

2. 跳ね返った液体の変化 ―界面活性剤による影響―

静岡県立浜松北高等学校 物理・化学部

2年 城内 嶺、他3名

1 動機

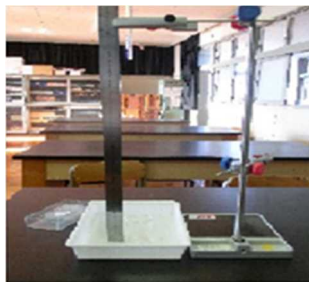
液体に液体を落下させると液滴が跳ね返る。このとき跳ね返った液体はどのような割合で構成されるのか。落下する液体が多く含まれているのか、それとも受ける側の液体が多く含まれているのか、あるいは混ざらないのか。私達はこの現象を追究するべく、研究を行った。尚、「跳ね返った液体の変化」は2013年度からの継続研究である。

2 実験の基本概要

①ガラス管を用いて溶液Aをビーカーに入った溶液Bに向けて滴下し、その際跳ね返った液体を採取する。

②跳ね返った液体を構成する溶液A、Bの割合を調べる。

これを実験の基本動作とする。ここで、本研究では「跳ね返った」の定義を「ビーカーの外まで飛び出た」であるとする。また、滴下位置によっては一度飛び上がった液体がビーカーの外まで飛び出ず、戻ってしまうことがある。これについては飛び上がった液体が全てビーカーの外に出る最適の滴下位置を予め調べ、本研究中ではガラス管及びビーカーの位置をその状態で固定することで対処した。また、ガラス管から滴下する溶液を滴下液、ビーカーに入った溶液を被滴下液と表記する。



実験の様子



出典 Wikipedia

3 2013年度の研究

(1) 実験内容

滴下液に水、被滴下液に砂糖水を使用し、糖度計を利用することで跳ね返った液体を構成するそれぞれの割合を測定した。滴下の高さを変化させ、その影響を調べた。また、滴下液に砂糖水、被滴下液に水を使用し、同様の研究を行った。

(2) 結果

・ 跳ね返った液体を構成する溶液の割合は 滴下液<被滴下液 である。

・ 滴下液が達する深さは、滴下する高さが高いほど深くなる。

これは位置エネルギーの増加により滴下液の落下速度が速くなるためと考えられる。また、被滴下液に水を使用することで被滴下液の密度が低下すると滴下液が達する深さは深くなる。

これは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と考えられる。

・ 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。

この結果と、さらにスロー撮影の動画による検証も加え、

『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上がっている』
と推測される。

4 2014年度の研究

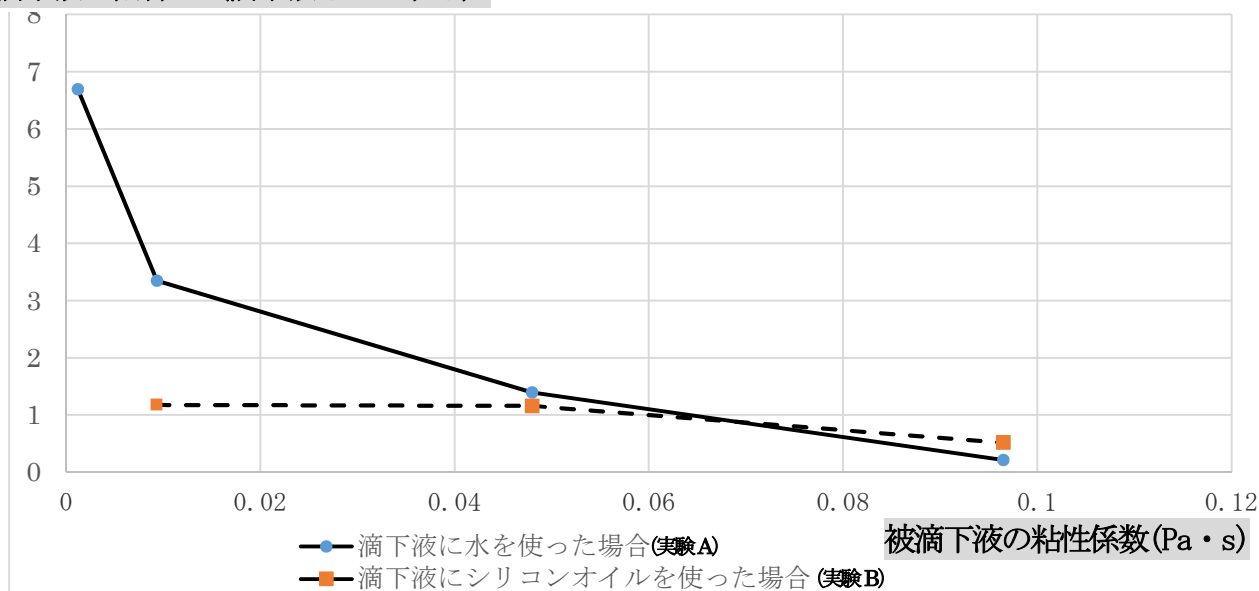
(1) 実験内容

液体の粘性係数及び疎水性に着目し、実験を行った。これは予備実験として滴下液に水、被滴

下液に菜種油を使った際、跳ね返った液体を構成する割合が滴下液＞被滴下液となり、2013 年度と相反する結果が出たからである。

滴下液に水、被滴下液にシリコンオイルを使用した実験(実験 A とする)と滴下液、被滴下液ともにシリコンオイルを使用した実験(実験 B とする)の 2 つを行った。実験 A、B で被滴下液のシリコンオイルの粘性係数を変更し、実験 B で滴下液に水とほぼ等しい粘性係数のシリコンオイルを使用することで、実験 A で粘性係数、実験 B で疎水性について考察した。

被滴下液の割合 (滴下液を 1 とする)



(2) 結果

- 実験 A では粘性係数が増加するごとに被滴下液の割合が減少した。これは粘性係数が高いほど被滴下液が流動しにくくなり、滴下液に持ち上げられる被滴下液の体積が減少するからである。
- 滴下液に水を使用した場合とシリコンオイルを使用した場合では、結果に大きな違いは生じなかった。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。ただし、被滴下液の粘性係数が小さい場合については影響がある。

昨年度までの実験結果を本年度の考察に使用する。

5 本年度の研究

本年度は被滴下液の界面張力を低下させ、それによる跳ね返った液体を構築する滴下液・被滴下液の割合への影響を調べる。界面張力を低下させることで一昨年から継続してきた研究と異なる視点で「液体の跳ね返り現象」における条件を変え、そこから本研究を通しての目標である『「液体の跳ね返り現象」の解明』に帰結させる。界面張力は洗剤に含まれる界面活性剤を添加することで低下させる。界面張力が低下する仕組みは以下の通りである。

- 液体の内部の H_2O 分子は周りの H_2O 分子から均等に分子間力を受けるが、液体の界面に並ぶ H_2O 分子は内側からの分子間力しか受けられないため不安定である。そこで界面ではできるだけ表面積を小さくしようと内側へ力が生じる。これが界面張力である。
- 親水基と疎水基の両方をもつ両親媒性物質である界面活性剤(図 1)が液体表面に並ぶことにより界面が安定する。それによって界面張力も低下する。



図 1 界面活性剤の構造

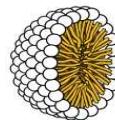


図 2 ミセル

出典 Wikipedia



本実験で使用した洗剤

また、界面活性剤を添加するとき、一定量を上回ると界面活性剤は液体内部でミセルと呼ばれる構造を形成し始める。ミセル(図2)が形成され始め、液体に添加した全ての追加の界面活性剤がミセルを形成する濃度に達すると、液体の界面張力はそれ以上低下しなくなる。このときの濃度を臨界ミセル濃度(図3)と呼ぶ。本研究では「一滴の体積と洗剤の臨界ミセル濃度」(浜松北高 物理・化学部)を参考にし、研究内で使用された洗剤(花王 ファミリーフレッシュコンパクト)の界面活性剤濃度(33%)とほぼ等しい界面活性剤濃度(35%)の洗剤(StyleOne 食器洗剤コンパクト)を使用することで、洗剤濃度を約0.35%として考察することとする。

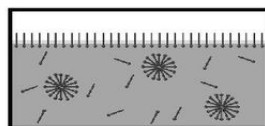


図3 臨界ミセル濃度に到達した水溶液(イメージ)

6 実験方法

滴下液に一定量の砂糖、被滴下液に洗剤を添加する。糖度計を用いて跳ね返った液体に含まれる滴下液・被滴下液の割合を調べる。被滴下液に添加する洗剤の量を変更し、被滴下液における界面活性剤の質量パーセント濃度を0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35%、0.40%と変化させる。ガラス管を使用して滴下液をビーカー内の被滴下液に向けて滴下し、跳ね返った液体を駒込ピペットで採取する。その際の「跳ね返り」の基準や滴下位置については「2 実験の基本概要」を参照。ここで糖度計についての説明をする。糖度計は液体に光を通した際の屈折を利用して糖度を測定する。跳ね返った液体の屈折率は砂糖だけでなく洗剤の影響も受けるため、このままでは正確な測定ができないと推測された。しかし、実験で使用する洗剤溶液の濃度は非常に低いため、糖度計でそれらを測定してその値を求めたところ極めて小さい値が出た。これは実験に影響を及ぼさない程度のものであるため、本実験では洗剤が糖度計の値に与える影響は無視することとする。

糖度計を用いた滴下液の割合の求め方は以下の通りである。

滴下液の糖度= α [%]

跳ね返った液体の糖度= β [%]

跳ね返った液体の質量= γ [mL]

跳ね返った液体に含まれる滴下液の質量= x [mL]

跳ね返った液体に含まれる被滴下液の質量= y [mL]

とする。このとき

$$(x \cdot \alpha / 100) / \gamma = \beta / 100$$

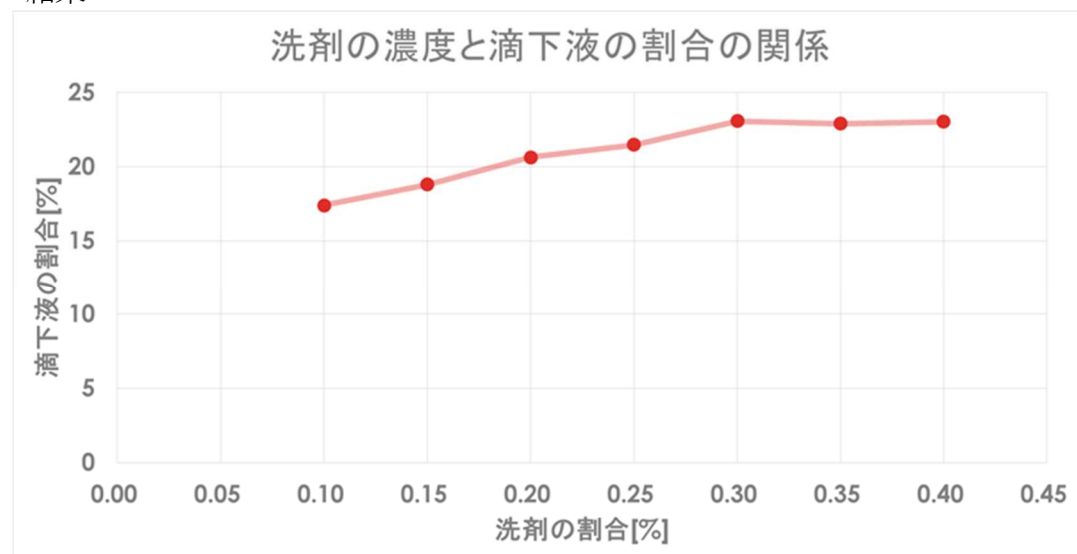
$$\Leftrightarrow \alpha x / \gamma = \beta$$

$$\Leftrightarrow x / \gamma = \beta / \alpha$$

$$\Leftrightarrow x \cdot 100 / \gamma = \beta \cdot 100 / \alpha$$

よって跳ね返った液体に含まれる滴下液の割合は $\beta \cdot 100 / \alpha$ である。

7 結果



跳ね返った液体を構成する割合はいずれの濃度においても「滴下液<被滴下液」となった。

- ・ 洗剤の濃度が0.10%～0.30%の範囲においては、洗剤の濃度が高いほど、つまり界面張力が低いほど、被滴下液の割合は低くなる。
- ・ それ以上の濃度においては被滴下液の割合は殆ど変化しない。

8 考察

(1) 跳ね返りの原理より考察

昨年度までの研究からの考察として、滴下された滴下液は被滴下液の下に潜り込み、被滴下液を持ち上げるようにして跳ね上がる。この過程が界面張力が低下することによってどのように変化するかを考える。跳ね返りの際には滴下液が被滴下液に潜り込み、被滴下液を持ち上げるようにするが、被滴下液は界面活性剤の影響で空気との界面が安定するため、盛り上がりにくくなる。これが滴下液の上部に位置する被滴下液の体積の減少を引き起こし、2014年度の実験A同様に被滴下液の割合が減少すると考えられる。

(2) 界面活性剤の性質より考察

界面活性剤は親水基、疎水基を併せ持つ両親媒性物質である。これを被滴下液に添加することにより、被滴下液の水面に界面活性剤が疎水基を上に向けた状態で存在することになる(図4)。これにより滴下液は被滴下液に衝突する際に、疎水基の影響で被滴下液と混ざりにくくなると考える。これは2014年度の実験における「疎水性」という条件と類似している。2014年度の研究から得たグラフ(図5)を考察すると、粘性係数が低いという条件下において、滴下液に水を使用した場合とシリコンオイルを使用した場合で差が生じている。ただし、このグラフによれば疎水性によって被滴下液の割合が多くなる。本年度の実験では界面活性剤が増加する、つまり疎水性が増加すると、被滴下液の割合は減少している。これは2014年度の結果と相反することとなる。

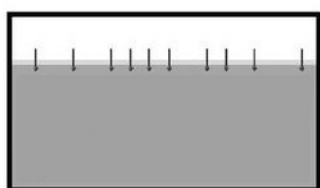


図4

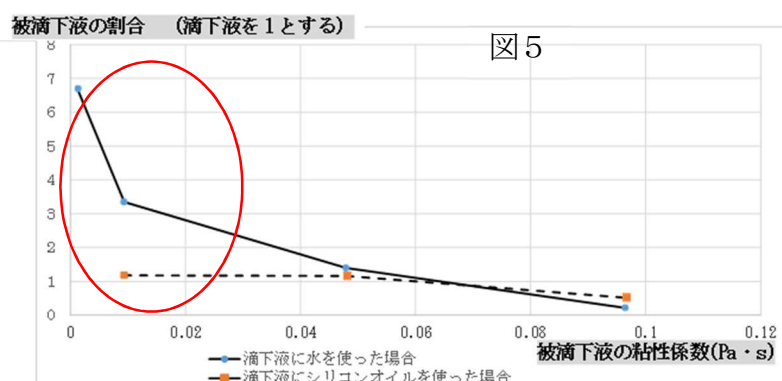


図5

(3) 界面張力の性質より考察

(1)とは異なる点で界面張力の変化による影響を考察する。スロー撮影を分析したところ、滴下液が被滴下液内部に侵入する際、滴下液は空気層につつまれていることが分かった(図6)。よって内側から「滴下液・空気層・被滴下液」の順に並ぶこととなる。このとき、被滴下液と空気層の界面に界面活性剤が並ぶ。被滴下液は界面張力が低下しているため、より広がりやすくなると考えられる。これにより滴下液はより広範囲に侵入することができる。

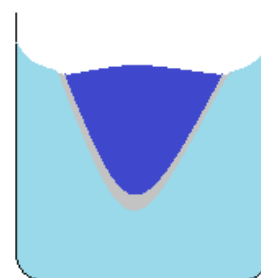


図6 内側から「滴下液・空気層・被滴下液」

より広がった滴下液は被滴下液を外側に押し出し、跳ね上がる一瞬のうちに滴下液の上部に集まる被滴下液の量を減少させる。結果として界面活性剤が増加するにつれて滴下液の割合が増加する。

(4) 写真より考察

写真は同じ高さ、滴下位置で滴下したものであり、滴下液を赤く着色してある。また、洗剤の添加以外の条件は変更していない。写真から判るように、洗剤を添加しない場合は跳ね返

った液体が分離するまでに付いてくる部分(以後「柱」と呼ぶ)が短く、太い。一方で洗剤を添加した場合は柱長く、細い。また、洗剤を添加しない場合は柱の上の球状の部分(以後「玉」と呼ぶ)が大きく、洗剤を添加した場合は球が小さい。

洗剤を添加すると柱が細くなる理由は界面活性剤により界面張力が低下し、内側へ引っ張る力が弱くなるからであると考えられる。滴下の高さが同じであることから滴下液の運動エネルギーは変化しないため、跳ね返り中の界面活性剤による影響を考慮しないと跳ね上がる液体の量は等しくなる。そのため柱は細くなるほど長くなる傾向にあるのだと推測される。

球も同様に、洗剤を添加すると小さくなるのは界面張力が低下するためであると考えられる。このように柱及び玉の変化の原因は界面張力の変化で説明ができ、この写真は「跳ね返り」に界面張力の変化が影響していることの裏付けとなる。

さらに写真を詳しく分析すると、洗剤が添加されていない場合は玉がより赤く、添加されている場合はあまり赤くない。また、洗剤添加されていない場合は水面に赤色が少なく、されている場合は水面に多くが集中している。

これらより、写真の状態は「滴下液が被滴下液を引っ張るようにして跳ね上がっている」と考えてみると、洗剤が添加されていない場合に柱が太いのは、被滴下液の界面張力が大きいいため滴下液が被滴下液を安定して引っ張ることができるからであり、それによって被滴下液の割合が多くなると考えられる。添加されている場合はその逆である。また、洗剤が添加されている場合に赤色が水面に集中しているということは、されていない場合と比べて被滴下液を引っ張る力が小さいということを示し、これより被滴下液の界面張力が低下すると滴下液の割合が増加していくのだと考えられる。

(5) 洗剤濃度が 0.30% 以上のときに対する考察

洗剤濃度が 0.30% を超えたあたりから増加していた滴下液の割合が急に一定になる。これは被滴下液が臨界ミセル濃度に到達したからであると考えられる。前述したとおり本実験では臨界ミセル濃度を 0.35% としたが、今回得られたグラフはこれにほぼ対応している。これにより理論通りのデータが取れたこととなり、本実験の正確さを示すことが出来る。

9 まとめ

- 被滴下液への界面活性剤の添加が跳ね返った液体を構成する滴下液の割合を増加させる。これは様々な視点で説明することが可能である。
- 被滴下液の界面活性剤濃度が臨界ミセル濃度に達すると被滴下液の界面張力がこれ以上低下しなくなり、滴下液・被滴下液の割合は一定になる。

10 今後の課題

界面活性剤による疎水性が影響を及ぼすことが考察されたが、これは 2013 年度の疎水性への考察と相反するものだった。これについての更なる追究を目指す。

11 参考文献

「一滴の体積と洗剤の臨界ミセル濃度」(2010 年 静岡県立浜松北高校)

協和界面科学株式会社 HP <http://www.face-kyowa.co.jp/>

Wikipedia <http://ja.m.wikipedia.org/wiki/水>

<http://ja.m.wikipedia.org/wiki/臨界ミセル濃度>

<http://ja.m.wikipedia.org/wiki/界面活性剤>

