

ダイラタンシー現象と液体の界面張力の関係

~ The Relation between Dilatancy Phenomenon and Interfacial Tension ~

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年

水野智晴 河崎喜斗

はじめに：ダイラタンシー現象とは

不溶性の粉粒体と液体（例：片栗粉と水）の混合物中で、粉粒体が稠密に充填（沈殿）し、その配列が崩される際に、ずり速度が小さいときは粒子は自由に動くことができるが、大きくなると動きが限定される。ここで、ずり速度と粒子の流動の速度には正の相関があるから、**粒子の流動が遅いときにはその混合物は液体のように振る舞うが、速いときには固体のように振る舞う**。この現象を、**ダイラタンシー現象**という。これは、最密充填の状態から配列が崩れるとき、粉粒体全体の体積が大きくなる。この時、粒子間隙も大きくなるが、間隙内の液体粒子の物質量は変化しない。そのため、**液体粒子が陰圧となり、変形を妨げようとするので、固体のように振る舞う**（以下ダイラタント硬化）。

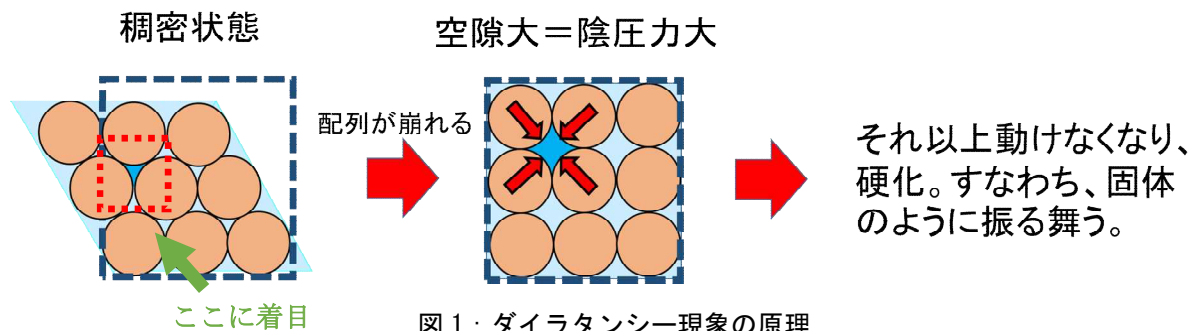


図 1：ダイラタンシー現象の原理

研究目的

界面張力は異なる物質間に働く引力であるので、ダイラタント硬化時に分子間の引力に影響すると考えることが出来る。そこで、本研究ではダイラタント流体中を間欠的に動く力学台車の速度を比較することで、界面張力や水溶液のモル濃度を変えた時のダイラタント硬化の強度を比較する実験を行った。

方法

実験 1：ラウリル硫酸ナトリウム（界面活性剤）水溶液のモル濃度と界面張力の関係を求める。

- ① ラウリル硫酸ナトリウムと純水を用いて、モル濃度を 0.0020, 0.0040, 0.0060, 0.0080, 0.010, 0.025, 0.050, 0.10 mol/L に調整したラウリル硫酸ナトリウム水溶液を作る。
- ② 純水と①で調整した水溶液、電子ばかりを用いて、ビュレット（外径 $r=3.3\text{ mm}$ ）から滴下される水滴 10 滴分の質量の平均から 1 滴分の質量を測定する。この操作を 5 回繰り返した。
- ③ 界面張力 γ は水滴 1 滴分の質量 m 、ビュレットの先端外径 $2r$ 、重力加速度 g を用いて以下のようにして求める。

界面張力を γ [N/m] とすると、

$$\text{等式：} 2\pi r \gamma = mg$$

が成り立つ。これを γ について解くと、

$$\gamma = \frac{mg}{2\pi r}$$

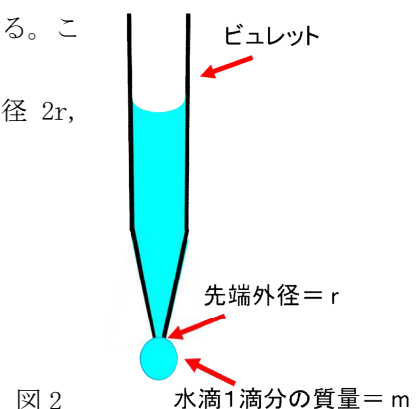
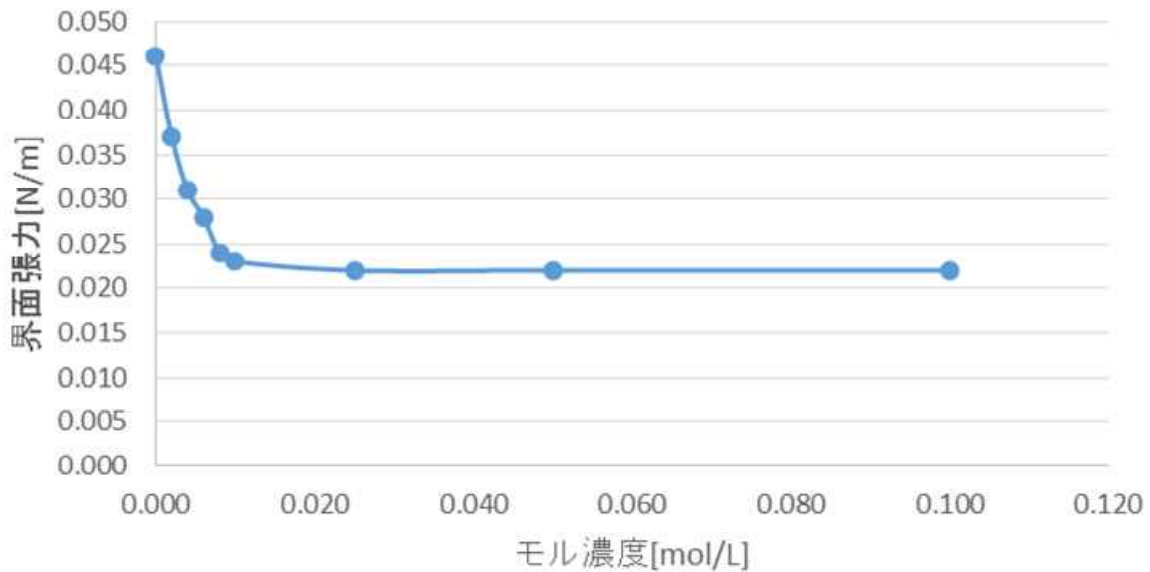


図 2

結果 1



グラフ 1：ラウリル硫酸ナトリウム水溶液のモル濃度と界面張力の関係

グラフ 1 より、界面張力は、ラウリル硫酸ナトリウム水溶液のモル濃度が 0.010 mol/L になるまでは下がり続けたが、それ以降は変化しなかった。（＊実験時の水温は 15 ℃）

実験 2：ラウリル硫酸ナトリウム水溶液のモル濃度と力学台車の速度の関係を求める。

- ① 実験 1 で用いた 9 種類の液体 100 mL と片栗粉 100 g とを直方体の容器に入れ、ダイラタント流体を作る。
- ② それぞれを攪拌させ、10 分間放置して片栗粉を均一に沈殿させ、稠密の状態にする。
- ③ ストッパーを外して自作した装置（図 3）を動かし、その様子を撮影する。
- ④ ①～③の操作をそれぞれ 5 回繰り返す。
- ⑤ 撮影した動画を解析して、力学台車が 1 mm 進むのに要した時間からその速度を求める。得られたデータを、縦軸に速度、横軸に進んだ距離を取ったグラフにまとめ、界面張力の依存性を調べる。また、30 mm から 130 mm まで進むのにかかった時間も比較する。

〈装置の説明〉

台車の一端に軽い糸を付け、その糸の他端には定滑車を通して 100 g のおもりをつるした。これにより、力学台車を一定の力（0.98 N）で引くことができる。ダイラタント流体の入った容器を力学台車の上に滑らないように固定する。ダイラタント流体中に金属の棒（厚さ 2 mm）を容器の底面に触れないように垂直に入れ、その棒の座標を固定する。これにより、力学台車は糸によって一定の力で引かれるが、棒周辺のダイラタント流体が硬化すると、力学台車の進行が妨げられ、速度が低下するようになっている。

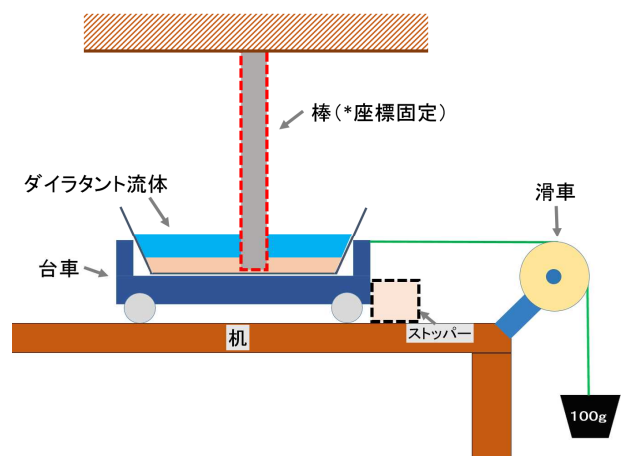
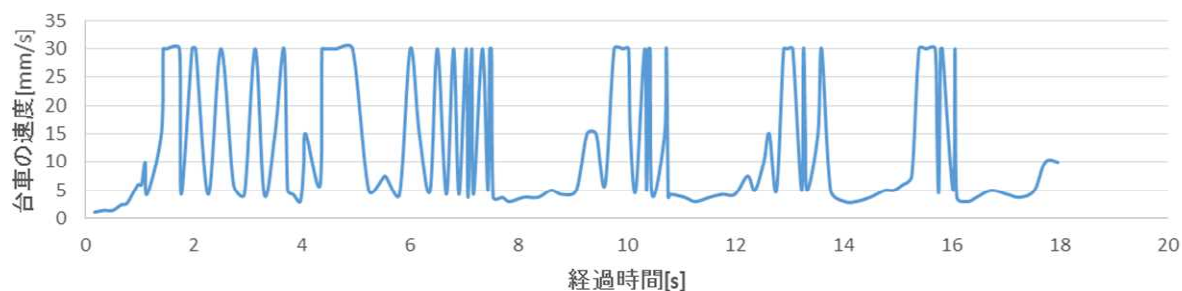
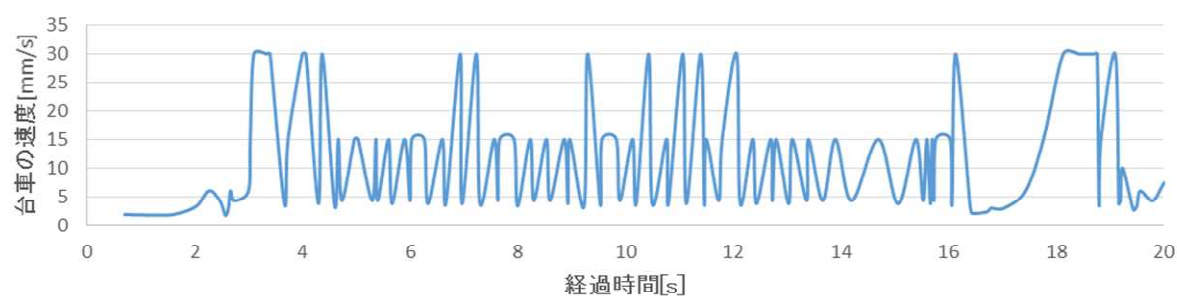


図 3：実験装置

結果 2.1

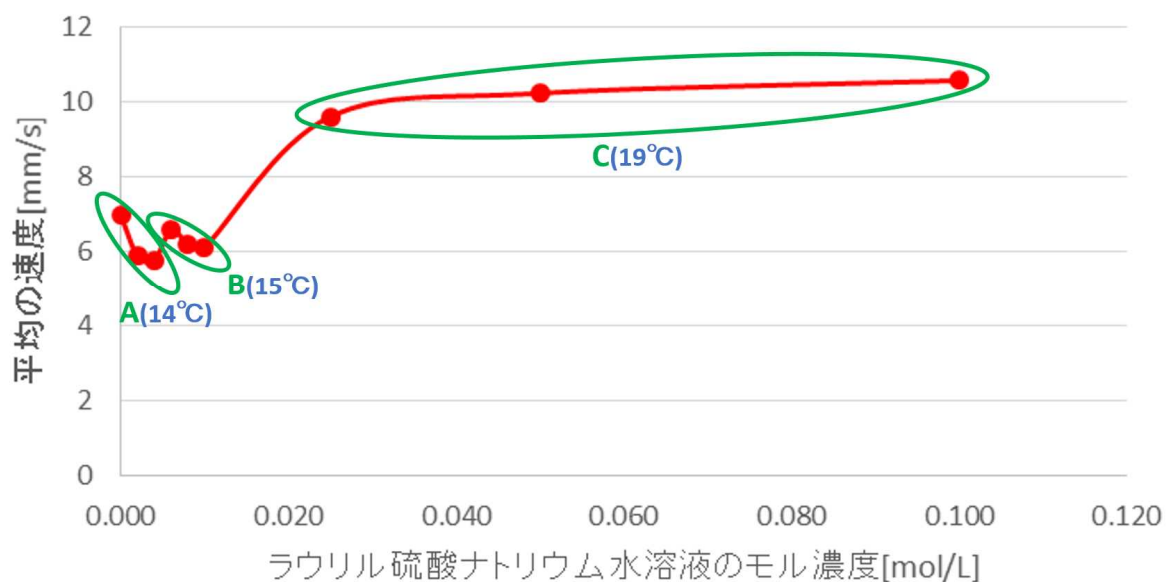


グラフ 2.1-a : 台車発車後の経過時間と台車の速度の関係 (0.0 mol/L)



グラフ 2.1-b : 台車発車後の経過時間と台車の速度の関係 (0.010 mol/L)

結果 2.2



グラフ 2.2 : ラウリル硫酸ナトリウム水溶液の濃度と台車の平均速度の関係
(*A、B、C はそれぞれ別の日に行った。()内は、実験時の水温を表す。)

考察

グラフ 2.1-a, b より、台車が一定の速度に達するとその直後に大幅に減速し、また台車が加速して一定の速度に達すると再び減速し……を繰り返している。これより、ダイラタンシー現象が起きていると考えられる。

また、前提として、力学台車の平均の速度が大きい時ほど、ダイラタント硬化の強度は弱いものとする。これは、台車の速度大きいのは、ダイラタント硬化による台車の減速が小さいからだという考えに基づくものである。

まずグラフ 2.2 を、同水温だった A、B、C 毎に着目すると、A、B ではラウリル硫酸ナトリウム水溶液のモル濃度が濃いほど台車の平均の速度は小さいのに対し、C では水溶液のモル濃度の変化の割に平均の速度の変化があまり見られなかった。さらに結果 1 から、A、B の範囲では、水溶液のモル濃度が濃いほど界面張力は大きいのに対し、C の範囲では水溶液の濃度の変化に対し、界面張力はほとんど変化しなかった。また、ラウリル硫酸ナトリウムの密度は 1.01 g/cm^3 なので、どのモル濃度の水溶液の質量もほぼ等しいといえる。これらのことから、ダイラタント硬化の強度は、混合する液体の物質量に関係なく、界面張力が小さいほど強くなるといえる。

結論

混合する液体の界面張力が大きいほど、ダイラタント硬化の強度は低くなった。

今後の課題

今回の研究の実験は 3 日に分けて行い、その 3 日も水温が異なっていたため、グラフ 2.2 の A、B、C の値に連続性がなかった。そのため、現段階では結論も推測に過ぎないため、実験は水温（気温）があまり変わらない部屋で 1 日のうちに行いたい。また、他の種類の界面活性剤も用いてみたい。

参考文献

岩井一輝（2016）『ダイラタンシー現象における力と速度の関係』 千葉県立船橋高等学校 3 年

中山舞香（2016）『界面張力差と石鹼ボードの速度』 千葉県立船橋高等学校 2 年

<http://www.heishin-dispenser.jp/compass/compass01.htm> （2017. 1. 24）