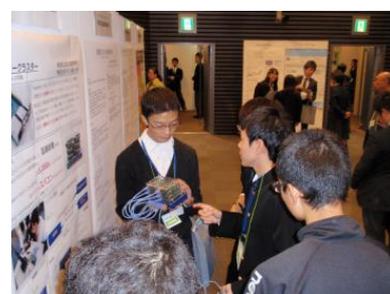


平成27年度 長野県屋代高等学校
SSH(スーパー・サイエンス・ハイスクール) 課題研究

研究報告書集

平成28年3月



長野県屋代高等学校理数科委員会

目次

I. 平成27年度2年理数科 課題研究

【数学分野】

1. 誰にもわかる RSA 暗号の説明
- “yashiro” の暗号化と復元化を再現 -

坂戸拓之 三戸部輝 緑川諒 宮澤夏生 吉岡翔司 … 1

【物理分野】

2. 発電するシャーペンの製作に向けて
- 振ってにぎって発電して -

横坂楓 角田希 高橋ちよ美 堀紗彩 … ●

【化学分野】

3. 廃セメントの利用方法
- 金属成分の分離、および土壌を中和する利用方法について -

内堀紘徳 久木原翔 高遠翔大 … ●

4. 玄能石の形成過程を解明する（玄能石の研究3）
- 頁岩泥中における炭酸カルシウムの結晶化の検討 -

町田早綾 北林優奈 松島愛 … ●

5. スライムを使ったコンデンサの製作
- 一定範囲まではホウ砂の濃度を増やすと静電容量も増加する -

中村牧人 鈴木勇汰 野澤悠貴 馬場晃次郎 … ●

6. アルミニウム電池の製作
- 正極と負極で異なる電解質を使用することで寿命を延ばす -

市瀬智也 塚田裕樹 本藤史浩 … ●

【生物分野】

7. アリの「道しるべフェロモン」の抽出方法を探る

齊藤希 中島悠里 服部華乃 羽生愛海 柳澤華恋 … ●

8. ブレファリズマの色素の変性・遊泳速度と光の色・照度
- 最も速く変性した光条件は青色の10klux -

藤巻吹光明 伊藤史也 勝野知花 茂手木佑理 … ●

9. 食べたヨーグルトの乳酸菌は腸まで生き残っているのか
- 胃での消化でわずかに残って腸まで届く -

足立亮輔 小澤佑花 草間海 花立芽吹 … ●

【地学分野】

10. 校内で見られるつむじ風の発生要因
- 局所的な対流と壁がつむじ風の発生に起因する -

久保田達哉 久保野谷歩 小林琴 近藤周 山本慶 … ●

II. 平成27年度3年理数科 課題研究

SSH The collection of Researches

… ●

【資料】

1. 課題研究等に関する外部評価結果一覧

平成27年度（平成26年度生）～平成21年度（平成20年度生）の実績 … ●

2. 過去の課題研究テーマ（数学分野・理科分野） … ●

誰にもわかる RSA 暗号の説明

— “yashiro” の暗号化と復元化を再現 —

研究者：坂戸拓之 三戸部輝 緑川諒 宮澤夏生 吉岡翔司

指導教諭：北原司

1. 研究目的

今日のインターネットを通じた安全なコミュニケーションに必要不可欠である RSA 暗号の仕組みを理解しようと思った。また、RSA 暗号のアルゴリズムは既知かつ有名であるが非常に難解でもあるため、「誰にでもわかりやすく」説明できればと思い研究を始めた。

2. 研究概要

(1) 暗号とは?

暗号とは、第三者に知られたくない情報(クレジットカード番号など)を当事者同士が合意した鍵を用いて行う暗号化(意味の分からない文である暗号文にする)、および復号化(その暗号文をもとの文に戻す)の操作方法を定めた方法論のことである。

RSA 暗号は、Ron Rivest、Adi Shamir、Len Adleman の 3 人によって 1977 年に発明され、主に今日の危険なインターネット越しの通信を安全なものにするために欠かせないアルゴリズムである。さらに Google 検索や Amazon 決済など、一番身近で利用されている暗号でもある。

(2) 暗号の種類、そして RSA 暗号

暗号には大きく分けて対称暗号と非対称暗号が存在する。

- ・ 対称暗号 – 暗号化と復号化に同一の鍵を用いる暗号
- ・ 非対称暗号 – 暗号化と復号化に異なる鍵を用いる暗号

対称暗号は非常に高速ではあるが、同一の鍵を使用するという性質上事前に使用する鍵を何らかの形でお互いが知っておく必要がある。一方、非対称暗号は暗号化と復号化に異なる鍵を使用することでどちらか一方の鍵を世界中に公開できるという特性があるが、対称暗号と比べると非常に遅い。

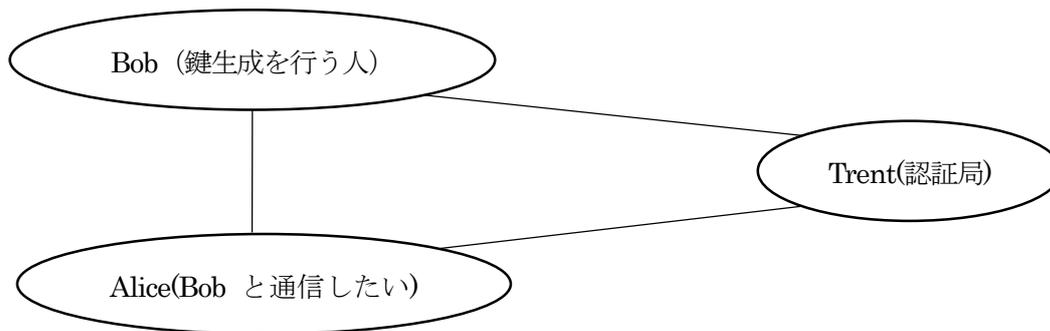
家の鍵をかけることを考えると、非対称暗号における鍵をかける(暗号化)という動作と鍵を開ける(復号化)という動作に異なる鍵を用いるという事実は直感に反するが、暗号の世界では整数論の性質を用いてこれが見事に可能になっており、RSA 暗号もこの性質を持っている。

RSA 暗号は非対称暗号で、2つの鍵を用いて暗号化 / 復号化が行われる。そのうち公開可能な鍵を**公開鍵**と呼び、平文を暗号化する役割を担う。もう片方の鍵を秘匿しておく**秘密鍵**と呼び、暗号文を復号化して元に戻す役割を担う。

(3) RSA 暗号詳解

ここから RSA 暗号のアルゴリズムを数式と図を交えて説明していく。まず登場人物は Bob、Alice、そして Trent の 3 人である。この場面では、Alice が Bob と RSA 暗号のみを用いて(現実にあるシチュエーションではない)通信を行いたいと思っている。なお、Trent が果たすのは“認証局”という役割で、公開鍵が確かに Bob 本人のものであるかを確認する真正性確認を行う。

次の図 1 は今回の登場人物 3 人の関係を表した図である。



(図 1)登場人物の関係図

この図において、Bob は先ほど説明した RSA 暗号の公開鍵と秘密鍵を生成する役割を担っている。

これ以降は平文を M 、暗号文を C 、2つの素数(鍵生成に使用)を p と q 、それらの積を n 、公開され、平文の暗号化の役割をになう公開鍵を e 、秘匿され、暗号文の復号化の役割を担う秘密鍵を d とする。Bob は p 、 q 、 n 、 d を生成する。

(4) Bob の鍵生成の手順

① 2つの素数を選び、その積を計算する

RSA 暗号の鍵生成にあたり、まず Bob は2つの非常に大きな素数 p, q を選び、それらの積 $n=pq$ を計算する。積 n は公開鍵 e と共に世界中に公開されるが、 n を因数分解されて素数 p, q を知られないようにしなくてはならない。したがって p, q は少なくとも 200 桁(標準は 2048bit...607 桁)の素数である必要があると言われている。また2つの素数 p, q は秘密鍵生成に、それらの積 n は剰余演算の法として用いる。

② RSA 暗号アルゴリズムにおける暗号化 / 復号化の数式

RSA 暗号における暗号化 / 復号化の式を示しておく。なお(mod n)というのは「 n を法とする」ということで、つまり先ほど生成した2つの素数の積 n で別の数を割った余りをとるということである。

a)暗号化: $M^e \equiv C \pmod{n}$

→平文 M を公開鍵 e 乗して、 n で割った余りを暗号文 C とする。

b)復号化: $C^d \equiv M \pmod{n}$

→暗号文 C を秘密鍵 d 乗して n で割った余りは元の平文 M に戻る。

暗号化と復号化の式を見比べると、b)より

$C^d \equiv M \pmod{n}$ で、ここの暗号文 C の場所に a) $M^e \equiv C \pmod{n}$ を代入すると

$(M^e)^d \equiv M \pmod{n}$ 、つまり

$M^{ed} \equiv M \pmod{n}$ である。

これは「平文 M を公開鍵 e 乗して、さらに秘密鍵 d 乗したものを n で割った余りが元の平文 M と等しくなる、つまり元に戻る」ということを示している。

③ 公開鍵 e は世界共通で 65537

Bob は素数の積 $n = pq$ を作成したあと公開鍵 e も決めなければならない。しかし世界中の RSA 暗号の公開鍵は $e=65537$ と決まっている。なぜなら 65537 は素数で、かつ $2^{16}+1$ というきれいな形をしているからである。

④ オイラーのトーティエント関数

秘密鍵を生成する前に、生成に必要なオイラーのトーティエント関数を説明する。トーティエント関数 $\phi(x)$ とは「与えられた自然数 x 以下の数で、 x と互いに素である自然数の個数」を返す関数である。 x が素数の時は「 x 以下の数で、 x と互いに素である自然数の個数」は $\phi(x) = x - 1$ である。

この時、手順①で生成した n を当てはめると $n = pq$ より、 p, q は両方素数なので $\phi(n) = (p-1)(q-1)$ となる。この値は次の秘密鍵 d 生成時に用いられる。

⑤ 秘密鍵 d を生成する

②の暗号化 / 復号化の式を見てもらいたい。

暗号化: $M^e \equiv C \pmod{n}$ 、復号化: $C^d \equiv M \pmod{n}$ は、それぞれ

「明文 M を公開鍵 e 乗したものと暗号文 C は素数の積 n で割った余りが等しい」、

「暗号文 C を秘密鍵 d 乗したものと明文 M は素数の積 n で割った余りが等しい」

ということを意味する。これらの式から、次の等式が導かれる。

$$M^{ed} \equiv M \pmod{n}$$

これは「明文 M を公開鍵 e 乗してさらに秘密鍵 d 乗したものは、元の明文 M と n で割った余りが等しい」ということを意味している。

ここでは下の表『1~32 までの数を 1~21 乗したものを 33 で割ったときの余り(33 を法とする)』（引用文献 5）をもちいて、明文が実際に元に戻ることを確かめる。明文を $M=3$ 、公開鍵 $e=3$ とすれば $3^3=27$ 。33 で割ったあまりは 27、つまり明文 3 は 27 と暗号化されたことになる。

		べき乗数																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	4	8	16	32	31	29	25	17	1	2	4	8	16	32	31	29	25	17	1	2	4
3	3	9	27	15	12	3	9	27	15	12	3	9	27	15	12	3	9	27	15	12	3	9
4	4	16	31	25	1	4	16	31	25	1	4	16	31	25	1	4	16	31	25	1	4	16
5	5	25	26	31	23	16	14	4	20	1	5	25	26	31	23	16	14	4	20	1	5	25
6	6	3	18	9	21	27	30	15	24	12	6	3	18	9	21	27	30	15	24	12	6	3
7	7	16	13	25	10	4	28	31	19	1	7	16	13	25	10	4	28	31	19	1	7	16
8	8	31	17	4	32	25	2	16	29	1	8	31	17	4	32	25	2	16	29	1	8	31
9	9	15	3	27	12	9	15	3	27	12	9	15	3	27	12	9	15	3	27	12	9	15
10	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1
11	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22	11	22
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	4	19	16	10	31	7	25	28	1	13	4	19	16	10	31	7	25	28	1	13	4
14	14	31	5	4	23	25	20	16	26	1	14	31	5	4	23	25	20	16	26	1	14	31
15	15	27	9	3	12	15	27	9	3	12	15	27	9	3	12	15	27	9	3	12	15	27
16	16	25	4	31	1	16	25	4	31	1	16	25	4	31	1	16	25	4	31	1	16	25
17	17	25	29	31	32	16	8	4	2	1	17	25	29	31	32	16	8	4	2	1	17	25
18	18 <td>27</td> <td>24</td> <td>3</td> <td>21</td> <td>15</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>30</td> <td>12</td> <td>18</td> <td>27</td> <td>24</td> <td>3</td> <td>21</td> <td>15</td> <td>6</td> <td>9</td> <td>30</td> <td>12</td> <td>18</td> <td>27</td>	27	24	3	21	15	6	9	30	12	18	27	24	3	21	15	6	9	30	12	18	27
19	19 <td>31</td> <td>28</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>25</td> <td>13</td> <td>16</td> <td>7</td> <td>1</td> <td>19<td>31</td><td>28</td><td>4</td><td>10</td><td>25</td><td>13</td><td>16</td><td>7</td><td>1</td><td>19<td>31</td></td></td>	31	28	4	10	25	13	16	7	1	19 <td>31</td> <td>28</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>25</td> <td>13</td> <td>16</td> <td>7</td> <td>1</td> <td>19<td>31</td></td>	31	28	4	10	25	13	16	7	1	19 <td>31</td>	31
20	20	4	14	16	23	31	26	25	5	1	20	4	14	16	23	31	26	25	5	1	20	4
21	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	1	23	1	23	1	23	1	23	1	23	1	23	1	23	1	23	1	23	1	23	1
24	24	15	30	27	21	9	18	3	6	12	24	15	30	27	21	9	18	3	6	12	24	15
25	25	31	16	4	1	25	31	16	4	1	25	31	16	4	1	25	31	16	4	1	25	31
26	26	16	20	25	23	4	5	31	14	1	26	16	20	25	23	4	5	31	14	1	26	16
27	27	3	15	9	12	27	3	15	9	12	27	3	15	9	12	27	3	15	9	12	27	3
28	28	25	7	31	10	16	19	4	13	1	28	25	7	31	10	16	19	4	13	1	28	25
29	29	16	2	25	32	4	17	31	8	1	29	16	2	25	32	4	17	31	8	1	29	16
30	30	9	6	15	21	3	24	27	18	12	30	9	6	15	21	3	24	27	18	12	30	9
31	31	4	25	16	1	31	4	25	16	1	31	4	25	16	1	31	4	25	16	1	31	4
32	32	1	32	1	32	1	32	1	32	1	32	1	32	1	32	1	32	1	32	1	32	1

暗号化 $3^3 \equiv 27 \pmod{33}$ [表の中の左上の○]

さて 33 を法とする左の表の世界では 11 乗または 21 乗すると $(10n+1)$ 乗すると元に戻りそうだ、は想像に難くない“元に戻る”。そこで秘密鍵 $d=21/3=7$ 乗すると、 $27^7=104603532003=33 \times 316980400+3$ つまり 27^7 を 33 で割ったときのあまりは 3。表の 27 行 7 列目が 3。暗号文 27 が 3 に復号化されたことになる。

復号化 $27^7 \equiv 3 \pmod{33}$ [表の中の右下の○]

つまり $3^{21} \equiv 3 \pmod{33}$ $M^{ed} \equiv M \pmod{n}$

が成り立っていることが分かる。

さて、左の表において $10n+1$ 乗や秘密鍵 $d=7$ はどこから導き出されるのだろうか。つまり公開鍵 e に対して秘密鍵 d をどのように決定するのか。その決定方法について、トーティエント関数を用いるのである。

トーティエント関数 $\phi(x)$ には、「 $A < x$ で、 x と互いに素である自然数 A において、 $A^{\phi(x)} \equiv 1 \pmod{x}$ が成り立つ」という性質がある。この $A^{\phi(x)} \equiv 1 \pmod{x}$ の式を k 回、つまり何回でも $\phi(x)$ 乗しても式は成立するので、

$A^{k\phi(x)} \equiv 1 \pmod{x}$ となる。ここで両辺に A をかけると、

$A^{k\phi(x)+1} \equiv A \pmod{x}$ になる。

つまり A を $k\phi(x)+1$ 乗したものを x で割った余りは元の数 A と等しくなるということである。ここで

$M^{ed} \equiv M \pmod{n}$ と $A^{k\phi(x)+1} \equiv A \pmod{x}$ とを比較すると

$$A^{k\phi(x)+1} \equiv A \pmod{x}$$

$$M^{ed} \equiv M \pmod{n}$$

であり、上式の A を平文 M 、 x を素数の積 n で置き換えて眺めると、 $M^{k\phi(n)+1} \equiv M \pmod{n}$ となる。

すなわち $M^{ed} \equiv M \pmod{n}$ の ed と $M^{k\phi(n)+1} \equiv M \pmod{n}$ の $k\phi(n)+1$ が同じ役割を果たしているので、

$$ed = k\phi(n) + 1$$

であることが分かる。これは秘密鍵 d を見つけよという問題が、 $ed - k\phi(n) = 1$ という一次不定方程式を解けという問題に置き換えられた瞬間である。公開鍵 $e = 65537$ 、 $\phi(n) = (p-1)(q-1)$ の値は既知なので、

$65537 \cdot d - k(p-1)(q-1) = 1$ を解いて d 、 k の値を出し、出てきた d の値を秘密鍵とするのである。

なお k は任意の整数で、しかもこのとき確実にプラスになるので、実は計算が正確になされたかを調べる良い判定基準になっているのである。 k がプラスでないと、秘密鍵 d もマイナスになってしまい、計算はやり直しになる。

例えば、私たちが作成したプログラムにおいて $p = 17$ 、 $q = 83$ でコンピュータに計算させると、

秘密鍵 $d = -479$ 、 $k = -23927$ となってしまう場合があった。これは典型的な計算失敗例である。

公開鍵 e 、秘密鍵 d 、2つの素数 p, q 、それらの積 n など RSA 暗号の鍵のすべての要素を計算し終えたので、公開鍵 e を n と共に $P(e, n)$ として世界中に公開し、秘密鍵 d と 2つの素数 p, q を秘匿しておけばよい。

*以降は暗号化に使う e と n をまとめて公開鍵 $P(e, n)$ 、復号化に使う d と n をまとめて秘密鍵 $Q(d, n)$ とする。

⑥ RSA 暗号の安全性

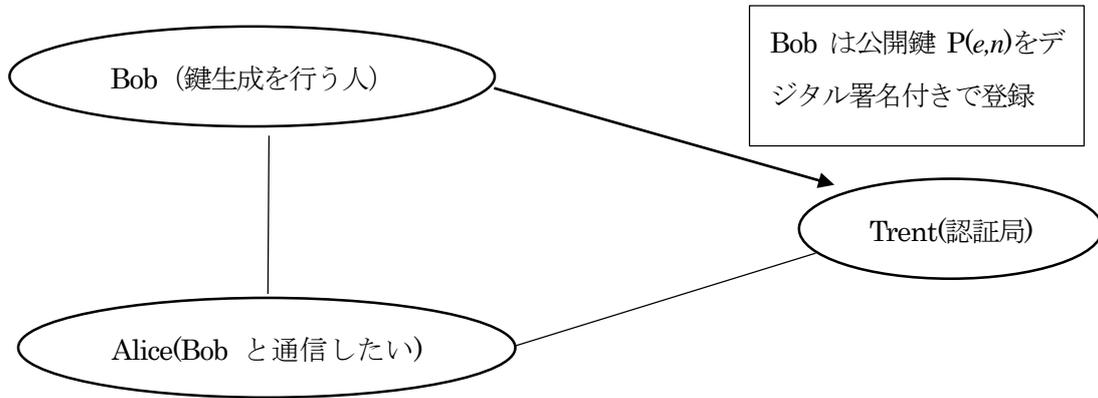
RSA 暗号の最も重要な鍵で、暗号文の復号化の役割を果たす秘密鍵は、秘密鍵生成の式 $ed - k\phi(n) = 1$ の通り、公開されている公開鍵 e と、それと一緒に公開される 2つの素数の積 n から計算できてしまう。だが実際そんなことは起こっていない。それは(4)の①で話した初めに設定する 2つの素数 p, q が”非常に”大きな素数(少なくとも 200 桁)であるという事実を考えると分かる。つまり非常に大きな 2つの素数を用いたその積 n を公開しても、簡単に因数分解することはできないのである。因数分解できず p, q が分からなければ $\phi(n) = (p-1)(q-1)$ の値がわからず $ed - k\phi(n) = 1$ が解けなくて秘密鍵 d を割り出せないようになっている。つまり RSA 暗号では復号化の役割を果たす秘密鍵 d の値が秘匿され続けること、つまり「2つの素数の積 n が因数分解されないこと」がその安全性を保つ最大の条件なのである。

(5) Alice の鍵入手

Bob の長い鍵生成の工程が終わったので、秘密鍵を $Q(d, n)$ としてセットで秘匿し、公開鍵をセットで $P(e, n)$ として世界中に公開する。実際には Bob は自分の公開鍵にデジタル署名*1を施し、その公開鍵が確かに自分のものであることを証明してから信頼されている管理人 Trent に公開鍵を渡す。

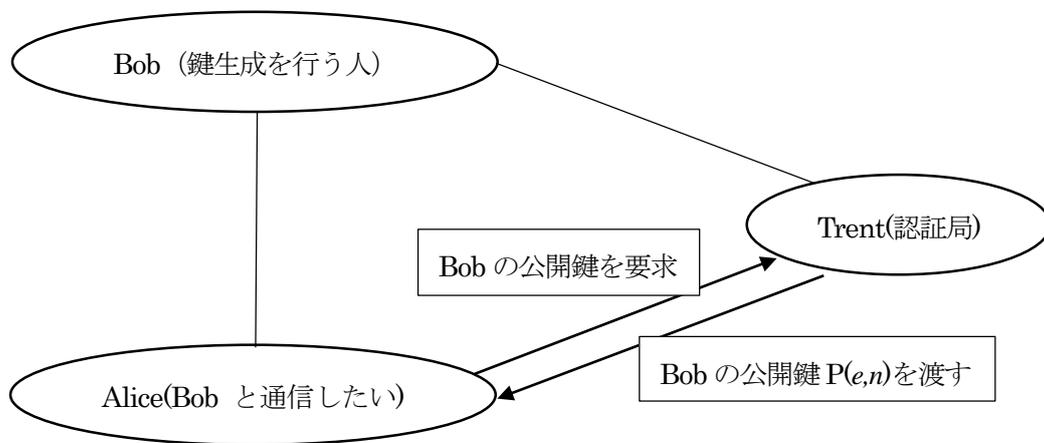
図 2 は、Bob が自分の公開鍵 $P(e, n)$ を Trent に渡す場面である。

*1 デジタル署名とは、署名を施されたデータの送信元が確かに署名した本人と一致しているかを確認する技術である。RSA 暗号での暗号化 / 復号化と逆のを行う。つまり本人しか持っていない秘密鍵でメッセージを暗号化し、世界中誰でも手に入る公開鍵を使って他の人がメッセージを復号化して、正しくもとに戻ったかを確認するのである。以降の説明で用いるが、「本人確認のための署名」のデジタル版だと思ってもらえばいい。



(図 2 Bob が Trent に自分の公開鍵を渡す)

Bob は自身の公開鍵を認証局 Trent に登録したので、Alice は Bob 本人からではなく Bob が公開鍵を登録した認証局 Trent から Bob の公開鍵を入手する。図 3 はその様子を示す。



(図 3 Alice が Trent から Bob の公開鍵を入手)

この Trent の役割は現実世界では「認証局」とよばれ、世間から信頼されている企業が、様々な人の公開鍵を一括で管理し、それらに自らのデジタル署名を施すことで公開鍵の確かさ(真正性)を保証する。今回の場合、Bob によって登録された公開鍵が「確かに」Bob のものであるかを保証する役割を担っている。Bob から直接鍵をもらえばよいのにと思ったかもしれないが、その公開鍵を渡してくれる Bob が本当に通信したいその Bob 本人であるか分からない以上、こうして第三者にその真正性を保証してもらう以外にないのである。これはインターネット上の「これが Bob の公開鍵で〜す。」と偽の鍵を渡して Alice を騙す輩への対処である。

そして Bob と通信したいという Alice はこの認証局 Trent から Bob の公開鍵を入手するのである。

(現実世界で認証局の役割を担う企業は、ウイルスソフトで有名なシマンテック社などが挙げられる)。

(6) Alice の通信

ここまで、Bob の鍵生成から Alice の鍵入手までを見てきたので、実際に平文 “yashiro” を Alice が暗号化して Bob に送り、Bob が復号化する例を示す。Bob は選んだ 17 と 59 の 2 つの素数の積 $n=1003$ を生成し、一次不定方程式 $65537d = k(17-1)(59-1)+1$ すなわち $65537d - 928k = 1$ をユークリッドの互除法で解く。 $d=928K+193$ という一般解が得られるので秘密鍵を $d=193$ 、公開鍵 $e=65573$ を用いて実際に計算をしてみる。ちなみに $k=65573K+13630$ 。

手順①(変換)

“yashiro” という平文を、コンピュータの内部表現である整数に変換すると、(121 97 115 104 105 114 111) となる。(これは ASCII コードと呼ばれる。アルファベットを表す際に使われる)

“y” $\rightarrow 121 \rightarrow 121^{65537} \equiv 529 \pmod{1003}$
 “a” $\rightarrow 97 \rightarrow 97^{65537} \equiv 139 \pmod{1003}$
 “s” $\rightarrow 115 \rightarrow 115^{65537} \equiv 165 \pmod{1003}$
 “h” $\rightarrow 104 \rightarrow 104^{65537} \equiv 43 \pmod{1003}$
 “i” $\rightarrow 105 \rightarrow 105^{65537} \equiv 117 \pmod{1003}$
 “r” $\rightarrow 114 \rightarrow 114^{65537} \equiv 379 \pmod{1003}$
 “o” $\rightarrow 111 \rightarrow 111^{65537} \equiv 139 \pmod{1003}$

(図4 “yashiro” を Alice が暗号化)

529 $\rightarrow 529^{193} \equiv 121 \pmod{1003} \rightarrow$ “y”
 139 $\rightarrow 139^{193} \equiv 97 \pmod{1003} \rightarrow$ “a”
 165 $\rightarrow 165^{193} \equiv 115 \pmod{1003} \rightarrow$ “s”
 43 $\rightarrow 43^{193} \equiv 104 \pmod{1003} \rightarrow$ “h”
 117 $\rightarrow 117^{193} \equiv 105 \pmod{1003} \rightarrow$ “i”
 379 $\rightarrow 379^{193} \equiv 114 \pmod{1003} \rightarrow$ “r”
 139 $\rightarrow 139^{193} \equiv 111 \pmod{1003} \rightarrow$ “o”

(図5 “yashiro” を Bob が復号化)

手順②(暗号化)

Alice は先ほどの平文(121 97 115 104 105 114 111)を暗号化の式: $M^e \equiv C \pmod{n}$ に基づき、公開鍵 $e = 65537$, 素数の積 $n = 59 \cdot 17 = 1003$ として暗号化する(図4)。これより平文 “yashiro” を暗号化すると、暗号文は(529 139 165 43 117 379 139)となる。Alice はこれを Bob に送信する。

手順③(復号化)

Bob は Alice から受け取った暗号文(529 139 165 43 117 379 139)を、復号化の式: $C^d \equiv M \pmod{n}$ に基づいて、秘密鍵 $d = 193$, 素数の積 $n = 1003$ を用いて復号化する(図5)。よって、Bob は Alice の送った暗号文を復号化すると平文 (121 97 115 104 105 114 111)を得て、これを文字列に戻すと平文 “yashiro” を得ることができた。

3. まとめ

2つの素数 p, q , それらの積 $n = p \cdot q$, $\phi(n) = (p-1)(q-1)$, 平文 M , 暗号文 C , 公開鍵 e , 秘密鍵 d とすると、 $ed - k\phi(n) = 1$, つまり $d = (k\phi(n) + 1) / e$ を解くことによって秘密鍵 d は計算される。そして

暗号化: $M^e \equiv C \pmod{n}$ ---- ①

復号化: $C^d \equiv M \pmod{n}$ ---- ②

ここから $M^{ed} \equiv M \pmod{n}$ が導かれ、

「① 平文 M を公開鍵 e 乗して素数の積 n で割ったときの余り数を暗号文 C として、②さらにそれを秘密鍵 d 乗して素数の積 n で割ったものは、元の平文 M と等しくなる、つまり元に戻る」ということを示す。

なお、報告集に載せることができなかつたが、我々は RSA 暗号のコンセプトをより深く理解するために Common Lisp を用いて RSA 暗号の実装も施した。任意のメッセージの暗号化 / 復号化が可能になっているので、RSA 暗号を肌で体感したい人はぜひ我々に申し出てほしい。

4. 引用・参考文献

- 1) Public Key Cryptography “Mastering Algorithm with C(C で学ぶアルゴリズム)” pp.448~p459
- 2) HACKING: 美しき策謀 第2版 0x700 暗号学
- 3) 暗号技術入門 ~秘密の国のアリス~ pp.252~254
- 4) Khan Academy Journey into cryptography
<https://khanacademy.org/computing/computer-science/cryptography/modern-crypt/v/intro-to-rsa-encryption>
- 5) サルでもわかる RSA 暗号
<http://www.maitou.gr.jp/rsa/rsa11.php>

玄能石の形成過程を解明する（玄能石の研究3）

～頁岩泥中における炭酸カルシウムの結晶化の検討～

研究者：長野県屋代高等学校理数科 町田早綾 北林優奈 松島愛

指導教諭：小田切亨

1. 研究動機と概要

玄能石は^{やじり}鎌形の主成分炭酸カルシウムであるが、周辺の^{けつがん}頁岩には炭酸カルシウムが含まれない。フォッサマグナ地域に産出し、低温海水域の海底堆積物の中で結晶化したらしいと言われる奇妙な石であるが、どのようにして頁岩中に形成されるのか謎である。

平成19年度玄能石は方解石の結晶であること、平成24年度炭酸カルシウムをゲル中での結晶化は室温下およそpH 8以上でなされ、その形成環境のちがい(ゲル成分のちがい)で形態が異なることを発見した。私たちは、研究を継承しゲル成分やpHの違いで結晶形態がどのように違うのかを整理し、同時に玄能石が産出する頁岩泥の中で炭酸カルシウム結晶を形成するとどうなるか、玄能石の形成環境により近い状態での結晶形成を試みた。玄能石の形成の仕組みの謎を追求する。

2. 上田市越戸での現地調査

玄能石の実物を見ること、産出する環境を知ること、実験で用いる頁岩を採取することを目的として、5月下旬に上田市越戸の浦野川の河床で玄能石と頁岩の調査を行った。浦野川の河床は頁岩で、岩石ハンマーでたたくと脆く頁のようにはがれた。また、河川の水で侵食を受けた面はきれいな頁岩の露頭が現れ頁岩層に挟まれた玄能石が数多く露出している状況が見られた。およそ3時間にわたる調査の中で、どのような堆積環境であったのかイメージを膨らませながら多数の玄能石と周辺の頁岩を採取した(図1)。

後日頁岩は、鉄製乳鉢を用いて粉碎し、0.5×0.5mmのふるいを通して粒径を整え結晶作りに用いた。

3. 実験器具・材料・測定機器

〈器具〉・ピン(ジャム用)、カーボネート管、電子天秤、pHメータ shimazu NPH-30

〈薬品〉・塩化カルシウム・炭酸水素ナトリウム・寒天・ゼラチン・メタケイ酸ナトリウム九水和物(1級試薬)・酢酸・アンモニア水

4. 実験方法 ～炭酸カルシウムの単結晶化～

① ゲル素材による形成結晶の違いの検討

ポリカーボネート管(44φmm×15cm)に、1%寒天ゲル、10%ゼラチンゲル、ケイ酸ゲル(0.50mol/Lメタケイ酸ナトリウム25mL+1.0mol/L酢酸25mL)各50mL調製。不織布より溶液流出を防ぐため、ラップで覆って支えた(図2)。0.20mol/L炭酸ナトリウム水溶液(pH11.8)を結晶形成用のガラス瓶に適量入れた後、ポリカーボネート管ゲル上に0.20mol/L塩化カルシウム溶液(pH6.8)を管外液面と管



図1 別所層中の玄能石

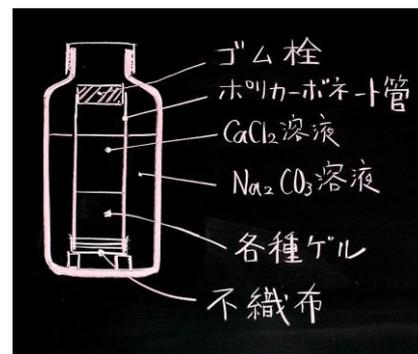


図2 結晶づくり容器

内液面の差が生じないように静かに注ぎ、管内外の両液面を図2のようにそろえて3ヶ月間静置した。生じた結晶は、ゲルを加熱溶解し、熱水で洗浄後乾燥させ、光学顕微鏡、電顕・X線結晶解析に供した(卒業生)。こうして得られた各ゲル中の結晶について形状やその存在割合についてまとめ特徴を調べた。

② 炭酸カルシウムの結晶化に及ぼす pH の影響

0.20 mol/L 炭酸水素ナトリウム溶液(pH 11.8)と 0.20 mol/L 塩化カルシウム溶液(pH 6.8)両者について、1.0 mol/L 酢酸 or NH₃水のいずれかを添加し、pH 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 となる各溶液を調整した。次に pH 調整後の炭酸水素ナトリウム溶液 50mL に寒天粉末を添加・加熱溶解後マルエム試験管 A-30 に注ぎ、室温に放置して 1.0% 寒天-NaHCO₃ ゲルとした。ゲル上面に各 pH 塩化カルシウム溶液 50mL を静かに注ぎ静置した。

③ 粉碎した頁岩泥中での炭酸カルシウム結晶化の試み

玄能石周辺で採取した頁岩を鉄製乳鉢で粉碎後 0.5 mm (MESH No. 32) の篩にかけた細粒を水で懸濁させ①同様に、ポリカーボネート管 (44 φmm×15cm) に注ぎ込み、1, 2, 4cm 厚となるよう積層・静置した。その際不織布より細粒の流出を防ぐため、No. 2 濾紙を不織布と泥の間に挟み込んだ。不織布と濾紙はカーボネート管の外側にナイロンテグスで固定した。泥の上層表面には No. 2 濾紙を置き塩化カルシウム溶液と炭酸ナトリウム溶液の充填時に泥表面が乱れないよう配慮した。結晶形成のため5ヶ月室温に放置後、カーボネート管を結晶形成の設定操作(実験方法①)とは逆の行程で慎重に瓶から取り出し、塩化カルシウム入りデシケータに入れ約一週間乾燥後、光学顕微鏡・電子顕微鏡(信大工学部依頼)等で観察した。

④ 各種ゲルと頁岩泥の水の透過性について

炭酸カルシウムの結晶形成に用いたゲルと頁岩泥をガラス管カラム内(内径 20mm×厚 5cm)に充填し、カラム内に水を積層上面より 20cm 厚まで満たして維持し、流出する水の経時変化を測定した。

4. 実験結果と考察

① ゲル素材による形成結晶の違いの検討

生じた結晶はすべて希塩酸に溶解し、その炭酸カルシウムの結晶は XRD 分析結果よりその殆どが方解石結晶と判明

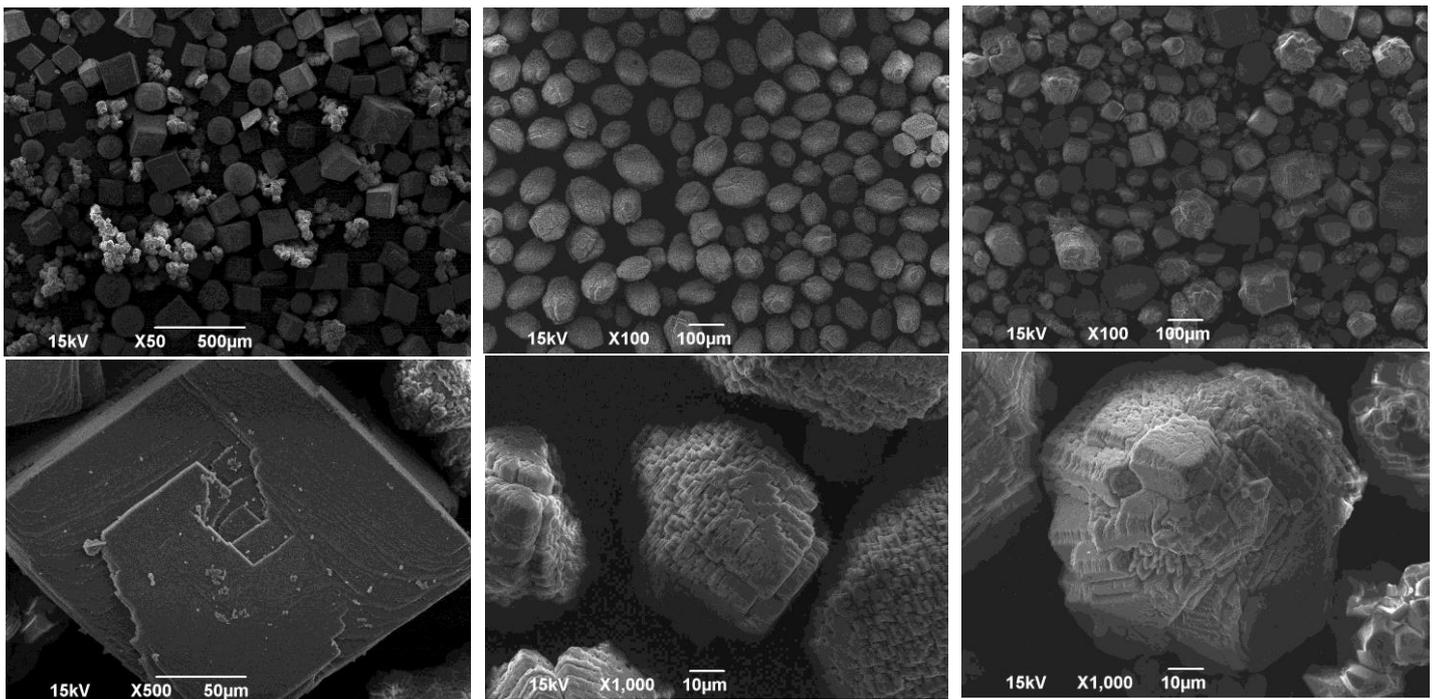


図3各種ゲル中の炭酸カルシウム結晶の電顕写真 ケイ酸:左、ゼラチン:中、寒天:右

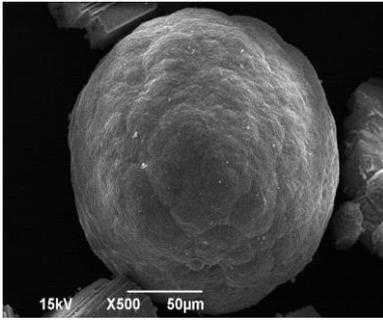


図4 ケイ酸ゲルの球状結晶
劈開面なし

表1 各結晶群の特徴

各ゲル中の結晶の形状	ケイ酸ゲル		ゼラチンゲル		寒天ゲル	
	個数	%	個数	%	個数	%
A 立方体型	77	52.4%	0	0.0%	38	33.6%
B 球型	19	12.9%	2	1.5%	12	10.6%
C 楕円球型	1	0.7%	130	97.7%	14	12.4%
D その他	50	34.0%	1	0.8%	49	43.4%
計	147	100.0%	133	100.0%	113	100.0%
特徴	A:劈開面ナシ B:ファーテライト? D:塊状の小結晶群		B:ファーテライト? C:ゴツゴツ劈開面アリ D:判別不明		A:劈開面ゴツゴツ B:C:ゴツゴツ劈開面アリ D:金平糖様突起アリ	

している。また、それらの電顕写真が図3・4である。各結晶群を

その形から主に3種類に分けた。立方体型の結晶をA、球型の結晶をB、フットボール（楕円球）型の結晶をCとし、その他をDとした。タイプごとに結晶の割合と特徴の概略を記した（表1）。ケイ酸ゲルでは、劈開面のきれいな結晶Aが多く、球体Bの結晶も含まれる。また、塊状の小結晶が多数みられた。この球体（図4）には劈開面が見られず方解石とは異なる。XRDから、極微量のファーテライトの存在が示唆されるが関連は明らかでない。ゼラチンゲルでは劈開面が不揃いとなる楕円球型C結晶が支配的である。寒天ゲルは、立方体型A・球型B・楕円球型Cそして金平糖のように突起があるものDと多様であった。いずれの結晶も表面の劈開面はゴツゴツしたものであり、寒天ゲル球型Bは、ケイ酸ゲル球型Bとは異なるものであった。

以上より、結晶の形成は結晶をとりまく環境で大きく異なることが判明した。方解石のきれいな単結晶を作るには、ケイ酸ゲルが有効であるとわかった。なお、玄能石の形成過程を探る意味で、玄能石を取り巻く頁岩泥を調整し結晶化を試みることにした。

② 炭酸カルシウムの結晶化に及ぼす pH の影響

炭酸カルシウムの結晶造りを寒天ゲル中で試みた結果 pH 7.0 以上でゲル表面に白色沈殿が生じた（図5）。pH 8.0 9.0 では時間経過と共にゲル内に、いわゆるリーゼガング環を生じ、炭酸カルシウムの細かな結晶を含んでいた。なお、pH 9.0 ではリーゼガング環数が多く形成された。検鏡すると両者とも方解石様の結晶であり、pH 8.0 では 10~25µm 程度の粒径でバラツキが大きく、一方 pH 9.0 でも 10~25µm 程度の粒径だがバラツキは小さく 10µm 程度の小粒子が多く見られた（図6）。これは pH 9.0 ではリーゼガング環数が多く、各層で多くの細かな結晶が生じたためと考えられた。



図5 pH変化に伴う炭酸カルシウム結晶生成

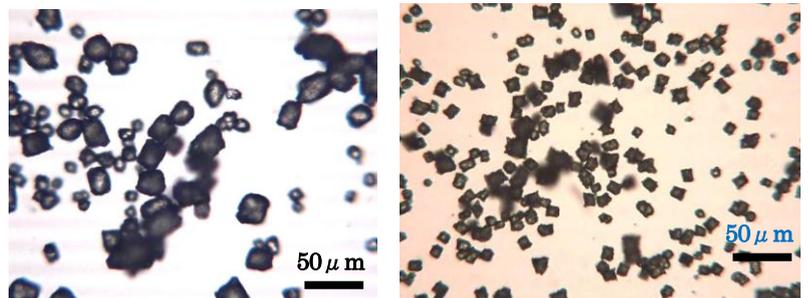


図6寒天ゲル pH 8.0 (左) 9.0 (右)で生じた CaCO₃ 結晶

③ 粉碎した頁岩泥中での炭酸カルシウム結晶化の試み

泥中での結晶生成開始 24 日後には、頁岩泥中に白い層が観察された。頁岩泥の瓶内の様子を図7、乾燥頁岩泥の様子を図8に記した。頁岩泥の厚さは 1, 2, 4cm と変化させたが、いずれの場合も泥中に生じた白い層は、肉眼では 1 層であり、頁岩泥 1cm 厚のものは底面から 4mm あたりに、頁岩泥 2・4cm 厚で



図7頁岩泥中で CaCO₃ 結晶生成



図 8 頁岩泥中に形成された白い層 上:頁岩泥 1cm 厚層 中:頁岩泥 2cm 厚層 下:頁岩泥 4cm 厚層

はほぼ中央に形成されていた。白色層を実体顕微鏡観察すると白い固体が形成されていた。ただその形は珊瑚のような形状であり各種ゲル中で得られたような粒状のものは確認できなかった。また、白い固体によって形づくられる紡錘形の空洞が多数観察できた。更に、光を斜めからあてるとキラッと光る面が観察されるため劈開面の存在が示唆され、結晶が確かに形成されていることが確認できた。しかし、ゲル中で形成させた結晶のように大きい単結晶ではないと思われる。なお、頁岩を砕くことによって得た泥を用いてつくったものなので、泥の粒子と結晶の分離は困難と考えられ、観察をここまでにとどめた。詳細な泥岩層中の様子は現在電顕写真の結果待ちとなっている。

各種ゲルで粒状結晶が得られたのに対し頁岩泥では目立たない。理由として、前者は高分子ゲルゆえ結晶形成環境が結晶成長に伴って溶液空間の広がり融通の利くソフトなものであり成長に有利なのに対し、頁岩泥は固体岩石粒子の隙間に形成されるため融通が利かないハードな環境になっているものと想像される。高分子ゲルではそのネットワーク中に水がうまく保たれ、 Ca^{2+} CO_3^{2-} の拡散による出会いもきわめて緩やかで、きれいな単結晶ができ易いのではないか。一方、頁岩泥では高分子ゲルよりは水の動きの自由度が大きく拡散も速い状態で、水中で出会った Ca^{2+} CO_3^{2-} は、頁岩泥の固体粒子を埋めるような形で白い層を平面的に形成した様に観察される。なお、事実各種ゲルと頁岩泥の水の透過性を調べたところ、頁岩泥はゲルに比べて水の通りが2～3倍よいことが判明した (図9)。

私たちは玄能石が生じる頁岩泥の中で炭酸カルシウム結晶を形成すればより玄能石の結晶形成に近づけると考えた

が、頁岩泥を使ってみてその密度の大きさや泥中の間隙の厳しさを考えると泥の中であの大きな玄能石が成長するのは困難のように思われた。

冷たい海の中で玄能石の原鉱物が成長し、変化（仮晶）し、その上に泥が降り積もって産出されるという報告

等がある^{5,6)}が、多岐にわたって未解明な状況である。奇岩と言われる玄能石の成因の解明の難しさを痛感している。

5. まとめと今後の課題

- ・炭酸カルシウム単結晶の形成は結晶をとりまく環境で大きく異なることが判明した。方解石のきれいな単結晶を作るには、ケイ酸ゲルが有効であった。

- ・炭酸カルシウムの結晶造りを寒天ゲル中で試みた結果 pH 7.0 以上でゲル表面に白色沈殿が生じた。また、pH 7.0 よりは 8.0 そして 9.0 と粒径は小さいがより多くの結晶が生じた。炭酸イオンの増加に伴う変化と考えられた。

- ・玄能石が産出される頁岩泥中で炭酸カルシウム結晶を形成させると各ゲル中で形成させたような単結晶は観察できなかった。ゲル内はイオンの拡散が緩やかであり一方、泥は固体隙間をイオンがゲル中よりも早く拡散し、大きな結晶が形成できず間隙を埋めるような形で白い層を平面的に形成した様に観察された。

- ・玄能石が泥の層の中で、密度の大きな泥を持ち上げて大きく成長することは難しく思われる。上田市越戸の現地調査で採取した玄能石のように大きく成長するためには、泥層の上で玄能石が形成され、その上に泥が降り積もり現在の露頭の様な堆積状態が築かれたのではないかと考えるに至った。

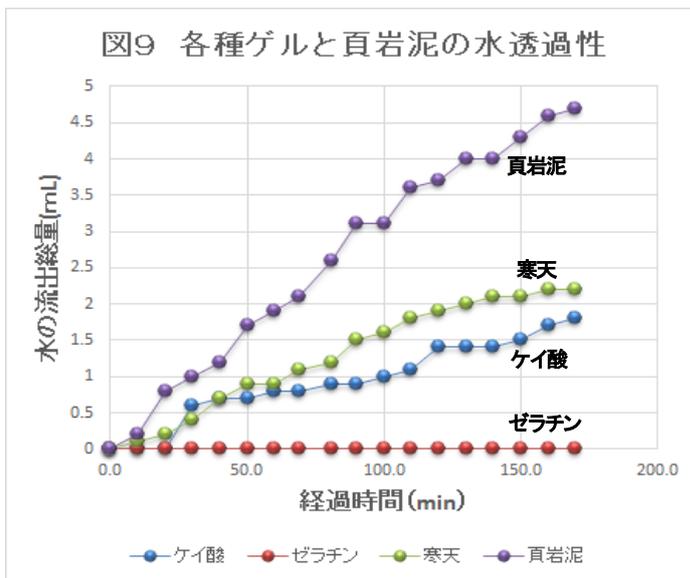
奇岩玄能石の成因の謎は深まるばかりであるが、玄能石が形成される環境においてどのようにカルシウムイオンと炭酸イオンが供給され方解石多結晶が、鏝のように形作られるのか今後も解明に努めてゆきたい。

謝辞

最後に、光学顕微鏡・電顕・XRD の提供をいただいた信州大学工学部教授手嶋勝弥先生・同名誉教授大石修治先生にお礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- 1) 宮崎淳他 平成 19 年度長野県屋代高等学校 SSH 課題研究報告集 玄能石の研究 p. 44-49
- 2) 柳澤優月他 平成 25 年第 10 回高校化学グランドコンテスト要旨集「炭酸カルシウムの化学」 p. 28-31
- 3) 芦澤孝彦他 炭酸カルシウム単結晶のゲル成長 化学と教育 43 巻 11 号(1995 年)
- 4) Heinz K. Henisch 結晶成長とゲル法 中田一郎 中田公子共訳 コロナ社
- 5) 伊藤俊彦 冷たい海底を示す鉱物：玄能石（カルサイト仮象）
環境教育研究 (Journal of Environmental Education) 1:141-147(1998)
- 6) 渋谷正雄 玄能石の産状・形態・組織に関する研究 地質学雑誌 83 巻 第 1 号 19-26 (1977)



ゲル・頁岩泥を充填したカラム

廃セメントの利用方法

—金属成分の分離、および土壌を中和する利用方法について—

研究者：内堀紘徳 久木原翔 高遠翔大

指導教諭：近藤信昭

1. 目的

高度経済成長期から多くの建物にコンクリートが使われており、その時期に作られたコンクリート製の建物の建て替えが増えてきている。その取り壊しで発生した廃コンクリートのうち砂利などは再度コンクリートに入れたり、再生骨材として利用されている。しかし廃コンクリートに含まれているセメント成分は再利用しにくく、一部は埋め立てたり、建築土台などの限られた用途のみに利用されている。これらの廃コンクリートが産業廃棄物として多く発生するため、あまり利用されていないセメント成分の新しい利用方法を考えていきたい。また、その方法について、実現性があるか調べる。

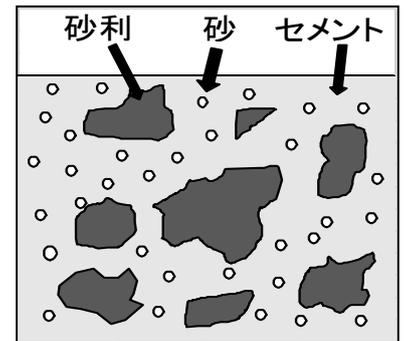


図1 コンクリートの図

2. 内容と方法

一般的なセメントの主成分は文献¹⁾によると、水酸化カルシウム、水酸化アルミニウム、水酸化鉄(Ⅲ)などの塩基性成分である。そこでセメントの特徴や成分から次の利用方法を考えた。

- ・廃セメントから金属成分を取り出して利用する。
- ・廃セメントを用いて酸性土壌を中和する。

この二つの利用方法を検討するために以下の実験を考えた。なお今回の実験で使った廃セメントは、信州生コン(株)、高見澤(株)からいただいた廃コンクリートを乾燥させ鉄製の乳鉢で細かく砕いたものを用いた。



写真1 廃コンクリート

(1) 廃セメントを酸に溶かし、金属成分を取り出す

A 塩酸を用いて廃セメントから金属成分を取り出す

- ① ビーカーに2 mol/L 塩酸 200mL を入れる。
- ② 廃セメントを少しずつ溶かし、ガラス棒で攪拌し塩酸と廃セメントを反応させた。
- ③ ブフナー漏斗を用いて吸引ろ過し、廃セメント内の不溶性物質を取り出した。
- ④ pHメーターでろ液のpHを測定しながらアンモニア水を加えていき溶液を中和した。
- ⑤ ④で生じた赤褐色と白色の沈殿物を遠心分離(2,000回転を5分)により取り出した。
- ⑥ 上澄み液に炭酸アンモニウムを加えて白色の沈殿を取り出した。



写真2 廃セメント

B 硫酸を用いて廃セメントから金属成分を取り出す

- ① ビーカーに 2 mol/L 硫酸を 200mL 入れる。
- 以下Aと同じであるが②では白色沈殿が生成し、⑥では沈殿が生成しなかった。

C 金属イオンの確認

A、Bで生じた赤褐色と白色の沈殿の混合物が水酸化鉄(III)と水酸化アルミニウムかどうかの確認を行った。

- ① 混合物に過剰の水酸化ナトリウム水溶液に加え、アルミニウム成分のみ溶かし、ろ過して赤褐色の沈殿を取り出した。
- ② ろ液に塩酸を加え水酸化アルミニウムを沈澱させた。
- ③ ①で取り出した赤褐色沈殿物を蒸留水に溶かしてフェリシアン化カリ（ヘキサシアニド鉄(III)カリウム）、フェロシアン化カリ（ヘキサシアニド鉄(II)酸カリウム）を加え溶液の色の変化を見た。

D 気体発生量の測定と塩基量の測定

ビーカーに 0.5mol/L の塩酸 200mL、回転子を入れ、マグネチックスタラーで攪拌しながら 20分おきに廃セメントを少しずつ加え気体を発生させ、質量を測ることによって気体の発生量を求めた。さらにこの実験により廃セメントに含まれる塩基量を測定した。

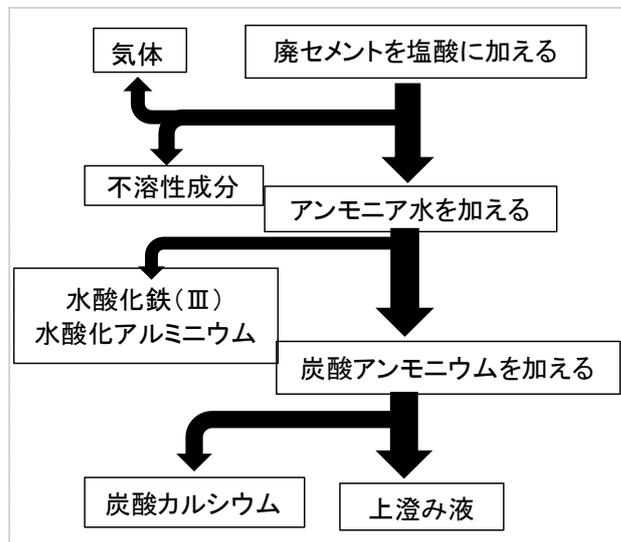


図2 実験(1) Aの手順

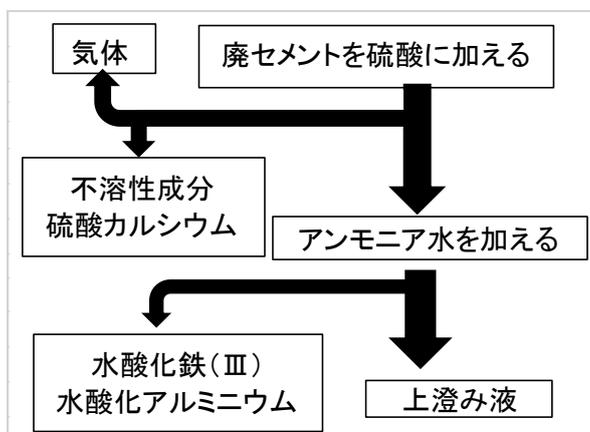


図3 実験(1) Bの手順

(2) 酸性土壌や溶液に廃セメントを撒くことで中和する

①の実験から、廃セメント約 320g に 1mol 分の塩基が含まれていることが分かった。そこで、実際に酸性土壌を廃セメントで中和し作物を育てた。植物は発育が早く、低温でも育つハツカダイコン(ラディッシュ)を用いた。ここでは塩酸、硫酸、硝酸の3つの酸を用いて酸性土壌を作成した。以下の実験〔I〕、〔II〕では比較のため「培養土」「培養土+酸」「培養土+酸+セメント」の7つの容器で同時に行った。

- ① 市販の培養土に酸(3 mol/L 塩酸 10mL、3 mol/L、1.5mol/L 硫酸 10mL、3 mol/L 硝酸 10mL)を加えて酸性土壌とした。
- ② ①の酸性土壌に廃セメントを加えて中和した。
- ③ 比較として「培養土のみ」「培養土+酸」「培養土+酸+セメント」の7つの容器で同時にラディッシュを栽培した。(容器の深さは〔I〕では10cm、〔II〕では3cmのものを用いた)

廃セメントを硫酸に加えた	
気体の発生	… 二酸化炭素など
アンモニア水を加えた	
白色沈殿	… 水酸化アルミニウム
赤褐色の沈澱	… 水酸化鉄〔III〕
炭酸アンモニウムを加えた	
白色沈殿	… 炭酸ナトリウム

図4 実験①Aでの発生した物質について

廃セメントを硫酸に加えた	
気体の発生	… 二酸化炭素など
白色沈殿	… 硫酸カルシウム
アンモニア水を加えた	
白色沈殿	… 水酸化アルミニウム
赤褐色の沈澱	… 水酸化鉄〔III〕
炭酸アンモニウムを加えた	
何も発生しない	

図5 実験①Bでの発生した物質について

3. 実験結果と考察

(1) 廃セメントを酸に溶かして金属成分を取り出す

A 塩酸を用いて廃セメントから金属成分を取り出す

塩酸に溶かすと異臭のする気体が発生し液体が黄緑色に変化した。ろ過し、ろ液にアンモニア水を加えたところ pH3 あたりから赤褐色の沈殿が生じた。その沈殿を取り出して乾燥させたところ赤褐色と白い物質に分かれて現れた。またろ液に炭酸アンモニウム水溶液を加えたところ白い沈殿が生じた(図4)。

B 硫酸を用いて廃セメントから金属成分を取り出す

硫酸に溶かすと白色の沈殿が生成した。ろ液に炭酸アンモニウムを加えても何も発生しなかったため、この白い沈殿は硫酸カルシウムだと考えられる。硫酸に溶かした溶液からも塩酸の時と同様にアンモニア水を加えることで赤褐色の沈殿と白色沈殿を取り出すことが出来た(図5)。

C 金属イオンの確認

分離して取り出した鉄イオンとアルミニウムイオンの確認のための実験を行った。水酸化鉄(III)と水酸化アルミニウムの混合物に過剰の水酸化ナトリウム水溶液を加えることで、アルミニウムを錯イオンとして溶かし

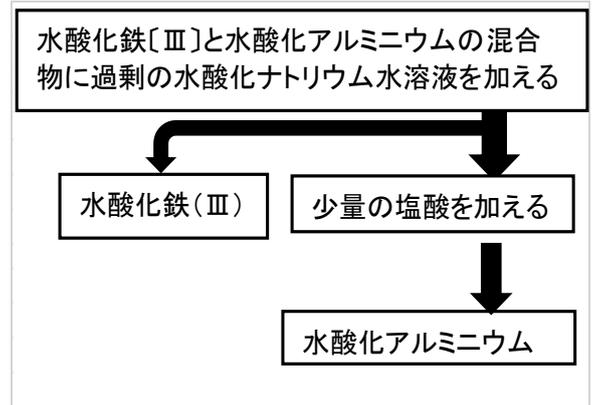
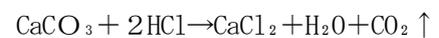


図6 実験(1)Cの手順

ろ過して、残った水酸化鉄(III)を取り出した。またろ液に塩酸を加えることでアルミニウム成分を沈殿させた(図6)。

D 気体発生量の測定と塩基量の測定

0.5mol/Lの塩酸200mLに廃セメントを少しずつ加えた。その質量の変化を測定することで、気体の発生量を求めグラフ化した(図6)。ここで気体の発生量を計測すると同時に、溶液のpHを測定した。廃セメントに含まれる炭酸カルシウムCaCO₃が塩酸と反応してCO₂が発生したと考えると



となり、塩酸1molではCO₂が0.5mol発生することになる。CO₂の分子量は44なので塩酸0.10molで発生した気体を全てCO₂とすると2.2g発生するはずである。グラフより予想される2.2gを上回っていることからCO₂以外に別の気体が発生していると考えられる。その中の一つとして実験中腐乱臭

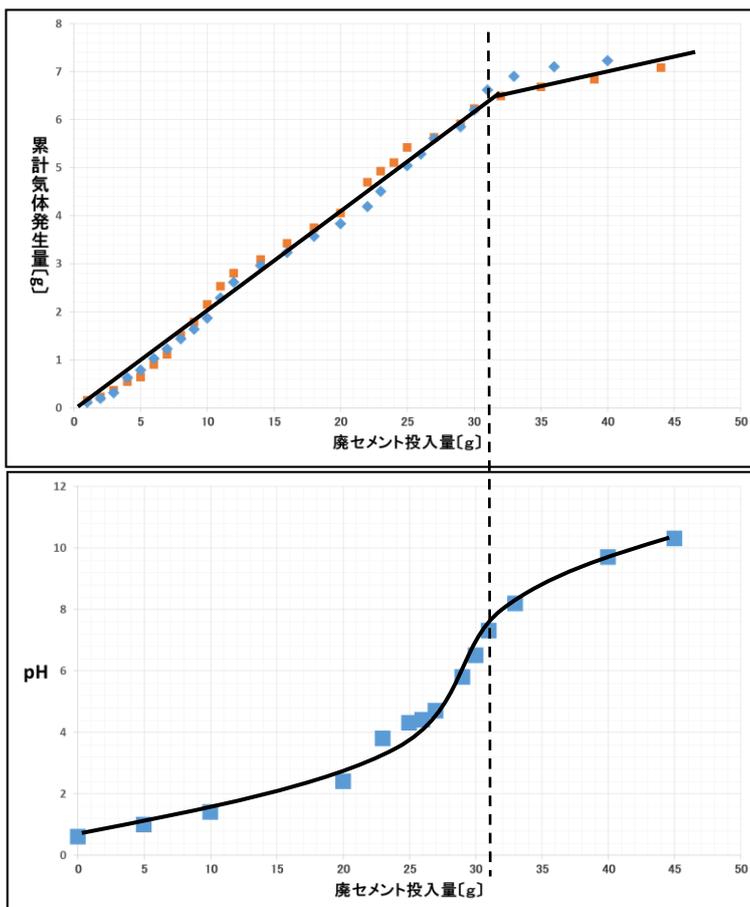


図7 セメント投入量、気体の発生量とpH

がしたため硫化水素が発生していると考えられる。しかし硫化水素は分子量が二酸化炭素より小さいので他の重い気体も発生していると考えられるが特定できていない。また32g付近で気体の発生量の変化と中和滴定曲線から中和されたと考えられる。廃セメント約320gに1mol分の塩基が含まれていることが分かった。(図7)。

(2)酸性土壌に廃セメントを加えて中和する

実験〔Ⅰ〕 深さ10cmの容器に培養土と酸、廃セメントを加えて育てた

3回実験したところ、「培養土のみ」のポットと「培養土+酸」のポットで成長が3回ともほぼ同じになった。これは水を与えた際に酸がポットの底のほうに移動してしまい、種子のある上のほうが中性に近くなってしまったからだと考えられる。これでは対照実験にならないので実験方法を変更する必要があると考え、実験を〔Ⅱ〕の方法に変更した。



写真3 実験(2)の様子

実験〔Ⅱ〕 深さ3cmに培養土と酸、廃セメントを加えて育てた

容器を深さ3cmほどの浅い容器を用いて同様の実験をした。下の図は合計で7回実験をし、10日経過した時点での伸びた高さをグラフ化したものである。塩酸、硝酸はどれも3mol/Lを使用した。硫酸は2価の酸であるため1.5mol/Lと3mol/Lの2通りで実験をした(表1)。

表1 容器の種類と成長した長さ(×は発芽しなかったことを示す)

	水	塩酸	硝酸	硫酸(1.5M)	硫酸(3M)	塩酸+セメント	硝酸+セメント	硫酸(1.5M)+セメント	硫酸(3M)+セメント
1回目	2.5cm	0.5cm	×	0.7cm	1.4cm	1.2cm	1.5cm	×	1.5cm
2回目	2.4cm	×	×	1.8cm	×	×	×	×	2cm
3回目	9.3cm	×	×	3cm	×	×	×	11cm	10cm
4回目	8.8cm	×	×	×	×	×	×	5.6cm	4.5cm
5回目	3cm	×	×	×	×	×	×	3.8cm	2cm
6回目	3cm	×	×	2cm	×	×	×	3cm	×
7回目	2.5cm	×	×	×	×	×	×	2cm	0.5cm

この実験は7回に分けて行ったので、日の当たり、気温、湿度などの多くの要因が異なっているため、成長の度合いも異なっている。そこで、「培養土のみ」での成長した長さを基準の100とした時のグラフを作ることによって、成長度合いを比較した(図8)。グラフより廃セメントを加えたときのほうが「培養土+酸」の時よりも成長しているといえる。これは廃セメントを加えることで土壌中の酸が中和され、中性に近くなったことで成長しやすくなったと考えられる。また硫酸を用いたとき他の酸よりも成長している。このことは、実験①-Bより硫酸と廃セメントでできる硫酸カルシウムは沈殿するが、塩酸と硝酸でできる塩は土壌中に溶解沈殿しない。よって硫酸の酸性土壌に含まれるイオン総量は、ほかの酸性土壌に比べて少なく、成長を阻害しなかったからだと考えられる。また廃セメントを加えることによって成長が阻害されなかったため、廃セメントはラディッシュの成長に悪い影響はないということがわかる。土壌に含まれるイオン総量が成長に影響を及ぼすかどうかを確認するために、硫酸、塩酸、硝酸に廃セメントを加えたときの電気伝導性の変化を調べることにした。この実験は現在実験中である。

4. まとめ

(1) 金属成分を取り出すことができる。

酸を用いることで廃セメントからカルシウム、鉄、アルミニウムの成分を取り出すことができ、取り出した成分の確認を行った。ただし利用にはコストがかかると予想される。

(2) 廃セメント320gに1mol分の塩基成分が含まれている。

(3) 硫酸の酸性土壌に対しては、廃セメントは中和剤として利用することができる。

硫酸で酸性にした土壌をセメントで中和したとき、ラディッシュの成長に影響はなかった。

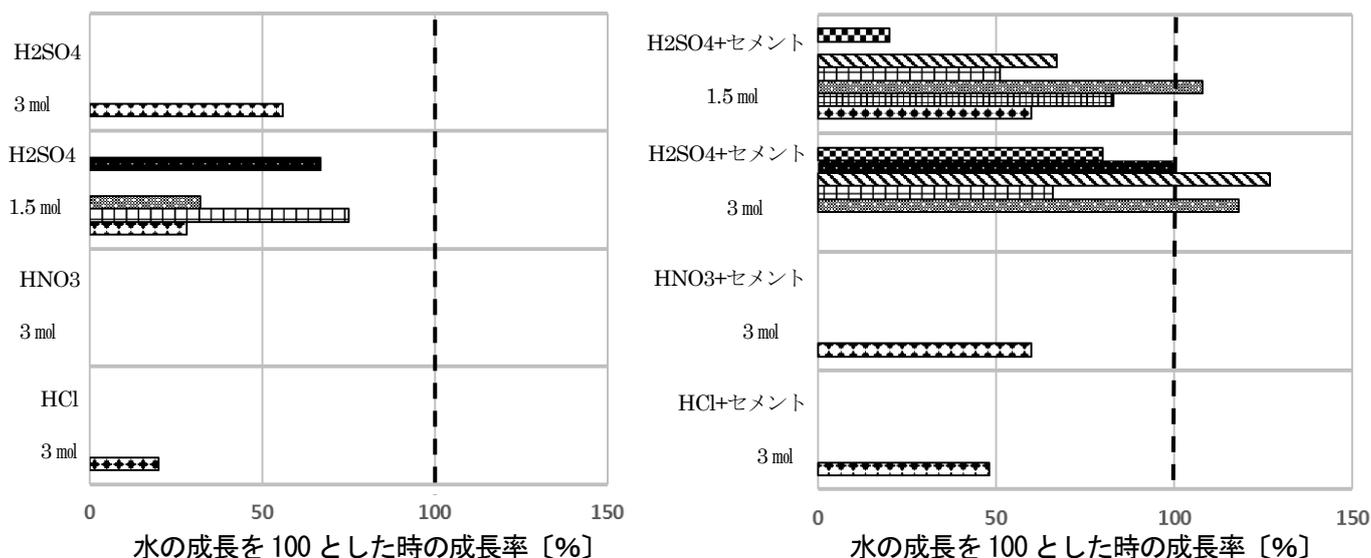


図8 酸による成長阻害と廃セメントの効果

5. 今後への課題

- (1) 水酸化鉄 (II) と水酸化鉄 (III) の確認を行う。

実験 (1) Cでフェリシアン化カリとフェロシアン化カリを用いて水酸化鉄 (II) と水酸化鉄 (III) の確認が十分に行えなかったため別の実験方法を考えて確認を行う。

- (2) 酸に廃セメントを加えた時に発生した気体の特定方法を考える。

実験 (1) Dで発生した気体が二酸化炭素、硫化水素というところまで求めることが出来たが、発生した気体の量から考えるとまだ別の気体が発生していると考えられるがまだ特定出来ていない。これから新しい特定方法を考えたい

- (3) 硫酸を用いた時は植物が成長し、塩酸、硝酸を用いた時に成長しなかった理由を調べる。

実験 (2) で硫酸を用いたときは植物が成長したが塩酸、硝酸を用いたときは成長しなかった。その理由を考えると廃セメントを中和剤として利用したときの安全性を示せると考えている。

- (4) 塩酸、硫酸、硝酸に廃セメントを加えた時の電気伝導性を調べ、イオン総量の変化を調べる。

実験 (2) で塩酸や硝酸を用いたとき成長しない理由として、水溶液中のイオン総量が増えることで浸透圧が増加することで植物に影響を与えたと考えた。そこで硫酸、塩酸、硝酸に廃セメントを加えていった時の水溶液中のイオン総量の変化を求めることで浸透圧の変化を調べられると考え、実験を行う予定である。

6. 参考文献

- 1) 「セメントの常識」 セメント協会出版 平成25年
- 2) 「廃酸を活用した廃コンクリート微粉末の処理と再生骨材製造プロセスの開発」 竹本喜昭 東京工業大学 平成24年 (8、16~20、54~57ページ)
- 3) 「建築物着工統計」第4表 国土交通省

発電するシャーペンの製作に向けて

-振ってにぎって発電して-

研究者：横坂楓 角田希 高橋ちよ美 堀紗彩

指導教諭：倉田亮輔

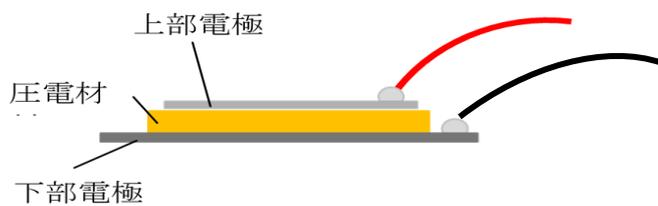
1. 研究概要および目的

先行研究では、圧電素子を床や板に固定して利用していたが、私たちは持ち運び可能で身近な発電機を製作したいと考え、圧電効果と電磁誘導によってLEDライトとしても使えるシャーペンの製作を行っている。

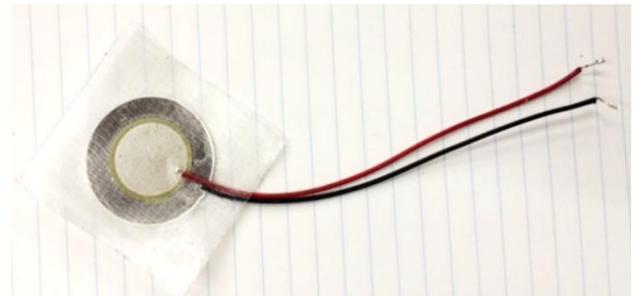
2. 研究内容・研究方法

私たちは、変形することで発電する圧電素子と、コイル、磁石を組み合わせることでシャーペンに組み込み発電するフリフリ型シャーペンを創ることにした。芯を出すときの振る動作を利用してコイルと磁石を用いて誘導電流を発生させ、握る時と芯を出すときの押す圧力を利用して圧電素子を用いて電圧を発生させるという仕組みだ。

圧電素子とは、圧電効果を利用した発電装置で、振動や圧力が加わると電圧が発生する。圧電スピーカーなどに使われることが多いが、今回はユニモルフの物を使用した。

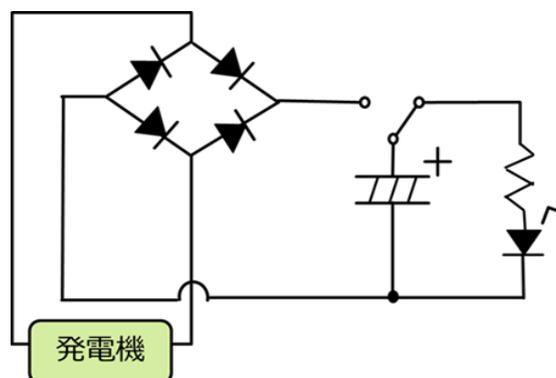


(図1) 圧電素子の構造



(図2) 使用した圧電素子

また、今回は回路を右の図のように繋いだ。



(図3) 製作した回路図

シャーペン内で最も効率よく電力を発生させるために次の3つの実験を行った。

実験① 圧電素子使用に適する容量のコンデンサーの調査

実験② 圧電フィルム使用に適する容量のコンデンサーの調査

実験③ コイルの電磁誘導による発生電圧の調査

3. 実験結果・考察

まず実験①として、容量が適切なコンデンサーを使った方が蓄電の効率はよいので、上の図の回路にどのコンデンサーが適しているかを調べた。

そのために予備実験として圧電素子を回路図のように繋ぎ、圧電素子を 20 回指で押した後に LED が発光するかを確認した。結果、発光を確認することができ、LED を繋ぐ前のコンデンサー部分の端子電圧を測定したところ、5.5V だった。LED 発光に必要な電圧は 2.4V なので、LED 発光に十分な電圧が得られた。

この結果を踏まえて、実験①では 9 種類のコンデンサーを用意し、更にシャーペンの芯を出すときの押す圧力を利用することを考えて、圧電素子をシャーペンのノック部分に置いて 50 回ノックした。

(表 1) コンデンサーの種類と発生電圧

(圧電素子使用)

静電容量・電圧	電圧 [V]
1000 μ F・25V	0.11
100 μ F・25V	1.6
100 μ F・16V	1.7
47 μ F・35V	1.7
22 μ F・35V	5.8
10 μ F・25V	5.5
0.047 μ F (積層セラミック)	6.9

(表 2) コンデンサーの種類と発生した電圧

(圧電フィルム使用)

静電容量・電圧	電圧 [V]
100 μ F・25V	0.03
100 μ F・16V	0.03
47 μ F・35V	0.04
22 μ F・35V	0.14
10 μ F・25V	0.17

結果は表 1 のようになった。図中では積層セラミックコンデンサーに最も大きな電気が溜まっているが、積層セラミックコンデンサーは容量がとても小さく、これ以上の電気を溜めることが難しいと判断した。よって、22 μ F・35V、10 μ F・25V のコンデンサーが最もこの回路に適していることがわかった。その理由として、圧電素子から得られる電力が小さいため、容量の大きいコンデンサーでは電気が溜まらないということが考えられる。

次に、実験②として、握る部分に組み込む圧電フィルム使用に適切な容量のコンデンサーを調査した。圧電フィルムを用いた実験では、実験①のようなノック部分に本体を置いて押す方法ではなく、指で本体を 50 回折り曲げるといった方法に変えた。

結果は表 2 のようになった。また、実験中に圧電フィルムは圧電素子より発生電圧がかなり小さいことがわかり、容量の大きいコンデンサーでは電気が溜まらないので除外した。よって、実験①と同じく 22 μ F・35V、10 μ F・25V のコンデンサーが最も適していることがわかった。しかし、22 μ F・35V のコンデンサーは 10 μ F・25V のコンデンサーよりも大きく、シャーペンに組み込むことを考慮して、今回は 10 μ F・25V のコンデンサーを使うことにした。

最後に、実験③としてコイルの電磁誘導による発生電圧の調査を行った。コイルは直径が7mmで、幅が1.5cm、3000回巻きのものを使用し、コンデンサーは $10\mu\text{F}\cdot 25\text{V}$ のものを使用した。

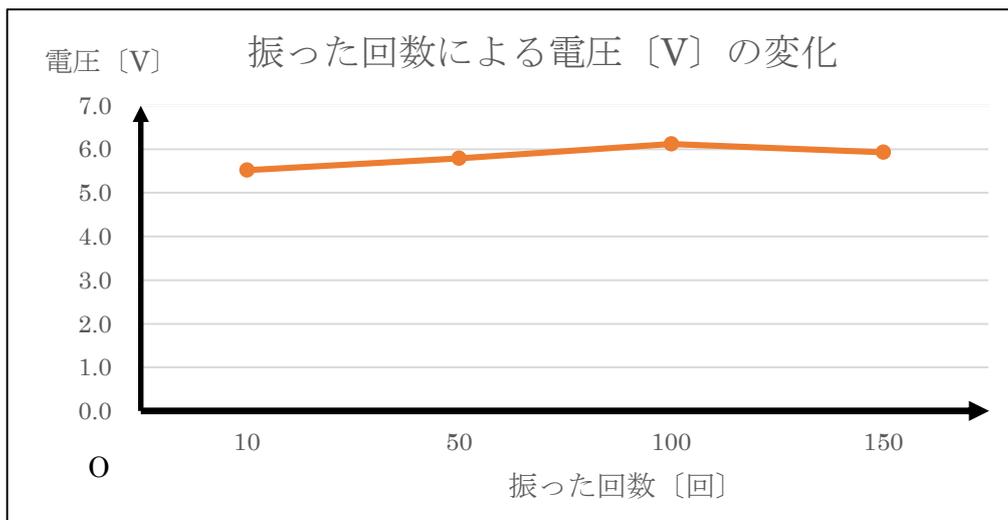


図3 振った回数と発生電圧の差

結果は上の図のようになった。100回振ったときが一番電圧が発生しているが、10回振った時とあまり差はないように思われる。また、150回振った時に100回振った時より発生電圧が小さくなっているのは、後半になるにつれて振っている腕が疲れてしまい、振る速度が遅くなってしまったからだと考えられる。

10回振った時でも5.5Vの電圧を得られたので、十分LEDを発光させることが出来る。

上記の3つの実験の結果から、シャーペンの構想を次の図に示した。

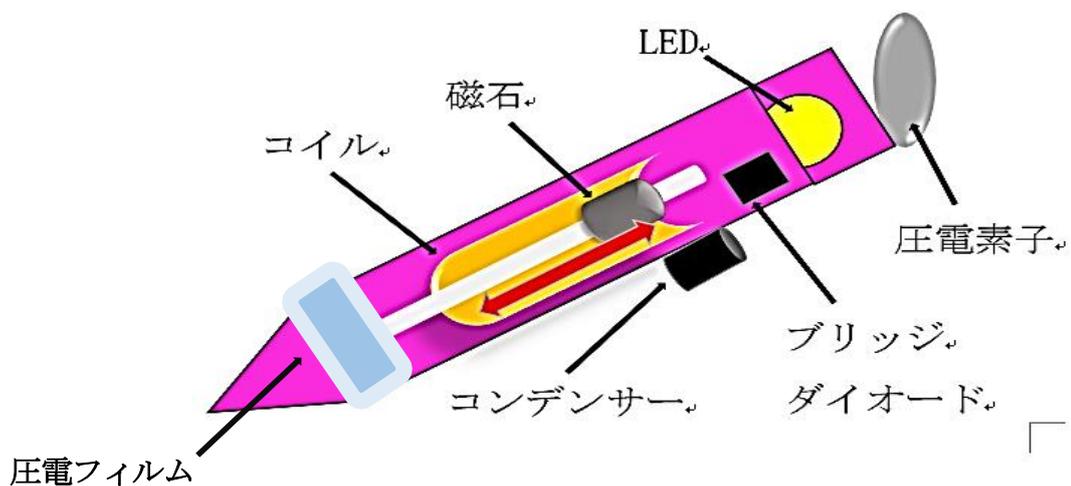


図4 製作するシャーペンの構想図

シャーペンのノック部分に圧電素子を、握る部分に圧電フィルムを設置し、シャーペン内部に直径7mm、幅1.5cm、3000回巻きのコイルと、コイルの大きさに合わせて直径5mmで真ん中に3mmの穴があいたネオジム磁石を組み込み、外側には $10\mu\text{F}\cdot 25\text{V}$ のコンデンサーと交流を直流に変換するためのブリッジダイオードを設置することにした。また、ノック部分の圧電素子は開閉式になっており、中のLEDを発光させる時は開けられるようにする。

また、この構想をストローなどを用いて実際に形にしたものが次の写真である。

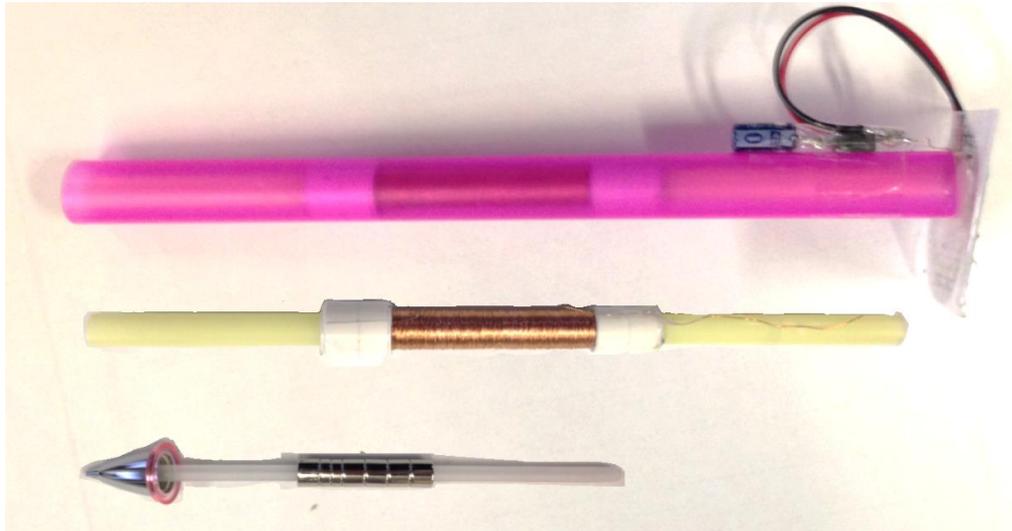


図5 製作したシャーペンのモデル

上段は、すべてを組み込んだシャーペンの外見で、ピンクのストローの中に中段のコイルが取り付けられている黄色のストローが入っており、黄色のストローの中には下段のネオジウム磁石の穴に芯を入れる管が通っているものが入っている。磁石が重りの役割を果たしているので振って芯を出すことができ、また上についている圧電素子を押ししても芯を出すことが出来る。

4. まとめ

当初からの目標であるシャーペンの中に回路を組み込んで光らせるということは達成することができた。今後の目標として光る時間を伸ばしていきたい。

また、まだシャープペンシルとして一定期間使った時にどれくらいの電力が得られるかを試していないので、実際に数人に使ってもらい、得られる電力の統計をとっていきたい。

最後に、発電量が少ないので単体では手元を照らすのが精一杯だが、例えばひとつの部屋の中にいる人たちがこのシャーペンを使って作った電気を集めれば、その部屋の電気をつけることができるかもしれない。このように、より多方面で使っていくことも視野に入れて今後も研究を続けていきたい。

5. 引用・参考文献

- 1) 速水浩平（平成20年度）「振動力発電のすべて」日本実業出版社
- 2) 武藤佳恭、小林三昭、林寛子（2011）「床発電システムの取り組み」
- 3) 武藤佳恭、小林三昭、林寛子「人の歩行で電気を生み出す床発電システム」
- 4) 愛知県立岡崎工業高等学校 情報技術科 岡村孝一「振動力発電の研究と製作」
- 5) 岡山県立倉敷天城高等学校 高橋優大「圧電素子と電磁誘導で得られる電気エネルギーの比較研究」
- 6) 斎藤晴樹、伊藤翔平、今尾麻人、大島雅裕、千吉良岳「振動力発電」
- 7) 熊本県立熊本西高等学校 物理部「圧電素子を使った発電実験」

謝辞

今回実験を行うにあたり、色々なご指導をしてくださった倉田先生をはじめ、ご協力して下さったすべての方々にこの場を借りて感謝申し上げます。

スライムを使ったコンデンサの製作

— 一定範囲まではホウ砂の濃度を増やすと静電容量も増加する —

研究者：中村牧人 鈴木勇汰 野澤悠貴 馬場晃次郎

指導教諭：福島哲夫

1. 研究の概要と目的

電気二重層コンデンサは、電解コンデンサなどに比べ大容量で経年劣化が少ない蓄電装置である。二枚の金属極板の間に電解液を注入して作られ、極板へのイオンの吸着・着脱により充電・放電が行われる。先行研究より、その電解質としてゲルを使用することで液漏れを防げることがわかっている。私たちは、安価で手軽に作れるスライムをゲル電解質とするコンデンサを作り、スライムの原料となるホウ砂やPVA(ポリビニルアルコール)の濃度を変えることで容量を大きくしたいと考えた。数百 μF ~1mF程度の容量の実現を目指した。

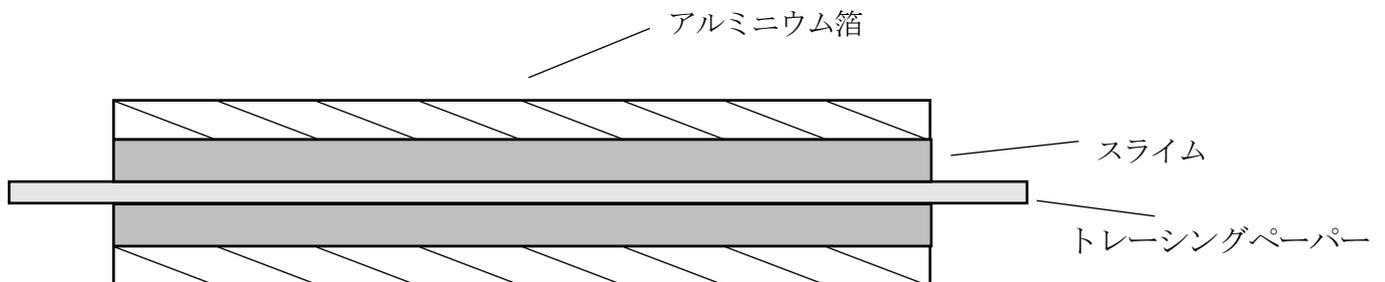
2. 研究の方法

(1) スライムの作製

ホウ砂の水溶液と、洗濯のり(PVA濃度10%)の水溶液を混合し、攪拌することでスライムができる。実験では、ホウ砂やPVA(ポリビニルアルコール)の濃度を変えてスライムを作った。

(2) コンデンサの作製

下の図1のように、二枚のアルミ箔電極にスライムを挟むことでコンデンサができる。電極間の接触を防ぐためのセパレータにはトレーシングペーパーを用いた。



(図1) コンデンサの構造

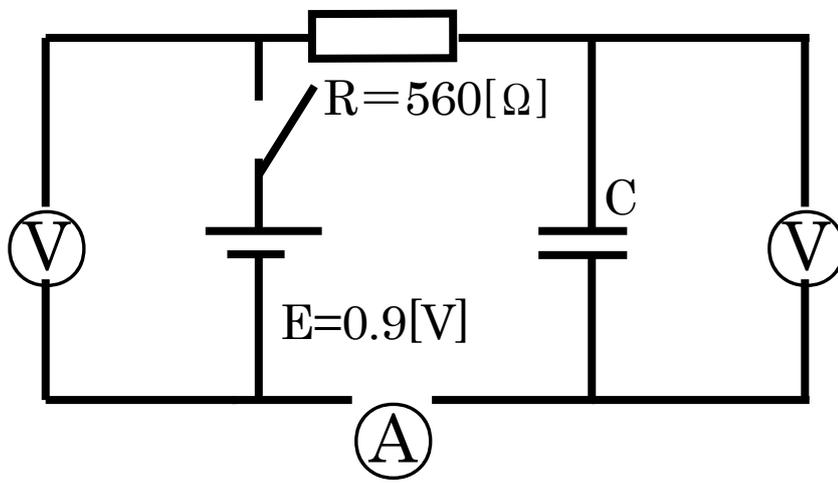
(3) 静電容量の測定

測定に用いたのは図2の回路である。コンデンサを充電するのにかかる時間から静電容量を求める。

コンデンサと抵抗値560[Ω]の抵抗を直列に繋ぎ、直流安定化電源で電圧 $E=0.9[\text{V}]$ の電圧を回路に加える。この時、コンデンサの電圧が $0.632E[\text{V}]$ に到達するまでの時間を $t[\text{s}]$ とすると、 $RC = t$ が成り立つ。したがって、コ

ンデンサの電圧が $0.632E=0.57[\text{V}]$ に到達するまでの時間 $t[\text{s}]$ を計測し、 $C = \frac{t}{R}$ からコンデンサの静電容量 C を求

めた。なお、充電は急速に進むため、ある瞬間における電圧計の値を目視で読むのは難しい。そこで、電圧計の針が振れる様子をカメラで撮影した映像を解析して電圧計の振れを読み取り、 t を算出した。



(図 2) 静電容量測定のための回路

3. 研究内容

まず、スライムに含まれる PVA は静電容量と関係があるのかどうか調べるため、PVA の濃度を変えた場合の容量を測った(実験 1)。また、容量を大きくするためには極板に吸着するイオンの数を増やせばよいと考えた。スライムの導電率(電流の流れやすさを示す値)を測ったところ(実験 2)、含まれるホウ砂の量が多いほどイオンの数も増えることがわかった。そこで、ホウ砂の濃度を変えてコンデンサを製作し、その容量を測った(実験 3)。

(1) 実験 1 PVA の濃度と静電容量

4.0[m] の蒸留水にホウ砂を溶かした濃度 1.0[%] の溶液と、4.0[m] の蒸留水に洗濯のりを溶かした PVA 濃度 5.0 ~ 7.0[%] の溶液とを混合してスライムを作った。そのスライムでコンデンサを作り、静電容量を計測した。

(2) 実験 2 ホウ砂の濃度と導電率

ア. 導電率の測定

10[m] の蒸留水にホウ砂を溶かし、濃度を 0.2 ~ 3.0[%] で変えた溶液と 10[m] の蒸留水に洗濯のりを溶かし PVA 濃度 5.0[%] にした溶液とを混合しスライムを作った。

スライムに幅 $w=4.5 \times 10^{-2}$ [m] の銅極板を極板間隔 $l = 1.0 \times 10^{-2}$ [m] で差し込み、極板の両端に交流電源にて電圧 $V=10$ [V] を与える。そして、極板の溶液に浸かった部分の長さ h [m] と電流値 I [A] を測定した。 $IR = V$ より抵抗 R [Ω]、

$S = wh$ より極板が溶液に浸った面積 S [m^2] を求め、 $R = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{l}{S}$ より導電率 κ [S/m] を算出した。

なお、[S/m](ジーメンズ毎メートル)とは抵抗率の単位 [$\Omega \cdot m$] の逆数で、 $1[S]=1[\Omega]^{-1}$ である。

イ. 導電率の温度補正

実験 2-アを行っている最中に、実験 2-アでは温度による導電率の変化を考慮しておらず、データの信頼性が低い事に気づいた。そこで、次のような実験を行うことで温度係数を求め、データに温度補正をしようと試みた。温度係数とは任意の温度における導電率を一定の温度での値に補正するのに必要な数値である。

ホウ砂と洗濯のりをそれぞれ 4.0[m] ずつの蒸留水に溶かした、ホウ砂濃度 5.0[%] の溶液と PVA 濃度 5.0[%] の溶液を混合してスライムを作る。スライムの両端に銅極板を差し込み、スライムをヒーターで加熱しながら交流電源で 10[V] の電圧を加える。温度が 2.0[$^{\circ}C$] 上昇するごとに電流計の値を読み、記録した。導電率は極板がスライムに浸かった部分の深さ $h=0.60$ [m] として実験 2-1 の要領で算出した。

上記のように得られたデータをもとに、温度係数 α を求める。まず、温度と導電率が比例関係にあると仮定する。

基準とする温度を t_0 、温度-導電率直線の傾きを a 、切片を b とすると、温度係数は $\alpha = \frac{a}{at_0 + b}$ と表される。また、

任意の温度での導電率を κ_t 、基準温度 t_0 [$^{\circ}C$] での導電率を κ' とすると、補正式は $\kappa_t = \kappa' - \alpha(t - t_0)$ となる。

(3) 実験 3

4.0[m]の蒸留水にホウ砂を溶かし濃度を 0.2~3.0[%]で変えた溶液と 4.0[m]の蒸留水に洗濯のりを溶かして PVA 濃度 5.0[%]とした溶液を混合してスライムを作った。そのスライムでコンデンサを作り、静電容量を計測した。

4. 実験結果・考察

(1) PVA の濃度と静電容量

(表 1) PVA の濃度と導電率

PVA の濃度[%]	静電容量[μ F]
5.0	536
6.0	566
7.0	580

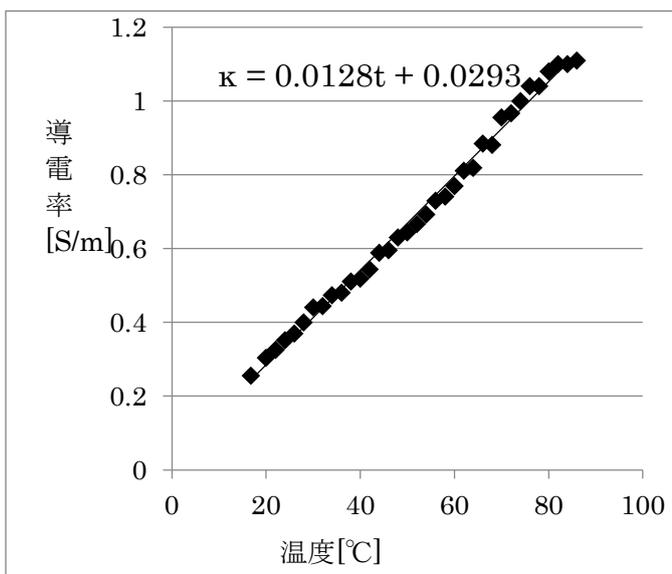
PVA の濃度を変えて測った実験では、容量に大きな変化はなかった(表 1)。したがって、PVA の量を変えても静電容量は増減しないといえる。これは、PVA の濃度を変えてもスライム中のイオンの数が変わらないためだと考えられる。

(2) ホウ砂の濃度と導電率

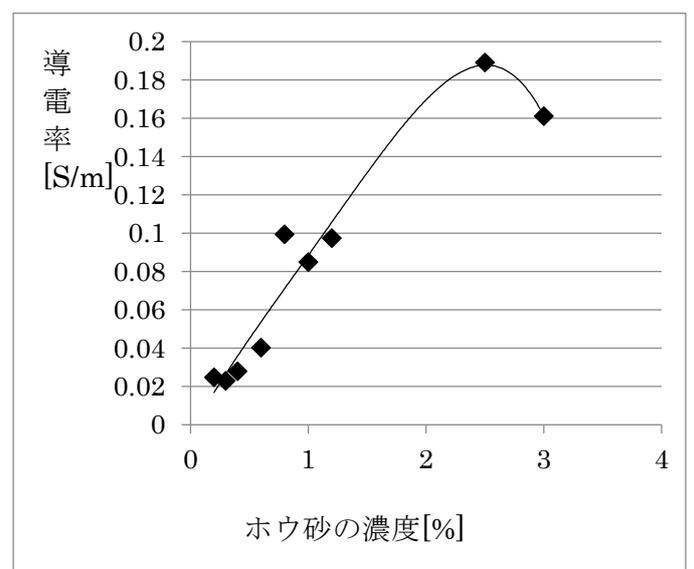
実験 2-イでは、仮定の通り温度と導電率はグラフ 1 のようにほぼ比例することがわかった。グラフ 1 は傾き 0.0128,

切片 0.0293 の直線で、式 $\alpha = \frac{a}{at_0 + b}$ において $a=0.0128, b=0.0293, t_0=25[^\circ\text{C}]$ とすると、温度係数は $\alpha=0.0366$ とな

る。これと式 $\kappa' = \kappa_t - \alpha(t - t_0)$ を用いて実験 2-アで得た導電率を 25 $^\circ\text{C}$ での値に換算した。



(グラフ 1) 温度と導電率



(グラフ 2) ホウ砂の濃度と導電率 (25 $^\circ\text{C}$ での値)

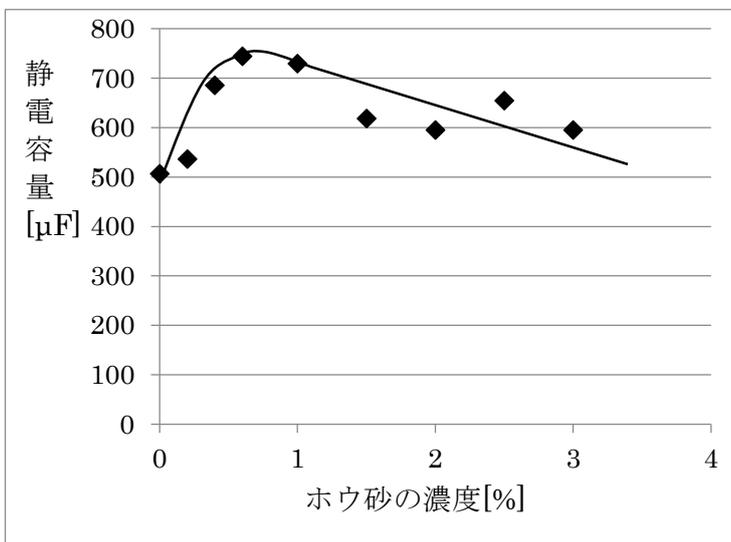
温度補正後、横軸にホウ砂の濃度、縦軸に導電率をとったグラフを上を示した(グラフ 2)。グラフ 2 では、 $\sim 2.5\%$ まではホウ砂の濃度と導電率はほぼ比例し、増加傾向にある。これは、スライム中に電荷の運搬を担うイオンが増

えたからである。また、2.5%から減少し始めているのは、イオンが増えたことでイオン同士が引き合う働きが強くなり、イオンの移動が妨げられるためだと考えられる。

このことから、ホウ砂の分量を多くしたスライムでコンデンサを作れば、極板に吸着できるイオンが増え、容量が増加すると推定した。

(3) ホウ砂の濃度と静電容量

ホウ砂の濃度を変えて静電容量を測った結果をグラフ3に示した。



(グラフ3) ホウ砂の濃度と静電容量

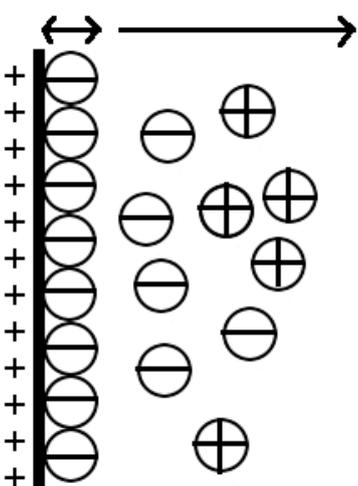
グラフ3では、濃度0~1.0%くらいまでは容量の増加が見られるが、それ以降はゆるやかに減少している。

グラフ2、3を参照すると、0%~1.0%の間では、導電率の上昇に伴い静電容量も増加している。ところが、1.0%を過ぎた辺りから、導電率が依然増え続けるのに対し静電容量は減少し始める。この理由を、次のように考える。

スライムの両端に電圧を加えた時の電極とスライムの界面の様子を図3に表した。図3では、一番左が正極板となっている。また、負の符号付きの丸印が陰イオンで、正の符号がついたものは陽イオンである。極板とスライムの界面にはイオン

が整列しており、これをシュテルン層と呼ぶ。また、シュテルン層より極板に遠い位置には電荷が偏って分布しており、これは拡散二重層と呼ばれる。電気二重層とは、シュテルン層、拡散二重層の2つの層で構成されるものをいう。

この時、シュテルン層、拡散二重層の2つの層でそれぞれコンデンサが形成されており、これらのコンデンサが直列に接続されたものが、電気二重層コンデンサである。

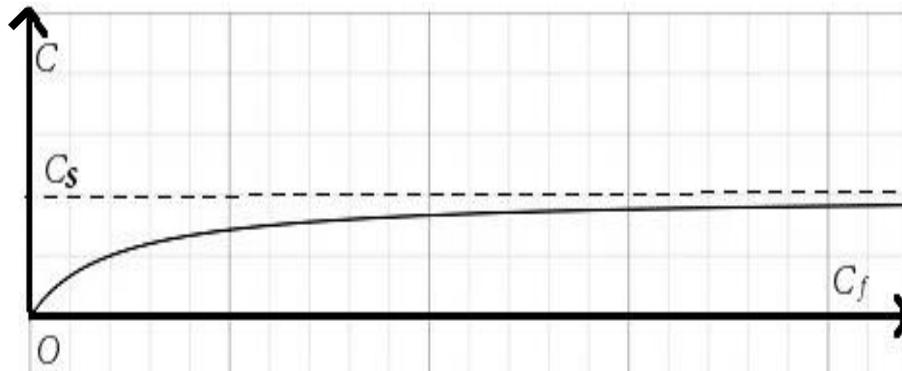


(図3) 電気二重層の様子

シュテルン層、拡散二重層で形成されるコンデンサの容量をそれぞれ C_s 、 C_f と

し、電気二重層コンデンサの容量を C とすると、 $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_f}$ となる。また、 C_s

は溶液の濃度に依存せず、 C_f は溶液の濃度の平方根に比例することが知られている。 C_s が一定の値だとすると、合成容量 C と拡散二重層の容量 C_f との関係はグラフ4のようになる。濃度が小さいうちは C_f も小さいため、全体の容量の変化率は大きくなる。しかし濃度が大きくなるにつれ C_f が大きくなり、 C は C_s に近づく。一定の数値に収束するはずである。しかし、実際は収束せず減少していつているので、 C_s が何らかの理由で減少していくものと思われる。



(グラフ4) C_s 一定の場合の合成容量

5. まとめ

PVA の濃度は容量の増加には寄与しなかった。また、ホウ砂の濃度を増やすことで、一定の範囲では静電容量を増加させられることがわかった。容量の最大値は $744\ \mu\text{F}$ であり、 1mF という当初の目標には及ばなかったが、妥協できるくらいの値にはなった。しかし、シュテルン層の容量 C_s がどのように変化するかはまだわかっていない。

C_s を式の形で表せられれば、静電容量が最大となるホウ砂の濃度の値(今回の実験では 0.6%) が計算で求められるだろう。

6. 反省

今回の実験では、表面積を変えて静電容量を測定することができなかった。電気二重層コンデンサは、実用的には活性炭を電極、アルミニウム箔を集電極として用いており、～数十F程の超大容量を実現している。当初はスライムに活性炭を混ぜて容量の増加を試みたが、活性炭を入れるとうまくスライムが形成されないために、やむなく断念した。そこで、アルミ箔の表面積を増やそうと思い、サンドペーパーで削ったものを電極にしたコンデンサを作った。容量の増加が確認されたが、実験の定量化が難しく、スライムに何か工夫をして容量を増やそうという目的に沿わないため、詳細な実験は行わなかった。

測定については、精度を高めるべきであった。撮影に使用したカメラのフレーム数は 120fps (1 秒間に 120 コマ) で、目盛りを読むコマを 1 コマずらすと約 $15\ \mu\text{F}$ もの誤差につながってしまう。フレーム数をもっと多いカメラを使用すれば、より精度の高いデータが得られるだろう。

7. 参考文献

(1) 長崎国際大学薬学部薬学科 薬品物理化学研究室 資料 「生物物理化学」 pp. 1-2

<http://www.niu.ac.jp/~pharm1/lab/physchem/class3/2013supplement2.pdf>

(2) NEC トーキン 「スーパーキャパシタ」 pp. 36

https://www.nec-tokin.com/product/pdf_dl/super_cap.pdf

(3) 米山宏(昭和61年) 「電気化学」 大日本図書 pp. 25-30

(4) 電気の資格とお勉強 「RC 直列回路の過渡現象の解き方」

<http://eleking.net/study/s-transient/str-transient-rc.html>

(5) 堀場製作所 「よくある質問(Q&A)-導電率→測定→温度について」

<http://www.horiba.com/jp/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/the-story-of-ph-and-water-quality/qa-conductivity/measurement/2/>

アルミニウム電池の製作

—正極と負極で異なる電解質を使用することで寿命を延ばす—

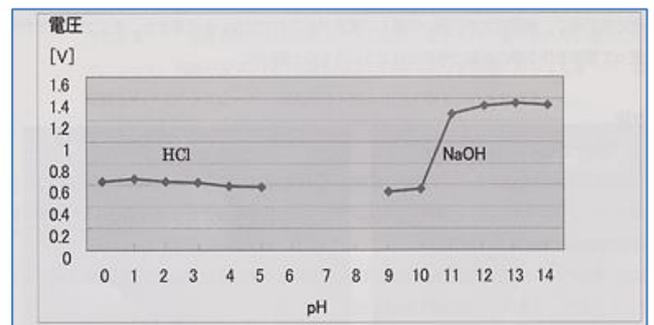
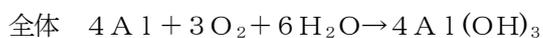
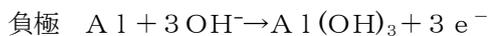
研究者：市瀬智也 塚田裕樹 本藤史浩

指導教諭：手塚理実

1. 研究概要および目的

私たちは学校で電池について学んだあとに、私たちの生活を支えている電池になぜAlが利用されていないのかと思った。現在、電池に使われている金属はMn、Ni、Pb、Liなどがある。Alは軽金属であり、三価の陽イオンであるので高い電圧を発生することが期待できる。加えてAlは地殻にO、Siに続いて3番目に埋蔵量が多い物質である。アルミニウム電池が開発されれば私たちの生活はもっと快適になるのではないかと思った。本研究の最大の目的をアルミニウム電池の電解質の種類やその濃度を変えることで電池の寿命を延ばしていくことにした。今回使用した電池は小、中学校の理科の実験でよく用いられる備長炭電池を参考にし、キッチンペーパーに電解質の水溶液を染み込ませるのではなく、電解質の水溶液中に直接、正極の備長炭と負極のAlなどの金属を入れて実験をした。そうすることによって電解質と金属の比較をしやすくした。

過去の先輩の研究より酸性の電解質よりも塩基性の電解質が高い電圧を発生させること（図1）がわかっていたので入手しやすいNaOHをまずは電解質として使用した。また今回は正極を酸素（備長炭）とする空気アルミニウム電池の研究をした。その反応式は以下になる。



（図1）電解質のpHと起電力の関係

この研究の大きな目的としてAlを使用することを前提としているが、そもそもAlが負極に用いる物質として他の物質より優れているかどうかを確認しようと思った。また、この電池の電圧低下の原因が負極のアルミニウム板の周りでOH⁻とAl³⁺が反応して、Al(OH)₃または[Al(OH)₄]⁻（テトラヒドロキシドアルミン酸イオン）が生成しているからと考えた。それを防ぐ対策として以下の二つの方法をとった。

- ① 負極側を素焼き板で囲い、その中に酸性または中性の電解質を入れて、Al(OH)₃の生成の阻害を試みた。
- ② 負極側を陽イオン交換膜（陽イオンのみを通す特殊な膜）で囲い、Al³⁺とOH⁻が接触しないようにし、Al(OH)₃の生成を防いだ。

2. 研究内容・実験方法

研究の内容は大きく6つに分けられる。

実験1：正極に使用する備長炭の大きさ（図2）による電圧の変化

実験2：負極に使用する金属板の比較

実験3：電解質の比較

実験4：電解質水溶液をスターラーで攪拌させながら電圧測定

実験5：負極を素焼き板で囲い、正極と負極に異なる電解質を使用し
ての電圧測定

実験6：負極を陽イオン交換膜で囲い、正極と負極に異なる電解質
を使用しての電圧測定



(大) (中) (小)

（図2）使用した備長炭

尚、今回の研究において私たちは実験4～6を主として研究をした、電圧測定のために卓上テストはGBW-9000Aを、モーターは光電池専用モーターH-158（モーターの仕様 電圧：標準電圧0.4～1.5v 臨界電圧1.5v 電流20mA（空転時））を使用した

実験1 理科の実験でも使用される備長炭電池を使用して、備長炭の大きさが電圧低下に関係しているかを調べた。（備長炭電池とは備長炭に飽和食塩水で濡らしたキッチンペーパーなどを巻きその上にアルミホイルを巻き付けて制作する電池である。）正極に大中小の3種類の備長炭（図2）を用い、負極に同じ大きさのアルミニウムホイルを巻き、電圧を測定した。また同様の備長炭を用いモーターを回路の中に接続し回転時間を測定した

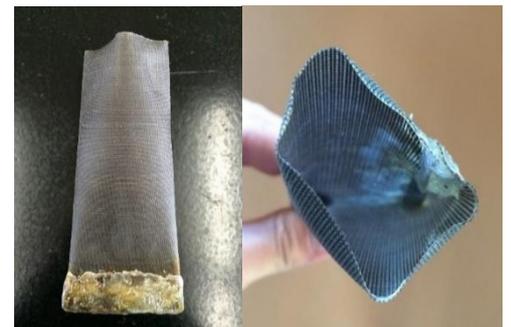
実験2 電解質に水酸化ナトリウム水溶液0.1mol/L、正極に同じ備長炭を使用し、負極の金属をAl、Mg、Pb、Cu、Znにそれぞれ換え電圧を測定した。さらに電圧と持続性が同じくらい高かったAlとMgをもう一度実験した。

実験3 正極に備長炭、負極にアルミニウム板（1cm×1cm×0.5mm）を使用し、電解質を水酸化ナトリウム、塩酸、食塩水、塩化アルミニウム水溶液、硫酸、硝酸にそれぞれ変え電圧を5分間測定した。

実験4 実験3の途中で溶液をかき回すと低下した電圧が再び上昇するという発見をした。主に正極ではなく負極の周りの水溶液をかき回すと電圧が回復した。またその発見を検証するためにスターラーで溶液を攪拌しながら電圧を測定した。

実験5 素焼き板の中に実験4で起電力と持続性が高かった塩化アルミニウム水溶液1mol/L、食塩水1mol/Lを100ml入れ、ビーカーの中には水酸化ナトリウム0.1mol/Lを400ml入れ、正極は同じ備長炭、負極はアルミニウム板（1cm×1cm×0.5mm）を使用し電圧を30分間測定した。

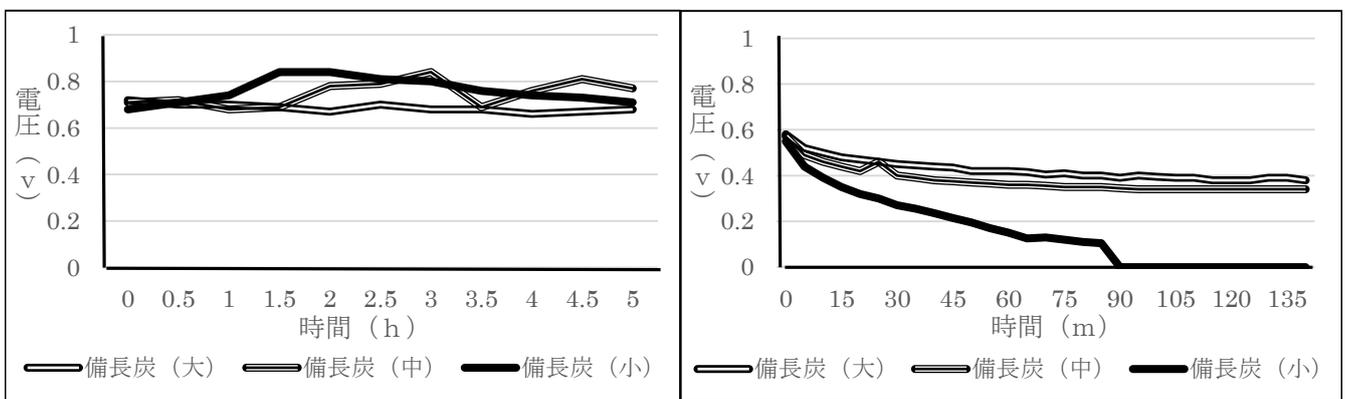
実験6 陽イオン交換膜をホットボンド（樹脂製の専用接着スティックを熱で溶かして接着する道具）を用いて筒状にし（図3）、その中に実験5と同様の電解質を入れて正極は同じ備長炭、負極はアルミニウム板（1cm×1cm×0.5mm）を使用し電圧を30分間測定した。



（図3）筒状にした陽イオン交換膜

3. 実験結果

実験1 グラフ1-①はモーターを接続せずに備長炭電池の電圧を測定した結果である。長時間測定しても変化があまり見られなかったため今度はモーターを接続して測定した。その結果がグラフ1-②である。開始直後の電圧はどれも同じであったが時間が経過するにつれて備長炭（小）の電圧が低下した。その結果から備長炭が大きい方つまり酸素の量が多い方または表面積が大きい方が持続することが分かった。

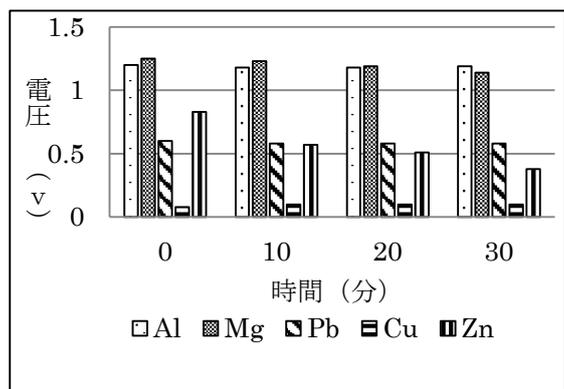


（グラフ1-①）モーターを接続しない場合の備長炭電池の電圧低下

（グラフ1-②）モーターを接続した場合の備長炭電池の電圧低下

実験2 グラフ2はモーターを接続せずに負極に5種類の金属板を使用して電圧を測定した結果である。グラフから分かるようにAlとMgが同程度の高い起電力と持続性を示したので、今度はAlとMgにモーターを接続し電圧を測定した。その結果が表1である。モーターを接続すると電圧がMgよりもAlの方が高いということが分かる。Mgの電圧が0に近

かったのは、モーターの抵抗値が小さく回路がショートに似たような状態になったからだと思う。Alはモーターを抵抗として接続したときMgより電池として電力を取り出しやすいと分かった。



(グラフ2) 各金属板の比較

	0分	5分	10分	15分	20分	25分	30分
Al	1.27	0.98	0.89	0.83	0.76	0.70	0.64
Mg	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(表1) AlとMgの電圧比較

実験3 グラフ3がこの実験の結果である。

NaOH 1.0mol/L、AlCl₃ 1.0mol/L、NaCl

1.0mol/L、NaOH 0.1mol/L、HCl 0.1mol/Lの

順に起電力が高かった。この結果から先行研究の結果と一致し同じモル濃度で比較した場合NaOHが一番起電力が高く、持続性がある

ということが言える。また、H₂SO₄やHNO₃は

全く起電力が得られなかった。電解質水溶液

は濃度を濃くすると起電力が上がると考えら

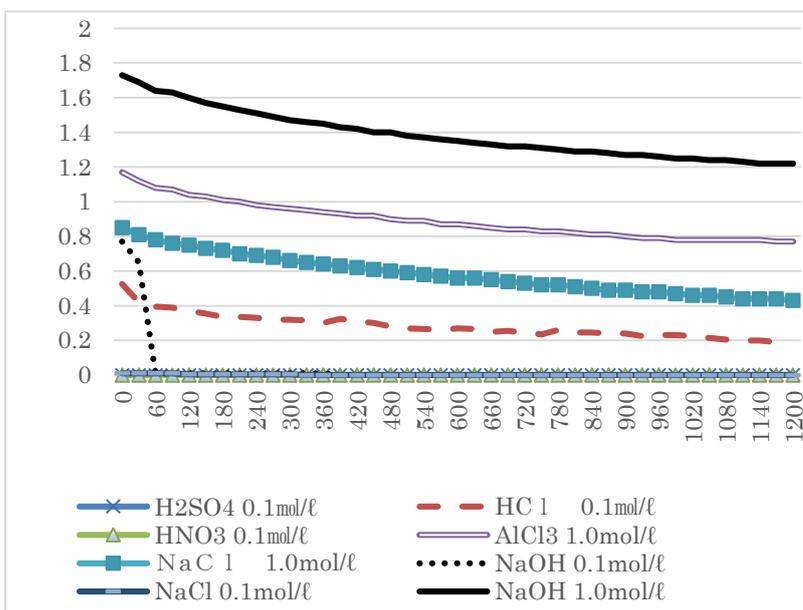
れる。特にNaOHはAlCl₃よりも起電力の上昇

が著しい。酸の中でもHClは起電力が得られ

るのでCl⁻の存在が起電力と関係あるのでは

ないかと考えられる。この実験からNaOHとAlCl₃

が特に適しているということが分かった。



(グラフ3) 各電解質水溶液の比較

H₂SO₄とHNO₃は起電力が0~0.1であった

実験4 実験3の0.1mol/lのNaOHの電圧を測定していたときに、何度か低下した電圧が急上昇することを確認した。そ

こでガラス棒で負極(アルミニウム板)と正極(備長炭)のそれぞれの周りの水溶液を攪拌したところ負極(アルミニウム

板)の周りを攪拌したときに低下した電圧が上昇することが分かった。よってアルミ板の周りに電圧低下の原因となる

物質が生成していると思った。そこで溶液を攪拌し続けたら電圧低下を防げるのではと思い、溶液をスターラーで攪拌し

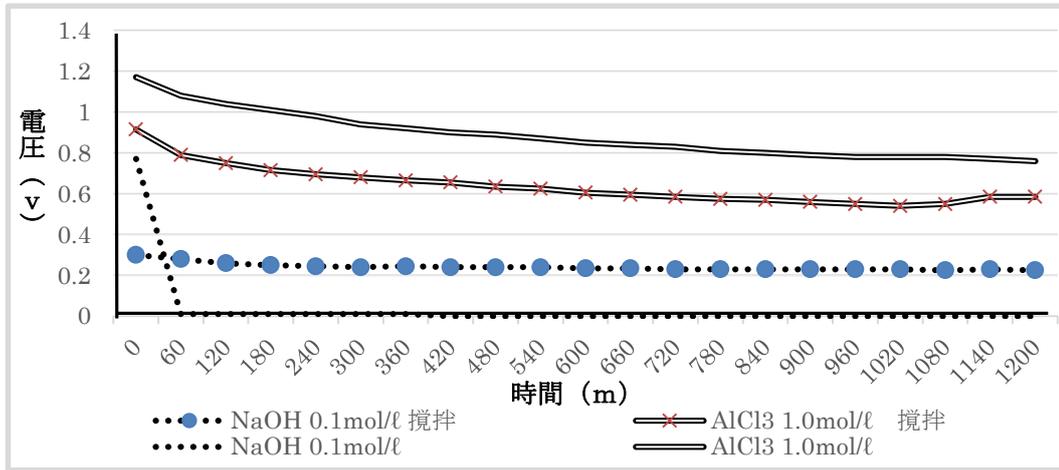
ながら電圧を測定した。その結果がグラフ4である。AlCl₃の場合は攪拌してもあまり電圧低下を防がなかったが、時間が

たつにつれて攪拌したものとしないものの電圧差は小さくなった。NaOHの場合は攪拌した時は電圧がとても低くなってし

まったが、電圧低下はほとんど起きなかった。NaOH水溶液は攪拌すると電圧低下を防げる。AlCl₃水溶液は攪拌した場合と

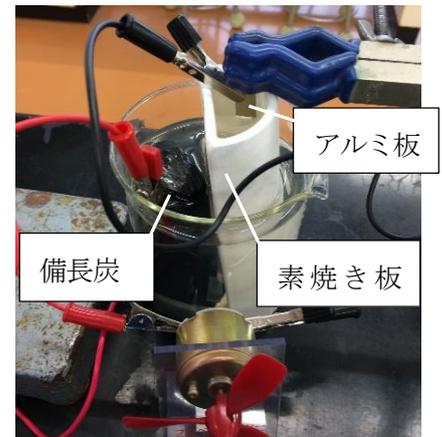
しない場合で電圧低下の様子は変わらない。NaOH水溶液を使用したとき負極(アルミ板)にAl(OH)₃または[Al(OH)₄]⁻(テ

トラヒドロキシドアルミン酸イオン)が生成していると考えた。

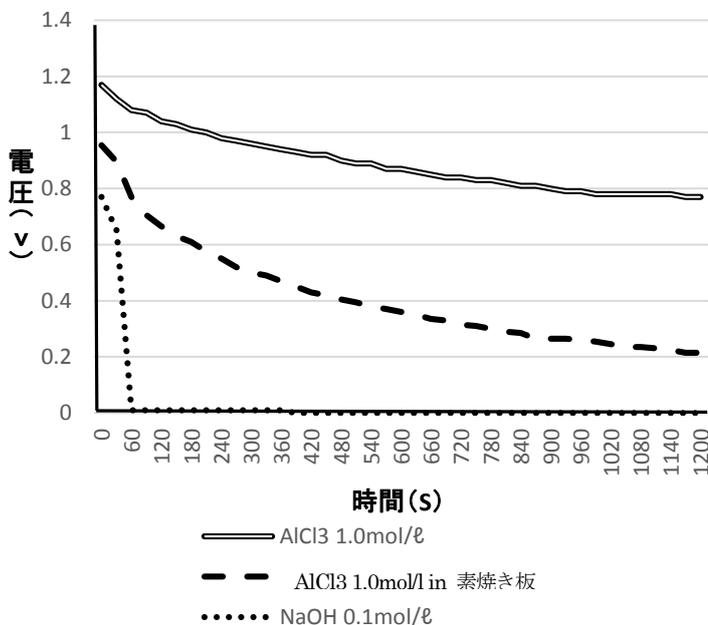


(グラフ4) 電解質水溶液を攪拌させながらの電圧変化

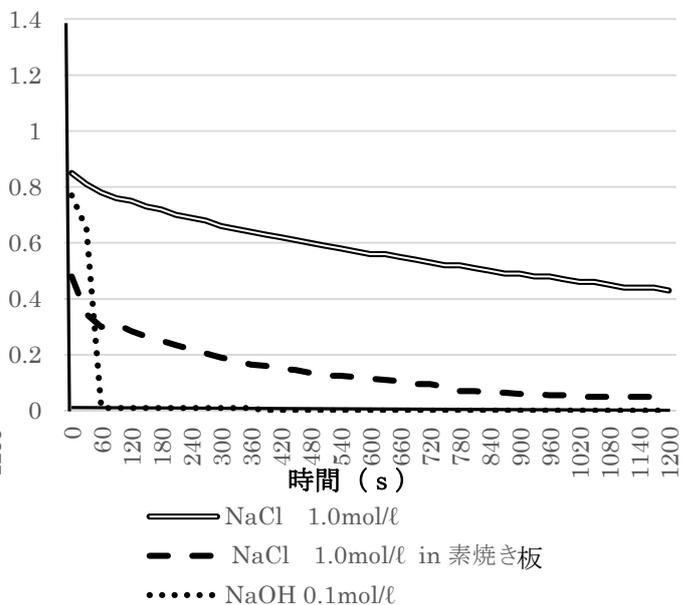
実験5 この実験はこのような形で行った。(図5) 0.1 mol/l のNaOHを使用した時より素焼き板で負極を囲み、その中にAlCl₃やNaClを入れた時の方が持続性も起電力も良いという結果が得られた。(グラフ-5) しかし素焼き板を用いたときよりも素焼き板を用いずに各水溶液だけで実験を行ったときの方が電圧低下が緩やかであるという結果にもなった。素焼き板によって電解質を正極と負極とで変えてもあまり電圧低下を防ぐ効果がないということが分かった。また素焼き板を使用したものの起電力が低かった原因は、正極と負極とで異なる電解質を使用したことであると思った。そこで水酸化物イオンとアミニウムイオンを完全に接触させないために素焼き板の代わりに陽イオン交換膜を使用することにした。



(図5) 実験5の実験形式

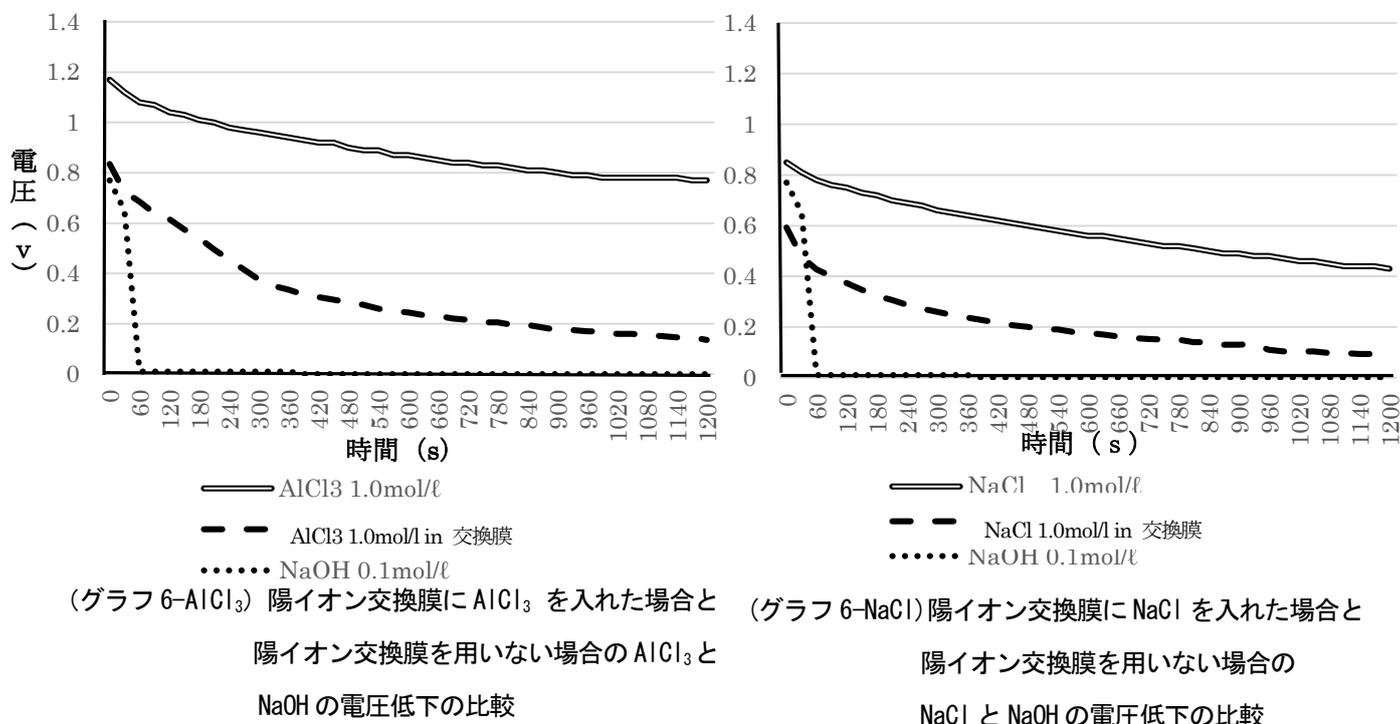


(グラフ5-AlCl₃) 素焼き板にAlCl₃を入れた場合と素焼き板を用いない場合のAlCl₃とNaOHの電圧低下の比較



(グラフ5-NaCl) 素焼き板にNaClを入れた場合と素焼き板を用いない場合のNaClとNaOHの電圧低下の比較

実験6 この実験も図5（素焼き板ではなく陽イオン交換の筒）のような形で行った。各グラフより陽イオン交換膜を用いた場合も素焼き板を用いた場合と同様に中に0.1mol/lのNaOHよりは持続性や起電力は高かったものの、イオン交換膜の中に使用した各溶液だけの方が持続性と起電力が高かった。素焼き板も同様に中に入れた水溶液だけの方が持続性と起電力が高かったので、正極と負極に異なる電解質を用いると起電力が若干低下すると分かった。



4. 総括

今回私たちはアルミニウム電池が製作されない原因が OH⁻ と Al³⁺ とが反応して Al(OH)₃ またはテトラヒドロキシドアルミニウム酸イオンが生成されることによる電圧低下だと思い研究を進めてきた。それを防ぐために素焼き板や陽イオン交換膜を用いて正極と負極で異なる電解質を使用して負極に塩基性溶液を用いないことにした。しかし正極と負極とで異なる電解質を用いても電圧低下はおきてしまった。また NaOH 1.0 mol/L 結果が私たちの考えた方法よりも起電力と持続性が高かったので陽イオン交換膜や素焼き板の周りに使用する NaOH の濃度を高めれば、より良い結果が得られると思った。

今回の実験の結果より AlCl₃ 水溶液を使用したときにも高い起電力が得られたので電池について調べてみたところ、一般的に使用されているアルカリ乾電池やマンガン乾電池には負極に Zn、電解質に ZnCl₂ 水溶液や KOH 水溶液を使用していることが分かった。Al は今回の実験では主に 1 cm² を電解質に浸しただけであったが起電力は十分に得られることが分かった。そのことから、Al は反応性が高いということがいえ、電池には適していると言える。また、電解質の濃度を濃くすると起電力が大きくなった。

5. 今後の課題

実験6でビーカーの中を ZnCl₂ などの他の電解質にしてもっと多くの組み合わせで電圧を比較していきたい。今回の実験ではあまり長い時間電圧を測定できなかつたので、一日電圧を測定して電圧が0になるまで測定したい実際に電池に利用することができるか検証したい。また二次電池も製作していきたい。まだ私たちの研究にはやっていないことがたくさんあるのでこれからも鋭意、研究を続けていきたい。

6. 参考文献

- 1) 海沼直紀 (2008) 他2人「アルミニウム電池」H19年度長野県屋代高校 SSH 課題研究報告書 pp. 19 - 22
- 2) 上林健一 (2009) 「よくわかる電池」 日本実業出版社

謝辞 本研究にあたり、種々のご助言をしてくださった指導教諭手塚理実先生、試薬や情報のご提供をしてくださった富士色素株式会社様にここに深甚なる謝意を表します。

アリの「道しるべフェロモン」の抽出方法を探る

研究者：齊藤希 中島悠里 服部華乃 羽生愛海 柳澤華恋

指導教諭：堀内栄子

1. 研究動機・目的

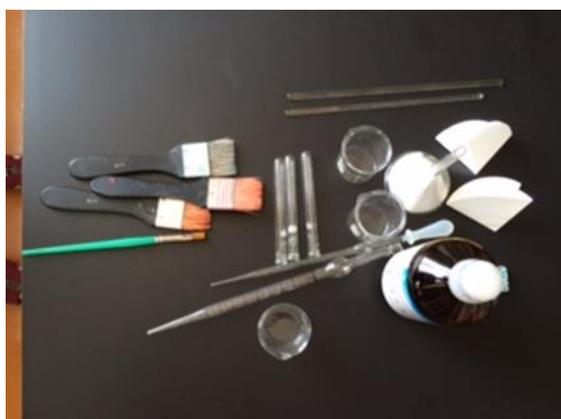
私たちは、身近な社会性昆虫であるアリに注目した。社会性昆虫とは、集団を作り、その中に階級が生じ、分業が行われて生活している昆虫である。また、そのような統率のとれた集団行動を成立させるしくみがフェロモンである。

フェロモンとは、動物の体内で生成され、体外へ分泌される化学物質であり、同種の個体間で一定の行動や発育を促すものである。特に昆虫で重要な役割を果たしている。フェロモンは、大きく分けて2種類に分類される。1つは、受容した個体の内分泌系に影響を与え、生理的な変化を引き起こす「プライマー・フェロモン」である。例として、「階級フェロモン」、「性周期同調フェロモン」などがある。もう1つには、受容した個体に特定の行動を誘発する「リリーサー・フェロモン」である。これの例には、「性フェロモン」、「集合フェロモン」などがある。「道しるべフェロモン」は後者に分類され、アリの腹部末端から分泌される物質である。他の個体は地面につけられたそれを触角で感知し、辿って歩く。アリが効率的にえさを運ぶため、えさから巣まできれいな行列を作る要因である。紙の上にアリの行列を作らせ、その紙をずらすと、多少遠回りになってもアリはずらす前に通っていたところを通る、という実験からもアリは「道しるべフェロモン」を辿ることがわかる。

生物の体内には無数ともいえる物質が含まれ、それらを化学的に分離・抽出するのは非常に手間がかかる。一方で生物は特定の物質に対し顕著な反応を示す場合があり、化学的な方法では検出できないような微量でも、生物の反応の程度から相対的な濃度を推測できることがある。これをバイオアッセイ（生物検定）という。このことをふまえ、「道しるべフェロモン」の抽出を予備実験として行った。しかし、抽出した液にアリは反応することがなかった。そこで、どのような条件ならば、上手く「道しるべフェロモン」の抽出ができるのか、研究した。

2. 研究方法

アリには様々な物質があるため1種類の抽出溶媒では数多くの物質が同時に抽出されるが、以下ではアリが抽出液の線上をS字の半分以上を辿ったら、「道しるべフェロモン」が抽出されたということとする。



(図1) 実験1での実験器具



(図2) 部位を分けたアリ（左から頭部、胸部、腹部）



(図3) えさを与えるためのアリ飼育の様子



(図4) 抽出用の試験管

<実験1：既存の抽出方法>(図1)

- ① アリを 20 匹捕まえる。
- ② えさを与えず 1 日おく。
- ③ 翌日、アリを 1 日冷凍する。
- ④ 冷凍したアリを頭、胸、腹の 3 つの部位に分ける。(図2)
- ⑤ それぞれをエタノール 1.0mL に浸してガラス棒でつぶし、10 分間抽出する。
- ⑥ 抽出液を筆先につけ、紙に S 字を描く。対照実験としてエタノールだけで S 字を描く。
- ⑦ 同じ種類のアリを抽出液の線上に置き、観察する。

<実験2：抽出用を増やす、空腹にさせない>

- ①で捕まえるアリを 20 匹から 30 匹に増やした。
- ②を無くし、捕まえたアリをそのまま冷凍した。
- ⑤で使用するエタノールを 1.5mL に変更した。

<実験3：冷凍せず、部位を分けない>

- ②、③を無くし、捕まえてからすぐに 1.5ml のエタノールに浸した。
- ④を無くした。

<実験4：溶媒を水に替える>

- ⑤で使用する溶媒をエタノールから水に替えた。

<実験5：抽出時間を増やす、木に塗る>

- ⑤の抽出時間を 10 分間から 15 分間に変更した。
- ⑥で抽出液を紙ではなく、野外の木の幹に塗った。

<実験6 - 1、2 : えさを与える、冷凍時間の短縮>

使用するアリを自分たちで飼育し、えさを与えてから捕まえた。(図3)

以降の実験では、このアリを使用する。

③で、アリの動きを止めるために数分冷凍した。

<実験7 : 死んだ個体から抽出>

実験6の方法で、死んでいるアリを使用した。

<実験8 : 濃度を濃くする>

実験7でアリの数を30匹から60匹に変更した。

<実験9 : 濃度を薄くする>

実験8で抽出された溶液にエタノールを4.5ml加えた。

以上の実験条件をまとめると、表1のようになる。

(表1) 各実験においての変更点 (+ : 処理あり / - : 処理なし)

実験 条件	1	2	3	4	5	6-1	6-2	7	8	9	
①抽出個体数 (匹)	20	30						60			
②えさ	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	
③冷凍	1日	1日	-	-	-	数分	数分	-	-	-	
④部位を分ける (頭、胸、腹)	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	
⑤抽出時間 (分)	10				15						
⑤溶媒	エタノール			水	エタノール						
⑤溶媒の量 (mL)	1.0	1.5						6.0			
⑥抽出液を塗る 場所	紙				木の幹	紙					
⑦結果	×	×	×	×	×	△	○	○	○	○	

3. 研究結果・考察

<実験1：既存の抽出方法>

「道しるべフェロモン」の分泌腺は腹部にあるといわれているが、どの部分の抽出液についても線を辿るという反応がなかった。考慮すべき要因として、まず、抽出量が足りず、紙に十分な量の抽出液を塗れなかったことが考えられた。また、アリにえさを与えなかったため、「道しるべフェロモン」を分泌する準備ができていなかったのではないかと考えた。この考察より、実験2では、アリを10匹増やし、エタノールを0.5ml増やすことで、抽出液量を増やし、捕まえてすぐ冷凍することで、アリが空腹でないようにした。

<実験2：抽出量を増やす、空腹にさせない>

腹部の抽出液において、触角で何か探るようなそぶりを見せた個体もいたが、抽出液の線を辿ることはなかった。この実験から、アリを冷凍保存する意味があるのか、という疑問と、この方法で本当に「道しるべフェロモン」は抽出できるのか、という疑問が出てきた。そこで実験3では、冷凍保存という工程をなくし、部位を分けずに、アリを丸ごと抽出することにした。

<実験3：冷凍せず、部位を分けない>

アリは反応しなかった。このことから、エタノールが抽出の溶媒に適していないのではないかと考え、別の液体に変えて、実験4を行った。

<実験4：溶媒を水に替える>

水で抽出しても反応しなかった。別の液体に変えても、アリの反応は変わらないことから、考慮すべき要因は、溶媒にはないことが分かった。そこで、抽出は多くの文献でも紹介されているエタノールで続行することとした。また、10分という抽出時間では、アリの「道しるべフェロモン」が十分に抽出できていないのではないかと考え、抽出時間を5分延長した。加えて、アリが警戒しにくいものに、抽出液を塗ったほうが反応するのではないかと考え、人工物の紙ではなく、木に塗ることとした。

<実験5：抽出時間を増やす、木に塗る>

多くの個体が、触角を使って何か探るようなそぶりを見せたが、線を辿るものはいなかった。ここで木に塗ることにより、もともと付着していたものなど抽出液以外の物質に対する反応を区別できないので、木に塗ることをやめ、紙に塗ることにした。また、えさを食べて、巣に帰るときと近い状態で実験させようと考えアリを飼育し、えさを与えてからアリを捕まえることにした。そして、「道しるべフェロモン」は腹部から抽出されることが文献よりわかったので、不純物を少なくするため、当初のように部位で分けることにした。

<実験6-1：えさを与える、冷凍時間の短縮>

5匹中2匹のアリが抽出液の線上を辿るように見えた。塗った液体が乾いてから、反応が顕著だった。この結果から、えさを食べて、巣に帰るときと近い状態で実験したので、反応が見られたのかもしれないと考えた。

<実験6-2：えさを与える、冷凍時間の短縮>

10匹中6匹のアリが抽出液の線上の半分以上を辿った。触角で何かを試すようにしながら線上を辿っていた。また、辿ったアリがほかのアリと触角どうしを当てるような動作をしていた。触角で受け取った情報をほかのアリに伝えているのではないかと考えた。しかし、アリが触角を触れ合う動作は、えさの情報の伝達ではなく、仲間であるかどうかを確認するものだった。違う種類のアリが出会うと闘争行動が見られる場合があるが、互いの触角が触れ合わなければ何事も起こらないという。

<実験7：死んだ個体から抽出>

10匹中8匹のアリが抽出液の線上の半分以上を辿った。この結果から、「道しるべフェロモン」を抽出するうえで、アリの生死は関係がないことがわかった。

<実験8：濃度を濃くする>

5匹中2匹のアリが抽出液の線上の半分以上を辿った。濃度を濃くしたことで、見られた変化は特になかった。

<実験9：濃度を薄くする>

5匹中2匹のアリが抽出液の線上の半分以上を辿った。アリが反応した時間が実験6よりも短かったことから、濃度を薄くすることは好ましくなかった。

4. 総括

これまでの実験より、次のような条件で抽出すると、アリは触角を使って抽出液の線上を辿る。まず、最低限のアリの反応を観察できたことから、抽出材料であるアリは30匹、溶媒であるエタノールは1.5mLでよいと考える。同様に、抽出時間は15分でよいと考えた。また、エタノールは、極性溶媒や有機溶媒などと自由に混和することができ、幅広い物質と混和できる。よって、使う溶媒はエタノールがよいと考えられる。次に、アリは部位を分け、腹部から抽出するのがよい。これは、「道しるべフェロモン」が、腹部末端から抽出されることがわかっているからである。以下に、改良した実験方法を提案する。

- ① アリを30匹捕まえる。
- ② えさを与える。
- ③ アリの動きを止めるため、数分間冷凍する。
- ④ 腹部のみを切り分ける。
- ⑤ エタノール1.5mLに浸してガラス棒でつぶし、15分間抽出する。
- ⑥ 抽出液を筆先につけ、紙にS字を描く。対照実験としてエタノールだけでS字を描く。
- ⑦ 同じ種類のアリを抽出液の線上に置き、観察する。

謝辞

本研究にあたり、指導教諭堀内栄子先生をはじめ、多くの先生方にお世話になりました。また、生物教室から多くの実験器具をご提供いただきました。本当にありがとうございました。

参考文献

- 1) 本川達雄・谷本英一 ほか 16名 「生物」 (株)新興出版社啓林館 pp.246-247
- 2) 桑原保正 編著「匂いと香りの科学」 (株)朝倉書店 p.18
- 3) 斎藤徹 編著、谷口和美・谷口和之 著「味と匂いをめぐる生物学」 (株)アドスリー pp.156-157
- 4) 松本洋介「スクエア 最新図説生物」 第一学習社 p.221
- 5) 「生物史から、自然の摂理を読み解く」 <http://www.seibutsusushi.net/blog/2012/08/1322.html>

ブレファリズマの色素の変性・遊泳速度と光の色・照度

-最も速く変性した光条件は青色の 10klux-

研究者：藤巻吹光明 伊藤史也 勝野知花 茂手木佑理

指導教員：轟和久

1. 研究概要

繊毛虫の一種であるブレファリズマ（ベニイロミズケムシ）は、急に強い光に当たると光を避けるように運動し、また光に長時間当たり続けると体内の色素が変色する反応を示す。この反応について、我々は光の色と照度に原因があるのではないかと思った。そこで、培養したブレファリズマに色と照度を変えながら光を照射し、光を避ける運動については行動を観察するために遊泳速度を、色素の変性については変色が完全に進むまでの時間を調べた。

2. ブレファリズマについて

繊毛虫の一種で、体長 150~500nm。細胞膜直下に多数のピンク色の色素顆粒を有する。この顆粒が含むブレファリズミンという色素は他の原生生物に対して毒性があり、捕食者である他の繊毛虫に対する防御物質として機能する。この毒性が、抗生物質では対処できない真菌感染症や原虫感染症に効果があるのではないかと期待されている。

ブレファリズマ自身は色素そのものに対する自己耐性を持つが、色素の光増感によって生成する活性酸素に対する自己耐性は持たない。そのため、ブレファリズマに強い光を当てると傷害を受け、死んでしまう。そのため、ブレファリズマは周囲の光強度の上昇において「光回避反応」を示すがこの時、光の受容体として機能しているのがブレファリズミンだと考えられる。ブレファリズマは活性酸素を防ぐのではなく、光から逃げて身を守るのだ。

また、酸素のある状態でブレファリズマに中程度の光を当てると、ブレファリズミンが変性して青色となり、さらに続けると色素が消失することが確認されているが、どの程度の光強度でそうなるのか先行研究には記述が見受けられなかった。この研究では、具体的にどの程度の照度・色でその現象が起こるのかを探り、この生物への理解を深める事を目的としている。

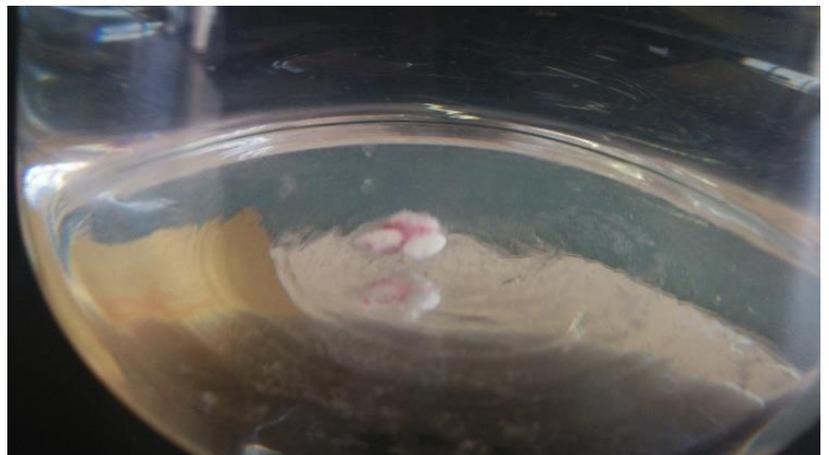


(写真1：ブレファリズマ)

3. 研究内容

①ブレファリズマの培養

まず、実験に用いるブレファリズマを確保するために、効率よく増殖させることを目的として培養した。屋代高校生物科で育てているものをいただき、培養液はチョコレート液（蒸留水 1L+塩化ナトリウム 10mg+塩化カリウム 4mg+塩化カルシウム 6mg+生米 2~3粒）を用い、20℃に設定したインキュベーター内で光を当てず培養した。



(写真2：培養中のブレファリズマ)

②照射実験

培養に成功したブレファリズマの中から活発に動いているものを一匹選び、スライドガラスの上に乗せたものにスタンドに固定したLEDライトの光を上から80分当てながら、10分おきにブレファリズマの色と遊泳速度を記録した。それぞれの実験においては、その都度新しくブレファリズマを換えて行った。

ブレファリズマに当てるLEDライトの光の条件は、色は赤色・青色・橙色・緑色、照度は5klx・10klxで実験した。照度は、照射対象であるブレファリズマと光源であるLEDライトの距離を変えることで調節した。色の変化は、顕微鏡を用いて目視で三段階（変色し始める→青色になる→白色になる）で記録した。遊泳速度は、顕微鏡の接眼レンズに設置したマイクロメーターの目盛の端から端までを何秒掛けて移動したかで記録した。

また、実験済みのブレファリズマが未実験のものと混入するのを防ぐために、別の培養液を用いてそれぞれ分けて管理した。



(写真3：実験装置)

4. 結果

5klx と 10klx で、それぞれ二回ずつ実験を行った。

①色素の変性

	色	0	10	20	30	40	50	60	70	80
5kLux 1	B			△						
	G			△						
	Y				△					
	R				△					
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
5kLux 2	B			△		○	◎			
	G			△			○		◎	
	Y			△					○	
	R					△				
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
10kLux 1	B		△	○	◎	死				
	G			△	○	◎		死		
	Y				△	○	◎	死		
	R				△				○	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
10kLux 2	B		△	○	◎	死				
	G		△	○	◎	死				
	Y			△				◎	死	
	R			△						

(表1：変色が完全に進むまでの時間)

△…変色開始

○…変色が進み、赤でないと判断

◎…完全に変色が進み、白色

死…ブレファリズマが死んでしまった

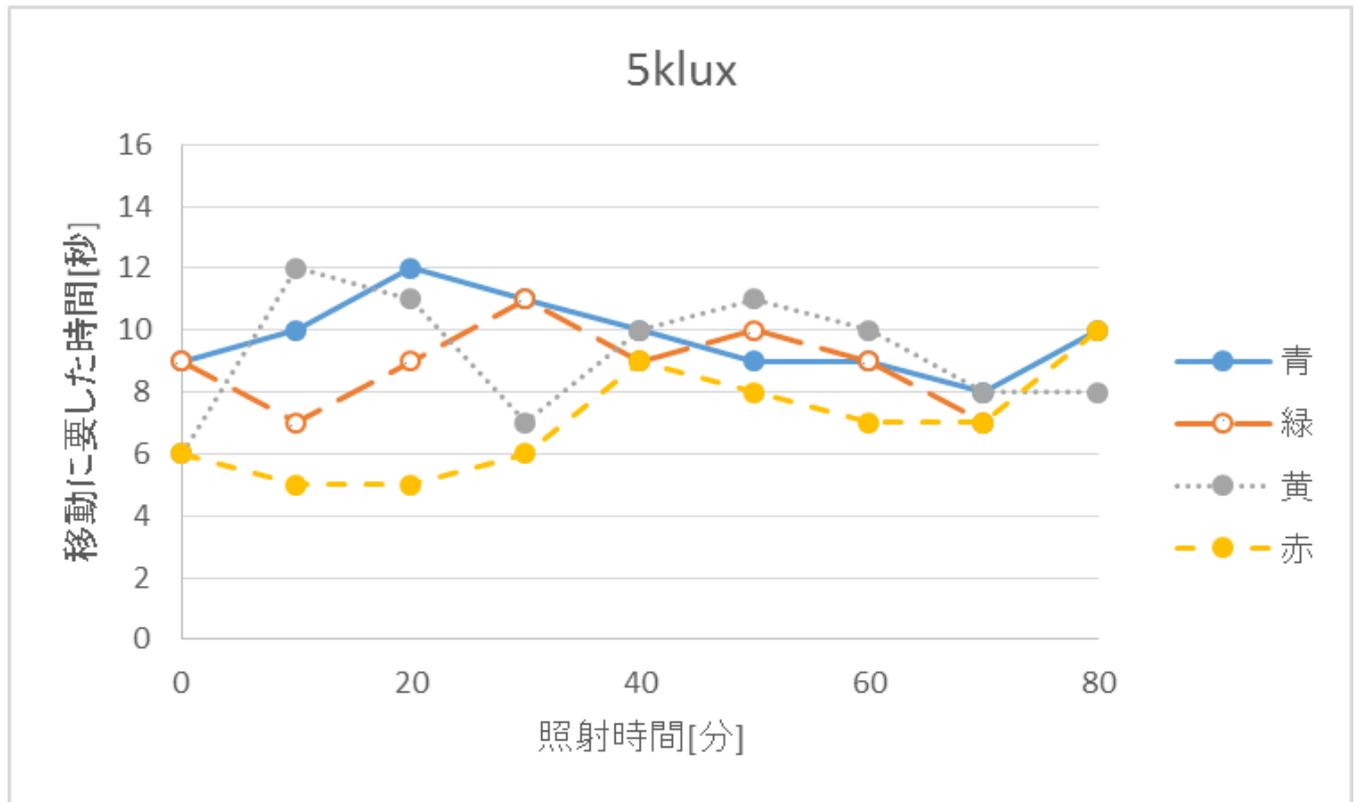
B…青色

G…緑色

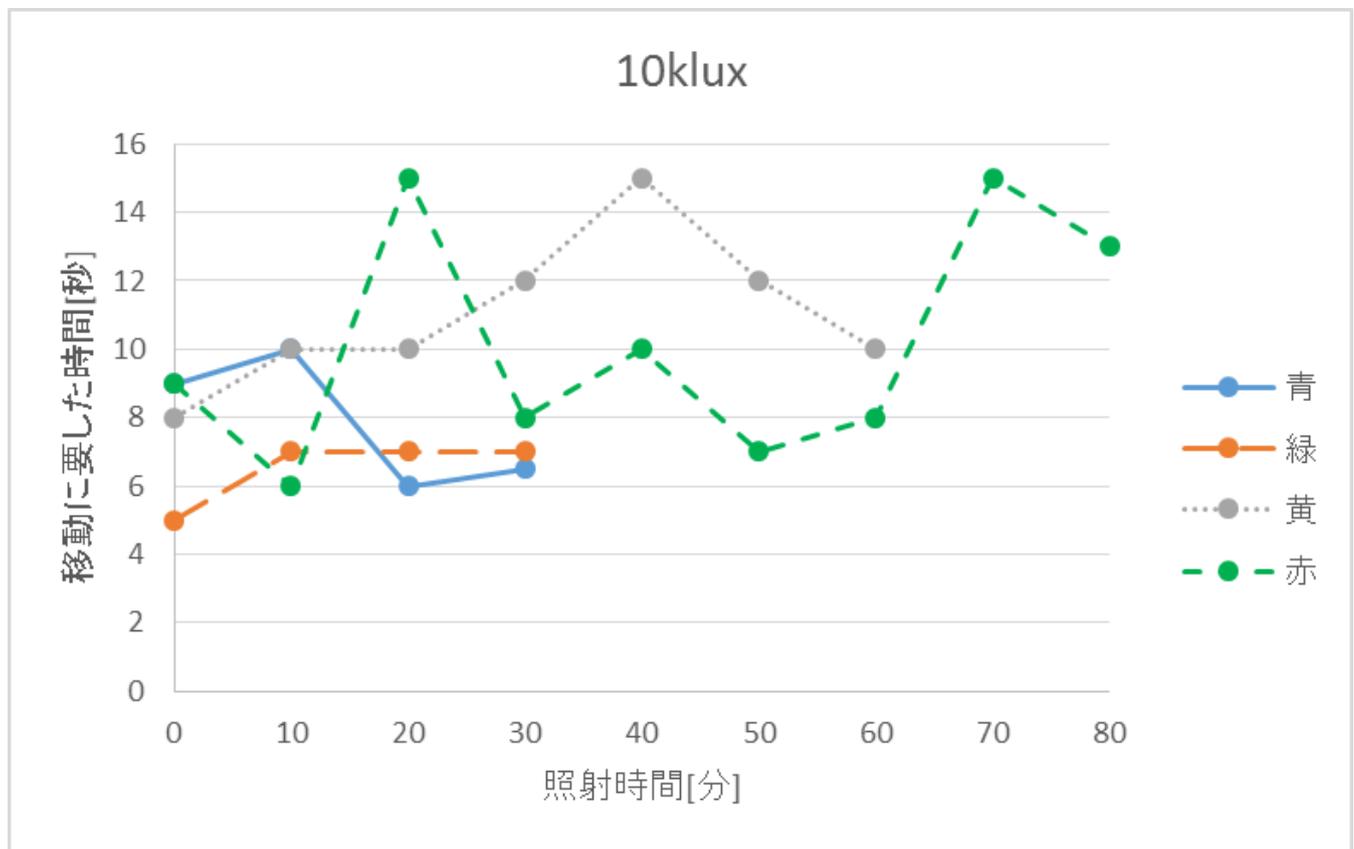
Y…黄色（橙色）

R…赤色

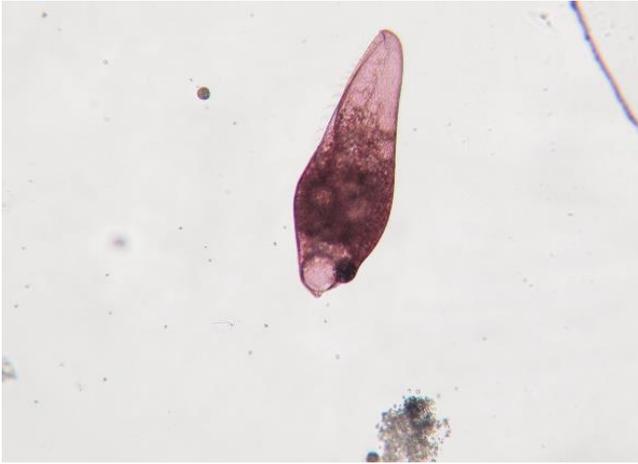
②遊泳速度 二回目のデータのみ示した。



(グラフ1：遊泳速度の推移 5Klx)



(グラフ2：遊泳速度の推移 10Klux)



(写真3 : 10klx 青色 LED 2回目 0分の時点)



(写真4 : 10klx 青色 LED 2回目 30分の時点)

5. 考察

①ブレファリズマの培養

先述した環境下で培養を試みた結果、ブレファリズマは増殖し培養は成功した。およそ三か月間は植え継ぎをせず放置してもブレファリズマの数は減ることはなかったが、それを過ぎると徐々にブレファリズマの数が減っていった。現在、残ったブレファリズマを再度培養している。

②光照射実験

表1より、光の色については青色・緑色・橙色・赤色の順に、照度は強ければ強いほど、色素の変性速度が速い事が分かった。色ごとの色素の変性速度の傾向をここに示す。

青色…5klx・10klxともに変色が完全に進んだ

緑色…5klx・10klxともに変色が完全に進んだが、青色よりは遅く変色が進む

黄色…10klx時に変色が完全に進んだ

赤色…5klx・10klxともに変色が完全に進みきらなかった

グラフ1・2より、遊泳速度についてはどの色・照度でもはっきりした相関は得られず、速くなったり遅くなったりを繰り返していた。光を長く当てれば当てるほど、光を避けるため段々動きが速くなるか光に弱って段々動きが遅くなるかのどちらかになると予想したのだが、実際には個体の栄養状態や光の刺激に対する慣れといった条件も関わっていると思われるので、遊泳速度については今回の実験方法では結論付けることが出来ないと考えている。

以上のことから、現段階ではこの研究について「最も速く変色する光条件は青色の10kluxである」と結論付ける事が出来る。

6. 今後の課題・展望

①最も速く変色した光が青色だったのは何故か

ブレファリズミンは光を当てない状態だと赤色をしている。つまり、ブレファリズミンは赤色の光を反射し、ほかの色の光を吸収しているということである。補色の関係から、ややピンクがかかった赤色の色素であるブレファリズミンは緑色の光をより吸収し、変色が速く進むだろうと予想して実験を行ったが、最も速く変色が進んだのは予想に反した青色の光であった。このことから、青色の光により反応したことについては疑問が残っている。

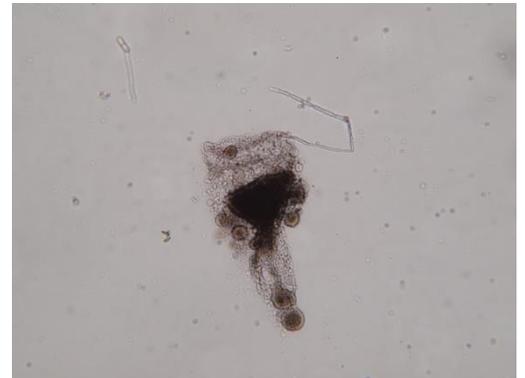
②ブレファリズミンの中ではどんな変化が起こっているのか

実験を進める中で、ブレファリズマの変色において論文通りの赤→青→白ではなく、赤→白と変色が進んだものが

少数だが確認された。この現象について考察したいのだが、今回はブレファリズマの色の変化を目視で判断したので、光を当てた際に色素「そのもの」がどのように変化していくのかについては全く調べられていない。目で見て観察できる変化だけでなく、ブレファリズミンに起こっている変化を調べられれば、さらに細かく変色が進む条件が分かるのではないかと考えている。

③防御機能は何 Klux まで機能するのか

10klx での実験において、完全に変色が進み白色になったブレファリズマに継続して光を当て続けると、10分~20分後にブレファリズマが死んで、潰れてしまうという現象が見られた。本来、変色という現象が光に対する防御機能として起こるにもかかわらず、変色後に死んでしまうということは「当てた光が強すぎて、防御機能が活性酸素に追いつかなかった」のではないかと考察しているが、10klx の光はブレファリズマの防御機能を以てしても強すぎたということであろう。照度を下げながら実験を行うことで、ブレファリズマが死んでしまう光照度の定量化が出来るのではないかと考えている。



(写真5：死んで潰れたブレファリズマ
10klx 青色 LED 2回目 40分の時点)

④白い光で実験を行ったらどうなるのか

今回の実験では、波長の限られた単色の光を用いて実験を行ったが、全ての波長を含む白色の光では未だ実験を行っていない。全ての波長を含む光の一つが太陽光であり、白色の光を用いた実験を行うことでブレファリズマの自然界における変色の傾向を知る糸口になると予想される。

7. 参考文献

- 1) 松岡達臣 (2001) 「絨毛虫ブレファリズマのキノン光センサーと光シグナリング」 pp.1-2 高知大学
- 2) 寺嶋晶代 (2008) 「絨毛虫 *Blepharisma japonicum* のもつ色素ブレファリズミンの特性 (1)」 pp.97-98 東海学院大学

謝辞

本研究を行うにあたり、顧問を担当して下さった轟先生をはじめとする多くの先生方にお世話になりました。本当にありがとうございました。

食べたヨーグルトの乳酸菌は腸まで生き残っているのか

—胃での消化でわずかに残って腸まで届く—

研究者：足立亮輔 小澤佑花 草間海 花立芽吹

担当教諭：西澤秀夫

1. 目的

近年健康食品として注目されている発酵食品について興味を持ち、そのなかでも乳酸菌について調べてみようと考えた。先行研究では、乳酸菌と、培地に含んだ糖の量には正の相関があるという研究があった。私たちは、①糖の量ではなく糖の種類を変化させると、培養できない糖が出てくると予想し、実験に取り組んだ。その上で②乳酸菌が生きて腸まで届くのかを確認し、その上で乳酸菌をいつ取り入れればよいのか、研究した。

2. 乳酸菌と糖

乳酸菌は、乳酸発酵を行う細菌の総称で、動物性乳酸菌と植物性乳酸菌の2種類に分けられる。ヨーグルトなどの乳製品に含まれている動物性乳酸菌は一般的にラクトースのみをエネルギー源にしているといわれている。ラクトースは、糖類の中でも二糖類に分類される。二糖類の代表的な例は、ラクトース（乳糖）、スクロース（ショ糖）、マルトース（麦芽糖）などが挙げられる。今研究では、乳酸菌として動物性乳酸菌を、糖としてラクトース、スクロース、マルトース、グルコースを使用した。

3. 予備実験

予備実験は、乳酸菌の培養に最も適している条件を探るために行った。また、コロニーをシャーレ上から計測しやすい希釈度を探るために行った。実験で使用した糖は、ラクトース、スクロース、マルトースの3種類である。

ヨーグルトはmeijiのLG 21（LG21乳酸菌を含む）、R1（R1乳酸菌を含む）の2種類、いずれもドリンクタイプのもので使用した。最近、前者は胃に生息するピロリ菌の除去に効果があると言われ、後者は免疫活性を高めインフルエンザの予防に効果があると言われている。

予備実験1 培地に種付けするヨーグルトの濃度を変化させて培養、コロニーをシャーレ上から計測しやすい希釈度を探る。培地はMR S培地（糖は単糖のグルコースのみが含まれている）を使用。

予備実験2 二糖類1種類を含んだ培地に、LG21乳酸菌とR1乳酸菌をそれぞれ種付けし、インキュベーター内で丸2日間培養する。その後計測を行った。

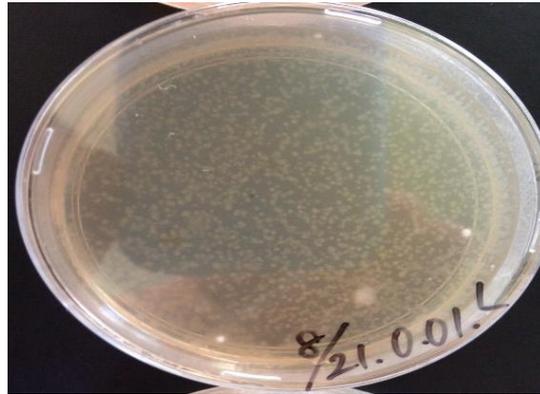
(1) 実験方法

手順1 実験1の希釈については原液1mLを蒸留水9mL入れた試験管に入れ10倍に希釈した、これを繰り返すことにより 10^7 倍まで希釈したものをそれぞれつくり、培養した

手順2 前日に作成した培地^①にヨーグルトを塗る。インキュベーター内に丸2日間放置する。その後計測を行った。
なお、インキュベーターの温度は乳酸菌を培養させるのに最も適した温度である 37°C に設定した。

(2)実験結果

1つのコロニーあたりに存在する乳酸菌の数はそれぞれ異なるが、今研究では全て同じ数であると仮定し、コロニーの数と乳酸菌の数は同じ意味であるとする。



(写真1 培養後のシャーレの様子)

①ヨーグルトの希釈度

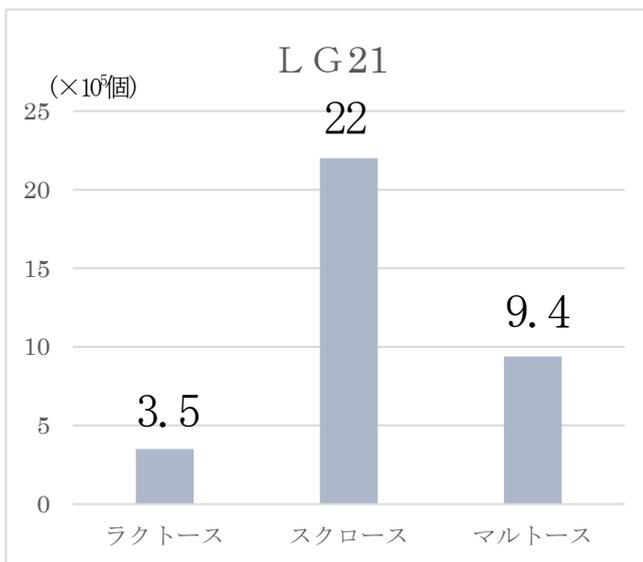
最も計測しやすい希釈度を○で、計測には不向きな希釈度を△で示す。(表1)

(表1 ヨーグルトの希釈度)

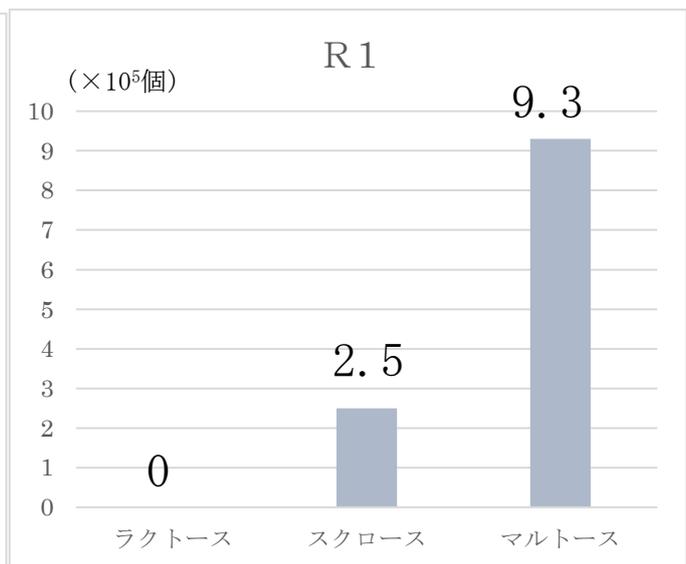
希釈度	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
	△	△	△	△	○	△	△

実験の結果、最も見やすい希釈度は10万倍であることがわかった。以後の実験の際は、ヨーグルトを10万倍に希釈して使用した。

②糖類の種類によるコロニー数の違い



(図1) シャーレ1個当たりのコロニー数 LG21



(図2) シャーレ1個当たりコロニー数 R1

実験の結果、R1乳酸菌については、先行研究のように、ラクトースで培養できなかったのは失敗だったが、ラクトース以外の二糖類でも培養ができることがわかった。今回使用したLG21、R1の乳酸菌は、二糖類を酵素で単糖に分解して利用できると思われる。つまり、乳酸菌を培養できる糖は1種類に限られてはいないということが言える。

4. 本実験

本実験は、①体内にヨーグルトが入った場合、乳酸菌の数は変化するのか、②形を観察するために行った。

本実験1 ヨーグルトが胃、腸の2カ所に入ってきたという状況で、胃腸内のpH、ヨーグルトが胃腸内に滞留する時間を再現して培養する。実験に使用した培地は培養によく用いられる単糖類のグルコースを含んだMRS培地を用いる。

本実験2 培養した乳酸菌と培養する前の乳酸菌を顕微鏡で観察した。

(1) 実験方法

手順1 1万倍に希釈したヨーグルトを、3種類のpH^{注2)} に調整した液で、更に10倍に希釈する。

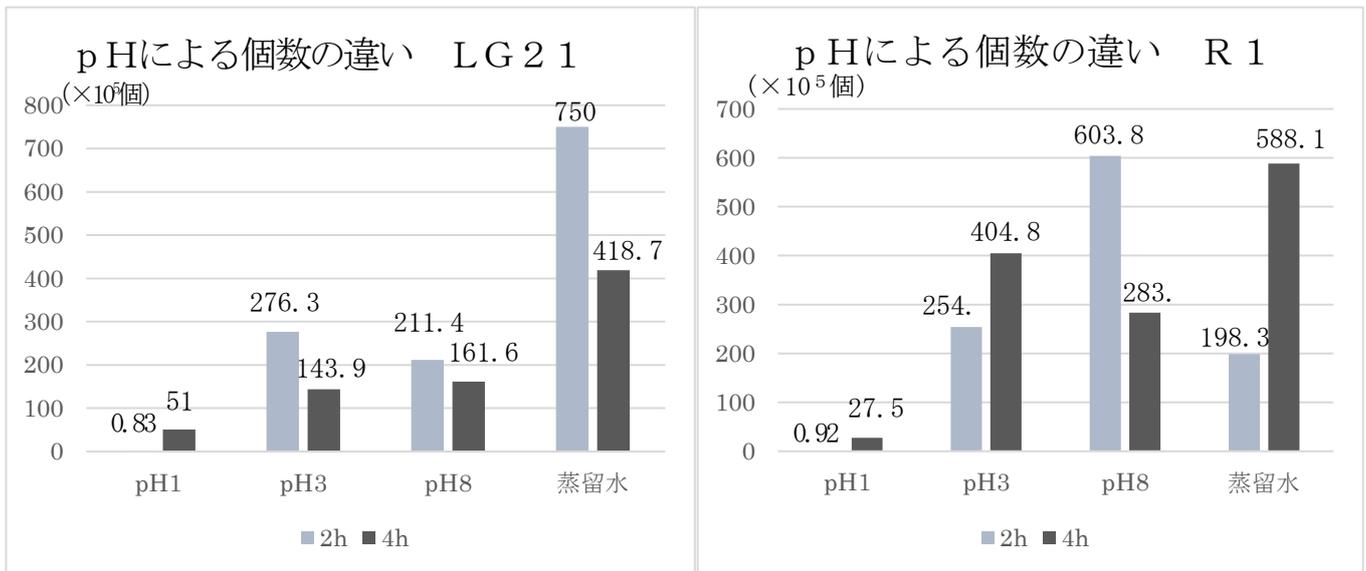
手順2 インキュベーターに一定時間放置^{注3)} し、1時間ごとにヨーグルトを振り混ぜる。その後種付け^{注4)} する。

手順3 インキュベーター内で、温度を37°Cに設定し、丸2日間培養する。その後計測^{注5)} を行った。

(2) 実験結果

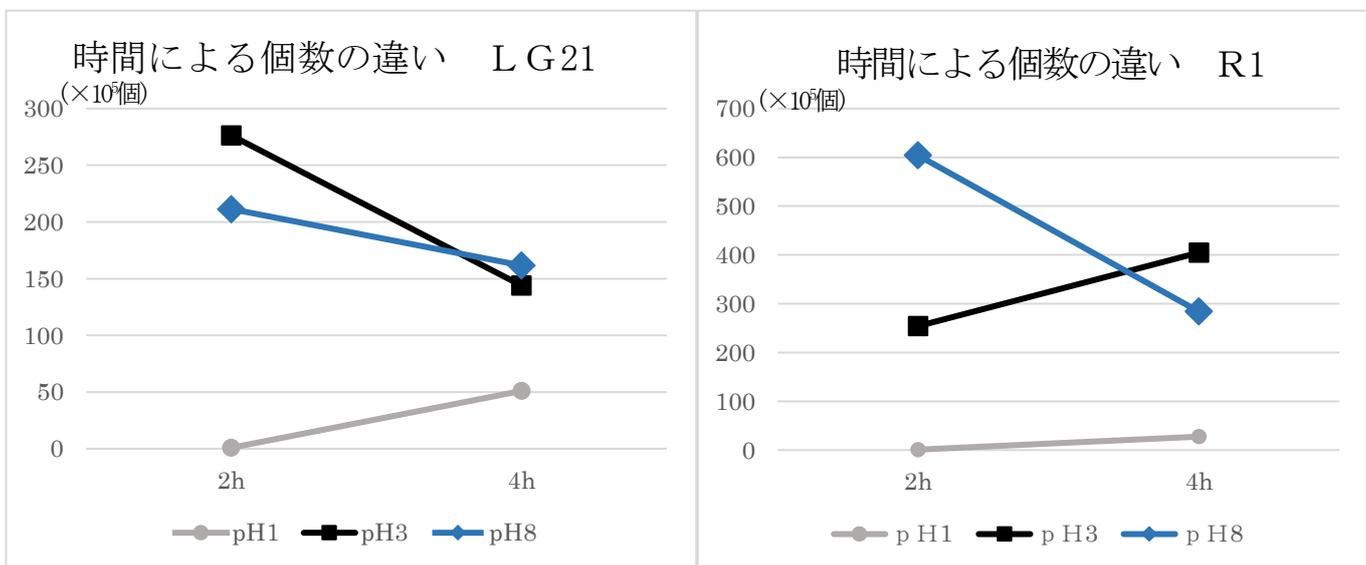
① pH、時間によるコロニー数の違い

コロニーの個数を計測。1つのシャーレあたりの個数を表にしてまとめた結果が以下の通り。



(図3) pHによる個数の違い LG21

(図4) pHによる個数の違い R1



(図5) 時間による個数の違い LG21

(図6) 時間による個数の違い R1

グラフ (図3) より、すべての pHにおいて、水と比べてコロニーの数が少なかった。グラフ (図4) より、放置時間が長い程、全般的に数は減少の傾向が見られる。

グラフ (図5) より、pH1はLG21と同様に、ほとんどできていなかった。(図6)より、R1乳酸菌は空腹時の胃の消化でほとんど残っておらず、腸に入った直後から時間が経つにつれてR1乳酸菌の数が減少することがわかる。

②乳酸菌の形状

LG21乳酸菌は形状に変化はなかったが、R1乳酸菌は培養前と培養後で乳酸菌の形状に違いがあった。培養前は細長く、培養後は球状だった。顕微鏡での観察の結果からR1乳酸菌ではなく、違う乳酸菌が多く残っていると考えられる。

5. 考察

糖の種類を変化させると、培養できない糖が出てくると考えたが、実際はどの糖であっても培養することができるとわかった。空腹時にヨーグルトを食べると、乳酸菌のほとんどが胃での消化によって死んでしまうが、食後に食べると、空腹時よりは乳酸菌が残っている。これは、空腹時よりも満腹時のほうが胃液のpHは大きくなるためと考えられる。よって、乳酸菌は生きて腸まで届いている可能性はある。しかし、その数は取り入れた乳酸菌に比べて少ないことがわかる。以上より、ヨーグルトを食べる際は、食後に食べることで効果的に乳酸菌を取り入れることが可能である。

また、今回使用したヨーグルトにはそれぞれ乳酸菌1種類のみが含まれていると仮定して実験を行ったが、複数の乳酸菌が含まれている可能性もある。

6. 引用文献

1. 「健康的な生活を送るために」 <http://www.websarga.com/kind.html>
2. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書 第6号 「自己調製酵母エキスでの乳酸菌培養」 p47~50 2011
3. 発酵食品から分離した乳酸菌の人口消化液耐
<http://www.sugiyama-u.ac.jp/univ/assets/docs/26ezaki-b.pdf#search>

注1 実験2で用いた培地には、MRS培地と糖を除いてほぼ同じ成分になるよう作成した。

注2 特定のpHは、HClで作成のpH1, pH3, NaOHで作成のpH8の計3種類。

pH1 胃の中に食物が入ってくる前、食物の消化が終わった時の胃液

pH3 食物を消化し始めた胃液

pH8 小腸のpH

蒸留水は対照実験のために使用した。

注3 インキュベーター内に放置する時間は2時間もしくは4時間。2時間は炭水化物が胃の中に滞留する時間。4時間はタンパク質が胃の中に滞留する時間。脂質は進行の予定上省略する

注4 クリーンベンチの中で行った

注5 各条件3個のシャーレで培養して計測し、平均をとった

校内で見られるつむじ風の発生要因

—局所的な対流と壁がつむじ風の発生に起因する—

研究者：久保田達哉 久保野谷歩 小林琴 近藤周 山本慶

指導教諭：清水寛

1 研究目的

私たちは学校内の建物付近で落ち葉が巻き上がる様子を見て、つむじ風¹が発生していることを認識していた。つむじ風については、先行研究より上下方向の気温差が発生要因とされていたが、校内でのつむじ風発生時に鉛直方向の気温を測定したところ、気温差が0.3℃という僅差であった。

そのため、つむじ風の発生には気温差以外にも原因があるのではないかと考え、つむじ風の発生要因について研究することにした。

しかし、空気(大気)を利用してつむじ風の現象を視覚化することが難しい点、定量的に実験が行えない点、周囲の環境要因を受けやすい点から実験方法に苦慮していた。そのような中、化学の実験時に用いたスターラーにおいて、攪拌子を回転させるとビーカーという閉ざされた空間の中で、水による下降水流が起こることを知っていた。これを利用できないかと考え、大気を水に、風を水流に置き換えて、つむじ風の発生要因について水の流動性を利用し解明することにした。

2 研究概要

本研究でのスターラーで水を攪拌することによってできる渦流は、2種類あることが確認できた。1つ目は、ビーカーや水槽に入った水を攪拌子で回すことで攪拌子上にできる渦流で、下向きの水流を形成する。これを渦流A(↓)とする。2つ目は、渦流A(↓)を直角の壁のある容器で発生させたときに渦流A(↓)とは別に発生する渦流で、カラーコードメディア²によって視覚化できる上昇水流である。これを渦流B(↑)とする。視覚化しづらい渦流B(↑)の発生については、カラーコードメディアの中で最もサイズが大きい2mmの黄色い粒子が上向きに巻き上がることであった。これらを利用し、気象条件、渦流A(↓)、渦流B(↑)を以下の実験により分析を行った。



写真1 カラーコードメディア

- ① つむじ風発生時の気象条件の測定
- ② ビーカーにおいて下降する渦流A(↓)の発生要因
- ③ 水槽を用いたモデル実験(壁、水流との関係)

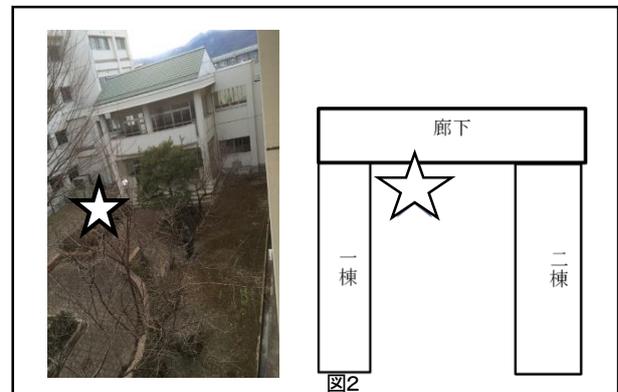
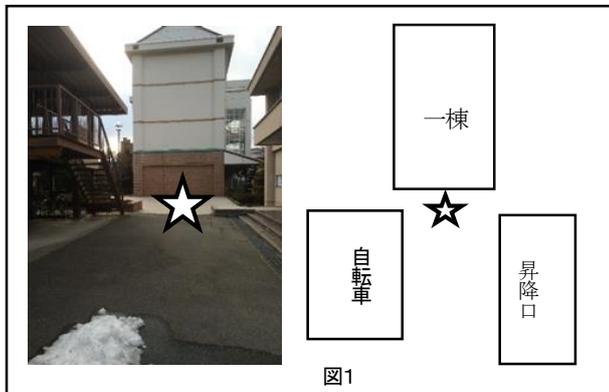
¹ つむじ風・・・地表付近の大気の上昇気流が発生し、これに水平方向の強風が加わるなどして渦巻状に回転しながら立ち上る突風の1種である。上端の高度は数10～100m程度で、海上では発生せず、下降気流を伴うこともない。似ている現象で竜巻がある。竜巻は、発達した積乱雲で上昇気流を伴う高速の渦巻きが発生し、それが地上付近にまで伸びたものである。

² カラーコードメディア・・・カラーコードメディア(正式名：Color-coded-by-size Modeling Media)とは、堆積物の流れを容易に観察することができるジオモデル中の、熱硬化性プラスチックを砕いた粒子である(写真1)。この粒子は4種類のサイズがあり大きさによってそれぞれ色分けされている。最もサイズの大きいものは黄色の粒子で2mm、最もサイズの小さいものは赤色の粒子で0.7mmである。

3 実験方法

① つむじ風発生時の気象条件の測定

本研究が注目しているつむじ風は、校舎や駐輪場の配置により閉鎖的な空間になっている場所(図1)で発生する。また校内の他の場所で見られたつむじ風のできる場所も校舎によって直角の壁を持ち、同じような空間になっているといえる(図2)。いずれの場合も、地上から10cm以上、落ち葉が巻き上がる状態をつむじ風発生とした。



大気中におけるつむじ風の原因を測定するため、つむじ風が起きる場所(図1)の、地表面と高さ8mの地点におんどとり(TR-73U 写真2)を設置し、気温、湿度、気圧を1秒ごとに測定した。これは先行研究の上昇気流によるつむじ風の発生要因の1つに上部と下部に温度差があることを踏まえ、校内のつむじ風発生時にもその要因を含んでいるかを検証した。



写真2 おんどとり

② ビーカーにおいて下降する渦流A(↓)の発生要因

攪拌子によって渦流A(↓)ができる原理は以下のように考えられる。スターラー(写真3)を用いて攪拌子を回すことで、攪拌子周辺の水が放射状に分散され、攪拌子周辺の水がなくなることで底部(攪拌子部分)が減圧される。その部分に上部の水が充填される。そして再びその水が攪拌、減圧が繰り返されることにより下降水流である渦流A(↓)が発生する。大気中で起きる下降気流を水中で起きる渦流A(↓)に置き換え、ビーカーを用いて渦流A(↓)の発生と水温、水圧との関係を測定した。1000mL ビーカーにそれぞれ200~900mLの常水、冷水、熱水を入れて、スターラーのヒーターを用いてビーカーの底を温め、渦流A(↓)が発生しているときに水面周辺とビーカーの底との温度差を放射温度計(写真4)で測定した。攪拌子上にできる渦流A(↓)がビーカーの底に着くまでの時間(秒)を測定した、渦流の速さは、以下の式を利用し定量した。



写真3 スターラー



写真4 放射温度計

$$[\text{水深(cm)}] / [\text{底に着くまでの時間(秒)}] = [\text{速さ(cm/秒)}]$$

③ 水槽を用いたモデル実験(壁との関係、水流との関係)

高さ 32cm×横 60cm×奥行 30cm の水槽中に 16.12L(深さを 9cm にするため)の水を入れ、水槽内に空間を作るためプラスチック板で壁を作り(写真 5)、スターラーと攪拌子を用いて渦流A(↓)を発生させることで、渦流B(↑)の発生状況を測定した。最初は攪拌子の回転速度は 22 回/s、壁の高さは 16cm で行い、以下の実験(1)~(4)より渦流B(↑)ができる位置の変化を測定した。



写真5 水槽を上から見た様子

実験(1) 攪拌子から壁までの距離を変えていった場合の渦流

攪拌子の中心から壁までの距離を 3~27cm に 3cm ずつ遠ざけていき、攪拌子の中心から渦流B(↑)のできる位置までの距離を測定した。

実験(2) 渦流B(↑)が出来ている状態で壁を外した場合

壁がある状態で渦流B(↑)が発生している場合、壁を外した時に渦流B(↑)がどうなるかを観察した。実験(1)と同様にスターラーで水を攪拌し渦流B(↑)を発生させたところで壁を取り外した。攪拌子の中心から壁までの距離は 9cm と 27cm で行った。これは、実験(1)において渦流B(↑)が攪拌子の中心から壁までの距離が 9cm の時に壁際に発生しやすく、27cm の時に壁から離れた場所で発生するためである。

実験(3) 攪拌子の回転速度を変えた場合の渦流

攪拌子の回転数を 22 回/s から 19 回/s にして実験(1)と同様に実験を行い、水流と渦流B(↑)の発生要因を検証した。

実験(4) 壁の高さを変えた場合の渦流

壁付近で起こる渦流B(↑)が壁の高さを変えることにより起こる位置が変わるのか、実験(1)の方法で壁の高さを 9cm と 5cm とし、実験を行った。水量は 9cm の壁の高さに合わせたので壁 5cm の時には完全に水に浸かっている状態である。

4 実験結果・考察

① つむじ風発生時の気象条件の測定

おんどとりでの測定結果を表 1 に示す。結果は上部と下部の気温差は平均 0.3°Cであったため、気温差以外の別の要因もあると考えられる。

(表 1) つむじ風発生時の気温

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目
上部の気温	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.79	2.7	2.7
下部の気温	2.34	2.28	2.35	2.4	2.46	2.5	2.39	2.4

② ビーカーにおいて下降する渦流A(↓)の発生要因

渦流A(↓)の常水、冷水、熱水における下部までの到達時間を表 2、グラフ 1 に示す。グラフ 1 より水の体積が増すごとに渦ができるまでの時間がかかっていることが分かるが、それは常水時(19°C)では 100mL 増えると約 0.78 秒増え、冷水時(1°C)では 100mL 増えると約 0.76 秒増え、熱水時(70°C)では 100mL 増えると約 0.72 秒増え、どの温度条件でも同じような推移を示している。この結果から、攪拌子上の渦流A(↓)の発生に水温は関係していないと判断できる。

渦流A(↓)の進行速度を表 3、グラフ 2 に示す。グラフ 2 より、渦流A(↓)の速さと水の体積に相関がないこ

とがわかる。しかし、常水と冷水の場合は水の体積が 500mL の時、熱水の場合は 400mL の時に最も速さが速くなっていることが分かった。200～400mL では、常水・熱水の速が増加し、冷水は変わらない。500～700mL では常水・熱水・冷水ともに速さが減少している。

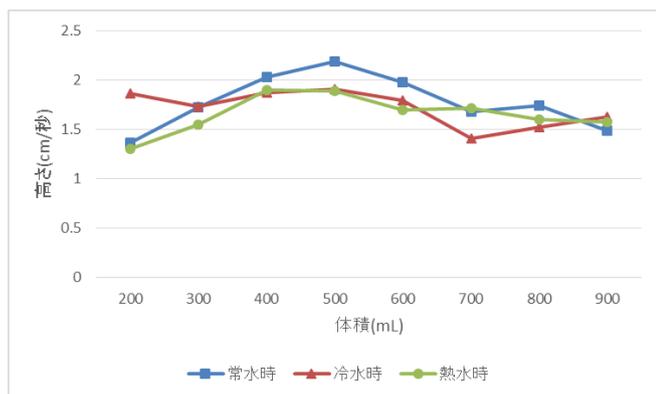
この結果から、渦流A(↓)の進行速度は水温による水の熱運動、攪拌子による水流の強度、そして水圧が深く関わっていることが予想できるが、詳細な定量については今後の課題としたい。

(表 2) 渦流Aの底面までの到達時間

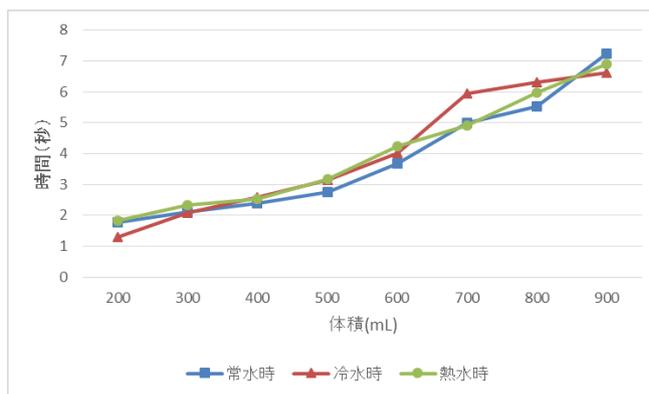
	200ml	300ml	400ml	500ml	600ml	700ml	800ml	900ml
常水時	1.765	2.095	2.375	2.75	3.675	5.005	5.515	7.245
冷水時	1.29	2.08	2.57	3.14	4.02	5.96	6.3	6.62
熱水時	1.84	2.33	2.53	3.17	4.23	4.9	5.99	6.9

(表 3) 渦流Aの進行速度

	200ml	300ml	400ml	500ml	600ml	700ml	800ml	900ml
常水時	1.36	1.72	2.03	2.19	1.98	1.68	1.74	1.49
冷水時	1.86	1.73	1.87	1.91	1.79	1.41	1.52	1.63
熱水時	1.3	1.55	1.9	1.89	1.7	1.71	1.6	1.57



(グラフ 1) 渦流Aの底面までの到達時間



(グラフ 2) 渦流Aの進行速度

③ 水槽を用いたモデル実験

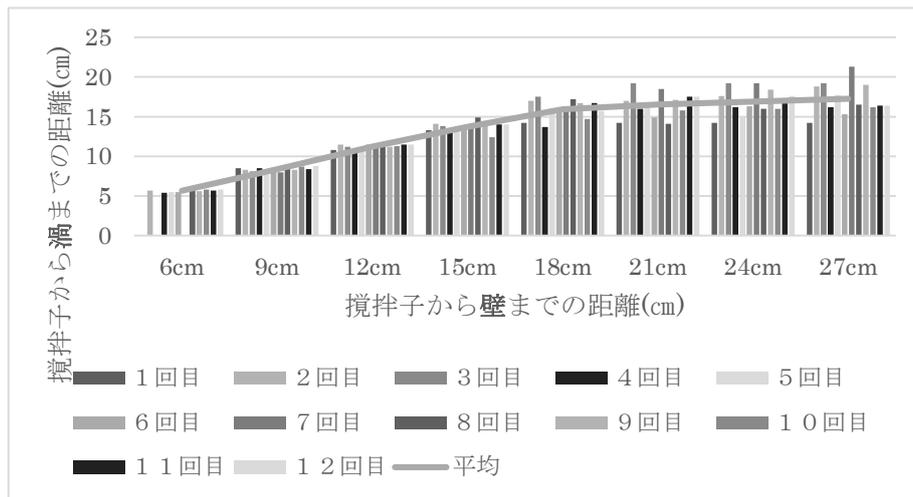
実験(1) 攪拌子から壁の位置を変えていった場合の渦流

攪拌子から渦流B(↑)ができる位置を表 4, グラフ 3 に示す。攪拌子の中心から壁までの距離が 3 cm の時は渦流A(↓)によってカラーコードメディアが全て吹き飛ばされてしまうので渦流B(↑)を確認することはできなかった。攪拌子の中心から壁までの距離が 6～18cm では壁付近で渦流B(↑)ができるが 21～27cm になると渦流B(↑)は壁から離れた場所に行けるようになり、攪拌子から渦流B(↑)の距離はほぼ一定になっている。

この結果から、渦流A(↓)の下降水流によってできる水の流れが直角の壁に沿って壁方向に曲げられるため渦流B(↑)ができるのだと考えられる。また、攪拌子の中心から壁までの距離を遠ざけていくと壁際で渦流B(↑)が出来なくなるのは、渦流A(↓)によってできる水流が壁に当たることでできた水流(乱流)と渦流A(↓)による本来の水流のすれ違いによって生じるからだと考えられる。攪拌子から壁までの距離が 21～27cm のときにできる渦流B(↑)は、攪拌子からの距離が 12～18cm の範囲で見られることから 2つの水流のすれ違いはこの範囲で起こっていると考えられる。

(表 4) 攪拌子から渦までの距離

	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	11回目	12回目	平均
3cm													
6cm		5.7		5.4	5.5	5.5			5.9	5.6	5.8	5.7	5.8
9cm	8.5	8.3	8.1	8.5	7.7	8.5	8	8.5	8.3	8.7	8.4	8.8	8.4
12cm	10.8	11.5	11.2	10.9	10.7	11.5	11.3	11.2	11.2	11.3	11.5	11.5	11.2
15cm	13.3	14.1	13.8	13	13.7	13.4	14	14.9	13.8	12.4	14	14	13.7
18cm	14.2	17	17.5	13.7	16	15.6	16	17.2	16.7	14.7	16.7	15.7	15.9
21cm	14.2	17	19.2	16	16.4	14.9	18.5	14.1	17.1	15.8	17.5	17.5	16.5
24cm	14.2	17.6	19.2	16.2	14.9	16.3	19.2	16	18.4	16	17.3	17.6	16.9
27cm	14.2	18.8	19.2	16.2	17.7	15.3	21.3	16.5	19	16.2	16.4	16.4	17.3



(グラフ 3) 攪拌子から渦までの距離

実験(2) 渦流B(↑)が出来ている状態で壁を外した場合

攪拌子から壁までの距離が 9 cm, 27cm どちらの場合でも渦流B(↑)は見られなくなった。この結果から、壁は渦流B(↑)の発生に起因するものであり、攪拌子から壁までの距離が 21~27cm で渦流B(↑)が壁から離れた場所に発生する場合であっても壁の存在は渦流B(↑)の発生要因であることが分かった。

実験(3) 攪拌子の回転数を変えた場合の渦流

攪拌子から壁までの距離が 6, 9, 12cm のときは、黄色のカラーコードメディアは巻き上がりせず小さい粒子が巻き上がるような小規模な水の巻き上がりしか起こらなかった。15cm 以降は小規模な水の巻き上がりも起こらなくなった。

このことから渦流A(↓)の下降水流の規模によって渦流B(↑)の大きさも変化すると考えられる。また今回は 22 回/s 以上の回転速度にすることは器具の都合上できなかったが、実験結果より、回転速度を上げた場合攪拌子上にできる下降水流の規模が大きくなるので実験(1)からも考えてみると、壁の位置が 21cm 以上になっても渦流は壁際にできるのではないかと考えられる。

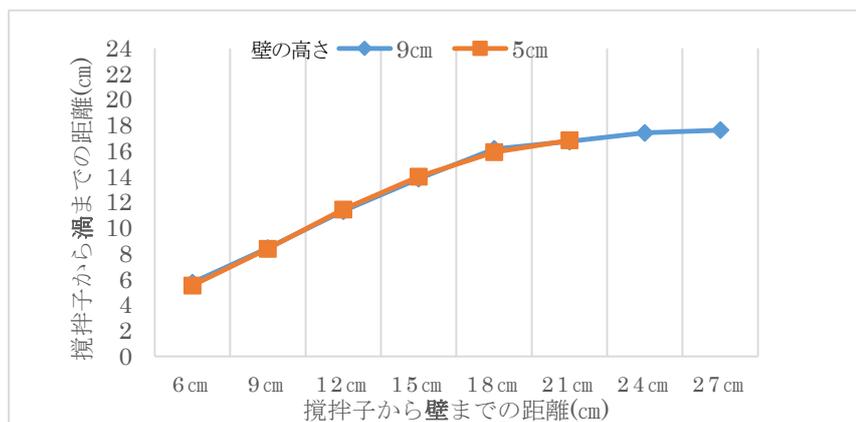
実験(4) 壁の高さを変えた場合の渦流

表 5、グラフ 4 より壁の高さを変えても出来る渦流B(↑)が起こる位置に変化はなかった。また、15cm の壁でも実験を行ったが変化はなかった。しかし、グラフ 4 より壁の高さが 5 cm で攪拌子から壁までの距離が 24cm 以上離れていると渦流B(↑)は起きないことが分かる。これは壁に当たった渦流A(↓)とは異なった水流が渦

流A(↓)とすれ違うことなく壁の外へ逃げてしまうからだと考えられる。よって壁の高さが低いほど渦流B(↑)は出来にくいことが分かる。今後は壁の高さを0～5 cmに変え渦流B(↑)が起こるのか実験したい。

(表5) 壁の高さを変えた時の攪拌子から渦流B(↑)までの距離

	6cm	9cm	12cm	15cm	18cm	21cm	24cm	27cm
壁9cm	5.76	8.45	11.33	13.83	16.17	16.75	17.42	17.63
壁5cm	5.53	8.4	11.45	14.02	15.92	16.83		



(グラフ4) 壁の高さを変えた時の攪拌子から渦流B(↑)までの距離

5 まとめ

(1) 渦流A(↓)

②の結果より、水の体積が500mLまでと500mL以上を比べると、500mLまでは速度が増加していくのに対し、500mL以上になると渦流A(↓)の速度が減少することが分かる。これは500mL以上では攪拌子が回す水流よりも水圧のほうが強くなるために、水圧に対して渦流A(↓)の移動が妨げられるからである。

(2) 渦流B(↑)

渦流B(↑)の発生条件は、下降水流である渦流A(↓)によってできた水の流れが壁に当たることによって乱れ他の流れに変わり、渦流A(↓)との水流とすれ違いが生じることによって渦流B(↑)が発生すると考えられる。

(3) 校内で起こるつむじ風

- ・校内で起こるつむじ風は、気温、湿度、気圧が発生要因ではないと考えられる。
- ・層流として流れているある一定以上の風速の風が校舎の壁に当たり、一部が乱流となり、層流中ですれ違うことが発生要因と考えられる。

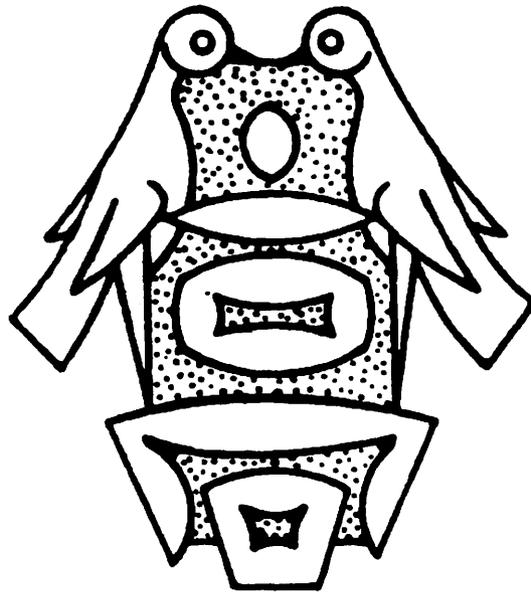
今後は校内で起こる渦流B(↑)と同じ特徴のつむじ風を観測し、発生要因を解明したい。

6 参考文献等

- ・平成25年度長野県屋代高校課題研究 研究報告集
『つむじ風の発生原因を探るー再現実験からつむじ風が起こりやすい環境を考察するー』P17～22
- ・気象庁ホームページ(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)
- ・気象庁気象研究所ホームページ(<http://www.mri-jma.go.jp/>)
- ・日本気象学会ホームページ(<http://www.metsoc.jp/>)

平成27年度 3年理数科 課題研究

Super Science High School
The Collection of Researches



Nagano Prefectural Yashiro High School

The Methods to Raise the Voting Rate of Youth in Nagareyama City

Tanaka Yu Tobo Ryosuke Nagayama Kei

1. Purpose of the study

We participated in a contest which is called “Digital Innovators Grand-Prix (Dig)” because we thought that we would be able to solve several problems some cities had. The mission we undertook is “Raising the voting rate of young people in Nagareyama city” so we investigated why young people avoid voting and how to improve their voting rate.

2. Method

First, we investigated whether or not young people were interested in policies that politicians promised to carry out. We handed out questionnaires when a mock election had been held at Yashiro High School.

Second, we used Buzz Finder with which we can search the number of tweets that meet certain requirements on Twitter.

3. Result and Consideration

Definition of the youth

In Nagareyama city, whose population is increasing, it is found that the voting rate of newly eligible voters remains low. The voting rate has been decreasing while the number of voters has been increasing (Figure 1). Second, though 35-39 years old population has been increasing most greatly and the 0-4 years old population has been increasing, the 20-24 years old population has been decreasing (Figure 2). Based on the data, we should focus on the child-care generation of its 30s in order to raise the voting rate.

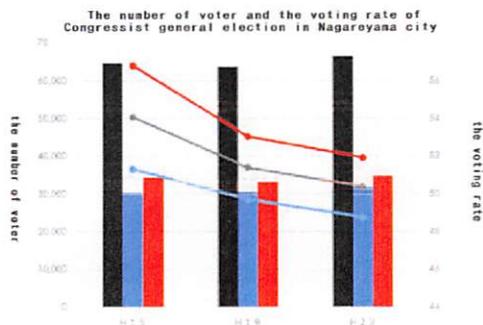


Figure 1

Therefore, we define the youth as the child-care generation of its 30s.

Construction according to the age hierarchy Increase and decrease comparison in Nagareyama city (2010-2005)

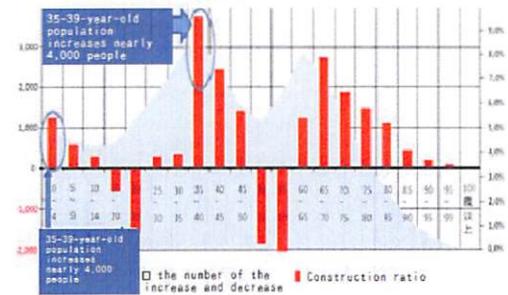


Figure 2

(2) Commitment which attracts the youth’s interests →Proposal①

The voting rate that we want to raise is that of their thirties. Therefore, it is thought that they are highly concerned about medical treatment, in particular child medical treatment. So we propose the first proposal: Candidates should adopt child medical treatment policy as one of the issues of the election.

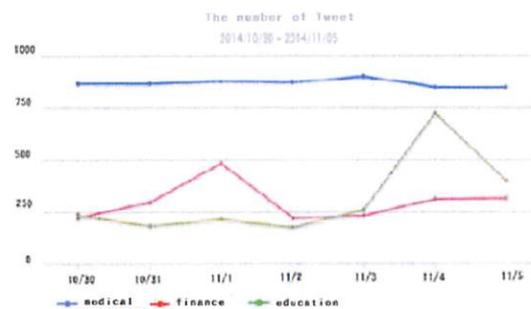


Figure 3 The number of tweets in terms of medical treatment, finance, and education, on November 1, 2014.

In the research of the election which was conducted in Yashiro junior high school attached to Yashiro high school, the most interesting issue was found to be medical treatment. In addition, the analysis of Tweets by the application Buzzfinder showed the same result (Figure 3).

(3) Means of election → Proposal②

The youth uses the Internet to gain the information of election (Figure 4). Couples in their thirties are busy because they both work (Figure 5). We should prepare the means which enables them to vote easily.

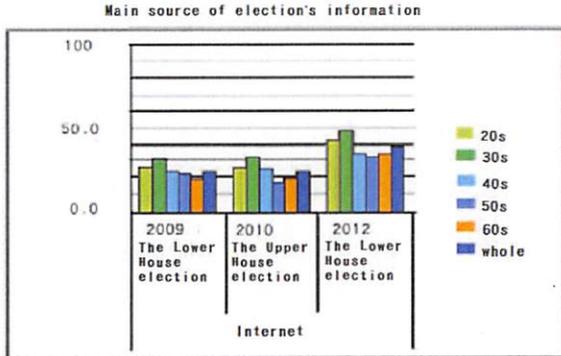


Figure 4

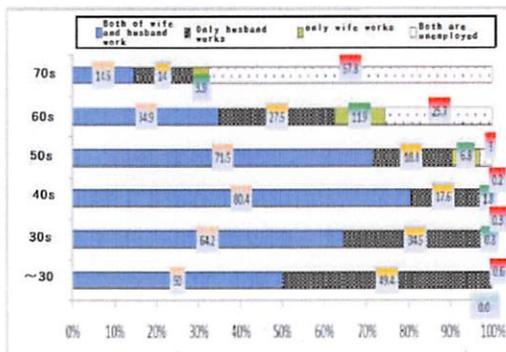


Figure 5

Based on the analysis, we propose the second proposal: The Election Administration Committee should take the means which will enable eligible voters to gain information and vote with their smartphones.

Reference

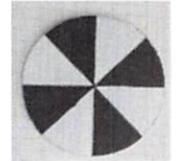
The open data of Nagareyama City
<http://www.pref.chiba.lg.jp/shichou/gyousei/gyouseikaikaku/nagareyama2.html>

The secret that a top is not monochrome though it is monochrome

Kuraishi Maika Unno Sayaka Miyazaki Eri Takematsu Maho

1. Research overview and objectives

There is a top named "Benham's top" whose surface is composed only of black and white. When we turn it, its surface color changes as well. It is said that the phenomenon happens due to optical illusions so we cannot take its pictures. But actually we tried turning a top and were able to take pictures of the changed color of the surface. We wondered why we could take its pictures. So we focused on its spinning speed and different kinds of lights. We examined under what conditions we can take photos.



2. Research methods

I. We examined the colors of the surface top under the following colors: LED-red, LED-blue, LED-yellow, LED-white, incandescent lamp, sunlight and fluorescent lamp

II. Analysis of the spinning speed and the flash of the fluorescent lamps by means of a high-speed camera

3. Experiment results and consideration

I. We were able to see other colors than white and black under fluorescent light, whereas we could not see any other colors under LEDs, incandescent lamp, and sunlight.

II. We observed the lights when we took videos of LEDs, incandescent and the fluorescent lamp with a high speed camera. As to LEDs, incandescent lamps, lights themselves turn strong and weak as time goes whereas the fluorescent lamp flashes orange light on and off, emitting constant light of white, which lets us see orange and white light in turn. Then we used a stroboscope instead of a fluorescent lamp and examined whether we could see the phenomenon. We flashed the stroboscope at the same speed as the fluorescent lamp: 132 [times/s]. We could not see the black and white or any color except the source of light on a top. As a result, I found that the targeted color can be seen by only flashing of the source of light. So, we focused on spectrum of the fluorescent lamp and other light sources.

Spectrum of the light

The right graph (Figure 1) shows the spectrum of the same type of fluorescent light that we used for the experiment. As we can see the graph, this type of fluorescent lamp has some strong wavelength bands. These colors such as blue, yellow, green, and orange might be seen prominent. When I turned a top under a fluorescent lamp, the two kinds of colors, orange and blue, were reflected on the top, but the other prominent color, light green was not seen on the top.

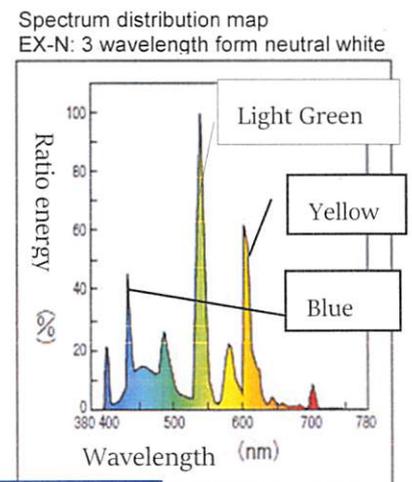


Figure 1

4. Summary

At first we thought that the color appeared under fluorescent light was due to flashing of the light. However, the color was invisible under the stroboscope flashes, so we concluded that the color appearance on the surface of the top was not due to the flashing. Therefore, we examined the wavelength of spectrum and found that there were some strong bands of wavelength in fluorescent light. Finally, we concluded that there were two conditions on which we can see the color on the top and take pictures of this color. First, light source should be flashing. Second, light source has some prominent wavelengths in its spectrum.

Study of the Absorptiometer

Yanagihara Keigo Nakayama Shunsuke Ishii Hiroshi

1. Purpose of the study

The purpose of this experiment is to make the mechanisms of the absorptiometer simple keeping its quality. The absorptiometer consists of three main parts: a source of light, a spectroscopy, a photometry. We used a projector as a source of light, the PowerPoint slides of 24 colors as a spectroscopy, and Cadmium Sulfide (CdS) as a photometry. CdS resistance level varies according to the amount of light shed onto the spectroscopy.

2. Method

[A] We measured a wavelength of the light emitted by the projector using diffraction of the light. We used the color distribution function of the PowerPoint called RGB and prepared slides of 24 colors ranging from red to purple within the visible light region.

[B] We shed the lights of 24 different colors into both colored water and water, and measured the resistance levels of CdS and the wavelength ranges of the lights absorbed.

[C] We measured the resistance levels and the wavelength ranges under the same condition as the experiment [B] but this time we used a regular absorptiometer instead of our original.

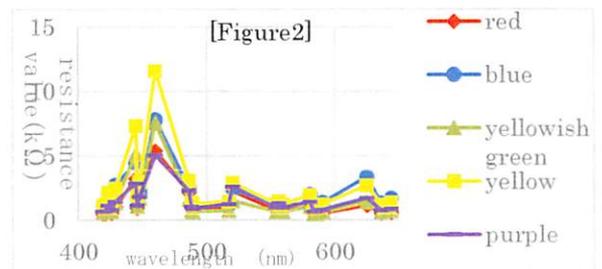
[Figure1]

RGB	wavelength
2.0.0	643nm
1.0.0	624nm
0.2.0	556nm
0.1.0	520nm
0.0.1	460nm
0.0.2	445nm

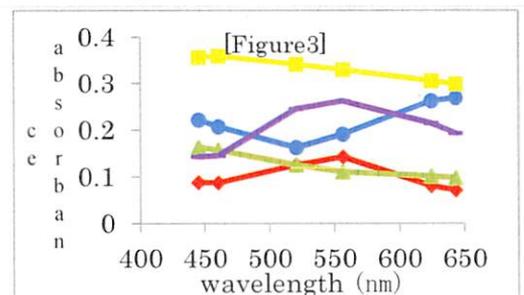
3. Results

[A] When we set a diffraction grating to a camera and take photographs of the lights of the projector, we could photograph some light lines of different colors on the screen. Also, we compared the wavelength of each color with that of the laser beam. We could calculate the wavelength of each color by using the distance between each light line and the ratio of the wavelength of the laser beam. We could not measure the distances some wavelengths. Figure 1 shows the measured distances of the wavelengths.

[B] We put the differently-colored water in five plastic bottles and shed the light through the bottles into CdS. We measured the resistance levels of the CdS (Figure 2). All the samples were high in their resistance levels with 460nm (darkblue=0.0.1). So we were not able to clearly find the differences among the wavelengths.

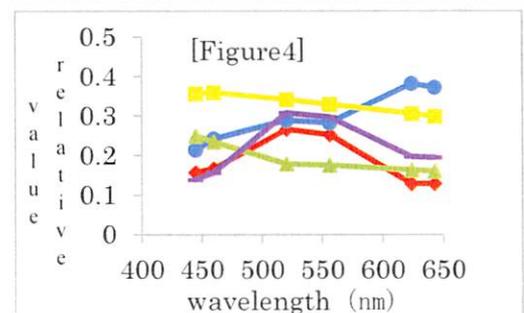


[C] Using another regular absorptiometer, we measured the resistance levels under the same conditions as those of the experiment [B] (Figure 3). Also, we calculated the ratios of the resistance levels found on the experiment [B] based on the calculation used on [C] (Figure 4). As Figure 3 and 4 show, the relative value of the resistance levels of the experiment [B] was similar to the absorbance values we found using the regular absorptiometer (experiment [C]). Therefore, we can say that we could use the projector as an absorptiometer.



4. Discussion

For this experiment, we used correction values. We should consider whether we can use illuminance as a correction value.



Usefulness of Hydroelectric power generation

Researcher: H.Sakata, R.Kasuga, K.Chihiro, D.Handa, M.Yoda

Instruction teacher: H.Shimizu, R.Kurata

1 .The purpose of study

In the near future, we would be suffering from the shortage of energy, and taking measures should be essential. So our group aimed at making use of "hydroelectric power" and studied to show its availability. The final goal of this study is to clearly show the usefulness of hydroelectric power generation. We collected accurate data and make a criterion matching our objectives.

2 . Study result

First, we estimated how much electricity we can generate at Yashiro high school in a year using hydroelectric power. We assumed the rainwater which flows in a drainpipe. The amount of electricity generation was given as the following formula shows:

$$E = \varepsilon \eta S t g e_{net} \left(1 - e_{res} \frac{1 - e_{res}^v}{1 - e_{res}} \right) - \Phi(v)$$

Using this formula, we calculated the amount of electricity we could make and changed it into the price. It amounted to only several hundred yen. Partly because this experiment was carried out in a small scale, it could be thought that the formula should have had something to be desired. So we decided to extend the scale to all Japan and used data that was collected by special agencies. The amount of electricity we can generate all over Japan is given as the following formula shows:

$$E = V g h \sum_{k=1}^v \rho(\delta_k) \left[\sum_{j=1}^{k-1} \prod_{i=j}^{k-1} \bar{\rho}(\delta_i) + 1 \right] - \Phi(v)$$

Finally, considering the cost we should pay for the installation of the whole system all over Japan, we could derive the following inequality:

$$\Gamma_{JPN} \leq \frac{\rho}{\partial}$$

If the inequality could be followed, we could have profits.

4 . Consideration

We can apply the former inequality unconditionally to the whole world. Therefore, we discussed the following questions:

I : What is the meaning of the inequality?

We referred to Γ_{JPN} as the fixed number peculiar to the country, ρ as the average generation efficiency of electricity, and ∂ as the overall investment on the generation. Because ∂ refers to physical quantity indicating the investment on the generation, we should control the investment more strictly if we want to produce profit. Because it is difficult for the generation of electricity to be extremely efficient, we should control the investment by developing the hydroelectric power generation which can produce a large amount of electricity without much cost.

II : What is the condition of the country where hydroelectric power generation is effective?

By means of the inequality mentioned above, they can determine whether hydroelectric power generation is effective or not in a country. The smaller the fixed number peculiar to the country is, the more effective the installation of hydroelectric power should be. The more inclined the land is, the larger the territory size is, and the more the precipitation is, the more effective it should be. We suggest that they can measure the effectiveness of hydroelectric power generation even at the shortage of energy.

Mentos-Cola : The Mystery of the Popping Bubbles

Sakakibara Kazuma Nishimura Hayato Yamazaki Makoto

1. The purpose of this study

When we put a Mentos candy into carbonated beverage, a sudden reaction of bubble formation can be seen. This phenomenon is generally called “Mentos-Cola.” We wondered how the bubbles are created and why Mentos candies react more strongly with Coca-Cola-Zero than regular Coca-Cola. We examined the surface of Mentos candy and the components of both types of coke and observed the reactions.

Methods

- (1) First, we observed the surface of Mentos candies with an electron microscope.
- (2) Second, we put a Mentos candy in Coca-Cola and Coca-Cola-Zero. Then we measured the volume of carbon dioxide created in the beverages with a test tube with which we can measure more than 100 ml of the bubble volume.
- (3) Third, we measured the viscosity of a solution of aspartame, one of the ingredients of Coca-Cola-Zero, with a viscometer.

2. The result of research

- (1) There are two layers coating the Mentos. The outer layer is smooth, but the inner layer is rough. We found that the particles on the rough surface of Mentos created bubbles by stimulating the gas contained in Coca-Cola and Coca-Cola-Zero (Figure 1).
- (2) There is a direct relationship between the volume of CO₂ generated and the level of the surface of the soda water (Figure 2). We found that when bubbles around Mentos rose toward the surface, stimulating carbonated water, there happened more bubbles.
- (3) Aspartame is a kind of artificial sweetener. It has carboxyl group (that is hydrophilic) and an amino acid residue (that is hydrophobicity). So we thought that it would be a kind of surfactant that makes bubbles swell.

The viscosity of a solution of aspartame in water was not the largest among all the samples, although we had expected that of aspartame was the largest among all the samples. We concluded that aspartame was not the cause of this reaction.

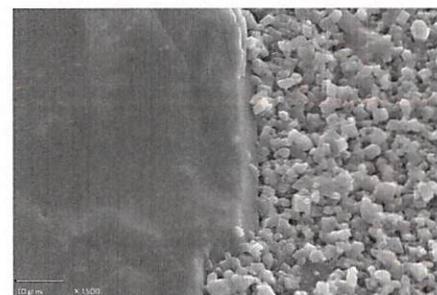
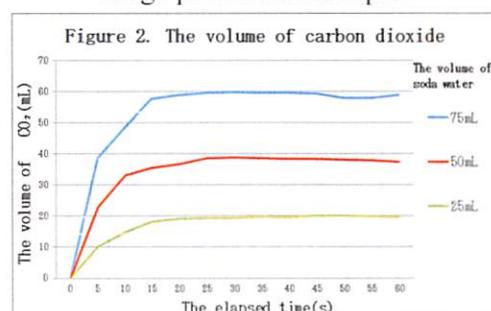


Figure 1. The merge between rough part and smooth part



3. Discussion

To find out why aspartame prompts bubbles to be created in Coke, we should examine the characteristics of aspartame.

Wonder of Iodine-Starch Reaction

Uchimura Kazuki Kobayashi Ryosuke Tsuchiya Kento Yajima Takumi

1. Purpose of the study

In recent society, biodegradable plastic is used a lot. We can say that starch is one of the material of the plastic. Some of our graduates proposed that fading of iodine-starch coloration depends on its temperature, and that if amylose-chains lose their freedom, coloration occurs in low temperature than usual. In accordance with this graduates' logic, we may find materials to stabilize the structure of biodegradable plastics. We examined whether the logic is correct or not.

2. Method

- A) We churned a mixed solution (15 g of corn-starch and potato starch + 100mL of water + 100mL of $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{7\text{aq}}^*$).
- B) We measured viscosity (10 mL of soluble-starch 1%, potato-starch 0.5%, and corn-starch 0.5% + 10mL of $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{7\text{aq}}^*$)
- C) We measured the coloration temperatures (10mL of soluble-starch 1%, potato-starch 0.1%, and corn-starch 0.1% + 100mL of $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{7\text{aq}}^*$)
- D) We measured soluble-starch(1%) solution's coloration temperatures as the density of $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_{7\text{aq}}^*$ changed.

*saturated at 17°C

3. Results

A) After we added the saturated sodium tetra borate solution to the concentrated corn-starch and potato-starch solutions and stirred them with a glass rod for 30 minutes, the starches became the slimes (Figure1) By contrast, when we added the distilled water instead of the sodium tetra borate solution to the two kinds of starch solutions and stirred them for 30 minutes, they did not change. So, we discovered that e bridge structure was formed by adding the boric acid to the starches.

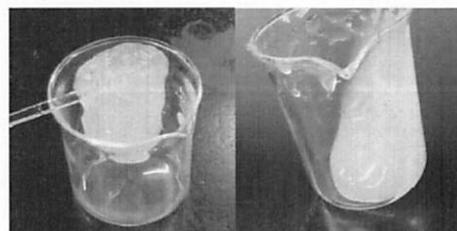


Figure 1 "Starch slime"
Left: potato Right: corn

B) Figure 2 shows the viscosities of the solutions mixed with borax and those without borax.

	Viscosity when mixed with borax and without borax						
	Borax	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
Soluable strach 1%	-	14.70	14.75	14.67	14.64	14.62	14.68
	0.1g	13.80	13.70	13.66	13.63	13.59	13.68
Corn starch 0.5%	-	14.85	14.62	14.64	14.78	14.94	14.77
	0.1g	16.10	15.46	15.85	15.82	16.03	15.85
Potate starch 0.5%	-	15.59	15.21	15.26	15.19	15.20	15.29
	0.1g	13.17	13.14	13.17	13.10	13.12	13.14

Figure2

C)D) We have found that the coloration temperatures were lowered by adding boric acid. Despite the fact, the solutions were not colored.

4. Discussion

Coloration temperature of iodine-starch reaction could not be measured because of interference of basicity of boric acid. However, we found the way to avoid the interference by adding hydrochloric acid. Accordingly, we could find the measurements of viscosity and temperature of starch.

The research on conditions on which we can make effective use of catalysts to cause a luminol reaction

Otomo Kazuki Ishizaka Yusuke Yamada Takahiro

1. Purpose of the study

Now catalysts are applicable to a variety of industrial fields. If we know the conditions on which we can use catalysts more effectively, we can increase the benefits of their use in many industrial fields. We investigated on which conditions we could make effective use of catalysts to cause a luminol reaction. We used our own device to convert light into current.

2. Method

We took the following procedure: we put 1 ml of the $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ solution into 4 ml of the luminol solution whose density is 0.034 mol/L. Then, we converted the light emitted in the luminol reaction into current every 0.1 second in one minute. We used the catalysts of the following fourteen molar densities: 0.00001(A), 0.00005(B), 0.0001(C), 0.0005(D), 0.001(E), 0.005(F), 0.01(G), 0.05(H), 0.1(I), 0.2(J), 0.4(K), 0.6(L), 0.8(M), and 1.0(N).

3. Results

Figure 1

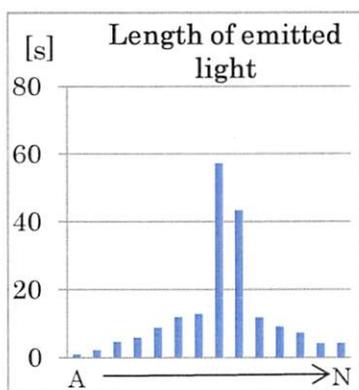


Figure 2

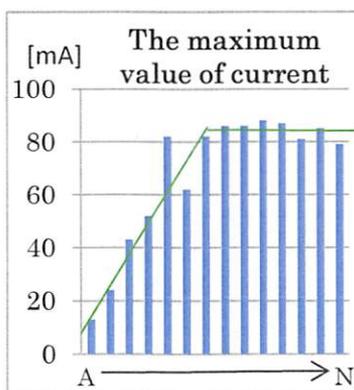
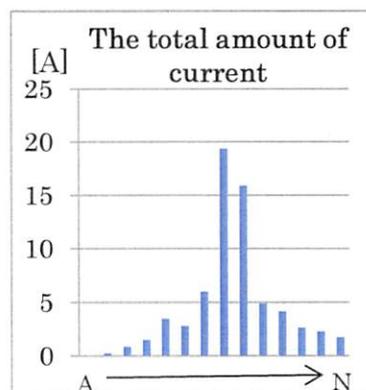


Figure 3



In terms of the length of the light emitted and the total amount of the current, the gaps between the values of the 0.01[mol/L] catalyst(G) and that of the 0.05[mol/L] catalyst(H) were very big. From these results, we concluded that we could use chemical reactions effectively in a limited, narrow molar range, and out of the range, the effectiveness of the catalyst to chemical reaction decreased greatly. If the molar densities were 0.05[mol/L], the ratio of the amount of substance of the luminol solution to that of the catalyst was $0.034[\text{mol/L}] \times 4/1000[\text{L}] : 0.05[\text{mol/L}] \times 1/1000[\text{L}] = 0.000136[\text{mol}] : 0.00005[\text{mol}] = 13.6:5$ (O).

4. Discussion

We are still not sure whether the condition(O) could be applied for other kinds of catalysts. Therefore, we need to conduct another experiment using other catalysts under the similar conditions and check whether it is the best condition. If we prove that it can be applied for other catalysts, we will be able to increase its benefit on industrial fields greatly.

Triops as a Living Fossil

Itsubo Gyo Kobayashi Harunori Yumoto Eisuke Yoda Goumei

1. Introduction

We compared creatures living in rice fields in Obasute with those around Yashiro high school. In addition to other features, one typical feature was found. Many triops were found in Yashiro area whereas no triops were found in Obasute. We examined the surroundings of both areas and investigated why triops live in one area but do not live in the other area.

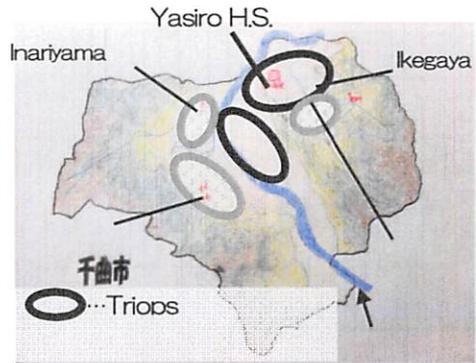
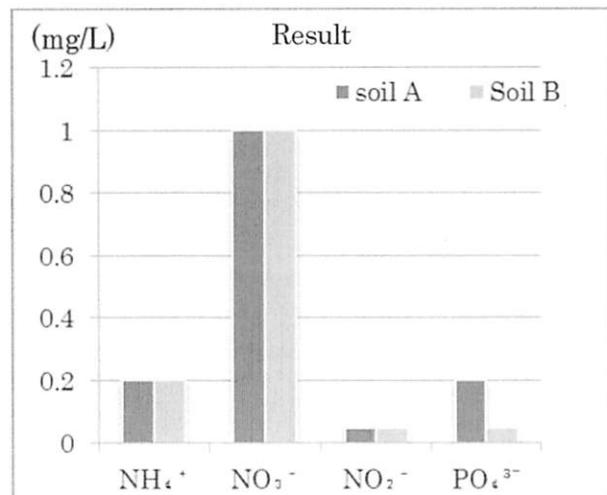


Figure 1: The Triops map in our area

2. Method and Results

First of all, we brought to our school three kinds of soil. One was the soil of OBASUTE (Soil B), where we could not find the triops. Another was the soil of YASHIRO (Soil A), where we could find the triops, especially around our high school. The rest was the second soil of YASHIRO, where we could not find the triops. Then, we remodeled a miniature set of rice fields using three kinds of soil we had brought so that we could observe triops' hatching. As the result of our observation, we could find that triops hatched only in Soil A. Secondly, we mixed the soil of OBASUTE with that of YASHIRO which we could observe hatching. Ten days later, we could not find triops in the mixed soil of rice field. Therefore, we wondered whether there would be something to prevent hatching in the soil of OBASUTE. And we conducted a simple experiment to find the hidden substance. To detect the chemical substances in the soil A and the soil B, we used simplified water inspection products. We detected NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- and PO_4^{3-} . The results show that the concentration of PO_4^{3-} in the soil A is four times as strong as that of soil B



3. Consideration and Conclusion

The pack test tells us that triops live in higher PO_4^{3-} concentration of soil. We found that the concentrations of NH_4^+ , NO_3^- , and NO_2^- have nothing to do with triops' hatching. We concluded that the PO_4^{3-} concentration of the rice fields located near the source of river was relatively lower. We were able to find a few triops in Obasute in this investigation of triops distribution this spring and are going to analyze the data in deta.

Relation between the Cell Cycle of Onion's Root Apical Meristems and the Biological Clock

Ikegami Yuri Nakajima Tomoe Yamazaki Tomomi

1 Purpose of the study

Human beings get up at a particular time every morning, are active in the day, and become sleepy at night. It is said that they are provided with the mechanism called the "biological clock." It is also said that in our observation of the cell divisions of onions we can observe the largest number of cell divisions when the objects are picked around ten o'clock. If we find the same phenomenon every day, it will prove the existence of the biological clock. So we decided to examine whether there would be the time zone when we can see the largest number of cell divisions, and if there is, to examine exactly when the time zone would be.

2 Method

First, we soaked the picked roots into the farmer liquid to keep the roots' condition. Then, we soaked them in hydrochloric acid, washed away the solution, and colored the roots with acetic orcein.

Second, we prepared microscope slides, observed them under an optical microscope, took pictures of cells with a microscope camera, and counted the number of dividing cells found at each cell division phase.

3 Results and Considerations

We repeated this procedure five times. We could find the following two things: one is that any cell division phase had one time peak in the number of dividing cells (Figure 1). This means that each cell-division phase has similar cell-division patterns. The other is that dividing cells at each dividing phase were greater in number as followings: telophase, prophase, anaphase, and metaphase. This means that, the larger number of cell-divisions found at the phase, the more time will be needed.

Figures 2, 3, and 4 show the rates of the dividing cells of the onion cells picked at each time of the third, fifth, and sixth experimental days respectively. (As for the fourth day, some conditions were different from

those of the other experimental days, so we got rid of the data.) As the graphs show, the peak of the cell divisions on each day is shifting to earlier time. Therefore, we can guess that the fourth day's peak would appear around 9:45 am, and the sixth day's peak would be before 8:20 am. Judging from these data, we conclude that the length of one onion cell division cycle is approximately 23 hours.

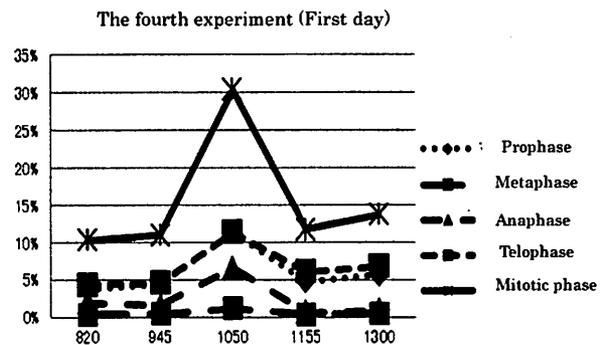
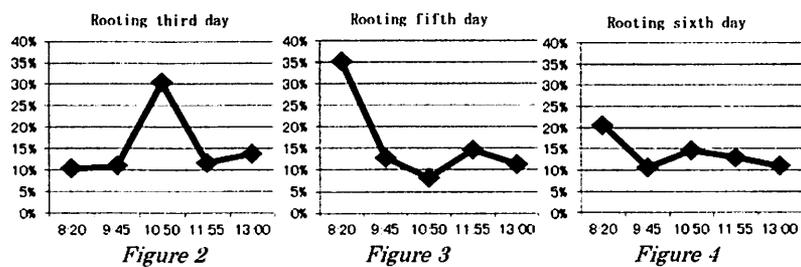


Figure 1

The rate of change number of cells in each period



The rate of dividing cells on each experimental day

(Vertical: The rate of dividing cells at each picking time Horizontal: Picking time)

The Formation of Photosynthetic Pigment of Sprouts by the Light Stimulus

Tomoki Sekimori Yuki Setoyama Ryuji Takasawa Tomoya Miyashita

1. Purpose of the study

Sprouts are different from other vegetables in the way of cultivation. Common vegetables are cultivated outside whereas sprouts are cultivated in a darkroom. In other words, sprouts, unlike common vegetables, should not be exposed to sunlight when germinating. This difference in cultivation causes the difference of their stem colors between common vegetables and sprouts. Common vegetables look green but sprouts look white. We focused on this color difference and decided to study about greening by light.

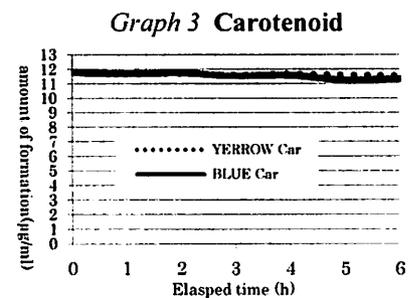
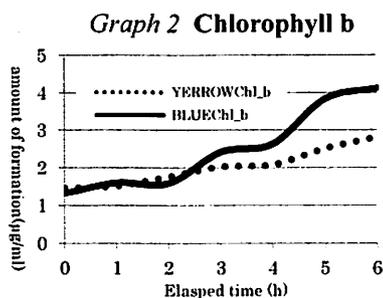
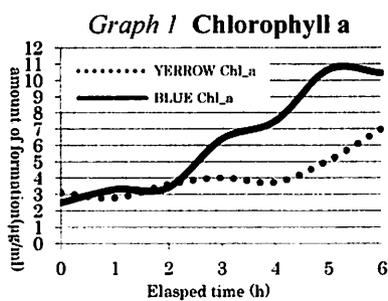
2. Method

First, we decided to use white radish sprout for our study. White radish sprouts have thick hypocotyl and large cotyledon, and besides, white radish sprouts are easy to care for. Second, we cultivated the sprouts under the light of Red LEDs or Blue LEDs instead of sunlight. Third, we extracted the pigments with the use of an organic solvent "*N,N*-dimethylformamide (DMF)", and we used thin-layer chromatography (TLC) to separate photosynthetic pigments from sprouts' leaves. Fourth, we used spectrophotometer to measure the total amounts of photosynthetic pigments of the sprouts.

3. Results

From the second manipulation we learned that sprouts were greening under the light of Red LEDs or Blue LEDs. In the third manipulation, we can find that green pigments were formed when 2 hours after we started this manipulation. The green pigments we found seemed *chlorophyll a* or *chlorophyll b*. The yellow pigment we found seemed *carotenoid*.

In the fourth operation, we gauged with spectrophotometer the amounts of photosynthetic pigments generated during the manipulations. Graph 1, 2, and 3 show the amounts of each pigment. According to Graph 1 (Chlorophyll a), the amount of the pigments generated under the blue light is greater than that under the yellow one. In addition, chlorophyll a increased for six hours from the beginning. As for Graph 2 (Chlorophyll b), we learned that the amount of chlorophyll b increased in the similar way to chlorophyll a. As for Graph 3 (Carotenoid), we learned that the amounts kept at the same level during the experiment. From those results, we concluded that cultivating sprouts under the blue light is more effective to sprouts' greening than that under the yellow light.



4. Discussion

Because of time limitation, we were not able to measure the amounts of the pigments only once. We should conduct further experiments to make sure whether our hypothesis is correct or not.

1. Purpose of the study

A rain gauge is generally used to gauge the amount of rainfall. However, it is hard to gauge the rainfall at the beginning of the measurement. The rainfall at the earlier stage is an important factor to predict how the rainfall will continue. We developed the “chalk paper” method and succeeded in gathering a very small rainfall and fixing the marks of the raindrops.

2. Method

First, we considered how to gather rain raindrops well and invented the “chalk paper” method. We called the paper on which the chalk powder was spread “chalk paper”. Second, we exposed the chalk paper for ten seconds and repeated it at regular intervals. Simultaneously we gathered raindrops using nine cups and calculated the precipitation every five minutes. Then we measured the diameter of each raindrop on the paper.

3. Results

Figure 1 shows the relations between the total length of the radiuses of the raindrops and the amount of rainfall per hour (Relations A). Figure 3 represents the relations between the cubed radiuses of the raindrops and the measured rainfall (Relations B). Figure 2 and Figure 4 show enlarged views of the range of 0.1 to 0.3 mm/h rainfall.

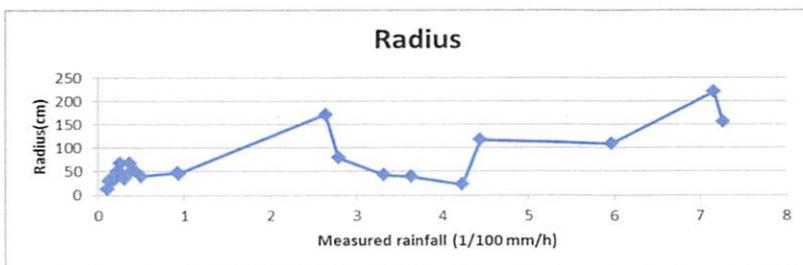


Figure 1

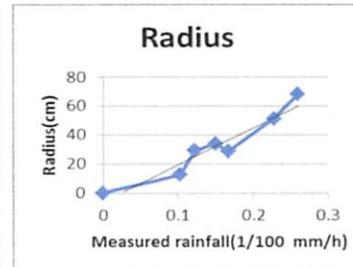


Figure 2

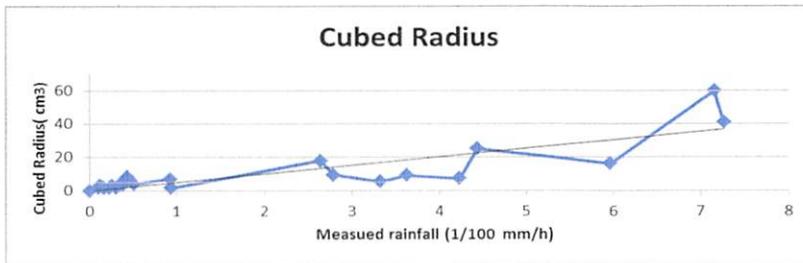


Figure 3

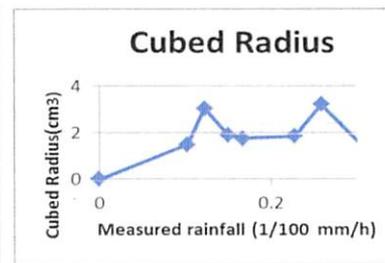


Figure 4

If the rainfall was 0.3mm³/h or less (Figure 2), there was a correlation between the rainfall and the total length of the radius. If the rainfall was 0.3mm³/h or more (Figure 3), there was a correlation between the total amount of cubed radius (=volume) and the measured rainfall. We concluded that tiny raindrops are likely to be measured on the ground level, but as for big raindrops, they need to be three-dimensional if they are not measured in a proper way.

4. Discussion

A relation between a raindrop-size distribution and weather conditions still remains to be investigated. We will do research on the relation and be able to predict a weather change, which is our first purpose.

平成27年度 課題研究等に関する外部評価結果一覧

1. 第59回 長野県学生科学賞作品展覧会(長野県教育委員会・読売新聞社主催)

- ・優良賞 「白黒だけど白黒じゃない秘密」
研究者：倉石舞花、海野沙弥香、竹松真歩、宮崎映里（理数科3年）
指導者：福島哲夫、武井統
- ・優良賞 「ヨウ素デンプン呈色反応の不思議～退色温度への考察～」
研究者：小林良輔、内村一輝、土屋建人、矢島拓実（理数科3年）
指導者：小田切亨
- ・優良賞 「メントスコーラ～飛び出す泡の不思議～」
研究者：山崎誠、榊原一真、西村隼杜（理数科3年）
指導者：手塚理実
- ・優良賞 「タマネギ根端分裂組織の細胞周期と生物時計の関係」
研究者：山崎友実、池上友理、中島冬萌（理数科3年）
指導者：堀内栄子

2. 第5回 科学の甲子園 (JST 科学技術振興機構)

- ・全国大会初出場
研究者：松澤力、青木祐人、是永京子、八藤後妃那世、岸優太、
寺島司、柳沢周、小泉凱人（普通科1年）
指導者：手塚理実、北原司、横澤克彦

3. 第4回 全国データビジネス創造コンテスト(慶応義塾大学 SFC 研究所データビジネス創造・ラボ 他)

- ・全国大会出場 「高校生が母親のリフレッシュに一肌脱ぎます！～新たな教育プログラムの提案～」
(高・大・大学院 59校複数チーム中9チーム選出)
研究者：青木祐人、安達悠真、大森愛希子（普通科1年）
指導者：横澤克彦

4. 第1回 全国数理工学コンテスト(武蔵野大学 他)

- ・全国奨励賞 「台風の上陸数と漁獲高の関係」
研究者：田中悠、東方涼介、長山慧（理数科3年）
指導者：堀内政幸

5. 第7回 マス・フェスタ(全国数学生徒研究発表会)ポスター発表

- 「どうなる!? 私たちの年金！」
研究者：水戸部輝、吉岡翔司（理数科2年）
指導者：北原司

6. 第12回 高校化学グランドコンテスト(大阪市立大学)ポスター発表

- 「ヨウ素デンプン呈色反応の不思議 ～退色温度への考察～」
研究者：内村一輝 小林良輔 土屋建人 矢島拓実（理数科3年）
指導者：小田切亨
- 「水溶液の凝固点降下 ～溶液の結晶化への疑問～」
研究者：藤巻吹光明 本藤史浩 小林知紀 武田和久（理化班2・1年）
指導者：小田切亨、清水加奈

7. 日本地球惑星科学連合(千葉幕張メッセ)口頭紹介、ポスター発表

- ・佳作 「雨粒を究めよう！」～雨滴粒径分布の調査～
研究者：竹重遥、塚田沙衣、松本知美、山崎結花（理数科3年）
指導者：風間敏、清水寛
- ・努力賞 「ICP 発光分光分析法による Yosemite Valley の河川中の金属イオン濃度の分析と考察」
研究者：井坪暁、小林良輔、竹重遥、中島冬萌（理数科3年）
指導者：手塚理実

8. 日本動物学会第86回大会 2015 新潟 高校生ポスター発表

- ・優秀賞 「カブトエビ～生きている化石～」
研究者：井坪暁、小林春慶、湯本瑛亮、依田剛明（理数科3年）
指導者：西澤秀夫

9. 東京理科大学 第7回坊ちゃん科学賞 研究論文コンテスト(高校部門)

- ・佳作 「メントスコーラ ～飛び出す泡の不思議～」
研究者：山崎誠、榊原一真、西村隼杜（理数科3年）
指導者：手塚理実
- 「水力発電の有用性」
研究者：坂田春樹、春日涼太郎、小林千裕、半田大輔、依田実朗（理数科3年）
指導者：清水久樹、倉田亮輔

10. 日本植物学会第 79 回大会 高校生ポスター発表

- 「タマネギ根端組織の細胞周期と生物時計の関係」
研究者：山崎友実、池上友理、中島冬萌（理数科3年）
指導者：堀内栄子
- 「光刺激によるスプラウトの光合成色素生成」
研究者：関森智紀、瀬戸山優希、高澤隆仁、宮下朋也（理数科3年）
指導者：堀内栄子

11. SSH生徒研究発表会(インテックス大阪) ポスター発表

- 「ルミノール反応を利用した触媒の有効的使用条件の研究」
研究者：大友一輝、石坂悠介、山田貴大（理数科3年）
指導者：近藤信昭

12. 日本化学会東海支部第 24 回東海地区高等学校化学研究発表会交流会

- ・奨励賞 「シャボン玉の化学」
研究者：久保田達哉、市瀬智也、吉岡翔司（理化班2年）
指導者：小田切亨、清水加奈