

5 一滴の体積 ～滴下速度による液滴の体積変化～

静岡県立浜松北高等学校 物理・化学部
3年 中津川瑛美 他 4名

1 動機

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てきたが、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 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ながら、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、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「測レン」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 (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 (浜松工業技術センターにて測定)

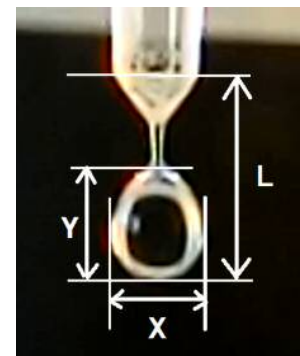


図 1

(3)画像解析より測定した長さ X, Y より

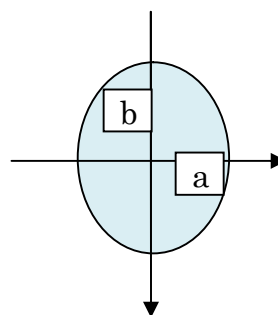
液滴の体積 V (mm³)を求める。

a = X / 2、b = Y / 2 とする。

液滴を楕円回転体 (y 軸) と近似し、

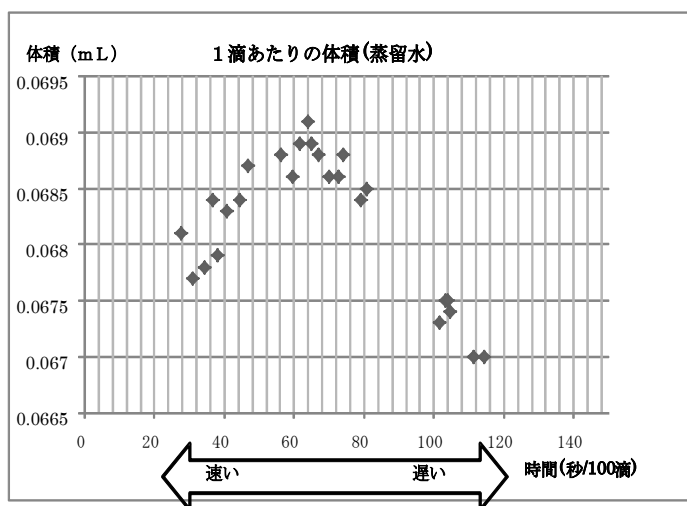
楕円回転体の体積 $V=4\pi a^2 b/3$ …式 (1)

式 (1) より、画像上の液滴の体積 V (mm³)を求める。



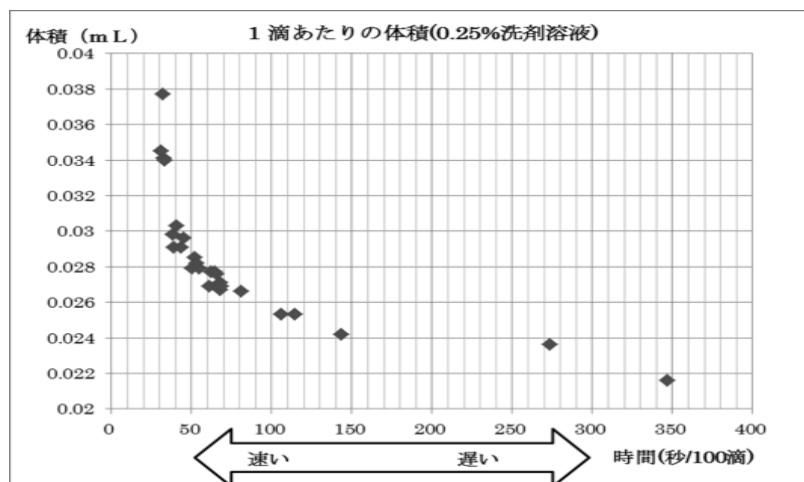
4 結果

下のグラフ 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)—

グラフ 2は、0.25%洗剤溶液の 100 滴の滴下時間(s)と一滴の体積 (mL)である。洗剤溶液は、滴下速度が速くなると急激に液滴の体積が大きくなる。液滴の体積は、滴下速度が遅い時に比べ、速い時は最大 1.75 倍になった。体積変化が大きい原因は界面活性剤が影響していると考えられる。



—グラフ 2 0.25%洗剤溶液の滴下時間と一滴の体積(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

	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 1 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—

- ・画像上からも、それぞれの液体で、滴下速度を速くすると液滴が大きくなることが検証された。
- ・結果のグラフ 1 で、水の滴下速度をより速く (64 秒/100 滴以下) にすると体積が小さくなる結果が見られた。表 2 の画像解析からも、より速い (30 秒/100 滴) ときは体積が小さくなる現象が確認された。

5 考察

(1) 滴下速度が速いと液滴が大きくなる要因 一流入部分と液滴の形状

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。

滴下速度の違いにより、ビュレットからの流入する液量が明らかに異なることが見られる。滴下速度が速いと、「ビュレットからの流入効果」により、液滴が大きくなることが明らかになった。

これより、滴下速度が速い(左)と、遅い(右)ときに比べて液滴の形状が縦長になり、体積もやや大きくなっているのが伺える。

図3は20%グリセリン水溶液の画像である。同様に、「ビュレットからの流入効果」が水よりも明確に現れ、左の液滴が縦長に、かつ大きくなるが見られる。



33 秒/100 滴 (速い)

2200 秒/100 滴 (遅い)

—図2— 水(蒸留水) 滴下速度の違い



38 秒/100 滴 (速い)

6000 秒/100 滴 (遅い)

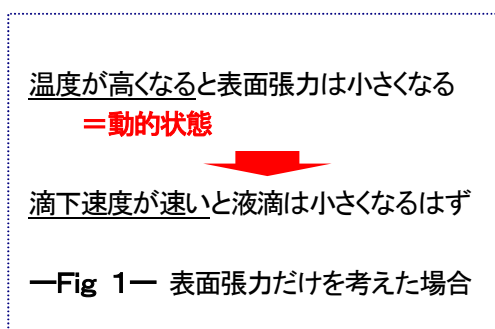
—図3— 20%グリセリン水溶液 滴下速度の違い

(2) 水の一滴の体積が滴下速度をさらに速くすると小さくなる要因

水、洗剤、グリセリン溶液のいずれでも、滴下速度を速くしていくと、液滴の体積は大きくなっていくことは画像写真を見て理解できた。しかし、水の場合、滴下時間を 68 秒/100 滴より短く(速く)すると液滴の体積が小さくなる実験結果が得られた。この原因として「動的な表面張力」が考えられる。滴下を速くすると、液滴が切れ落ちた瞬間に、ビュレットからの流入部分上部の水がビュレット先端部に戻る瞬間を捉えている。この先端部に戻る水は上下に振動して揺れ動く。この振動が続く中、ビュレット上部から水が流入し、次の液滴が形成され、滴下速度が速い時は、わずか0.3~0.6秒後に次の液滴が落下する。そのため、と考えられる。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あり「動的な状態」といえる。

ここで、表3の水の表面張力のデータを見ると、表面張力は高温になるほど小さくなる。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、先に記述したように形成される液滴の内部は、流れや動きがある「動的な状態」であるため、表面張力が低下し、体積は小さくなると思われる (Fig 1)。しかし、滴下速度が速いときは「ビュレットからの流入効果」という相反する要因がある。

水 (蒸留水) の場合、滴下速度を速くしていくビュレットからの流入効

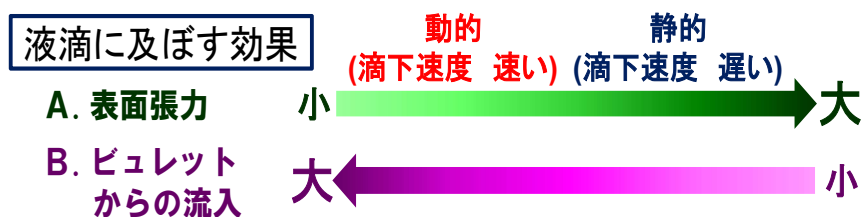


果により液滴の体積が大きくなるが、きわめて速い時 (滴下時間 68 秒 / 100 滴以下) には、「動的表面張力の効果」がビュレットからの流入効果を上回るため、液滴が小さくなる現象が生じたと考えられる (Fig 2)。

表3 水の表面張力 (理科年表より引用)

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

—Fig 2— 液滴に及ぼす相反する効果



6 参考文献

- ・表面張力の物理学 (デュジェンヌ他 2 名 著、吉岡書店、2009)
- ・界面化学 (近澤正敏・田嶋和夫 著、丸善株式会社、2007)
- ・超撥水と超親水 (辻井薫 著、米田出版、2009)