

平成22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1年次 平成23年3月

宮城県仙台第三高等学校

# 巻 頭 言

宮城県仙台第三高等学校長 中川西 剛

お陰様で今年度から文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の指定を受けることができた。これまで数年に渡りSSH指定を受けるべくチャレンジしてきたところであり、今回の指定は願いが叶い大変嬉しく思っている。また、逆に大きな責任の重さを痛感している。

本校の理数科は昭和43年に全国的に理数科が設置されることに合わせて設置された。当時14道県の29校で理数科が設置されたわけだが、本校はその中の一校となる。今回のSSH指定については、これまでの長年の理数科の取組や成果も評価されたものと感謝している次第である。

本校のSSHで目指しているものは、「学都・仙台」の環境を活かし、豊かな知的社会基盤を活かした多彩な理数教育指導体制を体系的に整備することで、本格的な探求活動を通じた領域横断的な高い科学的分析力と国際社会と科学との関わりを認識した高い倫理性を有した人材育成である。

SSHの成否で最も重要なのは、いかに生徒達の心に「なぜ？どうして？」の知的好奇心を持たせることが出来るかにかかっていると思っている。今年度はスタートの年でもあり、試行錯誤の一年間であったが、（独）科学技術振興機構の御指導の下、東北大学、宮城教育大学、宮城大学、産業技術総合研究所東北センターの方々の御理解・御指導を得て、フィールドワーク、パネル発表、講演会等が実施・体験でき、まさしく「学都・仙台」の環境を活かした活動ができたものと思っている。

今回、生徒達のこの一年間の活動や成果を形として残すために、初めて「SSH活動記録」を作成することになった。本活動記録では、今年度実施したSSH課題研究の研究内容の報告に加え、日頃活動している自然科学部の活動内容も盛り込んでいる。まだまだ満足できる内容とはなっていないが、生徒達の意気込みは十分に込められている記録集となっている。今回の発行を足がかりとし、来年度、再来年度と更に質を高めて参りたいと考えている。

現在、高校教育においては「思考力」「判断力」「表現力」の育成が課題となっている。この一年間を見ていて、本校の生徒には、特に「表現力」に課題があると思っている。SSH活動の中でも「表現力」は重要な要素であり、いかに自分達の研究内容を相手に伝えることができるかが、実は研究内容と同程度の重さを持っていると思っている。是非、生徒達の発表の様子も思い浮かべながらお読みいただきたい。

今回の生徒達の活動記録の発行を期に、今後は更に生徒の心に「なぜ？どうして？」の火を点し、「思考力」「判断力」「表現力」を育みながら質の高いSSH活動を目指して邁進したいと考えている。

本活動記録を関係の皆様にご覧いただき、御指摘・御指導をいただければ幸甚である。

## 目次

### 巻頭言

SSH課題研究	1
---------	---

### 地理領域

気温に影響を及ぼす諸要因	3
--------------	---

### 数学領域

魔方陣の研究	8
--------	---

暗号化の防衛力	14
---------	----

### 物理領域

放射線	18
-----	----

蓄音機について	22
---------	----

ヘリコプターにおける一考察	26
---------------	----

オーロラの研究	30
---------	----

割りばしをまっすぐに割るための法則	34
-------------------	----

虹の研究	38
------	----

光速の測定	42
-------	----

コロイドで夕焼けを作る	46
-------------	----

### 化学領域

燃料電池で車を走らせる	50
-------------	----

美白に迫る ～身近なもので手作り美白化粧水を作ろう～	54
----------------------------	----

植物の色素と単離	58
----------	----

<b>生物領域</b>	
ニワトリ胚の発生過程の観察	62
乳酸菌の培養に関する研究	66
S I Rモデルによる感染症伝播のシミュレーション	70
マルチエージェントシステムによる感染症伝播モデルの検討	74
<b>地学領域</b>	
三滝玄武岩の観察と結晶分化作用の考察	78
<b>S S H特別課題研究 (S S Hクラブ)</b>	83
クサイロアオガイの初期発生と温度について	85
林床におけるブナの芽生えと伸長成長と光について	89
<b>部活動</b>	93
<b>数学部</b>	
覚えていると便利な公式	95
分数方阵の作り方	96
二次関数	98
統計で考えるサザエさんのジャンケン攻略法	100
宇宙の曲がり方の測り方	103
<b>自然科学部化学班</b>	
混合指示薬の性質に関する一考察	111
金属樹の成長における一考察	116
<b>自然科学部生物班</b>	
オオマリコケムシ( <i>Pectinatella magnifica</i> )休芽の発芽条件と 発芽後の成長過程の観察	120
<b>S S H諸行事の記録</b>	125



SSH 課題研究



# 気温に影響を及ぼす諸要因

自然地理班 班員 赤井焯浩樹・三浦樹・山口貴大・村田紘大

仙台第三高等学校

## 1 要約

私たちは仙台三高の微地形と人の活動が気温や湿度にどのような影響を及ぼすのかを解明するために、仙台三高の敷地内に温湿計を設置し、気温と湿度を測定した。そして、高低差や天候の違いなど様々な面からグラフを作成し、比較を行った。その結果、仙台三高の敷地内においても、微地形や天候、人口皮膚と気温や湿度との関係について、一般に知られている事例とほぼ同様の結果が得られた。

## 2 はじめに

私たちは、何気なく生活している仙台三高においても世間一般で知られる気温の変化が見られるのか、またはまったく違うデータが測定できるのかということに興味を抱き、研究を始めた。

## 3 方法

### (1) 使用器具

- ・『超小型温湿計ハイグロクロン』

原理 内部に電池・温湿度センサー・メモリー機能を内蔵しており、長期的に計測できる。



- ・『赤外放射温度計』

原理 被測定物の表面から放出される赤外線放射エネルギーを、赤外線センサーを用いて計測し、被測定物の表面温度を測定する。このため、被測定物に接触せずに、その物体の表面温度をはかることができる。

ちなみに、熱の伝わり方には、「伝導」「対流」「放射」の3つの形態があり、この放射温度計は、「放射」を利用したものである。

「放射」とは、その物質が持つ熱エネルギーを電磁波(可視光線や赤外線など)という形態で周囲に放出する現象のことである。

### (2) 測定期間

○晴れ

・夏 8月22日～24日

・秋 11月19～21日

○曇り

・秋 11月13～16日

\*夏は天候の崩れがなかった。

○雨

・秋 10月30～11月1日



(3) 測定場所 (10カ所測定したが、今回は次の4カ所のデータを使用した。)

- 1 日当たりの良いグラウンド
- 2 日陰のグラウンド (木陰)
- 3 コンクリートの階段 (西側部室の近く)
- 4 第二グラウンド (草地) \*第二グラウンドは、校舎よりも低い所に位置する。

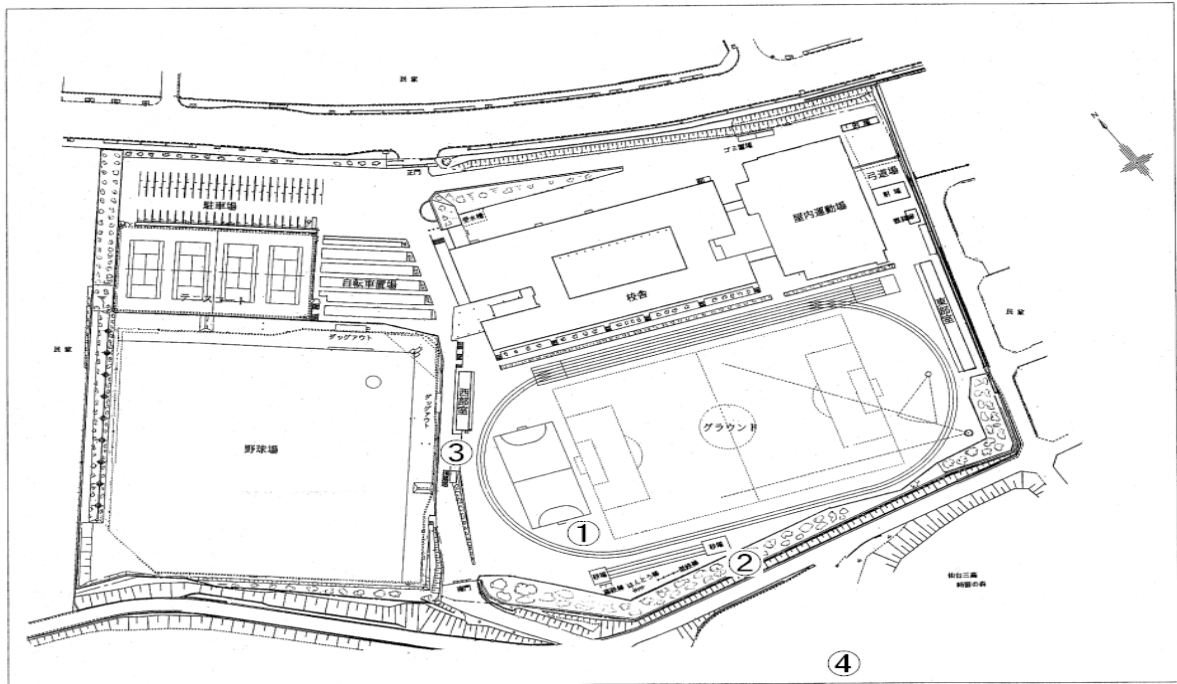


図1 仙台三高施設配置図

以上の条件で測定を行った。

#### 4 結果

様々な比較を行った結果を以下に示す。

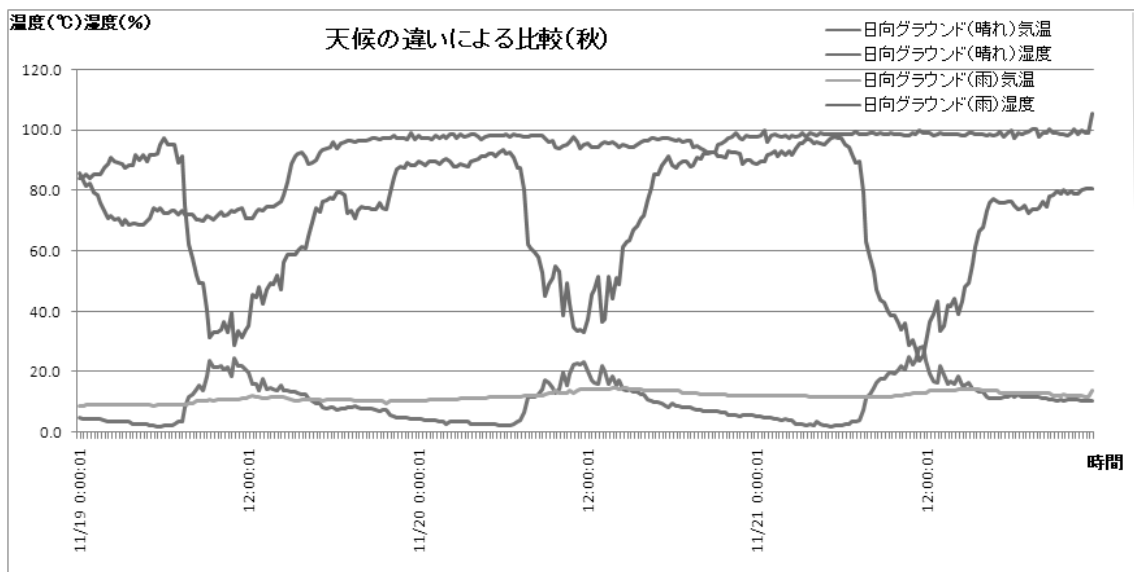


図2 天候の違いによる比較 (秋)

- ・天候により気温・湿度の変化は大きく異なる。
  - ・雨の場合は気温・湿度変化が小さく、晴れの場合は大きい。
- 太陽光線の有無により気候は変化する。

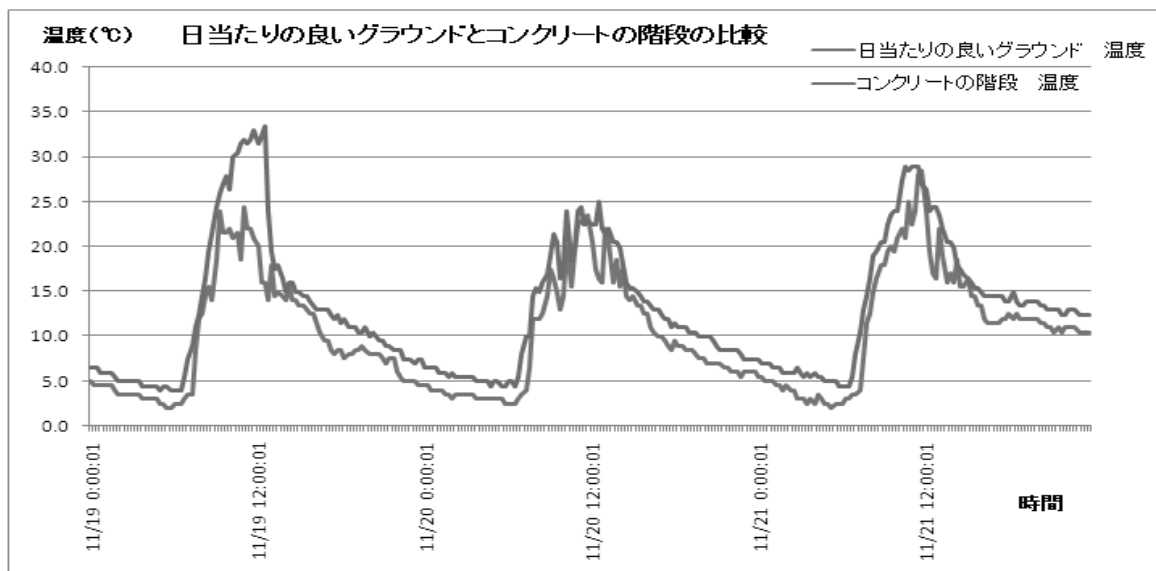


図3 日当たりの良いグラウンドとコンクリートの階段の比較 (秋・晴れ)

- ・地表面の状態がコンクリートで覆われている場合、覆われていない状態よりも気温が高い。
- コンクリートのほうが地面よりも熱容量が大きく熱を蓄えやすいため、その影響が大きいかから。また、地面が覆われることで地中の水分の蒸発による大気への熱輸送が行われなため。

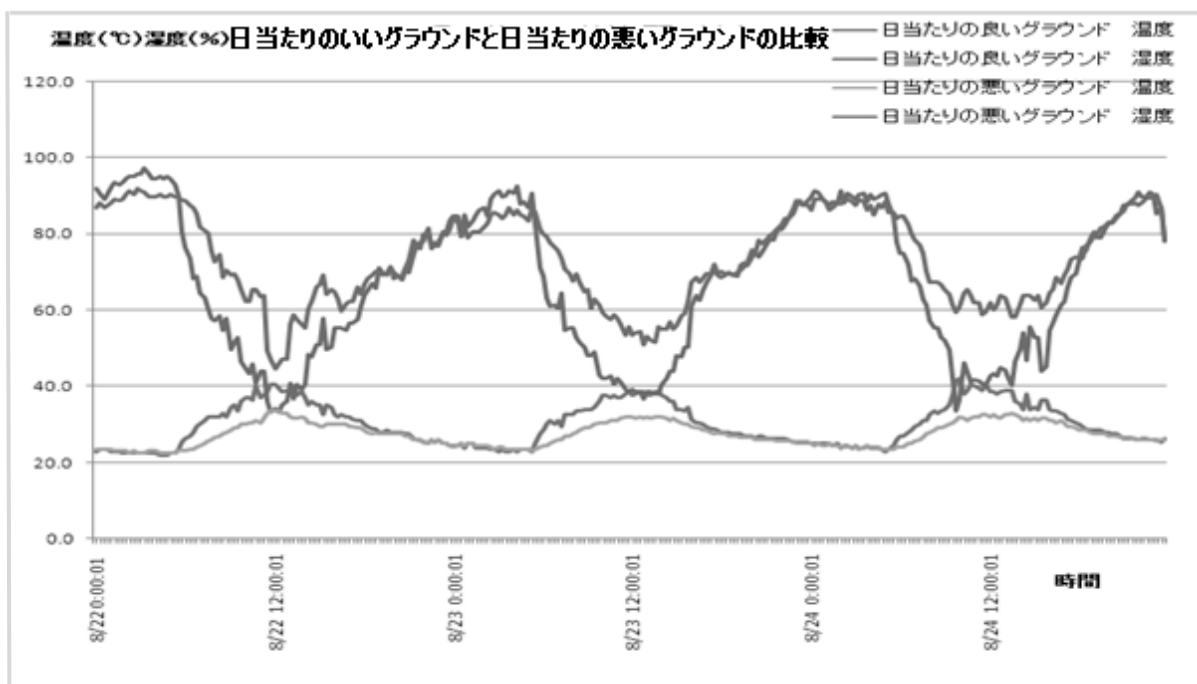


図4 日当たりの良いグラウンドと日当たりの悪いグラウンドの比較 (夏・晴れ)

- ・日当たりの悪いグラウンドの方が日当たりの良いグラウンドに比べ温度・湿度の変化が小さい
- 植物の蒸発散により、気温の調整が為されているため。

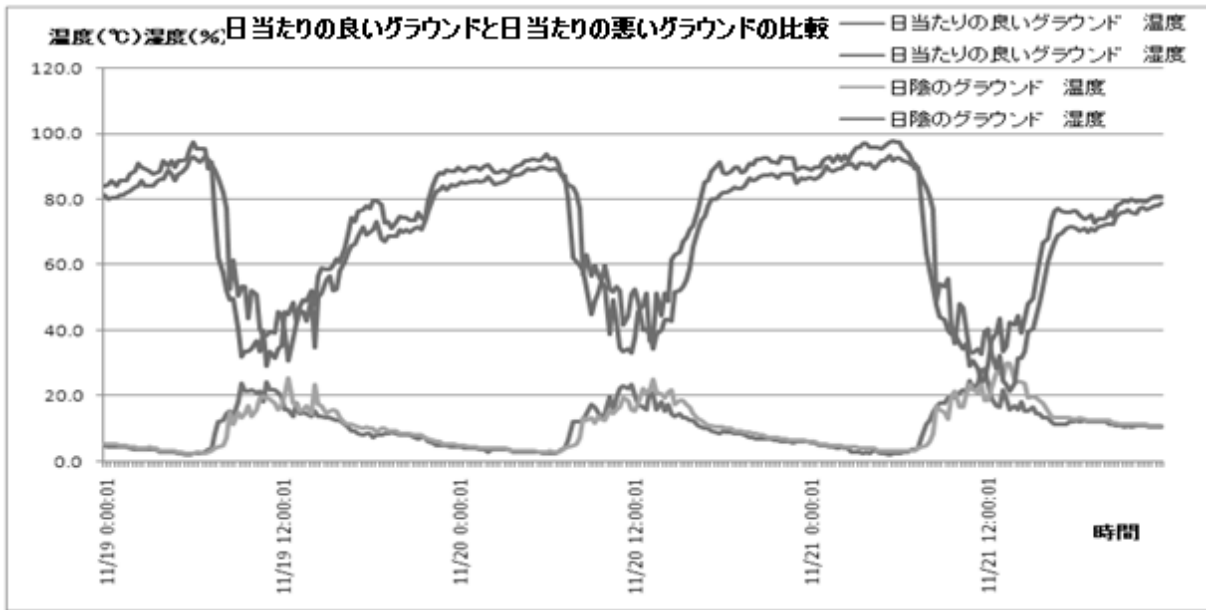


図5 日当たりの良いグラウンドと日当たりの悪いグラウンドの比較 (秋・晴れ)

・夏と比較して、日当たりの良いグラウンドと日当たりの悪いグラウンドの温度・湿度変化にあまり差は見られない。

→日当たりの悪いグラウンドの地面の草木が枯れ、蒸発散による影響が小さくなったため。

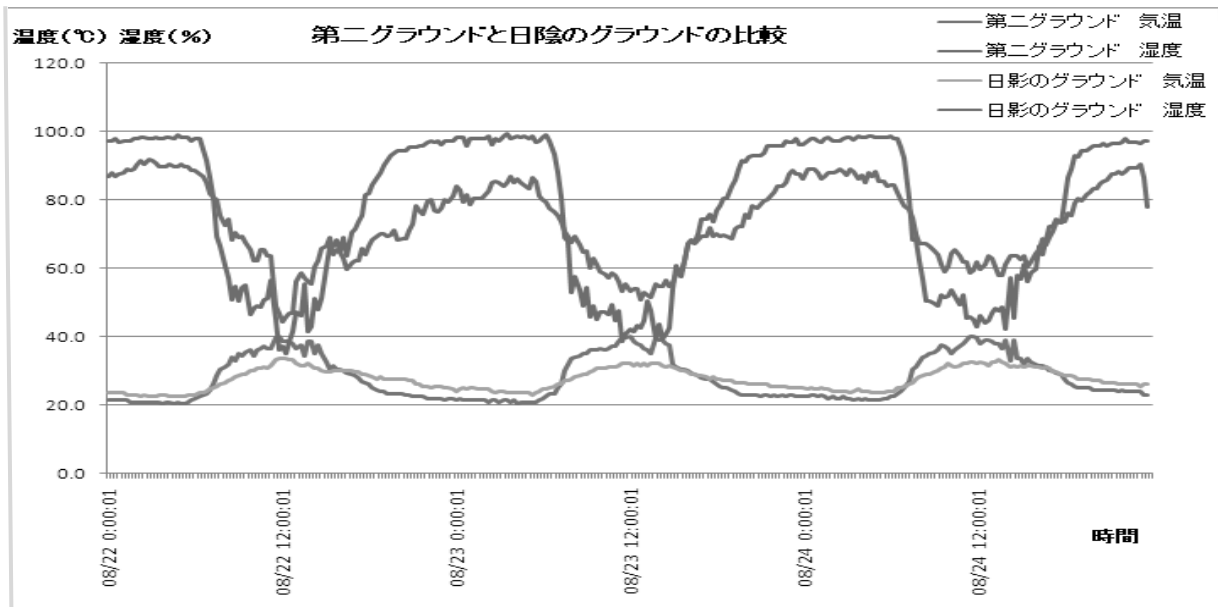


図6 第二グラウンドと日陰のグラウンドの比較

・第二グラウンドに比べ、日当たりの悪いグラウンドは気温の変化が小さい。

→盆地で見られる気候になっていると思われる。

\* 盆地地帯の気候

条件として、風があまり強くなく、穏やかな気候で発生。夜間、冷たい空気が低地に溜まり気温が急激に下がるが、日が昇るとその空気が暖められ、朝～昼に気温が急激に上昇する。風により、温かい空気と冷たい空気が混ざらないため、気温の日較差が大きくなる。

3回目(8月29日)	測定時間	温度1	温度2	温度3	平均値	*	4回目(10月27日)	測定時間	温度1	温度2	温度3	平均値	*
ひなたのグラウンド	13:06	36.3	36.8	36.5	36.53333	0	ひなたのグラウンド	15:38	12.8	12.7	12.6	12.7	0
日陰のグラウンド	13:09	27.1	27.2	27.1	27.13333	-9.4	日陰のグラウンド	15:36	12.1	12.2	12.2	12.16667	-0.53333
弓道場のフェンス	13:12	28.3	28.5	28.8	28.53333	-8	弓道場のフェンス	15:33	12.8	12.7	12.4	12.63333	-0.06667
食堂の裏口	13:14	35.3	35.9	35.8	35.66667	-0.86667	校舎4F						
中庭	13:54	31.9	32.2	32.3	32.13333	-4.4	中庭	15:24	14.4	14.6	14.9	14.63333	1.93333
駐車場のフェンス	13:16						駐車場のフェンス	15:28					
(道路)		33.1	33.2	33.3	33.2	-3.33333	(道路)		15.8	15.8	16	15.86667	3.16667
(アスファルト)		45.5	45.4	45.2	45.36667	8.83333	(アスファルト)		20.2	20.2	20.2	20.2	7.5
(土)		38.1	38.2	38.3	38.2	1.66667	(土)		14.9	14.7	14.9	14.83333	2.13333
コンクリートの階段	13:20	33.4	33.6	33.5	33.5	-3.03333	コンクリートの階段	15:57	13.3	13.6	14.1	13.66667	0.96667
第二グラウンド	13:37						第二グラウンド	15:42					
(土)		30	29.8	29.9	29.9	-6.63333	(土)		15	14.9	14.9	14.93333	2.23333
(草)		31.8	31.6	31.8	31.73333	-4.8	(コンクリート)		14.1	14.3	13.8	14.06667	1.36667
(斜面)		27.9	28	27.9	27.93333	-8.6	森	15:45	11.1	11	11	11.03333	-1.66667
森	13:40	27.8	27.8	28.1	27.9	-8.63333	沼	15:51	10.3	10.5	10.5	10.43333	-2.26667
沼	13:48	31.5	32.5	31.7	31.9	-4.63333							

表1 表面温度の測定結果(\*は、日当たりの良いグラウンドの平均値を0とした時の相対温度)  
 夏・秋のどちらもアスファルトの温度が最も高い。これは、人口皮膚(アスファルト・コンクリートなど)は自然状態よりも熱容量が大きく、気温に影響を及ぼしやすいためである。また、森や沼においては植物の蒸発散の影響を受けるため、温度が低いことが読み取れる。

## 5 考察

- ・気温の変化と湿度の変化は密接に関係している。
- ・天候によって気温・湿度変化は大きく異なる。
- ・地質によって熱容量がことなり、それにより気温が変化する。
- ・植物の有無によって気温・湿度変化は大きく異なる。
- ・微地形の違いによって気温変化に違いが生じる。

以上のような、気温に影響を及ぼす諸要因について一般に知られている事例が仙台三高の地形においても同様に見られることがわかった。

## 6 謝辞

意見や助言を与えてくださった上園先生・粕谷先生には、この場を借りて御礼申し上げます。

## 7 参考文献

- ・「ヒートアイランド」 尾島俊雄(著)

# 魔方陣の研究

及川翔太、鈴木孝、菅野聖羅、鈴木裕陽

宮城県仙台第三高校理数科二年

私たちは1～4、8次の魔方陣について研究した。1～3次の魔方陣については、独自の証明を試みた。4次及び8次の魔方陣については、それぞれの性質を考えて多角的な視点から様々な方法を用いて魔方陣を作成した。さらにそれぞれの特徴を考察し、作成可能な魔方陣の数を求めた。

## I. はじめに

授業では取り扱われない魔方陣は、数学好きな私たちにとって興味深い。長い間研究されてきた分野であるが、未だ見つけられていない作り方も多く、自分達の努力次第で大きな成果が得られると考えた。今回は1～4、8次の魔方陣について研究した。低次のものについては独自の証明を考え、高次のものについては試行錯誤を重ねることにより、魔方陣の性質を見つけ、それを活かして、自分達なりの作り方で魔方陣を作成した。

## II. 魔方陣とは

魔方陣とは、 $n \times n$ の正方形のマス目に、1から $n^2$  (=マス目の総数)までの数字を過不足なく入れたとき、縦・横・対角線上のどの列の $n$ 個の数字の和も同じ値になるように配置したものである。その和のことを定和と言う。 $n \times n$  魔方陣の定和は

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n^2} i = \frac{n(n^2 + 1)}{2} \quad \text{である。}$$

## III. 「2次魔方陣の非存在」と「3次魔方陣は1つしか存在しないこと」の証明

### 1. 1次魔方陣について

1
---

「ただ一つ存在する。」  
この魔方陣は明らかである。

### 2. 2次魔方陣について

1	2
3	4

「存在しない。」

(証明)

1, 2, 3, 4から2つ取る組み合わせは6通り。それらの和は以下の通り。

組み合わせ	(1, 2)	(1, 3)	(1, 4)	(2, 3)	(2, 4)	(3, 4)
和	3	4	5	5	6	7

$2 \times 2$  魔方陣の定和は  $(1 + 2 + 3 + 4) \div 2 = 5$  であるから、 $2 \times 2$  魔方陣が成立するためには上の組み合わせの和が全て5にならなければならない。だが、上表より和が5となるのは2通りしかないから魔方陣は成立しない。ゆえに $2 \times 2$  魔方陣は存在しない。

### 3. 3次魔方陣について

8	1	6
3	5	7
4	9	2

「ただ一つ存在する。ただし、回転・対称移動させて同じ図になるのは同じものとする。」

(証明1)

3×3魔法陣の定和は

$$(1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9) \div 3 = 15$$

8	1	6
3	5	7
4	9	2

この15を1～9うちの異なる3つの数の和で表すと

$$1 + 5 + 9, 2 + 5 + 8, 3 + 5 + 7, 4 + 5 + 6,$$

$$1 + 6 + 8, 2 + 4 + 9, 2 + 6 + 7, 3 + 4 + 8 \text{ の } 8 \text{ 通り。}$$

このうち、5が含まれる組み合わせが4つある。3×3魔方陣の場合、縦の中央列、横の中央列、2つの斜めの列の4つの列において、中央の数は同じ数字にならなければならない(左図)。ゆえに、5が中心の数であると分かる。そして、5を含まない他の4つの組み合わせを、中心の

数を含まない列に入れていくと3×3魔方陣ができる。ゆえに、3×3魔方陣はただ一つしか存在しない。

### IV. 4次魔方陣の作成

#### 1. 記数法と行列による作成方法

4次魔方陣は、1～16までの数字を1回ずつ使って、各行・列・対角線で1列の和を34になるようにしなければならないので、マスに適当に数字を埋めるだけで作るのは困難である。そこで、記数法の考えを使って4次魔方陣を作る。まず何も書かれていない4×4のマスを用意し、X、Yと名づける。次に、XとYのそれぞれにおいて、0～3を用いて魔方陣もどきを作る。

X	Y																																
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td>0</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td></tr> </table>	0	2	3	1	3	1	0	2	1	3	2	0	2	0	1	3	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td></tr> </table>	2	0	1	3	3	1	0	2	0	2	3	1	1	3	2	0
0	2	3	1																														
3	1	0	2																														
1	3	2	0																														
2	0	1	3																														
2	0	1	3																														
3	1	0	2																														
0	2	3	1																														
1	3	2	0																														

ここで、Xは10進数における10の位を、Yは10進数における1の位をものだとして、XとYの対応するマスを合成して1つの魔方陣にする。

XとYを合成したもの

02	20	31	13
33	11	00	22
10	32	23	01
21	03	12	30

このとき、全ての行・列・対角線の和は66になっている。このAとBを合成したもののそれぞれのマスを10進数に戻す。戻し方は、10進数における10の位の数を4倍した数と、10進数における1の位の数を足せばよい。

3	9	14	8
16	6	1	11
5	15	12	2
10	4	7	13

なお、4進数の00～33というのは、10進数では0～15にあたる。4次魔方陣は1～16を使って作るのだから、10進数に戻した後、全てのマスに1を加える。すると、次のようになり、4次魔方陣が完成する。

## 2. 結果と考察

「魔方陣もどき」は鏡像変換によって一致するものを同じものだとみなすと、以下の6種類に分類された（これらをA~Fと名付けることにする）。

A	B	C																																																	
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>0</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	0	3	0	1	2	0	3	2	1	2	1	0	3	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr></table>	1	2	0	3	3	0	2	1	2	1	3	0	0	3	1	2	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>1</td><td>3</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>2</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>3</td></tr></table>	1	3	2	0	0	2	3	1	3	1	0	2	2	0	1	3	
1	2	3	0																																																
3	0	1	2																																																
0	3	2	1																																																
2	1	0	3																																																
1	2	0	3																																																
3	0	2	1																																																
2	1	3	0																																																
0	3	1	2																																																
1	3	2	0																																																
0	2	3	1																																																
3	1	0	2																																																
2	0	1	3																																																
D	E	F																																																	
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>1</td><td>3</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td></tr><tr><td>2</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td></tr></table>	1	3	0	2	0	2	1	3	2	0	3	1	3	1	2	0	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr></table>	1	2	3	0	0	3	2	1	2	1	0	3	3	0	1	2	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td></tr><tr><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td></tr></table>	1	2	0	3	0	3	1	2	3	0	2	1	2	1	3	0	
1	3	0	2																																																
0	2	1	3																																																
2	0	3	1																																																
3	1	2	0																																																
1	2	3	0																																																
0	3	2	1																																																
2	1	0	3																																																
3	0	1	2																																																
1	2	0	3																																																
0	3	1	2																																																
3	0	2	1																																																
2	1	3	0																																																

これらの6種類を合成することによって何種類の魔方陣をつくることができるかを考えた。

その際に、「AとA」のように同じものを合成する場合と、「BとC」のように異なるものを合成する場合に分けて考えた。

### (i) 同じものを合成する場合

例として、「AとA」を合成したときを挙げると、以下の6種類をつくることができた。

<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>7</td><td>9</td><td>16</td><td>2</td></tr><tr><td>14</td><td>4</td><td>5</td><td>11</td></tr><tr><td>1</td><td>15</td><td>10</td><td>8</td></tr><tr><td>12</td><td>6</td><td>3</td><td>13</td></tr></table>	7	9	16	2	14	4	5	11	1	15	10	8	12	6	3	13	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>10</td><td>3</td><td>16</td><td>5</td></tr><tr><td>8</td><td>13</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>1</td><td>12</td><td>7</td><td>14</td></tr><tr><td>15</td><td>6</td><td>9</td><td>4</td></tr></table>	10	3	16	5	8	13	2	11	1	12	7	14	15	6	9	4	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>6</td><td>12</td><td>13</td><td>3</td></tr><tr><td>15</td><td>1</td><td>8</td><td>10</td></tr><tr><td>4</td><td>14</td><td>11</td><td>5</td></tr><tr><td>9</td><td>7</td><td>2</td><td>16</td></tr></table>	6	12	13	3	15	1	8	10	4	14	11	5	9	7	2	16	
7	9	16	2																																																
14	4	5	11																																																
1	15	10	8																																																
12	6	3	13																																																
10	3	16	5																																																
8	13	2	11																																																
1	12	7	14																																																
15	6	9	4																																																
6	12	13	3																																																
15	1	8	10																																																
4	14	11	5																																																
9	7	2	16																																																
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>5</td><td>11</td><td>14</td><td>4</td></tr><tr><td>16</td><td>2</td><td>7</td><td>9</td></tr><tr><td>3</td><td>13</td><td>12</td><td>6</td></tr><tr><td>10</td><td>8</td><td>1</td><td>15</td></tr></table>	5	11	14	4	16	2	7	9	3	13	12	6	10	8	1	15	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>2</td><td>11</td><td>8</td><td>13</td></tr><tr><td>16</td><td>5</td><td>10</td><td>3</td></tr><tr><td>9</td><td>4</td><td>15</td><td>6</td></tr><tr><td>7</td><td>14</td><td>1</td><td>12</td></tr></table>	2	11	8	13	16	5	10	3	9	4	15	6	7	14	1	12	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>8</td><td>10</td><td>15</td><td>1</td></tr><tr><td>13</td><td>3</td><td>6</td><td>12</td></tr><tr><td>2</td><td>16</td><td>9</td><td>7</td></tr><tr><td>11</td><td>5</td><td>4</td><td>14</td></tr></table>	8	10	15	1	13	3	6	12	2	16	9	7	11	5	4	14	
5	11	14	4																																																
16	2	7	9																																																
3	13	12	6																																																
10	8	1	15																																																
2	11	8	13																																																
16	5	10	3																																																
9	4	15	6																																																
7	14	1	12																																																
8	10	15	1																																																
13	3	6	12																																																
2	16	9	7																																																
11	5	4	14																																																

この場合における総数は、 $6 \times 6 = 36$ 個である。

### (ii) 異なるものを合成する場合

例として、「AとB」を合成したときを挙げると、以下の8種類をつくることができた。

<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>6</td><td>11</td><td>13</td><td>4</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>7</td><td>10</td></tr><tr><td>3</td><td>14</td><td>12</td><td>5</td></tr><tr><td>9</td><td>8</td><td>2</td><td>15</td></tr></table>	6	11	13	4	16	1	7	10	3	14	12	5	9	8	2	15	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>6</td><td>11</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>16</td><td>1</td><td>10</td><td>7</td></tr><tr><td>9</td><td>8</td><td>15</td><td>2</td></tr><tr><td>3</td><td>14</td><td>5</td><td>12</td></tr></table>	6	11	4	13	16	1	10	7	9	8	15	2	3	14	5	12	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>8</td><td>9</td><td>15</td><td>2</td></tr><tr><td>14</td><td>3</td><td>5</td><td>12</td></tr><tr><td>1</td><td>16</td><td>10</td><td>7</td></tr><tr><td>11</td><td>6</td><td>4</td><td>13</td></tr></table>	8	9	15	2	14	3	5	12	1	16	10	7	11	6	4	13	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>14</td><td>3</td><td>12</td><td>5</td></tr><tr><td>8</td><td>9</td><td>2</td><td>15</td></tr><tr><td>1</td><td>16</td><td>7</td><td>10</td></tr><tr><td>11</td><td>6</td><td>13</td><td>4</td></tr></table>	14	3	12	5	8	9	2	15	1	16	7	10	11	6	13	4
6	11	13	4																																																																
16	1	7	10																																																																
3	14	12	5																																																																
9	8	2	15																																																																
6	11	4	13																																																																
16	1	10	7																																																																
9	8	15	2																																																																
3	14	5	12																																																																
8	9	15	2																																																																
14	3	5	12																																																																
1	16	10	7																																																																
11	6	4	13																																																																
14	3	12	5																																																																
8	9	2	15																																																																
1	16	7	10																																																																
11	6	13	4																																																																
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>7</td><td>10</td><td>16</td><td>1</td></tr><tr><td>13</td><td>4</td><td>6</td><td>11</td></tr><tr><td>2</td><td>15</td><td>9</td><td>8</td></tr><tr><td>12</td><td>5</td><td>3</td><td>14</td></tr></table>	7	10	16	1	13	4	6	11	2	15	9	8	12	5	3	14	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>10</td><td>7</td><td>16</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>13</td><td>6</td><td>11</td></tr><tr><td>5</td><td>12</td><td>3</td><td>14</td></tr><tr><td>15</td><td>2</td><td>9</td><td>8</td></tr></table>	10	7	16	1	4	13	6	11	5	12	3	14	15	2	9	8	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>5</td><td>12</td><td>14</td><td>3</td></tr><tr><td>15</td><td>2</td><td>8</td><td>9</td></tr><tr><td>4</td><td>13</td><td>11</td><td>6</td></tr><tr><td>10</td><td>7</td><td>1</td><td>16</td></tr></table>	5	12	14	3	15	2	8	9	4	13	11	6	10	7	1	16	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><tr><td>2</td><td>15</td><td>8</td><td>9</td></tr><tr><td>12</td><td>5</td><td>14</td><td>3</td></tr><tr><td>13</td><td>4</td><td>11</td><td>6</td></tr><tr><td>7</td><td>10</td><td>1</td><td>16</td></tr></table>	2	15	8	9	12	5	14	3	13	4	11	6	7	10	1	16
7	10	16	1																																																																
13	4	6	11																																																																
2	15	9	8																																																																
12	5	3	14																																																																
10	7	16	1																																																																
4	13	6	11																																																																
5	12	3	14																																																																
15	2	9	8																																																																
5	12	14	3																																																																
15	2	8	9																																																																
4	13	11	6																																																																
10	7	1	16																																																																
2	15	8	9																																																																
12	5	14	3																																																																
13	4	11	6																																																																
7	10	1	16																																																																

この場合における総数は、 $6C_2 \times 8 = 120$ 個である。ゆえに、この方法で作製可能な4次魔方陣の数は、 $36 + 120 = 156$ 個である。4次魔方陣の数は880個とされているので、全体の1/6程度はこの方法で作成可能だと分かった。また、2つの「魔方陣もどき」を合成したとき、その組み合わせに特有の数の並びを発見した。例えば、「AとB」を合成すると、8種類のいずれも「4、6、11、13」や「2、8、9、15」などの4つの数が1列に並んでいる。

異なる例として、「AとD」を合成したときにできる8種類の魔方陣は以下のようになる。

6	9	15	4	6	3	12	13	14	11	4	5	8	11	13	2
16	3	5	10	16	9	2	7	8	1	10	15	14	1	7	12
1	14	12	7	1	8	15	10	9	16	7	2	3	16	10	5
11	8	2	13	11	14	5	4	3	6	13	12	9	6	4	15

7	12	14	1	10	15	8	1	5	10	16	3	2	7	16	9
13	2	8	11	4	5	14	11	15	4	6	9	12	13	6	3
4	15	9	6	13	12	3	6	2	13	11	8	5	4	11	14
10	5	3	16	7	2	9	16	12	7	1	14	15	10	1	8

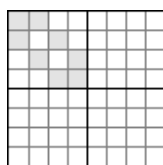
「AとB」で1列に並んでいた「4、6、11、13」という4つの数はいずれにおいても、中央から点対称の位置に配置されている。そのかわりに、「2、5、12、15」などの4つの数が1列に並んでいる。しかし、具体的にどういった仕組みなのかは分からなかった。そのことを、今後の研究での課題にしていきたい。



## V. 8次対称魔方陣の作成

1	15	14	4
12	6	7	9
8	10	11	5
13	3	2	16

(i)

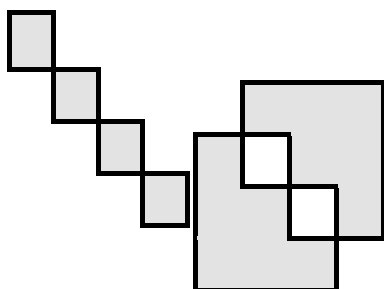


(ii)

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

(iii)

1	2	62	61	60	59	7	8
9	55	11	53	52	14	50	16
48	18	46	20	21	43	23	41
40	39	27	28	29	30	34	33
32	31	35	36	37	38	26	25
24	42	22	44	45	19	47	17
49	15	51	13	12	54	10	56
57	58	6	5	4	3	63	64



### 1. 作成方法

対称魔方陣とは、4の倍数×4の倍数の魔方陣において、自然配列したマスのうち、中心となる点を軸に180度回転させ、任意のマスの数字を入れ替えることで作ることができるものである。

この作り方を応用し、8×8の対称魔方陣を作る。

(i) 8×8のマスを4×4の4つのマスごとに区切る。4つの4×4のマスのうち1つに、16マス中8マスに色をつける。

(ii) 色をつけたマスを対称移動させ、ほかのマスの対応する位置にも色をつける。次に、8×8のマスを1～64まで、自然配列で数字を入れていく。

(iii) 色のついた(ついていない)マスについて180°回転させ、対応する位置と数字を入れ替える。

なお、下線部について、ただ単純に16C8というふうを選ぶのではなく、以下の手順に従って進める。

<4×4のマスの色の塗り方のルール>

- ① 16マス中8マスに色をつける。
- ② 各行・各列において、4マス中2マスに色をつける。
- ③ 片方の対角線に関して対称になるようにする。

### 2. 結果と考察

その4×4の色の塗り方が何通りあるかについて調べた。その過程として対角線の斜めに連なった4マスと、階段状の6マス2つに分ける。ルール③より、対角線に関して対称にするため、階段状の一方がある一つに定めれば、他方もある一つに定まる。そこで、対角線を4マス全て塗る場合と、2マスだけ塗る場合とに分けて考える。

なお、対角線を1、もしくは3マス塗る場合はルール③を満たさなくなるため除外する。また、対角線を1マスも塗らない場合は、対角線を4マス塗る場合の色の付ける付けないを入れ替えることによって作ることができるため、こちらも除外する。

対角線を4マス塗る場合は、残りの階段状の6マスずつの2つから2マスずつ塗る。単純に考えれば $6C_2$ の15通りあるが、ルールに従って厳選すると、3通り見つけることができる。

対角線を2マス塗る場合は、残りの階段状の6マスずつの2つから3マスずつ塗る。この場合も同様にルールに従って厳選すると、12通り見つかるが、色の付ける付けないを入れ替えることによって出来るものが重複しているため実際は6通りある。合計すると、 $4 \times 4$ の塗り方は全部で9通りある。よって $8 \times 8$ の塗り方は9通りある。ここで、色の塗り替えによって出来るものは同じものとする。それに数字を当てはめていくことで9通り作ることができる。

#### 参考文献

①<http://www5b.biglobe.ne.jp/~suugaku/mahouhinn/>

②「魔方陣—円陣、星陣、サイの目魔方陣、立体魔方陣...」 内田伏一(著) 日本評論社

③「魔方陣にみる数のしくみ—汎魔方陣への誘い」 内田伏一(著) 日本評論社

# 暗号化の防衛力

後藤 翔・島村 和志・長山 大輔・牧野 青・林崎 修也

仙台第三高等学校

## Abstract

近年の情報技術は大幅に社会の発展を支援してきた。しかし、それは同時に個人情報保護の必要性をも著しく増加させることを意味する。暗号化システムは、このような個人情報への防衛である。RSA 暗号とは、よく知られている暗号化のひとつである。本研究では、RSA 暗号を分析し、実際の試行とともに防衛能力を考察していく。

## Methods

事前情報（材料）として、RSA 暗号の暗号化の流れを示す。

RSA 暗号は公開鍵暗号方式であるため、まずはその方式を記載する。

公開鍵暗号方式は、公開鍵と秘密鍵というペアの鍵を用いる。互いに関連はあるが、公開されている公開鍵から秘密鍵を作ることは不可能である。秘密鍵の方は、秘密にしておく鍵である。公開鍵暗号方式は共有鍵暗号とは違い、公開鍵で暗号化する。鍵は公開されており、暗号化のソフトウェアさえあれば、誰でも暗号化できる。公開鍵は、暗号化するための一方通行の鍵であるため、暗号化すると、元に戻すことはできない。RSA 暗号は、2つの素数を秘密鍵とし、その積を基準の数として公開鍵をつくる。

## 暗号化から解読の流れ

始めに、本文献では  $A$  を  $C$  で割った余りを求める計算を  $A \bmod C$  と表すとし、 $C$  で割った時の余りが  $A$  と  $B$  とで等しいことを  $A \equiv B \pmod{C}$  と表すとす。また数を  $C$  で割った余りで扱うことを「 $C$  を法とする」という。そして  $P, Q$  を素数とすると、 $P \times Q$  を法としたときある自然数を  $x \equiv 1 \pmod{(P-1)(Q-1)}$  となるような  $x$  乗すると元の数に戻る性質があることが知られている。

(例1:  $18 \div 5 = 3 \dots 3$  より  $18 \bmod 5 = 3$ )

(例2:  $28 \div 5 = 5 \dots 3$   $13 \div 5 = 2 \dots 3$  より  $28 \equiv 13 \pmod{5}$ )

(例3:  $9 \div 7 = 1 \dots 2$  であるから  $7$  を法としたとき  $9 \equiv 2$  と扱える)

まず情報を暗号化して送ってもらいたい人（以下  $A$  とおく）は2つの素数  $P, Q$  を選択する。次に  $P, Q$  の積と  $P, Q$  からそれぞれ  $1$  を引いた数の積  $P \times Q$  と  $(P-1)(Q-1)$  を求め、 $(P-1)(Q-1)$  と互いに素で  $1$  より大きく  $P \times Q$  未満の自然数  $n$  を選択する。次に  $mn \equiv 1 \pmod{(P-1)(Q-1)}$  となるような  $(P-1)(Q-1)$  未満の自然数  $m$  を求める。そして「法と鍵をそれぞれ  $P \times Q, n$  とする」と情報を送る側（以下  $B$  とおく）に公開する。情報を送る側は情報を数値に変換するが、この際どのようにして数値に変換するかを互いに知っておく必要がある。また、この際の数値は暗号化時に  $P \times Q$  で割ったときの剰余で操作するため、 $0$  以上  $P \times Q$  未満の自然数の組み合わせでなくてはならない。

$B$  はその数値をそれぞれ  $n$  乗し、 $P \times Q$  で割ったときの剰余を求め、その数値を  $A$  に送る。

$A$  はそれぞれの数値を  $m$  乗し、 $P \times Q$  で割ったときの剰余を求める。計算によって得られた数値を情報に変換する。

実際の暗号化を記載する。表計算ソフトは無料ソフトの“Openoffice Spreadsheet”を使用する。また、言語を数値変換する方法としては一般に広く普及している“アスキーコード”を用いる。

## 検証 1

1 回目 多くの文字数で使用できるよう  $P \times Q \geq 1000$  を目指し  $P=59, Q=67$  で作成

2 回目以降 前回の結果より  $P, Q$  の値を変更していく

図 1 :  $P=3, Q=11$  の場合 ↓

RSA暗号																	
素数P	3																
素数Q	11																
P×Q	33																
(P-1)(Q-1)	20																
(P-1)(Q-1)と互いに素でP×Q未満の自然数n	3																
↓																	
$mn \equiv 1 \pmod{P \times Q}$ となるm	7																
暗号化したい文字列	sakura						←ここに元となる英文を入力してください										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
バラバラに表示	s	a	k	u	r	a											
アスキーコード変換	115	97	107	117	114	97	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
計算しやすいように96を引く	19	1	11	21	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
暗号化する	28	1	11	21	24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96を足す	124	97	107	117	120	97	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
アスキーコード変換		a	k	u	x	a											
暗号化した文字列	akuxa																
	akuxa																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
バラバラに表示		a	k	u	x	a											
アスキーコード変換	124	97	107	117	120	97	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
計算しやすいように96を引く	28	1	11	21	24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
複合する	19	1	11	21	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96を足す	115	97	107	117	114	97	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
アスキーコード変換	s	a	k	u	r	a											
暗号化した文字列	sakura																

図2:P=11,Q=13の場合↓

素数P	11																
素数Q	13																
P×Q	143																
(P-1)(Q-1)	120																
(P-1)(Q-1)と互いに素でP×Q未満の自然数n	7																
↓																	
$mn \equiv 1 \pmod{P \times Q}$ となるm	23																
暗号化したい文字列	sakura						←ここに元となる英文を入力してください										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
バラバラに表示	s	a	k	u	r	a											
アスキーコード変換	115	97	107	117	114	97	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
数値を調整する	19	1	11	21	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
暗号化する	46	1	132	109	138	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
調整したものを元に戻す	78	33	164	141	170	33	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
アスキーコード変換	N	!	G	O	M	!											
暗号化した文字列	N!GOM!																
	N!GOM!																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
バラバラに表示	N	!	G	O	M	!											
アスキーコード変換	78	33	71	48	77	33	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
数値を調整する	46	1	132	109	138	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
複合する	140	1	97	101	102	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
調整したものを元に戻す	236	97	193	197	198	97	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
アスキーコード変換	◆	a	◆	◆	◆	a											
暗号化した文字列	◆a◆◆◆a																

## 結果 1

1回目 P=59,Q=67

“sakura”→”#a# #a” (#は途中で計算不能になったことを表す)

2回目 P=101,Q=103

”sakura”→”#a###a”

3回目 P= 3 ,Q=11(図1)

“sakura”→”sakura”

4回目 P=5,Q=7

“sakura”→”sakura”

5回目 P=11,Q=13

“sakura”→”#a###a”

1回目 プログラムの結果が元の文章に表示されず。(失敗)

2回目 異なる素数で検証を行ったが正しい文章が表示されず。(失敗)

3,4回目 1回目,2回目に用いた値よりも小さい素数を用いた。プログラムの結果,元の正しい文章が表示された。(成功)

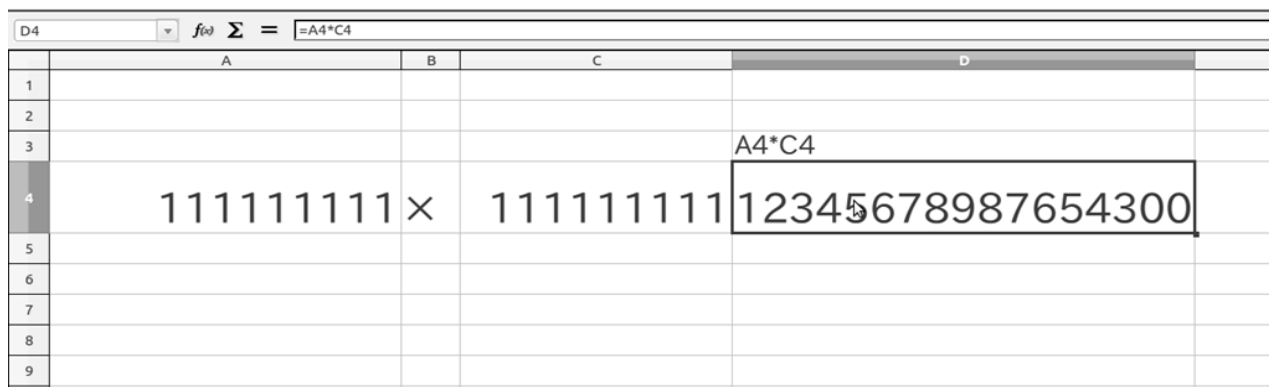
5回目 3,4回目に用いた数値よりも少し大きい素数を用いた。正しい文章を得ることができず。(失敗)

## 検証2

“Openoffice Spreadsheet”にて9桁の数字と9桁の数字の掛け算を行った。(図2)

## 結果2

最高位から15桁目までは表示されたが16桁目以降は”0”が表示された。



	A	B	C	D	E
1					
2					
3				A4*C4	
4	111111111	×	111111111	12345678987654300	
5					
6					
7					
8					
9					

図2: 9桁×9桁

## 検証3

(P,Q)=(11,13)の場合を“Openoffice Spreadsheet”を用いずに求め,その過程で16桁以上の数値が実際に現れるかどうか調べる。

## 結果3

“sakura”の”r”を復号化する手順の中で $11^{23}=895430243255237372246531$ (24桁)が現れた。

また,この数値で計算を進めたところ,”r”に復号することができた。

## Discussion

検証1の1回目,2回目では入力した内容には間違いが見つけれなかった。3回目で“Openoffice Spreadsheet”自体に問題点があるのではないかと考え,それを検証するべく“Openoffice Spreadsheet”上で計算結果が桁数の大きい数値になる計算を行わせてみたところ,最高位より15桁までは正しく表示された。(検証2) 検証1の5回目の  $p,q$  の組み合わせ  $(P,Q)=(11,13)$  で計算してみたところ,計算途中で16桁以上の数値を確認できた。(検証3) それらの数値を電卓で求めた値に置き換えて再び計算したところ,元の文章“sakura”に復号することができたことから,暗号化複合化時の  $[B$  はその数値をそれぞれ  $n$  乗し,  $P \times Q$  で割ったときの剰余を求める。] $]$  それぞれの数値を  $m$  乗し,  $P \times Q$  で割ったときの剰余を求める。]の計算過程で16桁以上の数値になってしまったときに数値が四捨五入されてしまい正しい剰余が求められなくなるのだと考える。このことから“Openoffice Spreadsheet”で RSA 暗号のプログラムを組むと  $P,Q$  に選択できる素数が大幅に限られてしまうことが検証を通して分かった。よって,膨大な桁数である二素数の積の因数分解は一般的なソフトウェアでは不可能であると判断できる。RSA 暗号に用いられる二素数は最低でも70桁を越えてしまうことから, RSA 暗号の秘密鍵を割り出すことは困難という結論に至った。

素因数分解は与えられた数を素数を使った掛け算の式に分解することである。例として,33なら  $3 \times 11$  という式に分解できる。このような桁数の少ない数は,見る機会が多い数である,その数よりも小さい素数が少ない,といった理由で簡単に素因数分解ができるのだが,それは何かしらの公式や規則に当てはめて割り出せるのではなく,経験則に依存するものである。

二素数が膨大な数となれば,その積である公開鍵のみから秘密鍵を割り出すことは,コンピュータの計算能力の限界から,時間的制約の天文学的増加により実質不可能になってしまう。巨大な二つの素数の積を素因数分解する効率的な方法は現在 (2011,2,9) 発見されていない。つまり二素数の積を求めることは簡単だが,逆にその積から素因数を知ることが極めて難しいということである。結果,公開鍵を公開してしまっても,秘密鍵を元々知る人以外には秘密鍵を知られず,安全は保証される。「素因数分解が困難」ならば「素因数分解を用いる RSA 暗号の解読も困難」ということだ。

## References

Wikipedia RSA 暗号 (<http://ja.wikipedia.org/wiki/RSA%E6%9A%97%E5%8F%B7>)

サルにもわかる RSA 暗号 (<http://www.maitou.gr.jp/rsa/>)

ブルーバックス 「暗号の数理」 一松 信 (著)

# 放射線

相沢柊斗・木村昇太・藤原崇・去田恵里奈  
宮城県仙台第三高等学校

ふだん生活している空間でも、放射線はあふれているという。そこで、通過した放射線の量を計測するガイガーカウンターを使用して、身近な物質や放射線物質を含む鉱石の放射線放出量を測定した。また、放射線の軌跡が見える装置を作って、観察した。

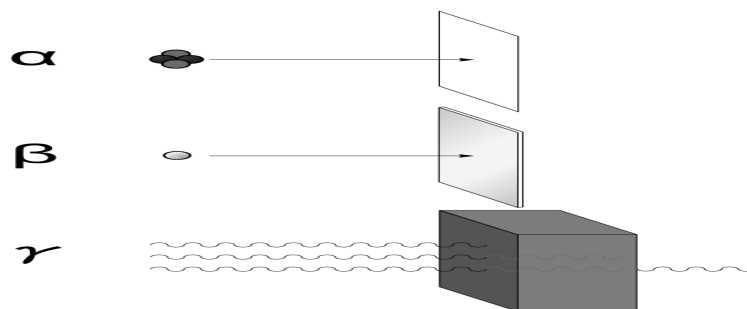
**研究の動機：** 私たちの生活の中でも、様々な所で放射線が使われている(放射線治療、X線検査など)ことを知り、これらには人体への影響があるのか調べたいと思ったため。

**研究の方針：** ① 身近な物質の放射線放出量を調べる。  
② 鉱石から出る放射線放出量の違いを調べる。  
③ 放射線の通過する軌跡を観察する。

## I 放射線とは

放射線とは、一般的には電離性を有する高いエネルギーを持った電磁波や粒子線のことを指す。広義な意味では電離性を有していない放射線も意味する事がある。

放射線には $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、X線などがある。X線、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の順に透過度が増し、ともに危険度も増す。X線を用いたレントゲンは有名である。



## II 実験1～身近な物質の放射線放出量を調べる～

実験方法：ガイガーカウンターを使い、放射線が出ているのか調べる。

実験器具：ガイガーカウンター 測定する物質

種類	ニンジン	コンブ	砂(校庭)	グロー球	埃	フィルター	特になし
放射線 放出量 (cpm)	96	88	73	97	114	139	83

- ・ニンジンとコンブは、カリウムを含む。
- ・グロー球には、ウランの一種が含まれている。
- ・埃には、様々なものが含まれている。
- ・フィルターも同様である。

## 実験2～鉱石の放射線放出量を調べる～

実験方法：ガイガーカウンターを使い、鉱石から放射線が出ているのか調べる。

実験材料：サマルスキー石 褐レン石 北投石 ユークセン石 タンタル石 ウラン

種類	ユークセン石	北投石	サマルスキー石	タンタル石	褐レン石	ウラン	特になし
放射線 放出量 (cpm)	365	85	99	108	129	213	83

- ・サマルスキー石(U)
- ・ユークセン石 (Th, U)
- ・北投石(ナシ)
- ・褐レン石(ナシ)
- ・ウラン鉱石(U)
- ・タンタル石(ナシ)

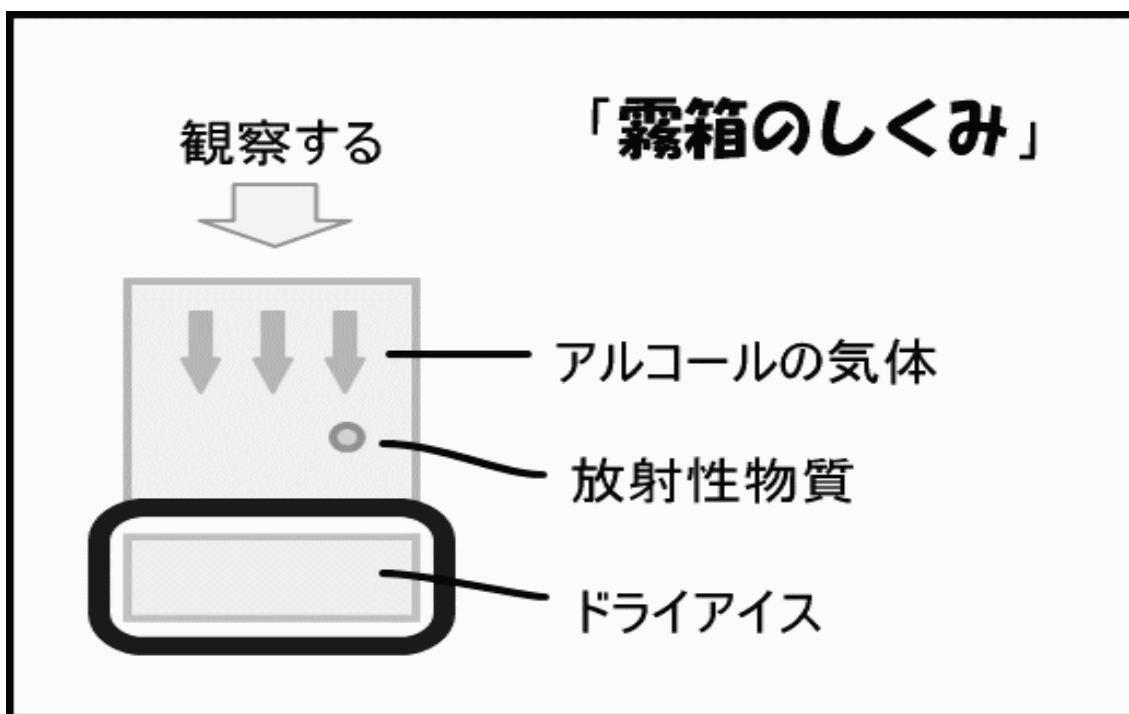


### 実験3～放射線の軌跡を観察する～

実験方法：霧箱(雲を発生させる箱)に放射線を通して道筋に雲が発生したのを観察する。

実験器具：霧箱 スポンジ スポイト エタノール 放射線物質 ドライアイス

原理：霧箱の中を過飽和水蒸気(凝縮核がない水分を十分含んだ状態)で満たし、放射線が通過すると空気がイオン化して、それが凝縮核になり、放射線の道筋に雲が発生する。今回は飽和水蒸気として水ではなくエタノールを使用した。



結果 放射線の飛跡を確認でき、見にくいですが撮影に成功した。  
放射線は燐銅ウランを中心として放射状に広がっていた。



## 結果と考察

実験1：塵や埃などからも放射線が発生していることが観察することができた。

やはり普段生活している空間にも、放射線は含まれている。

実験2：北投石による放射線放出量と、何もない状態の放射線放出量が同じだった。

鉱石によって放射線放出量に差があり、ウラン(U)には強い放射能があるようだ。

実験3：放射線の飛跡を観測することができた。放射線物質から放射状に発生している様子を観測することができた。

## 反省

実験1, 2では資料が少なかつたため、十分な実験結果を得ることができなかつたと思う。特に、実験1のように身近な物質の中にも多量の放射線を出すものもあるようなので、引き続き資料を増やし、追及していきたい。

放射線放出量の測定の際、放射線物質とガイガーカウンターとの距離が変化すると、カウントの量が変化する。だいたい同じくらいの距離で測定はしたが、正確な数値を得るためには、測定条件が変わらないような方法を考えなくてはならなかつた。

また、放射線は一定の間隔で出ているわけではないので、短い時間の測定では測定値にずれが生じ、数値に影響を与えていたことも考えられる。

## 参考文献

・放射能Q&A

([http://www.med.nagasaki-u.ac.jp/interna\\_heal\\_j/qa.html](http://www.med.nagasaki-u.ac.jp/interna_heal_j/qa.html))

・日本原燃-放射能について

(<http://www.jnfl.co.jp/radiant-env/index.html>)

・Wikipedia

(<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A1%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%83%9A%E3%83%BC%E3%82%B8>)

# 蓄音機について

班員・福井一城・松岡侑・渡邊大輔・今野陽太・鈴木大貴

現代の社会は音楽であふれている。「どこでも聴ける音楽」を生み出したエジソンの「蓄音機」とが、どういう原理で成り立っているのか、どうして蓄音機を作成しようと思ったか、などの経緯を調べたいと思ったため、身近にあるものを使って自らの力で「蓄音機」を作ってみることにした。そして、エジソン型蓄音機を作り、録音・再生に成功した。

## 研究の背景

- 1877年 エジソンが世界初の録音・再生装置「フォノグラフ」を発明した。
- 1909年 日米蓄音機製造によって国産レコードが作られた。
- 1910年 日本国内初の蓄音器「ニッポンノホン」が発売された。

## 動機

現代の社会は音楽であふれている。その音楽を初めて録音した「蓄音機」というものを調べたいと思ったから。また、身近にあるものを使って自分たちの力で蓄音機を作ってみたかったから。

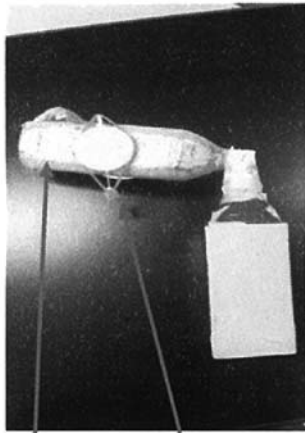
## 目的

現代には、ウォークマン・ipod・CDなどの様々な音楽機器であふれている。その原点となるエジソン型蓄音機を自分たちの手で作り、録音・再生すること。および、ありふれた音楽へのありがたみの再確認をすること。

## 作成方法（簡潔）

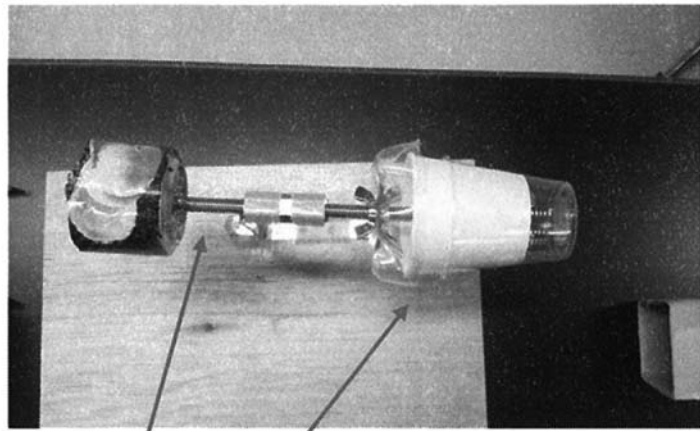
- 1 ペットボトルと紙コップなどでマイクを作る。
- 2 モーターと缶を輪ゴムでつないで、回転部分を作る。
- 3 マイクに針を取り付ける。
- 4 長ねじに2とプラコップを取り付ける。
- 5 それらをジョイントする。
- 6 コップをつけて、モーターを回せば完成。

↓ 1・3の写真



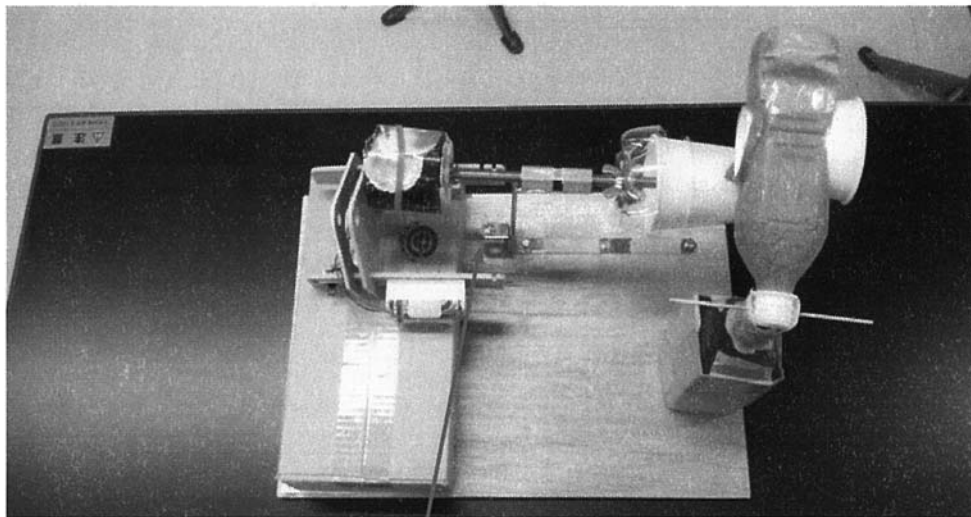
マイク 針  
(ペットボトル)

↓ 2・4の写真



長ネジ プラコップ  
(外の透明なコップに音が記録される)

↓ 蓄音機の完成写真 ↓



モーター (当時は手回しまたはゼンマイ仕掛け)

### 蓄音機が録音・再生できる原理

- 1 スイッチを入れて、モーターを回す。モーターと空き缶が輪ゴムでつながっているため、モーターと連動して空き缶が回る。

- 2 空き缶が回転すると長ねじも回り、コップが進む。
- 3 マイクに声を吹き込むと、マイクの底が振動し、マイクの底につけた針が声に合わせて振動し、コップに溝がつき、録音される。  
このとき、コップは回転しながら、ネジにより移動するので、らせん状の溝ができ、重複することなく長時間の録音が可能となる。
- 4 再生は同じ装置で、同じようにコップを回転させ、録音したコップの溝を針がなぞるようにすると、マイクの底が振動し、マイクから音が出るという仕組み。  
この場合は、マイクはスピーカーとなる。

## 実験

- 録音・・・プラスチック製のコップを使い、何十回目かによく均一に傷をつけることに成功した。  
声は、「あいうえおかきくけこさしすせそ」と吹き込んだ。
- 再生・・・傷をなぞっても、最初はどうもよく聞こえなかった。針の位地の微調整や、油をさすなどの試行錯誤を何回も重ねた結果、途切れていたり、録音時と再生時の速度が変わっていたりして、よく分からなかった音声が、ようやく、確認できるくらいに聞き取ることができた。
- +α・・・再生時にも金属製の針をつけると、録音のときと同じように傷をつけてしまうとと思われるので、針を竹に変えて再生してみたが、全く音が聞こえなかった。

## 考察

最初にうまく再生できなかった理由

- 1・・・ねじとナットの滑りが悪かったために、ねじがスムーズに回転しなかったから。
- 2・・・針がうまく刺さらず、傷を深くつけることが出来なかったから。

音が途切れた理由

- 1・・・缶と輪ゴムがしっかり固定されていないため、録音用の紙コップに均一に傷をつけられなかったから。
- 2・・・傷がついた紙コップの再生時に針を元の傷の位置につけることができなかったため、再生位置が変化してしまったから。

## 録音時と再生時の速度が変わった理由

- 1・・・ コップの形がプリンのような形のために1回転した時の針の進む距離が変わってしまったから。
- 2・・・ ナットとねじの摩擦の関係によってねじの通過する場所によって速度が変わってしまったから。

## 針の代わりに竹を使ったが再生できなかった理由

- 1・・・ 調べたところ、本格的な竹針は、熱して溶かした蠟に竹をつ染み込ませ、それを乾燥させるなどのことをしなければならぬようである。  
今回のようには、竹串の先端を削っただけでは、満身に音を再生することができないと思われる。
- 2・・・ 竹針の削りが浅く切り口も鋭くなかったため、鉄針がコップにつけた傷にうまく竹針がはまらなかったから。  
1で蠟を染み込ませ固くしないただの竹串は、柔らかすぎて、鋭さもないため溝を正確になぞり、音を再生することができないと思われる。

## 改善点

- 1・・・ もっと強力なモーター（場合によってはのコイルを自分たちの手で巻く）を用いれば、より正確かつ滑らかな音が再生できると思われる。
- 2・・・ 長ねじの重さがあるため、それを軽量化し、さらに摩擦を少なくすれば、スムーズに簡単に回転することが可能になる。

## 結論

身近にあるものを使って自分たちの力で蓄音機を作ることはできるが、非常に時間を消費し、多大なる努力を必要とした。また、完成品のクオリティーも高いものにはできなかった。

実験の際に指導・協力して下さった村上先生ありがとうございました。

## 参考文献

天才ビット君・オリジナル蓄音機を作ろう  
(<http://www.nhk.or.jp/bitland/about/tech/chikuonki2/index.html>)

# ヘリコプターにおける一考察

及川夏綺・高橋瑛美・能登谷唯華

宮城県仙台第三高等学校

**(要約)** ヘリコプターの動きは力の分解によって説明することができる。そこで運動の様子を観察するために、ラジコンのヘリコプターを用いて自分たちで装置を作成した。また、実際のヘリコプターとの相違点についても考察した。

**(はじめに)** 普段私たちの上空を飛行しているヘリコプターだが、どのような仕組みで飛んでいるのかあまり知らない。そこで、ヘリコプターがどのような仕組みで飛んでいるかを調べるために、ラジコンのヘリコプターを用いて自分たちで装置を作成し、仕組みや発展的な内容に迫ろうということでこの課題に取り組むことにした。

**(方法・材料)** 私たちは図1のような装置を作成した。このような構造をとることで、ラジコンをただ飛ばすよりも3つの利点を得られるからである。1つめは、支点と重りを設けることによって、つり合いが可能となり、簡単に静止状態にすることができること



▲ 図1

だ。このことについては後述する。2つ目は、支点の後ろにおもりを取り付け、てこの原理で機体を持ち上げることにより、より小さな揚力で飛び上がることが出来ることだ。そして3つ目の利点は、おもりとして容量の大きな電池を取り付け、ヘリコプターに配線することで稼働時間を長くすることができることである。

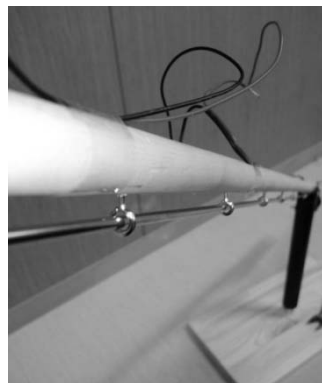
制作にあたり、大きく分けて4つのポイントに重点を置いて作成した。

[1] 支点を基準に上下運動ができるように、図2のような構造にした。

- [2] 前方・後方に傾くことができるように、図3のような構造にした。
- [3] ヘリコプターが地面と平行に上昇できるようにするため、図4のような構造にした。
- [4] 装置全体が360°滑らかに回転できるように、図5のように金属球を用いることで抵抗を小さくした。



▲ 図2



▲ 図3

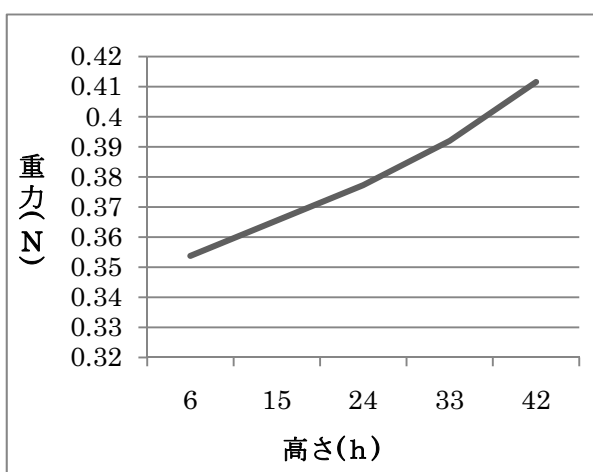


▲ 図4



▲ 図5

**(結果)** ヘリコプターにおいて、空中で停止状態にあることをホバリングというが、これはヘリコプターが細かく上下運動をすることで、見掛け上止まっているように見える。今回作成した装置では、力のモーメントのつり合いを考えることによって、ある一定の揚力を加えれば、ある角度の位置で静止することができる。

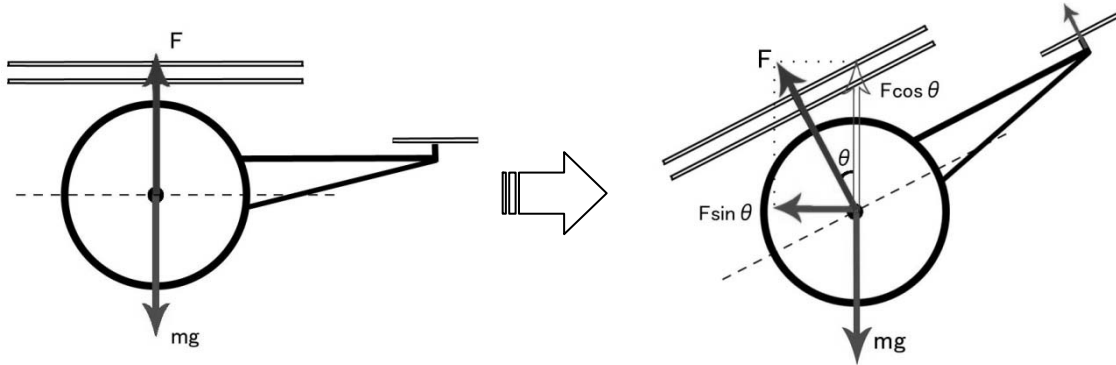


▲ 表1

そこで私たちは、角度と揚力の関係に目をつけた。ある高さにおけるヘリコプターにかかる重力を測定したところ、表1のような、グラフを得た。

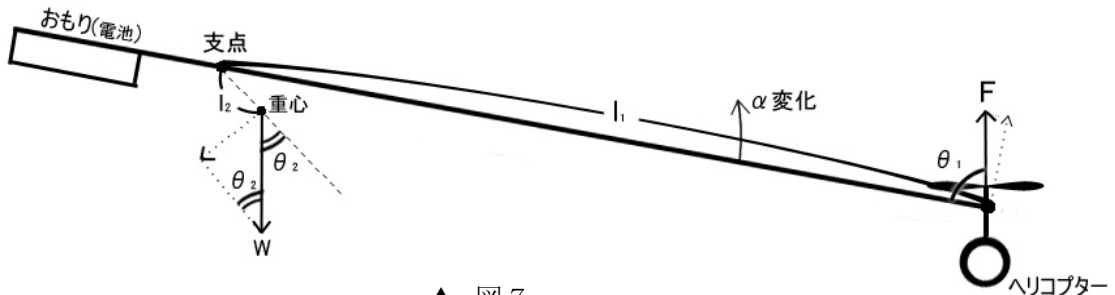


**(考察)** 今回実験では、ツインローター式のラジコンヘリコプターを用いた。ツインローター式のヘリコプターは、テールローターの揚力で機体を前方後方に傾けることによって、プロペラの回転面が傾き、推進力を得ている。実際に作製した装置のヘリコプターを傾けることにより、機体が前進後進することを確認することができた。



▲ 図 6

また、先ほどの結果より、ヘリコプターにかかる重力は、高さの増加に伴って単調増加することが確認された。



▲ 図 7

装置を模式的に表すと図7のようになり、つり合い  $l_1 F \sin \theta_1 = l_2 W \sin \theta_2$

$$\therefore F = \frac{l_2 W \sin \theta_2}{l_1 \sin \theta_1}$$

いま、角度  $\alpha$  だけ上がったとすると  $\theta_1 \rightarrow \theta_1 + \alpha$   $\theta_2 \rightarrow \theta_2 + \alpha$

このときの揚力を  $F'$  とすると、  $F' = \frac{l_2 W \sin(\theta_2 + \alpha)}{l_1 \sin(\theta_1 + \alpha)}$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} F' \text{ と } F \text{ の差をとると、} \quad F' - F &= \frac{l_2 W}{l_1} \left\{ \frac{\sin(\theta_2 + \alpha)}{\sin(\theta_1 + \alpha)} - \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \right\} \\ &= \frac{l_2 W}{l_1} \left\{ \frac{\sin \theta_1 \cos \theta_2 \sin \alpha - \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \alpha}{\sin(\theta_1 + \alpha) \sin \theta_1} \right\} \\ &= \frac{l_2 W}{l_1} \left\{ \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2) \sin \alpha}{\sin(\theta_1 + \alpha) \sin \theta_1} \right\} \end{aligned}$$

$\theta_1 > \theta_2$  なので、 $F' - F > 0$  つまり  $F' > F$

$\theta_1 > \theta_2$ とするためには、重心が支持のアームの下方にくるようにすればよい。そのため、ヘリコプターとおもりは、アームの下方にぶら下げる形でセットした。

よって、上昇したときの方が、揚力が大きくなることがわかる。つまり、ヘリコプターがつりあうための揚力は高さとともに単調増加することになる。ある高さでヘリコプターにかかる力が釣り合っているとすると、その高さから何らかの原因でわずかに上昇したとしても、その点で釣り合う揚力は大きくならなければいけないので、結局つり合いは崩れてしまい、ヘリコプターには下向きの力が働くことになる。また、もしつり合いの位置より下になったとすると、揚力が釣り合おうとして大きくなり、結果つり合いは崩れ、上向きの力が働くことになる。このようなつり合いの位置に戻そうとする力を復元力という。

今回作成した装置はこの復元力のおかげで、安定した飛行ができたのである。実際のヘリコプターは重力と揚力が釣り合っていたとしても、重力は一定なので復元力が働くことはなく、安定した点（静止する点）は存在しなくなるということである。力が釣り合っていると静止または等速直線運動をする。何らかの影響でつり合いの位置からずれたとしても、そこに戻す力がない限り移動を続け、静止はしないということである。

以上のことから、実際のヘリコプターは操縦がとても難しいということがわかる。

**(謝辞)** 実験にあたり、村上先生には多大なご協力をいただきました。ご指導いただいたこと心より感謝申し上げます。

### **(参考文献)**

滋賀県防災航空隊 <http://www51.tok2.com/home/sar/>

### **(補足)**

ツインローター式：機体上部で回転する主となるローター（プロペラ）が、同じ重心軸上に二つあるヘリコプター。それぞれが逆向きに回転することで、反作用の力を打ち消している。また、機体尾部先端の上部にテールローター（小さいプロペラ）が付いているものもある。

# オーロラの研究 (物理 6 班)

仙台第三高校

メンバー

2年1組 岡村昭慶、佐藤駿至、高取拓哉 2年2組 金田拓朗、内藤貴仁、野田泰樹

## Abstract

「太陽風」と呼ばれる太陽から放出される風に含まれるプラス、マイナスの電荷をもった粒子（プラズマ粒子）が、大気中の原子に高速で衝突することで生じる。

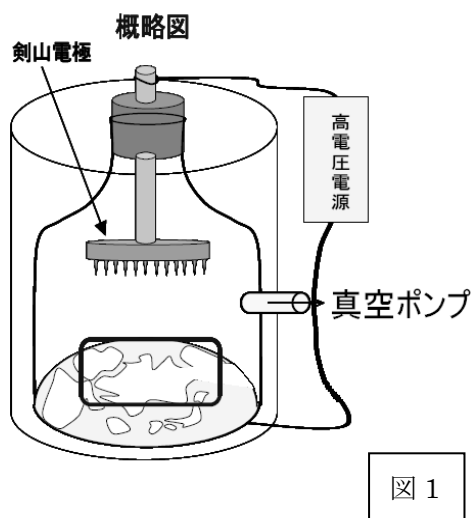
その際原子は電子により運動エネルギーを与えられて、不安定な状態（励起状態）になる。その後、原子は正常な状態に戻ろうとして、余分なエネルギーを光として放出する。その光を「プラズマ」と言い、プラズマの様子がオーロラである。

## Introduction

- 綺麗なオーロラを作りたいかった。
- 発生の仕組みについて知りたかった。
- 三高のみんなに夢と希望を与えたかった！！

## Materials (図1)

真空ポンプ	真空グリス
釣鐘型ガラス容器	ネオジウム磁石
剣山	真空度測定器
真空盆	誘導コイル
茶こし	



(電子を飛ばしやすくするためには、先端が尖っているものが多数ついているものが必要なので剣山がもっとも適した。)

## Methods

- 1 ガラス容器の上部に剣山を針金でぶら下げる。そして、誘導コイルの一極を剣山に、+極を真空盆に接続する。
- 2 地球に見立てた小さい茶こしを真空盆の中央に設置する。その際、地球の磁極に見立てた磁石も用いる。
- 3 ガラス容器や真空ポンプ、真空盆からの空気漏れの恐れのある部分に真空グリスを塗り、ガラス容器内を真空状態に近付けるようにする。
- 4 真空度を上げながら誘導コイルのスイッチを入れ、剣山上部から金網に向かって高速の電子が移動する。これを容器内の変化を見つつ、真空度を真空度測定器の水銀柱の差を見て求める。

## Result

0.013 気圧あたりで剣山が光り、磁石のまわりにリング状に発光が見えた。(図 2) しばらくした後、金網が点滅しはじめた。0.0083 気圧あたりで金網全体が発光し金網のリングの点滅が激しくなった。(図 3)0.0079 気圧あたりでリングの形が安定し、金網の発光が目立たなくなった。0.0007~0.0005 気圧時にオーロラの完成形と思われるもの(図 4)がみることが出来た。真空に近づくとつれてオーロラの色が紫から白に変化していった。磁場の形がみることができた。電流を逆にしてもオーロラは発生しその位置が変わっただけだった磁石から渦状のものが発生した。真空度のすこしの差でオーロラの状態が大きく変化した。

## Discussion

磁石を大きくしたところオーロラが出来やすくなったので、磁力が強いほうが、オーロラが発生しやすいことが推測出来る。密閉しきれないと空気が入り、その真空度によりオーロラの色が変化した。これは、真空に近づくとつれて空気が抜けていくにつれて紫色を発する窒素が少なく

なったため白色に変化したのだと思われる渦は磁石の磁界に電子が集まったから見られたのだとおもう。これより、真空度が不完全な場合にいろいろな気体を注入することによって、色々な色の発光を見ることができると思われる。一般的な緑色のオーロラは酸素によるものだと思われる。

## Conclusion

今回行った実験の内容において、真空にしたガラス容器内に酸素、窒素を入れてオーロラの色の変化を調べる事と、磁石なしで実験を行った場合との比較をすることができなかったことが挙げられる。

しかし、真空度の調節により今回使用した器具で限界まで気圧を下げることで、よりオーロラに近いものを見ることができた。

## Acknowledgement

河原田先生を始め、多くの先生方に協力いただきました。

みなさんありがとうございました。

## References

実験室でオーロラをつくる！！

[homepage2.nifty.com/nakazawa-yoh/sakusaku/old-version/sub03.html](http://homepage2.nifty.com/nakazawa-yoh/sakusaku/old-version/sub03.html)

Live!オーロラ

<http://aalive.net/howto>



图 2

图 3

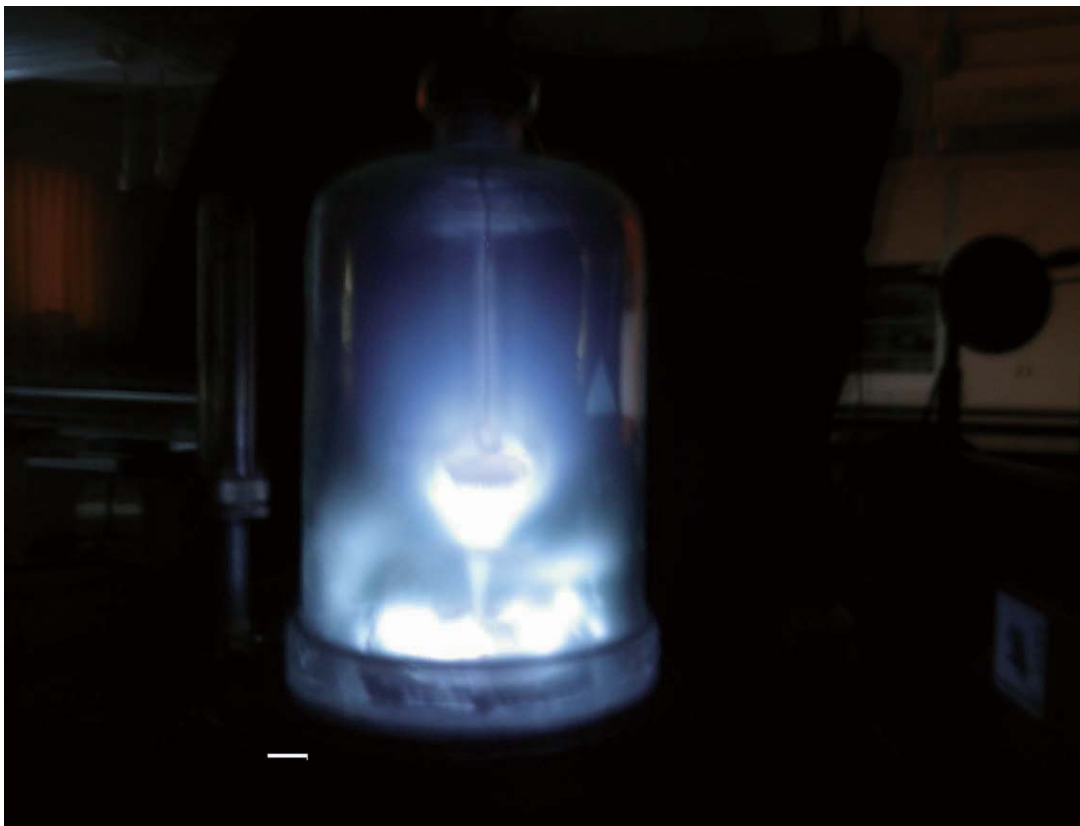


图 4

# 割りばしをまっすぐに割るための法則

橋本尚吾

班員・橋本尚吾・片山浩一・千葉祐樹

菅井頌太・加茂有機・佐々木潤

仙台第三高校理数科

## 1. Abstract

私たちは、割り箸をうまく割る法則を発見するために、たくさんの割りばしを割った。2つの実験に取り組み、試行錯誤することで実験の方向性が定まった。一般に言われている、割り箸の黄金則の証明は予想以上に困難なものであった。元来、割り箸を口で割ることはタブーとされているため当初、この実験は手で行われるはずだった。しかし、さまざまな不具合が生ずるために新たに実験器具を製作し機械的かつ正確に行ったのである。

## 2. Introduction

動機は、私たちの身近な動作として、割りばしを割ったときに、まっすぐ割れるときとそうでないときがあり、どうすれば上手く割れるのかと疑問に思ったことである。また、実験内容が画期的であり、その実験テーマを提供してくださった河 $\lambda$ 先生と実験をしたかったからである。結果として、本当にうまく割る法則が存在するのか確かめ、それを科学的根拠に基づいて、証明したいと考えたからである。

【一般に言われている割り箸の黄金則】

『下から三センチのところを持って割ることは』 $\Leftrightarrow$ 『一番綺麗に割り箸を割ることである』の論証も含めておこなっていく。

今回の実験に於いて、割りばしの定義として以下のことを設定する。

・左右からの力により中央の割れ目で二つの木に分離されるもの

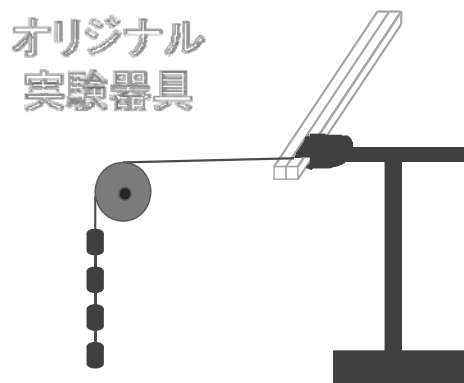
(ただし、毎回綺麗に中央で割れるとは限らないという条件の下で行われる)

- ・今回の実験に関しては、割りばしは木で作られた物のみを、さすことにする。
- ・割りばしを割ったときに生ずるうまく割れなかった部分を、遊びと呼ぶことにする。

### 3.Materials and Methods

割りばしの片側をスタンドのアームに固定し、もう一端をひもにつなぎ、滑車を介しておもりをぶらさげる。

おもりの力によって割りばしを割る。



割りばしを綺麗に割るための条件を見つける

#### 実験(1)

・先端からの長さ0.5 cm ずつ、タコ糸をずらしながら割れる時の重さと開きそして、割れた後の割りばしの遊びを測定する

#### 実験(2)

・先端からの長さ0.5 cm ずつ、タコ糸をずらしながら、各々の長さで一気に1000グラムのおもりを吊るして割る

・限界までいったら、1500グラム、2000グラム・・・・と500グラムずつおもりを増やして遊びを測定する



## 4.Results (4 ページ参照)

実験(1)より、遊びが4 mm を超えることはなかった。23 回中 18 回、が 2 mm 以内で収まることと、3 mm や 4 mm が出てくる不規則性からみて、実験者の慣れなど、何らかの不具合が生じた。また、実験(1)の最大の問題点として、各条件を指定したときに割られる箸が 1 本しかなく、箸毎に固体差が出てしまい、統計学的に信憑性の得られないデータになってしまったことが挙げられる。このことから実験(1)は失敗に終わったといえる。また、開きの数値に関しては、今回の実験にはあまり関与する要素でなかったことがわかった。平均値をとりたいという意味でも、時間的に排除したい条件であった。

実験(2)は方法としてはうまくいった。ただし、こちらも実験(1)同様に実験データのもとになる割った割りばしの本数が圧倒的に少ないために、信憑性の低いデータになってしまったのは認めざるを得ないのである。

## 5.Discussion

全体的に遊びは 6 mm 以内となった。また、縦軸の 2 mm 以下のところをみると、一番綺麗に割れているのは、平均的にみて、下から 5 cm のところとなった。下から 3 cm のところでは、三回遊びが 1 cm という結果なので綺麗に割れてないとは言えない。他に一回でも 0 が出たかつ平均的にも綺麗に割れているのは、3.5 cm の時より、確かに 3~3.5 内で綺麗に割れるということも読み取れる。遊び 1500g の時では一回も遊び 0 がでてないのも読み取れる。ただしどれも少ない本数での話であって、正しいとは言い難い。なので後輩にぜひとも続けてもらい法則をみつけてもらいたい。

## 6.Acknowledgement

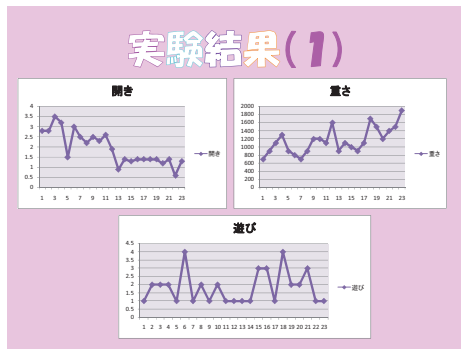
河  $\lambda$  先生

東北大学教授

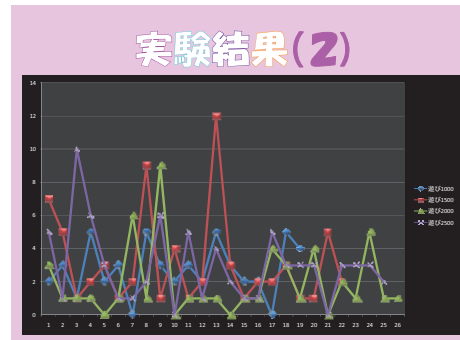
## 7.References

- ・ 萩原芳彦/鈴木秀人 著『よくわかる破壊力学』平成 12 年 6 月 30 日
- ・ 谷村康行 著『絵とき破壊工学 基礎のきそ』平成 21 年 3 月 29 日

実験結果のグラフ



グラフ i



グラフ ii

※注釈

・グラフ i

左上のものは割れる一個前の割りばしの先端の開きを表している。横軸は固体番号である。

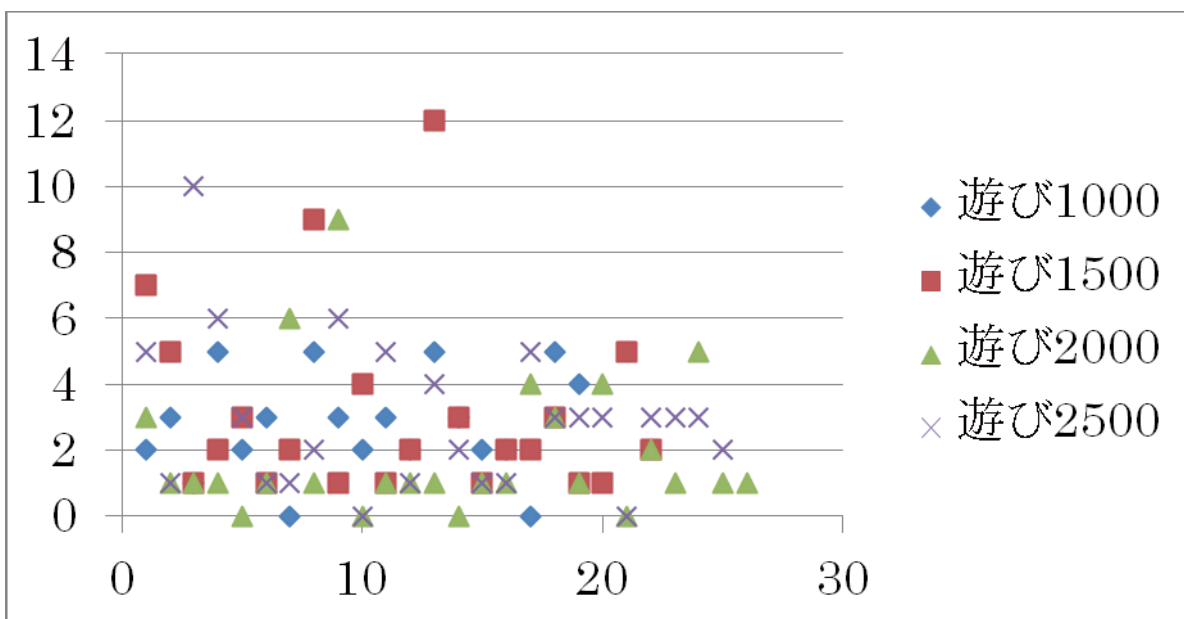
右上のものは割れる直前のおもりの量を表している。

中央のものは割れた時の遊びの長さを表している。

・グラフ ii

遊びのみのグラフである。縦軸に遊びの長さ、横軸は固体番号である。

上図グラフ ii を散布図に変換したものである。



# 虹の研究

・班員 福士 堅 佐藤 拓也 田母神 一樹  
菅原 雅熙 千葉 州平

・動機 身近な物理現象である虹に興味を持ち、調べてみたいと思ったから。  
虹の発生条件を調べ、確かめてみたかったから。

## ・虹の定義 (図 1 参照)

虹は赤から紫までの光の帯が並んだ円弧状の光のことであり、太陽光が雨粒内で屈折と反射をすることによって生じるが、前方に雨が降っていて、背後から強い太陽光線が差し込むといった条件が整ったときだけに見られる。普段私たちが見ているのは主虹で、主虹の外側にもう一本、やや色は薄い、虹が見えることがある。この虹を副虹といい、色の配置は主虹とは逆になっている。主虹は仰角が 40~42 度となる位置に見られ、副虹は仰角が 51~53 度となる位置に見られる。そのため主虹は下に、副虹は上に見られる。観察者が見ることができる虹を主虹で説明すると、無数の雨粒のうち、高い角度にある雨粒からは赤に近い光が、低い角度にある雨粒からは紫に近い光が観察者の目に届くため、赤が一番外側で紫が内側という構造に見えている。たくさんの雨粒から仰角のなす角度によって、異なる色の光が見えて初めて虹となる。副虹の場合は色が反対となるが、同じように説明できる。

## ・光学的な虹の説明 (図 2 参照)

それぞれの雨滴が反射する光のスペクトルは観察者が見る虹と向きが逆になっている。雨滴内部での光の反射は、主虹では 1 回、副虹では 2 回であり、雨滴に入るときと出るときで各 1 回屈折を起こす。屈折の角度は色によって少し異なっている。観察者が見ることができる虹を主虹で説明すると、無数の雨粒のうち、高い角度にある雨粒からは赤に近い光が、低い角度にある雨粒からは紫に近い光が観察者の目に届くため、赤(波長が長く屈折角が小さいので屈折しにくい)が一番外側で紫が内側という構造に見えている。それぞれの雨粒は多色の光を反射しているが、1つの雨粒からはそのうちの 1 色のみが観察者の目に届く。たくさんの雨粒から「太陽」-「プリズムとなる水滴」-「観察者」のなす角度によって異なる色の光が見えて初めて虹となる。副虹の場合は色が反対となるが、同じように説明できる。この角度は、空気と水との

屈折率の比により主虹、副虹ともに決まっているため、太陽の高度によって見えやすさや虹の大きさが決まる。40～50度よりも低いと、観察者から遠い上空の雨粒を通過して虹が見えるため、大きな虹ができる。40～50度よりも高いと、観察者に近い地上付近の雨粒を通過して虹が見えるため、虹は小さく見えにくい。

・虹の色について（図3参照）

観察者が見ることができる虹を主虹で説明すると、無数の雨粒のうち、高い角度にある雨粒からは赤に近い光が、低い角度にある雨粒からは紫に近い光が観察者の目に届くため、赤が一番外側で紫が内側という構造に見えている。たくさんの雨粒から仰角のなす角度によって、異なる色の光が見えて初めて虹となる。副虹の場合は色が反対となるが、同じように説明できる。

・実験（図4参照）

必要なもの・・・虹ビーズ、黒画用紙、スプレーのり、新聞紙、紙コップ（虹ビーズを振りまくときに便利）、光源装置、太陽光、定規、段ボール、分度器

※虹ビーズとは、プラスチックで作られている直径0.3mmの透明な物質です。虹を観察する実験の際に用いられることが多く、また、個体潤滑剤としても利用されています。屈折率は1.56・・・で、水の屈折率1.33・・・より大きいため、虹の見える角度は実際の虹よりも小さくなる。

—やり方—

- ① 新聞紙の上に黒い板を置き、板にまんべんなくスプレーのりをふきかける。
- ② その上に、小さな穴をあけた紙コップを用いて虹ビーズを振りかける。その際、虹ビーズの厚さが均等になるよう振りまかねばならない（ムラがなければいけないほど虹がきれいに見える）ので、指で慎重になじませ広げていくとよい。
- ③ 均等に広がったら、黒い板を立て、画用紙につかなかった虹ビーズをトントンと落とす。このとき、落とした虹ビーズは捨てずに集め、とっておく。（虹ビーズはとても高価なのでなるべく再利用したいため）
- ④ 板を乾燥した場所に置き、スプレーのりを乾かす。
- ⑤ 周りを暗くして光を当て、虹を観察した。
- ⑥ 虹の赤色と紫色の見える角度を調べた。

カッターで穴をあけ、スリットを作ったダンボールを窓に直接はり、そこから壁にはった黒い板の光の通っている場所に紐を伸ばし、虹の見える場所に立っている観測者の目線の位置まで紐を伸ばす。できた紐の角度を測定する。

## ・結果

	一回目	二回目	三回目	四回目
赤色の見える角度	17,2°	18,4°	16,8°	17,3°
紫色の見える角度	13,2°	12,4°	13,5°	13,1°
赤色の見える角度の平均値	17,4°			
紫色の見える角度の平均値	13,1°			

### <考察>

一応実験は終了したものの、計測の仕方や回数を考えると、正確な値がとれたかどうかには疑問が残る。実験器具の作成や実験方法を考えるのに時間をとられて、実験にあまり時間を取れず、最終的には焦って実験を行うばかりであった。また、初めは光源装置を用いて実験を行ったが、光源装置では光が弱く、最終的には太陽光を用いて実験を行うことにした。しかし、太陽光だと晴れた日にしか実験が行えず、冬の間などは実験を行うには条件が厳しい日が続いた。実験の内容をよく考えず、自然条件に左右されてしまったことが今回の課題研究の反省点である。さらに、実験の種類を考えると、あまりに単調な実験であり、発展性に乏しかった。もう少し発想を膨らませ、自分たちオリジナルの実験を行うことができればよかったと思う。

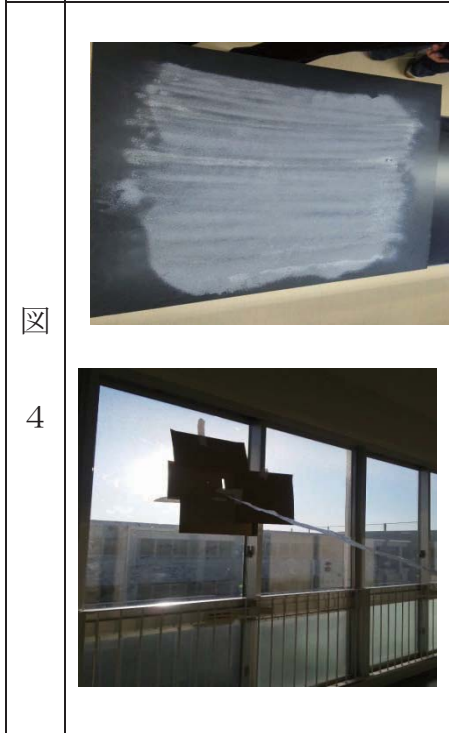
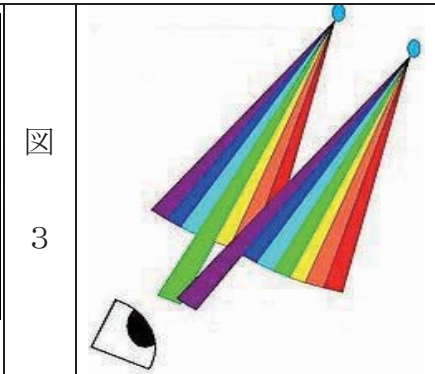
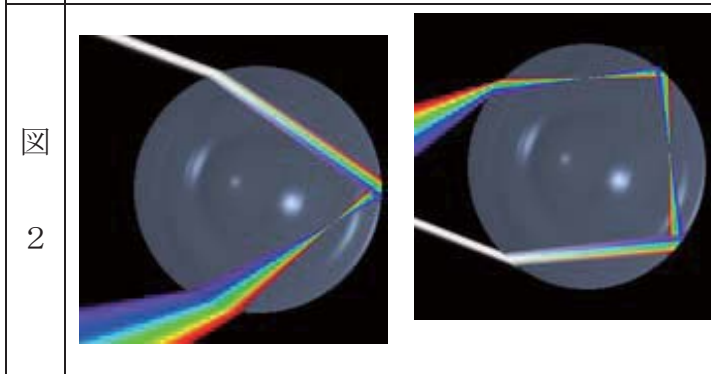
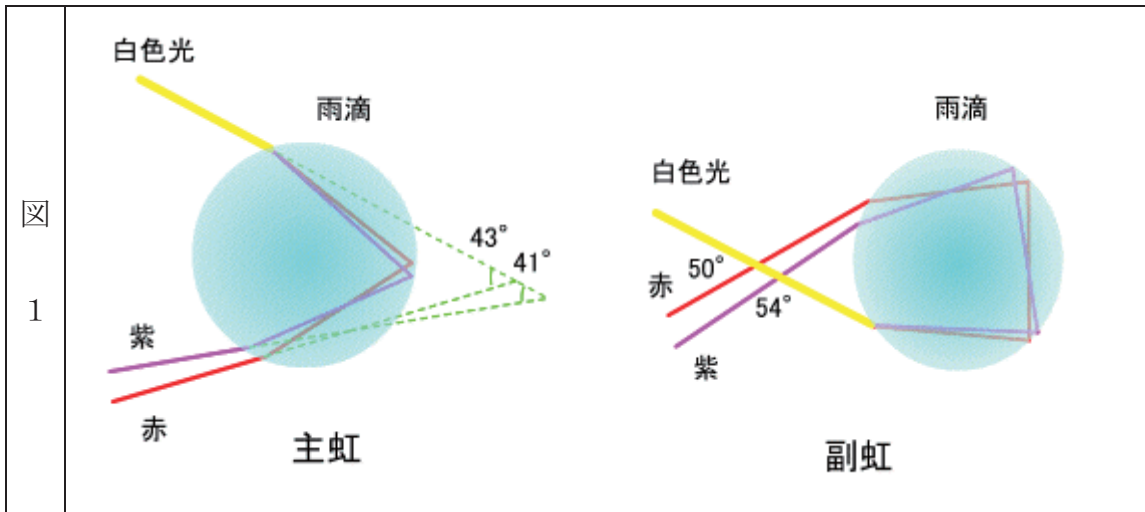
今回、私たちが考えたオリジナルの実験としては、光源装置や太陽光の代わりにレーザーポインターなどを使ってみることなどが考えられたので、この発展形の実験を試してくれる、または、これよりももっと発展した実験を考えられるという方はチャレンジしていただきたい。

### <参考文献>

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%99%B9>

[http://www.urap.org/\\_forum/ashi/science/kadaikenkyu/rainbow2.pdf#search='虹ビーズ'](http://www.urap.org/_forum/ashi/science/kadaikenkyu/rainbow2.pdf#search='虹ビーズ')

<http://www2.hamajima.co.jp/~tenjin/labo/nijiscr.htm>



# 光速の測定

仙台第三高等学校

清水智弘・菅田悠平・田中和幸

## 要約

光速を測定するために回転鏡を作成、その後回転数を測定し電圧と回転数が比例関係にあると分かった。

## はじめに

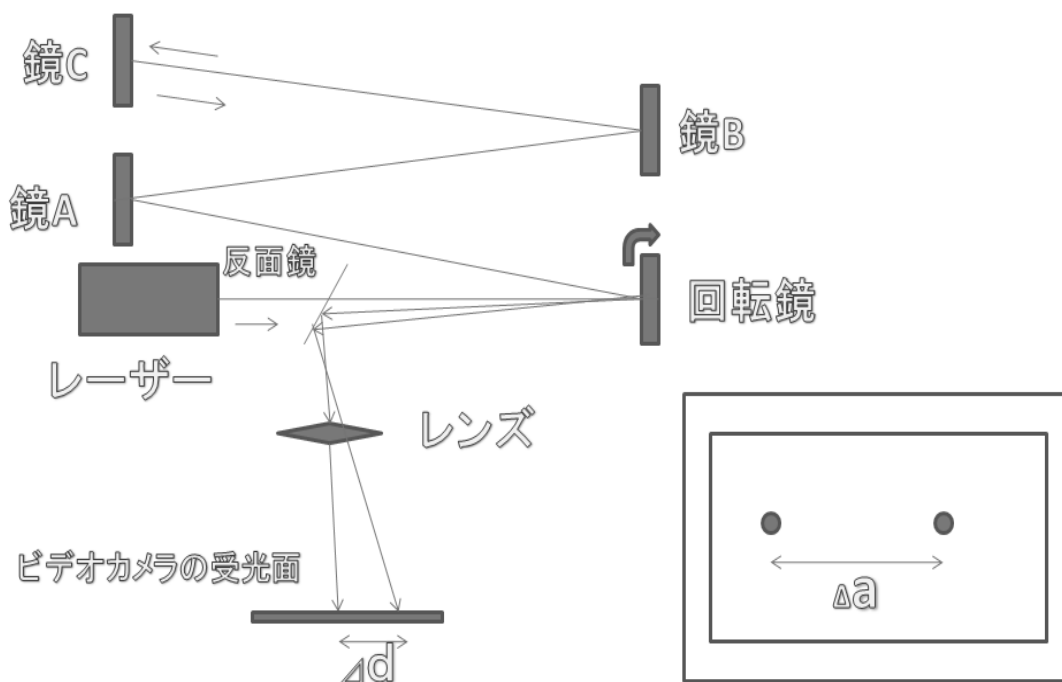
現在では真空の光速は  $299792458\text{m/s}$  と定義されているが、この光速を測定することは多くの科学者が挑戦しており、その結果今日の結果が得られている。また  $1\text{m}$  の定義もこの光速を用いて定義されており、光速は非常に重要なものである。

今回私たちは、光速を教室という非常にスケールの小さい場所で拘束を測定することに挑戦した。

## 動機

物理の授業で光速について学習し、昔の人たちはどのように測定しようとしたのか、また自分たちの手で測定するにはどういう方法があるのか気になったから。

## 実験方法



上図において光はまずレーザーから出て反面鏡、回転鏡、鏡 A、鏡 B、鏡 C を経由して再び鏡 B、鏡 A、回転鏡へ進み、反面鏡で反射しビデオカメラの受光面に当たり、モニターに点が映る。回転鏡の回転数を変えると点が移動する。このことを利用して、光速を求める。

モニターに映った輝点の移動距離から光速度  $c$  を求める。

回転鏡で反射した光が A, B, C の鏡で反射して 再び戻ってくるまでの時間が  $\Delta t$  であるから光速度  $c$  とし、 $l$  を片道の光路長とすると、

$$\Delta t = 2l / c$$

また、回転鏡の角速度を  $\omega$  とし回転数を  $n$  とすると、

$$\omega = 2\pi n$$

そして反射光の変動角を  $\Delta\theta$  とすると  $\Delta t = \Delta\theta / 2\omega$

$\Delta\theta$  はモニター画面上を移動した輝点の移動距離を  $\Delta a$  とすると

$\Delta\theta = K \cdot \Delta a$  という関係式になる

( $K$  は望遠鏡、ビデオカメラ等の 総合倍率に相当する係数)

これより光速度  $c$  は

$$\begin{aligned} c &= 2l / \Delta t \\ &= 2l / (\Delta\theta / 2\omega) \\ &= 4\omega l / K \cdot \Delta a \text{ となる} \end{aligned}$$

・  $\omega = 2\pi n$  を代入して整理すると

$$c = 8\pi l \cdot (1/K) \cdot (n / \Delta a) \quad [\text{m/s}]$$

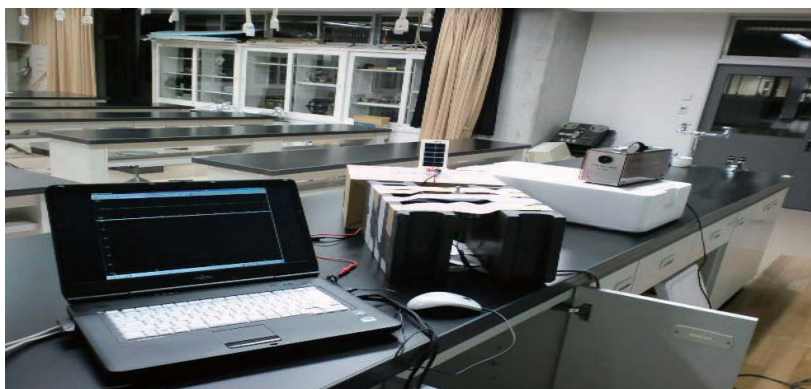
よって、 $K$  を求めれば、 $c$  が求められる。

## 回転鏡の作製

掃除機からモーターを取り出し、回転軸のナットに 1 cm 四方の鏡を接着する。

発砲スチロールのブロックにテープで固定したうえで回転中に装置自体が動かないようにする。

モーターを変圧器につなげ回転数を変えられるようにする。





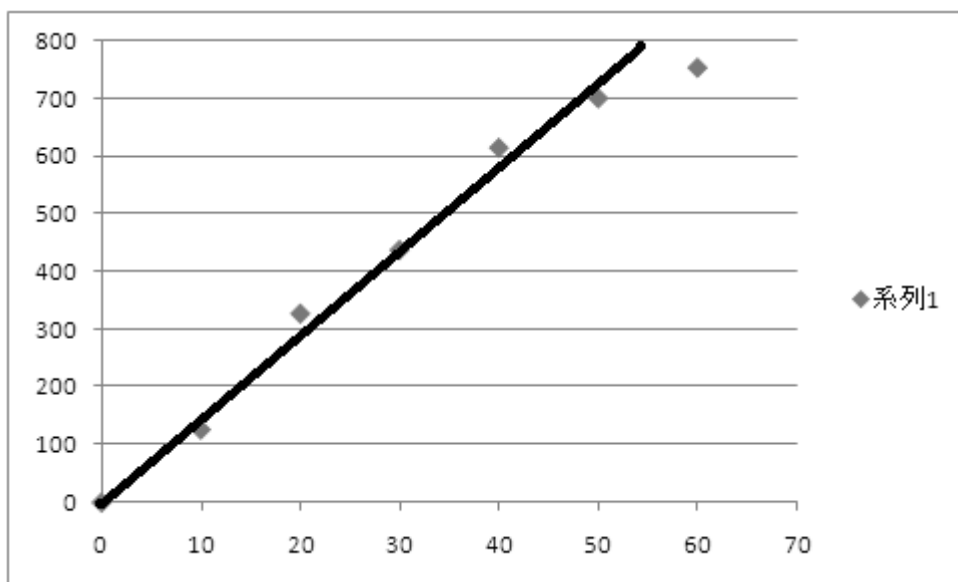
## 回転鏡の回転数の測定

以下の方法により回転鏡の回転数  $n$  を求める。

- ① 回転鏡が一回転する間に反射光が一回太陽電池を横切るようにセットする。
- ② 太陽電池で拾った信号をオシロスコープにつなぎその波形から振動数を求める。
- ③ その振動数が回転鏡の回転数になる。

実験結果は以下のようになった。

V(ボルト)	ms(ミリ秒)	回転数(Hz)
10	7.93	126.1034
20	3.06	326.7974
30	2.29	436.6812
40	1.63	613.4969
50	1.43	699.3007
60	1.33	751.8797



グラフの縦軸を回転数(Hz) 横軸を電圧(V)とする。

## 考察

上記の実験結果より、電圧と回転数の間に一定の比例関係が確認された。  
最も誤差が少ないと思われる30Vと40Vの時の回転数を採用することとする。

## 光速の測定の実験

実験装置を作ったものの鏡の反射性が低いためレーザー光がうまく反射せず断念した。

## 反省・感想

回転鏡の作製に予想以上に時間がとられ、実験装置自体を作るのに十分な時間がとれなかった。また、回転鏡はかなりの回転数を必要とするため軸に取り付ける鏡の強度に問題があった。光速測定までたどり着けず、残念であった。

## 謝辞

市川先生ありがとうございます

## 参考文献

いきいきわくわく物理実験2(愛知岐阜三重物理サークル)  
2002年3月25日 日本評論社

# コロイドで夕焼けを作る

細川響・相原達哉・今泉健太・遠藤大輝・藤田光

仙台第三高等学校

## 要約

私たちが当初掲げたテーマは、「夕焼けをつくろう」というものであった。このテーマについてはうまくいかなかった(実験1),そこで私たちは、夕焼けの発生する条件を詳しく調査した。その後、実験1で用いた乳濁液はコロイド溶液と呼ばれる状態にあり、その中に夕焼けを起こすことができる粒子が存在していることがわかった。私たちは、コロイド溶液と夕焼けの関係をよりはっきりと示すため、さまざまなコロイド溶液を用いて夕焼けを発生させることができるかを調べた。(実験2)

## 夕焼けの仕組みについて

夕焼けが出来るにあたって、散乱という現象が大きく関係している。散乱には大きく分けて2種類あり、衝突する物質の大きさや形状によって分けられる。

1つはミー散乱と呼ばれるもので、これは直径が光の波長の380nm~820nmより大きい球状の物質に光が当たった時に起こるものであり、もう1つはレイリー散乱と呼ばれるもので、こちらは光の波長より短い物質に光が当たった時に起こるものである。

夕焼けや青空に関する散乱はレイリー散乱によるもので、レイリー散乱の強度は、散乱係数というものによって表わされる。これを  $K$  とおくと、 $K$  は

$$K = (2\pi^5) / 3 \cdot n \cdot \{(m^2 - 1) / (m^2 + 2)\}^2 \cdot d^6 / \lambda^4$$

と表すことができる。ここで、 $n$  は粒子数、 $m$  は反射係数、 $d$  は粒子径、 $\lambda$  は波長を表している。

この式において重要なのは、最後の  $1/\lambda^4$  の部分である。このことから光の散乱の強度は波長以外の条件をそろえた場合、波長の4乗に反比例することがわかる。すなわち、波長が短いほど散乱されやすく、波長が長いほど散乱されにくい。

また、太陽の光は様々な波長(色)の光が集まって白色光となっている。

日中は地球の大気層を通過する距離が短いため、空気中の微粒子に光があたり、散乱されやすい青色光が散乱され、目によく届くが、散乱されにくい赤色光は散乱されないため目に届きにくいので、空が青く見える。

また夕方は逆に大気層を通過する距離が長いため、青色光は散乱されすぎて、空は青空ではなくなり、ちょうど、赤色の光が目に入りやすくなる。これが夕焼けである。

また、今回実験で用いたコロイドとは、2物質があるとき片方の物質が微粒子となり静電気的な反発力によってもう片方の物質中に均等に分散している状態を表す。コロイド中の微粒子の大きさは、 $10^{-8} \sim 10^{-7}$  mであり、レイリー散乱が起こる条件を満たしている。

### 実験1

実験の材料: オーバーヘッドプロジェクター (以下 OHP) 両端を透明アクリル板で塞いだアクリルパイプ  
(写真1) キーピング(洗濯のり)

手順1 アクリルパイプの中を水で満たし、そこにキーピングを2、3滴加えよく混ぜて濃度が均一になるようにする。

手順2 アクリルパイプを固定し、横から OHP の光を入射させ、光の色を観察する。

### 結果

光が少し橙色に散乱したが自然現象の夕焼けほどではなかった。(写真2)

また、私たちはアクリルパイプの OHP 側では青色光が散乱されて青色光を観察できるのではな  
いかと想定していたが、残念ながらその青色光を観察することはできなかった。

### 考察

失敗の理由として、次の点が考えられる。キーピングに含まれていた微粒子の量が少なかったか、微粒子の大きさが光の波長よりも大きかったことによりレイリー散乱が弱かったのではないかということ。

### 実験2

実験の材料: OHP 大型のメスシリンダー 硫黄コロイド 墨汁

## 実験の手順

墨汁の場合:メスシリンダーに水を1L 注ぎ、少量の実験溶液を加える。それを OHP の上に置き投影される OHP の光の変化を観察する。(写真3)

チオ硫酸ナトリウムの場合:メスシリンダーにチオ硫酸ナトリウム水溶液(0.02mol/L) 1L を注ぐ。それを OHP の上に置き、その水溶液に塩酸(6.0mol/L)を少量流し込み、素早く攪拌することによって、化学反応により硫黄 S の原子ができる。硫黄の微粒子によって散乱されるはずの OHP の光の変化を観察する。

## 結果

墨汁 ごく微量の橙色光が観察されたが、墨汁そのものの色が黒いためか、理想の散乱光を観察することはできなかった。(写真4)

チオ硫酸ナトリウム 塩酸を流し込んでから数秒は変化が見られなかったが、白色に観察されていた光が徐々に色が変わっていき、白色→黄色→赤色→暗色と色に変化していった。(写真5～7)

## 考察

散乱の強さがどんどん強くなっていき散乱光の色が変わっていったことから、化学反応で混合液がコロイド溶液になっていくにつれ、散乱が強くなっていったと考えられる。この結果から、硫黄原子の微粒子で、人工的に夕焼けを作り出せることが分かった。

また、微粒子の粒径を調べたところ、硫黄原子は約 0.2nm で、墨汁は 30～50nm であった。これより、硫黄原子の方がはるかに粒径が小さく、よりレイリー散乱を起こしやすいものだということが、分かった。

## 参考文献

「世界大百科事典」下中邦彦編(平凡社)

「たのしくわかる物理実験事典」左巻健男(東京書籍)

「たのしくわかる化学実験」左巻健男(東京書籍)

写真1



写真2



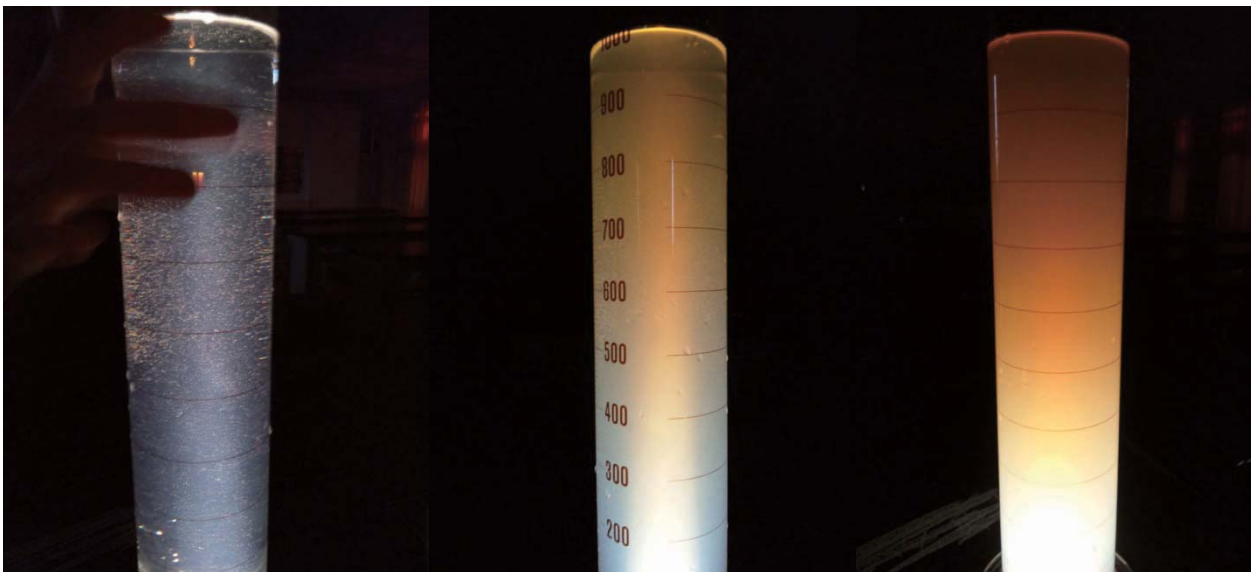
写真3



写真4



写真5~7



# 燃料電池で車を走らせる

宮城県仙台第三高等学校 理数科 木元敦・加藤雅大

## 要約

燃料電池をどのように工夫すれば発電効率が上昇するか実験した。実験の結果、鉄を電極、電解液を 1.5mol/L 水酸化カリウム溶液を使用することでもっとも効率的に発電できるということが明らかになった。これらを使い、実際に燃料電池車を製作して走らせようとした。しかし、発電量が足りず、動かすことができなかった。ただし、今回の取り組みによって、発電量を増加させるための装置作製という課題や、消費電力量の知識を要することが明確になった。

## はじめに

近年、世界中で「省エネ」の考え方が広まり、人々の生活に大きな影響を与えている。それに伴って、数多くの省エネルギー技術や環境対策の研究開発に多額の費用が投じられ、世界規模での開発競争が行われている。そんな中、最近、燃料電池が大変注目を集め始めている。

燃料電池とは、水素と酸素を反応させ、水と一緒にできる電気エネルギーを取り出す一種の「エネルギー変換装置」であり、教科書の水準では、いわゆる水の電気分解の逆の反応ということになる。つまり、電池内部で電解質を通して酸化・還元反応がそれぞれ陰極と陽極で起きているのである。燃料電池は、電気を生み出すときに地球温暖化の原因物質の一つである二酸化炭素を排出しないという点や、化学反応に伴って発生する熱を再利用すると、エネルギー効率は約80%にもなるという利点がある。以上が、現在、燃料電池が注目を集めている大きな理由であろう。

そこで、私たちは注目を集めている燃料電池の仕組みがどうなっているのか、またどうすれば発電効率を上げることができるのかを調べたいと考えた。そして、燃料電池によって車を走らせることをこの研究の目的に設定した。

## 研究の進め方

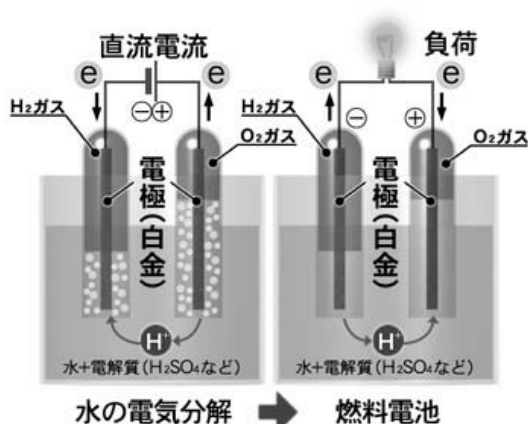
用意するもの

- ・鉄製スタンド ・ステンレス線 ・10cm にカットした試験管 ・電源装置 ・テスター
- ・水酸化カリウム ・水酸化ナトリウム ・水酸化カルシウム ・針金 ・銅線
- ・アルミニウム線

## ※一般的な燃料電池との違い

本来、燃料電池の電極には白金線や、ニッケルをメッキした金属線がよく用いられる。これは、水素分子が陰極側で白金やニッケルなどの触媒作用を受けてプロトン、つまり水素イオンと電子に分かれるからである。その結果、遊離した電子は一極に集まり、プロトンは電解質を通過して+極側に移動し、外部から供給された酸素分子と外部回路（一極と+極を結ぶ）を伝わってきた電子とがプロトンと反応して水になる。

ところが、白金線は非常に高価な物質であり、金属線にニッケルメッキをするにも、私たちはメッキに関する詳しい知識と経験のない状態であった。インターネットで燃料電池の実験につ



いて調べたところ、メッキは非常に難しい作業でありその結果に大きな差が生じることが判明した。それで、私たちはあえて何も手を加えない状態で上記の金属線を使用した。

しかし、金属線の電極はどれほどの触媒作用があるか不明であったので、白金やメッキがどれほど燃料電池の電極として優れているか確かめるということも実験の目的に加えた。

### 実験内容①

目的 溶液を電気分解させて発生させた水素と空気中の酸素による電気を発生させて、流れる電流と電圧を調べる。

#### 手順

- 1、 ビーカーに純水と水酸化カリウム、水酸化ナトリウムの溶媒を特定のモル濃度になるように入れ、さまざまな濃度の水溶液をそれぞれ 300mL つくる。
- 2、 らせん状に巻いたステンレス線を電源装置につなげる。
- 3、 ステンレス線を水溶液に入れる。
- 4、 陰極につないだステンレス線の上に発生した水素をためるために短くカットした試験管を、口を下にして鉄製スタンドに固定する。
- 5、 電圧を 5V に設定して 10 分間電流を流して電気分解を行う。
- 6、 10 分後、電源装置をはずして、代わりにテスターをつなぐ。
- 7、 テスターで流れている電圧、電流を調べる。

図 I 今回使用した自作の実験装置



### 結果①

表 I 水酸化カリウム水溶液を電解質として使用

モル濃度 (mol/L)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
電流 (mA)	1.2	1.54	2.03	1.4	1.52	1.4
電圧 (V)	0.6	0.61	0.66	0.6	0.64	0.72

表 II 水酸化ナトリウム水溶液を電解質として使用

モル濃度 (mol/L)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
電流 (mA)	0.9	1.06	1.75	1.25	1.34	1.25
電圧 (V)	0.53	0.6	0.68	0.53	0.68	0.67

表 I・II より、どちらも 1.5mol/L のときが最も発電効率が低いことが明らかになった。単にモル濃度が大きいほど発電効率が優れているわけではないということが確認できた。

### 実験内容②

目的 最も発電効率の優れている溶媒を調べる

実験①と同じ手順で実験するが、今度は電解質溶液として使う溶質を変えて実験する。また、



このときモル濃度はすべて 1.5mol/L で行う。

使用する電解質溶液の溶質は水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化カルシウム、リン酸である。水酸化カルシウムは、水に溶けて水酸化イオンを放出する身近な物質として、リン酸は、現在、燃料電池の電解質として使われているため（リン酸型燃料電池）、比較対象にした。

## 結果②

表Ⅲ 電解質の違いによる発生電流・電圧の差

電解液	水酸化カリウム aq	水酸化ナトリウム aq	水酸化カルシウム aq	リン酸 aq
電流 (mA)	2.03	1.75	0	0.15
電圧 (V)	0.66	0.68	1.3	0.27

水酸化カルシウムとリン酸を電解質溶液の溶質として用いた場合、電気分解の際に発生する気体の量が少なかった。さらに、表Ⅲより、この二つの溶質では発生した電流が極めて小さかった。

## 実験内容③

目的 陰極と陽極の距離の差が発電効率に関係しているのか調べる

手順

実験①と同じ準備をするが、電気分解する際に陰極と陽極の距離を変えて電気分解する

## 結果③

表Ⅳ 直列に電池をつないだ時の発電効率の変化

電池の数(個)	1	2
電流 (mA)	2.03	2.10
電圧 (V)	0.66	1.38

表Ⅴ 電極同士の間隔の差による発電効率の変化

電極の間隔(cm)	3.50	7.50
電流 (mA)	2.30	1.80
電圧 (V)	0.62	0.60

表Ⅳより、燃料電池を直列に二つなげた場合、発生した電流が一つのときの二倍にはならず、発電効率はかなり落ちてしまうことがわかった。また、表Ⅴより、電極同士の間隔が広いほど発生する電流が大きかった。

## 実験内容④

目的 最も発電効率のよい電極を調べる

手順

実験①と同じ準備をするが、電極の種類を変えて実験する  
用いる電極…ステンレス線、銅線、アルミニウム線、鉄線

## 結果④

表Ⅵ 電極の種類を変えた場合の発電効率の変化

電極	ステンレス	アルミニウム	銅	鉄
電流 (mA)	2.03	3.20	3.40	4.10
電圧 (V)	0.66	0.04	0.35	0.06

表Ⅵより、電極を変えた場合いずれもステンレス線よりも大きい電気が発生した。しかし、ステンレス線とは違い、電極のアルミニウムは水酸化カリウム水溶液に入れた直後、鉄・銅は電気分解中に溶けてしまう様子がみられた。

## 実験内容⑤

今までの実験結果をもとに、最も発電効率のよかった方法で燃料電池を製作し、走らせてみる。

この実験では、電極は鉄、電解液は水酸化カリウム 1.5mol/L を使用した。このとき、実験③からただ電池を増やしただけでは発電効率がよくないので、電極を長くして発電量を向上させることにした。

## 結果⑤

装置自体のまえに、モーターを動かす事ができなかった。

## 全体の考察

水酸化ナトリウム水溶液、水酸化カリウム水溶液の両方が 1.5mol/L のとき最も発電効率がよかった。実験結果からもうかがえるが、モル濃度が小さすぎると電気分解で生じる水酸化物イオンが少ないため、またモル濃度が大きすぎると水酸化物イオンが過剰に発生することで、車の交通渋滞のようにイオンの流れが妨げられてしまい、発電効率が落ちてしまうことが確かめられた<sup>1</sup>。

電解質溶液を変えた場合、実験結果に大きな差が出た。水酸化カルシウム溶液を用いた場合、電流が全く発生しなかった。これは水酸化カルシウムが水に難溶のため、粉末を十分に溶かせなかったためと考えられる。リン酸水溶液は燃料電池の電解液として使われているが、200℃以上の中で動作するものである。しかし、私たちは常温で動作させたため、発電効率が落ちたのではないだろうか。

電極同士の間隔が広いほど発電効率が上がるという結果になった。これは実験①と同じく、電極の間隔が狭いほど、水酸化物イオンが電極間を移動する際にその流れが悪くなるため、発電効率が低下したと考えた。また、自作の実験装置を二つ直列につないでも発生する電気量が2倍にならなかったのは、電源装置の+極側から電流を流した際、一つ目の装置での電気分解で減少した電気量で二つ目の装置で電気分解したため、発生した水素の量が少なかったためと推測できる。

電極の物質を変えた場合、いずれの電極もステンレス線の発電量を大きく上回ったことから、これらの物質は比較的触媒作用に優れているということが明らかになった。しかし、実験中や実験後の電極の様子に大きな違いがみられた。ステンレス線の場合、実験前と後に大きな変化はみられなかったが、鉄・銅・アルミニウムの電極すべてで電極が溶けた。特にアルミニウムは水酸化カリウム溶液に入れたとたんに溶けだしてしまった。また、鉄と銅の陽極が、発生した酸素によって酸化されてしまった。このように、電極の溶解や酸化が起きてしまい、発電効率が落ちてしまうため、燃料電池の電極としてこれらの金属は使用されないのである。

## おわりに

今回の研究では、電極の種類を代えて発電効率を調べ、水溶液の種類やモル濃度を変えて燃料電池に適した濃度を知り、燃料電池車が動くかどうか調べてきた。

実際に活動を通して、燃料電気の仕組みや発電効率向上のための工夫を知ることはできたが、車を走らせるという最終的な目的を達成することができなかった。これについて私たちは、車のモーターを動かすためには発電量が足りなかったためと考え、結論づけた。燃料電池が電気を発生させる仕組みをより詳しく調べてから、実験を行うべきであったことが大きな反省点である。

今後は、実験装置の発電効率を上げる工夫に最善を尽くしていきたい。

## 参考文献

- (1)<http://homepage3.nifty.com/tsuyu/column/afc.html>
- (2)東京書籍 ダイナミックワイド 図説化学
- (3)<http://www.media-ir.com/press/nennryoud/>

## 美白に迫る～身近なもので手作り美白化粧水を作ろう～

澤田侑希・鈴木真衣

宮城県仙台第三高等学校

私たちは、美白効果の高い、手作り化粧水を作ることを目標に研究を行った。実験1ではリンゴを指標としてビタミンCとアルブチンのチロシナーゼ活性阻害効果を比較し、ビタミンCにチロシナーゼ活性阻害が認められた。実験2野菜や果物のビタミンCと含有量を酸化還元滴定によって調査した。その結果、赤ピーマンからビタミンCを多く取れるとわかった。実験3では形状の異なる4種類の赤ピーマン化粧水を作り、ビタミンC含有量を比較したところ、赤ピーマンをすり卸して作ったものと煮て作ったものに多くビタミンCを含むことがわかった。

### はじめに

私たちは化粧品に興味を持ち、その中でも化粧水、特に美白という効果に着目した。メラニン生成を抑えることが美白につながると考えた。メラニン生成のメカニズムを理解し、科学的な根拠に基づく美白効果の高い化粧水を作ることがこの研究の目的である。

#### ※メラニン生成のメカニズム

メラニンは、メラニン細胞（メラノサイト）内で、血液から得たチロシンというアミノ酸から作られる。この反応には、チロシナーゼという酵素が必要である。

私たちはメラニン生成の原因となるチロシナーゼの活性を阻害するという点から美白を追求した。そして、現在チロシナーゼ活性阻害剤として認められている、アルブチンとビタミンCの効果について研究を行った。

#### 【実験1】アルブチンとビタミンCのチロシナーゼ活性阻害効果の比較実験

ヒトと同じようにチロシナーゼをもつリンゴを用いて、チロシナーゼ活性阻害剤の効果を調べる。アルブチンやビタミンCにチロシナーゼ活性阻害効果があれば、リンゴが茶色に変色するのを防ぐことができると考えた。

・材料

精製水：7ml

アルブチン水溶液（0.3%）：7ml

ビタミンC水溶液（0.3%）：7ml

リンゴ（5×10×20mmにカットしたもの）：3個

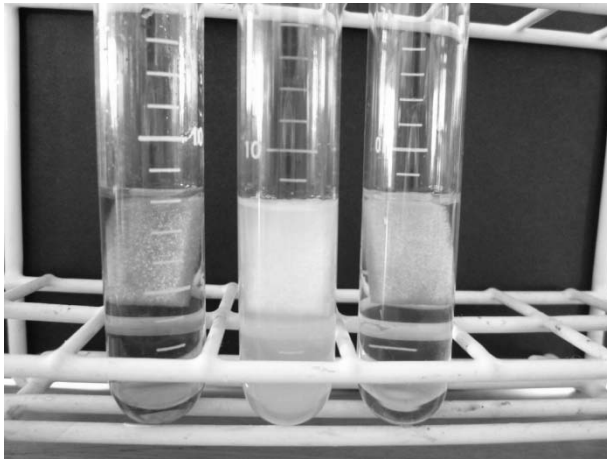


図 1(24 時間後のリンゴ。左からアルブチン、ビタミン C、精製水。)

・方法

各溶液を入れた試験管にリンゴを入れ、1 時間後、2 時間後、24 時間後のリンゴの変色を調べる

・結果と考察

結果は表 1 の通りである。ビタミン C は変色を防いだが、予想に反しアルブチンは精製水よりも変色が進んでしまった。アルブチン自体が酸化して赤褐色になってしまったためではないかと考えた。

表 1(時間経過と変色の様子)

	1 時間後	2 時間後	24 時間後
ビタミン C	変化なし	変化なし	変化なし
アルブチン	変化なし	薄い茶褐色	茶褐色
精製水	変化なし	変化なし	茶色

そこで、私たちはチロシナーゼ活性阻害効果が確認できたビタミン C を美白の主成分とする化粧水を作るということを目的とすることにした。さらに、身近なものから化粧水を作ろうと考え、ビタミン C を野菜・果物から抽出できるか、また、ビタミン C を多く含む化粧水を作ることができる野菜・果物は何かを調べた。

**【実験 2】** 野菜・果物のビタミン C 含有量の比較の滴定実験

ビタミン C が多いとされているサンプルを 5 つ選び実験を行った。

※滴定実験について

ビタミン C + ヨウ素の溶液[赤褐色] → 無色の液体 (酸化還元反応)

ヨウ素の溶液 + デンプン → 青紫色 (ヨウ素デンプン反応)

ビタミン C が多ければ、ヨウ素デンプン反応が認められるまでより多くのヨウ素の溶液が必要となるため、ヨウ素ヨウ化カリウム溶液の滴下数が多いほどビタミン C が多いことになる。

・材料

ブロッコリー : 15g

赤ピーマン : 15g

カブの葉 : 15g

パセリ : 15g

キウイフルーツ：15 g

精製水：各 30ml

デンプン水溶液：各 5 滴

ヨウ素ヨウ化カリウム溶液

・方法

試料をそれぞれ乳鉢ですりつぶし、精製水を加えてろ過し、溶液とする。デンプン水溶液を 5 滴ずつ加え、ヨウ素ヨウ化カリウム溶液を青紫色になるまで滴下する。

・結果と考察

赤ピーマンが 9 滴、ブロッコリー、カブの葉、キウイフルーツが 3 滴、パセリは溶液の色が濃かったために変色を確認できなかった。この中では赤ピーマンのビタミン C 含有量が一番多いことが分かった。

この結果より、私たちはビタミン C を有効成分とする化粧水の材料として赤ピーマンを扱うことにした。

### 【実験 3】赤ピーマンの形状や加熱によるビタミン C 含有量の比較実験

赤ピーマンを使って化粧水を作るにはいくつかの方法が考えられる。どの方法がビタミン C を多く含む化粧水を作れるのか実験を行った。

・材料

赤ピーマン：各 15g

精製水：各 100ml

グリセリン：各 10ml

消毒用エタノール：各 15ml

デンプン溶液：各 5 滴

ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液

・方法

<化粧水 A>

赤ピーマンを卸し金で卸し、そこにエタノール・グリセリン・精製水を加えてろ紙でこす。

<化粧水 B>

赤ピーマンを乳鉢で潰し、そこにエタノール・グリセリン・精製水を加えてろ紙でこす。

<化粧水 C>

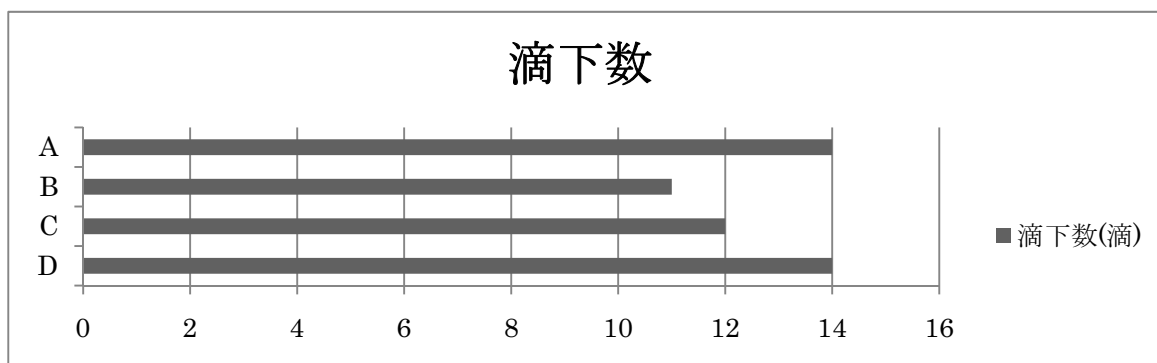
細かく刻んだ赤ピーマンを一晩消毒用エタノールで浸け、そこにグリセリン・精製水を加えてろ紙でこす。

<化粧水 D>

赤ピーマンを細かく刻んで精製水に入れ、沸騰させた後、10 分間弱火で煮る。十分に冷めしてからエタノール・グリセリンを加えてろ紙でこす。

各化粧水について、実験 2 と同じ方法でビタミン C を滴定した。

グラフ 1(赤ピーマン化粧水のビタミン C 滴定)



#### ・結果と考察

私たちは、赤ピーマンが細かいほどビタミン C を取り出せる量が多いと考えていたので、卸したものに一番ビタミン C が多く、次に潰したもの、潰けたものとなり、熱によってビタミン C が壊れると考えていたため煮たものが一番少ないと予想していた。

しかし、結果はグラフの通り、卸したものと煮たものが同値で一番多かった。潰けたものが予想に反して多かったが、その理由はわからなかった。また、この結果からは、熱によってビタミン C が壊れないということになる。これについては各文献の主張がビタミン C は熱に弱いということに賛否両論であるため、その真偽はわからなかった。時間経過によるビタミン C の破壊が関係しているとも考えられる。

また、化粧水に赤ピーマンの臭いが残ってしまった。煮たもののほうが若干臭いは少なかったが、化粧水として利用するには不快な臭いであった。

#### 今後の課題

今後の課題としては以下の 3 点である。

- ・ビタミン C のリンゴでのチロシナーゼ活性阻害は確認できても、ヒトのメラニン生成での阻害は確認できていない。また、メラノサイトまでこのビタミン C 化粧水が届いて働くのかもわからない。
- ・化粧水として利用するには赤ピーマンの臭いが不快である。
- ・ビタミン C が壊れやすい、熱に弱いという記述についての追及。

#### 参考文献

- ・化粧品成分ガイド第 5 版(宇山佑男・岡部美代治 2009 年 フレグランスジャーナル社)
- ・トコトンやさしい化粧品の本(福井寛 2009 年日刊工業新聞社)
- ・素肌にやさしい手づくり化粧品(堺野米子 2005 年 株式会社創森社)

# 植物の色素と単離

石井 祥貴      高橋 信貴      歌書 成美

宮城県仙台第三高等学校

## 要約 (Abstract)

葉緑素中のクロロフィルを TLC を使った Rf 値の差によって単離を行い、その性質を調べる計画を立てた。植物の色素を分離させるとクロロフィルと思われる物質が、フェオフィチンであることがわかった。葉緑素中にフェオフィチン a とクロロフィル a が同時に存在しているのか、それともクロロフィル a だけが存在していて、単離の後にフェオフィチンに分解されるのかを調べた。

## 目的

植物の色素を単離するとクロロフィルという物質が得られ、そのクロロフィルは分解されるとフェオフィチンという物質になると知った。

疑問に思ったことは、TLC で色素を分離させたとき、クロロフィル a を含む植物は必ずフェオフィチン a を検出するのか。

それともフェオフィチン a はクロロフィル a の分解産物であるから分解していなかったときも考えると二つ同時に検出することもあるのか。

例えば植物の色素を考えると、検出されるものはフェオフィチン a とクロロフィル a が同時に検出されるのか。

それともクロロフィル a だけが検出されて、あとからフェオフィチンになるのか、ということである。これを確かめるため実験を行った。

## TLC について

試料の吸着剤への吸着の強さと、溶媒への溶解性の違いにより試料の移動する距離が異なり、このときに出来た移動距離の差により、物質を分離させることができる。

TLCは複雑な成分の予備分析が可能で最適条件の設定ができるのが、利点である。

## 材料と方法

### 実験①

- ①植物の葉をエタノールに入れて湯煎、緑色の液体を抽出する
- ②エバポレーターで濃縮
- ③TLC で分離（展開液 石油エーテル：アセトン＝7：3）

### 実験②

- ① 《実験 1》で帯状に分離したものを Rf 値を利用して、クロロフィル a のみ削り取る
- ② ろうとに綿をつめ、①をいれてエタノールでろ過する
- ③ エバポレーターで濃縮
- ④ TLC で分離（展開液は実験 1 と同様）

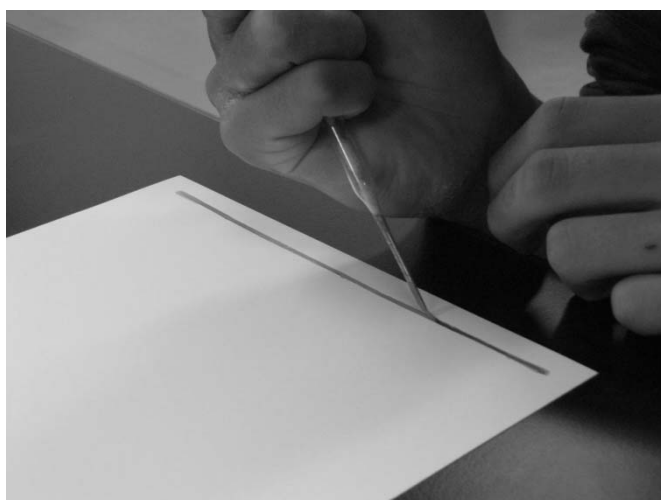


図 I：TLC での単離作業

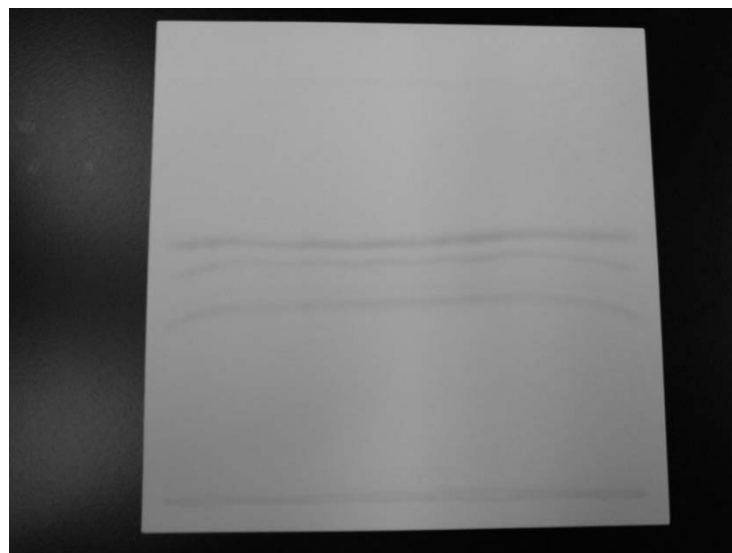


図 II：エバポレーターでの濃縮作業



## 結果

実験①では色が異なる約6本の帯に分かれた。これより、植物の葉に含まれる色素を単離できたと判断した。しかし、実験②では、単離したと思っていたクロロフィル a が再び TLC を用いると3本に分かれてしまった。



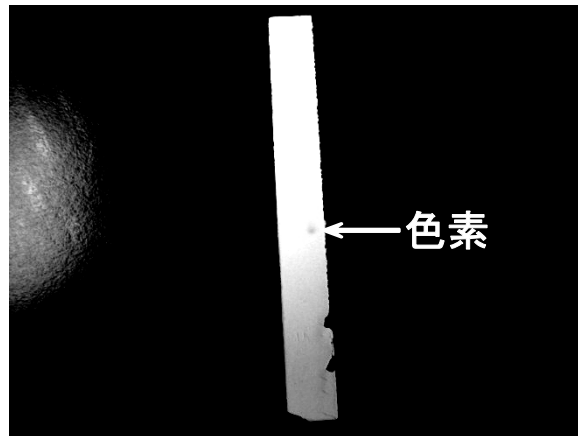
図Ⅲ：実験①の結果

## 考察

実験①と②の時間が空いてしまったので、クロロフィルの  $Mg^{2+}$  が  $2H$  に置換されて、フェオフィチンになった可能性がある。そのため、フェオフィチンとクロロフィルが同時に検出されていたのか、クロロフィルのみを検出した後にフェオフィチンになったのかわからなかった。また、実験②において3つに色が分かれたため、フェオフィチン以外の物質もあったとも考えられる。

このことから、いつフェオフィチンになってしまったのか調べるため、実験①・②の間を空けずに実験を行ったところ、単離することに成功した。

この結果より、フェオフィチンは TLC の分離の際の作業で生成したことがわかった。



図IV：単離に成功したもの

## 謝辞

清原先生 ありがとうございました。

## 参考文献

### 文献

「生物事典」(旺文社, 2003)

### ウェブサイト

光合成の森 <<http://www.photosynthesis.jp/>> (2010/8/15 アクセス)

光合成色素 <[http://www.biomol.sci.toho-u.ac.jp/glossary/bio/photosynthetic\\_dye.html](http://www.biomol.sci.toho-u.ac.jp/glossary/bio/photosynthetic_dye.html)>  
(2010/8/15 アクセス)

TLCに関する基礎知識 <<http://www.taiseikako.co.jp/tlcbasic.pdf>> (2010/08/20 アクセス)

薄層クロマトグラフィー(TLC)の原理 <[www.photosynthesis.jp/faq/faq6-1.html](http://www.photosynthesis.jp/faq/faq6-1.html)>  
(2010/08/20 アクセス)

薄層クロマトグラフィー <<http://www.kenq.net/dic/05.html>> (2010/08/20 アクセス)

# ニワトリ胚の発生過程の観察

山田悠介・鈴木将之・後藤大輝・高瀬愛

宮城県仙台第三高等学校

## 要約

今回はニワトリの胚の発生過程を観察することを目的として、ニワトリの有精卵を用いて、1時間～14日間38℃に設置し、卵を割って取り出した胚の透明標本を作成し、主に骨の形成を観察した。胚をホルマリンで固定し、アルシヤンブルーで軟骨、アリザリンレッドで硬骨染色、KOHで透明化した標本を、実態顕微鏡で撮影した。孵卵開始後4日目に四肢が伸びはじめ、5日目には骨格がはっきり見られるようになり、後肢の指の間の細胞死は5～9日目の間に進行し、完全に指一本一本が独立した。

## はじめに

ニワトリ胚は発生の実験によく使われている。ニワトリは成長が早く、孵卵後のいかなる発生段階の胚を得ることも可能であり、卵の殻に穴をあけて、胚操作を行い、再び穴をふさいで発生の後期までもう一度孵卵することも可能である。こういった点が鶏卵を用いる利点である。

## 方法

1. ふ卵 有精卵を38℃の保温庫にセットして、胚の成長を進めた。一日に3個の卵を割り、胚の成長の過程を観察した。
2. 固定 取り出した胚は10%ホルマリン液で保管した。
3. 染色 1 アルシヤンブルー-8GXで青く染色。アルシヤンブルーは軟骨を青く染める試薬である。

4. 透明化 KOH で透明化を行う。
5. 染色2 アリザリンレッドS で硬骨を赤く染色。
6. 保存、透明化2 最後にグリセリンを用いて保存、透明化し、ニワトリの胚の成長過程を観察する標本が完成。
7. 記録 顕微鏡オリンパス SZ61 を用いて写真を撮影した。

## 結果

孵卵開始後3日目から14日目にわたり、胚を取り出して軟骨染色、硬骨染色、透明化を行ったところ、4日目からまわりの組織より濃く青く染まる組織が見られ始めた。5日目からは脊椎骨の形がはっきりと見られ、6日目からは肋骨や四肢の骨の形が見られた。赤く染まる組織は11日目までは見られず、14日目には四肢の骨の中央部とくちばしの一部に赤く染まる部位が見られた。

図1の写真は、孵卵開始後3日目から9日目の胚の透明標本を撮影したものである。時間が経つにつれて、発生が進み、体のつくりが複雑になってきている様子が分かる。3日胚では体長がおおよそ1.8mmであったが、9日胚では2cmを超えるほどに成長していた。たった一日の差でこんなにも成長しているのがわかった。

図2の写真は肢芽に骨が形成され、細胞死が進み、指になるまでの発生の過程を撮影したものである。左上から6日胚、7日胚、8日胚、9日胚の写真である。4～5日胚（図1 A B）では、肢芽が伸びているが指の骨はまだ見えない。6日胚（図2 A）では指の骨が見え始め、7日胚（図2 B）では指の間にある水かきがやや後退し始め、8日胚（図2 C）では指の関節が4つに分かれ、指の間に明らかなくびれが生じた。そして9日胚（図2 D）では指の間の細胞死が進行し、基本的な指の形ができていた。

今回の実験では、多くの骨染色と透明化した胚を用いたが、この方法により、胚の観察がとても容易に、そしてスムーズになった。

データを示していないが、孵卵開始後72時間では心臓の拍動がはっきりと見られた。

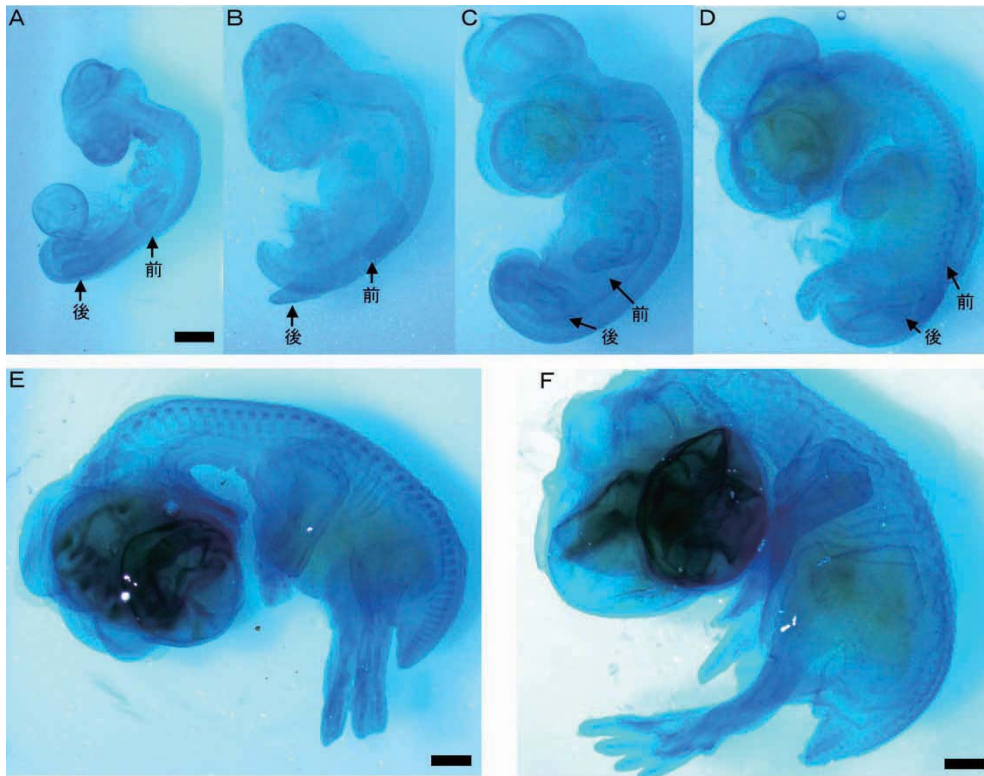


図1 ニワトリ胚の発生過程

アルシアンブルーによる軟骨染色像。スケールバーは1 mm。「前」は前肢、「後」は後肢。  
 A: 4日目胚 B: 5日目胚 C: 6日目胚 D: 7日目胚 E: 8日目胚 F: 9日目胚

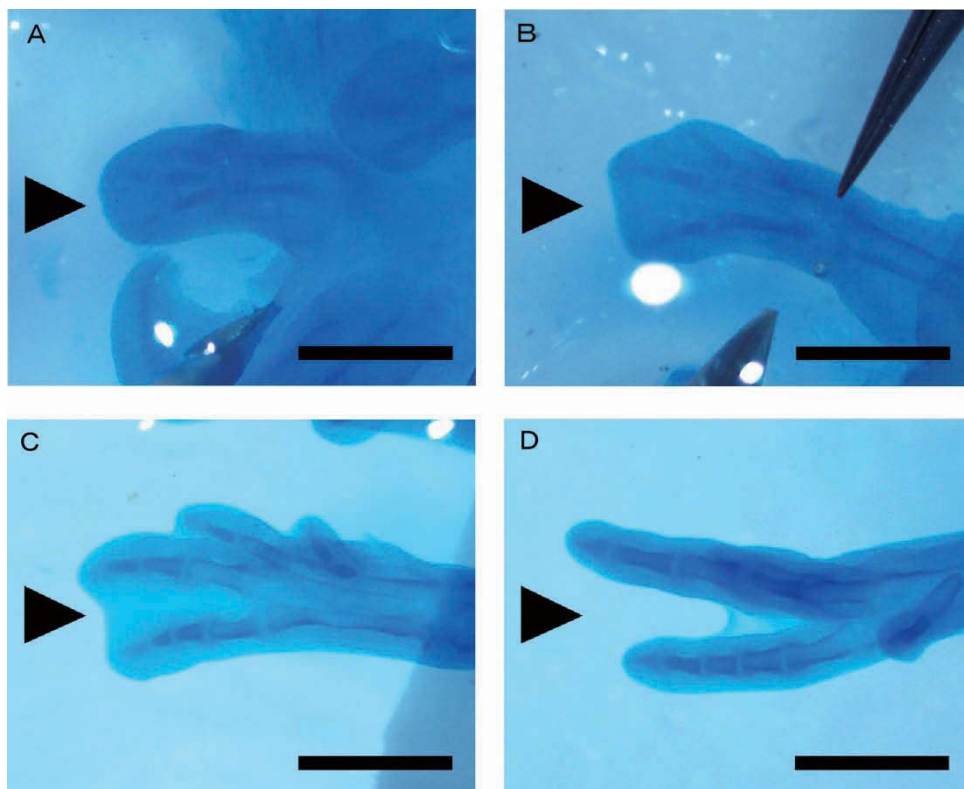


図2 後肢の指の形成過程

右後肢のアルシアンブルー8GXによる軟骨染色像。スケールバーは1 mm。  
 A: 4日目胚 B: 5日目胚 C: 8日目胚 D: 9日目胚

## 考察

胚の成長が始まってからヒヨコとして生まれてくるまでに、卵の中で成長が進み、開始から2週間ほどで基本的な体の構造はほぼ完成していることがわかった。また、ヒヨコは3週間で孵化する。今回の実験では、コンドロイチン硫酸などの酸性ムコ多糖類を青く染める色素であるアルシアンブルーで軟骨を青く、カルシウム沈着部位を赤く染める色素であるアリザリンレッドで硬骨を赤く染色する方法を用いた。4日目からまわりの組織より濃く青く染まる組織が見られ始め、14日目まで青く染色された骨格が見られた。11日目までの胚における透明標本では、はっきりと赤に染まる部位は見られなかった(図1)。このことから、11日目までは軟骨組織にカルシウムが沈着する硬骨化が起こっていないと考えられるが、硬骨化が進んでいるものの透明化の過程でアリザリンレッドが抜けてしまった可能性も否定できず、染色の方法が適切であるか検討する必要がある。

今回の観察では、指の間のプログラム細胞死を観察することができた(図2)。プログラム細胞死とは、細胞傷害などで細胞死を起こす壊死とは異なり、一般に生物の生命に利益をもたらす調節される過程であるということを知ることができた。これは生物にとって非常に重要なことであり、この過程なくしては、手足の指の形成は成し得ないのである。

今回の結果から、肢の指の形成を観察するなら6日目～8日目の胚が適することがわかった。また、心臓の拍動をはっきりと確認できたのは72時間後の胚からであったので、心臓の形成過程を観察するなら2日目～3日目の胚を見れば心臓形成の過程を詳しく観察できると考えられる。

今後の予定として、成長段階初期の胚の一部を別の胚に移植する実験や、生まれたてのヒヨコに自分が親だと思わせ、その後の行動決定をさせる刷り込みなどもやってみたい。

## 参考文献

東京書籍「生物I」, エッセンシャル発生生物学 改訂第2版

軟骨・硬骨二重染色 <http://hwm2.gyao.ne.jp/asakurase/Science/stain.html> (2010年2月18日現在)

# 乳酸菌の培養に関する研究

大山達也・古布祐太・工藤綾乃・橋本隼・渡邊義人

宮城仙台第三高等学校

## はじめに

乳酸菌とは、他の物質から栄養素を吸収し、糖を分解して乳酸を生産することによってエネルギーをつくる細菌の総称である。また、嫌気性菌であり、酸素の比較的少ない環境を好み、比較的低い pH 条件下でよく増殖する。しかし、未だ乳酸菌については、多くの議論が飛び交っている。そこで、私たちは、実際に乳酸菌の性質を知るために、牛乳からヨーグルトができるときの pH・酸素濃度を測定し、その結果、ヨーグルトができるときに嫌気条件下で乳酸菌が働いていることを確かめることができた。次に、使い捨てカイロとタッパーを用いた簡易な嫌気培養法を作製し、簡易的に乳酸菌の培養・単離することを試みた。そして、それらの単離した乳酸菌でヨーグルトを作った。

## pH とは、

pH=7 を中性とし、7 以下を酸性、7 以上を塩基性と表し、今回は万能試験紙を使用したので、pH=7 の時は、緑、7 以下は黄緑、黄、橙、赤、7 以上は、青緑、藍、紫の順に変化する。

## 1、ヨーグルト形成時の酸素濃度・pH 変化測定

### <実験 I >

牛乳からヨーグルトができるとき、牛乳液中が乳酸菌の働きやすい条件になっているかを検証する。

### <方法>

- ① 300ml のビーカーに市販の牛乳 200ml、ヨーグルト 30g を入れる。
- ② 酸素濃度センサーを①のビーカー内にいれる。
- ③ pH センサーを①のビーカー内にいれる。
- ④ 保温庫を 38℃ に設定して、24 時間測定する。

表 1

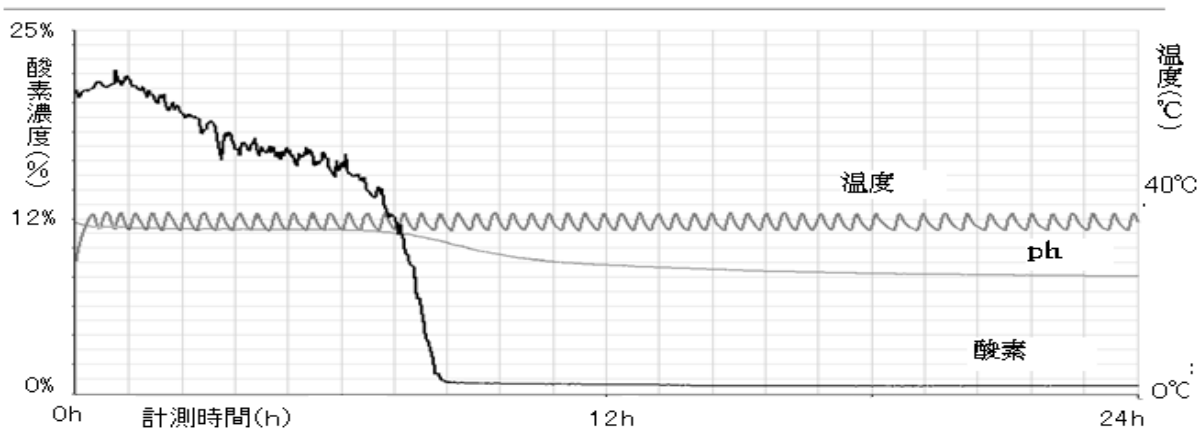


表 1 より、牛乳液中の酸素濃度が急激に下がり始めた時間帯に pH は下がり始めた。よって、酸素濃度が少なくなっていくと同時に乳酸菌が酸を生成し始めることがわかった。

## 2、嫌気培養法の検討

### <実験Ⅱ>

密閉容器に使い捨てカイロを入れ、蓋を閉め密閉した嫌気タッパーを用いて簡易に嫌気条件を作ることにした。そして、この装置が嫌気状態になることを確かめるために、酸素濃度を測ることにした。

### <方法>

密閉容器に穴をあけ、そこに酸素濃度センサーを入れ、24 時間測定する。

### <結果>

酸素濃度は実験開始から下がり始め、21%から約 2%まで下がり、2%のまま約 18 時間維持した。よって、嫌気タッパーは嫌気条件になっていることがわかった。(写真 1)

## 3、嫌気状態内での細菌の培養について

乳酸菌が培養中に、培地から栄養素を絶えず吸収していけるようにするために以下の材料を使用した。

### <培地の材料>

- ・酵母エキス
- ・ペプトン
- ・ブドウ糖
- ・1-システイン
- ・TWEEN80
- ・寒天粉末
- ・ブロムクレゾールパープル

### <実験Ⅲ>

- ① ヨーグルトを水で薄めてシャーレにまき、37℃の保温庫で 12 時間程度培養した。
- ② ①で生じたコロニーをかき集め、水で薄めて培養した。
- ③ ②で生じたコロニー1 個を水で薄めて培養した。以後、③の作業を続けていった。

### <結果>

一回目の培養では、ヨーグルトと乳酸菌のコロニーが混成しており、二回目の培養で多くのコロニーが重なりながら生じた。三回目以降は、中央に多く生じ、その周りに数十個のコロニーが生じた。また、この時、培養から 12 時間以上経過した培地中央では、培地の色が塩基性に傾いていることを発見した。

### <実験Ⅳ>

乳酸菌は酸素を使わず嫌氣的にエネルギーを獲得するためカタラーゼ活性を持たないことから、過酸化水素 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> を用いてカタラーゼ反応陰性の検証を行った。

### <方法>

三回目の植え替えを行ったコロニーに 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> をかけて反応を見た。

### <結果>

写真 4 の培地に 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> をかけたが、カタラーゼ活性が見られず気泡は見られなかった。



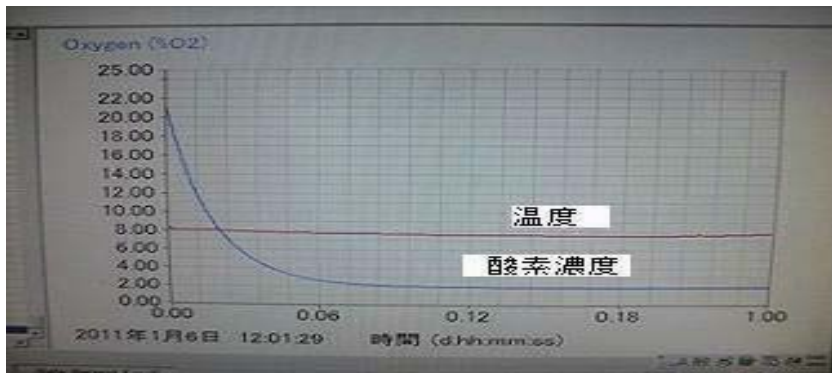


写真 1

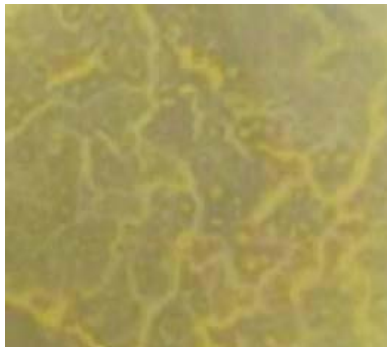


写真 2



写真 3

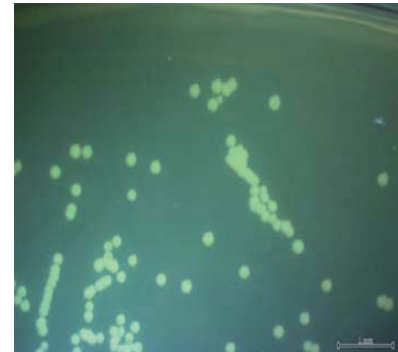


写真 4



写真 5

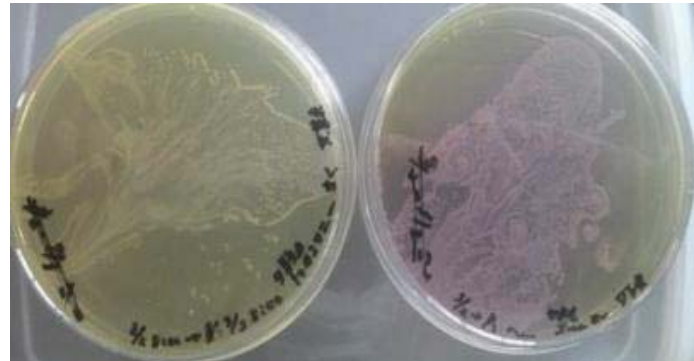


写真 6

#### 4、単離した細菌からヨーグルト作製

##### <実験V>

実験Ⅲで培養したコロニーが乳酸菌であるかを調べるために、市販の牛乳に培養三回目のコロニーをかき集めて、ヨーグルトが固まるかを調べることにした。今回は、固まったものをヨーグルトとして扱う。

##### <方法>

- ① 20m l 容器を準備し、10m l の牛乳を流し込み写真 4 にある 1 つの培地から、直径 0.8～1.0mm のコロニーを取れる限り採取する。
- ② 採取したものを 20m l 容器に突っ込みよくかき混ぜ、36.5°C の保温庫に半日放置する。

### <結果>

ヨーグルトが形成し、匂いは、市販で売られているヨーグルトと同じくらいのすっぱいにおいがした。味は、明治乳業のブルガリアヨーグルト[低脂肪]より、若干酸っぱくて、市販のヨーグルトと変わらずおいしかった。

写真5は牛乳と培養した菌で作ったヨーグルトの pH を調べたもので牛乳の pH は 6、ヨーグルトの pH は約 3.5 であった。

## 5、乳酸菌の生死

### <実験VI>

実験Ⅳの培養三回目以降のものに、14 時間以上経つと塩基性に傾くことを発見したため、塩基性に傾いた乳酸菌は、本当に死滅したのかを調べる。

### <方法>

- ① 培養三回目の写真4のようなコロニーを1個、水に薄めてまく。
- ② ①で作ったものを好気培養と嫌気培養に分けて、37℃の保温個に12時間入れる。

### <結果>

好気培養・嫌気培養(写真6 右:好気 左:嫌気)ともに、死滅したと考えられていた乳酸菌のコロニーが生じた。また、乳酸菌が混成している中央部分から塩基性になっていくことも観察できた。さらに、好気培養より、嫌気培養の方が、培地が酸性を長く保っているため、乳酸を長く生成していることが分かった。

## 6、考察

- ・ヨーグルトが作られるときに pH と酸素濃度が一緒に下がり始めたことから、乳酸を生成し始めるためには嫌気状態が必要であるということがわかった。
- ・嫌気タッパー内の嫌気性が証明されたので使い捨てカイロを用いて簡易的に嫌気的な状態を作り出すことができた。
- ・培養した菌で作ったヨーグルトと牛乳の pH に違いがみられたことから、できたヨーグルトは牛乳と違った性質を持っていることがわかった。
- ・14 時間経って塩基性に傾いた乳酸菌のコロニーを1個採取して培養しても、写真4のように、再び酸性のコロニーを生成することから、乳酸菌は塩基性に傾いても死滅はせず、何らかの条件が変化することで乳酸を生成する代謝から、別の代謝に変わったと予想することができた。
- ・今後の課題は培養した菌を解析すること、実験で使用したヨーグルト以外の会社のヨーグルトを用いてみること、飲むヨーグルトの固まらない理由などがあげられる。

### 参考文献

- ・社団法人全国はっ酵乳乳酸菌飲料協会 <http://www.nyusankin.or.jp/lactic/index.html>
- ・Wikipedia <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%B9%B3%E9%85%B8%E8%8F%8C>

# SIR モデルによる感染症伝播のシミュレーション

高橋大輔 佐藤由磨 佐藤巧磨 鹿又 陸 菅野裕大 佐々木理人  
宮城県仙台第三高等学校

## Abstract

感染者数，非感染者数，回復者数の3つのパラメータを用いた感染症伝播の SIR モデルを表計算ソフトを用いて検証した．感染拡大は，初期感染者多いほど，母集団が大きいほど，感染率が高いほど，大きくなることがわかった．また，免疫が成立する集団においては，感染症の拡大は必ず終息するということがわかったが，それは感受性人口が減少し，感染する人口がいなくなるためであることが示された．

## Introduction

2009年の10月から11月にかけて本校内に大規模に流行した新型インフルエンザにおいて，感染者数推移のデータを見てみたところ，何が感染者拡大の要因になっているのかに興味を持った．そこで感染症伝播のシミュレートについて調べてみたところ，SIR モデルというシミュレートモデルについて知り，これを用いて感染者拡大の要因を考察してみようと考えた．

## Materials and Methods

SIR モデルとは，Susceptible (非感染者)，Infection (感染者)，Recovery (回復者) の3つのパラメータから感染症伝播をシミュレートするものであり，Kermack と McKendrick (1927) によって提示された局所的閉鎖集団における伝染病伝播モデルである．

感染率を  $\beta$ ，回復率を  $\gamma$  と定義すると，感染者数の変化  $dS/dt$ ，感染者数の変化  $dI/dt$ ，回復者数の変化  $dR/dt$  はそれぞれ，

$$dS/dt = -\beta SI, \quad (1)$$

$$dI/dt = \beta SI - \gamma I \quad (2)$$

$$dR/dt = \gamma I, \quad (3)$$

の3つの微分方程式で表すことができる．ただし  $t$  は単位時間（ここでは一日とした）を表す．また，一度回復した人は二度と感染しないとした．つまり，人間は一度感染するとその病原菌に対する免疫が成立するという設定にした．

ここで感染者数変化の式(2)より， $\beta SI - \gamma I = 0$  であれば感染者数が増えないということであり，

$$R_0 = \beta S / \gamma, \quad (4)$$

と定義すると， $R_0$  は感染者が感染期間中に二次感染によって感染させる人数を表しており，一般

に基本再生産数と呼ばれる。つまり  $R_0 = 1$  で感染者数は変化せず、 $R_0 > 1$  で感染者数の増加、 $R_0 < 1$  で減少を表す。

この4つの式(1)～(4)を用いて、表計算ソフト(OpenOffice.org Calc)によってSIRモデルを構築し、感染者数と非感染者数のそれぞれの推移の特徴を把握するため、x軸に非感染者数、y軸に感染者数を用いたグラフを作成し、感染症伝播のシミュレーションを試みた。

## Results

### 条件1 母集団、感染率、回復率は固定し、初期感染者数を10～100人の間で変化させる

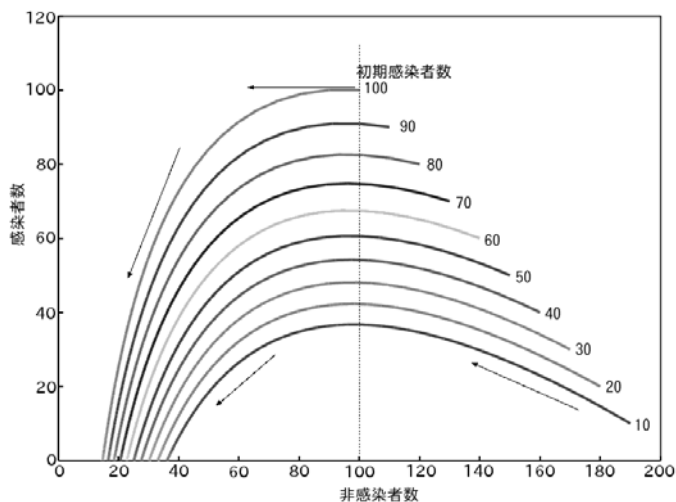


図1 初期感染者数を変化させた時の非感染者数と感染者数の変化  
(感染率 0.001 回復率 0.1)

初期条件を、感染率0.001 回復率0.1 母集団200とし、初期感染者数を10～100人の間で変化させたシミュレーション結果を図1に示した。

初期感染者数が100のときは、初期段階で  $R_0 = 1.0$  となるため感染は拡大せずに終息に向かう。また、初期感染者数が100未満のときは初期段階においての  $R_0$ が1.0を越えるため、必ず一度感染が拡大してから終息に向かう。ただし、最終的な非感染者数は初期感染者数が大きいほど少ない。

また、式(4)より感染者数が最大となるのは、常に非感染者数が100の時であり、グラフからもそのことを確認できる。

### 条件2 感染率、回復率、初期感染者数は固定し、母集団を100～1000人の間で変化させる

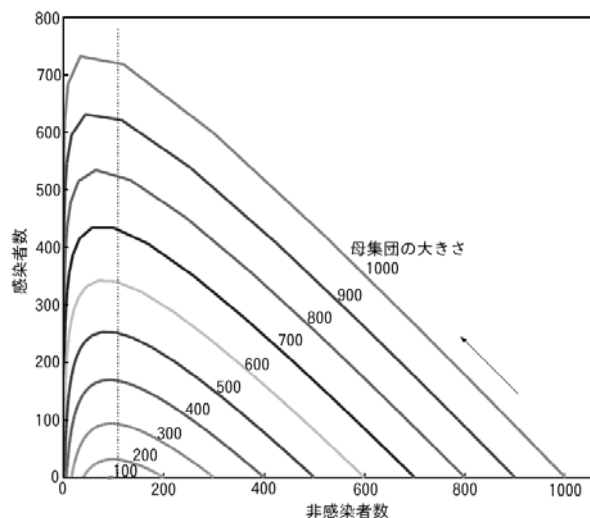


図2 母集団の大きさを变化させた時の非感染者数と感染者数の変化  
(感染率 0.001 回復率 0.1 初期感染者数 1)

初期条件を、感染率0.001、回復率0.1、初期感染者数1とし、母集団を100～1000人の間で変化させたシミュレーション結果を図2に示した。

最終的に感染しなかった人数は母集団が大きいほど少なくなっている。また、 $R_0$ は母集団に比例して増加しているため、母集団が大きいほど感染拡大の速度が大きくなる。

ここで  $R_0 = 1$  となる点は非感染者数が100のときである。つまり非感染者数

が100のときにグラフが頂点であるはずだがそうならなかった。これは簡易的な差分法を用いたために誤差が生じたと考えられる。

### 条件3 $R_0$ が一定の条件で母集団を変える

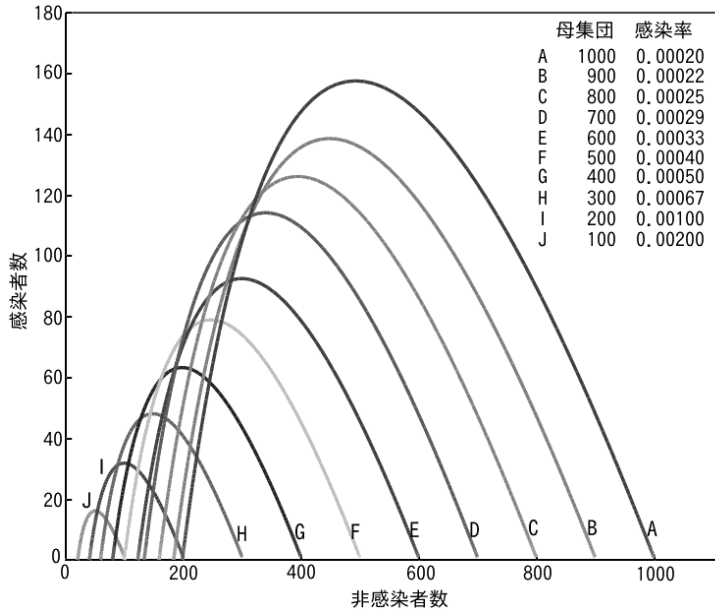


図3 母集団の大きさを变化させた時の非感染者数と感染者数の变化 (  $R_0$ が一定になるよう感染率を調整 初期感染者数 1 )

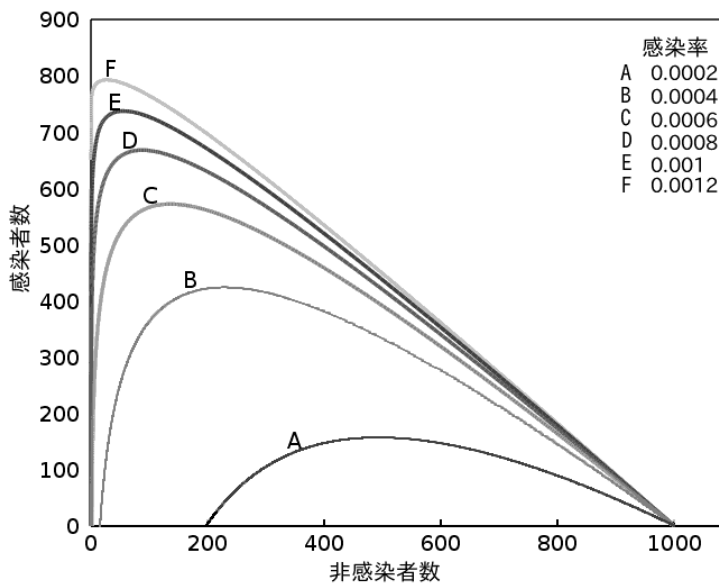


図4 感染率を变化させた時の非感染者数と感染者数の变化 ( 母集団 1000 回復率 0.1 初期感染者数 1 )

初期条件は条件2と同じ、回復率0.1, 初期感染者数1, であるが、 $R_0$ が2になるように感染率を調節した結果が図3である。

$R_0$ を一定にしているためすべて同じように拡大、収束しているが、 $R_0$ を一定にするための感染率が母集団が大きくなるにつれて小さくなっていることから、母集団が大きいほど低い感染率で感染が拡大することが分かる。また、母集団が大きいほど感染者数の最大値も大きくなり、感染終息時に非感染のまま残る人数も少ない。

### 条件4 母集団, 初期感染者数, 回復率は固定して, 感染率を変化させる

初期条件を, 回復率0.1, 母集団1000, 初期感染者数1として感染率を変えたシミュレーション結果を表したのが図4である。

感染率の増加によって感染者数が増加する速度が増加している。しかし、速度が増加していく割合は徐々に小さくなっていく。また、感染率が0.0014以上になると母集団内全員が感染した。

## Discussion

今回検討したモデルでは、 $R_0$  が 1 より大きいときでも、感染が終息していった。これは感染者増加にともなって感受性者が減少する、つまり免疫のためである。また、どの条件でも必ず流行のピークの後、終息に向かっていった。

感染拡大の規模は、初期感染者数が多いほど、母集団が大きいほど、感染率が高いほど大きいものとなった。

流行の初期において、母集団の大きさが大きいほど集団内における感染者の割合が小さくなることから、個人の視点では小集団より比較的安心な感想を抱かせるかもしれない。それは、感染症を甘く見ることにつながってしまう可能性がある。今回のモデルでは、むしろ集団が大きいがために流行が長期に及び、多数の感染者を生むことになることがわかった。また、一般に、感染拡大を防止するために感染者を隔離するというものがあるが、これは母集団を小さくするとともに初期感染者数を減らすことになるため、今回のシミュレーションから隔離は感染拡大防止のために有効な手段であることが確認できた。

以上のことから、感染症拡大を防止するには、問題となっている感染症についての正確な知識を持つことはもちろん、特に大きな集団においては、初期発生規模が小さくとも対策をきちんと立てることが重要であることがわかった。

## References

高須夫悟(2010), H20奈良女子大学 大域情報学 講座資料

url <http://gi.ics.nara-wu.ac.jp/~takasu/lecture/old/global06.html>, (H22-globla-8.pdf)

稲葉 寿(2002), ケルマック-マッケンドリック伝染病モデルの再検討

url <http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~inaba/sub3.html>

厚生労働省「新型インフルエンザ新着トピックス」

url <http://www.mhlw.go.jp/kinkyu/kenkou/influenza/>

# マルチエージェントシステムによる感染症伝播モデルの検討

鶴田光将 佐藤洋介 村井 哲 大友周平 大杉章博

宮城県仙台第三高等学校理数科

**要約** 簡単な MAS により感染症伝播モデルを作成した。免疫なしの場合、感染症拡大と終息の境界条件があり、拡大時には潜伏期者・発病者数が人口のほぼ 40% に収束するという結果を得た。免疫ありの場合、感染症は必ず終息するがそれは感受性保有者の減少によるものであることがわかった。また、人口密度が小さい場合、発症者も移動した方が感染拡大を抑制できることがわかった。

**はじめに** マルチ・エージェント・システム(以下, MAS)とは, エージェント(ある一定のルールにより自律的に反応するソフトウェアなど)が複数種配置された仮想構造であり, 近年, 社会事象の解析などに応用されている。われわれは, 単純な構造の MAS によるモデルを用い, 感染症伝播について, 免疫の有無と人口密度に注目してシミュレーションを試みた。

**方法** 今回のシミュレーションでは条件を単純化したプログラミングソフト「KISS」を用いた。図1のような格子状の平面を「世界」とし, その中で移動する人(エージェント)を4つに分類した。感染可能な未感染者(Susceptible), 潜伏期にある潜伏期者(Incubation), 感染症を発症した発症者(Outbreak), 感染症から回復した回復者(Recovery)のように分けた。各エージェントは, あるルールに基づいて「世界」の中で感染, 移動, 回復を行う。また, エージェントが移動できるのは上下左右のみである(つまり斜めには移動できない)。これをノイマン近傍という。

図2は, 各エージェントの状態 STATUS とエージェントの行動ルールをまとめたものである。エージェントのルールを未感染のエージェントを例に説明する。

0	1	2		8	9
10	11	12			
20	21	22			
80	81			89	99
90	91			98	99

図1 KISSにおける「世界」

例として10×10の世界を示してある。例えば, No.11の隣接格子は, 上下左右のノイマン近傍, すなわち 1, 10, 12, 21である。また, No.9の右隣接格子は0であり, 上隣接格子は99である。

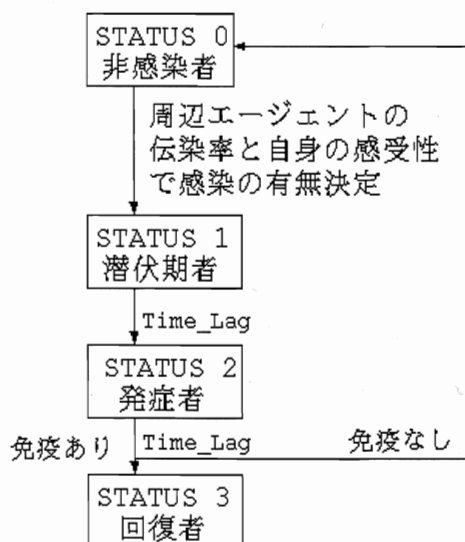


図2 エージェントの遷移ルール

エージェントは空の格子を探して一定の移動率により、移動する。その際、隣接格子に潜伏期者、発症者が存在するならば、伝染率や自身の被感染率により感染の有無が決定され、感染した場合には TIME\_LAG で定めた潜伏期後、発症者に遷移する。発症者は、やはり TIME\_LAG の日数後、回復し、免疫を考慮しない場合は非感染者にもどり再び感染する可能性を持つが、免疫を考慮する場合には、回復者に遷移し、二度と感染しなくなる。ただし今回は死亡者は考えないものとした。

図3は、KISSのフローチャートをまとめたものである。各エージェントは番号順に条件判断がなされ、ルールにより遷移などが行われる。

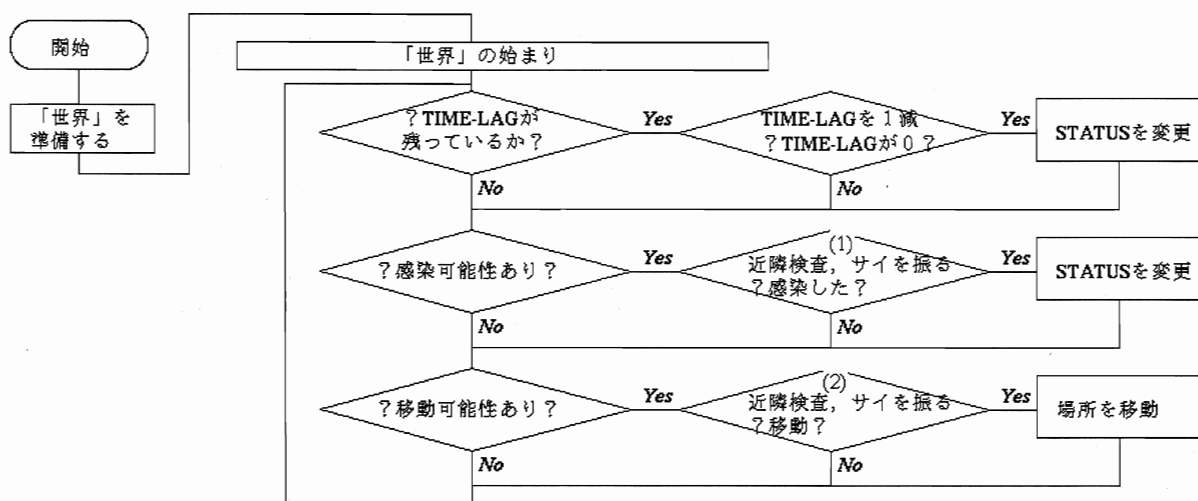


図3 マルチエージェントシステム KISS のフローチャート

(1)ノイマン近傍の近隣格子をすべて探索し、潜伏期、発症期のすべてについて感受性率と伝染性率から感染の有無を判定した。

(2)ノイマン近傍の近隣格子をすべて探索し、移動率から移動の有無を判定した。

今回は、

- (1) 免疫なしで人口密度を変える、
- (2) 免疫ありで人口密度を変える、
- (3) 免疫なしで発病者の移動条件を変える、

の3つの場合について検証した。「世界」はすべて100×100の正方格子とした。

## 結果と考察

### (1) 免疫なしで人口密度を変える

表1に示したルールに基づき、人口密度を0.01から0.6、すなわち初期人数を100～6000の間で変化させた。潜伏期は3日、発症者は3日で回復するが免疫は成立しないため、非感染者に戻り再び感染する可能性を持つ。結果の一部を図4に示した。

密度0.05では、感染は拡大せずに終息する。これは、未感染者と発病者が接触する前に発症者は回復してしまうため、発病者から未感染者に感染しにくいと考えられる。一方、密度0.1では感染は拡大し、密度0.3や0.4では感染者(潜伏期者と発病者)はともに一定の値に収束



するように見える。しかし、それは集団の全員が潜伏期者か発病者のいずれかで、非感染者が0になってしまった、というわけではない。密度を細かく設定し、シミュレーションの回数を重ねた結果、感染が終息するか、拡大するかは、密度 0.0975 を境に変わることがわかった。また、感染が拡大した場合でも、母集団に対する潜伏期者、発病者の割合が共に約 0.4 で平衡に達し、常に一定の感染者が存在し続けることグラフから読み取れる。

人口密度 0.0975 という境界値が、非感染者の感受性や感染者の伝染率、あるいは移動率によって変わるのか、今後検証したいと考えている。感染が拡大した後、平衡状態となった時の潜伏期者、発病者が母集団の約 0.4 になるという点についても他の条件を変え、今後検証していきたい。

香取(1997)は、伝染病伝播の格子モデルを解説し、その中で使われているモデルでも、感染症拡大と終息の境界となる密度が存在し、そのことについて明確な数学的理論が与えられていないことを紹介している。今回のモデルと香取のモデルは同じものではないが、感染症拡大と終息の境界密度、ならびに拡大時に平衡となる感染者数の割合については、数理モデルとしても興味深い課題である。

## (2) 免疫ありで人口密度を変える

各エージェントのルールは(1)と同じであるが、発病者は3日で回復した後免疫を獲得して回復者となり、二度と感染しない。回復者の移動率は0.1とした。初期人口を100~8000の間で変化させると、図5のような結果となった。

(1)の免疫がない場合に比べて感染は広がりやすく、必ず終息に向かう。ここで、図5に▼で示した伝染病流行の終息日を比較してみる。密度0.01から0.3までは、密度の増加とともに感染が収束しにくくなり、未感染のまま残る人口も少なくなっている。一方、密度0.3以上になると、逆に感染が早く終息するようになることがわかる。これは、密度が高いほど、感染が拡大す

表1 免疫なしで人口密度を変える場合のルール

	非感染者	潜伏期者	発症者
初期人口	*	10	0
感受性	1.0	0	0
伝染率	0	0.8	1
移動率	1	0.5	0
TIME-LAG	0	3	3

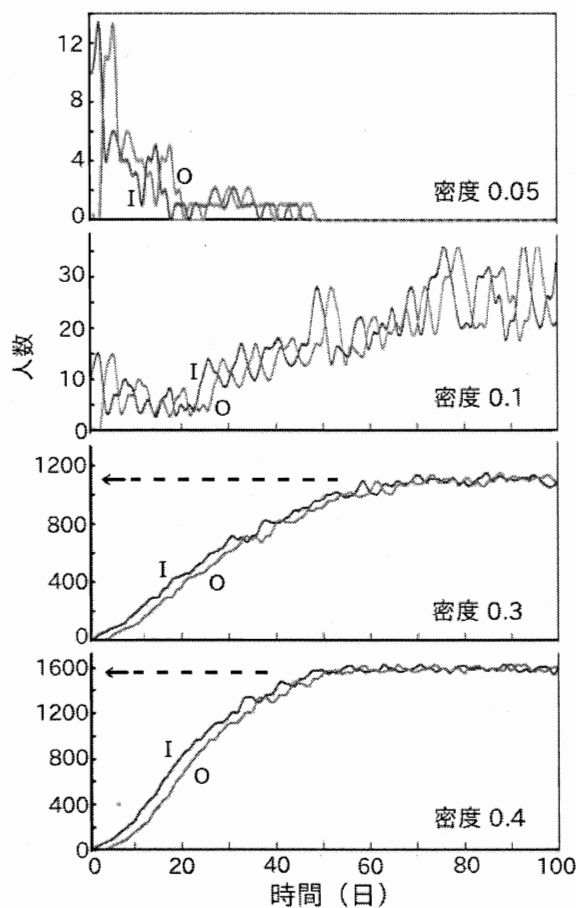


図4 免疫がない場合の感染者の変化  
I: incubation O: outbreak

る速度が速く、感受性を持った人口が急速に少なくなるためである。実際、密度 0.4 を超えるとほぼ全員が感染経験を持つようになる。

### (3) 免疫なしで発症者の移動条件を変える

(1)のルールでは、発症者の移動率は 0 に設定した。つまり発症者は動かないというルールでシミュレーションを行った。これをあえて移動率 1 に設定したものが、図 6 である。

密度が 0.1 のように低い場合、発症者が移動した方が感染が早く終息している。これは、移動が空の隣接格子を探索することによって行われるため、人口密度の低さに加え、発症者自らが他のエージェントを「避ける」ように移動する、つまり、移動ルールが結果として患者の「隔離」を推進していることによると考えられる。

### まとめ

今回のモデルは実際の感染症伝播をアクセルロッドのアドバイス「Keep it simple, stupid」にしたがい、単純化したものであり、MAS と呼ぶにはあまりにも簡素なシステムである。しかし、感染症拡大において人口密度が鍵を握っていることを示すなど、実際の感染症拡大事例とあわせて検証すべき課題を提示してくれた。また、数理モデルとしても免疫なしの事例における感染症拡大・終息の境界条件など、興味深い題材が得られた。これらの課題をもとに、数理モデルの検討を今後も続けていきたい。

### 参考文献

香取眞理(1997), 複雑系を解く確率モデル, 講談社ブルーバックス

ロバート・アクセルロッド(2003), 対立と協調の科学

エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明, 寺野隆雄 監訳, ダイヤモンド社

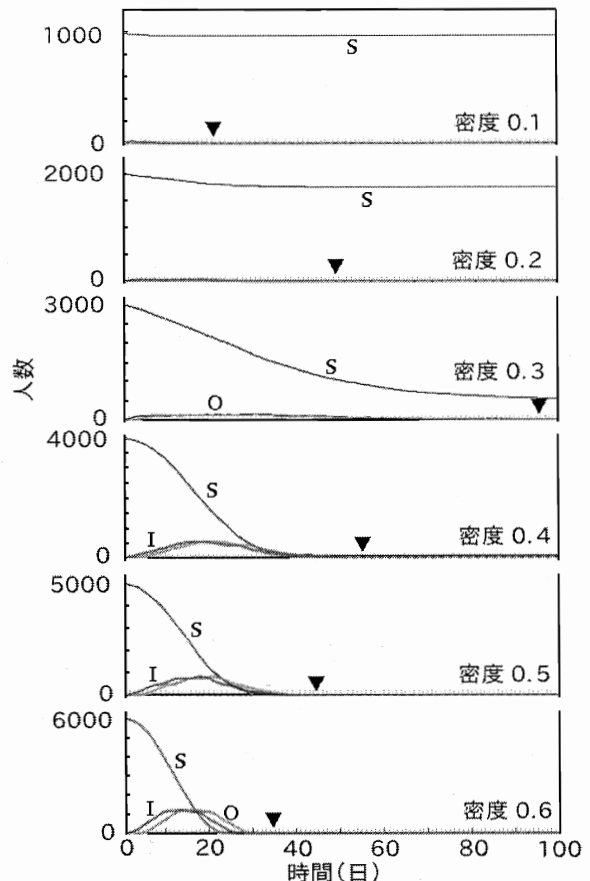


図5 免疫がある場合の非感染者数と感染者数の変化  
S: susceptible I: incubation O: outbreak

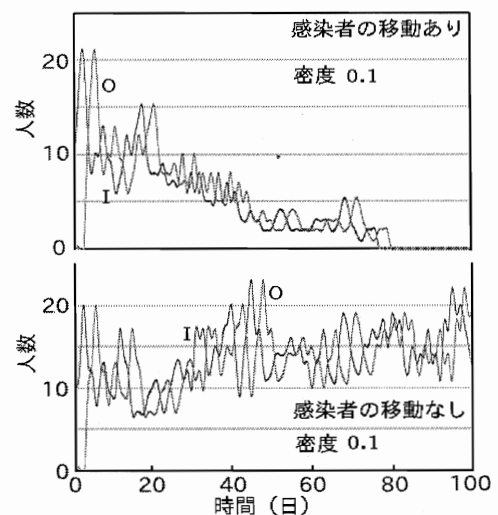


図6 感染者の移動の有無による感染者数の変化  
I: incubation O: outbreak

# 三滝玄武岩の観察と結晶分化作用の考察

櫻井祐樹・戸川直希・松田悠樹  
宮城県仙台第三高等学校

## 要約

本研究では宮城県、特に仙台市を形成している、いわゆる三滝玄武岩について調べることにした。偏光顕微鏡を用いて三滝玄武岩を観察し、鉱物を判別して文献による記載<sup>1)</sup>と比較すると、同様の結果が得られた。その結果から三滝玄武岩を形成するマグマが、マグマだまりにおいてどのような過程を経たかを考察した。特に斑晶としての普通輝石と紫蘇輝石の大きさの比較からマグマだまりの温度変化について考察した。

## はじめに

普段私たちがなにげなく過ごしているこの宮城県、その地下がどうなっているのか考えたことがあるだろうか。今回私たちは宮城県・仙台市の基盤の1つである三滝玄武岩について調べることにした。そして三滝玄武岩の特徴を文献と比較して、その結果から三滝玄武岩がどのようにできてきたかを考察することにした。三滝玄武岩とは仙台市付近に分布する岩盤であり、三滝周辺や青葉山などで観察することができる。三滝玄武岩は約800万年前～550万年前にできたとされる。三滝玄武岩には普通輝石と紫蘇輝石の2種類の輝石が含まれ、大きな普通輝石と斜長石の斑晶を含むことが大きな特徴である。

## 方法

三滝玄武岩のプレパラートを、図1の偏光顕微鏡の倍率を接眼レンズ「×10」、対物レンズ「×4」の合計「×40」として観察し、普通輝石と紫蘇輝石を区別した。そのときにデジタルカメラで撮影し、その写真をコンピュータに取り込み、「Photo Measure」というソフトを使って鉱物の断面積を計測した。



図1 偏光顕微鏡

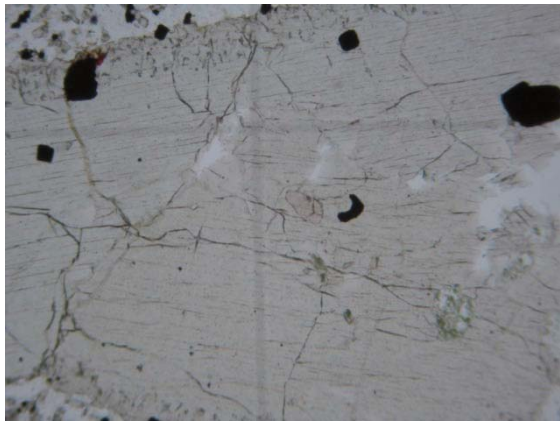


図2

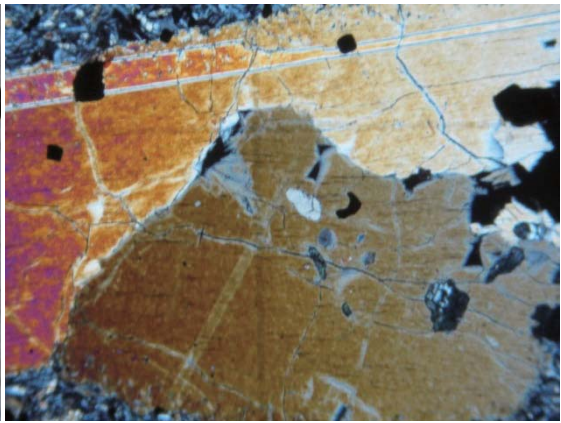


図3

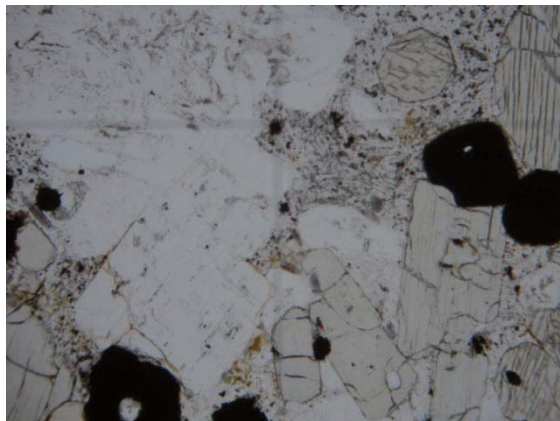


図4

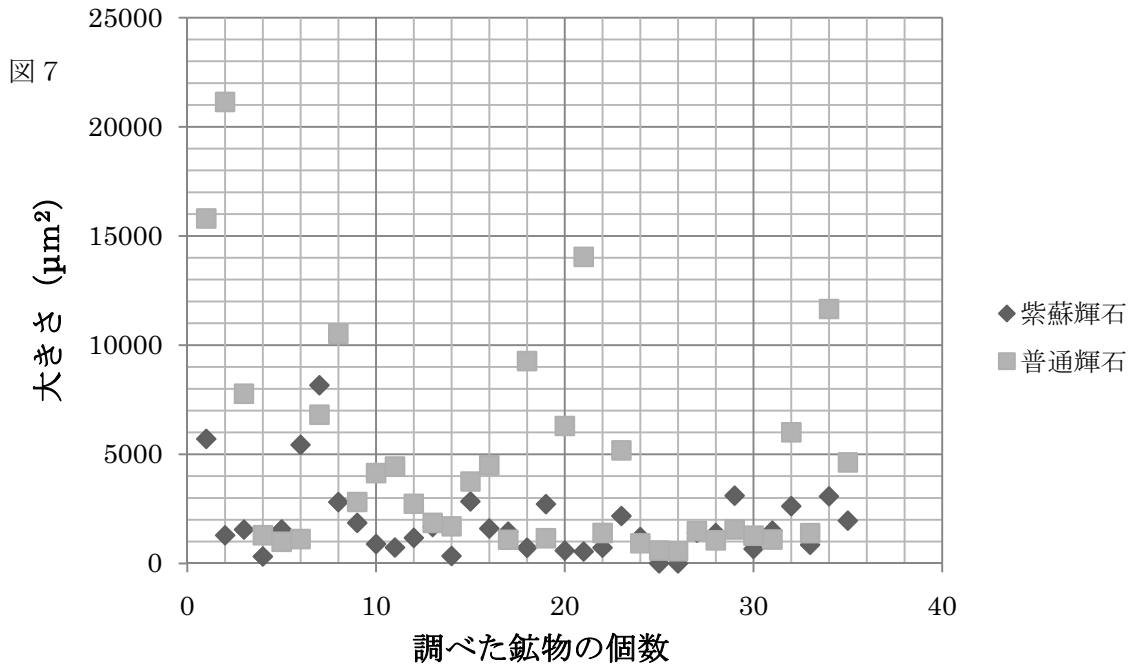
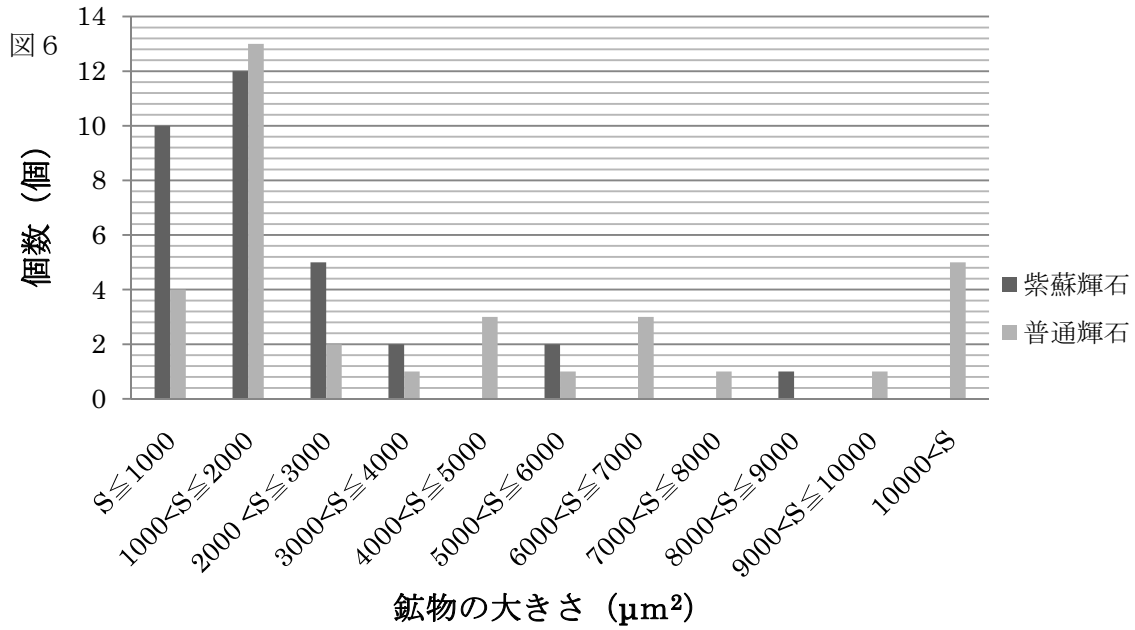


図5

図2～5 三滝玄武岩の顕微鏡写真

図2・4 開放ニコル

図3・5 直交ニコル



観察結果

図 2・4 は開放ニコル，図 3・5 は直交ニコルにより観察したものである．主に直交ニコル下で干渉色や消光の違いによって鉱物を判断した．図 2・3 からは，開放ニコルにおいても多少色のついている有色鉱物が，直交ニコル下では，橙から赤にかけての色を示すので，この鉱物が輝石であると判断できる．図 4・5 からは開放ニコル下では無色透明でなにもないよう見えるのに対して，直交ニコル下では白と灰色の縞模様が認められ，双晶を形成する斜長石であると判断

できる。図6は普通輝石と紫蘇輝石の断面積の大きさとその個数の関係をまとめたものである。横軸は鉱物の大きさ、縦軸はその個数を表している。図7において、◆は紫蘇輝石、□は普通輝石を表している。文献<sup>1)</sup>によると、普通輝石は紫蘇輝石に比べて大きい傾向がある。今回の観察、計測の結果からは文献とほぼ同様の結果がえられた。

## 考察

図6・7から、普通輝石は紫蘇輝石に比べて大きい傾向にある。マグマだまりにおいて紫蘇輝石の安定な温度領域にある時間は短く、一方普通輝石が安定な温度領域にある時間が長かったと考えられる。

また、普通輝石は紫蘇輝石よりも高温の状態で生成する<sup>2)</sup>。地下にあるマグマだまりは最初のほうが高温であるのが普通である。よって普通輝石のほうが先にできると推測できる。

そこで、この三滝玄武岩に焦点を置いてみると、三滝玄武岩は普通輝石のほうが大きい。そのことからマグマだまりにおいて、普通輝石ができる温度の時間が長く続いたために、結晶が大きく成長した。そしてそのあとに、紫蘇輝石ができる温度まで下がり、その時間が短かったため、紫蘇輝石の結晶は大きく成長できなかつたと考えられる。

2種類の輝石の大きさの測定から、高温である時間が長く、低温の時間が短かつたという、直接見ることのできないマグマだまりにおける結晶分化作用の過程を推測することができたことは、大きな意義のあることと思われる。

## 参考文献

地学団体研究会仙台支部（1968）新編 仙台の地学

地学団体研究会仙台支部（1993） せんだい 地学ハイキング 気分は宝さがし

1) 北村 信・石井武政・寒川 旭・中川久夫（1986） 仙台地域の地質

2) 久野 久（1976） 火山及び火山岩 第2版



SSH特別課題研究（SSHクラブ）





# クサイロアオガイの初期発生と温度について

宮城県仙台第三高等学校 SSHクラブ

○佐藤瑛 鹿岩潤 三木裕生 矢吹和也 矢吹拓也 河東悠斗

## 1 はじめに

クサイロアオガイ (*Nipponacmea fuscoviridis*) は北海道南部から沖縄まで日本沿岸に広く分布し、潮間帯で採取できるカサガイの一種で、採卵・採精が容易であり、アンモニア海水によって卵成熟を誘起でき、受精や発生の実験材料に用いられている。

潮間帯の上部に生息するクサイロアオガイは、5月～11月までの期間に成熟した個体が採取できる。夏期の高温下でも成熟個体が得られる。

本研究では、温度変化の激しい環境に生息するクサイロアオガイが、どの程度の温度範囲で正常に発生できるかを調べた。

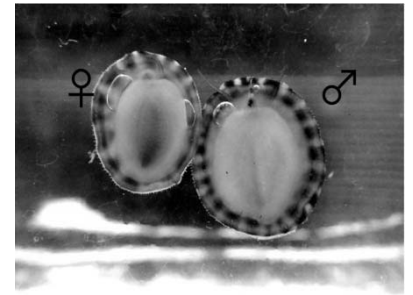


図1 クサイロアオガイ

## 2 方法

クサイロアオガイは宮城県の仙台市宮城野区仙台新港、および牡鹿郡女川町小乗浜部において採取した。クサイロアオガイの同定は、殻の外側の模様や内側の色、殻の高さ、腹足が白色から薄い橙色で生殖巣が透けて見えることで判断した後、殻の外側の表面彫刻や歯舌の特徴を確認することで行った。



図2 採集

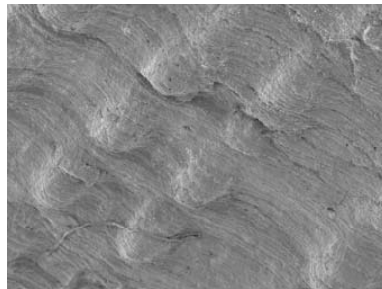


図3 殻の表面

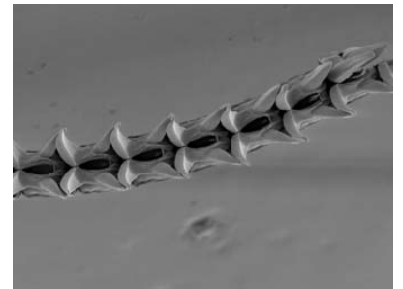


図4 歯舌

卵巣の発達した雌個体の腹足を切開して採取した未成熟卵について、pH9 に調整した 5mM アンモニア海水中に 10 分間おくことで卵成熟を誘起し、1 時間ほど海水中においた後、精子を懸濁した海水を混合して 10 分間～20 分間媒精した。採卵から媒精までは 20℃で行った。媒精後の成熟卵を 9℃～34℃の間で温度を区分して発生させた。

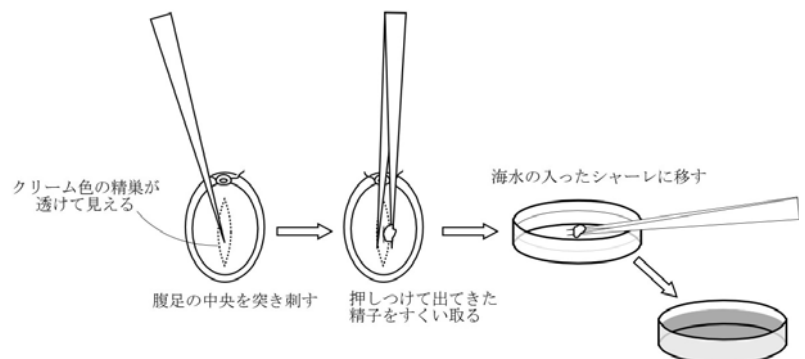


図5 精子の調整

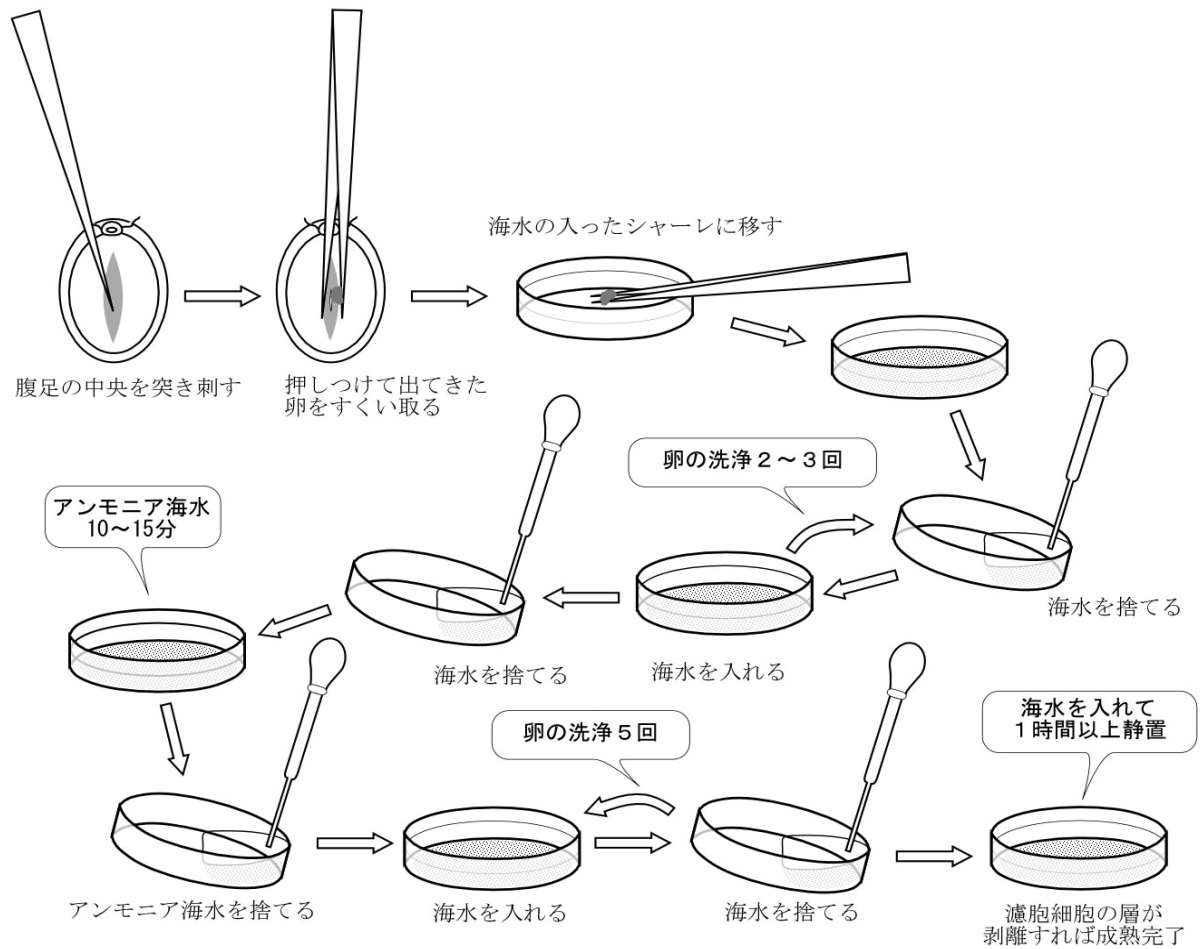


図 6 成熟卵の調整

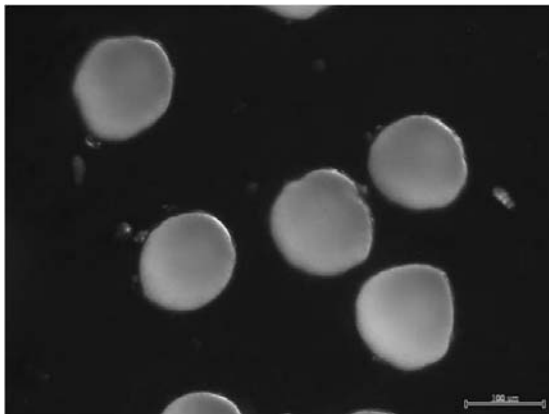


図 7 未成熟卵

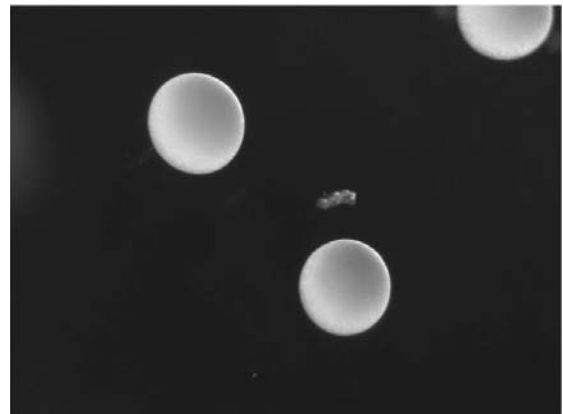


図 8 成熟卵,

### 3 結果

16細胞期までの観察では、12℃～27℃では正常に卵割が進行したが、9℃および30℃ではほとんど卵割が起こらず、34℃では全く卵割が起こらなかった。20℃前後では多くの個体が翌日にトロコフォア幼生、翌々日にはベリジャー幼生に変態した（図9～12）。27℃と19℃では順調に卵割し、34℃と9℃では卵割が起こらなかった（図13）。2細胞期胚の数は27℃のほうが19℃よりも早くピークに達した（図14）。

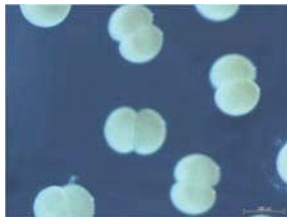


図 9 2細胞期胚



図 10 4細胞期胚

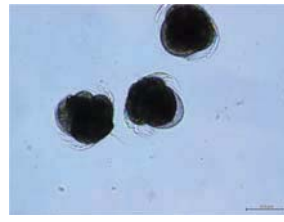


図 11 トロコフォア幼生

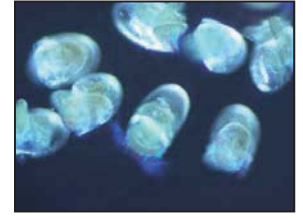


図 12 ベリジャー幼生

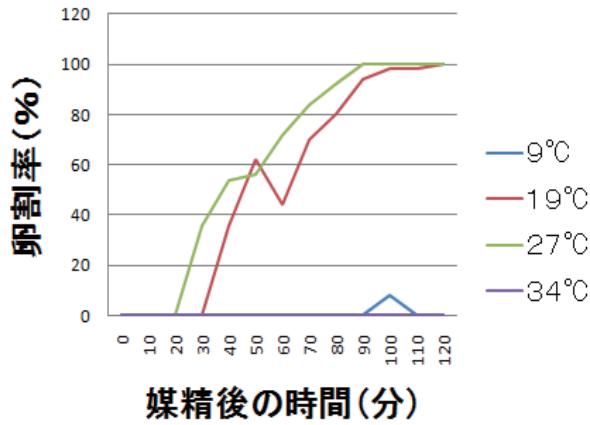


図 1 3 温度と卵割率

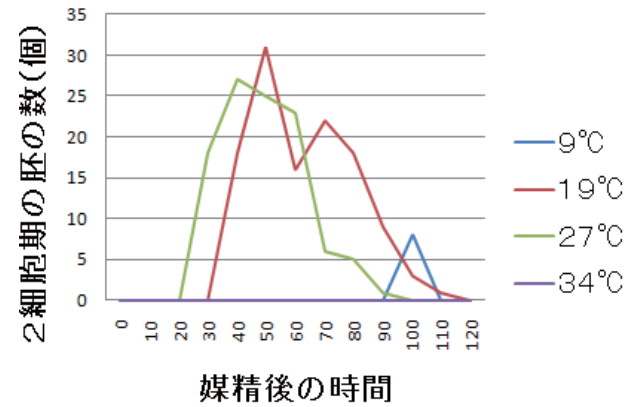


図 1 4 温度と2細胞期胚の個数

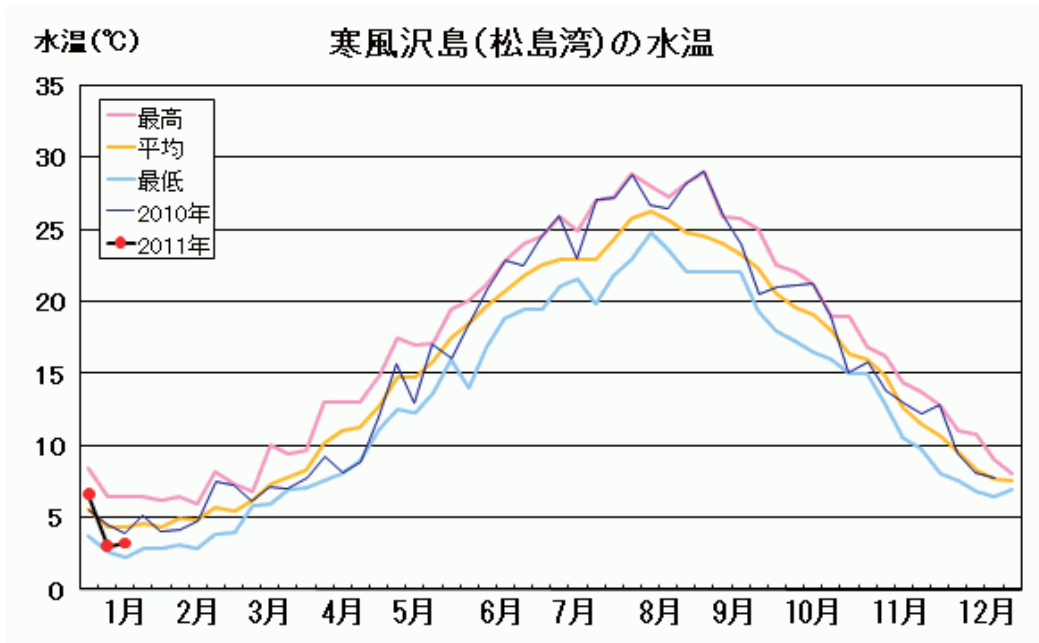


図 1 5 宮城県沿岸の水温 (第二管区海上保安本部ホームページより)

#### 4 考察

27℃と19℃では順調に卵割し、34℃と9℃では卵割が起こらなかった。これらのことから、卵割の最適温度は20℃～27℃付近だと考えられる。卵割出来る最高の温度は27℃～34℃の間だと考えられる。

また、2細胞期胚の数は27℃のほうが19℃よりも早くピークに達する。このことから、温度が高いほうが卵割するのが早いと考えられる。

宮城県沿岸の海水温は、おおよそ3月～4月に10℃を超え、11月～12月に10℃を下回る(図15)。また、例年は8月の平均水温は25℃を超えない。今回、9℃および30℃では受精卵が発生しないことが分かり、生息地域の水温と繁殖期との間に相関があることが示唆された。

#### 5 謝辞

この課題研究を進めるにあたり、宮城教育大学理科教育講座の出口竜作准教授からクサイロアオガイの採集や人工受精方法についてご指導をいただきました。ここに心より感謝いたします。

#### 参考文献

- 1 出口竜作. 2007. 笠貝の発生過程と授業での活用. 宮城教育大学紀要 42:73-80.
- 2 Sasaki, T. & Okutani, T. 1993. New genus *Nipponacmea* (Gastropoda, Lottiidae): a revision of Japanese limpets hitherto allocated in *Notoacmea*. *Venus* 52(1): 1-40.
- 3 Sasaki, T. & Nakano, T. 2007. The southernmost record of *Nipponacmea fuscoviridis* (Patellogastropoda: Lottiidae) from Iriomote Island, Okinawa. *Venus* 66(1-2): 99-102.
- 4 第二管区海上保安本部海洋情報部ホームページ  
<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN2/kaisyos/ion/suion.html> (平成23年1月26日)

# 林床におけるブナの芽生えと伸長成長と光について

宮城県仙台第三高等学校 SSH クラブ

河東悠斗 矢吹和也 矢吹拓也

## 1 はじめに

私達は仙台第三高等学校 SSH クラブの活動として平成 22 年 8 月 9 日に SSH フィールドワークで白神山地（青森県西津軽郡深浦町十二湖地域のブナ林）において研修を行った。そのときの研修内容の一部をレポートとしてまとめた。

## 2 目的

陰生植物としてのブナの芽生えと陽生植物としてのヤマハンノキについて、光と成長の関係を調べる。

## 3 方法

### 〈ブナの当年の伸びの測定〉

道路脇のブナ林に於いて林床に生息する芽生えと路肩近くの比較的明るい場所に生息する芽生えについてブナ 10 個体及びヤマハンノキ 5 個体に当年に伸長した長さを定規を用いて測定しました。当年の伸長を知る目印として、鱗片葉を用いた。



### 〈魚眼レンズを用いた全天写真の撮影〉

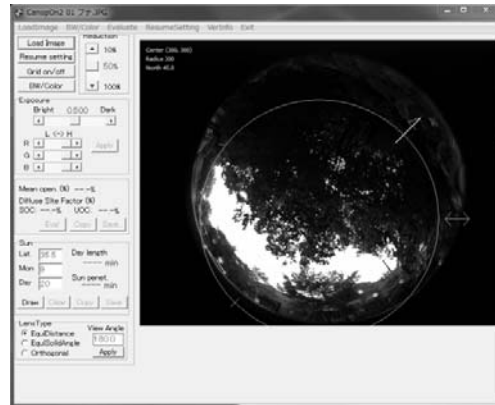
ブナ、ヤマハンノキの各芽生え上方の全天写真を魚眼レンズを用いてデジタルカメラで撮影した。水平器を使い、カメラ本体が水平になるように設置した。次に方位磁針を使い、撮影した写真の下部が北になるように調整した。最後に撮影した写真に自分達の姿が写り込まないように魚眼レンズより下に身を低くしてシャッターを切った。



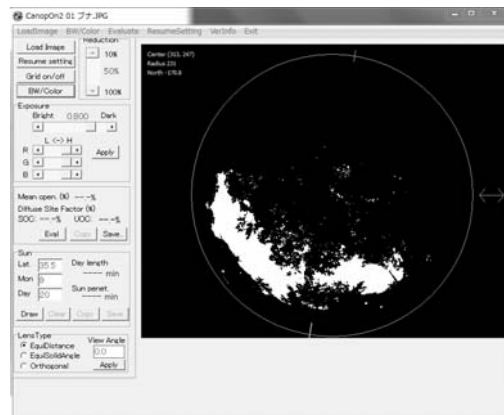
## 〈CanopOn 2 による撮影写真の解析〉

CanopOn 2 という画像解析ソフトを利用し、全天の空隙率、光の透過率が計算した。太陽の軌道を描き、日照時間を計算することもできる。

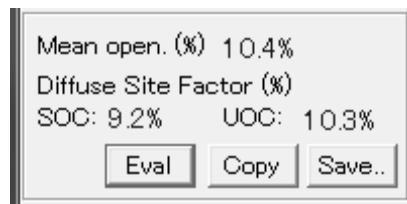
円周魚眼レンズで撮影した画像を読み込み、地平線・方位を設定し、地平線場所とサイズを調節し、方位を設定する。また、正確な方位を示すために、方位磁針で測った北の方角から地磁気によって生じる誤差を補正した。観測地の地磁気による方位のずれが西に 9.2 度であることから、写真の方位を東に 9.2 度修正した。



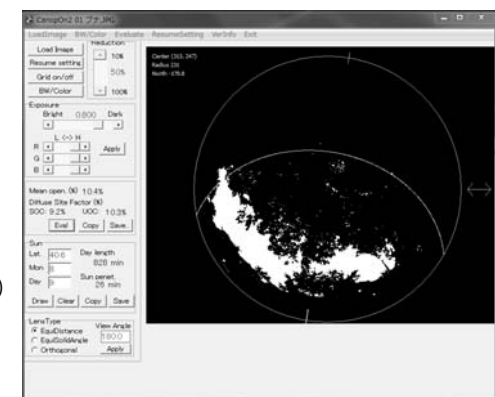
空隙率を求めるには、カラーイメージから白黒イメージへの変換が必要である。どのぐらい明るい点を白、すなわちどのぐらい空が見えているとするかの判断基準を設定できる。この基準は撮影状況によって写真一枚ごとに確認・調整する必要がある。人間は、高度のパターン認識をしながらどこが空でどこが障害物なのかを見分けられるが、この機能をプログラム上で実現するのはとても難しいので、目で見て判断する。



白黒イメージから、平均的な空隙率と、全天からの散乱光の透過率とを計算して表示することができる。散乱光の透過率(Diffuse site factor)は、UOC (Uniform Overcast Sky, 全天が均一に明るい)を仮定した場合、およびSOC (Standard Overcast Sky, 天頂は地平線近くの3倍明るい)を仮定した場合のそれぞれについて計算する。

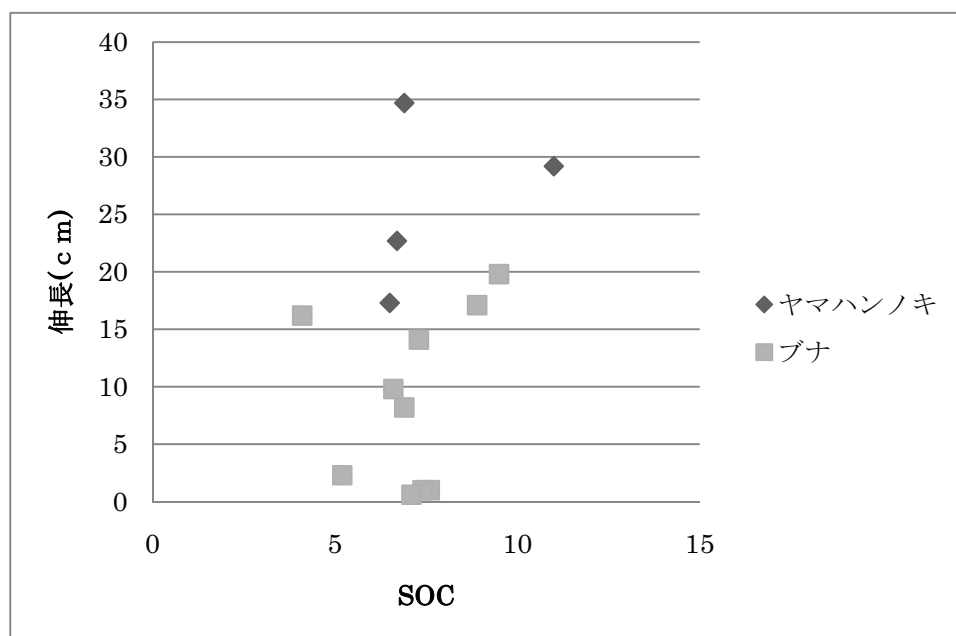
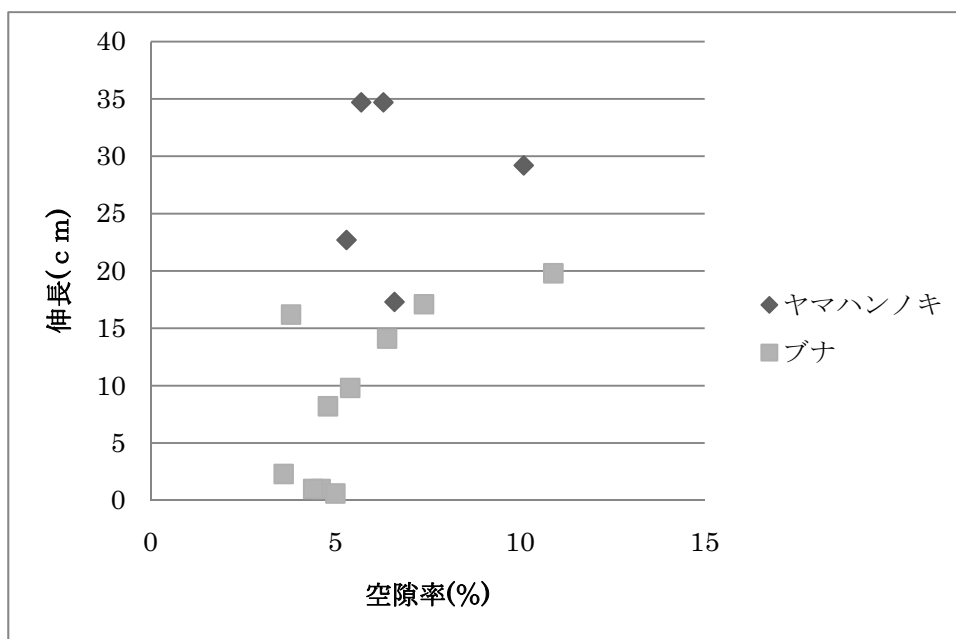


緯度・日の太陽の軌跡を描画する設定ができる。描画と同時に、日長と太陽の透過時間(障害物に遮られずに太陽の直達光が射し込む時間)が、それぞれ分単位で表示される。

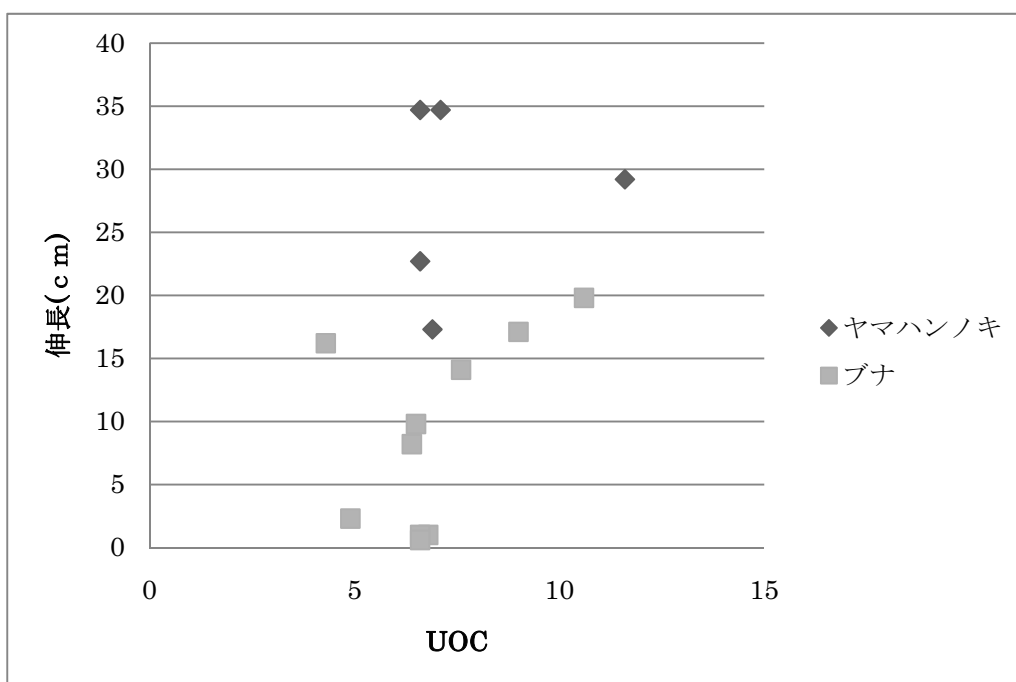


## 6 結果・考察

ブナの芽生え10本、ヤマハンノキの芽生え5本について、空隙率、散乱光透過率(U0C、SOC)と当年の伸長との関係を下のグラフに示した。ブナの芽生えでは散乱光透過率が大きくなるにつれて、伸びが大きくなる傾向が見られた。一方、ヤマハンノキでは散乱光透過率がある値を超えると急激に伸びが大きくなる傾向が見られた。







## 7, まとめ

今回の研修の調査ではサンプル数が少なかったことや、各植物体の齢がはっきりと分からず、かつばらつきがあると考えられること、調査日が8月9日の一日のみであり、春から夏にかけての散乱光透過率の変化が分からないこと等の要因があり、信頼性の高いデータが得られたとは言えない。しかし、天候によって大きく変動する野外の光環境を全天写真解析から得た散乱光透過率を指標に評価する方法は、フィールドでの植物の生育と光環境との関係を調べる際に有効であると感じられた。

## 8, 謝辞

今回の実習をご指導いただいた東北大学大学院生命科学研究科教授の中静透先生と深浦町教育委員会の神林友広先生に心より感謝申し上げます。

## 参考 URL

全天写真解析プログラム **CanopOn 2**

<http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2/> (平成 22 年 11 月 10 日)

部活動



## 覚えていると便利な公式

照井歩夢

### ヘロンの公式

△ABC の面積を  $S$  とすると,

$$S = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

ただし,

$$s = \frac{a+b+c}{2} \quad (2s = a + b + c)$$

例題 3辺の長さが  $a = 5$ ,  $b = 6$ ,  $c = 7$  である△ABC の面積  $S$  を求めよ.

[解 余弦定理を使う場合]

余弦定理より,

$$\cos A = \frac{6^2 + 7^2 - 5^2}{2 \cdot 6 \cdot 7} = \frac{36 + 49 - 25}{2 \cdot 6 \cdot 7} = \frac{60}{2 \cdot 6 \cdot 7} = \frac{5}{7}$$

$\sin A > 0$  より,

$$\sin A = \sqrt{1 - \cos^2 A} = \sqrt{1 - \left(\frac{5}{7}\right)^2} = \sqrt{\frac{24}{7^2}} = \frac{2\sqrt{6}}{7}$$

したがって,

$$S = \frac{1}{2} \times 6 \times 7 \times \frac{2\sqrt{6}}{7} = 6\sqrt{6}$$

[解 ヘロンの公式を使う場合]

$$s = \frac{1}{2}(5 + 6 + 7) = \frac{1}{2} \times 18 = 9$$

$$S = \sqrt{9(9-5)(9-6)(9-7)} = \sqrt{3^2 \times 2^2 \times 3 \times 2} = 6\sqrt{6}$$

3辺の長さが与えられた三角形の面積を求めるときは、ヘロンの公式を使った方がよい.

ちなみに、ヘロンはアレクサンドリアの数学者でもあり、技術者でもある.

### ギリシャ文字の数学的意味

デルタ  
Δ (大文字) ……変数あるいは関数の変数を表す.

ミュー  
μ (小文字) ……長さの単位のミクロンを表す.

パイ  
Π · π ……Π : 数列の初項から第  $n$  項までの積を表す記号.  
……π : 円周率の記号.

シグマ  
Σ (大文字) ……総和記号.

ちなみに、円周率は、3.14159265535 8479323846 2643383279 5028841971 6939937510  
5820974944 5923078164 0628620899 8628034825 3421170679 ……

# 分数方陣の作り方

及川翔太

## 分数方陣

分数方陣はいうまでもなく方陣を整数でなく分数で作ったものである。定数方陣を作り、その定数を分母として作ったもの。

### ・三次の分数方陣

図 1 は、三次の分数方陣で、縦・横、斜めの計はみな 1 である。

$\frac{7}{24}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{11}{24}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
$\frac{5}{24}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{3}{8}$

図 1

まず、分数方陣の分母は、図 1 のように、2, 3, 4, 6 といろいろな数がある方が形としてよい。それと、約分しないときの分母の数は、これらの公倍数が一番よい。それには、12, 24, 36 などがよいが、三次方陣の 1~9 の数の定和は 15 だから、それ以上でなくてはならない。そこで、分母が 24 となるものを作ってみる。

それには、まず定和 24 の方陣を作る。図 2(ア) は 1~9 の数を使った定和 15 の方陣である。この各数にそれぞれ 3 ずつ加えると各列の合計が 9 加えられた図 2(イ) のような定和 24 の方陣ができる。この図 2(イ) の各数を分子とし、分母を定和の 24 としたものが、図 2(ウ) である。この図 2(ウ) の各数を約分すると、はじめの図 1 の分数方陣となる。

4	3	8
9	5	1
2	7	6

図 2(ア) 定和 15

7	6	11
12	8	4
5	10	9

図 2(イ) 定和 24

$\frac{7}{24}$	$\frac{6}{24}$	$\frac{11}{24}$
$\frac{12}{24}$	$\frac{8}{24}$	$\frac{4}{24}$
$\frac{5}{24}$	$\frac{10}{24}$	$\frac{9}{24}$

図 2(ウ) 定和 1

$\frac{7}{24}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{11}{24}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$
$\frac{5}{24}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{3}{8}$

図 2(エ) 定和 1

### ・四次の分数方陣

四次の分数方陣も、三次の分数方陣と同じような作り方である。いま、縦・横・斜めの計が 1 (48/48) の分数魔方陣を作ってみる。

まず、三次の分数方陣と同じ手順で、図 3(ア) の定和 34 の四次方陣に 3 を加え、図 3(イ) のような定和 46 の四次方陣を作る。各数のうち 12~19 の数に 1 ずつ加えると図 3(ウ) になり、これを分数としたものが、図 3(エ)、及び図 3(オ) である。

1	15	8	10
12	6	13	3
14	4	11	5
7	9	2	16

図 3(ア) 定和34

4	18	11	13
15	9	16	6
17	7	14	8
10	12	5	19

図 3(イ) 定和46

4	19	11	14
16	9	17	6
18	7	15	8
10	13	5	20

図 3(ウ) 定和48

$\frac{4}{48}$	$\frac{19}{48}$	$\frac{11}{48}$	$\frac{14}{48}$
$\frac{16}{48}$	$\frac{9}{48}$	$\frac{17}{48}$	$\frac{6}{48}$
$\frac{18}{48}$	$\frac{7}{48}$	$\frac{15}{48}$	$\frac{8}{48}$
$\frac{10}{48}$	$\frac{13}{48}$	$\frac{5}{48}$	$\frac{20}{48}$

図 3(エ) 定和1

$\frac{1}{12}$	$\frac{19}{48}$	$\frac{11}{48}$	$\frac{7}{24}$
$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{17}{48}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{48}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{6}$
$\frac{5}{24}$	$\frac{13}{48}$	$\frac{5}{48}$	$\frac{5}{12}$

図 3(オ) 定和1

・五次の分数方陣

図 4の分数方陣は各列の計が、みな2となる。これは定和72の方陣を作り、それに分母の36をつけて約分したものである。

$\frac{13}{18}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{7}{12}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{17}{36}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{7}{18}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{2}$
$\frac{5}{18}$	$\frac{5}{9}$	$\frac{1}{36}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{25}{36}$
$\frac{13}{36}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{36}$	$\frac{11}{18}$	$\frac{1}{12}$
$\frac{7}{18}$	$\frac{5}{36}$	$\frac{5}{12}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$

図 4 定和 2

# 二次関数

橋本尚吾

## 1 関数とは

2つの変数  $x$ ,  $y$  の間にある関係があつて,  $x$  の値を定めるとそれに対応して  $y$  の値がただ一つ定まるとき,  $y$  は  $x$  の関数であるという.  $y$  が  $x$  の関数であることを, 文字  $f$  などを用いて

$$y = f(x)$$

と表す. また,  $x$  の関数を, 単に  $f(x)$  ともいう.

関数  $y = f(x)$  において,  $x = a$  のときの  $y$  の値は  $f(a)$  で表される.

## 2 二次関数のグラフ

### 特徴 1

$a > 0$  のとき, 放物線は上に開いている. このとき, 下に凸と呼ぶ.

→ 最小値は頂点, 最大値はなし

$a < 0$  のとき, 放物線は下に開いている. このとき, 上に凸とよぶ.

→ 最小値はない, 最大値は頂点

### 特徴 2

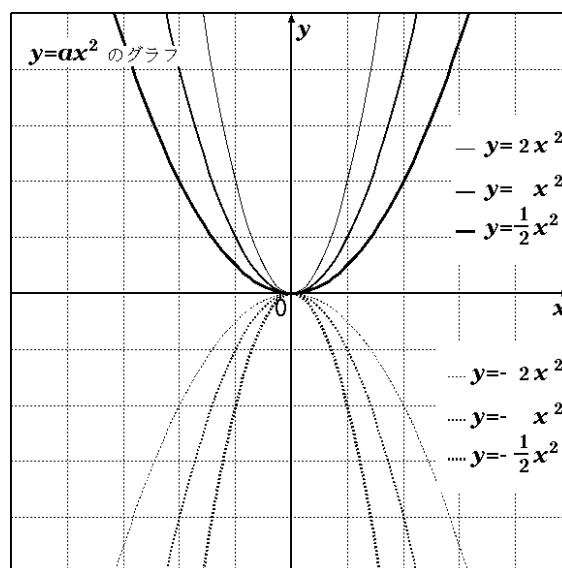
$a$  のとる値により放物線の開き方が異なる.

$a$  の値が大きくなればなるほど, 閉じ,

$a$  の値が小さくなればなるほど, 開く.

### 特徴 3

軸に対して左右対称になっている.



一般形  $f(x) = ax^2 + bx + c$  ( $c$  は 0 でない) は, 多項式の一般論を適用する時に便利であり, 標準形  $f(x) = a(x - p)^2 + q$  や因数分解形  $f(x) = a(x - s)(x - t)$  は座標平面上に描かれる放物線を通して二次関数の性質を調べるときに便利な形である.

$f(x) = a(x - p)^2 + q$  の形で表される  $xy$  平面上の放物線の軸は,  $x = p$  であり, 頂点の座標は  $(p, q)$  となる.

$f(x) = a(x - s)(x - t)$  で表される放物線は,  $s, t$  が実数ならば,  $x$  軸と  $s, t$  で交わる. 特に,  $s = t$  ならば放物線は,  $x$  軸に接する.

三つを比較すると、

- ① 一般形で  $b = 0$  のときは標準形
- ② 標準形で  $q = 0$  のときは因数分解形
- ③ 因数分解形で  $s = t$  のときは標準形
- ④ 因数分解形で  $s = t = 0$  のときは一般形
- ⑤ 標準形や因数分解形を展開すれば一般形
- ⑥ 一般形を因数分解すれば因数分解形
- ⑦ 一般形と平方完成すれば標準形

平方完成

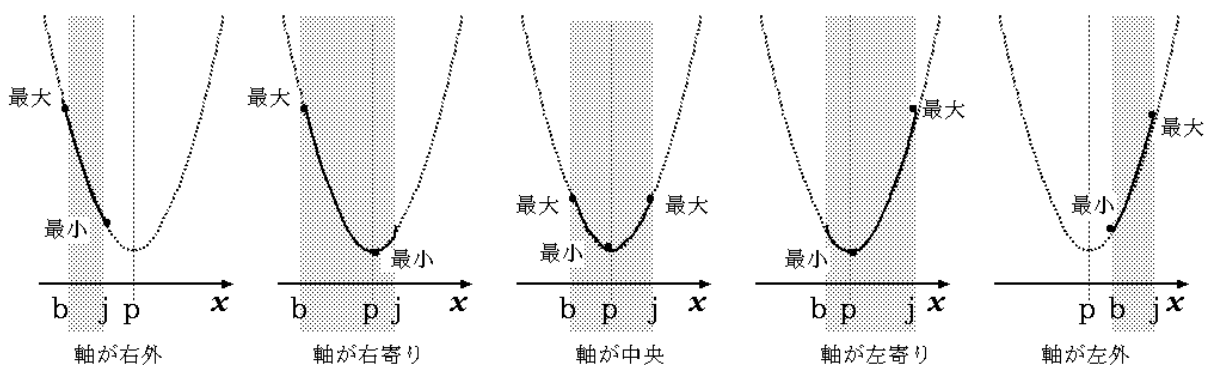
$$\begin{aligned}
 y &= ax^2 + bx + c \\
 &= a\left(x^2 + \frac{b}{a}x\right) + c \\
 &= a\left\{x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 - \left(\frac{b}{2a}\right)^2\right\} + c \\
 &= a\left\{x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2\right\} - \frac{b^2}{4a} + c \\
 &= a\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{b^2 - 4ac}{4a} \\
 p &= -\frac{b}{2a}, \quad q = -\frac{b^2 - 4ac}{4a}
 \end{aligned}$$

(  $x = -\frac{b}{2a}$  は放物線と  $x$  軸の共有点の関係の問題に有効)

- ① 判別式  $D (< or > or 0)$
- ② 軸  $x = -\frac{b}{2a} (< or > 0)$
- ③  $f(x) (< or > 0)$

### 3 定義域に制限があるときの最大, 最小

平方完成して、軸の位置に注目。



(注)  $x = p$   $a < 0$  の場合は、最大と最小が入れ替わる。

中央のものは右寄り、左寄りの場合分けに含めてしまってもよい。



# 統計で考えるサザエさんのジャンケン攻略法

大山達也

## はじめに

国民的アニメであるサザエさんの番組の最後にあるジャンケンで「常に勝つ」という一種の執念でこの研究に取り組もうとしたことが背景にある。そこで統計を用いることによって、より高い確率でサザエさんに勝つ攻略法を考えていくことがこの研究の目的である。

## データ対象

これまで放映されてきた放送(第1回の1991年10月20から2010年8月8日まで)のサザエさんの出した949手と、2009年11月15日放送でジャンケンを行った観月ありさおよび1999年12月26日放送でジャンケンを行った磯野かつおの2手を含む合計951手をデータの統計対象とする。また、番組の休み後にはその日の振替の番組が放映されることから休みは考慮しないこととする。

## 方法 I

サザエさんのジャンケンで出されたグー、チョキ、パーが951手の中でどのくらいの割合で出されているのを調べ、その割合から攻略法を考える。

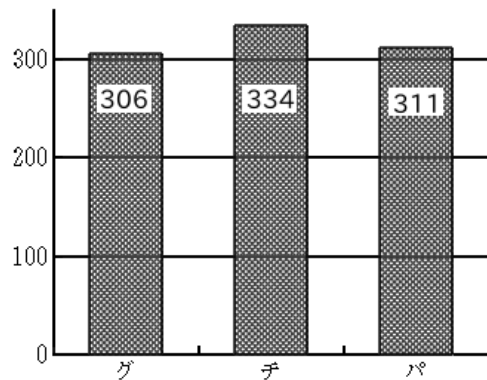


図 1 ジャンケンの各手の合計

## 研究 I

図1の通り、グー・チョキ・パーはそれぞれ306回、333回、311回であった。図2の割合から見ると

グー 32%  
チョキ 35%  
パー 33%

である。

## 考察 I

研究 I よりチョキが若干多いことが分かるが、図2をみての通り割合はほぼ同等であると判断できる。よって方法 I ではより精密なジャンケンの予測は不可能であると判断した。次により精密な予測ができるようにジャンケンができる手のあるパターンを考えていながら統計によるジャンケン攻略をすることにした。方法 II へ移る。

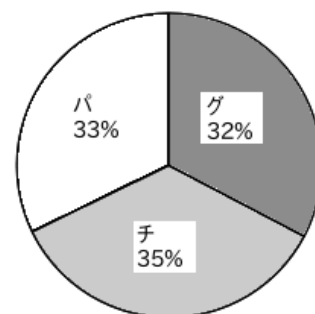
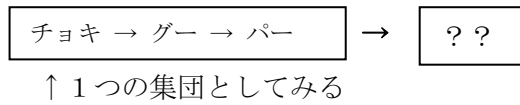


図 2 ジャンケンの各手の割合

## 方法Ⅱ

方法Ⅰの結果を踏まえ、統計からこれから出される手を一種のパターン化を図る。

### パターン化の例



例の図の通りの過去連続のある三手を一つのパターンとしてみて、次に「??」にどの手が出る割合が高いのかパターンを調べていく。ここでなぜ三手なのかということであるが、例として一手からの次の出す手の推移を調べるとすると全体の統計の偶然性から考えて信頼度があまり得られないのではないかと考えたためである。そこで、三手までさかのぼって一つのパターンを作った方が次の手がより精密になるのではないかと考えたためである。また、今回はすべてのパターンに着手すると膨大な時間がかかるため、扱うパターンは一つにしぼることにする。ここで本研究の趣旨はサザエさんのジャンケンに勝つことであることであるので、8月15日放送のジャンケンに勝つことを念頭におく。よって扱うパターンは

「チョキ → パー → チョキ」

で行う。

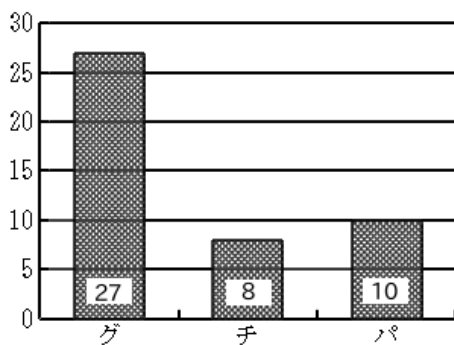


図 3 パターン化における各手の合計

割合的に

グー	60%
チョキ	18%
パー	22%

である。

### 研究Ⅱ

「チョキ → パー → チョキ」のパターンはこれまでの過去の手で45回ある。そのうち次に出る手は

グー27回    チョキ8回    パー10回

である。

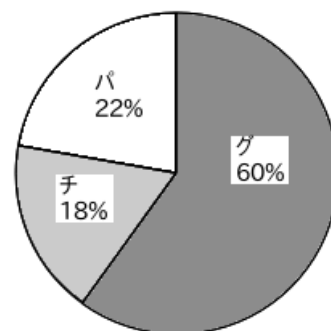


図 4 パターン化における各手の割合

### 予想

図3, 4をみるとわかるとおり、「チョキ→パー→チョキ」のパターンで次に出す手の割合の高い手は「グー」である。よって8月15日放送のジャンケンではサザエさんが「グー」出す可能性が高いことが過去の統計から裏付けができた。よって「パー」を出すことでサザエさんに勝つ可

能性があると思われる。

## 結果

8月15日放送の第952回のジャンケンでは「グー」を出したため、「パー」を出した自分が勝った。

## 考察Ⅱ

過去のデータからパターン化を図ることで次に出される手が方法Ⅰより精密になり、的を絞れるようになった。しかし、これまでのデータが950回程度と統計を取るにはまだ十分ではないため、予想には的確さにおいてやや不十分と考えられる。ジャンケンの回数が多くなるほどこの点においては解決されると思われるが、今後の課題として別な方法のパターン化など複数のアプローチの方法を考えることでより精密に次の手が予測できると思われる。

## 感想

数式上の確率を考える場合「同様に確からしい」ということが必要不可欠なものであるが、今回の研究では実際に実施されたジャンケンの手の確率が「同様に確からしい」と本当に言えるのかということが考えるところであった。事実、これまでの出された手の統計を取る場合それは言えない。だが、今回全体のジャンケンの手の数を調べたところおよそ一つの手の出る割合が1/3へ近い数値が確認できた。これは大数の法則が成り立っているということが推測できると思う。これからもデータを収集し、サザエさんに常勝することを目標により質の高い研究をしようと考えている。また、これらの応用により高いビジョンとしては競技スポーツ（個人競技を除く）などで相手の動きをデータとしてとることで、数学的に相手の動きのパターンを求めるとも可能だと思われる。機会があれば是非一度やってみたい事柄の一つと思っている。

## 参考

サザエさんジャンケン学(過去の手を借用)

<http://www.asahi-net.or.jp/~tk7m-ari/>

エクセル活用術

<http://www.1147mono.com/Excel/index.htm>

ウィキペディア（統計、大数の法則を参考）

<http://ja.wikipedia.org/wiki/大数の法則>

## 宇宙の曲がり方の測り方

「宇宙が曲がっている」と聞いたことがある人は多いと思います。それはどういう事でしょうか。

私たちが感覚的に「曲がっている」「曲がっていない」と見なしている球面(sphere)や平面(plane), これらは3次元空間(3次元ユークリッド空間と言います)の中での見方で, 2次元的なものが曲がっているかいないか, という判断をしていることに過ぎません。曲面や平面自体を取り出して判断していることではないのです。

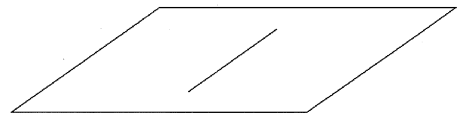
宇宙は3次元空間(時間を含めて4次元という言い方をすることもありますが, ここではあくまでも空間として考えます)ですから, 2次元の図形を見るときと同じように曲がり方を捉えることは難しいことになります。2次元の図形の場合は, 「その外側から形を眺めて曲がり具合を判定」出来ましたが, 宇宙というものはいわば「自分自身」ですから, 外側というものがありません。仮にあるにしても, 私たちがそれを知ることは出来ない以上, 外からその形を眺めて曲がり具合を調べるという方法は使えないことになります。

宇宙自らが曲がり具合を知りその程度を調べるために数学的な見地から考え出された概念, それが「曲率(curvature)」です。

### 1. 平行移動という視点

まず, 曲がり具合が最も単純な状態, すなわち「真っ直ぐ」であるとはどのようなことか, から考えていきましょう。

2次元の真っ直ぐな状態である平面, ここでは「ユークリッド平面」と呼ぶことにしますが, ここから始めてみましょう。



ユークリッド平面が真っ直ぐであることを数学ではどのように表現するか, を考えます。そのために, 初等幾何学の大事な公理である「平行線の公理」を思い出しましょう。ユークリッド平面ではある直線に対して外部の点を通る平行線はただ1本で, しかも2本の直線は交ることがありません。この公理をベクトルの概念を用いて, 「ベクトルの平行」について考える事にします。

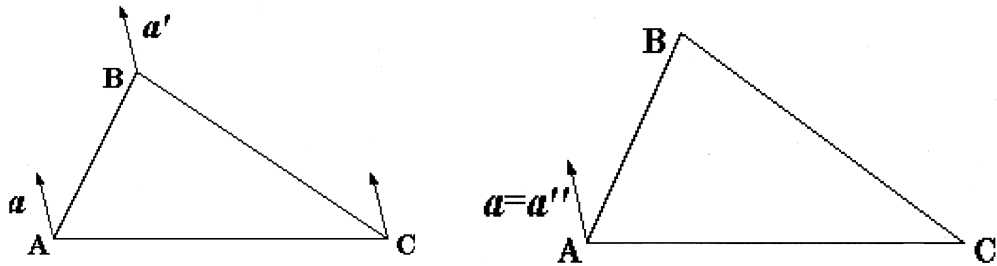
2つのベクトルが平行であるということは, 2つのベクトルが互いに平行な直線の上に乗っている, と言い換えることが出来ます。



これは誰もが当たり前のことであると理解していることですが, 実はそのことこそ「曲がっていない空間の特殊性」なのです。次のことを思い浮かべて下さい。平行ということを経験して, 1つのベクトルを三角形の辺に沿って「平行移動(parallel displacement)」させてみましょう。右図

例えば、点Aを始点とするベクトル $a$ を辺ABに沿って平行移動させて点Bが始点になるようにしたものを $a'$ とします。

さらに、辺BC, CAに沿って平行移動し、三角形を一周したものを $a''$ と表せば、これらは全て平行であり、 $a=a''$ が成り立っています。(通常、ベクトル空間とは、始点を一定にして考えますが、ここでは素朴に、位置ベクトルの各点で考えている、と捉えて下さい。)

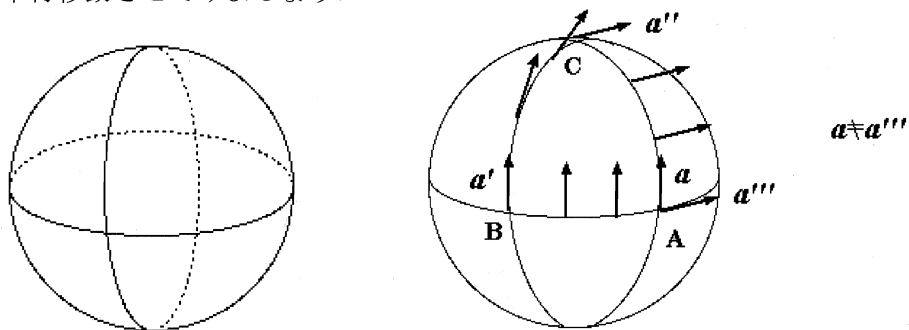


一般にユークリッド平面上(あるいはユークリッド空間内)で、折れ線に沿ってベクトル平行移動してもベクトルが平行であるという関係は保たれています。これが、「真っ直ぐである」との意味になります。

今度は、球面上の平行移動について考えてみましょう。

非ユークリッド幾何学的な扱い、特にこの場合は球面幾何学ですが、ここでは直線に当たるものを「大円(great circle)」と呼びます。2次元の球面( $S^2$ と表します)で考えれば文字通り大円(あるいは大圏航路)ですから、2本の異なる直線は必ず2点で交わることになります。このような、球面上での平行とは、平行移動とはどういうことであると考えればよいでしょうか。

平面の場合をもとにして平行移動を考える事にします。そのために大円を、簡単のために赤道、 $90^\circ$ ずれた2本の子午線、の3本用意します。この3本で囲まれた三角形ABC(右図)は、1つの角の大きさが $90^\circ$ になります(内角のが $270^\circ$ の三角形)。点Aで北極を向いているベクトル $a$ を辺AB, BC, CAに沿って平行移動させてみましょう。



ベクトル $a$ は点Bで $a'$ 、さらに点Cで $a''$ となり、再び点Aに戻ってきたときに $a'''$ になりますが、図から分かるように、 $a \neq a'''$ です。三角形に沿って平行移動した結果、ベクトルが異なるものになってしまうことになります。

平面の例では、折れ線に沿って平行移動しても、平行性は変わりませんでした。これらのこと

からやや大雑把ですが次のような見極め方が得られることになります。

真直ぐな空間……いかなる平行移動によってもベクトルの向きが不変である空間

曲がった空間……平行移動によってはベクトルの向きが変わる場合がある空間

曲がっている場合のベクトルの向きの変わり方は、平行移動の道の取り方によって異なりますから、「1つのベクトルを平行移動する」という言い方では意味がなく、「この道に沿って平行移動した」と言わなければなりません。一方、ユークリッド幾何学の場合、道の取り方に依らずに同じベクトルが得られますから、単に「ベクトルを平行移動する」と言うことが出来るわけです。数学Bの授業で各点を始点とするベクトルと、原点を1つ定めて考えるベクトルとを同一視すること(位置ベクトルと自由ベクトルとの同一視)がこの理由によって正当化されるのです。

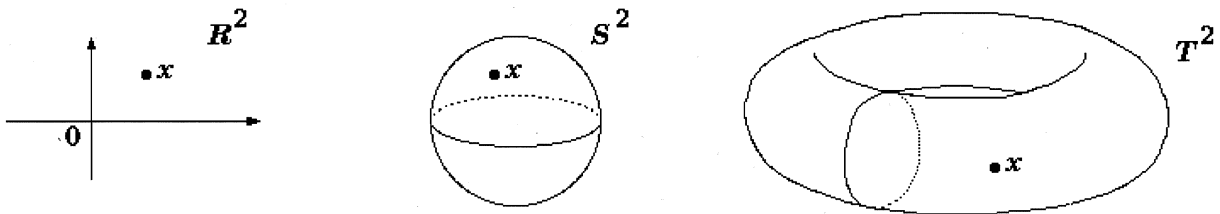
## 2. 「幾何」から「解析」へ(多様体とリーマン計量)

さて、これで曲がっているというものの見方の1つが得られたわけですが、これをより一般の場合に適用することを考えていきます。どのような空間が、今述べた方法で曲がっているかどうかの判断を下すことが出来るものなのか、について、座標の考え方、微分積分の考え方を利用して見ていくことにしましょう。

平面と球面を比較することで、真っ直ぐか曲がっているかの違いを考えてみました。ここでは、図形の一部、とりわけ小さい一部分を取り出して考える事にします。球面は全体を見れば明らかに平面とは異なる図形ですが、どの点を中心にしても、その点の小さな周辺だけ拡大すれば、普通のユークリッド平面と同じように見えます。このように、局所的(local)に、すなわち各点の十分小さな周りを考えたときに、ユークリッド空間と同じように見える図形・空間を多様体(manifold)と呼びます。

平面や空間と同じように考えて、各点が $n$ 組の実数 $(a^1, a^2, \dots, a^n)$ からなる座標で表される空間を $n$ 次元ユークリッド空間 $R^n$ と呼びます。局所的には $R^n$ と同じように見える空間、すなわち、各 $x \in M^n$ に対して、 $x$ の十分近くで定義された $R^n$ への一対一連続写像 $\phi$ があつて、

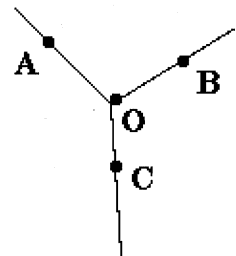
$\phi(x) = (x^1, x^2, \dots, x^n) \in R^n$  と表せるとき、空間 $M^n$ を $n$ 次元多様体( $n$ -dimensional manifold),  $(x^1, x^2, \dots, x^n)$  を局所座標(local coordinate)と言います。これら座標系や関数、写像が、何回でも微分できる式で表されているもの(空間的にはカドがなくなめらかな表面をしているものと考えて下さい)を微分可能多様体(differentiable manifold または $C^\infty$  manifold)と呼び、幾何学の主な研究対象となっています。例えば、2次元多様体の主な例としては、ユークリッド平面 $R^2$ , 球面 $S^2$ , トーラス(ドーナツの表面)  $T^2$ などがあります。



多様体は、ユークリッド空間の貼り合わせとして得られる空間です。そして、ユークリッド空間というのは、空間としては何の幾何学的構造も持たないです（極端な言い方をすれば）から、多様体とは局所的には、何もない空間の貼り合わせ、と意って良いでしょう。

このように考えると、多様体という考え方は、非常に狭い範疇だということになります。例えば、次の図形は多様体としては扱うことが出来ません。

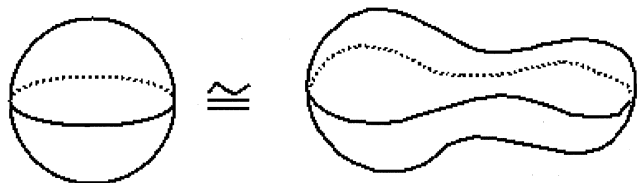
点A, B, Cなどではその付近を1次元ユークリッド空間(=直線 $R^1$ )と見なすことができますが、点Oの付近では $R^1$ と見なすことは出来ないからです。



ともかく、宇宙は、少なくとも直感的に考える限り、局所的には何も起こっていない、自然な空間(空間としては自明であることです。物質やエネルギーは対象としなければ)ですから、(ブラックホールのような得体の知れないものを考えなければ)多様体という見方で宇宙を扱って良いでしょう。私たちは、大雑把に多様体という設定の下で空間を考えていきます。

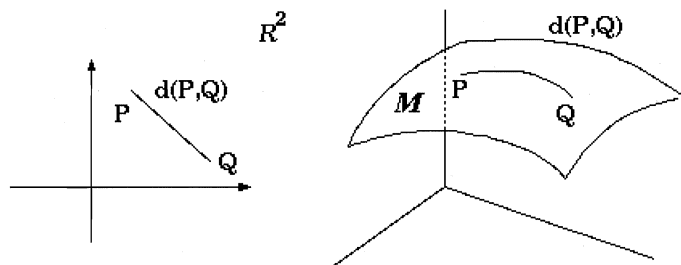
しかしここまででは、実はまだ空間の形を決めることは出来ません。例えば、球面をなめらかにひしゃげさせたとしても、両者は(2次元多様体という見方からすれば)同じものと見なします。

2つの図形の間には、微分可能な写像(空間同士を結ぶ関数。これをdiffeomorphismと呼びます。)が存在するので、多様体としては同一なのです。



この例からも分かるように、ものの形を特徴付けるためには、多様体の構造だけでなく、別の考え方が必要で、それが「長さlength(あるいは、距離distance or metric)」です。

ユークリッド空間は単に原点と座標を持つベクトル空間と言うだけでなく、任意の2点に対してその間の距離が定まる、計量空間(metric space)としての面を持っています。



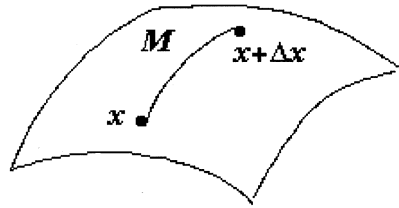
例えばユークリッド空間 $R^3$ に入っている曲面を考えると、その2点P, Qの間には、長さ $d(P, Q)$ が定まります。

ところがこの距離の定め方は、十分遠い2点間の距離の測り方です。一方、物理学では近接力といって、無限小の近くの間だけしか考えないということがあがるようで、遠くの方の距離よりも、本当に近くの2点間の距離の方が重要になることがあります。そこで曲面 $M^n$ の点 $x$ と、 $x$ からわず

かに離れた点  $x + \Delta x$  との距離を考えてみます ( $x$  や  $x + \Delta x$  点を表すものと考えて下さい).

$$x, x + \Delta x \in M$$

$M \subset R^N$  と考える.



$M^n$  が  $R^N$  の中に入っているとして, 2点間の距離を2乗は,

$$d(x, x + \Delta x)^2 = |(x + \Delta x) - x|^2 = |\Delta x|^2 = \sum_{i=1}^N (\Delta x^i)^2$$

となり, 両辺を無限小化  $\Delta x \rightarrow 0$  にすること(), 距離を  $s$  として,

$$ds^2 = \sum_{i=1}^N (dx^i)^2$$

と表現します. 距離の式が2次式になっていることに注意して下さい.

ここで  $N$  は  $M^n$  の入っているユークリッド空間の次元 (「埋め込み (embedding)」と呼びます) です.  $M^n$  が  $n$  次元であっても埋め込まれるユークリッド空間の次元は, 一般的にはより大きな  $N$  次元空間になります.  $R^N$  の座標  $(x^1, x^2, \dots, x^N)$  は  $R^N$  上一次独立ではなく, 曲面の方程式を  $f(x^1, x^2, \dots, x^N) = 0$  とすれば, その方程式に

よって定まる従属関係にあります. 一方,  $M^n$  は局所的には  $n$  次元ユークリッド空間と同一視できるので,  $M^n$  の各点の近くでは, 局所座標  $(u^1, u^2, \dots, u^n)$  が与えられています.

したがって, 局所的には,  $x^1, x^2, \dots, x^N$  を  $u$  の関数として書き表すことが出来て,

$$x^i = x^i(u) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$u$  を用いて,  $dx^i$  を書くと

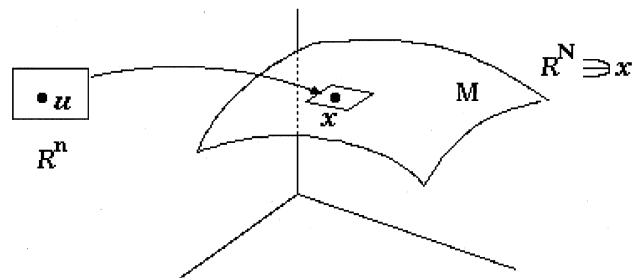
$$dx^i = \sum_{\alpha=1}^n \frac{\partial x^i}{\partial u^\alpha} du^\alpha \quad \text{ここで } \partial \text{ は偏微分という計算を表す記号です.}$$

ゆえに,  $ds^2$  は,

$$ds^2 = \sum_{i=1, \dots, N} \sum_{\alpha, \beta=1, \dots, n} \frac{\partial x^i}{\partial u^\alpha} \frac{\partial x^i}{\partial u^\beta} du^\alpha du^\beta$$

となり, ユークリッド空間に埋め込まれた多様体は無限小の長さの構造を持ちます. このような長さに関する構造をリーマン計量 (Riemannian metric) と言います. 普段, 計算しているピタゴラスの定理は, 上の式が単純に,

$$ds^2 = (dx^1)^2 + (dx^2)^2 + \dots + (dx^n)^2$$





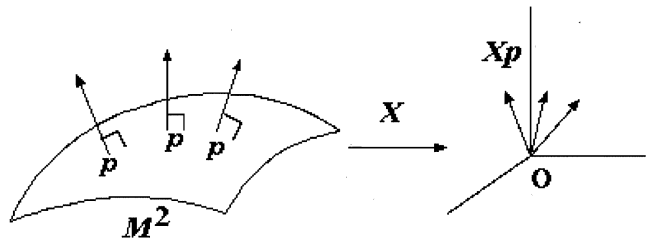
と表されている場合を指します。

先に述べたように、単に空間と座標系があるだけでは空間の形は必ずしも判断できません。そこに長さ(計量)が入ることで、そういった事柄が判断できるようになるのです。

### 3. 曲面の曲がり方を測る (ガウス曲率)

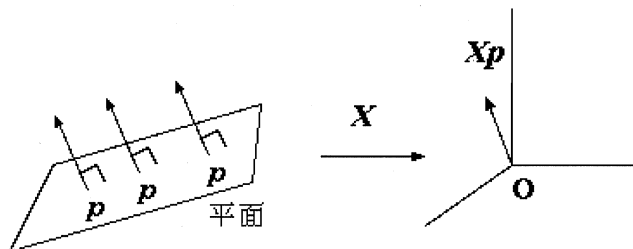
さて、空間の曲がり方をどのように測るか、を考えるために、まず、3次元ユークリッド空間  $R^3$  中の曲面の場合に立ち返って、先ほどの平行移動以外の方法を紹介します。それが「ガウス曲率(Gaussian curvature)」と呼ばれるものです。このことについて説明します。

3次元の中に2次元曲面  $M$  が入っている場合ですから、曲面の各点で、曲面に垂直なベクトル(法線ベクトルと呼びます)をとることが出来ます。方向を定めれば(逆向きもありますが)、大きさ1の法線ベクトルがた



だ1つ決まります。それら大きさ1のベクトルの始点は異なっていますが、それらの始点を全て原点  $O$  に移動させることを考えましょう。この操作を  $X$  とすると、 $M$  上の点  $p$  に対して、ベクトル  $Xp$  が定まることになり、 $p$  が  $M$  上を動くにつれて、 $Xp$  も変化します。

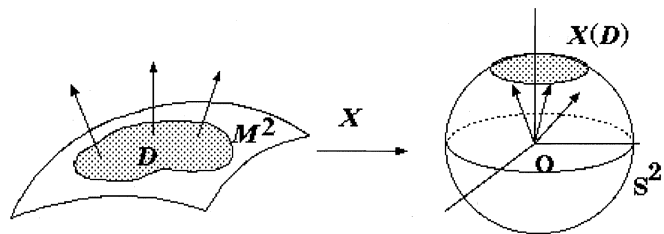
一方、曲面ではなく平面の場合は大きさ1の法線ベクトルは各点ですべて一致していますから、この操作で得られるベクトルもただ一つです。



したがって、この操作でベクトル  $Xp$  の終点が1点になるかそうでないかが、曲がっているかどうかの判別条件になります。

この  $X$  を用いてガウス曲率を定義するために、「area(面積)」という概念を用意します。

曲面  $M^2$  上の図形  $D$  を考え、写像  $X$  によって  $D$  を移すとそれは単位球面上の部分集合  $X(D)$  になります。



$D$  の  $M$  において測った面積を  $Area_M D$ 、 $X$  によって単位球面  $S^2$  に移った面積を  $Area_{S^2} X(D)$  として両者の比をとり、

$$G(D) = \frac{Area_{S^2} X(D)}{Area_M D}$$

とします。

$M$  が平面であれば、 $Area_{S^2} X(D) = 0$  すなわち、 $G(D) = 0$  となります。

$M$  が平面でなければ、適当な  $D$  に対して、 $G(D) > 0$  となるはずで、この  $G$  がいわば、図形が

平面とどれくらいずれているかを表す量である、と粗っぽく考えるわけです。長さと同じように、 $D$ を非常に小さな領域(小さな円と思って下さい)に収束させたときの極限值 $G_p$ を、点 $p$ における曲がり方を表す量とみなします。

$$G_p \equiv \lim_{D \rightarrow 0} G(D)$$

( $D \rightarrow 0$  は記号としておかしいのですが、大雑把にとらえて下さい。)

実は $G_p$ ではまだ不十分で、これに向きを考えに入れて、 $M$ から $S^2$ への写像 $X$ において、ベクトルの向きが変わるか変わらないかによって符号をそれぞれ+、-とつけることにしたものを $K$ と表し、これをガウス曲率(Gaussian curvature)と呼びます。つまり、 $|K| = G_p$ となるわけです。

ここでは説明できませんが、以上の議論は曲面 $M$ を3次元空間に埋め込んで計算しましたが、 $K$ の値は、実は埋め込み方に関わらない曲面 $M$ だけで決まる量であることが知られています。

(Gaussの最も素晴らしい定理：Gauss' Theorema Egregium, と呼ばれる大定理です) この定理により、曲面自体の曲がり方を知るという目的が達成したことになります。

#### 4. 空間の曲がり方の測り方 (高次元の場合)

2次元の場合は以上のような方法で曲がり方を計算するのですが、3次元以上の空間自体の曲がり方をどう測るか、という問題になると、2次元の場合の方法を利用することになります。

$n$ 次元空間(多様体)の1点 $p$ をとり、その点を始点とする2つのベクトル $X, Y$ をとります。そして、 $X, Y$ を含むなるべく平坦な平面(または曲面) $S(X, Y)$ を持ってきて、 $S$ に対して先程の曲率 $K$ を計算するのです。 $n$ 次元そのものの曲がり方、というよりも、「 $n$ 次元空間の1点における、 $X, Y$ 方向の曲がり方を測る」、というのが正しいところです。

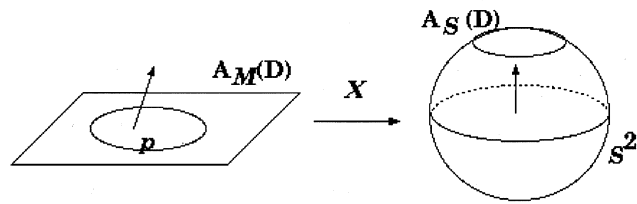
(補足) 専門用語で言えば、実は曲率とは曲率テンソル(curvature tensor)  $R^i_{jkl}$  というものにあるベクトルを代入する形で得られることが分かっています。これは平行移動とも関連があり、多様体の1点 $p$ におけるベクトル $z$ を考えて、平行移動して $p$ に戻したときのベクトルを $z'$ とすると、その極限でのずれが曲率テンソルによる計算で得られます。平行移動によるずれの量と幾何学的な計算である曲率が、曲率テンソルを通じて統合されます。

#### 5. 曲率とその周辺 (曲面の分類)

2次元の曲面を中心として曲率の幾何学的な面を眺めてみます。

曲面におけるガウス曲率を今度は、曲面上で積分してみます。これを全曲率(total curvature)と呼びます。

これは、局所的なものから再び全体の曲がり具合に戻ったわけですが、これが何を意味するか、というと、 $p$ を曲面全体で動かしたときに $X$ によって球面を何回覆うか、を計っていることになります。球面が閉じていて(球面やトーラスのように境界線がないものを指します)向きがついている(メビウスの帯を含んでいないということ)とき、下式の $\chi'$ が整数であることが知られています。



$$\int_M K dA = \text{Area}_{S^2} X(D) = 4\pi\chi'$$

右辺は、「曲面全体で曲率 $K$ を積分すること」を表した式です。ここで、 $\chi(M) = 2\chi'$ とおくとき、 $\chi$ を $M$ のオイラー数(Euler number)と呼びます。

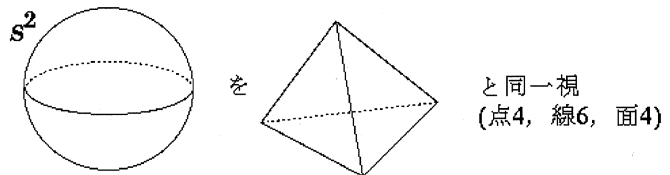
実はオイラー数は、曲面の位相的な性質から決まり、形や大きさに関係しません。元々の計算の仕方は、曲面を三角形に分割して、

$$\chi(M) = (M \text{の点の数}) - (M \text{の線の数}) + (M \text{の面の数})$$

で計算され、この値は $M$ をどのように三角形分割するかにはかかわらず、曲面 $M$ だけで一定に決まります。

(例) 球面の場合、下図のような三角形分割をすれば、 $\chi(S^2) = 4 - 6 + 2 = 2$

他の分割をおこなっても同じ値になる。



一方、半径1の球面の面積は $4\pi$ だから、

$$\begin{aligned} \int_{S^2} K dA &= 4\pi\chi' = 4\pi \\ \chi' &= 1 \\ \chi(S^2) &= 2\chi' = 2 \end{aligned}$$

となり、位相的に求めた値と一致します(ガウス-ボンネの定理)。これらの計算が一致することは、いわば局所的な計算の総和が、全体的な性質を表すことを意味しており、幾何学の上では非常に大切な考え方です。

曲率 $K$ の符号に着目することで、曲面全体の形が分かり、 $K$ が正なら球面、0なら平面、負なら双曲面を代表とする図形に分類されます。

空間の場合については、詳しく述べませんが、宇宙を観測することで曲率の符号を調べ、宇宙全体の形を考察することが数学的には可能となるのです。

# 混合指示薬の性質に関する一考察

二坂薫平 田中和幸

自然科学部化学班

**要約** 私たちは二種類の pH 指示薬を混ぜ、それを pH2~12 の水溶液にそれぞれ滴下し、変色域がどうなるのかについて調べました。その結果、混合指示薬の変色域は混合指示薬を構成する二種類の pH 指示薬の変色域を足しあわせたものになることがわかりました。

**動機** この実験を行った動機としましては、私たちが、化学の授業で中和滴定の実験を行った際、そのとき使用したフェノールフタレインの有用性に感銘を受け、pH 指示薬をテーマにした実験をしようと考えたことから始まりました。その後 pH 指示薬に関して調べを進めると、何種類かの指示薬を混合することによって得られる山田式万能指示薬という非常に画期的で興味深いものがあることを知りました。そこで、多種類の pH 指示薬を混合すればどのような呈色を示すのか疑問に思い、この実験をすることを決めました。実験の目的は pH 指示薬を混合させることによって、その変色域がどのように変化するかについて調べることとしました。

ここで、先ほど話した山田式万能指示薬について少し説明したいと思います。山田式万能指示薬とは 95%エタノール 500mL に、チモールブルーを 0.025g、メチルレッドを 0.060g、ブロモチモールブルーを 0.30g、フェノールフタレインを 0.50g 溶かして得た赤色の混合水溶液に、その色が緑色になるまで、0.01mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を加え、この水溶液を純水で 1L に希釈して調製することで得られる pH 指示薬を指します。この指示薬はそれぞれの pH の値で違った色を呈色するためわかりやすく、世界的にも高く評価されている非常に便利な指示薬です。

**方法** では、実験の方法について説明します。ブロモチモールブルー、チモールブルー、フェノールフタレイン、メチルオレンジの四種類の pH 指示薬と pH2~12 の水溶液を用意し、その pH 指示薬から 2 種類を選んでそれぞれ 10mL ずつ混ぜ合わせ、6 種類の混合 pH 指示薬をつくります。0.2mol/L 水酸化ナトリウムと 0.2mol/L 塩酸を用いて pH2~12 の水溶液を作成し、それぞれの水溶液に混合 pH 指示薬の適量を滴下し、変色域を調べます。そして、pH 指示薬を単独で使用した場合と混合 pH 指示薬の変色域を比較して、変色域の変化について分析しました。

**結果** 実験結果を発表したいと思います。まず、単独で使用した場合の変色域を確認します。BTB 溶液と TB 溶液は次のとおりです。BTB 溶液は黄色、緑色、青色に、TB 溶液は赤色、黄色、青色に変色します。

次に MO 溶液と PP 溶液です。MO 溶液は赤色と黄色、PP 溶液は無色と赤紫色に変色します。

ここから、混合指示薬の場合について説明したいと思います。まず、BTB 溶液と TB 溶液の混合指示薬の場合では、pH 2 では TB の赤色が強く呈色し、4～5 ではどちらも黄色を示すので変化はなく、7～9 にかけて青色と黄色が混ざり緑色になります。10～12 ではどちらの指示薬も青色を示すので変化はありません。

次は、BTB 溶液と MO 溶液の混合 pH 指示薬の変色域です。pH が 2,3 では赤色、4 では朱色、5,6 では黄色に近いオレンジ色、7 では黄緑色、8 から 12 では濃い緑色を呈色します。

次に、BTB と PP の混合溶液ですが、pH 2～9 では PP は無色なので、BTB の変色のままです。pH10～12 では青色と赤紫色が混ざり、紫色を示しました。

次は、TB 溶液と PP 溶液の混合 pH 指示薬の変色域です。pH が 2 から 9 までは TB の変色域がそのまま出て、10 から 12 では紫色を呈色します。

次は、MO と TB の混合指示薬の場合です。pH2 では MO と TB はどちらも赤色を示すので変化せず、pH3 では MO の赤色と TB の黄色が混合し、橙色と赤色の中間のような色を示しました。pH 4 においては完全な橙色となります。5～9 ではどちらの指示薬も黄色に近い色を示すため、濃い黄色のような色を示しました。pH10～12 は MO の黄色と TB の青色が混ざり緑色を呈色しました。

最後に、MO 溶液と PP 溶液の混合 pH 指示薬の変色域です。pH が 2 から 9 までは MO の変色域がそのまま出て、10～12 までは赤色を呈色します。

**考察** 今回使用した 4 種類の指示薬に関しては、他に指示薬が混ぜられていても、他の指示薬から影響を受けることが無いため、それぞれ独立して呈色すると考えられます。そのため、混合指示薬の変色域は混合指示薬を構成する二種類の指示薬の変色域を足し合わせたものになると考えられます。

### 今後の展望

今後の展望としては、第一に二種類の指示薬を混ぜたときと同じように、3種類についても今回と同じような結果が得られるのか、第二に混合させる指示薬の体積比を変えるとどのようなようになるのか、第三に山田式万能指示薬とは異なる手法で万能指示薬を作るにはどうしたらよいのかについて研究していきたいです。

## 混合指示薬の性質に関する一考察

仙台第三高等学校

自然科学部化学班

1

### ・概略

私たちは二種類のpH指示薬を混ぜて、それをpH2.00～12.0の水溶液にそれぞれ滴下し、変色域を調べた。

その結果、混合指示薬の変色域は混合指示薬を構成する二種類のpH指示薬の変色域を足し合わせたものになることが明らかになった。

2

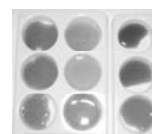
### ・動機および目的

化学の授業の中でpH指示薬に興味を持ち、pH指示薬について調べを進めると山田式万能指示薬という、世界的に使用されている指示薬があることがわかった。そこで、その変色域にはどのような要素が関係しているのかについて疑問に思い、研究をしようと考えた。

目的はpH指示薬を混合させることによって、その変色域がどのように変化するのかについて調べることとした。

3

### ・山田式万能指示薬



山田式万能指示薬は95.0%エタノール500mLに、チモールブルーを0.0250g、メチルレッドを0.0600g、プロモチモールブルーを0.300g、フェノールフタレインを0.500g溶かして得た混合水溶液(赤色)に、その色が緑色になるまで、0.0100mol/L水酸化ナトリウム水溶液を加え、この水溶液を純水で1.00Lに希釈して調製することで得られる指示薬を指す。

4

### ・方法

- ①プロモチモールブルー(BTB)、チモールブルー(TB)、フェノールフタレイン(PP)、メチルオレンジ(MO)の四種類のpH指示薬とpH2.00～12.0の水溶液を用意する。
- ②上記のpH指示薬から2種類を選んで各々10.0mLずつ混ぜ合わせ、6種類の混合pH指示薬をつくる。


5

### ・方法


- ③水酸化ナトリウム(0.200mol/L)と塩酸(0.200mol/L)を用いてpH2.00～12.0の水溶液を作製する。
- ④それぞれの水溶液に混合pH指示薬の適量を滴下し、変色域を調べる。
- ⑤pH指示薬を単独で使用した場合の変色域と混合pH指示薬のそれを比較検討して、変色域の変化について分析する。

6

**BTB(プロモチモールブルー)溶液**  
 変色域: pH6.00以下→黄色  
 pH6.00~7.80→緑色  
 pH7.80以上→青色



**TB(チモールブルー)溶液**  
 変色域: pH1.20以下→赤色  
 pH2.80~8.00→黄色  
 pH9.60以上→青色



7

**MO(メチルオレンジ)溶液**  
 変色域: pH3.10以下→赤色  
 pH4.40以上→黄色




**PP(フェノールフタレイン)溶液**  
 変色域: pH8.30以下→無色  
 pH10.0~13.4→赤紫色



8


**BTB+TB溶液**

pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BTB	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Blue
TB	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Blue
BTB+TB	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Blue



**BTB+MO溶液**


pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BTB	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Blue
MO	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue
BTB+MO	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Blue



9


**BTB+PP溶液**

pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BTB	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Blue
PP	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Red-purple	Red-purple
BTB+PP	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue	Blue	Red-purple	Red-purple



**TB+PP溶液**


pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TB	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Blue
PP	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Red-purple
TB+PP	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Red-purple	Red-purple



10


**MO+TB混合溶液**

pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MO	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue
TB	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Blue
MO+TB	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Blue



**MO+PP混合溶液**

pH	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MO	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue
PP	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Colorless	Red-purple
MO+PP	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Red-purple	Red-purple



11

• 考察  
 今回使用した4種類の指示薬に関しては、他に指示薬が混ぜられていても、他の指示薬から影響を受けることが無いため、単一で用いた時と同じように呈色すると考えられる。そのため混合指示薬の変色域は混合指示薬を構成する二種類の指示薬の変色域を足し合わせたものになることが明らかになった。

12

・今後の課題

- ①3種類についても今回と同じような結果が得られるのか。
- ②混合させる指示薬の体積比を変えるとどのようなようになるのか。
- ③山田式万能指示薬とは異なる手法で万能指示薬を作ることができるのか。

13

参考文献等

<http://www.k5.dion.ne.jp/~mikecat/chem/chem070215a.pdf>

化学史 都築 洋次郎 朝倉書店  
昭和41年6月20日

新・化学用語小事典 ジョン・ディンティス編  
講談社 1993年11月20日

14



# 金属樹の成長における一考察

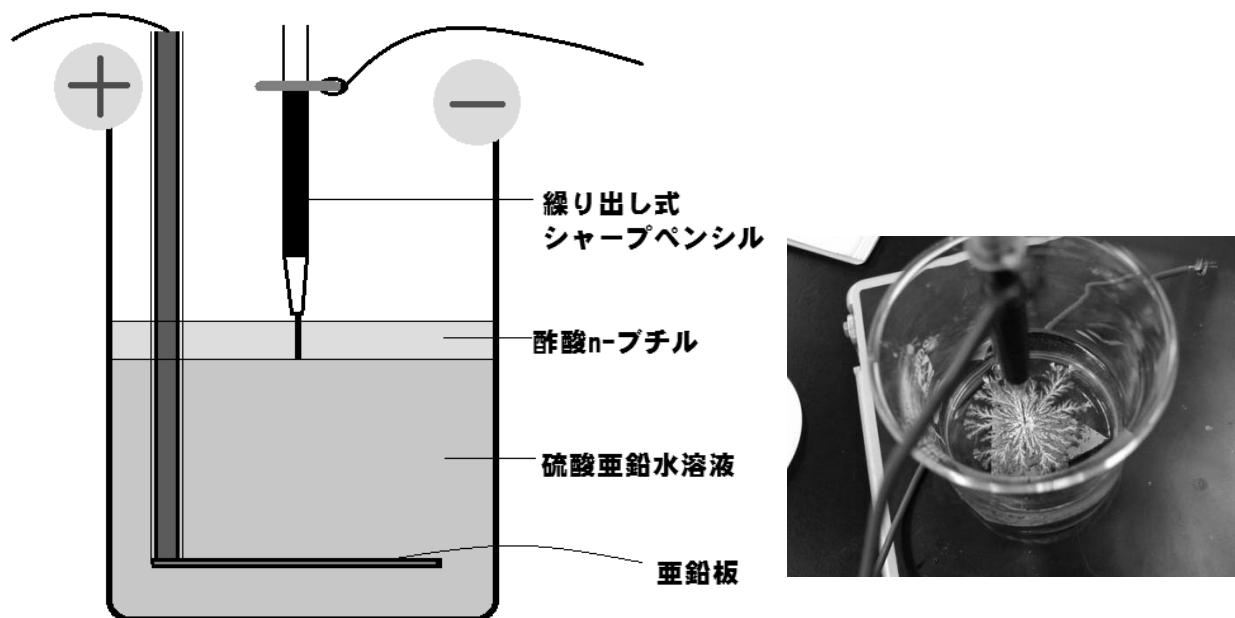
歌書 成美・及川 夏綺

## 目的

金属樹について文献を探していたところ、有機溶媒と無機溶媒の境界面上に平面的に成長する金属樹（金属葉）の実験方法を見つけた。これに興味を持ち、濃度や温度による結晶の形状の変化について調べた。

## 実験の手順

- ① 硫酸亜鉛水溶液 100mL を用意し、その中に亜鉛板を固定する。
- ② ①の水溶液に酢酸 n-ブチル(有機溶媒)を加え、境界面をつくる。
- ③ 二つの溶液の境界面に、陰極（シャープペンシルの芯）の先端を触れさせて電解させる。
- ④ それぞれの条件別で一定時間電解させる、もしくは途中で結晶が壊れたら電解を終了する。



## 結果(1)

まず、有機溶媒を加えたときと加えないときを比較するために、酢酸 n-ブチルを加えずに電気分解をした。

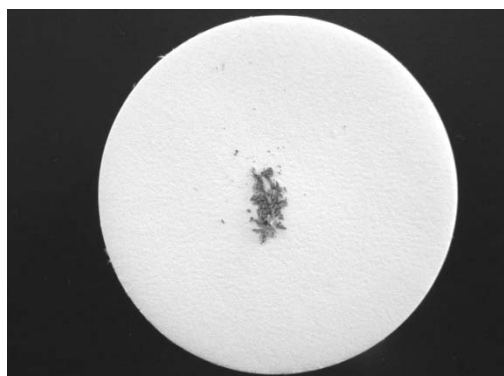
結晶は図のように、境界面に広がるように成長した。



酢酸 n-ブチルなし

## 結果(2)

有機溶媒の存在下で、濃度による結晶の形状の変化を調べるために、1.0mol/L、1.5mol/L、2.0mol/L、2.5mol/L の硫酸亜鉛水溶液を用意し、電気分解を行った。



1.0mol/L



1.5mol/L



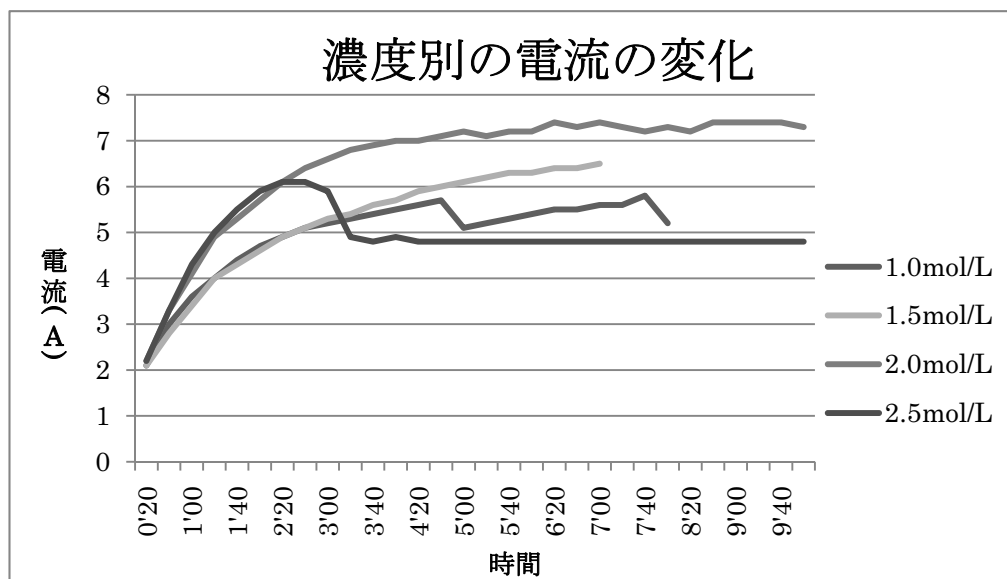
2.0mol/L



2.5mol/L

1.0mol/L では境界面上に成長しなかった。結晶自体ももろく、壊れやすい。1.5mol/L、2.0mol/L、2.5mol/L と濃度が増すにつれて、結晶が厚くなり、頑強になっていった。中でも 2.0mol/L で析出した結晶は、金属光沢があり、形状も安定していることを確認できた。

また、濃度別に電流の大きさの変化をまとめると、グラフのようになった。



1. 0mol/L、1.5mol/L は途中で結晶がビーカーの底に落ちてしまい、電流が下がってしまった。2. 0mol/L は比較的成長が安定していることが分かった。

2. 5mol/L は、結晶は崩れることはなかったが、三分経過したあたりから陽極の亜鉛板が黒ずみはじめ、電流が大幅に下がっている。これは、陽極酸化により酸化亜鉛の被膜が生じ、亜鉛板をおおったためだと考えられる。出てきた物質を調べてはいないので、詳しくは断定できていない。

### 結果(3)

次に、温度による結晶の形状の変化を調べるために、水溶液の温度を 1℃ と 60℃ に設定して実験を行った。



1℃

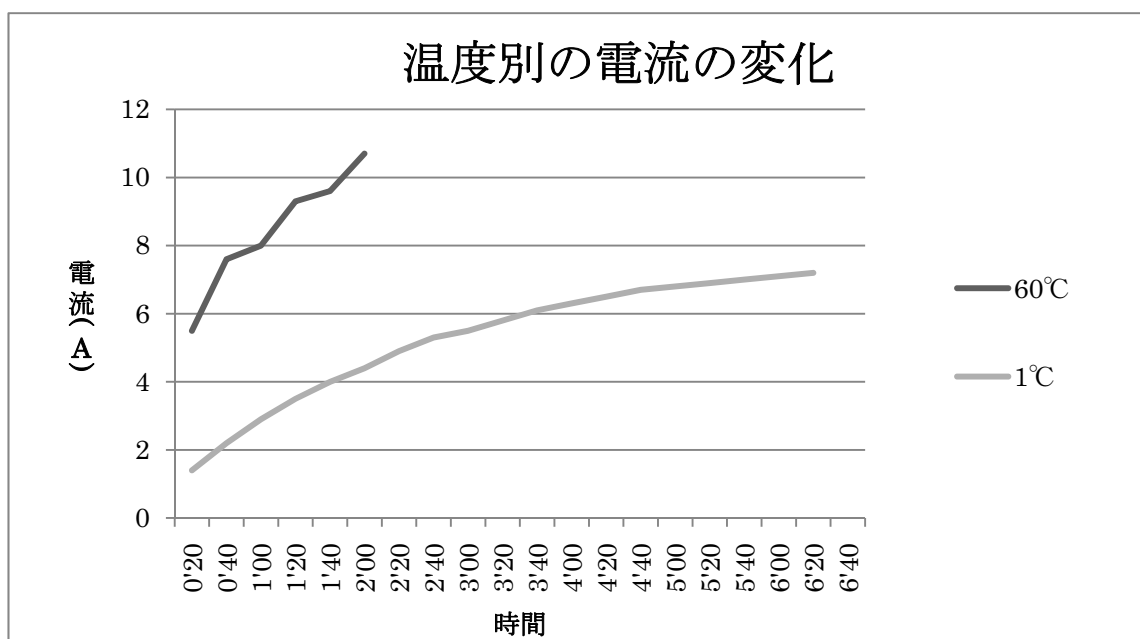


60℃

1℃の場合、細い枝状に成長してゆっくりと成長を続ける。60℃の場合は、境界面に芯の先端が触れると急速に成長をはじめ、中心が膜状に析出した。

1°Cでは、結晶は表面がざらざらして金属光沢があまり見られないのに対し、60°Cでは金属光沢が見られた。

温度別に電流の大きさの変化をまとめると、グラフのようになった。



60°Cでは平面以外に三次元的にも成長し、亜鉛板に接触しそうになったため、他の条件よりもはやく終了させた。温度が高いと成長がはやく、低いと緩やかに成長することがわかる。

## まとめ

結晶は、水溶液の濃度が薄いと析出する厚さも薄くもろくなり、濃度が濃くなると厚さが増し、頑強になった。グラフから、質量も増していると読み取れる。これは、水溶液中に亜鉛イオンが増加したためであると考えられる。さらに温度による析出の変化については、温度が高いとイオンが動きやすくなり、成長がはやくなる。逆に温度が低いとイオンが動きにくくなるので、成長が遅くなったと推測できる。

有機溶媒を使用したときに、なぜ枝状に成長したのかを自分たちなりに調べてみたが、つきとめることができなかった。今後は、電解条件を変えて実験し、枝状に成長することと有機溶媒との関係や、高濃度における電流減少の詳しい要因を調べていきたいと考えている。

## 参考文献

植木 厚「教師と学生のための化学実験」(1987年)

# オオマリコケムシ(*Pectinatella magnifica*)休芽の発芽条件と発芽後の成長過程の観察

高橋大輔 工藤綾乃 戸川直希  
仙台第三高等学校 自然科学部生物班

## Abstract

オオマリコケムシから放出されたスタトブラストと呼ばれる休芽が発芽する条件について文献を調べてみたところ、スタトブラストは一定以上の低温期を経過した後、20～25℃ほどの温度と光が必要であるということが分かった。ここで、発芽における光依存性を調べてみたところ、30日前後の低温処理によってスタトブラストから光依存性が消失するということが認められた。また、発芽後のオオマリコケムシを観察してみたところ、触手冠の数が1つから2つに増える成長の過程が確認された。

## Introduction

2010年8月、仙台第三高等学校の近くに位置している与兵衛沼に生物採取に行ったところ、水面にオオマリコケムシの群体が浮いているのを発見し、採取して実験室に持ち帰った。群体はすぐに腐敗してしまっただが、休芽(スタトブラスト)を大量に放出した。オオマリコケムシに興味を持ったため、文献で調べてみたところ立教大・織田氏の研究の報告からスタトブラストの発芽には温度と光が関係していることを知り、それをもとにスタトブラストについて研究を行うことにした。

## Materials

オオマリコケムシとは、外肛動物門に属し群体を形成する生物である。外肛動物の多くは海産であるが淡水産のものは掩喉類(えんこうるい)と呼ばれ、U字状の触手冠を持つ。

オオマリコケムシのスタトブラストは全て9月2日に与兵衛沼にて採取したものをを用いた。スタトブラストは群体から自然放出されたものを純水中に回収し、4℃の冷蔵庫の中に保存した。

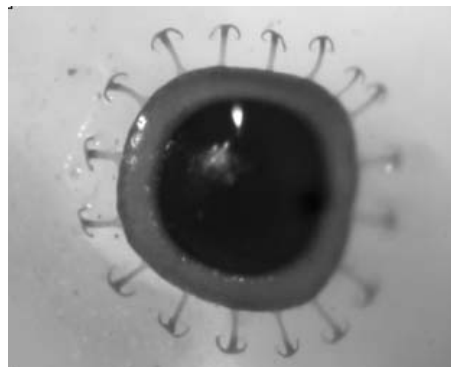
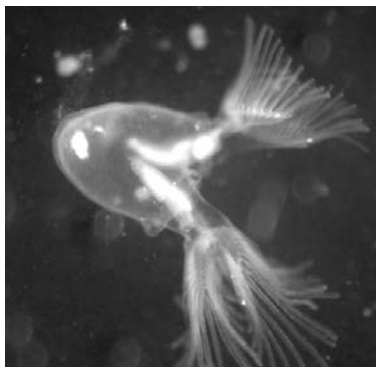


図1(左)：オオマリコケムシの個虫と2つの触手冠

図2(右)：放出されたスタトブラスト

## Methods

低温処理(冷蔵庫内に保存)期間の長さでスタトブラストの発芽の関係について調べるため、まずスタトブラストに低温処理をした。そして、処理後のスタトブラストをシャーレに入れて観察した。また、光の波長との関係を調べるために、赤、青、黄色のセロハンで覆ったものも用意した。

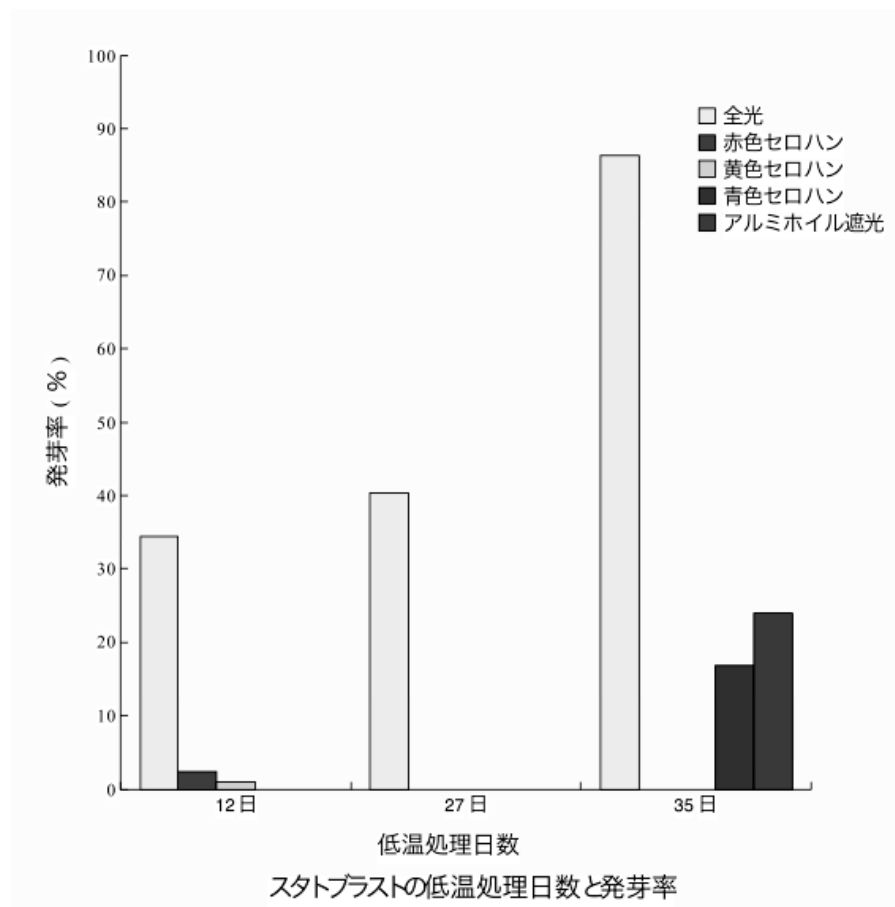
さらに、発芽したオオマリコケムシは 30℃の水中に入れ、双眼実体顕微鏡にて発生過程を観察した。

## Results

6日間の低温処理をしたものでは発芽が見られなかったため、低温期を延長し、12日間低温処理をしたものを室温(20℃-25℃)、自然光下に戻したところ、発芽率 34.5%で発芽が見られた。この時、赤色および黄色のセロハンで覆ったものもわずかながら発芽が見られた。さらに延長した27日間低温処理をしたものを、白熱電灯を24時間照射し30℃の条件で発芽の有無を調べたところ、発芽率が40.4%に上昇した。しかし、セロハンで覆ったものでは発芽は見られなかった。低温処理35日間ではさらに発芽率は上昇し、86.4%となったが、今度は赤色や黄色ではなく、青色のセロハンで覆ったもので発芽がみられ、さらにはアルミホイルで遮光したものでも

23.9%の発芽見られるようになった。下の図3は、この結果をまとめたものである。

図3  
低温処理日数と  
発芽率の関係



また観察の結果、低温保存から、30℃、白熱電灯光下に移して3日ほどで発芽が開始し、5日～7日で十分な発芽個体を多数認めることができた。

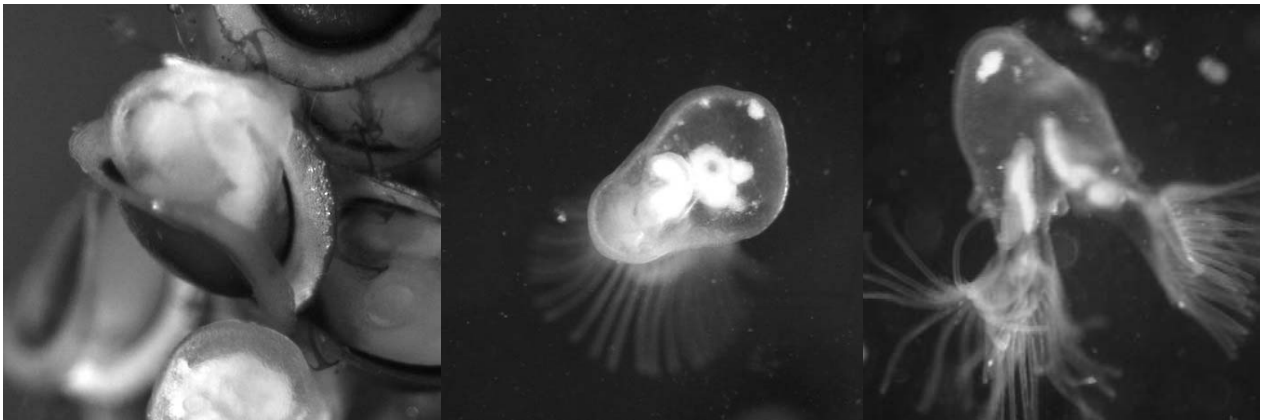


図4(左)：スタトブラストの発芽

図5(中央)：発芽後間もない個虫。触手環が1つである。

図6(右)：触手環が2つになった個虫。

上の写真は、スタトブラストが発芽する様子である。スタトブラストが2つに分かれて中からオオマリコケムシ本体が出てくる様子が分かる。中央の写真は発芽したばかりのオオマリコケムシである。まだ発生過程であるため、触手冠は1つしか持っていない。右の写真は完全に個虫となった状態の様子である。中央の写真と比べて触手冠が2つになっているだけでなく、全体の大きさも少し大きくなっていることがわかる(中央と右の写真は同一のスケールで撮影した)。



図7：個虫内部の構造

図7は個虫を拡大し、内部の器官を鮮明に写したものである。消化管や大腸、肛門が確認できる。また、白い不透明な部分は卵黄であると思われる。

## Discussion

スタトブラストの発芽条件の実験からは、低温処理の期間が長くなるほど多くのスタトブラストが発芽することが確認された。また、アルミホイルで遮光したものの発芽が見られたことから、一定期間以上の低温処理により発芽における光依存性が消失するということが分かった。織田による文献によると、室内で保存していたスタトブラストは冬季においても光依存性を見せたが屋外で越冬したものからは光依存性が見られなかったという報告があり今回の実験結果と一致した。しかし、セロハンで光の波長を制限したものの実験結果からは特に影響を見いだせなかったため、セロハンでは完全に光の波長を調節できていなかったと考えられる。これより、発芽条件と光の波長の関係についてより厳密な実験を行うことが課題として挙げられる。

## 参考文献

- MAWATARI, S, "New occurrence of *Pectinatella magnifica* (Leidy) in a Japanese lake": *Proc. Jap. Soc. Syst. Zool.*, 9, 41-43 (1973)
- ODA, S, "*Pectinatella magnifica* occurring in Lake SHOJI, Japan": *Proc. Jap. Soc. Syst. Zool.*, 10, 31-43 (1974)
- 織田秀実, "*Pectinatella magnifica* スタトブラストの発芽": 日本動物学会大会第 45 回講演要旨, 340 (1974)





# SSH諸行事の記録



## SSH諸行事の記録

1年理数科研修会（8月2日）  
東北大学片平キャンパス



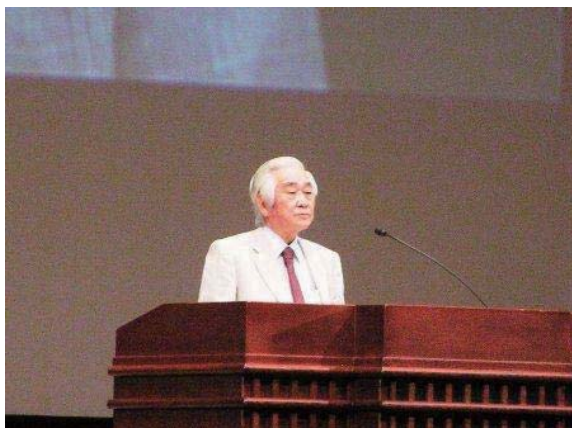
2年理数科研修会（6月30日）  
東北大学工学部（青葉山キャンパス）



SSH生徒研究発表会（8月3～4日）

パシフィコ横浜

（益川敏英 先生の講演でした。初年度につき、見学だけでしたが、大いに勉強になりました。）



第1回理数科講演会（7月21日）

東北大学 久田 真 教授

「コンクリートを学ぼう！」



第2回理数科講演会（10月20日）

産業技術総合研究所 白井誠之 氏

「触媒 ～身のまわりの化学～」



第3回理数科講演会（12月13日）

北海道大学 永井健治 教授

「細胞内クルーミングで解き明かす

生命の神秘」



第4回理数科講演会（3月3日）

東北大学 小谷元子 教授

「新しい文脈のなかでの数学」



第1回SSH講演会（7月26日）  
東北大学 中静 透 教授  
「森は動いている」



第2回SSH講演会（9月3日）  
NHKディレクター 真藤忠春 氏  
「出張ガッテン！  
なぜ『アサリは死んだら開かない』？」



第3回SSH講演会（11月4日）  
東北大学 澤谷邦男 教授，川又政征 教授  
「携帯電話のための無線通信と信号処理の技術」  
（講演の後、「身近なテクノロジー」として携帯電話の分解実習をしました。）



第4回SSH講演会（2月7日）  
東北大学 細矢 憲 教授  
「高分子多孔体の科学」  
（講演の後、大学院生の指導・アドバイスを受けての実習も行いました。）



理数科の日（5月18日）

理数科3年生が、2年次に行った課題研究の成果を発表しました。



宮城県高等学校生徒理科研究発表会

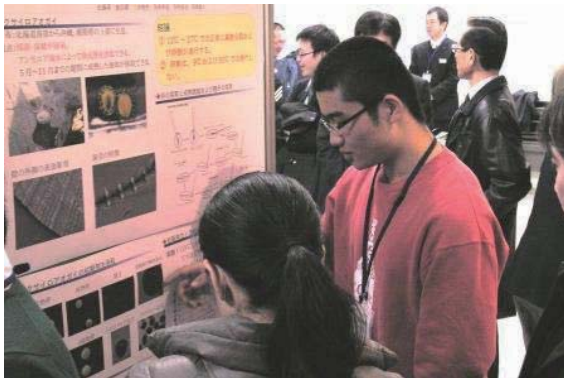
（11月11日）

自然科学部、SSHクラブが発表しました。



日本生物教育学会埼玉大会（1月8～9日）

自然科学部、SSHクラブがポスター発表をしました。



東北・北海道地区SSH指定校生徒研究発表会

（1月29～30日）

①SSHクラブは口頭発表をしました。



②自然科学部（生物班）はポスター発表をしました。



③自然科学部（化学班）はポスター発表をしました。



S S Hフィールドワーク（8月8～9日）

青森県深浦町ブナ林（白神山地）での実習です。

東北大学 中静 透 教授 ならびに 地元いわさきエコクラブ会長の神林友広 氏の指導をうけての実習でした。



まだ、元気です。



夜の講義と実習



2日目は大変などしゃ振りでした。実習前の説明と雨の中での計測作業です。





わくわくサイエンス いずれも自然科学部化学班が活躍しました。

(8月9日)  
仙台市立西山小学校



(8月11日)  
仙台市立太白小学校



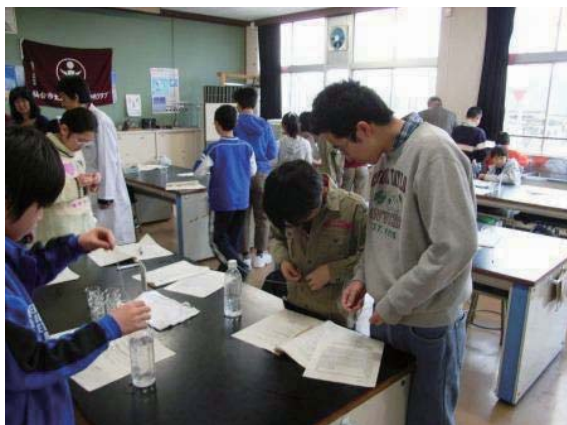
(8月23日)  
仙台電力ビル



(1月29日)  
仙台市鶴ヶ谷市民センター



(2月5日)  
仙台市立太白小学校



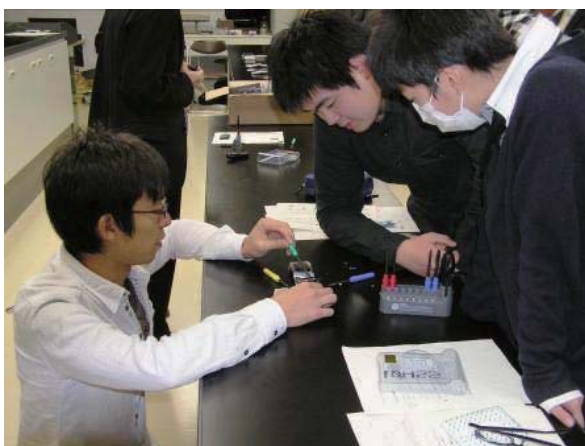
(2月11日)  
仙台市立西山小学校



第1回身近なテクノロジー（7月14日）  
ハードディスクドライブの分解  
特殊工具が必要でした。

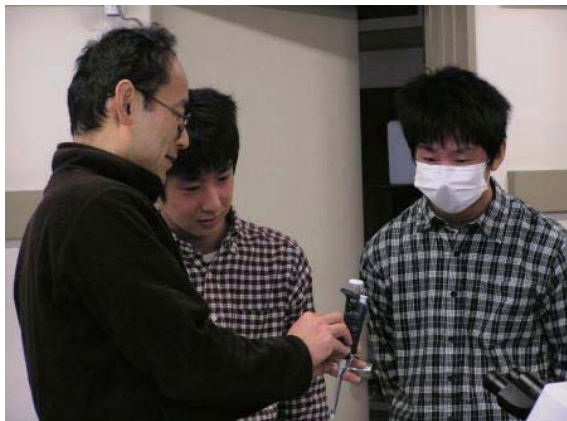


第2回身近なテクノロジー（11月4日）  
携帯電話の分解  
こちらも同様、特殊工具が必要でした。



SSH特別研究

宮城教育大学 出口竜作准教授の指導を受け、カサガイの発生を研究しました。



SSH科学茶会（12月13日）

北海道大学 永井健治 教授を囲んで



第1回SSH国際交流・第2回SSH国際交流

東北大学の留学生と情報交換を行いました。



## S S H 諸行事における生徒の感想

### [1] 第1回S S H身近なテクノロジー「ハードディスクの分解」(H22.7.14実施)

- ・テレビの番組で分解しているのは見たことがあったが、実際に分解したことはなかったので、いい経験になった。
- ・普段見られないパソコンの中身が見られて興味深かった。実際に分解することで組立の工程が分かった。HDDの美しさに息をのむようだった。

### [2] 第3回S S H講演会 & 第2回身近なテクノロジー

#### 「携帯電話のための無線通信と信号処理の技術」(H22.11.4実施)

- ・身近なテクノロジーを自分の目で確かめることができ様々な驚きや発見がありました。今回は特に周波数や電波についての関心が深くなりました。
- ・携帯電話の分解などは、ふだんは体験できないようなことなので、とても楽しかった。携帯電話は毎日使っているが、構造は意外と知らないものである。細かい部品の働きまでは分からなかったが、これらが全て組み合わさって電話になっているんだと思うと少し感動的だった。

### [3] 第1回理数科講演会「コンクリートを学ぼう」(H22.7.21実施)

- ・今日の講演を聴くまでは、正直コンクリートを甘く見ていました。しかし今回の講演を聴いて、コンクリートの奥深さと大切さが分かりました。勝手なイメージですが、コンクリートは環境に悪そうというイメージがありました。廃棄物やゴミからコンクリートが作られる、ということ今回教えていただき驚きました。邪魔者になるはずだったゴミが、生活に必要不可欠なコンクリートに変わるなんて。
- ・最初はコンクリートの何を学ぶんだろうととても疑問でしたが、先生のお話を伺ううちに、コンクリートお奥深さに驚きました。セメントもモルタルもコンクリートも同じイメージだったのに、全く違うものであったり、自分の身の回りのコンクリートの不具合の多さにビックリしたりと、コンクリートに興味がわきました。また、日本はただでさえ災害が多い国なので、丈夫でしっかりした耐久性のあるコンクリートを作るべきだと思いました。これからも身の回りのコンクリートを観察してみたいです。
- ・父が土木施工管理技士で水道管を作っているの、土木については漠然としたイメージは持っていました。しかし、コンクリートの劣化についてのお話など初めての詳しいことを聞いて、これから道を通るときはそういうところを見ようと思いました。1450℃では何でもセメントになるとありましたが、驚きでした。
- ・私は今日の講演を聴いてコンクリートについて興味が深まりました。特に2000年も前からコンクリートが使われていたことが強く印象に残りました。また、身近なところでコンクリートの

劣化が見られるということも驚きでした。

- ・私の父は一級建築士です。ですから、土木や建築関係について興味を持っていました。そのため、今回の講演会はとても集中して聞くことができました。内容については父から教わったこともありましたが、自分の知らないことに関することも多く、楽しんで講演会を聞くことができました。

そんな中で、疑問もいくつか生まれました。例えば、自然災害の多い地域ではコンクリートの劣化が特に激しいと思うので、それに対してどのような工夫をしているのか、など疑問に思っています。私は、東北大学の「科学者の卵養成講座」を受講しています。そこでも先生にいろいろと質問できると思います。

- ・僕は正直言って、コンクリートに興味がありませんでした。しかし、今日の講演会は分かりやすい説明と写真で多少ながらコンクリートや建設についての知識を得ることができました。また、古代ローマ時代のコンクリートも写真で見ることができ、昔も今も見た目は余り変わらないことに驚きました。

先生の言葉で印象に残っているのは「何でもいいから熱中できるものを見つけよう」ということです。その言葉を胸に、これからの人生を歩んでいきたいと思っています。

宮城県は30年以内に大きな地震がほぼ確実に来ると言われているので、今からでも安心できるよう橋の補強などをしてくれればよいと思いました。

- ・まずは身近なことから関心を持っていくことの大切さを知りました。また、身近なことなのに知らないことがたくさんありました。一部だけですが、知ることができてよかった。一口にコンクリートと言っても、多様な種類があることが分かりました。欠陥住宅の問題についても、なぜそうなるのかということが分かりました。物事の考え方についても、もう一度考えさせられました。

#### [4] 第2回理科講義会「触媒—身のまわりの化学」(H22.10.20実施)

- ・演題を見たときは、触媒に関する有名なことが思いつかず、ノーベル賞に関係あることだということに気がつきませんでした。先生のお話を聞いて、初めてノーベル賞をとった研究の内容を詳しく知ることができました。アンモニア合成の研究によって進歩した技術で肥料や火薬を簡単に作ることができるようになったことが驚きでした。生活用品の原料で石油が用いられているものが多いことは知っていましたが、石油から触媒を利用して生産されていることを知り、触媒というものを身近に感じました。グリーン・サステイナブル・ケミストリーの12ヶ条を聞いて、化学実験もいろいろなことに配慮して行い、なおかつ結果を出さなければならないとは大変だと感じました。超臨界については、説明を聞いていちばん興味をもちました。
- ・触媒というと化学用語なので少し難しい講演になるのかなと思いましたが、分かりやすく説明していただいたおかげでとても理解しやすかったです。

今の生活の中で使われている触媒がたくさんあって、知らないうちに使っていたんだと改めて感じました。私が特に興味を持ったのは、プラスチックのリサイクルです。今、身の回りのほとんどのものがペット・ポリエチレンなどのプラスチックなどから作られているのに、ペットボトルの回収率は60%……。先生は多い方だとおっしゃっていましたが、まだまだ40%も無駄にしているのです。今後の行動を帰る人が増えれば、すぐに変えられることなので、多くの人にぜひ知ってほしいです。今から日本を守る心がけをしていくことが大事になってくると思います。

- ・身近な化学の原因や理由を説明していただき、難しいところもありましたが不思議な世界に感心しました。特に、グリーンケミストリーによって環境と人体にできるだけ付加をかけない新しい技術の開発をされる白井先生は、化学の最先端の研究をされているのだと実感しました。2年生で受ける化学の授業が楽しみになりました。

- ・今回の講演で特に驚いたことは、ペットボトルはリサイクルで再びペットボトルにはならないということです。僕ははっきり、リサイクルによって再びペットボトルにすることも可能だと思っていました。しかし、やはりペットボトルでも繊維であることが大きく関与していて、ペットボトルだけでなく紙などについても同じことがいえることが分かりました。

また、ペットボトルがいかに便利な材料であるかが分かりました。確かに、現代的な物質だとは知っていましたが、最近になって飲料用として利用できるようになったことについては知りませんでした。また、軽量であり熱可塑性であるということは様々な応用ができそうであるということも重要であると思いました。

そして、資源は大切なので、より効率的なリサイクルなどができれば今後もずっと資源を使い続けていくことができるはずだと思いました。

- ・白井先生のおかげで化学がさらに好きになりました。触媒について詳しく教えて下さったので、それについてあまり知らない私でも現象を理解することができました。白金上での酸素分子と一酸化炭素分子の反応が興味深かったです。

今の化学は「安く、簡単に」ということであまり安全性は考えていないことを改めて感じました。人体や環境に優しくないのは分かっているのだから、早く次世代型の「安全で、環境に配慮した」化学になってほしいと思います。だから、有機溶剤の代わりに水と二酸化炭素を用いるという考えはスゴイと思います。「より安全で、安心な手法」「資源をより効率的に」をモットーにしてほしいです。

- ・今回のノーベル賞をとった研究について、ニュースや新聞では話を聞いていましたが、細かいところまではよく知らなかったもので、今回の講演を通してクロスカップリング反応についてもっと調べてみようと思いました。まだ1年生なので化学についてはあまり学んでいないのですが、2年生になったら今回の講演が役に立つのではないかと思います。

「触媒」というテーマにはあまり関心がなかったのですが、「空気からのアンモニア合成」

や「白金の触媒」にとっても興味を持ったので、ぜひもっと調べてみます。石油は、あと数十年後にはなくなると言われているので、今私たちにできる環境配慮を考えていきたいと思いました。「グリーン・サステナブル・ケミストリー」という言葉を今後も忘れずに、将来は環境に関する仕事に就きたいと思っているので、環境に配慮しながらよりよい生活をしていけるように目指していきたいです。これから「科学」に関わっていく上で心に留めておきたいです。

[5] 第3回理数科講演会「細胞内クルージングで解き明かす生命の神秘」(H22.1213実施)

- ・携帯電話はカエルのおかげでできたとは思いませんでした。携帯にも生物学が関わっているのかと感心しました。

また、永井先生の「流れに竿ささない」という考え方に共鳴しました。逆の発想の素晴らしさを気付かせていただき、ありがとうございました。

- ・永井先生の講演は分かりやすく、ユーモアも含まれていてとても有意義な時間を過ごすことができました。

先生の「世界の動向を見極めてそれに背を向ける」という研究姿勢についてはとても驚き、また納得させられました。新たなことの可能性を捨てず研究していく永井先生に、また機会があれば講演していただきたいです。自分もこれからの生活で答えがないものにあきらめの心を持たず、また時には当たり前のことではないこともしてみたいと思いました。

- ・いちばん衝撃的だったのは「アホになる」ということです。聞いたときは最初、びっくりしてしまいましたが、不思議と納得しました。確かに今まで目からウロコの発見をした人の中でも、思わぬ行動から新しいことが生まれるということがあったのを考えると、そうなんだと思いました。他にも、ノーベル賞をとるには謙虚であることなど、学校で教えられるのとは全く逆の話がたくさんあり、新鮮でした。
- ・僕には先生のような勇気がありません。先生のように高校を退学して北海道に旅をしに行ったり、浪人生になっても自らを信じてそのときにしかできないことをしたり、周りの流れに乗らずに自分で道を開こうとする姿勢などは、僕には真似できないことです。ですが、その姿勢が研究職の人間には必要だと思います。僕も将来は研究職に就こうと思っているので、大学・大学院で自主性を学んでいきたいと思います。
- ・講義がとても分かりやすく、電池ができた歴史や、メタノール燃料電池とミトコンドリア内のクエン酸回路のATP合成の仕組みが同じであること、GFPなどの蛍光タンパク質の話も面白かったです。

[6] 第4回理数科講演会「新しい文脈のなかの数学」(H22.1213実施)

- ・先生の「二百年生きようと思うから、50歳の今はまだ1/4なので、まだまだいろいろ挑戦したい」という考えは、本当にすばらしい考えだと思いました。また、発想の転換がとても大事だとい

うことがわかりました。

- ・「数学は科学の言葉」という表現が印象的でした。
- ・数学という学問への意識が大きく変わる講演でした。
- ・私は理数科にいるにも関わらず、高校に入ってから数学が好きではなくなりました。無理矢理やらされている感じがあったからです。でも、先生の話聞いて数学に対する見方が変わりました。
- ・長持ちする仮説が事実であるという考え方が、自分にとっては新鮮だった。また、何事にも挑戦していくような姿勢がすごいと思った。
- ・もともと個人の好奇心や興味で研究される数学が、社会に役立てるためにある科学の共通言語として使われているというのは面白いと思いました。また、数学で新しい物質を作り出すというのはとても興味を持ってました。

#### [7] SSH生徒研究発表会見学（H22.8.2～4実施）

- ・今回の発表を聞いてよかったと思う高校は、難しいことをするのではなく身近なことや素朴な疑問から調べ始めているという共通点があったと思います。身近なことだとより詳しく調べられ、よいものになっているんだと思いました。しかし、身近なこととはいえ、どの高校の研究もハイレベルだったと思います。
- ・今回は見学だけであったが、実際に発表するのは大変だろうと思った。だが自分たちも研究してこの場で発表したと思った。その校校の生徒も、高校生というよりは研究者のようだった。内容が深く、分からないことが多かったが、おおまかなことは理解できた。どの学校も、予備知識がない人にも分かりやすい説明だったと思う。
- ・「高校生がここまで完成された研究をできるのか」「この人達は本当に科学が大好きなのだな」というのが第一印象であった。恥ずかしながら、私はこのSSHクラブの活動を一科学部の延長のようにしか考えていなかった。しかし、それが間違いであると気付かされた。これからはSSHクラブを通して積極的に科学に取り組んでいきたいと思った。



平成23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](mailto:chief@sensan.myswan.ne.jp)

URL <http://ssh-sensan.myswan.ne.jp/>

<http://sensan.myswan.ne.jp/>

印刷 創文印刷出版株式会社