

平成 29 年度指定スーパーサイエンスハイスクール

# 活 動 記 録 集

第 2 年次 平成 3 1 年 3 月

宮城県仙台第三高等学校

## 目 次

### I GS 課題研究 (理数科 3 年)

#### 数学領域

乱数の優劣の確立 ～擬似乱数の検定方法の提案～	6
限られた平面上での充填問題 ～充填率と円の性質の研究～	9
立体四目並べに必勝法はあるのか？	16

#### 物理領域

イスタンブールのお盆	19
圧電素子を用いた発電	22
落下による滑空	25
物質の硬度と摩擦力の関係	28
入浴剤蓄電池の性能検証	30

#### 化学領域

合金膜で腐食を防ぐ	34
貧溶媒を用いた再結晶	37
ホウ素の未知の性質	40
螺鈿の色調変化を目指して	43
硝酸の pH 値と色素増感太陽電池	47
きたい通りにいかないろうそくたち	51

#### 生物領域

ゼニゴケの生殖	53
アカヒレタビラの保全に向けて	56
プラナリアからみるストレス応答	61

#### 地学領域

効果的な免震装置の検証	65
-------------	----

#### 保健体育領域

運動と計算能力の関連性	68
-------------	----

### II SS 課題研究 I ・台湾研修 (理数科 2 年)

#### 数学領域

偏差値の有効性	72
---------	----

#### 物理領域

クラドニ図形～音によって砂はどのような模様を描くか～	74
きたい通りにいかないろうそくたち	76
可視光通信の精度向上を目指して	78
イスタンブールのお盆の水と油の不思議な動きの解明	80
摩擦帯電の変化条件	82
面の状態と摩擦の関係	84

#### 化学領域

塩化ナトリウムの結晶の長さを操る	86
身近なおむつの蓄電池	88
銅の殺菌作用と毒性	90
無電解めっきを用いた材料の応用	92

ホウ砂球反応を用いた混色ガラスの作製	9 4
しゃぼん玉の凝固と薄膜干渉との関係	9 6
<b>生物領域</b>	
アカヒレタビラの保全に向けて	9 8
ヨモギタマバエに寄生する寄生蜂	1 0 0
蝶の蛹の羽化コントロール	1 0 2
プラナリアのストレス受容と個体崩壊の関係	1 0 4
<b>食品科学領域</b>	
ジャムと砂糖とカビ	1 0 6
視覚・嗅覚が味覚に及ぼす影響	1 0 8
<b>Ⅲ S S 探究 I (普通科 2 年) テーマ一覧</b>	1 1 2
<b>Ⅳ 【 I S E F 参加作品】</b>	
普通科 3 年 永田 紘規, 山田 智也, 理数科 3 年 圓谷 修平 Research and application of diethy ether solution of Au(III) 金溶液の研究とその応用	1 1 4
<b>【第 62 回日本学生科学賞中央審査環境大臣賞, 第 42 回全国高等学校総合文化祭出場】</b>	
理数科 2 年 乙供真澄, 濱野斗真 普通科 2 年 佐藤広樹, 小山西音 ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係に迫る	1 2 7
<b>【化学グランドコンテスト優秀賞, 第 62 回日本学生科学賞中央審査入選一等】</b>	
理数科 2 年 岩淵陽, 笠原康太郎, 佐々木偲人, 佐藤理来, 平戸李奈 有機溶媒中での金属析出の研究 ～銅表面への鮮やかな青色着色「三高ブルー」の発見～	1 5 1
<b>【第 42 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門研究発表化学部門優秀賞】</b>	
理数科 2 年 佐々木偲人, 佐藤理来, 平戸李奈 コレステリック液晶の色の变化	1 6 3
<b>【第 42 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門研究発表物理部門出場】</b>	
理数科 3 年 藪貴, 普通科 3 年 平間草太 やじろべえ型受動歩行機の歩行の安定性に関する実験的検証 ～受動歩行から歩行現象の理解へ～	1 6 5
<b>【S S H 研究発表会】</b>	
理数科 3 年 芦立 美春, 伊藤 亜珠希, 大宮司 百花, 山田 桃子 プラナリアの個体崩壊からみるストレスの受容機構	1 6 7

## V 課外活動

### 第 43 回全国高等学校総合文化祭自然科学部門「2019 さが総文」推薦研究 研究発表（口頭発表）

#### 物理部門

理数科 1 年 千葉溪, 高橋俊斗, 辻本武  
やじろべえ型受動歩行機はいかに歩くか 1 7 4

#### 化学部門

普通科 1 年 白井凜太郎, 理数科 1 年 鈴木博也, 白渕泰生  
ホウ酸水溶液と糖水溶液の混成による pH 変化 1 7 5

### 自然科学部

#### 化学班

平面リーゼガング現象を目指して 1 7 6  
ろ紙の違いによる金属樹の析出の仕方の変化 1 7 7

#### 生物班

スギナ的生活環 1 7 8

### SSHクラブ

#### 物理班

Improvement of the accuracy of visible light communication 1 7 9

#### 生物班

浄化センター処理水が広瀬川河川珪藻に与える影響 1 8 3

#### 情報班

高校生による小学生のためのプログラミング教室 1 8 4

## VI 研修等の記録

### SSつくば研修

ロボットが救う高齢化社会 1 8 6  
HAL が切り拓く未来 1 8 7  
筑波大学へ行こう！ 1 8 8  
JAXA の宇宙研究 1 8 9  
KEK がもたらす産物 1 9 0  
KEK が開く未来 1 9 1  
産総研の謎を探る 1 9 2  
産総研について 1 9 3  
NIMS の研究とその応用 1 9 4  
NIMS の社会貢献 1 9 5

### SS白神フィールドワーク

十二湖周辺の毎木調査 1 9 6  
白神の発光生物 1 9 7  
地すべりと追良瀬川の土石流 1 9 8  
磯の生物 1 9 9  
十二湖地域の地形 2 0 0



# I GS 課題研究

【理数科 3 年】

# 乱数の優劣の確立

## ～擬似乱数の検定方法の提案～

三年 阿部 健人 田中 龍也

宮城県仙台第三高等学校

### 要約

今日、擬似乱数は電子ゲームや暗号、物理シミュレーション等の様々な用途において使用されている。擬似乱数は一定の規則に従って数値を生成するため、偏りが出たり解析されたりする可能性がある。しかし擬似乱数の研究をする上で「乱数の優劣」の定義がはっきりしていない。そこで乱数の優劣の検定方法を検討することで「乱数の優劣」がどの要素に影響されるのか調べ、加えて擬似乱数の生成法について検討する。主な検定方法から、最長連検定、ビット列検定、累積和検定の3つについて検討した。検定した擬似乱数として初期に作られた初歩的な乱数二つと、ExcelのRAND関数の計三つを使用した。また検定はExcelのマクロを使用して実施した。結果として、累積和検定には全て合格したが、最長連検定、ビット列検定に合格したのはRAND関数のみだった。結果から、1つの検定だけで乱数の優劣の判断をするのは不十分で、検定は必ず複数することが重要であると結論付けた。

## 1. はじめに

家庭用ゲーム機やシミュレーションには、現実性を増す為にランダムに生成する数(乱数)を擬似的に生成する擬似乱数を使用している。しかし、いくつかのゲームソフトではその擬似乱数が解析されてしまい、行動後の結果が自由に操作されてしまっている。そこで解析・操作されにくい乱数について調べてみたいと感じ研究を始めた。

## 2. 研究の目的

擬似乱数について文献を調べたところ、今現在、擬似乱数の性能の優劣を判断する基準は明確には確立されていない。したがって、擬似乱数を生成してもその性能の優劣を判断する検定方法が不確かだ擬似乱数同士を比較することが出来ない。そこで擬似乱数の検定方法を調査することで擬似乱数の優劣の差を探り、また検定方法を確立することを目的とした。

## 3. 擬似乱数の生成方法

一般的に乱数とはある区間内において数値が同じ確率で出現する；一様乱数のことを指す。擬似乱数の生成法として、過去には線形合同法が最も一般に使われてきた。

- ・乗算合同法<sup>1)</sup>  $\dots X_n = aX_{n-1} \pmod{M}$

- ・混合合同法<sup>1)</sup>  $\dots X_n = aX_{n-1} + b \pmod{M}$

※定数 $a$ ,  $b$ , 係数 $M$ は経験で得られる値である、今回は $a = 2045$ ,  $b = 9378$ ,  $M = 2^{15}$ とした。

• Bit 列検定<sup>3) 4) 5)</sup>

(要約)

乱数列から作られる整数の中で、一回も出現しなかった値の数の個数と、その期待値を比較し、乱数の性能を判断する。

(検定手順)

- i) 0 と 1 からなる乱数列 (長さ  $2^{11}+19$ ) を生成する。
- ii) 乱数列の先頭から 20 ビットの数値を 1 つずつずらして  $2^{11}$  個作る。
- iii) 20 ビットのパターン (今回は  $2^{20}$  パターン) のうち、出現していないパターンの数を数える。
- iv) 20 ビットの出現しないパターン数は正規分布に従うので、正規分布に従うか判断する。

• 累積和検定<sup>3) 6)</sup>

(要約)

乱数列の値の和を調べ、絶対値が最大である  $X_n$  番目までの数の和までの数の和を、標準正規分布から求められる累積分布関数と照らし合わせて、乱数の性能を判断する。

(検定手順)

- i) 0 と 1 からなる乱数列 (長さ 10000) を生成する。
- ii) 列の 0 を -1 に置き換える。
- iii) 先頭から順に足していき最大の絶対値が  $281^{※2)}$  を下回るかを調べる。
- iv) 逆からも同様に調べどちらも下回るかを調べる。

※2

値 281 は、文献<sup>6)</sup>に記載の累積分布関数から計算で得た値 280.704 から判断した。

## 5. 実験結果

- Excel rand 関数は最長連検定、Bit 列検定、累積和検定について全ての検定を合格した。
- 乗算合同法、混合合同法は、最長連検定、Bit 列検定には合格しなかった。しかし累積和検定にはどちらも合格した。

## 6. 考察

我々は当初、初歩的な擬似乱数 2 つ (乗算合同法、混合合同法) はどの検定も合格しないと予想していた。2 つの乱数は非常に単純な仕組みであるからである。しかし初歩的な乱数 2 つが累積和検定を合格したことについて我々は以下のことを考えた。

- 線形合同法には累積和検定は不適である。
- 擬似乱数の検定には複数の検定を使用することが重要である。

つまり累積和検定が初歩的な乱数を合格と判断したからといって、累積和検定が擬似乱数の検定に不向きなのではなく、特異的に線形合同法には不適であると考えた。そこで、複数の検定を使用することで、十分な検定ができるのではないかと考察した。

## 7. 今後の展望

- ・乗算合同法，混合合同法について，累積和検定を合格した理由を調べる．
- ・擬似乱数の検定に一番適した検定方法，検定の組み合わせを調べる．
- ・具体的な擬似乱数の検定方法を確立する．

## 8. 参考文献

- 1) 木村麻友子，乱数発生法，高知工科大学 卒業論文，平成 12 年度，p5 p9  
< [www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/2000/ele/1010276.pdf](http://www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/2000/ele/1010276.pdf) >
- 2) Microsoft，Excel 2007 と Excel 2003 の RAND 関数について，2017/01/08  
< <https://support.microsoft.com/ja-jp/help/828795/description-of-the-rand-function-in-excel> >  
(accessed 2018-10-8)
- 3) 情報処理振興事業協会 セキュリティセンター，擬似乱数検証ツールの調査開発，平成 15 年  
< <https://www.ipa.go.jp/files/000025886.pdf> >
- 4) 統計 WEB 14-5. 標準正規分布表の使い方 1  
< <https://bellcurve.jp/statistics/course/7805.html> > (accessed 2017-10-31)
- 5) 統計 WEB 14-1. 正規分布  
< <https://bellcurve.jp/statistics/course/7797.html> > (accessed 2017-10-31)
- 6) 東京理科大学理工学部電気電子情報工学科 金子研究室，擬似乱数生成系の検定方法に関する調査報告書，平成 16 年 2 月  
< [http://www.cryptrec.go.jp/estimation/rep\\_ID0211.pdf](http://www.cryptrec.go.jp/estimation/rep_ID0211.pdf) >

# 限られた平面上での充填問題 ～充填率と円の性質の研究～

宮城県仙台三高等学校

3111 菊池 瑛久 3135 渡邊 伶允 3234 山田 隼

数学界にはケプラー予想などの一定の図形を最密に充填させる問題・定理が多く存在するが、その多くは境界がない無限空間上で扱われる。そこで、我々は無限空間上と境界のある有限空間での最密充填の場合との違いに興味を持ち、研究を始めた。我々は平面上の円の充填に着目し、充填や円の性質を調べることを目的とした。まず、半径1の大円に半径 $r$ の小円を $n$ 個充填し、 $n$ の値を $1,2,3,\dots$ と変化したときの $r$ の取りうる最大値 $r_M$ とそのときの充填率 $p$ を求めた。その結果、小円が6個のときの $r_M$ の値と小円が7個のときの $r_M$ の値が一致することが分かった。これについて小円6個をどのような方法で充填しても小円がもう一つ充填できる空間が存在するためであることを証明することができた。この事実は円を無限空間ではなく有限空間に充填して得られた円特有の新たな性質であることがわかる。充填は日常生活で多くみられるためこの事実は日常生活においても応用の可能性が期待できると考えられる。次に、小円を最密充填したときの充填率の近似式の導出を行った。その結果、充填する小円が多くなるにつれ充填率は $0.907$ に近似し、これは無限平面と有限平面との充填における共通の性質であるといえる。

## 1. 背景と目的

数学界にはケプラー予想などの充填問題が数多く存在する。そしてそのような問題の多くは無限空間上で扱われる。そこで我々は無限空間ではなく有限空間では充填の様子はどう変化するかに興味を持ったため、有限平面(円)上に円を充填したときの円の大きさや充填率を求め、そこから充填や円の性質を調べることを目的として、研究を行った。

## 2. 定義

$n$ : 正整数  $a, b$ : 整数 ( $a \geq b$ )

- ① 無限平面: 境界のない平面領域
- ② 有限平面: 境界があり、面積が正数で表される平面領域
- ③ 充填: 大円(半径 $a$ )に $n$ 個の小円(半径 $b$ )を大円からはみ出さず、小円同士が重ならないように敷き詰めること
- ④ 最密充填: 充填のうち、小円を充填可能な最大数個だけ敷き詰めること
- ⑤ 充填率:  $p = \frac{n \times (\text{小円の面積})}{(\text{大円の面積})} = \frac{nb^2\pi}{a^2\pi} = \frac{nb^2}{a^2}$
- ⑥ 中円: 充填した $n$ 個すべての小円の中心が内部(境界を含む)にあるような円
- ⑦ 六方型: それぞれに隣り合う3つの円の中心が正三角形を形成するような充填方法
- ⑧ 六方座標:  $\chi$ 軸と $u$ 軸が原点で $60^\circ$ で交わる斜交座標平面(この座標上の点を $\langle \chi, u \rangle$ で表す)

しかし上記の乱数は定数 $a$ を決定すると次の値, その次の値も容易に予想出来てしまい擬似乱数の性能として良いとは言えない初歩的な乱数である. 上記の二つの擬似乱数と比較対象に Microsoft Excel の乱数生成関数(rand 関数)を使用した. Microsoft 社の発表<sup>2)</sup>によると Excel 2003 以降では 100 万回以下の試行時の乱数値では擬似乱数のパフォーマンスは保証されている.

今回の実験では乗算合同法, 混合合同法, Excel 2010 rand 関数の三つを検定対象として使用した. また今回の実験での擬似乱数の検定は Microsoft Office Excel のマクロを用いて行った.

#### 4. 擬似乱数の検定方法

- ・ブロック単位の最長連検定<sup>3)</sup>

(要約)

0 と 1 からなる乱数を一定のビット単位で複数のブロックに分け, 1 が連続する長さの最大値の出現を, 期待値と比較し, 乱数の性能を判断する.

(検定手順)

- i) 0 と 1 からなる乱数列 (長さ  $n$ ) を生成する.
- ii) 乱数列を長さ  $M$  のブロックに分割する. ( $128 \leq n < 6272$  のときは  $M = 8$ ,  $6272 \leq n < 750000$  のときは  $M = 128$ ,  $750000 \leq n$  のときは  $M = 10000$  とする. 今回は  $n = 1000$ ,  $M = 8$ )
- iii) 各ブロックを 1 の最長連の長さに応じて  $f_0$  から  $f_3$  の 4 個のクラスに分割し, 各クラスの度数を求める. クラスに対応する長さおよびクラスの確率<sup>(表1)</sup>は後述する. ( $M = 8$  の時クラスは 4 個,  $M = 128$  の時クラスは 6 個,  $M = 10000$  の時クラスは 7 個. 今回は  $M = 8$ , クラスは 4 個)

クラス	$f_0$	$f_1$	$f_2$	$f_3$
度数	~1	2	3	4~
確率	0.2148	0.3672	0.2305	0.1875

fig.1)  $M=8$ の時のクラスに対応する長さおよびクラスの確率<sup>3)</sup>

- iv) 各クラスの度数について $\chi^2$ 検定<sup>※1)</sup>を行う.

#### ※1 $\chi^2$ 検定

$\chi^2$ 検定とは, 期待値  $E$  と観測値  $O$  について  $\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$  で計算できる $\chi^2$ について, (クラスの数 - 1)の自由度で,  $\chi^2$ 分布表と照らし合わせて事象の現実性を判断する検定のことである. 今回は有意水準 5 %で行った. すなわち今回の検定を合格した場合, その事象は現実で 5 %以上の確率で起きる事象であることを示す. また, 自由度 3, 有意水準 5 %のとき,  $\chi^2$ の値が 7.81 以下で合格とする.

### 3. 研究1-小円の個数と充填率

#### 3. 1. 内容

半径を1とする大円に半径を  $r$  とする小円を  $n$  個充填する。  
 $n$  の値を 1,2,3,... と変化させたときの  $r$  の取りうる最大値  $r_M$  と  
 そのときの充填率  $p$  を求めた。

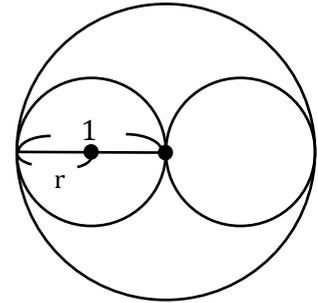


fig.1)n=2 のときの例

#### 3. 2. 結果

$1 \leq n \leq 9$  のときの  $r_M, p$  の値は tab.1 のようになり,  
 $n=6$  のときと  $n=7$  のときの  $r_M$  の値が同じになることがわかった。

n[個]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$r_M$	1.0000	0.5000	0.4641	0.4142	0.3702	0.3333	0.3333	0.3026	0.2768
$p$	1.0000	0.5000	0.6462	0.6863	0.6851	0.6667	0.7778	0.7325	0.6894

tab.1)小円の個数  $n$  と小円の半径の取りうる最大値  $r_M$ , 充填率  $p$  の値

#### 3. 3.n=6 のときと n=7 のときの $r_M$ の値が同じになることの証明

##### (1) 小円が6個のときの充填率が最大となる小円の敷き詰め方

命題(I) “6個の小円の充填率が最大になるとき、小円の敷き詰め方は fig.2 または fig.3 である”が真であることを証明する。命題(I)の対偶を(I')すると、命題(I')は“6個の小円の敷き詰め方が fig.2 でも fig.3 でもないときの充填率は、小円が6個のときの充填率の最大値にならない”である。

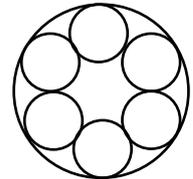


fig.2)

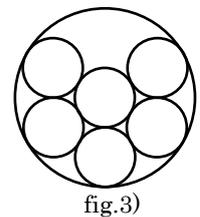


fig.3)

大円の内部(境界を含む)に任意の敷き詰め方をした小円を充填し、その敷き詰め方を維持したまま小円の半径  $r$  だけをできるだけ大きくしたとき(すなわちその敷き詰め方を維持したまま充填率をできるだけ大きくしたとき)、最短となる2小円の中心の距離は  $2r$  になることがわかる fig.4(①)

次に fig.2 の敷き詰め方とそれ以外の敷き詰め方ときの充填率について考える。

fig.2 では、6つの小円の中心は中円に内接する正六角形の頂点になる。

ここで小円の中心で、中円の内部(境界を含む)にあり、正六角形でない六角形の頂点になる6点を  $P_1, P_2, \dots, P_6$ 、正六角形の頂点になる6点を  $Q_1, Q_2, \dots, Q_6$  とする。このとき、後者の6点は fig.2 における小円の中心とみなせ、前者の6点のうち少なくとも1つは後者の6点のいずれにも一致しないことがわかる。

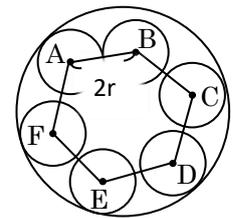
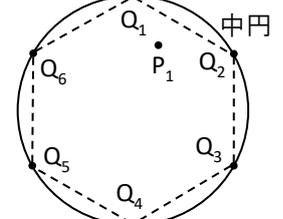


fig.4)

これより、fig.5 のように、2点  $P_1, Q_1$  のみが一致しない場合を考え、小円の中心が  $P_1, P_2, \dots, P_6$  のときの充填率の最大値  $p_P$  と小円の中心が  $Q_1, Q_2, \dots, Q_6$  のときの充填率の最大値  $p_Q$  を比較したときに、6点  $P_1, P_2, \dots, P_6$  が fig.3 のような小円の配置でないときは常に  $p_P < p_Q$  となり、かつ fig.3 のような配置のときは  $p_P = p_Q$  になることを示せば、命題(I')が真であるといえる。



ここで、fig.6 のように点  $P_1, Q_1$  から線分  $Q_2Q_6$  におろした垂線の足をそれぞれ  $H_P, H_Q$ 、中円の中心を  $O$ 、小円の中心が  $P_1, P_2, \dots, P_6$  のときの小円の半径の最大値を  $r_P, Q_1, Q_2, \dots, Q_6$  のときの小円の半径の最大値を  $r_Q$  とする。ただし点  $P_1$  の存在

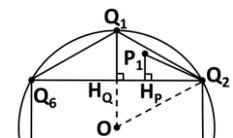


fig.6)

範囲は、正六角形の対称性より、fig.6における扇形  $OQ_1Q_2$  の内部(2点  $Q_1, Q_2$  を除いた周を含む)とした。

(i)6点  $P_1, P_2, \dots, P_6$  が fig.3 のような小円の配置でないとき

$$\text{三平方の定理より } P_1Q_2 = \sqrt{P_1H_P^2 + H_PQ_2^2}, \quad Q_1Q_2 = \sqrt{Q_1H_Q^2 + H_QQ_2^2} \text{ であり,}$$

$$P_1H_P < Q_1H_Q, \quad H_PQ_2 < H_QQ_2 \text{ だから } P_1Q_2 < Q_1Q_2$$

ここで2線分  $P_1Q_2, Q_1Q_2$  はそれぞれ六角形  $P_1P_2P_3P_4P_5P_6, Q_1Q_2Q_3Q_4Q_5Q_6$  の最短辺であるから①より

$$P_1Q_2 = 2r_P, \quad Q_1Q_2 = 2r_Q \quad \text{すなわち } p_P = \frac{6r_P^2}{1^2} = \frac{3}{2}P_1Q_2^2, \quad p_Q = \frac{6r_Q^2}{1^2} = \frac{3}{2}Q_1Q_2^2 \text{ であるから } p_P < p_Q$$

よって6点  $P_1, P_2, \dots, P_6$  が fig.3 のような小円の配置でないときは常に  $p_P < p_Q$  となる。

(ii)6点  $P_1, P_2, \dots, P_6$  が fig.3 のような小円の配置になるとき

点  $P_1$  は点  $O$  に一致し、 $\triangle P_1Q_1Q_2$  は正三角形だから  $P_1Q_2 = Q_1Q_2$ 。すなわち  $2r_P = 2r_Q$  より  $p_P = p_Q$  よって6点  $P_1, P_2, \dots, P_6$  が fig.3 のような配置のときは  $p_P = p_Q$  になる。

以上より命題(I)が真であることが示されたから、その対偶である命題(II)も真であることが示された。すなわち、小円が6個のときの充填率が最大になるとき、小円の敷き詰め方は fig.2 または fig.3 であることがわかった。

## (2)fig.2, fig.3 のときの小円の半径 $r$ と間円の半径 $s$ と小円の個数が6個のときの最密充填

fig.2 における小円の半径  $r$  を求める。

fig.7 において、 $\triangle OQ_1Q_2$  は正三角形であり  $OQ_1 = 1-r, Q_1Q_2 = 2r$  だから  $1-r = 2r$  より  $r = \frac{1}{3}$  (②)

ここで fig.2 において“fig.8 の円  $R$  のような、6円  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$  のいずれにも外接する円”を間円と定義する。間円の半径  $s$  について、間円の中心  $R$  と大円の中心  $O$  が一致することは明らかであるから、間円の定義より  $s = 1 - 2r$  が成り立つことがわかる。よって②より  $s = 1 - 2 \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{3} = r$

以上から、間円の内部(境界を含む)に小円をちょうど1個充填できる空間が存在し、一方、fig.8 において間円  $R$  を残し小円  $Q_1$  を取り除くと、fig.3 のような敷き詰め方になることから、fig.3 のような敷き詰め方でも小円がもう1つ充填できる空間が存在する。したがって、題意は示された。 ■

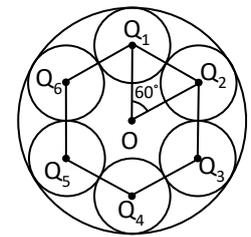


fig.7)

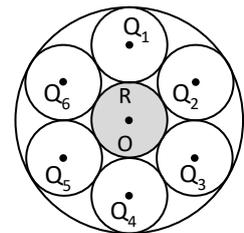


fig.8)

## 4. 研究2-最密充填の充填率の近似値の導出

### 4.1. 六方型での最密充填の近似式の導出

#### (1)直交座標と六方座標との対応関係と六方座標上での円の方程式

六方座標と直交座標を、 $x$  軸と  $\chi$  軸が一致するように重ねる (fig.9).

2点  $A(0, u), B(\chi, u)$  を定める。点  $A$  から  $\chi$  軸におろした垂線の足を  $H$  とすると  $OH = \frac{1}{2}u, AH = \frac{\sqrt{3}}{2}u$  である。また、点  $B$  は点  $A$  を  $\chi$  軸方向に  $\chi$  だけ平行移動した点であるから、

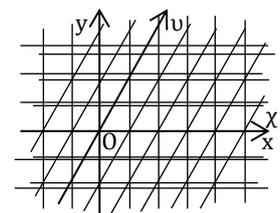


fig.9)

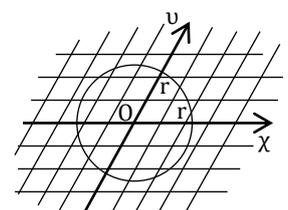


fig.10)

点 B を直交座標での成分表示で表すと  $(\chi + \frac{1}{2}v, \frac{\sqrt{3}}{2}v)$  となる. (①)

これより, 直交座標上の円  $x^2+y^2=r^2$  を六方座標上で表すと, ①より,

$$\begin{aligned} (\chi + \frac{1}{2}v)^2 + (\frac{\sqrt{3}}{2}v)^2 &= r^2 \\ \chi^2 + \chi v + v^2 &= r^2 \quad (②) \end{aligned}$$

以上より, 六方座標上での円 fig.10)の方程式は式②であることがわかった.

## (2)直交座標上の曲線 D : $x^2+xy+y^2=r^2$ の内部の格子点の個数

直交座標上のある格子点を  $P_k(a_k, b_k)$  と定め, 4 つの格子点  $(a_k, b_k), (a_k-1, b_k), (a_k, b_k-1), (a_k-1, b_k-1)$  を頂点とする正方形を  $S_k$ , 面積を  $T_k$  とする. このとき格子点  $P_k$  が 1 つに定まると正方形  $S_k$  もただ 1 つに定まる.

ここで, fig.11 のように曲線 D の内部(曲線 D を境界線として生じる 2 つの領域のうち, 原点 O を含む方の領域で境界線を含む)の面積を U とし, 曲線 D の内部に n 個の格子点  $P_1, P_2, \dots, P_n$  があるとする. fig.11 と fig.12 から, 特に r の値が大きいき, 面積 U は n 個の正方形  $S_1, S_2, \dots, S_n$  の面積の総和とほぼ等しいことがわかり, どの正方形  $S_k$  に対しても  $T_k=1$  だから

$$U \approx \sum_{k=1}^n T_k = \sum_{k=1}^n 1 = n$$

次に, 面積 U の値を求める.

曲線 D 上の点を  $E(s, t)$ , 点 E を原点中心に  $\frac{\pi}{4}$  だけ回転移動した点を  $F(x, y)$  とし, 点 F の描く軌跡 D' の方程式を求める. 点 E は曲線 D 上にあるから  $s^2+st+t^2=r^2$  (③)  
点 E は点 F を原点中心に  $-\frac{\pi}{4}$  だけ回転移動した点とみなせるから

$$\begin{pmatrix} s \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(-\frac{\pi}{4}) & -\sin(-\frac{\pi}{4}) \\ \sin(-\frac{\pi}{4}) & \cos(-\frac{\pi}{4}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}}x + \frac{1}{\sqrt{2}}y \\ -\frac{1}{\sqrt{2}}x + \frac{1}{\sqrt{2}}y \end{pmatrix} \quad \text{より} \quad s = \frac{1}{\sqrt{2}}x + \frac{1}{\sqrt{2}}y, t = -\frac{1}{\sqrt{2}}x + \frac{1}{\sqrt{2}}y$$

これを式③に代入して計算すると  $\frac{x^2}{(\sqrt{2}r)^2} + \frac{y^2}{(\frac{\sqrt{2}}{3}r)^2} = 1$  (④)

よって軌跡 D' の方程式は式④であることがわかった. 逆に, 曲線④上の全ての点は条件を満たす.

これより, 曲線 D は短径  $\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}}r$ , 長径  $2\sqrt{2}r$  の楕円であるから  $U = \pi \cdot \sqrt{2}r \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}r = \frac{2}{\sqrt{3}}\pi r^2$

以上より, 特に r の値が大きいき, 曲線 D の内部の格子点の個数 n は  $n \approx \frac{2}{\sqrt{3}}\pi r^2$  となる.

すなわち  $r \geq 0$  をふまえると  $r \approx \sqrt{\frac{\sqrt{3}n}{2\pi}}$  (⑤)

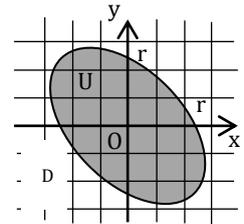


fig.11)

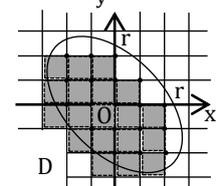


fig.12)

### (3)六方型での最密充填の充填率の近似式の導出

式②を半径  $r$  の大円, 格子点を半径  $\frac{1}{2}$  の小円の中心とみなすことができる.

六方座標上で考えると大円の面積は  $\frac{2}{\sqrt{3}}\pi(r+\frac{1}{2})^2$ , 小円 1 個の面積は  $\frac{2}{\sqrt{3}}\pi(\frac{1}{2})^2 = \frac{2}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\pi}{4}$  だから

$$p(n) = \frac{n \times \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\pi}{4}}{\frac{2}{\sqrt{3}}\pi(r+\frac{1}{2})^2} = \frac{n}{4(r+\frac{1}{2})^2} \approx \frac{n}{4(\sqrt{\frac{\sqrt{3}n}{2\pi}} + \frac{1}{2})^2}$$

## 4. 2. 最密充填の充填率の近似式の導出

### (1) $f(r)$ の関数方程式の導出

半径  $r$  の大円に半径 1 の小円を充填できる最大個数を  $f(r)$  とし,  $f(1)=1$  と定める. また, fig.13 のような, 半径  $r+2$  の円から半径  $r$  の円を除いた領域を  $F$  とし, 領域  $F$  に半径 1 の小円を充填できる最大個数を  $n(r)$  とする. このとき, fig.14 から, 特に  $r$  の値が大きいとき

$$f(r+2) \approx f(r) + n(r) \quad (1)$$

が成り立つと考えることができる. ここで  $n(r)$  の値について, 小円の直径は 2 で, 半径  $r+1$  の円の円周は  $2\pi(r+1)$  であるから, 特に  $r$  の値が大きいとき

$$n(r) \approx \frac{2\pi(r+1)}{2} = \pi(r+1)$$

さて, 式①について  $f(r+2)$  の値は  $f(r)+n(r)$  の値よりもやや大きくなるのがわかる. すなわち, fig.15 の  $a(r)$  の値を用いて  $f(r+2) \approx f(r+a(r)) + n(r)$  (②) とすると, 両辺の値の誤差は式①のときよりも小さくなる. ここで,

$a(r)$  の値について計算すると  $a(r) \approx 2 - \sqrt{3}$ . 以上より, 特に  $r$  の値が大きいとき

$$f(r+2) \approx f(r+2-\sqrt{3}) + \pi(r+1) \quad (3)$$

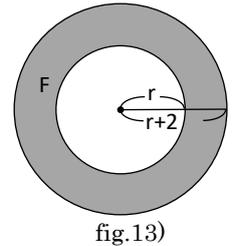


fig.13)

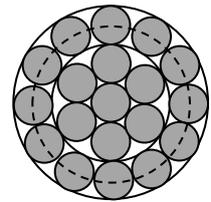


fig.14)

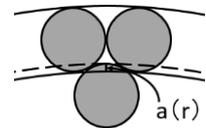


fig.15)

### (2) 関数方程式 $A : g(1) = 1, g(x+2) = g(x+2-\sqrt{3}) + \pi(x+1) (x \geq -1+\sqrt{3})$ の解と最密充填の充填率の近似式の導出

$x+2=X$  とおくと式  $A$  は  $g(X) = g(X-\sqrt{3}) + \pi(X-1) (X \geq 1+\sqrt{3})$  と表され,

さらに正整数  $m$  を用いて  $X=\sqrt{3}(m+1)$  とおくと漸化式

$g(\sqrt{3}(m+1)) = g(\sqrt{3}m) + \pi(\sqrt{3}m + \sqrt{3} - 1)$  (④) が得られる. 式④を整理すると

$g(\sqrt{3}(m+1)) - g(\sqrt{3}m) = \sqrt{3}\pi m + \pi(\sqrt{3} - 1)$ . これより,  $m \geq 2$  のとき

$$g(\sqrt{3}m) = g(\sqrt{3}) + \sum_{k=1}^{m-1} \{\sqrt{3}\pi k + \pi(\sqrt{3} - 1)\} = g(\sqrt{3}) + \frac{\sqrt{3}}{2}\pi m^2 + \frac{\sqrt{3}-2}{2}\pi m - \sqrt{3}\pi + \pi$$

また上式は  $m=1$  のときも成り立つ.

さて, 正整数  $m$  を実数  $\frac{1}{\sqrt{3}}y (y \geq \sqrt{3})$  に置き換えて計算しても,  $g(y) = g(y-\sqrt{3}) + \pi(y-1)$  を満たす

から, 実数  $y (y \geq \sqrt{3})$  に対して  $g(y) = g(\sqrt{3}) + \frac{1}{2\sqrt{3}}\pi y^2 + \frac{\sqrt{3}-2}{2\sqrt{3}}\pi y - \sqrt{3}\pi + \pi$

ここで、 $y$  の定義域を  $y \geq -1 + \sqrt{3}$  にするために、左辺の  $y$  を  $y + 1$  に置き換えると

$$g(y) = g(\sqrt{3}) + \frac{1}{2\sqrt{3}}\pi(y+1)^2 + \frac{\sqrt{3}-2}{2\sqrt{3}}\pi(y+1) - \sqrt{3}\pi + \pi = g(\sqrt{3}) + \frac{1}{2\sqrt{3}}\pi y^2 + \frac{1}{2}\pi y + \frac{-7+3\sqrt{3}}{2\sqrt{3}}\pi$$

$$g(1)=1 \text{ を代入して計算すると } g(y) = \frac{1}{2\sqrt{3}}\pi(y^2 - 1) + \frac{1}{2}\pi(y - 1) + 1$$

よって、関数方程式 A の解は

$$g(x) = \frac{1}{2\sqrt{3}}\pi(x^2 - 1) + \frac{1}{2}\pi(x - 1) + 1$$

以上を踏まえると、式③の解は

$$f(r) \approx \frac{1}{2\sqrt{3}}\pi(r^2 - 1) + \frac{1}{2}\pi(r - 1) + 1$$

したがって、半径  $r$  の大円に半径 1 の小円を  $f(r)$  個充填するときの充填率  $P(r)$  は

$$P(r) = \frac{f(r) \cdot 1^2}{r^2} \approx \frac{\frac{1}{2\sqrt{3}}\pi(r^2 - 1) + \frac{1}{2}\pi(r - 1) + 1}{r^2}$$

### 4. 3. 導出された近似式の極限

$$4.1. \text{より } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{4\left(\sqrt{\frac{3n}{2\pi}} + \frac{1}{2}\right)^2} = \frac{\pi}{\sqrt{12}} \quad 4.2. \text{より } \lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\frac{1}{2\sqrt{3}}\pi(r^2 - 1) + \frac{1}{2}\pi(r - 1) + 1}{r^2} = \frac{\pi}{\sqrt{12}}$$

すなわち充填率は  $\frac{\pi}{\sqrt{12}}$  ( $\approx 0.907$ ) に近似することがわかった。

## 5. 考察

研究 1 より小円の個数が 6 個のときと 7 個のときで小円の半径の最大値が等しくなった。これは「円」特有の新たな性質、加えて無限平面の充填と異なる性質であると言える。さらに、日常生活において物を充填する場面では、この性質が応用できると考えられる。

研究 2 より小円をより多く充填するにつれ小円の配置は六方型になる。これは無限平面上での小円の配置と同様であるから、有限平面の充填率は小円の個数の増加に伴い無限平面の円の最密充填の充填率 ( $\frac{\pi}{\sqrt{12}} \approx 0.907$ )<sup>1)</sup> に近似すると言える。すなわちこれは有限平面上と無限平面上とでの充填の共通の性質であると考えられる。

## 6. まとめ

円の充填という観点から、有限空間と無限空間とでは共通の性質と異なる性質があることが分かった。さらに、充填する小円の個数と小円の大きさに関する、日常生活に応用可能な円の新たな性質を見いだすことができた。

## 7. 参考文献

- 1) 矢島俊彌, 帯状領域への円・楕円の充填, 経営の科学 オペレーションズ・リサーチ 1990, 1990 年, Vol.35, No.2

# 立体四目並べに必勝法はあるのか？

宮城県仙台第三高等学校

木村基治 高橋和暉 保坂春樹

立体四目並べとは、 $4 \times 4 \times 4$  の立体の盤面に交互に石を置き、先に 4 つ並べた方が勝ちというゲームである。先行研究から、立体三目並べには先手に必勝法が存在することが分かっている。そこで、立体四目並べでは最後の一手を打てる後手が有利なのではないかと仮説を立てて研究を始めた。実験には、減点法と偶数理論の 2 つの方法を用いた。減点法とは相手の勝利列を減らしていく方法である。その結果、相手を妨害するだけで自分が有利になる手を打っていないため必勝法とはいえないことが分かった。偶数理論とはオセロで終盤に後手が用いる戦術である。AI との対戦において偶数理論を用いた後手の勝率の方が高くなり後手が有利であることが分かった。この点から、偶数理論は間違った手法ではないと考えられる。偶数理論は終盤のみ用いているので、今後は中盤までの盤面の確立を目指す。

## 1. 背景と目的

立体四目並べと呼ばれる対戦ゲームがある(図 1)。先手と後手が  $4 \times 4 \times 4$  の立体の盤面に交互に石を置き、先に石を 4 個並べたほうが勝ちというものである。先行研究により、立体三目並べでは先手必勝であること<sup>1)</sup>、平面四目並べでは先手に必勝法がないことが分かっている<sup>2)</sup>。そこで、立体四目並べには必勝法があるか研究を行った。



図 1 立体四目並べ

## 2. 定義

- ① 横方向を  $w$ 、縦方向を  $d$ 、高さ方向を  $h$  として、 $(w,d,h) = (1,1,1) \sim (4,4,4)$  で表される座標を定める(図 2)。なお、重力を考慮し、下に石がない点には置くことができないものとする。
- ② 縦、横、斜め、高さにおいて石が 3 つ揃った場合をリーチ、いずれかの 4 つ揃った列を勝利列と呼ぶ。なお、勝利列は 76 通り存在する。また、リーチは必ず止めるものとする。
- ③ 先手・後手の両方において、置くと敗北する点を拮抗点と呼ぶ(図 3)。
- ④ 立体四目並べにおいて、1 手目～16 手目を序盤、17 手目～40 手目を中盤、41 手目～64 手目を終盤とする。

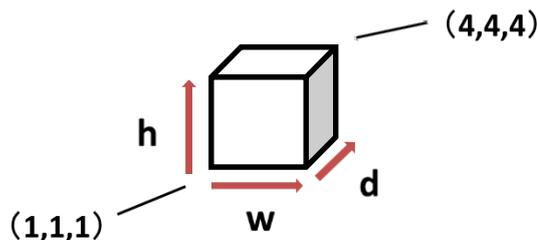


図 2 定義の概略図



図 3 拮抗点

### 3. 実験方法

#### 実験1 減点法

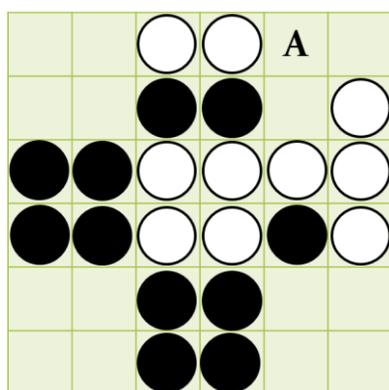
減点法を用いて班員同士で対戦を行った。減点法とは、相手の勝利列をいくつ減らすことができるかを各地点の点数とし、この点数が高い地点に置くことを繰り返すものである(表1)。同地点の地点が複数箇所ある場合は、その後の相手の手で自分が減らされる勝利列の数が最少になる点におくこととする。

座標	先手勝利列数	後手勝利列数
	76	76
先(1,1,1)	76	69(-7)
後(1,4,1)	69(-7)	69
先(4,4,1)	69	63(-6)

表1 減点法の実験の棋譜の一部

#### 実験2 偶数理論

偶数理論を後手が用いて、先手をコンピュータのAI<sup>3)</sup>、後手を班員として対戦を行った。偶数理論とは、オセロの終盤戦法の一つで、後手が奇数空きに先着するというもの(図4)である<sup>4)</sup>。本研究では、高さ方向を上下2段に分け、それらを偶数空きとして扱った。また、偶数理論は終盤のみ用いた。



左図において、先手を黒、後手を白とする。ここで、白がAの点に打つと、左上、左下、右下がそれぞれ4個空き、右上が2個空きとなる。この時すべての空きが偶数となるから、それぞれの空きにおいて、白が最後の一手を打つことができる。

図4 オセロにおける偶数理論

## 4. 結果

### 実験 1 減点法

対戦を 30 回ほど行ったが、減点法が直接影響して勝利に結びついた事例はほとんどなかった。

### 実験 2 偶数理論

対戦を 100 回行ったところ表 2 のような結果が得られた。

	黒勝ち	白勝ち	引き分け
勝数	41	57	2
勝率	41%	57%	

表 2 偶数理論の勝数と勝率

## 5. 考察

実験 1 については、減点法が相手の勝利列を減らすことに主眼を置いた方法であるため、自分の勝利列を作ることが優先されなくなった。その結果、自分の勝利列の可能性が減ってしまい、勝利に結びつかなかったと考えられる。

実験 2 については、偶数理論を用いた後手の方が勝率が高いことから、後手が有利になることができると考えられる。勝率に大きな差が見られなかったことについては、終盤に入っただけで先手に 3 段目に勝利列を作られたため、偶数理論の効果が出る前に負けてしまったためだと考えられる。

## 6. 結論・今後の展望

減点法は勝利に結びつかず、必勝法とは言えないことが分かった。一方、偶数理論を後手がいけると、後手の方が有利になりうると分かった。これらのことから、偶数理論を用いることで後手に必勝法が存在する可能性があるといえる。

現在、偶数理論は終盤のみ用いている。今後は試行回数を増やして考察を重ね、中盤までにどのような盤面を作ればよいか確立させていく。また、試行を重ねる間に人間が強くなっている可能性があるため、プログラムの作成など、定量的な実験を行うための工夫をしていく。

## 7. 参考文献

- 1) 「進化三目並べ」宮城県仙台第三高等学校 GS 活動記録集 岡田英実 奥村音羽 2016 年
- 2) 中央大学理工学部情報工学科 クイズの部屋 08.4×4 の盤で遊ぶ四目並べ  
〈<http://www.ise.chuou.ac.jp/ISE/outline/Gmajor/matsui/contents08.html>〉  
(2017 年 5 月 24 日現在)
- 3) イカスミメロン 立体四目並べ 〈[http://www.geocities.jp/nanami\\_486/3d4narabe.html](http://www.geocities.jp/nanami_486/3d4narabe.html)〉  
(2017 年 8 月 23 日現在)
- 4) 村上健 史上最強カラー図解 強くなるオセロ ナツメ社 2011 年 3 月 3 日 p.174~182  
ISBN978-4-8163-5033-7

# イスタンプールのお盆

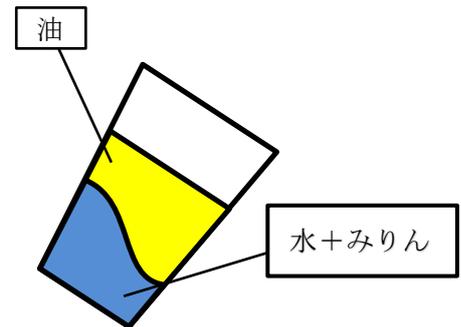
宮城県仙台第三高等学校

門脇温人、三浦時瑛、望月志光、石黒俊輔、後藤崇仁、佐藤蒼真

振り子運動をするように吊したお盆に、液体を2層に入れたコップを乗せて揺らすと、上層の液面はお盆に対して静止したままだが、2層の境界面は傾く。私たちはこの理由を解明するために液体の粘性と振り子の周期に着目して研究を行った。その結果、2層の液体の粘性の差が大きい組み合わせほど、液体の境界面の傾き方がより大きくなる傾向が見られた。次に振り子の周期を変えて実験をした結果、周期が短いほど境界面の傾きが大きくなった。このような結果から、上下の液体の粘性の差が大きく、振り子の周期が短いと、境界面の傾き方はより大きくなると考えられる。しかし、水と油の組み合わせのときと周期が最も短いときに、例外が見られたことから、粘度や周期以外にも影響している要素があると考えられる。

## 1. 背景と目的

イスタンプールでは、コップの中に液体を入れてお盆に乗せて揺らしても、液体の表面とお盆の面が平行になって液体がこぼれないという遠心力の性質を活かしたお盆が使われている。しかし、コップの中の液体が〈図1〉のように2種類になるとその液体間の境界面がお盆と平行にならないことが知られている。先行研究より、粘度と慣性が関係していることが分かっている。そこで私たちは、粘度とお盆の揺れる周期に着目して実験を行った。



〈図1〉

## 2. 実験

市販の紐、水受け、物理室にあるスタンドを用いて作った〈図2〉の装置を用いて実験を行った。

i) 2種類の液体の粘度の差と境界面の変化の関係を調べるために、液体を2層に入れたコップをつるしたお盆に乗せて振り子運動をさせ、液体が左端に達した瞬間の境界面の様子を記録した。液体はみりん・水の混合液と油を使用し、みりんと水の混合比を変えることで上下の液体の粘性の差を変化させた。



〈図2〉

ii) お盆を揺らす周期と2種類の液体の境界面の変化の関係を調べるために、液体は水と油を使用し、吊るす紐の長さを30、50、80、110 (cm) の四段階に分け、i) と同じようにして記録した。

※長さを長くすると周期も長くなる、振り子の性質を利用。

<粘性の数値化の方法>

実験に使用する液体の粘度の差を明確にするために数値化した。メスシリンダーに数値化したい液体を一定量入れ、メスシリンダーの口からBB弾を自由落下させ底に着くまでの時間を計測した。実際に使用した値は、水での記録を1 (基準) としたときの比 (図3) を粘性として使用した。

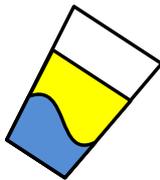
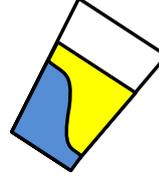
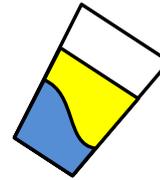
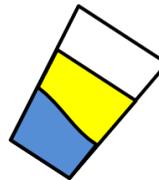
液体(混合比)	粘性(相対値)
水	1.00
油	7.63
みりん+水(1:4)	1.02
みりん+水(1:1)	1.19
みりん+水(4:1)	1.51

<表1>

### 3. 結果

#### i) 液体の粘性を変化させた実験

水とみりんの混合比をそれぞれ、水のみ、1:4、1:1、4:1 にして実験を行った結果、次のようになった。

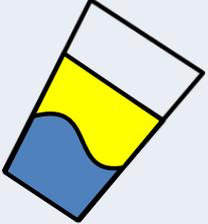
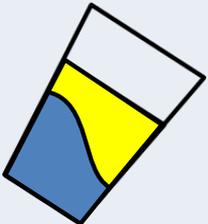
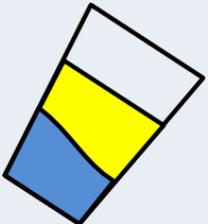
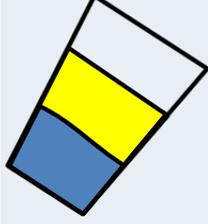
比率 (みりん: 水)	水のみ	1:4	1:1	4:1
上の液体 と下の液 体の粘性 の差	6.63	6.61	6.44	6.12
	大 ←————→ 小			
図				

<表2>

〈表 2〉から分かる通り、上下の液体の粘性の差が大きくなると、2種類の液体の境界面はより大きく傾いた。しかし、みりんを混ぜずに水と油のみを使用したときはその傾向が見られなかった。

ii) お盆を揺らす周期を変化させた実験

液体は水と油を使用し、お盆を吊るす紐の長さをそれぞれ 30、50、80、110 (cm) にして実験を行った結果、次のようになった。

紐の長さ cm	30	50	80	110
周期 s	1.06	1.37	1.81	2.01
図				

〈表 3〉

〈表 3〉から分かる通り、お盆の揺れる周期が短いほど、2種類の液体の境界面が大きく傾いている。しかし、周期が最も短いとき（紐が 30cm のとき）は、その傾向が見られなかった。

※コップを乗せる都合上、30cm より短いものは作れなかった

#### 4. 考察

2つの実験の結果から、粘性の差が大きいほど、また、振り子の周期が小さいほど、境界面の傾きが大きくなると考えられる。しかし、みりんを使用しなかったときやお盆を揺らす周期がとても短いときはそのような傾向に当てはまらないため、液体の粘度の差と揺れる周期以外にも、液体の境界面が傾く原因があると考えられるので、それについて研究していきたい。

#### 5. 参考文献

- ・平成 28 年度 仙台三高課題研究「イスタンブールのお盆の原理の解明」

# 圧電素子を用いた発電

宮城県仙台第三高等学校

石原匠 酒井夏輝 高野太地 野澤一輝 田中辰弥 三浦築

今日、騒音問題が環境問題として提起されている。そこで私たちは騒音エネルギーを電気エネルギーに変えることによって活用することができないかと考えた。しかし、先行研究では、実用可能なほどの電圧は得られていないため、効率よく騒音を電気に変換するための研究を行った。その結果パラボラアンテナを用いて音を集めたとき、無しの場合に比べ平均約 3.2 倍の電圧が得られることが分かった。次に、実用化に向け、ブリッジダイオードを用いて発電した交流電圧を直流電圧に変えた上でコンデンサに蓄電したところ、音を当てる時間を延ばすことでより多く蓄電できることが分かったが、全体的に蓄電できた電気量が小さく、実用的なものではなかった。そこで、圧電素子を 2 個に増やすことでより多く蓄電できるのではないかと考え、実験を行ったが、1 個の時よりも蓄電量が減少した。これは互いの交流電圧が波形の違いにより、波の打ち消し合いをしたと私たちは考えた。今後は回路の改良によって、効率の良い発電を目指していく。

## 1. 背景

私たちの日常生活は自動車や電車などから発生する様々な騒音であふれている。現代では騒音は私たちの生活に悪影響を与えるものとして挙げられている。

私たちはこの騒音を有効活用できないかと考え調べたところ圧電素子を用いることで音から電気エネルギーを生み出せることを知った。しかしその方法で生み出す電圧は非常に小さく LED の電球 1 個を光らせるのがやっとのものだった。

## 2. 目的

圧電素子を用いた音発電の発電効率を上げる。また、発電した電力を蓄電し実用化に近づける。

## 3. 研究に使用した器具

- ・圧電素子(ピエゾ素子) (図1)

電圧を与えることによって振動するもので、逆に、振動を与えることで電圧を発生させることもできる。安価で小さく、設置が容易だが、脆く破損しやすい。

【型番】 Goedrum-Goe-3244

【仕様】 ホワイトミドル幅：近似 24.8mm

サイド厚み：近似 0.58mm

リゾナント周波数：2.9 ± 0.5 KHz

共振インピーダンス：300Ω max

キャパシタンス：30000pF ± 30% at 100Hz

入力電圧：30Vp-p max

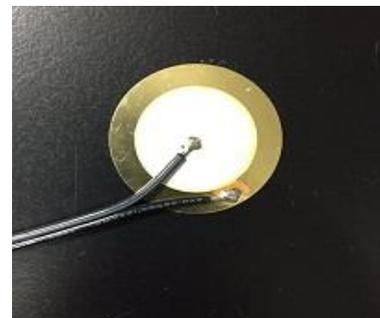


図 1 - 圧電素子

- ・パラボラアンテナ (図 2.3)  
主に電波や音を集めることに使われる。

【仕様】 直径：40cm  
深さ：20cm  
焦点：底面から 5.0cm

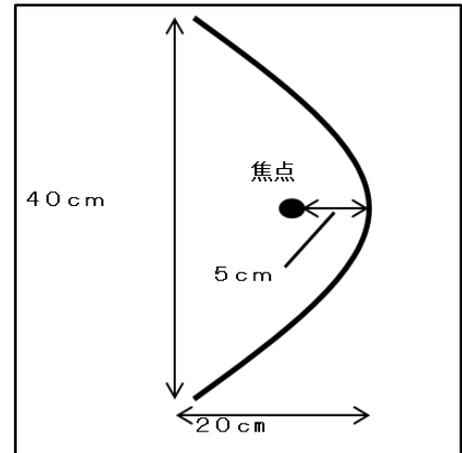


図 2 - パラボラアンテナ断面図

- ・コンデンサ  
電気を蓄えたり放出したりする電子部品。

【型番】 NEC/TOKIN-FYD

【仕様】 電圧：5.5V

キャパシタンス：1.0F

- ・ブリッジダイオード  
交流の電流を直流の電流に変換する電子部品。

- ・キーボード  
周波数を変えて音を出力させるために使用。

【型番】 YAMAHA-HD-200



図 3 - パラボラアンテナ

- ・スピーカー  
キーボードから出力した音の電気信号を音波に変えるために使用。

【型番】 YAMAHA-SMS-100

#### 4. 実験方法

ビニールを張った面の上に圧電素子を固定し、スピーカーから出た音を当てる。  
スピーカーと圧電素子との距離が 80.0 cm になるように設置。

##### <実験 1>

パラボラアンテナの有無で発電量にどれだけの差があるのか調べる。

##### <実験 2>

コンデンサ、ブリッジダイオードを用いて発電した電圧を直流に変換した上でコンデンサに連続的に流し、コンデンサにどれほど蓄電できるかを調べる。また、集音時にはパラボラアンテナを用いた。右の図は実験で用いた回路の図である (図 4)。

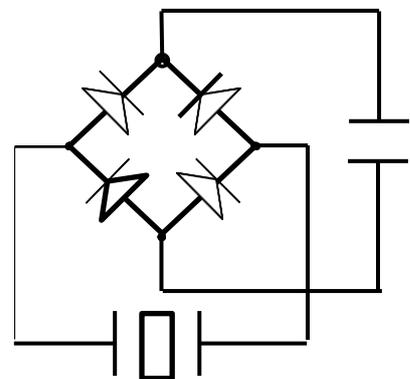


図 4 - 作成した回路の図

## 5. 結果・考察

### <実験1>

パラボラアンテナ有りの方が無い場合に比べて発電量は増えた。

音によって発電量にばらつきがあるのは、使用したビニールの共振などによるものと考えた。集音した時の発電量の増え方にばらつきについては、今後の課題とする。(図5)

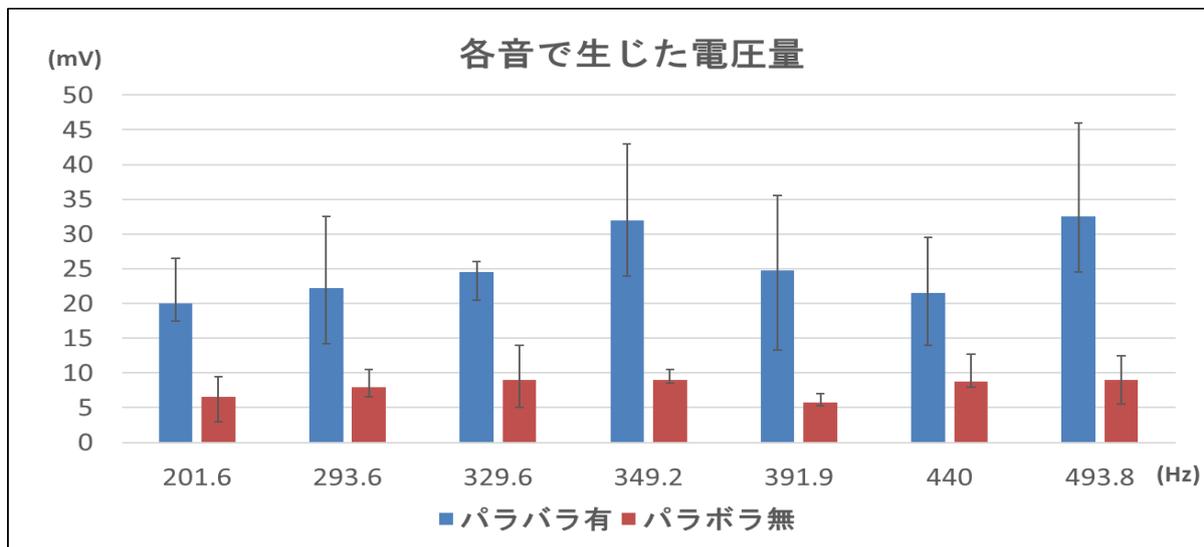


図5 - 実験1結果

### <実験2>

時間を延ばすことでより多く蓄電できることが分かった。しかし、全体的に蓄電できた発電量が小さく実用的なものではない。蓄電の仕方を工夫することや発電量自体を上げることを今後の課題とする。下の表は圧電素子2個使用時。(表1)

時間(分)	5	10	15
電圧(mv)	0.35	0.55	0.8

表1 - 実験2結果

## 6. 今後の展望

実験1で見られた発電量のばらつきの原因を解明し、それが起きないように対策を立てる。また実験2で15分間コンデンサに蓄電したがLED電球一つを点灯させることもできなかったため、よりロスが少ない回路を作成することが必要である。

## 7. 参考文献

パラボラアンテナの作り方 <http://www.ne.senshu-u.ac.jp/~proj22-20/make.pdf>

圧電素子を用いた音発電に関する先行研究 [http://www.konkougakuen.net/ssh%20hp/2014phy\\_atuden.pdf](http://www.konkougakuen.net/ssh%20hp/2014phy_atuden.pdf)

# 落下による滑空

宮城県仙台第三高等学校

三上凌平 藪貴 吉葉悠斗 岡田薫宗 神坪幸太郎

近年、エネルギー問題や大気汚染などの環境問題が深刻化している。私たちはこれらの問題を少しでも改善できる方法を考え、動力を用いず排気ガスなども出さずに移動できる手段である滑空に興味を持った。滑空について知るため、私たちは実験を始めた。バalsa板で小型の滑空機を製作し、機体の翼の角度や機体の軸と地面との角度を変えながら、それぞれ地上 5m から落下させて飛行の様子を観察した。その結果、機体の翼の角度によって滑空を開始する高さが異なることが分かった。これは機体に取り付ける翼の角度によって受ける空気抵抗の大きさが異なるからであると考えられる。また、最も遠くまで滑空した機体は翼の角度が 30 度、機体の軸と地面との角度が 60 度であった。しかしこの実験だけではデータが不十分なため、より細かい角度での実験を行い機体の角度と距離の関係を調べていきたい。

## 1. 背景と目的

近年、エネルギー問題などが深刻化している。そこで私たちは、エネルギーを消費しない方法として滑空に着目した。滑空とはどのようなものなのか、そしてどのような条件が機体の滑空距離を伸ばすのかについて明らかにしようと思い研究を始めた。

## 2. 実験方法

(実験全体)

- ・ 三角形に切り取ったバalsa板を用いて角度を決める。
- ・ 5m から静かに機体を落とす。

(実験 1 のみ)

- ・ 機体の翼の角度を変え、角度はバalsa板を三角形に切り取り調節する。

(実験 2 のみ)

- ・ 落下させる際、機体全体の角度を分度器を用いて計測する。
- ・ 翼の付け根から 1cm ごとにおもりの位置を変えて実験する。

## 3. 実験機の構造

- ・ 翼一枚の横の長さ : 20cm
- ・ 翼一枚の縦の長さ : 8cm
- ・ 実験機の軸の長さ : 20cm
- ・ 素材 : バalsa板

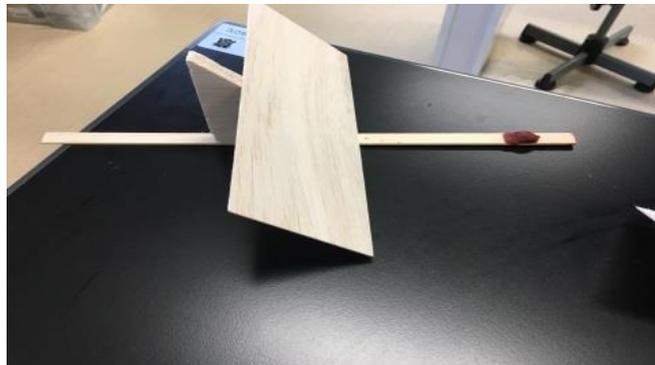


図 1 : 実験機の写真

## 4. 結果

### 4.1 翼角度を変更

まず、翼の角度がどのように滑空に影響を与えるかを調べるために、5種類の角度

(30, 35, 40, 45, 50, 55 度) で滑空距離を計測した。その結果、それぞれの角度と平均滑空距離の間に関係性は見られなかった。また、最も滑空したのは翼の角度が 30 度のときであった。

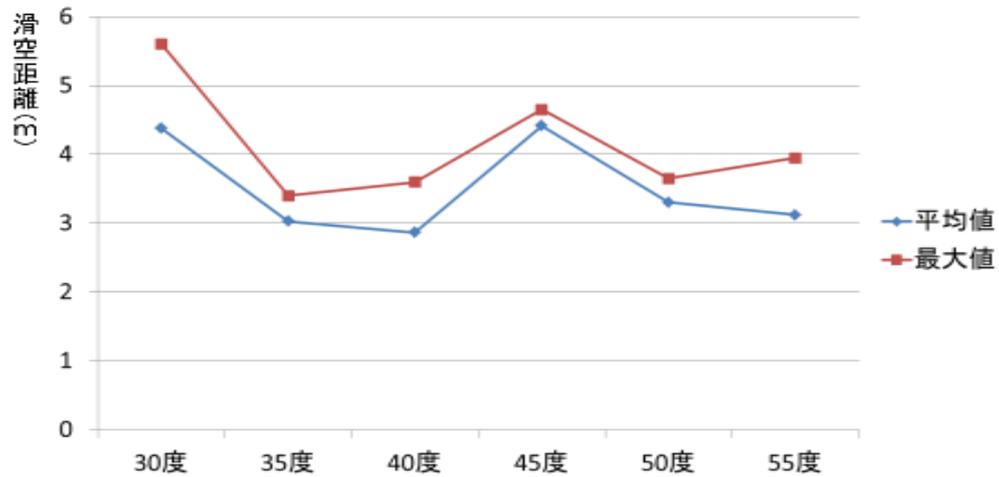


図 2 : 翼の角度と滑空距離

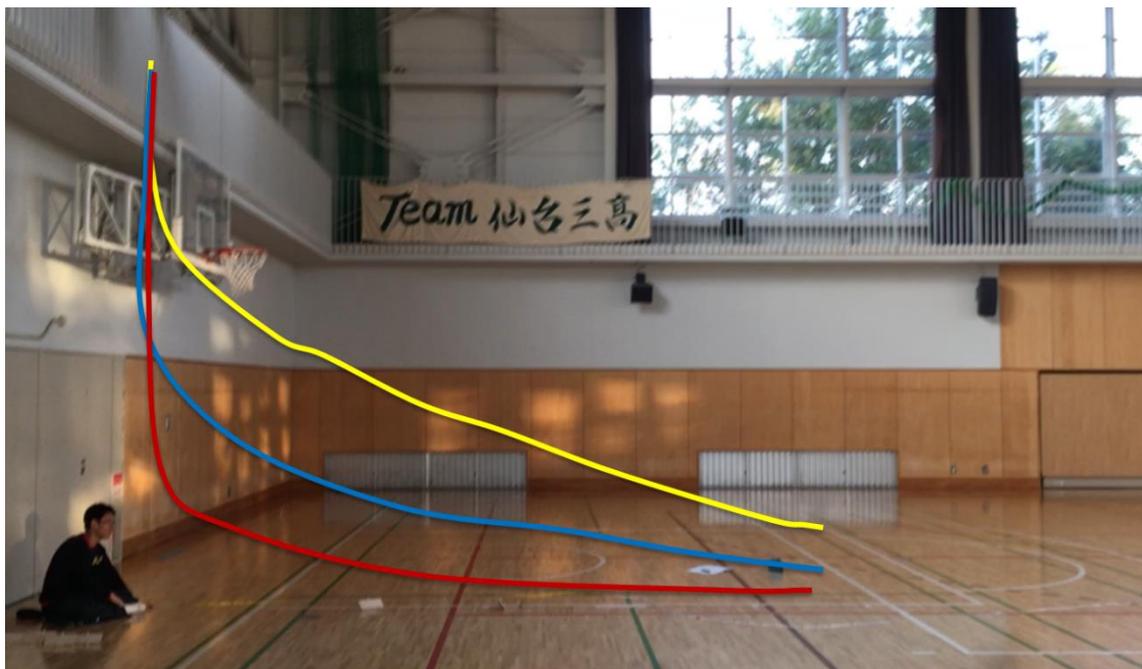


図 3 : 翼の角度と滑空開始地点

一番上の線は 55 度、真ん中の線は 45 度、一番下の線は 30 度のときの落下の様子を表している。このように角度が大きくなるほど滑空を始める高さが高くなるという傾向がみられた。

#### 4.2 機体の角度とおもりの位置それぞれの滑空距離との関係

おもりの位置を変える実験から、おもりの位置が翼の付け根から 3 cm のとき最も滑空した。また、機体の地面に対する角度を変える実験では 60 度のとき最も滑空した。

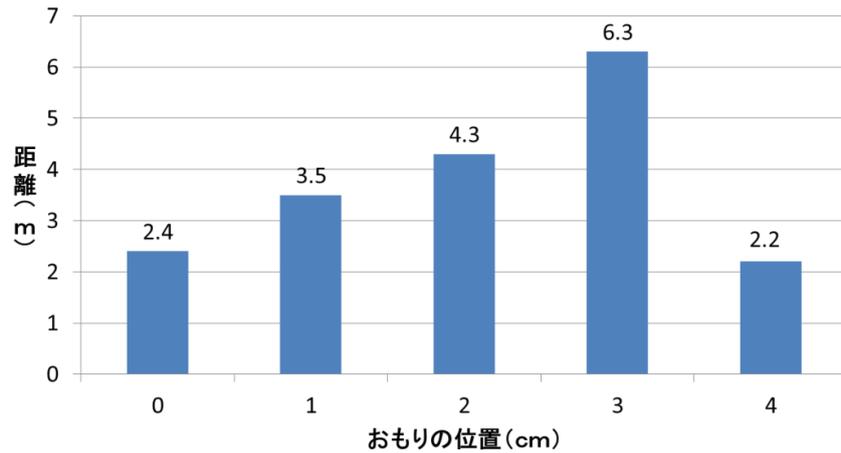


図4：おもりの位置の変更による実験結果

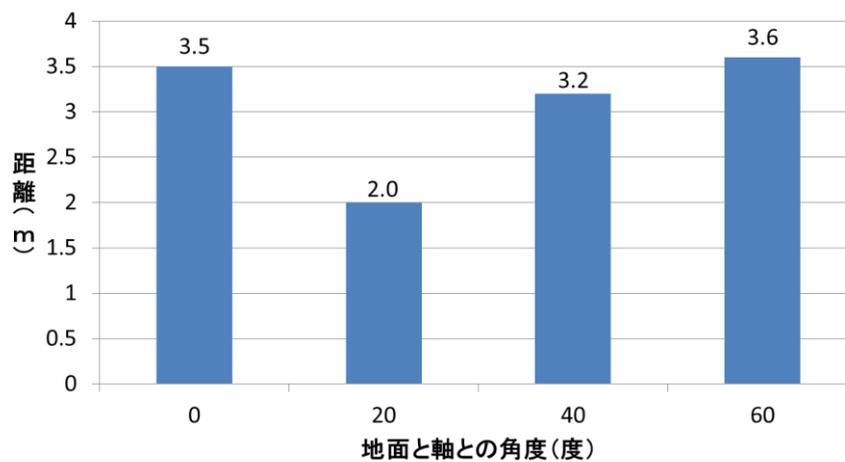


図5：機体全体の角度の変更による実験結果

## 5. 考察

実験1より、翼の角度が大きいかほど滑空を開始する地点が高いことがわかる。これは、翼の角度が大きいかほど落下時に空気抵抗を強く受け、より速く滑空体制に移行するからであると考えられる。また実験2より、翼の角度を30度にして飛ばしたとき、もっとも遠くまで飛んだ機体の角度は60度である。このとき翼の地面に対する角度は90度であるため、翼が地面に対して垂直であるとき機体は最も遠くまで滑空すると考えられる。

## 6. 結論

実験1より翼の角度と滑空距離には関係性が見られなかったが、一番滑空したのは30度するときであった。また、実験2より機体全体の角度が60度、おもりの位置が3cmのとき最も滑空した。今後は、これらの結果の関係式を導こうと思う。

## 7. 参考文献

なぜ飛べるか グライダー <http://www.ntv.co.jp/megaten/archive/library/date/05/01/0123.html>

# 物質の硬さと摩擦係数

宮城県仙台三高等学校

引地啓太 古川佑 金澤昂大 駒田啓伍 菅原優人

物質はその物質ごとに固有の最大静止摩擦係数の値を持っているということが知られている。しかし、摩擦の本質は未だ判明していないということに我々は興味を持った。そこで、我々は物質の硬度と摩擦との関係性を見つけることで摩擦の性質を見つけ出すことを目的とし、6種類の金属を用いて実験を行うことにした。実験の結果から、一般に、軟らかいほど摩擦係数が大きくなることが分かった。しかし、鉄のみ摩擦係数が硬さの割に大きくなった。これは、鉄には磁力を帯びる性質があり、その磁力が引き合う力が発生して摩擦が大きくなった原因であると考えた。結果から、摩擦係数と硬度は反比例関係にあると結論付けた。

## 1. 背景と目的

物理の教科書<sup>1)</sup>には、 $F = \mu mg$ （摩擦力 = 摩擦係数 × 垂直抗力）という摩擦の公式がある。また、鉄や木といった一部の物質の摩擦係数も書いてあった。しかし摩擦の原理は書かれていなかった。そこで我々は鉄、銅、亜鉛、アルミニウム、ステンレス、真鍮の6種類の金属板を用意し、摩擦は金属板が硬いほど小さく、軟らかいほど大きくなるを考え、実験を開始した。

## 2. 硬さの計測方法

今回はビッカース硬度計を用いて硬さを測定することにした。ビッカース硬度計に付いている四角錐のダイヤモンドを、1Nの力で10秒間押し当てる、という方法でビッカース硬度を計測した。

## 3. 実験方法

〈実験器具〉

金属板（鉄板・銅板・亜鉛板・アルミ板・ステンレス（Fe-Cr）板、真鍮（Cu-Zn）版）、滑車、紐、プラスチック皿、砂、20グラムの分銅、両面テープ、ガムテープ、棒付き台

〈実験方法〉

- ① 図1のように金属板を上側と下側の2枚置き、台に乗せた。
- ② 金属板①は両面テープで固定し、金属板②にガムテープで滑車に掛ける紐を固定して20グラムの分銅に乗せた。
- ③ 金属板②に付けた紐の一端にプラスチック皿を取り付け、砂を少しずつ入れて、重りとした。
- ④ 皿が重くなり、金属板②が滑ったときの重さを記録し、この操作を20回繰り返して、そのデータを用いて平均の最大静止摩擦係数を求めた。

なお、この実験では鉄板を基準とし、  
実験1 金属板②を鉄板に固定し、金属板①を変更した  
実験2 金属板①を鉄板に固定し、金属板②を変更した  
の2種類の実験を行った。

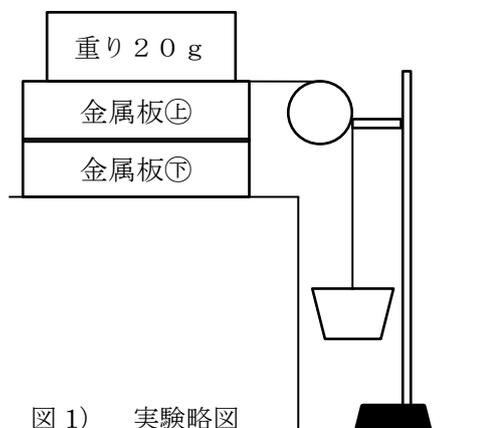


図1) 実験略図

#### 4. 結果

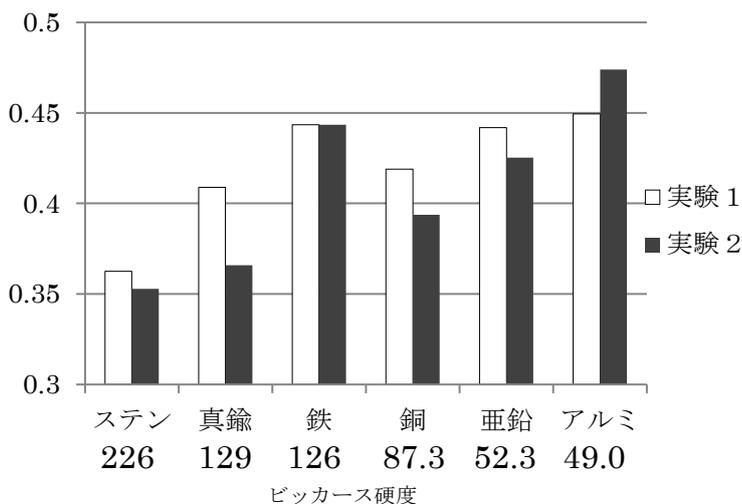
軟らかい金属板ほど摩擦力が大きくなった。図2より、硬度と摩擦係数は反比例関係にあるとわかった。

しかし、鉄と鉄の組み合わせだと、摩擦力が不自然に大きくなるという結果が得られた。

#### 5. 考察

硬度と摩擦係数に反比例関係が現れたことの原因は、軟らかいほど表面の凹凸が他方の凹凸に密着し、接している面積が広くなり、摩擦が大きくなることだと考えた。

また、鉄同士の組み合わせだと摩擦力が不自然に大きくなっていったのは、鉄が強磁性体である<sup>2)</sup>ので鉄板と鉄板との間に磁力が発生し、それによって垂直抗力が大きくなったのに比例して摩擦力も増大し、鉄板が滑り出す運動を妨げたことが原因だと考えた。



#### 6. 展望

今後は、考察を精査するため、鉛のようなアルミニウムより軟らかい金属や、鋼鉄のようなステンレスより硬い金属、他の強磁性体（コバルト、ニッケル）、プラスチックやガラスのように金属類以外の物質を使用するなど、より多くの試料を用いて実験を行っていきたい。

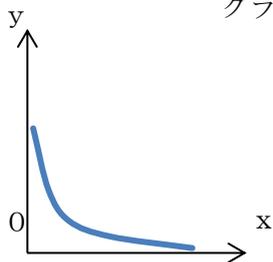
#### 7. 結論

硬度は0より大きく、摩擦係数も同じく0より大きいことから、物質の硬度と摩擦係数は反比例関係にあると考えられる。

予想公式

基準とする物体1の硬度を $h_1$ 、物体2の硬度を $h_2$ とし、その比 $h_2/h_1$ を $x$ 、摩擦係数を $y$ とすると

グラフは $h_1$ と $h_2$ の値によって決まる定数、または他の要素、 $n$ は不明)



#### 8. 参考文献

- 1) 東京書籍 物理基礎
- 2) 磁性体の種類(強磁性体・反強磁性体・常磁性体など)  
<http://neoark.co.jp/galileo/g-magnetism/magnetic-type>

# 入浴剤蓄電池の性能検証

宮城県仙台三高等学校

松戸秀斗 横山零 壹岐虎太郎 及川和真 谷浩志 湊大輝

入浴剤が水に電離しイオンが生じることから、私たちは入浴剤を使って燃料電池をつくることができると考えた。そこで、災害時の非常用電源としての利用を目的に、入浴剤蓄電池の作成と性能測定を行った。実験1として入浴剤の濃度と金属板変更時の電圧の計測を行ったところ、入浴剤の濃度を変えても電圧の大きな変化は見られず、電極を亜鉛と銅に変えても電圧に大きな変化は見られなかった。また、実験2として放電時の経過時間ごとの電圧の測定をした。結果は一定時間経過ごとに電圧が大きく低下した。実験3として電池二つを使った直列、並列回路での電圧測定では直列回路において電池ひとつの時よりも大きな電圧を測定した。これらの結果より入浴剤による蓄電には成功した。ただし、持続時間や電圧の低さが問題点となっており、セパレートの変更や炭素粒の変更など実用化に向けては課題が多く残っている。

## 1. 研究概要

本校の科学教育の一環において、市販の入浴剤から簡単に蓄電池を作成できることを知った。一般に蓄電池はニッケル水素電池や鉛蓄電池などがあるが、専門知識がない限り作成できるものではない。しかし、入浴剤は簡単に入手でき、一般家庭の浴室や公営のプールなどでも安全に使用することができる。

## 2. 原理説明

本実験では水の電気分解により充電、水素と酸素の化学反応により発電している。



また、下記の理由により炭素粒を用いた。

- 1 炭素粒表面は無数の穴がある (fig.1) (fig.2) ため表面積が大きく、反応の効率が良い。
- 2 炭素粒が電気分解で生成される水素と酸素を吸着する。

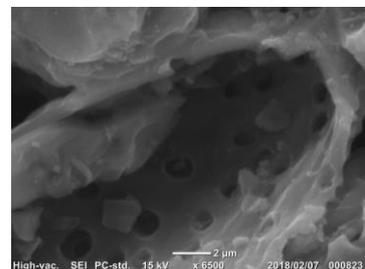


fig.1) 電子顕微鏡による炭素粒表面×6500

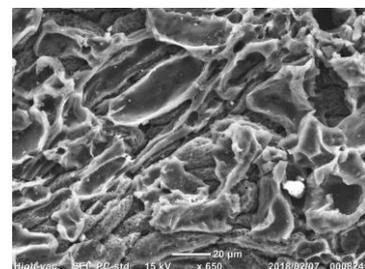


fig.2) 電子顕微鏡による炭素粒表面×650

### 3. 実験方法

本研究において、下記のものを実験装置<sup>fig.3) fig.4)</sup>とする。

〈実験器具〉

- ・電源装置 ・電圧計 ・リード線 ・炭素粒 200g ・水道水 300mL
- ・プラスチック容器 ・金属板(Zn、Cu) ・バスロマン(森の香り) ・キッチンペーパー

〈作製手順〉

- 1, 水道水 300mL にバスロマンを溶かし、バスロマン水溶液を作る。
- 2, プラスチック容器をキッチンペーパーで左右に仕切り、左右で同量となるように炭素粒を入れる。
- 3, 炭素粒を入れたプラスチック容器に 1, で作製したバスロマン水溶液を注ぐ。
- 4, 3, の左右に金属板(※左右とも同一の金属を使用する) を挿す。これを入浴剤蓄電池<sup>fig.5)</sup>(下記から蓄電池とする) とする。
- 5, 4, の左右の金属板を、それぞれ電源装置の正極、負極に接続し、電圧計にも同様に接続する。これを実験装置とする。

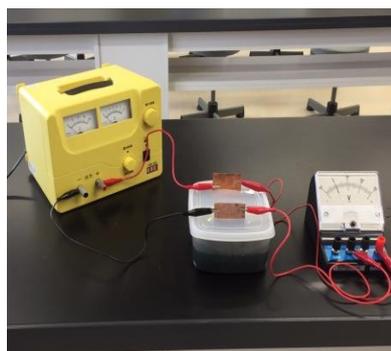


fig.3) 実験装置

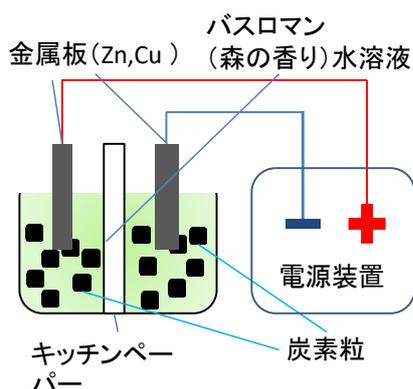


fig.4) 実験装置簡略図



fig.5) 入浴剤蓄電池

#### 実験 1 入浴剤の濃度と金属板変更時の電圧変化の検証

〈実験方法〉

- 1, 入浴剤 0.0g、0.3g、0.6g、0.9g ずつ溶かした入浴剤蓄電池に、5 分間 10V の電圧をかけ充電する。
- 2, 電源装置を外した直後の電圧計の値の低下が緩やかになった時点での電圧を測定する。
- 3, 1,2, の手順金属板変更した後、繰り返す。

#### 実験 2 経過時間による電圧変化の検証

〈実験方法〉

- 1, 入浴剤 0.6g 溶かした入浴剤蓄電池に、Zn 金属板を挿し 5 分間 10V の電圧をかけ充電する。

2, 電源装置を外し、5 分間隔で電圧を測定する。

実験 3(a, b) 2 つの入浴剤蓄電池を直列、並列に接続した際の電圧変化の検証

〈実験 a 方法〉

- 1, 入浴剤 0.6g 溶かした入浴剤蓄電池を 2 つ用意し、Zn 金属板を挿し、直列に接続した状態で 5 分間 10V の電圧をかけ充電する。
- 2, 電源装置を外した直後の電圧計の値の低下が緩やかになった時点での電圧を測定する。
- 3, 入浴剤蓄電池を並列につなぎ変えた後、1,2, の手順を繰り返す。

〈実験 b 方法〉

- 1, 入浴剤 0.6g 溶かした入浴剤蓄電池に、Zn 金属板を挿し 5 分間 10V の電圧をかけ充電する。
- 2, 1, の蓄電池を 2 つ用意し、直列または並列につなぎ電圧を測定する。

## 4. 結果

実験 1

Zn	0.0g	0.3g	0.6g	0.9g
1 回目	0.35V	0.20V	0.30V	0.30V
2 回目	0.33V	0.30V	0.30V	0.30V
3 回目		0.28V	0.30V	0.30V

table,1) Zn 金属板を用いた際の電圧

Cu	0.0g	0.3g	0.6g	0.9g
1 回目	0.37V	0.30V	0.30V	0.30V
2 回目	0.33V	0.31V	0.35V	0.45V
3 回目	0.32V	0.37V	0.33V	0.43V

table,2) Cu 金属板を用いた際の電圧

実験 2

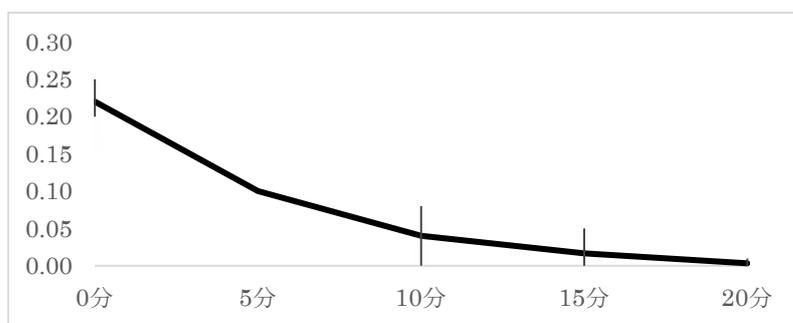


fig.6) 実験 2 結果

実験 3(a, b)

	1 回目	2 回目
並列	0.80V	0.80V
直列	0.83V	0.79V

table,3) 実験 3 a 結果

	1 回目	2 回目
並列	0.70V	0.92V
直列	1.25V	1.48V

table,4) 実験 3 b 結果

## 5. 考察

実験 1 に関して、入浴剤の濃度を変えても電圧にあまり変化がなかった。理由は、水の電気分解に必要な量の  $\text{OH}^-$  イオンがすでに水道水に含まれていたためだと考える。実際に純水を用いたところ電圧は得られなかった。また、金属板の種類による電圧の変化が少なかった。理由は、水の電気分解が主に行われるのが炭素粒周辺であったためだと考える。

実験 2 に関して、電圧が 20 分という短時間で 0V となってしまった。理由は、用いた炭素粒の表面積が大きく、酸素と水素が効率よく水に変換されたためだと考える。

実験 3 a に関して、実験 1 の際の電圧とあまり差異が無かった。理由は、充電の際に 2 つの蓄電池に加わる電力量が、実験 1 の際に 1 つの蓄電池に加わった電力量と変わらなかったため、2 つの蓄電池が 1 つの蓄電池として振る舞ったためだと考える。

実験 3 b に関して、並列につないで際の電圧は実験 1 と比べてあまり変化せず、直列につないだ際の電圧は 1.5 倍近く上昇した。理由は、蓄電池が独立した電源として電流を流したためだと考える。

## 6. 結論

市販の入浴剤を用いて蓄電池が作製することに成功した。また、得られる電圧は入浴剤の濃度や電極となる金属板の種類にあまり関わらずほとんど一定あり、短時間で電圧がなくなることが分かった。そして、蓄電池から得られる電圧を上げる方法も分かった。しかし、得られる電圧は低く日常生活での使用には不十分であることも分かった。

今後の展望としては、得られる電圧が低かったことからより効率の良い電解質の模索。電圧維持のためセパレートの変更。電圧向上と電圧維持のため、炭素粒の代わりに燃料電池にも使用されている金属多孔体を使用しての検証も行いたい。また、実験 3 b の考察が正しければ、蓄電池を並列につなげた際に電圧が得られる時間が長くなると考えられるため、検証として 2 つ蓄電池を用いた際の経過時間による電圧変化の検証を行いたい。

## 7. 参考文献

- 1) TDK 株式会社 エレクトロニクス入門 コンデンサ編 NO.8 「電気二重層キャパシタ (EDLC)」  
([http://www.tdk.co.jp/techmag/electronics\\_primer/vol8.htm](http://www.tdk.co.jp/techmag/electronics_primer/vol8.htm))
- 2) 岩手大学工学部 高木浩一 「活性炭と入浴剤で電池作り」 2010/1 月  
(<http://thunder-fujiwara.elc.iwate-u.ac.jp/edct-docs/16-sci-ed-doc.pdf>)
- 3) 産業技術総合研究所 太陽電池発電研究所 「トコトンやさしい 太陽電池の本」 2007/01/30
- 4) 水の電気分解と燃料電池 ([http://www.kagaku1.kjmt.jp/chap6/fuel\\_cell.pdf](http://www.kagaku1.kjmt.jp/chap6/fuel_cell.pdf))

# 合金膜で腐食を防ぐ

宮城県仙台第三高等学校  
伊藤夏海 櫻井聖花 高平響

私たちの身の回りでは、金属が雨や風にさらされて腐食している現象をよく目にする。例えば古い家のトタン屋根、さびたボルトなど、様々なものがあげられる。こういった腐食しやすい環境ではメッキした金属が用いられているが、腐食は進行してしまっている。そこで銅に亜鉛メッキを施したものを加熱することで表面を真鍮の色に近づけることができるという記述を見て、合金メッキを施すことにより表面が欠落しにくくなることで腐食しにくくなるのではと考え、もっとも市販の真鍮板に近い金属光沢をもつ合金メッキを用いて腐食実験を行った。

## 1 実験①目的

銅にイオン化傾向の異なる3つの金属をメッキし銅の表面に合金を作製する。

## 2 実験①方法<sup>1) 2)</sup>

銅板、金属粉末、20%水酸化ナトリウム水溶液を用い、化学電池の仕組みを利用して銅板にメッキをした。そしてメッキをした銅板を加熱することで表面を合金とした。組合せは以下のとおりである。

- (1) Cu+Ni…白銅
- (2) Cu+Sn…青銅
- (3) Cu+Zn…真鍮

## 3 実験①結果・考察

(1), (2)ともに加熱後は酸化銅のように黒くなってしまった。

考察: ニッケルと錫は銅とイオン化傾向の差が小さい。このため、メッキ膜が薄くなり、黒くなってしまったのだと考えられる。

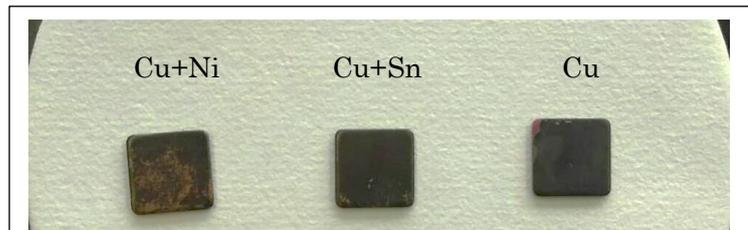


図 1: 実験①(1),(2)結果

**Al > Zn > Fe > Ni > Sn > Pb > Cu > Ag > Au**

図 2: イオン化傾向

### (3) Cu+Zn

亜鉛は銅とイオン化傾向の差が大きく、身近な合金である。

縦軸を P: メッキ時間(秒)、横軸を Q: 加熱時間(秒)とすると、次のような結果が得られた。

P \ Q	10	20	30	40	50	60
10						
20						
30						
40						
50						
60						

図 3 : 実験①結果



図 4 : 真鍮、銅、作成した合金メッキの比較

図 3 よりメッキ時間が長く、加熱時間が短いほど合金に近い金属光沢が見られる。(赤枠内)

しかし、(P, Q) = (50, 10), (60, 10) などでは、熱を加えても表面は亜鉛メッキから合金に変化しなかった。これはメッキ膜が厚くなりすぎたことで熱が銅板まで届きにくくなり、亜鉛と銅が混ざらなかったためだと考えられる。

#### 4 実験②目的

実験 1 で作成した合金と市販の真鍮板の腐食の仕方を比較することで、銅板の表面に作製した合金が真鍮であることを確かめる。

#### 5 実験②方法<sup>3)</sup>

亜鉛板、市販の真鍮板（以下より真鍮板とする）、銅板、作製した合金（以下より合金（仮）とする）をそれぞれ 0.60mol/L の NaCl (aq) に 14 日間浸し結果を観察する。

また腐食の仕方を比較する際、色の変化に注目して観察を行う。

#### 6 実験②結果

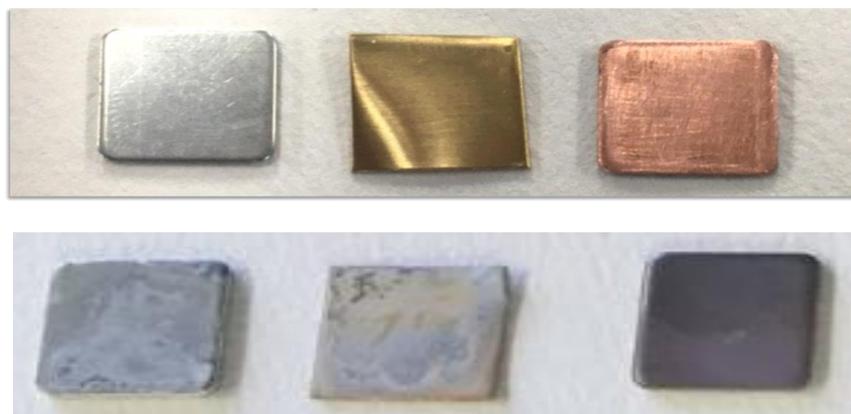
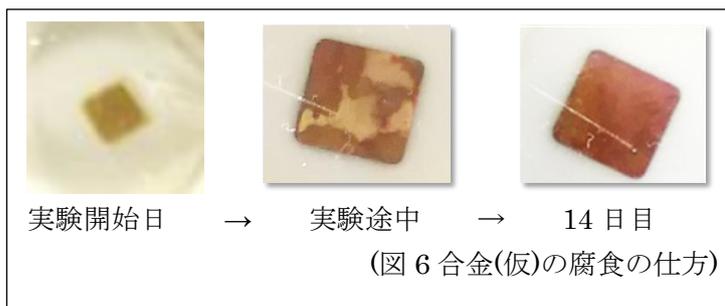


図 5 : 実験②結果（左から亜鉛板、市販の真鍮板、銅板、上:実験前、下:実験後）

	亜鉛板	市販の真鍮版	銅板	合金(仮)
実験前	亜鉛色	黄銅色	銅色	黄銅色
実験後	白い物質が付着した	白い物質が付着した	暗褐色	赤褐色

(表：実験②結果)

銅板は、銅色、赤褐色、暗褐色のように腐食が進んだ。合金(仮)は銅の表面に作製した合金膜が欠落し、その後銅板と同じ反応を示した。



このことから、合金膜があることにより、銅板よりも腐食の進行を遅らせることができたといえる。

しかし、市販の真鍮版は亜鉛板よりの反応を示し、合金(仮)と異なる反応であったため、銅板の表面に作製した合金が真鍮であるかどうかを確認することはできなかった。

## 7 まとめ

作製した合金の表面の色は市販の真鍮版に近づけることができたが、あくまで内部は銅であったため性質まで市販の真鍮版に似せることはできなかった。これは作製した合金膜の厚さが薄く、すぐに欠落してしまっただけで市販の真鍮と同じ反応を見られなかったのではないかと考えられる。

研究目的は腐食防止であったが、腐食実験の結果腐食の進行を完全に防ぐことはできなかったが進行を遅らせることはできたといえる。今後はより進行を遅らせることのできる合金メッキ、完全に腐食を防げる合金メッキを作製していきたい。

## 8 参考文献

- (1) 第一学習社 高等学校化学 P227 黄銅をつくる
- (2) 黄銅をつくってみよう <http://www.eonet.ne.jp/~nakacchi/Brass.htm>
- (3) 海水腐食実験法の理論的研究および実験方法 F.L. LaQue\*\* Corrosion, Vol.13, No.5, 303t~314t (1957) May

# 貧溶媒を用いた再結晶

宮城県仙台三高等学校

伊藤柊威 大倉寛澄 遠藤魁人 山田聖太郎 福田杏耶 加茂侑賢

本研究は、水溶液にアルコール類を添加すると溶媒の溶解度が低下する現象を利用し、任意の大きさ、形状の結晶を得ることを目的としている。

一般に塩化ナトリウムの結晶は立方体であることが知られているが、貧溶媒法を用いて塩化ナトリウムを再結晶させると針状や板状などの不規則な形状の結晶が生成することが知られている。結晶の形状やその大きさと用いる貧溶媒の濃度の関係を明らかにすることを目的として本研究を行った。塩化ナトリウム飽和水溶液に貧溶媒としてエタノール  $C_2H_5OH$  を任意の質量パーセント濃度となるように加え、一週間室温で静置した後、生成した塩化ナトリウムの結晶の形状や大きさを観察・測定した。エタノールの濃度が大きいものほど針状の結晶の数が増え、その長さが長くなることが分かった。このことから、エタノールの濃度が結晶の形状課程に何らかの影響を与える可能性が示唆された。

## 1. 研究目的

再結晶の手法の一つに貧溶媒法がある。貧溶媒法とは、水溶液にアルコール類を添加すると溶媒の溶解度が低下する現象を利用し、飽和水溶液に対してこの操作を行うことで結晶を析出させる手法である。貧溶媒法は、他の再結晶の手法と比較して加熱・冷却操作を伴わず、高純度の結晶を短時間で得られるという利点がある。しかし、得られる結晶の形状・大きさが条件により様々に変化し、一定の形質の結晶を継続的に取り出すことが難しいという理由から実用性は低いとされている。本研究では、結晶の形質に影響を与える条件を調査し、任意の品質の結晶を得ることを目的とする。私達は、再結晶する溶質として塩化ナトリウム、溶媒として水、貧溶媒としてエタノールを用いて研究を行った。

## 2. 研究方法

実験(1) 貧溶媒の種類、添加量による形状変化

- ① 100 g の塩化ナトリウム飽和水溶液を作成した。
- ② 貧溶媒としてエタノールを添加した。  
貧溶媒はビーカーに入れて水溶液に注ぎ、添加量は添加後の質量比で 10%、20%、30%、40%となるようにした。
- ③ 覆いを被せて溶媒の蒸発を防ぎ、常温で 1 週間静置した。

## 前提条件

- ①塩化ナトリウムは温度によって溶ける量はほぼ変わらないため、室温の変化によって結晶形成生に及ぼす影響はほとんどないものとする。
- ②水やエタノールが揮発することを防ぐためビーカーをサランラップで覆い静置直後と一週間後の質量を測定したところ変化量は0.2 gでした。よって蒸発によって再結晶が起こることは考慮しないものとする。

## 3. 結果

### (1)添加量による結晶の長さ

各条件における結晶の形状を図1に示す。

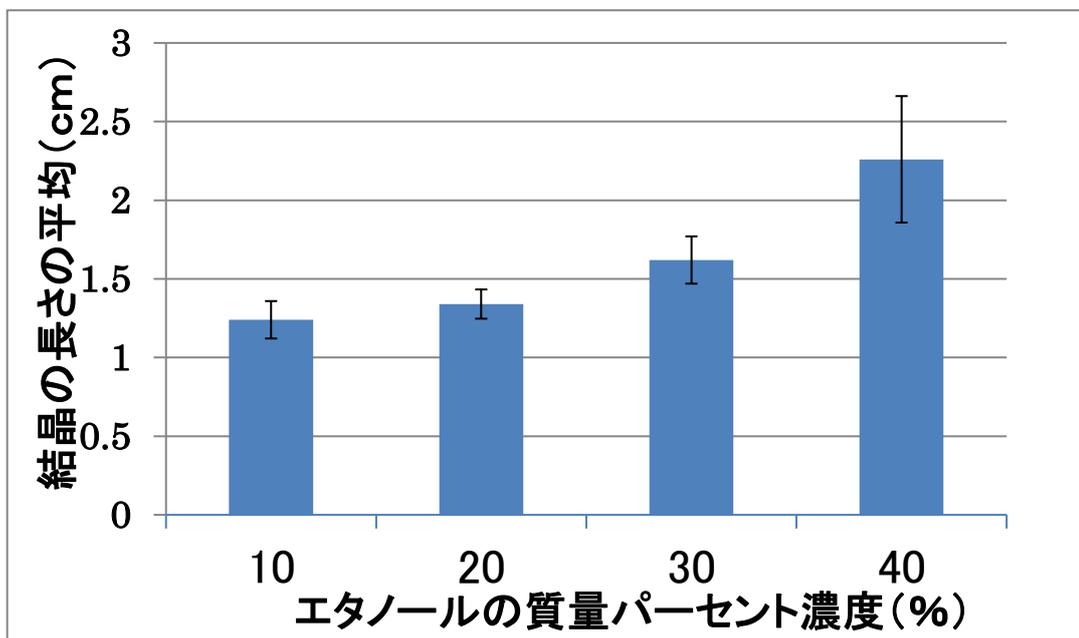


図1 添加量による結晶の長さの変化

このグラフからわかるように質量パーセント濃度の上昇に伴い結晶の長さも伸びる。

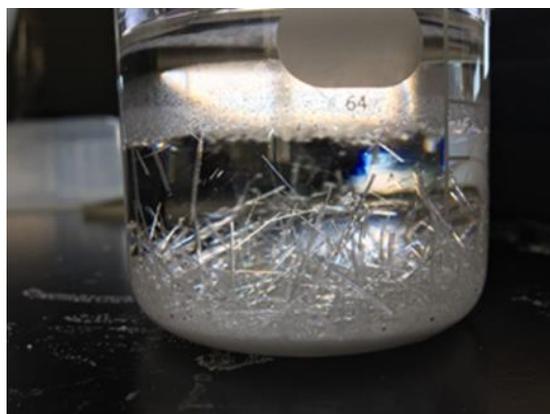


図2 針状結晶の様子

形状については針状が多くみられたが、板状や柱状なども少量見られた。

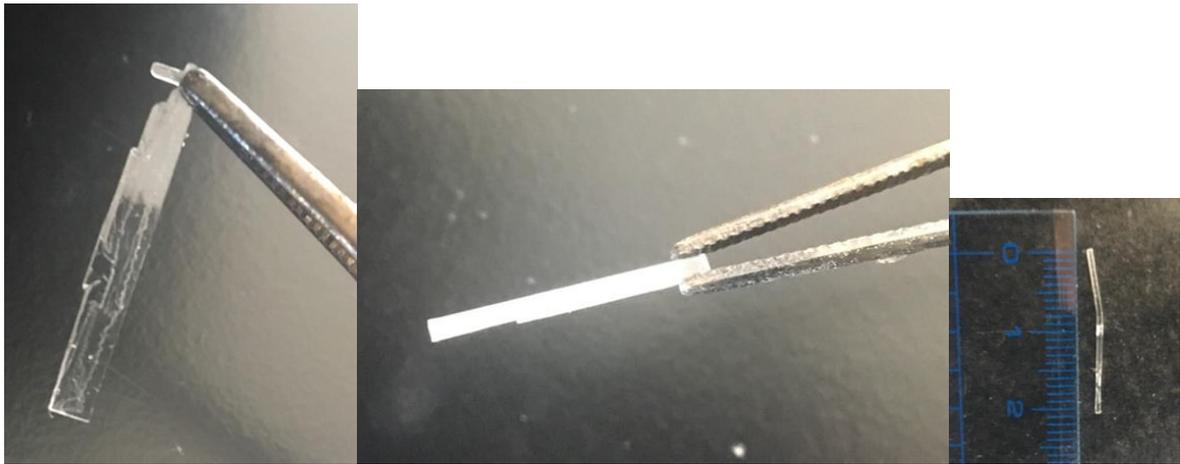


図 3、4、5 左から板状、柱状、針状

#### 4. 考察

貧溶媒法により、析出した針状結晶はエタノールの濃度が大きくなるのに従って、長さも長くなる傾向がみられた。また、貧溶媒法としてエタノールを用いた場合、針状結晶が非常に多く確認されたが、針状結晶だけでなく板状や柱状の結晶も析出したことからエタノールの濃度のみが結晶の形状を決定させるものではないと考えられた。結晶の形はひとつの核が成長する方向によって決まり、その方向は塩化ナトリウムの結晶生成速度によって決まるのではないだろうかという結論に至った。

#### 5. 結論

- ・貧溶媒法による結晶の形状変化は、添加する貧溶媒の種類と濃度、及び滴下速度が影響する。
- ・貧溶媒法を用いると針状の結晶が多数析出した。
- ・エタノールの終濃度が大きくなるにつれて結晶は長くなる傾向が見られた。
- ・板状や柱状の形も見られた。

#### 6. 参考文献

貧溶媒添加法に関する既往研究

(<https://dspace.wul.waseda.ac.jp/dspace/bitstream/2065/342/6/Honbun-01.pdf>)

分かり易い貧溶媒晶析 – 分離技術会

(<http://www.sspej.gr.jp/assets/files/Publishing/Book-series-28.pdf>)

結晶の話 齊藤喜彦 伊藤正時 (化学の話シリーズ 培風館 1984)

村上正祥 「塩の析出環境条件と結晶形状(1)」(日本海水学雑誌 第 54 巻 第 2 号)

村上正祥 「塩の析出環境条件と結晶形状(2)」(日本海水学雑誌 第 54 巻 第 3 号)

村上正祥 「塩の析出環境条件と結晶形状(3)」(日本海水学雑誌 第 54 巻 第 5 号)

# ホウ素の未知の性質

宮城県仙台第三高等学校

阿部瑤平 鑑龍人 本田勝丸 渡邊北斗 橋本靖裕 三浦玄

OH 基(ヒドロキシキ)を含む物質にホウ酸を加えると pH が変化するという記載を見つけ原理が不明だったので調べる実験をした。用いた OH 基を含むグルコース、スクロース、グリセリンに、ホウ酸を添加し pH を測った。どの物質に加えた場合でも pH が徐々に下がる傾向が見られ、その下がり方には差が見られ。ホウ酸は二つの OH 基を介して結合することで  $H^+$  を放出し、pH に変化があると考えた。また、OH 基の距離がホウ酸の結びつきやすさの差の原因なのではないかと考えた。以上のことから我々は物質の構造から pH 変化の式を導き出せる可能性を見出した。

次に、ホウ砂が二酸化ケイ素の融点を下げるという記載があったので、三高の砂で「三高産」ガラスの作成を目指し実験をした。校庭の砂から取り出した二酸化ケイ素とホウ砂、酸化鉛からガラスを作製した。作製したガラスは市販の二酸化ケイ素で作ったものに比べて緑色であった。選別したものの中に鉄などの不純物が含まれていたためと考えた。

## 1-1 背景と目的 [1]

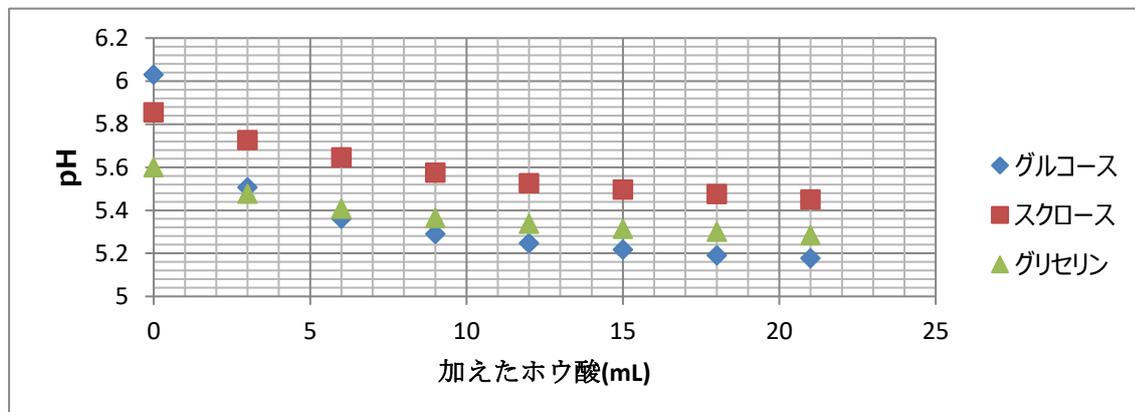
教科書にホウ素の情報が載っていないので、ホウ素に関する論文を調べた。そこで、OH 基(ヒドロキシキ)を含む物質にホウ酸を加えると pH が変化するという記載を見つけ原理が不明だったので調べる実験をした。

## 1-2 実験方法

- ① 0.10 mol/L の OH を含む物質の水溶液 50m L に 0.10 mol/L のホウ酸水溶液をビュレットを用い 3.0 mL ずつ 21 mL 加える。
  - ② pH メータを用いて変化を測定する。
  - ③ ①,②をそれぞれの物質で三回ずつ繰り返して平均を求めた。
- 今回用いた OH 基を含む物質はグルコース( $C_6H_{12}O_6$ )、スクロース( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )、グリセリン( $C_3H_8O_3$ ) である。

## 1-3 結果

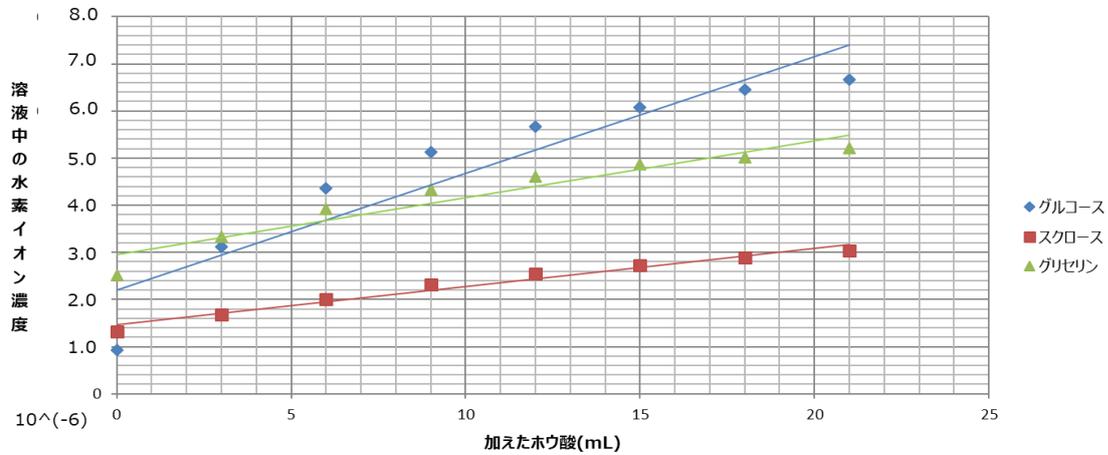
各物質での pH の変化の様子は,Tab .1), のようになった。



Tab.1)pH の推移

結果は、グラフのように指数関数のような形をとった。

ここで溶液中の水素イオン濃度に関して対数をとると直線関係になると考えグラフを作った。(Tab.2)



Tab.2)水素イオンの推移

グラフに近似直線をとるとスクロースとグリセリンは直線関係になったがグルコースだけは対数をとっても指数関数のような形になった。

#### 1-4 考察 [2]

我々は各物質の構造に着目した。

グルコース Fig.1)とグリセリン Fig.3)は OH 鎖の間隔が狭いため B と OH 基の O が結合しやすく H<sup>+</sup>が出やすくなるため pH の変化が大きいと考えた。

それに対しスクロース Fig2)では OH 鎖の間隔が広いため B と OH 基の O が結合しづらいため pH の変化が小さいと考えた。

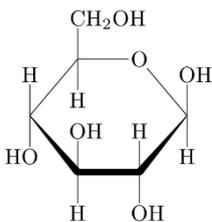


Fig.1)グルコース構造式

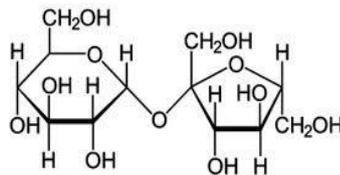


Fig.2)スクロース構造式

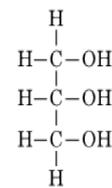


Fig.3)グリセリン構造式

#### 2-1 背景と目的 [2] [3]

最近、手作りの製品が注目されている。地元の産物である仙台ガラスは宮城県内の河口の砂を使って作られている。そこで、三高の校庭の砂を原料にし、三高産ガラスの作成を試みた。学校にある設備では火力が不十分であるため、ガラスの主原料である二酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>) の融点を下げる性質があるホウ砂を加えて実験を行った。

## 2-2 実験方法

- ① 集めた二酸化ケイ素 3.0g 二酸化鉛 4.0g ホウ砂 2.5g を計りとり乳鉢でまぜる(以下,混合物とする).
- ② ガスバーナー,マッフル, 三脚, ラボジャッキを準備する混合物をるつぼに入れ, るつぼをマッフルの中に入れる. Fig.6)
- ③ ガスバーナーで混合物を加熱する. Fig.7)
- ④ 5分ごとにくつぼの蓋を開け,混合物の状態を確認する.
- ⑤ るつぼの中を確認して,ガラスが赤く光っている状態である時にくつぼばさみを使って流動性のあるガラスを素早くるつぼからトレイに移す.

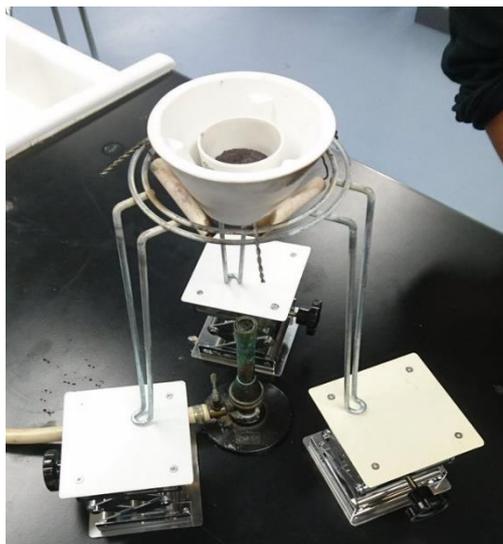


Fig.4)実験器具

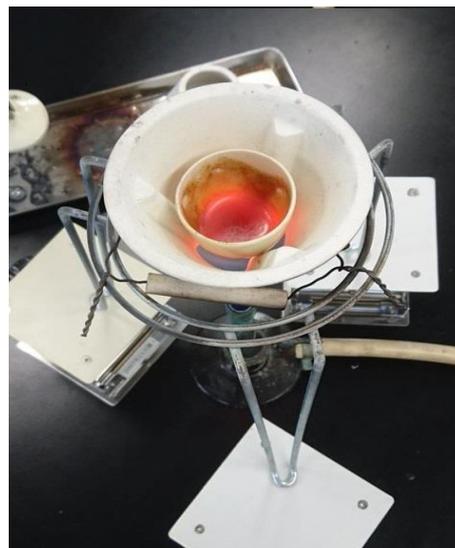


Fig.5)加熱中の様子

## 2-3 結果

資料通りの分量では, るつぼから取り出せるほどの流動性のあるガラスにはならなかった.この結果から, 実験 2-2 と同じ手順でホウ砂の量だけを少しずつ増やしていったところ, 7.0g の量でるつぼからとりだせるほどの流動性をもったガラスを作成することができた Fig.6).



Fig.6)作成したガラス

## 2-4 考察

実験の結果から, ホウ砂には二酸化ケイ素の融点を下げる性質があり, この性質を用いることで学校にある設備と原料からでもガラスを作成することができた. また, 作成したガラスが緑色になったのは採取した二酸化ケイ素の中に酸化鉄などの不純物が含まれていたためと考えられる.

## 参考文献

- [1] 職場のあんぜんサイト 2014年3月31日 < <http://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/10043-35-3.html> >
- [2] 化学図録 数研出版編集部
- [3] 科学の新研究 三省堂 卜部吉庸

# 螺鈿の色調変化を目指して

宮城県仙台第三高等学校

佐藤大智 渡邊翔平 伊藤知史 中川朔未 新山拓馬 芳賀太郎

私たちは、貝殻の螺鈿というものに興味を持ち、螺鈿が出す光沢の色調を変化させることを目標に今回の研究を始めた。螺鈿の光沢は、表面の炭酸カルシウムと硬タンパク質の層の凹凸により生じる。ここで、この凹凸の深さを変えれば、光沢の色調を変化できるのではないかと考えた。硬タンパク質は酸に溶けにくい、タンパク質を分解する消化酵素で分解することができる。一方炭酸カルシウムは、酸で分解することができ、タンパク質を分解する消化酵素では分解されない。この違いによって凹凸が変化すると考え、日数、濃度を設定し、酸、消化酵素に貝殻の破片全体を浸した。塩酸では光沢の色の変化は無く、光沢の範囲が小さくなり4日目に光沢を失い、酢酸では2日目に光沢を失った。消化酵素では、元の螺鈿の色にはなかった色が見られ、元々あった色が見られなくなり、光沢の範囲は変化しなかった。電子顕微鏡で観察すると、塩酸では実験前と変化が少なく凹凸があったが、酢酸・トリプシンでは表面が平らになった。よって、貝殻の表面の凹凸を変化させて光沢を変化できるという結論に至った。

## 1. はじめに

平安時代末期ごろから作られ始めた伝統工芸品の中に螺鈿というものがある。螺鈿とは、貝殻を職人が削る・磨くなどして、貝殻の光沢のある部分だけを取り出し、器や建物に装飾として貼り付ける技術のこと、また貝殻の光沢のある部分その物のことを言う<sup>1)</sup>。私たちは螺鈿に興味を持ち、なぜ貝殻に光沢があるかについて調べた。文献によると、それには構造色が関わっていることがわかった<sup>2)</sup>。構造色は物質が光の特定の波長を反射して見える通常の色とは異なり、物質の微細な構造によって光の干渉が起き、光沢や色彩が発生する現象である<sup>2)</sup>。貝殻の光沢を生み出す構造色は、薄い膜の屈折率などの違いによって光が干渉する薄膜干渉と、微細な構造によって光が干渉する回折である<sup>2)</sup>。貝殻の表面は炭酸カルシウムを積み重ね、その間をコンキオリンというタンパク質が埋めるという構造になっており、この多層構造によって微細な凹凸が生まれる<sup>2)</sup>(Fig1)。貝殻の表面では薄膜干渉に加えて、この凹凸による回折によって生じている<sup>2)</sup>。そこで私たちは回折に注目し、貝殻の表面の凹凸を浅くしたり深くしたりすることで光沢を色調変化できるのではないかと考え、貝殻の光沢を色調変化させることを目的として本研究を始めた。また、本研究では実験材料としてアワビの貝殻を用いた。

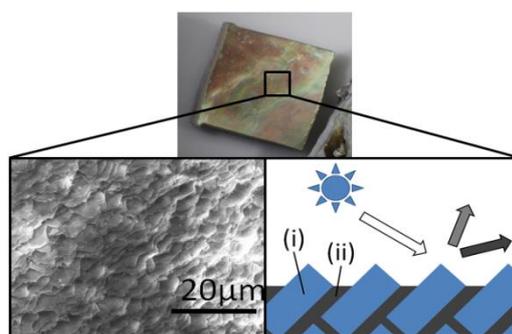


Fig1)アワビの貝殻

上：破片の写真

左下：表面の電顕写真（1000倍）

右下：表面のモデル図

(i)炭酸カルシウム (ii)コンキオリン

## 2. 研究方法・結果

### 実験1 塩酸、酢酸を用いた光沢の変化

貝殻の表面の凹凸を作るコンキオリンは硬タンパク質の一種であり、酸に溶けにくく、炭酸カルシウムが溶けるような酸に漬かっても溶けない<sup>3)</sup>。そこで私たちは、貝殻を酸に漬けることで炭酸カルシウムのみを溶かし、凹凸を浅くすることができると思った。

<使用する塩酸・酢酸>

- ・濃度 0.30 mol/L
- ・200mL

貝殻を1～4日間溶液に漬け、取り出した後に色調の変化を観察した。実験にはアワビの貝殻を使用した。

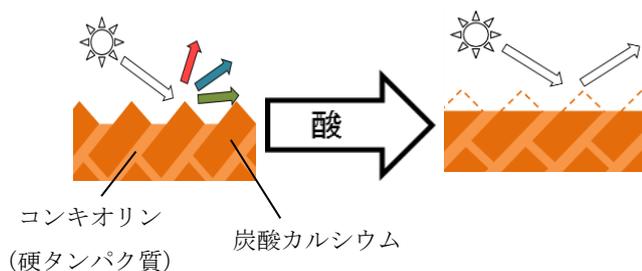


Fig2)酸を用いて凹凸を浅くするときの仮説

## 結果

### ① 表面の光沢について

- ・塩酸は4日目まで変化なし、4日目は光沢が見られなくなった。
- ・酢酸は2日目以降の貝殻で光沢が見られなくなった。

	1日目	2日目	3日目	4日目
塩酸				
酢酸				

Fig3)実験1の結果

### ② 表面の凹凸について

- ・電子顕微鏡を用いて、倍率1000倍で貝殻の表面を観察した。

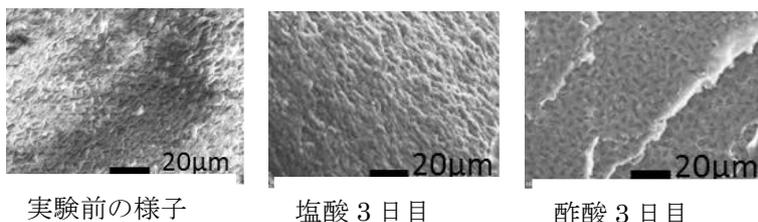


Fig4~6)実験1の貝殻の表面(1000倍)

塩酸…凹凸の変化が少ない。 酢酸…表面がなだらかになっている。

## 実験2 トリプシンを用いた光沢の変化

前述の通り、貝殻は炭酸カルシウムを積み重ね、その間にコンキオリンというタンパク質を挟むことで構成されている。そこで、タンパク質を分解する消化酵素の1つであるトリプシンを用いて、貝殻の表面のコンキオリンのみを分解することで貝殻の表面の凹凸を深くできると考え、トリプシン濃度を変えた溶液に貝殻を浸して観察した。

<使用するトリプシン>

- ・1.0、2.0、10.0 g
- ・50 mL

貝殻を4,7日間溶液に浸し、取り出した後に色調の変化を観察した。

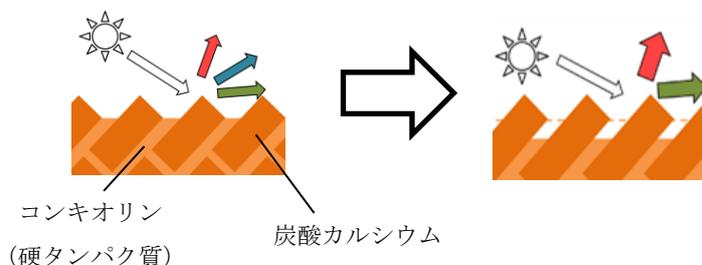


Fig7)トリプシンを用いて凹凸を浅くするときの仮説

## 結果

### ① 表面の光沢について

- ・実験前には見られなかった色調が見られた。
- ・一部の貝殻で金属光沢のような光沢が見られた。

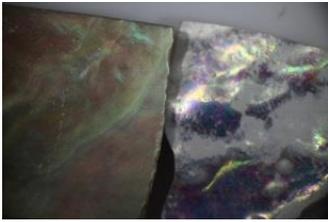


Fig8) アワビの貝殻

左：未実験

右：純水 50 mL, 40 °C, トリプシン 0.5 g

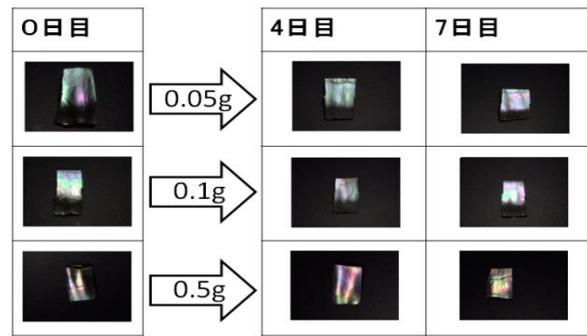
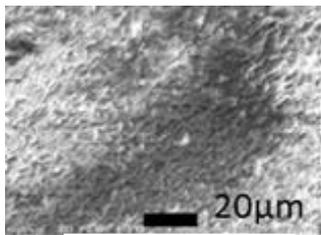


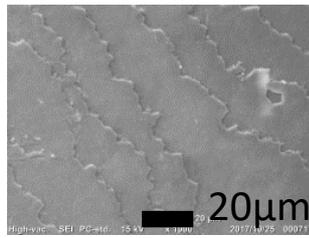
Fig9) 実験 2 の結果

### ② 表面の凹凸について

- ・電子顕微鏡を用いて倍率 1000 倍で観察したところ、実験前と比べて表面がなだらかになっているのが確認できた。



実験前の様子



トリプシン 0.5 g 4 日目

Fig10,11) 実験 2 の貝殻の表面  
(1000 倍)

## 考察

- ・酸処理について

実験前には、表面の炭酸カルシウムが溶けることで、凹凸が滑らかになると考えていたが、実験後に電子顕微鏡で観察したところ、塩酸処理後は凹凸が深くなり、酢酸処理後は滑らかになっているのが確認できた。これは、強酸である塩酸の場合は、炭酸カルシウムが深く溶け、弱酸である酢酸では、炭酸カルシウムがあまり溶けずに、酢酸カルシウムとして残ったのではないかと考えられる。

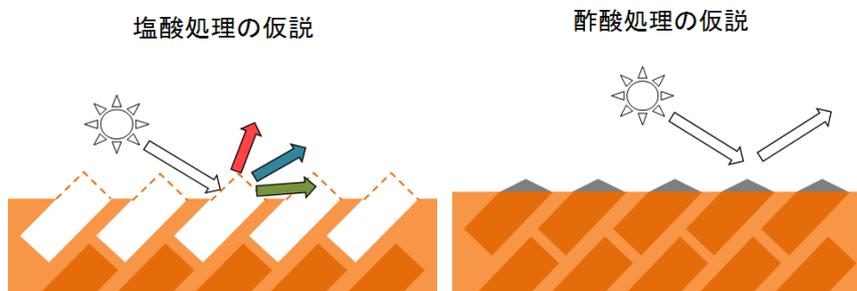


Fig12,13) 実験 1 の結果より考えられた、塩酸・酢酸処理の仮説

### ・トリプシン処理について

実験前には、貝殻の構造で炭酸カルシウムの間を埋めているタンパク質のコンキオリンを溶かすことによって凹凸を深くすることができると考えていた。しかし、実験後の観察では、表面はなめらかになっていた。これは、間を埋めているコンキオリンが溶けたことで、炭酸カルシウムが剥がれ落ち、平らな面が表面に現れた可能性があると考えられる。

### トリプシン処理の仮説

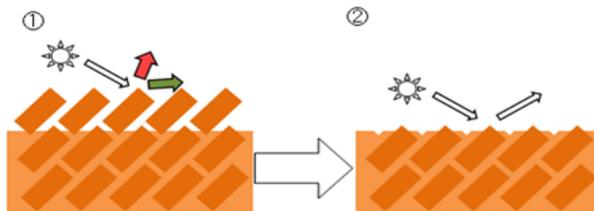


Fig14,15)実験 2 の結果より考えられた、トリプシン処理の仮説

### 3. まとめ・結論

今回の研究は、貝殻の螺鈿の色調を変化させることを目標に行ってきた。結果として、螺鈿の色調を変化させることに成功した。しかし結果、考察でも述べた通り、我々が予想した結果と実験結果が異なる箇所があったため、それに対する我々の仮説をこれから検証していきたいと思う。

### 4. 参考文献・原色図解伝統工芸技法大事典 上巻 P151

・木下修一(2010) 生物ナノフォトニクス -構造色入門- P146-149

・材料技術編シーズ集 - 独立行政法人 国立高等専門学校機構 P7

# 硝酸の pH 値と色素増感太陽電池

宮城県仙台第三高等学校

有本 英海 久保 圭大 佐藤 千仁 中嶋 孝誠

色素増感太陽電池(以下 DSSC)は, 作成の容易さ, 安価さ, 柔軟性などの点において優れているために今後の実用化が期待されているが, 発電能力の低さが課題となっている。私たちは1つ目の実験において, 用いた硝酸の pH 値が 3 から 4 の範囲での短時間の使用では, pH 3.0 の試料が最も高い電圧を示すが, 大きい pH 値の試料よりも, 生じる電圧が短時間で低下することを明らかにした。また, 2つ目の実験において, 用いる硝酸の pH 値をより小さい方向へ拡張し測定した結果, pH 2.0 の試料が最も高い電圧を示した一方で電圧の低下も顕著であった。

## 1. 背景と目的 2)

太陽電池の一種である色素増感太陽電池は, 現在広く普及しているシリコン型太陽電池とは異なる光電気化学電池である。

この研究では, 「ケニス ナノクリスタル色素増感型太陽電池作成キット」を利用して色素増感太陽電池(以下は単に DSSC と呼称する)を作成した。

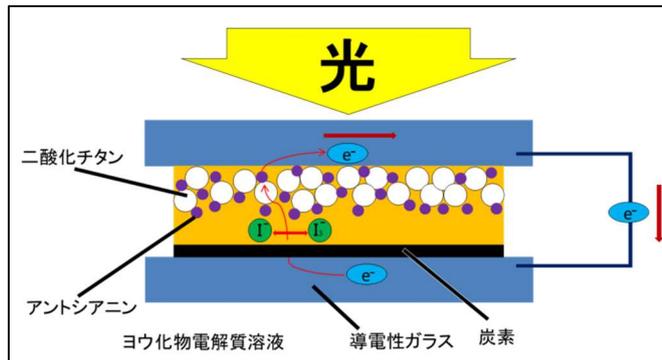
DSSC の構造を以下に示した。[図 1]

図 1 のうち, 二酸化チタン( $\text{TiO}_2$ )は超微結晶になっており, この層は海綿のような多孔性を持つ構造となっている。その構造の表面に色素分子が吸着して色素層ができる。この層が光を吸収することで色素中の電子が励起状態となり自由電子として放出される。

二酸化チタンを超微結晶にして多孔性の二酸化チタン層を形成するためには, 二酸化チタンの懸濁液(サスペンション:英

Suspension)を乾燥させるという工程を用いる。二酸化チタンを懸濁液にすることで二酸化チタンの粒子がより小さくなるためである。二酸化チタンの懸濁液(以下は  $\text{TiO}_2$  サスペンションとする)を作成するにあたって, 粉末状の二酸化チタンと硝酸( $\text{HNO}_3$ )を用いた。

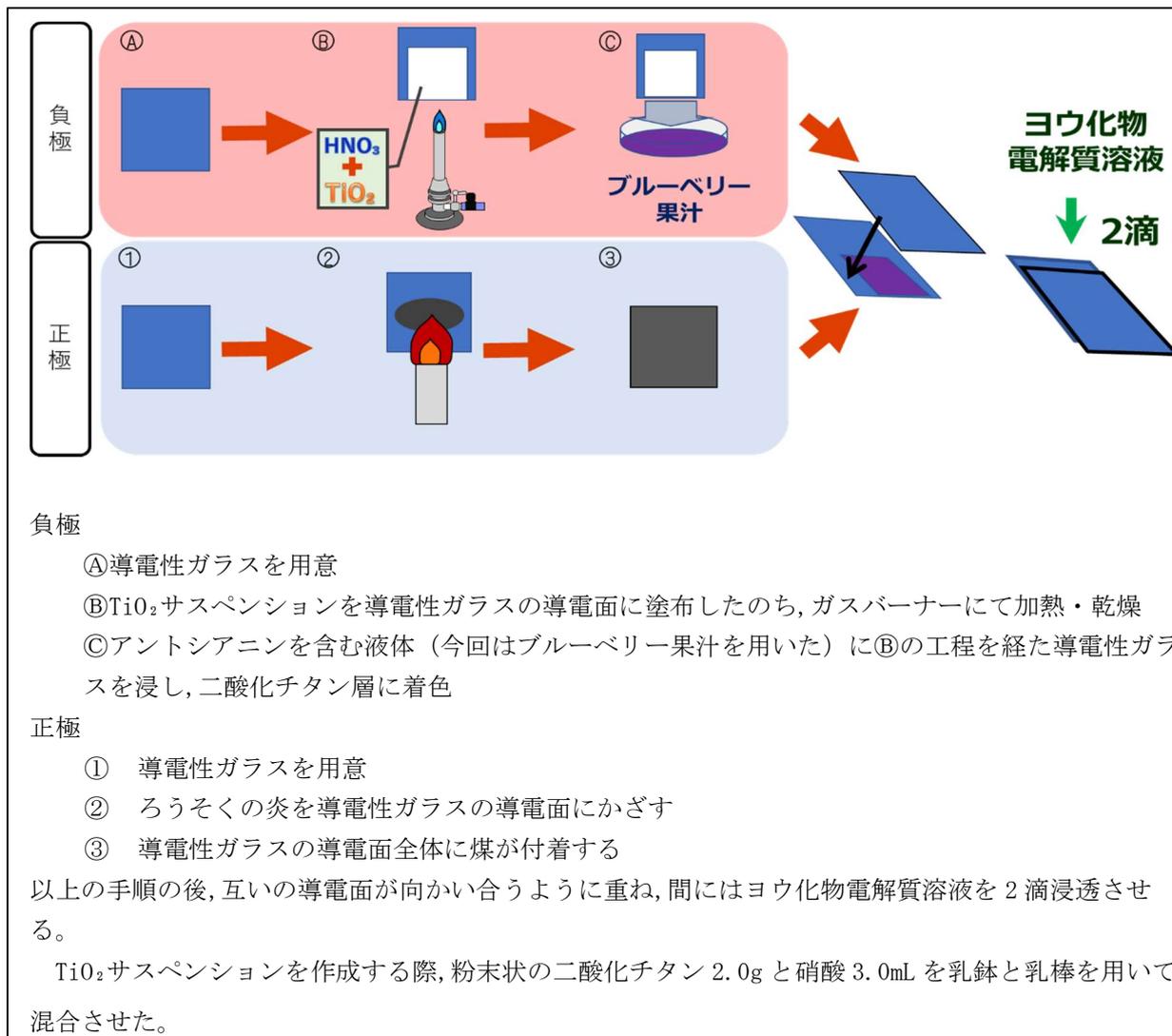
今回の研究では, 作成に用いる硝酸の pH 値を変えて複数の DSSC を作成し, それぞれの電圧値を記録した。この記録から, 硝酸の pH 値が DSSC の発電能力に与える影響を調査した。



[図 1] DSSC の発電原理

## 2. 太陽電池の作成方法及び測定方法<sup>1)</sup>

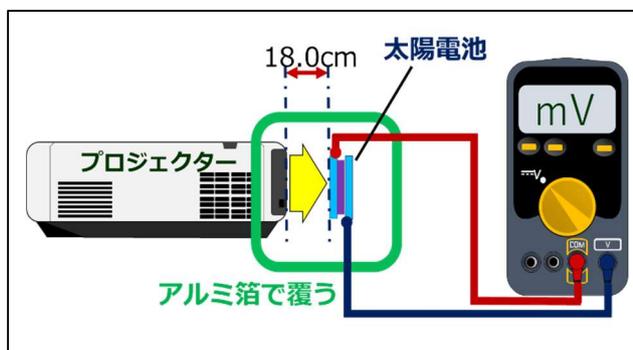
色素増感太陽電池の作成の手順は図2の通りである。負極・正極それぞれの作成では並行して作業した。



[図2] DSSCの作成手順

作成したDSSCの各試料の発電能力の測定方法については、図3のように定めた。

- ・光源としてプロジェクターを使用
- ・プロジェクターに白のスライドを投影
- ・DSSCの負極側をプロジェクターに向ける
- ・プロジェクターとDSSC間の距離は18.0cm
- ・プロジェクターとDSSC間は遮光のためアルミニウム箱で覆う
- ・DSSCをマルチメーターにつなぎ、生じた電圧値を30秒ごとに記録



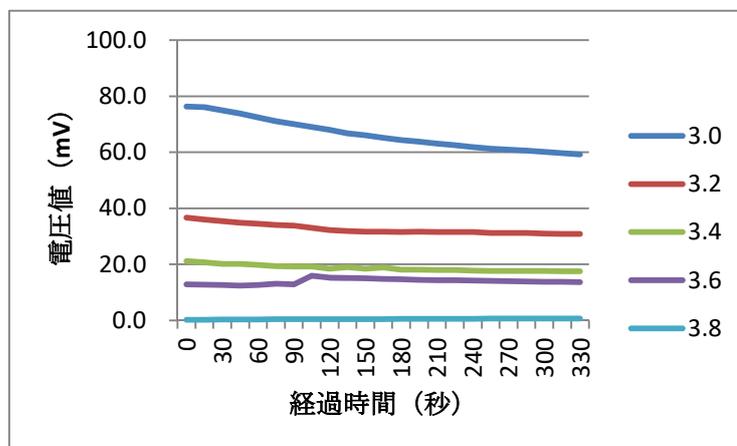
[図3] 電圧の測定方法

### 3. 実験1 pH値 3.0 から 4.0 の硝酸を用いた DSSC の電圧について

用いたキットの手順には、作成に用いる硝酸の pH 値は 3 から 4 との記載があったため、用いる硝酸の pH 値を 3.0 3.2 3.4 3.6 3.8 4.0 とした六種類の DSSC を作成し、電圧を測定した。

#### 結果

図 4 は、時間経過と DSSC の電圧を示したものである。pH 値が小さい硝酸を用いた DSSC の方が高い電圧を示した一方で、電圧の低下は著しかった。また、pH 4.0 の硝酸を用いた DSSC の電圧は非常に低く不安定であったため、用いることができなかった。



[図 4] 経過時間と電圧値の関係

#### 考察

この実験の結果より、試料に用いた硝酸の濃度が大きいほど最大電圧が向上するが、電圧の低下は顕著になると考えられる。

### 4. 実験2 pH 1.0 2.0 3.0 の硝酸を用いた DSSC の電圧について

実験 1 において pH 3.0 の硝酸を用いた場合に最も高い電圧が得られたことから、硝酸の pH 値をより小さい方向へ拡張して実験を行うために pH 1.0 2.0 3.0 の三種類の DSSC を作成し、電圧を測定した。

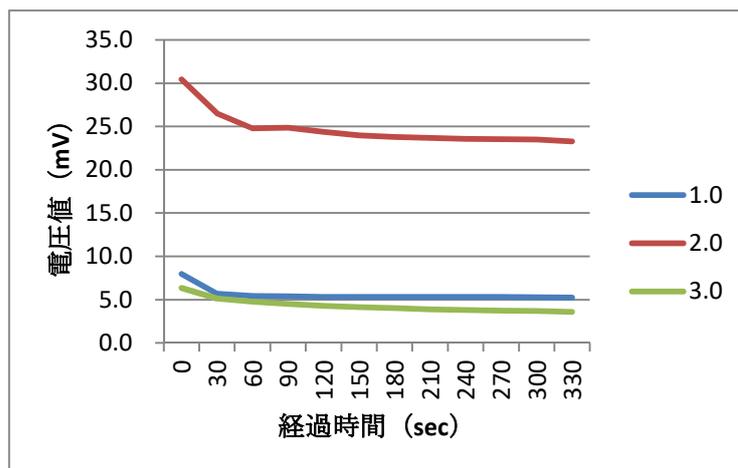
測定方法は実験 1 と同様である。ただし実験を行った時期が実験 1 と異なり、用いたブルーベリーの収穫時期の違いによる影響があるため、二つの実験間で測定値の直接比較はしないものとする。

#### 結果

図 5 は、時間経過と電圧の関係を示したものである。

この図から最大電圧、電圧低下の幅ともに pH 2.0 1.0 3.0 の順に大きくなった。

また、用いる硝酸の pH 値が小さいほど、二酸化チタンの粒子が分散し、二酸化チタンサスペンションの流動性がより大きくなったため、導電性ガラスに塗布することが困難となった。



[図 5] 経過時間と電圧値の関係

図6は、pH 3.0(左)/pH 1.0(右)の各 pH 値の硝酸を用いた場合の、TiO<sub>2</sub> サスペンション塗布直後の導電性ガラス表面を写した写真である。

pH 1.0 の硝酸を用いた場合は TiO<sub>2</sub> サスペンションの流動性が非常に大きく、二酸化チタン粒子が導電性ガラス表面にとどまりにくいため、その白色の濃淡でまだら模様が生じた。



[図 6] TiO<sub>2</sub> サスペンション塗布後の導電性ガラス

## 考察

この実験の結果より、DSSC に用いる硝酸の pH 値が 2.0 に近くなると最大電圧が向上するが、電圧の低下は顕著になると考えられる。

## 5. まとめ

「ケニス ナノクリスタル色素増感型太陽電池作成キット」によれば、DSSC 作成の際に、硝酸以外の酸を用いることもできることから、硝酸に含まれるオキシニウムイオンが電圧に影響を及ぼしていると考えられる。また、硝酸の pH 値を小さくすることで TiO<sub>2</sub> サスペンション中での二酸化チタンの粒子がより小さく細かいものとなり、色素が付着するための表面積が大きくなることで多くの光を吸収できたと考えられる。また、pH 1.0 の硝酸を用いた TiO<sub>2</sub> サスペンションは導電性ガラスに塗布するには流動性が大きすぎたため、均一に塗布できなかった。よって最大電圧が低下したものと考えられる。

## 6. 展望

測定時間が 6 分弱と短かったため、より長時間での計測を行う。

導電性ガラスへの塗布に適した二酸化チタンと pH 1.0 の硝酸の混合割合の検討。

電圧低下の原因とそれを抑える方法の検討。

## 7. 参考文献

- 1) ケニス ナノクリスタル色素増感型太陽電池作成キット
- 2) 図解入門 よくわかる 最新太陽光発電の基本と仕組み 東京理科大学総合研究機構 太陽光発電部門 秀和システム P.104-121 2013年4月1日 第1版第1刷
- 3) 「光の百科事典」谷田貝 豊彦 桑山 哲郎 柴田 清孝 畑田 豊彦 藤原 裕文 渡邊 順次 丸善出版 P.38-39 2011年12月5日 第1版第1刷

## 8. 謝辞

この場をもって、研究の様々な過程で助言や協力をしてくださった清原先生、仙台第三高校 自然科学部化学班の皆さんに御礼を申し上げます。

また、研究およびプレゼンテーション作成の過程で ご指導くださったヨッスパンヤー・ウィジャック氏に、感謝申し上げます。

# きたい通りにいかないろうそくたち

佐藤 圭 若松 柊佑 菅田 碧 海野 ひかり  
宮城県仙台第三高校

長さの異なる2本の蝋燭に同じビーカー内で火をつけると長い方が先に消える一方、長い蝋燭と短い蝋燭にそれぞれ別のビーカー内で火をつけると短い方が先に消える。という現象に疑問を持ったそこで、この現象について研究することにし、次のような仮説を立てた。空気の対流の関係で長いほうのろうそくの酸素濃度が低下し、長いろうそくのほうが早く消えたのではないだろうか。そこで空気の流れを可視化することにした。実験では、煙を入れたビーカーの中でろうそくを燃やし、光を当てることで間接的に対流を可視化することに成功した。これにより、気体の対流によってろうそくの長さを変えたときは上のほうに気体がせき止められていたために上記のような現象が起こっていたことが分かった。今後は、この研究を防災や減災の観点に結び付けていくつもりだ。

## 1. 背景と目的

NHKの「考えるカラス」という番組で、ビーカーの中に長さの異なる2本の火をつけたろうそくを入れた場合、長い方のろうそくが先に消えるという現象が紹介されていたが番組のHP<sup>3)</sup>を見てもこの現象について詳しい考察がされておらず、この現象について詳しく知りたいと思った。また、ものが燃えているときの気体の動きを詳しく調べることで火災などが起きた時に被害を減らすことができるのではないかと考えこの研究を始めた。

## 2. 実験方法

### 実験 1

- 実験道具：1000ml ビーカー、ろうそく(41 mm)
- 実験内容：ビーカー内で2.0 cmのろうそく二本と6.0 cmのろうそく二本をそれぞれ燃焼させ、長さの異なる2本の場合と比較する。

### 実験 2

- 実験道具：1000ml ビーカー、ろうそく(41 mm)、プロジェクター、煙噴射機
- 実験内容：水が主成分である煙を入れたビーカーの中で、2.0 cmと6.0 cmのろうそくを一本ずつ同時に燃やし、ビーカーに対して光を照射しビーカー内の煙の動きを観察することでビーカー内の空気の流れを調べる。

## 3. 実験結果

### 実験 1 結果

- ・結果は図1のようになった。
- ・異なる長さの時とは異なり、同じ長さの2本の時では6.0 cmのろうそくのほうが2.0 cmのろうそくより長く燃えた。

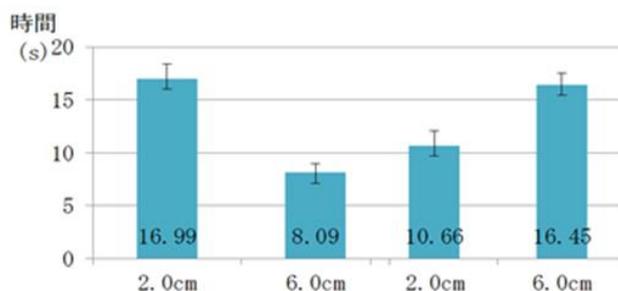


図1 実験 1

## 実験 2

- ・光を照射し煙の動きを観察したことで短いろうそくのはげしい上昇気流によって長いろうそくによって熱せられた気体の対流による下降が妨げられているのが観察された。

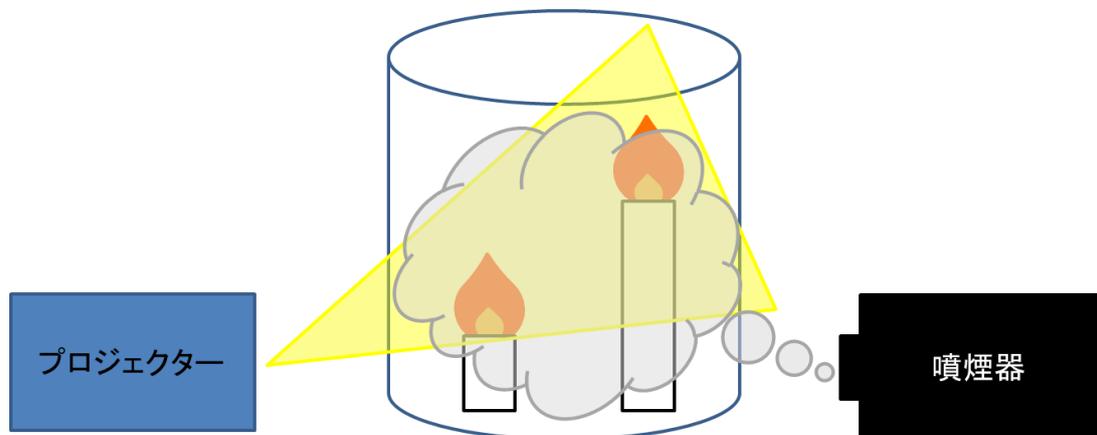


図2 実験2の様子

## 4. 考察

### 実験 1

- ・私たちは同じ長さのろうそくを入れたものと異なる長さのろうそくを入れたものではビーカー内の酸素の動きが異なっているのではないかと考えた。

### 実験 2

- ・長いろうそくのほうが早く消えたのは短いろうそくの上昇気流によってビーカーの上部に気体がたまりやすくなっているためであることが分かった。

## 5. 結論

これらのことより、私たちは同じ長さ同士の時に長いろうそくのほうが早く消えたのは、短いろうそくの上昇気流によってビーカーの上部に気体がたまりやすくなっているためであると考察した。

また、私たちはこの問題を明らかにするための方法としてナビエ-ストークス方程式<sup>5)</sup>によって気体の動きのシミュレーションすることを検討している。

## 6. 参考文献

- 1) 2本のろうそくの考察 [kazafe.hatenadiary.jp/entry/2013/04/13/1446353](http://kazafe.hatenadiary.jp/entry/2013/04/13/1446353)
- 2) ロウソクの科学 著:ファラデー 訳:三石 巖
- 3) 考えるカラスHP [www.nhk.or.jp/rika/karasu/origin/idea01.html](http://www.nhk.or.jp/rika/karasu/origin/idea01.html)
- 4) 面白くて眠れなくなる化学 著:左巻 健男
- 5) ナビエ-ストークス方程式 <http://jsciencer.com/daigakubuturicate/fluidmechanics/7356/>

# ゼニゴケの生殖

宮城県仙台三高等学校

笹森俊大 清水一樹 武田怜士

コケ植物は被子植物と異なり、精子と卵を受精させて胞子を作り繁殖していく。しかし、精子と卵の結びつく過程などは詳しく分かっていない。そこで、水の流れや精子を誘導する誘引物質が関与して精子と卵が結びつくのではないかと仮説を立て雌雄別株のゼニゴケを使い、実験を行った。着色された水に雌株を浸け、30分後に観察した。その結果造卵器付近まで染色されていたことから水の流れによって精子を運ぶ仕組みがあることが分かった。同一プレパラート上に精子、造卵器、葉状体を置いて観察した結果、葉状体付近より造卵器付近に精子が集まっている傾向があり、活動が活発である様子が確認できたことから造卵器が出した何らかの物質に精子が誘引されていると考えられた。このことから遠距離は水の移動、近距離は誘引物質による誘導によって精子が造卵器に到達すると考えられる。

## 1. 背景と目的

虫や鳥、風の力を借りて受粉、そして受精を行うことで子孫を残す種子植物とは違い、コケ植物は精子が泳ぎ、それと卵が受精することで胞子を作り出して増えるという点で大きな特徴を持っている。しかし、その精子がどのように卵までたどり着くのかはまだはっきりと解明されていない。そこで、私たちは雌雄異株で観察のしやすいゼニゴケを用いて、以下のような仮説を立て解明を試みた。

- ① 遠距離 (cm レベル) は水の流れによって精子が移動
- ② 近距離 (mm レベル) は卵による「誘引物質」が関与し受精する



図1 雄株



図2 雌株

## 2. 材料と方法

### ○材料

雌雄異株で観察が比較的容易であることから、ゼニゴケ *Marchantia polymorpha* を用いた。雌株はトオヤマグリーン（熊本県）より購入し、雄株は宮城県仙台市青葉区で採取した。

### (1) 実験1 精子の活動時間と移動可能距離の測定

まず、雄株と雌株が離れた場所に生息している場合を考え、精子自身の力のみで雄株から雌株まで移動できるのか確かめるべく、精子の活動時間と移動距離を測定した

- 方法:雄器托の皿部分に水を垂らし、得られた精子をプレパラートで観察した(図3)。その後、接眼マイクロメーターで精子が1分間に何メモリ分動くか観察し、活動時間から移動可能なおよその距離を求めた。試行は10回行った。



図3 精子の採取

(2)実験2 雌株による溶液の吸い上げの観察

- 方法:着色した溶液に雌株の仮根を30分浸け、30分後、造卵器のある雌器托を観察し、溶液が到達しているか見た。

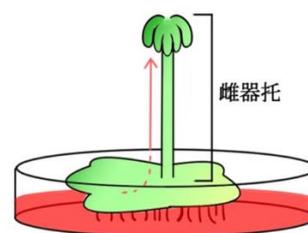


図4 溶液の吸い上げ

(3)実験3 造卵器による精子の誘因の有無

- 方法:雌株の造卵器と葉状体を同一プレパラート上に離して置き、精子がどちらに集まるか観察した。葉状体を置いたのは対照実験を行うためである。

### 3. 結果・考察

(1)実験1 精子の活動時間と移動可能距離の測定

10回測定した精子の平均移動距離は $275 \mu\text{m}/\text{min} (\pm 25)$ で、平均運動時間は26分42秒だった。このことから、精子の活動時間や活動範囲は非常に短く狭いことが分かる。

表1

移動距離(平均)	運動時間(平均)
$275 \mu\text{m}/\text{min} (\pm 25)$	26分42秒

(2)実験2 雌株による溶液の吸い上げの観察

溶液に浸けて30分後に雌器托の腹面を観察すると、先端が赤く染まっているのが確認できた。また、溶液に浸けて30分後に雌器托の上部を切って断面を観察すると、溶液が造卵器付近まで到達していることが確認できた。このことから、仮根束によって精子を造卵器の付近まで運ぶことは可能と考えられる。

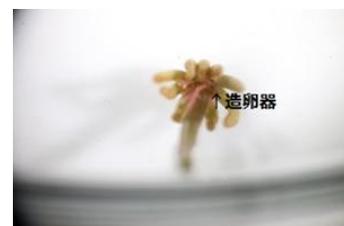


図5 染色された雌株

実験3 造卵器による精子の誘因の有無

雌株の造卵器と葉状体を同一プレパラート上に置いて顕微鏡で観察すると、葉状体よりも造卵器付近でみられる精子の数が多く、活発に動いていた。このことから、造卵器が精子を誘因する物質を出しているのではないかと考えられる。

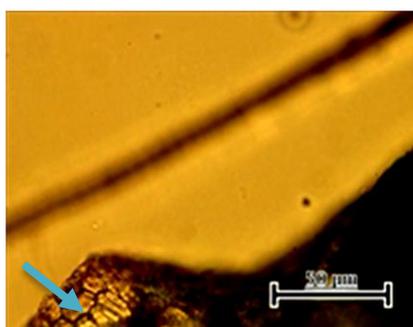


図6 葉状体付近

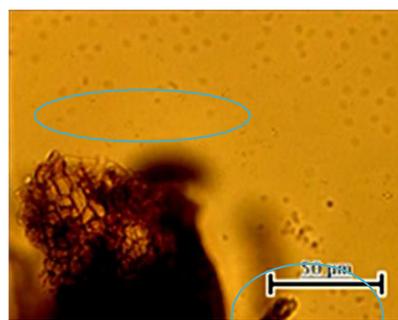


図7 造卵器付近

## 4. 考察

精子の移動距離は短く活動時間も26分42秒と短いこと、仮根束は水や溶液を造卵器付近まで運ぶこと、また雌器托の柄の仮根束は雌器床で枝分かかれし、個々の指状突起内部\*の仮根束と一続きになっている<sup>2)</sup>という文献よりコケ植物の精子は水の流れによって遠距離の移動を行うのではないかと考えられる。また、造卵器付近は精子が集まっており活動も活発だったことから、ゼニゴケの精子は造卵器が出す何らかの物質により誘引されているのではないかと考えられる。

\*造卵器の形成される部分

## 5. 結論

これらの実験を踏まえて、わたしたちはゼニゴケの雌株の造卵器が精子を誘引しているのではないかと考えた。しかし、まだ本当に誘引しているのか、誘引していたとしたらその物質は何なのかは定かではない。そのためわたしたちは、三つのことを今後の展望として挙げた。一つ目は、仮根束内の管の大きさを測定することだ。実験2で、仮根束によって精子を造卵器付近まで運ぶことは可能であると考察したが、実際に精子が仮根束を通過できるのか、通過できるだけの太さがあるのか検証していなかった。管の大きさを測定することで、考察の真偽を確かめたい。二つ目は、季節や卵の成熟具合による精子の反応の差を調べることだ。実験は主に秋から冬にかけて行ったが、精子をつくる雄器托、卵をつくる雌器托は春や秋に形成される。そこでまだ実験を行っていない春にも実験を行ってみたい。また、つくられて間もない頃の卵と成熟した卵を比べ、精子の反応を調べたいと思っている。仮に誘引物質が出ているとすれば、反応に差があらわれるのではないだろうか。三つ目は、精子を誘引する物質の有無を調べることである。これは本研究において最も重要なことだ。陸上植物の精子走化性物質としては、シダのリンゴ酸イオン

(Pfeffer 1884)、ゼニゴケのカリウムイオン (Åkerman 1910) などが知られているが、実際に植物体がこれらを精子誘引に用いていることは確認されていない<sup>3)</sup>。また、種子植物にも花粉管を誘引するルアーという物質があることが分かっている<sup>4)</sup>。では、ゼニゴケにも精子を誘引する物質があるのではないだろうか。多くの文献には、ゼニゴケの精子は偶然に卵のもとにたどり着き受精するとされている。だが本当に偶然だけで、専用の除草剤がつけられるほど数を増やすことができるのだろうか。今後の展望を生かし誘引物質の有無を確かめ、ゼニゴケの生殖のしくみの解明していきたい。

## 6. 参考文献

- 1) [特集]身近なコケ植物-その分類と生態 熊澤 辰徳
- 2) 植物科学の最前線 3:84-113 (2012) 日本植物学会 ゼニゴケの分類学と形態学 嶋村正樹
- 3) 作物研究 54 巻 (2014) 生殖研究のモデル植物としてのゼニゴケ 大和勝幸
- 4) 花粉管ガイダンス分子 LURE の発見 名古屋大学大学院理学研究科 東山哲也

# アカヒレタビラの保全に向けて

宮城県仙台第三高等学校

伊藤玄 圓谷修平

## 1. 概要

アカヒレタビラ (*Acheilognathustabira subsp.R*) は環境省版レッドリストに絶滅危惧種 IB 類として指定されている。タナゴ類の繁殖方法として二枚貝を用いるが、二枚貝の長期飼育は困難であるため、二枚貝の吸水、出水を再現した装置を作ることによって、作成した装置にタナゴが産卵するのではないかと考えた。そこで、人工産卵床を作成して保全につなげることを目的とした。二枚貝の吸水、出水を再現するにあたり二枚貝の吸水、出水時間の測定を行い、*Arduino* を用いて二枚貝の吸水、出水を再現することで人工産卵床を作成した。参考文献から人工産卵床を垂直に設置して出水管から出る水の流れを真上にし、タナゴの産卵行動を誘発させるために二枚貝のにおい(コハク酸)をつけることによって、設置 5 日後に 24 個の卵を産卵させることに成功した。この方法を用いることで二枚貝を使用せずタナゴを繁殖させることが可能であり、タナゴの保全につなげることができると考えられる。

## 2. 背景と目的

宮城県には環境省版レッドリスト 1) に絶滅危惧種 IB 類として指定されているアカヒレタビラ 2) (図 1) が生息している。生息数が激減した理由として、産卵床である二枚貝の減少、外来魚であるタイリクバラタナゴ (*Rhodeus ocellatus ocellatus*) との産卵床を巡る競争、河川改修などが挙げられる。タナゴの産卵



図 1 アカヒレタビラ

過程 3) としてオスがメスを二枚貝に誘導し、メスが二枚貝の出水管を確認する。そして、メスが産卵管を出水管に差し込み卵を産み付け、オスが二枚貝の入水管に向けて放精する。精子は入水管から吸水し、二枚貝の中で受精卵となる。しかし、植物プランクトンを水槽に十分供給することが難しいため、タナゴの繁殖に必要な二枚貝の長期飼育が困難とされている。4,5) 私たちはオスがメスを二枚貝に誘導していることや、メスが二枚貝の出水管を確認していることから、タナゴは二枚貝の吸水、出水に反応して産卵が行われていると考えた。そこで、二枚貝の吸水、出水を再現した装置を用いれば、二枚貝と同じように産卵するのではないかと考え、人工産卵床を作成して保全につなげることを目的とした。

## 3. 実験 1 二枚貝の吸水、出水時間の測定

二枚貝の吸水、出水を再現するにあたり二枚貝の呼吸時間の測定を行った。二枚貝にはアカヒレタビラの産卵が確認されているヨコハマシジラガイを使用した。割りばしの先に細く切ったビニールテープを張りつけて、二枚貝の出水管に近づけて、二枚貝の吸水、出水時

間及び次の吸水, 出水までのインターバルを計測した。計測は10回行い, 平均値を求めた。  
(表 1)

吸水, 出水時間	次の吸水, 出水までの時間
約 6.3 秒	約 5.7 秒

表 1 二枚貝の吸水, 出水時間の測定結果

#### 4. 実験 2 人工産卵床の作成

人工産卵床を作成するのにあたり, 二枚貝の本体部分はスクリー管を用いて再現した。(図 2) スクリュー管の蓋に二つ穴をあけ, シリコンチューブを通すことによって, 二枚貝の入水管と出水管を再現した。入水管の方には水流ポンプからチューブを通して水が流れるように設計し, 水流ポンプは流量を最大に調節した。表 1 の結果の時間を *Arduino* を用いてプログラミング<sup>6)</sup>をして, 水流ポンプを制御することで二枚貝の吸水, 出水を再現できるようにした。(図 3) しかし, 水圧により出水管から出水したものの, 入水管からも出水してしまった。そこで, 入水管から入水させる方法を考えた。



図 2 スクリュー管

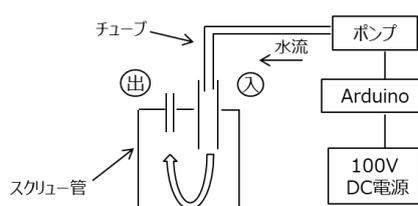


図 3 人工産卵床の模式図

#### 5. 実験 3 入水管の改良

実験 2 で作成した人工産卵床の入水管から吸水させるために改良を行った。水中で装置を動かし, 入水管付近に食紅を溶かした水をスポイトで垂らして吸水の有無を確認した。

##### 装置① 枝分かれ方式

シリコンチューブを枝分かれに作成することによって, ポンプから流れる水流の力を利用して枝分かれの部分から吸水するのではないかと考えた。(図 4) しかし, 枝分かれの部分から水があふれ出てしまったため, 吸水させることができなかった。

##### 装置② 弁方式

枝分かれの部分に弁を取り付けることによって, 枝分かれの部分から水があふれ出なくなると考えた。(図 5) 弁はマイクロチューブの先を小さく穴をあけることによって作成した。しかし, 水はあふれ出なくなったが, 吸水はしなかった。

### 装置③ 二段チューブ方式

細いチューブを太いチューブの内側につけることによって、ポンプから流れる水流の力を利用して太いチューブの隙間から吸水させることができると考えた。(図 6)この装置を用いることで、入水管から吸水させることに成功した。そこで、この装置(図 7)にタナゴが産卵するのか実験した。

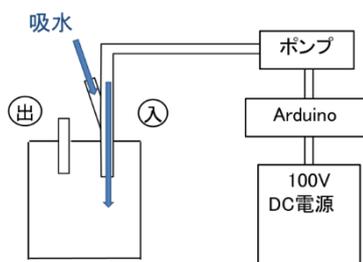


図 4 枝分かれ方式の模式図

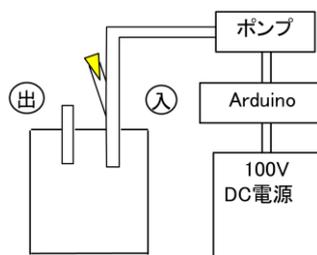


図 5 弁方式の模式図

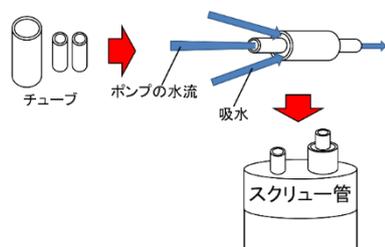


図 6 二段チューブ方式の模式図

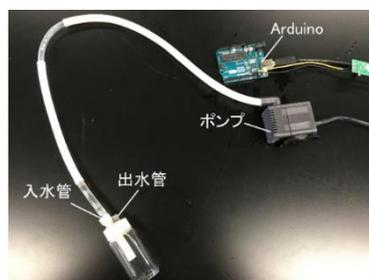


図 7 改良した人工産卵床

## 6. 実験 4 人工産卵床に産卵させる

今回はアカヒレタビラではなくタイリクバラタナゴを使用した。アカヒレタビラは 4 月～6 月と産卵時期がとても短いのにに対し、タイリクバラタナゴは 3 月～9 月と産卵時期が長く実験向きである。また、どちらのタナゴもヨコハマシジラガイに産卵することが確認されているため、タイリクバラタナゴを使用して人工産卵床に産卵させることに成功したら、アカヒレタビラにも応用することができると考えた。

### 【実験】

- ① 水温 20 度、日照時間 14 時間<sup>7)</sup>にし、オス (1 匹) メス (1 匹) のタイリクバラタナゴを水槽に入れた。
- ② 人工産卵床を水槽の底に対して垂直になるように設置した。
- ③ 二枚貝の環境水 (貝のにおい) を使用したものとしなかったもので産卵の比較をした。
- ④ 水流ポンプから人工産卵床に水流を流したものと流さないもので産卵の比較をした。

### 【装置を垂直に設置した理由】

参考文献 5 に「貝の立つ角度を調節して出水管から出る水の流れを真上にすると、逆方向からのアプローチが誘導された」と記載されている。そこで、人工産卵床を垂直に設置した。

### 【二枚貝の環境水（貝のにおい）を使用した理由】

参考文献 8 に二枚貝の貝のにおいがタナゴの産卵を誘発するという趣旨の記載がある。ここでの貝のにおいは、おそらくコハク酸などであると考えられる。そこで、タイリクバラタナゴの飼育水槽と二枚貝の飼育水槽をチューブでつなぐことによって、二枚貝の環境水がタイリクバラタナゴの飼育水槽に入り、タナゴの産卵が誘発され、人工産卵床に産卵するのではないかと考えた。(図 8)

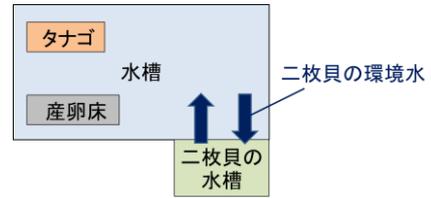


図 8 二枚貝の環境水の模式図

### 【結果】

水流あり、貝のにおいありの条件にすると設置 5 日後に 24 個の卵を産卵させることに成功した。(図 9) その他の条件では産卵が確認されなかった。(表 2)

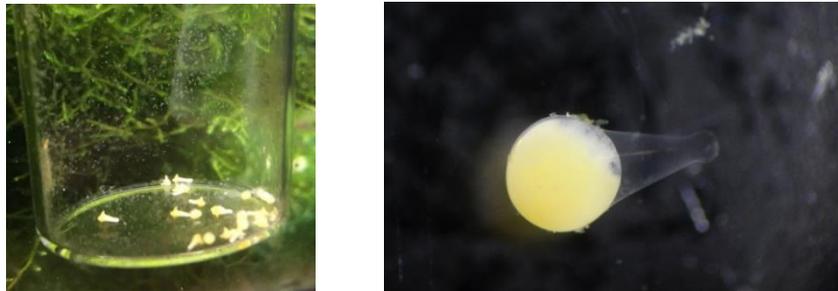


図 9 産卵させたタイリクバラタナゴの卵

	水流	貝のにおい (コハク酸など)	卵の数
装置①	なし	なし	1 か月間で 0 個
装置②	なし	あり	1 か月間で 0 個
装置③	あり	なし	5 日間で 0 個
装置④	あり	あり	5 日間で 24 個

表 2 人工産卵床による産卵結果

### 【考察】

水流あり、貝のにおい (コハク酸など) を加えると産卵が行われたことから、タナゴ類の産卵には水流と、貝のにおいが深く関係していると考えられる。

## 7. 結論

- ① 二枚貝の吸水、出水を再現した人工産卵床を用いての産卵を日本で初めて成功した。
- ② 二枚貝の飼育を行わずに、人工産卵床を代用することでアカヒレタビラの産卵場所を拡大することができる。

## 8. 展望

タイリクバラタナゴを使用して人工産卵床に産卵させることに成功したことから、最終的にはアカヒレタビラを人工的に増やす段階まで到達したいと考えている。また、24個の卵のうち8個しか孵化しなかったので、人工産卵床を改良し、タナゴの孵化率、浮上率を向上していきたいと考えている。

## 9. 謝辞

この研究を進めるにあたって顧問の先生方にはいつも親身に研究について考えていただきました。宮城教育大学棟方有宗准教授には実験、技術などの助言をしていただくなど大変お世話になりました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

## 10. 参考文献

- 1) 環境省レッドリスト 2015 別添資料4
- 2) 国立研究所 侵入生物データベース  
<https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/50490.html>
- 3) 赤井裕, 秋山信彦, 上野輝彌, 葛島 一美, 鈴木 伸洋, 増田修, 藪本美孝タナゴ全
- 4) 二枚貝の飼育 <http://www.geocities.jp/ngiyu77/nimaigainosiiku2.htm>
- 5) 増田 修・内山 りゅう 日本淡水貝類図鑑
- 6) 小林茂著 Prototyping Lab pp262~267
- 7) 清水昭男 魚類の生殖周期と水温等環境条件との関係
- 8) 東京大学 学術論文要旨  
<http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gakui/cgi-bin/gazo.cgi?no=114853>

# プラナリアからみるストレス応答

宮城県仙台第三高等学校

芦立美春 伊藤亜珠希 大宮司百花 山田桃子

プラナリアは高い再生能力を持つことで知られているが、先行研究により、高温ストレスの影響を受けると個体が崩壊し、再生しないことが分かっている。しかし、そのような影響を受ける仕組みは明らかになっていない。そこで、私たちは、プラナリアが高温ストレスの影響を受けるときの条件と仕組みを明らかにすることを目的に本研究を行った。再生しない状態は、輪郭が不明瞭になることから、その状態を個体崩壊と定義した。40℃の加温実験では、9分加温するとすべての個体で個体崩壊が誘導された。加温後のプラナリアの細胞の核を染色し、観察したところ、細胞死はみられず、細胞が離れている様子が観察された。熱ストレスの受容に関わると報告されている TRP チャンネルの作用物として、ワサビ抽出液を添加したところ加温なしに個体崩壊が誘導された。このことから私たちは、TRP チャンネルを介してストレスを受容し、細胞接着が弱まり、細胞同士が離れ、個体崩壊が誘導されているのではないかと考えた。

## 1. 背景と目的

プラナリアは全能性幹細胞による高い再生能力を持つことで知られている。また、昨年度までの先行研究から、プラナリアは温度ストレスの影響を受けることも分かっている<sup>1)</sup>。しかし、プラナリアが温度ストレスの影響を受ける仕組みについては報告されていない。私たちは、プラナリアの再生は生物において治癒に相当し、再生しないことは治癒しないことと同じではないかと考えた。そこで、私たちはプラナリアの温度ストレスを受ける仕組み、及び再生と再生しないこと、つまり、死の境目を明らかにすることでヒトの治療にも応用できるのではないかと考えた。よって、私たちは、プラナリアの生と死の境を特定し、条件・仕組みを明らかにするために本研究を行った。

## 2. 実験方法

### (1) 定義

プラナリアが再生しないとき、輪郭が不明瞭になることから、その状態を個体崩壊と定義した(図 1-b)

### (2) 実験 1 加温による個体崩壊の条件を特定する

- 材料：宮城県・岩手県で採集、または佐沼高校からいただいた、ナミウズムシ *Dugesia japonica* は、飼育水(コープのおいしい水)を使って、12℃で飼育した。

- 加温方法：ナミウズムシをマイクロチューブに入れ、40℃の温水で、1分、3分、5分、7分、9分間加温した。その後、ナミウズムシを常温下の水に出し、90分間顕微鏡で観察を行った。また、この実験は各加温時間において7個体において行った。

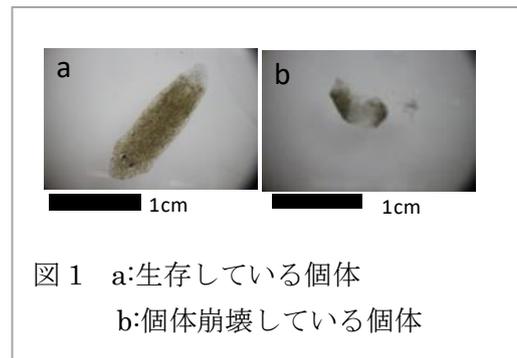


図 1 a:生存している個体  
b:個体崩壊している個体

(3) 実験 2 個体崩壊の原因が細胞死であるか特定する

●比較対象：2010 年論文から、切断された個体が再生する過程では細胞死(アポトーシス)が起こることが知られている。そこで、ナミウズムシを切断し、切断後、カルノア溶液で固定し、蛍光染色液 DAPI で核を染色した。

●細胞死の確認方法：9 分加温後のナミウズムシをカルノア溶液で固定し、蛍光染色液 DAPI で核を染色し、蛍光顕微鏡で観察を行った。

(4) 実験 3 ストレスを受容している受容体とは何かを特定する

●方法：ナミウズムシを 5% のワサビ抽出液に 9 分間入れた後、取り出し、飼育水に戻し、顕微鏡で観察を行った。

### 3. 実験結果

(1) 実験 1 個体崩壊の条件を特定する

1 分間の加温では 100% 生存していたのに対し、加温時間が長くなるにつれて個体崩壊が起こる割合が高くなり、9 分間の加温では 100% 個体崩壊が誘導されることが分かった(図 2)

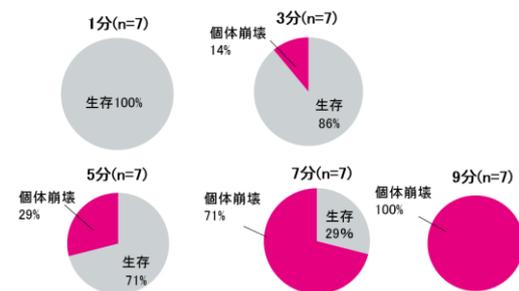


図 2 40°C の温水にナミウズムシを入れた場合の加温時間と個体崩壊の割合

(2) 実験 2 個体崩壊の原因が細胞死であるか特定する

① 比較対象

核内の DNA に偏りが見られた。よって、この状態を細胞死(アポトーシス)とした(図 3)。

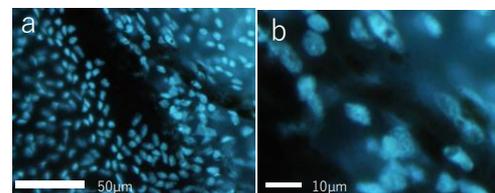


図 3 細胞死の様子 a: 切断面の様子 b: 細胞死が起こっている核の様子

② 細胞死の出現確認

明光下の観察から、常温下の個体では細胞の表面が滑らかな様子が観察された(図 4-a)のに対し、9 分加温直後の個体では表面に凹凸がある様子が観察された(図 4-b)。また、DAPI 染色個体を蛍光下で観察すると、常温下の核の配置が均一である様子が観察されたが(図 4-c)、9 分加温直後には核の配置に偏りがみられた(図 4-d)。このことから、加温により細胞の一樣分布が崩れるということが分かった。また、9 分加温後および加温後 90 分経過した個体を観察したところ、どちらの核にもアポトーシス様の変化がみられず、細胞の配置に偏りが見られた。

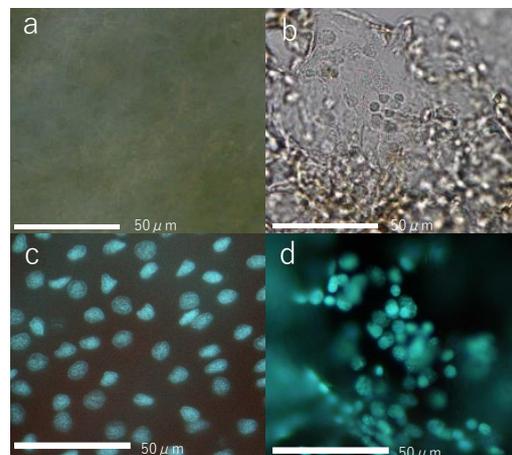


図 4 正常個体と崩壊個体の細胞の比較

### (3) 実験3 ストレスの受容体とは何か特定する

温度による個体崩壊と比較すると、個体崩壊が起こるまでの時間は違うものの、ワサビによる刺激でも個体崩壊が誘導された(図5)。

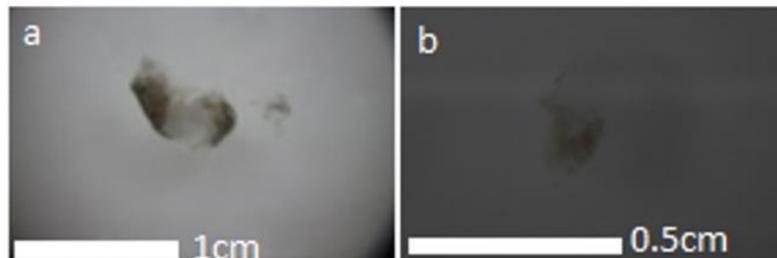


図5 ワサビ刺激による個体崩壊の誘導

## 4. 考察

実験2の結果から、個体崩壊の直接的な原因は、細胞死(アポトーシス)ではなく、細胞が離れることであると考えられる。

また、2017年にプラナリアは熱やワサビの刺激をTRPA1チャンネルが受容し、回避行動をとる<sup>3)</sup>ということが報告されていることから、ワサビによる個体崩壊にもTRPA1チャンネルが関与していると示唆される。ワサビによる個体崩壊と加温による個体崩壊の状態が類似していたため、ワサビと熱による個体崩壊にはTRPA1チャンネルが関わっている可能性がある。

## 5. 結論

これらのことから、私たちは個体崩壊が起こる仕組みとして、「温度やワサビの刺激をTRPチャンネルが受容し、細胞が離れることで個体崩壊が誘導される」というモデルを立てた(図6)。しかし、まだ生と死の境が、細胞が離れる前であるのか、後であるのかといったことについては明らかになっていない。

そのため、私たちは、個体崩壊が起こる仮説、生と死の境を明らかにするための展望を3つ考察した(図7)。1つ目は、ワサビ刺激による個体崩壊の過程は、温度ストレスによる個体崩壊と同様の手法による、核の観察を行っていないため、ワサビ刺激による個体崩壊の過程での核の様子を観察し、ワサビ刺激と温度ストレスによる個体崩壊の異なる点及び一致点を明らかにすることで、個体崩壊の仕組みをより詳細に明らかにしていきたいと考



図6 個体崩壊までの過程モデル

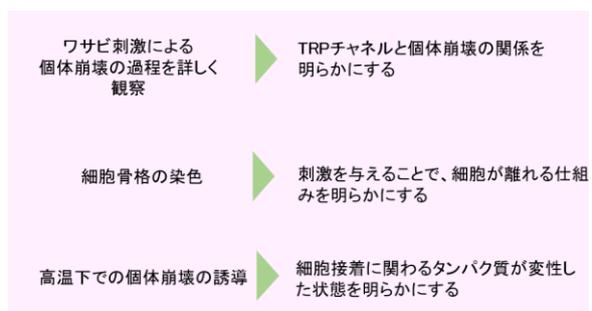


図7 展望

えている。2つ目は、細胞骨格を染色することで、細胞が離れる時に関わる細胞接着タンパク質の種類を明らかにしたいと考えている。3つ目は、高温で人工的に個体崩壊を誘導することで、タンパク質の変性の状態を明らかにし、細胞接着タンパク質の接着が弱まる原因が変性ではなく、TRPA1 チャンネルがストレスを伝えるためであるということを示唆したいと考えている。

マウスでは、TRP チャンネルが傷の認識に関わっているものがある<sup>4)</sup>と報告されている。よって、私たちは、TRP チャンネルは、ストレスの受容に関わっていると考えた。また、その TRP チャンネルは人間も持っている。このことは、私たちがプラナリアで TRP チャンネルをコントロールできれば、ストレスによって起こる病気や老化を予防、阻止できる可能性があるということを示唆していると考えている。よって、私たちの最終目標は、このことを証明することである。

## 6. 参考文献

- 1) プラナリアから見る死の仕組み平成 28 年度 仙台三高
- 2) Jason Pellettieri, Patrick Fitzgerald, Shigeki Watanabe, Joel Mancuso, Douglas R.Green, Alejandro Sanchez Alyarad : Cell death and tissue remodeling in planarian regeneration developmental Biology (2010)
- 3) Activation of planarian TRPA1 by reactive oxygen species reveals a conserved mechanism for animal nociception Oscar M. Arenas, Emanuela E. Zaharieva, Alessia Para, Constanza Vásquez-Doorman, Christian P. Petersen & Marco Gallio — nature neuroscience(2017)
- 4) The thermosensitive TRPV3 channel contributes to rapid wound healing in oral epithelia.Aijima R1, Wang B2, Takao T2, Mihara H3, Kashio M3, Ohsaki Y2, Zhang JQ2, Mizuno A4, Suzuki M4, Yamashita Y5, Masuko S6, Goto M5, Tominaga M3, Kido MA7.- The FASEB Journal(2014)
- 5) 阿形 清和 : 切っても切ってもプラナリア,pp44,岩波書店(2009)
- 6) 原島 広至 : プラナリアの再生・走性・消化の実験,生物の科学 遺伝・別冊 実験単,pp174,エヌ・ティー・エス(2015)
- 7) 沼田 朋大, 香西 大輔, 高橋 重成, 加藤 賢太, 瓜生 幸継, 山本 伸一郎, 金子 雄, 眞本 達生, 森 泰生 : TRP チャンネルの構造と多様な機能(2009)-生化学 第 81 卷 第 11 号
- 8) 辻本 賀英 : 細胞死・アポトーシス集中マスター 羊土社(2006)

# 効果的な免震装置の検証

宮城県仙台第三高等学校

菊地克

高橋凜

近年、日本では地震が多く発生しているため地震による建物への被害が懸念されている。そこで私たちは建物の被害を減らすためにはどのような免震装置が有効なのかを調べたいと思い、この研究を始めた。実験には、揺れを発生させる装置と建物の模型、3種類の建物の土台の模型を使った。土台の模型は磁石で固定したもの、下にキャスターを付けたもの、バネを二枚の板で挟んだものを使った。キャスターを付けた土台とバネを付けた土台を使う時は磁石で固定した土台を使う時よりも建物の移動距離が小さくなるという仮説を立てた。実験の結果、キャスターを付けた土台を使ったときは仮説通り磁石で固定した土台を使った時よりも建物の移動距離が小さくなった。しかし、バネを付けた土台を使ったときは仮説とは異なり、磁石で固定した土台を使った時よりも建物の移動距離が大きくなった。このような結果になった原因として使用するバネが強すぎたのだと考えた。そこで、これからは使用するバネの強さを変えて実験を行いたいと考えている。

## 1. 背景と目的

近年、日本では多くの地震が発生している。そこで、地震の被害を減らすためにはどのような免震装置が効果的なのかを確かめようと考え、実験を始めた。

## 2. 仮説

実験には下の実験方法に示した道具を用いた。建物の移動距離（基準点からのずれ）が大きい順に、免震装置がない土台、バネつき土台（バネ免震）、キャスターつき土台（キャスター免震）となると考えた。

## 3. 実験装置と実験方法

揺れを発生させる装置と3種類の建物の土台の模型を用いて、装置を揺らした時の建物の模型の基準点からのずれ（mm）を転倒の有無を含めて測定した。

図2の免震装置(キャスターつき土台)は板の下にキャスターを付けることで土台と揺れを発生させる装置との摩擦を小さくすることで揺れを建物の模型に伝えにくくすることができると考えた。

図3の免震装置(バネつき土台)は2枚の板をバネで挟むことで土台が揺れた時にバネが振動して揺れを逃がし建物の模型に揺れを伝えにくくすることができると考えた。

3つの建物の土台の模型をそれぞれ地震発生装置にセットし、バネに一定の縮み幅（3cm）で押し付けて装置を揺らし、それぞれの土台を使った時の建物の模型の基準点からのずれを測定した。

なお、ずれが小さいほうが「免震効果あり」という前提の下で実験を行った。

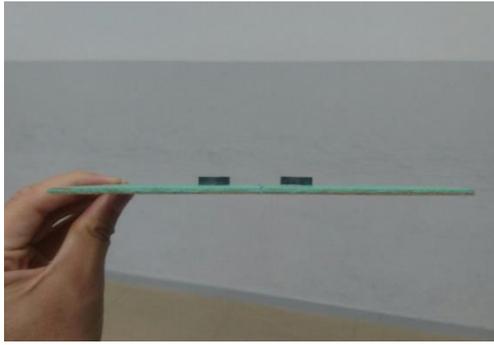


図 1. 免震装置がない土台

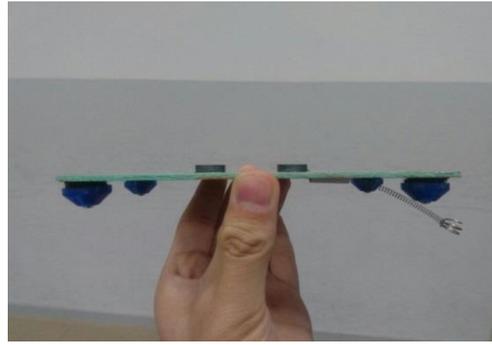


図 2. 免震装置(キャスター)つき土台

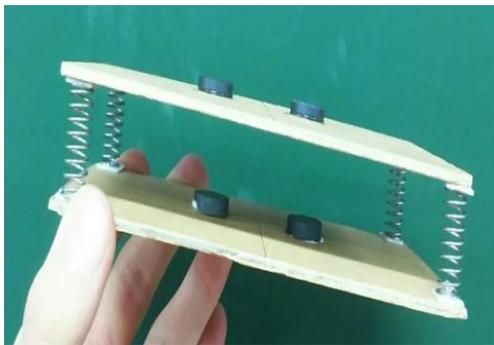


図 3. 免震装置(バネ)つき土台

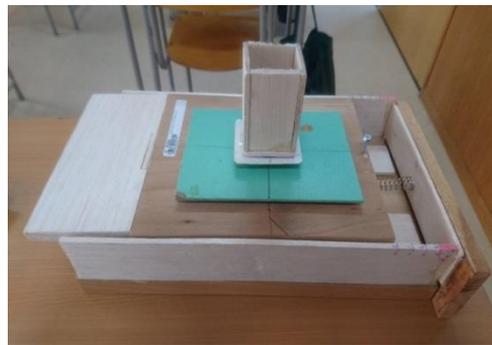
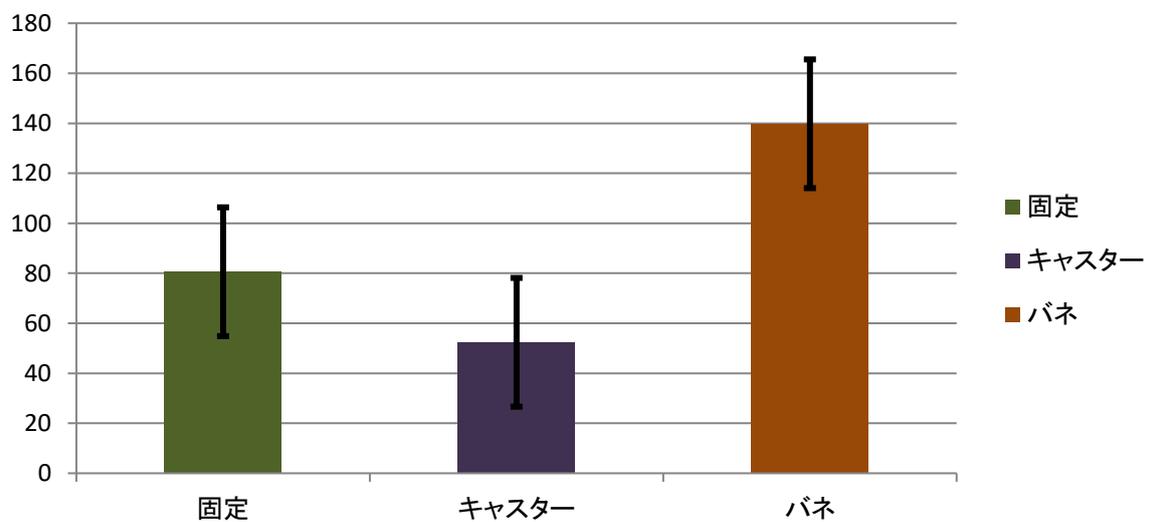


図 4. 揺れを発生させる装置 (地震発生装置)

#### 4.結果

実験の結果は下の図 5 のようになった。以下が示すように、建物の基準点からのずれが大きい順に「バネ免震」、「免震加工なし」、「キャスター免震」という結果となった。

### 基準点からのずれ(mm)



【図 5】

## 5.考察

結果が示すとおり、この実験では「バネ免震」の効果が見られず、仮説と異なる結果となった。一方で、キャスター免震については仮説通りの結果となった。「バネ免震」の免震効果が見られなかった理由として、使用したバネが強すぎたために予想していたよりもバネが振動しなかったと考えた。

## 6.結論

この実験では転がり免震装置（キャスターをつけた土台）には免震効果があるということが分かった。また、積層ゴム免震装置（バネをつけた土台）には免震効果が見られなかったが、バネの強さによって免震効果に差が出ると考えているので、バネの強さを変えて実験し、バネの強さの変化による免震効果の違いを調べたいと考えている。

また、今回の実験では土台の重さの統一をしていなかったのも、おもりを用いるなどして土台の重さの統一をしたいと考えている。

さらに、現実の建物においては、一般住宅と高層ビルのように建物の重さが異なるので、建物の模型におもりを入れるなどして重さを変えた実験を行い、重さによる結果の違いを検証したいと考えている。

## 7.参考文献

- 1) 大明建設 転がり免震 [www.daimeikensetsu.co.jp/gijyutu.html](http://www.daimeikensetsu.co.jp/gijyutu.html)
- 2) 免震構造4種類 [www.adc21.com/200\\_menshin.html](http://www.adc21.com/200_menshin.html)
  - ・転がり免震装置
  - ・積層ゴム免震装置
  - ・すべり支承免震装置
  - ・粘性減衰装置
- 3) 免震住宅のすすめ—大地震から“家”と“家庭”を守るために（ブルーバックス）新書 - 2005/6/21 深堀 美英

# 運動と計算能力の関連性

宮城県仙台第三高等学校

小野寺就 勝又吾羽 吉田龍生

## 1, 概要

本研究では運動と計算能力の関連性を調べるために、運動なし、有酸素運動後、無酸素運動後の3つの状況に分けて計算を行い、その解答数と正答率を調査した。その結果、運動をする  
と解答数、正答率ともに上昇し、特に無酸素運動をした後はより成績が向上した。このことから、運動は脳の計算を司る器官に良い影響を及ぼすことが考えられる。特に、無酸素運動は脳への酸素の供給量の面でより効率的に成績を向上させられると考える。

## 2, 背景と目的

勉強や部活で忙しい三高生にとって、効率的に勉強することはとても重要である。私たちは、部活後に勉強することによってどのくらい効果があるのかを疑問に思った。勉強を大きく3つに分類すると、記憶、思考・判断、計算がある。記憶については実証済み、思考・判断の検証は困難である。よって私たちは計算に着目した。

前述したとおり、昨年に本校の安齋らの研究から、運動後に記憶力が向上することが分かった。さらに、有酸素運動後には、無酸素運動後よりも記憶力が向上することが分かった。我々はその研究より、計算能力の向上も見込めるのではないかと考えこの研究を始めた。

## 3, 実験方法

男女各5名が運動なし、有酸素運動後、無酸素運動後、それぞれの状態で計算を行い、その解答数と正答率を調べた。

〈運動について〉

有酸素運動ではエアロバイクを用いて、毎分128回のペースで5分間こぎ続け、終了後すぐに計算問題を解いてもらった。

無酸素運動ではPOWER MAXを用いて、負荷値7.0に設定し、7秒間全力でこぎ、30秒間休むことを5回繰り返してもらった。

〈計算について〉

回答時間は10分間で、筆算等を行わずに全て暗算で解いてもらった。計算問題はすべて1ケタ×2ケタの掛け算で、1ケタの数が1や0のときは、暗算をせずに答えが分かってしまうので、1と0は省いた。尚、問題の数字が偏ってしまうのを防ぐために、問題作成の際には乱数を使用した。

〈その他〉

実験は全て12時40分～13時15分の間に行い、1日に2回以上の実験は行わなかった。

## 4, 結果

〈解答数〉

図 1 より、運動前の 10 分間における平均解答数が 147 個だったのに対して、有酸素運動後では 165 個となり、無酸素運動後では 176 個となった。

〈正答率〉

図 2 より、運動前の 10 分間における平均正答率が 94.8%だったのに対して、有酸素運動後では 96.0%となり、無酸素運動後では 97.7%となった。

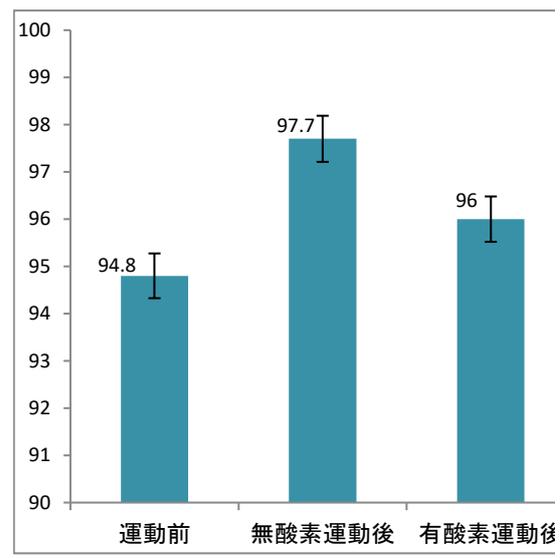
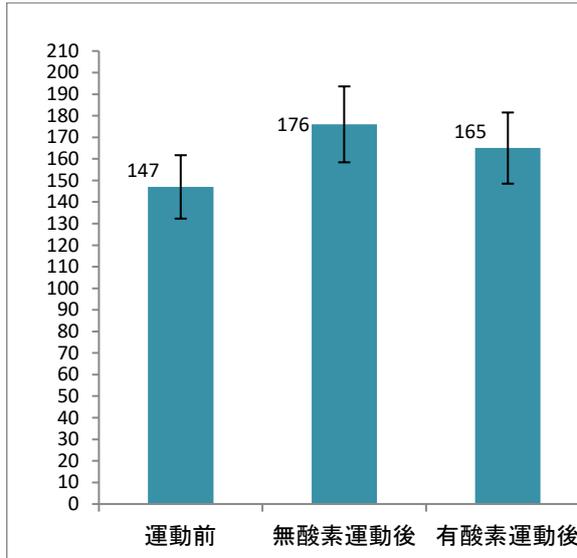


図 1, 運動前後による平均解答数(個)の変化 図 2, 運動前後による平均正答率(%)の変化

## 5, 考察

参考文献 (1), (4) より、運動をすることで体内に酸素を供給する。次に、内頸動脈から前大脳動脈へ酸素を送る。その酸素を脳の器官である前頭前野が受け取り、計算を司る左脳が活性化する(図 3, 4 より)。それにより計算能力が向上した。

有酸素運動後と比べて、無酸素運動後がより成績が向上した理由として、有酸素運動後は、取り込んだ酸素の一部を使って体内の糖質や脂肪を燃焼するため、無酸素運動後よりも脳に酸素を供給できなかったのではないかと考える。さらに無酸素運動では、より瞬間的に脳の酸素が不足するため、人間の体はより酸素を取り込もうとした結果、有酸素運動後よりも酸素の吸収量が増加した。このことから、運動後、特に無酸素運動後に計算能力が向上したと考えられる。



図 3 酸素が脳に運ばれるイメージ



図 4 右脳と左脳

## 6, 今後の展望

参考文献と今回の実験より、記憶力を向上させるには有酸素運動をするべきで、計算能力を向上させるには無酸素運動をするべきだという結論になった。どうして記憶力と計算能力とで逆の結論になったのか今後調べていきたい。

さらに、図 1 より、運動後に 2 人の被験者が成績を下げってしまった。その原因を探るために、運動の種類や運動の強度を変化させて実験を行っていきたい。

## 7, 参考文献

(1)脳の事典 (坂井建雄、久光正)

(2)脳内革命(春山茂雄)

(3)運動適応の科学(作宮隆、石河利寛)

(4)計算課題および記憶課題における脳血流変化の fNIRS による測定

(<http://www.is.doshisha.ac.jp/academic/papers/pdf/10/2010mthesis/2010tanabe.pdf>)

(5)認知症と前頭前野(川島隆太)

(6)運動と記憶の関連性(仙台三高 53 回生 保健体育班)

## Ⅱ SS課題研究Ⅰ

【理数科2年】

日本語ポスター（GS フェスタ）

英語ポスター（台湾研修）

# 偏差値の有効性

2104 阿部太洋 2206 梅津拓未 2213 金野太一

## 1 背景

### 偏差値とは

ある数値がサンプルの中でどれくらいの位置にいるかを表した数。平均値が50、標準偏差が10となるように標本変数を規格化したもの

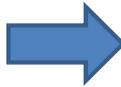
偏差値はサンプルの分布が正規分布であるとき、一番正確な評価ができる。



正規分布から離れるほどその有効性が下がる。



正規分布の時と正規分布ではない時では偏差値の有効性がどう違うのか？



### 正規分布とは

平均が一番高く、平均から離れるにつれて緩やかに低くなっていく、左右対称な釣鐘型の分布



そこで私たちは、サンプルが正規分布であるときとそうでないときの偏差値の値に着目し、研究を始めた。

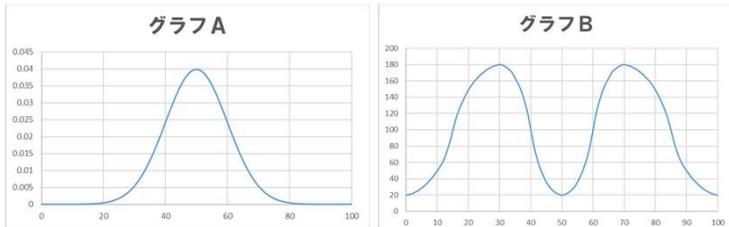
## 2 研究方法

### 1、グラフの作成

正規分布とそうでないときの偏差値を比較するために正規分布の得点のグラフAと山が二つあるテストの得点のグラフBを作成した。

また、グラフの条件を

- ・縦軸は人数
  - ・横軸は得点(100点満点)
  - ・人数は10000人
  - ・平均点は50点
- とした。



作成した結果、  
グラフAの標準偏差は10  
グラフBの標準偏差は25.5  
となった

### 2、偏差値の比較

ここでは、60点を取った場合の偏差値を比較した。  
また、251位を取った時の偏差値も比較した。

## 3 結果、考察

60点を取った時の偏差値は、  
グラフAでは60、グラフBでは52.9だった。

また、251位を取った時の偏差値は、  
グラフAでは70~71、グラフBでは66~66.4  
となった。

よって、平均点と同じでも、正規分布と山が二つある分布を比べる場合、

- ・同じ点数を取っても偏差値は一致しない
  - ・同じ順位を取っても偏差値は一致しない
- ということが分かった。

偏差値は、サンプルのグラフが正規分布であることを前提としている。

つまり、グラフが正規分布から大きく離れたとき、偏差値では正しい評価ができない場合があるということが分かった。

## 4、展望

偏差値では正しい評価ができない場合がある。

しかし、偏差値はテストなどの点数を評価するうえでとても有用である。



そこで…

私たちは、  
・偏差値よりも正確な評価ができる方法を考える  
・偏差値よりも正確な評価ができる新たな値を考えた  
ということを目指して研究を進めたい。

## 参考文献

<https://bellcurve.jp/statistics/blog/15344.html>

# Effective of deviation value

2104 Abe Taiyo 2206 Umetsu Takumi 2213 Konno Taichi

## 1 Introduction

### What is deviation value

A number indicating how much position a certain number is in the sample. Standardized number of sample variables to make sure that the average is 50 and the standard deviation is 10.

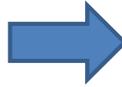
Deviation value can evaluate the most accurately  
When sample distribution is normal distribution.



The effectiveness decreases as it deforms from normal distribution.

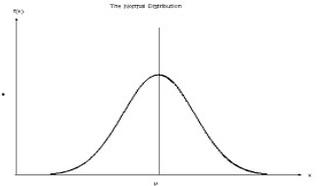


How is effectiveness of deviation value different when distribution is a normal distribution and when it is not a normal distribution?



### What is Normal Distribution

- The average distribution is the largest.
- If it gets away from the average, it's less distribution.
- It's symmetrical about the average.



So we started researching to focus on the deviation value the when distribution is a normal distribution and when it is not normal.

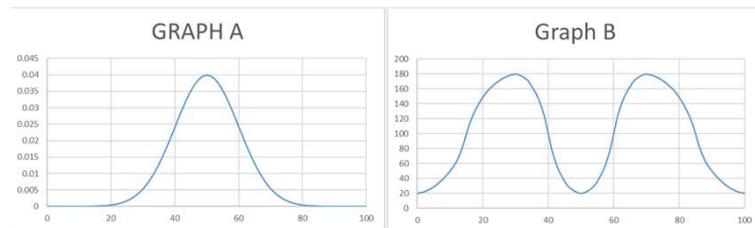
## 2 Method of research

### 1、Creating a Graph

We created graph of normal distribution and graph that there are two mountains.

And the four things listed below are the conditions of the graph.

- The vertical axis is the number of people.
- The horizontal axis is the score. (he highest is 100)
- The number of people is 10000.
- The average score is 50.



As a result of the creation, GraphA's standard deviation is 10 and GraphB's standard deviation is 25.5.

### 2、Compare the deviation values

We compared the deviation value when it gets 60 points.  
And we also compared the deviation value when it becomes 251<sup>st</sup>.

## 3 Result and consideration

In GraphA, if it gets 60 points, the deviation value is 60.  
In GraphB, if it gets 60 points, the deviation value is 52.9.

And in GraphA, if it becomes 251<sup>st</sup>, the deviation value is 70-71.  
In GraphB, if it becomes 251<sup>st</sup>, the deviation value is 66-66.4.

So if the average points are the same

- Even if it gets the same score, the deviation value is not same once in a while.
- Even if it gets the same order, the deviation value is not same once in a while.

The deviation value presupposes that the sample graph is A normal distribution.

In other words, if the graph is far from normal distribution.  
The deviation value does not make a correct evaluation once in a while.

## 4 Future work

Sometimes deviation value can't make an accurate evaluation.

But, deviation value is useful to evaluate points of test etc.



thus...

We want to advance research about

- Thinking about how to make more accurate evaluation by deviation value.
- Thinking about new value that can be evaluated more accurately than the deviation value.

## 5 Bibliography

<https://bellcurve.jp/statistics/blog/15344.html>

# クラドニ図形 ～音によって砂はどのような模様を描くか～

宮城県仙台第三高等学校 課題研究 クラドニ図形班

佐藤京 岡田光生 齋藤雄太 佐々将太 佐藤貫太 太田拓巳

## 背景

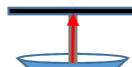
クラドニ図形  
・音の波を実体化したもの

従来

直接振動を与えていなかった



直接振動を与える

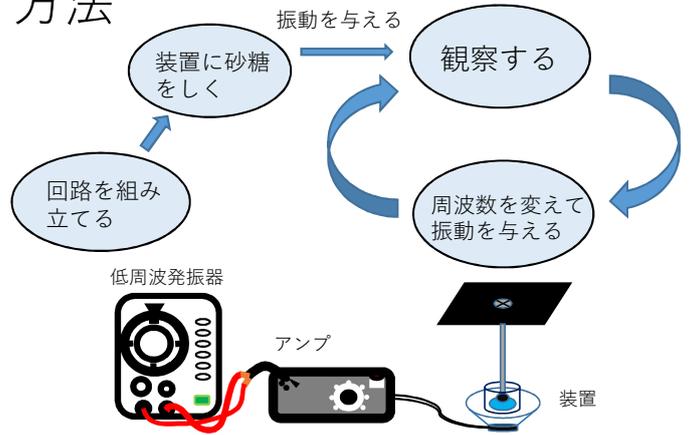


そして模様の規則性を見つける

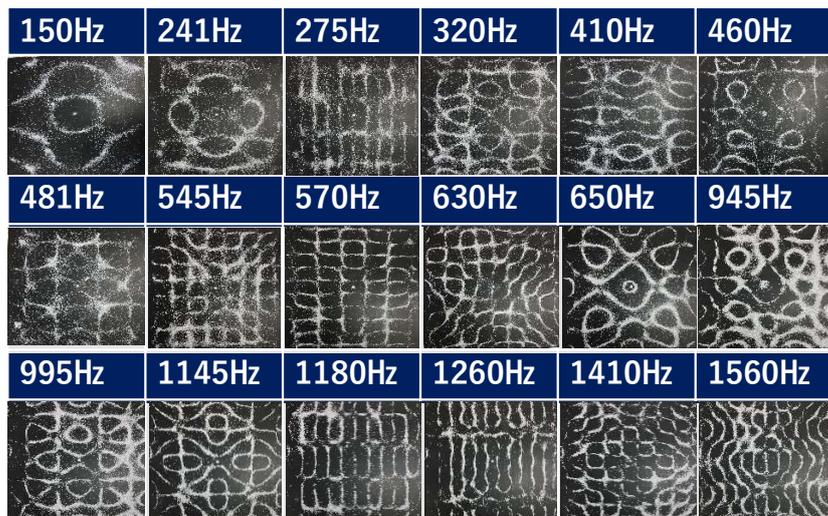
振動の節に砂が集まる

振動数によってできる模様が変わる

## 方法

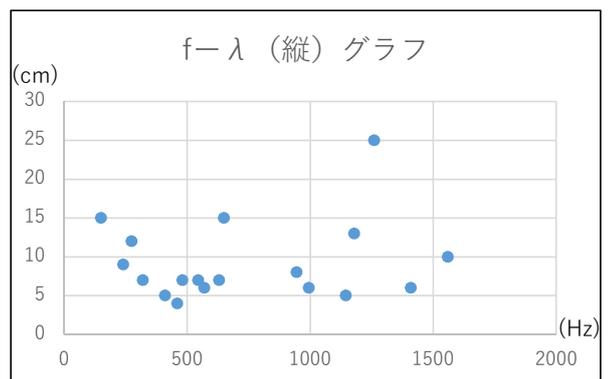
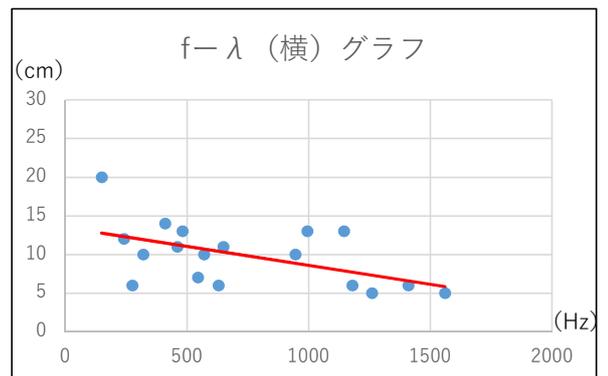


## 結果と考察



- ・2000Hzを超えると結果が得られなかった
- ・周波数が大きくなるにつれて、模様が複雑になった
- ・275Hzと1180Hzでは似ている図形ができた

- ・周波数が高くなりすぎると、音の波の波長が短くなり節の数が多くなるため、砂糖が集まる箇所が増えすぎた
- ・似ている図形できた原因としては倍音が関係しているのでは?と考えた



## 今後の展望

- ・クラドニ図形を数式化することによって、周波数の高さと同様のでき方の関係性をさらに詳しく調べる
- ・散布図のばらつきの原因を考える
- ・倍音について詳しく調べ、周波数が異なるのに似ている図形ができる原因についてさらに詳しく調べる

## 参考文献

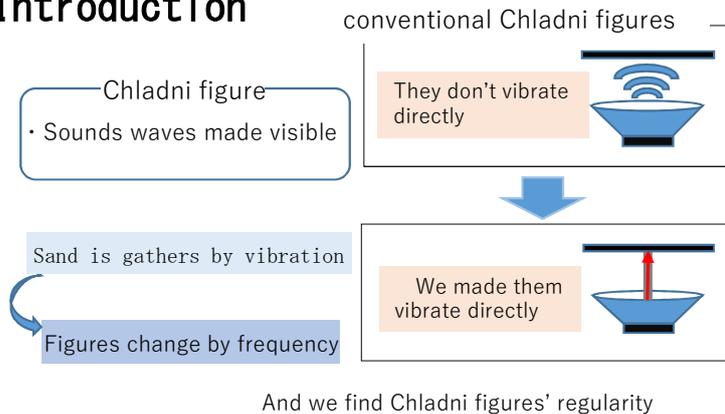
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AF%E3%83%A9%E3%83%89%E3%83%8B%E5%9B%B3%E5%BD%A2>

# Chladni figure

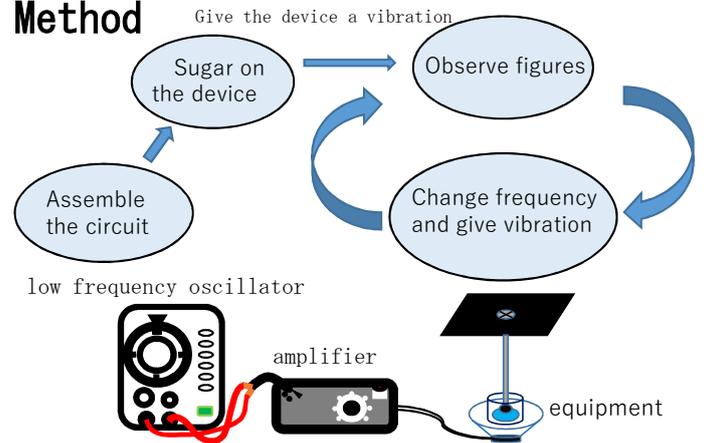
## ~What kind of pattern of the sand is drawn by sound~

Miyagi Prefecture Sendai Daisan High School  
 Kyo Sato Kosei Okada Yuta Saito Shota Sasa Kanta Sato Takumi Ota

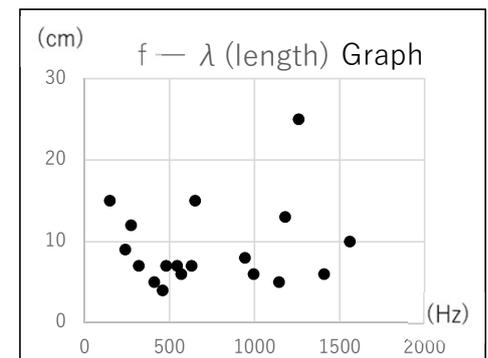
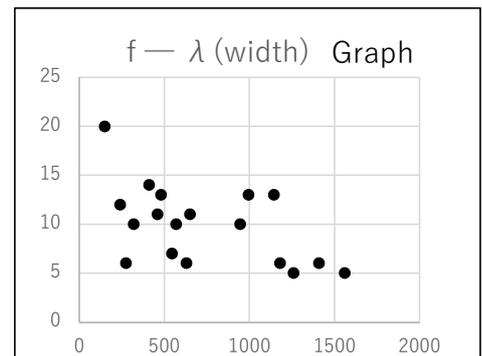
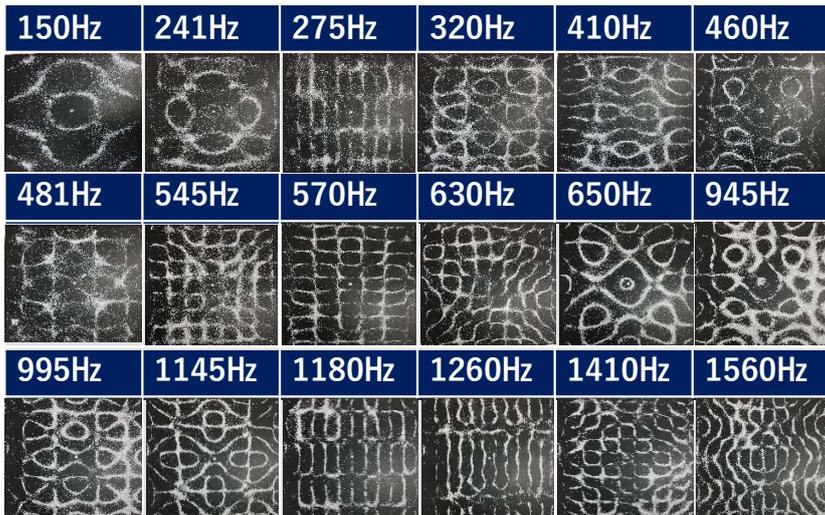
### Introduction



### Method



### Result & Discussion



- We couldn't make Chladni figures with sound more than 2000Hz.
- When the frequency increased, the figure became complicated.
- The patterns of 275Hz and 1180Hz are similar.



- The frequency is too high. → Wavelength becomes short and the number of nodes increases. → So the gathering places of sugar increased too.
- we think harmonic tones are related to the cause of similar figures.

### Conclusion

- Use a graph to make a formula and investigate the relationship between frequency and the figure more.
- Research the cause of variation in the graph.
- Investigate about the harmonic tones and investigate why a similar figure is made at a different frequency.

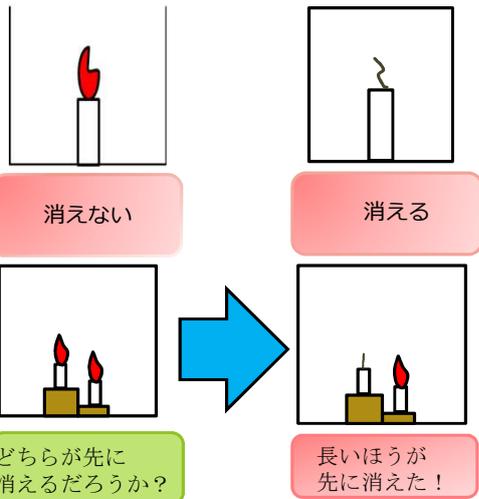
### Previous Experiment

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AF%E3%83%A9%E3%83%89%E3%83%8B%E5%9B%B3%E5%BD%A2>

# きたい通りにいかないろうそくたち

宮城県仙台第三高等学校 課題研究 ろうそく班  
金子悦久 伊藤大喜 高橋玄

## 1. 背景



なぜ?  
温められた空気の対流が関係しているのでは?

煙を入れて  
見てみよう!

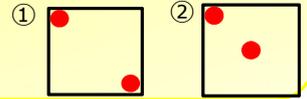
## 今後の展望

- ・水槽の上部を冷却し、その状態で対流が起きるか調べる
- ・ろうそくの長さや場所を変えた時のデータを増やし、燃焼時間との関係性を明確にする

※場所を変える

→・①箱の角と角(対角線上)

・②箱の中央と角 など



## 災害への対策

- ・建造物の設計時に避難経路を確保できるように出火の原因となりやすいものを安全な場所に配置する。
- ・安全な避難経路を考え、図示しておく。

## 2. 実験方法

(実験1)

図のように、各辺15cmの水槽内に火のついたろうそくを2本入れ、片方の長さを変えて消える時間の差を計測する。ろうそくの高さは3.0cm、6.0cm、9.0cm、直径は0.5cmとする。また、ろうそくの間は2.0cmとした。

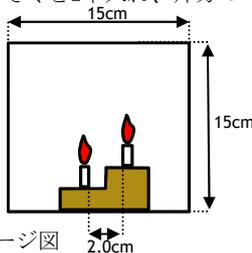


図1 実験のイメージ図

(実験2) 煙発生装置で作られた煙を入れ、対流の様子を観察する。

## 3. 結果

(実験1) 結果はグラフのようになった。

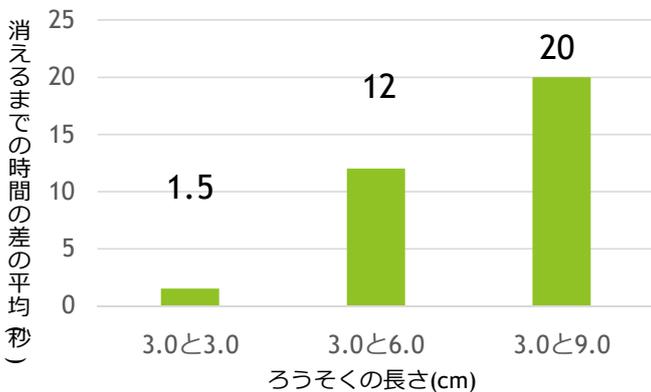


表1 ろうそくの長さで消えるまでの時間の差の関係

(実験2) 煙を入れても、はっきりとした対流は見られなかった。

## 4. 考察

ろうそくの長さが長いほど早く消えた。

水槽内には大きな対流は見られなかった。

つまり

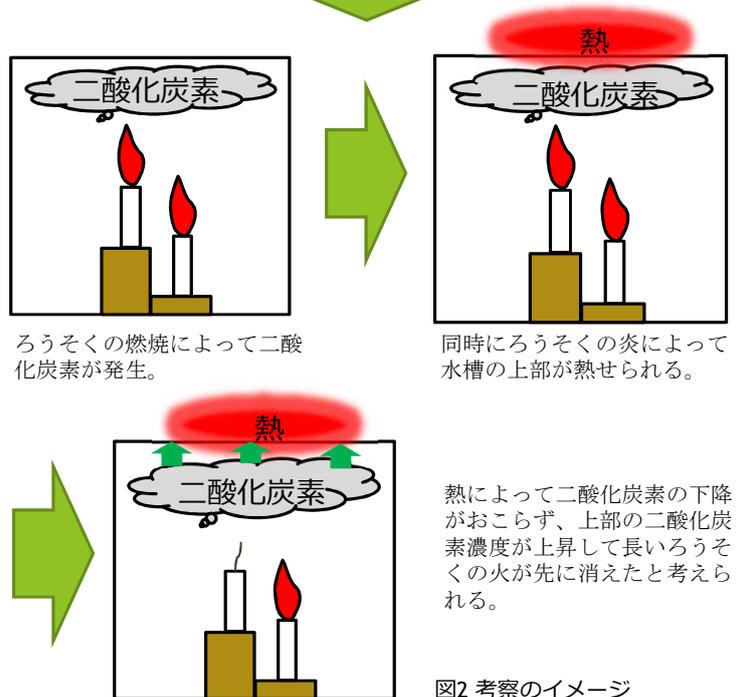


図2 考察のイメージ

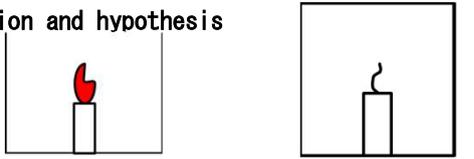
## 参考文献

平成29年度課題研究「きたい通りにいかないろうそくたち」

# The candles which did not extinguish as expected

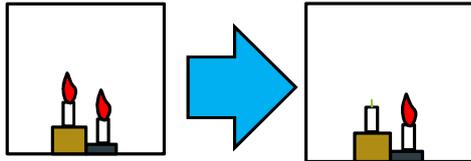
Miyagi prefecture Sendai Daisan High School Research project Team candle  
Yoshihisa Kaneko, Daiki Ito, Gen Takahashi

## 1. Introduction and hypothesis



Keep burning

Go out



Which candles go out first?

The longer one goes out first.

Why?

Does the convection of warmed air affect it?

Observe the smoke

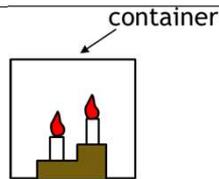
## 2. Materials and method

(Experiment①)

We measured differences in time by changing the length of one candle.

	Candle 1 (cm)	Candle 2 (cm)
①	3.0	3.0
②	3.0	4.5
③	3.0	6.0

▲Fig.1 Image of experiment



▲Table 1 The each length of candles  
Candle diameter is 0.5cm.

(Experiment②)

We put smoke in the container with a smoke generating device, and we observed convection.

## 3. Results

Result of experiment①:



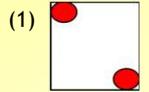
▲Table 2 Relation of time and length

Result of experiment②:

We could not see any clear convection.

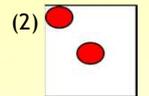
## 5. Future Work

◦We will try experiments by changing the situation.  
And make the clear relationship between burning time and position, temperature, etc.



For example)

- ① change the place of candles
  - (1) On a diagonal line in the container.
  - (2) Center and corner in the container.
- ② Cool top of the container



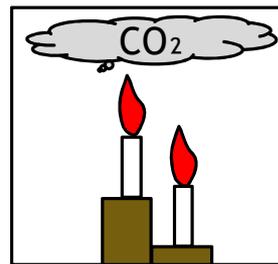
Application for a disaster site

- Think of a safe storage space for something which causes burning when designing a building.
- Think of safe evacuation routes and illustrate.

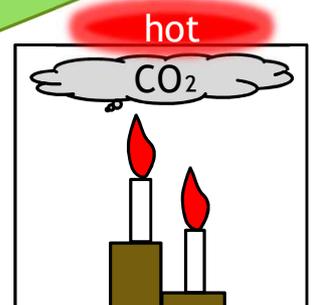
## 4. Discussion

The longer the candles were, the earlier their fire went out.

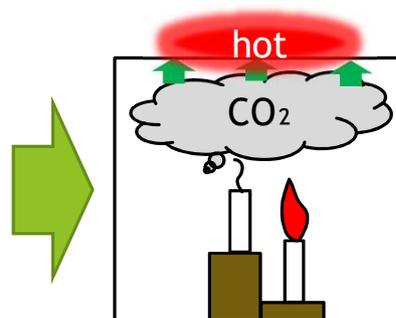
We couldn't see the convection.



▲ Fig.2  
The CO<sub>2</sub> is produced by the flame.



▲ Fig.3  
The top of the box is heated by the flame.



▲ Fig.4

The CO<sub>2</sub> can't move from here, and the longer one goes out.

Fig.2~4 The discussed moving of the air

## Previous Experiment

平成29年度課題研究「きたい通りにいかないろうそくたち」

# 可視光通信の精度向上を目指して

宮城県仙台第三高等学校 可視光通信班  
 2106稲妻大佑 2113笠原康太郎 2121佐藤洸太  
 2123関恵知 2125千田直人 2129細川慶太 2219下山凌空

## 1. 背景と目的

- 良** → ・混線しにくい  
 ・通信速度が速い  
 ・電波法に左右されない
- 悪** → ・外部干渉を受けやすい

### 課題

外部干渉を受けやすく通信精度が落ちてしまう



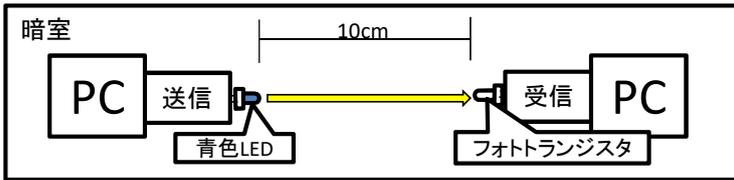
## 2. 仮説

- ①送信速度を遅くすることによってより正確に通信できるのではないかと
- ②赤色光は屈折率が小さいのでより正確かつより遠くまで通信できるのではないかと

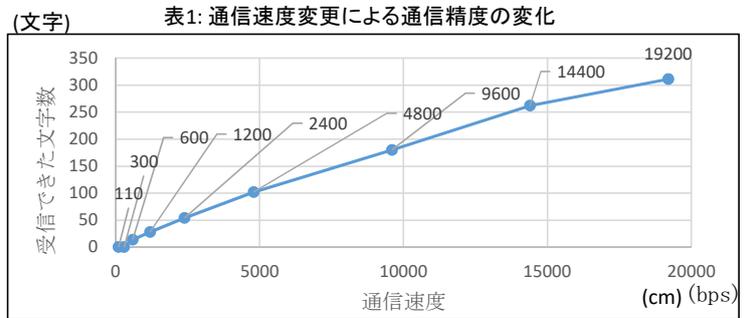
## 3. 実験1: 通信速度の変更による精度の変化の測定

- 目的**  
 可視光通信に適した通信速度を明らかにする。
- 実験方法**  
 暗室内で通信速度を110~57600bpsまで変化させる。  
 3回測定し、平均値をとる  
 400文字の「a」の文字列を送信し、正しく受信できた文字数を計測する。

図3: 装置の配置 (実験1)



## 4. 結果1

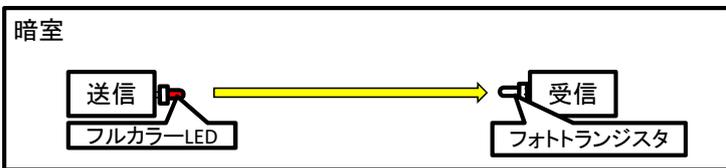


- 通信速度を上げるにつれて、受信できた文字数が増えた。
- 38400bpsから上の速度では文字を受信できなかった。

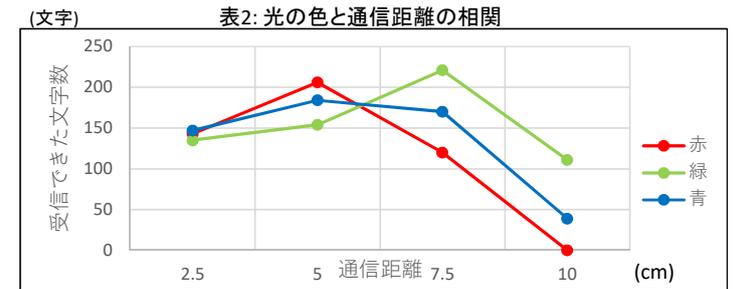
## 5. 実験2: 色の変化と通信距離の関係の測定

- 目的:** フルカラーLEDを用いて送信光の色と通信距離の関係の測定する。
- 方法:** フルカラーLEDで送信光の色を変える。
- 実験材料:** フルカラーLED

図4: 装置の配置 (実験2)



## 6. 結果2



- 距離が5cmのとき赤の光が最も受信できた。
- 距離が7.5cmのとき緑の光が最も受信できた。
- 距離が延びるほど赤、青、緑の順で受信できる文字数が減った。

## 7. 考察・展望

### 考察1

- ① 通信速度を上げると通信精度も上がる  
 ・19200bps以上の通信ができないのはフォトトランジスタ側の性能の限界。

### 考察2

- ② 青の極的な結果が得られなかったので屈折率と通信精度に相関がない。  
 ・色の違いによって最も文字が受信できる距離に違いが生じる

### 展望1

- なぜ通信速度が遅いとき精度が下がり、速度が速いときに精度が上がるのか明らかにする。

### 展望2

- 通信距離の間隔を短くして、青の受信できた文字数が最も多い距離を見つける。
- より正確なグラフを作る。

## 8. 参考文献

- 「可視光を利用したトランスミッタの試作」 <http://www.tetras.uitec.jeed.or.jp/files/data/201001/20100105/20100105.pdf>  
 「可視光通信とは」 <http://www.naka-lab.jp/vlc/aboutvlc6.html>

# Improvement of accuracy of visible light communication

Miyagi Prefecture Sendai Daisan High School

Inaduma Daisuke Kasahara Kotaro Sato Kota

Seki Yoshitomo Chida Naoto Hosokawa Keita Shimoyama Riku

## 1. Purpose and background

What is visible light communication?

### Good point

- hard to crowd
- fast communication speed
- not affected by Radio Law

### Bad point

- affected by external interference

### Task

Remove external interference as much as possible.



Fig.1) About ambient light

Fig.2) Radio communication(Left) Visible light communication(Right)

## 2. Hypothesis

① More accurately by slowing the transmission speed

② More communicate accurately using red because it has a small refractive index

## 3. Experiment 1

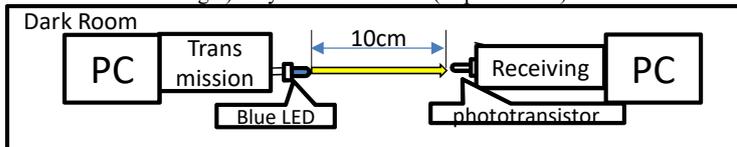
### • Purpose

To check transmission rate suitable for visible light communication

### • Method

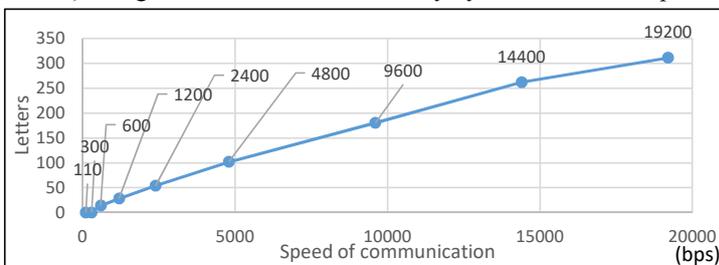
We change transmission rate to 110~57600bps in a darkroom.  
Distance of a transmitter and the receiver is 10cm.  
We measure and take the average of three times.

Fig.3) Layout of the device (Experiment 1)



## 4. Result of Experiment 1

Tab.1) Change in communication accuracy by communication speed



As the communication speed was increased, the number of characters that could be received increased.

It could not receive characters at speeds above 38400bps.

## 5. Experiment 2

### • Purpose

To measure relationship between color of transmitted light and distance of communication by using Full color LED.

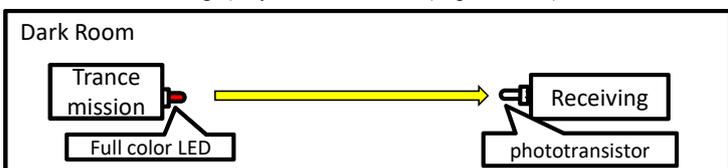
### • Method

We change the color of transmitted light by using Full color LED.

### • material

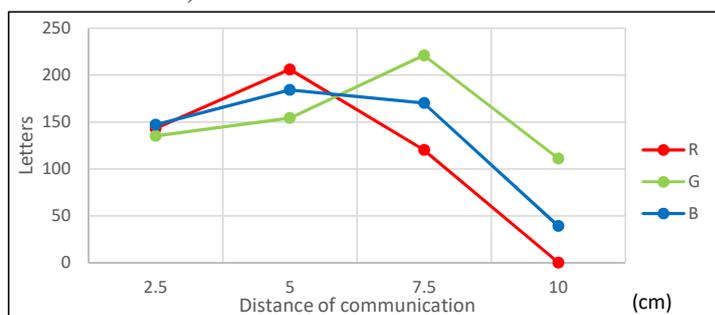
Full color LED

Fig.4) Layout of the device (Experiment 2)



## 6. Result of Experiment 2

Tab.2) Correction of color and communication



• Red light received most when communication distance is 5 cm.

• Green light was received most when the communication distance was 7.5 cm.

• As the communication distance increases, the number of characters that can be received decreases in order of red, blue, and green.

①

### Discussion1

- By increasing the communication speed, the communication accuracy also increases.
- It is limit of phototransistor's performance not to be able to communicate more than 19200bps.

②

### Discussion2

- There is no relationship between the refractive index and the accuracy.
- There is a difference in the distance the characters can be received the most by the color.

### Future work1

- Research why the accuracy decrease when speed of communication become slow
- Research why the accuracy increase when speed of communication become fast

### Future work2

- Reduce the communication distance interval and find the distance with the number of characters that could be received blue the most

## Previous Experiment

「可視光を利用したトランスミッタの試作」 <http://www.tetras.uitec.jeed.or.jp/files/data/201001/20100105/20100105.pdf>

「可視光通信とは」 <http://www.naka-lab.jp/vlc/aboutvlc6.html>

# イスタンブールのお盆の水と油の不思議な動きの解明

宮城県仙台第三高等学校

2109 大槻 祐輔 2122 佐藤 勇真 2124 高橋 翔 2126 中野 雄斗

## 1. 研究の背景

### イスタンブールのお盆

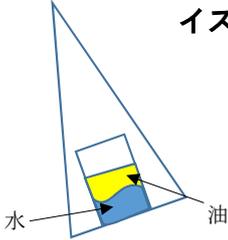


図1 イスタンブールのお盆に見立てた装置

- 油の表面は揺れない。
- 油と水の境界面は揺れる。

### 先行研究

粘性と境界面の揺れ方の関係は分かっている。

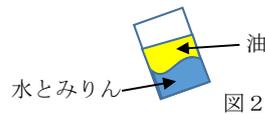
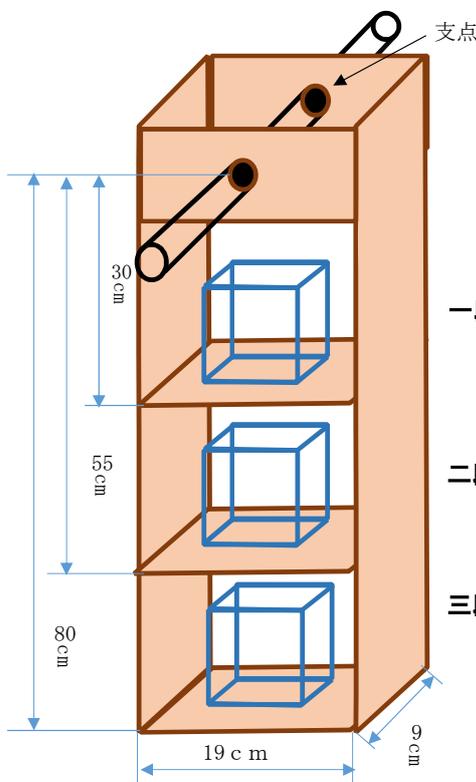


図2

コップの上層と下層で液体の動きが異なることから、コップから振り子の支点との距離と液面の揺れ方の関係を調べる。

## 2. 実験

### 【実験装置】



厚さ2.0cmの木材で左図の実験装置を作成した。支点に金属棒を通して揺らし、スマートフォンのスローモーションカメラで液体の様子を撮影した。

### 一段目

#### 〈実験1〉

プラスチック製の700mlの容器のコップ(規格)3個の各々に水を400ml入れ、液面の揺れ方を観察する。

### 二段目

#### 〈実験2〉

実験1と同じコップに水200ml、油200ml入れ、液面の揺れ方を観察する。

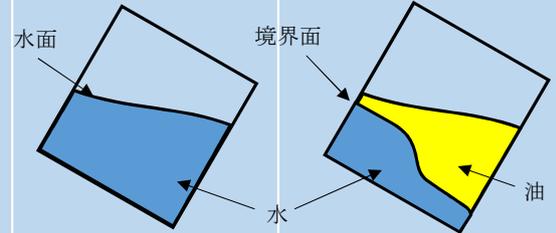
図3 実験装置

## 3. 実験結果

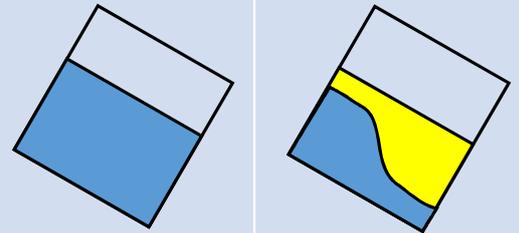
### 実験1

### 実験2

### 一段目



### 二段目



### 三段目

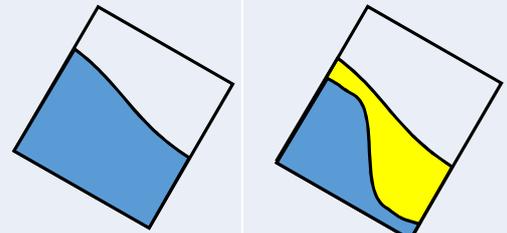


表1 実験による境界面の揺れ

結果は全て振り子が最大変位の瞬間である。

## 4. 結論

- 実験1より、1, 3段目では、イスタンブールのお盆と異なり水面が揺れることが分かった。
- 実験2より、コップの位置が支点から離れるほど境界面の揺れは大きくなることが分かった。

## 5. 今後の展望

- メカニズムの解明を目指し、実験1, 2の液体の量や支点からの距離をさらに変えて実験を行う。
- 境界面の揺れが定常波の可能性があるので、周期と境界面の揺れの関係調べる。

## 6. 参考文献

1. 平成28年度 課題研究「イスタンブールのお盆の原理の解明」宮城県仙台第三高等学校
2. 平成29年度 課題研究「イスタンブールのお盆に乗せた2層の液体の動き」宮城県仙台第三高等学校

# Elucidation of mysterious movement of water and the oil of the Istanbul tray

Otsuki Yusuke

Sato Yuma

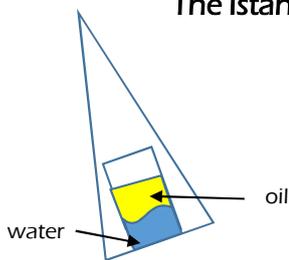
Takahashi Sho

Nakano Taketo

SENDAI DAISAN H.S.

## 1. Introduction

### The Istanbul tray



- The surface of the oil doesn't wave
- The oil-water interface waves.

figure 1

### Previous Experiment

They researched the relationship between the wave and coefficient of viscosity.



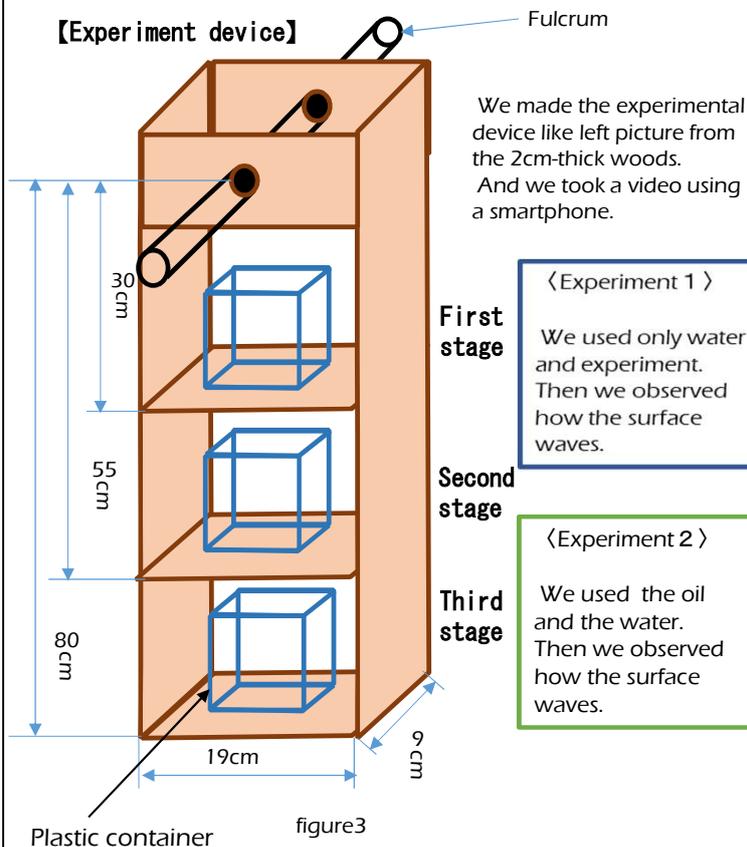
figure 2

But they didn't know the mechanism of wave.

We study the relationship between the wave and the distance from the fulcrum to the cup.

## 2. Materials and Method

### 【Experiment device】



We made the experimental device like left picture from the 2cm-thick woods. And we took a video using a smartphone.

### First stage

#### 〈Experiment 1〉

We used only water and experiment. Then we observed how the surface waves.

### Second stage

#### 〈Experiment 2〉

We used the oil and the water. Then we observed how the surface waves.

### Third stage

Plastic container

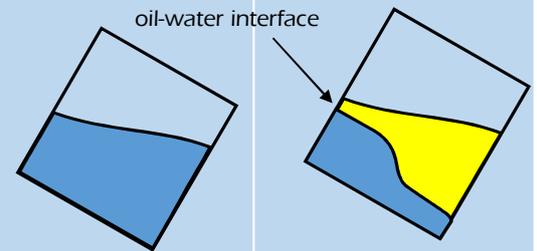
figure 3

## 3. Result

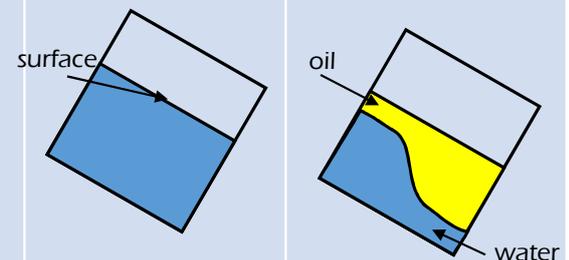
### Experiment 1

### Experiment 2

### First stage



### Second Stage



### Third stage

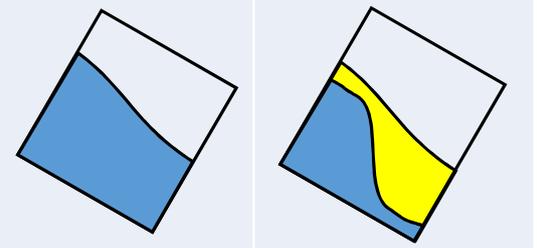


figure 4

All of illustrations are when the largest change of position.

## 4. Discussion

- According to Experiment 1, we knew that the water surfaces which are on first and third stages waved unlike a real Istanbul tray.
- According to Experiment 2, we knew that the longer the distance between the fulcrum and the cup is, the bigger waving of oil-water interface.

## 5. Future Work

- We try to elucidate the mechanism, and do an experiment which change the quantity of liquids and the distance from the fulcrum.
- Because there is possibility of the standing wave in the shaking of the boundary surface, we check a period and relations of the shaking of the boundary surface.

## 6. Previous Experiment

1. In FY 2016, project studies 「イスタンブールのお盆の原理の解明」
2. In FY 2017, project studies 「イスタンブールのお盆に乗せた2層の液体の動き」

# 摩擦帯電の変化条件

2108 近江 2132 我妻 2133 渡邊 2211 木村

## 1. 背景と目的

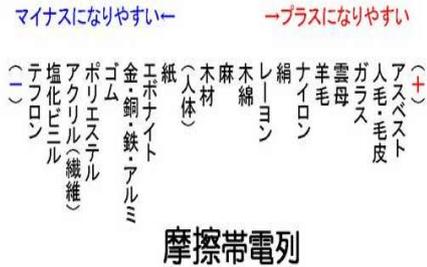
摩擦帯電（静電気）→ 手を痛める、機械を壊すなどの迷惑な点  
身の回りのいろいろなところに存在する。

↓ ↓ ↓ ↓ ↓  
何かしらの工夫によってその電気を利用できるのではないかと考えた。

↓  
どのような条件で静電気が大きくなりやすくなるのか  
を確認する。

↓  
湿度・温度・往復回数・  
強さ・速さ

→このような条件の変化と  
摩擦帯電する電気の量の  
関係を調べる。



## 2. 実験方法

摩擦帯電させるもの→毛皮※ティッシュでも行う。（+の電荷）  
塩化ビニル（-の電荷）

この2つを同じ人の手で擦り合わせる。そしてすぐに計測する。

↓  
帯電量を計測するもの→はく検電器

↓  
-の電荷をもつもの近づけることではくが開くのでその角度を分度器で測る。

↓  
ほかの金属に塩化ビニルを当て放電する。

↓  
繰り返す。

### 1) 往復回数

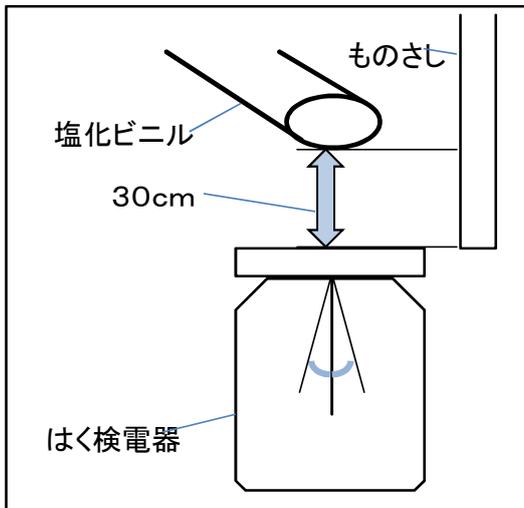
毛皮の塩化ビニル上をこする往復回数を変化させる。最初は5回から始めて5回ずつ増やして50回まで測る。それを、何度か繰り返す。

### 2) 湿度・気温

実験するとき、気温と湿度を測り、その時その時の数値を見る。

### 3) 速さ

メトロノームを用いて擦る速さを一定にしながらか計測する。速さは3パターンでやる。



実験装置

## まとめ・結論

距離や湿度・温度を変えて擦ったが相関はみつからなかった。

↓  
しかし、数値に変化はあったので何かしらの関係があるかもしれない。

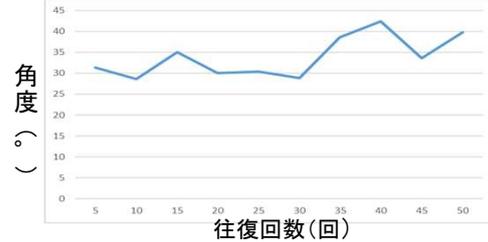
↓  
その関係を見つけ出すために

- ①他の数値の変化にかかわる可能性のあるものをなくす必要がある
- ②相関を見つける必要がある
- ③放電できていない場合方法を考える必要がある
- ④試行をさらに増やす必要がある

→試行をさらに増やすことで関係についてよりわかるかもしれない。  
→まだ行っていない実験を進め関わりをもつものを探さなければならない。

## 3. 結果・考察

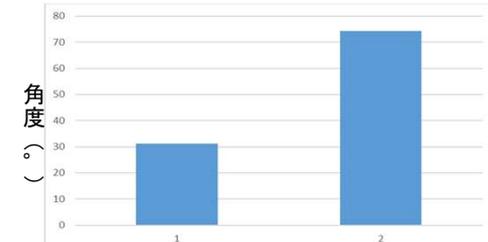
### 1) 往復回数



上のグラフは、回数の変化（横軸）によるはく検電器の開いた角度のグラフである。回数の変化による変化はあまり見られない。

原因として・回数の変化の幅が少ない  
・放電がうまくできていない      ということが考えられる。

### 2) 湿度・気温



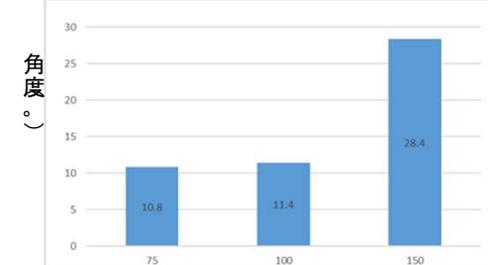
上のグラフは、日にちの変化によるはく検電器の開いた角度の違いを表している。擦る回数5~25回の平均を比べた。

1→8月10日 温度28°C 湿度74%

2→7月4日 温度31°C 湿度55%

温度による変化であるか湿度による変化であるかはわからないが、日による変化はあるのではないかと考える。

### 3) 速さ



上のグラフはこする速さによるはく検電器の開いた角度の違いを表している。150BPMで違いがみられた。

## 参考文献

<http://www.sci-museum.kita.osaka.jp/~ohkura/seidenki/taidenretu.htm>

# The condition varies the friction charged

Omi Masachika Kimura Ryokuto Wagatsuma Ryuki Watanabe Ko

## 1. Introduction and hypothesis

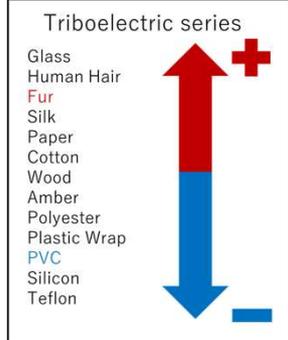
Static electricity → hands can be injured and machines destroyed.  
There is much this.

↓↓↓↓↓  
We think there is possibility that we can use electricity to do something.

↓  
We will find conditions where electricity comes large or small.

↓  
humidity/temperature/times/  
strength/speed

→We will research relation to be between these conditions and static electricity.



## Conclusion

We changed times, humidity and temperature, and speed, and rub but we can't find the condition.

↓  
However, there are differences and possibilities to be some extent.

↓  
To find the relation

- ① We lose other causes to change.
- ② We find correlation.
- ③ We research about electrical discharging.
- ④ We do repeated experiment.

→The more we do experiments, the more we can find relations.  
→We must do new experiments.

## 2. Materials and method

how we made static electricity → Fur (+ electric charge) Vinyl chloride (- electric charge)

It was rubbed by human hands. And we measured data immediately.

↓  
To measure the charge level → Foil electroscope

↓  
The foil opens when electric charge approaches. So we measure the angle by protractor.

↓  
We touched a vinyl chloride pipe to other metal to discharge.

↓  
Experiment was repeated

### 1) Number of laps

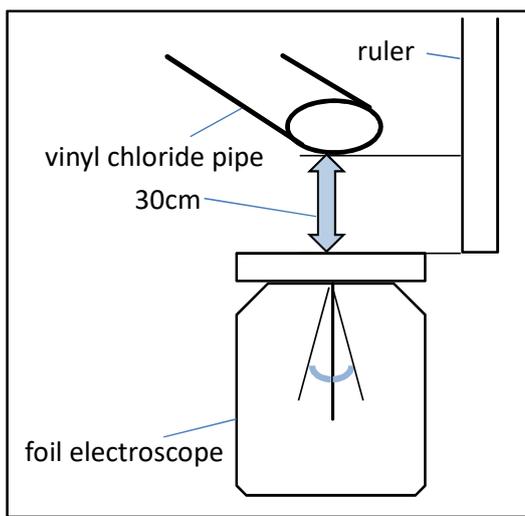
We changed the number of reciprocations to rub Fur and Vinyl chloride. First, we rub 5 times and increased each 5 times we measure even 50 times. It is repeated.

### 2) Temperature and Humidity

When we experimented, we measure temperature and humidity.

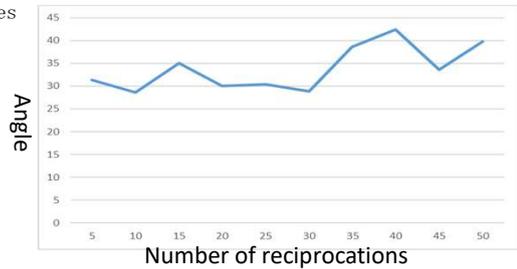
### 3) Speed

To change speed.



## 3. Result

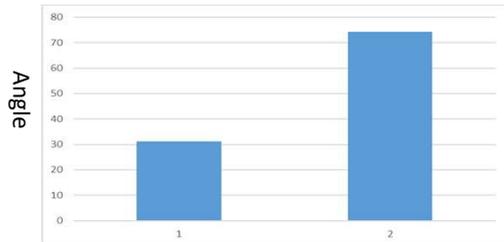
### 1) Times



This graph shows angle that the foil electroscope opened by times, side. We can't find a strong relationship.

We think the cause is • Difference of time is too little.  
• We can't do electric discharging.

### 2) Temperature and humidity



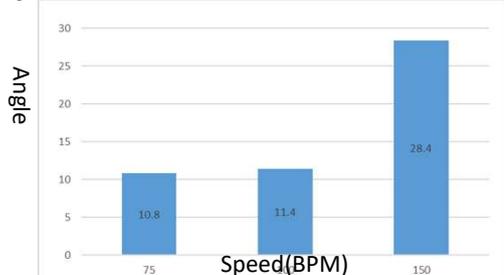
This graph shows angle that the foil electroscope opened by days. We looked at the difference of average between 5 times and 25 times.

1 → 8, 10 28°C 74% (day temperature humidity)

2 → 7, 4 31°C 55%

We can't find difference by temperature or humidity but we understand there is difference by day.

### 3) The speed



This graph shows angle that the foil electroscope opened by speed. There is a difference on 150 BPM.

## Bibliography

<https://hesed.infoblog.com/triboelectricity.abp>

[https://aikafelt.exblog.jp/iv/detail/?s=16662161&i=201111%2F04%2F02%2Fb0091802\\_659265.jpg](https://aikafelt.exblog.jp/iv/detail/?s=16662161&i=201111%2F04%2F02%2Fb0091802_659265.jpg)

# 面の状態と摩擦の関係

宮城県仙台第三高等学校 課題研究 摩擦班  
久道一真 渡部友貴 我妻蒼太 進藤優慈 錦部颯太

## 1. 序論

朝、自転車を漕いでいた  
↓  
地面の状態が進む速さが若干違う  
↓  
面の状態と摩擦に関係がある？  
↓

面の状態と摩擦の大きさの関係を調べれば摩擦をコントロールし、何かに応用できるのでは？

主に今回は面の表面の凹凸の関係性を調べた

## 2. 仮説

- ・溝の数によってエネルギー減少量に変化が出る  
⇒摩擦は表面の凹凸の具合によって変化すると考えた
- ・溝の数と摩擦の大きさは比例する  
⇒上記同様

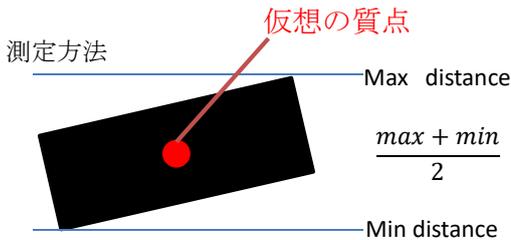
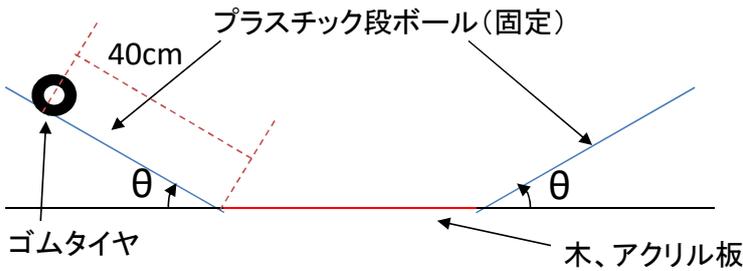
## 3. 材料と方法

材料：プラスチック段ボール、ゴムタイヤ、実験板（木、アクリル板）、メジャー

### 方法

1. 斜面の上で円柱状のゴム(これをゴムタイヤとする)を転がす
2. 最初にゴムタイヤが止まった点における転がった斜面上の距離をメジャーではかる

⇒ **20回行う**



ゴムタイヤの重心を**仮定の質点**とし、上り坂の下端からその点までの距離を測定し、エネルギーの減少量を以下の式で求めた。

$$9.8m \left( 40 - \frac{max+min}{2} \right) \sin\theta \times \frac{1}{100} \text{ [mJ]}$$

(m[g]はゴムの質量)

横溝

縦溝

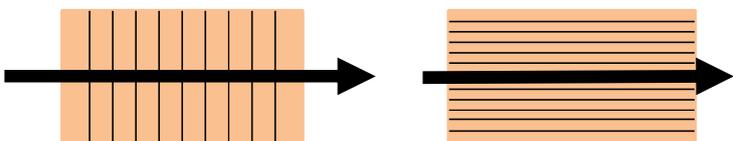


図3: 溝

## 4. 結果・考察

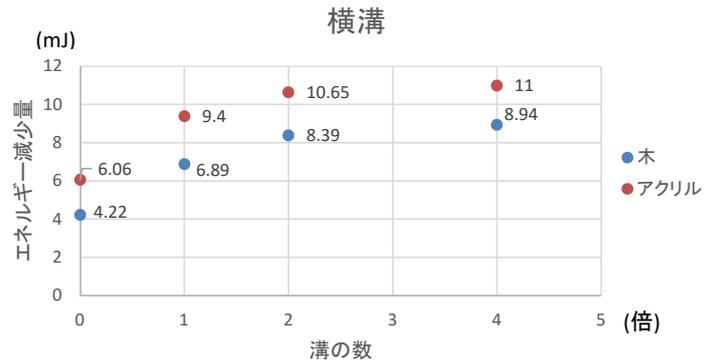


表1: 横溝の数とエネルギー減少量についてのグラフ

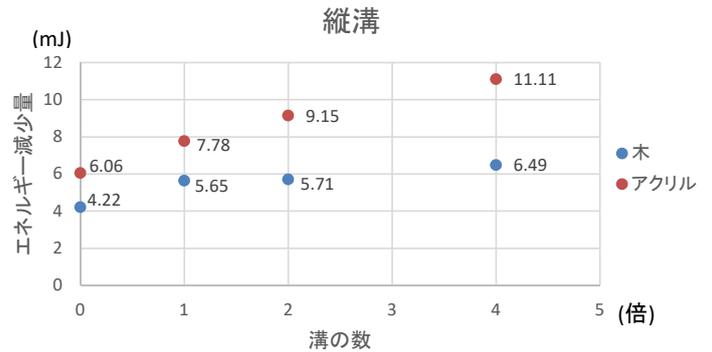


表2: 縦溝の数とエネルギー減少量についてのグラフ

- ・エネルギーの減少量は、ほとんどの場合溝なく縦溝<横溝となった。  
⇒溝を入れるとエネルギーの減少量が増えるのは細かい上下運動が加わるからか？
- ・溝の数とエネルギーの減少量には正の相関があった。

## 5. まとめ・結論

- ・木の板とアクリル板ではアクリル板のほうが摩擦が大きい。
- ・溝の数とエネルギーの減少量には正の相関があった。
- ・溝を入れると摩擦は大きくなり、その大きさは

溝なく 縦溝 < 横溝

となる。

## 6. 今後の展望

- ・なぜ縦溝のほうが横溝よりも摩擦が小さくなったのかを調べる。
- ・溝の種類を変え、上下運動に変化を加える。

## 参考文献

1) 摩擦と表面 内山吉隆 [https://www.jstage.jst.go.jp/article/gomu1944/65/5/65\\_5\\_312/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/gomu1944/65/5/65_5_312/_pdf/-char/ja)

# The relationship between surface condition and rolling friction

Miyagi Prefecture Sendai Daisan High School Project Study friction group  
Ishhin Hisamichi Yuki Watanabe Sota Wagatsuma Yuji Shindo Sota Nishikibe

## 1. Introduction

We rode our bicycle.



The condition of the road may change our riding speed.



Is there any relationship between surface and friction ?



Especially, rubber friction is known to change in dry state and so on, but remains unknown.



We study about the relationship between the surface and friction.



It can prevent traffic accidents.

## 2. Hypothesis

- Friction is proportional to the number of grooves.
- Grooves make friction stronger, and make variation more.

## 3. Materials and Method

Ⓐ Materials: rubber tube, Plastic cardboard, Wooden/Acrylic plastic board, Measure

Ⓑ Method

1. We roll rubber tire on the slope
2. We measure the distance of rolled tire

⇒ **20 times**

## Experimental apparatus

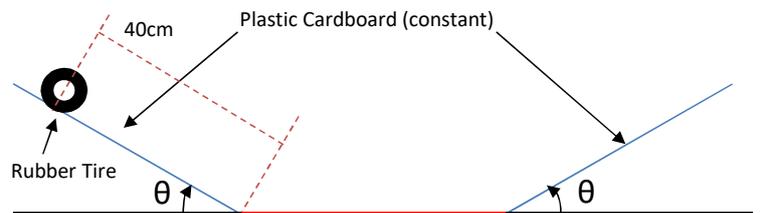


Fig 1. Experimental apparatus

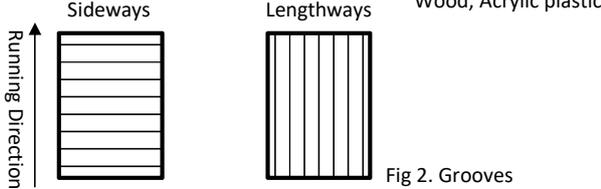


Fig 2. Grooves

## How to measure

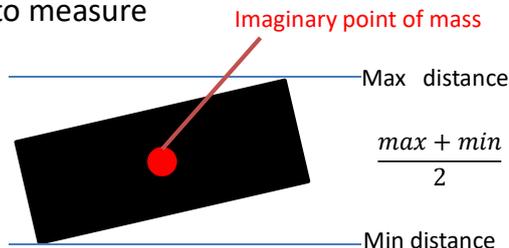


Fig 3. Center of gravity

We measured the distance between the edge of the slope and the imaginary point of mass. Then we calculated the decline of energy using the following formula.

$$9.8m \left( 40 - \frac{\max + \min}{2} \right) \sin\theta \times \frac{1}{100} \text{ [mJ]}$$

(m[g] is the mass of the rubber tire we used)

## 4. Result and Discussion

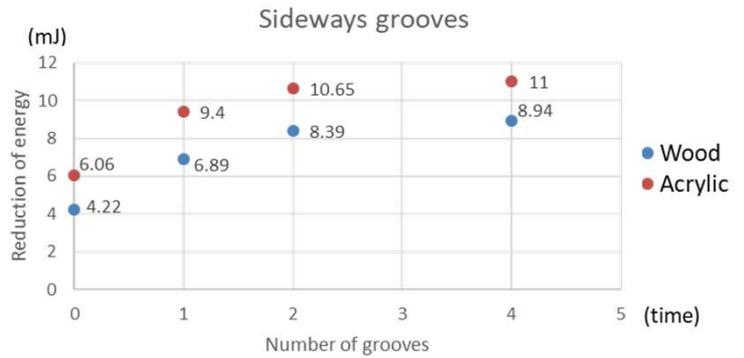


Table 1. Result of sideways grooves

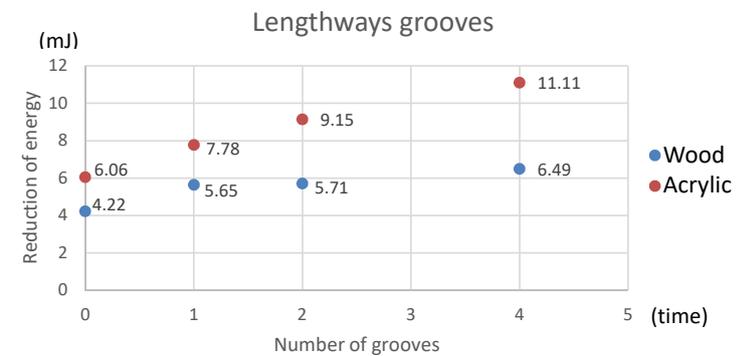


Table 2. Result of lengthways grooves

- Sideways grooves make the reduction of energy the most, then the second is lengthways grooves and no grooves make the reduction of energy the least.  
⇒ Because grooves make slightly upward and downward motion.
- There is positive correlation between number of grooves and reduction of energy.

## 5. Conclusion

- Acrylic friction is bigger than wood friction.
- Friction becomes bigger when there are grooves than when there are no grooves. The relationship is

No groove < Lengthways grooves < Sideways grooves

## 6. Future Work

- We will check the reason why the variation of the results became less when making the grooves.
- We will change the kind of grooves and add a change for vertical movement.

## Reference

1) 摩擦と表面 内山吉隆 [https://www.jstage.jst.go.jp/article/gomu1944/65/5/65\\_5\\_312/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/gomu1944/65/5/65_5_312/_pdf/-char/ja)

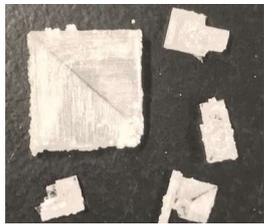
# 塩化ナトリウムの結晶の長さを操る

宮城県仙台第三高等学校 課題研究 結晶班

高橋怜汰 浅井元輝 佐藤龍飛 渡辺巧望

## 背景

一般に塩化ナトリウムの結晶は立方体で知られているが、先行研究より貧溶媒法を用いることで針状・柱状・板状結晶が多く現れることやエタノールの最終濃度が高いほど結晶が長くなることが分かっている。



板状(図1)



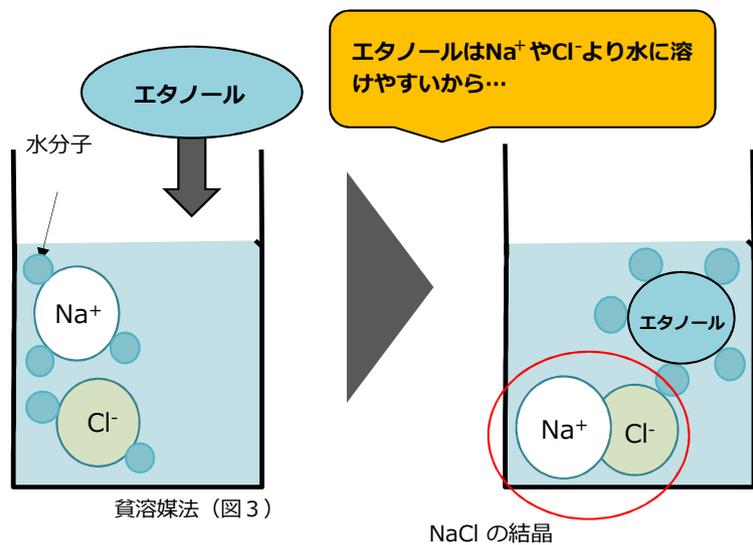
柱状・針状(図2)

針状結晶の長さに着目

溶液の深さに  
着目してみよう

他に結晶の長さを変える条件はないだろうか？

## 貧溶媒法とは



## 実験結果



1 cm

2 cm

3 cm

6 cm

摘出した結晶の様子(図6)

深さ (cm)	針状結晶の長さの 平均値	溶液量 (ml)	結晶量 (g)	結晶量/ 溶液量 (g/ml)
1.0	0.52	29	1.17	0.058
2.0	1.46	83	4.89	0.059
3.0	1.50	110	5.73	0.052
6.0	2.18	260	17.19	0.066

実験結果(表1)

## 考察

ほぼ一定

・溶液量当たりの結晶量がほぼ一定だったにも関わらず、結晶の長さは深さが大きいほど長くなった

溶液の深さが大きいと結晶生成ができるスペースが広がるためではないか

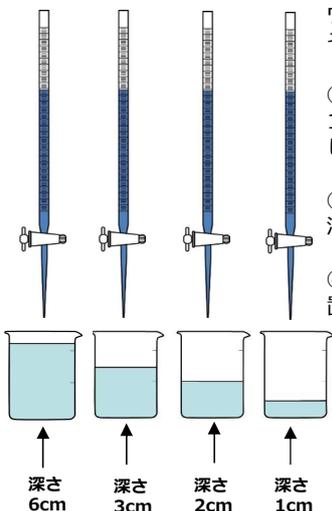
・1 cm, 2 cm, 3 cmでは針状結晶が多く見られたが、6 cmからは針状結晶の他に板状の結晶や立方体の結晶が多く見られた

1 cm, 2 cm, 3 cmの時と比べて6 cmの時はエタノールが液面から底まで落ちる時間が長いので結晶が広がりやすいのではないか

## 実験方法

エタノールの質量パーセント濃度とビーカーの大きさを固定

独立変数：溶液の深さ



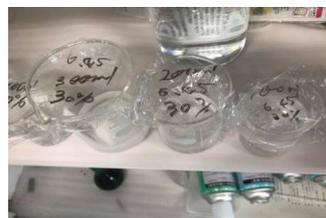
実験の様子(図4)

① 300mlビーカーを4つ用意し、塩化ナトリウム水溶液とエタノールの割合は変えずに、それぞれの溶液の量を変えた

② エタノールを滴下した後の溶液の深さが1cm, 2cm, 3cm, 6cmとなるように調節した

③ エタノールはビュレットを用いてゆっくり滴下した

④ 全て滴下させた後、ラップをして1週間静置する



ラップをかけたビーカー(図5)

## 今後の展望

板状の結晶や立方体の結晶が析出する溶液の深さの境目を調べるために、4cm, 5cmでも同様の実験を行う。

## 参考文献

宮城県仙台第三高等学校 課題研究 貧溶媒法で得られた塩化ナトリウムの結晶

# Manipulate crystalline form of sodium chloride (NaCl)

Miyagi prefecture Sendai third high school issue research

Ryota Takahashi Motoki Asai Tappi Sato Takumi Watanabe

**Introduction** From the previous research, it is known that many needle-like, columnar, plate-like crystals appear by using the poor solvent method, and crystals become longer as the concentration is higher.



Plate shape (Fig1)

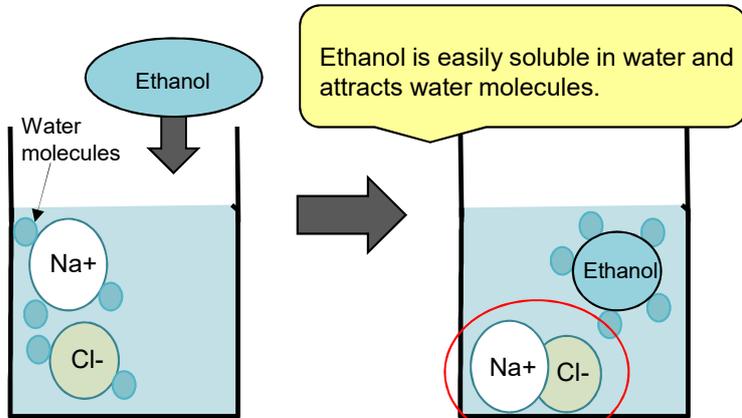


Acicular, columnar (Fig2)



Is there any other condition to change the length of the crystal?

## What is the poor solvent method?



(Fig3) The poor solvent method

## Results and Discussion



300ml

200ml

100ml

(Fig6) Image of crystal formation

### Amount of crystals

300ml beaker < 200ml beaker < 100ml beaker

## Experiment Method

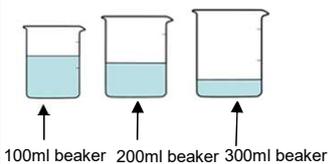
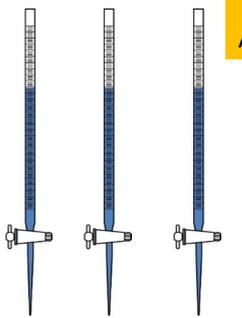
**keep**

Amount of solution

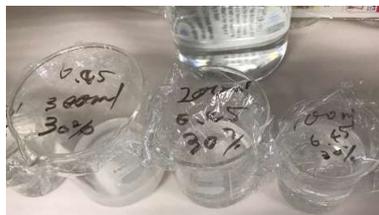
**change**

The size of the beaker

- ① Placing the solution in three beakers.
- ② Adding ethanol using a burette.
- ③ Wrapping all beakers.
- ④ Left them for 1 week.



(Fig4) Experimental situation



(Fig5) Beaker with lap



300ml

200ml

100ml

(Fig7) A part of the crystal taken out

### length of crystals

300ml beaker < 200ml beaker < 100ml beaker

## Future works

- Perform similar experiments several times to get more accurate data
- Since the relation between water depth, amount of crystals and length is known, we check the regularity of the shape

## Previous experiment

仙台第三高等学校 課題研究 貧溶媒法で得られた塩化ナトリウムの結晶

## Conclusion

### Water deep is long

➡ The crystal becomes **longer** and the amount of crystals obtained also **increases**

### Water deep is short

➡ The crystal becomes **shorter** and the amount of crystals obtained also **decreases**

# 身近なおむつの蓄電池

宮城県仙台第三高等学

阿部太陽

藤野晃慈

庄司陽大

## 研究の背景・目的

近年、未使用おむつの廃棄量が増加。

再利用することはできないか…



おむつの高吸収性ポリマー用いて蓄電できる。

そこで、実用化できるようにするために以下の実験を行った。

## まとめ

ポリマーは、電圧の減少を抑えることができる。

純水よりは、塩分を含んだほうが多くの電圧を得られる。  
尿素を入れると電圧の値は小さくなる。

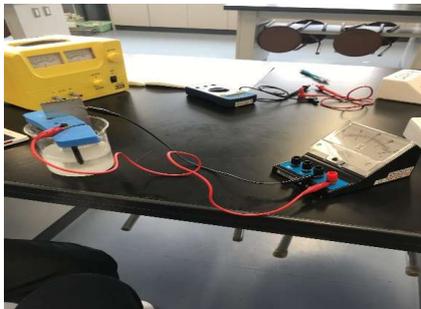
<今後の展望>

- ・内部抵抗の値を調べる
- ・最適な海水濃度を調べる

## 研究方法

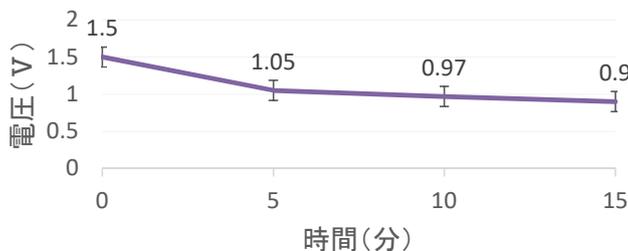
<研究1>

尿を想定した水溶液（塩化ナトリウム3g, 尿素3.4g, 純水193.6gの水溶液）に高吸収性ポリマー1gを混ぜ、亜鉛板、炭素棒を用いて充電を行い電圧の5分ごとの変化を調べる。



(実験の様子)

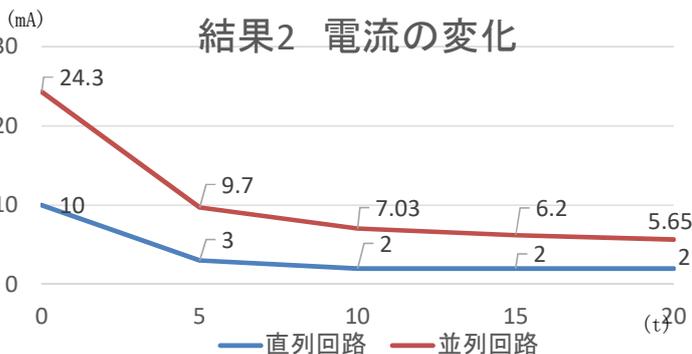
## 実験1における電圧の変化



— 平均値

<研究2>

研究1と同様の装置を用いて並列回路、直列回路の2種類の電流の5分ごとの変化を調べる。



## 結果2 電流の変化

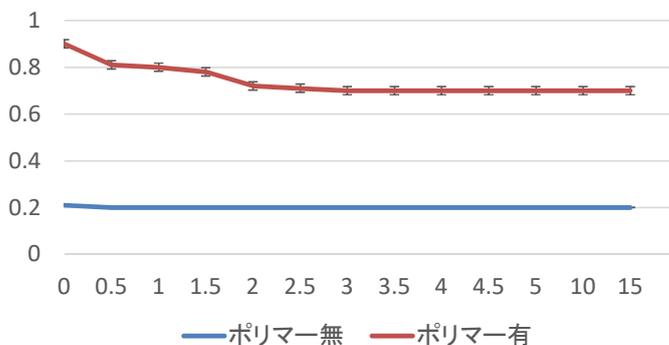
— 直列回路 — 並列回路

<研究3>

ポリマーを用いた時の変化を調べた。

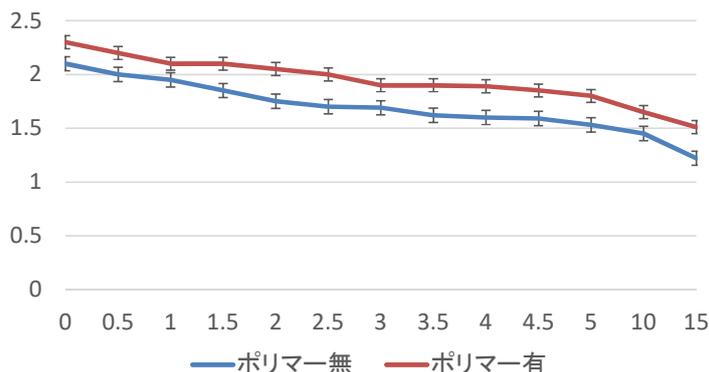
結果1: 純粋な水

## 純水での変化



結果2: 海水

## 海水での変化



結論

今回の実験で、ポリマーを入れることでどの場合でも電圧の値は大きくなった。また、海水と同じ濃度の時が、最も電圧の値が大きかった。尿素を追加すると電圧が低くなった。ポリマーを入れたときのほうが電圧をより長い時間維持できることもわかった。

## 参考文献

平成28年度 課題研究「使用済み紙おむつによる発電を目指して」

# Battery of disposable diaper

Miyagi prefecture Sendai Daisan high school

Abe Taiyo Fujino Koji Shoji Akihiro

## Background

Disposal of diaper is one of environment problem



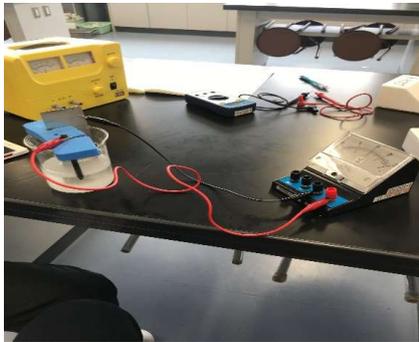
It can store electricity using a super absorbent polymer of a diaper. (1)

So, We did these experiments.

## Materials and method

### <Experiment 1>

The super absorbent polymer(1g) was put in the pseudo urine (Aqueous solution of NaCl 3g, CH<sub>3</sub>N<sub>2</sub>O 3.4g, H<sub>2</sub>O 193.6g) . to charge electricity in it using zinc and carbon, and to search change in voltage every 5 minutes.



↑ experimental figure

The result Minutes

	0	5	10	15
sample 1	1.5V	1.0V	0.9V	0.8V
sample 2	1.6V	0.95V	0.80V	0.78V
sample 3	1.4V	1.2V	1.2V	1.1V

### <Experiment 2>

To search change in electric current every 5 minutes using the same equipment as experiment 1

The result Minutes

	0	5	10	15	20
	10mA	3mA	2mA	2mA	2mA

The current is weak and it is difficult to use it as a storage battery.

### <Experiment 3>

We thought diapers storage battery resistance is very strong. So we did parallel circuit to decrease resistance. (How to measure is same study1,2)

The result

	0	5	10	15	20
	24.3 mA	9.7 mA	7.03 mA	6.2 mA	5.65 mA

At first we could not get a lot of current more than series circuit, but it decreased soon.

### <Experiment 4>

We checked if electronic music box rang by using experiment3' circuit.

The result

It rang, but it was very small sound because it was very small current. And it cannot keep ringing a long time.

## Conclusion

## Future work

### About efficiency



Temperature and water temperature' s relationship  
Solution and pH' s relationship  
Many kinds of metal' s which is used combination

### About investigate point



Internal resistance' s size  
Voltage level' s change between long time  
How long voltage level is stable

The goal of our group is to experiment the above contents and make storage battery easy to use.

Also, in past experiments we were using chemical polymers. From now on we will experiment using diaper polymer.

## 参考文献

1) 平成28年度 課題研究「使用済み紙おむつによる発電を目指して」

# 銅の殺菌作用と毒性

宮城県仙台第三高等学校  
黒川朝陽 高野裕人 成田美貴

## 1. 背景

19世紀後半、足尾銅山鉛毒事件が発生  
銅の化合物が原因で稲の立ち枯れや人体に  
影響を与えた

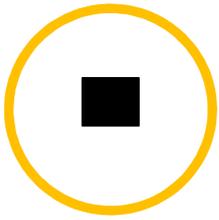


現在、金属の殺菌作用を活用した製品が多くある  
銅の毒性、殺菌の違いとは？



目的 ①銅の菌に対する作用を調べる  
②銅の毒性について調べる

## 2. 実験1 ～銅イオンがカビに与える影響～



1. 銅の殺菌効果  
を調べる

- ・純水
- ・硝酸銅水溶液
- ・硫酸銅水溶液
- ・銅板 (純水)
- ・三種の銅箔 (純水)



カビが生えなかったもの…○

2. 銅の殺菌効果  
を確かめる

- ・硝酸
- ・硫酸
- ・硝酸銅水溶液
- ・硫酸銅水溶液



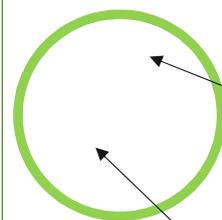
カビが生えたもの…×

材料	カビ
1、純水	×
2、硝酸銅水溶液	○
3、硫酸銅水溶液	○
4、銅板	×
5、銅箔 (Cu)	×
6、銅箔 (CuO)	×
7、銅箔 (Cu <sub>2</sub> O)	×

材料	カビ
1、硝酸	×
2、硫酸	×
3、硝酸銅水溶液	○
4、硫酸銅水溶液	○

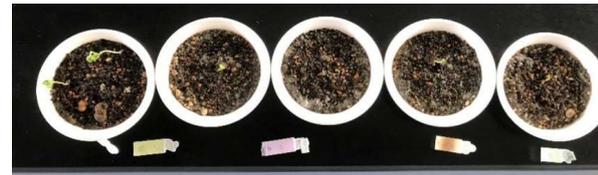
水溶液中の銅イオンに殺菌効果があることが判明

## 3. 実験2 ～植物に対する銅イオンの毒性～



- ・純水
- ・硝酸銅水溶液 (0.1%)
- ・硝酸銅水溶液 (1%)
- ・硫酸銅水溶液 (0.1%)
- ・硫酸銅水溶液 (1%)
- ・硝酸
- ・硫酸

二十日大根の種と土



材料	植物
1、純水	◎
2、硝酸銅水溶液 (0.1%)	△
3、硝酸銅水溶液 (1%)	△
4、硫酸銅水溶液 (0.1%)	△
5、硫酸銅水溶液 (1%)	△
6、硝酸	○
7、硫酸	○

◎…発芽しよく育った ○…発芽し育った  
△…発芽したが育たなかった

銅イオンが植物の成長に影響を与えていることが判明  
成長を阻害している→毒性がある。

## 3. 考察

銅イオンがカビと植物の成長に影響を与えることはわかった。しかし植物については濃度別に実験をしても銅イオンが成長を阻害しているということがわかっただけで、濃度別に発芽が遅れるということにはなかった。考えられる要因としては、1%と0.1%では濃度の差がほとんどなかったと考えられる。

## 4. 今後の展望

- ・菌の具体化 → カビだけでなく、菌を具体化してどのような結果が得られるかを研究する。
- ・濃度をもっと細かくして調べてみる。 → どの値から植物にどれだけの影響を与えるか分かりやすくする。
- ・他の植物を使った実験 → 二十日大根だけでなく他の様々な植物にどんな影響があるのかを調べる。

## 参考文献

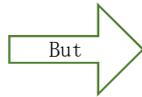
- ・辛酸-田中正造と足尾鉛毒事件 城山三郎 著
- ・Wikipedia 足尾銅山鉛毒事件 <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B6%B3%E5%B0%BE%E9%89%B1%E6%AF%92%E4%BA%8B%E4%BB%B6>
- ・日本銅センター 銅の殺菌性 <http://www.jcda.or.jp/feature/tabid/88/Default.aspx>
- ・金属の殺菌・抗菌効果 仙台第三高等学校 藤原蓮 他著

# Bacteriocidal action and toxicity of copper

Miyagi Prefecture Sendai Daisan High School  
Asahi Kurokawa , Hiroto Takano , Miki Narita

## 1. Introduction

In 19<sup>th</sup> century ,  
Ashio mining pollution incident was caused  
by copper compound in Japan .

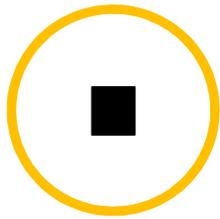


Now , we have used many biocidal products of copper .  
How dose copper have difference in bacteriocidal action and toxicity .



Purpose ①Research bacteriocidal action of copper  
②Research toxicity of copper

## 2. Experiment 1 ~The influence that copper ions give to mold~



1. Research bacteriocidal of copper
  - H<sub>2</sub>O (pure water)
  - CuSO<sub>4</sub> (aquaos)
  - Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(aq)
  - Cu plate (p w)
  - Cu foils (p w)
2. Confirm bacteriocidal of copper
  - HNO<sub>3</sub> (aq)
  - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (aq)
  - Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (aq)
  - CuSO<sub>4</sub>(aq)

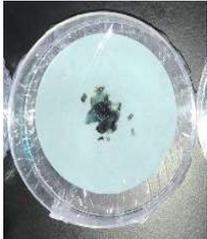


Figure1  
Not to get moldy...×

Material	Mold
1, H <sub>2</sub> O(pure water)	○
2, CuSO <sub>4</sub> (aquaos)	×
3, Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (aq)	×
4, Cu (plate)	○
5, Cu (foil)	○
6, CuO (foil)	○
7, Cu <sub>2</sub> O (foil)	○

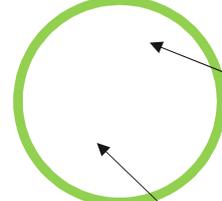


Figure2  
To get moldy...○

Material	Mold
1, HNO <sub>3</sub> (aq)	○
2, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aq)	○
3, Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (aq)	×
4, CuSO <sub>4</sub> (aq)	×

We discovered that copper ions have bacteriocidal effects.

## 3. Experiment 2 ~The toxicity that copper ions give to a plant~



- H<sub>2</sub>O (pure water)
- Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (aq)(O. 1%)
- Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (aq)(O. 1%)
- CuSO<sub>4</sub> (aq)(O. 1%)
- CuSO<sub>4</sub> (aq)(1%)
- HNO<sub>3</sub> (aq)
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (aq)

Soil and seed of plants

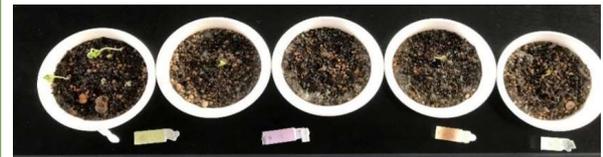


Figure3

Material	Growth
1, H <sub>2</sub> O(pure water)	◎
2, Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (aq)(O. 1%)	△
3, Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (aq) (1%)	△
4, CuSO <sub>4</sub> (aq) (O. 1%)	△
5, CuSO <sub>4</sub> (aq)(1%)	△
6, HNO <sub>3</sub> (aq)	○
7, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aq)	○

◎...To grow well ○...To grow △...Not grow well

Copper ions are effective to prevent growth of plants. →Copper has toxicity.

## 3. Discussion

We discovered that copper ion affects growth of mold and plants. However, About the plant, we were not able to confirm the difference in result by the concentration of water solution . As for the causes , it is thought that there were few differences of the concentration in 1% and 0.1%.

## 4. Future works

- take shape of germs → Is different from mold and other germs ?
- Research by changing concentration → What level does a copper ion begin to affect the plant from?
- Use other plants → Dose the same result happen even if we use other plants?

## Reference documents

- 辛酸-田中正造と足尾鉍毒事件 城山三郎 著
- Wikipedia 足尾銅山鉍毒事件 <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B6%B3%E5%B0%BE%E9%89%B1%E6%AF%92%E4%BA%8B%E4%BB%B6>
- 日本銅センター 銅の殺菌性 <http://www.jcda.or.jp/feature/tabid/88/Default.aspx>
- 金属の殺菌・抗菌効果 仙台第三高等学校 藤原蓮 他著

# 無電解めっきを用いた材料の応用

仙台第三高等学校

2110 尾形 海 2114 加藤 魁晟 2208 大友 耀太 2218 佐藤 理来 2229 細谷 悠真

## 研究概要

### 無電解めっきとは？

→外部からの電気を使わずにめっきをすること

### 無電解めっきの利点

- ・電気を通さない不導体にもめっきができる
- ・電解めっきに比べめっき膜に均一性がある
- ・形状に制限がない

### 電解めっき 無電解めっき

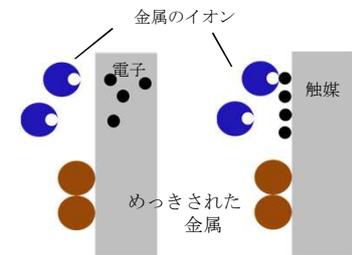


図1 電解めっきと無電解めっきの違い

不導体にめっきできること、めっき膜に均一性があることに注目して、

日常にある不導体の防錆性などの向上の目的で研究を始めた。

## 結果

### 導入実験

結果は図2のようになった。  
ペットボトルにめっきはされたが全体的にめっきの膜が薄く、所々めっきのされかたにばらつきがあった。



図2 銅めっきしたペットボトル

### 実験1

結果は図3,4,5,6のようになった。  
木材のとき、銅の赤褐色に変化し、はっきりとめっきがされている。

コンクリートのとき、色は黒色に変化し、めっきされていることはわかるが、完全にされているかはわからない。



図3 元のコンクリート



図4 めっきされたコンクリート



図5 元の木材



図6 めっきされた木材

## 導入実験 プラスチックへのめっき

参考文献<sup>1)</sup>に記載されていた、無電解めっきの特徴を生かした、不導体であるプラスチックへのめっきをする実験を行った。

### 材料と方法

1. 前処理として、ペットボトルの内面に銅イオンを付着させるため結晶核となる銀の微粒子を吸着させる。

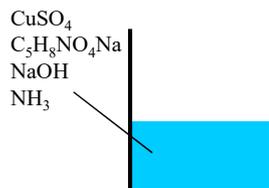
- ① 1% フミン酸塩基性水溶液
  - ② 2% 塩化スズ(II) 酸性水溶液
  - ③ 0.1 mol/L 硝酸銀(I) 水溶液
- の順でそれぞれ 15 mL 入れ、1 分間振る

三回繰り返す

2. アスコルビン酸の還元力を利用し、ペットボトルの表面に金属銅を析出させる。

ビーカーに、

- |                       |       |
|-----------------------|-------|
| 0.1 mol/L 硫酸銅(II) 水溶液 | 15ml  |
| 2% グルタミン酸ナトリウム水溶液     | 4.5ml |
| 6 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液   | 1.5ml |
| 濃アンモニア水               | 1.5ml |



を加え、氷で冷やし 10℃ 以下に保つ。  
(以下、これをめっき液とする)

前処理を施したペットボトルにアスコルビン酸を 15 g 入れ、そこにめっき液を入れ、10 分間激しく振り、反応を観察する。

## 実験1 木材、コンクリートへのめっき

導入実験で用いた方法を使い、木材、コンクリートにめっきし、それぞれの防錆性を上げる実験を行った。

### 方法

[木材]

1. 前処理は、導入実験とは異なり、1% フミン酸塩基性水溶液、2% 塩化スズ(II) 酸性水溶液、0.1 mol/L 硝酸銀(I) 水溶液の順に 10ml ずつ 3 分間浸した。
2. ビーカーに木材とアスコルビン酸、めっき液を入れ、10 分間振った。

[コンクリート]

1. 1% フミン酸塩基性水溶液、2% 塩化スズ(II) 酸性水溶液、0.1 mol/L 硝酸銀(I) 水溶液の順に 20ml ずつ 3 分間浸した。
2. ビーカーに木材とアスコルビン酸、めっき液を入れ、10 分間振った。

## 考察

- ペットボトルのめっきにばらつきがあった  
→前処理の銀の微粒子が均一に吸着していない  
ペットボトルの形に関係している？  
導入実験と実験1でめっきの濃さの違いがでた  
→ペットボトルはめっきする面積が大きいためめっき膜が薄くなったから

## 結論

無電解めっきの特徴を生かし不導体へのめっきに成功

防腐性との関係は分かっていない

防腐性について詳しく調べ材料の性能の向上を図る

## 展望

- ・めっきと防腐性の関係を調べる
- ・他の不導体へのめっき
- ・無電解めっきのめっき膜の厚さを調整できるようにする

## 参考文献

- 1) 無電解めっき～基礎と展開～ 原田 久志 1996 年
- 2) 無電解ニッケルめっき 清川メッキ工業株式会社 <https://www.kiyokawa.co.jp/technology/technology.asp?hed=86&tk=1>
- 3) 魅せる化学の実験授業 高等学校「化学基礎」編 岩田 久道 後藤 顕一

# New Materials with Electroless Plating

Sendai Daisan High School

2110 Kai Ogata 2114 Kaisei Kato 2208 Yota Otomo 2218 Riku Sato 2229 Yuma Hosoya

## Overview

What is “electroless plating”?  
→Plating without electricity

Advantages of electroless plating

- \* It can plate metal on nonconductors
- \* Plating film has less unevenness
- \* No matter what form an object has, it can be plated

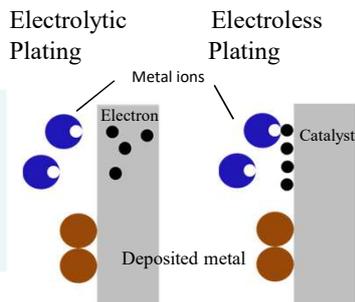


Fig.1 Kinds of plating methods

We focused on the point that it can plate to nonconductors with less unevenness, thus we began to study about plating and nonconductors' abilities to prevent degradation.

## Result

### Warm-up Experiment

Fig. 2 shows we could plate plastic bottle. However, plating film was thin and the depth of plating has a lot of variation.



Fig.2 Plated plastic bottle

### Experiment 1

Fig. 3, 4, 5, and 6 show plated wood/concrete was clearly plated than plated plastic bottle.

## Warm-up Experiment : Plating Plastic

We used the method which is written in a reference document<sup>3)</sup> to plate plastic, which is a nonconductor, with copper.

### Materials

- \* Plastic bottle (500 mL)
- \* 2 % tin(II) chloride acidic aqueous solution
- \* 1 % humic acid basic aqueous solution
- \* Concentrated ammonia aqueous solution
- \* 0.1 mol/L silver nitrate aqueous solution
- \* 0.1 mol/L copper sulfate aqueous solution
- \* 2 % sodium glutamate aqueous solution
- \* 6 mol/L sodium hydroxide aqueous solution
- \* Ascorbic acid

### Method

1. For preprocessing, adsorb silver particles, which becomes crystal nucleus, inside the plastic bottle, to deposit copper(II) ions there

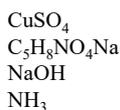
- 1 % humic acid basic aqueous solution 15 mL
- 2 % tin(II) chloride acidic aqueous solution 15 mL
- 0.1 mol/L silver nitrate aqueous basic solution 15 mL

In this order, put in one solution, shake it for 1 minute, wash the bottle with water, and put in the next solution.

Repeat 3 times

2. To use the reducing power of ascorbic acid, deposit single copper to the surface of plastic bottle.

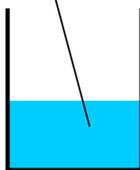
- \* 0.1 mol/L copper sulfate aqueous solution 15mL
- \* 2 % sodium glutamate aqueous solution 4.5mL
- \* 6 mol/L sodium hydroxide aqueous solution 1.5mL
- \* Concentrated ammonia aqueous solution 1.5mL



Put these in a beaker and keep it under 10°C.

(We call it “plating liquid”.)

Add 15 g of ascorbic acid in the preprocessed plastic bottle, and add plating liquid into it. Shake the bottle for 10 minutes and observe the reaction.



## Experiment 1 : Plating Wood and Concrete

Using the method of Warm-up Experiment as a reference, we tried to plate wood and concrete with copper. The purpose of this experiment was to increase the wood's and concrete's ability against degradation.

### Method

- As a preprocessing, dip 1 % humic acid basic aqueous solution, 2 % tin(II) chloride acidic aqueous solution and 0.1 mol/L silver nitrate aqueous solution by 3 minutes in such an order.
- Put wood/concrete, ascorbic acid and plating liquid in a beaker, and shake the bottle for 10 minutes.



Fig. 3 Original wood

Change of color



Fig.4 Plated wood



Fig.5 Original concrete



Fig.6 Plated concrete

## Discussion

The depth of plating has a lot of variation.

→ When we did preprocessing, silver particles may not have been adsorbed uniformly. The form of the plastic bottle may be related to the uniformity of plating.

There is a difference of depth of the plating between Warm-up Experiment and Experiment 1.

→ The surface area of plastic bottle is larger than wood, thus the plating film becomes thinner.

## Conclusion

We could plate nonconductors by using the features of electroless plating.

However, we don't see the relationship with antiseptic properties.

We are going to investigate to get more information about antiseptic properties and attempt to gain the abilities of materials.

## Future Works

- \* Research the relationship between plating and antiseptic properties
- \* Adjust thickness of plating film of electroless plating
- \* Use other ways and materials to plate nonconductors

## Reference Documents

- 1) 無電解めっき～基礎と展開～ 原田 久志 1996 年
- 2) 無電解ニッケルめっき 清川メッキ工業株式会社 <https://www.kiyokawa.co.jp/technology/technology.asp?hed=86&tk=1>
- 3) 魅せる化学の実験授業 高等学校「化学基礎」編 岩田 久道 後藤 顕一

# ホウ砂球反応を用いた混色ガラスの作製

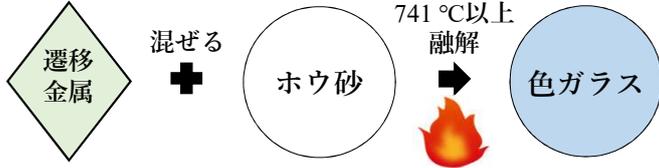
宮城県仙台第三高等学校

2101 赤荻亮真, 2105 一関蒼, 2107 岩淵陽, 2118 佐々木惇人, 2136 大嶋菜月

## 背景・目的

ガラスに特定の遷移金属を溶かすと特定の発色が見られる

【ホウ砂球反応】



2種類の遷移金属を混ぜるとどうなるかはわかっていない

様々な遷移元素を混ぜ、多種多様な色ガラスを作れるのではないかと

## 実験1 目的：それぞれの遷移金属の色を調べる

使用した金属塩

硫酸クロム(III)十五水和物 (Cr)

塩化銅(II)二水和物 (Cu)

テトラクロロ金(III)酸四水和物 (Au)

硝酸銀(I) (Ag)

ヘキサクロロ白金(IV)酸六水和物 (Pt)

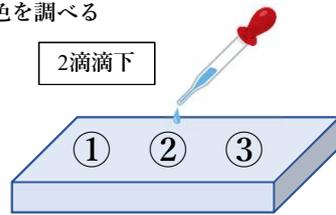


図1 滴下模式図

実験方法

- 図1のように、3種類の溶液を滴下
- 滴下した溶液に四ホウ酸ナトリウム十水和物 0.15 gを添加
- 電子炉に入れ741度になり、1分経過するまで加熱

結果・考察

表1：濃度別の色ガラス

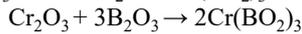
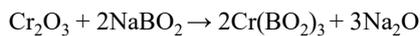
mol/L	Cr	Cu	Ag	mol/L	Pt	Au
0.010				0.0010		
0.050				0.0025		
0.10				0.010		

Cr：緑色 Cu：青色 Ag：薄い黄色 Pt：灰色 Au：赤色

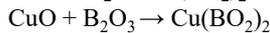
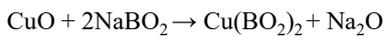
## 化学反応式



[Crの場合]



[Cuの場合]



[Ag, Pt, Auの場合]

加熱することで単体になると考えられる

また、同じ濃度では色の濃さが異なった

そこでGIMP2を用いて0.01 mol/Lのときの明度を測定

色の濃さの順番は... Pt > Au > Cr > Cu > Ag

## 参考文献

- 「ホウ砂球反応と炎色反応」  
<<http://www.sci.keio.ac.jp/etduproject/practice/chemistry/detail.php?cid=0000>>
- 「ガラスの着色技術」  
<[https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj1970/32/8/32\\_8\\_432/\\_pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj1970/32/8/32_8_432/_pdf-char/ja)>
- 「色ガラス作り」 池井晴美, 他 3人  
<<http://www.nagano-c.ed.jp/seiho/risuka/2006/2006-08.pdf>>

## 実験2 目的：2種類の遷移金属を混ぜ、色を調べる

使用した金属塩、実験方法は実験1と同様

結果・考察

表2：2種類の金属塩を用いた色ガラス

Ag 0.01 Au 0.0025	Cu 0.10 Au 0.001	Cr 0.05 Au 0.0025
Au 0.0025 Pt 0.01	Cr 0.05 Cu 0.05	Cu 0.10 Ag 0.01
Cr 0.10 Ag 0.01	Cr 0.05 Ag 0.01	

・Cr, Cu, Pt, Auの組み合わせでは単体で色ガラスを作製したときに色が濃い方が見られた

→しかし濃度を調節することで、中間色を作製することが可能

・CrとAgを混ぜると元のどちらの色でもない濃い黄色が見られたさらにCrの濃度が高いと黒色になった

→濃度を変えることでさらに色の変化が見られるのではないかと

## 実験3 目的：CrとAgの濃度を変えて混合させたときの色の変化を調べる

結果・考察

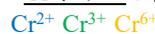
表3：Ag(縦軸)とCr(横軸)の濃度別組み合わせ

		Cr		
		0.01	0.05	0.10
Ag	0.01			
	0.05			
	0.10			

・Crの濃度が薄いき黄色, Crの濃度が濃いときには黒色が見られた

・Agの濃度を変えても、色に影響しなかった

CrとAgを混合した時の色の変化にはCrイオンの価数が関係しているのではないかと



## まとめ

- 遷移金属ごとに色の濃さは異なる → Pt > Au > Cr > Cu > Ag
- Cr, Cu, Pt, Auの混合ガラスの色は濃度を調整することでコントロール可能
- CrとAgを用いた混色ガラスは単体のときにはなかった黄色, 黒色が見られる

## 展望

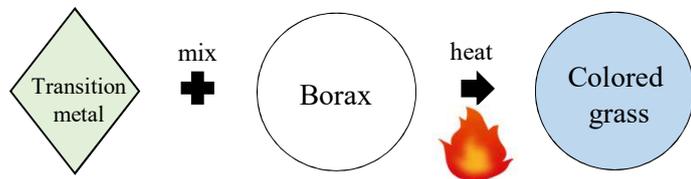
- CrとAgを用いた混色ガラスの色がなぜ黄色, 黒色に変化するのか
- 3種類以上の遷移金属を混ぜたガラスの色について
- ガラスを用いた工芸品への利用

# Making colored glasses using a borax bead reaction

Miyagi Prefecture Sendai Daisan High School  
2101 Akaogi Ryoma 2105 Ichinoseki Aoi 2107 Iwabuchi Hikaru  
2118 Sasaki Saito 2136 Oshima Natsuki

## Background · Purpose

When specific transition metal is melted in glass, specific color can be seen.  
【Borax bead reaction】



Making various colored glasses  
by being mixed various transition metals

## Experiment1

Purpose: Checking color of transition metal.

### Materials

Chromium (II) sulfate fifteen hydrate (Cr)  
Copper (II) chloride dehydrate (Cu)  
Tetrachloroauric(III) acid (Au)  
Silver nitrate (I) (Ag)  
Hexachloroplatinic(IV) acid (Pt)

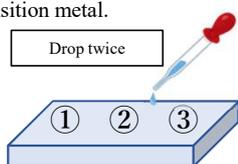


Fig1. schematic of experiment

### Method

- Such as fig1, we drop solution into ①, ②, ③
- Above this, we add Sodium Tetraborate Decahydrate 0.15g
- Put in electric furnace and heat it up to 741°C and wait for one minute.

### Results and Discussion

mol/L	Cr	Cu	Ag	mol/L	Pt	Au
0.010				0.0010		
0.050				0.0025		
0.10				0.010		

Cr : Green

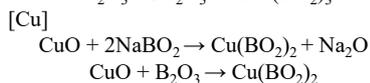
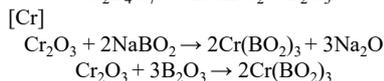
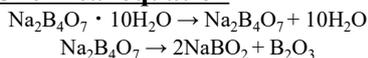
Cu : Blue

Ag : Light yellow

Pt : Gray

Au : Red

### Chemical equation



[Ag, Pt, Au]  
Be a simple

Even at the same concentration, darkness of color is different.  
In same concentration, color strength is

Pt > Au > Cr > Cu > Ag

## Experiment2

Purpose: Investigating about mixing 2 kinds of transition metals.

Used metal salt and experimental method are same.

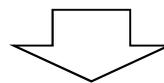
### Results and Discussion

Tab3. Colored glass made by 2 kinds of metal salt.

Ag 0.01 Au 0.0025	Cu 0.10 Au 0.001	Cr 0.05 Au 0.0025
Au 0.0025 Pt 0.01	Cr 0.05 Cu 0.05	Cu 0.10 Ag 0.01
Cr 0.10 Ag 0.01	Cr 0.05 Ag 0.01	

• Making colored glasses with Cr, Cu, Pt, Au, in various combination.  
Thicker color can be seen in all combination.

• Color of Ag is light yellow but, when we mixed Cr and Ag,  
we could see thicker yellow.



When we mixed transition metal with Ag  
and heat, we can see yellow.

## Conclusion

Different color strength of glass is seen by transition metal.

→ Pt > Au > Cr > Cu > Ag

Stronger color of the two transition metals can be seen on the glasses which are used Cr, Cu, Pt, Au.

Mixed colors glasses used Ag are seen stronger color than being used only Ag.

## Future work

- The reason why mixed colors glasses used Ag are seen stronger color.
- Researching the color of glasses used over 3 transition metals.
- Being used in a craft.

## Previous Experiment

- 1) 「ホウ砂球反応と炎色反応」  
〈<http://www.sci.keio.ac.jp/eduproject/practice/chemistry/detail.php?eid=0000>〉
- 2) 「ガラスの着色技術」  
〈<http://www.nagano-c.ed.jp/seiho/risuka/2006/2006-08.pdf>〉
- 3) 「色ガラス作り」 Ikei Harumi  
〈<http://www.nagano-c.ed.jp/seiho/risuka/2006/2006-08.pdf>〉

# しゃぼん玉の凝固と薄膜干渉との関係

宮城県仙台第三高等学校 2135 吾妻由菜 2234 小澤知夏

## 背景

しゃぼん玉は構造色的一种である薄膜干渉がみられることが知られている。

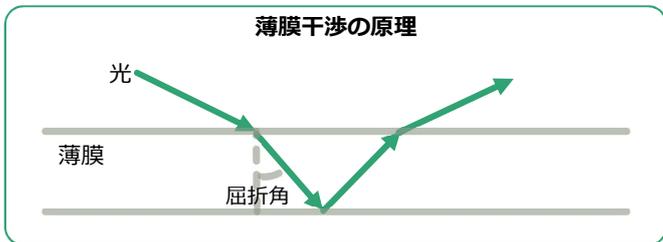


図1：薄膜干渉模式図

## 発見

しゃぼん玉が凍ると膜内部に結晶が発現

## 社会への応用

ガラス細工等の芸術作品への活用、技術開発

## 目標

- ①しゃぼん玉を凍らせる
- ②凍ると薄膜干渉は見られるかを観察

## 仮説

しゃぼん玉は凍っても薄膜干渉が見られる



図1：常温のシャボン玉<sup>5)</sup>



図2：氷点下で凍ったシャボン玉<sup>6)</sup>

## 材料と方法

表1：各実験で使用した材料

方法名	材料
方法①	シャボン液、ドライアイス、氷板
方法②	シャボン液、ドライアイス、氷板、塩
方法③	シャボン液+グリセリン、ドライアイス、氷板
方法④	シャボン液+グリセリン、ドライアイス、氷板、塩
方法⑤	シャボン液+グリセリン、液体窒素、金属板

方法⑤は2種類の金属板の置き方で実施

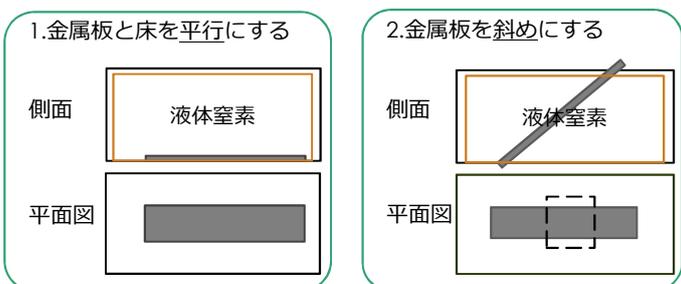


図3：方法⑤における金属板の置き方

## 結果と考察

表2：実験で使用した材料の特性

材料	特性
板氷	冷めやすい
金属板	冷めにくい
ドライアイス	狭い範囲で冷える
液体窒素	広い範囲で冷える

表3：実験による凝固判定の結果

方法名	凝固の判定
方法①	×凍らなかった
方法②	×凍らなかった
方法③	×凍らなかった
方法④	×凍らなかった
方法⑤水平	△凍った
方法⑤斜め	◎凍った



図4：凝固判定の基準

表4：実験時のしゃぼん玉の様子

方法名	実験時の様子
方法①	ドライアイスの気体によりしゃぼん玉が氷につかなかった
方法②	同上
方法③	氷との接着面のみ凍った
方法④	同上
方法⑤水平	全体が凍ったが金属板につかなかった
方法⑤斜め	全体が凍り金属板についた



図5：割れた後のシャボン玉<sup>4)</sup>

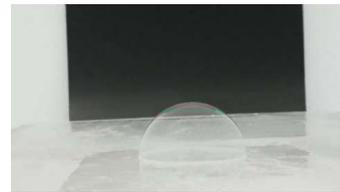


図6：実験の様子

## まとめ・結論



図7：凝固促進剤の効果の関係



図8：接着材料の接着しやすさの関係

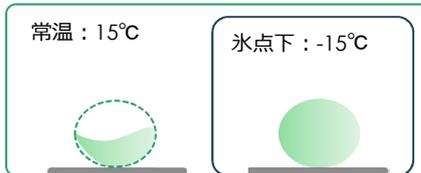


図9：凍るときの温度の違い

液体窒素の方が凍らせるための威力を持っている。

金属板の方がシャボン玉がつきやすい。

シャボン玉は氷点下で凍る。

シャボン玉を凍らせると薄膜干渉は見られない。

## 今後の展望

結果から分かったことを展開して考えていく方針である。

- ①しゃぼん玉を凍らせると構造色は本当に見れなくなるのか  
→画像認識の技術を用いて色別判定を行い数値により評価
- ②仮説「凍ったしゃぼん玉は、大気圧を最も受けた点から割れる」  
→実験によって検証し、考察する

## 参考文献

- 1) 【大発見】シャボン玉が凍るとどうなる? [https://www.excite.co.jp/News/odd/Tocana\\_201712\\_post\\_15310.html? p=2](https://www.excite.co.jp/News/odd/Tocana_201712_post_15310.html? p=2)
- 2) 【自然のアート】氷点下15℃で「シャボン玉」を膨らませたら ... <https://tabi-labo.com/234257/soap-bubble-art>
- 3) 薄膜による干渉わかりやすい高校物理の部屋 <http://www.wakariyasui.sakura.ne.jp/p/wave/kannsyoyu/hakumaku.html>
- 4) 割れたシャボン玉：空中で凍るシャボン玉の様子がとっても ... <https://matome.naver.jp/odai/2141555043750443101/2141555385251864503>
- 5) 偏光板で構造色を！ <https://blogs.yahoo.co.jp/kozoshoku/45307132.html>
- 6) 霜水カフェ&シャボン玉 [http://sakuraterrace.info/tp\\_detail.php?id=102](http://sakuraterrace.info/tp_detail.php?id=102)

# The solidification of soap bubbles and their relationship with thin-film interference

Miyagi prefecture Sendai Third High school 2135 YUNA Azuma 2234 CHINATSU Ozawa

## Introduction

Colored structure film interference is known to be seen with soap bubbles.

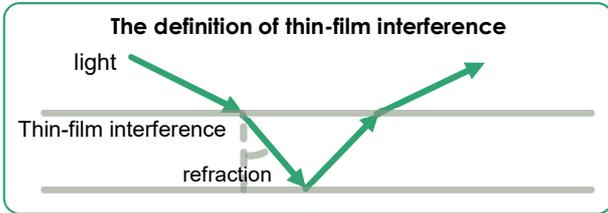


Fig1 : Thin film interference schematic diagram

## Discovery

Soap bubble freezes,  
→crystals develop inside the thin-film

## Application to society

Effect for artwork technology of glass art, etc.

## Goal

- ①freezing the soap bubble
- ②observation of thin-film interference

## Hypothesis

The thin-film interference will be seen on the soap bubbles.



Fig2 : Normal a soap bubble<sup>5)</sup>



Fig3 : Frozen soap bubbles<sup>6)</sup>

## Materials and Methods

Table1: The material used in each experiments

Method name	Materials
Method①	Soap liquid, dry ice, ice plate
Method②	Soap liquid, dry ice, ice plate, salt
Method③	Soap liquid + Glycerol, dry ice, ice plate
Method④	Soap liquid + Glycerol, dry ice, ice plate, salt
Method⑤	Soap liquid + Glycerol, liquid nitrogen, metal plate

Experimental method⑤ using 2 kinds of way to put a metal plate.

1.The metal plate is horizontal.

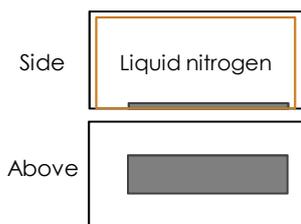
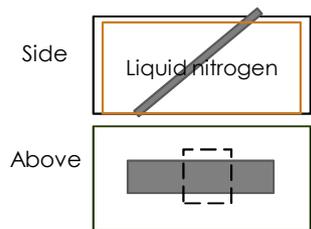


Fig4: The way of putting a metal plate

2.The metal plate is a slope.



## Results

Table2: The characteristic of using each experiment

Material	Characteristic
Ice plate	Cools down easily
Metal plate	Doesn't cool down easily
Dry ice	Cools down in a narrow range
Liquid nitrogen	Cools down in a wide range



Fig5: the judgement of frozen soap bubbles

Table3: The result of solidification judgement by experiments

Method name	The judgment of coagulation
Method ①	xNot frozen
Method ②	xNot frozen
Method ③	xNot frozen
Method ④	xNot frozen
Method ⑤-1	△Frozen
Method ⑤-2	◎Frozen

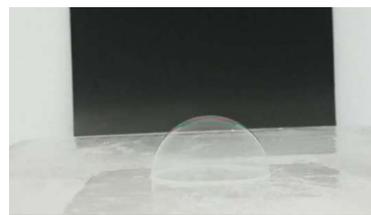


Fig6: appearances of the experiments

Table4: The appearance of the soap bubble for each experiment

Method name	State of experiment
Method①	As dry ice was used ,it did not touch the ice
Method②	As dry ice was used ,it did not touch the ice
Method③	Only the bubble surface in contact with the ice frozen
Method④	Only the bubble surface in contact with the ice frozen
Method⑤-1	It did not stick on the metal plate
Method⑤-2	It entirely froze, and it stuck on the metal plate.

## Summary · Conclusion



Fig7: the relationship that affects the solidification material



Fig8: the differences of temperature when a soap bubble frozen.

## Future Work

We will develop our research with these results.

①Can we see the solidification when soap bubbles freeze?  
→We would like to research the numerical analysis of color with the technology of picture analysis.

②The hypothesis "frozen soap bubble may break at the point of the highest pressure of the air."

→We will do an experiment on this and analyze the results.

## Previous Experiment

- 1) 【大発見】シャボン玉が凍るとどうなるの? [https://www.excite.co.jp/News/odd/Tocana\\_201712\\_post\\_15310.html?\\_p=2](https://www.excite.co.jp/News/odd/Tocana_201712_post_15310.html?_p=2)
- 2) 【自然のアート】氷点下15°Cで「シャボン玉」を膨らませたら ... <https://tabi-labo.com/234257/soap-bubble-art>
- 3) 薄膜による干渉 わかりやすい高校物理の部屋 <http://www.wakariyasui.sakura.ne.jp/p/wave/kannsyoun/hakumaku.html>
- 4) 割れたシャボン玉 : 空中で凍るシャボン玉の様子がとっても ... <https://matome.naver.jp/odai/2141555043750443101/2141555385251864503>
- 5) 偏光板で構造色を! <https://blogs.yahoo.co.jp/kozoshoku/45307132.html>
- 6) 霜氷カフェ&シャボン玉 [http://sakuraterrace.info/tp\\_detail.php?id=102](http://sakuraterrace.info/tp_detail.php?id=102)

# アカヒレタビラの保全に向けて

仙台第三高等学校 古川敬人 大軒知也 櫻田大河 高橋孝太郎 宮崎幹仁

## ◎背景

絶滅危惧種であるアカヒレタビラの数が増加を続けている

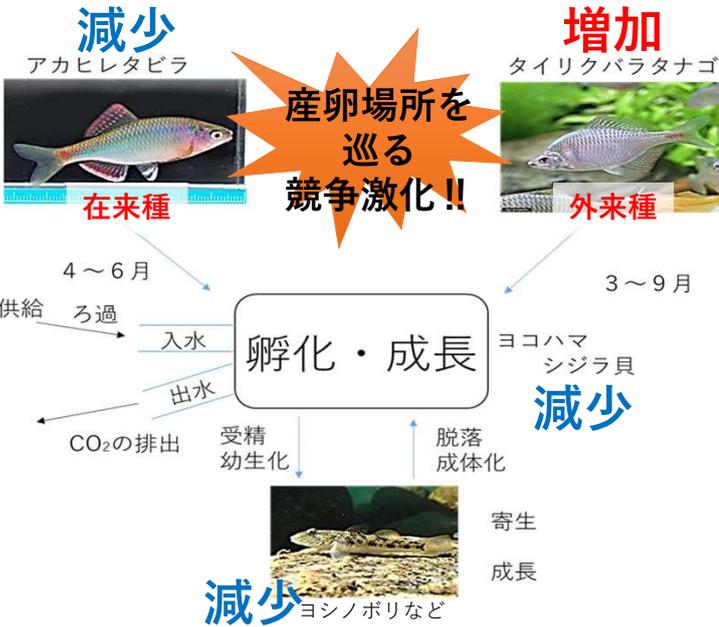


図1 タナゴなどの相関図

産卵場所である二枚貝の人工繁殖・飼育が困難!

表1 タナゴの産卵の流れ

- 1 オスの縄張り確定
- 2 オスが産卵管を伸ばしたメスに、体を小刻みに震わせながら誘導
- 3 メスが追従し二枚貝に到着
- 4 オスが二枚貝の出水管をのぞき込む
- 5 メスが二枚貝の入水管をのぞき込む
- 6 出水管がとじないと、倒立体制へ
- 7 完全に倒立すると、瞬間的に産卵管の付け根を出水管に押し付ける
- 8 メスが産卵、その後産卵管引き抜き
- 9 オスが入水管に放精
- 10 二枚貝内で受精

## 先行研究<sup>1)</sup>

- ①タイリクバラタナゴで人口産卵床に産卵誘導成功
- ②人口孵化装置により孵化に成功

## 課題

- ①産卵条件が不明確
- ②低孵化率・孵化後の低生存率の解消

## 目的

- ①産卵条件の精査
- ②人工孵化装置の改良

## 仮説

- ①水温・水圧を変化させる ⇒産卵行動が誘因
- ②換水効率化と飛出し防止 ⇒孵化・生存率が向上

## ◎材料と方法

材料：タイリクバラタナゴ、人工産卵床、シリコンチューブ、ポンプ、Arduino PCR用8連プラスチックチューブ

### ◎実験1：産卵条件の精査

表2 二枚貝が吸水する時間の関係

吸う時間	止まる時間
7.0秒	5.7秒

- 水槽の環境
  - ・明暗周期12時間の長日条件
  - ・水温：22~24℃
  - ・性成熟産卵及び卵行動の誘引に必要な二枚貝飼育水を添加
- ポンプの制御
  - ・二枚貝の入出水のタイミングを観察
  - ・表2の時間で動くようにプログラミングを行い、ポンプの動きを制御した。

- 方法：水換え時の条件を制御
  - 条件① 通常水替え (水温：低下, 水圧：減⇒増)
  - 条件② 換水時に水量を一定 (水温：低下, 水圧：一定)
  - 条件③ 換水時に水温を一定 (水温：一定, 水圧：減⇒増)

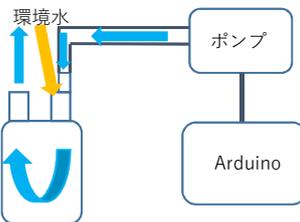


図2 人口産卵床の模式図

### 実験2：人工孵化装置の改良

- 方法：PCR用の8連プラスチックチューブを加工<sup>4)</sup>
  - ① 孵化後の稚魚が動きすぎないように、上部にカバーを設置
  - ② ①により換水能力の低下を防止するため穴の追加

表3 人工孵化装置比較表

	左：昨年	右：改良
上部カバー	無	有
換水穴	少ない	多い

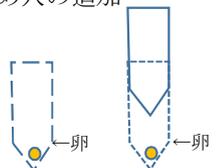


図3 人工孵化装置の比較図

## ◎実験1：結果と考察

表4 産卵条件の制御結果

	換水条件		【結果】 産卵行動
	温度	水圧	
条件1	23.4℃⇒22.4℃ 低下	減少⇒増加	△
条件2	23.6℃⇒21.3℃ 低下	一定	×
条件3	21.6℃⇒21.6℃ 一定	減少⇒増加	○

- ・条件1では産卵行動5で停止した。
- ・条件2では産卵行動2で停止。メスの追従が起らなかった。
- ・条件3では産卵行動7までは観察できたが、産卵及びオスの放精は確認できなかった。  
⇒出水の勢いが強く、産卵行動6~7の際にメスが流されていることが要因の一つか？

## ◎実験2：結果と考察

- ・孵化装置内の水が環境水と入れ替わることを確認することができた。
- ・オスとメスの産卵行動を途中までは確認できたのだが、産卵はまだ確認できていないため、孵化率、孵化後生存率に関しては結果が得られていない。

## ◎まとめ

- ・実験1より **産卵行動の誘引には水圧の変化が必要**
- ・実験2より **改良した装置による換水の効率化に成功**

## ◎展望

- ・産卵行動8以降を誘引するために、人工産卵床の出水の勢いをコントロールしたいと考えている。
- ・人工孵化装置の実験を進めるために、産卵行動が生じなかった場合には、人工授精によって受精卵を得ることも視野に入れていきたいと考えている。
- ・現在、アカヒレタビラの生体を確保していないため、河川調査を継続的にを行い、保護にも力を入れていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) アカヒレタビラの保全に向けて 伊藤 貞 園谷 修平
- 2) <https://blog.goo.ne.jp/ashitamotenkida/e/474eac04ae45daa4d56ab2251d8f306c>
- 3) <https://aquarium-style.com/1792.html>
- 4) 仙台産アカヒレタビラの保全に向けた環境教育教材の開発 棟方 有宗 他

# Preserving Akahiretabira

Sendaidaisan-high school Miyazaki-Mikihito Oonoki-Tomoya Sakurada-Taiga  
Takahasi-Koutarou Furukawa-Keito

## Introduction

The number of Akahiretabira (Japanese fish) that are endangered species is decreasing now

It is because of

1. increasing of the number of alien species (Tairikubaratanago: Figure 2)
2. decreasing in places where Akahiretabira spawn (they usually spawn at clams)



Can we increase them without using clams?



We aim to improve the rate of incubation and check the conditions of spawning time.  
(making Akahiretabira spawn at an artificial egg-laying bed was successful in prior research<sup>(1)</sup>)



Figure 1. Akahiretabira<sup>2)</sup>



Figure 2. Tairikubaratanago<sup>3)</sup>

**purpose**

checking the condition of spawning

improving of rate of incubation

	Akahiretabira	Tairikubaratanago
Spawning Season	April-September	March-September
Used clam To spawn	Inversiunio Yokohamensis	Inversiunio Yokohamensis
Distribution	Aomori, Miyagi etc...	All over Japan
Habitat	Japan	Eastern Asia

Table 1. difference between Akahiretabira and Tairikubaratanago

## Material & method

Material : Tairikubaratanago, artificial egg-laying bed, Artificial incubator, Arduino to control the motion of the pump

Method : putting artificial egg-laying bed and Tairikubaratanago (in spawning season) in the aquarium ⇒ gathering eggs ⇒ changing the place of eggs to artificial incubator ⇒ hatching eggs

### Artificial egg-laying bed

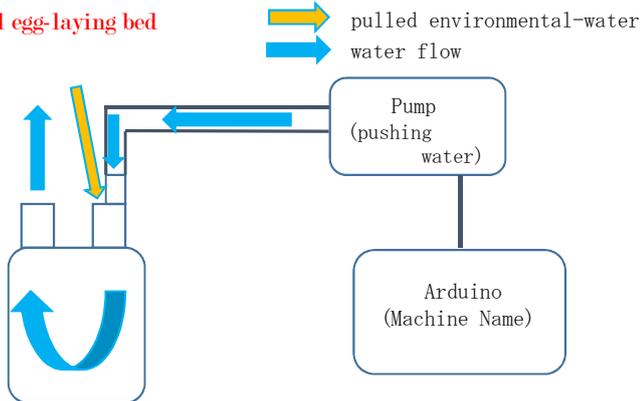


Figure 3 Artificial egg-laying bed

Sucking time	Stopping time
6.3s	5.7s

Figure 4 Relation between sucking time and stopping time of clams<sup>1)</sup>

## Material & method

### Artificial incubator

We made many small holes to pass oxygen and nutrition.

We restricted the range that Akahiretabira can move by inserting a plastic tube into the same one.

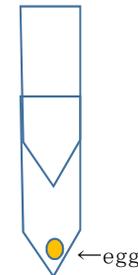


Figure 5 Artificial incubator

## Conclusion

In the prior research, young fish sometimes went out from the artificial egg-laying bed and starved.

The water in the artificial egg-laying bed was replaced with environmental water.

We recognized the action that Akahiretabira usually do before they spawn.

## Future work

To adjust the power of water flow

To adjust the relation between sucking time and stopping time

To throw new Akahiretabira into the aquarium

## References

- 1) アカヒレタビラの保全に向けて 伊藤 玄 園谷 修平
- 2) <https://blog.goo.ne.jp/ashitamotenkida/e/474eac04ae45daa4d56ab2251d8f306c>
- 3) <https://aquarium-style.com/1792.html>

# ヨモギタバエに寄生する寄生蜂

仙台第三高等学校 小野寺玲央 伊藤柚月 大場陸斗 山信田悠莉 中野愛理 Alina Ahjotuli

## 背景と目的

### ◆天敵利用とは

- ・特定の生物とその生物の天敵を使ってその生物の量をコントロールすること
- ・殺虫剤を用いないため注目されている

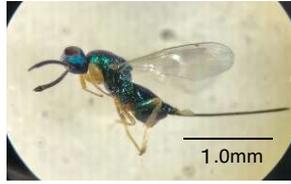


Fig.1寄生蜂

外来種・・・影響大 ⇔ 在来種・・・影響小

寄生蜂を用いた天敵利用に注目した

しかし...ヨモギに寄生する寄生蜂の成体は文献が少なく詳しいことが知られていない



**目的:** 寄生蜂の生態を調べる

**仮説** 虫えいの種類によって寄生蜂の種類が異なる

## 材料と方法

### ◆タバエとは

- ・双翅目タバエ科に属する昆虫。
- 宮城県内では7種類のヨモギタバエが見られる。

### ◆虫えいとは

- ・昆虫が寄生することに植物が反応してできるこぶのようなもの。
- できる場所によって種類が異なる。

### ◆寄生蜂とは

- ・膜翅類に属し、昆虫や植物に寄生する蜂で比較的安全に扱える。

材料: 虫えいのあるヨモギ(宮城県内で採取したもの)



Fig.2虫えい



Fig.3タバエ

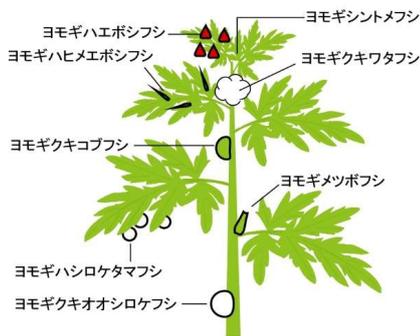


Fig.4ヨモギに形成される虫えい

## 実験2

**方法:** 1枚の葉に生息するヨモギハエボシフシを切り開き、中を確認して寄生率を調べる。葉は4枚用いて観察は目視で行う。

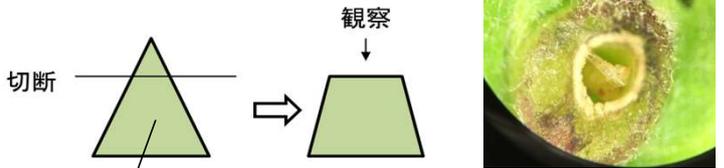


Fig.4切り開いた虫えい

**結果:** 葉A～葉Dの4つの葉から虫えいを採取したところ、虫えい88個中37個の寄生されていて、42%の寄生率だった。

	葉A	葉B	葉C	葉D	合計
虫えい	15	37	31	5	88
寄生蜂	8	14	11	4	37
寄生率	53.3%	37.8%	35.5%	80.0%	42.0%

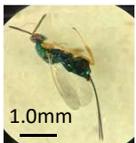
## 実験1

**方法:** 2種類の虫えいから寄生蜂を採取し観察する  
観察には顕微鏡を用いる。



**結果1:** 虫えいの種類によって寄生蜂の形や色に違いがあった  
**結果2:** 同じ種類の虫えいから採取した寄生蜂に個体差が見られた

**結果1** ヨモギハエボシフシとヨモギクキワタフシから採取した寄生蜂



ヨモギハエボシフシ



ヨモギクキワタフシ

**結果2** ヨモギハエボシフシから採取した寄生蜂



## 今後の展望

### 展望1

より詳しい個体識別を行うために、現在保管している標本からDNAを抽出し、分子系統解析を行う。

### 展望2

同じ種類の虫えいから採取した寄生蜂に大きさや色の違いなどの個体差が見られたことが、種の違いか、雌雄の違いか、同種内の違いなのかを明らかにする。

### 展望3

実験2の表より、寄生率にばらつきがみられたため、調べる虫えいの数を増やして検証する。また、虫えいの種類によって寄生率がどの程度なのかを明らかにする。

## 参考文献

- 1) <https://himebati.jimdo.com/web寄生蜂図鑑>
- 2) 虫えいを形成するヨモギタバエの分子系統解析
- 3) <https://kotobank.jp>

# Parasitic Wasps Parasitic On Gall Midge

Sendai daisan-High school: Leo-Onodera Yuzuki-Ito Rikuto-Ooba Yuuri-yamasida Airi-Nakano Alina Ahjotuli

## Back ground & purpose

### ◆What are the biological pesticides

- By using the creature and natural enemy of the creature. It is to control the number of insect.
- it is not necessary to use insecticide . So it is attracting attention now.

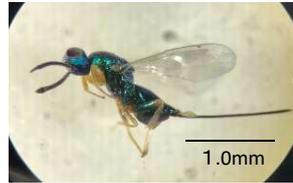


Fig.1 Parasitic wasps

We will find biological pesticides by using parasitic wasps .

But ... There is a little information of parasitic wasps .  
So we want to investigate.



**Purpose:** We will search ecology of parasitic wasps

**Hypothesis :** The parasitic wasps has a lot of types by difference of galls .

## Materials and method

- ◆Gall midge
  - It is an insect belonging to Diptera Gall midge Department.
  - There are seven kinds of Japanese Mugwort Gall Midges in Miyagi prefecture.
- ◆Gall
  - It is like a hump made by insects parasitizing on plants. The type of hump depends on where it is made.
- ◆Parasitic wasps
  - It is an insect belonging to Hymenopterans and they can be handled relatively safely. It's because they are parasitic on insects and plants.

Materials : Gall with Japanese Mugwort collected in Miyagi prefecture



Fig.2 Gall

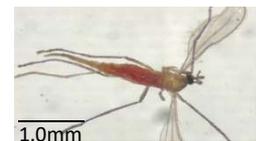


Fig.3 Gall midge

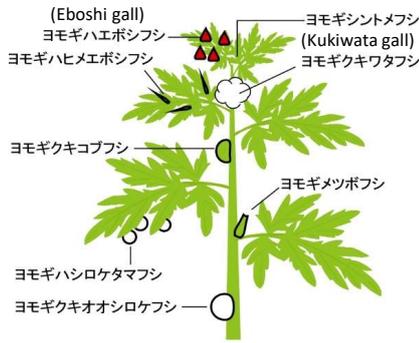
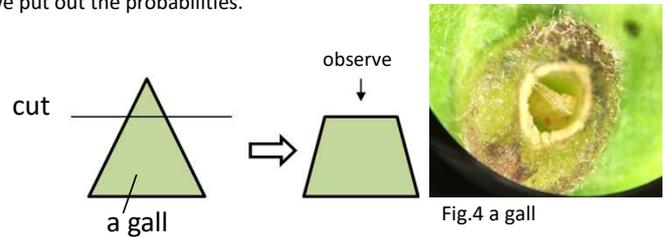


Fig.4 Gall formed in Japanese Mugwort

## Experiment 2

We cut galls made by *Rhopalomyia yomogicola* and researched interior. In this way, we put out the probabilities.



**Result:** We caught 88 galls from reef A,B,C and D. The 37 galls had been parasitized of 88 galls. Parasitism rate was 42%.

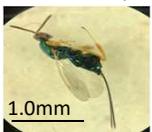
	Reef A	Reef B	Reef C	Reef D	Total
Galls	15	37	31	5	88
Parasitoid wasps	8	14	11	4	37
Parasitism rate	53.3%	37.8%	35.5%	80.0%	42.0%

## Experiment 1

**Method :** Parasitic wasps are taken from two kinds of Gall and observe them.

**Results 1 :** There is a difference in shape and color in the same gall .  
**Results 2 :** The individual differences was seen about the size and the color among parasitoid wasps .

**Result 1:** Parasitoid wasps from Eboshi gall and Kukiwata gall.



(Eboshi gall)



(Kukiwata gall)

**Result 2:** Parasitoid wasps from



the individual differences was seen about the size and the color among parasitoid wasps collected from the same kind of gall.

## Future work

- (1) There are limits to the types of identification with the microscope. So in order to do it, we will inspect the base sequence of DNA and do the accurate identification.
- (2) We will evident the cause of the individual differences were seen about the size and the color among parasitic wasps collected from the same kind of gall.
- (3) From the table 2, there is variation in parasitism rate. We will research the cause. In addition, in order to approach the correct parasitism rate, we will increase the number of galls.
- (4) From the previous research, we know that there are different types in the gall midge. There is a possibility of coevolution with parasitic wasps. So we will run the base sequence of DNA, gall midge with parasitic wasps.

## Bibliography

- 1) <https://himebati.jimdo.com/web> 寄生蜂図鑑
- 2) 虫えいを形成するヨモギタマバエの分子系統解析
- 3) <https://kotobank.jp>

# 蝶の蛹の羽化コントロール

仙台第三高等学校 佐々木康洋 濱野斗真 松浦公平 吉郷向陽

## 1. 背景 目的

### 課題1

チョウの一種であるモンシロチョウ(右図)は小学校の理科の授業などで使用されている



課題2  
Fig1.モンシロチョウ*Pieris rapae*の成虫<sub>1)</sub>

しかし...

野生の個体は観察が難しい  
Ex) 寄生虫、病気、寿命、etc...

密閉された空間で羽化のタイミングを管理できれば、誰でも利用しやすくなるのではないかな?

### 目的

羽化のタイミングをコントロールすることで、誰でも観察できるような方法を確立させる。

### 課題2

給餌において、現在行われている方法には、羽をつかみ、口を竹串などで伸ばしてスポーツドリンクなどを与えるものがある



しかし...

成虫の体を傷つける可能性がある

Fig3.アゲハ蝶への給餌<sub>3)</sub>

体を傷つけない安全な方法を確立すれば飼育・繁殖を行えるのではないかな?

### 目的

このような方法を確立し、飼育・繁殖を行えるようにする

## 2. 材料と方法

### 材料

宮城県七ヶ浜町より卵の状態で採集

虫かごで蛹まで育て、実験に使用

### 実験方法

#### 実験1 蛹の保存実験

羽化直前の蛹を冷蔵庫(8℃)へ移動し、4個体を5日、3個体を10日間放置した。(保護ポケットとプラスチックケースを使用)

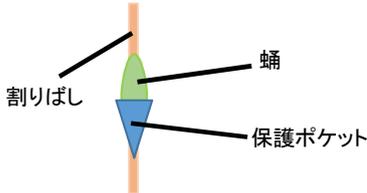


Fig4.保護ポケットに入れた蛹

冷蔵庫内で放置  
(5日/10日)

恒温器(20℃,明期15時間,暗期9時間)で温めて羽化させる



Fig5.恒温器に入れた様子

#### 実験2 成虫への給餌

エサを探している成虫を取り出す

キッチンペーパーにスポーツドリンクをしみこませ、成虫に与える(逃げないように、上からプラスチックのカップをかぶせる)

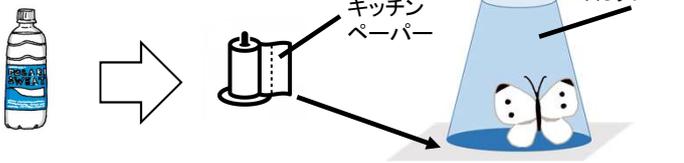


Fig6.実験の模式図

## 3. 結果・考察

### 実験1 蛹の保存実験

期間(日)	入れた蛹(匹)	羽化した蛹(匹)	羽化率
5	4	2	50%
10	3	3	100%

Table1. 実験1の結果

考察  
5日/10日の保存は可能

### 実験2 成虫への給餌



Fig7.餌を吸うモンシロチョウ

考察  
今回検証した方法で給餌が可能

## 4. 今後の展望

①今回、保存期間を5日間に設定したときに羽化率が50%だったので、羽化率を向上させる

②様々な条件下で実験を行う

### 冷蔵庫内の環境条件

- 入れる日数
- 温度
- 湿度
- 明るさ

### 恒温器内の環境条件

- 温度
- 明るさ

③得られた成虫個体で行動実験を行う

チョウの色認識やえさ認識の実験などは野生個体で行われているものも多い

本実験で得られる個体では、蛹以降は外的な干渉が一切ないため、野生個体よりも正確な実験ができる。

## 参考文献

- モンシロチョウが羽化する様子を観察する方法 [http://www.cms-center.gr.fks.ed.jp/?action=common\\_download\\_main&upload\\_id=5850](http://www.cms-center.gr.fks.ed.jp/?action=common_download_main&upload_id=5850)
- フィールドガイド 日本のチョウ 日本チョウ類保全協会編
- 蝶の自然史【行動と生体の進化学】 大崎直太 編著
- [http://potager.jp/?p=555\\_1](http://potager.jp/?p=555_1)
- [https://i.ytimg.com/vi/u3dsrGICB4E/maxresdefault.jpg\\_2](https://i.ytimg.com/vi/u3dsrGICB4E/maxresdefault.jpg_2)
- [https://www.youtube.com/watch?v=leX8jREmB9s\\_3](https://www.youtube.com/watch?v=leX8jREmB9s_3)

# Control of Emergence of Butterflies' Pupae

Sasaki Koyo Hamano Toma Matsura Kohei Yoshigo Koyo  
Miyagi Prefecture Sendai Daisan High School

## 1. Introduction

Cabbage butterfly (Fig1) is a kind of butterflies and it is used in an elementary school education.

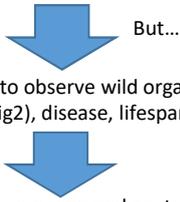


Fig1. Cabbage butterfly (*Pieris rapae*)'s adult



Fig2. Parasitoid by *Cotesia glomerata*

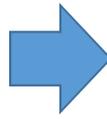
**If we can find a way which we can save it long time, even elementally school students can observe the moment of their emergence.**

The keeping of adult is difficult because we can't feed it well.

In feeding, the method that is performed now, catching wing and extend the mouth by take skewer and give it to sports drink.



Fig3. Feeding to swallowtail butterfly<sub>3</sub>



In addition to this...



Not to damage adult's body and if there is a simple way to do it, anyone can keep and breed more easily.

**We have to establish such a method. We want to keep and breed them in this way.**

## 2. Materials and Methods

### Materials

We collected eggs from Shitagahama of Miyagi.

We used experiment after raising to pupae

### Method

Experiment 1 To preserve pupae

We moved pupae just before emergence to refrigerator (8 °C). And we put 4 pupae for 5 days and 3 pupae for 10 days.

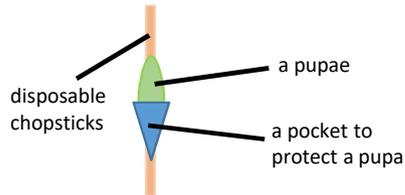


Fig4. a pupa put in a pocket

Keep them in the refrigerator (5days/10days)

Put pupae in an incubator (20°C, light period : 15h, dark period : 9h) and made them to emergence



Fig5. pupae in an incubator

Experiment 2 To feed adults

Take out adults which search feeds

Feed sport drink to adults using kitchen paper (Cover adults with plastic cups not to escape them)

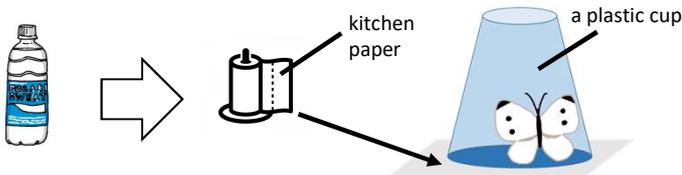


Fig6. schematic diagram of experiment

## 3. Results and Conclusions

Experiment 1 Preservation of pupae

Term (days)	Pupae in refrigerator	Pupae which have emerged	Emergence rate (%)
5	4	2	8
10	3	3	8

Table1. result of ex.1

**Conclusion**  
It's possible to preserve for 5 or 10 days.

Experiment2 Feeding adults



Fig7. *Pieris rapae* sucking feed

**Conclusion**  
It's possible to feed them in this way.

## 4. Future work

- In the experiment that We carried out an experiment for this time, we check why did not two pupae emergence among four of them.
- We test it under various conditions

Environmental condition in the refrigerator

- The number of days
- Temperature
- Humidity
- Brightness

Environmental condition in the incubator

- Temperature
- Brightness

Change these factors, Long-term preservation and short emergence and find a possible condition

- Carrying out behavior experiments by using adult organisms which we save.

There are many experiment of butterflies by using wild organisms.

We can do experiments more correctly and precisely by using this kind of pupae instead of wild.

## Pervious Experiment

- モンシロチョウが羽化する様子を観察する方法 [http://www.cms-center.gr.fks.ed.jp/?action=common\\_download\\_main&upload\\_id=5850](http://www.cms-center.gr.fks.ed.jp/?action=common_download_main&upload_id=5850)
- フィールドガイド 日本のチョウ 日本チョウ類保全協会編
- 蝶の自然史【行動と生体の進化学】大崎直太 編著
- [http://potager.jp/?p=555\\_1](http://potager.jp/?p=555_1)
- [https://i.ytimg.com/vi/u3dsrGICB4E/maxresdefault.jpg\\_2](https://i.ytimg.com/vi/u3dsrGICB4E/maxresdefault.jpg_2)
- [https://www.youtube.com/watch?v=leX8jREmB9s\\_3](https://www.youtube.com/watch?v=leX8jREmB9s_3)

# プラナリアのストレス受容と個体崩壊の関係

宮城県仙台第三高校 課題研究プラナリア班 乙供真澄 平戸李奈 八尋結愛 渡邊泰世

## 背景

ナミウズムシ *Dugesia japonica*  
(プラナリア)

- ・日本全域に生息
- ・水質の良い環境下のみ生息
- ・再生能力が高い



Fig.1 ナミウズムシ

## 先行研究より

ワサビから逃避行動<sup>1)</sup>  
高温ストレスの受容により個体崩壊<sup>2)</sup>

プラナリアのストレスの受容と個体崩壊の関係は？

ワサビの辛み成分アリルイソチオシアネートは  
TRPA1チャンネルを活性化<sup>3)</sup>

目的：プラナリアのストレス受容と  
個体崩壊の関係を明らかにする

## 【個体崩壊とは】

プラナリアの細胞が離れることによって  
再生不可能な個体の崩壊をすること

個体崩壊

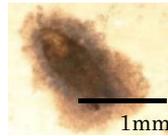


Fig.2 個体崩壊したプラナリア

## 実験Ⅰ〈ワサビ抽出液を用いた実験〉

- ① 本ワサビ抽出液を10.0%,5.0%に希釈する
- ② ①溶液にそれぞれ1匹ずつプラナリアを入れる
- ③ 水温18℃で一定にし、20分間観察する

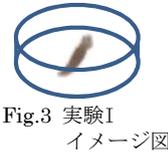


Fig.3 実験Ⅰ  
イメージ図

## 実験Ⅱ

### 〈Dimethyl sulfoxide (DMSO)を用いた実験〉

- ① DMSO溶液を0.5%に希釈する
- ② ①溶液に2匹ずつプラナリアを入れる
- ③ 水温18℃で一定にし、15分間観察する

アリルイソチオ  
シアネート水溶液

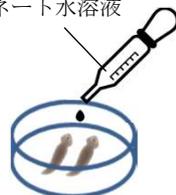


Fig.4 実験Ⅱ  
イメージ図

### 〈アリルイソチオシアネートを用いた実験〉

- ① 2.0mol/Lのアリルイソチオシアネート溶液を10.0mmol,5.0mmol,2.5mmolに希釈する
- ② 溶液にそれぞれ2匹ずつプラナリアを入れる
- ③ 水温18℃で一定にし、15分間観察する

## まとめ

TRPA1チャンネルが個体崩壊を  
誘発させることが示唆された

熱刺激  
アリルイソチオ  
シアネート

TRPA1  
チャンネル

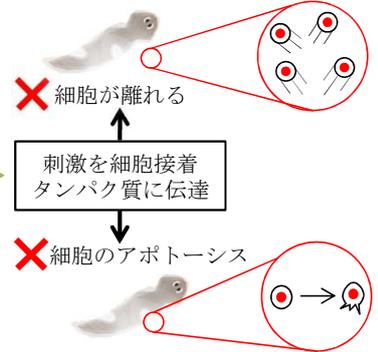


Fig.7 プラナリアの個体崩壊プロセスについての仮説

## 結果・考察Ⅰ

- 10.0%溶液 → 18分後に**個体崩壊**
- 5.0%溶液 → 実験終了まで生存  
実験終了後24時間で個体崩壊(飼育水中)
- 比較対象 → 生存

個体崩壊を確認できたが…

添加物が多いため  
ワサビが影響したとは断定できない

アリルイソチオシアネート単体で実験する



Fig.5 個体崩壊した  
プラナリア

## 結果・考察Ⅱ

### 〈DMSOを用いた実験〉

2匹とも**生存** → DMSO溶液はプラナリアの個体崩壊に影響しない

### 〈アリルイソチオシアネートを用いた実験〉

Table.1 実験Ⅱ結果

濃度(mmol)	崩壊までの時間(分)
10.0	2
5.0	4
2.5	9

すべての濃度で全個体が**個体崩壊した**

アリルイソチオシアネートが個体崩壊を誘発させる

プラナリアの個体崩壊にはTRPA1チャンネルが関与している



Fig.6 個体崩壊した  
プラナリア

## 展望

TRPA1チャンネルが個体崩壊に関与していると断定する

▶ TRPA1チャンネル阻害剤を用いた実験

個体崩壊の過程を明らかにする

▶ 蛍光試薬を用いた細胞骨格タンパク質の観察

## 参考文献

- 1) 'Wasabi receptor' for pain discovered in flatworms
  - 2) プラナリアの生と死の境 平成29年度 仙台三高 芦立美春他
  - 3) Arenas et al.(2017).Activation of planarian TRPA1 by reactive oxygen species reveals a conserved mechanism for animal nociception Nature Neuroscience.
- ・侵害刺激受容に係る transient receptor potential vanilloid1 (TRPV1) 及び transient receptor potential ankyrin1 (TRPA1) の活性化、制御メカニズム 富永 真琴 2010

# The relationships between reception of stress and planarians organize collapse

Miyagi Prefecture Sendai Daisan High School  
Masumi Otsutomo, Rina Hirato, Yua Yahiro, Taisei Watanabe

## Background

Planarian (*Dugesia japonica*)

- It lives all around Japan
- It lives in river that has high quality water
- It has high ability to regenerate



0.5cm  
Fig.1 planarian

### In Previous Experiment...

It escapes from wasabi<sup>1)</sup>  
It causes organize collapse under the hot stress<sup>2)</sup>

What relationships are there between reception of stress and planarians organize collapse ?

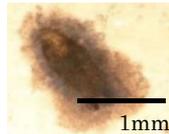
Allyl isothiocyanate(AITC) make the TRPA1 channel more active<sup>3)</sup>

**Purpose: To find out the relationships between reception of stress and planarians organize collapse**

### 【Definition of organize collapse】

Planarians collapse is separated cell becomes impossible to revive

**Organize collapse**



1mm  
Fig.2 Collapsed planarian

## Experiment I

### 〈using wasabi extract〉

- ① Dilute wasabi extract to make 10.0% solution and 5.0% solution
- ② Put a planarian into ①solution
- ③ Observe planarian 20 minutes, keeping water temperature 18°C

## Experiment II

### 〈using Dimethyl sulfoxide (DMSO)〉

- ① Dilute DMSO solution to make 0.5% solution
- ② Put two planarians into ①solution
- ③ Observe planarian 15 minutes, keeping water temperature 18°C

### 〈using AITC〉

- ① Dilute 2mol/L AITC solution to make 10.0mmol solution, 5.0mmol solution and 2.5mmol solution
- ② Put two planarians into ①solution
- ③ Observe planarians 15 minutes, keeping water temperature 18°C

## Conclusion

It is suggested TRPA1 channel can cause organize collapse

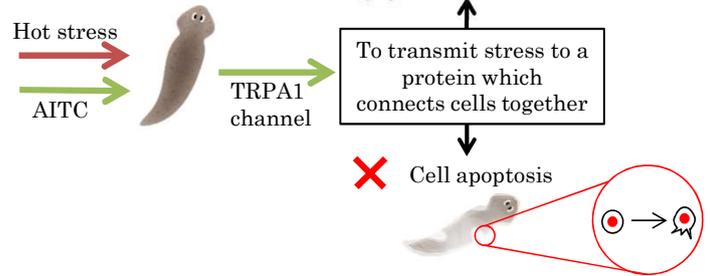


Fig.5 planarian's theory about organize collapse process

## Result I

- 10.0% solution → organize collapsed 18 minutes later
- 5.0% solution → organize survived during the experiment  
organize collapsed 24 hours later
- water → organize survived

Confirm organize collapse. But...

It can't be concluded that it was affected by wasabi because a lot of additives are including in wasabi

**Experiment with AITC only**



1 cm  
Fig.3 Collapsed planarian

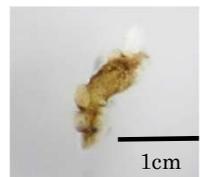
## Result II

### 〈using DMSO〉

All planarians **survived** → DMSO is not involved in the organize collapse of planarians

### 〈using AITC〉

Table.1 Result II	
Density(mmol)	Collapsed time (m)
10.0	2
5.0	4
2.5	9



1cm  
Fig.4 Collapsed planarian

**All organize collapsed at all concentrations**

AITC causes organize collapse

**TRPA1 channel is involved in the organize collapse of planarians**

## Future work

To conclude that TRPA1 channel cause organize collapse

To reveal the process of organize collapse

▶ The experience using inhibitors of TRPA1 channel

▶ The observation of cytoskeletal proteins using fluorescent reagent

## Previous experiment

- 1) 'Wasabi receptor' for pain discovered in flatworms
  - 2) プラナリアの生と死の境 平成29年度 仙台三高 芦立美春他
  - 3) Arenas et al.(2017).Activation of planarian TRPA1 by reactive oxygen species reveals a conserved mechanism for animal nociception Nature Neuroscience.
- ・ 侵害刺激受容に係る transient receptor potential vanilloid1(TRPV1)及び transient receptor potential ankyrin1(TRPA1)の活性化, 制御メカニズム 富永 真琴 2010

# ジャムと砂糖とカビ

仙台第三高等学校 家庭科糖防腐班

2137 古藤 和佳 2239 萩原 菜月 2202 安藤 優哉 2203 石井 俊輔

## ＜ 研究背景 ＞

砂糖 → 防腐作用で知られる  
Ex) シロップ漬け、ジャム など

トレードオフ

糖度 ↑  
防腐効果 ↑  
味・風味 ↓

・砂糖が多すぎると健康に悪い  
・甘さより、素材の味や風味を優先したい人もいる

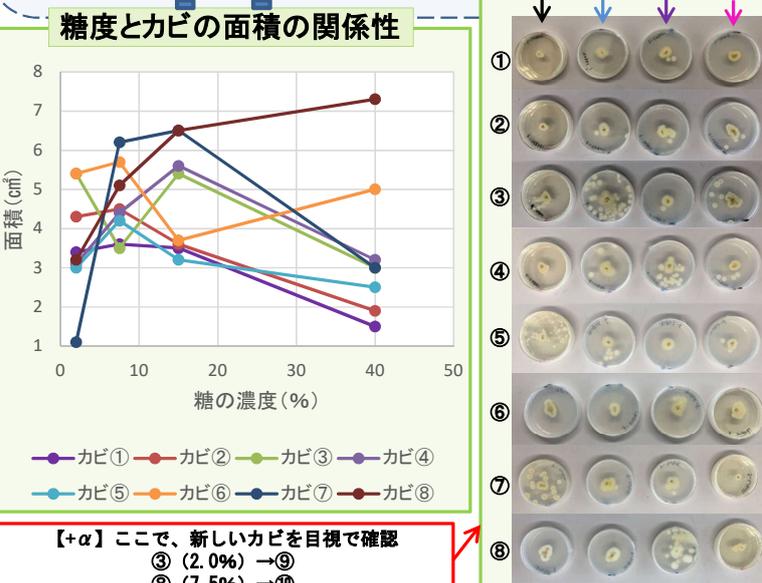
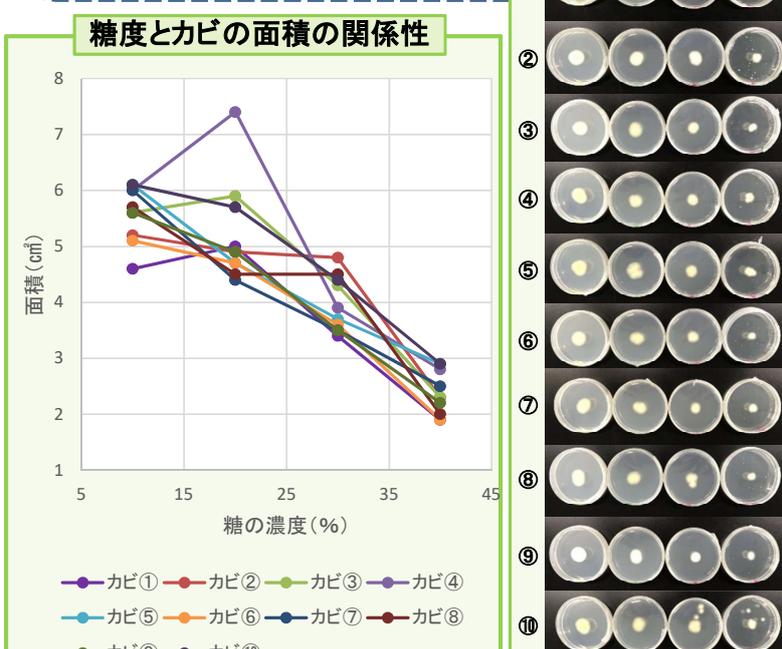
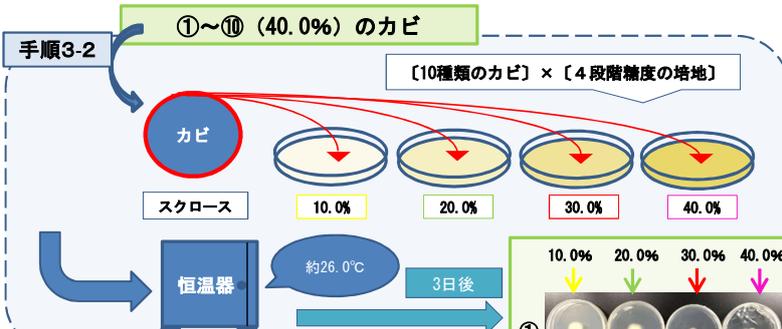
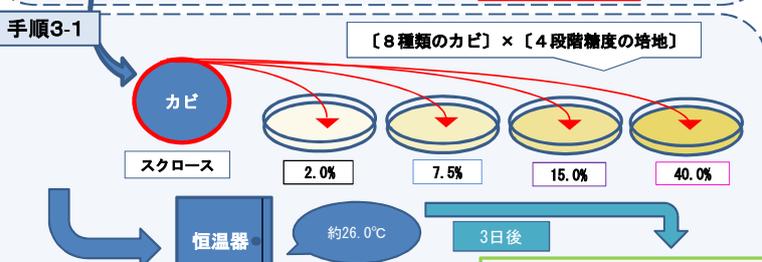
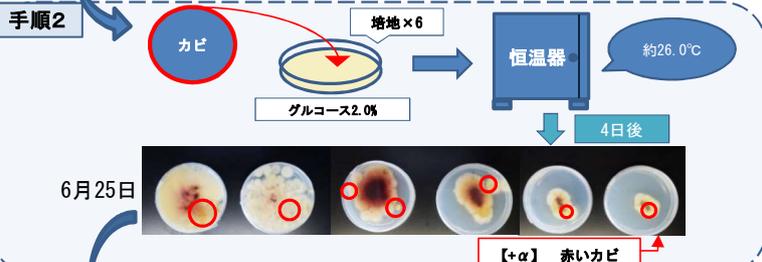
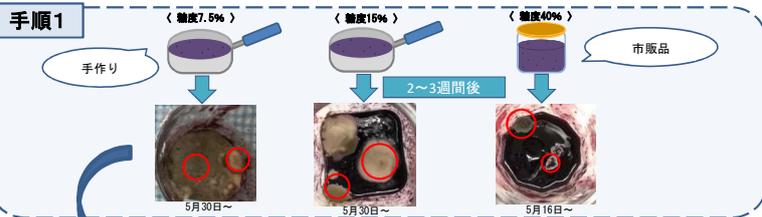
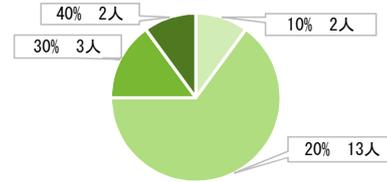
目標

防腐効果と味・風味の、最も折り合いの良い糖度を見つける

## ＜ 実験 ＞

- 手順 →
- 1- 糖の濃度がそれぞれ違ったジャムを用意し、カビが生えるまで放置する
  - 2- 発生したカビを採集し、培地に移す
  - 3- 培地で増殖したカビを、今度は糖の濃度がそれぞれ違った培地に移す  
[手順3-1] …2.0% 7.5% 15.0% 40.0% } 糖の濃度  
[手順3-2] …10.0% 20.0% 30.0% 40.0%
  - 4- 砂糖の濃度が違った培地でのカビの増殖の具合を観察し、適した糖の濃度を見つける

## 糖度別ジャムの好み



### ＜ まとめ・わかったこと ＞

- ・上のグラフより、糖度を上げるほどカビは繁殖しにくい
- ・しかし、左のグラフを見てみると、一部のカビは、糖度を高くすればするほど面積が増えている  
→カビには繁殖しやすい糖度がある

### ＜ 今後の展望 ＞

- ・私たちが採取したカビは複数種類あると考えられるため、遺伝子の検査によってカビの種類を特定する
- ・糖度別のジャムを作り、理数科80名にアンケート調査を行う

# Jam, Sugar and mold

2137 Koto Nodoka 2239 Hagiwara Natsuki 2202 Ando Masaya 2203 Isi Shunsuke

## <Introduction>

Sugar → Antiseptic effect  
Ex) Jam, Preservation in syrup

Trade off

Sugar content ↑  
Antiseptic effect ↑  
Flavor ↓

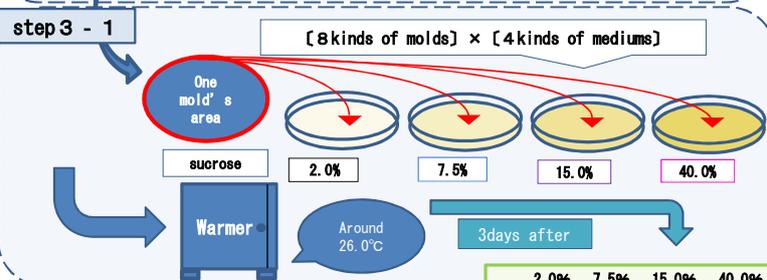
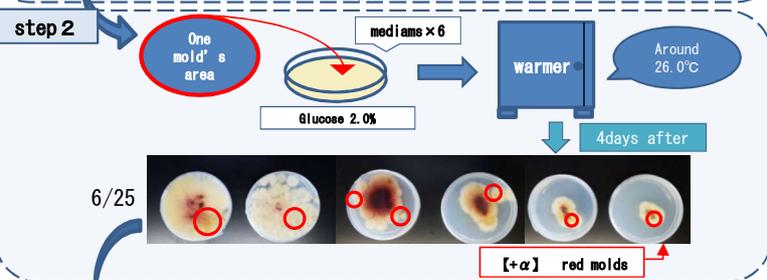
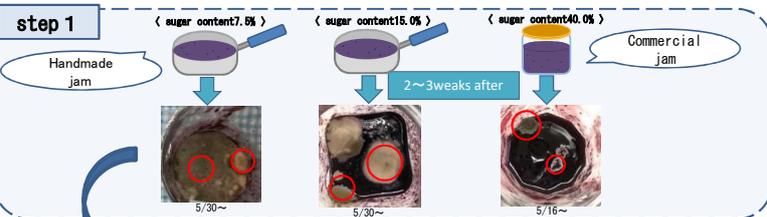
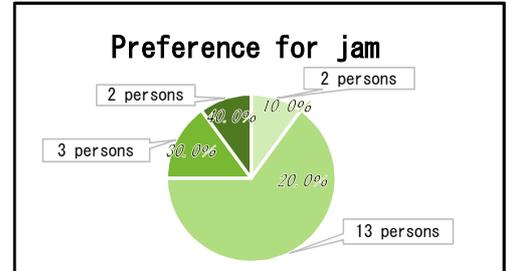
- Too much sugar is bad for our health
- Some people want to give more priority on the taste and flavor of ingredients than on the sweetness

Goal

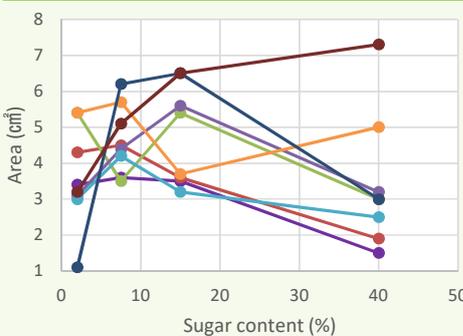
To discover the best balanced sugar content for antiseptic effect and flavor.

## <Experiment>

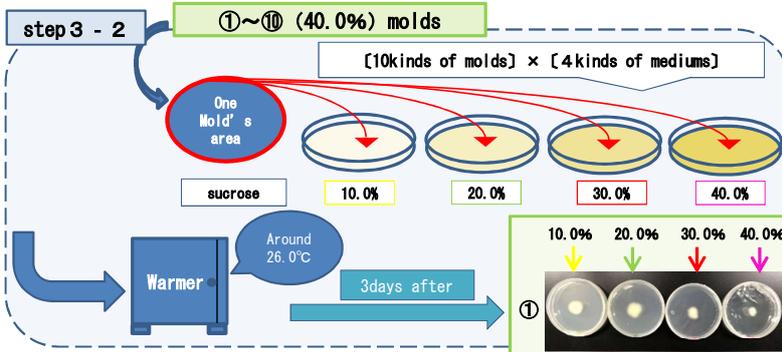
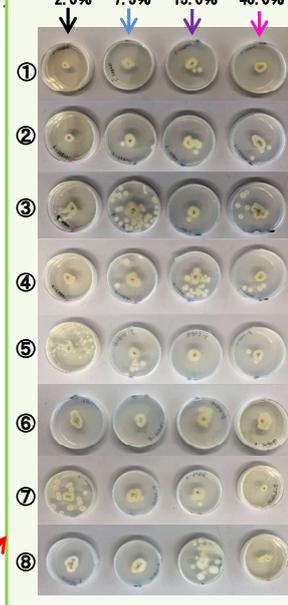
- 1- We prepare the jam which have different sugar content and wait for molds to grow
- 2- We collect molds generated in the jam and transfer to culture medium and observe
- 3- We transfer them from the medium to a medium with different sugar content  
[step1] ... 2.0% 7.5% 15.0% 40.0%  
[syep2] ... 10.0% 20.0% 30.0% 40.0% } Sugar content
- 4- We observe mold's appearance and find suitable sugar content



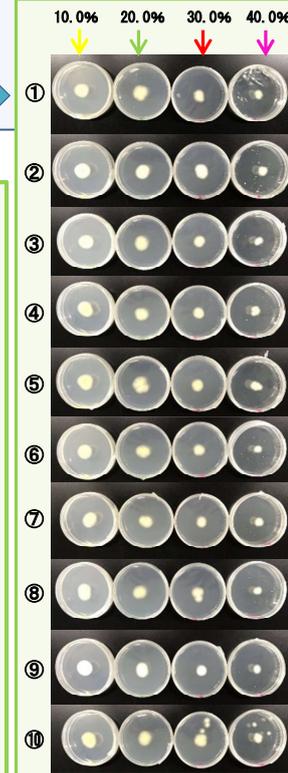
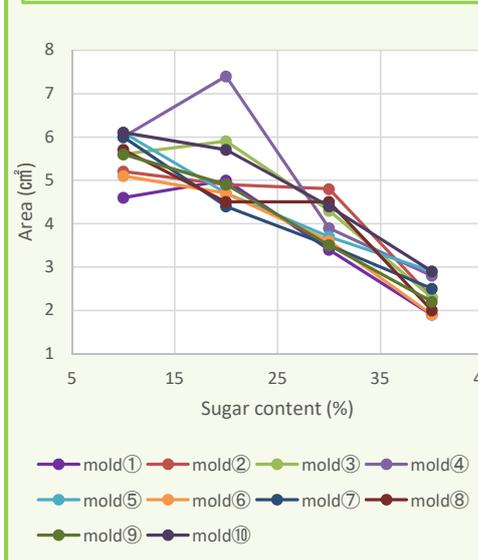
#### Relationship between sugar content and molds area (3-1)



[+α] Visually check the new molds  
③ (2.0%) → ⑨  
⑧ (7.5%) → ⑩



#### Relationship between sugar content and molds area (3-2)



## <Discussion>

- The higher the sugar content makes most molds harder to increase from above graph.
- ※ However, the area of mold decreases as the sugar content increase from 2% to 15% from left graph.
- each kind of mold has sugar content that is easy to increase

## <Future Work>

- To experiment with more sucrose in order to get more accurate data
- Making jam with a different sugar content and take a survey of 80 science and mathematics course students

# 視覚・嗅覚が味覚に及ぼす影響

2102 赤間 雄飛 2236 佐藤 萌々 2237 千田 楓花

## 1. 背景



図1 味覚の定義 1)

## ジュース

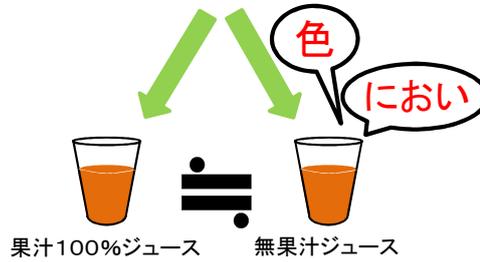


図2 目的の補足

どれくらい視覚や嗅覚が味覚に影響しているかがわかれば無果汁ジュースの生成および味の向上に役立つ

## 目的

視覚と味覚、嗅覚と味覚の関係性、また、視覚と嗅覚、味覚の相互作用を調べることで無果汁ジュースの味の向上につなげる。

## 2. 材料と方法 (実験1)

対象: 仙台三高 男女 24人

場所: 家庭科総合実習室

材料: 赤、緑、黄で着色したシロップ(砂糖:水=1:1.2)

※シロップには、においはついていない



写真1  
使用したシロップ

方法: まず、被験者をG1、G2にグループ分けした。

G1  
シロップはそれぞれ違う味つけがなされていると説明  
→知覚情報○

G2  
情報を与えない  
→知覚情報×

試飲してもらいシロップを見せる  
→視覚情報を与える

目隠しをしてシロップを試飲してもらう  
(黄→緑→赤)

目隠しを外してシロップを試飲してもらう  
(赤→緑→黄)

何の食品味がしたかアンケート用紙に記入してもらう  
(複数回答不可)

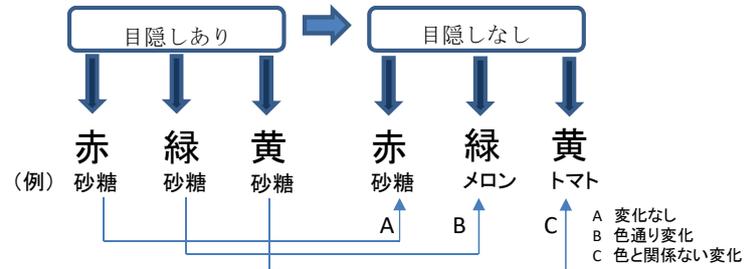
## 仮説

G1 色から連想される食べ物を回答する。  
G2 砂糖に関連した食べ物を回答する。

## 3. 結果・考察

結果: 結果は以下の通りとなった。(それぞれ有効回答件数36件)

図3 グラフ1の補足



グラフ1 結果 視覚に伴う味覚の変化の有無



## 考察

- G1において『色通り変化』と回答した人は44%いた。また、G2において同様の回答をした人は31%だった。→視覚情報は味覚に変化を及ぼすが、そのほかにも知覚情報が味覚に及ぼす影響もあると考えられる。
- G1、G2ともに『色とは関係のない変化』と回答した人はおよそ10%ずつ存在した。→視覚情報ではなく、自分の経験などをもとに回答したと考えられる。
- G1よりG2の方が『変化なし』と回答した人が16%多かった。→①において知覚情報も味覚に影響を及ぼしていると考えられたため、G1において色通り変化と答えた人が多く、相対的に変化なしと答えた人が少なかったと考えられる。

## まとめ・結論 (実験1)

- 結果より視覚は味覚に影響を及ぼしている。しかし、その影響は必ずしも強いものではない。
- 与える情報量により味の感じ方に変化が見られた。

## 今後の展望

- 嗅覚は味の感じ方にどのような影響があるのか調査する
- 視覚と嗅覚ではどちらの方が味覚に影響を与えるのか調査する(視覚情報と、嗅覚情報が同時に与えられたとき、味覚にどのような影響が生じるか)

## 参考文献

- 味覚センサーの開発と応用 <http://www.saltscience.or.jp/symposium/2015-1.tokou.pdf>
- コカ・コーラ <https://www.cocacola.co.jp/brands/i-lohas/i-lohas09>

# How Do Eyesight and Smell Affect Taste?

2102 Akama Yuhi 2236 Sato Momo 2237 Chida Fuka

## Introduction

Fig.1: Definition of Taste

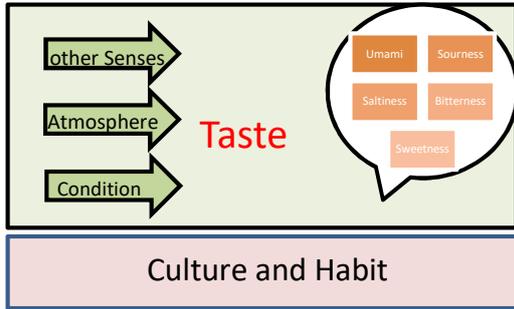
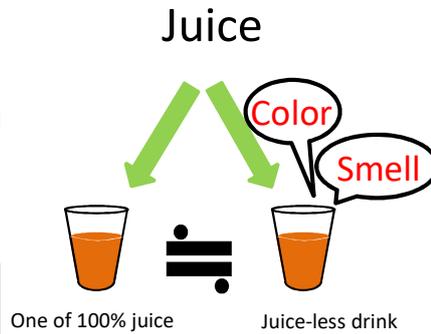


Fig.2: Goal of Study



The eyesight and smell affect the taste.

If we research about effects of the eyesight and smell has on the taste , we may be able to bring the flavor of juice-less drink to one of 100% juice.

### Purpose of our study

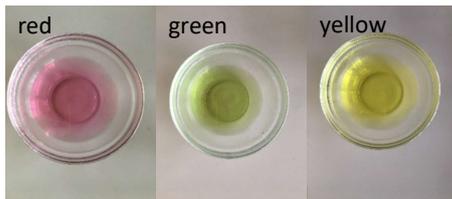
To research how relationship eyesight to taste (Study1) and smell to taste(Study2). Also to research the interaction of taste to eyesight and smell (Study3), to make use of juice-less drink become more likely to one of 100% juice.

## Material and Method (study 1)

**Subjects** : Sendai Third high school (students 24people)

**Place** : Home economics practical training room

**Material** : Colored homemade syrup (red , green , yellow)  
→sugar : water = 1 : 12



Picture.1  
Colored  
homemade syrup

**Method** : We grouped the subject , G1 and G2.



We show the subject s the homemade syrup that they drink. →We give visual information

We ask subjects drink the homemade syrup with blindfold. (yellow → green → red )

We ask subjects drink the homemade syrup without blindfold. ( red → green → yellow )

We ask subjects to answer following question.  
Contents of question : What flavor did you taste ?

### Hypothesis

- G1 They would answer food which is correspond to color.  
G2 They would answer food which is made in sugar.

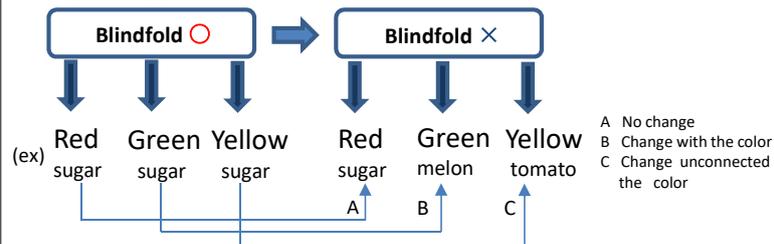
## Conclusion (study 1)

- eyesight affect taste.
- However, the effect is not necessarily strong.
- Information is affect taste too.

## Result and Discussion (Study 1)

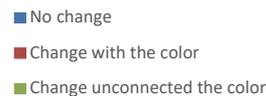
The results are as follows.

Fig.3: Supplement of Graph.1

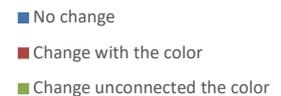


Graph.1: presence or absence of change of the taste with the color

G1



G2



1. People who answered "Change with the color" were 44% in G1. → Eyesight affect to taste. But there are the effect of perceptual information on taste.
2. People who answered "Change unconnected the color" was about 10% who in G1 and G2. →Not eyesight , but they based on the their experience to answer.
3. G1 has people who answered "No change" more than G2 agout 16%. →According to discussion 1.

## Future Work

1. We will research that how the smell affect taste.
2. We will research which of eyesight and smell has greater influence, ( and how the eyesight and smell affect taste when we are given information from them at the same time.)

## Bibliography

- 1) 味覚センサーの開発と応用  
<http://www.saltscience.or.jp/symposium/2015-1.tokou.pdf>
- 2) Coca-Cola(Japan)  
<https://www.cocacola.co.jp/brands/i-lohas/i-lohas09>



# Ⅲ SS探究Ⅰ

## 【普通科2年】

# SS探究Ⅰ ポスター発表 テーマ一覧(11月のグローバルサイエンスフェスタ発表)

文系

No.	班名	分野	テーマ	メンバー
1	C	農学・食産業	お弁当で世界を救う	八月朔日野々花 鈴木葵 高橋里衣奈
2	D1	スポーツ・医療・福祉	睡眠と疲労回復度の関連性	神部虎太郎 赤間優樹 奥俊介 佐藤大翔 新妻祐哉
3	D2	スポーツ・医療・福祉	練習・試合・試合後にかけてのメンタルについて	阿部拓海 貝塚大介 橋本二千翔 内野皓陽
4	E 1	芸術	現代におけるJ-POPと洋楽の関係	高橋碧 小林杏実 三浦拓実 小田悠稀
5	E 2	芸術	音と学び～無音空間で勉強して大丈夫?～	渡邊晏子 吉田岳翔 赤松駿太郎 若井耀太 山口詩生
6	F 1	心理・教育・人文	ENGLISH EDUCATION	小関悠希 結城心太郎 岩淵暁子 竹田結香 松本龍郎
7	F 2	心理・教育・人文	学校教育の見直しによる社会状況の変化の予測	信太遥貴 甲田亞佑人 平川航伎 高屋裕樹 小笠原柚香 吹野咲理
8	F 3	心理・教育・人文	陽キャと陰キャができるまで～スクールカーストと教師の対応～	佐藤七海 川田あいこ 松本幸
9	F 4	心理・教育・人文	スポーツと心	熊谷颯人 白石啓太 高橋太郎 福島紀彦
10	F 5	心理・教育・人文	お菓子の形状と若年層の心理	菊池葉月 浅井未宇 西田修子
11	F 6	心理・教育・人文	ペットロスの理解度向上に向けて	大場穂帆 阿部浩大 室井みなみ 佐藤怜花 菅原咲季 川野裕也
12	F 7	心理・教育・人文	第三者の悩みへの関与～一人で悩まないで～ Participation in trouble ~Don't be troubled alone~	佐藤琴乃 佐々木琳璃 制野未空 兵藤里沙 佐藤亮太 渡辺瑠基
13	F 8	心理・教育・人文	異文化対立から見る相互理解の糸口	蓮江友佳子 佐藤めぐみ 水野有理 村上夢野花 須藤朱理
14	F 9	心理・教育・人文	世界共通通貨を作ろう!	有馬沙耶 椎根小梅 零石真結 神野美徳 鈴木美結
15	G 1	経済・経営・社会	印象操作というリスク～君はまだホモエコノミクスを知らない～	田中裕人 佐藤旭 曾根田駿也 田中慎之輔 千葉大典
16	G 2	経済・経営・社会	新聞・看板広告VSインターネット広告	齋藤晃汰 恒川龍生 相澤源希 大竹佑汰 横田京
17	G 3	経済・経営・社会	なぜ日本で電子決済は普及しないのか	金澤啓哉 加藤諄也 小山西音 渋谷尚希 太田裕也 吉川純矢
18	G 4	経済・経営・社会	私たちがA Iの共存	川原真都 佐竹航 嶋井直央 坂波莉央
19	G 5	経済・経営・社会	私たちが考える「現地化」	笹本理貴 佐藤喜紀 鈴木優大 大場悠生
20	G 6	経済・経営・社会	特産品の知名度を上げるにはどうしたらよいか	武石遼 岸息吹 柴田優希 武田幹太
21	G 7	経済・経営・社会	LGBTに関する法律はなぜ存在しないのか	前田拓人 浅野楽 千葉南 吉川祥吾 佐藤馨介 齋藤理子
22	G 8	経済・経営・社会	身近に潜むことばのトラブル	山谷勇貴 越前大智 田端竜之介 佐藤時和人
23	G 9	経済・経営・社会	がんばれ! 民族衣装!	片桐駿 櫻田光祐 永井幹之 引地雄哉 大場絵莉 土屋春果

理系

No.	班名	分野	テーマ	メンバー
1	A 1	工学	医療・介護面における完全ロボット化の可能性	岩間史峻 鞠古和貴 及川洸誠
2	A 2	工学	ファジィ推論を用いた人工知能について	若生健牙 皆川伊織 松下創哉 小川息吹 佐藤杏哉 石川晃多
3	A 3	工学	情報化によってどのような職業が必要となるか	高橋祐一朗 種田悠真 古川樹
4	A 4	工学	「AIが仕事を奪う」はウソ!?	柏原 英明 鈴木 悠允 細田 湧 三浦 恭資 嶋原 大輝
5	A 5	工学	揺れに強い家を作るためには	熊谷俊亮 菅原奨 岩淵拓都
6	A 6	工学	建築によってどのように地球を守れるのか!?	熊谷雪乃 小池双葉 橋浦みずほ 皆川菜摘 山本花鈴
7	A 7	工学	津波から家を守るには	石川ひなた 草薷夏季 大村碧 小倉未咲 外館綾苗 長谷川風花
8	A 8	工学	ペットボトルロケットによる水難救助	飯田竜雅 尾形謙将 野崎真悟 佐々木寛太 澤田怜音
9	A 9	工学	リニアモーターカーは鉄道の代替えとなりえるか	千葉 祐希 菅井 翔 成田 季樹 浜谷 悠太郎 渡辺 斐友
10	A 1 0	工学	夢のランニングシューズが走りを変える	及川凌平 松原亜斗 池田康大 小田桐慶長
11	A 1 1	工学	電気 vs 紙 ～地球にやさしいのはどっち?～	酒井朋樹 向笠紘平 我妻航也
12	A 1 2	工学	小水力小さいからってなめんじゃねーぞ!	ムルゲサン ナウィーンカルティック 早坂 啓 白石 祐太郎 川名 大夢 澤口 瑛都 瀬下 椋太
13	A 1 3	工学	海水で走る環境にやさしい車	入野田 蓉 大嶋 祐介 石森 一成 江尻 昂世 鈴木 航
14	B 1	理学	地球滅亡! ? 私たちの未来in火星	菅野綾花 菊池幸穂 佐治奈津子 山田音羽
15	B 2	理学	各教科の偏差値の特徴について	坪井 涼 新井 晶大 出口 将斗
16	B 3	理学	与兵衛沼のホタルの復活に向けて	佐々木有世 大谷健人 渥美伊織 佐藤広樹
17	B 4	理学	革新的発電で途上国の電力不足を賅えるのか?	鈴木幹基 鈴木悠世 小関駿之介 山本雄心 長谷部紘士
18	C 1	農学・食産業	絶滅危惧種を救うには?	伊藤春奈 菅原万智 馬淵多恵 白石愛実
19	C 2	農学・食産業	漁業の衰退、止めたくない?	鈴野愛斗 中村響 船津丈 武藤佑空 村橋巧 阿部藤吉郎
20	C 3	農学・食産業	日本の大豆最強説!	木暮愛留 平塚里奈 柴田美空 篠原悠 茂庭里帆
21	D 1	スポーツ・医療	ホームランを打てるバッティングフォーム	伊藤一馬 嘉数健太 千葉帆夏
22	D 2	スポーツ・医療	運動的教育	菅野涼太 高橋優斗 齊藤光汰朗 松田歩樹
23	D 3	スポーツ・医療	世界から見た日本のガン	小林優斗 鎌田翔貴 虻川蓮 安藤幸輝 田中遥大 中田誠乃輔
24	D 4	スポーツ・医療	血液を作ろう	石島碧 鷗沼果穂 及川穂香 小島凜 北林知
25	D 5	スポーツ・医療	我々の未来とジェネリック	菅原菜々美 大谷瑞貴 佐藤優月 鈴木美優花 高橋風美子 長沼杜羽子
26	D 6	スポーツ・医療	音楽が超高齢化社会を救う! ?	遠藤帆華 緒方萌 岡田悠生 平野琴美 星優里奈 國井更紗
27	D 7	スポーツ・医療	私達の健康な身体づくり	元木梨々華 金子涼花 石山伶衣 瀬倉英 渡部桃佳
28	D 8	スポーツ・医療	どんな薬? ジェネリック医薬品	岡 明里 富田 陽菜 川田 菜月 工藤 千伶
29	E 1	芸術	日本から世界に及ぼされる芸術への影響	伊藤和真 及川鼓音 鈴木涼介

# IV 世界大会 全国大会

ISEF

第62回日本学生科学賞

第10回坊ちゃん科学賞

全国高総文祭「2018 信州総文」

平成30年度SSH生徒研究発表会

# Research and application of diethyl ether solution of Au(III)

Hiroki Nagata, Shuhei Tsumuraya, Tomoya Yamada Miyagiken Sendai Daisan High School

## 【Experiment 4】

### A distribution coefficient $D$ of aqueous solutions of $H[AuCl_4]$ at each pH

$$\text{Distribution coefficient } D^{\text{①}} = \frac{\text{Concentration of solute in the organic layer}}{\text{Concentration of solute in the water layer}} = \frac{C_o}{C_w} \quad \begin{matrix} O : \text{Organic layer} \\ W : \text{Water layer} \end{matrix}$$

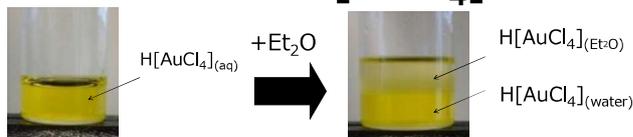
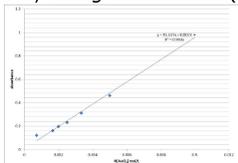


Fig. 4 Distinction of  $H[AuCl_4]$  of the aqueous layer and the  $Et_2O$  layer  
 ※ $H[AuCl_4]$  existing in aqueous layer showed " $H[AuCl_4](\text{water})$ ".  
 $H[AuCl_4]$  existing in  $Et_2O$  layer showed " $H[AuCl_4](Et_2O)$ " (Fig. 4).

### Calibration curve of the aqueous solutions of $H[AuCl_4]$

A calibration curve of aqueous solutions of  $H[AuCl_4]$  was obtained by using absorbance (Graph 1).



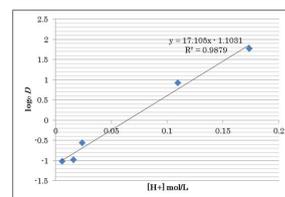
Graph 1 Calibration curve for absorbance vs. concentration of  $H[AuCl_4](\text{water})$

### The measurement results

#### 【Experiment 5】

HCl was added to  $1.0 \times 10^{-2}$  mol/L aqueous solutions of  $H[AuCl_4]$  and pH was regulated.

Distribution coefficient  $D$  at each pH was calculated from the concentration of  $H[AuCl_4](\text{water})$  and  $H[AuCl_4](Et_2O)$  (Graph 3).



Graph 3 Relations of distribution coefficient  $D$  of aqueous solutions of  $H[AuCl_4]$  and hydrogen-ion concentration

## Gold plating using Au-ether solution

It is also written, "This gold solution can be used to paint on polished iron or steel plates with brush and pictures such as birds and flowers can be painted. "in the "*Seimikaiso*".<sup>1)</sup> This suggests that there is a possibility that other metals can be used to make gold plating with  $Et_2O$ .

#### 【Experiment 6】

$H[AuCl_4] \cdot 4H_2O$  was dissolved in  $Et_2O$ , and put metallic zinc in it.

→It was discovered that the zinc was plated and blushed. This plating was named "Gold red plating" (Fig. 5).



Fig. 5 A gold red plating

## "Gold red plating" is really gold-plating?

#### 【Experiment 6】

0.05 g of  $H[AuCl_4] \cdot 4H_2O$  was dissolved in 5.0 mL of  $Et_2O$ , and put metallic zinc in it. (Fig. 6)

→ The metallic zinc was plated and became golden. (Fig. 7)



Fig. 6 A metallic zinc



Fig. 7 A golden plating

## What kind of structure "Gold red plating" is.

#### Possibility① Colloidal gold particle

The gold fine particles included in colloidal gold solutions and glass are red (Fig. 8) (Fig. 9). → "Gold red plating" has colloidal gold particle possibilities.

#### Possibility② Nano-Porous Gold<sup>8~10)</sup>

The appearance of "Gold red plating" was halftone plate structure when it was observed (Fig. 10). Nano-Porous Gold has structure like "Gold red plating" and it has the characteristic that the size of this surface hole turns red at 100 nm (Fig. 11). → "Gold red plating" has Nano-Porous Gold possibilities.

## Reproducing "Shakudo" using the diethyl ether solution of Au(III).

### "Shakudo"<sup>11, 12)</sup>

"Shakudo" is an alloy made from copper and gold whose mass the ratio of 3% - 5% of copper.<sup>11)</sup> Because colloidal gold particles in surface oxidation film ( $Cu_2O$ ) absorb light, it becomes deep dark purple or bluish black. The color is called "a color of the wet feather of a crow". It was high quality alloy and was used as materials such as a brim of a sword or a hair stick<sup>12)</sup> (Fig. 12) (Fig. 13) (Fig. 14).



Fig. 12 "Shakudo"



Fig. 13 sword guard



Fig. 14 Parts of a sword made with "Shakudo"

#### 【Experiment 7】

0.05 g of  $H[AuCl_4] \cdot 4H_2O$  was dissolved in 20 mL of  $Et_2O$ , and put copper in it.

→It was discovered that copper was plated by a color similar to "Shakudo" and showed "Plating such as Shakudo" (Fig. 15).



Fig. 15 "Plating similar to Shakudo"

Close affinity!



Fig. 12 "Shakudo"



# 金溶液の研究とその応用

宮城県仙台第三高等学校  
圓谷修平 永田紘規 山田智也

## 1. 概要

宇田川榕菴現代訳「舎密開宗」記載の「金溶液にエーテルを混ぜると、金溶液中の酸化金はエーテルに溶解し、エーテルが金分を含むことになる」を参考に再現実験をし、王水中の酸化金がエーテルに移動する様子を確認した。そして水溶液中の酸化金は、酸性の強さによって水層とエーテル層に溶解する割合が異なることを解明し、さらに各 pH の水溶液における酸化金の水層とエーテル層への分配比  $D$  を求めることにも成功した。また、溶媒がエーテルという電子のやりとりが制御された条件下で亜鉛に金メッキをすることで「金赤(きんあか)メッキ」の存在を発見し、さらに同様の条件で銅に金メッキをすることで伝統工芸品である赤銅(しゃくどう)にそっくりな色合いである「赤銅様(しゃくどうよう)メッキ」の開発にも成功した。

## 2. 研究の背景

宇田川榕菴現代訳「舎密開宗 1」の第百七十六章「金はエーテル<sup>※1</sup>に溶ける」に「金溶液<sup>※2</sup>にエーテルを混ぜると、金溶液中の酸化金はエーテルに溶解し、エーテルが金分を含むことになる」という記載がある。教科書<sup>2)</sup>や図説<sup>3)</sup>では金は、王水に溶けてその水溶液中にテトラクロリド金(Ⅲ)酸イオン $[AuCl_4]$ として存在すると書いてある。エーテル中に金分が存在できることを知らなかったので本当にエーテル中にも金分が溶解するのか、またその際はどんな様子なのか実際に見て確かめることを目的とした。

※1 ジエチルエーテルと考えられる。以下エーテルと記載。

※2 王水に金を溶かした溶液。

## 3. エーテル中に酸化金が溶解するか確認する実験

金箔(20×20 mm)を王水で溶かし、金溶液を準備した。金溶液をスクリー管に 4 mL 取り、エーテル 4 mL を加えて攪拌し、静置した。その結果、**図 1**のように王水中の酸化金は、エーテル層に溶解した。溶液の色から王水中の酸化金は、ほぼすべてエーテル層に溶解したと考えられる。

王水中の酸化金

エーテル層の金分



エーテルの添加  
→



上層がエーテル層  
下層が水層 (王水)

図 1 水層からエーテル層に溶解した酸化金の様子

「舎密開宗」の記載通り、王水に溶けていた酸化金は、エーテル層へと溶解した。しかも酸化金のほとんどが水層からエーテル層に移動した。他の文献<sup>4)</sup>では、「王水に Au を溶かすと溶液となり、それを蒸発させると  $[H_3O][AuCl_4] \cdot 3H_2O$  を析出する。このテトラクロリド金 (III) 酸イオンはきわめてたやすく加水分解して  $[AuCl_3(OH)]^-$  となる。Au<sup>III</sup>は、希塩酸溶液から酢酸エチルあるいはジエチルエーテル中にきわめて高い分配係数で析出することができる。このときの有機溶媒中の黄色化学種は、恐らく  $[H_3O][AuCl_3(OH)]$  であろう。」といった記載があった。

調べた結果より「金溶液中の酸化金」は  $[AuCl_4]^-$  や  $[AuCl_3(OH)]^-$  であること、「エーテルが金分を含む」の金分とは、 $[H_3O][AuCl_3(OH)]$  であることが判明した。高校の教科書の範囲で王水中の酸化金は  $[AuCl_4]^-$  だけと考えていたが、より深く調べることで加水分解することまで把握することができた。

エーテルが金分を含むことは確認できたが、なぜ酸化金は水層よりもエーテル層に優先して溶解するのか疑問に思った。

※以下の文章では Au<sup>III</sup>の化合物は、舎密開宗の記載になぞらえて酸化金として記載する。

#### 4. 市販の $H[AuCl_4] \cdot 4H_2O$ を用いた実験

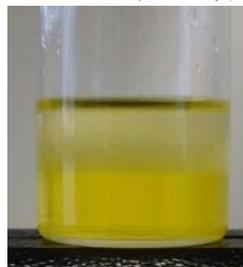
金を溶かして酸化金を得るために王水を用いたが、王水は研究で扱うには危険な物質である。そこで市販のテトラクロリド金 (III) 酸四水和物  $H[AuCl_4] \cdot 4H_2O$  を購入して使用することとした。これであれば濃塩酸の塩化物イオンや濃硝酸の硝酸イオンを含むことなく酸化金のみで実験できる。 $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$  を作成し、実験したところ不思議なことに王水中の酸化金は、ほぼすべてがエーテル層に溶解したのに対し、今回の  $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$  の酸化金は、**図 2** のように水層とエーテル層の両方に溶解していた。

$1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$



エーテルの添加  
→

エーテル層の金分



上層がエーテル層  
下層が水層

図 2 水層からエーテル層に溶解した酸化金の様子

#### 5. 2つの疑問と目的

この結果を踏まえ、2つの疑問ができた。1つ目は、なぜ王水中の酸化金と  $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$  中の酸化金では水層とエーテル層への溶け具合に違いが生じたのかという点である。2つ目は、 $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$  中の酸化金は、水層とエーテル層どちらにも溶けているがその分配の割合はどのくらいであろうかといった点である。この2つの疑問を解明することを目的とした。なお、今後は王水中の酸化金と  $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$  の酸化金を区別するために王水中の酸化金は、酸化金<sub>(王水)</sub>とし、 $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$  の酸化金は、酸化金<sub>(水溶液)</sub>とする。

○王水中の酸化金	→	酸化金 <sub>(王水)</sub>
○ $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L } H[AuCl_4] \text{ aq}$ 中の酸化金	→	酸化金 <sub>(水溶液)</sub>

## 6. 目的1 なぜ酸化金(王水)と酸化金(水溶液)ではエーテル層への溶け具合に違いが生じたのかを解明する

王水中には酸化金の他に水素イオンと濃塩酸の塩化物イオン、濃硝酸の硝酸イオンが含まれている。一方酸化金水溶液には、水素イオンと酸化金のみが含まれている。そこで酸化金の水層とエーテル層への溶け具合には、塩化物イオンと硝酸イオンが関係しているのではないかと考えた。また、 $1.0 \times 10^{-2}$  mol/L  $\text{H}[\text{AuCl}_4]\text{aq}$  の pH は、HORIBA 社の卓上型 pH 測定器 LAQUA を用いて測定したところ pH 2.2 と王水と比べて酸性が弱かったので水素イオンの存在も関係しているのではないかと考えた。そこでどのイオンが水層に存在すると酸化金をエーテル層へと移動させる影響を持つのか  $1.0 \times 10^{-2}$  mol/L  $\text{H}[\text{AuCl}_4]\text{aq}$  に塩化ナトリウム NaCl と硝酸カリウム  $\text{KNO}_3$  を加えて調べた。また水素イオンの影響を確かめるため濃塩酸 HCl と濃硝酸  $\text{HNO}_3$  を用いて調べた。

○王水中のイオン	$\text{H}^+$ , 酸化金(王水), $\text{NO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$
○ $1.0 \times 10^{-2}$ mol/L $\text{H}[\text{AuCl}_4]\text{aq}$ のイオン	$\text{H}^+$ (pH 2.2), 酸化金(水溶液)

### 【実験】

$1.0 \times 10^{-2}$  mol/L  $\text{H}[\text{AuCl}_4]\text{aq}$  4 mL をスクリー管に取り、塩化ナトリウム 2 g(0.034 mol 相当)、硝酸カリウム 2 g(0.020 mol 相当)、濃塩酸 2 mL(0.024 mol 相当)、濃硝酸 2 mL(0.026 mol 相当)を加えた。各水溶液にエーテル 4 mL を加えた後に攪拌し、静置した。結果は以下の図 3 のようになった。

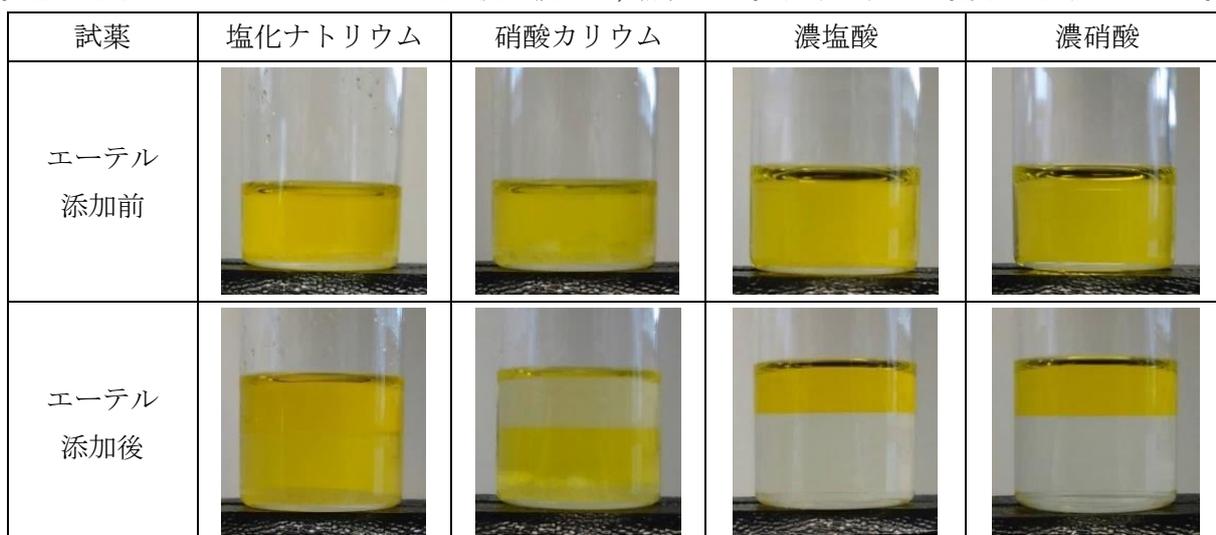


図 3 各試薬を入れた時の酸化金(水溶液)の水層とエーテル層への溶け具合

図 3 より塩酸と硝酸を加えるとどちらも見た目では、ほぼすべての酸化金(水溶液)がエーテル層に移動した。一方、塩化ナトリウムと硝酸カリウムを加えた際は、酸化金(水溶液)の水層とエーテル層への溶け具合に違いはあるが、塩酸と硝酸を加えたときほどはっきりとは変化がなかった。この結果より、「なぜ酸化金(王水)と酸化金(水溶液)ではエーテル層への溶け具合に違いが生じたのか」に関しては、間違いなく水素イオンの影響が大きく関係していると判断できる。

教科書の範囲内で考察すると、水溶液中に水素イオンが多くなると  $[\text{AuCl}_4]^-$  は、ルシャトリエの原理より反応式 1 の平衡が右側に移動し、 $\text{H}[\text{AuCl}_4]$  として存在すると考えられる。



王水は、強い酸性を示すので平衡が右側に移動するのに対し、酸性が弱い  $1.0 \times 10^{-2}$  mol/L

H[AuCl<sub>4</sub>]aq は[AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup>としても存在しているため水層とエーテル層のどちらにも存在した。

ただ、参考文献 4)では「[AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup>は加水分解して [AuCl<sub>3</sub>(OH)]<sup>-</sup>になり、エーテル層に溶けているのは [H<sub>3</sub>O][AuCl<sub>3</sub>(OH)]であろう。」と明記されていることから理由はもっと深く、複雑であると考えられる。しかし当初疑問とした「なぜ酸化金(水)は、水層よりもエーテル層に優先して溶解するのか」に関しては、酸性が強くなることが関係していることを説明することができた。

## 7. 目的2 酸化金(水溶液)の水層とエーテル層への分配比 *D* を求める

1.0×10<sup>-2</sup> mol/L H[AuCl<sub>4</sub>]aq の pH は 2.2 であり、このとき酸化金(水溶液)は水層とエーテル層のどちらにも溶解し、見た目では水層に多く溶けているように見える。しかしあくまでも見た目なのできちんと数値で把握したいと考えた。参考文献 5)によると「有機層と水層の分配の割合を表した分配比 *D* が便利である」と記載されていた。

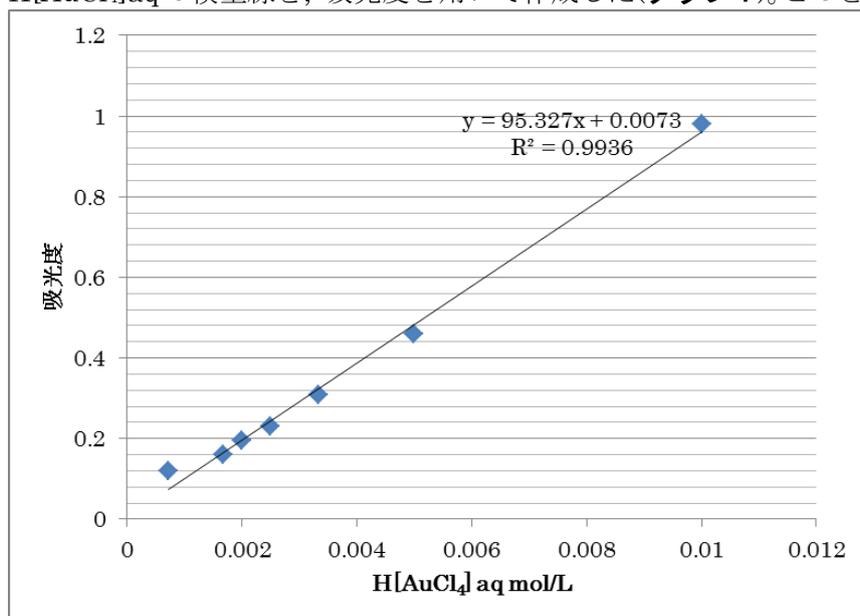
$$\text{分配比 } D = \frac{\text{有機相中の溶質の全濃度}}{\text{水相中の溶質の全濃度}} = \frac{C_o}{C_w} \quad \begin{array}{l} O : \text{有機相} \\ W : \text{水層} \end{array}$$

そこで分配比 *D* を用いて酸化金(水溶液)の水層とエーテル層への分配を求めることを目的とした。なお、この実験において酸化金(水溶液)のうちエーテル層に移動した酸化金を酸化金(エーテル)、水層に残った酸化金を酸化金(水)と記載することとする。



### 7. 1 H[AuCl<sub>4</sub>]aq の検量線の作成

H[AuCl<sub>4</sub>]aq の検量線を、吸光度を用いて作成した(グラフ1)。このとき吸収波長は 410nm を用いた。



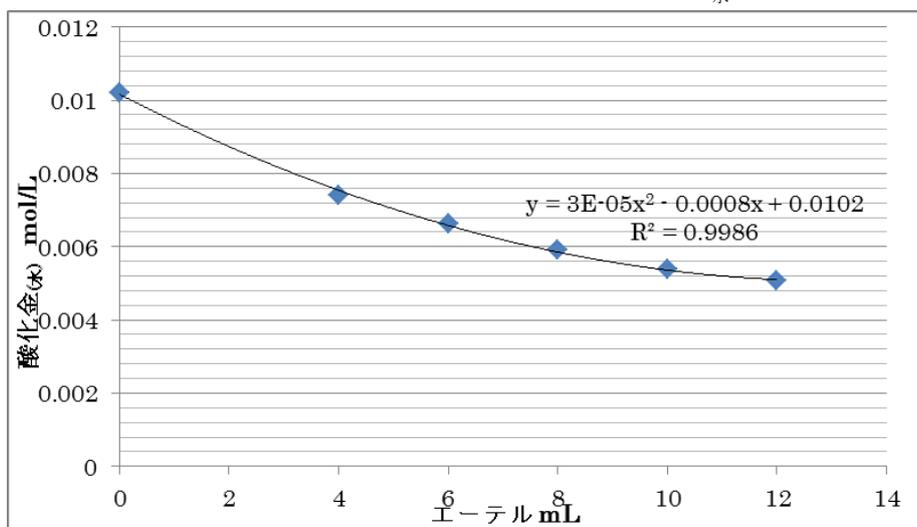
グラフ1 H[AuCl<sub>4</sub>]aq の検量線

## 7. 2 酸化金<sub>(水溶液)</sub>の水層とエーテル層への分配比 $D$ の測定

$1.0 \times 10^{-2}$  mol/L H[AuCl<sub>4</sub>]aq 4mL にエーテルを 4 mL 加え、その後 2mL ずつ加えていき、水層の吸光度を測った。吸光度の値とグラフを表 1 に示す。また表 1 の値からグラフ 2 を作成した。

$1.0 \times 10^{-2}$ mol/L H[AuCl <sub>4</sub> ]aq [mL]	エーテル [mL]	吸光度	酸化金 <sub>(水)</sub> [ $\times 10^{-2}$ mol/L]
4	0	0.98	1.02
4	4	0.71	0.74
4	6	0.64	0.66
4	8	0.57	0.90
4	10	0.52	0.54

表 1 各体積のエーテル添加後の水層の吸光度と酸化金<sub>(水)</sub>の濃度



グラフ 2 各体積のエーテル添加後の酸化金<sub>(水)</sub> の濃度

グラフ 2 より添加したエーテルの体積に応じて一定の割合で酸化金<sub>(水溶液)</sub>がエーテル層に溶解していくのがわかる。各体積に含まれる酸化金<sub>(水)</sub>の濃度を計算し、分配比  $D$  を求めてみた(表 2)。

$1.0 \times 10^{-2}$ mol/L H[AuCl <sub>4</sub> ]aq [mL]	エーテル [mL]	酸化金 <sub>(水)</sub> [ $\times 10^{-2}$ mol/L]	酸化金 <sub>(エーテル)</sub> [ $\times 10^{-2}$ mol/L]	$D = \frac{[\text{酸化金}]_{\text{(エーテル)}}}{[\text{酸化金}]_{\text{(水)}}}$
4	0	1.02	0	—
4	4	0.74	0.27	0.376
4	6	0.66	0.24	0.358
4	8	0.59	0.21	0.364
4	10	0.54	0.19	0.359
4	12	0.51	0.17	0.338
	平均			0.359

表 2 酸化金<sub>(水溶液)</sub>の水層とエーテル層への分配比  $D$

その結果、分配比  $D$  はおおよそ 0.359 という値となった。見た目では酸化金<sub>(水溶液)</sub>は、水層の方に多く溶けているように見えていたが、実際に数値で証明することができ、目的 2 を達成できた。

### 8. 新たな目的 各 pH における酸化金<sub>(水溶液)</sub>の水層とエーテル層への分配比 $D$ を求める

酸化金のエーテル層へ溶け具合には水素イオンが大きく影響していることは目的 1 で判明した。また目的 2 においても酸化金<sub>(水溶液)</sub>の分配比  $D$  を求めることができた。この 2 つの目的を達成から「各 pH の値における酸化金<sub>(水溶液)</sub>の分配比  $D$  はいくらか」といった目的が生まれた。そこで塩酸を加えて pH を調整した  $\text{H[AuCl}_4\text{]aq}$  を準備し、酸化金<sub>(水溶液)</sub>の分配比  $D$  を求めることとした。今回  $1.0 \times 10^{-2}$  mol/L  $\text{H[AuCl}_4\text{]aq}$  4 mL にそれぞれ 0.1 mol/L と 1.0 mol/L 塩酸を加えて pH を調整した。その pH を以下の表 3 に記す。

1.0×10 <sup>-2</sup> mol/L H[AuCl <sub>4</sub> ]aq [mL]	添加した HCl の体積 [mL]		酸化金水溶液の pH
	0.1 mol/L	1.0 mol/L	
4	1	—	1.79
4	2	—	1.62
4	—	1	0.96
4	—	2	0.76

表 3 各濃度の HCl を添加した際の  $\text{H[AuCl}_4\text{]aq}$  の pH

各 pH における酸化金水溶液の吸光度を測り、濃度を把握した(表 4)。

pH	吸光度	$\text{H[AuCl}_4\text{]aq}$ [ $\times 10^{-3}$ mol/L]
1.79	0.78	8.1
1.62	0.64	6.6
0.96	0.78	8.1
0.76	0.65	6.7

表 4 各 pH における  $\text{H[AuCl}_4\text{]aq}$  の濃度

pH を調整した  $\text{H[AuCl}_4\text{]aq}$  にエーテルを同じ体積だけ加え、水層とエーテル層の体積比を 1 : 1 とし、酸化金<sub>(水)</sub>の吸光度を測った(表 5)。

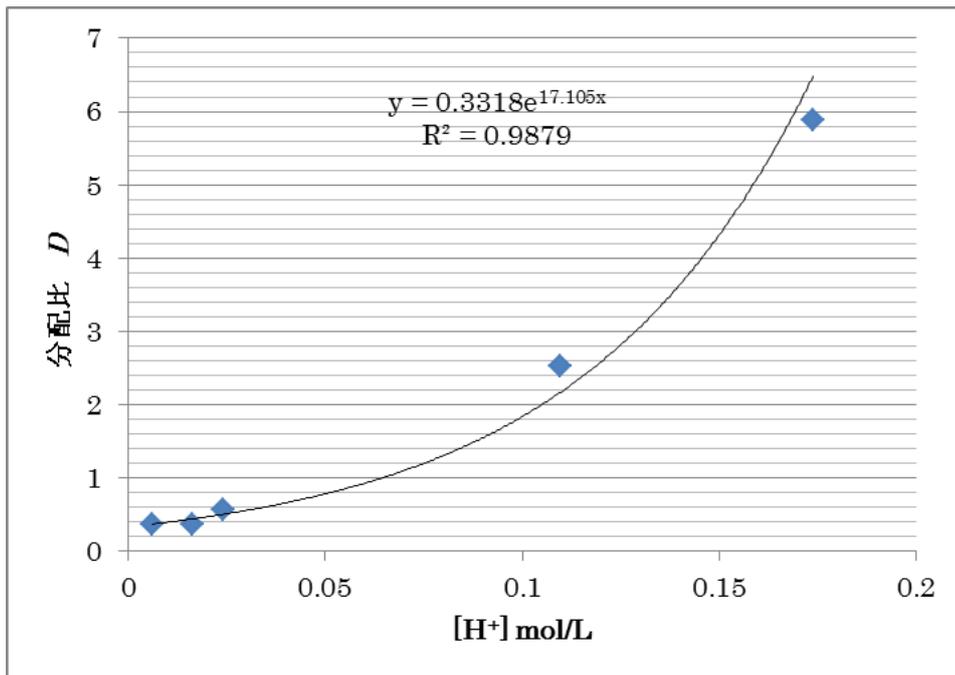
pH	$\text{H[AuCl}_4\text{]aq}$ [mL]	エーテル[mL]	吸光度	酸化金 <sub>(水)</sub> [ $\times 10^{-3}$ mol/L]
1.79	5	5	0.57	5.9
1.62	6	6	0.41	4.2
0.96	5	5	0.23	2.3
0.76	6	6	0.10	1.0

表 5 各 pH におけるエーテル添加後の酸化金<sub>(水)</sub>の濃度

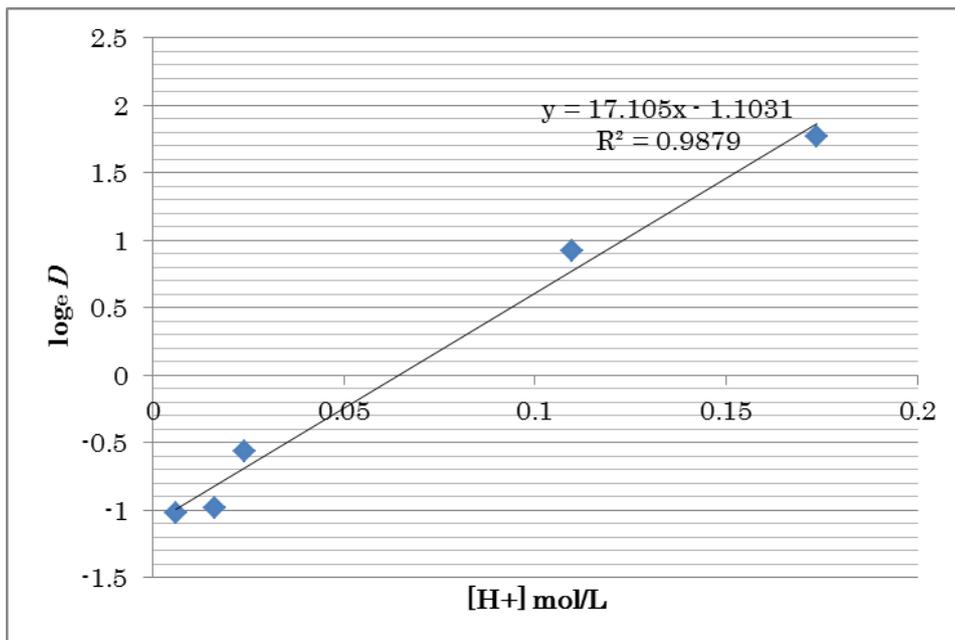
この表 5 の結果より、各 pH における分配比  $D$  を求めた(表 6)。また表 6 の水素イオン濃度を横軸にとったグラフ 3 と分配比  $D$  の自然対数を縦軸に取ったグラフ 4 を作成した。

pH	酸化金 <sub>(水)</sub> [ $\times 10^{-3}$ mol/L]	酸化金 <sub>(エーテル)</sub> [ $\times 10^{-3}$ mol/L]	$D = \frac{[\text{酸化金}]_{\text{エーテル}}}{[\text{酸化金}]_{\text{水}}}$
1.79	5.9	2.2	0.373
1.62	4.2	2.4	0.571
0.96	2.3	5.8	2.519
0.76	1.0	5.7	5.879

表 6 各 pH における酸化金<sub>(水溶液)</sub>の分配比  $D$



グラフ 3 水素イオン濃度と酸化金(水溶液)の分配比  $D$  の関係



グラフ 4 水素イオン濃度と分配比  $D$  の自然対数の関係

この結果、酸化金(水溶液)の分配比  $D$  は、水素イオンの濃度の上昇とともに指数関数的に上昇し、エーテル層に移動することが判明した。この結果は、目的 1 の「なぜ酸化金(王水)と酸化金(水溶液)ではエーテル層への溶解具合に違いが生じたのか」に関して酸性の強さが大きく関係していることをより一層正しいことを裏付ける結果となった。今回 pH を 0.76 までとしたが、例えば pH=0 のとき分配比  $D$  はなんと  $8.9 \times 10^6$  となり、ほぼすべての酸化金(水溶液)がエーテル層に移動することがわかる。見た目では酸化金(王水)はほぼすべてエーテル層に移動したように見えたが、数値で証明することができた。

## 9. エーテル中の酸化金を利用した金メッキの実験

偶然であるが、市販の  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  をエーテルに直接溶かした金溶液に亜鉛を入れてみると、数十秒のうちに図 4 のように表面が赤くメッキされた。エーテル中には酸化金しか存在しておらず、メッキされるのであれば当然金色になるはずである。疑問に思ったのもう一度亜鉛(図 5)を濃度の濃い金溶液に入れたところ、今度は図 6 のように金色のメッキになった。この結果からやはり赤色のメッキは金メッキと考えられる。一般的に金が赤色を示すのは金コロイド<sup>6)</sup>のときであり、粒径に応じて他に青色や紫色になることは知られている。しかしそれは溶液やガラス中における条件<sup>7)</sup>であり、固体状の金メッキでは赤色を示さないし、見たことも聞いたこともない。我々は、この極めて珍しい赤い金メッキを「金赤(きんあか)メッキ」と命名し、一体どんなメッキなのか調べることにした。



図 4 赤色の金メッキ



図 5 亜鉛



図 6 通常の金メッキ

### 9. 1 金赤メッキの正体について

赤いメッキの部分を電子顕微鏡で見ると図 7 のように表面は、すき間が数百 nm の細かい網目状になっていた。参考文献を調べていくと「ナノポーラス金<sup>8)</sup>」という金の存在にたどり着き、よく似た画像(図 8)を見つけた。参考文献<sup>9)</sup>によると「金原子がサブミクロン以下のスポンジ形状となり、多孔質(ポーラス)構造体となる。」とあった。また、東北大学原子分子材料科学高等研究機構(AIMR)の浅尾直樹教授は、HP 掲載記事<sup>10)</sup>において「細孔の大きさが約 100 ナノメートルのナノポーラス金を作製すると、金色が赤みを帯びてきます。」と述べている。この 2 つの共通点より、今回の金赤メッキはナノポーラス金である可能性が考えられる。

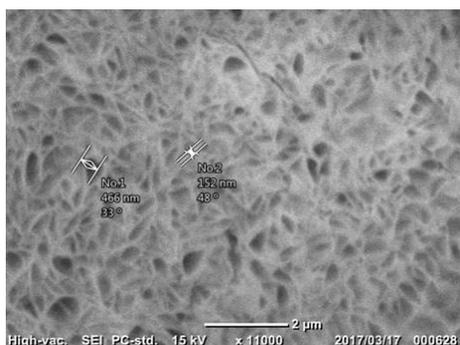


図 7 金赤メッキの表面構造

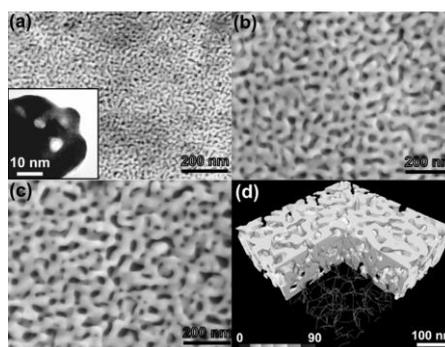


図 8 ナノポーラス金<sup>7)</sup>

ナノポーラス金以外には、やはり金がコロイド状態のまま析出したことも考えられるが、どちらにしても金が赤い状態でメッキされることは珍しい。これはエーテルを用いたことで水溶液のときと比べ、亜鉛から電子の供給が制御され、さらに金化合物として存在したため金が制御されて析出したと考えられる。今回のエーテルを用いた無電解メッキの方法は金赤メッキに止まらず、金を制御させて析出させることが可能であることを意味しており、応用が可能である。

## 10. エーテル中における金メッキを応用し、赤銅の色を出す

金の析出を制御してメッキできるので、今度は下地を銅にして微量の金メッキをすれば赤銅(しゃくどう)に近い色合いができるのではないかと思いついた。

赤銅<sup>11)</sup>は、主に銅と3~5%の金で作られる紫黒色や深い青紫がかった黒色の合金である。「カラスの濡れ羽色」とも呼ばれ、江戸時代には刀の鐔(つば)や髪飾りなどの実用品、美術品への装飾に使われた。現在でも美術品への装飾に用いられる高級品であり、海外でも注目されている大変貴重な合金である<sup>12)</sup>。赤銅の色は、銅 Cu の表面に形成された亜酸化銅  $\text{Cu}_2\text{O}$  中に金 Au のコロイド粒子が分散して光を吸収することで表れる。図 9 は、赤銅を用いて職人が作った八咫鳥(やたがらす)のブローチであり、博銀館から 15,600 円で購入した。この色を赤銅の色として目指すこととした。

### 10.1 赤銅様メッキの実現

エーテル 20 mL に様々な質量の  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  を溶かし、浸す時間を調整して何度も実験したところ、0.05 g、4 分間の条件で図 10 のように青紫がかった黒色を得ることができた。図 10 だけには分かりにくいですが、色合いは図 9 の赤銅を用いた作品と見間違ふほどそっくりである。そこで「赤銅の様な色のメッキ」の意味からこのメッキを「赤銅様(しゃくどうよう)メッキ」と名付けた。



図 9 赤銅を用いた作品(八咫鳥のブローチ)



図 10 銅板に金メッキを施したもの

### 10.2 赤銅様メッキのオリジナリティーの証明

赤銅様メッキと酸化銅(II)を比較した(図 11)。赤銅様メッキは、深い黒色で光沢があり、酸化銅(II)は黒色というより灰色に近く、表面はざらざらして光沢はない。また銅板は、金溶液の濃度の上昇とともに銅から赤銅の色を経て、金色のメッキになる(図 12)。このことから赤銅様メッキは金が銅板にメッキされることで生成した紛れもない金メッキであると言える。



図 11 酸化銅(II)(左)と赤銅様メッキ(右)



0 g    0.025 g    0.05 g    0.075 g    0.100 g

図 12 エーテル 20 mL に溶かした  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  の質量と金メッキの色 中央(0.05 g)が赤銅様メッキ

### 10.3 赤銅様メッキが赤銅に似た色になる理由の考察

なぜ赤銅様メッキが、赤銅に似た色を示すか調べるために電子顕微鏡を用いて銅板(図13)、赤銅様メッキ(図14)、金色メッキ(図15)の表面を調べた。その結果、赤銅様メッキは、下地の銅に金が微粒子の状態で付いていた。金色のメッキでは凹凸はあるものの金は一様に析出している。このことから赤銅様メッキの色合いは、金微粒子の下地の銅が酸化され、 $\text{Cu}_2\text{O}$  被膜が成膜し、結果的に赤銅の構造と同じ構造になった、もしくは金微粒子という存在のみが光を吸収して影響を及ぼしたと考えられる。

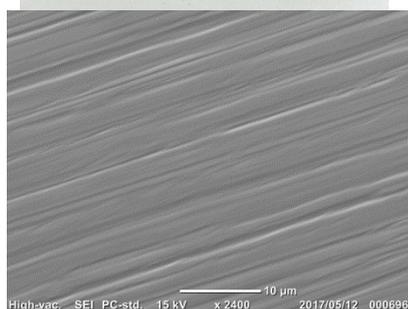


図13 銅板(2400倍)

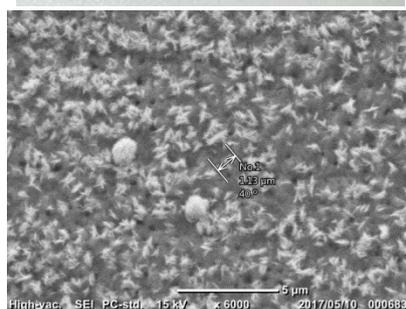


図14 赤銅様メッキ(6500倍)

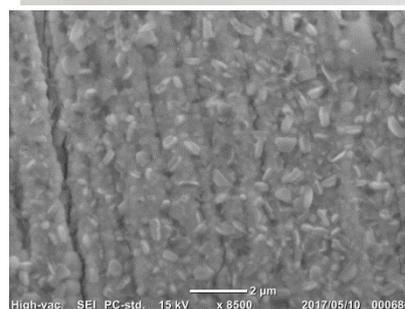


図15 金色メッキ(8500倍)

### 10.4 赤銅様メッキの価値

$\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  をエーテルに溶かして、銅板を浸すだけといった極めて簡単な方法で赤銅に近い色を出せた。酸化チタンやアルミニウムの酸化皮膜を利用して「赤銅に似た色を出した」といった代用品ではなく、「金と銅の組み合わせで赤銅に似た色を出した」ので本物ではないにしろそれ相応の価値があると考えられる。

### 10.5 銀への応用

購入した銀100%のシルバーアクセサリに金メッキを施した。金溶液につける時間によって灰色と黒みがかかったメッキになった(図16)。下地が銀なので反射率が高く、黒みがかっていても光沢が強い(図17)。この新しいメッキ法を用いて微量の金メッキを施すことで、銀表面を処理した「いぶし銀」やホワイトゴールドなどの合金とは異なる全く新しい色合いを作り出せる可能性がある。銀はアクセサリとして実用性があり、装飾品としての応用が期待できる。



図16 左は灰色、右は黒みがかっている。



図17 光を当てた際の色合い。

## 11. まとめと今後の展望

「舎密開宗」の「金はエーテルに溶ける」の1文から始まり、①酸化金の水層とエーテル層に溶け具合には水素イオンの影響が大きいことを突き止め、さらに②pH2.2における酸化金(水溶液)の水層とエーテル層への分配比  $D$  を求めることができた。また、③水素イオン濃度の上昇とともに指数関数的に分配比  $D$  が上昇する傾向を掴むことができた。そしてエーテル中という電子のやりとりが制御された中で微量の金メッキをする方法を開発し、④「金赤メッキ」の存在を発見し、それがナノポーラス金の可能性であると考察した。また⑤伝統工芸である赤銅に着目し、「赤銅様メッキ」を作ることに成功し、その表面構造から金の微粒子が関係していることを突き止めた。⑥さらに銀にも金メッキすることで既存の銀製品とは異なる全く新しい装飾品の可能性を見出せた。

酸化金のエーテル以外の溶媒への溶け具合や、銅を下地とした金溶液の濃度と時間に対する金メッキの色なども表でまとめたが、字数の制限上書けなかった。今後はなぜ酸化金はエーテルに溶けるのかといった原理の解明、銀を下地とした新しい色の装飾品の開発をしていきたい。

## 12. 謝辞

この研究を進めるにあたって顧問の先生方にはいつも親身に研究について考えていただきました。東北大学原子分子材料科学高等研究機構池田進准教授には実験、技術などの助言をしていただくなど大変お世話になりました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

## 13. 参考文献

- 1) 田中実「宇田川榕菴 舎密開宗—復刻と現代語訳・注—」講談社(1975)
- 2) 山内薫ほか18名「高等学校 化学」第一学習社(2016)
- 3) 実教出版編修部「サイエンスビュー化学総合資料」実教出版(2016)
- 4) F.Albert Cotton and Geoffrey Wilkinson(1979)「基礎無機化学」培風館
- 5) 梅澤喜夫「分析化学」岩波書店(1988)
- 6) 米澤徹「金をベースとするナノ粒子を俯瞰する」オレオサイエンス第14巻第1号(2014)
- 7) 石橋秀夫「金ナノ粒子の色材・意匠材料への応用」Color Science Laboratory, Nippon Paint Co., Ltd. 19・17, Ikedanaka-Machi, Neyagawa-City, Osaka, 572・8501, Japan(2008)
- 8) 東北大・WPI 藤田 武志, L. H. Qian, 陳 明偉 日本大学・文理 岡田 宏成 東北大・金属材料研究所 小山 佳一, 渡辺 和雄, 前川 禎通「ナノポーラス金の電気伝導と磁気抵抗」
- 9) Asao, N., Ishikawa, Y., Hatakeyama, N., Menggenbateer, Yamamoto, Y., Chen, M., Zhang, W. & Inoue, A. Nanostructured materials as catalysts: Nanoporous-gold-catalyzed oxidation of organosilanes with water. *Angewandte Chemie International Edition* 49, 10093–10095 (2010).
- 10) [http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/aimresearch/highlight/2011/20110228\\_000805.html](http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/jp/aimresearch/highlight/2011/20110228_000805.html)
- 11) 北田正弘「伝統技法で着色した Cu-4mass%Au 合金(赤銅：しゃくどう)の着色層における微細構造と物理的性質」*J.Japan Inst.Metals*, Vol.69, No.12(2005), pp.1069-1076
- 12) 村上隆「金・銀・銅の日本史」岩波新書(2007)

# ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係に迫る

乙供真澄 濱野斗真 佐藤広樹 小山西音  
宮城県仙台第三高等学校 自然科学部生物班

## 1. 概要

様々な種類の無脊椎動物と共生している褐虫藻はイソギンチャクの一つであるヨロイイソギンチャクと共生をしている。しかし、両者の共生関係についてはあまり報告がされていないため共生関係のモデルを推定することを目的とした。ヨロイイソギンチャクの触手内には、形態的特徴から区別できる *Symbiodinium* 属と *Amphidinium* 属の2種の褐虫藻が確認された。組織切片より、ヨロイイソギンチャクは触手の内部から隔膜、胃腔、口道、体外へと一続きになる構造をしており、褐虫藻はヨロイイソギンチャクの触手の内胚葉中の細胞間や隔膜上に存在していることが明らかになった。また、ヨロイイソギンチャクの内胚葉はミドリイソギンチャクの内胚葉より細胞が密になっていないので、内胚葉の細胞が疎になったところに褐虫藻が入り込んだと考えられる。さらに、共生体の代謝の把握実験より、共生体が呼吸に対して余剰するだけの光合成産物を生産する能力があることが明らかになった。これらのことから、ヨロイイソギンチャクからは褐虫藻に増殖できる環境を与えていると考えた。また、ヨロイイソギンチャク内部の褐虫藻は光合成により増殖を繰り返した後、隔膜間を通り胃腔へ褐虫藻が流れヨロイイソギンチャクに捕食される可能性が示唆された。また、ニッチの調査により、ヨロイイソギンチャクは明るい場所に分布する傾向があると考えられた。これらのことより、褐虫藻とヨロイイソギンチャクはヨロイイソギンチャクからは褐虫藻に増殖の場と良好な光条件を提供し、褐虫藻はヨロイイソギンチャクに光合成により増殖した個体を提供している可能性があり、共生体は海藻と定着する場所をめぐって競争しているという共生のモデルが推定された。

## 2. 研究目的

仙台第三高校自然科学部生物班では、「エゾイソアイナメと発光細菌」や「マツ実生と菌根菌」などの生物の共生関係についての研究が行われてきた。私たちは、ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係について興味を持ち、本研究を行った。

ヨロイイソギンチャク (*Anthopuleura uchidai*) は刺胞動物門花虫綱六放サンゴ亜綱イソギンチャク目ウメボシイソギンチャク科に属し、北海道から九州の岩礁海岸の潮間帯付近に生息し、*Symbiodinium* 属の褐虫藻と共生していることが一般に知られている。

褐虫藻は、渦鞭毛藻類に属する単細胞生物の総称であり、そのほとんどは無脊椎動物と共生している<sup>1)</sup>。中でも造礁サンゴとの共生関係は有名で、それに関する研究も多く行われており、両者は細胞内共生の関係にあり、褐虫藻からは光合成産物の供給がサンゴに対して行われ、サンゴからは褐虫藻の光合成に必要な栄養塩の供給や外敵からの保護が行われているという相利共生の関係が明らかになっている(図1)。

しかし、ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係についてはあまり研究が行われておらず、共生している褐虫藻のクレードなどの詳しい種類や、両者の互いの利益など、明らかになっていない点が多い。そこで、①共生褐虫藻の同定、②イソギンチャクの体構造と褐虫藻の分布、③ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生体が生成する光合成産物量、④フィールドでのイソギンチャク

クのニッチのこれら 4 つの観点について調べ、ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係のモデルを推定することを目的とした。

### 3. 研究方法

#### ○イソギンチャクの採取と飼育

イソギンチャクは宮城県女川町の岩礁海岸の潮間帯付近にて採取した。褐虫藻と共生しているヨロイイソギンチャクと、対照実験のために同じタイドプールに生息していて同じウメボシイソギンチャク科に属し、褐虫藻と共生していないミドリイソギンチャク(*Anthopleura fuscoviridis*)も採取した。なお、ヨロイイソギンチャクであることは、体側のイボの数や、周辺球の色といった形態的特徴<sup>2)</sup>から判断した。イソギンチャクは腰高ビーカーに一体ずつ隔離し、大型水槽に入れ、サンゴ用蛍光灯(クリアライト CL601)、海水(人工海水 インスタントオーシャンプレミアム)を用いて、水温 22°C で飼育した。

#### ○実験 1 共生褐虫藻の分離及び 18SrRNA における遺伝子解析

##### (1) 褐虫藻の分離

ヨロイイソギンチャクの触手 4 本をナイロン製の釣り糸(直径 0.148mm)で結紮し触手端から糸で縛った部分までの内部を密封した後、触手を切り離れた(図 2)。その触手の外表面に付着している生物を焼き殺すために、その触手に 70%アルコールをつけて炎で触手外表面を 10 秒ほど焼いた。その後焼いた触手の密封部分を裂き、触手内容物を取り出した。触手内容物を正立光学顕微鏡(ORYMPUS X41)によって観察し、褐虫藻の形態的調査を行った。

取り出した触手内容物を 20%及び 50%の層で構成されたパーコールの上部に乗せ、密度勾配遠心法により、触手片の取り除かれた内容物を採取した。

##### (2) 18SrRNA 遺伝子解析

触手片の取り除かれた触手内容物を 0.05mol/L NaOH 水溶液 50 $\mu$ l に入れ、ドライアイスで冷却しながらマッシャーですり潰し、10 分間 95°C で処理した後、0.5mol/L の Tris-HCL(pH7)150 $\mu$ L を混和し遠心分離した上澄みを DNA 抽出液とした。

DNA 抽出液 2.0 $\mu$ l を PCR 溶液 18 $\mu$ l(PrimeSTAR HS DNA Polymerase 0.2 $\mu$ l, dNTP Mixture 1.6 $\mu$ l, 5 $\times$ PrimeSTAR Buffer 4.0 $\mu$ l, 滅菌水 10.2 $\mu$ l), 及びプライマー溶液 2.0 $\mu$ l と混和後、サーマルサイクラーで 98°C 10 秒, 56°C 5 秒, 72°C 60 秒のサイクルを 30 サイクル行い、DNA 断片を増幅させた。フォワードプライマーには SS5[GGTTGATCCTGCCAGTAGTCATATGCTTG]<sup>3)</sup>, リバースプライマーには SS3[GATCCTTCCGCAGGTTTCACCTACGGAAACC]<sup>3)</sup>を用いた。

DNA 増幅断片を 1.0%アガロースゲルで電気泳動して増幅を確認した後、塩基配列の解析を株式会社ファスマックに委託した。明らかにした PCR 増幅断片の塩基配列について、分子系統解析ソフトウェア MEGA を用いてアラインメントを行い、NCBI の BLAST を用いて検索した。

#### ○実験 2 イソギンチャクの体構造と褐虫藻の分布の解明

ヨロイイソギンチャク・ミドリイソギンチャクの組織切片を作成するためイソギンチャクの飼育カップに海水と等張の濃度の硫酸マグネシウム 20%を入れ一晩放置し、麻酔をした後 3%のホルマリンで固定をした。その後エタノールで脱水し、キシレンにて中間処理を行った。そして

58°C, 72°C, 78°C, の順でパラフィン浸透させ包埋した。包埋したブロックは回転式マイクロトームを用いてヨロイイソギンチャク縦断ブロック(A), ミドリイソギンチャク縦断ブロック(B), ヨロイイソギンチャク横断ブロック(C), ミドリイソギンチャク横断ブロック(D)をそれぞれ 4 μm の厚さで薄切を行った(図 3)。伸展は 40°Cのお湯で行った後 40°Cの乾燥機の中で一晩乾燥させた。その後キシレンにて脱パラフィンをし, エタノールで親水処理をしたのちヘマトキシリン・エオシン染色を行った。

染色ではヘマトキシリン染色液に 15 分間入れた後 15 分流水で洗浄し, 15 秒エオシン染色液で染色を行った。この時核は青紫色, 細胞質は淡紅色に染まる。その後エタノールを用いて脱水し, キシレンで中間処理を行いビオライトで封入した<sup>4)</sup>。

作成した染色標本は正立光学顕微鏡(OLIMPUS BX41)で観察した。

### ○実験 3 共生体の代謝の把握

ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係において, 褐虫藻はヨロイイソギンチャクに光合成産物を供給する能力があるのかを調べるために, ヨロイイソギンチャク-褐虫藻共生体(以降, 共生体とする)の酸素放出速度を測定した。実験個体には共生体 5 体を無作為に抽出して用いた。測定には中村理科工業株式会社製のマイクロガスメーターⅢ型(差働式検容計)を用いた。光源は東芝 RF110V 200W を用いて, 光強度は光源の色温度 2800K とデジタルルクスメーターで測定した照度(lux)をもとに光合成光子束密度に換算して<sup>5)</sup>の 0, 50, 100, 150, 200 (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)の 5 段階に分けた。

装置を組み立てて密閉し(図 4), 温度を一定にするために, 実験容器と対象容器を, 25.0°Cで温度を一定にした水槽内で振とうし, 5 分ごとに液滴の移動を液柱の値に移して記録した。実験時間は液柱で測定可能な 100 μL までとし, 最大 30 分で行った<sup>6)</sup>。測定した値を毎時に換算し, 5 個体の平均酸素放出速度を用いて光-光合成曲線を作成した。

### ○実験 4 イソギンチャクのニッチの調査

実験 3 を踏まえ, 褐虫藻と共生しているヨロイイソギンチャクは褐虫藻に光合成をさせて光合成産物を受け取るために, 褐虫藻と共生していないイソギンチャクと比べて, より日当たりのよいタイドプールに多く分布していると仮説を立て, イソギンチャクのニッチの調査を行った。

ヨロイイソギンチャクを採集した宮城県女川町の海岸にて, 魚眼レンズでタイドプール 8 つの全天写真を撮影し, CanopOn2<sup>7)</sup>で標準曇天空(Standart Overcast Sky)(以降, SOC とする)の解析を行った。SOC は崖などによる太陽光の遮蔽の影響や, 天頂は地平線近くの 3 倍明るいということ考慮した空の明るさの値で, これを用いてタイドプールの光の当たりやすさを判断した。また, これらのタイドプール 8 つを 25cm×25cm のコドラートに分割してヨロイ, ミドリ, その他イソギンチャクの個体数を調べた。

タイドプールの下部を覆ってイソギンチャクの定着を阻害しそうな海藻(下部海藻)の被度, 上部を覆って共生体の光合成を阻害しそうな海藻(上部海藻)の被度を調査した。被度は 5 段階で, 75%以上を 5, 50%以上を 4, 25%以上を 3, 10%以上を 2, 10%未満を 1 として表した。

#### 4. 結果

##### ○実験1 ヨロイソギンチャク内の褐虫藻の分離及び18SrRNAにおける遺伝子解析

###### (1)褐虫藻の分離

ヨロイソギンチャクの触手内容物を正立光学顕微鏡によって観察し、直径約1.0 $\mu$ mの丸形褐虫藻と、直径約1.0 $\mu$ mで1本の突起を保持した突起付き褐虫藻の2種類の形態の褐虫藻をそれぞれ確認した(図5)。その存在比は前者がほとんどを占めており、後者は極めて少なく目視で1%以下(300匹中2匹)ほどであった。

また、触手内容物にパーコール海水を用いた密度勾配遠心を行ったところ、20%、50%パーコールの間の層に触手片が、50%パーコールの沈殿中に丸形褐虫藻がそれぞれ多く分離した(図6)。

###### (2)18SrRNA 遺伝子解析

密度勾配遠心法によって得た沈殿より抽出したDNAをテンプレートとして、18SrRNAのバーコード領域を増幅するプライマーを用いたPCRで明瞭なDNA増幅断片が得られた。このDNA増幅断片の716塩基について、NCBIのデータベースを用いて相同配列を検索したところ、セイタカイソギンチャク *Aiptasia pallida* やサカサクラゲ *Cassiopea xamachana* に共生する丸形褐虫藻の *Symbiodinium sp. cladeA* 及び、ヒメシヤコガイ *Tridacna crocea* に共生する *Symbiodinium sp.*と99.3%相同であり、イボコモンサンゴ *Montipora verrucosa* に共生する *Symbiodinium sp. cladeC* と94.6%相同であるという結果が得られた(図7)。

##### ○実験2 イソギンチャクの体構造と褐虫藻の分布の解明

ヨロイソギンチャク縦断ブロック(A)、ミドリイソギンチャク縦断ブロック(B)からはヨロイソギンチャク隔膜の縦断切片(a)、ミドリイソギンチャクの隔膜の縦断切片(b)(図8)、ヨロイソギンチャクの触手の中央部の縦断切片(c)ミドリイソギンチャクの触手の中央部の縦断切片(d)(図9)を作成した。ヨロイソギンチャク横断ブロック(C)、ミドリイソギンチャク横断ブロック(D)からはヨロイソギンチャクの触手の先端部の横断切片(e)ミドリイソギンチャクの触手の先端部の横断切片(f)(図10)とヨロイソギンチャクの触手の中央部の横断切片(g)ミドリイソギンチャクの触手の中央部の横断切片(h)(図11)を作成した。また、ヨロイソギンチャク縦断ブロック(A)からはヨロイソギンチャク全体縦断切片(i)(図12)を作成した。

隔膜の縦断切片で、ヨロイソギンチャクは褐虫藻が隔膜上に付着するように存在していたが、ミドリイソギンチャクの隔膜上には褐虫藻は付着していなかった(図8)。触手の中央部の縦断切片ではヨロイソギンチャク、ミドリイソギンチャクともに二胚葉性の生物であるため外胚葉と内胚葉の組織が見られた。外胚葉部分では二者とも独自の組織しか見られなかったが、ヨロイソギンチャクでは褐虫藻が内胚葉部分の細胞の間に挟まれるように存在していた。ミドリイソギンチャクの内胚葉部分はヨロイソギンチャクの内胚葉よりも薄く、細胞が密着しており、褐虫藻は確認できなかった(図9)。触手先端の横断切片ではヨロイソギンチャクでは褐虫藻が触手内に密集するように存在していたが、ミドリイソギンチャクでは褐虫藻が全く見られなかった(図10)。触手の中央部分の横断切片ではヨロイソギンチャクの内胚葉には細胞同士が疎になっている部分があるが、ミドリイソギンチャクの内胚葉は密になっていた(図11)。ヨロイソギンチャク全体縦断切片では触手内部から隔膜間、胃腔、口道、体外へと一続きになっていた(図12)。

最終的にヨロイソギンチャク4個体、ミドリイソギンチャク3個体の組織を観察したが、これらの構造はブロックA、B、C、Dを用いて作成した(a)(b)(c)(d)(e)(f)(g)(h)以外の他17枚の切片

にもみられた。

### ○実験 3 共生体の代謝の把握

5 個体の平均の光-光合成曲線(図 13)は補償点は約 27 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )となり、それより光強度が大きい時には酸素放出が行われていることが分かった。光強度が 0 の時の負の酸素放出量を共生体の呼吸量とすると、補償点より大きい光が当たっているときは共生体の呼吸(ヨロイソギンチャクの呼吸と褐虫藻の呼吸の合計)による酸素吸収量に対して、共生褐虫藻の光合成による酸素放出量が上回っていることが言える。ヨロイソギンチャクを採集した海岸では7月の曇天時に 252 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )を上回っていたことから、共生体は自然光下で光合成をしている可能性が示唆された。また、9月の晴天時に光強度が 504 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )を上回っていた。

### ○実験 4 イソギンチャクのニッチの調査

CanopOn2 で解析した空の明るさ SOC(標準曇天空)と各コドラートのイソギンチャクの個体数の関係より、相対的に見て SOC の小さい 1-1~1-5 までのコドラート群①の平均個体数の割合ではヨロイソギンチャクが 16%、ミドリイソギンチャクが 84%であったのに対して、SOC の大きい 5-1~8-4 のコドラート群②ではヨロイソギンチャクが 45%でミドリイソギンチャクは 55%であった(図 14)。

また、SOC の大きいコドラート群②の中でも下部を覆っている海藻の被度の大きいコドラートではイソギンチャク全体の個体数が減少している(図 15)。

同じくコドラート群②の平均個体数の割合は上部を覆っている海藻の被度が小さいコドラートではヨロイソギンチャクが 25%、ミドリイソギンチャクが 75%であったのに対して、上部を覆っている海藻の被度が大きいコドラートではヨロイソギンチャクが 59%、ミドリイソギンチャクが 41%であった(図 16)。

## 5. 考察

### ○実験 1 ヨロイソギンチャク内の褐虫藻の分離及び 18SrRNA における遺伝子解析

形態的特徴より、ヨロイソギンチャク内には球形である *Symbiodium sp.cladeA* と、1本の突起を持ち扁平型の *Amphidinium* 属(図 5)の 2 種の褐虫藻が存在していると考えられる。また、18SrRNA 遺伝子解析(図 7)より、ヨロイソギンチャク内には褐虫藻 *Symbiodium sp.cladeA* が存在していると考えられる。今回の手法で、*Amphidinium* 属の配列が得られなかったことは、触手内容物に占める褐虫藻 *Amphidinium* 属の割合が寡少であることや、アニーリングの温度が最適ではなかった可能性が考えられる。

### ○実験 2 イソギンチャクの体構造と褐虫藻の分布の解明

ヨロイソギンチャクの触手の先端部の横断切片(e)、中央部の横断切片(g)から褐虫藻はヨロイソギンチャクの細胞の間に挟まれるように存在しているため細胞外共生をおこなっているといえる。また、触手の縦断切片(c)より褐虫藻は内胚葉性の細胞が存在する部分では細胞に固定をされているが、中心部分では細胞がないため自由に移動ができると考えられる(図 17)。

触手内部から隔膜間、胃腔、口道、体外へとひと続きになっていることから、褐虫藻はヨロイソギンチャクの触手内で分裂をし、増殖した褐虫藻が隔膜の間を通り、胃腔へ流れ、胃腔で褐

虫藻はヨロイソギンチャクの消化液を分泌する隔膜糸で消化され、吸収されるという可能性が考えられる(図 18)。このような事例は、実験 1 より明らかになったヨロイソギンチャク内の褐虫藻の塩基配列と 99.3% 相同な褐虫藻を細胞外に共生させているヒメシャコガイをはじめとするシャコガイ類でも報告されている<sup>8)</sup>。または、ヨロイソギンチャクが収縮をした際に胃腔内の褐虫藻が外へ流れ出るとということが示唆された。

さらに、ヨロイソギンチャクとミドリソギンチャクの内胚葉の違いからヨロイソギンチャクには内壁の組織が疎になっていることがわかった。内壁の組織が少ないため、褐虫藻が細胞の間に入ることができるのではないかと考えた。

### ○実験 3 共生体の代謝の把握

ヨロイソギンチャク-褐虫藻共生体は曇天時でも自然光下で光合成を行って酸素を放出する能力があると考えられる。また、 $200(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$ での共生体内の褐虫藻の酸素放出量は、共生体の呼吸による酸素吸収量を大きく上回ることから、少なくとも共生体内では光合成産物が余剰している状態であると考えられ、余剰した光合成産物をヨロイソギンチャクに供給しているか、褐虫藻自身の増殖に使っている可能性が示唆された。

### ○実験 4 イソギンチャクのニッチの調査

タイドプールの空の明るさ SOC とコドラート中のヨロイソギンチャク割合(図 14)について、ミドリソギンチャクとヨロイソギンチャクの出現率は明暗によって変わらないという帰無仮説と、ミドリソギンチャクとヨロイソギンチャクの出現率は明暗によって異なるという対立仮説でカイ二乗検定(有効水準 0.05)を行ったところ、Z 値が約 23.6 となり、有意差があり、ヨロイソギンチャクは褐虫藻と共生していないミドリソギンチャクと比べ明るい場所に多く分布していることが言える。また、上部海藻とコドラート中のヨロイソギンチャクの割合(図 16)についてもミドリソギンチャクとヨロイソギンチャクの出現率は上部海藻の被度によって変わらないという帰無仮説とミドリソギンチャクとヨロイソギンチャクの出現率は上部海藻の被度によって異なるという対立仮説によるカイ二乗検定(有効水準 0.05)を行い、Z 値が約 4.2 で有意差があるということが確認された。

以上のことから、ヨロイソギンチャクは、褐虫藻と共生していないミドリソギンチャクと比較して、空の開き具合の大きい明るい場所に多く分布することで、褐虫藻に光合成を行いやすい環境を提供しているのではないかと考えられる。また、ヨロイソギンチャクは上部海藻や下部海藻と定着するための場所を巡る競争をし、結果的に上部、下部海藻種よりも先に定着すれば好光環境を得ていると考えられる。

## 6. 結論と課題

ヨロイソギンチャク内の褐虫藻は、形態的特徴から *Amphidinium* 属と 18SrRNA の塩基配列から *Symbiodinium sp. cladeA* の 2 種存在している可能性がある。ヨロイソギンチャクは触手の内部から隔膜、胃腔、口道、体外と一続きになる構造をしている。2 種の褐虫藻はヨロイソギンチャクの触手の内胚葉中の細胞や隔膜上に存在している。また、ヨロイソギンチャクの内胚葉はミドリソギンチャクの内胚葉より細胞が密になっていないので褐虫藻が細胞間に入りやすい環境下であると考えられる。そして、その褐虫藻は余剰した光合成産物により増殖を繰り返

した後、隔膜から胃腔へ褐虫藻が流れヨロイソギンチャクに捕食される可能性が示唆された。その代わりにヨロイソギンチャクからは褐虫藻に外敵から安全に増殖できる環境を与えていることが考えられる。また、ニッチの調査により共生体は海藻と定着する場所を巡って競争していると示唆される。これらのことより、ヨロイソギンチャクと褐虫藻の共生関係のモデルを推定した(図 19)。

今後の展望としては、形態的特徴以外に遺伝子解析の面からもヨロイソギンチャクは *Symbiodinium sp. cladeA* と *Amphidinium* 属の 2 種の褐虫藻と共生していることが証明される可能性があるため、ヨロイソギンチャク内における *Amphidinium* 属の個体数が寡少であると仮定し、*Amphidinium* 属のみを集める、または *Amphidinium* 属の 18SrRNA 遺伝子に特異的に対応するプライマーを作成する等の対策をとっていきたい。

組織切片の観察よりヨロイソギンチャクの細胞がミドリソギンチャクよりも密ではないため、通常の生物に存在する病原菌などの侵入を防ぐため体外と体内をしきる組織がヨロイソギンチャクに存在しなく、何らかの形でヨロイソギンチャクにその細胞接着にかかわる遺伝子が欠損し、そこに褐虫藻が共生をしたという仮説を立てた。そのため、ヨロイソギンチャクとミドリソギンチャクの間での細胞間接着タンパク質に関する遺伝子解析を行いたい。加えて、細胞間接着タンパク質に特異的な蛍光染色を行うことで細胞の表面の細胞間接着タンパク質の発現の視覚化を行いたい。

また、共生体の光合成能力をより詳しく解明するため、質量差を考慮し、より正確な光-光合成曲線を作成する。そして、褐虫藻が作り出す光合成産物がヨロイソギンチャクに供給されているか解明するため二酸化炭素の炭素に同位体をつけ、トレース実験を行いたい。

ニッチの調査より今後は海藻の枯れた後のコドラート調査を行い、ヨロイソギンチャクの基本ニッチの解明を行いたい。

## 7. 参考文献

- 1) サンゴと共生する褐虫藻の解説 (基生研・環境光生物学)
- 2) 2001 内田博新 イソギンチャクガイドブック
- 3) <https://www.auburn.edu/~santosr/pdf/SymbiodiniumPrimers.pdf>
- 4) パラフィン包埋組織切片ヘマトキシリン・エオシン染色標本の作製法 東京海洋大学 羽曾部正豪
- 5) 植物生産における光に関連した単位 東海大学 星 岳彦 <https://www.hoshi-lab.info/env/light-j.html>
- 6) プロダクトメーター (マイクロガスメーター) 使用説明書 (I 型及びIII型)
- 7) <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>
- 8) 2014.3 山下 洋 シャコガイ類種苗生産の安定化・効率化のために
- 9) 2007 石田祐三郎 海洋微生物と共生

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、実験のご指導・ご助言をいただきました西海区水産研究所 亜熱帯センター研究員の山下洋様にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

9. 図表, 画像

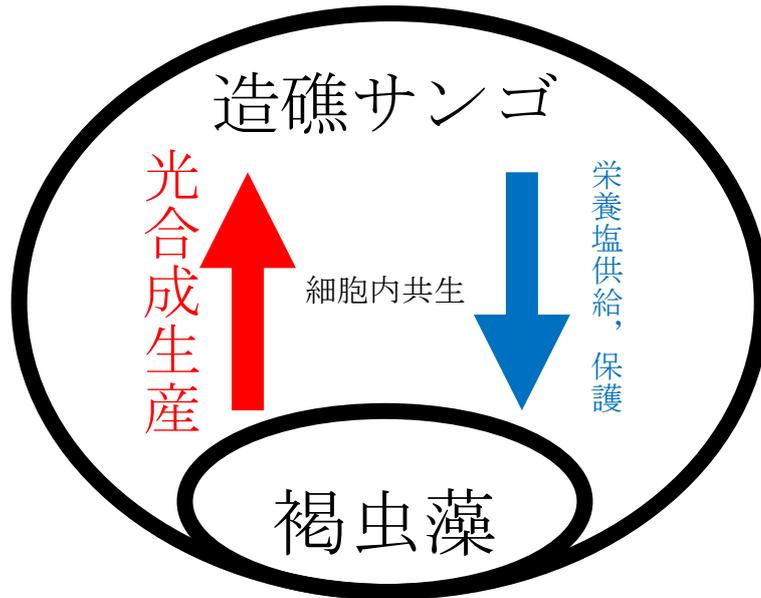


図1 造礁サンゴと褐虫藻の共生関係図

宿主と褐虫藻の共生関係例の1つである<sup>9)</sup>。

褐虫藻は造礁サンゴに光合成産物を供給しており、造礁サンゴは褐虫藻に栄養塩の供給と保護を行っている。両者は細胞内共生にある。

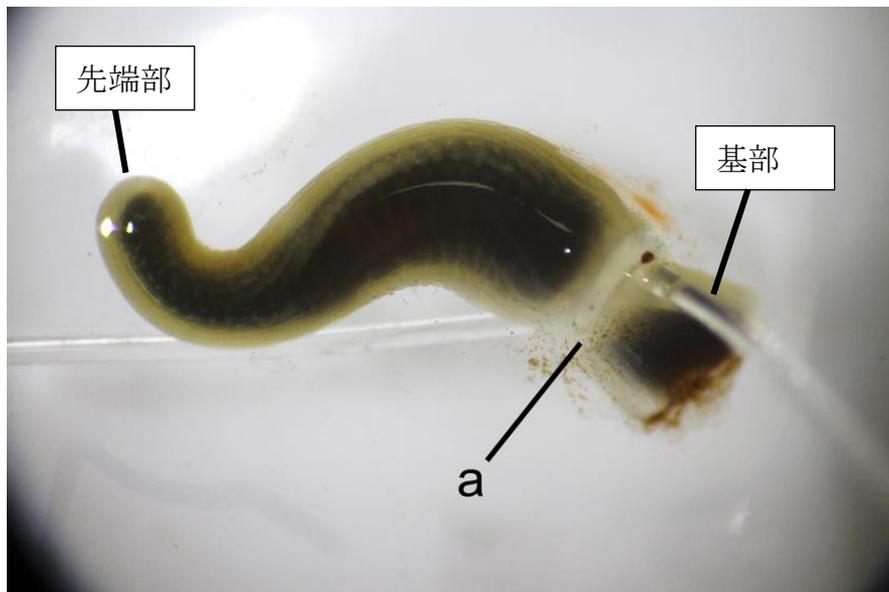


図2 結紮し本体から分離したヨロイイソギンチャクの触手糸で結紮した部位(a)よりも先端部の触手では触手内容物が密閉された状態になっている。

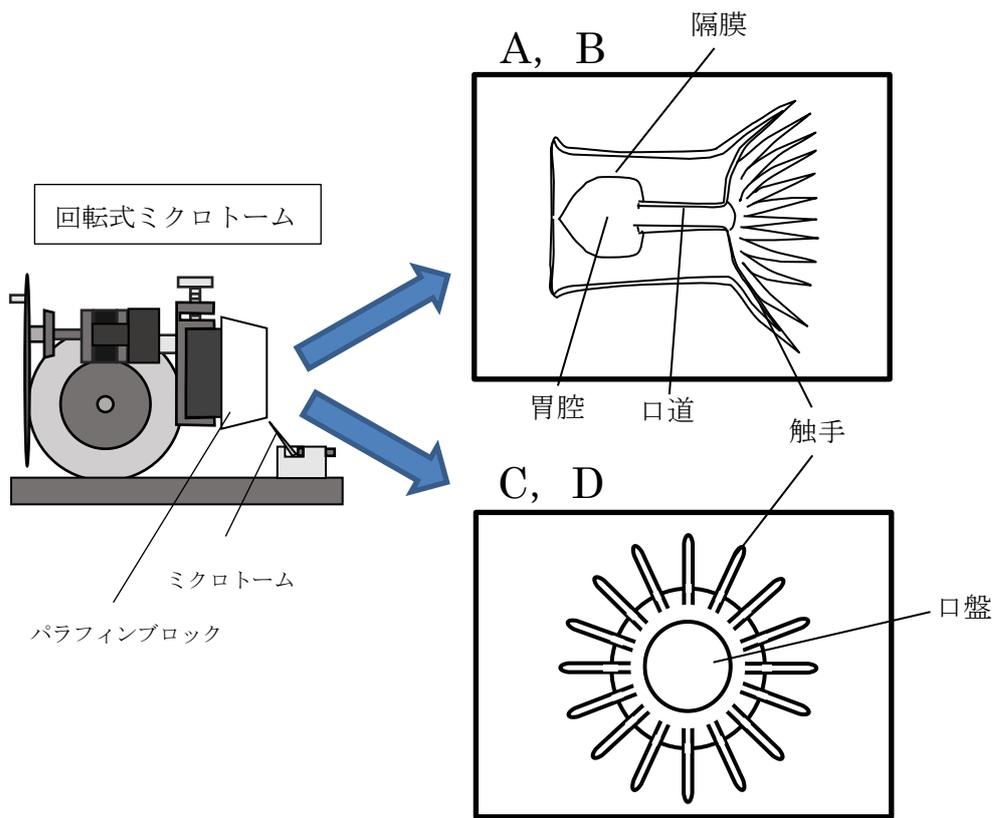


図3 ヨロイイソギンチャクパラフィンブロック薄切切片作成図

A ヨロイイソギンチャク縦断パラフィンブロック

B ミドリイソギンチャク縦断パラフィンブロック

C ヨロイイソギンチャク横断パラフィンブロック

D ミドリイソギンチャク横断パラフィンブロック

回転式マイクロトームを用いてイソギンチャクの縦断ブロック、イソギンチャクの横断ブロックを薄切した。

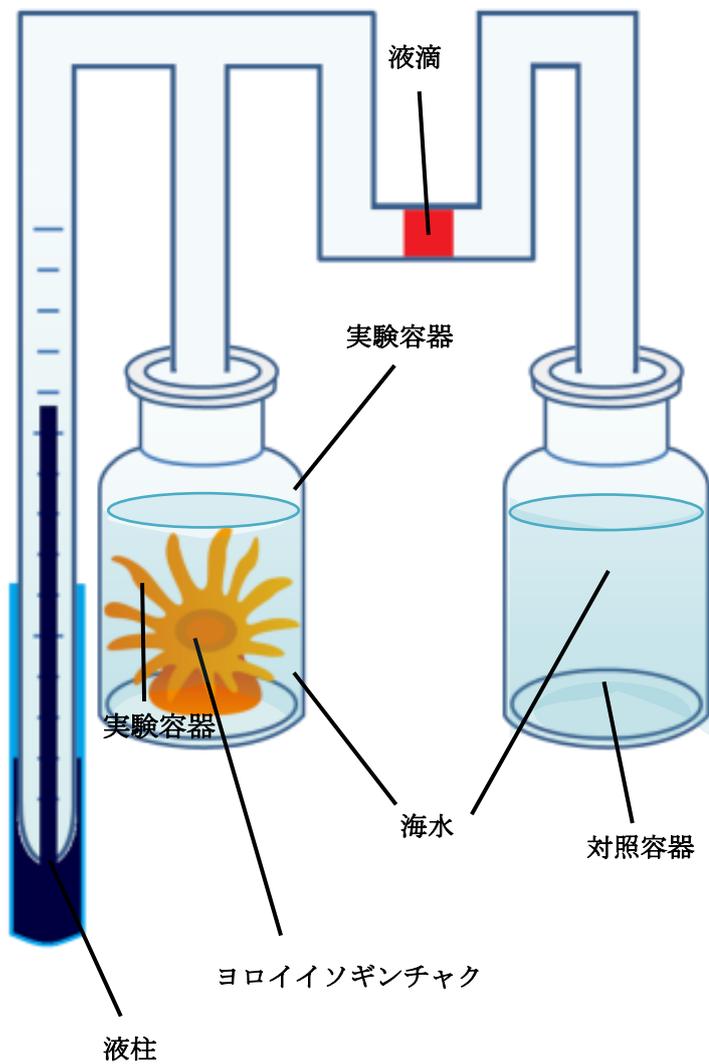
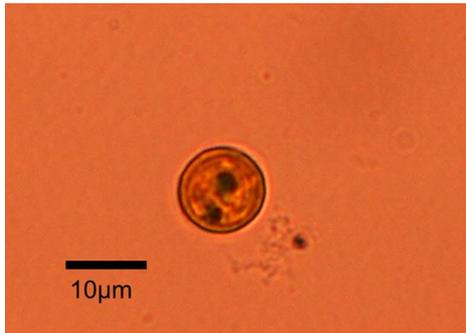


図4 マイクロガスメーターの模式図

マイクロガスメーターとは、実験容器内の生物の呼吸や光合成による酸素の体積の変化量を測定する装置である。酸素の体積の変化によって動いた液滴を液柱の目盛りに置き換えて読み取ることで酸素の放出量、吸収量を測定する。

光合成を測定するときには、光合成による酸素放出量が呼吸による酸素吸収量を上回るため、実験容器内の気体の体積が増えて、液滴が対照容器側に動く。呼吸を測定するときには、呼吸による酸素吸収のみが行われるため、実験容器内の気体の体積が減って、液滴が実験容器側に移動する。ただし、光合成に利用する二酸化炭素は、海水中から吸収すると考え、呼吸で発生する二酸化炭素は海水中に溶解と考える<sup>6)</sup>。

A



B

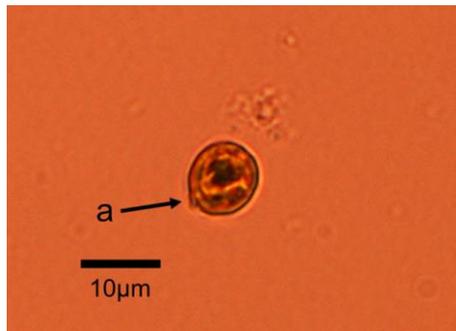


図5 触手内容物内の褐虫藻

A 丸形褐虫藻。丸形である *Symbiodinium* 属と類似した形態であった。

B 一本の突起(a)を保持した褐虫藻。一本の突起を持ち扁平型である *Amphidinium* 属と類似した形態であった。

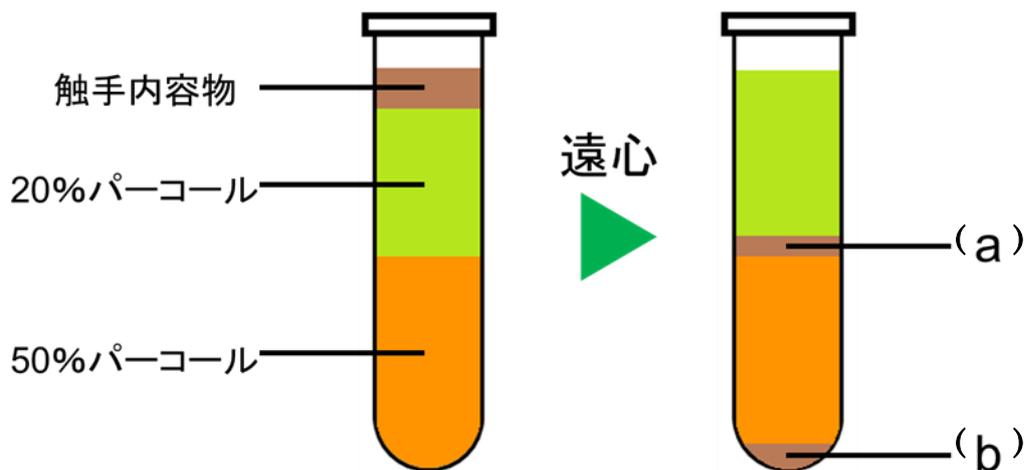


図6 密度勾配遠心法による触手内容物分離の模式図

触手内容物を20%および50%パーコール上に乗せた。遠心後、20%、50%パーコールの間の層(a)に触手片が、沈殿(b)に丸形褐虫藻がそれぞれ多く分離した。

宿主		
ヨロイソギンチャク	TACACGGCGAAACTGCGAATGGCTCATTTAAAGCAGTTATAATTTATTTGATGGTCACTGC	[ 60]
セイタカイソギンチャク	.....	[ 60]
サカサクラゲ	.....	[ 60]
ヒメシヤコガイ	.....	[ 60]
イボコモンサンゴ	C·A·.....G.....G.....	[ 60]
ヨロイソギンチャク	TACATGGATAAAGCTGTGGTAATTCTAGAGCTAATACATGCACCAAAACCCAACCTTCGCAGA	[120]
セイタカイソギンチャク	.....	[120]
サカサクラゲ	.....	[120]
ヒメシヤコガイ	.....	[120]
イボコモンサンゴ	.....T·C·G·G·.....	[120]
ヨロイソギンチャク	AGGGTTGTATTTGTTAGATACAGAAACCAACGCAGGCTCCGCCTGGT - - TGTGGTGATTCA	[180]
セイタカイソギンチャク	.....A.....	[180]
サカサクラゲ	.....A.....	[180]
ヒメシヤコガイ	.....A.....	[180]
イボコモンサンゴ	.....G·A·.....C·T·T·A·.....C·A·.....	[180]
ヨロイソギンチャク	TGATAAACTCGATGAATCGTGTGGCTTGGCCGACGATGCATCTTTCAAGTTTCTGACCTAT	[240]
セイタカイソギンチャク	.....	[240]
サカサクラゲ	.....	[240]
ヒメシヤコガイ	.....	[240]
イボコモンサンゴ	.....T·C·.....C·T·.....G·A·.....	[240]
ヨロイソギンチャク	CAGCTTCCGACGGTAGGGTATGGGCCTACCGTGGCAAATGACGGGTAACGGAAAAATTAGGG	[300]
セイタカイソギンチャク	.....G.....	[300]
サカサクラゲ	.....G.....	[300]
ヒメシヤコガイ	.....G.....	[300]
イボコモンサンゴ	.....T.....G.....	[300]
ヨロイソギンチャク	TTTGATTCCGGAGAGGGAGCCTGAAAAACGGCTACCCACATCTAAGGAAGGCAGCAGGGCGC	[360]
セイタカイソギンチャク	.....G.....	[360]
サカサクラゲ	.....G.....	[360]
ヒメシヤコガイ	.....G.....	[360]
イボコモンサンゴ	.....G.....	[360]
ヨロイソギンチャク	GCAAAATTACCCAACTCTGACACAGGGAGGTAGTGACAAGAAAAATAACAATACAGGGCATCC	[420]
セイタカイソギンチャク	.....	[420]
サカサクラゲ	.....	[420]
ヒメシヤコガイ	.....	[420]
イボコモンサンゴ	.....	[420]
ヨロイソギンチャク	ATGTCCTTGTAATTGGAATGAGTAGAATTTAAACCCCTTTATGAGTATCAATTGGAGGGCA	[480]
セイタカイソギンチャク	.....	[480]
サカサクラゲ	.....	[480]
ヒメシヤコガイ	.....	[480]
イボコモンサンゴ	.....C·T·T·.....	[480]
ヨロイソギンチャク	AGTCTGGTGCCAGCAGCCGCGGTAATTCCAGCTCCAATAGCGTATATTTAAAGTTGTTGCG	[540]
セイタカイソギンチャク	.....	[540]
サカサクラゲ	.....	[540]
ヒメシヤコガイ	.....	[540]
イボコモンサンゴ	.....	[540]
ヨロイソギンチャク	GTTAAAAAGCTCGTAGTTGGATTTCTGTTGAGGATGACTGGTCCGCCTTCTGGGTGTGCA	[600]
セイタカイソギンチャク	.....C.....	[600]
サカサクラゲ	.....C.....	[600]
ヒメシヤコガイ	.....C.....	[600]
イボコモンサンゴ	.....C.....C.....	[600]
ヨロイソギンチャク	TCTGGCTCAGCCTTGACATCTTCTAAAGAACGTATCTGCACTTCAATTGTGTGGTGC	[660]
セイタカイソギンチャク	.....	[660]
サカサクラゲ	.....	[660]
ヒメシヤコガイ	.....	[660]
イボコモンサンゴ	.....G.....G·C.....	[660]
ヨロイソギンチャク	ATTTAGGACATTTACCTTGAGGAAATTAGAGTGTTCGCAAGCAAGCAATTGCCTTGA	[716]
セイタカイソギンチャク	.....G.....	[716]
サカサクラゲ	.....G.....	[716]
ヒメシヤコガイ	.....G.....	[716]
イボコモンサンゴ	.....G.....G·C·G·C·T·.....	[716]

図 7 ヨロイソギンチャクの触手内から得られた褐虫藻の 18SrRNA 遺伝子の部分配列と、異なる宿主に共生する *Symbiodinium sp.* の相同配列の比較

1 行目がヨロイソギンチャク触手内から分離した褐虫藻の配列である。2 行目以降は異なる宿主に共生する *Symbiodinium* 属の配列である。それぞれの宿主に共生する褐虫藻の配列のアクセッション番号は、セイタカイソギンチャク AF427441, サカサクラゲ AF427442, ヒメシヤコガイ AB085911, イボコモンサンゴ AF427450 である。

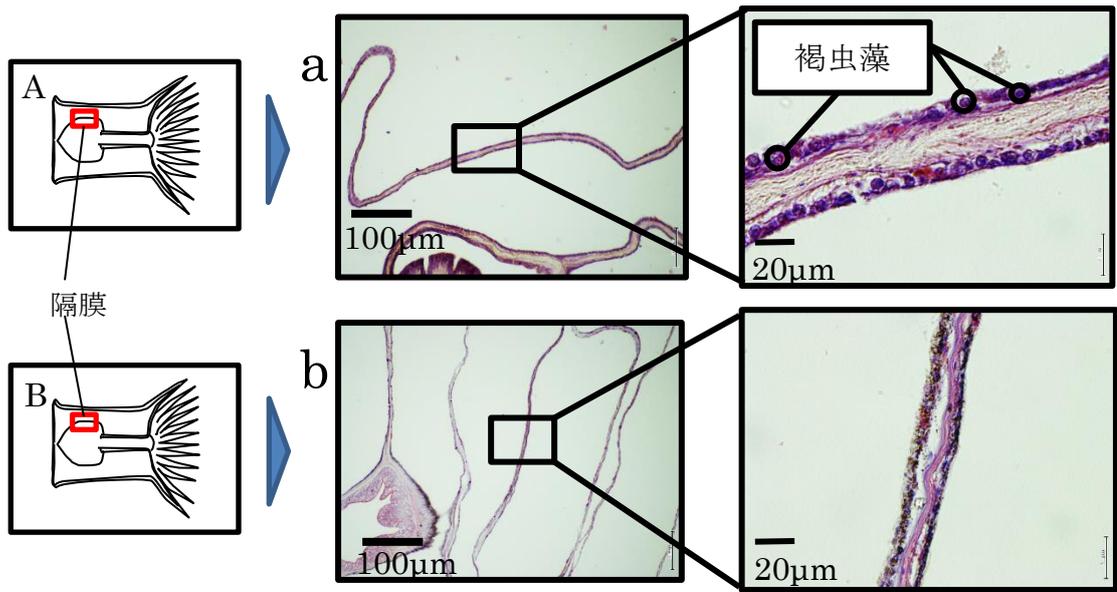


図8 ヨロイソギンチャク縦断ブロック(A), ミドリソギンチャク縦断ブロック(B)の模式図とヨロイソギンチャク(a), ミドリソギンチャク(b)隔膜の縦断切片

ヨロイソギンチャクの隔膜上には褐虫藻が付着するように存在していた。  
ミドリソギンチャクの隔膜上には褐虫藻が付着していなかった。

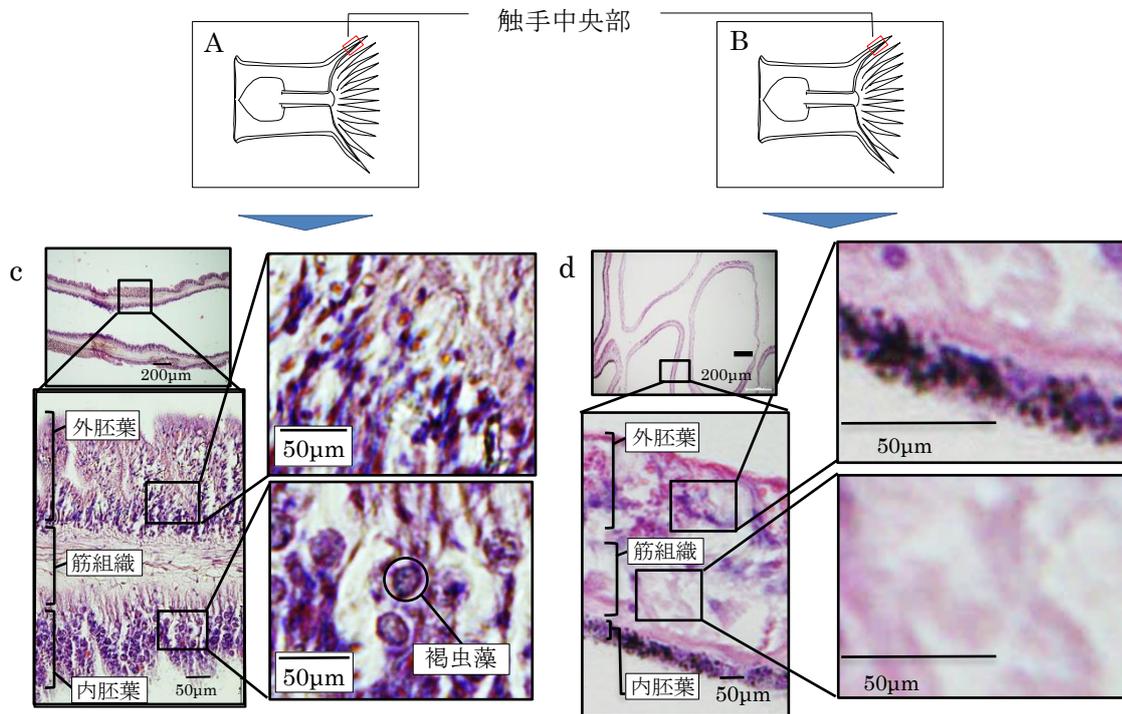


図9 ヨロイソギンチャク縦断ブロック(A), ミドリソギンチャク縦断ブロック(B)の模式図とヨロイソギンチャク(c)ミドリソギンチャク(d)の触手の中央部の縦断切片

ヨロイソギンチャク(c), ミドリソギンチャク(d)の触手は内胚葉, 外胚葉に分かれている。  
また, ヨロイソギンチャクの内胚葉には褐虫藻が細胞の間に存在する。ミドリソギンチャクには褐虫藻が確認されず, 細胞が密になっているため, 内胚葉の大きさもヨロイソギンチャクより小さかった。

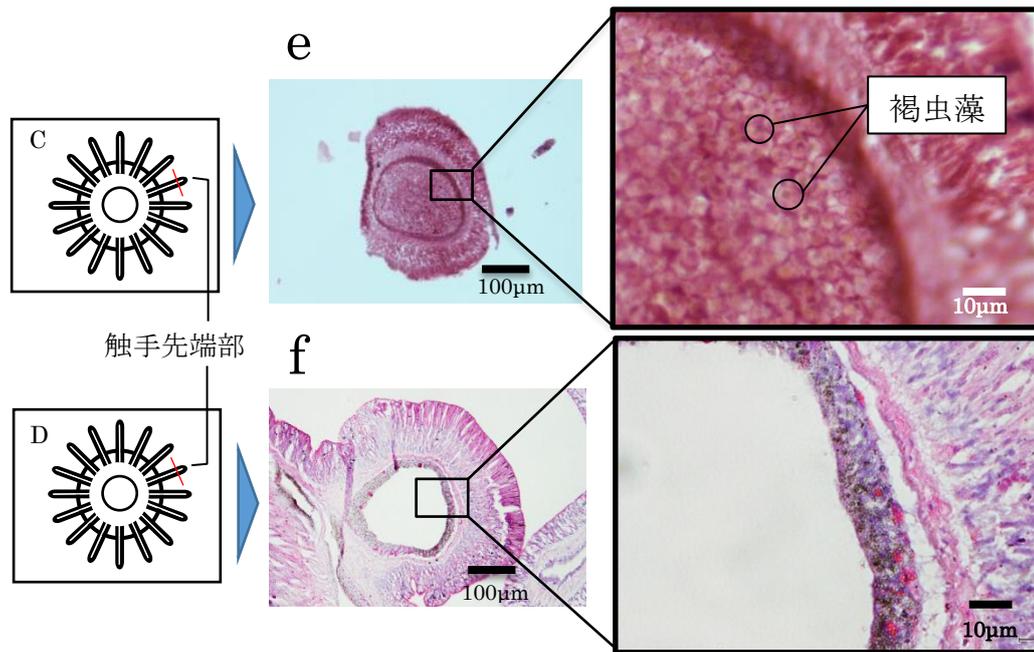


図 10 ヨロイイソギンチャク横断ブロック(C), ミドリイソギンチャク横断ブロック(D)の模式図とヨロイイソギンチャク(e), ミドリイソギンチャク(f)触手先端部の横断切片  
 片 ヨロイイソギンチャクでは触手内部に褐虫藻が密集するように存在していたが、ミドリイソギンチャクでは褐虫藻は確認できなかった。

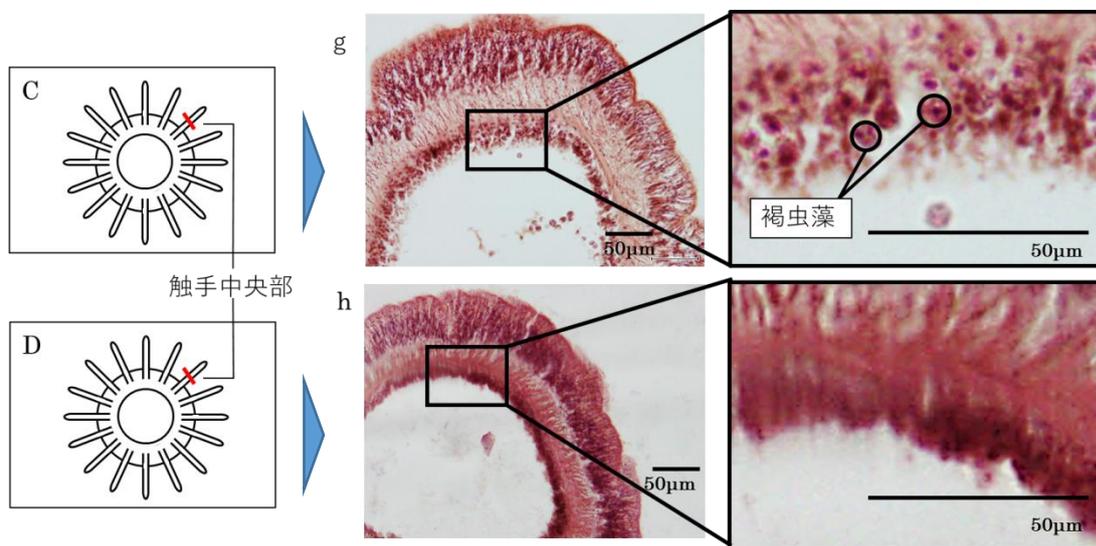


図 11 ヨロイイソギンチャク横断ブロック(C), ミドリイソギンチャク横断ブロック(D)の模式図とヨロイイソギンチャク(g)とミドリイソギンチャク(h)の触手中央横断切片

ヨロイイソギンチャクは内胚葉部分の細胞が密集していなく、間に褐虫藻が存在するがミドリイソギンチャクには褐虫藻が存在しない。

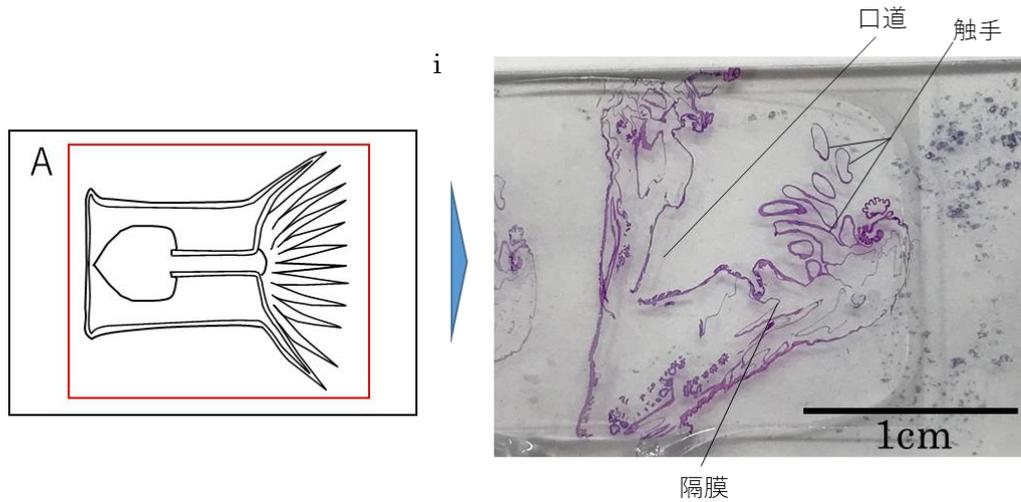


図 12 ヨロイイソギンチャク縦断ブロック(A)の模式図と  
ヨロイイソギンチャク(i)の全体縦断切片

ヨロイイソギンチャクは触手の内部から隔膜，胃腔，口道，体外と一続きになる体構造をしている。

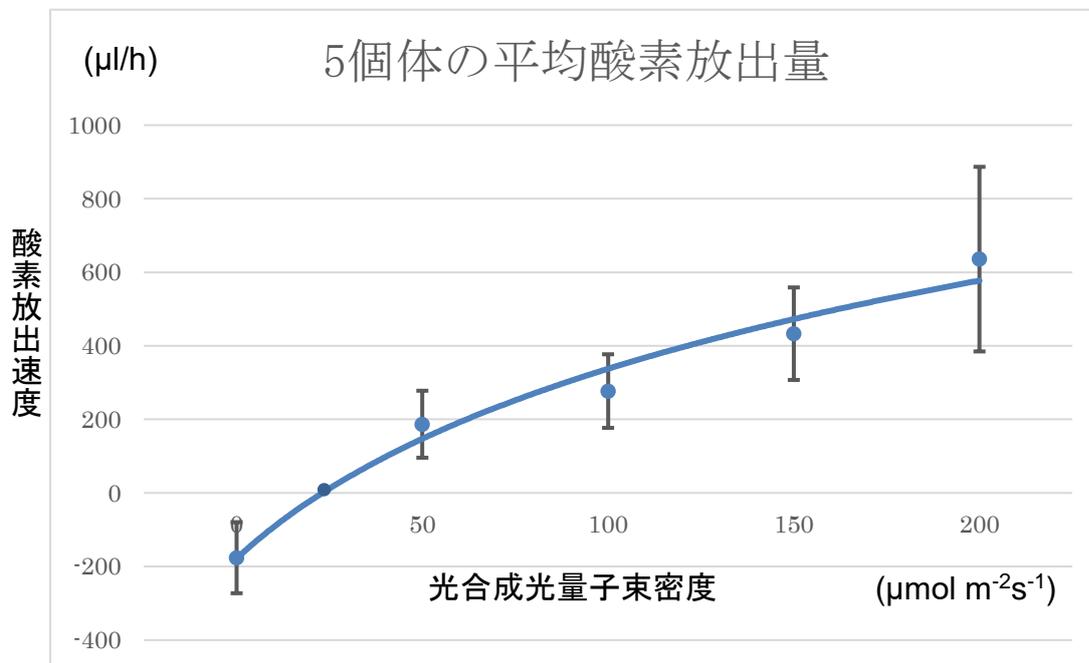


図 13 5 個体の平均光-光合成曲線

5 個体の平均値を用いた光 - 光合成曲線。グラフは対数近似曲線で、青いプロットは 5 個体の平均値。黒いバーは標準偏差。

光補償点より光強度が大きいとき、共生体は光合成を行っている。

200 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )時にはすべての個体で、呼吸時に共生体が消費する酸素よりも多く酸素を光合成によって放出している。

### コドラート別イソギンチャク個体数・空の開き具合(SOC)

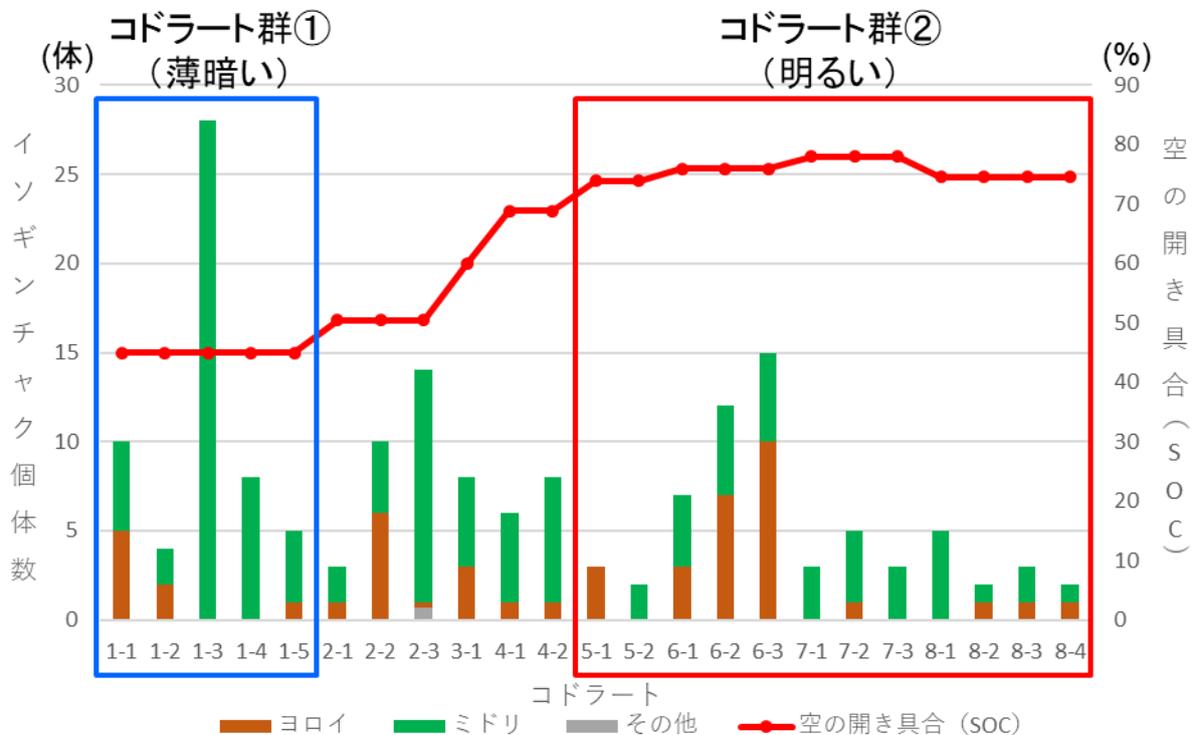


図 14 空の開き具合によるイソギンチャクの個体数の変化  
 ヨロイイソギンチャクの出現率は明るいタイドプールで高くなった。

## コドラート群②(明るい)のイソギンチャク個体数・下部海藻

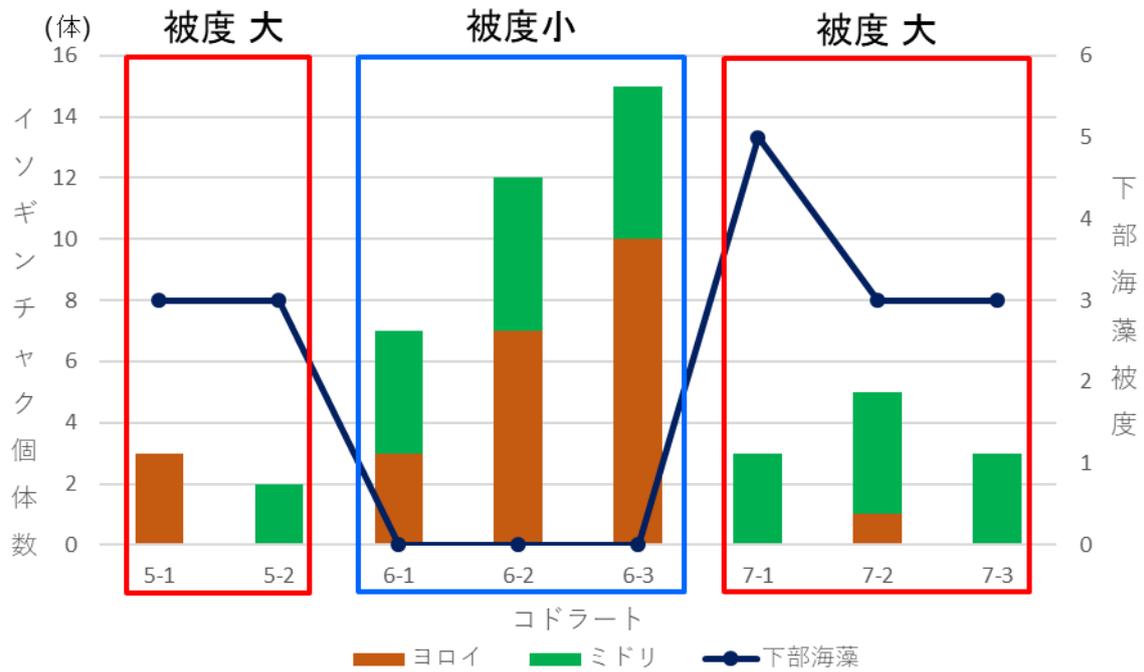


図 15 下部海藻の被度によるイソギンチャクの個体数の変化  
下部海藻が多いとイソギンチャク全体の個体数が減少した。

コドラート群②(明るい)のイソギンチャク個体数・上部海藻

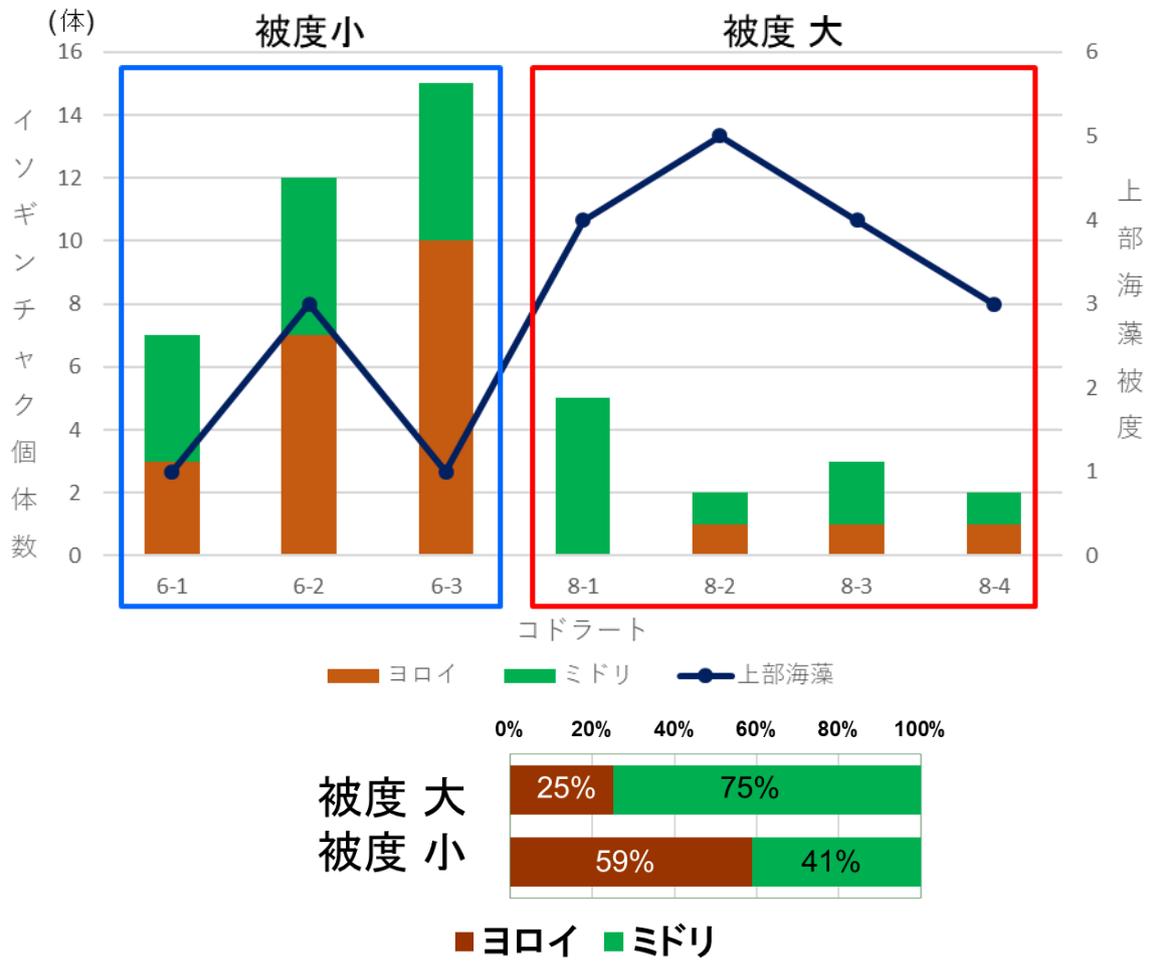


図 16 上部海藻の被度によるイソギンチャクの個体数の変化  
 ヨロイイソギンチャクの出現率は上部海藻が多いコドラートでは低くなった。

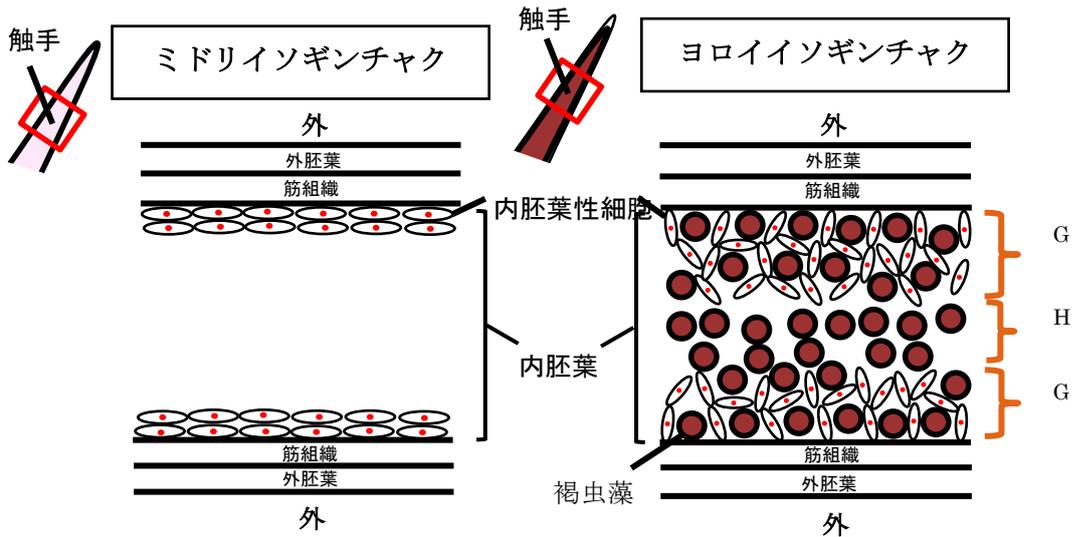


図 17 ミドリイソギンチャク，ヨロイイソギンチャクの触手内の褐虫藻のモデル

右上図のそれぞれのイソギンチャクの触手の赤枠の部分の詳しい模式図である。ミドリイソギンチャク，ヨロイイソギンチャクはどちらも外から外胚葉，筋組織，内胚葉の二胚葉生物である。二者の外胚葉，筋組織の構造は同じであるが内胚葉の作りに違いがある。ミドリイソギンチャクにおいては内胚葉の細胞が筋組織側に密集して存在しており，褐虫藻は確認できなかった。ヨロイイソギンチャクにおいては内胚葉の細胞の間に褐虫藻が存在しており，それによってミドリイソギンチャクよりも内胚葉部分が厚くなっている。また，筋組織側の内胚葉性の組織がある部分(G)では褐虫藻は移動を制限されているが，触手中心部の組織がない部分(H)では自由に移動ができると考えられる。

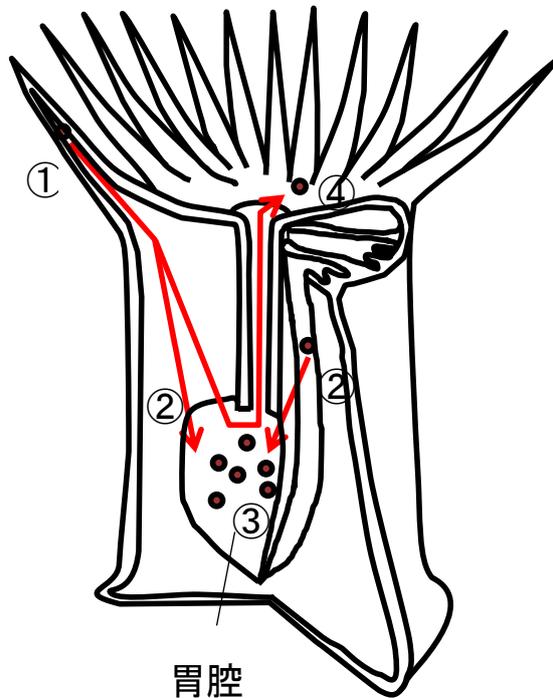


図 18 ミドリイソギンチャク，ヨロイイソギンチャクの触手内の褐虫藻

- ①触手や内胚葉性組織間から押し出される⇒②隔膜間を通り胃腔へ流される
- ⇒③胃腔内の消化作用を持つ 隔膜糸で消化・吸収される⇒④口道から体外へ流れ出る

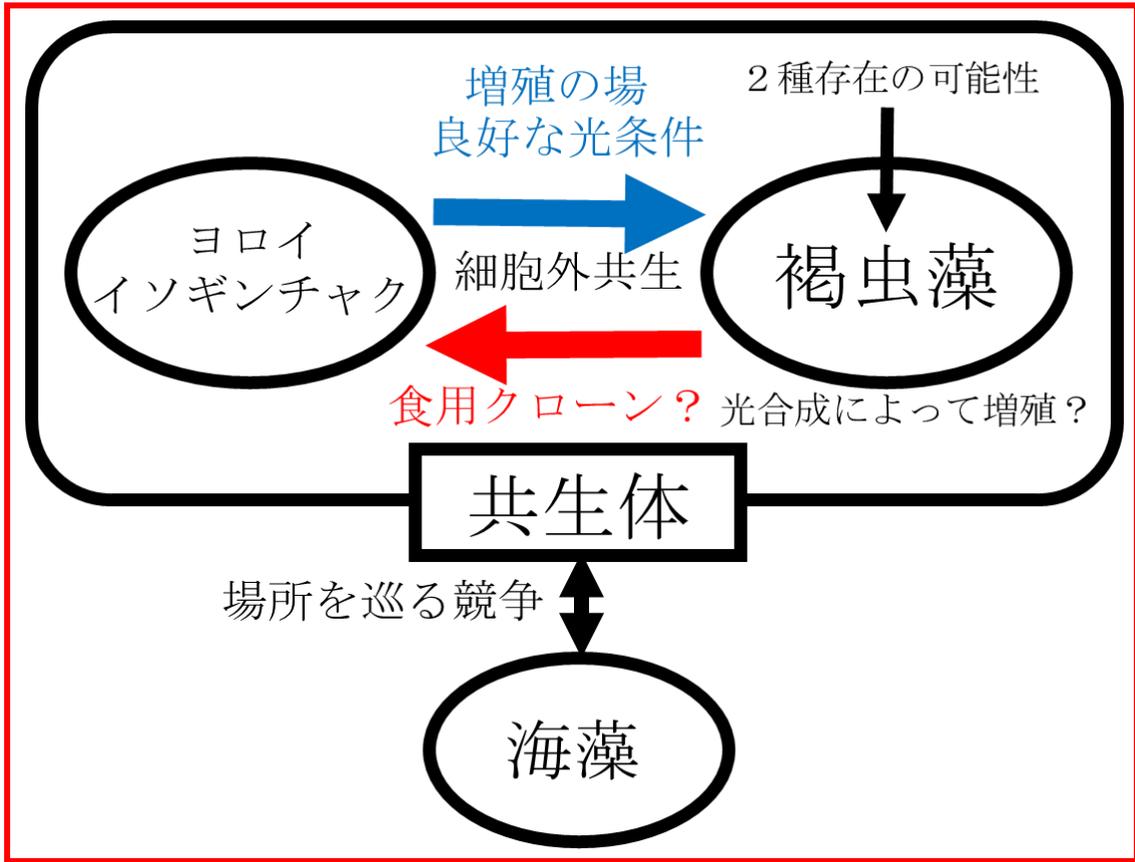


図 19 ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係図

本研究より推定されたヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生関係モデルである。



# 背景・目的

ヨロイソギンチャク-褐虫藻共生体において、共生褐虫藻のクレードなどの詳しい種類や、両者の互いの利益など、明らかになっていない点が多い

## ○ヨロイソギンチャク

刺胞動物門花虫綱六放サンゴ亜綱  
イソギンチャク目ウメボシイソギンチャク科

- ・北海道から九州の岩礁海岸の潮間帯付近に生息<sup>1)</sup>
- ・**褐虫藻と共生している**



Fig.1 宮城県女川で採取したヨロイソギンチャク

## ○ミドリイソギンチャク

刺胞動物門花虫綱六放サンゴ亜綱  
イソギンチャク目ウメボシイソギンチャク科

- ・ヨロイソギンチャクと近縁種で、且つ同じタイププール内に生息
- ・**褐虫藻と共生していない→ヨロイソギンチャクの比較対象とした**



Fig.2 宮城県女川で採取したミドリイソギンチャク

## ○褐虫藻

渦鞭毛藻類単細胞藻類  
無脊椎動物と共生している<sup>2)</sup>

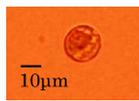


Fig.3 触手から取り出した褐虫藻

## 共生例

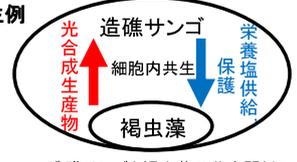


Fig.4 造礁サンゴと褐虫藻の共生関係<sup>3)</sup>

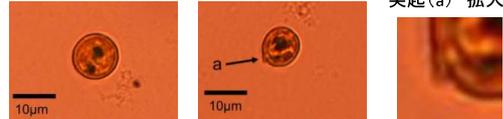
## 目的 ヨロイソギンチャクと褐虫藻の共生モデルを推定

- ① 共生褐虫藻の同定
- ② ヨロイソギンチャクの体構造と褐虫藻の分布
- ③ ヨロイソギンチャクと褐虫藻の共生体が生成する光合成産物量
- ④ フィールドでのヨロイソギンチャクのニッチの4つの観点について調べる

## 実験1 共生褐虫藻の分離及び18SrRNAにおける遺伝子解析 結果・考察

共生褐虫藻のクレードなどの詳しい種類を解明するために行い、調査観点としては褐虫藻の形態的特徴、及び18SrRNAにおける塩基配列、の2つとした

### ○褐虫藻の形態的特徴



- ・触手内容物
  - ① 直径約10µmの丸形褐虫藻
  - ② 長径約10µmで1本の突起を保持した突起付き褐虫藻
- 存在比は①がほとんどを占めている
- ②は極めて少なく目視で1%以下(300匹中2匹)であった

### ○18SrRNA遺伝子における塩基配列

- ・18SrRNA遺伝子におけるDNA増幅断片の716塩基について、NCBIのデータベースを用いて相同配列を検索したところ、丸形褐虫藻の *Symbiodinium sp.cladeA* と99%相同であるという結果が得られた
- ・*Symbiodinium sp.cladeA* の褐虫藻は、ヒメシヤコガイやサカサクラゲ、イシサンゴなどと共生していることが分かった

### 考察1

- ・形態的特徴より、ヨロイソギンチャク内には丸形である *Symbiodinium* 属と、1本の突起を持つ *Amphidinium* 属の2種の褐虫藻が存在していると考えられる
- ・18SrRNA遺伝子解析より、ヨロイソギンチャク内には *Symbiodinium sp.cladeA* が存在していると考えられる
- ・今回、18SrRNA遺伝子の解析において、ヨロイソギンチャクの触手内容物に占める *Amphidinium* 属の割合が寡少であることから、*Amphidinium* 属の配列が得られなかったことが示唆された

## 実験2 イソギンチャクの体構造と褐虫藻の分布の解明 結果・考察

- ・ヨロイソギンチャク縦断ブロック(A)→隔膜の縦断切片(a), 触手の中央部縦断切片(c), 全体縦断切片(i)
- ・ミドリイソギンチャク縦断ブロック(B)→隔膜の縦断切片(b), 触手の中央部の縦断切片(d)
- ・ヨロイソギンチャク横断ブロック(C)→触手の先端部の横断切片(e), 触手の中央部横断切片(g)
- ・ミドリイソギンチャク横断ブロック(D)→触手の先端部の横断切片(f), 触手の中央部の横断切片(h)

### ○隔膜の縦断切片

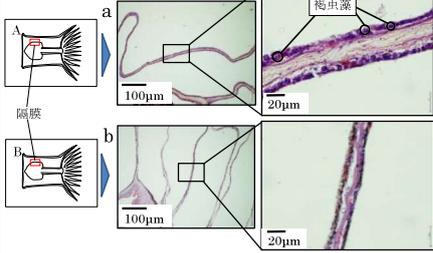


Fig.6 ヨロイソギンチャク(a), ミドリイソギンチャク(b) 隔膜の縦断切片

- ・ヨロイソギンチャク→隔膜上に褐虫藻が存在
- ・ミドリイソギンチャク→隔膜上には組織のみ

### ○触手の先端部横断切片

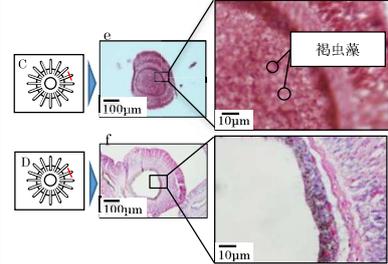


Fig.7 ヨロイソギンチャク(e), ミドリイソギンチャク(f) 触手先端部の横断切片

- ・ヨロイソギンチャク→褐虫藻が触手内に密集して存在
- ・ミドリイソギンチャク→褐虫藻が全く見られなかった

### ○触手の縦断切片

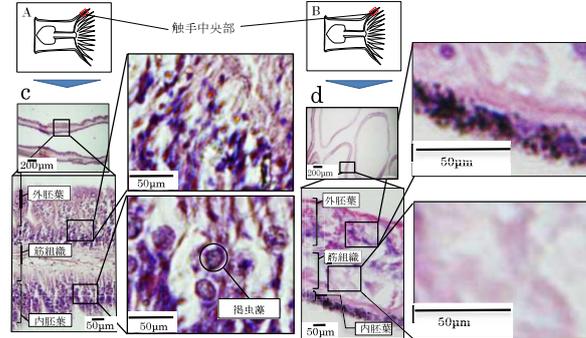


Fig.8 ヨロイソギンチャク(c)ミドリイソギンチャク(d)の触手の中央部の縦断切片

- ・二者ともに二胚葉性の生物であるため外胚葉と内胚葉の組織を確認
- ・ヨロイソギンチャク→内胚葉部分褐虫藻が細胞の間に挟まれるように存在
- ・ミドリイソギンチャク→ヨロイソギンチャクの内胚葉より薄く、細胞が密着、褐虫藻は確認されなかった

### ○全体切片



Fig.9 ヨロイソギンチャク(i)の全体縦断切片

- ・触手内部から隔膜間、胃腔、口道、体外へと一続きになっていた

### ○触手の中央部横断切片

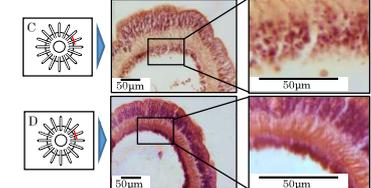


Fig.10 ヨロイソギンチャク(g)とミドリイソギンチャク(h)の触手中央横断切片

- ・ヨロイソギンチャク→内胚葉性細胞同士が疎になっている部分がある
- ・ミドリイソギンチャク→内胚葉性細胞は密になっていた

### ○イソギンチャク胃腔内容物

#### ・ヨロイソギンチャク



Fig.11 ヨロイソギンチャクの胃腔内容物(左), 触手内容物(右) 胃腔内には生存している褐虫藻と左図のように輪郭が不明瞭になっている褐虫藻があった

#### ・ミドリイソギンチャク



Fig.12 ミドリイソギンチャクの胃腔内容物(左), 触手内容物(右) 胃腔内, 触手内には褐虫藻は見当たらなかった

### 考察2-1

- ・二者の外胚葉、筋組織の構造は同じ
- ・ミドリイソギンチャク
  - 内胚葉の細胞が筋組織側に密集して存在、褐虫藻なし
- ・ヨロイソギンチャク
  - 内胚葉の細胞の間に褐虫藻が存在、ミドリイソギンチャクよりも内胚葉部分が厚い
  - 褐虫藻は(G)で移動を制限され、(H)では自由に移動ができると考えられる

### ヨロイソギンチャク内の褐虫藻のモデル

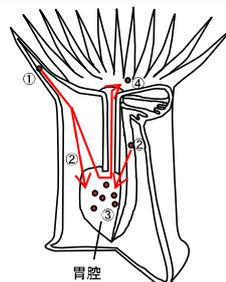


Fig.14 ヨロイソギンチャク内の褐虫藻のモデル

### 考察2-2

- 触手内部から隔膜間、胃腔、口道、体外へとひと続きになっていることから、褐虫藻は
  - ① 触手や内胚葉性組織間から押し出される
  - ② 隔膜間を通り胃腔へ流される
  - ③ 胃腔内の消化作用を持つ隔膜糸で消化・吸収される
  - ④ 口道から体外へ流れ出る
 このような事例は、褐虫藻を細胞外に共生させているヒメシヤコガイをはじめとするシヤコガイ類でも報告されている<sup>4)</sup>

### ミドリイソギンチャク、ヨロイソギンチャクの触手内の褐虫藻のモデル

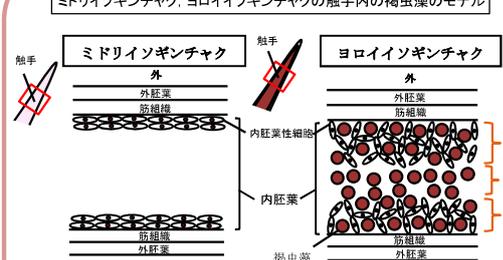


Fig.13 ミドリイソギンチャク、ヨロイソギンチャクの触手内の褐虫藻のモデル

## 採取・飼育

- ・イソギンチャクは宮城県女川町の岩礁海岸の潮間帯付近にて採取した
- ・イソギンチャクの識別→体側のイボの数や、周辺球の色といった形態の特徴から判断

ヨロイイソギンチャク: 体側のイボの列の数: 48列  
 周辺球の色: クリーム色  
 触手の数: 96本

- ・イソギンチャクは腰高ビーカーに一体ずつ隔離し、大型水槽に入れ、サンゴ用蛍光灯(クリアライトCL601)、海水(人工海水 インスタントオーシャンプレミアム)を用いて、水温22℃で飼育した



Fig.15 採取場図

## 実験3 共生体の代謝の把握 結果・考察

- ・5個体の平均の補償点は約27 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )となり、それより光強度が大きい時には酸素放出が行われている
- ・補償点より大きい光が当たっているときは共生体全体の呼吸による酸素吸収量に対して、共生褐虫藻の光合成による酸素放出量が上回っている
- ・イソギンチャクを採取した海岸では7月の曇天時に252 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )を上回っていたことから、共生体は自然光下で光合成をしている可能性がある

### 考察3

自然光下において共生体は光合成を行う能力がある

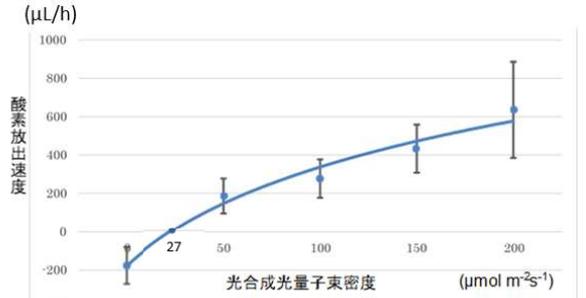


Fig.16 5個体の平均酸素放出量

グラフは対数近似曲線で、青いプロットは5個体の平均値、黒いバーは標準偏差 200 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )時にはすべての個体で、酸素を放出している

## 実験4 イソギンチャクのニッチの調査 結果・考察



Fig.17 コドラート別イソギンチャク種類別の個体数・光透過率

薄暗いコドラート群①	16%	84%
明るいコドラート群②	45%	55%

有意水準5%=0.05のカイ二乗検定より有意差が証明された

Fig.18 薄暗いコドラート群①と明るいコドラート群②のヨロイイソギンチャクとミドリイソギンチャクの存在比

- ・光透過率と各コドラートのイソギンチャクの個体数より、相対的に見て光透過率の大きい(明るい)コドラート群②のヨロイイソギンチャクの平均個体数の割合は、光透過率の小さい(薄暗い)コドラート群①に対して増加している
- ・光透過率の大きいコドラート群②でも下部海藻の被度の小さいコドラート群ではイソギンチャク全体の個体数が増加している
- ・コドラート群②のヨロイイソギンチャクの平均個体数の割合は上部海藻の被度が小さいコドラート群では、上部海藻の被度が大きいコドラート群に対して増加した

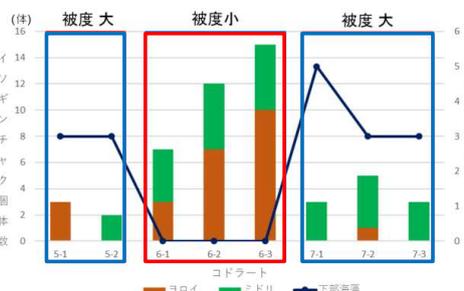


Fig.19 コドラート群②(明るい)のイソギンチャク個体数・下部海藻被度

被度大	3.2体
被度小	6.0体

Fig.20 イソギンチャクの平均個体数・下部海藻被度

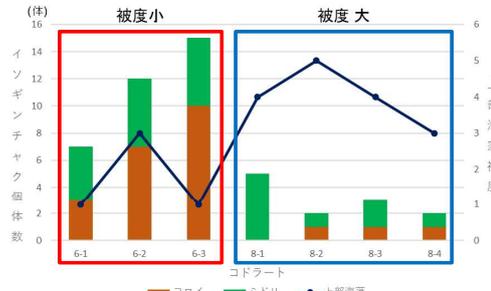


Fig.21 コドラート群②(明るい)のイソギンチャク個体数・上部海藻被度

被度大	25%	75%
被度小	59%	41%

有意水準5%=0.05のカイ二乗検定より有意差が証明された

Fig.22 ヨロイイソギンチャクとミドリイソギンチャクの存在比・上部海藻被度

### 考察4

- ・ヨロイイソギンチャクは、光透過率の大きい場所に多く分布している
- ・海藻と生息場所を競争している

## まとめ・結論

- 実験1より、ヨロイイソギンチャク内の褐虫藻は *Amphidinium* 属(形態的特徴より)と *Symbiodinium* sp. cladeA (18SrRNAの塩基配列より)の2種存在する可能性がある
- 実験2より、褐虫藻はヨロイイソギンチャクの触手の内胚葉中の細胞や隔膜上に存在している。ヨロイイソギンチャクは触手の内部から隔膜、胃腔、口道、体外と一続きになる構造をしている。ヨロイイソギンチャクの内胚葉は細胞が密になっていないため褐虫藻が細胞間に入りやすい環境下であると考えられる
- 実験2, 3より、褐虫藻は余剰した光合成産物により増殖を繰り返した後、隔膜から胃腔へ褐虫藻が流れヨロイイソギンチャクに捕食される可能性が示唆された
- 以上の実験より褐虫藻からはヨロイイソギンチャクに食用クローンとして捕食されるヨロイイソギンチャクからは褐虫藻に良好な光環境と、外敵から安全に増殖できる環境を与えていると示唆された
- 実験4より共生体は海藻と定着する場所を巡って競争していると示唆された

結論 ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の共生モデルを推定した

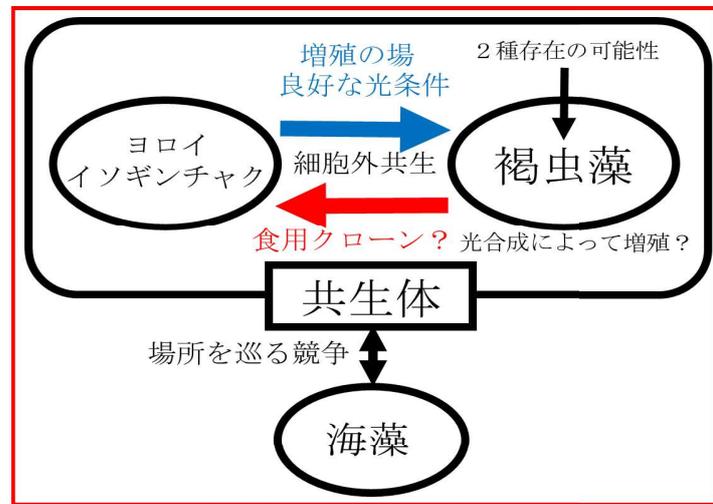


Fig.23 ヨロイイソギンチャクと褐虫藻の推定共生モデル

## 今後の展望

突起付き褐虫藻を集める  
 または特異的に対応する  
 プライマーを作成する

共生褐虫藻の同定

炭素の安定同位体を用いた  
 トレース実験を行う

褐虫藻の光合成産物の  
 供給経路の解明

海藻が枯れた後の  
 個体数の変化の調査

ヨロイイソギンチャクの  
 基本ニッチの解明

# 実験3 共生体の代謝の把握 方法

ヨロイソギンチャクと褐虫藻の共生関係において、褐虫藻はヨロイソギンチャクに光合成産物を供給する能力があるのかを調べるために、ヨロイソギンチャク-褐虫藻共生体の酸素放出速度を測定した

- 実験個体: 共生体5体を無作為に抽出
- 測定時間: 最大30分
- 水温: 25.0°C
- 光強度: 0, 50, 100, 150, 200 ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
- 照度(lux)をもとに色温度を用いて換算<sup>7)</sup>
- 光源: 東芝 RF110V 200W (色温度2800K)
- 中村理工工業株式会社製マイクロガスメーターⅢ型(差動式検容計)

※マイクロガスメーターとは、実験容器内の生物の呼吸や光合成による酸素の体積の変化量を測定する装置である  
 酸素の体積の変化によって動いた液滴を液柱の目盛りで読み取ることで酸素の放出量、吸収量を測定する  
 光合成に利用する二酸化炭素は海水中から吸収すると考え、呼吸で発生する二酸化炭素は海水中に溶解すると考える<sup>8)</sup>

- 光合成を測定するとき  
 光合成による酸素放出量が呼吸による酸素吸収量を上回る⇒実験容器内の気体の体積が増える⇒液滴が対照容器側に動く
- 呼吸を測定するとき  
 呼吸による酸素吸収のみが行われる⇒実験容器内の気体の体積が減る⇒液滴が実験容器側に移動する

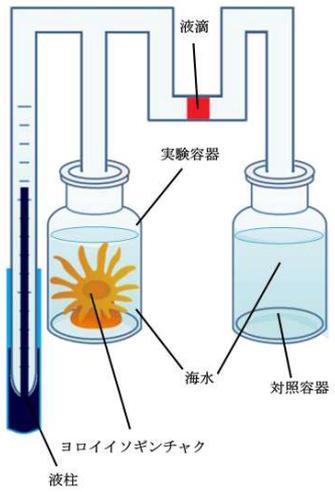


Fig.30 マイクロガスメーターの模式図

# 実験4 イソギンチャクのニッチの調査 方法

1. 空の開き具合 (%) 調査  
 ヨロイソギンチャクを採集した宮城県女川町の海岸にて、魚眼レンズでタイドプール8つの全天写真を撮影  
 全天写真をCanopOn2<sup>9)</sup>で標準曇天空(Standart Overcast Sky)を用いて光透過率を解析した  
 ※Standart Overcast Sky: 散乱光量は差などによる太陽光の遮蔽の影響や、天頂は地平線近くの3倍明るいという影響を受けるという考え方  
 ※光透過率: 計測地点上に天球を想定し、天球全体からの実際の入射光の放射発散度値を障害物のない天球全体からの入射光の放射発散度値で割った値を百分率で表したもの



Fig.31 薄暗いタイドプール(左)明るいタイドプール(右)の全天写真

2. これらのタイドプール8つを25cm×25cmのコードラットに分割してこれら3つを調査した
  - ① ヨロイ, ミドリ, その他イソギンチャクの個体数
  - ② タイドプールの下部を覆ってイソギンチャクの定着を阻害しそうな海藻(下部海藻)の被度
  - ③ 上部を覆って共生体の光合成を阻害しそうな海藻(上部海藻)の被度
 被度は5段階で、75%以上を5, 50%以上を4, 25%以上を3, 10%以上を2, 10%未満を1として表した

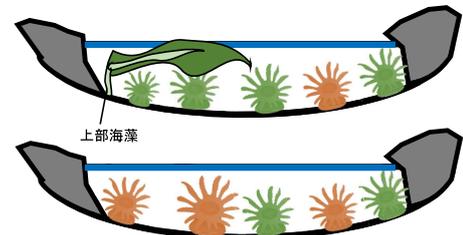
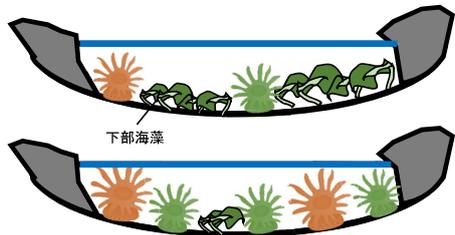
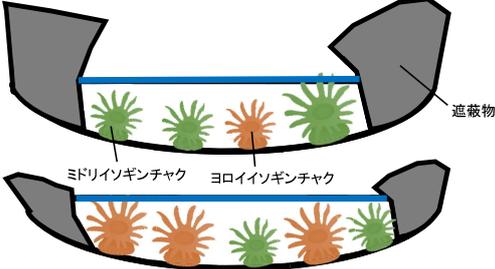


Fig.32 光透過率の小さい(上), 大きい(下)タイドプール模式図

Fig.33 下部海藻の多い(上), 少ない(下)タイドプール模式図

Fig.34 上部海藻の多い(上), 少ない(下)タイドプール模式図

3. カイ2乗検定(独立性の検定)を用いて、データの優位性の検定を行った  
 H0: 帰無仮説=ミドリイソギンチャクとヨロイイソギンチャクの出現率は明暗によって変わらない  
 H1: 対立仮説=ミドリイソギンチャクとヨロイイソギンチャクの出現率は明暗によって異なる  
 有意水準は5%=0.05

自由度1のカイ2乗分布から棄却域は $\chi^2 > 3.84$   
 Z値の23.6と4.06は棄却域に含まれるので  
 帰無仮説は棄却される  
 よって対立仮説が採択された

• 光透過率とイソギンチャクの個体数についてのカイニ乗検定 個体数(左), 期待度数(中央), Z値(右)

個体数	ミドリ	ヨロイ	合計
明所	35	27	62
暗所	47	8	55
合計	62	55	117

期待度数	ミドリ	ヨロイ	合計
明所	32.85470	29.1453	62
暗所	29.14529	25.8547	55
合計	62	55	117

Z 値	ミドリ	ヨロイ	合計
明所	0.140080	0.157909	0.29799
暗所	10.93796	12.33007	23.26804
合計	11.07804	12.48798	23.56603
<b>Z 値</b>			

• 上部海藻の被度とイソギンチャクの個体数についてのカイニ乗検定 個体数(左), 期待度数(中央), Z値(右)

個体数	ミドリ	ヨロイ	合計
被度小	14	20	34
被度大	9	3	12
合計	23	23	46

期待度数	ミドリ	ヨロイ	合計
被度小	17	17	34
被度大	6	6	12
合計	23	23	46

Z 値	ミドリ	ヨロイ	合計
被度小	0.529411	0.529412	1.058824
被度大	1.5	1.5	3
合計	2.029411	2.029412	4.058824
<b>Z 値</b>			

Table.3 空の開き具合(上)と上部海藻(下)についてのデータのカイニ乗検定

# 参考文献

- 1) 2001 内田博新 イソギンチャクガイドブック
- 2) サンゴと共生する褐虫藻の解説(共生研・環境光生物学)
- 3) 2007 石田祐三郎 海洋微生物と共生
- 4) 2014.3 山下 洋 シヤコガイ類種苗生産の安定化・効率化のために
- 5) <https://www.auburn.edu/~santosr/pdf/SymbiodiniumPrimers.pdf>
- 6) パラフィン包埋組織切片ヘマトキシリン・エオシン染色標本の作製法 東京海洋大学 羽曾部正豪
- 7) 植物生産における光に関連した単位 東海大学 星 岳彦 <https://www.hoshi-lab.info/env/light-j.html>
- 8) プロダクトメーター(マイクロガスメーター) 使用説明書 (I 型及びIII型)
- 9) <http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、実験のご指導・ご助言をいただきました西海区水産研究所 亜熱帯センター研究員の山下洋様にこの場を借りて深く感謝申し上げます

# 有機溶媒中での金属析出の研究 ～銅表面への鮮やかな青色着色「三高ブルー」の発見～

宮城県仙台第三高等学校化学班, 岩渕陽, 笠原康太郎, 佐々木惇人, 佐藤理来, 平戸李奈

## 概要

先行研究<sup>1)</sup>では, ジエチルエーテル中にテトラクロロ金(III)酸四水和物  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  を直接溶かし, 亜鉛や銅を還元剤としてその表面に金を析出させた(無電解めっき)と報告されている。そこで我々は, 上記以外の有機溶媒と金属化合物の組み合わせでも無電解めっきが可能か実験した結果, 金属化合物が有機溶媒に溶解さえすれば, 無電解メッキが可能であること, 有機溶媒中であるため金属の析出が抑制され, 微粒子の状態であらめっきされることを突き止めた。

さらにこの手法で金や白金をめっきした銅板を電気炉で加熱することで銅板を青色に着色することに成功した。銅表面の着色技術は, 伝統工芸品でもある新潟県の銚起銅器や富山県の高岡銅器にも用いられており, 特に近年銅の青色着色はメディアでも取り上げられるなど話題性がある。この我々のオリジナルの手法で出した青色を「三高ブルー」と名付けた。また実際に銅板の状態から青色に着色し, 作品を製作することで, 実用の可能性を見出した。

## テーマ A 「有機溶媒中における金属めっき」

### 1. 背景・目的 A

通常, イオン化傾向の差を利用した無電解めっきを行う際は, イオン化傾向が小さい金属の化合物の溶液(めっき液)として水溶液を用いる場合がほとんどである。しかし, 先行研究<sup>1)</sup>において, 有機溶媒であるジエチルエーテルにテトラクロロ金(III)酸四水和物  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  を直接溶かし, 亜鉛などに金をめっきすることに成功している。またこの現象を利用して, 銅に金をめっきすることで伝統工芸品である赤銅(しゃくどう)に近い色を得ている。有機溶媒に金属化合物が溶けることについては高校の教科書に記載はなく, 一般的にもほとんど知られていない。さらにその金属溶液を用いてめっきをすることができるという事実は, 新規性が極めて高い。シアン化合物といった危険な薬品を用いなくとも簡単にめっきすることができるのは魅力的である。新しいめっき法として確立することができる可能性がある。

しかし, 先行研究<sup>1)</sup>においては, 溶媒にジエチルエーテル, 溶質にテトラクロロ金(III)酸四水和物  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  を用いたのみである。そこで我々は, ヘキサクロロ白金(IV)酸六水和物  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  や硝酸銀(I)  $\text{AgNO}_3$  といった他の金属化合物の, アセトンやエタノールなどの有機溶媒への溶解性を調べ, 金属化合物を溶かした有機溶媒に金属単体を加えた際にめっきが可能かどうか, さらにどのようなめっきになるのか調べることにした。最終的には有機溶媒を用いた新しいめっき法として提言することを目的とした。

## 2. 実験 A-1 金属化合物の有機溶媒への溶解具合について

4 種類の溶媒にそれぞれに金属化合物を直接加え、その溶解具合を調べる。

### 【実験条件】

〈溶質 4 種類〉

- ・塩化銅(II)二水和物 (以下, 塩化銅(II))  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0.02 g
- ・硝酸銀(I)  $\text{AgNO}_3$  0.02 g
- ・テトラクロロ金(III)酸四水和物 (以下, 塩化金(III)酸)  $\text{H}[\text{AuCl}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.04 g
- ・ヘキサクロロ白金(IV)酸六水和物 (以下, 塩化白金(IV)酸)  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.05 g

〈溶媒 4 種類〉

- ・純水  $\text{H}_2\text{O}$
- ・エタノール  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
- ・アセトン  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
- ・ジエチルエーテル  $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$

### 【結果】

結果は表 1 のようになった。塩化銅(II), 塩化白金(IV)酸はジエチルエーテル以外に溶解した。硝酸銀(I)は純水にのみ溶解した。塩化金(III)酸はどの溶媒にも溶解した。

表 1 金属化合物の有機溶媒への溶解具合

	$\text{CuCl}_2$		$\text{AgNO}_3$		$\text{H}[\text{AuCl}_4]$		$\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$	
純水		○		○		○		○
エタノール		○		×		○		○
アセトン		○		×		○		○
ジエチルエーテル		×		×		○		×

### 【考察】

硝酸銀は水に溶けやすく、有機溶媒には溶けにくいのに対し、塩化金(III)酸は、どの有機溶媒にも溶けやすいことがわかった。これは、金は金属元素としては電気陰性度が大きく、塩化金(III)酸の極性は比較的小さいため、親水性が小さく、親油性が大きいことが原因であると考えられる<sup>2)</sup>。

なお、塩化銅(II)のアセトン溶液の色が黄色になったのは、塩化銅(II)二水和物の配位水がアセトンに奪われ、塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  が配位することでテトラクロロ銅(II)酸イオン  $[\text{CuCl}_4]^{2-}$  が発生したためと考えられる。また、塩化銅(II)のエタノール溶液が緑色であったのは、エタノールがアセトンに比べ塩化銅(II)二水和物の配位水を奪う力が弱いため、テトラクロロ銅(II)酸イオンとテトラアqua銅(II)イオン  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$  が溶液中でどちらも存在し、中間色が見られるためだと考えられる。

### 3. 実験 A-2 金属溶液を用いためっきの可否について

実験 A-1 で金属化合物を溶かした有機溶媒に金属単体を入れてめっきすることが可能かを調べる。

#### 【実験条件】

- ・銅箔 (20×20 mm, 厚さ 500 nm, 背面に両面テープを貼る)
- ・亜鉛板 (20×20 mm, 厚さ 1.0 mm)

#### 【実験方法】

塩化銅(II)の溶液は亜鉛板に 15 秒間浸し、塩化金(III)酸の溶液、塩化白金(IV)酸の溶液には銅箔を 15 秒間浸す。硝酸銀(I)の溶液には、銅箔を 3 分間浸す。

#### 【結果】

表 2 さまざまな溶質、溶媒でのめっき

	CuCl <sub>2</sub>		AgNO <sub>3</sub>		H[AuCl <sub>4</sub> ]		H <sub>2</sub> [PtCl <sub>6</sub> ]	
純水		○		○		○		○
エタノール		○		×		○		○
アセトン		○		×		○		○
ジエチル エーテル		×		×		○		×


亜鉛板


銅箔

結果は表 2 のようになった。塩化銅(II)はジエチルエーテル以外で、硝酸銀(I)は純水でのみ、塩化金(III)酸および塩化白金(IV)酸ほどの溶媒でもめっきすることができた。金めっきと白金めっきはめっきされる量が少ないためか、黒ずんでいる。なお、先行研究<sup>1)</sup>ではこれを逆手にとり、伝統工芸品である赤銅に結びつけた。

今回のこの結果より、塩化金(III)酸とジエチルエーテルだけに特異的にめっきが起こるのではないことが判明し、金属化合物を有機溶媒に溶かしさえすれば、イオン化傾向の差を利用してめっきすることが可能であると考えられる。

#### 4. 実験 A-3 めっきの濃度・時間によるめっきの変化

有機溶媒に溶かす金属化合物の濃度と処理時間を変えることで、めっきの厚さが変わり、それに伴って先行研究<sup>1)</sup>でみられたような美しい色の変化や光沢がみられると考え、以下の条件で実験を行い、各濃度と時間におけるめっき箔の色、輝度、光沢などの様子を調べた。

##### 【実験条件】

- ・銅箔，銀箔 (20×20 mm, 厚さ 500 nm, 背面に両面テープを貼る)
- ・塩化白金(IV)酸エタノール溶液 (以下, 溶液{Pt}) (0.01, 0.02, 0.03 mol/L)
- ・塩化金(III)酸ジエチルエーテル溶液 (以下, 溶液{Au}) (0.01, 0.02, 0.03 mol/L)

##### 【実験方法】

- [1] 銅箔を，作成した溶液{Pt}または溶液{Au} 0.3 mL に浸す。銀箔にも同様の処理を行う。
- [2] それぞれ溶液に浸けた後，箔をすばやく取り出す。なお，溶液に箔を浸ける時間は 5, 10, 15, 20, 25 秒の 5 段階とする。
- [3] めっきを施した箔をカメラで撮影する。

##### 【結果】

表 3 銅箔への金めっきの変化

(s) (mol/L)	5	10	15	20	25
0.01					
0.02					
0.03					

表 4 銅箔への白金めっきの変化

(s) (mol/L)	5	10	15	20	25
0.01					
0.02					
0.03					

##### ・銅の金めっき

全体的に光沢のある暗い茶色が出ており，所々特に暗いものもある。溶液の濃度が高いと白みがかかった色になった。

##### ・銅の白金めっき

全体的に光沢のある暗い灰色が出ている。溶液の濃度が高いと特に暗い灰色が出た。

表 5 銀箔への金めっきの変化

(s) (mol/L)	5	10	15	20	25
0.01					
0.02					
0.03					

表 6 銀箔への白金めっきの変化

(s) (mol/L)	5	10	15	20	25
0.01					
0.02					
0.03					

- ・銀の金めっき  
全体的に光沢のある黄色がかった灰色が出ている。溶液の濃度が高いとやや黒ずんだ。
- ・銀の白金めっき  
全体的に光沢のある灰色が出ており、光の反射率は銀単体よりわずかに低い。

## 5. まとめ A

有機溶媒と金属によるめっきの関係を明らかにした。

複数の、金属化合物の有機溶媒溶液で金属にめっきできることがわかった。おそらく、金属化合物を有機溶媒に溶かすことさえできれば、その溶液はめっき液としてはたらくと考えられる。金属箔に溶液を浸す時間と溶液の濃度によって金属箔がどのように変化するかについては、水中と同様に、有機溶媒中でもめっきの反応速度にはイオン化傾向が関係しており、イオン化傾向の差が大きいほどめっきの反応速度が速くなると考えた。さらに、めっき液の濃度によるめっきの色や輝度、光沢の変化も確認できた。しかし、その規則性はほとんど確認できていない。

## テーマ B 「金属めっき箔の加熱による変色」

### 6. 背景・目的 B

テーマ A では、塩化金(III)酸ジエチルエーテル溶液以外の、いくつかの有機溶媒・金属化合物で作製した溶液を用いて金属めっきができることを明らかにし、新しいめっき法を発見した。しかし、それ以外には目立った成果がなく、活用例が特に考えられない。

どうにかして、このめっき法を活用できないかと模索し、銅の加熱による変色に注目した。例えば、銅に亜鉛めっきをした後に加熱すると黄色の光沢をもつ黄銅となるということが知られている。そこで、我々は、めっきを施した銅箔を加熱すると、もしかすると何らかの原理で変色が起こるのではないかと考えた。青色のように、これまで銅を使って光沢のあるものをつくることができていない色も存在する。めっき銅箔を加熱するという新しい方法を使えば、そのような色を光沢を保ってつくりだすことができるかもしれない、と考え、めっき銅箔の加熱したときの変化について調べることにした。また、変色が確認できれば、その原理や規則性を詳しく調べ、新しい銅の変色法として提言することを目的とした。

### 7. 実験 B-1

めっき銅箔の加熱したとき、変色が起こるか否か、そしてその様子はどのようになるか確かめる。

#### 【実験条件】

- ・銅箔の加熱には電気炉を使用する。
- ・電気炉の温度は 300℃ とする。
- ・加熱時間は 10 分とする。

#### 【実験方法】

- [1] 電気炉内の温度を設定温度まで上昇させる。
- [2] 角型灰皿に砂利を敷き、その上に実験 A-3 でめっきした銅箔を置く。なお、角型灰皿には一度に 3 枚のめっき銅箔を置くこととする。
- [3] 角型灰皿を電気炉に素早く入れ、定温運転で加熱する。
- [4] 加熱しためっき銅箔を取り出し、常温で冷ます。
- [5] 異なる温度、加熱時間のめっき箔を比較する。

【結果】

表7 金めっきをした銅箔の加熱時間による色の変化 表8 白金めっきをした銅箔の加熱時間による色の変化

(s)	5	10	15	20	25	(s)	5	10	15	20	25
(mol/L)						(mol/L)					
0.01						0.01					
0.02						0.02					
0.03						0.03					

仮説通り、変色が起こった。銅と金の組み合わせでは全体的に青色や紫色がみられた。銅と白金の組み合わせでは、めっきに用いためっき液が 0.01 mol/L のときは青色、0.02 mol/L のときは青色・紫褐色・紫色、0.03 mol/L のときは紫色が主にみられた。

【考察】

有力な説として、酸化銅(I)  $\text{Cu}_2\text{O}$  被膜形成による変色(先行研究<sup>2)</sup>)が関係していると考えた。

[1] 銅箔の色が変わる原理<sup>2)</sup>

銅を加熱すると表面に酸化銅(I)の被膜が形成され、その膜の厚さに応じて銅表面における反射光と、成膜された酸化銅(I)被膜の表面の反射光がそれぞれ薄膜干渉を起こし、銅箔の色が変化する。

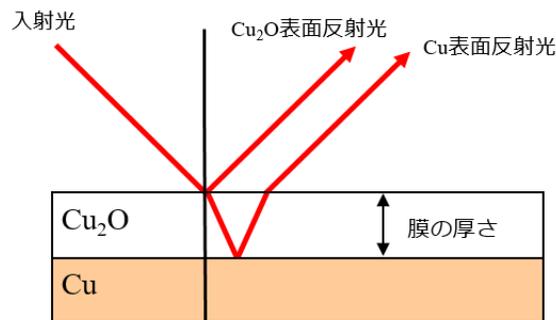


図1  $\text{Cu}$  表面反射光と  $\text{Cu}_2\text{O}$  表面反射光の薄膜干渉

[2] 有機溶媒から金、白金の析出について

金や白金をめっきした銅板は、日数とともに色調が変化し、同時に光沢が失われた。そして最終的には光沢のない紫色に変色し、輝度が低下した(表9)。このことから金めっき・白金めっきされた銅板の表面が局部電池となり酸化が起こっているのではないかと考えた。金や白金が銅の表面に一様に析出しているのであれば、下地の銅の露出がないため、めっきの厚さに関係なく空気中では酸化されないはずである。逆に銅が酸化されるのであれば、金や白金は微粒子として銅板上に散在し、その微粒子の隙間から露出している銅が酸化すると考えられる。実

際に3日間めっき液に浸し、一面に金めっき・白金めっきした銅板を電気炉を用いて300℃で10分間加熱したところ表11のように色に変化が見られなかった。このことにより、めっきによって析出される金や白金は微粒子状であり、微粒子の隙間から銅が酸化されると把握した。なお、銀に金や白金をめっきしたものは日数がたっても色調の変化はないが、これは銀が露出しても空气中で酸化が起きないためであると説明できる。

表9 金めっきを施した銅板レリーフの経日変化



表10 一面にめっきした銅板の加熱による変化

		加熱前	加熱後
銅板	金めっき		
	白金めっき		

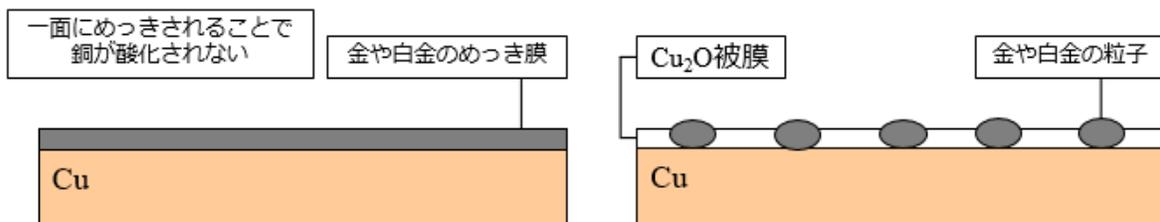


図2 一面に金や白金が析出した銅板(左)と微粒子状に析出した銅板

[3] 銅箔を加熱すると変色が起こる

銅の表面に金や白金の微粒子が析出した状態で加熱すると微粒子の隙間の下地の銅が酸化され、酸化銅(I)の被膜が成膜されると考えられる。さらに、このとき金や白金の微粒子は被膜中に取り込まれている可能性が挙げられる(微粒子吸収説)。実際に、赤銅(しゃくどう)の発色について、銅と金の合金を薬液などで表面処理を行い、銅の酸化被膜を形成させ、酸化被膜中に金コロイドを存在させると記載がある<sup>3)</sup>。

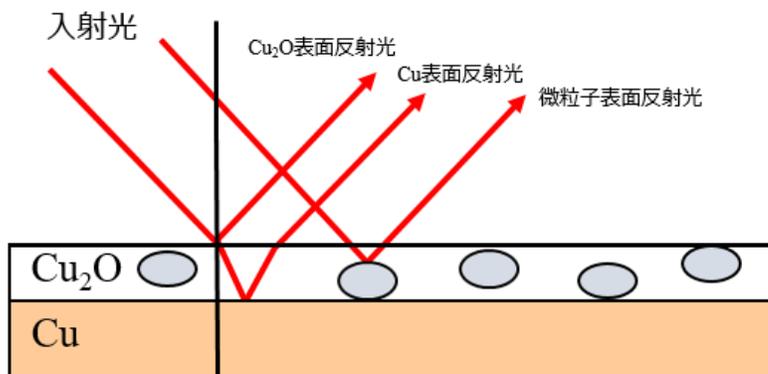


図3 Cu表面反射光・微粒子表面反射光・Cu<sub>2</sub>O表面反射光の干渉(微粒子吸収説)



図4 加熱前(左)と加熱後(右)のめっき銅箔

【成果】

- ・青色の金属光沢をもつ銅箔の作製に初めて成功

表11 加熱した純銅箔(左表)(先行研究<sup>2)</sup>より)と加熱しためっき銅箔(右)

min	°C	160°C	170°C	180°C	190°C	200°C	210°C	220°C	230°C	240°C	250°C
10min											
20min											
30min											

これまで、銅箔で光沢をもつ青色系統の色をつくり出すことはできていない。我々は、この実験で、今まで銅でつくり出すことができなかった新たな色を作り出すことに成功した。

青色の銅製品に関しては、近年、富山県高岡市の伝統工芸品である「高岡銅器」の伝統的着色法で青色をつくり出した「オリイブルー」<sup>4)</sup> という銅器がメディアで取り上げられて注目を集めている。事実、銅の青色着色「オリイブルー」に関しては、テレビ番組において「色の魔術師」という説明のもと大々的に取り上げられていた。銅器において、青色を作るのは特殊な薬液や技法を必要とするため非常に難しく、そのためとても希少性が高い。ただし、この青色は緑味を帯びており、また銅の化合物に由来するため金属光沢はみられない。

一口に青色と行っても様々な青色がある。今回の青色に関して、GIMP 2 で RGB を測定すると表 12 のようになった。この色は我々オリジナルの手法で出した色であり、他に類を見ないことから「オリイブルー」になぞらえて、「三高ブルー」と命名した。

表 12 三高ブルーとオリイブルーの RGB 値の比較

	三高ブルー	オリイブルー
R		9
G		139
B		225
R:G:B		0.024
		0.373
		0.603
		123
		131
		0.068
		0.451
		0.481

## 8. まとめ B

めっきされた銅箔を加熱したときの色の変化を明らかにした。めっき銅箔を 300°C で 10 分間加熱すると、光沢をもった青色や紫色などに変色した。この変色は、金・白金の微粒子と酸化銅(I)被膜の二重条件によるものと考えている。特に青色に関しては、これまで銅を使って光沢のあるものをつくることができていなかったが、今回の研究で初めて成功した。

## 9. 作品への応用 B

めっき銅箔の青色への変色に関して、伝統工芸に根ざし、メディアで取り上げられて注目を浴びている「銅を青色にする技術」を今までにない全く新しい独自の方法で再現性を持って安全に確実に作り出せることに成功した。また、「金属光沢をもつ青色の銅」は、これまでかつて存在しなかったものである。銅箔だけではなく、銅板でも青色を発色させることに成功している。銅を着色させる技術を持つ伝統工芸品には、新潟県燕市の燕鋸起銅器、富山県高岡市の高岡銅器が有名であるが、今後は、この「三高ブルー」の手法を銅製品に応用することで我々オリジナルの色を表現する製品を作ることができると考えられる。



図5 作製した「三高ブルー折り鶴」(左)と純銅板の折り鶴(右)

## 今後の展望・謝辞・参考文献

### 10. 今後の展望

{テーマ A 「有機溶媒中における金属めっき」}

- ・めっき箔のめっき液濃度・処理時間による変化の規則性を調べる
- ・めっき箔の化学的反応性を調べる

{テーマ B 「金属めっき箔の加熱による変色」}

- ・めっき銅箔の加熱温度・加熱時間による色の変化の規則性を調べる
- ・加熱めっき銅箔の構造や発色の原理を調べる

### 11. 謝辞

この研究を進めるにあたって顧問の先生方、そして先輩方には大変お世話になりました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

### 12. 参考文献

- 1) 第 61 回日本学生科学賞作品集(2017)「金溶液の研究とその応用」宮城県仙台第三高等学校 永田紘規, 圓谷修平, 山田智也
- 2) 第 58 回日本学生科学賞作品集(2014)「銅箔の色調変化の研究」宮城県仙台第三高等学校 門口尚広
- 3) 村上隆「金・銀・銅の日本史」岩波新書(2007)
- 4) momentum factory Orii : 折井着色所 HP 〈<http://www.mf-orii.co.jp/product-top.php>〉
- 5) 関根達也, 長谷川佑子「金属錯体と溶媒抽出」Journal of Japan Oil Chemists 1990,39, 10

## コレステリック液晶の色の变化

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部化学班

2年 佐々木 隼人 平戸 李奈 佐藤 理来

### 1. 背景・目的

コレステリック液晶は螺旋ピッチという液晶の分子結合によって作られる螺旋構造の長さの変化に応じて様々な色に変化することが知られており、反射した光の波長は液晶内の螺旋ピッチの長さに等しくなっている。

ヒドロキシプロピルセルロース (HPC) を使ったコレステリック液晶は、小さな子供でも、簡単かつ安全に作れることが知られている。先行研究<sup>[1], [2], [3]</sup>によると、温度、濃度、圧力とコレステリック液晶の色の变化に規則性が存在していることが判明している。しかし、コレステリック液晶の色にムラがみられることが多く、温度と濃度による正確な色の变化の規則性が判っていなかった。そこで、コレステリック液晶の単色化を成功させること、それをもとに正確なコレステリック液晶の色の变化の規則性を調べることを目的として本研究を行った。

### 2. 実験と結果及び考察

#### 実験1「色にムラがない液晶の作製」

先行研究<sup>[3]</sup>では行っていなかった、湯煎という工程を挟むことで色ムラをなくすことができなかと考えた。

【実験方法】 純水 1.00 g に対し、1.40 ~ 2.00 g で 0.10 g 刻みの 7 段階の濃度に応じた HPC を用意する。続いて 40.0 °C に温めた水の中に、ビーカーを入れ、湯煎しながら純水 1.00 g と HPC を少しずつ混ぜる。この模式図を図 1 に示した。混ぜ終わったらビーカーからスクリー管にコレステリック液晶を移し保存する。螺旋ピッチを安定させるために 1 日に 2 回、3 日間スクリー管を反転する。

【結果】 図 3 のような色ムラがない液晶を作製することができた。

【考察】 湯煎をしたことで溶解度が上昇し HPC が溶けやすくなり、さらに、熱運動が活発になったことで粘性が弱まった。これらによりコレステリック液晶の濃度を均一にすることができたと考えられる。

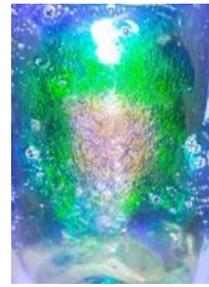
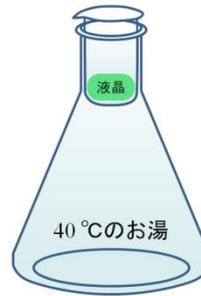


図 1 簡易実験図

図 2 先行研究の方法で

作製した液晶

作製した液晶

#### 実験2「温度と濃度による色の变化」

コレステリック液晶の単色化に成功したことで正確なコレステリック液晶の色のデータを得ることができると考え、コレステリック液晶の温度と濃度の関係を調べることにした。

【実験方法】 各濃度のコレステリック液晶をスライドガラスに挟み、スライドガラスの両端をテープで固定する。次に、氷水または恒温水槽を用い、コレステリック液晶を 5 ~ 40 °C の 5 °C 刻みの 8 段階の温度条件でスキャナーを用いて観察する。スキャナーで観察する時はコレステリック液晶の色の变化を観察しやすくするために背景に黒い紙を敷いた。

【結果】 コレステリック液晶の単色化に成功したことで温度と濃度によるコレステリック液晶の色の变化を詳細に観察することができた。観察した結果を表 1 に示す。表 1 では、規則的に高温・低濃度では波長が長い色、低温・高濃度では波長が短い色が表れている。また、液晶の濃度を低く、温度を高くしてゆくと背景の黒が表れるようになったため、無色透明に近づいていった。液晶の濃度を高く、温度を低くしていったときも同じ現象が見られた。また、温度を高くしてゆくと白に近い色になった。

【考察】 表 1 でコレステリック液晶が高温・低濃度のとき、または低温・高濃度のときにコレステリック液晶が無色に近づいたのは、螺旋ピッチが前者の場合は膨張し長くなり、後者の場合は凝縮し短くなったことにより、反射する光の波長が可視光線外の長さ（赤外線や紫外線の波長）となったからだと考えられる。温度を高くしてゆくと白に近い色になったのは、液晶内の分子の熱運動が活発になったことで、液晶が螺旋構造を維持できなくなり、光が乱反射する割合が増えたからだと考えられる。

表 1 液晶の温度、濃度と色の関係

(%) (°C)	58.3	60.0	61.5	63.0	64.3	65.5	66.7
40							
35							
30							
25							
20							
15							
10							
5							

### 実験 3「圧力の固定化」

先行研究<sup>[1]</sup>によって、液晶の色の変化に圧力が関係していることが分かっている。しかし、温度、濃度、圧力、この 3 つの条件を同時に変え、コレステリック液晶の色の変化の実験をすることは困難だと考え、圧力を固定する方法を考えた。

【実験方法】 シャーレのふたに 60.0 % 液晶を垂らし、液晶の周りにレジン（エポキシ樹脂）を塗り、シャーレの容器を上にかぶせる。続いてデジタルフォースゲージを使い、0.2 N/mm<sup>2</sup> の圧力を加え、レジンが固まるまで、加圧し続ける。

【結果】 図 4 に示した通り、直接加圧した部分の付近が波長の短い色になった。その後、1 週間ほどたってもコレステリック液晶の色は変わらない。このことから圧力の固定化に成功したといえる。そのため、温度、濃度、圧力の条件を同時に変えて実験することができる。



図 4 圧力を固定した液晶

【考察】 圧力の固定化に成功したのは、今回使ったレジンには、空気を通さない性質と、硬化する性質があるからだと考えられる。また、今回の実験で使ったシャーレはプラスチック製だったため、水の蒸発は完全には防げなかったが、シャーレをガラス製にすることでさらに長期間の色の保存ができるようになると思われる。図 5 にシャーレの模式図を示した。図 4 を見てみると、中心に行くにつれて波長が短い色になっている。このようなことが起きたのは、このシャーレは図 5 のように、蓋の端に飛び出ている構造があり、中心に行くにつれて圧力が大きくなっていくためだと考えられる。

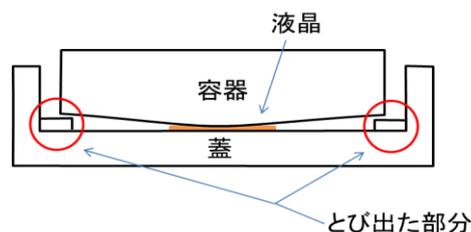


図 5 シャーレの簡易構造図

### 3. 結論と今後の展望

湯煎をしたことで単色化に成功し、温度、濃度による詳しい色の変化を明らかにすることができた。

今後の研究の課題として、液晶の色からの螺旋ピッチの長さの数式化、様々な溶質や溶媒を用いた液晶の色の変化の比較、圧力による詳しい色の変化、コレステリック液晶の活用などを考えている。

### 4. 参考文献

- [1] 石川謙, 他 4 名 (1981) コレステリック液晶のピッチに対する圧力の効果. *液晶討論会講演予稿集*, 94-95.
- [2] 菊池紗也香 (2010), コレステリック液晶の研究. *TX テクノロジー・ショーケース in つくば 2010*, 148.
- [3] 進藤光太, 他 6 名 (2017), 色が変わる液晶の不思議. *H28 宮城県高等学校理数科課題研究発表会 葉*, 2.

## 物理

やじろべえ型受動歩行機の歩行の安定性に関する実験的検証 ～受動歩行から歩行現象の理解へ～

宮城県仙台第三高等学校 SSHクラブ  
3年 藪 貴 平間 草太

### 1. 研究の背景

ヒトの歩行の原理を理解することは、歩行補助装置の開発や、二足歩行ロボットの発展に繋がると期待できる。そこで、本研究ではより単純な二足歩行モデルとして受動歩行に着目した。受動歩行とは、アクチュエータや制御機能を必要とせず、重力によってかかる力のみで斜面を歩行する機構のことである。本研究では以下のような受動歩行機を使用した。(図1)

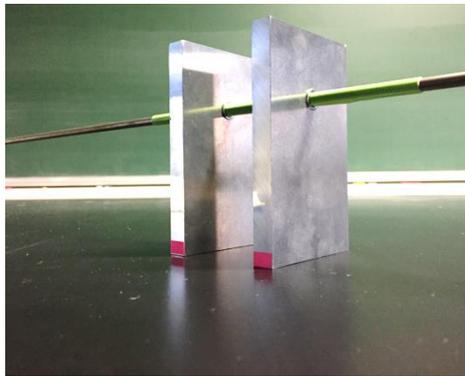


図1 受動歩行機

### 2. 目的

本研究では、やじろべえ型受動歩行機を用いて、安定した歩行に必要な要素を明らかにすること目的とする。そのために、やじろべえ型受動歩行機を自作し、その歩行機を用いて歩行実験を行った。そして、その歩行の様子を数式で表すことによって、安定した歩行に必要な要素を明らかにすることを試みた。

### 3. 実験方法

歩行機は、2枚のアルミ製の板(脚)を、金属製の丸棒(軸)で接続した構造となっている。

歩行実験を行う坂は木製の板である。坂の傾斜

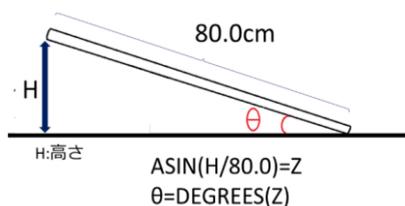


図2 傾斜の大きさの測り方

の大きさは、板の長さと板の高さから、マイクロソフト社の表計算ソフトExcelでASIN関数とDEGREES関数を用いて有効数字三桁まで求めた(図2)。

### 4. 歩行の様子

歩行の様子を詳しく分析するために、歩行をいくつかの段階に分けて考察した(図3)。初動を与えた後、片方の脚を踏み込みつつその脚を軸にして横に揺れた。同時にもう片方の脚が持ち上げられることによって振り出された。そしてその脚のかかところが斜面についたところから逆の脚の踏み込みが始まった。

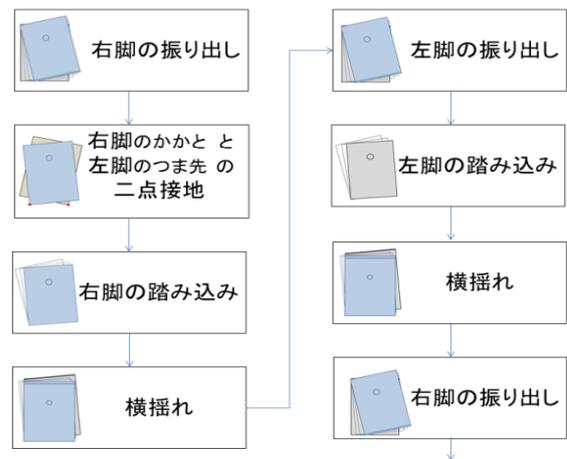


図3 歩行の様子の分解

### 5. 軸の素材を変えた場合

軸が鉄の場合における歩数と歩幅の関係を図4に示す。傾斜の大きさが7.25度のとき、一定の歩幅で歩き続ける安定した歩行をみせた。この傾斜の大きさよりも小さい場合は歩幅が減少し続け、大きい場合は増大し続けるという傾向がみられた。軸がアルミの場合では傾斜の大きさ9.86度で安定した歩行が確認できた(図5)。軸がアルミの場合では、軸が鉄の場合と比較して歩行機の重心がより低い、傾斜と歩幅の関係は軸が鉄の場合と同様であった。

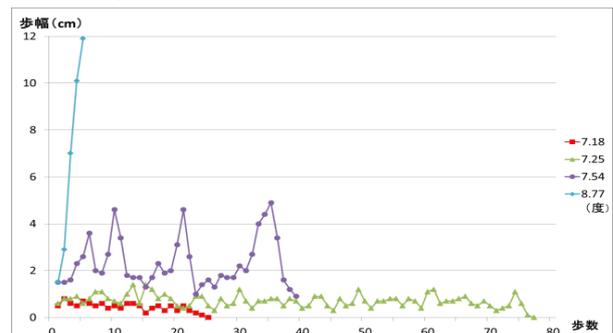


図4 歩数と歩幅の関係 (軸が鉄の場合)

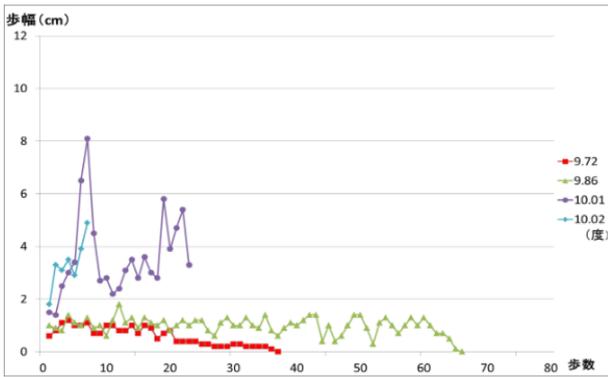


図5 歩数と歩幅の関係 (軸がアルミの場合)

## 6. 軸の位置を変えた場合

2枚の板の間の距離を40mmに戻し、回転の中心である軸の位置を進行方向へ5mm変えた。軸には鉄を用いた。この場合、傾斜の大きさが6.32度で安定した歩行を行った(図6)。

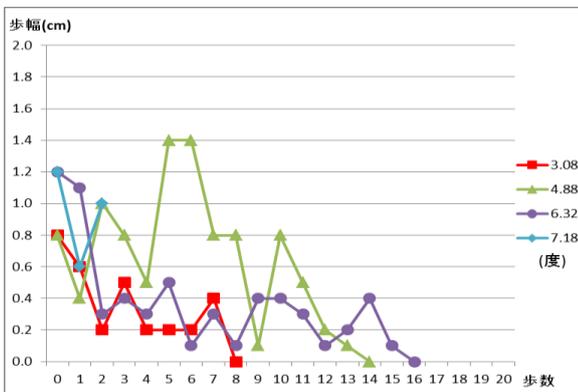


図6 歩数と歩幅の関係 (軸の位置をずらした場合)

## 7. 歩行を数式化

分解した歩行動作の段階について、それぞれの段階が連鎖的に関係しあっていることから、数列として捉え、次のように式化した。

$$H_n = f(W_{n-1}) + f(L_{n-1}) \quad (1)$$

$$U_n = mgH_n \quad (2)$$

$$S_n = f(U_n) \quad (3)$$

$$L_n = f(S_n) \quad (4)$$

$$W_n = f(L_n) \quad (5)$$

H 位置エネルギーの変化

W 歩幅

L 踏み込み

S 横揺れの運動エネルギー

## 8. 考察

### (1) 歩行の様子と傾斜角度の関係

軸の素材を変えた場合、軸に鉄を用いた場合のほうが、安定歩行時の傾斜角度は小さかった。密度の大きい鉄の軸を用いた場合、アルミの軸を用いたときよりも重心が高い位置にあると考えることができる。重心が高い方が、横揺れがより大きくなる。横揺れの増大が、その後の歩幅を決定

する段階に影響し、歩幅が大きくなるため、横揺れの大きい軸が鉄の方がより小さい傾斜角度で安定歩行をしたと考えられる。

また、持ち上げが大きくなることによって、より小さい傾斜でも脚を振り出すことが可能となる。そのため横揺れの大きい鉄が、アルミよりも小さい傾斜で安定した歩行を行ったと考えられる。同様に、脚の幅を小さくした場合も横揺れが大きいためより小さい傾斜で歩行することが可能であった。

### (2) 人間の歩行原理の理解

実験機は横揺れの大きさ、重心の位置そして前進させる力の大きさによって左右されることが分かった。

傾斜上に歩行機がおかれた場合、歩行機の重心は前進方向に常に出ており、前に倒れるのに対応して脚を踏み出していると考えられる。これは実際にヒトが歩行を行う際にも言える。ヒトが平地でも歩行ができるのは、歩き始めに重心を前に出すことによって、前進する力を得ていると考えられる。ヒトの歩行においても、まず重心を前に出し、それに対応して脚が前に踏み出されるというサイクルを行っており、その重心の移動を調節することにより安定した歩行をさせていると考えられる。

### (3) 二足歩行ロボットの制御

受動歩行機の解析から、我々は「ヒトの歩行制御は脳が身体の末端の筋肉を細かく調節する指示を出して行われているのではなく、重心の移動と歩幅の対応という単純なルールに基づき歩行が調節されている」という仮説を導いた。このシンプルなルールに基づいて二足歩行ロボットの制御を考えれば、より軽いプログラムで歩行全体の調節が可能になるのではないかと考えている。

## 謝辞

本研究は東北大学 飛翔型「科学者の卵養成講座 (JST グローバルサイエンスキャンパス)」の支援のもとで実施された。

## 引用及び参考文献

- 1) 衣笠哲也, 大須賀公一 共著, 土師貴史, 受動歩行ロボットのすすめ, コロナ社, 2016-9-27, pp. 1-4
- 2) 池俣吉人, 佐野明人, 受動歩行の力学的原理と応用, 日本 AEM 学会誌 Vol. 25 (2017) No. 1 p. 2-8

# プラナリアの個体崩壊からみるストレスの受容機構

2909 宮城県仙台第三高等学校 プラナリア班

芦立 美春 伊藤 亜珠希 大宮司 百花 山田 桃子

## 背景

プラナリア  
=全能性幹細胞による  
高い再生能力

プラナリアは熱に  
よる影響を受ける<sup>1)</sup>

### 定義

生存 **個体崩壊**

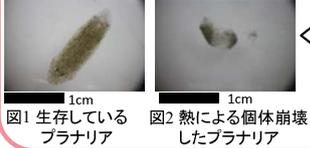


図1 生存しているプラナリア 図2 熱による個体崩壊したプラナリア

輪郭が不明瞭である状態  
= 個体崩壊

### 目的

プラナリアの個体崩壊について  
I: 条件 II: 仕組み  
を明らかにする  
仮説: 個体崩壊の原因は、  
細胞死(主に細胞自体の  
消失)である。

## 研究意義

### プラナリアの個体崩壊の仕組みモデル



生と死の境目は?

“TRPチャンネルには傷の認識に関わっているものがある<sup>2)</sup>”  
& 人間もTRPチャンネルを持っている

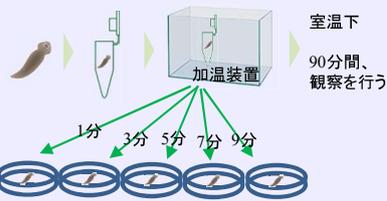
TRPチャンネルをコントロールできれば...

ストレスによって起こる疾患や老化を予防、阻止することに  
応用できるかもしれない

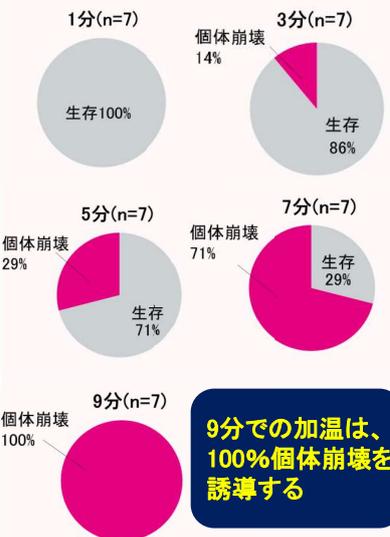
## 実験I 個体崩壊の条件

### 方法

- 材料: 宮城県・岩手県より採集したプラナリア 佐沼高校からいただいたプラナリア
- 方法: ① プラナリアを40°Cでそれぞれ1分、3分、5分、7分、9分加温する  
② 加温後、プラナリアを室温下の水に入れ、90分間顕微鏡で観察を行う



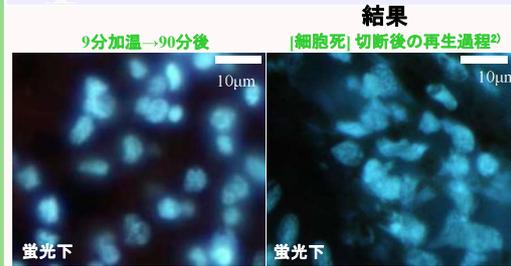
### 結果



## 実験II 個体崩壊の原因は細胞死か

### 方法

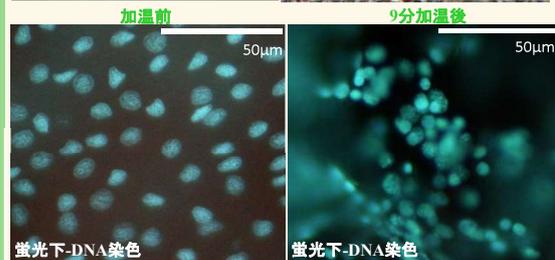
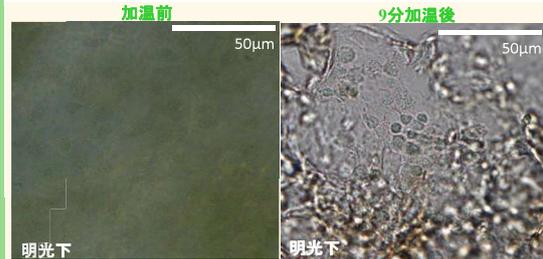
- 加温したプラナリア
- DNAの染色 (DAPI 染色液)
- 蛍光顕微鏡での観察
- 個体崩壊が誘導される温度で加温したプラナリアを固定し、蛍光試薬でDNAを染色し、蛍光顕微鏡で観察を行う



### 結果

9分加温→90分後 [細胞死] 切断後の再生過程<sup>2)</sup>

90分時には細胞死は観察されなかった



加温により細胞の一樣分布が崩れる

[考察] 個体崩壊の直接的な原因→細胞死×  
→細胞が離れること?

## 実験III 何がストレスを伝えているか

### 方法

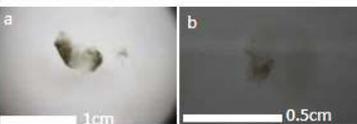
“プラナリアは、熱やワサビをTRPA1チャンネルから受容することで逃避行動をとる<sup>4)</sup>”

ワサビによる刺激でも個体崩壊が起きたとしたら、温度刺激をチャンネルが伝え、個体崩壊を引き起こしているのではないか

- 方法: ① プラナリアを5%ワサビ抽出液に9分入れる  
② 9分後プラナリアを取り出し、室温下で顕微鏡によって観察を行う



### 結果



a: 40°C、9分で加温した個体 (90分後) b: 5%ワサビ抽出液に9分入れた個体 (1日後)

加温だけでなく、ワサビによる刺激も個体崩壊を誘導した

[考察] TRPA1チャンネルは個体崩壊に関与している?

## 結論

個体崩壊の条件...40°Cで9分の加温は加温後90分以内に個体崩壊を100%引き起こす

### プラナリアの個体崩壊の仕組みモデル



生と死の境目は?

## 展望

ワサビ刺激による個体崩壊の過程を詳しく観察

TRPチャンネルと個体崩壊の関係を明らかにする

細胞骨格の染色

刺激を与えることで、細胞が離れる仕組みを明らかにする

高温下での個体崩壊の誘導

細胞接着に関わるタンパク質が変性した状態を明らかにする

## 参考文献

- 1) 宮城県仙台三高課題研究. (2016). プラナリアから見る死の仕組み.
- 2) Inoue et al. (2014). The thermosensitive TRPV3 channel contributes to rapid wound healing in oral epithelia. *The Journal of Neuroscience*, 34(47), pp15701-15714.
- 3) Pellettieri et al. (2010). Cell death and tissue remodeling in planarian regeneration. *Developmental Biology*, 338, pp76-85.
- 4) Arenas et al. (2017). Activation of planarian TRPA1 by reactive oxygen species reveals a conserved mechanism for animal nociception. *Nature neuroscience*.

# プラナリアの個体崩壊からみる ストレスの受容機構

2909 宮城県仙台第三高等学校  
3年 課題研究プラナリア研究班

芦立 美春  
伊藤 亜珠希  
大宮司 百花  
山田 桃子

背景 先行研究

## ばらばらになったプラナリア



背景 先行研究

## 何によってばらばらになるのか

消化酵素が原因？



消化酵素阻害剤を使用しても個体崩壊  
→原因は消化酵素ではない

では原因は何なのか

背景

## プラナリアについて



- ・扁形動物門ウズムシ綱に属する動物の総称
- ・「全能性幹細胞」による高い再生能力
- ・再生研究のモデル生物

背景

## プラナリア

高い  
再生能力



温度ストレスに  
よって  
ばらばらになる¹)

何が原因でプラナリアの個体がばらばらになるのか

背景

## 最終目標

全能性幹細胞による  
高い再生能力



再生  
(=治癒)



境目は？

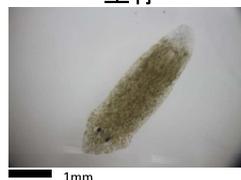


再生しないこと  
(=治癒しないこと)

定義

## 定義

生存



個体崩壊



輪郭が不明瞭＝個体崩壊

# プラナリアの個体崩壊について

## I : 条件 II : 仕組み

### を明らかにする

## 実験内容目次

- 1. 実験 I -
  - ① 方法
  - ② 結果・考察
- 2. 実験 II -
  - ① 仮説
  - ② 細胞死について
  - ③ 方法
  - ④ 結果
  - ⑤ 考察
- 3. 実験 III -
  - ① 先行研究
  - ② 方法
  - ③ 結果
- 4. 全体のまとめ

## 実験内容目次

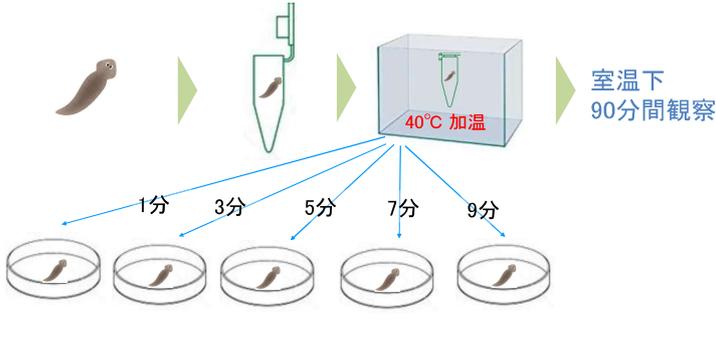
- 1. 実験 I -
  - ① 方法
  - ② 結果・考察
- 2. 実験 II -
  - ① 仮説
  - ② 細胞死について
  - ③ 方法
  - ④ 結果
  - ⑤ 考察
- 3. 実験 III -
  - ① 先行研究
  - ② 方法
  - ③ 結果
- 4. 全体のまとめ

## 個体崩壊が起こるまでの仮説

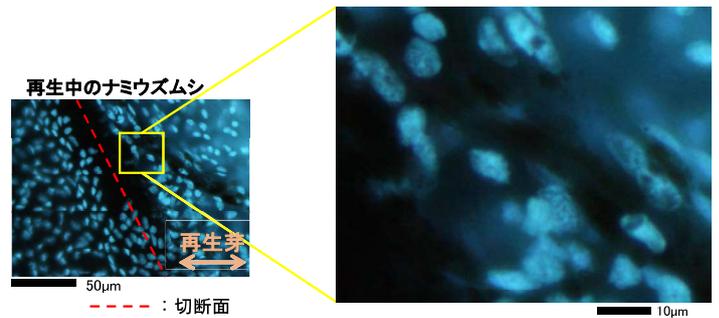


### 実験方法 I

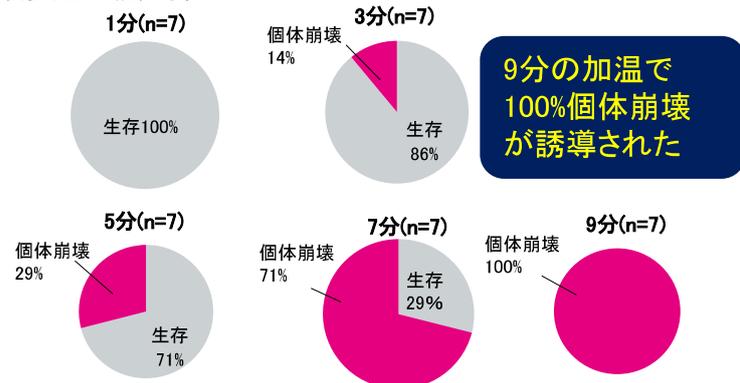
## 個体崩壊を誘導する加温条件を特定する



[比較対象] 切断後の再生過程では細胞死(アポトーシス)が起こることが知られている [2010 J. Pellettirei]



### 実験方法 I 結果・考察



### 実験方法 II

## 個体崩壊の際に細胞死が見られるのか特定する

加温したプラナリア



固定溶液で固定  
蛍光染色液でDNAを染色

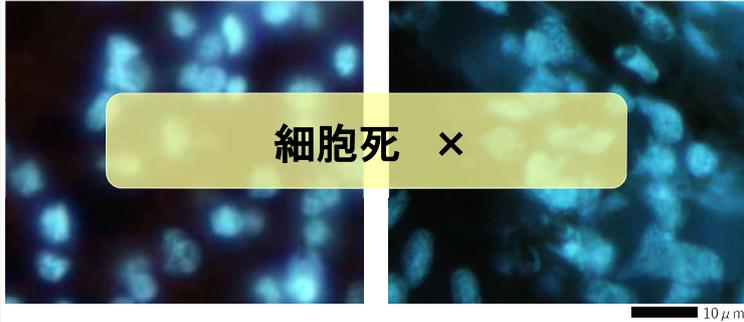
蛍光顕微鏡で観察



実験Ⅱ 結果

9分加温...90分後 蛍光下

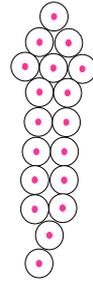
[比較] 切断後の再生過程 蛍光下



細胞死 ×

10 μm

通常の細胞の状態

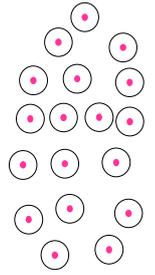


何が温度ストレスを受容するか？

細胞接着が弱まっている

何によって、細胞接着タンパク質に温度刺激を伝えている？

細胞が離れた状態

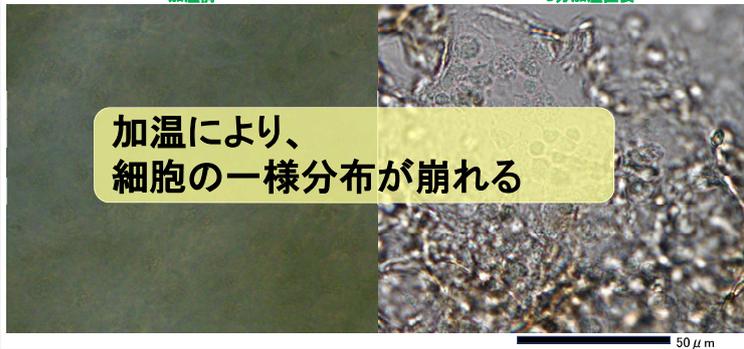


実験Ⅱ 結果

加温前後の細胞の様子(明光下)

加温前

9分加温直後



加温により、細胞の一様分布が崩れる

50 μm

実験内容目次

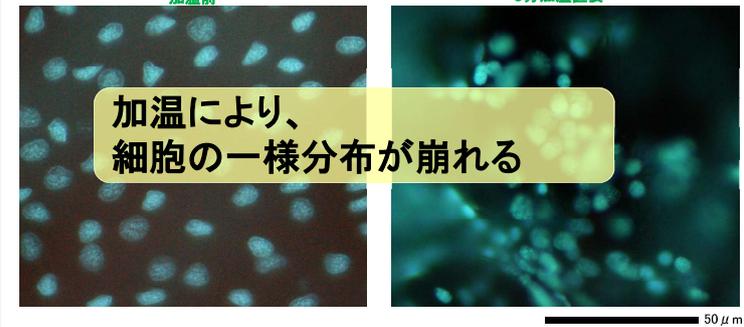
1. 実験Ⅰ -
  - ① 方法
  - ② 結果・考察
2. 実験Ⅱ -
  - ① 仮説
  - ② 細胞死について
  - ③ 方法
  - ④ 結果
  - ⑤ 考察
3. 実験Ⅲ -
  - ① 先行研究
  - ② 結果
4. 全体のまとめ

実験Ⅱ 結果

加温前後の細胞の様子(蛍光下-DNA染色)

加温前

9分加温直後



加温により、細胞の一様分布が崩れる

50 μm

先行研究

プラナリアは熱やワサビから逃げる  
Oscar M. Arenas ら(2017 nature neuroscience)

熱  
ワサビ



TRPAチャンネルが受容

熱やワサビからの回避

ワサビによる刺激でも個体崩壊が起きたとしたら、温度刺激をチャンネルが伝え、個体崩壊を引き起こしているのではないか

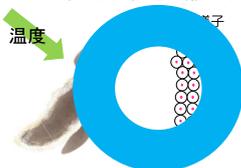
個体崩壊の原因

1. 細胞死によって細胞が抜け落ちる



個体崩壊の原因は細胞が離れること？

2. そのまま細胞が離れる



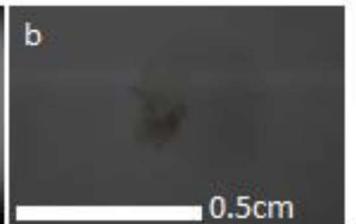
細胞接着の崩壊が死につながる？

結果

ワサビ刺激による個体崩壊の誘導

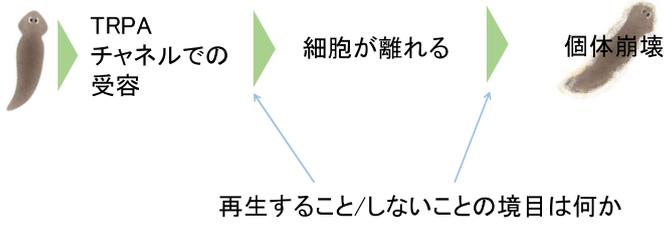
a: 40°C 9分加温による個体崩壊(90分)

b: ワサビ(5%)の刺激による個体崩壊(1日後)



### 個体崩壊に至るまでの過程

温度  
わさびの刺激



### 展望

- ワサビ刺激による個体崩壊の過程を詳しく観察 → TRPチャンネルと個体崩壊の関係を明らかにする
- 細胞骨格の染色 → 刺激を与えることで、細胞が離れる仕組みを明らかにする
- 高温下での個体崩壊の誘導 → 細胞接着に関わるタンパク質が変性した状態を明らかにする

### 最終目標

「TRPチャンネルの中には、傷の認識に関わっているものもある」  
Aijima Rら (2014)

TRPチャンネルはストレス応答に関わっている

TRPチャンネルは人間にもある

TRPチャンネルをコントロールできれば・・・

**ストレスによって起こる疾患や老化を  
予防、阻止するのに応用できるかもしれない**

### 参考文献

- 1) プラナリアから見る死の仕組み平成28年度 仙台三高
- 2) Jason Pelletieri, Patrick Fitzgerald, Shigeki Watanabe, Joel Mancuso, Douglas R. Green, Alejandro Sanchez Alvarad : Cell death and tissue remodeling in planarian regeneration – Developmental Biology (2010)
- 3) 阿形 清和 : 切っても切ってもプラナリア, pp44, 岩波書店(2009)
- 4) 原島 広至 : プラナリアの再生・走性・消化の実験, 生物の科学 遺伝・別冊 実験単, pp174, エス・ティー・エス (2015)
- 5) Activation of planarian TRPA1 by reactive oxygen species reveals a conserved mechanism for animal nociception Oscar M. Arenas, Emanuela E. Zaharieva, Alessia Para, Constanza Vásquez-Doorman, Christian P. Petersen & Marco Gallio—nature neuroscience(2017)
- 6) 沼田 朋大, 香西 大輔, 高橋 重成, 加藤 賢太, 瓜生 幸継, 山本 伸一郎, 金子 雄, 眞本 達生, 森 泰生 : TRPチャンネルの構造と多様な機能(2009)-生化学 第81巻 第11号
- 7) 辻本 賀英 : 細胞死・アポトーシス集中マスター 羊土社(2006)
- 8) The thermosensitive TRPV3 channel contributes to rapid wound healing in oral epithelia. Aijima R1, Wang B2, Takao T2, Mihara H3, Kashio M3, Ohsaki Y2, Zhang JQ2, Mizuno A4, Suzuki M4, Yamashita Y5, Masuko S6, Goto M5, Tominaga M3, Kido MA7.-The FASEB Journal(2014)



# V 課外活動

全国高総文祭「2019 さが総文」

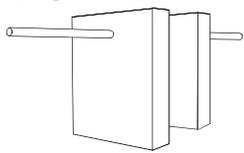
自然科学部

SSHクラブ

# やじろべえ型受動歩行機はいかに歩くか

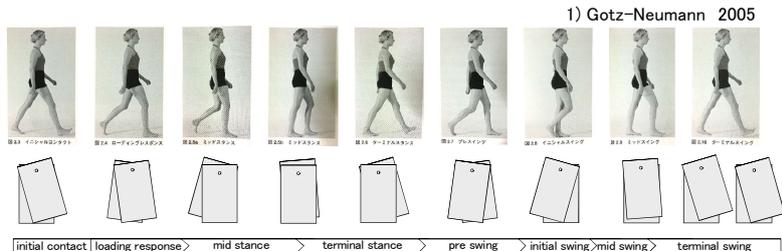
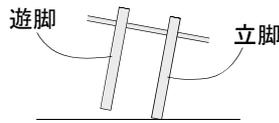
宮城県仙台第三高等学校 SSHクラブ 千葉溪 高橋俊斗 辻本武

## 背景



歩行とは脚でからだを支持しながら移動すること  
ヒトだけが直立二足歩行を行う

やじろべえ型受動歩行機:  
センサーやアクチュエーターを用いずに歩行が可能



1) Gotz-Neumann 2005

健常者の歩行とほぼ一致する ヒトの歩行モデルとして妥当

## これまでの研究成果

$$H_{n+1} = f(W_n) + f(L_n) \quad H: \text{重心の落差} \quad W: \text{ステップ長} \quad L: \text{持ち上げ}$$

$$U_{n+1} = mg(H_{n+1}) \quad U: \text{位置エネルギーの変化量}$$

$$S_{n+1} = f(U_{n+1}) \quad S: \text{横揺れの運動エネルギー}$$

$$L_{n+1} = f(S_{n+1})$$

$$W_{n+1} = f(L_{n+1})$$

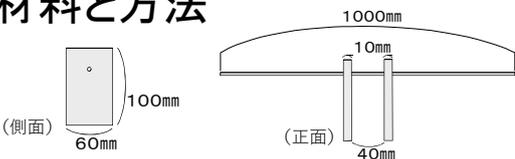
ある一歩のステップ長は前の一歩のステップ長の関数としても表現される  $W_{n+1} = f(W_n)$

新たな仮説: ステップ長 または 横揺れ の制限によって本来なら転倒する傾斜の大きさでも歩行が継続する

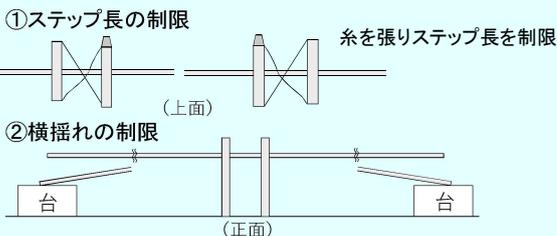
## 目的

ステップ長と横揺れが歩行に対しどのように影響しているか明らかにする

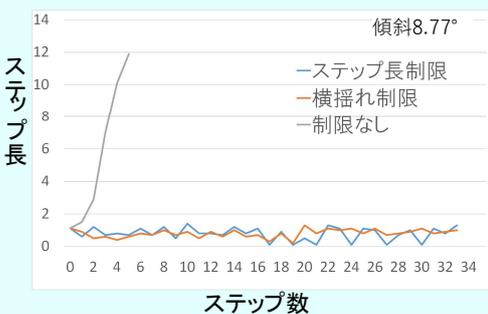
## 材料と方法



## 実験1: 制限による歩行の継続

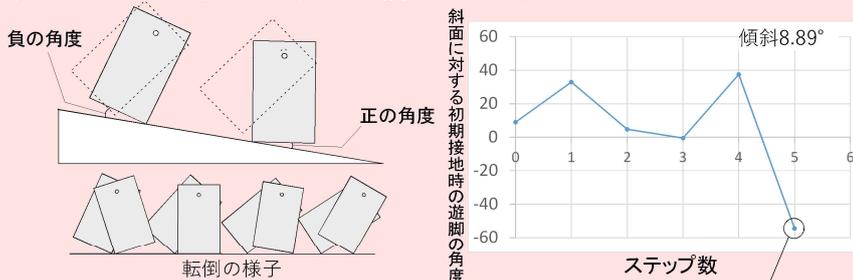


### 実験結果



ステップ長、横揺れの制限によって本来なら転倒する傾斜の大きさでも歩行が継続した **仮説は正しい**

## 実験2: 大きな傾斜における前方への転倒



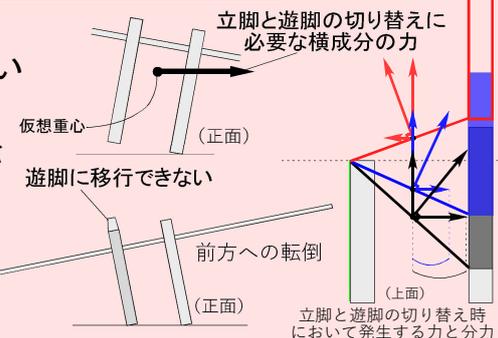
転倒時は遊脚が十分に持ち上がらず、つまづくように運動

**横揺れが発生していない**

ステップ長が足長を超え必要な横成分が発生しない

立脚と遊脚の切り替えが行われない

前方に転倒する



## まとめ

1. 歩幅、ステップ長の調節で歩行を継続させられた → 漸化式より導かれた仮説は正しい
2. ステップ長が足長を超えると横揺れがなくなる → 超えないように制御すれば歩行が継続する

## 展望

1. ヒトの歩行制御を簡単なプログラムで表現できる可能性
2. 重力に依存した立脚と遊脚の切り替え → 「蹴る」構造があればより人間に近い歩行をする可能性あり

## 参考文献

- 1) Gotz-Neumann, 月城慶一, 山本澄子, 江原義弘, 益子原秀三 訳, 観察による歩行分析, 医学書院, 2005年
- 2) 衣笠哲也, 大須賀公一, 土師貴史, 受動歩行ロボットのすすめ - 重力だけで2足歩行するロボットのつくりかた -, コロナ社, 2016年



# ホウ酸水溶液と糖水溶液の混成によるpH変化

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部化学班

1年 白井凜太郎 臼渕泰生 鈴木博也

## 1.背景・目的

『ホウ酸とホウ酸塩は、ジオールあるいはポリオールと右図のようなタイプのきわめて安定した錯体をつくる。ホウ酸の酸性度は錯体の生成によって増大する。』[2]

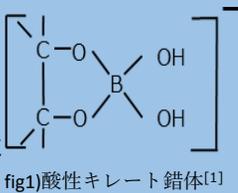
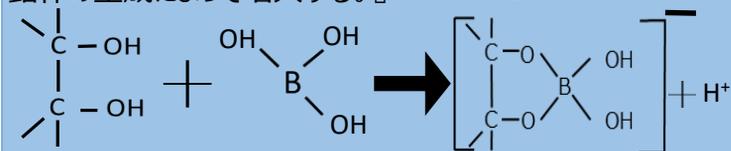


fig1)酸性キレート錯体[1]



しかし、使う物質の種類によってpHの上がり幅には違いがある。

実際に実験を行うことで、pHの変化を把握する。

結果から、その違いの要因を調べる。

## 2.実験

### □糖水溶液

- ・グルコース
- ・フルクトース
- ・マンノース
- ・ガラクトース
- ・スクロース (1.0mol/L)
- ・マルトース
- ・ラクトース (0.1mol/L)

### □ホウ酸水溶液 (0.1mol/L)

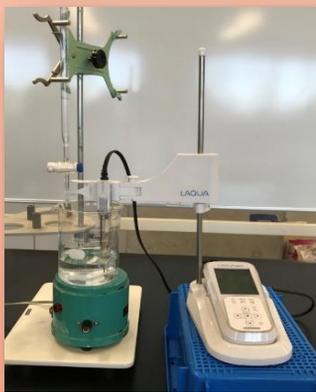


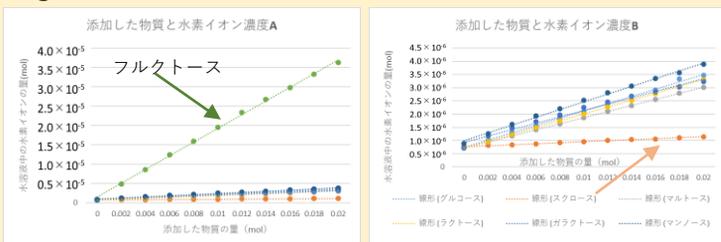
fig2)実験装置

ホウ酸水溶液に糖水溶液をそれぞれ2mLずつピュレットを用いて攪拌しながら加える。その後pH測定器の値が安定したところで記録する。これを10回行った。

## 3.結果

各溶液におけるpHの変動はそれぞれ以下ようになった。

fig3) 添加した物質と水素イオン濃度



フルクトースはそのほかの糖に比べ最もpHの変動が大きくスクロースが最もpH変動が小さいまた、フルクトースはスクロースの約88倍水素イオンを放出している計算になる。

## 4.考察

pHを低下させやすいシス構造。[3]フルクトースは水溶液中でシス構造を2つ含むβ-D-フルクトピラノースを発生させる。水溶液中のスクロースにシス構造はない。

酸性キレート錯体の生成の条件から糖におけるシス構造の数によって変化する。

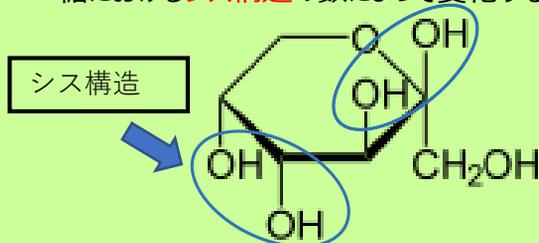


fig4) β-D-フルクトピラノース

## 5.今後の展望

水溶液中でのβ-Dフルクトピラノースの割合は温度によって変化する。[4]

温度を変えて同様の実験を行いシス構造の数がpHの上がり幅に影響しているか調べる。

シス構造の有無に関わらずpHが下がっている糖がある。

プロパンジオールなどを用いて特定の構造における変化の違いを調べる。

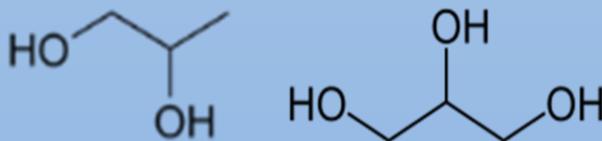


fig5) 分子構造 (左プロパンジオール、右グリセリン)

## 6.参考文献

- [1] F.Albert Cotton・Geoffrey Wilkinson, 1979年1月20日,培風館『基礎無機化学』
- [2] B.E.Douglas・D.H.McDaniel, 1968年11月30日 東京化学同人,『無機化学—その概念とモデル— (上)』
- [3]福島県立福島高等学校『スライムの化学構造に関する考察』
- [4] 2014年4月14日, 昭和化学株式会社『安全データシート』

# 平面リーゼガング現象を目指して



宮城県仙台第三高等学校 自然科学部化学班 1年 松本 駿佑 畠山 瑞規

## 1 背景と目的

リーゼガング現象の代表例の1つとしてメノウがある。参考文献や先行研究では試験管を用いた研究が多い。試験管を用いた研究であると、メノウの平面のような同心円状のリーゼガング現象は見ることができていない。そこで我々はまずシャーレを用い、同心円状のリーゼガング現象を作成し、観察を行い、さらなるリーゼガング現象の原理を解明したいと考えた。

リーゼガング現象とは層状に沈殿ができる現象



Fig(1) リーゼガング現象例

小さな結晶や縞が堆積物にできたもの



Fig(2) メノウ

## 3 結果

下部からはメノウの平面のような同心円状のリーゼガング現象が見られた。しかし、層は細く、層と層の間が狭くはっきりしていない。上部には膜が形成された。



Fig(6) 上部の写真



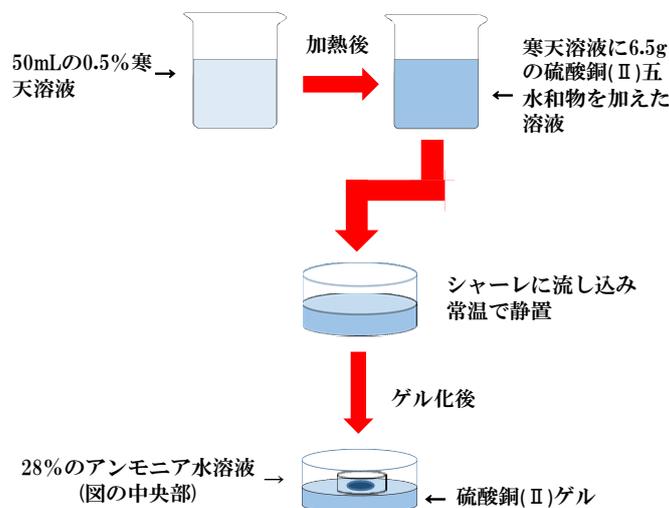
Fig(7) 下部の写真①



Fig(8) 下部の写真②

## 2 実験方法

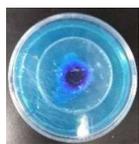
- ①50 mLの0.5%寒天溶液を作成する。
- ②すぐに0.5%寒天溶液に6.5 gの硫酸銅(Ⅱ)五水和物を溶かす。  
※以下このゲルを硫酸銅(Ⅱ)ゲルと呼称する。
- ③硫酸銅(Ⅱ)ゲルをシャーレに等分割し、ゲル化後、硫酸銅(Ⅱ)ゲルの中央部に2 mL程度の28%アンモニア水溶液を注ぎ込む。



Fig(3) 実験図



Fig(4) 硫酸銅(Ⅱ)ゲル



Fig(5) アンモニアを入れたもの

## 4 考察

- ①層が細く、層の間が狭いのは拡散が不十分なためと考えた。または硫酸銅(Ⅱ)とアンモニアとの組み合わせは拡散が細かく、拡散が広がりにくいと考えた。
- ②硫酸銅(Ⅱ)五水和物とアンモニアとの反応は以下のように考えた。
$$4\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + 6\text{NH}_3 \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 3\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 13\text{H}_2\text{O}$$
- ③膜が生成されたのは、気化したアンモニアが硫酸銅(Ⅱ)ゲルと反応し、塩基性硫酸銅が形成されたと考えた。

## 5 今後の展望

- ・実験方法を改善し、層をはっきりとさせ、ゲル上部にリーゼガング現象が見られるようにする。
- ・リーゼガング現象がみられるほかの試薬の組み合わせの実験を行う。
- ・作成したゲルを応用した実験を行い、リーゼガング現象について理解を深める。

## 参考文献

- 1) 東京化学同人「教師と学生のための化学実験」1987年1月10日
- 2) 仙台第三高等学校「ゲル中での結晶作成 結晶生成の数理モデル化の可能性」2017年10月18日
- 3) 学校法人 神奈川大学広報委員会 全国高校生理科・科学論文大賞専門委員会「未来の科学者との対話Ⅹ」p65 駒場東邦高等学校 化学部リーゼ班「美しい縞模様の沈殿を生じるリーゼガング現象」
- 4) 同朋舎「岩石と鉱物」1990年3月20日
- 5) 日本化学会「硫酸銅水溶液とアルカリの反応について」熊井俊彦 相川嘉正 勝山哲雄 根津ふみ子 P232～p236 1972年6月20日



# ろ紙の違いによる金属樹の析出の仕方の変化

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部化学班

1年 井場正貢 高橋諒

## 1. 背景・目的

先行研究<sup>[1]</sup>より、定性ろ紙よりも繊維の細かいガラスろ紙を用いることで、樹枝状ではなく直線状の銅樹が作れるという報告がされている。

他の金属樹でも同様に結晶成長の場を変えることで銅樹と同様に形状の異なる金属樹ができるのではないかと考え、調べることにした。

## 2. 実験

### 金属樹の作成

ろ紙に金属イオンの水溶液をしみこませ、ヘキサンを入れる。その後、亜鉛粒3粒をろ紙の上に乗せる。

共通の条件 亜鉛粒3粒、ヘキサン

銀樹…硝酸銀(Ⅰ)水溶液 3 mol/L, 2 mL

鉛樹…酢酸鉛(Ⅱ)二水和物水溶液 3 mol/L, 2 mL

銅樹…塩化銅(Ⅱ)水溶液 3 mol/L, 2 mL

スズ樹…塩化スズ(Ⅱ)二水和物水溶液 3 mol/L, 2 mL

定性ろ紙とガラスろ紙の場合で比較。

## 3. 結果

表1 それぞれの場合での金属樹の析出の仕方

	銀樹	鉛樹	銅樹	スズ樹
定性ろ紙				
ガラスろ紙				

銀樹 定性ろ紙…比較的曲線状の金属樹。

ガラスろ紙…比較的直線状の金属樹。

鉛樹 定性ろ紙…密集部が多く比較的曲線状の金属樹。

ガラスろ紙…密集部が少なく比較的直線状の金属樹。

銅樹 定性ろ紙…不規則で乱雑な金属樹。

ガラスろ紙…均一で規則的な金属樹。

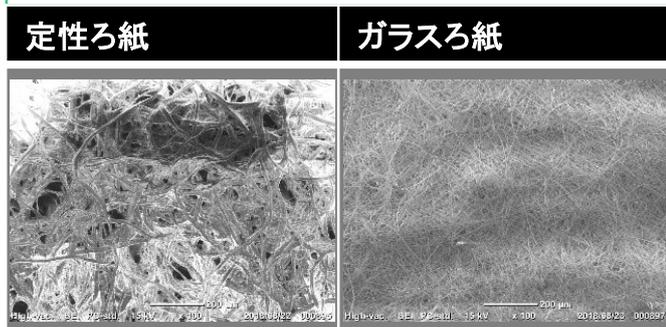
スズ樹 定性ろ紙…直線状の金属樹。

ガラスろ紙…曲線状の金属樹。

## 4. 考察

表2より、ガラスろ紙の繊維が、定性ろ紙の繊維よりも細かく、均一な構造となっているため、金属樹の析出する向きが制限され、異なる形状の金属樹ができる環境となり、2種類のろ紙で異なる形状の金属樹が析出したと考えられる。

表2 定性ろ紙とガラスろ紙の繊維の違い



## 5. 結論

ろ紙の種類を変えて金属樹の析出する環境を変えることで、銅樹以外の金属樹でも異なる形状のものを生成することができる。

## 6. 今後の展望

- 銅樹, 銀樹, 鉛樹  
定性ろ紙…比較的曲線的な金属樹。  
ガラスろ紙…比較的直線的な金属樹。  
スズ樹ではその逆の結果。
- 銅樹, スズ樹  
金属樹を作り始めてからろ紙全体に広がるまで約1日。  
銀樹, 鉛樹  
金属樹を作り始めてからろ紙全体に広がるまで約5日。

1, 2の結果となる原因の解明。  
定性ろ紙とガラスろ紙で析出する金属樹の違いとその金属の性質の関係について調べる。

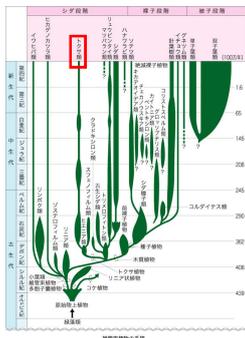
## 参考文献

- [1] 伊藤柚里 2016年12月 『銅樹の異方性と生え方の研究 ～もっと真っ直ぐ平らな面に！ &なぜ金属樹はろ紙の下に生えるのか～』
- [2] 数研出版 2016年度 改訂版 フォトサイエンス 科学図録
- [3] 第一学習社 2009年1月10日改訂 スクエア 最新図説化学

# スギナの生殖

宮城県仙台第三高等学校自然科学部生物班 菅原すみれ 関佐和子 中村優月

## 背景



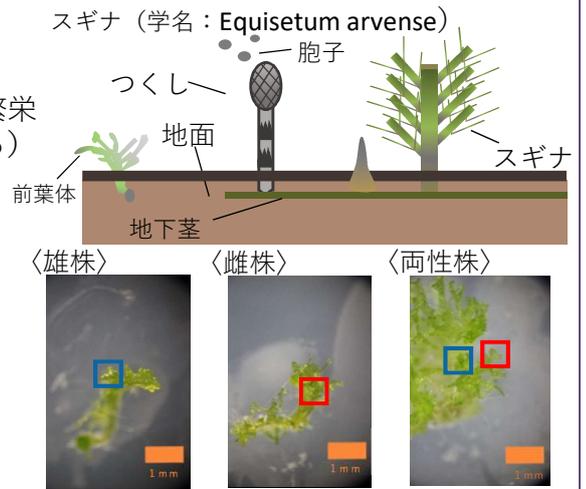
スギナは新生代から現代にかけて広範囲に繁栄 (胞子による)

仮説1：胞子は高密度だと雄株になりやすい  
仮説2：胞子は糖度が高いと雄株になりやすい

実験①

実験②

無性生殖の可能性があるか調べた



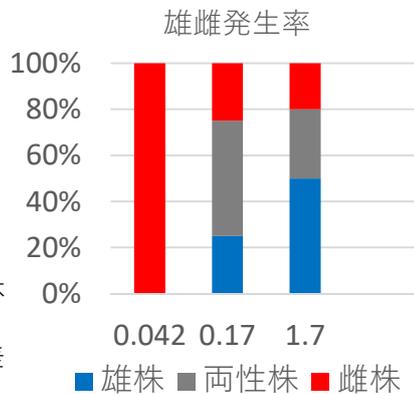
## 実験①

〈結果・考察〉

〈材料・方法〉

密度 個/cm <sup>2</sup>	図
0.042	
0.17	
1.7	

- ・材料  
スギナの前葉体  
寒天培地
- ・方法  
①密度の異なる寒天培地に性分化前のスギナの前葉体をいれる。  
②密度による雄雌発生率の差を調べる。



**高密度ほど雄株が発生しやすい**

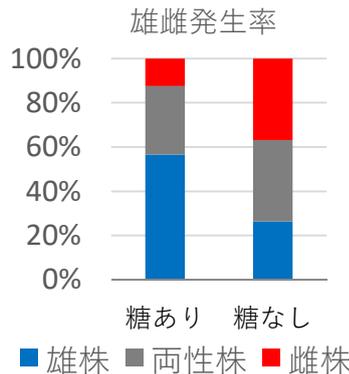
## 実験②

〈結果・考察〉

〈材料・方法〉

糖	図
あり	
なし	

- ・材料  
スギナの前葉体  
寒天培地  
シヨ糖
- ・方法  
①糖ありの培地と糖なしの培地に性分化前の前葉体をいれる。  
②雄雌発生率の差を調べる。



**糖度が高いほど雄株が発生しやすい**

## 結論

- ・密度が高い環境ほど雄株が発生しやすい
- ・糖度が高い環境ほど雄株が発生しやすい

ある場所に発生したものが雄株または雌株のみの場合

無性生殖の可能性

## 展望

- ・無性生殖の可能性  
性分化前の前葉体の染色体数を数える
- ・胞子での繁殖範囲  
飛散距離をシミュレートすることで胞子での繁殖規模を調べる

## 参考文献

系統樹画像 <https://www.pinterest.jp/pin/539587599074368940/>

Equisetum : habitat, structure and reproduction p. 8

J-STAGE トップ/雑草研究/967巻(1967)6号/スギナの生態と防除 二瓶 信男,佐々木 亨,山崎 慎一

# つくばサイエンスアイデアコンテスト 2019 発表要旨

## Abstract for the Tsukuba Science Edge2019

分野／Areas 当てはまる分野に○をして下さい。

物理／Physics 化学／Chemistry 医学・生物／Medical Science・Biology 地学／Earth Science  
数学・情報・コンピューター／Mathematics・Information・Computer その他／Others( )

### 参加者／Participant's Information

【学校名／School Name】 Miyagi prefecture Sendaidaisan high school

【代表者名／Representative's Name】 Kota Sato

【メンバー／Member】 Kota Sato, Riku Shimoyama, Keita Hosokawa, Naoto Chida, Kotaro Kasahara

### 指導教員／Supervising Teacher

【お名前／Name】 Masami Kawarada

### 発表内容／Abstract of the Presentation

【タイトル／Title】 Improvement of the accuracy of visible light communication

【背景／Background】 Visible light communication is the method of communication which uses flashing of an electric bulb. By flashing the light, it can show a signal of 0 or 1. There are some better features in visible light communication. The first one is it doesn't use radio waves as the resource, and there are limits to using radio waves. Another one is we can set it up cheaply by attaching it to lighting equipment<sup>2)</sup>. From the above reasons, it can be used more practically. For example, though radio communications have trouble with being used in water and tunnels, visible light communications are able to do so. Not only can it be used in water and tunnels, but it can be used in various areas such as space. (Fig.1) However, it has a bad point which is that mixing with ambient light occurs. So our experiment was to decrease the effect of ambient light on this communication.

【目的／Purpose of the research】 [Ex.1] According to previous research, visible light communication is affected by ambient light and communication is disturbed<sup>1)</sup>. But, it isn't clear that the difference of the effect on the visible light communication is caused by differing in ambient light. So, the purpose of this experiment is to research the difference in effect due to differing kinds of ambient light and why communication is disturbed. [Ex.2] From "Ex.1", we found out the factors which disturb communication differ according to the difference in the kind of ambient light. So we hypothesize that we can remove the ambient light by an optical filter. (Fig.6) So the purpose of this experiment is to remove the ambient light using the optical filter.

【研究計画／Research plan】 [Ex.1] We send a signal which is a loop of "abcde" ;we will call this the basic signal(Fig.3), from a transmitting PC to a receiving PC by orange LED(590nm). Then, We use two kinds of ambient light. One is a signal which is a loop of "12345", which is different from the basic signal light by green light. (502nm); we will call this method 1. The other is strong light using a flash light; we will call this method 2. First, we disturb the communication with method 1.Second, we disturb it with method 1. We measure the success or failure of communication and the receiving wave by oscilloscope. (Fig.2) [Ex.2] The method of this experiment is the same as "Ex.1". We prepare optical filters of which one lets through 570nm~, and the other lets through ~610nm.So, when they superimposed, they can through pass wavelengths from 570 to 610 nm<sup>3)</sup>.(Fig.7) Then we layer two optical filters in front of the receiving PC to limit receiving wavelength.

# つくばサイエンスアイデアコンテスト 2019 発表要旨

## Abstract for the Tsukuba Science Edge2019

【研究結果または予測／Results of the study (Report of progress can also be acceptable)】 [Ex.1] The figure of the signal when communicating with method 1(Fig.4) was disturbed compared to when we send basic signal. It is because the two signals mixed. So, communication failed. On the other hand, the figure of the signal when we communicated with method 2(Fig.5) was disturbed too. Communication failed because it received too much light to communicate. According to the above results, the factors which disturb communication are different according to the different kind of ambient light. [Ex.2] Each method was able to communicate accurately. In method 1, ambient light is removed almost perfectly (Fig.8). It is because the optical filter has the ability to prevent light which has another wavelength from passing. So it is considered that the light which is used in method 1 is removed. In method 2, the amount of ambient light is able to be decreased (Fig.9). It is thought that this is because the extra wavelengths of light are removed in accordance with that ability.

【今後の展望／Future study plan】 It is possible to decrease the effect caused by ambient light on visible light communication. So it is said that we need a device like an optical filter when we use it. However, it is troublesome to choose a suitable optical filter. So it is necessary to make a device which distinguishes between wavelengths.

### 【参考文献／References】

1) 「可視光を利用したトランスミッタの試作」

<http://www.tetras.uitec.jeed.or.jp/files/data/201001/20100105/20100105.pdf>

2) 「可視光通信とは」

<http://www.naka-lab.jp/vlc/aboutvlc6.html>

3) 朝日分光株式会社

<https://www.asahi-spectra.co.jp/>

※オーラル及び英語ポスター発表は A4 用紙 2 枚まで(別紙で写真や図がある場合は A4 用紙 5 枚まで)

※日本語ポスター発表は写真や図を含み、A4 用紙 1 枚まで。

つくばサイエンスアイデアコンテスト 2019 発表要旨  
 Abstract for the Tsukuba Science Edge2019

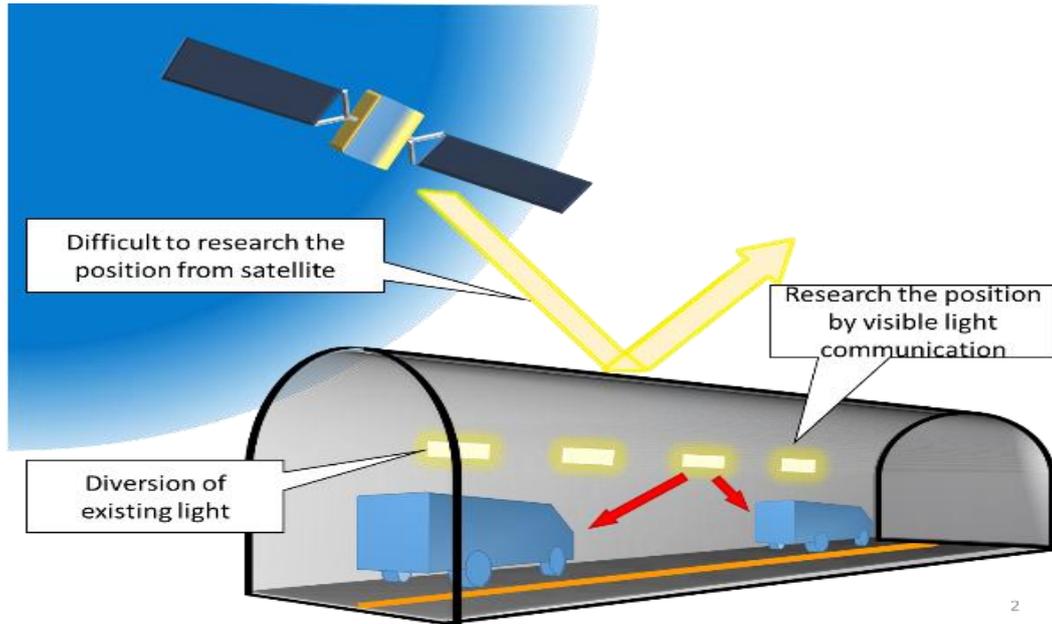


Fig1 Usage example of visible light communication

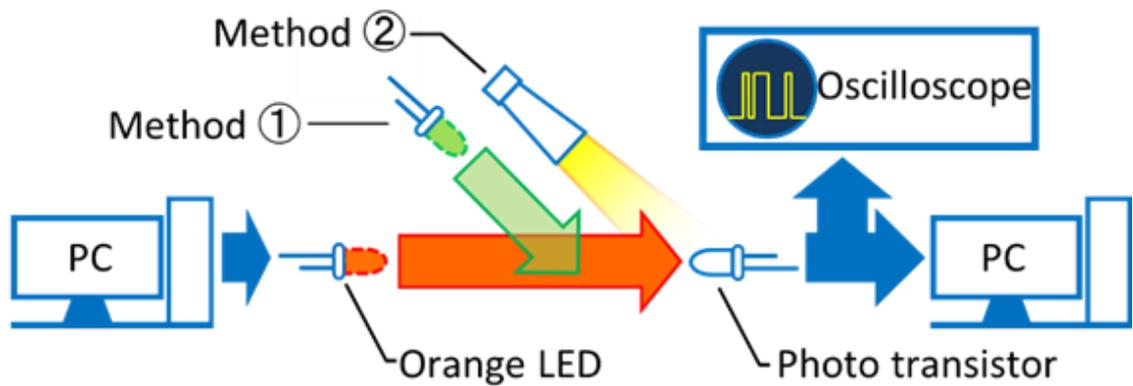


Fig.2 experimental equipment

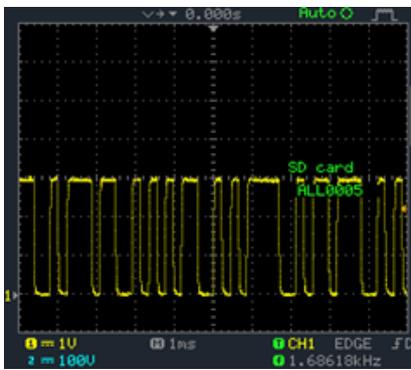


Fig.3 receiving wave of basic signal

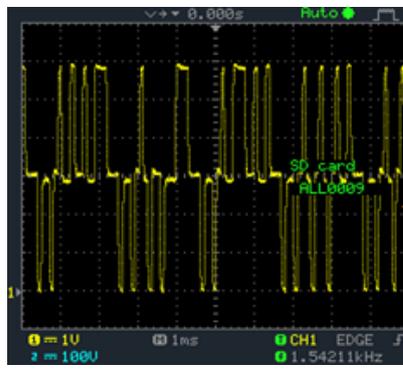


Fig.4 result of experiment 1 with method 1

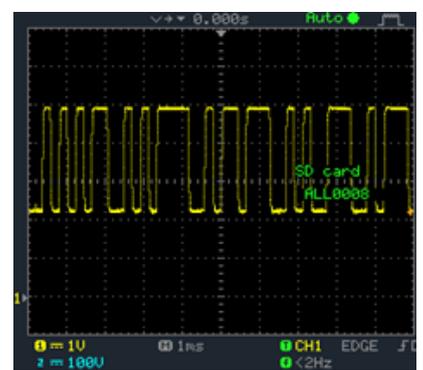


Fig.5 result of experiment 1 with method 2

# つくばサイエンスアイデアコンテスト 2019 発表要旨

## Abstract for the Tsukuba Science Edge2019

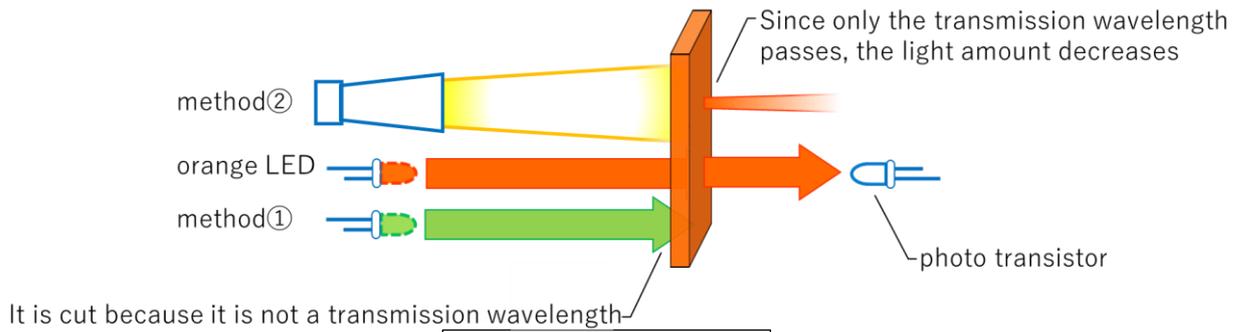


Fig.6 our hypothesis

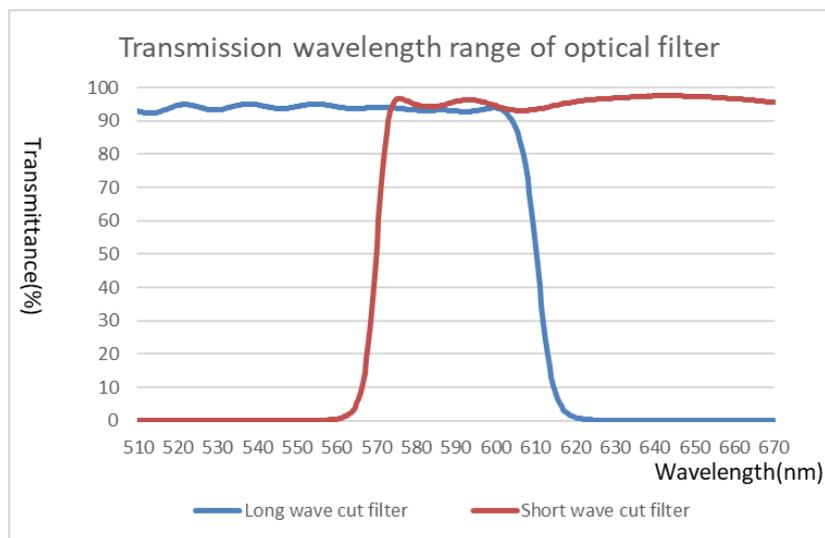


Fig.7 Transmission wavelength of optical filter

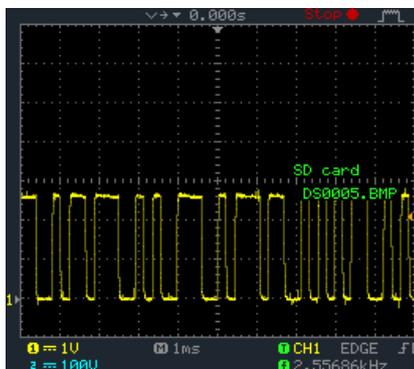


Fig.8 result of experiment 2 with method 1

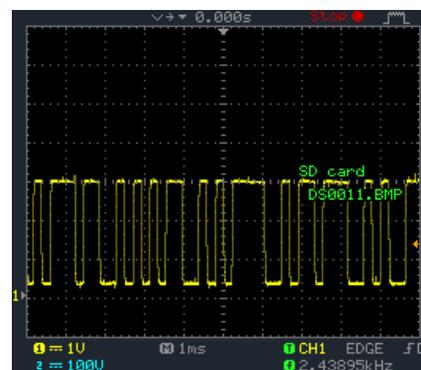


Fig.9 result of experiment 2 with method 2

# つくばサイエンスアイデアコンテスト 2019 発表要旨

## Abstract for the Tsukuba Science Edge2019

分野／Areas 当てはまる分野に○をして下さい。

物理／Physics 化学／Chemistry  医学・生物／Medical Science・Biology 地学／Earth Science  
数学・情報・コンピューター／Mathematics・Information・Computer その他／Others( )

### 参加者／Participant's Information

【学校名／School Name】 宮城県仙台第三高等学校

【代表者名／Representative's Name】 馬渕 多恵

【メンバー／Member】

### 指導教員／Supervising Teacher

【お名前／Name】 田中 恵太

### 発表内容／Abstract of the Presentation

【タイトル／Title】 浄化センター処理水が広瀬川河川珪藻に与える影響

【背景／Background】

先行研究より広瀬川の水質調査結果は BOD で比較すると一般的に汚濁度の少ない河川とされているが、BOD 等における水質調査では長期的な河川の影響を正しく計測することが難しい。また、中流域にある広瀬川浄化センターからの処理水の影響に関する先行研究はみられなかった。

【目的／Purpose of the research】

珪藻の種類によって優占する場所の水質の汚濁の度合いが異なることを利用した水質調査である「識別珪藻群法」を用い、広瀬川浄化センターから広瀬川に流れる処理水の影響を明らかにすることを目的とした。

【研究計画／Research plan】

浄化センターからの処理水が川の水質にどれほど影響するかを調べるため、①「浄化センター手前の本流上流地点」、②「支流のセンターの排水合流地点」、③「排水合流後の本流下流地点」の3地点の汚濁階級指数を比較した。

【研究結果または予測／Results of the study (Report of progress can also be acceptable)】

調査した珪藻は①72 匹、②167 匹、③74 匹であり、汚濁階級指数は①2.646、②2.796、③3.088 となった。①、②の汚濁階級は  $\beta / \alpha$  - 中腐水、③の汚濁階級は  $\alpha$  - 中腐水を示した。1985 年には名水百選にも選ばれている広瀬川の中流域である①は貧腐水であると考えていたが、予想と異なる結果となった。また、①、②の値よりも合流後の③の値が高くなっていることから、浄化センターからの処理水による汚濁の影響は少なからずある可能性が示唆された。

【今後の展望／Future study plan】

今回は光学顕微鏡を用いた方法で、珪藻類の同定を行ったため、種の同定が困難なものに関しては東京学芸大学真山教授のアドバイスを受けた。今後は電子顕微鏡を用いた同定を行うことで、さらに正確な値を求めたいと考えている。また、上流域や下流域の珪藻の同定も行っていくことで広瀬川全域における長期的な汚濁の状況が見えてくると考えた。

【参考文献／References】

珪藻の世界 [www.u-gakugei.ac.jp/~mayama/diatoms/Diatom.htm](http://www.u-gakugei.ac.jp/~mayama/diatoms/Diatom.htm)

多摩川における過去と現在の珪藻から示される水質の変化 東京学芸大学 里見研悟, 真山茂樹 他

# 高校生による小学生のためのプログラミング教室 ～2020年教育改革へ向けて～

宮城県仙台第三高等学校 SSHクラブ情報班

3101 阿部健人 2234 小澤知夏 2225 高橋怜汰 1239 平岡菜月美 1531 後藤萌音 1540 渡邊郁香

## 背景

2020年度より小学校でのプログラミング教育の導入が決定

小学生はプログラミングに対してどのようなイメージを持っているか？  
高校生は小学生に年齢が近い分、小学生に寄り添える

小学生向けプログラミング教室の開催

## 目標

小学生にプログラミングに興味を持ってもらいたい

楽しんでもらうための授業プランニング

## 今後の展望

継続してプログラミング教室を開催

プログラミングに対する抵抗感を軽減

文系・理系問わず必要な能力

小学生のうちから身に付けさせる

地域への貢献

- ・小学校での出張教室開講
- ・現場教育者へ向けて発表

プログラミングの楽しさを広める  
論理的思考力の向上

## 方法

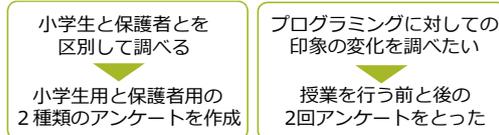
プログラミング教室を開講するにあたり以下の手順で検討、実施した。

### 1.必要なデータは何か

表1:必要なデータ一覧

小学生	保護者
興味があったか	興味がある様子だったか
前後の印象の違い	前後の印象の違い
得意な教科	教えようと思っていたか
疑問点	改善点

### 2.データの集計方法



### 3.講座の内容

#### 1)教える内容

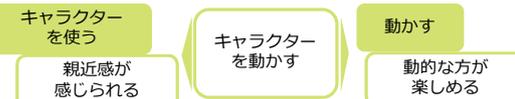


図2:プログラミング教室で教える内容作成の観点

#### 2)使用する言語



### 3)授業の流れ



図3:授業の流れ

### 4)資料の作成



図4:小学生向け配布資料  
低学年用(左) 高学年用(右)



図5:教室終了後に配布した終了証

### 5)宣伝



- ・仙台一二三高PR行進(事前)
- ・看板持って校舎巡回(当日)

図6:校舎での宣伝に使用した看板

### 6)模擬授業の実施



図7:模擬授業の様子

実施理由

- ・講座内容を一致させる
- ・教員からのアドバイス
- ・流れの最終確認

### 4.講座当日



図8:当日の授業の様子

午前の部 } 計16組  
午後の部 }

## 結果・考察

プログラミングに対するイメージについての自己評価点の平均に事前と事後の差があるかどうかをみるために、対応のあるt検定を行った。

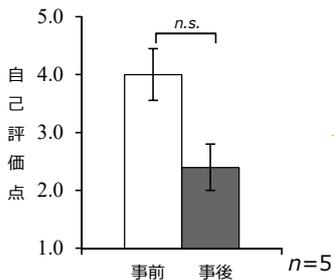


図9:1回目の難しさについての自己評価点の平均

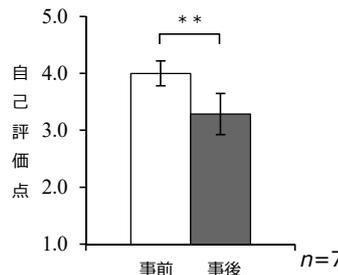
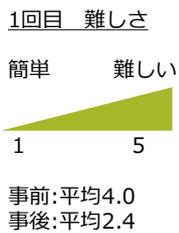


図10:2回目の難しさについての自己評価点の平均



有意確率: 2回目 < 1回目

1回目:  $p = .099$   
2回目:  $**p = .008$

$p < .01$  を満たす  
⇒結果の高い信頼性

- ・プログラミングに対して難しいというイメージを持つ人が減った
- 楽しい授業でプログラミングに対する良いイメージを増加させられる

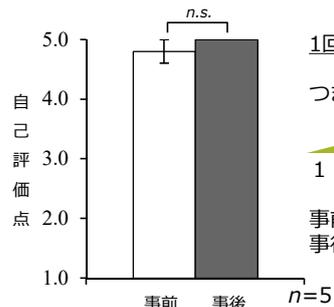


図11:1回目の楽しさについての自己評価点の平均

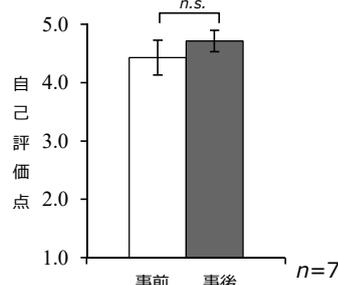
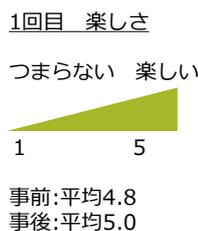


図12:2回目の楽しさについての自己評価点の平均



天井効果→変化が小さい

講座前でも楽しそう  
という印象は持っていた

- ・小学生はプログラミングに対して良いイメージを持っている
- イメージダウンさせない授業を提供する必要がある

教える側も幅広い興味を持つことが大切

## 参考文献

- 「小学生からはじめるわくわくプログラミング」阿部和広 2013 7・29 日経BP社
- 「小学生からはじめるわくわくプログラミング2」倉本大貴・阿部和広 2016 5・17
- 「先生のための小学校プログラミング教育がよくわかる本」利根川裕太・佐藤智 2017 8・7 株式会社 翔泳社

## IV 研修

SSつくば研修

SS白神フィールドワーク

# ロボットが救う高齢社会

仙台第三高校SS筑波研修1班

鈴木涼介 田端竜之介 野崎真悟 阿部太陽 錦部颯太 渡辺友貴 池田康大 松田歩樹

## まとめ・考察

HALをはじめとするロボットが労働力を補う



HALがロボット社会の引き金となる

## CYBERDYNE社の概要

今から28年前の1990年日本の社会課題を改善するために開設。彼らは特に高齢化に着目し、生体電子信号を読み取り人間の動きをアシストするHAL®を開発。



HAL3  
発表以降、  
海外とも協力をし、  
現在では医療や災害と  
いった場で活動を展開  
している。



fig.1 サイバーダインスタジオ  
← fig.2 HAL3(初めて公の場に)

## 1. 脳波の正常化

### <実例>

あるドイツ人が交通事故により、下半身麻痺になった。



そこでHALを装着して歩行の訓練を3か月間実施した

すると...

杖を使用した歩行ができるようになった！！

Q. なぜドイツ人の方は身体機能が回復したのか？

A. HALを装着して正しい動作をすることを繰り返すことにより、乱れた脳波が回復する！！

これまでのHALは…

身体機能の回復、身体機能の補助が目的



現在・・・

障がい者用のHALも開発中！

障がい者用HALについては、現在筑波大学で研究中であるので詳しくは分からないが、早く実装される事を期待したい。

## 2. 障がい者のサポート

加齢によって身体機能が衰えた人や介護者の補助に役立つ。

- 例：
- ・歩行の補助
  - ・物の持ち運び
  - ・車いすからの移動 など

本来装着者が持てる重量の…

**4倍！**

を持ち上げられる！！！！

## 参考文献

・ <https://www.cyberdyne.jp/> CYBERDYNE公式ホームページ

# HALが切り拓く未来

2班 1734 笹木 瞳 1139 目黒杏樹 1239 平岡菜月美 1430 郷家未明  
1137 三品彩乃 1431 菅澤瑛美 1526 太田有紀 1534 寺嶋美香

## CYBERDYNEとは

最新の技術を使い、人の動きの支援・補助を目的としたロボット「HAL」を作り、研究している株式会社。



## HAL (Hybrid Assistive Limb) とは

- ・身体機能の補助
- ・世界初のサイボーグ型ロボット

### ◎HALの仕組み

脳で考える



信号を送る



読み取る



動く



## HALの社会貢献

身体機能の改善、再生、補助…下肢タイプ、腰タイプ

脳神経・筋疾患の患者への治療

ロボットフィットネス

災害時でのレスキュー、重作業



## まとめ・考察

今はまだ、私たちにとって遠い存在である「HAL」だが、さまざまな試みが成功すれば、私たちに身近な存在になるだろう。

## CYBERDYNE STUDIOでの学び

### 現在のHALについて

〈使われ方〉

アメリカなど→医療機器として認定  
日本→神経難病の人のみ

〈現在までの歩み〉

1, 2号機→ケーブル付き  
3号機 →**外出可能**  
6号機→両手160kg持てる

### これからのHALについて

手にも使えるように

動く義足

小型ロボットとの連動

c・モーターの素材改善

コスト削減、大量生産→個人へ



## 参考文献

CYBERDYNE公式ホームページ <https://www.cyberdyne.jp/>

# 筑波大学へ行こう！

3班 菅野綾花 鈴木美優花 高橋風美子 大谷瑞貴 大村碧 白石愛実 菅原菜々美

## 研修内容・事前調査

筑波大学は、国内外の教育・研究機関と連携して、多様かつ柔軟な教育を行うことで、創造的な知性と豊かな人間性を兼ね備えた人材を育成する。流動的な現代社会に対応するため、国内外に開かれた大学であることを基本的性格とする。



## まとめ・考察

- ・豊かな自然と、広いキャンパスで充実した大学生活を送っていた。
- ・図書室が自習スペースがたくさんあり、学習環境が整っていた。
- ・実際に大学を見学して、進路を考えるきっかけになった。



図書館の様子

## 現地での研修内容

- ・広大な敷地の中を歩きながら、仙台三高のOBの方にお話をして頂いた。
- ・敷地内には、パン屋さんや本屋さん、コーヒーショップなどがあった。
- ・図書館ではたくさんの学生がレポートの作成や、勉強をしていた。
- ・自転車での敷地内の移動が多い。
- ・留学生の受け入れも多かった。



パン屋さん



豊かな自然

## 社会との関わり

- 社会との関わりの例として、
- ・宮城県山本町で、コミュニティ再生のための取り組みやヘルスカウンセリングの実施。
  - ・子供たちが科学に触れるきっかけづくりのための、筑波大学生・大学院生によるサイエンスワークショップの実施。
  - ・学生ボランティアによる震災復興の支援。
  - ・一般の人も使うことができる体育館があった。



キャンパス内

## 参考文献

復興・再生支援活動 社会貢献・地域連携 筑波大学 <http://scpj.tsukuba.ac.jp/program/>  
筑波大学 - 大学案内 - 見学の理念 <https://www.tsukuba.ac.jp/about/concept.html>

# JAXAの宇宙研究

仙台第三高校つくば研修4班

1216 斎田響 1211 金田一啓太 1501 相川太郎 1510 鹿野陽嵩  
1122 萩原夏樹 1206 小野寺柊人 1805 小久保翼 1210 菊地輝 1212 甲田真大

## まとめ・考察

JAXAの研究や探査機の成果



将来の宇宙産業の発展につながる！

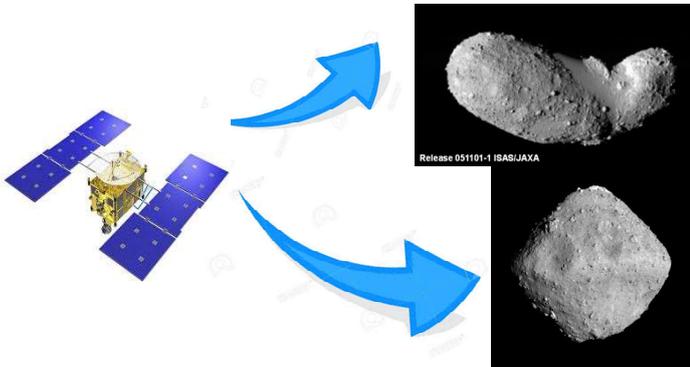
## 目的

日本最先端の技術を持つJAXAの社会、世界への貢献を知るため。

## JAXAとは

宇宙、惑星、生命の起源と歴史を解き明かすために、天体観測や人工衛星の打ち上げなどを行っている組織である。

## はやぶさプロジェクト

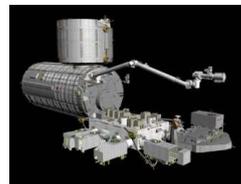


地球の起源を探るため、2003年、イトカワ、に打ち上げられた。地球重力圏外にある天体の固体表面に着陸してのサンプルリターンに、世界で初めて成功した。また、2014年に後継機のはやぶさ2がリュウグウへ向け、打ち上げられた。

## 現地での研修内容

**きぼう**・・・日本の宇宙実験棟で、国際宇宙ステーション (ISS) の一部。実験ラックを使用して微小重力環境や宇宙放射線などを利用した科学実験が行われている。

**こうのとり**・・・国際宇宙ステーション (ISS) で使う各種実験装置や宇宙飛行士の食糧や衣類の輸送業務を担う無人宇宙補給機である。



## 社会とのかかわり

- ・気候変動の予測
- ・温室効果ガス量の観測
- ・GPSを利用したインターネットなどの通信技術の向上



## 参考文献

JAXA | 筑波宇宙センター [www.jaxa.jp/about/centers/tksc/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/about/centers/tksc/index_j.html)

宇宙開発利用の成果活用による社会貢献事例（代表例） [www.jaxa.jp/about/iso/img/spinoff.pdf](http://www.jaxa.jp/about/iso/img/spinoff.pdf)

# KEKがもたらす産物

仙台第三高校 種田悠真 早坂啓 佐藤勇真 高橋祐一郎 佐藤杏哉 菅井翔 太田裕也 小野寺玲央

## 目的

加速器から得られるものがどのように研究に活かされていて、貢献されているのか調べたい。

## 研究の方法

KEKで放射光研究について学び、得られた知識をもとにその原理などを解き明かしてその考察をする。

## 背景

放射光とは電子が磁場によって曲げられるときにその軌道の接線方向に発せられる電磁波である。近年では放射光を用いた研究が進められている。



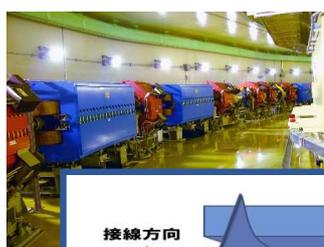
## KEKとはどんな場所？

KEKは加速器と呼ばれる装置を用いて基礎科学を推進する研究所である。そもそも加速器とは陽子、中性子などの物質または場を構成する小さな粒子である素粒子を加速する装置であり、例として、陽子加速器でつくられる中性子やミュオンと呼ばれる粒子を使って物質の成り立ちや生命体の活動の仕組みを解き明かすための実験が可能になる。

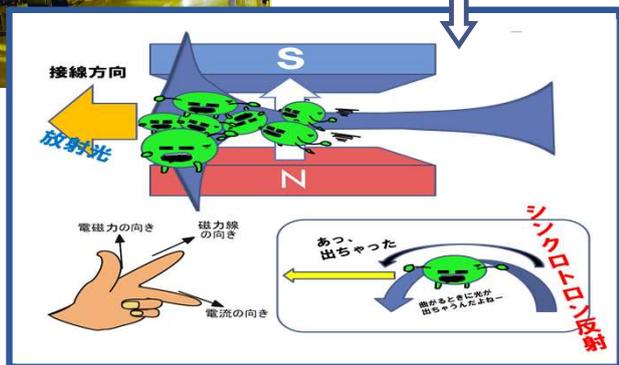


## KEKの産物、放射光！

◆どのようにして放射光を作り出す？



電磁石と電子が関わっている！



○これまでは...

素粒子研究のための加速器にとっては、エネルギー損失で「厄介者」と考えられていた

○今では...

物質・生命科学にとっては他には得られない「夢の光」と言われている

○放射光を利用すると...

1)物質の種類や構造、性質を詳しく知ることができる。

様々な環境下での物質の構造や性質、及びその時間変化の様子を詳しく知ることができる。

化学反応や物質変化の起動力として用いることができる。

## 社会との関わり

KEKは自然界に働く法則や物質の基本構造を探求することにより、人類の知的財産の拡大に貢献している。その他に、国内外の研究者に共同利用の場を提供し加速器科学の最先端の研究や、関連分野研究を進展させている。

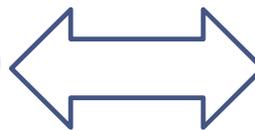
2) **新素材の開発や強化、表面処理などの工業技術から、がん等難病の診断・治療まで活用！**

## まとめ・結論

・加速器から得ることができる放射光は昔は無駄なものと考えられていたが、現在は物質研究、及び医療等にも役立てられ重要なものと考えられるようになった。

・加速器を用いた研究は今後さらに発展し、進められいまだに解明されていない宇宙の起源などを解明されるきっかけにもなるとされる。

加速器



宇宙  
物質

## 参考文献

1) [http://www.spring8.or.jp/ja/about\\_us/whats\\_sr/utilization\\_sr/](http://www.spring8.or.jp/ja/about_us/whats_sr/utilization_sr/)

2) <https://www.kek.jp/ja/SocialContribution/TechnologyApplication/>

# KEKが開く未来

仙台第三高校 横澤蓮 海野将輝 土田新晟 伊藤堅祐 奥山拓海 佐藤柊斗 小杉冬馬 松井颯 山脇丈人



大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

## 目的

KEKが加速器を用いてどのような研究を行い、どのような面で社会貢献をしているのか興味を持ち調べることにした。

## KEKとは

高エネルギー加速器研究機構【KEK】では、加速器と呼ばれる大型の装置を用いて研究を行っている。加速器を開発・運営する加速器研究施設、研究を推進する素粒子原子核研究所などがある。

## 加速器の仕組み

電場内で粒子にエネルギーを与え粒子の速度を上げるのが加速器で、粒子を光速に限りなく近い速さまで加速させ高いエネルギー状態にさせるのが高エネルギー加速器である。

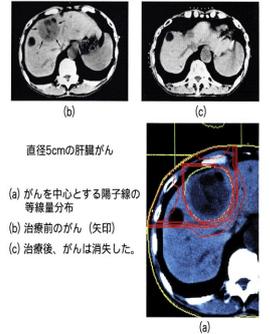


図1 元素分析の原理

## 社会との関わり

KEKの加速器研究は、身の回りの様々なことに応用されている。

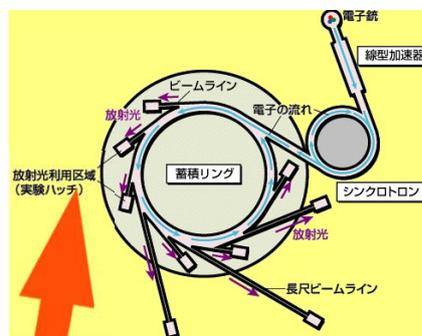
- ・新素材の開発
- ・がん等難病の早期発見や治療
- ・再生可能エネルギーの実用化
- ・表面処理の工業技術への活用



直径5cmの肝癌  
(a) がんを中心とする陽子線の等線量分布  
(b) 治療前のがん (矢印)  
(c) 治療後、がんは消失した。

KEKの実験は、国際的な協力と競争の中で世界トップレベルの水準を保っている。加速器施設のさらなる大規模化や計画の長期化に伴い、より一層グローバルな協力と有能な若者の育成に努めている。

## 放射光加速器



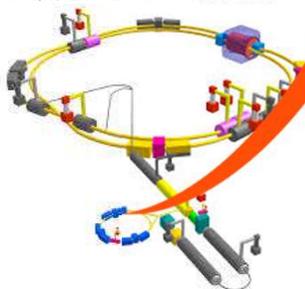
加速器で加速した電子を曲げることで発生する紫外線やX線などの放射光を用いて、測定器とは異なる実験を行っている。

## まとめ

KEKでは、最先端の加速器を用いて宇宙の始まりや生命の根源などを追及するだけでなく、最先端の科学技術によって身の回りの様々なことへ役立てているということが分かった。

## KEKの設備

- ・ superKEKB加速器  
KEKでの研究の軸となる加速器。電子と陽電子を加速、衝突させることによって発生する粒子を調べる。
- ・ Belle II 測定器  
加速器の中でも重要な役割をもつ設備。B中間子の崩壊の様子を調べ、新しい物理法則を発見しようとしている。



## 参考文献

KEK | 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 <https://www.kek.jp/ja/>  
エンジョイ! デブライフ <https://www.debulife.com/entry/2017/09/22/190635>

# 産総研の謎を探る

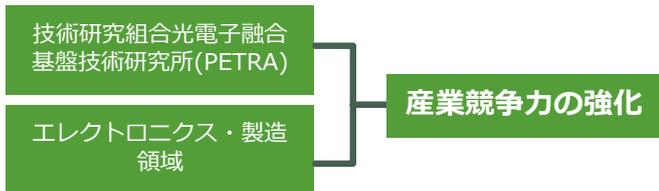
7班 2119佐藤貴太 2121佐藤洸太 2110尾形海 2105一関蒼  
2234小澤知夏 2120佐藤京 2132我妻龍樹

## はじめに・背景

国立研究開発法人産業技術総合研究所は、国内最大級の公的研究機関として日本の産業や社会に役立つ技術の創出とその実用化や、革新的な技術シーズを事業化に繋げるための「橋渡し」機能に注力している。そこで、産総研が今後日本の産業をどう発達させていくのかを解明したい。

## 研修内容・事前調査

エレクトロニクス・製造領域では、変化する「ものづくり」をリードする革新技術と題し、産業競争力の強化に貢献する研究が行われている。



## 社会との関わり

### ①情報・人間工学

大量のデータを解析し意味のある情報を引き出して利活用する、ビッグデータを用いた人工知能を開発するため、以下の研究を行っている。

- ・脳波で難病患者の意思伝達を支援する研究
- ・赤外線にカラーを加え、写真に近い状態で暗視撮影をする研究



オウムを被写体にしたセロリクス属の撮影例

### ②生命工学

新たな健康評価技術や創薬推進技術の開発、あるいは個人の状態に合わせて健康維持・増進・回復を推進する様々な技術を開発しています。



高分子の光修復



創薬ロボットの概要

## まとめ・考察

産総研は民間企業と国が一体となって技術の開発・発展に貢献していることや、技術の開発だけでなく、様々な企業や大学と連携することによって革新的な技術の「橋渡し」をしていることによって産総研がこの国の技術開発に大きく貢献していることを今回の調査で知ることができた。



## 現地での研修内容

### ①計量標準

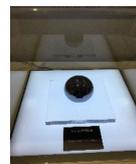
現在のキログラム原器は白金イリジウム合金から作られているが、人工物であるため質量が変化してしまう…



キログラムの再定義に向けて産総研では現在地球上で最も完全な球体である超精密なシリコン球を用い、世界最高水準の精度でのアボガドロ定数の測定に成功！



キログラム原器 (レプリカ)



シリコン単結晶球

### ②地質調査

地質情報を基礎として、地球環境の保全、資源・エネルギーの開発、地質災害の軽減などに関連するさまざまな問題を解決するための技術を開発します。



鉱物でみる周期表



デモスチルス

## 参考文献

産業技術総合研究所HP : <https://www.aist.go.jp>

# 産総研について

仙台第三高校 太田惇暉・辻本武・山下祐輝・長瀬楓・引地勘太・松崎一将・小林伽乃・佐藤優和

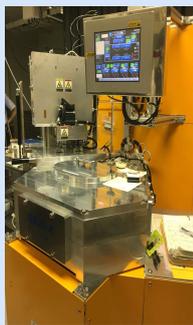
## はじめに・背景

産総研は、日本の産業技術を先導する研究所である。

今回、私たちは筑波研修の目的の一つである理数系領域への関心を深化するため、産総研を訪問する。そして、研究の専門家に会い現在の研究に触れることで、今後の課題研究や探求活動をより多方向から行えるようになるだろう。

## 研修内容・事前調査

エレクトロニクス・製造領域では、IT機器の大幅な省エネ化と高性能化の両立を可能とする世界トップ性能のデバイスの開発や、省エネ・省資源・低コストな産業活動の実現を可能とする革新的な製造技術の開発に尽力している。



富永 淳二さんの研究室→

## 現地での研修内容

案内してくださった人→三高OB 富永淳二さん  
 ・これまでのハードディスクよりも消費電力が少なく、長時間記録消去が可能な「超格子型相変化メモリ」の研究開発

→エネルギーロス を 1/100 まで抑える構造を考案し、1/12 の省エネ化が可能であることを実証

・電子回路を印刷技術で作るプリンテッドエレクトロニクスの研究開発

→この技術が実用化された場合、薄い・丸められる・軽い・の三要素を持つ電子機器が実現するかもしれない。

・新たな1キログラムの基準を再定義するための研究

→精密なシリコンボールを用いたアボガドロ定数の測定を目指す。



## まとめ

産総研は、最先端の研究施設や設備が備わっており、その研究成果は、私たちの生活と密接に結びついていることが分かった。

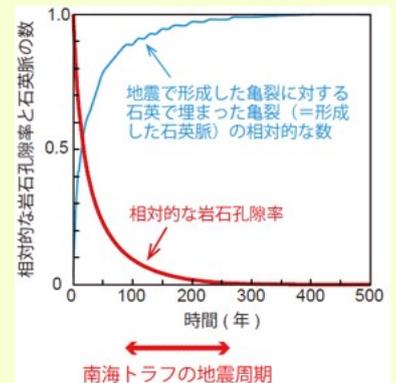
サイエンススクエアで展示されていた研究内容は、将来の可能性を広げてくれるはずだ。

## 社会との関わり

産総研は災害・環境問題・生命（医療）などの世界問題についても積極的に貢献している。

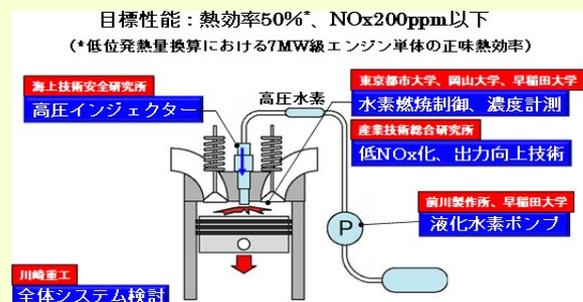
### ◎災害面

石英脈の形成が地震の発生周期に関係している可能性を示唆（図1）



### ◎環境問題

新しい燃烧方式の水素エンジンの開発（図2）



(図2)

### ◎生命部門

水溶性高分子によって「痩せるホルモン」と呼ばれるGLP-1の分泌を促進させる作用があることを発見

→内臓脂肪量減少・体重増加抑制効果の確認。メタボリックシンドローム、特に糖尿病の新たな予防・治療手段になることが期待されている。

## 参考文献

産総研HP <https://www.aist.go.jp/>

## はじめに・背景

私たちは材料工学に興味を持った。そこで、世界でもトップクラスの材料研究機関NIMSの、宇宙の厳しい環境でも耐える宇宙関連素材、長周期地震動に対応可能な制振ダンパーの研究の見学、調査を行った報告をする。

## 研修内容・事前調査

### ①低温試験

極低温(4~20K)における材料の機械的特性評価とデータシートの発行及び極低温用構造材料の開発をしている。<sup>1)</sup>

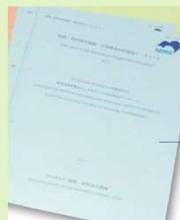
### ②制振ダンパー

この製品は、現在一般的に使われている鋼材の疲労耐久性を約10倍に高めた新合金を用いている。<sup>2)</sup>

## 現地での研修内容

### ①低温試験

主に外部機関から依頼された金属材料の変質や耐久性などを調査する。金属の引張、破壊靱性、高サイクル疲労、低サイクル疲労、き裂進展の試験を行っている。



データシート

### ②制振ダンパー

ビルは東日本大震災などの大きな横揺れに弱い。そのため巨大地震を何度も耐えるために形状記憶合金(Fe、Mn、Si、Cr)というものを開発した。なお、制振ダンパーの開発期間は15年間、その内、本製品には5年費やしている。



制振ダンパー心材

## まとめ・考察

- ・低温試験には様々な種類があり、材料の性質を様々な観点から調査できる。



### 材料の適性を知り、産業に貢献

- ・形状記憶合金を用いた制振ダンパーの開発に成功。



### 建物の長寿命化、安全化

## 社会との関わり

### 低温試験

実験結果のデータシートを発行しており、インターネットでも見ることができる。また、ロケット開発に大きく貢献したことからJAXAから感謝状が送られた。



H-IIBロケット

### 制振ダンパー

2015年11月に新型制振ダンパーを装着したJPタワー名古屋が名古屋駅前に建設された。形状記憶合金を使用しているため複数回の巨大地震でも交換不要。



JPタワー名古屋の制振ダンパー

## 参考文献

1)NIMS「研究項目」<http://www.nims.go.jp/cmgi/item.html>

2)NIMS「世界最高峰の疲労耐久性を有する新合金を用いたビル用制振ダンパーを開発「JPタワー名古屋」に初適用」<http://www.nims.go.jp/news/press/2014/05/p201405130.html>

# ～NIMSの社会貢献～

10班 今野倫瑠 萩原遼馬 後藤麗輝 畑中温尊 佐々木勇誠 中川涼賀 後藤大翔 富永万作

## はじめに・背景

材料と物質の汎用性**高**  
→エネルギー・資源問題  
の解決の糸口へ...

NIMSでは物質・材料技術水準**向上**を目指し  
**日本最先端の研究**を行っている  
→持続的な社会構築に材料面から貢献へ...



## 事前学習のまとめ・考察

NIMSは地球規模の課題の解決ナノサイズ特有の物質特性等を利用して、再生可能エネルギーの利用を促進するためや省エネルギーに資する新材料環境負荷の低い新材料、希少元素の減量・代替・循環のための新材料などのような研究に取り組んでいた。



## 研修内容・事前調査

NIMSのテーマ→「明日を創る材料研究」  
～現在～

熱

運動

光

問題解決

## 現地での研修内容

- ・高性能ダンパー  
→地震から建物を長期間守る
- ・クリーブ試験  
→高圧・高温に金属をさらしどの程度耐久できるか測る
- ・太陽電池  
→厚さを100分の1にシリコンの量も大幅カット他にも様々なものが...

## 社会との関わり

～代表的な研究成果～

- 「サイアロン蛍光体」  
→LEDで**省エネ**に貢献
- 「超耐熱合金」  
→ジェット機1機の燃費を年間**1億円**削減
- 「スマートポリマー」  
→高度な医療を**いつ・だれにでも**届けられる



## 研修後のまとめ

NIMSは

生活に必要不可欠な物質・材料の研究

↓  
研究をもとに製品開発

↓  
社会貢献へ

## 参考文献

<http://www.nims.go.jp/> NIMS | 国立研究開発法人物質・材料研究機構

# ブナ林の毎木調査

1班 古藤和佳，萩原菜月，馬淵多恵，後藤萌音，赤坂瑠南

## 背景

仙台三高は十二湖周辺の毎木調査を12年間行っている。昨年の調査では、今後どんな種類の植物がギャップを埋めるかを考察した

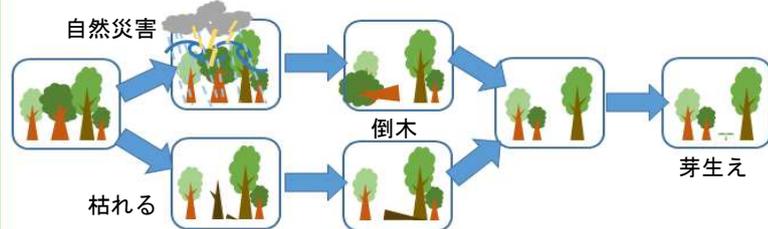
## 目的

調査区内の木々の生長やギャップ(倒木による空間)を可視化し、今後の森林の変遷を予測する

## 研究方法

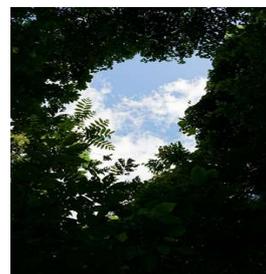
- ①50m×50mに区切られた方形区枠の中に25個の10m×10mの小方形区枠A0～E4を設置
- ②それぞれの区枠内の木の幹回りを測定
- ③10年前のデータと比較し変化を見る

## ギャップができるまで

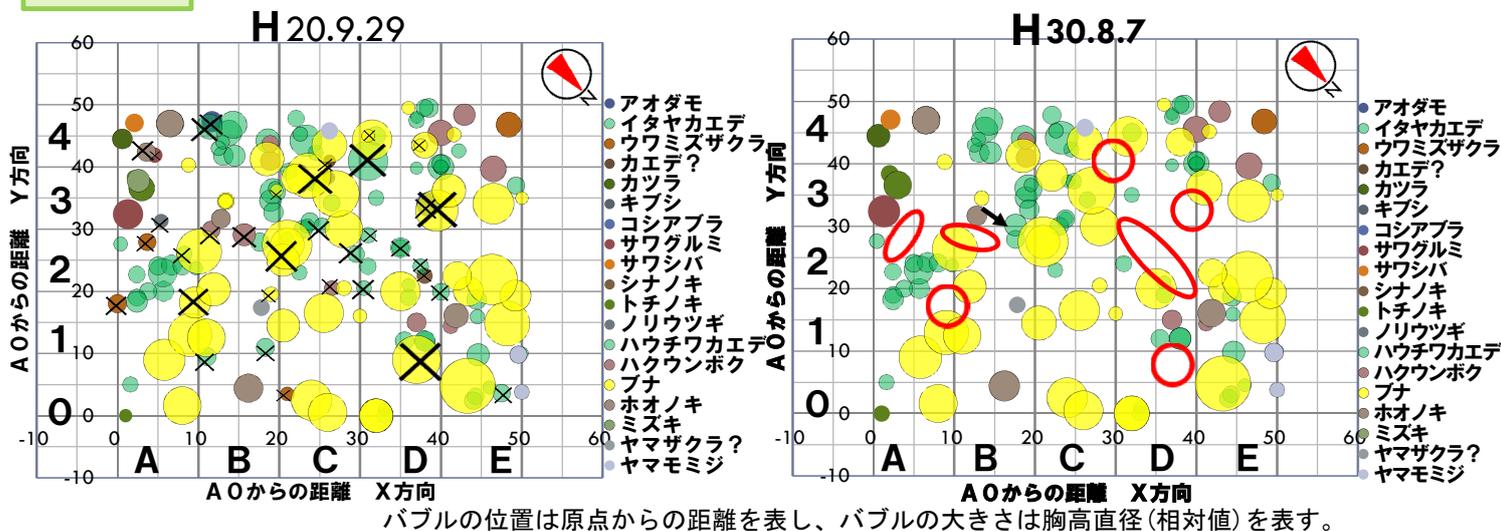


倒木によってできた  
ギャップ→

←芽生え



## 結果



## 考察

- ・ブナの近くの他の樹木(主にカエデ→亜高木層の陰樹)は死んでしまっている物もあった  
→ブナが高い所に葉を伸ばしていることで、ブナより低い位置に葉を伸ばす種が生育しにくくなっている
- ・できたギャップの下にH29年にはできていなかった新たな芽生えが発見されたので、森の移り変わりを実感することができた。
- ・ブナの本数はH20年と比べて減り、ギャップができていた  
→これから新たな芽生えができる可能性

## 感想

できたギャップの下にH29年にはできていなかった新たな芽生えや、新たな倒木があり、森林の移り変わりを実感できた。しかし、森林の一年間の変化は小さく、自然の変化を見るためには以前の調査と照らし合わせる必要があるため今後も調査を続けていくべきだと感じた。また、日ごろ見る機会が少ないギャップなどの現象を直接見れる貴重な体験ができた。

# 白神の発光生物

2班 吾妻由菜, 千田楓花, 相澤茉莉亜, 浅野こころ, 伊藤千聡

## ウミホタル

<知られていること>

ホタルとウミホタルの違いは以下の通り

	ホタル	ウミホタル
色	緑	青
発光に必要な物質	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ホタルルシフェリン</li> <li>・ホタルルシフェラーゼ</li> <li>・酸素</li> <li>・ATP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ウミホタルルシフェリン</li> <li>・ウミホタルルシフェラーゼ</li> <li>・酸素</li> </ul>
仕組み	上の物質が反応する	上の物質が反応する
写真		

## ウミホタルの実験の目的

ウミホタルの発光の観察。

## ウミホタルの実験

### 材料

乾燥ウミホタル、少量の水、シャーレ ガラス棒

### 実験方法

1. 三か月前に白神山地で採集したウミホタルを乾燥させて保存していたものを使用
2. ウミホタルをシャーレの上に置きガラス棒でつぶす
3. つぶしたウミホタルの上から水を少量かける
4. 暗所で発光の様子を観察する

### 結果

発光を見ることができなかった

### 考察

ウミホタルはルシフェリンがルシフェラーゼの働きにより酸化して発光する。今回使用した乾燥ウミホタルは保存している間に酸化してしまっただけで、発光が見られなかったと考えられる。

## 参考文献

- 1) ホタルの里づく <http://www.pref.akita.jp/fpd/hotaru/newpage.htm>
- 2) <https://blog.goo.ne.jp/dolphin8997/e/5f6f38315odaace45081f0cB891ed00e>
- 3) ほたるの里まつり <http://www.at-s.com/event/article/animal/120842.html>

## ホタル

<知られていること>

分 布	日本全土
体 長	7～10mm
発生時期	7月～8月(約2ヶ月)
生息場所	水中(少し汚れている水)

表：蛍について知られていること

## <調査方法>

[個体調査]

- ①白神山地で観察される種であるヘイケボタルについて調査
- ②捕虫網を用い捕獲、各項目に関するデータを取る。

※採集方法は任意採集調査とする。

[環境調査]

- ①ホタルが生息する付近の環境を調べる。
- ②得られた結果と事前に調べた資料情報(参考文献より)からどの程度適当かを考察。

## ホタルの調査の目的・概要

白神における蛍の傾向を理解し、今後の管理・保全に役立てる。

## ホタル

<調査結果>

獲得数：10匹

水の中ではなく飛んでいるものを捕獲した。

結果は以下の通りとなった。

項目	資料情報	結果
体長	7～10mm	7～10mm
底質	泥質、砂礫、礫	砂礫、礫

## 考察<ホタル>

- ・白神山地のヘイケボタルの体長は全国平均と変わらない。
- ・ホタルは調査地の池に流れ込む小川に生息していると考えられる。
- ・水中ではなくても多くのホタルを観察することができる。

## 感想

ホタル、ウミホタルともに想像よりも小さくて驚いた。

また、ウミホタルが青く光っているのはとてもきれいでまた見たいと思った。

# 地すべりと追良瀬川の土石流

3班 安藤優哉, 中里健, 中川実梨, 日下凜里子, 早坂伊織

## 追良瀬川について

**規模** : 全長33.7km 白神山地の中心を流れ日本海に注ぐ  
**源流** : 青森県と秋田県の県境の稜線付近  
**その他** : 2005年8月29日に土石流が発生した記録がある  
 ところどころに崖や深い溪谷とV字谷が続く  
 標高差はあまりない

### 土石流とは

山腹が崩壊して生じた土石等  
 又は溪流の土石等が水と一体  
 となって流下する自然現象  
 (日本の法令による)



(資料提供 NPO法人土砂災害防止広報センター)

### 地すべりとは

土地の一部が地下水等に起因してすべる現象又はこれに伴って移動する現象  
 (日本の法令による)



### 「御国日記」とは

寛文元年(1661)から元治元年(1864)まで弘前藩の行政と司法に関する事柄、弘前の毎日の天気記録された国日記

## 計測結果

### 湛水面積・湛水量調査

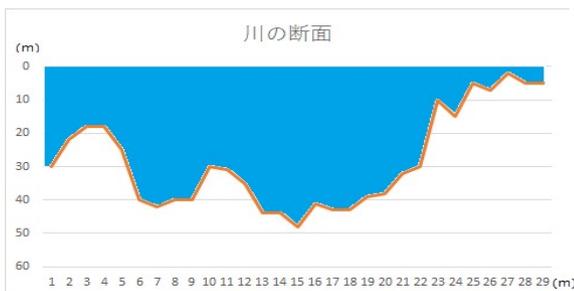
湛水面積 : 380,000m<sup>2</sup>  
 湛水位 : 30m  
 湛水量 : 3,800,000m<sup>3</sup>

高さ30mの  
 錐体とみて算出

### 決壊する日数

= 湛水量 / (流量 × 24 × 60 × 60)  
 = 3,800,000 / 197,280  
 ≒ 19日

川の深さ



川の幅

## 目的

過去の記述と計測結果から地すべりの起きた地点の特定

## 研究方法

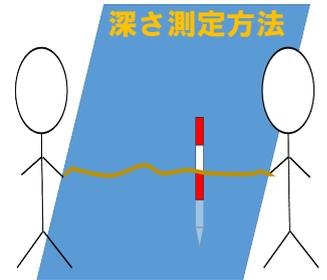
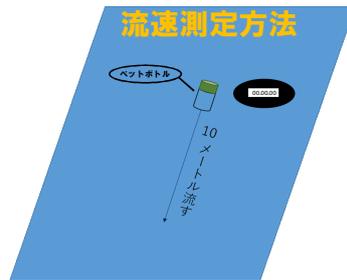
### 1. 流水面積・総流量調査

《方法》

- 候補地点での流速、川底の断面の形、川幅を測定する(流速調査は川の深さを変えて2回行うものとする)
- 1で得たデータから川の断面積と流速の平均を求め、1日あたりのその地点の流量を求める
- 地形図を用いて、水がたまったと思われる範囲を推定し、閉塞箇所の背後にたまった水量を求める(点格子法を用いる)
- 2と3から計算上の決壊する日数を求める

### 2. 過去のデータから読み取る

「御国日記」の記述から河道閉塞が決壊したのは、地すべりの2週間後だとわかった



## まとめ・考察

1973年寛政西津軽地震発生後の資料により河道閉塞発生から決壊までの期間

= 14日

今回の河道閉塞決壊までの日数

= 約19日

文献で伝えられている日数と同様の場所で調査を行った今までの算出結果との間に差が生じたが、これは調査を行った時期の降水量が例年より少なかったことによる誤差と考えられる。

よって、寛政西津軽地震による地すべりと河道閉塞の決壊箇所はこの調査地の可能性が高い。

## 参考文献

- 特定非営利活動法人土砂災害防止広報センター
- Wikipedia「追良瀬川」「弘前藩庁日記」
- 弘前大学農学生命科学部 檜垣大助先生のスライド

# 磯の生物の観察

4班 佐々木 有世, 及川 鼓音, 生田 知毅, 前田 純志

## はじめに・背景

磯：海・湖などの波うち際。水際。特に、石の多い海岸。  
 潮上帯：海岸の、高潮線より上の部分。海水には浸らないが、波しぶきは浴びる。  
 潮間帯：海岸の、高潮線と低潮線との間の帯状の部分。海藻類や沿岸動物の独特な分布がみられる。  
 潮下帯：海岸の、低潮線より下の部分。常に海水に浸っているため海洋生物にとって安定した環境である。  
 私たちは、白神フィールドワークの研究として調べることにした。今年は、シュノーケルを使って観察することができたので、去年の観察よりも詳しく観察することにした。  
 観察場所は、西津軽郡深浦町の海岸である。  
 ・西津軽郡深浦町とは青森県と、秋田県の県境の町で、西海岸にある。



## 目的

- ①磯に生息する生物の特徴を調べる。
- ②磯で遊ぶとき、安全であるかどうかを調べる。安全でないなら、どこまでが安全な生物しかいないのかを調べる。
- ③生物を、界・門・綱・属・種の段階を設けて分ける。そして、動物界の中から5門10目を探す。

## 研究・結果

磯の生物採集し5門10目を探しだし、種ごとの分布の特徴を調べそれぞれどんなことがいえるのか特定する。それぞれ分布によって調べるために潮上帯、潮間帯、潮下帯に分けて観察する。分類した結果は下図のとおりである。

潮位 (標高) 41 (cm)	<b>潮上帯</b>	
↑	<b>潮間帯</b>	イソガニ、イソスジエビ、ホンヤドカリ、クロヘリアメフラシ、ヒザラガイ、ヘソアキクボガイ、ヨメガカサ、マナマコ、イトマキヒトデ
17 (cm)	<b>潮下帯</b>	イソガニ、マナマコ、イトマキヒトデ

## 参考文献

浅虫アーカイブ 「東北大学・浅虫海洋生物学教育研究センター周辺の生物相の紹介。」  
[http://www.biology.tohoku.ac.jp/lab-www/asamushi/asamushi\\_archive/](http://www.biology.tohoku.ac.jp/lab-www/asamushi/asamushi_archive/)  
 コトバンク 「磯」「潮間帯」「潮下帯」「潮上帯」  
<https://kotobank.jp/word/%E6%BD%AE%E9%96%93%E5%B8%AF-97708>  
 Web魚図鑑 <https://zukan.com/fish/internal168>  
 小林安雅 (2011) 「磯の生き物図鑑 - 海の生物450種」

## まとめ・考察

- ・集計の結果、4門7目11種の生き物を採集することができた。
- ・今回の観察では、刺胞動物門に属する生き物を発見することはできなかった。
- ・潮間帯については、軟体動物門に属する生物が比較的多かった。
- ・今回は、主に潮間帯の生物を観察した結果となったが、潮上帯、潮下帯の生物についてはどのような結果が出るのかを今後考えていきたい。

## 観察した生物

### 節足動物門

十脚目→イソガニ イソスジエビ ホンヤドカリ

### 軟体動物門

無楯目→クロヘリアメフラシ

新ヒザラガイ目→ヒザラガイ

古腹足目→インダタミ ヘソアキクボガイ

目の分類学的位置は不確定→ヨメガカサ

### 棘皮動物門

楯手目→マナマコ

アカヒトデ目→イトマキヒトデ

### 脊索動物門

スズキ目→アゴハゼ

### 刺胞動物門

今回の採集では発見できなかった。



イトマキヒトデ



イソガニ



クロヘリアメフラシ

# 十二湖地域の地形

石井 俊輔，伊藤 柚月，大軒 知也，橋本 一輝，大竹 俊資

## 1、説明

十二湖はおよそ300年前の地震による山崩れによってできた、三十三個の湖と沼の集まり。大崩から展望すると十二個の湖沼を見ることができるため、十二湖と呼ばれている。また、これを包み込むように、ブナなどの広葉樹を主とした天然林が広がっている。十二湖地域では、これらを巡るように遊歩道が設置されており、自然観察に格好の場となっている。

津軽半島北端から西岸に至る約180kmに及ぶ日本海沿いの海浜地域と岩木山などの山岳地域は、津軽国定公園に指定されており、十二湖もこの一部になっているほか、優れた自然景観を有していることなどから津軽自然休養林としても指定を受けている。

## 2、日本キャニオン

- 100m弱の断崖絶壁。その頂上からは、大崩や十二湖を見ることができる。
- 一万年以上前に発生した噴火の火砕流により形成されたが、京成途中で一時的に川が流れたため白っぽい軽石凝灰岩の中に黄色っぽい土砂が混じっている。
- 軽石凝灰岩は、二酸化ケイ素という物質で構成されており、今でも削られてしまうほどもろいため雨の浸食や地震によって崖になった。
- 十二湖の形成以前の災害の痕跡も残っていると考えられる。



fig.1 日本キャニオン

## 3、成り立ち

### ①雨水の貯水（例：鶏頭場の池、中の池）

湖底に沈んでいる枯木を放射性年代測定することで、この池は、1740年の地震によって起きた地すべりが原因で、ため池になったことが判明した。



fig.2 鶏頭池

### ②湧き水（例：青池、沸壺の池）

湧き水があるような土地は、地震によって起きた地すべりが原因で形成された。地すべりの土砂は水をよく通す性質があるため、地下水が沸き上がることが多い。特に青池では、水面にいくつもの波紋が広がっている様子を観察できる。また、湧き水でできたといわれる池の水質をそれぞれ調査すると、同じ水質であることがわかった。



fig.3 青池

## 4、まとめ、わかったこと

- 上の①において、地すべりが原因で窪地となったことから、この湖底ではたくさんの枯木の層が観察されることがわかった。
- 上の②において、湧き水でできた池の水質は全て同じ水質であることから、これらの池は同じ地下水により形成されていることがわかった。

## 参考文献

青森環境保健センター 青森県庁ホームページ

[http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kankyo/kankyosenta/Aoike\\_Top\\_1.html](http://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kankyo/kankyosenta/Aoike_Top_1.html)

平成31年3月31日発行

宮城県仙台第三高等学校 SSH委員会  
理数科部

〒983-0824

宮城県仙台市宮城野区鶴ヶ谷一丁目19番地

TEL 022-251-1246

FAX 022-251-1247

E-Mail chief@sensan.myswan.ne.jp

URL <http://ssh-sensan.myswan.ne.jp/>

<http://sensan.myswan.ne.jp/>

印刷 北日本印刷株式会社