

4 一滴の体積 第 4 報 一滴下速度と液滴の体積

1. 動機

昨年度、私たちは、低温時の洗剤溶液の臨界ミセル濃度の研究を行ったが、データを分析しているときに、同じ濃度の洗剤溶液であるにもかかわらず、測定した液滴の体積データにばらつきがあることに気が付いた。はじめは、測定誤差の可能性を疑ったが、再度測定実験を行なったところ、やはりデータのばらつきが生じた。その原因として、液滴の体積は滴下速度の影響を受けるのではないかと新たな疑問を持った。

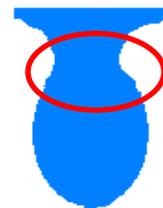
そこで、今回、ビュレットから滴下する液滴の滴下速度を大きく変化させ、一滴の体積にどのような影響を与えるか検証する。

2. 目的

- (1) ビュレットから滴下する液滴の滴下速度 (100 滴を滴下する時間) を変化させ、100 滴の質量を測ることで一滴の体積は変化するか調べる。
- (2) 高速度カメラを用い、画像から液滴の長さを測定し、その楕円回転体と近似して体積を求める。また、ビュレットから切れ落ちる液滴の様子を分析し、滴下速度による違いがあるか解明する。

3. 仮説

滴下速度が速いほど、ビュレットの口から流入する流量が多いためくびれ部分が太く切れ落ちた液滴は大きくなる。



液滴のイメージ図

4. 方法

【研究 1】液滴 100 滴の質量 (g) から求めた一滴の体積 (mL)

- (1) ストップウォッチで時間を測り、ビュレットで蒸留水 100 滴を滴下する。
- (2) 滴下した水 100 滴を電子天秤を用い、質量 (g) を測定する。
- (3) 水の密度 (0.997g/cm^3 , 27°C) を考慮し、一滴の体積 (mL) を求める。
- (4) 水との比較のため、洗剤溶液とグリセリン溶液も (1) ~ (3) を行う。それらはメスフラスコを用いて調整し、密度 (g/cm^3) を求めておく。洗剤は、昨年までの研究で臨界ミセル濃度が分かっている、花王 ファミリーフレッシュコンパクト使用。



【研究2】 画像解析

(1) 滴下速度を変化させ、液滴が切れ落ちる瞬間を高速度カメラ（カシオEX-ZR100）で撮影する。

(2) パソコンの画像より、長さ X, Y, L を測定する（図1）。

※1 長さの測定は、フリーソフト「測ルン」を使用。

※2 実験で使用したビュレットは、液滴との接触面を一定に保つため、先端部の丸みを水平にカットしたものである。（柴田化学特注品）。

※3 ビュレット先端部と比較して長さ X, Y, L (mm) を計算する。先端部の外径は 4.225mm である。
（浜松工業技術センターにて測定）

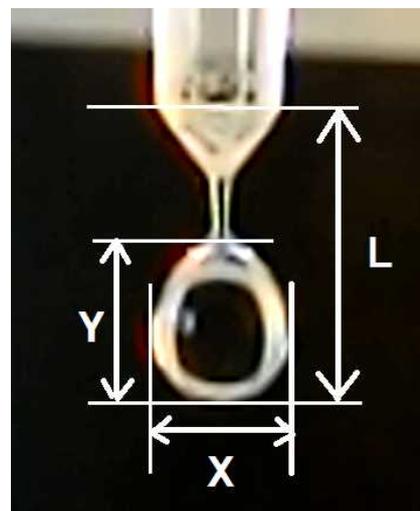


図1

(3) 画像解析より測定した長さ X, Y より

液滴の体積 V (mm^3) を求める。

$a = X/2$ 、 $b = Y/2$ とする。

液滴を楕円回転体（ y 軸）と近似し、

楕円回転体の体積 $V = 4\pi a^2 b / 3$ ……式（1）

式（1）より、画像上の液滴の体積 V (mm^3) を求める。

5. 結果

【研究1の結果】 100滴の質量から求めた一滴の体積

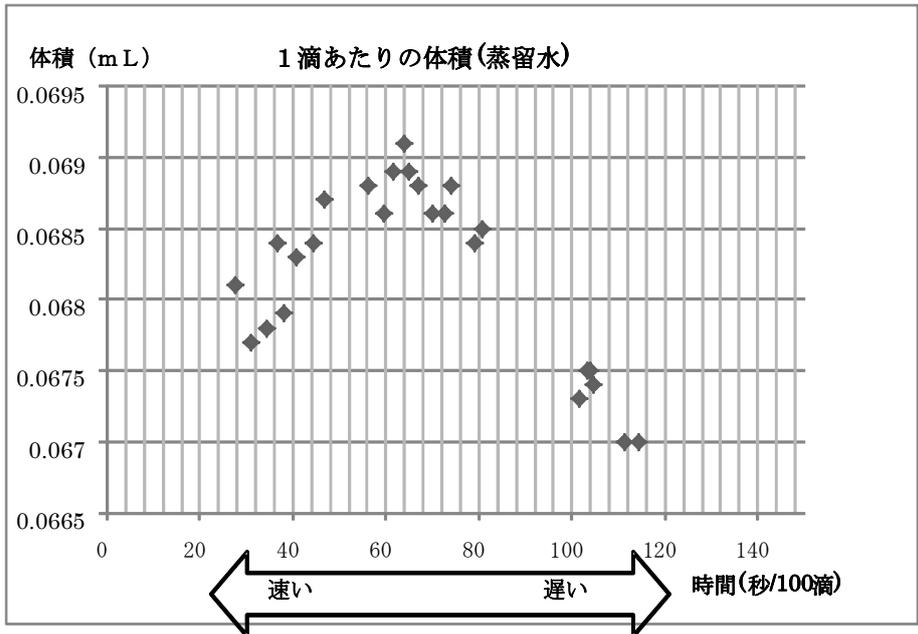
表1 測定データ（例） 0.25%洗剤溶液（密度 0.99507g/cm^3 ）

	滴下時間 (秒/100滴)	質量 (g/100滴)	一滴の体積 (mL)
データ1	33	3.39	0.0341
データ2	68	2.66	0.0267
データ3	144	2.41	0.0242

このように滴下速度（100滴の滴下時間）を変え、100滴の質量(g) から密度 (g/cm^3) を考慮して一滴の体積 (mL) を求めた。

また、他の溶液の密度は、蒸留水… 0.997 (g/cm^3)、20%グリセリン溶液… 1.039 (g/cm^3) 実験時の水溶液の温度は 27°C 。

次のグラフ1は、表1のように測定した水（蒸留水）の100滴の滴下時間(s) と一滴の水の体積 (mL) をプロットしたものである。滴下速度が速くなると液滴の体積が大きくなる傾向が見られた。しかし、滴下時間を 64 秒より短く（速く）すると体積が小さくなる結果が得られた。液滴の体積は、滴下速度が遅い時に比べ速い時は最大 1.03 倍になった。



—グラフ1 水の100滴の滴下時間(秒)と一滴の体積(mL)—

【研究2の結果】画像解析

(1) 画像より計算した液滴の体積

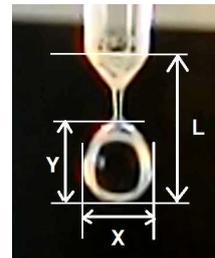
画像解析より測定した液滴の長さ X, Y より、

$a = X / 2$ 、 $b = Y / 2$ とし、

液滴を楕円回転体 (y 軸) と近似して、

体積 $V = 4\pi a^2 b / 3$ …式 (1)

公式より、液滴の体積 V (mm³) を求めた (表 2)。



	滴下時間(100 滴)	a(mm)	b(mm)	体積 V (mm ³)
水 (蒸留水)	30 秒	2.345	3.127	71.972
	60 秒	2.535	2.915	78.433
	2260 秒	2.387	2.767	66.022
0.25% 洗剤溶液	72 秒	1.796	2.134	28.802
	2240 秒	1.479	1.880	17.213
20% グリセリン水溶液	88 秒	2.303	3.148	69.871
	6000 秒	2.324	2.915	65.906

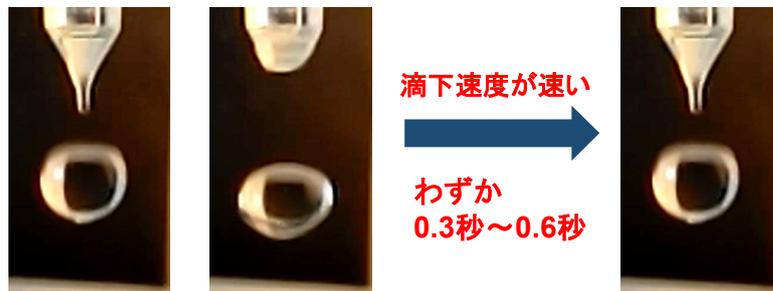
—表 2 滴下速度を変えた時、液滴の画像上の長さから楕円回転体として近似した体積—

6. 考察

図2の写真は、水を極めて速く滴下した(左)と極めて遅く滴下した時(右)の画像である。滴下速度が速い時は、流入部が長く太いのに対し、滴下速度が遅い時流入部は短く細くなっている。このことから滴下速度が速い時に液滴の形状が縦長になっているのが伺える。また、グリセリンも同様の結果が得られた。液滴は右図のように、切れ落ちた直後に振動している。滴下速度を64秒より速くした場合、液滴が切れ落ちてから次の液滴ができるまでにわずか0.3~0.6秒である。そのため、液滴内は「動的な状態」となっている。蒸留水の温度による表面張力の違いを見てみると、温度が高いほど表面張力は小さくなっている。水は温度が高い時に分子運動が活発で、「動的な状態」といえる。このことから、表面張力の効果のみを考えると水は滴下速度が速いとき(動的な状態)に体積は小さくなると思われる。蒸留水の場合、滴下速度がきわめて速い時、動的な表面張力の効果がビュレットからの流入効果を上回ったと考えられる。



図2 水の滴下速度の違い 速い(左)、遅い(右)
滴下速度が速い画像は、切れ落ちる瞬間までビュレットからの流入が見られる。



温度 (°C)	表面張力 (mN/m)
25	72
40	70
50	68
70	64

温度が高くなると表面張力は小さくなる
= 動的状態

滴下速度が速いと液滴は小さくなるはず
(動的状態)

液滴に及ぼす効果

動的 (滴下速度 速い) 静的 (滴下速度 遅い)

A. 表面張力 小 → 大

B. ビュレットからの流入 大 ← 小

図3の写真は、洗剤溶液を速く滴下した時(左)と遅く滴下した(右)の画像である。洗剤溶液は滴下速度によって大きく体積が変化し、ビュレット先端部の大きさと比較しても液滴の大きさが明らかに異なることが分かる。滴下速度が遅い時は界面活性剤が表面に並び、表面張力が低下することで体積は小さくなる。それに対して滴下速度が速いとき液滴内部は動的状態であり界面活性剤が表面に並びきれない。よって表面張力が低下せず体積は大きくなる。滴下速度が速い時、ビュレットからの流入効果により体積は大きくなる。画像上からも、滴下速度を速くすると液滴が大きくなることが確かめられた。また、水の滴下速度をより速くすると一滴の体積が小さくなる現象があった。洗剤溶液の場合界面活性剤の効果により液滴の体積変化が特に大きくなった。



図3 洗剤溶液の滴下速度の違い 速い(左)、遅い(右) ビュレットの幅と比べても明らかに左の画像は大きく、右の画像は小さいことが分かる。

7.今後の課題

水の場合は、ビュレットから滴下する一滴の体積は、滴下速度が遅い時に比べ、速い時は最大 **1.03倍** と比較的体積変化は小さかったのに対し、洗剤溶液では、最大 **1.75倍** になった。

そこで、界面活性剤が大きな影響を与えていると考えられる。界面活性剤は表面張力を低下させるが、液体に流れ(動き)があるときは、表面張力を十分に低下させることが出来ない結果が得られた。それは動的な表面張力と考えられる。今後は、様々な濃度の洗剤溶液で調べ、臨界ミセル濃度以上でも液滴の体積が大きくなるかどうか調べたい。

それに加えて、塩化ナトリウム水溶液など電解質水溶液でも同様の実験をしたい。

8.参考文献

- ・清流五十選 (花王生活科学研究所)
- ・化学図説 (東京書籍)
- ・化学 I 教科書 (数研出版)
- ・セッケン百科 HP (<http://www.live-science.com/honkan/theory/surfac02.html>)
- ・日本石鹼洗剤工業会 HP (http://www.jsda.org/w/03_shiki/index.html)
- ・表面張力の物理学 (吉岡書店)
- ・界面化学 (丸善株式会社)
- ・超撥水と超親水 (米田出版)