

クマムシ（真クマムシ綱）／肢ポンプ仮説から樽化メカニズムを考察する

京都府立木津高等学校 科学部
1 年 吉田美穂 永野莉乃 三浦伊織

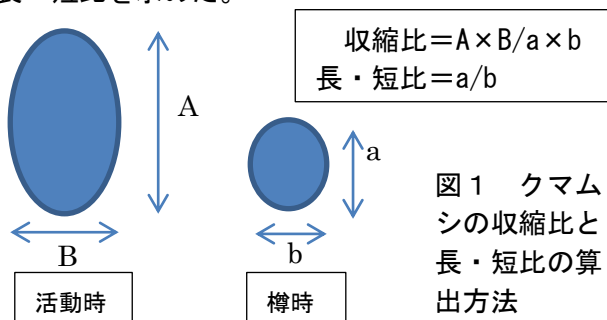
1. 動機及び目的

「クマムシには循環系はない」（マルグリスら 1987）といわれているが、私たちの観察では体腔球（体液中に浮遊）の動きは、肢運動と完全に連動しており、3 年前から肢ポンプ仮説を提唱してきた。これまで7年間蓄積した樽化実験のデータを分析すると、樽化後に水をかけたとき蘇生した個体はプレパラート上においては、20%にも満たなかった。乾燥条件のうち、湿度・乾燥に要する時間の影響について前年度研究した結果、蘇生できた樽（蘇生樽）の形状には一定の大きさ（＝収縮比：図1）が存在していた。そこで、今年度はこの収縮比に樽の形状（＝長・短比：図1）を加えて、樽化現象を肢ポンプ機能から探りたいと考えた。

2. 方法

【実験Ⅰ】蘇生樽の収縮と形状の分析

真クマムシ綱のオニクマムシ、チョウメイムシ、ヨコヅナクマムシ類を校内から採取し、一度水をかけて活動状態にした。その後、体長（縦・横）を測定して、クマムシをスライドガラス上で微小な水滴に閉じ込め、自然乾燥により乾燥させる放置区と乾燥機に入れる速乾区（チョウメイムシのみ）に分けて乾燥させた。乾燥した樽の体長を測定し、再び水をかけて蘇生率を調べた。このとき、全身運動を行ったものを「蘇生」、まったく動かないか手足が少し動く程度のものを「死亡」と判断した。得られた体長から図1のような方法で収縮比と長・短比を求めた。



【実験Ⅱ】樽化時の足場の有無の検証

実験Ⅰの結果より、理想的な樽化には意図的な筋肉収縮（肢ポンプ）が機能している可能性を考えた。つまり、筋肉を効率よく収縮させるには、

体の一部を固定し固定軸（足場）を作る必要があると考え、以下のような仮説をたてた。

「仮説：樽化時に固定軸（足場）が確保できたクマムシは、ないものより蘇生率が高い」

足場としてはろ紙の繊維がちょうどよい大きさであると考え、乾燥したろ紙を用いた。Ⅰと同様の方法で、微小な水滴に閉じ込めたクマムシを乾燥したろ紙の上（ろ紙区）とスライドガラス上（スライド区）で樽化させた。蘇生率、収縮比、長・短比を計測した。

3. 結果と考察

【実験Ⅰ】蘇生樽の収縮と形状の分析

速乾区ではすべての個体が蘇生しない死亡樽となった（蘇生率 0%）。これら死亡樽の長・短比は2前後、収縮比は2以下となる個体が多かった（図2）。一方、放置区の蘇生率は16%であり、蘇生樽の長・短比（樽時）は1～2、収縮比は2～4となる個体が多かった（図3）。また、クマムシの蘇生樽の収縮比や長・短比からは今回用いた3種の種間差は見られなかった（図3）。

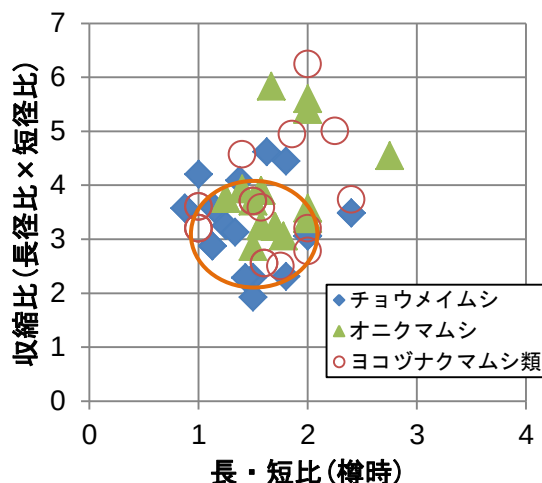
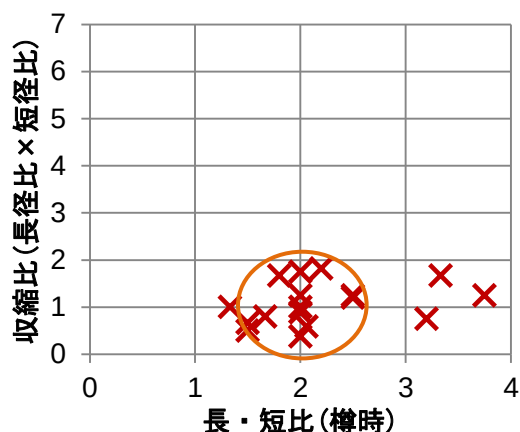


図3 放置区蘇生樽の長・短比および収縮比

【実験Ⅱ】樽化時の足場の有無の検証

ろ紙区の乾燥時間は1分以内から20分以上(最大60分)まで幅広かったが、蘇生率は合計で68%と高かった。一方のスライド区では、乾燥時間は12分～17分となり、蘇生率は6%と低かった(表1)。

表1 樽化実験の乾燥時間と蘇生率

ろ紙区			
乾燥時間	蘇生数	死樽数	蘇生率(%)
1分以内	8	4	67
1～5分	4	3	57
5分～10分	4	2	67
10分～20分	2	0	100
20分以上	3	1	75
合計	21	10	68
スライド区			
12分～17分	1	17	6

ろ紙区の蘇生樽は、実験Ⅰと同じく収縮比2～4、長・短比1～2の範囲に多くの個体が多くみられた(図4)。スライド区でも実験Ⅰの速乾区と同じく、収縮比2以下、長・短比1前後となった(図5)。樽化の様子を観察すると、ろ紙区では第4肢側へ向かって大きく収縮する様子が観察されたが、スライド区では体が全体的に真ん中に向かって縮む様子が観察された(図6)。

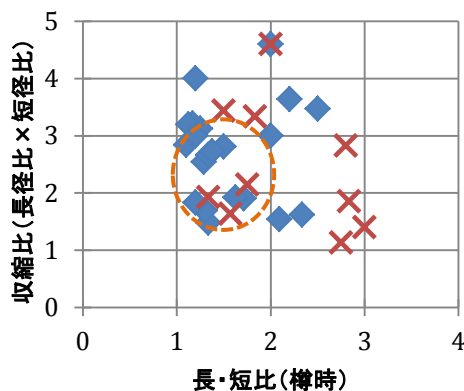


図4 ろ紙区の収縮比と長・短比

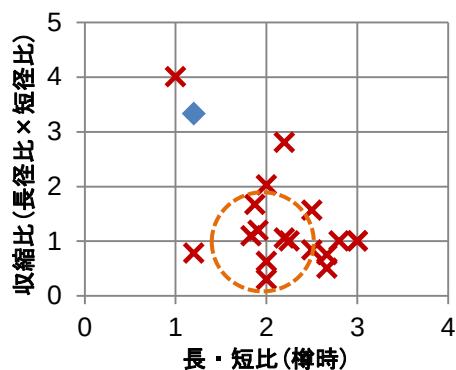


図5 スライド区の収縮比と長・短比

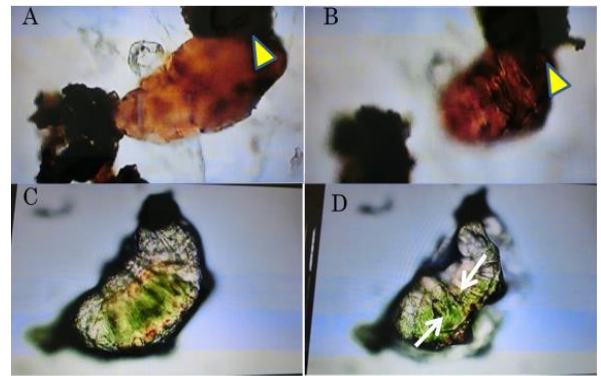


図4 ろ紙区乾燥個体 A固定軸あり(収縮開始時) B固定軸あり(収縮時) C固定軸なし(収縮開始時)D 固定軸なし(収縮時) 白い矢印は収縮の方向、黄色い矢印は収縮の固定軸を示す。

これらの結果から固定軸が有るときは無い時に比べて収縮比で約2～3倍の差が生じていることが分かった(図4、図5)。また、観察できたろ紙区樽の伸縮様式は全ての個体で第4肢方向に収縮していた(図6A, B)。つまり固定軸は第4肢であると考えられる。第4肢の爪の向きは他の第1、2、3肢と異なり頭側を向いていることから、自然界では第4肢をコケなどに引っ掛けて固定軸をつくり、筋収縮によって樽化を行っているのではないかと考えられる。

これまで、一般にクマムシが正常な樽になるには、長時間かけて体の表面積を徐々に小さくしていくことでゆっくりと体表から脱水していく(鈴木2006, 堀川2015)と考えられていた。しかし、私たちの研究はクマムシが肢をポンプとして筋収縮を行い、計画的に排水することで、短時間でも樽になることができることを示唆している。

4、反省と課題

今回の実験では樽状態継続時間(樽化してから再度給水までの時間)が個体によって統一できなかった。今後は樽状態継続時間を一定にしたり、変化させたときに蘇生率との関係がないか調べたい。また、ろ紙上で樽化するとき、第4肢側に偏りながら収縮していく現象は確認できたが、爪がろ紙の繊維をひっかけている様子ははっきり確認できていないため、今後も観察を行ってきたい。

参考文献

- 鈴木 忠著, クマムシ!?小さな怪物, 岩波書店(2006)
- 堀川 大樹著, クマムシ研究日誌, 東海大学出版部(2015)
- リン マルグリス, カーリーン・V. シュヴァルツ著, 五つの王国—図説・生物界ガイド, 日経サイエンス社(1987)

タテジマイソギンチャクの個体認識システム

神戸市立六甲アイランド高等学校
自然科学研究部
3年 武石悠 潘舞綾 吉野竜輝

1. 動機及び目的

神戸市立六甲アイランド高等学校周辺の海域には、タテジマイソギンチャクが生息している。タテジマイソギンチャクの学名は *Diadumene lineata* で、刺胞動物門花虫綱に属している。体高は約 1~3 cm で、模様は濃いオリーブ色に約 12 本の縦縞がある。生殖は、裂片法という無性生殖で体の一部が分裂してクローンを作って殖えることが基本で、有性生殖も行うことがある。

自然科学研究部では、2012 年よりこのタテジマイソギンチャクの闘争行動に興味をもち、大阪湾沿岸、そして播磨灘沿岸でタテジマイソギンチャクの採集を行い、その飼育と観察に取り組んできた。そして闘争行動を利用して、兵庫県南部にタテジマイソギンチャクのクローン集団がどのように分布しているのかを調べることを目的として研究を行った。

今回私たちは地域集団間の個体認識をどのようにして行っているかを調べるために、次の実験Ⅰ~Ⅴの実験を行った。

実験Ⅰ：漬け置き海水を用いた実験

実験Ⅱ：煮沸した漬け置き海水を用いた実験

実験Ⅲ：混合した海水を用いた実験

実験Ⅳ：希釈した漬け置き海水を用いた実験

実験Ⅴ：シリンジフィルターを用いた実験

これらの実験により、漬け置き海水の中に含まれるシグナル物質が個体認識にどのように関わっているかを調べることを目的とした。

2. 先行研究から判明した地域集団



地名の色は同じ地域集団を示している。

3. 実験Ⅰ：漬け置き海水を用いた実験

切断触手の漬け置き海水に対する刺糸発射反応を調べるため姫路・住吉・芦屋の集団の個体を使い、漬け置き海水を採取した。3回独立

に実験を行い、顕微鏡観察をしたところ住吉・芦屋漬け置き海水に対して姫路の刺糸発射が確認された。姫路漬け置き海水に対しては住吉・芦屋の刺糸発射が確認されたことにより切断触手は漬け置き海水に対しても個体識別できることが分かった。この結果は漬け置き海水に分泌された何らかのシグナル物質が個体認識に関わっていることを示唆している。

	姫路漬け置き海水	住吉漬け置き海水	芦屋漬け置き海水
姫路触手	—	+	+
住吉触手	+	—	—
芦屋触手	+	—	—



姫路漬け置き海水に芦屋触手を入れた様子

4. 実験Ⅱ：煮沸した漬け置き海水を用いた実験

実験Ⅰより切断触手は、漬け置き海水に対しても個体認識ができた。シグナル物質が失活するかどうかを確かめるため、煮沸した漬け置き海水に対しては反応するのか、実験をして確かめた。

その結果、同じ地域同士の組み合わせであっても、違う地域同士の組み合わせであっても煮沸した漬け置き海水に対しては刺糸を発射することが分かった。この結果は漬け置き海水に分泌されたシグナル物質が自分は仲間であることを伝えるものであり、それが煮沸により失活したことを示唆している。

	姫路海水	住吉海水	芦屋海水
姫路触手	+	+	—
住吉触手	+	+	—
芦屋触手	—	—	+

5. 実験Ⅲ：混合した漬け置き海水を用いた実験

実験Ⅱより、煮沸した漬け置き海水の実験においてシグナル物質が失活したと考えられるが、そのシグナル物質が本当に仲間であることを伝えるものであるかを確かめた。姫路・住吉・芦屋の漬け置き海水を混合すれば、それぞれの切断触手は刺糸を発射しないと仮説を立て、実験を行った結果、混合海水に対してはどの地域の触手も刺糸を発射しなかった。この結

果は混合海水に含まれるシグナル物質が刺糸発射を抑制していることを示唆している。

	混合海水
姫路触手	—
住吉触手	—
芦屋触手	—

6. 実験Ⅳ：希釈した漬け置き海水を用いた実験

I～Ⅲの実験で、触手がシグナル物質を受容して個体認識を行うことを確認できたので、どの程度希釈した漬け置き海水に対して触手が個体認識を正しく行えるかを確かめた。100倍希釈した混合漬け置き海水(A)に対して姫路の切断触手は刺糸が発射されなかったのに対し、芦屋の切断触手は刺糸を発射した。さらに1000倍希釈した混合漬け置き海水(B)に対して姫路の切断触手が刺糸を発射した。このことより混合海水を希釈することによってシグナル物質が薄くなり刺糸発射の抑制効果が弱くなったと推測される。

姫路漬け置き海水を1000分の1に薄め、それに芦屋漬け置き海水を混合した漬け置き海水(C)に対しては姫路の切断触手は刺糸を発射したが、芦屋の切断触手は刺糸が発射されなかった。同様に芦屋漬け置き海水を100分の1に薄め、それに姫路漬け置き海水を混合した漬け置き海水(D)に対しては芦屋の切断触手は刺糸を発射したが、姫路の切断触手は刺糸が発射されなかった。

	海水A	海水B	海水C	海水D
姫路触手	—	+	+	—
芦屋触手	+		—	+

7. 実験Ⅴ：シリンジフィルターを用いた実験

0.22 μm よりも小さい物質しか通さないシリンジフィルターを用いて、シグナル物質の分子の大きさを確かめた。シリンジフィルターを通した同じ地域の海水には刺糸は発射しなかったが、異なる地域の海水に対して刺糸を発射した。このことよりシグナル物質の大きさは0.22 μm 以下であることがわかった。

	姫路フィルタ ー海水	住吉フィルタ ー海水
姫路触手	—	+
住吉触手	+	—

8. 考察・結論

先行研究の結果から、イソギンチャクの個体同士だけでなく、切断触手同士でも敵味方の認識をして刺糸を発射することがわかった。よっ

て触手が海水中にシグナル物質を分泌して受容して、個体認識を行っていると考えられる。したがって今回は漬け置き海水を用いた実験を行い、シグナル物質の特徴を調べることを目的とした。先行研究で飼育水槽の中の人工海水を用いて実験を行った結果、違う地域集団同士でも刺糸の発射が確認されなかったことから、イソギンチャクが分泌したシグナル物質の濃度が高い海水、すなわち漬け置き海水を用いることで、刺糸の発射が確認されるのではないかと仮説を立てた。

漬け置き海水を用いて実験を行ったところ、先行研究よりも触手が発射した刺糸の量が多かった。これは漬け置き海水中のイソギンチャクが放った強い匂い物質を触手が感じ取り、刺糸を多く出したためと考えられる。

実験Ⅰから実験Ⅴまでの結果から、タテジマイソギンチャクは触手間でシグナル分子を分泌・受容することで、同じ地域集団の仲間が近くにいれば攻撃しないが、異なる地域集団の個体がいれば攻撃していると考えられる。この非常に戦略的なシステムにより、地域集団を維持していると推察できる。

今回の実験で、タテジマイソギンチャクは強い何かしらのにおい物質と、自分が同じ地域集団の個体であることを示すシグナル物質を持っている。シグナル物質は個体が闘争行動を行う際に影響し、熱に弱く、同じ地域集団に対して刺糸発射を抑制する作用があると考えられる。また、シグナル物質の濃度が異なると刺糸発射の有無の境界が変わることがわかった。

タテジマイソギンチャクは切られた触手だけでも、同種間でも同じ地域集団か異なる地域集団を区別して、異なる地域集団に対しては刺糸を発射させる。異種間ではどのようなことになるかを検証していきたい。

9. 参考文献

内田紘臣・楚山勇『イソギンチャクガイドブック』(2001年・阪急コミュニケーションズ)

環境 DNA を用いた外来種のカメの分布調査 II 期

兵庫県立加古川東高等学校 自然科学部生物班

1 年 今村駿平

3 年 千古晴菜, 瓶内ひなた, 松谷朱莉

1. はじめに

本校が立地する東播磨地域には多くのため池がある。それらの池では、外来種のカメの生息数が増加し、食糧や生息域などが重複するために在来種のカメの生息数が減少している。この現状を知った私たちは、池に生息するカメの生息調査を行って地図上に示し、将来的には在来種の保全につなげたいと考え、本研究を始めた。

環境 DNA を用いた調査では、研究開始時の 2014 年 4 月時点ではカメでの前例がなく、第一に調査手法・条件の確立が必要であった。そのため、本研究では東播磨地域の池に広く生息し、生息数が最も多く駆除対象になっているミシシippアカミミガメ（以下アカミミガメ）を研究対象種として選んだ。

2. 予備研究と結果

・プライマーの設計

塩基対数 150bp~200bp の塩基配列を増幅するプライマーを設計する（図 1）。なお、プライマーは、北海道システムサイエンス株式会社に依頼し、合成する。

プライマー名		塩基配列	増幅産物サイズ (bp)
1	Left	CCT CCA ACA TCT CTG CTT GA	150
	Right	ATT GTA CGT CTC GGG TGA TG	

図 1 設計したプライマー

このプライマーでアカミミガメの組織の DNA が増幅することを確認し、今後の実験に使用する。

・飼育水槽の水サンプルの環境 DNA 抽出・増幅

(1) 方法

本校生物室で飼育しているアカミミガメの水槽の水サンプルを採取する。採取した水サンプルは、ろ過装置を用いてフィルターろ過をする。フィルターから DNA を抽出する。



図 2 DNA 抽出 Kit と小型遠心分離機

(2) 結果

電気泳動の結果、図 2 の結果が得られた。

水槽の水サンプルで、150bp のところでアカミミガメの環境 DNA の増幅が確認できた。

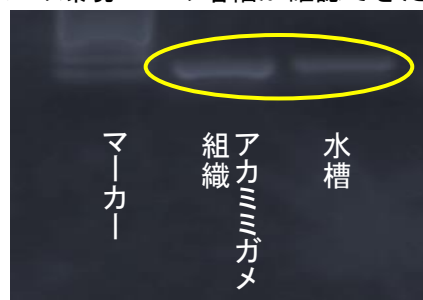


図 3 環境 DNA の増幅結果

3. 野外サンプルの環境 DNA 抽出・増幅と

アカミミガメの生息分布

(1) 方法

野外の水サンプルを採取・目視確認する。採取場所は、本校横の水路と三ツ池、峠池、寺田池、狐池、半鐘池、竜ヶ池、新池、前の池、中ノ池、今池の 11 か所とし、それぞれを F01~F11 とする。そのうち目視でアカミミガメの生息を確認できなかった場所は、F09 の 1ヶ所だった（図 4）。その後、ろ過装置を用いてフィルターろ過をする。フィルターから DNA を抽出する。

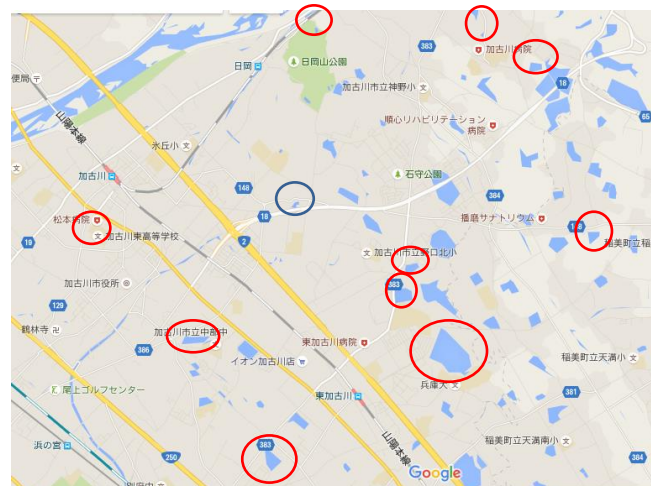


図 4 ため池の水サンプル採取場所

（目視で生息確認した池は赤色）

PCR 試薬は、Taqman Environmental Master Mix 2.0 を用い、新しく採取した池の水サンプルを含む F01~F11 において環境 DNA の PCR 反応を行い、電気泳動により対象種であるアカミミガメの環境 DNA 増幅の有無を確かめる。

また、神戸大学から提供を受け、カメの生息していない神戸大学ビオトープ、ため池 2 か所についても同様に PCR 反応を行った。

(2) 結果

電気泳動の結果、図5の結果が得られた。

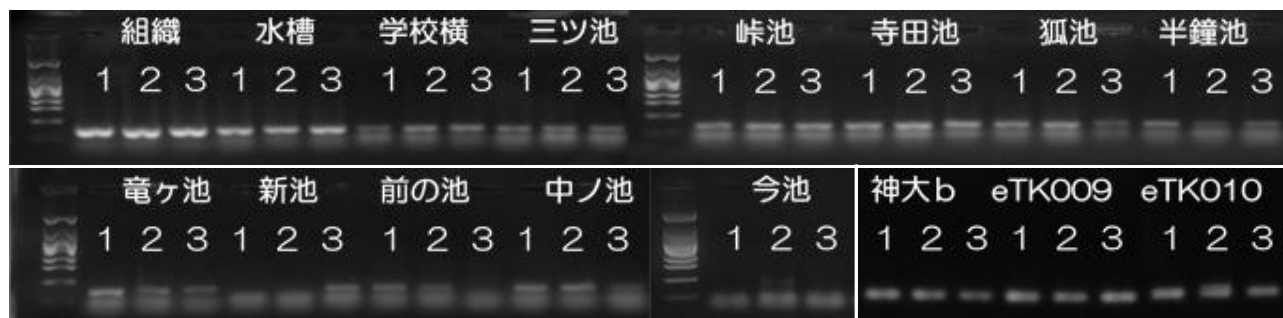


図5 環境 DNA の増幅結果

表1 アカミミガメの目視確認と泳動結果 (目視確認:◎10匹以上 ○1匹以上10匹未満 ×確認できず)

	F01 学校横	F02 三ツ池	F03 峠池	F04 寺田池	F05 狐池	F06 半鐘池	F07 竜ヶ池	F08 新池	F09 前の池	F10 中ノ池	F11 今池	神大 ビオトープ	eTK 009	eTK 010
目視確認	○	○	○	○	○	◎	◎	○	×	○	○	×	×	×
泳動結果	3	3	3	3	3	3	3	1	2	3	1	0	0	0

目視確認できた池では、環境 DNA の増幅も見られた。神戸大学提供のサンプルは、予定通り DNA の増幅が見られなかった。F09 前の池では、目視確認できていないが DNA の増幅が見られた。

4. 考察

野外の水サンプルで環境 DNA の増幅が確認できたことから、ため池の環境 DNA が検出できたといえる(図5)。環境 DNA が検出できた池では、アカミミガメの生息も確認されている。しかし、前の池は生息が確認できなかったが、環境 DNA が検出された。この池は、蓮が水面を覆っており見通しが悪かった。実際にはカメが生息している可能性が考えられる。その理由は、神戸大学提供のサンプルでは、環境 DNA が検出されなかったからである。以上により、アカミミガメの環境 DNA を検出する調査手法・条件を確立できたと言える。

5. 応用実践

確立された調査手法を用いて、2016年6月初旬から現在、東播磨県民局の事前調査でアカミミガメが侵入していないとされる加古川市志方町付近のため池を東播磨県民局の方々の協力のもと、侵入の有無を調査中である。

6. 今後の課題・展望

今回の研究で調査手法・条件が確立した。これにより、簡易にアカミミガメの生息の有無の調査が可能になった。近年、東播磨全域においてアカミミガメの侵入が問題となっており、在来種の保護・外来種の侵入防除が盛んである。今後は地域と連携し、この問題を改善できるよう協力していこうと思う。

本研究開始時には、カメの環境 DNA を用いた調査は前例がなかったが、2015年7月にカナダの研究チームがカメの環境 DNA を用いた調査の論文を発表した⁵⁾。我々は、この手法が世界各地での在来種のカメの保護に役立つと考えている。

【謝辞】

神戸大学大学院特命助教の源利文先生、兵庫県東播磨県民局水辺地域づくり担当の方々、和亀保護の会の西堀様に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 環境省 自然環境局要注意外来種リスト
http://www.env.go.jp/nature/intro/outline/caution/detail_ha.html
- 2) Takahara T., Minamoto T., Yamahara H., Doi H., Kawabata Z. (2012) Estimation of fish biomass using environmental DNA. PLOS ONE, 7(4), e35868
- 3) バケツ一杯の水で海洋生物の量や種類を知る JSTnews August 2014 p12-13
- 4) Application of Environmental DNA for Inventory and Monitoring of Aquatic Species (USGS, January 2013; Fact Sheet 2012-3146)
- 5) Christina M. Davy, Anne G. Kidd, Chris C. Wilison (2015) Development and Validation of Environmental DNA (eDNA) Markers for Detection of Freshwater Turtles, PLOS ONE

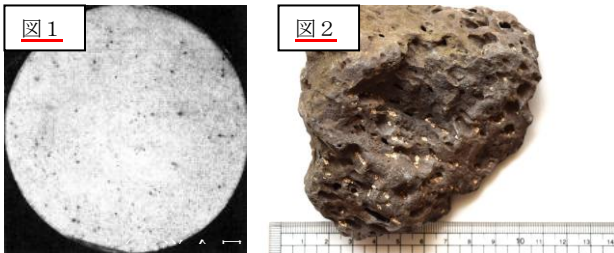
氷に内包される気泡内の環境の推定（第1報）

兵庫県立西脇高等学校 生物部

3年：北條健太，臼井滉平，2年：足立敬一郎，
越前太智，岡本恒輝，篠田睦生，畑中拓，藤原未
奈，森山李玖，1年：内橋春香

1. はじめに

気泡の入らない氷は粒が細かいため舌触りがよい。実験を始めた5月はすでにかなり暑さが厳しく、気泡が入らない舌触りのよい氷を作ろうとした。しかし、試行錯誤を重ねても、実際に気泡が入らない氷を作ることはできなかった。ある日、氷の気泡が、金属の凝固過程で残存して欠陥材料の原因になる気泡（図1）や、兵庫県北部の巡検調査で採取した岩石のマグマの冷却過程でガスが抜けた穴（図2）によく似ていると思われた。氷の気泡の研究は、これらが形成される環境を考察する手がかりになる。そこで、当初とは逆に気泡が多く入った氷を作り、気泡の温度や圧力を明らかにすることを目的に本研究を始めた。



2. 実験方法と結果

冷却速度や冷凍庫内の温度を様々に変えて純水を冷却し、気泡が多い氷や少ない氷を作った。純水に空気を注入したり沸騰させたりせず、すべての実験の製氷は同時におこなった。

（1）氷に閉じこめられた気泡の温度変化の測定
仮説：水が完全に結晶化すると、冷凍庫内と氷は同じ温度で平衡に達する。

方法：純水を静かに製氷皿に入れ、製氷皿の上方付近の水、製氷皿の水の中央部付近、製氷皿

の水面から数mmの高さに、デジタル温度計をセットし、冷凍庫内で冷却して5分ごとの温度変化を温度が平衡に達して十分時間がたつまで測定する（図3）。

結果：仮説に反

して、氷内部

にできた気泡の

温度は、急冷か徐冷か、や気泡の多少に関わらず、いずれも冷凍庫内の温度よりも $0.76^{\circ}\text{C} \sim 3.41^{\circ}\text{C}$ 程度高く平衡に達した（表1）



（2）温度計間の測定精度の確認（図4）

3本のデジタル温度計間の測定精度を確認するため、2本ずつ同じ純水に浸して温度を5分ごとに測定したが、測定値はよく一致した。

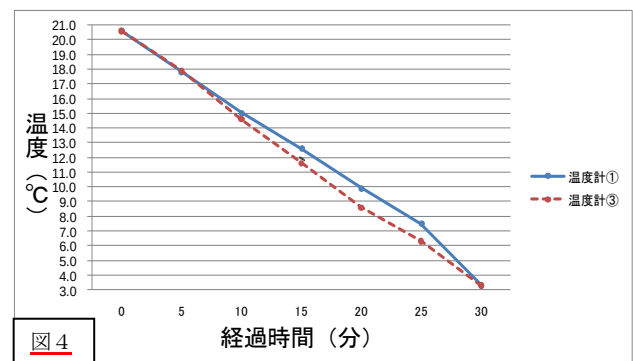
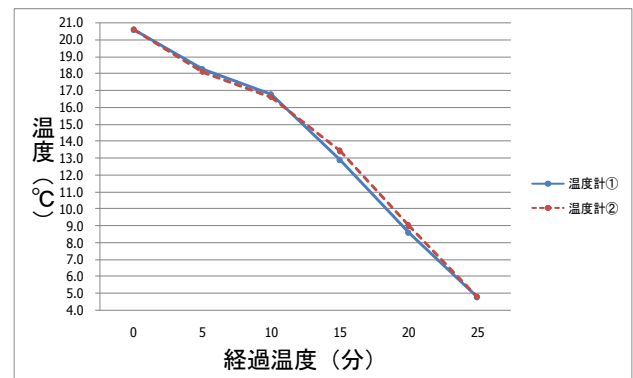


表1 実験番号	急 冷				徐 冷		
	1	2	3	4	5	6	7
平衡に達した時間(分)	110~270	110~220	120~180	110~230	125~245	105~170	105~355
冷凍庫内の平均温度($^{\circ}\text{C}$)	-23.07	-23.28	-22.53	-22.13	-20.72	-21.13	-22.04
気泡の平均温度($^{\circ}\text{C}$)	-19.66	-20.24	-20.10	-19.58	-19.96	-18.64	-19.41
氷の平均温度($^{\circ}\text{C}$)	-21.51	-22.21	-21.78	-21.37	-17.92	-20.29	-21.20
気泡の温度-冷凍庫内の温度($^{\circ}\text{C}$)	3.41	3.04	2.43	2.55	0.76	2.49	2.63

(3) 氷の密度と膨張率の測定

仮説：水が急冷されて結晶化し、内部に多くの気泡が閉じこめられるほど膨張率（氷の体積 cm^3 / 水の体積 cm^3 ）は大きく、密度変化の割合（氷の密度 g/cm^3 / 水の密度 g/cm^3 ）は小さくなる。
方法：テニスボールの空気を吸引し、空気入れて純水を注入して満たして純水の質量と体積を測定する。冷凍庫内で急冷して気泡が多く入った氷を作り、氷の質量と体積を測定する。

結果：急冷実験では、気泡が多く入っているにもかかわらず、気泡が少ない氷と密度の変化に有意差がみられず、膨張率はわずかに小さいこともある（図5）。

(4) 氷の気泡に閉じこめられている空気の体積の測定

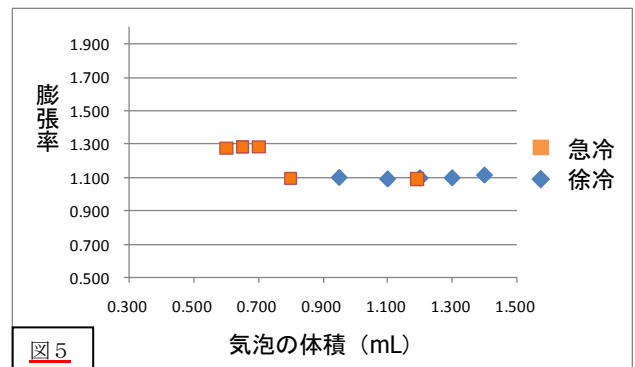
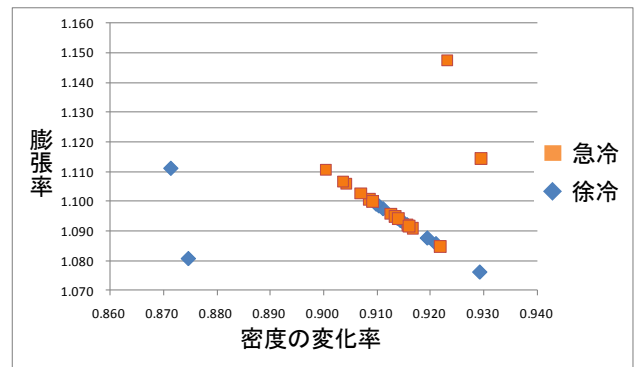
仮説：急冷すると氷の中に多くの空気が閉じこめられる。
方法：気泡が多い氷と少ない氷を、水をはった水槽の中で溶かし、気泡をすべてメスシリンダー内に集めて、氷に含まれていた空気の体積を測定する（図6）。



結果：急冷して結晶化した氷は、実験（2）で膨張率や密度の変化率に有意差を示さないが、多くの空気を気泡として含む。多くの空気が閉じこめられているにもかかわらず、急冷した氷の方が膨張率はむしろ小さい傾向にある（表2）。

表2	試料	水から氷への膨張率	気泡の体積 (mL)	膨張率／気泡の体積
急冷	4	1.111	1.40	0.794
	7	1.097	0.95	1.155
	12	1.095	1.30	0.842
	13	1.088	1.10	0.989
	14	1.093	1.20	0.911
	15	1.094	1.20	0.912
	平均	1.096	1.19	0.934
徐冷	18	1.091	1.19	0.916
	20	1.095	0.80	1.369
	27	1.282	0.65	1.973
	28	1.284	0.70	1.835
	29	1.282	0.65	1.973
	30	1.274	0.60	2.123
	平均	1.218	0.77	1.698

3. 全体のまとめと考察



同じ純水を冷却して氷を作ったため、気泡の多少は、純水に含まれていた空気の量によって異なるものではない。気泡の量は、冷却速度の違いによる。内包される空気の量が多いにもかかわらず氷全体の膨張率が変わらないことや、気泡が多い氷でも密度の変化に有意な違いがみられないことから、急冷して結晶化した氷には、内部の空気に向かって高い圧力がかかっている可能性がある。

金属が凝固する過程で気泡が入ると、商品として使用できなくなる。地下深部のマグマの固化が進行し、メルト中の H_2O 量が過飽和となって気泡を生じるとき、マグマの結晶固化が進行中であっても、大規模な珪長質マグマだまりでは体積の膨張を安易に許さない（風早・篠原, 1994）。これらのように、体積が膨張できない状態で多くの気泡を生じる環境は、温度や圧力などが桁違いではあるが、本実験の環境と類似点も多い。

4. 今後の課題

相平衡関係を動的にとらえる必要があるため、現在の段階では、金属や岩石の気泡の環境を本実験とただちに結びつけることはできない。不純物の入った水を凍らせた場合、成分が結晶化してより近い環境になるため、濃度を変えた実験を行う。

参考文献

風早康平・篠原宏志（1994）大規模マグマ溜りからの火山ガス・熱水の放出モデル～火道内マグマ対流およびマグマ溜りの固化に伴う脱ガス～（地質ニュース 474 号, 12-17）

放電現象とオーロラ

滋賀県立膳所高等学校 物理地学班
2年 吉田航平 岡本直丈
松木 陸 小梶史人 松村悠己

1. 動機及び目的

私たちは誘導コイルでの放電現象の実験を行う中で、放電現象に関わりのあるオーロラがどのようなしくみで発生するのか、なぜオーロラは極の上空にのみ発生しやすいのかについて興味を持った。そこで、ネオジウム磁石（地磁気をモデル化）と誘導コイルを用いて磁気の中で放電（電子線：太陽風をモデル化）を発生させ、真空鐘で地球の上空を再現し、本来の地球の状態に近づけた実験により、オーロラ発生モデルを考察した。

2. 実験方法

誘導コイルで高電圧（ $6 \times 10^4 \text{V} \sim 1.2 \times 10^5 \text{V}$ ）を発生させ、ネオジウム磁石を用いて、放電線に干渉し、その様子を観測した。



図 1：誘導コイルと真空鐘

また、上空のモデル実験については、ポンプで空気を抜いた真空鐘（最低 2mmHg まで降下可能）に設置した電極で放電し、それを観測した。

(1) 実験Ⅰ 磁力線に垂直な放電

ねらい

赤道面付近の磁界が太陽風に及ぼす影響のモデル的考察をする

方法

誘導コイルの受信側にネオジウム磁石を縦に置く。その磁力線に垂直な方向に放電し、受信側の電極板へ放電される位置を観測した。

仮説

電流はローレンツ力により磁石を避けるようにして流れる。

結果

仮説通り電流は磁石を避けるように流れた。

考察

磁力線に対し垂直に放電したとき、仮説通り電流の軌道はローレンツ力により曲げられたと考えられる。赤道上でオーロラが見られにくいのは太陽風にもローレンツ力が働くからだと考えられる。

(2) 実験Ⅱ 磁力線に沿った放電

ねらい

極上空の磁界が太陽風に及ぼす影響のモデル的考察をする。

方法

半球・球状のプラスチック容器内にネオジウム磁石を棒状に設置する。ネオジウム磁石のN、S極側それぞれを通過するように放電し、観測した。磁界以外の要因の関与も確かめるため、図 2-1、2-2 の二つの状態での対照実験を行った。



図 2-1：実験Ⅱ（下に磁石）



図 2-2：実験Ⅱ（上に磁石）

仮説

電流は磁石から退くように電極板へ流れる。

結果

2-1、2-2 のどちらの実験も電流は磁石をやや避け、電極板へと流れた。

考察

結果より、電流は磁力線の流れに沿った軌道をとると考えられる。ここから電極どうしの距離が十分大きい場合、電流は磁力線に沿った楕円の軌道の一部を描くと予想される。

(3) 実験Ⅲ オーロラ発生時の電圧・気圧

ねらい

オーロラができる電圧・気圧の関係の調査

方法

真空鐘に電極を設置・放電し、真空ポンプによる低気圧下でオーロラを発生させる。各電圧下で最初にオーロラが発生したときの気圧を調べた。



図 3：オーロラが発生している様子

仮説

電圧を高くすると高気圧下でもオーロラが発生する。

結果

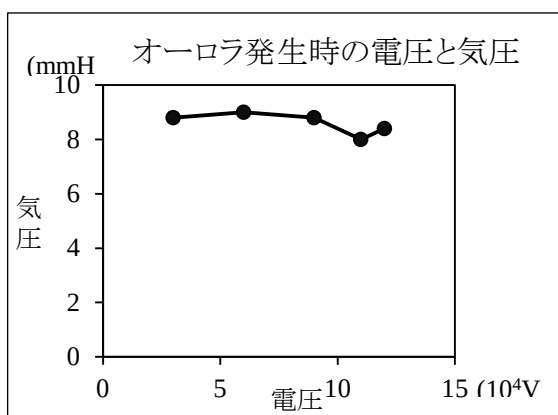


図 4：オーロラ発生時の電圧と気圧の関係

仮説に反して、電圧を高くしても、オーロラが発生し始める気圧はほとんど変わらなかった。

考察

この実験から、電圧にかかわらずオーロラはほぼ一定の気圧下で発生するのではないかと考えられる。

(4) 実験Ⅳ オーロラ発生位置と磁界

ねらい

オーロラ発生時の地磁気による位置変化のモデル化

方法

電極板の下に磁石を置かない場合と置いた場合の、オーロラ発生位置を観測する。

仮説

電流と同様に磁石を避けるようにオーロラが発生する。

結果

磁石を置かない場合は、電極板に広くオーロラが発生した。

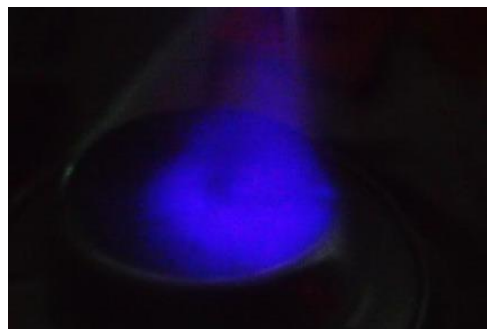


図 5-1：電極板に広がって発生するオーロラ

磁石を置いた場合は、磁石の縁に沿って、オーロラが発生した。

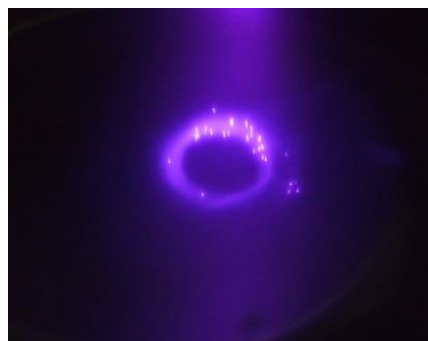


図 5-2：磁石の縁に沿って発生するオーロラ

考察

オーロラが発生している状態でも実験Ⅰ，Ⅱの結果が成り立っていることがわかる。

3. まとめ

太陽風が地球に到達してから極地を通過するまでをモデル化して行った一連の実験から、太陽風の磁力線に沿って極に向かい、特定の低気圧下でオーロラとなることが分かった。

4. 今後の課題

一般に太陽風は極地を通過した後、地球の夜側にあたる部分に回りこみ、その後極地付近にもう一度戻ってくると考えられている。また、実験Ⅲにおいて、気温など他の条件も考慮し、これらのことについての実験を進める。

水ロケット（ペットボトルロケット）の研究

県立芦屋国際中等教育学校 科学部

5年 イナナル 仁貴

虫島 佑起

Junichi Cheang

1. 動機および目的

(1) 動機

去年、水ロケットの大会に参加することになり、勝利を目指してたくさん水ロケットを作って飛ばした。単純なつくりの水ロケットだが、正確に飛ばすのはとても難しかった。そこで水ロケットの原理を解明しようと思い、この研究を行った。

又、小さい子が一番身近に取り組める物理の教材であり、言語の壁を気にすることなく楽しめる一方、水ロケットの発射には多かれ少なかれ危険を伴う。そこで、安全に飛ばす方法を考えた。

(2) 目的

- ① まっすぐ飛ばすために必要なことを調べる。
(周囲への危険防止。)
- ② 距離を出すにはどうすればよいかを調べる。
- ③ 中の気体の仕事の何%が、ロケットのエネルギーに変わっているのかを調べる。

2. 水ロケットの作り方（大会で使えるもの）

(1) 準備物

1.5Lのペットボトル2本

(気圧に耐える炭酸飲料のもの)

油粘土 クリアファイル(先端部分)

ビニールテープ

銅の棒 塩化ビニルシート

空気入れ(気圧を測れるもの)

ロケットの発射装置(市販のもの)

(2) 作成方法

- ① ペットボトルの片方を切って、もう一方のペットボトルとテープでつなげる
- ② ロケットの後方に塩化ビニルを台形に切ったもの(尾翼)をつける。
- ③ クリアファイルを尖らし、中に粘土を入れてテープで固定する。
- ④ ③をロケットの先端にテープでつけて完成。

3. 水ロケットの飛び方の調べ方

(1) 傘袋での実験

傘袋を用意し中に空気を入れてふくらまし、以下のことをやり投げのように軽く投げて調べた。

① 重心の位置

重心がどのあたりのときに、一番距離が出るのかを調べる。

② 尾翼の数と飛び方の調べ方

傘袋を用意し、尾翼を0枚~6枚のものを用意し、それぞれ投げる。

(2) 水ロケットでの実験

尾翼を4枚(傘袋が一番安定した)にして、風が弱い晴れた日に以下の実験を行った。

① 質量を変えて飛ばす

気圧4気圧、水量450cc、角度45°に揃えて、先端に入れる粘土の量を60g~100gに変えて、それぞれの重心の位置を調べて飛ばす。

② 水の量を変える

気圧4気圧、角度45°に揃えて、粘土の質量が110g(全体が240g)のロケットを使って、水の量を400cc~600ccに変えて飛ばす。

③ 角度を変える

気圧4気圧、水の量450cc、粘土の質量を90gに揃えて、角度を35°~55°と変えて飛ばす。

④ 入れる気圧を変える

水量500cc、粘土の質量を90g、角度45°に揃えて、入れる気圧を4~6気圧に変えて飛ばす。

4. 結果と考察

(1) 傘袋での実験

① 重心

重心が先端から1/2より前のときに、安定して飛ばせた。

これはロケットの飛行中、風がなくてもロケットにとっては、とても強い向かい風を受けることになる。ロケットは横風などを受けると重心を中心にして回転する。

ロケットを風に向かって安定した飛行をさせるには重心が前の方が安定する。

② 尾翼

尾翼を縦と横に4枚つけると安定して飛ぶ。

ロケットの縦の尾翼は進行方向からの風を、横の尾翼は上下方向からの風を受けるため、風の流れに沿って飛ばすことができる。

尾翼があると、尾翼が風を受けて風による力の中心がうしろになるので飛行姿勢が安定する。

(2) 水ロケットでの実験

① 質量：粘土が60gのときに一番よく飛んだ。

質量	60g	70g	80g	90g	100g
距離	95.6m	90.9m	85.1m	78.6m	75.0m

運動量保存則より、軽いほどよく飛ぶはずだが、軽すぎるときれいに飛ばない。先端に粘土を入れると重心が先端から1/2の位置よりも前になる。

また質量が大きいほど、横風の影響を受けにくくなるので、安定してまっすぐ飛ばせるようになると考えられる。

② 水の量：500ccのときに一番よく飛んだ。

水量	400cc	450cc	500cc	550cc	600cc
距離	41.0m	50.5m	56.0m	29.5m	28.4m

運動量保存則より、基本的に水の量が多い方が、飛距離は伸びるはずであるが、500ccを境に飛距離が伸びなくなった。これは500ccを超えると水を放出するのにかかる時間が大幅に伸びてしまい、水の速度が遅くなってしまうため、距離が伸びなくなってしまうと考えられる。

③ 角度：45°のときに一番よく飛んだ。

角度	35°	40°	45°	50°	55°
距離	74.7m	77.8m	78.6m	77.6m	75.0m

距離の差はほとんどなかったが、5.の④式からも分かる通り、45°のときに一番距離は伸びた。

④ 気圧：6気圧のときに一番よく飛んだ。

気圧	4atm	4.5atm	5atm	5.5atm	6atm
距離	64.0m	72.1m	79.9m	88.1m	95.6m

気圧が高ければ高いほど、放出される水の速度が上がり距離は伸びる。

5. 飛距離の計算方法

水ロケットの速度は以下の式から求められると考えた。

$$X(p \triangle V) = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots \textcircled{1}$$

$$MV - mv = 0 \quad \dots \textcircled{2}$$

①はエネルギー保存則、②は運動量保存則より

X：気体の仕事のうちロケットや水のエネルギーになった割合

p：気圧 (Pa) ΔV：水の体積 (m³)

M：ロケットの質量 (kg) V：ロケットの速度 (m/s)

m：水の質量 (kg) v：水の速度 (m/s)

ロケット内の気体は実際には水を放出するときには圧力は変化するが、そのときの圧力を計算しにくいため、等圧変化をするものと考えた。

また鉛直方向の飛距離 x は、空気抵抗を考慮せず、発射角度を θ とすると、

$$x = \frac{V^2 \sin 2\theta}{g} \quad \dots \textcircled{3}$$

この③に各結果をあてはめて、①、②の式から X を求めると、水の量が 500 cc 以内のときは概ね、

$$X \div 0.5 \quad \dots \textcircled{4}$$

④より気体の仕事の約 50% が、ロケットや水のエネルギーになっていると考えられる。

残りの約 50% は発射台に加わったり、音エネルギーになったと考えられる。

6. 反省と課題

(1) 発射台

発射台が途中で動かなくなることがあり、発射に手間取ることがあった。

(2) 尾翼の形や先端の材質

同じようなものでしか試すことができなかった。

(3) 空気抵抗

飛んでいるときに受ける空気抵抗をきちんと計算できず、初速度と終速度を同じとする概算からでしか計算できなかった。

(4) ロケット内の気圧

実際は水を放出しているときには、気圧は変化している。しかしその計算や測定をきちんと行うことができなかった。概算からでしか仕事の量やエネルギーの値を計算することができなかった。

7. 感想

今年の 7 月に水ロケットの全国大会があり、前期課程 (中学) の生徒が参加した。本校生徒はかなり正確に飛ばして好成績をおさめた。今後はさらに研究や勉強を進めて、より精度の高い計算方法を追求していきたい。

8. 参考文献

物理基礎, 物理の教科書 (数研出版)
NEWTON (NEWTON PRESS)

菊炭の科学的な性質 ～伝統を科学する～

兵庫県立川西北陵高等学校 自然科学部

2年 臼杵瑞希 1年 井口翔太 木下直哉
熊谷柳兵 杉浦菜月 山岡未奈

1. 動機

本校の近隣には日本一の里山として名高い黒川地区がある。そこで伝統的に生産されている菊炭は、千利休も愛用した茶道用最高級炭で北摂の里山文化が生んだ最高傑作だと言われている。しかし現在、原木のクヌギ林の荒廃と炭焼き職人の後継者不足から衰退の道を辿っている。そこで、菊炭の良さを科学的に探り、菊炭を更に多くの人に知ってもらうきっかけとすることで、地域の活性化につなげたいという思いから今回の研究テーマとした。



2. 目的

菊炭と他の炭の性質を比較することで、菊炭の新たな利点を科学的に探ることを目的とした。

3. 実験材料の選定

炭には黒炭と白炭があり製法が異なるため、その性質は大きく異なることが知られている。菊炭は黒炭であるため、同じ黒炭のなら炭・マングローブ炭と比較を行った。また一般的に高級炭として普及している白炭の紀州備長炭を比較のために用いた。

4. 実験

菊炭の既知の利点として、見た目の美しさと火もちの良さが知られている。まず、火もちの良さを確かめるため、燃焼実験を行った。

【実験方法1】炭の燃焼時の温度変化

4種類の炭の塊をガスバーナーで炭の温度が600℃になるまで加熱した。その後、放射温度計で1分間隔で炭表面の温度を測定した。測定は30分間連続して行った。

【結果・考察1】

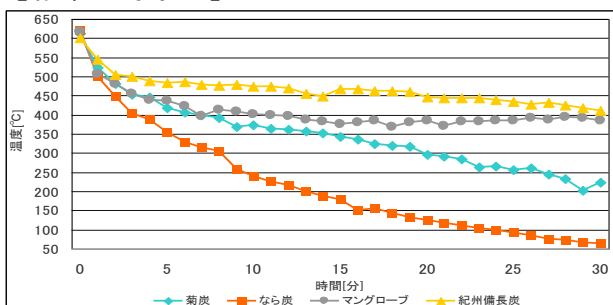


図1. 炭の温度変化

火持ちが良いと言われる菊炭だが、結果はそれに反していた。温度の低下が著しく火力が持続する時間は短いことが分かった。この理由としては、本来炭を燃焼させる際には炭を重ね合わせるが、実験では炭の塊単体を燃焼させるという条件の違いが考えられる。そこで逆に温度低下の原因を考えた。菊炭、なら炭は炭の孔に入り込む空気が多く熱が逃げやすく、炭が冷されたのに対して、マングローブ炭や紀州備長炭では、炭が密に詰まっており、熱を逃がしにくい構造をしているのではないかと考え、炭の密度の差に着目した。炭は体積の計測が困難なため、水に対する比重から考察することにした。

【実験方法2】炭の比重測定

ゲーリュサック型比重瓶に水と4種類の炭小片を6個ずつ入れ60℃の湯煎にかけた。炭小片を沈ませ、放冷後、瓶に蓋をし、水を溢れ出させ、前後の質量から水に対する比重を算出した。

【結果・考察2】

	菊炭	なら炭	マングローブ炭	紀州備長炭
木材	クヌギ	ナラ	マングローブ	カシ
比重	0.958	0.974	1.097	1.014

表1. 炭の水に対する比重

【結果・考察2】

炭の比重は菊炭となら炭が水よりも小さく、マングローブ炭が最大であった。比重の大小は炭の孔の大きさや孔部分が占める割合と関係しているのではないかと考え、それを確認するため次の実験を行った。

【実験方法3】炭の孔径、孔面積率の測定

各炭を7mmの厚さに切り、双眼実体顕微鏡で倍率40倍で観察し、それをデジタルカメラで3倍に拡大して撮影した。画像処理ソフトを用いて孔を全てマーキングし、その平均孔面積と、撮影面積から孔の占める面積率を求めた。

【結果・考察3】

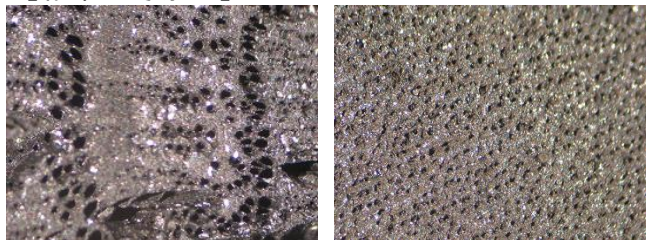


図2. 菊炭の断面

図3. マングローブ炭の断面

菊炭	なら炭	マングローブ炭	紀州備長炭
3120	1960	2002	1298

表2. 炭の平均孔面積[単位: μm^2]

菊炭断面の平均孔面積は他の炭と比較し、突出して大きいことが分かった。

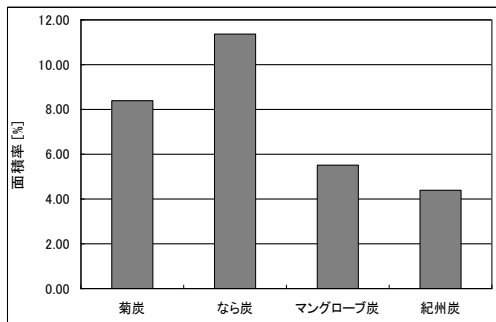


図4. 炭の孔面積率

分かった。実験2で得られた水に対する比重の小さな炭は、孔面積率が高い傾向があるということが分かった。炭は物質吸着性から脱臭剤や吸湿剤としても使用される。この孔面積や面積率は物質吸着性にも影響しているのではないかと考え、それを評価する実験を行った。

【実験方法4】炭のヨウ素吸着実験

固形炭では溶液自体が孔に入り込み、ヨウ素の吸着量を測定できなかった。そこで粉末状にした4種類の炭を10mL 測り取り、お茶パックに入れ、0.050mol/Lのヨウ素溶液50mLに24時間浸した。ヨウ素溶液10mLとり、デンプン溶液を指示薬として0.10mol/Lのチオ硫酸ナトリウム水溶液で酸化還元滴定を行い、液中のヨウ素の減少量を求め、炭のヨウ素吸着量とした。

【結果・考察4】

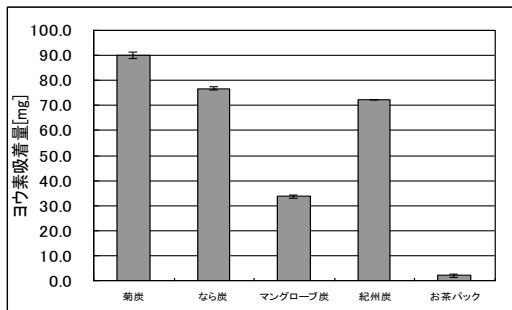


図5. 炭のヨウ素吸着量

を示した。中でも菊炭は最も高いヨウ素吸着量を示した。ヨウ素は無極性分子であることからこの吸着は炭の物理的吸着によると考えられる。粉末状の炭を使用したことから、この差は炭表面の微細孔の大きさや数が関係していると考えられる。また菊炭は他の炭と比較して溶液中の物質吸着性が高いことが明らかになった。これより粉末状の菊炭は飲料水や河川の浄化において他の炭よりも有用性が高いと考えられる。

【実験方法5】炭の微細孔のSEM観察

ヨウ素吸着性の高さが炭表面の微細孔の大きさや数であることを実証するため、日立化成テクノサービス株式会社に4種類の炭の薄片と粉末を倍率3000倍で表面の状態の画像撮影を依頼

し、その画像を観察した。
【結果・考察5】

し、その画像を観察した。

【結果・考察5】

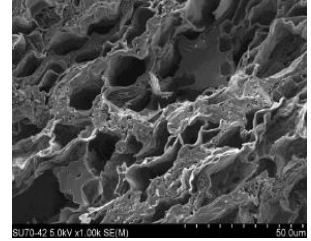
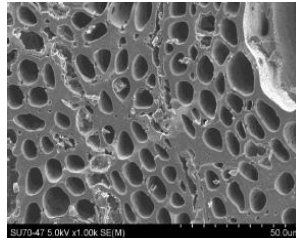


図6. 固形菊炭の微細孔

図7. 固形なら炭の微細孔

走査型電子顕微鏡 (SEM) の画像で炭表面の微細孔の形状は炭によって大きく異なっている事が明らかになった。

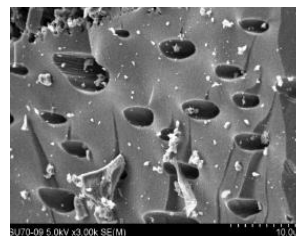


図8. 粉末状菊炭の微細孔

図9. 粉末状なら炭の微細孔

粉末状にしたとき他の炭は表面の微細孔が崩れてしまっているのに対して、菊炭は微細孔がしっかり形状を保っていることが分かる。これが菊炭のヨウ素吸着量が大きい原因になっていることが明らかになった。

5. 結論

菊炭は、他の炭に比べて水に対する比重が小さく、平均孔面積・孔の面積率共に大きいという性質を持つ。そのため、単体で燃焼させた場合は温度の持続性が低い。一方、粉末でも微細孔の形状が保たれるため、溶液中での物質吸着性が高く、浄水剤としての実用性が高いという新たな利点が明らかになった。

6. 今後の課題

菊炭の孔面積・面積率が大きいという特徴から更なる利点を探す事を課題とする。具体的には

- ・ 本来の炭の使用状態で、火持ちの良さを評価する方法を探る。
- ・ 空気中での物質吸着性から菊炭を評価する。

7. 参考文献

(1) 木炭の種類

千葉大学グランドフェロー 立花英機著

(2) 活性炭の吸着能測定法 奥墨勇著

8. 謝辞

日立化成テクノサービス株式会社

椎名かおり様

粘土と腐植が与える森林土壌について

彦根山と荒神山の比較・2013 年から 2015 年の
3 年間の調査でわかったこと

滋賀県立河瀬高等学校科学部

2 年 上野春佳 勝間航平 森安遼太郎

【導入】

本校科学部は、彦根山と荒神山の植生について調査してきた。

彦根山は、照葉樹林が優占する極相に至った森林である。荒神山は山頂、麓は照葉樹林が優占する森林で、中腹は針葉樹林の優占する森林である。各調査地点付近の主な樹木を表 1 に記す。また、各調査地点を以後、彦根山、山頂、中腹、麓と呼称する。

植生は彦根山、荒神山山頂、麓、中腹の順に多様であり、植生が多様であれば、土壌の栄養分も豊かになるのではないかと考え、2013 年から 2015 年にわたり、土壌の栄養状態を調べてきた。

表 1 各地点の植生

場所	主な樹木
彦根山	ヤブツバキ・クスノキ・タブ・タラヨウ・アラカシ
荒神山	麓 アラカシ・サカキ
	中腹 スギ・ヒノキ
	山頂 タブ・ユズリハ・ヤブツバキ・アラカシ

【2013 年の研究】

土壌は粘土と腐植からできている。腐植は動植物の遺骸や排泄物が分解されて出来たものである。

土壌の状態を知る指標として、CN 比、炭素率、K⁺含量を用いた。

CN 比および炭素率は CN コーダにより測定し、K⁺含量は土壌診断キットみどりくんにて測定した。

CN 比とは炭素と窒素の比のことで、動植物の遺骸や排泄物の分解の度合を示す。一般に、森林土壌では、CN 比が 10 から 18 の間にあるといわれており、さらに 10 に近づくほど分解が進んだよい土壌であるといえる。また、炭素率は腐植の量を示す。

K⁺のような陽イオンは植物の栄養塩類として、重要である。陽イオンの吸着保持力は粘土より腐植のほうが大きいとされている。この粘土の周りに腐植が結合し、コロイド粒子が形成され、負に帯電することで多くの栄養塩類を吸着保持する。

これらの陽イオンは、土壌の pH と密接な関係がある。土壌が酸性になるほど、コロイド粒子に吸

着する H⁺の比率は増大し、陽イオンの比率が減少する。一般に Na⁺、K⁺、NH₄⁺、Mg²⁺、Ca²⁺の順に減少しやすい。

〈結果〉

得られた結果を表 2 に記した。すべての値において、彦根山、山頂、麓、中腹の順で栄養分の多い、植物の生育に適した土壌であるという結果が得られた。

なお、3 年間、すべての調査地点で pH を測定したところ、6.5 前後とほぼ中性であったことから、土壌の酸性化による影響は無視できるほど小さいと考えた。

表 2 2013 年度の研究結果

	彦根山	麓	中腹	山頂
CN 比	11.2	13.7	14.8	13.1
炭素率	16.9	8.6	8.5	11.6
K ⁺ (mg/L)	5.5	4.0	3.2	5.0

【2014 年の研究】

2013 年の実験に加え、土壌中の Ca²⁺含量、負荷電量の測定を行った。

〈方法〉

・実験装置

500mL のペットボトルを 2 つに切断し、下部には 1mol/L Na₃PO₄aq100mL を入れる。上部は反転させ、下部に差し込む。差し込んだ上部にコーヒーフィルターを敷き、その上から土壌サンプル 30 g を入れる。

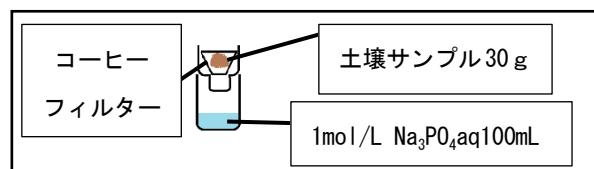
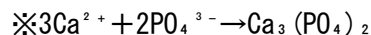


図 1 実験装置

・Ca²⁺含量の測定 I

- ① 実験装置の上部から 1mol/L (NH₃)₂SO₄aq 50mL を流し込む。土壌粒子に吸着されている陽イオンは、高濃度で出現した NH₃⁺によって、はじき出されて入れ替わる。(イオン交換)
- ② 溶脱された Ca²⁺は、下部の Na₃PO₄aq に流れ落ちる。PO₄³⁻と反応し、Ca₃(PO₄)₂が生じ、溶液が白濁する。(※)
- ③ 白濁した溶液の透過率を可視分光光度計を用いて測定する。



・負荷電量の測定

- ① 実験装置の上部から、1mol/L CH₃COONH₄aq50mL を流し込み、70%エタノールで十分に洗浄する。
- ② 実験装置の下部を入れ替え、1mol/L KClaq50mL を流し込む。

③ イオン交換により、 NH_4^+ が溶出する。

アンモニウムイオン濃度測定キットにより、 NH_4^+ の濃度を測定する。

〈結果〉

得られた結果を表3に記した。透過率については、数値が低い程、白濁しているということであり Ca^{2+} 含量が多いことを示す。

Ca^{2+} 含量、負荷電量共に、彦根山、山頂、麓、中腹、の順に多いという結果が得られた。

表3 2014年の研究結果

	彦根山	麓	中腹	山頂
透過率(%)	95.17	97.28	97.64	97.03
NH_4^+ (mg/L)	0.74	0.25	0.06	0.40

【2015年の研究】

2014年の実験に加え、 Ca^{2+} 含量の測定・実験を改善し、より定量的に行った。

・ Ca^{2+} 含量の測定Ⅱ

〈方法〉

- ① びんの中に土壌サンプル5gと1mol/L $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ aq25mLを入れ、15分間攪拌し、イオン交換を起こす。
- ② 1日放置し、上澄み液のみろ過する。
- ③ ろ液に、1mol/L $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ aqを加え、100mLに定溶する。
- ④ 原子吸光光度計を用いて、定量する。

〈結果〉

得られた結果を表4に記した。

Ca^{2+} 含量の多い順は、彦根山、麓、山頂、中腹になり、山頂より麓の方が多いという結果が得られた。

表4 2015年の結果

	彦根山	麓	中腹	山頂
Ca^{2+} 含量 (cmol/kg)	2.28	0.81	0.25	0.50

【3年間の結果のまとめ】

・ K^+ 含量

2013年から2015年の K^+ 含量の測定数値を比較した。彦根山は3年間を通して荒神山より多いが、麓より山頂の方が多かった荒神山において2015年では、山頂より麓の方が多くなるという結果が得られた。(図2)

・負荷電量の測定

彦根山、麓は増加傾向がみられたが、山頂は減少傾向がみられた。(図3)

・ Ca^{2+} の測定

2014年に2番目に多かった山頂が、2015年には大きく減少し中腹と同程度の値となった。(図4)

・CN比、炭素率

2015年にCN比が10に近づいた麓において、炭素率が増加し、10から遠ざかった山頂において炭

素率の減少が見られた。(図5、6)

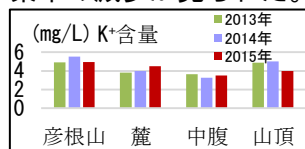


図2 K^+ の測定

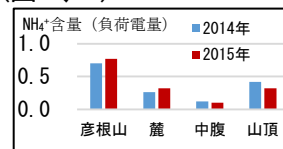


図3 負荷電量の測定

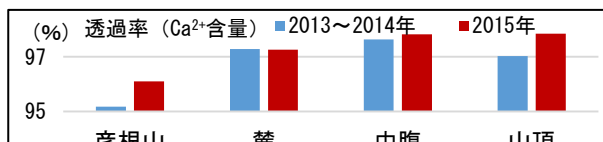


図4 Ca^{2+} の測定

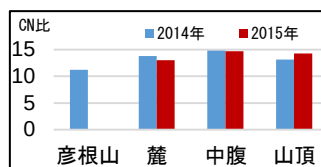


図5 CN比の比較

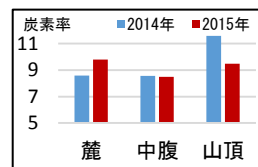


図6 炭素率の比較

【考察】

植生が多様であれば、土壌の栄養分も豊かであるという仮説は、彦根山と荒神山の比較より、おおむね正しいことが示唆された。

しかし、山頂と麓において、植生の多様さと土壌の指標とした数値に逆転がみられた。これを説明するものとして、CN比と炭素率に注目した。2015年の山頂は、分解の度合いが低く、腐植の量が少ない状態であり、一方、麓は分解の度合いが高く、腐植の量が多かった。

つまり、植生の多様さと K^+ 、 Ca^{2+} などの栄養塩類や負荷電量には正の相関関係がみられるが、分解の度合いや腐植の量に大きく影響を受け、増減すると考えられる。

山頂の植生は麓より多様であるが、なんらかの原因で樹木の生育が悪く、落ち葉量が減少したり、分解者の活動が抑制された可能性がある。

2015年に改良した Ca^{2+} 含量の測定Ⅱは透過率から求める従来法よりも、はるかに精度が向上し、微かな差も検出できることが分かった。

今後はこの方法を主として研究を続けていく。

【参考文献】

- ・林弥栄、樹木の見分け方のポイント図鑑、講談社
- ・馬場多久男、葉でわかる樹木625種の検索、信濃毎日新聞社
- ・林将之、樹皮ハンドブック、文一総合出版
- ・河田弘、森林土壌学概論、博友社
- ・農林水産省農林水産技術会議事務局、標準土色帖、富士平工業
- ・松中照夫、土壌学の基礎、農文協
- ・塚本明美・岩田進午、やさしい土のしらべかた、合同出版

【謝辞】

本研究を行うにあたり滋賀県立大学の須戸幹教授にご協力いただきました。御礼申し上げます。

硫酸銅(Ⅱ)と食塩の混合溶液から析出する結晶について

近畿大学附属和歌山高等学校 科学部

2年 玉置 良, 前 龍生

1年 玉置 昂輝, 隠岐 嘉将

1. 動機

硫酸銅(Ⅱ)と食塩の大きな結晶を作るために実験していた際、誤って食塩の付着したピンセットを硫酸銅(Ⅱ)水溶液に浸してしまったところ、見たことのない緑色の結晶が付着していた。そこで、この結晶が何かを確認するために、硫酸銅(Ⅱ)と食塩の混合水溶液を用意し、結晶を成長させるために窓際に放置したところ、食塩と思われる緑色の結晶(図1)が生成した。他にも青緑色の結晶(図2)が析出したので、この現象について調べることにした。



(図1) 食塩と思われる黄緑色の結晶



(図2) 青緑色の結晶

2. 目的

昨年の研究¹⁾では硫酸銅(Ⅱ)と食塩の混合比がどのような場合に、どのような結晶が析出するか、混合水溶液を窓際に放置し、調べた。その際硫酸

銅(Ⅱ):食塩=4:6の割合の混合水溶液だけ、天候不順により結晶が何も生成されなかったため、再度実験し、結果をみるとともに、混合水溶液から析出する二つの結晶についてさらに調べてみる。

3. 実験

実験は参考文献²⁾の手順を参考に実施した。

(実験1)

次のA, B, Cの水溶液を調製した。

A 20℃の水 200mL に硫酸銅(Ⅱ)五水和物を 71.4g 加え飽和溶液にしたもの

B 20℃の水 200mL に食塩を 71.4g 加え飽和溶液にしたもの

C A:B=4:6の割合で混合し 20mL とした混合水溶液。

この混合液Cを窓際に放置して、結晶を析出させた。

(実験2)

混合水溶液から析出した緑色の結晶が、理科準備室にあった塩化銅(Ⅱ)と色や特徴が似ていた。緑色の結晶は硫酸銅(Ⅱ)水溶液の銅イオン(Cu^{2+})と食塩水の塩化物イオン(Cl^-)が結合し、できたと考えた。実際の塩化銅の結晶はどうか見るため、塩化銅水溶液を 50mL 窓際に放置し、結晶を析出させた。

(実験3)

混合水溶液から析出した食塩と思われる四角の黄緑色の結晶は、食塩の結晶が析出するとき、もしくは結晶が析出した後に、緑色の結晶が混入してしまったか、溶液の色がついてしまったと考えた。そこで、食紅(赤)で色をつけた食塩水を放置し、結晶を析出させた(図3)。

また、硫酸銅(Ⅱ)水溶液で色をつけたミョウバン水溶液を放置し、結晶を析出させてみた(図4)。



(図3) 食塩水に食紅(赤)を入れ放置したもの



(図 4) 硫酸銅(Ⅱ)水溶液で色をつけたミョウバン水溶液

4. 仮説

実験 2 硫酸銅(Ⅱ)と食塩水の混合水溶液から析出した青緑色の結晶(図 2)のようなものが析出する。

実験 3 赤い色の食塩の結晶が析出する。

5. 結果

実験 1 昨年の実験と同じように緑色の結晶と、(図 1)のような四角の結晶が析出した。

実験 2 針のような青緑色の結晶析出(図 5)。

実験 3 赤色の食塩の結晶が析出した(図 6 左)。また、色をつけたミョウバンからは、透明な結晶が出てきた(図 7)。



(図 5) 針のような青緑の結晶



(図 6) 右は図 1 の結晶と同様のもの。左は食塩水に食紅を入れたもの。食紅を入れたほうは赤色に染まっている。



(図 7) ミョウバンから析出した透明の結晶

6. 考察

実験 1 では結晶が析出した。昨年の実験は、秋ごろ実施したので、気温や日差しが少なく、あまり水分が蒸発しなかった。それに対し、今回は夏に実験を行ったため、気温が高く、日差しも十分だったので、一気に水分が蒸発した結果、このような結果になったと思われる。

実験 2 では針のような形状ではあるが、仮説のように、青緑色の結晶が析出した。緑色の結晶はほぼ塩化銅(Ⅱ)であると思われる。

実験 3 では図 6 の左側のような赤色の食塩の結晶が析出した。特に中心にかけて色が濃くなっている。しかし、水で表面を洗ったところ、中心以外色がなくなってしまった。それに対して図 6 の右側のような結晶は水で洗っても色は落ちなかった。

また、硫酸銅(Ⅱ)水溶液で色をつけたミョウバンからは、透明な結晶が析出された。よって、図 1 の結晶は、緑色の結晶が混入したものでも溶液の色がついたものでもなく、NaCl に何らかの形で Cu^{2+} が結合しているものと思われる。

混合水溶液中で、 Cl^- が銅イオンに配位結合し、存在している錯イオンが、 Na^+ と何らかの形で結合し、図 1 のような結晶が生成されると思われる。

7. 今後の方針

硫酸銅(Ⅱ)水溶液と食塩水の割合や、季節、混合水溶液を放置する場所など細かい条件を設定し、どのような結晶が析出するか引き続き調べていきたい。また、図 1 の結晶についても引き続き調べていきたい。

8. 参考文献

- 1) 和歌山県高等学校文化連盟 自然科学部会 第 3 回 県高総文祭 発表論文集 pp. 24-25
- 2) 柏原林造, 1994: 硫酸銅の結晶作り, 化学指導法の改善(Ⅲ), 中等教育研究紀要 広島大学附属福山中・高等学校, 34 巻, pp. 29-35