実験 A 同様に跳ね返った液体に含まれる、それらの割合を求める。シリコンオイルの粘性係数を変化させ、被滴下液の粘性係数により、割合がどのように変化するかを調べる。被滴下液として使ったシリコンオイルの粘性係数は 1.28×10^{-3} [Pa・s]、 9.35×10^{-3} [Pa・s]、 48.0×10^{-3} [Pa・s]、 96.5×10^{-3} [Pa・s] の 4 種類。
- (2) 粘性係数が水とほとんど変わらないシリコンオイルを滴下液として使う。粘性係数は 1.28×10^{-3} [Pa・S]。被滴下液にもシリコンオイルを使う。被滴下液として使うシリコンオイルは、 9.35×10^{-3} [Pa・s]、 48.0×10^{-3} [Pa・s] の 2 種類。滴下液と被滴下液の割合の求め方は「実験 B の方法」に記述する。他は同じ条件で水を滴下液として使う場合と比較する。滴下液と被滴下液が混ざる場合と、混ざらない場合で、割合がどのように変化するか調べる。

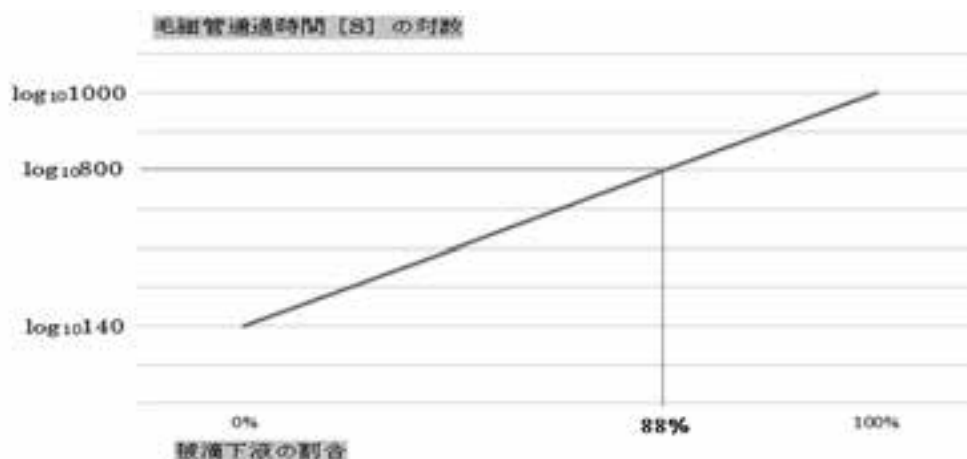
8 実験 B の方法

(1) は実験 A と同様に行い、表と平均値のグラフを作成した。ここでは (2) の実験における滴下液と被滴下液の割合の求め方を説明する。

通常、シリコンオイル同士は混ざってしまいメスシリンダーでそれぞれの体積を求めることはできない。そのため、粘度計を使用する。その手順を説明する。

- ① オストワルド粘度計 (柴田科学 0263001-1) を使い、滴下液であるシリコンオイルが粘度計の毛細管内を通過する時間を計測する。
- ② 同様に被滴下液として使うシリコンオイルと、滴下後、跳ね返った液体の通過時間も計測する。
- ③ 下に説明するように、粘性係数に密度を掛けた動粘度は、粘度計の毛細管内を通過する時間が十分に長いとき、通過時間に比例することが知られている。また 2 種のシリコンオイル混合液の通過時間の対数と質量パーセント濃度の関係を表すグラフは直線となることが知られている。
- ④ 以上を利用し下記のようなグラフを作成し、そのグラフをもとに割合を求める。

グラフ(例) 毛細管通過時間が滴下液 140 秒、跳ね返った液体 800 秒、被滴下液 1000 秒のとき



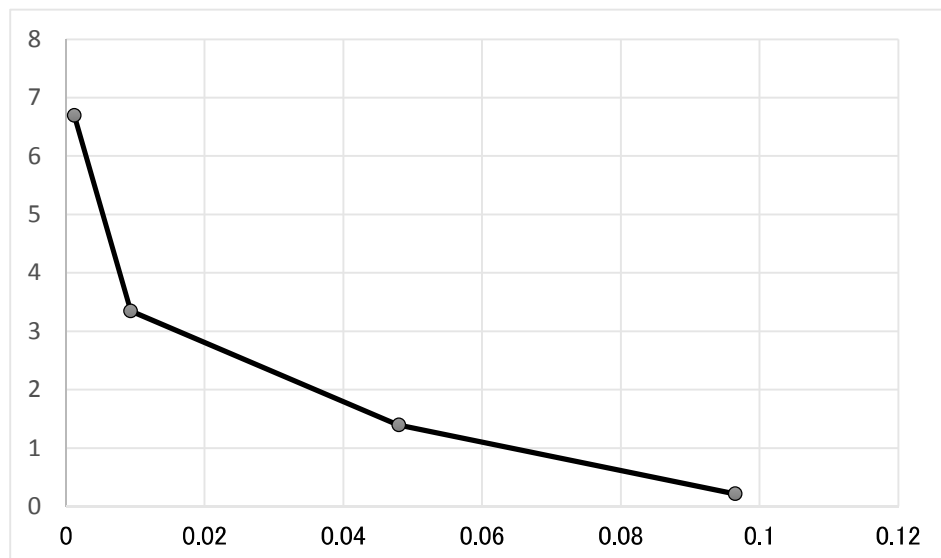
※ このとき、滴下液と被滴下液の割合を (滴下液) : (被滴下液) = 12 : 88 と求めることができる。

9 実験 B の結果

(1) (1) の結果

平均値と粘性係数の関係をグラフにまとめた。

被滴下液の割合 ※滴下液を 1 とする。



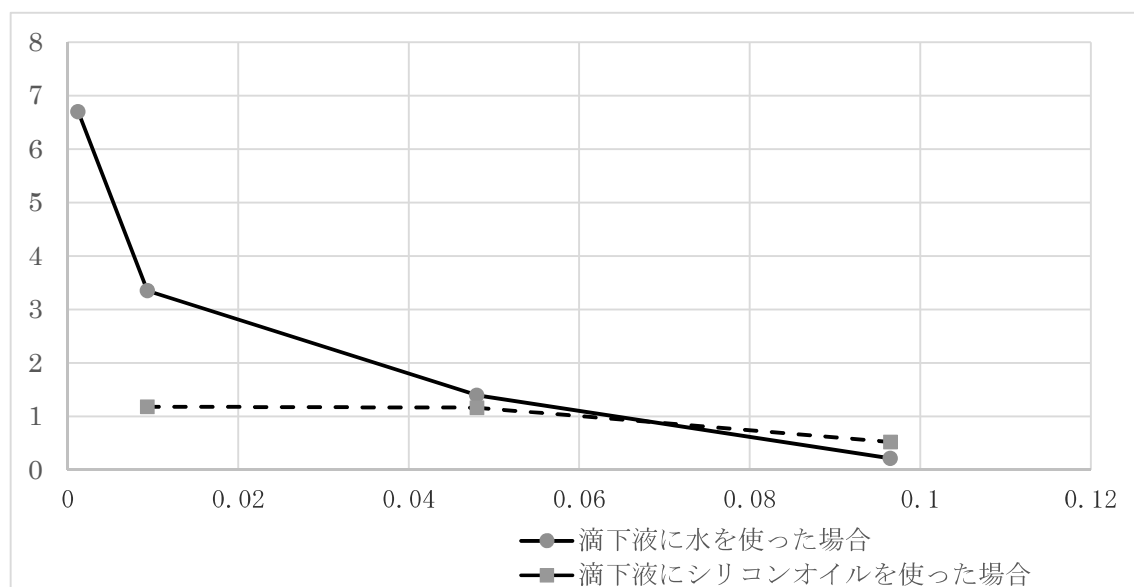
被滴下液の粘性係数 (Pa・s)

被滴下液の粘性係数が大きくなるにつれ、跳ね返った液体に含まれる被滴下液の割合は、小さくなった。

(2) (2) の結果

(1) と同様、グラフにまとめた。実験 B(1)と(2)の結果を組み合わせたグラフを下に示す。

被滴下液の割合 ※滴下液を 1 とする。



被滴下液の粘性係数 (Pa・s)

被滴下液の粘性係数が大きいときは、水を使った(1)の結果とほとんど変わらない結果となった。

10 実験 B の考察

- ① 被滴下液の粘性係数が大きいほど、跳ね返った液体に含まれる被滴下液の割合は、小さくなった。高速度カメラで撮影した画像を解析すると次のことが分かった。跳ね返った液体は滴下液が被滴下液内に侵入し、跳ね返る。滴下液の

侵入により形状が変化した被滴下液はもとの形状にもどろうとするが、このとき、粘性係数が大きいと、小さい場合に比べて、流動しにくい。そのため、跳ね返った液体が構成されるとき、跳ね返った滴下液上に乗る被滴下液の量が少なくなる、と考えられる。

- ② また、同じく高速度カメラの画像の解析より、被滴下液の粘性係数が大きいほど、滴下液が被滴下液の粘性により、深くにまで達することができないこともわかる。跳ね返った液体は落下した滴下液が被滴下液を持ち上げるようにして構成されているため、滴下液が深くにまで達することができないと、持ち上げる被滴下液の量が少なくなってしまう。このことも前記の原因に加え、被滴下液の粘性係数が大きいほど、跳ね返った液体に含まれる被滴下液の割合が小さくなる原因になっていると考えられる。
- ③ 被滴下液の粘性係数が大きい場合、滴下液に水を使った場合と、シリコンオイルを使った場合では、結果に大きな変化はなかった。このことから、滴下液と被滴下液が混ざらないことは、滴下液の粘性係数が大きい場合、結果にほとんど影響しないと考えられる。被滴下液の粘性係数が小さい場合については、必ずしもそうはならない。

11 まとめ

- (1) 2013年の研究結果の「液体に液体を滴下したとき、跳ね返った液体には滴下液よりも被滴下液の方が多く含まれている」というのは被滴下液の粘性係数が水に近い液体に限定された結論であった。今年度の研究から被滴下液の粘性係数が滴下液より著しく大きいと滴下液の方が多く含まれることが判明した。
- (2) 滴下液と被滴下液が混ざらないことは、跳ね返った液体に含まれる滴下液と被滴下液の割合には、被滴下液の粘性係数が大きい場合、ほとんど影響しない。被滴下液の粘性係数が小さい場合については必ずしもそうはならない。

12 今後の課題

今回の研究では、被滴下液の粘性係数が大きい場合のみ、滴下液と被滴下液が混ざらないことが結果に影響しないということがわかった。被滴下液の粘性係数が小さい場合は、それがどのような影響を与えているのかは、解明することができなかった。来年度以降への課題としたい。

13 謝辞

この研究を行うにあたり、山崎自然科学教育振興会から研究助成金を頂きました。心からお礼申し上げます。ありがとうございました。

14 参考文献

中川鶴太郎、神戸博太郎(1959) レオロジー みすず書房

一般社団法人 日本植物油協会 HP

<http://www.oil.or.jp/kiso/jas.html>

信越化学工業株式会社 HP

http://www.silicone.jp/j/catalog/pdf/kf96_j.pdf

モメンティブ・パフォーマンス・マテリアルズ・ジャパン合同会社 HP

<http://silicones.momentive.jp/wizard/fluid/index.html>

株式会社 草野科学 HP

<http://www.kusanokagaku.com/sub.nenndokei.tokuchou.htm>