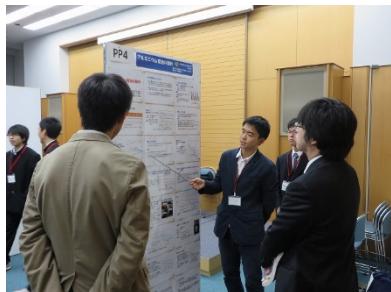


平成28年度 長野県屋代高等学校  
SSH(スーパーサイエンス)課題研究

# 研究報告書集

平成29年3月



長野県屋代高等学校理数科委員会

## 目 次

### I. 平成 28 年度 2 年理数科 課題研究

#### 【数学分野】

##### 1. 斜交座標における二次曲線についての考察

～ベクトルを用いた直交座標での方程式と二次曲線の回転の傾き～

伊草聖 坂口旺 … 1

#### 【物理分野】

##### 2. ペーパープレーンの滞空時間を延ばすには

～滞空時間を延ばす要因は～

荒川祐太 大峡谷一郎 北原悠至 若林誠彦 … 7

##### 3. 音力発電は実現可能か

～発電はできるが微量なので実用化に向けて発電効率を上げたい～

山田渓 中村祥一 山崎璃央 … 13

#### 【化学分野】

##### 4. 水溶液中におけるショ糖の還元力発現について

～二糖のグリコシド結合への pH の影響～

竹内詠茉 神田菜々子 高橋小雪 千野友莉 … 17

##### 5. 燃料電池の製作

～性能を良くするための条件を探る～

小山晟矢 深井洸成 浦山廉 羽生智哉 … 22

##### 6. メタン発酵とその定量法

～燃焼で得られた水分からエネルギーを量る～

沓掛勇介 佐藤つきの 木真奈花 … 28

##### 7. 壊れにくいバブルリングをつくる

～水の粘度によって壊れにくさが変化する！？～

坂戸源太 坂本敦士 関椋太 田島ひかる … 33

#### 【生物分野】

##### 8. イカダモのミジンコ及び糖による影響

～糖分に反応し8細胞に変化～

石河峻典 風間勇悟 田中優亮 堀内皓斗 … 37

##### 9. エンバクの他種植物に対する発芽抑制

～除草効果の及ぶ空間的・時間的範囲を探る～

伊藤朱里 井原歩 今井睦月 … 43

##### 10. バイオエタノールの生成

～廃棄される植物から生成できるのか～

宮入航大 久保田俊 武内鈴之助 … 47

#### 【地学分野】

##### 11. 液状化現象が起こりやすい条件とは？

～鍵を握る細粒層、および水圧、地下水位の影響について～

坂野萌恵 内藤寧音 増澤実咲 宮坂円莉 … 53

### II. 平成 28 年度 3 年理数科 課題研究

#### SSH The collection of Researches

… 59

#### 【資料】

##### 1. 課題研究等に関する外部評価結果一覧

平成 28 年度（平成 27 年度生）～ 平成 22 年度（平成 21 年度生）の実績

… 77

##### 2. 過去の課題研究テーマ（数学分野・理科分野）

… 80

# 斜交座標における二次曲線についての考察

～ベクトルを用いた直交座標での方程式と二次曲線の回転の傾き～

研究者：伊草聖 坂口旺

指導教諭：谷口徹博

## 1. 研究概要および目的

私たちは数学の授業でベクトルと二次曲線について学んだ。そこで互いに一次独立である  $\vec{a}, \vec{b}$  を位置ベクトルとする点 A( $\vec{a}$ ), 点 B( $\vec{b}$ ) に対して、 $\vec{p} = s\vec{a} + t\vec{b}$  ( $s, t$  は実数とする) と表される点 P( $\vec{p}$ ) の存在範囲と二次曲線との関係性について興味を持った。そして、2つのベクトル  $\overrightarrow{OA}, \overrightarrow{OB}$  に沿った座標軸をもつ平面上での図形の方程式を求め、それを直交座標に変換することで直交座標における方程式を求める。また複素数平面を応用した点の回転を用いて図形の特徴を得た。

## 2. 研究内容・研究方法

[問題]  $\triangle OAB$  に対して、点 P が次の条件を満たしながら動くとき、点 P の軌跡を求めよ。

$$\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}, s^2 + t^2 = 1$$

この図形を解析しその図形がどのような図形か知ることを目的とし研究を行った。

## 3. 研究結果

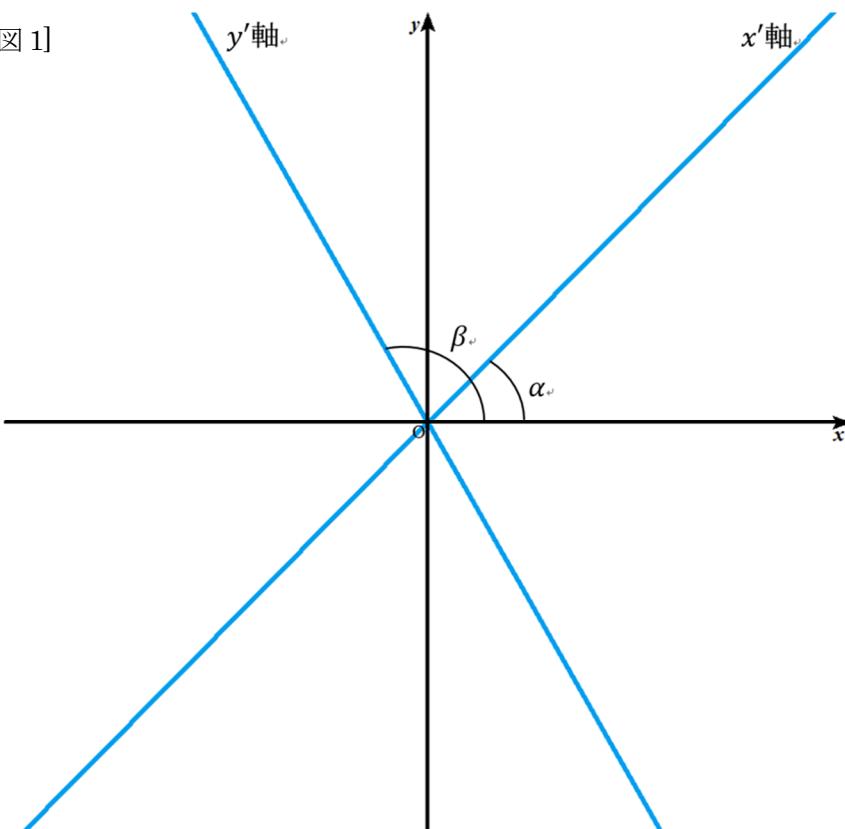
### 1) 定義

$\triangle OAB$  は  $x$ - $y$  座標上にあり、点 O は原点、点 A, 点 B は  $x'$  軸,  $y'$  軸(定義については後述)の正の軸に位置する。

図 1 のように  $x$ - $y$  座標を直交座標、 $x'$ - $y'$  座標を斜交座標とし、二つの座標の原点は同一の点とする。

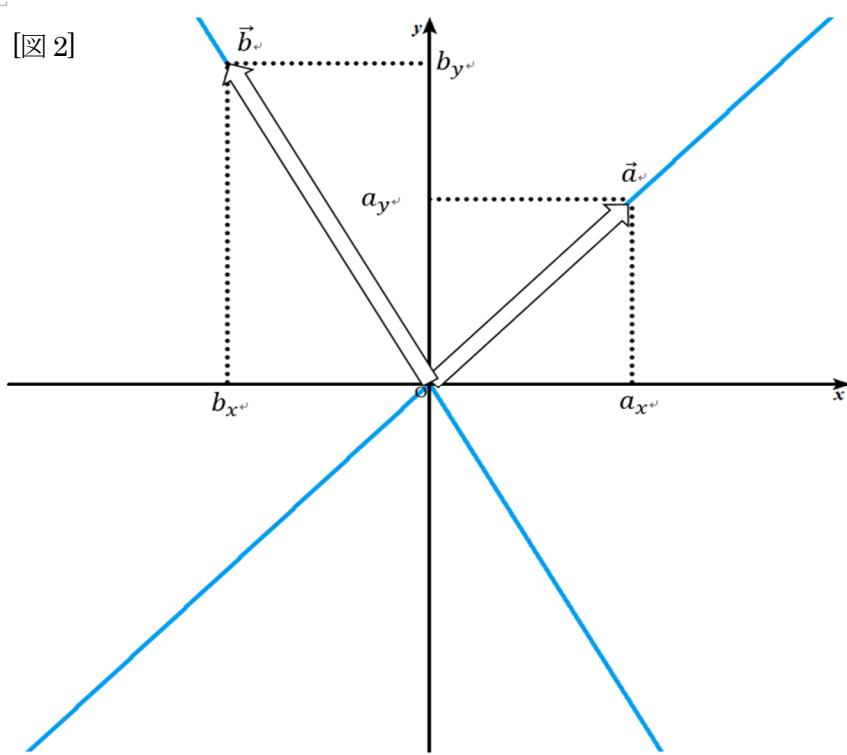
また、このとき  $x$  軸の正の方向と  $x'$  軸、 $y'$  軸とがなす角をそれぞれ  $\alpha, \beta$  ( $0 \leq \alpha < 2\pi, 0 \leq \beta < 2\pi, \sin(\alpha - \beta) \neq 0$ ) とする。

[図 1]



また、 $\overrightarrow{OA} = \vec{a}$ ,  $\overrightarrow{OB} = \vec{b}$ ,  $\overrightarrow{OP} = \vec{p}$  とし、それぞれの  $x$ - $y$  平面のベクトルの成分を  $\vec{a} = (a_x, a_y)$ ,  $\vec{b} = (b_x, b_y)$  とする。

[図 2]



## 2) 方法

次の補題の解法をもとに研究を進めていく

[補題]  $\triangle OAB$  に対して、点  $P$  が次の条件を満たしながら動くとき、点  $P$  の軌跡を求めよ。

$$\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}, s^2 + t^2 = 1$$

ある点の  $x$ - $y$  平面における座標を  $(x, y)$ 、 $x'$ - $y'$  平面における座標を  $(x', y')$  とする。

[図 3]

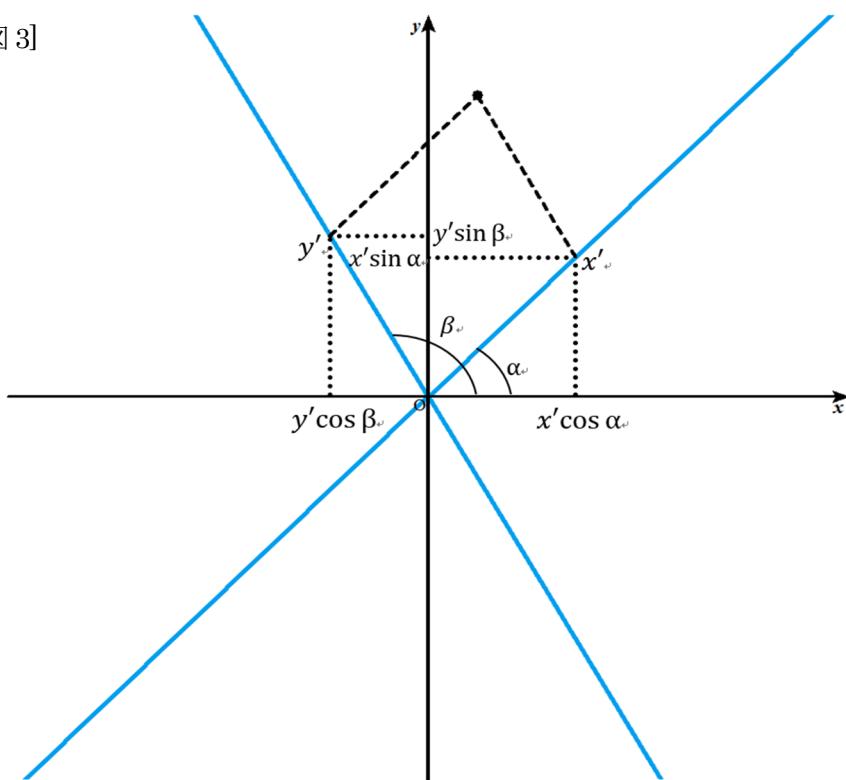


図 3 から、 $x, y$  を  $x', y'$  を用いて表すことのできる次の二つの等式が成り立つ。

$$\begin{cases} x = x' \cos \alpha + y' \cos \beta \\ y = x' \sin \alpha + y' \sin \beta \end{cases} \dots ①$$

$x', y'$ について①を解いて  $x', y'$  を  $x, y$  を用いて表すと

$$\begin{cases} x' = \frac{-x \sin \beta + y \cos \beta}{\sin(\alpha - \beta)} \\ y' = \frac{x \sin \alpha - y \cos \alpha}{\sin(\alpha - \beta)} \end{cases} \dots ②$$

ここで  $\vec{a}, \vec{b}$  の成分について考える

1)より点 A, 点 B はそれぞれ  $x'$  軸、 $y'$  軸の正の軸上に位置する。ゆえに点 A, 点 B の  $x'-y'$  平面での座標はそれぞれ点 A( $|\vec{a}|, 0$ ), 点 B( $0, |\vec{b}|$ )となる。これより  $\vec{a}, \vec{b}$  の成分は  $\vec{a} = (|\vec{a}|, 0)$   $\vec{b} = (0, |\vec{b}|)$  となることが分かる。ゆえに  $\vec{p} = (s|\vec{a}|, t|\vec{b}|)$  となる。

$x'-y'$  平面におけるある点の座標を  $(x', y')$  とすると、この点が点 P であるとき  $\vec{p} = (s|\vec{a}|, t|\vec{b}|)$  より  $x' = s|\vec{a}|$ ,  $y' = t|\vec{b}|$  となる。△OAB が存在する、つまり  $\vec{a}, \vec{b}$  は一次独立であるので、 $|\vec{a}| \neq 0, |\vec{b}| \neq 0$  である。

よって

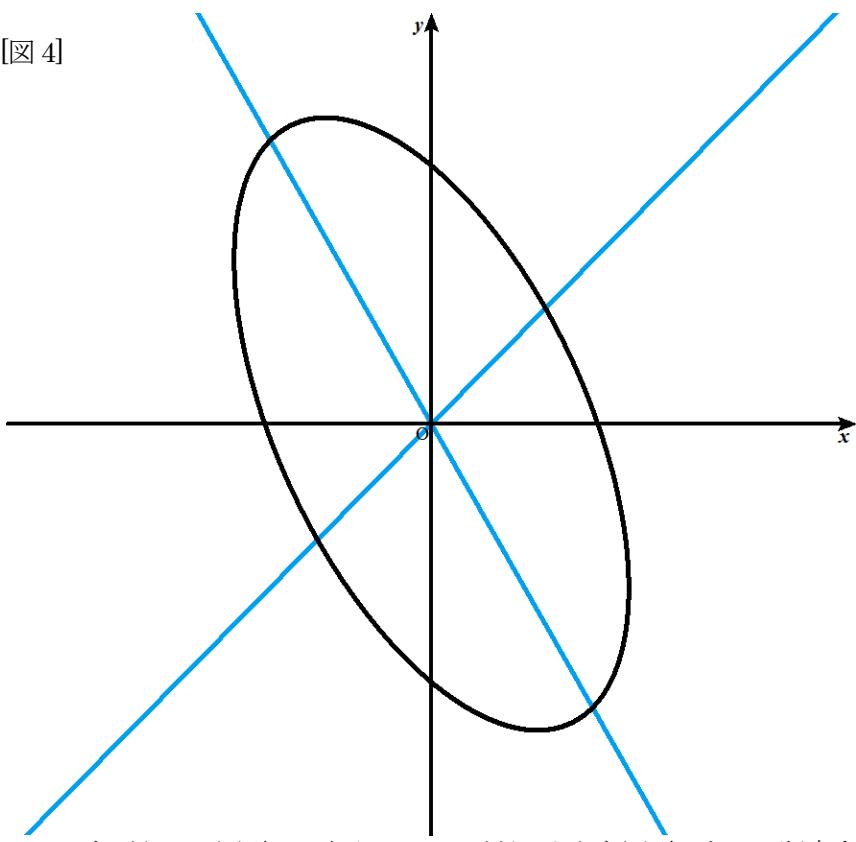
$$s = \frac{x'}{|\vec{a}|} \quad t = \frac{y'}{|\vec{b}|}$$

が成り立つ。これを補題の変数定数  $s, t$  の条件  $s^2 + t^2 = 1$  に代入すると

$$\left(\frac{x'}{|\vec{a}|}\right)^2 + \left(\frac{y'}{|\vec{b}|}\right)^2 = 1 \quad \dots ③$$

となる。この方程式より求める図形は  $x'-y'$  平面において、橢円となることが分かる。(図 4 参照)

[図 4]



しかしながらこの図形  $x-y$  平面においてがどのような図形であるか断定することができない。

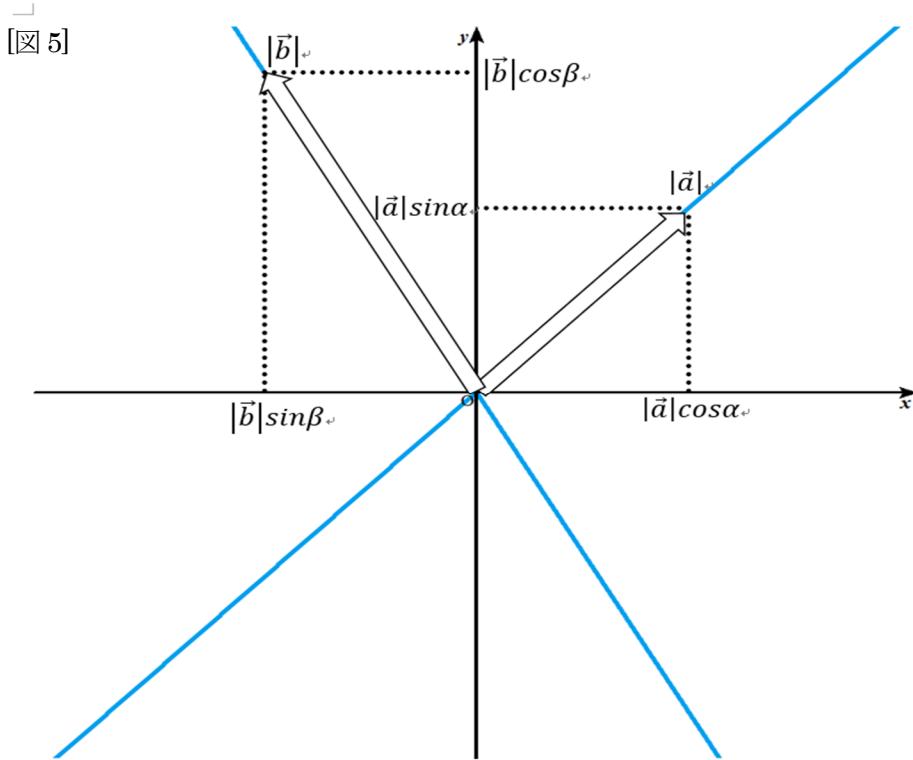
よって ②で求めた  $x', y'$  を  $x, y$  を用いて表す式、すなわち  $x', y'$  を  $x, y$  に変換することのできる方程式を代入して

$$\left\{ \frac{-x \sin \beta + y \cos \beta}{|\vec{a}| \sin(\alpha - \beta)} \right\}^2 + \left\{ \frac{x \sin \alpha - y \cos \alpha}{|\vec{b}| \sin(\alpha - \beta)} \right\}^2 = 1$$

展開して  $x^2, y^2, xy$  の項にまとめると

$$\frac{|\vec{a}|^2 \sin^2 \alpha + |\vec{b}|^2 \sin^2 \beta}{|\vec{a}|^2 |\vec{b}|^2 \sin^2(\alpha - \beta)} x^2 + \frac{|\vec{a}|^2 \cos^2 \alpha + |\vec{b}|^2 \cos^2 \beta}{|\vec{a}|^2 |\vec{b}|^2 \sin^2(\alpha - \beta)} y^2 - \frac{|\vec{a}|^2 \sin 2\alpha - |\vec{b}|^2 \sin 2\beta}{|\vec{a}|^2 |\vec{b}|^2 \sin^2(\alpha - \beta)} xy = 1 \quad \dots \textcircled{3}$$

$$|\vec{a}| \cos \alpha = a_x, |\vec{a}| \sin \alpha = a_y, |\vec{b}| \cos \beta = b_x, |\vec{b}| \sin \beta = b_y$$



$$|\vec{a}|^2 \sin 2\alpha = |\vec{a}| \cos \alpha |\vec{a}| \sin \alpha = 2a_x a_y$$

$$|\vec{b}|^2 \sin 2\beta = |\vec{b}| \cos \beta |\vec{b}| \sin \beta = 2b_x b_y$$

$$|\vec{a}| |\vec{b}| \sin(\alpha - \beta) = -|\vec{a}| \cos \alpha |\vec{b}| \sin \beta + |\vec{a}| \sin \alpha |\vec{b}| \cos \beta = -(a_x b_y - a_y b_x)$$

これらを求める図形の方程式③に代入すると

$$\frac{a_y^2 + b_y^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} x^2 + \frac{a_x^2 + b_x^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} y^2 - \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} xy = 1 \quad \dots \textcircled{4}$$

これが求める図形の  $x$ - $y$  平面の方程式となる。

しかしながらこの方程式では高校数学の二次曲線の方程式には見慣れない  $xy$  という項があり、まだ  $x$ - $y$  平面の方程式からどのような図形の方程式か断定できない。よって点の回転を用いて  $xy$  の項を消去する

複素数平面である  $X$ - $Y$  平面上に座標が  $(X, Y)$  のある点を、原点を中心に反時計回りに  $\theta$  回転させる場合について考える。 $Z = X + Y i$  とする。

偏角が  $\theta$ 、絶対値が 1 である複素数  $C (C = \cos \theta + \sin \theta i)$  があると、

$$\arg ZC = \arg Z + \arg C = \arg Z + \theta, |ZC| = |Z||C| = |Z|$$

の二つの等式が成り立つ。座標が $(X, Y)$ のある点を、原点を中心に反時計回りに $\theta$ 回転させた点の座標を $(x, y)$ とすると

$$x + yi = (X + Yi)(\cos \theta + \sin \theta i) = (X \cos \theta - Y \sin \theta) + (X \sin \theta + Y \cos \theta)i$$

この恒等式をといて

$$(x, y) = (X \cos \theta - Y \sin \theta, X \sin \theta + Y \cos \theta) \quad \dots \textcircled{5}$$

これより点 $(x, y)$ を時計回りに $\theta$ 回転させた点の座標は $(X \cos \theta - Y \sin \theta, X \sin \theta + Y \cos \theta)$ となる。  
求める図形の方程式 $\textcircled{4}$ に $\textcircled{5}$ を代入して

$$\begin{aligned} & \frac{a_y^2 + b_y^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} (X \cos \theta - Y \sin \theta)^2 + \frac{a_x^2 + b_x^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} (X \sin \theta + Y \cos \theta)^2 \\ & - \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} (X \cos \theta - Y \sin \theta)(X \sin \theta + Y \cos \theta) = 1 \end{aligned}$$

展開してまとめると

$$\begin{aligned} & \frac{(a_x^2 + b_x^2) \sin^2 \theta + (a_y^2 + b_y^2) \cos^2 \theta}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} X^2 + \frac{(a_x^2 + b_x^2) \cos^2 \theta + (a_y^2 + b_y^2) \sin^2 \theta}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} Y^2 \\ & + \left\{ \frac{(a_y^2 + b_y^2)(-2 \sin \theta \cos \theta)}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} + \frac{(a_x^2 + b_x^2)(2 \sin \theta \cos \theta)}{(a_x b_y - a_x b_y)^2} - \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{(a_x b_y - a_x b_y)^2} \right\} \\ & = 1 \end{aligned}$$

この方程式が高校数学で習う

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

の形になると、 $XY$ の係数は0となるので

$$\frac{(a_y^2 + b_y^2)(-2 \sin \theta \cos \theta)}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} + \frac{(a_x^2 + b_x^2)(2 \sin \theta \cos \theta)}{(a_x b_y - a_x b_y)^2} - \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{(a_x b_y - a_x b_y)^2} = 0$$

整理して

$$\frac{a_x^2 - a_y^2 + b_x^2 - b_y^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} \sin 2\theta - \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} \cos 2\theta = 0$$

これを満たすとき

$$\sin 2\theta : \cos 2\theta = \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} : \frac{a_x^2 - a_y^2 + b_x^2 - b_y^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} \quad \dots \textcircled{6}$$

$$\tan 2\theta = \frac{\sin 2\theta}{\cos 2\theta}$$

ゆえに、 $\textcircled{6}$ のとき

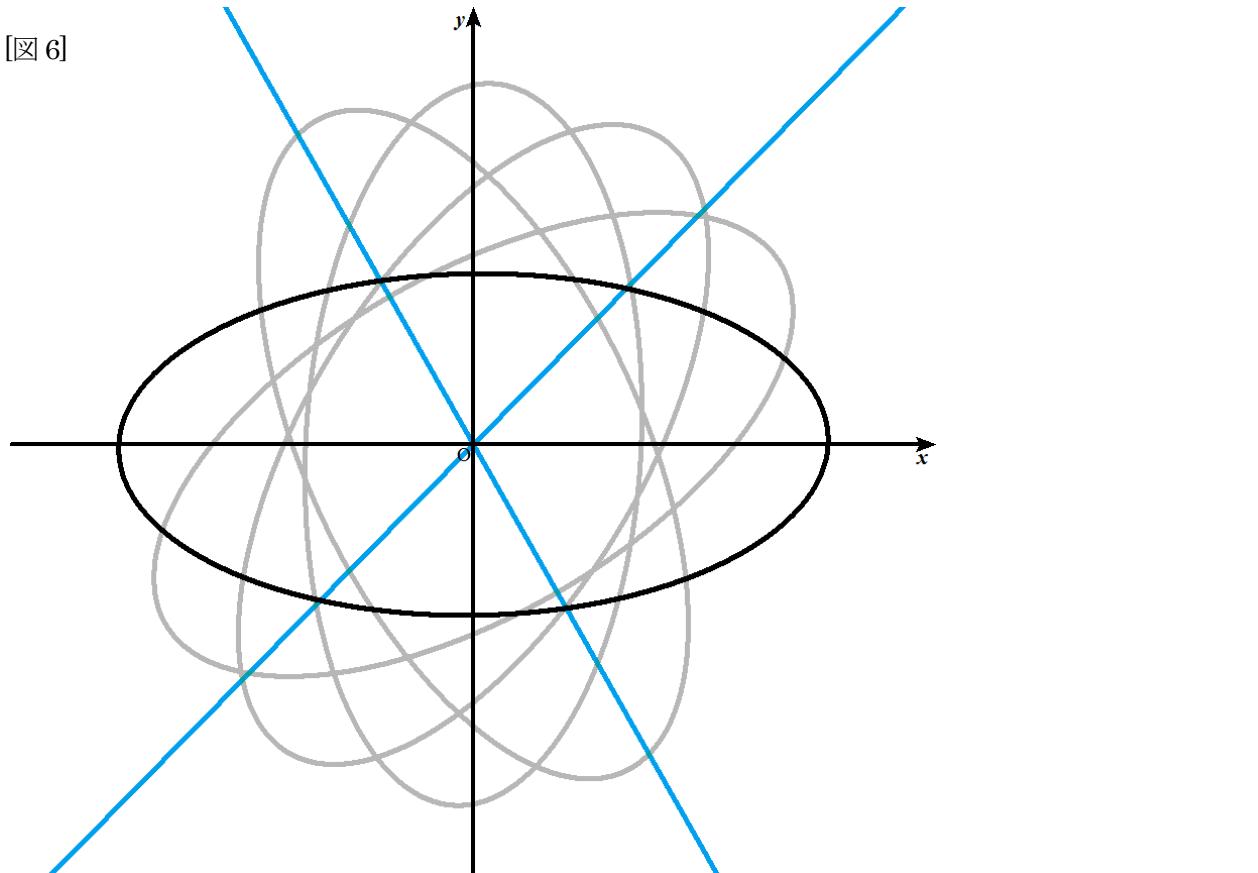
$$\tan 2\theta = \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)}{a_x^2 - a_y^2 + b_x^2 - b_y^2}$$

となる。

よって、求めた図形④をこれを満たす $\theta$ 原点を中心に時計回りに回転させることで、方程式が  
 $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

の形になるので、 $x$ - $y$ 平面においても図形④は橢円形である。

またこれを満たす $\theta$ 原点を中心に時計回りに回転させることで図形④の短軸と長軸が $x$ 軸、 $y$ 軸とに重なる。



#### 4. まとめ

[問題]  $\triangle OAB$  に対して、点  $P$  が次の条件を満たしながら動くとき、点  $P$  の軌跡を求めよ。  
 $\overrightarrow{OP} = s\overrightarrow{OA} + t\overrightarrow{OB}, s^2 + t^2 = 1$

この問題を解くことで以下の結論を得た

《結論 1》 この問題の表す図形の方程式は

$$\frac{a_y^2 + b_y^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} x^2 + \frac{a_x^2 + b_x^2}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} y^2 - \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)}{(a_x b_y - a_y b_x)^2} xy = 1$$

《結論 2》  $x'$ - $y'$  平面における橢円形を

$$\tan 2\theta = \frac{2(a_x a_y + b_x b_y)}{a_x^2 - a_y^2 + b_x^2 - b_y^2}$$

を満たす $\theta$ 原点を中心に時計回りに回転すると、橢円の短軸と長軸が $x$ - $y$ 平面の二つの軸と重なる。

#### 5. 参考文献

[数研出版] 高校学校 数学III

# ペーパープレーンの滞空時間を延ばすには

～滞空時間を延ばす要因は～

研究者：荒川祐太 大岐聰一郎 北原悠至 若林誠彦

指導教諭：福島哲夫

## 1. 研究目的

紙飛行機はよく飛ぶ物やそうでないものがある。どのような条件を変えることで滞空時間をより延ばすことができるのかを研究したいと思った。そこで私たちは、翼の形状、上反角、翼のアスペクト比、機体の重心に着目して実験を行った。

## 2. 研究内容・研究方法

### (1) 飛ばし方

幅 1.1mm、1 つ当たりの質量 6.8g の輪ゴムを 3 つ繋げ以下の条件で発射台から機体を飛ばした。

発射角度・・・[実験 1] 45°、[実験 2、3、4] 30°

ゴムを引く長さ・・・105cm ゴムの張力・・・5.0N 発射時の高さ・・・105 cm

ペーパープレーンを発射した瞬間からペーパープレーンが床につくまでの滞空時間を 10 回記録する。

### (2) 機体について

機体はハンドランチ機の設計図を基に製作した

機体の縦の長さ・・・31cm 翼の横の長さ・・・32cm 上反角・・・実験 2 以外 15°

翼の縦の長さ・・・実験 1、3 以外 5.2 cm 質量・・・実験 3 以外 18±1.0

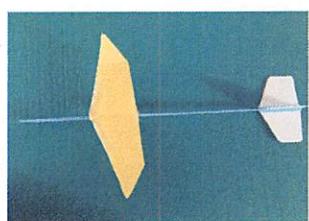
### (3) 実験内容

〈実験 1〉鳥の翼を模倣して、機体の翼の形状を変える。

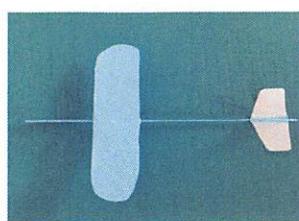
鳥には空を飛行するための優れた構造が多々ある。そして、飛行において翼の形状というのは大きな影響を及ぼしているのではないかと考えた。

そこでペーパープレーンの主翼を下の(図 1)のように鳥の『尖翼』『円翼』『裂翼』を模した翼を用いて実験を行った。

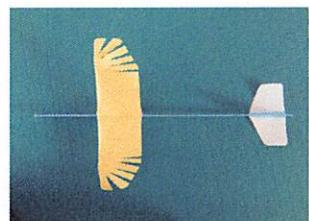
(図 1)



尖翼



円翼



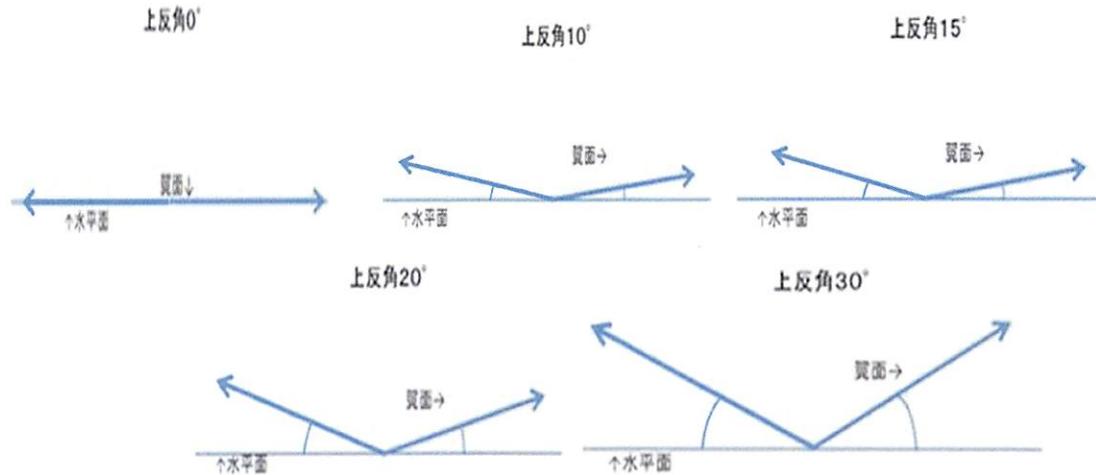
裂翼

〈実験 2〉機体の翼の上反角を変える。

上反角とは、飛行機の主翼を前から見たとき、主翼が取り付けられている部分から翼の端に向かって反り上がっている場合、翼と水平面のなす角のことをいう。上反角を設けることで機体が傾いたときに、もとの姿勢に戻そうとする力が働く。そこで、私たちは機体の上反角を変えることで機体の飛び

方に影響が出るのではないかと考えた。ペーパープレーンの主翼の上反角を(図2)のように $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$ に変えて実験を行った。

(図2)



〈実験3〉機体の翼のアスペクト比を変える。

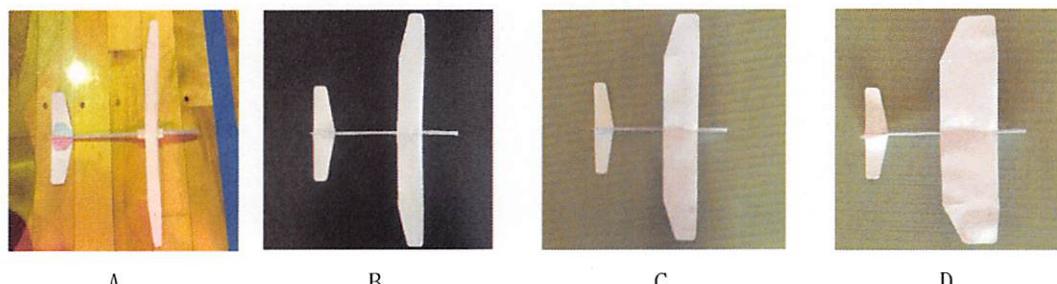
$$\text{アスペクト比は次の式で表すことができる} \cdots \text{アスペクト比} = \frac{\text{翼幅 (両翼端間の距離)}}{\text{翼弦 (翼の前後の長さ)}}$$

理論上ではこのアスペクト比が大きい、すなわち翼が細長いほど空気抵抗が小さくなり、安定性が増し滞空時間が長くなる。私たちは、(図3)のように翼の横の長さを変えずに縦の長さを2.6cm、5.2cm、7.7cm、10.3cmと変えて実験を行った。

[各機体の翼弦の長さとアスペクト比]

A	翼弦の長さ	2.6cm	アスペクト比	11.9
B	〃	7.7cm	〃	4.03
C	〃	5.2cm	〃	5.96
D	〃	10.3cm	〃	3.01

(図3)



A

B

C

D

〈実験4〉機体の重心を変える。

設計図を基に機体を作成しているため作成時の重心が最も滞空時間が長くなると思われるが重心を変えることによって飛び方や滞空時間に変化がみられるのかを検証しようと考えた。そこで作成時の重心の位置を基準として、基準の位置から(図4)のように前後に5mmずつずらして実験を行った。

基準の重心位置の機体・・・X

基準の重心位置から前方に5mmにずらした機体・・・Y

基準の重心位置から後方に5mmにずらした機体・・・Z とする

※重心位置は機体の先端からの長さ

※基準の重心位置は前から 11.3cm

(図4)



### 3. 研究結果・考察

〈実験1〉鳥の翼を模倣して、翼の形状を変える。

結果は下の表1のようになった。

(表1)

	尖翼	円翼	裂翼
1回	2.72s	1.77s	1.90s
2回	2.70s	2.37s	1.68s
3回	2.55s	1.90s	1.67s
4回	3.00s	2.15s	1.70s
5回	3.14s	2.78s	1.67s
6回	2.57s	1.91s	1.85s
7回	3.21s	2.37s	1.87s
8回	2.98s	2.30s	1.81s
9回	3.00s	2.10s	1.97s
10回	2.98s	2.11s	1.81s
平均	2.89s	2.16s	1.80s

[平均滞空時間]

尖翼・・・2.89s

円翼・・・2.16s

裂翼・・・1.80s

#### [翼ごとの飛び方]

尖翼・・・最も速く、比較的安定して飛んでいたが、ほかに比べて高くは飛ばなかった。

円翼・・・3つの翼の中で最も急激に上昇し、急激に落下した。

裂翼・・・不安定な飛行で機体が回転してしまった時があった。

#### (考察)

尖翼が安定して速く飛んだのは翼の面積が一番小さいことため空気抵抗が小さかったからだと考えられる。

円翼はほかの翼に比べて翼の面積が大きく空気抵抗が大きいため、他の機体より大きく上昇した。

裂翼は他の機体に比べて不安定に飛行していた。これは裂翼の先端部が変形しやすくなっているため飛行が安定しなかったと考えられる

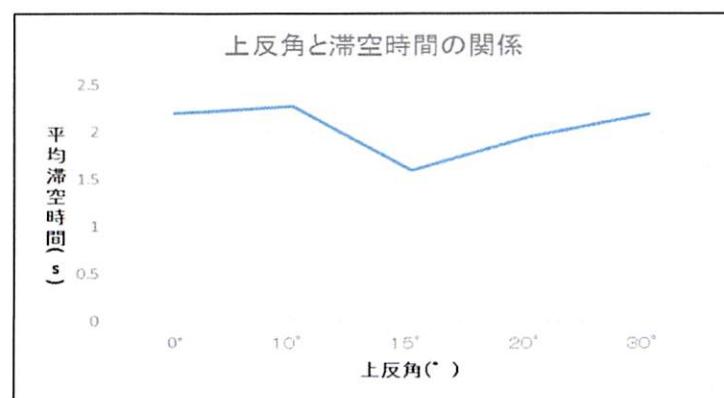
〈実験2〉機体の翼の上反角を変える。

結果は(グラフ1)のようになった。

(グラフ1)

[平均滞空時間]

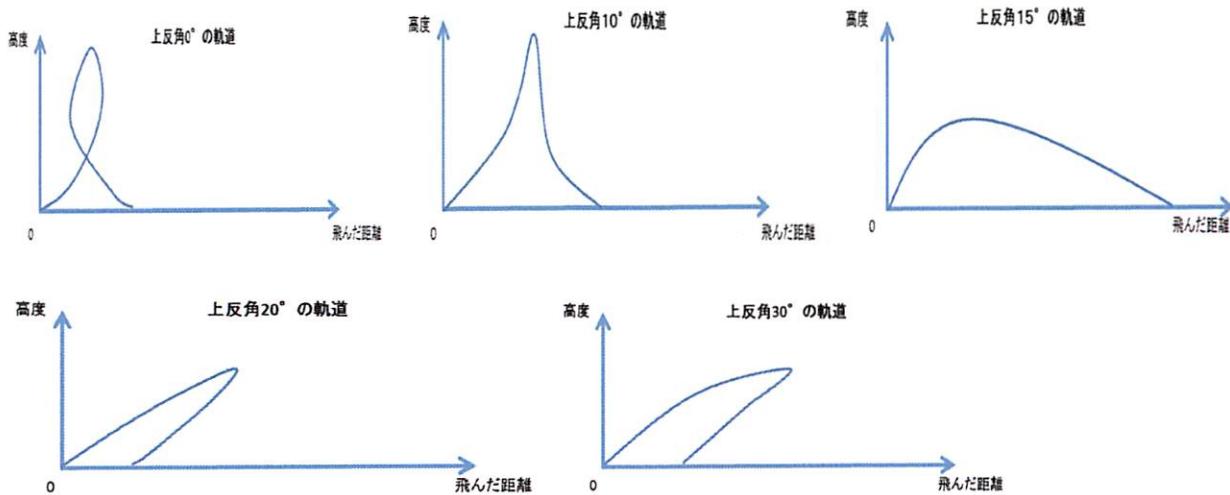
上反角	0°	・・・	2.20s
〃	10°	・・・	2.28s
〃	15°	・・・	1.61s
〃	20°	・・・	1.95s
〃	30°	・・・	2.18s



## [飛び方]

- 上反角  $0^\circ$  急激に上昇し宙返りをして地面に着地した。
- 〃  $10^\circ$  上昇し上がりきったところから急激に下降した。
- 〃  $15^\circ$  あまり上昇せず最も飛び方が安定して飛び距離も長かった。
- 〃  $20^\circ$  上昇し旋回しながら地面に着地した。
- 〃  $30^\circ$   $20^\circ$  と同様に上昇し旋回しながら地面に着地した。

## 〈上反角ごとの軌道〉



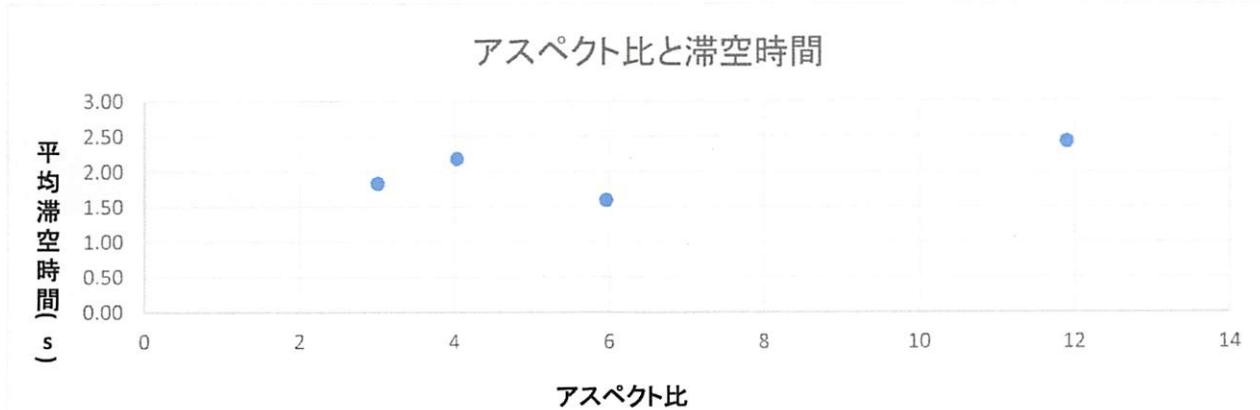
## (考察)

上反角は機体が傾いたときその傾きを戻そうとする力が働くが、上反角  $0^\circ$  の機体は上反角がないので機体を安定した飛行に戻そうとする力が働くない、そのため発射時に機体が上向きに向いているのでそのまま上昇して垂直方向に回転してしまった。上反角  $10^\circ$  は上反角  $0^\circ$  ほど極端に上昇するということが見られず、上がりきったところで急下降した。上反角  $15^\circ$  は安定した飛行になったが、あまり上昇せずに直線的に進んだので滞空時間は短かった。上反角  $20^\circ$  、上反角  $30^\circ$  は機体が傾いたとき傾きを修整しようとする力が働くかず、水平方向に旋回する結果になってしまった。

上反角は  $15^\circ$  付近から機体の飛行を安定させる力が働くと思われるが、安定してまっすぐ飛ぶ分上昇しなかったため滞空時間は短くなってしまった。

## 〈実験3〉 機体の翼のアスペクト比を変える。

結果は下のグラフ2のようになった (グラフ2)



[平均滞空時間]

アスペクト比 3.01 · · · 1.84s

〃 4.03 · · · 2.18s

〃 5.96 · · · 1.60s

〃 11.9 · · · 2.43s

[飛び方]

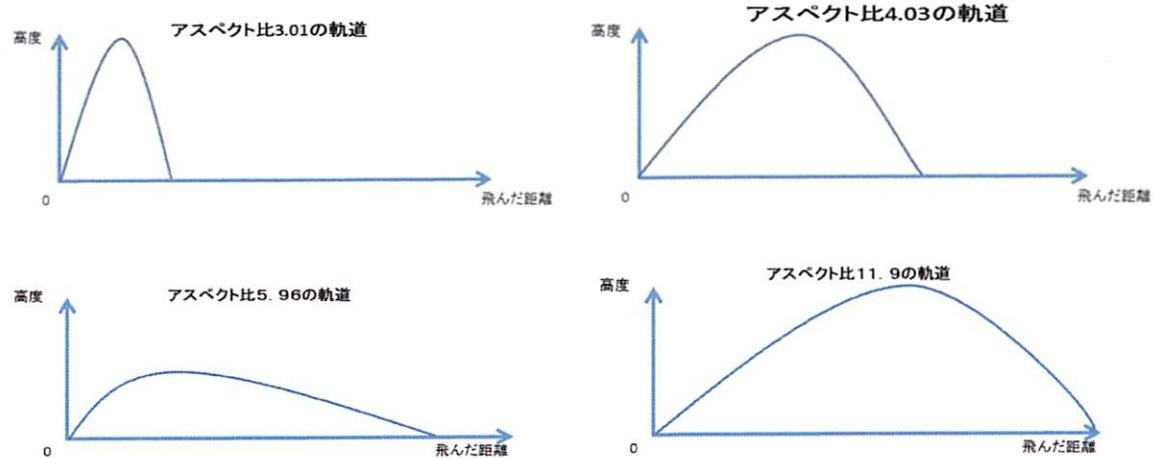
アスペクト比 3.01 急激に高く上昇し急激に下降した。飛距離短い。

〃 4.03 アスペクト比 3.01 よりも緩やかに上昇し緩やかに下降した。

〃 5.96 実験 2 の上反角 15° の機体と同じ飛び方になった

〃 11.9 緩やかに上昇し緩やかに下降した。最も高く上昇した。飛距離は長い。

〈アスペクト比ごとの軌道〉



(考察)

アスペクト比 11.9 が最も滞空時間が長かった。細長く面積が小さい翼は空気抵抗が減る。そのため発射した角度のまま高く直線的に飛んだと考えられる。

アスペクト比 5.96 の機体は実験 2 の上反角 15° の機体と条件が同じで安定した飛行になった。

アスペクト比 3.01 と 4.03 の機体は翼の面積が大きいため空気抵抗が大きく、上昇する力が働いたため大きく上昇して急激に下降した。

アスペクト比が大きい、すなわち翼が細長いほど滞空時間が長くなるという理論と同じ結果が得られた。

〈実験 4〉 機体の重心を変える。

結果は下の表 2 のようになった。

(表 2)

重心位置	X	Y	Z
1回	1.21s	1.38s	2.05s
2回	1.47s	1.35s	1.08s
3回	2.19s	1.38s	1.17s
4回	1.62s	1.28s	1.77s
5回	2.17s	1.27s	1.44s
6回	2.09s	1.15s	1.67s
7回	1.47s	1.04s	1.61s
8回	1.05s	1.38s	1.74s
9回	1.25s	1.37s	1.46s
10回	1.45s	1.36s	1.90s
平均値	1.60s	1.30s	1.59s

[平均滞空時間]

X · · · 1.60s

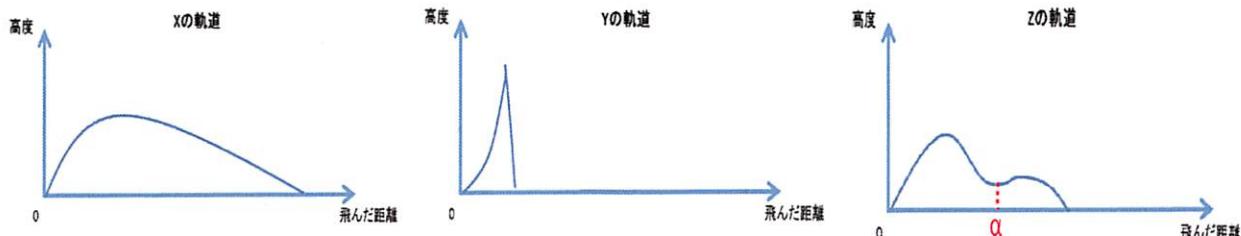
Y · · · 1.30s

Z · · · 1.59s

## 〔飛び方〕

- X ・・・ 実験2の上反角  $15^\circ$  の機体と同じと同じ飛び方になった。  
Y ・・・ 飛行中に機体が回転した。急激に上昇しほぼ直角に落下した。  
Z ・・・ 飛行中に機体が上下に反転し、そのまま少し飛んだ。

## 〈各重心位置の軌道〉



## (考察)

重心を変えていない機体は実験2の上反角  $15^\circ$  の機体と条件が同じで安定した飛行になった。  
重心を前方に5mmずらした機体は、上昇した後に下を向いて急激に下降した。  
重心を後方に5mmずらした機体は、軌道の図の  $\alpha$  で表した所で上下に反転してしまい、そのまましばらく飛行した。  
重心を基準の位置から前後にずらすと、上下に反転したり、前方から落ちてしまい不安定な飛行となった。不安定になった原因はまだわかっていない。

## 4. まとめ

〔実験1〕～〔実験4〕の結果を踏まえると各実験で条件を変えることによって滞空時間が変化したことにより翼の形状、上反角、アスペクト比、重心位置はペーパープレーンの滞空時間に影響を及ぼしていることが分かった。  
また、翼の形状は尖翼、上反角は  $10^\circ$  、アスペクト比は 11.9、重心は先端から 11.3 cm の条件が滞空時間が長くなる。  
私たちはあまり上昇せず安定してまっすぐ飛ぶ方が滞空時間が長くなると予想していたが、上昇したり旋回したほうが滞空時間が長くなっているという傾向があった。

## 5. 今後の展望

- ・各条件での滞空時間が長かった値を総合しても最も滞空時間が長いと思われるペーパープレーンを作製し滞空時間を測定する。
- ・発射角度は滞空時間に影響を与えているのかを調べる。

## 6. 参考文献

- ・飛んでる鳥展 我孫子市  
<http://www.city.abiko.chiba.jp/bird-mus/info1/kako.files/spex73.pdf>
- ・石野氏設計ハンドランチ機
- ・航空実用辞典

# 音力発電は実現可能か

～発電はできるが微量なので実用化に向けて発電効率を上げたい～

生徒名：山田渓 中村祥一 山崎璃央

指導教諭：武井統

## 1. 研究概要および目的

エネルギー問題が深刻化していく中、私たちは新たな再生可能エネルギーについて考え、スピーカーから音が出る原理の逆を利用して発電するという方法を知った。これまで発電材料としてあまり注目されてこなかった音を使うにあたり、音力発電の実用化に向けて、効率よく発電する方法を探りたい。そこで、私たちは小さな振動を電気に変えることのできる、圧電素子を用いることにした。私たちは圧電素子を用いることによって、音を電気エネルギーに変換し、より大きな電流を得るためにどのような条件が発電に適するのかを調べた。

## 2. 研究内容・研究方法

紙コップの底を円形にくりぬいた部分に圧電素子の縁が 2mm ほどかぶるようにはりつける。紙コップの口を上向きにして机に置き、その上に机の表面から高さ 15cm の場所にスピーカーを固定し、音の高さ[Hz]、音の大きさ[dB]を変化させる。それぞれの場合の得られる電流[ $\mu$ A]を記録しグラフにまとめ、音の大きさを変化させたときと振動数を変化させたときに生じる電流の関係を調べる。音の大きさについては、騒音の一つの例として、電車の線路から 6 m 離れた地点での騒音器の測定結果から 85 dB 以上の大きさの音を実験に用いた。

### 《圧電素子の仕組み》 (※1)

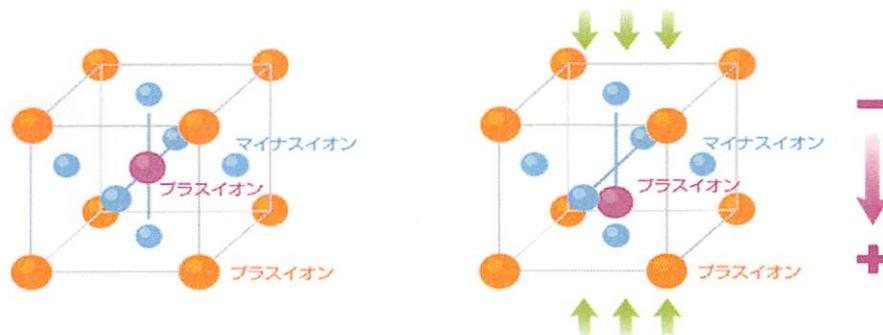
#### 電気分極の原理

< 通常時 >

(結晶体の中央にプラスイオンが存在)

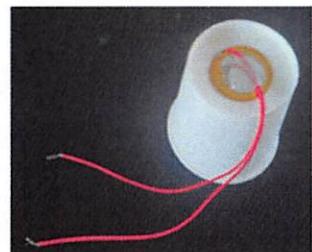
< 圧力をかけたとき >

(プラスイオンの位置が結晶内のほかのイオンと相対的にずれる)



#### 【実験 1】

音の高さによって得られる電流はどのように変化するのかを調べる。增幅器で音の大きさを一定にし、低周波発信器で音の高さを 10Hz ずつ、50~300Hz 間で計測した。



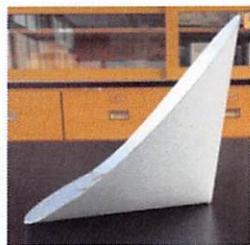
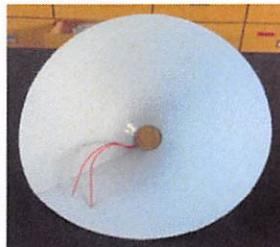
↑実験に使った紙コップと  
圧電素子

#### 【実験 2】

低周波発信機で音の高さを一定にし (実験 1 と同値)、增幅器を用いてそれぞれの音の大きさを、90, 95, 100, 105, dB に変化させ、音の大きさと得られる電流との関係を調べる。

### 【実験3】

紙コップの代わりに下の写真のような円錐形の装置を用いて実験1と同様な実験を行い、得られる電流がどのように変化するかを調べた。



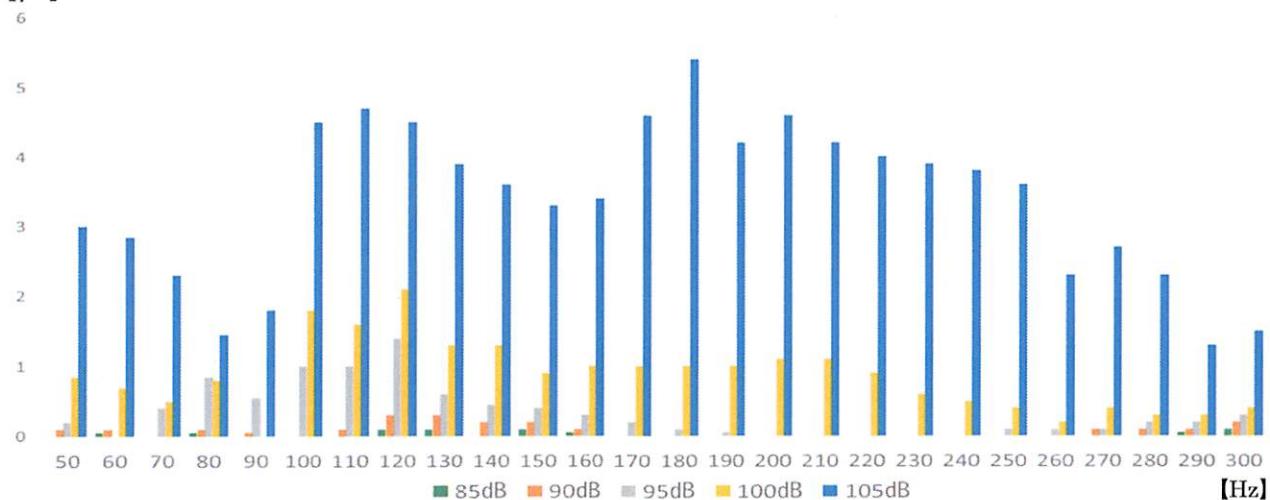
←実験3で用いた円錐形の装置

↑実験1, 2の様子

## 3. 実験結果・考察

### 【実験結果1】

【 $\mu$ A】

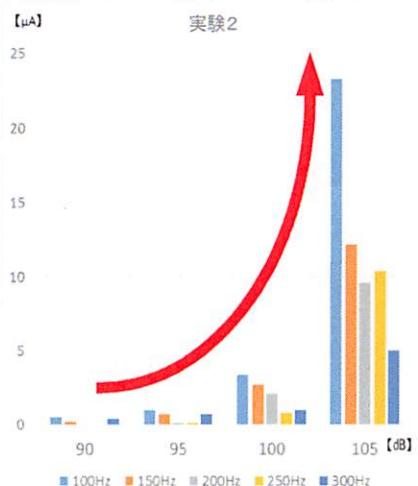


実験結果1より、得られる電流は周期的に増減した。約70~80Hzごとに比較的大きな電流が得られた。

その原因として、紙コップの共振(※)により、特定の周波数で得られる電流が大きくなつたと考えられる。

※共振…振動する物体が、外部の振動と同期してさらに大きく振動すること。

### 【実験結果2】



音の大きさが大きいほど得られる電流は大きくなつた。これは、音の振幅が大きくなることにより、圧電素子のひずみが大きくなるためだと考えられる。また、105 dBの場合 100 dB以下の場合に比べて大幅に得られる電流が増加し、二次曲線のようなグラフが得られた。

その原因として、下に記した様に、単振動のエネルギーは、振幅の二乗と振動数の二乗に比例するので、二次曲線のようなグラフが得られたと考えられる。

しかし、グラフから読み取れる様に、振動数が増加するにつれて、得られる電流は減少していたため、一概に比例するとは言えなかつた。

音は単振動であり、単振動のエネルギーは以下の公式で表される。

(m…質量、v…速さ、A…振幅、 $\omega$ …角速度、t…時間、f…振動数)

運動エネルギー  $E_k = \frac{1}{2} m v^2$   $v = A \omega \cos \omega t$  を代入して、

$$E_k = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2 \omega t$$

位置エネルギー  $E_u = \frac{1}{2} K x^2$   $x = A \sin \omega t$

$K = m \omega^2$  を代入して、

$$E_u = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \omega t$$

力学的エネルギー = 運動エネルギー + 位置エネルギーより、

$$E = E_k + E_u$$

$$= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 (\cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t)$$

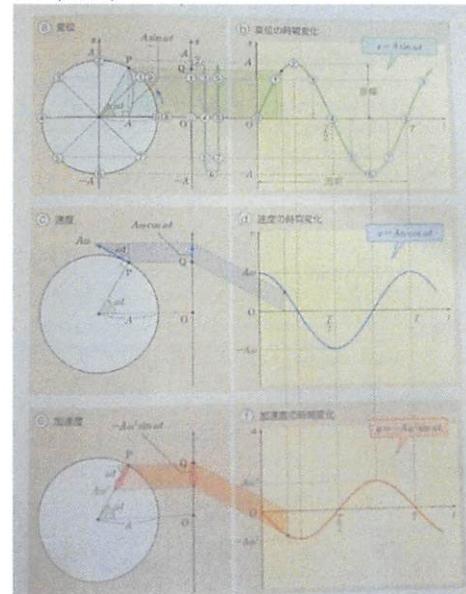
$$= \frac{1}{2} m \omega^2 A^2$$

$\omega = 2\pi f$  を代入すると、

$$E = \frac{1}{2} m (2\pi f)^2 A^2$$

$$= 2\pi^2 m f^2 A^2$$

(※2)



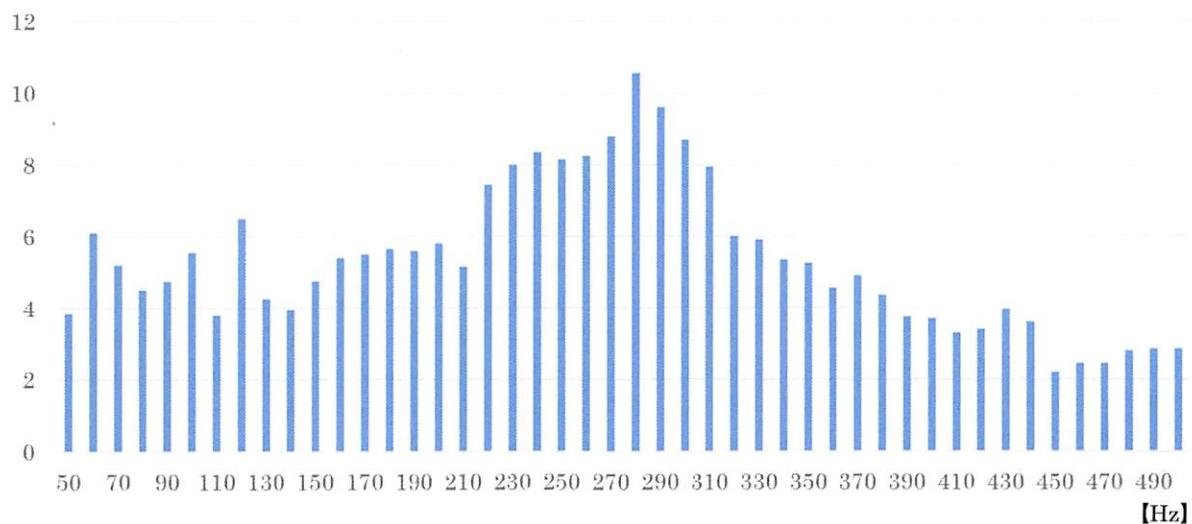
したがって、理論的には振動数(f)が多いほど単振動のエネルギー、

すなわち圧電素子をゆがませる力は大きくなり、得られる電流も大きくなる。

### 【実験結果3】

【 $\mu A$ 】

### 実験結果3



紙コップを用いた装置に比べ、およそ2倍の電流が得られた。実験1の様に周期的に増減していないことがわかった。

その原因として、実験3で用いた装置が紙コップより音の振動が伝わる面積が大きかったため、より多くの音が集められたと考えられる。

実験1から、電流が周期的に増減した理由としては、音を集める装置(紙コップ)の共振が考えられるが、今回の実験では振動数の範囲が狭く、十分なデータを得られなかつたため、装置の共振によるものと断言することはできなかった。





#### 4. まとめ

実験結果より、音力発電によって得られる電流では、発光ダイオード等の小さな電力を必要とする発光体でさえも、十分に発光させることはできなかった。しかし、今回の実験では電流のみの計測となり、電圧、圧電素子の抵抗を確認できなかったため、計算によって発光が不可能であると裏付けることはできなかった。

今回は、音の条件、音を集約する装置の形状を変化させ実験を行った。しかし、私たちの住むこの世界では、ある一定の高さの音を発する環境を生み出すことは難しいと考えられる。そこで、今後は音を集める装置の方に重点を置き、大きな電流を得られる素材、構造を追究していきたい。

#### 5. 参考文献

速水浩平 (2008) 「振動力発電のすべて」 日本実業出版社

(※1) TDK Techno Magazine <http://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/200803u/>

吉澤純夫 (2006) 「音のなんでも実験室」 株式会社講談社

戸井武司 (2004) 「トコトンやさしい音の本」 日刊工業新聞社

(※2) 國友正和 (2012) 「物理」 数研出版

# 水溶液中におけるショ糖の還元力発現について

～二糖のグリコシド結合への pH の影響～

研究者：神田菜々子 高橋小雪 竹内詠菜 千野友莉

指導教諭：小田切亨

## 1. 研究目的

たのしくわかる化学実験辞典（東京書籍）<sup>1)</sup>では手鏡づくりの予備欄に「還元性のないショ糖が、根拠はわからぬが実用的な銀メッキでは使われている」との記述がある。私たちはなぜ、どのような条件でショ糖が還元性を示すのか、グリコシド結合(单糖どうしの結合)の加水分解に注目して調べることにした。同時に授業で学ぶ他の二糖についても比較するために考察する。

## 2. 研究方法

### 【実験 1】各種糖の銀鏡反応による還元力の確認

糖の還元力の確認のために銀鏡反応を用いた。銀鏡反応は還元力のある物質を用いて、溶液中にある銀イオンを還元し、器壁に銀が生じることで鏡のようになる反応である。私たちの実験では 0.10 mol/L 硝酸銀水溶液約 3mL に 1.0 mol/L アンモニア水を加え、約 4mL のアンモニア性硝酸銀水溶液(トーレンス試薬)とした。これに 0.10 mol/L の糖水溶液 0.50 mL を加え、約 60°C の温水に浸し反応させた。銀が生じた場合、その糖は還元糖であると判断される。糖は、表 1 に示した单糖 2 種、二糖 4 種を用いた。

分類	糖	還元力
单糖	グルコース (Glc)	有
	フルクトース (Fru)	有
	ショ糖 (Suc)	無
二糖	マルトース (Mal)	有
	セロビオース (Cello)	有
	ラクトース (Lac)	有

表 1 実験で用いた糖と還元力の有無

### 【実験 2】糖のペーパークロマトグラフィーと展開溶媒の検討

糖の分析には、ペーパークロマト上昇法<sup>2)</sup>を用いた。各糖 0.10 mol/L 溶液を、東洋汎紙 No. 50 (20cm × 18cm) に 0.10 μL スポットし、展開溶媒は、溶媒 A: 70% 1-プロパノール水溶液、溶媒 B: 1-プロパノール : 酢酸エチル : 水 = 3 : 2 : 1 を用い展開状況を検討した。展開装置は、大型のコーヒー瓶(図 1)を用いて 30°C で展開した。発色は、硝酸銀浸漬法を用いた。硝酸銀浸漬法は展開後、汎紙を乾燥させ、硝酸銀アセトン溶液に浸漬、乾燥、その後アルカリ性メタノールで発色させて定着液 KodacF24 fixer に浸漬し、十分水洗いし乾燥させる方法である。



図 1 ペーパークロマト展開装置

### 【実験 3】ショ糖溶液の還元力発現と pH について

0.10 mol/L Suc 溶液の pH を 3, 5, 7, 9, 11, 13 となるよう酢酸と水酸化ナトリウム水溶液を用いて調整し、60°C の温水に浸し反応させ 5 分放置後、溶液を中性に戻して銀鏡反応を実施した。中性に戻す際には酢酸と水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

#### 【実験4】pHによるショ糖他二糖の加水分解の検討

0.10mol/L Suc, Mal, Cello 溶液を酢酸と水酸化ナトリウム水溶液を用い pH 3, 5, 7, 9, 11, 13, 14 に調整した。

なお、反応の進行を防ぐため、反応させる時以外は氷水に浸した。60°C恒温水槽に10分間浸し反応させ、その後溶液を中性に戻した。各糖溶液のペーパークロマトを行い、加水分解状況を検討した。

#### 【実験5】pH13水溶液中のショ糖他二糖の加水分解に及ぼす温度の影響

0.10mol/L, pH13 Suc, Mal, Cello 溶液を 15, 30, 50, 60, 80°Cの恒温水槽に10分間浸し反応させ、上記同様にペーパークロマトグラフィーを行い、各糖溶液の加水分解状況を検討した。

#### 【実験6】pH13, 60°C水溶液中のショ糖他二糖の加水分解物の経時変化

0.10mol/L, pH13 の Suc, Mal, Cello 溶液を 60°Cの恒温水槽に 0, 5, 10, 30, 50, 60 分間浸して反応させ、上記同様にペーパークロマトグラフィーを行い、各糖溶液の加水分解状況を検討した。

#### 【実験7】ショ糖他二糖の分子模型による加水分解性の検討

HGS 分子構造模型（丸善・島津）を用い Suc, Mal, Cello の模型を正確に組み立て原子間の距離、分子運動する際の立体障害、エネルギー的な安定性等について考えた。また、酸性水溶液中における  $H^+$ と塩基性水溶液中における  $OH^-$ のグリコシド結合への攻撃、加水分解性のイメージ化を試みた。

### 3. 実験結果・考察

#### 【実験1】各種糖の銀鏡反応による還元力の確認

還元糖では銀鏡ができ、Suc のみ銀鏡ができなかつた。よって、教科書どおり Suc は還元力を示さない結果となった（図2）。

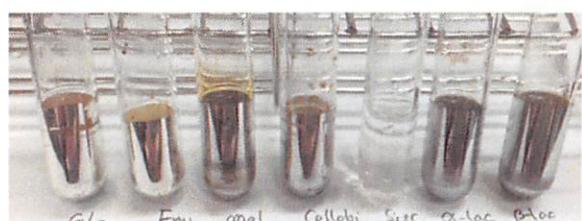


図2 各種糖の銀鏡反応結果

#### 【実験2】糖のペーパークロマトグラフィーと展開溶媒の検討

両展開溶媒のクロマトグラムを比較すると、溶媒 A での糖の移動が大きくペーパークロマトグラフィーに使いやすいことが分かった（図3）。今後、二糖の加水分解の検討には溶媒 A:70%1-プロパノールを用いる。また、硝酸銀浸漬法では、汎紙上で糖により  $Ag^+$ が還元され、銀が析出し、焦げ茶色のスポットを示す。還元糖は焦げ茶色に発色したのに対し、Suc は極めて薄く存在が示される程度であった。なお、ペーパークロマト上昇法では、糖の分子量が大きいものほど移動が遅く下に位置する。また、色が濃いほど析出した銀が多いことになる。

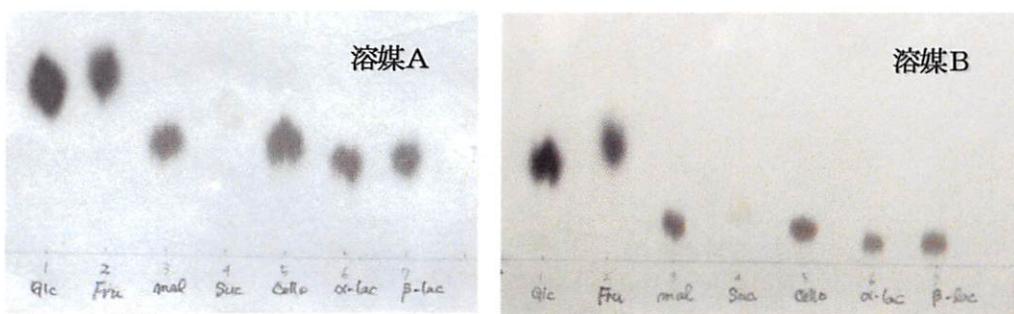


図3 標準糖のペーパークロマトグラム

溶媒 A:70% 1-プロパノール 溶媒 B:1-プロパノール:酢酸エチル:水=3:2:1

### 【実験3】ショ糖溶液の還元力発現とpHについて

銀鏡は酸性条件～pH11までは生じず、pH13のみで生じた（図4）。よってpH13では、Suc溶液に還元力が認められた。塩基性条件では、二糖のSucが加水分解されて、還元糖GlcとFruを生じていると推定された。手鏡づくりは、強塩基性条件下で行われているので、Sucが加水分解され還元力を示すものと推定できた。

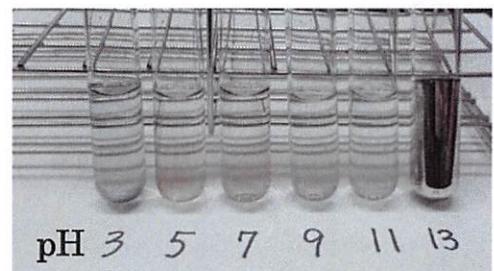


図4 Sucの還元力発現（銀鏡反応）とpHの関係

### 【実験4】pHによるショ糖他二糖の加水分解の検討

いずれの二糖も60°C、10分の条件でpH13より強塩基性で二糖と単糖が分かれて発色したため、加水分解されることが分かった。なお、SucはpH3でも加水分解されるが、塩基性側ではMalとCelloに比べて銀の析出量が少なくやや分解しにくい様子が伺われた。（図5）

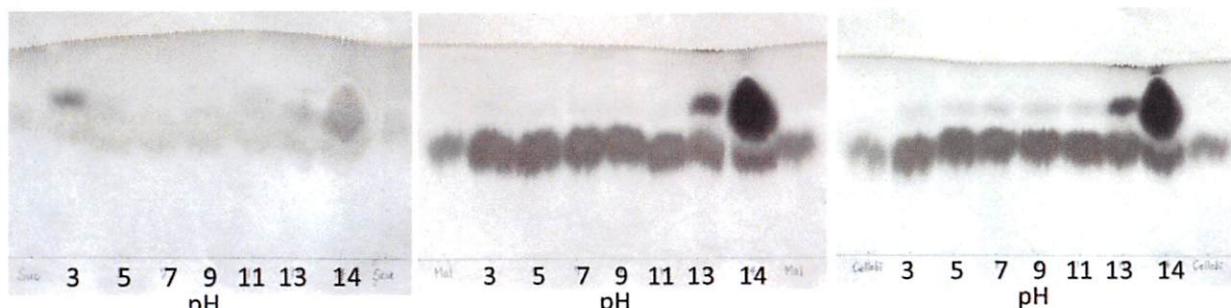


図5 ショ糖他二糖の異なるpH溶液中での加水分解物のペーパークロマトグラム

左: Sucrose 中: Maltose 右: Cellobiose 各クロマトグラム両端は各糖の原液である  
Frontに近い方から 単糖(Glc or Fru) 二糖(Suc, Mal, Cello) となる

### 【実験5】pH13水溶液中のショ糖他二糖の加水分解に及ぼす温度の影響

還元糖MalとCelloはpH13の条件で、50°C辺りから大差なく加水分解され、80°Cではほとんど加水分解された。両者とも還元力があるため単糖が濃く発色しており、二糖が単糖に分解されていることがはつきり確認できる。また、温度が高くなるにつれて加水分解が速く進行する様子が分かる。一方、Sucは還元力がないためあまり発色していないが、糖が移動していることが分かる。しかし、還元力があるGlc・Fruはほとんど検出できず、加水分解を確認することはできなかった。

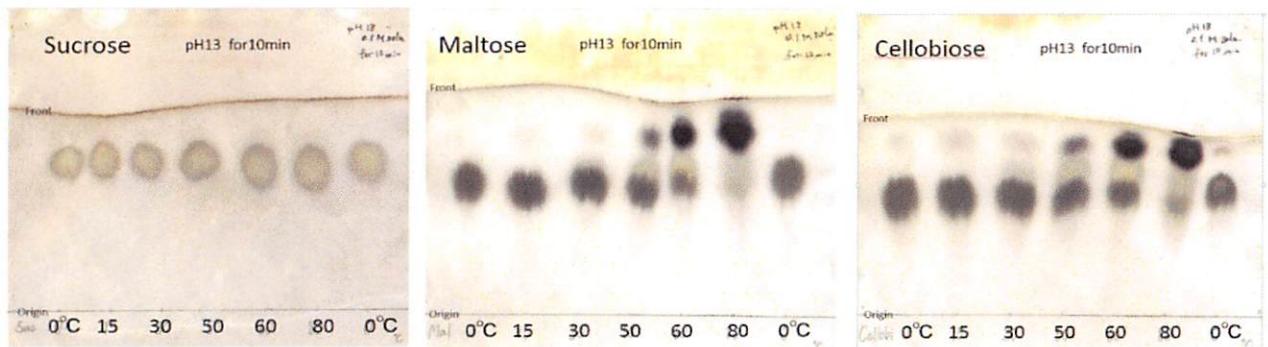


図6 pH13水溶液下 Suc・Mal・Celloの温度変化に伴う加水分解物のペーパークロマトグラム

### 【実験6】pH13 60°C水溶液中のショ糖他二糖の加水分解物の経時変化

還元糖 Mal と Cello は pH13、60°C の条件ではどちらも同様の経時変化を示し、加水分解開始 60 分後にはほとんど加水分解された。一方、Suc は時間が経過しても加水分解が進行し難い状況を示した。

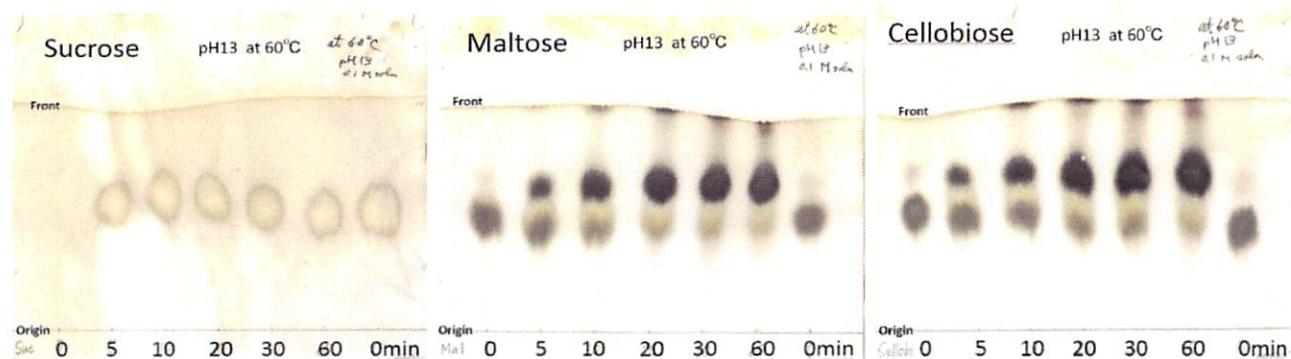


図7 pH13 at 60°C Suc・Mal・Cello 水溶液加水分解物の経時変化のペーパークロマトグラム

【実験1】から【実験6】を考え合わせると手鏡づくりで強塩基性条件下で Suc が用いられる理由は「Suc は、pH13 以上では銀鏡反応を示すことと、加水分解のペーパークロマトの結果から二糖より单糖への移行が認められること」から水溶液中で加水分解されると判断できた。なお、その加水分解性についての更なるデータを今後実験により深めていきたい。

### 【実験7】ショ糖他二糖の分子模型による加水分解性の検討

Suc・Mal・Cello の模型を組んで立体障害やエネルギー的な安定性等について考え、模型を長い時間手に取り構造を検討した。目に見えない原子・分子・イオンの世界であり、反応機構も分からぬが、実験結果の比較から Suc は酸性で壊れやすく塩基性では壊れにくい傾向となっている。一方 Mal と Cello では酸性で壊れにくく、塩基性で壊れやすい傾向となっている。そこで  $H^+$  と  $OH^-$  のグリコシド結合への攻撃、加水分解のイメージ化を試みた。図8において○で囲んだ酸素原子がグリコシド結合の中心である。この辺りを  $H^+$  や  $OH^-$  が攻撃して单糖へと加水分解されるはずである。そこで、模型を動かしてこの酸素原子(○)に立体的距離が近く、電気陰性度が構成元素中最大となり結合の極性から負に帯電するヒドロキシ基の酸素原子に注目した。その結果、Suc の酸素原子(○)周辺に取り巻く酸素原子が 5 個であるのに対し、Mal と Cello では 4 個であることが判明した。また、Suc に比べて Mal と Cello のグリコシド結合の酸素原子(○)は立体障害が少なく、分子表面にすっきりと現れやすい傾向があることが分かった。Suc では、酸素が多いため正電荷を持つ  $H^+$  が攻撃しやすく、逆に負電荷の  $OH^-$  が攻撃しにくいのではないだろうか。比較して、Mal と Cello では酸素原子が少ないため  $H^+$  の攻撃はやや劣り、逆に  $OH^-$  の攻撃が勝るのではないだろうか。このように考えると実験結果が説明できそうである。

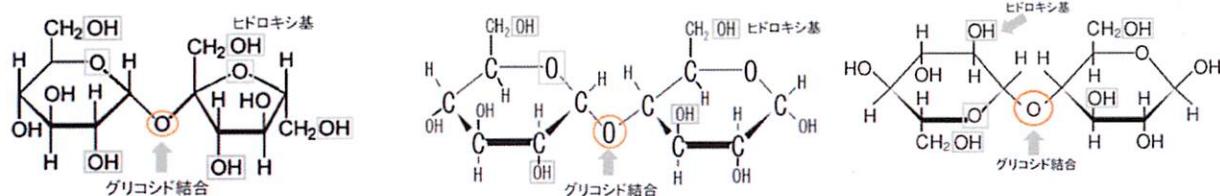
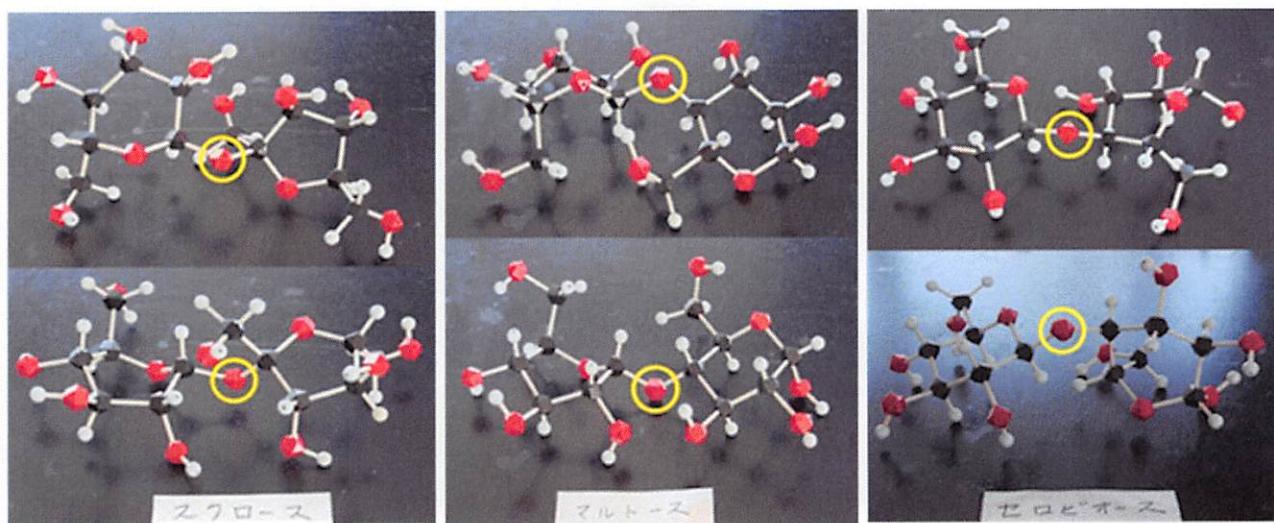


図8 Suc(左)・Mal(中)・Cello(右)の分子構造 ○印はグリコシド結合の中心である酸素原子を示す。

#### 4. まとめ

Suc は、塩基性条件下 (pH13 以上) で加水分解され還元力を示し、手鏡づくりにも利用されていると分かった。他の二糖 Mal や Cello は Suc よりも塩基性条件でより加水分解されやすいが、酸性条件では Suc が加水分解されやすかった。なお、pH による加水分解性の差異については単糖間をつなぐグリコシド結合の周辺を取り囲む極性基ヒドロキシ基の酸素原子の数とその立体環境が大きく影響しているのではないかと考えられた。

#### 5. 参考文献

- 1)たのしくわかる化学実験事典 左巻健男 東京書籍
- 2)生化学実験講座4 糖質の化学上下 日本生化学会編

# 燃料電池の製作

～性能を良くするための条件を探る～

研究者：小山晟矢 深井洸成 浦山廉 羽生智哉

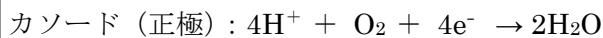
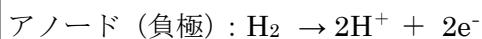
指導教諭：手塚理実

## 1. 研究目的

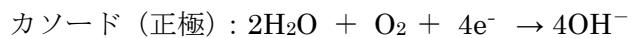
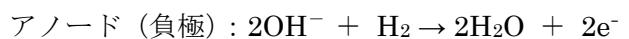
近年では、一般向けに燃料電池車等が普及し始め、燃料電池が身近なものになりつつある。より性能の良い燃料電池にするにはどのような条件が必要なのか。電極の種類、金属網の目の粗さ、触媒となるメッキ、電解液、電解液の間にに入る膜の条件を変えて検証することを目的とした。

## 2. 燃料電池の発電する仕組み

(電解液が酸性の場合)



(電解液が塩基性の場合)



アノード側では電子を放出する酸化反応、カソード側では電子を受け取る還元反応が起きていて、この構造で約1Vの起電力を発生させることができる。通常の燃料電池では、この構造(単セル)を多数積み重ねたスタッカ構造と呼ばれる構造にすることで、高い電圧を生み出している。

また、各電極の反応速度も電流の大きさに関係していて、重要な要因になっている。そのため、レアメタルである白金やパラジウムが反応を活性化させる触媒として主に使用されている。

「主に使用される触媒に選ばれる理由」

白金 (Pt) : 他の金属よりはるかに反応を促進させる能力が大きい。

パラジウム (Pd) : 体積の約 900 倍の体積の水素を貯めることができる。

電解質は電極同士が接せず、水素イオンが負極から正極に移動するために用いる



図1

## 3. 実験と結果

＜実験1＞電極となる金属網に触媒金属（白金・パラジウム）をメッキする。

### ○白金 (Pt) メッキ

1. 塩化白金酸 0.5g 及び酢酸鉛 0.01g を蒸留水 50mL に溶かし、メッキ液をつくる。
2. メッキ液をシャーレに入れ、電極にする金網を直流電源の負極に接続し（陰極）、正極に接続した炭素棒（陽極）と共にメッキ液に浸す。電圧をかけながら金網の上に炭素棒を動かして、金網が一様に黒くなるまでメッキする。（図2）

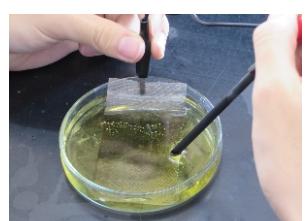


図2

### ○パラジウム (Pd) メッキ

1. 塩化パラジウム 0.1 g を入れ、濃塩酸 3mL を加えてある程度溶かし、水を加えて 1L のメッキ液をつくる。
2. 500mL のビーカーにメッキ液を入れ、電極にする金網を直流電源の負極に接続し（陰極）、正極に接続した炭素棒（陽極）と共にメッキ液に浸す。
3. 搅拌子をゆっくり回転させ、約 5 分間電圧をかけ、メッキを行う。（図3）
4. 金網を取り出し、蒸留水で洗い、0.1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に浸し、酸を中和し、さらに蒸留水で洗う。



図3

## ＜実験2＞ 自作した簡易燃料電池を使って起電力を計測する。

水酸化ナトリウム水溶液を電気分解し、O<sub>2</sub> (25ml) と H<sub>2</sub> (50ml) 発生させ、燃料電池に送り起電力を調べる。その際、燃料電池の電極（ニッケル、ステンレス）、金属網の目の粗さ（100,200 メッシュ）、触媒メッキ（白金、パラジウム）、の条件を変えて、起電力の時間的変化を 20 秒ごとに計測する。（図 1）なお、起電力は実用性を検証するため、モーターに接続した場合の起電力の変化も計測する。電解液はリン酸を用いる。

実験には、燃料電池の仕組み（単セル）を簡易的に再現した装置を用いる。（図 4）

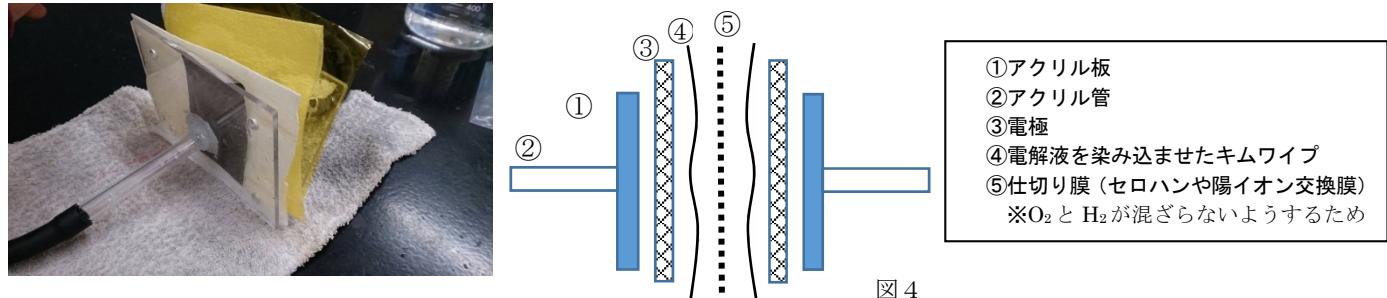


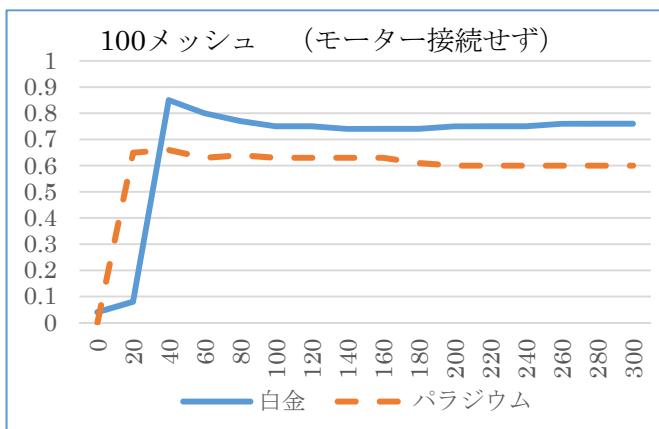
図 4

結果 1 電極金属…「ステンレス」

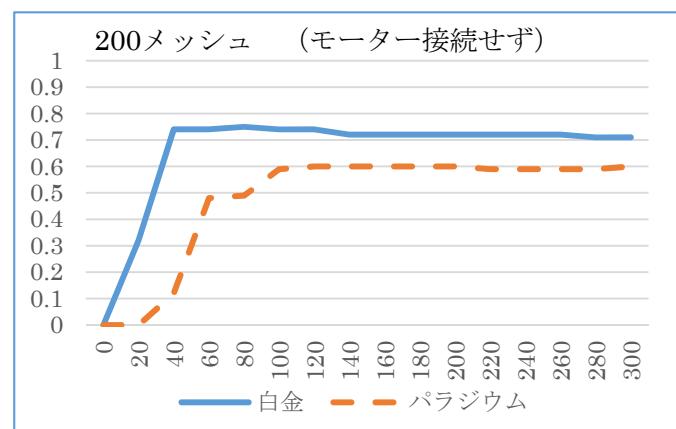
電解液…「リン酸」(1.0mol/L)

仕切り…セロハン膜

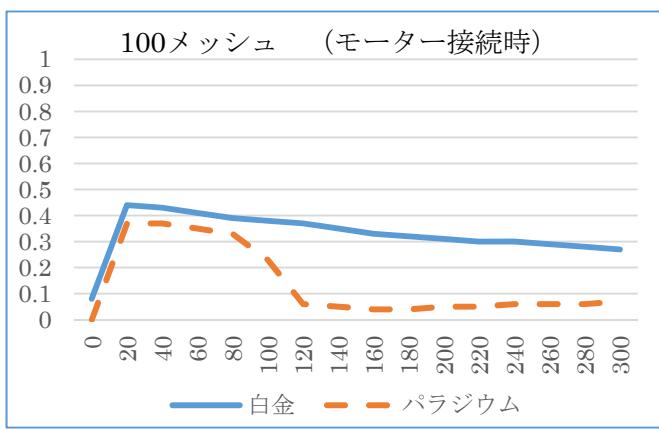
※グラフの縦軸は起電力[V]、横軸は経過時間[s]を表す



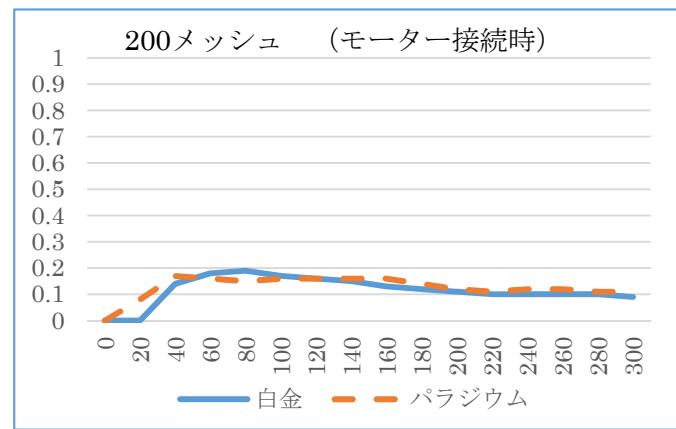
グラフ 1



グラフ 2



グラフ 3



グラフ 4

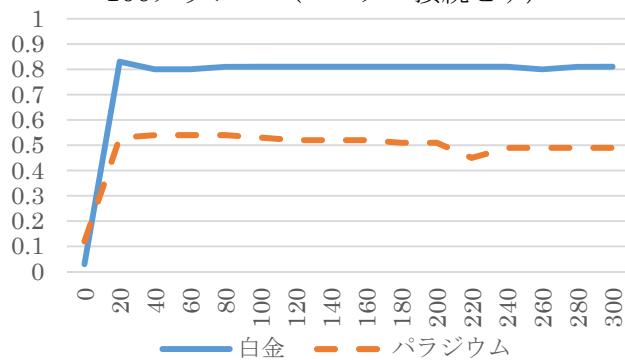
- ・パラジウムメッキよりも白金メッキの方が、高い起電力が得られる傾向がある。
- ・モーターに接続していない時、100 メッシュ・200 メッシュともに得られた起電力に、大きな違いはなかった。（グラフ 1・2）
- ・モーターに接続した時は、100 メッシュでは白金もパラジウムも最初は同じくらいの起電力（約 0.4V）を得られたが、どちらも徐々に起電力が低下してしまった。特にパラジウムは減少の程度が大きかった。
- ・200 メッシュでは、モーターを接続しなければ約 0.7~0.6V の起電力が得られるが、モーターを接続すると、白金もパラジウムも高い起電力が得られず、モーターは回らなかった。（グラフ 2・4）

## 結果2 電極金属…「ニッケル」

電解液…「リン酸」(1.0mol/L)

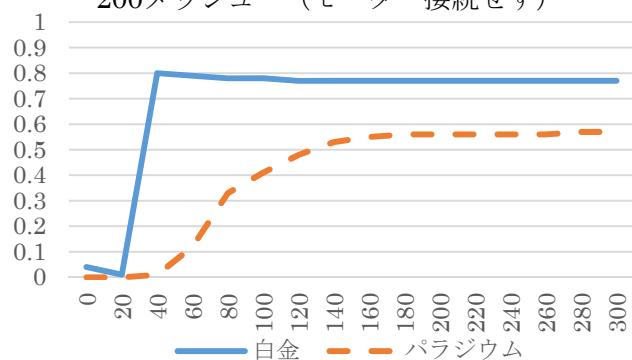
仕切り…セロハン膜

100メッシュ (モーター接続せず)



グラフ5

200メッシュ (モーター接続せず)



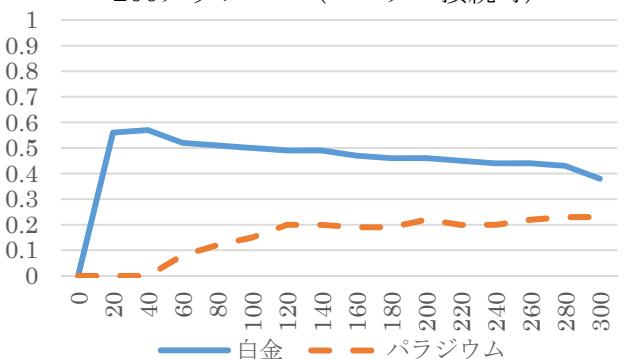
グラフ6

100メッシュ (モーター接続時)



グラフ7

200メッシュ (モーター接続時)

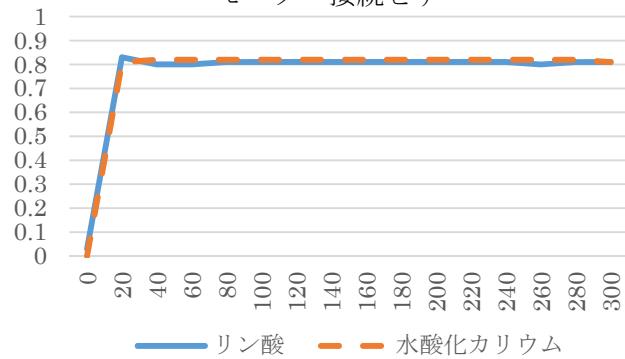


グラフ8

- 全般的にパラジウムよりも白金の方が高い起電力が得られた。
- モーターを接続していない時、白金では100メッシュ、200メッシュともにあまり違いが見られなかった。
- パラジウムは200メッシュのとき、高い起電力になって安定するまでに時間がかかった。(グラフ6・8)
- モーターを接続した時は、白金の200メッシュでも高い起電力が得られモーターが回った。(ステンレスではモーターが回らなかった。) (グラフ8)
- ステンレスの電極と比べて、ニッケル電極の方が比較的高い起電力が長時間安定して得られた。特にモーターに接続した場合で比較すると、ニッケル電極の方が高い起電力を維持できている。

＜実験3＞ 電解液を「リン酸」(1.0mol/L) と「水酸化カリウム水溶液」(1.0mol/L) で比較する。(電極は、先の実験で安定して高い起電力が得られた「ニッケルの白金メッキ100メッシュ」を使用した。)

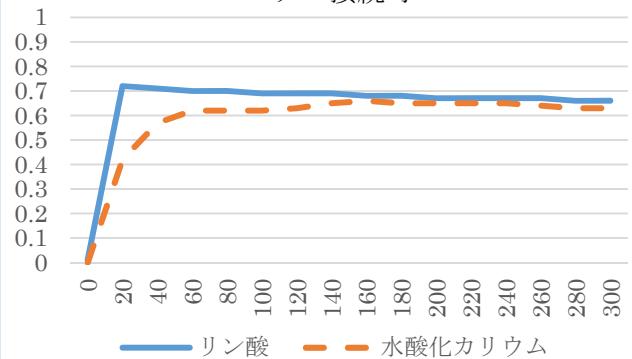
モーター接続せず



結果

グラフ9

モーター接続時



グラフ10

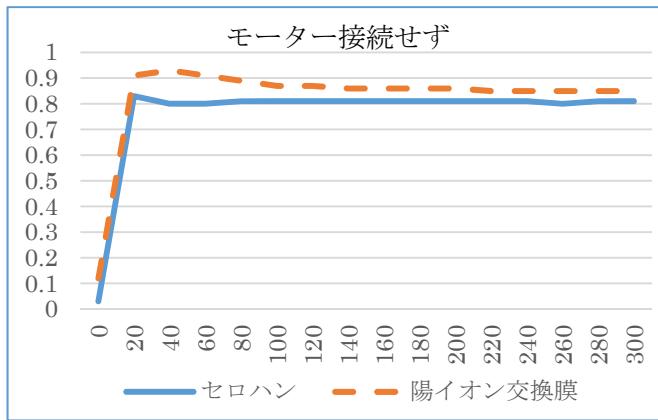
今回の実験では電解液の違いによる起電力の変化はほとんど見られなかった。(グラフ9・10)

＜実験4＞ 仕切りをセロハン膜から「陽イオン交換膜」に変えて起電力を計測して比較する。

※陽イオン交換膜…セレミオンH S F (A G C エンジニアリング株式会社) を使用

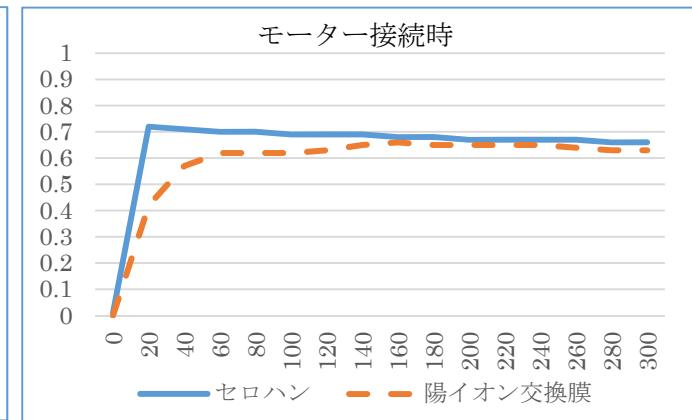
この膜は、「水素イオン」のみを選択的に透過させることができる

#### 使用電極「ニッケルの白金メッキ 100 メッシュ」



結果1

グラフ1 1



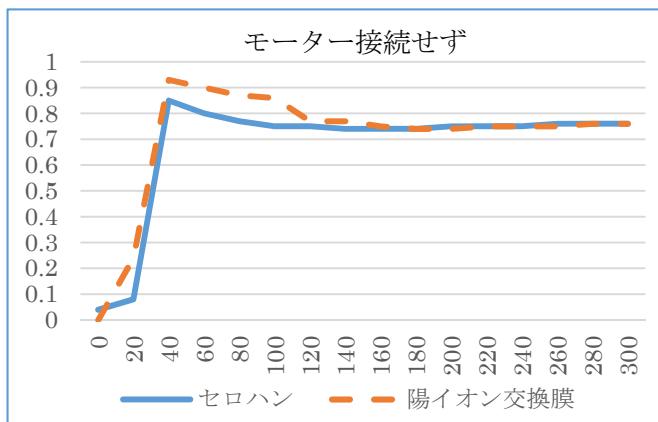
グラフ1 2

・モーターに接続してない時は、僅かだが陽イオン交換膜を用いた時のほうが、起電力が高かった。

・モーターに接続した場合は、セロハン膜と陽イオン交換膜で、明確な違いは見られなかった。

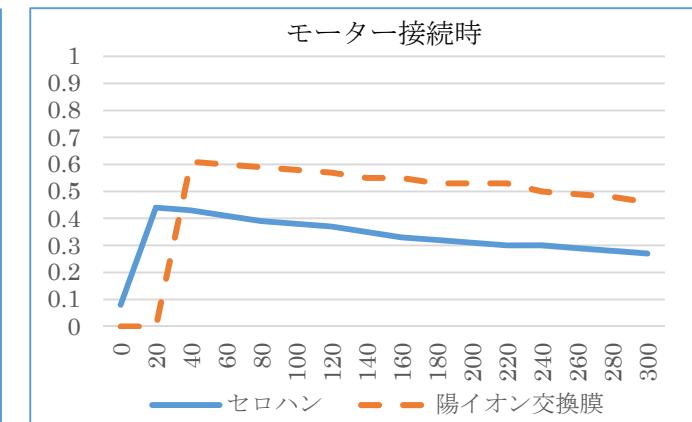
そこで、ステンレスでも試してみた。

#### 使用電極「ステンレスの白金メッキ 100 メッシュ」



結果2

グラフ1 3



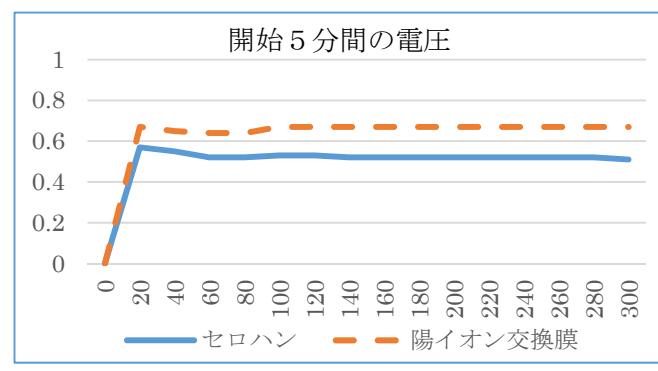
グラフ1 4

・モーターに接続してない時は、ニッケルと同様に、僅かだが陽イオン交換膜を用いたほうが、起電力が高かった。

・モーターを接続したときは、明らかに陽イオン交換膜を用いたほうが、高い起電力が得られている。

(グラフ1 4)

＜実験5＞ モーターを接続し、回転時間を「セロハン膜」と「陽イオン交換膜」で比較する。



グラフ1 5

#### 結果

##### モーターの回転時間

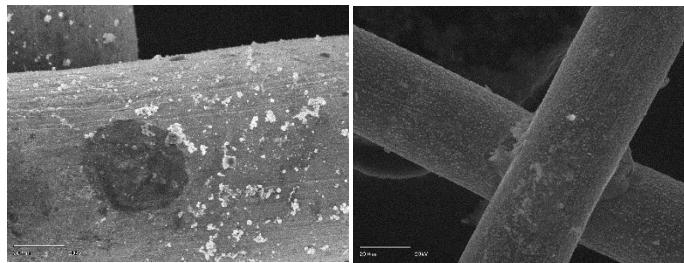
・セロハン膜…58分19秒

・陽イオン交換膜…1時間24分25秒

・陽イオン交換膜の方が、セロハン膜よりも起電力が高く、回転時間が長かった。

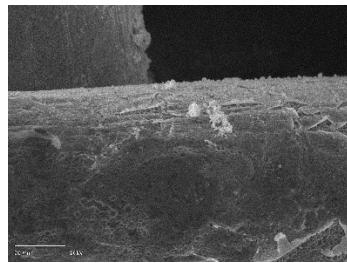
## <実験6> 電子顕微鏡を用いて電極表面のメッキの様子を観察する

ステンレス ( $\times 1000$ )



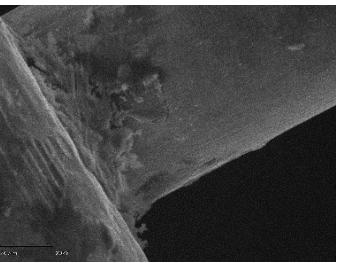
白金 100 メッシュ

図 5



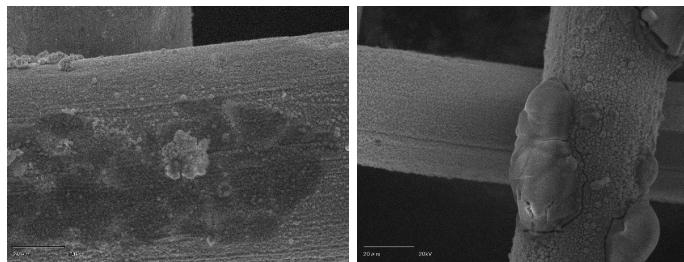
パラジウム 100 メッシュ

図 6



パラジウム 200 メッシュ

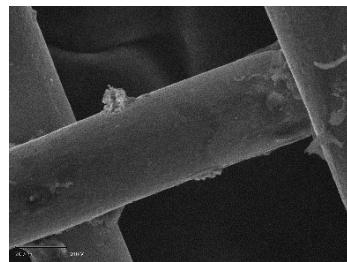
ニッケル ( $\times 1000$ )



白金 100 メッシュ

白金 200 メッシュ

図 7



パラジウム 100 メッシュ

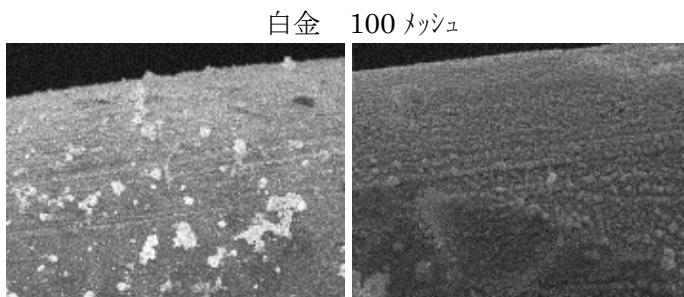
パラジウム 200 メッシュ

図 8

## 結果

白金メッキとパラジウムメッキを比べると、白金の方が細かい微粒子状になって付着しており、表面積が大きくなっている。(図 5・7) パラジウムの表面は滑らかである。(図 6・8) 白金メッキの方が安定して高い起電力が得られたのは、白金の方が表面積が大きいからではないかと考えられる。

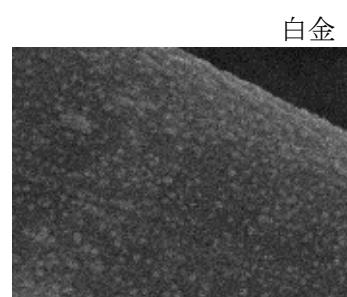
さらに、写真を拡大して、白金メッキでステンレスとニッケルを比較する。



白金 100 メッシュ

ステンレス

図 9



白金 200 メッシュ

ステンレス

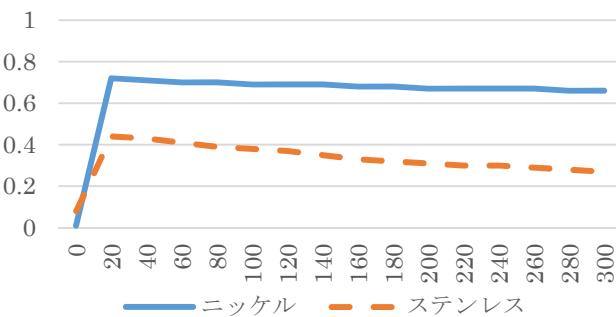
図 10

ニッケル

ニッケル

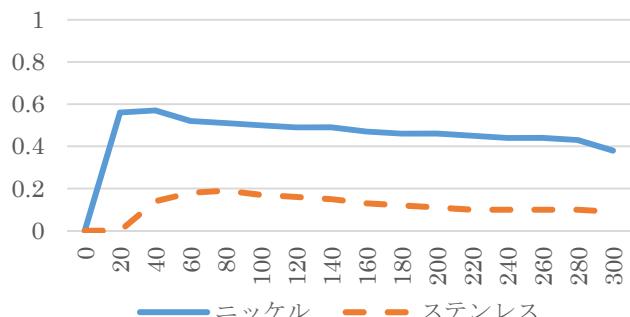
白金のメッキで、ステンレスとニッケルを比べると、ステンレスよりニッケルの方が、粒子が細かく密集しており、表面積が大きくなっている。(図 9・10) ステンレスよりニッケルの方が細かい粒子状でメッキされやすい。その結果、ニッケルの方が高い起電力が得られると思われる。(グラフ 16・17)

白金メッキ100メッシュ (モーター接続時)



グラフ 16

白金メッキ200メッシュ (モーター接続時)



グラフ 17

## 4. 考察

- ・電極(ニッケル, ステンレス)を比較すると, モーターを接続してない時は, あまり違いが見られず, 何も接続していない時は電極の違いによる起電力の変化は無いものと考えられる。しかし, モーターに接続した時は, ニッケルの方がステンレスより高い電圧を得られたことから, 電池としての性能については, ニッケルの方が優れているといえる。これは, ステンレスよりもニッケルの方がメッキされやすいからではないかと考えられる。
- ・金属網の目の粗さ(100, 200 メッシュ)を比較すると, 200 メッシュでは, モーターに接続しなければ高い起電力が得られるが, モーターに接続すると起電力が低下し, ステンレスではモーターが回らなくなってしまう。これは, 電極の単位面積当たりの金属量が, 100 メッシュより 200 メッシュの方が少ないためと思われる。(ニッケル 100 メッシュ… $0.052\text{g/cm}^2$  200 メッシュ… $0.027\text{g/cm}^2$ ) したがって, 100 メッシュの方が, 電池としての性能が優れているといえる。
- ・メッキ(白金, パラジウム)を比較すると, 電極やメッシュの違いに関わらず, 白金の方が高い電圧を得られた。今回の実験では, パラジウムの特徴の一つである水素の貯蔵による持続性の高さはあまり目立たなかつた。
- ・電子顕微鏡でメッキの様子を観察すると, 白金のほうがパラジウムよりも細かい粒子状になってメッキされており, 白金の方が触媒として働きやすい状態になっている。また, ステンレスよりもニッケルの方が, 細かい粒子状でメッキされており, これが安定して高い起電力が得られる要因であると考えられる。
- ・電解液の間にに入る膜(セロハン膜, 陽イオン交換膜)を比較すると, モーターを接続しない場合, 僅かだが陽イオン交換膜を用いた時の方が高い起電力を得られた。また, モーターを接続した場合, セロハン膜では高い起電力が得られなかったステンレスの場合でも, 陽イオン交換膜を使った方が安定して高い起電力が得られた。これは, 陽イオン交換膜が, 水素イオンだけを選択的に酸素電極側(カソード)へ通しているため, 効率よく化学反応が起こっているためと考えられる。
- ・モーターに接続した時, 陽イオン交換膜を用いた時の方がモーターの回転時間が長かったことから, 陽イオン交換膜は持続性を高くする働きもあると考えられる。

## 5. 今後の展望

- ・触媒は白金とパラジウムしか実験できなかつたので, 他の触媒について利用できないか研究する。
- ・電極を金属ではなくカーボンペーパーにして, 白金メッキを施し, 起電力を計測する。
- ・今回, 白金のメッキに塩化白金酸を使用したが, 信州大学工学部の新井教授から, ジアミノ亜硝酸白金を使用したほうが有効であることや, 白金はナノ粒子状の方が表面積が大きくなるので, 白金の量を変化させてメッキしてみてはどうかとアドバイスをいただいたので, 実際に試してみたい。

## 6. 参考文献

燃料電池のキホン 出版 SoftBank Creative

燃料電池のおはなし 出版 日本規格協会

燃料電池のすべて 出版 日本実業出版社

## 謝辞

研究を進めるにあたり, 分析やアドバイス等でご協力いただいた信州大学工学部の樽田先生, 新井先生, そして指導していただきました手塚先生はじめ, 多くの先生方に感謝いたします。

# メタン発酵とその定量法

～燃焼で得られた水分からエネルギーを量る～

研究者：沓掛勇介 佐藤つきの 青木真奈花

指導教諭：長山耕己

## 1. 研究概要および目的

- 概要 (1) 食物、牛糞、水田の土を組み合わせペットボトルに詰め保存し、メタンの発生条件を探る。
- (2) (1) からメタンが発生したときの定量方法を導くために、以下の方法を検討した。
- ① 予め用意した一定量のメタンを別の容器内で燃焼させ、発生する水の質量を測定する。
- ② 段階的に設定したメタンを燃焼し銅板を温め、その温度変化とメタン量の定量線を作成する。

目的 化石燃料の過剰使用による地球温暖化が大きな社会問題になっている今日、使用目的のない有機物からエネルギーを取り出す発電などが注目を浴びている。私たちは、そのような環境に配慮した取組みをさらに発展させていきたいと考え、この研究を始めようと考えた。

## 2. 研究内容・研究方法

### 【メタンの発生について】

野菜などの有機物を用いてメタンの発生を促成させることができか、以下のように内容物を設定しペットボトルに詰めた。なお、ここではメタン細菌の取得源として水田の土、分解済みの有機物として牛糞を用いる。

<1 (夏期) >

使用する食品…桃 200g、白菜 100g、

バナナ 50g(1/2 本)、ナス 50g、サバ(尾 2 頭 2)

番号	食品	牛糞 50g	水田の土 50g
①	○	—	—
②	○	○	—
③	○ ※夏期③のみ 2 個用意	○	○
④	○	—	○
⑤	—	○	○

<2 (冬期) >

使用する食品…野菜(もやし、キャベツ、ピーマン、

人参)115g、バナナ 100g(1 本)、干柿 2 個、ブリ 30g

番号	食品	牛糞 50g	水田の土 50g
①	○	○	○
②	—	○	○
③	○	○	—
④	○	—	○
⑤	○	—	—
⑥	—	○	—
⑦	—	—	○

但し、参考文献1より、夏期の③の内容物の組成が有効であると判断できたため、このペットボトルのみ2本用意することにした。しかしながら夏期の結果を踏まえた結果、冬期では同様の組み合わせである①について、他と同様に本数を1本としている。

## <手順>

- i 食品を切りミキサーにかける。
- ii i、牛糞、水田の土を設定した①～⑤の通り、それぞれ 2L のペットボトルに入れた。  
夏期は 6 本すべてのペットボトルに蒸留水 500ml を入れ、チューブのついたゴム栓で蓋をし、チューブはクリップを用いて密閉した。また、冬期では 2L のペットボトルの難点を考慮し 500mL のペットボトルに替え、先をチューブに繋ぎ他の容器に水上置換で貯めるようにした。
- iii ii 常温で 1 ヶ月程度保存する。  
但し、食品については、分解を促進させるため、ミキサーでペースト状にした。  
また、冬期のものについては、ストーブの熱はあったものの室温が低すぎたと思われる所以、2 月 6 日から湯たんぽ等を使って周囲の温度を上げるようにした。



(左図)

一ヶ月後のペットボトル (夏期)



(右図)

もとの食品とペースト状にした  
食品

## 【メタンの定量について】

実験でメタンが発生した場合の定量方法について、水酸化ナトリウムと酢酸ナトリウムを反応させて作成したメタンを用いて、メタンと二酸化炭素の混合気体中のメタンの割合を求めるための公式を作るため以下の 2 つの方法を試みた。

### ①燃焼で発生した水を用いて定量する

メタン燃焼の化学式について、



であることから、メタンを燃焼した場合その量と比例して水が発生することが分かる。発生した水蒸気は冷やされて容器に付着することが予想されるため、燃焼前と燃焼後の容器を比較することで発生した水の質量が測定できると考えた。そこから、燃焼したメタンの量が計算できることになる。

但し、水が発生しても一定量が気体として容器から失われることを考慮する必要がある。ここでは、一律して 35mL のメタンを燃焼したときに発生する計算上の水の質量 (0.056 g) と、実験で量り取れた質量とを比較して、どの程度の割合で水が残留するかを求める。

### ②燃焼の炎を利用して定量する

右図の銅板 (重さ 8.677g) を用い、段階的にメタンと二酸化炭素それぞれの割合を設定した混合気体を燃焼した際の炎の熱による温度上昇を調べる。そこから、この銅板固有の定量線グラフを作成し、割合が未知の混合気体のメタンの割合を推測できるようにする。

但し、燃焼させる際の点火時間をおよそ 0.2 秒とし、銅板と混合気体の入った試験管の口までの距離を 5 cm とする。



### 3. 研究結果・考察

#### 【メタンの発生について】

<1 夏期>

番号	気体の発生	可燃性(目視)
①	あり (採取失敗)	—
②	—	—
③	—	—
④	—	—
⑤	—	—

<2 冬期>

番号	気体の発生	可燃性(目視)
①	約 50ml	—
②	—	—
③	約 400ml	—
④	約 300ml	—
⑤	約 50ml	—
⑥	—	—
⑦	—	—

夏季の実験では、ゴム栓で蓋をして静置し、ガスが発生しペットボトルが膨らんだところで気体を回収する方法を試みたが、数日後に確認した時に蓋が外れてしまっている容器がいくつかあった。その後、蓋を戻したが容器は膨らまなかつた。ゴム栓が外れた原因が発生したガスの圧力によるもので、その採取に失敗してしまった可能性が考えられた。このことを考慮し、冬季の実験では気体が発生したらその場で別容器に捕集されるような水上置換装置を設置することにした。その他、夏季の実験について、成功しなかつた理由として以下のことが考えられる。

- ・保存期間が短かつた
- ・メタン細菌が水田に含まれていなかつた、もしくは途中で死滅した。

冬期の実験では、上表が示すようにいくつかの培養方法で気体を回収できたが、気体が発生しないものもあつた。気体がうまく発生しなかつた原因として以下のことが考えられる。

- ・夏期に比べて室温が低く、湯たんぽと発泡スチロール等を用いて 20°C 程度で保温したもの、細菌が活動可能な温度に至る時間が少なかつたため。
- ・メタン細菌の種である水田の土に関して、採取時期にやや水分が少なかつたために採取できるメタン細菌の量が少なかつた。

得られた気体については、いくつかの実験を行い、その内容について検討したので後述する。

#### 【メタンの定量について】

##### ① 燃焼で発生した水を用いて定量する

試験管	I	II	III	IV	V	平均
火をつける前の試験管の質量 (g)	28.523	29.055	28.570	28.782	29.515	
火をつけた後の試験管の質量 (g)	28.603	29.097	28.597	28.803	29.545	
増減	+0.083	+0.042	+0.027	+0.021	+0.030	+0.040

試験管 35mL 分のメタンを燃焼すると反応式からの計算上ではおよそ 0.056g の水を生じることから、残留率は  $0.040 \div 0.056 = 0.71$  となる。

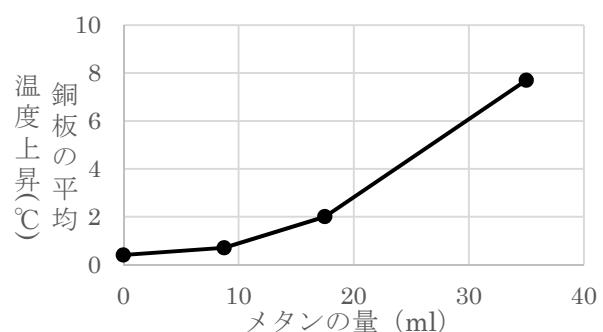
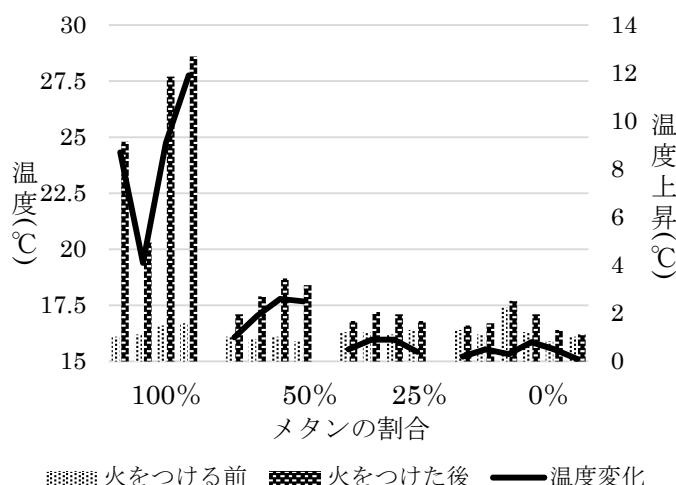
上記は最初に行った実験であり、この方法でメタンの量を測定することが可能であることが示唆された。しかしながら、この方法は再現性にとぼしく、別日の実験では火をつけた後の試験管の方が軽くなることが多かつた。微量の水の質量を測定するこの方法を用いて、含まれるメタン量を測定することは困難であると思われた。

## ②燃焼の熱量を利用して定量する

以下のように混合の比率を設定し、先に記した条件に沿って実験を行った結果とグラフは次の通りである。

メタンの割合 (試験管35ml中)	100%	50%	25%	0%
銅板の温度変化 の平均(°C)	7.7	2.0	0.7	0.4

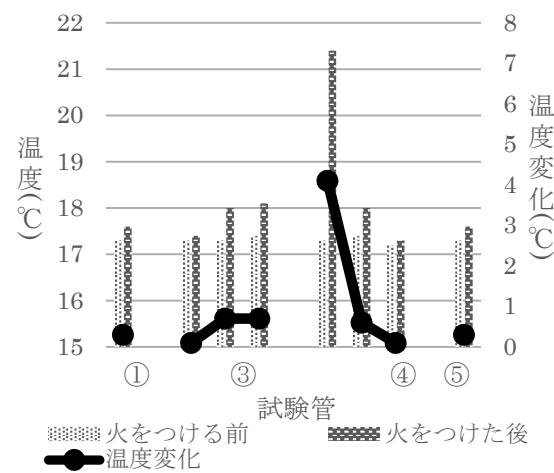
また、この実験において、50%と25%の試験管については燃焼の炎が目視できなかった。しかしながら、これらの混合気体については、メタンの割合が0%のものよりも高い銅板の温度上昇が見られたため、炎が目視可能かどうかにかかわらず燃焼は起きていると考えられた。



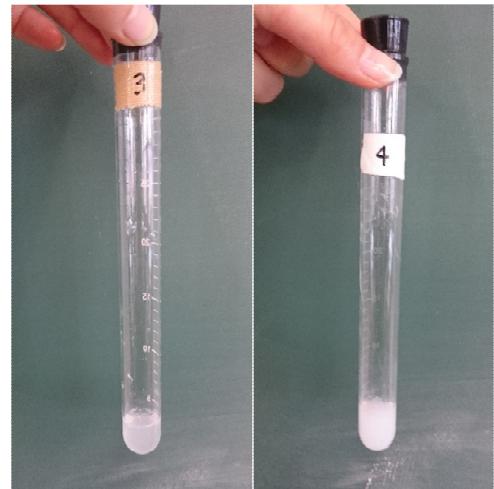
以上の実験を踏まえて、気体が多く採取できた冬期のメタン生成のサンプルについて、採取した気体に含まれるメタン量を推定することを試みた。定量の方法については、実験の過程でより定量が容易であると思われた銅板を用いる方法を採用した。それぞれの気体を35mlずつ試験管に移してから実験を行い、多く採取できたサンプルに関しては、再現性を見るために試験管の本数を増やした。

実験の結果は、次の通りである。

ペットボトル番号	火をつける前の銅板の温度(°C)	火をつけた後の銅板の温度(°C)	温度変化(°C)
①	17.3	17.6	0.3
③	17.3	17.4	0.1
	17.3	18.0	0.7
	17.4	18.1	0.7
④	17.3	21.4	4.1
	17.4	18.0	0.6
	17.2	17.3	0.1
⑤	17.3	17.6	0.3



また、気体の発生が多かった③、④のうち、35mlの気体に約3mlの石灰水を入れて振ったところ、右の写真のように、十分に白く濁った。このことから、発生した気体には多くの二酸化炭素が含まれていることがわかる。



燃焼させた気体サンプルの多くが定量方法②におけるメタン0%の温度上昇値と近かった。しかしながら、ペットボトル③、④の気体の試験管の中に、0.7°Cや4.1°Cの温度上昇を示したものがある。参考文献1より、メタンの生成実験においてメタン以外の可燃性物質の存在が示唆されている。採取した気体中の可燃性物質がすべてメタンであるということは証明できないが、すべてがメタンであると仮定すると、定量方法②のグラフを参考にして、③の0.7°Cの温度上昇を示した試験管には  $35\text{ml} \times 1/4 = \text{約 } 8.8\text{ml}$ 、④の4.1°Cの温度上昇を示した試験管1本には約24mlのメタンが含まれていたことになる。しかし、④の資料については、試験管3本中で値に大きな違いがあるため、信憑性に欠ける。

また、定量の実験に使用しなかった①、③、④、⑤の残りの気体について、より正確な気体中のメタン濃度を測定すべく、信州大学にガスクロマトグラフィーでの調査を依頼している。

#### 4. まとめ

メタン発酵に対しては、予測していたものよりもメタンの生成が上手くいかなかったことについて、メタン細菌の採集方法や管理に問題があったと考えられる。以後は細菌の採集ポイントを増やし、より多くの気体を発生させる土壤の調査や、メタン菌の生態を詳しく調査するなどして、気体の収量を増やす努力が必要であり、これからも研究を続けていきたいと思う。

またメタンの定量方法について、より正確に量りとることができる方法を模索することが必要であり、メタンからエネルギーを得ることと同時に、より精度の高い定量が可能になるような仕組みも考えたい。

#### 5. 参考文献

1. 平成15年度課題研究「メタン発酵」

# 壊れにくいバブルリングをつくる

～水の粘度によって壊れにくさが変化する！？～

研究者：坂戸源太 坂本敦士 関椋太 田島ひかる

指導教諭：倉田亮輔

## 1. 研究の概要および目的

イルカが水中でつくるバブルリング（気泡の輪）は、気泡が輪の形を保ったまま進んでいく。この原理を応用して、気泡を輸送することによる熱の伝導や精密機器の洗浄などの研究が進められている。私たちはこの現象に興味を持ち、壊れにくいバブルリングをつくることで実際の利用に役立つのではないかと思い研究を始めた。流体である水の抗力が壊れにくさに関係すると考え、水温（水の粘度）を変化させることでリングの壊れにくさに違いが生じるのかを研究した。できたリングの径の大きさや、でき方、とび方などを調査することで、壊れにくいバブルリングをつくるための条件を見つけ、なぜそうなるのかを解明することを目的とした。

## 2. 研究内容および研究方法

### (1) バブルリングができるメカニズム

流体（空気や水）のかたまりが押し出されると、かたまりの中心速度がはやくなる。流体のかたまりの中心が進行方向と逆向きに抗力を受けると、図1のようにバブルリングが形成される。



図1 バブルリングの形成の様子

### (2) 実験装置の製作

定量的にバブルリングをつくるためには、毎回決まった速度で、一定量の流体を押し出す装置が必要だと考え実験装置を製作した（図2、図3）。

つくり方は、まず塩化ビニル製のパイプ（直径10cm）の一端に、ゴム風船を張った。ゴム風船は下部を切り取り口を結んで、パイプの端をおおうようにして、ビニールテープで固定した。結んだゴム風船（以下ゴム膜とする）の口にタコ糸を縛りつけ、タコ糸を一定の力で引いてはなすことによって一定量の水を押し出せるようにした。パイプの反対側の端は、円盤でふたをして、中心に穴（直径2.8cm）をあけた。その穴を通してパイプの中から流体を押し出す。

できあがった装置は金属L字アングルで固定した。

なお、以下に示す実験①では、塩化ビニル製のパイプではなく、容積500mlのペットボトルを用いた。実験をする中でペットボトルが変形してしまったので、実験②以降は塩化ビニル製のパイプを用いた。

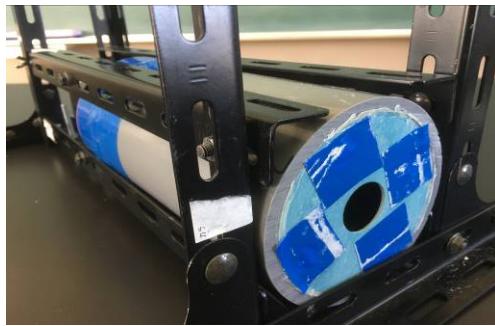


図2 装置の正面



図3 装置の後部

### (3) 実験方法の検討

私たちは、(2)で示した装置を用いてバブルリングをつくるために、次の2つの実験方法を考えた。

方法I：パイプの中に空気を入れ、その空気を押し出してリングにする。

方法II：パイプの中を水で満たし、その水を押し出すときに外部から空気を供給

(生物飼育用の水中ポンプを用いた)して、気泡をパイプでおこした水流にのせてリングにする(図4)。

2つの方法を試した結果、方法Iでは、空気と水がパイプの中に混在すると、空気がパイプの上部に集まり、うまくリングを発射できず、また毎回発射される空気の量に大きな違いがでてしまうことがわかった。一方で、方法IIは安定してリングを発射することができた。よって、私たちは今後の実験に、方法IIを採用することにした。また、実験は流し台に水を張り、その中で行った。



図4 方法II(水中ポンプ使用)

### (4) 実験内容

(2)で示した装置を用い、(3)で示した方法IIの方法で、以下の3つの関係を調べる実験を行った。

実験①：ゴム膜を引く力とリングが進む距離の関係について

実験②：水温(水の粘度)とできるリングの径の大きさの関係について

実験③：水温(水の粘度)とリングが進む距離の関係について

それぞれの実験の動機や詳しい方法などを以下に示す。

実験①：ゴム膜を引く力とリングが進む距離の関係について

動機：ゴム膜を引く力が大きければ大きいほど、水を押し出す力が強くなり、リングが進む距離が大きくなることが予想される。まず、水温(水の粘度)を変えて実験をする前に、ゴム膜を引く力の大きさにより、リングが進む距離がどのように変化するのか、またリングができなくなることがあるのかなどを調べようと考えた。

方法：実験装置の横にものさしを置き、リングの発射口を距離0として、リングが進む距離を測定した。リングが進む距離は、発射口から、リングが水面に到達するまでの距離とした。ゴム膜を引く力は、ロードセル(デジタルはかり)で測定し、0.2 [kg重] ごとに

実験を行った。また、測定値は5回の平均値をとった。(図5)



図5 実験①の様子

実験②：水温(水の粘度)とできるバブルリングの径の大きさの関係について

動機：観察から、バブルリングは発射されてから直径が大きくなって壊れることがわかった。つまり、同地点でバブルリングの径が小さければ小さいほど、壊れにくいといえる。そこで、水温(水の粘度)を変化させ、発射口から一定の距離におけるバブルリングの直径を測り、違いがみられるかを検証しようと考えた。

方法：発射口から 50 cm の地点にものさしを立て、バブルリングがものさしの横を通過した瞬間の直径を、ビデオで撮影して記録した。いつ、リングがものさしの横を通過したかが分かるよう、リングの端がものさしと重なるように、ものさしを立てた。ゴム膜を引く力は、1.5 [kg重] で固定し、水温は、5~45 [°C] で変化させ、5 [°C] ごとに実験を行った。また、測定値は5回の平均値をとった。(図6)



図6 実験②の様子

実験③：水温(水の粘度)とリングが進む距離の関係について

動機：私たちは、水温を低くすると、水の粘度が大きくなり、抗力が大きくなるため、リングが壊れるまでに進む距離は小さくなるという仮説を立てた。そこで、水温とリングが進む距離の間の関係を調べた。

方法：実験①と同様に、実験装置の横にものさしを置き、リングの発射口を距離0として、リングが進む距離を測定した。リングが進む距離は、発射口から、リングが水面に到達するまでの距離とした。ゴム膜を引く力は、1 [kg重] で固定し、水温は、2~24 [°C] で、2 [°C] ごとに実験を行った。また、測定値は10回の平均値をとった。ただし、バブルリングは進む間に浮力によって浮いていく。実験を行った流し台では深さに限界があったため、バブルリングが水面に浮いてきて壊れるまでの距離を測定した。

### 3. 研究結果

実験①：ゴム膜を引く力とリングが進む距離の関係について

結果：リングが進む距離は、ゴム膜を

引く力に正比例することが分かった。(図7)

考察：測定値よりリングが進む距離は、

1 [kg重]あたり約 100 [cm] 大きくなると考えられる。また、ゴム膜を引く力の大きさにより、リングができなくなることはない。

実験②：水温(水の粘度)とできるリングの径の大きさの関係について

結果：水温(水の粘度)とできるリングの径の大きさの関係は図8のようになった。

考察：水温に関係なく、できたバブルリングの直径はほぼ一定になることがわかる。

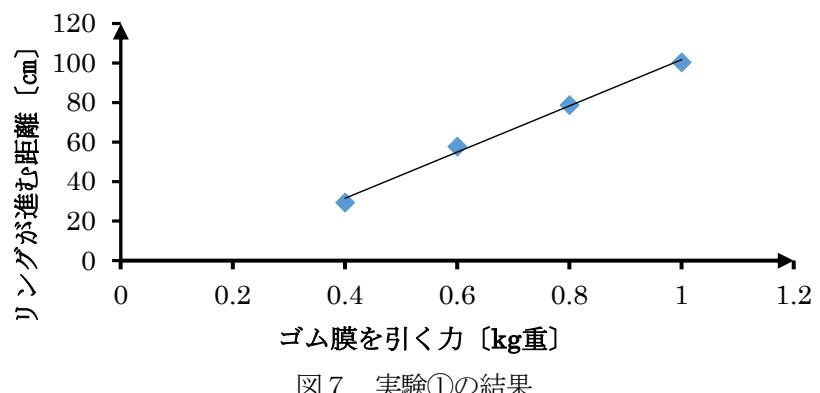


図7 実験①の結果

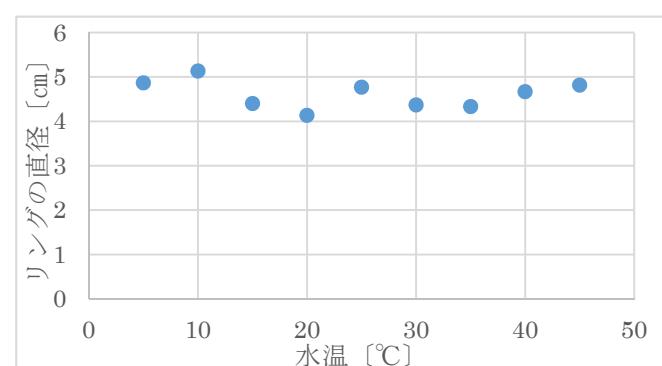


図8 水温とバブルリングの直径

実験③：水温(水の粘度)とリングが進む距離の関係について  
結果：水温が低く(粘度が大きく)なるほど、リングが進む距離は大きくなつた。(図10)

考察：水の粘度と温度の関係は図9のようになる。水の温度が低いほど粘度は高くなる。(参考文献：理科年表)

予想に反し、水の粘度が大きくなると、バブルリングは長い距離を進んだ。水の粘度が大きくなると水の抵抗力も大きくなると考えられるが、水が気泡を維持する力が大きくなり、長時間リングを維持できるようになるのではないかと考えられる。

また、図9、図10より、水の粘度が大きいほどバブルリングの進む距離も大きくなっていることがわかるが、10°Cと25°Cあたりでややグラフの形が変わっている。この点については、実験を行ったときの室温が関係しているのではないかと考えられる。実験②、③を行つた際、気泡の空気の温度と水の温度によって、バブルリングの直径と進む距離が変化したと考えられる。

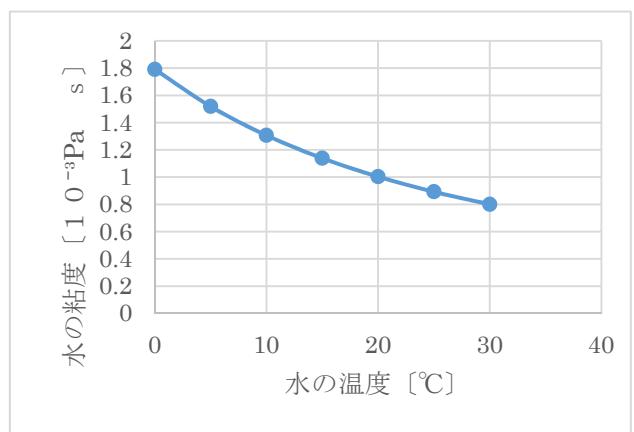


図9 水温と水の粘度

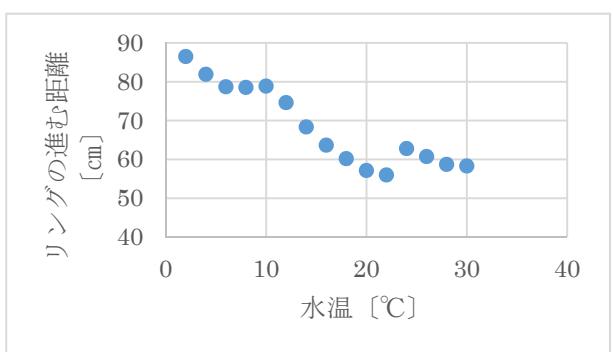


図10 水温とバブルリングの進む距離

#### 4. まとめ・今後の展望

この研究を通して、水温が低く(粘度が大きく)なるほど水の抵抗力が大きくなるのに対し、バブルリングは長い距離を進むということがわかつた。また、水の温度が低いほど密度は大きいため、バブルリングに働く浮力も大きくなると考えられるが、実験の結果から水温が高いほど浮き上がることも確認できた。バブルリングの大きさや進む距離については、水の温度だけでなく、気泡の温度も関係する可能性があることがわかつた。今後は、これらの点の検証のために、ハイスピードカメラによるバブルリングの撮影や、気泡の温度を変化させての実験を行つていただきたい。

#### 引用・参考文献

- ・ドルフィンリングを作つて遊ぼう！ 茨城大学工学部機械工学科 松村研究室  
[http://www.hakko.co.jp/contest/report07/01\\_20131216](http://www.hakko.co.jp/contest/report07/01_20131216)
- ・理科年表 自然科学研究機構 国立天文台 平成28年度

#### 謝辞

この研究を指導して下さつた倉田先生、ご協力いただいた方々に感謝します。ありがとうございました。

# イカダモのミジンコ及び糖による影響

～糖分に反応し8細胞に変化～

研究者：石河峻典 風間勇悟 田中優亮 堀内皓斗

指導教諭：轟和久

## 1. 研究概要および目的

日本では、化石燃料にかわる新たな資源として生物によるバイオマスエネルギーが注目されている。特にトウモロコシなどのバイオエタノールが注目されているものの、石油価格の安定や、食糧価格の高騰を招くことなどにより広く普及には至っていない。そんななか、微細藻類によるバイオマスエネルギーはほかの食品利用との競合もなく、生産効率も高いため、次世代バイオマスエネルギーとして大変注目されている。私たちは、緑藻のイカダモが体内に油分を蓄える能力を持ち、環境に応じて増殖の様子や群体の数を変えるということを知り、イカダモをより有用な資源に近づけるためにこの生態を追究したいと考えた。本稿では、ミジンコ（カイロモン）および糖のイカダモへの影響と増殖の様子の変化について研究を行った。

## 2. イカダモについて

淡水に棲む緑藻の一種である。*Scenedesmus* 属もしくは *Desmodesmus* 属に分類され、細胞の構造は橢円形から餃子形、弓形など様々である。フィールドでは  $2^n$  個のいかだのような定数群体を形成することが分かっておりこの特殊な形が和名の由来となっている。実験室での培養およびフィールド上で稀に群体を形成しない細胞が存在する。各細胞の位置は変化せず、体内に炭化水素を含む。文献よりイカダモはイカダモの捕食者であるミジンコが外へ放出する匂い物質（カイロモン）に反応し、防御形態として連結する細胞の数を増やすことが分かっている。また、先行研究より、グルコースの存在する状況下においても、連結する細胞の数を増やすことが分かっている。ミジンコ（カイロモン）とグルコースがほんとうにイカダモの定数群体に影響を与えるのか、またグルコースは单糖類であるが、二糖のスクロースでも同じように作用するのかを調べた。さらに、論文での言及がなかった細胞の大きさについても調査した。

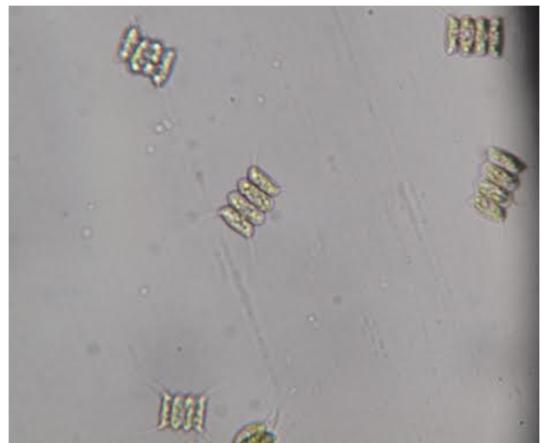


図1：イカダモ

## 3. 研究方法

＜イカダモの培養＞

実験に用いるイカダモは、株式会社科学クラブより購入した。安定的に利用できるようにするために、培養を行った。ハイポネックス（5000倍希釈）を用い、24時間明期 25°C に設定したインキュベーター（恒温器）内で光をあて培養した。今回の研究では、群体を形成しないイカダモを使用したかったため、二層培地（石灰石+花壇の土+ハイポネックス）をオートクレーブ滅菌したものや、エアレーションを用いたものなど、様々な条件において継代培養を行った。1カ月程度培養を続けたが、その多くは群体を形成したままだった。研究を行える期間も限られているため、4細胞の個体が多

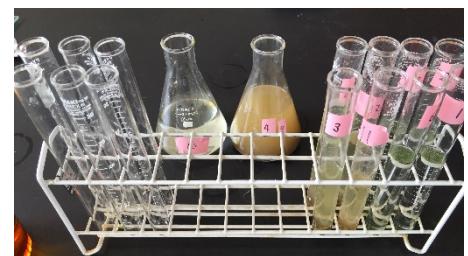


図2：イカダモ培養の様子

い状態であったが、実験を開始した。

#### <実験1>ミジンコ（カイロモン）によるイカダモへの影響

イカダモにミジンコの飼育水を加え、それによる群体を形成する細胞の数および各細胞数におけるイカダモの数の割合の変化を観察した。ミジンコは信州大学理学部の宮原裕一先生より譲渡していただいた2種 (*Dephnia geleata*, *Dephnia pulex*) を24時間明期25°Cに設定したインキュベーター内で飼育したものを使用した。イカダモ培地に2種のミジンコの飼育水約10mlを加えたシャーレをそれぞれ2つずつ作り、対照としてイカダモ培地にミジンコ飼育水を加えないコントロールを2つ用意した。これらを観察し、1-3日の間隔で各シャーレから毎回プレパラート1枚分を採取し、写真を3枚ずつ撮影した。

#### <実験2>糖によるイカダモへの影響

先行研究より、グルコースがイカダモの群体形成に影響を与えることを知る。イカダモに糖を加え、それによる群体を形成する細胞の数および各細胞数におけるイカダモの数の割合の変化を実験1と同様の方法で観察した。実験1同様の条件で培養したイカダモに二糖のスクロース、単糖のグルコースを加え、0.03%に調整したシャーレとコントロールをそれぞれ3つずつ用意し、今回も1-3日以内の間隔で各シャーレから毎回プレパラート1枚分を採取し、3枚ずつ写真を撮影した。さらに、糖の影響により細胞のサイズが変化していることが考察される。画像編集ソフトGIMPを用い、各写真における4細胞を形成する個体に関して、平均して7個程度個体を選び出し、その長さ（図3の矢印部分）を計測した。ただし、光の波長によって輪郭部分が曖昧になっている細胞に関しては、イカダモと思われる部分の判断基準を設け、それに準じて計測した。

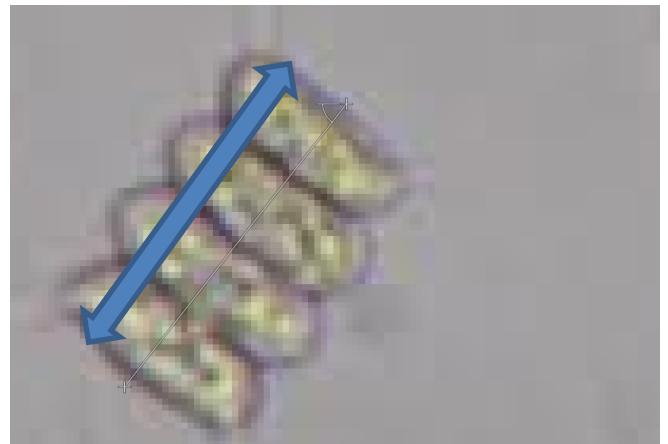
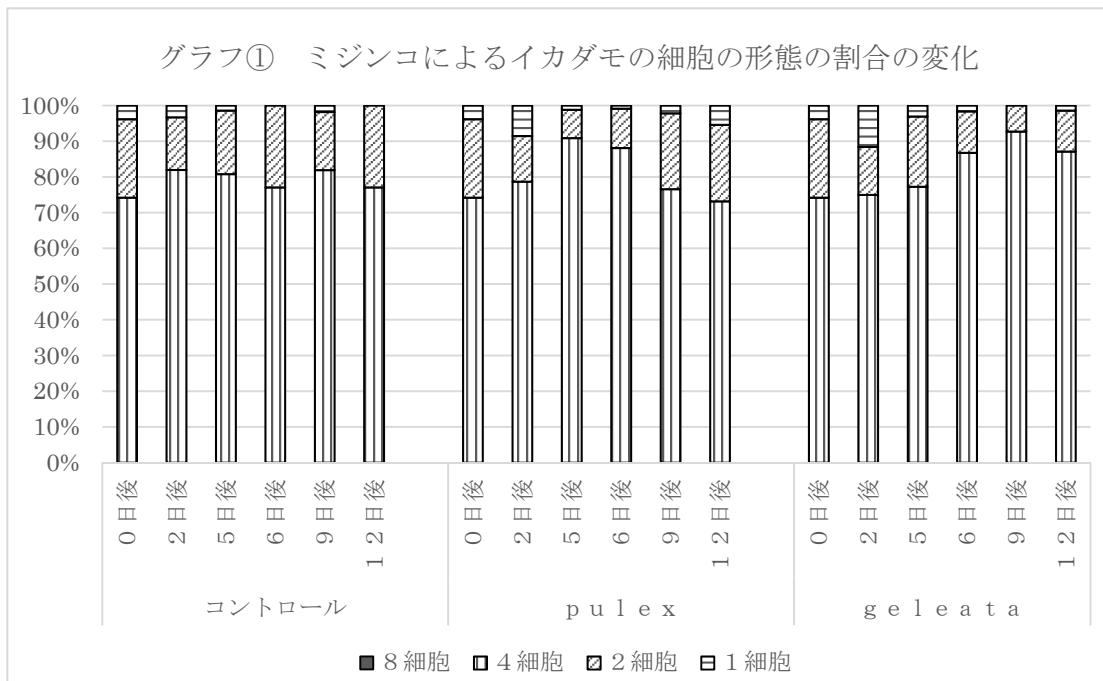


図3 : GIMPによる測定の様子

## 4. 実験結果

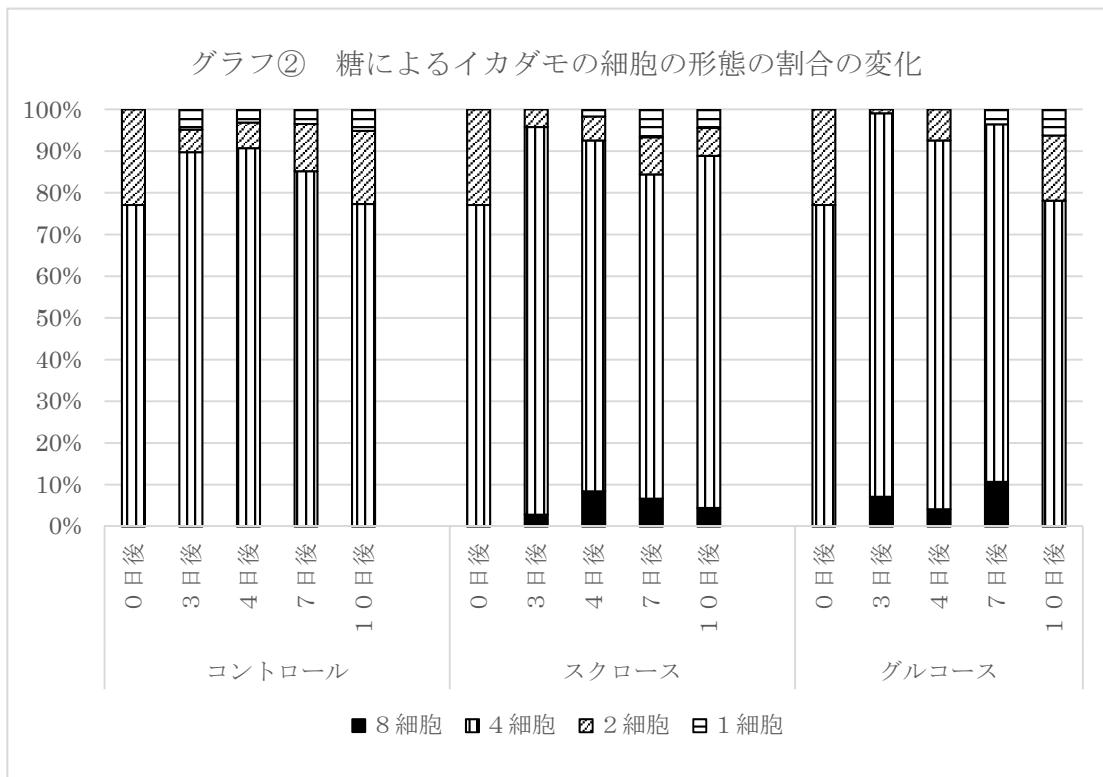
実験1、実験2の結果は、写真にうつるイカダモを細胞の数ごとにカウントし、その割合の変化についてグラフ①およびグラフ②に表した。またイカダモの長さについてまとめたものをグラフ③および表1として表した。なお、実験開始日を0日後とし、実験開始からの日数を横軸にとった。

## <実験1>

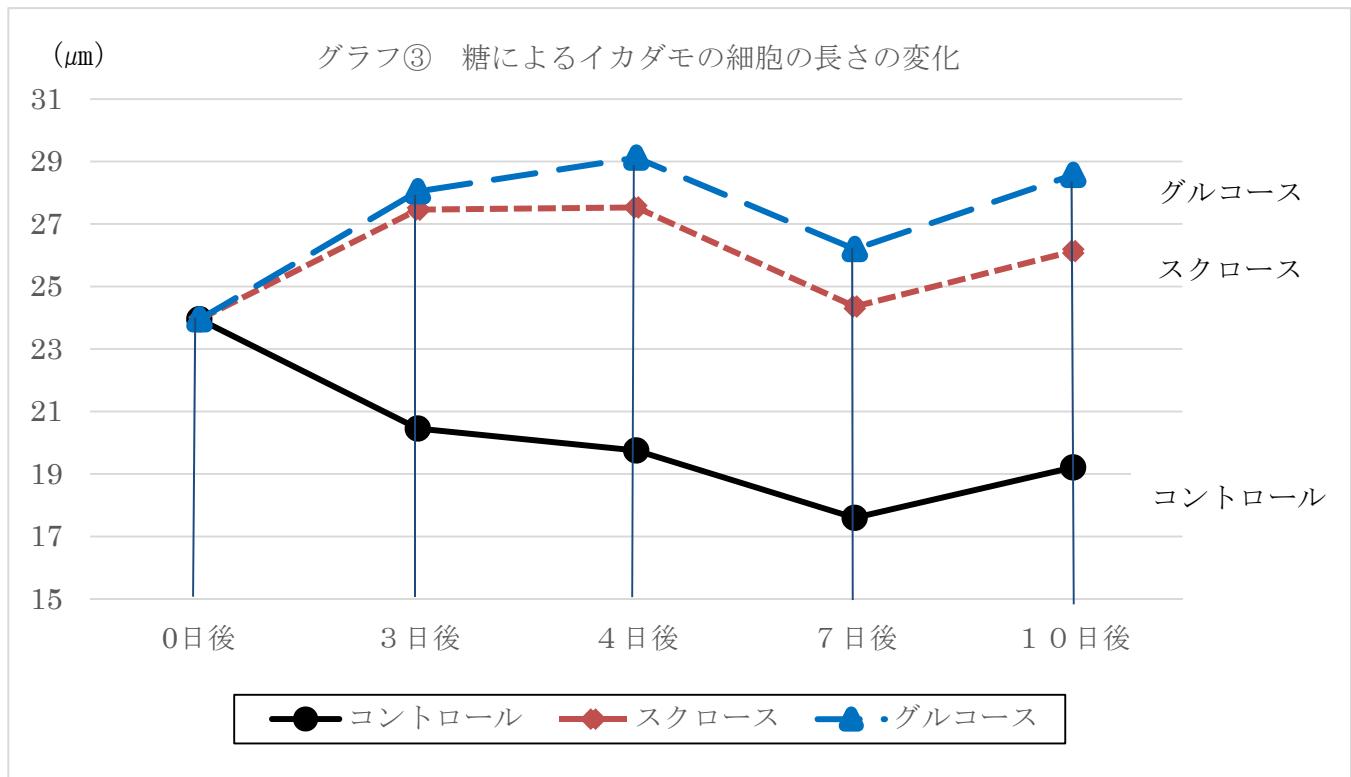


割合がほぼ一定のコントロールに対し、*pulex*は0日後から5日後 (+17%) *geleata*は0日後から9日後 (+19%) にかけて4細胞の割合が増加する傾向がみられた。8細胞の存在は確認できなかった。コントロールに比べ、ミジンコ飼育水を入れた時のほうが若干4細胞の割合が増加した。

## <実験2>



コントロールにおいて8細胞のイカダモの存在は確認できなかったが、スクロースおよびグルコースの存在する状況において8細胞のイカダモの存在が確認された。



コントロールは、一番短くなっている7日後の観察日において、0日後の観察日の長さの-6.36 μm、0.73倍となっている。スクロースは、一番長くなっている4日後の観察日において、0日後の観察日の長さの+3.58 μm、1.15倍になっている。グルコースは、一番長くなっている4日後の観察日において、0日後の観察日の長さの+5.17 μm、1.22倍になっている。

表1：実験2のイカダモの細胞の長さの変化

各観察日において、グルコースのほうがスクロースより細胞の長さが長くなっている。

## 5. 考察および今後の課題

### <実験1>

実験1において、ミジンコ（カイロモン）の存在下において4細胞および8細胞のイカダモの割合が増えると予測した。予測した通り若干の4細胞の増加が見られたが、8細胞の存在は確認できなかった。ミジンコ飼育時の個体数が少なく十分なカイロモンが集められなかつたため、数値に顕著な変化を得ることができなかつたと考えられるので、今回の研究からはミジンコ（カイロモン）の影響を受けて変化が起きたとは断定できていない。

今後の課題としては、十分な個体を飼育した飼育水を使用すること、ミジンコのカイロモンの量を測る指標を考えること、多種多様な生物のカイロモンを用いて比較することを検討している。

### <実験2>

実験2の前半の研究において、2種類の糖における大きな違いは見られなかつたが、予測した通り8細胞の割合の増加が見られた。また今回の実験において、微生物の個体数計数法を用いてないため正確には断定できないが、スクロースおよびグルコースの写真の視野に写る細胞の数が、コントロールより少ないと思われた。3日後

の観察日以降に、8細胞のイカダモの存在が確認されたが、8細胞の割合に顕著な変化が見られなかった。それは、日を追うごとに見られた個体数の減少が影響しているものと考えている。今回、一部のスクロースおよびグルコースのシャーレ内で細菌の繁殖が確認されたが、糖の存在もしくはその細菌の存在が、イカダモの群体形成を促したと考える。また、それらの存在が影響して、細胞数の減少が見られたと思われる。一連の結果より、糖がイカダモの群体形成を促し、個体数の減少というかたちで、イカダモの生育環境へなんらかの影響をもたらしたと考えられる。

今後の課題としては、イカダモが群体を形成する要因が糖の影響によるものであるのか、それとも繁殖した細菌によるものであるのか明らかにさせたいと考えている。細菌が繁殖していない状況をつくって実験することや、群体をまったく形成していないイカダモを用いて実験すること、実際のイカダモの個体数の関係はどのようになっているのか実験することを検討している。

また実験2の後半の研究において、糖の存在する状況においてイカダモの長さが長くなりその後ある長さで一定になる、またコントロールのイカダモの長さは変化しない、その二点を予測したが、予測に反して、糖の存在する状況においてのイカダモの長さは一定にならず、コントロールの長さは短くなった。コントロールが短くなった原因として、三角フラスコからシャーレに移したことによる密度の増加が考えられるが、糖においても同様に密度の増加が考えられるため、糖の存在する状況において密度が増加してもなおイカダモを長くさせる要因があったのだと考えられる。糖およびコントロールのすべてのシャーレにおいて、7日後に短くなり、10日後に長くなる傾向が見られるが、その原因についてはわかつていない。イカダモの長さの変化が糖によるものなのか、それともなにかほかの原因によるものなのかを解明したいと考えている。

また、視野にうつるイカダモにおいて、コントロールは緑色の色合いが濃いが、グルコースは、緑に白色など様々な色が混ざったような複雑な色合いをしている。この時、イカダモの細胞内での反応に違いがあるのか、含有する油分の量はどのようにになっているのかということも今後調べたいと考えている。

今後の課題としては、長さの変化が何によるものなのかをはっきりさせるために、何度か実験を繰り返してデータを取ること、密度に影響が出ないようにシャーレではなくビーカーなど大きめの容器を使うこと、サイズが大きくなった時の含有する油分の量はどうなるのかなどについて調べることを検討している。

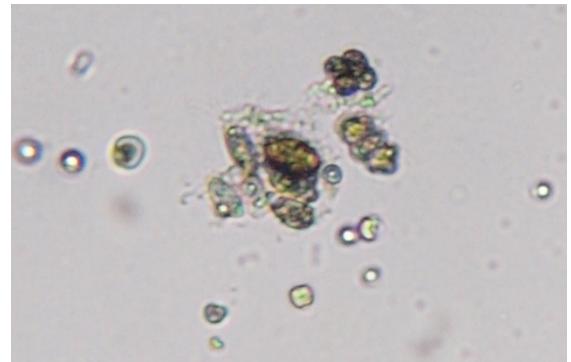


図4：イカダモと細菌

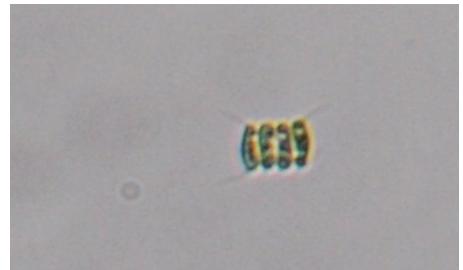


図5：4日後のコントロール

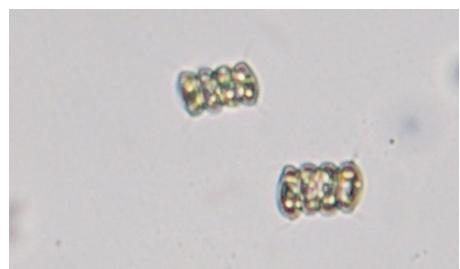


図6：4日後のグルコース

## 6. 今後の展望

全体の実験を通して、ミジンコのカイロモンおよび糖が存在する状況においてイカダモに様々な変化が見られた。糖の存在する状況において、イカダモが群体を形成し、長さが若干長くなる傾向が見られたが、イカダモの周囲およびイカダモの細胞内で起きている実際の反応についてはわかつていない。またミジンコのカイロモンを用いた時も同様である。今後は、各実験における課題を追究し、イカダモの細胞内で起きている実際の反応および油の含有量についても調べていくつもりである。最終的にはイカダモと外的要因の関係性を明らかにし、イカダモによるバイオマスエネルギーの実用化に近づけられるよう研究を進めていきたいと考えている。

## 7. 参考文献

- 1) 堀輝三 (1994) 「藻類の世界史集成 第1巻 緑色藻類」 (株)内田老鶴圃出版
- 2) 花里孝幸 (2013) 「生き物びっくり実験！ミジンコが教えてくれること生物と生態系が教えてくれること」 S B クリエイティブ出版
- 3) 高山季依 花里孝幸 (2006) 「緑藻イカダモとミジンコの相互関係」 (信州大学)
- 4) 萩原萌恵 花里孝幸 (2007) 「イカダモの群体形成を誘導する原因の解明」 (信州大学)
- 5) 菅原洋子 (1995) 「*Scenedesmus* の増殖や定数群体形成に及ぼすブドウ糖およびイースト抽出物の効果」 (岩手女子看護短期大学)

## 謝辞

本研究にあたり指導担当教諭の轟和久先生をはじめ、技術的指導を全面的にしてくださった清水加奈先生、アドバイスをしてくださった生物科の先生方に大変お世話になりました。そして何より、ミジンコの提供をしてくださった信州大学理学部の宮原裕一先生、研究に関するアドバイスをしてくださった信州大学理学部の朴虎東先生には格別なお力添えをしていただきました。また東京海洋大学の遠藤雅人先生にも、イカダモについてのアドバイスをいただきました。本研究にご尽力賜りましたすべての方に厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

# エンバクの他種植物に対する発芽抑制

～除草効果の及ぶ空間的・時間的範囲を探る～

研究者：伊藤朱里 井原歩 今井睦月

指導教諭：堀内栄子

## 1. 研究目的

植物の中にはアレロパシー（他感作用）という現象がみられるものがある。アレロパシーとは、生物が化学物質を生産・排出し多種植物の生態に何らかの影響を与えることを言い、周囲の植物の成長を抑えたり、あるいは動物や微生物を防いだり引き寄せたりする。帰化植物であるセイタカアワダチソウはその例として広く知られており、根から分泌される物質（シスデヒドロマトリカリエステル）の強い抑制作用により在来植物を押しのけるように生息範囲を拡大してきた。

オートミールやグラノーラの原料、家畜飼料、さらに飼い猫の食草などとして利用されるエンバク (*Avena sativa* 別名: マカラスムギ、オーツ麦) についても、「エンバクの野生種の効果はマリーゴールドよりやや弱く、土壤に残効はありませんが、生育速度が速く、マリーゴールドの2倍の草重があり雑草抑制効果も高い特徴があります。」（参考文献3）という記述があるように周囲の植物や土壤微生物に及ぼす影響が知られているが、まだ解明されていないことも多い。そこで、エンバクがどのようにダイコン (*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*) の発芽および成長に作用しているか調べた。

## 2. 研究方法

養分を含まない深さ10cmほどの寒天培地に、エンバク（猫草として市販されているもの）の種子を1列に播き、エンバクの列から左右に2cm、4cm、6cm離れた列それぞれにダイコン（かいわれ大根として市販されているもの）の種子を10個ずつ播く。予備実験により、完全な暗室にすると発芽率と成長が抑えられてしまうことがわかったため、小窓から光の入る状態のインキュベータに、気温20°Cに保っておく。ダイコンを播種してから10日後、ダイコンの発芽率と根（胚軸も含む）の長さを調べる。なお、種子にカビが発生することが少なからずあり、培地のほとんどすべての種子が発芽・成長しなかったときもあった。種子や培地表面のアルコール消毒や、ラップによる密封を試みたが、完全に防ぐことはできなかった。

〈実験1〉2種の種子を同時に播種する。

〈実験2〉発芽後間もないエンバクは、まだ成長を抑制する物質を十分に合成・分泌していない可能性がある。そこで、エンバクを播種して10日間または20日間生育させてからダイコンを播種した。

〈実験3〉実験2で発芽しなかったダイコンの種子を、エンバクのない寒天培地に植え替えて、発芽するか調べた。

〈実験4〉自然の土壤は、小さな塊と塊の間に水分や空気の入り込む隙間のある“団粒構造”をとっている。全体が均質な寒天培地とは物質の浸透速度が異なると考えられる。土壤と似た条件に近づけるために、一度固めた寒天培地を細かくつぶして容器にため直し、2種の種子を播種した。

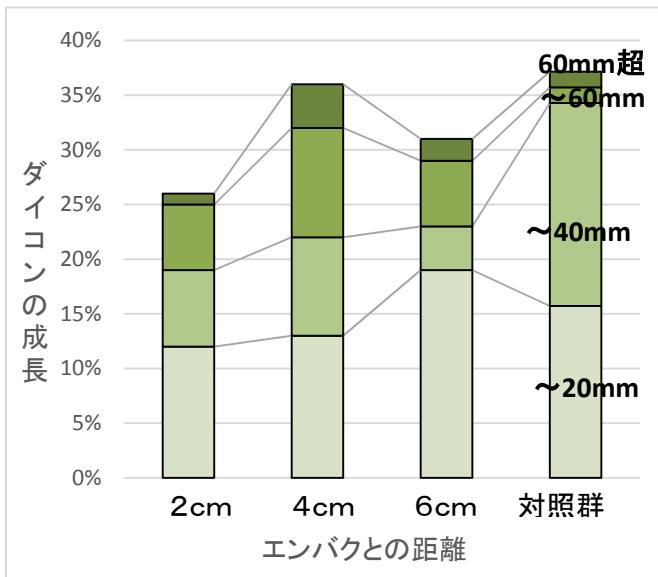


図1 〈実験1〉同時播種

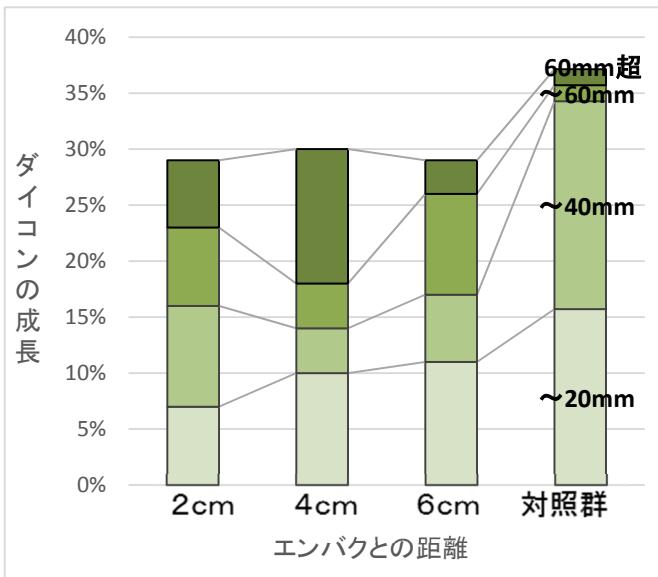


図2-a 〈実験2〉エンパク10日育成後

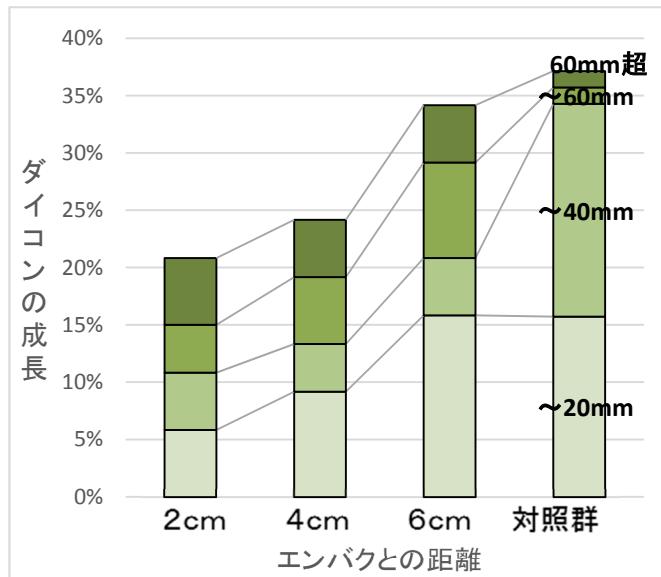


図2-b 〈実験2〉エンパク20日育成後

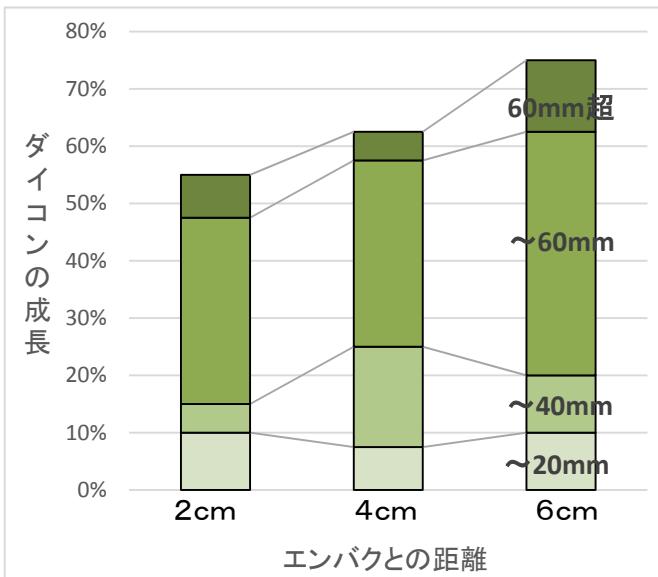


図3-a 〈実験4〉同時播種

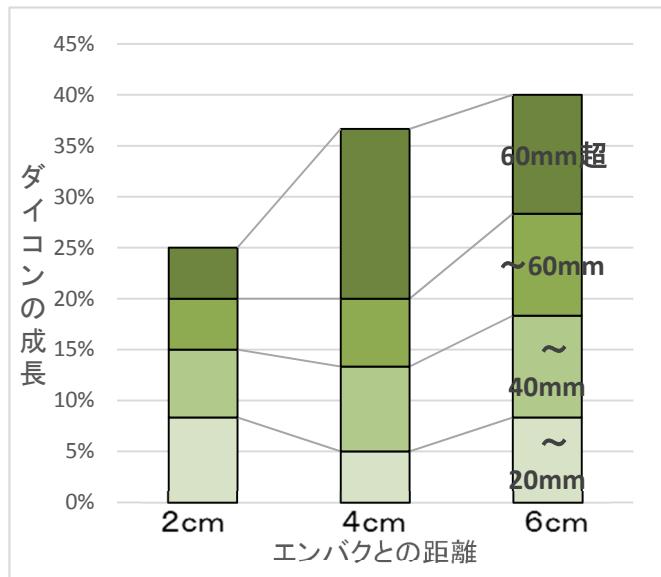


図3-b 〈実験4〉エンパク10日育成後

### 3. 実験結果

#### 〈実験 1〉

ダイコンの発芽率は 2 cm では 26%、4 cm では 36%、6 cm では 31% だった。エンバクからの距離 (2 cm、4 cm、6 cm) とダイコンの発芽率 (おおむね 3 割前後) の間には、一定の傾向はみられなかった (図 1)。エンバクのない培地で成長した対照群 (37%) と比べると、最も近距離の 2 cm における発芽率の低さ (26%) が気になるものの、エンバクの影響とは断言できない。

根の成長量についてはそもそも個体によるばらつきが大きく (同じ条件でも 1 mm から 97 mm まで)、平均値 (距離 2 cm では 25.8 mm、4 cm では 31.8 mm、6 cm では 21.3 mm) を比較しても意味があるようには思われない。そのため階級別の割合グラフで示したが、これでも有意な違いを見いだせなかった。

#### 〈実験 2〉

エンバクが 10 日間生育した培地に播種したダイコンの発芽率は 2 cm では 29%、4 cm では 30%、6 cm では 29% だった。エンバクが 10 日間生育した培地に播種したダイコンにおいても、エンバクからの距離と発芽率および根の成長に、明瞭な傾向はみられなかった。ただし、対照群と比較すると発芽率の低いことがわかる (図 2-a)。

エンバクが 20 日間生育した培地に播種したダイコンの発芽率は 2 cm では 21%、4 cm では 24%、6 cm では 34% だった。エンバクが 20 日間生育した培地に播種したダイコンにおいては、エンバクからの距離が近いほど発芽率が低い傾向が明瞭となった。距離と根の成長の間には、むしろ距離が遠くなるほど、成長の少ないダイコンが多い傾向があるようにみえる (図 2-b)。

#### 〈実験 3〉

エンバクのある培地で発芽しなかったダイコン種子を各距離から 8 個か 9 個ずつ取り出して植え替えると、それぞれ 2 個ずつ発芽した。よってエンバクの影響により発芽していなかったと考えられる。

#### 〈実験 4〉

同時播種でのダイコンの発芽率は 2 cm では 55%、4 cm では 63%、6 cm では 75% だった。エンバクが 10 日間育成した培地に播種したダイコンの発芽率は 2 cm では 25%、4 cm では 37%、6 cm では 40% だった。細かくつぶして碎いた寒天の培地では、同時に播種した場合 (図 3-a)、エンバクが 10 日間生育した後の場合 (図 3-b) のどちらとも、エンバクから距離が近いほど発芽率が低かった。また、同時播種よりも、エンバクの 10 日後に播種したほうで発芽率がより低くなった。

### 4. 考察

実験 3 で確かめられたように、生育中のエンバクによる発芽抑制の効果は明白である。実験 1 と 2 より、エンバクの生育している期間が長いほど、またエンバクからの距離が近いほど、ダイコンの発芽率は低くなることがわかる。エンバクのない場合の発芽率は商品の品質なのか (同じ小売店の商品だが購入時期が異なる)、あるいは発芽時の光条件の差なのか (実験時期が異なる)、実際のところ幅があるのだが、35%~40% であろうと思われる。それが今回の実験では最も顕著な場合で 21% にまで抑制された。周囲の植物を発芽させないことで自身の生育空間を確保できる有効な戦略と思われる。

抑制効果が距離に関係するということは、エンバクの分泌する物質が拡散して濃度勾配ができているということである。同じ物質でも寒天と土壤とでは拡散速度が異なるだろうが、野外でもエンバクの近傍ほど強い抑制効果が働いていることが予想される。それを確認するために実験 4 を実施したにもかかわらず、原因不明だが発芽率そのもの

が全体的に高く、土壤中での拡散速度を推定するのは難しいという結果になってしまった。ただし、そのままの寒天培地ではエンバク生育 10 日後で可能性が確認できる程度だった発芽抑制効果が、碎片の寒天培地では同時播種でも確認できた。さらに、碎片寒天培地でエンバク生育 10 日後だと、そのままの寒天培地での 20 日後と同程度かそれ以上の、かなり強い抑制効果があるよう見える。このことは、隙間に水がある団粒構造の方が拡散速度は高い、すなわち抑制物質は水溶性の高い物質であることを示唆している。

一方で、一般に知られている成長に対する抑制効果は、いずれの実験条件においても見られなかった。むしろエンバクから遠いところほど、成長の悪い個体が多いように見える（図 1、図 2）。これは仮説だが、発芽抑制物質が届かない場所では発芽能力のある種子は全て発芽するところを、抑制物質が、いわば“弱い個体を淘汰”する結果になっているのではないだろうか。発芽できた“強い個体”は成長抑制を受けずに順調に成長するので、エンバクに近くで発芽率の低い場所ほど、成長量の平均値は高くなってしまう。本研究からは検証できないが、そう考えると矛盾がない。

さらに、次のようなことも考えられる。まず、「エンバクが生成する物質は、ダイコンの発芽を抑制するには充分な濃度が拡散したが、ダイコンの成長を抑制するには濃度が少なかった。より高濃度ならば、発芽抑制のみならず成長抑制の効果も発揮する」という仮説である。次に考えられるには、「エンバクは、発芽抑制と成長抑制に働くそれぞれ別の物質を生成する。今回の実験条件では成長抑制物質が分泌・拡散しなかった。」という仮説である。碎片寒天培地では、“弱い個体の淘汰”が見えなくなり、近距離で成長の悪い個体が相対的に多い結果（図 3）となっていることを考えると、前者の仮説のほうがより可能性が高いように思われるが、今後の検証を待つよりほかない。

たとえ成長抑制の効果が無くとも、他種の発芽抑制はエンバクにとっては生存に有利であり、これを作物として利用する人間にとっても有益な事実である。エンバクは食物繊維の多い健康食材としても注目されており、除草作業の負担の少ない作物として栽培量の拡大が期待できるかもしれない。

## 5. 総括

生育中のエンバクはダイコンの種子の発芽を抑制する物質を生成分泌する。発芽抑制物質は、エンバクの生育にともなって分泌され続け、環境中に一定程度蓄積しつつ拡散して濃度勾配を形成するため、至近距離の競争相手を排除し、エンバクは有利に成長できる。今後は、発芽抑制物質の化学的分析や成長抑制効果の検証、これらの作用の効率的な利用方法の解明・開発が課題である。

## 6. 参考文献

- 1) 宮崎大学農学部・宮崎県庁(1991)「高等植物のアレロパシーに関する研究」
- 2) 藤井義晴 (2000) 「アレロパシー多感物質の作用と利用（自然と科学技術シリーズ）」
- 3) 藤井義晴 「植物の不思議な力で環境保全～アレロパシーを利用したこれからの農業～」

# バイオエタノールの生成

～廃棄される植物から生成できるのか～

研究者：久保田俊 武内鈴之助 宮入航大

指導教諭：西澤秀夫

## 1. 研究動機および目的

化石燃料の枯渇が近づく中で、バイオエタノールが次世代エネルギーとして注目されている。しかし、バイオエタノールは主にサトウキビやトウモロコシなどから生成されるため、大量に生産すると食糧問題を引き起こしてしまう可能性があることを知った。また、近年長野市飯縄の大座法師池では外来種である水草のコカナダモが大量発生し、諏訪湖では水草のヒシが大量発生して湖底の貧酸素化を引き起こしているのではないかと言われている。現在、大座法師池のコカナダモは、処理方法が見つかっていない。諏訪湖のヒシは肥料化がするということが行われているが、それ以外の利用方法を探すことで、よりよい活用方法を見つけることができると考えた。

そこで私たちは、食料とならないこれらの植物からバイオエタノールを生成したいと考えた。



＜諏訪湖のヒシの大量発生＞

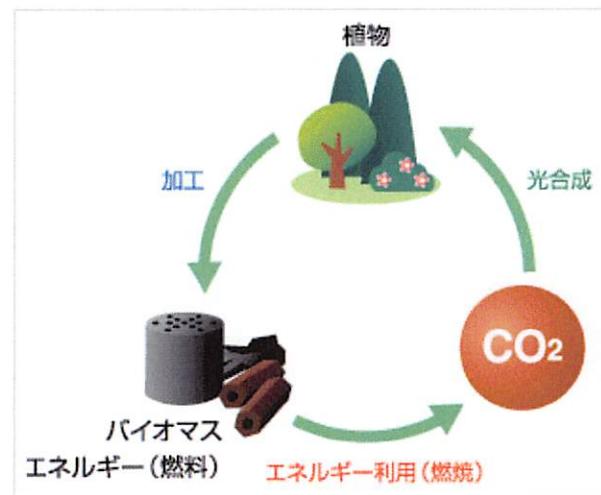
## 2. バイオエタノールとは

バイオエタノールとはサトウキビ、トウモロコシ、木材などのバイオマスを発酵、蒸留させて作られるエチルアルコールのことであり、主な用途は内燃機関の燃料である。

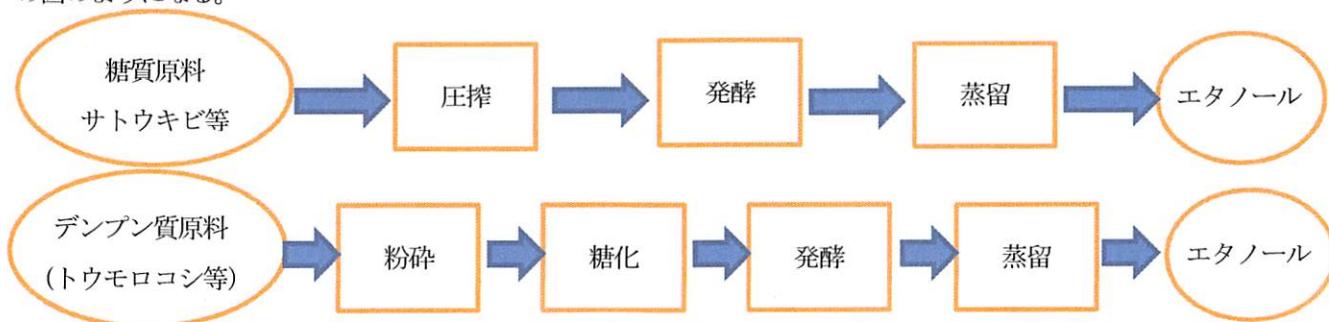
バイオエタノールは燃焼すると化石燃料と同じように  $\text{CO}_2$  を発生するが、植物は成長過程で光合成により  $\text{CO}_2$  を吸収しており、ライフサイクル全体で見ると、大気中の  $\text{CO}_2$  を増加させず、収支はゼロとみなされる(カーボンニュートラル)。そのため地球温暖化の視点でバイオエタノールは新エネルギーとして注目されている。

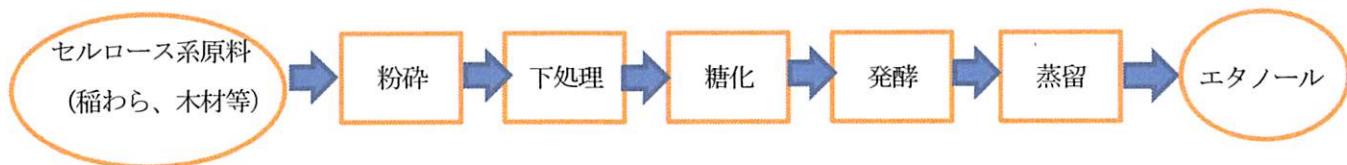
一方でバイオエタノールの原料は糖質あるいはデンプン質を多く含むものが好ましく、サトウキビ、テンサイ、トウモロコシなどの農産物が利用されているため、穀物価格の高騰や食料問題を引き起こす要因になってしまう。

バイオエタノールの生成方法は原料によって異なり、下の図のようになる。

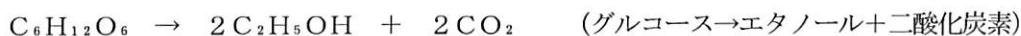


＜カーボンニュートラル＞





また、エタノール生成の化学反応式は以下のようになる。

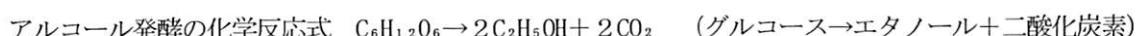


エタノールが生成する際に二酸化炭素も生成されるためエタノールの生成の有無は二酸化炭素発生量も目安となる。

### 3. 研究方法

#### ① エタノール生成と測定

1. 4種類の植物をミキサーで粉碎する。
2. それぞれの植物 2.0 g を、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaOH、H<sub>2</sub>O、加圧で下処理。…\*<sup>1</sup>
3. 下処理した植物から 2 の溶液を抜き、蒸留水で洗う。
4. 下処理した植物、酵母ビーズ、胃腸薬 1 錠、蒸留水 20mL をキューネ発酵管に入れる。…\*<sup>2</sup>
5. 4 をインキュベーター (37°C) に入れ、放置して発酵する。
6. 気体 (CO<sub>2</sub>) の発生量を測定する。



7. アルコール定量キットと吸光光度計を使用して、アルコール生成量を計測する。…\*<sup>3</sup>

#### ② 気体発生量とエタノール生成量の関係性を調べる

\*<sup>1</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaOH それぞれ 1.0mol/L を使用

加圧はオートクレーブ (121°C、2 気圧、60 分) を使用

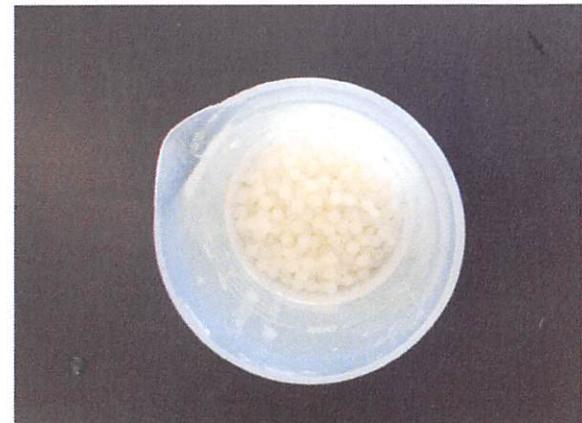
\*<sup>2</sup> 酵母ビーズはアルコール発酵を効率的に行うために使用

<酵母ビーズの作り方>

市販のドライイースト 1.0 g と蒸留水 3mL の混合溶液 (溶液 1)

アルギン酸ナトリウム 1.5 g と蒸留水 100mL の混合溶液 (溶液 2)

CaCl<sub>2</sub> 1.0 g と蒸留水 100mL の混合溶液 (溶液 3)



溶液 1 と溶液 2 を混合し、それを駒込ピペットで吸い上げ、溶液 3 に落とす

<酵母ビーズ>

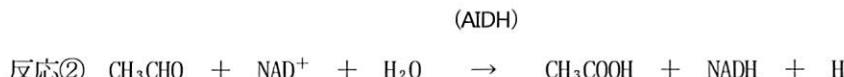
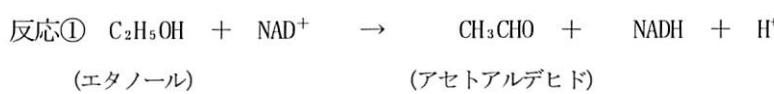
胃腸薬は新タカヂア錠 (第一三共ヘルスケア) を使用

\*<sup>3</sup> アルコール定量キットは F-キット (エタノールの酵素法による UV (波長 340nm) 吸収法測定キット) を使用

<測定原理>

試料中に含まれるエタノールを ADH (アルコール脱水素酵素) 及び AIDH (アルデヒド脱水素酵素) により下式①②のように完全に酢酸 (CH<sub>3</sub>COOH) に変換する。このときエタノールの 2 倍量の NADH が生成するので、NADH 濃度を分光的に測定してエタノールの濃度を測定する。(NADH は 340nm において吸収があるが NAD<sup>+</sup>は吸収がない)

(ADH)



## 4. 実験概要

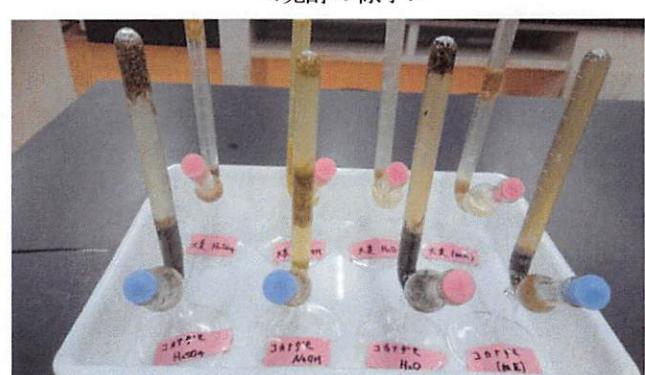
大麦(わら)、ヒシの葉、ヒシの殻、コカナダモの4種類の植物からバイオエタノールを生成する。

実験①：16種類のパターン (植物4種×下処理方法4種) で気体の発生量を16日間1日ごと調べて、バイオエタノール生成に適した条件を調べる。

実験②：実験①から、気体の発生量が特に多かった5パターンについて再度気体の発生量を測定し、

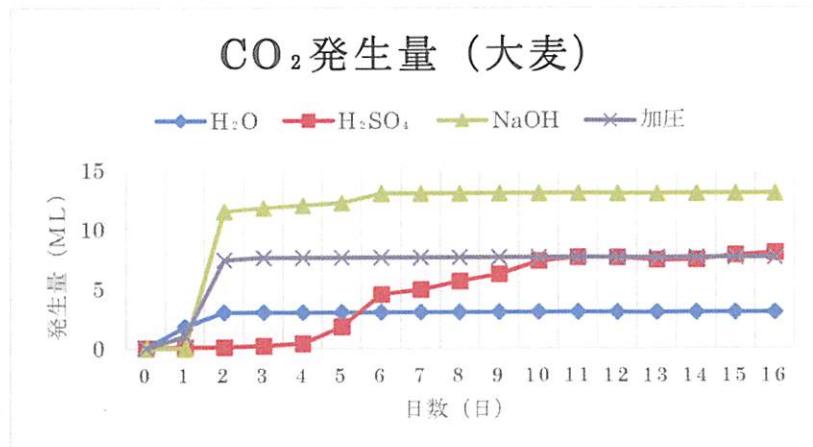
吸光光度計を用いてエタノール生成量を調べ、その関係性を考察する。

実験③：最もバイオエタノール生成に適していると思われる条件で再び実験し、細かく時間を区切って観測し、気体発生量とエタノール生成量の関係を更に詳しく調べる。

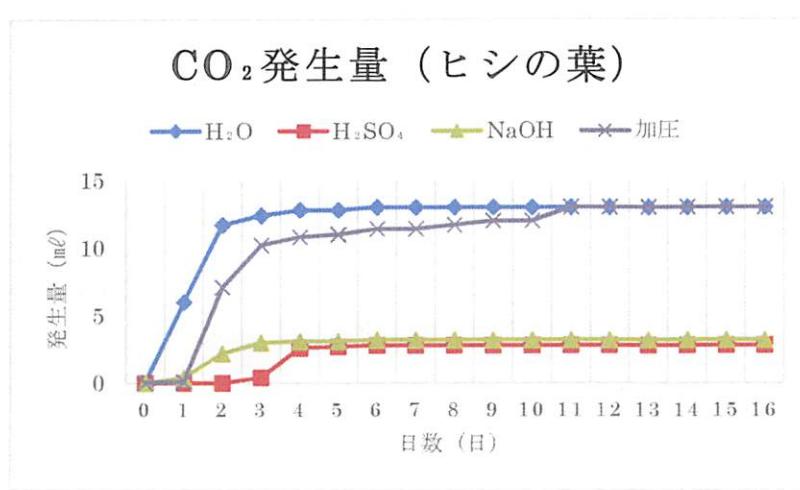


## 5. 研究結果

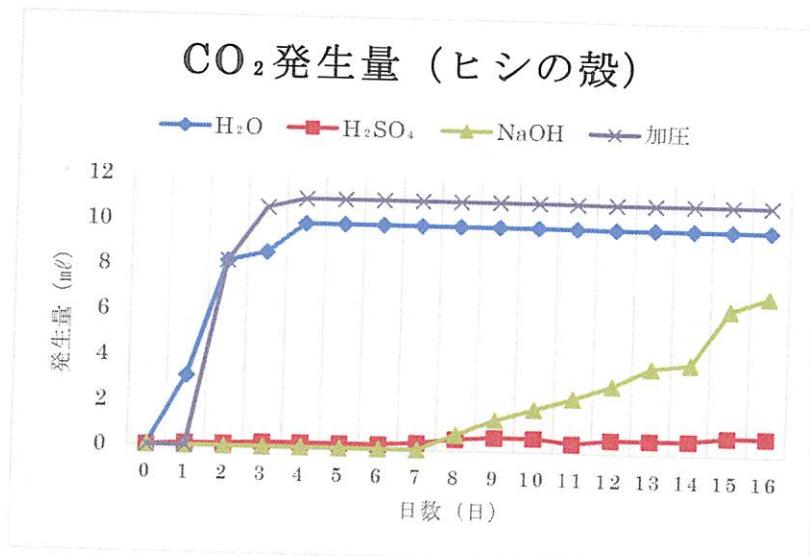
実験①によって次のグラフのような結果が得られた。以下、グラフは縦軸を発生量 (mL)、横軸を日数とする。



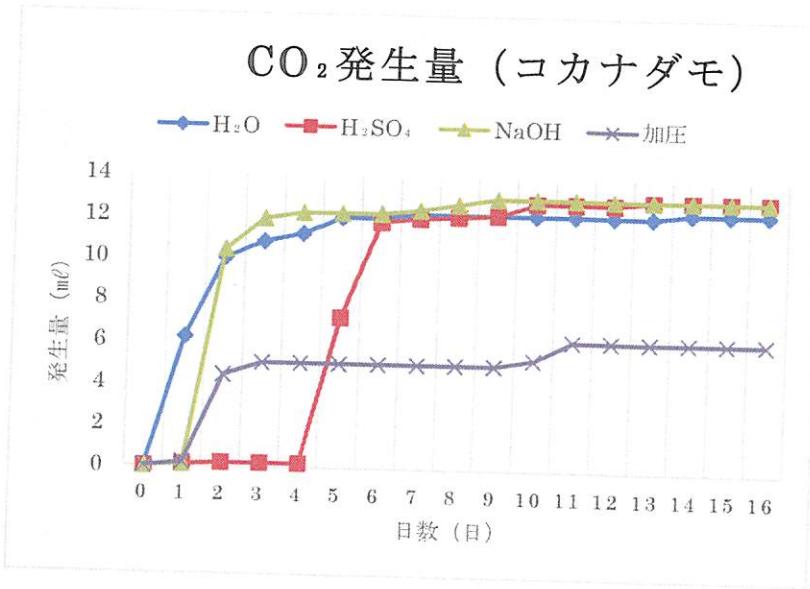
大麦については、NaOHで下処理したものが、反応も早く、とてもよく発生した。ただし水で下処理したものは3.0 mLほどしか発生しなかった。



気体発生量はH<sub>2</sub>Oで下処理したもの、加圧処理したものが最も多かった。H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaOHで下処理したものはあまり発生しなかった。



ヒシの葉と同様にH<sub>2</sub>Oで下処理したもの、加圧処理したものが反応も早く、気体がよく発生したが、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で下処理したものはあまり発生しなかった。しかし、NaOHは、7日を過ぎたあたりから徐々に気体の発生が活発になった。



他の植物とは違い、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で下処理したものでよく気体が発生し、加圧処理したものはあまり気体が発生しなかった。

＜気体発生の様子＞



#### ＜実験①まとめ＞

- ・気体発生量が多いものほとんどが1～2日の間に大幅に発生している。
- ・グラフを見ると、どの植物もH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で下処理したものは4日程経つまで気体が発生することはなかった。反対に、それ以外の方法で下処理したものは4日以降気体が発生することはほとんどなかった。
- ・コカナダモには、ほかの植物とは違った傾向が見られた
- ・実験①の結果として、ヒシの葉(H<sub>2</sub>O)、ヒシの葉(加圧)、ヒシの殻(加圧)、大麦(NaOH)、コカナダモ(NaOH)の5パターンがバイオエタノールの生成に適しているということがわかった。

実験②によって、次のような結果が得られた。

実験①でエタノール生成に適しているとわかった5パターンを再度実験すると、今回は大麦 (NaOH)、コカナダモ (NaOH) は、気体発生量が極めて少なかった。そのため、今回も気体発生量が多かったヒシの葉 ( $H_2O$ )、ヒシの殻 (加圧)、ヒシの殻 (加圧) のみをアルコール定量キットと吸光光度計を使用して、エタノール生成濃度を求めた。

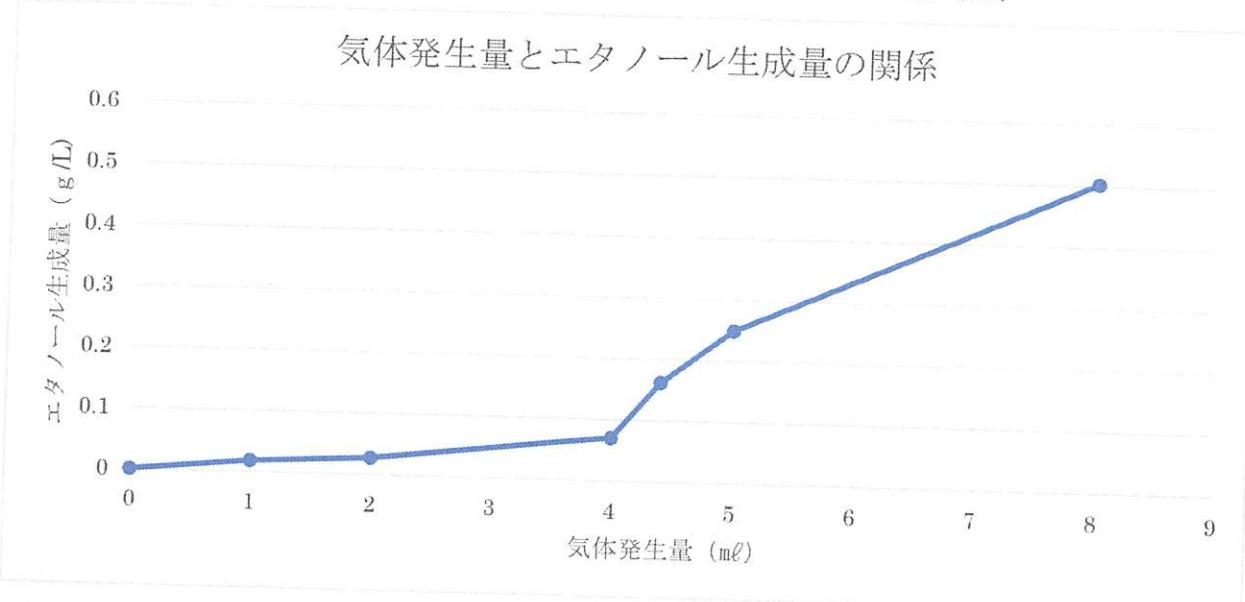
植物の種類 [ $CO_2$ 発生量mL]	エタノール生成濃度 (g/L)	実験日数 (日)
ヒシの葉 ( $H_2O$ ) [8.0]	0.450	4
ヒシの葉 (加圧) [9.0]	0.426	6
ヒシの殻 (加圧) [11.0]	0.476	5

<実験②まとめ>

- ・気体が発生していると、エタノールが生成されているとわかった。
- ・ヒシの葉 ( $H_2O$ ) が最も気体が発生するまでの時間が早かったため、最も早くエタノールが生成できると思われた。

実験③によって次のような結果が得られた。

実験②より最も早くエタノールが生成できると思われるヒシの葉 ( $H_2O$ ) の気体発生量とエタノール生成濃度の関係は図のようになった。以下の図は、縦軸エタノール生成濃度 (g/L)、横軸気体発生量 (mL)



<実験③まとめ>

気体発生量が多いほど、エタノール生成量が多かった

## 6. 考察

廃棄される植物からバイオエタノールを生成することは可能であったが、生成濃度が小さく、手間や時間がかり、効率的ではなかった。しかし実験で使用した原料の量を増やせばエタノール生成量が増えると考えられる。よって食料以外の植物からバイオエタノールを生成することに可能性を見いだせた。

今回バイオエタノールを生成できたのは、破碎した植物に含まれていたデンプンが胃腸薬と反応し、グルコースが生成され、それが酵母と反応し、エタノールが生成された可能性がある。

このように仮定すると、廃棄される植物体の大部分を占めるセルロースが分解されてエタノールが生成されたわけ

はないと考えられる。

より低コストで効率よくバイオエタノールを生成するためにも、もっとエタノール生成に良い条件やより簡単な生成方法を見つけたり、技術の進歩が必要であることが分かった。

## 7. 参考文献

- 図解バイオエタノール最前線 工業調査会
- 図解バイオエタノール製造技術 工業調査会
- 屋代高校理化班 「アルギン酸ビーズを用いたアルコール発酵」
- H.24年度屋代高校課題研究 「エノキタケのアルコール発酵実験」

# 液状化現象が起こりやすい条件とは？

～鍵を握る細粒層、および水圧、地下水位の影響について～

研究者：坂野萌恵 内藤寧音 増澤実咲 宮坂円莉  
指導教諭：清水寛

## 1. 研究目的

地震が起きた際、液状化現象と呼ばれる現象が地域に被害をもたらすことがある。液状化現象とは、地盤を形成する粒子同士のバランスが地震の衝撃や振動により一時的に崩れ、その粒子間の隙間から地下に含まれる水が上昇し、地盤が液体状になることを指す。これには水と共に地層に含まれる砂が上昇し噴き出す噴砂、粒子が離れ再び堆積する際に起こる地盤沈下が含まれる。私たちは、液状化現象の中でもこの現象を視覚化しやすい噴砂に注目し、液状化が起こりやすい条件を研究することにした。

## 2. 研究概要

液状化現象を引き起こす要因として、堆積時の環境、碎屑物の粒径とその組み合わせ、水量、水圧に大きな関係を持つ。本研究では粒度の組み合わせおよびその質量比、噴砂発生時の水圧、噴砂および地盤沈下発生時における地下水位に着目し、下記の実験を行い、地震発生時にどのような条件下で液状化が起こるのかを考察した。

実験 1 粒度分類を行った 6 種類の砂から最も噴砂が起こりやすい組み合わせを見つけ、それを用いて細粒砂と粗粒砂の質量比による噴砂の有無の調査

実験 2 実験 1 から最も噴砂が起こりやすい条件で砂の層にかかる水圧の変化による噴砂の有無の調査

実験 3 実験 1 から最も噴砂が起こりやすい条件で地層に含まれる水の地下水位の変化による噴砂の有無の調査

## 3. 実験および結果・考察

### ① 噴砂が起こりやすい粒径の組み合わせの検討

(方 法) 予備実験として噴砂が起こりやすい粒径の組み合わせを測定した。3 種類×3 種類の計 9 通りの組み合わせの中から最も噴砂が起きやすいものを調べた。

(1) 粒度の粗い砂と粒度の細かい砂を用意し、それぞれ篩にかけ粒度分類を行う

(2) (1)の砂の中の粗粒砂 3 種類、細粒砂 3 種類をそれぞれ組み合わせる

・粗粒砂…粒径 500  $\mu\text{m}$  以上、250  $\mu\text{m}$ ～500  $\mu\text{m}$ 、125  $\mu\text{m}$ ～250  $\mu\text{m}$

・細粒砂…粒径 63  $\mu\text{m}$ ～125  $\mu\text{m}$ 、32  $\mu\text{m}$ ～63  $\mu\text{m}$ 、32  $\mu\text{m}$  以下

(3) 一定の大きさのスクリュー管を使用し、そこに粗粒砂、細粒砂、容器いっぱいの水を入れる

(4) (1)を十分に攪拌し、机で静止させ、砂の二層構造ができたら机に打ち付け衝撃を与える。この時、下の層にある砂が上の層に噴き出すのが見えた場合、噴砂が起きたとする

(結 果) 最も噴砂の起こりやすい砂の組み合わせは、粒径 125  $\mu\text{m}$  と 500  $\mu\text{m}$  である

### ② 噴砂が起こりやすい質量比の調査

(方 法) 噴砂が起こりやすい質量比の定量をするため、水にて密閉できる容器を 4 つ準備し、その中で、予備実験における 2 種類の（粒径 125  $\mu\text{m}$ 、500  $\mu\text{m}$ ）砂を利用し、質量比における噴砂の有無を定量した。大気圧の影響および空気が含まれることによる攪拌の差を少なくするため、スクリュー管を利用した。

(1) 容量の異なる 4 つの容器を用意し、大きい順に容器 A, B, C, D (写真 1 右から) とする

A 断面積 10.2 cm<sup>2</sup>, 体積 114ml

C 断面積 5.72 cm<sup>2</sup>, 体積 31.8ml

B 断面積 7.54 cm<sup>2</sup>, 体積 51ml

D 断面積 4.15 cm<sup>2</sup>, 体積 20.5ml

- (2) それぞれの容器に、粗粒砂と細粒砂、容器いっぱいの水を入れる（写真 2）  
(3) 容器を 5 回振り机で静止させ、砂の二層構造ができたら容器を机に打ち付け衝撃を与える。細粒砂の質量を固定し、粗粒砂の質量を増やして同じ試行をおこなう  
(4) 1 つの容器につきこれを 10 回試行し、噴砂の発生頻度を測定、定量する  
本実験では、発生頻度 70%を噴砂が起こるという基準値とした。

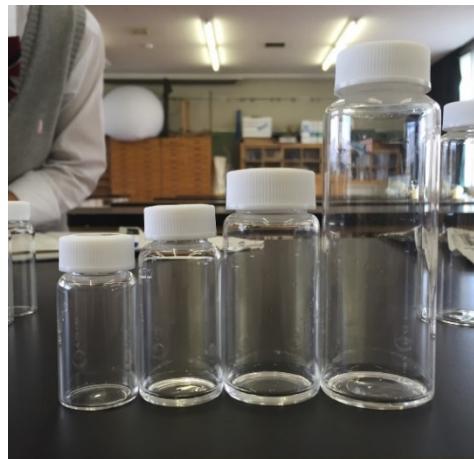


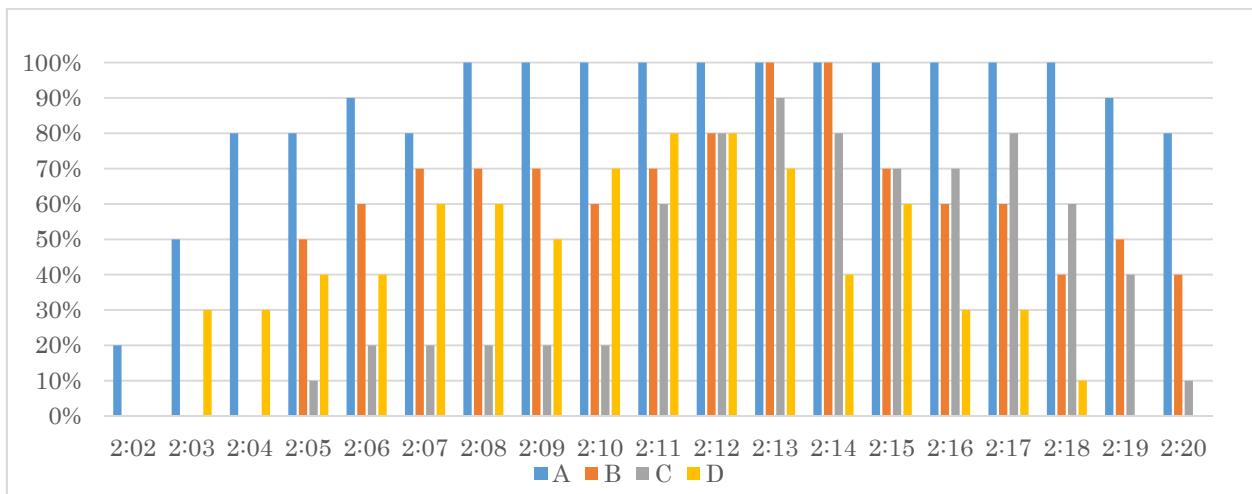
写真 1



写真 2

#### （結果・考察）

それぞれの容器における噴砂の発生頻度をまとめるとグラフ 1 のようになる。



グラフ 1

- (1) 粒径 125  $\mu\text{m}$ と 500  $\mu\text{m}$ の組み合わせにおいて級化構造ができ、噴砂がよく観察された  
(2) 全ての容器において 2 : 12～2 : 13 の比率で噴砂の起こる頻度が高かった。また、2 : 7 未満、2 : 17 以上の比率の際、噴砂が起こる頻度は低かった  
→比率が 2 : 7 未満の場合、粗粒層に比べて細粒層が厚すぎるため、地層に含まれる水の含有量が少なく地表面まで水が上昇してくることができず、噴砂は起こらない。  
→比率が 2 : 17 以上の場合、粗粒層に比べて細粒層が薄すぎるため、はつきりとした級化構造を形成しないため、噴砂は起こらない。

#### 噴砂が起こる条件 1：噴砂の発生には細粒層の一定の厚さが必要である

- (3) 噴砂の起こりやすい質量比は容器によって異なる  
・容器 A での噴砂の頻度（70%以上が 17 回 : 89.5%）が高かった  
・容器 B において 2 : 4 から 2 : 5、容器 C において 2 : 10 から 2 : 11 への変化の際、割合が急に増加した（それぞれ 0%から 50%、20%から 60%）  
→容器が小さいほど攪拌してから砂が堆積するまでの距離および時間が短く、級化構造を形成することができないため噴砂が起こりづらくなる。  
→容器が小さいと地表より上にある水の量が少ないため、かかる水圧が小さい。

## 噴砂が発生する仮説 1：地層に含まれる水の量、表面にかかる水圧に関する

### ③ 『仮説 1』 噴砂の有無と地層にかかる水圧の関係についての検証

(方 法) 仮説 1 の検証・地層にかかる水圧の変化による噴砂の有無を検証するため、ペットボトルを利用して水量の調節できる実験器具（写真 3, 4）を制作、水圧との関係を定量した。

- (1) 500ml の炭酸飲料のペットボトルを白色カラービーズ（粒径 125  $\mu\text{m}$ ）20g、黒色カラービーズ（粒径 500  $\mu\text{m}$ ）120g と水で満たし、チューブ付きゴム栓をペットボトルの口部分にはめる
- (2) 中身をよく振り混ぜてペットボトルの口を下にしカラービーズの層を堆積させてから水を測定したい高さまで抜きペットボトルの側面を指で弾き衝撃を与える。このとき、指で弾くことを噴砂がこれ以上起こらないといえるまで試行する
- (3) 水が満杯の状態から水面を 0.5cm ずつ下げていき砂の面から水面までの距離が 0cm になるまで(2)の試行を繰り返して、それぞれの水の量における噴砂の有無、噴砂があった場合の地盤の沈下量を測定する

#### (結果・考察)

それぞれの水圧における噴砂の有無を○×を利用して表 1 に示す。また、地盤沈下量をグラフ 2 に示した。

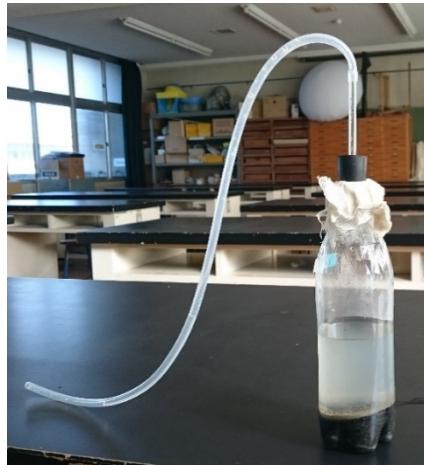


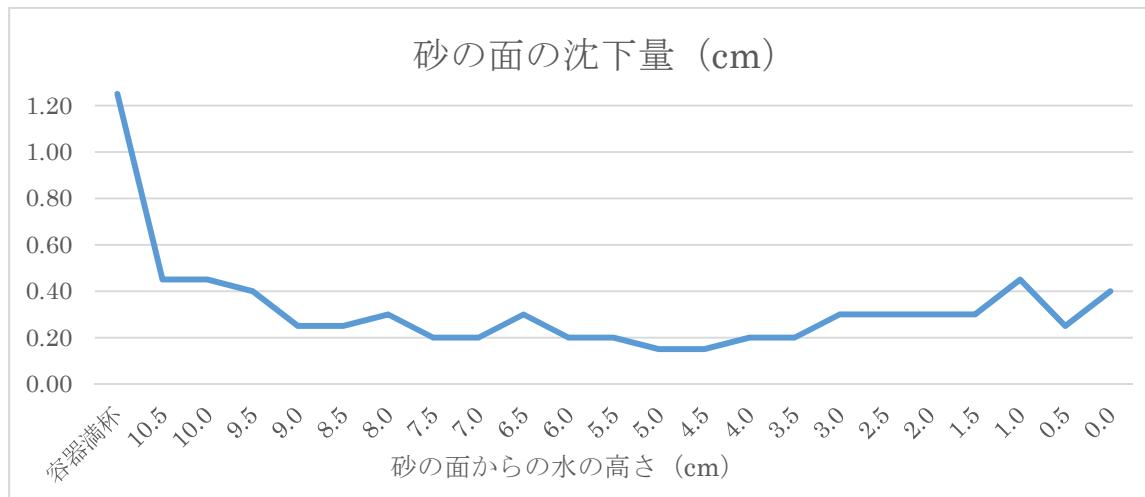
写真 3



写真 4

表 1 水圧における噴砂の有無

砂の面からの水の高さ(cm)	容器満杯	10.5	10.0	9.5	9.0	8.5	8.0	7.5	7.0	6.5
噴砂の有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
0.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○



グラフ 2

- (1) 表 1 より、水面の高さを変化させても全ての測定値で噴砂が起こった  
→砂の面からのどの水の高さでも噴砂が起きたため噴砂の有無には砂の層にかかる水圧は関係がない。
- (2) グラフ 2 より、容器満杯の時の地盤沈下量が著しく大きい

→層にかかる水圧が大きいと粒子間に加わる地盤内の水圧（間隙水圧）が大きく水が上昇しやすくなる。

→容器満杯に水が入っているとき、攪拌時の水の移動量および堆積時の地層に含まれる水の含有量が多く、衝撃時にその水が上昇するため、地盤沈下量が著しく大きくなる。

(3) グラフ 2 より、水面の高さを 1.0cm から 0cm にした時に地盤沈下量が大きくなる

→地表面に加わる水圧が小さくなると地層内の水が噴水しやすくなり、地層表面に出た多くの水の量により地盤沈下量が増加したと考えられる。

**噴砂が発生する条件 2：地表面にかかる水圧または大気圧とは無関係である**

**噴砂、地盤沈下が起こる仮説 2：地下水位と関係がある**

④『仮説 2』 噴砂の有無と地盤沈下の地層の地下水位との関係についての検証

(方 法) 仮説 2 の検証・地下水位の変化による噴砂の有無、地盤沈下量の変化を定量するため、透明なパイプを用いて、地層面から抜く水の量によって、地層に含まれる水の量に換算して実験を行った。

- (1) 断面積が一様の透明な筒に、カラービーズ(実験 2 と同じもの)、水を入れる (写真 5)
- (2) 砂の層の高さと同じ高さまで水を抜く
- (3) 砂の層にどのくらい水が入っているのか測定する
- (4) 測定した水の量を砂の層の高さで割り、1 cmあたりどのくらい水を含んでいるか求める  
※これを 3 回行い平均値を求めた

→1 cmあたり 6.17ml →地下水位を 0.5cm ずつ下げたい →3.0ml ずつ減らす

- (5) (1)と同様に筒、カラービーズ、水を用意する
- (6) 砂の層と同じ高さの位置から水の量を 3ml ずつ減らし、地下水位を 0.5 cm ずつ下げていく
- (7) 砂の面からの地下水位が 0 cm になるまで実験を行う
- (8) それぞれの高さで筒の側面を叩いて衝撃を与える、噴砂の有無、地盤沈下量を測定、定量する (写真 6 は噴砂有の状態)
- (9) 同じ実験を 3 回行う (3 回目は地層の高さを 3 分の 2 にする)

(結 果) それぞれの地下水位による噴砂の有無 (○×) (表 2)、地盤沈下量 (グラフ 3) は次のようになった。(地盤沈下量は 1 回目と 2 回目の平均)



写真 5



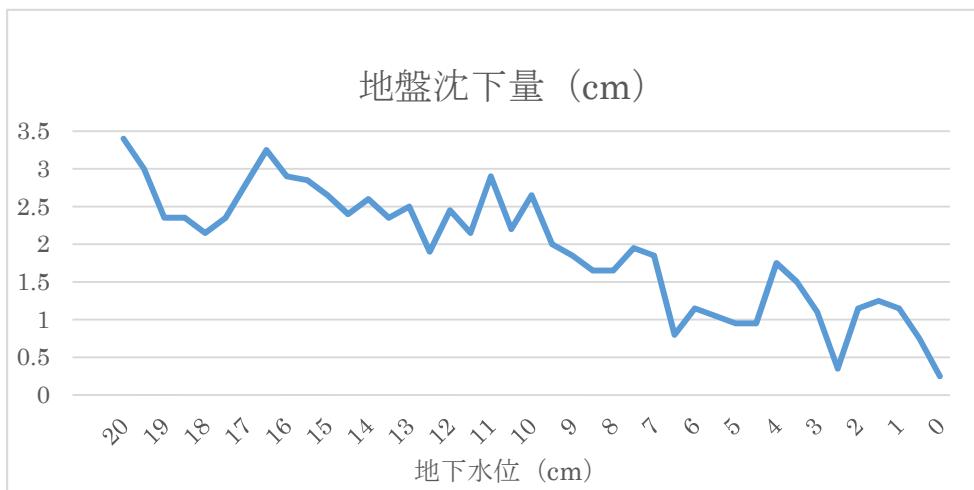
写真 6

表 2 噴砂の有無 (○×) (3 回目は高さを変えたため比率で考えた)

地層と地下水位の高さの比	20:20	20:19.5	20:19	20:18.5	20:18	20:17.5	20:17	20:16.5	20:16	20:17	20:15
噴砂の有無(1回目)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(2回目)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
(3回目)	○	○		○	○	○		○	○	○	

20:14.5	20:14	20:13.5	20:13	20:12.5	20:12	20:11.5	20:11	20:10.5	20:10	20:9.5	20:9	20:8.5	20:8	20:7.5
○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×
○	○	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
○	○	○		○	×	×		×	×	×	×	×	×	×

20:7	20:6.5	20:6	20:5.5	20:5	20:4.5	20:4	20:3.5	20:3	20:2.5	20:2	20:1.5	20:1	20:0.5	20:0
×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
×	×	×	×		×	×	×		×	×	×	×	×	×



グラフ 3 1回目と2回目の平均

#### (考 察)

- (1) 1回目～3回目で噴砂の有無に多少の変化は見られたものの、1回目と2回目では共通して地下水位が9.5 cm、3回目では7.0 cmから噴砂は起こらなくなつた  
→砂の層の高さを約20 cm (3回目は約15 cm) とみると、地層の約2分の1の高さの地下水位になると噴砂は起こりづらい。
- (2) グラフ3より、水の高さが地層の高さと同じ (地下水位20 cm) ときに地盤沈下量が一番大きい。そして、水の量が少なくなるにつれて地盤沈下量が小さくなる  
→地層に水を多く含んでいる方が含まれていない時よりも粒子間の隙間が広く、衝撃を与え再び堆積するときの粒子間の隙間との差が大きくなる。また、水の潤滑機能も働くと考えられる。
- (3) 地下水位が9.5 cmの時から噴砂は起こらなくなつたが、地盤沈下は起きた。また、グラフ3より、噴砂が起こらなくなつた9.5 cmの時、地盤沈下量が2.65 cmから2.0 cmに小さくなつた  
→砂の面からの地下水位が低すぎると水の上にある砂の層が厚く、地表面まで登りきることができない。  
→適当な量の水を含んだ状態で級化構造を形成し、そこから水を抜いたので、地下水位が低い場合にも粒子間に隙間が存在した。よってその状態に衝撃を与えることで地盤沈下が起きた。
- (4) 1回目の衝撃を与えてから噴砂が起こるまでに時間差があった。また、地下水位を下げるにつれて噴砂が起こるまでの筒の側面を叩く回数が増加した  
→2回目の実験では、1回の衝撃を与えてから噴砂が起こるまでの時間を測定した。その結果、1回の衝撃で噴砂が起きるのに限界があったため全体を通してのデータはとれなかつた。しかし、実際に測定することのできたデータでは地下水位を下げていくにつれて噴砂が起きるまでの時間は長くなつた。  
→1回の衝撃で噴砂が起きなかつた場合、何回目の衝撃で噴砂が起こるのかを測定した。その結果、地下水位を下げていくにつれてその回数は増加していった。

**噴砂が起こる条件3：地層の高さの約2分の1以上の地下水位が必要である**

## 4. まとめ

本研究において、噴砂が起こる条件、それに伴う地盤沈下において以下の4つが推測できる。

### ① 級化構造及び細粒層に一定の厚さがあること

本実験①②から、容器が小さい場合や細粒砂と粗粒砂の質量の差が大きすぎる場合や小さすぎる場合には噴砂が起こりづらいことが分かった。容器が小さい場合、砂を攪拌してからはつきりとした級化構造を形成するまでに十分な時間をかけることができない。また、質量の差が大きい場合にも細粒砂が粗粒砂と混じり合ってしまい級化構造を形成することができない。しかし、細粒層が厚すぎる場合には、水が地表面まで上がってくることができず噴砂が起こりづらい。

### ② 水量に対しての砂の含有量が一定未満であること

①と同様に、容器の体積が小さいと水量に対する砂の量が多くなり、体積が大きい容器に比べて噴砂が起こりづらい。堆積時における粒子間の空洞（水で充填されている場合が多い）が必要であり、この空洞に水が充填されると噴砂を起こしやすくなる。

### ③ 水の充填率が高いこと

実験①では容器Aにおける水が満杯時の噴砂の起こる頻度が高かったため、砂の層への水の充填率が高いこと、粒子間の浮遊率が高いほど噴砂が起こりやすいと考えられる。また、実験②から、噴砂の有無は地層にかかる水圧とは関係がなく、容器満杯に水を入れた際の地盤沈下量が最も大きいことがわかった。よって、地層への水の充填率が高いとき、粒子の浮遊性が増加し、噴砂、地盤沈下は起こりやすい。

### ④ 地下水位が砂の層の2分の1以上であること

実験③の3回の実験を通して、共通して砂の層からの地下水位がおよそ2分の1のときから噴砂が起こらなくなり、地盤沈下量も小さくなった。また、地下水位を下げていくことで衝撃を与えてから噴砂が起こるまでの時間が長くなることや、衝撃の回数が増加していったことから、地下水位が低いほど、地層に含まれる水量が少ないほど噴砂、地盤沈下は起こりづらいことがわかった。

## 5. 今後の課題

本研究において、地震時の液状化現象の発生頻度の高い地域を下記のように予測することができる。

- 堆積層（透水層）としては、堆積層の体積における粒子の含有率が低いこと（空洞が多いこと）  
また、その粒子が細かいこと（ $125\mu\text{m}$ 前後）
- 堆積層を覆う細粒層が存在すること（コンクリート、不透水性のアスファルト等）
- 透水層としての堆積層に含む地下水量が堆積層の2分の1以上

このため、上記条件を満たす海の埋め立て地、地下水位の高い地域等では注意が必要である。今後は、地震計や断面積の広い容器を用いて、よりフィールドに近い状態で実験を行い、この研究を通して見つけた条件をより正確なものとして示していきたい。

## 6. 参考文献

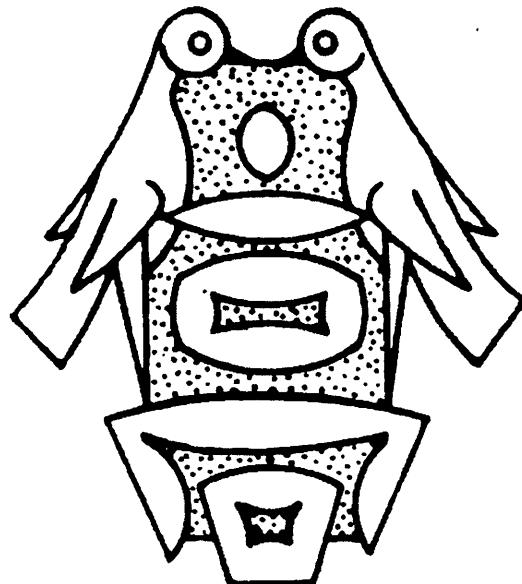
- ・<http://shake.tu.chiba-u.jp/lecture/kisojiban/pdf/lec07.pdf>
- ・平成25年度長野県屋代高等学校課題研究 研究報告書 『液状化現象と地盤構成粒子の粒度』

## 謝辞

今回の研究を行うにあたり、指導教諭の清水寛先生をはじめ、実験器具の作成にご協力していただいた地学科の先生方など多くの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。

平成 28 年度 3 年理数科 課題研究

Super Science High School  
The Collection of Researches



Nagano Prefectural Yashiro High School

## Plain Explanation of RSA encryption

-Reproduction of encryption and decryption using string “YASHIRO” with RSA-

Hiroyuki Sakato Mitobe Akira Midorikawa Ryo Miyazawa Natsuki Yoshioka Shoji

### 1. The purpose of this study

RSA encryption algorithm is a de-facto encryption algorithm to make inter-node communication through the Internet secure. Though we have heard the name before, we didn't know how it works. So we decided to learn RSA so that we can explain the algorithm in a simple and clear way.

### 2. Explanation of algorithm

Here's how RSA algorithm works. Note that M is plain data, C is encrypted data, e is public key, and d is private key. Public key is used to encrypt data, and the private key is used to decrypt the data.

$n = pq$  (p and q are big prime numbers)     ... step□  
 $\phi(n) = (p-1)(q-1)$      ... step□  
encryption:  $M^e \equiv C \pmod{n}$      ... step□  
decryption:  $C^d \equiv M \pmod{n}$      ... step□  
 $C^d \equiv (M^e)^d \equiv M^{ed} \equiv M \pmod{n}$      ... step□  
Private key  $d = (r\phi(n) + 1)/e$  (r is an integer)     ... step□

□ First, we choose two BIG prime numbers p and q (approximately 200 digits) and calculate the product  $n=pq$ . This number n is used as modulo when encrypting or decrypting data. Usually, n and e are publicly available, but private key d and the two prime numbers p and q are keep concealed.

□ Second, we will introduce Euler function, denoted  $\phi(n)$ . This function has a property so that given a number n, the number of all relatively prime numbers less than n are returned. For example, if  $n=5$   $\phi(5)=1,2,3,4$ . And if  $n=8$ ,

$\phi(8)=1,3,5,7$ . If n is a prime number, of course,  $\phi(n)=(n-1)$  holds true. So, if n is a product of two prime numbers  $n=pq$ ,  $\phi(n)=(p-1)(q-1)$  holds true. This function is used to calculate private key d in later process.

□ In order to encrypt plain data M, we calculate encrypted data C so that  $M$  to the power of public key e congruent encrypted data C modulo n.  $M^e \equiv C \pmod{n}$

□ After that, in order to decrypt encrypted data C, we calculate plain data M so that  $C$  to the power of private key d congruent plain text M modulo n.  $C^d \equiv M \pmod{n}$

□ When we perform decryption, we followed the formula  $C^d \equiv M \pmod{n}$ . Let's replace C to  $M^e$  (shown in □), then we get formula □  $(M^{ed}) \equiv M \pmod{n}$ .

□ We have to calculate private key d in order to decrypt the encrypted data C. Here, we go back to □, using Euler function  $\phi(n)$ . This function has a property so that,

$a^{\phi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$  holds true, where a and n are relatively prime numbers.

We raise both sides to the rth power and we get this formula,

$a^{r\phi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$ . Then, we multiply both sides by a and get another one

$a^{r\phi(n)+1} \equiv a \pmod{n}$ . You can see that a to the power of  $r\phi(n)+1$  congruent a itself modulo n.

Comparing this equation with the equation shown in □  $(M^{ed}) \equiv M \pmod{n}$ ,  $r\phi(n)+1$  and  $ed$  plays the same role. So  $r\phi(n)+1=ed$  also holds true.

Therefore, private key d is  $d = (r\phi(n)+1)/e$  ... □

As you can see, we can actually calculate the private key d using only what publicly available. Since d is the key to “decrypt” the data, isn't this critical? In fact, eavesdroppers cannot calculate them easily, unless we choose two BIG prime numbers. In □, We have chosen two BIG prime numbers p,q, and we calculated the product  $n=pq$  to use as modulo. Then look at formula □:  $d = (r\phi(n)+1)/e$ , in order to calculate private key d, we have to calculate  $\phi(n)=(p-1)(q-1)$ . If you know what n's factors are, you can calculate this easily. But thinking of eavesdroppers, finding out the factors of big numbers (at least  $200*200 = 40000$  digits!) takes long time, even with the help of computers. Now you can see it. In order NOT to leak the private key d, we choose two BIG prime numbers p and q so that the product n will not be factored forcibly. Initial choice of two prime numbers determines the whole security level.

### 3. Demonstration

We assume that no one could understand what the above section was telling you at all. But don't worry.

We go on a demonstration so that you can understand the concepts well.

Suppose that Alice wants to send confidential data "YASHIRO" to her friend Bob through an unsecure network, where there may be some eavesdroppers waiting for the information. Alice uses RSA algorithm in order to send data securely. Here's how. (From here, we denote each stage using  $\square \sim \square$ , which was used in the above section so that you can see the relationships.)

$\square$  Firstly, we define constants as follows:

$p=17$ ,  $q=59$  so  $n=pq=1003$ ,  $\phi(n)=(17-1)(59-1)=928$ ,  $e=65537$ (constant)

Convert the string "YASHIRO" into numbers according to the internal code of a computer (everything in a compute is treated as numbers). In this case, "YASHIRO" becomes (121 97 115 104 105 114 111).

$\square$  Secondly, encrypt the data (121 97 115 104 105 114 111) according to the formula  $M^e \equiv C \pmod{n}$

Since  $e=65537$  and  $n=1003$ , we get the following encrypted data

121->  $121^{65537} \equiv 920 \pmod{1003}$

97 ->  $97^{65537} \equiv 148 \pmod{1003}$

115->  $115^{65537} \equiv 319 \pmod{1003}$

104->  $104^{65537} \equiv 529 \pmod{1003}$

105->  $105^{65537} \equiv 139 \pmod{1003}$

114->  $114^{65537} \equiv 165 \pmod{1003}$

111->  $111^{65537} \equiv 43 \pmod{1003}$

So, the encrypted data C is (920 148 319 529 139 165 43).

Alice sends this data to Bob.

$\square, \square$  After Bob receiving this encrypted data, Bob tries to decrypt it. But first he needs to calculate the private key  $d$  from what publicly available  $e=65537$  and  $n=1003$ , according to the formula  $d=(r\phi(n)+1)/e$ . In a real-world situation, we calculate  $r\phi(n) - ed = 1$ , which is an indefinite equations.

# Making Electricity by Mechanical Pencil

Yokosaka Kaede Kakuda Nozomi  
Hori Saya Takahashi Chiyomi

## 1. Motive

Today, the generation of electricity using renewable energy attracts attention instead of unclear power generation and thermal power generation.

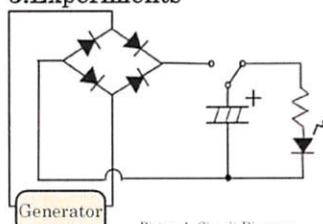
We thought that there might be a generation method that can be in use by vibration and so on, except for the methods that have been already studied deeply such as wind power generation and solar power generation.

And we want to make good use of our system to solve the shortage of energy and to secure electricity at the time of the disaster by using the energy that is usually abandoned.

## 2. Goal

Combining a piezoelectric element, a coil and a magnet we make a familiar hypersmall generator, the mechanical pencil which generates electricity.

## 3. Experiments



Picture1. Circuit Diagram  
experiments to find a suitable capacitor in

First, to save electricity effectively, we conducted two

these two cases.

1. Generating electricity with piezoelectric element
2. Generating electricity with piezoelectric film

### ◆ Experiment①

- Connect 6 sorts of capacitors to the circuit (Picture1), and put the piezoelectric element on the mechanical pencil's cap and push it 50 times

### ◇ Results

We measured the biggest potential difference in using 22uF · 35V, 10uF · 25V capacitors. We found that the smaller capacitance it is, the larger power it can save.

Capacitors (Capacitance·Voltage)	Voltage [V]
1000uF·25V	0.11
10uF·25V	1.6
100uF·16V	1.7
47uF·35V	1.7
22uF·35V	5.8
10uF·25V	5.5

Graph1. 6kinds of capacitors and generated voltage (with piezoelectric

### ◆ Experiment②

- Connect 6 sorts of capacitors to the circuit (picture1), and press the piezoelectric film 50 times

### ◇ Results

Piezoelectric film generated much less voltage than

Capacitors (Capacitance·Voltage)	Voltage [V]
100uF·25V	0.03
100uF·16V	0.03
47uF·35V	0.04
22uF·35V	0.14
10uF·25V	0.17

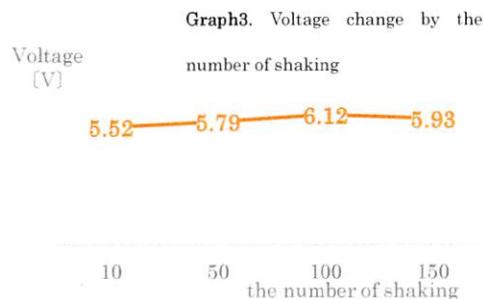
Graph2. 6kinds of capacitors and generated voltage (with piezoelectric film)

piezoelectric element, and that was not enough for big capacitors to save power. Like in experiment1,  $22\mu\text{F} \cdot 35\text{V}$ ,  $10\mu\text{F} \cdot 25\text{V}$  capacitors was able to save the largest voltage. Considering the suitable size to set into the mechanical pencil, we decided to use  $10\mu\text{F} \cdot 25\text{V}$  one.

#### ◆Experiment ③

Finally, we investigated the voltage that was generated by electromagnetic induction of coil use as in an experiment ③. The coil we use is 7 millimeters in diameter, 15 millimeters in width, 3000 roll of coil and  $10\mu\text{F} \cdot 25\text{V}$  capacitor

#### ◇Results



When we shake 100 times, the voltage grows highest. But it seems that there are no great differences compared with 10 times. We got the voltage of 5.5V when we shook 10 times. So we can get enough voltage to make LED luminous.

#### 4.Summary

According to the contents mentioned above, we propose this model in the picture2.

The model mainly consists of four parts.

#### 1 .An outside part

This covers other part, and we put a piezoelectric element, a piezoelectric film, a capacitor and a switch to turn on LED.

#### 2. A middle part

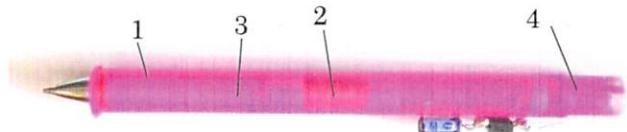
The coil is fixed in it.

#### 3. An inside part

This is a tube in which you put lead of mechanical pencil. And there is a neodymium magnet, which moves along the tube.

#### 4. A cap

There is a LED light bulb in the cap, which is connected to the body of the mechanical pencil, so that we can light on the bulb.



Picture2. The model of the mechanical pencil

#### 5.The future tasks

Completion of model.

To collect a date of electricity output when it's actually used.

# Repurposing of Cement

Utibori Hironori, Kukihara Kakeru, Takato Syota

## 1 Purpose :

Concrete has been used for a lot of buildings since the rapid growth era. Also, reconstruction of the concrete buildings erected during that time has been increasing. Much of the gravel of the repurposing concrete which was left over is put in the concrete again and used as recycled aggregate. But a part of the cement constituent in the repurposing concrete is used mostly for earth filling and construction foundation. As a great amount of concrete becomes industrial waste, we would like to consider new ways of efficiently repurposing the cement constituent.



Figure 1 Repurposing Cement

## 2 Process :

The main constituents of cement have the base ingredients such as calcium hydroxide, aluminum hydroxide, and ferric hydroxide. Thus, we came up with the following utilizations and experiments based on the peculiarity and ingredients of the cement.

- A) Removing Metal Components from the Repurposing Cement by Using Acids
- B) Measuring the Quantity of the Base
- C) Neutralizing Acid Soil by Using Repurposing Cement

## 3. Result of Experiments and Consideration :

### A) Removing Metal Components from the Repurposing Cement by Using Acids :

We dissolved the repurposing concrete in hydrochloric acid, then toxic gases were emitted and the liquid changed color into yellow-green, then we filtered the liquid. When we added ammonia water into the liquid, the reddish-brown precipitation showed a reading of around pH 3. When we took the precipitation out of the liquid and dried it, a reddish-brown material and white material arose separately. When we added ammonium carbonate solution to the filtrate, we got calcium carbonate out of the precipitation. When we dissolved the repurposing cement in sulfuric acid, a white precipitation was created. We thought the white precipitation was calcium

sulfate because nothing occurred when we added ammonium carbonate to the filtrate. Also we were able to take the reddish-brown and white precipitation by adding ammonia water to the filtrate as we did with the hydrochloric acid. We reran the experiment to check on iron and aluminum ions which we took out through the above experiment. We dissolved the aluminum as a complex ion by adding excessive sodium hydroxide solution into the mixture of ferric hydroxide and aluminum hydroxide and filtered to take out the remaining ferric hydroxide. We precipitated aluminum hydroxide by adding hydrochloric acid into the filtrate.

#### B) Measuring Quantity of Base :

We measured the pH of the solution while gradually adding repurposing cement into hydrochloric acid. We drew a neutralization titration curve based on the data and examined the Neutralization point from this graph. We learned from this experiment that 320g of repurposing cement contains the base of 1mol.

#### C) Neutralization of Acid Soil with Repurposing Cement :

We neutralized soil with the cement and raised radishes. Then we measured the height. The radishes which were added to the repurposing cement grew better than the ones with “only acid”. We thought that radishes grow better because the acid was neutralized by adding the cement to the soil and it became close to neutral. It was proved that adding repurposing cement into the soil did not have a negative effect on growth of the radishes, since there was no obstacle to the ground when adding repurposing cement into the soil. After that, we tried to neutralize the soil with hydrochloric acid and nitric acid. However, both of these were not suitable for the neutralizer.



Figure 2 radish

#### 4 Conclusion:

- We were able to extract constituents of calcium, iron, and aluminum from repurposing cement by using acid.
- 320g of repurposing cement contains a base of 1 mol.
- It is possible to use the cement for acidic soil of sulfuric acid as the neutralizer.

# Study of the Gennoishi formation

MACHIDA Saya, MATSUSHIMA Ai, and KITABAYASHI Yuna

## 1. Background and Purpose:

Gennoishi was taken out from the shale of the Bessho Formation (Northern Fossa Magna Region) in Ueda-city. In 2008, our former students Miyazaki et al. determined it as calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) by XRD. The crystal of the mineral is always shaped like an arrowhead, and the process of how it's made is still unknown. We tried to obtain knowledge through crystallizing calcium carbonate in mud because Gennoishi is formed in mud.

## 2. Methods and Results:

We made crystals by incubating  $\text{CaCl}_2\text{aq}$  and  $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{aq}$  in our original device made of jar and pipe which was filled with silicic acid gel, gelatin or agar. These crystals appeared as different shapes from each other, but were all identified as calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) by XRD. Crystals formed in agar looked like a rough cube and those formed in gelatin looked like a football. Crystals formed in silicic acid gel had a beautiful cleavage plane. We thought these differences were really interesting.

In agar, gelatin, or silicic acid gel, we made crystals, but those crystal shapes were different from each other.

Next, we tried to make similar crystals formed in shale's mud, in which natural Gennoishi is usually found.

The crystallization method was the same as the one with gels. We left the apparatus stood for 5 months. Then we observed the crystals using an electron microscope, and we found that the crystals were shaped pentagonal polyhedron. Furthermore, XRD analysis showed those were also calcites. We found, however, the size of the crystals in this condition was much smaller.

We measured the speed of the water flowing down through columns filled with agar, gelatin, silicic acid gel, or shale's mud. Then, we found the water in shale's mud flew down faster than in all the other materials.

For this, we thought, in such fast flow condition,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{CO}_3^{2-}$  could meet only for limited period, and this prevented the formation of big sized crystals.

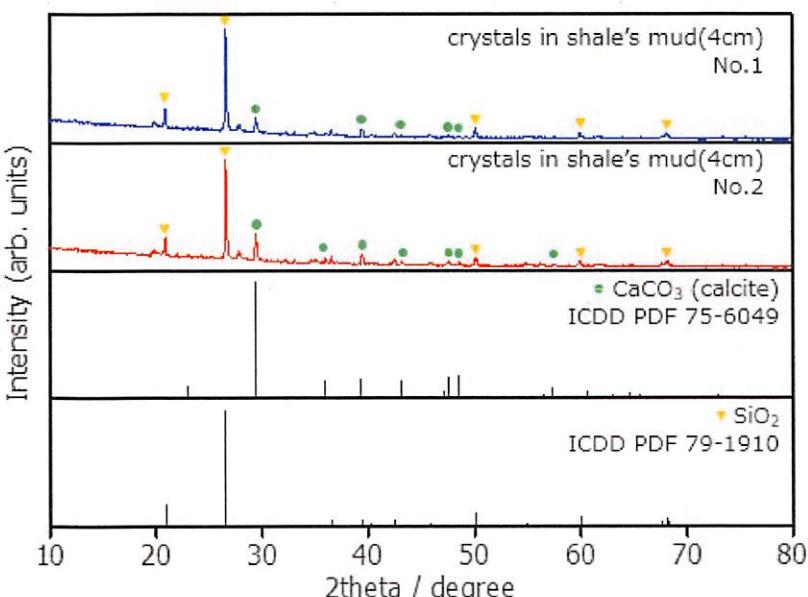


Figure.1 XRD of crystals in the shale's mud

## 3. Consideration:

$\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{CO}_3^{2-}$  in mud spread more quickly in water than in gel. It formed an aggregation of crystals with pentagonal polyhedron in a mass by filling gaps between soil mud grains and then formed an extremely thin white layer.

# Making a capacitor using “Slime”

Makihito Nakamura Yuta Suzuki Yuki Nozawa Kojiro Baba

## 1. Abstract

The Electric Double Layer Capacitor (EDLC) is an electrochemical capacitor with very large energy storage. It consists of two metal plates and an electrolytic solution. According to the preceding studies, using the gel as an electrolytic solution can prevent leakage.

We tried to increase the capacity by changing the concentration of the electrolytic solution.

## 2. Method

(1) Slime made by mixing a borax aqueous solution and a Poly Vinyl Alcohol (PVA) aqueous solution: We measured the capacity of capacitors made with the slime (Figure.1) changing the concentration of PVA.

(2) Slime made changing the concentration of borax: We measured the conductivity using copper board as electrodes.

(3) A capacitor was made under the same condition as experiment (2): We measured the capacitance.

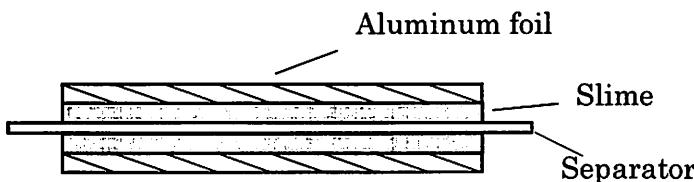
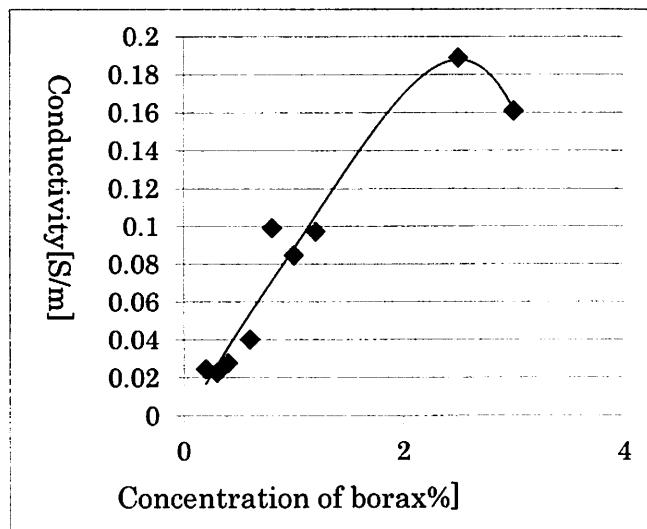


Figure.1 The Structure of the Capacitor

## 3. Result

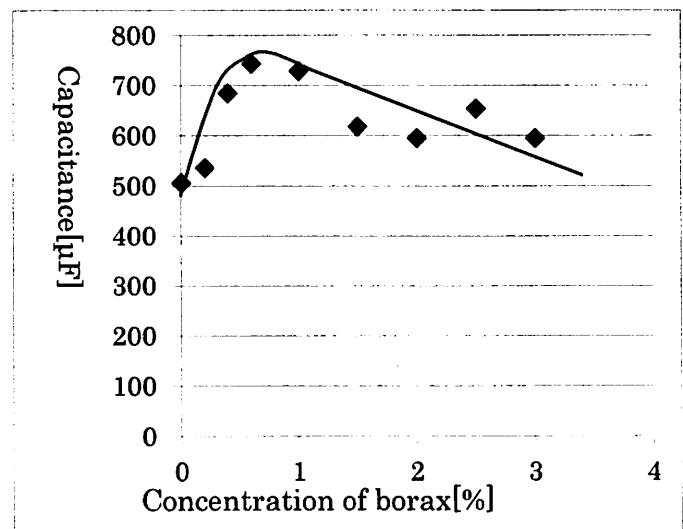
(1) Concentration of PVA and Capacitance: Little change in capacitance was found. This is because the amount of ions did not change even if the amount of PVA did.

(2) Concentration of Borax and Conductivity:



Graph.1

Concentration of Borax and Conductivity



Graph.2

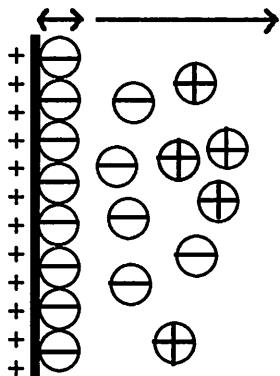
Concentration of Borax and Capacitance

According to Graph.1, conductivity increased in proportion to the concentration of borax between 0% and 2.5% and decreased afterward. This was caused by the interaction of ions in slime. From this result, we assumed that capacitors made with slime, which contained more borax, had more capacitance to some extent.

### (3) Concentration of Borax and Capacitance:

Capacitance increased as the concentration of borax became thicker, but it began to fall when the concentration of borax reached 1.0% (Graph.2)

On the interface of the electrode and slime line ions, a layer formed, called "the Stern Layer". Also another layer called "the Diffuse Layer" was formed away from the electrode. Set together, they are called "the Electric Double Layer" (Figure 2).



When capacitance of the Stern layer was constant, the capacitance of the diffuse layer should have come closer to certain value. In this case, however, the whole capacitance did not converge, but decreased, as the concentration of borax got thicker. Thus, we can assume that the capacitance of the Stern layer diminishes for some reason and causes this.

*Figure.2 Structure of Electric Double Layer*

## 4. Discussion

There were no correlations between the concentration of PVA and the increase of the capacity.

We found that the more the concentration of PVA increased, the more the capacity increased in some range.

Our goal was to make a capacitor with 1mF, but the maximum value of the capacity was  $744 \mu F$ .

We have not been able to reveal how the capacitance stern layer changed.

If we can express the capacitance in the equation, we can find the concentration of borax when the capacity reaches it's maximum.

# Making an Aluminum Battery

Ichinose Tomoya Tukada Yuuki Hondo Fumihiro

## 1. Introduction

It is well known that the battery supports our lives. We wondered why aluminum was not used for generating batteries. First, it is a light metal and second, it seems that it can generate high voltage because it gives off three electrons when it is ionized. Also it is the third most abundant substance in the Earth's crust. The problem of making an aluminum battery is aluminum hydroxide. It prevents aluminum batteries from reacting. We must prevent the aluminum hydroxide from coming into being. Therefore we used different electrolytes at the positive and the negative electrodes, separating them with the cation-exchange membrane.

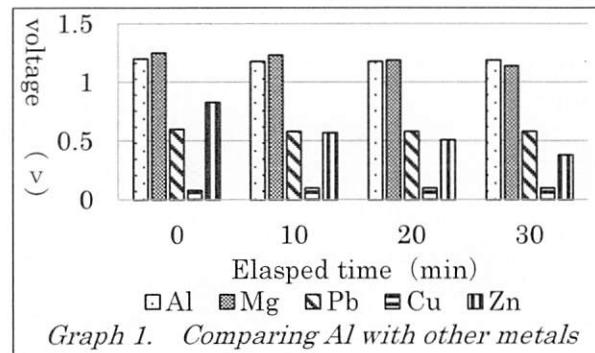
## 2. Methods

*There are three experiments that we carried out.*

### ① Using Various Metals (Al,Mg,Pb,Cu,Zn) for the

#### Negative Electrode:

We used NaOH(0.1mol per liter) for the electrolyte, and the same with the Binchotan charcoal for the positive electrode. We measured the voltage of them without a motor and the voltage of only Al,Mg with a motor.



### ② The Comparison of Various Electrolytes:

We used the charcoal for the positive electrode, and an aluminum plate (1cm×1cm×0.5mm) for the negative electrode. In this experiment, we changed the electrolyte to sodium hydroxide, hydrochloric acid, brine, aqueous solution of aluminum chloride, sulfuric acid, and nitric acid. Then, we measured the voltage of each the solution for 30 minutes.

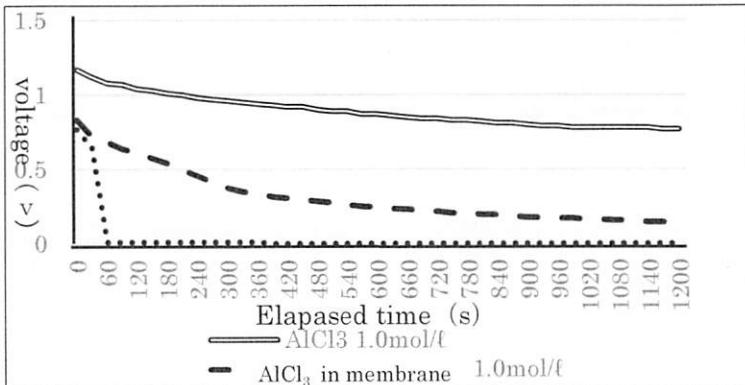
	0min	5min	10min	15min	20min	25min	30min
Al	1.27	0.98	0.89	0.83	0.76	0.70	0.64
Mg	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 1. Compare Al with Mg

### ③ Using NaOH for the Negative Electrode,

#### $\text{AlCl}_3$ at the Positive Surrounded with the Cation-Exchange Membrane:

We formed the cation-exchange membrane into a tubular shape by using a hot bond. Next, we used the charcoal at the positive electrode, and an aluminum plate (1cm×1cm×0.5mm) to the negative electrode, and  $\text{AlCl}_3$  (1mol / L, 100ml) to the electrolyte. Then we measured the voltage



Graph 2. Comparison of low voltage for only NaOH, only  $\text{AlCl}_3$  in the exchange membrane, and NaOH and  $\text{AlCl}_3$  in the exchange membrane

of each the solution for 30 minutes.

### **3. Results**

① *Graph 1* shows aluminum and magnesium indicated the same high electromotive force and continuity. Therefore, we measured voltage only for aluminum and magnesium by connecting a motor. *Table 1* shows that the voltage was higher in aluminum than magnesium. To measure the voltage without resistance as with a motor is just the potential difference, so in fact, it does not have to react. However, to measure with resistance needs a reaction. Because of these reasons, the voltage of magnesium was nearly zero (0). Thus, we know that with aluminum it was easier to generate electricity as a battery than with magnesium.

② We found it better to use  $\text{AlCl}_3$  for the electrolytes, instead of  $\text{NaOH}$ . So, we tried to use it in Experiment ③.

③ When the cation-exchange membrane was used, it had a high electromotive force and continuity. But only the  $\text{AlCl}_3$  solution was better than the other two. Accordingly, using the mixed electrolytes  $\text{NaOH}/\text{AlCl}_3$  for the cathode and anode was inferior to the  $\text{AlCl}_3$  electrolyte cathode and anode.

### **4. Review and Outlook**

It is difficult to say if we achieved our goal. The battery we made was from an aluminum soda can from our school garbage. We measured the voltage for a day to verify whether our aluminum battery could be used or not. Still we must gather more data and analyze it in detail.

# Extraction of ant's Trail pheromone

Saito Nozomi Nakajima Yuri Hattori Kano  
Hanyu Manami Yanagisawa Karen

\* Trail pheromone: The pheromone show the way to food.

## 1. Purpose of this study

Ants are one of the typical creatures that form society. To maintain society, ants use complex system of communication. Ants use many kinds of pheromone to communicate with each other. They create a line using Trail pheromone to carry bait efficiently. When ants find bait, they secrete Trail pheromone from the abdomen, other ants sense and trace it. We extracted the Trail pheromone as a preliminary experiment through which we expected to decide our study theme depending on ants' reaction. However, the ants did not respond to the liquid which we extracted. Therefore, we examined which condition would be suitable for extracting the Trail pheromone would be most likely to react to.

## 2. Method

- ① We caught twenty ants.
- ② We left them without feeding for a day.
- ③ Next day, we froze them all day.
- ④ We separated frozen ants into three parts : head, chest, and abdomen.
- ⑤ We soaked each of them in 1.0ml ethanol, extracted pheromone from them crushed with a glass stick, and left it for ten minutes.
- ⑥ We drew the shape of "S" on the paper with extracted liquid. We did the same thing with ethanol as a control experiment.
- ⑦ We put the same type of ants on the line of the extracted liquid and observed them.

Because ants include many materials in their body, an extractable solvent extracts a lot of materials at the same time. So in this experience, we set the criterion that if the ant followed half of the line, it proved to be true that Trail pheromone was extracted.

There were nine patterns in the conditions of the experiment above. The patterns are summarized as follows:

- ① The numbers of ants used for extraction were 20 in Experiment 1, 30 in Experiments 2 to 7, and 60 in Experiments 8 to 9.
- ② We fed ants in Experiments 1, 6-1 to 9, did not feed in Experiments 2 to 5.
- ③ We froze ants all day in Experiments 1 and 2, and for a few minutes in Experiments 6-1 and 6-2.
- ④ We divided body parts into head, breast and abdomen in Experiments 1, 2 and 6-1 to 9.
- ⑤ We set up the extraction time to 10 minutes in Experiments 1 to 4, and to 15 minutes in Experiments 5 to 9.
- ⑥ We used water as a solvent in Experiment 4 and used ethanol as a solvent in the other experiments.
- ⑦ We used 1.0 ml of solvent in Experiment 1, 1.5 ml in Experiments 2 to 8, and 6.0 ml of solvent in Experiment 9.
- ⑧ We painted extract on a tree trunk in Experiment 5 and painted extract on paper in the other Experiments.
- ⑨ The experiment which the ant follow the line of extract was Experiments 6-2 to 9.

## 4. Summary

Judging from the experiments we conducted before, we found that some ants follow the line of the extracted liquid using their fellers under the following conditions. First, we need thirty ants and ethanol (solvent) of 1.5 ml, because we could observe the minimum reaction of ants. Equally, we need fifteen minutes for sampling. Ethanol can be mixed with polar solvent and organic solvent easily. Therefore, we think ethanol is suited for solvent. Second, we think it favorable to separate ants' abdomen from other parts of their body because ants' trail pheromone can be extracted from part of abdomen.

We suggest the improved method of the experiment.

- ① We catch thirty ants.
- ② We feed honey to them.
- ③ We freeze them for a few minutes to stop their action.
- ④ We separate only a part of abdomen.
- ⑤ We soak them in 1.5 ml ethanol, crush them with a glass stick, and extracted for 15 minutes.
- ⑥ We put extracted liquid on the head of a brush, drew a shape of "S" on the paper .As a control experiment, we drew the same shape only with ethanol.
- ⑦ We put same type of ants on the line of the extracted liquid, and observed how the ants reacted to the liquid.

# Blepharisma's action with colors and intensities of light

Fujimaki Fumia Ito Fumiya Katsuno Tomoka Moteki Yuri

## 1. Purpose of the study

Blepharisma japonicum, a sort of ciliate, escapes from bright light. This reaction is called "Light avoidance behavior". In addition, Blepharisma have red pigments called "Blepharismin" in their body, and their color changes into blue and white when they are exposed to light. We cultured Blepharisma, and exposed them to various colors of light to examine the speeds of their light avoidance behaviors and the changes of the colors of their pigments.



(Figure 1: Blepharisma)

## 2. Method

First, we cultured blepharisma to increase them in incubator set at 20 degrees Celsius. The broth is Choke Leh solution (distilled water 1L, NaCl 10mg, KCl 4mg, CaCl2 6mg, and few grains of raw rice.) Second, we exposed blepharisma to LED light for 80 minutes to examine the change of their pigments and their swimming speeds every 10 minutes. The colors of LED light are red, blue, yellow, and green. The intensities of LED light are 5klux and 10klux. We used new blepharisma for each of the conditions.

## 3. Result and Consideration

		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			△							

(Figure 2: result)

We could not find any correlation between the speed of their swimming and the intensities of lights under any condition of colors. We expected that the longer we expose lights to them, the faster they would swim to avoid lights, or that they would become slower because they would be weakened. Actually, however, the results were affected by individual differences in nutritional condition and adaptability to lights. Therefore, we cannot conclude about the speeds of their swimming.

Accordingly, we can conclude that the most influential condition is to expose Blepharisma to 10klx, blue lights.

According to the *figure 2*, blue lights encouraged their colors to change most, followed by green ones, yellow ones, and red ones. We found that the shorter wavelength lights, the more influential. In addition, the more intense lights exposed them to, the faster they changed colors.

with white light.

In this experiment, we did not use white light, so we would like to see how the colors of Blepharisma change

②What happens to Blepharisma when it is exposed to white light?

conditions of changes of the colors in detail.

Instead, they changed their colors from red to white immediately. We could not investigate how the pigments actually change because we saw the changes of the colors with our own eyes. If we look into this, we can find the Some Blepharisma did not change their colors into red, blue, and white in the same order as previous studies.

①What changes happened in bodies of Blepharisma?

4. Prospects for the future

# Are lactic acid bacteria in yogurt alive in intestines?

- Some survive the stomach digestion and reach the intestines -

Ryousuke Adati Yuuka Ozawa Kai Kusama Mebuki Hanatate  
The teacher in charge Hideo Nishizawa

## 1 Purpose

We were interested in fermented foods, which have drawn the attention of many people in recent years, and took up lactic acid bacteria in yogurt as the object of our research. We tried to confirm whether they could reach the intestines while they were alive and then considered the timely and effective intake of them.

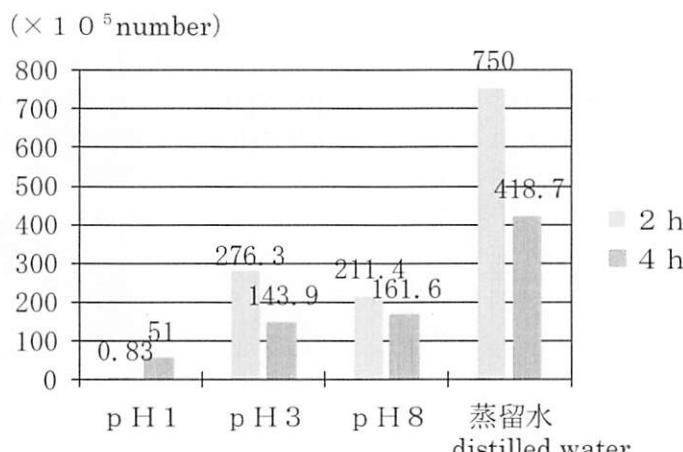
## 2 Method

We cultured the bacteria under the same conditions in which yogurt is digested in the stomach and the intestines, fixing the suitable medium pH value and the culture time. We used MRS medium, which contains glucose, a simple sugar.

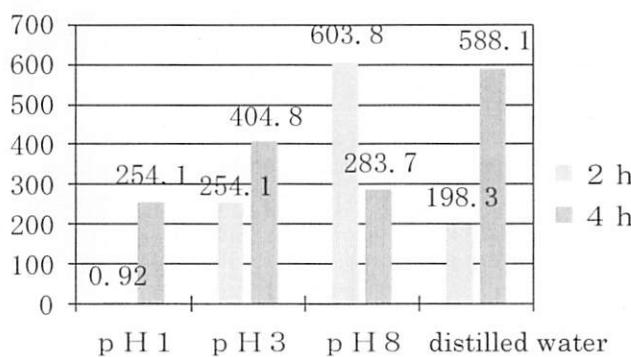
Procedure1 First we prepared LG21 and R1 yogurt diluted to 10,000 times. Then we diluted it furthermore to 10 times with three types of solution adjusted to pH1, pH3, and pH8(※1), and just with distilled water.

Procedure2 We put the diluted yogurt in an incubator for a certain period of time(※2), shaking it every hour, and then we seeded.

Procedure3 After we cultured at 37°C for two days, we counted the number of colonies.



(Chart 1 The number of LG21 lactobacilli)



(Chart 2 The number of R1 lactobacilli)

## 3 Results

The graphs on the left show the number of lactobacilli per petri dish. We calculated the approximate number from the number of colonies. We can see from Chart 1 that each number of LG21 bacilli in the case of pH1, pH3, and pH8 is smaller than that in the case of distilled water, and that the number is generally smaller in the case where we let them stay longer. It can be seen from Chart 2 that the number of R1 lactobacilli is also very small in the case of pH1 solution. We can say that only a few of them can survive the digestion on an empty stomach and that they will decrease in number as time goes by, even after they get into the intestines.

## 4 Consideration

If you eat yogurt when you are hungry, almost all the lactic acid bacteria in it will soon die. If you eat it after a meal, however, more of them will possibly survive. That is because the pH value of gastric juices is higher in a full stomach than in an empty stomach. Although lactobacilli decrease in number, there is a higher possibility that they will survive and reach the intestines in the case of eating yogurt after a meal. We conclude that we can obtain lactobacilli more effectively if we eat yogurt after a meal.

(※1) The solutions of pH1 and pH3 were made from HCl (12mol/L), and that of pH8 was made from NaOH. pH1 is equivalent to the pH value of an empty stomach. pH3 is equivalent to that of a stomach in the course of digestion. pH8 is equivalent to that of a small intestine.

(※2) We left the petri dishes as they were for two or four hours. 'Two hours' means the period of time when carbohydrates stay in the stomach. 'Four hours' is the period of time protein takes to be digested.

# The cause of whirlwinds which occur on campus

Kubota Tatsuya Kubonoya Ayumi

Kobayashi Koto Kondo Shu Yamamoto Kei

## 1 Purpose of the research

We find a whirlwind occurring on our high school campus. According to earlier studies, the main cause of whirlwinds is the difference of temperature between near the surface and high above. The difference on our campus, however, is only very slight. So we presumed that there might be another cause, and carried out research. It is difficult to measure the quantity of air. Therefore in our experiments we used water instead.

## 2 Outline of the research

Two kinds of swirling water currents were confirmed in the experiments. One was the downward current (the swirling current A). The other was the upward current (the swirling current B), which is considered to be very similar to the whirlwind. We used *Color-code-media* in order to make water currents clearly visible. First we measured the temperature and pressure of the water in a beaker in relation to the occurrence of a swirling current A. Then on the basis of the results, we carried out model experiments with a water tank.

## 3 Results and discussion

### (1) The weather conditions in which the whirlwind occurs

First we measured temperatures when whirlwinds occurred. One thermometer was set on the ground and another at a height of eight meters on a wall. The average difference of the temperatures was very small, only 0.32 degrees. We presumed from the result that there should be another factor which causes whirlwinds, other than the temperature difference.

### (2) The experiment with a beaker

We calculated the speed of the swirling current A with the following formula.

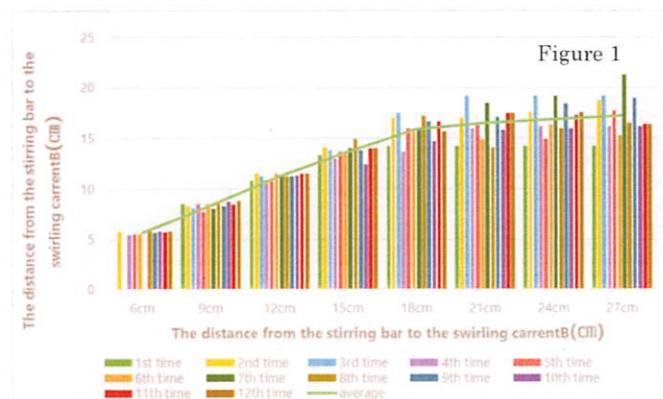
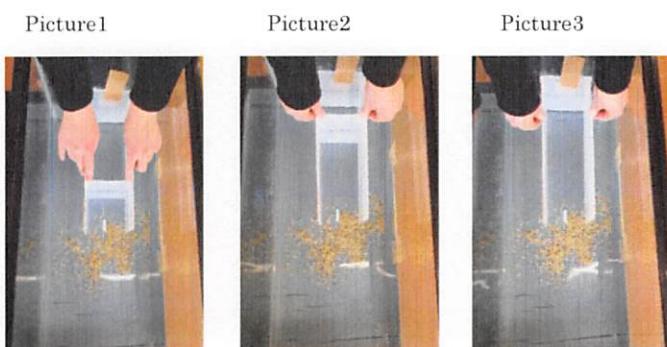
$$\frac{[\text{The depth of water (cm)}]}{[\text{The time the swirling current A takes to reach the bottom of the beaker (s)}]} = [\text{The speed of the swirling current A (cm/s)}]$$

Water with three different temperatures was used ; cold water (1°C), water with normal temperature (19°C), and heated water (70°C). And in each case the way of the occurrence of the swirling current A was almost the same. We also changed the water amount, increasing water by gradual and regular addition of 100ml. The speed of the swirling current A became faster as the amount of water increased up to 500mL. But with more than 500mL water the speed decreased. This is because the water pressure

was stronger than the power of the water current A .

### (3) The model experiment using a water tank

We set three plastic boards ( or walls ) as in the pictures on the right, reproducing the situation of the school campus. Figure 1 shows the distance from the stirring bar to the swirling current B. In the case where the distance from the stirring bar to the middle plastic board was 6~18cm, the current B occurred by the board. When the distance was 21~27cm, the swirling current B occurred 12~18cm away from the stirring bar. Even though we changed the height of the plastic board, the location where the current B occurred didn't change. The swirling current B, however, didn't occur at all when we made the wall of plastic board 5 cm high and the distance between the stirring bar and the board more than 24cm. It is considered that another turbulent flow was made when the swirling current A collided with the plastic board, and that the swirling current B was caused by these two types of currents passing each other.



## 4 Conclusion

We can say that the difference of temperature has little to do with the occurrence of the whirlwind on our campus.

It is considered that a wind with more than a certain amount of speed in laminar flow collides with a wall of the school building and part of it becomes a turbulent flow, and then a whirlwind is caused by these two types of flow passing each other.

## 平成 28 年度 課題研究等に関する外部評価結果一覧

### 1. 第 60 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)

- ・県教育委員会賞 「玄能石の形成過程を解明する part3」  
研究者：町田早綾 松島愛 北林優奈 (理数科3年)  
指導者：小田切亨
- ・優良賞 「アルミニウム電池の製作」  
研究者：市瀬智也 塚田裕樹 本藤史浩 (理数科3年)  
指導者：手塚理実
- ・優良賞 「搅拌における渦流の発生要因」  
研究者：久保田達也 久保野谷歩 小林琴 近藤周 山本慶 (理数科3年)  
指導者：清水寛

### 2. 第 8 回 マス・フェスタ:全国数学生徒研究発表会(京都大学)ポスター発表

- 「長野県のスキー客数を予測する」 数学グループ  
～Forecasting the number of ski-resort tourists to Nagano～  
研究者：伊草聖 坂口旺 小泉慧 (理数科2年)  
指導者：谷口徹博

### 3. 第 13 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

- ポスター発表 「アルミニウム電池の製作」  
研究者：市瀬智也 塚田裕樹 本藤史浩 (理数科3年)  
指導者：手塚理実

### 4. SSH生徒研究発表会(神戸国際展示場) ポスター発表

- ポスター発表 「玄能石形成過程の解明～頁岩泥中の炭酸カルシウム結晶化～」  
研究者：町田早綾 松島愛 北林優奈 (理数科3年)  
指導者：小田切亨

### 5. 東京理科大学 第 8 回 坊ちゃん科学賞 研究論文コンテスト(高校部門)

- ・優良入賞 「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 (理数科3年)  
指導者：手塚理実
- ・佳作 「ブレファリズムの活動と光の色・照度」  
研究者：藤巻吹光明 伊藤史也 勝野知花 茂手木佑理 (理数科3年)  
指導者：轟和久

## 6. 課題研究合同研修会 兼全国高等学校総合文化祭県予選（信州大学）

・口頭発表 「音力発電は実現可能か」

研究者：山田渓 中村祥一 山崎璃央(理数科2年)

指導者：武井統

「スクロース溶液のpH不安定性について」

研究者：竹内詠茉 神田菜々子 高橋小雪 千野友莉(理数科2年)

指導者：小田切亨

「イカダモでバイオエネルギーをつくる」

研究者：石河峻典 風間勇悟 田中優亮 堀内皓斗(理数科2年)

指導者：轟和久

「液状化現象が起こりやすい条件とは？」

研究者：坂野萌恵 内藤寧音 増澤実咲 宮坂円莉(理数科2年)

指導者：清水寛

## 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

「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：池内彩乃（普通科3年） 中村牧人 町田早綾（理数科3年）

指導者：手塚理実 清水寛

「校内で起こるつむじ風の発生要因」

研究者：久保田達也 久保野谷歩 小林琴 近藤周 山本慶（理数科3年）

指導者：清水寛