

大手前高校 75期 S 探 理系 化学・地学分野論文集

[指示薬を用いたリーゼガング現象について](#)

[野菜の色素で色付きリップを作ろう](#)

[発熱反応のコントロール](#)

[食べ物の力で墨汁を落とす](#)

[鉄イオンを含むガラスの色](#)

[糖燃料電池の高性能化](#)

[消えやすいチョーク、消えにくいチョーク](#)

[夏を涼しく～日焼け止めの冷感効果～](#)

[数値化により紙の日焼けの法則性を見出す](#)

[BZ 反応の反応速度について](#)

[ボールペンと洗剤](#)

[大阪の空の明るさについて](#)

[換気で快適な教室にしたい！](#)

[天野川・安曇川の礫分布](#)

[植物から虹を描く](#)

[卵アレルギーでもシュークリームを食べたい！！](#)

[ルミノール反応の触媒活性](#)

指示薬を用いたリーゼガング現象について

1. 緒言

リーゼガング現象とは、あるイオンを含むゲル化させた電解質溶液に、混合すると沈殿を生じる別の電解質溶液を滴下することで、ゲル中に周期的な沈殿を生じる現象である。生じる周期沈殿のことを以下ではリングと呼ぶ。

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て、この現象を発見したためこのように呼ばれている。

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ており、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.T.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様々な研究が行われてきた。特に池田ほか(2016)は塩化マグネシウムを含むゲル化溶液と濃アンモニア水を反応させる実験において、最も明瞭なリングができる組み合わせを調べた。それによると表 1 の試薬の組み合わせの時に最も明瞭なリングが生成したと述べている。

本研究では、リングが生成する原理の手掛かりを掴むことを目的とした。主に、用いる物質の濃度以外の要素がリングの生成にどのように影響するかを調べた。具体的な内容は以下の 3 つである。

①用いる試薬の量を変化させるとリングの生成にどのような変化が生じるか

②反応中の水酸化物イオンの拡散の動きはどのようにであるか

③反応容器の形を変化させるとリングは生成するのか

これらを明らかにするために以下の条件で実験を行った。ゲル化溶液(以下、ゲルと呼ぶ)として寒天ゲルを、反応させる物質としてマグネシウムイオンと水酸化物イオンを選んだ。これは、リングが生成するまでの時間が比較的短い(1 週間程度)ため、実験回数を増やせるからである。また、本研究では表 1 の組み合わせを基本として実験を行った。この組み合わせでの反応式は次のようになる。

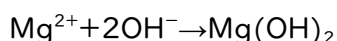


表 1 最も明瞭なリングが生成する組み合わせ(69 期生池田ほかによる) (試験管 3 本分)

	使用した試薬	質量
滴下溶液	濃アンモニア水	5mL(試験管 1 本分)×3
ゲル化溶液	塩化マグネシウム	2.3g
	硫酸マグネシウム七水和物	3.0g
	粉末寒天	0.5g
	蒸留水	50mL

2. 実験で使用した試薬・器具

本研究では大きく分けて次の 3 つの実験を行った。

実験 α 用いる試薬(濃アンモニア水、硫酸マグネシウム七水和物)の量を変えてリングの生成の仕方がどのように異なるのかを調べる。

実験 β ゲルに指示薬を加え、水酸化物イオンの拡散の動きを可視化する。

実験 γ 反応容器の形を変え、リングの生成にどのような違いが生じるのかを調べる。

本研究で使用した試薬を表 2 に、器具を表 3 に示す。

表 2 実験で使用した試薬

実験の種類	試薬	会社名・級
α, β, γ	濃アンモニア水(NH_3aq 28%)	米山薬品株式会社 特級
α, β, γ	寒天	キシダ化学株式会社 Ⅰ級
α (一部), β, γ	硫酸マグネシウム七水和物	米山薬品株式会社 Ⅰ級
α, β, γ	塩化マグネシウム 無水	キシダ化学株式会社
β, γ	塩酸(HCl 35%)	キシダ化学株式会社 Ⅰ級

表 3 実験で使用した器具

実験の種類	器具等	規格等
α, β, γ	試験管	1.8cm×18cm
γ	メートルグラス	100mL
γ	ビーカー	300mL
γ	三角フラスコ	50mL、100mL
γ	ホース	1.8cm×18cm×任意

3. 実験方法

実験 α, β, γ に共通する手順

粉末状の寒天を蒸留水に溶かし、溶質を加えて加熱する。その後、寒天がゲル化するまで放冷させる。

溶液が完全にゲル化したのを確認した後、濃アンモニア水を滴下する。

実験 α : 用いる試薬の量を表 1 から変化させてリングを観察する。

α -① 表 1 の組み合わせを用いた実験

α -① 濃アンモニア水の滴下量を変化させる。ゲルの作成後、それぞれ 3mL、7mL、10mL ずつ濃アンモニア水を滴下し、実験 α -①(5mL)と比較する。

α -② 硫酸マグネシウム七水和物を加えずにゲルを作成し、濃アンモニア水(5mL)を滴下させ、実験 α -①と比較する。

実験 β : 水酸化物イオンの拡散の動きを可視化する。(加える溶質、溶液の割合は表 1 による)

- β -① 寒天にフェノールフタレイン溶液を加えたゲルを作成し、実験を行う。
- β -② 寒天にフェノールフタレイン溶液と塩酸を加えたゲルを作成し、実験を行う。
- β -③ 寒天に BTB 溶液を加えたゲルを作成し、実験を行う。
- β -④ 寒天に BTB 溶液と塩酸を加えたゲルを作成し、実験を行う。

実験 γ : 反応容器の形を変え、リングの生成にどのような変化が生じるのかを調べる。

- γ -① 反応容器にメートルグラスを用いる。(表 1 の試験管約 10 本分)
- γ -② 反応容器にビーカーを用いる。(表 1 の試験管約 10~13 本分)
- γ -③ 反応容器に三角フラスコを用いる。(表 1 の試験管約 5~10 本分)
- γ -④ 反応容器にホースを用いる。(表 1 の試験管約 30~60 本分)

4. 実験結果

実験 α : 用いる試薬の量を表 1 から変化させてリングを観察する。

α -① 表 1 の組み合わせを用いた場合(図 1)

α -① 濃アンモニア水の滴下量を変化させてもリングが生成した。

実験 α -①と比べて大きな違いは見られなかった。(図 2)

α -② 実験 α -①を行った際にできるリングに比べて不明瞭なリングが生成した。(図 3)

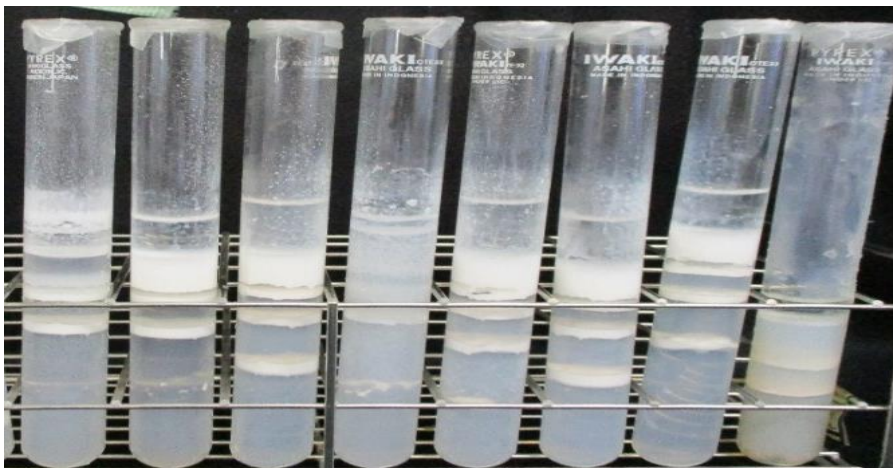


図 1 表 1 の組み合わせを用いた場合の結果(実験 α -①)

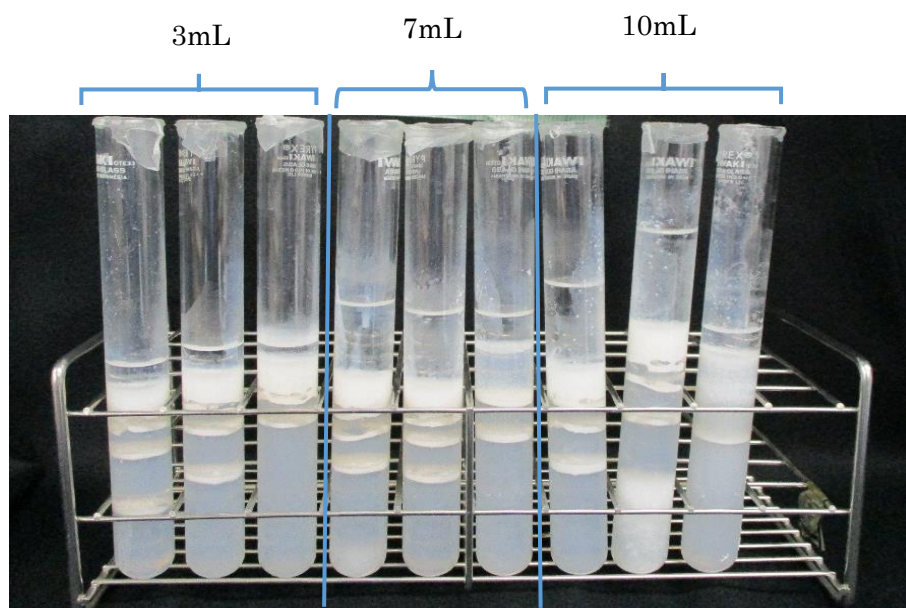


図 2 濃アンモニア水の滴下量を変化させて行った実験の結果(実験 α -①)
(左から 3 本ずつ 3mL、7mL、10mL)

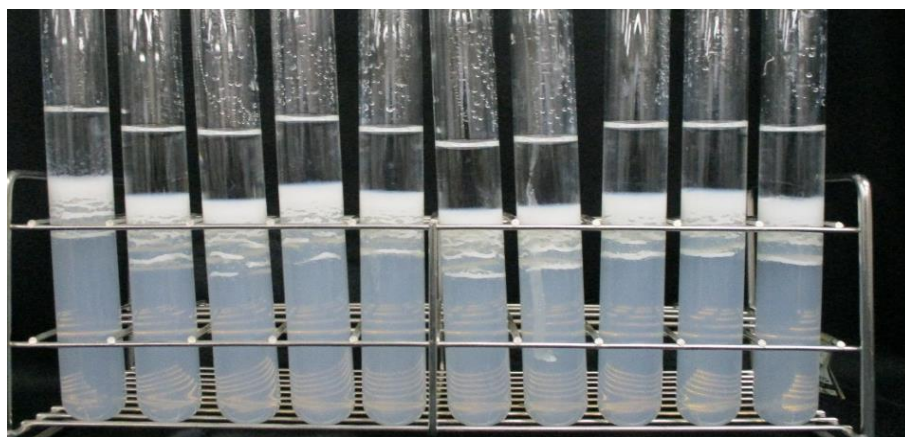


図 3 硫酸マグネシウム七水和物を加えなかった場合の結果(実験 α -②)

実験 β : 反応進行中の水酸化物イオンの拡散の動きを可視化する。

β -① 試薬を溶かした水溶液にフェノールフタレイン溶液を加えるとゲルが赤く染まった。

つまり、濃アンモニア水滴下前からゲルは塩基性を示す。(図 4)

その後、濃アンモニア水を滴下すると、リングが生成するとともに、生成したリングより上部のゲルが無色へと変化した。この実験における変化の様子を表したイメージ図を図 5 に示す。



図 4 濃アンモニア水滴下前の強塩基性ゲル(実験β-①)

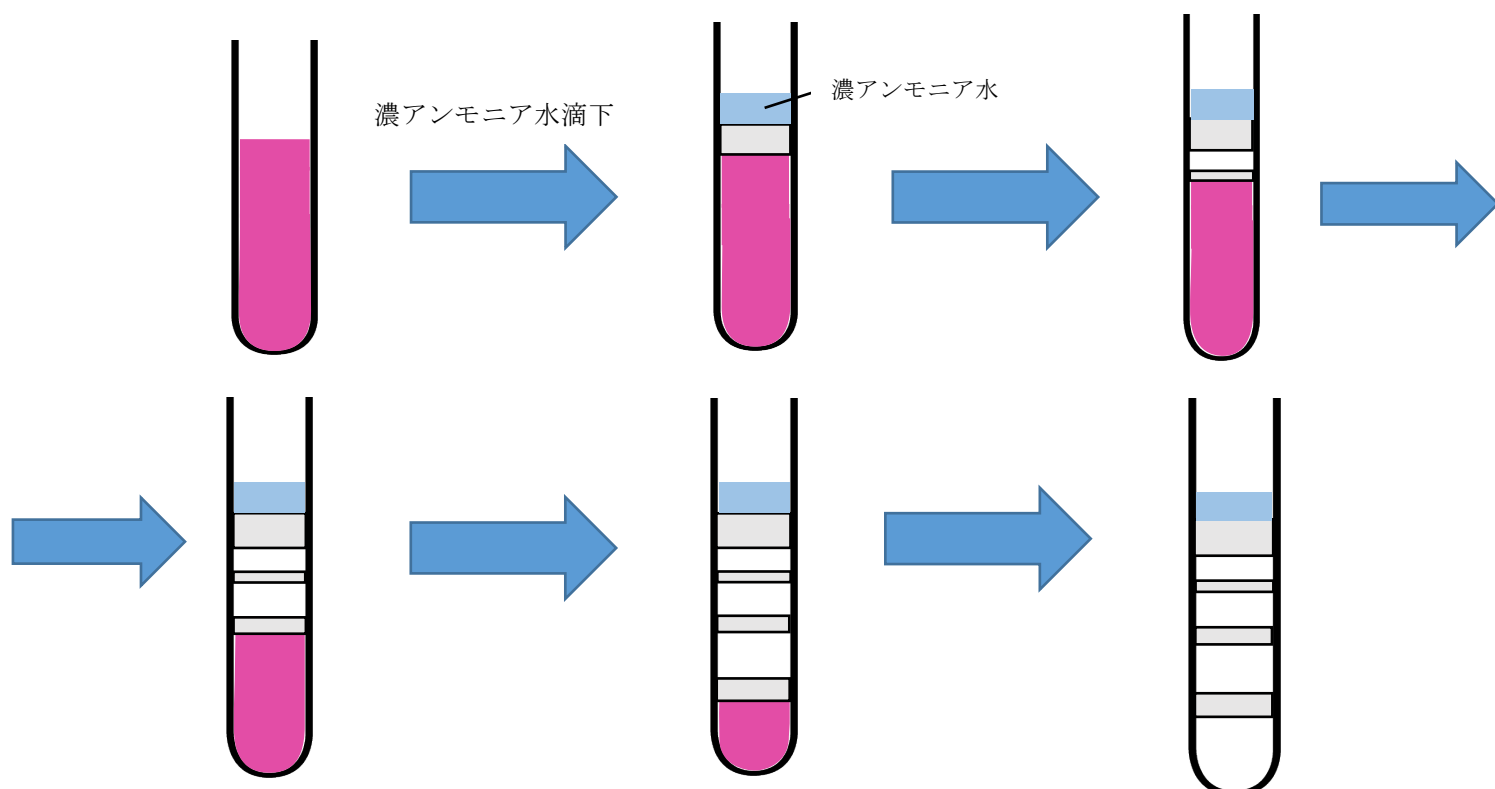


図 5 実験β-①における反応進行イメージ図

β-② 試薬を水に加えた段階で塩酸を加えた場合、塩酸は加熱を行う際に揮発してしまい、実験β-①と同様にゲルは強塩基性を示した。そこで、ゲルを反応容器に移す直前に塩酸を加えてゲルを中和した。

ゲルは始め無色であったが、濃アンモニア水滴下後、一定のところまで水酸化物イオンは拡散し、その後実験β-①と同様にして、リングが生成するとともに、生成したリングの上部の寒天が無色へと変化した。(図 6)

また、強塩基性のゲルを用いた実験β-①に比べてより太く、明瞭なリングが生成した。(図 7)

この実験におけるイメージ図を図 8 に示す。



図 6 フェノールフタレイン溶液と塩酸を加えた場合の結果

反応後

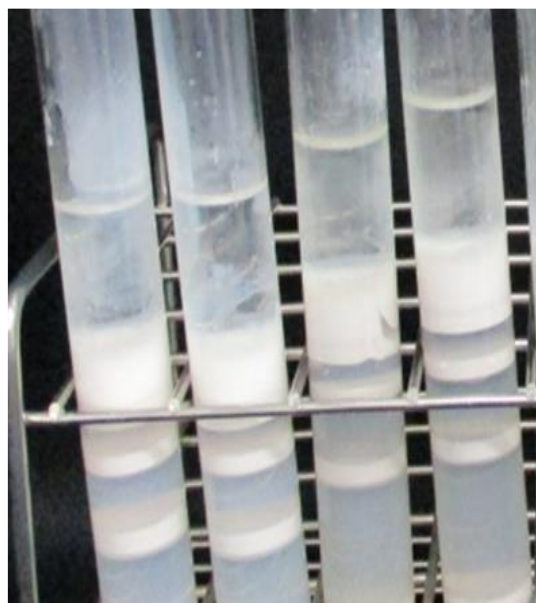


図 7 反応終了後(実験β-②)

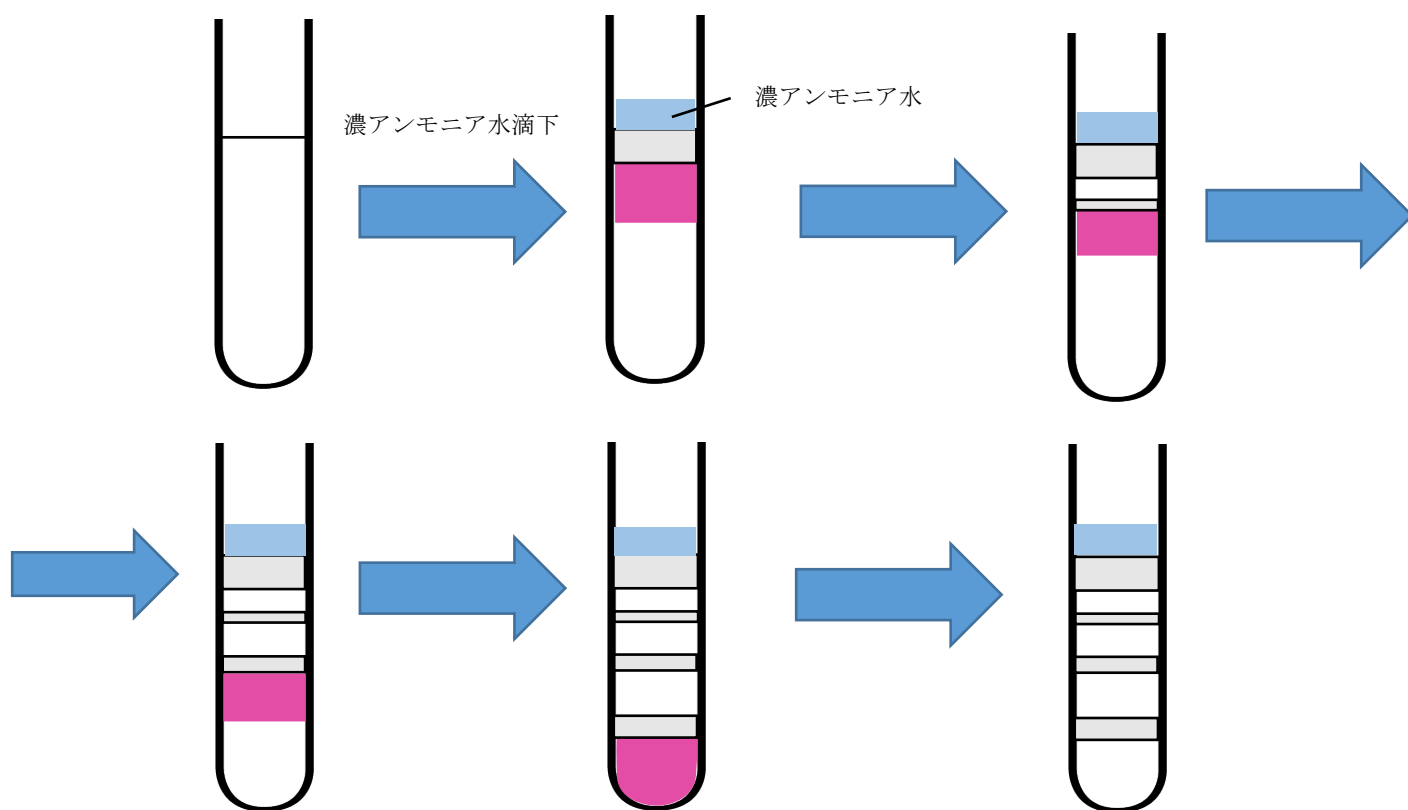


図 8 実験β-②における反応進行イメージ図

β -③ BTB 溶液を加えると、濃アンモニア水滴下前からゲルは青色に染まった。(図9)
濃アンモニア水滴下後は、リングの生成とともに薄い青色へと変化した。(図10)

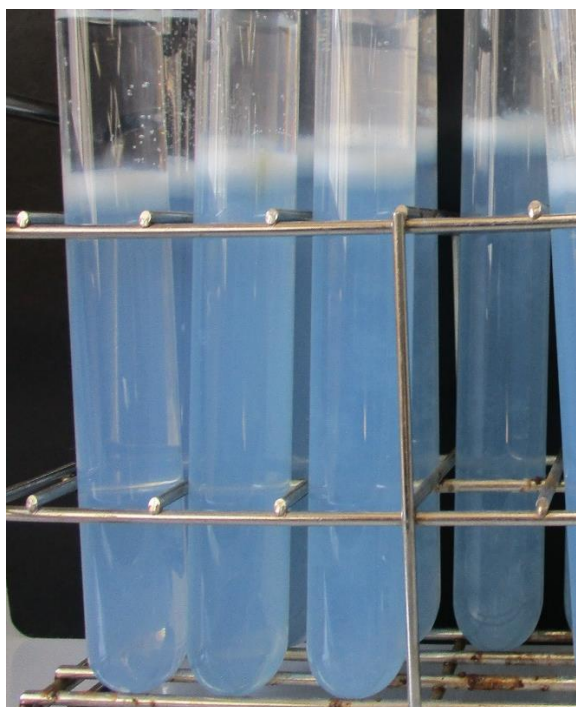


図9 BTB 溶液を加えたゲル(実験 β -③)

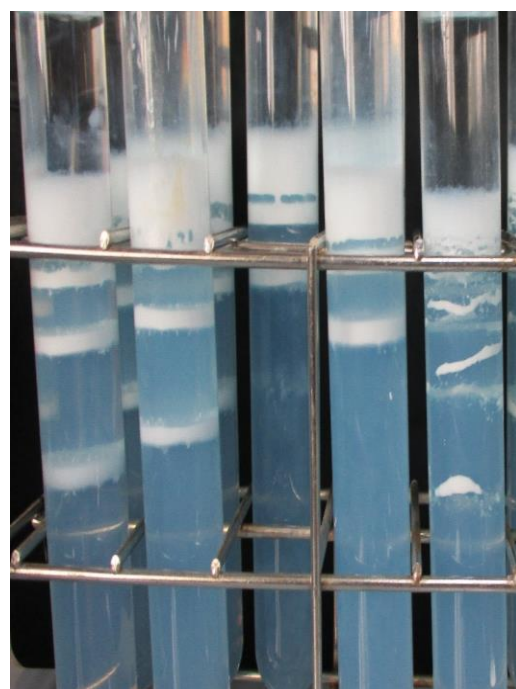


図10 反応進行後(実験 β -③)

β -④ 実験 β -②と同様にして BTB 溶液を加えてゲルを作成し、反応容器に移す直前に塩酸を加えて実験を行った。

ゲルは始め黄色に染まり(図11)、その後、反応が進みリングが生成するとともにゲルは薄い青色へと変化した。(図12) また、実験 β -②と同様に太く、明瞭なリングが生成した。

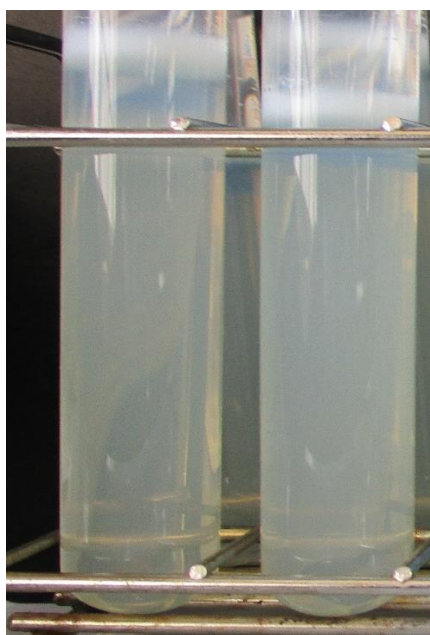


図11 BTB 溶液に塩酸を加えた場合の結果
(実験 β -④)

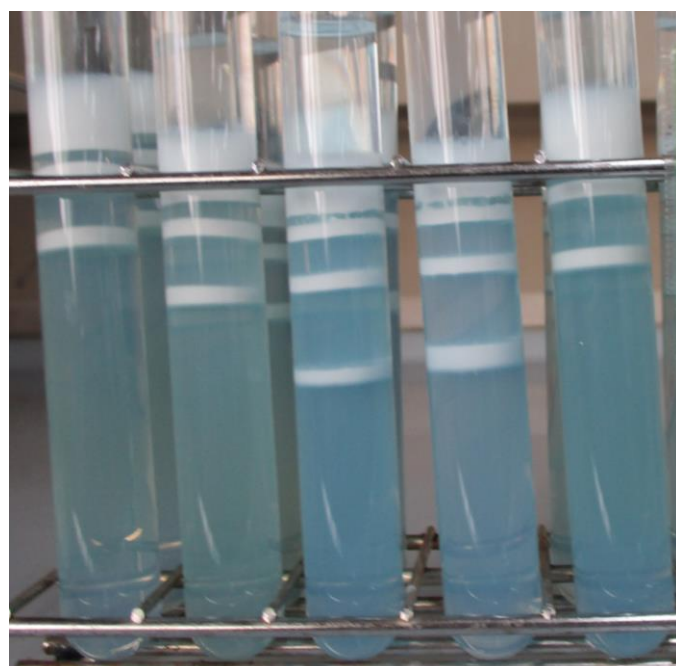


図12 反応進行後(実験 β -④)

γ -① 反応容器にメートルグラスを用いた場合、リングは生成しなかった。(図 13)

γ -② 反応容器にビーカーを用いた場合、試験管の時と同様にリングは生成した。(図 14)

図 14 には比較のため、実験 β -④の結果も合わせて示す。



図 13 メートルグラスを用いた場合の結果
(実験 γ -①)

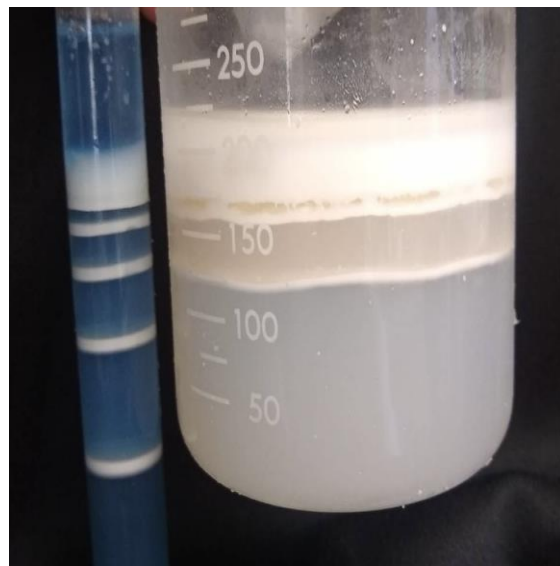


図 14 ビーカーを用いた場合(実験 γ -②)

γ -③ 反応容器に三角フラスコを用いた場合、試験管の時と同様にリングは生成した。(図 15)

図 15 には比較のため、実験 β -④の結果も合わせて示す。

生じたリングは下に凸の形状をとった。(図 16)



図 15 三角フラスコを用いた場合
(実験 γ -③)



図 16 三角フラスコを用いた場合に
生じる凸状のリング(実験 γ -③)

γ-④ この実験においては、途中でホースの形が熱などの理由により変化し、反応容器とゲルの間に隙間ができるなどの様々な不具合が生じたので、正規の実験を行うことができなかった。そのため、考察からも除いた。

5. 考察

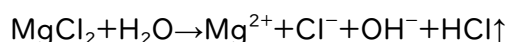
実験α：用いる試薬の量を変化させてリングを観察する。

濃アンモニア水の滴下量を変化させてもリングの生成に違いは見られなかった。これはマグネシウムイオンに対して水酸化物イオンが十分多く存在するためである。すなわち、濃アンモニア水の滴下量は過度に減らさない限りはリングの生成に大きな変化はないといえる。

次に、ゲルに硫酸マグネシウム七水和物を加えない場合においては、通常の場合に比べて不明瞭なリングが生じたことから、硫酸マグネシウム七水和物は不純物として必要であることがわかった。これは本校の先行研究の結果と一致する。

実験β：水酸化物イオンの拡散の動きを可視化する。

実験β-①、β-③でゲルが濃アンモニア水滴下前から強塩基性を示した理由として、以下の反応式が考えられる。



試薬(塩化マグネシウム)に水を加えた際に塩化水素が発生し、水酸化物イオンが電離したため、ゲルは塩基性を示したと考えられる。

今回行った実験では、反応に関わる全ての水酸化物イオンの消費のされ方と、濃アンモニア水由来の水酸化物イオンの拡散の動きを可視化することができた。フェノールフタレイン溶液と BTB 溶液を用いた実験結果より、変色域を考慮すると反応後のゲルの pH は 7.6～8.0 程度であると考えられる。

また、塩酸を加えた(弱酸性ゲルを用いた)実験β-②、β-④ではより太く、明瞭なリングが生成した。(表4) この理由として、弱酸性ゲルを用いた場合では、反応容器内の水素イオンと滴下した濃アンモニア水由来の水酸化物イオンが引き合うため、マグネシウムイオンに水酸化物イオンが塩基性のときに比べてより多く集まったためであると考えられる。なお、強酸性ゲルは固まりにくいため実験を行わなかった。

表 4 ゲルの液性と層の厚さ(単位は mm)

	1 層目	2 層目	3 層目
強塩基性ゲル	2.36	3.27	3.59
弱塩基性ゲル	2.75	3.44	3.82
弱酸性ゲル	2.90	3.85	4.50

実験γ：反応容器の形を変え、リングの生成にどのような変化が生じるのかを調べる。

メートルグラスを用いた際にリングが生成しなかったのは、容器上部の体積が下部に比べてはるかに大きいため、1 層目が生成する前に容器中のマグネシウムイオンが全て使い切られてしまったからであると考えられる。

ビーカーや三角フラスコの場合は反応に使われるマグネシウムイオンが十分に足りていたため、リングが生成した。ただし、今回の実験で用いたものより大きな三角フラスコでは、下部にいくほど体積が大きくなるため、いずれリングは生成しなくなると考えられる。

ホースを用いて実験がうまくいかなかった理由としては以下のことが考えられる。

- ・ゲルをホースに移す際、高温であったため、放冷開始直後と濃アンモニア水滴下時でホースの体積が変化してしまったため隙間が生まれ、反応容器とゲルを密着させておくことができなかったから。
- ・長いホースの形(体積)を変わらないように保っておくことが困難であったから。

今回行ったすべての実験において、リングは反応容器の壁面に対して垂直に生成した。これは、本校で行われた先行研究(池口ほか(2016))の結果と一致する。実験γ-③でのリングは図16のように反応容器の壁面に対して垂直に生成していないように見えるが、これは、より自然なリングを形成しようとして図17の青線のように下に凸な緩やかなレンズ状の形を生成したためであると考えられる。



図17 三角フラスコを用いた場合のリングのイメージ

6. 結論

本研究では以下のことが明らかになった。

- ・濃アンモニア水の滴下量は大きく減らさない限り、リングの生成に大きな変化はない。
- ・硫酸マグネシウム七水和物は不純物として、明瞭なリングの生成に大きく関係する。
- ・リーゼガング現象における水酸化物イオンの動きの可視化に成功した。
- ・反応に関わる全ての水酸化物イオンはリングの生成と共に押し下げられるようにして拡散していく。
- ・弱酸性ゲルを用いた場合、他のゲルを用いた場合に比べてより太く、明瞭なリングが生成する。
- ・メートルガラスでは1層目の生成前にゲル中のマグネシウムイオンを使い切ってしまうため、リングは生成しない。

- ・ビーカーや三角フラスコでできるリング間の間隔は、試験管の時と比べて差がない。
- ・リングは反応容器の壁面に対して垂直に生成する。これは先行研究の結論と一致する。

7. 今後の展望

- ・反応容器の形を調整することで、リングの間隔が等しいリーゼガング現象を起こせるのではないか。
- ・反応容器を球形にしても壁面に対して垂直にリングが生成するという仮説が成り立つのか。
- ・形が変化しない長い容器を用いることで、ホースで行えなかった実験を行う。

8. 参考文献

- ・池田唯ほか、2016、美しいリーゼガング現象、大阪府立大手前高等学校サイエンス探究報告書
- ・池口優愛ほか、2021、U字管を用いたリーゼガング現象、大阪府立大手前高等学校サイエンス探究報告書

野菜の色素で色付きリップを作ろう

緒言

コチニール色素アレルギーにより市販のリップを使用できない人がいることを知り、アレルギーの少ない身近な野菜から安全な色付きリップが作れないかと考えた。一般的に野菜の色素の抽出には湯の中で煮詰めて取り出すことが多い。しかし、水溶液中で取り出すことになるので、取り出した野菜の色素は油と混ざらない。そのため、まず油と混ざる色素の抽出方法を見つけ出し、リップクリームを作成することを目的とし、パプリカのカロテノイド色素である脂溶性のゼアキサンチンの抽出を試みた。先行研究の『トマトのリコペンの最適抽出溶媒の選定とこれを用いた簡易迅速定量法』をもとに、ジエチルエーテルとメタノールを体積比 7:3 で混合させた溶液で色素の抽出を行った。また、リップクリームを作成する際に、抽出した色素を油と混ぜると出てくる粘り気のある固体はカラメルではないかと考え、分析した。

実験手順

実験に使用した薬品・器具一覧

Ⅰ 級ジエチルエーテル キシダ化学株式会社

Ⅰ 級メタノール キシダ化学株式会社

炭酸ナトリウム(無水) キシダ化学株式会社

ホホバオイル オリジナル株式会社

薄層クロマト

グラフィー ケニス株式会社 No.315-717 5JL4-107

まずパプリカをミキサーで破碎する。次に破碎したパプリカ 25g にジエチルエーテル 35mL とメタノール 15mL を混合させた溶液を加え、ろ過する。そして、そのろ液を取り出して溶媒が揮発するまで待つ。完全に揮発するとビーカーの底に油と混ざる色素が残る。そこにリップクリームをⅠ 本作成するのに必要なホホバオイル 7.5mL を加え、出てきた粘り気のある油と混ざらない固体をろ過して取り除く。リップクリームを固めるのに必要なミツロウ 1.5g を湯煎し、そこに固体を取り除いたろ液を加える。ミツロウが固まると完成である。また、市販の色付きリップと比較するため、ピンポン玉に塗り、発色するかどうか、時間が経っても艶が保たれているかどうかを確かめた。

実験結果

図 1 のように色付きリップの作成に成功した。また市販の色付きリップクリームと比較し、一か月後にも色が残ри、湿り気があったことから、発色性と保湿性も確かめることができた。



図 1 作成した色付きリップ

考察

ジエチルエーテルとメタノールの混合溶液からパプリカの色素の抽出ができることが分かった。しかし、この色素がゼアキサンチンであるかどうかは特定できなかった。また、ホホバオイルを加えたときに生じた粘り気のある固体の正体を解明するために、砂糖と水でカラメルを作り、1%の炭酸ナトリウム水溶液を展開液として薄層クロマトグラフィーで比較実験を行った。この結果より、水と砂糖から作ったカラメルと粘り気のある固体の挙動が類似していたため、カラメルである可能性が高まった。

結論

赤パプリカの色素を用いて色付きリップクリームが作成できた。

今後の展望として、実験で出てきた粘り気のある固体はカラメルと断定することができず、薄層クロマトグラフィーの展開液を変えて再実験する必要がある。さらに、野菜のカロテノイド抽出の際に使用したジエチルエーテルとメタノールは有毒であり、十分に揮発させたものの、残っている可能性があるので、エタノールの使用などを検討したい。そして、今回の実験で抽出して取り出した色素が、ゼアキサンチンであると特定できるように、研究を進めていきたい。

参考文献

伊藤秀和、堀江秀樹, 2009, トマトのリコペンの最適抽出溶媒の選定とこれを用いた簡易迅速定量法, 野菜茶業研究所研究報告, 8 号, p.165-173

眞岡孝至, 2012, 天然カロテノイドの分析と構造研究, オレオサイエンス, 第 12 巻第 10 号, p.485-494

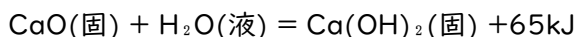
Maki, 2021, 蜜蝋リップクリーム色つき 2 ステップで出来る簡単な作り方とレシピ,

<https://www.melbournecosodate.com>

発熱反応のコントロール

1. 諸言

酸化カルシウムと水との反応で水酸化カルシウムが生成される発熱反応について研究した。



「化学反応を利用したいろいろなカイロの製作」

(6. 参考文献参照)の研究でこの反応についての

グラフ(図1)があった。図1を見ると、温度の

上昇の仕方が単純に水の量が少ないほど速くなっていく、

水の量 20mL と 18mL で逆転している。ここから、

温度変化と水の量が単純な関係を示さないことに興味を持った。

そこで、この反応における規則性について調べることにした。

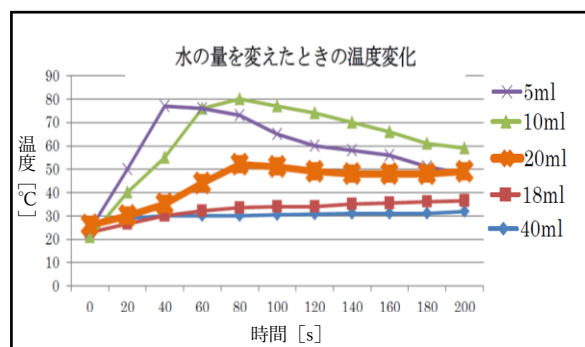


図1 参考文献のグラフ

2. 実験手順

酸化カルシウムと水の発熱反応の規則性を見つけるために、様々な条件下で実験を行った。

○使用した器具

試験管(24×200mm)、ビーカー(500mL)、試験管立て、メスシリンダー、駒込ピペット(5mL)、

ガラス棒、薬さじ、薬包紙、発泡スチロールレンガ(60mm×100mm)、スタンド、電子天秤、

スターラー、

カスタム(CUSTOM)デジタル温度計別売 K 熱電対センサー対応 1 チャンネルタイプ CT-1310D

会社 CUSTOM

高温 K 熱電対センサー(非防水タイプ) 型番 LK-1200i 会社 CUSTOM

○使用した試料

000-13775 Chameleon Regent CaO=56.08

特級 酸化カルシウム 粉末 500g

純度(強熱後)---98.0%以上

Lot No.H19808M

指針番号 157 国連番号 1910

OSAKA キンダ化学株式会社 JAPAN

Yoneyama Extra Pure Regent 03381 Ca(OH)₂=74.09

米山一級 2015 2/6

水酸化カルシウム 500g

Assay %...95.0min

Lot No.TJA0010 指針番号 154 国連番号 3262

米山薬品工業株式会社

実験 I

粉末状の CaO (0.1 mol) の入ったビーカーに水を入れ、熱電対を利用し、温度計測を行った。

このとき、ビーカーの大きさと、加える水の量をそれぞれ変えて行った。(図2)

ビーカーの大きさ [mL] … 50、100 水 [mL] … 1.8、5.0、10、20、30、40

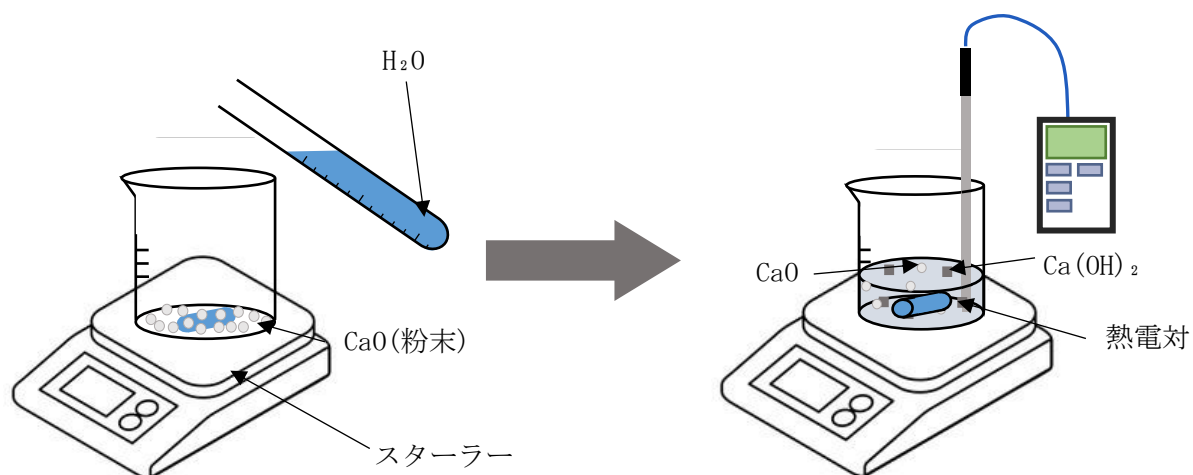


図2 実験 I

結果 I

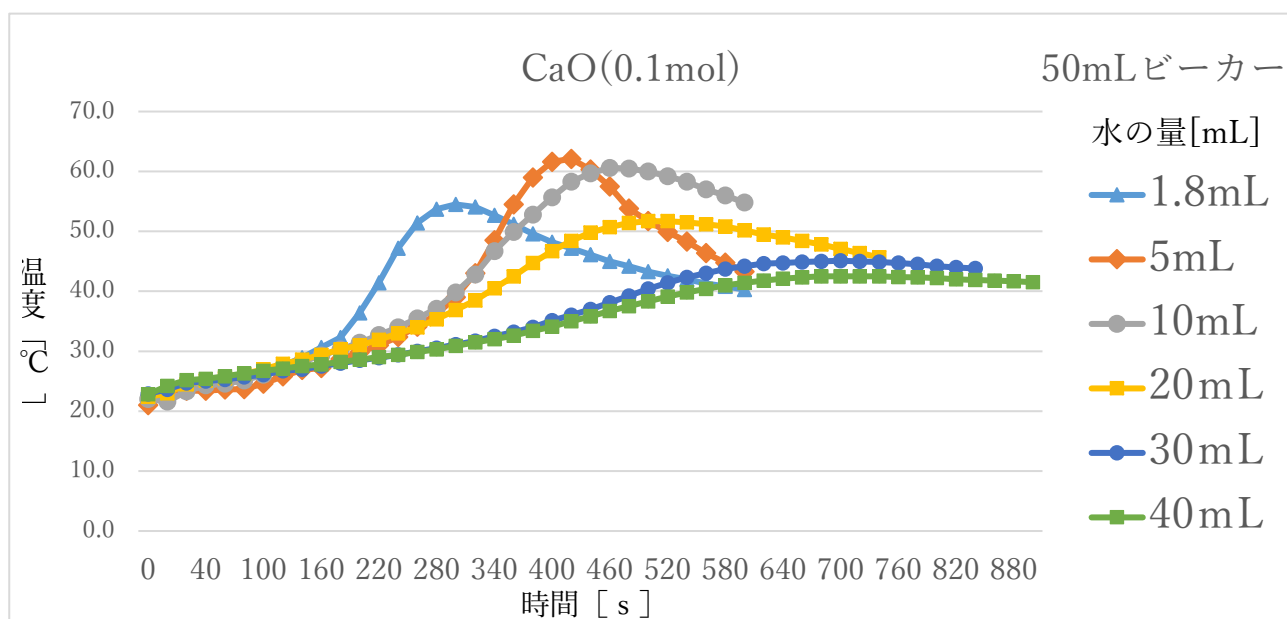


図3 実験 I 温度と時間の関係 (注 結果の詳細のデータは「8.全実験データ」に記載)

・水の量が多いほど最高温度に達するまでの時間が遅くなった。

考察 I

生成された $\text{Ca}(\text{OH})_2$ により、スターラーが止まってしまう、混ぜることができなかった。

ビーカーの底面積が大きいので、少量の水ではすべての CaO と水を触れさせることができなかった。

よってこの実験方法は不適切であったため、実験 II を行った。

実験Ⅱ

粉末状の CaO の入った試験管に水を入れ、熱電対を用いて、温度変化を計測した。

そのとき、 CaO の量と水の量を変えて計測を行った。(図4)

また、加える水の温度を 20°C と 40°C に変えて行った。

CaO [mol] … 0.100、0.050、0.0375、0.025 水 [mL] … 1.8、2.0、5.0、10、20

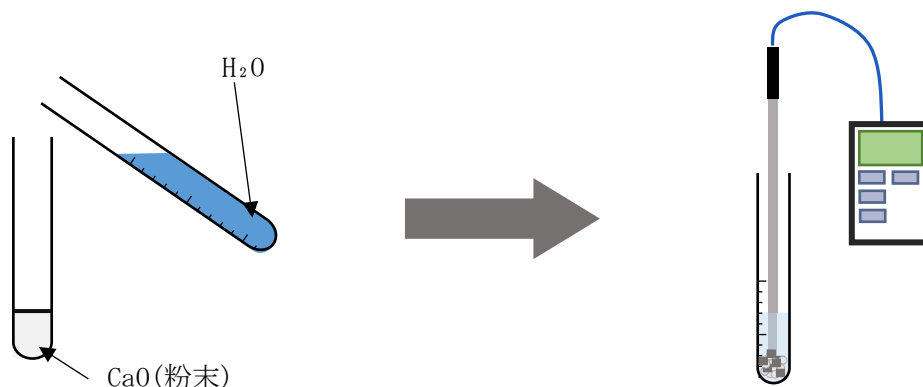


図4 実験Ⅱ

結果Ⅱ

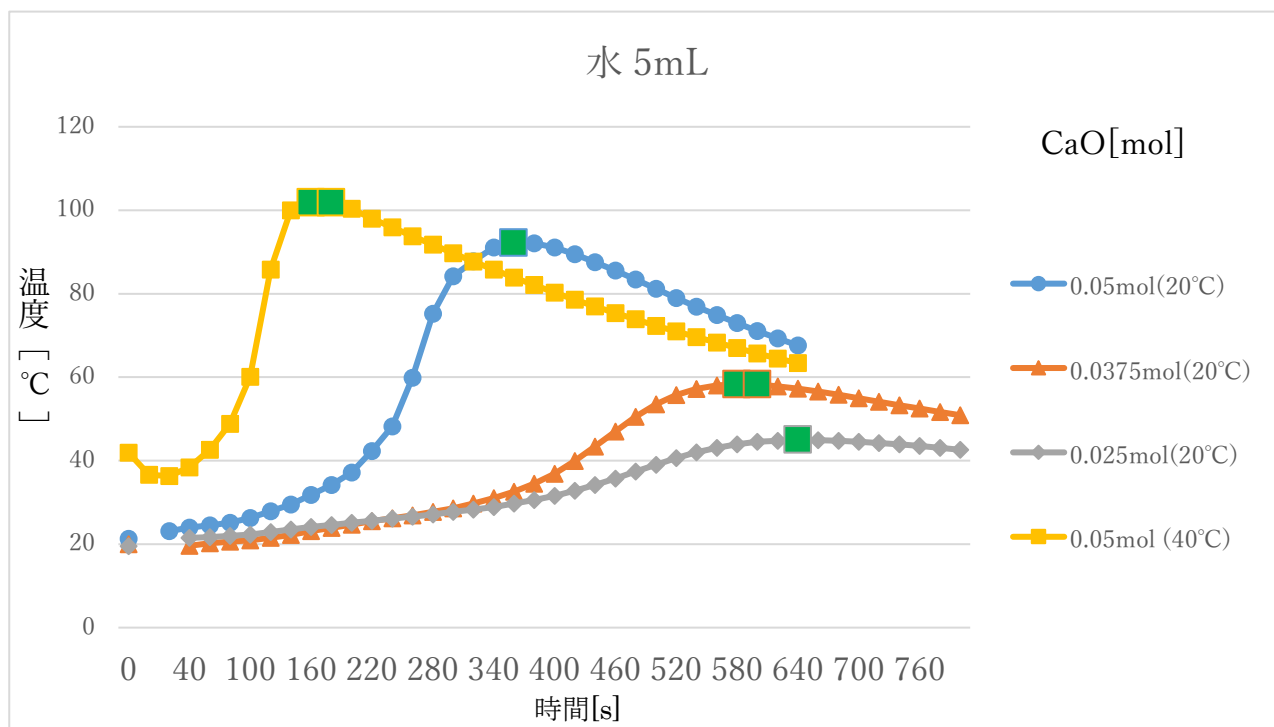


図5 実験Ⅱ(水 5.0mL) 温度と時間の関係

(注 結果の詳細のデータは「8.全実験データ」に記載)

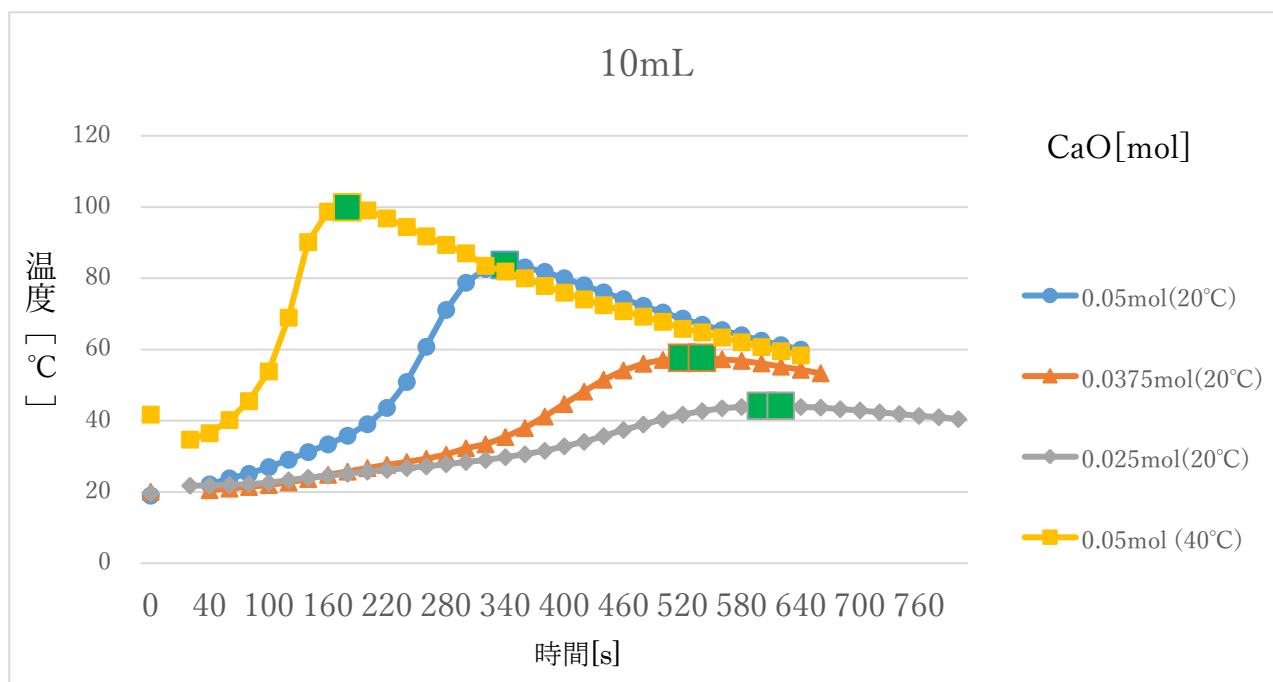


図6 実験Ⅱ(水 10mL) 温度と時間の関係

(注 結果の詳細のデータは「8.全実験データ」に記載)

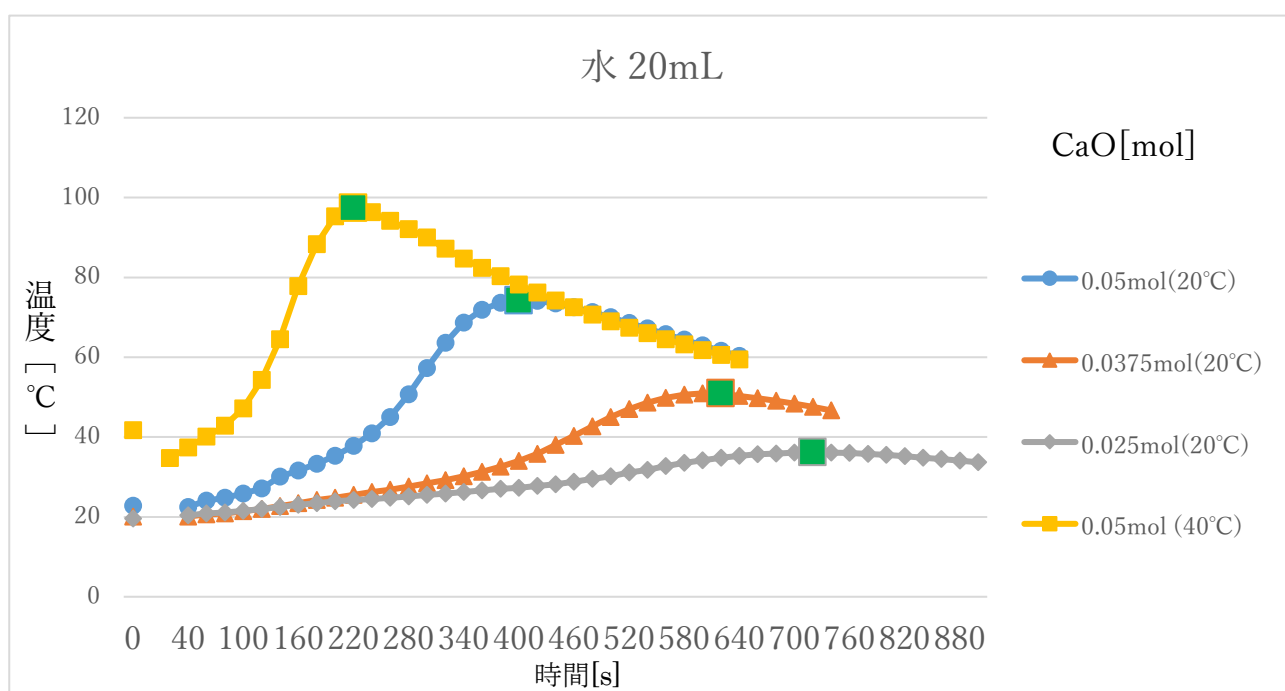


図7 実験Ⅱ(水 20mL) 温度と時間の関係

(注 結果の詳細のデータは「8.全実験データ」に記載)

図5~7について

- ・40°Cの水を加えたとき、最高温度に達するまでの時間が最も速かった。
- ・グラフのカーブの仕方から、温度が 40°C 付近になると、どの条件においても反応速度が特に大きくなっていることが分かる。

考察Ⅱ

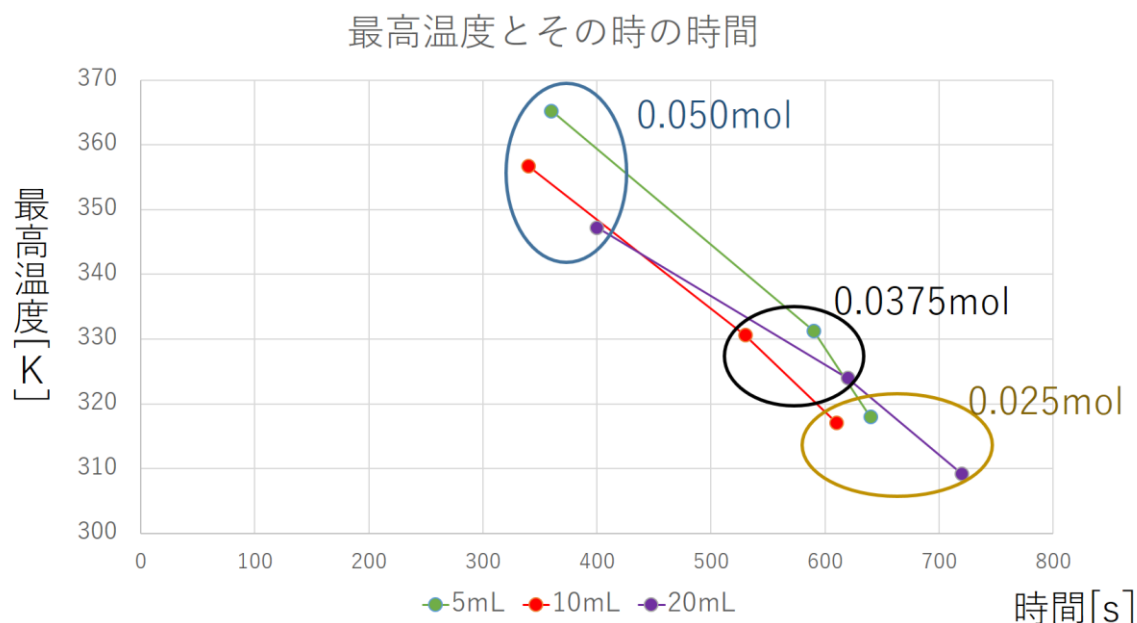


図8 実験Ⅱ(最高温度の点)

また、水の量を固定した図5～7の3つのグラフについて、最高温度の点を見ると、どれも似た位置関係になっていることが分かる。

このことに着目し、この9つの点をグラフに抜き出した(図8)。すると、酸化カルシウムの量に関わらず、水の量が10mLの時に、最高温度に達するまでの時間が最も速くなっている。

つまり、時間と水の量が単純な比例関係になく、10mL前後に反応速度が最大になる点があると考えられる。そこで、実験Ⅲを行った。

CaOの物質量が大きく、また水の量が少ないとき、突沸が起きた。これが起きた原因は次のように考えられる。水溶液の温度が100℃を超え、水が沸騰し、気泡ができて空気中に逃げ出そうとする。このとき、生成した水酸化カルシウムと残っている酸化カルシウムが上部で固まって、気体が空気中に逃げるのを妨害する。やがて、水酸化カルシウムと酸化カルシウムが耐え切れなくなって、気体が一気に空気中に逃げ出す。

実験Ⅲ

粉末状の CaO (0.025、0.050mol) の入った試験管に約 20°C の水を入れ、熱電対を用いて温度変化を計測した。その際、 CaO 、水の量 (5~25mL) を変えて計測を行った。

また、加える水の温度を正確に 20°C にするために、氷を用いたものもある。さらに、より正確な数値を得るため、発泡スチロールレンガ (60mm×100mm) に 10mm×10mm×80mm の直方体の穴を開け、その穴の中に試験管を底から 10mm 浮かして行った。(図9)

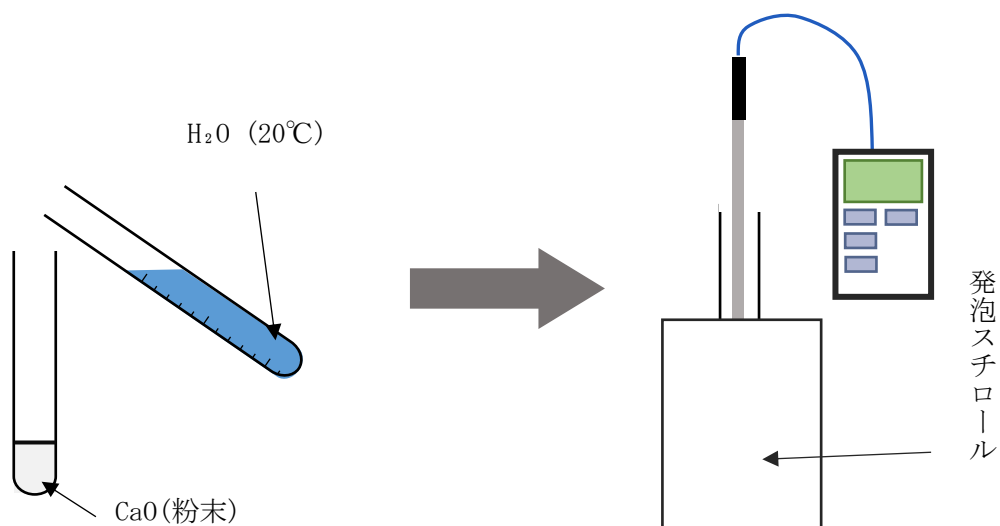


図9 実験Ⅲ

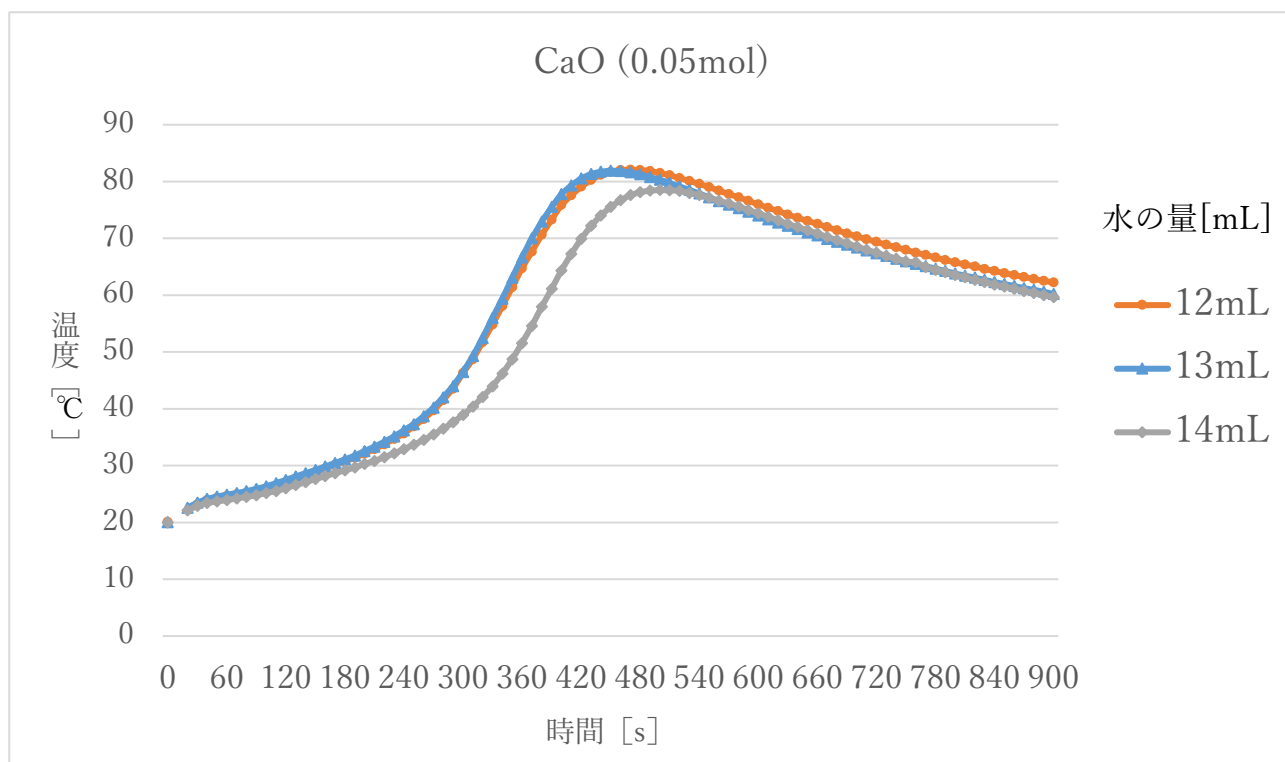


図 10 実験Ⅲ(CaO 0.05mol) 温度と時間の関係

(注 結果の詳細のデータは「8.全実験データ」に記載)

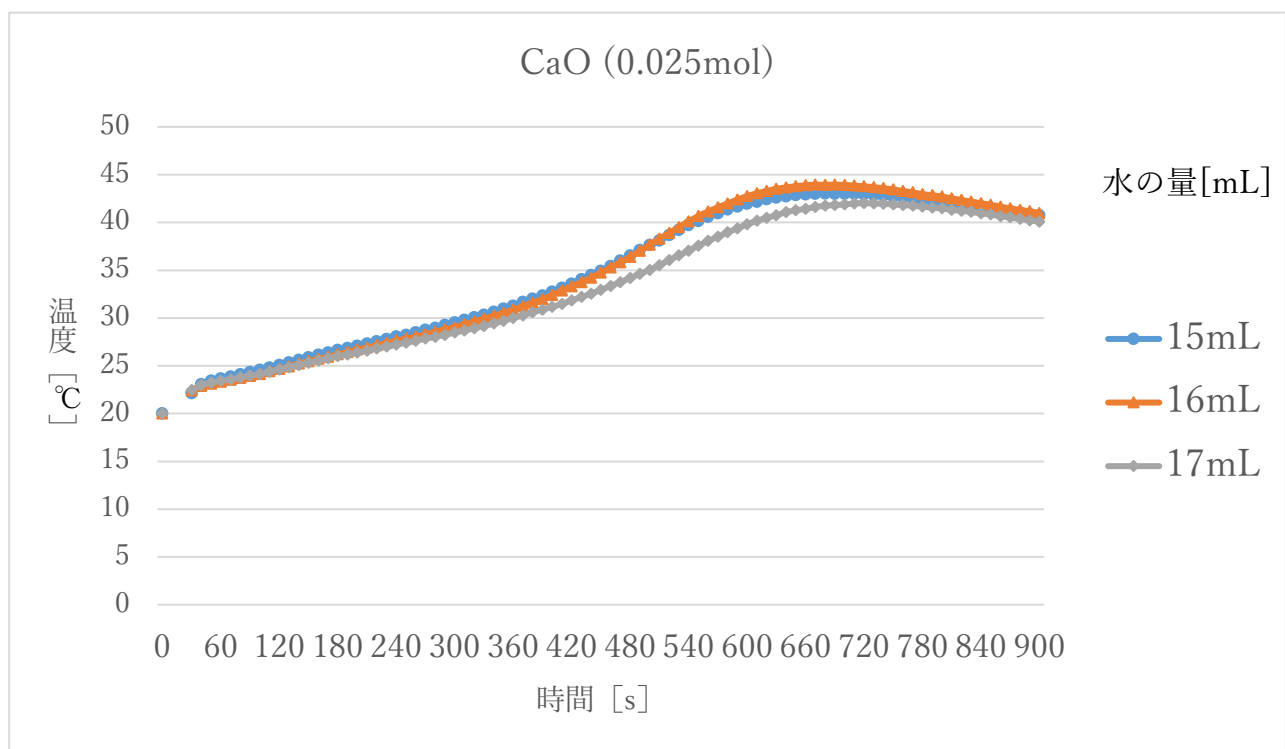


図 11 実験Ⅲ(CaO 0.025mol) 温度と時間の関係

(注 結果の詳細のデータは「8.全実験データ」に記載)

・温度が下がる時のグラフの傾きはどの条件でもほぼ一定

考察Ⅲ

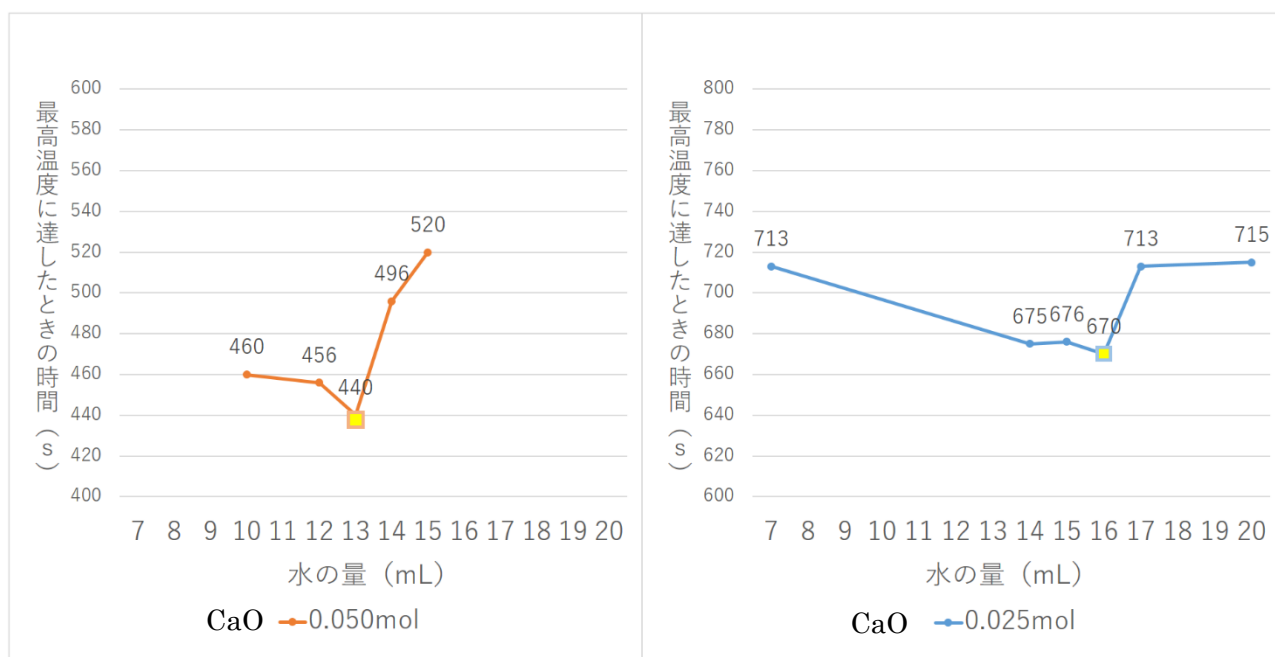


図 12 実験Ⅲ 最高温度に達するまでの時間と水の量

図 12 について、グラフは両方とも下に凸となっている。また、時間が最短となる水の量は、0.025mol では 16mL、0.05mol では 13mL だった。それらの点の前後に注目すると、いずれも、水が少ない方は傾きが緩やかなのに対し、水が多い方は傾きが急である。このように、二つのグラフの形に共通点が見られたため、なぜそのような形になったのか、その原因について考えた。

前提として、化学反応の反応速度は、濃度、触媒、温度、そして反応物が固体の場合は、表面積にも依存する。この中でも、今回の反応に関係するのは温度と表面積である。水の量が多いほど粒子が拡散しやすくなり、表面積が大きくなるため、反応速度は大きくなると考えられる。

酸化カルシウムは固体なので、表面積が大きいほど反応速度は大きくなる。

一方で、水の量が多いと熱容量が大きくなり、温度が上昇しにくくなる。それによって、反応速度は小さくなる。そこで、表面積の増加による反応速度の増加の方が、熱容量の増加に伴う反応速度の減少よりも大きいと仮定して、次のように考察した。

まず、水の量が少なすぎると、酸化カルシウムが拡散しにくくなり、固体の粒子同士が接触する部分ができ、表面積が小さくなる。そのため反応速度は小さくなる。(図 13)

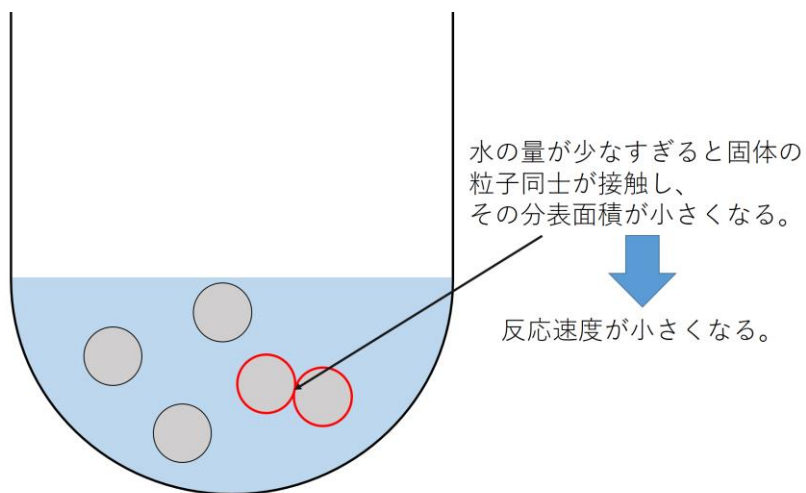


図 13 実験Ⅲ 表面積と水の量が反応速度に与える影響 1

そこから水の量が増えるに従って粒子が拡散しやすくなり、それに伴い反応速度も大きくなっていく。
そして、水の量がある一定値に達すると酸化カルシウムの表面積がこれ以上大きくなりなくなり、反応速度が最大になる。(図 14)

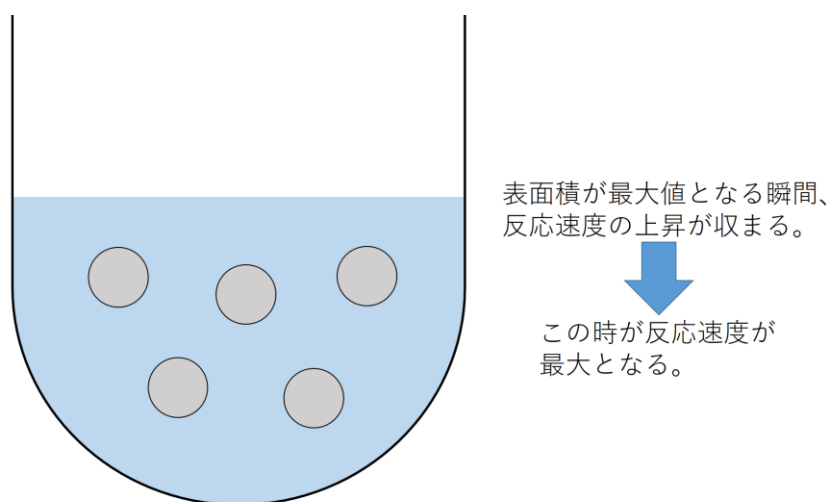


図 14 実験Ⅲ 表面積と水の量が反応速度に与える影響 2

その後、表面積が最大のままで、水の量だけが増えていくことで、温度が上昇しにくくなり、それに伴い、反応速度が遅くなっていく。(図 15)

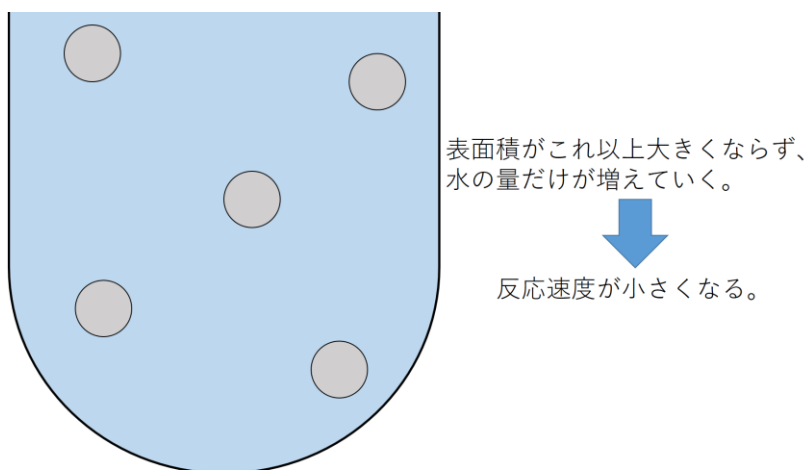


図 15 実験Ⅲ 表面積と水の量が反応速度に与える影響 3

以上の考察を簡単にグラフ化したものが図 16 である。

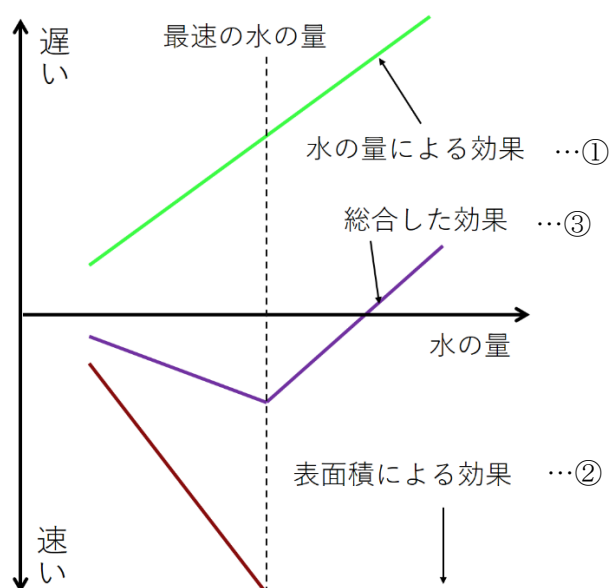


図 16 実験Ⅲ 表面積と水の量が反応速度に与える影響

水の量による効果(①)は、反応速度を小さくする効果である。また、表面積による効果(②)は、反応速度を大きくする効果がある。ここで、表面積による反応速度の増加の方が、水の量に伴う反応速度の減少よりも大きいと仮定したため、①より②の方が傾きの度合いが大きくなる。そして、①と②のグラフを合成したものが③のグラフである。これを見ると、図 15 のグラフと同じような形になっていることが分かる。

私たちの考察では酸化カルシウムの量が増えるほど、最速となるのに必要な水の量が増えるはずだ。しかし、最速となる水の量は 0.025mol で 16mL、0.05mol で 13mL となっており、酸化カルシウムの量が増えると最速となる水の量は減っている。よってこの考察では、この現象を説明することはできなかった。

実験Ⅳ

実験で使用した CaO の量が異なるため、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生じる量も異なる。すると、温度について考察する際、 $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$ の比熱を考慮しなければならない。よって水の比熱と $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$ の比熱で違いがあるか調べた。

20℃の同じ質量の純水と $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$ を用意し、それぞれ 500mL ビーカーに入れ、ガスバーナーで熱した。こ

のとき、火の強さが変わらないように、ガスバーナーの火はつけたままにし、水の入ったビーカーと $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$ の入ったビーカーのみを取り替えた。そして、それぞれ 70°C になるまでの時間を計測し比較した。その際、熱電対を用いて温度を計測した。(図 17)

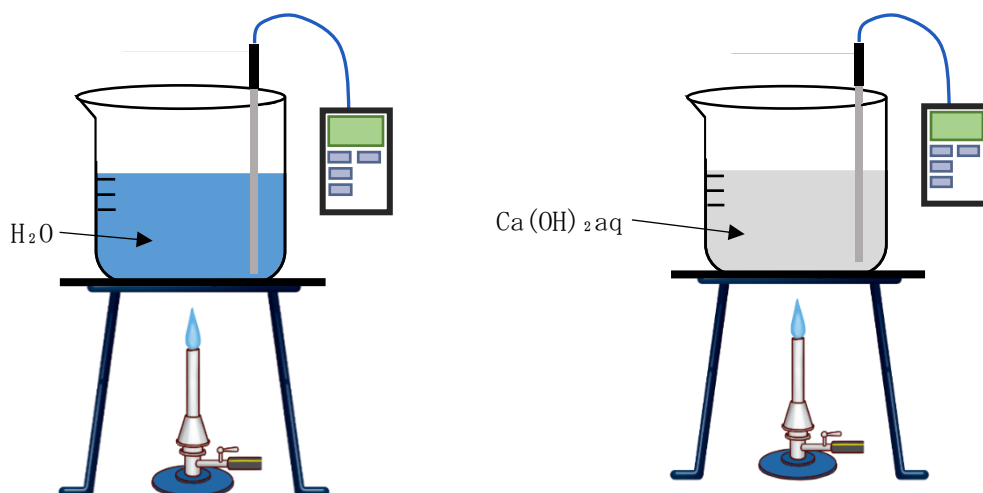


図 17 実験Ⅳ

結果Ⅳ

	水	$\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$
始めの温度 [$^\circ\text{C}$]	20	20
終わりの温度 [$^\circ\text{C}$]	70	70
かかった時間 [s]	170	160

表 実験Ⅳ 水と $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$ の比熱に関する実験結果

考察Ⅳ

表より、純水と $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$ で 70°C になった時間がほぼ等しいので、純水の比熱と $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{aq}$ の比熱はほぼ等しいと考えてよい。

3. 結論

これらの結果、考察から、酸化カルシウムと水による発熱反応には、最高温度に達するまでの時間が最短となるのに、多すぎず少なすぎない水の量があるということが分かった。

今後の課題としては、

①熱電対で測っている場所を明確にする。

②酸化カルシウムの表面積について詳しく調べるために、塊状の酸化カルシウムと粉末状のもの、粉末状のものをさらに細かくしたものとで比較する。

③反応中に混ぜ続けることができるような実験方法を考える。

などが挙げられる。

4. 参考文献

「化学反応を利用したいろいろなカイロの製作」

<http://www.higashi-tym.ed.jp/course/kadai27/Skairo.pdf> 2021 年 7 月 20 日アクセス

2022 年 7 月 15 日現在このページは消去されていますので、代わりにこのページをご覧ください。

同じものです。

<https://expydoc.com/doc/8041338/%E5%8C%96%E5%AD%A6%E5%8F%8D%E5%BF%9C%E3%82%92%E5%88%A9%E7%94%A8%E3%81%97%E3%81%9F-%E3%81%84%E3%82%8D%E3%81%84%E3%82%8D%E3%81%AA%E3%82%AB%E3%82%A4%E3%83%AD%E3%81%AE%E8%A3%BD%E4%BD%9C> 2022 年 7 月 15 日アクセス

6. 全実験データ

見方の例

時間 0 s を表す	CaO(0.1mol)	氷
	時間(s)	水 5mL
	0	20
	10	22
	20	23
	30	24

氷を使用して実験を行ったことを表す
使用していない実験は無記入

0s のときの温度 (°C) を表すを

実験 I

CaO(0.10mol)						
時間(s)	水 1.8mL	水 5.0mL	水 10mL	水 20mL	水 30mL	水 40mL
0	22.0	21.0	22.0	22.4	22.9	22.8
10	23.8	23.4	21.6	23.0	23.6	24.2
20	24.1	23.4	23.3	24.5	24.7	25.2
40	24.6	23.4	24.3	25.1	25.0	25.4
60	25.0	23.6	24.6	25.5	25.3	25.8
80	25.6	23.7	25.1	26.2	25.7	26.3
100	26.5	24.6	26.1	27.0	26.1	26.7
120	27.6	25.8	27.2	27.9	26.7	27.1
140	28.9	26.9	28.2	28.6	27.0	27.5
160	30.6	27.2	29.3	29.4	27.5	27.8
180	32.3	28.7	30.3	30.3	28.0	28.2
200	36.4	29.8	31.4	31.0	28.5	28.6
220	41.4	31.0	32.7	31.9	28.9	29.0
240	47.2	32.4	34.0	33.0	29.4	29.4
260	51.4	34.1	35.5	34.0	30.0	29.9
280	53.7	36.2	37.1	35.3	30.5	30.3
300	54.5	39.0	39.8	36.9	31.1	30.9
320	54.1	43.0	42.8	38.5	31.7	31.5
340	52.7	48.5	46.7	40.5	32.5	32.0
360	51.2	54.5	49.9	42.5	33.2	32.6
380	49.6	59.0	52.8	44.7	34.0	33.4
400	48.2	61.6	55.7	46.7	35.1	34.1
420	47.2	62.1	58.3	48.4	36.0	35.0
440	46.1	60.3	59.7	49.8	37.0	35.8
460	45.0	57.5	60.6	50.7	38.1	36.7

480	44.2	53.8	60.5	51.4	39.2	37.5
500	43.3	51.7	60.0	51.7	40.4	38.3
520	42.6	49.9	59.2	51.7	41.4	39.1
540	42.0	48.3	58.3	51.5	42.3	39.8
560	41.3	46.4	57.0	51.2	43.0	40.4
580	40.8	44.8	56.0	50.8	43.7	41.0
600	40.3	43.3	54.8	50.2	44.2	41.4
620				49.5	44.6	41.8
640				49.0	44.7	42.1
660				48.4	44.9	42.3
680				47.8	45.0	42.5
700				47.1	45.1	42.5
720				46.4	45.0	42.5
740				45.7	44.9	42.5
760					44.7	42.4
780					44.5	42.3
800					44.2	42.2
820					44.0	42.0
840					43.8	41.9
860						41.8
880						41.7
900						41.5

実験Ⅱ

CaO(0.10mol)					
時間(s)	水 1.8mL	水 2.0mL	水 5.0mL	水 10mL	水 20mL
0	19.5	20.8	20.8	19.0	19.0
10					
20					
40	22.4	22.8	22.8	23.7	23.4
60	23.8	25.1	24.3	25.4	24.8
80	25.8	26.7	25.3	27.3	25.9
100	29.2	29.4	26.9	30.1	28.1
120	35.8	33.4	29.4	33.9	30.9
140	98.5	39.7	32.7	38.8	34.3
160	101.5	71.5	36.5	46.0	38.2
180	100.8	102.1	42.0	59.6	43.6

200	101.1	102.3	50.3	82.6	52.0
220	102.1	104.0	68.5	99.9	70.1
240	101.6	105.2	94.0	105.9	92.1
260	101.1	106.1	107.1	107.5	93.8
280	98.4	105.7	105.7	108.0	102.1
300	96.6	104.7	104	107.4	105.5
320	94.4	102.8	102.7	105.8	106.9
340	93.3	101.3	101.2	103.9	106.3
360	91.4	99.5	99.1	102.0	104.7
380	89.5	97.5	96.6	100.1	102.4
400	87.5	95.2	94.0	98.4	100.0
420	85.8	93.0	91.4	96.6	97.8
440	83.7	90.8	88.8	95.1	95.2
460	81.5	88.5	86.3	93.4	92.8
480	79.5	86.2	83.8	91.7	90.5
500	76.6	84.0	81.5	89.8	88.4
520	75.6	81.8	79.2	88.1	86.1
540	73.5	79.6	76.9	86.4	84.1
560	71.8	77.5	74.7	84.7	82.3
580	69.9	75.4	72.6	83.0	80.4
600	68.1	73.4	70.5	81.4	78.4

CaO(0.050mol)					
時間(s)	水 2.0mL	水 5.0mL	水 10mL	水 20mL	水 20mL
0	22.7	21.3	19.0	18.8	22.8
10					
20	22.0	23.1			
40	24.0	24.0	22.1	20.5	22.5
60	24.7	24.5	23.8	21.3	24.1
80	25.5	25.1	25.1	21.9	24.8
100	26.3	26.3	27.0	22.8	25.8
120	28.8	27.9	29.1	23.7	27.1
140	31.0	29.5	31.2	24.7	30.1
160	33.8	31.8	33.4	25.8	31.6
180	37.0	34.2	35.8	26.7	33.3
200	41.4	37.2	39.0	27.8	35.3
220	48.2	42.3	43.6	28.9	37.8

240	61.8	48.2	50.9	30.1	40.9
260	81.9	59.9	60.8	31.4	45
280	102.1	75.2	71.1	33	50.7
300	94.4	84.2	78.8	34.7	57.3
320	88.0	87.8	82.6	36.8	63.6
340	83.2	91.1	83.7	39.5	68.7
360	79.4	92.2	83.1	42.8	71.9
380	75.5	92.1	81.8	46.7	73.6
400	71.5	91.1	80.0	51.3	74.2
420	68.1	89.5	78.0	55.9	74.1
440	64.9	87.6	76.1	60.3	73.5
460	61.9	85.6	74.2	63.9	72.5
480	59.5	83.4	72.3	66.2	71.3
500	57.1	81.2	70.4	67.7	70
520	55.1	79.0	68.7	68.3	68.6
540	53.1	76.9	67.0	68.3	67.2
560	51.3	74.9	65.5	67.7	65.8
580	49.5	73.0	64.0	66.9	64.4
600	47.9	71.1	62.5	65.8	63
620	46.5	69.3	61.2	64.6	61.6
640	45.1	67.6	60.0	63.3	60.3

CaO(0.0375mol)			
時間(s)	水 5.0mL	水 10mL	水 20mL
0	19.6	20.1	20.1
10			
20			
40	19.6	20.5	20.1
60	20.2	21	20.6
80	20.6	21.4	20.9
100	20.9	22	21.4
120	21.5	22.7	22
140	22.2	23.7	22.7
160	23.1	24.8	23.4
180	23.9	25.7	24.2
200	24.7	26.7	24.8
220	25.5	27.6	25.5
240	26.2	28.4	26.2

260	26.9	29.3	26.8
280	27.7	30.5	27.6
300	28.6	32.3	28.4
320	29.7	33.4	29.2
340	31	35.4	30.2
360	32.6	38	31.3
380	34.5	41.2	32.6
400	36.9	44.7	34
420	39.9	48.2	35.8
440	43.4	51.5	38
460	47	54.1	40.3
480	50.5	56	42.7
500	53.5	57.1	45
520	55.7	57.6	47
540	57.2	57.6	48.6
560	58	57.3	49.8
580	58.3	56.8	50.6
600	58.3	56.1	50.9
620	57.8	55.2	51
640	57.3	54.3	50.3
660	56.6	53.3	49.7
680	55.8		
700	55		
720	54.1		
740	53.3		

CaO(0.025mol)			
時間(s)	水 5.0mL	水 10mL	水 20mL
0	19.5	19.6	19.6
10			
20		21.8	
40	21.5	21.8	20.4
60	21.7	22	20.9
80	22	22.2	21.1
100	22.3	22.6	21.5
120	22.9	23.3	22
140	23.5	24	22.5
160	24.1	24.6	23

180	24.6	25.1	23.4
200	25.1	25.7	23.9
220	25.6	26.2	24.2
240	26.1	26.7	24.5
260	26.6	27.2	24.8
280	27.1	27.8	25.1
300	27.7	28.4	25.5
320	28.3	29	25.8
340	28.9	29.8	26.2
360	29.7	30.6	26.6
380	30.6	31.6	27
400	31.6	32.8	27.3
420	32.8	34.1	27.8
440	34.2	35.7	28.2
460	35.7	37.4	28.8
480	37.4	38.9	29.5
500	39	40.4	30.2
520	40.6	41.7	31.1
540	42	42.7	31.8
560	43.1	43.5	32.7
580	43.9	43.9	33.5
600	44.5	44.1	34.2
620	44.8	44.1	34.8
640	45	43.9	35.3
660	44.9	43.7	35.7
680	44.8	43.3	35.9
700	44.5	42.9	36.1
720	44.2	42.4	36.2
740	43.9	41.9	36.1
760	43.5	41.4	36
780	43.1	41	35.8
800	42.6	40.5	35.5
820			35.2
840			34.8
860			34.5
880			34.1
900			33.7

CaO(0.050mol)				
時間(s)	水 2.0mL	水 5.0mL	水 10mL	水 20mL
0	41.8	41.9	41.7	41.7
10	36.3	36.6		
20	36.1	36.3	34.7	34.7
40	37.5	38.4	36.5	37.4
60	41.3	42.6	40.2	40.1
80	47.1	48.8	45.5	42.8
100	58.7	60.1	53.9	47.2
120	84.6	85.8	69	54.3
140	99.8	100	90.2	64.5
160	102	101.9	98.7	77.8
180	102.2	101.9	99.8	88.3
200	101.5	100.4	99.1	95.3
220	100.2	98.0	96.8	97.4
240	98.3	95.9	94.4	96.3
260	96.2	93.8	91.8	94.2
280	94.1	91.8	89.4	92.1
300	91.8	89.7	87	90
320	89.6	87.7	83.5	87.2
340	87.3	85.8	81.9	84.7
360	85.1	83.9	80	82.4
380	83	82.1	77.9	80.3
400	81	80.3	76.0	78.2
420	78.9	78.6	74.1	76.2
440	76.9	77	72.5	74.2
460	75.2	75.4	70.8	72.5
480	73.3	73.9	69.2	70.7
500	71.5	72.3	67.8	69
520	69.8	71.0	65.8	67.4
540	68.5	69.6	64.8	66
560	67	68.3	63.4	64.5
580	65.7	67.0	62.0	63.2
600	64.4	65.7	60.7	61.8
620	63.2	64.5	59.5	60.6

640	61.9	63.4	58.4	59.4
-----	------	------	------	------

実験Ⅲ

CaO(0.050mol)							
時間(s)	水 5.0mL	水 10mL	水 14mL	水 15mL	水 20mL	水 20mL	水 25mL
0	21.2	20	20.9	21.8	20	19.8	20.1
10							
20	20			21.9	21.1		
30	21.6	21.3	22.8	23.4	22	21.5	22.3
40	22.1	21.7	23.7	23.9	22.3	21.9	23
50	22.5	21.9	24.1	24.1	22.4	22.3	23.3
60	22.7	22.1	24.4	24.3	22.6	22.6	23.5
70	23.1	22.4	24.6	24.6	22.8	22.9	23.7
80	23.3	22.7	24.6	25.5	23.1	23.3	24
90	23.7	23	24.9	25.3	23.3	23.8	24.2
100	24	23.4	25.3	25.7	23.7	24.3	24.5
110	24.5	23.8	25.7	26.2	24.1	24.9	24.9
120	25.1	24.3	26.1	26.7	24.5	25.7	25.4
130	25.8	24.9	26.6	27.3	24.9	26.5	25.9
140	26.5	25.6	27.2	28	25.4	27.3	26.4
150	27.2	26.2	27.8	28.6	25.9	28.2	26.8
160	28	26.9	28.3	29.3	26.4	29.1	27.3
170	28.8	27.6	28.9	29.9	26.8	30	27.8
180	29.5	28.3	29.6	30.6	27.3	31	28.3
190	30.4	29	30.2	31.4	27.8	32.1	28.8
200	31.3	29.8	30.8	32.2	28.3	33.3	29.4
210	32.2	30.5	31.5	33	28.9	34.7	29.9
220	33.4	31.4	32.2	34	29.5	36.1	30.6
230	34.6	32.3	33	35	30.1	37.9	31.2
240	36	33.4	33.8	36	30.7	40.1	31.8
250	37.6	34.5	34.9	37.2	31.4	42.9	32.5
260	39.4	35.9	36	38.7	32.1	46.3	33.4
270	41.6	37.5	37.2	40.4	32.9	50.4	34.2
280	44.2	39.3	38.6	42.4	33.7	55.2	35.1
290	47.5	41.8	40.2	44.6	34.6	60.2	36.1

300	51.7	44.5	42.1	47.2	35.7	65.7	37.1
310	56.7	47.9	44.3	50.5	36.8	70.3	38.3
320	62.6	52	46.9	54.1	38	74.6	39.6
330	68.5	56.7	50.2	58.3	39.4	78	41.1
340	73.3	61.5	54	62.7	41	80.6	42.7
350	76.1	66.4	58.2	67.1	42.8	82.6	44.6
360	80.8	71.1	63	71	44.7	83.8	46.7
370	84.9	75.3	67.9	74.5	47	84.4	49
380	88.1	78.5	72.3	77.3	47.5	84.7	51.7
390	90.5	81.2	76.1	79.5	52.3	84.7	54.5
400	92.2	82.9	79.2	81	55	84.4	57.5
410	93.4	84	81.4	82.1	57.8	84	60.4
420	94.2	84.6	82.7	82.7	60.5	83.4	63.3
430	94.5	84.7	83.4	83	63.1	82.8	66
440	94.6	84.6	83.7	82.9	65.5	82	68.3
450	94.5	84.3	83.7	82.7	67.5	81.3	70.3
460	94.1	83.7	83.4	82.3	69.2	80.5	72
470	93.5	83.2	82.9	81.8	70.6	79.7	73.3
480	92.8	82.5	82.4	81.1	71.8	78.9	74.3
490	92.1	81.8	81.8	80.6	72.8	78.1	75.1
500	91.3	81.1	81.1	80	73.4	77.3	75.6
510	90.5	80.3	80.4	79.3	73.9	76.5	75.9
520	89.6	79.6	79.6	78.5	74.2	75.7	76.1
530	88.7	78.9	78.9	77.8	74.3	74.9	76.1
540	87.9	78.2	78.1	77.1	74.4	74.2	76
550	87	77.5	77.3	76.4	74.3	73.4	75.8
560	86.2	76.8	76.7	75.6	74.1	72.6	75.6
570	85.3	76.2	75.9	74.9	73.8	72	75.2
580	84.5	75.5	75.2	74.2	73.5	71.2	74.8
590	83.7	74.9	74.5	73.5	73.2	70.6	74.4
600	82.8	74.3	73.8	72.8	72.8	69.8	73.9
610	81.8	73.6	73.1	72.1	72.3	69.2	73.4
620	81.3	73.1	71.7	71.5	71.8	68.5	72.9
630	80.5	72.4	71	70.8	71.4	67.4	72.4
640	79.8	71.9	70.4	70.2	70.9	67.2	71.8
650	79	71.4	69.8	69.6	70.4	66.6	71.2
660	78.3	70.8	69.2	68.9	69.8	66	70.6
670	77.7	70.3	68.6	68.4	69.3	65.4	70.1
680	76.9	69.8	68	67.8	68.7	64.8	69.5

690	76.3	69.3	67.4	67.1	68.3	64.2	68.9
700	75.6	68.8	66.9	66.6	67.7	63.7	68.4
710	75	68.3	66.3	66.1	67.2	63.1	67.8
720	74.4	67.9	65.8	65.5	66.6	62.6	67.2
730	73.7	67.5	65.3	65	66.1	62	66.7
740	73.2	67	64.8	64.5	65.6	61.5	66.1
750	72.6	66.6	64.3	64	65.1	61	65.6
760	72.1	66.2	63.8	63.5	64.6	60.6	65
770	71.6	65.8	63.3	63.1	64.1	60	64.4
780	71	65.4	62.9	62.6	63.6	59.6	63.9
790	70.5	65	62.4	62.2	63.1	59.1	63.4
800	70	64.6	62	61.7	62.6	58.7	62.9
810	69.4	64.3	61.5	61.3	62.1	58.2	62.4
820	68.9	63.9	61.1	60.9	61.6	57.8	61.9
830	68.4	63.6	60.7	60.5	61.2	57.4	61.4
840	68	63.2	60.3	60.1	60.7	57	60.9
850	67.5	62.9	59.9	59.7	60.2	56.6	60.4
860	67.1	62.6	59.5	59.3	59.8	56.2	60
870	66.6	62.3	59.1	58.9	59.4	55.8	59.6
880	66.2	62	58.8	58.6	58.9	55.4	59
890	65.7	61.6	58.4	58.2	58.5	55	58.6
900	65.3	61.3	58	57.9	58.1	54.6	58.2

CaO(0.050mol)	氷	氷	氷	氷	氷
時間(s)	水 10mL	水 10mL	水 12mL	水 12mL	水 12mL
0	20	20	20.3	20	20
10					
20					
30	22.5	23.8	23.4	22.9	23.2
40	22.9	24.2	24	24	23.8
50	23.2	24.5	24.4	24.5	24.1
60	23.5	24.8	24.7	24.8	24.4
70	23.7	25.2	25	25.2	24.6
80	24	25.4	25.3	25.6	24.8
90	24.3	25.8	25.6	26	25.1

100	24.8	26.2	26.1	26.5	25.4
110	25.2	26.8	26.5	27.2	25.7
120	25.7	27.3	27.1	27.9	26.2
130	26.3	28	27.7	28.6	26.8
140	26.9	28.5	28.2	29.3	27.3
150	27.5	29.1	28.8	30	27.8
160	28	29.7	29.3	30.7	28.3
170	28.6	30.3	29.9	31.5	28.9
180	29.2	31	30.4	32.3	29.5
190	29.9	31.7	31	33.1	30
200	30.5	32.4	31.6	34.1	30.6
210	31.3	33.1	32.3	35.1	31.2
220	32.1	34	33	36.3	31.9
230	32.9	34.9	33.8	37.6	32.6
240	33.9	35.9	34.7	39	33.3
250	35	37	35.7	40.8	34.2
260	36.1	38.3	36.7	42.8	35
270	37.5	39.9	38	45.2	36
280	38.9	41.2	39.4	48.2	37
290	39.9	43.1	40.9	51.6	38.1
300	42.9	45.2	42.7	56.8	39.4
310	45.5	47.5	44.8	60.5	40.8
320	48.3	50.4	47.2	65.5	42.4
330	51.6	53.6	49.9	70.4	44.2
340	55.5	57.4	53.3	74.7	46.3
350	59.7	61.4	57	78.6	48.6
360	63.9	65.4	61	81.8	51.4
370	67.8	69.4	65	83.7	54.3
380	71.6	73.1	68.9	85.2	57.8
390	74.9	76.4	72.6	86.1	61.1
400	77.8	79	76.6	86.4	64.7
410	79.8	81.2	78.1	86.6	68
420	81.4	82.7	80	86.4	70.9
430	82.5	83.8	81.5	85.9	73.5
440	83.2	84.5	82.3	85.5	75.7
450	83.6	84.9	82.8	84.9	77.4
460	83.7	85.1	82.9	84.3	78.8
470	83.7	85	82.9	83.6	79.8
480	83.4	84.8	82.7	82.9	80.5

490	83	84.5	82.3	82.2	81
500	82.6	84.2	81.8	81.5	81.2
510	82.1	83.7	81.3	80.8	81.2
520	81.5	83.2	80.7	80.1	81.1
530	80.9	82.7	80.2	79.4	80.8
540	80.3	82.2	79.5	78.8	80.5
550	79.7	81.6	78.9	78.1	80.1
560	79.1	81	78.2	77.4	79.6
570	78.5	80.5	77.6	76.7	79.1
580	77.8	79.9	77	76.1	78.6
590	77.2	79.3	76.3	75.5	78
600	76.6	78.8	75.6	74.9	77.5
610	76	78.2	75	74.3	76.9
620	75.4	77.6	74.4	73.7	76.3
630	74.9	77.1	73.7	73.1	75.8
640	74.3	76.6	73.1	72.5	75.2
650	73.7	76	72.6	72	74.6
660	73.2	75.3	72	71.5	74.1
670	72.6	75	71.5	70.9	73.5
680	72.1	74.5	70.8	70.5	72.9
690	71.7	74	70.3	69.9	72.4
700	71.1	73.5	69.8	69.4	71.9
710	70.7	73.1	69.3	69	71.3
720	70.2	72.6	68.8	68.5	70.9
730	69.3	72.2	68.3	68.1	70.3
740	69.3	71.7	67.8	67.7	69.8
750	68.8	71.3	67.4	67.2	69.3
760	68.4	70.9	66.9	66.8	68.8
770	68	70.5	66.5	66.4	68.4
780	67.7	70.1	66.1	66	67.9
790	67.3	69.7	65.6	65.6	67.4
800	66.8	69.3	65.2	65.2	67
810	66.4	68.9	64.8	64.8	66.6
820	66.1	68.6	64.4	64.5	66.2
830	65.7	68.2	64	64.1	65.8
840	65.4	67.9	63.7	63.8	65.4
850	65	67.5	63.3	63.4	65
860	64.7	67.2	63	63.1	64.6
870	64.4	66.9	62.7	62.7	64.2

880	64.1	66.6	62.3	62.4	63.9
890	63.8	66.2	62	62.1	63.5
900	63.4	65.9	61.7	61.8	63.2

CaO(0.050mol)	氷	氷	氷	氷	氷	氷	氷
時間(s)	13mL	13mL	13mL	14mL	14mL	14mL	15mL
0	20	20	20.1	20	20	20	20
10							
20	22.6					22.1	
30	23.7	23.5	23.3	22.5	22.9	23.4	21.9
40	24	24.1	24.4	22.9	23.4	23.9	22.5
50	24.3	24.5	24.8	23.2	23.7	24.2	22.7
60	24.6	24.8	25.2	23.4	23.9	24.5	22.9
70	24.9	25.1	25.5	23.7	24.2	24.8	23.1
80	25.2	25.4	25.9	23.9	24.5	25	23.3
90	25.5	25.8	26.4	24.1	24.8	25.4	23.5
100	25.9	26.2	26.9	24.5	25.2	25.8	23.7
110	26.4	26.8	27.5	24.8	25.6	26.2	24
120	26.9	27.4	28.1	25.2	26.1	26.8	24.3
130	27.5	28	28.8	25.7	26.7	27.4	24.7
140	28	28.5	29.5	26.1	27.2	28	25.2
150	28.5	29	30.2	26.6	27.7	28.6	25.7
160	29	29.6	30.9	27	28.3	29.1	26.2
170	29.6	30.2	31.6	27.5	28.8	29.6	26.7
180	30.1	30.8	32.4	27.9	29.4	30.2	27.2
190	30.7	31.4	33.2	28.3	30	30.8	27.7
200	31.2	32.2	34.2	28.9	30.6	31.4	28.2
210	31.9	32.9	35.2	29.2	31.2	32	28.7
220	32.6	33.7	36.2	29.8	31.9	32.8	29.2
230	33.3	34.6	37.5	30.3	32.6	33.6	29.8
240	34.1	35.6	38.9	30.8	33.5	34.4	30.3
250	34.9	36.6	40.4	31.4	34.3	35.3	30.9
260	35.9	37.7	42.4	32	35.2	36.3	31.6
270	37	39.1	44.5	32.7	36.2	37.5	32.2
280	38.3	40.6	47.1	33.5	37.3	38.7	33
290	39.6	42.3	50.1	34.3	38.5	40.1	33.8

300	41.2	44.4	53.8	35.2	39.9	41.7	34.7
310	43	46.7	58.2	36.2	41.4	43.5	35.6
320	45.1	49.6	62.6	37.3	43.2	45.7	36.7
330	47.8	52.8	67.4	38.5	45.2	48.1	37.9
340	50.4	56	71.7	39.9	47.6	51	39.1
350	53.7	59.8	75.7	41.5	50.4	54.3	40.6
360	57.4	63.5	79.1	43.2	53.5	57.9	42.3
370	61.2	67.2	81.6	45.3	56.7	61.8	44.3
380	65	70.4	83.4	47.7	60.2	65.9	46.6
390	68.8	73.3	84.6	50.3	63.7	69.4	49
400	72.4	75.6	85.4	53.2	67	72.8	51.9
410	74.8	77.5	85.7	56.3	69.9	75.5	55.3
420	77.2	78.8	85.7	59.4	72.5	77.8	58.6
430	78.8	79.7	85.5	62.4	74.5	79.8	62
440	79.9	80.2	85.1	65.3	76.1	80.6	65.6
450	80.6	80.5	84.7	67.8	77.5	81.4	68.7
460	81	80.5	84.1	70	78.5	81.7	71.6
470	81	80.4	83.5	71.9	79.1	81.8	73.9
480	80.8	80.1	82.9	73.2	79.5	81.7	75.7
490	80.5	79.7	82.2	74.3	79.6	81.4	77.1
500	80.1	79.3	81.6	75	79.5	81	78
510	79.6	78.8	80.9	75.5	79.4	80.5	78.6
520	79	78.3	80.2	75.8	79.3	79.9	78.9
530	78.4	77.7	79.5	75.9	78.7	79.3	78.8
540	77.8	77.1	78.8	75.8	78.3	78.7	78.7
550	77.1	76.5	78.1	75.7	77.8	78	78.3
560	76.5	75.8	77.4	75.3	77.3	77.3	77.9
570	75.8	75.2	76.8	75	76.7	76.7	77.4
580	75.2	74.6	76.1	74.6	76.2	76	76.8
590	74.6	74	75.5	74.1	75.5	75.3	76.1
600	73.9	73.4	74.8	73.7	74.9	74.6	75.5
610	73.1	72.8	74.2	73.1	74.3	73.9	74.8
620	72.4	72.3	73.6	72.6	73.7	73.3	74.1
630	72	71.6	73	72	73.1	72.6	73.4
640	71.4	71.1	72.4	71.5	72.5	72	72.7
650	70.8	70.5	71.8	70.9	72	71.4	72
660	70.2	70	71.3	70.4	71.4	70.8	71.3
670	69.6	69.4	70.8	69.8	70.8	70.1	70.6
680	69.1	68.9	70.2	69.2	70.2	69.6	70

690	68.5	68.4	69.7	68.7	69.6	69	69.3
700	68	67.9	69.2	68.2	69.1	68.4	68.7
710	67.5	67.4	68.7	67.6	68.5	67.8	68
720	67	66.9	68.2	67.1	68	67.3	67.4
730	66.5	66.5	67.7	66.5	67.4	66.8	66.7
740	66	66	67.3	66.1	66.9	66.3	66.2
750	65.5	65.6	66.8	65.5	66.4	65.8	65.6
760	65.1	65.1	66.4	65.1	65.9	66.3	65
770	64.6	64.7	66	64.6	65.5	64.8	64.4
780	64.2	64.3	65.5	64.1	65	64.3	63.9
790	63.8	63.9	65.1	63.7	64.5	63.9	63.4
800	63.4	63.4	64.7	63.2	64.1	63.4	62.9
810	63	63	64.3	62.8	63.6	63	62.3
820	62.6	62.7	63.9	62.3	63.2	62.6	61.8
830	62.2	62.3	63.5	62	62.8	62.1	61.4
840	61.8	61.9	63.2	61.5	62.4	61.7	60.9
850	61.5	61.6	62.8	61.1	62	61.4	60.4
860	61.1	61.2	62.5	60.7	61.6	61	60
870	60.7	60.9	62.1	60.3	61.2	60.6	59.6
880	60.4	60.6	61.8	60	60.9	60.3	59.1
890	60.1	60.2	61.5	59.6	60.5	59.9	58.7
900	59.7	59.9	61.1	59.2	60.2	59.6	58.3

CaO(0.025mol)			
時間(s)	5.0mL	10mL	20mL
0	19.6	23.6	22
10			
20			
30		23.6	22.9
40	20.7	24	23.5
50	21.1	24.2	23.8
60	21.3	24.4	24
70	21.5	24.6	24.2
80	21.7	24.8	24.4
90	21.8	25	24.6
100	22	25.3	24.8
110	22.2	25.6	25.1

120	22.5	26	25.3
130	22.7	26.3	25.6
140	23	26.6	25.9
150	23.4	26.9	26.1
160	23.7	27.2	26.4
170	24.1	27.5	26.7
180	24.4	27.8	26.9
190	24.6	28.1	27.2
200	24.9	28.4	27.4
210	25.2	28.7	27.6
220	25.5	29	27.9
230	25.8	29.3	28.1
240	26	29.6	28.4
250	26.3	29.9	28.6
260	26.6	30.2	28.8
270	26.9	30.5	29.1
280	27.2	30.8	29.4
290	27.5	31.2	29.6
300	27.8	31.6	29.9
310	28.2	31.9	30.2
320	28.6	32.4	30.5
330	29	32.9	30.8
340	29.5	33.3	31.1
350	29.9	33.9	31.4
360	30.4	34.4	31.7
370	30.9	35	32.1
380	31.5	35.6	32.5
390	32.2	36.2	32.9
400	32.9	36.9	33.3
410	33.6	37.6	33.8
420	34.4	38.4	34.2
430	35.3	39.2	34.6
440	36.2	40.1	35.1
450	37.2	40.9	35.6
460	38.3	41.8	36.1
470	39.3	42.6	36.6
480	40.4	43.4	37.2
490	41.4	44.1	37.8
500	42.5	44.8	38.3

510	43.5	45.5	38.8
520	44.5	46	39.3
530	45.4	46.6	39.8
540	46.2	47	40.2
550	46.9	47.5	40.6
560	47.5	47.7	41
570	48	47.9	41.3
580	48.5	48.1	41.6
590	48.9	48.3	41.9
600	49.2	48.3	42
610	49.4	48.4	42.2
620	49.6	48.4	42.3
630	49.7	48.4	42.4
640	49.8	48.3	42.4
650	49.8	48.2	42.4
660	49.8	48.2	42.5
670	49.8	48	42.4
680	49.7	47.9	42.3
690	49.6	47.8	42.2
700	49.5	47.6	42.1
710	49.4	47.5	42
720	49.3	47.3	41.9
730	49.1	47.2	41.7
740	49	47	41.6
750	48.8	46.8	41.4
760	48.7	46.6	41.2
770	48.5	46.4	41
780	48.3	46.2	40.8
790	48.1	46	40.6
800	48	45.8	40.4
810	47.8	45.7	40.3
820	47.6	45.5	40
830	47.5	45.3	39.9
840	47.3	45.2	39.7
850	47.1	45	39.5
860	46.9	44.8	39.3
870	46.7	44.6	39.1
880	46.6	44.5	38.9
890	46.4	44.3	38.7

900	46.3	44.1	38.6
-----	------	------	------

CaO(0.025mol)	氷	氷	氷	氷	氷	氷	氷
時間(s)	7.0mL	7.0mL	7.0mL	10mL	14mL	14mL	14mL
0	20	20	20	20	20	20	20
10							
20							
30	22.7	22.9	23.1	22.1	23.1	23	22.6
40		23.2	23.5	22.5	23.5	23.6	22.9
50	23.3	23.4	23.8	22.7	23.8	23.9	23.1
60	23.4	23.6	24	22.9	24	24.1	23.3
70	23.5	23.7	24.1	23	24.3	24.3	23.5
80	23.7	23.8	24.3	23.2	24.6	24.5	23.7
90	23.9	24	24.5	23.3	24.9	24.6	23.9
100	24.1	24.1	24.8	23.5	25.2	24.8	24.1
110	24.3	24.3	25.1	23.7	25.4	25.1	24.4
120	24.6	24.5	25.4	24	25.7	25.3	24.7
130	24.9	24.7	25.7	24.2	26	25.6	25
140	25.1	25	25.9	24.5	26.2	25.8	25.2
150	25.4	25.3	26.2	24.8	26.5	26.1	25.5
160	25.6	25.5	26.5	25	26.7	26.3	25.8
170	25.8	25.8	26.7	25.2	26.9	26.5	26
180	26.1	26.1	27	25.5	27.2	26.7	26.3
190	26.3	26.3	27.2	25.7	27.4	27	26.5
200	26.6	26.6	27.5	25.9	27.7	27.2	26.8
210	26.8	26.8	27.8	26.1	27.9	27.4	27
220	27.1	27.1	28	26.3	28.2	27.6	27.3
230	27.4	27.3	28.3	26.5	28.4	27.8	27.5
240	27.6	27.6	28.6	26.7	28.7	28	27.7
250	27.9	27.9	28.9	26.9	28.9	28.3	28
260	28.2	28.2	29.2	27.1	29.2	28.5	28.2
270	28.4	28.5	29.5	27.3	29.4	28.7	28.5
280	28.7	28.8	29.9	27.5	29.7	28.8	28.8
290	29	29	30.2	27.7	30	29.1	29.1
300	29.3	29.4	30.6	28	30.3	29.4	29.4
310	29.7	29.7	31	28.3	30.5	29.7	29.7

320	30	30	31.4	28.5	30.8	29.9	30.1
330	30.4	30.4	31.8	28.8	31.2	30.2	30.4
340	30.8	30.7	32.2	29.1	31.4	30.5	30.8
350	31.1	31.1	32.7	29.4	31.7	30.7	31.2
360	31.5	31.5	33.1	29.7	32	31.1	31.5
370	31.9	31.9	33.6	30	32.3	31.4	31.9
380	32.3	32.3	34.2	30.3	32.6	31.7	32.4
390	32.8	32.7	34.8	30.7	33	32	32.8
400	33.2	33.1	35.4	31.1	33.3	32.3	33.3
410	33.8	33.6	36	31.5	33.7	32.7	33.9
420	34.3	34	36.7	31.8	34.1	33.1	34.4
430	34.9	34.6	37.4	32.3	34.5	33.5	35
440	35.5	35.1	38.3	32.7	34.9	34	35.7
450	36.1	35.6	39	33.2	35.4	34.4	36.4
460	36.7	36.2	39.9	33.7	35.8	34.8	37
470	37.4	36.9	40.8	34.2	36.2	35.2	37.8
480	38.2	37.5	41.7	34.8	36.7	35.7	38.4
490	39	38.2	42.7	35.3	37.1	36.2	39.1
500	39.8	38.9	43.8	35.8	37.6	36.7	39.8
510	40.6	39.6	44.6	36.4	38.1	37.2	40.5
520	41.5	40.4	45.6	36.9	38.6	37.7	41.1
530	42.4	41.2	46.5	37.6	39.1	38.2	41.7
540	43.2	42	47.3	38.2	39.5	38.7	42.2
550	44.1	42.9	48.1	38.9	40	39.2	42.7
560	44.9	43.7	48.7	39.5	40.4	39.8	43.1
570	45.7	44.5	49.4	40.2	40.8	40.2	43.5
580	46.4	45.4	49.9	40.8	41.2	40.6	43.9
590	47.1	46.1	50.4	41.3	41.6	41	44.1
600	47.8	46.8	50.8	41.9	41.8	41.4	44.4
610	48.4	47.6	51.1	42.4	42.2	41.7	44.5
620	48.9	48.2	51.4	42.8	42.4	42	44.7
630	49.4	48.7	51.6	43.3	42.7	42.3	44.7
640	49.8	49.3	51.8	43.6	42.9	42.6	44.8
650	50.1	49.7	51.9	43.9	43.1	42.7	44.8
660	50.4	50.2	52	44.2	43.2	42.9	44.8
670	50.6	50.5	52.1	44.4	43.3	43	44.8
680	50.8	50.9	52.1	44.6	43.4	43.1	44.7
690	50.9	51.1	52.1	44.8	43.4	43.2	44.6
700	51	51.3	52.1	44.9	43.4	43.2	44.5

710	51.1	51.5	52	45	43.4	43.2	44.4
720	51.2	51.6	52	45.1	43.4	43.2	44.3
730	51.2	51.7	51.9	45.1	43.3	43.2	44.1
740	51.2	51.8	51.8	45.1	43.3	43.2	43.9
750	51.1	51.9	51.7	45.1	43.2	43.1	43.8
760	51	51.9	51.6	45.1	43.1	43	43.6
770	51	51.9	51.4	45.1	43	42.9	43.5
780	51	51.8	51.3	45	42.9	42.8	43.3
790	50.9	51.8	51.2	44.9	42.8	42.7	43.1
800	50.8	51.7	51.1	44.9	42.7	42.6	42.9
810	50.7	51.6	50.9	44.8	42.6	42.5	42.8
820	50.6	51.6	50.8	44.7	42.4	42.4	42.6
830	50.5	51.5	50.6	44.6	42.3	42.3	42.4
840	50.4	51.4	50.5	44.4	42.2	42.1	42.2
850	50.3	51.3	50.3	44.3	42	42	42.1
860	50.1	51.2	50.2	44.2	41.9	41.9	41.8
870	50	51	50	44.1	41.7	41.7	41.7
880	49.9	50.9	49.9	43.9	41.6	41.6	41.5
890	49.7	50.8	49.8	43.8	41.4	41.4	41.3
900	49.6	50.6	49.6	43.7	41.3	41.3	41.1

CaO(0.025mol)	氷	氷	氷	氷	氷	氷
時間(s)	15mL	15mL	15mL	16mL	16mL	16mL
0	20	20	20	20	20	20
10						
20						
30	22.5	22.2	21.7	22.7	22.4	22.2
40	22.9	23.1	23.2	23	23	22.7
50	23.2	23.4	23.7	23.2	23.2	23
60	23.4	23.6	24	23.4	23.4	23.2
70	23.5	23.8	24.3	23.6	23.6	23.4
80	23.7	24	24.6	23.8	23.8	23.6
90	23.9	24.2	24.9	24	24	23.8
100	24.1	24.4	25.2	24.2	24.2	24
110	24.3	24.7	25.4	24.5	24.5	24.3
120	24.6	24.9	25.7	24.7	24.7	24.6
130	24.9	25.2	25.9	25	25	24.8

140	25.2	25.5	26.1	25.3	25.3	25.1
150	25.5	25.8	26.3	25.5	25.6	25.3
160	25.8	26	26.6	25.8	25.8	25.6
170	26	26.3	26.8	26	26	25.8
180	26.3	26.5	27.1	26.2	26.3	26.1
190	26.5	26.7	27.3	26.5	26.5	26.3
200	26.8	26.9	27.5	26.7	26.8	26.6
210	27	27.1	27.8	26.9	27	26.8
220	27.3	27.3	28	27.1	27.3	27
230	27.5	27.5	28.3	27.4	27.5	27.2
240	27.8	27.8	28.5	27.6	27.8	27.5
250	28	28	28.7	27.8	28	27.7
260	28.3	28.2	29	28	28.2	27.9
270	28.6	28.5	29.2	28.3	28.5	28.1
280	28.8	28.7	29.4	28.5	28.8	28.4
290	29.1	29	29.7	28.8	29.1	28.6
300	29.5	29.2	29.9	29	29.4	28.7
310	29.7	29.5	30.2	29.3	29.7	29.1
320	30	29.8	30.4	29.6	30	29.3
330	30.3	30	30.7	29.8	30.3	29.7
340	30.6	30.3	31	30.1	30.7	29.9
350	31	30.7	31.2	30.4	31	30.2
360	31.3	31	31.5	30.8	31.4	30.4
370	31.8	31.4	31.8	31.2	31.8	30.7
380	32.2	31.7	32.1	31.5	32.2	31.1
390	32.6	32	32.4	31.8	32.7	31.4
400	33	32.5	32.7	32.2	33.2	31.8
410	33.5	32.9	33	32.6	33.7	32.3
420	34	33.4	33.3	33	34.2	32.7
430	34.6	33.8	33.7	33.4	34.7	33.1
440	35.1	34.3	34	33.8	35.3	33.5
450	35.6	34.8	34.4	34.3	36	34
460	36.2	35.3	34.8	34.8	36.6	34.5
470	36.9	35.9	35.2	35.3	37.2	35
480	37.5	36.5	35.6	35.9	37.8	35.5
490	38.2	37.1	36	36.4	38.6	36.1
500	38.8	37.7	36.4	37	39.3	36.7
510	39.4	38.2	36.7	37.6	40	37.3
520	40	38.9	37.1	38.2	40.6	37.9

530	40.6	39.5	37.5	38.8	41.2	38.5
540	41.1	40.1	37.9	39.4	41.7	39.2
550	41.6	40.6	38.2	40	42.3	39.7
560	42	41.1	38.6	40.5	42.7	40.2
570	42.4	41.5	38.9	40.9	43.1	40.8
580	42.8	42	39.3	41.4	43.4	41.2
590	43.1	42.3	39.6	41.8	43.7	41.7
600	43.3	42.7	39.9	42.3	43.9	42.1
610	43.4	42.9	40.2	42.6	44.1	42.5
620	43.6	43.2	40.5	42.9	44.2	42.8
630	43.7	43.4	40.7	43.2	44.3	43.1
640	43.8	43.5	40.9	43.4	44.3	43.3
650	43.8	43.7	41.1	43.6	44.3	43.5
660	43.8	43.7	41.3	43.8	44.3	43.6
670	43.8	43.8	41.4	43.9	44.2	43.8
680	43.7	43.9	41.5	43.9	44.1	43.8
690	43.6	43.8	41.6	44	44	43.9
700	43.5	43.8	41.7	44	43.9	43.9
710	43.4	43.8	41.8	44	43.7	43.9
720	43.3	43.7	41.8	44	43.6	43.8
730	43.2	43.6	41.8	43.9	43.4	43.8
740	43.1	43.5	41.8	43.8	43.3	43.7
750	42.9	43.4	41.8	43.7	43.1	43.6
760	42.8	43.3	41.8	43.6	42.9	43.4
770	42.6	43.2	41.7	43.5	42.7	43.3
780	42.4	43.1	41.7	43.3	42.5	43.1
790	42.3	43	41.6	43.2	42.4	43
800	42.1	42.8	41.6	43.1	42.2	42.9
810	41.9	42.7	41.5	42.9	42	42.7
820	41.7	42.5	41.4	42.7	41.8	42.6
830	41.6	42.4	41.3	42.6	41.6	42.4
840	41.4	42.2	41.2	42.5	41.4	42.2
850	41.2	42	41.1	42.3	41.2	42.1
860	41	41.9	40.9	42.1	41	41.9
870	40.9	41.8	40.8	41.9	40.9	41.7
880	40.7	41.6	40.7	41.8	40.7	41.5
890	40.6	41.4	40.6	41.6	40.5	41.4
900	40.4	41.3	40.5	41.4	40.3	41.2

CaO(0.025mol)	氷	氷	氷	氷	氷	氷
時間(s)	17mL	17mL	17mL	20mL	20mL	20mL
0	20	20	20	20	20	20
10						
20						
30	22.1	22.4	22.9	22	22	22.7
40	22.8	23	23.2	22.3	22.4	23.1
50	23	23.3	23.4	22.5	22.7	23.3
60	23.2	23.5	23.6	22.7	22.8	23.5
70	23.4	23.6	23.7	22.9	23	23.6
80	23.6	23.8	23.9	23	23.2	23.8
90	23.8	24	24.1	23.2	23.4	24
100	24	24.2	24.2	23.4	23.6	24.2
110	24.2	24.4	24.5	23.6	23.8	24.5
120	24.4	24.7	24.7	23.8	24	24.7
130	24.6	25	24.9	24	24.3	25
140	24.8	25.2	25.2	24.3	24.5	25.3
150	25	25.5	25.4	24.5	24.8	25.6
160	25.3	25.7	25.6	24.8	25	25.8
170	25.5	26	25.8	25	25.2	26.1
180	25.7	26.2	26.1	25.2	25.4	26.3
190	25.8	26.4	26.3	25.4	25.7	26.5
200	26	26.6	26.5	25.6	25.9	26.8
210	26.2	26.8	26.7	25.7	26	27
220	26.4	27.1	26.9	25.9	26.3	27.3
230	26.6	27.3	27.1	26.1	26.4	27.5
240	26.8	27.5	27.3	26.3	26.7	27.7
250	27	27.7	27.5	26.5	26.9	27.9
260	27.2	27.9	27.7	26.7	27.1	28.1
270	27.5	28.1	27.9	26.9	27.3	28.4
280	27.6	28.3	28.1	27.1	27.5	28.6
290	27.8	28.5	28.4	27.3	27.7	28.9
300	28.1	28.8	28.6	27.5	28	29.2
310	28.3	29	28.8	27.6	28.2	29.4

320	28.5	29.2	29.1	27.9	28.4	29.7
330	28.7	29.5	29.3	28.1	28.7	29.7
340	28.9	29.8	29.6	28.3	28.9	30.3
350	29.2	30.1	29.8	28.5	29.2	30.5
360	29.5	30.5	30	28.7	29.4	30.8
370	29.8	30.7	30.3	29	29.7	31.1
380	30.1	31	30.7	29.2	30	31.4
390	30.4	31.3	30.9	29.5	30.3	31.8
400	30.6	31.7	31.2	29.7	30.6	32.1
410	30.9	32	31.5	30	30.8	32.5
420	31.2	32.4	31.9	30.3	31.1	32.9
430	31.5	32.8	32.3	30.6	31.5	33.2
440	31.8	33.2	32.6	30.9	31.8	33.6
450	32.2	33.6	33	31.1	32.1	34.1
460	32.6	34	33.4	31.6	32.5	34.5
470	33	34.4	33.8	32	32.9	34.9
480	33.4	34.9	34.2	32.3	33.3	35.4
490	33.8	35.4	34.6	32.7	33.8	35.9
500	34.2	35.9	35	33.1	34.1	36.4
510	34.7	36.4	35.5	33.5	34.6	36.9
520	35.2	37	36	33.9	35	37.4
530	35.7	37.5	36.5	34.3	35.4	37.9
540	36.1	38	37	34.7	35.9	38.4
550	36.6	38.6	37.5	35.1	36.4	38.9
560	37.1	39.1	38	35.6	36.9	39.4
570	37.6	39.5	38.4	36.1	37.4	39.8
580	38.1	40	38.8	36.5	37.8	40.2
590	38.5	40.4	39.2	36.9	38.3	40.6
600	38.9	40.9	39.6	37.4	38.6	41
610	39.3	41.2	40	37.8	39.1	41.4
620	39.6	41.5	40.3	38.2	39.4	41.7
630	39.9	41.8	40.5	38.5	39.8	41.9
640	40.3	42.1	40.8	38.8	40.2	42.1
650	40.5	42.3	41	39.2	40.4	42.3
660	40.7	42.4	41.2	39.5	40.6	42.4
670	40.9	42.6	41.4	39.8	40.8	42.5
680	41.1	42.7	41.5	40	41	42.6
690	41.2	42.8	41.5	40.2	41.1	42.7
700	41.3	42.8	41.6	40.3	41.2	42.6

710	41.4	42.9	41.7	40.4	41.3	42.6
720	41.5	42.9	41.7	40.5	41.4	42.5
730	41.5	42.8	41.7	40.6	41.4	42.5
740	41.5	42.8	41.6	40.6	41.4	42.4
750	41.4	42.7	41.6	40.7	41.4	42.3
760	41.4	42.6	41.5	40.7	41.3	42.2
770	41.4	42.5	41.4	40.6	41.3	42.1
780	41.3	42.4	41.3	40.6	41.2	42
790	41.2	42.3	41.2	40.5	41.1	41.8
800	41.2	42.2	41.1	40.5	41	41.7
810	41	42	41	40.4	40.8	41.5
820	40.9	41.8	40.9	40.3	40.7	41.3
830	40.8	41.7	40.8	40.1	40.6	41.1
840	40.7	41.5	40.6	40	40.5	41
850	40.6	41.4	40.5	39.9	40.3	40.8
860	40.4	41.2	40.3	39.8	40.2	40.6
870	40.3	41.1	40.2	39.6	40	40.5
880	40.2	40.9	40	39.5	39.9	40.3
890	40	40.7	39.9	39.3	39.7	40.1
900	39.9	40.6	39.7	39.2	39.5	39.9

食べ物の力で墨汁を落とす

1. 緒言

墨汁は一度服につくとセッケンだけではなかなか落ちない。そこで私たちは食べ物を使って、よりきれいに墨汁を落とす方法を考えた。

墨汁は黒色色素の煤を、タンパク質であるにかわが覆っており、墨汁が普通のセッケンだけでは落としにくい原因は、この構造にあることがわかった。このにかわを分解するために、私たちはタンパク質分解酵素を含む食べ物を使用することとした。

先行研究では、タンパク質分解酵素を含むリンゴ、ヨーグルト、マヨネーズ、酢を用いていたが、私たちはタンパク質分解酵素であるアクチニジンにより多く含むキウイを用いた。

2. 実験手順

表 1 に使用した薬品・器具等を示す。

表 1 使用した薬品・器具等

薬品	メーカー
精製パーム油	山桂産業株式会社
特級 水酸化ナトリウム 98% 0.7mm 粒状	キンダ化学株式会社
I 級 エタノール 95%	キンダ化学株式会社
特級 塩化ナトリウム(試薬) 99.5%	マナック株式会社
I 級 硫酸アンモニウム 98%	三栄化工株式会社
ポリビニルピロリドン K-30	キンダ化学株式会社
墨汁	株式会社呉竹
ガーゼ	株式会社アダチ
卓上小型遠心機	ケニス株式会社

実験1 キウイ中に含まれるアクチニジン量の比較

皮を剥いたキウイを緑色と白色の部分に分けて、湯で溶いたゼラチンに加え、固まるまでの時間を比較する。ゼラチンはタンパク質を原料とするため、タンパク質分解酵素により固まりにくくなる。この性質を利用して、キウイの緑色の部分と白色の部分に含まれるアクチニジンの量を比較する。

実験2 キウイの緑色の部分と白色の部分の落ち方の比較

- 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。この溶液を 80℃まで加熱し、そこに飽和食塩水 20mL を加え、浮いてきた固形物(セッケン)をガーゼでろ過し乾燥させる。
- ② 綿 100%のガーゼを墨汁に浸して、紙の上に置き、ドライヤーの温風で乾燥させる。
- ③ ②のガーゼに同量の皮を剥いて緑色と白色の部分に分けたキウイを 2 分間つけて、水道水で洗い流す。2 分間セッケン水につけたあと洗い流し、その後セッケン水を変えてもう一度 1 分間つけて黒い水が出なくなるまでもみ洗いをする。そのガーゼをドライヤーの温風で乾燥させる。乾かしたガーゼの黒さを比較する。

実験3 アクチニジンの抽出・キウイの緑色の部分との落ち方の比較

- ① キウイの質量の 2 倍量のリン酸緩衝液に、溶液が飽和状態になるまでポリビニルピロリドンを入れ、ホモジナイザーで 20 分間 2800bpm の回転数で遠心分離を行う。ここで得られた上澄みを飽和した硫酸アンモニウム溶液に入れ、もう一度 30 分間 2800bpm の回転数で遠心分離を行う。ここで得られた沈殿をリン酸緩衝液を用いて、一晚透析する。この沈殿をアクチニンとする。
- ② ①で抽出したアクチニンを 0.013g 用意する。文献によると緑色の部分には 100g あたり 0.43g のアクチニンを含んでいるので、比例計算より、3.05g のキウイの緑色の部分を用意する。これらを実験2③と同じ手順で墨汁を落とし、乾かしたガーゼの黒さを比較する。

3. 実験結果

実験1 キウイ中に含まれるアクチニン量の比較

緑色の部分を加えたゼラチンは流動性がみられたが、白色の部分を加えたゼラチンは完全に固まった。

実験2 キウイの緑色の部分と白色の部分の落ち方の比較

緑色の部分につけた方が、墨汁がよく落ちた。(図 1、図 2)



図 1 緑色の部分につけたガーゼ



図 2 白色の部分につけたガーゼ

実験3 アクチニジンの抽出・キウイの緑色の部分との落ち方の比較

抽出したアクチニンを使ったものの方がよく落ちた。(図 3、図 4)

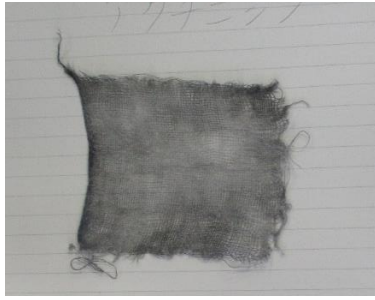


図 3 アクチニジンにつけたガーゼ

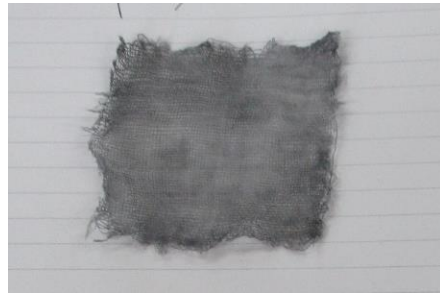


図 4 緑色の部分につけたガーゼ

4. 考察

実験1 キウイ中に含まれるアクチニジン量の比較

ゼラチンの固まり具合から緑色の部分のほうが、多くのアクチニジンを含んでいることがわかる。

実験2 キウイの緑色の部分と白色の部分の落ち方の比較

アクチニジン量が多い緑色の部分につけた方がよく落ちるので、墨汁を落とすのにアクチニジンが効果を発揮することがわかった。

実験3 アクチニジンの抽出・キウイの緑色の部分との落ち方の比較

計算上同じ量のアクチニジンを含むと考えられるキウイの緑色の部分を用いたにもかかわらず、抽出したアクチニジンを用いたときの方がよく落ちたのは、キウイの成分中にアクチニジンのタンパク質分解効果を阻害する物質が含まれるからではないかと考えた。

5. 結論

キウイを使うことでセッケンのみを使って洗ったときよりも墨汁を落とすことができた。また、キウイから抽出したアクチニジンを使えば、キウイをそのまま使用するよりも墨汁を落とせた。

今後の展望は、抽出したアクチニジンの働きやすい温度や pH の値を調べ、より墨汁を落とすことができる条件を見つけ出したい。また、今回はガーゼのみを使用したけど、他の素材でも実験していきたい。

6. 参考文献

川嶋和子, 田中喜久, 青柳光昭, 1994

キウイフルーツタンパク質分解酵素の簡易抽出法と鶏肉軟化への利用

愛知県農業総合試験場研究報告, 26 号, p288, 愛知県農業総合試験場

<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010531038.pdf>

墨運堂 にかわについて

boku-undo.co.jp

西山一郎, 2007, アクチニジンの果実内における分布

kiwi.main.jp/actinidin-0.html

鉄イオンを含むガラスの色

1. 緒言

ガラスとは、二酸化ケイ素などのケイ酸塩を主成分とする固く透明な物質である。一般に、有色の金属イオンを添加したガラスには色がつく。先行研究によると、クロム(Ⅲ)イオンを還元することにより様々な色のガラスが作製できる。今回研究に用いた金属イオンである鉄イオンには主に 2 価と 3 価のものがある。鉄イオンが含まれている水溶液には色がつき、その色は 2 価では淡緑色、3 価では黄褐色と異なるため、鉄イオンを含むガラスにおいて 2 価と 3 価ではそれぞれの水溶液と対応する色を示すと考えた。また、その過程で、ガラスの材料として用いる四ほう酸ナトリウム十水和物もガラスの色に関係していると考え、その影響も調べた。

2. 実験手順

ガラスを作製した際に使用する器具を以下に記す。

薬さじ・乳鉢・乳棒・蒸発皿・マッフル・ガスバーナー・耐熱版・鉄製スタンド・トンクス・

反射板・銅板・電子天秤 2 種類 (AND 株式会社, HR-200) (島津製作所, BL-620S)

ガラスを作製した手順は以下の通りである。

- ・ 試料を乳鉢で均一に混ぜ合わせた後、蒸発皿に平坦に入れる。
- ・ 蒸発皿をマッフル内に設置し、ガスバーナーを用いて加熱する。弱火で 5 分間加熱した後、最も温度が高い部分である外炎の内側が蒸発皿に当たるように炎を調整し加熱する。
- ・ 加熱中は適宜反射板でマッフル内部の様子を観察し、試薬の溶解具合を確認する。
- ・ 蒸発皿をトンクスで取り出し、生成したガラスを銅板の上に流しだして放冷させる

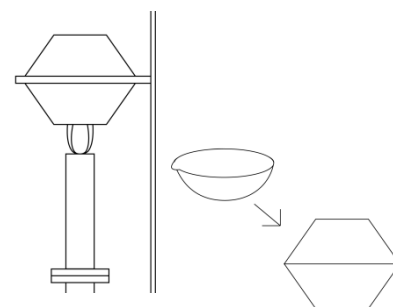


図. 実験装置

使用した試薬は表 1 の通りである。基礎材料は本研究で作製した鉛ガラスに共通する材料のことである。

表 1. 使用した試薬

基礎材料	添加物
二酸化けい素 SiO_2 , 一級 (キシダ化学株式会社)	酸化第一鉄 FeO (寺田薬泉工業株式会社)
酸化鉛(Ⅱ) PbO , 一級 (キシダ化学株式会社)	四三酸化鉄 Fe_3O_4 (キシダ化学株式会社)
四ほう酸ナトリウム十水和物 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 一級 (キシダ化学株式会社)	酸化第二鉄 Fe_2O_3 (キシダ化学株式会社)
	活性炭素, 粒状(粉碎) (キシダ化学株式会社)

実験時の条件は表 2 の通りである。酸化鉄はすべての実験において 0.010g 用いた。また、基礎材料の量は実験 2～9 では一定で、モル比は二酸化けい素：酸化鉛(Ⅱ)：四ほう酸ナトリウム十水和物 = 1 : 9 : 30 である。実験 1 以外はすべて鉛ガラスである。

- ・ 実験 1～2 は酸化鉛がガラスの色に影響を与えていないか確認するために行った。
- ・ 実験 3～5 では、異なる鉄イオンを含む酸化鉄を用いて作製したガラスを比較することで、鉄イオンの価数がガラスの色に与える影響を調べた。
- ・ 実験 6～9 では、還元剤である活性炭を用いて鉄イオンを還元することを試みた。
- ・ 実験 10～20 では四ほう酸ナトリウム十水和物がガラスの色に与える影響を調べた。

表 2. 試薬の種類と量

実験群	実験番号	酸化鉄の種類 (鉄イオンの価数)	二酸化けい素 (g)	酸化鉛 (g)	四ほう酸ナトリウム十水和物(g)	活性炭 (g)
1	1		1.00			
	2		0.35	2.00	2.00	
	3	FeO(2)	0.35	2.00	2.00	
	4	Fe ₃ O ₄ (2,3)	0.35	2.00	2.00	
	5	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	2.00	
2	6	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	2.00	0.1
	7	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	2.00	0.01
	8	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	2.00	0.005
	9	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	2.00	0.0025
3	10	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	3.00	
	11	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	1.00	
	12	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	0.75	
	13	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	0.50	
	14	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	0.25	
	15	Fe ₂ O ₃ (3)	0.35	2.00	0.125	
	16	FeO(2)	0.35	2.00	0.75	

	17	FeO(2)	0.35	2.00	0.50	
	18	FeO(2)	0.35	2.00	0.25	
	19	Fe ₃ O ₄ (2,3)	0.35	2.00	0.75	
	20	Fe ₃ O ₄ (2,3)	0.35	2.00	0.50	

3. 実験結果

表 3. 実験群 1: 結果

実験番号	1	2	3	4	5-①	5-②
酸化鉄の種類 (鉄イオンの価数)			FeO(2)	Fe ₃ O ₄ (2,3)	Fe ₂ O ₃ (3)	Fe ₂ O ₃ (3)
結果	ガラス生成なし					
ガラスの色		無色	緑色	黄色	黄色	淡い黄色

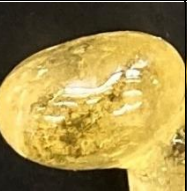
- ・ 実験 1 では試薬が融けず、すべて粉末のまま残った。
- ・ 実験 4 と 5-① の生成物を比較すると、実験 5-① ではより白みがかった。
- ・ 実験 5-① と 5-② では同じ試料を使用したにもかかわらず着色具合に差異が出た。

表 4. 実験群 2: 結果

実験番号	6	7	8-①	8-②	9
活性炭素 (g)	0.1	0.01	0.005	0.005	0.0025
結果					
ガラスの色		黄緑色	緑色		

- ・ 実験 6 ではガラスは生成されず金属が析出した。この金属は銀白色であり、磁石を近づけて調べた結果、磁性を示さなかった。
- ・ 実験 7 ではガラスと金属の両方が生成された。この金属は銀白色であり、磁石を近づけて調べた結果、磁性を示さなかった。
- ・ 実験 8-② と 9 では試料が塊となったもののガラスにはならなかった。

表 5. 実験群 3:Fe₂O₃(3) 結果

実験番号	10	11	12	13	14	15
四ほう酸ナトリウム十水和物 (g)	3.00	1.00	0.75	0.50	0.25	0.125
結果						

- ・ 実験 10 では試料が他の実験でのガラスが生成される前段階と同じような状態（隆起した状態）で試料が塊になり、ガラスは得られなかった。
- ・ 実験 10～14 では黄色のガラスが得られた。含まれる四ほう酸ナトリウム十水和物が少ないほど透明度は高くなった。
- ・ 実験 15 では試薬が融けず、すべて粉末のまま残った。

表 6. 実験群 3:FeO(2) 結果

実験番号	16	17	18
四ほう酸ナトリウム十水和物 (g)	0.75	0.50	0.25
結果			

- ・ 同じく FeO を用いた実験 3 とは異なり、実験 16～18 では褐色のガラスが得られた。また、試料に含まれる四ほう酸ナトリウム十水和物が少ないほど明るい色となっている。

表 7. 実験群 3:Fe₃O₄(2,3) 結果

実験番号	19	20
四ほう酸ナトリウム十水和物 (g)	0.75	0.50
結果		

- ・ 実験 19 では黄褐色、実験 20 では黄色のガラスが得られた。

4. 考察

- ・実験 1～2: 酸化鉛(Ⅱ)の影響について

実験 1 で生成物が得られなかったことから比較はできなかったが、実験 2 で得られた鉛ガラスが無色であったことから、酸化鉛(Ⅱ)がガラスの色に与える影響は無視できると判断した。

- ・実験 3～5: 価数の影響について

鉄(Ⅱ)イオンを含むガラスは緑色、鉄(Ⅲ)イオンを含むガラスは黄色となったため、鉄イオンを含むガラスにおいて 2 価と 3 価ではそれぞれの水溶液と対応する色を示すと考察する。

- ・実験 6～9: 活性炭について

実験 6～7 で析出した金属は鉛だと推察する。実験 7～8 で用いた酸化鉄は 3 価の鉄イオンしか含まないにもかかわらず、ガラスを緑色に着色した。上記から、活性炭は鉛イオンを鉛へ、鉄イオンを 3 価から 2 価へと還元し、還元剤として働いたと考える。また、実験 8-②と 9 でガラスが得られなかった原因としては加熱不足が挙げられる。

- ・実験 10～20: 四ほう酸ナトリウム十水和物について

結果より、四ほう酸ナトリウム十水和物の量が適切でないと、ガラスは作製できないといえる。四ほう酸ナトリウム十水和物の量によってガラスの色が変化した。これは FeO に関して特に顕著であり、四ほう酸ナトリウム十水和物は還元剤であると考ええる。四ほう酸ナトリウム十水和物の量が多すぎるとガラス内に不純物として残留し、透明度に影響を与えると考える。

5. 結論

- ・鉄イオンを含むガラスと水溶液の色はその価数ごとに一致する。

- ・四ほう酸ナトリウム十水和物がガラスの色に影響を与えている。

6. 今後の課題

- ・更に透明度を上げられるような、基礎材料のモル比の発見

 - 二酸化けい素や酸化鉛(Ⅱ)の質量を変化させる。

- ・四ほう酸ナトリウム十水和物が還元剤として作用することの裏付け

四ほう酸ナトリウム十水和物が還元剤であると仮定すると、実験 16～18 の褐色のガラスでは、還元剤が少ないことになる。そこに還元剤である活性炭を加えると、還元剤の量が増える。もし、緑色のガラスが作製出来れば、四ほう酸ナトリウム十水和物が還元剤であることが立証される。

7. 参考文献

平島和輝ほか、酸化クロム(Ⅲ)で色ガラスを作ろう、
2017 年度大阪府立大手前高等学校サイエンス探究報告書

石川采璃小ほか、クロム(Ⅲ)イオンを利用した色ガラスの作製、
2016 年度大阪府立大手前高等学校サイエンス探究報告書

糖燃料電池の高性能化

I. 緒言

近年、気候変動、エネルギー問題が叫ばれ、代替エネルギーとして燃料電池が注目を浴びている。しかし、現在主流の水素をエネルギー源とする水素型燃料電池は、爆発の危険性や部品の価格など多くの課題を抱えている。そこで、水素の代わりに糖をエネルギー源とする「糖燃料電池」の研究が進められていることを知った。本研究では、先行研究を基にそのさらなる性能向上を目指した。

○ 反応の仕組み

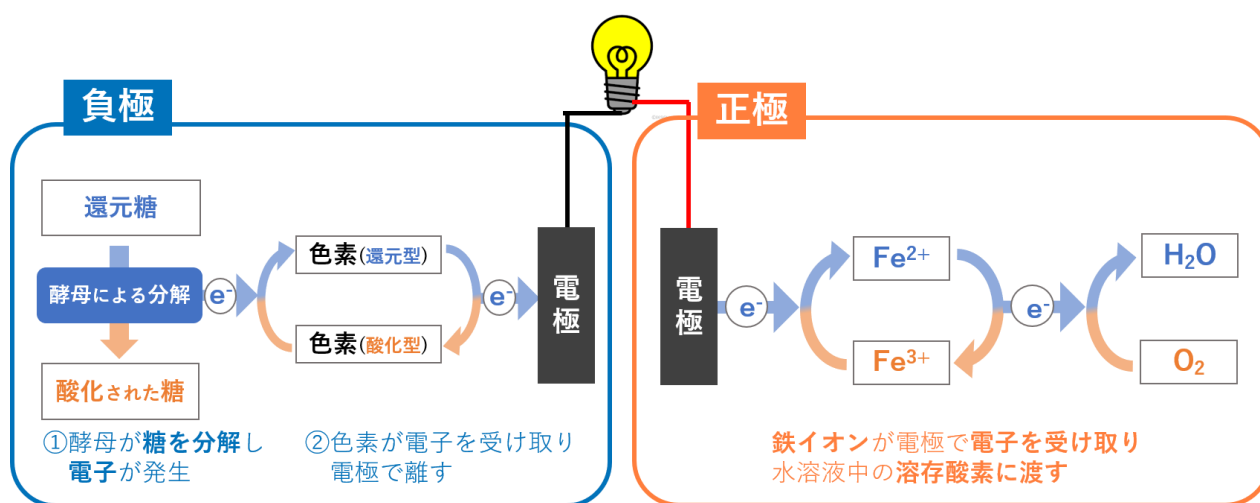


図1 糖燃料電池の各極の反応

負極では、まず還元糖を酵母が分解し、電子が発生する。そして、酸化型の色素がこれを受け取り、還元型になる。その後、電極で電子を離し、酸化型に戻る。

正極では、3 価の鉄イオンが電極で電子を受け取り、2 価になる。そして、水溶液中の溶存酸素に電子を渡して3 価に戻る。また、この酸素は溶液中の水素イオンと反応して水を生じる。

なお、実際にはヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸イオン、ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸イオンが反応しているが、それぞれ2 価、3 価の鉄イオンと略記している。

○ 先行研究の実績

先行研究では、糖、酵母、水溶液、両極を隔てる膜の種類や電極の表面処理等について検討し、性能向上に成功していた。

○ 本研究の方針

先行研究では、正極はあまり着目されていなかったため、正極で電子を受け渡す鉄イオンに着目することとした。その上で、鉄イオンの濃度が大きくなるほど電子の受け渡しが活発になり、燃料電池の性能が向上するのではないかと考え、その濃度と電流値、電圧値の関係を調べることにした。

2. 実験手順

○ 使用した試薬

薬品名	化学式	グレード	会社名
りん酸水素二ナトリウム	Na_2HPO_4	I 級	キシダ化学株式会社
りん酸二水素ナトリウム	NaH_2PO_4	I 級	キシダ化学株式会社
L(+)-アスコルビン酸	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	特級	キシダ化学株式会社
メチレンブルー	$\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{ClS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	I 級	キシダ化学株式会社
塩化ナトリウム	NaCl	I 級	キシダ化学株式会社
フェリシアン化カリウム	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	—	石津泰商店
硫酸	H_2SO_4	I 級	キシダ化学株式会社
硝酸	HNO_3	米山一級	米山薬品工業株式会社

○ 使用した材料

材料	会社名
陽イオン交換膜 Nafion Membrane NRE-212	ケマーズ社
カーボンフェルト(厚さ 3mm)	筑波物質情報研究所
針金(銅製)	
導線(ワニロクリップ付き)	

○ 使用した器具

器具
50mL ビーカー
200mL ビーカー
50mL メスシリンダー
100mL メスシリンダー
シャーレ
ガラス棒
5mL 駒込ピペット
薬品さじ
直流電流計(株式会社ナリカ, DA-50N)
デジタルマルチメーター(カイセ株式会社, SK-6163)
EC ウォーターバス(アズワン株式会社, EW-100RD)

○ 準備

(1)カーボンフェルト(電極)の親水化処理

硫酸 4g、硝酸 4g、水 92g の混合溶液を 200mL ビーカーに入れて EC ウォーターバスを用いて 60℃にし、5cm 四方に切ったカーボンフェルトを入れ、かき混ぜながら 20 分間加熱した。

(2)りん酸緩衝液の調製

りん酸水素二ナトリウム 1.146g、りん酸二水素ナトリウム 0.243g を混合し、100mL にメスアップし、pH=7.8、0.1mol/L のりん酸緩衝液を調製した。

(3)実験装置の組み立て

シャーレに正極溶液を入れ、その中に正極板として銅の針金を挿したカーボンフェルトを入れた。次に、プラスチックで作成した枠を載せ、その上に陽イオン交換膜を載せた。その次に、負極板としてカーボンフェルトを載せ、負極溶液を入れて実験装置(図2)を作成した。

(4)陽イオン交換膜の再生

陽イオン交換膜は、ある程度使用するとその性能が著しく低下するため、実験が終わる度に飽和食塩水に漬けた。

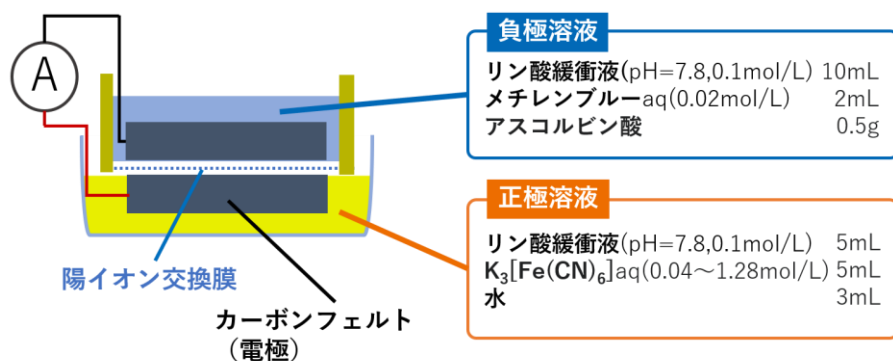


図2 実験装置の概略

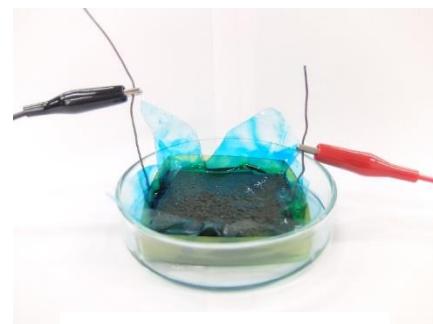


図3 実験装置の写真

○ 実験:正極溶液の濃度と電流値・電圧値の関係

上記のような実験装置を組み立て、正極溶液のヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液の濃度を変更して電流値、電圧値を測定した。

3. 実験結果

実験結果を図4に示す。

電圧値は濃度によらずほぼ一定で 0.4V であった。

一方、電流値は 0.32mol/L までは上昇したものの、それより大きい濃度では低下した。なお、電流密度とは電極の単位面積当たりの電流値である。

また、陽イオン交換膜の性能低下により著しく低下した実験結果については、外れ値として除外した。

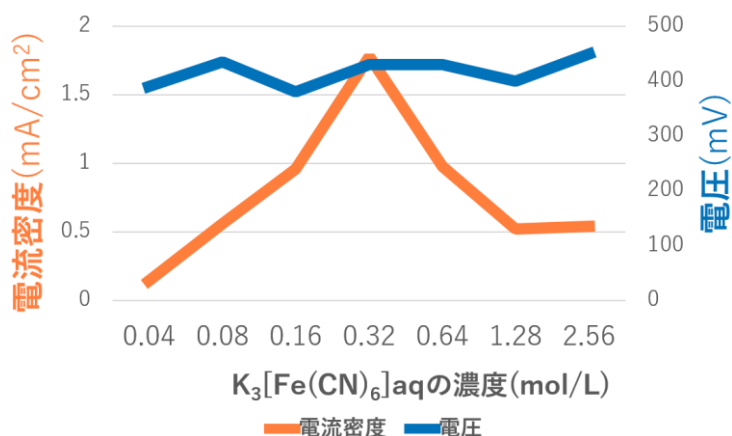


図 4 正極溶液の濃度と電流値・電圧値の関係

4. 考察

(1) 電圧について

今回の実験で主に反応に関わった 3 物質の作り出す電位（標準酸化還元電位）を図 5 に示す。

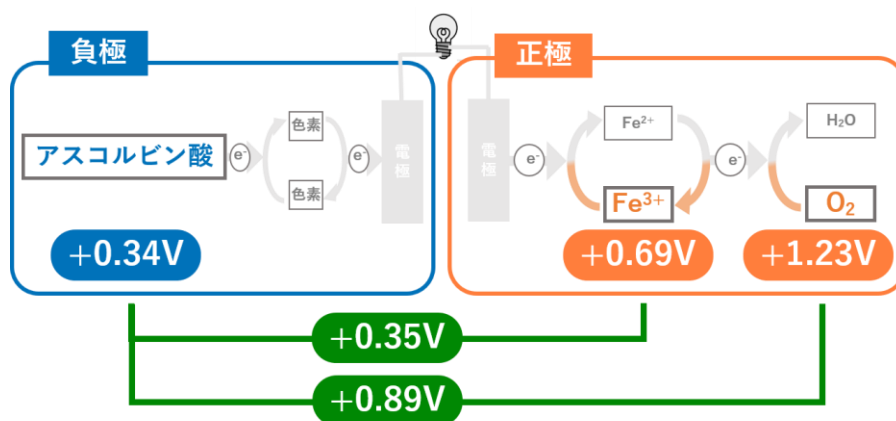


図 5 各物質の標準酸化還元電位とその電位差

アスコルビン酸から酸素へ電子が受け渡されているならば、0.89V の電圧が生じるはずである。しかし、今回の実験で計測した電圧は約 0.40V であり、これはアスコルビン酸から鉄イオンへの電子の受け渡しで生じる電圧 (0.35V) に近い。この結果から、今回の実験では鉄イオンと酸素の間での反応は起きていないと考えられる。

(2) 電流について

今回の実験では、濃度によって電流値は大きく変化した一方で、電圧値はほぼ一定であった。この結果と、オームの法則「(電圧) = (抵抗) × (電流)」から、濃度によって燃料電池内部での抵抗値が変化し、それに伴って電流値も変化したと考えた。そこで、溶液の濃度と抵抗値について調査したところ、多くの電解質の溶液で濃度が一定以上になると抵抗値が上がっていく傾向があることが分かった (図 6)。参考文献をもとにすると、濃度が小さい部分ではイオン (電子の運び手) が増えるに従い電流が流

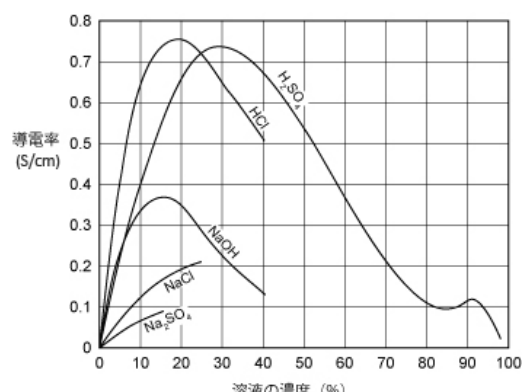


図 6 溶液の濃度と導電率の関係

れやすくなったが、濃度が大きくなるにしたがって解離度の減少やイオン間の相互作用の影響により実際に電子を運ぶ役割を担うイオンの数が減少していたと考えられる。

5. 結論

実験結果から、糖燃料電池の正極溶液の濃度が濃いほどその性能が高くなるわけではなく、最適な濃度があることが分かった。また、電圧値の測定結果から、正極において酸素への電子の受け渡しは理論通りに進んでいるわけではないことが分かった。この反応が理論通りに進めば、より大きな電圧を取り出すことができ、性能向上に大きく寄与すると考えられるので改良が必要である。さらに、文献調査から、溶液の濃度を大きくすると実際に電子を運ぶイオンの減少によって抵抗が大きくなることが分かったが、この関係についてさらなる考察が必要である。

6. 参考文献

- ・徳島県立富岡東高等学校, 2019, 『酵母等を使用した糖燃料電池 ～その性能向上への試み～』
http://sec-db.cf.ocha.ac.jp/pdf/63_seikagaku_HC35.pdf
- ・脇坂知之ほか, 2009, 『酵母を利用したバイオ燃料電池の発電特性と性能向上策』
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhts/35/5/35_5_283/_pdf/-char/ja
- ・横河電機, 『導電率と濃度の関係について』
<https://www.yokogawa.co.jp/library/resources/faqs/an-sc-isc-02-relationship/>
- ・坂元知里, 2016, 『バイオデバイス基板に応用可能なカーボンプロスの親水化法の確立』
<https://core.ac.uk/download/pdf/74354798.pdf>

消えやすいチョーク、消えにくいチョーク

1、 諸言

学校で用いていた『ノンドラストチョーク』が『ダストレスチョーク』と比べて消えにくい(実験①)ことから、複数種類のチョークについてその違いを調べ、消えにくさとの関係を明らかにしようと試みた。チョークの主成分は炭酸カルシウム(CaCO_3)である。市販のチョークにはこのほかに、顔料・粘結剤などが含まれている。粘結剤には、炭酸カルシウムどうしを繋げチョークの形を維持する働きがある。実験④ではキレート滴定と呼ばれる方法で CaCO_3 の含有率を調べた。キレート滴定は EDTA と呼ばれる薬品が金属イオン(今回は Ca^{2+})と 1:1 の mol 比で反応することを利用したものであり、今回の実験ではエリオクロムブラック T(EBT)を指示薬として用いた。EBT は pH7-11 で青色を呈するが、 Ca^{2+} や Mg^{2+} などの金属イオンと結びつくと赤色に変色する。実験⑥で用いたスノーアルギン酸は粘結剤として用いられている薬品の一つである。

2、 行った実験

実験で使った薬品一覧

- ・キシダ化学株式会社、塩酸【 HCl 】、6mol/L、Ⅰ 級
- ・米山薬品工業株式会社、炭酸カルシウム【 CaCO_3 】、米山Ⅰ 級
- ・富士化学工業株式会社、アルギン酸ナトリウム/スノーアルギン SSH【 $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$ 】
- ・キシダ化学株式会社、水酸化カリウム(試薬)【 KOH 】、特級
- ・キシダ化学株式会社、pH10.0 緩衝液
- ・キシダ化学株式会社、エチレンジアンミン四酢酸二ナトリウム(2水和物)(試薬)
【 $\text{EDTA}-2\text{Na}/\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 】、特級
- ・キシダ化学株式会社、エリオクロムブラック T【 $\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{O}_7\text{N}_3\text{SNa}$ 】、特級
- ・TOYO ROSHI CO.,LTD、pH 試験紙
- ・日本白墨工業株式会社、エコチョーク 72 白
- ・株式会社馬印、スクールチョーク 白
- ・株式会社馬印、スクールチョーク 5色
- ・日本白墨工業株式会社、スクール 72 白
- ・日本白墨工業株式会社、スクール 72 6色
- ・日本白墨工業株式会社、天神印きぬごしチョーク(HAKUBOKU) 白
- ・日本白墨工業株式会社、天神印きぬごしチョーク(HAKUBOKU) 黄
- ・日本理化学工業株式会社、ダストレス eye チョーク 4色
- ・日本理化学工業株式会社、ダストレスチョーク 白
- ・日本理化学工業株式会社、ダストレスチョーク 黄
- ・日本理化学工業株式会社、ダストレス学校用蛍光チョーク 黄
- ・(株)墨運堂、ハードチョーク 白
- ・日本白墨工業株式会社、ルミナス蛍光チョーク、6 色

①チョークの消えやすさの比較実験

水拭きをして十分に乾かし清潔な状態にした黒板に、未使用のチョークで直径 10 cmの円を描き等しく塗りつぶす。未使用、または十分に黒板拭きクリーナーで粉をとった黒板消して、力のかたよりがないように心がけながら消す。実験は複数回行い、結果に一貫性があることを確認した。

②チョークの強度測定実験

同じ高さの机2台を、チョークの長さより少し短いくらいの間隔をあけて平行に並べる。適当な大きさのレジ袋を用意し、横にしたチョークの真ん中あたりに持ち手が重なるようにして吊るす。そのチョークをレジ袋ごと、両端がそれぞれの机に等しい長さだけ乗るように、机の上に寝かせて置く。レジ袋の真下にレジ袋より十分に大きいバケツを設置する。ビーカーからレジ袋に水を 100g ずつ加え、チョークが割れた時までに加えていた水の質量を記録する。各チョークで3回ずつ行い、平均値を求めて結果とした。

③チョークの粉末の形状の比較実験

チョークを乳鉢と乳棒ですりつぶし、それぞれのチョークを顕微鏡で観察する。

④炭酸カルシウム含有率の比較実験

- (1) エチレンジアミン四酢酸二ナトリウムニ水和物の粉末を 0.931g 量りとり、水に溶かしてメスフラスコで 250mL にする。
- (2) エリオクロムブラック T(EBT)0.50g をエタノールに溶かして 100mL にし、褐色瓶に入れて密栓しておく。
- (3) すりつぶしたチョークの粉末に水を加えて溶かす。(完全に溶けない)
- (4) 塩酸を 1~2mL 加え、その後メスフラスコで 250mL に調整する。
- (5) 10mL をコニカルビーカーに取り出し、水酸化カリウム水溶液を pH 10 になるように pH 試験紙で調べながら加え、その後、pH 緩衝液を加える。
- (6) EDTA 溶液を用いてキレート滴定を行う。

⑤チョークの密度の比較実験

メスシリンダーに一定量の水を加え、そこにチョークを入れ、体積の増加分から体積を量る。そして、電子てんびんで質量を量り、そこからそれぞれのチョークの密度を求める。

⑥粘結剤の量による消えやすさの比較実験

スノーアルギン酸 0.010g、0.020g、0.030g、0.040g を水 5.0mL に加え、数日間おく。そこに炭酸カルシウム 12.0g を加えて十分に混ぜ、紙で作った型に入れ数日間おいて完全に乾かし、チョークを作る。

3、実験結果

チョークの種類	ダストレス (白色)	ダストレス (黄色)	ノンダスト (白色)	ノンダスト (黄色)	eye (黄色)	ハード (白色)
消えやすさ	○	○	×	×	○	○

①表1. チョークの消えやすさ

エコ (白色)	スクール (白色)	スクール (黄色)	School72 (白色)	School72 (黄色)	HAKUBOKU (白色)	HAKUBOKU (黄色)
○	○	○	○	○	◎	◎

◎: 消えやすい ○: ◎ほどではないが消えやすい △: 少し消えにくい ×: 消えにくい

②レジ袋が満杯に近くなるまで水 2L を加えたが、チョークは割れなかった。

③チョークの粉を学校の顕微鏡で見たが、違いは見られなかった。

④表 2. CaCO_3 の含有率(%)

チョークの種類	ダストレス (白色)	ダストレス (黄色)	ノンダスト (白色)	ノンダスト (黄色)	エコ (白色)	School72 (白色)	School72 (黄色)
CaCO_3 の含有率(%)	69.2	60.9	83.6	71.2	72.2	48.5	67.0
消えやすさ	○	○	×	×	○	○	○

◎:消えやすい ○:◎ほどではないが消えやすい △:少し消えにくい ×:消えにくい

⑤表 3. チョークの密度

チョークの種類	ダストレス (白色)	ノンダスト (白色)	エコ (白色)	School72 (白色)	HAKUBOKU (白色)
密度(g/cm^3)	1.808	1.707	1.710	1.820	0.846
消えやすさ	○	×	○	○	◎

◎:消えやすい ○:◎ほどではないが消えやすい △:少し消えにくい ×:消えにくい

⑥表 4. 粘結剤の量と消えやすさ

粘結剤の量(g)	なし	0.010	0.020	0.030	0.040
消えやすさ	×	◎	◎	○	△

◎:消えやすい ○:◎ほどではないが消えやすい △:少し消えにくい ×:消えにくい

4. 考察

①ノンダスト(白色)とノンダスト(黄色)のみ消えにくく、ノンダストと他のチョークとの間に何らかの違いがある。白色と黄色で消え方の差はほとんど見られない。

②実験方法を参考にした愛媛県立松山中央高等学校の研究では、自作チョークの強度を調べるためにこの実験を行っており、私たちの実験で用いた市販のチョークはそれより強度が大きかった可能性が高いので、市販のチョークの強度の違いを調べるには、より大きな荷重をかけることのできる装置が必要だったのではないかな。

③私たちが用いた顕微鏡(化学・天秤室)では、粒子の形の細部まで観察することはできなかった。より高倍率の顕微鏡が必要だったのではないかな。

④消え方の比較実験で唯一消えにくかったノンダスト(白色)の CaCO_3 含有率が最も高く、含有率が高いほど消えにくいと思われたが、2 番目に含有率の高いエコチョークとの差は 11.4 ポイントしかなかったのに対し、最も含有率の低い School72(白色)とエコチョークとの差は 23.7 ポイントと大きく、他方この 2 本の間に消え方の差は確認できなかったため、含有率と消えにくさに比例関係があるとまで結論付けることは難しい。(表 5)

⑤HAKUBOKU の値が最も小さいが、このチョークの主成分が硫酸カルシウムのため、考察から除外した。また、ノンダストの値が最も大きい、他のチョークの値と比較した際に、④と同じく、消えにくさほどの差は見られない。密度が小さいものから順に並べると、④の CaCO_3 含有率の高さの順と一致する(表 5)。チョークに含まれている物質のうち CaCO_3 以外の物質は CaCO_3 と比べてモル質量が大きく、よって CaCO_3 含有率が高いほど密度の値は小さくなったと考えられる。ただし、サンプルの数は少なく値の差がごく小さいために、確証を得ることはできない。

表 5. 白色チョークの CaCO_3 の含有率および密度と消えやすさ

チョークの種類	ノンダスト (白色)	エコ (白色)	ダストレス (白色)	School72 (白色)
CaCO ₃ の含有率(%)	83.6	72.2	69.2	48.5
密度	1.707	1.710	1.808	1.820
消えやすさ	×	○	○	○

◎:消えやすい ○:◎ほどではないが消えやすい △:少し消えにくい ×:消えにくい

⑥粘結剤が多いほど消えにくかったが、粘結剤がないとより消えにくかった。よって、チョークが消えやすくなる割合があるのではないかな。

5、 結論

見た目は同じチョークでも CaCO₃含有率や密度には差がある。

チョークの消えやすさには様々な要因があり、粘結剤の量によっても差が生じる。

6、参考文献

・『廃棄物中の炭酸カルシウムの再利用 ～水質浄化に向けて～』_2018 年 愛媛県立中央高等学校
(<https://center.esnet.ed.jp/wysiwyg/file/download/14/2248>)

・『ホタテ貝活用チョーク』-2013 年 北海道立総合研究機構 吉田昌充
(https://www.hro.or.jp/info_headquarters/domin/magazine/3.html)

・『高校農業 農業実験 水の硬度測定(キレート滴定)』
(https://gakuen.gifu-net.ed.jp/subject/21_nougyo/10_kyozai/jikken/SubShokuhin/05/genri.html)

・『硬度の測定』大阪教育大学教育学部附属高等学校平野校舎 宮本憲武

・『何度でも再生チョーク』
(<https://kariya-h.aichi-c.ed.jp/school/ssh/ssh2/image/H281021-4.pdf>)

夏を涼しく～日焼け止めの冷感効果～

1. 緒言

私たちは夏を涼しく過ごすため、日焼け止めの冷感効果について研究を行った。日焼け止めに含まれる成分の違いによって、温度変化が異なるのではないかと、また塗る量の違いにより、多く塗ったほうが蒸発熱が多いため皮膚の温度が奪われ、温度が下がるのではないかと考えた。メトキシケイヒ酸エチル、エチルヘキシルトリアゾン、ジエチルアミノヒドロキシベンゾイル安息香酸ヘキシルが含まれているものを紫外線吸収グループ、ジメチコンが含まれているものを撥水グループ、メントールが含まれているものを冷感グループとした。

2. 実験手順

実験①では日焼け止めをメトキシケイヒ酸エチル、エチルヘキシルトリアゾン、ジエチルアミノヒドロキシベンゾイル安息香酸ヘキシルが含まれているものを紫外線吸収グループ、ジメチコンが含まれているものを撥水グループ、メントールが含まれているものを冷感グループとしてグループ分けを行い、日焼け止めを手の甲に塗る直前から、9分後まで3分おきに小型赤外線サーモグラフィー（FLIR）（以下表面温度計とする）を使用して肌の表面温度を測定する。これを4回繰り返し、温度変化の平均をとり、グループごとの温度変化の傾向の違いを調べる。

実験②では、塗る日焼け止めを直径1cm、2cmと量を変えて肌の上にのせる。この時両方同じ面積に伸ばす。使用した日焼け止めは以下の7種類である。

紫外線吸収グループ

- ・ニベア UV ウォータージェル SPF50 ボトル（ニベア花王株式会社）

以下ニベアとする。

- ・ビオレさらさら UV パーフェクトスプレー+（花王株式会社）

以下スプレーとする。

- ・ビオレ UV アクアリッチアクアプロテクトローション（花王株式会社）

以下ローションとする。

撥水効果グループ

- ・ニベア SUN プロテクトプラスウォータープルーフ UV ミルク（ニベア花王株式会社）

以下サンプロテクトとする。

- ・アネッサパーフェクト UV スキンケアミルク α（株式会社資生堂）

以下アネッサとする。

冷感効果グループ

- ・UV プロテクションクール（近江兄弟社）

以下クールとする。

- ・シーブリーズデオアンドウォーターc（株式会社エフティー資生堂）

以下シーブリーズとする。

3. 実験結果

実験①では図 1～4 のような結果となった。

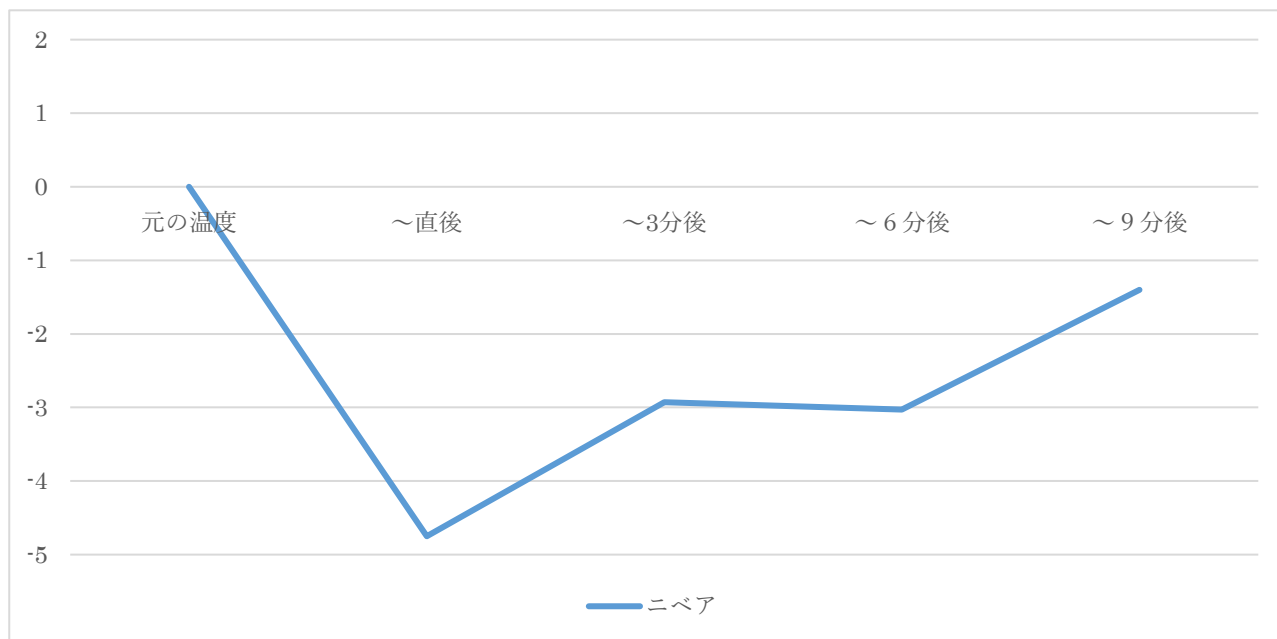


図 1 紫外線吸収グループ(ニベア)

図 1 より紫外線吸収効果のあるニベアは温度が下がりやすく持続時間が長いことがわかる

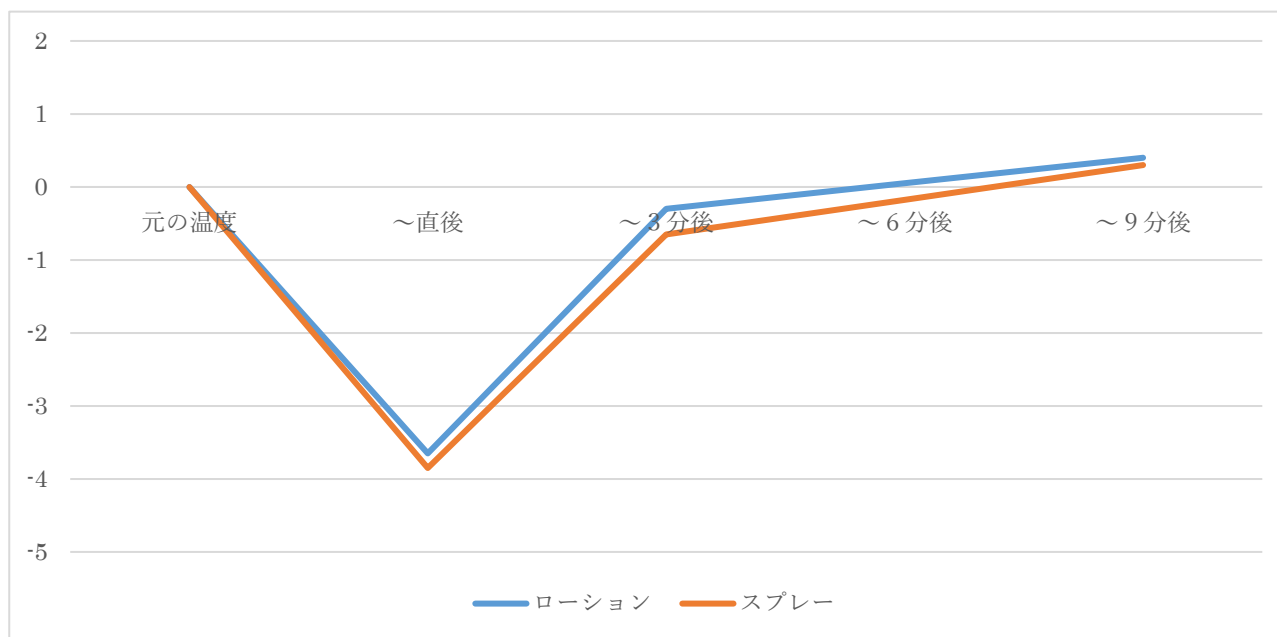


図 2 紫外線吸収グループ(ニベア以外)

図 2 より紫外線吸収効果があるものでも、ローションとスプレーはニベアとは異なる傾向があることがわかる。

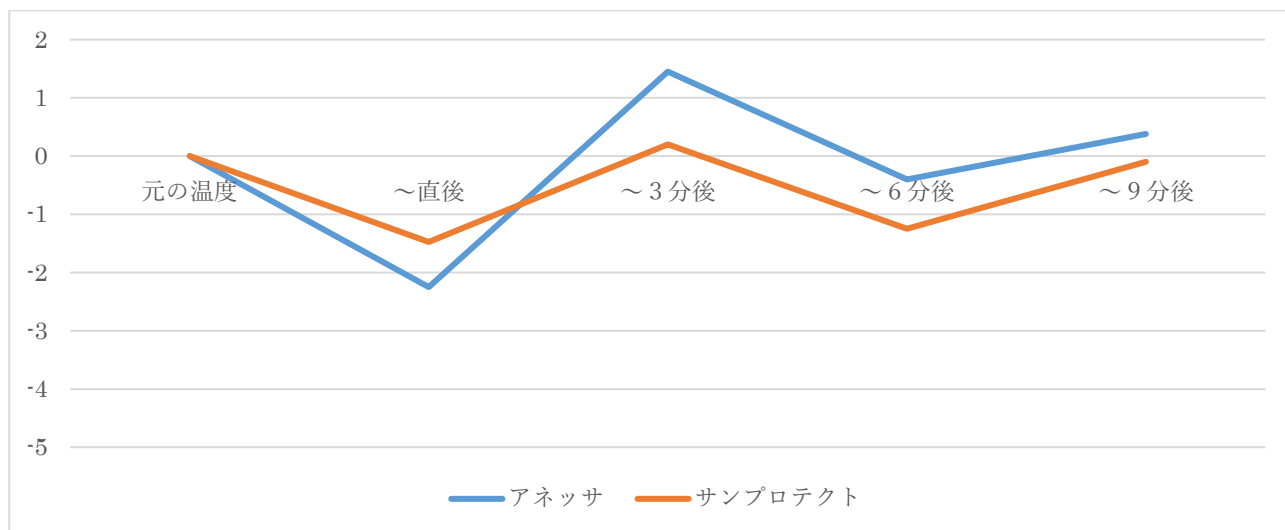


図3 撥水グループ

図3より、撥水効果のあるアネッサとサンプロテクトは、温度が変化しにくく、グラフの形はW型であることがわかる。

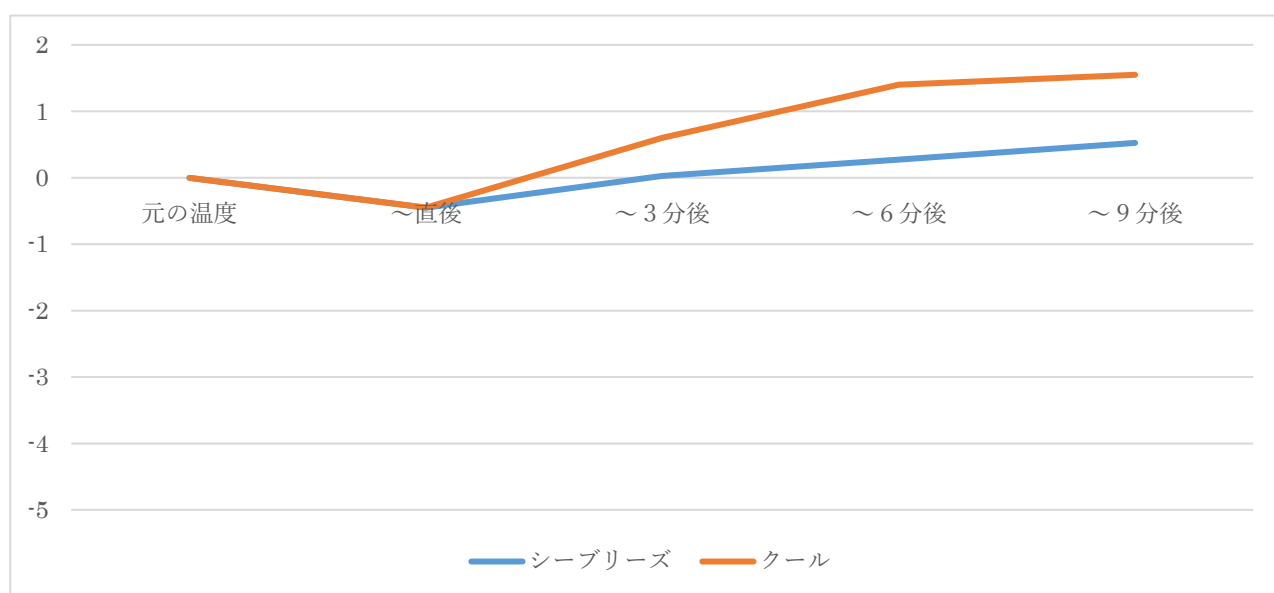


図4 冷感グループ

図4より、冷感効果のあるシーブリーズとクールは、一番温度が変化しにくく、グラフの形は√型であることがわかる。

実験②では以下のような結果となった。

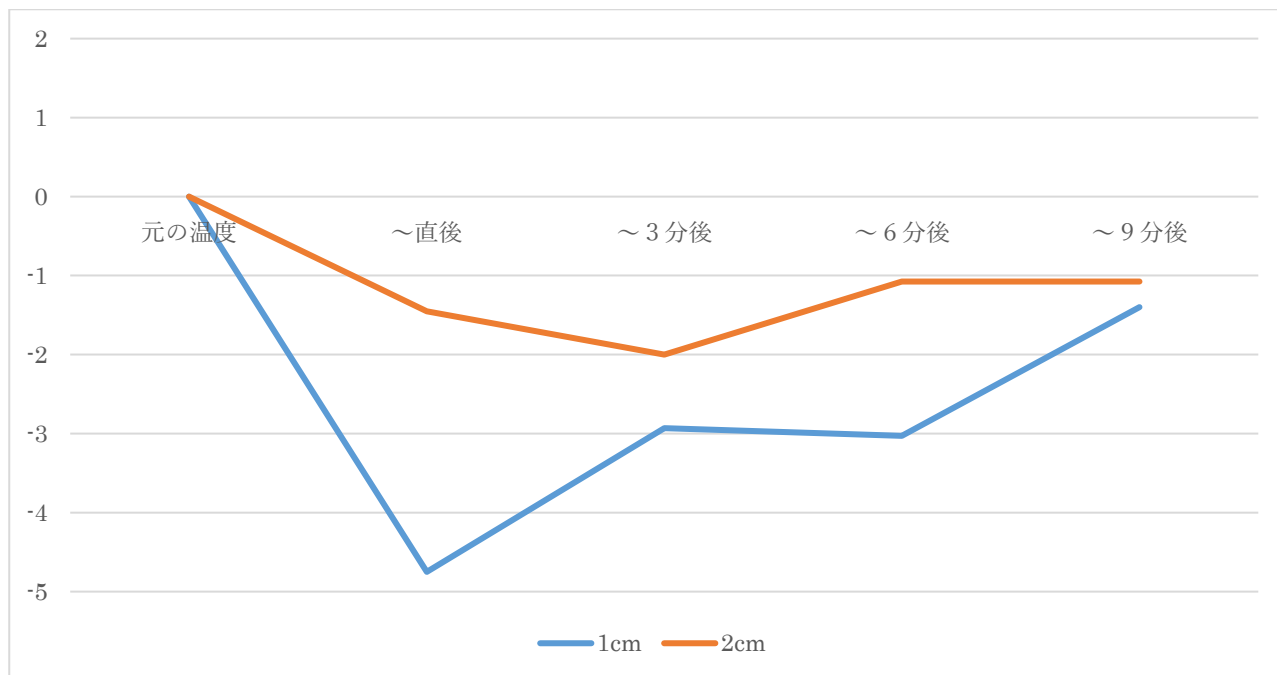


図 5 塗る量による効果の違い(ニベア)

図 5 より、ニベアのみ 1cm 塗った時と 2cm を塗った時の差が大きかったことがわかる。

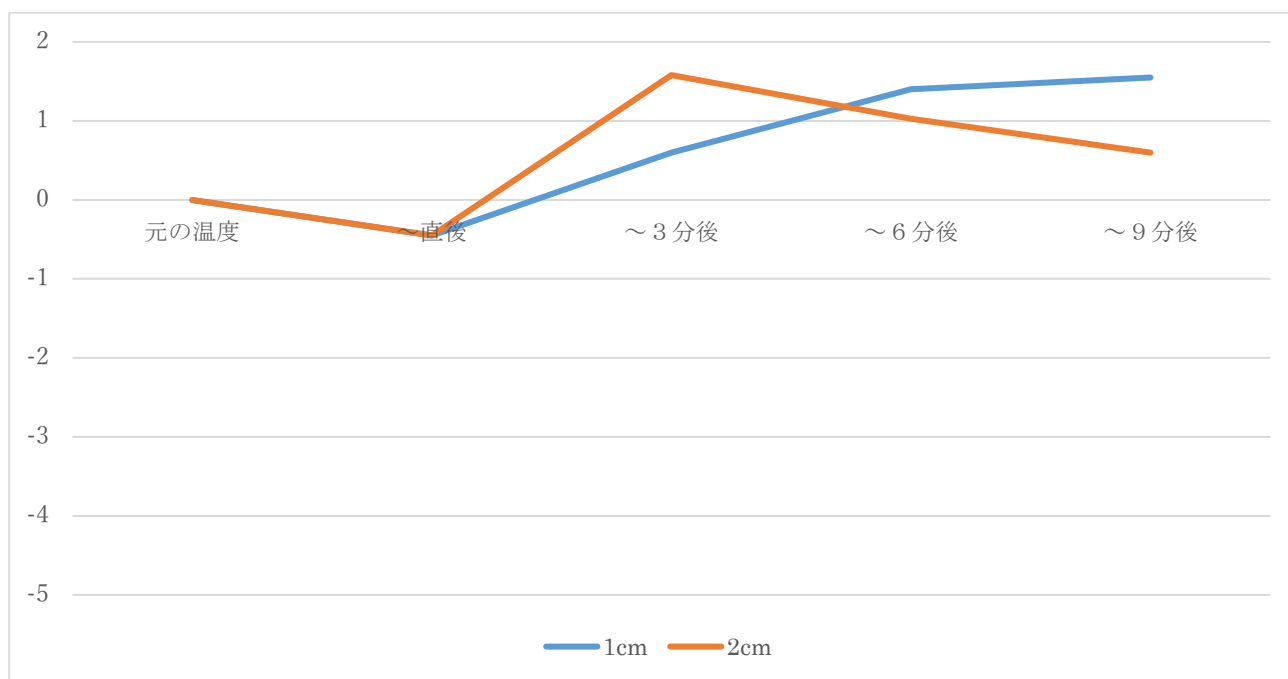


図 6 塗る量による効果の違い(ニベア以外)

図 6 より、ニベア以外は概形はほとんど同じであることがあり、塗る量によって効果の違いはないということがわかる。

4. 考察

実験①では効果（成分）別で分類してそれぞれに特徴的な傾向があらわれた。

表 グループ別の傾向

	傾向
紫外線吸収グループ	ばらばら
撥水グループ	変化の時間、幅ともに比較的小さい
冷感グループ	変化の時間、幅ともに小さい

実験②では、唯一ジェルタイプであるニベアは温度が下がりやすく、持続時間が長い。また、1cm を塗った時のほうが、2cm を塗った時より効果が高かった。他の日焼け止めでは塗る量が多くても少なくても、差は見られない。よって蒸発熱と塗る量は相関がないと考えられる。また、日焼け止めの形状によって効果が異なるのではないかと考えられる。

5. 結論

実験 1, 2 から、効果（成分別）で分けると固有の性質が見られた。また、塗る量を変えてもニベア以外の日焼け止めでは効果がなかった。

今後の課題としては、質感の違いによる温度変化を調べる、クールとシーブリーズの効果が低い理由を調べる、日の当たる場所でも実験することなどがあげられる。

6. 参考文献

気化熱について

<https://www.osaka-kyoiku.ac.jp>

化粧品成分オンライン、2022、メトキシケイヒ酸エチルの基本情報・配合目的・安全性 <https://cosmetic-ingredients.org>

久光一誠、2021、効果的な「組み合わせ」がわかる化粧品成分辞典

数値化により紙の日焼けの法則性を見出す

1 緒言

私たちは、本が長時間放置されると茶色っぽくなっていることに興味を持ち、この変化を「紙の日焼け」と定義し、本の原材料である紙の日焼けのしやすさについて調べることにした。また、これは主観的な定義であるので、「紙の日焼け」を客観的に表すために RGB、HSB、HSL 表示で数値化した。

「RGB」とは光の三原色である R(赤)G(緑)B(青)による色の表示方法で、それぞれ 0~255 までの数値で表される。RGB がすべて 0 なら黒、すべて 255 なら白を表し、RGB の合計値が小さいとき色は黒に近づき、RGB の合計値が大きいとき白に近づく。

「HSB」の H は色相で色合いを表し、赤を 0 度として色相環 1 周、360 度までの数値で表す。HSB の S は彩度で 0%~100%で色の濃さを表す。この値が小さくなるほど灰色に近づく。HSB の B は明度のことで、H と S における最も明るい色を 100%として 0%~100%で表す。

「HSL」の H は HSB と同様に色相を表す。S は彩度だが HSB とは違い 0%~100%で色の鮮やかさを表す。HSL の L は輝度で 50%を純色、0%を黒、100%を白として、0%~100%で表す。

紙を色々な条件のもとで日焼けさせて数値化し、その値を比べることで、どのような条件下だと紙が日焼けしやすいのかについて研究した。

2 実験手順・結果・考察

<色の数値化の方法>

- (1) 紙をスキャナーで読み取る。
- (2) (1) の画像の中で比較的颜色が均一な部分を目視で判断し、パソコン上で切り取る。

~フリーソフト「pictures to color」を用いた場合~

- (3) 「pictures to color」を立ち上げ、(2) の画像を取り込む。
- (4) 画像で使われている色が表示されるので、その中から、最も濃い色、薄い色、中間の色、またそれぞれの間である色の合計 5 段階を目視で選び、RGB、HSB、HSL 表示ごとに記録する。
- (5) (4) の色を「Excel」に入力して平均し、RGB、HSB、HSL ごとに合計して、それぞれの合計値をその紙の色の数値とする。

~「Power Point」を用いた場合~

- (3) 「Power Point」を立ち上げ、(2) の画像を貼り付ける。
- (4) 「塗りつぶし」を選択してスポイト機能を立ち上げる。
- (5) (2) の画像にカーソルを置くと表示される RGB を記録する。カーソルの位置を変えてこれを 40 回繰り返す。
- (6) 「Excel」に(5)を入力して平均を出す。
- (7) RGB の値を合計し、その値をその紙の色の数値とする。

<pH の測定方法>

- (1) メルク社の pH ストリップを蒸留水でぬらし、余分な水分をとる。
- (2) 測定する紙の上に置き、それらをクリアファイルで挟み 1 分間押さえる。
- (3) pH ストリップを取り出し、記載されている色見本と比べて、pH を決定する。

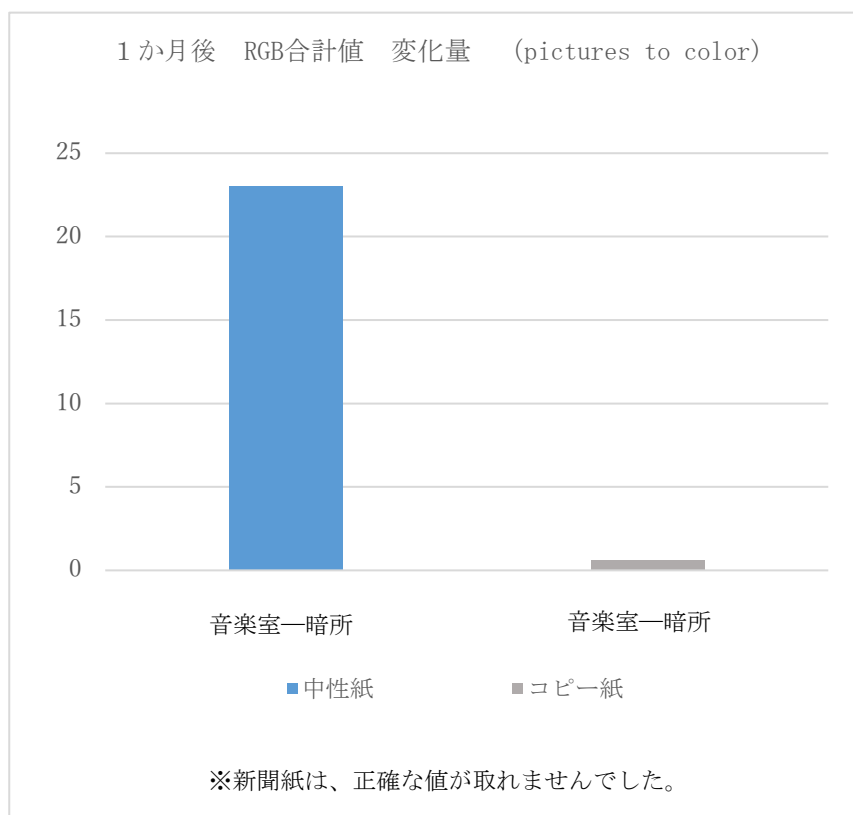
<実験 I>紙の種類による色の変化量の違い

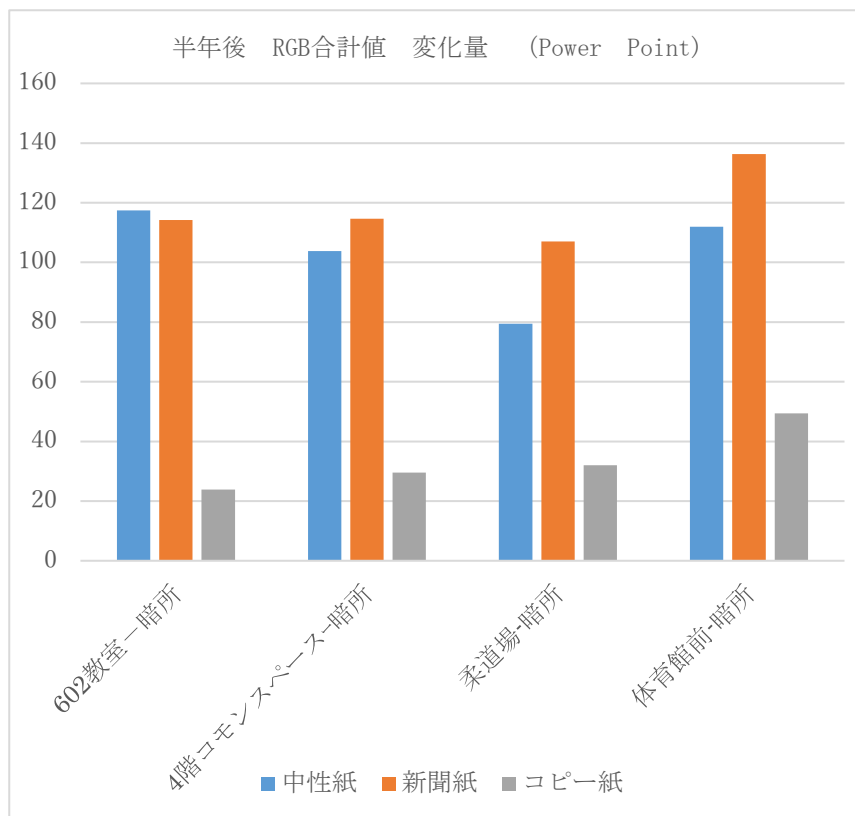
～実験手順～

- (1) 新聞紙(サンケイスポーツ,産業経済新聞社)、PPC 用紙(N70,B5,以下「中性紙」とする)、共用 OA ペーパー(N50704270601,A4,以下「コピー用紙」とする)を同じ大きさに切り、一枚の紙に貼り付ける。
- (2) (1)の色を「pictures to color」と「Power Point」で数値化し、pH も測定する。
- (3) (2)の後、日当たりの良い校内 602 教室、4 階コモンスペース、柔道場、体育館前、音楽室、そして暗所の計 6 カ所に放置する。
- (4) 1 か月後に、最も変色が進んでいた音楽室の紙と暗所の紙を「pictures to color」で数値化する。
- (5) 半年後、音楽室以外のすべての紙を「Power Point」で数値化する。

～結果～

グラフは、紙を張り出す前と貼りだしてから半年後について「Power Point」で測定した RGB の合計値を求め、日当たりの良い場所の RGB の合計値から、暗所の RGB の合計値を引いた値を表したものである。





～考察～

602 教室を除いて、日光に当てた紙も当てなかった紙も、新聞紙、中性紙、コピー用紙の順に色の変化量が大きい、すなわち日焼けしやすいことがわかった。602 教室は、新聞紙を貼っていた部分が陰になることが多く、それが実験結果に影響したと考えられる。調べると、新聞紙、中性紙、コピー用紙の順に紙の酸性度が大きいことがわかった。紙の酸性度とは、紙に含まれる硫酸アルミニウムの含有率のことで、含有率が高いと紙の酸性度も高くなる。このことから、紙の酸性度が高い紙ほど、日焼けしやすいと思われる。

また、pH の変化量は小さく、pH との関係は考察できなかった。

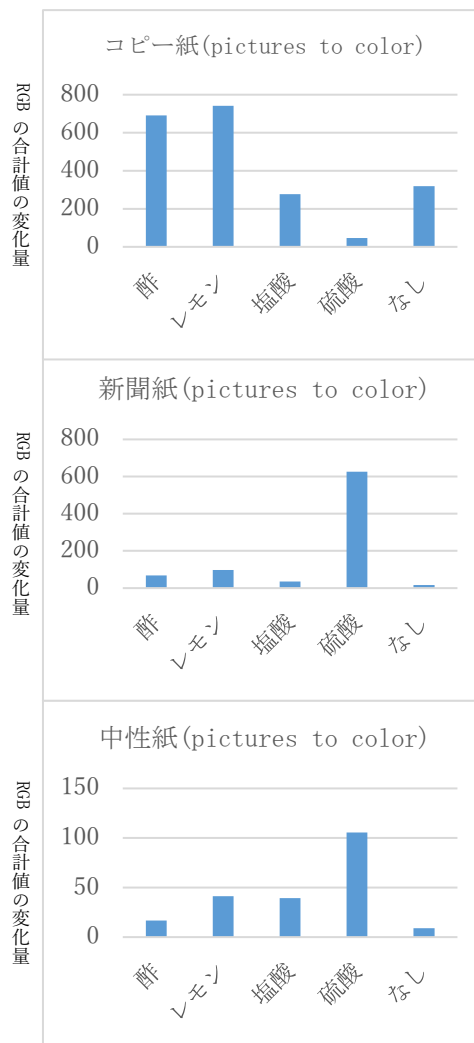
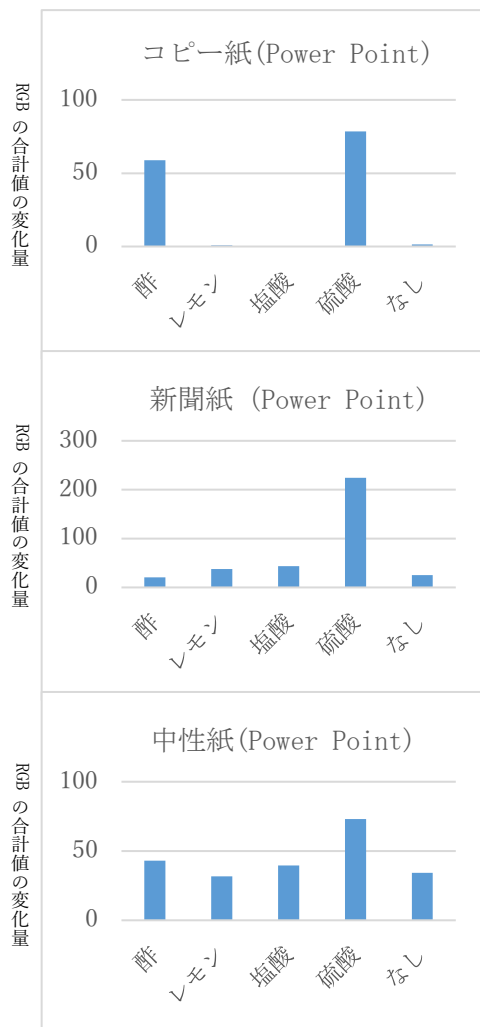
<実験 2>酸性溶液につけた紙の色の变化量の違い

～実験手順～

- (1) お酢(ミツカン/穀物酢/酸度 4.2%)、ポッカレモン 100 (ポッカサッポロフード&ビバレッジ)、塩酸(キシダ化学株式会社, I 級)、硫酸(キシダ化学株式会社, I 級)を用意する。
- (2) 新聞紙、中性紙、コピー用紙、本をそれぞれ(1)につけ、(1)の何にもつけていない紙とともに、数日間暗所で乾燥させる。
- (3) (2)の色を「pictures to color」と「Power Point」で数値化し、pH も測定する。
- (4) (3)の後、日当たりの良い音楽室と暗所の計 2 カ所に1か月間放置する。
- (5) 1か月後の紙の色と pH をそれぞれ(3)と同様に測定する。

～結果～

縦軸は RGB の合計値の差



pH

	①pH0.0-6.0	②pH4.0-7.0	③pH2.5-4.5
実験前_(保存用)_ザラ紙	-	7.0	-
実験前_(保存用)_新聞紙	-	6.5	-
実験前_(保存用)_白い紙	-	5.8	-
実験後_(1か月後)_ザラ紙	5.5	6.5	6.5
実験後_(1か月後)_新聞紙	6.0	6.5	5.8
実験後_(1か月後)_白い紙	5.0	-	6.1
実験前_ザラ紙_レモン	4.0	4.0	3.9
実験前_ザラ紙_お酢	5.5	5.8	-
実験前_ザラ紙_塩酸	2.5	-	-
実験前_ザラ紙_硫酸	0.5	-	-
実験前_新聞紙_レモン	4.0	-	3.9
実験前_新聞紙_お酢	6.0	5.8	-
実験前_新聞紙_塩酸	4.0	4.0	2.5

実験前_新聞紙_硫酸	1.0	-	-
実験前_白い紙_レモン	4.0	4.0	3.9
実験前_白い紙_酢	6.0	-	-
実験前_白い紙_塩酸	3.0	-	3.0
実験前_白い紙_硫酸	1.0	4.0	-
実験前_本_レモン	3.5	-	3.6
実験前_本_酢	4.5	-	4.7
実験前_本_塩酸	3.5	-	3.0
実験前_本_硫酸	0.0	-	-
実験前_本_何もなし	4.6	-	4.5

※「-」は欠測値

～考察～

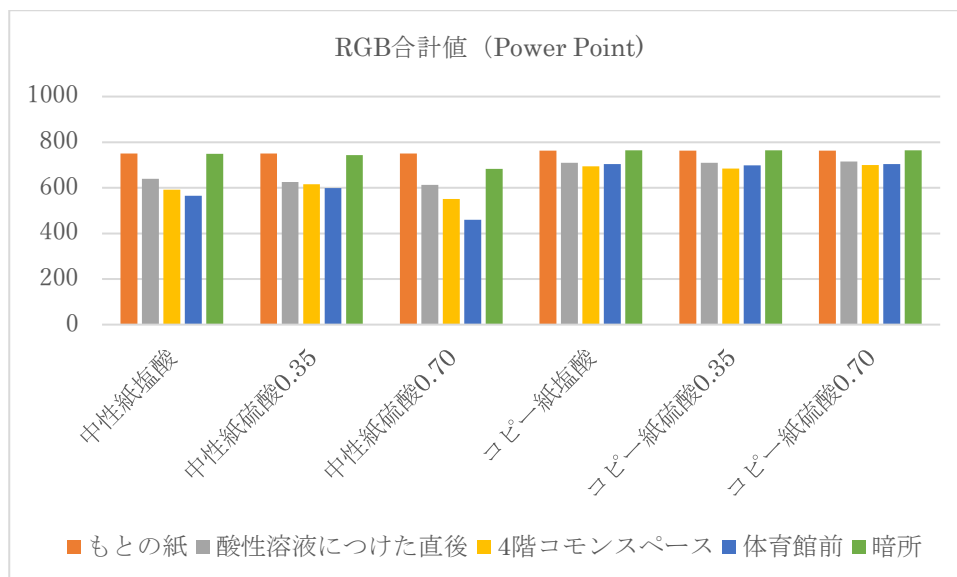
紙の種類によって、酸性溶液につけた紙の色の変化量にばらつきがあり、関係性を見いだすことはできなかった。ただ、いずれの紙も硫酸につけた紙の色の変化量が多いことから、紙の日焼けには、硫酸が関係していると思われる。

<実験 3>硫酸の濃度の違いによる色の変化の違い

～実験手順～

- (1) 塩酸を 0.70mol/L、硫酸を 0.35mol/L、0.70mol/L に調製する。
- (2) 中性紙、コピー用紙をそれぞれ(1)につけ数日間暗所で乾燥させる。
- (3) (2)の色を「Power Point」で数値化する。
- (4) (2)を日当たりの良い校内 4 階コモンスペースと体育館前と暗所に 18 日間放置する。
- (5) 18 日後の紙の色を(3)と同様に測定する。

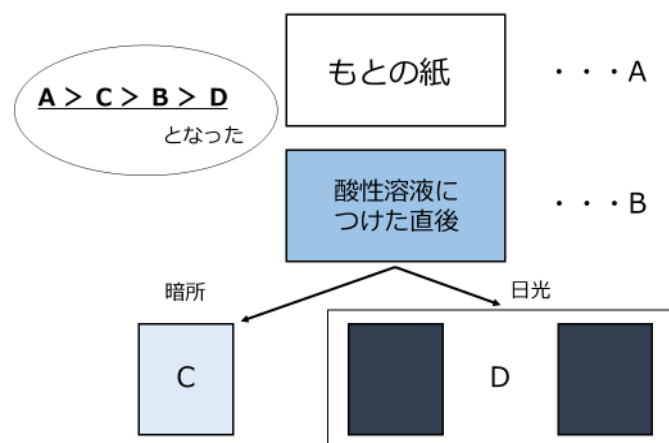
～結果～



～考察～

中性紙においては、硫酸の濃度を上げると色の変化量も大きくなり、硫酸の濃度と色の変化に比例の関係が見られた。コピー用紙においては、硫酸の濃度を変えても色の変化量はほとんど変わらず、比例関係は見られなかった。

また、0.70mol/L 塩酸、0.35mol/L 硫酸、0.70mol/L 硫酸のいずれにおいても、中性紙もコピー用紙も RGB の合計値は、もとの紙（下図中 A）、酸性溶液につけた後暗所に置いた紙（下図中 C）、酸性溶液につけた直後の紙（下図中 B）、酸性溶液につけた後日に当てた紙（下図中 D）の順に大きい、すなわちこの順に色が白に近かった。このことから、酸性溶液につけることによって RGB の合計値が小さくなった紙が、酸性溶液につける前の色に戻ろうとすると考えられる。



3 結論

「pictures to color」と「Power Point」を用いて、紙の色を数値化することができた。

硫酸の濃度を変えても色の変化量はほとんど変わらず、比例関係は見られなかった。紙の日焼けには、紙の酸性度に関係がある硫酸が関係していると考えられる。なぜ紙の種類によって比例関係の有無に違いがあるのか今後調べていきたい。また、酸性溶液につけることによって RGB の合計値が小さくなった紙が、酸性溶液につける

前の色に戻ろうとすることもわかったので、色の変化の推移を細かく調べるなどして、なぜもとの紙の色に戻ろうとするのか調べていく。

4 参考文献

- ・スキャナーとフリーソフトを利用したてん茶の葉色簡易測定方法

<https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/258417.pdf>

- ・未来につなぐ人類の技15 洋紙の保存と修復

<https://www.tobunken.go.jp/image-gallery/conservation/15/HTML5/sd.html#/page/1>

BZ 反応の反応速度について

1. 緒言

BZ 反応 (Belousov-Zhabotinsky 反応) とは、溶液内で金属イオンが酸化と還元を繰り返すことで、溶液の色が周期的に変化する「振動反応」のことである。本研究では、セリウムイオンの存在下で、フェロインと結合した鉄イオンの酸化還元反応によって、溶液の色が赤 緑と周期的に変化する反応を観察した。

まずは反応を起こそうと実験に取り組んだが、論文や文献によって薬品や方法が異なり、いくつかの方法で試したがうまくいかなかった。そこで研究目的を「BZ 反応を確実に起こす条件を見つける」に定め、実験を行った。

2. 実験手順

使用した薬品を表 1 に示す。

表 1 使用薬品

薬品名	メーカー	型番	等級
濃硫酸	キシダ化学	010-74435	Ⅰ 級
臭素酸カリウム	キシダ化学	000-63372	特級
マロン酸	キシダ化学	000-47072	特級
臭化カリウム	島久薬品会社		Ⅰ 級
硝酸ニアンモニウムセリウム(Ⅳ)	キシダ化学	000-14792	特級
フェロイン溶液	キシダ化学	910-00454	

使用器具

300mL 三角フラスコ×3、50mL ビーカー×3、200mL ビーカー

マグネチックスターラー (ADVANTEC/SRS116AA) と攪拌子、駒込ピペット、電子天秤

以下に実験手順を示す。

(1) 3 つの 300mL 三角フラスコに、溶液 A、B、C を準備する。

A: 臭素酸カリウム 6.5g を電子天秤で計り、水 150mL に溶かす。

B: マロン酸 8g と臭化カリウム 1.5g を電子天秤で計り、水 150mL に溶かす。

C: 硝酸ニアンモニウムセリウム (Ⅳ) (以下アンモニウムセリウムと表記する) 2.8g と 0.025mol/L フェロイン溶液 1.6mL を、6mol/L 硫酸水溶液 75mL に溶かす。

※6mol/L 硫酸水溶液の作り方

濃硫酸を希釈するときは先に水を準備しておき、必要となる濃硫酸を少しずつ加える。これは、濃硫酸を希釈する際に多量の熱が発生して危険なためである。濃硫酸と水を体積比 1:2 で混合して 6mol/L の希硫酸を作る。

(2) 溶液 A 30 mL、溶液 B 30 mL、溶液 C 15 mL をそれぞれビーカーに取り出し、200mL ビーカーに順に注ぎ、スターラーにかける。このとき、マグネチックスターラー (ADVANTEC/SRS116AA) の回転は、5 段階中 2 ほどの速さに設定し、色の変化を観察する。5 分経っても変化しないときは「反応なし」とした。

3. 実験結果と考察

・色の変化について



図 1 混合直後

溶液を混ぜ合わせた直後は黄土色の濁った溶液になった。

(図 1) が、攪拌をするとすぐにほぼ無色に変化した後、だんだんと赤色に変化した。その後、薄い赤、青、緑へと変化したのち、紫を経て再び赤色に戻った。

その後も、赤色と緑色の間で周期的に色が変わった(図 2)。

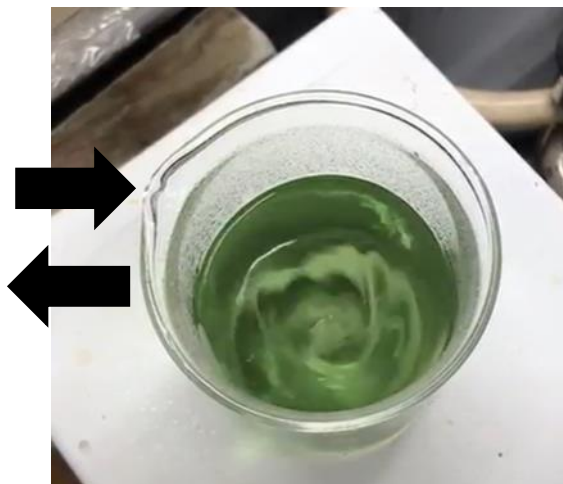


図 2 周期的な色の変化 赤 ← 緑

色の変化は触媒となっている金属塩(今回はセリウム塩)とフェロインに伴うものであり、セリウムイオンは Ce^{3+} では無色、 Ce^{4+} では黄色で、フェロインと結合した鉄イオンは Fe^{2+} では赤色、 Fe^{3+} では青色を示す。今回 緑色と赤色が見られたのは、それぞれの溶液の色が混ざったからだと考えられる。

・条件について

実験 1 は文献を参考にして行ったものであり、これを基準にして比較実験 2～9 を行った。

表 2 は、実験結果を条件別一覧にしたものである。

表 2 実験結果(×→反応なし △、○、◎→反応有) ※実験 1 と異なる条件に○をつけた。

条件	実験	1	2	3	4	5	6	7	8	9
アンモニウムセリウム		有	○無	○半分	有	有	有	有	有	有
スターラーの回転		遅	遅	遅	○速	遅	遅	遅	遅	遅
フェロイン溶液[mL]		1.6	1.6	1.6	1.6	○3.2	1.6	1.6	1.6	1.6
硫酸濃度 [mol/L]		6	6	6	6	6	○1	○2	○3	○7
結果		○	×	△* ¹	×	△* ²	×	×	○	◎

*¹ 反応は起きたが、黄色と無色の間で色が変化した。

*² 溶液の色は濃くなったが、色の変化途中が分かりにくくなった。

⇒実験 2、3 (アンモニウムセリウムの量との関係)

アンモニウムセリウムを加えなかったとき、色の変化は見られなかった。また、実験3でアンモニウムセリウムの量を半分にしたときは、黄色と無色の間で色の変化が起きた(図 3)。

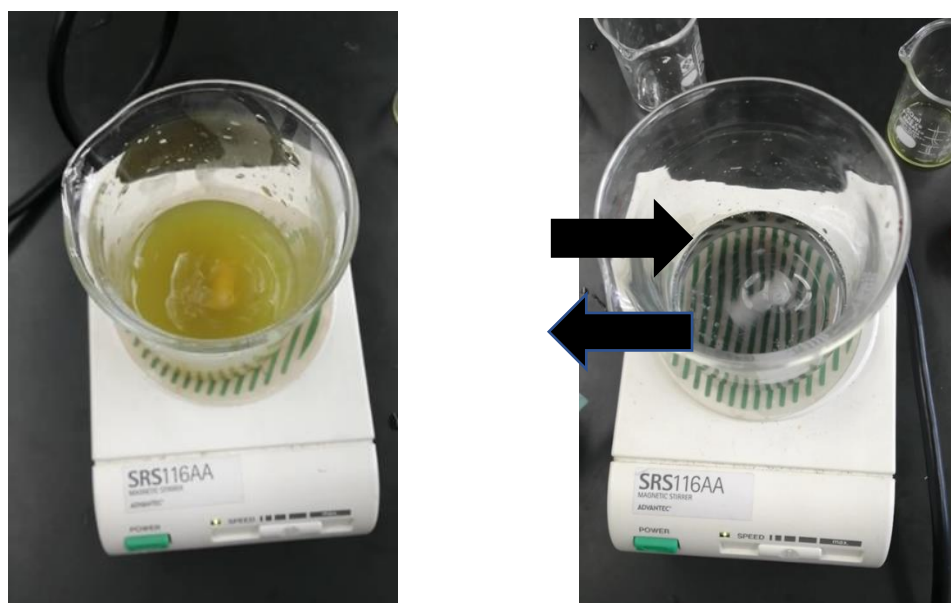


図 3 実験 3(アンモニアセリウム半分のとき)の反応

⇒実験 4 (スターラーの回転の速さとの関係)

スターラーの回転の速さは、実験 1 では 5 段階中の 2 ほどの速さに設定し、実験 4 ではそれよりも速い 5 段階中の 4 ほどの速さに設定した。回転を速くすると、色の変化は見られなかった。

⇒実験 5 (フェロインの量との反応)

フェロイン溶液の量を増やすと、溶液の色は濃くなったが、色の変化の過程が分かりにくくなった。

⇒実験 6～9 (硫酸濃度との関係)

硫酸濃度が 1mol/L (実験 6) および 2mol/L (実験 7) では反応しなかった。

硫酸濃度が 3mol/L (実験 8)、6mol/L (実験 1)、7mol/L (実験 9) について振動回数 (何回目) の色の変化であるか) と振動 (色の変化) 1 回にかかる時間との関係を図 4 および表 3 に示した。測定値は、同じ条件で行った 3 回の実験の平均値である。緑→赤の変化については、濃度ごとにあまり違いはなかったが、赤→緑の変化については、時間を要する順に 3mol/L→6mol/L→7mol/L となり、濃度 7mol/L のとき反応速度が一番速いことが分かる (図 4)。

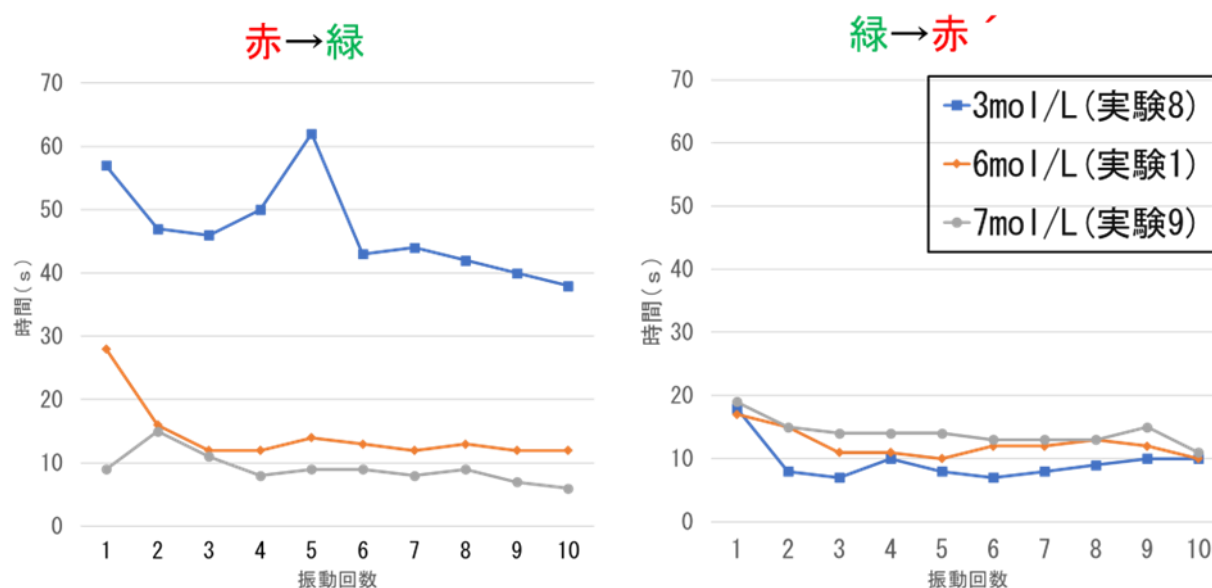


図 4 硫酸濃度別の反応速度(3 回平均値)

表 3 硫酸濃度別の振動に要する時間(3 回平均)

(赤→緑)

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
3mol/L	57(s)	47	46	50	62	43	44	42	40	38
6mol/L	28	16	12	12	14	13	12	13	12	12
7mol/L	9	15	11	8	9	9	8	9	7	6

(緑→赤)

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目	10 回目
3mol/L	18(s)	8	7	10	8	7	8	9	10	10
6mol/L	17	15	11	11	10	12	12	13	12	10
7mol/L	19	15	14	14	14	13	13	13	15	11

また、硫酸濃度が 7mol/L のときは、他の濃度と比べて反応速度が速いだけでなく、溶液の色が濃く出た。
 このように、BZ 反応をより速く、濃くはっきりと起こすには、実験 9 が最適だった。

4. 反応機構

この実験で起こっている全反応は希硫酸中での臭素酸イオンによるマロン酸の酸化で、セリウムイオンが触媒となる。反応機構を図 5 に記す。

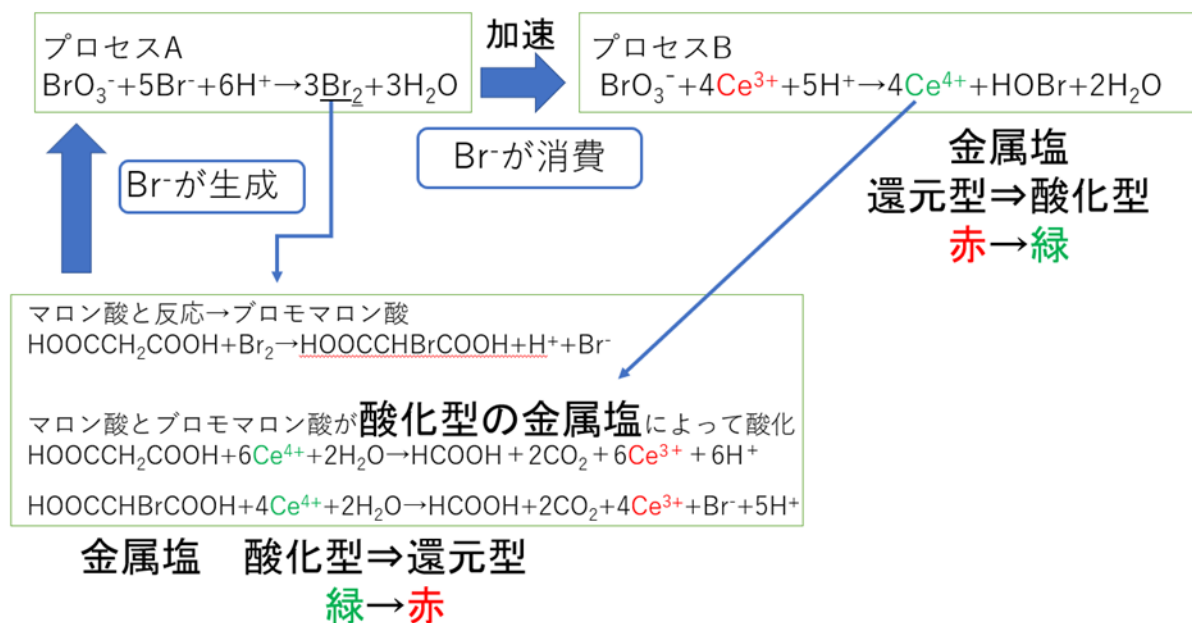
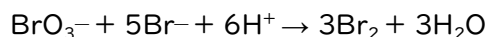
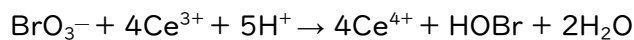


図 5 本 BZ 反応の反応機構

溶液を混ぜると、まず臭素が発生する（プロセス A の開始）。



臭素酸塩は臭化物イオンによって臭素に還元される。臭化物イオンが消費されつくすと、プロセス A が停止する。
 プロセス A の過程で亜臭素酸が生成すると、プロセス B が始まる。

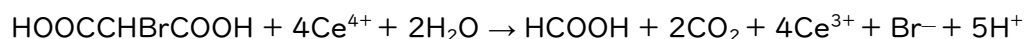
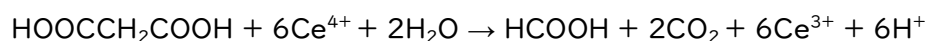


プロセス B は、還元型の金属塩による、臭素酸塩の次亜臭素酸への還元である。プロセス A が停止するとプロセス B が加速され、これに伴い金属塩が還元型から酸化型に変化し、色も緑色に変化する。

一方、プロセス A で生成した臭素とマロン酸が反応し、ブロモマロン酸になる。



マロン酸とブロモマロン酸は酸化型の金属塩によって酸化され、ギ酸と二酸化炭素になる。



このとき Ce^{4+} が還元されて Ce^{3+} に戻り、これに伴い還元型の金属塩となり、色変化が起きて元の色である赤色に戻る。また、発生した臭化物イオンによってプロセス A が再開する。

5. 結論

実験 1～9 より、次のことが分かった。

BZ 反応をより確実に起こすには、アンモニウムセリウムが一定量必要で、スターラーを速く回し過ぎてはいけない。硫酸濃度は 3mol/L 以上必要で、7mol/L までの範囲では濃度が高い方が 反応速度が速く、溶液の色が濃い。

緑と赤の色変化にはフェロイン溶液が一定量必要で、きれいに色を出すには 溶液の色を確認しながら加える量を調整する方がよい。

緑→赤の変化速度は赤→緑の変化速度に比べて、硫酸の濃度を変えてもあまり差が出なかったため、今後はより速く反応させる条件を調べたい。

6. 参考文献

Wikipedia 2022 ペロウソフ・ジャボチンスキー反応

<https://ja.wikipedia.org/wiki>

莊司隆一 2014 振動反応

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/62/7/62_KJ00009410874/_pdf

ボールペンと洗剤

1. 緒言

皆さんはボールペンが制服についてしまったことがあるだろうか。私たちは普段使っているボールペンの落ちやすさに興味を持ち研究を行った。先行研究では、さまざまな種類の市販の洗剤を用いてワイシャツについたさまざまなボールペンの汚れを落とす研究が行われていた。そこから発想を得て洗剤成分の比率に着目し、実験を行った。

私たちは研究を行っていくうえで、汚れの落ちやすさにはミセルが関係しているのではないかと考えはじめた。そこでミセルと泡の構造に注目した。ミセルは疎水性部分を内側に、親水性部分を外側にして汚れを取り囲んでいる。また泡は、ミセルと同じようにして空気を取り囲んだ外側に、もう一層親水性部分を内側に、疎水性部分を外側にした二重層を形成している。一層と二層で違いがあるが、取り囲むという点で構造が似ているため、新たに泡の形成に関する実験を行った。

2. 実験手順

	品名	メーカー	型番	その他
ボールペン ワイシャツ	SARASA CLIP	ZEBRA	JJ15	黒 0.5mm
	TOMBOW	株式会社 トンボ	No.55590-	綿:55%
	SCHOOL SHIRTS		02	PET:45%

表 1 実験に使用したもの

	品名	メーカー	型番	その他
市販の洗剤	ARIEL BIO science	P&G ジャパン合同会社	062703	液性:中性
	JOY W 除菌 濃縮コンパクトタイプ	P&G ジャパン合同会社	046345	液性:弱アルカリ
合成洗剤	I 級 ドデシル硫酸ナトリウム	OSAKA キシダ化学株式会社 JAPAN	Lot No.J20590M	純度: 98.0%以上
	アミノ酸自動分析用ブリッジ 35 (ポリオキシエチレンラウリルエーテル)	OSAKA キシダ化学株式会社 JAPAN	Lot No.K21597M	
溶質	塩化マグネシウム 無水	OSAKA キシダ化学株式会社 JAPAN	Lot No.G53844G	純度: 98.0%以上
油	日清べに花油	日清オイリオグループ株式会社 Y		

表 2 実験に使用した薬品

実験準備

- ・ワイシャツを 7cm×7cm のサイズに切った。切ったワイシャツに鉛筆で 2cm×2cm の枠を書き、中をボールペンで塗りつぶした。これをワイシャツ a とした。

(図1)



図1 ワイシャツ a

- ・ビーカーに水 100mL を入れ、ドデシル硫酸ナトリウムを 5.00g 混ぜた。これを溶液 a とした。
- ・ビーカーに水 100mL を入れ、ポリオキシエチレンラウリルエーテルを 5.00g 混ぜる。これを溶液 b とした。この時、ポリオキシエチレンラウリルエーテルは塊状で水に溶けにくいため、少量ずつ細かく砕いたものを溶かした。
- ・ビーカーに水 100mL を入れ、ドデシル硫酸ナトリウムを 2.50g、ポリオキシエチレンラウリルエーテルを 2.50g 混ぜた。これを溶液 c とした。この時、ポリオキシエチレンラウリルエーテルは塊状で水に溶けにくいため、少量ずつ細かく砕いたものを溶かした。

実験1

ワイシャツ a をトレイ(22cm×15cm×3.5cm)の上に置いたものを 3 つ準備した。ワイシャツ a の上から溶液 a をかけたものをワイシャツ①、溶液 b をかけたものをワイシャツ②、溶液 c をかけたものをワイシャツ③とした。ワイシャツ①、②、③のそれぞれを 1 分間こすり洗いを行った。その後、水道水を入れたトレイで 1 分間すすぎ洗いを行った。この試行を 2 人で 2 回ずつ行った。

実験2

試験管を 3 本準備した。それぞれに 10mL ずつ、溶液 a を入れたものを試験管①、溶液 b を入れたものを試験管②、溶液 c を入れたものを試験管③とした。これらにゴム栓を付け、10 秒間激しく上下に振った。この試行を 2 人で 2 回ずつ行った。

実験3

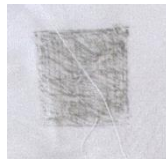
実験2と同様の試験管を新たに 3 本準備し、それぞれに油を 0.20ml 加えた。試験管①に加えたものを試験管④、試験管②に加えたものを試験管⑤、試験管③に加えたものを試験管⑥とした。これらにゴム栓を付け、10 秒間激しく上下に振った。この試行を 2 人で 2 回ずつ行った。

実験4

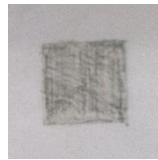
実験3と同様の試験管を新たに 3 本準備し、それぞれに塩化マグネシウムを 0.30g ずつ加え、溶かした。試験管④に加えたものを試験管⑦、試験管⑤に加えたものを試験管⑧、試験管⑥に加えたものを試験管⑨とした。これらにゴム栓を付け、10 秒間激しく上下に振った。この試行を 2 人で 2 回ずつ行った。

3.実験結果

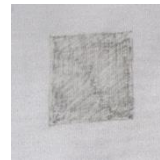
実験1



溶液 a



溶液b

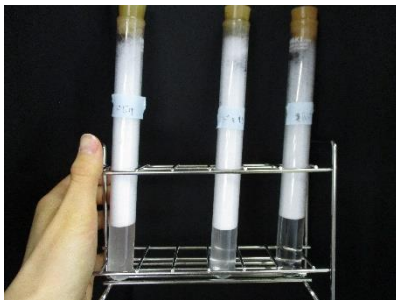


溶液c

図2 実験Ⅰの結果

ドデシル硫酸ナトリウムとポリオキシエチレンラウリルエーテルを1:1に混合させた溶液 c が最も汚れを落とした。

実験2

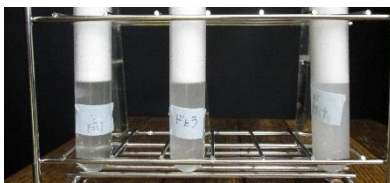


試験管③が最も崩れにくい泡を形成し、長時間泡の形を保った。一方で、試験管②の泡はすぐに崩れた。

試験管① 試験管③ 試験管②

図3 実験2の結果

実験3

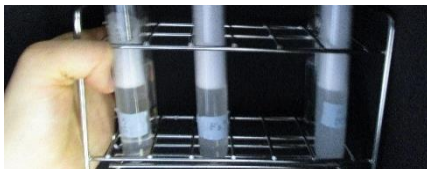


試験管⑤ 試験管⑥ 試験管④

図4 実験3の結果

試験管④では溶液が最も濁った。一方で、試験管⑤では溶液の濁りがあまり見られず、油と水溶液の分離が見られた。また、泡の形成においては試験管⑥が最も崩れにくい泡を形成し、長時間泡の形を保った。一方で、試験管⑤の泡はすぐに崩れた。

実験4



試験管⑧ 試験管⑨ 試験管⑦

図5 実験4の結果

試験管⑦では溶液が最も濁った。一方で、試験管⑧では溶液の濁りがあまり見られず、油と水溶液の分離が見られた。また、泡の形成においては試験管⑨が最も崩れにくい泡を形成し、長時間泡の形を保った。一方で、試験管⑧の泡はすぐに崩れた。

4.考察

実験Ⅰ

ドデシル硫酸ナトリウムとポリオキシエチレンラウリルエーテルを質量比1:1で混合したときに最も汚れを落とす効果を発揮すると考えられる。

実験2

一般的に泡とミセルの形成方法が似ていることから1:1で混合した洗剤が崩れにくいミセルを形成すると考えられる。

実験3

ドデシル硫酸ナトリウムは、ポリオキシエチレンラウリルエーテルのみ、またはドデシル硫酸ナトリウムとポリオキシエチレンラウリルエーテルの1:1の混合物と比べ、より強い乳化作用があると考えられる。

実験4

水の硬度によって乳化作用に差異は見られないと考えられる。

5. 結論

水性ボールペンの汚れを落とすには最も強固な泡を形成したドデシルとラウリルの1:1の混合物が最も有効である。

硬水と軟水とでは乳化作用に大きな差異はない。

実験2と実験3において、油の有無によって乳化作用と泡の形成の結果に差異が見られた。そのため、油性ボールペンを用いて実験①と同様の実験を行い、理由を解明したい。

6. 参考文献

新潟県立長岡高等学校 平成29年度『シャツについてボールペンのインクを落とそう!』
理数科サイエンスコース 課題研究論文集 p.34

『ドデシル硫酸ナトリウム』 富士フイルム

(<https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/product/detail/W01W0116-1156.html>)

『ポリオキシエチレンラウリルエーテル』 富士フイルム

(<https://labchem-wako.fujifilm.com/jp/product/detail/W01W0119-1398.html>)

『入門講座 泡の化学』 小山内州一 2001年

(https://www.jstage.jst.go.jp/article/oleoscience/1/8/1_863/_pdf/-char/ja)

大阪の空の明るさについて

1. 緒言

この研究をする際のきっかけは、普段夜空を眺めるとき、空の明るさによって見える星の数は異なることに興味を持ったからである。例えば、満月の日と新月の日を比べると、新月のほうが月明かりの影響がほぼないため、よりたくさんの星を見ることができる。また、街あかりがない山中で撮影された夜空の写真では、街中に比べてより多くの星が写っている。

そこで私は、より多くの星を観測する条件を調べる第一歩として、空の明るさに注目し、数値化することを試みた。

夜空の明るさの数値化には、「スカイクオリティメーター」(SQM)が用いられる。SQMとは、夜空の明るさを客観的尺度で測定できる器械である。カナダの Unihedron 社製で、日本では国際光器から購入することが可能。視野角の異なる 2 種類が販売されているが、本研究では視野角が広い「SQM」(Sky Quality Meter :図 1)を用いた。視野角は 80° で、その範囲の空の明るさを測定することが可能。また、センサー部には赤外カットフィルタが付いており、可視光領域のみを測定できる。



図1 SQM (Sky Quality Meter)

SQM の出力する数値の単位は平方秒角あたりの等級 [$\text{mag}/\text{arcsec}^2$] であり、例えば $16.8 [\text{mag}/\text{arcsec}^2]$ は 16.8 等級の星に相当する光の量が、1 平方秒角に広がっていることを表す。数値が大きいほど暗い夜空であり、値が 1 異なると光の量が約 2.5 倍異なる (値が 5 異なると光の量が 100 倍異なる) 対数スケールの値になる。

人工光が全くなく、かつ最も暗い自然条件での夜空の明るさは、天頂付近で $22.1 [\text{mag}/\text{arcsec}^2]$ くらいと考えられており、一方満月の出ている夜空の明るさはおおよそ $17.0 [\text{mag}/\text{arcsec}^2]$ 程度となる。

実際にその器械を用いた研究もある。

例えば、奥谷ほか、2019 の研究では、2019 年 5 月 10 日(月齢 5.2、月没 23:56、日出 4:46)の長野県の本曾青峰高等学校の空の明るさを測定している(図2)。

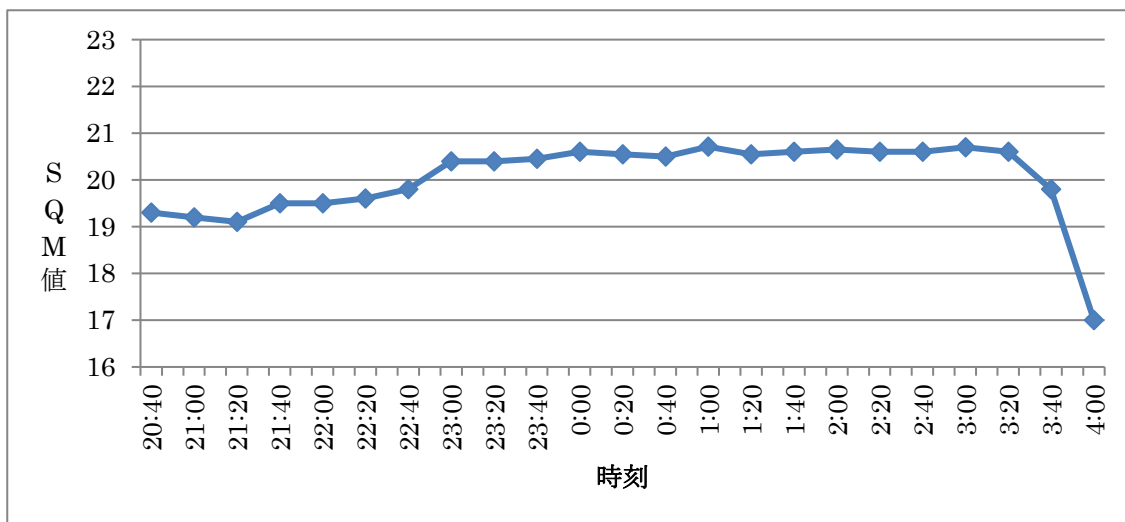


図2 木曽青峰高等学校の結果

それによると、月没時刻に近づくにつれて値が上昇し、日出時刻に近づくにつれて値が減少している。

この結果から、月や太陽の影響で空の明るさが変化すると報告されている。

この研究結果をもとに、大阪府における空の明るさがどのようになるか、仮説を立てた(図3)。比較のため、図2の長野県のデータも併記した。

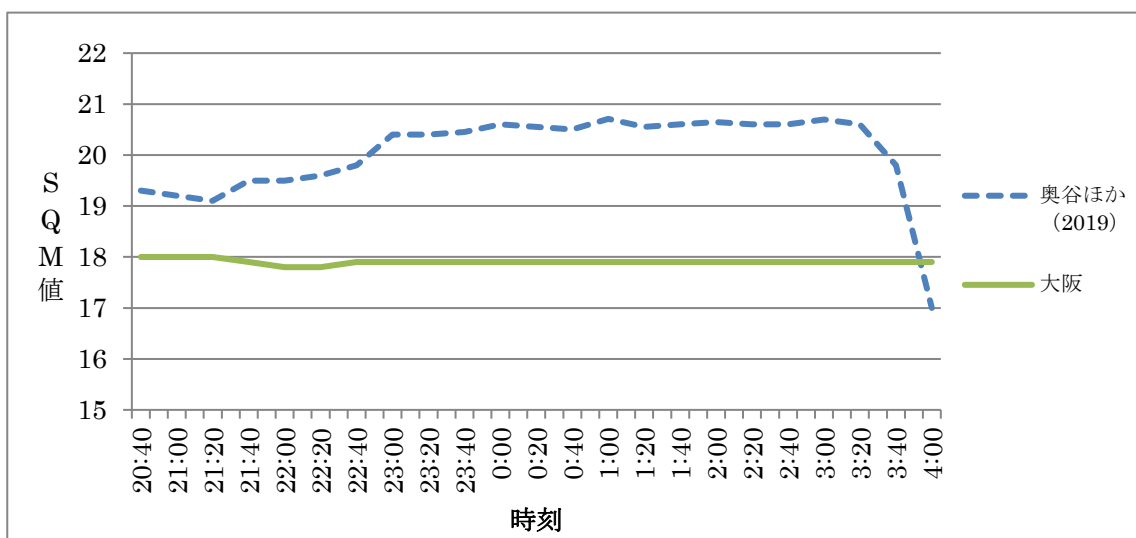


図3 大阪府の空の明るさ(仮説)

日出の影響は、大阪と長野でほとんど差はないと考え、急激に値が減少し、空の明るさの変化が大きく変化すると考えた。

月明かりのない日と仮定したため、グラフは直線的になると考えた。また、長野県より大阪府のほうが空は明るく、値が小さいと考えた。

これらの仮説を確かめるため、本研究では、月齢と月没時刻がほぼ同じ日に測定を行った。月明かりの影響が同じ条件で値の変化を日時で比較した。

2. 測定方法

実験1;長野県、大阪府の仮説との比較

・使用した器械

SQM(Unihedron 社)

・測定日時 ※①、②共に終夜行った。

① 2022 年 2 月 5~6 日 20:40~4:00 終夜 曇りのち晴れ

月没:21:47 日出:6:53 月齢:3.9(0 時)

② 2022 年 3 月 6~7 日 20:40~4:00 終夜 晴れ

月没:21:32 日出:6:21 月齢:3.4(0 時)

・測定場所

①、②共に大阪府大東市

・測定方法

SQM を天頂に向け、上記の時刻において、10 分おきに 1 度に 5 回ずつ記録をとる。

この数を以後 SQM 値と示す。

値は手作業で測るため、平均値をとると値のばらつきが大きい時刻に誤差が大きくなる可能性が高い。

そのため、奥谷ほか、2019 と同様に、5 回の記録の中央値を測定結果とした。

実験2;街あかりの影響の程度の測定

・使用した器械

SQM(Unihedron 社)

・測定日時

晴れの日の 20:40(終夜測定時の開始時刻)に行う

・測定場所

すべて大阪府大東市

・測定方法

SQM を天頂に向け、20:40 に同様に 5 回記録をとる。

その際、隣家の明かりの有無に注目し、SQM 値を測定する際の場所の写真の撮影も行った。

3. 結果

実験Ⅰ

測定結果は次ページの通りである。

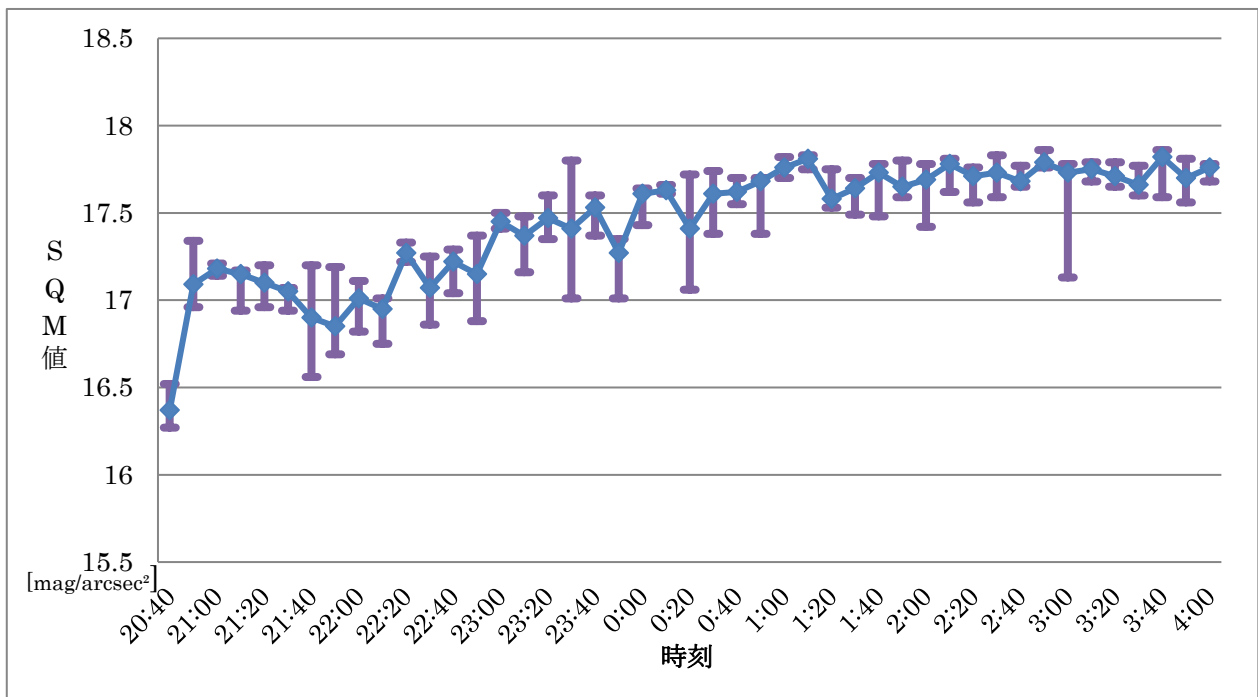
※表Ⅰ、表Ⅱの中央値をグラフ(図4、図5)に示し、5 回の記録の最大値、最小値も中央値の上下に幅として示す。

表1 2月5日から6日の SQM 値の記録と中央値[mag/arcsec²]

時間/回数	一回目	二回目	三回目	四回目	五回目	中央値
20:40	16.56	16.48	16.56	16.42	16.48	16.48
20:50	16.67	16.83	16.98	16.85	16.58	16.83
21:00	17.02	17.06	17.04	16.89	16.92	17.02
21:10	17.21	17.08	17.06	16.99	16.88	17.06
21:20	17.08	17.01	17.03	17.00	17.04	17.03
21:30	17.02	17.03	17.04	16.89	17.23	17.03
21:40	17.20	16.98	16.89	17.11	17.03	17.03
21:50	17.03	16.93	17.07	17.03	17.17	17.03
22:00	17.08	16.99	17.08	16.93	17.04	17.06
22:10	17.05	16.86	17.05	16.95	16.98	16.98
22:20	17.44	17.05	17.28	17.16	17.02	17.16
22:30	17.36	17.08	17.29	17.11	17.38	17.29
22:40	17.35	17.18	17.36	17.10	17.25	17.25
22:50	17.42	17.25	17.41	17.28	17.37	17.35
23:00	17.53	17.38	17.61	17.38	17.42	17.42
23:10	17.38	17.49	17.43	17.39	17.38	17.39
23:20	17.71	17.57	17.63	17.50	17.29	17.57
23:30	17.32	17.52	17.48	17.39	17.46	17.46
23:40	17.63	17.58	17.6	17.59	17.42	17.59
23:50	17.42	17.52	17.48	17.49	17.48	17.48
0:00	17.45	17.57	17.58	17.78	17.72	17.58
0:10	17.74	17.55	17.69	17.64	17.45	17.60
0:20	17.41	17.46	17.54	17.49	17.49	17.49
0:30	17.81	17.63	17.58	17.54	17.59	17.59
0:40	17.62	17.60	17.49	17.68	17.67	17.62
0:50	17.79	17.59	17.58	17.64	17.74	17.64
1:00	17.81	17.79	17.74	17.79	17.88	17.79
1:10	17.82	17.86	17.90	17.82	17.85	17.85
1:20	17.64	17.88	17.69	17.86	17.99	17.78
1:30	17.61	17.75	17.62	17.75	18.02	17.75
1:40	17.67	17.73	17.84	17.79	17.83	17.79
1:50	17.69	17.65	17.86	17.75	17.79	17.72
2:00	17.52	17.74	17.90	17.85	18.00	17.85
2:10	17.69	17.74	17.86	17.87	17.92	17.86
2:20	17.68	17.98	17.73	17.95	17.84	17.84
2:30	17.82	17.74	17.93	17.92	17.94	17.92
2:40	17.82	17.59	17.83	17.69	17.91	17.82
2:50	17.91	17.68	17.79	17.84	17.81	17.81
3:00	17.82	17.86	17.85	17.98	17.92	17.86
3:10	17.93	17.94	17.86	17.99	18.05	17.94
3:20	17.82	17.96	17.82	17.69	18.02	17.82
3:30	17.83	17.87	17.95	17.73	17.69	17.83
3:40	17.86	17.84	17.91	17.78	17.89	17.86
3:50	17.94	17.79	17.94	17.88	17.59	17.88
4:00	17.78	17.85	17.88	17.94	18.04	17.88

表2 3月6日から7日の SQM 値の記録と中央値[mag/arcsec²]

時間/回数	一回目	二回目	三回目	四回目	五回目	中央値
20:40	16.27	16.39	16.30	16.37	16.52	16.37
20:50	16.96	17.01	17.34	17.10	17.09	17.09
21:00	17.18	17.20	17.14	17.16	17.21	17.18
21:10	17.17	17.14	17.16	17.15	16.94	17.15
21:20	17.04	16.96	17.10	17.20	17.19	17.10
21:30	17.07	16.94	17.07	16.94	17.05	17.05
21:40	17.20	16.96	16.56	16.78	16.90	16.90
21:50	17.19	16.73	16.69	16.85	17.11	16.85
22:00	17.04	17.01	17.11	16.82	16.88	17.01
22:10	17.01	16.98	16.95	16.87	16.75	16.95
22:20	17.33	17.27	17.28	17.22	17.25	17.27
22:30	17.25	17.14	17.06	16.86	17.07	17.07
22:40	17.29	17.22	17.19	17.04	17.22	17.22
22:50	17.37	17.17	17.07	16.88	17.15	17.15
23:00	17.41	17.49	17.45	17.42	17.50	17.45
23:10	17.44	17.37	17.48	17.18	17.16	17.37
23:20	17.60	17.51	17.35	17.47	17.37	17.47
23:30	17.01	17.41	17.80	17.43	17.23	17.41
23:40	17.56	17.60	17.37	17.43	17.53	17.53
23:50	17.35	17.27	17.01	17.29	17.02	17.27
0:00	17.43	17.62	17.61	17.57	17.64	17.61
0:10	17.63	17.62	17.66	17.61	17.66	17.63
0:20	17.36	17.06	17.54	17.72	17.41	17.41
0:30	17.68	17.74	17.61	17.38	17.56	17.61
0:40	17.55	17.56	17.62	17.70	17.63	17.62
0:50	17.69	17.70	17.38	17.57	17.68	17.68
1:00	17.75	17.82	17.77	17.70	17.76	17.76
1:10	17.75	17.81	17.81	17.83	17.79	17.81
1:20	17.53	17.54	17.58	17.75	17.58	17.58
1:30	17.49	17.59	17.64	17.65	17.70	17.64
1:40	17.48	17.68	17.78	17.73	17.75	17.73
1:50	17.62	17.65	17.80	17.67	17.59	17.65
2:00	17.42	17.58	17.75	17.69	17.78	17.69
2:10	17.62	17.81	17.78	17.76	17.80	17.78
2:20	17.58	17.76	17.56	17.71	17.73	17.71
2:30	17.69	17.59	17.73	17.83	17.76	17.73
2:40	17.77	17.67	17.68	17.72	17.65	17.68
2:50	17.79	17.86	17.76	17.79	17.79	17.79
3:00	17.73	17.78	17.76	17.13	17.38	17.73
3:10	17.68	17.79	17.75	17.77	17.70	17.75
3:20	17.66	17.79	17.71	17.72	17.65	17.71
3:30	17.77	17.60	17.66	17.66	17.61	17.66
3:40	17.74	17.82	17.86	17.59	17.83	17.82
3:50	17.66	17.81	17.70	17.56	17.71	17.70
4:00	17.68	17.76	17.69	17.78	17.77	17.76



図

4 ①(2月5日から6日)のSQM値の中央値と最大・最小値

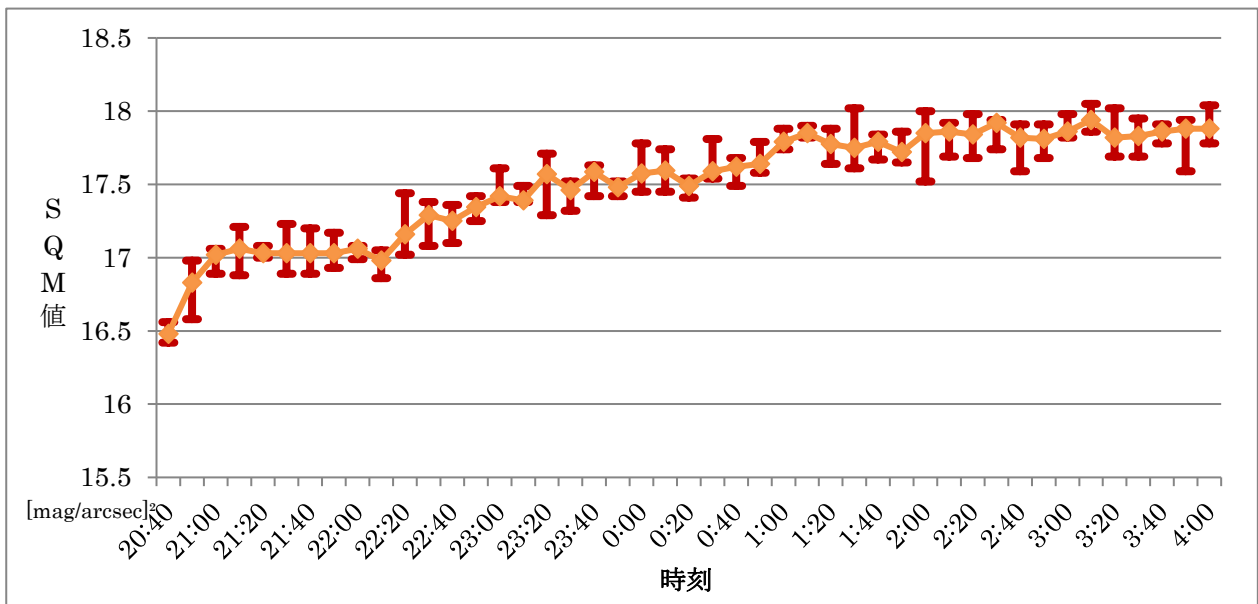


図5 ②(3月6日から7日)のSQM値の中央値と最大・最小値

実験2

結果を表3に示す。

街灯の欄は観測地付近の民家の明かりがついていれば「あり」、消えていれば

「なし」と示した。

表3:20:40における街あかりと SQM 値(実験2)

日付/回数	月齢	街灯	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	中央値
2月5日<a>	3.9	あり	16.27	16.39	16.30	16.37	16.52	16.37
3月6日	3.4	あり	16.56	16.48	16.56	16.42	16.48	16.48
6月2日<c>	2.6	あり	16.61	16.32	16.42	16.41	16.38	16.41
6月3日<d>	3.6	あり	16.21	16.47	16.5	16.59	16.59	16.5
6月5日<e>	5.6	なし	17.17	17.14	17.16	17.15	16.94	17.15

5.考察

実験1

- ・①、②ともに、月没時刻に近づくにつれて、急激に SQM 値が大きくなった。よって月の影響を受けることが分かった。
- ・①、②ともに、20:40~23:00 ごろと 23:00 以降で SQM 値が 1 等級異なっていて、街あかりの多さが影響していると考えられる。
- ・①、②の相違点として、①のほうが最大値最小値の範囲のばらつきが目立っている。これは雲による影響で空が暗くなったと考えられ、晴れであった②より曇りであった①のほうが値のばらつきが大きい。
- ・木曽青峰高等学校の結果と比較するとおよそ 3 等級程差があり、常に大阪府が長野県の数値を下回っていた。よって長野県より大阪府のほうが空は明るい。
- ・仮説と比較すると、仮説より街あかりの影響が大きく、仮説の数値より下回った記録となった。

実験2

- ・街あかりの有無で等級が約 0.75 等級変化しており、街あかりは空の明るさが変化する大きな要因であることが分かった。
- ・街あかりがない<e>は、街あかりのある他の観測日<a>~<d>より、SQM 値が大きく空が暗いことが分かる。また記録 5 回すべてがほかの 4 日より顕著に大きい。この日は、月齢がほかの日より大きいにもかかわらず、SQM 値が小さかったのも、街あかりの影響は大きいことが分かる。
- また、街あかりがある日<a>~<d>は、月齢が異なるにもかかわらず、SQM 値が 16.37~16.50 でほぼ一定である。街あかりの影響で、月齢と空の明るさに相関が見られなくなったと考えられる。

6.結論

SQM を用いて、空の明るさを数値化することに成功した。

その結果、以下のことが、空の明るさが変化する条件であることが分かった。

(1) 太陽・月の有無

⇒一番空の明るさに影響し、月没直前・月没直後は明るい。

(2) 雲の有無

⇒雲があると、同じ時刻における測定値(一回目~五回目)のばらつきが大きい。

(3) 観測地の違い

⇒観測地によって大きく値が異なり、例えば大阪府と長野県では 3 等級差がある。

(4) 街あかりの有無

⇒(1)ほどの変化はないが、明るさが大きく変化する。

今後の課題として、以下のことがあげられる。

- 終夜データをとれる回数が少なかったので、もっとたくさんのデータを集める。
⇒結論①～④をより確かなものにする。
- ⇒季節によって日出、日没の時刻が変わるので、その変化も調べる。
- 街あかりの数と空の明るさの詳しい相関関係や大阪府内でのほかの観測地との比較、見える星の数と空の明るさの相関関係など、他にもいろいろ調べる余地が見つかった。

7.参考文献

- ・奥谷楓,木原拓人,西田安香音,長野県木曽青峰高等学校課題研究天文班,2019,
木曽の夜空の明るさについて
https://www.nagano-c.ed.jp/seiho/intro/risuka/kadaikenq/paper/2019/08_brightness%20of%20night%20sky.pdf
- ・Sky Quality Meter SQM- 国際光器
<http://www.kokusai-kohki.com/products/sqm.html>
- ・暦計算室-国立天文台
<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/>

換気で快適な教室にしたい！

1. 緒言

本研究を始めたきっかけは普段の学校生活にある。私たちの所属する学校の教室の冷房は6月中旬から使用が許可されるが、それ以前の5月頃にも暑い日は多いので、冷房が使えない時期でも暑い日を涼しく過ごしたいと考えた。そこで換気だけで冷房と同程度の気温の変化を教室内に起こすことは可能だろうかとの疑問に思い、研究を始めた。

冷房は主に室内機と室外機の2つの機器から成り立っている。室内で熱を持った空気を室内機が吸収し、空気の持つ熱を機器内部の冷媒へ移す。冷媒は室外機へと移動し、冷媒から熱が機器の外へ放出される。室内機からは熱を失った冷たい空気が放出される。私たちは冷房のこの機能に着目した。そして、換気だけで教室内の暖かい空気を冷たい空気に変えることを研究の目標とした。

この方法として、私たちは教室内の暖かい空気と冷たい空気を触れさせること、つまり教室内の気温を平均化することを考えた。これは教室内の気温が場所によって差があり、均一ではないことを利用している。これを実現させるには、教室内の気温の分布と、換気で教室内に生じた風による教室内の空気の動きを知る必要がある。これらのことを知るために、2つの実験を計画した。1つ目が教室内の気温の計測(実験Ⅰ)、2つ目が教室の模型による空気の動きのモデル実験(実験Ⅱ)である。1つ目の実験結果より教室内の気温の分布を考察した。また2つ目の実験より実験教室内の気温の平均化を起こすことができる風の向きを考察した。

なお、本研究は微気候(微気象)という分野に分類される。微気候(微気象)とは、「建物や人間活動などの影響を強く受ける地表から高度100m程度までの気象」(大西領,2020)を指す。

本校のサイエンス探究では、杉村優芽、松田穂乃佳,2020に見られるように、冷房の効率的な使い方について研究しているが、本研究では換気に注目して研究した。

2. 実験で使用した器具・教室

表Ⅰ 実験で使用した器具

デジタル温湿度計	株式会社ドリテック, O-251
ハンディファン	flowflowflow スタンダードハンディファン, エレコム株式会社, FAN-U205

また教室の模型の作成・実験には以下の材料を用いた。

ベニヤ板, 木エポンド, ガラス, ガムテープ, 線香

計測場所は大阪府立大手前高校本館4Fの401教室と6Fの601教室である。

教室模型は401教室をモデルとした。

3. 実験手順

実験Ⅰ 教室内の気温の計測

教室内の気温をデジタル温湿度計で計測した。計測時刻は本校の時刻表を基に決定した。1日11回の計測中、教室の2つのドアは常に開放することとした。この実験は11月に601教室で、4,5月に401教室で行った。

表 2 本校の時程と気温の計測時間

時程	SHR	1 限目	2 限目	3 限目	4 限目	5 限目
	8:25~8:40	8:40~9:45	9:55~11:00	11:10~12:15	13:00~14:05	14:15~15:20
計測時間	8:25 15:20	8:40	9:45 9:55	11:00 11:10	12:15 13:00	14:05 14:15

(a)601 教室での計測

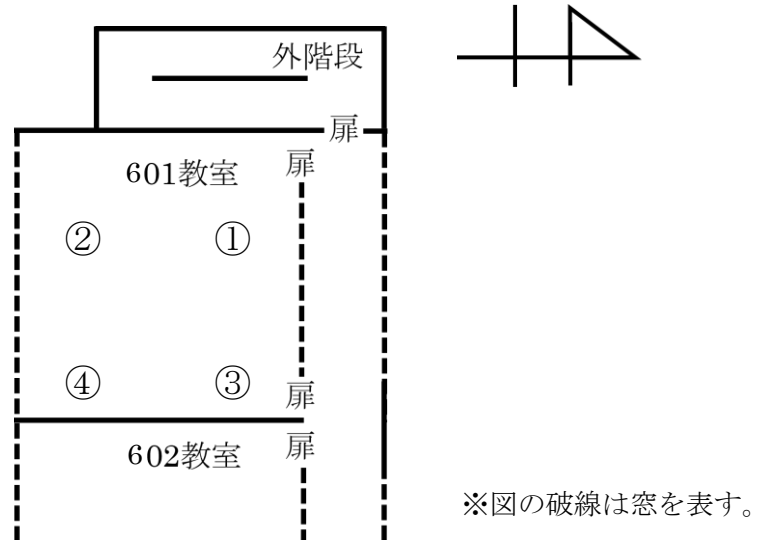


図 1 教室内の計測地点(601 教室)

授業日の 2021 年 11 月 11, 12, 15~19, 22~26 日に計測を行った。計測地点は教室内の 4 か所である(図 1)。授業中には窓を閉め、休み時間中には開けた。

(b)401 教室での計測

授業日の 2022 年 4 月 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27 日, 5 月 2, 6, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19 日に計測を行った。計測地点は教室内の①~⑨の 9 か所である(図 2)。計測は床から高さ 1.5m の位置で行った。授業中には窓を開け、休み時間中には閉めた。ただし計測を行ったのは 401 教室でクラス全員(40 人)が授業を受ける時限の前後のみである。

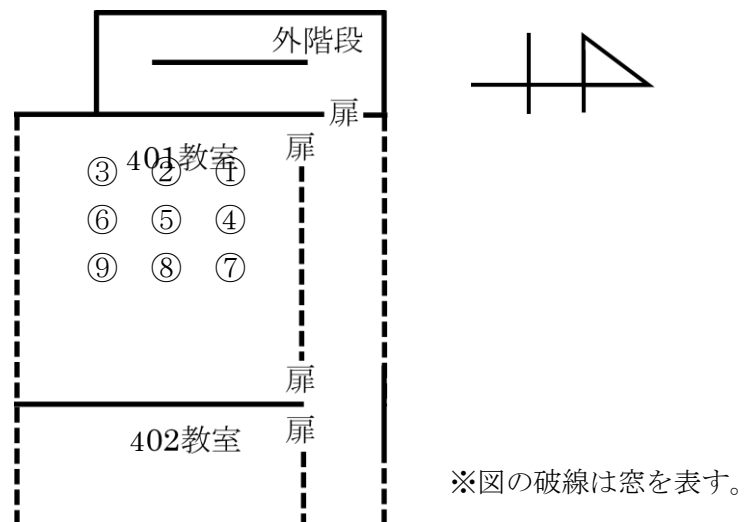


図 2 教室内の計測地点(401 教室)

実験Ⅱ 教室の模型による空気の動きのモデル実験

教室に吹き込む風が室内の空気の動きに与える影響を可視化するため、教室の模型を製作してモデル実験を行った。模型の内部を線香の煙（50 本分）で満たした後、模型にハンディファンで風を当てて、内部の煙の動き方を観察した。

ハンディファンは模型から 23.5cm の距離（模型の縦幅の半分の長さに相当）に設置し、風量は最小に設定した。複数方向から風を当てる場合は、風を当て始めるタイミングを揃えた。また、観察は線香の煙が視認できなくなるまで、約 30 秒間行った。

実験は 7 通りの風の当て方で実施した。これを以下の図 3 に示す。

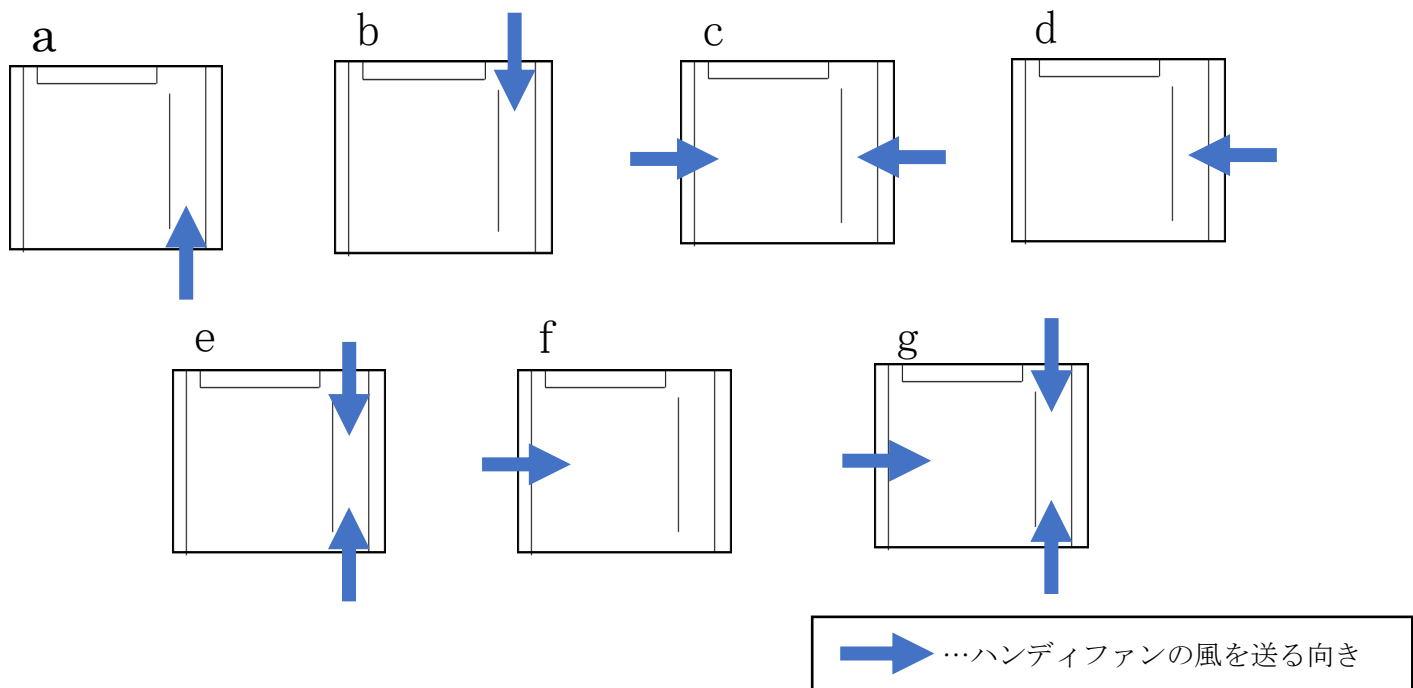


図 3 実験Ⅱでの風の当て方



図 4 教室の模型

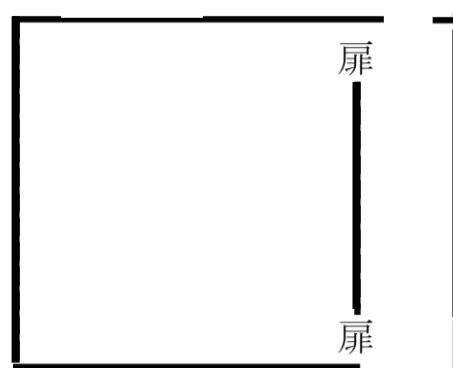


図 5 模型を上方から見た図

図中の「扉」は 401 教室の扉の位置を示す。

4.実験結果

実験Ⅰ 教室内の気温の計測

(a)60Ⅰ 教室での計測

全ての計測日の地点ごとの平均気温の時間変化を図 6 に示す。

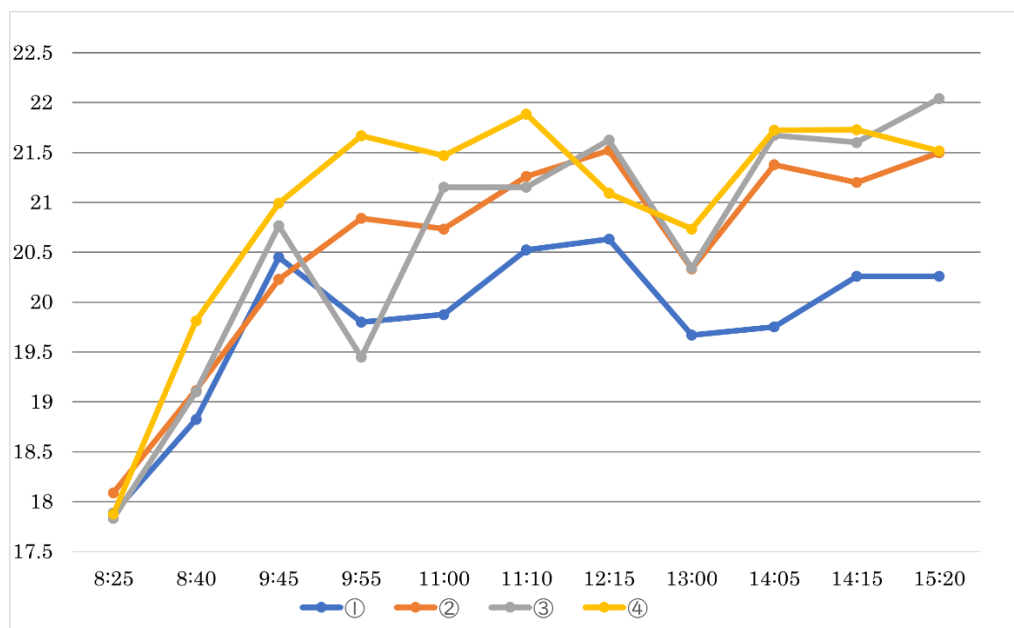


図 6 11 月 9 日から 22 日の地点ごとの平均気温の時間変化[°C]

(b)40Ⅰ 教室での計測

全ての計測日の地点ごとの平均気温の時間変化を図 7 に示す。

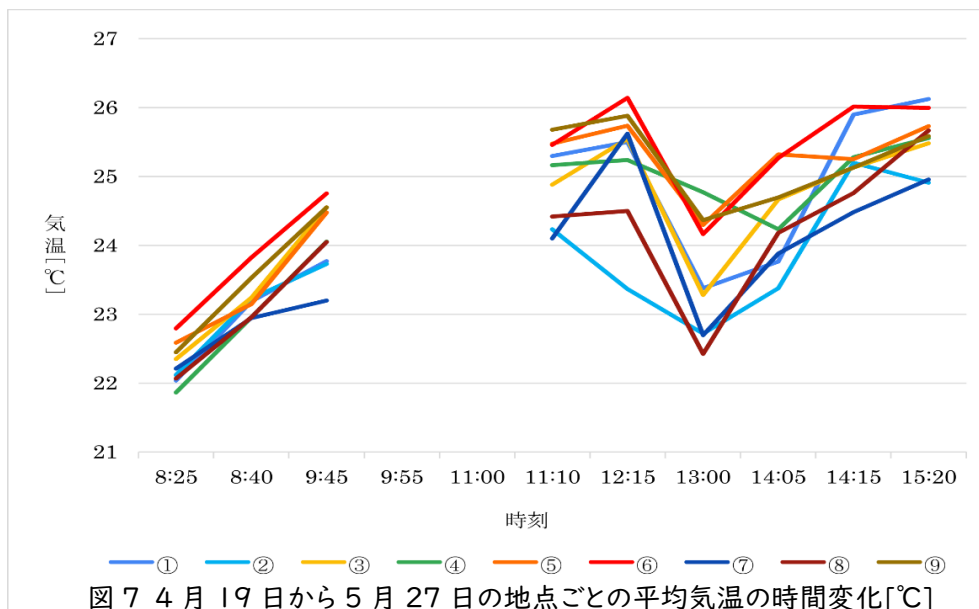


図 7 4 月 19 日から 5 月 27 日の地点ごとの平均気温の時間変化[°C]

時刻 9:45 と 11:00 は計測日 22 日間のうち、どの日も計測を行わなかったためデータがない。

実験Ⅱ

それぞれの結果を図 8 に示す。

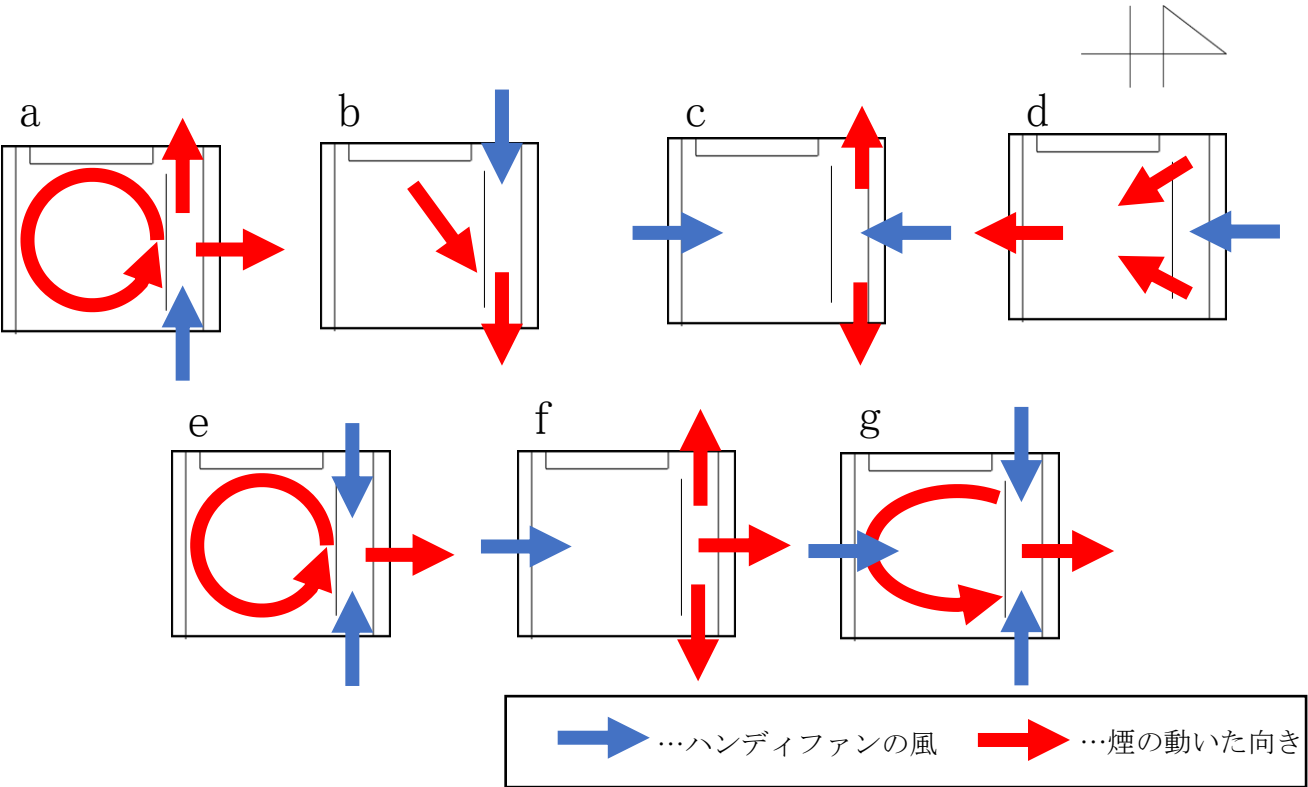


図 8 実験Ⅱの結果

a,e,g では教室内で煙が循環した。この 3 つのパターンのうち、a,e の場合は煙が円状に移動したため、煙がなくなるまでに比較的長い時間を要したが、g の場合は上図のように、煙の動きが U 字を描いた。そして、図 8 右方へ排出され、すぐに煙が視認できなくなった。

5. 考察

実験Ⅰ 教室内の気温の計測

(a) 601 教室での計測

表 2 より、地点④から①へ、または①から④へ吹くような風があれば教室内の気温を平均化できると考えられる。

表 3 実験Ⅰ (a) の考察

場所 地点	北(廊下)側 ①・③	南(中庭)側 ②・④	東(602 教室)側 ③・④	西(外階段)側 ①・②
気温	低	高	高	低
気温の比較	③>①	④>②	③≒④	②>①

表より地点を気温の高い順に並べると、④≒③>②>①である

(b) 401 教室での計測

表 4 より地点②から⑥へ、または⑥から②へ吹くような風があれば教室内の気温を平均化できると考えられる。

表 4 すべての計測日の地点別平均気温の高い順

気温の高い順	高い ← → 低い								
地点	⑥	⑨	⑤	④	③	①	⑧	⑦	②

実験Ⅱ

図 8 より、模型内で煙が循環した a,e,g の場合には、共通して図 9 下方からの風があることがわかる。逆に、この風がないときは模型内で煙の循環はなかったことから、模型内の空気を循環させる上で図 9 下方からの風が必要であると考えられる。

また、煙が循環する前には図 5 上側の扉から煙が流入するのを観察できた。これは、401 教室や 601 教室といった各階 01 教室の西側が非常階段に面しており、加えて図 9 から分かるように非常階段への出入口部分の断面積が廊下の他の部分と比べて狭いため、非常階段側へ抜けられなかった煙の一部が教室へ流れ込んだと考えられる。

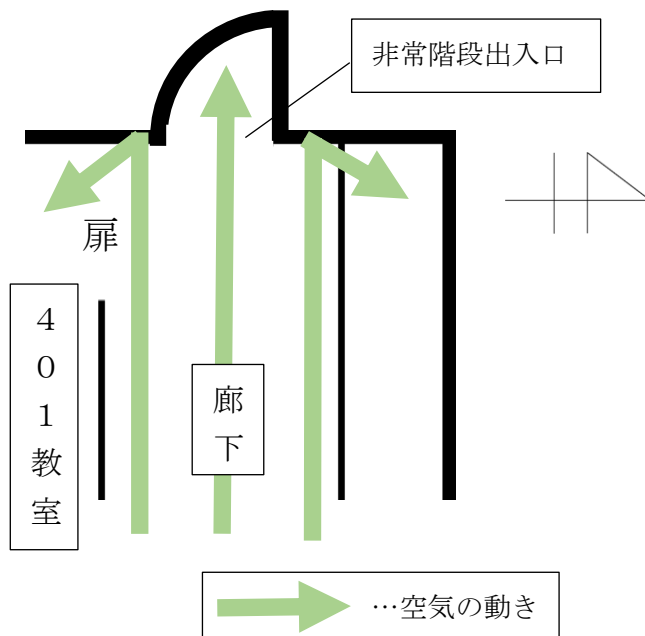


図 9 非常階段出入口周辺の空気の動き



図 10 401 教室前の非常階段出入口

6. 結論

今回の研究において、教室内の気温の分布を数値化できた。また、下図(図 11)のような風を教室内に吹かせることで、教室内の気温を平均化し、教室内の暖かい空気の温度を下げることができると考えられる。

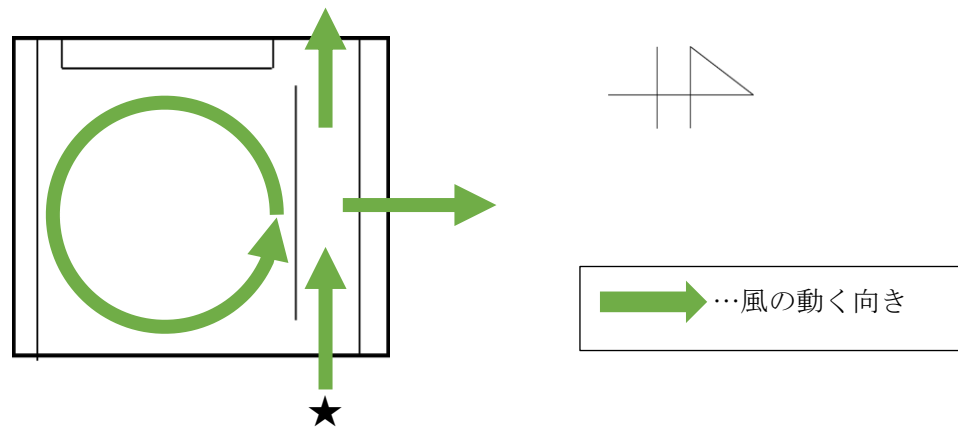


図 11 本研究でわかった理想的な教室周辺の風の動き

7. 今後の課題

現状において換気だけでは、冷房のように教室内の気温を大きく変化させることは難しい。なぜなら風を、換気だけでは持続的かつ十分に起こすことができないからである。しかし、図 11 の★の位置に大型の送風機を設置するなどして風を起こせば、気温を平均化させること自体は理論上可能である。また、今回の実験では条件を厳密に一定にして計測ができず、データも少なかったが、この課題を克服すれば、より詳細な教室内の気候を知ることができ、換気だけで冷房と同程度の変化を起こす手がかりが得られると考えられる。

8. 参考文献

- ・杉村優芽, 松田穂乃佳. 2020. 微気候. 大阪府立大手前高校サイエンス探究報告書
- ・ダイキン工業株式会社. 2022. “エアコンはどうやって部屋をすずしくするの?”
daikin.co.jp/school/class01/lesson01
- ・大西領. 2019. 深層学習を活用した超解像モデル実験による都市街区微気象のリアルタイム予測

天野川・安曇川の礫分布

1. 緒言

私はもともと川のはたらきについて興味を持っていた。今回の研究では、川のはたらきの中でも川の外的営力が河原の礫にもたらす作用に着目した。調査対象として、天野川と安曇川を選んだ。

天野川は大阪府北東部に位置する、図1のように上流域では主に森林や農地、下流域では密集した住宅地から成る。安曇川は滋賀県湖西に位置し、図2のように上流域では森林、下流域では森林や農地、閑散とした住宅地から成る。

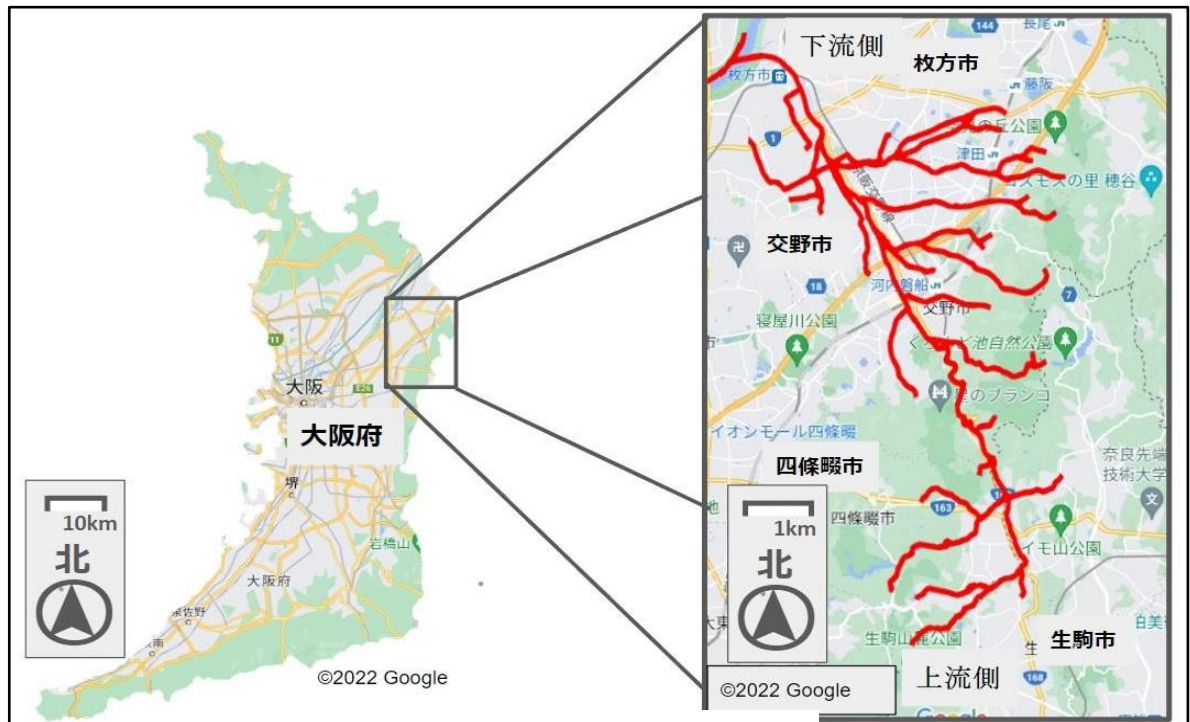


図1 天野川と流域の地図(Google マップより)

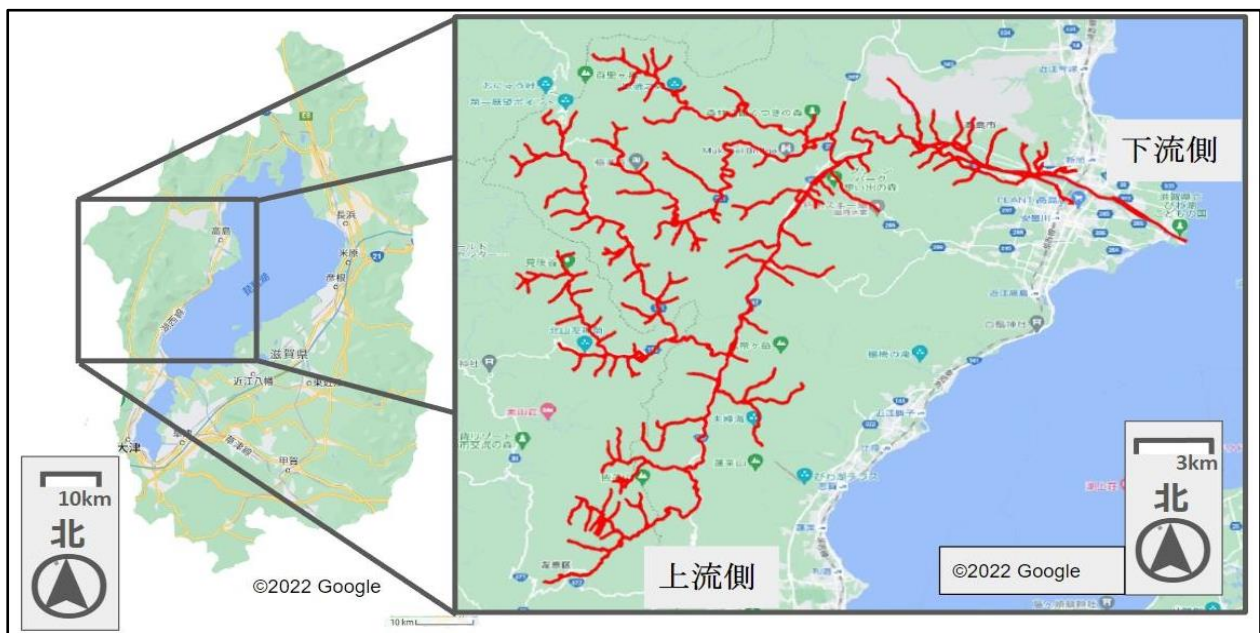


図2 安曇川と流域の地図(Google マップより)

これまでに河原の礫種や礫形の変化を調べる研究が様々行われてきた。

礫種については、たとえば、鈴木美香・江藤哲人(2010)による神奈川県相模川での調査では、礫種によっての礫の残りやすさの違いによる礫種変化が考察された。

礫形については、増測佳子(2012)による富山県常願寺川扇状地内での調査によると、礫の大きさは大きく減少したものの、礫の磨かれ具合を示す円磨度や礫の丸さを分類する球形度は変化しなかったことが報告されている。そして、この要因は礫径の違いによる淘汰作用(不均等な礫径、大きさの礫が流水によって類似の礫径、大きさのものに選別されること)により下流ほど小さな礫が堆積し、円磨作用は扇状地内では一様に働いている、あるいはあまり作用していないからだ結論づけられている。

また、藤澤聖史・田中均(2011)による熊本県緑川での調査では礫の大きさの変化に規則性はなく、円磨度は大きくなるが調査地点ごとに一概に大きくなるとは言えなかった。

普通、河原の礫は上流から下流に運搬されるにつれて礫が削られていくので、礫の大きさは小さくなり、礫の磨かれ具合を示す円磨度は大きくなり、礫の丸さを示す球形度は大きくなるはずだと考えられているが、これらの研究例によると必ずしも一般的な理解の通りにはなっていない。

つまり、上流から下流にかけての河原の礫の大きさ・円磨度・球形度の変化は礫の運搬時に礫が削られることによってある一定の傾向を示すのではなく、実際のところは、礫の硬さや割れる方向、流域の地質や地形、土砂の供給状況などの条件が複雑に絡んでいるので、一概にどう変化するとは言えないのだと考えられる。

そこで、この研究では天野川と安曇川の各地で河原の礫の分布・種類・大きさ・形を調べて、川のはたらきと河原の礫との関係性について考察した。

・仮説

礫種の構成はその川を流れる流域の地質を反映すると考えた。また、礫径は礫の運搬中に礫が削られるので、下流側に行くにつれ小さくなると考えた。

(1)天野川流域の地質

天野川流域の地質図を産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行する 20 万分の 1 日本シームレス地質図を基に作成し、図3に示す。

大阪平野や図3右下にある台地状の土地の地質は堆積岩類であり、生駒山地の地質は花崗岩である。僅かに他の地層も存在するが、堆積岩類と花崗岩が天野川流域上のほぼ全てを覆っている。

この花崗岩は生駒山地の麓から大阪市に渡って石垣や縁石、車除けの角石である「いけず石」として広く散見されるものであり、大阪城の石垣としても使用されている。また、大阪城の石垣として使われる予定だったが途中で落ちてそのまま 400 年間放置された「残念石」もあり、花崗岩は大阪府にとって非常に身近な石である。調査した 7ヶ所の地点を図3上に記入した。それぞれの調査地点の河口からの流路延長は地点 1 が 1.85km、以下順に 4.60km、6.75km、8.05km、8.81km、14.82km、15.32km である。

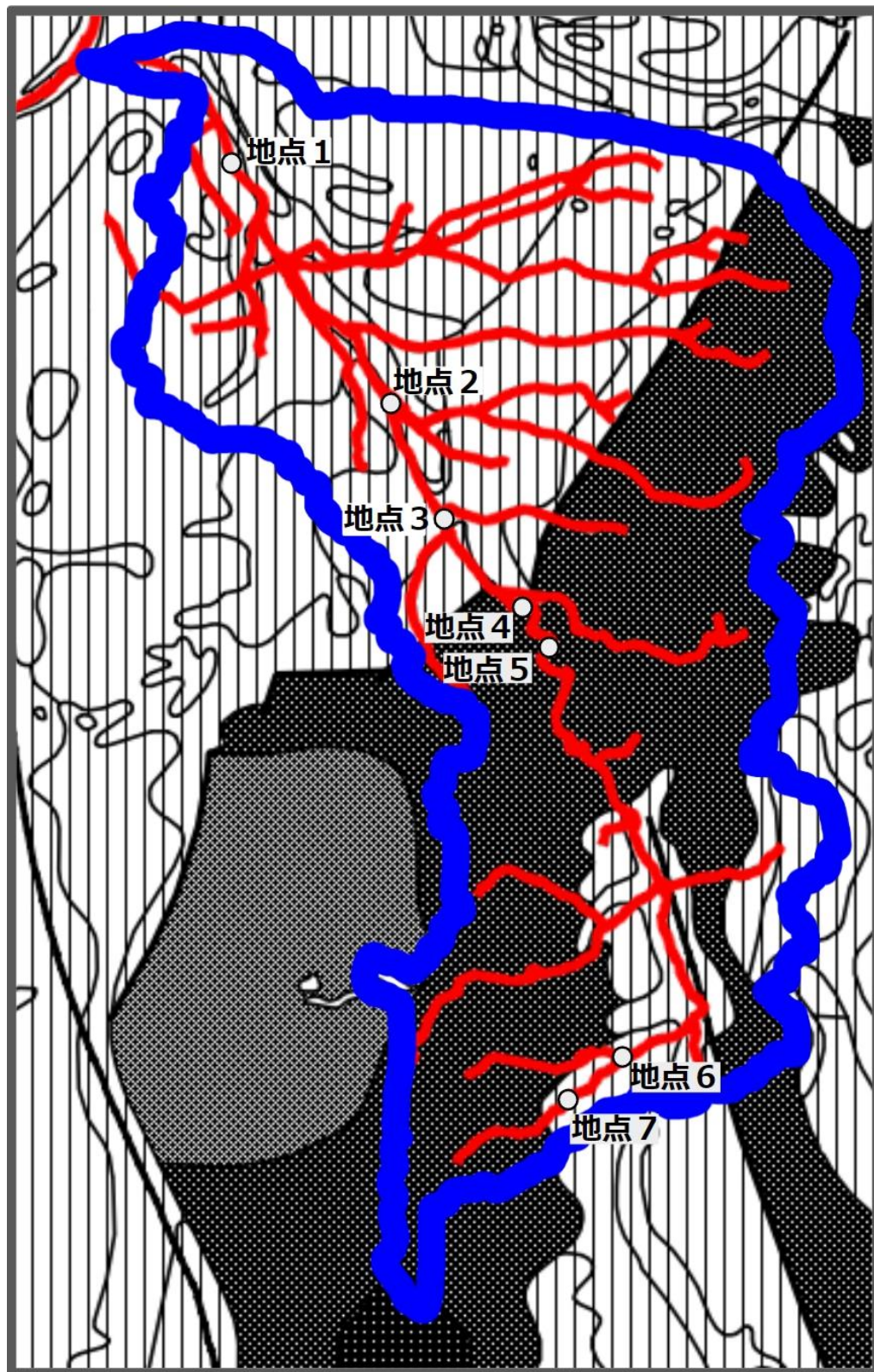
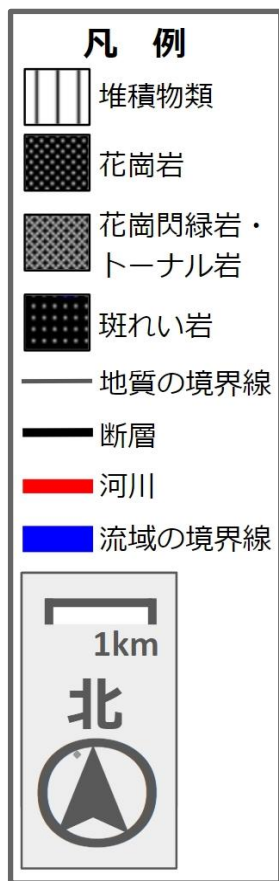


図3 天野川の地質図と調査地点1～7(産総研地質調査総合センターより)

(2)安曇川流域の地質

安曇川流域の地質図を図4に示す。

この流域の地質は主にプレートの移動で海から移動してきた付加体から成り立っている。下流側では堆積岩類、稀に上流側で火成岩類も見られる。付加体の中でも、比較的上流側はチャートが多く分布している。

調査した 5 ヶ所 4 地点を図4上に記した。それぞれの調査地点の河口からの流路延長は地点1が5.99km、以下順に15.67km、29.05km、40.46kmである。

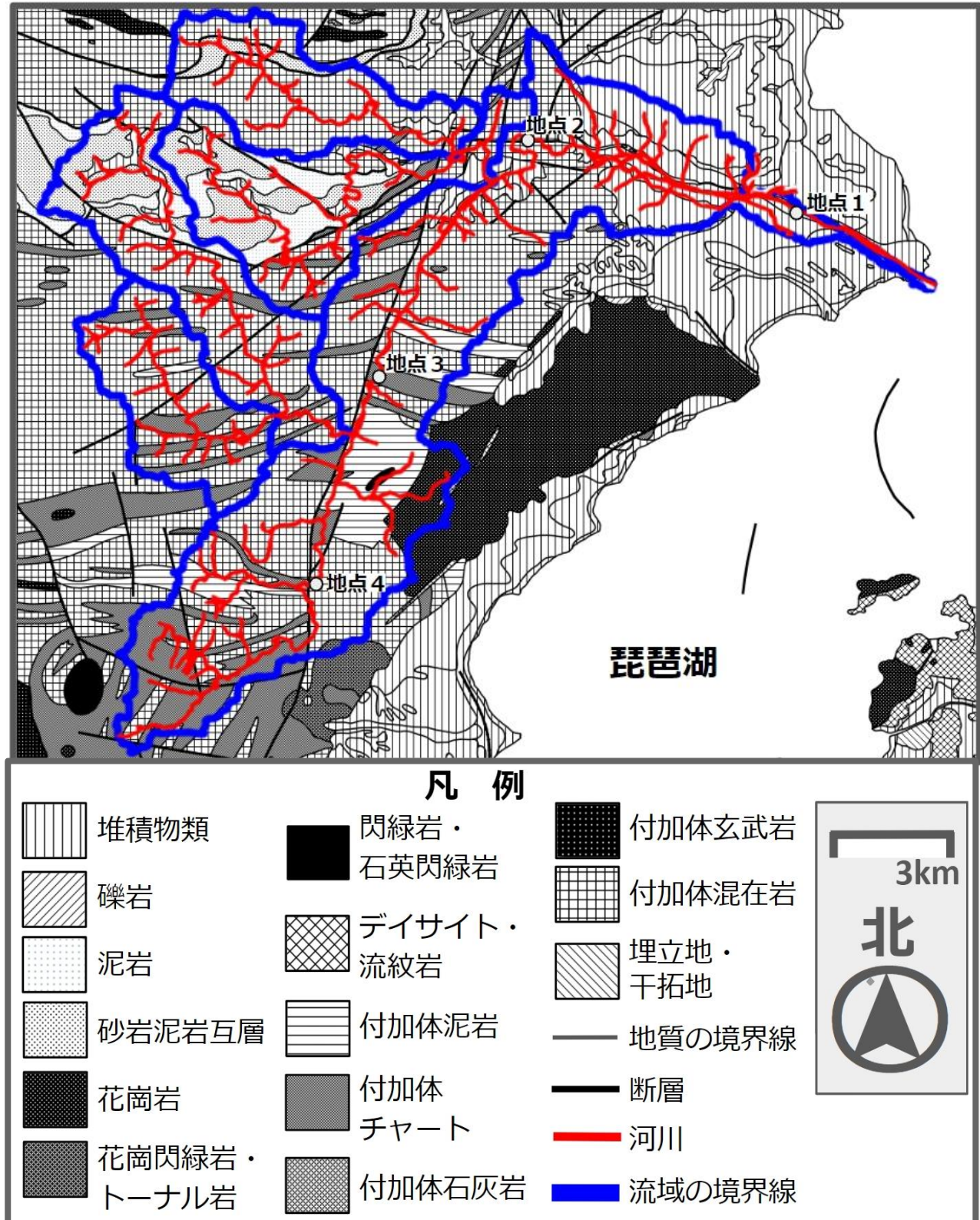


図4 安曇川の地質図と調査地点1～4(産総研地質調査総合センターより)

2.調査手順

川岸から1メートル離れた測定点に図5のように1メートル四方の枠を設置し、枠の中から礫を天野川では大きい順、安曇川ではランダムに 50 個を採取した。安曇川で礫の採取方法を変更したのは当初天野川で礫を採取した時に礫種ごとに礫の大きさに差があり、礫種の構成を正確に把握できないと考えたためである。

礫の種類、礫径(天野川は長径、中径、短径の積を礫の体積と見立て、それを球としたときの直径、安曇川は簡単のため長径)、円磨度、球形度(天野川のみ)を調べる。

・礫の種類は目視で決定した。ただし、天然の岩石以外の人工物はコンクリートとその他の人工物に分けて記録した。

・円磨度は礫の磨かれ具合を分類する度合いである。値は 0.0 から 1.0 に分布し図6のように値が大きい程、礫に磨きがかかっている。地学の調べ方(1978)に掲載された

Krumbein(1941)の円磨度印象図を参考に 0.1 単位で分別する。

・球形度は礫の丸さを分類する度合いである。値は 0.0 から 1.0 に分布し、図7のように値が大きい程、礫の形がより球体に近づく。Krumbein(1941)の球形度を求める図表を参考に 0.1 単位で測定する。

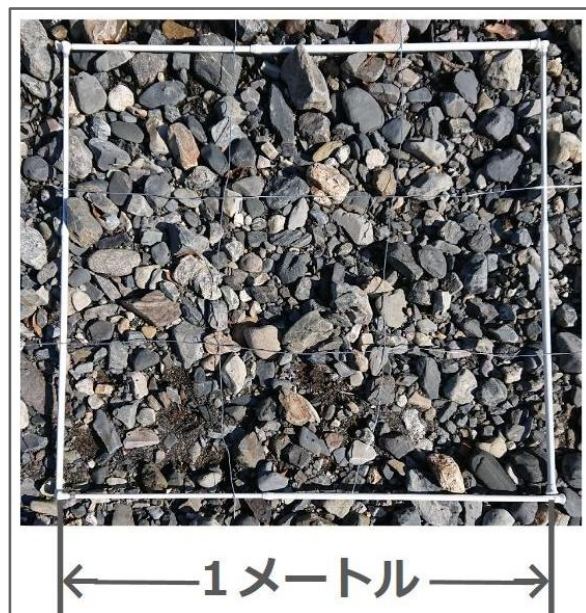


図5 1メートル四方の枠

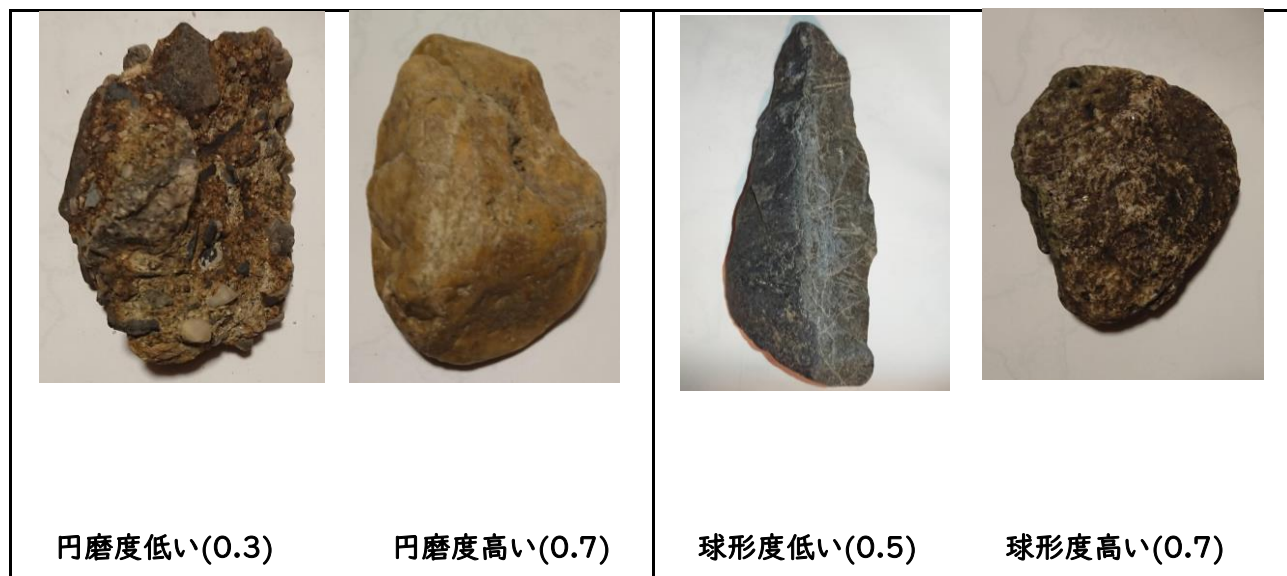


図6 円磨度の違い(天野川の河原の礫より)

図7 球形度の違い(天野川の河原の礫より)

3.調査結果

礫の種類・礫径・円磨度・球形度などの調査結果を以下に示す。

(1)天野川

・礫の種類

表1 天野川の礫の種類

	花崗							泥岩ホルン		コンクリート		他の	判別不能	合計
	花崗岩	閃緑岩	頁岩	粘板岩	泥岩	砂岩	チャート	フェルス	石英	ート	人工物			
地点1	6	0	8	6	0	0	15	1	1	5	6	2	50	
地点2	6	1	10	5	1	0	20	0	1	4	2	0	50	
地点3	9	3	6	1	0	1	19	1	1	4	1	4	50	
地点4	23	3	3	6	0	0	10	0	0	3	0	2	50	
地点5	23	0	12	8	0	0	0	0	0	2	0	5	50	
地点6	22	0	3	1	0	0	1	0	0	18	4	1	50	
地点7	48	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	50	

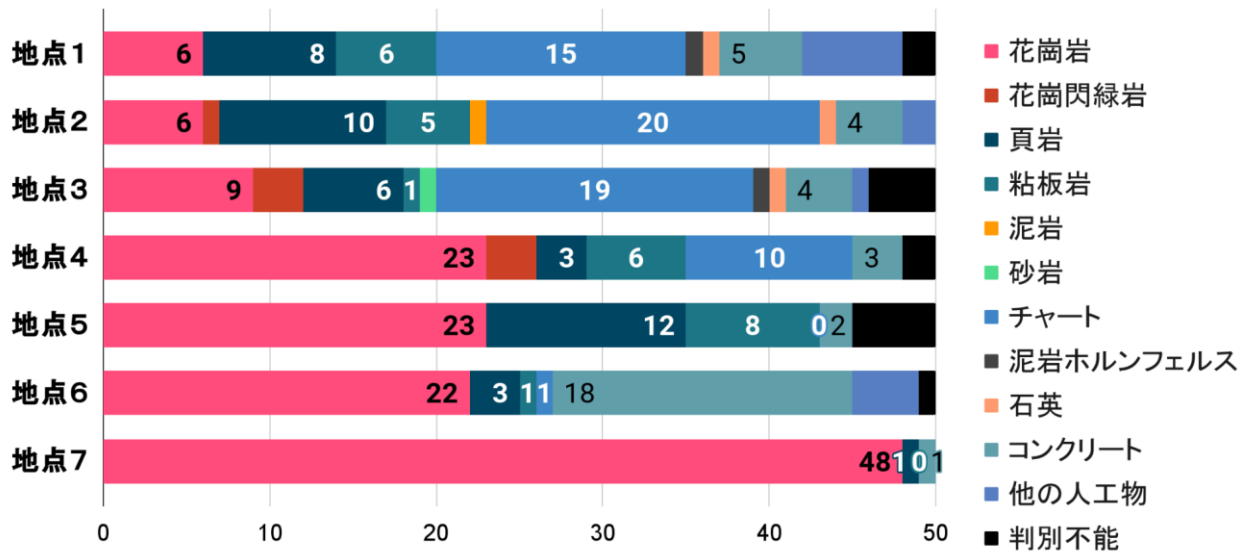


図8 天野川の礫種の構成

また、調査結果の考察をするために天野川の縦断曲線図を国土地理院の基盤地図情報を基に作成した。

(標高)

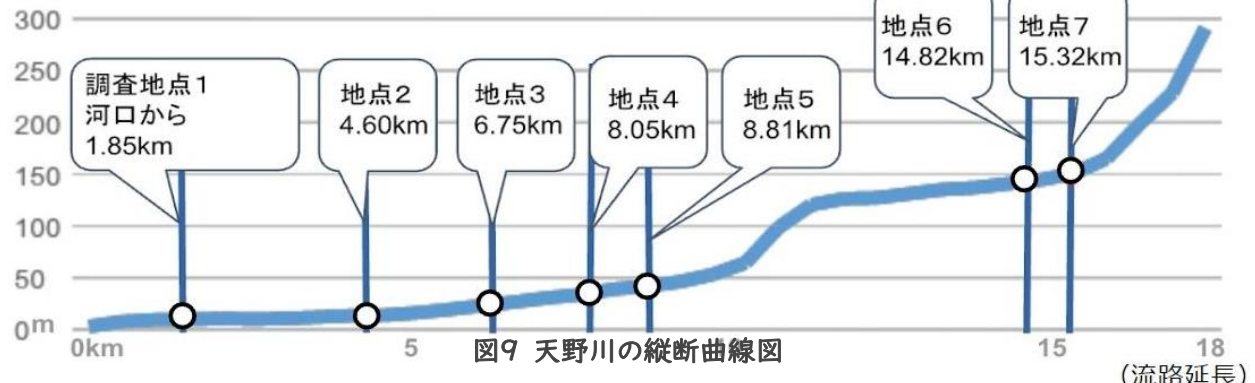


図9 天野川の縦断曲線図

(流路延長)

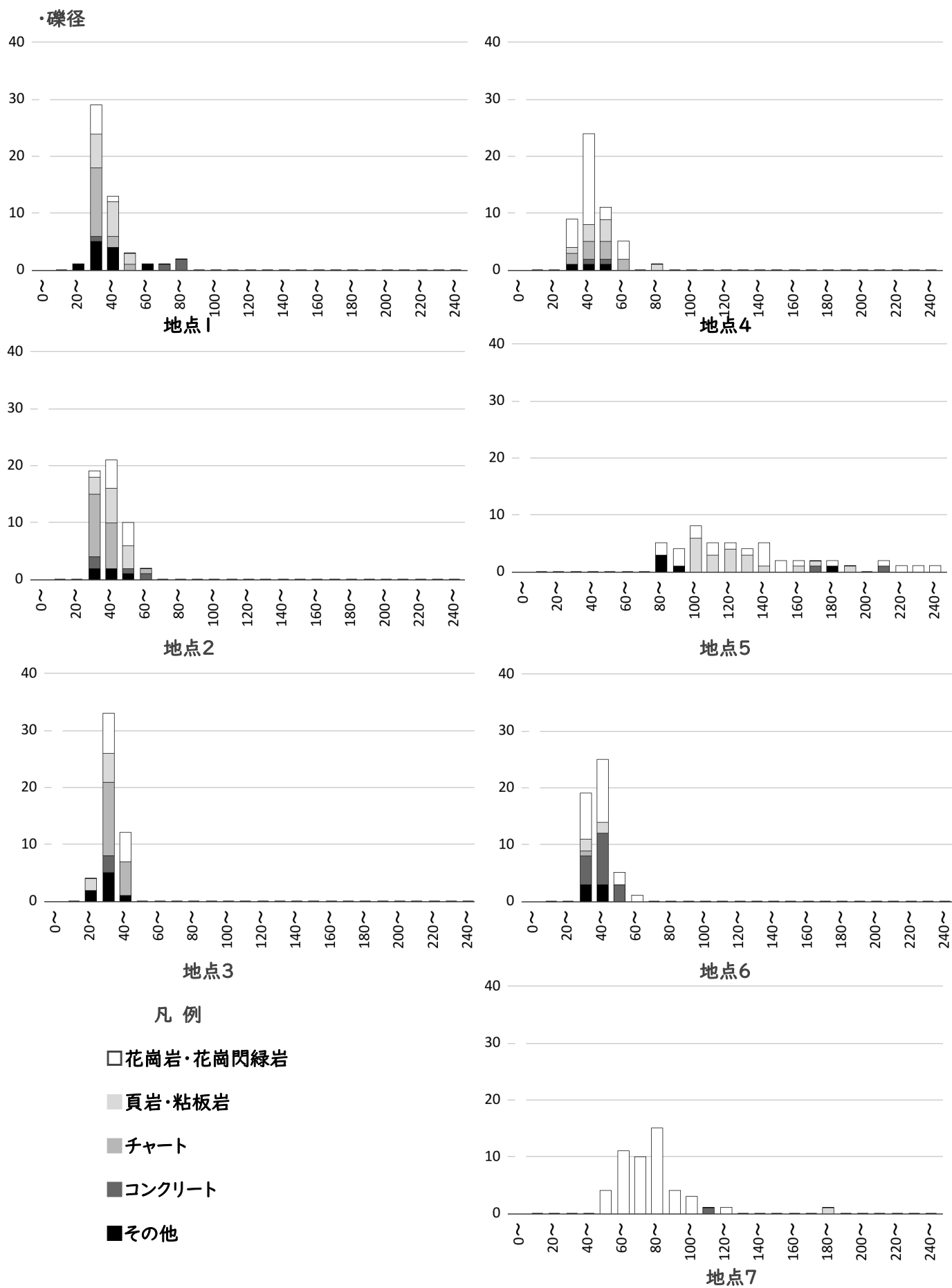


図10 天野川の礫径と礫の種類の分布 (縦軸は礫の個数、横軸は礫径[mm])

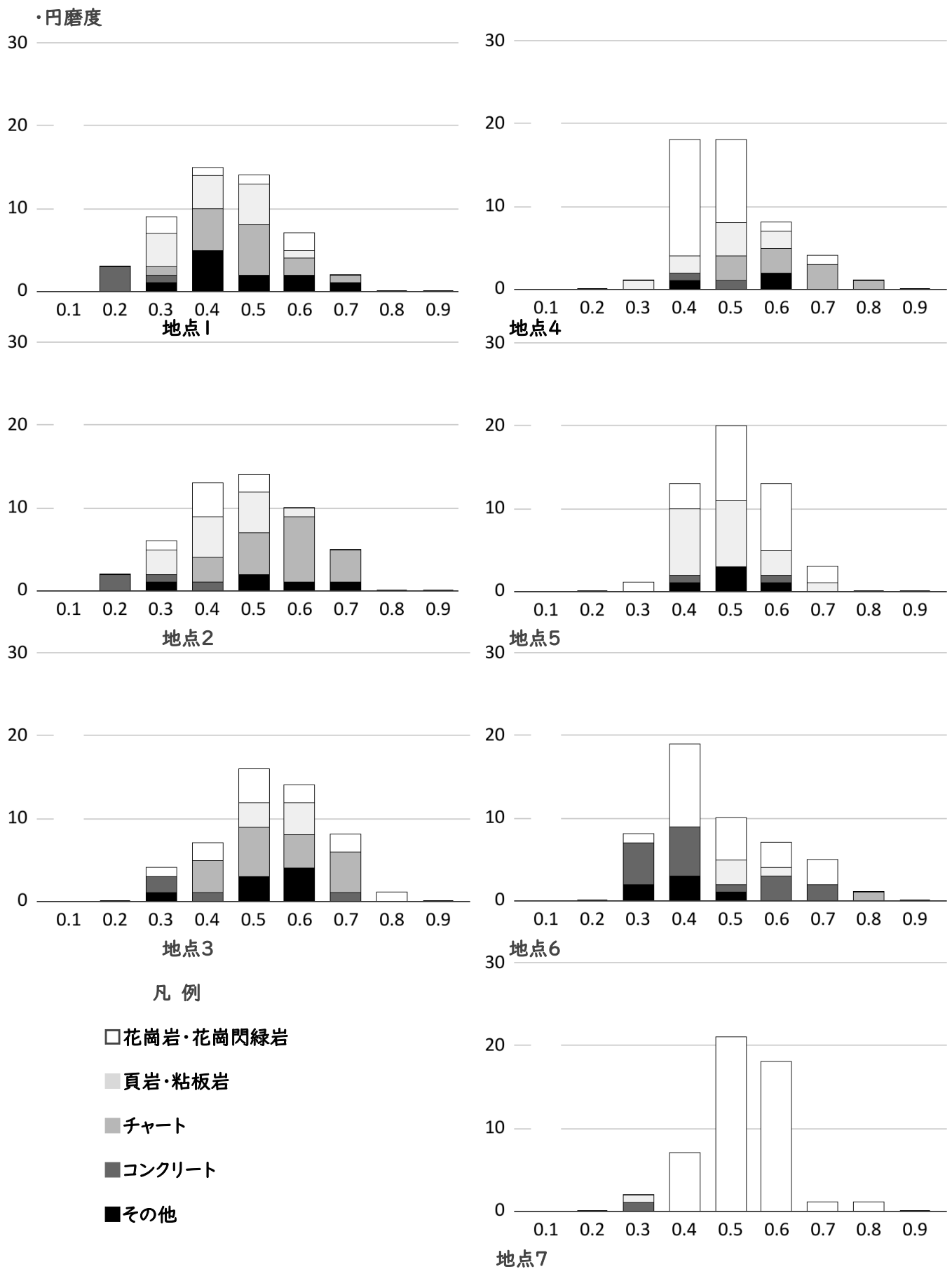


図11 天野川の円磨度と礫の種類の分布 (縦軸は礫の個数、横軸は円磨度)

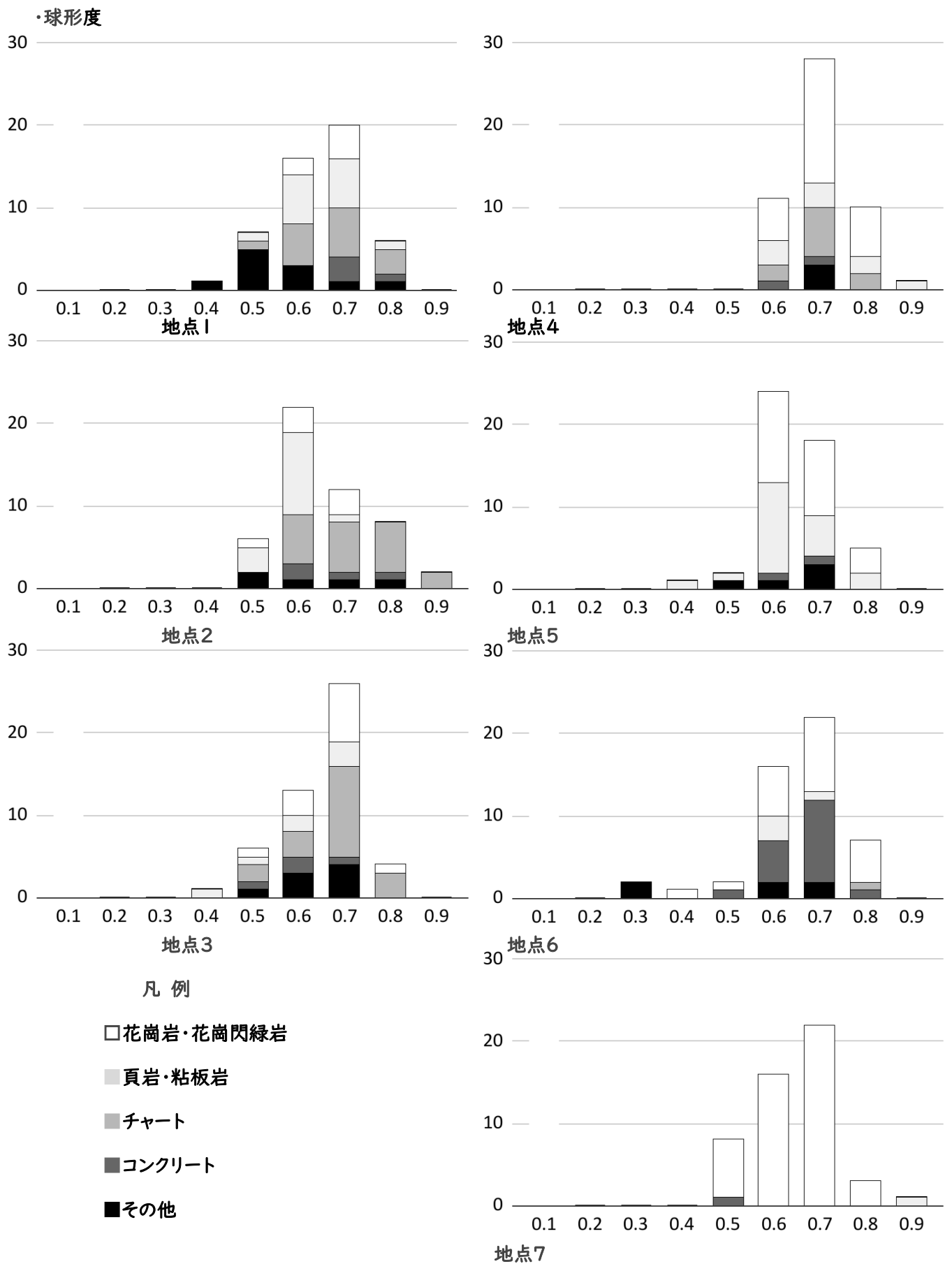


図12 天野川の球形度と礫の種類の分布 (縦軸は礫の個数、横軸は球形度)

(2)安曇川

・礫の種類

表2 安曇川の礫の種類

	頁 岩	粘板 岩	泥 岩	砂 岩	チャー ト (黒色 白色)	チャー ト (褐色 赤茶)	泥岩 ホルン フェル ス	砂岩 ホルン フェル ス	片麻 岩	結 晶 片 岩	石灰 岩	花崗 岩	ペグ マ イト	斑れ い岩	輝石 岩	安山 岩	流紋 岩	判別 不能	合計
地点1	11	9	1	3	12	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	5	50
地点2	14	9	0	1	15	1	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	50
地点3	15	8	0	2	15	0	3	2	0	0	0	1	1	0	1	0	0	2	50
地点4	22	21	0	1	38	0	2	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	9	100

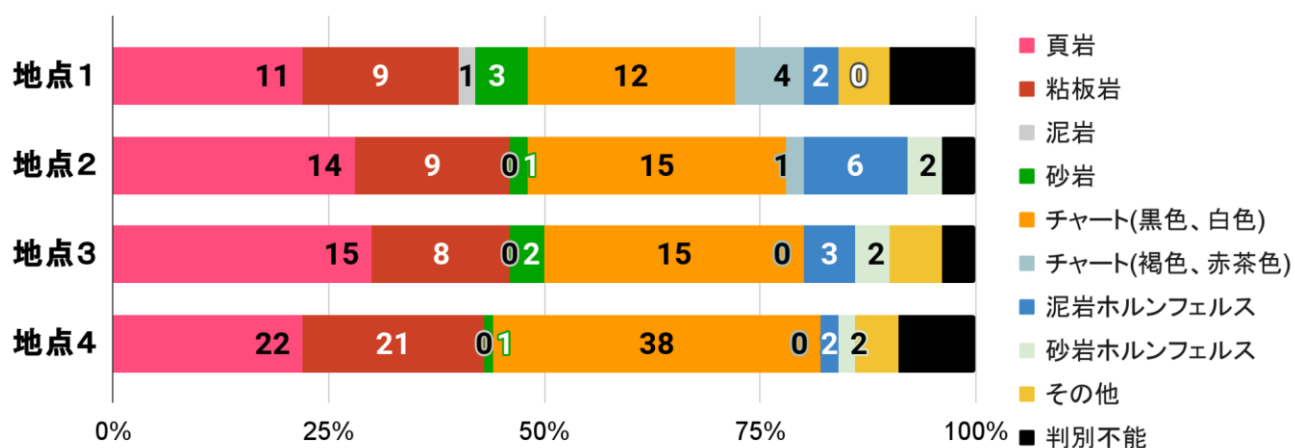


図13 安曇川の礫種の構成

また、調査結果の考察をするために安曇川の縦断曲線図を国土地理院の基盤地図情報を基に作成した。

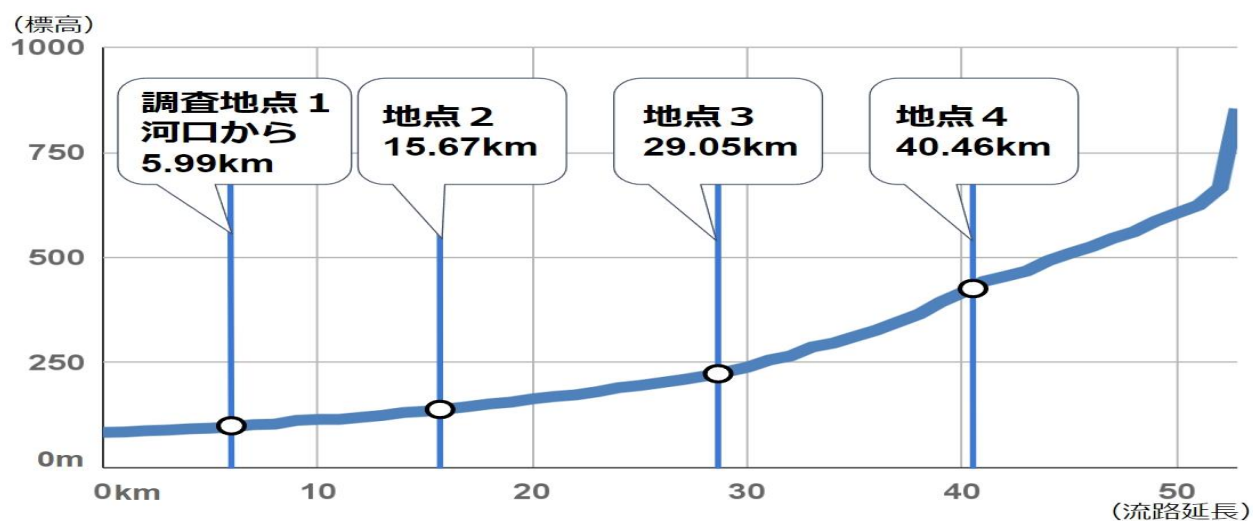
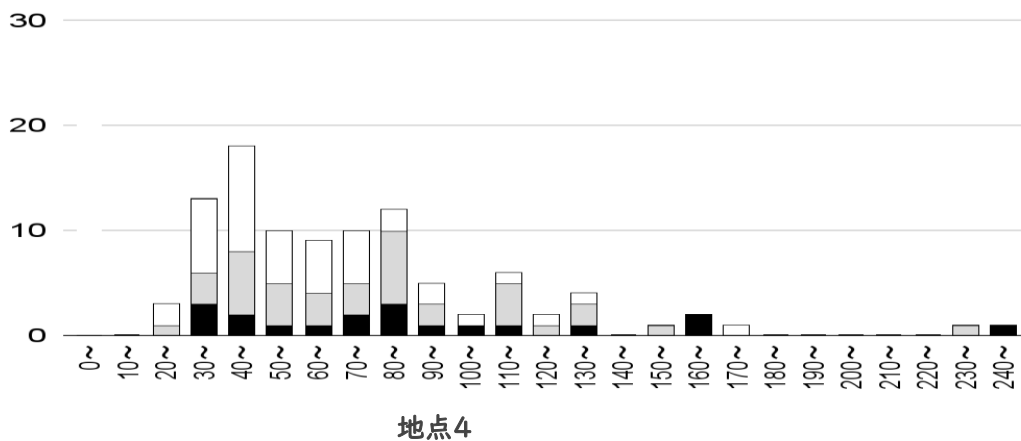
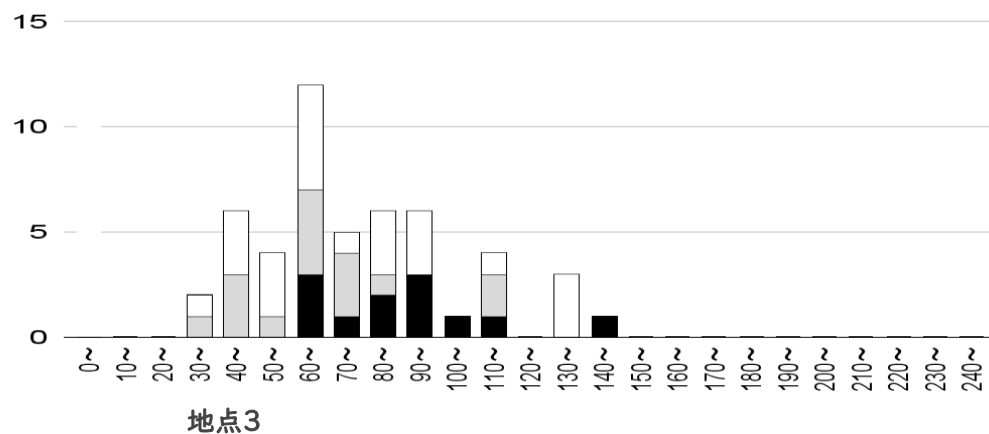
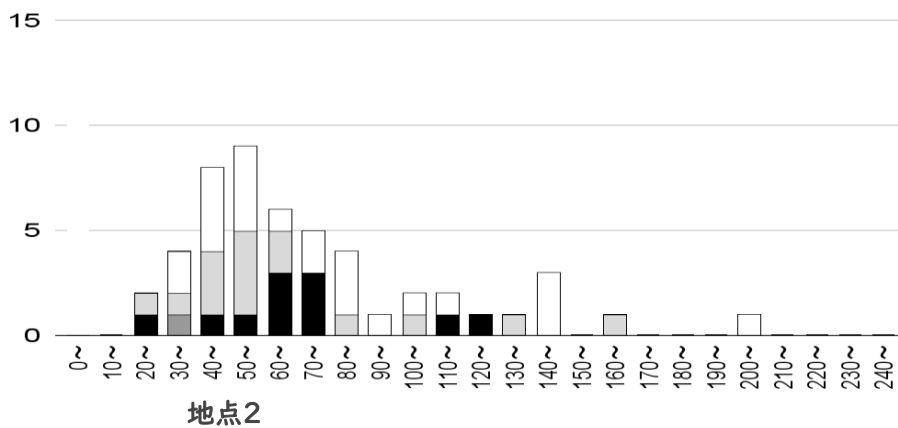
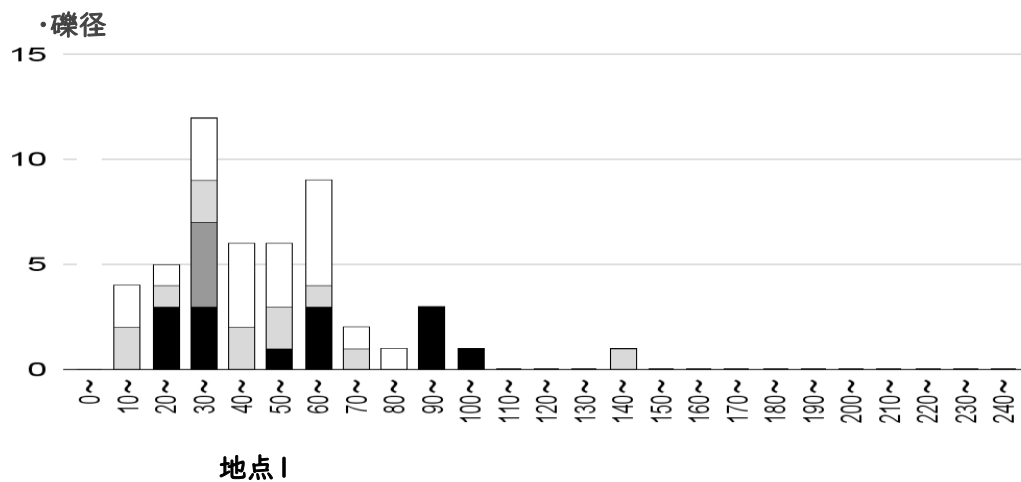


図14 安曇川の縦断曲線図



凡 例

□頁岩・粘板岩

■チャート

(黒色、白色)

■チャート

(褐色、赤茶色)

■その他

図15 安曇川の礫径(長径)と礫の種類の分布 (縦軸は礫の個数、横軸は礫径[mm])

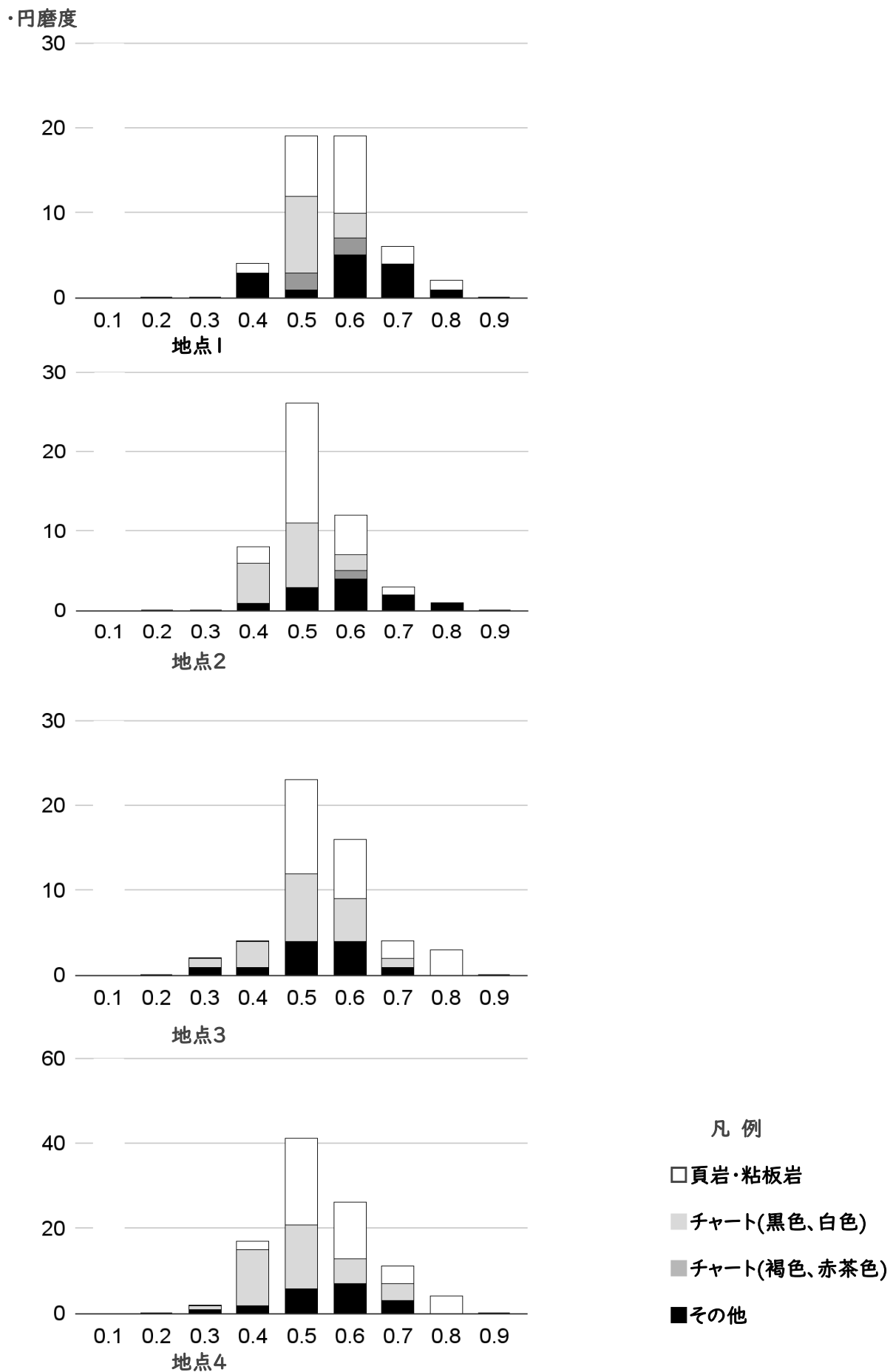


図16 安曇川の円磨度と礫の種類の分布 (縦軸は礫の個数、横軸は円磨度)

4.考察

(1)天野川

・礫の種類

①花崗岩

地点5-6を除き、上流ほど花崗岩の占める割合が大きくなる。地点6では、一時的にコンクリートが増加したため、相対的に花崗岩の占める割合が低くなったのだと考えられる。

図3より、花崗岩の地層は上流に多いので、上流の礫に花崗岩が多いことは河原の礫がその流域の地質を反映するという仮説によく一致する。

②花崗閃緑岩

地点2-4のみにしか存在しなかった。図3によると、花崗閃緑岩の地層は地点6よりも下流にしか存在しないことから、流域の地質を反映している。

③頁岩・粘板岩

地点5で頁岩・粘板岩の比率が増加している。地点6で採取した最大の礫より地点5の最小の礫のほうが大きいことから、地点5で採取した頁岩・粘板岩は地点5から地点6までの間でつくられたものと考えた。これらの頁岩・粘板岩は図3の右下部分の台地状の土地、もしくは地点5付近からもたらされて、礫種の構成比が増加したと考えられる。

また、天野川にある頁岩・粘板岩の一部はコンクリート由来であると考えた。これについては(3)で考察する。

④チャート

地点1-4にかけて多く存在している。図3の堆積物類の地質は礫岩・砂岩・泥岩・頁岩・粘板岩や礫として未固結なものと海成層・非海成層の混合層を指し、天野川にチャートが自然に堆積するとは考えづらい。よって天野川にあるほとんど全てのチャートはコンクリート由来であると考えられる。これについては(3)で考察する。

⑤コンクリート

人の手が加わっていない最上流の溪流を除いて、ほぼ全域に存在していた。

河岸の堤防などとして設置されたコンクリートやその瓦礫の中には、風化して材料に使われた頁岩・粘板岩・チャートなどがむき出しになっているものもあった。

⑥他の人工物

花鉢・瓦・ガラス瓶・その他の建材などの破片が確認できた。

大阪平野や上流域にある台地状の土地では、山地と違い人間活動が活発なため人工物が多いと考えら

れる。

・礫径

図10を見ると、礫径の中央値は最上流地点の地点7から地点6にかけて小さくなり、地点5で大きくなり、地点4で再び小さくなる。地点1-4では礫径があまり変わらない。

礫径の中央値が、地点7から地点6、または地点5から地点4にかけて小さくなっているのは、それらの区間が急流であるため、礫が急激に侵食されながら運搬されたから、もしくは小さい礫だけが運搬されて、運搬されるには大きすぎる礫が取り残される淘汰作用が起きたからと考えられる。

地点5で礫径が大きくなるのは、地点5は山地地帯なので新しく大きな礫が供給されるからと考えている。

また、図10を見ると、地点5と地点7の礫は礫径のばらつきが大きい。

図9を見ると、地点5と地点7の上流側の河床勾配は大きい。したがって地点5と地点7は流速が急に落ちて礫が堆積しやすくなるから、他の調査地点よりも淘汰作用の働きが礫の供給に追いつかず、礫径のばらつきが大きくなったと考えられる。

地点1-4は平野部に位置するので、流速は小さく侵食はほとんど行われない。したがって、この地域の河原に新しい礫はほとんど供給されず、既存の礫に風化作用などの外的営力がはたらくのみである。ゆえに、地点1-4間で礫径があまり変化しなかったと考えている。もし、調査地点を増やして調べる礫の数を増やすと、礫径の中央値は下流に進むにつれ下がっていくと考えられる。

・円磨度、球形度

調査地点によって礫全体や礫種ごとの円磨度・球形度の目立った変化は見られなかった。円磨度・球形度の分布はいずれも正規分布に近い形になっている。この原因については考察できなかった。

(2) 安曇川

・礫の種類

安曇川河原のチャートの色・大きさ・形の特徴を見ると、2種類に大別できると考えたので、チャートをさらにチャート(黒色、白色)とチャート(褐色、赤茶色)の2種類に分類した。

①チャート(黒色、白色)

チャート(黒色、白色)は採取した礫の中では長径は237~2345mmに分布し平均円磨度は5.0である。礫の形は角ばった形や表面が平たいものが多い。

チャート(黒色、白色)の比率は、上流になればなるほど大きくなる傾向があった。

図4を見ると、安曇川上流域はチャートの地層が比較的多いことから、河原の礫はその流域の地質を反映するという仮説によく一致する。

また、チャート(黒色、白色)は安曇川流域の地層由来と考えられる。これについては(3)で考察する。

②チャート(褐色、赤茶色)

チャート(褐色、赤茶色)は採取した礫の中では長径は303~359mmに分布し平均円磨度は5.6である。礫の形は丸い形で球状のものが多い。また、チャート(褐色、赤茶色)は下流側のみでしか採取されなかった。

天野川で採取されたチャートと色・大きさ・形の特徴が一致していたこと、住宅地が多い下流側で採取されたことから、コンクリート由来の可能性があると考えている。これについては(3)で考察する。

・礫径、円磨度

安曇川は図4より、おおよそ最上流から地点2にかけてが山地で、地点2から河口までが平野部であり、山地と平野部の正確な境界は不明瞭である。また、図14より、河床勾配が下流方向にほぼ単調に増加する。

図15と図16を見ると、地点2-4にかけては礫径や円磨度の中央値に目立った変化がなかったが、地点1と地点2を比較すると、下流側のほうが円磨度の中央値が大きくなり、礫径の中央値が明らかに小さくなる。

これは地点2-4が山地なので侵食作用により新しい礫がつくられているのに対し、地点1-2は平野部なので礫はほとんど供給されない。したがって、地点1-2では上流から流されてきた礫が堆積して、その礫に風化作用や侵食作用、円磨作用などの外的営力のみがはたらくからと考えている。

(3)コンクリートについて

天野川や安曇川の頁岩・粘板岩・チャートはコンクリート由来、つまりコンクリートの材料である岩石(以下、骨材と呼ぶ)であった可能性があると言及した。ここではそのことについて述べる。

天野川は最上流の溪流を除くほぼ全域においてコンクリートが河原の礫とともに分布している。図17は、地点5-6間で見られたコンクリートの瓦礫である。地点5-6間にはこのサイズの瓦礫が多数分布している。流水にさらされたコンクリートは図17のように侵食され、風化し、中の骨材がコンクリートから分離して礫となっている。

分離した骨材として同定したのは次にあげる①、②の礫である。主に骨材として使用されている礫は①と②の礫がほとんどなのでこの2種類の礫を取り上げた。

①頁岩・粘板岩

天野川で採取した頁岩・粘板岩の礫にセメントが付着しているものがあつた。そのことから、その礫はコンクリートの骨材であると考えた。天野川流域の地層に頁岩・粘板岩は存在すること、骨材に使えない 1m 以上の礫が分布していたことから、調べた礫のうち、一部のみが骨材であると考えた。地層由来の礫とコンクリート由来の骨材を区別することはできなかった。



図17 風化して骨材(矢印)が露になったコンクリートの礫

安曇川は、調査のために枠を置いた範囲内にはコンクリートが存在しなかったが、河原にコンクリートが堆積しているのは確認された。また、安曇川流域に頁岩・粘板岩の地質は存在するので、安曇川の大部分の頁岩・粘板岩は周辺の地層由来であると考えられる。ただし、河原にコンクリートが確認されたことから、骨材であつたものが含まれる可能性は否定できない。

②チャート

天野川で採取したチャートは礫径 30mm から 50mm の礫が多いことが特徴だつた。コンクリートを作るときの仕様を示した建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5(2018)によると、断面が十分に大きいコンクリートに使用できる骨材の一番大きい最大寸法は 40mm である。この寸法は呼び寸法 40mm のふるいでふるい分け、検査される。なお、全質量のうち 10% の礫はふるいを通らなくても良いとされている。

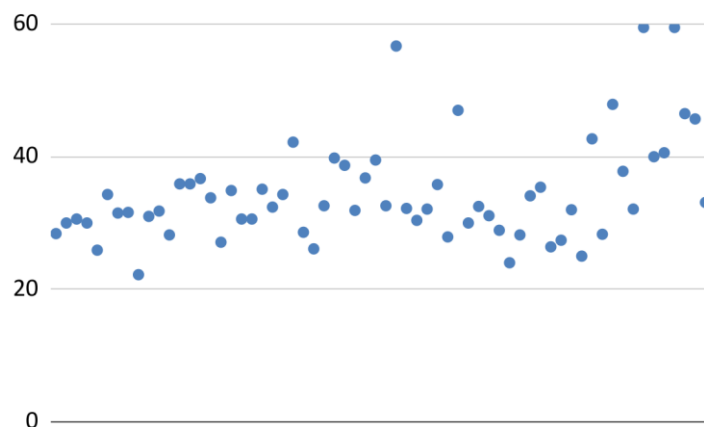


図18 天野川の地点1-4、地点6で採取したチャートの径(mm)の分布

すなわち、ふるい分けられて選別された骨材は中径(ふるいを通過する直径の値)が 40mm 程度のものを質量比で 90%以上占めると考えられる。

天野川で採取されたチャートの礫の中径の分布を図18に表した。図18の中径の分布は骨材の最大寸法 40mm のときの条件とよく一致している。また、天野川周辺にチャートの地層は存在しない。

これらのことから、天野川に存在するほとんど全てのチャートはコンクリート由来の骨材であると考えた。

安曇川のチャート(黒色、白色)は長径が 100mm を超えるような大きな礫が多数あること、角ばっている礫が多いことが特徴であつたことからほとんどは安曇川の地層由来の礫であると考えた。

チャート(褐色、赤茶色)は住宅地が多い下流側で採取されたこと、いずれも長径が 40mm 以下であつたこと、天野川で採取されたチャートと色・丸い形の特徴が一致していることから、コンクリート由来の可能性

があると考えられる。

頁岩・粘板岩は大きな岩を粉砕して、骨材に利用される。一方、チャートは山や畑の下等に砂利として存在するものを採取し、そのままふるいにかけて仕分けられ、寸法 40mm 以下のものを骨材として利用する。

そこで、チャートの骨材の生産地を流れる川には、骨材として使用できない寸法 40mm 以上の大きさのチャートが多く存在していると考えた。この考えを検証するために京都府城陽市を流れる長谷川を訪れた。長谷川は中流域に骨材の一大産地である砂利の採石場を擁する。

長谷川中流の河原の礫の種類は主にチャート、稀に堆積岩が見られた。チャートの礫径は大小様々で、大きいもので中径が 70mm 程のチャートの礫があった。また、中径が 40mm 以上を超えるチャートは明らかに天野川のどの地点よりも多く見られた。したがって、天野川のチャートは寸法 40mm 以下のものが城陽市などの骨材産地からコンクリートを介して、持って来られたものである可能性が考えられる。

5. 結論

この研究で以下のことが明らかとなった。

- ・天野川や安曇川の河原の礫はその流域の地質を反映している。
- ・天野川や安曇川上流でつくられた礫は流水による外的営力がはたらきながらも、山地・平地に関わらず、下流の方へと運搬される。
- ・天野川や安曇川が平地を流れているときは、礫径が小さくなる傾向があった。安曇川の平野部では円磨度が増加した。
- ・安曇川に比べて流域の人口密度が大きい天野川は、河原に人工物が落ちている割合が大きい。
- ・天野川や安曇川の頁岩・粘板岩・チャートの一部はコンクリート由来の骨材である。とくに天野川のチャートはそのほとんど全てが骨材であった可能性が高い。
- ・天野川の中でも、平野部の河原で採取された礫の半分以上は骨材を含めた人工物であると考えられる。

6. 今後の課題

- ・調べた礫の数が少なかった。同じ調査地点でも数ヶ所から 200 個以上は採取したい。
- ・円磨度や球形度の変化はほとんど無かった。どのような条件の下で円磨度や球形度が変化しやすくなるのかを明らかにしたい。
- ・淘汰作用は礫の大きさだけで、円磨度や球形度には影響を及ぼさないのかどうか調べる。

7.参考文献

菅野三郎・奥村清, 1978, 地学の調べ方, コロナ社

Krumbein, W. C. , 1941, Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles, J. Sed. Petrol., vol. 11, pp. 64-72.

鈴木美香・江藤哲人, 2010, 相模川下流域の川原礫の形態分析および礫種組成, 横浜国立大学教育人間科学部紀要 IV(自然科学) 12, pp.17-35

増淵佳子, 2012, 急流河川常願寺川の河床礫の特徴:特に常願寺川扇状地内において, 富山市科学博物館研究報告第 35 号, pp,1-7

藤澤聖史・田中均, 2011, 熊本県緑川流域における河床礫の分布様式の検討, 科教研報, Vol.26, No.2

荒井正直, 2008, 関西地方の骨材事情, 46 巻 5 号, pp. 54-56.

須藤定久, 2005, 近畿の骨材資源, 地質ニュース, Vol.614, pp.53-57

日本建築学会, 2018, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2018

渡辺一夫, 2013, 日本の石ころ標本箱, 誠文堂新光社

公益財団法人 益富地学会館, 2016, 木津川のかわらの石

高橋直樹・大木淳一, 2015, 石ころ博士入門, 全国農村教育協会

国土交通省国土数値情報ダウンロードサイト

<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W05.html>

<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W07.html>

<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>

一部加工したものを掲載した

国土地理院ウェブサイト

<https://maps.gsi.go.jp>

国土地理院, 基盤地図情報

<https://www.gsi.go.jp/kiban/> 標高のデータソースは DEM5A を利用した。

Google マップ

<https://www.google.co.jp/maps> (閲覧日:2022 年 7 月 4 日) 一部加工したものを掲載した

産総研地質調査総合センター (2022) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2.

<https://gbank.gsj.jp/seamless> (閲覧日:2022 年 7 月 4 日) 一部加工したものを掲載した

植物から虹を描く

1. 緒言

油絵の具とは展色材、色の固定剤、顔料の基盤、色素を混ぜて作成されたものである。先行研究「植物から油絵の具を作る」では展色材はリンシードオイル：アラビアゴム＝28：1 を加熱し混合したもの、色の固定材は水酸化アルミニウム、顔料の基盤は乾燥させ粉末状にした紙粘土、色素は植物の花弁の抽出液を用いていた。結果は、マリーゴールドの花弁の抽出液の色素で黄色の油絵の具、ペゴニアの花弁の抽出液の色素で藍の油絵の具の生成には成功していた。そこで我々は「赤の油絵の具を生成することで色の三原色が揃い、それをそれぞれ混合することで緑、水色、紫、橙の油絵の具を作成しこれらを用いて虹を描けるのではないか」と考えた。

先行研究より、ペゴニアの抽出液は赤であるが、そこに顔料の基盤である紙粘土を加えると藍に変色し、藍色の油絵の具が作成されることから、我々はペゴニアの抽出液に加える顔料の基盤を紙粘土以外のものにするこ
とで、赤色の油絵の具を作成できるのではないかと考えた。

2. 実験手順

[使用薬品・材料・器具一覧]

- ・リンシードオイル(非食品・木工塗布用・植物油 山桂産業株式会社)
- ・アラビアゴム(キシダ化学株式会社)
- ・紙粘土(銀鳥産業)
- ・アンモニア水(キシダ化学株式会社 特級)
- ・塩化アルミニウム(Ⅲ)(6 水和物)(キシダ化学株式会社 一級)
- ・塩酸(キシダ化学株式会社 一級)
- ・酢酸(キシダ化学株式会社 一級)
- ・食酢(株式会社 Mizkan)
- ・クエン酸(無水)($C_6H_8O_7$ キシダ化学株式会社 特級)
- ・ステアリン酸($CH_3(CH_2)_{16}COOH$ キシダ化学株式会社 特級)
- ・ペゴニア
- ・マリーゴールド
- ・サルビア
- ・サザンカ
- ・ビーツ(缶詰)(Magic Time)
- ・イチゴ
- ・ラズベリー
- ・ブラックベリー
- ・ビーカー(50mL, 500mL, 1L)
- ・ガスバーナー

- ・点火棒(株式会社東海)
- ・スクリー管(No.3)
- ・フリーザーパック(縦 189mm×横 177mm 旭化成ホームプロダクツ株式会社)
- ・シャーレ(直径 10cm,高さ 1cm)
- ・ガーゼ(株式会社アダチ)
- ・pH 試験紙 UNIV pH1-11 (TOYO ROSHI CO.LTD)
- ・ペーパーパレット(マルマン株式会社)
- ・食用ラップフィルム(株式会社クレハ)
- ・乳鉢
- ・乳棒
- ・薬さじ
- ・ガラス棒
- ・ろ紙
- ・駒込ピペット(5mL)
- ・キッチンタイマー(佐藤株式会社 TM-12LS)

以下の手順で実験を行う。

- (1)乳鉢で植物の花弁をすり潰したものをガーゼで濾し、色素を含む液を抽出する。
- (2)色素を含む液に顔料の基盤を混ぜて乾燥させ、粉々に潰す。
- (3)(2)で得た粉に展色材と色の固定剤を混ぜる。

実験① 顔料の基盤の液性を変える

- (1)の植物をベゴニアとする。

顔料の基盤を作る際に紙粘土に食酢(少)、食酢(多)、塩酸、酢酸を加えて乾燥させ粉末状にして顔料の基盤として用いて作成した。

実験② 揮発性のない酸を用いる

- (1)の植物をベゴニアとする。
- (2)の際、顔料の基盤と同時に固体のクエン酸を加え作成する。

実験③ 花の種類を変える

- (1)の植物をサルビア、サザンカとする。

実験④ 花弁ではなく実を用いる

- (1)の植物をビーツ、イチゴ、ラズベリー、ブラックベリー、ブルーベリーとする。

顔料の基盤は紙粘土とクエン酸をそれぞれ用いる。

実験⑤ 顔料の基盤をステアリン酸にする

(1)の植物をベゴニアとする。

(2)の顔料の基盤に固体のステアリン酸を用いる。

実験⑥ 絵の具の混合(1)

実験⑤で完成した赤色の絵の具と先行研究通りに作成した藍色の絵の具を混合する。

実験⑦ 絵の具の混合(2)

作成した赤、藍、黄の絵の具を混合する。

実験⑧ 虹を描く

今までに作成した絵の具を紙に塗る。

3.実験結果

実験① 顔料の基盤の液性を変える

表 1 に結果を示す。

表 1.顔料の基盤の液性を変化させたときの絵の具の色

酸の種類	食酢 (少)	食酢 (多)	塩酸	酢酸
混ぜた直後	紫	桃	赤	赤
数分後	藍	藍	藍	藍

混ぜた直後はすべて赤色に近い色になり、数分後、色が変化した。

実験② 揮発性のない酸を用いる

表 2 に結果を示す。

表 2.クエン酸を用いた際の時間経過による色の変化

時間	混ぜた直後	翌日
色	赤	赤

実験③ 花の種類を変える

表 3 に結果を示す。

表 3.赤色の花から色素を抽出した際の液の色

花の種類	サルビア	サザンカ
抽出した液の色	茶	茶

実験④ 花卉ではなく実を用いる

表 4 に結果を示す。

表 4.食品と顔料の基盤を混合してできた絵の具の色

食品 顔料の基盤	ビーツ	イチゴ	ラズベリー	ブラックベリー	ブルーベリー
紙粘土	桃	桃	紫	青紫	青紫
紙粘土とクエン酸	赤	赤	赤	赤	赤紫

実験⑤ 顔料の基盤をステアリン酸にする

表 5 に結果を示す。

表 5.ステアリン酸を顔料の基盤とした絵の具

時間	混ぜた直後	一週間後
色	赤	赤
感触	絵の具に近い	絵の具に近い

実験⑥ 絵の具の混合(1)

表 6 に結果を示す。

表 6.赤色と藍色の絵の具の混合

混ぜる色Ⅰ	混ぜる色Ⅱ	できた色
赤(ベゴニア+ステアリン酸)	藍(ベゴニア+紙粘土)	紫

実験⑦ 絵の具の混合(2)

表 7 に結果を示す。

表 7. 絵の具の混合

混ぜる油絵の具の色	できた色
赤+藍	紫
赤+黄	橙
黄+藍	黄緑
藍+紙粘土	水色

実験⑧ 虹を描く

図 1 に結果を示す。



図 1. 完成した虹

4. 考察

実験①の結果より、色の変化の原因は顔料の基盤にあることが分かった。数分後、色が変わったのは使用した酸が全て揮発性のものであったため時間の経過とともに酸の性質が失われてしまったと考えられる。そのためアントシアニンを赤色の色素として油絵の具を作成するとき、顔料の基盤は、揮発性でない酸性であるものが最適である。

実験②の結果より、時間をおいても赤色を保つことができたことから、揮発性でない酸であれば赤色を保つことができる。しかし展色材と混ぜて絵の具にするとざらざらとした感触になる。更にこの絵の具を一週間ほど放置すると半壊して絵の具としては使えなかった。それはクエン酸が親油基を持たないため展色材と上手く混ざらなかったためだと考えた。ベゴニアの色素が赤の絵の具を作ることに向いていないと考え、色素を抽出する植物を変える。

実験③の結果から、花の種類を変えたが色素を抽出した液が茶色であったため赤の絵の具を作るのにこれらの植物は向いていないと考え、食品として身近にある赤い植物で試す。

実験④の結果から、赤の絵の具を作成することはできたが食品を使用した絵の具を保存するときに腐敗した。これは、色素以外の成分も一緒に抽出したためだと考えられる。

結果①、②、④より基盤の性質を変えるほうが良い。また、ベゴニアが抽出液を作るのに向いているのではないかと考えた。そのため、ベゴニアの色素を再度用いて顔料の基盤を変える実験を行う。

実験⑤の結果より、ステアリン酸は親水基と疎水基を持っている。そのため、親油基が色素の液体を取り込み周りに膜を形成し、溶液中でも安定して赤色を保つことができた。

実験⑥の結果より、色素はそれぞれ顔料の基盤に吸収されており、固体として存在している。そのため、溶液ではない絵の具同士を混合してもベゴニアと紙粘土の反応が起こりにくく、紫色になった。

実験⑦の結果より、他の色の組み合わせで混ぜても市販の絵の具同様、求めている色を作ることができる。

5. 結論

顔料の基盤の性質を変化させることで植物から三色(赤・黄・藍)の油絵の具を作り、それを混合することで、七色の虹を描くことができる。

表 8. 作成した油絵の具

(1)で得た液+顔料の基盤	油絵の具の色
赤(ベゴニア)+粉末の紙粘土	藍
赤(ベゴニア)+ステアリン酸	赤
黄(マリーゴールド)+粉末の紙粘土	黄

6. 今後の課題

混ぜ合わせずに七色の油絵の具を作り、虹を描きたい。また、作った絵の具を固めてクレヨンなどの他の画材を作る。

7. 参考文献

(1) 早川 美久ほか、2021、植物から油絵の具を作る

<http://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H28ssh/sc2/21646.pdf>

(2) 色素について

http://www2.odn.ne.jp/~had26900/constituents/about_pigment.him

卵アレルギーでもシュークリームを食べたい!!

1. 緒言

1.1 研究の動機

シュークリームはシュークリームの皮の中にカスタードクリームを入れたものである。シュークリームの皮とカスタードクリームの両方に卵が入っているため、卵アレルギーをもつ人はシュークリームを食べたくても食べられない。また、卵不使用のシュークリームは市販のものがなかなか見つからない。そこで自分達で作ろうと思い、それぞれの作り方を調べていくと、卵不使用のカスタードクリームのレシピは見つかったが、卵不使用のシュークリームの皮のレシピは見つからなかったため、卵不使用のシュークリームの皮をレシピなしで作ることにした。しかし、さらにレシピを調べていく中で卵不使用のシュークリームの皮の作り方が見つかったため、このレシピを参考にして、このレシピで使われている材料よりもより身近で手に入りやすい材料で作ることができるかどうかを研究した。

1.2 シュークリームの皮の空洞ができる仕組み

材料に水を含むため、生地の中に含まれる水分が加熱されると水蒸気となって膨張し、シュークリームの皮が形成される。

さらに卵に含まれるタンパク質の熱変性により、空洞が保たれる(図1)。

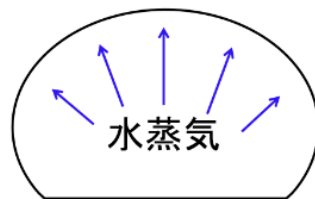


図1 シュークリームの皮が膨らむ仕組み

1.3 試行実験

1.2 で述べたように実際に卵がシュークリーム皮の空洞を保つことに作用しているのかを確認するため、試行実験を行う。一般的なシュークリームのレシピをもとに、卵を使用したものと卵を水で代用したものを比較する。一般的なシュークリームの皮(4,5個分)のレシピは次の通りである。

材料はサラダ油 12.5cc、水 12.5cc、塩ひとつまみ、薄力粉 20g、溶き卵 25cc である。最初に鍋にサラダ油と水と塩を入れて沸騰させる。次に火を止め、薄力粉を加えて練る。そして生地を練りながら溶き卵を加える。最後に 200℃に予熱しておいたホットプレートで 35 分間焼く。一般的にシュークリームの皮を作る時にはオーブンレンジで焼くが、今回の研究ではオーブンレンジを使うことができなかったため、ホットプレートで代用した。

図2にその結果を示す。卵を使用したものに約3cmの空洞が見られるのに対し、卵を水で代用したものは空洞が見られなかった。このことから、卵が空洞を保つことに作用していると確認できた。

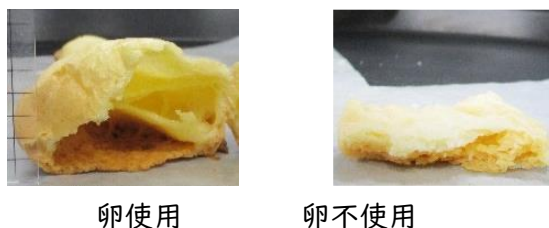


図2 試行実験でのシュークリームの皮の断面

1.4 シュークリームの皮の空洞ができない原因

実験を行う中で必ずしもシュークリームの皮の空洞ができるわけではなかった。その原因は主に 2 点上げられる。まず 1 点目は生地粘度が小さいことである。生地の粘度が小さい、つまり生地が伸びにくい状態であると生地に穴が空いて水蒸気が逃げてしまうことがある。次に 2 点目はタンパク質の量が少ないこと。水蒸気によってシュークリームの皮が膨らみ、空洞が形成されてもタンパク質の量が不足していると熱変性により生地が固まらないので、形成された空洞を保つことが出来ず、しぼんでしまうことがある。このことより焼き上がりにシュークリームの皮の空洞が出来上がるためには、生地の粘度とタンパク質の量が大切である。

1.5 仮説

卵と同じような性質、つまり熱変性を持つ食材を使うことで卵不使用のシュー皮を作ることができるのではないか。

2.実験手順

○使用器具

ガスバーナー、鉄鍋、ゴムベラ、電子てんびん、ビーカー、絞り袋、クッキングシート、ホットプレート、霧吹き、バスタオル

○使用材料(直径 4cm 5 個分)(「卵不使用・ヴィーガンシュークリームの作り方」参照)

ココナッツオイル アライドコーポレーション(チャオコーココナッツオイル)5g

菜種油 株式会社グッドリブON(一番しぼりべに花油)5g

薄力粉 (株)日清製粉ウェルナ(日清フラワー薄力小麦粉)15g

のむ大豆 スジャータめいらくグループ 50g

水 15mL

もち粉(薄力粉の代用) 株式会社山本貢資商店(山本のもち粉)

○基本の作り方

(1)鍋に水、ココナッツオイル、菜種油を入れて沸騰させる。

(2)火を止め、薄力粉を加えて練る。

(3)生地を練りながら理想的な生地の固さ(へらですくったときに二等辺三角形ができるくらい)になるまでののむ大豆を加える。

(4)生地を絞り袋に入れ、200℃に予熱してクッキングシートを敷いたホットプレートに絞り出す。

絞り口はホットプレートから1cm ほどの位置で固定し、生地をつぶさないように絞る。

(5)ふたをし、熱が逃げないように上からバスタオルなどで覆って 35 分間焼く。

今回は、下線部の材料の組み合わせを変えて実験①~③を行った。

実験①薄力粉・のむ大豆

実験②薄力粉・無調整豆乳

実験③もち粉・無調整豆乳

3.実験結果

実験①薄力粉・のおむ大豆→空洞ができた

実験②薄力粉・無調整豆乳→空洞ができたものとできなかったものがあった。

実験③もち粉・無調整豆乳→全体に広がった空洞ができた。

できた空洞の平均の大きさは表 1 のとおりである。

表 1 空洞の平均の大きさ

条件	卵使用	卵不使用	実験①	実験②	実験③
空洞の高さ	3.0cm	0cm	1.0cm	0.50cm	2.0cm

4.考察

実験①薄力粉・のおむ大豆

→空洞ができた原因として、卵のタンパク質の熱変性を、のおむ大豆のタンパク質の熱変性で代用できたことが考えられる。

実験②薄力粉・無調整豆乳

→空洞が保たれなかった原因として、理想的な生地の高さになるまでに入れることができた無調整豆乳の量は 10g で、のおむ大豆を用いたときに入れた量より 40g 少なかったため、生地に含まれるタンパク質の量が少なく、熱変性が少なかったことが考えられる。

実験③もち粉・無調整豆乳

→ 空洞ができた原因として、もち粉に多く含まれるアミロペクチンの糊化作用により無調整豆乳を約 37g 入れることができ、空洞の形成に必要な水蒸気が十分に発生したこと、タンパク質の熱変性によってその空洞が保たれたことが考えられる。

5.結論

生地を伸びやすくするもち粉と、タンパク質の熱変性により生地の高さを保つ無調整豆乳を使えば卵不使用のシュークリームの皮を身近な材料で作ることができる。

6.今後の課題

- ・私たちが作ったシュークリームの皮の大きさは直径約 4cm で、市販のシュークリームよりはるかに小さかったため、より大きいサイズのシュークリームの皮を作る。
- ・より身近に販売されている調整豆乳は、無調整豆乳に比べてタンパク質の量が少ないため、理想的な大きさの空洞を作りにくかったが、調整豆乳を使い、無調整豆乳と同じようなシュークリームの皮をつくる。
- ・もち粉とのおむ大豆を使って実験を行い、考察が正しいか検証する。

7.参考文献

小田良次,2019,オールガイド食品成分表 2019,実教出版株式会社

「びっくり!簡単!シュークリーム」

<https://recipe.rakuten.co.jp/recipe/1100002589/>

「シュークリーム徹底解剖」<https://www.monteur.co.jp>

「卵不使用・ヴィーガンシュークリームの作り方」

<https://m.youtube.com/watch?v=-xdxvWn2qf>

ルミノール反応の触媒活性

1. 緒言

ルミノール反応とは、ルミノールが塩基性水溶液中で過酸化水素と反応すると、3-アミノフタル酸塩が生成され、不安定な励起状態になった後、安定な基底状態に戻る際に光としてエネルギーを放出する反応である。反応の気鋭さから、鑑識にも応用されており、また化学の演示実験ではヘキサシアニド鉄(III)酸カリウムを触媒として用いて多く行われている。この反応が起こる際に遷移元素およびその錯体、ある種の酵素が触媒となることが先行研究によって分かっている。

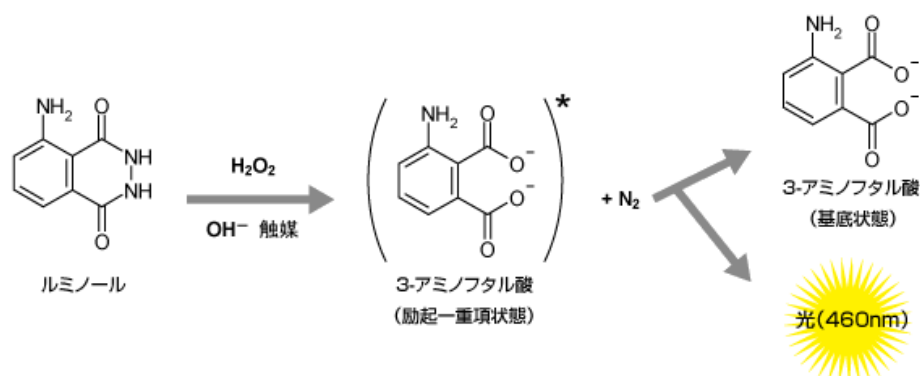


図1 ルミノール反応の反応機構

我々は触媒の種類によるルミノール反応の発光の違いに興味を持ち、触媒の種類によって照度が異なり、演示実験でヘキサシアニド鉄(III)酸カリウムが多く用いられることから鉄イオン、また鉄に似た性質を持つコバルトイオンやニッケルイオン、銅イオンなどの金属塩を触媒として用いたときに強い発光を示すのではないかと仮説を立て、照度計を用いて実験した。

2. 実験手順

実験1、実験2で用いた試薬、装置は以下の通りである。

特級 ルミノール キシダ化学株式会社

Ⅰ級 ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム 米山薬品工業株式会社

特級 水酸化ナトリウム キシダ化学株式会社

特級 過酸化水素水(3%) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 硝酸銅(Ⅱ)(3水和物) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 塩化銅(Ⅱ)(2水和物) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 硫酸ニッケル(Ⅱ) 米山薬品工業株式会社

Ⅰ級 硫酸鉄(Ⅲ) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 塩化コバルト(Ⅱ)(6水和物) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 硫酸銅(Ⅱ)(5水和物) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 硫酸鉄(Ⅲ) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 塩化鉄(Ⅲ)(6水和物) キシダ化学株式会社

Ⅰ級 塩化鉄(Ⅱ)(4水和物) キシダ化学株式会社

特級 硫酸鉄(Ⅱ)(7水和物) キシダ化学株式会社

ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム

ヘモグロビン 東京化成工業株式会社

照度UVレコーダ(小数第2位) デイアンドデイ

アルコール棒状温度計(−5℃~105℃) 佐藤計量器製作所社

【実験Ⅰ 金属塩による発光の照度の違い】

1. 100 mLの三角フラスコの側面にセロハンテープで照度計を貼り付けた。
2. 蒸留水50.0 mL、ルミノール0.23 mL、水酸化ナトリウム0.20 g、3%過酸化水素水0.60 mLをビーカー内で混ぜ、5 mLのピペットで三角フラスコに10 mLずつ分注した。そのそれぞれに3%過酸化水素水を1滴加え、10℃に調節してから黒い箱の中のスターラー上に置いた。
3. 直径1cmほどの穴を空けた紙でふたをし、照度の測定を開始した。
4. 蒸留水20.0 mLに金属塩2.00 gを混合した溶液2.00 mLを穴から駒込ピペットで滴下し、10秒経過後、照度計を止めて蓋を開けた。

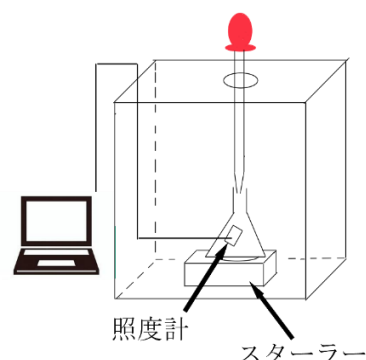


図2 実験Ⅰ、2で使った実験装置

上記1~4の操作を4回行った。今回の実験では図2のような装置を用いた。

【実験Ⅱ pHによる照度の違い】

pHによる照度の違いを検討するために水酸化ナトリウムの質量を変え、実験Ⅰと同様の実験を行った。

3. 実験結果

【実験Ⅰ】

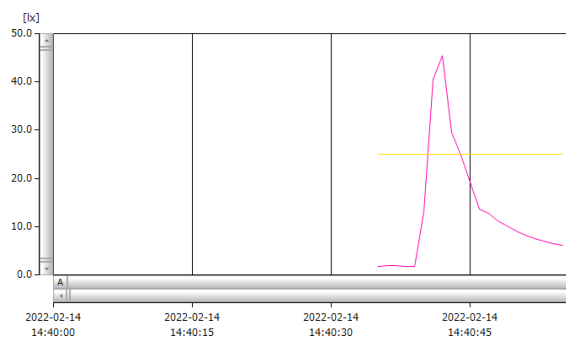
発光が見られた金属塩はヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム、硫酸鉄(Ⅱ)、ヘモグロビン、塩化鉄(Ⅱ)、塩化コバルト(Ⅱ)、硝酸銅(Ⅱ)、硫酸銅(Ⅱ)の7種類であった。この7種類の照度を表Ⅰに示す。塩化鉄(Ⅱ)を用いたときは照度が激しく乱れたため測定不能と表示する。

表Ⅰ 金属塩による照度の違い (単位は lux)

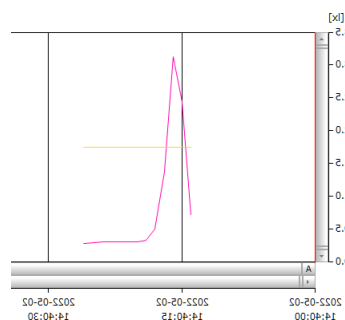
回/金属塩	$K_3[Fe(CN)_6]$	$FeSO_4$	ヘモグロビン	$FeCl_2$	$CoCl_2$	$Cu(NO_3)_2$	$CuSO_4$
1回目	45.30	3.13	1.26	1.25	1.64	0.62	0.54
2回目	25.34	2.34	1.99	測定不能	1.46	1.55	0.69
3回目	38.45	0.71	1.90	1.46	0.77	0.45	1.01
4回目	30.20	1.52	1.99	測定不能	0.82	0.42	0.66
平均	34.82	1.93	1.79	1.17	1.17	0.76	0.71

一方で発光が見られなかった金属塩は硝酸鉄(Ⅲ)、塩化鉄(Ⅲ)、硫酸鉄(Ⅲ)、硝酸ニッケル(Ⅱ)、ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウムの5種類であった。

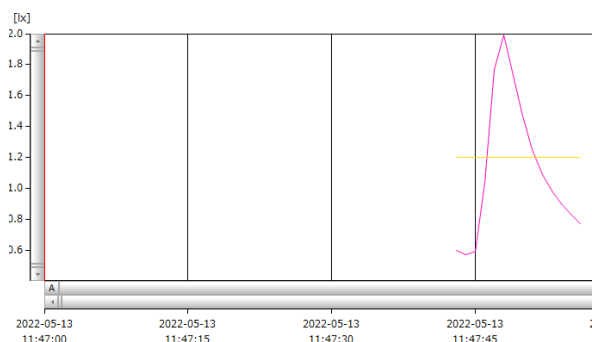
以下の表は発光が見られた7種類の触媒の時間による照度の変化であり、縦軸の単位は lux、横軸の単位は秒を示す。



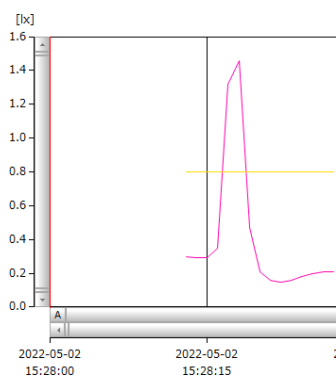
ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム



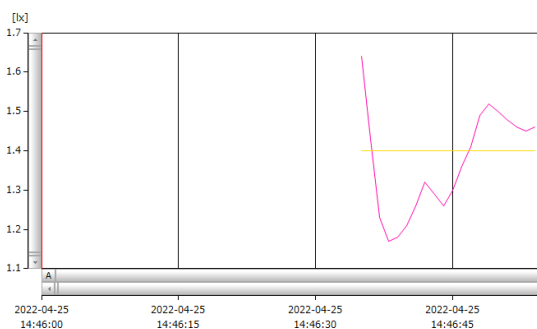
硫酸鉄(Ⅱ)



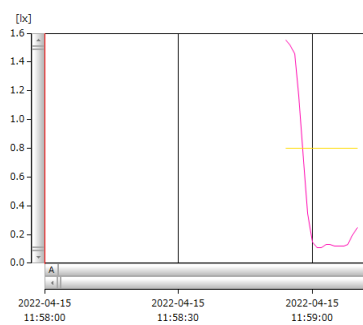
ヘモグロビン



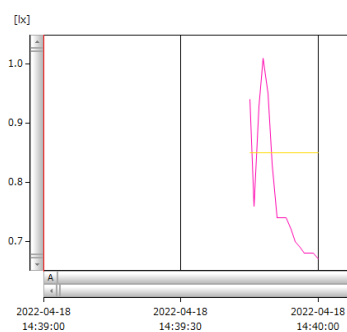
塩化鉄(Ⅱ)



塩化コバルト(Ⅱ)



硝酸銅(Ⅱ)



硫酸銅(Ⅱ)

【実験 2】

ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムは pH12 で、硫酸鉄(Ⅱ)は pH13 で最も高い照度を示した。

4. 考察

我々は鉄イオン、また鉄に似た性質を持つコバルトイオンやニッケルイオン、銅イオンなどの金属塩を触媒として用いたときに強い発光を示すのではないかという仮説を立てたが、今回用いた金属塩の中では 3 価の錯イオンであるヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムだけが極端に大きな照度を示し、それに比べて 2 価の鉄イオンが含まれる硫酸鉄(Ⅱ)、塩化鉄(Ⅱ)、硝酸銅(Ⅱ)、また塩化コバルト(Ⅱ)、硫酸銅(Ⅱ)、硝酸銅(Ⅱ)は小さな照度を示した。一方で 3 価の鉄イオンが含まれる硝酸鉄(Ⅲ)、塩化鉄(Ⅲ)、硫酸鉄(Ⅲ)、また硝酸ニッケル(Ⅱ)、2 価の錯イオンであるヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウムを用いたときは発光を示さないという結果になった。これは、ルミノール反応が起こる際に、触媒に 3-アミノフタル酸の陰イオン部分が配位し、生成する中間体生成物の軌道の構造の違いが発光の仕方や照度に大きく影響しているためだと考えた。また金属塩によって反応に適した pH は異なることが分かった。

5. 結論

金属塩の種類や溶液の pH は照度に大きく影響する。今後の展望として、今回の研究では溶液の pH による照度の違いを 2 種類の金属塩でしか実験できなかったため、2 種類以上の触媒の発光に適した pH を調べる。

6. 参考文献

静岡県立清水東高校 ルミノール反応の触媒活性

<https://gakyusyu.shizuoka-c.ed.jp>