

〈第31回 山崎賞〉

1. 一滴の体積 水溶液の粘性と液滴の形状

静岡県立浜松北高等学校

2年 石塚 歩 伊藤詩織 神谷 凌 齋藤千夏 神野泰希

1年 太田貴也 村上知弘 今村莉佳子

1 動機

これまでの研究で、ビュレットに残っている溶液の体積が減少するにしたがって液滴の滴下速度が減少する傾向がみられたため、今年度はこれについて詳しく検証することにした。溶液の粘度も滴下速度に影響すると考えられるため、異なる濃度のグリセリン水溶液を用いることで液滴の粘性との関係も調べた。また、滴下速度や粘性によって液滴の形状がどのように変化するのか疑問に思ったため、液滴の形状との関連性についても考察することにした。

2 仮説

- a 粘度が高くなるにつれて、液滴の形状は縦長になる。
- b 始めの滴下速度が遅いほど、滴下速度はより遅くなる。
- c 液滴の粘度が変わっても、横幅は一定である。

3 研究

〔研究A〕 グリセリン水溶液中のグリセリン濃度と粘性の関係について

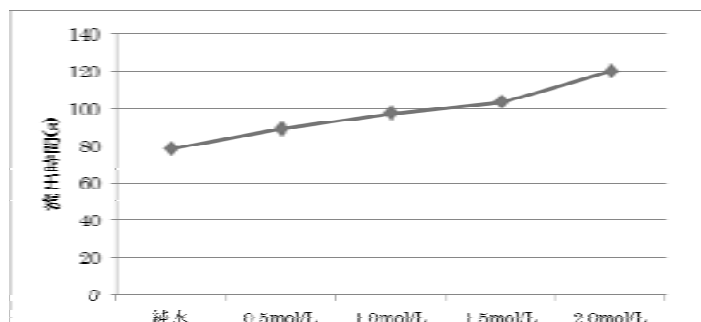
(1) 実験方法

- ① 1/1000g まで測定できる電子天秤を用いて 0.5mol/L から 0.5mol きざみで 2.0mol/L までの 4 種類のグリセリン水溶液を精製する。
- ② オストワルド粘度計をグリセリン水溶液で満たし、水溶液が上の標線から下の標線まで落下するのにかかる時間(流出時間)を計 50 回測定する。
- ③ 結果をグラフ化し、流出時間を比較することで濃度と粘性の関係を考察する。

(2) 結果

	純水	0.5mol/L	1.0mol/L	1.5mol/L	2.0mol/L
流出時間(s)	78.5	89.1	97.5	103.4	120.2

表1 グリセリン水溶液の濃度(mol/L)と流出時間(s)の関係



グラフ1 グリセリン水溶液の濃度 (mol/L) と流出時間(s)

オストワルド粘度計において、液体の流出時間(s)と粘度は正比例の関係にある。よって、このグラフからグリセリン水溶液の濃度と粘性は正比例の関係にあることがわかる。

[研究B] ビュレット内の液面の高さと滴下速度の関係について

(1) 実験方法

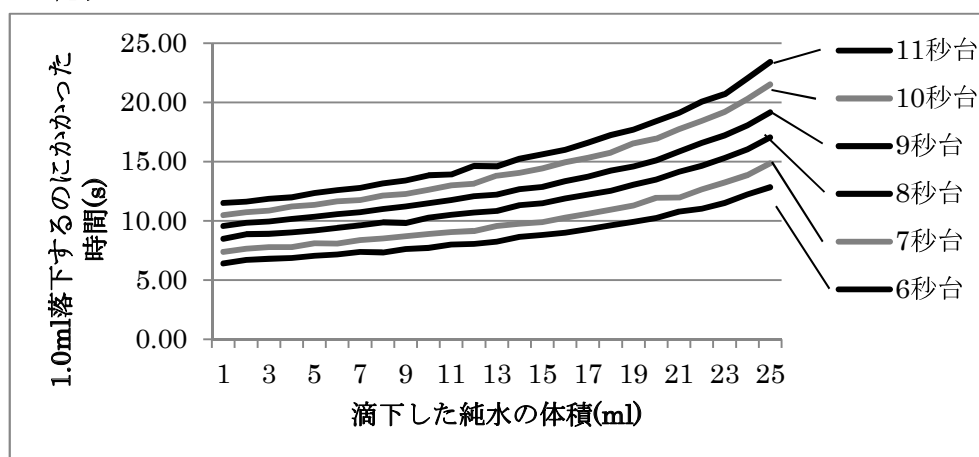
- ① 1.0mol/L グリセリン水溶液を精製する。
- ② 水溶液をビュレットの目盛り 0mL まで満たし、コックを調節して溶液を 6.0～11.0 (s/mL) の速度で滴下する。25.0mL 滴下するまで 1.0mL ずつ時間 (s) を測り、ラップタイムをとる。
- ③ 純水についても同様の実験を行い、それぞれのデータをグラフ化して考察を行う。

(2) 結果

ここでは滴下速度を、ビュレットで 1.0mL 滴下する時間 (s/mL) と定義する。

※グリセリン水溶液 計 107 回、純水 計 104 回分のデータを測定し、初期の滴下速度別に平均して表とグラフを作成した。

<純水>



グラフ 2 純水滴下時の滴下速度 (s/mL) の変化

	初期 0-1mL	上部 9-10mL	中部 19-20mL	下部 24-25mL
6 秒台	6.40	7.70	10.24	12.83
7 秒台	7.37	8.90	11.93	14.86
8 秒台	8.49	10.28	13.47	17.04
9 秒台	9.56	11.47	15.11	19.17
10 秒台	10.48	12.63	16.93	21.51
11 秒台	11.50	13.84	18.42	23.41

表 2 グラフ 2 を表にした

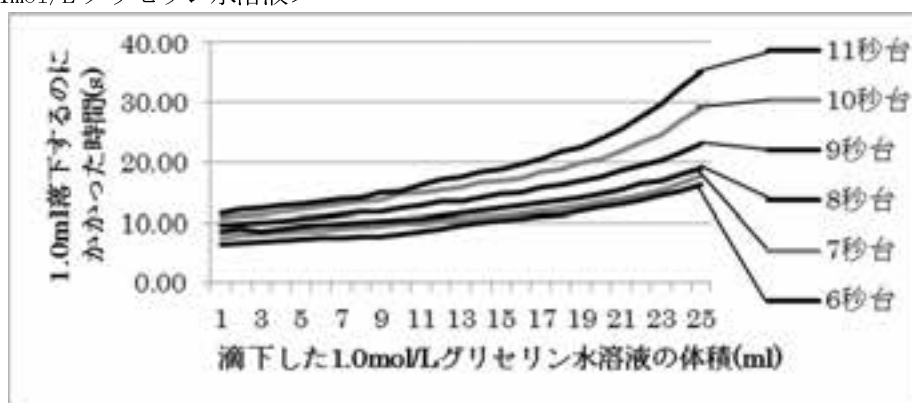
	初期 0-1mL	上部 9-10mL	下部 24-25mL
6 秒台	1.20	1.60	2.00
7 秒台	1.21	1.62	2.02
8 秒台	1.21	1.59	2.01
9 秒台	1.20	1.58	2.01
10 秒台	1.21	1.62	2.05
11 秒台	1.20	1.60	2.04

表 3 表 2 の初期滴下速度と上部、中部、下部の比の関係

純水についての考察。表 3 からわかるように、純水の場合は 25mL 滴下する間に滴下速度がほぼ 0.5 倍に遅くなっていることがわかった。9～10mL のときには約 0.8 倍、19～20mL は約 0.6 倍とさらに遅くなっている。また、初期速度の滴下時間にかかわらず、滴下速度はほぼ一定の倍率で変化することがわかった。そして、グラフ 2 から、滴下速度の変化は純水の残量が減少するにしたがつ

て徐々に大きくなっていくことがわかる。

<1mol/L グリセリン水溶液>



グラフ 3 1mol/L グリセリン水溶液滴下時の滴下速度 (s/ml) の変化

	初期 0-1ml	上部 9-10ml	中部 19-20ml	下部 24-25ml
6 秒台	6.44	8.04	12.48	16.23
7 秒台	7.50	9.75	13.34	17.61
8 秒台	8.51	10.45	14.77	19.10
9 秒台	9.48	12.31	17.60	22.98
10 秒台	10.55	14.70	20.42	29.15
11 秒台	11.50	15.22	24.02	35.07

表 4 グラフ 3 を表にした

	上部 9-10mL	中部 19-20mL	下部 24-25mL
6 秒台	1.25	1.94	2.52
7 秒台	1.30	1.78	2.35
8 秒台	1.23	1.74	2.24
9 秒台	1.30	1.86	2.42
10 秒台	1.39	1.94	2.76
11 秒台	1.32	2.09	3.05

表 5 表 4 の初期滴下速度と上部、中部、下部の比の関係

1.0mol/L グリセリン水溶液の場合は、滴下速度の変化は純水の残量が減少するにしたがって徐々に大きくなっている。しかし、表 3 からわかるように、グリセリン水溶液の場合は 25mL 滴下する間の滴下速度の変化が目盛り 1 のときに比べ、約 0.4 倍で、目盛り 10 のときには約 0.77 倍、目盛り 20 は約 0.5 倍と、純水よりも変化の割合が大きくなり、一定にはならないことがわかった。

	上部(9-10mL)	中部(19-20mL)	下部(24-25mL)
純水	0.8 倍	0.6 倍	0.5 倍
1.0mol/L グリセリン	0.77 倍	0.5 倍	0.4 倍

表 6 初期の滴下速度と上部、中部、下部の比をまとめたもの

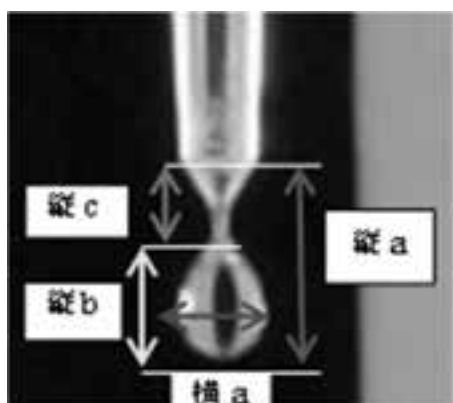
[研究 C] グリセリン水溶液、純水の滴下速度と形状の関係

[研究 C-1] ビュレット液面の高さと液滴の形状

(1) 実験方法

- ① 1.0mol/L グリセリン水溶液と純水を精製する。
- ② それぞれをビュレットから滴下し、撮影する。

- ③ 目盛り 0 の最初の滴下画像、150 滴目、300 滴目の落ちる瞬間の画像を取り出し、液滴の形状を計測する。滴下速度は 6.0~11.0(s) の範囲でまんべんなくデータを採取した。



(2) 結果

液滴の幅が最大の部分の長さを横 a、ビュレットの先端から液滴の先端までの長さを縦 a、液滴自体の縦の長さを縦 b、縦 c は縦 a-縦 b とする。体積は縦 b を使用して求める。体積測定のため、回転楕円体の体積を求める公式を用いる。

$$\text{※体積} = 4(\text{横 } a)^2(\text{縦 } b)/3$$

	1 滴目	150 滴目	300 滴目
横 a (cm)	0.4833	0.4744	0.4731
縦 b (cm)	0.6099	0.5803	0.5676
体積 (cm ³)	0.0747	0.0683	0.0665

表 7 純水の縦 b(cm)、横 a(cm)、体積

表 7 より、純水において横 a (cm) は液滴の滴下数に関わらず、ほとんど変化しない。縦 b (cm) は滴下回数を重ねるにしたがって、徐々に減少している。よって体積は減少傾向にあることがわかる。

	1 滴目	150 滴目	300 滴目
横 a (cm)	0.4893	0.4948	0.5018
縦 b (cm)	0.6445	0.6274	0.6069
体積 (cm ³)	0.0808	0.0805	0.0799

表 8 1.0mol/L グリセリン水溶液の横 a、縦 b、体積

表 8 より、1.0mol/L グリセリン水溶液において横 a はわずかに増加するが、縦 b は減少し体積はほとんど変化しないことがわかる。

[研究 C-2] 溶液の粘性と液滴の形状について

(1) 実験方法

- ① 1.0mol/L グリセリン水溶液を精製する。
- ② ビュレットの目盛り 0 まで満たす。最初の 1.0mL が 10 秒で落下するように滴下速度を一定にした上で動画を撮影する。
- ③ 液滴が切れ落ちる瞬間の画像を取り出し、縦、横の長さで体積を求める。

(2) 結果

	純水	0.5mol	1.0mol	1.5mol	2.0mol	5.0mol
横 a (cm)	0.487	0.478	0.475	0.472	0.466	0.463
縦 a (cm)	0.892	0.975	0.991	0.984	1.032	1.072
縦 b (cm)	0.582	0.600	0.585	0.570	0.585	0.584
縦 c (=縦 a-縦 b) (cm)	0.310	0.374	0.405	0.414	0.447	0.488
体積 (cm ³)	0.0725	0.0718	0.0693	0.0665	0.0665	0.0654

表 9 液滴が切れ落ちる直前の液滴の縦、横の長さで体積 (先輩の論文より)

パソコンで画像解析ソフトを使用して計測した。表9からわかるように、横aは液体の粘性によって多少のばらつきが見られるが、若干減少していることがわかる。ところが、縦aは液体の粘性が大きくなるにしたがって増加している。縦bは液体の粘性にかかわらずほぼ一定である。したがって縦cは縦aとほぼ同じだけ増加している。体積は液滴の粘度が高くなるにつれて減少していることがわかる。

4 考察

[研究B]では滴下するに従って、ビュレット内の溶液が減少し、水圧が低くなるため滴下速度が遅くなると考えられる。また、純水とグリセリン水溶液の場合を比べると、グリセリン水溶液は純水よりも滴下速度の遅くなる割合がより大きい。グリセリン水溶液は純水に比べて密度が高いので、水圧が高くなる。したがって液面が下がったときに、グリセリン水溶液の方が純水より滴下速度の変化が大きいのは、グリセリン水溶液の方が純水に比べ、ビュレット先端部にかかる圧力が大きくなるからだと考えられる。

[研究C-1]では純水の場合、1滴目に比べ150滴目、300滴目は縦bが減少し、横aは変化がないので体積が減少する。グリセリン水溶液の場合縦bが減少し、横aが増加するので体積の変化がない。目盛り0からの滴下による滴下速度の減少によって、純水、グリセリン水溶液ともに縦bが減少する。

[研究C-2]では溶液の粘度を高くすると液滴の横aが減少し、縦bの変化がないので、体積が減少するのは明らかである。横aが減少するのは水に比べてグリセリンの方が表面張力が小さくなるためで、グリセリンの濃度が高くなるほど体積は小さくなる。よって縦b、横aともに小さくなるはずである。しかしビュレットからの水溶液の流入のために縦bの長さは保たれていると考えられる。また、縦a、縦cが増加するのは粘度が高くなるため、液滴が縦に長く伸びるからだと考えられる。

これらの研究により、粘性が高くなるほど表面張力が弱まり、液滴の形状は縦長になることを確認することができた。

5 研究のまとめ

[研究A]

グリセリン水溶液の濃度と水溶液の粘性には正比例の関係がある。

[研究B]

ビュレットの残量が少なくなるほど、滴下速度は遅くなり、その減少する割合は大きくなる。

1. 0mol/L グリセリン水溶液では最初の滴下速度と滴下速度の減少する倍率には規則性は見られない。

[研究C-1]

横aは液体の粘性が高くなると若干短くなる。また、縦bは変化がない。体積は粘性が大きくなるにつれて減少している。

[研究C-2]

純水、1. 0mol/L グリセリン水溶液ともに、横a、縦bは滴下速度の減少に関わらず、変化はない。

6 参考文献

表面張力の物理学（ドゥジェンヌ、ブロンシャルーヴィアール、ケレ共著 吉岡書店）

超撥水と超親水（辻井薫著 米田出版）

一滴の体積第5報～水素結合と表面張力～