大手前高校 74期 S探 理系 化学･地学分野論文集

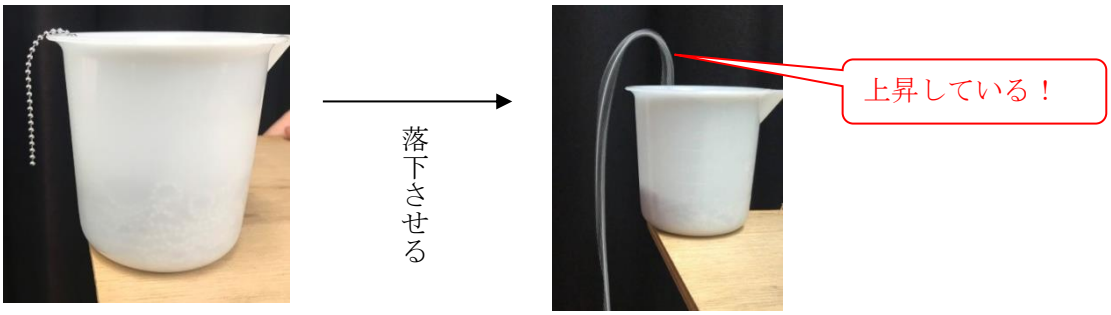
ハイドロキシアパタイトの合成と結晶化
U 字管を用いたリーゼガング現象
ゲリラ豪雨を予測しよう
構造色をつくる
浸透圧の法則を成り立たなくさせよう
墨汁をきれいに落とす

ボールチェーンはなぜ浮くのか？

1.緒言

【ボールチェーンの鎖の噴水現象について】

ボールチェーンをビーカーに入れ、垂らすように落下させると、下の写真のようにボールチェーンが落下中にビーカーの縁を飛び越えるように上昇する現象が見られる。これが鎖の噴水現象である。



【先行研究によりわかったこと】

72 期① ボールチェーンが地面に衝突するときの撃力や、ビーカーを沿って上昇運動をするときの慣性のみでは鎖の噴水現象は説明できない。(地面との衝突による撃力、上昇運動による慣性が無い場合に起きても、噴水現象は確認された)

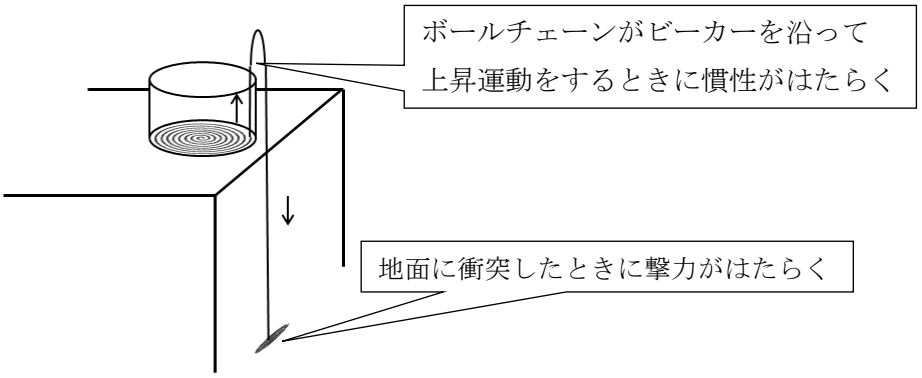


図 1　撃力と慣性のイメージ図

72 期② ボールチェーンを平面にまっすぐに並べて一端を垂らした場合、鎖の噴水現象は起こらない。

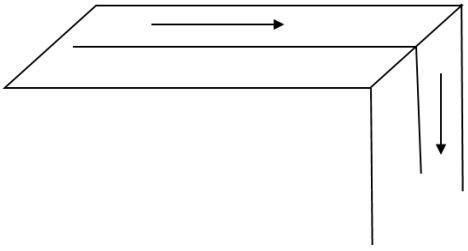


図 2　ボールチェーンを平面にまっすぐ並べた様子

73 期 ボールチェーンを平面に蛇行させて並べて一端を垂らした場合、鎖の噴水現象は起きる。
しかし、蛇行幅や蛇行の間隔を広くすると鎖の噴水現象は起こらない。

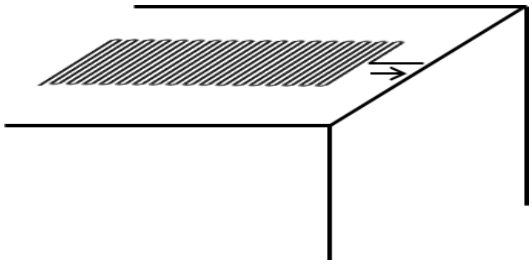


図 3　ボールチェーンを平面に蛇行させて並べた様子

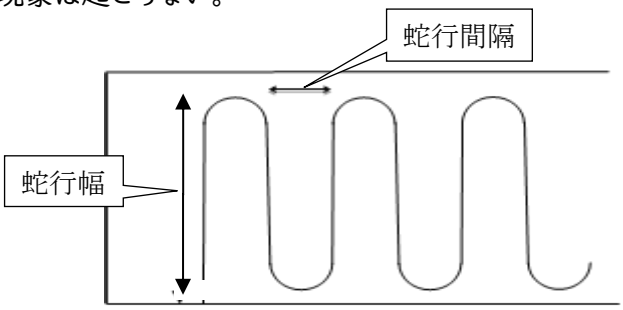


図 4　蛇行幅と蛇行間隔のイメージ図

【私たち 74 期の研究目的】
鎖の噴水現象の先行研究はボールチェーンのみが使われていたのだが、鎖の噴水現象の原因がボールチェーンの形状であるとは言い切れないため、タコ糸などのボールチェーンでないものでも同様の現象が起きるのではないかと考えて実験を行った。

【仮説】
・ボールチェーン以外のものでも鎖の噴水現象は起きる。
・ボールチェーンは鎖の噴水現象が起こりやすい。
・チェーンの材質によって鎖の噴水現象の上昇の高さや様子は変わる。
・落下の速さがある一定の値に達した瞬間に、上昇が安定し始める。

2. 実験手順
使用する材質
・長さ 10m 及び 30m のボールチェーン（モノタロウ）
・長さ 10m 及び 30m のクロックチェーン（ニッサ,C リンク R-1L212 クローム）
・長さ 10m 及び 30m のタコ糸（太さ 3 ㎜）（ユタカ,A303 タコイト3X50）

実験①ボールチェーン以外の材質で鎖の噴水現象が起きるのかを調べる。
実験は下の図 5、6 のように行う。
上記のうち、10m のボールチェーン、クロックチェーン、タコ糸、及び 30m のタコ糸を使用する。

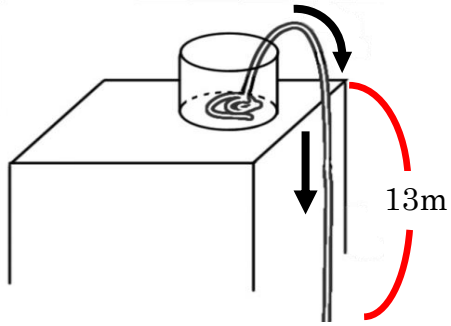


図 5　ビーカーに入れる方法

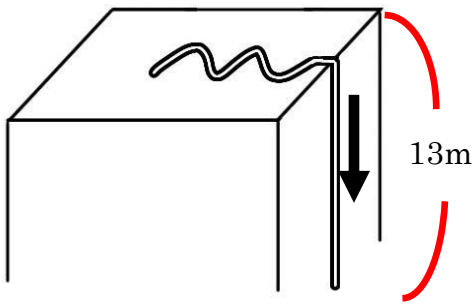


図 6　平面に並べる方法

図 5：チェーンをビーカーに入れて 4 階(高さ 13m)から一端を垂らし落とす。
図 6：チェーンを机上に蛇行させて並べて 4 階(高さ 13m)から一端を垂らし落とす。

また、図５の実験の 30m のタコ糸においては、追加実験として７階(25m)からも行う。
※落下させる際、ボールチェーンを強く引っ張るとボールチェーンに初速度を与えてしまい実験の再現性に影響を及ぼしてしまう。今回、私たちは少しずつチェーンを垂らして、できるだけ力を加えずに落下させた。

実験②チェーンの材質による鎖の噴水現象の上昇の高さや様子の違いを比較する。
　実験は下図のように行う。
　上記のうち、30m のボールチェーン、クロックチェーン、タコ糸を使用する。

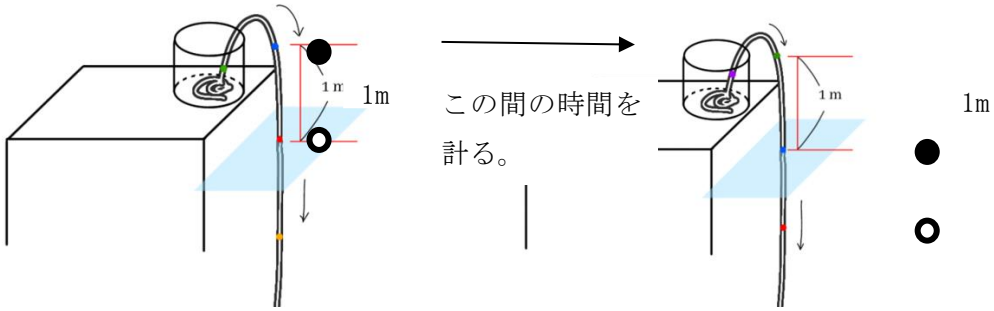


図７　チェーンの落下の速さを測定する方法

1m 間隔で印をつけたボールチェーン、クロックチェーン、タコ糸をビーカーに入れ、校舎の7階（25m）から垂らし落とす。基準とする水平面を印が通過するのにかかる時間を計り、1m ごとの落下の速さを計算する(時間は落下の様子をスマートフォンのカメラ機能でスローモーション撮影して計る)。上昇が安定し始めるとき、上昇の高さが最高になるときの落下の速さを調べる。

各チェーンで３回ずつ実験する。

3. 実験結果
　表２のように、高さ 13m、長さ 10m のタコ糸では噴水現象は起きなかった。

	ボールチェーン(10m)	クロックチェーン(10m)	タコ糸(10m)
図５の実験	○	○	×
図６の実験	○	○	×

○:安定して上昇した。×:上昇の高さが維持されない。

表２　実験①チェーンの長さ 10m の結果

　表３のように、高さ 25m、長さ 30m のタコ糸でも噴水現象が起きた。

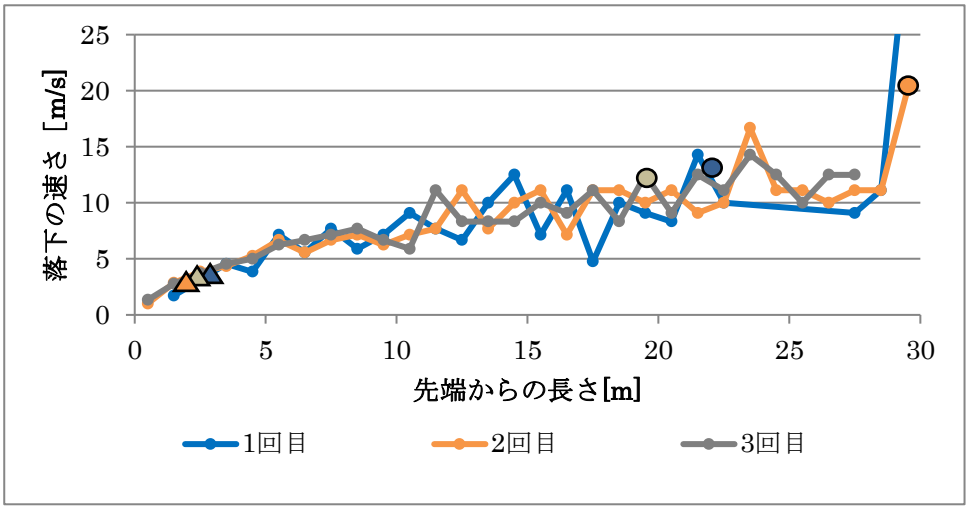
	４階	７階
図５の実験	×	○
図６の実験	○	※1

○:安定して上昇した。×:上昇の高さが維持されない。
※1　時間がなかったため実験しなかったが、安定して上昇すると考えられる。

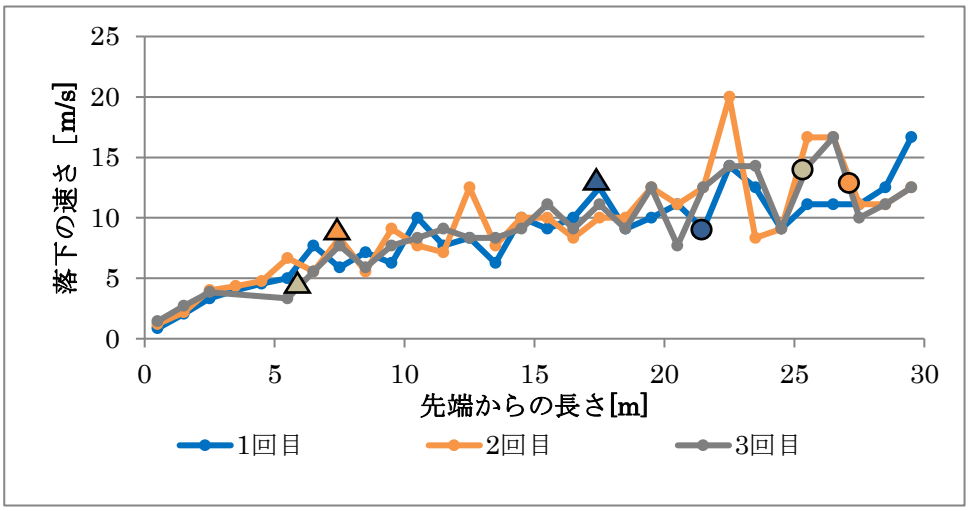
表３　実験①タコ糸の長さ 30m の結果

実験②の結果は次のグラフ１～３のようになった。
なお以下のグラフでは、▲は上昇が安定し始めた所を、●は高さが最高に達した所を表している。

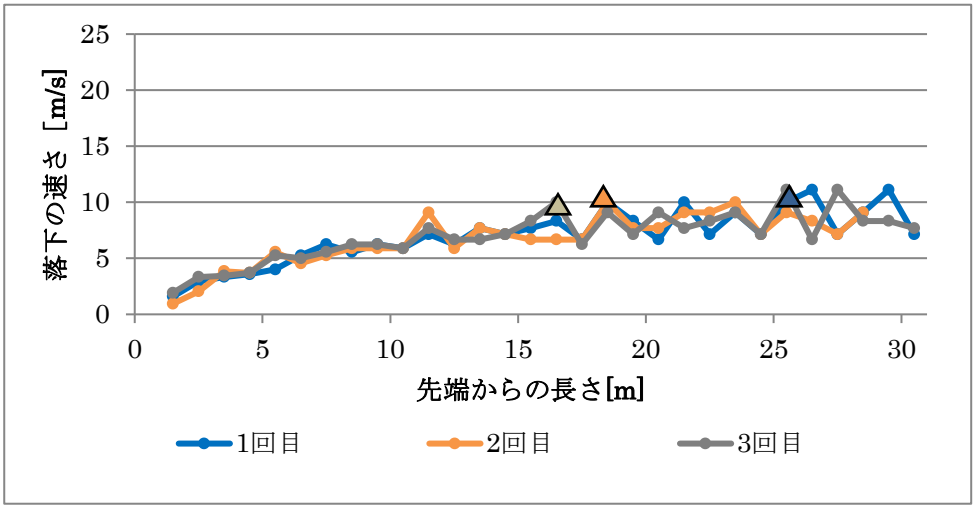
※グラフ３のタコ糸については、高さはほぼ一定だったため最高の高さは調べていない。



↑グラフ１：ボールチェーンにおける落下の速さの様子



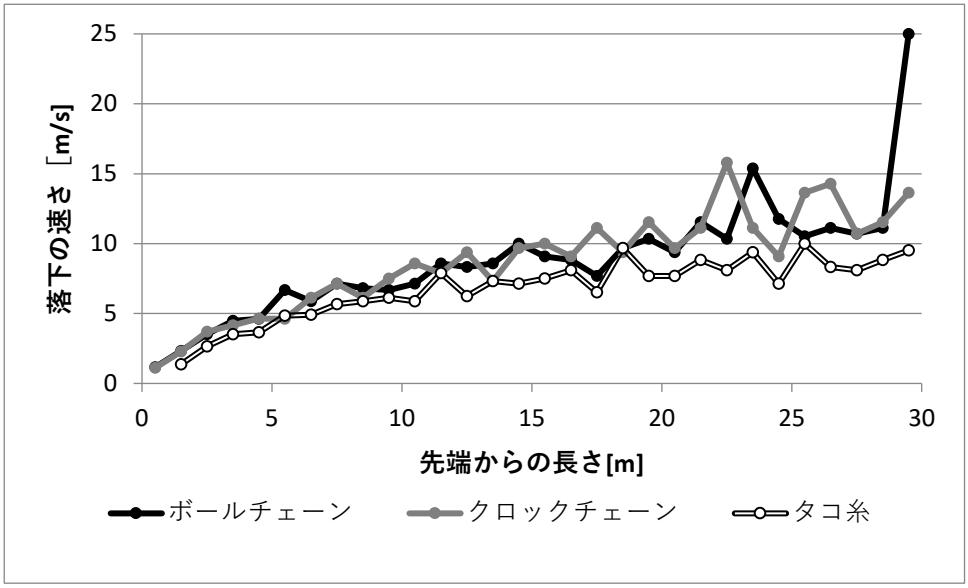
↑グラフ２：クロックチェーンにおける落下の速さの様子



↑グラフ３：タコ糸における落下の速さの様子

ボールチェーン、クロックチェーン、タコ糸のそれぞれの３回の実験において、▲上昇が安定し始めたところ、●高さが最高に達した所は、一致しなかった。

また、3種のチェーンで比較する。



↑グラフ４：3種のチェーンの落下の速さの様子

ボールチェーン、クロックチェーンの落下の速さはほとんど同じだった。それに比べてタコ糸の落下の速さは小さかった。

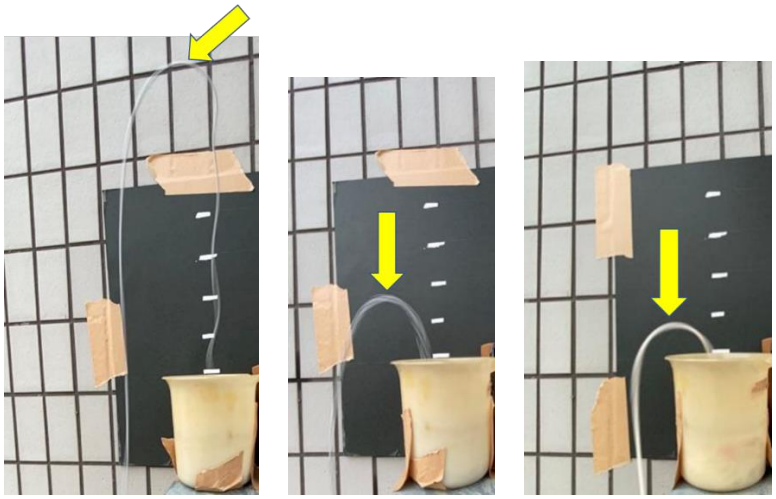


写真１　左からボールチェーン、クロックチェーン、タコ糸の最高の高さの様子

4. 考察

・クロックチェーンやタコ糸でも鎖の噴水現象は起きるが、タコ糸は他と比べると起きにくかった。

・鎖の噴水現象はボールチェーン特有の現象ではない。

・グラフ１～3 より各材質のチェーンにおいて、ある一定の速さに達した瞬間に、「噴水現象が安定する」、「上昇の高さが最高になる」ということはない。

・上昇が安定するにはある程度の速さが必要であり、ボールチェーンはその速さが小さいと考えられる。

・グラフ4でボールチェーン、クロックチェーン、タコ糸の落下の速さを比較すると、ボールチェーンとクロックチェーンはほぼ同じ速さであり、タコ糸は他と比べて遅めであった。

・ボールチェーンとクロックチェーンはほぼ同じ速さだが、最高の高さは大きく異なったことから、落下の速さは上昇の高さに直接には関係しないと考えられる。

5. 結論

・材質によらず鎖の噴水現象は起きるが、噴水現象の起きやすさや噴水現象の高さは材質に左右されると考えられる。

・鎖の噴水現象が起きる原因はボールチェーンの材質や形状ではない。

・ある一定の速さに達した瞬間に、「噴水現象が安定する」、「上昇の高さが最高になる」ということはない。

・どの材質でも鎖の噴水現象は起きたが、タコ糸では噴水現象が起きにくかった。

6. 参考文献

72 期生「重力に抗うボールチェーン!?」最終報告書

73 期生「重力に抗うボールチェーン!?」最終報告書

逆立ちゴマの軸の長さによる逆立ちやすさの変化

1. 緒言

逆立ちゴマの不思議な運動に興味をもって研究を始めた。

（逆立ちゴマ…図1のように始めは軸を上に向けて回っている。コマは回転するにつれて、軸が傾いていき、最終的に軸が下になり、軸の上にコマの胴体の部分が乗りそのまま回り続ける。）

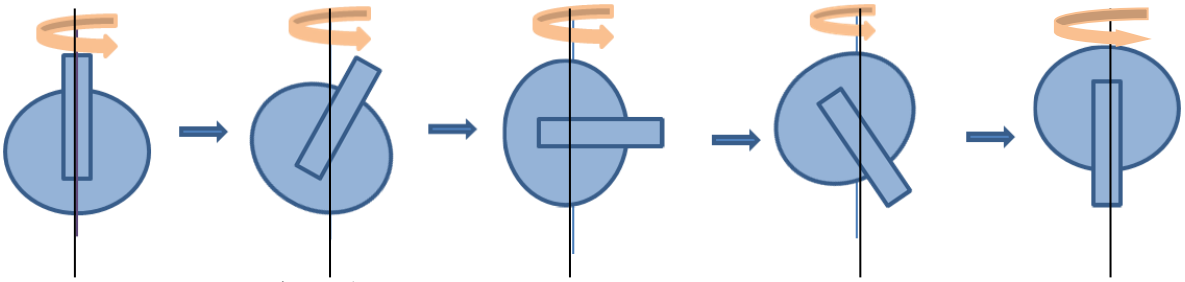


図1　逆立ちゴマの動き

私は逆立ちゴマが逆立ちするために必要な条件を明らかにすることを目的とした。軸の長さに焦点を当て、逆立ちゴマには逆立ちに最適な軸の長さがあるという仮説を立てて、研究をした。

※この研究では、トイカプセルと木の棒と粘土を用いてコマを作っているが、「木の棒の長さ」は木の棒の長さ全体を示し、「軸の長さ」はトイカプセルの外に出ている木の棒の長さを表すものとする。

2. 実験手順

〇実験に使用したコマ

コマの条件を変化させられるように、
ガチャガチャなどのトイカプセルと
木の棒と油粘土を用いて図2のようなコマを作った。
木の棒は 2 本用意して、2 種類のコマを作った。

・トイカプセル　半径　2.5 ㎝、
　　質量　6.8g
・油粘土　質量　2.0g
・木の棒　半径　0.5 ㎝
　① 長さ　4.5 ㎝　質量　0.8g
　② 長さ　5.0cm　質量　1.1g

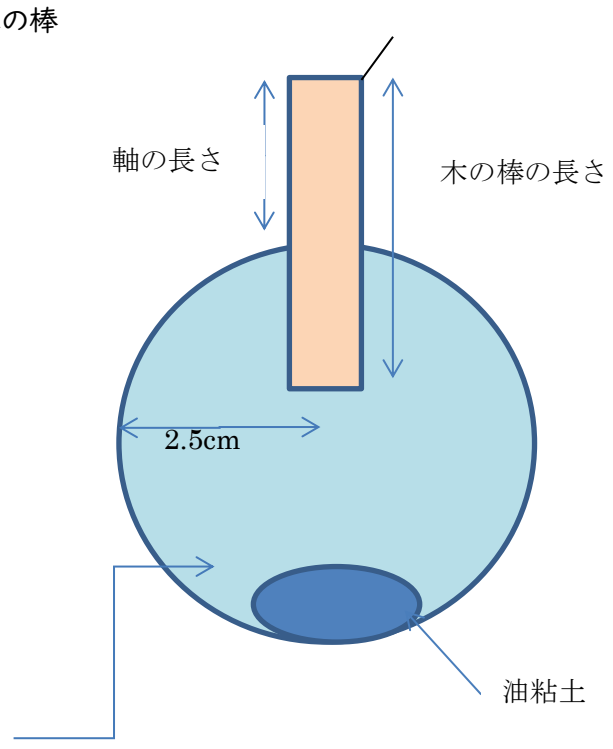


図２　作製したコマ

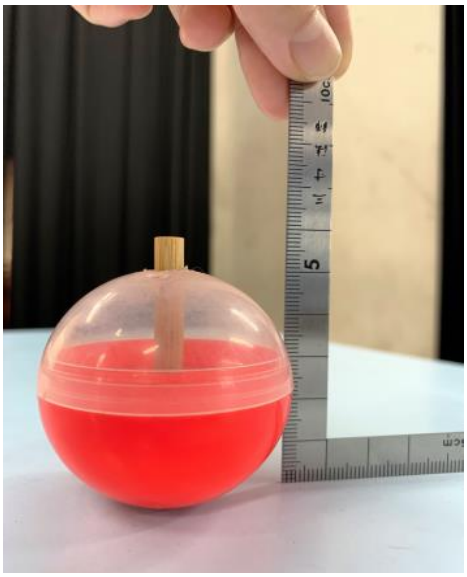


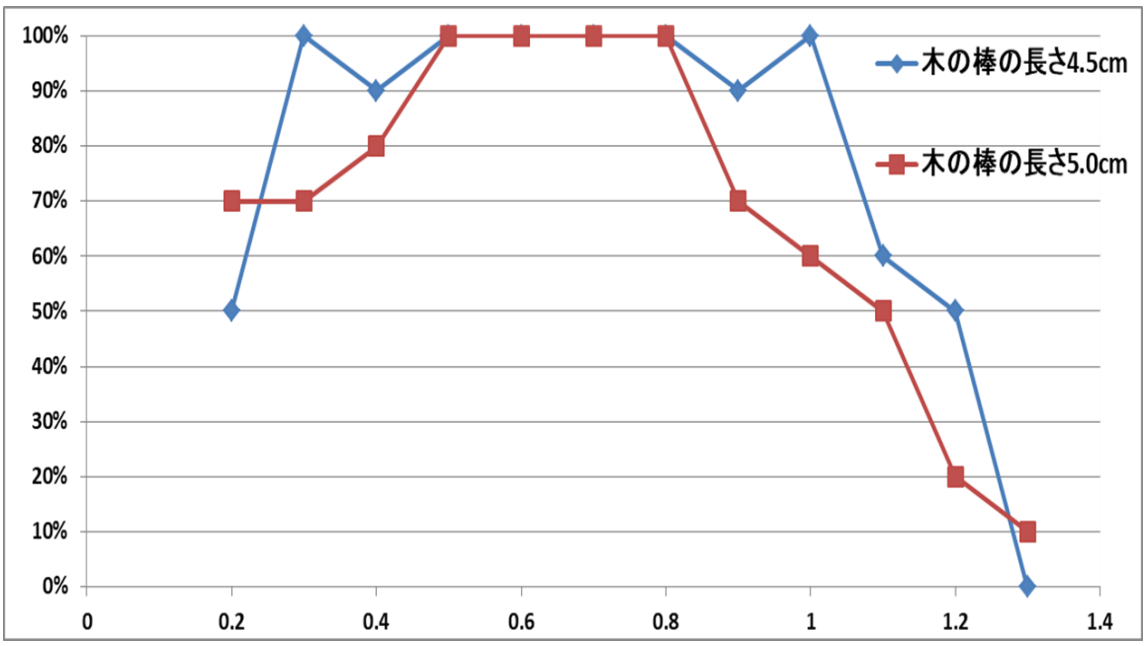
図 3 実験で使用したコマ

〇実験

コマ全体の質量を一定にするため木の棒の長さは変えずに、軸を抜き差しすることによって軸の長さを変化させて、逆立ちのしやすさの変化を調べた。作成したコマの軸を持って 10 回廻し、そのうち何回逆立ちするかを計測した。軸の長さの違う二種類のコマでそれぞれ実験を行った。

3. 実験結果

実験の結果をグラフ1に示す。逆立ちの確率は、作製したコマの軸を持って 10 回廻し、そのうち何回逆立ちするかを計測したものを百分率で表した。



グラフ１　　軸の長さと逆立ちの確率

4. 考察

軸の長さが、0.3～0.8cm の時に逆立ちの確率が高く、軸の長さが長い 1.0cm 以上や軸の長さが短い 0.3cm 未満では逆立ちの確率が低かった。よって、今回作成した逆立ちゴマの逆立ちに最適な軸の長さは、0.3～0.8cm の時と考えられる。軸の長さが長いときは、軸の長さが短いときに比べて、コマの胴体を軸の上に乗せて逆立ちさせるためにより大きなエネルギーを必要とするため逆立ちの確率が低かったと考えられる。また、軸の長さが短いときに確率が低かった理由については、今回の実験では明らかにできなかった。

5. 結論

逆立ちゴマには逆立ちに最適な軸の長さがあり、今回作成したコマの逆立ちに最適な軸の長さは 0.3～0.8cm の時であることが分かった。

6. 参考文献

逆立ちゴマの理由 http://www7biglobe.ne.jp/~ninjinhouse/r-o-sakadati-koma2.html

メトロノームの同期現象

1.緒言

複数のメトロノームを揺れる板の上など特定の条件下で作動させると、メトロノームの振れるタイミングが揃う、同期という現象が見られる。メトロノームの同期現象には、針が同じ方向に同期する場合(同相同期)と逆の方向に同期する場合(逆相同期)の 2 つのパターンがあることが知られている。それらが起こる正確な条件と原理を解明しようと、以下の研究を始めた。

2.実験手順

クリップ付き鉄製スタンドを 2 個並べたものを 2 組用意し、向かい合わせて机に設置した。糸を通した目玉クリップを板の四隅に取り付けて、板(300mm×450mm)を水平にスタンドに吊り下げた。吊り下げられた板の上にメトロノーム「NIKKO MODEL:221 スタンダード」を二つ置いた。この装置図を Fig.1 に示す。糸の長さを 30cm、糸と鉛直線のなす角を θ、メトロノームのテンポを毎分 160 拍と設定した。

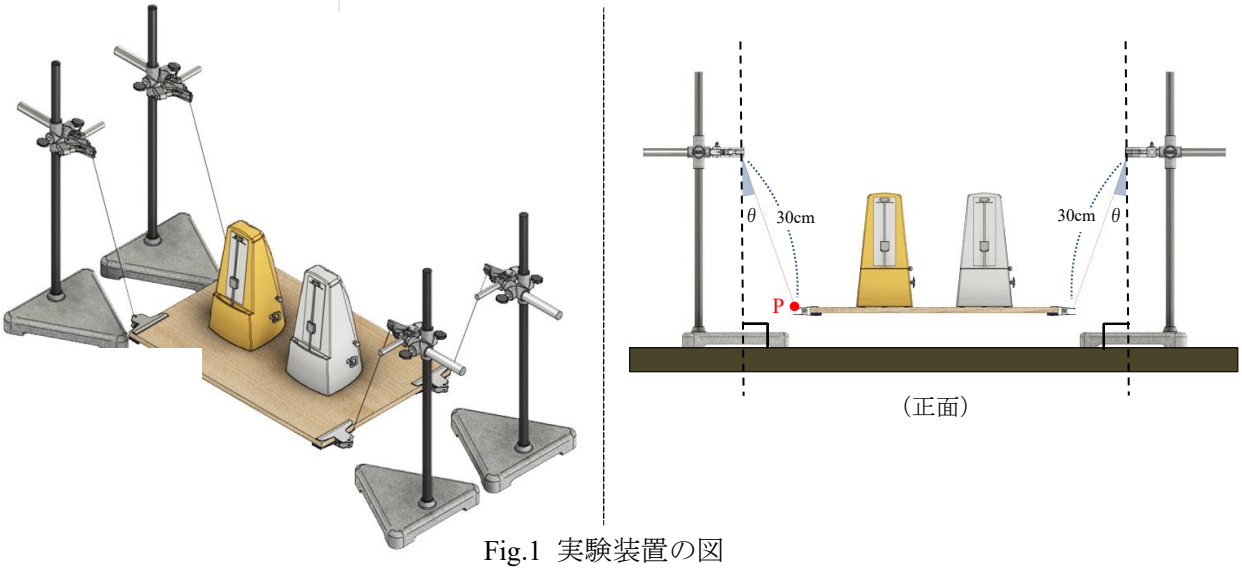


Fig.1 実験装置の図

3.実験結果

糸と鉛直線のなす角 θ を 30°から 50°まで 5°ずつ変えていき、**(1)同期するまでの平均時間** と、**(2)最終的な同期の種類** を調べた。実験は、メトロノームを同相の位置から作動させる場合と逆相の位置から作動させる場合の 2 通り行った。

θ の角度		30°	35°	40°	**45°**	50°
(1)同期するまでの時間	同相から開始	**同相**のまま変化しなかった。			一貫性なし	39s
	逆相から開始	27s	32s	42s		**逆相**のまま変化しなかった。
(2)最終的な同期の種類		同相→**同相**				同相→**逆相**
		逆相→**同相**				逆相→**逆相**

Table.1 実験結果

※θ=45°については、開始してから長時間拍のずれが生じないことや、最終的に同期しないことが多く見られたため、「一貫性なし」と記した。

4.考察

最終的な同期の種類について、θ=45°で同相同期と逆相同期が入れ替わることから、最終的な同期の種類の決定には、θ の大きさが関係していると考えられる。

そこで、θ=45°に注目して、実験装置を見直すことにした。考察のため、正面から見て左側の糸と板の接続点を点 P とした。(Fig.1 の正面図に記載した。)

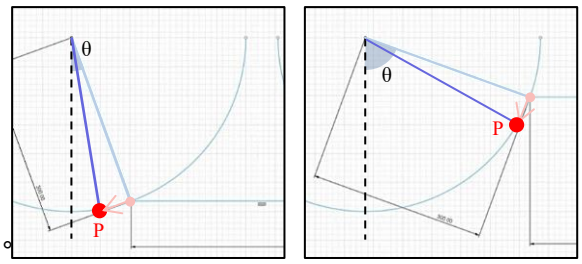
Fig.2 のように、点 P の座標移動について考えると、

θ<45°のとき、縦成分よりも横成分の方が大きく、

θ>45°のとき、横成分よりも縦成分の方が大きい

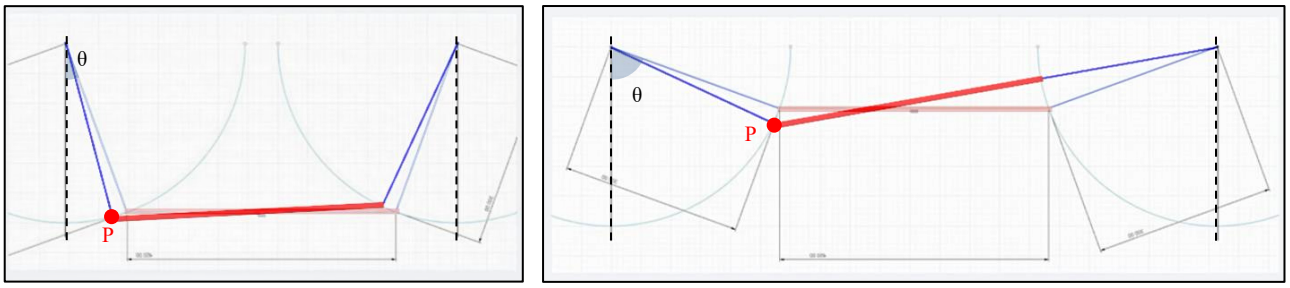
ことが読み取れる。したがって、点 P の座標移動の縦成分と横成分の大小が θ=45°で入れ替わることがわかる。

Fig.2 点 P の座標移動



θ<45°　　θ>45°

これをもとに、点 P が動いたときの板の揺れ方について考えた。



θ<45°　　θ>45°

Fig.3 板の揺れ方

Fig.3 より、θ<45°のとき、板の揺れは水平動に近く、θ>45°の時、板の揺れは回転動に近いことがわかる。つまり、θ=45°で点 P の動き方が変わることで、板の揺れ方が変化すると言える。

2 つのメトロノームには、板の横揺れによる水平方向の慣性力が同じ方向にはたらくが、この水平方向の慣性力により、同相同期が起こると予想される。

これらの考察を Table.2 にまとめた。

θ の角度	θ <45°	45°	θ >45°
板の揺れ方	板の端の座標移動の**横成分**が大きく、両端で**同じ向き**のため**水平動**に近くなる。	一貫性なし	板の端の座標移動の**縦成分**が大きく、両端で**逆向き**のため**回転動**に近くなる。
同期の種類	同相同期		逆相同期
同期の原理	2つのメトロノームそれぞれに、**水平方向**で**同じ向き**の慣性力が影響すると予想される。		(未解明)

Table.2 結果と考察のまとめ

また、θ の大きさによって慣性力の水平成分と鉛直成分の大きさが変わるので、逆相同期については、2 つのメトロノームそれぞれにかかる「垂直方向で逆向きの慣性力」が影響することによって起こると考えられるが、原理未解明である。

5.結論

θの大きさによって、慣性力の方向が変化し、同期の種類が切り替わる。

6.発展的課題

考察より、逆相同期は、板の傾きによって起こる板の両端の上下逆向きの慣性力が原因であると考えられる。しかし、逆相同期が完了するとき、おもりの上下動は同じ向きでなければならないので、上下逆向きの慣性力によるはたらきのみでは同期までたどり着くことができない。

Fig.4 は逆相同期が完了した状態の図であり、はおもりに働く慣性力、はおもりの動きを表している。赤点線で囲まれた部分では、上下方向の慣性力と逆の方向におもりが動く必要がある。

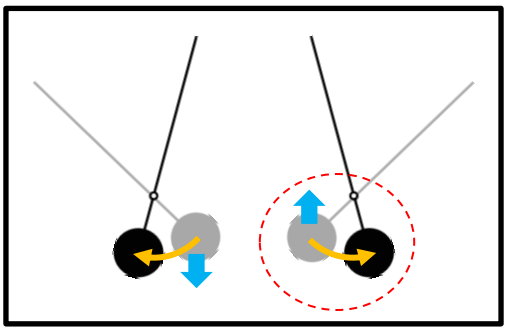


Fig.4 逆相同期の様子の簡略図

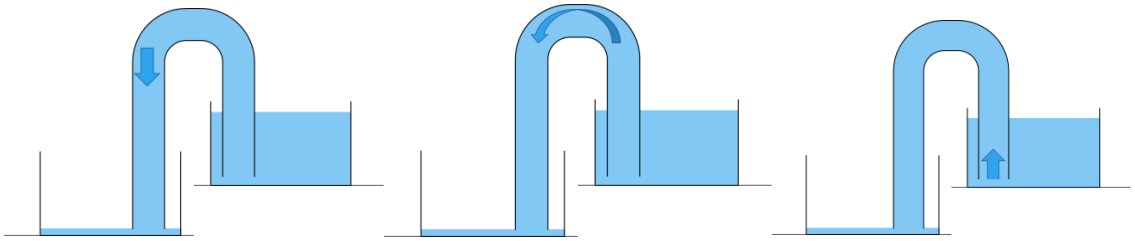
よって、上下逆向きの慣性力だけでなく、板が傾いていること自体も逆相同期が起こる原因ではないか、と考えられる。

水槽の水、全部抜く。

1.はじめに

この研究はサイフォンの原理を用いてより速く、より多くの水を運ぶのに必要な条件を調べたものである。

サイフォンの原理について



水が落ちる力と同じだけ後ろの水が引っ張られて水が流れていく、という原理である。
ホースの中が水で満たされていないと水は流れないので注意が必要である。

この研究の方針

ホースの長さ、太さを変え、1L の水を運ぶのにかかる時間を計測して比較する。

アピールポイント

水槽、ホースなど身近にあるものを使う実験である。
しかし、調べていくとサイフォンの原理の奥深さが見えてくる。

2.実験手順

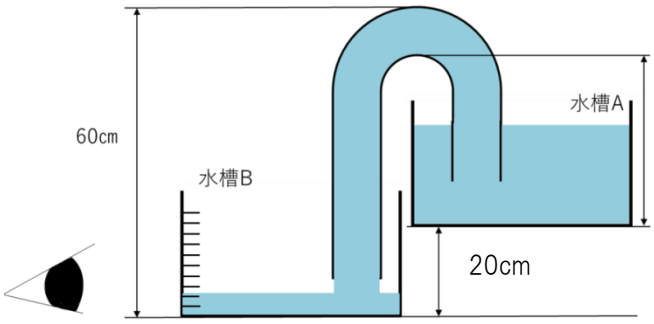
〇使用した器具

・三洋化成 透明ホース 内径7mm 長さ 1.0m
・三洋化成 透明ホース 12mm 1.0m
・三洋化成 透明ホース 12mm 1.5m
・三洋化成 透明ホース 12mm 6.0m
・三洋化成 透明ホース 19mm 1.0m
・三洋化成 透明ホース 32mm 1.0m

(今後、内径はホースの内側の直径として、話を進める。)

・水槽A(1Lごとの目盛りがある)
・水槽B(25L、20L の目盛りがある)
・注射器(水を移し替える際に移しきれなかった水を吸い上げる)
・高低差を作ることができるもの(この実験では物理実験室の段差と物理実験室にある本を使用)
・鉄製スタンド

〇実験装置について



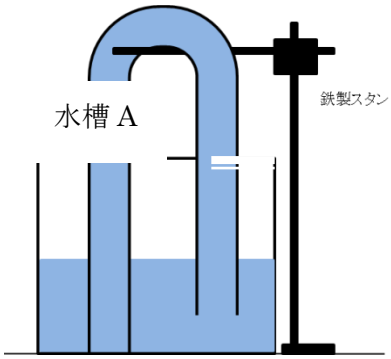


図1　サイフォンの原理を使って水を移動させられる実験装置　　図2　横から見た実験装置

〇実験手順について

1.水槽 A、水槽 B、を図 1 のように置く

2.水槽 A から 20cm の高さになるようにホースを鉄製スタンドで固定する

3.水槽 B の目盛りを使って1L の水を移すのにかかる時間をストップウォッチのラップタイム機能で計測する

4.1sあたりに移動する水の体積[L/s]を求めるために1L の水を移すのにかかる時間[s/L]の逆数をとる

〇行った実験について

実験⓪ 図1の水槽 A から水槽 B に水が移る際に、1sあたりに移動する水の体積[L/s]を調べた。

実験① 水槽 B の水から水の出口にかかる水圧の影響を調べるために、実験開始時に水槽 B に 10L の水を入れた実験と水を入れない実験を比較し、水槽 B が単位時間あたりに運べる水量に及ぼす影響を調べた。

実験② 長さと単位時間あたりに運べる水の量の関係を調べるために、1.5m、1.0mの 2 本のホースを用いて、水 20L を運べる水量の関係性を調べた。

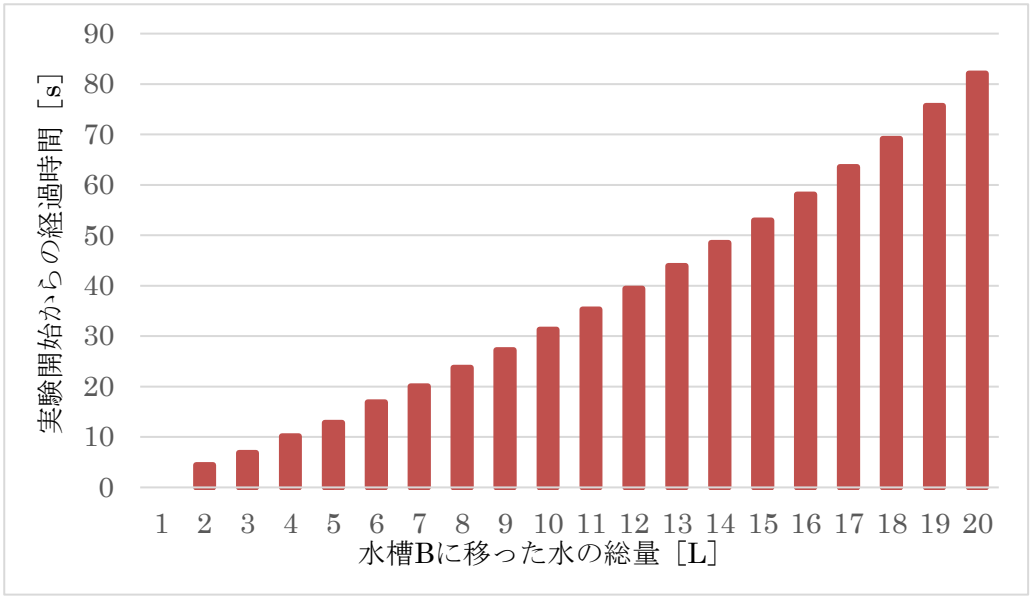
実験③ 太さと単位時間あたりに運べる水量の関係を調べるために、長さ 1m固定の内径 0.7m、1.2m、1.9m、3.2mのホースを用意し、20L の水を移し、単位時間あたりに運べる水の量を調べた。

(それぞれの実験は5回ずつ計測した。)

3. 実験結果

〇結果⓪ 1sあたりに移動する水の体積[L/s]はどのように変化するのか調べた。

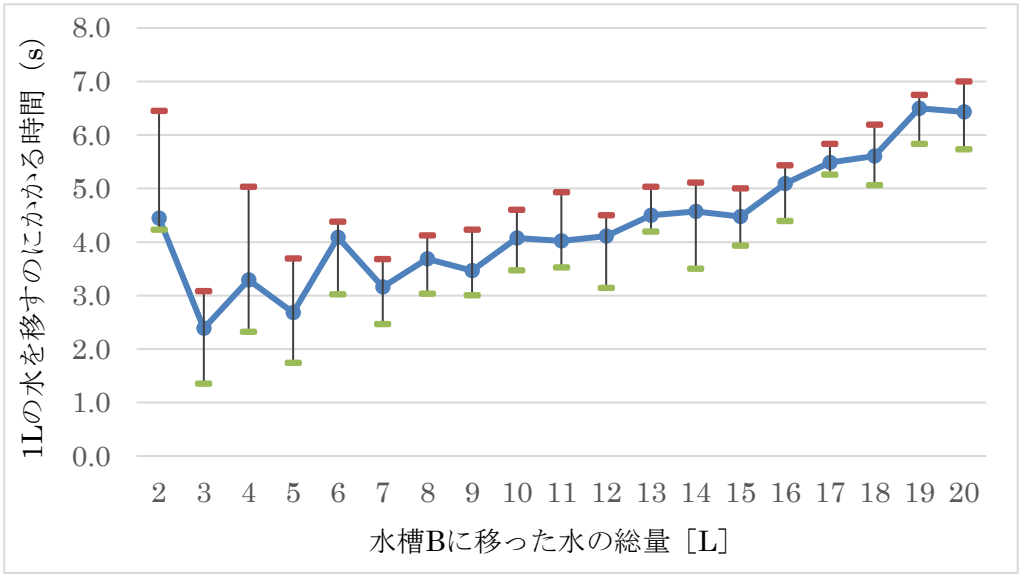
横軸に示されている水の量が運ばれるのにかかる時間をグラフ 1 とする。



グラフ1. 水槽 B に移った水の総量と時間の関係

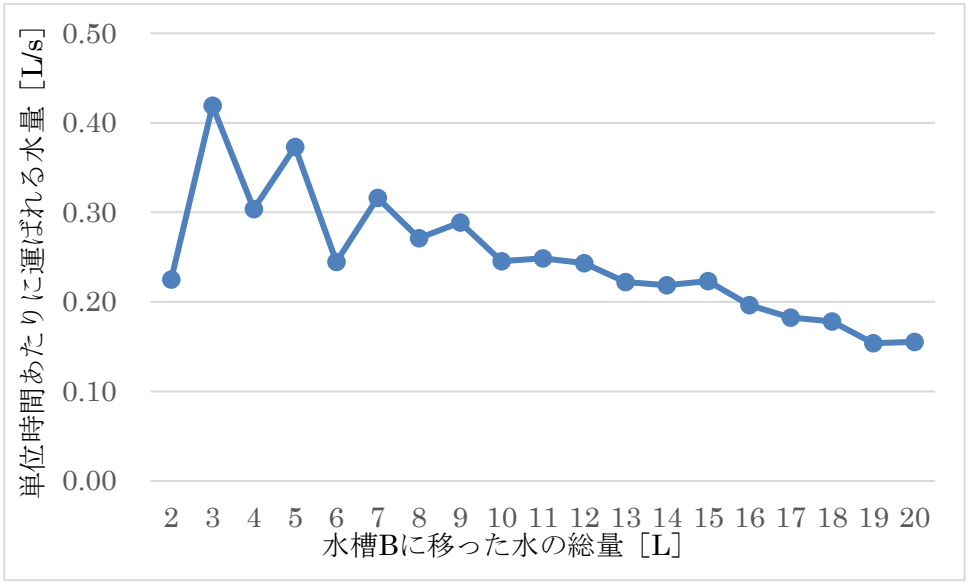
例えば 7L の水を移すのに 20s、8L の水を移すのに約 24sかかっているので、7L の水が入っているときさらに 1L の水を移すのにかかる時間は約 4sである。同様にして 1L の水を移すのにかかる時間を計算し、グラフ 2 とした。

グラフ2. 水槽 B に移った水の量と 1L の水を移すのにかかる時間の関係



オレンジ色の線が 5 回実験を行った中での最大値、灰色の線が最小値、青色が平均

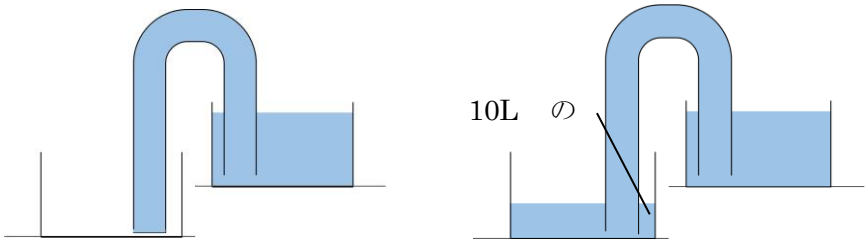
1s あたりに移動する水の体積［L/s］を求めるためにグラフ2の1L の水を移すのにかかる時間［s/L］の逆数を取り、グラフ3を得た。

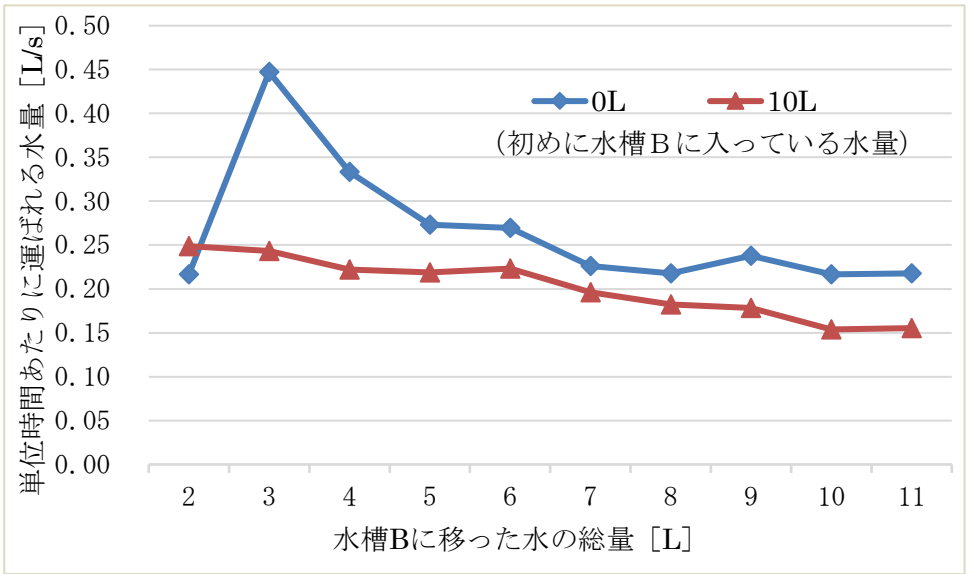


グラフ3. 水槽 B に移った水の量と単位時間あたりに運ばれる水量の関係

グラフ3より時間が経過し、水槽 B に移った水の量が多くなるほど単位時間あたりに運ばれる水の量が減少することが分かる。

結果① 実験開始時、水槽 B に 10L の水を入れた実験と水を入れない実験を比較し、水槽 B が単位時間あたりに運べる水量に及ぼす影響を調べた。

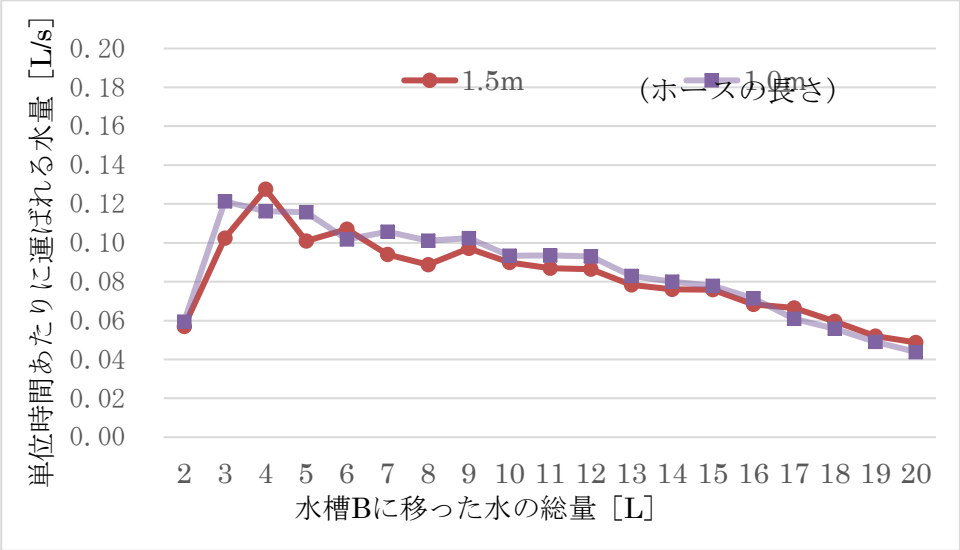




グラフ4. 水槽 B に移った水の量と単位時間あたりに運ばれる水量の関係

初めに水槽 B に 10L の水が入っている場合、水槽 B に水が入っていない場合より単位時間あたりに運ばれる水の量が少ない。

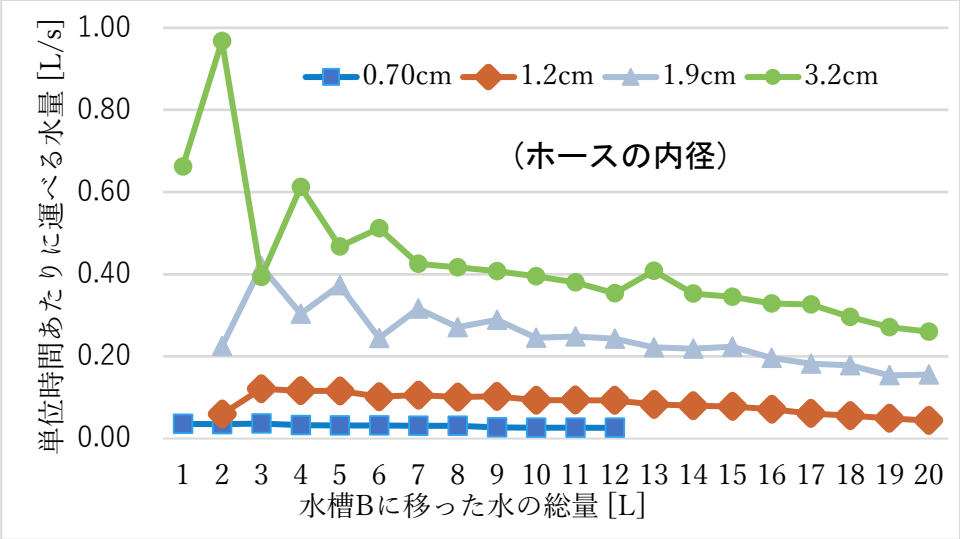
結果② 1.5m、1.0mの 2 本のホースを用いて、水 20L を運べる水量の関係性を調べた。



グラフ5. 水槽 B に移った水の量と単位時間あたりに運ばれる水量の関係

単位時間で運ばれる水の量はホースの長さによる違いは見られなかった。

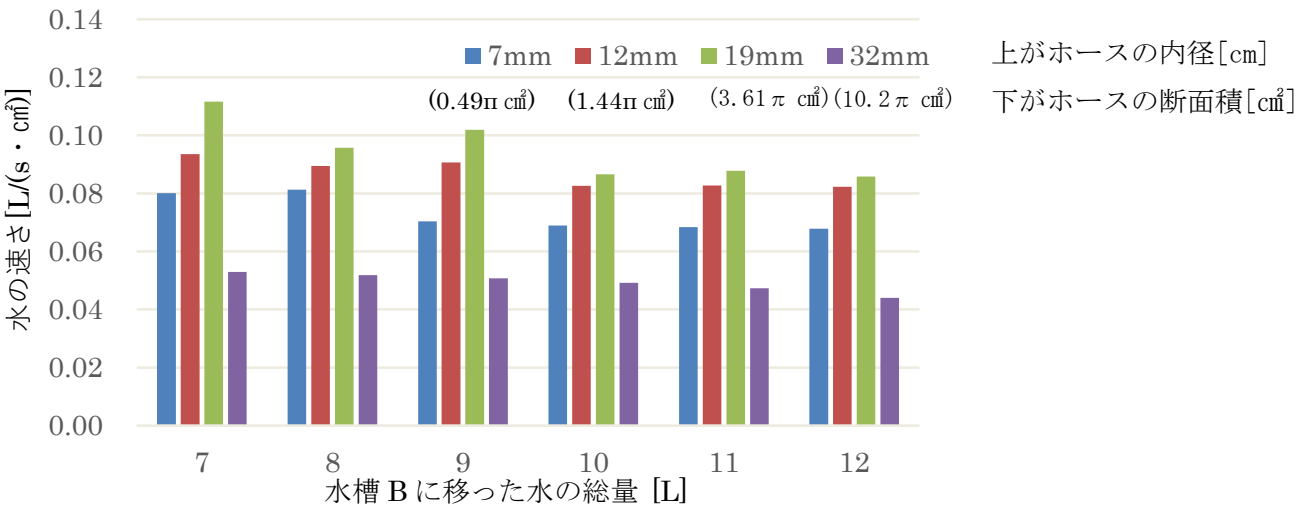
結果③ 長さ 1m固定の内径 0.7cm、1.2cm、1.9cm、3.2cm のホースを用意し、20L の水を移し、単位時間あたりに運べる水の量を調べた。



グラフ6. 水槽 B に移った水の量と単位時間あたりに運べる水量の関係

グラフ6よりホースの内径が大きいほど単位時間あたりに運ばれる水の量が多いことがわかる。

上のグラフ6の縦軸である単位時間あたりに運べる水量[L/s]をホースの断面積[㎠]で割り、縦軸を水の速さ[L/(s･㎠)]に変換したグラフが下のグラフ7である。



グラフ7. 水槽 B に移った水の速さの関係

グラフ7よりホースの内径が大きいほど流れる水の速さが大きくなるわけではないことがわかる。

4. 考察

〇考察⓪ 単位時間あたりに運べる水量が減少しているのは、水槽 B の水が増えるほど、ホースから水が出にくくなるためである。

〇考察① もともと水槽 B に入っている水の水圧のため、ホースから水が出にくくなる。
実験開始時に水槽 B に入っている水の量が多いほど単位時間あたりに運べる水の量が少ない。

〇考察② 今回の実験の長さ 1.0m、1.5mの2種類の長さの比較では、単位時間あたりに運べる水の量はホースの長さによらない。

〇考察③ ホースの内径が大きくなるにつれて、1 秒間に運べる水量が多くなると、同時に、断面積が大きくなる。
このことにより、水と接する面積が大きくなり、摩擦力が大きくなる。これらのことから、ある断面積を超えると、水の速さが減少していく。

5. 結論

速く水を移し替える条件

① 水槽Bにもともと入っている水の量を小さくする

② 私たちが行った実験範囲ではホースの長さによる単位時間当たりに運べる水量の変化はない

③ ホースの断面積が大きくなると単位時間当たりに運べる水量は増える

④ しかし、水の速さは断面積に比例しているわけではない

最強の扇風機を作ろう

1. 緒言

昨年の夏、暑さを凌ぐためには扇風機では足りないと感じ、同じエネルギーでより強い風を起こすことができる扇風機を作ることができればより涼めるのではないかと考えた。

私たちは羽の角度と枚数に着目した。0°では空気を切るように羽が回るだけで風が起きず、逆に90度では真横に風を送るので前には進まない。よってその間の45°で最も強い風が起きると予想した。また、身の回りに5枚羽の扇風機が多いことから羽の枚数が5枚のときがよいのではないかと考えた。

2. 実験手順

実験①

1. ペットボトルを写真1のように切り取ったあと、羽に角度をつけて簡易扇風機を作った。写真2はその完成図である。羽の枚数は 3, 4, 5 枚で,それぞれ角度は 13°と 20°のものである。

2. モーターA(マブチモーター株式会社,FA-130RA-2270)のシャフト部分にグルーガン(株式会社イチネン MTM, 20303)を使ってペットボトルの蓋を接着し、羽を着脱可能にした。そのモーターと羽を図1のような回路にとりつけた。電源には単三型アルカリ乾電池(東芝, LR6(HE))を二本、抵抗は 49Ωのものを用いた。

3.簡易扇風機の羽を回し、羽の付け根の部分から 10cmの位置で風速計(EMPEX,FG-5611)を用いて 30 秒間での風の最大風速を測った。実験はすべての羽で 3 回行った。

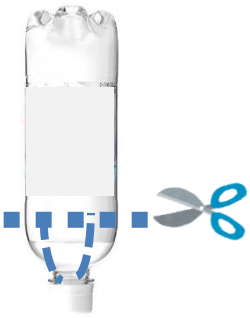


写真1 ペットボトル

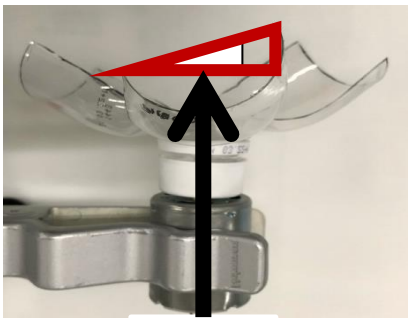


写真2　簡易扇風機

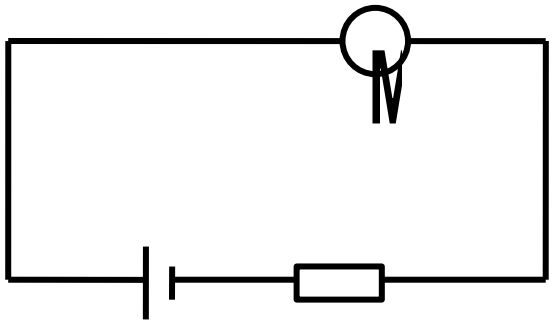


図1　実験①の回路図

実験②

1.実験①と同様に簡易扇風機をつくる。羽の枚数を 3~8 枚,羽の角度は 20°に統一した。

2.モーターB(ニッセイ, LJ423)のシャフト部分にモーターAと同様にペットボトルの蓋を接着した。それを図2のような回路に取り付けた。電源は直流安定化電源(KIKUSUI, PMC18-3)を用いた。

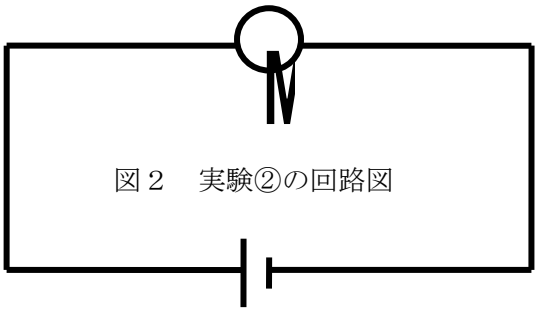


図2　実験②の回路図

3. 簡易扇風機の羽を回し、羽の付け根の部分から 10cm の位置で風速計(EMPEX,FG-5611)を用いて 30 秒間での風の最大風速を測った。実験はすべての羽で 8 回行った。

実験③

1. 実験②の回路を用いて実験した。羽の付け根から 10cmの位置に風速計(EMPEX,FG-5610)を固定し、風速が 1.2m/s となるときの電流と電圧の値を直流安定化電源で調べた。実験は 4 回行った。

3. 実験結果

実験①

結果は表1のようになった。

	3 枚	4 枚	5 枚
1 回目	0.3	0.6	0.8
2 回目	0.3	0.6	0.8
3 回目	0.4	0.7	0.9
平均	0.3	0.6	0.8

	3 枚	4 枚	5 枚
1 回目	0.3	0.9	0.9
2 回目	0.3	0.9	0.9
3 回目	0.3	0.9	0.9
平均	0.3	0.9	0.9

表 1　実験①の最大風速[m/s]

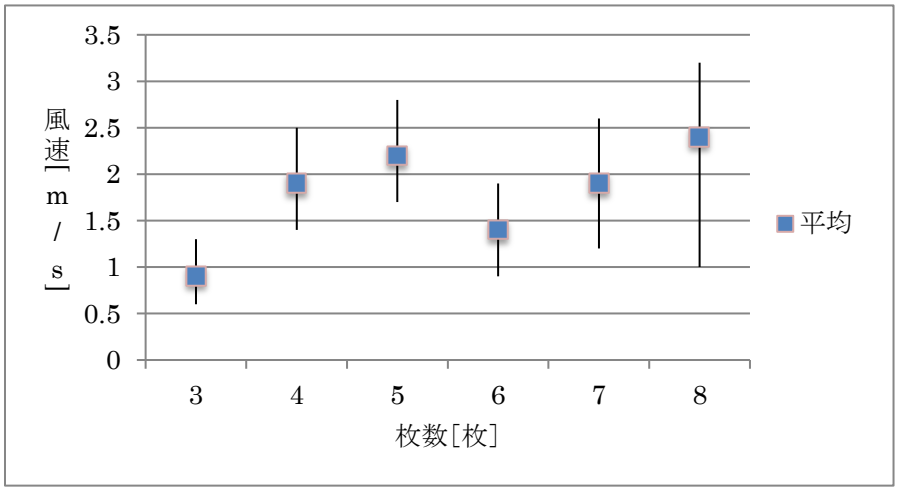
左:角度 13° の場合　右:角度 20° の場合

実験②

結果は表2のようになり、それをグラフ1で表した。

	3枚	4枚	5枚	6枚	7枚	8枚
1回目	0.8	2.4	2.2	1.7	2.6	3.1
2回目	1.1	1.4	2.4	1.0	1.8	3.2
3回目	1.3	2.5	2.7	1.6	1.2	1.0
4 回目	1.2	2.5	2.8	1.9	1.2	1.0
5 回目	0.6	1.4	1.9	0.9	2.4	2.6
6 回目	0.7	1.8	2.7	0.9	2.3	2.6
7 回目	0.8	1.4	1.7	1.5	1.7	2.9

表 2　実験②の最大風速[m/s]



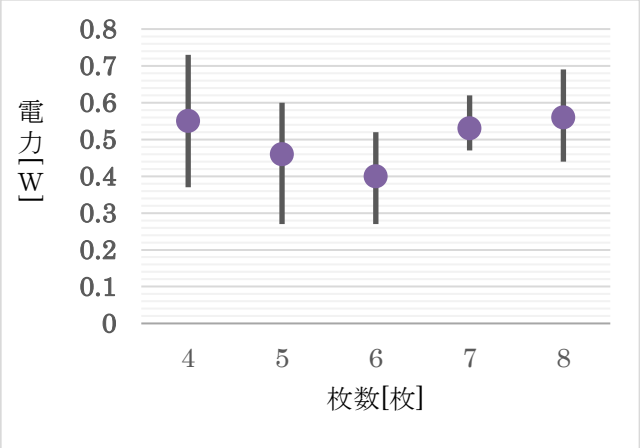
グラフ 1　実験②の枚数と風速の関係

実験③

結果は表3のようになり、それをグラフ2に表した。表は4回行った実験の平均である。

枚数	4	5	6	7	8
電流［A］	0.22	0.21	0.19	0.21	0.22
電圧［V］	2.50	2.24	2.16	2.56	2.56
電力［W］	0.55	0.46	0.40	0.53	0.56

表３　実験③の結果



グラフ２　実験②の枚数と電力の関係

4. 考察

実験①から羽の枚数が多い方が強い風を起こすことができるのではないかと思われる。

実験②では羽の枚数が５枚の場合と８枚の場合により強い風が起きたが、原因は分からなかった。

実験③から、羽の枚数が少ない場合は図3のように羽がより曲がっているので写真3のように後ろに風を送る力が余分に働き、より大きなエネルギーが必要となると考えられる。

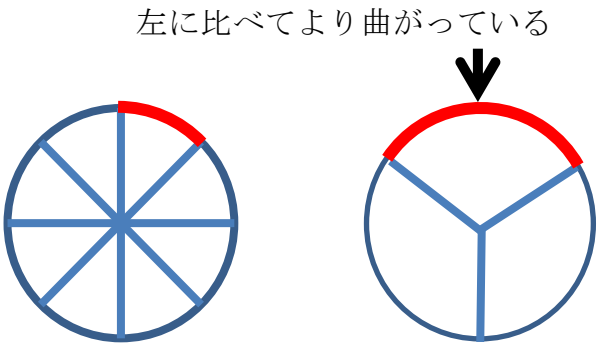
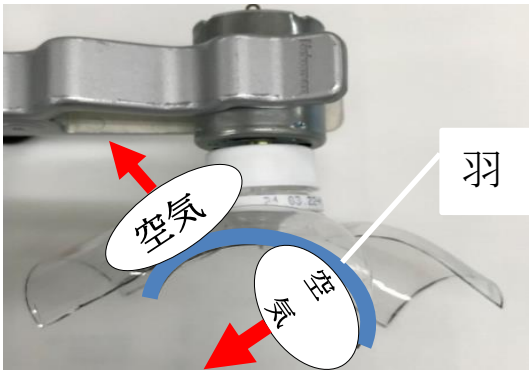


図３　羽の枚数が少ないときの模式図

また、羽の枚数が多い場合は図4のように羽１枚あたりの面積が小さいので風を起こしにくく、多くの回転数が必要となり、羽の枚数が多くなるほどより多くのエネルギーを消費すると考えられる。



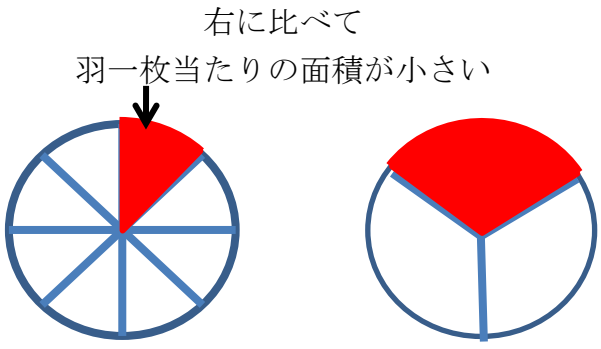


図４　羽の枚数が多いときの模式図

5. 結論

扇風機の羽は多すぎても少なすぎても余分なエネルギーを必要とする。

6. 参考文献

ミニ扇風機を作る方法-DIY のおもちゃ https://youtu.be/FYtTSc1JpCc 10 月 19 日視聴

音で消火

1.研究概要

スピーカーの音で共鳴させたパイプの先に火を置くと火が消えることがある。私たちはこのことに興味を持ち、どのようなときに火が消えやすいかを調べた。また、実験時にパイプの先の火がパイプの内側から外側に傾くことを疑問に感じたため、火以外の動きの違いについて調べた。

2.実験方法

・塩化ビニルパイプ(積水化学 エスロンパイプVU 直径 40mm×長さ 1000mm)
・アンプ内蔵スピーカー（Creative T12 Wireless SP-T12W、スマートフォンに接続して使用）
・ロウソク（大創産業 輝ロウソク ダルマ）
・使用したスマートフォンのアプリケーション…Audio Tone Generator LITE、Sonic Tools SVM
〈実験1〉 （アプリ①） （アプリ②）
まず、実際の共鳴周波数を調べるため、ピストンを動かし共鳴する位置を調べて、開口端補正を計算して平均をとると 25mmとなった。塩化ビニルパイプの先にロウソクの火、その反対側にスピーカーを置き、アプリ①で音を鳴らし、アプリ②で火が消えた時の音の周波数と音の大きさを測定した（写真1）。
〈実験2〉
パイプの先に火の他に様々な物体
を近づけ、様子を観察した（写真2）。

写真１

写真２

3.実験結果

〈実験1〉の結果を以下の表に示す。火が消えなかった場合は×で示した。

基本振動（表1）

周波数 Hz	音の大きさ dB
160	103
170	95
180	107
190	×

2倍振動（表2）

300	×
310	110
320	104
330	100
340	×
350	×
360	×

3倍振動（表3）

490	100
510	×
520	×

4倍振動（表4）

650	107
660	×
680	×

5倍振動（表5）

810	110
850	×
860	×

6倍振動（表6）

970	111
980	111
1000	×
1020	×

まず、気柱の基本振動数を求めた。実験時の気温（15℃）、開口端補正、パイプの長さを下の式に代入して、基本振動数を計算すると167Hzとなった。

$$\left(基本振動数\left[Hz\right]\right)=\frac{331.5+0.61\times\left(気温[℃]\right)}{2\left\{\left(パイプの長さ\left[m\right]\right)+\left(開口端補正\left[m\right]\right)\right\}}$$

表1～6の火が消えた周波数をみると、火が消える周波数は共鳴周波数より低いという傾向が見られた。
また、写真3のように、火はパイプの内側から外側に傾いて消えた。

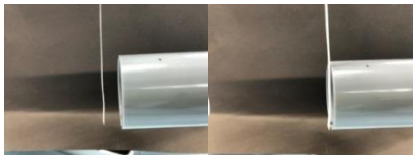
写真３

〈実験2〉の結果は下の表7のようになった。

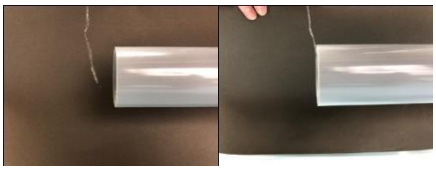
表7

パイプに吸い寄せられたもの（写真4）	アルミホイル、プラスチック片（横幅5mm）、紙片（横幅2～10mm）
パイプに押し出されたもの（写真5）	火、線香の煙、紙片（横幅1mm）
動かなかったもの（写真6）	麻糸（直径3mm）、ビニル糸（直径2mm）、水（紙コップに小さな穴をあけ、上から水を流した）

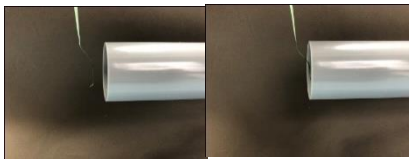
写真4



紙片２ｍｍ

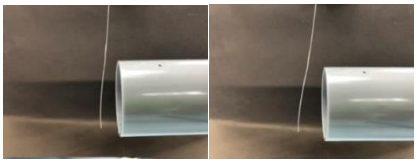


アルミホイル



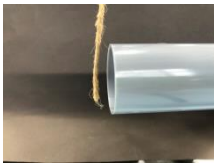
プラスチック

写真５

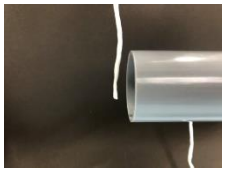


紙片１ｍｍ

写真６



麻糸



ビニル糸

パイプの先に置く物体のパイプの方に向いている面積が小さければ気柱から押し出され、面積が大きければ気柱に吸い寄せられる傾向があった。

4. 考察・結論

実験1より、火が消える周波数は共鳴周波数より小さいと考えられる。また、実験2より、パイプの先に置く物体のパイプの方に向いている面積が小さければ気柱から押し出され、面積が大きければ気柱に吸い寄せられる。そのため、煙や火は小さな粒子なのでパイプから押し出されたではないかと考える。

5. 参考文献

NGKサイエンスサイト https://site.ngk.co.jp/lab/no224/

環水平アーク

1.概要

自然界には様々な種類の虹が存在しており、そのうちの一つが環水平アークである。(図 1)
環水平アークは、通常のアーチ型の虹と違って帯状の虹であり、地平線のあたりの低い位置に観測される。私たちはこの環水平アークができる仕組みを明らかにする実験を行った。

図 1　環水平アーク

通常の虹は、空中に浮いてある水滴に太陽光が入射し、反射・屈折してできる。(図 2)一方、環水平アークは、雲中にある六角柱の氷晶に太陽光が入射し屈折することでできる。(図 3)このとき、太陽光は六角柱の側面から入射し、底面から出てくる。そこから出てきた光が私たちの目に届くことにより私たちは環水平アークを見ることになる。(図 4)

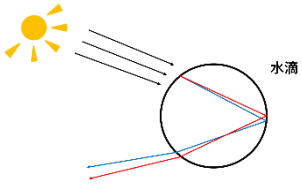


図 2　普通の虹の原理

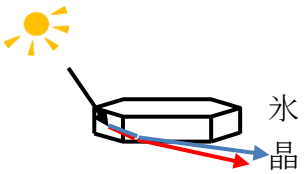


図 3　環水平アークの原理 1

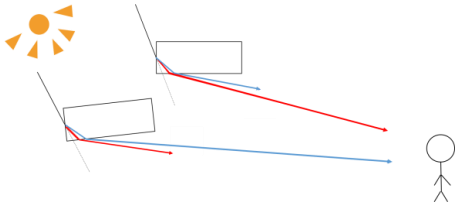


図 4　環水平アークの原理 2

2.研究目的

氷晶は雲中にさまざまな傾きで存在している。つまり、氷晶に対する太陽光の入射角と屈折角もさまざまである。よって、太陽光は様々な方向に屈折しているはずである。それにも関わらず、特定の方向から特定の色の光が届き、虹となるのは何故かという疑問を抱いたため研究を行った。

3.研究方法

太陽からの入射光と、それぞれの傾きの氷晶からの屈折光とのなす角 ϕ を測定し、それらの分布を調べることで、太陽を基準とした時の虹の位置を調べる。(図 5)このとき、入射光と屈折光のなす角度 ϕ を偏角という。
※側面以外の面から入ってくる光は存在するが、それらは別の種類の虹となる。環水平アークは側面から入射し底面から出てくる光によってできるため、今回の実験では側面から入ってくる光についてのみ考える。

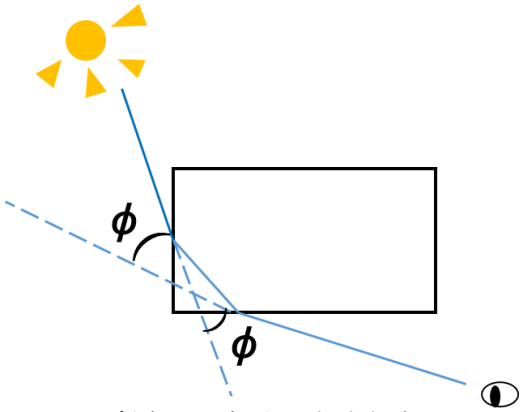


図 5　入射角と屈折光のなす偏角 ϕ

(1)実験装置

実験室で実験を行う際、太陽光をレーザーポインターからのレーザー光、六角柱氷晶を水を張った水槽とす

る。
※環水平アークができるとき、太陽光は六角柱の側面から入射し底面から出てくるため、立方体の底面と側面を使用しても変わらない。
・使用した器具
水槽、レーザーポインター(サンワサプライ/LP-GBR1005)
鉄製スタンド(ナリカ/F35-5031)、メジャー

(2)入射角θと、偏角φの測定方法(図 6)
①入射角θの測定方法
1. レーザーポインターをスタンドで固定し、水を張った水槽に光を入射させる。
2. 入射させた位置から左側の壁までの距離 a をメジャーを用いてそれぞれ測定する。この値は固定する。(この実験では a=1.96m)また、この壁の位置に印をつける。
3. 反射したレーザー光が壁に当たった位置から印をつけた位置までの距離 x を測定する。
4. 測定した二つの値 a,x を用いて図 6 における角度αを算出する。(180°-α)÷2により入射角θが求まる。
5. レーザー光に対する水槽の角度を変えるため水槽を回転させていく。この時、レーザー光が当たる水槽の位置はずれないようにする。
6. 水槽を回転させたそれぞれでの入射角を求める。

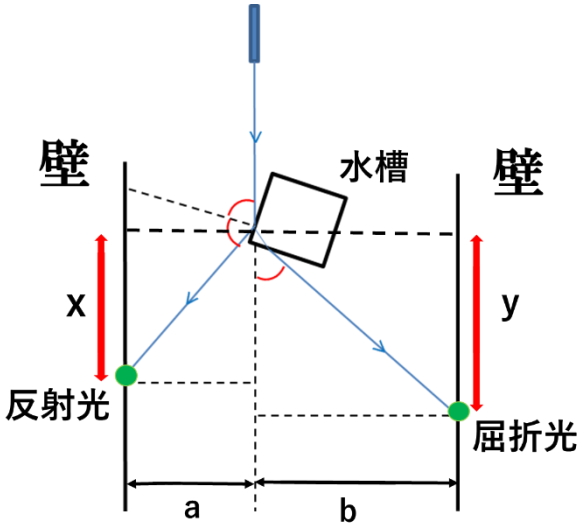


図 6　入射角θと偏角φの測定

②角φの測定方法
1.レーザーポインターをスタンドで固定し、水を張った水槽に光を入射させる。
2.入射させた位置から右側の壁までの距離 b をメジャーを用いてそれぞれ測定する。この値は固定する。(この実験では b=3.49m)また、この壁の位置に印をつける。
3.屈折したレーザー光が壁に当たった位置から印をつけた位置までの距離 y を測定する
4.測定した二つの値 b,y を用いて図6の偏角φを測定する。
5.レーザー光に対する水槽の角度を変えるため水槽を回転させていく。この時、レーザー光が当たる水槽の位置はずれないようにする。
6. 水槽の角度を変えたそれぞれでの偏角φ求める。

なお、偏角 φ を実験で測定する際、レーザー光を図 7 の右図のように水槽の角ギリギリに入射させることによって、b/y が tan φ に近い値になるようにして偏角 φ を測定した。

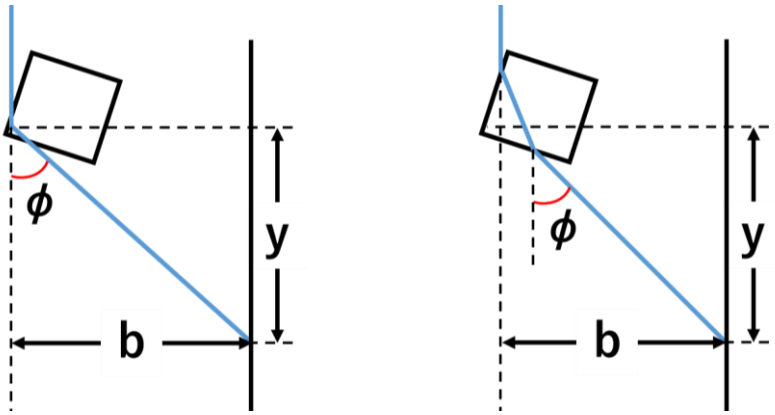


図 7　太陽と虹の角度差と実験との対比図

4. 結果

実験結果を横軸を入射角 θ、縦軸を偏角 φ としてグラフに表すと図 8 のようになった。

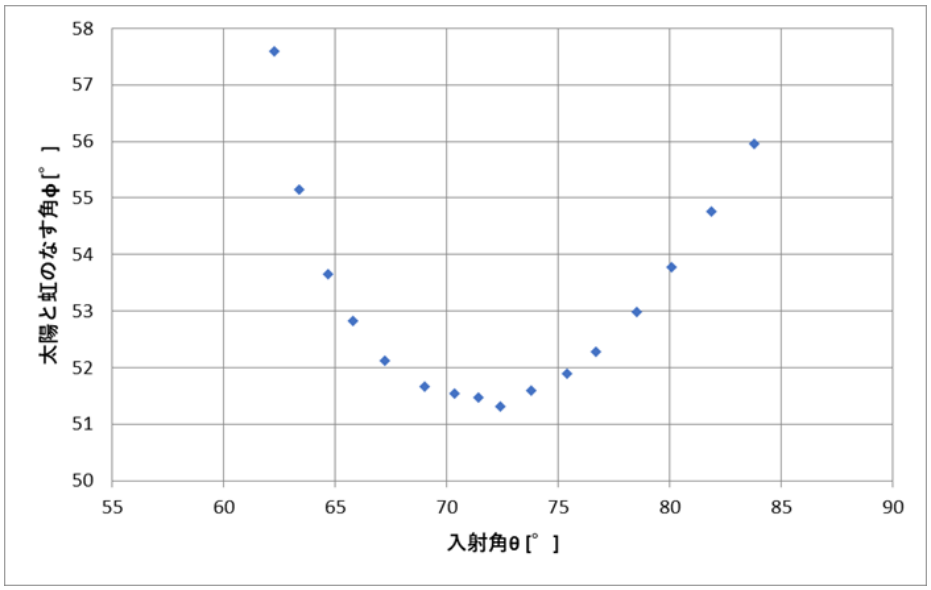


図 8　実験結果

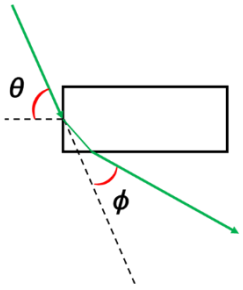


図 9　測定箇所

5. 考察

・入射角が 62°~82°の時にのみ屈折光が見られた。これは、入射角が 62 度以下の時は、水槽内で全反射が起き、底面から光がでてこないため観測されないと考えられる。また、入射角が 84°以上の時は測定が実験器具の測定限界を超えたためだと考えられる。

・62°~82°の時に観測された光について考える。仮に、入射角θが 67°のときの氷晶の様子を図にしてみると図 10 のようになる。この時、偏角φは実験より 52°となるので、太陽高度から 52 度低い位置に屈折光が観測される。

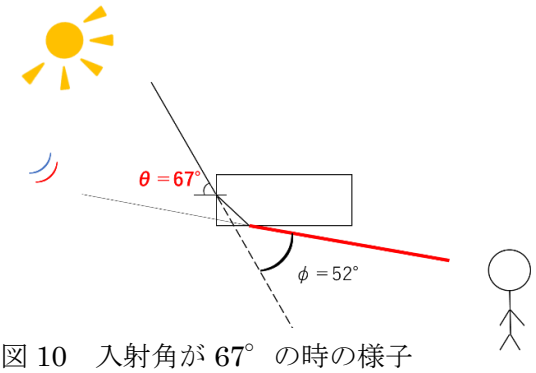


図 10　入射角が 67°　の時の様子

他の角度の場合も同様に図で表し、それらをひとつに重ねると、図 11 のようになる。この図を見てもわかるように、偏角φが 52°である光(図 11 で赤色で示された光)が多く重なることが分かる。
一方、偏角φが 52°以外の光(図 11 で緑色で示した光)は、どれもまばらであまり重なっておらず、赤色の光ほど強め合っていないことが分かる。よって、観測者から見ると、偏角φが 52°である光(赤色で示した光)が、側面から入射し底面から出てくる光の中で一番強く目に入ってくるということである。
よって、偏角φが 52°の光が集まって観測されるのが環水平アークであると考えることができる。

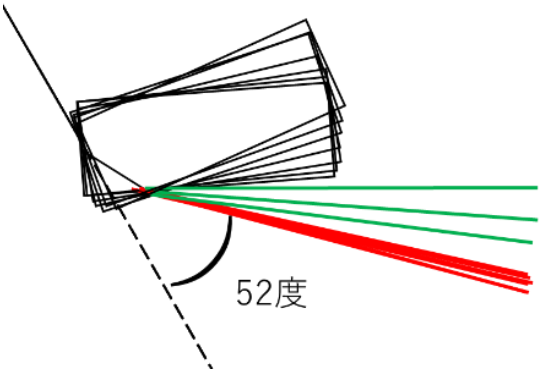


図 11　重ねた光の様子

6. 結論

氷晶は雲中に様々な傾きで存在しているので、入射角も様々な値をとる。そのためいろいろな方向に屈折光を出していると私たちは考えたが、この実験より、多くの氷晶から偏角φが約 52°の光が出ていることがわかった。よって、その光が一番強く私たちの目に届くので、それが環水平アークとなって見えている。つまり、いろいろな傾きの氷晶が雲中に存在しているとしても、偏角φが 52°の光が多いため、太陽光から 52°の向きに環水平アークが観測されることがわかった。

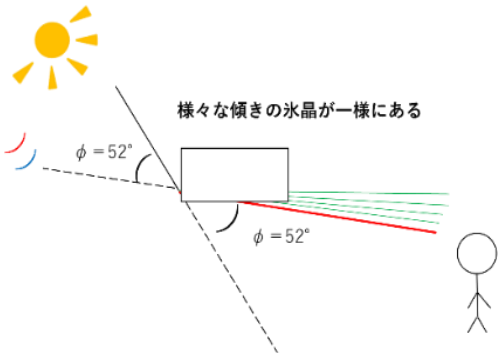


図 12　実験結果

ただし、水の屈折率は 1.33 で、氷の屈折率は 1.31 であり、少し異なるので、実際の太陽光と環水平アークが見える方向とのなす角度も少し異なると考えられる。
また、太陽高度から約 52°低い位置に環水平アークが見えることも分かり、したがって、環水平アークが地平線近くに観測される理由も明らかとなった。

7. 参考文献

https://www.chart.co.jp/subject/rika/scnet/66/Snet66-1.pdf
http://butterflyandsky.fan.coocan.jp/sky2/sky.html

ケルビン発電機の効率化

1.諸言

ケルビン発電機とは二つの水槽から水滴を金属の筒の中を通るように落とすと、水滴中のイオンがひきつけられて電荷を持つ。その水滴が二つの受け皿に落ちて電位差が生じる。

一般に、自然状態でどんな物体であっても絶縁されていれば僅かな電荷を持つ。ケルビン発電機も同様で受け皿も僅かに電荷を持っており図 1 のように導線で繋がれた金属の筒に電荷が移動する。このように金属筒に蓄えられた電荷が水中に存在する電荷を引き付け、帯電した水滴が缶に落下する。これを繰り返すことで電荷を増幅させる。

私たちはケルビン発電機の発電効率を上げる研究を行った。

65 期生の研究では金属筒の長さを変えて実験を行っていた。65 期生は金属筒の長さを長くすると発電効率が良くなると結論づけた。

65 期生の研究との違いは、金属筒と受け皿の材質やそれらの高さと発電効率との関係に注目した点である。

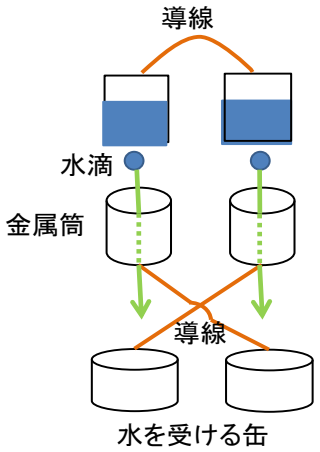


図 1　ケルビン発電機全体図

2.実験の前に

材料　ペットボトル 2L　スタンド　導線

アクリル板(18cm×32cm)
受け皿(アルミ缶(高さ 13cm　直径 10cm)、
ガラス缶(高さ 13cm　直径 10cm))
卓球ラバー（絶縁体）　絶縁テープ
金属筒(金属パイプ(直径 4.5cm　高さ 9cm)、
金属コイル(直径 3cm　高さ 9cm))
クリアファイル

図 2　ケルビン発電機の全体写真

スタンドとアクリル板でペットボトルと金属筒を図 2 のように支える。
金属パイプを使う時はスタンドと互いに絶縁する。
金属コイルの時は上のペットボトルに直接つける。
ペットボトルの水滴を金属筒の中を通って受け皿に落ちるように設置する。
金属筒と受け皿を導線で交差に接続する。
※注意した点
・導線を二つのペットボトルの底までつなぐ。(電荷を移動させるため)
・金属筒の内側が濡れないようにファイルなどで内側を覆う。
・受け皿を絶縁させるために絶縁体(卓球ラバー)をしたに敷く。
・実験を連続して行う時は、金属部に水滴が残らないようにする。
・湿度が高いと電荷が空気中に逃げるため、湿度の低いときに実験を行った。

3.実験 A

・実験手順

水滴に電荷を与える金属筒(①)と水滴の受け皿(②)の材質と形状との発電効率の関係を調べるために水滴に電荷を与える金属筒(①)と水滴の受け皿(②)を以下の様に変えて水滴を落とし箔検電器の開き具合を調べた。なお、①と②の間の距離を 15cm に固定した。

①は金属コイル(30 巻き)と金属パイプ(9cm)を用いた。

②はガラス缶とアルミ缶を用いた。ガラス缶は導線を直接ガラス缶の中の水に入れた。

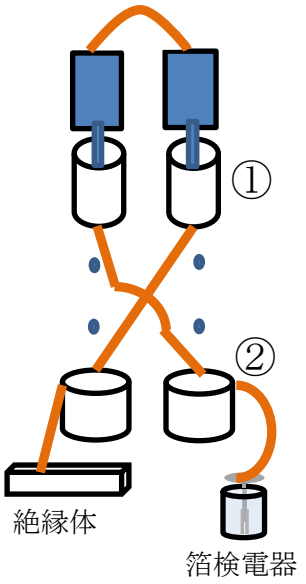


図 3　実験 A の模式図

・実験結果

表 I のような結果を得られた。

	装置 A	装置 B	装置 C	装置 D
①金属筒	金属コイル	金属コイル	金属パイプ	金属パイプ
②受け皿	ガラス缶	アルミ缶	ガラス缶	アルミ缶
結果	開かなかった	はくが開いた	少し開いた	長時間開いた

表 I　実験 A の結果

・実験考察

金属パイプが金属コイルより発電効率が良くなった理由は金属筒中で水がちぎれる点の近くの金属の面積がコイルよりパイプの方が大きいからと考えられる。アルミ缶がガラス缶より発電効率が良くなったのは水から金属へと電荷が移動するので水に触れている金属の面積が大きいほど発電効率が良くなったからと考える。

4.実験 B

・実験手順

上記実験 A の表 I において最大効率の装置Dの組み合わせで図 4 の金属筒①と受け皿②の距離を変えて 3 分間で空中放電させる実験を 3 回行い、3 分間の放電回数の平均値を求めた。

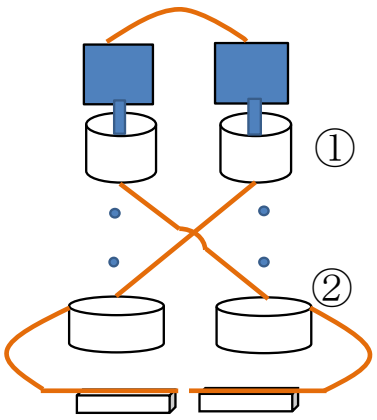


図 4　実験 B の模式図

・実験結果

以下の図 5 のようになった（点は平均値）。

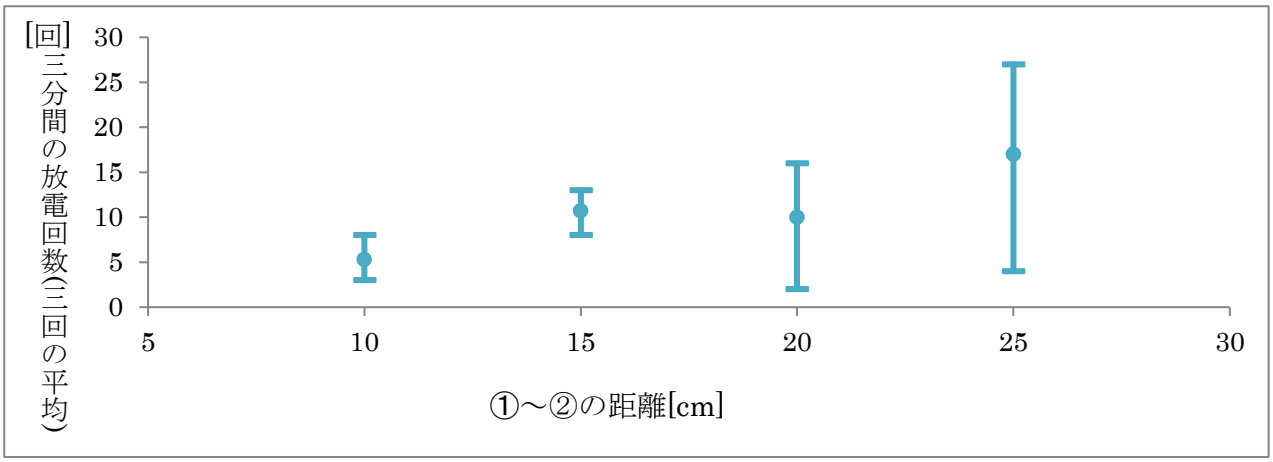


図 5 高さと放電回数の関係

・実験考察

金属筒①と受け皿②は導線で交差につながれているので、①と②の電気量の和が一定であり平行板コンデンサーと同等とみなせる。

金属筒①と受け皿②の間を帯電した水滴が落下する時に、重力が電場から受ける力に逆らって仕事をすることで重力による位置エネルギーの一部が静電エネルギーに変換される。よって、金属筒①と受け皿②の距離が大きいほど重力がする仕事が大きくなるので静電エネルギーも大きくなり生じる電圧が大きくなると考えられる。

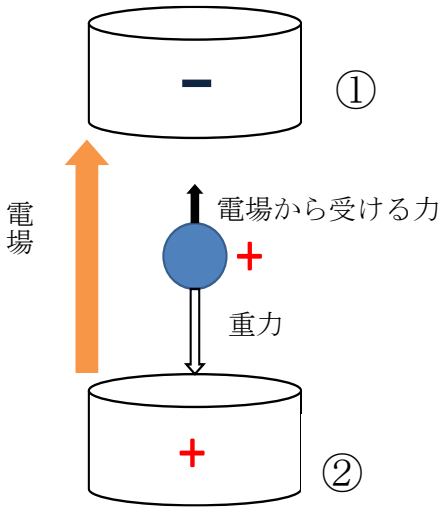


図 6 水滴が受ける力の模式図

5.結論

実験 A より、水滴中の電荷を引き付ける金属筒の面積と、下の金属缶の面積が大きいほど電気量が大きくなる。実験 B より、金属筒①と受け皿②の距離が大きくなると電圧が大きくなる。

6.参考文献

65 期生の研究レポート

蛇行磁石

1.緒言

勾配をつけた凹型レール（図1）の上に三連結ネオジム磁石（図2）を滑らせると、レールの壁と壁の間を行き来する現象が見られる(図3)。この現象を渦電流の原理を用いて説明したい。

図1（材質：側面アルミニウム　底面木製）

図２　三連結ネオジム磁石

図3　蛇行運動の様子

72 期生の仮説（図4）

① 磁石が図4左側から右側に流れる（左側：斜面上方　右側：斜面下方）

② 磁石の前方を N 極、後方を S 極と仮定する。前方では磁石が接近、後方では磁石が離れていくので渦電流が発生する。

③ 前方では磁石を壁から引き離す方向に斥力、後方では磁石を引き付ける引力が発生

④ 斜面下方から磁石が壁から離れる蛇行運動を行う

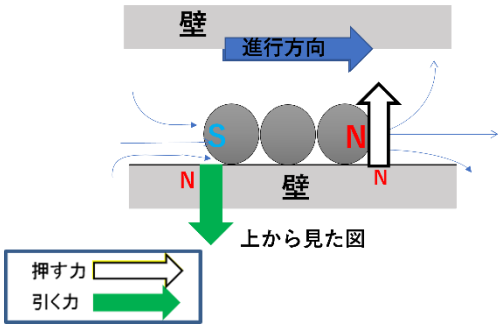


図４　72 期生の仮説

しかし、図3より磁石は斜面後方から離れているので矛盾している
その矛盾に対し 73 期生は新たな仮説を立てた。

73 期生の仮説（図5）

① ②→③までは 72 期生と同様に渦電流が発生

④→磁石の内側に②で発生した渦電流よりも強い渦電流が発生する

⑤→磁石の内側後方に近いところでは③で発生した引力より強い斥力、磁石の内側前方に近いところでは③で発生した斥力より強い引力が発生

⑥→斜面上方から磁石が壁から離れる蛇行運動を行う

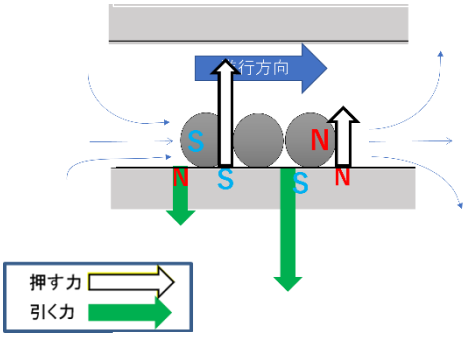


図５　73 期生の仮説

私たち 74 期生は実際に磁石の内側に発生する渦電流の方が外側で発生する渦電流よりも大きいのか検証した

2,実験手順

プラスチック製のレールの上に 3 連結ネオジム磁石を並べ、テスラメーター(株式会社ナリカ、磁界センサB)を用いて1㎜間隔で磁束密度を測定した。

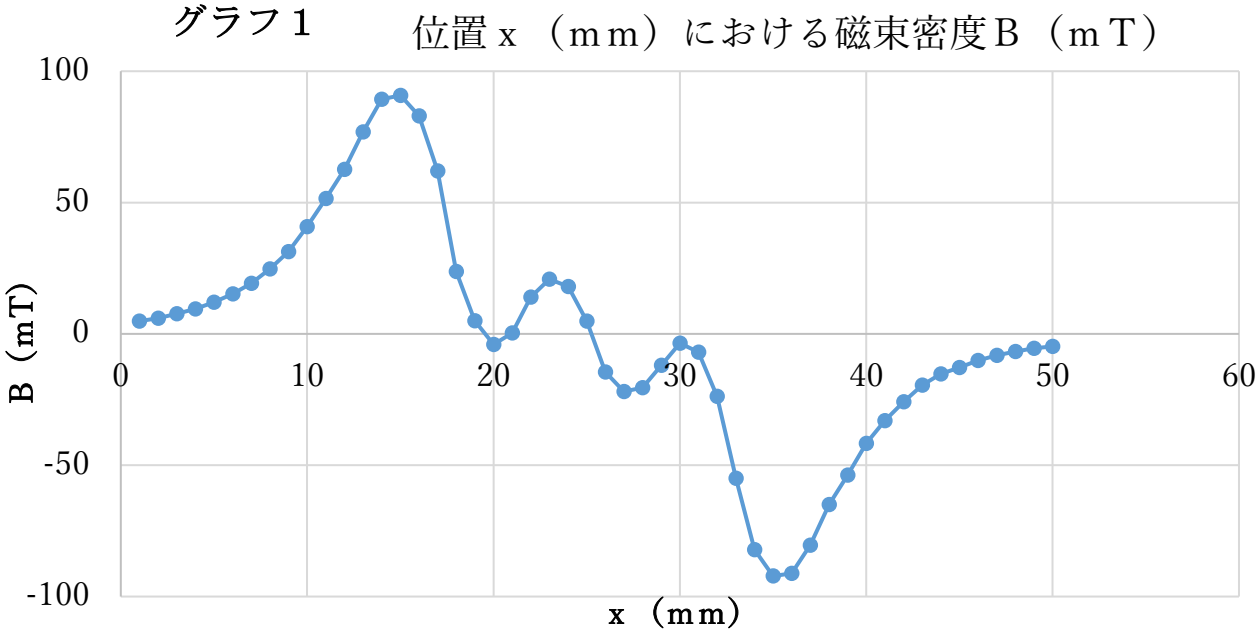
図7使用器具

図6測定の簡略図

3.実験結果

2.で測定した各変位の磁束密度の値をグラフに出力すると、下のようなグラフ1が得られた。

グラフ1は、縦軸が磁束密度(mT)、横軸が変位(mm)である。

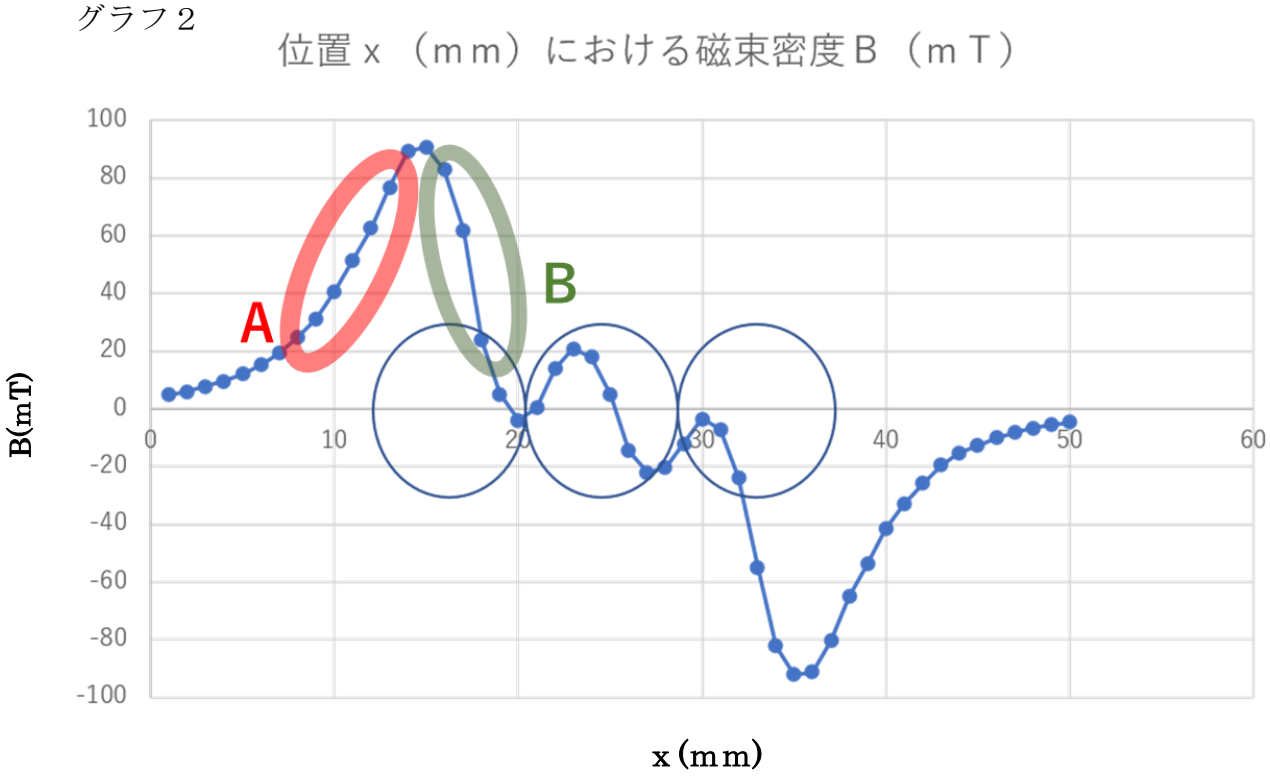


グラフ1の着目点を視覚的に分かりやすくするために、グラフ2を作成した。

グラフ２はグラフ1に、測定で用いた３連結磁石球を測定時の位置に投影してある。

グラフ2を見ると、磁石球の内側部分Ｂの方が、外側部分Ａよりも、位置変化あたりの磁束密度の変化が大きいことがわかった。

グラフ２



4.考察

比例の記号を∝で表す。

（壁から受ける磁力の大きさ）∝（渦電流の大きさ）

$$（渦電流の大きさ）=\frac{dB}{dt}=\frac{dB}{dx}\times\frac{dx}{dt}$$

式１

先輩の仮説を説明するために式Ⅰを考えた。

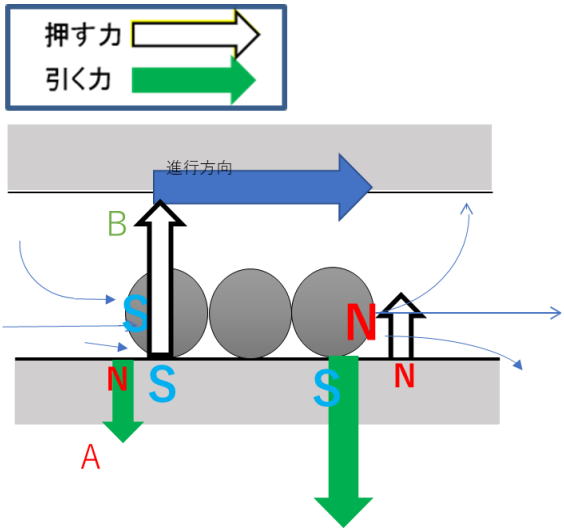


図５　73 期生の仮説

式（Ⅰ）の説明

壁から受ける磁力の大きさは渦電流の大きさに比例する。

渦電流の大きさは単位時間当たりの B（磁束密度）の変化量で表せる。すなわち dB/dt と表せる。

また dB/dt=dB/dx･dx/dt と変形できる。

ここで dB/dx は単位変位あたりの磁束密度の変化

dx/dt は磁石の速さを表すが、磁石は速いときも遅いときも必ず後ろから蛇行するため、蛇行の仕方には影響を与えないと考える。

以上より渦電流の大きさは dB/dx の大きさで決まる。

グラフ2において A（磁石の外側）と B（磁石の内側）では B の方が傾

きが大きい、すなわち B の方がdB/dx が大きいことが分かる。
式（1）より B の方が発生する渦電流が大きいことが分かる。よって磁石の後方のでは図（5）のような力が働く。前方でも同じグラフ2から前方では図（5）のように働く。以上より進行方向に対して後ろ側が先に壁から離れて蛇行することが説明できる。

5.結論

磁石の外側より内側の方が位置変化当たりの磁束密度の変化が大きいためより大きい渦電流が発生し後ろ側が先に壁から離れて蛇行する。

6.参考文献

73期「蛇行する磁石」 72期「蛇行する磁石」

ハイドロキシアパタイトの合成と結晶化

1.諸言

現在、世界中で海洋プラスチックごみ問題が表面化してきている。海洋プラスチックごみ問題とは、投棄された自然界では分解されにくいプラスチックごみが海に集まり、そこに生息する魚などに影響を与えるものである。最近では日本でもプラスチック製品から紙製品への移行や、レジ袋の有料化などが進められつつある。しかし、プラスチックと紙とでは性質が異なっており、紙では代用できない事が多いと考えられる。この問題を解決するためには、投棄されても自然界に悪影響を及ぼさない、つまり自然界で分解できるプラスチックが必要となってくる。現在、生分解性プラスチックは世界中で研究が進められており、主に原料を糖やデンプンとするものが主流である。しかし、その糖やデンプンはサトウキビやトウモロコシ由来であり、これらはプラスチック用に栽培されたものの利用がほとんどである。私は、真に自然に優しいプラスチックは廃棄物から作られるものなのではないかと考え、プラスチックに近い廃棄物を考えた際に魚の鱗がそれに当てはまるのではないかと考えた。調べていくうちに、魚の鱗の主成分は、ハイドロキシアパタイトという成分であることが分かった。ハイドロキシアパタイトとは、化学式で $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ と表され、塩基性、中性条件下では水に溶けないが、酸性条件下では水に溶ける物質である。この物質は人間の骨や歯の主成分でもあり、医療関係から注目されている物質でもあることが分かった。

ハイドロキシアパタイトの合成は、乾湿法、湿式法、熱水法など様々な方法があるが、今回の実験では先行研究を参考にして酸化カルシウムと、リン酸を使った湿式法を用いて合成を試みた。ハイドロキシアパタイトにタンパク質を混合させることで、よりプラスチックの性質に近づき、今後の研究が広がると思ったため、この研究をまず初めにすることにした。

2.酸化カルシウムとリン酸を用いた湿式法(試験管使用)

2-1 実験の仮説

諏訪らの先行研究を参考に実験を行う。先行研究において使われていた高価な実験器具は用意できず、試験管を用いて実験を試みた。

2-2.実験方法

試験管に水 6.0g を入れ、その中に酸化カルシウム(キシダ化学,特級,粉末)1.0g とリン酸(キシダ化学,特級)1.2g を入れ、よく攪拌する。そこにリン酸緩衝液(2mol/L,pH 7 に調整)を 5mL 入れ、60℃に設定した恒温槽(アズワン株式会社,EW-100RD)に 48 時間入れて熟成させる。その後ろ過し、乾燥器を用いて100℃で 1 時間乾燥させる。その後生成物を強熱して、できた生成物の組成について調べる。

2-3.実験結果

試験管の底に白色の細かい粒子の沈殿物がたまった。できた沈殿物を強熱すると、液体が生じ、塩化コバルト紙を赤変させた。また、できた生成物はフェノールフタレイン溶液を赤変させたが、乳鉢を用いて粉末にしたものと、乾燥させたそのままのものとでは粉末にしたものの方が赤変する速さが速かった。

2-4.実験の考察

塩化コバルト紙が赤変したことより、強熱して生じた液体は水であると分かった。よって生成物は水酸化物であると考えられる。また、フェノールフタレイン溶液の赤変する速さが粉末にした時の方が速かったため、酸化カルシウムの周りに生成物が生じたのではないかと考えた。

3.塩化カルシウムとリン酸緩衝液を用いた湿式法

3-1.実験の仮説

実験 2 の酸化カルシウムとリン酸を用いた湿式法では、酸化カルシウムの溶解度が小さいために実験時間が長くなることが分かった。その影響で酸化カルシウムの周りに生成物が生じたのではないかと考え、カルシウムを含む溶解度の大きい物質である塩化カルシウムを使った実験を行うことにした。ハイドロキシアパタイトは酸性条件下で溶ける性質があるため、リン酸ではなくリン酸緩衝液を用いた。

3-2.実験方法

ビーカーにリン酸緩衝液(2mol/L,pH 7)を 35mL 入れ、飽和塩化カルシウム(キシダ化学,1 級)水溶液 10mL を注ぐ。その後、生成した沈殿物をろ過し、乾燥器を用いて 100℃で乾燥させる。その後生成物を強熱して、できた生成物の組成について調べる。

3-3.実験結果

リン酸緩衝液と飽和塩化カルシウム水溶液を混ぜてすぐに反応が起こり、実験 2 で生じた生成物よりさらに細かい白色固体が生成した。この物質も実験 2 と同様、強熱すると液体が生じ、この液体が塩化コバルト紙を赤変させた。また、実験 2 の結果とは異なり、生成物がフェノールフタレイン溶液を赤変させることはなかった。

3-4.実験の考察

塩化コバルト紙が赤変したことより、強熱して生じた液体は水であると分かり、生成物は水酸化物であると考えられる。また、反応速度が速いこと、フェノールフタレイン溶液が赤変しなかったことより、酸化カルシウムの周りに生成物は生じなかったと考えられる。しかし、今回の実験の目的はハイドロキシアパタイトの結晶化であり、この実験は反応速度が速すぎるため、結晶化はしないと考えた。

4.酸化カルシウムとリン酸を用いた湿式法(ビーカー使用)

4-1.実験の仮説

実験 2 において酸化カルシウムの周りに生成物が生じてしまう原因は、実験に試験管を用いたため酸化カルシウムとリン酸が十分に反応しなかったことが考えられる。そのため実験 4 では底の広い、酸化カルシウムをできるだけ拡散できるような工夫が必要であるため、実験容器を試験管からビーカーに変更した。またこの実験では、温度とpHによる生成物の結晶化と生成量についても調べるため、乾燥方法を乾燥器から、デシケーターに乾燥材を入れてろ紙ごと乾燥させる方法に変えた。

4-2.実験方法

ビーカーに水 6.0g を入れ、その中に酸化カルシウム(キシダ化学,特級,粉末)1.0g とリン酸(キシダ化学,特級)1.2g を入れ、よく攪拌する。そこにリン酸緩衝液(2mol/L,pH 7 に調整)か、リン酸緩衝液(2mol/L,pH 10 に調整)を 5mL 入れ、55、60、65、70℃にそれぞれ設定した恒温槽(アズワン株式会社,EW-100RD)に 48 時間入れて熟成させる。その後、できた生成物をろ過し、乾燥材を入れたデシケーターに 5 日放置して乾燥させる。

4-3.実験結果

実験結果を次の表に表す。

(表 1)ハイドロキシアパタイトのpHと温度による生成量の変化

	55℃	60℃	65℃	70℃
pH 7	1.98g	1.99g	2.03g	1.88g
pH 10	2.14g	2.11g	2.14g	1.97g

(表 1)より、pHや温度による生成物の生成量に大きな変化はなく、実験 2 と同様に、生じた物質は細かい粒子状のものであり、8 種類すべて強熱すると塩化コバルト紙を赤変させる液体が生じた。また、この物質にフェノールフタレイン溶液を加えると、実験 2 よりも弱く赤変した。加えて、この実験では理論的な生成量が 1.70g であるにもかかわらず、どの実験でもその数値を超えていた。

4-4.実験の考察

(表 1)や、生成物の粒子の状態より、この実験方法において、55℃～70℃、塩基性、中性の条件は生成物の生成量や結晶化に影響を及ぼさないことが分かった。また、塩化コバルト紙の実験より、全ての生成物は同じであると考えられる。理論的な生成量より多く生成されていたことについては、精製不十分や乾燥不十分が考えられ、また、8 回の実験をそれぞれすべて一度しか実験できていないので、誤差が大きくなったと考えられる。

5.結論

今回の研究では、白色化合物の生成には成功したが、生成物が本当にハイドロキシアパタイトなのか確認ができなかった。また、純粋なハイドロキシアパタイトが生成したと仮定した場合でも、理論的な生成量より多く生成されていたため、その収率は測定できなかったと考える。加えて、生成した白色粉末の結晶化もできないままだった。昨今のプラスチックによる環境問題を解決することは人類の急務であり、私もその解決に参加したかったのだが、自分の力のなさを痛感するばかりであった。この研究は今後、実験結果 4 を明確にすることがまず必要であり、ハイドロキシアパタイトの結晶化の条件は今回の実験では発見することはできなかったため、その発見も急がれる。また、研究中に考えたハイドロキシアパタイトのpH溶解度の変化を利用したハイドロキシアパタイトの再結晶化の実験も行ってみたいと思う。

6.参考文献

水酸化カルシウムとリン酸からのハイドロキシアパタイトの合成と pH 制御による組成の制御 諏訪佳子, 阪野英夫,水野峰男,齋 藤 肇／1993.3.16
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcersj1988/101/1174/101_1174_659/_pdf

U 字管を用いたリーゼガング現象

1. 概要

リーゼガング現象とは、ゲル化した電解質溶液の上にその電解質溶液と混合すると沈殿を生じる別の電解質溶液を滴下、放置するとゲル中に周期的な沈殿(以下、リング)を生じる現象である。
1896 年に R.E.Liesegang がニクロム酸カリウムを含むゼラチンゲルと硝酸銀溶液を用いた実験で初めてこれを発表した。
リーゼガング現象に関する実験は、反応する物質や法則性について、様々な研究が行われ現在多くのことが判明しているが、現象の発生メカニズムは未だ解明されていない。
最も有力な説は、F.W.Ostwald の過飽和説(1987)であるが、この説では説明できない例も複数見つかっている。
本校では、課題研究としてリーゼガング現象をテーマにしたさまざまな研究が行われてきた。中でも特に櫻井(2020)は、反応物質の組み合わせを一種類に限定し、試験管の傾きなどの物理的条件を変化させることで、周期的沈殿のパターンがどのように変化するのかを調べ、この現象の発生メカニズムに迫ろうとした。
ゲルを用いた実験にはゲルを媒体として、結晶を作成するゲル法がある。石原(1981)はゲル法において、ゲル材料として天然有機物(ゼラチン、寒天など)を用いると温度上昇により、構造変化を起こしやすく、良い結果が得られないため、結晶成長ではケイ酸ゲルが常用されていると述べた。また、ゲル法による結晶成長を試験管と U 字管で行い、比較した。その結果、U 字管を用いると、試験管を用いる時よりも結晶が最初に生成する領域での成分の濃度あるいは濃度勾配が低くなることが期待され、きれいな結晶ができる。また、U 字管では試験管を用いる場合と比べて結晶生成に時間がかかると述べた。
そこで今回私たちは、大きく分けて 2 つの実験を行った。実験αとして使用するゲルの種類によってリングのでき方に違いがみられるのかを調べるため、ゲルをケイ酸ゲルにした場合の実験を行った。実験βとしてリーゼガング現象の発生メカニズムの手掛かりを掴むことを研究目的とし、U 字管を用いて実験を行った。
ゲルは主に寒天ゲル、反応させる物質の組み合わせは主に塩化マグネシウムと濃アンモニア水を用いたが、この組み合わせを選んだのは、周期的沈殿が生成するまでの時間が短く(1 週間前後)、実験の回数を増やせること、櫻井(2020)と比較検討するためである。

2. 実験で使用した試薬

本研究で使用した試薬を表 1 に、使用した器具を表 2 に示す。本研究では大きく分けて次の 2 つの実験を行った。
実験α　用いるゲルの種類によって結果が異なるのかを調べる
実験β　U字管を用い、リング生成のメカニズムをつかむ

表 1 実験で使用した試薬

実験の種類	試薬	会社名・級
α,β	寒天	キシダ化学株式会社 1 級
α,β	濃アンモニア水(conc.NH_3aq)(28%)	キシダ化学株式会社 特級
α,β	塩化マグネシウム($MgCl_2$)	キシダ化学株式会社 1 級
α	塩酸（HCl 35%）	キシダ化学株式会社 1 級
α	ケイ酸ナトリウム溶液（1 号）（水ガラス）	キシダ化学株式会社
α	酢酸マグネシウム(4 水和物)	キシダ化学株式会社 特級
α	酢酸アルミニウム(繊維用)	キシダ化学株式会社 特級
α	滴定用 フェノールフタレイン溶液 (1.0w/v%)	キシダ化学株式会社

表2 実験で使用した器具等

実験番号	器具等	規格等
α,β	試験管	直径 1.8cm×18cm
β	U 字管(塩化カルシウム管)	直径 1.8cm×18cm
β	インターバルカメラ	Brinno BLC200 Lab Cam Time Lapse Camera]

3. 実験方法

共通する手順

・寒天ゲルの作成

粉末状の寒天を加熱しながら水に溶かす。次に、溶質を少しずつ加えて溶かす。その後、放冷し、ゲル化させる。(水:寒天＝100:1)

実験α:ゲルの違いを調べる

・ケイ酸ゲルの作成

比重 1.1 の水ガラスに 20%の塩酸を中和点に達する直前まで加える。

ゲル化させる際にどちらにも、塩化マグネシウムを加え、ゲル化後、濃アンモニア水を加え、放置し観察を行う。

実験β:リング生成のメカニズムをつかむ

Ⅰ U 字管を用いた基本実験

実験① 濃アンモニア水を U 字管の片側から入れた場合

実験② 濃アンモニア水を U 字管の両側から入れた場合

補足として実験③、実験④をおこなった。

実験③ 試験管に上記と同様、塩化マグネシウムを含むゲルを作成し、濃アンモニア水を滴下し、その後ゴム栓を用いて逆さまに向け、放置し観察を行う。

実験④ 実験①、②において壁面に対して垂直にリングが生成することを裏付けるため、U 字管をそれぞれ

の壁面の高さが揃っている状態でななめ 45°に傾けて行う。

Ⅱ 撮影

実験①、②をインターバルカメラで撮影する。

4．実験結果

実験α：ゲルの違いを調べる

(1)寒天ゲルを用いた場合

・塩化マグネシウム $Mg^{2+}+2OH^{-}\rightarrow Mg(OH)_2$

通常のリーゼガング環（以下、リング）が確認できた。（写真 a）

・酢酸アルミニウム $Al^{3+}+3OH^{-}\rightarrow Al(OH)_3$

塩化マグネシウムの時よりもかなり間隔のあいた太いリングが生成した。（写真 b）

・酢酸マグネシウム $Mg^{2+}+2OH^{-}\rightarrow Mg(OH)_2$

通常どおりのリングが確認できた。

(2)ケイ酸ゲルを用いた場合

・塩化マグネシウム

数本の試験管のうち、一本のみ、一層のリングが確認でき、他の試験管でリングは確認できなかった。（写真 c）

・酢酸アルミニウム

リングは確認できなかった。

・酢酸マグネシウム

リングは確認できなかった。

塩化マグネシウム、酢酸アルミニウム、酢酸マグネシウムの順に実験を行った。

塩化マグネシウムを用いたところ、一本試験管でのみ、一層のリングしか確認できなかったので、塩化マグネシウムが強酸、弱塩基の塩のため、ケイ酸ゲルの pH を酸性に変化させてしまったのではないかと考え、塩化マグネシウムをまずは学校にあった酢酸アルミニウムに変更し実験をおこなった。しかし、酢酸アルミニウムを用いた場合では、リングは確認できなかった。よって、次に一本の試験管で一層のリングを確認することができたマグネシウムを用いるため酢酸マグネシウムを用い再度実験をおこなった。

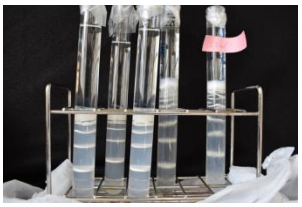


写真 a

寒天ゲル+$MgCl_2$

写真 b

寒天ゲル+$Al(CH_3COO)_3$

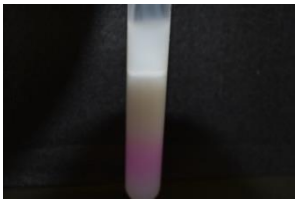


写真 c

ケイ酸ゲル+$MgCl_2$

実験β：リング生成のメカニズムをつかむ

実験①~④の結果を実際の写真(Fig.1~8)と共に示す。実験⑤-A,B の結果については記録メディアに実際にインターバルカメラで撮影したものを確認しやすいように編集(動画の切り取り、拡大)したものを示す。Fig.5~8 は Fig.1~4 とそれぞれ同じ画像で、沈殿がある部分とない部分の境界を赤線で示したものである。

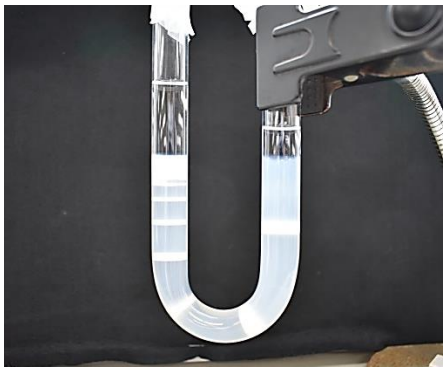


Fig.1　実験①の結果

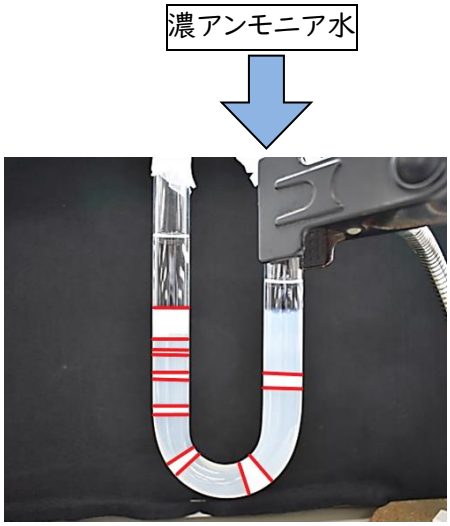


Fig.5 実験①の結果　赤線付き

Fig.1,5 のように U 字管の最下部を超えてもリングが生成した。

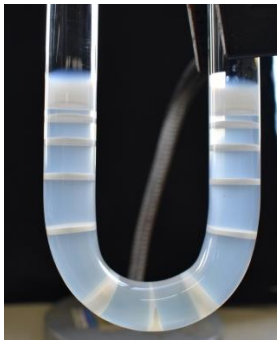


Fig.2 実験②の結果

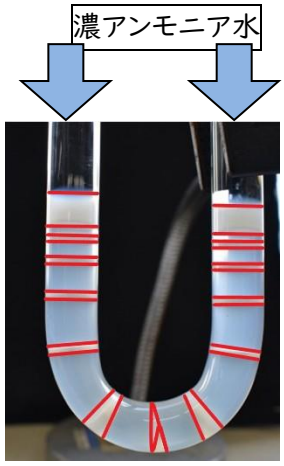


Fig.6 実験②の結果　赤線付き

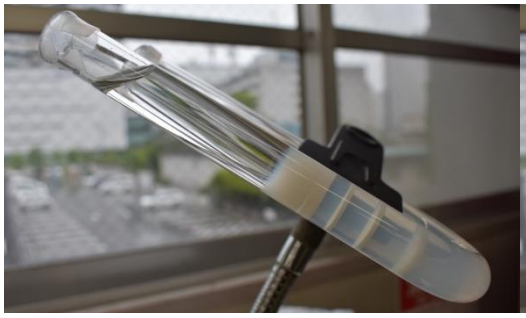
※実験②を Fig.2 が成生した条件で 6 回ほど行ったが、Fig.2 のように最下部にリングが生成(試験管の外側のみ)したのは 6 回中 1 回のみだった。

そこでゲルの量を変え追加で 4 回ほど実験を行ったが、最下部にリングは確認できなかった。

また Fig.1,2,5,6 より、リングが壁面に対して垂直にリングが生成していることが分かる。

Fig.3 実験③の結果　　Fig.7 実験③の結果 赤線付き

Fig.3,7 のように濃アンモニア水と寒天ゲルが接触した部分から重力に逆らってリングが生成した。



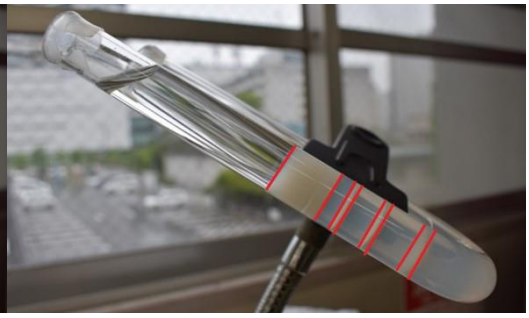


Fig.4 実験④の結果　　Fig.8 実験④の結果 赤線付き

Fig.4,6 のように壁面に対して垂直にリングが生成した。

実験⑤ リング生成の様子の撮影・観察

何度か撮影を試みた結果、U 字管の直線部分とカーブ部分のそれぞれについて、リング生成の様子を撮影することに成功した。撮影した動画から切り出した画像を Fig.9,10 に示す。

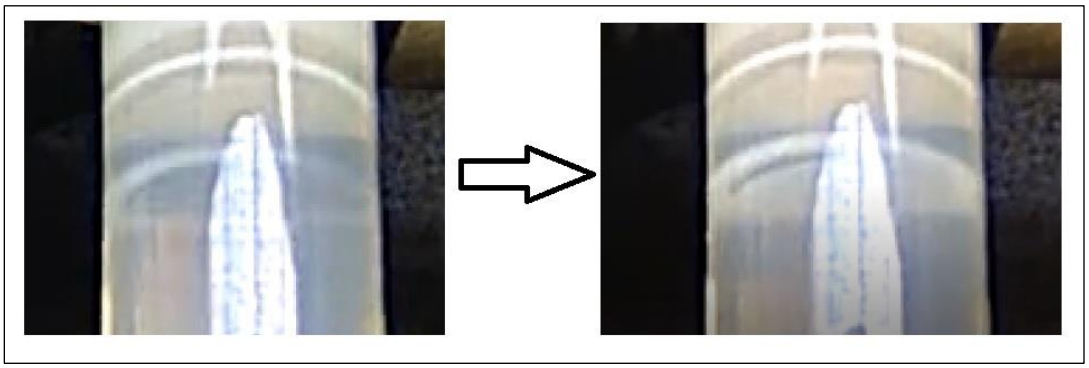


Fig.9 直線部分のリング生成の様子

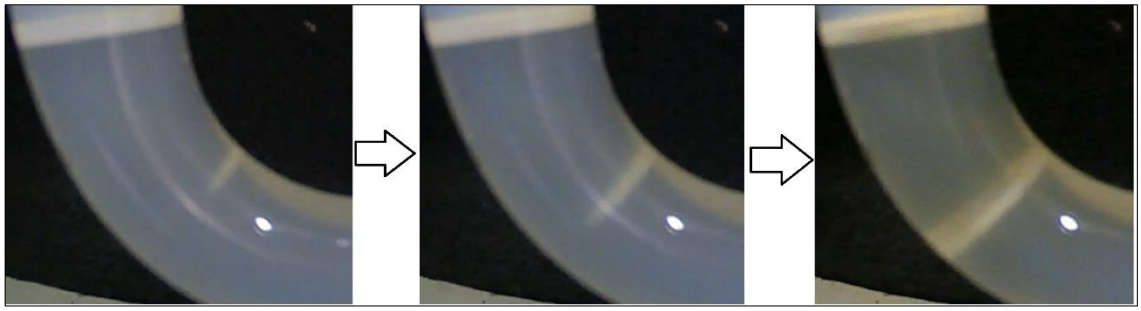


Fig.10 カーブ部分のリング生成の様子

・実験⑤-A 直線部分の結果
Fig.9 のように、リングが管の壁面に沿って外側から生成し、その後、内側に成長する様子が確認できた。
・実験⑤-B カーブ部分の結果
Fig.10 のように、U 字管のカーブの内側の壁面からリングが生成し、その後、カーブの外側が太くなるように成長する様子が確認できた。

5. 考察

実験α:ゲルの違いを調べる

ケイ酸ゲルは安定して作成することができたが、ケイ酸ゲルに濃アンモニア水と反応する電解質物質を加えるとゲルが不安定になり、リングは生成しなかった。
何度も試行を繰り返したがリングが寒天を用いた場合のように生成することはなかったため、実験を終了した。

実験β:リング生成のメカニズムをつかむ

F.W.Ostwald の過飽和説によれば、滴下した溶液からゲルへ拡散したイオンは、最初、溶解度積に達しても沈殿を作らず、過飽和状態を維持する。その後、ある所で過飽和が限界に達し、沈殿が生成するが、ゲル中でのイオンの移動速度は沈殿の生成スピードに比べて非常に遅いので、沈殿が生成する場所から遠い位置にあるイオンがその場所に到達したときには沈殿が終了しており、沈殿となることができない。沈殿になれなかったイオンは拡散を続け、離れた場所で同様に沈殿をつくる。
これによって周期沈殿が生成される。以降の考察はこれをもとに行う。
今回の実験では塩化マグネシウムと濃アンモニア水を反応させリングを生成させたことから、化学式は次のようになると考えられる。

$MgCl_2+2NH_3 \rightarrow Mg(OH)_2+2NH_4Cl$

この反応で生成する水酸化マグネシウム $Mg(OH)_2$ は塩化アンモニウム NH_4Cl よりも溶解度積が小さく沈殿となりやすいため、この物質がリングを形成していると考えられる。

実験①③から分かること
実験① 濃アンモニア水を片側から入れた場合では仮説①に反して U 字管の最下部を超えても、リングができることが確認できた
実験③ 重力に逆らって通常どおりの拡散(濃アンモニア水と接触している部分から周期的なリングが生成)が起こった。
櫻井(2020)の先行研究も合わせ、試験管の傾きをどのようにしてもリングの生成は通常通りである。

従ってリングの生成に重力は影響しないといえる。

実験④から分かること
U 字管を 45° に傾けても壁面に垂直に生成したことから、リングは壁面に垂直に生成すると言える。

実験⑤-A 直線部分
※リングの生成におけるきっかけ（開始点）を以下、核とかく。
リングは核ができることをきっかけとして生成する。
リングが壁面に対して垂直に生成する理由として次のように考えた。
リングの生成に重力は影響しないことからイオンの拡散はあらゆる方向にひろがっていくと考えられ、図 1 のようになる。

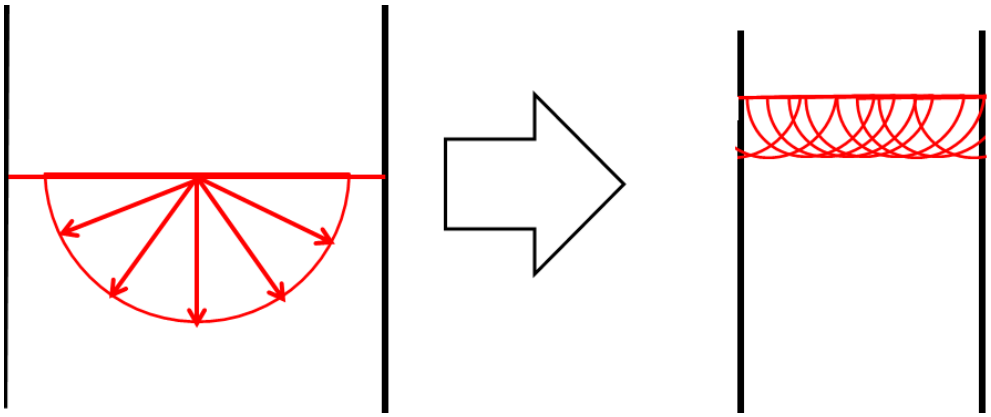


図 1 イオンの拡散

今回は、図で表すため一部分のイオンの動きを取りだした。

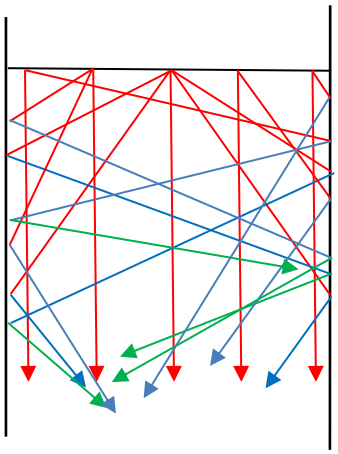


図 2 直進するイオンの動き
※参照 図 2 赤線 直進するイオンの
青線 1 回反射して進むイオン
緑線 2 回反射して進むイオン

拡散はあらゆる方向に進む。壁面にイオンがあたると反射し、壁面では、図 2 からも壁面が他の部分に対し

て密になっていることが分かる。
よってリングは直線部分では、内側外側の有無なく壁面から垂直に生成し始める。

実験⑤-B カーブ部分
またリングの生成の仕組みは次のように考えた。

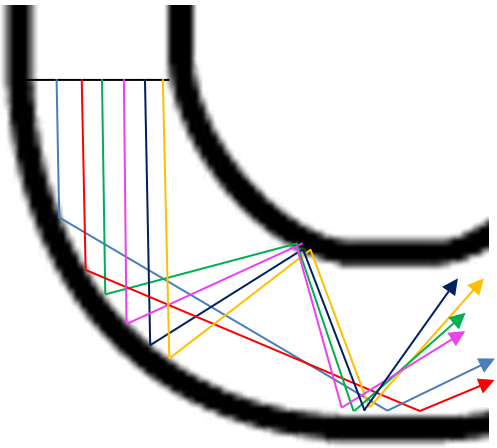


図 3 カーブ部分でのイオンの動き
※ 図 3 のイオンの動きを表した直線を左から順に①~⑥とする
①~⑥のように試験管の下部にあたり一回目の反射を行うイオンは入射角＝反射角より必ず①~②のように試験管の最下部に向かって反射するイオン、③~⑥のように内側に向かって反射するイオンに分けられる。
試験管の下部に向かって直進するイオン以外にもイオンの進み方は様々だが今回は内側、外側で進み方が変わらないとして図 2 からは除外した。
よって試験管の下部に向かって直進する以外のイオンも合わせて考えると内側、③~⑥の集まっている点が密になり、核ができリングは内側から生成すると考えられる。
また両側から濃アンモニア水を入れた場合である実験②を行う中で 10 回中 1 回のみカーブ部分の最下部で外側にのみリングが確認できた理由もこの考察を用いて説明できる。
直進し反射するイオンの多くは、③~⑥のように内側に向かい、次に外側に向かって進む。
よって U 字管最下部の内側にはイオンが集まらない。
また①~②のように進むイオンも次に内側に向かって進むが、一回目の反射ですでに U 字管最下部の外側に到達した後反射するので U 字管最下部の内側にはイオンが集まらない。
よって、リングは内側から生成し、U 字管最下部の内側にはリングが生成されないと考えられる。
また、外側が太くなり壁面に対して垂直になる理由は、試験管の内側の一点が密になるのでリングの核ができ、そこからリングの生成が始まり、図 2 の一回目の反射の部分に向かってリングができるからではと考えた。しかし、今回の実験ではカーブ部分の傾きを変化させていないため、今回の考察では説明がつかない事例が見つかる可能性もある。
今後の課題として、カーブ部分の傾きを自由に変え考察できるホースなどを用いて実験を行い検証を重ねる必要がある。

6. 結論

本研究では以下のことが明らかになった。

・ケイ酸ゲルを用いて実験を行うことは本研究では困難であった。

・U 字管の最下部を超えてもリングが生成した。

・リーゼガング現象に重力は影響しない。

・リングは壁面に垂直に生成する。

・リングは直線部分では壁面から外側に沿って生成し、カーブ部分では U 字管の内側からリングが生成し、外側が太くなった。

7. 展望

・U 字管以外にカーブ部分の傾きを変えられるもの、ホース等を用いて、今回考察した理論の修正点を考える。

・インターバルカメラを用いてさらに実験を行い、個体差を小さくする。

・ゲルの量の調節をさらに行い、本当に最下部の内側にリングはできないのか、また最下部にリングが生成される条件を考える。

8. 参考文献

・石原信一、ゲル法による結晶成長の諸問題、1981

・井上友治　ほか、実験の成否が一目でわかる原色化学実験プロセス図説、黎明書房、1983.p90~91

・棚田悠介、寒天ゲルを用いて Mn の樹状結晶を作る、大阪府立大手前高等学校サイエンス探究報告書、2014

・杉森菜々子、リーゼガング現象と天然石、大阪府立大手前高等学校サイエンス探究報告書、2015

・櫻井恒輔、リーゼガング環のパターン変化、大阪府立大手前高等学校サイエンス探究報告書、2020

ゲリラ豪雨を予測しよう

1.緒言

近年、短時間集中的に降る激しい雨が観測されることが増えてきた。これは、日本各地で家屋への浸水や土砂災害などの被害をもたらす。現在、このような雨はマスメディアなどではゲリラ豪雨と呼ばれているが、気象庁では、「急に強く降り、数十分の短時間に狭い範囲に数十㎜程度の雨量をもたらす雨」のことを、「局地的大雨(localized torrential rain)」とし、正確な数字を用いての定義はされていない。

ゲリラ豪雨の先行研究は、例えば東京都立戸山高校[中川・白土]によるものがある。それによれば、「ゲリラ豪雨は 1 時間に 80 ㎜以上である」と定義して、東京都内に設置されている 8 地点の気象庁の無人観測施設である地域気象観測システム(アメダス観測所)の降雨データをもとにして、調査していた。そこで、私たちは少しでもゲリラ豪雨の予測の鍵を得ることができないだろうかと考え、研究を行った。

具体的には、大阪府大阪市の、過去 100 年間[1919 年~2018 年]を気象庁が発表している観測データ(アメダス)で調べた。そして、まず初めに、この 100 年間内の大阪府大阪市にそもそもゲリラ豪雨を確認した。それとともに、確認できた、ゲリラ豪雨の降った日を、他の気象要素と比較し、ゲリラ豪雨を予測する鍵になるものがないのかを調べた。

以上の結果、ゲリラ豪雨は気温と関係があることが分かったため、ここに報告する。

※なお、本研究では、日付は全て、以下のように記すこととする。
(例)[2003.8.15]は[2003 年 8 月 15 日]

2.調査方法

以下の表 A は、本研究で用いた語句・定義の説明である。

表 A 語句・定義の説明

語句・定義	**意味・説明**
ゲリラ豪雨	前後 1 時間の降雨量が少ないにも関わらず、1 時間に50mm 以上の降雨 →1 時間に50mm 以下の降雨を通常の雨とする
台風が影響を及ぼす範囲	台風の中心が滋賀県・京都府・大阪府・兵庫県・奈良県・和歌山県のいずれかの気象官署から 300 ㎞以内に入った場合影響を受ける(気象庁)

本研究では、次の手順で 1919~2018 年のデータの調査を行い、それをもとに考察した。

①10 年ごとの降雨量の合計を調べる
→ゲリラ豪雨があったのか確認するため

②1 時間の降雨量が50mm 以上の日を抽出し、ゲリラ豪雨も降った候補日とした。　さらに、その日の1日の 1 時間ごとの降雨量の変化も抽出した。

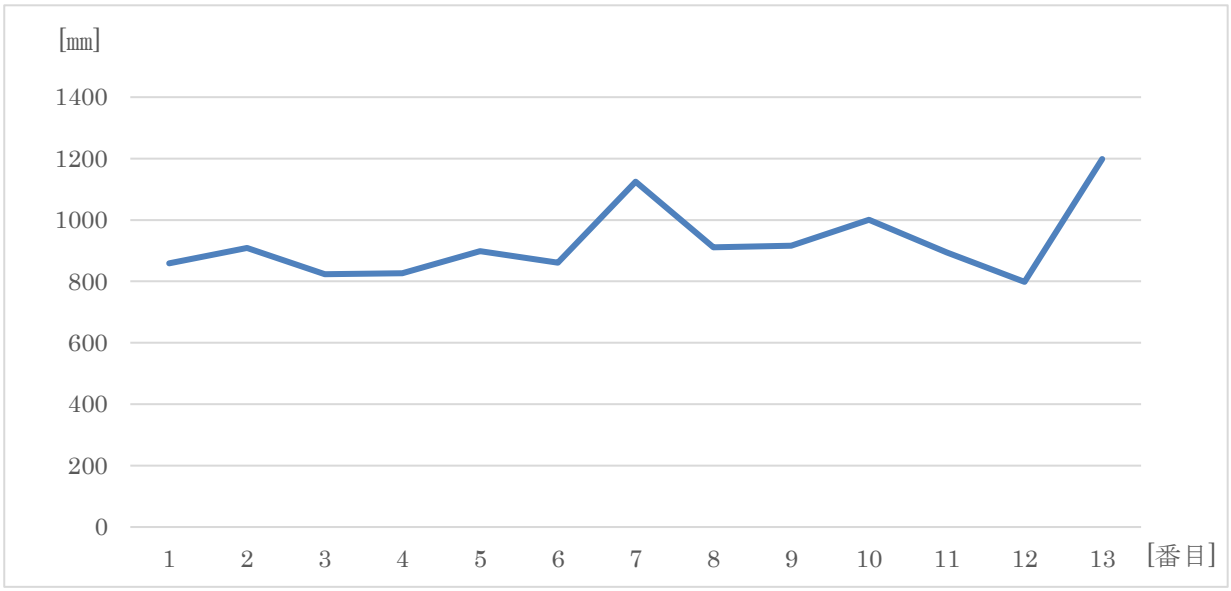
③②について、台風の影響の有無を調べゲリラ豪雨であるかどうかを判断した。

→台風の影響であれば、ゲリラ豪雨ではないため
それとともに、[1979.9.30]は前後 1 時間の降雨量が多いためゲリラ豪雨であるかを　判断した。
→ゲリラ豪雨を前後 1 時間の降雨量が少ないにも関わらず、1 時間に50mm 以上の 降雨と定義したため
④③でゲリラ豪雨であると判断したものについて、気温の変化との相関を調べる。

調査手順①
ゲリラ豪雨があったのかを調べるために地域を大阪府大阪市と限定したゲリラ豪雨を調べるにあったって、まず定義を確定した。100 年[1919.1.1~2018.12.31]を 10 年ごとに区切り 10 年ごとの降雨量の合計を調べた。10 年ごとの降雨量の変化から、なにか傾向が分かるかと考えたためである。10 年ごとの区切りを、表 B に示す。
表 B 調べた期間の 10 年ごとの区切り

No.	年数 （西暦）
1	1890～ 1899
2	1900～ 1909
3	1910～ 1919
4	1920～ 1929
5	1930～ 1939
6	1940～ 1949
7	1950～ 1959
8	1960～ 1969
9	1970～ 1979
10	1980～ 1989
11	1990～ 1999
12	2000～ 2009
13	2010～ 2019

調査結果①



グラフ(1) 10 年ごと降雨量の合計

グラフ(1)からは、傾向はつかめなかった。

調査手順②

大阪府大阪市における過去 100 年の中でゲリラ豪雨があったのかを 100 年間を 1 日ごとに調べ、ゲリラ豪雨が起こった日のデータを抽出した。

調査結果②

表 C ゲリラ豪雨が起こった日の年別の 1 時間ごとの降雨量

	降水量(mm)						
時＼年	1957.6.27	1957.7.10	1966.9.18	1878.7.10	1979.9.30	1990.9.13	1995.7.4
1	46.1	0.1	--	--	--	--	0.0
2	36.0	0.7	0.0	--	0.0	0.0	0.5
3	29.6	0.0	0.2	--	--	1.5	1.5
4	11.6	0.0	0.6	--	--	--	9.5
5	50.5	--	0.0	--	--	0.0	26.5
6	14.5	0.0	0.1	--	--	--	45.0
7	0.1	0.1	0.0	--	--	--	5.5
8	0.1	--	--	--	0.0	--	8.0
9	1.9	--	--	--	--	--	1.0
10	0.0	--	0.0	--	--	--	4.5
11	2.7	0.1	0.0	--	0.0	--	2.0
12	1.4	0.1	--	--	--	0.0	1.0
13	3.2	1.2	2.2	--	--	0.0	0.0
14	1.7	0.5	3.2	59.5	--	0.0	0.5
15	3.3	0.0	2.1	5.5	--	0.0	1.5
16	3.4	0.0	0.5	--	--	--	1.0
17	12.7	--	0.1	--	--	--	0.0
18	6.1	--	0.7	--	--	--	1.0
19	0.7	--	0.9	--	--	0.0	0.5
20	0.4	--	2.0	--	4.0	62.5	0.0
21	2.0	--	5.1	0.0	4.5	26.5	0.5
22	2.7	3.3	11.2	--	35.5	15.0	0.5
23	0.3	50.7	27.0	--	64.5	0.5	0.5
24	0.3	18.1	45.1	--	4.0	--	6.0

（表 C は次ページに続く）

表 C ゲリラ豪雨が起こった日の年別の 1 時間ごとの降雨量（続き）

	降水量(mm)		
時＼年	1996.8.29	2011.8.27	2012.8.18
1	49.5	0.0	--
2	3.0	5.0	--
3	--	5.5	--
4	0.0	--	--
5	1.5	--	--
6	--	--	--
7	7.0	--	--
8	--	--	--
9	--	--	--
10	--	--	--
11	--	--	--
12	0.5	--	--
13	0.0	--	0.0
14	--	--	0.0
15	--	1.5	52.0
16	0.0	73.0	7.5
17	0.0	11.5	0.0
18	0.0	2.0	2.0
19	--	0.0	--
20	--	0.0	--
21	--	0.5	0.0
22	--	--	--
23	--	--	--
24	--	--	--

表 C-2　表 C の表内の値の記号の説明

記号	説明
--	該当現象、または該当現象による量などがない場合に表示する。
0.0	該当現象による両側はあるが、0.1 に足りない場合に表示する。ただし、降水量の場合は、0.5 mmに足りない場合に 0.0 と表示する。

調査手順③

[19576.27][1957.7.10][1966.9.18][1978.7.10][1979.9.30][1990.9.13][1995.7.4][1996.8.29][2011.8.27][2012.8.18]の 10 日が台風の影響を受けているか確認した。

また、1 時間前後の降雨量を比較した。

調査結果③

[2012.8.18]は台風が発生していたが、300 ㎞以上大阪府大阪市から離れていたため、台風の定義より、台風の影響は受けていないと判断した。他の、9 日は全て台風は発生していない。

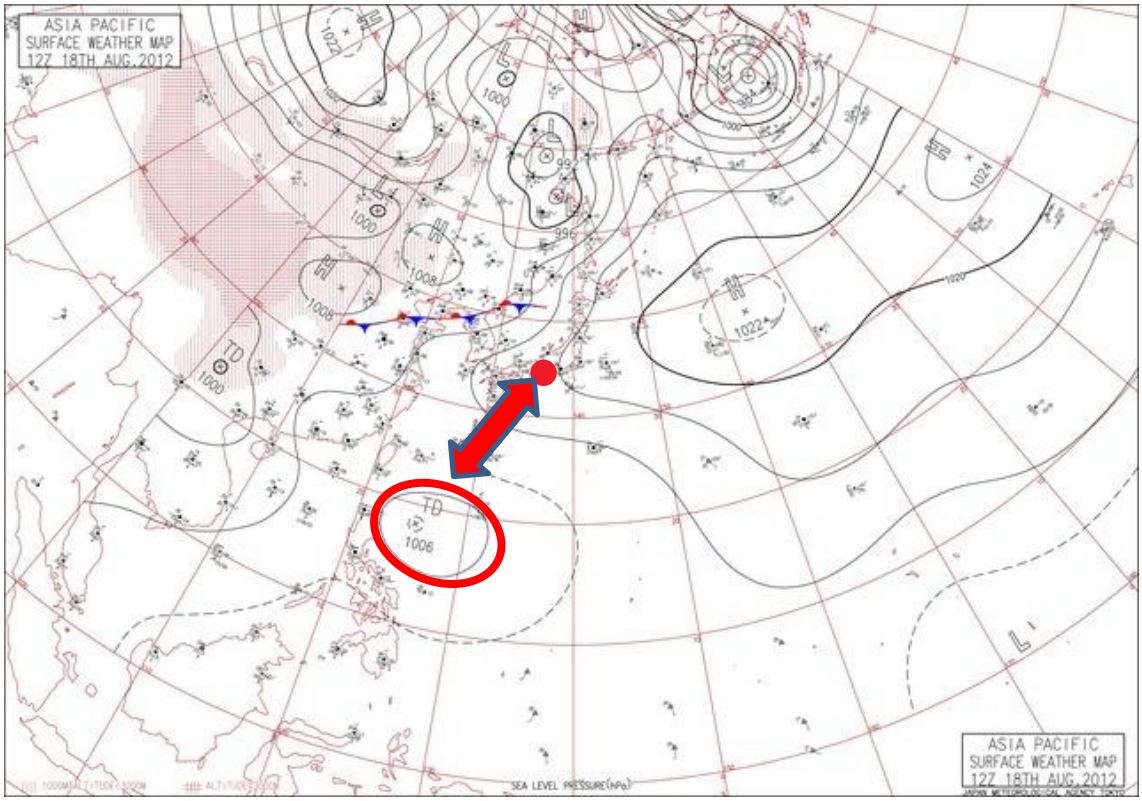
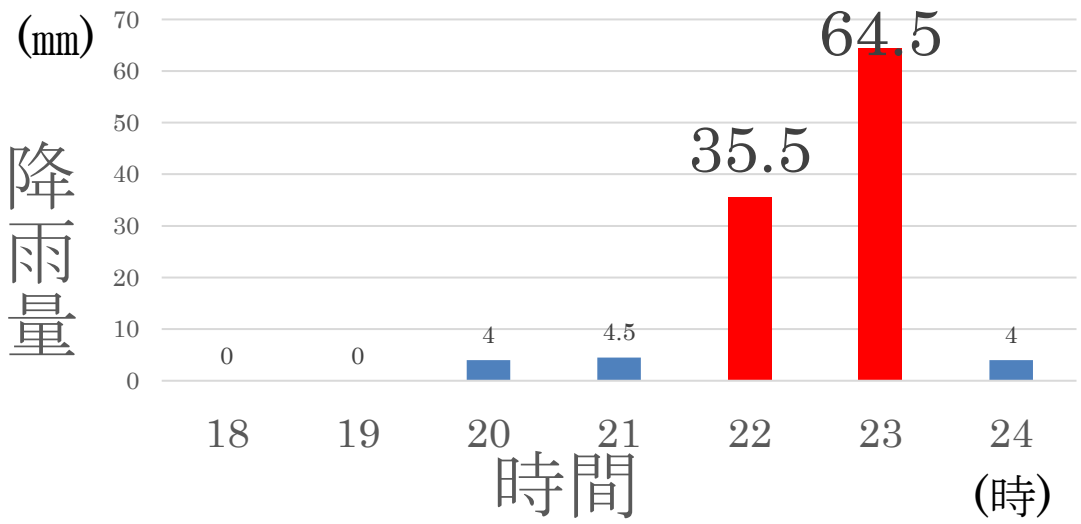


図 a　[2012.8.18]の正午の台風の位置を示した天気図



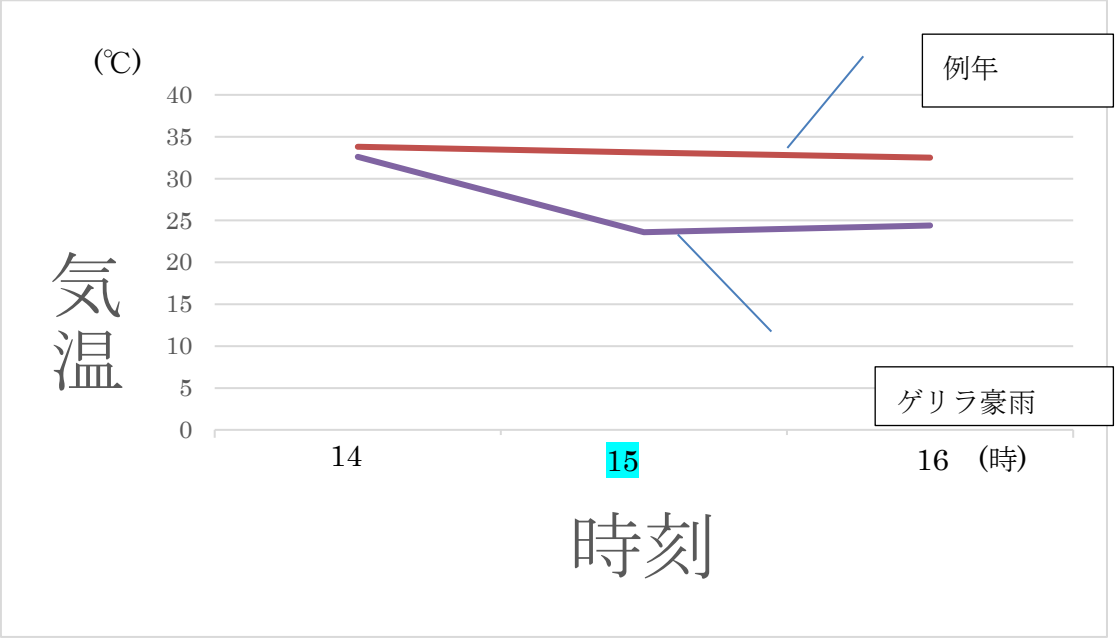
グラフ[2]　[1979.9.30]の 18 時~24 時までの 1 時間ごとの降雨量

グラフ[2]に[1979.9.30]は 1 時間前後の降水量を示す。[1979.9.30]の 1 時間前後の降水量を比較したところ 22 時に 35.5 ㎜で 23 時に 64.5 ㎜であり、ゲリラ豪雨の定義より、ゲリラ豪雨でないと判断した。他の 9 日は、全てゲリラ豪雨の定義を満たしている。

以上の結果 9 日になった。
[1957.6.27][1957.7.10][1966.9.18][1978.7.10][1990.9.13][1995.7.4][1996.8.29][2011.8.27][2012.8.18]

調査手順④
気温と降雨量の比較ができたのは、3日[1990.9.13][2011.8.27][2012.8.18]であった。それぞれゲリラ豪雨の年とその同じ日同じ時間の前後 8 年ずつの合計 17 年分の気温を平均し、その推移を見た。そこから共通点を見つけた。他の日はデータがなかったため、比べられなかった。
1 時 00 分から 2 時 00 分ではなく、1 時 15 分から 2 時 15 分のように確かに 1 時間の降雨量は、ゲリラ豪雨の定義を満たしているが、数値として明確に表示されているデータがなかったものや、年代が古すぎたため 1 時間ごとの気温がないものである。

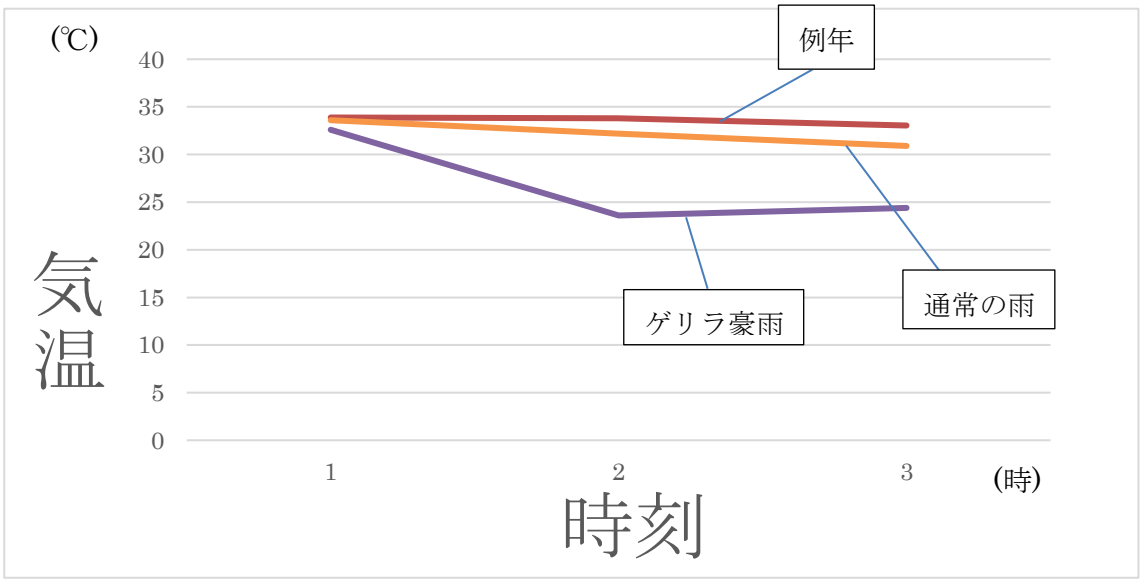
調査結果④



グラフ[3] ゲリラ豪雨[2012.8.18]と例年との雨の比較

※なお、例年とはゲリラ豪雨と同じ日同じ時間の前後 8 年ずつの合計 17 年分の気温の平均であり、晴れ 10 日、曇り 6 日、雷 1 日であった。

[2012.8.18]は、ゲリラ豪雨の降った時刻とその 1 時間前の気温は 9.0℃下がっていた。
同様に、[1990.9.13]は 0.2℃、[2011.8.27]は気温が 6.7℃下がっていた。
通常の雨と比較しても、気温の差は大きいことが分かった。



グラフ[4] 通常の雨[2012.8.19]との比較

例年の雨と比較しても、気温の差は大きいことが分かった。

3.考察

大阪府大阪市では、ゲリラ豪雨が 9 日あった。ゲリラ豪雨がある時刻を予測する鍵になるものは、ゲリラ豪雨が起こる直前に大幅に気温が下がるということである。ゲリラ豪雨が気温の影響を受けていた。

4.結論

ゲリラ豪雨は、ゲリラ豪雨がある 1 時間前から気温が大幅に下がることが分かった。
[1990.9.13]の日は、ゲリラ豪雨が起こっていたにも関わらず、気温の差が 0.2℃であった原因はなぜかを、調査する。また、最終的に使えるデータが3個しかなかったため、地域対象を変えて、ゲリラ豪雨の予測を確実にできるようにしたい。

5.参考文献

気象庁 https://www.jma.go.jp/.jma/m__index.html
デジタル台風 https://agora.ex.nill.ac.jp/digital-typhoon/weather-chart/
東京都立戸山高校 https://www.metsoc.jp/default/wp-content/uploads/2016/06/JP16-15.pdf

構造色をつくる

Ⅰ.緒言

私たちは、シャボン玉の発色の原理について疑問に思い調べたところ、「構造色」という現象が関係していることが分かった。

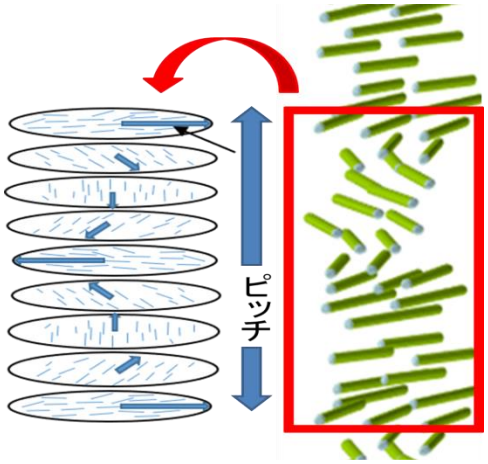
構造色とは、色素によらずに、光の波長程度またはそれ以下の微細な構造によって特定の波長の反射光が強められ、色づいて見えるという現象であり、シャボン玉の他に身近な例では CD の裏面の反射も構造色によって発色しているものである。また、構造色の原理には、薄膜干渉や散乱など様々なものがある。

さらに調べたところ、HPC という薬品を水に溶かすと構造色をなす液晶を簡単に作製できることが分かった。

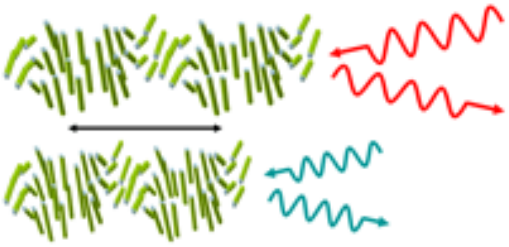
（HPC はヒドロキシプロピルセルロースという白い粉末状の薬品）

（液晶とは、液体にみられる流動性と、結晶にみられる分子の配列の何らかの規則性をともにもつ状態）

この液晶が構造色をなす理由は HPC 分子が液晶内でらせん状に配列しているからで、このような液晶をコレステリック液晶という。らせんの回転が一周するまでの層の厚みをピッチといい、液晶は、分子の向きが同じになる半ピッチの長さと同じ波長の光を強め合って反射する。つまり半ピッチの長さが色を決める。



〈図 1〉 コレステリック液晶の模式図



〈図 2〉 コレステリック液晶と構造色の模式図

これまでに、この液晶の色合いは濃度、温度、圧力によって変化することが分かっている。

私たちはまず、文献 1 を参考に、構造色をなす液晶を作ることを目標に研究を進めたが、構造色が現れなかった。文献 1 の実験との違いを探したところ、HPC の粘度や分子量が大きく違った（私たちが当時使っていたのは下記の HPC①②であったのに対し、文献 1 のものは下記の HPC③）ので、現れる色と HPC の粘度、分子量には関係があると考え、HPC の濃度と分子量が構造色に及ぼす影響を研究することにした。

2. 実験手順

<使用した薬品>

ヒドロキシプロピルセルロース(HPC)

	①	②	③	④	⑤
粘度(mPa･s) (20℃/2%)	1000~4000	150~400	6.0~10.0	3.0~5.9	2.0~2.9
分子量	1000000	700000	140000	100000	40000

(①、②はキシダ化学株式会社試験研究用、③~⑤は富士フィルム和光純薬株式会社)

メタノール エタノール アセトン トルエン (全て1級 キシダ化学)

〈実験方法〉

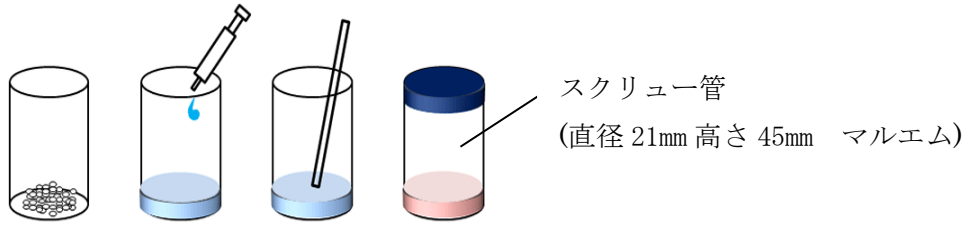
ⅰ.HPC を計量しビーカー(50mL)に入れる

ⅱ.溶媒として蒸留水を加える

ⅲ.ガラス棒を使って混ぜ溶かす

ⅳ.ビーカーからスクリュー管に移して密閉し、構造を安定させるために 2,3 日静置する。

※後述の実験(5)からは、手順ⅲで HPC を溶かしやすくするために、ウォーターバスを使って約 40℃の湯で湯煎しながら溶かした。



(図3)

<実験>

実験(1) (構造色をなす液晶を作るために、文献1にあったものと同様の実験を行った。)

HPC①②を 1.6g、蒸留水を 1.0mL 使ってそれぞれ液晶をつくる。

実験(2) (実験(1)で構造色ができなかったのは、HPC の濃度が高すぎたことによって液晶の粘度が大きくなりすぎたためだと考え、濃度を低くした実験を行った。)

HPC②を 1.0gで固定し、蒸留水を 3.0、4.5、7.5mL 使った計 3 種類の液晶をつくる。

実験(3) (実験(2)から、文献1にあるような理想的な粘度は、1.0gの HPC に対し蒸留水を 3.0mL 使用した時が最も近く、その付近の濃度をもっと細かく調べれば構造色が現れると考え、の実験を行った。)

HPC②を 1.0gで固定し、蒸留水を 2.0~3.5mL の範囲で 0.25mL ずつ変えた、計 7 種類の液晶をつくる。

実験(4) (文献 2 から、濃度が 2%のときでは溶媒を有機溶媒に代えると溶けやすさや粘度が変化するこ

とが分かったので、溶媒を代えることで構造色ができると考え、実験(1)の溶媒のみを代えて実験した。)
HPC①②を使い、溶媒を蒸留水からエタノールやメタノールに代えて、液晶をつくる。

作製したものは以下の通り(エタノール→㋓、メタノール→㋮)

・HPC①1.6g、㋮1.0mL　・HPC②1.6g、㋮1.0mL　・HPC②1.6g、㋓1.0mL
・HPC①1.0g、㋮8.0mL　・HPC②1.0g、㋮2.0mL　・HPC②1.0g、㋓2.0mL

実験(5) (HPC①②よりも分子量の小さい HPC③④⑤を入手できたため、文献1にあったものと同様の実験を行った。)
HPC③④⑤を 1.4、1.6、1.8g、蒸留水を 1.0mL で固定してそれぞれ液晶をつくる。

実験(6) (実験(5)で構造色ができたので、溶媒を代えても構造色はできるのか調べるため実験を行った。)
HPC⑤を 1.6gで固定し、溶媒をエタノールやメタノール、アセトン、トルエンに代えて、

それぞれ液晶をつくる。

作製したのは以下の通り(溶媒のみ記載する。) (アセトン→㋐、トルエン→㋒)

・㋮1.0mL　・㋓1.0mL　・㋐1.3mL　・㋒1.0mL

実験(7) (液晶の色と、HPC の分子量、濃度との関係性についてより深く調べるために実験を行った。)
HPC③④⑤を 1.0~2.0g の範囲で 0.2gずつ変え、蒸留水を 1.0mL で固定した、

計 18 種類の液晶をつくる。

この 18 種類で 1 セットとし、これを 2 セット作製した

実験(8) (選択的に反射する液晶に単色光をあてると通常のレーザー光と異なった見え方になると考え、実験を行った。)
作製した構造色をもつ液晶に、赤い単色光のレーザー光を当てて観察する。

実験(9) (液晶の反射光は円偏光であると知ったので、直線偏光板を通して液晶を観察すると偏光板で円偏光が遮られ異なった見え方になると考え、実験を行った。)
作製した構造色をもつ液晶を、直線偏光板を通して観察する。

3. 実験結果
実験(1)
① ②のどちらにも構造色はみられなかった。
また、液晶の様子は白っぽくひとかたまりになっていて、作製時にスクリュー管の上部にくっついていた液晶が 3 日後もそのままで下に垂れてこないほど粘度は大きかった。(文献 1 によると、液晶は約 6 時間で下に垂れ落ちるはず。)

実験(2)
作製した 3 つのどれにも構造色はみられなかった。

液晶の様子は、作製時から実験(1)に比べ色は白が薄くなり半透明で、粘度も小さくなりスクリュー管の壁を下に垂れ落ちていった。また、その過程で液晶内の気泡も抜けていき、3 日後には無色透明になった。下に垂れ落ちるまでの時間は、正確な測定は行っていないが、蒸留水を 3.0mL 加えたものが文献1にある 6 時間に最も近かった。

実験(3)

作製した 7 つのどれにも構造色はみられなかった。

液晶の様子は、作製時は実験(2)のような白く半透明なもので、3 日間でいくらか気泡が抜けて無色透明になった。下に垂れ落ちる様子の記録は取らなかったため不明だが、蒸留水 2.0mL と 2.25mL のものは下にほとんど垂れずに位置の変化はみられず、また、少なくとも 3.0mL のものは下に垂れ落ちるまでの時間は 6 時間よりも早かった。

実験(4)

作製した 6 つのどれにも構造色はみられなかった。

HPC②1.0g、㋗2.0mL のものについては、作製中に液晶が減っていってしまい十分な量が得られずデータがとれなかったが、これは HPC を混ぜ溶かす際に液晶がビーカーの壁面にひっついていってしまったからだと考えられる。

溶媒が蒸留水の時とは違って液晶はまとまりにくく、液晶はそぼろ状のジェルのようになった。

3 日たってもほぼ見た目は変わらず無色透明のジェル状のままで、下に落ちていくこともなかった。

実験(5)

以下の表Ⅰのような結果が見られた。HPC③1.8gの実験は、時間の都合上行えなかった。また、発色のみられなかった HPC③④の 1.4gについては、混ぜている間に少なくなっていってしまい十分な量を得られなかったため、発色はなかったのだと考えられる。

液晶の様子については、HPC①②での同じ濃度のものよりも粘度が小さく混ぜやすかった。また、液晶の作製直後には、ビーカーに残った液晶が発色する様子もみられた。

<表Ⅰ>蒸留水 1mL に加えた HPC の質量と作製した液晶の発色

	1.4g	1.6g	1.8g
HPC③	発色なし	僅かに紫色	−
HPC④	発色なし	青色	僅かに紫色
HPC⑤	緑色	黄色	濃青色

実験(6)

メタノールでは、混ぜるうちに、カチカチに固くなってしまった。構造色はみられなかった。

エタノールでは、ごく僅かに青色に発色した。

アセトンでは、スクリュー管に入れられないほど固くなってしまったためデータなし。

トルエンでは、混ぜるうちに、溶媒が揮発して溶質のみのこった。

実験(7)

以下の表Ⅱのような結果がみられた。今回はどの液晶も十分な量を得られた。表Ⅱの横の列をみると、

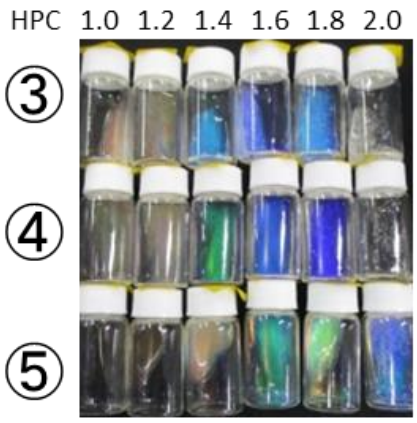
HPC③～⑤のいずれにおいても、HPC の質量が多い、すなわち濃度が大きいほど、構造色は赤から青へと変化し、構造色の波長は短くなった。また、HPC の分子量が大きいほど、構造色は赤から青へ変化し、波長は短くなった。
また、1 セット目と 2 セット目で全体的に色が異なっているのは、撮影時期の違いによる、気温の差のためだと考えられる。

〈表Ⅱ－1〉蒸留水 1mL に加えた HPC と作製した液晶の発色 1セット目

	1.0g	1.2g	1.4g	1.6g	1.8g	2.0g
HPC③	赤	赤	水色	青	青	無色
HPC④	僅かに赤	赤	緑	青	青	無色
HPC⑤	無色	僅かに赤	赤	水色	黄緑	青

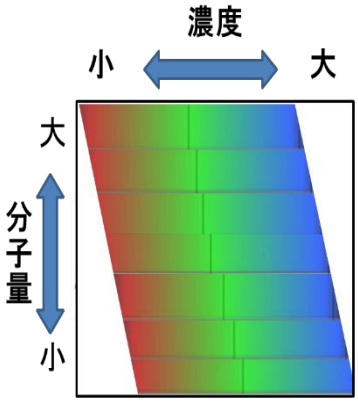
〈表Ⅱ－2〉蒸留水 1mL に加えた HPC と作製した液晶の発色 2 セット目

	1.0g	1.2g	1.4g	1.6g	1.8g	2.0g
HPC③	僅かに赤	赤	僅かに赤	水色	青	無色
HPC④	僅かに赤	赤	黄緑	水色	青	無色
HPC⑤	無色	無色	僅かに赤	水色	青	青



〈写真1〉表1と同じセット

〈写真2〉表2と同じセット



〈図4〉実験結果の模式図

実験（8）
どの色をもつ液晶においても反射光は赤色であった。これはレーザー光の赤色が強すぎたためと思われる。

実験（9）
直線偏光板により全体的に暗くなったものの、周りのものに比べて特に暗くなったわけではなかった。また、直線偏光板を回転させても変化はなかった。

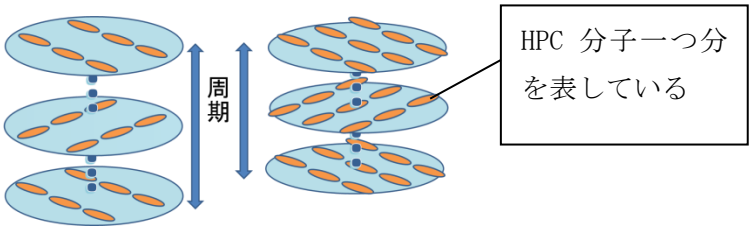
4. 考察
①②で構造色が現れなかったのは、分子量が大きすぎてうまく液晶をつくれなかったからだと思われる。
実験(1)(7)で、HPC③④⑤ならば構造色がみられた濃度でも HPC①②では無色のままであったのは、

HPC①②の液晶の粘度が大きすぎたので、らせん構造がつくれなかったからだと思われる。また、実験(2)(3)で、文献1にあるような理想的な液晶の粘度に近くなるように調整した HPC①②の液晶が、無色のままであったのは、HPC の濃度が薄すぎたために液晶中の分子の数が少なくなり、それによりらせん構造がつくれなかったためだと思われる。

実験(4)で、溶媒を代えても液晶をつくれなかったのは、文献2にあるデータと私たちが行った実験では、HPC の濃度に大きく差があった(データは HPC 濃度 2%)ため期待したような HPC の溶け方ではなく、HPC の溶かしやすさが蒸留水と比べて僅かしか勝っていなかったので、実験(1)と同じように無色のままであったと思われる。

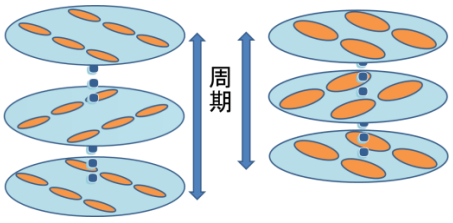
分子量の小さい③④⑤で実験すると、可視光線が現れたが、おそらく紫外線や赤外線も現れている。

実験(7)で横の列を見ると分かるように、HPC の濃度が高くなるほど構造色が青系、すなわち波長の短いものになっていったのは、分子の数が多くなり分子同士の間隔が密になるので、らせんの周期が短くなって、らせんの半ピッチと一致し強められる反射光の波長が短くなったからだと思われる。



〈図5〉濃度と構造色の関係の考察

また、同じく実験(7)で縦の列を見ると分かるように、分子量が大きくなるほど構造色が青系、すなわち波長の短いものになっていったのは、分子間力が大きくなり、らせんの周期が短くなって、らせんの半ピッチと一致し強められる反射光の波長が短くなったからだと思われる。



〈図6〉分子量と構造色の関係の考察

5. 結論

HPC の濃度が大きいほど、構造色の波長は短くなる。

HPC の分子量が大きいほど、構造色の波長は短くなる。

これらの関係性を、分子の数や分子間力の観点から説明できた。

6. 参考文献

文献 1;2018 信州総文祭/宮城県仙台第三高校「温度や濃度で虹色にゆらめく液晶」
https://www.milive.jp/live/18sobun/c013/
文献 2;NISSO HPC_ヒドロキシプロピルセルロース
https://www.nippon-soda.co.jp/hpc-j/medical_stable.php

文献 3:〈Liquid Crystal -原理- 日本女子大学〉
https://mcm-www.jwu.ac.jp/~physm/buturi18/ekisyo/genri2.html

浸透圧の法則を成り立たなくさせよう

1.緒言

浸透圧とは、濃度の異なる溶液が半透膜を隔てて接したとき、濃度の小さい溶液の方から大きい溶液の方へ溶媒分子が移動（浸透）することにより生じる圧力のことで、野菜の塩もみなどに応用されている。また、浸透圧は、希薄溶液では絶対温度とモル濃度に比例する。この関係をファントホッフの法則といい、次のように表される。

$\Pi = cRT$

（Π：浸透圧[Pa]、c：モル濃度[mol/L]、R：気体定数[Pa・L/(K・mol)]、T：絶対温度[K]）

我々はこの法則が希薄溶液でしか成り立たないことを不思議に思い、「モル濃度を大きくして浸透圧を測定すると、法則が成り立たなくなる濃度が発見できるのではないか」と考えた。2017 年広島県立広島国泰寺高等学校の先行研究（参考文献 1）では、同じく「溶液の濃度が一定以上に濃くなると、ファントホッフの法則は成立しなくなるのではないか」として研究が行われていたが、成り立たなくなるかどうかや、成り立たなくなる濃度の発見には至っていなかった。我々は、先行研究の結果は濃度の幅が狭かったためではないかと考え、濃度の幅を広くとって研究を進めようと考えた。しかし、先行研究では触れられていなかったが、浸透圧を測定するには溶媒の浸透（溶液の液面の上昇）が止まるまで待たなければならず、その方法で測定しようとすると、溶液の濃度が薄まってしまったり、高さのある測定器具が必要であったり、とても時間がかかってしまったりするため、測定は容易ではないとされている。

先行研究では溶液の水面の高さの変化を 10 分ごとに長時間測定していたが、このことにより、少なからず濃度ごとに薄まりの差が生じていたのではないかと考えられる。そこで、上昇し始めてすぐの点から 150mm の高さまで液面が上昇するのにかかった時間を測定することにより、測定中に溶液が薄まる割合（体積変化）を各濃度で等しくしようとした。また、先行研究のデータでは上昇した高さがモル濃度とほぼ比例していたことから、液面の上昇速度がモル濃度に比例するのではないかと考え、さらにファントホッフの法則より浸透圧がモル濃度に比例することから、「液面の上昇速度は浸透圧に比例する」と仮定し、これを仮説①とした。また前述の「モル濃度を大きくしていくとファントホッフの法則が成り立たなくなる濃度を発見できる」ということを仮説②として研究を始めた。

2.実験手順

［使用薬品・使用器具一覧］

・スクロース（ $C_{12}H_{22}O_{11}$ キシダ化学株式会社 1 級 ）
・D(+)-グルコース（ $C_6H_{12}O_6$ 三栄化工株式会社 1 級 ）
・アルコール棒状温度計（佐藤計量器製作所 -20~105℃ ）
・ビーカー（200mL、300mL、500mL、1000mL）
・三角フラスコ（500mL）
・メスフラスコ（250mL、500mL、1000mL）
・こまごめピペット(5mL、10mL)
・メスシリンダー（100mL）
・透析用セルロースチューブ（ケニス株式会社 直径 28.6mm 25m 巻き）
・湯浴（島津株式会社 SBW-65 WATER BATH)

・キッチンタイマー（佐藤株式会社 TM-12LS）
・ゴム栓（シリコンゴム）
・目盛り付きガラス管（内径 4mm 長さ 500mm 目盛間隔 5mm）
・プラスチック製円筒（外径 25mm 長さ 45mm）
（ダイソーワンタッチ式ボトル 25mL を用いて作製）
・輪ゴム

(1)スクロースの水溶液を
1000mL メスフラスコを用いて、0.0100mol/L、0.0500mol/L、0.100mol/L
0.500mol/L
500mL メスフラスコを用いて、0.875mol/L、2.00mol/L、1.13mol/L、1.38mol/L
250mL メスフラスコを用いて、0.750mol/L、1.00mol/L×2、1.25mol/L、
1.50mol/L×2、1.75mol/L、2.25mol/L、2.50mol/L×2、
3.00mol/L
をつくった。

D(+)-グルコースの水溶液を
250mL メスフラスコを用いて、0.750mol/L、1.00mol/L、1.25mol/L
をつくった。

(2) 半透膜である透析用セルロースチューブを切り、切ったものの片側の端を結び半透膜の袋を作った。結んでいない側にプラスチック製円筒を取り付け、輪ゴムを用いて固定した。プラスチック製円筒の端から半透膜の袋の先端までの長さは 8cm とした。
また、ゴム栓に穴をあけ、目盛り付きガラス管を通し、ガラス管の端とゴム栓の端をそろえて、ゴム栓付きガラス管を作製した。

(3) 半透膜の袋の中に(1)でつくった水溶液を 60mL 入れ、ゴム栓付きガラス管のゴム栓と、半透膜の袋につけたプラスチック製円筒をつなげた装置をつくった。
次に、純水 500mL を三角フラスコに入れ、湯浴を用いて温度を 40℃に保ち、この中に前述の装置を入れた。このとき、半透膜の袋の中の水溶液の液面と、三角フラスコ内の純水の液面を一致させた。(2)、(3)の様子を図 1 に示す。

(4) (3)の状態のまま放置すると、ガラス管内を液面が上昇していくので、上昇するのにかかる時間（経過時間）を 10mm ごとに 150mm まで測定した。これを各濃度について原則 3 回測定した。データのばらつきが大きい場合は、その濃度について 4~7 回測定を行った。

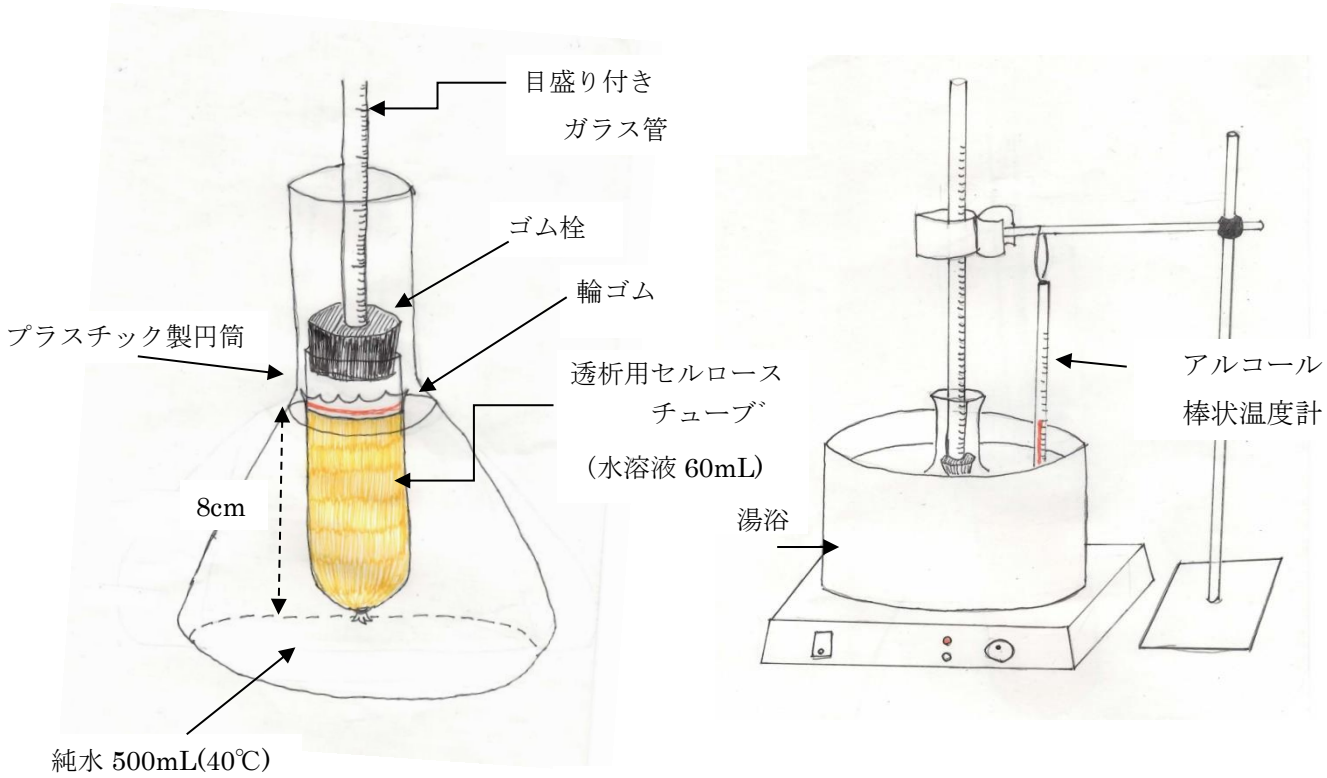

目盛り付き
ガラス管
ゴム栓
輪ゴム
プラスチック製円筒
透析用セルロース
チューブ
（水溶液 60mL）
8cm
純水 500mL(40℃)
アルコール
棒状温度計
湯浴

図 1　実験装置

3. 実験結果

3.000mol/L のスクロース水溶液は飽和濃度を超えていたため、作成できなかった。

溶解度より、常温での飽和スクロース水溶液の濃度を 2.500mol/L とした。

〇スクロース水溶液

1.000×10^{-2}mol/L→ほぼ上昇せず、測定不可

5.000×10^{-2}mol/L→ほぼ上昇せず、測定不可

1.000×10^{-1}mol/L→40 分かけて 30mm ほど上昇。測定不可。

表 1　0.500mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　その 1［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
0mm	2’32	×	0’35	0’00
10mm	3’35	×	1’09	0’45
20mm	4’40	2’47	1’47	1’55
30mm	5’50	3’59	2’29	3’13
40mm	7’05	4’55	3’15	5’25
50mm	8’20	6’09	4’08	7’35
60mm	9’37	7’17	5’09	9’55
70mm	10’55	8’33	6’02	11’47
80mm	12’12	9’54	7’03	13’46
90mm	13’30	11’04	8’00	15’24
100mm	14’49	12’21	9’11	17’32
110mm	16’12	13’42	10’40	19’17
120mm	17’35	15’20	12’50	×
130mm	19’00	17’03	15’39	×
140mm	20’27	18’43	×	×
150mm	21’55	20’40	×	×

表 2　0.500mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　その 2［分‘秒］

	5 回目	6 回目
0mm	1’00	2’01
10mm	2’48	3’32
20mm	5’20	5’04
30mm	9’39	×
40mm	×	×
50mm	×	×
60mm	×	×
70mm	×	×
80mm	×	×
90mm	×	×

100mm	×	×
110mm	×	×
120mm	×	×
130mm	×	×
140mm	×	×
150mm	×	×

0.500mol/L の測定では、上昇速度の減少が激しいこと、途中でほとんど上昇しなくなってしまったことにより、追加測定を行ったものの、測定結果が不確かなため参考程度とした。
また、最終データには(1)、(2)、(3)、(4)のみを用いた。

表 3　0.750mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目
0mm	3’ 50	3’ 59	2’ 25
10mm	4’ 52	4’ 46	3’ 14
20mm	5’ 53	5’ 31	4’ 06
30mm	6’ 47	6’ 17	4’ 57
40mm	7’ 43	7’ 10	5’ 55
50mm	8’ 39	7’ 54	6’ 48
60mm	9’ 34	8’ 40	7’ 43
70mm	10’ 31	9’ 27	8’ 39
80mm	11’ 32	10’ 30	9’ 40
90mm	12’ 23	11’ 15	10’ 26
100mm	13’ 22	12’ 01	11’ 22
110mm	14’ 18	12’ 58	12’ 17
120mm	15’ 26	13’ 47	13’ 20
130mm	16’ 38	14’ 31	14’ 32
140mm	18’ 05	15’ 45	15’ 37
150mm	19’ 49	16’ 46	16’ 48

表 4　0.875mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目
0mm	1’36	2’10	0’35
10mm	2’08	2’50	1’09
20mm	2’42	3’29	1’47
30mm	3’17	4’18	2’29
40mm	3’53	5’03	3’15
50mm	4’35	5’50	4’08
60mm	5’24	6’37	5’03
70mm	6’16	7’18	5’50
80mm	7’12	8’05	6’37
90mm	8’04	8’50	7’03
100mm	9’04	9’30	8’00
110mm	10’07	10’16	9’11
120mm	11’05	11’11	10’40
130mm	12’16	12’16	12’50
140mm	13’51	13’28	15’39
150mm	15’02	14’30	×

表 5　1.00mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　初回［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目
0mm	2’07	3’15	3’12
10mm	2’41	3’51	3’45
20mm	3’16	4’26	4’23
30mm	3’53	5’01	4’59
40mm	4’28	5’35	5’32
50mm	5’07	6’09	6’06
60mm	5’41	6’45	6’40
70mm	6’22	7’22	7’19
80mm	7’04	7’59	7’57
90mm	7’38	8’30	8’27
100mm	8’17	9’05	9’04
110mm	8’57	9’38	9’38
120mm	9’41	10’19	10’19
130mm	10’28	11’00	11’01
140mm	11’14	11’41	11’43
150mm	12’02	12’23	12’28

1.000mol/L の初回の測定では、後に他の濃度と比較するとデータにズレがあったため追加測定を行った。

表 6　1.00mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　追加測定［分‘秒］

	4 回目	5 回目	6 回目
0mm	1’33	0’40	0’46
10mm	2’15	1’17	1’18
20mm	2’56	2’18	1’51
30mm	3’40	3’55	2’26
40mm	4’25	6’20	3’03
50mm	5’08	8’14	3’42
60mm	6’00	9’56	4’27
70mm	6’44	11’00	5’12
80mm	7’35	14’20	6’06
90mm	8’23	16’03	6’52
100mm	9’03	18’38	7’30
110mm	9’57	×	8’25
120mm	10’48	×	9’18
130mm	11’49	×	10’20
140mm	×	×	11’23
150mm	×	×	12’09

5 回目の測定結果は大きな測定ミスが見られたため、最終データには含めない。
また、初回の測定結果は参考として、3 つのデータを平均したデータを 1 つのデータとし、4 回目と 6 回目のデータと共に最終データに用いた。

表 7　1.13mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目
0mm	2’05	1’35	1’15
10mm	2’38	2’12	1’45
20mm	3’15	2’48	2’14
30mm	3’53	3’22	2’41
40mm	4’35	3’58	3’13
50mm	5’16	4’32	3’42
60mm	6’03	5’15	4’23
70mm	6’51	5’54	4’53
80mm	7’43	6’36	5’27
90mm	8’33	7’19	6’07
100mm	9’15	7’52	6’40

110mm	10’05	8’40	7’18
120mm	11’04	9’22	8’06
130mm	11’59	10’03	8’41
140mm	13’15	10’53	9’54
150mm	15’17	11’36	10’52

表 8　1.25mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
0mm	2’29	1’29	2’27	3’05
10mm	2’59	2’03	2’57	3’34
20mm	3’28	2’32	3’28	4’06
30mm	3’58	3’00	3’59	4’37
40mm	4’27	3’31	4’32	5’10
50mm	5’00	4’04	5’13	5’43
60mm	5’30	4’32	5’53	6’13
70mm	6’05	5’05	6’39	6’48
80mm	6’40	5’40	7’27	7’21
90mm	7’09	6’17	8’06	7’51
100mm	7’40	6’54	8’50	8’23
110mm	8’12	7’29	9’35	8’57
120mm	8’49	8’22	10’33	9’39
130mm	9’27	×	11’30	10’15
140mm	10’07	×	12’20	10’52
150mm	10’49	×	13’32	11’30

(2)のデータが 130mm 以降ほぼ上昇しなかったため念のため(4)の測定を行ったが、
他のデータとの違いがあまりなかったため(2)のデータも最終データに含めた。

表 9　1.50mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　その 1［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
0mm	0’33	0’27	0’27	0’29
10mm	1’07	0’55	1’04	0’51
20mm	1’44	1’27	1’38	1’13
30mm	2’21	1’55	2’11	1’35
40mm	2’56	2’27	2’36	1’59
50mm	3’30	2’56	3’13	2’22
60mm	4’06	3’28	3’47	2’49

70mm	4’42	3’59	4’20	3’16
80mm	5’16	4’32	4’49	3’44
90mm	5’53	5’05	5’25	4’12
100mm	6’30	5’34	5’56	4’38
110mm	7’06	6’06	6’25	5’07
120mm	7’46	6’46	7’06	5’39
130mm	8’21	7’18	7’46	6’11
140mm	8’59	7’56	8’24	6’44
150mm	9’36	8’24	8’53	7’09

表 10　1.50mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　その 2［分‘秒］

	5 回目	6 回目	7 回目
0mm	0’20	2’48	1’10
10mm	0’42	3’24	1’38
20mm	1’04	3’58	2’05
30mm	1’25	4’31	2’32
40mm	1’50	5’07	3’01
50mm	2’11	5’39	3’31
60mm	2’39	6’19	4’02
70mm	3’05	6’54	4’32
80mm	3’37	7’37	5’07
90mm	4’03	8’13	5’38
100mm	4’32	8’51	6’09
110mm	5’04	9’30	6’46
120mm	5’37	10’15	7’22
130mm	6’07	10’59	7’56
140mm	6’46	11’45	8’31
150mm	7’13	12’27	9’12

データのばらつきがあり、また比例しなくなる濃度になる可能性の高いデータであったため、
7 回測定を行い、そのすべてのデータを最終データに含めた

表 11　1.75mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目
0mm	1’37	1’20	0’22
10mm	1’57	1’46	0’46
20mm	2’21	2’15	1’10
30mm	2’46	2’41	1’39

40mm	3’11	3’06	2’05
50mm	3’36	3’29	2’33
60mm	4’05	3’57	3’08
70mm	4’33	4’21	3’40
80mm	5’03	4’52	4’06
90mm	5’34	5’20	4’43
100mm	6’01	5’40	5’19
110mm	6’30	6’07	5’58
120mm	7’06	6’30	6’40
130mm	7’42	7’06	7’09
140mm	8’19	7’32	7’53
150mm	8’51	7’57	8’32

表 12　2.00mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
0mm	1’28	0’46	1’09	1’15
10mm	1’52	1’22	1’33	1’36
20mm	2’18	1’49	1’56	1’58
30mm	2’45	2’16	2’17	2’20
40mm	3’15	2’42	2’40	2’42
50mm	3’40	3’05	2’59	3’05
60mm	4’18	3’34	3’25	3’32
70mm	4’48	3’58	3’46	3’55
80mm	5’28	4’26	4’16	4’25
90mm	6’08	4’57	4’42	4’50
100mm	6’38	5’18	5’02	5’15
110mm	7’22	5’48	5’33	5’46
120mm	8’08	6’16	6’00	6’12
130mm	9’05	6’40	6’20	6’42
140mm	10’02	7’12	6’54	7’11
150mm	11’03	7’39	7’23	7’41

上昇速度が大きくなり、誤差が大きくなると考えられたため、4 回測定を行った。

表 13　2.25mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目
0mm	0’10	0’30	0’27

10mm	0’31	0’49	0’46
20mm	0’49	1’12	1’07
30mm	1’07	1’32	1’26
40mm	1’25	1’54	1’49
50mm	1’47	2’19	2’10
60mm	2’10	2’48	2’37
70mm	2’32	3’13	2’58
80mm	2’52	3’44	3’20
90mm	3’16	4’15	3’46
100mm	3’42	4’53	4’15
110mm	4’07	5’35	4’40
120mm	4’37	6’20	5’09
130mm	5’01	6’59	5’32
140mm	5’33	7’50	5’59
150mm	6’03	8’39	6’27

2.250mol/L での測定は、実験期間の関係上間に合わず、3 回測定のみとなった。

表 14　2.50mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　その 1［分‘秒］

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
0mm	1’12	0’48	1’43	1’03
10mm	1’27	1’04	2’10	1’23
20mm	1’38	1’09	2’28	1’49
30mm	1’48	1’16	2’49	2’09
40mm	1’58	1’33	3’10	2’30
50mm	2’15	1’53	3’30	2’50
60mm	2’41	2’20	3’52	2’14
70mm	3’02	2’46	4’12	2’34
80mm	3’29	3’06	4’39	4’01
90mm	3’53	3’29	5’03	4’23
100mm	4’12	3’45	5’22	4’45
110mm	4’35	4’03	5’45	5’08
120mm	5’05	4’27	6’12	5’33
130mm	5’30	4’53	6’37	5’59
140mm	5’59	5’20	7’03	6’26
150mm	6’19	5’36	7’24	6’47

表 15　2.50mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　その 2［分‘秒］

	5 回目	6 回目
0mm	0’12	1’09
10mm	0’52	1’29
20mm	1’18	1’49
30mm	1’39	2’08
40mm	2’00	2’30
50mm	2’20	2’48
60mm	2’43	3’09
70mm	3’03	3’31
80mm	3’25	3’56
90mm	3’48	4’18
100mm	4’14	4’43
110mm	-	-
120mm	-	-
130mm	-	-
140mm	-	-
150mm	-	-

(5)、(6)の測定では、実験期間の都合上、100mm までの測定のみ行った。
また、(1)、(2)は測定ミスがあったため、最終データには含まない。

〇D(+)-グルコース水溶液

表 16　0.750mol/L での 10mm ごとの経過時間のデータ　［分‘秒］

	1 回目
0mm	1’30
10mm	2’42
20mm	4’06
30mm	5’40
40mm	7’14
50mm	8’27
60mm	9’57
70mm	11’23
80mm	13’05
90mm	14’44
100mm	16’00
110mm	17’43
120mm	19’43

130mm	21’24
140mm	24’20
150mm	26’19

D(+)-グルコースでの測定結果を見ると、とても時間がかかっていたため、調べ直すと、D(+)-グルコースが半透膜を通り抜けてしまうことがわかったためここで D(+)-グルコースの測定を中止した。

○最終データ

液面が 0～100mm まで上昇するのに要した時間t[s]を、100mm の経過時間と 0mm の経過時間との差により計算し、100mm÷t[s]より、0～100mm 間の液面の上昇速度[mm/s]を各測定について求めた。さらに、各濃度ごとに、上昇速度の平均値を求めた。(表1)。

表 1　濃度ごとの 0～100mm 間の液面の上昇速度

濃度 [mol/L]	0.500	0.750	0.875	1.00	1.13	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
測定 1 回目	1.35	1.75	2.27	2.48	2.33	3.22	4.01	3.79	4.16	4.72	4.63
測定 2 回目	1.39	2.27	1.99	2.22	2.65	2.61	3.26	3.85	3.23	3.80	4.50
測定 3 回目	1.58	1.86	2.23	2.80	3.07	3.14	2.80	3.57	4.29	4.39	4.13
測定 4 回目	0.86						3.96		3.68		4.67
測定 5 回目							3.04				
測定 6 回目							2.75				
測定 7 回目							3.34				
上昇速度の平均値 [$\times 10^{-1}$ mm/s]	1.30	1.89	2.15	2.50	2.68	2.99	3.30	3.74	3.84	4.30	4.48

(1.00mol./L の 1 回目の上昇速度は実際のデータ 3 回分の平均値である。)

溶液のモル濃度[mol/L]を横軸に、ガラス管内の 0～100mm 間を液面が上昇する速度[$\times 10^{-1}$mm/s]を縦軸にとり、全測定の結果および各濃度ごとの平均値をそれぞれプロットした (図 2、図 3)。

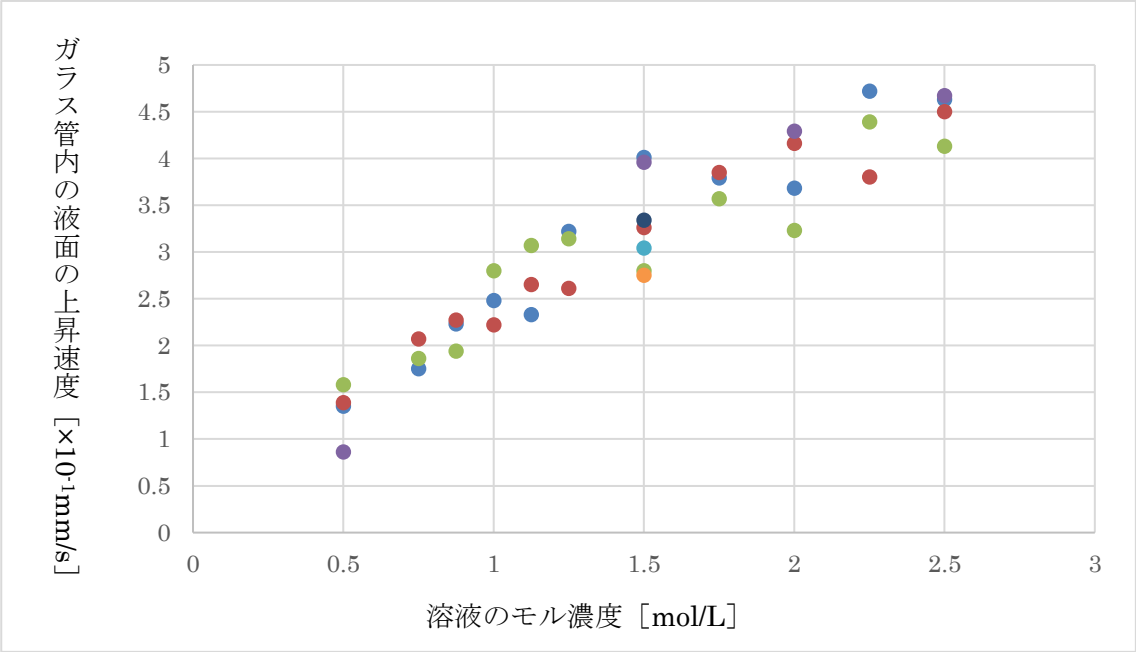


図 2　溶液のモル濃度と液面の上昇速度との関係（全測定）

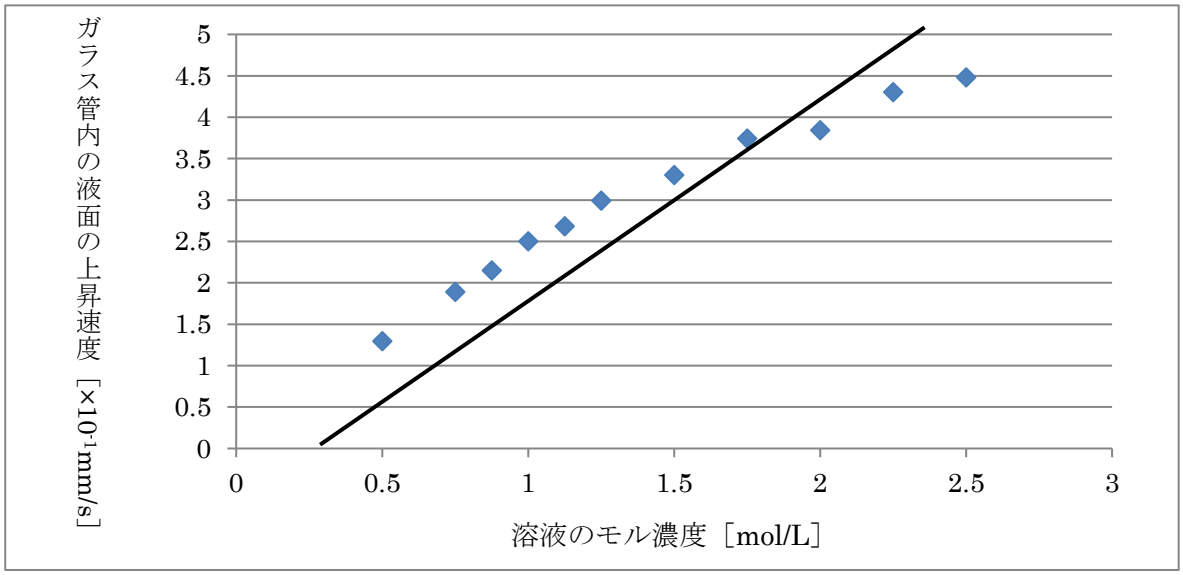


図 3　溶液のモル濃度と液面の上昇速度との関係（各濃度ごとの平均値）

図 3 より、0.500~1.25mol/L の範囲では、上昇速度がモル濃度に比例していた。
また、1.25mol/L 以降の範囲では、モル濃度が大きくなると上昇速度が大きくなる傾向はあるものの、増加の度合いは緩やかになった。

4. 考察

（1）仮説①について

ファントホッフの法則　Π＝cRT　(Π：浸透圧、c：モル濃度、R：気体定数、T：絶対温度)より、溶液の浸透圧はモル濃度に比例することが知られている。一方、実験より、1.25mol/L までの濃度範囲で、液面の上昇速度がモル濃度に比例した。したがって、仮説①「液面の上昇速度は浸透圧に比例する」は成り立っていると考えられる。

さらに、このことから、次のように、液面の上昇速度と浸透圧の関係式を求めた。

上昇速度 v［mm/h］が浸透圧Π［Pa］に比例するので、比例定数を k とすると、Π＝kv と表せる。また、ファントホッフの法則より、Π＝cRT なので、次式が成り立つ。

Π＝kv＝cRT　　これより、k＝(cRT)/v

ここで、v として、表 1 に示す各濃度ごとの液面の上昇速度の平均値を mm/h の単位に換算してこの式に代入し、R＝8.31×10^{3}Pa･L/(k･mol)、T＝313［K］としてkを求めた（表 2）。

表 2　Π＝kv における求めた比例定数 k の値

濃度 c ［mol/L］	上昇速度 v ［×10^{-1}mm/s］	上昇速度 v ［mm/h］	比例定数 k ［Pa･h/mm］
0.500	1.30	468	2779
0.750	1.89	680	2867
0.875	2.15	774	2940
1.00	2.50	889	2925
1.13	2.68	965	3033
1.25	2.99	1076	3021
1.50	3.30	1188	3284
1.75	3.74	1346	3380
2.00	3.84	1382	3764
2.25	4.30	1548	3781
2.50	4.48	1612	4031

浸透圧と上昇速度の比例関係Π＝kv が成り立つモル濃度 1.25mol/L までの範囲で、k の平均値を求めると、k＝2928≒3000［Pa･h/mm］となる。

したがって、浸透圧Π［Pa］は液面の上昇速度 v［mm/h］を用いて、次のように表せる。

Π［Pa］＝3000［Pa･h/mm］×v［mm/h］

この式で求められる浸透圧の実測値と、ファントホッフの法則から求められる理論値を比較したグラフは図 4 のようになり、1.25mol/L までの濃度範囲では、実測値は理論値と一致した。このことから、液面の上昇速度を測定することにより、溶液の浸透圧を求められることがわかった。

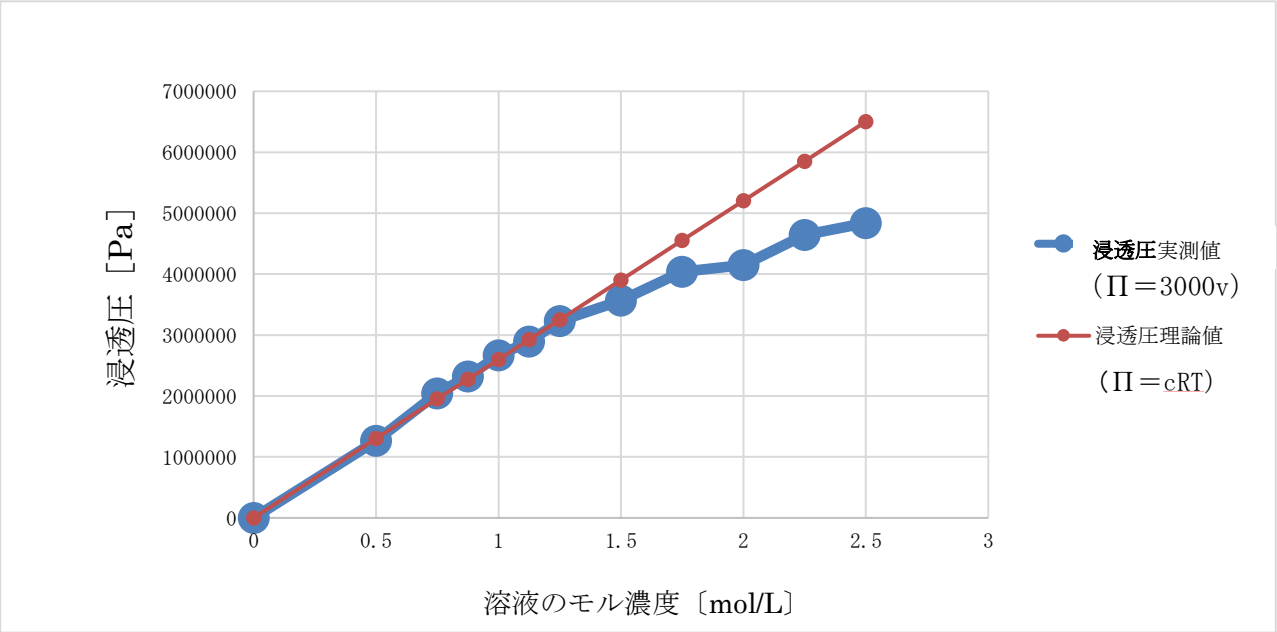


図 4　溶液のモル濃度に対する浸透圧の実測値と理論値の関係

(2) 仮説②について

1.25mol/L 以降は上昇速度がモル濃度に比例しなくなったことから、1.25mol/L 以降ではモル濃度と浸透圧は比例していないと考えられるため、仮説②「モル濃度を大きくしていくとファントホッフの法則が成り立たなくなる濃度を発見できる」は正しく、その濃度は 1.25mol/L 程度であることがわかった。

5. 結論

この研究から、我々は液面の上昇速度の測定により浸透圧が求められること、また、ファントホッフの法則が成り立たなくなる濃度が 1.25mol/L 程度であるということを発見した。しかし、今回の研究で行った実験は、ショ糖水溶液を用いた 40℃でのものだけであるため、このことが一般的であるとはまだ言えない。今後は、様々な溶質について、様々な濃度や温度で測定を重ねる必要がある。また、それらのデータから、モル濃度が大きくなるとなぜファントホッフの法則が成り立たなくなるのかについても考えたい。

6. 参考文献

2017 年 広島県立広島国泰寺高等学校
「科学研究実践活動のまとめ 溶液の濃度変化と浸透圧の比例関係について」
https://www.jst.go.jp/cpse/jissen/pdf/houkoku/TK150008_matome2017_047.pdf

墨汁をきれいに落とす

1. 緒言

墨汁が一度服につくと落ちにくいことから、どうすれば墨汁をきれいに落とすことができるかに興味を持った。特別な洗剤などを使わずに身近にあるものを使って日常生活にも応用できるような方法を探った。
墨汁は図 1 のように炭素がタンパク質を主成分とするにかわに囲まれた保護コロイドが分散しているコロイド溶液である。

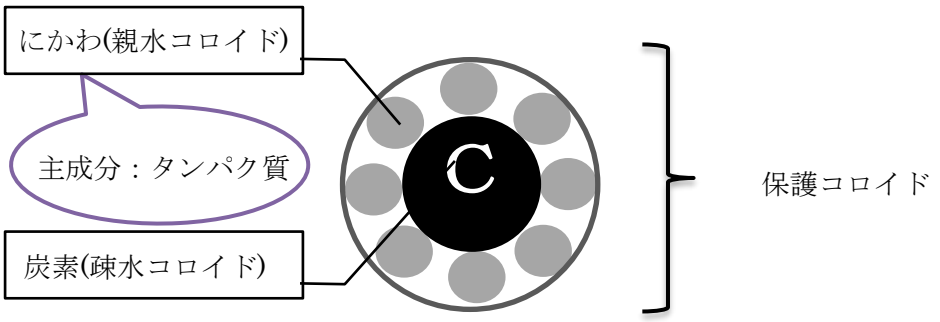


図 1　墨汁の構造

先行研究では、大豆油、オリーブオイル、ココナッツ油、パーム油の 4 種類をけん化したセッケンを用い、ポリエステル 65%、綿 35%の布で実験を行っていた。その結果、パーム油をけん化したセッケンが一番よく落ちていた。また、にかわの主成分であるタンパク質を分解すれば墨汁をきれいに落とすことができると考え、タンパク質分解酵素をもつダイコンを使って実験を行っていた。そのため私たちはセッケンをパーム油から作ったもののみに絞り、ダイコン以外にタンパク質分解作用を持つと考えられる食材を用いて研究を行った。綿 100%のガーゼと、リンゴ、ヨーグルト、マヨネーズ、酢の 4 種類の食材を用いた。

2. 実験手順

表 1 使用した薬品とメーカー、グレード

薬品	**メーカー、グレード**
精製パーム油	山桂産業株式会社
水酸化ナトリウム	キシダ化学株式会社、特級
エタノール	キシダ化学、一級
塩化ナトリウム	キシダ化学、一級
墨汁	(株)墨運堂、書写用墨液
ガーゼ	株式会社アダチ、医療ガーゼ

手順1 精製パーム油 25mL、水酸化ナトリウム 2g、エタノール 5mL を混ぜてけん化する。この溶液が 80℃に達したら、飽和食塩水 20mL に注ぐ。塩析によって浮いてきたセッケンをガーゼでろ過し、乾燥させる。

手順2 綿 100%のガーゼを墨汁に浸して乾かす。

手順3 食材にガーゼを 5 分つけ、水道水でもみ洗いする。もう一度食材に 10 分つけ、水道水でもみ洗いする。蒸留水 100mL に手順 1 で作成したセッケン 2gを溶かし、このセッケン水に 5 分つけ、もみ洗いする。

使用した食材

すりつぶしたリンゴ 20g、ヨーグルト 10g、マヨネーズ 10g、酢 10mL

図 2 リンゴ

図 3 ヨーグルト

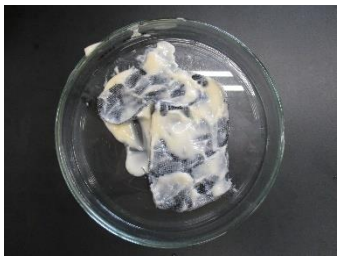


図 4 マヨネーズ

手順 4 水と墨汁の比率を変えて図5のような 10 段階の濃さのサンプル(数字が大きいほど濃い)を作り、洗った後のガーゼの色の濃さを比較する。ガーゼの色の濃さの違いをよりわかりやすくするために、ガーゼを元の大きさの 4 分の 1 になるように畳んだ。

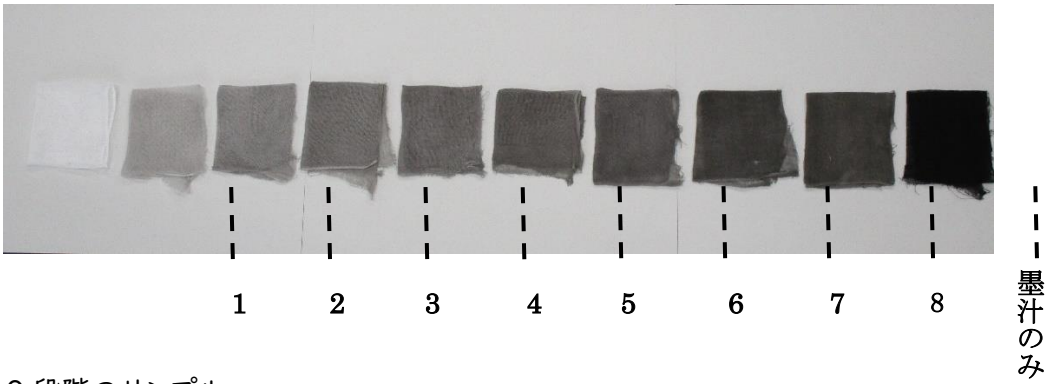


図 5 10 段階のサンプル

3. 実験結果①

それぞれの食材を用いて洗った後のガーゼをサンプルと比較して色の濃さを数値化し、平均値を算出した。

表2 実験の結果

食材	平均値
セッケンのみ	6.14(7 回平均)
リンゴ果肉のみ	1.43(7 回平均)
リンゴ皮のみ	3.50(2 回平均)
リンゴ皮と果肉	1.50(4 回平均)

ヨーグルト	2.13(8 回平均)
マヨネーズ	3.14(7 回平均)
酢	3.00(2 回平均)

4. 考察①

表 2 より、4 種類の食材を使うとセッケンのみで洗った時よりも墨汁が良く落ちていることが分かる。酢は 2 回しか実験することができなかったため、リンゴ、ヨーグルト、マヨネーズについて考察した。リンゴにはプロテアーゼ(タンパク質分解酵素)が含まれている。ヨーグルトに含まれる乳酸菌はタンパク質を分解する働きを持つ。また、一部の乳酸菌はプロテアーゼを作り出すことができる。リンゴとヨーグルトを用いると色が薄くなったのは、これらが働いたからであると考えた。マヨネーズを用いると色が薄くなったのは、マヨネーズの持つ乳化作用の働きによって墨汁が落ちやすくなった、または卵黄タンパクがにかわを溶かすのに役立ったと考えられる。リンゴが最もよく墨汁を落としたことから、私たちはリンゴに多く含まれるプロテアーゼに着目し、プロテアーゼがにかわを分解することで墨汁が落ちやすくなったという仮説を立てた。

仮説を検証するため、リンゴを 80℃(プロテアーゼが働かなくなる温度)まで熱してその他の条件は変えずに対照実験を行った。

5. 実験結果②

実験①と同様にして平均値を算出した。

表3 実験の結果

食材	**平均値**
リンゴ果肉のみ	1.47(15 回平均)
熱したリンゴ果肉のみ	4.13(15 回平均)
セッケンのみ	6.13(15 回平均)

6. 考察②

プロテアーゼを 80℃まで熱するとプロテアーゼが変性してタンパク質を分解する働きを失う。表 3 よりリンゴを熱すると色が落ちにくくなったことから、熱していないリンゴを使うと墨汁が落ちやすくなったのはプロテアーゼが作用していたからだという仮説は正しかったと考えられる。

熱したリンゴとセッケンのみで洗ったガーゼの色の濃さの値に差があったのは、リンゴの加熱が不十分であり変性せずに残った一部のプロテアーゼが作用したからだと考えられる。

7. 結論

リンゴを使うと墨汁が落ちやすくなるのは、リンゴに含まれるプロテアーゼがにかわの主成分であるタンパク質を分解したからである。

8. 課題と展望

私たちの服には綿以外の素材が多く使われていることから、綿以外の布やより厚い生地でも調べる。また、パイナップルやキウイフルーツにはリンゴよりも多くのプロテアーゼが含まれていて、リンゴよりも墨汁が良く落ちると考えられるため、それらの食材を用いて実験を行う。純粋なプロテアーゼを用いるともっときれいに

落とすことができるのか調べる。

9. 参考文献

「君の墨汁をとりたい。」大阪府立大手前高校 72 期生サイエンス探究

キレイとゲンキの情報 BOX「タンパク質分解酵素・プロテアーゼが多い食材」
https://www.google.com/amp/s/gamp.ameblo.jp/ru

教育応援プロジェクトティーチア「カルピス社の乳酸菌研究最先端」
https://ed.lne.st/2014/09/01/p10-11/

キューピー「キューピーマヨネーズ」
https://www.kewpie.co.jp/mayonnaise/product/ingredients.html