

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3年次 平成25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

SSH事業の指定を受け3年目が経過しようとしている。当初は暗中模索で不安でいっぱいの日々が続いてきたが、JSTやSSH運営指導委員の皆様、或いは、先進校の皆様から親切丁寧な御指導・御助言をいただきながら現在に至っている。お陰様で校内の指導体制も整いつつあり、ようやくSSHの匂いが校内にも校外にも漂い始めている。

先進校のSSH発表会等に参加させていただく機会を何度か得たが、発表された生徒の皆さんの様子を見ると、いつも本校の生徒達のレベルはまだまだであると痛感しながら学校に戻ってきたものである。早く先進校のレベルに近づきたい気持ちはあるものの、一方では本校の現状を見れば返って焦らないで一步一步積み上げて行った方が良くも思っている。形だけ整えようとしても足が地に着いた指導が出来なくては、本校生徒にとって真の意味での成長に繋がらないと思ったからだ。また、実際に無理な状況にもある。

科学をする上で何と言っても大切な芽は好奇心である。「なぜ？どうして？」と思う純粋な気持ちが無ければ科学は始まらない。我々の側で言えば、如何に生徒達に好奇心を持たせられるかが勝負所となる。

最近の生徒達を見ていると、昔と違って生活環境も変わり、実際に物に触れてみる、見つめてみる、耳を澄ましてみる、匂いをかいでみるなどの、所謂、五感を使うような機会に恵まれないままで育ってきたように思われてならない。実際に物に触れてみることなどは、科学することの基本中の基本だと思うのだが、それが、高性能のPCの普及などにより、キーを叩けば簡単に疑似体験ができる状況にもあるし、疑問に対しても、あたかも正解のような答えが直ぐにかえってくる状況となっている。これでは、生徒達に真の好奇心を期待することは無理のような気がするし、生徒たちにしても何を言われているのか理解できるはずがないだろう。

今年度からコアSSH（地域の中核拠点形成）の指定も受けた。中学生や小学生と係わる機会が多くなったわけが、我々のSSH活動を通じて、少しでも真の意味での好奇心の育成に貢献できればと考えている。

本活動記録集は今年度を実施したSSH課題研究の研究成果の報告に加え、自然科学部の日頃の活動内容も盛り込んでいる。指定3年目であり内容に胸を張りたいところであるが、まだまだ十分でない部分が多い。ただし、生徒達の意気込みだけは十分に込められているものと思っている。

本活動記録集を発刊するにあたり、研究の御指導・御助言をいただいた多くの方々に感謝申し上げますとともに、御高覧いただき様々な御指摘をいただければ幸いです。

平成25年3月

# 目 次

## 巻頭言

## SSH 課題研究

### 数学領域

トポロジーを考える	1
モンティホール問題とその一般化	8
そのデータは信用できるのか	13

### 物理領域

空の間接照明をつくる	18
垂直軸型風車を用いた風力発電	22
イオンクラフトの推進力向上を目指して	27
三高周辺の放射線測定	33
オーロラの作成	39
ボールの回転と運動	43
声を創る	48
蜃気楼の発生	56

### 化学領域

最強のかつ井を作る	63
天然染料による金属イオン検出試験紙作製	68
炎色反応を利用したろうそくの作製	77
水中の酸素濃度と腐食量の関係と塩化物イオン中での電気防食	83

### 生物分野

甲虫の翅のメカニズム	90
大堤沼の水質調査と浄化	94
成長するにつれて変化するアメンボの滑走方法	100
飼育下ペンギンの繁殖行動について	106

### 地学分野

火星におけるランパートクレーター形成条件	113
仙台第三高校周辺の造成宅地地盤について	118

## SSH 特別課題研究

フィボナッチ数列の基本的性質	124
酸化チタンの性質の研究	128
宮城県内で採集したミカヅキモの形態比較	132
笠貝における幼生の変態と貝殻の地域変異	133
白神山地で発生した寛政西津軽地震による地すべり	136
コンピュータプログラミングを用いた文化の収束について	138

## 部活動

### 自然科学部化学班

過冷却における温度と時間の関係性	139
テルミット反応の価数の違いによる質量比と反応性	143
水溶液中の水分子と溶質イオンの挙動をもとに飽和水溶液を理解する	146
イオン移動実験の問題点の改良	150

### 自然科学部生物班

ハンボソガラスのクルミ選択行動	154
浸透圧による脊椎動物赤血球の形態変化	158
魚類視交叉の左右非対称性	177
マウスとハムスターのバランス能力と尾の役割	186
糖によるマウスとヒト赤血球の形態変化	191
オオマリコケムシ( <i>Pectinatella magnifica</i> ) 休芽の発芽と成長	194
陽イオンとスクロースによるユキノシタの原形質分離	195

筑波研修報告	196
--------	-----

白神山地研修報告	202
----------	-----

活動記録写真	207
--------	-----



# トポロジーを考える

数学班 石川眞裕子 松川由佳 山口優雅

トポロジーとは、物の形や大きさ、位置など空間に関する性質を研究する幾何学の仲間である。そして、図形や物体の目につきやすい情報を取り去り、隠された根本的な本質を見極める考え方である。トポロジーについて理解を深め、新たな利用法を発見するために、オイラー標数と図形の関係性や規則性について調査をした。身近な物事に適用し、新たな解釈をするためにトポロジーの研究を始めた。まず、代表的な例とされるケーニヒスベルクの橋の問題では図の簡略化について学んだ。次にオイラー標数を利用することで同相であるか同相でないかが分かり、より明確な分類について学んだ。これらの過程を経て、文字におけるトポロジーを発見した。文字の端や交点を頂点とし、その間の線を辺とする。その後オイラー標数を用いることで、文字も図形と同じように分類することが可能であることが分かった。新たな利用法発見には、さらなる理解が必要とされる。

## はじめに

トポロジーへの理解を深め、身近なところへの新たな利用法を発見することを目的とし、オイラー標数と図形の関係性や規則性についての研究を行った。

## トポロジーとは

三角形や五角形などの図形の各辺の長さや、曲がり具合、面積、角度といった目につきやすい情報を取り去り、裏に隠された根本的な本質を見極める。量を捨象して質に注目する幾何学のことである。そのトポロジーには様々な性質がある。

私たちが住んでいる世界と違い、トポロジーの世界では摩訶不思議なことが起こる。その基本になる原理は、「伸ばしたり、縮めたり、曲げたり、ゆがめたりして重ねられるものは同じもの」と見なすというもの。トポロジーがゴム膜の幾何学といわれる理由はここにある。

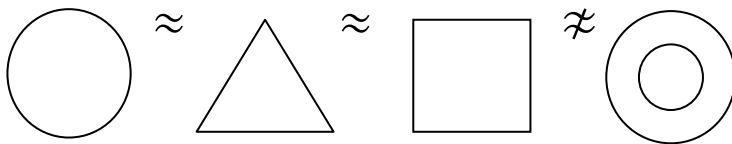


図 1



図 2

図1は二次元の例である。一般に私たちはこれらの図形は異なるものとして区別するが、トポロジーの原理に当てはめると「円」「三角形」「四角形」は同相とみなされる。しかし「ドーナツ型」はトポロジーの原理に当てはめても先ほどの三つと同相とはならない。

図1のような二次元だけでなく、図2のような三次元でもトポロジーは成り立つ。粘土で作られた「ドーナツ」は切り貼りすることなく、連続的な変形をすることで「マグカップ」になる。つまり、「ドーナツ」と「マグカップ」はトポロジー上、同相となる。

## ケーニヒスベルクの橋

図3のように川に浮かぶ二つの島にかけられた七つの橋を、一回ずつ渡るルートはあるか、という問題だ。この難問を解いたのは、天才数学者といわれるオイラーである。

まず、ポイントとなる二つの島と兩岸をそれぞれ点で表し、七つの橋はそれらを結ぶ線で表す(図4参照)。橋をちょうど一回ずつ渡るルートがあるか、という問題は、このデフォルメした絵でいうと、この図形は一筆書きできるか、という問題に帰着される。この問題に対するオイラーの答えは、「一筆書きはできない。したがって橋を一回ずつ渡るルートは存在しない。」また、このことは一筆書きの定理(用語集参照)を用いて表すことができる。

オイラーは、島や岸を大胆に点で表し、七つの橋はそれらを結ぶ線で表した。その時、線が真っ直ぐであるとか曲がっているとか、長いとか短いとか、といったことは関係ない。つまり、点とその間のつながり方だけを問題とし、その他の情報を捨て去ったのだ。これがケーニヒスベルクの橋がトポロジーの始まりと呼ばれる理由である。

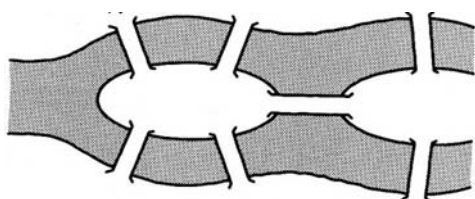


図3

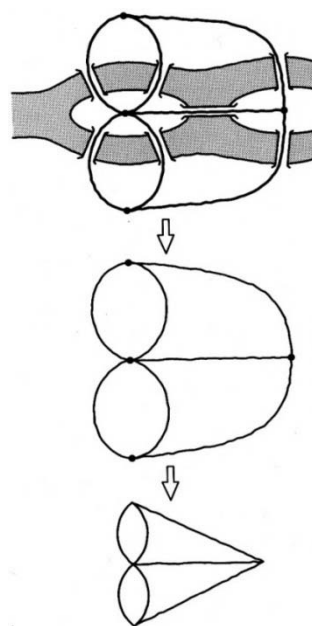


図4

# オイラー標数

## <約束>

- 一. 「点」を「頂点」、「線」を「辺」と呼ぶ.
- 二. 辺は曲がっていてもかまわない.
- 三. 辺の両端や辺が交わっている点は頂点とする.
- 四. 円周には少なくとも一つの頂点を入れる.
- 五. 「頂点」をゼロ次元、「辺」を一次元、「面」を二次元と考える.

## <グラフのように点と線から出来ている図形の場合>

$$\text{オイラー標数} = \text{【頂点の数】} - \text{【辺の数】}$$

## <二次元の面がある図形の場合>

$$\text{オイラー標数} = \text{【頂点の数】} - \text{【辺の数】} + \text{【面の数】}$$

※一般の図形のオイラー標数は、偶数次元の部分の個数にはプラスをつけ、奇数次元の部分の個数にはマイナスをつけて、その総和を考えたものとする.

## <定理>

二つの図形 A と B が同相ならば、A を伸ばしたり、縮めたり、曲げたりといった変形で、B に重ね合わせることができるならば、A と B のオイラー標数は等しい. すなわち、オイラー標数はトポロジー不変量である.

(※オイラー標数が等しい二つの図形は必ずしも同相とは言えない.)

# オイラー標数の計算例

先程も紹介した、ケーニヒスベルクの橋をデフォルメした図 (図 5) を使う.

頂点の数 : 4

辺の数 : 7

これらをオイラー標数を求める式に代入して、

$$\text{【頂点の数】} - \text{【辺の数】} = 4 - 7$$

$$= -3$$

よってオイラー標数は -3 となる.

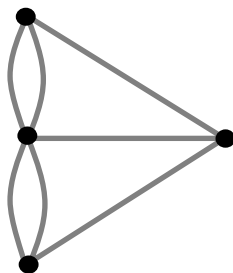


図 5



# 各次元のオイラー標数

図形 P において、その図形のオイラー標数を、 $X(P)$  と書くことにする。

●  $X(A) = 1$

【図 A】 ゼロ次元(点)

● — ●  $X(B) = 2 - 1 = 1$

【図 B】 一次元(線分)

○ ●  $X(C) = 1 - 1 = 0$

【図 C】 一次元(円周)

● — ● — ● — ●  $X(D) = 4 - 4 + 1 = 1$

【図 D】 二次元(正方形)

○ ● — ● — ●  $X(E) = 1 - 1 + 2 = 2$

【図 E】 二次元(球面)

● — ● — ● — ● — ● — ● — ● — ●  $X(F) = 8 - 12 + 6 = 2$

【図 F】 二次元(正六面体)

● — ● — ● — ●  $X(G) = 4 - 6 + 4 = 2$

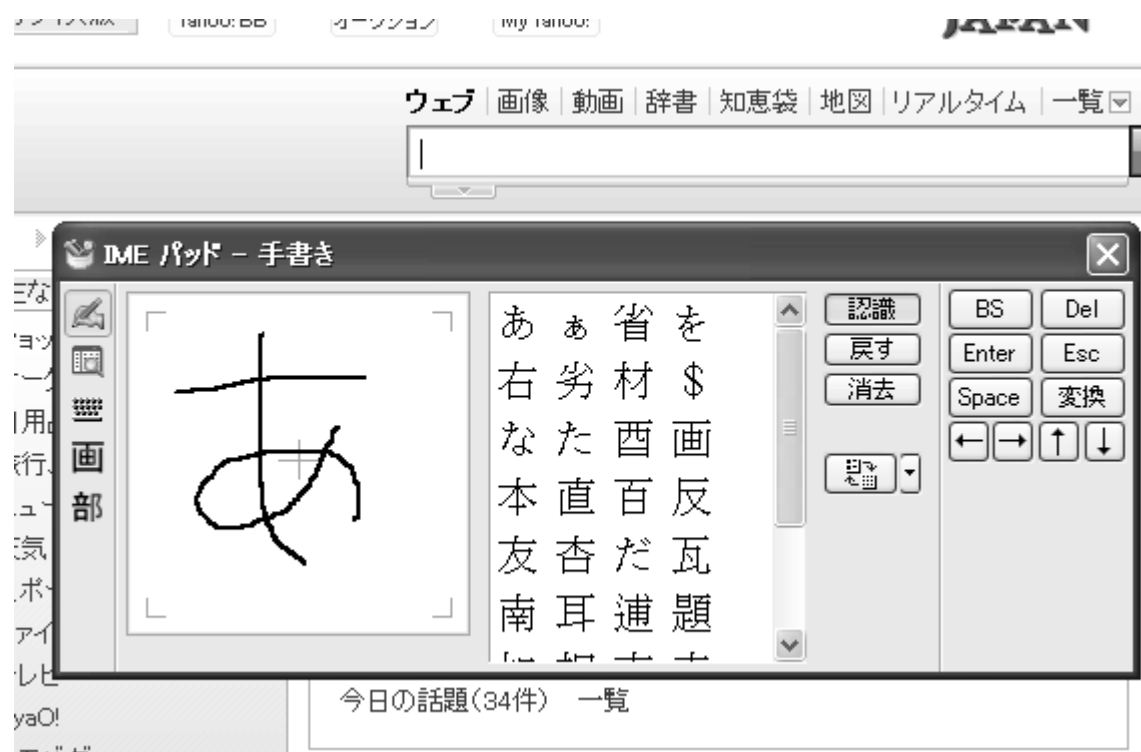
【図 G】 二次元(正四面体)

これらの例より，球面と正多面体は同相といえる．また，球面と同相な図形のオイラー標数は 2 ということがわかる．つまり，球面と同相であるなら，分割のしかたによらずに，オイラー標数は 2 になる．

したがって，同次元かつオイラー標数が同じものは同相であることがわかる．

## 応用例

- ・ 顔認識
- ・ 文字の手書き入力



## 今後の課題

また，オイラー標数について考えるにあたって，穴の数が重要であることが分かった．穴の数は種類 (genus) を表し，それを利用すると， $2-2g$  でオイラー標数を求めることができる．このことは詳しくは理解していないので，これからさらに深めていこうと思う．

# 用語集

## ⇒幾何学

数学の一部門。物の形，大きさ，位置，その他一般に空間に関する性質を研究する学問。

## ⇒トポロジー

空間に関する学問である幾何学の仲間であり，図形や空間の目につきやすい情報を取り去って考えるという方法。二次元だけでなく三次元でも成り立つ。

### ▽基本原理

「伸ばしたり，縮めたり，曲げたり歪めたりして重ねられるものは同じものと見なすこと」

## ⇒同相

トポロジー上において同じだと見なされるもの。

## ⇒アイデンティファイ（同一視）

同一視という単語を辞書で開くと，区別せずに同一にしてみなして取り扱うこととある。簡単に言えば，似ている二つのものを同じものと見なすことである。

## ⇒ケーニヒスベルク

東プロイセンの中心地であり，現在のロシアの都市のカリニングラートの旧称。

## ⇒オイラー（1707～1783）

スイスの数学者。数学，物理学，天文学，特に微分学，積分学，位相幾何学，整数論に功績をあげ，また，変分学を創始。位相幾何学の祖ともいわれる。

## ⇒一筆書きの定理

グラフが一筆書き出来るなら，すべてが偶頂点，または奇頂点がちょうど2つだけある。ただしその2つの奇頂点は出発点と終点でなければならない。

## ⇒次元

対象としている空間の広がり具合を表す尺度。その空間内で動き回れる自由度のこと。

## ⇒オイラー標数

トポロジーの変形で不変な量の一つ。歴史上最初に発見されたトポロジーのコンセプトであり，オイラーがトポロジーを研究する上で提案したもの。

## 参考文献

- ・ はじめてのトポロジー～つながり方の幾何学～  
著：瀬山士郎／発行所：PHP 研究所
- ・ トポロジーの発想～○と△を同じと見ると何が見えるか～  
著：川久保勝夫／発行所：講談社
- ・ 広辞苑

# モンティホール問題とその一般化

数学班 阿部あすか 庄子佳穂

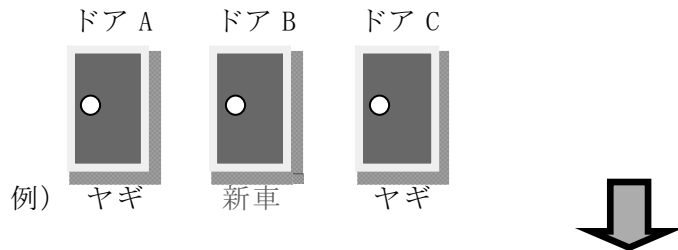
モンティホール問題とは、直感で正しいと思えることと論理的に正しいことが異なる確率論の問題の一つである。「モンティホール問題」の名称の由来となったアメリカのゲームショー番組の中で行われたゲームの設定で、より確率の高い方を選ぶ二者択一の質問について生徒 66 名にアンケート調査を行ったところ、正解者は 19 名であった。このゲームについて場合分けを行って確率を計算し、アンケートで多くの回答者が直感的に「確率は高くない」と感じたと考えられるものが、実際には確率が高いものであることを証明することができた。

## 1 モンティホール問題とは？

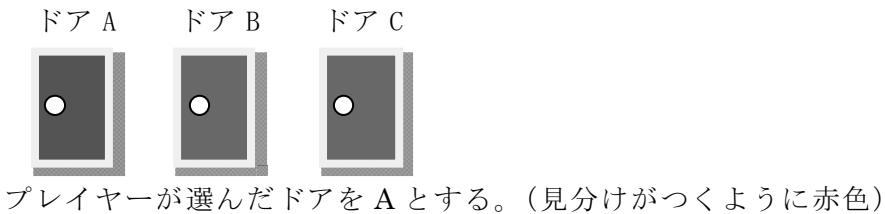
プレイヤーの前に 3 つのドアがある。

1 つのドアの後ろには景品である新車がある。

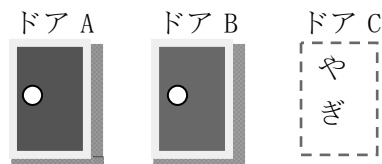
残りの 2 つのドアの後ろにはヤギ（はずれ）がいる。←最初に与えられる条件



プレイヤーがドアを 1 つ選択する。



モンティが残りのドアのうち、ヤギがいるドアを開けてみせる。



ここで、モンティがプレイヤーに最初に選んだドアから残りのドアに変更してもいいという。

さて、プレイヤーはドアを変えるべきか？それとも変えないべきか？

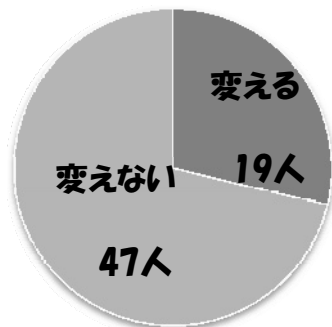
どちらの方が新車が当たる確率が高いだろうか？

## 2 アンケート調査について

### ☆アンケート結果

理数科 66 名にモンティホール問題について  
 変えるのと変えないのとではどちらのほうが当たる確率が高いか  
 アンケートを行った。

結果



.....  
 結果は、  
 左のグラフのようになったが、  
 実際の当たる確率は、  
 ドアを変える : 2/3  
 ドアを変えない : 1/3 である。  
 .....

## 3 考察

「ドアを変えると当たる確率は 2/3 となる」ということが本当に確かなものか  
 樹形図を用いて実際に計算した。

例) 3つのドアのうち当たりが1つの場合

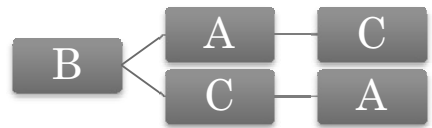
・ドアAが当たりのとき

プレイヤー が選ぶドア	司会者が あけるドア	最後に 選ぶドア	結果
A	B	C	ハズレ $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$
	C	B	ハズレ $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$
B	C	A	当たり $1/3 \times 1/3 \times 1 \times 1 = 1/9$
C	B	A	当たり $1/3 \times 1/3 \times 1 \times 1 = 1/9$

・ドアBが当たりのとき



ハズレ  $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$



ハズレ  $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$

当たり  $1/3 \times 1/3 \times 1 \times 1 = 1/9$



ハズレ  $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$

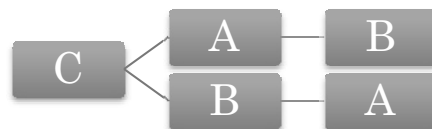
・ ドアCが当たりのとき



ハズレ  $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$



ハズレ  $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$



ハズレ  $1/3 \times 1/3 \times 1/2 \times 1 = 1/18$

当たり  $1/3 \times 1/3 \times 1 \times 1 = 1/9$

以上の樹形図から分かるように

ドアを変えた場合、当たる確率は  $1/9 \times 6 = 2/3$  となることは確かであった。

ドアの個数や当たりの個数を変更して同様の計算を行ったところ  
次のような結果が得られた。

あたり数 \ ドア数	1	2	3	4	...	k
3	2/3				:	:
4	3/8	6/8			:	:
5	4/15	8/15	12/15		:	:
6	5/24	10/24	15/24	20/24	:	:
:	:	:	:	:	:	:
n	$n-1/n(n-2)$	...	...	...	...	$k(n-1)/n(n-2)$

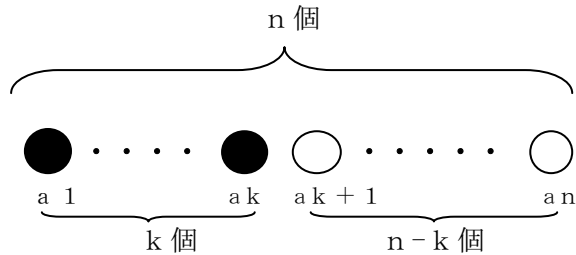
↑  
予想

↑  
予想

分子と分母の数の並びから一般にドアの数  $n$ 、あたりの数  $k$  のとき  
プレイヤーがはじめに選んだドアを変更したときに当たりを引く確率は  
 $k(n-1)/n(n-2)$  という一般式が成り立つのではないかと予想できる。

## 4 式の証明

[ドアが  $n$  個あるうち、当たりが  $k$  個入っている]という設定で考える。  
 ドアを  $a_1, \dots, a_n$ 、当たりが  $a_1, \dots, a_k$  に入っているとす。



$n$  個のドアに  $k$  個の当たりを入れる場合は  $nC_k$  通り

[1] プレイヤーがはじめにドア  $a_1$  (あたり) を選んだとき

$a_1 \sim a_2$ に	プレイヤーが	ハズレのドアから	プレイヤーが残りの	
当たりが入っている	$a_1$ を選ぶ	ランダムに 1 つ開ける	ドアから当たりを選ぶ	
$1/nC_k$	×	$1/n$	×	$1$
		↑		×
		$1/(n-k) \times (n-k)$		$(k-1)/(n-2)$
				= $(k-1)/nC_k \cdot n(n-2)$

プレイヤーがはじめに当たりを選ぶ場合は全部で  $k$  通りなので、

$$(k-1)/nC_k \cdot n(n-2) \times k = k(k-1)/nC_k \cdot n(n-2) \cdot \dots \cdot (1)$$

[2] プレイヤーがはじめにドア  $a_{k+1}$  (ハズレ) を選んだとき

$a_1 \sim a_2$ に	プレイヤーが	ハズレのドアから	プレイヤーが残りの	
当たりが入っている	$a_1$ を選ぶ	ランダムに 1 つ開ける	ドアから当たりを選ぶ	
$1/nC_k$	×	$1/n$	×	$1$
				×
				$k/(n-2)$
				= $k/nC_k \cdot n(n-2)$

プレイヤーがはじめにハズレを選ぶ場合は全部で  $n-k$  通りなので、

$$k/nC_k \cdot n(n-2) \times (n-k) = k(n-k)/nC_k \cdot n(n-2)$$

(1) (2) は互いに背反であるので、

$$\begin{aligned}
 k(k-1)/nC_k \cdot n(n-2) + k(n-k)/nC_k \cdot n(n-2) &= k(k-1) + k(n-k)/nC_k \cdot n(n-2) \\
 &= k(n-1)/nC_k \cdot n(n-2)
 \end{aligned}$$



また、はじめに  $n$  個のドアに  $k$  個の当たりを入れる場合は  $nCk$  通りあり、それぞれのどの場合でも確率は同じになるので

$$k(n-1)/nCk \cdot n(n-2) \times nCk = k(n-1)/n(n-2)$$

これより私たちが予想した一般式は成り立つということが証明できた。  
ここでこの一般式を用いて、本当にドアを変えないときよりも変えた時の方が当たる確率が大きくなるのか、確かめた。

ドアを変えないときに当たりを引く確率は  $k/n$  であるので不等式  $k(n-1)/n(n-2) > k/n$  を示せばよい。

$$\begin{aligned} k(n-1)/n(n-2) - k/n &= k(n-1) - k(n-2)/n(n-2) \\ &= kn - k - kn + 2k/n(n-2) \\ &= k/n(n-2) > 0 \quad [n \geq 3, k > 0] \end{aligned}$$

よって、ドアを変えない場合より変えた場合のほうが当たる確率が高いことが証明できた。

## 5 参考文献

- ・ 図解雑学 パラドクス 富永裕久＝著 ナツメ社

# そのデータは信用できるのか

## ～検定を用いて調べる～

数学班 塩入 惟 笹原 梨那

実験のデータを正しく利用するために、検定に着目した。アンケートを取った三高生の血液型分布でカイ二乗検定を用いて検定を行った。検定では、予測した仮説が統計的に有意ではないという結果になった。また、実験データにおいて放射能班が予測したものが本当に正しいと言えるのかということをも検定を用いて検定を行った。検定では、統計的に有意差が見られた。検定をすることで主観的な考えに囚われずデータを客観的に見ることが出来るとわかった。

### ○目的

データを客観的に見て、実験のデータを正しく利用するために、検定を用いる。

実際に、課題研究のデータで検定を試みる。

### 検定とは

数学的な意味：有意水準に照らして、仮説が正しいかどうか判定すること。

### ○三高生の血液型での検定

生徒に協力してもらったアンケートで行う。

#### 日本人の血液型分布 <sup>1)</sup>

調査人数	A型	O型	B型	AB型
115万人	38.10%	30.70%	21.80%	9.40%

一般的に使われているのは、古畑種基さんによるデータである。

最近のデータでは比率が少し(といってもコンマ以下)が違っているものもあるようだが、ここでは気にしないものとする。

そして、偏りがないように集まってきていると仮定する。

これより、A型：O型：B型：AB型の比率は、だいたい4：3：2：1になる。

## アンケートを取った三高生107人の血液型分布

合計	A型	O型	B型	AB型
107人	35人	36人	19人	17人

この結果より、A型:O型=4:3になるはずなのにO型とA型の人数がほとんど変わらない。

→この集団はO型が多い集団だと考えられる。

ここで、「O型が明らかに多いかどうか」を統計的に判断してみる。

### ○検定の手順

#### 1, 帰無仮説と対立仮説を設定する

帰無仮説: "2つの事象A, Bは独立である."

対立仮説: "2つの事象A, Bは独立でない."

#### 2, 検定統計量を求める

観測度数: 実際に観測された人数や個数

期待度数: 期待される人数や個数

検定統計量 = (観測度数 - 期待度数)<sup>2</sup> / 期待度数

#### 3, 自由度を求める

自由度 = (独立に分布する変数の数) - (推定パラメータ数)

#### 4, カイ二乗値 (検定統計量の和) を求める

カイ二乗値: 測定値のずれを標準偏差で対比したものの平方和

#### 5, 仮説の棄却, 採択

帰無仮説が棄 → 対立仮説が真

帰無仮説が採択 → 帰無仮説が真 となる。

## ○検定の手順に基づき、検定を行う

### 1. 帰無仮説と対立仮説を設定する

帰無仮説：この集団の血液型分布は日本人の血液型と同じである。

対立仮説：この集団の分布は日本人の血液型の分布と異なる。

### 2. 検定統計量を求める

観測度数 = 図1を参照

期待度数 = A型… $107 \times 38.1/100 = 40.767$

同様に、O型…32.849 B型…23.326 AB型…10.058 となる。

### 3. 自由度を求める

自由度 = 4 (独立に分布する変数の和) - 1 (推定パラメータ) = 3

### 4. カイ2乗分布の値 = 6.711709

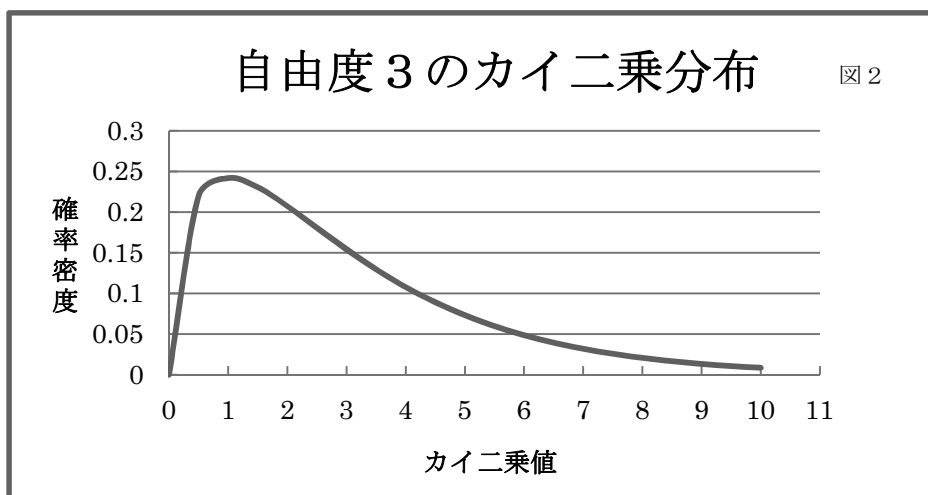
自由度3のカイ2乗分布のグラフを作った。図2

### 5. 検定結果

全てのセルの値が期待度数とぴったり同じであればカイ2乗値は0。

カイ2乗値が大きくなればなるほど、期待される度数から外れ、

物事が「起こりにくい」ということになっていく。



自由度3のとき、有意水準5%の点は**7.87473**であるので

$$6.711709 < 7.87473$$

となるため、帰無仮説が採択される。 → 対立仮説が棄却される

「この集団の分布は日本人の血液型の分布と異なる」が否定された。

この検定からは血液型分布が異なるかどうかはわかるが、0型が明らかに多いかどうかは分からない。しかし、対立仮説が否定されたことから、0型が多いとは考えにくい。そして、カイ2乗値が0では無いので、日本人の血液型分布と同じとは言えない。

→では、どのくらいの確率で起こるのだろうか、

三高生の血液型分布になる確率はどれくらいなのかを調べてみる。

関数：CHIDISTを用いて、7.87473から $+\infty$ 確率密度関数を積分する。

面積＝確率＝**0.0817** →**8.17%** となる。

## ○実験のデータにおける検定

放射能の班に協力をお願いし、レポートのまとめより

「高さについて、0mのほうが高い」

について本当に変化が見られるといえるのかを検定する。

今回の検定でも有意水準5%に定めるものとする。

今回のデータにおいてはt検定がふさわしいと判断した。

まず、f検定を用いて、分散に差があるかを調べる。

帰無仮説：分散に差がない

値が小さければ帰無仮説を棄却して、分散に差があることになる。

### f検定の結果

・ピロティ林の0mと1.5m      f値=.00128 (<0.05)      →分散に差がある

同様にして

・テニスコート0mと1.5m      f値=0.0000000843      → 差がある

・弓道場0mと1.5m      f値=0.00176      → 差がある

この結果よりすべて非分散であるということがわかった.

#### t 検定の結果

・ピロティ林の 0m と 1.5m  $p$  (確率)=0.000321 ( $<0.05$ ) →有意差がある

同様にして

・テニスコート 0m と 1.5m  $p = 0.00000226$  →有意差がある

・弓道場 0m と 1.5m  $p = 0.000911$  →有意差がある

これらのことから, 95%の信頼度で差があるといえることがわかった.

よって「高さについて, 0mのほうが高い」と検定の結果が一致した.

#### ○参考文献

- 1) 「血液型の話」 古畑 種基 著
- 2) 「ウソを見破る統計学」 神永正博 著
- 3) 「高校数学でわかる統計学」 竹内 淳 著

# 空の間接照明をつくる

物理班 伊藤悠吏 宮川夏喜

青空の色をより本物らしく再現するために、大気中で起こっている光の散乱という現象に着目し、気体を用いて現象そのものの簡易的な再現を行った。散乱を起こす粒子を得るための気体として、蚊取り線香の煙、ドライアイスを使用した。直接出た気体とそれを容器にためたものにそれぞれ日光、光源装置の光を照射した。ドライアイスではいずれの実験でもきれいな青色は得られなかった。線香では容器にためず気体に風をあてて薄くのばしたものに一番青い発色が確認された。線香の煙は薄くのばすことで青色光の散乱が起こりやすくなると考えられる。容器にためた気体では、気体の性質が変わり散乱を起こしにくくなっている可能性がある。

## 1. 序論：青い空

晴れていると、私たちは青い空を見ることができる。透き通った空の青をみると開放的な気分になる。逆に梅雨の時期など、長い間青空が見られないと、身体的な不快感だけではなく、精神的にも憂鬱な気分になりがちである。世界には長期間にわたって晴れない地域が多く存在する。そんな地域に住む人のために、手軽にいつでも見られる青空を作ること考えた。最終的な目標は大きな水槽に光を当て、その中で起こる光の散乱を利用した間接照明を作ることである。

## 2. 現象：散乱について<sup>1) 2)</sup>

空の青い色は、太陽光に含まれている。青い光を含んだ太陽光が、大気圏を通過する際、気体分子やちりによって、散乱という現象がおこり、青い光のみが四方八方に広がる。そして地上にいる我々からは、空全体が青く見えるのである。

光には、その色特有の波長がある。例えば、赤い光と青い光では、青い光のほうが波長は短い。レイリー散乱とは波長と同程度の大きさの分子によって光が広がる現象である。大気圏中に多く存在する窒素分子や酸素分子の大きさが、青い光の波長に近い大きさのため、青い光によるレイリー散乱が起こる。また、赤や黄色の光は波長がより長いので、分子を通過してしまい、散乱は起こりにくい。

## 3. 材料と方法

以上のことを踏まえ次の実験を行うことにした。

### (1) 液体を用いた実験(図1)

気体を用いた実験の前に、まずはじめに液体を用いた実験を行った。

<材料>

- ・ハンドソープ (キレイキレイ)
- ・1,000ml メスシリンダー
- ・光源装置

#### <方法>

1. ハンドソープ 10ml をとりメスシリンダーを用いて1%セッケン水をつくる。
2. 上から光を照射し、観察する。

#### <結果と考察>

1. 光は入射してすぐに青くなった。
2. 深くまでいくと光はオレンジ色に変わった。  
このことから散乱が起こっているとわかった。
3. 光が弱かったのでセッケン水の濃度を大きくしてみたが、かえって暗くなるだけであった。  
セッケン水そのものが白濁しているためと考えた。
4. 見る角度を変えてみても、色の見え方に差はなかった。

#### (2) 気体（線香）を用いた実験(図2)

本来の目的は気体による散乱を起こすことであるので、気体による実験を行うことにした。その際用いる気体について、我々は線香やタバコの煙が青っぽく見えることに着目し、散乱が起こる条件が整っていると考え、線香の煙を用いて実験を行った。

#### <材料>

- ・蚊取線香
- ・1,000ml メスシリンダー
- ・光源

#### <方法>

1. 線香の煙をメスシリンダーに充填させ、ラップで密閉した。
  2. 上から光を照射し、様々な角度から観察した。
  3. 次にメスシリンダーにためることをやめ、直接光を当てた。
- ※ 日光と光源装置の両方を使用した

#### <結果と考察>

1. 煙は白く濁ってしまい、光を照射しても青くはならなかった。
2. 煙の濃さを変えても、散乱は起こらなかった。  
原因が分からない。
3. メスシリンダーをつかわずに、直接光源を当てた場合は青くなった。  
散乱が確認された。
4. 光源よりも日光を当てた場合の方が、より強い青色となった。  
光源に含まれている光が実験に適していないと考えられる。



### (3) 気体（ドライアイス）を用いた実験

線香の煙は匂いが強く、有害でもあるため、より安全であるドライアイスを使用することにした。

<材料>

- ・ドライアイス
- ・1,000ml メスシリンダー
- ・光源

<方法>

(2) に同じ

<結果と考察>

1. メスシリンダーに溜めても、少し青くなった。
2. 直接光を当てたところ、若干青く見えたが煙が濃いためあまり青くはならなかった。

### (4) 煙に工夫を加えた実験

煙を薄く引き延ばして実験を行った。

<材料>

- ・蚊取線香（ドライアイスは入手が困難だったため）
- ・光源

<方法>

- ・光源装置のファンを利用して煙を吸い込み、同時に光をあてた。(図3)

<結果と考察>

1. 薄く延ばしたほうが青く見えた。
2. 光源装置でも青く見えたため、適切な光源を用いればより青く見えると考えられる。

## 4. 今後の課題

実験結果を受け、次のことを考えた。

- ・より日光に近い光源を使用すればより青く見えると思う。
- ・煙の量を増やす必要がある。
- ・安定して煙を薄く引き延ばすような風をいかに与えるか。

◎メスシリンダーに密閉した煙が散乱を起こさなかった理由

たばこの煙には2種類存在し、肺に入ってから出てくる主流煙と肺に入らず直接放出される副流煙という区別がされる。このうち、副流煙は青く見えるのに対し、主流煙は青く見えない。これは

煙が肺に入った際に体内の水分と分子が結合して、分子の大きさが大きくなってしまふことが原因である。

このことから、メスシリンダーに密閉した煙も空気中の水分と結合してしまったのではないかと考えられる。よって今後、煙を容器にためる場合、いかに煙分子を水分と引き離すか、すなわち湿度の調整が必要であると考ええる。

## 5. 参考文献

1) 卜部吉庸 「化学 I・II の新研究」

2) わかりやすい高校物理の部屋 光の散乱(12.09.12)

<http://www.wakariyasui.sakura.ne.jp/2-3-0-0/2-3-1-3hikarinosannrannbunnsann.html>

3) 科学の大百科(12.9.19)

<http://salmon.nict.go.jp/snews/rayleigh/omake/index.html>

※ 図



図 1. セッケン水に光を当てた



図 2. 線香の煙に直接日光を当てた



図 3. 煙を薄く伸ばした

# 垂直軸型風車を用いた風力発電

物理班 笹原駿 星啓太 堀江采樹 村上晴彦 村上遼太

風力発電の効率を上げるためにあまり普及していない垂直軸風車に着目し、自作の風車でブレードによる効率の変化の検証を行った。竹串、割りばし、クリアファイル、段ボールで作った風車に扇風機の風を当てた時の実際に得られるパワー、ソリディティ、周速比を計測し、その結果を用いた。最もパワーを得られたのは風車半径10cmの風車、ソリディティで最も小さかった風車はブレード2枚の風車半径10cm、最も大きかったのはブレード4枚の風車半径5cm、周速比で最も大きかった風車はブレード4枚、風車半径5cmであった。今回の結果だけを見れば、ブレード2枚の風車半径10cmのものだが、主に実用化されているのはブレード3枚の風車である。このことから自然の風と規格の大きさとの差異が表れていると考えられる。

## 1 背景と目的

近年の日本では福島原発の事故の影響で、原発の廃止を訴える声が高まっている。それに伴い、原子力発電に代わる新しい発電も必要とされている。今回私たちはその中でも二酸化炭素を出さず、風力というクリーンなエネルギーを用いる風力発電に注目した。この発電には、風切り音などの騒音や低周波振動などの問題があるが、問題を解決できるかもしれない風車の一つに、垂直軸揚力型風車がある。この風車は高回転で効率的であり、騒音が少なく、さまざまな方向から風が吹く日本の気候でも効率的であるというメリットを持っている。今回は垂直軸揚力型風車である直線翼垂直軸型風車を主に研究する。風車の条件を変え、最も効率の良い条件を探すのが研究の目的である。

## 2 風力発電について

風の運動エネルギーを風車により機械的な回転力に変換し、その回転力で発電機を回して発電するもの。そのため、風力発電は従来の発電の主力である火力発電のように、燃料としての石炭や石油、天然ガスを使わず、原子力発電のようにウラン燃料を使わないのが大きな特徴である。エネルギー源としての風力は、豊富で安価、クリーンかつ無尽蔵で、広範囲に分布して再生可能であるという特徴を持っている。ライフサイクルで考えた時、風車を製造するときにはわずかにCO<sub>2</sub>が発生するが、運転中は全く発生しないため、地球温暖化防止に大きく貢献する。石炭焼き火力発電などのように、CO<sub>2</sub>はもちろん、硫黄酸化物や煤塵が発生しないので健康被害を及ぼさない。さらに大型ダム建設のように自然環境破壊をすることはない。また、風力発電は、風況の良い場所を選べば自然風から約40%の電力を取り出すことができ、火力発電並みのコストで発電できる。これは太陽電池の約2倍の効率である。



図1 水平軸風車



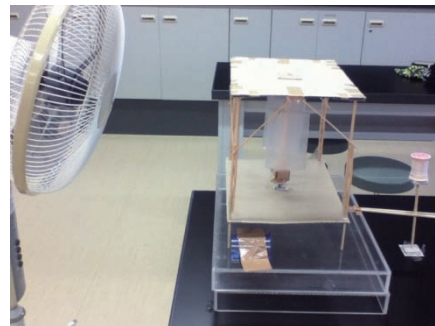
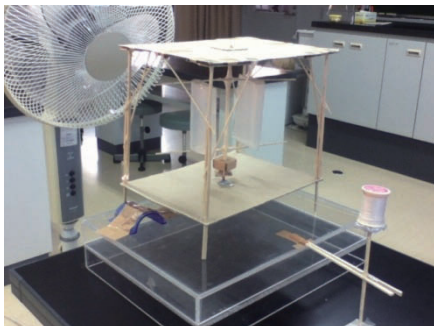
図2 垂直軸風車

### 3 風車とブレードの種類について

風力発電の風車は大きく分けて水平軸型風車と垂直軸型風車の2種類に分類される。水平軸形風車は一般によく見られる地面に対してブレードの軸が平行になっているもの、垂直軸形風車は地面に対してブレードの軸を垂直になっているものである。また風車のブレードも揚力形と抗力形の2種類に分けられる。回転力を得るために、揚力形は揚力(風に対して垂直に働く力)を発生させ、抗力形は抗力(風に対して水平に働く力)を発生させる。これらの組み合わせによって、大きく4種類の風車が存在する。その中で私たちは垂直軸形風車の揚力型を研究することにした。

### 4 材料と方法

モーターにブレードを付けたものを風車とし、この風車の軸に糸を結ぶ。これに扇風機で風を一定時間あて、巻き取った糸の長さを測る。ブレードの枚数が2~4枚のとき、軸とブレードの距離が5cm, 6.3cm, 7.5cm, 8.8cm, 10cmの条件でそれぞれ測定した。測定はそれぞれ3回ずつ行い、巻き取った糸の長さを回転数に直した。また下図は今回制作した垂直軸型風車である。



**材料** モーター、割りばし、竹串、段ボール、クリアファイル、糸、テープ類

風車の性能を評価する際、周速比、ソリディティといった特性係数を利用した。

●パワー係数：Cp (0.3とした)

風車の受風面積から得られる風のパワーを基準にして、風車から取り出せるパワーとの割合。値が高いほど多くのエネルギーを取り出せている。

$$C_p = \frac{2 P_e}{\rho A v^3}$$

$\rho$  : 空気密度=1.2[kg/m<sup>3</sup>]

A : 受風面積[m<sup>2</sup>]

v : 風速[m/s]

P<sub>e</sub> : 実際に得られるパワー[W]

●周速比：λ

風車翼の先端速度と風速の比。値が高いほど風車は風速より速く回転する。

$$\lambda = \frac{2 \pi f R}{v}$$

f : 風車回転数

R : 風車半径[m]

v : 風速[m/s]

●ソリディティ:S/ A

風車の受風面積に対する風車翼の全投影面積（風車の回転した部分の面積）の比。値が高いほど風車の回転数が低いが、高トルク。小さいほど回転数が高いが、低トルク。

$$\text{ソリディティ} = S / A$$

$$A = 2 \pi \times 2 R \times H / 2$$

A:受風面積[m<sup>2</sup>]

S:全投影面積[m<sup>2</sup>]

H:風車の高さ[m<sup>2</sup>]

R:風車半径[m]

L:翼弦長[m]

W:ブレード枚数

## 5 結果と考察

風車半径(m)	実際に得られるパワー (W)
0.100	13.1E-3
0.088	11.5E-3
0.075	9.8E-3
0.063	8.2E-3
0.050	6.6E-3

風車半径(m)	ソリディティ		
	ブレード2枚	ブレード3枚	ブレード4枚
0.100	2.55.E-01	3.82.E-01	5.09.E-01
0.088	2.91.E-01	4.37.E-01	5.82.E-01
0.075	3.40.E-01	5.09.E-01	6.79.E-01
0.063	4.07.E-01	6.11.E-01	8.15.E-01
0.050	5.09.E-01	7.64.E-01	1.02.E+00

風車半径(m)	周速比		
	ブレード2枚	ブレード3枚	ブレード4枚
0.100	48.04	32.58	20.4
0.088	68.82	41.5	40.97
0.075	92.86	56.53	65.12
0.063	102.88	70.83	93.55
0.050	105.34	94.62	113.5

測定結果を上記の表にまとめた。実際に風車から得られるパワーに関しては、風車半径が長いほど得られるパワーが高くなっていくことが分かった。周速比に関しては、軸との距離が離れているほど高い値が出ることから、軸との距離があった方が早く回転することが分かった。ソリディティに関しては、ブレードの枚数が多くなるにつれて値が高くなっていくことから、枚数が多いほど回転が遅くなり、少ないほど早くなることが分かった。

以上の事から効率の良い風車は組み合わせ次第で複数存在することが考えられる。その中で、今回の実験からはブレード2枚、軸との距離10cmの場合が良いと考えられる。今後は電流と電圧も測定して発電効率での比較をしていきたいと思う。また主に実用化されている垂直軸型風車はブレード3枚の風車である。このことから自然の風と扇風機の風、作成した風車と実用化されている風車のサイズの違いで差異が表れていると考えられる。

## 6 参考文献

- 1) 牛山 泉 『トコトンやさしい風力発電の本』
- 2) 風力発電について  
<http://www.globalenergy.jp/product/faq/windpower.htm>
- 3) 磁石とマグネットの NeoMag - 風力発電の基礎シリーズ  
<http://www.neomag.jp/mailmagazines/201204/letter201204.php>
- 5) 縦軸風車に関する調査研究（海上保安庁）  
[http://www.kaiho.mlit.go.jp/syukai/soshiki/soumu/seika/h15/h15\\_11.pdf#search='%E7%B8%A6%E8%BB%B8%E9%A2%A8%E8%BB%8A+%E3%82%BD%E3%83%AA%E3%83%87%E3%82%A3%E3%83%86%E3%82%A3](http://www.kaiho.mlit.go.jp/syukai/soshiki/soumu/seika/h15/h15_11.pdf#search='%E7%B8%A6%E8%BB%B8%E9%A2%A8%E8%BB%8A+%E3%82%BD%E3%83%AA%E3%83%87%E3%82%A3%E3%83%86%E3%82%A3)

A : 受風面積[m<sup>2</sup>]

S : 全投影面積[m<sup>2</sup>]

H : 風車の高さ[m<sup>2</sup>]

R : 風車半径[m]

L : 翼弦長[m]

W : ブレード枚数

ソリディティとは風車の受風面積に対する風車翼の全投影面積の比をとって定義される。

# イオンクラフトの推進力向上を目指して

物理班 佐々木真大 阿部直人 金田大輝 木島玲 坂井玲央 櫻庭佳

イオンクラフトの飛行原理は知られているが、推進効率の良い機体の規格については不明である。そこで本研究ではアルミニウム箔から銅線までの距離と推進力に着目し、推進力の測定実験を行った。機体の材料にはバルサ材、アルミニウム箔、銅線、アルミニウムテープを用いた。実験には高電圧電源、電子天秤、絶縁シート、段ボールを用いた。アルミニウム箔から銅線までの距離を 45mm, 50mm, 60mm, 70mm の 4 区分とし、それぞれの区分で電子天秤の値を 0g に設定したうえで、10 分間 25kv の電圧をかけた後生じた推進力 (g) を電子天秤で計測した。結果は 45mm で推進力が最大となった。結果から推進力はスパーク直前の最も近い距離であることが分かった。

## 1 序論

イオンクラフトは電気推進機的一种である。同じ電気推進機にイオンエンジンがあり、小惑星探査機はやぶさのエンジンとしてよく知られている。今回研究対象としたイオンクラフトとは、アルミ箔と銅線のような非対称の導体に高電圧（約 30KV 程度）をかけたときに発生する力を推進力とするものである。非対称の導体に高電圧をかけることで、一方の導体にコロナ放電が起こる。このコロナ放電により周囲の気体がイオン化（電離）されプラズマとなり、高電圧がかかることでイオン化した気体（＝プラズマ）が勢いよく押し出される。このプラズマの放出によってもう一方の導体周囲にあるイオン化されていない空気に衝突することで作用反作用が生じる。この作用反作用がイオンクラフトの推進力となる。そのほかにも、イオンクラフトの推進力には放出の最中にプラズマがさらに周囲の気体を巻き込むことなどの要因がある。（イオン風説）

小惑星探査機はやぶさでは、イオン化した気体のうち正電荷のイオンを負極の電極に加速させ、速さを持った正電荷に電子（負電荷）を与えることで中和した気体を推進力として利用していた。

従来の探査機などの推進機はエネルギー効率の悪い化学燃料（石油など）を用いており、燃料に加えて酸素が必要となるため、宇宙に運べる燃料の量が制限されてしまうのに対し、イオンエンジンのような電気推進機では、必要となる電気は搭載されたソーラーパネルによって太陽光をエネルギー源とし、燃料は安定なキセノンガスなどを圧縮した気体を推進剤とするため従来の化学推進に比べより多くの燃料を宇宙に運べるのである。また、イオンエンジンの推進力は化学推進機に比べて小さいものだが、無重力で摩擦のない宇宙空間では継続した加速によって大きな推進力を得られることや、燃料あたりの推進効率が非常に高いために、長時間連



続稼働で小惑星イトカワの探査を目指したはやぶさのエンジンとして使用されたのである。

## 2 研究の動機と目的

2003年に打ち上げられた小惑星探査機はやぶさと、それに使われていたイオンエンジンを知り、従来の推進機とは異なる推進方法に興味を持ち、イオンエンジンの推進方法や、その効率化について研究したいと思ったからである。そこで、電気推進機として実際にイオンクラフトを作成し、機体の規格条件における推進力の推移についての研究を行い、自作イオンクラフトの推進効率について確立、向上させることを目的とする。

## 3 材料と方法

### (1) 材料

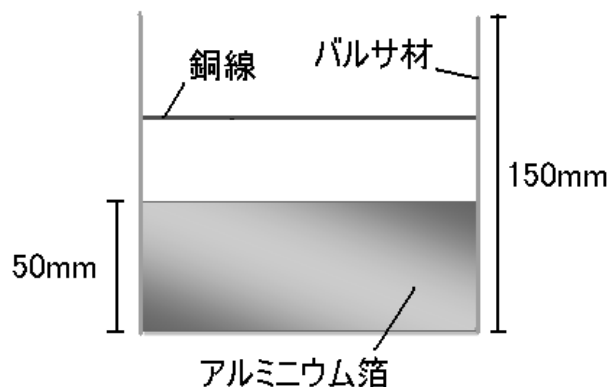
バルサ材(厚さ 2.0mm), アルミニウム箔(150mm×50mm), 木工用ボンド, 銅線(直径 0.35mm), 高電圧電源(30KV), 銅板(350mm×350mm), 絶縁フィルム, アルミニウム箔テープ(50mm), 電子天秤, 木製のスタンド(自作), 段ボールの囲い(自作)

### (2) イオンクラフトの作成方法

- 1 バルサ材を 150mm×2.0mm の棒状に、アルミニウム箔を 150mm×50mm に切り取る。
- 2 アルミニウム箔のうえにバルサ材を木工用ボンドで貼り付け、ユニットを作成する。  
※上記の 1, 2 の作業を 3 回繰り返す。
- 3 3つのユニットを、アルミニウム箔テープを用いて組み合わせ、正三角形の機体を作成する。

図 1

- 4 機体のアルミニウム箔側を下側とし、上部のバルサ材に銅線を巻く。このとき、アルミニウム箔から銅線までの距離は 50mm とする。



イオンクラフトの 1 ユニット図

## 4 実験と考察

### (1) 実験1 (予備実験) 作成したイオンクラフトの浮上の観察

方法 イオンクラフトの機体を銅板上に置き、アルミニウム箔の3か所から下の銅板に銅線をつなげる。機体の上部の銅線に高電圧装置の正電極を、機体の下の銅板に負電極をつなげ、電圧をかける。イオンクラフトの規格は一定で、アルミニウム箔から銅線までの距離は50mmである。

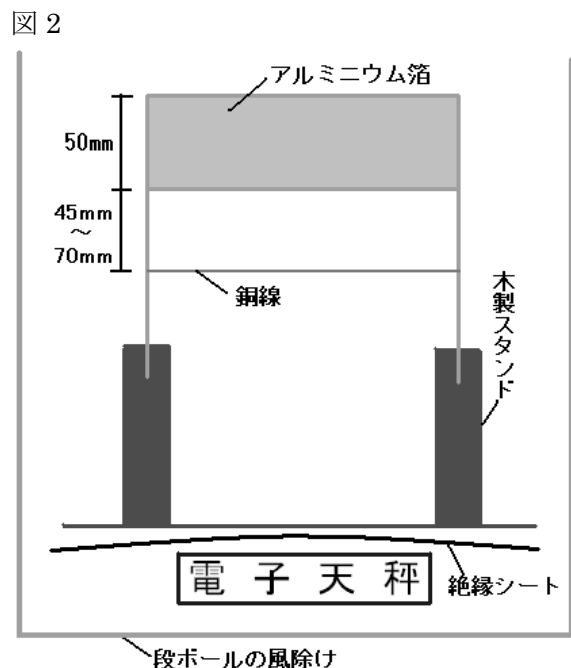
実験1の結果 作成したイオンクラフトは24kv~27kvの範囲で完全に浮上した。27kvより大きな電圧をかけるとスパークしてしまう。

考察 自作のイオンクラフトの浮上が確認された。イオンクラフトの上昇には機体の重さのバランスが大切であることが分かった。

### (2) 実験2 アルミニウム箔から銅線までの距離と推進力に関する実験

方法 風除けのための段ボールの囲いの中に絶縁シートで保護した電子天秤を置き、その上に置いた木製のスタンドにイオンクラフトの1ユニット(0.75g)を、銅線側が下、アルミニウム箔側が上になるように付ける。アルミニウム箔から銅線までの距離を、45mm、50mm、60mm、70mm、の4区分とし、それぞれの区分で電子天秤の値を0gに設定したうえで、10分間25kvの電圧をかけた後生じた推進力(g)を電子天秤で計測する。その後0kvで10分間イオンクラフトの帯電除去のためにインターバルをおく。この作業をそれぞれの区分で15回繰り返す。

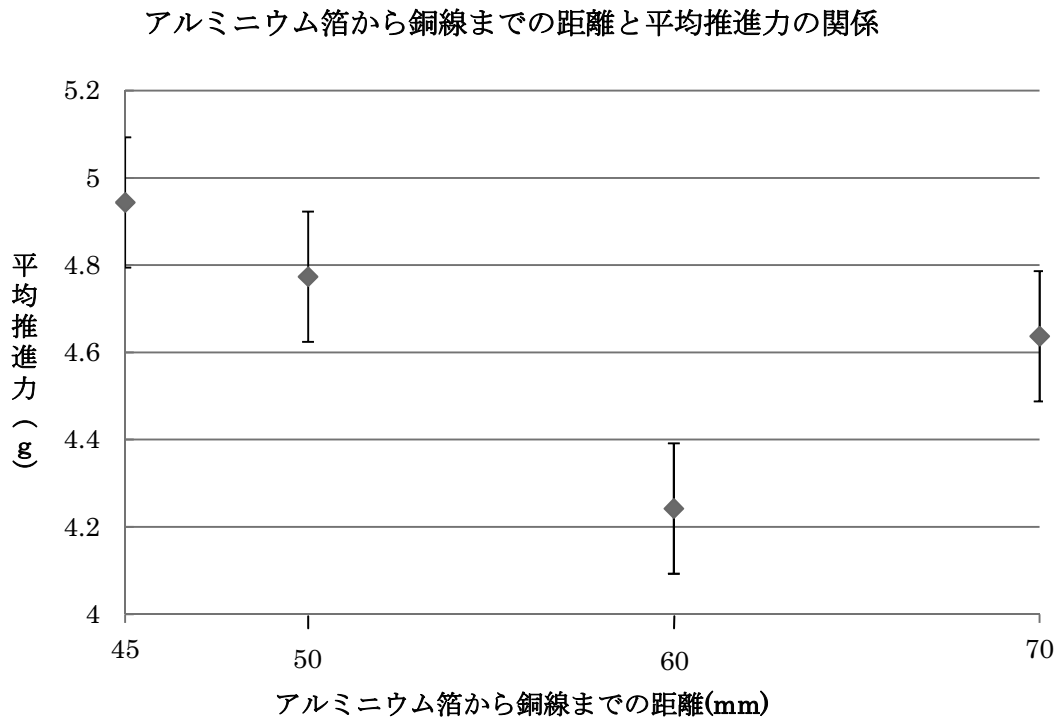
なお、結果はそれぞれの区分での推進力15回分の平均値とする。※40mm以下では25kv以下でスパークしてしまうため計測不能になる。



実験図

## 実験 2 の結果

グラフ 1 アルミニウム箔から銅線までの距離と推進力の関係についての実験の結果グラフ



## 5 結果と考察

アルミニウム箔から銅線までの距離における推進力 15 回分の平均値は、45mm で 4.540867g, 50mm で 4.511267g, 60mm で 4.2154g, 70mm で 4.4272g と、4.5mm で最高となった。このことから、推進力はスパークしない最も近い導体間の距離において最高値となることが分かった。

平均値の誤差がそれぞれの区分で 1.3~1.9g も存在する。さらに、導体間の距離 70mm で 4.4272g もの推進力を生じている。これらは日によって実験室の湿度、気温などが異なり、電気の帯電に影響したことが原因であると考えられる。

1 ユニットの重さが 0.75g, 機体になると 3.0g ほどしかないイオンクラフトが、実験結果から、1 ユニットで最高 4.540867g もの推進力を生じている。これは電子天秤を保護していた絶縁シートが高電圧によって強力な静電気を帯び、電子天秤の計測面に対して鉛直下向きに力が加わったためであると考えられる。

## 6 今後の課題

今回の実験では実験室の湿度や気温を考慮しておらず、実験結果に影響を与えてしまった。そのため、次回からは実験室の湿度や気温を記録して推進力に与える影響を考慮することや、同じ日にそれぞれの区分で同じ回数だけ実験を行い、影響を考慮する必要のない状況にすることが必要であると考えた。

今後は機体の規格だけでなく、イオンクラフトを複数繋げ大きくしたときに発生する推進力を計測することや、機体の周囲のガスをネオンやキセノンなどで置き換えたときに発生する推進力を計測することを行いたい。

## 7 参考文献

イオンエンジンによる小惑星探査機「はやぶさ」の帰還運用

URL:[http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF\\_JSPF/jspf2010\\_05/jspf2010\\_05-282.pdf](http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2010_05/jspf2010_05-282.pdf)

図 3



イオンクラフト完成図 1 (=3 ユニット)

図 4



イオンクラフト完成図 2 (=3 ユニット)

図 5



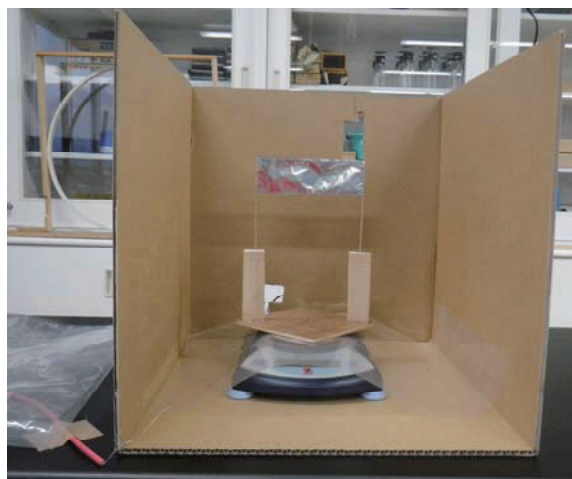
実験 2 の図 I

図 6



実験 2 の図 II

図 7



実験 2 図 III

# 三高周辺の放射線測定

## ～放射線の高い地点とその関係性を知る～

物理班 藤澤一積 引地健 太田信也 新田竜世 森優志

東日本大震災における福島原発の事故により現在でも放射線の影響が懸念されている。現在の宮城県への影響、放射線の特徴を調べるために三高周辺で測定した。三高敷地内計7地点を高さや天候での比較、三高周辺のホテル池の4地点、七北田川の5地点で計測には、ホリバ社の $\gamma$ 線測定器を使用した。線量の高い地点では、周辺に点在する物体の測定も行った。天候による変化に規則性はなく、地面と近距離である方が高い値だった。また、林と水が集まる地点は線量が高い値だった。林では枯れ木を主な原因として線量が高くなる傾向があり、水は放射性物質を集める性質があると考えられる。しかし、水が流れ続ける地点は低い値だった。

### ◎放射線とは

- 1, “放射線”とは、「照射した物質に電離をおこすことのできる、高いエネルギーの流れ」で、“放射能”は「物質がもつ、放射線を出す能力」のことである。
- 2, 放射性物質から出た $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の三種類、重陽子線、中性子線、 $1 \times 10^6 \text{eV}$ （エレクトロンボルト）以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線を示す。1eVとは、1Vの電位差がある自由空間内で電子一つが得るエネルギーのことである。
- 3, レントゲン、放射線治療、植物の品種改良、医療器具の滅菌、半導体の製造、火災報知機などに利用されている。
- 4, 放射線はそれぞれ透過力が異なり、 $\alpha$ 線は紙一枚、 $\beta$ 線は薄い金属板、 $\gamma$ 線は鉛や厚い鉄の金属板でブロックされる。
- 5, 一度に100mSv（ミリシーベルト）以上の線量を受けた場合、胎児の異常、白内障、不妊（男女とも）、脱毛や皮膚の潰瘍などが生じるといわれている。
- 6, Svとは、ある期間に人体が被ばくした量の合計で、1時間その場所で過ごした人が1シーベルト「被ばく」することになるという状態が「1シーベルト毎時（Sv / h）」である。

### ◎測定方法（共通）

- 1, 測定には $\gamma$ 線測定器の「HORIBAのRADI PA-1000」モデルを用いる。  
(シンチレーション式という、放射線に反応して微弱な光を発する物質を利用する測定方式。)

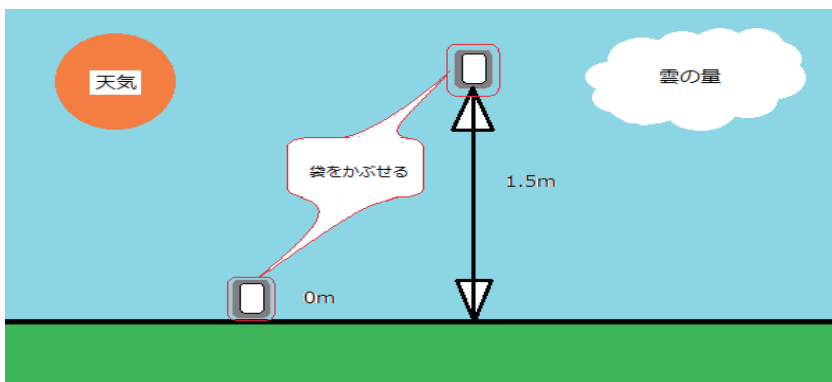
- 2, 放射線測定器には袋をかぶせ, 放射性物質が付着するのを防ぐ.
- 3, 袋は定期的に交換する.
- 4, 1か所につきそれぞれ3回測定し, その結果の平均を値として扱う.
- 5, 単位はすべて「 $\mu\text{Sv/h}$ 」を用いる.

## ◎実験 1

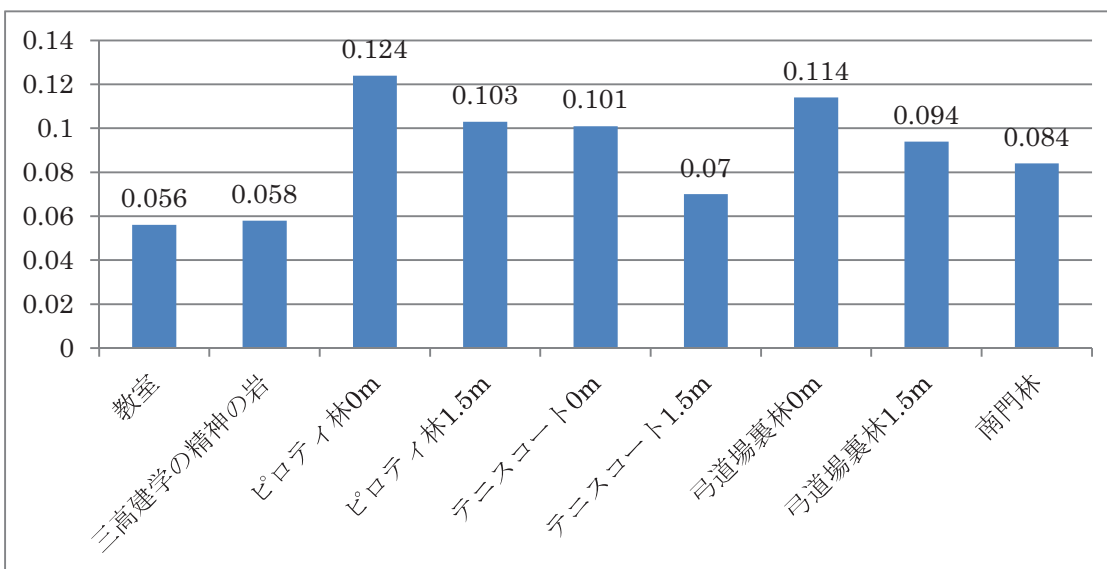
### 実験方法と条件

- 1, 平日の 13:00 前後 10 分以内に測定を行う.
- 2, 2か所で高さを変更 (0m と 1.5m).
- 3, 5/8~7/20 の平日の平均値を取る.

※備考: 南門林は特色として枯木が少ない。



### 結果



## まとめ

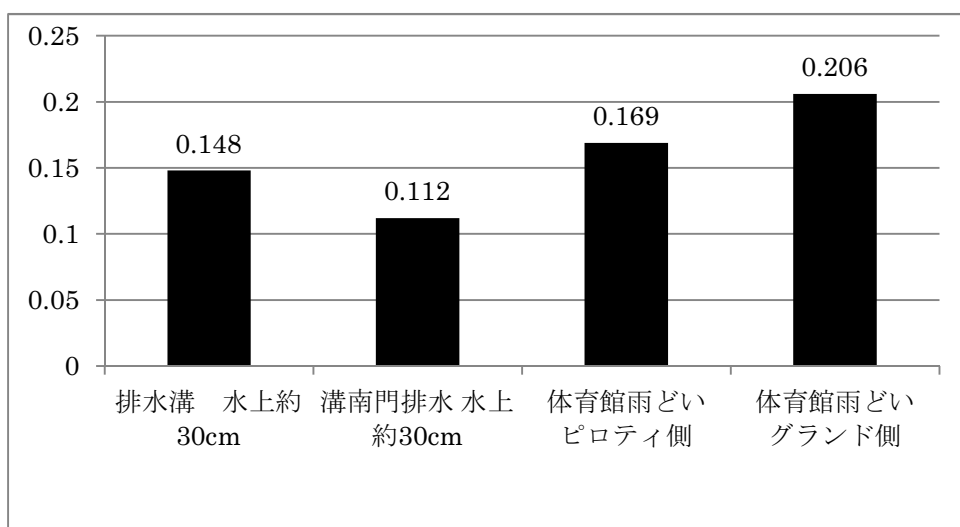
- 1, 高さについて, 0mのほうが高い.
- 2, ピロティ林, 弓道場裏林, 弓道場裏排水溝が高い値を示していることから, 林や水が集まる場所に高い値を示している可能性, またはこの3地点が特異である可能性があげられる.

## ◎実験2

### 実験方法と条件

- 1, 晴れの日3回測定したものの平均値を取る.
- 2, 水の集まる地点に着目.

### 結果



## まとめ

- 1, 4地点すべてにおいて実験1に比べ比較的高い値を示している.

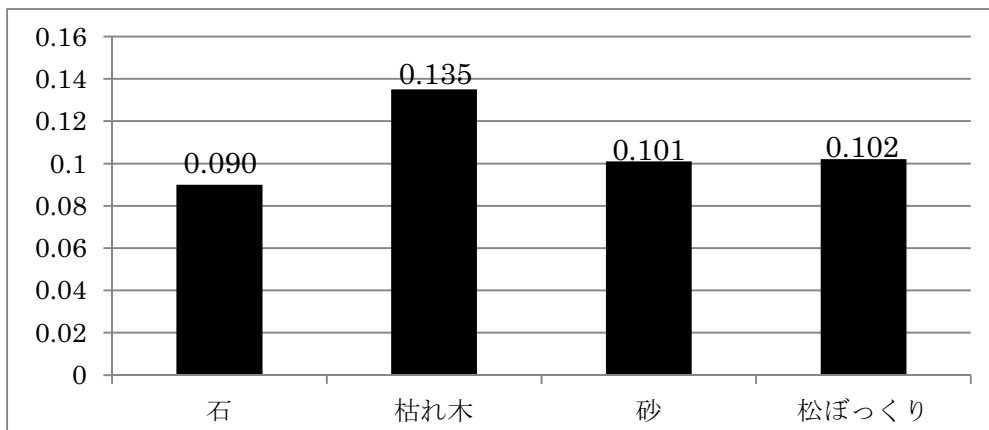


### ◎実験 3

#### 実験方法と条件

- 1, 結果 1 のピロティ林から教室に移動して測定する。  
(ピロティにある周りの物体の干渉を受けにくくするため)
- 2, 天候は晴れ.

#### 結果



#### まとめ

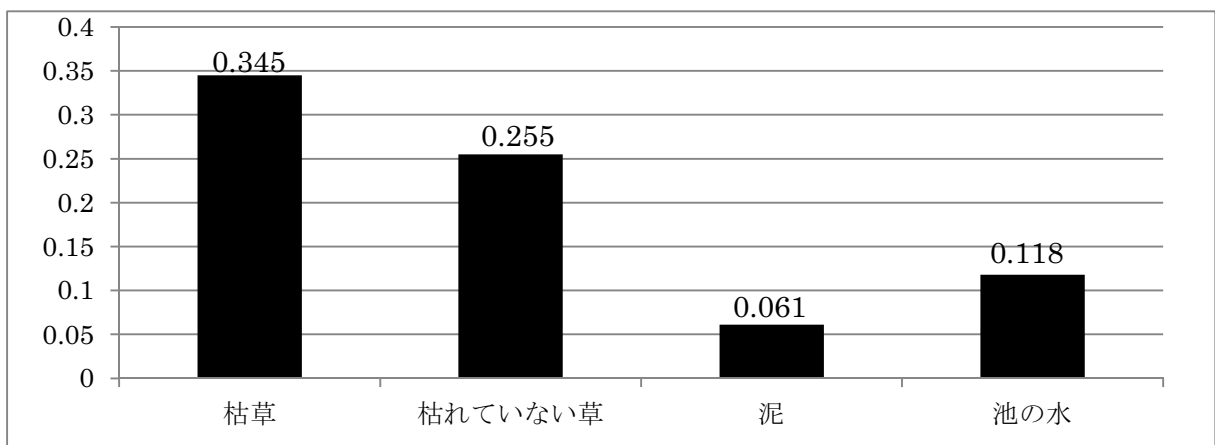
- 1, 比較すると枯れ木が高い値を示している.

### ◎実験 4

#### 実験方法と条件

- 1, 晴れの 3 日で測定する.
- 2, 測定場所は窪地になっている.

#### 結果



## まとめ

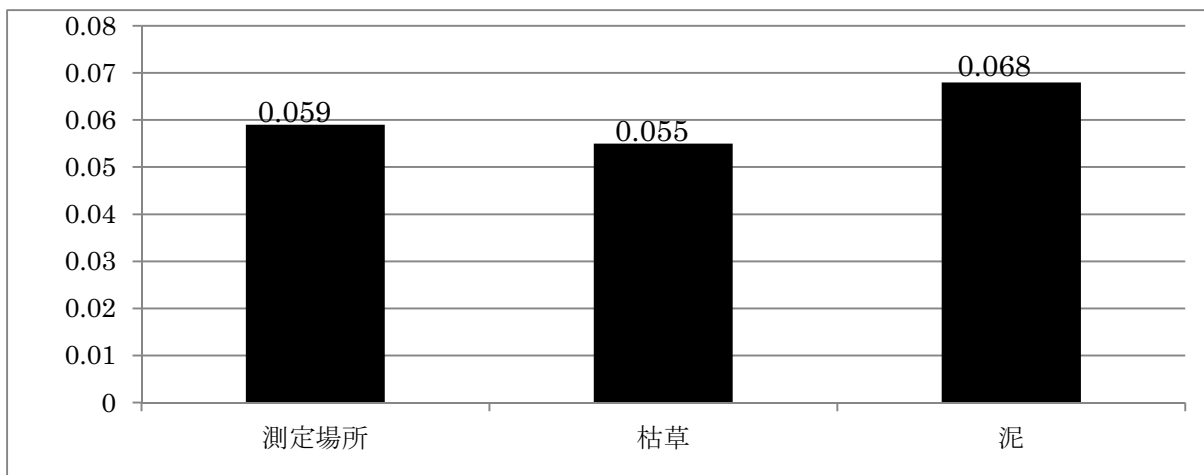
- 1, 池全体で比較的高い値を示している.
- 2, 枯草が高い値を示している. その地点自体が高い, または実験 3 で枯木が高かったため, 「枯れているもの」に関係性があると考えられる.
- 3, 水に関しては比較的低い値を示しているが, 実験 1, 2 の結果と比較するとほかの水が集まる地点と同様に高い.

## ◎実験 5

### 測定方法と条件

- 1, ホタル池にあるものを窪地から出して測定. (コンクリート上).
- 2, 晴れの 2 日で測定.

### 結果



## まとめ

- 1, 枯草が高い値を示している可能性はなくなった.

## ◎考察 (以下「実験の番号-まとめの番号」と表記)

- 1, 1-1 より, 地上に近いほうが高い値を示す.
- 2, 1-2・2-1・4-3 より, 水の集まる場所が高い値を示す.
- 3, 1-2・3-1・実験の備考より, 枯れ木の影響で林が高い値を示している. 南門は比較的低い値を示している. 南門は比較的低い値を示している. 枯れ木が少ないため, 他の地点と比べ低い値を示している.

- 4, 3-1・4-2・5-1 より, 枯れ木は高い値を示すのに対し, 枯草は低い値を示しているので関係性はないと考えられる.
- 5, 4-1・5-1 より, 枯草が高い値を示しているので, 三高周辺ではホタル池が特異である可能性がある.

## ◎参考文献

「広島大学 自然科学研究支援センター アイソトープ総合部門」<http://home.hiroshima-u.ac.jp/ricentr/>

「環境・プロセス—HORIBA」  
<http://www.horiba.com/jp/process-environmental/>

「Newton」  
<http://www.newtonpress.co.jp/>

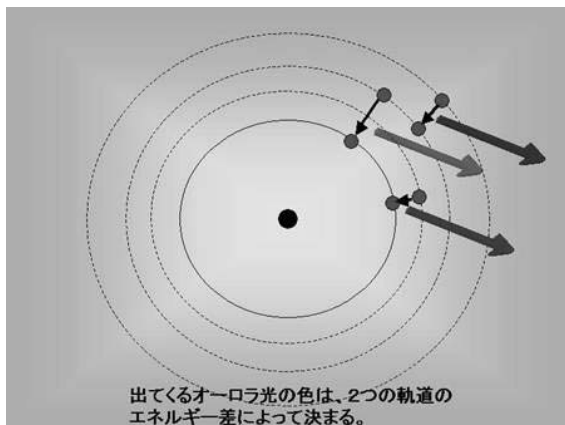
# オーロラの作成

物理班 門馬悠太 遠藤玲 井上遼大 相沢 大輝

我々は極地方で発生する自然現象であるオーロラについて興味を持ち、オーロラの色が変化する要因を知るために気圧や気体に着目し、真空ポンプと電源装置を用いることで実際にオーロラを発生させ、二種類の気体で色の変化を調べる実験を行った。真空ポンプを用いて実験装置内の気圧をオーロラが発生する環境に近づけ、気体を装置内に注入して色が変わるかを調べた。使用した気体は $N_2$ ,  $O_2$ の二種類である。結果、紫色のオーロラは発生させることができた。しかし気体を用いても色を変化させるまでには至らなかった。オーロラを発生させられたので気圧や電圧は問題無い。単に実験装置に問題があったのか。または今回着目したものは別のものが要因になっている可能性がある。

## 1 オーロラはプラズマと深い関係がある

太陽からは「太陽風」と呼ばれるプラズマの流れが常に地球に吹きつけており、これにより地球の磁気圏は太陽とは反対方向、つまり地球の夜側へと吹き流されている。太陽から放出されたプラズマは地球磁場と相互作用し、複雑な浸入過程を経て磁気圏内の夜側に広がる「プラズマシート」と呼ばれる領域を中心にたまる。このプラズマシート中のプラズマが何らかのきっかけで磁力線にそって加速し、地球大気（電離層）へ高速で降下することがある。大気中の粒子と衝突すると、大気粒子が一旦励起状態になり、それが元の状態に戻るときに発光する。これがオーロラである。発光の原理だけならば、オーロラは蛍光灯やネオンサインと同じである。



## 2 オーロラの形

オーロラがカーテンのように線状に見えるのは、オーロラ粒子が磁力線に沿って動き、その途中で少しずつエネルギーを失い大気を光らせるため、オーロラのカーテンは夜空に浮び出た地球の磁力線といえる。オーロラのカーテンは、東西方向には地平線から地平線まで 1000 km 以上にわたって長く伸びているのに対し、南北方向には非常に薄い形をしており、仰ぎ見る角度により、遠くにあるときは東西にわたる帯（バンド）か弧（アーク）のように見え、頭上近くに来ると一点から放射状に広がる形（コロナ状）に見える。オーロラには、カーテンや弧のように見えるはっきりした（ディスクリット）オーロラの他に、空にぼんやりと広がる拡散型（ディフューズ）オーロラがあり、それはしばしば複雑な斑点のようにきれぎれに分布し、10 秒程度の周期で光の明滅を繰り返す。そのようなオーロラは脈動（パルセーティング）オーロラと呼ばれる。拡散型オーロラや脈動オーロラは、オーロラ嵐の発達の後半に、特に朝方に現れやすいことが分かっている。電子の他に陽子（プロトン）もオーロラ粒子として降り込んできているが、陽子によるオーロラは電子によるものとは異なり、空に薄くぼんやりと拡がって見え、「プロトンオーロラ」と呼ばれる<sup>1</sup>

## 3 実験方法とその原理

方法)

- ①真空実験機内を減圧する。
- ②磁石と剣山の間を高電圧をかけて放電させる。
- ③発生した電子が磁石と衝突し、オーロラが発生するか観察する。

上記が私たちの実験の主な流れである。

原理)

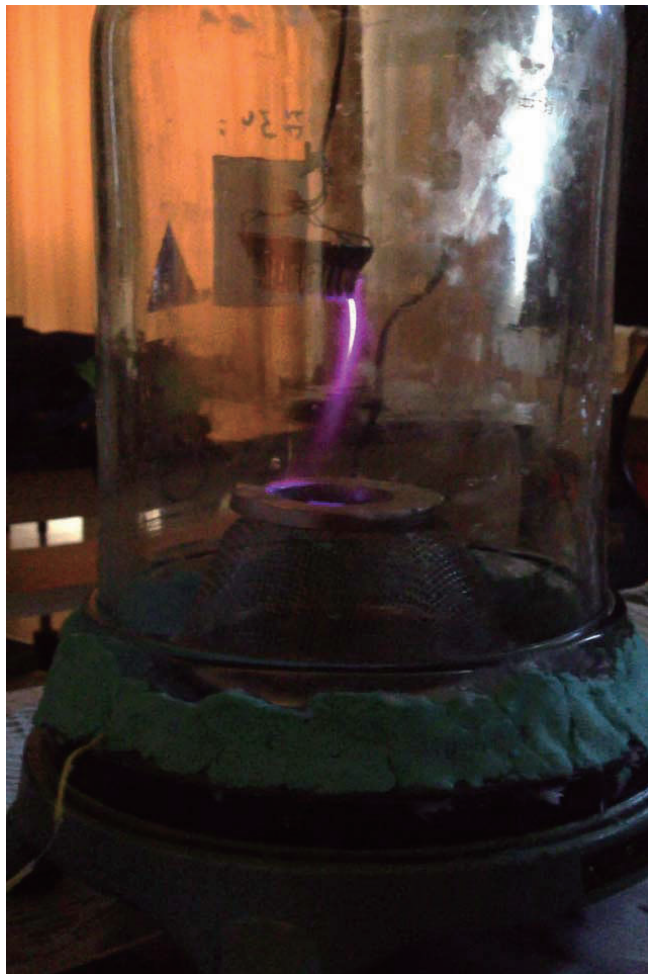
1 オーロラを作成するにあたって、その環境をできるだけ現場に近いものにする必要がある。

そこで、真空ポンプを使うことで実験機内を宇宙の真空に近づける。

2 磁石（地球）と剣山（太陽）の間に電子の流れを作る。

3 書いてある通り。

4 結果と考察



上にある画像の通り、オーロラと性質が同じものは作成することができた。

色の変化とこのプラズマをオーロラの形に近づけることが今後の課題である。

現時点では、まったく色の変化を作り出す方法はできておらず、さまざまな実験

を試みたが成功していない。

---

#### 参考文献

i 南極におけるオーロラ研究

# ボールの回転と運動

物理班 高野宏輝 桑原優太 鈴木太良 茂木次郎

ブレ球は不規則な変化をすることが知られているが、ボールがどれくらいブレるか、どのような軌道をするかといった点は未解明である。本研究では無回転ボールのうち、ブレのあるものに着目し、ボールの軌跡を解析した。オリジナルの発射装置を用いてビーチボールを発射し、ボールの軌道を正面と横から一般的なビデオカメラを用いて撮影した。さらに、動画を編集し1/15秒ごとのボールの軌跡を作成した。ボールは急に上昇したり、加速したりといった不規則な変化が見られた。今回ボールのブレ幅は測定できなかった。無回転ボールは、球速が早ければ不規則な軌道をし、遅ければ一般のボールと同じ軌道であると考えられる。ボールが不規則な軌道をする時の速さの測定を行う必要がある。

## 1 はじめに

### <動機>

2010年W杯南アフリカ大会で日本代表の本田圭佑選手の蹴った無回転フリーキックが話題になった。本田選手の放った無回転フリーキックは、回転のかかったボールとは違い、途中で軌道を変えて、まったく予想のつかない変化をして相手ゴールに突き刺さった。

そんなフリーキックを見た私たちは、無回転ボールに興味を持ち、無回転ボールはどのような軌道を描くのかという疑問と無回転ボールに生じるブレの大きさは受ける風に関係しているのかという疑問を持った。そこで私たちは無回転ボールについて調べることにした。

### <ブレ球>

打ち出されたボールは「回転するボール」と「回転しないボール(無回転ボール)」に分類することができる。さらに、無回転ボールは「ブレるボール(ブレ球)」と「ブレないボール」に分類することができる。打ち出されたボールは条件が揃うとブレ球となり、不規則な変化をする。サッカーでよく言われる「キーパー泣かせのボール」となる。

### <ボールにはたらく力>

空中に放たれたボールには、2つの力が加わる。ひとつは重力、もうひとつは気圧である。ボールが空中で曲がったり、無回転で急にブレたりすることに大きく関係しているのは、「気圧」である。ボール周辺の気圧をコントロールするカギを握っているのが「回転」である。<sup>1)</sup>



## ＜マグナス効果＞

野球やサッカーのボールを回転させると、飛んでいく方向が変化する。例えば野球のピッチャーがボールを真上から見て右に回転させれば右に（シュート）、左に回転させれば左に（スライダー）曲がり、ボールは横に変化する。また、バックスピンをかけると上向きの揚力が発生し飛距離が伸びる。さらに、ドライブをかけると下向きの揚力が発生し、落ちるボールとなる。

図1はバックスピしながら左向きに飛んでいる状況で、空気は左側からボールにあたっている。ボールの上側では、回転と流れの方向が同じなので粘性摩擦力<sup>注1)</sup>により流速は大きくなる。下側では流速は小さくなる。ベルヌーイの定理<sup>注2)</sup>から、流速の大きい上側では圧力が低く、逆に流速の小さい下側では圧力が高くなることがわかる。この圧力の差から、図1では上向きの揚力が発生する。このように、流れの中の物体が回転することによって揚力を得ることをマグナス効果という。<sup>2)</sup>

注1) 流体は自由に形を変える。速く変形させようとするとき、大きな力が必要になる。逆に、ゆっくり

変形させるときには、わずかな力で十分である。このように、変形の速さに応じて必要な力が変わる性質を粘性という。

物体の表面に沿う流れでは、物体と流体との間に粘性摩擦力という摩擦力がはたらく。

注2) 流体のエネルギー形態には、位置エネルギー、運動エネルギー、圧力のエネルギーがある。流体のエネルギー保存則をベルヌーイの定理という。

## ＜無回転ボールがブレる原理＞

ボールの両脇から後ろに空気が流れると、ボールの背後に周囲の空気を巻き込むようにして「はく離渦」が発生。この渦が不規則に向きを変えることで空気の流れが変化し、ブレが生じる。ボールスピードが早ければ早いほど渦の力は強くなり、ボールは無回転となって不規則な変化をしやすい。

ここで二つの疑問が生じた。

1. ブレ球はどのような変化をするのか?
2. ブレ球はどれくらいブレるのか?

## 2 材料と実験方法

### 〈実験〉

無回転ボールの軌道を調べるため、実験装置を用いて無回転でボールを発射し、一般的なビデオカメラで正面と横から撮影した。その後、撮影した動画を動画ソフトを用いて編集し、ボールの軌跡を解析した。

今回ボールは、風の影響を受けやすく、変化の大きいビーチボールを使用した。

また、この実験の無回転ボールの定義として、ボールが最高到達点に達するまでの間ボール回転数が1回転以内のものとする。

### ～材料～

- ・ビーチボール(直径 50cm)
- ・アメ丸管ゴム(200cm)
- ・アニマルガードネット(50cm×50cm)
- ・机(4つ)

### ～実験器具の作成方法～

- (1) 机を組み立てる。
- (2) ゴム4本をネットの4つ角につなげる。…①
- (3) ①を机にとりつける。

※図2を参照

### 3 結果

動画では正面，横からの映像のどちらも無回転でブレが生じていて，不規則な変化をしているように見えた．動画を編集し，1/15 秒ごとの静止画として切り出した画像を重ね合わせたところ，急にボールが上昇したり，加速したりといった不規則な変化が見られた．

※図 3 を参照

### 4 考察

この結果，やはり肉眼ではボールは無回転になって不規則な変化をしているように見えた．しかし，本当にこの変化は不規則なのかという新たな疑問が生まれた．これに対して私たちは，同じ条件下でボールを打ち出したら，どれも同じような変化をするのではないのかと考えた．

さらに急にボールが上昇したり，加速したりといった現象がなぜ起こるのかという疑問も生じ，この問題に関してはボール背後にできる乱流によるものだと考えられる．

以上より，今後の実験としてボールのブレと風の関係と並行して，同じ条件下で実験する方法を考え，その際にボールが不規則に変化しているかどうかを調べる．

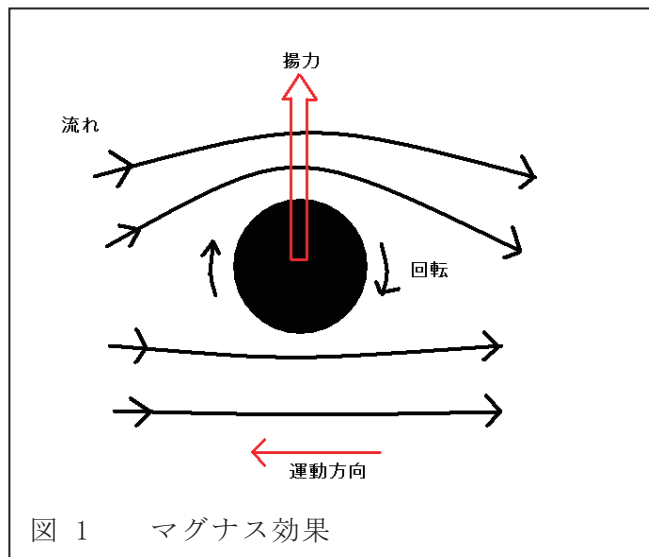
### 5 参考文献

1) VOLLEY BALL GUIDE

<http://www.volleyball.gr.jp/forkball.htm>(accessed 2012-9-18).

2) 石綿良三・根元光正，流れのふしぎ，講談社，2005 年，

p20, p105, p172-173, ISBN4-06-257452-7



# 声を創る ～正弦波合成による声の作製～

物理班 加藤 征 鈴木 健太 千葉 快紀 河合 洋弥

私たちは近年の音声工学の発展・応用に興味を持ち、音声について調べた。その中で、音声は複数の正弦波を組み合わせた合成波であることがわかり、それに着目し正弦式を用いた合成派による声の作成を行った。班員の声をマイクで録音し、“Wave Spectra”による周波数分析の結果を元に“Excel”上で正弦波を作成、それらの合成によって合成波形を得た。「あ」について7つの正弦波の合成波形を作成し、元の波形をほぼ再現できたが、音声的再現性に欠けた。合成する正弦波の数が少なかったことが原因と見られる。「あ」以外の他の母音は合成に用いる正弦波の選択が困難であり、再現には至っていない。

## I. 研究動機

私たちが普段用いている声や、耳にしている音楽は「音声」であるが、近年、この「音声」が、工業的に広く応用されている。例えば、スマートフォンに搭載されている音声認識・出力装置（音声⇔文字データ間の翻訳）(図1)。現場に残された音から、被疑者を特定する声紋解析(図2)。従来の指紋認証と同様、錠の開閉等を声紋認証によって行う声紋認証装置(図3)等が挙げられる。

このように、多様に応用される「音声」は、工業的に非常に重要な分野であると考え、「音声」についての研究を行うことに決めた。



(図1 スマートフォン)



(図2 声紋解析画面)



(図3 声紋認証装置)

## Ⅱ. 研究内容

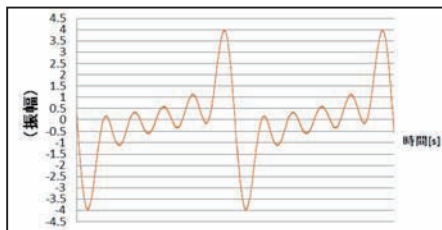
音声という分野において、疑問に思ったのは”「あ」はなぜ「あ」と聞こえるのか” ということである。例えば、日本人は英会話を学ぶ際、”Thank you.”や”How much?”の発音を、「サンキュー」や「ハウマッチ」のように日本語に置き換えて記憶しようとする。また、犬の鳴き声を「ワンワン」、更に電子音である救急車のサイレンを「ピーポー」と表現する。

これらの例に見られるように、日本人は耳に入った日本語でない音を、あたかも日本語であるかのように認識している。

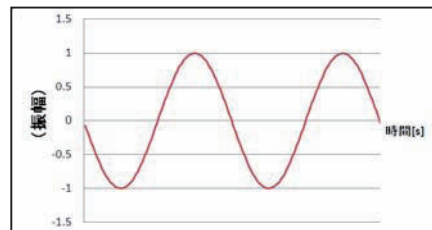
では、“日本語の音”として認識した根拠とは何なのだろうか。調べてみると、音声にはそれを構成する要素があり、脳が音を認識する際に、構成要素が似ている他の音に当てはめて“似た音”として認識しているということが分かった。

先行研究によれば、自然界に存在する、**図4**の様な複雑な波形を持った周期関数（=音）は、**図5**のような正弦波の重ね合わせによって表現できるという。この正弦波こそが音の構成要素である。

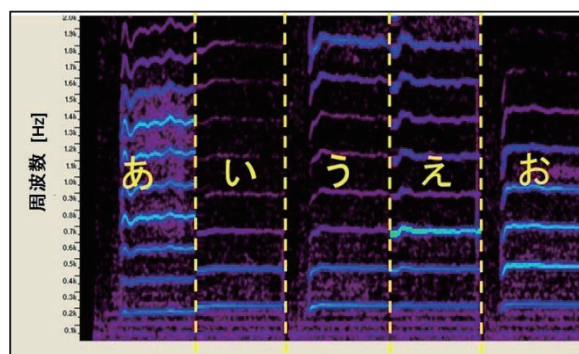
そこで、「あ」「い」「う」「え」「お」の各母音について、音声編集ソフト”Gold Wave”を用いて周波数分析を行うと**図6**のような結果が得られ、この図から「あ」や「お」といった“複雑な音”が、周期や振幅の異なる複数の正弦波によって構成されていることが分かる。



(図4 複雑な周期関数)



(図5 正弦波)



※色は音圧を表す  
(白いほど高い)

(図6 母音のスペクトログラム)

組み合わせる音の数と、それぞれの周波数、振幅を様々に変化させることで、無数の複雑な音を表現することが可能である。

これは同時に、組み合わせる音の数・周波数・振幅が分かれば、ある特定の音を再現することが可能であるということを示している。

この組み合わせは、**フーリエ級数展開（フーリエ変換）**によって求めることができる。  
 図6で示したように、「あ」のような音は複数の正弦波の重ね合わせで表現することができる。表現する音を  $f(t)$  として無限級数を用いて表すと

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ p_n \sin \left( \frac{2\pi n}{T} t - \theta_n \right) \right\}$$

これを加法定理で変形し、下式が得られる。

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{2\pi n}{T} t + b_n \sin \frac{2\pi n}{T} t \right) \quad \dots \textcircled{1}$$

この式を展開、整理すると

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos \left( \frac{2\pi n}{T} t \right) dt \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin \left( \frac{2\pi n}{T} t \right) dt \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

上3式が得られる。この3式はフーリエ級数と呼ばれる。式を見ると、表現する音  $f(t)$  の周期  $T$  が分かれば  $a_0$ 、 $a_n$ 、 $b_n$  が求まり、それらを①の式に代入することで、含まれている正弦式を算出できることが分かる。

本研究はこれらのことを用いて日本語の各音を再現する（零から作り出す）ことを目的としている。

### Ⅲ. 実験

#### 実験前準備 声の録音

(使用した器具・ソフト)

マイクロフォン, PC (Windows Vista), Gold Wave (音声処理ソフト),  
Microsoft Excel (表計算処理ソフト)

マイクロフォンを用いて, PC に班員の声を録音し (2名 / 5つの母音 / 各2秒ずつ), "Gold Wave"で展開, wave (.wav)・テキスト(.txt)の2つの形式で保存する. テキストファイルは Excel でグラフ化し, 録音波形と合成波形の比較の際に用いる. wave ファイルは実験①で使用する.

#### 実験① 母音の周波数分布の分析

(使用したソフト)

Wave Spectra (リアルタイムスペクトルアナライザ)

Ⅱで述べたように, ある特定の音を再現するためには, その音の構成要素を分析することが必要である. そこで, 録音した「あ」について, Wave Spectra を用いて分析し, 各音声に含まれる音の周波数・音圧を数値化する. 窓関数には hamming 窓を使用し, サンプリングレートを 65536 として分析を行った.

#### 実験② 合成波形の作製

(使用したソフト)

Microsoft Excel (表計算処理ソフト)

実験①で得られた周波数分布を元に, Excel を用いて合成波形を作製する. 含まれる周波数ごとに関数を作成し, それらを合成 (加算) していく. 合成は, Excel 上で関数を組み合わせ, 効率よく合成変位を求める工夫をした (図7).



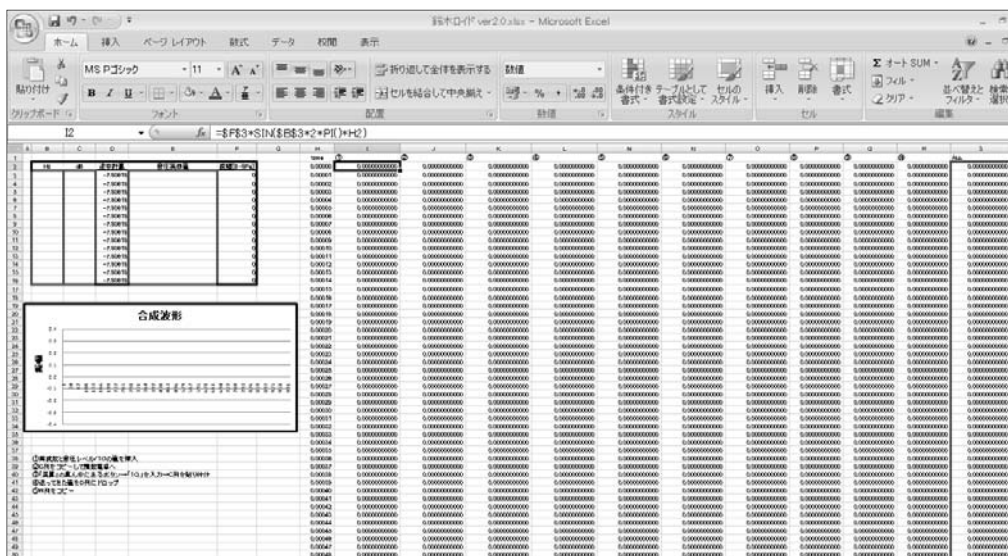
尚, "Wave Spectra"での分析によって得られる音圧レベル[dB]とは, 実効音圧[Pa] (1 周期における瞬間音圧の2乗値平均の平方根をとったもの) が基準値 (=20 $\mu$ Pa) と比較して何倍, 或いは何分の1であるかという事を, 対数 (log) を用いて表現したものであり, 関数  $y=asin(2\pi ft)$  における  $a$  (振幅[m]) に直接代入することはできない. よって, 以下の関係式を用いて変換する. 本研究では

[http://tomari.org/main/java/dentaku\\_kansuu.html](http://tomari.org/main/java/dentaku_kansuu.html) (関数電卓) を用いて計算を行った.

$$Lp = 20 \log_{10}(P/p_0) \quad \left( \begin{array}{l} Lp: \text{音圧レベル[dB]} \quad P: \text{音圧実効値[Pa]} \\ p_0: \text{標準音圧[Pa]} \quad a: \text{振幅[m]} \end{array} \right)$$

$$P = a / \sqrt{2}$$

得られた合成波形の数値を, 再びテキスト形式で出力 (この際, 先頭に[ASCII 44100Hz, Channels: 2, Samples: 44460, Flags: 0] を添付する ※Samples の値は調整可能) し, "Gold Wave"で展開, 再度音声化する.

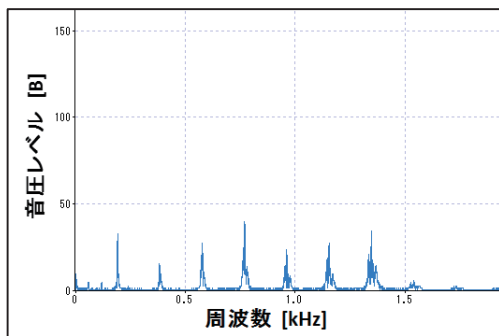


(図7 合成途中の Excel 画面)

左上の表の赤枠内に数値を打ち込むことで, H~R のセルで計算を行い (H 列に時間を取り, I~R 列で各正弦波の変位を計算する), 合成波形の変位が右端の S 列に表示されるように関数を設定した.

## IV. 結果

図8は、実験②で得られた周波数分布を表す。



(図8「あ」の周波数分布)

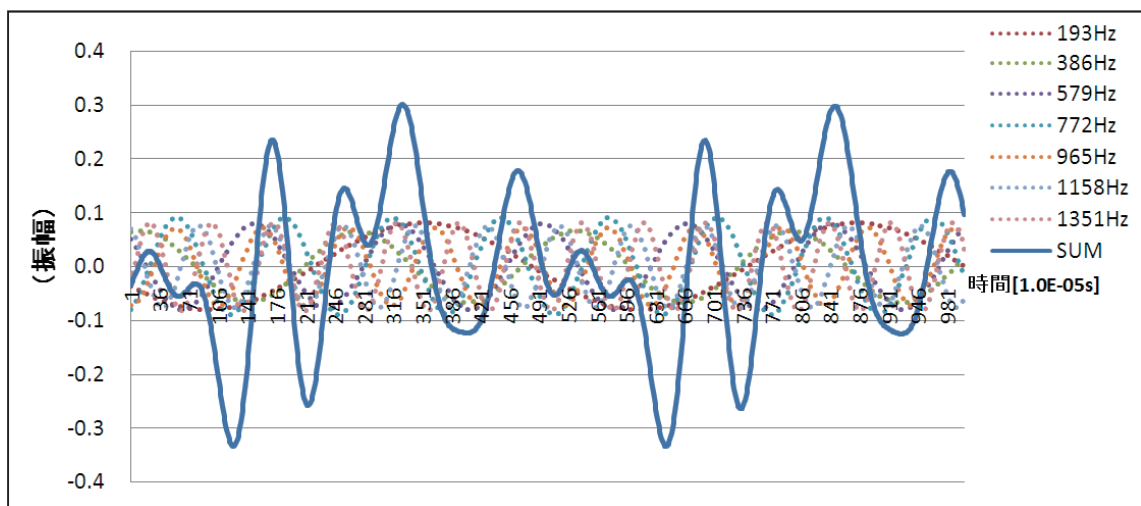
周波数 [Hz]	音圧 [dB]	音圧実効値 [1.0E-08Pa]	音圧振幅 [1.0E-08Pa]
192.6	3.264	2.275	3.218
383.8	1.589	1.876	2.653
579	2.935	2.241	3.169
771.5	4.243	2.547	3.602
962.9	2.266	2.028	2.868
1155.5	2.73	2.139	3.024
1350.3	3.419	2.316	3.276

(図9)

IIで示した図6同様、複数の違った高さの音が、それぞれ異なる大ききさで含まれていることが読み取れる。尚、ベル[B]とはデシベル[dB]の10倍を表す単位である。(B=10dB)

図8における山の頂点の数値を読み取り、表にまとめたのが図9である。

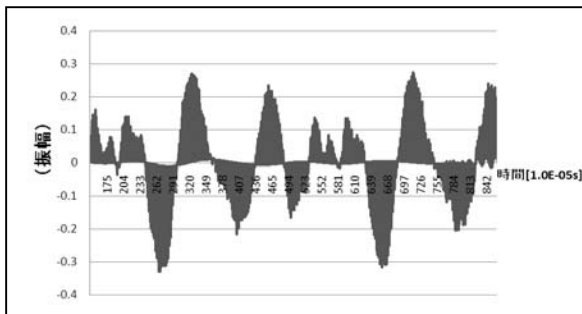
そして、実験③によって完成した合成波形が図10である。



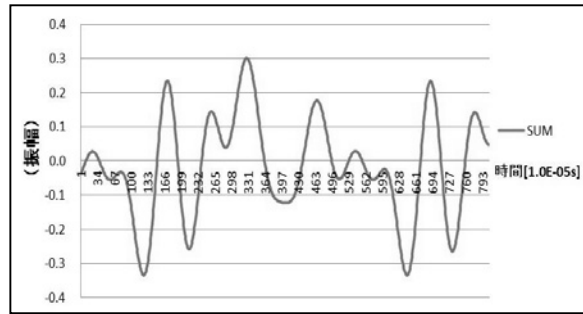
(図10「あ」の合成波形)

点線は、合成に用いた7つの正弦波をグラフ化したものである。

これを図11の録音波形と比較すると、似ている点が多く存在していること分かる。



(図11 「あ」の録音波形)



(図12 「あ」の合成波形)

しかし、完成した合成波形を”Gold Wave”を用いて聴いたところ、「あ」とは聞こえたものの、電子的な音の要素が残っており、録音音声に近い「あ」とは聴こえなかった。

## V. 考察

録音した音声を分析し、近い波形を作ることができたが、音声として再生すると再現性が低いことが分かった。フーリエ級数展開において、複雑な関数は正弦波の「無限の和」と定義されるので、今回の実験で用いた7波合成では不十分であったと考えられる。合成に用いる単純な音の数を増やして再実験したい。

また、実験②において、含まれる単純な音は、最も周波数の低い音の整数倍の周波数を持った音であることが確認できた。これについては、理由を調べてみたい。

今後は、残りの母音についても分析を行い、今回用いた方法で再現が可能かどうかを調べたい。もし、他の母音でも再現可能なことが確認できた場合は、子音（「k」+「あ」）の再現にも挑戦したい。

## VI. 参考文献

「音の波と三角関数」 小林 亮（広島大学大学院理学研究科）

「コンピュータで『あ』を表現することは可能か」（京都市立堀川高等学校自然探求科）

「合成音への表現力付与のための擦弦楽器の発想伝達関数の推定」 小泉 悠馬（法政大学情報科学部）

「微分・積分法的应用」 狩野 覚（法政大学情報科学部）

「フーリエ級数（ワークブック本文）」（高知工科大学）

「音の音色の違いについて」 工藤 香菜（仙台第三高校）

# 蜃気楼の発生

物理班 佐藤要人 八野田 将吾 米内山 宙 渡邊康平

蜃気楼を肉眼で観測するために、光の屈折、及び発生装置作成に着目した。砂糖水を用いた光の屈折の実験とその解析、大気を用いた蜃気楼の作成及び観測を行った。

砂糖水を用いて、一般の水との濃度差を作り出し、それに光線を照射することで、観測を行った。

電熱線を用いて大気温度差を作成し、それにより発生した蜃気楼を観測した。

砂糖水を用いた実験では、砂糖水の濃度を大きくするにつれて、屈折率が上昇するのが確認された。大気を用いた実験では、温度差の発生が小さく、望むレベルの蜃気楼の発生に至らなかった。

砂糖水を用いた実験で屈折率が上昇したのは、砂糖水と一般の水の濃度差が増加したためと考えられる。大気を用いた実験で失敗したのは、温度上昇及び低下がうまくなされなかったためと考えられる。

## 1 はじめに

### 蜃気楼とは

蜃気楼とは、密度の異なる大気の中で光が屈折し、地上や水上の物体が浮き上がって見えたり、逆さまに見えたりする現象である。光は通常直進するが、密度の異なる空気があるとより密度の高い冷たい空気の方へ進む性質があるため、蜃気楼が発生する。また、蜃気楼は三つの種類がある。

### 上位蜃気楼

今回の蜃気楼研究について、注目している現象である。この蜃気楼は、温度の低い海面などによって下方の空気が冷やされ密度が高くなると、元となる物体の上方に蜃気楼が出現する。水平線（地平線）の下に隠れて見えない風景や船などが見える場合があり、通常ニュースなどで取り上げられている蜃気楼のほとんどは、この上位蜃気楼を意味することが多い。

## 下位蜃気楼

最も一般的に目にする機会の多い蜃気楼。アスファルトや砂地などの熱い地面や海面に接した空気が熱せられ、下方の空気の密度が低くなった場合に、物体の下方に蜃気楼が出現する。

## 側方蜃気楼

物体の側方に蜃気楼が出現する。報告が最も少なく、極めてまれな現象であると言える。スイスのジュネーブ湖で目撃されたという報告がある。

## 2 実験1（砂糖水による実験）

### 材料と方法1

この実験は、砂糖を溶かした水溶液と一般の水道水との液中の密度差を用いて、光の屈折を起こして観測する実験である。

まず、はじめに水槽に水道水を 1/3 ほどためて安定させる。そうしたら、水道水と砂糖を計量して、一程度の濃度をもつ砂糖水をかき混ぜ棒を用いて作成する。漏斗にゴム管を取り付け、安定させた水槽の中に、波を立てないようにして、ゴム管の先を水槽の底まで入れる。その際、漏斗は水面より上に出しておく。漏斗に作成した砂糖水を静かに注ぎ込み、下方に砂糖水、上方に水道水という二つの層を作る。注ぎ終わったら、ゴム管をゆっくりと波を立てずに取り出す。これで、水溶液を用いた観測装置が完成する。この実験中は水溶液をかき混ぜたり、波を立てたりしてはいけない。二つの層が混ざり合ってしまう、実験が成り立たなくなってしまうためである。

完成した装置に、片方の側面から光源装置を照射させる。そのとき、二つの層によって

光源の屈折が起こるのを観測および撮影する。

また、片方の側面に観測物を置き、その逆側から観測物を観測および撮影する。

私たちは、10、20、30、40、50、60%の濃度をもつ砂糖水と水道水の濃度差による現象を観測した

## 結果 1

砂糖水の 20～50%の濃度の中では濃度が高ければ高いほど屈折の大きさが大きくなる。

(写真 1) また、砂糖水を通して物体を見ると (写真 2) のようになる。(下の層が砂糖水の層で上の層が水)

## 考察 1

砂糖水の濃度が高いと水との密度差が大きくなるため光の屈折率が大きくなったと考えられる。(図 1)

## 3 実験 2 (空気の温度差による実験①)

### 材料と方法 2

この実験は、上方に温めた空気、下方に冷やした空気という空気による密度差を作成し、観測する実験である。

木材で 3000×500×300mm のサイズで木枠を作成し、装置の上方と下方に 30cm ほど間隔をあけてアルミ板をつける。その上方のアルミ板の上に、ビニールテープで巻いて絶縁したニクロム線を張って 1.5V の 3A を流す。装置の上方のアルミ板を温めることで、空気層を作るようにした。(写真 3)

## 結果 2

十分に温めることができず，空気層を作ることができなかった．

蜃気楼ができなかった．

## 考察 2

放熱が大きかった．

ニクロム線が細く，発熱量が少なかった．

## 4 実験 3（空気の温度差による実験②）

### 材料と方法 3

実験 2 で用いた装置の上方アルミ板の下にニクロム線を 6 本張る．それでできた装置のさらに外側を石膏板や断熱材，木材，段ボールを用いて覆う．そうすることで断熱することができ，放熱を防げる．その後，ニクロム線にワニ口クリップや導線を用いて 6 つの電源装置につなぐ．こうすることで装置が完成する．（写真 4）

私たちはこのようにして実験をした．1.5V の 3A を 30 分以上流して装置内の上方の空気を温め，外気を入れるなどして下方の空気を冷やす．そうすることで，空気の密度差が発生し，蜃気楼が発生する．

### 結果 3

ニクロム線の周りの像で蜃気楼が見えた．（写真 5）

温度差が 40 度ぐらいしかできなかった．

\*（写真 6）は蜃気楼なしの写真．



### 考察3

アルミ板の長さそのものが短かった.

ニクロム線が細く，発熱量が少なかった.

放熱をうまく防げなかった.

電圧が弱かった.

## 5 まとめ

蜃気楼を作るにはより大きな温度差が必要であり，アルミ板の長さが必要であることがわかった．今後の実験では，アルミ板の長さを変えることはできないので，ニクロム線が発熱した熱をいかに耐熱するかを考えるべきである．

## 5 参考文献

1) 蜃気楼実験装置

[http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/rik\\_034.pdf](http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/rik_034.pdf)

2) 蜃気楼とは？

<http://www.biwa.ne.jp/~t-ban/sinkiroutowa.htm>

写真1

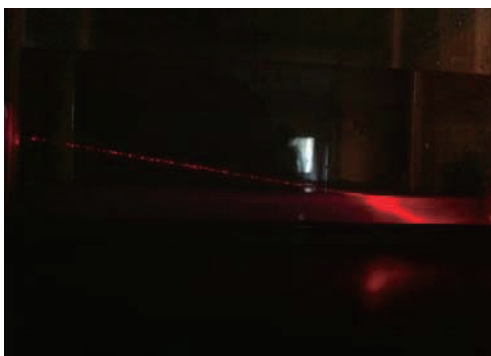


写真2



写真3



写真4



写真5



写真6



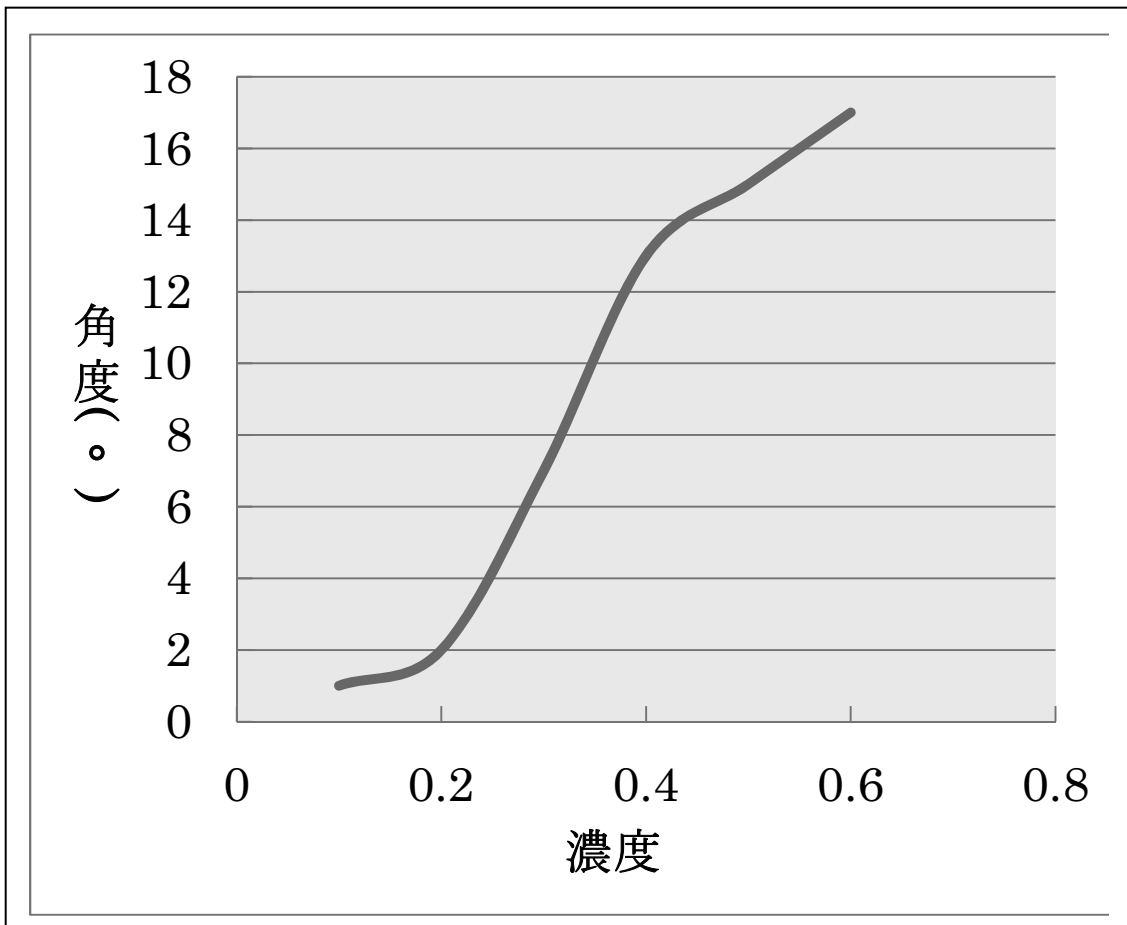


図 1

# 最強のかつ丼を作る

化学班 遠藤敬太 村松希信 渡辺謙太 佐々木滉平

アミノ酸を用いて普段私達が食べているものをおいしくするために、旨味成分をもっているアミノ酸がおいしく感じる条件に着目し、官能実験により味覚の強さを数値化することで研究を行った。今回実験で使う、旨味成分を持つグルタミン酸ナトリウムは市販のものを用いた。官能実験に協力していただいた人 20 人は 2 学年理数科より無作為に選出した。

グルタミン酸ナトリウムが一番おいしく感じられる温度は  $53^{\circ}\text{C}$ 、カツ  $1\text{ cm}^3$ あたりの量は  $0.00375\text{g/cm}^3$ だった。カツを  $53^{\circ}\text{C}$ 、体積に対して  $0.00375\text{g/cm}^3$ グルタミン酸ナトリウムをかければ、アミノ酸によって一番おいしく感じられることがわかった。

## <序論>

人間には、「甘味」「酸味」「苦味」「塩味」「旨味」の5種類の味覚がある。私たちはその中で「旨味」に注目し、普段食べているものをもっとおいしく感じられないかということ考えた。

「おいしい、うまい」と感じる条件は、先行実験や論文によると、アミノ酸が関係していると言われている。アミノ酸というのは分子内にアミノ基 $\text{-NH}_2$ をもつカルボン酸のことである。アミノ酸にもいろいろ種類があり、身体を構成する必須アミノ酸、「おいしい、うまい」と感じる旨味成分があるアミノ酸などがある。よって、旨味成分が多い食べ物を食べることが、より「おいしい、うまい」と感じる条件である。その情報を基にアミノ酸を用いたらもっとおいしく感じるのではないかと考えた。

そこで、私たちは大豆や小麦に多く含まれ、日本食のだしとして使われているグルタミン酸ナトリウム（味の素）を用いて、旨味やおいしさについて研究を進めることにした。

研究の目的を達成し実際に利用できるよう、比較的価格が安く手に入りやすい、高校生が大好きな豚カツを用いて実験を行い、みんな大好き大人気の仙台三高の学食のカツ丼にこの研究結果を応用し、よりおいしいカツ丼をみんなにも食べてもらうという目標をたてた。

## <実験>

### 実験 1

目的 最も強く旨味を感じる温度を調べる

材料 水 グルタミン酸ナトリウム（味の素）

器具 メスフラスコ 電子天秤 プラスチックのコップ ガスバーナー

方法 0℃, 25℃, 50℃, 75℃のグルタミン酸ナトリウム水溶液 0.01mol/L を用意する. それぞれを少量口に含んで味を確認した後吐き出し, 甘味・酸味・苦味・塩味・旨味の 5 項目をどれだけ強く感じたか, それぞれ 6 段階(0~5)で評価する (その基準については実験 1 の最後にまとめた). 後に影響させないために, 吐き出した後に水でうがいをする. 20 人に試してもらった.

#### 結果・考察

各項目の評価を平均したものを図 1 に示した.

旨味が一番強く感じられたのは 50℃であり, 苦味は 25℃と 75℃があまり感じられず, 0℃が最も強く感じた.

#### 6 段階評価

0 全く感じない

3 適度に強く感じる

1 わずかに感じる

4 強く感じる

2 少し感じる

5 極めて強く感じる

#### 実験 2

目的 よりよく感じられる“濃度”を見つける

材料 水 グルタミン酸ナトリウム

器具 メスフラスコ 電子天秤 プラスチックのコップ

方法 常温の 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10mol/L グルタミン酸ナトリウム水溶液を用意し, 実験 1 と同様に官能実験を行う. 20 人に調査に協力してもらった.

#### 結果・考察

各項目の評価を平均したものを図 2 に示した.

0.10mol/L のとき, 旨味, 塩味が一番強く感じられた, すべての濃度において甘味は感じられなかった. 酸味は 0.040mol/L が強く感じられた. 実験 1 の様な顕著な差は現れなかった. よって個人差が大きいことも分かった.

試飲者からは 0.10mol/L の濃い溶液だと旨味は強いが不快感がある, 0.10mol/L より薄い溶液はほとんど味を感じないという意見もあった.

### 実験 3

目的 カツを用いて旨味を最も感じる温度を見つける

材料 カツ（三高の学食で実際に使われているもの） グルタミン酸ナトリウム

器具 電子レンジ 電子天秤 電子温度計

方法 グルタミン酸ナトリウム 0.05g をつけた学食のカツ（ $2 \times 2 \times 2$ ） $\text{cm}^3$ を用意。それぞれ電子レンジで熱し、温度計で測りながら  $47^\circ\text{C}$ 、 $50^\circ\text{C}$ 、 $53^\circ\text{C}$ 、 $56^\circ\text{C}$ としたものを実際に食べ、それを実験 1, 2 のように各項目について 6 段階で評価する。

### 結果・考察

各項目の評価を平均したものを図 3 に示した。

旨味が一番強く感じられたのは  $53^\circ\text{C}$ であった。また、 $53^\circ\text{C}$ は甘味・塩味・酸味もバランスよく強く感じられた。また、 $53^\circ\text{C}$ と  $56^\circ\text{C}$ の旨味の値は僅差であった。

グラフには示していないが、温度が  $20^\circ\text{C}$ のときと  $70^\circ\text{C}$ のときのカツの食感も違った。 $20^\circ\text{C}$ のときは、カツが固くあまりグルタミン酸ナトリウムの旨味を感じなかった。

### 実験 4

目的 実験 2, 3 の結果より、カツを用いて旨味を最も強く感じるグルタミン酸ナトリウムの質量を調べる

材料 カツ（三高の学食で実際に使われているもの） グルタミン酸ナトリウム

器具 電子レンジ 電子天秤 電子温度計

方法 食堂のカツ（ $2 \times 2 \times 2$ ） $\text{cm}^3$ を用意し、グルタミン酸ナトリウム 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09g をカツにつけ、それぞれ電子レンジで熱し、温度計で測りながら、実験 3 の結果を参考して、カツを  $53^\circ\text{C}$ まで冷やしてそれを食し、それを実験 1~3 のように各項目について 6 段階で評価する。

### 結果

各項目の評価を平均したものを図 4 に示した。（図 4 のグラフの横のメモリの値はグラムから体積で割り、密度の値でグラフにした）

旨味が一番強く感じたのは図より、 $0.00375\text{g}/\text{cm}^3$ （グルタミン酸ナトリウム  $0.03\text{g}$  相当）である。また、グルタミン酸ナトリウムが  $0.03\text{g}$  より少ないと全体的に味をあまり感じられなかった。 $0.03\text{g}$  より多いとあまり旨味が感じなかった。 $0.00875\text{g}/\text{cm}^3$ （グルタミン酸ナトリウム  $0.07\text{g}$  相当）のときは、塩味、酸味が一番強く感じ、また甘味も一番弱く感じた。全体を通して苦味は感じられなかった。

グラフには示していないが、グルタミン酸ナトリウムを多くかけたほうがおいしく感じる、あまり多くかけないほうがおいしく感じると意見が分かれた。また、苦味、酸味、塩味、甘味の感じ方が人それぞれ違った。

### <まとめ>

実食してみて、普段食べている温度が一番おいしく感じた。熱すぎず、冷たすぎないのが一番おいしいことが分かった。旨味成分であるアミノ酸は  $50^\circ\text{C}$  周辺がよく作用するのではないかと考えた。

実験 1~4 を通して、グラフに顕著なデータは表れなかった。それは、人が感じる味覚には個人差があることを示している。普段食べているものの違いが影響するのではないかと考えられる。

### <今後の課題>

カツがよりおいしく感じられるグルタミン酸ナトリウムの質量、温度をより正確に測定する。人の味覚には個人差があるが、一定の傾向があることが分かったが、まだ、調査した人数が少なく、データの信頼性が乏しいため、さらに調査が必要である。

さらに、この研究成果を応用して生かせるように、研究のデータをより確かなものにしたい。

### <参考文献>

「アミノ酸の呈味に関する研究」 二宮恒彦（味の素 KK 中央研究所）  
高等学校化学Ⅱ改訂版 斎藤烈 山本隆一編  
味を決めるアミノ酸 河合 美佐  
グラフについて（グラフの下に図の番号を記している）

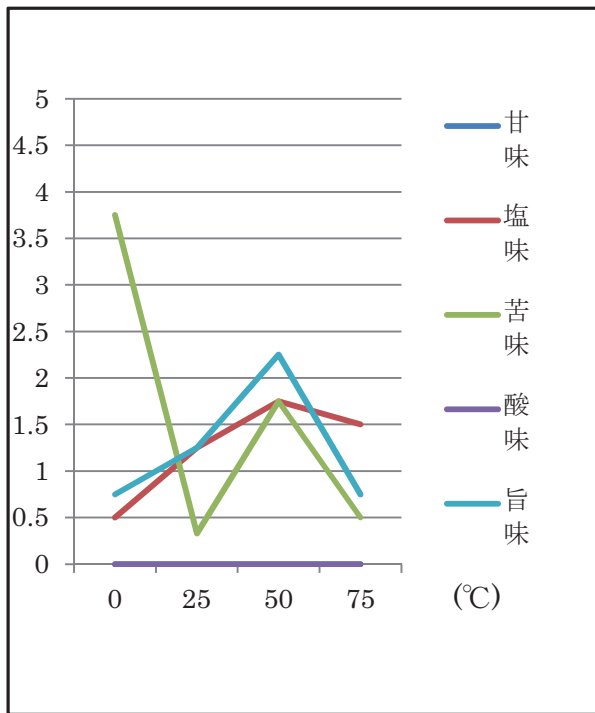


图 1

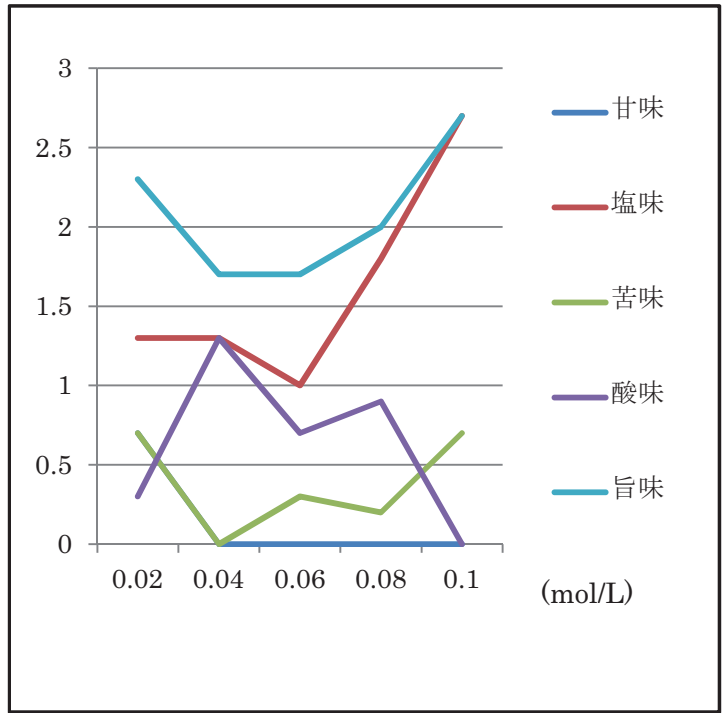


图 2

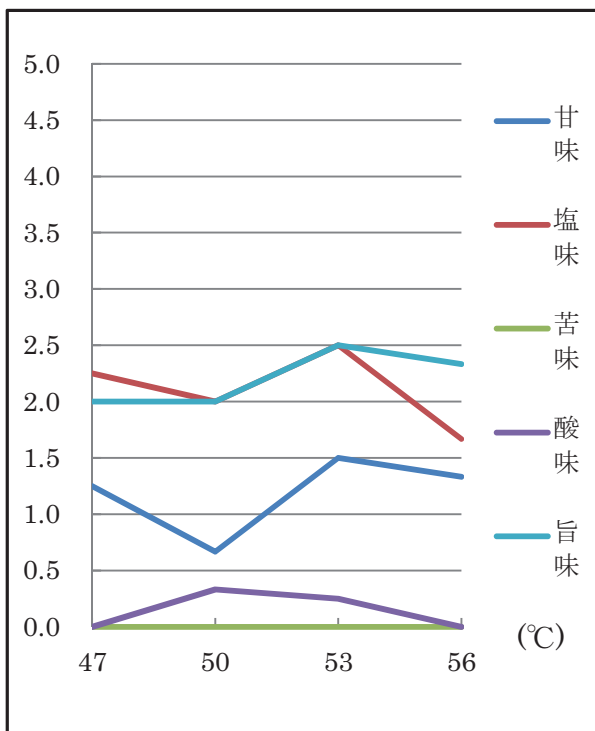


图 3

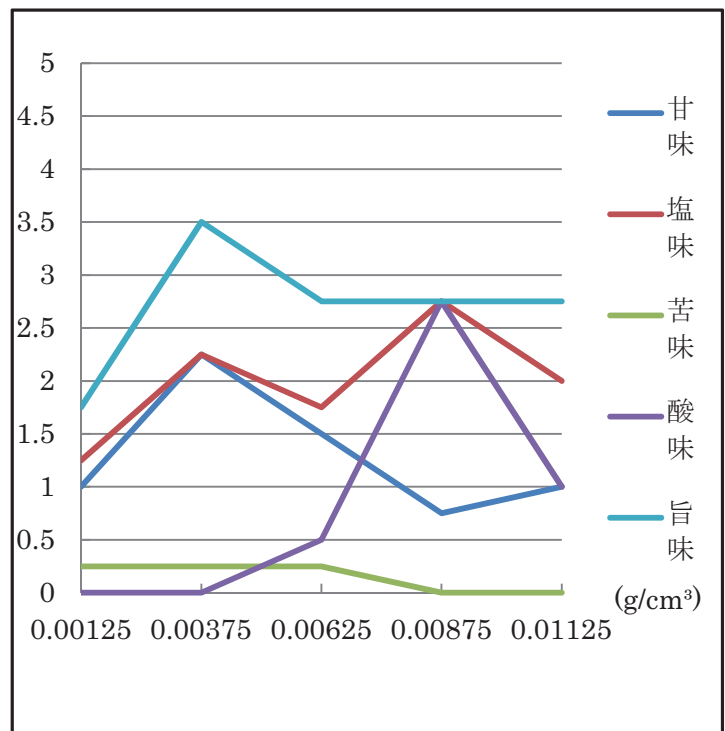


图 4



# 天然染料による金属イオン検出試験紙作製

化学班 佐藤柚香 菅原悠香 寺島柚葉 若井理紗 工藤香菜

人間に害のある金属イオンを検出するために、草木染めに着目し、性能のよい金属イオン検出試験紙の作製を行った。染料は玉ねぎ・マリーゴールドを用いた。金属イオンの検出限度をあげるために、色素の単離とPHの測定を行った。試験紙作製には草木染めを応用した。色素を単離して得られた物質で作製した試験紙のほうが、染料から直接作製したものより検出限度が大幅に上がり水質基準値に迫るものもあった。そのため、前者の方がより検出試験紙として有効であると考えられる。

## 1 はじめに

私たちの身の回りに存在している金属イオンは人間の体に悪影響を及ぼすものもある。しかし、金属イオンは目に見えない状態で液体中に存在していて、検出には高度な機械を用いるため、私たちは金属イオンの存在を確かめることはできない。そこで、私たちはそのような問題を解消するため多くの人が利用できるように、簡単にかつ安価に水中の金属イオンを検出する方法を考えた。それが「草木染め」を利用した試験紙の作製である。草木染めとは植物の色素の性質を利用して布などを染める方法である。植物を染料で煮て色素を抽出し、そこに染めたい布を入れて染色する。この段階では色が落ちやすいため、その際にさらにその布を、金属イオン水溶液につけて色を定着させるのである。この、布を金属イオン水溶液につける作業を媒染という。媒染をすると植物の色素と金属イオンが反応し、もとの色素とは違う色になる。また、その染料となる色素の共通点としてそれらがポリフェノールであることがわかっている。そして染色液には玉ねぎの外皮が利用される。玉ねぎの外皮にもまたポリフェノールが含まれており、そのフラボノイド色素の一種であるケルセチンによって発色が起こっているのだ。<sup>\*1</sup> これらを利用し、草木染めに使う布をろ紙に変えて、試験紙を作製した。また、阿部・倉井の研究により染料は玉ねぎの外皮とマリーゴールドが適しており、それらの試験紙の検出限度は  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  の金属イオンにおいて、いずれも  $0.001\text{mol/L}$  であることが分かっている。<sup>\*2</sup>

## 2 目的

安全な水かどうか判断する基準は厚生労働省の水質基準項目、水質管理目標設定項目、要検討項目に設定されている。その基準値を測定できるほどの性能をもった、安価で簡単に作れる金属イオン検出試験紙を作製することを本研究の目的とした。

本研究では、主に鉛イオン、アルミニウムイオン、銅イオン、鉄イオンについて検討することとする。これらの金属イオンに関する基準値は以下の通りである。

項目	基準値	項目	基準値
鉛及びその化合物	鉛の量に関して 0.01mg/L以下	銅及びその化合物	銅の量に関して 1.0mg/L以下
アルミニウム及び その化合物	アルミニウムの量に関 0.2mg/L以下	鉄及びその化合物	鉄の量に関して 0.3mg/L以下

Fig.1 水質基準項目と基準値

### 3 金属イオンの検出限度の詳細測定

阿部・倉井の研究では、玉ねぎの試験紙が 0.001mol/L で検出可能、0.0001mol/L で検出不可能であることが分かっている。そこで 0.001~0.0001mol/L の間で検出限度の測定を行った。

<実験材料・実験器具>

- ・100mL メスフラスコ      ・駒込ピペット      ・製作した金属イオン検出試験紙
- ・金属イオン水溶液(酢酸鉛(Ⅱ)・酢酸銅(Ⅱ)・酢酸アルミニウム・塩化鉄(Ⅲ))      ・蒸留水

<実験方法>

- ① メスフラスコとピペットを使い 0.0001mol/L~0.001mol/L まで、0.0001 きざみで異なる濃度の金属イオン水溶液を作る。
- ② それぞれ金属イオン水溶液をマリーゴールド試験紙につけ、3分以上置く。
- ③ 金属イオンにつけた時の色と蒸留水につけた時の色の差を観察する。

<結果・考察>

検出限度

金属イオンにつけた時と蒸留水につけた時の色の差がなくなった場合を検出できないとした。

鉛イオン (Pb<sup>2+</sup>)    0.0006mol/L    銅イオン (Cu<sup>2+</sup>)    0.0001mol/L

鉄イオン (Fe<sup>3+</sup>)    0.0001mol/L    酢酸アルミニウム (Al<sup>3+</sup>)    0.0007mol/L

この実験結果から以前の玉ねぎの試験紙の研究結果よりもマリーゴールドの試験紙のほうが検出限度の値が大きくなり、試験紙の染料としてマリーゴールドが適していることがわかる。

また、検出限度より Al<sup>3+</sup>と Pb<sup>2+</sup>に比べて Cu<sup>2+</sup>と Fe<sup>3+</sup>のほうが検出しやすいことがわかる。

## 4 適切な染料の模索

確認済みの33種類の染料\*3以外を用いて、より適切な染料を探した。

<方法>

染料として使用したものを使って検出試験紙を作り（玉ねぎ・マリーゴールド試験紙同様）、 $Fe^{3+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Al^{3+}$ 、 $Pb^{2+}$ の検出を行った。

<結果>

染料として、ローズマリー、ディル、スイートバジル、大葉、ピンクのバラ、紫キャベツ、アジサイ、ヒマワリを使用した。4種類すべての金属イオン(0.1mol/L)を検出した染料は、バラ、紫キャベツ、アジサイ、ヒマワリだった。

ここで、ヒマワリは、適切染料であるマリーゴールドと同じキク科であり、金属イオンの反応がよいため、検出限度を調べた。（写真1）

	$Fe^{3+}$	$Cu^{2+}$	$Al^{3+}$	$Pb^{2+}$
0.01mol/L	薄い黒	橙	黄	橙
0.001mol/L	薄い黒	薄い橙	薄い黄	薄い橙
0.0001mol/L	変色なし	薄い橙	変色なし	変色なし

Fig. 2 ヒマワリ試験紙による実験結果

さらに、マリーゴールド、ヒマワリを染料とした試験紙による金属イオンの反応が良いため、キク科の植物が適切染料であると考え、キクの花を染料として金属イオンを検出した。

	$Fe^{3+}$	$Cu^{2+}$	$Al^{3+}$	$Pb^{2+}$
0.1mol/L	黒	黄緑	黄	黄
0.01mol/L	黒	黄	薄い黄	薄い黄
0.001mol/L	黒	薄い黄	薄い黄	薄い黄
0.0001mol/L	変色なし	変色なし	変色なし	変色なし

Fig. 3 キク試験紙による実験結果

また、キク科が染料として適切であり、それらにはクロロゲン酸が含まれていることから、クロロゲン酸を含む染料を調べてみた。ここでは、コーヒー豆を染料とした。

<コーヒー豆を使った試験紙>

$Fe^{3+}$  (0.1mol/L) は黒色になり検出できたが、それ以外は検出できなかった。

### <考察>

ヒマワリ、キクの花を染料とした試験紙での金属イオンの検出限度が0.001mol/Lまで検出することができた。また、ヒマワリ、キクの花はマリーゴールドと同じキク科であることから、キク科の植物が適切染料であると考えられる。

クロロゲン酸に関しては、コーヒー豆試験紙では $Al^{3+}$ 、 $Pb^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ が検出することができなかった。そのため、クロロゲン酸は適切染料に関与していないことがわかった。

## 5 検出できる金属イオンの模索

$Al^{3+}$ 、 $Fe^{3+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$ 以外で、玉ねぎ試験紙とマリーゴールド試験紙で検出できる金属イオンを調べる。

この実験で用いた金属イオンには、厚生労働省が水道水検査に関して定めている水質基準項目、水質管理目標設定項目、要検討項目に含まれている金属イオン\*4の一部を用いた。

### <方法>

各金属イオン水溶液( $Zn^{2+}$ 、 $Co^{2+}$ 、 $Na^{+}$ 、 $Ag^{+}$ 、 $Ba^{2+}$ 、 $K^{+}$ 、 $Cr^{3+}$ 、 $Sn^{4+}$ 、 $Li^{+}$ 、 $Ca^{2+}$ )に金属イオン検出試験紙を浸し、色の変化を見る。0.1mol/Lの濃度で検出できたものは、検出限度を調べた。

### <結果>

染料	$Zn^{2+}$	$Co^{2+}$	$Na^{+}$	$Ag^{+}$
マリーゴールド	0.1mol/L	0.05mol/L	0.05mol/L	0.01mol/L
玉ねぎ	0.1mol/L	検出不可	0.05mol/L	0.01mol/L

Fig4. さまざまな金属イオンの検出限度

$Ba^{2+}$ 、 $K^{+}$ 、 $Cr^{3+}$ 、 $Sn^{4+}$ 、 $Li^{+}$ 、 $Ca^{2+}$ では0.1mol/Lの濃度で検出できなかった。

### <考察>

検出できる金属イオンは $Al^{3+}$ 、 $Fe^{3+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$ 以外でもあることが分かったが、前記の4種類の方がより検出限度は高かった。また、 $Ag^{+}$ に関しては時間がたってから検出試験紙が黒く変色した。これは銀の感光性によるものもあるが、ろ紙に金属イオンをつけたときは変色がわずかだったため、検出試験紙に染み込んだ染料の色素との反応によって変色したとも考えられる。

## 6 染色液の pH の適正值

検出限度を上げるため試験紙作製方法において染色液の pH を変化させることにした。

<実験>

- ① 染料とする玉ねぎの外皮を蒸留水で煮出す。
- ② 色が出た玉ねぎ溶液を試験管にとり分け、アンモニア、酢酸で pH2~11 の玉ねぎ溶液を作製。  
金属イオンとの反応を調べる。
- ③ 10 種類の玉ねぎ溶液と細長く切ったろ紙をシャーレに入れ、ラップをかけて一週間放置。
- ④ 一週間後、放置したろ紙を乾燥させ、試験紙完成。金属イオンとの反応を調べる。

<結果>

pH5~6 の染色液で作った試験紙が色が濃く反応した。また、②の段階で染色液と金属イオン水溶液と反応させると、アンモニアで pH を変化させた pH7~11 の溶液には、沈殿物が多くみられた。

(写真 2)

<考察>

試験紙作製の段階では pH5~6 の染色液を使うことが適していると分かったが、実際に金属イオンを検出する際に酸性、塩基性の液体を対象とした場合、試験紙の反応が乏しくなってしまうことが予想される。また、②の段階で見られた沈殿物は、おそらく水溶液中の金属イオンの化合物であると考えられる。

## 7 色素の単離と利用

今回は反応がよかった玉ねぎの外皮とマリーゴールドに含まれる色素(ケルセチン, ケルセタゲチン)の単離を行い、試験紙を作製した。また、単離作業は先行研究をもとにして行った。<sup>\*5</sup>

<実験 I ケルセチンの単離の方法> (写真 3)

- ① 玉ねぎの外皮 20 g をビーカーにとり、水 0.8L を加えてかき混ぜながら 10 分間煮沸する。
- ② 溶液を常温になるまで流水で冷やしてガーゼでこし、別のビーカーにとる。
- ③ 冷えた溶液に飽和食塩水 60mL を加えて分液漏斗で何回かに分け適量のエーテルで抽出する。
- ④ エーテル溶液を 200mL ビーカーにとり無水硫酸ナトリウム 20 g を加えよく振り乾燥させる。

⑤ 硫酸ナトリウムをろ別してエーテル溶液をナス型フラスコに移し、ロータリーエバポレーターでエーテルを留去し、黄褐色の物質を得た。

#### <実験Ⅱ ケルセタゲチンの単離方法>

- ① マリーゴールドの花びら 100g(冷凍)をビーカーにとり、水 800mL を加えて 10 分間煮沸する。
- ② 煮出した液を常温になるまで冷やし、ガーゼでこし、別のビーカーにとる。
- ③ 冷えた溶液に飽和食塩水を加えて分液漏斗で何回かにわけて適量のエーテルで抽出する。
- ④ エーテル溶液を三角フラスコにとり無水硫酸ナトリウム 20g を加えてよく振り、ドラフト内で揮発させ、黄色の物質を得た。

#### <実験Ⅰ・実験Ⅱの結果と考察>

前実験で得た物質を削り取ったところ、粉状の物質を得ることができた。ケルセチン、ケルセタゲチンはともに黄色系の色素であり、今回得ることのできた物質もまた黄色系であった。このことからこの物質はケルセチン、ケルセタゲチンである可能性が高いと考えられる。

#### <実験Ⅲ ケルセチン、ケルセタゲチンを利用した検出試験紙作製方法>

実験Ⅰで得ることのできた物質をケルセチンであると仮定して、検出試験紙を作製した。またこのときの試験紙の pH は上記の研究結果\*6 から 5 とした。

- ① 100mL ビーカーに水 40mL (15mL) をとり、そこにケルセチン 0.8g (ケルセタゲチン 0.03g) を加えろ紙を入れる。
- ② ①のビーカーをかき混ぜながら 15 分間 (5 分間) 煮沸する。
- ③ ろ紙を取り出し乾燥させる。

\*水とケルセチンの比率は任意である。

\* ( ) 内の数値はケルセタゲチンの場合の量とする。

また、この試験紙で 4 種の金属イオンにおける検出限度も調べた。(写真 4 ケルセチン, 写真 5 ケルセタゲチン)

#### <実験Ⅲの結果と考察>

染料を煮て得た染色液で作製した試験紙と比べ、測定結果の数値的にみて、検出限度が色素を用いて染色した試験紙の方がより性能が良くなっていることが分かる。(Fig. 5) また、この結果の

値をもとに単位の変換を行って上記の水質基準値と比較した。(Fig. 6) ただし上の値を基準値, 下の値は各色素を用いて作製した試験紙の検出限度とする. 今回は試験紙を作製する際に, 各色素の水との比率を同値にしなかったため現段階では, どちらの色素がより適しているか判断ができない. 各色素の水との比率を同値にして比較可能にして実験を行うべきだった. また, 試験紙を作製する際に水に対する各色素の濃度を高くして, 適切な煮沸時間の検討も必要である.

染料	Cu <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
玉ねぎの外皮	0.005mol/L	0.005mol/L	0.003mol/L	0.005mol/L
ケルセチン	0.000005mol/L	0.00005mol/L	0.00005mol/L	0.000001mol/L
マリーゴールドの花	0.0001mol/L	0.0007mol/L	0.0006mol/L	0.0001mol/L
ケルセタゲチン	0.00001mol/L	0.0001mol/L	0.0001mol/L	0.0001mol/L

Fig. 5 検出限度の測定結果

	Cu <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>
水質基準値	1.0mg/L 以下	0.2mg/L 以下	0.01mg/L 以下	0.3mg/L 以下
ケルセチン	0.31775mg/L	1.349mg/L	10.36mg/L	0.05585mg/L
ケルセタゲチン	0.6355mg/L	2.698mg/L	20.72mg/L	5.585mg/L

Fig. 6 基準値と検出限度

## 8 今後の課題

マリーゴールドを染料とした試験紙については, 抽出した色素ケルゲタセチンでの検出試験紙作製, 検出限度を確定. ケルゲタセチンのみで作製した試験紙が, マリーゴールド試験紙よりも検出の精度が高いかどうか調査が必要. 玉ねぎの外皮を染料とした試験紙については, 抽出した物質がケルセチンかどうかの確認を行い, ケルセチン抽出の効率化をはかる. さらに, ケルセチンのみで試験紙を作製する際, 最適な水とケルセチンの量の割合や, 最適な煮沸時間を調べ, 検出限度を確定する. キクを染料とした試験紙については, クロロゲンが金属イオンに反応していないことが分かった. 今後は, キク科のクロロゲン以外の成分を調査し, キク科以外にも共通している成分としてポリフェノールの成分を詳しく調査する.

## 9 参考文献

\*1 増井幸夫・神崎夏子 植物染めのサイエンス

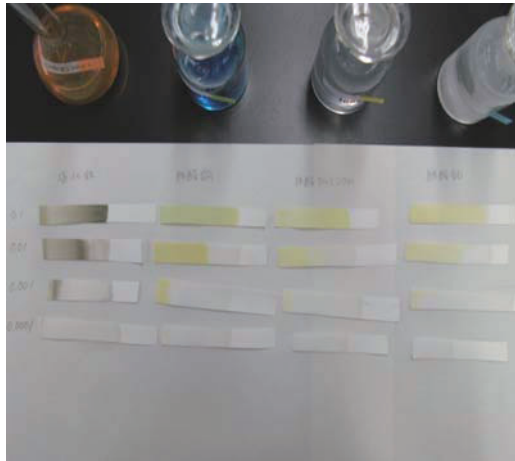
\*2, \*3 阿部正裕・倉井円香 H22年度宮城県第三高等学校課題研究活動記録集 P53～58

\*4 厚生労働省 HP

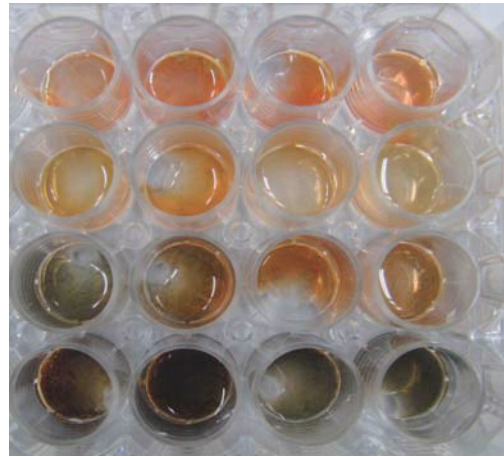
<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html>

\*5 山本勝博・増井幸夫・長谷川正 化学と教育 41巻11号 P.760・761





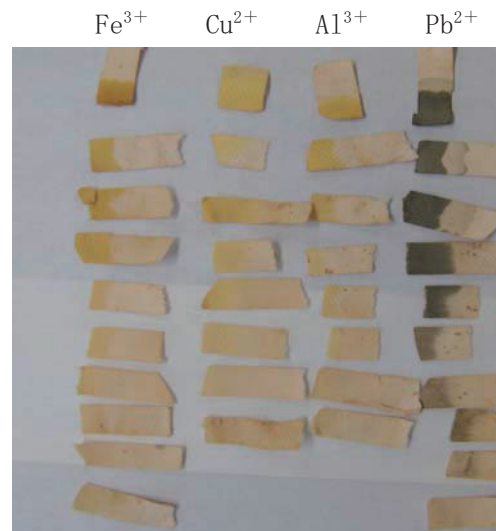
(写真 1) 上から 0.1mol/L~0.0001mol/L  
左から Fe<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>



(写真 2)

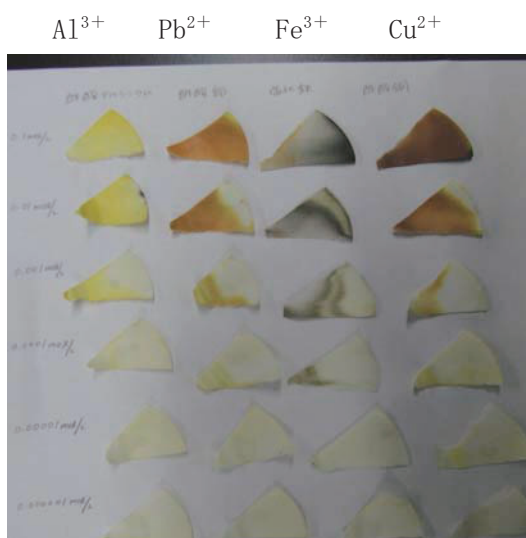


(写真 3)



(写真 4)

0.01  
0.005  
0.001  
0.0005  
0.0001  
0.00005  
0.00001  
0.000005  
(単位は全て mol/L)



(写真 5)

0.1  
0.01  
0.001  
0.0001  
0.00001  
0.000001  
(単位は全て mol/L)

# 炎色反応を利用したろうそくの作製

工藤慧 佐々木峻 石戸まどか

東日本大震災の経験から、ろうそくの炎の持つ癒しの効果に着目し、災害時に使うものとして、炎色反応を利用したさまざまな色の炎を出すろうそくを作製することが、本研究の目的である。市販のろうそくのロウを使い、炎色反応を示す  $\text{CuCl}_2$  溶液をろうそくの芯に染み込ませろうそくを作製したが炎色反応は炎の一部にしか見られなかった。ロウとステアリン酸固形燃料を使用し作製したろうそくは炎全体がしっかりと変色していたが、2分ほどでロウが溶けはじめ、ろうそくの形が崩れてしまった。ロウとステアリン酸の量のバランスを調整すれば、安全で綺麗な炎色反応ろうそくが作れるのではないかと考えられる。また2種類の金属塩の炎色反応を同時に発現させ、炎色の混合ができるかについても研究した。金属塩によって炎色反応が発現するまでの時間や継続時間が異なり、同時に反応を発現させることが難しいことが分かった。

## はじめに

炎色反応とはアルカリ金属やアルカリ土類金属などの金属塩を炎の中に入れると、各金属元素特有の色を示す反応のことで、花火の着色や金属の定性分析などで利用されている。原子をガスバーナーなど（この実験ではろうそくの火）で熱すると、熱エネルギーを吸収し、原子核の周りを回っていた電子が外側の軌道に移る。しかしクーロン力が弱まることで、電子は不安定になるため、すぐに元の軌道に戻る。（図1）このときのエネルギーの差が光として放出され、この光の波長が可視光域にあるとき炎色反応が観察できる。  
(光エネルギー) = (受け取った熱エネルギー) - (基底状態に戻るときに使われたエネルギー)

## 研究の目的

一昨年の3月11日、私たちは東日本大震災により被災した。県内のほとんどの地域でライフラインが止まり、厳しい生活をせざるをえなかった中で、家の中心にあり、やわらかな光で照らしてくれていたもの、それが「ろうそく」である。そのろうそくの炎の色が自分の好みの色に変えることができたなら、不思議で幻想的な感覚を味わうことができるのではないだろうか。また、ろうそくのやわらかな炎に「癒し」を感じる人も少なくないと思う。そこで、被災地のために何か行動したいと思いこの研究を始めた。また、数種類の炎色反応を同時に起こし、炎色を混ぜて新しい炎色を作ることも研究を始めた。

## [ろうそくの作成方法の実験]

### 《検証実験》

まず実験を始める前に、炎色反応が起こる金属が決まっていることから、反応が起こり

やすく、また、反応が見やすい金属があるのか調べるために検証実験を行った。

実験した試薬は ①LiCl ②NaCl ③KNO<sub>3</sub> ④CuO ⑤CuCl<sub>2</sub> ⑥CaCO<sub>3</sub> である。

実験方法は、ピンセットを用いて各試薬をとり、着火したろうそくの中央にいれ目視で反応の程度を確認した。ここでいう反応の程度とは、炎全体が反応して色が変わっているかということである。実験の結果、⑤のCuCl<sub>2</sub>の反応の程度が大きかった。そこで、CuCl<sub>2</sub>水溶液を染み込ませたろうそくの芯が炎色反応を示すかどうかガスバーナーを用いて確認した。(写真1)

結果より、本研究ではCuCl<sub>2</sub>を使ったろうそくの作成方法を検討していくことにした。

## 実験A 〈市販のろうそくの芯にCuCl<sub>2</sub>水溶液を染み込ませろうそくを作成した〉

材料・方法 [( ) 中の数値はこの研究で行った実験の基準値である]

- I. 市販のろうそくを芯とろうに分ける(ロウの材料が注文できなかったため、市販のろうそくをとかして実験を行った)
  - II. 塩化銅(II)水溶液(試薬5.0g:蒸留水20ml)を作り、芯を浸け、乾燥機で乾燥させる(50℃:15分)
  - III. アルミホイルで円柱状の型を作製する(高さ:8cm 直径:1.0 cm)
  - IV. ロウを型に流し込み、乾燥させた芯を中心に入れる
  - V. 冷やし固め、アルミホイルをはがし、着火して観察する
- また、CuCl<sub>2</sub>の量、ろうそくの太さ、芯の入れ方を変えて実験を行った

結果(写真2)

- ・燃焼中は全く反応しない
- ・着火しづらい(マッチの平均使用本数:4本 チャッカマンで8秒以上着火してもつかないことがあった)
- ・規則的ではないが、途中で火が消える
- ・CuCl<sub>2</sub>の量を1g/2g/3g/4g/5gと変えて水溶液を作り実験した場合、CuCl<sub>2</sub>の量が多いほど着火しづらく、すべて反応は見られない。
- ・ろうそくを直径0.6cm・1.4cmに変えて同様に実験した場合、0.6cmでは炎の表面にぼんやりと反応が見られ、1.4cmでは1.0cmの場合と変わらない。(写真3)
- ・芯を中央で折り、二重にしてろうそくを作った場合、根本のみ反応していた(写真4)

考察・まとめ

- ・ろうそくが燃える原理は、芯の先端に着火し熱せられたロウが溶けて芯に染み込み、気化して空気と混ざり燃焼することである。この実験では芯にCuCl<sub>2</sub>を染み込ませているため、それが着火や、ロウが芯に染み込むことを妨げていると考えられる。また、ロウが芯に染み込む効率が悪いために途中で火が消えてしまうと考えられる。

- ・ 検証実験で $\text{CuCl}_2$ を染み込ませた芯が反応したのはガスバーナーを用いたためであることから、火の温度が高いほうが炎色反応は起こりやすいと考えられる。
- ・ ろうそくの直径が1.0cm/1.4cmのとき、燃焼中に反応が見られないこと、直径が0.6cmのときに反応が見られることの原因は分かっていない。

### 実験B<トイレットペーパーを用いて芯を太くし、ろうそくを作製した>

実験Aより、芯を二重にして太くしたことで反応が見られたため、芯を太くする目的でトイレットペーパーを芯に巻きつけ、 $\text{CuCl}_2$ 水溶液に浸して、ろうそくを作製した。

結果（写真5）

- ・ ススが火の先端部から激しく発生する
- ・ 反応は芯の近くでみられる
- ・ 火の高さが市販のろうそくの5倍くらい高くなる（写真6）
- ・ 芯が燃え残り、燃え残った芯は炭化している
- ・ 実験Aで作ったろうそくと同じ程度着火しづらい  
危険と判断し、燃焼の途中で水で鎮火した（息で吹き消すことができなかった）

考察・まとめ

- ・ 反応の大きさは芯の太さに関係ない。
- ・ トイレットペーパーを用いたことでススが発生し、芯が太くなった分、染み込むロウも多くなったために、火が高くなったと考えられる。

### 実験C<蒸留水をエタノールに変えてろうそくを作製した>

着火の問題を解決するために、蒸留水をエタノール（濃度99.5%）に変えて $\text{CuCl}_2$ を溶かし、その溶液に芯を浸け、同様にろうそくを作製した

結果

- ・ 実験A,Bで作ったろうそくよりも着火しやすくなる（マッチ一本でほとんどのろうそくが着火した。）
- ・ 実験Aと同様、燃焼中はまったく反応しない
- ・ 燃焼の途中で鎮火せず、最後まで燃える

考察・まとめ

- ・ 着火、燃焼の問題はエタノールを用いることで解決できた。これはエタノールが可燃性を有するからである。
- ・ 芯が太いため炎が大きくなり、そのため酸素不足によって不完全燃焼が起き、ススが発生する。
- ・ 芯の太さは市販のろうそくの芯と同じ太さにし、エタノールが染み込みやすい芯を探さ

なければならない。

### 実験D<ステアリン酸を用いてろうそくを作製した>

#### 実験の説明

- ① ステアリン酸(1g), メタノール(20ml),  $\text{CuCl}_2$  (1g), をませ、ステアリン酸固形燃料 (ややゲル状の固形) を作る。
- ②アルミホイルで作った型にろうを流し込み、中心に細いガラス棒を挿す。
- ③ろうが少し固まってきたところでガラス棒を抜き、ろうが完全に固まったところで、中心に $\text{CuCl}_2$ を溶かしたエタノールを染み込ませた芯、ステアリン酸固形燃料をいれる。

#### 結果 (写真7)

- ・安定して火全体の色が変わっている反応が見られる。
- ・燃焼時にバチバチという音が出る。
- ・一般のろうそくよりも1.5倍くらい、ろうそくの燃焼のスピードが速い。
- ・実験Cと同様に着火しやすい。
- ・ろうそくは最後まで燃える。

#### 考察・まとめ

- ・バチバチと音が出るのは、発生した水が蒸発する音だと考えられる。
  - ・燃焼スピードが速いのはステアリン酸固形燃料が燃えることによって、火の温度が高くなり、ろうが速く溶けるからだと考えられる。
- 考察をできるだけ立証し、これからの研究はこの実験方法で進めていきたいと思う。

## [炎色反応の混合実験]

#### <使用する薬品と器具>

$\text{NaCl}$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{SrCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  水溶液 (0.1mol/L) 柄付き Ni 線

濃塩酸 (Ni 線の洗浄に使用) ストップウォッチ

#### <下準備>

- ・あらかじめガスバーナーの炎は中火にし、青い炎にしておく。
- ・Ni 線は濃 HCl で洗浄し、よく炎で熱してから使用する。

### 実験A<炎色反応発現までの時間測定>

各水溶液を Ni 線全体に付け、ガスバーナーの炎に入れ、ガスバーナーに入れてから炎色反応が目視で確認できるまでの時間をストップウォッチで計測する。

結果 10 回計測した平均値

Na<sup>+</sup> : 平均 0.14 秒      Cu<sup>2+</sup> : 平均 0.48 秒      Sr<sup>2+</sup> : 平均 0.32 秒

### 実験B<炎色反応発現の継続時間測定>

各水溶液を Ni 線全体に付け、ガスバーナーの炎に入れ、炎色反応が発現してから見えなくなるまでの時間をストップウォッチで計測する。

結果 12 回計測した平均値

Na<sup>+</sup> : 平均 6.26 秒      Cu<sup>2+</sup> : 平均 0.37 秒      Sr<sup>2+</sup> : 平均 3.20 秒

### 実験 B<2 種の金属塩を含むろ紙の燃焼>

CaCl<sub>2</sub> と CuCl<sub>2</sub> の混合溶液にろ紙を浸し、乾燥させたものを、エタノールを 1 mm 添加し、燃焼させ観察する。

結果

緑の炎の内側に青い炎が見えたが炎色が混合しているかは分からなかった。

<まとめ>

Na<sup>+</sup> は炎色反応発現までの時間が短く、継続時間は長い。Cu<sup>2+</sup> は炎色反応発現までの時間が長く、継続時間は短い。金属の種類によって炎色反応の発現までの時間や継続時間に違いがあることが分かった。

### 参考文献

高等学校化学 I 改訂版 / 齊藤烈 山本隆一/啓林館

ダイナミックワイド図説化学 / 東京書籍

ろうそくを使った炎色反応 カラーキャンドル (室内演出用)

<http://homepage1.nifty.com/moritake/tokkatu/rousoku.html>

完全図解周期表 ありとあらゆる「物質」の基礎がわかる (ニュートンムックNewton別冊サイエンステキストシリーズ)

Do科学 : 花火の色は、どう作る? (朝日新聞be 2012年8月25日付)

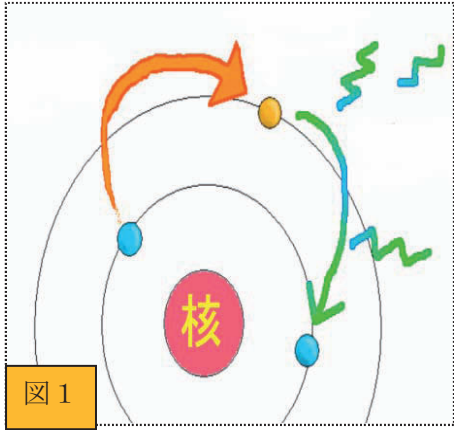


图 1



写真 1

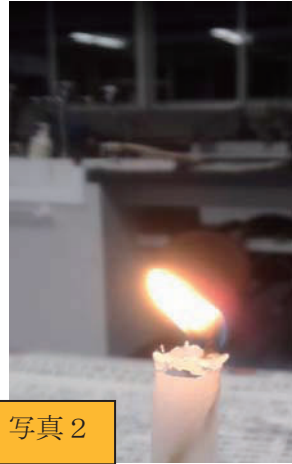


写真 2



写真 3

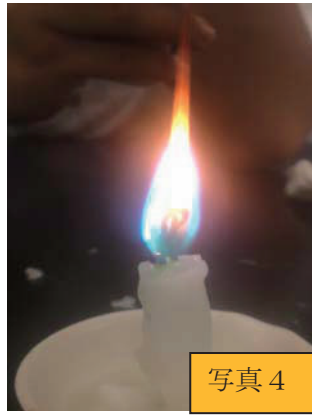


写真 4

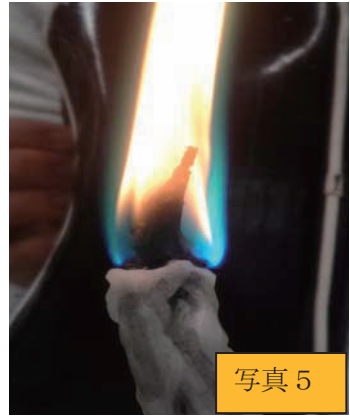


写真 5

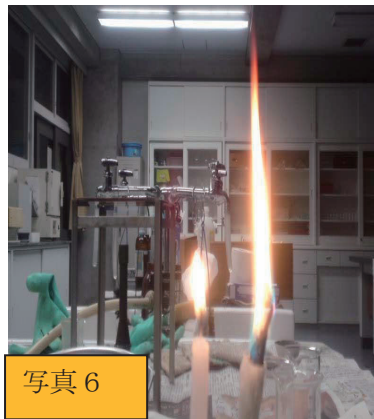


写真 6



写真 7

# 水中の酸素濃度と腐食量の関係と 塩化物イオン中での電気防食

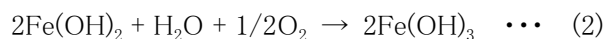
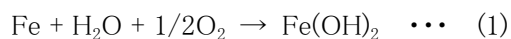
化学班 榊原 滉 和田山 晃世 内藤 暢也 菅原 崇弘 中塚 成峻

錆とは、金属の腐食生成物である。腐食は水と酸素によって起こり、また塩化物イオンにより促進される。金属製品の錆発生を抑制することは重要な課題である。そこで、水中の酸素量と鉄の腐食量の関係、及び塩化物イオンの存在下での電気防食についての研究を行った。実験には大きさの等しい鉄板を用い、また発生した錆を処理し予め作成しておいた検量線を用いて吸光光度法により鉄の腐食量を求めた。異なる酸素濃度の純水または水道水中での腐食量を比較したところ、酸素濃度が高い場合は腐食が促進され、低いと腐食量は通常とあまり変わらなかった。異なる濃度の塩化カルシウム水溶液中で電気防食を行い通電の有無による腐食量の違いを調べたところ、全ての場合で通電したことにより腐食が抑制されたが、塩化物イオン濃度が高いほうが腐食は進まなかった。

## I 腐食について

腐食の原因は水と酸素であり、この二つが金属の表面に接触することで腐食が起こる。腐食による生成物がさびである。空気中では、雨や結露などによって水が直接金属の表面に付着する場合や、吸湿性を持つ塩化物イオンや多孔質のダストなど、水を呼び寄せ物質が付着する場合などに腐食が起こり、さびが発生する。水中では、酸素が金属の表面によく供給される場合、すなわち水に酸素が多く溶けている場合や流速が速い場合、水温が高い場合などに腐食が促進される。

水中では、鉄が腐食されると最初に水酸化鉄(II)  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  が生成する(1)。このさびは不安定であり、水中に溶けている酸素によって直ちに酸化されて水酸化鉄(III)  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  となる(2)。さらにそこから水分が取れるとオキシ水酸化鉄  $\text{FeOOH}$  となり(3)、これがいわゆる赤さびである。これは水和酸化鉄  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  と同じ物質である。鉄が電子を放出しながら鉄イオンとなって水中に溶け出し、水と酸素がその電子を受け取って水酸化物イオンとなるので、腐食は電気化学反応である。





## II 研究の動機

三高生の多くは自転車通学をしている。そんな三高生にとって、自転車のさびは大きな問題である。また宮城県は比較的降雪量が多いため、塩化カルシウムを主成分とする融雪剤が撒かれ、自転車がさらにさびやすくなっている。そこで私たちは、鉄の腐食と防食についての研究を行うことにした。

## III 吸光光度法

吸光光度法とは、一定の波長の光が長さ一定の試料溶液中を透過するときの吸光度を分析機器(分光光度計など)によって定量的に測定し、これによって試料溶液中の溶質濃度を求める方法である。吸光度は、透過度(光を液層に透過させたときの前後の光の強さの比)の逆数の常用対数である。

$$A = \log_{10}(I_0/I) \quad (A = \text{吸光度}, I_0 = \text{透過前の光の強さ}, I = \text{透過後の光の強さ})$$

私たちは腐食の程度を数値化するための手段として、この吸光光度法を用いることにした。発生したさびから鉄イオンを溶液中に取り出し、それとフェナントロリンを結合させることで発色させ、その溶液の吸光度を測定することで、腐食により溶け出した鉄の質量を求める。以下はこの研究における吸光度の測定方法である。

### 【試薬等】

L-アスコルビン酸、フェナントロリン1水和物、酢酸

### 【方法】

1, 1.0%のL-アスコルビン酸水溶液を作製する。(これをL-アスコルビン酸溶液とする)

0.01mol/Lのフェナントロリン水溶液を作製する。(これをphen溶液とする)

酢酸をpHが4.6となるように希釈する。(これを酢酸塩緩衝液とする)

2, 100mLのメスフラスコに鉄イオンを含む水溶液を入れる。

3, 純水を少し加え、その後L-アスコルビン酸溶液を2mL加えて、軽く混合する。

(L-アスコルビン酸により $\text{Fe}^{3+}$ を $\text{Fe}^{2+}$ に還元する)

4, phen溶液を5mL加え、軽く混合する。

( $\text{Fe}^{2+}$ がフェナントロリンと結合して赤色の物質となる)

5, 酢酸塩緩衝液を5mL加える。

(液性を中性に近づけ、 $\text{Fe}^{2+}$ が $\text{Fe}^{3+}$ に酸化されることを防止する)

6, 標線まで純水を加え、メスフラスコに栓をしてよく振って混合し、20分間放置する。

7, 分光光度計を用いてこの溶液の510nmの吸光度を測定する。

#### IV 検量線

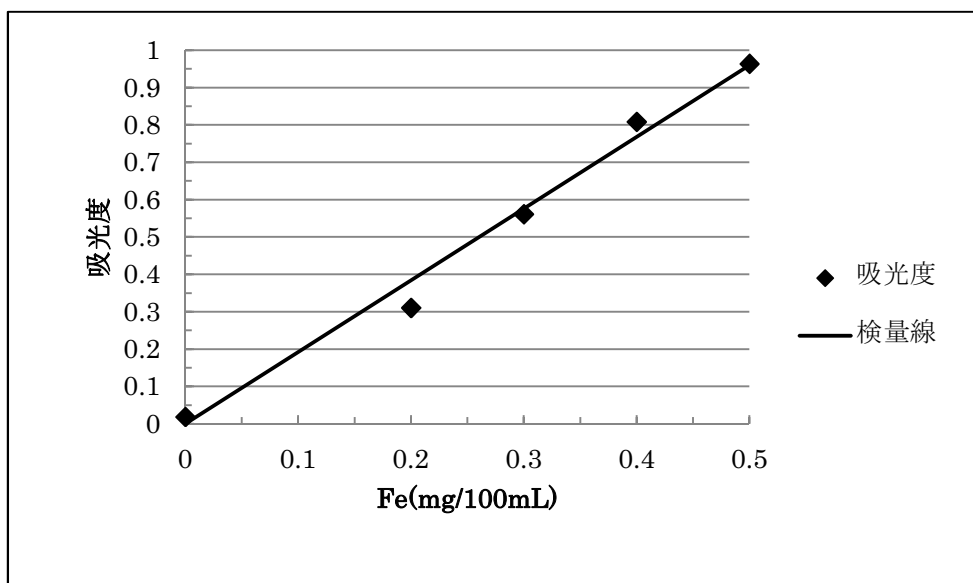
検量線は、試料溶液の吸光度と目的物質の濃度との関係を表したものである。吸光度は液層の長さとして試料溶液中の物質濃度に比例するので、予め数種類の濃度の標準溶液について吸光度を測定し、検量線を作成しておく。以下はこの研究における検量線の作成方法、及び作成した検量線である。

##### [試薬等]

塩化鉄(III), 塩酸

##### [方法]

- 1,  $\text{Fe}^{3+}$ 濃度が 1mg/mL, 塩酸濃度が 0.01mol/L の水溶液を作製する。(これを  $\text{Fe}^{3+}$ 標準溶液とする)
- 2, 5 つのメスフラスコ(100mL)に,  $\text{Fe}^{3+}$ 標準溶液をそれぞれ 0mL,0.2mL,0.3mL,0.4mL,0.5mL 入れる。  
( $\text{Fe}^{3+}$ がそれぞれ 0mg,0.2mg,0.3mg,0.4mg,0.5mg 入れられた)
- 3, 各溶液について処理を行い, 吸光度を測定する。
- 4, 2~3の操作を計4回行う。
- 5, 結果の平均値とその溶液中の鉄の濃度との関係をグラフに表し, 検量線を作成する。



## V 実験方法

### ○実験 1 水中の酸素濃度と腐食量の関係

腐食は水と酸素によって起こる。水中での腐食において、酸素濃度が腐食量にどのような影響を及ぼすのかを調べるため、実験を行った。

#### [試薬等]

鉄板, 塩酸

#### [方法]

- 1, 100mLの純水及び水道水について、そのままの状態のもの、30分間エアープンプで空気を通じたもの、10分間ガスバーナーで煮沸したものをそれぞれ用意する。
- 2, 各溶液に鉄板を入れてパラフィルムを用いて蓋をし、室温で15時間30分放置する。
- 3, 鉄板を取り出し、それを3mLの塩酸に10秒間浸して表面のさびを鉄イオンにした後、その塩酸を鉄板が入っていた溶液に加える。
- 4, 各溶液から10mLを取り出し、処理を行って吸光度を測定する。
- 5, 検量線を用いて溶液10mL中の鉄の質量を求め、溶液中の鉄イオンのモル濃度を求める。

#### [結果]

下の表のような結果が得られた。

		溶液中の鉄の濃度 (mol/L)
純水	ノーマル	$5.32 \times 10^{-5}$
	空気 30分	$10.9 \times 10^{-5}$
	煮沸 10分	$3.49 \times 10^{-5}$
水道水	ノーマル	$4.83 \times 10^{-5}$
	空気 30分	$9.31 \times 10^{-5}$
	煮沸 10分	$5.55 \times 10^{-5}$

#### [考察]

- ・空気を通じて酸素濃度を高めた場合に腐食が促進された。
- ・水道水を用いた場合は煮沸して酸素濃度を低くしても腐食が促進された。

## ○実験2 塩化物イオン中での電気防食

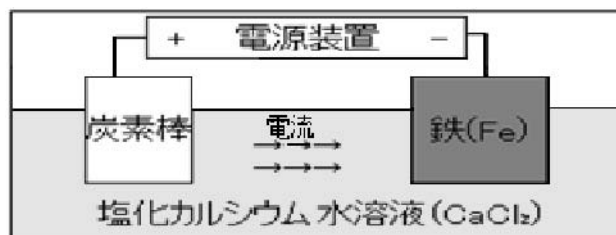
金属が腐食されるとその部分から電子が放出されるため金属内に電位の差が生じ、それにより継続的に腐食が起こる。電気防食(外部電源方式)とは、電子を外部から補うことで電位の差をなくし、鉄のイオン化を防止する方法である。塩化物イオンを含む水溶液中における電気防食の有効性について調べるため、次の実験を行った。

### [試薬等]

塩化カルシウム, 鉄板, 炭素棒, 塩酸

### [方法]

- 1, 0.5mol/L, 1.0mol/L, 1.5mol/L の塩化カルシウム水溶液をそれぞれ作製する。
- 2, 塩化カルシウム水溶液を 100ml ずつ用いて, 100mL ビーカー内に図のような装置を鉄板が溶液に半分浸かるようにしてそれぞれ作製し, 2.5V の電圧をかけた状態で4時間放置する。



- 3, 塩化カルシウム水溶液を 50mL ずつとり, それぞれに鉄板を半分浸した状態で4時間放置する。
- 4, 2と3の鉄板を取り出し, 30mL の塩酸に 10 秒間浸してさびを鉄イオンにした後, その塩酸を鉄板が入っていた溶液に加える。
- 5, 各溶液から 10mL を取り出して処理を行い, 吸光度を測定する。
- 6, 検量線を用いて溶液 10mL 中の鉄の質量を求め, 溶液中の鉄イオンのモル濃度を求める。

### [結果]

現時点では下の表のような結果となっている。

		溶液中の鉄の濃度 (mol/L)
1.0mol/L	通電	$1.021 \times 10^{-5}$
	通電なし	$2.704 \times 10^{-5}$
1.5mol/L	通電	$0.6625 \times 10^{-5}$
	通電なし	$0.8415 \times 10^{-5}$

### [考察]

- どちらの濃度の場合も、通電したことで腐食が抑制された。
- 1.5mol/L の場合のほうが 1.0mol/L よりも通電による防食効果が薄かった。
- 1.0mol/L のほうが 1.5mol/L の場合よりも腐食量が多かった。

## VI 今後の展望

実験1について、

- 水中の酸素濃度を低くした場合に腐食量が増加した理由の解明。
- 同じ実験を何度か繰り返して信頼できる結論を導きたい。

実験2について、

- 1.5mol/L では 1.0mol/L の場合よりも通電による防食効果が薄かった理由の解明。
- 1.0mol/L の場合の方が 1.5mol/L よりも腐食量が多かった理由の解明。
- 放置する時間をもっと長くして実験を行いたい。

## VII 参考文献

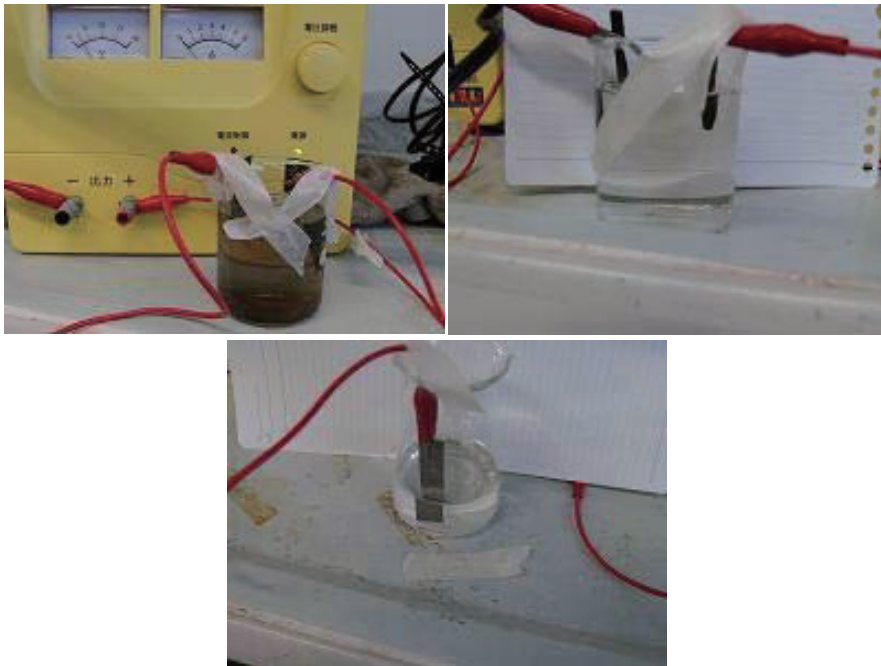
- 今日からモノ知りシリーズ トコトンやさしい 錆の本 (松島 巖)
- 色で測る!! ードリンク剤中の鉄の定量ー (糠塚 いそし)



↑ 分光光度計



↑ 実験1



↑ 実験2

# 甲虫の翅のメカニズム

生物班

古布孝志

坂口幹

角田拓海

八巻聡

甲虫は翅を素早く開閉することができる。この構造を解明することで、工業へ応用できるのではないかと考え、内翅のたたまれ方、外翅の関節の構造に着目し、観察及び内翅のモデル化を行った。材料として甲虫類の死骸を用い、内翅のたたまれ方については展開した内翅の写真を、外翅の関節の構造については顕微鏡をそれぞれ用い検討した。内翅のたたまれ方については簡略化することで再現でき、外翅の関節の構造については膜状の弾力性のあるものの伸縮に支えられていることがわかった。これらより、翅の構造には弾力性のある昆虫独自の物質が大きく関与していると考えられる。

## 1 はじめに

カブトムシなどの甲虫類は、外翅をひろげた後、内翅を展開し、内翅のみで飛翔する。内翅は外翅内にたたんであり、展開したときは体長の2倍を超えることもある。外翅は人間が故意に開こうとしても簡単にできず甲虫自らは、素早く開閉を行うことができる。

また、参考文献によると甲虫類の内翅の折りたたみのパターンが多いことが分かっている。しかし、複雑な折りたたまれ方をしていても、これらは2つのタイプに特徴づけられることも分かっている

内翅のたたまれ方は一定の強度をもつ大きな平面をいかに速やかに展開し、また短時間できれいにたたむかという工学上の課題に対して興味ある材料を提供する。

我々は、カブトムシやクワガタなどの甲虫を材料として、これらの内翅のたたみ方と展開の仕方、外翅の関節の構造を検討した。

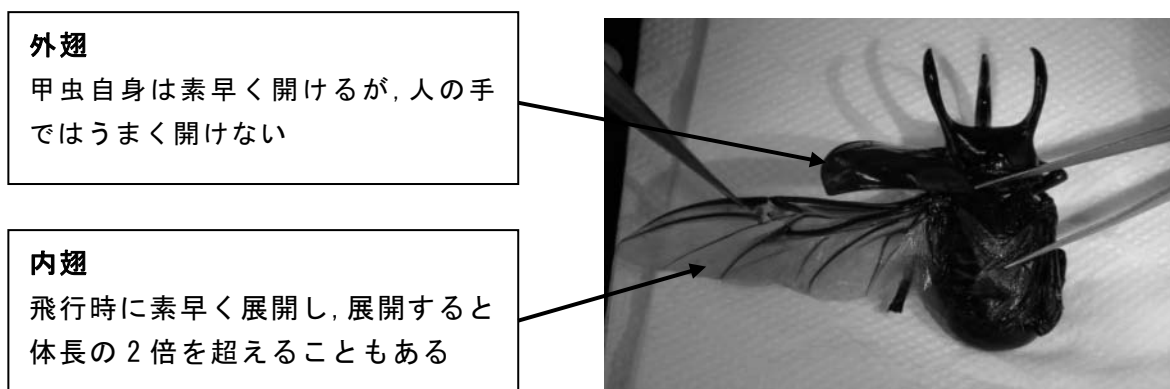


図1 カブトムシの外翅と内翅

## 2 材料と方法

### 実験1 (内翅の観察)

材料として、カブトムシ (*Trypoxylus dichotomus*) ,コクワガタ (*Dorcus (Macrodercus) rectus*) ,アトラスオオカブト (*Chalcosoma atlas*) を用いた。これらはアルコールで固定したもの、あるいは標本となって数年経過したものである。

方法として、固定標本あるいはアルコール標本のカブトムシ(クワガタ) 2匹を75℃のお湯に入れ、翅を開きやすくする。お湯から上げたら、ピンセットで外翅を取り除く。一方の個体の内翅をピンセットで腹部から引き離し、両翅ともスライドガラスではさみ、プレパラートを作る。このプレパラートを撮影し、拡大して印刷する。もう一方の個体の内翅をピンセットで開閉し、両翅の折りたたみ方(山折り・谷折り)を観察する。この拡大写真でも、折りたたむことができるか調べる。紙そのものをきれいに折りたためるか確認する。また、作成した紙の中で重要と思われる線を抜き出し、厚紙に写して開閉することができるかを確認する。

### 実験2 (外翅の観察)

材料として、アトラスオオカブト (*Chalcosoma atlas*) ,コスナゴミムシダマシ (*Gonocephalum corlaceum*) ,カナブン (*Rhomborrhina japonica*) を用いた。これらは乾燥、硬化から守るため、アルコールにつけて保存した。

方法として、標本のカブトムシの外翅の関節部分を、顕微鏡を用いて観察する。構造のわかるように撮影する。

## 3 結果

### 実験1 結果

カブトムシの内翅を顕微鏡で観察したところ、翅脈に沿って山折り・谷折りされていることが分かった(図2)が、折り目に沿って折りたたむことはできなかった。

そこで、重要と思われる線を抜き出し、より直線に近づけた紙のモデル(図3)で開閉することができるかを確認してみたところ、山折りと谷折りが入り交じっており、大変複雑な構造になっている部分(図2黄丸部)がちょうつがいの役割を果たしており、一番重要だと分かった。



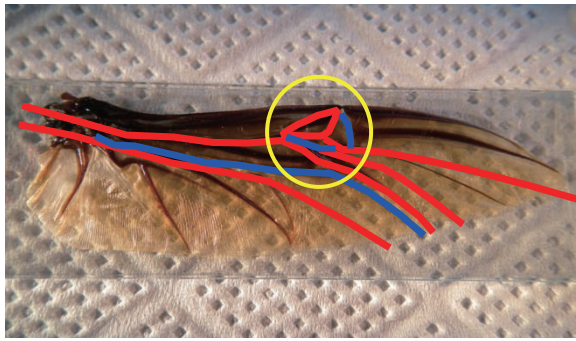


図2 カブトムシの内翅における山折・谷折

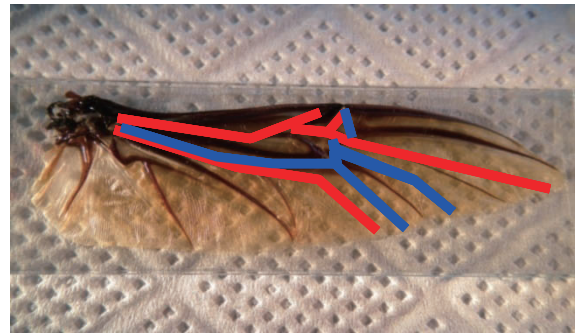


図3 カブトムシの内翅における山折・谷折を簡略化したもの

## 実験2 結果

外翅は横に開くタイプ(主にクワガタムシ)と上方向に開くタイプ(カブトムシ, アトラスオオカブト, ゴミムシダマシはこれに当たる)の2タイプあることがわかった.

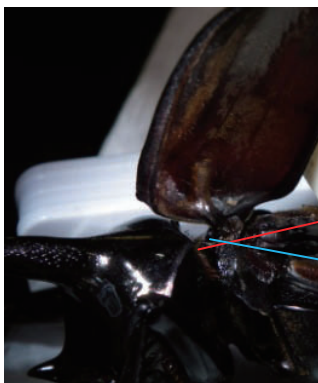


図4

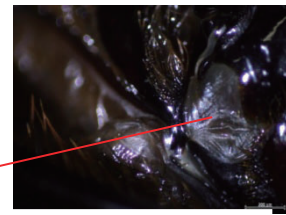


図5

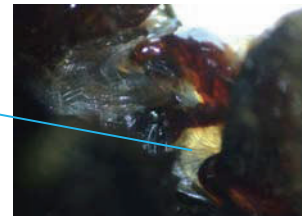


図6

上の図(図5は図4の膜の部分拡大したものである)のように外翅の関節部は, 膜状のものが組み合わされていることがわかった. さらに関節の内部(図6)も膜状のものが翅の開閉にともない伸縮していることがわかった.

## 4 考察

内翅については、試行錯誤しながら紙のモデルを作成しようと試みたが、どうしても上手く作り出すことはできなかった。Haas によると甲虫の内翅には、紙のモデルでは再現することの出来ない弾力性を持ったゴム状たんぱく質であるレジリン (*resilin*) が関わっており、平坦に折りたたむために設計されていないことが分かった。よって紙のモデルで再現することは出来なかった。しかし、紙のモデルで折り目を簡略化したモデルにおいては、自由な開閉が可能となった。

また、外翅については、今まで筋肉ではないかと、思っていたものは、関節を支えているものと分かった。実際に翅を動かしている筋肉を探したがすでに死んでいる個体のためか見つからなかった。関節の内部の膜状のものは見つけ、観察することはできた。この膜状のものが上記した、昆虫独自の物質であるレジリンと推測される。

また、外翅の開き方が2タイプあることがわかったが、それにとともなう関節部分の構造の違いについては、まだ調べておらず今後の課題となっている。

外翅の開く仕組みが、直接筋肉によるのか、別の部位が動くことにもなって動いているのかも今後明らかにしていきたい。

## 5 参考文献

Haas, F., Geometry and mechanics of hind-wing folding in  
Dermaptera and Coleoptera.

Master of Philosophy Dissertation.

University of Exeter, UK. 1994. PP.144.

Fabian Haas<sup>1,2\*</sup>, Stanislav Gorb<sup>2</sup> and Reinhard Blickhan<sup>1</sup>

The function of resilin in beetle wings

Proc. R. Soc. Lond. B (2000)

# 大堤沼の水質調査と浄化

生物班 小池勇喜 大場優作 梅津亮汰 工藤俊樹 佐藤花菜子 安孫子遥

仙台三高の南側にある大堤沼には、以前はホタルが生息していたが、今は生息していない。それが水質の汚濁のためだと考え、大堤沼の水質を調べることにした。また、粘質多糖類には懸濁物質の吸着・凝集作用があることを知り、オクラに着目して、粘質多糖類による水質浄化を試みた。月1回の水質調査の結果、全ての月でCODがBODを上回り、難生分解性の有機物が多いことが分かった。一般的な湖沼と比べても大きく異なる結果ではなかった。オクラの粘物質を抽出して浄化実験を行った結果、オクラの液性粘物質には浮遊物質の吸着作用と界面活性剤の浄化作用があると分かった。

## 1 はじめに

水がよごれることを「水の汚濁」と言う。河川や湖沼などの自然水は、水辺の生きものに由来した有機物の流入、水と接した鉱物質の風化で生じる濁りなど、様々な原因で汚濁が進行する。特に、人の暮らしに直接もしくは間接的に悪影響をもたらす、水の利用ができなくなる場合は、水の汚濁と表現せず「水の汚染」と言う<sup>(1)</sup>。仙台三高の南側には古くから大堤沼という沼があり、鶴ヶ谷団地の造成時に調整池が整備された。かつて沼にはホタルが生息していたが今は生息しておらず、その原因が水の汚濁だと考え、大堤沼の水質に興味を持ち、調べることにした。

また納豆などの粘物質には懸濁物質を吸着・凝集させる作用があるということが分かっている。これは粘物質に含まれるポリ- $\gamma$ -グルタミン酸によるものである<sup>(2)</sup>。水中の懸濁物質量を低下させると、COD・BOD・T-N・T-Pの値を下げるができる。私たちは身近で安価に入手でき、粘性物質を持つオクラに着目し、懸濁物質の吸着・凝集ができないか検討することにした。

## 水質指標について

水質指標を測定することで水質の変化、また汚濁の要因を調べることができ、水域の汚濁に関わる水質指標は以下の4つに大別できる<sup>(3)</sup>。

- ・一般的な指標  
外観、色、pH、透視度、懸濁物質(SS)、濁度など
- ・有機汚濁指標  
有機物質(BOD, COD, TOC)、溶存酸素(DO)、水生生物など
- ・富栄養化指標  
栄養塩類(窒素、リン)、クロロフィルa(chl-a)
- ・衛生学的な指標  
一般細菌数、大腸菌群数

※私達の研究では以下の水質指標を用いる。

COD(化学的酸素要求量) [mg/L], DO(溶存酸素量) [mg/L], BOD(生物化学的酸素要求量) [mg/L], SS(懸濁物質または浮遊物質) [mg/L], T-N(全窒素) [mg/L], T-P(全リン) [mg/L], pH(水素イオン濃度), DET(陰イオン界面活性剤) [mg/L], 透視度 [cm]

## 2 採水・調査方法

大堤沼の河川流出口付近にて柄杓を用いて試料を3試料分採水した。試料は1試料1Lで、SS用とその他の指標用の2種類用意する。その場で水温、気温を計測し、透視度計を用いて透視度を計測して、その他の指標は実験室に戻って計測した。SSは、あらかじめ105~110℃で1時間以上乾燥させてデシケーターで30分放冷したガラス繊維ろ紙を用いて、一定の試料をろ過し、同様に乾燥・放冷させてからろ過前と後の乾燥重量の差を求めてから、 $[(\text{ろ過後のろ紙の重さ}[\text{g}]-\text{もとのろ紙の重さ}[\text{g}])/\text{試料水量}[\text{L}]]$ で値を出した。それ以外の指標はデジタルパックテスト・マルチ DPM-MTを用いて計測した。水質調査の測定値は3試料の結果を平均して求めた。T-N, T-Pについて、それぞれの測定可能範囲である0.5~7.0mg/L以下, 0.10~2.00mg/L以下だったものは測定不能とした(以下同様)。

## 3 調査結果

表1 大堤沼の水質

H22, 23年とH24 2/15の仙台市環境局の測定値とH24 7/18以降1カ月置きに測定した私達の測定値である。( )内の数値は左が採水時の気温, 右が採水時の水温を表している。BOD, SSの空欄は操作ミスにより, 値が取れなかったものである。

指標	pH	DO	COD	BOD	SS	T-N	T-P	透視度	DET
<b>環境局</b>									
H22 05/28(17.0, 17.8)	7.5	9.6	8.7	5.4	23	1	0.075	20	
H22 08/05(32.4, 31.2)	8.2	11	8.9	4.6	18	0.56	0.088	25	
H22 11/10(10.3, 12.3)	7.5	9.4	7	3.1	11	0.75	0.066	32	
H23 02/03 (4.6, 3.4)	7.8	16	6.1	2.2	5	0.4	0.044	51	
H23 05/18(23.4, 23.0)	8	9.5	8.9	5.2	17	0.64	0.081	21	
H23 08/11(31.2, 31.0)	7.7	8.3	11	7.1	24	0.79	0.11	16	
H23 11/02(16.0, 13.7)	7.6	9.6	7.1	4.7	15	0.65	0.067	33	
H24 02/15(5.3, 3.6)	7.4	12	5.9	2.6	6	0.51	0.039	>60	
<b>課題研究</b>									
H24 07/18(24.7, 27.5)	7.9	6.23	7.27			測定不能	0.11	21.4	0.34
H24 08/17(30.4, 29.6)	7.83	7.3	7.23	2.3	6.7	測定不能	0.10	26.5	0.44
H24 09/12(29.9, 29.2)	8.31	7.93	8.5	0.7	14.7	0.67	0.13	16.4	0.37
H24 10/17(20.5, 18.3)	8.13	7.87	6.23	3.1	33.3	1.3	1.64	22.7	0.31
H24 11/14(13.1, 12.5)	7.57	7.2	4.3		8.3	0.5	0.10	30	0.48
H24 12/19(1.8, 4.2)	7.6	7.8	3.97		7.1	0.6	0.12	37	0.44
H25 01/16(2.7, 1.6)	10.23	7.62	3.93	0.4	4.0	0.6	測定不能	61.7	0.55

表1に示したように, すべての月においてCODがBODを上回る値となった。また, 10月のBOD, T-N, T-Pの値が9月の結果より遥かに高い値となった。

## 4 考察

表2 一般的な湖沼の基準値

指標	pH	DO	COD	SS	T-N	T-P
基準値	6.5~8.5	2.0~	~8.0	~15	~1.0	~0.1

全ての月のCODの値がBODの値を上回る値となったことから、大堤沼には難生物分解性の有機物が多くあるのではないかと考えられる。10月のT-N, T-Pの値が9月の値から大きく上昇しているのは、落葉、落枝による有機物の侵入が原因ではないかと考えられる。湖沼にみられる一般傾向としては、T-N, T-Pは夏場に高く、冬場に低い。また、結果を全体的に見た場合、表2のような一般的な湖沼の基準値とおおよそ変わらない結果となり、それほど汚濁しているというわけではなかった。

## 5 浄化実験の方法

### 実験Ⅰ 液性粘物質による浄化

#### 液性粘物質の抽出方法

仙台市内のスーパーマーケットで購入したオクラ (*Abelmoschus esculentus*) 100g に純水 200g を加え、ミキサーで細かく粉碎した。その後、すり鉢に移し 10 分間すりつぶして、遠心分離器で 5000ppm に設定し、1 時間遠心分離した。1 時間後、その上澄み液をセルロースチューブに入れ 1 日流水の中で静置し、低分子物質を透析し、これを液性粘物質とした。

#### 浄化方法

検水 300ml に凝集・沈殿した懸濁物質を除去するためにろ過をし、1. あみを通したもの、2. 液性粘物質を入れたもの、3. ポリグルタミン酸 0.03g を入れたもの、4. 未処理試料、1~4 をそれぞれ 30 分エアレーションし、1 時間静置した。その後、上記の指標を測定した。

### 実験Ⅱ 粉末状粘物質による浄化

#### 粉末状粘物質の抽出方法

オクラをみじん切りにし、その 2 倍量の純水に加えた。水溶性の粘物質を抽出するためにそれをマグネティックスターラーにかけて 35°C の状態で 3~24 時間攪拌した。攪拌後、それをサラシで

ろ過し、抽出する目的の粘物質がアルコールに不溶なのでろ液に 4℃のアルコールを 0.5~3 倍量加え、緩やかに攪拌した。攪拌を続けると、繊維状の粘質多糖類が析出してきた。析出しきったら、ザルで析出液をろ過し、繊維状の粘質多糖類を回収した。回収した粘質多糖類からエタノールを純水を入れることで飛ばし、30~50mL の純水に入れて、これをまた 3~24 時間攪拌し、粘質多糖類を溶解させた。この一連の作業を 2~3 回繰り返して抽出液を精製した。この抽出液を 30~40℃で 3 日かけて乾燥させ、粉末にした。

## 浄化方法

検水 300ml に凝集・沈殿した懸濁物質を除去するためにろ過をし、1. あみを通したもの、2. 粉末状粘物質を入れたもの、3. ポリグルタミン酸 0.03g を入れたもの、4. 未処理試料の 1~4 をそれぞれ 30 分エアレーションし、1 時間静置した。その後、上記の指標を測定した。

## 6 結果

表 3 実験 I の結果

pH, DET の空欄は飼料不足により指標の計測が不可能だったものである。

抽出作業の結果、抽出された粘物質は粘性が低いものだった。表 3 のように、オクラを用いた実験結果は 10 月の COD の値は悪化したが、10 月の DET, COD, 11 月の SS, の値は改善された。

表 4 実験 II の結果

SS については、操作の手違いにより測定ができなかった。

指標	COD	DO	SS	pH	DET	T-N	T-P
1月14日							
対照区	3.0	7.6		7.33	0.46	2.6	測定不能
あみ	3(±0%)	10.3(+36%)		8.03(+10%)	0.67(+46%)	0.6(-77%)	測定不能
あみなし	2.9(-3%)	8.2(+8%)		8.02(+9%)	0.4(-13%)	測定不能	測定不能
ポリグルタミン酸	5.7(+90%)	8.4(+11%)		8.06(+10%)	0.39(-15%)	0.6(-77%)	測定不能
オクラ0.03g	測定不能	8.4(+11%)		8.01(+9%)	0.21(-54%)	2.2(-15%)	0.84
オクラ0.015g	7.7(+157%)	9(+18%)		8.03(+10%)	0.47(+2%)	1.7(-35%)	測定不能

抽出作業の結果、茶色い粉末をオクラ 100g あたり 0.086g 採取できた。この粉末に純水を加えて攪拌すると、粘性のある物質が生じた。浄化実験の結果は表 4 のようになった。

## 7 考察

### 実験 I

抽出された粘物質は粘性が低いものだったのはオクラに対して水分量が適切でなかったためだと思われる。また、浄化実験の結果、オクラを用いた実験結果は10月のCODの値は悪化したが、10月のDET, COD, 11月のSS, の値は改善された。このことから、適量のオクラには浮遊物質の吸着作用と界面活性剤の浄化作用があると考えられる。また、CODの値が月によって大きく異なっていたので、今後、実験回数を増やしたいと思う。

指標	COD	DO	SS	pH	DET
9月12日					
対照区	8.5	7.9	14.7	8.31	
あみ	7.2(-15%)	7.5(-5%)	25(+70%)	8.31(0%)	
あみなし	5.6(-34%)	8.1(+3%)	30(+104%)	8.3(-1%)	
ポリグルタミン酸	7.4(-13%)	7.4(-6%)	5.0(-66%)	8.19(-2%)	
オクラ 5g	8.4(-1%)	7.7(-3%)	40(+172%)	8.2(-2%)	
オクラ 30g	10以上	6.9(-13%)	測定不能	8.06(-3%)	
オクラ 60g	10以上	6.8(-14%)	測定不能	7.89(-5%)	
10月17日					
対照区	6.23	7.87	13.3	8.13	0.31
あみ	4.6(-26%)	9.2(+17%)	15(+18%)	7.82(-4%)	0.47(+52%)
あみなし	4.2(-33%)	8.2(+4%)	15(+18%)	7.83(-4%)	0.49(+58%)
ポリグルタミン酸	5.8(-7%)	8.3(+5%)	10(-25%)	7.89(-3%)	0.19(-39%)
オクラ 5g	10以上	8.1(+3%)	25(+89%)	7.76(-5%)	0.28(-10%)
オクラ 7g	10以上	7.7(-2%)	45(+238%)	7.79(-4%)	0.24(-23%)
11月21日					
対照区	4.3	6.8	20		
あみ	4(-7%)	8.2(+21%)	5(-75%)		
あみなし	3.8(-12%)	6.7(-1%)	10(-50%)		
ポリグルタミン酸	3.3(-24%)	6.7(-1%)	5(-75%)		
オクラ3g	3.3(-24%)	7.1(+4%)	15(-25%)		
オクラ5g	測定不能	7.3(+7%)	25(+25%)		

### 実験 II

採取された粉末に純水を加えて攪拌すると、粘性のある物質が生じたことから、この粉末を粉末状粘物質とし、抽出する目的であった粘質多糖類の抽出に成功したと考えた。しかし、100gあたり採取できた粉末の量が0.086gと少量であり、一度にもっと多くの量を採取できるようにしたい。採取した粉末を水に戻すとねばりがでた。実験Iと比べ、対照区からの値の増加率が少なくなったことから、実験IIの抽出方法の方が余分な有機物の混入を防げるのではないかと考えられる。

## 8 結論

水質調査の結果より、大堤沼には難生分解性有機物が多くあり、水質は一般的な湖沼の基準値とおおよそ変わらず、それほど汚濁しているというわけではなかった。実験Ⅰからはオクラの液性粘物質には浮遊物質の吸着作用と界面活性剤の浄化作用があると考えられる。その適当な投入量は 3g で、それ以上であると余分な有機物の混入につながると分かった。また、実験Ⅱからはアルコールで粘質多糖類を析出させた方が余分な有機物の混入を防げるのではないかと分かった。

## 9 参考文献

- (1) 「自然水における『よごれ』の発生メカニズムとその解釈に関する講義と実習」 村松隆
- (2) 「納豆から生分解性高分子化合物」 富山県総合センター <http://rika.el.tym.ed.jp/cms/53165b66/751f520689e3602730e930b930c130c330af/751f520689e3602730e930b930c130c330af>
- (3) 「水しらべの基礎知識」 山田一裕
- (4) 関東学院大学 人間環境学部健康栄養学科 津久井 学 教授



# 成長につれて変化するアメンボの滑走方法

生物班 大内康弘 尾地應忠 櫻井雄太

体の大きさの異なるアメンボの推進力の生み方の違いを解明するために、齢や種類の違いに着目し、体長、体積、跗節（水面に窪みを作る関節）から肢の先端までの長さを測定し、その関係を調べた。蛍池で採取し、実験室で飼育したナミアメンボ (*Aquarius paludum paludum*)、ヒメアメンボ (*Gerris lacustris latiaabdominis*) を用いた。齢や種類によるサイズや形態の違いに関係なく、体重や体積が大きいくほど体の大きさに対しての跗節から肢の先端までの長さは短くなった。体長や体重が大きくなるほど水面滑走するために必要な推進力を生み出しやすくなり、水面に接する部分の長さの割合が短くても十分な推進力が生み出せるのだと考えられる。

## 1 はじめに

### (1) アメンボとは

アメンボとは、熱帯から亜熱帯まで広く分布する水生昆虫であり、世界でおよそ 500 種、日本では 22 種がこれまでに発見されている。またカメムシ目に属するためカメムシ類と同様に臭腺を持ち、刺激を加えると匂いを放つ。「アメンボ」という呼称も、その匂いが飴のようであることに由来する。アメンボ科昆虫には、岸部に生息し、水面滑走する時間の短いものから、止水の中央の自由水面で多くの時間を過ごすものまでいる。自由水面に長時間滞在するものほど水面に接触する肢の先端部の跗節という部分が相対的に長い。

### (2) 水面に浮かぶ理由

#### 1：肢の構造

アメンボ類を始めとする水生半翅目昆虫は水面に立つとき、その跗節は水面を押し、水面上に樋の形をした窪みを作る。それは肢が水をはじいているからである。ウミアメンボの仲間や淡水産のアメンボの一部には、体毛が二層になっていて、撥水性を高めている。

#### 2：化粧行動

アメンボは、前肢の跗節同士、また前肢の先端で同側の中肢を、さらに中肢の先端で同側後肢をこする。これによって、跗節につく埃などを取り除くと共に、跗節腺から

分泌されるワックスを塗り、撥水性を保つのである。加齢成虫は、この化粧行動を行う頻度が高くなっていくが、これはワックスの分泌量が低下するので、毛の中に水が入りやすくなり濡れがちになるからである。

### **(3) 歩行と滑走**

水生半翅目昆虫は水面で歩行、滑走という移動運動をする。さらにその種類によって運動のしかたが異なる。進化の早い段階で水面に進出した種は、陸上でも水面でも同じように左右の肢を交互に動かす歩行運動を行う。より水面に適応し、長い中肢を持った種は、水面では左右の中肢をボートのオールのように漕ぐ滑走運動を行い、陸上では左右の肢を交互に動かす通常の歩行運動を行う。

一生を海面上で過ごす種は、陸に上がることがないため歩行運動を行う能力を失っていて、水面から陸に移しても、滑走運動しかできない。また、水面滑走するスピードも種によって異なり、荒波に生息している外洋棲の種のほうが滑走するスピードが速い。

### **(4) アメンボの水面滑走のメカニズム**

水面を槓の形に押し込んだアメンボの肢は、ボートのオールのように後ろへストロークする際、水面下にU字型の渦を作る。この渦は水面下にあり、水の塊なので、質量を持っており、後ろ向きに押し出されるため、後ろ向きの運動量を持っている。アメンボを前に推進させるのは、この後方へ打ち出される渦に対する反作用であって、表面張力波への反作用ではないという。

### **(5) 研究の動機・目的**

我々は現在アメンボで研究されているのは成虫のものばかりであり、幼虫はあまり研究されていないことに気付いた。幼虫と成虫の体の大きさや質量は全然違うのだから、それぞれが得ている推進力の源、水上での進み方は違うのではないだろうか、と思い研究を始めた。アメンボが水面を優雅に滑走できるそのメカニズムを、重量（体積）に差のあるアメンボ間の体の構造や推進力の生み方の違いによって解明する。

## 2 材料と方法

### <材料>

ナミアメンボ *Aquarius paludum* (これ以降ナミアメンボをアメンボと表記する)  
顕微鏡カメラ

### <方法>

アメンボを学校の近くにある大堤沼(通称:ほたる池)で虫網を用いて採取した。そして、 $30 \times 60 \times 22$  (cm<sup>3</sup>)の水槽に4分の1程度水道水を入れ、陸地として $30 \times 20$  (cm<sup>2</sup>)程に切った発泡スチロールを入れた。その中にアメンボを7~8匹程度入れた。また、エサとして学校の敷地内にてアリを採取し、それを与えた。交尾をしたら、その交尾したペアを水道水と $4 \times 4$  (cm<sup>2</sup>)に切った木の板2枚を入れたバケツに移し、木の板に卵を産ませ、卵を産んだら水槽に戻し、これを繰り返した。

今回は2種類のデータをとった。1つは、アメンボ1匹の卵からの成長を追って、孵化したばかりの個体を第一齢とし、それから脱皮をするごとに第二齢、第三齢、第四齢、第五齢(成虫)と名前をつけ、それぞれを同じ倍率で写真を撮り、①と③の長さを測定してその比を表したグラフである。2つ目は多くのアメンボの体積を計算して、1mm当たりの③の長さを表したグラフである。

#### <体積の求め方>

アメンボは小さい上に軽いため、学校に備わっている電子天秤(～桁まで表示)では正確な値が出せない。また軽さ故に、乾燥具合や埃などの異物の質量への影響が大きい。

そこで我々はアメンボの形を半回転楕円体として、計算からアメンボの体積を求めることにした。今回はすでに死んでいるアメンボ\*1を測定した。

まず、アメンボの①と②(図1)の長さを測る。ここでアメンボの形は①を軸とする回転楕円体となる。①は楕円の長径で②は短径となる。長半径  $a$ (①/2)、短半径  $b$ (②/2)の楕円は半径  $b$  の円を  $a/b$  倍に拡大したものであり半径  $a$  の円を  $b/a$  倍に縮小したのもでもあります。だから、

$$\begin{aligned} \text{楕円の面積} &= \text{円の面積} \times b/a \\ &= \pi a \times b \end{aligned}$$

となる.

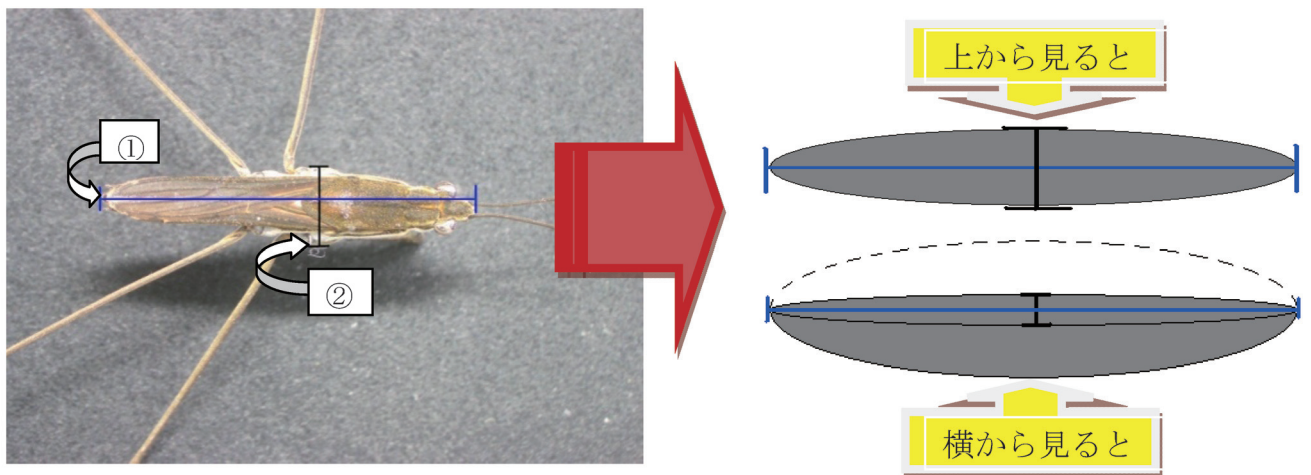
同様に, 楕円の回転体も球を変形させただけだから,

$$\begin{aligned}\text{楕円の体積} &= \text{球の体積} \times b/a \\ &= 4/3 \times \pi a^2 \times b\end{aligned}$$

となる.

$$\begin{aligned}\text{アメンボの体積} &= 1/2 \times \pi (\text{①}/2)^2 \times \text{②}/2 \\ &= 1/16 \times \pi \text{①}^2 \times \text{②}\end{aligned}$$

となり, この方程式を用いて体積を求めた.



### 3 結果

水槽の中にオスとメスのアメンボを入れておくと, やがてオスがメスの上に乗っかり, 交尾を始めた. それから数日間, オスがメスの上に乗った状態で交尾をし続けた. そして一度に 10~15 個程度の卵を産んだ.

卵は 8 日ほどで孵化し, その後 4 回脱皮を繰り返した. 脱皮 1 回目は孵化してから 9 日後, 2 回目はその 4 日後, 3 回目はまたその 5 日後, そして 4 回目が 11 日後に脱皮し, 成虫になった. しかし, 共食いや脱皮に失敗したりして最終的に成虫までなったのは 1 個体しかなかった.

図 2 ナミアメンボとヒメアメンボ\*<sup>2</sup>の 1 mm<sup>3</sup>あたりの③の長さを表したグラフ.

図3 写真上で測定した体長を1として、成長過程\*<sup>3</sup>における③の長さ\*<sup>4</sup>の割合を求め、グラフを書いた。

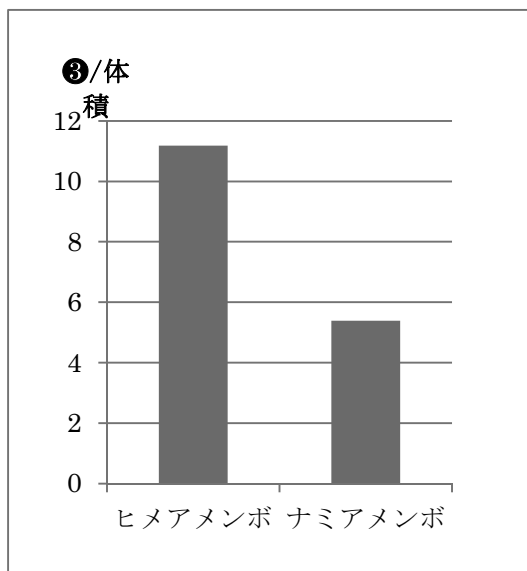


図2

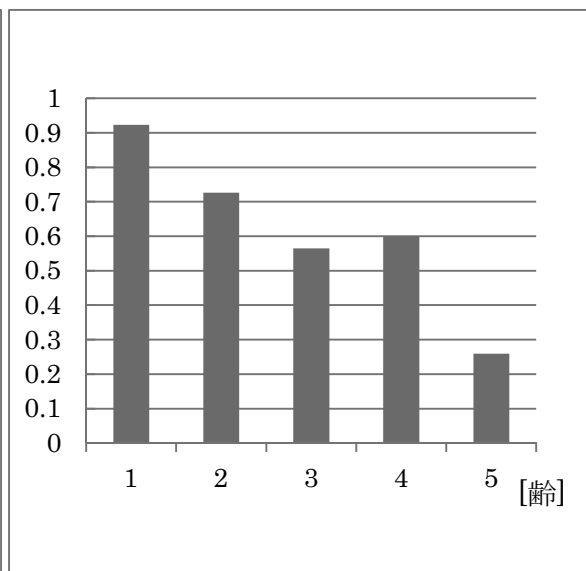


図3

## 4 考察

アメンボは成長して成虫に近づくにつれて肢の長さ、体長、そして体積はともに大きくなっていったが、体長に対する肢の長さの割合は小さくなっていった。つまり、体長（体積）に対する肢の成長が小さいということが分かる。すなわち、成長するにつれて肢の割合が小さくても水面滑走するために必要な推進力を十分生み出せているということになる。この理由として、水面を蹴る時に使う力が大きくなっているということも関係していると思うが、一番の要因としてはやはり成長に伴う体積や体重の増加が挙げられる。体積が大きくなるだけ比例して体重も増加していく。体重が大きいほど水面に浮遊している際にできる窪みが大きくなるし、逆に体重が小さいほど水面にできる窪みが小さくなる。また、窪みが大きいほど水面とアメンボの肢が接する面積が増え、水面を蹴った時に生まれる推進力も大きくなる。したがってアメンボは成長に伴う肢の長さや体重の増加によって水面

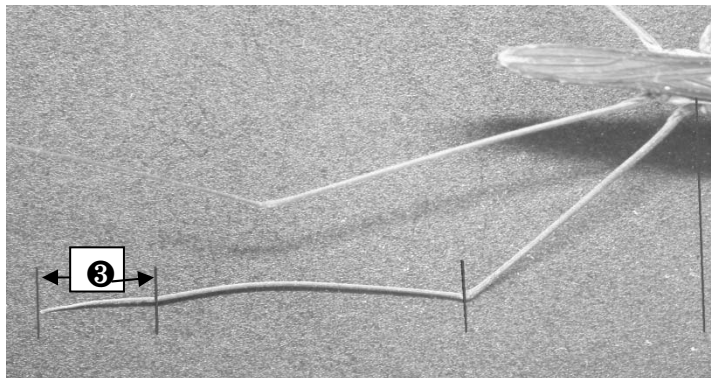
を滑走するために必要となる推進力を生み出しやすくなったため、成虫に近づくほど肢の長さを長くする必要がなくなり、(図1)のように体長に対しての肢の長さが小さくなっていったと考えられる。

これからはさらに多くのアメンボを採集してデータを取ることで、正確な数値を出したいと思う。

- \* 1 今回研究で用いたアメンボはナミアメンボである。
- \* 2 ナミアメンボは比較的カラダが大きく、ヒメアメンボは小さい。
- \* 3 下図が成長過程であり、最初から順番に1, 2, 3, 4, 5とする。(卵は除く)



\* 4



## 5 参考文献

昆虫ミメティックス 昆虫の設計に学ぶ

# 飼育下ペンギンの繁殖行動について

## ～DNA を用いた親子鑑定の試み～

生物班 赤崎慎 臼田琢人 吉田貴裕 安部菜々 松浦紗季

人間の飼育下にある動物には様々な遺伝的問題が現れる。そのなかでもとても大きな問題である近交弱勢に着目し、配偶行動の実態を明らかにするために DNA を用いた親子鑑定の試みを行った。ペンギンは松島水族館に飼育されているマゼランペンギン (*Spheniscus magellanicus*)、フンボルトペンギン (*Spheniscus humboldti*)、イワトビペンギン (*Eudyptes chrysocome*) を用いた。国内ペンギン血統登録台帳からマゼランペンギンおよびフンボルトペンギンの血縁関係を調べた。ペンギンの血液から DNA を抽出し、PCR の一種である SRAP 法を用いて DNA の解析を行った。血統登録台帳からは、松島水族館に飼育されている 2 種のペンギンは、それぞれ限られたペアから生まれた個体で構成され、遺伝的多様性が低下しやすい集団であることがわかった。ランダムな PCR 法のひとつである SRAP 法で、*Spheniscus* 属と *Eudyptes* 属の違いが判別できる可能性が示された。種間および個体の識別における有効性を検討しており、有効であった場合は SRAP 法で親子鑑定を行い、松島水族館の飼育ペンギンの遺伝的多様性を評価したい。

## 1. はじめに

### ・ペンギンについて

生息地：主に南半球に生息する海鳥。

形態：陸上ではフリッパー（羽）をばたつかせ歩き、氷上や砂浜などでは腹這いになってすべる。海中では翼をはばたかせて泳ぐ。独自の体型は泳ぎに特化している。食性は肉食で、魚類、甲殻類、頭足類（イカ・タコ）などを海中で捕食する。

祖先：ペンギンを含む鳥の祖先は、爬虫類のアルコサウリアから進化したと考えられている。1 億年ほど昔、ミズナギドリに似たペンギンの祖先たちは、大海原を渡り暮らしていた。そして 7000 万年前あたりから、彼らは飛ぶ力を失いペンギンとなっていった。

繁殖：陸上で繁殖し、卵は 1 個～3 個を産む。オスとメ共に抱卵をする。ほとんどのペンギンは他の鳥類と同様に春～夏にかけて繁殖する。

### ・松島水族館のペンギン飼育の概略

今回私たちは松島水族館に協力をしてもらい、松島水族館のペンギンで実験を行った。松島水族館では現在 7 種類のペンギンを飼育しているが、数種類ごとに一緒に飼育をしている。

### ・生物全般の飼育下繁殖における近交弱勢の問題

人間の飼育下にある動物には様々な遺伝的問題が現れる。そのなかでもとても大きな問題となるのが近交弱勢である。

近交弱勢とは、個体数の少ない飼育下の様な閉鎖的環境の中で近親交配が行わ

れる事により劣性遺伝が繰り返されることで、子孫へと伝えられていく遺伝子の多様性が徐々に失われ形質の弱い個体が増える、つまり遺伝的劣化していく事である。この近交弱勢は進み過ぎると自ら絶滅する事も十分に有り得る。

この近交弱勢は水族館や動物園における個体数の少ない集団では非常に避け難い問題でもあり、近交弱勢がどの程度進んでいるかを評価することは、繁殖を管理する上で重要である。

・研究の目的

松島水族館に飼育されているペンギンについて DNA を用いた親子鑑定を試み、配偶行動の実態を明らかにする事を目的としている。

しかし、今回の親子鑑定は SRAP 法 (PCR 法と電気泳動を組み合わせた方法) が有効かどうか不明であるので、まずは親子鑑定に SRAP 法が有効かどうかを確かめる必要がある。

そこで親子 (個体) の識別に有効かどうか調べる前に、ペンギンの種の識別に有効かどうかを調べた所、種の識別には有効であることが分かった。

<飼育下で近親交配を避けるための管理>

私たちが注目したペンギンもその一つであるが、複数の雌雄個体を含むグループで飼育されているような集団については、系図は通常利用できない。卵を産み、自ら子ども育てるため母親は特定できる。しかし、雄個体は母親と一緒に育てているからといって本当に父親なのかということとはわからない。そのため、複数の個体からなるグループで最もうまく繁殖ができる種の場合、親子関係はわからない。したがって、有効集団サイズや近親交配、遺伝的多様性の消失を正確に予測することはできず血縁度を最小化する方法をとることもできない。つまり、複数の雌雄個体を含むグループで飼育されているような集団では親子関係がわからず近親交配を行っている可能性があり、その種が危険にさらされる可能性があるということだ。近親交配とは近い個体同士の交配のことをいい、近親交配を繰り返すと形質の弱い個体が増加していく近交弱勢という問題が出てくる。形質の弱い個体が増加するという事は、有性生殖の長所である遺伝子配列のバリエーションが生まれず遺伝的に劣化し、環境の変化などに対応することができなくなっていくということだ。

グループ繁殖を行う種に関しては、定期的にグループ間の個体を入れ替えることによって、近親交配をできるだけ小さくする方法がいくつか考えられている。それらは、近親交配を最大限回避するという考えに基づいているが、個体ではなく、グループに対して適用されるものである。しかしこの場合個体を移動させなければならないので、大きなコストがかかってしまう。これは動物園や水族館で考えると、各動物園や水族館がそれぞれ個体を他の場所に移して繁殖行動を行わせるということだ。\*2)

これらをふまえわたしたちは・・・

松島水族館のペンギンの血液から DNA を抽出し、それぞれの親子関係を明らかにしたいと思っている。



## 2, 材料と方法

### (1) ペンギン個体について

今回私たちが実験で使ったペンギンの種類は、マゼランペンギン (*Spheniscus magellanicus*), フンボルトペンギン (*Spheniscus humboldti*), イワトビペンギン (*Eudyptes chrysocome*) である. イワトビペンギンはマゼラン海峡付近で捕獲された野生個体を用いた.

例) 個体の番号 雌雄 (M:雄 F:雌) 生年月日 両親 (父 母)

- ・マゼランペンギン (*Spheniscus magellanicus*)

523 M 27May1991 311 310

732 F 21May1993 320 318

1236 ? 20May2006 523 732

- ・フンボルトペンギン (*Spheniscus humboldti*)

950 M 15May1992 170 171

906 F 25May1992 270 271

2929 F 27May2001 950 906

- ・イワトビペンギン (*Eudyptes chrysocome*)

### (2) DNA 抽出

ペンギンの脚の静脈(循環器の一部をなし, 血液を心臓に運ぶ血管. 動脈に比べ血管壁が薄く, 所々に弁があって血液の逆流を防ぐ)から, キアゲン社の DNA 抽出キットを用いて DNA を抽出する. 今回はキットを用いて DNA 抽出を行ったが, そもそも DNA 抽出というものは①核の単離操作(核分画の調製), ②タンパク質および RNA の除去にある. 遺伝子の構造や機能を解析するためには, 細胞や臓器などから DNA を抽出し精製する必要がある. ゲノム DNA はタンパク質などと複合体を形成(クロマチン構造)しており核内に凝集している. ゆえに②の作業が必要となる. DNA の抽出操作ではタンパク質を変性, 除去しなければならない. この操作に有機溶媒のフェノールが使用される方法はフェノール抽出法といわれる. 今回使用したキットの詳細を述べると詳細名は

DNeasy Blood & Tissue Kit という分子生物学実験用のものを用い, シリカメンブレンをベースにした簡便なスピнкаラムまたは 96 ウェルプレート・フォーマットにより DNA 精製を実現する.

### (3) PCR

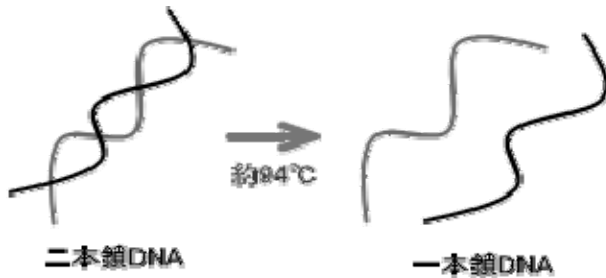
たとえばヒトの場合, 約 30 億塩基対もの長さとなる DNA で構成されていると言われている. この中から自分のほしい塩基配列だけを取り出して, 増幅させたい. このときに使われる操作が PCR 法である.

PCR(ポリメラーゼ連鎖反応)法では DNA のある一部分だけを選択的に増幅させるこ

とができる。これには、DNA ポリメラーゼによる酵素反応を利用する。なお、実際に PCR を行う場合、試薬を混ぜて機械にセットしてスイッチを押すだけであるため、誰にでも容易にできる。

#### ・ DNA の増幅過程

① DNA を増幅させるため、まず最初にはないとはいけないのは DNA の二本鎖を一本鎖にすることである。DNA を入れた反応液を約 94℃ にし、熱変性させる。これにより、二本鎖 DNA が一本鎖 DNA に変性する。



② 一本鎖 DNA に DNA ポリメラーゼを作用させるためには、予めプライマーを DNA に結合させる必要がある。このように、プライマーが DNA と結合することをアニーリングという。アニーリングは約 55～60℃で行うが、プライマーによって温度が異なってくる。



③ 最後に DNA ポリメラーゼを反応させ、DNA を伸長させる。耐熱性 DNA ポリメラーゼ (Taq Polimerase) で行う場合、約 72℃で行う。



④、①～③を繰り返して DNA を増幅させる。

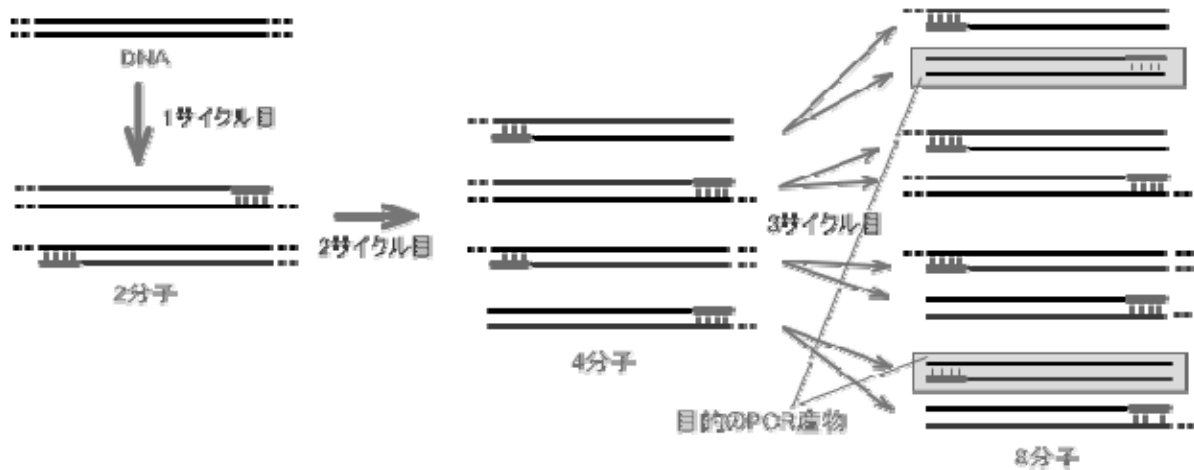
#### ・ Tm (melting temperature)

プライマーの設計には Tm 値の計算が不可欠である。Tm 値とは二本鎖 DNA の 50% が一本鎖 DNA に分かるときの温度である。

そして、この Tm 値をもとにしてアニーリングするときの温度を決めるのである。

### ・ PCR 産物の生成

PCR 法では 1 サイクル目で 2 分子，2 サイクル目で 4 分子，3 サイクル目で 8 分子の DNA 断片ができる。



このとき，3 サイクル目で初めて目的の長さの PCR 産物を生成することができる。後は，PCR の工程を続ければ続けるほど目的の PCR 産物を得ることができる。

## (4) 電気泳動

電気泳動は主にタンパク質や DNA の分離に用いる。タンパク質や DNA は電圧をかけたときに移動する性質があるため，この移動距離の違いによって分離を試みる方法。

### 【原理】

電気泳動は，さまざまな大きさの断片をその大きさによって分離していく。DNA を流すゲルは肉眼では見えないほど細かい網目構造になっていて，分子量の小さなものはすばやくその網目を縫って移動することができる。一方，分子量の大きなものは移動に時間がかかることになる。

DNA は核酸という酸なので，水溶液中でマイナスに帯電する。そのため，電気を流すとプラスの方へ流れていく。つまり，より小さな断片（分子量の小さいもの）ほどプラス極の近くに現れるということになる。

### 【代表的な電気泳動手法】

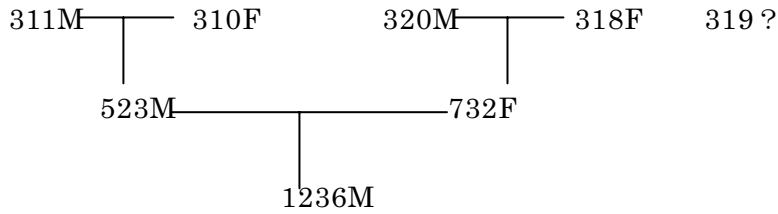
#### ・ アガロースゲル電気泳動 (Agarose Gel Electrophoresis)

寒天（アガロースゲル）上にサンプルを載せて一定方向に電圧を加える。一番安価な方法です。寒天ダイエットの必需品，寒天（粉末）はバイオ業界ではポピュラーなものである。アガロースゲル電気泳動は移動距離によって物質が分離される。

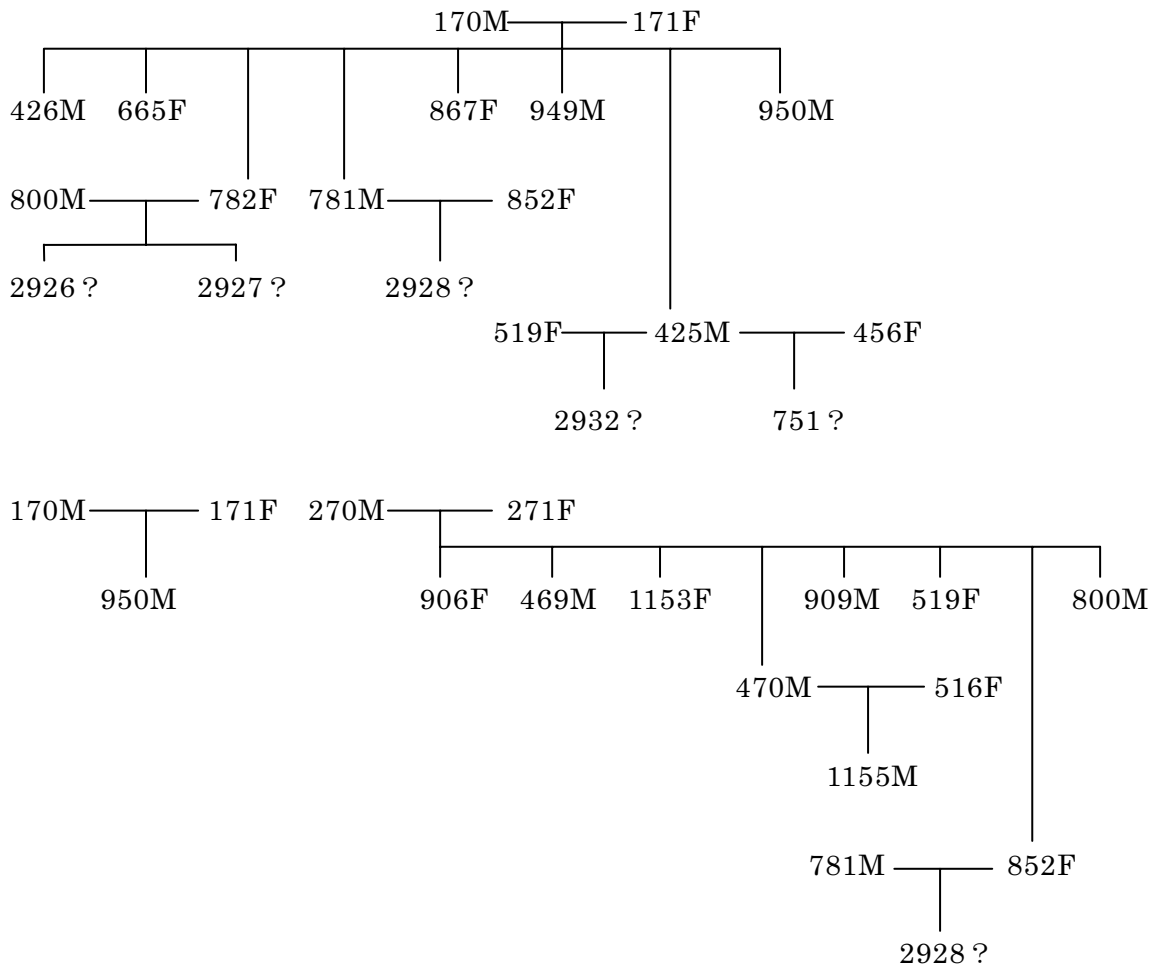
### 3. 結果と考察

(1) 松島水族館のマゼランペンギンとフンボルトペンギンの家系図

～マゼランペンギンの家系図～



～フンボルトペンギンの家系図～

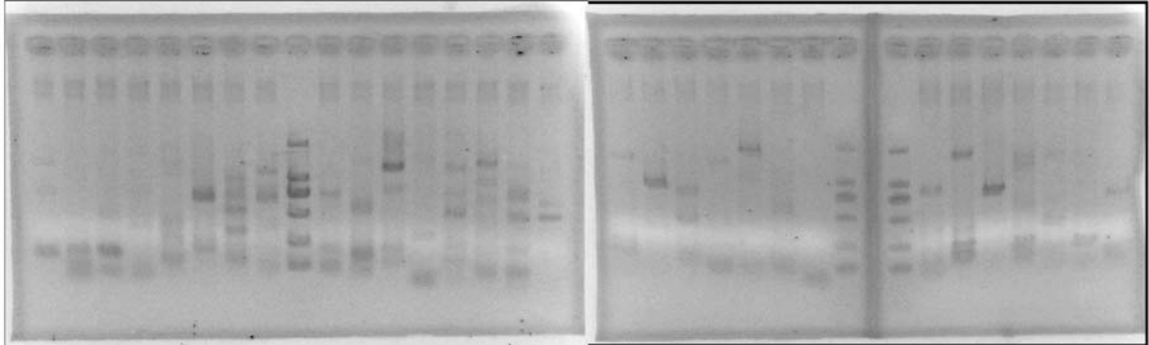


松島水族館のマゼランペンギン，フンボルトペンギンの集団は，限られたペアから繁殖した個体から構成されることが分かった。

(2)SRAP 法による属の比較

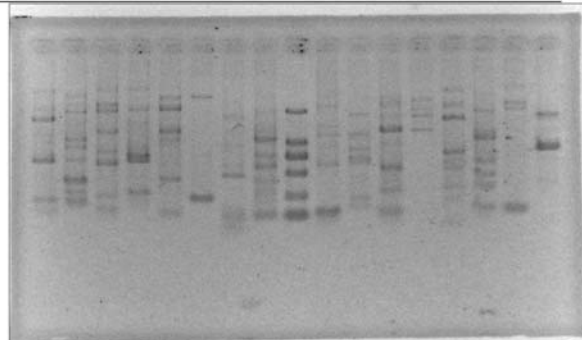
*Spheniscus* 属のマゼランペンギンと *Eudyptes*属のイワトビペンギンのSRAP法による増幅断片を比較した。

Me	1	1	1	1	1	1	2	2	M	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	M	M	4	5	5	5	5	5	
Em	1	2	3	4	5	6	1	2	M	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	M	M	6	1	2	3	4	5	6



マゼランペンギン (310F)

Me	1	1	1	1	1	1	2	2	M	2	2	2	2	3	3	3	3
Em	1	2	3	4	5	6	1	2	M	3	4	5	6	1	2	3	4



イワトビペンギン

2 種類のペンギンで増幅される DNA 断片が大きく異なったことから、SRAP法で属を見分けることができる可能性がある。この方法で同じ種の複数個体を比較し、個体識別が可能かを検討して親子鑑定を試みたいと考えている。また、雑種が存在する可能性が指摘されているマゼランペンギンとフンボルトペンギンについて、雑種の判別にSRAP法を使えるかもしれない。

参考文献

- 1) ペンギンガイドブック, 藤原幸一, 阪急コミュニケーションズ, 2002
- 2) Li Y, Fan X, Shi T, Zhang Z. 2009. SRAP marker reveals genetic diversity in tartary buckwheat in China. *Frontiers Agric China*. 3(4):383-387

# 火星におけるランパートクレーターの形成条件

地学班 小梨晶子 宇佐見茜

火星の環境を知るために、火星にしか発見されていないランパートクレーターに着目した。現在、ランパートクレーターの形成には水が必要ということが確認されている。しかしその詳しい形成過程は分かっていない。そこでランパートクレーターの形成実験を行った。

小麦粉を水で溶かしたものに、鉄球を自由落下させた。水の量と落とす高さはそれぞれ変更した。水の量と落とす高さは、多ければ多いほど、また高ければ高いほど流動性が増した。また、形成されたものは花びら型という種類のものが多かった。実験で形成されたものはすぐ消えてしまった。しかし火星のランパートクレーターが形を留めているのは、形成された瞬間に凍ってしまうからではないだろうか。また、花びら型以外のものも形成させることができれば、火星の水量分布を調べることができるのではないだろうか。

## 1 研究の趣旨

火星には“ランパートクレーター”というクレーターが存在する。それは太陽系内では珍しく、今のところ火星でしか確認されていない。ランパートクレーターの詳しい形成過程は知られていないが、これまでの研究で水が必要だということが分かっている。現在、火星に水は存在しない。だが、地表に水の流れた跡があることや、地中に水があることが確認されている。よってランパートクレーターの形成過程を知ることは、火星と水の関係を知る手がかりとなる。

火星は他の惑星に比べて地球に類似している点が多い。「火星移住」という言葉が有名になったように、生命が活動できる可能性がある惑星であり、火星の環境を知ることは今後の地球を考察する際に有効であると考えられる。

## 2 ランパートクレーターとは

Rampart とは“城壁”を意味する。月などに見られる一般的なクレーターは、エジェクタ（隕石衝突時にクレーター孔から噴出し堆積したもの）がクレーターから遠ざかるにつれて薄くなっていくが、ランパートクレーターは、エジェクタの端がクレーターを囲むように盛り上がっている。このエジェクタの形が、城を囲む城壁のように見えるのでランパートクレーターと呼ばれている。

### 3 先行研究

9年前に仙台三高で行われていたランパートクレーターの研究では、ランパートクレーターの形成と気体の関係に着目して実験を行っていた。しかし、どれもうまくクレーターが形成されなかったようだった。当初はこの実験を引き継ぐつもりだったが、実験に必要な材料が入手しにくい、成功した事例が少ないという理由から実験方法を変更することにした。そこで私たちは、気体よりも液体に重点を置き実験を進めることにした。

### 4 形成実験

ランパートクレーターの形成には水が必要だと言われている。そこで水を用いて、擬似的にランパートクレーターの形成実験を行う。

この研究を始めた当初は、水槽に水を張り、ガラスビーズを敷き詰めたものを火星の表面と火星周辺の大気と見立て、そこに擬似隕石となる衝撃を与え、ランパートクレーターの形成条件を調べられないかと企てていた。しかしガラスビーズの購入が困難だったために断念することとなった。そこで考えたのが、小麦粉を用いた実験である。

小麦粉 1kg と水 0.1L を混ぜたものを用意する。そこに高さ 2m と 1.5m の 2 か所から鉄球を落としランパートクレーターが出来たかを調べる。その後計測ごとに水の量を 0.1L ごと増やしていき、それぞれで同様の実験を行う。

小麦粉を用いた理由として、流動性が必要だったからである。隕石衝突時に火星の地表、または地中にある氷が溶けて流動し火星地表面の鉱物などを運ぶことがランパートクレーターの形成に関与すると考えている。よって流動性があり、また入手しやすい小麦粉を採用した。

- 材料：小麦粉（薄力粉）1kg，水（水道水）1～1.3L，鉄球 112g

### 5 実験結果

結果としてランパートクレーターと判断できるクレーターが形成された。さらに、1.5m より 2m の高さから鉄球を落下させたほうがクレーターが形成されやすいと分かった。

また、実験の過程で、水が多量になると小麦粉が流動性を持ち、形成されたクレーターが形を留めることが出来なくなった。そのため、クレーターの判定にハイスピードカメラを用いた。

## 5 考察

実験で形成されたランパートクレーターが形を留めず消えてしまうことから、火星のランパートクレーターはなぜ消えずに残っているのか疑問に思った。また、研究の途中で水のある惑星は火星だけではないのに、なぜランパートクレーターは火星でしか形成されていないのか疑問に思った。

そこで2つの疑問をまとめた結果、私たちの班では、ランパートクレーターの形成には最低でも3つの要因があると考えた。一つ目に、地表、または地中にランパートクレーターの形成に適切な量の水や氷が存在すること。二つ目に、隕石衝突時に地表面付近の水や氷が融けだし、エジェクタが流動性を持つこと。最後に、流動したエジェクタが形を留めた状態で凍結すること。この3つの条件がランパートクレーターの形成条件であると考えた。

また代表的なランパートクレーターの1つに Yuty (図4) というクレーターがある。このクレーターの特徴はクレーター孔の中心が小さく盛り上がっていることだが、今回の実験で似たようなことが起きた(図5)。よって Yuty のクレーター孔内の盛り上がりについても、この実験で説明できるようになると考える。

## 6 今後の課題

今回分かったことをふまえて、より多くの実験をすることが必要だと考える。

ランパートクレーターには花びら型、パンケーキ型と呼ばれる種類が数種存在する。これはエジェクタの堆積した形状に違いがあるのだが、この違いは水の量に関係していると今回の実験から考えられる。よって、水の量と形成されるランパートクレーターの形状の関係について研究ができるだろう。

また、今回は小麦粉を使用したけど、実際に石英などを使用したり超高温に熱した鉄球を氷点下の



部屋で落とすなど, 実際の火星の環境に近づけた状態で実験ができればさらに形成条件を理解することができるだろう.

## 7 参考文献

NASA Solar System Exploration

[http://solarsystem.nasa.gov/multimedia.cfm?IM\\_ID=824](http://solarsystem.nasa.gov/multimedia.cfm?IM_ID=824)

鈴木絢子 (東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻自身研究所 博士1年)

<http://www.eps.s.u-tokyo.ac.jp/res-edu/earth/suzuki.html>

蒸発成分を持つ粉体流によるランパートクレーター形成シュミレーション (東京大学)

<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jepsjmo/cd-rom/2002cd-rom/pdf/j067/j067-p004.pdf>

教室で行う衝撃型クレーター形成の模擬実験の開発 (宮城教育大学)

<http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/labo/paper/2001suda.pdf>

国立科学博物館 -宇宙の質問箱

<http://www.kahaku.go.jp/exhibitions/vm/resource/tenmon/space/moon/moon03.html>

図 1 実験方法模式図

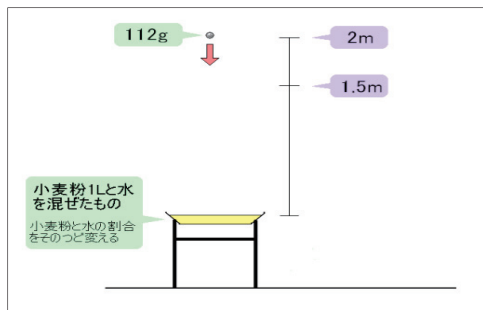
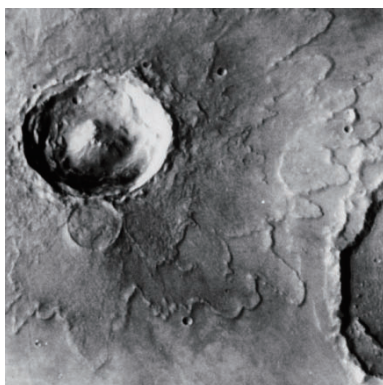


図 2, 3 ハイスピードカメラで撮影したクレーター形成中の実験写真



図 4(左) ランパートクレーターYuty 5(右) 実験で形成されたクレーター



NASA/Rampart Crater/Yuty



# 仙台第三高校周辺の造成宅地地盤について

地学班 遠藤 瑞希 八島 唯

仙台第三高校がある仙台市宮城野区鶴ケ谷は、1965～1971年に造成された団地である。宅地造成の際の切り土地盤と盛り土地盤の分布と地震被害との関係を明らかにするために、造成前の昭和33年の地形図と造成後の平成4年の地形図の等高線の差などから切り盛り地図を作成し、実際に鶴ケ谷小学校周辺を歩き、地震被害との関係を調べた。造成前の鶴ケ谷地区はかなり急な丘陵地だったため、切り盛りの分布がはっきりとしていて、被害の差も大きかった。切り土地盤のところでは目立った被害は見つからず、盛り土地盤と切り土と盛り土の境界のところでは道路の亀裂、塀のヒビ等被害が大きかった。

## 1 はじめに

今回の東北地方太平洋沖地震で宮城県は甚大な被害を受けた。それは仙台第三高校周辺の宮城野区鶴ケ谷も例外ではない。宮城野区鶴ケ谷には、1965～1971年に造成された面積180ha、住宅戸数1160戸の団地がある。また、仙台三高周辺の地盤は昭和33年から40年までに造成された宅地である<sup>1)</sup>。

◎造成宅地地盤とは・・・

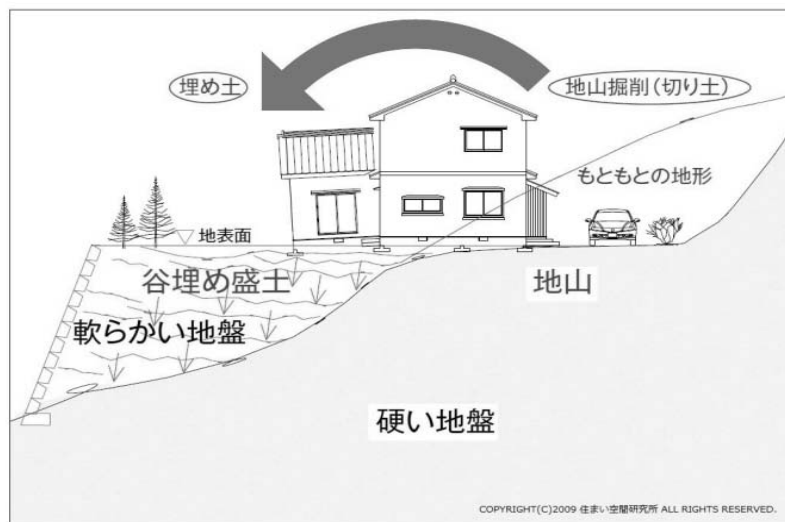


図 1

図 1 のように、山と谷があるような地形を平らにするために、山を削って谷の上にその削った土をのせた土地のことである。

⇒このような土地はもともと丘陵地だった場所を切り盛りして平坦化して造成するので、

地盤は不安定である。特に、切り土地盤などの自然地盤に比べて盛り土地盤などの人工地盤は不安定である。<sup>(2)</sup>

仙台市は、新第三紀層（2,303 万年前から 258 万年前までの時代を指す）が分布している。これは軟岩でかつ泥岩や凝灰岩など粘性の地盤が多い。

よって、盛り土の材料になる土も粘性土になる場所が必然的に多くなる。

また、盛り土では地下水位が高いと宅地地盤の被災が発生するが、地下水位を低下させても宅地地盤の不等沈下のおそれがあるとの指摘がある。

しかし、家が建ってしまっている今、どこが切り土地盤でどこが盛り土地盤かは目で見てもわからない。そこで、私たちは実際に鶴ヶ谷地区の切り土、盛り土地盤の分布と被害との関係を調べることにした。

## 2 調査方法

- ① 仙台市役所にて平成 4 年の鶴ヶ谷地区の地形図(図 2)と造成前(昭和 33 年)の鶴ヶ谷地区の地図(図 3)を購入する。
- ② 昭和 33 年測量の地図と平成 4 年測量の地図を比較して、等高線から切り盛りされた箇所を探す。
- ③ 切り盛り地図と比較して、地図から読み取れた切り盛りと合っているかをみる。
- ④ 切り盛りの高低差が高いところを中心に東日本大震災などにおける被害状況を調べ、切り盛りと地震被害の関係をまとめる。
- ⑤ 3 丁目～4 丁目の地質を調べて、切り盛りの他に地震被害の要因となったものについても調べる。



図 2



図 3

### 3 結果

造成前の地形図の等高線から標高を調べ、色分けしたところ、図 3 のようになった。紫、青、緑、黄色、橙、赤の順に標高が高くなっており、標高は 30~80m とかなりの差があり、等高線の狭さなどから今鶴ヶ谷小学校があるあたりはかなり急な坂であったことがうかがえる。

これを今の地図と重ね合わせたのが図 4 である。

これから分かることは、

- ・三高の上側：(昔) 標高 60~70m → (現) 50~60m
- ・三高の左側：(昔) 標高 40~50m → (現) 50~60m
- ・鶴ヶ谷小学校：(昔) 標高 40~50m → (現) 50~60m

よって、

- ・三高の上側→切り土⇒地盤が強い
- ・三高の左側→盛り土⇒地盤が弱い
- ・鶴ヶ谷小学校→盛り土⇒地盤が弱い(ただし、鶴ヶ谷小学校は切り土と盛り土の境目にある)

このことから、だいたいの切り盛りの分布を出したところ、図 5 のようになった。ピンクのところは盛り土地盤、青のところは切り土地盤と考察した。

尚、仙台第三高校については、手に入った造成前の地図の時代ときには出来上がっていたので、標高差は調べられなかった。

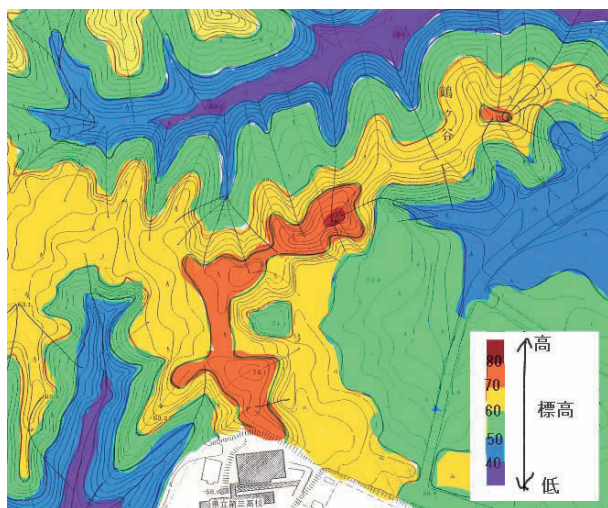


図 3

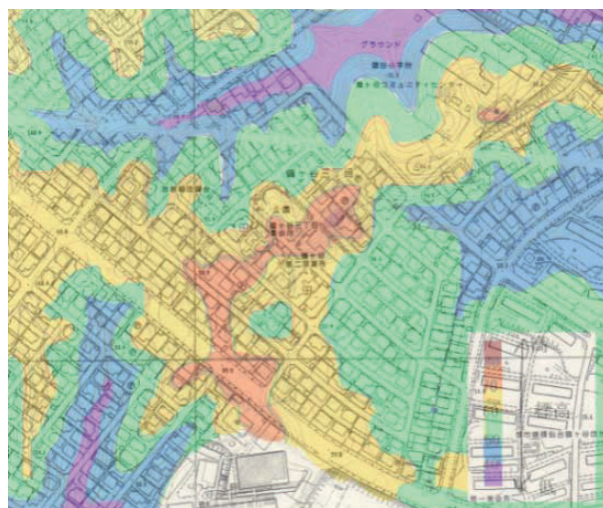


図 4

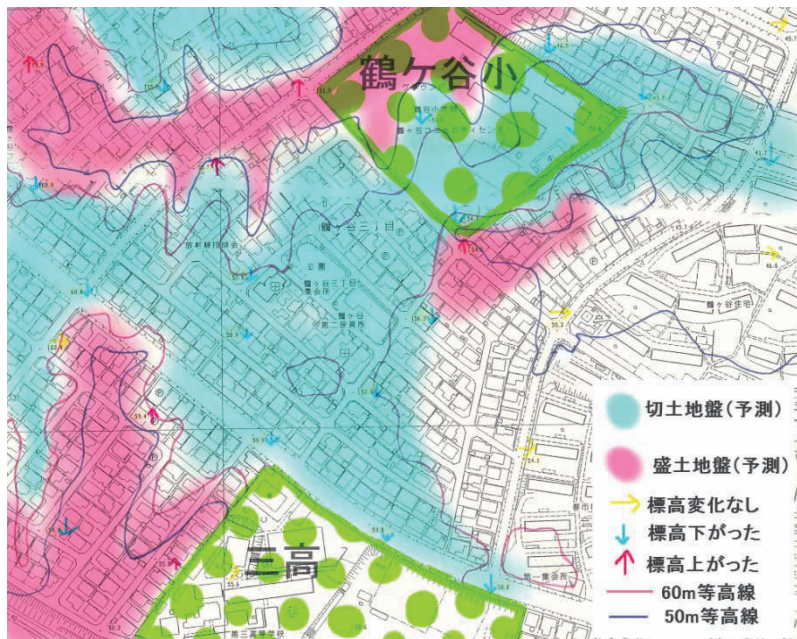


図 5

次に、2012年11月21日に鶴ヶ谷小学校周辺の切り土地盤と盛り土地盤の境界のあたりで実際に被害調査を行った。

やはり盛り土地盤のところでは割と新しい民家の壁に亀裂が入っていたり、道路に亀裂が入っていたり、電信柱が建て直されていたり、実際に道路の補修工事が行われていたり被害は大きいようだった。

それとは裏腹に、切り土地盤のところでは比較的古い家だけど亀裂などは入っておらず、見た目だけでも盛り土地盤のところとは全く違って、目立った被害はなかった。(図6)

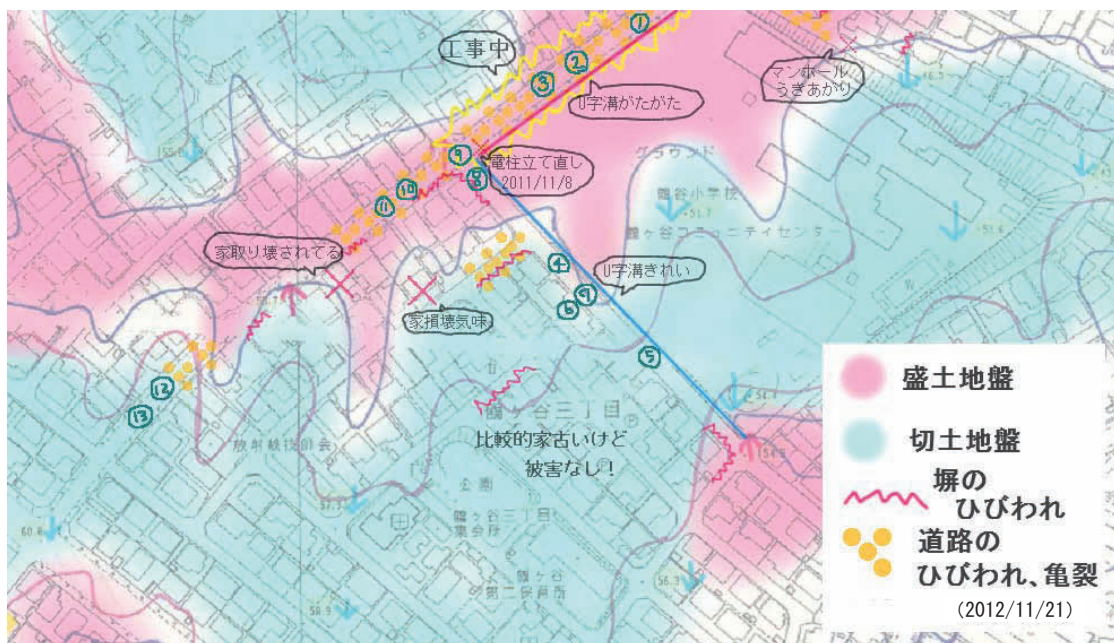
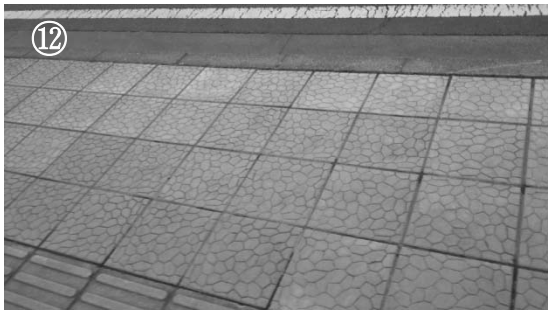


図 6

図 6 中番号①～⑫





#### 4 今後の計画

- ・この方法で同様に安養寺周辺の切り盛り分布と被害の関係も調べる。
- ・地質調査の会社に鶴ヶ谷の地質調査結果をもらい地震被害との関係を切り盛りと合わせて考察する。

#### 5 参考文献

1) 造成地の被害

[http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/Chapter6\\_0.pdf#search='6.11%20仙台市泉区南光台'](http://committees.jsce.or.jp/report/system/files/Chapter6_0.pdf#search='6.11%20仙台市泉区南光台')

2) 「造営宅地地盤の切り盛りに着目した地震動増幅特性調査」

<http://soill.civil.tohoku.ac.jp/doc/gaiyo/nakajiriresume.pdf>

「造成宅地地盤における盛土厚分布の推定手法による違いおよび地震応答特性」

<http://soill.civil.tohoku.ac.jp/doc/gaiyo/seo.pdf>



## 序論

フィボナッチ数列についての様々な魅力を紹介した本の中から、高校レベルの知識で容易に理解できる定理のいくつかについて証明をした。ここに載せたのは数列が不得意な人にもわかりやすい証明なので、是非フィボナッチ数列の奥の深さをすこしでも知って貰えとありがたい。

## 1. フィボナッチ数列とは

$F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$ ,  $F_1 = 1$ ,  $F_2 = 1$  で表される数列のこと。

隣接三項間漸化式の特異方程式を用いて一般項を求めると、

$$F_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left\{ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right\} \text{ となる。}$$

ここでその基本的な性質をあげていく。

定理1  $F_1^2 + F_2^2 + F_3^2 + F_4^2 + \dots + F_n^2 = F_n \times F_{n+1} \quad \dots \textcircled{1}$

定理2  $F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + \dots + F_n = F_{n+2} - 1 \quad \dots \textcircled{2}$

定理3  $F_{2n}^2 - 5F_n^4 = F_n^2 \times 4(-1)^n \quad \dots \textcircled{3}$

定理4  $F_{n+m} = F_m F_{n+1} + F_{m-1} F_n \quad \dots \textcircled{4} \quad \underline{\text{(加法定理)}}$

定理5  $F_n^2 + F_{n+1}^2 = F_{2n+1} \quad \dots \textcircled{5}$

定理6  $F_{3n}/F_n = L_{2n} + (-1)^n = 5F_n^2 + 3(-1)^n \quad \dots \textcircled{6}$

定理7  $\text{GCM}(F_m, F_n) = F_{\text{GCM}(m,n)} \quad \text{【GCM: 最大公約数のこと】}$

定理 8  $F_n = \left[ \frac{\alpha^n}{\sqrt{5}} + \frac{1}{2} \right]$  (ただし  $\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$  とする。)

【定理 2 の証明】 フィボナッチ数列の漸化式より,

$$F_1 = F_3 - F_2$$

$$F_2 = F_4 - F_3$$

$$F_3 = F_5 - F_4$$

⋮

$$F_n = F_{n+2} - F_{n+1}$$

これらを辺々加えると、 $F_3$ から $F_{n+1}$ までがすべて打ち消しあうので残るものは、

$F_{n+2} - F_2$ という簡単な式になる。

これを計算すると (右辺) =  $F_{n+2} - F_2 = F_{n+2} - 1 =$  (左辺) (証明終)

【定理 8 の証明】

$\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ ,  $\beta = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$  とすると,  $F_n = \frac{1}{\sqrt{5}}(\alpha^n - \beta^n)$ とあらわせる。

$|\beta| = 0.618\dots < 1$  なので  $n \rightarrow \infty$  のとき  $F_n \rightarrow \alpha^n / \sqrt{5}$  である。

また,  $\left| \frac{\beta}{\sqrt{5}} \right|$  は  $\frac{1}{2}$  より小さく  $\left| \frac{\beta^n}{\sqrt{5}} \right|$  は  $n$  が大きくなるにつれてさらに小さくなるので

最大整数関数  $[x]$  を用いて,  $F_n$  は  $F_n = \left[ \frac{\alpha^n}{\sqrt{5}} + \frac{1}{2} \right]$  と表せる。

## 2. リュカ数列の導入

ほとんどフィボナッチ数列と同じだが初項と第二項がそれぞれ 1, 3 で始まる点異なる。

一般項:  $L_n = \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n + \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n = \alpha^n + \beta^n$

定理6の証明にリュカ数列は必要不可欠である。

$$\text{まず, } L_n^2 = (\alpha^n + \beta^n)^2 = (\alpha^n - \beta^n)^2 + 4(\alpha\beta)^n = (F_n \times \sqrt{5})^2 + 4(-1)^n = 5F_n^2 + 4(-1)^n$$

※ $\alpha\beta = -1$ である。

$$\begin{aligned} \text{この式を整理して } 5F_n^2 &= L_n^2 - 4(-1)^n \quad \text{両辺に } F_n^2 \text{ をかけて } 5F_n^4 = F_n^2 \times \{L_n^2 - 4(-1)^n\} \\ &= (F_n L_n)^2 - 4(-1)^n \times F_n^2 \end{aligned}$$

$$\text{ここで } F_n L_n = \frac{1}{\sqrt{5}}(\alpha^n - \beta^n)(\alpha^n + \beta^n) = \frac{1}{\sqrt{5}}(\alpha^{2n} - \beta^{2n}) = F_{2n}$$

$$\text{よって } 5F_n^4 = F_{2n}^2 - 4(-1)^n \times F_n^2 \quad \therefore F_{2n}^2 - 5F_n^4 = F_n^2 \times 4(-1)^n \quad (\text{証明終})$$

### 3. 二項係数とフィボナッチ数列

二項係数として次の記号を用いる。  $\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$

$F_n = \frac{1}{\sqrt{5}}(\alpha^n - \beta^n)$ を二項定理で展開すると、

$$n \text{ が奇数の時, } 2^{n-1}F_n = \binom{n}{1} + \binom{n}{3}5 + \binom{n}{5}5^2 + \binom{n}{7}5^3 + \dots + \binom{n}{n}5^{(n-1)/2}$$

$$n \text{ が偶数の時, } 2^{n-1}F_n = \binom{n}{1} + \binom{n}{3}5 + \binom{n}{5}5^2 + \binom{n}{7}5^3 + \dots + \binom{n}{n}5^{(n-2)/2}$$

となる。

### 4. フィボナッチ数列の整除性

フィボナッチ数列を順に書き出してみると

$$F_n = 1 \quad 1 \quad \underline{2} \quad 3 \quad 5 \quad \underline{8} \quad 13 \quad 21 \quad \underline{34} \quad 55 \quad 89 \quad \underline{144} \quad \dots$$

上にアンダーラインを引いたように偶数は3つ目毎にあることがわかる。逆にアンダーラインを引いた項以外はみな奇数である。

3の倍数は4つ目毎にありその他の場所には現れない。

$$F_n = 1 \quad 1 \quad 2 \quad \underline{\underline{3}} \quad 5 \quad 8 \quad 13 \quad \underline{\underline{21}} \quad 34 \quad 55 \quad 89 \quad \underline{\underline{144}} \quad \dots$$

ここで  $F_3 = 2, F_4 = 3$  だから一般的に言うと  $n$  の倍数は  $F_n$  毎に現れると予想される。

これを定理にすると

$$m \geq 3 \text{ のとき } n \equiv 0 \pmod{m} \leftrightarrow F_n \equiv 0 \pmod{m}$$

### 〈合同式について〉

#### ・ 定義

ふたつの整数  $a, b$  について  $a - b$  が自然数  $m (m > 1)$  で割り切れることを  $a \equiv b \pmod{m}$  と書き表し、「 $a$  と  $b$  は  $m$  を法（割る数）として合同であるという」これは、「 $a$  と  $b$  をそれぞれ  $m$  で割ったあまりが等しい」ということと同値である。  
 $\text{mod}$  はラテン語 “modudulo” の略で「割る数として」の意味がある。

#### ・ 性質

両辺のどちらかの値が法より小さい場合、それが余りである。

その値が 0 だと、もう一方の値は法の倍数（法で割り切れる）になっている。

例えば、

$100 \equiv 1 \pmod{3}$ $10 \equiv 1 \pmod{3}$ $1 \equiv 1 \pmod{3}$	⇒	$100a \equiv a \pmod{3}$ $10b \equiv b \pmod{3}$ $c \equiv c \pmod{3}$
$100a + 10b + c \equiv a + b + c \pmod{3}$		

上の等式は 3 の倍数の判定法の簡単な証明である。

## 5. 今後の課題

- ・ 隣り合うフィボナッチ数の比は  $n \rightarrow \infty$  で  $\alpha$  に収束するということが分かっているが、それについての理解を深めること。
- ・ 二項定理で展開した式を用いた証明を完成させること。

## 6. 参考文献

中村滋 《改訂版》フィボナッチ数列の小宇宙/フィボナッチ数, リュカ数, 黄金分割, 日本評論社 2008年 p. 29-42 ISBN978-4-535-78492

# 酸化チタンの性質の研究

SSHクラブ 佐藤 祐介 湯澤 翔太郎 山崎 誠仁

## 序論

酸化チタン（IV）の光触媒には抗菌作用、有害気体の分解能力があるという性質があり、病院の手術室の壁などに使われている。しかし、光触媒に使われる酸化チタンのアナターゼ型は、皮膚炎を起こす可能性がある。そこで、私たちは「酸化チタン（IV）の代替となる身近な有機物、金属化合物を見つけること」を目標に、研究の第一段階として酸化チタン（IV）の光触媒としての性能を評価する。

## 材料

- ◆ 酸化チタン（IV）：昭和化学株式会社
- ◆ 石英ガラス：TGK
- ◆ マッフル炉：ISUZU
- ◆ 大腸菌 (*Escherichia coli*)
- ◆ pGL0 バクテリア遺伝子組み換えキット：中村理科工業株式会社
- ◆ 紫外線ランプ
- ◆ 分光光度計：U-1100 形日立分光光度計

## 実験 1 <有害気体（二酸化窒素）分解活性試験>

I：今回有害気体として二酸化窒素を使用したのは、実験室で発生させやすい、有色で見やすい、変化がわかりやすいという理由からである。まず三角フラスコに酸化チタンのペーストを薄く塗り、焼結させたスライドガラスを入れた。次にその三角フラスコに二酸化窒素（二股試験管に硝酸を入れ、銅片5枚を溶かして発生させた）が口から溢れるまで入れ、すぐにゴム栓をした（三角フラスコから24時間気体が漏れないことを確認した）。この試験管を晴れの日約10時間日光に当て、光触媒として作用するか検証した。検証方法は日光を当てる前と後の重さの測定、pHの変化をpH計で測定をした。結果、酸化チタン（IV）は光触媒として作用していることが確認出来た。しかし、この方法では気体分圧や温度条件、酸化チタンに当てる紫外線の量の設定を一定にすることが難しく、再現性に乏しいため、測定条件や実験操作について検討する必要がある。

II：Iの方法ではうまくいかなかったため新しい方法で実験を開始した。

この実験には自作の気体反応装置を使用した。硝酸と銅粉で発生させた二酸化窒素を、気体反応装置に入れ、日光に当てる。これは酸化チタン（IV）の量や日光に当てる時間を変えて実験を繰り返していく。次に照射後の気体反応装置にザルツマン試薬を使って、試薬の色の濃さを分光光度計の数値で比較する。試薬の色が薄くなれば、酸化チタン（IV）の効果が表れたことになる。

Ⅱ：実験Ⅰと同じでザルツマン試薬の色に変化が出た。吸光度を調べたところ数値の変化は実験Ⅰとそう変わらなかったが、より正確な結果を出せたと思う。しかし、これだけでは酸化チタン（Ⅳ）の性能が分からないため、メチレンブルーを用いた実験もすることにした。

\*詳しくは実験4に記載

## 実験2 <抗菌活性試験>

今回、実験でよく用いられる菌として、大腸菌 (*Escherichia coli*) を使うことにした。まず、予め用意した寒天 LB 培地に大腸菌溶液を塗り、紫外線照射した一定量の酸化チタンをかける。対照として、酸化チタン（Ⅳ）をいれないもの、紫外線照射しない酸化チタン（Ⅳ）も同様にする。大きくなったコロニー数を互いに比較し、抗菌活性を評価する。

今後は、大腸菌の発育条件の決定、紫外線の照射強度などをより詳しく検証し、データを取りたい。

## 実験3 <超親水性の検証>

酸化チタン（Ⅳ）ペーストの作成

乳鉢に酸化チタン（Ⅳ）パウダー・酢酸溶液（pH3~4）を入れ、乳棒で混ぜる。このとき塊がなく、濃度が均一なペーストになるまで混ぜる。この作業は約30分間かけて、換気の良い場所で行う。次に水に界面活性剤（キュキュット）を一滴加えたものを添加する。作成したペーストをスクリー管に入れ、最低15分間置いて安定させる。前記の酸化チタン（Ⅳ）ペーストを石英ガラスに塗りつけ、マッフル炉で15分間焼結する。温度は500度~800度に設定。酸化チタン（Ⅳ）ペーストは厚く塗るとボロボロになるため薄く塗るようにした。

## 実験4 <メチレンブルー色素を用いた湿式分解性能試験>

（予定）：図解入門よくわかる最新光触媒の基本と仕組み 秀和システム より

試験片上に、内径40mm、高さ30mmの試験セルを置いて、0.01mol/LのMB（メチレンブルー色素）試験液35mlを入れて、カバーガラスで蓋をする。試験片と接する試験セル面には少量のグリースを塗布しておく。実験前の、試験片の処理に加えて吸着操作も行っておく。吸着操作とは2倍の濃度のMB溶液を12~24時間接触させて、その濃度がMB試験液より高いことをもって終わる操作のことである。

上方からUV-A（紫外線）を照射し、試験を開始する。20分ごとに試験液の一部を取り出して、分光光度計で664nmにおけるMBの吸光度を測定する。測定後の試験液はセルに戻す。一般に吸光度は時間と共に単調に減少していくので、その傾きから、分解活性指数を求める。

## 結果・考察1

Ⅰ：見た目では色の変化が見えた。ザルツマン試薬で、吸光度を調べたところ酸化チタン（Ⅳ）片を入れたほうが、二酸化窒素濃度が低くなったといえる結果が出た。また、気体を使った実験は、実験器具

の気密性や、温度変化により大きく変化するので、再現性に乏しいことがわかった。  
今後、この実験の代わりとして、メチレンブルーを用いた実験を行い、より精度の高いデータを取りたい。

## 結果・考察 2

現在、実験に適する大腸菌の培養方式を模索中。

## 結果・考察 3

水や衝撃に耐えることのできる薄膜はできなかった。  
酸化チタンの薄膜は、固着化が難しいこと分かった。特に粉末状のものは、扱いにくいので、市販の液体状のチタンゾルを使うことを検討中である。

## 実験 4 の考察

試験セルや、試験片は用意するのが困難なので、シャーレ、ビーカーなどを用いて実験室でも簡単に使える実験器具を作る必要がある。

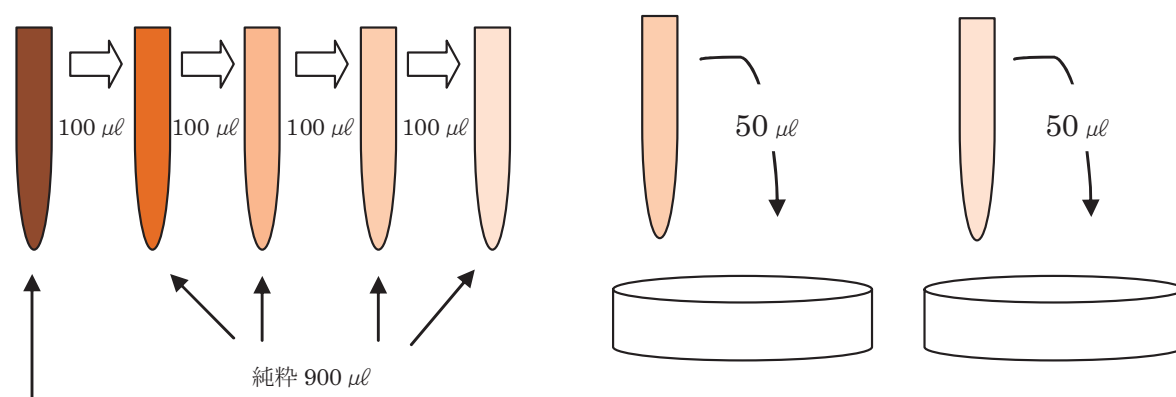
## 今後の課題

大腸菌の発育条件の決定、紫外線の照射強度の確定、どのようにして、酸化チタン（IV）と大腸菌を接触させるか、また、メチレンブルーと酸化チタン（IV）を接触させるか。

## 参考文献

図解入門よくわかる最新光触媒の基本と仕組み 秀和システム  
図解光触媒のすべて 橋本和仁/藤嶋昭 / オーム社

図



大腸菌 (直径 1 mm コロニー 1 個) + 純粋 1000  $\mu\text{l}$

大腸菌と水の混合液を 100 倍、1,000 倍、10,000 倍に薄め、  
1,000 倍、10,000 倍の液を 50  $\mu\text{l}$ 取り、それぞれ培地に撒き、  
24 時間後に観察する。

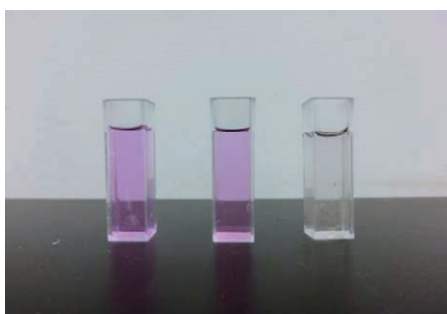
### 写真



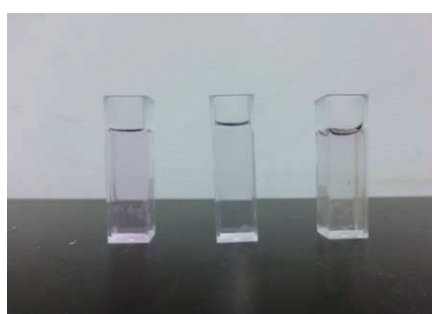
<気体反応装置>

左の写真の気体反応装置は、集気ビン、  
ゴム栓、ガラス管、ピンチコックより作成した。

利点：集気ビンからゴム栓を通して気体を取ること  
ができ、再現性の高い測定ができる。



酸化チタン (IV) なし



酸化チタン (IV) あり

左：1回目  
中：2回目  
右：純水

表 (吸光度測定)

	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	6 回目	7 回目	8 回目	9 回目
酸化チタン：有	0.072	0.010	-0.127	-0.170	0.046	0.068	0.143	0.086	0.541
酸化チタン：無	0.078	0.115	-0.053	-0.034	0.051	1.489	0.049	0.264	0.629



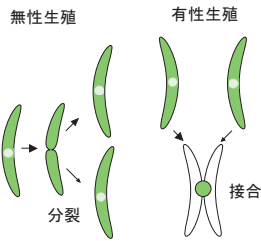
# 宮城県内で採集したミカヅキモの形態比較

宮城県仙台第三高等学校 SSHクラブ 鈴木沙也香 工藤由佳

## 1 はじめに

### 背景

- 身近な環境で採集できる
- 数百  $\mu\text{m}$  と大きく扱いやすい
- 接合を観察できる
- 形態学的種と生物学的種概念がある
- 陸上植物にもっとも近縁な藻類であるシャジクモ藻綱に属する
- 宮城県内の野外のミカヅキモについての情報がない

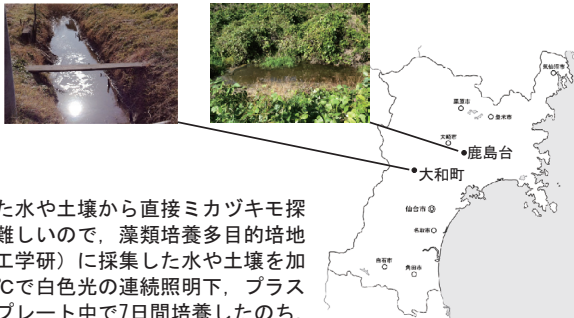


### 目的

宮城県内の野外環境から水や土壌を集め、ミカヅキモ属 *Closterium* を単離して培養し、顕微鏡写真を撮影して記録する。

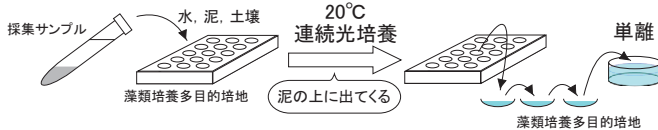
## 2 材料と方法

採集 大和町および大崎市鹿島台の水田の用水路から採集した。



### 単離

採集した水や土壌から直接ミカヅキモ採すのは難しいので、藻類培養多目的培地（生物工学研）に採集した水や土壌を加え、20°Cで白色光の連続照明下、プラスチックプレート中で7日間培養したのち、実体顕微鏡下でパスツールピペットを用いてミカヅキモを単離した。



### 培養

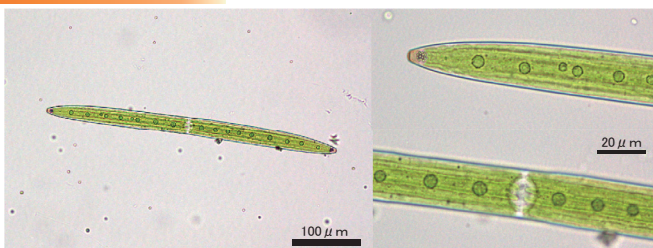
単離したミカヅキモを、藻類培養多目的培地で、20°C、白色光の明暗周期（12h/12h）で培養した。

## 3 結果

大崎市鹿島台の用水路から *Closterium acerosum*、*Closterium littorale* と思われる細胞を得た。また、黒川郡大和町の用水路から *Closterium moniliferum* と思われる細胞を得た。単離には失敗したが、*Closterium gracile*、*Closterium praelongum* と思われるものも観察された。

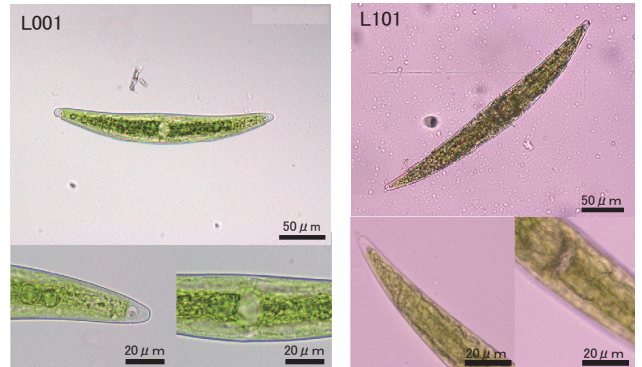


### *Closterium acerosum* (鹿島台)



- 細胞は細長く、ほとんど曲がらない
- ピレノイドが直線に並んでいる
- 両端に顆粒を含んだ液胞がある
- 縦縞が入っている
- クローン株52個体の平均長: 411.3  $\mu\text{m}$   $\pm$  17.7

### *Closterium littorale* (鹿島台)



- 細胞はやや湾曲している
- 両端に向かって細くなる
- L001のクローン株33個体の平均長: 266.2  $\mu\text{m}$   $\pm$  6.9
- L101株はおおよそ320~330  $\mu\text{m}$

### *Closterium moniliferum* (大和)



- 細胞は湾曲している
- 中心部が膨らんでいる
- 先端は丸みをおびている
- クローン株66個体の平均長: 267.1  $\mu\text{m}$   $\pm$  3.4

## 4 考察

### 単離と培養方法

- 採集した泥を予備培養したほうが個体を探しやすい。
- ラン藻類が混入してしまうことがあり、単離するときの洗浄を確実にする必要がある。
- 温度や光強度、明暗周期などの培養条件を種ごとに調整する必要があるのではないかと。

### 個体間の大きさの差異

- 鹿島台で採集した *Closterium littorale* と思われる個体について、大きさが異なる二種類を単離培養することができた。
- クローンが順調に増えたL001株について、33個体の平均長は266.2  $\mu\text{m}$   $\pm$  6.9であった。検定をしていないが、L101株はおおよそ320~330  $\mu\text{m}$  であり、これら2つの株は大きさで区別できる。
- 大きさの異なる2つのクローンの接合について調べたい。

### 採集地

- 今回は水田の用水路から採集したが、山林中の土壌や湿原など県内の広範囲から採集したい。

### 接合様式

- 単離培養が確立できた株について接合様式を調べたい。
- 定期的に乾燥する水田では、ホモタリクな接合タイプが得られやすく、水量が安定した湿地や沼ではヘテロタリクな接合タイプが得られやすいと予想する。

### DNAを利用した種の同定

- 単離培養したクローン株からDNAを抽出し、塩基配列を比較したい。
- 同じ採集地から得られた別個体は、クローンである可能性があるため、形態的に相関性が高い株を県内各地から集めて比較したい。

### 参考文献

- 月井雄二, 淡水微生物図鑑~原生生物ビジュアルガイドブック~, 誠文堂新光社, 2010. 原生生物情報サーバ, [http://protist.i.hosei.ac.jp/Protist\\_menu.htm](http://protist.i.hosei.ac.jp/Protist_menu.htm) (2012/11/29アクセス).
- 田中正明, 日本淡水産動物プランクトン図鑑, 名古屋大学出版会, 2002. 日本女子大学理学部植物生理学研究室 (関本研究室) WEBページ, <http://mcm-www.jwu.ac.jp/sekimoto/Site/Home.html> (2013/1/8アクセス).
- 土金 勇樹のウェブページ, <https://sites.google.com/site/tsuchikaneyuki/> (2013/1/8アクセス).

# 笠貝における幼生の変態と貝殻の地域変異

Metamorphosis from Larvae to Juveniles and Shell Variation in Limpet

佐藤瑛 矢吹和也

## 序論

クサイロアオガイ (*Nipponacmea Fuscoviridis*)

軟体動物門  
腹足綱  
カサガイ目  
ユキノカサガイ科

- ・北海道南部から沖縄
- ・沿岸部の潮干帯上部に生息
- ・雌雄の判別が容易
- ・アンモニア海水で卵成熟を誘起可能
- ・人工受精が可能
- ・推定される繁殖期5月～11月

クサイロアオガイを用いた研究

- ・受精: 宮城教育大学 出口研
- ・蓋の形成: 筑波大学 和田研
- ・系統分類: 東京大学総合研究 物館 佐々木研
- ・系統分類: 京都大学  
フィールド科学教育研究センター 中野研

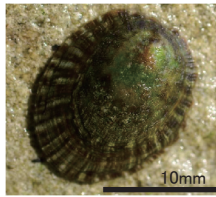


図1

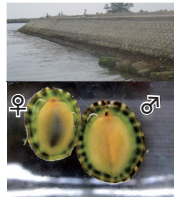


図2

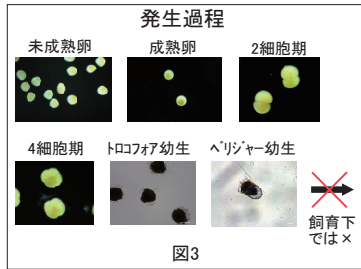


図3

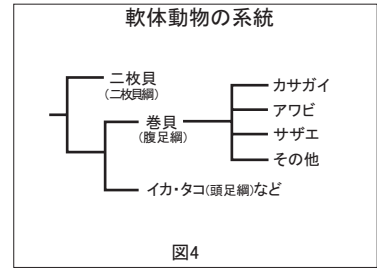


図4

### 軟体動物は重要な水産資源

アワビ、サザエ、イカ、タコ、ホタテ、アサリなどの軟体動物は重要な水産資源である。しかし、昆虫におけるショウジョウバエ、両生類におけるアフリカツメガエル、哺乳類におけるマウスなどに匹敵するモデル生物は軟体動物では確立されていない。

また、分布域が広く採集しやすいこと、さらに系統的に近い *Lottia Gigantea* がゲノム解析されていることから、クサイロアオガイは巻貝(腹足類)の系統や種分化を解析するモデル生物にもなり得る。クサイロアオガイを巻貝のモデル生物として位置づけ、繁殖生態を解明し、種内変異を解析することには大きな意義がある。

### 巻貝のモデル生物として

人工受精が容易なクサイロアオガイならば、巻貝(腹足類)の繁殖生態を理解するモデル生物として、アワビやサザエの繁殖技術や資源管理に応用できる可能性がある。

### 本研究の目的

クサイロアオガイを飼育下で変態させて変態過程を明らかにし、地域個体群間の変異を解析する。

## 実験1 ベリジャー幼生から稚貝への変態誘起

仮説 生息環境から採取した物で変態を誘起できる。

方法 生息環境からカキ殻を採取し、「滅菌海水のみ」「滅菌海水+カキ殻」「滅菌海水+滅菌カキ殻」の3つの試験区を作り、幼生が変態するか観察する。

結果 (1)海から採取したカキ殻を入れたものでは変態した個体が多数見られたが、滅菌海水のみの場合と滅菌したカキ殻を入れた場合は変態した個体は確認できなかった。  
(2)ベリジャー幼生の生存期間は長いもので2週間程度であった(20°C)。  
(3)資料が得られなかったベリジャー幼生から稚貝への変態過程を記録することができた。

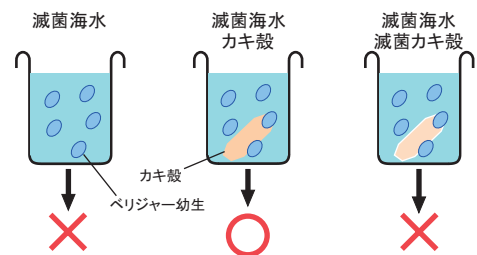


図5

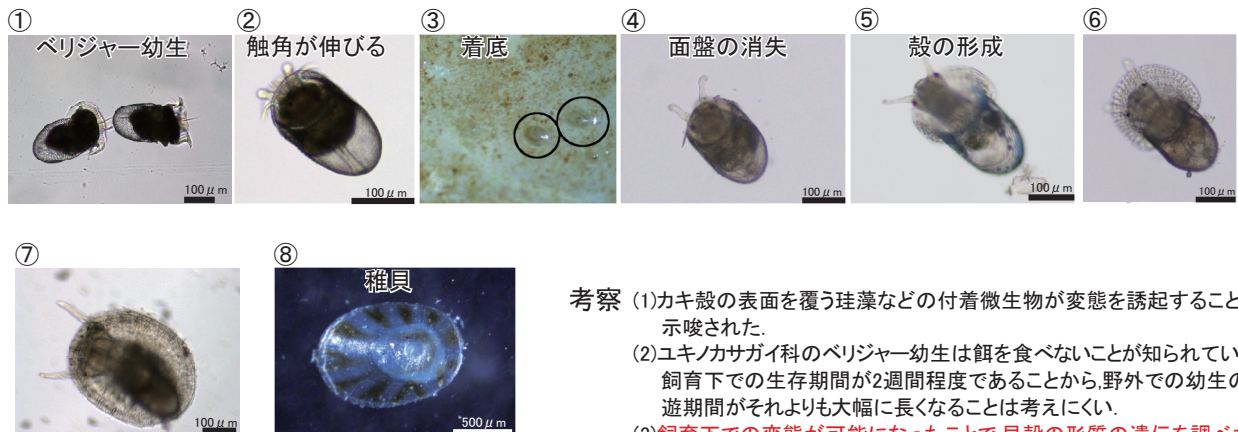


図6

- 考察 (1)カキ殻の表面を覆う珪藻などの付着微生物が変態を誘起することが示唆された。  
(2)ユキノカサガイ科のベリジャー幼生は餌を食べないことが知られている。飼育下での生存期間が2週間程度であることから、野外での幼生の浮遊期間がそれよりも大幅に長くなることは考えにくい。  
(3)飼育下での変態が可能になったことで、貝殻の形質の遺伝を調べたり、異なる個体群間や種間における交雑を評価することが可能になる。

## 実験2 貝殻の地域変異の検討

仮説 貝殻の形態について、地域個体群の間に変異がある。

方法 七ヶ浜、志津川、浅虫、鶴岡の個体群について、実体顕微鏡を用いて貝殻の写真を取り画面上で大きさを測定して比較する。

### 結果

#### 各個体群の貝殻の長さに対する高さの割合

測定個体数 七ヶ浜:150,志津川:94,浅虫:29,鶴岡:79

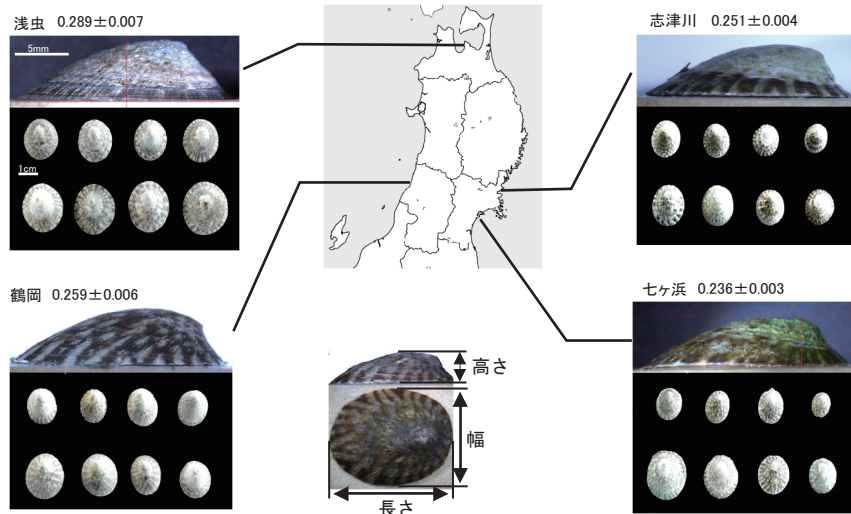


図7

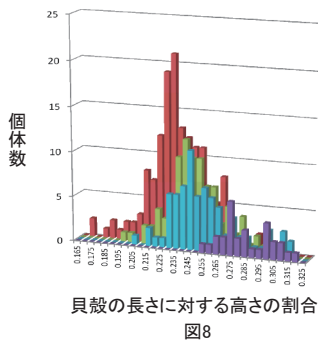


図8

度数分布は正規分布に近い

■ 浅虫  
■ 鶴岡  
■ 志津川  
■ 七ヶ浜

貝殻の長さに対する高さの割合の平均値には、志津川と鶴岡の間に有意差はなかった。その他の各個体群間では1%水準で有意な差が見られた。

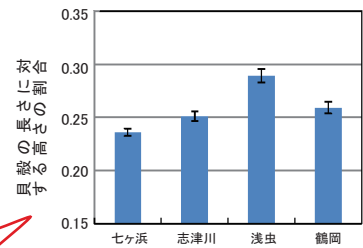


図9

#### 各個体群の貝殻の長さに対する幅の割合

貝殻の長さに対する幅の割合の平均値には、鶴岡と他の個体群との間に1%水準で有意差が見られたが、それ以外の個体群間では有意な差はみられなかった。

#### 成長に伴う貝殻の形態変化

貝殻の長さとおよび長さに対する高さの割合および長さに対する幅の割合について、相関の有無を検証した。

各個体群において、成長に伴って高さや幅の割合が変化する傾向はみられなかった。

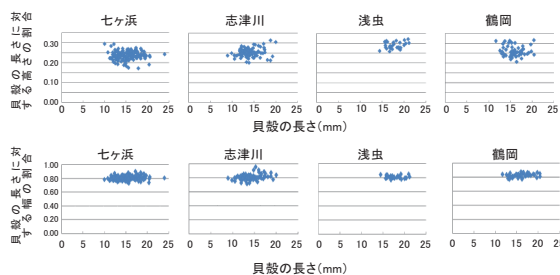


図13

貝殻が大きいても小さくても形は同じ

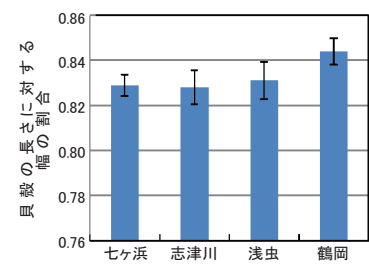


図10

### 考察

各個体群の貝殻の長さに対する割合として、高さや幅に違いが見られた。浅虫個体群は貝殻が高い傾向にあり、鶴岡個体群は貝殻が丸い傾向にあった。また、貝殻の長さが1~2cm程度のものでは成長に伴って貝殻の高さや幅が変化するという傾向はみられなかった。

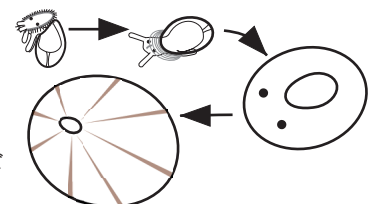
このことから、仮説「貝殻の形態について、地域個体群の間には変異がある。」は正しいと考えられる。

しかし、貝殻の高さや幅の違いが遺伝的な変異か環境変異かは不明である。

新たな仮説 各地域個体群の貝殻の形態の変異は遺伝的な変異である。

-検証方法-

- ① 各地域個体群の成体を用いてそれぞれ人工授精させ、幼生を得る。
- ② 幼生を同じ環境で飼育し、変態させて成体にする。
- ③ 成体の殻を測定し、地域個体群ごとに差異があるか調べる



### 実験3 地域個体群の遺伝的解析

仮説 G. Liらによって開発され、作物で品種の識別に利用されているSRAP (Sequence-Related Amplified Polymorphism) 法を用いて、クサイロアオガイ地域個体群の遺伝的な差異を解析できる。

電気泳動パターンで遺伝的多型を解析できれば効率的

方法 各地域の個体からDNAを採取し、SRAP法を用いて、増幅されるDNA断片のパターンによって遺伝的多型を調べる。

プライマーの組み合わせ

		Forward		Forward
		Me1	Me4	Me1 5'-TGAGTCCAAACCGGATA-3'
Reverse	Em1	SRAP1	SRAP3	Me4 5'-TGAGTCCAAACCGGACC-3'
	Em3	SRAP2	SRAP3	Reverse
				Em1 5'-GACTGCGTACGAATTAAT-3'
				Em3 5'-GACTGCGTACGAATTGAC-3'

プライマーの組み合わせは100通り以上ある。ここでは4つのパターンを試してみた。

### 結果

SRAP法により増幅されたDNA断片

SRAP法により、個体ごとに違いがあるバンドがいくつか見られた。SRAP1では400bp付近にコウダカアオガイでは増幅されないバンドが見られた。SRAP4では500~1000bpのバンドパターンに違いが見られた。

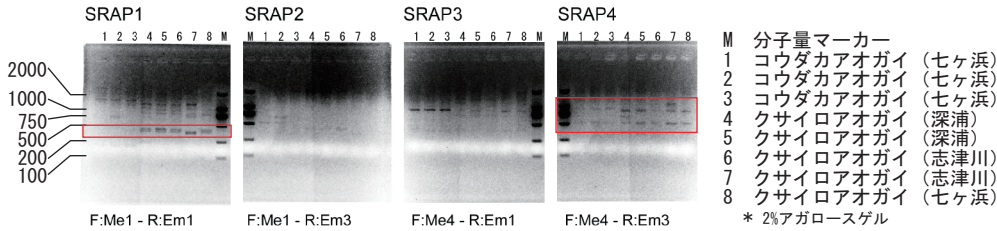


図15

SRAP1により増幅されたDNA断片の塩基配列比較

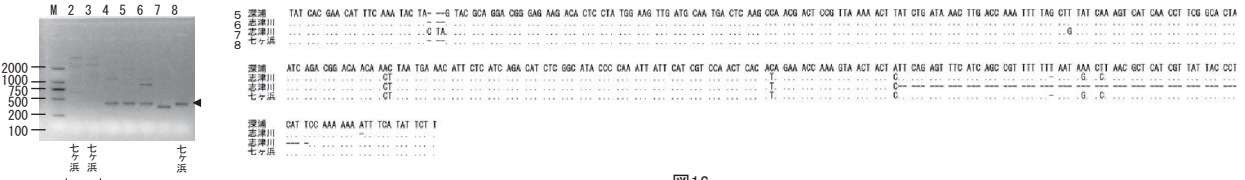


図16

プライマーの組合せSRAP1で増幅された断片は、志津川の個体で40bpの欠失が見られるものがあった。

考察 遺伝的多型について解析するためには、各地域個体群より30個体程度の標本が必要であり、今回は個体数が少ないため遺伝的な差異を検討できなかった。SRAP法で増幅されるDNA断片のパターンに、地域あるいは個体による違いが見られたことから、この方法で遺伝的多型を解析できる可能性がある。SRAP1で増幅されたDNA断片の塩基配列比較から、7の志津川個体で40bpの欠失が見つかり、この断片がハプロタイプ判定に利用できる可能性がある。

### まとめ

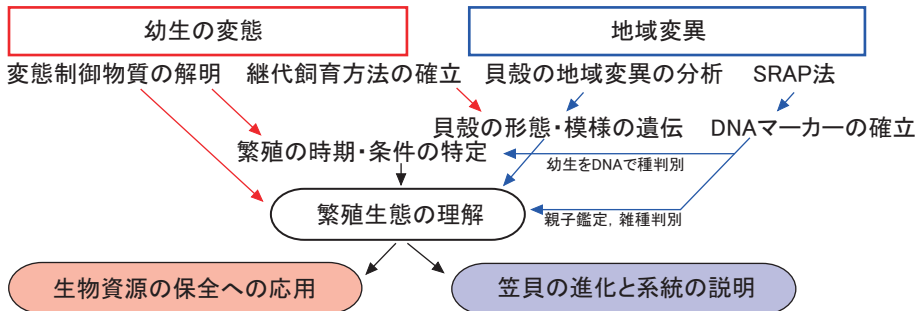
ベリジャー幼生から稚貝への変態について

- ・生息環境から採取した物で変態を誘起できた。
  - ・これまで資料がなかった変態過程を記録することができた。
- 継代飼育の可能性

七ヶ浜、志津川、浅虫、鶴岡の各個体群の地域変異について

- ・殻の長さに対する高さの割合には有意な差が見られた。
  - ・SRAP法によりバンドパターンに違いが見られた。
- SRAP法による遺伝的多型解析の可能性

### 今後の課題



### 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 第42巻, 73-80.
- 2) 佐々木猛智・奥谷番司. (1993). 新属Nipponacmea: 従来Notoacmea とされていたアオガイ類の再検討. VENUS 52, 1-40.
- 3) 橋本直樹. (2010). Evolutionary Innovation 軟体動物巻貝における蓋の獲得. つくば生物ジャーナルVol.9 No.1 January 2010, 78
- 4) G. Li・C. F. Quiros. (2001). Sequence-related amplified polymorphism (SRAP), a new marker system based on a simple PCR reaction: its application to mapping and gene tagging in Brassica. Theor Appl Genet 2001,103:455-461

# 白神山地で発生した寛政西津軽地震による地すべり

仙台第三高校理数科 工藤香菜 佐藤柚香 寺島柚葉

## はじめに

1793年2月8日に起こった寛政西津軽地震で、白神山地での地滑りが追良瀬川をせき止め、それが2月22日に決壊した。地形調査で推定された地滑り候補地の地形から、現在の河川の流量を調べて、どの程度の日数で決壊するか計算を行った。その結果から、この候補地が妥当か検討してみた。

## 方法

1. 候補地点での流速、川底の断面の形、川幅を測定する。
2. 1で得たデータから川の断面積と流速の平均を出して流量を求め、1日あたりにその地点を流れる水量を求める。
3. 地形図を用いて、水が溜まったと思われる範囲を推定し、閉塞箇所背後に溜まった水量を求める。
4. 2と3から計算上の決壊する日数を求める。

### 深さの計測

流れの横断方向に川底の深さ(cm)を測る

### 流速の計測(s)

浮きを流し10mの区間の移動時間を測る

## データ

流速(m/s) 崖側 0.48, 0.54

中央 0.30 河原側 0.54

平均  $0.46687068 \div 0.47 \text{ m/s}$

川の断面積  $3.82\text{m}^2$ (H24.8.6)

川幅 約17m 深さ 0.5m

川底の深さ(m)

崖側から、5, 28, 20, 25, 35, 29, 42, 50, 30, 22, 25, 10, 27, 15, 10, 9



データ採取の様子

## 1日当たりの流量

H23年8月5日、H24年8月4日の2回計測

H24.8の流量( $\text{m}^3$ )=

流水断面積( $\text{m}^2$ ) \* 平均流速( $\text{m/s}$ )

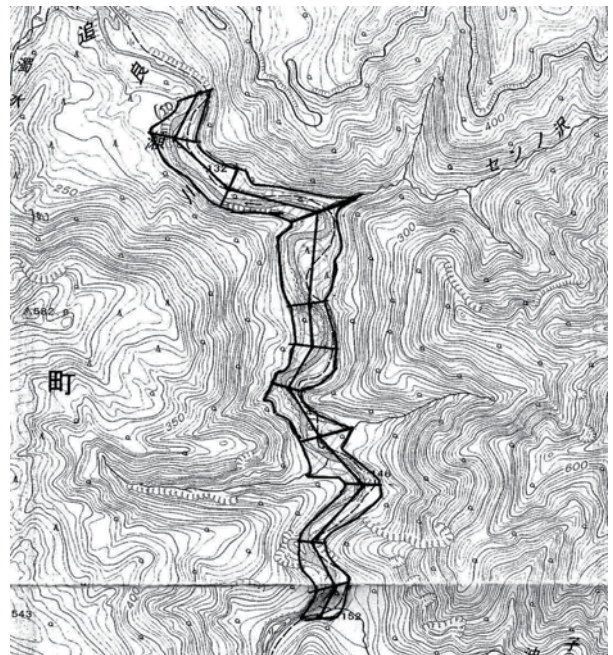
\*  $24 * 60 * 60(\text{sec}) = 3.82(\text{m}^2) * 0.47$

=  $132019\text{m}^3$

同様に H23.8の流量( $\text{m}^3$ ) =  $195696\text{m}^3$

## 堆積した水量の求め方-断面法

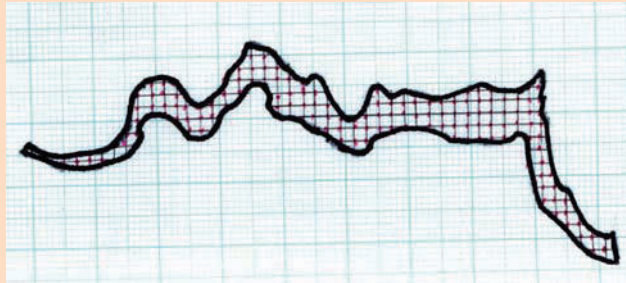
水が堆積したと思われる範囲を囲み、その範囲に12か所横断線を入れ、範囲を区切る。それらの線の中央を通る折れ線を引く。それぞれの範囲の体積を計算で出し合計する。



### 堆積した水量の求め方-点格子法

求めたい形を方眼紙に写し、その範囲内の 1 辺 2mm の正方形の頂点の数を数える。その数に 2500 をかけ、さらに深さと 1/3 をかける。

$$156 \times 2500 \times 20 \times 1/3 = 2600000 \text{m}^3$$



### 追良瀬川河口における 8 月、2 月の観測河川水位 (水位データ: 青森県による)

2012.7.16 月最高水位 6.25m

(日降水量 120mm)

2010.2 は雨や雪のため大幅に水位が変動した

時期	月平均水位(m)	月水位変動(m)
2010.2	4.24	4.14~5.17
2011.2	3.94	
2011.8.6	4.08	
2012.2	4.16	
2012.7.31	3.85	

### 西津軽地震発生後の経過(国日記)

表1 天気表(「国日記」より作成)

観測年月日	西暦年月日	天気	詳 細	調査箇所(「水通」記録)
寛政4年12月28日	1793/2/8	曇	昨夜少々雪。今日晴。未だ雪止まり。、朝霧。朝霧で決壊。決壊箇所「水通」になる	
寛政4年12月29日	1793/2/9	曇	昨夜中降。今日未だ雪止まり。	
寛政4年12月30日	1793/2/10	曇	昨夜降。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月1日	1793/2/11	曇	朝霧。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月2日	1793/2/12	曇	今朝より雪。昨夜中より今日降。余雪止。、	
寛政5年1月3日	1793/2/13	曇	昨夜より雪降。地震時。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月4日	1793/2/14	曇	昨夜より今日降。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月5日	1793/2/15	曇	昨夜少々降。今日未だ雪止まり。未だ雪止まり。	
寛政5年1月6日	1793/2/16	曇	昨夜より今日降。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月7日	1793/2/17	曇	昨夜より今日降。今日未だ雪止まり。朝霧。朝霧で決壊。決壊箇所「水通」になる	
寛政5年1月8日	1793/2/18	曇	昨夜少々降。今日未だ雪止まり。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月9日	1793/2/19	曇	昨夜降。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月10日	1793/2/20	曇	昨夜未だ雪止まり。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月11日	1793/2/21	曇	昨夜未だ雪止まり。今日未だ雪止まり。	
寛政5年1月12日	1793/2/22	曇	朝霧。今日未だ雪止まり。今日未だ雪止まり。	「水通」押し壊れ。決壊になる (決壊に多少影響「水通」がある)

### 比較

決壊日数計算

1)a 点格子法、H24 の観測結果

$$2600000/132019.2=19.69 \quad 20 \text{ 日}$$

b 断面法、同上

$$4546875/132019.2=34.44 \quad 34 \text{ 日}$$

2)a 点格子法、H23 の観測結果

$$2600000/195696=13.29 \quad 13 \text{ 日}$$

b 断面法、同上

$$4546875/195696=23.23 \quad 23 \text{ 日}$$

当時の日記での記録は 1793/2/8 に地滑り発生、1793/2/22 に決壊したと書かれている。つまり合計 14 日である。

### 考察

- ・決壊前日までは雪・曇りであったが当日は雨で、雪解けで水量が増大し地滑りの上を湛水池から流れるようになり決壊が早まったと考えられる。
  - ・水量のデータが 8 月だったので、水量に違いが出た。
  - ・決壊日数の計算結果が 2 つの方法で大きく違う理由として、段丘などがあって谷底の幅が広い場合、点格子法では断面積が過小になってしまうことが考えられる。
  - ・また大きく日数に差があるが右上の追良瀬川河口における 8 月、2 月の観測河川水位の記録より不自然ではないと考えられる。
- 以上より、この地点で地滑りが起こったとできる。



### 謝辞

ご協力いただいた弘前大学の檜垣教授と神林先生にこの場をお借りして感謝申し上げます。

# コンピュータプログラミングを用いた 文化の収束について

宮城県仙台第三高等学校 餘目讓太

## 1. はじめに

私たちは今多種多様な文化の中で暮らしています。

しかし、私達がこのような文化を作り上げる中で失われた文化もあったことでしょう。

そこで世界の文化はどのように変化するか調べてみました。

## 2. 仕組み

- ・表計算ソフトのセルをひとつの村に見立てて、乱数で村の持つ文化を決定する。(図 1)
- ・100 個の村の中からひとつの村を選び、そのとなりの村にセッションを行う。
- ・セッションが成功すればとなりの村のひとつの文化を選ばれた村の数字に書き換える。(図 2)

## 3. 結果

- ・文化の総数は細かい増減を繰り返して徐々に減少していった。
- ・文化数の標準偏差は一度大きくなり、次第に小さくなっていった。
- ・データを取った中で一度も文化がひとつに収束したことはなかった。

## 4. 考察・感想

- ・文化数は徐々に減り、セッションを繰り返すことでデータのばらつきは少なくなっていくと思われる。
- ・数値の精度を上げるためにもっと回数を重ねたい。

図 1

52368	76952	78695
54336	32159	32659
97847	32657	23567

図 2

52368	76952	78695
54336	32659	32659
97847	32657	23567

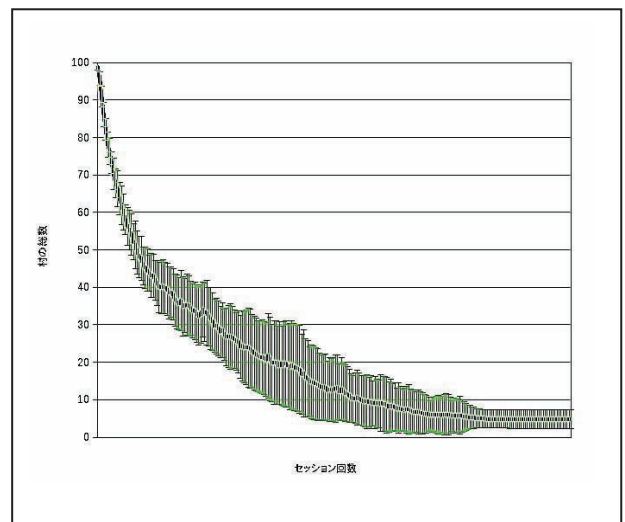


図 3

## 5. 参考文献

ロバート・アクセルロッド  
対立と調和の科学  
第7章 文化の流布  
ダイヤモンド社

# 過冷却における温度と時間の関係性

2216 笹原駿 2225 村上遼太

## 1. 背景と目的

化学部の活動として小学生を対象に実験教室を行っている。実験教室で扱う実験を文献等で探していたところ、過冷却という現象を見つけた。これを題材として扱い、子供たちに実際に見せ、また、過冷却のジュースを作れたら、科学に興味を持ってもらえるのではないかと思った。そこで、過冷却の成功する条件を確立すれば、非常に優れた題材として扱えるのではないかと思い、この実験に取り組むことを決めた。本研究では過冷却の成功する条件を調べることに、水以外での過冷却を成功させることを目的とした。

## 2. 過冷却について

過冷却とは、物質を冷却したとき転移温度を過ぎても相の転移がみられない現象をいい、単に過冷ともいう。蒸気の温度が下がって露点以下になっても気体のままであったり、液体が冷却されて凝固点以下になっても凝固しないような現象である。



図 1



図 2

## 3. 材料

実験装置として、発砲スチロール製の容器を使用した。過冷却状態にする液体には蒸留水



と、質量パーセント濃度が 5%、10%、15%のスクロース水溶液を用い、液体を冷却する寒剤には質量パーセント濃度が 15%、20%、25%の塩化ナトリウム水溶液と氷を用いた。温度を測定するために、イージーセンスを使用した。

#### 4. 実験方法

実験装置内に寒剤を入れ、蒸留水と 5%、10%、15%のスクロース水溶液をそれぞれ用意する。試験管に水溶液を 20m l 注ぎ、装置に設置する。このとき、試験管の内の一本に、イージーセンスの測定用の端子を入れる。この状態で、極力装置に振動を与えないようにしながら試験管を冷却し、一定時間が経過したあと試験管を取り出す。水溶液が液体の場合、過冷却になっているかを確認するために、氷の上に注ぐ。固体だった場合は失敗とする。以下の 3 つの実験を行った。

##### ・実験 A

実験装置内に蒸留水・砂糖水を注いだ試験管を設置し、15 分間冷却し、過冷却になっているか確認しました。この実験では最も適した寒剤を調べた。

##### ・実験 B

蒸留水・砂糖水の温度がそれぞれ 0～-5℃の範囲で、1℃きざみで試験管を取り出し、過冷却水になっているかは上記の方法で確認する。実験 B では、どの程度から確実に過冷却といえるかを調べた。

##### ・実験 C

寒剤の温度が-10、-9、-8、-7、-6、-5℃のときに蒸留水を 10 分間冷却し、過冷却になっているか確認する。また、そのときの温度を測定し、常温から凝固点まで冷却するのにかかった時間も測定する。

#### 5. 結果と考察

実験 A (成功率)	寒剤		
	15%	20%	25%
蒸留水	84%	69%	38%
砂糖水 5%	71%	50%	4%
砂糖水 10%	54%	58%	0%
砂糖水 15%	79%	0%	0%

実験 B						
寒剤 15%	水溶液の温度					
	0°C	-1	-2	-3	-4	-5
蒸留水	×	△	△	△	△	◎
砂糖水 5%	×	△	△	△	△	◎
砂糖水 10%	×	△	△	△	△	△
砂糖水 15%	×	△	△	△	△	△
寒剤 20%	水溶液の温度					
	0°C	-1	-2	-3	-4	-5
蒸留水	×	△	△	△	◎	
砂糖水 5%	×	△	△	△	△	◎
砂糖水 10%	×	△	△	△	△	◎
砂糖水 15%	×	△	△			
寒剤 25%	水溶液の温度					
	0°C	-1	-2	-3	-4	-5
蒸留水	×	△	△	△	△	◎
砂糖水 5%	×	△	△	△		
砂糖水 10%	×	△	△			
砂糖水 15%	×	△	△			

◎…一定量が確認時に凝固 △…少量が確認時に凝固 ×…失敗

実験 C	温度(°C)					
	-10	-9	-8	-7	-6	-5
%	0	10.7	20.8	25	100	93.7
秒	183	193	224	214	212	255

- ・実験 A より、成功率が高いのは寒剤が 15%・20%のときで、砂糖水の過冷却は全体的に成功率が下がる結果になった。
- ・実験 B より、蒸留水の場合、十分な量が凝固するのは-5°C以下となった。砂糖水の場合、更に温度を下げる必要があるようだ。
- ・実験 C より、-10°C以下では成功せず、過冷却の成功率が高いのは-6°C以上となった。成功率が高かったのは、200 秒以上の時間をかけて常温から 0°Cまで冷却させた場合だった。

まとめると、過冷却に適した寒剤は 15%~20%、-6~-5°C

- ・温度が下がるほど過冷却は難しくなる

- ・時間をかけて冷却すると失敗しにくい
- ・現状、砂糖水での過冷却は厳しい

ということになった。

先行研究では、シミュレーションによって計算したところ $-48^{\circ}\text{C}$ まで過冷却の状態にできることが示されている。しかし今回は過冷却水の温度を $-7.9^{\circ}\text{C}$ までしか温度をさげることしかできなかった。しかし寒剤の温度が高いほど温度が下がるのに時間が長くなったこと、そして冷却した時間が長いほど成功率が高かったことから、まず $-7^{\circ}\text{C}$ での寒剤で冷やしてから $-10^{\circ}\text{C}$ での寒剤で冷やすというように、段階的に冷やすことで冷却する時間を長くなり、 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下での過冷却ができるようになるのではないかと考えた。

## 6. 今後の課題

第1に今回できなかった $-8^{\circ}\text{C}$ 以下での温度での過冷却の成功、第2にスクロース水を用いた過冷却の成功、第3により多い量での過冷却の成功、第4に冷やす時間の変更である。

## 7. 参考文献

『ダイナミックワイド図説化学』 東京書籍

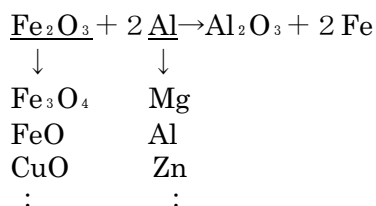
『nature』 Volume,479, Number,7374, 2011年11月24日発刊

# テルミット反応の価数の違いによる質量比と反応性

太田凌 官澤伸治 佐藤昶瑠

自然科学部化学班

## テルミット反応の概要



金属アルミニウムで、金属酸化物を還元する冶金法の総称である。金属酸化物と金属アルミニウムとの、粉末混合物に着火すると、アルミニウムは金属酸化物を還元しながら、高温を発生する。この還元性と高熱により、目的の金属融塊は下部に沈降し、純粋な金属が得られる。

## 動機

私たちは、テルミット反応では主に酸化鉄(Ⅲ)とアルミニウムが主流に行われているが、他の酸化された金属や還元剤で実験できるか、また、同じ金属でも、価数の違う金属を用いたら、どのような結果が得られるかという点に興味を持ち、この研究を始めた。様々な資料を見たが、質量比について、実験していることから、私たちの実験でも質量比で実験すべきではないかと考えた。また、価数に着目している資料は少なく、この点に疑問を抱いたため、実験してみようと感じた。

## 実験の内容

- ・ 化学反応式の係数比から分かるモル比を用いて、反応性を調べる。
- ・ そこから検出される物質の質量を計測し、還元反応の効率を調べる。
- ・ 目的としては、主にどのような物質がうまく反応するかについて、考察するものとする。

## 実験に用いた物質

- ・ 燃料にした物質  
アルミニウム、マグネシウム、亜鉛、鉛
- ・ 酸化剤にした物質  
酸化鉄(Ⅱ)、酸化鉄(Ⅲ)、酸化銅(Ⅰ)、酸化銅(Ⅱ)、  
酸化亜鉛、酸化鉛(Ⅳ)、砂鉄

## 実験方法

- ① それぞれの反応式に基づき、質量比を求め、それぞれの物質の質量を量りとる。
- ② 量りとった物質を乳鉢に入れ、よく混ぜ、すり潰す。
- ③ ②ですり潰したものを、湿らせて二枚に重ねたろ紙に入れる。
- ④ それを三脚に置き、また、ろ紙の下に水を溜めておく。
- ⑤ ろ紙に入れた物質に導火線代わりのマグネシウムリボンを刺し、着火する。
- ⑥ 検出した物質を検流計や磁石で調べ、金属かどうかを調べる。

## 結果

酸化剤\燃料	Mg	Al	Zn	Fe	Pb	Cu
酸化鉄(Ⅱ)	×	×	×	—	—	—
酸化鉄(Ⅲ)	×	○	×	—	—	—
砂鉄	×	×	×	—	—	—
酸化銅(Ⅰ)	×	○	×	×	×	—
酸化銅(Ⅱ)	×	○	○	×	×	—
酸化亜鉛	×	×	×	—	×	—
酸化鉛(Ⅳ)	×	△	×	×	—	—
四酸化鉛(Ⅳ)	×	×	×	×	—	—

- ※ 「○」・・・実験成功、金属検出  
 「△」・・・反応は起きたが金属は検出せず  
 「×」・・・実験失敗  
 「—」・・・イオン化傾向より、実験不可

- ・ 金属の採れた組み合わせ

酸化鉄(Ⅲ) ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) とアルミニウム (Al)、比「8 (4.0g) : 3 (1.5g)」  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow \text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3 \Rightarrow$  純粋な鉄 1.8g

酸化銅(Ⅰ) ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) とアルミニウム (Al)、比「8 (4.0g) : 3 (1.5g)」  
 $3\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{Al} \rightarrow 6\text{Cu} + \text{Al}_2\text{O}_3 \Rightarrow$  純粋な銅 0.67g

酸化銅(Ⅱ) ( $\text{CuO}$ ) とアルミニウム (Al)、比「13 (6.5g) : 3 (1.5g)」  
 $3\text{CuO} + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{Cu} + \text{Al}_2\text{O}_3 \Rightarrow$  純粋な銅 0.15g

- ・ 金属が採れなかった組み合わせ

$\text{PbO}_2$  と Al : 引火しなかった、粉末がそのまま残っていた。

$\text{FeO}$  と Al : 取れるときと取れないときがあった。

## 考察

・酸化銅（Ⅰ）と酸化銅（Ⅱ）は、テルミット反応に違いがあり、酸化銅（Ⅰ）は酸化鉄（Ⅲ）に似た火柱があがるような反応で、酸化銅（Ⅱ）は、爆発的な反応で、あまりの反応の激しさに溶けた金属が飛び散ってしまった結果から、酸化銅（Ⅱ）から銅をとるためには、粉末同士を混ぜすぎないことによって、反応の激しさを抑えられるのではないかと考える。

・酸化鉄（Ⅱ）、酸化鉄（Ⅲ）では実験は成功したが、砂鉄でテルミット反応が起こらなかった。原因としては、様々な物体が混ざりすぎていて、反応性に欠けるのではないかと考えた。

・亜鉛や鉛は還元力が弱いため反応が起こらないのではないかと考えた。

## 今後の課題

- ・ イオン化傾向に含まれてない他の遷移元素の金属でも上手くいくかどうかを調べる。
- ・ Al 以外に還元力のある金属を探しテルミット反応がうまくいくかを調べる。
- ・ 今回失敗してしまった典型元素でも成功できるように様々な工夫を施す。具体的にはビスマスや過マンガン酸カリウムのようにまだ実験をしていない金属と組み合わせ、反応性を比べる。

## 参考文献

- ・ ダイナミックワイド図説化学（東京書籍）
- ・ 高等学校化学Ⅰ（啓林館）

# 水溶液中の水分子と溶質イオンの 挙動をもとに飽和水溶液を理解する

自然科学部化学班 内藤 暢也 石戸 まどか

## I 研究目的

飽和水溶液とは、ある溶質が溶解度まで溶けて溶液平衡の状態となった水溶液である。私たちは、あらゆる飽和水溶液に共通して当てはまる分子レベルでの法則性が存在するのではないかと考え調査を行ったが、それについての記述を発見することができなかった。そこで、飽和水溶液を分子レベルで理解することを目的として研究を行うことにした。

## II 実験方法・結果・考察

私たちはまず、飽和水溶液の性質について知るために次の実験1、2、3を行った。ただし、「水分子が溶質の溶解に使われている」とは、溶質を溶かすためにその溶質を構成する各イオンに水分子がクーロン力によって結合している、ということの意味する。

### ●実験1

ある溶質の飽和水溶液において、全ての水分子が溶質の溶解に使われているのか、それとも溶質の溶解に使われていない水分子が残っているのかを調べるため、実験を行った。

[方法]

純水に多量の塩化ナトリウムを入れて限界まで溶かし、飽和水溶液を作製した。その後、その上澄みに硝酸カリウムを加え、溶けるかどうかを調べた。

[結果]

溶けた。実験を計3回行い、再現性を確認した。

[考察]

ある溶質の飽和水溶液中には、溶質の溶解に使われていない水分子が存在する。

## ●実験2

ある一定の温度において、1つのイオンの溶解に使われる水分子の数は自由に变化できるのか、それともイオンごとに定まっているのかを調べるため、実験を行った。

### [方法]

実験1と同様にして塩化ナトリウムの飽和水溶液を作製し、その上澄みに多量の硝酸カリウムを入れ、限界まで溶かした。その後、その上澄みに硫酸アンモニウムを加え、溶けるかどうかを調べた。

### [結果]

溶けなかった。実験を計3回行い、再現性を確認した。

### [考察]

温度が一定の場合、1つのイオンの溶解に必要な水分子の数はそのイオンごとに決まっている。

## ●実験3

1つのイオンの溶解に使われる水分子の数は温度に関わらず一定であるのか、それとも温度変化に伴って変化するかを調べるため、実験を行った。

### [方法]

実験2と同様にして塩化ナトリウムの飽和水溶液に硝酸カリウムを限界まで溶かし、その上澄みに硫酸アンモニウムを加えて溶けないことを確認した。その後、それを約 60℃の湯で温め、硫酸アンモニウムが溶けるかどうかを調べた。

### [結果]

溶けるようになった。実験を計3回行い、再現性を確認した。

### [考察]

1つのイオンの溶解に必要な水分子の数は温度変化に伴って変化する。



水のイオン積や難溶性の物質の溶解度積は一定の値をとること、水のイオン積は温度変化に伴って変化することが知られている。私たちは、物質が水に溶けるかどうかはその物質を構成する各イオンのモル濃度の積がある値を超えるかどうかで決まるのではないかと考え、その仮説を検証するために次の実験4、5を行った。ただし、物質やイオンのモル濃度はその化学式を[ ]で囲うことで表す。

#### ●実験4

塩化ナトリウムの飽和水溶液における $[\text{Na}^+] \times [\text{Cl}^-]$ の値を調べるため、実験を行った。

[方法]

塩化ナトリウムの溶解度は、およそ $0.61\text{mol}/100\text{gH}_2\text{O}$ である。200mLのメスシリンダーに純水を100.0gとり、そこに塩化ナトリウムを0.610mol加えてすべて溶かし、その溶液の体積を調べ、それにより塩化ナトリウムの飽和水溶液における $[\text{NaCl}]$ のおおよその値を求めた。なお、実験は室温で行った。

[結果]

塩化ナトリウムの飽和水溶液について  $[\text{NaCl}] \approx 5.384\text{mol/L}$

[考察]

塩化ナトリウムの飽和水溶液について  $[\text{Na}^+] \times [\text{Cl}^-] \approx 28.99(\text{mol/L})^2$

#### ●実験5

$[\text{Na}^+]$ と $[\text{Cl}^-]$ の値が異なる場合において塩化ナトリウムが析出するときの $[\text{Na}^+] \times [\text{Cl}^-]$ の値を調べるため、実験を行った。

[方法]

(1) 200mLのメスシリンダーに純水を100.0gとり、そこに塩化ナトリウムを0.500mol溶かした。その後硝酸ナトリウムを0.010molずつ溶かしてゆき、そのたびに溶液の体積を測定した。これを析出が起こるまで繰り返し、析出する前段階での $[\text{Na}^+]$ と $[\text{Cl}^-]$ の値を求めた。なお、実験は室温で行った。

(2) 200mLのメスシリンダーに純水を100.0gとり、そこに塩化ナトリウムを0.500mol溶かした。その後塩化アンモニウムを0.010molずつ溶かしてゆき、そのたびに溶液の体積を測定した。これを析出が起こるまで繰り返し、析出する前段階での $[\text{Na}^+]$ と $[\text{Cl}^-]$ の値を求めた。なお、実験は室温で行った。

[結果]

$$(1) [\text{Na}^+] \doteq 7.057 \text{ mol/L}, [\text{Cl}^-] \doteq 4.010 \text{ mol/L}$$

$$(2) [\text{Na}^+] \doteq 4.160 \text{ mol/L}, [\text{Cl}^-] \doteq 6.240 \text{ mol/L}$$

[考察]

$$(1) [\text{Na}^+] \times [\text{Cl}^-] \doteq 28.30 (\text{mol/L})^2$$

$$(2) [\text{Na}^+] \times [\text{Cl}^-] \doteq 25.96 (\text{mol/L})^2$$

実験4、5において各条件における $[\text{Na}^+] \times [\text{Cl}^-]$ の値が一致しなかったことから、物質が水に溶けるかどうかはその物質を構成する各イオンのモル濃度の積の値とは関係がないのだと考えられる。

### III 結論

この研究により、以下の結論が得られた。

- ある溶質の飽和水溶液中には他の物質の溶解に使うことのできる水分子が残っている。
- 1つのイオンの溶解に必要な水分子の数は、同じ温度ではイオンごとに定まっており、また温度変化に伴って変化する。
- 物質の水への溶解とその物質を構成する各イオンのモル濃度の積の値は無関係である。

### IV 今後の展望

物質が水に溶けるかどうかを決めているものを特定する。現時点では、水溶液全体に含まれる水分子に対する物質の溶解に使われている水分子の割合に関係があるのではないかと考えている。

### V 参考文献

- 教科書
- 啓林館ユーザーの広場 (<http://www.keirinkan.com/>)
- 楽しい高校化学(Virtual Chemical World) (<http://www2.yamamura.ac.jp/chemistry/index.html>)
- SPring-8 Web Site (<http://www.spring8.or.jp/ja/>)

# イオン移動実験の問題点の改良

2327 附田 佑道 1403 大山 峻也

## 1 はじめに

イオン移動実験とは中学校、高校で行われる化学においてはイオンの性質を理解する上で必要不可欠な実験である。しかし、この実験は素材、方法、実験の結果によっては生徒が理解するのが妨げられる。特にこの実験でネックになっているのが、イオン移動にかかる時間で、授業内に短時間で見られないと支障をきたす場合がある。そこで私たちは、何か効率よく時間を短縮することができることを目的にこの研究をはじめた。

## 2 基本条件と材料及び実験方法

### 基本条件

電圧 80V  
添加電解質の濃度 0.15%  
添加電解質の種類 NaCl  
モル濃度 12mol/L  
試料電解質 HCl NaOH

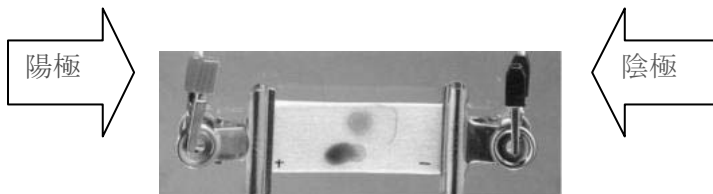
### 材料

NaCl NaNO<sub>3</sub> KNO<sub>3</sub> (添加電解質)  
HCl H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> CH<sub>3</sub>COOH HNO<sub>3</sub>  
NaOH KOH Ca(OH)<sub>2</sub> NH<sub>3</sub> (試料電解質)  
ろ紙 リトマス紙

### 実験方法

- ① 電圧を変えた場合  
電圧を 20、40、60、80V に変えて行う。
- ② 添加電解質の濃度を変えた場合  
濃度を 0.15、0.30、0.45% に変えて行う。
- ③ 添加電解質の種類を変えた場合  
NaCl、NaNO<sub>3</sub>、KNO<sub>3</sub> に変えて行う。
- ④ 試料電解質のモル濃度を変えた場合。  
4mol/L、8mol/L、12mol/L に変えて行う。
- ⑤ 電離度（薬品）を変えた場合  
HCl、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、CH<sub>3</sub>COOH、HNO<sub>3</sub>、NaOH、KOH、Ca(OH)<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> に変えて行う。

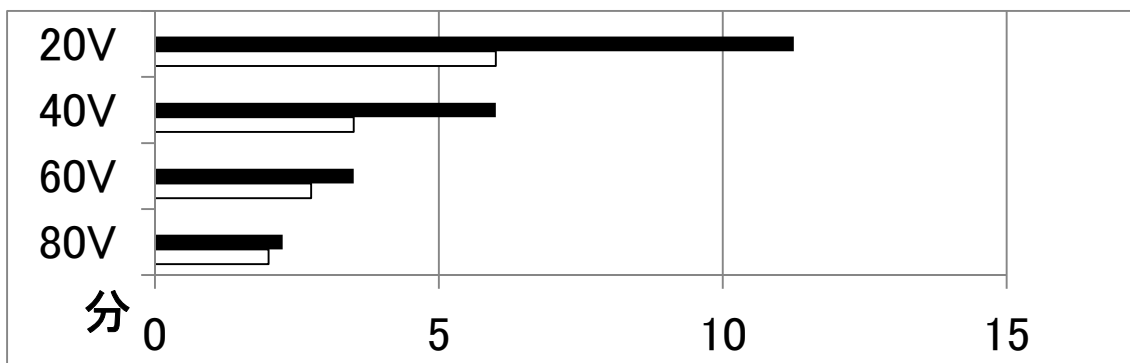
### 実験操作図例



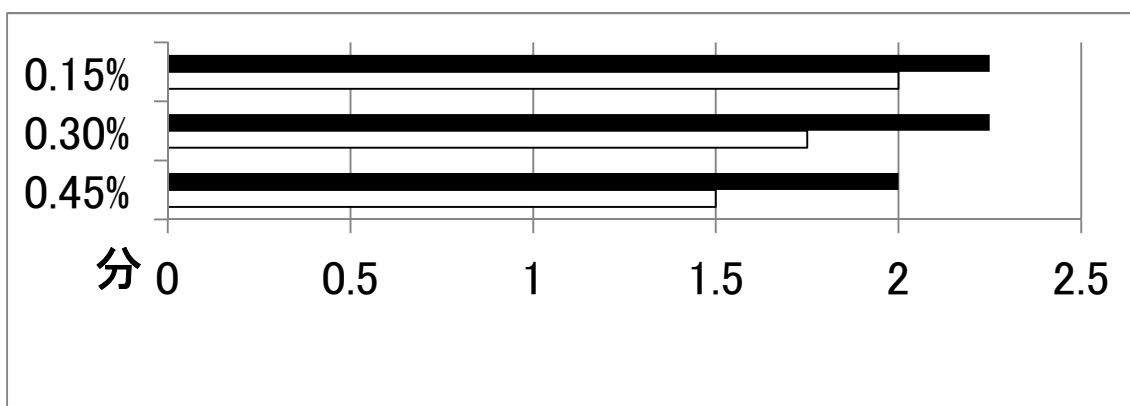
### 3 結果（最も短時間でみられたもの）

- ① 電圧の大きいもの
- ② 濃度が高いもの
- ③ NaCl
- ④ モル濃度が高いもの
- ⑤ 電離度が大きいもの

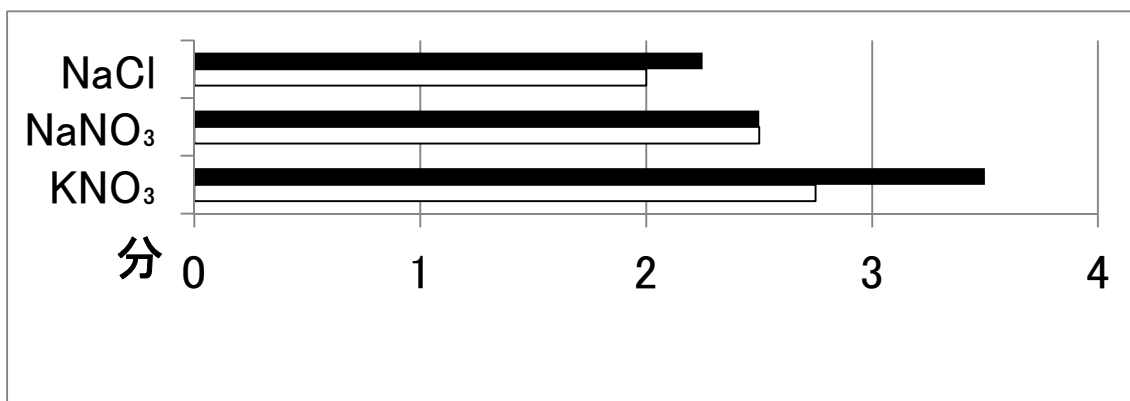
電圧を変えた場合（白は HCl、黒は NaOH。）



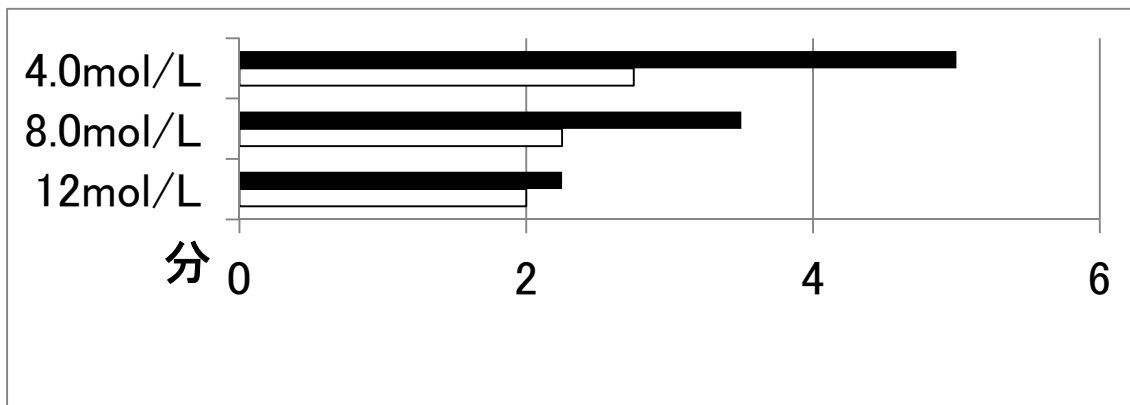
添加電解質の濃度を変えた場合（白は HCl、黒は NaOH。）



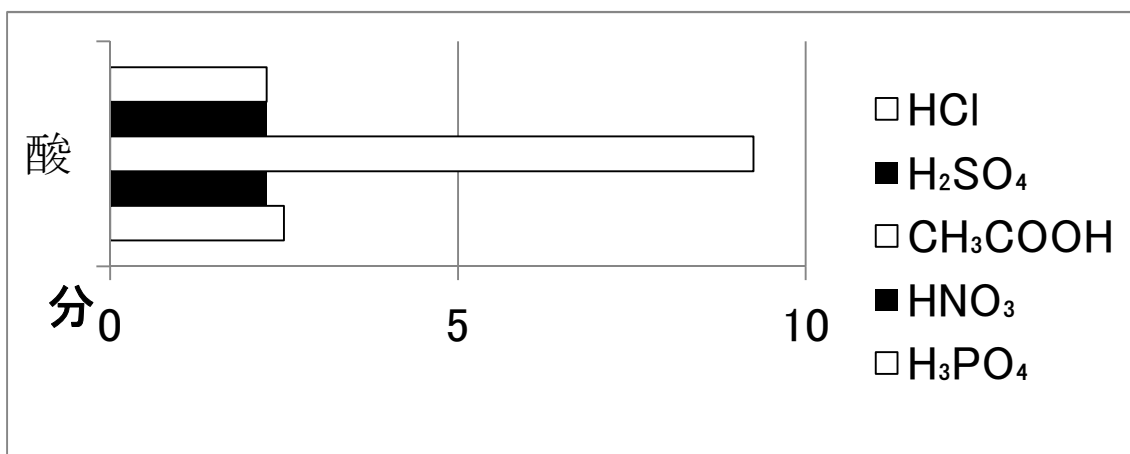
添加電解質の種類を変えた場合（白は HCl、黒は NaOH。）



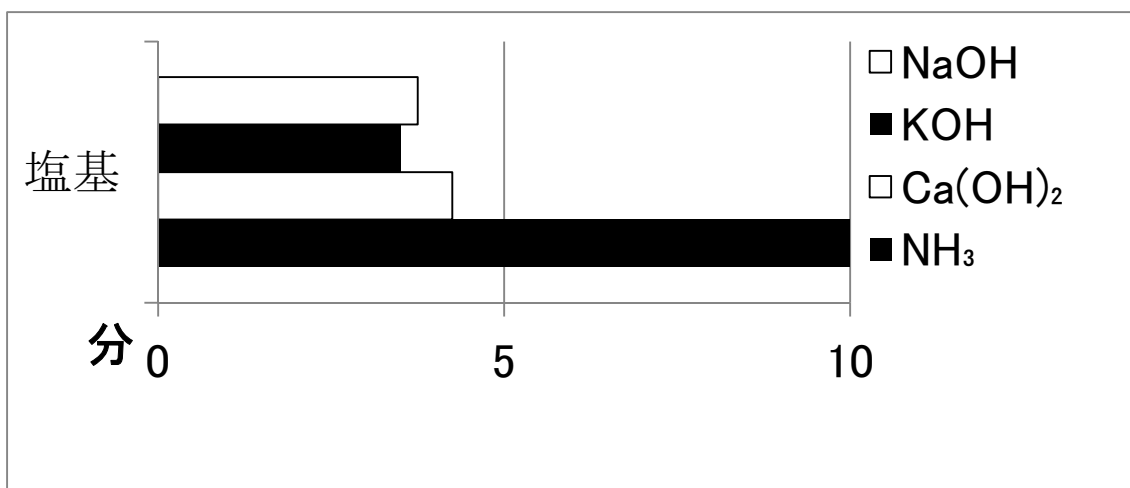
試料電解質のモル濃度を変えた場合（白は HCl、黒は NaOH。）



電離度（薬品）を変えた場合（酸）



電離度（薬品）を変えた場合（塩基）



## 4 考察

- ① 電圧を変えた場合、電圧が大きいほうがイオンの移動速度が速くなり移動が短時間でみられたのではないか。
- ② 濃度が高いとイオンの数量が多くなる。つまり、そのぶん電気がより流れやすい環境になり移動が短時間でみられたのではないか。
- ③ 添加電解質を全て同じ質量使用する場合、物質の原子量、分子量、式量が小さい場合、それだけ物質量が大きくなる。つまり、イオンの数量が多くなりその分電気が流れやすいため最も分子量の小さいNaClが短時間でイオン移動がみられたのではないのか。
- ④ モル濃度が大きいとその分移動するイオンの数量が多くなる。そのため移動が短時間でみられたのではないか。
- ⑤ 電離度が大きい。つまり水に溶けたとき電離するイオンの数量が多い。そのため移動が短時間でみられたのではないか。

## 5 今後の課題

実験の際電極付近のリトマス紙が反応することがあり、試料電解質の反応と誤解する可能性があるのをそれを改善すること。また1つの電解質によって陽イオンと陰イオンの移動が同時にみられる方法はないか。他には有色イオンの場合移動がみられるのかということ。

## 6 参考文献

高等学校化学 I 改訂版 (啓林館)

<http://web.thn.jp/ninjinhouse/r-s-ioneidou.html>

# ハシボソガラスのクルミ選択行動

梅津亮汰 自然科学部生物班

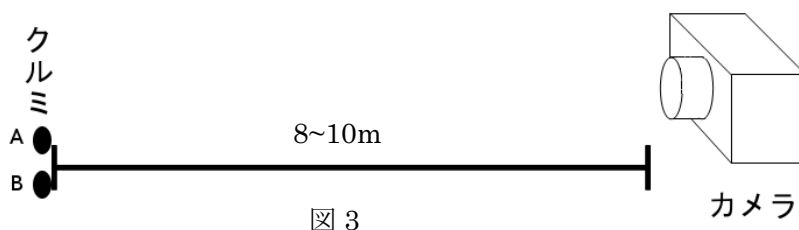
ハシボソガラス (*Corvus corone*) はクルミを1つクチバシにくわえて飛び立ち、高いところから落として割り、中身を食べる。2つ置かれたクルミのうち、どちらか一方を選択する行動に大きさと重さがどのように影響を与えるか調べるため、クルミの大きさ、重さを測定し、野外にふたつ並べて置き、ハシボソガラスの選択行動を観察した。カラスは1つのクルミにのみ触れる場合と、2つのクルミに触れる場合の二種類の行動を見せた。1つのみに触れた場合では、傾向が見られなかったが、2つに触れた場合においては、置いた2つのクルミの重さの差が小さくなるにつれ、選択にかかる時間が長くなる傾向が見られた。警戒していないハシボソガラスはより大きく重いクルミを選んでいると考えられる。

## はじめに

日本に飛来するカラス属 (genus *Corvus*) は5種類いるが、日本に常にいる種は、ハシボソガラスとハシブトガラス (*Corvus macrorhynchos*) の2種のみである。この2種のうち、クルミを落として割る行動を見せるのは、ハシボソガラスだけである<sup>1)</sup>。ハシボソガラスは、クルミを落として割る、クチバシで1度に1つのクルミしかくわえない、クルミを1度持ち去る、複数あるクルミの中から1つクルミを選ぶ行動を見せることが分かっている<sup>2)</sup>。大きさや重さを比べていると考え、2つ並べて置いたクルミの大きさや重さの差によってクルミの選択の行動にどのような影響を与えるのかを調べることにした。

## 材料と方法

山菜屋ドットコムウェブページ (遠藤商店) で購入した乾燥オニグルミを使用し、クルミに油性マジックで番号を記入した。大きさについて、ノギスを用いて「高さ」「ふくらみ」「すじ」という名前をつけ0.1mm単位で測定し (図2)、晴れまたは曇りの日にあらかじめ計測していたクルミを二つ並べて置き、カメラを用いてビデオ撮影をし、クルミに触れてから持ち去るまでの時間を計測した。(図3)その後、ビデオのタイムコードを利用して、どちらかのクルミに触れてからその場を立ち去るまでにかかる時間を測定し、クルミの選択にかかった時間として記録した。



## カラスのクルミ選択の行動

カラスのクルミ選択行動には大きく分けて2つのパターンがある。

1. 置いてあるクルミの両方に触れ、重さ、ふくらみを比べる場合。

2. 置いてあるクルミの片方のみに触れもう一方のクルミには見向きもしない場合。  
以下 1,2 の場合に分けて考えることにする。

## 結果

### 1. 2つのクルミに触れた場合

重さの差が小さくなるにつれて、選択にかかる時間が長くなる傾向が見られた。また、ふくらみの差が0.15cm以下に選択にかかる時間が短くなる傾向が見られ、より重いクルミ、大きいクルミが選択される傾向が見られた。(図4)

### 2. 1つのクルミにのみ触れた場合

2つのクルミに触れた場合よりも重さ、ふくらみともに選択にかかる時間が短くなる傾向が見られたが、重いクルミ、ふくらみの大きいクルミを選択する割合が少なくなった。(図5)

## 考察

今回観察したハシボソガラスの固体識別は行っておらず、複数のハシボソガラスと競合することなく、リラックスした状態でクルミを選択していた。

ハシボソガラスがクルミの重さを比べる方法は、2つのクルミに触れることだけである。また、大きさを比べる方法は、目視した時、クチバシで2つのクルミに触れた場合である。複数のクルミがある場合においても、ハシボソガラスは1度に1つしかくわえないため、2つのクルミに触れ、重さ、大きさを比べている場合、ガラスが重さや大きさを記憶していると考えられる。その中で、ハシボソガラスが選択に時間がかかる重さや大きさの範囲があるのかもしれない。ハシボソガラスが1つのクルミにのみ触れた場合は、触れる前に目視で重さや大きさを比べ、どのクルミを選択するか判断していると考えられる。

## 今後の課題

試行回数を増やし、統計的処理を行っていききたい。また、2つのクルミに触れた場合の選択行動において、重さと大きさのどちらがより影響を及ぼすのかクルミを水に浸して重さを調整し、調べていきたい。またクルミを3つ以上置いたときであっても、より重いクルミ、大きいクルミを選択しようとする行動を見せるのかを調べていきたい。

## 参考文献

- 1) 樋口広芳, 黒沢玲子. カラスの自然史[系統から遊び行動まで]
- 2) 細川, 飯野. 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, 仙台三高p64~68



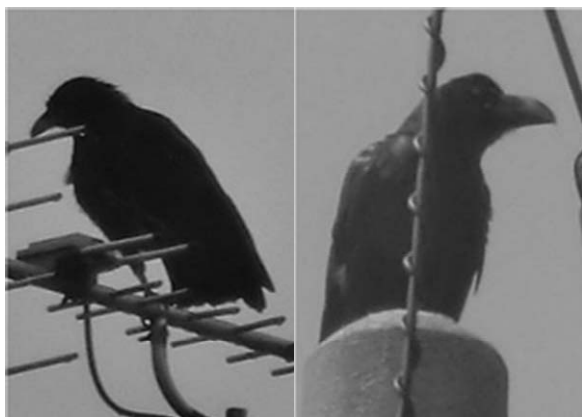


図 1.ハシボソガラス(左)とハシブトガラス(右)

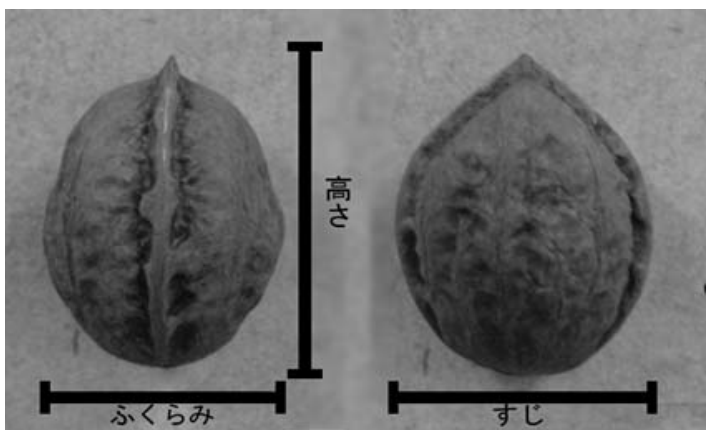


図 2.クルミの計測

表 1.

番号	重さ			ふくらみ			秒
	A	B	差(g)	A	B	差(cm)	
1	10.59	10.57	0.02	2.90	2.76	0.14	15
2	10.71	10.35	0.36	2.90	2.61	0.29	9
3	10.05	9.59	0.46	2.70	2.84	0.14	8
4	10.07	9.67	<b>0.40</b>	2.69	2.57	<b>0.12</b>	6
5	7.12	6.17	0.95	2.39	2.27	0.12	6
6	12.07	10.71	1.36	2.83	2.70	0.13	6
7	10.11	9.54	0.57	2.70	2.54	0.16	4
8	7.31	5.55	1.76	2.22	2.13	0.09	4
9	10.26	9.09	<b>1.17</b>	2.68	2.67	<b>0.01</b>	9
10	12.43	<b>12.23</b>	<b>0.20</b>	<b>2.69</b>	2.78	<b>0.13</b>	5
11	9.34	9.22	<b>0.12</b>	2.50	2.51	<b>0.01</b>	3
12	10.20	5.55	4.65	2.92	2.13	0.79	3
13	9.89	8.85	<b>1.04</b>	2.70	2.50	<b>0.20</b>	1
14	6.66	5.55	1.11	2.22	2.13	0.09	1

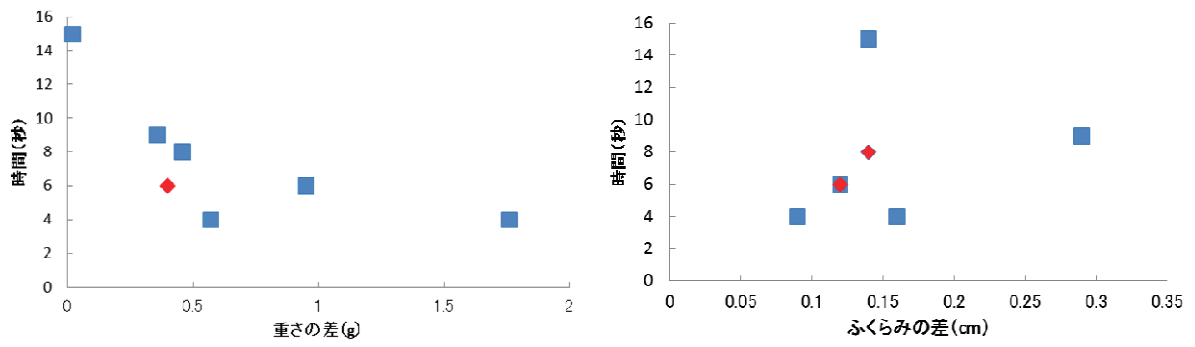


図 4.カラスが二つのクルミを触ったときのクルミ選択時間  
 青い点が重いクルミ,大きいクルミを選択した時の選択時間  
 赤い点が軽いクルミ,小さいクルミを選択した時の選択時間

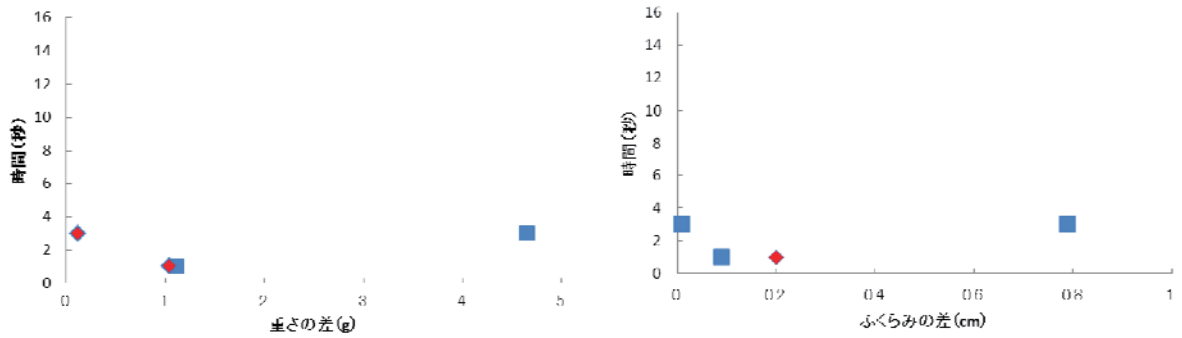


図 5.カラスが目だけで選択したときのクルミ選択時間  
 青い点が重いクルミ,大きいクルミを選択した時の選択時間  
 赤い点が軽いクルミ,小さいクルミを選択した時の選択時間

# 浸透圧による脊椎動物赤血球の形態変化

木下理子

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部生物班

浸透圧による赤血球の形態変化のようすを調べるために、さまざまな動物の赤血球の観察を行った。その結果、どの赤血球も濃度に応じて、濃度が高いほど小さく、コンペイトウ状になり、低いほど大きく、丸く膨張するというような単純な形態変化を起こすわけではないということが分かった。マウス赤血球とヒト赤血球では直径・形状の変化傾向が異なっており、浸透圧に対する耐性の違いが示唆された。また、同じ条件下にあっても細胞間で異なった形態が見られ、いわば個体差に相当する「細胞差」が存在していた。赤血球が時間経過とともに形状変化を起こす要因は、60分間での観察では主に浸透圧が、24時間後の観察では陽イオンの細胞膜への影響や、グルコースによるエネルギー代謝が関係していることが分かった。有核赤血球と無核赤血球を比較すると、核の有無で形態変化に差はあるが、有核であれば浸透圧への耐性があるというわけではない。

## はじめに

高校生物Iの教科書は、動物細胞の中からヒト赤血球を例に挙げ、「赤血球を蒸留水などの低張液に入れると、水が赤血球内に移動し、赤血球が膨れ、やがて細胞膜の一部が破れて赤い色素であるヘモグロビンが漏れてくる。……逆に赤血球を高張液に入れると、水が細胞外に移動して、赤血球は縮む。」(東京書籍「生物I」)と解説している。

しかし、浸透圧による形態変化が単純に収縮と膨張という大きさの変化なのか、それとも形状変化もともなうのか、については詳しい説明はない。

そこで、「赤血球は低張液中では丸く大きく膨張し、高張液中ではコンペイトウ状になり、形状は変化させずに収縮する。」という仮説を立て、さまざまな濃度の食塩水中におけるマウス (*Mus musculus*) とヒト (*Homo sapiens sapiens*) の赤血球径の計測を行い、比較・検討した。また、この計測中に、さまざまな形状の赤血球が見られたこと、日本生物教育学会兵庫大会(2012年1月)でのポスター発表の機会に受けた他の陽イオンの影響についても検討してはどうかという助言、グルコースが赤血球形状に影響を与えるという Backman<sup>(1)</sup>, Ogiso<sup>(2)</sup>らの報告を踏まえ、Na<sup>+</sup>だけでなく、K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>ならびにグルコースについて、3種類の濃度における形状ごとの計数を行い、マウスとヒト赤血球の比較をすることにした。また、赤血球の核の有無が形態変化に影響しているかを調べるために、哺乳類と、それ以外の赤血球を径変化と形状について、比較を行った。

## 材料と方法

食塩濃度による径変化の実験、陽イオンとグルコースによる形状変化の実験では、血液は、ヒト(57歳、男性)と近交系マウス(Slc:ddY, 週令12~27週、♂)のものを用いた。脊椎動物赤血球の形態変化の実験では、ヒト、ニワトリ、カメ、カエル、コイの血液を使用した。ヒトは左手指先を、マウスは尾側静脈を小さく傷つけ、出血したところをマイクロピペットで採血した。ニワトリは上腕静脈より、コイは背大静脈より、カエルは心臓穿刺によって注射器で採血した。

カメは、尾の付け根をカミソリで傷つけて採血した。

### 実験 1. さまざまな食塩濃度における赤血球径の変化

直径変化を調べる実験では、0.0%から1.2%のNaCl水溶液を0.1%刻みで13種類用意した。10mm四方の製氷皿に各NaCl水溶液1mLを入れ、採血した血液を1滴滴下し、軽く攪拌の後37°Cで30分間放置した。その後、検鏡・写真撮影を行い、撮影した写真をA4サイズに印刷し、無作為に選んだ赤血球の直径を紙面上でノギスを用いて計測した。その後、同様の方法で撮影した対物マイクロメーターもノギスで計測し、赤血球の実径に換算した。なお、NaCl水溶液と血液の混合液を移動する際に使用したパスツールピペットには、血液の凝固を防ぐために0.1%ヘパリンを通した。

### 実験 2. さまざまな陽イオンとグルコース溶液における赤血球形状の変化

形状変化についての実験では、NaCl濃度0.6%、0.9%、1.2%相当の浸透圧になるようにNaCl、KCl、MgCl<sub>2</sub>、CaCl<sub>2</sub>、グルコース水溶液を調製（塩類は電離度1として計算）した。0.5mLの各水溶液に10μLの血液を滴下し、その混合液を改良ノイバウエル型血球計算板（ディスポーザブルタイプ、Digital Bio, C-Chip DHC-N01）に入れ、セロハンテープで乾燥を防ぐために封をし、0分から60分間の15分刻みの時点と、24時間後の計6回写真撮影を行った。赤血球の形状分類は、ミシシッピ大学の血液学講義資料<sup>6)</sup>に紹介されているが、今回は表1に示した、円形型、歪み型、ワントン型、コンペイトウ型、楕円型、アメーバ型の6種類に分類し、形状ごとに計数を行った。なお、実験開始24時間時でも、血球計算板内の混合液は流動性を失っていない。

### 実験 3. 脊椎動物赤血球の形態変化

脊椎動物赤血球の形態を調べる際には、0.0%から0.4%の0.1%刻み、0.9%、1.2%、1.8%、3.0%の計9種類のNaCl水溶液を調製した。0.5mLの各水溶液に10μLの血液を滴下し、その混合液を改良ノイバウエル型血球計算板（ディスポーザブルタイプ、Digital Bio, C-Chip DHC-N01）に入れ、セロハンテープで乾燥を防ぐために封をし、実験開始60分後と24時間後の計2回写真撮影を行った。赤血球の形状分類は、表1と表2に示した、円形型、歪み型、ワントン型、コンペイトウ型、アメーバ型、楕円型、かけ型、なみだ型、めだま型、しわ型、より型の計11種類に分類し、形状ごとに計数を行った。なお、実験開始24時間時でも、血球計算板内の混合液は流動性を失っていない。

事前の観察により、赤血球の形状変化は温度の影響を受けることが分かっていたので、実験2と実験3では、一定の温度環境を維持するため、2つの工夫を行った。1つは、写真撮影の際に温度が変化するのを避けるためのもので、図1に示した、自作恒温観察室の利用である。これを37°Cになるよう調整し、観察・写真撮影用顕微鏡をその内部に入れて撮影した。もう1つの工夫は、

24 時間保温のためのもので、図 2 に示したような身近にあったヨーグルト製造機(タニカ ヨーグルティア YM-1200)を使用し、37℃に保温したことである。なお、採血時に使用したマイクロピペットとそれぞれの水溶液と血液の混合液を移動する際に使用したパストツールピペットには、実験 1 と同様、実験 2、実験 3 でも血液の凝固を防ぐために 0.1%ヘパリンを通した。

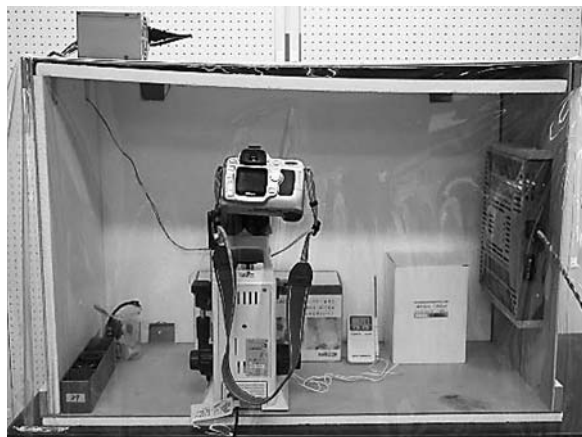


図 1 自作恒温観察室



図 2 ヨーグルト製造機

図 1 は実験 2 と実験 3 で、顕微鏡写真を撮る際に使用した恒温観察室である。体温からの温度変化避けるためのもので、使用時には 37℃に設定する。合板に発泡スチロールを貼り付けて箱状に組み立て、その内部にコタツのヒーターを取り付けている。また、内部の空気の攪拌するためにパソコンのクーラーファンを設置した。観察室の前面にはビニールシートを暖簾状に下げている。

図 2 は実験 2 と実験 3 で、24 時間保温用の恒温器として使用したヨーグルト製造機(タニカ ヨーグルティア YM-1200)である。プラスチックケースの内部に血球計算板を入れ、ふたを閉めて本体にセットし、37℃に設定して使用する。

## 結果

### 実験 1. さまざまな食塩濃度における赤血球径の変化

マウス赤血球では、同じ食塩濃度中にもかかわらず、変形を起こすものと正常な状態を保っているものが混在している状態が食塩濃度 0.7%、0.9%、1.0%、1.2%で見られたため、それらの形状をもとに大きく 2 グループに分けて計測を行った。図 3 はマウス赤血球の食塩濃度による直径変化を表したグラフである。マウス赤血球は、0.4%以下の濃度ではほぼすべてが溶血を起こしていた。また、濃度が高い水溶液中にあっても、径が大きい細胞が見られたり、濃度が低い水溶液中にあっても、径が小さい細胞も見られたりすることが分かった。等張液中でもそのような傾向が見られ、濃度によって一斉に細胞が径の大きさを変化させるわけではないことが分かった。標準偏差を表すエラーバーで示したように、0.7%から 1.2%にかけては、赤血球の径の大きさに偏りが大きく、個々の赤血球に、個体差に相当する「細胞差」があることが分かった。逆に 0.5%、0.6%食塩水中では、径の偏りが小さい。

図 4 はヒト赤血球の食塩濃度による直径変化を表したグラフである。ヒト赤血球では 0.4%、1.0%の濃度でマウス赤血球と同様に、正常な形状のものと変形しているものが混在し、形状に

偏りがあったため、2 グループに分けて計測を行った。0.3%以下の濃度ではほぼすべての赤血球が溶血を起こしていた。また、1.0%を境に径が大きく変化し、濃度の低い方では径が大きくなり、高い方では小さくなった。その大きな変化前後では径の大きさはほぼ一定に保たれていた。このように食塩濃度にもなって径が変化するのではなく、階段状の不連続な変化をしていることが分かった。0.6%の濃度で径が最も大きくなり、それ以下の濃度の水液中では大きさが小さくなっていること、また、どの濃度においても偏りが大きく、「細胞差」があることが分かった。

マウス赤血球とヒト赤血球の径の大きさを比較すると、等張液に相当する 0.9%NaCl 水溶液中でマウス赤血球は約 5.5 $\mu\text{m}$ 、ヒト赤血球は約 8.6 $\mu\text{m}$  と異なっていた。

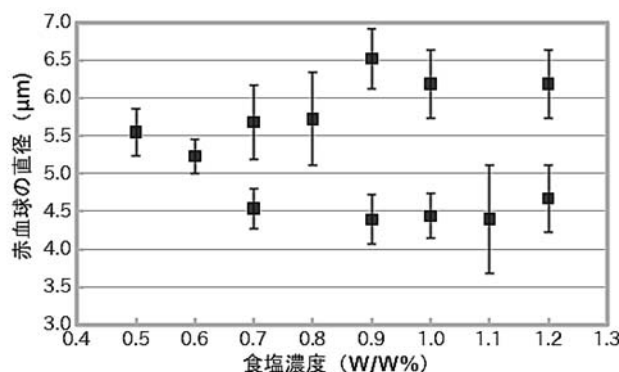


図3 マウス赤血球の食塩濃度による直径変化

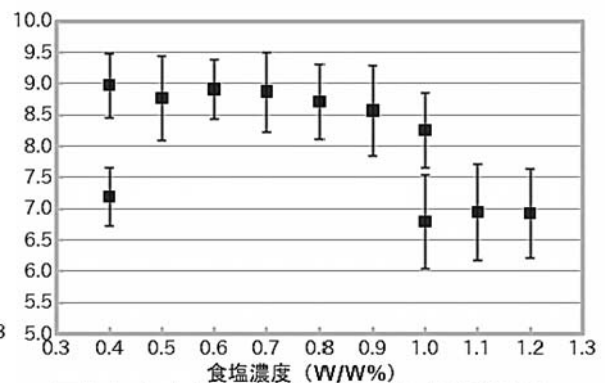


図4 ヒト赤血球の食塩濃度による直径変化

図3は0.0%から1.2%のNaCl水溶液中でのマウス赤血球の直径変化を表したグラフである。エラーバーは標準偏差を表しており、エラーバーの幅が大きいほど、その濃度において径の大きさに偏りがあるということになる。0.4%以下の濃度ではほぼすべての赤血球が溶血している。浸透圧が高くても等張液中での大きさと同程度である細胞も見られる。0.7%から1.2%にかけて径の偏りが大きく、それ以下の濃度では偏りがほとんど無い。

図4は0.0%から1.2%のNaCl水溶液中でのヒト赤血球の直径変化を表したグラフである。エラーバーは標準偏差を表しており、その幅が大きいほど、その濃度において径の大きさに偏りがあるということになる。0.3%以下の濃度ではほぼすべての赤血球が溶血している。1.0%を境に径が大きく変化し、その前後の濃度では高濃度側で小さく、低濃度側で大きくなっている。この変化の前後の濃度での、径の大きさはほぼ一定であるが、0.6%をピークにそれ以下の濃度では径はやや小さくなっている。

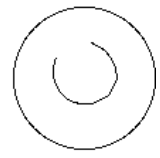

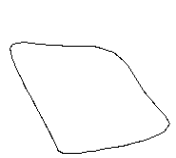



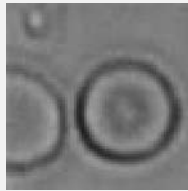
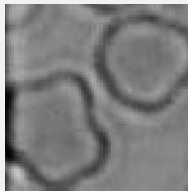
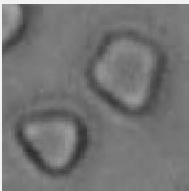
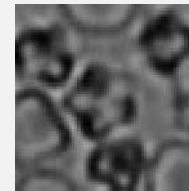
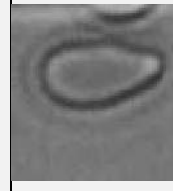
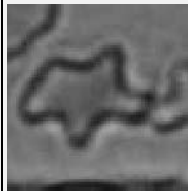
## 実験 2. さまざまな陽イオンとグルコース溶液における赤血球形状の変化

実験1では、赤血球の形状に大きな偏りが見られたNaCl濃度において、2グループに分けて計測を行った。その際に、2グループに分ける判断基準として、形状の違いを考慮したため、赤血球を表1に示した6種類の形状に分類し、形状の変化を経時観察することにした。各形状の特徴については、以下の(1)から(6)の通りである。

- (1)円形型は、哺乳類赤血球の正常な形状としての中央がいくぶんくぼんだ円盤状のものだけでなく、球形のものも含んだ形状を指している。顕微鏡での観察において、固定標本や十分な観察時間を取れる場合、絞りや焦点を調節することで円盤状、球形を識別することは可能である。しかし、今回の実験では計数に時間をかけることができないため、顕微鏡写真上で観察・計数を行った。この顕微鏡写真上では、これら両者の分別は困難である。そのため、や

- むを得ず，球形も含めて円形状として分類した。
- (2)歪み型は，赤血球の周に歪みが生じた形状を指している。
- (3)ワンタン型は，三角形，四角形のように角張った形状を指している。
- (4)コンペイトウ型は赤血球の表面に棘が生じた形状を指している．教科書では赤血球を高張液中に入れた際にこの形状になる，とある。
- (5)楕円型は楕円形の赤血球を指している．哺乳類以外の脊椎動物ではこの形状が正常である．円形型の赤血球が角度を変えるとこのような形状に見える場合も考えられるが，今回の実験ではそれらの判別が不可能であったため，やむを得ず，それらすべてを含めて楕円型と分類した。
- (6)アメーバ型は雲形・不定形の赤血球を指している。

表1 実験2における赤血球の形状分類

円形型	歪み型	ワンタン型	コンペイトウ型	楕円型	アメーバ型
					
					
ヒト赤血球 0.6%NaCl水溶液 実験開始 24時間	ヒト赤血球 0.6%NaCl水溶液 実験開始 24時間	マウス赤血球 0.6%NaCl水溶液 実験開始 60分	マウス赤血球 1.2%NaCl水溶液 実験開始 60分	ヒト赤血球 0.6%NaCl水溶液 実験開始 60分	ヒト赤血球 0.6%NaCl水溶液 実験開始 24時間
哺乳類赤血球で正常といわれる形状。中心部がくぼんで円盤状になっているものと球体になっているものの両方を含む。	赤血球の周に歪みが生じている形状。変形細胞の割合では，この形状が最も多い。	赤血球に3つまたは4つの角を生じている形状。マウス赤血球の低張液・等張液でよく見られる。	赤血球の表面に無数の棘が生じている形状。高張な塩類水溶液と，グルコース水溶液中でよく見られる。	楕円形の赤血球。哺乳類以外の脊椎動物赤血球では正常の形状。ヒト赤血球ではほとんどの溶質・濃度で，ほぼ一定量存在する。	雲形・不定形の赤血球。NaCl水溶液の低張液中で，実験開始 24時間のヒト赤血球でのみ見られる。

また，陽イオンの種類による形状の違いや，エネルギー代謝の影響を調べるために，NaCl以外の溶質も用いて，5種類の水溶液で実験を行うことにした。

0.6%，0.9%，1.2%NaCl水溶液は，電離度1として計算すると，それぞれ205mOsmol，308mOsmol，410mOsmolに相当する。他の塩類水溶液ならびにグルコース水溶液もこの浸透圧相当になるよう，モル濃度を調整した。以下，205mOsmol，308mOsmol，410mOsmolの水溶液をそれぞれ低張液，等張液，高張液と呼ぶ。

図5から図9はマウス赤血球の60分間での形状変化を表したグラフである。マウス赤血球の60分間の観察では、塩類水溶液中にあると、時間が経過するほど、浸透圧が高いほど、円形型からの変形が多く、特にコンペイトウ型と歪み型に変形するという傾向にあることが分かった。しかし、浸透圧が高い水溶液中にあってもコンペイトウ型に変化せず、円形型である赤血球も数多く観察された。一価の陽イオン水溶液と二価の陽イオン水溶液中にある赤血球では変化の仕方に違いが見られ、前者では、浸透圧が低いと細胞数が少なくなっていた。後者では、どの浸透圧下にあっても細胞数にほとんど差異は無かった。また、CaCl<sub>2</sub>水溶液中では特に溶血・変形を起こしていない細胞数が多くなっていた。グルコース水溶液中では低張液中でコンペイトウ型が多く見られた。また、その高張液中では変形している細胞が少なくなっていた。

図15のグラフは24時間後の各水溶液中のマウス赤血球とヒト赤血球の形状を表したものであり、マウス赤血球については左側に示している。マウス赤血球は塩類水溶液中の赤血球は溶血を起こし、細胞をほとんど確認できなかつた。グルコース水溶液中にあると、60分時と比較して細胞数は少なくなっているが、細胞を確認することができた。形状はほとんどが円形型であった。

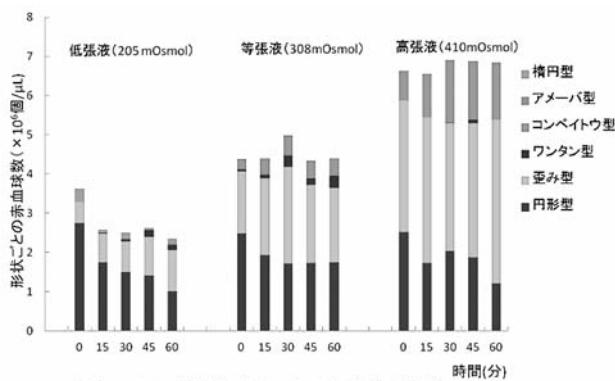


図5 NaCl水溶液中のマウス赤血球の形状

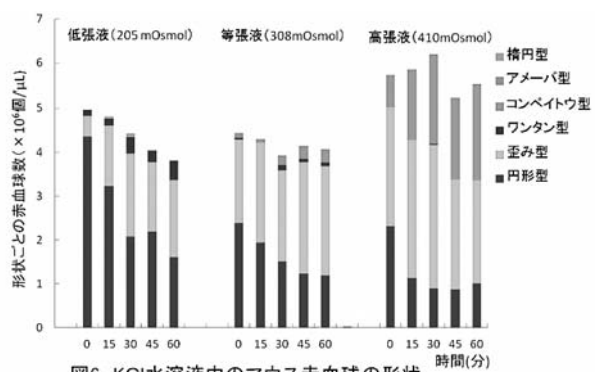


図6 KCl水溶液中のマウス赤血球の形状

図5はマウス赤血球の60分間のNaCl水溶液中での形状変化を表したグラフである。浸透圧が高く、時間が経過するほど変形する細胞が増える。特にコンペイトウ型の赤血球が大きく増えている。浸透圧が低いほど細胞数が少ない。

図6はマウス赤血球の60分間のKCl水溶液中での形状変化を表したグラフである。浸透圧が高く、時間が経過するほど変形する細胞が増える。特にコンペイトウ型の赤血球が大きく増えている。高張液中よりも低・等張液中のほうで細胞数が少なくなっている。



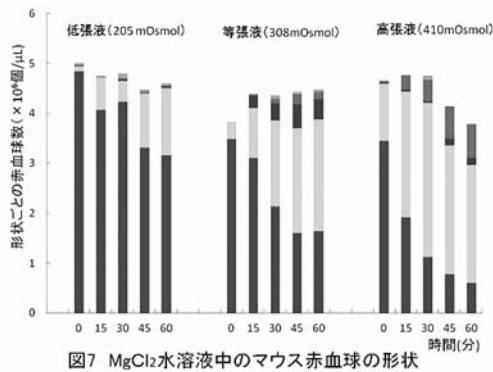


図7 MgCl<sub>2</sub>水溶液中のマウス赤血球の形状

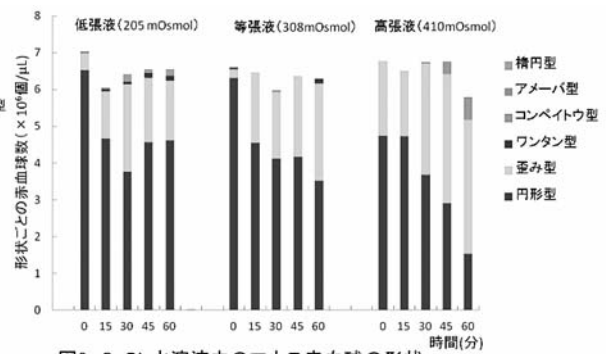


図8 CaCl<sub>2</sub>水溶液中のマウス赤血球の形状

図7はマウス赤血球の60分間のMgCl<sub>2</sub>水溶液中での形状変化を表したグラフである。浸透圧が高く、時間が経過するほど変形する細胞が増える。特にコンペイトウ型と歪み型の赤血球が大きく増えている。浸透圧が異なっても、細胞数に大きな差異はない。

図8はマウス赤血球の60分間のCaCl<sub>2</sub>水溶液中での形状変化を表したグラフである。浸透圧が高く、時間が経過する程変形する細胞が増える。特に歪み型の赤血球が大きく増えている。浸透圧が異なっても、細胞数に大きな差異はない。他の塩類水溶液中の赤血球よりも変形を起こしていないものが多い。

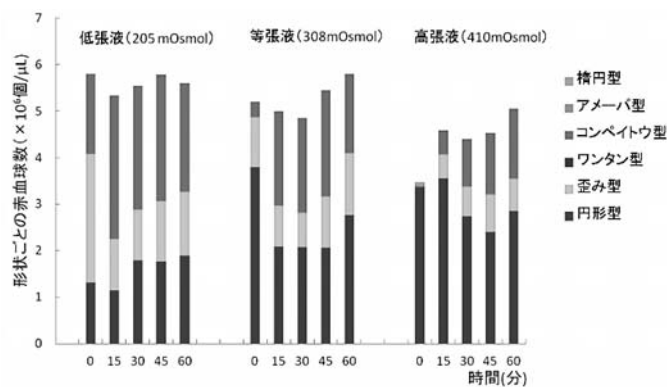


図9 グルコース水溶液中のマウス赤血球の形状

図9はマウス赤血球の60分間のグルコース水溶液中での形状変化を表したグラフである。浸透圧が低いほど変形する細胞が多い。0分時からコンペイトウ型が大きな割合を占めている。時間が経過する程、コンペイトウ型が大きく増加する。浸透圧の差があっても、全体の細胞数にはほとんど差異がない。

図10から図14はヒト赤血球の60分間での形状変化を表したグラフである。ヒト赤血球の60分間の観察では、塩類水溶液の等張液・高張液中でコンペイトウ型に変形した細胞が観察された。しかし、全体の形状変化傾向としては、どの条件にあっても細胞数にほとんど差異がなく、変形細胞が少なく、今回実験した浸透圧と時間経過による影響をあまり受けないというものであった。グルコース水溶液中では塩類水溶液中のものと同様に、円形型が多くを占めていた。しかし、低張液では実験開始30分より後から細胞数が大きく減り始め、等張液・高張液では実験開始0分に見られたコンペイトウ型が時間の経過にしたがってその数を減少させており、等張液中では実験開始30分に、高張液中では実験開始45分にはすべて無くなっていた。このように塩類水溶液中での変化とは異なった点が見られた。

図15のグラフは24時間後の各水溶液中のマウス赤血球とヒト赤血球の形状を表したものであ

り、ヒト赤血球については右側に示している。24 時間後の観察では、 $\text{CaCl}_2$  水溶液とグルコース水溶液の低張液と等張液中で赤血球が顕著な溶血を起こしており、細胞をほとんど確認できなかった。そのほかの塩類水溶液中では、60 分後の細胞と比較すると、変形を起こしている細胞が増えていたが、細胞数はほとんど変化が無かった。

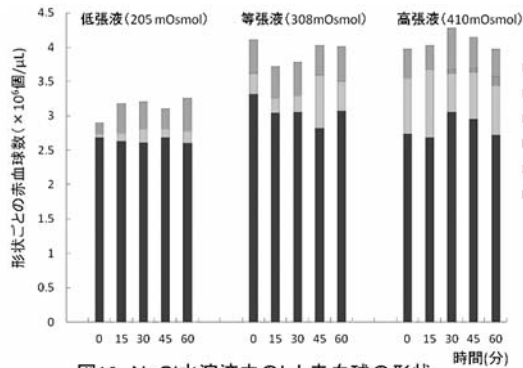


図10 NaCl水溶液中のヒト赤血球の形状

図 10 はヒト赤血球の 60 分間の NaCl 水溶液中での形状変化を表したグラフである。等・高張液中にあるとコンペイトウ型が見られた。どの浸透圧下にあっても円形型が多く、時間が経過してもほとんど変形細胞の割合は変化しなかった。浸透圧が低いと細胞数がやや少なくなっていた。

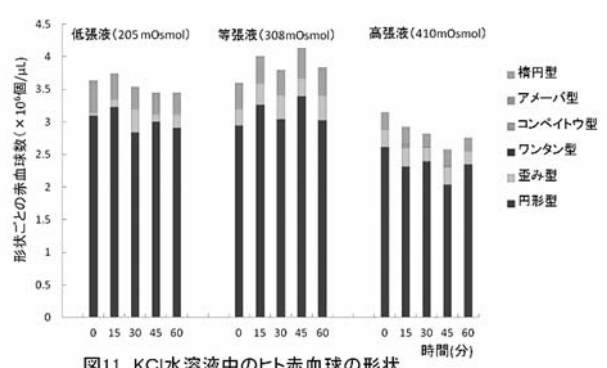


図11 KCl水溶液中のヒト赤血球の形状

図 11 はヒト赤血球の 60 分間の KCl 水溶液中での形状変化を表したグラフである。高張液中にあるとコンペイトウ型が見られた。どの浸透圧下にあっても円形型が多く、時間が経過してもほとんど変形細胞の割合は変化しなかった。浸透圧が高いと細胞数が少なくなっていた。

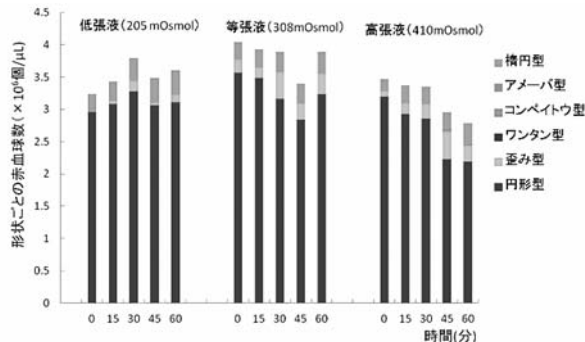


図12  $\text{MgCl}_2$ 水溶液中のヒト赤血球の形状

図 12 はヒト赤血球の 60 分間の  $\text{MgCl}_2$  水溶液中での形状変化を表したグラフである。高張液中ではコンペイトウ型が見られた。どの浸透圧下にあっても円形型が多く、時間が経過してもほとんど変形細胞の割合は変化しなかった。浸透圧の違いがあっても細胞数にはほとんど差異がなかった。

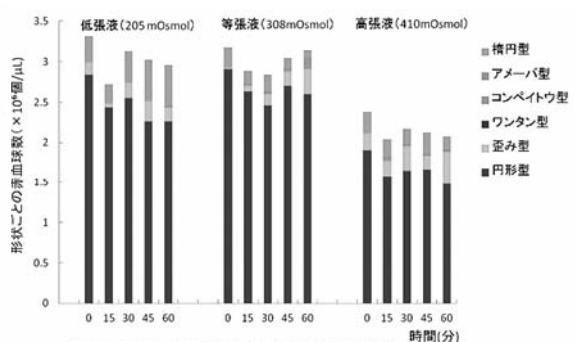


図13  $\text{CaCl}_2$ 水溶液中のヒト赤血球の形状

図 13 はヒト赤血球の 60 分間の  $\text{CaCl}_2$  水溶液中での形状変化を表したグラフである。どの浸透圧下にあっても、コンペイトウ型が見られ、中でも円形型が多く、時間が経過してもほとんど変形細胞の割合は変化しなかった。浸透圧が高いと細胞数はやや少なくなっていた。

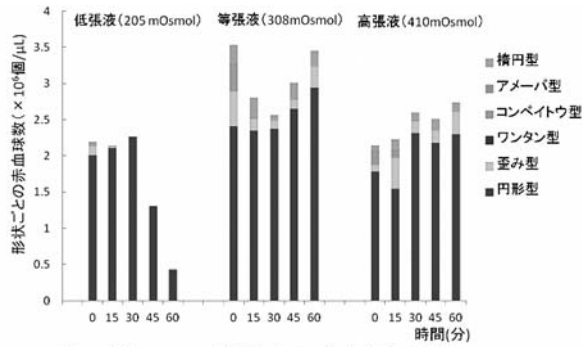


図14 グルコース水溶液中のヒト赤血球の形状

図 14 はヒト赤血球の 60 分間のグルコース水溶液中での形状変化を表したグラフである．等・高張液中にある赤血球はコンペイトウ型が見られ、いずれも 45 分時までには無くなっている．どの浸透圧下にあっても円形型が多い．低張液中では 30 分後から細胞数が大きく減少し始め、等・高張液中では細胞数は浸透圧や時間に影響されず、ほぼ一定に保たれていた。

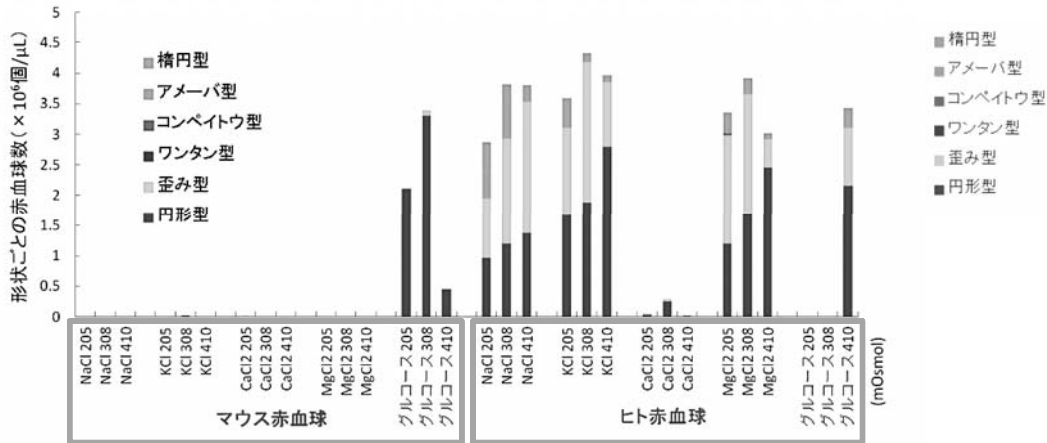


図15 24時間後の各水溶液中のマウス赤血球とヒト赤血球の形状

図 15 はマウス赤血球とヒト赤血球の 24 時間後の NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, グルコース水溶液中での形状をまとめたグラフである．マウス赤血球の場合、グルコース水溶液中の赤血球以外、ほぼすべてが溶血を起こしており、グルコース水溶液中では円形型が多い．細胞数は高張液で少なくなっている．ヒト赤血球の場合、CaCl<sub>2</sub> 水溶液とグルコース水溶液の低・等張液中で著しい溶血が見られた．その他の水溶液では細胞数は 60 分間の観察と同程度であるが、変形細胞は多くなっていた。

赤血球数はマウスとヒトで比較すると、マウス赤血球の方が多い．また、マウス赤血球・ヒト赤血球に共通して、ほとんどすべての環境下で複数種の形状が観察された．等張液中にあっても決して正常な「中央がくぼんだ円盤状」の赤血球だけが見られるわけではないことが分かった．

### 実験 3. 脊椎動物赤血球の形態変化

実験 1 と実験 2 では、ヒトとマウスの赤血球を用いて形態変化を調べたが、哺乳類以外の赤血球ではどのような変化を起こすのかを、赤血球は有核だと無核のものよりも浸透圧に対する耐性があり、変形しにくいのではないか、という仮説の下で、実験 3 として調べることにした．それぞれの動物の NaCl 水溶液中での等張液の濃度は電離度 1 として計算すると、ヒト 0.9%、ニワトリ 1.0%、カメ 0.9%、カエル 0.7%、コイ 0.8%である．形状分類は表 1 と表 2 に示した 11 種類に分

類した。円形型，歪み型，ワントン型，コンペイトウ型，楕円型，アメーバ型の形状の特徴については実験 2 の結果と表 1 に示した通りである。新たに見つかった形状である，かけ型，なみだ型，めだま型，しわ型，より型の特徴は以下の通りである。

- (1)かけ型は，楕円形の赤血球のふちがいくらか欠損している形状を指している。
- (2)なみだ型は，楕円形の赤血球の片端がとがっている形状を指している。
- (3)めだま型は，楕円形の赤血球の両端がとがっている形状を指している。
- (4)しわ型は，赤血球表面にしわがある形状を指している
- (5)より型は，楕円形の赤血球の片端または両端に細胞質が偏っている形状を指している。

**表 2 実験 3 における赤血球の形状分類**






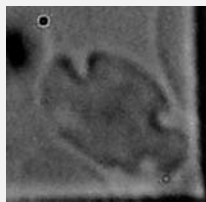




かけ型	なみだ型	めだま型	しわ型	より型
				
				
<p><b>カメ赤血球</b> 0.2%NaCl 水溶液 実験開始 60 分</p>	<p><b>カメ赤血球</b> 1.8%NaCl 水溶液 実験開始 24 時間</p>	<p><b>カメ赤血球</b> 1.8%NaCl 水溶液 実験開始 24 時間</p>	<p><b>ニワトリ赤血球</b> 1.8%NaCl 水溶液 実験開始 24 時間</p>	<p><b>カメ赤血球</b> 1.8%NaCl 水溶液 実験開始 24 時間</p>
<p>楕円形の赤血球のふちがいくらか欠損している形状。ニワトリ赤血球，カメ赤血球で多く見られる。</p>	<p>楕円形の赤血球の片端がとがっている形状。カメ赤血球とカエル赤血球で多く見られる。</p>	<p>楕円形の赤血球の両端がとがっている形状。哺乳類以外の赤血球では 24 時間時に見られる。</p>	<p>赤血球表面にしわがある形状。コンペイトウ型とは違い，元の形状である楕円型を残している。ニワトリ赤血球の 24 時間時の高張液で多く見られる。</p>	<p>楕円形の赤血球の片端または両端に細胞質が偏っている形状。カメ赤血球や，コイ赤血球の 24 時間時の高張液中で多く見られる。</p>

図 16 と図 17 はそれぞれ，ヒト赤血球の実験開始 60 分時点，24 時間時点での NaCl 濃度による円形型の径の大きさをあらわしたグラフである。実験 1 とは異なり，今回は 0.2%以下の水溶液中でほぼすべての赤血球が溶血を起こしていた。変化傾向も実験 1 とは異なり，段階的な変化は見られず，濃度が低下するにつれて径が小さくなっていくというものであった。標本数が実験 1 よりも少なかったため，結果に違いがでたと考えられる。今後，標本数を増やし再実験する必要がある。

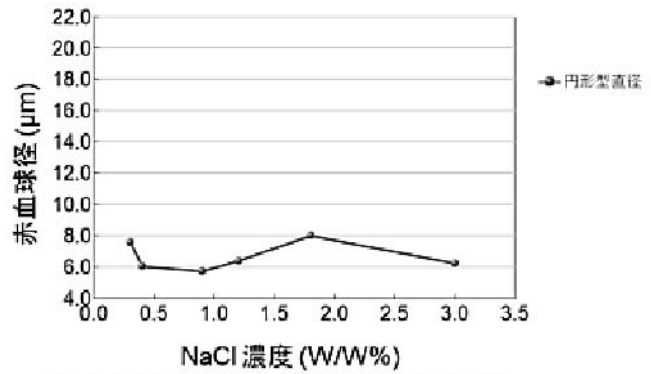
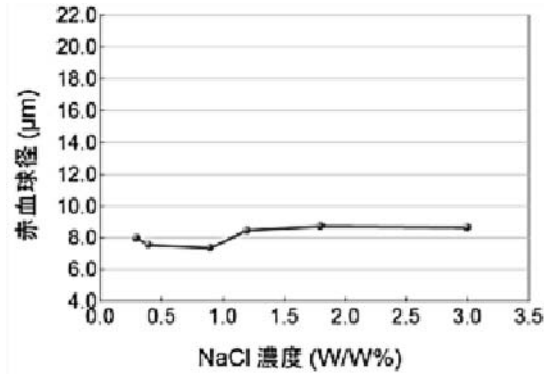


図 16 60 分後の NaCl 濃度によるヒト赤血球径 図 17 24 時間後の NaCl 濃度によるヒト赤血球径

図 16 は実験開始 60 分時の NaCl 濃度によるヒト赤血球の径を表したものである。実験 1 とは異なり、1.0%前後で径がやや小さくなっている。

図 17 は実験開始 24 時間時の NaCl 濃度によるヒト赤血球の径を表したものである。ほとんどの濃度で赤血球径が小さくなっている。1.8%の NaCl 水溶液中では 60 分時と大きさがあまり変わらなかった。

図 18 と図 19 はそれぞれ、ヒト赤血球の実験開始 60 分時点、24 時間時点での NaCl 濃度による各形状の割合をあらわしたグラフである。これまでの実験では NaCl 濃度 1.2%を最も高張である水溶液として用いてきたが、それ以上に高張である 1.8%、3.0%で調べた。すると、60 分時にはほとんど変形しなかったヒト赤血球の多くが変形を起こした。60 分時、24 時間時ともに濃度が高いほど円形型が減少する一方で歪み型とコンペイトウ型が増加し、全体的に、高張液側で多く変形する傾向にあった。24 時間時には低張液中でも変形を起こすようになり、等張液である 0.9%以外の濃度で変形細胞が増加した。

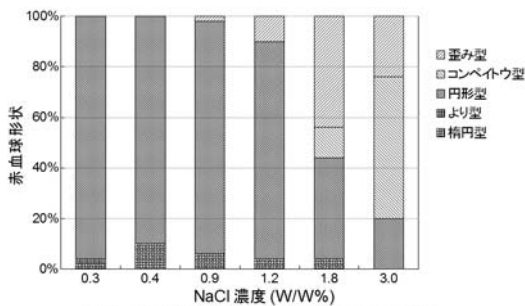


図 18 60 分後の NaCl 濃度によるヒト赤血球形状

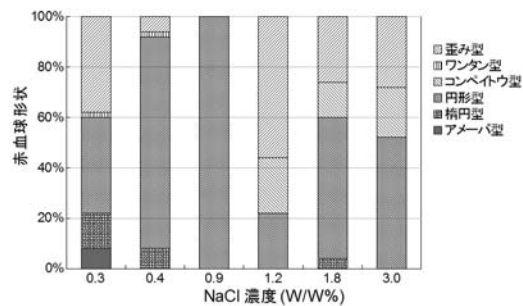


図 19 24 時間後の NaCl 濃度によるヒト赤血球形状

図 18 は実験開始 60 分時の NaCl 濃度によるヒト赤血球の形状の割合を表したものである。高張液中にあるほどコンペイトウ型と歪み型への変形が多く見られる。低張液中ではほとんど変形を起こしていない。

図 19 は実験開始 24 時間時の NaCl 濃度によるヒト赤血球の形状の割合を表したものである。ほとんどの濃度で変形細胞の割合が大きくなっている。高張液中ではコンペイトウ型が、低張液ではアメーバ型が特徴的に見られた。

図 20 と図 21 はそれぞれ、ニワトリ赤血球の実験開始 60 分時点、24 時間時点での NaCl 濃度による楕円型赤血球の径の大きさをあらわしたグラフである。哺乳類以外の脊椎動物赤血球は、正常な形状が楕円形であるため、短径と長径を分けて計測を行った。ニワトリ赤血球の場合、0.1%以下の濃度でほぼすべての赤血球が溶血を起こしていた。60 分時と 24 時間時では大きさに違いはほとんど見られなかった。また、短径と長径は同時に、同じ変化をしていた。経過時間に関わらず、短径と長径ともに 1.2%あたりで径が最も大きくなり、その前後では径は小さくなるという山なりの変化を起こしていた。低張液側の 0.4%では大きさがやや大きくなっていた。

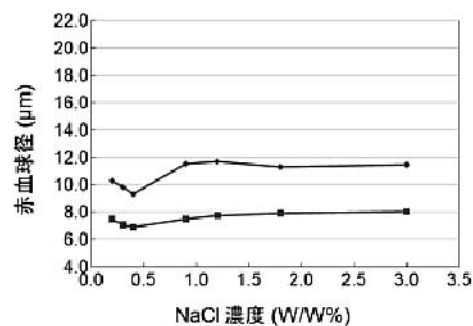


図 20 60 分後の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球径

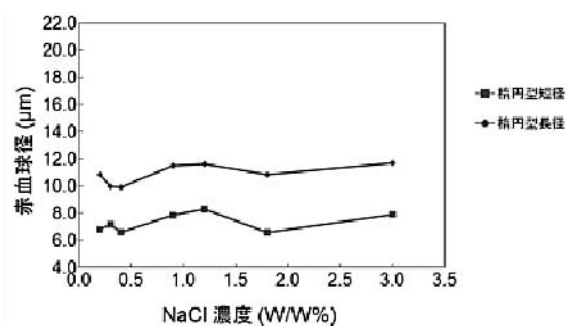


図 21 24 時間後の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球径

図 20 は実験開始 60 分時の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球の短径と長径を表したものである。短径と長径は同時に変化している。等張液に近い濃度である 1.2%で最も大きくなりその前後の濃度では径が小さくなるという山なりの変化をしている。0.4%で径が再び大きくなっている。

図 21 は実験開始 24 時間時の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球の短径と長径を表したものである。短径と長径は同時に変化している。等張液に近い濃度である 1.2%で最も大きくなりその前後の濃度では径が小さくなるという山なりの変化をしている。0.4%で径が再び大きくなっている。

図 22 と図 23 はそれぞれ、ニワトリ赤血球の実験開始 60 分時点、24 時間時点での NaCl 濃度による各形状の割合をあらわしたグラフである。60 分時では楕円型がどの濃度においても大きくその割合を占めていたが、低張液であるほど変形細胞が多くなっており、主に円形型、ワントン型、なみだ型が増えていた。24 時間時では、ニワトリ赤血球の等張液である 1.0%前後の濃度である 0.9%と 1.2%水溶液ではほとんど変形を起こしておらず、楕円型が大きく占めていた。しかし、それ以外の濃度の水溶液中では、変形細胞の割合が大きくなっていった。低張液側では主に円形型と歪み型が、高張液側ではしわ型が多く存在していた。

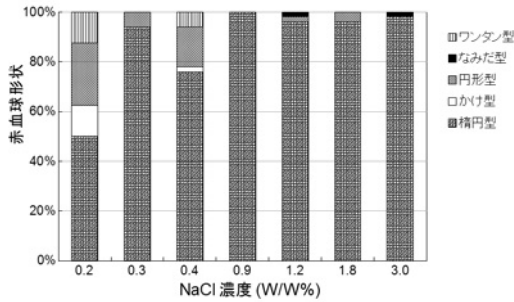


図 22 60 分後の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球形状

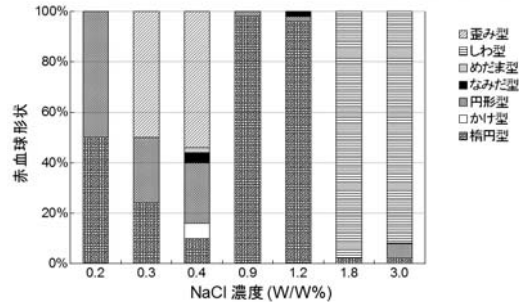


図 23 24 時間後の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球形状

図 22 は実験開始 60 分時の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球の形状の割合を表したものである。楕円型がどの濃度においても大きくその割合を占めているが、低張であるほど変形細胞が多くなっており、主に円形型、ワンタン型、なみだ型が増えている。

図 23 は実験開始 24 時間時の NaCl 濃度によるニワトリ赤血球の形状の割合を表したものである。ニワトリ赤血球の等張液である 1.0%前後の濃度である 0.9%と 1.2%水溶液ではほとんど変形を起こしておらず、楕円型が大きく占めていた。それ以外の濃度の水溶液中では、変形細胞の割合が大きくなっていった。

図 24 と図 25 はそれぞれ、カメ赤血球の実験開始 60 分時点、24 時間時点での NaCl 濃度による楕円型の径の大きさをあらわしたグラフである。カメ赤血球の場合、0.1%以下の濃度ではほぼすべての赤血球が溶血を起こしていた。また、短径と長径は同時に、同じ変化をしていた。0.9%あたりで径が最も大きくなり、ニワトリ赤血球と同様に、その前後の濃度では大きさが小さくなっているという山なりの変化を起こしていた。60 時と 24 時間時を比較すると、24 時間時の方が明確な起伏が見られた。低張液側の 0.3%で径が大きくなり、0.2%で小さくなるという変化も、60 分時、24 時間時に共通して見られた。

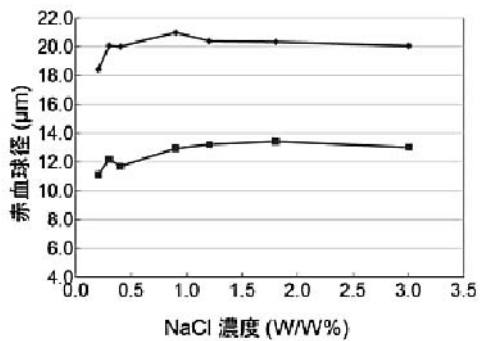


図 24 60 分後の NaCl 濃度によるカメ赤血球径

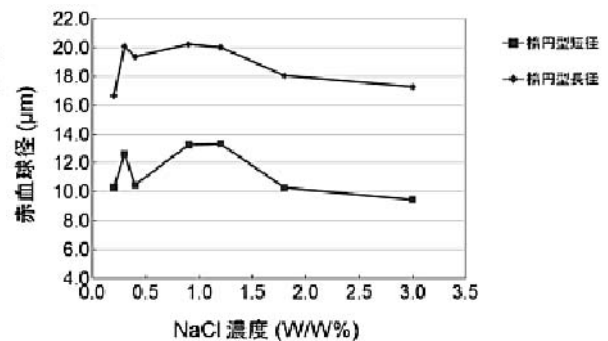


図 25 24 時間後の NaCl 濃度によるカメ赤血球径

図 24 は実験開始 60 分時の NaCl 濃度によるカメ赤血球の短径と長径を表したものである。短径と長径は同時に変化している。0.9%で最も大きくなりその前後の濃度では径が小さくなるという山なりの変化をしている。0.3%で径が再び大きくなり、0.2%で小さくなっている。

図 25 は実験開始 24 時間時の NaCl 濃度によるカメ赤血球の短径と長径を表したものである。短径と長径は同時に変化している。0.9%で最も大きくなりその前後の濃度では径が小さくなるという山なりの変化をしている。0.3%で径が再び大きくなり、0.2%で小さくなっている。

図 26 と図 27 はそれぞれ、カメ赤血球の実験開始 60 分時点、24 時間時点での NaCl 濃度による各形状の割合をあらわしたグラフである。60 分時ではどの濃度でも正常である楕円型が大きく割合を占めていたが、低張液であるほど変形細胞が多くなり、特にかけ型が増加していた。24 時間

時ではカメ赤血球の等張液である 0.9%前後ではあまり変形を起こしていないものの、それ以外の濃度では変形細胞の割合が大きくなり、低張液側ではかけ型が、高張液側ではより型、めだま型、なみだ型が増加していた。

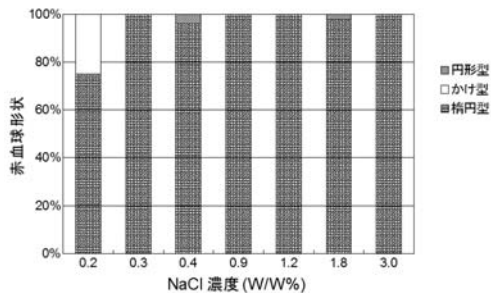


図 26 60 分後の NaCl 濃度によるカメ赤血球形状

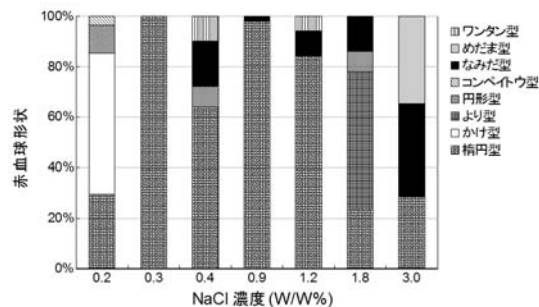


図 27 24 時間後の NaCl 濃度によるカメ赤血球形状

図 26 は実験開始 60 分時の NaCl 濃度によるカメ赤血球の形状の割合を表したものである。楕円型がどの濃度においても大きな割合を占めているが、低張液中にあるほど変形細胞が多くなり、特にかけ型が増加している。

図 27 は実験開始 24 時間時の NaCl 濃度によるカメ赤血球の形状の割合を表したものである。カメ赤血球の等張液である 0.9%前後ではあまり変形を起こしていないものの、それ以外の濃度では変形細胞の割合が大きくなり、低張液側ではかけ型が、高張液側ではより型、めだま型、なみだ型が増加している。

図 28 と図 29 はそれぞれ、カエル赤血球の実験開始 60 分時点、24 時間時点での NaCl 濃度による楕円型の径の大きさをあらわしたグラフである。カエル赤血球の場合、0.1%以下の濃度ではほぼすべての赤血球が溶血を起こしていた。また、短径と長径は同時に、同じ変化をしていた。

0.9%あたりで径が最も大きくなり、ニワトリやカメ赤血球と同様に、その前後の濃度では大きさが小さくなっているという山なりの変化を起こしていた。これらの変化はカエル赤血球の場合、24 時間時の方がはっきりと見られ、60 分時にはやや平坦になっていた。

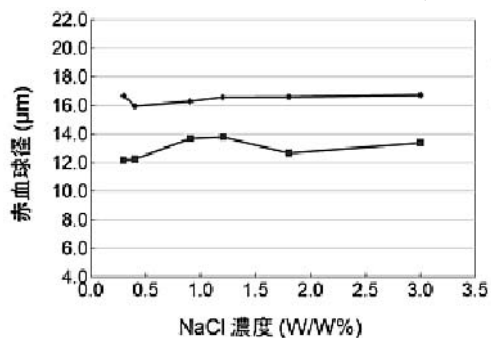


図 28 60 分後の NaCl 濃度によるカエル赤血球径

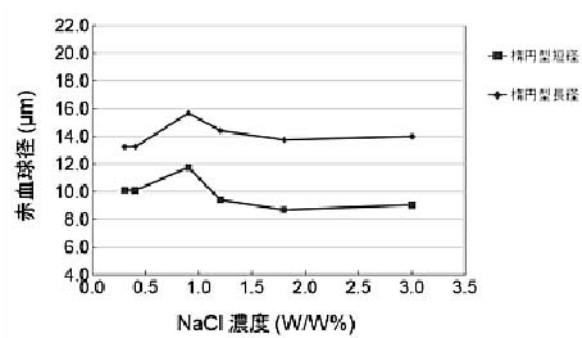


図 29 24 時間後の NaCl 濃度によるカエル赤血球径

図 28 は実験開始 60 分時の NaCl 濃度によるカエル赤血球の短径と長径を表したものである。短径と長径は同時に変化している。等張液に近い濃度ある 0.9%で最も大きくなりその前後の濃度では径が小さくなるという山なりの変化をしている。

図 29 は実験開始 24 時間時の NaCl 濃度によるカエル赤血球の短径と長径を表したものである。短径と長径は同時に変化している。60 分時と同様に山なりの変化をしている。この変化は 60 分時よりも 24 時間時の方が明確な起伏が見られる。

図 30 と図 31 はそれぞれ、カエル赤血球の実験開始 60 分時点、24 時間時点での NaCl 濃度による各形状の割合をあらわしたグラフである。カエル赤血球の場合、短径と長径の差が小さかったためか、60 分時、24 時間時ともに円形型の占める割合が大きく、特に低張液になるにつれてそ



の割合が大きくなっていた。また、どちらも変形細胞の割合は、低張液であるほど大きくなるという傾向にあった。60分時では変形細胞のほとんどが円形型であったが、24時間時ではワンタン型や歪み型の割合も大きくなっていた。

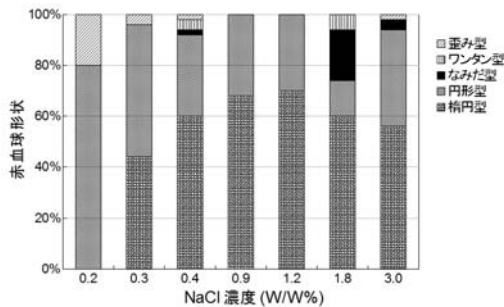


図30 60分後のNaCl濃度によるカエル赤血球形状

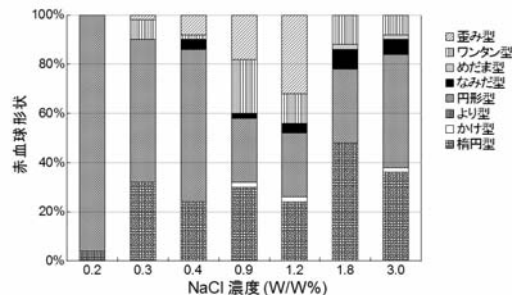


図31 24時間後のNaCl濃度によるカエル赤血球形状

図30は実験開始60分時のNaCl濃度によるカエル赤血球の形状の割合を表したものである。短径と長径の差が小さかったためか、円形型の占める割合が大きく、特に低張液になるにつれてその割合が大きくなっていった。変形細胞の割合は、低張液であるほど大きくなるという傾向にあり、変形細胞のほとんどが円形型であった。

図31は実験開始24時間時のNaCl濃度によるカエル赤血球の形状の割合を表したものである。60分時と同様に円形型の変形細胞がどの濃度でも見られ、特に低張液中で多くの割合を占めていた。ワンタン型や歪み型の割合も大きくなっていた。

図32はコイ赤血球の実験開始60分時点でのNaCl濃度による楕円型の径の大きさをあらわしたグラフである。コイ赤血球の場合は、60分時では0.2%以下の濃度と、24時間時ではすべてが溶血を起こしていた。0.9%で径が最も大きくなり、その前後の濃度では大きさが小さくなっているという山なりの変化を起こし、0.3%では大きさが再び大きくなっていた。図33はコイ赤血球の実験開始60分時点でのNaCl濃度による各形状の割合をあらわしたグラフである。ほとんどが楕円型であったが、どの濃度においても円形型がほぼ一定の割合で存在していた。高張液側では様々な種類の変形細胞が見られた。

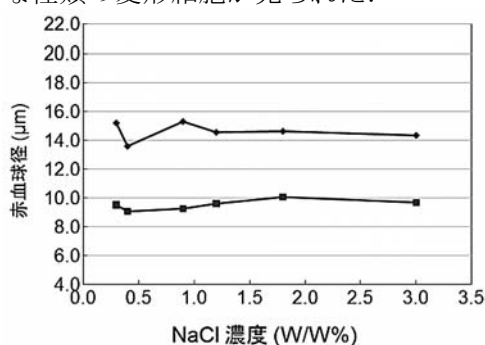


図32 60分後のNaCl濃度によるコイ赤血球径

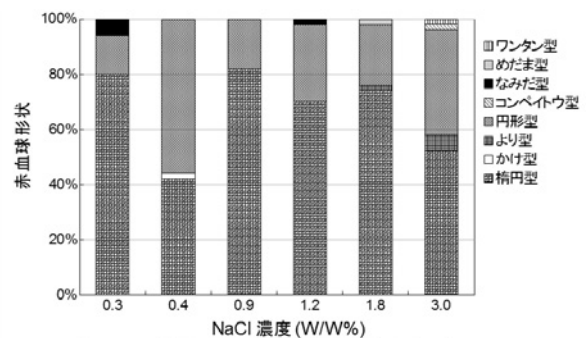


図33 60分後のNaCl濃度によるコイ赤血球形状

図32は実験開始60分時のNaCl濃度によるコイ赤血球の短径と長径を表したものである。0.9%で径が最も大きくなり、その前後の濃度では大きさが小さくなるという山なりの変化を起こし、0.3%では大きさが再び大きくなっていた。

図33は実験開始60分時のNaCl濃度によるコイ赤血球の形状の割合を表したものである。ほとんどが楕円型であったが、どの濃度においても円形型がほぼ一定の割合で存在していた。

## 考察

直径変化についてはマウス赤血球の場合、浸透圧が高いにもかかわらず直径が大きく保たれていたり、浸透圧が低いにもかかわらず径が小さかったりする細胞が見られた。特に 0.7%から 1.2%にかけて、さまざまな径が見られ、すべての細胞が一様な変化を起こすわけではないことが分かった。ヒト赤血球の場合は 1.0%というほぼ等張に近い濃度を境に、低張液側では全体として径が大きく、高張液側では全体的に径が小さくなり、その前後の濃度ではほぼ径の大きさは変化しないという、階段状の不連続な変化を起こしていることが分かった。すなわち、どちらの種においてもその赤血球は、浸透圧が低いほど直径が大きく、高いほど小さくなるという食塩濃度に応じた径変化を起こすのではない。

一般に、溶血の程度は、漏出ヘモグロビン量を分光学的に計測することで判定する<sup>③</sup>。しかし、今回の実験では赤血球径の測定や形状ごとの計数を行うため、溶血の有無は顕微鏡写真上で判断した。その結果、溶血を起こす食塩濃度については Matsuzawa ら<sup>④</sup>による分光学的な方法での結果とは異なるものとなった。マウス赤血球は分光学的な測定だと、0.4%NaCl 水溶液で約 50%の溶血というものであったが、今回の実験ではほぼすべてが溶血していた。ヒト赤血球は、0.1%NaCl 水溶液で約 30%の溶血というものであったが、今回の実験では 0.3%NaCl 水溶液でほぼすべてが溶血を起こしていた。

このようなさまざまな濃度の食塩水中での径変化には、形状の変化もともなっていることが観察された。赤血球形状については、ミシシッピ大学の血液学講義資料<sup>⑤</sup>にその分類が紹介されている。それらは浸透圧にともなう変化ではなく、さまざまな疾病にともなう形状変化を表したものである。また、実際に赤血球を観察したとき、必ずしもこれらの分類にしたがって簡単に識別できるものではないこともあり、この実験では自分自身で 6 つの形状に分類することにした。

60 分間での形状変化についてはマウス赤血球の場合、その変形は塩類水溶液中にあると、浸透圧と時間経過の影響が大きいことが分かった。しかし、すべての赤血球が浸透圧にしたがった変化を起こすのではなく、高張液中でも円形を保っているもの、また、低張液中でも変形を起こしているものもあることが分かった。また、 $MgCl_2 \cdot CaCl_2$  水溶液中にある細胞は、 $NaCl \cdot KCl$  水溶液中の細胞と比較すると、浸透圧の違いによる細胞数の差異はほとんど見られなかった。また、 $CaCl_2$  水溶液中では特に変形していない細胞が多くなっていた。今後ほかの溶質を用いて実験を行い、検証する必要があるが、陽イオンの価数が形状変化に影響している可能性がある。グルコース水溶液中にあると、低張液中にあってもコンペイトウ型が多く見られ、浸透圧以外の要因が関係していると考えられる。

ヒト赤血球の場合、今回実験した浸透圧と時間ではほとんど変形を起こさないことが分かった。

一方、24 時間後では溶血について 60 分間での観察では見られなかった変化を起こしていた。マウス赤血球ではグルコース水溶液中のもののみが残っており、塩類水溶液中では高張液中でも溶血を起こしていた。ヒト赤血球では  $CaCl_2 \cdot$  グルコース水溶液中で顕著な溶血が見られた。ヒト

血液におけるグルコース量は 0.1%(約 0.006M, 6mOsmol) 程度の濃度であり, 今回の実験で用いたグルコース単独での等張液相当の濃度は, 赤血球にとって極めて高濃度である. グルコースは赤血球にとって直接的なエネルギー源であるが, これだけ高濃度では, 細胞にとって異常な状態である. また, グルコースに限らず, 陽イオンについても本来の血漿中濃度に比べると異常なほどの高濃度である. 以上のことから 60 分間程度の短時間での赤血球の形状変化には陽イオンやグルコースは主に浸透圧を決定する溶質粒子としての影響があると考えられるが, 24 時間後の形状変化には陽イオンチャネルやグルコースによる ATP の生成・消費などの代謝が関わっている可能性があり, 時間によって形状変化を引き起こす要因が異なっていることが考えられる.

Backman<sup>(1)</sup>, Weed<sup>(4)</sup>らの文献においても,  $\text{Ca}^{2+}$ は細胞膜や細胞骨格の変質を引き起こすこと, ATP の減少が  $\text{Ca}^{2+}$ の増加を引き起こすということが議論されており, 特に 24 時間後の赤血球の変化については, 膜構造や透過性の変化と陽イオン・ATP 濃度の関係について, さらに検討していく必要がある.

また, 今回の直径と形状変化についての結果を通してみると, マウス赤血球では溶血を起こし始める食塩濃度は 0.4%, ヒト赤血球では 0.3%と, ヒト赤血球の方が低くなっており, 形状変化についてもヒト赤血球はマウス赤血球に比べて変形を起こす細胞が少なかった. このことから, マウス赤血球とヒト赤血球では浸透圧に対する耐性が異なっていて, ヒト赤血球の方が耐性が高いと考えられる. 濱崎<sup>(6)</sup>によると, マウス赤血球の寿命は約 40 日, ヒト赤血球は約 120 日であるという. この寿命の差の一要因として浸透圧に対する耐性が考えられる.

脊椎動物赤血球の形態変化について, 無核である哺乳類赤血球と, 有核である鳥類・両生類・爬虫類・魚類赤血球を比較してみると, 径変化については, 無核赤血球では低張液になるにつれて径が小さくなっていった. 一方, 有核赤血球の場合では, 高張液から等張液の間の濃度では濃度が薄くなるにつれて径が大きくなり, 等張液前後で径が最も大きくなるが, それ以下の濃度である低張液になると径が小さくなる傾向にある. ほとんどの赤血球の場合, もう一度低張液中で大きくなり, その後溶血を起こす. このような「山」を描くような変化は, 60 分時よりも 24 時間時の方が明確な起伏が見られた. また, 短径と長径は同様に変化し, どちらか一方が大きくなり, もう一方は小さくなるという変化はほとんど見られなかった.

形状変化については無核赤血球では高張液で多くが変形を起こしていたが, 有核赤血球では低張液で変形しやすいという傾向にあった. また, 無核赤血球には見られず, 有核赤血球では見られる形状があることから, 核の有無や元の形状の違いなどが形状変化へ影響していると考えられる. どちらの赤血球も 60 分時よりも 24 時間時の方がさまざまな形状が見られた.

今回の実験結果から, 有核であれば細胞に強度があり, 形態変化や溶血を起こしにくかったり, 浸透圧に対して耐性があつたりするというわけではないと考えられる.

有核赤血球の中でも, 本来の形態, 溶血を起こし始める濃度, 今回は詳しく調べていないが, 観察時の様子から判断すると, 赤血球数も種によって異なっており, それぞれが生活する環境や,

血管の太さなどの体のつくりに関係している可能性がある。実験 1 と実験 2 から分かるように、無核赤血球においても、マウスとヒトは同じ哺乳類であるが、さまざまな相違点が見られた。また、同じ綱や目に分類される動物であっても、陸生か水生かなどの違いによって赤血球の違いが見られると考えられる。

## 結論と課題

マウス赤血球・ヒト赤血球ともに、濃度に応じて単純にその径や形状が変化するわけではない。マウス赤血球とヒト赤血球では直径と形状の変化傾向が異なっていると同時に、浸透圧に対する耐性にも差があり、同じ浸透圧下にあると、ヒト赤血球の方が耐性が高い。また、同じ条件下にあっても赤血球が異なった形態をとっており、形態変化のしかたには「細胞差」がある。形状変化を引き起こす要因は時間によって異なっており、60 分間では主に浸透圧が、24 時間後には主に赤血球の陽イオンチャネルやエネルギー代謝がかかわっていると考えられる。無核赤血球と有核赤血球では形態変化の傾向が異なっている。しかし、核の有無が浸透圧に対する耐性に影響しているわけではない。浸透圧への耐性は、核の有無が関係しているというよりは、その動物の生活環境や体のつくりに影響している可能性が高い。

今後は、赤血球が溶血前の NaCl 濃度で径の平均値が下がる理由について追及していきたいと考えている。現時点では、(1)赤血球の寿命が関係しており、直径が大きくなった古い赤血球が比較的高い濃度の時点で溶血を起こして無くなることによって全体の平均値が下がった、(2)溶血のしかたが関係しており、今回の観察では完全に形態が見えなくなった状態を溶血としたが、低張液中で見られた赤血球の場合、形態は目でとらえることができるが溶血の途中である、という可能性があり、その際のヘモグロビン流出が直径を小さくしている、という予想を立てている。赤血球の寿命をそろえるためには、フェニルヒドラジンを用いて血液中の赤血球をすべて溶血させ、体内で赤血球が作られてからの日数をそろえる、という方法があるという助言を日本動物学会大阪大会(2012 年 9 月)で受けた。その方法を用いて、赤血球の寿命と形態の関係についても追及したい。

また、CaCl<sub>2</sub> 水溶液とグルコース水溶液中で 24 時間後に見られる顕著な溶血の要因として考えられる、Ca<sup>2+</sup> と ATP の形状変化への関係性の検証、生理的塩類溶液から、特定のイオンだけを除いた水溶液を調製し、各イオンの赤血球形態への影響について調べていきたいと考えている。

有核赤血球について詳しく言及するために、ニワトリ、カメ、カエル、コイ以外の赤血球を用いて実験し、動物の生活環境や分類上の類縁関係と赤血球の形態変化傾向との関連をとらえたい。

## 参考文献

- (1) Backman, L. Shape Control in the Human Red Cell. J. Cell Sci. 1986, vol. 80, p.281-298.
- (2) Ogiso, T.; Iwaki, M.; and Ohtani, M. Hemolysis of Human Erythrocytes Induced by Glucose

- Solutions and Its Prevention. Chem. Pharm. Bull. 1986. vol. 34, no.1, p.413-417.
- (3) Matsuzawa, T.; and Ikarashi, Y. Haemolysis of Various Mammalian Erythrocytes in Sodium Chloride, Glucose and Phosphate-buffer Solutions. Laboratory Animals. 1979. vol.13, p.329-331.
  - (4) Weed, R. I.; LaCelle, P. L.; Merrill, E. W. Metabolic dependence of red cell Deformability. J. Clin. Invest. 1969. vol. 48, p.795-809.
  - (5) The University of Mississippi, Medical Center. The Mature Red Cell and Erythrocyte Membrane. CLS312 Hematology Lecture. <http://cls.umc.edu/COURSES/CLS312/membrane.doc>. (accessed 2012-6-24)
  - (6) 濱崎直孝 (九州大学大学院医学研究院臨床分子医学教授) 学術講演 (2) 「赤血球研究の進歩」日本麻酔科学会第49回大会 (2002)

# 魚類視交叉の左右非対称性

工藤俊樹

宮城県仙台三高等学校 自然科学部生物班

異体類の視交叉左右非対称性は種によって決まっているが、それ以外の魚類では個体によって異なるという。一方、異体類以外でも左右非対称性が決まっている種があるという報告もあり、イワシ類などを使用し、視交叉左右非対称性の決定の有無を調べることにした。その結果、マイワシ、サンマは個体によって異なるが、マアジ、マガレイは右眼由来の視神経が腹側を通り、ウルメイワシは背側を通ることがわかった。また、カタクチイワシは視神経が数本の視神経束に分かれる型であり、視神経束の本数や腹側を通る視神経束が左右どちらの眼球に由来するかは一定ではなかった。このカタクチイワシの視神経が網膜と視蓋との間をどのように連絡するかをさらに調べたところ、網膜の腹側部分から伸びる視神経は左右に交叉し、反対側の視蓋腹側に接続しており、網膜の背側部分から伸びる視神経も、左右反対側の視蓋背側に接続していた。また、カタクチイワシで視交叉以外の左右非対称器官の候補として、鰓耙、幽門垂、腸を調べた。その結果、鰓耙、幽門垂では左右非対称性は見られなかったが、腸は複雑な回転が見られ、個体によってねじれ方もさまざまであった。

## はじめに

左右の眼球から脳に伸びる視神経は、脊椎動物の場合左右交叉して脳に入る。これを視交叉という。魚類の視交叉は哺乳類とは異なり全交叉となっており、左右両眼球から伸びている視神経は完全に左右逆の視蓋に入る。田村<sup>(1)</sup>によれば、腹側を通る視神経が左右どちらの眼球に由来するかという視交叉の左右非対称性は、カレイ・ヒラメといった異体類では種によって決まっているが、それ以外の種では個体によって異なり、それぞれほぼ同じ割合で存在するという。一方、茂木ら<sup>(2)</sup>によれば異体類以外でも、左右非対称性が決まっている種があるという。そこで、イワシ類などを使用し、視交叉左右非対称性の種としての決定の有無を調べることにした。また、その過程において、カタクチイワシの視交叉が複数の視神経束に分かれて交叉する型であり、左右視神経束の本数や腹側を通る視神経束が左右どちらの眼球に由来するかが一定でないことに気付いた。そこで、実験 2 として視蓋と網膜間の連絡について調べた。また、視交叉以外に左右非対称性を示す構造がないかについても調べるため、実験 3 ではその候補として鰓耙、幽門垂、腸に着目してカタクチイワシを解剖学的に追究した。

## 材料と方法

仙台市内のスーパーマーケットまたはペットショップで購入した、ウルメイワシ(*Etumens teres*)<sup>3</sup> 個体、カタクチイワシ(*Engraulis japonicas*)<sup>30</sup> 個体、タイセイヨウニシン(*Clupea harengus*)<sup>3</sup> 個体、マイワシ(*Sardinops melanostictus*)<sup>15</sup> 個体、コイ(*Cyprinus carpio*)<sup>7</sup> 個体、サンマ(*Cololabis*

saira)5 個体, マアジ(*Trachurus japonicus*)9 個体, マガレイ(*Pleuronectes herzensteini*)3 個体, 合計 8 種 81 個体を使用した。ただし, 使用したカタクチイワシはすべて, いわゆる「目刺し」として販売されていたものであり, 眼球と視神経の接続などに関わる観察は, 損傷がない側を用いた。

### 実験 1 視交叉の型

視交叉は, 茂木らによって図 1 に示したような 3 つの型に分類されている。すなわち, 視交叉を下顎側から見たときに, Type1 は右眼由来の視神経が手前, つまり腹側を通るもの, Type2 は左眼由来の視神経が腹側を通るもの, Type3 は視神経が複数の視神経束に分かれて交叉するものである。

ここでも, 茂木らに分類方法により, 視交叉の型が種によって決定しているのかを調べた。材料となったすべての魚は下顎側から解剖していき, 視交叉が見える状態にした上で, 実体顕微鏡を用いて観察・撮影した。

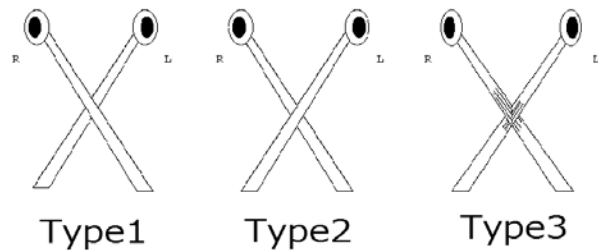


図 1 視交叉分類の型

視交叉を下顎側から見て, Type1 は右眼由来の視神経が腹側を通るもの, Type2 は左眼由来の視神経が腹側を通るもの, Type3 は視神経が複数の視神経束に分かれて交叉するものである。

### 実験 2 カタクチイワシ視神経の網膜と視蓋との連絡

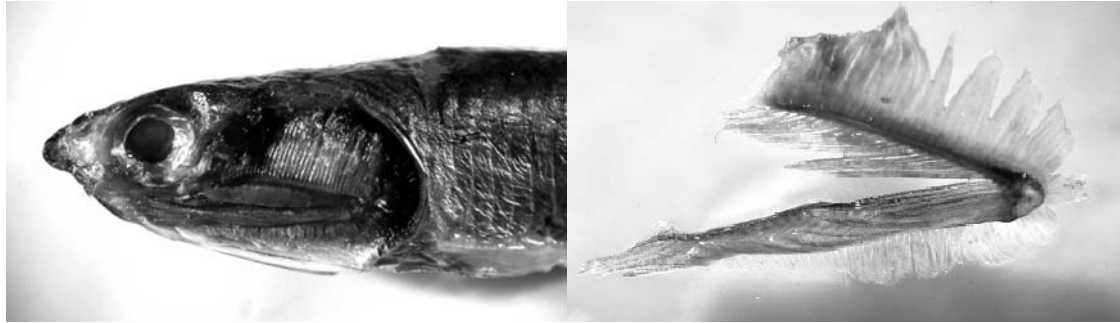
カタクチイワシは, 視神経がいくつかの視神経束に分かれており, それらが交互に組み合わせるような視交叉を形成している。そこで, カタクチイワシ網膜と視神経束の接続, ならびに視交叉後の視索と視蓋との接続について調べた。

カタクチイワシの頭部を下顎側から解剖し, 眼球・視交叉・脳を摘出して, ポリエチレングリコール 4000 で埋包した。その後, 包埋片を視神経と平行になるようにカミソリで薄くカットし, メチレンブルーで染色して組織切片を作り顕微鏡で観察・撮影した。

### 実験 3 視交叉以外の左右非対称構造

視交叉以外にも左右非対称を示す構造があると考え, 左右に対となる構造を有するものとして図 2b のような鰓耙を選び, その本数について調べることにした。また, 消化器もその位置がねじれなどで左右非対称を示すのではと考えて, 胃に繋がっている幽門垂と腸についてその形態を観察することにした。

カタクチイワシの頭部を解剖して左右両方の鰓耙の本数を第一鰓耙から第四鰓耙まで数える一方で, 腹側を解剖して腸・幽門垂を取り出し, その様子を観察しスケッチを描いた。また, 視交叉の左右非対称性とこれらの器官の左右非対称性との関連性を調べるために, 実験 1 と同様にして, 頭部を下顎側から解剖していき, 視交叉が見える状態にして, その視交叉の型を分類した。



左：図 2a 頭部の鰓耙

右：図 2b 左側の第一鰓耙

図 2a は頭部の左側の鰓蓋を外したもの。図 2b は咽頭部から左右両側の第一～第四鰓耙を取り出し、左の第一鰓耙のみを切り離したもの。鰓には鰓弓と呼ばれる骨を中心にして外側に鰓弁、内側に鰓耙がある。

## 結果

### 実験 1 視交叉の型

表 1 観察個体の種類別の視交叉パターン

コイ、サンマ、マイワシ、マアジは Type1, 2 の両方があり、マガレイは Type1 のみ、ウルメイワシは Type2 のみ、カタクチイワシ、タイセイヨウニシンは Type3 のみが見られた。

	Type1	Type2	Type3
ニシン目			
カタクチイワシ	0	0	30
ウルメイワシ	0	3	0
タイセイヨウニシン	0	0	3
マイワシ	8	7	0
コイ目			
コイ	4	3	0
ダツ目			
サンマ	3	2	0
スズキ目			
マアジ	6	3	0
カレイ目			
マガレイ	3	0	0



表1に示したように、マイワシ、コイ、サンマ、マアジ、では Type1 と Type2 の両方、マガレイでは Type1 のみ、ウルメイワシは Type2 のみ、カタクチイワシ、タイセイヨウニシンは Type3 のみが見られた。しかし、カタクチイワシは Type3 のみであるが、視神経が何本の視神経束に分かれて交叉しているかを調べると、視神経束の本数の多くが左右合わせて8本または9本であり、本数が一番少ない個体では6本、一番多い個体では11本であった。また、腹側を通る視神経束が左右どちらの眼に由来するかを調べてみると、右眼由来が15個体、左眼由来が15個体となっており、左右差はなかった。また、一部の個体において図3のように2本の視神経束が分かれず、一緒に交叉している部分が見られた。同じ Type3 であるタイセイヨウニシンでは、視神経束の本数は左右合わせて3本または4本であった。今回の視交叉の型の分類結果は茂木らの報告と一致した。



図3 カタクチイワシの視神経束  
2本の視神経束が分かれず、一緒に交叉している部分があった。

## 実験2 カタクチイワシ視神経の網膜と視葉との連絡



図4 眼球に接線方向から接続する視神経  
左眼とそこから伸びる視神経を取り除いたものである。視神経が眼球に対して垂直な方向からではなく、接線方向から強膜に接続している様子が見える。

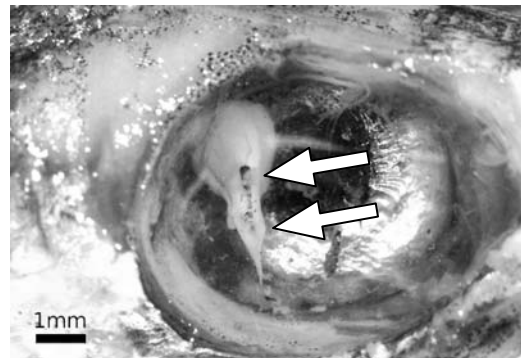


図5 視神経の網膜との接続部分  
右眼のみを頭部から取り出したものである。視神経は眼球のやや後ろで強膜と接続した後直角に曲がって網膜に接続していた。視神経の黒い部分は眼球の色素層組織と接触した痕跡で、それが縦に線状であることから盲斑が点ではなく溝状であることがわかる。

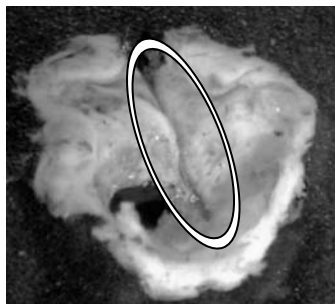


図6 溝状の盲斑  
眼球から網膜のみを取り出したものである。白い楕円で囲った部分が盲斑で、点ではなく溝状になっている。

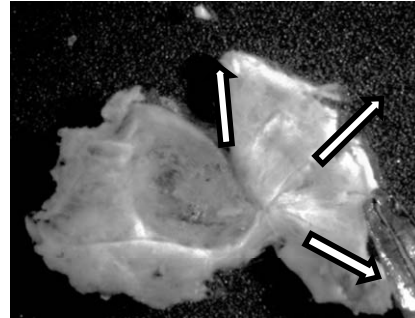


図7 盲斑から放射状に伸びる視神経  
図の網膜上部の裂けている部分が盲斑となっており、そこから視神経が放射状に伸びている。

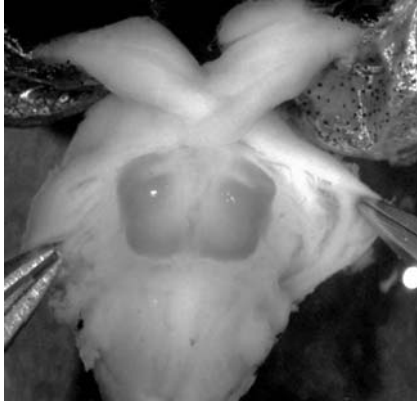


図 8 間脳を覆う視蓋

腹側から観察した視交叉と視蓋である。視蓋内の視神経はほぼ平行に走っている。



図 9 視神経の組織切片

糸のような一本一本が視神経に当たり、ほぼ平行に走っている。

カタクチイワシの視神経は図 4 のように眼球に対して垂直な方向からではなく、接線方向から強膜に接続し、その後図 5 のようにほぼ直角に曲がってから網膜に入っていた。図 6 のように網膜のみを眼球から取り出して見ると、盲斑は網膜のやや後方に位置しており、点ではなく溝状になっていた。このことは、眼球のみを頭部から取り出して撮影した図 5 からもあり、視神経が黒くなっているところが色素層と接触した部分を示している。図 7 の、眼球から取り出した網膜を観察すると溝状になった盲斑から視神経が放射状に伸びていることが分かった。図 8 のとおり視蓋は間脳を覆っており、視蓋に入る視索はねじれることなく視交叉部分から平行に伸びていた。また、図 8 の組織切片の観察から視神経がほぼ平行に走っていることが確認できた。

### 実験 3 視交叉以外の左右非対称構造

表 2 鰓耙の左右本数

観察した個体は全部で 11 個体。行が鰓耙の位置、列が一個体の鰓耙数の数値を表す。カタクチイワシの鰓耙の数は、個体によってまたは鰓耙の位置によってさまざまであり、鰓耙全体として一定の左右非対称性は見られなかった。

個体 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均
<b>左鰓耙</b>												
第 1 鰓耙	70	66	67	70	71	68	66	66	69	69	71	68.4
第 2 鰓耙	65	64	64	67	66	66	64	67	62	63	62	64.6
第 3 鰓耙	50	49	51	53	52	52	49	51	50	50	50	50.6
第 4 鰓耙	43	45	42	47	47	47	44	44	45	39	45	44.4
<b>右鰓耙</b>												
第 1 鰓耙	71	68	68	70	71	68	67	70	67	67	69	68.7
第 2 鰓耙	64	71	66	67	66	65	65	66	64	63	63	65.5
第 3 鰓耙	54	52	50	54	51	51	46	50	47	49	50	50.4
第 4 鰓耙	43	43	44	47	45	45	46	45	46	42	43	44.5



左：図 10a 幽門垂

右：図 10b 左右対称な幽門垂

図 10a 中の白い円で囲った部分が幽門垂にあたる。幽門垂は胃と腸の接続部分にあり，消化・吸収の手助けをしている。図 10a の幽門垂は通常時の状態で，図 10b はそれを広げたものである。図 10b の青い楕円で囲った部分が左側の幽門垂で，赤い楕円で囲った部分が右側の幽門垂である。図 10b からわかるように，幽門垂は左右両側にほぼ同じくらいの数があり，左右対称な構造であるとわかった。

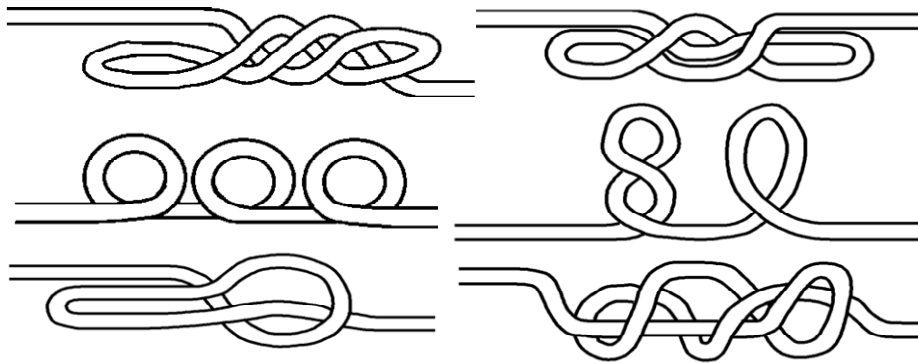


図 11 カタクチイワシの腸回転例(模式図)

観察された腸回転の一部を模式化したもの。これら以外にも，様々な腸回転が見られたが，どれも複雑な回転をしており，個体差があって，似ているものや全く異なるものが見られた。

カタクチイワシの鰓耙の数については表 2 のような結果となり，第一鰓耙で右側の鰓耙の数が多くても第二鰓耙では左側の鰓耙の数が多い個体や，左右差が全くない個体など個体差があった。幽門垂においては図 10b のようにすべての個体でその位置に左右でのずれはなかった。しかし，図 11 のとおり腸回転はどれも複雑に回転しており，個体により回転の型はさまざまで，似ているものや全く異なるものがあり，左右非対称であった。

## 考察

### 実験 1 視交叉の型

タイセイヨウニシンとカタクチイワシは，ともに視神経が複数の視神経束に分かれて交叉する Type3 であるが，それぞれニシン目ニシン科とニシン目カタクチイワシ科であり，Type3 は特定の科でのみ見られる視交叉パターンというわけではない。これらの魚は種として視交叉の型が決

定しているが、同じニシン目であるニシン目ニシン科のマイワシは Type1 と Type2 が見られ、視交叉のパターンは決定していなかった。つまり、ニシン目の魚すべてにおいて視交叉の型が決定しているというわけではない。また、ニシン目の中でも 3 つの型すべてが確認され、同じ目の中でも視交叉の型は決定していなかった。カレイを除くニシン目以外の魚は種としての視交叉の型が決定していなかった。今回の観察結果は茂木らの報告と同じ結果となった。

Type3 のカタクチイワシにおいて、視神経束の本数は多くが左右合わせて 8 本または 9 本だったが、本数が 1 番少ない個体では 6 本、1 番多い個体では 11 本であり、左右視神経束の本数は決定していない。また、腹側を通る視神経束がどちらの眼球に由来するかは左眼由来、右眼由来それぞれ 15 個体と、左右差はなく、種の中で決定しているわけではなかった。同じ Type3 のタイセイヨウニシンにおいては、視神経束の本数は左右合わせて 3 本または 4 本と、カタクチイワシに比べて少なかった。

## 実験 2 カタクチイワシ視神経の網膜と視葉との連絡

一般的に、視神経は眼球に対して垂直に接続していると思われるが、カタクチイワシの視神経は眼球に対して接線方向から接続しており、視神経は強膜と接続した後ほぼ直角に曲がってから網膜に接続しているため盲斑が縦になっている。網膜に接続した視神経は盲斑から放射状に伸びており、盲斑は眼球の中央ではなくやや後方に位置して、点ではなく溝状になっていた。眼球から伸びている視神経束はねじれることなく平行に走ったまま視蓋に入っており、視神経も視神経束内ではほぼ平行に走っていた。視蓋は間脳を覆っており、視蓋に入った視索はほぼ平行に走っていた。これらのことの中でも、視神経束・視索・視神経が平行に走っていること、盲斑から視神経が放射状に伸びていることより、網膜の部位と視蓋の部位を大まかにではあるが対応づけられるのではないかと考え、対応図を作成した。その結果、図 12 のように網膜の腹側部分から伸びる視神経は左右に交叉し、反対側の視蓋腹側に接続しており、網膜の背側部分から伸びる視神経も左右反対側の視蓋背側に接続していた。

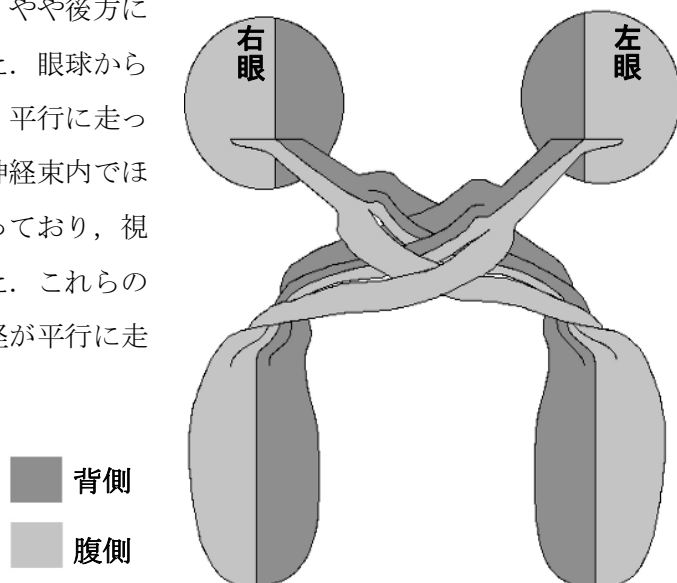


図 12 網膜と視蓋の連絡(腹側から観察)

図では、視蓋が間脳を覆っている状態から引きはがされて広げられた状態で観察していると想定しているため、視蓋に入る視索がねじれている。網膜の腹側部分から伸びる視神経は左右に交叉し、反対側の視蓋腹側に接続しており、網膜の背側部分から伸びる視神経も左右反対側の視蓋背側に接続していた。

### 実験3 視交叉以外の左右非対称構造

カタクチイワシの鰓耙の数は、個体によってまたは鰓耙の位置によってさまざまであり、鰓耙全体として一定の左右非対称性は見られなかった。

図 10b に示したように、幽門垂の位置についても左右非対称性が見られなかったが、腸回転は図 11 のようにどれも複雑に回転しており、個体により回転の型はさまざまで、似ているものや全く異なるものがあり、左右非対称な器官であることがわかった。また、その形成について考えてみると、ねじれが関係していることが分かった。

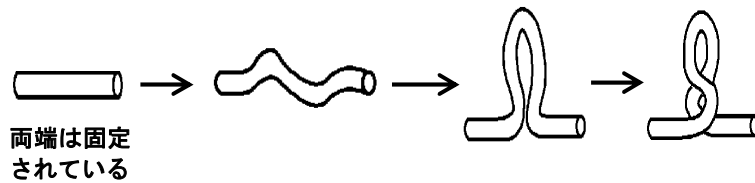


図 13 ねじれの無い場合の腸回転の形成

腸の両端を口と肛門として固定した場合、腸が長くなり長さにゆとりが出てくると、図のように腸は折れ曲がるが、観察された腸回転にはならない。

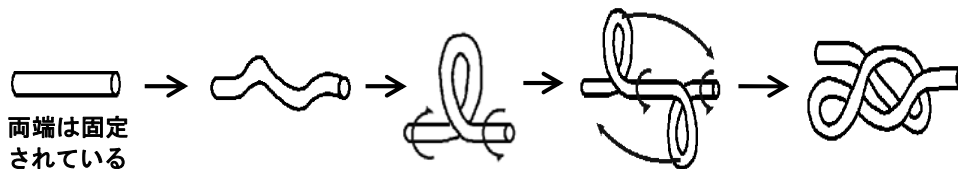


図 14 ねじれを加えた場合の腸回転の形成

腸の右側すなわち口側を時計回りに、左側すなわち肛門側を反時計回りにねじると輪が一つ作られる。肛門側をもう一度反時計回りにねじると下に輪がもう一つ作られる。これを図の矢印の方向に倒すと観察された腸回転と同じになる。

図 13 のとおり、腸の両端を口と肛門として固定した場合、腸が長くなり長さにゆとりが出てくると、腸は折れ曲がる。このまま腸が成長して折れ曲がっても、実際に観察された腸回転は形成されないが、図 14 のように腸の右側すなわち口側を時計回りに、左側すなわち肛門側を反時計回りにねじると輪が一つ作られる。肛門側をもう一度反時計回りにねじると下側すなわち腹側に輪がもう一つ作られる。これを図中の矢印の方向に倒すと観察された腸回転と同じになる。このことより、カタクチイワシの腸回転は腸が成長に伴ってただ単に折れ曲がって形成されるのではなく、ねじれが加わって初めて形成されるものであると考えられる。

### 結論

ニシン目に着目すると、一部の種において視交叉のパターンの決定が見られ、同じ目の中でも視交叉のパターンが種によって異なっていた。また、Type3 は特定の科にみられる視交叉のパターンではない。この Type3 であるカタクチイワシの視交叉では左右視神経束の本数や腹側を通る視神経束がどちらの眼に由来するかが種の中で一定ではなかった。カタクチイワシの視神経が網膜と視蓋との間をどのように連絡するかについては、網膜の腹側部分から伸びる視神経は左右に

交叉し，反対側の視蓋腹側に接続しており，網膜の背側部分から伸びる視神経も左右反対側の視蓋背側に接続していた．今後，今回のこの結果を基礎資料とし，**Type3**の視交叉であるゼブラフィッシュ胚を用いて<sup>(2)</sup>，視神経束が発生段階でどのように組み合わさるのか調べていきたい．

カタクチイワシの腸はどれも複雑な回転をしているが，個体によりパターンはさまざまで，似ているものや全く異なるものがあり，左右非対称な器官であった．このカタクチイワシの腸回転は，腸がただ折れ曲がっただけでは形成されず，ねじれが加わって初めて形成されるものであると考えられる．今後は，カタクチイワシの腸回転の形成にねじれが関係していることよりトポロジーの観点から腸回転のパターンを分類し，その左右非対称性について視交叉の左右非対称性と関係があるか検討していきたい．

### 参考文献

- 1) 田村宏治. (2005). 初期発生における視交叉の左右性形成に対する発生学的アプローチ.  
Nippon Suisan Gakkaishi. 71(6) : 1004-1005.
- 2) Mogi K, . et al. (2009). Optic chiasm in the species of order Clupeiformes, family Clupeidae: optic chiasm of *Spratelloides gracilis* shows an opposite laterality to that of *Etrumeus teres*. *Laterality* 14: 495-514.

# マウスとハムスターのバランス能力と尾の役割

坂本滉平

仙台第三高等学校自然科学部生物班

マウス(*Mus musculus*)の尾の役割について調べるため、マウスとゴールデンハムスター(*Mesocricetus auratus*)のバランス能力について、「綱渡り」の可否によって調べた。二つの木製台間に渡した木製棒の歩行回数を調べたところ、マウスの尾はバランス能力に深く関係していることが分かった。

## はじめに

Hanson<sup>(1)</sup>によればマウスは綱渡りができるという。実際にマウスは細い物の上を歩行することができるのか。できる場合、どのようにしてバランスをとっているのかを実験で確かめることにした。また、マウスを観察すると、尾をバランスをとるために動かしているように見える。この尾がバランスを取る上で重要な役割を担っていると考え、尾の短いハムスターと比較し、実際に棒を渡らせ、その時の尾や体の動き、実験結果からそれぞれのバランス能力と尾の役割について調べることにした。

## 材料と方法

材料として週齢約 15～31 週のマウス(*Mus musculus*)の雄と雌を、ハムスターは週齢約 45～50 週のゴールデンハムスター(*Mesocricetus auratus*)の雄と雌を使用した。

また、実際に実験動物に棒を渡らせるため、図 1 のような装置を用意した。図 1 のように実験動物が下に降りられないような台座のついた木製台 2 つの間に、実験動物が渡る直径 5 mm, 8 mm, 12mm の丸棒と、横幅 4mm の角棒を組み合わせ作成した 4 mm, 8 mm, 12mm の角棒を「綱渡り」の綱の代わりに渡した。

## 実験 1

図 1 の装置において、1 分間で実験動物が一方の台から向かい側の台まで歩行可能か調べた。この時、自発的に渡ろうとしなかった場合は餌で誘導する、あるいは後から押すなどして渡らせた。それでも渡らない場合があったので、1 分間と時間を定め、時間を超過した場合も落下と同じく失敗とした。また、結果は、①バランスを崩さず渡った、②バランスを崩したが姿勢を立て直し渡った、③バランスを崩したままの体勢で渡った、④時間経過または地面に落下した、という 4 つのパターンに分類し、全個体で得られた結果の平均値をグラフにまとめた。

## 実験 2

マウスが実際にどのように尾を使ってバランスを取っているのかを調べるため、マウスの尾に、熱を加えると直径が縮む伸縮チューブをはめ、他の条件は実験 1 と同様にして歩行可能か調べた。そして、得られた結果を実験 1 と同様に 4 つのパターンに分類し、その平均値をグラフにまとめた。

## 結果

### 実験 1

図 2, 3 に示したように、マウスはすべての棒で成功回数が多かったが、ハムスターは、丸棒をほとんど渡ることができず、角棒も一番細い棒では成功回数が少なかった。実験中の行動の点においても、ハムスターはマウスほど積極性や俊敏さなどが見られず、両者の間には後肢の稼動範囲の差などが見られた。また、棒を歩行中に、マウスは尾を振る、バランスを崩した時に棒に巻きつけるなどの行動が見られたが、ハムスターは尾がきわめて短いため特に尾を使う様子は見られなかった。

### 実験 2

グラフ 3 より、マウスの尾の動きを制限したところ、すべての棒において成功回数が減少した。また、実験 1 と比べると、歩行速度の低下、消極的になるなどの行動がみられ、尾を固定され、



その動きが制限されている場合でも、実験 1 と同様に、尾を使ってバランスをとるようにしていた。

## 考察

すべての実験において、マウスは前後の足を前後にして棒の上に乗せるか、棒を前後の足で挟んで渡っていた。しかし、ハムスターは後ろ足を棒の上で前後にして乗せることはせず、後ろ足で棒を挟む場合は上手く棒を挟めずバランスを崩すことも多かった。実験 1 において、ハムスターが角棒の一番幅の小さい棒を渡れなかったのは、このこと原因だと考えられる。また、実験 2 でマウスの尾の動きを制限すると、成功回数の減少、歩行速度の低下などバランス能力の低下が見られたことや、棒を歩行中に尾を振る、尾を棒に巻きつけて体勢を立て直すといったことから、やはりマウスの尾はマウスがバランスをとる上で重要な役割を果たしていると考えられる。マウスとハムスターで俊敏さ、積極性、後肢の稼動範囲などの点で差が見られたことは、マウスとゴールデンハムスターのもとになった種の間で、大きな生活環境の差があり、マウスのもとになったハツカネズミが、家屋や田畑など、細いものの上などを渡ることの多い環境であるのに対して、ハムスターは砂漠などで地面の中に穴を掘って生活しており、このような元々の生活環境の違いが関わっていると考えられる。

今後は、マウスの尾の固定方法を工夫し、さらに詳しく尾がバランス能力に与える影響について調べていきたい。

## 参考文献

(1) Hanson, Anne. "The Rat's Tail." Rat behavior and biology. 29 Aug. 2011.

<http://www.ratbehavior.org/history.htm>, (accessed 2011-10-8)

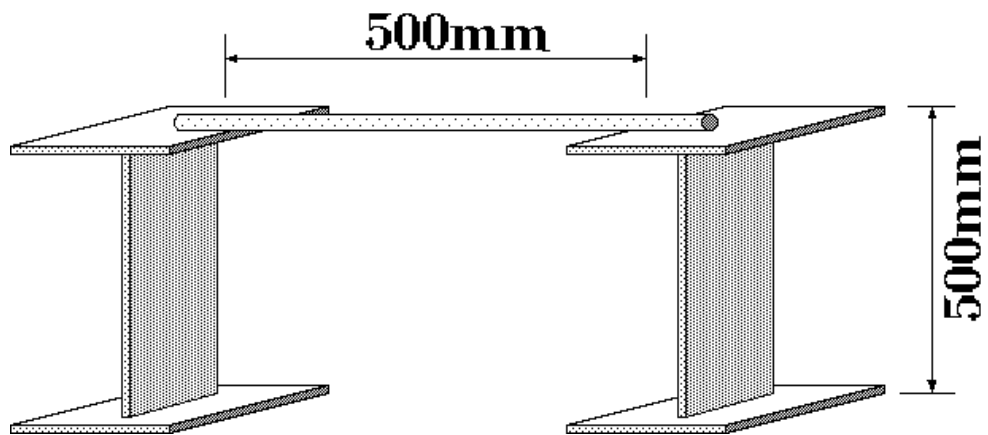


図1 実験1, 2 で使用した実験装置

高さ 500mm の木製台間に 500mm の間隔になるように直径 5, 8, 12mm の丸棒と横幅 4mm の角棒を組み合わせ作成した 4, 8, 12mm の角棒を渡し、取り外し可能なようにガムテープで固定した。

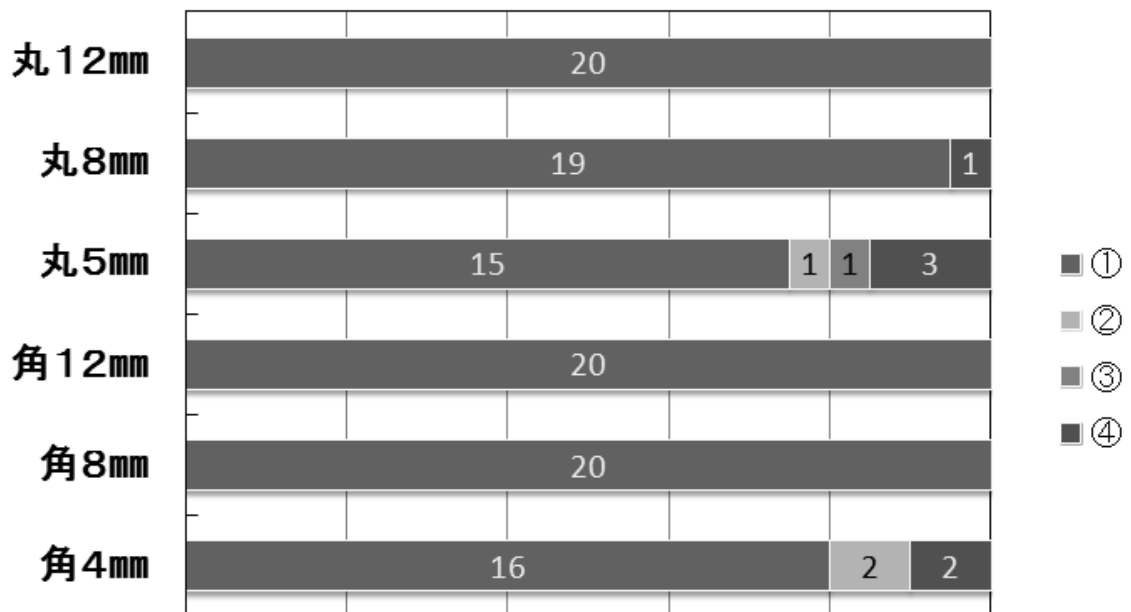
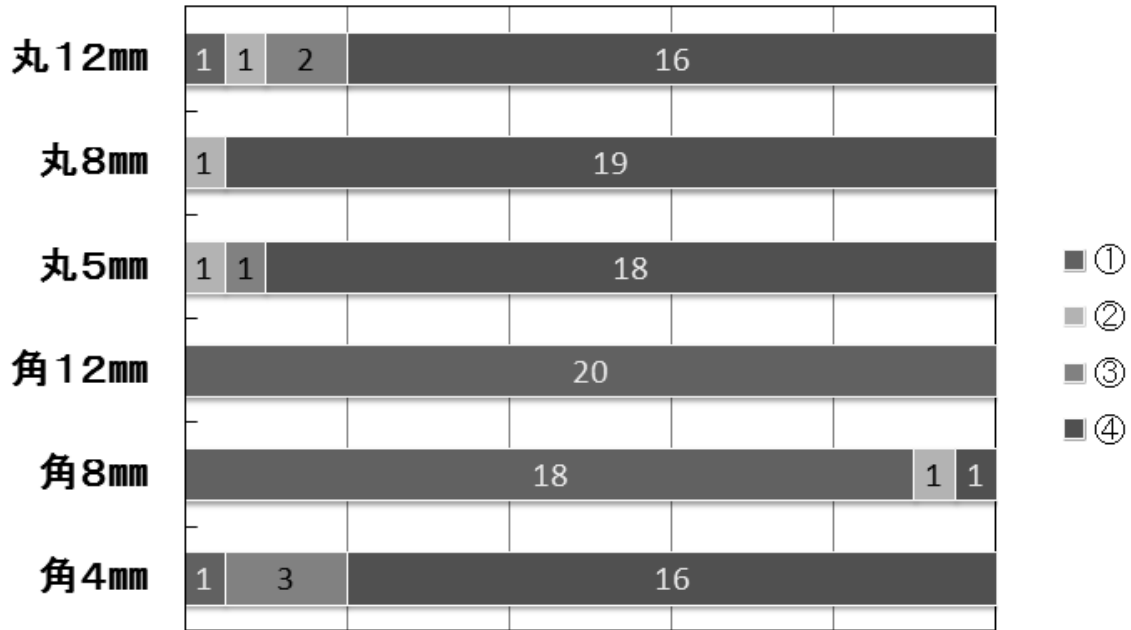


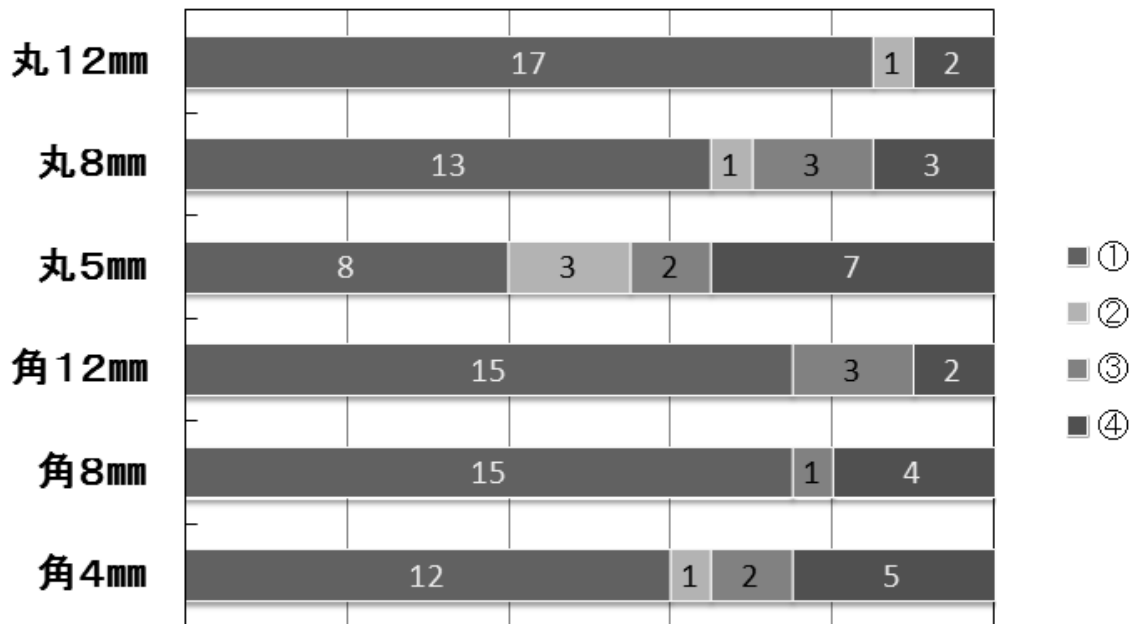
図2 実験1でのマウスの歩行回数結果

マウスはすべての棒で高い成功回数を示している。



**図3 実験1でのハムスターの歩行回数結果**

ハムスターは丸棒をほとんど渡ることができず、角棒も一番細い棒では成功回数が少なかった。



**図4 実験2でのマウスの歩行回数の結果**

実験1（図2）と比べ、すべての棒で成功回数が少なくなっている。

# 糖によるマウスとヒト赤血球の形態変化

進藤昴星 蜂谷麻衣

仙台第三高等学校自然科学部生物班

赤血球はグルコースの低・等・高張の各溶液中において様々な形態をみせる。このような形態変化と糖代謝の関係を調べるため、グルコース、フルクトース、スクロース、マルトースの4種類の糖について、低・等・高張液中でのヒト、マウス赤血球の形態変化を観察した。その結果、単糖類では24時間後に顕著な溶血、二糖類では24時間後にさまざまに形態変化した細胞が多数見られた。

## はじめに

赤血球はグルコースの低・等・高張溶液中において様々な形態をみせる<sup>(1)</sup>。このような形態変化にはATPが関係していることが知られている<sup>(5)</sup>。そこで、短時間(60分)での形態変化は主に浸透圧、長時間(24時間)での形態変化は糖代謝が関係しているという仮説を立て、単糖類としてグルコース、フルクトース、二糖類としてスクロース、マルトースの4種類の糖を用い、各溶液中におけるヒト、マウス赤血球の60分後、24時間後の形態変化の様子を調べた。

## 材料と方法

実験にはマウスとヒト赤血球を使用した。マウスは尾側静脈、ヒトは左手指先から採血した。また、糖としてグルコース、フルクトース、スクロース、マルトースを使用した。マイクロピペットで10 $\mu$ Lの血液を採取し、その後製氷皿(10mm四方)でグルコース、フルクトース、スクロース、マルトースの0.21M, 0.31M, 0.41M溶液0.5mLと混合・希釈し、パスツールピペットで均一にした後、改良ノイバウエル型計算盤に移した。60分後、24時間後にその様子を顕微鏡カメラで撮影し、その画像を用いて赤血球の形態ごとの数を調べた。

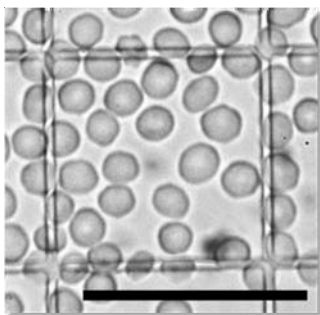


図1 丸型の赤血球の例  
低・等張液中など、丸型で留まっている。赤血球本来の円盤型も写真では丸型に見える。

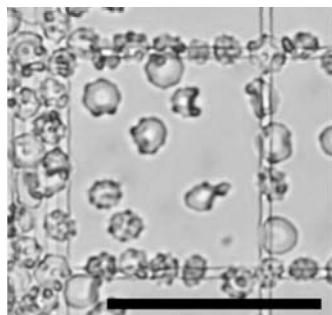


図2 歪み型の赤血球の例  
高張液中などで、吸水されて収縮している。

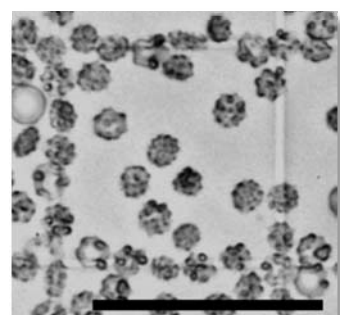


図3 コンペイトウ型の赤血球の例  
高張液中などで強く収縮している。

なお、採血に使用したピペットは全てヘパリンでコーティングしてあり、マウスの採血の際にはキシレンを用いた。また、赤血球の形態は図1～3のような丸型、歪み型、コンペイトウ型の3種類に分類した。

## 結果

図4、図5に形態の比較結果をグラフに表した。

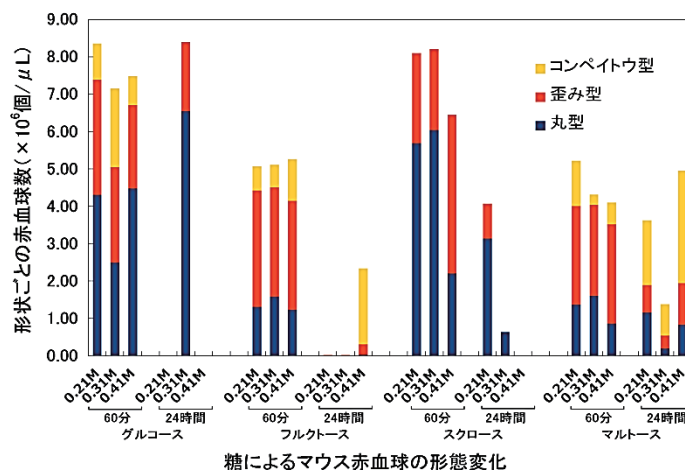


図4 マウス赤血球における形態変化の比較

マウス赤血球の60分後、24時間後の様子を形態ごとに分けて表した。

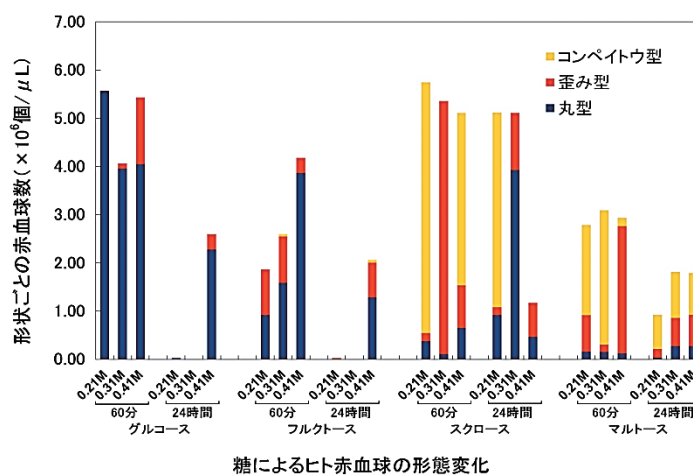


図5 ヒト赤血球における形態変化の比較

ヒト赤血球の60分後、24時間後の様子を形態ごとに分けて表した。

実験結果から次のことが分かる。

### グルコース溶液の場合

木下<sup>(1)</sup>が行った実験でも24時間後の溶血が見られたが、今回も同様の結果となった。しかし、マウス赤血球での0.31Mでは60分後と24時間後の間での細胞数の減少が認められなかった。ま

た、マウスではコンペイトウ型がいくつか確認されるが、ヒトでは確認されなかった。マウスにおいては 60 分後の時点で多くの歪み型、コンペイトウ型が確認されていた。

### フルクトース溶液の場合

グルコース溶液の場合と同様、24 時間後の溶血が目立ち、細胞が残っているのは高張液のみである。また、マウスでは変形した赤血球の割合が多く、これもグルコースにおける結果と同様になっている。

### スクロース溶液の場合

ヒトでは 60 分後の時点でほとんどが変形しているが、24 時間後の等張液では形態が回復している。マウスではコンペイトウ型がどの状況でも確認されず、0.41M で 24 時間後には完全に溶血していた。

### マルトース溶液の場合

マウス、ヒトともに、他の 3 種の糖に比べコンペイトウ型が多く確認される。また、いずれの赤血球でも、24 時間後においても比較的溶血せずに残っている。

## 考察

今回の実験では、グルコース溶液の場合においては木下<sup>(1)</sup>の結果とほぼ同じ結果が得られ、24 時間後で顕著な溶血が見られた。また、フルクトースでもグルコースと同様の結果が得られた。しかし、スクロース溶液とマルトース溶液の場合では 24 時間後でも比較的細胞が保存されていたが、血球の変形が顕著であった。また、単糖類は能動輸送により細胞膜を透過するが、二糖類は不透過であること<sup>(2)</sup>、ATP 濃度が減少することで変形能が失われること<sup>(5)</sup>などが知られている。以上のことから、単糖類での溶血が顕著であることは、膜透過と代謝が関係しているが、二糖類では浸透圧の影響のみを受けることが考えられる。今後は、ATP 生成の材料となる塩基や、グルコースによって溶血を防ぐという報告<sup>(4)</sup>がある、塩類と糖の混合液との比較も必要となる。

## 参考文献

- (1)木下理子. 陽イオンとグルコースによるマウスとヒト赤血球の形態変化. 日本動物学会第 83 回大阪大会 2012. 高校生によるポスター発表. 大会要旨. 2012.
- (2)水上茂樹. 赤血球の生化学[第 2 版]. 東京大学出版会(UP BIOLOGY). 1993.
- (3)Ogiso T., Iwaki M. & Ohtani M. Hemolysis of Human Erythrocytes Induced by Glucose Solutions and Its Prevention. Chem. Pharm. Bull. 1980, 34(1), 413-417.
- (4)Matsuzawa H., Ikarashi Y. Haemolysis of Various Mammalian Erythrocytes in Sodium Chloride, Glucose and Phosphate-Buffer Solutions. Laboratory Animals. 1979, 13. 329-331.
- (5)Weed R. I., Celle P. L., Merrill E. W., et al. Metabolic Dependence of Red Cell Deformability. J. Clin. Invest. 1969, 48, 795-809.

# オオマリコケムシ(*Pectinatella magnifica*) 休眠芽の発芽と成長

進藤 昴星

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部生物班

## 1 はじめに

オオマリコケムシは有性生殖で幼生、無性生殖でスタプラストと呼ばれる休眠芽を放出する群体性動物である。一定の低温期間を置いた後に常温、自然光下に置くことで発芽を始めるため、回収したスタプラストは冷蔵庫に入れ、一定期間低温保存した。今回は発芽から個虫の成長の一連の流れを確認できた。

## 2 材料と方法

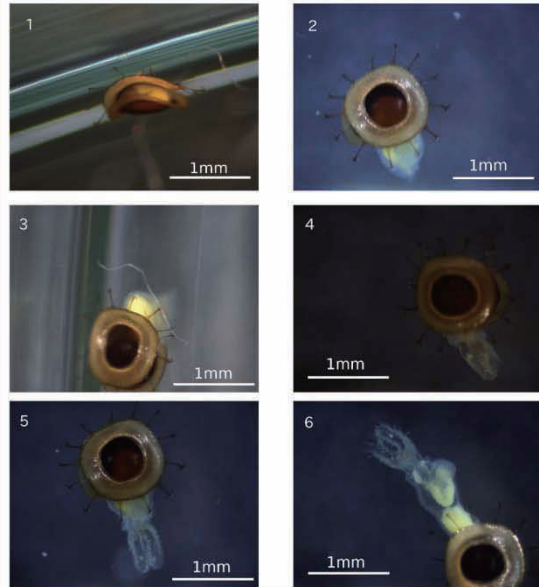
### 材料

スタプラストは7月18日に近隣の沼から採取した群体から放出されたものを7月22日に回収し、使用。  
回収したスタプラストは41, 43, 44日間低温保存し、それぞれ9月1, 3, 4日に常温、自然光下においた。

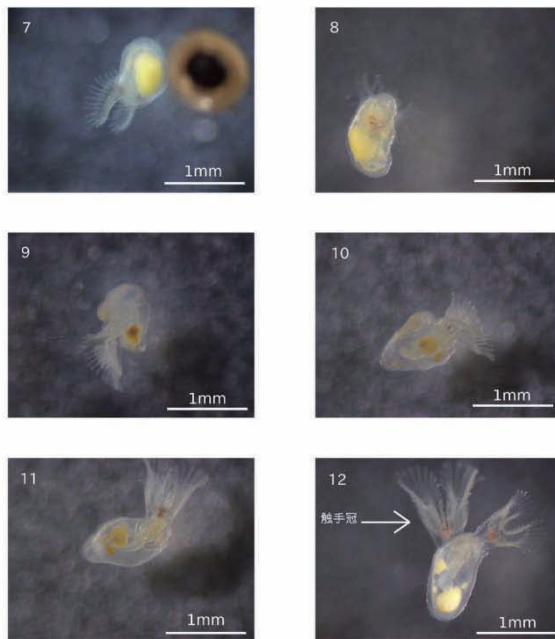
### 方法

9月5日以降に移動後4日以降となるものから成長過程を順を追って観察し、発芽の開始が確認されたものを、顕微鏡を用いて一定の倍率で撮影した。  
なお、以前にこれと似た先行実験が行われていたため、観察の方法などはそれらを参考にしながら進めていった。

## 3 結果 発芽過程及びその後の様子の観察



## 3 結果 発芽過程及びその後の様子の観察



## 3 結果 発芽過程及びその後の様子の観察

1. 発芽初期のスタプラストの様子である。発芽は片側から始まり、内部には幼生が確認できる。
2. 発芽は開殻の後、その面から幼生が出てくる形で進む。
3. 徐々に個虫が出てきている。
4. 発芽途中ではあるが、この時点で触手冠が確認できる。
5. この時点で幼生の半分ほどが出てきている。
6. 既にほとんどが外に出ている。このようになると壁などに張り付くこともある。
7. 発芽が完了した状態だが、まだ触手冠は1つしか確認できない。
8. この段階では何らかの刺激を加えることで触手冠がしまい込まれる。
9. 触手冠が1つの状態である程度の大きさまでは成長する。
10. 内臓の存在が確認できる。
11. 全体的に大きくなり、触手冠が2つに増えてきている。
12. 触手冠が2つになり、全体の大きさも最大となっている(図中に触手冠を示した)。また、全体の一連の成長過程は純水中で行われているため、各々に残っている栄養によるものと思われる。

## 4 考察

観察の過程は先行実験とほぼ同じ結果となったが、発芽の開始が常温下への移動後3日ではなく4日からとなるなど、わずかな違いが見られた。その他は記述と同様の結果が見られた。

しかし、純水中におくため、触手冠が2つになった後の成長が見られず、個虫となった後は確実に死滅してしまう。今後はその後の成長を観察するため、純水の代わりに群体を採取した沼の水を用いるなど発芽後の生存に必要な条件も調べていきたい。

## 5 参考文献

高橋大輔 工藤綾乃 戸川直希 オオマリコケムシ(*Pectinatella magnifica*) 休眠芽の発芽条件と発芽後の成長過程の観察 2010年

# 陽イオンとスクロースによるユキノシタの原形質分離

仙台第三高等学校 自然科学部生物班 蜂谷麻衣

## 目的

赤血球ではさまざまな陽イオンの水溶液中で形態の変化が見られる。植物の場合も溶液による変化が見られるのか、また、生物の教科書における浸透圧の説明では、動物は食塩を、植物ではショ糖溶液を用いるのはなぜか、を調べる目的で、濃度が同じさまざまな塩溶液でのユキノシタ表皮細胞の変化を観察した。

## 材料と方法

<材料>

ユキノシタ (*Saxifraga stolonifera*)の葉裏面表皮  
0.45mol/Lの塩化カルシウム、塩化カリウム、硝酸カリウム、塩化マグネシウム、塩化ナトリウム、スクロース

<原形質分離>

- ①葉の裏面表皮を各溶液に5分、10分、15分間浸す。
- ②それぞれのプレパラートについて観察する。
- ③それぞれの標本で特徴的なものを撮影する。
- ④時間での変化と溶液ごとの変化についてわかることをまとめる。

## 結果

	$C_{12}H_{22}O_{11}$	$CaCl_2$	KCl	$KNO_3$	$MgCl_2$	NaCl
実験前						
5分	 丸く縮んだ	 不規則に縮む	 複数に丸く縮む 一つに丸く縮む	 複数に丸く縮む 一つに丸く縮む	 不規則に縮んだ	 不規則に縮んだ
10分	 変化なし	 徐々に原形質が確認しづらくなる	 変化なし	 変化なし	 徐々に原形質が確認しづらくなる	 徐々に原形質が確認しづらくなる
15分	 変化なし	 強く収縮した色素が確認できなくなった	 変化なし	 変化なし	 強く収縮した色素が確認できなくなった	 変化なし

## 考察

- ・溶液によって原形質が丸く縮むもの、複数に丸く縮むもの、不規則に縮むもの、またはどれも含まれるものなど様々であった。
- ・スクロース溶液では、教科書と同じように丸く縮みその後変化することはなかった。
- ・塩化カルシウム、塩化マグネシウム、塩化ナトリウムではほとんどが不規則に縮んだ。
- ・また、塩化カルシウムと塩化マグネシウムでは時間がたつとさらに強く収縮し色素が確認できなくなった。
- ・塩化カリウムと硝酸カリウムでは不規則に縮んだものや丸く縮むもの、また、複数に丸く縮んだ細胞質が一つの細胞内に共存しているものも多くみられた。

- ・溶液によって分離の違いや、分離した細胞の割合に違いがあったので今後の研究では収縮の形態を適切に分類し、その割合や原形質復帰なども詳しく調べたい。
- ・不規則に縮んだあと色素が確認できなくなる変化については、残ったものがなにか調べ原因をつきとめたい。
- ・また他の溶液での変化や時間との関係、濃度による違いも調べたい。

## 参考文献

木下理子. マウスとヒトの赤血球の食塩濃度による形態変化. 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. 2012, p165~171.



# 日本を支える研究技術

～国際的研究ハブ・理研筑波研究所での研修～

## 1. 理化学研究所について

独立行政法人理化学研究所は、日本で唯一の自然科学の研究所で、物理学、工学、化学、生物学、医科学などにおよぶ広い分野で研究を行っている。理化学研究所筑波研究所は 1984 年ライフサイエンス筑波研究センターとして発足し、遺伝子の操作技術を駆使した先端的研究開発等を行っている。

私たちの見学してきた理化学研究所バイオリソースセンターは 2011 年 1 月に理研筑波研究所に設置されて以来、「信頼性」「継続性」「先導性」をモットーに事業を展開している。

バイオリソースセンターは、わが国で開発されたバイオリソースを中心に収集・保存し、国内外の研究者に提供しており、2001 年の設置以来の活動により、現在は国際的な研究ハブの役割を担っている。

また、研究所としても、年間約 80～120 件の研究成果を出している。

理研全体では予算として、科研費約 4 億円、運営費交付金は約 29 億円、リソースの利用者負担額は、例えばヒトの iPS 細胞なら 1 株 28000 円、動物 ES 細胞は 1 株 24000 円となる。

## 2. 施設見学

### (1) 組み換え DNA 実験棟

この施設には 4 つの実験室があり、扱うものの危険度によって P1～P4 に分けられている。例として、P1 では大腸菌、P2 ではインフルエンザウイルス、P3 では HIV ウイルス、P4 では放射性物質等が扱われている。

特に今回見学させていただいた P4 実験室は常に清潔に保つために中に入る際にはシャワールームで汚れを落とし、指定された作業着に着替えなければならないのである。

実験室内には圧力を調整し、実験で使われるものが外にでることのない「グローブボックス」で敷き詰められていた。しかし、それらは 1986 年(昭和 62 年)を最後に用いられておらず、その間に一般では、「グローブボックス」から、人間自身を宇宙服で覆い、危険物質から守るといふ「宇宙服タイプ」へと移り変わっていった。



↑「グローブボックス」

### (2) 細胞研究リソース棟

この施設は名前の通り、様々な種類の生物の細胞について研究している。

入口を入ると、動物細胞の立体模型や iPS 細胞、ES 細胞に関する映像、バイオリソースについてのパネルなどが展示されていた。更に奥には、バイオリソースに用いられる 4000 種もの生物の細胞が液体窒素によって、 $-196^{\circ}\text{C}$  で保存されていた。4000 種のうち、半分の 2000 種はヒトのカラダの細胞、残りの細胞はヒト以外の生物のものであった。

バイオリソースの保有数と提供件数	
バイオリソースの保有数	
実験動物	系統
6,647	2,866
提供件数	
実験動物	系統
6,647,907	2,621
細胞材料	系統
17,555	5,496
遺伝子組	系統
3,728,386	1,682
細胞株	系統
20,708	3,272

↑バイオリソースについてのパネル



↑動物細胞の立体模型

## 3. バイオリソース

(1) バイオリソースとは、研究に使われる実験動物や植物、細胞、遺伝子、微生物などのことであり、生命研究には不可欠である。バイオリソースの研究により、病気の原因、治療、環境問題の解決、健康増進に役立つ。植物の中ではシロイヌナズナがよく使われる。実験室でも簡単に栽培ができ、種子がとれるまで約 2 ヶ月と成長が早い。また、遺伝子の数が少ない、ほとんどの遺伝子のはたらきが知られているため実験に都合がよい。シロイヌナズナの遺伝子を調べることによって乾燥や冷害などに強い作物が作られるため、食料問題の解決に役立っている。遺伝子もよい研究材料である。そもそも遺伝子とは細胞の核の中にある生物の遺伝情報単位であり、親から子へ伝えられる個体で生命のプログラムを進行させる設計図といえる。この研究では遺伝子の膨大な遺伝情報から意味のある情報を読み取り、分類する。そして遺伝子のはたらきを調べることで、医療や品種改良に応用されている。

(2) 理化学研究所での細胞のバイオリソースの保有数は 17555 株である。大学で 5 株保有していれば多いということからこの数の多さがよくわかる。がん細胞株、万能細胞株、へその緒の血液など様々な細胞材料を幅広く整備し、基礎生物学から臨床医学まで広い研究分野に貢献している。万能細胞とは、iPS 細胞(体細胞からつくられたもの)や ES 細胞(胚からつくられたもの)など細胞である。マウス ES 細胞からは赤血球のもとになる細胞をつくることに成功している。これは半永久的に増殖する細胞なので赤血球を無限につくることができる。これらを使い病気やけがで失われた臓器やその働きを回復させる再生医療の実現が期待されている。iPS 細胞や ES 細胞を使えば再生医療の実現ばかりでなく、難病の治療法や副作用の少ない新たな薬の開発もすることができ、手術や投薬に次ぐ次世代の治療実現のカギとなるバイオリソースとして注目されている。

～2 年～

榊原・鈴木・堀口・佐藤  
菊田・大友・角田

# 私たちと素粒子

～高エネルギー加速器研究機構にて～

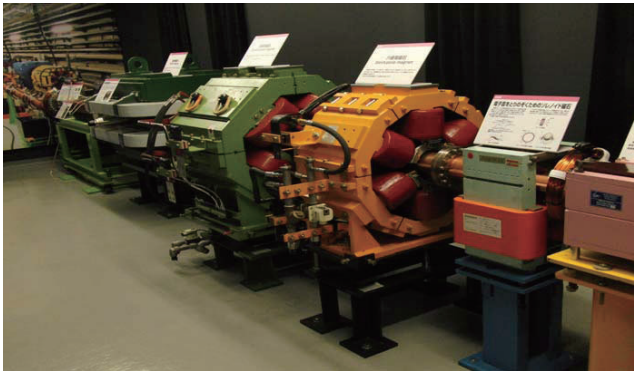
## 1 施設の説明

高エネルギー加速器研究機構とは、加速器と呼ばれる装置を使って基礎科学を推進する研究所です。高エネルギー加速器は、電子や陽子などの粒子を光の速度近くまで加速して高いエネルギーの状態を作り出す装置です。

## 2 加速器の説明

**KEKB 加速器**とは、光の速度近くまで加速させた高いエネルギーを持つ**電子**(80 億電子ボルト)と**陽電子**(35 億電子ボルト)を二つのリングにそれぞれ蓄積しその交差点 (IR) で衝突させて素粒子物理の実験を行う**衝突型加速器**です。

図(KEKB 加速器の縮小モデル)



地下約 10m のトンネル内に周長約 3km の 2 つのリングを並列に設置し、ここに全長 600m の電子陽電子形加速器で加速したビームを直接入射し蓄積していきます。この装置は 2010 年 6 月まで使用されていました。

しかし現在、さらに多くの B 中間子・反 B 中間子対を生成することを目的として **SuperKEKB 加速器**が作られています。この装置は 2014 年に運転が開始される予定です。

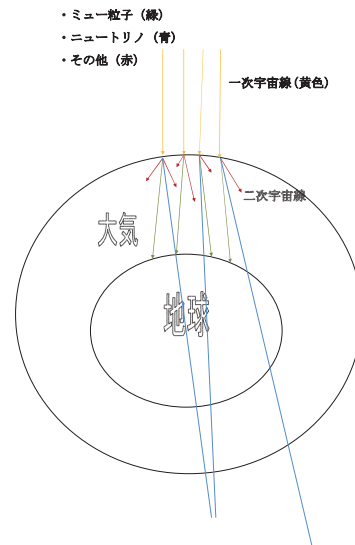
この加速器は従来の加速器と比べて約 **40 倍**多くの B 中間子・反 B 中間子対を生成できるよう設計されています。地下 11m に掘られた 1 周約 3km のトンネルの中には、電子用リング (HER) 及び陽電子用リング (LER) の二つのリングが並んでおかれています。それぞれのリングの中を**電子ビーム**(エネルギーが 7 ギガ電子ボルト)と**陽電子ビーム**(4 ギガ電子ボルト)が光速に近い速度で逆方向に走っています。二つのビームはリングの交差点でのみ衝突するように設計されており、衝突点に設置された **Belle II** と呼ばれる測定器がこの衝突によって起こる素粒子反応を捉えます。

## 3 宇宙線について

### I 宇宙線とは

宇宙線とは超新星爆発などで発生し、宇宙空間を飛び交い、地球に降り注いでいる高エネルギーの粒子です。宇宙線は雨のように地表に降り注ぎ、通過していきます。また宇宙線は放射線の一種でもあります。

図(放射線の様子)



図のように宇宙線は一次宇宙線から二次宇宙線へと大気を通して変化します。

一次宇宙線は大部分が陽子であり、その陽子が大気圏突入し、大気中の物質(窒素、酸素など)の原子核と衝突するとパイ中間子となり、パイ中間子は不安定なため、 $\mu$  (ミュー) 粒子、ニュートリノなどに変わり、二次宇宙線となって、地球に降り注ぎます。このときニュートリノは透過性が高く、地球を通り抜けていきます。一方  $\mu$  粒子は地球表面に降り注ぎますが、通り抜けることはありません。

(注: 通常  $\mu$  粒子は 600m までしか移動できませんが、光速に近づくことで、時間の流れがゆっくりになって、移動できる距離が伸び 15 km まで達することができます。だから  $\mu$  粒子は地上に到達することができるのです)

### II 観測方法 (スパークチェンバー)

・宇宙線を可視する必要性

宇宙はビッグバンによって誕生したと言われていています。よって宇宙の起源を知るためにはビッグバンがどんなものだったのか、どれだけの高エネルギーだったのかを知らなければなりません。宇宙では、超新星の爆発など様々な爆発によって発生した高エネルギーの粒子がいつも飛び交っており、これを宇宙線といいます。つまり、宇宙線の観測は素粒子の振る舞いを知るための重要な実験手段であり、また宇宙線を知ることは人類がまだ到達することのできない高エネルギーの現象を調べるのに重要な役割を果たしているのです。

・スパークチェンバー

宇宙線の飛跡を目で見ることができる装置を、スパークチェンバーと言います。スパークチェンバーの中にはヘリウムガスが充填しています。ヘリウムガスの中に電気を帯びた粒子が突入してくると、粒子の軌跡周辺のヘリウム原子から電子がはじき飛ばされます。はじき飛ばされた電子はプラスの電極に引き寄せられて加速し、さらに周辺の電子をはじき飛ばし、ねずみ算式に多量の電子を作り出します。この電子に高電圧をかけると放電します。この放電を見ることで、スパークチェンバーでは荷電粒子の軌跡を見ることができます。111111111111

# JAXA から見る宇宙

～JAXA 筑波宇宙センター～

## JAXA 筑波宇宙センターとは?

宇宙科学研究所航空宇宙技術研究所、宇宙開発事業団が1つになり、宇宙航空分野の基礎研究から開発利用に至るまで一貫して行うことのできる機関が宇宙航空研究開発機構 JAXA です。

JAXA 筑波宇宙センターでは、人工衛星やロケットなど将来の宇宙機の研究開発や開発試験、そして打ち上げた人工衛星を追跡管制するネットワークの拠点としての役割を担っています。さらに国際宇宙ステーション計画に向けた「きぼう」日本実験棟の開発や試験、宇宙飛行士の養成なども行っています。中の主要施設として、13φスペースチャンバやロケットの発射時や飛行中の音響環境を再現する音響試験設備、人工衛星やその部品が、ロケット打ち上げ時の振動環境に対する耐性を確認するための振動試験設備など他にも日本の最先端の技術で作られた設備がそろっています。

## JAXA の目的と活動

無限ともいえる広大な宇宙という世界は、驚異的に進化を遂げた科学技術により、現代では人類が活躍する重要なフィールドになっています。

しかし宇宙は未だ多くの謎に包まれています。その謎に迫り、さらなる活動を展開し、より豊かで安全な暮らしを力強く支えていくため、大いなる使命をもって挑み続けているのが JAXA です。

・「宇宙科学」宇宙、そして太陽系の謎に挑み、宇宙の誕生、生命の誕生の謎に迫る。

・「人工衛星・観測画像」宇宙からの“目”で暮らしを見守る。人工衛星の利用で暮らしを支える気象衛星、地球観測衛星など私たちの生活に欠かせない人工衛星は数多くあり、人工衛星の基盤的な技術習得、地球観測技術の向上、高度衛星通信技術などの実現をめざし、さまざまな人工衛星を開発する。

・「宇宙環境利用」人類がつかんだ新たな環境。その環境利用の可能性に挑むため、国際宇宙ステーション計画の進行。

・「ロケット・運送システム」地上と宇宙を結ぶ輸送システムの可能性を開き、宇宙活動の発展に応える。

・「航空プログラム」航空産業の成長への貢献と将来航空輸送の新たな発展を目指す。

・「技術研究」たゆみない研究の積み重ねで、自立性のある技術基盤を確立する。

JAXA には大きく分けてこの6つの活動をしています。

## ロケット

### ・H-II-B ロケット

H-II-B ロケットは従来のロケットの性能を活かしたまま、性能を大きく宇宙向上させたロケットで、従来のロケットと併用し、複数の衛星を同時に打ち上げることも目的として、運用されます。

### ・宇宙ステーション補給機「こうのとり」

「こうのとり」は H-II-B ロケットで打ち上げられる無人の宇宙船で、必要な物資や実験装置などを ISS に送り届け、補給後は、用途を終えたものを積み込み大気圏に再突入して燃やします。

## 人工衛星

### ・温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」

宇宙から温室効果ガスの温度分布を観測することができる、世界初にして唯一の人工衛星です。「いぶき」が観測したデータは、世界中の研究者に配布され、温室効果ガスの吸収排出状況の把握など、国際的な地球温暖化対策への貢献が期待されています。



### ・第一期水循環変動観測衛星「しずく」

「しずく」は大気や海などの地球環境の変化を観測し地球規模での気候変動や水循環のメカニズムを解明することが期待されています。降水量、水蒸気量、海上風速や海水温、土壌水分量、積雪量を観測できます。



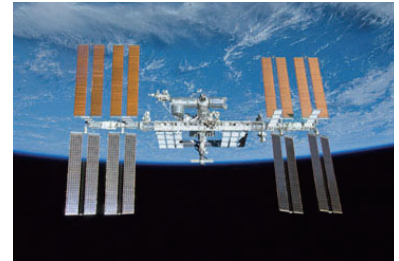
### ・超高速インターネット衛星「きずな」

世界最高水準の高度情報ネットワークの形成を目指している衛星です。インターネット、教育、医療、災害対策などの各分野における衛星利用を推進する中で大容量データ通信分野の技術実証を担っています。



## 国際宇宙ステーション (ISS)

特別な宇宙環境を利用して、宇宙での実験・研究や地球・天体の観測などを行うプロジェクトが国際宇宙ステーション計画です。科学技術をより一層進歩させ地上の生活や産業に役立てることを目的として、日本も「きぼう」日本実験棟や宇宙ステーション補給機 (HTV) などで参加しています。



### ・物質科学研究

スペースシャトルは自由落下をしているため、その中は地球の100分の1の重力しかなく、「微小動環境」と呼ばれています。地球と違い、温度差による対流や重力の影響を受けない、材料創製プロセスに関連する物理現象の基礎的なメカニズムを調べることができます。

### ・宇宙環境における生命科学実験

地球上の生物は地上の重力を絶えず受け続け、進化しました。例えば地上の植物は、重力に逆らって倒れず成長できるように体を支える細胞壁を進化させました。その植物も地上の100分の1の重力で育てることで植物が地上で育つメカニズムを解明することができます。

## 地上での実験

人工衛星などの宇宙機をロケットで打ち上げる際、宇宙機には様々な負担がかかります。打ち上げ時にはロケットから発生する大音量や振動、ロケットからの分離の際に発生する衝撃、さらに太陽光による高温、その影での極低温など過酷な環境にさらされます。宇宙空間での修理は困難のため、正常に機能することを地上で試験し、確認します。

### ・スペースチャンバ

スペースチャンバとは宇宙機が宇宙で受ける過酷な環境を再現し、共試体の耐性や機能、温度を確認するための設備です。13mφ、8mφスペースチャンバは太陽光、熱や高真空環境、極低温環境の再現や共試体を直接加熱することが可能で、壁面に液体窒素が循環しています。6mφ放射計スペースチャンバは他のスペースチャンバより高度な防振性能を持ち、-250°以下まで冷却することが可能です。

二年：金田 井上 笹原 村上  
高橋 川村 佐々木

# 未来を担うバイオリソース

～理化学研究所（BRC）の見学を通して～

## <バイオリソースとは>

理化学研究所は1917年（大正6年）皇室、政府、民間などからの資金援助を受けて財団法人理化学研究所として東京都に設立されてから、物理学、化学、工学、生物学、医科学などの分野において社会や産業の発展に寄与する研究成果を生み出しています。

日本で唯一の自然科学の総合研究所である「理研」は、独創的な研究活動を展開しています。



### <理化学研究所筑波研究所>

#### ○概要

バイオリソースセンターとして、事業を展開している。

#### ○モットー

“信頼性” “継続性” “先導性”

#### ○目標

「生命科学研究の発展に貢献する」

“再生医療” “がん治療” “食料問題” “基礎基盤研究” “物理循環” “物質循環” “環境問題”

これらの目標を達成するためには、バイオリソース（生物遺伝資源）が不可欠です。

バイオリソースとは、研究に使われる実験動物や植物、細胞、遺伝子そして微生物などのことです。バイオは生物、リソースは資源を意味し、日本語では「生物遺伝資源」とよばれます。生命の基本的な仕組みは多くの生物に共通です。そこで、実験動物をモデルにして病気の原因や治療などの研究を行います。また、植物や微生物などのものはたらきを環境問題の解決や健康増進に利用します。

理研バイオリソースセンターは、バイオリソースを安定した状態で保存するために、また、貴重なバイオリソースが失われないように「収集」し、リソースを良い環境で管理するために-196℃の液体窒素の中で「保存」し、国内外の研究機関や研究者に「提供」することを目的としています。その内容は、

- ① バイオリソース整備事業
  - ② 基盤技術開発事業
  - ③ バイオリソース関連研究プログラム
  - ④ 研究事業
  - ⑤ 国際協力事業
- があります。

## <バイオリソースの応用>

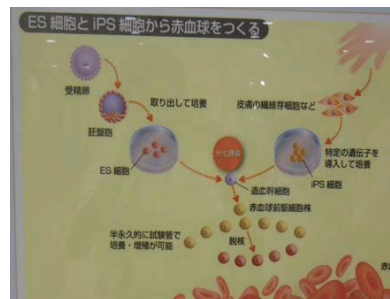
バイオリソースは多種多様で動物や植物から遺伝子まで様々なバイオリソースが研究室で活躍しています。そして、その代表的なものにマウスやシロイヌナズナなどがあげられます。



（細胞を液体窒素と共にこの装置に保存する）

マウスは遺伝子が99%、ヒトと同じです。また、小型で飼育しやすく、成長も早いなど実験するのに適しているという利点もあります。マウスはヒトの遺伝子のはたらきや遺伝子と病気の関係を調べるのにも使われます。シロイヌナズナは小さくて、実験室でも容易に栽培でき、成長が早く、約2ヵ月で世代交代をします。遺伝子の数は少なく、ほとんどの遺伝子のはたらきが知られているので植物のモデルとして世界中で利用されています。それに、シロイヌナズナは、アブラナ科の植物であり、大根などの同じ科の植物にも応用が期待されています。実際には、水に強い熱帯産のイネのバイオリソースが台風や洪水に強いジャポニカ米の開発に役立ちました。

人体で使われるバイオリソースではiPS細胞や、ES細胞が有名になってきました。これは、次々と臓器を作り出すことに成功していることの現れです。最近では、iPS細胞が筋萎縮性側索硬化症（ALS）の再生されない神経細胞に応用され、新薬開発に、貢献しています。

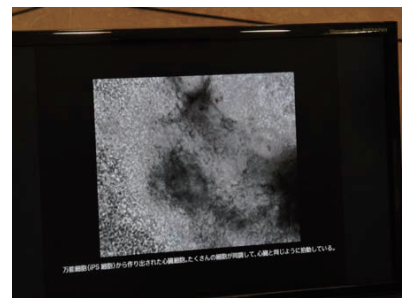


（万能細胞についてのパネル）

## <今後のバイオリソース事業>

現在、細胞などのバイオリソースは一つ一つに分けて液体窒素で保存されています。しかし、組織まるごと（人の指など）を保存することはできません。

万能細胞は、一部の器官（心筋など）しか、分化する方法がわかっていません。



（人工心筋細胞）

現在、そのほかの器官にする条件が研究されています。

危険なバイオリソースを扱う際、BRCではグローブボックスと呼ばれる箱のような器具にいます。しかし現在、主流になりつつあるのは、欧米諸国で人気のある防護服を着ての作業である。つまり、試料を囲む方法から、人を覆う方法になりつつあるということです。

今もBRCでは多くのバイオリソースを海外に提供しています。しかし、再生医療、がん治療、食糧問題の解決にはもっとバイオリソースが不可欠です。



（グローブボックス）

iPS細胞や、ES細胞などの万能細胞には、様々な問題があります。iPS細胞にはこの細胞を得るためには癌を誘導する遺伝子組み換えが必要となるという問題点とiPS細胞から発生した個体は生殖機能を持たないという問題点を抱えています。また、ES細胞にはいずれ人となりうる受精卵を破壊する事に対する倫理的問題があります。

1年 石井/高橋/綱木/三浦/及川/山崎/湯澤



# 宇宙科学の最先端！

～JAXA 筑波宇宙センターで研修して～

## ①JAXA とは

人工衛星やロケットなど将来の宇宙機の研究開発や開発試験、そして打ち上げた人工衛星を追跡管制する我が国のネットワークの拠点として重要な役割を担っている。

さらに、国際宇宙ステーション計画に向けた『きぼう』日本の実験棟の開発や試験、宇宙飛行士の養成などを行っている。

現在この宇宙センターには、宇宙輸送ミッション本部、宇宙利用ミッション本部、研究開発本部、有人宇宙環境利用ミッション本部、宇宙科学研究本部の一部があり、宇宙開発の最先端分野の研究・開発・試験を行い、日本の宇宙開発の中枢センターとして多彩な活動を行っている。

## ②人工衛星について

JAXA では国民生活に欠かせない通信、測位、地球観測などの実用衛星を運用するとともに、将来の宇宙開発を推進するための技術試験衛星を打ち上げている。また、地球や宇宙の起源などを探求するための科学衛星や探査機なども開発、運用している。いま実際に日本が運用している衛星は15機あり、それぞれ用途別の役割を持っていて、「地球観測衛星」「通信・測位・技術試験衛星」「天文観測衛星」「月・惑星探査機」の4種類に分れている。有名な衛星では、「はやぶさ」や「ひまわり」などがある。

## ③日本のロケット

よくテレビでその名が挙がるのが、「H-IIA ロケット」である。従来打ち上げ時のコストが半分になるなどの効率化がはかられている。またその改良機「H-IIB ロケット」もある。そしてこのロケットで打ち上げられ、宇宙ステーションに物資を届けるのが「こうのとり」である。先日もち上げられたばかりである。



(写真 「H-II ロケット」)

## ④JAXA の魅力

宇宙と聞くと遠い世界だと思う人もいるだろう。しかし、いまそれが身近になりつつある。その研究を行っているJAXAはロマンの塊である。正門をくぐるとまず見えてくるのが、巨大なH-IIの実機だ。全長50メートルという人工物は普段お目にかかれない。これが地球と宇宙をつないでいる。

そして、展示館「スペースドーム」にすすむ。中に入ると多くの人工衛星の実機や模型が並べられているのが見える。地上の天気を長年みてきた「ひまわり」、月をハイビジョンで撮影した「かがや」、地球と宇宙ステーション(ISS)間の物資補給を行う「こうのとり」と、日本の宇宙開発を支えてきたものがある。人工衛星は、天井まであるようなものから、サッカーボール大のものまであった。人工衛星に張ってある金箔のようなものは断熱材である。これは、マジックテープで固定されている。



(写真「こうのとり」)

また、ISSの実験棟「きぼう」の実寸大模型が展示されている。宇宙では、上も下も区別がつかない。だから、天井側に灯り、床側にラインが入っている。また、「きぼう」に付属しているという「物置」は外国の飛行士が貸してほしいと、頼みに来るそうだ。ここでは、実物を見ながら研修ができた。珍しいものでは、ソ連の宇宙船や、宇宙服もあった。その後、JAXAの食堂へ行った。正午を回っていたので多くの職員でにぎわっていた。明るい雰囲気で過ごしやすい食堂だった。



(写真 スペースチャンパー)

## ⑤JAXA の奥

JAXAには、撮影もさせてもらえなかった、セキュリティが高い区域があった。今回見学した、総合環境試験棟といわれる施設だ。ここでは、人工衛星を打ち上げる前に過酷な環境に耐えるのか試験を行う。はじめに見学したのが、大型振動試験設備だ。ここでは、人工衛星を2~3cmの振幅で毎秒200回振動させ、打ち上げ時の振動に耐えるか試験する。次に、人工衛星を組み立てる施設を見学した。巨大な部屋で、高さ19mもある。実際に、人工衛星「だいち」が組み立てられていた。次は、スペースチャンパーという設備を見学した。巨大な釜のようなものがあり、ここに人工衛星を入れる。釜の中は、宇宙の過酷な環境を想定し、真空になっており、-196℃の液体窒素で冷却されている。また、太陽光を模した強力な電球で光線を照射する。ここでも、実際に「ASTRO-H」という、宇宙望遠鏡があった。ちなみに1回の試験に1000万~1500万円の費用をかけ、2週間~1ヶ月間試験を行う。

## ⑥まとめ

宇宙という過酷な環境に人工衛星を打ち上げるための技術について JAXA は研究している。宇宙は上空100km以上からと、国際的に定義されている。これは、三高から山形の月山までであり、それほど遠くはない。しかし、これまでに限られた人しか宇宙へ行くことができていない。これは、真空で、放射線が飛び交い、-270℃~150℃という宇宙の過酷な環境からである。そんな場所に人工衛星を打ち上げるために JAXA では研究が行われる。

その研究が行われているのが総合環境試験棟であり、様々な施設がある。そして、今なお研究が行われている。目で見てきた人工衛星が、これから宇宙に打ち上げられるのである。また、展示保存されている人工衛星は実際に日本の科学を支えたものである。

今回の見学では、日本の宇宙開発の歴史を学び、その現状を見てきた。非常に費用がかかっている研究や設備がたくさんあった。しかし、その成果は何かの形で私たちの生活を支えることだろう。

~1年~

藤田・菅原・杉村・森谷・渡邊・渡邊

# 発光生物の観察

平成 24 年度 S S H 白神フィールドワーク

## ～ホタルの生態～

	ゲンジボタル	ヘイケボタル
学名	<i>Luciola cruciata</i>	<i>Luciola lateralis</i>
分布	本州、四国、九州など	南西諸島を除く日本、千島列島など
外見	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幼虫は前胸の背中側に黒いひし形の模様がある。</li> <li>・成虫は胸の模様が十字型、おもに6月に光を放ち跳ぶ。</li> <li>・体長=1.5~2.0cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幼虫は前胸の背中側に黒い十字模様がある。</li> <li>・成虫は胸の模様が太い縦じまの形で、主に7月に光を放ち跳ぶ。</li> <li>・体長=0.8~1.0cm</li> </ul>
生息条件	成虫=飛翔空間や休息場所となる木陰がある。	成虫=同左
発光周期	関西約2秒、関東約4秒 中部地方約2~4秒 この間隔は気温に影響されているとされている。	北海道約1秒 本州以南では約0.5秒

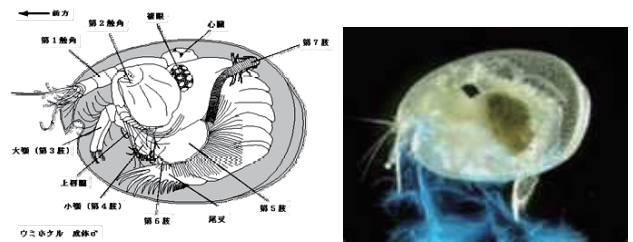


## ～ウミホタル *Vargula sp* について～

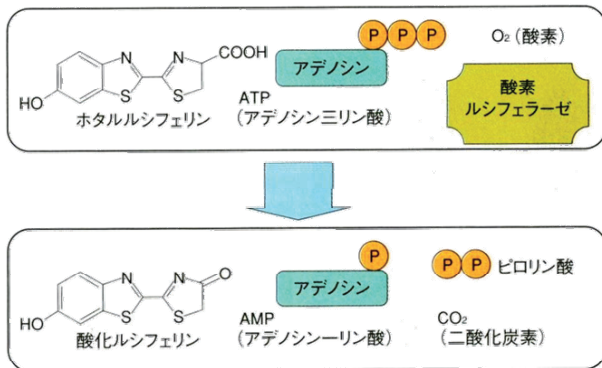
- 分布
  - ・沖縄から本州沿岸及び北海道の太平洋側。
- 外見
  - ・全身を透明な2枚の背甲で楕円球状に覆っており、米粒のような姿をしている。
  - ・甲に覆われた軟体部には7対の付属肢を持つ。
  - ・体長：2~3mm
- 生息条件
  - ◎砂地の特にアマモ場を好む。
  - ◎波の穏やかな砂浜。
  - ◎漁港や釣り場などの魚の死骸が多い所。
  - ×河口付近などの真水が流れ込む地形。
  - ×冷たい海水が流れ込む沿岸。

### □発光の仕組み

- ・上唇腺から放出されたウミホタルルシフェリンが隣接する細胞から放出される酵素ルシフェラーゼと反応し、ルシフェリンと酸素との酸化反応を促進することで青色光を発する。
- ・基本はホタルと同様だが、大きく異なる点はATPを用いないこと。



## ～ホタルの発光のしくみ～



## ～観察・考察～

### ○ホタル

白神山地十二湖の一つ落口の池でゲンジボタルの観察をした。ホタルはバスのウインカーに誘われるように出てきた。それはホタルの発光と勘違いしたためと思われる。発光周期は全て同じではなかった。落口の池は池から陸までの土手が緩やかだったため幼虫が水中から出てくるために適した環境だった。

### ○ウミホタル

海中に仕掛けておいた罠を回収し、観察を行った。ウミホタルの入った水を回すなど刺激することで発光した。何度か発光すると次に発光するまで時間が必要だった。シャーレに入れて観察すると円を描くように泳ぐものもいた。

## ～感想～

普段見られないホタルをたくさん見られて感動しました。ホタルの発光周期を調べるために、ビデオで撮影するなどを、ゆっくりと見分けるなどもしてみたかったです。

ウミホタルの軍事活用の記事は衝撃でした。本当に使用することは可能だったのでしょうか。

## ～疑問・来年の研究～

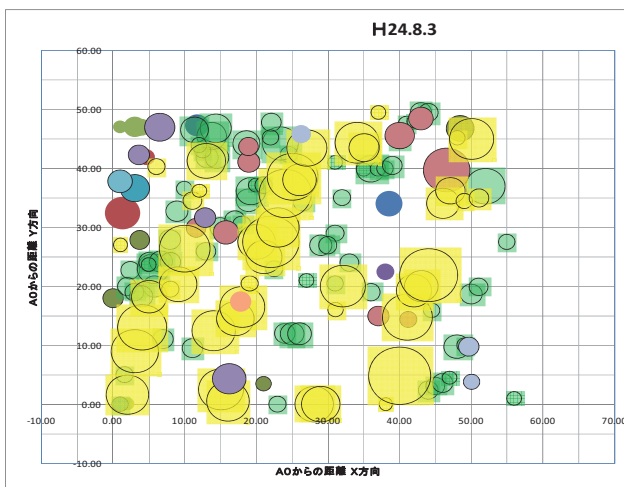
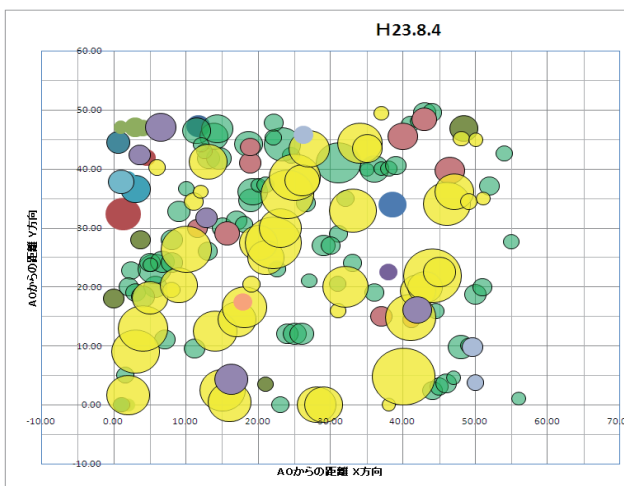
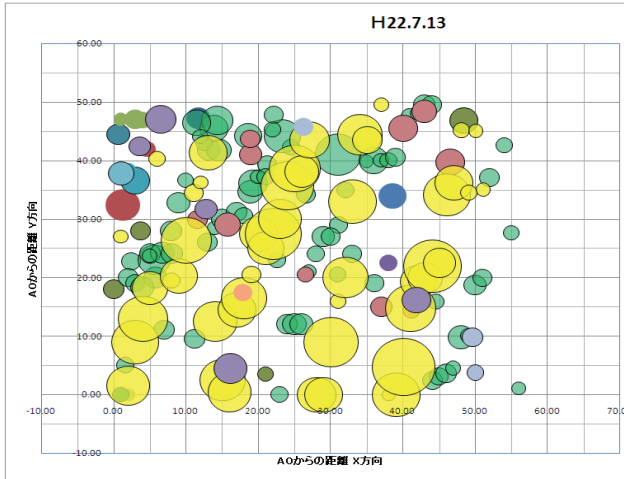
- ・ホタルの発光周期は同種でも周囲の温度によって本当に変化するのか。また、他に発光周期を変化させるものはあるのか。
- ・ウミホタルの発光の長さはどのくらいか、また、その発光の長さを調節することはできるか。

担当：笹原 慧哉、鈴木 沙也香、関 亜鈴華

# 十二湖ブナ林の毎木調査

平成 24 年度 S S H 白神フィールドワーク

## ～調査結果～



※黄色い丸→ブナ、薄緑の丸もハウチワカエデです。  
オレンジの丸→ノリウツギミズキ、赤の丸→サワグルミ  
紅色の丸→ハクウンボク  
※丸の大きさは木の大きさに比例する。

## ～毎木調査の目的と方法について～

- ・目的  
区域を設定し、その中で自然がどのような変化をしているのか調査し、今後の自然の変化を予測する。
- ・方法  
1、調査林内に 50m×50m の方形区枠を設置し、その中に 25 個の 10m×10m の小方形区枠を設置する。  
2、小方形区枠内にある木にはそれぞれ ID が振ってあり、それを照合し、メジャーで胸高の幹周りを測定する。  
3、過去のデータと比較し、変化をみる。

## ～考察～

- <今年の結果について>
  - ・今回は例年よりも誤差が多く、変化しているところが分かりにくい結果になってしまった。
  - ・原因として、過去に ID が取れたことで倒木したと思われていた木が発見され、ID が振られている幹が二本に枝分かれするなどの事故があったためその周辺のデータが変わってきてしまったことがあげられる。
- <23年度、22年度の調査結果からわかること>
  - ・一部のエリアで木々の多様化がみられた。(ノリウツギミズキ、サワグルミ、サワシバなど)
  - ・より密集しているエリアがあった。
  - ・ブナの周辺にハウチワカエデが生えている。
- <23年度と22年度の調査結果と比較して分かること>
  - ・ハウチワカエデが減っている。
  - ・大きなブナが枯死している。
- <これらの結果から予測できること>
  - ・過去のデータから考察して少しずつ木が減ってきているので森が小さくなっていくことが考えられる。

## ～木々の生存競争～

22年度に比べて23年度ではハウチワカエデの数が減少している。これは、大きいブナの木のせいで日光が遮られ、成長が抑制され、最終的に日光がとどかないために枯れてしまったからだ。また、寿命により大きなブナの木が倒れたことで、そこに日光のギャップができ、新たな木が芽生える様子も見られた。こうして森の中ではほとんど変わらないように見えて静かに生存競争がおこなわれているのである。

## ～感想～

今回の毎木調査を通して、普段はあまり感じる事ができない森の変化や木々の生存競争の様子を身近に感じる事ができた。また、ブナ林の中から見た空は一面葉で覆い尽くされ自然の大きさや美しさを感じる事ができました。しかし、現在このブナ林は地球温暖化の影響で少しずつ小さくなってきています。私たちは、この大切な自然を守るため、普段の生活のしかたから意識して改善していかなければならないと思いました。

担当：後藤圭、黒田道生、菊地樹、石川大樹



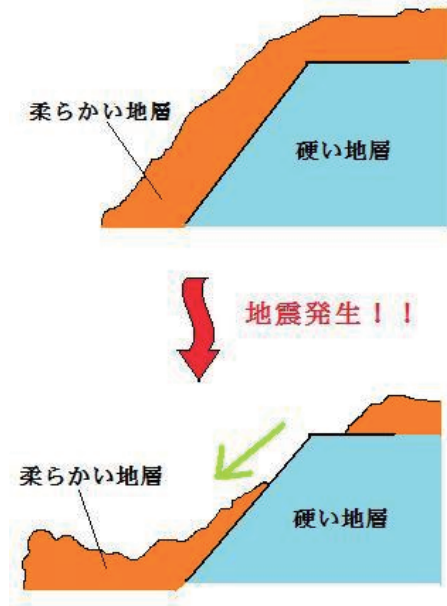
# 十二湖の地形

平成 24 年度 S S H 白神フィールドワーク

## 地滑りによる地形の変化

### ■ 地滑りとは

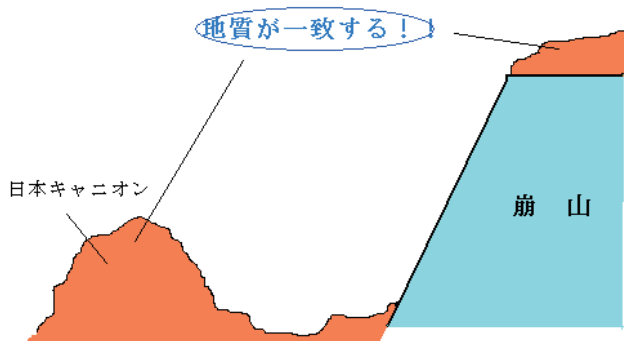
山の内部には、硬い地層と柔らかい地層の二つの地層がある。硬い地層は柔らかい地層の下にある為、地震や大雨などの影響により、硬い地層の上を柔らかい地層が滑り落ちてしまう。これを地滑りと言う。



### ■ 十二湖の形成

白神山地にいくつもある湖の総称である十二湖。それは、1704年の大地震によって、崩山で大規模な地滑りが起こり、西向きに崩壊、土砂が日本海に向かって流れ込んだ。土砂は荒川に流れ込み、川をせき止めて形成されたとされている。

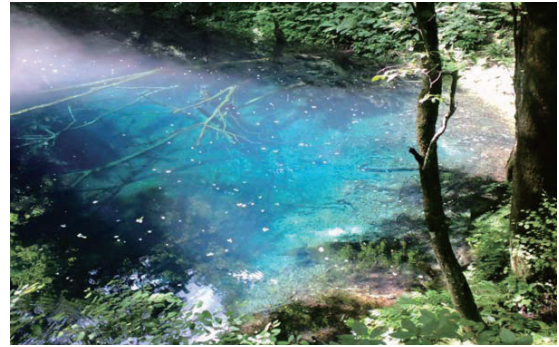
その理由としては上で説明した通り、地滑りは山の柔らかい地層が滑ることによって起こるため滑り落ちた先に土砂が積み上げられ、新たに山ができる事が多い。崩山でも同じようなことが起き、観光名所でも知られている「日本キャニオン」が作られた。そのことから、日本キャニオンの地質と崩山の崩壊地点の頂点の地質を調べ、一致したならば、「崩山が地滑りし川をせき止めた」といえるからだ。



## 白神山地とは

### ■ 十二湖の見どころ

十二湖の一つに青池と呼ばれる池がある。名前を見ればわかるが、光が差し込むと青色にかがやき、なんとも幻想的な雰囲気をかもしだす。



このような湖沼がいくつもある十二湖だが、なぜそのような名が着いたのだろうか？理由としては、十二湖が形成された際にできた湖沼数は33だったそうだが、崩山の上から眺めると、小さい池は森の中に隠れ、大きな池だけが12見えたことから「十二湖」といわれるようになったそうだ。

十二湖の付近にはホタルが生息しており、夜、水辺まで近付き、車のウィンカー等の点滅した光を当ててやると、ホタルが反応（オスがメスと、メスがオスと勘違いするため）し、昼間とは違う一面を見せてくれる。

### ■ アオーネ白神



今回のフィールドワークでは私たちは「アオーネ白神」という宿泊施設を拠点に活動をした。ここでは、十二湖や日本海が近くにあり、温泉やアウトドア施設も充実しているため、休憩も自由時間も有意義に過ごすことができた。

もし、今後白神山地に調査しに行くことがあれば利用してみるといい。ただし、アブや蚊が多いので虫よけ対策をしっかりとってから行くことをおすすめする。

担当：二年 工藤 慧  
伊藤 水樹

八巻 聡

# 樹木の生長と光環境

平成 24 年度SSH白神フィールドワーク

## 〈はじめに〉

私達は白神山地に行きブナの原生林に入るなどして、光環境の調査を行いました。ブナの原生林では、倒れてしまう木もあれば、新たに生長する木もあり、毎年少しずつその姿を変えていっている事が分かっています。これに関わっているのは光なのではないか、と思い今回の調査を行いました。

## 〈方法〉

比較的日当たりが良いと思われる場所のアサダとブナ、日当たりの悪い場所のアサダとブナそれぞれに対して以下の操作を行った。

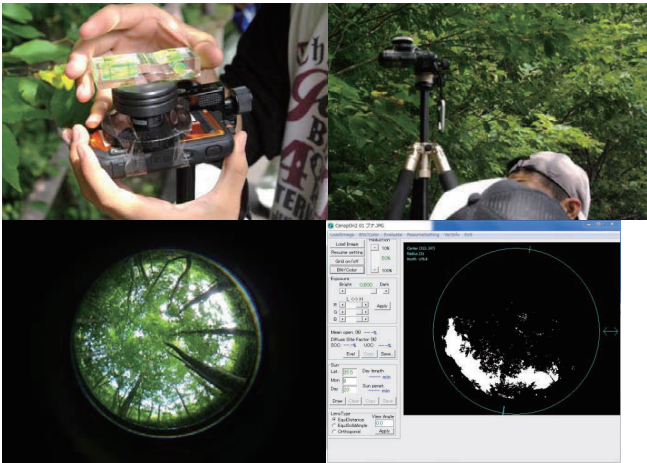
### 枝の伸びの測定

冬芽は鱗状に葉で覆われ、それらの葉は鱗葉と呼ばれる。鱗葉の付け根にはリング状に跡が残り、そこから枝の先端までがその年の春から伸びた枝の長さである。1個体につき3本の枝について、その年の枝の伸びをメジャーで測定した。



### 開空度の測定

各個体の光環境を調べるために、魚眼レンズを用いて全天写真を撮影した。写真の下が北になるように方位磁針でカメラの向きを調節し、レンズが水平になるように水準器を用いて調節した。撮影した写真をCANOPON2で解析し、葉の上方の開空度を数値化した。



### 葉の乾燥重量の測定

長さを測定した枝から葉を1枚ずつ採取し、方眼紙の上に葉を置きガラス板をのせて写真撮影した。

LIA for Windowsを用いて葉面積を測定した。また、電子天秤で葉の乾燥重量を測定した。各個体ごとの1cm<sup>2</sup>あたりの葉の乾燥重量を算出した。



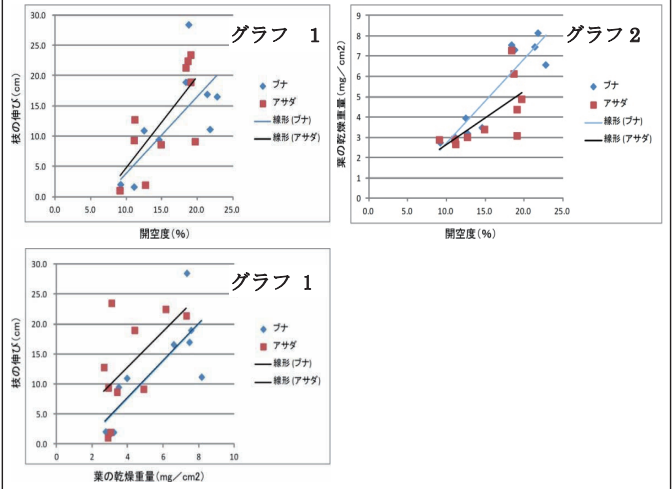
## 〈結果と考察〉

それぞれ、アサダとブナの開空度と枝との伸びの関係を表したものがグラフ1、開空度と葉の乾燥重量との関係を表したものがグラフ2、また、葉の乾燥重量と枝の伸びの関係を示したものがグラフ3である。

グラフ1から、同じ開空度だとブナと比較してアサダの方が枝をより伸ばしていることが読み取れる。同様にグラフ2を見ると同じ開空度だとアサダと比較してブナの方が葉の乾燥重量が重く、葉が肥大化していることがわかる。グラフ3を見るとグラフ1、2の通りアサダは枝が成長しやすく、ブナは葉が成長しやすいということが見えてくる。

この違いは、光環境が関係していると思われる。アサダは枝が伸びやすいので、同じ年齢ならばアサダはブナよりも高く、ブナはアサダよりも低く日光の当たりづらい環境で生活しているということが推測できる。そして、日光が当たるとアサダは非光合成器官である枝に養分を多量に送り、対してブナは光合成器官である葉に養分を多量に送っている。光合成器官である葉が成長すればそれだけ多量の養分を作り出すことが可能はずである。

以上からブナはアサダよりも日当たりの悪い環境で生きていける、陰樹であり、対して葉よりも非光合成器官である枝を成長させるアサダは、日当たりの悪い環境では枯れてしまう、陽樹であるということが考えられる。



## 〈反省点〉

グラフ1、2を見ると今回の考察とは少し違った結果となってしまった。このグラフからは、ブナが陰樹でありアサダが陽樹であることが読み取りにくかった。それは、もっと開空度の低い場所のサンプルも採取しておけば解決しただろう。

## 〈感想〉

白神山地の広大な自然は私達を魅了させてくれた。私達はその雄大な自然の中で育つ植物がどのような状況下で生きているのかを学ぶことで植物の多様性と生きるための工夫を知ることができた。実際に調査してみると、植物によってさまざまな違いが見られて私達は興味を湧いてきた。その違いをまとめたデータから様々な考察を論争し私達はさまざまなことを考え知ることができた。とても良い経験だったといえるだろう。

<担当者名>

島山遼 十居董平 本郷義人 山岸綾人

# 地滑りと森林の更新

平成 24 年度 S S H 白神フィールドワーク

## 白神山地と地滑り

はじめに.....

青森県の南西部から秋田県北西部にかけて広がっている標高 1,000m 級の山地のことをいう。白神山地は現在でも少しずつ隆起している地形で地盤が弱く、崖崩れ（地滑り）が多発している。そのため、林道をつくっても崖崩れのために不通になってしまう場所が多い。また、冬期間は半年も雪に覆われる。そのため、大規模な林道建設を行うことが難しく、結果的に原生林が残されることになった。

地滑りとは.....

地すべりは、斜面を形成する地塊（土砂・岩塊）が、地下の地層中に円弧状または平面状に形成される地質的不連続面、すなわち「すべり面」を境にして、すべり面上の地塊が移動する現象である。また、早い隆起速度と非常にもろく崩れやすい地質という特性、さらに多雪地帯であることから、白神山地のあちこちで山地崩壊がみられる。



白神山地の環境

ほとんど全域がぶな林で覆われているが、特に地すべりの移動域上に見事なぶな林ができています。このような林に、山地の保護の立役者クマゲラ（天然記念物）が生息している。ぶな林を中心とした林の中に、日本海要素の植物が多く自生している。

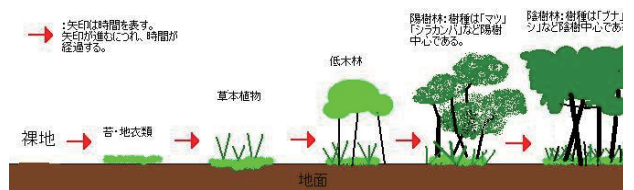
地滑り地にできた湿地の掘削調査の結果、白神のぶな林誕生は約 8000 年前であることが判明している。地滑り地の背後にむき出した急崖には、特殊な植物や高山植物が生えたり、雪崩斜面となって草たけの高い草地ができています。現在分かっている種子植物とシダ植物の種類数は 542 種類である。

## 森林の更新

植生の遷移

雑木林と植生は、落ち葉かきなどの管理をしない、笹が茂り樹木の芽生えが育たなくなってササ原になることがある。身近な植生は、人間が管理しなくなると数年のうちに変化することが多い。また、自然の植生でも、洪水の後にできた河川敷の草原の植生は、数年のうちに樹木が侵入してまばらに木が生える林になることがある。このように、ある場所の植生が時間とともに次第に変化していく現象を遷移という。

遷移は、遷移が始まる状態により、大きく一次遷移と二次遷移に区別できる。



白神山地で起こる遷移は二次遷移の方である。

二次遷移について.....

山火事や森林の伐採跡地、地滑りなどによって耕作されなくなった農耕地や造成地のようになり、すでに土壌が形成されており、土壌中に種子などが残っている場所で始まる遷移を二次遷移という。

二次遷移は、土壌中に種子や地下茎などが残っているため、一次遷移に比べてはやく進行する。耕作跡地での二次遷移の初期では、植物の養分となる土壌中の栄養塩類が多い環境で早く成長するシロザなどの一年草が繁茂することが多い。これらの一年草の中にはブタクサ、オオアレチノギクなどの外来植物も含まれる。

## 地滑りと森林の更新

遷移が進行した結果、それ以上は全体として大きな変化を示さない状態を極相（クライマックス）という。また、極相で多くみられる種を極相種という。極相林では、平均すると林の内部は暗く、陽樹の芽生えはもちろん陰樹の芽生えもほとんど成長できない。しかし、台風や地滑り、寿命などで木が倒れるなど森林が部分的に破壊されると、林内に光が差し込むようになる。このようなことをギャップという。大きなギャップの下では陰樹だけでなく陽樹も成長できる。たとえば、陽樹的な性質をもつホオノキは、極相であるぶな林のギャップに生息する。そのため、極相の生物の多様性は高く保たれている。このように白神山地のような極相の森林は絶えず部分的な破壊と再生が繰り返されながら全体として安定が保たれている。

担当

一年一組大沼美里  
桜庭瑠華  
蜂谷麻衣

参考文献 ウィキペディア、

理数科の日



理数科講演会



SSH 講演会



## わくわくサイエンス



## 身近なテクノロジー



## 白神山地研修



## つくば研修



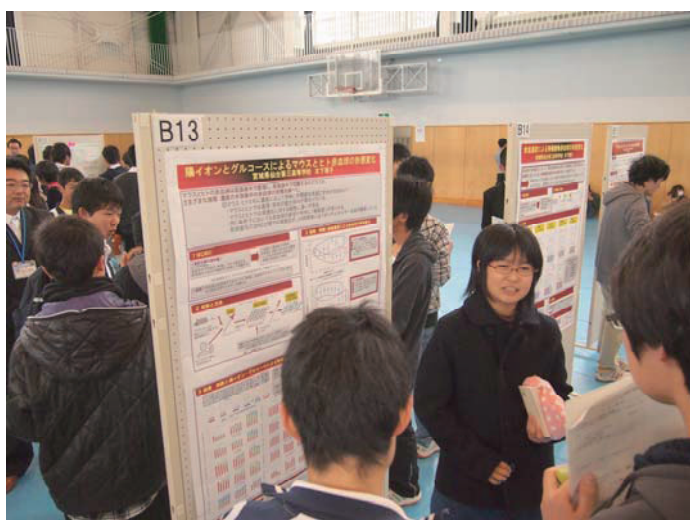
## 日本動物学会



## みやぎサイエンスフェスタ



## みやぎサイエンスフェスタ ポスター発表



平成25年3月29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/>