

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5年次 平成27年3月

宮城県仙台第三高等学校

## SSH活動記録集 巻頭言 H27.3

宮城県仙台第三高等学校校長 氏家 仁

平成22年4月、SSH事業の指定を受けてから5年目、平成24年4月、コアSSH事業の指定を受けてから3年目とそれぞれ最終年度を過ぎようとしている。これまでの生徒、教職員の実践及びそれを支えていただいた文部科学省、JST、運営指導委員の皆様をはじめ、各大学、研究機関の御指導、御支援に深甚なる感謝を申し上げる次第である。

生徒昇降口には、当初SSH指定校の指定書と計画書の掲示しかない段階からみれば、数多くの学会、研究会、発表会、コンクール等の成果とも言うべき表彰状や楯、ポスターや最新の情報がビジュアル化され展示されている。理科実験室の各階にも同様に表彰状や研究の概要が記されたポスターがこれから入学する後輩に刺激を与えようとして待ち構えている。実に壮観である。本校生徒、教職員の誇りであり、今なお朝な夕なその前を通る来校者、保護者、地域住民、小学生や中学生、学校関係者が食い入るように見つめる姿も当たり前風景となって馴染んでいる。本校は昭和38年創立52年目、昭和43年理数科設置から46年目、理数教育の最先端校としての歩みが一覧できる。

5年目を経て、今年度最終年度を振り返ると、中間評価でいただいた課題に果敢に挑んだ結果、課題研究や高校生が参加できる各種発表会なかでも学会での高校生の発表では、昨年度には見られないほどの入賞者を出すことができたり、英語での論文作成や、プレゼンテーションができるようになってきたことは、4年目以上に一步も二歩も前進したものと自己評価している。小学生や中学生に対しての実験講座、「みやぎサイエンスフェスタ」では、理科のおもしろさ科学のすばらしさ、数学の大切さを始め、人文、社会科学分野も含む、総合科学の視野を広げるお手伝いできた。大学院生や海外研究者とのやりとり、研究機関や企業との出会いは高校生にとって大きな刺激になった。台湾師範大学附属高級中学との交流やWPIでの海外からの研究者との交流も、広い世界への挑戦の意欲をかき立ててくれた。東北大学を中心に開催されるノーベル賞受賞者の講演会にも多くの生徒が招待を受け、夢をかき立てている。

いよいよ、来年度に向けて、最終のまとめを行い、第2期の指定を受けるべく申請に向けた検討の詰めの時期となった。この報告書を手に入れる頃には、次期も指定されるといった報告が聞けることを夢に見ている。生徒も教職員も茨の道を歩んできた。その努力、諦めず、弛まず前進しようとする頑張りに感謝を申し上げるところである。

これまで5年の取り組みで育った、大学生、現役高校生が未来も日本、世界の科学・技術を担う人材に大きく成長をするであろう、また、指導に携わった本校並びに他校教員の科学・技術人材育成能力の向上を確信し、更なるレベルアップを期待するところである。

本活動記録集は今年度実施した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、筑波研修、白神山地研修、台湾研修報告、活動記録写真が盛り込まれている。一年間のSSH事業への御助言、御支援、御協力に感謝申し上げますとともに、御高覧いただき、来年度に向けての更なる御指導・御指摘を賜りますようお願いするものである。

平成25年3月

## 目次

### 巻頭言

### SSH課題研究

#### 数学領域

RSA 暗号と素数判定法	1
ランチェスターの法則	6

#### 物理領域

イオンクラフトの推進力向上を目指して	11
コイルの形状と発電量の関係	15
スターリングエンジンをつくろう	19
環境に優しい発電を目指して	22

#### 化学領域

みそ汁を科学する	26
炎色反応	30
ファットブルームの発生条件の解明	34

#### 生物領域

松島湾産アマモの遺伝的解析	39
過塩素酸塩によるカエル幼生の尾の退縮抑制	43
キシヤヤスデの歩行の解析	47
ナマズの行動と地震の相関性	50
ヒトデに含まれるサポニンによる抗菌効果	54

#### 地学領域

塩化ナトリウム結晶の生成	60
太陽炉の製作	64

## SSH 生徒研究発表会 ポスター賞 〈SSHクラブ〉

どうやって金属に色をつける? . . . . . 66

## 日本学生科学賞 全日本科学教育振興委員会賞 〈自然科学部化学班〉 東北地区 SSH 指定校研究発表会 最優秀賞

銅箔の色調変化の研究 . . . . . 69

## 坊ちゃん科学賞 入賞 全国高等学校総合文化祭出場 〈SSHクラブ〉

宮城県内で採集したミカヅキモの単離と分類 . . . . . 84

## 日本進化学会 最優秀賞 日本学生科学賞宮城県審査最優秀賞 〈自然科学部生物班〉

ファージに対する細菌の感受性 . . . . . 92

## Google サイエンス in 東北 2014 審査員特別賞 〈自然科学部生物班〉

細光ランプで闇夜を照らす . . . . . 102

## 部活動・SSHクラブ

### 自然科学部物理班

超吸水性ポリマーを用いた燃料電池について . . . . . 103

空気砲による渦輪の応用 . . . . . 104

晴雨予報グラスを用いた大気圧の変化による天気予測 . . . . . 105

### 自然科学部生物班

なぜ光る? 発光細菌 . . . . . 106

「どんこ」と菌の出会い～せめてお名前だけでも～ . . . . . 107

エゾイソアイナメの発光器の構造 . . . . . 108

### SSHクラブ特別課題研究

背負い投げのキレを増すには . . . . . 109

## SSH 諸行事の記録

台湾研修 . . . . . 110

つくば研修 . . . . . 115

白神フィールドワーク . . . . . 122

東北大学工学部研修 . . . . . 128

SSH 課題研究

# RSA 暗号と素数判定法

鎌田睦大 丸尾弘明 伊澤栞奈 常松愛加

宮城県仙台第三高等学校

RSA 暗号における素数の必要性と、素数を見つけ出す際に重要である素数判定法の 2 点に着目して考察した。その結果、素数の必要性について理解し、素数判定法の中でもラビン・ミラー法がとても強力であることがわかった。また、素数を表わす多項式についても考察した。

## 1 はじめに

暗号とは、送信者が受信者にメッセージを送る際に、第三者にメッセージの内容を読み取られないようにするための技術である。私たちはその中で現在最も多く使われている暗号の一つである RSA 暗号の研究を行った。暗号の研究に数学がかかわってくるのは、現代社会においてコンピューター上で文字や図はすべて数字として処理されており、また、暗号化に数学的アルゴリズムが用いられているからである。よって、数学を用いて研究をする必要がある。

RSA 暗号は素因数分解の不可逆性を利用しているため、暗号に必要な素数を効率よく正確に見つける必要がある。現在、素数を見つける手段として、ある整数が素数か否かを判定する素数判定法が用いられている。素数をつくるのではなく、整数の判定により素数を見つけるのは何故かを知るために、私たちは RSA 暗号における素数の必要性と素数判定法の重要性について考察した。

## 2 鍵の定義

元文 『I am a high school student』 があるとする  
暗号文 『JBNBIJHITDIPPMTUVEFOU』 という文章にするとき、  
鍵は『アルファベットを一文字ずらして大文字にする』となる。このように元文を暗号文にするための手順のことを鍵という。鍵が第三者に知られてしまうと、暗号を元文に戻すことが可能になる。そのため、鍵は第三者に対して秘密にしておく必要がある。

## 3 RSA 暗号の仕組み

通常の暗号では、送信者と受信者が秘密の鍵を共有する。しかし、インターネット上で初めてメッセージをやり取りする際に、第三者に鍵を知られずに鍵を共有するのは困難である。そこで暗号化に必要な鍵は公開し、復号化に必要な鍵を秘密にすることで、第三者に鍵の一部が知られても安全にメッセージをやり取りすることができる。このような方式の暗号を公開鍵暗号という。

ここでは、ニュートン別冊 [2] に従い、RSA 暗号の仕組みを説明する。

### (1) 公開鍵と秘密鍵の作成

RSA 暗号における公開鍵とは世に公開する数字のことである。秘密鍵とは世には公開されないメッセージの受信者のみが知る数字のことである。まず、秘密鍵となる素数  $p, q$  を決める。その後  $p, q$  を掛け合わせ公開鍵となる  $N$  を定める。次に公開鍵となる適当な正の

整数  $e$  を定める．最後に秘密鍵となる  $d$  を定める． $d$  は  $e$  をかけて， $p-1$  と  $q-1$  の最小公倍数で割ると，余りが 1 になる数である．これを式で表すと以下ようになる．

$$p \times q = N$$
$$e \times d \equiv 1 \pmod{\text{LCM}(p-1, q-1)}$$

## (2) 暗号化・復号化

元文を  $M$ ，暗号文を  $C$  とすると，暗号文は  $M$  を  $e$  乗して  $N$  で割った余りで求められる．また暗号文を元文に戻す復号化をするには，暗号化と逆の操作をする必要がある． $C$  を  $d$  乗して  $N$  で割った余りを求めることで復号化することができる．式は次のように表される．

$$M^e \equiv C \pmod{N}$$

$$C^d \equiv M \pmod{N}$$

このとき， $p, q$  の積である  $N$  は公開されるが，復号化に必要な  $d$  は公開されない． $d$  を求めるには，素数  $p, q$  を知る必要があるが， $N$  が大きくなるにつれて素因数分解が困難になり，秘密鍵を知らないと復号化は難しい．

たとえば， $p = 7600181$ ， $q = 1887643$  (共に桁数の大きい素数) とすると，積を求める計算

$$p \times q = 7600181 \times 1887643 = 14346428463383 = N$$

は簡単であるが，素因数分解

$$N = 14346428463383 = 7600181 \times 1887643 = p \times q$$

は困難である．

素数だけを作る公式は知られていないため，大きな素数  $p, q$  を得るためには，乱数を発生させ，それが素数であるか判定する素数判定法が必要となる．

## 4 素数判定法

### (1) フェルマーの小定理

**定理 1** (シルヴァーマン [1] p.59)  $p$  を素数とし， $a$  を整数で  $a \not\equiv 0 \pmod{p}$  であるものとするとき

$$a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}$$

が成り立つ．(これをフェルマーの小定理という．)

この対偶をとることにより

$$\text{「} a^{p-1} \not\equiv 1 \pmod{p} \text{であれば } p \text{ は素数ではない」}$$

という命題が成り立つ．これを利用することで与えられた整数が素数であるか判定することができる．これをフェルマーテストという．

しかし，561 は  $561 = 3 \times 11 \times 17$  と素因数分解ができるので素数ではないが，フェルマーテストにおいては素数だと判定されてしまう．561 のように合成数であるにも関わらず，フェルマーテストで  $a$  をどのように選んでも素数と判定されてしまう数はカーマイケル数と呼ばれている．

そこでカーマイケル数を素数と判定しない，すなわち合成数と正しく判定する素数判定法としてラビン・ミラー法が知られている．

## (2) ラビン・ミラー判定法

**定理 2** (シルヴァーマン[1]p.126)  $n$ を奇数とし,  $n-1=2^kq$  ( $q$  は奇数) とするとき, 以下の 2 つの条件が両方とも成り立つならば  $n$  は合成数である.

(a)  $a^q \not\equiv 1 \pmod{n}$

(b)  $j=0,1,\dots,k-1$  のすべてに対して  $a^{2^j q} \not\equiv -1 \pmod{n}$

$n$  が奇数の合成数のとき, 少なくとも  $1 \leq a \leq n-1$  である  $a$  のうち 75% がラビン・ミラー判定法において  $n$  を合成数と判定できることが知られている. (コブリッツ[5]p.183)

すなわちラビン・ミラー判定法を  $x$  回行い, どれも合成数であると示さなかったとき,  $1 - \left(\frac{1}{4}\right)^x$  の確率で素数であると判定できる. ラビン・ミラー法によって素数だと判定された数は確実に素数であるとは言えないが, 素数である可能性が高いため確率的素数と呼ぶ.

## 5 ラビン・ミラー法とふるい分け法の素数判定時間の比較実験

### 目的

二種類の素数判定法を用いて, 乱数生成から素数判定までにかかる時間を測定し比較する. 用いる判定法は(1)ラビン・ミラー法, (2)ふるい分け法の 2 種類である. ふるい分け法とは, エラトステネスのふるいのように, 判定したい数  $n$  を  $\sqrt{n}$  以下の素数で割っていき, すべて割り切れなければ素数と判定する方法である.

### 方法

- 1) PC 上でプログラムを動かして, それぞれの判定法で素数を生成するまでの時間を測定する. (判定する数  $n$  は乱数生成で発生させる. 合成数と判定されたら再度乱数を生成し, 素数と判定するまで繰り返す.)
- 2) それぞれの判定法で試行を 100 回行い 1 回の素数生成時間の平均を求める.

### 条件

- ・乱数  $n$  の範囲は 10000~65000 とした.
- ・ラビン・ミラー法の  $a$  は 200 回変化させた.
- ・用いたコンパイラは, CPad for Borland C++ Compiler
- ・PC のスペックは, CPU Intel®Core i3-3220@3.30GHz, RAM 4.00GB, OS Windows 7 (32bit)

### 結果

	ラビン・ミラー法	ふるいわけ法
生成時間 (ms/回)	1.82	2.17

それぞれの判定法を用いた時の乱数生成から素数判定までにかかる時間は上の表の通りである.

## 6 素数を表わす多項式

ラビン・ミラー法を用いて得られた素数は, あくまでも確率的素数であるためごく稀に合成数となる可能性がある. RSA 暗号においては, 素数であるはずの  $p, q$  に合成数を使っ

てしまった場合、素因数分解が容易になり暗号が解読されやすくなるリスクがある。そのため、素数を表す多項式を用いて確定的素数を生成させたほうがいいのではと考えた。

### (1) 素数を表す多項式の定義

整数係数の多項式  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  が次の 2 つの性質を持つとき、 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  は素数を表す多項式であるという。

- (i)  $x_1, x_2, \dots, x_n$  に非負整数を代入したとき  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  が正ならば  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  は素数。
- (ii) 任意の素数  $p$  に対して、 $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = p$  となる非負整数  $x_1, x_2, \dots, x_n$  が存在する。

### (2) 24 変数 (マチアセビッチの多項式)

24 個の変数 (すべて正の整数) を用いる。24 個の変数に対して出てきた値が正の整数であるならば必ず素数になる。負の整数であるならば素数ではない。

### (3) 26 変数 (ジョーンズ, 佐藤, 和田, ウィエンズ)

26 個の変数 (すべて非負整数) を用いる。24 変数と同様に出てきた値が正の整数であるならば必ず素数になる。負の整数であるならば素数ではない。

この式は  $a \sim z$  までの 26 の変数を用いて、

$$\begin{aligned}
 & (k+2) \left( 1 - (wz + h + j - q)^2 - ((gk + 2g + k + 1)(h + j) + h - z)^2 - (2n + p + q + z - e)^2 \right. \\
 & \quad - (16(k+1)^3(k+2)(n-1)^2 + 1 - f^2)^2 \\
 & \quad - (e^3(e+2)(a+1)^2 + 1 - o^2)^2 - ((a^2 - 1)y^2 + 1 - x^2)^2 \\
 & \quad - (16r^2y^4(a^2 - 1) + 1 - u^2)^2 \\
 & \quad - \left( \left( (a + u^2(u^2 - a))^2 - 1 \right) (n + 4dy)^2 + 1 - (x - cu)^2 \right)^2 - (n + l + v - y)^2 \\
 & \quad - ((a^2 - 1)l^2 + 1 - m^2)^2 - (ai + k + 1 - l - i)^2 \\
 & \quad - (p + l(a - n - 1) + b(2an + 2a - n^2 - 2n - 2) - m)^2 \\
 & \quad - (q + y(a - p - 1) + s(2ap + 2a - p^2 - 2p - 2) - x)^2 \\
 & \quad \left. - (z + pl(a - p) + t(2ap - p^2 - 1) - pm)^2 \right)
 \end{aligned}$$

と表される。

この式を用いて素数を生成させようと試みたが、実際には非常に困難であることがわかった。 $a \sim z$  にランダムに非負整数を代入した場合、そのほとんどが負となり、素数は得られない。実際、表計算ソフトを用いて 1000 通り以上の組合せを試したが、1 つも素数は得られなかった。素数が得られる確率はかなり低いと予想される。

## 7 まとめ

### (1) RSA 暗号について

RSA 暗号は 2 つの素数を秘密鍵とし、その 2 つの素数は大きくなればなるほど RSA 暗号は強力になっていくため、RSA 暗号において素数は重要なものである。

## (2) 素数判定法について

ラビン・ミラー判定法は、 $x$  回行いどれも合成数であると示さなかったとき  $1 - \left(\frac{1}{4}\right)^x$  の確率で素数であると判定できる。このとき確率的素数ではあるものの比較的短時間で判定できるため実用性が高く、広く利用されていると考えられる。したがって素数の判定においてラビン・ミラー判定法は強力である。

## (3) 実験について

生成時間を比較すると、今回の実験ではふるい分け法はラビン・ミラー法のおよそ 1.2 倍の時間がかかった。しかし、判定する整数を大きくすると、ふるい分け法では判定に必要な数（割っていく数）もそれに従って増えていくのに対し、ラビン・ミラー法では判定の回数自体は変わらない。今回の実験ではプログラム作成上の制約により 5 桁の整数しか判定していないが、実際に使用されている桁数では時間の差は大きくなっていくと考えられる。よって、ふるい分け法と比較するとラビン・ミラー法のほうが早く素数を生成できると考えられる。

## (4) 素数を表わす多項式について

正の整数が出れば必ず素数となるのに利用されていないのは素数判定法に比べて時間がかかってしまうからだと考えられる。どのくらい時間がかかるのか確かめる必要がある。

## 8 今後の課題

- ・素数判定法で判定する数の桁数を増やすことで、より実質的にラビン・ミラー法の有用性を検証すること。
- ・素数判定法のアルゴリズムを検証し、理論的な計算量について考察すること。
- ・素数を表わす多項式の有用性について、プログラミングを用いて検証すること。

## 9 謝辞

本研究にあたり情報科の菅井道子先生にプログラミングの指導をしていただきました。心より感謝いたします。

## 10 参考文献

- [1] ジョセフ・H・シルヴァーマン はじめての数論原著第三版, ピアソン・エデュケーション, 2007.
- [2] ニュートン別冊「ゼロと無限」, 2012年6月.
- [3] 和田秀男. 数の世界 整数論への道, 岩波書店, 1981.
- [4] Paulo Ribenboim. 素数の世界 その探求と発見. 共立出版, 2001.
- [5] N.コブリッツ 数論アルゴリズムと楕円曲線暗号理論入門, シュプリンガー・フェアラーク東京, 1997.

# ランチェスターの法則

郡山倫拓 羽生東威

宮城県仙台第三高等学校

マーケティングにも応用されているランチェスターの法則を使って、騎馬戦の勝敗についてシミュレーションした。対戦における戦力数と個々の戦闘能力を設定し、どのような軍があれば相手に勝つことができるのかを数学的に考察した。ネルソンタッチ戦法を使えば、少ない人数でも多い人数に勝てると考えられる。

## 1 はじめに

赤ありが黒ありの3倍の戦闘能力が勝っているとする、赤あり100匹と黒あり300匹が戦った時に黒あり300匹が勝つということがランチェスターの法則から知ることができる。

ランチェスターの法則とは戦争で相手軍と味方軍の戦力数と武器性能の関係をあらわしたものである。歴史的には様々な戦争で用いられてきた。現在この法則はマーケティングに応用できると知られている。しかし、マーケティングを考えた式は大変複雑なものであり、高校の数学の知識だけでは理解できないものになっている。そこで、本研究では高校の数学で理解可能な戦争を考えた式を扱うことにした。

## 2 定義

X軍とY軍において

$x$  : X軍の戦力数     $y$  : Y軍の戦力数     $\alpha$  : Y軍の武器性能

$\beta$  : X軍の武器性能     $x_0$  : 最初のX軍の戦力数     $y_0$  : 最初のY軍の戦力数

( $\alpha > 0, \beta > 0, x_0 > 0, y_0 > 0$ )

第一法則  $x_0 - x = \frac{\alpha}{\beta}(y_0 - y)$

第二法則  $x_0^2 - x^2 = \frac{\alpha}{\beta}(y_0^2 - y^2)$

法則の説明

(1)一次法則

・前提条件 一度に一人の敵と戦うことを想定 戦力の減少は相手の武器性能に比例

・説明

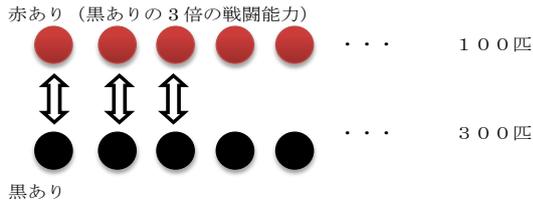
$x$  : X軍の戦力数     $y$  : Y軍の戦力数     $\alpha$  : Y軍の武器性能

$\beta$  : X軍の武器性能     $x_0$  : 最初のX軍の戦力数     $y_0$  : 最初のY軍の戦力数

これを条件とすると時間 $t$ を用いて次のようになる

$x = x_0 - \alpha t$      $y = y_0 - \beta t$     ここで $t$ を消去して     $x_0 - x = \frac{\alpha}{\beta}(y_0 - y)$

・具体例



(2) 二次法則

・前提条件

一人で複数の敵を攻撃可能であり戦力の減少は相手の武器性能と戦力の積に比例

・説明

$x$  : X軍の戦力数     $y$  : Y軍の戦力数     $\alpha$  : Y軍の武器性能

$\beta$  : X軍の武器性能     $x_0$  : 最初のX軍の戦力数     $y_0$  : 最初のY軍の戦力数

これを条件とすると

$$\frac{dx}{dt} = -ay \dots \textcircled{1}, \frac{dy}{dt} = -\beta x \dots \textcircled{2} \text{の連立方程式を解く}$$

$$\textcircled{1} \times x\beta - \textcircled{2} \times ya \text{より} \quad \frac{dx}{dt} x\beta = \frac{dy}{dt} ya$$

$$\text{両辺を積分して} \int x\beta dx = \int yady$$

$$\beta \frac{x^2}{2} + C = a \frac{y^2}{2} + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

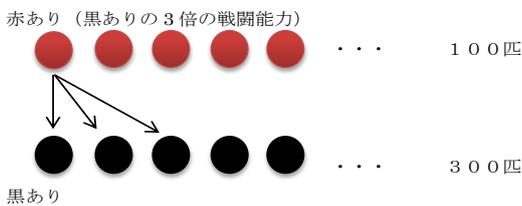
よって両辺 $\times 2$ して整理すると  $\beta x^2 - ay^2 = C$

初期条件から  $\beta x_0^2 - ay_0^2 = \beta x^2 - ay^2$

ここで整理して  $\beta(x_0^2 - x^2) = a(y_0^2 - y^2)$

ここで両辺 $\div b$ をして  $x_0^2 - x^2 = \frac{a}{\beta}(y_0^2 - y^2)$

・具体例



3 ネルソンタッチ戦法

1805年にフランスとスペインの連合軍とイギリスの間でトラファルガー海戦がおきた。ネルソンタッチ戦法とはトラファルガー海戦時にイギリスのネルソン提督が考えた戦い方である。イギリス軍40隻、連合軍46隻で戦闘能力はどちらも同じとする。この場合普通に戦ったのではイギリス軍は負けてしまうため、イギリス軍はネルソンタッチ戦法というものをする。まずイギリス軍は  $X:Y:Z = 16:16:8$ に分ける。次にXが敵の側面から攻撃して連合軍を前衛と後衛の23隻ずつに分割する。次にXとYで前衛をはさみうちにして戦い、Zと後衛で戦う。ちなみに、ここでは大砲、鉄砲

などを使っているのです、二次法則で戦う。

(1)XY と前衛の戦い

$$x^2 - 32^2 = y^2 - 23^2$$

ここで  $y=0$  とすると  $x^2=495$

したがって  $x=22$  となる。

(2)Z と後衛の戦い

$$x^2 - 8^2 = y^2 - 23^2$$

ここで  $x=0$  とすると  $y^2=465$

したがって  $y=21$  となる。つまり後衛は Z をやぶったとき 21 隻残っていることになる。

次に残った XY22 隻と連合軍 21 隻で戦う。

(3)XY と連合軍の戦い

$$x^2 - 22^2 = y^2 - 21^2$$

ここで  $y=0$  とすると  $x^2=33$

したがって  $y=5$  となる。つまりイギリス軍は 5 隻残して連合軍に勝つことができる。

#### 4 身近なものへの応用 (騎馬戦)

例えば 2 つのグループにおいて騎馬戦を行うとする (戦闘能力は等しいとする)

X 軍の戦力数 30 とし、Y 軍の戦力数 34 とする。

このとき X 軍が明らかに不利

X 軍 24 VS Y 軍 17・・・(1)

X 軍 6 VS Y 軍 17・・・(2) というようにわけると

(1) の戦い

戦闘能力を等しいと仮定したため、二次法則より  $x_0^2 - x^2 = y_0^2 - y^2$

Y 軍の戦力数が 0 になるとき、X 軍の戦力数は

$$24^2 - x^2 = 17^2 - 0^2$$

よって  $x = \sqrt{287}$

つまり、X 軍は約 17 残る ( $\sqrt{289} = 17$ )

(2) の戦い

戦闘能力を等しいと仮定したため、二次法則より  $x_0^2 - x^2 = y_0^2 - y^2$

X 軍の戦力数が 0 になるとき、Y 軍の戦力数は

$$6^2 - 0^2 = 17^2 - y^2$$

よって  $y = \sqrt{253}$

つまり、Y 軍は約 16 残る ( $\sqrt{256} = 16$ )

(1)、(2) より残った軍同士が戦うと

戦闘能力を等しいと仮定したため、二次法則より  $x_0^2 - x^2 = y_0^2 - y^2$

Y 軍の戦力数が 0 になるとき、X 軍の戦力数は  $17^2 - x^2 = 16^2 - 0^2$

よって  $x = \sqrt{33} > 0$

したがって、X 軍が残るので勝利する

#### 5 ランチェスターの二次法則についての考察

$$x_0^2 - x^2 = \frac{\alpha}{\beta}(y_0^2 - y^2)$$

$$B(x_0^2 - x^2) = A(y_0^2 - y^2) \cdot \cdot \cdot \textcircled{1}$$

X 軍が全滅したときを想定するので  $x=0$  とすると

$$Bx_0^2 = Ay_0^2 - Ay^2 \quad Ay^2 = Ay_0^2 - Bx_0^2$$

$$y^2 = \frac{Ay_0^2 - Bx_0^2}{A} \cdot \cdot \cdot \textcircled{2} \quad (A > 0, B > 0)$$

$$\text{ここで } Ay_0^2 - Bx_0^2 = (\sqrt{A}y_0 + \sqrt{B}x_0)(\sqrt{A}y_0 - \sqrt{B}x_0)$$

$$\text{ここで } \sqrt{A}y_0 + \sqrt{B}x_0 > 0$$

よって勝敗は  $\sqrt{A}y_0 - \sqrt{B}x_0$  の符号で決まる

$$Y \text{ 軍が勝つならば } \sqrt{A}y_0 > \sqrt{B}x_0$$

$$\text{引き分けるならば } \sqrt{A}y_0 = \sqrt{B}x_0$$

$\sqrt{A}y_0 - \sqrt{B}x_0 < 0$  のときを考えると、 $\textcircled{2}$  が成り立たない

X 軍が勝つときは、 $\textcircled{1}$  において  $y = 0$  とする

$$x^2 = \frac{Bx_0^2 - Ay_0^2}{B}$$

$$\text{ここで } Bx_0^2 - Ay_0^2 = (\sqrt{B}x_0 + \sqrt{A}y_0)(\sqrt{B}x_0 - \sqrt{A}y_0)$$

ここで  $(\sqrt{B}x_0 + \sqrt{A}y_0) > 0$  より、 $(\sqrt{B}x_0 - \sqrt{A}y_0) > 0$  となればよい

## 6 まとめ(結論)

ネルソンタッチ戦法を使えば、少ない人数でも多い人数に勝てる。二次法則においては  $\sqrt{A}y_0$  と  $\sqrt{B}x_0$  の差の大小で勝敗がわかる。

## 7 参考文献

- 1) 河瀬彰宏ウェブサイト <http://blog.a-kawase.net/blog/2013/01/31/lanchester2/> (ブログ更新日は 2013年1月31日)
- 2) 矢田部学, 「戦略の数理ランチェスターの法則」 MSS 技報 vol.18, 2008.
- 3) 大村平, 「今日から使える微積分」, 講談社

# イオンクラフトの推進力向上を目指して

大澤瑞慧 古村翼 佐藤広大 佐藤航 對馬優斗 石川千浩 和田ゆい 伊藤竜也 森瑞希  
宮城県仙台第三高等学校

イオンクラフトの推進力の向上をめざし、銅線の巻き数を変えたときの推進力の変化と機体の形状を変えたときの推進力の変化について研究した。イオンクラフトはバルサ材、銅線、アルミニウム箔、アルミニウム箔テープを用いて作成し、実験は高電圧装置を用いて実験した。実験の際、推進力を電子天秤で量るために、機体を通常とは逆にして実験を行った。銅線の巻き数を変えたとき、巻き数が増えるほど推進力が小さくなり、機体の形状を変えたときは、角数が増えるほど推進力が小さくなった。

## 1 はじめに

イオンクラフトは、機体に高電圧をかけると浮上する機体の総称のことであるが、浮上原理については、いろいろな説があり明確にはわかっていない。そのため、もっとも推進力の得られる機体の条件などがわかっていないため、その条件について明らかにしていこうと思った。先輩方の先行研究では、イオンクラフトの銅線とアルミニウム箔の距離における推進力の変化、アルミニウム箔における推進力の変化に着目し、研究を行った。その結果、アルミ箔と銅線間の距離が65.0mm、アルミ箔の幅が50.0mmで最も推進力が高いことが判明した。私たちは、この先行研究の結果を踏まえて、他の条件として銅線の巻き数による推進力の変化、機体の形状における推進力の変化の2点に着目して研究を行った。

## 2 イオンクラフトの浮上原理

銅線に高電圧をかけると、銅線周辺の空気がイオン化する。発生した陽イオンにマイナス極であるアルミニウム箔がひきつけられ浮上する。またこれと同時に、発生した陽イオンがプラス極である銅線と反発しあい浮上するという事を用いて実験している。ただ、上記に述べたとおり、浮上原理の説は他にもあるが、私たちはこの浮上原理を信じて実験をしている。

## 3 材料と方法

### (1)機体の作成

機体の作成にはアルミニウム箔、バルサ材、銅線、アルミニウム箔テープを使用する。棒状のバルサ材を骨組みとして使いそこにアルミ箔と銅線を巻く。固定にはアルミ箔テープと接着剤を使用する。

### (2)電源

イオンクラフトを浮上させるには非常に高い電圧が必要であり特殊な高電圧装置を使用する。

この高電圧装置では 30kV までの電圧をかけることができる。

### (3)測定方法

推進力の測定にはイオンクラフトや高電圧装置のほかに、小数点第3位まで計測できる電子天秤と、風による推進力への影響をなくすために風よけの段ボールを使用した。電子天秤の上にイオンクラフトを上下逆に設置して電子天秤の値を 0g に設定し、イオンクラフトに 27kV の電圧をかけて計測された値を記録する。この計測を各実験で 10 回ずつ行う。このとき 1 回計測するごとに電子天秤の値を 0g に再度設定する。

## 4 実験方法

### 実験1 銅線の巻き数を変えたときの推進力の変化

イオンクラフトを図1のように組み立て、図2のように配置し、電圧を 27kV として実験する。機体を逆さまに置いているのは推進力を電子天秤で量るためであり、機体と電子天秤の間に木でできた土台を置いたのは、高電圧を銅線にかけるので、それで電子天秤が故障するのを防ぐためである。銅線の巻き数が 1 重、2 重、4 重、8 重のときの推進力を調べ、それぞれを 10 回繰り返し、平均値を求める。

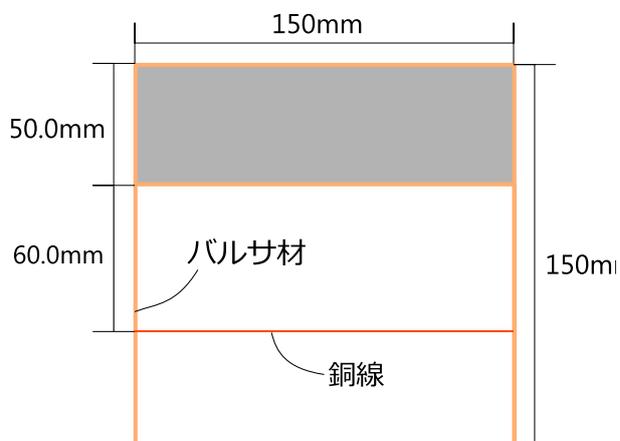


図1 実験1の使用機体



図2 実験1測定方法

### 実験2 機体の形状を変えたときの推進力の変化

機体が正三角形、正四角形、正五角形、正六角形(図3)のときの推進力を調べる。ただし、アルミニウム箔から銅線までの距離を 60.0mm、アルミニウム箔の幅を 50.0mm、電圧を 27.0kV として各辺の長さの和を 24.0mm とする。それぞれの形状ごとに 10 回ずつ繰り返し、平均を求める。

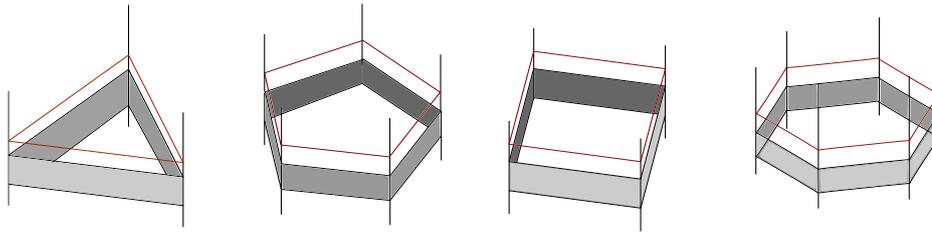


図3 イオンクラフト機体の形状

## 5 結果と考察

### 実験1 銅線の巻き数を変えたときの推進力の変化

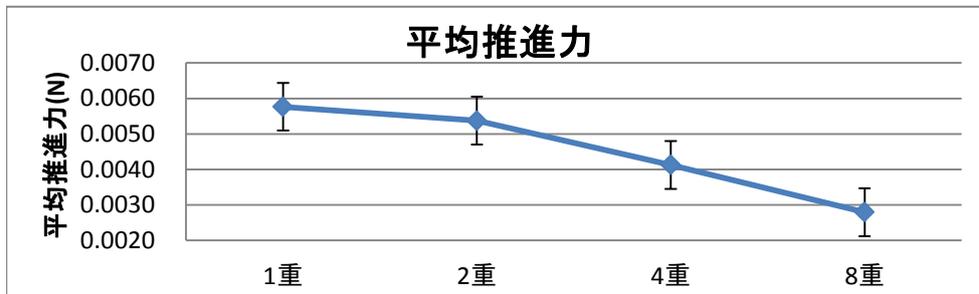


図4 実験1 銅線の巻き数と推進力の関係

図4のグラフより、1回巻きするとき最も高い推進力を示し、巻き数が増えるにつれてだんだん推進力が小さくなった。電極間の電場の非対称性が推進力をうむことから、巻き数が増えると銅線の電場とアルミニウム箔の電場が非対称ではなくなり推進力が小さくなるのではないかと考えた。イオンクラフトは、回路として成立していないので、電流が流れているかわからず、実際に電場が発生しているか確認がなかった。しかし、電流計を用いて電流を測ったところ、銅線には実際に電流が流れていたため、電場は存在していることがわかった。

### 実験2 機体の形状を変えたときの推進力の変化

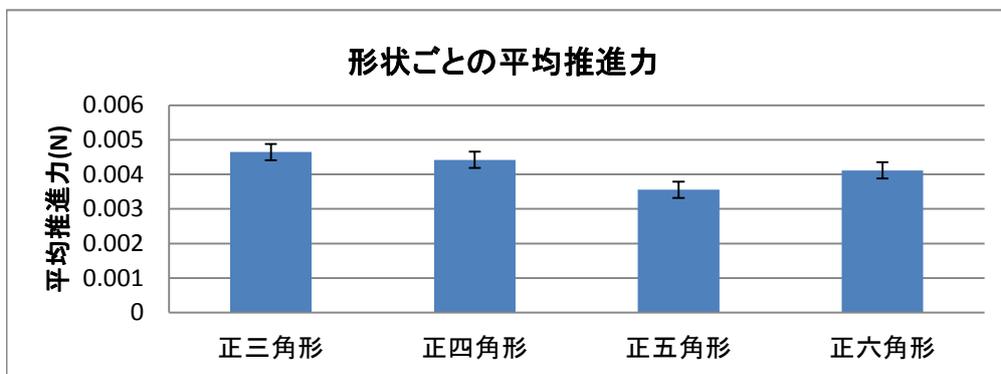


図5 実験2 イオンクラフトの形状変化

図5のグラフから形状の変化による推進力の変化の傾向があまり見られなかった。このことから、イオンクラフトの推進力に影響を与えるのは銅線とアルミニウム箔の長さ、大きさ、巻き数であり、形状は推進力に影響を与えないと考えられる。グラフの誤差は、測定回数が10回と少なく、また、自分たちの手でイオンクラフトを作ったため小さな歪みによる影響、特に五角形は角度が $108^\circ$ と微妙な角度であったため、歪みが大きくなったと考えられる。

## 6 結論

イオンクラフトの推進力はイオンクラフトの形状に関係なく、高電圧をかける部分の大きさ、長さ、巻き数、2つの物体の距離によるということが分かった。先行研究と今研究の結果を踏まえると、アルミニウム箔と銅線の長さは60.0mm、アルミニウム箔の幅の長さは50.0mm、銅線の巻き数は1重巻の条件のとき最も推進力を得られるイオンクラフトであることがわかった。今後は、先ほどの条件のイオンクラフトを作成し、身近にある何か軽いものを浮かせる実験をしていきたい。また、今回の研究は、イオンクラフトの重さを考慮していない実験であるので、機体自体の重さを含めたとき、どのような浮上の仕方をするのか、また、どれだけ浮上するのも含め、研究していきたい。

## 7 参考文献

高電圧プラズマ工学, 林 泉, 丸善出版 (1996 年)

# コイルの形状と発電量の関係

小松龍之介 三瓶遥 今江颯一郎 漆山諒 菊池真広 渡邊竜哉  
宮城県仙台第三高等学校

発電量は、ほとんどが発電機に使用する磁石とコイルの巻き数に左右される。しかし、一般に使用されている発電機に使用されているコイルはそのほとんどが円形である。そこで、発電機にコイルの形状を変えた場合にどのように発電量に変化があるのかを調べた。円形と正三角形、正方形のコイルを比較したところ、円形のコイルの発電量が最も高かった。コイルの一層当たりの巻き数と層数を変化させたところ、巻き数が100で2層の細長いコイルの発電量が最も高かった。

## 1 背景

### (1) 動機

大規模災害による停電は多くの人の暮らしを不自由にする。そこで私たちは自分たちで発電できる発電機を作りたいと考えた。そして、その発電機を高効率にするため、発電機で使うコイルの形状に着目し、発電効率の向上を目指そうと考えた。

### (2) 目的

コイルの巻き数、磁束、断面積を一定にしたまま、コイルの形状と層数を変化させたときの発電量の変化をみる。2つの条件を踏まえ、最も発電量の多いコイルの条件を考える。

## 2 材料と方法

### (1) 発電装置

ネオジウム磁石を貼った板(図1)2枚と、コイルを貼った板(図2)を垂直に並べ、磁石の板を回すことで発電する(図3)電磁誘導の原理を用いた。



図1

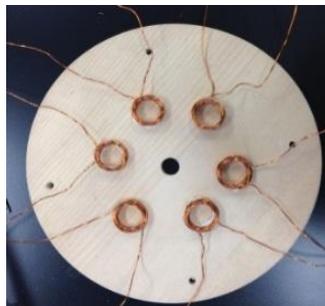


図2

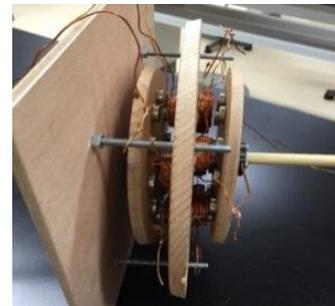


図3

コイルを作成するのに非常に時間がかかるため、形状の違うコイルを1つずつ使用して発電量を調べ、値が高かったものを実際に発電機で使用することにした。

### (2) 実験1 コイルの形状と発電量

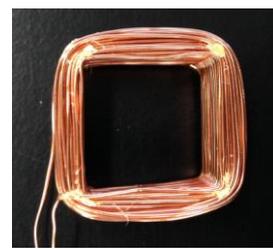
コイルの形状を変化させ、コイルひとつあたりの発電量を計測した。巻き数を200，断面積を $3.8\text{cm}^2$ として，円形・三角形・四角形のコイルを製作した（図4）。コイルから5cm上の高さからネオジウム磁石を，コイルの中心を通過するように落下させ，その時の電流の大きさをテスターを用いて計測した。



円形



正三角形



正方形

図4 円形，正三角形，正方形のコイル

### (3) 実験2 コイルの巻き方と発電量

コイルの一層当たりの巻き数と層数を変化させ，コイルひとつあたりの発電量を計測した。[一層当たりの巻き数 \* 層数]として， $100*2$ ， $50*4$ ， $40*5$ ， $25*8$ ， $20*10$ の5つコイルを作成し，実験装置（図5）を用いてコイルより鉛直距離40cm離れた60度の坂の上からコイルの前方を通過するようにネオジウム磁石を滑らせ，発生する電流の大きさを計測した。

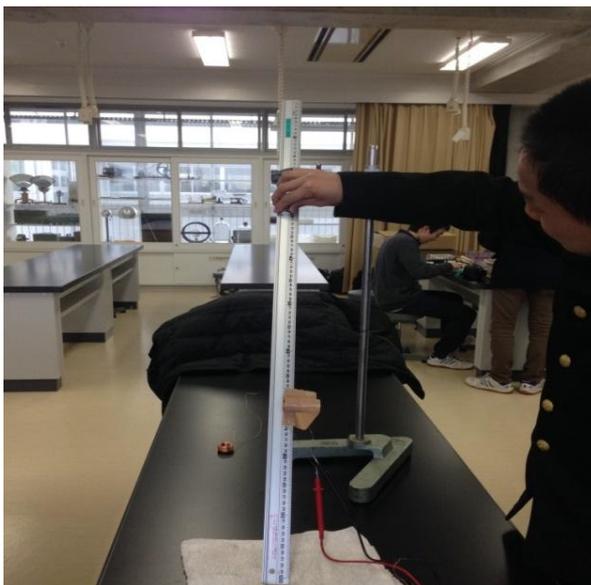


図5 発電量の計測

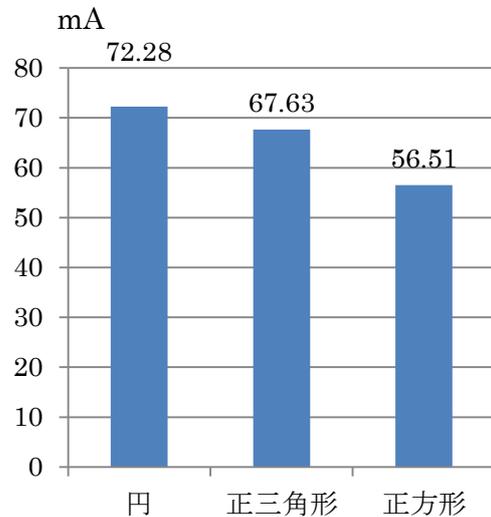
### 3 結果

#### (1) 実験 1 コイルの形状と発電量

円形のコイルの発電量が最高値，平均値とも最も大きかった。また，平均値においては正正方形状の発電量が最も小さくなった（表 1，グラフ 1）。

	円	正三角形	正方形
最高値	290	224	201
最低値	1	1	1

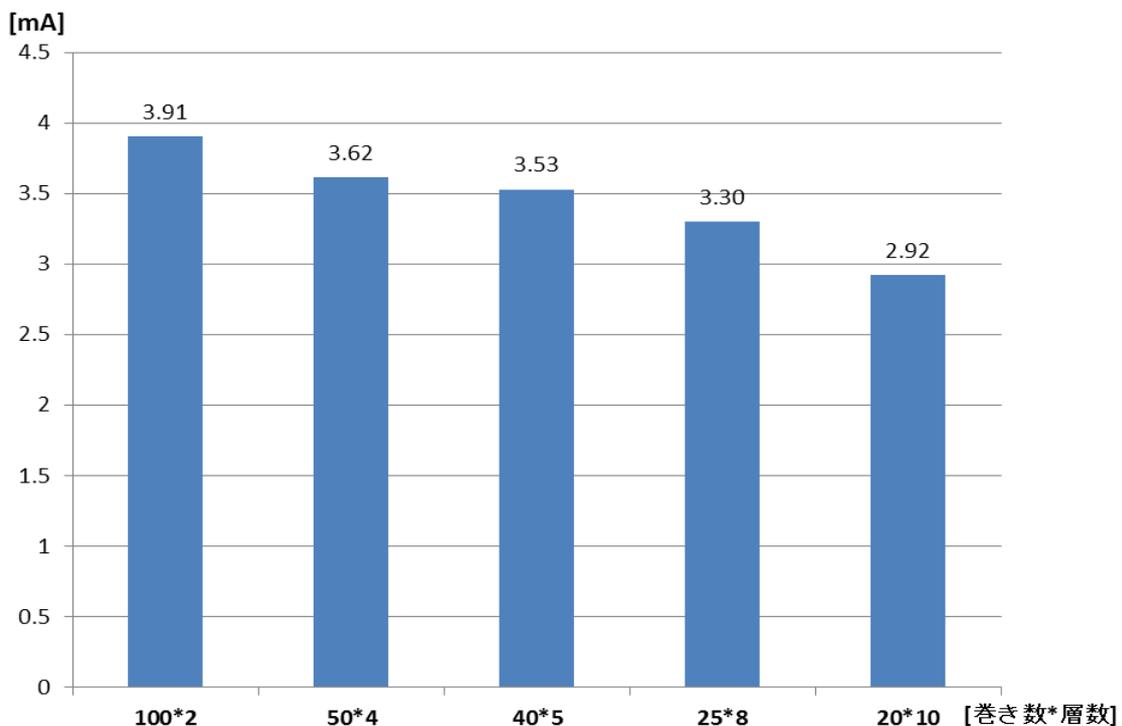
表 1 コイルの形と電流の最高値と最低値(mA)



グラフ I それぞれの形の平均値

#### (2) 実験 2 コイルの巻き方と発電量

実験 2 では，発電量は 100\*2 が最も大きく，20\*10 が最も低い値を示した（グラフ II）。



グラフ II 実験②の各巻き数\*層数の平均値

## 4 考察

### (1) コイルの形状による磁石とコイルの距離

実験 1 でコイルの形状と発電量を測定した結果、正三角形や正方形のコイルと比べて円形コイルの発電量が大きくなった原因は以下のように考えられる。

正方形などの多角形では、磁石からコイルまでの距離は場所によって異なる。例えばコイルの中心から正方形の頂点までの距離と、コイルの中心から隣り合う頂点と頂点の midpoint までの距離は約 1.4 倍の違いが生じる。一方円では、中心から円上の点までの距離はすべて等しい。この差が結果に影響したのではないかと考えた。

### (2) コイルの層数と一層あたりの長さ

実験 2 で巻き数が 100、層数が 2 のコイル (100\*2) の発電量が大きくなった原因は以下のように考えられる。

実験の結果はコイルの長さが長いほど発電量が大きくなった、これは今回使用したネオジム磁石の磁力が強く、100\*2 の端まで磁力が問題なく届いたため、磁石の磁力線の通過時間が長くなったためだと考えられる。逆に 20\*10 のコイルではコイルの磁界を磁石が通過する時間が比較的短くなったことにより、このような微小な差が発生したと考えられる。

## 5 まとめ

実験 1 では、正三角形や正方形のコイルと比べて円形コイルの発電量が最も大きくなった。これは中心と頂点との距離の違いによるものと考えられる。

また、実験 2 では層数が少なく、細長い形のコイルの発電量が大きくなった。これはコイルの端からみた磁石の角速度はコイルが長いほど小さくなるからだと考えられる。

## 6 参考文献

大人の週末工作 自分で作る風力発電, 中村昌広, 総合科学出版(2013)

# スターリングエンジンをつくろう ～製作と効率の向上に向けて～

安達稜詠 松崎巧 宇都木優生 金森智己

宮城県仙台第三高等学校

スターリングエンジンとは、1816年に発明された外燃機関である。特徴は高熱効率性で再生熱交換が可能な点だ。また、熱源を選ばず低騒音、低公害なので安心安全な機関と言える。しかし、得られるエネルギーに対して製作コストが多くかかってしまうため実用化には時間がかかっている。そこで私たちは、スターリングエンジンを製作し、より効率よくエネルギーを生み出す方法を見つけるため研究を始めた。

## 1 はじめに

### ① 背景

#### ・動機

環境に配慮する生活が求められる今、環境にやさしく排熱やバイオ燃料を利用できるスターリングエンジンに興味を持った。

#### ・スターリングエンジンとは

スターリングエンジンは、シリンダー内の空気を外部から加熱・冷却し、その体積の変化により仕事を得る外燃機関である。また、温度変化のみで動かすことができるので船舶で用いるディーゼルエンジンの出したエネルギーを回収する形で現在は実用化されている。

#### ・先行研究

海上技術安全研究所では、1970年ごろからスターリングエンジンの研究が開始された。実験用エンジンから自動車用排熱利用エンジン、家庭用コジェネエンジン、多段式エンジンなどが開発されてきた。2005年からは、船舶用排熱回収システムの開発がおこなわれてきた。現在は電気推進船用排熱回収エンジンの開発が行われている。

### ② 目的

スターリングエンジンの機関の製作し、その機関を用いてシリンダー内部の気体を変えることによって効率向上を目指す。

## 2 材料と方法

### ① シリンダー

四回の実験を行ったが、すべての装置のシリンダーに空き缶を用いた。これは、熱の伝導性に優れていることと気密性に優れているため空き缶を採用した。

### ② 燃料

燃料は鍋を温める際に用いる固形燃料を使用した。

### 実験Ⅰ 空き缶加工ピストン型

ピストンには空き缶を加工し真鍮の棒と接合しようとした。しかし、強く接合することができなかつたため以下のことを試みた。

#### ① はんだ付けによる接合

空き缶内部の酸化被膜によってはんだがくっつかず失敗。酸化被膜をとる特殊なフラックスを用いれば可能。

#### ② 強力接着剤

真鍮とピストンを垂直にくっつけることが難しかったため失敗。  
以上の実験より金属同士の接合は困難であるため断念。



### 実験Ⅱ バルサ材ピストン型

改善点；金属同士の接合が困難であることから、ピストンとクランクシャフトを釣り糸でつなげる方法に変えた。また、ピストンを木材の中でも軽いバルサ材を用いた。

実験では、気密性の面はクリアしシリンダー内部の空気が膨張したところは確認できたが、火力が強すぎたことや冷却の面がうまくいかなかったことから、シリンダー内でバルサ材が炭化してしまい失敗に終わった。



### 実験Ⅲ 磁石ピストン型

改善点；シリンダーを直接熱することから、木製のピストンは適さないと考え磁石に変更した。  
また、クランクシャフトの回転だけでなく磁石の反発力も加えることによって、動きやすくなるのではないかと考えた。

実験では、ピストンの底とシリンダーの内側の底に一つずつ磁石を使い反発させ、ピストン運動を促進させる方法を用いた。

結果：シリンダー(バルサ材)と磁石を接合することができず断念。

また、磁石が重すぎて全体の重量が増加しより多くのエネルギーが必要になってしまった。



### 実験Ⅳ スチールウールピストン型

改善点；磁石型ピストンではピストンの重さが原因と考えられるため、軽量化するためスチールウールを用いた。ピストン内部の摩擦も今までで一番小さかった。

空気の漏れが非常に少なかったが、釣り糸と密閉に用いた風船の摩擦とクランクシャフトと固定部の摩擦が大きすぎたことが原因で動かず、失敗に終わった。

### <各実験に用いたピストンとクランクシャフト>



### 3 まとめと今後の展望

4つのスターリングエンジンの制作を通して、主にピストンの改善を中心に制作してきた。軽量化や素材の改善、様々な問題を考え解決してきたが完成には至らなかった。主な原因として、ピストンだけでなくシャフトの制作精度が低いことと可動部分の摩擦が大きかったことが考えられる。今後は、シャフトの制作精度の向上と可動部分の摩擦の軽減を目標に研究していきたいと思う。

### 4 謝辞

本研究を進めるにあたり海上技術安全研究所の平田宏一先生にたくさんのご助言をいただきました。この場で感謝申し上げます。

### 5 参考文献

- ・山下巖, 濱口和洋, 香川澄, 平田宏一, 百瀬豊, パワー社, 2009年2月
- ・平田宏一, 川田正圀, スターリングエンジンの原理と開発事例, 機械の研究, 第56巻第9号 p 941-949, 2004年9月
- ・平田宏一ほか, 港湾内の環境保全を目指した内航船舶用排熱回収システムの開発, 海上技術安全研究所報告, 第8巻, 第2号, p143-182, 2008年10月
- ・平田宏一, 今井康之, 川田正圀, 赤澤輝行, 坂口諭, スターリングエンジンを用いた排熱回収システムの開発 (第1報 実験用エンジンの設計・試作並びに性能特性), 日本機械学会第10回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, p 97-100 (2006年10月)
- ・平田宏一, 今井康之, 石村恵以子, 川田正圀, 赤澤輝行, 村尾景司, セラミックス製熱交換器評価用スターリングエンジンの開発, 日本機械学会第10回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, p 105-108 (2006年10月)
- ・平田宏一, 岸武行, 川田正圀, スターリングエンジンを用いた排熱回収システムの開発 (第2報 実験用スターリングエンジンのディーゼル排ガス運転), 日本機械学会第11回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, p 5-8 (2008年11月)
- ・平田宏一, 飯田光利, 赤澤輝行, 坂口諭, スターリングエンジンを用いた排熱回収システムの開発 (第3報 実験用エンジンの制御特性並びに実海域フィールド試験), 日本機械学会第11回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, p 9-12 (2008年11月)
- ・平田宏一, 仁木洋一, 川田正圀, 三木啓史, 冷熱利用スターリングエンジンの性能評価, 日本機械学会第12回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, p 49-52 (2009年11月)
- ・平田宏一, 仁木洋一, 市川泰久, 三木啓史, 新型熱交換器を用いた冷熱利用スターリングエンジンの性能評価, 日本機械学会第13回スターリングサイクルシンポジウム講演論文集, p 95-98 (2010年12月)
- ・折原義和, 御法川学, 平田宏一, 仁木洋一, 市川泰久, 低振動形スターリングエンジンの設計試作, 日本機械学会関東学生会第50回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, p 515-516 (2011年3月)

# 環境に優しい発電を目指して ～形状記憶合金を用いた発電～

水上昂紀 菅野太平 高橋丈 平松明秀 米内山陸  
宮城県仙台第三高等学校

世界には多くの発電技術が存在する。今回我々はその中でも環境への被害が少ない形状記憶合金を用いた発電に目を向けた。この発電方法の効率が上がれば、画期的な発電となる。この発電の効率を上げる条件を調べるため温度差を利用し、いろいろな条件下でまかれる糸の長さを比較した。その結果、まかれる糸の長さや温度差には正の相関性があることがわかった。このことから、温度差をより大きくすることができれば発電効率が上がることがわかった。

また、角速度  $\omega = 1/r * \sqrt{2mct/M}$  という関係式から、角速度は回転体の質量と半径に反比例することがわかったから、この数値を変えるなどのさらなる研究が必要である。

## 1 はじめに

### (1)背景

東日本大震災により原子力発電や火力発電の危険性が明らかになった。それゆえに、日本ではそれらの発電に代わる新たな発電方法が求められているといえる。そこで我々は危険性のない形状記憶合金を用いた発電に目を向けた。

### (2)形状記憶合金とは？

そもそも、形状記憶合金とはどういうものかという、ある温度以下で変形させても、ある温度以上に加熱することで元の形状に戻るといった性質をもった特殊な合金である。このことを形状記憶効果という。形状記憶合金の中で最も一般的なのは、Ti と Ni の合金である。

### (3)目的

この研究はいままでも数多く行われてきたが、効率の良い方法はまだはっきりとしていない。ゆえに我々は、この研究で形状記憶合金を用いた発電の効率を高める方法を追及していく。

### (4)社会的なニーズ

温泉や工場の排熱等の使われていない熱を利用し発電を行うことができる。そのため、環境に非常に優しい発電だといえる。

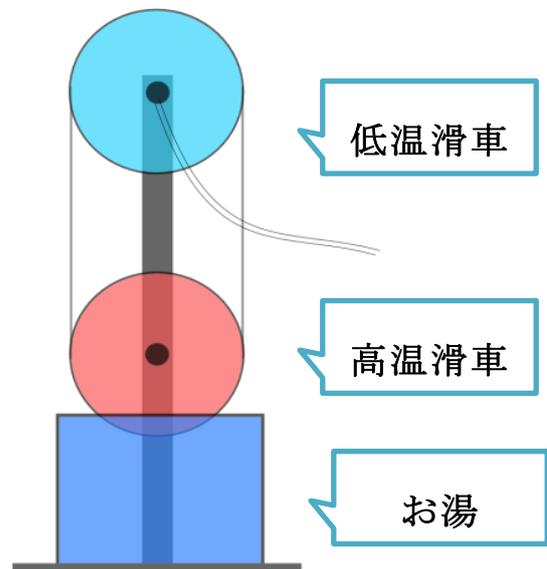


図1 実験装置

## 2 材料と方法

### (1)実験装置

齊藤電気で販売されているマジック風車キットに付属されているリング状の形状記憶合金を、2つの滑車（下の滑車の6分の1程度を高温のお湯に浸すことで温度差をつけ、上の滑車を低温滑車、下の滑車を高温滑車とした）に掛けた（図1）。

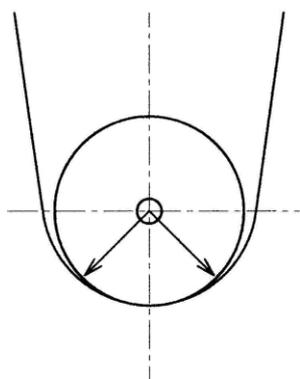


図2 形状記憶合金を滑車に掛けた状態

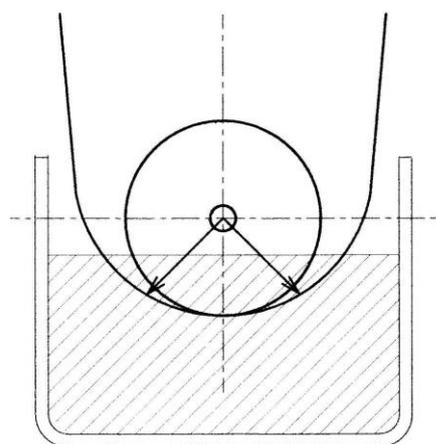


図3 滑車をお湯につけた状態

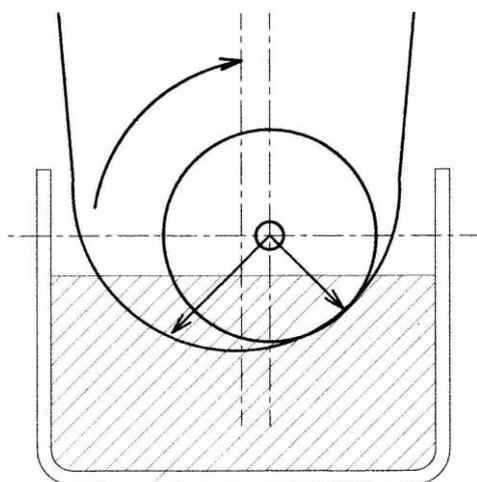


図4 滑車が回った状態

### (2)測定方法

図1の実験装置の低温滑車の軸に目印を付けた紐をつけた。滑車が回った時にこの紐が巻き取られるため、10秒間でまかれた長さをお湯の温度などの条件を変えて測定した。

### (3)原理

形状記憶合金はただ滑車に掛けた状態ではもちろん回らない（図2）。この形状記憶合金が掛かった滑車を高温のお湯につけると、形状記憶合金は直線になるのを記憶している

から、直線になろうとして滑車から離れる。このとき、左右のバランスがとれているからまだ回転はしない（図3）。この状態で滑車を回すと、お湯に入る側とお湯から出る側で、変形する時間差ができて滑車と形状記憶合金の中心点がずれ、その方向に回転力が生じる。形状記憶合金はリング状になっているから回転が継続される（図4）。

### 3 結果と考察

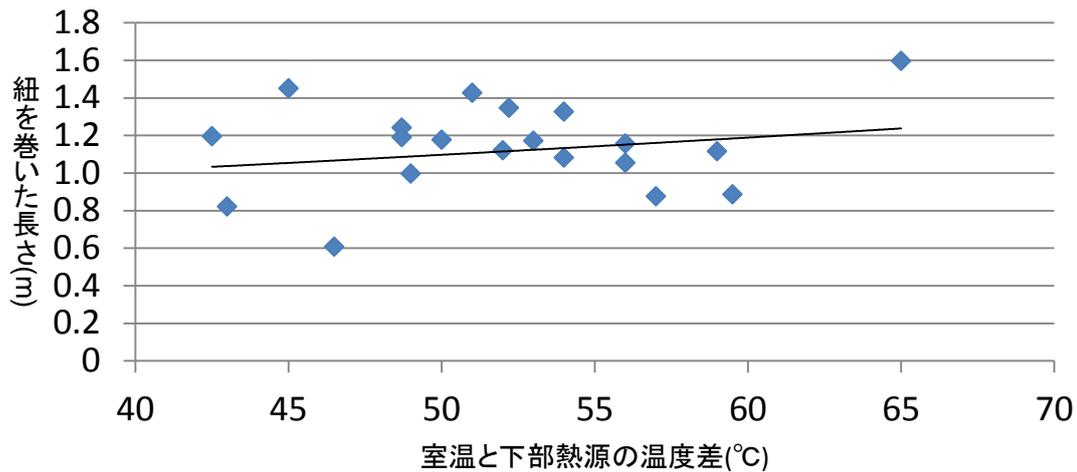


図5 紐の長さと温度差の関係

#### (1) 実験結果

結果としてまかれた紐の長さと温度差の関係には全体的に正の相関性があるといえる。また、今回の実験では、下部の高熱源に水を用いたため下部の熱源の温度が60～90℃の範囲でしか計測を行うことができなかった。そのため、温度差の最小値が40℃前後となっている（図5）。

#### (2) 考察

結果から水温（高温部）と室温（低温部）の温度差が大きくなると、巻かれた紐の長さも大きくなる傾向が見られた。このことから、装置下部の高熱源と上部の低熱源の温度差が大きくなることで滑車の回転効率があがるといえる。

また、我々は今回使用した装置を、熱源の持っている熱エネルギーを形状記憶合金の形状記憶効果によって運動エネルギーへと変換する変換機だと考え、図6のように成り立つのではないかと考えた。

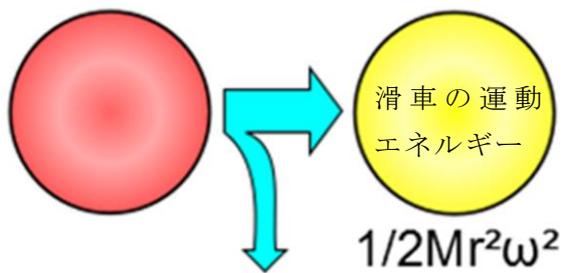


図6 エネルギーの変換



図7 実際の回転の様子

#### 4 まとめ

今回の実験では温度差のみを変えての計測であったから、上記の式より出された他の成分を変えて研究を進めていきたい。また、実際にはかったときのデータの値と計算値の差からエネルギーの減少率などを求め、それを小さくしていく必要がある。

最終目的である発電を行っていくために早急にそれを行う装置を作成することが必要となる。

#### 5 参考文献

形状記憶合金を用いた新発電システムの可能性についての研究

<http://www.daido-it.ac.jp/~satoy/data/h17zenkoku.pdf>

# みそ汁を科学する

岩淵彩 海上恵未 鈴木若奈 千葉麻未 二階堂蒼 堀田弥里

宮城県仙台第三高等学校

私たちが普段食べているみそ汁には、冷めやすいものとそうでないものがあることを私たちは感覚的に知っている。実験 1 では各家庭のみそ汁を具材ごとに測定し、具材の違いによりみそ汁の冷め方にどの程度差があるのかを調べた。実験 2 では具材を入れた液体が一定の温度まで下がるのにかかる時間を測定し、実験 3 では具材を取り出した液体の温度の冷め方を測定した。実験 1 の結果からはなめこが冷めにくいと分かり、実験 2 の結果からは油揚げが冷めにくいと分かった。また、味噌の量はみそ汁の冷め方にほとんど関係がなく、具材を入れた場合でも水のみの方が冷めにくくなる場合もあった。そこからみそ汁の冷め方には特になめこと油揚げが大きく関わっていると考えた。

## 1 はじめに

### (1)背景

私たちが普段食べているみそ汁には様々な種類があるが、私たちが感じる冷めやすさ、冷めにくさにはそれぞれ違いがあるように思う。しかし、具材の違いによって冷め方にどの程度の差がみられるか、大きな差がみられる具材は何であるのかを詳しく調べられた先行研究はまだない。

### (2)目的

それぞれの家庭で食べられているみそ汁のありのままの状態に着目し、具材によるみそ汁の冷め方の違いにみられる傾向を分析し、みそ汁を冷めにくくさせる具材を示す。

## 2 実験

※以降使用する具材については仙台三高二年生の理数科 80 名に行った好きなみそ汁の具材アンケートの上位 4 つから、油揚げ、とうふ、なめこ、わかめとする。

実験 1 ～各家庭で測った具材の違いによる温度変化～

### <材料と方法>

班員全員が各家庭で普段使っている味噌を用いて味噌のみが入ったみそ汁をつくる。それに適量の具材を 1 種類ずつ入れ、80 度以上に熱してそれぞれが使っているお椀に入れる。温度計を用いて 80 度から 30 秒ごとに温度を手測りで記録し、600 秒間のみそ汁の冷め方をみる。結果を具材ごとに平均し、具材による傾向の違いを比較する。

### <結果と考察>

図 1 より、最終的になめこの温度の下がり方が他よりも比較的小さく、次にとうふ、油揚げ、わかめの順で温度の下がり方が小さいことが分かった。

各家庭、容器、みその種類、濃さ、時間帯、気温など、それぞれの条件で測ったが、どの家庭もこの具材の順に冷めにくかったことより、家庭で普段食べているみそ汁はなめこのみそ汁が冷めにくく、わかめのみそ汁は冷めにくいのだと考えた。

## 実験 2 ～入れる具材と量の違いによる温度変化の差異～

### <材料と方法>

とうふ、なめこ、わかめ、油揚げを各 1g,3g,5g ずつ量り取り、それぞれを 100ml ビーカーの中の 50g の水に入れて 80℃まで熱した。火を消した後、ちょうど 80℃になった時点から 60℃に下がるまでの時間を計測する。

### <結果と考察>

図 2 より、どの具材も量が増えるほど冷めにくくなっている。これより、具材の量が多いものほど冷めにくいといえる。

また、油揚げはほかの具材よりも突出して冷めにくかった。これは、油揚げ自体、もしくは油揚げから出た油が液体表面を覆う状態となり、極端に冷めにくい状況をつくったためだと考える。油揚げ以外の具材でははっきりとした差が見られなかったが、それは 1g,3g,5g と普段食べている大きさよりもはるかに小さい具材を用いて実験したため、具材それぞれの特徴が出にくくなったからだと考える。

## 実験 3

### <材料と方法>

なめこ、油揚げを煮出してから具材だけを取り除き、なめこ汁と油揚げ汁をつくる。それらにみそを加えたものと、味噌のみを溶かしたものを、水をそれぞれ 300ml だけビーカーに入れて熱する。ビーカーを四脚からおろし、80 度になってから 600 秒間の変化を 30 秒刻みで計測する。

### <結果と考察>

図 3 よりなめこ、水、みそ、油揚げの順に温度の下がり方が小さかった。なめこが冷めにくい結果となったのは、なめこ自体が持つぬめりが影響したためだと考えられる。

また、予想ではなめこ、油揚げ、味噌、水の順番で冷めにくいだろうと考えていたが、予想と反する結果となった。これは、水の比熱が高いことや、みその細かい破片や油揚げの油などといった不純物が影響しているのではないかと思われる。

## 実験 4

### <材料と方法>

なめこを水で煮出してからなめこのみを取り出し、0ml,50ml,100ml,150ml ずつ量り取った後に、水を加えてすべて 150ml にする。これを再び熱し、80℃から 600 秒間の温度変化を記録する。

### <結果と考察>

図 4 より、なめこの汁の量が 100ml,150ml,50ml,0ml の順に 80℃からの温度が下がりにくいが、あまり大きな差は見られない。

0ml が一番冷めやすかったことから、水だけよりも、なめこ汁が入っていた方が冷めにくくなると言える。しかし、150ml よりも 100ml が冷めにくかったため、なめこ汁の量と冷めにくさの間に比例関係があるわけではないと思われる。

#### 4 まとめ（結論）

私たちの実験の目的は、先行研究がない「みそ汁の具材の違いによる冷め方の違い」を、ありのままの状態ですることである。実験1と実験3においてなめこは冷めにくいという傾向が見られた。実験2の結果において油揚げが冷めにくかったのは、実験3の結果から考えると、浮遊する油ではなく、油揚げ自体が表面にふたをしたためだと考えられる。よって、なめこのようなぬめりを持つ具材や、油揚げのようにみそ汁の表面を覆う具材が入ったみそ汁が冷めにくいと言えるのではないだろうか。

実験に用いる具材の種類を増やし、なめこや油揚げの他にも冷めにくい具材があるかを調べることや、みそ汁に入れる具材の量を変化させることで、それぞれの具材の冷め方がどう変わるのかを調べることが今後の展望である。

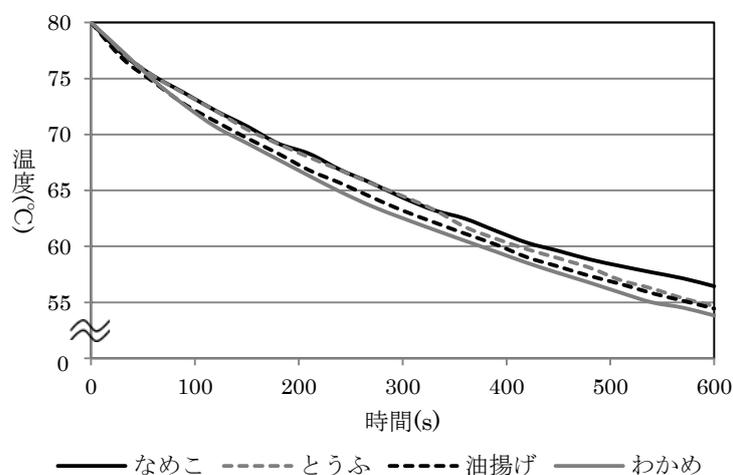


図1 各家庭のみそ汁の冷め方（平均）

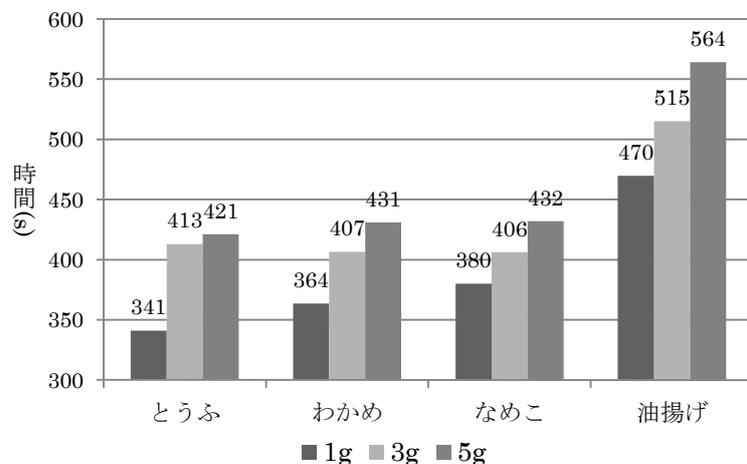


図2 温度が80°Cから60°Cまで下がるのにかった時間

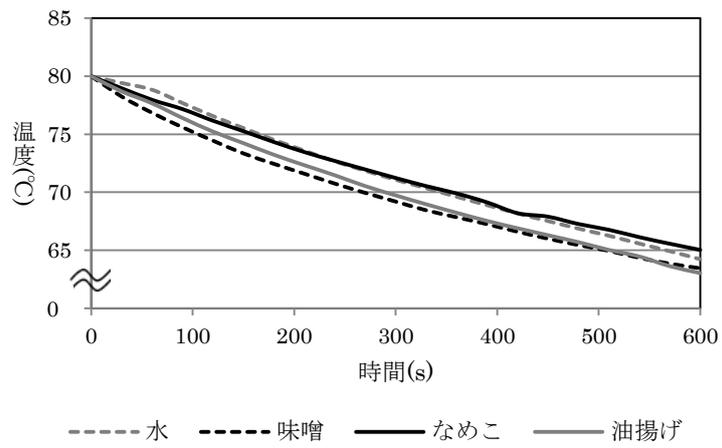


図 3 80°Cからの液体の温度の下がり方

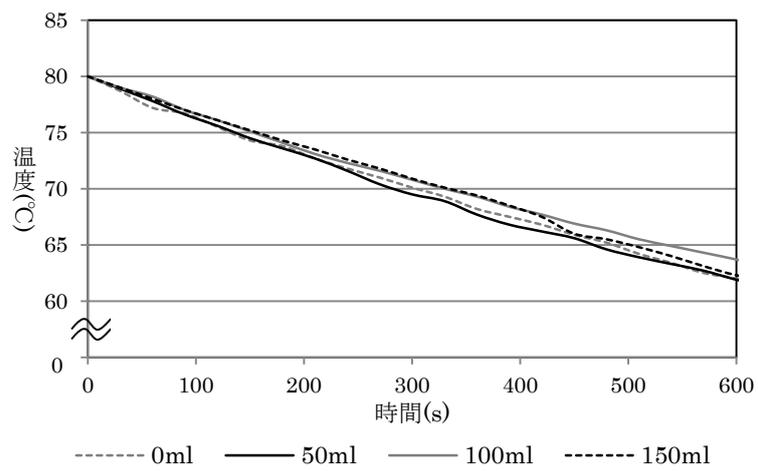


図 4 なめこの汁の 80°Cからの温度の下がり方

# 炎色反応

宇和野悠真 樋口叡人 村田健太 木村恭輔

宮城県仙台第三高等学校

炎色反応とは、アルカリ金属やアルカリ土類金属などの化合物を炎の中に入れてときに、それぞれが特有の色の反応を示すことである。化合物が熱を与えられると外殻の電子が励起状態となり、その電子が内殻に戻るときにエネルギーが放出される。このエネルギーは原子の種類によって赤外線や紫外線、そして特定の原子からは可視光として現れる。これは主に花火やろうそくの発色に利用され、燃やす素材に金属を混ぜ込むことで炎に着色している。化学の教科書には、この反応が現れる元素や炎の色について載っているが、どのような条件下で反応を起こしたのかは記されていない。そこで私たちは、水溶液の濃度を変化させたときの炎の出方を調べ、それとともに中間色を合成することを目的として研究を行った。

## 1 はじめに

### (1)背景

・炎色反応では、リチウムを燃やしたとき赤色、ナトリウムを燃やしたとき黄色、銅を燃やしたとき緑色、ホウ酸を燃やしたとき緑色など、物質によって決まった色を示す。また、一般的に火力を上げると炎の輝きが増すことが知られている。

一部の物質では、反応を見るために一定以上の温度の炎が必要である。

### (2)目的

水溶液の濃度と炎色反応の炎の色・発色の強さの関係を調べ、その結果を用いて二種類の化合物の配合比率を調整することで中間色の合成を試み、炎色反応の色を意図的に操作できる方法を探す。

## 2 実験と結果・考察

### 実験 1

水溶液の濃度を変化させ、炎の色と強さに違いがでるかどうかが調べる。

#### 実験 1-(1)

時計皿にメタノール(燃料 炎の色が透明であり、炎色反応に影響しないと考えた)2 ml と塩化リチウム水溶液、塩化ナトリウム水溶液(濃度を変える時は精製水を加える)をそれぞれ 1 ml ずつ入れてガラス棒でかき混ぜ、光を遮ったところで引火する。

この時、炎の反応は目視で確認する。

水溶液は飽和水溶液、飽和水溶液の二倍希釈、十倍希釈で実験をする。

濃度が高くなるにつれて、炎の色が強くなると予想した。

### 実験 1-(1) 結果

塩化ナトリウムは濃度が高くなるにつれて、炎の色が強くなり、光度が増した。

塩化リチウムは濃度による炎の違いが見られなかった。

飽和水溶液の十倍希釈の塩化リチウムは炎が消える直前にパチパチと音を立てて反応した。

また炎が一定の反応を示さずゆらゆらと揺れ、斑(まだら)に反応が起こった。

### 実験 1-(1) 考察

先行実験のガスバーナーの時よりも色が薄かったため、塩化リチウムがうまく反応しなかったのは火力不足によるものだと考えた。(メタノールの燃焼温度は約 1000 度、ガスバーナーは約 1600 度)

塩化ナトリウムはメタノールの火力でも十分に反応するが、塩化リチウムを十分に反応させるにはメタノールよりも火力の強い炎が必要であると考えた。



↑ 図 1 右から、塩化ナトリウムの飽和水溶液、飽和水溶液の二倍希釈、飽和水溶液の十倍希釈 (カーテンを閉め、段ボールの光除けの中で撮影した)

	飽和水溶液	二倍希釈	十倍希釈
塩化リチウム	見えた	見えた	やや見えた
塩化ナトリウム	よく見えた	見えた	見えた

表 1 実験 1 の目視の結果

### 〈 実験 1-(2) 〉 ガスバーナーを用いた実験

火力不足の改善のためガスバーナー(1600℃)を用いる。反応時間を延ばすため噴射機に水溶液を入れ、炎に吹き付けて反応させる(図 2)。水溶液は(1)と同様、塩化リチウムと塩化ナトリウムの飽和水溶液、二倍希釈水溶液、十倍希釈水溶液を用いる。(炎と噴射器の距離は約 10cm にし、高さ、角度一定)



図 2 噴射器を用いた塩化ナトリウムの実験

〈(2) 結果〉

塩化リチウム、塩化ナトリウムともに、濃度を高くするに従って炎の光の輝きが増した。

表 2 質量%濃度別塩化ナトリウム・塩化リチウムの炎色反応

	飽和水溶液	二倍希釈水溶液	十倍希釈水溶液
塩化ナトリウム NaCl			
塩化リチウム LiCl			

表 3 結果まとめ

	飽和水溶液	二倍希釈	十倍希釈
塩化ナトリウム	すごくよく見えた	よく見えた	見えた
塩化リチウム	すごくよく見えた	よく見えた	見えた

〈(2) 考察〉

水溶液の濃度と炎の色の強さは関係がある。

濃度が濃くなるにつれ炎の色は強くなる。

塩化リチウムが反応するにはある程度の火力が必要。

実験 2

塩化リチウムと塩化銅を用いて中間色を作成する。塩化リチウムは赤、塩化銅は緑の炎色反応を示す。光の三原色の関係から、赤と緑の中間色の黄色を発生させることができると考え、二つの飽和水溶液の混ぜる比率がどのときに発生するのかを調べる。

実験 2 結果

表 4 実験 2 の炎の色の結果

塩化リチウムと 塩化銅の比率	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	5 : 1
発生した炎の色 の結果	緑が強く 発色	緑が強く 発色	緑のほうが 強く発色	緑と赤が同 じ量発色	赤のほうが 強く発色



図3 塩化リチウムと塩化銅の比が4:1

どの割合においても、炎が黄色に近づかず白色に近づいたように確認できた。塩化リチウムと塩化銅の比が4:1のときに、赤と緑の発色量が同じくらいであった。

## 実験2 考察

白色が確認できたのは、光の三原色の関係から炎の光になんらかの青の成分が加わったことが原因である。青の成分は、二つの化合物のうちのどちらかの炎色反応が純粋な赤や緑ではなく、青の炎色反応の要素が炎の色見え方に影響するほど含まれていたからであると考察した。ガスバーナーそのものの青色は、実験1から色に影響を及ぼすとは考えられない。よって塩化リチウムと塩化銅で中間色の黄色を作成することは困難であり、混合する化合物を再検討する必要がある。

## 4 参考文献

- ・東京書籍「化学基礎」
- ・数研出版「化学図録」

# ファットブルームの発生条件の解明

清水悠真 福田圭 本郷謙 笹木俊希 佐藤駿平  
宮城県仙台第三高等学校

チョコレートの表面が乱れることをブルーム現象と言う。中でもチョコレート内の油脂に起因するブルーム現象をファットブルームと言う。ファットブルームの発生にはチョコレートが溶け、再度冷え固まる過程で時間がかかると起こりやすいことが経験的に知られている。本研究では、ファットブルームが発生する際の詳細な条件を解明することを目的として実験を行っている。本実験では、チョコレートを融解させるための加熱時間や温度、冷却時間について検討し、ファットブルームの発生する様子を観察した。

## 1 序論

ファットブルームは油脂の結晶が変化することで発生し、チョコレートの表面が図1のように白に近い色になることや白い斑模様になる。結晶が変化する条件によって表1のように高温ブルーム、低温ブルーム、油脂移行性ブルームの3種類に分けられる。

表1 ファットブルームの種類と特徴

種類	結晶が変化する原因	発生しやすい場所
高温ブルーム	チョコレート内の油脂が一度溶けること	手作りチョコレート
低温ブルーム	緩やかな温度変化を繰り返すこと	長期間保存したチョコレート
油脂移行性ブルーム	チョコレートが他の物体と触れているとき お互いの油脂の性質や割合が異なること	チョコレートコーティング (例：ポッキー)

今回の研究では高温ブルームを対象として実験を行った。先行研究が少ないため、ファットブルームが発生するときの温度や時間など明確な条件についてはあまり知られていない。そのため、本研究ではファットブルームが発生する明確な発生条件を解明することを目標として実験を行った。



図1 実際に発生させたファットブルーム

## 2 材料と方法

### I チョコレートの選定

この実験を行うにあたって正確なデータを得るために実験に使用するチョコレートの選定を行った。その条件として大きく2つを設けた。

1つは砂糖がほとんど含まれていないチョコレートであることである。チョコレートにはファットブルームの他にシュガーブルームという現象が発生することがある。シュガーブルームとはブルームの一種で、ファットブルームは油脂によってチョコレートの表面が乱れる現象に対して、シュガーブルームは砂糖によって表面が乱れる現象のことを指す。これを見分けることは難しいため、その防ぐことが必要であった。

もう1つは実験を正確に行うために質量が一定である個包装であることである。

以上の条件よりファットブルームの検証実験で使用するチョコレートは一般的なミルクチョコレート等ではなく”明治チョコレート効果カカオ95%”を使用した。

## II 加熱方法

加熱方法として電子レンジと恒温器による湯煎について検討した。それぞれチョコレートが溶けるまで加熱し、その再現性の高さや観察のしやすさについて検討した。

結果は電子レンジで加熱した場合、数秒の違いによってチョコレートに焦げが発生するなど再現性が著しく低いことが分かった。一方、恒温器を用いた湯煎では一定の温度でチョコレートを溶かすことができた。この結果よりチョコレートの加熱には再現性のより高い恒温器による湯煎を用いることにした。

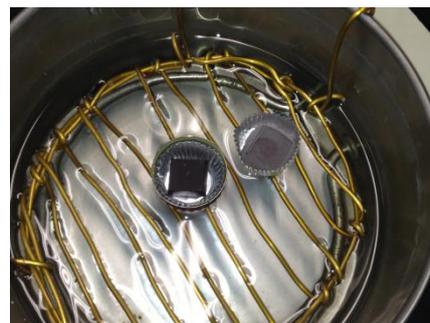


図2 実験の様子(例)

## III 冷却方法

冷却方法は冷蔵庫の中およびは室温について検討した。冷蔵庫で急激に冷却したのものにはファットブルームの発生は認められなかった。一方、室温で冷却したところファットブルームが発生していたため本実験では室温で冷却することにした。

## IV 油脂の抽出

実験で発生させるブルームがシュガーブルームではなくファットブルームであることを確認するために、ヘキサンを使用した油脂の抽出実験を行った。この実験では発生したブルームとブルームが発生していないチョコレートから油脂を抽出し、その量を比較した。

### 抽出実験の方法

チョコレートの表面に発生したブルームを削り取った。またブルームが発生していないチョコレートも同様に、表面を同量だけ削り取った。次に削り取ったチョコレートやブルームをヘキサンに溶かした。それらをヘキサンとそれに溶けている油脂のみを取り出すためにろ過し、そこに純水を加えた。最後にヘキサンを気化させ、この時の水面の様子を観察した。

### 抽出実験の結果

ヘキサンに油脂が含まれていた場合、水面に油脂を確認できる。実験結果は右の図3、図4の通りである。図3のようにファットブルームが発生していないチョコレートにも油脂が含まれているため、水面に薄い油脂の膜ができた。

しかし、図4のようにブルームが発生したチョコレートは図3に比べ大量の油脂を確認できた。これによりチョコレートの表面で発生したものには、ブルームが発生していないチョコレートに比べ明らかに多くの割合で油脂が含まれていることが分かった。よってこのブルームはファットブルームであることが確認できた。



図3 チョコレートから抽出した油脂



図4 ファットブルームから抽出した油脂

### 3 実験と結果

#### (1) 実験

加熱時間、温度とファットブルームの発生の関係について

ファットブルームが発生するときの融解する温度や加熱時間の条件を調べた。

チョコレートをアルミカップに入れ恒温器の水温を加熱終了まで一定の温度を保ち続けた。また、加熱時間は5分間隔で5分から20分まで加熱しそれぞれ40℃、50℃、60℃での結果を表2にまとめた。

表2 加熱温度と時間によるファットブルームの現れ方

	5分	10分	15分	20分
40℃	□	×	△	○
50℃	×	○	○	◎
60℃	○	○	◎	◎

□：チョコレートが十分に融解せず  
×：融解したが表面に変化なし  
○：ファットブルームが見られた  
◎：激しくファットブルームが見られた

また、実際に50℃で行った実験の結果は以下図5のとおりである。



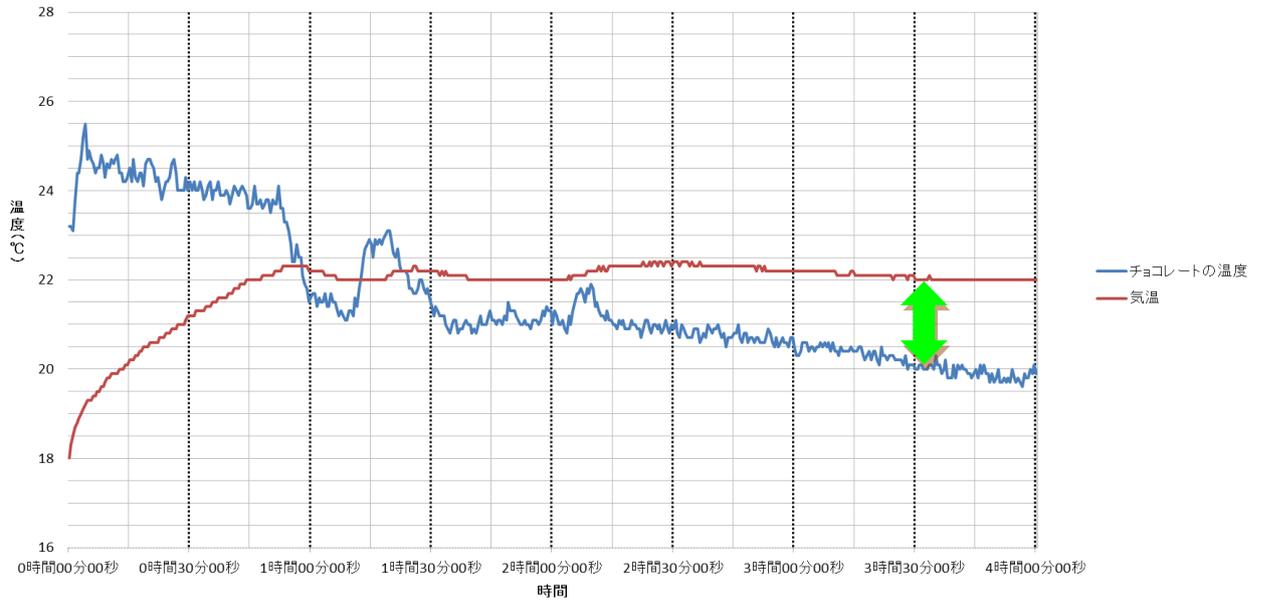
図5 50度で行った実験、左から5分、10分、15分、20分

図5のように時間が経過するごとに表面の色の変化や荒れ具合が大きくなっていることが確認出来る。

#### (2) 観察

チョコレートが冷えてファットブルームが発生する過程や温度変化を測定するために、加熱後に easy sense(ナリカ)を用いてチョコレートの温度と気温を同時に測定した。また、同時にその様子を Recolor によってチョコレートの表面の様子を30秒に1回撮影し映像として記録した。そして easy sense で得られたデータを Recolor の映像と対応させファットブルームが発生する条件を検討した。そして観察結果をグラフにした。

## チョコレートの温度と気温の関係



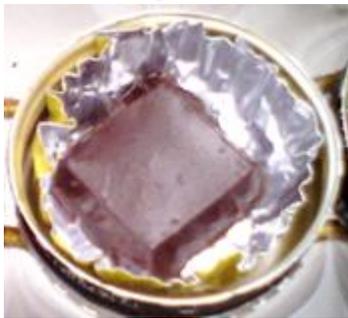
①

②

③

④

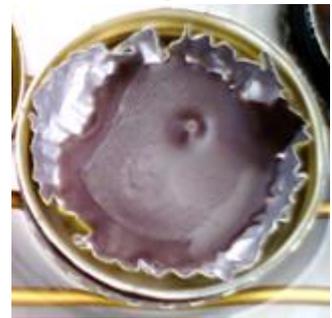
⑤



開始時



1 時間後



2 時間後



3 時間後



3 時間 3 0 分後

上の①から⑤の図は各時間におけるチョコレートの表面の様子を表している。①は冷却開始時の様子でチョコレートの表面に変化は無かった。1時間後と2時間後では①と②のようにチョコレートが溶けていたためにチョコレートの形状に変化があったものの表面が白くなるなどの変化は確認できなかった。3時間が経過した④のあたりからチョコレートの縁が白くなった。そして冷却開始から3時間30分後に一気にチョコレートの表面が白くなり⑤のようになった。

この観察では気温とチョコレートの温度の差が約2℃となった加熱終了から3時間30分後にファットブルームが観察できた。この時以降、気温とチョコレートの温度差が大きく変化することは無かった。これより冷却開始時から3時間30分後にチョコレートが冷え切り、それと同時にファットブルームが発生したと考えられる。また同様の実験を複数回行ったところこの冷え切るまでの時間が短くなるほどファットブルームが発生しにくくなることも見ることができた。

## 5 考察

実験結果より、チョコレートを誘拐するときの温度が高く、かつ加熱する時間が長いほうがファットブルームを形成しやすくなることが分かった。また、冷却するときは時間をかけてゆっくりと冷却した時にファットブルームが形成され、冷蔵庫で急冷した際には見られなかった。

その理由として、かつ加熱温度が高く、かつ加熱する時間が長い場合、チョコレートに与えられる熱量が大きくチョコレートを構成する分子の熱運動が大きくなることが推察できる。さらに、チョコレートに準安定状態で存在していた油脂や砂糖などが個々の凝固点や密度、分子間の相互作用などの性質の違いにより、ゆっくり冷え固まる際に単一の結晶を形成しやすく十分に肥大して表面に結晶を確認することが出来たと予想された。また、加熱したことで油脂の結晶構造自体が変化した可能性も考えられた。

今後の展望としては、どれくらいの冷却時間でファットブルームが発生するのか、また湿度との具体的な関係があるのかを調べていきたい。

## 6 参考文献

脂質の機能性と構造・物性

佐藤清隆・上野聡 著 発行元：丸善出版(株)

## 7 謝辞

ファットブルームと油脂の結晶について教えていただいた日清オイリオ中央研究所の方々に感謝申し上げます。

# 松島湾産アマモの遺伝的解析 ～震災で減少したアマモ場回復を目指した移植に向けて～

秦大貴 村上周明 渡邊浩文 高田帆夏 新田真弓  
宮城県仙台第三高等学校

アマモは群生して「アマモ場」を形成し、海洋生物の棲みかや産卵場所となり、海洋生態系の中で重要な役割を果たしている。東日本大震災の津波によって失われた松島湾のアマモ場を回復させるために移植が検討されているが、地域個体群の遺伝的特性を考慮して移植が議論されなければならない。本研究では、松島湾のアマモを複数個体採取し、マイクロサテライト配列に着目した遺伝的解析の可能性を検討した。松島海浜公園のアマモについて、マイクロサテライト配列を含む 100bp 程度の PCR 増幅産物を確認することができた。3 個体から確認された反復回数は 14, 20, 21, 25, 26 の 5 種類で、ホモ接合と考えられる個体は 1 個体であった。今回着目したマイクロサテライト配列によって、松島湾の他の場所および宮城県沿岸の地域個体群について、遺伝的解析ができると考えられる。

## 1 はじめに

アマモ(*Zostera marina*)は海中に植生していて、胞子で仲間を増やす藻類ではなく、種子で増える種子植物である。アマモは 60 種類程度存在し、群生して「アマモ場」と呼ばれる群落を作る。アマモ場は魚介類の産卵の好適環境を作ったり、稚魚やエビなどの棲みかとなったり、光合成で窒素やリンを栄養分として吸収するため、赤潮の発生を防止すると言われている<sup>[1]</sup>。これらのことから、アマモは海洋生態系の中で重要な役割を果たしていて、「海のゆりかご」とも呼ばれている。しかし、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の津波によって、三陸沿岸のアマモ場が流出してしまった。松島湾で見ると、震災前の 2009 年 11 月 12 日の調査時には 380ha 存在した藻場(アマモ、アカモク、ガラモ)が、震災後の 2011 年 5 月 25 日の調査時には、約 1/3 の 127ha にまで減少していたことが判明した(図 1)<sup>[2]</sup>。

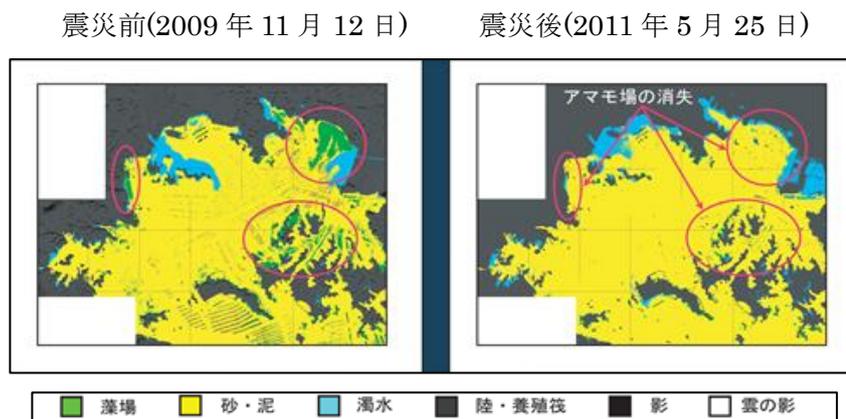


図 1 松島湾の震災前後比較 震災前後で藻場の減少が確認できる。

よって、今後移植活動が活発になることが予想される。しかし、最近の研究によって、日本沿岸のアマモは遺伝的に多様性であることが判明された。遺伝的多様性とは、同じ種内でも持っている遺伝子に差異性があり、多様であることを示す、生物多様性の概念を構成する要素の 1 つで

ある。水産庁漁港漁場整備部計画課の先行研究<sup>[3]</sup>によると、「無計画的な移植によって、全く別の遺伝的特性を持ったアマモの移植が行われれば、アマモの遺伝的多様性や地域固有性失われることが懸念されている。仮に、アマモ類の遺伝的な差が明確でないままアマモ場造成が推進されれば、アマモ類の遺伝的多様性と地域固有性が低下する恐れがある。」ということが分かった。

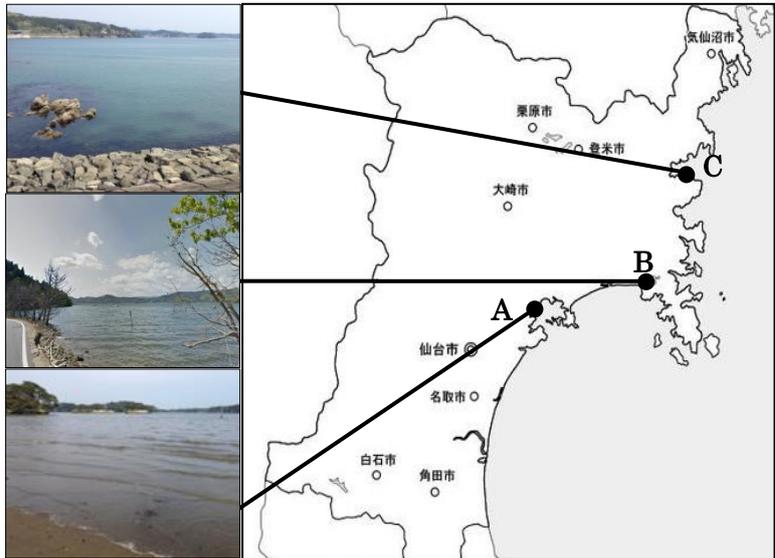
しかし、まだ宮城県沿岸のアマモの遺伝子情報が判明していない。宮城県沿岸のアマモの遺伝的多様性については、震災後でも、海流などによって他の地域から漂流したアマモが、漂着したその地域で定着し群生していると考えられる。つまり、閉鎖的な環境にあるわけではなく、他の地域との交流があると考えられるので、遺伝的多様性があると予測した。

そこで我々は、宮城県沿岸の数箇所からアマモを複数個体採取して、島袋らの方法<sup>[4]</sup>により、DNAを抽出しPCR法で増幅した。DNA解析サービスを使用して、PCR増幅産物の塩基配列を決定した。そうして、宮城県沿岸のアマモ間の遺伝的距離を決定した。今回は縦列型反復配列(Short Tandem Repeat)を個体の識別に使用した。反復配列とは、数塩基の単位配列の繰り返しからなるDNA領域のことである。反復回数は個体によって多様であるので、個体識別などにも利用されている。今回我々は縦列型反復配列のこの特性を生かして、アマモの個体識別を行った。

## 2 材料と方法

### (1) 採取と DNA の抽出

今回は宮城県松島町松島海浜公園、南三陸町戸倉、万石浦大浜に打ち上げられたアマモを株ごと採取した(図 2)。同じ個体から複数のサンプルを採取しないように、1株から1枚の新芽を採取した。細かくした新芽をドライアイスで冷却し、乳棒と乳鉢で粉状に粉砕した。キアゲン社の DNeasy Plant Mini Kit を用いて DNA を抽出した。



### (2) DNA の増幅と塩基配列の決定

抽出した DNA を PCR 法で増幅させる。今回の増幅に用いられたプライマーは、島袋らの先行研究で使用された 7 つのマ

図 2 採取地 A:松島海浜公園 B:万石浦大浜 C:南三陸町戸倉

イクロサテライトマーカーの内、フォワードプライマー(以下 FP)として CT-17Hf (5'-TCTTTACCAACCGATCTCCG-3')、リバースプライマー(以下 RP)として CT-17Hr (5'-AAACACAAGCAAAACAGTTAGTCAG-3')を使用した(図 4)<sup>[4]</sup>。電気泳動を行い、DNA 増幅産物が確認できたら、ImageJ というソフトウェアを用いて、電気泳動ゲル写真のバンドの濃度測定を行った。ファスマック社の DNA 解析サービスを利用し、PCR 増幅産物の塩基配列を決定した。マイクロサテライトマーカープライマーとは、個体識別などにも利用されている数塩基が繰り返される DNA 領域のことである。繰り返しの回数に個体差が大きいことが知られていて、7 ヶ所を比較するによって、それぞれの遺伝

的距離を調べることができる。

### 3 結果と考察

PCR 増幅産物の塩基配列の解析波形から、CT の繰り返し配列の回数を推定した。No. 1 の個体は 21 回と 26 回のヘテロ接合体であると考えられる (図 3)。No. 2 の個体は 20 回のホモ接合体であると考えられる (図 4)。No. 5 の個体は 14 回と 25 回のヘテロ接合体であると考えられる (図 5)。

No. 1      21    26

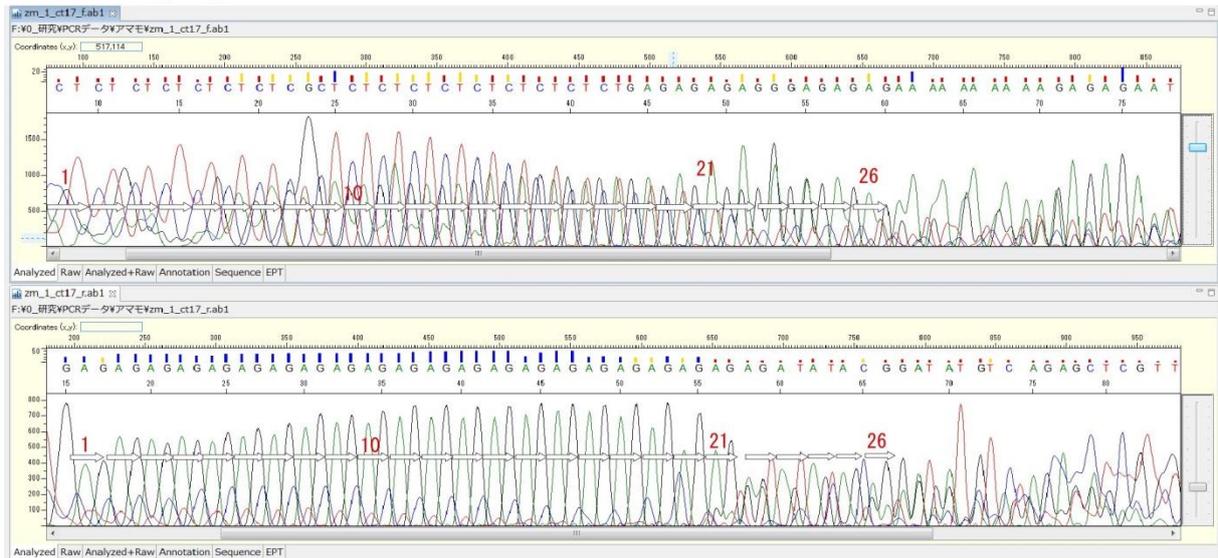


図 3 個体 No. 1 の PCR 増幅産物

No. 2      20    20

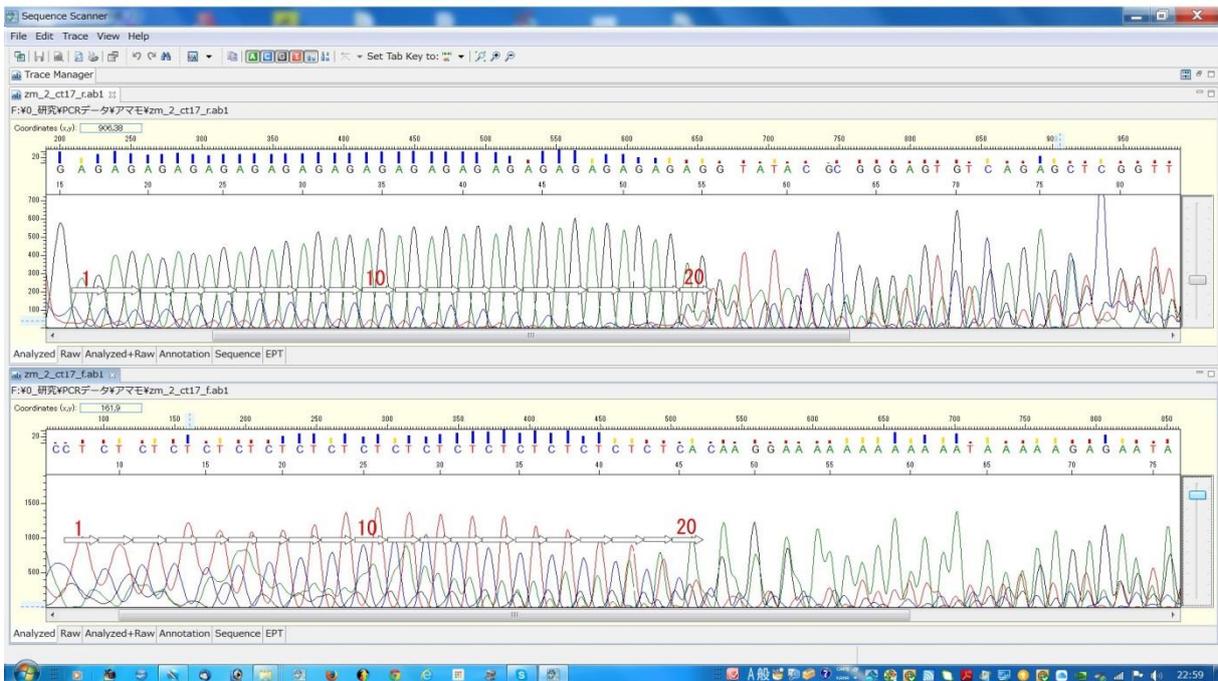


図 4 個体 No. 2 の PCR 増幅産物

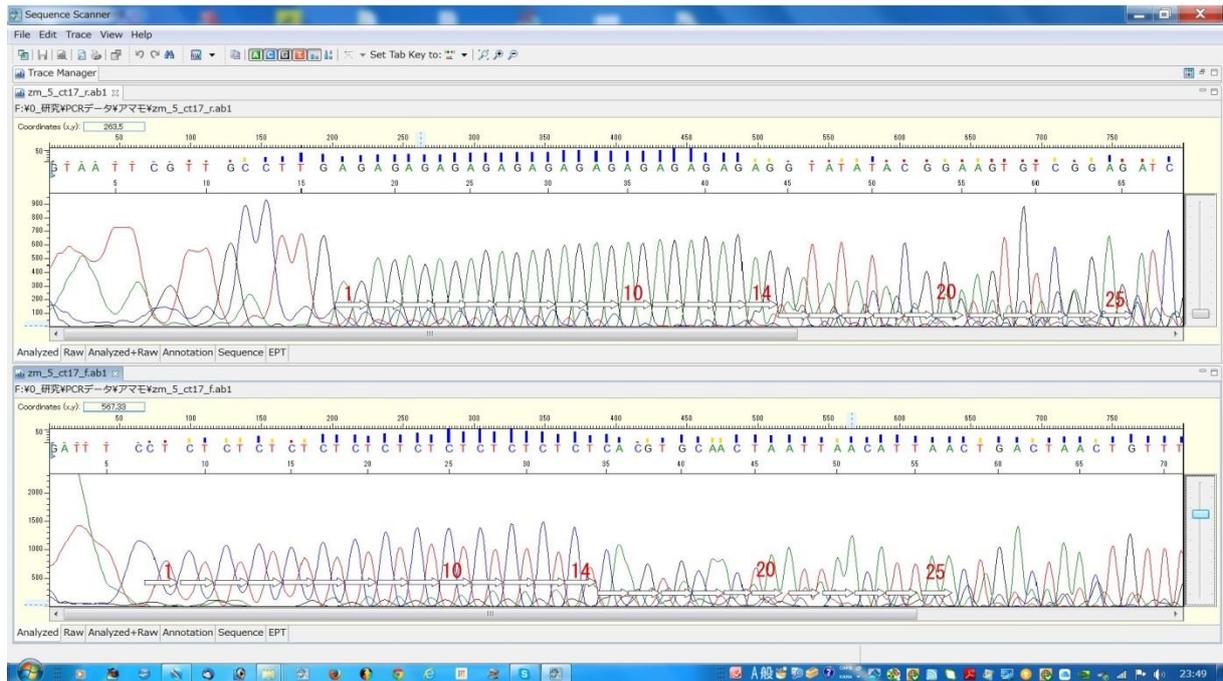


図5 個体 No. 5 の PCR 増幅産物

島袋ら<sup>[4]</sup>の方法によって、1つのマイクロサテライトをPCR法で増幅し、CTの反復配列が得られた。松島海岸に打ち上げられたアマモ個体について、DNAを抽出した5個体中、繰り返し回数を推定できた3個では、反復回数は14、20、21、25、26の5種類で、ホモ接合と考えられる個体は1個体であった。このマイクロサテライトに着目して、ある程度の遺伝的解析ができる可能性があると考えられ、個体数を30程度まで増やし、蛍光プライマーを用いたフラグメント解析を行って遺伝的な多様性を評価したい。

## 参考文献

- 1 社団法人マリノフォーラム 21, アマモ場再生ハンドブック, 2007.3
- 2 第2回松島湾の海域環境復興を考える検討会, 資料-4 松島湾の海域環境の現況把握
- 3 生物多様性に配慮したアマモ場造成技術開発調査事業, 水産庁漁港漁場整備部計画課
- 4 島袋寛盛ら, 鹿児島湾に生育する一年生アマモ局所個体群間の遺伝的分化, 日本水産学会誌 78 巻, 2号, 2012.3

# 過塩素酸塩によるカエル幼生の尾の退縮抑制

阿部友哉 伊藤岳晟 佐伯憲一 佐藤光 庄子大智  
宮城県仙台第三高等学校

私たちは、M. E. Ortiz-Santaliestra らの、大人の手のひら大の巨大オタマジャクシの論文を読み、カエルの変態に興味を持った。カエルの変態にはチロキシンという物質が関わっている。この物質はヨウ素を材料とし、甲状腺で合成されている。私たちはチロキシンの合成を止めることができれば、変態を遅らせることができるのではないかと考えた。遅れの指標としては尾の長さを用いることにした。実際、チロキシンの合成に関わる遺伝子に欠損をもったオタマジャクシが発見されており、それは巨大オタマジャクシであった。

## 1 はじめに

### (1) 背景

#### ・ 動機

変態の観察をするにあたり、遅らせることで変態過程の観察や実験がしやすくなるのではないかと考え、また、巨大オタマジャクシを育てることもできるのではないかと思いますこの研究を始めるに至った。

#### ・ 変態とは

幼体から成体へ生育する過程で形態を変えることである。カエルの変態は大きく3つのステージに分かれ、前変態期(後肢が現れるまでの甲状腺ホルモンによらず到達できる段階)、変態始動期(前変態期以降、前肢が出現するまで)、そして変態クライマックス(尾と鰓が吸収消失し、肺が出来上がって成体となるまで)と呼ばれている。私たちが着目した尾の退縮は、始動期からクライマックスにかけて起こる。メカニズムは図1のとおりである。図1に示したチロキシン(サイロキシン) (図2)は、甲状腺においてヨウ素を原料として合成されている。このチロキシンが血中に放出されることで変態が促進される。

#### ・ 先行研究

M. E. Ortiz-Santaliestra らによる巨大オタマジャクシの論文があり、変態が止まり成長し続けると巨大オタマジャクシができるということがわかっていた。また、過塩素酸塩で変態を遅らせることができていた。

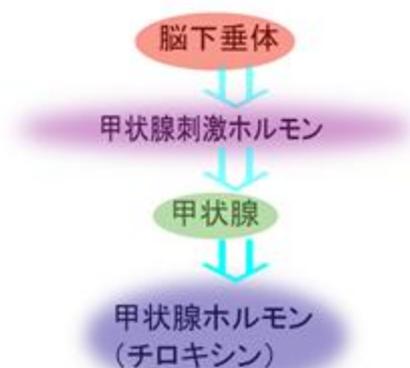


図1 変態メカニズム

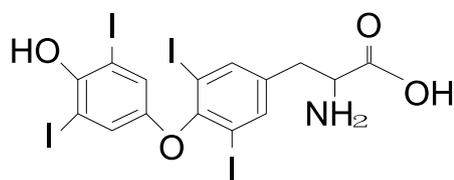


図2 サイロキシン

## (2)目的

過塩素酸カリウムを用いてオタマジャクシの変態を遅らせることができるかどうか検証し、その最適な濃度の特定を行う。

## 2 材料と方法

### (1)使用したカエル

栗原市栗駒の養魚地で包接したヒキガエルの雌雄の成体を捕獲し、実験室でその後産卵させた。孵化させ、それをすぐに使用した。

### (2)薬品の投与

純水、三種類の濃度の過塩素酸カリウム( $\text{KClO}_4$ )溶液(1,100,10000mg/L)を作り、それぞれに30匹のオタマジャクシを入れ、その環境で3週間飼育した。

### (3)尾の長さの計測

一匹ずつ顕微鏡でレンズとオタマジャクシが等距離になるようにし、同時に定規を一緒に撮影し、画像から正確な尾の長さを計測した。尾が途中で切れるなど明らかに測定不可能と思われる個体以外は可能な限り測定した。

## 3 結果と考察

### (1)オタマジャクシの様子

10000mg/L の溶液では濃度が高すぎたためか、一日でオタマジャクシが全滅してしまった。そこで、純水のオタマジャクシ3分の1を1000mg/L溶液に移して実験を継続した。

### (2)計測の結果

目視したところ、過塩素酸カリウム濃度が高いほど尾の長さが長い傾向が見られた。そこで、各個体の尾の長さを計測し濃度ごとに平均値をとりグラフ化した。(図3)

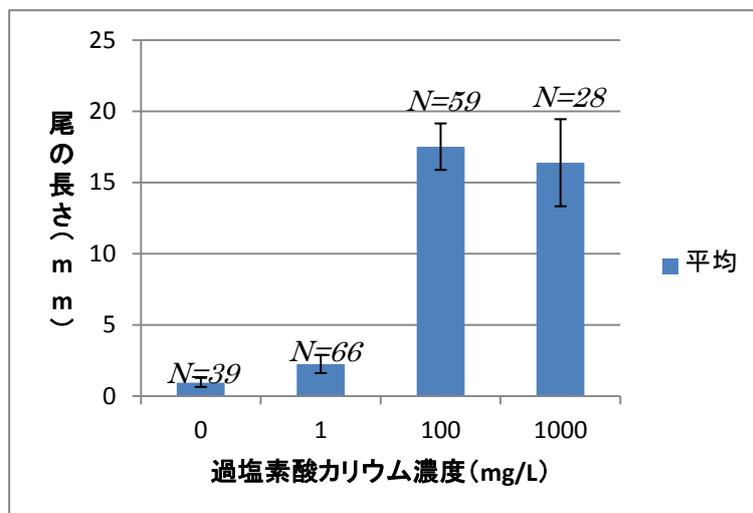


図3 過塩素酸カリウム濃度ごとのオタマジャクシの尾の長さの平均  
Nはその濃度における個体数を示す。



グラフから、予想通り濃度が低いほど尾の縮み方は早く、濃いほど尾の縮み方は遅いということがわかった。100mg/L の溶液と 1000mg/L の溶液では違いがあまりなく、この間の濃度が適正な濃度であることがわかる。

### (3)その他

さらに、本来の実験で予想していたデータ以外にも図 4 のように濃度別にヒキガエルの幼生の観察を行った際目に付いたのが体表の色の濃淡である。

図ではわかりにくいですが、過塩素酸カリウム濃度が高ければ高いほど体表の色が薄くなる傾向にあることがわかった。しかし、予期せぬ結果であったためその事実を信用性の高いデータとして記録することができなかった。

新潟大の井筒ゆみ准教授の話によると、過塩素酸カリウムが甲状腺刺激ホルモンを抑制する物質としてではなく身体機能自体に悪影響をもたらしていた可能性がある、とのことだった。過塩素酸カリウムが甲状腺以外の器官に影響を及ぼすことで体表の色に変化が見られたのではないかと考えられる。

## 4 まとめと今後の展望

ヒキガエルの場合、過塩素酸カリウム濃度が 100~1000mg/L の溶液で飼育すると変態が遅くな

る。ただ、過塩素酸カリウムが甲状腺に作用したかどうかははっきりしていないので、今後調べていく必要がある。今回は巨大オタマジャクシを育てるには至らなかったが、さらに条件を調べていきたい。また、今回の実験で、変態の途中で溺死したと思われる個体もあった。今後は一日ごとに解剖を行うなどし、肺や血管系の観察も行い、呼吸法が変わる時期やその仕組みについても調査していきたい。

## 6 参考文献

2000[The molecular basis of lung morphogenesis(David Warburtona, Margaret Schwarzb, Denise Tefft, Guillermo Flores-Delgado, Kathryn D. Andersona, Wellington V. Cardoso)]

2004[Arrested development in *Xenopus laevis* tadpoles: how size constrains Metamorphosis(Irena Rot-Nikcevic\* and Richard J. Wassersug)]

2004[Studies on regulatory mechanism of thyroid-stimulating hormone secretion in amphibians(早稲田大学大学院理工学研究科生命理工学専攻内分泌学研究岡田令子)]

2007[Alteration of Larval Development and Metamorphosis by Nitrate and Perchlorate in Southern Leopard Frogs (*Rana sphenoccephala*)]

# キシヤヤスデの歩行の解析

赤星栄治 柿崎泰広 小原大樹 武藤柊 渡辺俊也

宮城県仙台第三高等学校

最近、生物を模倣した製品が話題だと私たちは聞き興味を持った。そこで、他の多足類に比べて歩行の仕方が単純なヤスデに着目し、歩行運動を解析した。採集したキシヤヤスデが直進する場合、横から見た脚全体の動きが波のようであるので、対になる脚のそれぞれは規則的な運動をしており、脚の一本ごとの動きは反円軌道を描いているのではないかとという仮説を立てた。その仮説の下計算してみると半円の直径と円周の比がヤスデの脚の地面についている本数と浮いている本数の比に近くなった。

## 1 はじめに

### (1) 動機

今日、生物を模倣しさまざまな発明がされている。例えば、クモの糸の構造に倣った繊維。高い強度と伸縮性から、車のボディーへの使用が進められている。このように、生物は私たちが思いつかないような作り・構造をしていることがある。私たちもそんな生物を調べ、何か作りたいたいと思いこの研究を始めた。その中でも生物の中で歩き方に特徴のある多足類を研究対象にすることに決めた。多足類はその名の通り、足が沢山あるにもかかわらず、絡まったりもせず歩くことができる。多足類の歩行を調べるにあたり、ムカデやゲジは歩き方が特徴すぎて、観察するにあたって大変との理由があり、比較的観察がしやすく捕獲もしやすいキシヤヤスデ (*Prafontaria laminata armigera*) を観察対象にすることにした。



図1 キシヤヤスデ *Prafontaria laminata*

### (2) キシヤヤスデとは

多足亜門倍脚綱オビヤスデ目ババヤスデ科のヤスデ、オビババヤスデの1亜種。本州中部地方の山岳部で数年に一度大発生し、線路上に現れて列車の運行を妨害したところからこの名がある。細く、短い多数の歩脚がある。1つの節から2本の足が生えている倍脚類の一種である。ムカデと似ているが、食べるものや毒の有無など違いがある。そのなかで大きく違うのは歩行の仕方である。蛇行しながら進むムカデに対して、ヤスデは真っ直ぐ進む。

### (3) 研究の現状

2005年の日本ロボット学芸誌で山口大学の西井淳氏による多足動物の歩行について研究しており、多足動物は様々な手段によって移動コストを低く抑えていることをうかがい知

ることができる。しかし、神経系がどのように移動速度に応じた歩行のパターンを実現しているかは未解明の問題である。

#### (4) 目的

ロボットを作る前段階としてヤスデの脚一本一本はどのような動きをしているのかを、iPhone5s の連写機能を用いて撮影し解析する。

## 2 材料と方法

### (1) ヤスデの捕獲

ヤスデは湿っている場所に生息しているので、雨の降った翌日に仙台三高の第二グラウンドで石の下や草むらでキシヤスデを捕獲した。

### (2) 歩行の撮影

iPhone5s の連写機能で毎秒 10 枚、ヤスデが歩いている様子を撮影した。

### (3) 足の動きの解析

今回写真を撮影したところ、今使える技術では画像解析できるほど綺麗に撮影することができなかった(手ブレや対象物が小さいため)。そのため、肉眼で見た事や撮れた写真の中でもまだ確認できる数枚を元に、以下の考察をした。

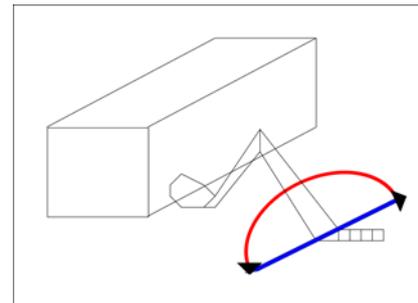


図 2 ヤスデの歩行の動きの模式図

## 3 結果と考察

### (1) ヤスデの歩行を見て

ヤスデの歩行を横から見ると、脚は一つ一つの脚がタイミングをずらして全て同じ動きをしているように見えた。そのことから、横から見たヤスデの脚は半円軌道を描いているという仮説(以降半円説と呼ぶ)を立てた。

### (2) 半円説の検証

ヤスデの脚の動きの半円軌道の直径を  $X$  とすると、半円の円周は  $1/2\pi X$  となる。  
( $\pi=3.14$  とする。)

すると直径と円周の比は、

$$\begin{aligned} \text{直径 : 円周} &= X : 1/2\pi X \\ &= 1 : 1/2\pi \\ &= 1 : 1.57 \end{aligned}$$

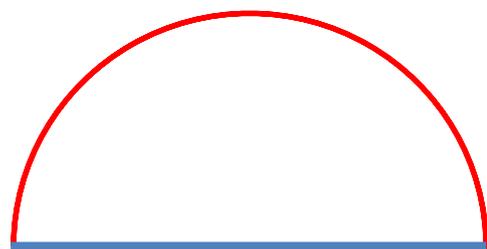


図 3 図 2 中の半円

となる。

ここで、脚を動かす速さが一定だと仮定すると、脚の本数は脚の動きの軌道に一定の間隔で存在するので、脚の本数は軌道の長さに比例する。つまり、地面についている脚と浮いている脚の数を数え、その比が  $1 : 1.57$  になれば半円軌道を描いていると言える。



図4 ヤスデの地面についている脚(1)



図5 ヤスデの地面についている脚(2)

ヤスデの脚の2つの比は、地面についている脚：浮いている脚が10：16と11：15つまり1：1.60と1：1.37であることが分かった（図4，図5）。

これらから、 $1.37 \leq 1.57 \leq 1.60$  となり、半円軌道には近いが正確な半円軌道ではないことが分かった。

#### 4 まとめと今後の展望

今回の研究で、ヤスデの脚の描く軌道は正確な半円軌道ではないことが分かった。しかしこの結果は足の速度が一定だということや地面との抵抗を無視した結果である。したがって今後はそれらを証明しつつ、楕円・サイクロイドの考えを用いた検証したい。その結果を踏まえてロボットの作成をしたい。

#### 5 参考文献

- ・西井淳．多足動物における歩行運動計画．日本ロボット学会誌，23，No. 1，pp. 17-22，2005
- ・西井淳．動物の歩行戦略を探る．バイオメカニズム学会誌，28，No. 1，pp. 8-12，2004.
- ・「昆虫ミメティクス ～昆虫の設計に学ぶ～」 [監修]針山孝彦、下澤楯夫
- ・「日本の衛生害虫 その生態と駆除」 新思潮社
- ・「野外の毒虫と不快な虫」 全国農村教育協会

# ナマズの行動と地震の相関性

高橋優太 谷野陽太郎 千田健太郎 白石正大  
宮城県仙台第三高等学校

## 1 はじめに

### (1)背景

「ナマズが暴れる(活性化)と地震が起こる」という迷信は古くから存在している。ナマズと地震の相関性についての多くの研究で、この相関性の有無を断定されているものは少なく、ナマズの活性化の原因も断定されていない。地震が多い島国である日本にとって地震予知の正確性は安全に避難することにおいて重要である。この研究によってナマズの地震予知能力を発見することができれば、地震による被害を抑えることができるかもしれない。

### (2)目的

在来種であり夜行性であるマナマズ(*Silurus asotus*)を用いて、地震発生前後のナマズの行動を定量化し、東日本各地の地震との相関を明らかにする。

## 2 材料と方法

### (1)観察環境

岡山県産天然ナマズを校内の生物室(4階 昼間は人通りが多く、19時以降は消灯)で水槽(36cm×60cm×30cm)を用いて飼育。またストレス防止のためにパイプを設置し、毎日午後4時半ごろに餌(ひかりクレストキャット)を3粒(0.13g)与える。

### (2)測定方法

赤外線センサー(KEYENCE:PZ-51L)を水面下4cmに設置する。カウンター(KEYENCE:RC18)と定点インターバルカメラを用いて毎時一回撮影を行い、ナマズの行動を定量化する。このときナマズがセンサーによる赤外線を遮った際に1カウントとする。また一定以上カウントした際にナマズが暴れたとし、これをナマズ反応とする。

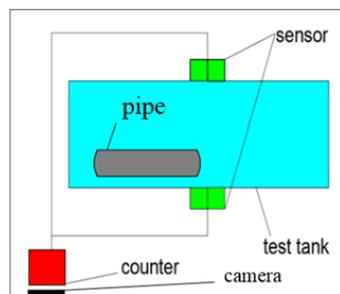


図1:水槽上面模式図

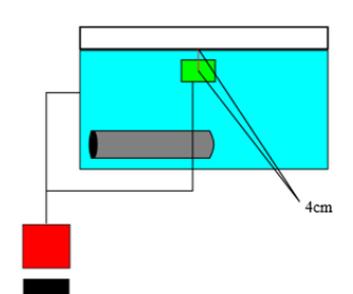


図2:水槽側面模式図

### (3)外れ値とナマズ反応の定義

2014年6月から2015年1月中旬までの1日当たりのカウント回数から第3四分位と第1四分位を求め、第3四分位から第1四分位を引いたものを

IQR(*interquartile range* 四分位数範囲)とする。IQRを1.5倍したものと第3四分位を足し、これを外れ値の基準とする。また1日当たりのカウント回数から外れ値を除いた平均と標準偏差を足したものをナマズ反応の回数の基準とする。

#### (4)データの照合

測定したデータと気象庁のホームページの地震データを、excel を用いて 24 時間単位または 1 時間単位で照合する。

### 3 結果と考察

#### (1)地震の発生とナマズの行動について

2014 年 6 月から 2015 年 1 月中旬までの 1 日当たりのカウント回数より外れ値の基準は 79 回となり、ナマズ反応は 39 回となった。

##### ① 地震発生前から考える

震度 4 以上の地震は 2014 年 6 月から 2015 年 1 月中旬までの間に 31 回発生しており、地震発生から 24 時間後までにナマズ反応が確認されたのは 31 回中 13 回であり、確率は 42%であった。(図 3-1) また地震発生から 48 時間後までにナマズ反応が確認されたのは 31 回中 24 回であり、確率は 77%であった。(図 3-2)



図 3-1 24 時間以内の  
ナマズ反応



図 3-2 48 時間以内の  
ナマズ反応

##### ② ナマズ反応から考える

ナマズ反応は 2014 年 6 月から 2015 年 1 月中旬までの間に 53 反応が確認されており、ナマズ反応が確認されてから 24 時間後までに震度 4 以上の地震が発生したのは 53 反応中 13 反応であり、確率は 25%であった。(図 4-1) またナマズ反応が確認されてから 48 時間後までに震度 4 以上の地震が発生したのは 53 反応中 21 反応であり、確率は 40%であった。(図 4-2)



図 4-1 24 時間後までの  
震度 4 以上の地震



図 4-2 48 時間後までの  
震度 4 以上の地震

(2)  
嶽山

火とナマズの行動について

2014 年 9 月 27 日 11 時 52 分に起きた御嶽山噴火の際に、前日の 21 時からナマズの行動が急激に活性化した。そこで、噴火が起こる 4 日前の 9 月 23 日 12 時からのナマズの行動と御嶽山の噴火を比較した。(図 5)

ナマズの行動が急激に活性化したのは、9 月 24 日の 10 時～14 時、9 月 26 日 21 時～9 月 27 日 2 時、の 2 つの時間帯である。残念ながら、2 回目のナマズの行動の急激な活性化の

御  
噴

際に、カウンターが表示できる最大数である 9999 回を超えてしまったために、9 月 27 日 3 時～8 時のデータをとることができなかった。

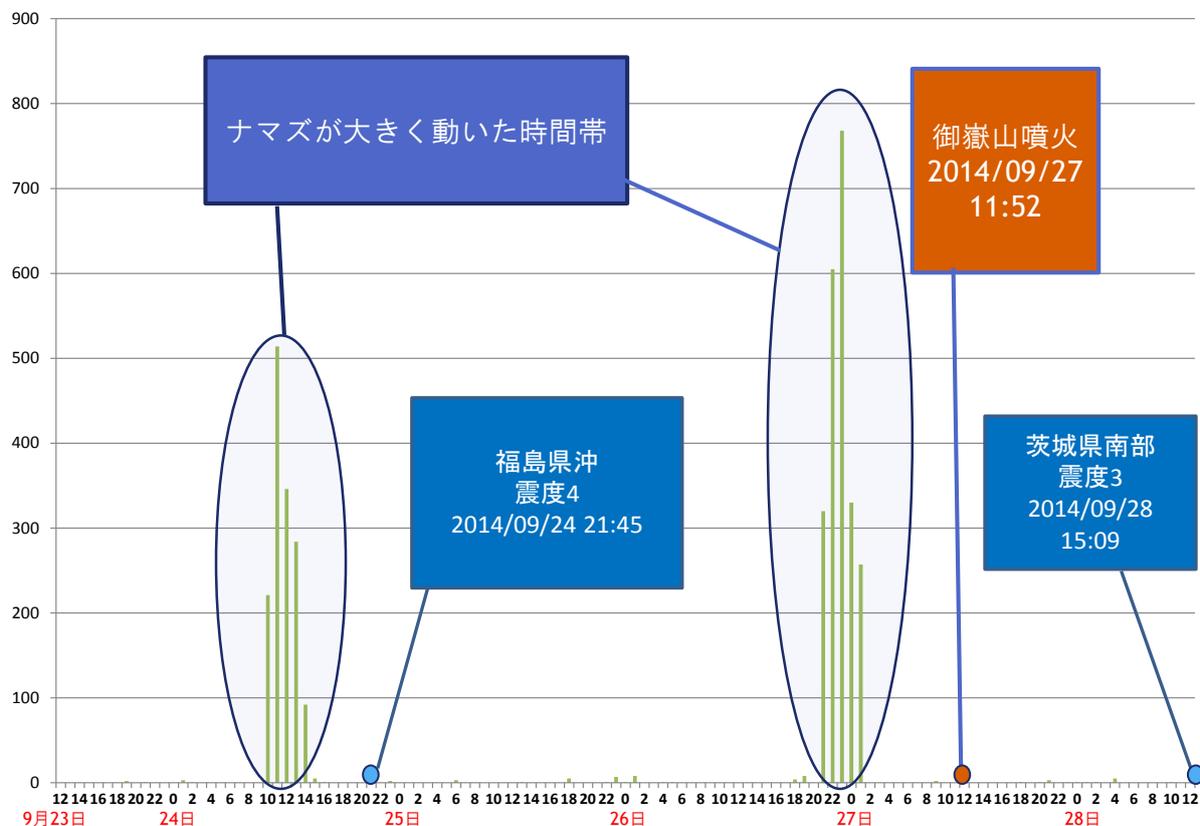


図 5：御嶽山の噴火とナマズ反応

#### 4 考察

図 3-1、3-2 の結果より、地震発生 24 時間以内にナマズ反応が起きた確率は 42% で、相関が弱いと考えられるが、地震発生 48 時間以内にナマズ反応が起きた確率は 77% で、ナマズの行動と地震発生の相関が強いと考えられる。

また、図 4-1、4-2 の結果より、ナマズ反応が起きた 24 時間後までに、震度 4 以上の地震が起きた確率は 25% で、地震発生とナマズの行動の相関が弱いと考えられる。また、ナマズ反応が起きた 48 時間後までに、震度 4 以上の地震が起きた確率は 40% で、同様に相関が弱いと考えられる。

最後に御嶽山噴火については、普段に比べると、急激にナマズの行動が活性化している。そのため、ナマズが噴火を感知している可能性が高いと考えた。しかし、9 月 24 日 21:45 福島県沖震度 4、9 月 28 日 15:09 茨城県南部震度 3 の 2 つの地震が、2 回のナマズ反応それぞれの後に起きていた。(図 5) また、噴火がマグマ由来ではなく、水蒸気爆発によって引き起こされたものだった。これらのことから、ナマズの反応が御嶽山噴火に対して起きたとはっきりと断定することはできなかった。

## 5 まとめ

地震発生 24 時間前よりも地震発生 48 時間前にナマズ反応があった確率が高いことから、ナマズは、地震発生 2 日前から地震発生を予知している可能性がある。また、ナマズ反応後に地震が発生する確率が高くないことから、ナマズは噴火などの地震以外の要因にも反応し、暴れているのではないかと推測できる。

これからの展望として、水槽に **arduino** を用いた加速度センサーを取り付ける。そして地震発生時、ナマズが人間では反応出来ない水槽の微細な揺れに反応しているかに注目する。またこの他に水槽周囲の電位を調べるなどして多方面から地震とナマズの相関性を考え、地震以外の要因の可能性についても調べていく。

## 7 参考文献

神奈川工科大学 矢田直之氏 動物異常行動の測定による地震予知

# ヒトデに含まれるサポニンによる抗菌効果

船越健志郎 吉川洗樹 澤田尚毅 高木駿 千葉彼野人 堀川貴広  
宮城県仙台第三高等学校

ヒトデにはサポニンという抗菌効果をもつ物質が含まれていることが分かっている。本研究では、ヒトデの部位別の抗菌効果を調査し、部位別の抗菌効果物質の含有量割合を調べることを目的とする。ヒトデを消化管、皮膚、生殖器に解体し、エタノールによって抗菌物質を抽出した。抗菌効果の検証には納豆菌、大腸菌を使用し、抽出液に浸したペーパーディスクを培地に置いて培養し、実験した。納豆菌に対しては比較的消化管の抗菌効果が高く、大腸菌に対しては顕微鏡で観察したところ、抗菌物質が大腸菌の形状を変化させていた。このことから、ヒトデ類にはグラム陽性菌・陽性菌のそれぞれに効果を示す抗菌物質が存在することが分かった。

## 1 はじめに

### (1) 背景

サポニンとは配糖体(糖の水酸基が非糖質化合物と結合した化合物)の一種であり、様々な植物に含まれ、ヒトデやナマコにも含まれる。また、サポニンには細胞膜を攪乱する性質がある。

ヒトデ類は現在日本全国で大量に水揚げされているが、サポニンがもたらす苦味を持つことから食用には向かず、そのほとんどが処分されている。

香取明仁ら<sup>1)</sup>によると、マヒトデ (*Asterias amurensis*) とキタクシノハクモヒトデ (*Ophiura flagellate*) から抗菌効果をもつ物質 (サポニン) が存在することが分かっている。マヒトデサポニンはパン酵母、赤色酵母、クロカビ、コウジカビ、白癩菌、アカカビの6つの菌すべてに対して抗菌効果を示したのに対し、キタクシノハクモヒトデサポニンはすべての菌に対して抗菌効果を示さなかった。

### (2) 目的

私たちは二つの仮説を立てた。一つ目は、子孫を残すために必要な器官である生殖器にはサポニンが一番多く含まれているのではないかとということ。二つ目は、食事の際に消化管を出すヒトデと消化管を出さないヒトデが存在するので、消化管内に侵入する菌の量に差が出来ると考えられるため消化管に含まれるサポニンの含有量の割合が、食事の際に消化管を出すヒトデと出さないヒトデとの間に差があるのではないかとということ。この二つの仮説に基づいて先行研究でまだ明らかになっていないヒトデの部位別による抗菌物質の含有量割合を明らかにする実験を進めた。

## 2 材料と方法

### (1) 使用したヒトデ

棘皮動物門ヒトデ綱は、お茶の水女子大学湾岸生物教育研究センターから5月と10月に入手した。その内訳は、アカヒトデ目イトマキヒトデ科イトマキヒトデ属イトマキ

ヒトデ (*Asterina pectinifera*) (図 1) とマヒトデ目マヒトデ科ヤツデヒトデ属ヤツデヒトデ (*Coscinasterias acutispina*) とモミジガイ目モミジガイ科モミジガイ属モミジガイ (*Astropecten polyacanthus*) である。東北大学院生命科学研究科附属浅虫海洋生物教育研究センターから 5 月と 10 月に入手したヒトデの内訳は、マヒトデ目マヒトデ科マヒトデ属マヒトデ (*Asterias amurensis*) とイトマキヒトデとモミジガイである。また、ヒトデ類は普通食事の際に消化管を体外に出すが、モミジガイは消化管を体外には出さない。



図 1 イトマキヒトデ

棘皮動物門クモヒトデ綱の一種は、お茶の水女子大学湾岸生物教育研究センターと、東北大学院生命科学研究科附属浅虫海洋生物教育研究センターから 5 月と 10 月に入手した、クモヒトデ目クモヒトデ科クモヒトデ属ニホンクモヒトデ (*Ophioplocus japonicas*) を用意した。

ヒトデを飼育する水槽にはろ過装置と冷却装置を取り付け、市販の人工海水を入れた (図 2)。5 月、10 月にとりよせたイトマキヒトデの両方に精子の放出が見られた。

## (2) ヒトデの解体、抗菌物質の抽出

ヒトデを皮膚、消化管、精巣、卵巣にそれぞれ分離した。皮膚は約 3cm 角に切り、他の部位はそのまま取り出し重さを記録した。Takeshi Yasumoto ら<sup>2)</sup> の抽出方法を参考にして解体したヒトデを解体したヒトデの 2 倍の重さの 100%エタノールに浸した。その後抽出液のみを他の容器に移し、同量の 20%エタノールに浸し抽出を行った (図 3)。この作業をもう一度繰り返し、すべての抽出液を合わせてドラフトで乾固させた (図 4)。納豆菌に対して抗菌効果をみる研究では 3 回のエタノール抽出後に一度水で溶いたものをトルエンで脱脂し、乾固させた。実験の際には乾固させたものを 1 回の実験毎に 0.1 g 量りボトルに入れ、純水を 300  $\mu$ l 加えて混ぜた (これを以下サポニン水とした) (図 5)。



図 2 水槽



図 3 抽出中のサポニン

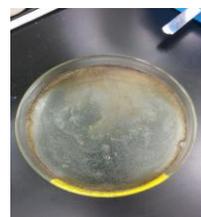


図 4 乾固後の抽出液



図 5 サポニン水

## (3) 使用した菌と培地

納豆菌と大腸菌 *Escherichia coli* HB101 株を抗菌効果の観察のために使用した。納豆菌は、市販の菌を以前から培養していたものを使用した。寒天 4.5g、塩化ナトリウム 3g、

粉末酵母 1.5g ペプトン 3g、純水 300ml をそれぞれフラスコに入れ、15分オートクレーブにかけ滅菌した。その後液体を滅菌室のなかで6つのシャーレに均等に流し込み、1時間ほどシャーレのふたを開けた状態で放置し、固めた。培地は実験に使用しないときは冷蔵庫で保存した。

#### (4) 抗菌効果の検討

納豆菌、大腸菌をそれぞれ 800  $\mu$ l の純水に溶かし、培地の上に均一になるように流した。その上にサポニン水を浸したペーパーディスクをのせた(図6)。対照実験のために水と、強い抗菌効果があり、常に一定の阻止円をつくるリゾチームをペーパーディスクに浸し、培地にのせ、ふたをした。培養する際は、湿気が生じたときに培地に水滴がかからないようにするためにシャーレを上下さかさまにするのが一般的だが、この実験では液体を培地に流しているのですかかさまにはせず、そのまま保温器にいれ、14時間 35°Cで培養した。

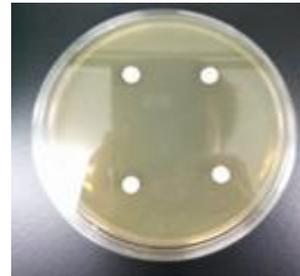
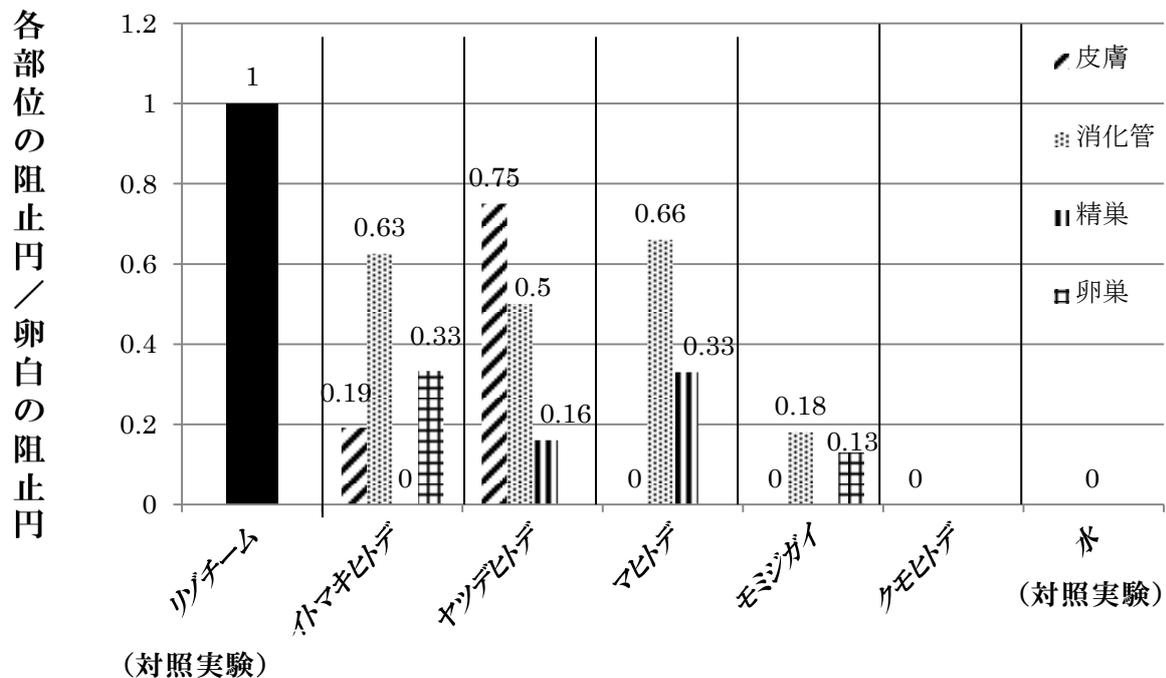


図6 ペーパーディスクを乗せた寒天培地

### 3 結果

#### (1) 納豆菌に対する抗菌効果

納豆菌ではグラフ1のような結果が得られた。モミジガイ以外の消化管の抗菌物質の含有量割合が高いことがわかる。



グラフ 1 納豆菌に対する抗菌効果

今回は一般的に抗菌効果が知られているリゾチームの阻止円を1とし、各部

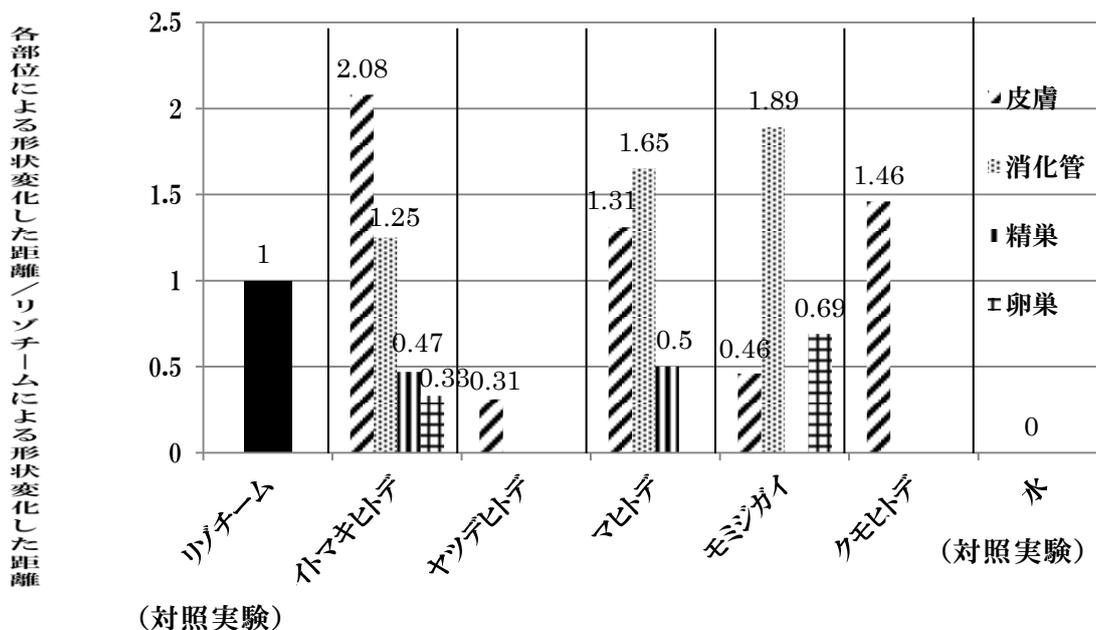
位の阻止円の大きさを数値化した。

データが無い部位においては数値化していない。

クモヒトデの0は皮膚である。

## (2) 大腸菌に対する抗菌効果

大腸菌では図7のように一部の部位のヒトデサポニン水による阻止円が見られたが、リゾチームによる阻止円が肉眼で見られなかった。そこで私たちは顕微鏡でペーパーディスク周辺の大腸菌の様子を調べ、菌に対する影響の数値化を図った。図8のようにペーパーディスクから離れた場所からとった大腸菌は通常通り形状が細長いのに対し、図9のようにペーパーディスク周辺からとった大腸菌は形状が丸くなっていることがわかった。そこで私たちはリゾチームとサポニン水の、完全に抗菌していないが何らかの効果の及んだ範囲を比較するためにそれぞれのペーパーディスクから一定距離ごとに培地上の大腸菌の形状を調べ、数値化した。



グラフ2 大腸菌に対する抗菌効果：今回はリゾチームによる大腸菌の形状を変化させた距離を1とし、各部位による形状を変化させた距離を数値化した。データが無い部位については数値化していない。

グラフ2よりヤツデヒトデとモミジガイ以外の皮膚のサポニンはリゾチームより大きい範囲で大腸菌の形状を変化させていた。消化管においてはすべてのヒトデの抗菌物質がリゾチームより大きい範囲で大腸菌の形状を変化させていた。精巣および卵巣に関してはすべてのヒトデのサポニンにおいてもリゾチームよりも小さい範囲で大腸菌の形状を変化させていた。クモヒトデにおいてはリゾチームよりも大きい範囲で形状を変化させていた。

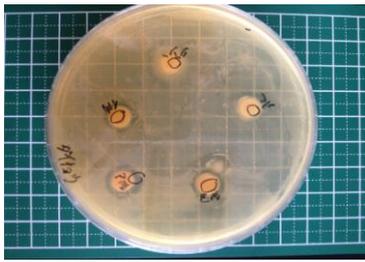


図7 サポニンの抗菌効果



図8 通常の大腸菌

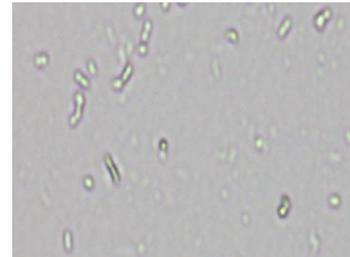


図9 丸くなった大腸菌

#### 4 まとめ（結論）

##### （1）納豆菌に対して

グラフ1より卵巣の抗菌効果が強かった理由として、立てた仮説の通り卵巣は子孫を残すために必要な器官でありサポニンによる抗菌効果を利用し卵子（受精卵）を保護する必要があったのだと考えられる。また、グラフ1よりモミジガイの消化管の抗菌効果は弱く、イトマキヒトデ、ヤツデヒトデ、マヒトデの消化管の抗菌効果は強く、それらに差があると分かるのでイトマキヒトデ、ヤツデヒトデ、マヒトデについては仮説通り食事をする時に胃を出すため消化管内にはヒトデに害を及ぼす菌が入り込みやすいのではないかと考えられる。そのため胃を体外に出さないモミジガイの抗菌物質の含有量割合が低いのは菌の侵入率が他のヒトデよりも低いためだと考えられる。

##### （2）大腸菌に対して

グラフ2より消化管においてはすべてのヒトデの抗菌物質がリゾチームより大きい範囲で大腸菌の形状を変化させておりそれぞれの値に差は見られなかった。卵巣に関しても他の部位やリゾチームと比較すると抗菌効果は低く、大腸菌に対しては仮説は当てはまらないと考えられる。

また、大腸菌は通常は細長い形状だが、図9のようにペーパーディスク周辺からとった大腸菌は形状が丸くなっていることが分かった。これは納豆菌はグラム陽性菌なのに対し、大腸菌はグラム陰性菌であり、これらの細胞壁の構造の違いによるものだと考えられる。リゾチームは細胞壁であるペプチドグリカン層を破壊するものであるがグラム陰性菌は細胞壁のペプチドグリカン層の外側にリポ多糖の膜があるため、リゾチームによって細胞壁のペプチドグリカン層を破壊してもリポ多糖が残り、形状が変化するだけとなったと考えられる。図10よりそれぞれのヒトデの皮膚の抗菌物質は大腸菌に対して目視出来る阻止円は出来なかったが表2より使用したすべてのヒトデにおいて皮膚の抗菌物質は大腸菌の形状を変化させたことが分かる。これはそれぞれのヒトデの皮膚に含まれる抗菌物質はリゾチームと同じくペプチドグリカン層のみを破壊するものでグラム陽性菌には効くが、グラム陰性菌には効かないものだと考えられる。また、図11よりそれぞれのヒトデの精巣においては納豆菌に対して全く阻止円を作らなかったが大腸菌に対しては目視出来る阻止円を作った。これはそれぞれのヒトデの精巣に含まれる抗菌物質はペプチドグリカン層に対しての分解作用は弱いですが糖に対しては強く働

くため厚いペプチドグリカン層を持つグラム陽性菌に対しては効果は薄く、薄いペプチドグリカン層とリボ多糖の膜を持つグラム陰性菌に対しては効果があったと考えられる。つまりそれぞれの部位に含まれる抗菌物質の種類は複数あると考えられる。

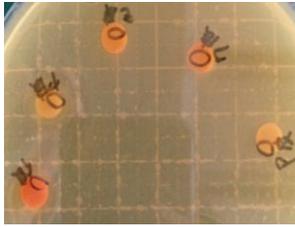


図 1 0 大腸菌に対するヒトデ（5種）の皮膚の阻止円



図 1 1 大腸菌に対するヒトデ（2種）の精巢の阻止円

## 5 謝辞

ヒトデを提供していただいた、東北大学大学院生命科学研究科附属浅虫海洋生物学教育研究センター、お茶の水女子大学湾岸生物教育研究センター准教授 清本正人先生、研究助言をくださいましたメンターの佐藤匡裕さんにはお礼を申し上げます。

## 6 参考文献

1)香取明仁,広瀬美紗子,石崎松一郎,長島裕二. 日本沿岸に生息するヒトデ類の有効利用に関する研究.

[http://suisankaiyo.com/seeds/wp-content/uploads/2011/08/201107\\_kaiyodai\\_ishizaki.pdf](http://suisankaiyo.com/seeds/wp-content/uploads/2011/08/201107_kaiyodai_ishizaki.pdf).

2)Takeshi Yasumoto, Takeshi Watanabe and Yoshiro Hashimoto. 1964. PHYSIOLOGICAL ACTIVITIES OF STARFISH SAPONIN. Bulletin of the Japan Scientific Fisheries. 30(4), 357-364.

# 塩化ナトリウム結晶の生成

三田村 澪 五十嵐佳穂 菅澤遼 須田千咲美  
宮城県仙台第三高等学校

大きな結晶を生成するのが難しいとされる塩化ナトリウムを、再結晶法を用いて大きく、かつ、きれいな結晶を作るために研究をはじめ、結晶の成長速度、結晶中のイオン配列と結晶の透明度の関係、塩化ナトリウムを構成する原子の比率による結晶の生成への変化を調べる実験を行い、考察した。我々が予備実験時に生成した結晶は立方体であり、結晶の中心が白く濁っていた。そこで数種類の実験を行った。結晶を立方体にするためにビーカーと結晶の接地面を周期的に変え、結晶の各面の成長速度をグラフで表した。また、結晶の濁りを改善するためには結晶中の原子配列を整える必要があり、原子配列が整うためには結晶生成に時間をかけることが必要であることが分かった。さらに、塩化ナトリウムの結晶生成には、ナトリウムイオンより塩化物イオンのほうが優位であると考えられた。

## 1 はじめに

### (1) 背景

温度による溶解度の変化が小さい塩化ナトリウムは、大きくきれいな結晶ができにくい。そのため、大きくきれいな結晶には大きな価値があると考えられる。ここで、どのような条件にすれば大きくきれいな結晶を生成できるかを調べるため実験を行う。この研究における「きれい」とは「透明度が高く、より立方体である」とする。

### (2) 目的

再結晶法を用いることにより、大きく、きれいな結晶を作る方法を探る。

## 2 材料と方法

材料と使用器具：塩化ナトリウム、脱イオン水、塩化コバルト、塩酸、水酸化ナトリウム、メスシリンダー、薬匙、薬包紙、ビーカー、ガラス棒、電子天秤、漏斗、ろ紙、ピペット

予備実験：脱イオン水 100mL を用いて、塩化ナトリウム飽和水溶液を作り、再結晶法で結晶を生成した。

実験Ⅰ：あらかじめ種結晶を生成しておく。この実験で使用した種結晶の各辺の比は 1:2:2 である。この種結晶を C の面がビーカーの底に接するように a の長さが b の長さと同くなるまで室温で放置した。次に A の面をビーカーの底に触れさせ、すべての辺の長さが等しくなるまで放置した。

実験Ⅱ：100mL の脱イオン水を用いた塩化ナトリウム飽和水溶液に塩化コバルトを少量加え、溶液を紫色に着色し、結晶を生成して観察した。

実験Ⅲ：100mL の脱イオン水を用いて塩化ナトリウムの飽和水溶液を作る。また、この溶液を 9 つ用意する。溶液中の塩化物イオンとナトリウムイオンの存在比率を変えるため、塩酸と水酸化ナトリウムを、比率を変えて塩化ナトリウム水溶液中に加えた。この時、ナトリウムイオンと塩化物イオンの比率をそれぞれ 4:8, 7:4, 6:4, 5:4, 1:1, 4:5, 4:6, 4:7, 8:4 とした。

### 3 結果と考察

#### (1)結果

予備実験：生成された結晶は図 1 のようになり、各辺の長さの比は  $a:b:c=1:2:2$  であった。この結果から、ビーカーに触れている面からは成長しないため、ビーカーに触れている辺は触れていない辺に比べて半分 の速度で成長するため、結晶の長さに偏りが生じ、直方体の結晶になると考えられる。また、グラフ 1 は結晶の各辺の成長速度の予想を示したものである。

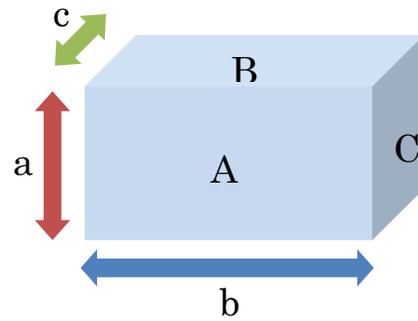
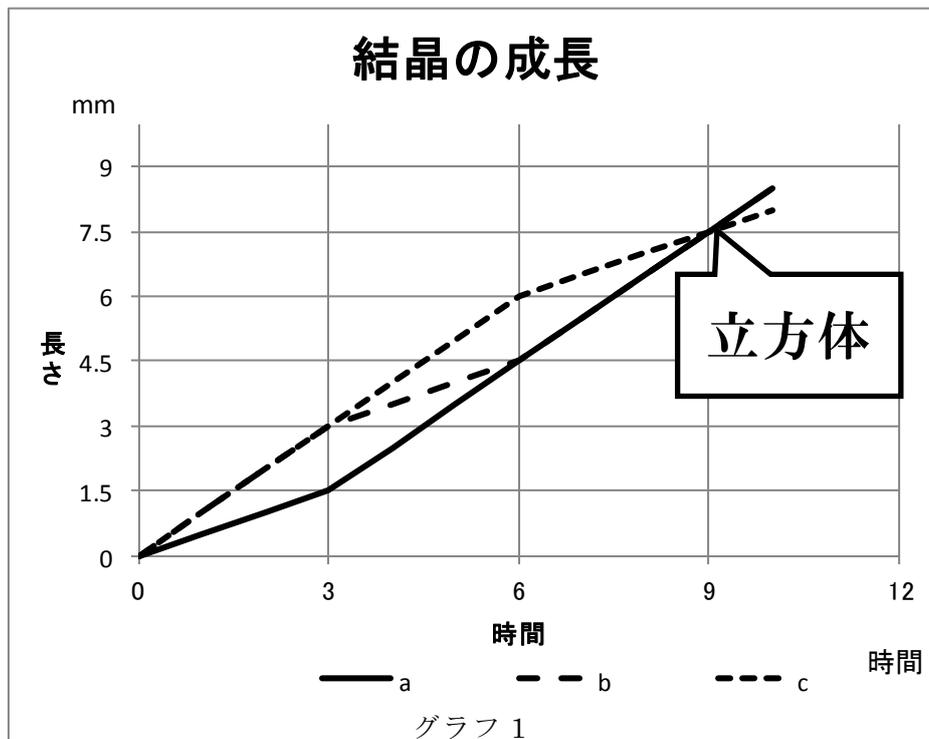


図 1

結果 I：予備実験の結果から得られたグラフ 1 を参照し、結晶がビーカーに触れる面を変化させたところ、結晶は立方体となった。



結果Ⅱ：生成された結晶は図3のように着色されており,着色が濃いところと薄いところがあることがわかる.これは,結晶中のナトリウムイオンと塩化物イオンの配列が整っているところはイオン半径の異なるコバルトイオンが入りにくいため,着色が薄くなる.逆に,ナトリウムイオンと塩化物イオンの配列が整っていないところには,イオンの間に隙間ができ,コバルトイオンが入り込みやすくなっていたため,濃く着色されたと考えられる.また,塩化コバルトを溶液に含まない場合も図4のように,結晶には透明な部分と白い部分があった.白い部分は原子配列が整然としておらず,光の乱反射により結晶が濁って見えるのではないかと考えた.

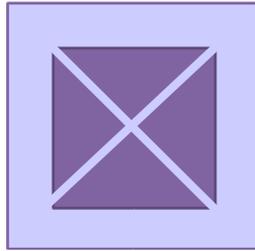


図3 塩化ナトリウム水溶液に塩化コバルトを加えたときに生成された結晶の模式図

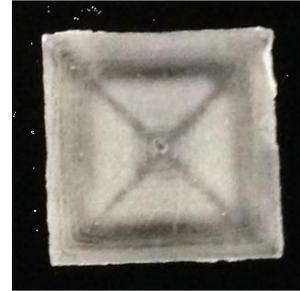


図4 塩化ナトリウム水溶液のみで生成された結晶

結晶は図5のように結晶を構成するイオンが規則的に配列しているものである.我々は,一つの結晶に着色された部分と着色されていない部分があることを,図6のように結晶を構成する原子の配列の一部に塩化コバルトが混入したため着色されたのではないかと考えた.

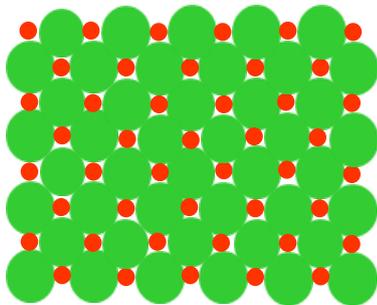


図5

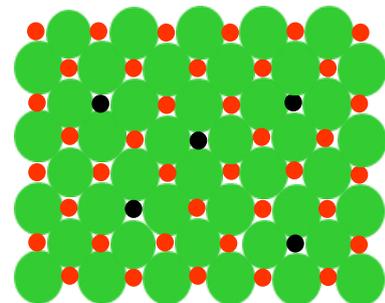


図6

結果Ⅲ：溶液中のナトリウムイオンと塩化物イオンの比率を変えた場合,何も加えていない溶液で結晶が生成されたとき,塩化物イオンの比率が大きい溶液は結晶が生成されたが,ナトリウムイオンの比率が大きい溶液では結晶が生成されていなかった.故に,ナトリウムイオンよりも塩化物イオンのほうが結晶生成に優位であるのではないかと考えられる.しかし,表1より,塩化物イオンの比率がナトリウムイオンより大きいにも関わらず,それぞれの比率が4:5であるときには結晶が生成されなかった.

Na:Cl	8:4	7:4	6:4	5:4	1:1	4:5	4:6	4:7	4:8
結晶の有無	無	無	無	無	有	無	有	有	有

#### 4 結論

大きく,きれいな結晶を生成するためには,結晶とビーカーの接地面を変え,同じ時間ずつ放置させることで立方体に近づける.かつ,結晶の成長速度が速ければ結晶の原子配列が整い,結晶が透明になり,成長速度が遅ければ原子配列が乱れ結晶が透明にならないと考えられるので,結晶を透明にするため,ゆっくりと成長させる.さらに,結晶を生成するための溶液中のイオンの比率をナトリウムイオンより塩化物イオンが多くなるように調整すれば我々が理想とする結晶が生成できることが表わった.

#### 5 参考文献

食塩の促成法  
理科年表

# 太陽炉の製作

佐藤文哉 砂田悠真 佐藤慧 高橋義博

宮城県仙台第三高等学校

最も効率が良く熱エネルギーを発生できる太陽炉の形状とはどのようなものかについて検討した。

## 1 はじめに

### (1) 概要

太陽炉について

太陽炉とは太陽の光を集光し、高温を発生させる装置。

太陽炉には反射集光方式と屈折集光方式の2種類ある。

反射集光方式とは、平面鏡や凹面反射板を用いて光を反射させ、光を集光する方式。

屈折集光方式とは、レンズを用いて光を反射させ、光を集光する方式。

私たちは、反射集光方式の太陽炉を作成して、実験を行う。

### (2) 背景

災害が起き、電機やガスが使えなくなった時、身近なもので熱を簡単に作ることができれば役に立つのではないかと思い、この研究を始めるのに至った。

### (3) 目的

身近なもので簡単に熱を発生させることのできる太陽炉を作る。

どの形状の太陽炉が効率よく熱を発生させるのかを比較する。

## 2 材料と方法

### (1) 太陽炉（集光装置）

カラーコーン、傘の内側にアルミホイルを張り付けたもの



カラーコーンを使って作成した太陽炉



傘を使って作成した太陽炉

## (2) 測定方法

太陽光に見立てた光が当たる場所に、形の異なる装置を置いた。  
光の焦点にあたる部分に水を入れた缶を置き、温度を測定する。

## 3 結果と考察

装置に光を当てる角度を特定するのが難しく、結果を得ることができなかった。

## 4 まとめ

これからは実験に失敗した原因を明確にし、他の形状の装置を作ることや装置の焦点を特定することなどを行うことを重点的に研究していきたい。

SSH 生徒研究発表会 ポスター賞  
日本学生科学賞 全日本科学教育振興委員会賞  
東北地区 SSH 指定校研究発表会 最優秀賞  
坊ちゃん科学賞 入賞  
全国高等学校総合文化祭出場  
日本進化学会 最優秀賞  
日本学生科学賞宮城県審査最優秀賞  
Google サイエンス in 東北 2014 審査員特別賞

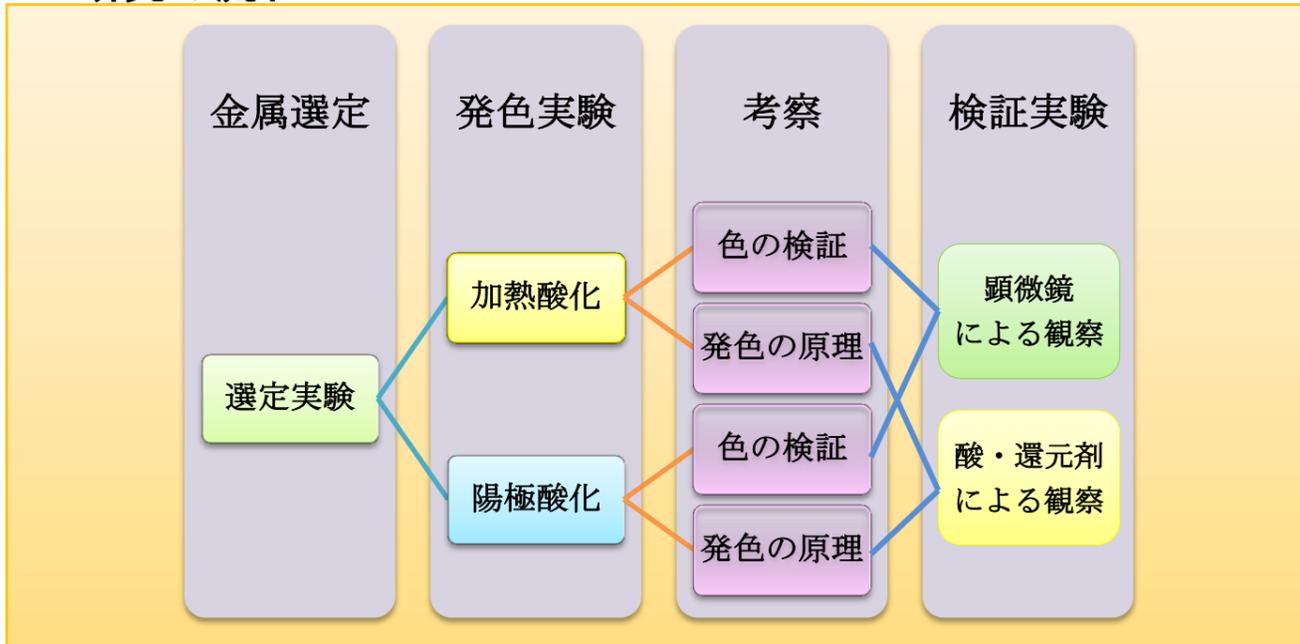
## 1: 序論

私たちは、金属製の鍋やバイクのマフラーの加熱部分にみられる虹色の変色について興味を持った。加熱によって金属の色を変化させ、また、どのような原理で色が変化しているのかということを知るために、以下の実験を行った。

私たちはこの現象が、『表面の酸化物による薄膜干渉ではないか』と予想した。そこで金属の酸化方法として、容易に実験が行える「加熱酸化」と「陽極酸化」の2つにしぼって実験を行った。

**目的** ①酸化によって金属に自由に色を付ける  
②変色の仕組みを解明する

## 2: 研究の流れ



## 3: 金属の選定実験

私たちは実験を行う前に、この研究に適した金属を見つけるべく、前実験を行った。実験対象の金属は実験室に電極用として置いてある金属板を使用した。

### A: 実験の条件

約 50mm×15mm, 厚さ約 0.5mm

金属板の端を、ガスバーナーを使って加熱する  
直接炎が当たっていない面の色の変化を観察する

### B: 実験方法

- ① ピンセットを用いて金属板の端（約 2cm）をガスバーナーの外炎に入れる
- ② 変化が見られた場合は、表面の変化が半分まで進行した時点で炎から金属板を取り出す
- ③ 表面の状態を観察する

### C: 結果

Ni: 表面の色が炎側から灰色、青色、黄色に変色した

Cu: 表面の色が炎側から茶色、赤色、橙色に変色した

Fe: 表面の色が炎側から黒灰色、青色、黄色に変色した

Zn: すぐに溶けた

Al: 表面はくすんだ灰色になり、溶けた

Pb: すぐに溶けた

### D: 金属の選定

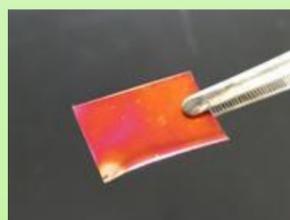
表面の色がきれいに変化した金属は Ni Cu Fe の三種類だった。

Fe は錆びやすく、保存に適さないと判断した。

以上のことから、発色実験は Ni Cu を用いて行うことにした。



Ni



Cu



Fe



Zn



Al



Pb

# どうやって金属に色をつける？

～塗料を使わない金属着色への挑戦～

佐藤 祐介 山崎 誠仁 湯澤 翔太郎 門口 尚広

## 4: 金属板の酸化発色実験と結果

### ～陽極酸化による Ni 板の発色実験～

#### A: 実験の条件

Ni 板 約 60mm×10mm,厚さは 0.5mm

電解液: リン酸水溶液

陽極: Ni 板 陰極: 炭素棒

#### B: 実験方法

- ① ビーカーに入れたリン酸水溶液を用意する
- ② 陽極に Ni 板,陰極に炭素棒をつなげて,電解液に浸す
- ③ 定時間後,電圧を止めて Ni 板をケースに入れる
- ④ 酸化発色による色の比較

電解液の濃度,電圧,時間を変えて対照実験を行う.

C: 結果 左: 図1 右: 図2	電圧		濃度		
	10V	30V	0.01%	0.10%	1.00%
時間	10分	30分	10分	20分	30分
10分					
20分					
30分					

### ～マッフル炉を使った Ni 板の発色実験～

#### A: 実験の条件

Ni 板 約 45mm×15mm,厚さは 0.5mm

るつぼを炉が温まる前から炉内に入れておく

Ni 板はるつぼの底を向いていた面を観察する

#### B: 実験方法

- ① マッフル炉の炉内温度を右図の温度まで上げる
- ② Ni 板をるつぼの中に入れ,定温運転で加熱する
- ③ 定時間後,炉から取り出し常温まで冷ました後,ケースに入れる
- ④ 酸化発色による色の比較

温度,時間を変えて対照実験を行う.

C: 結果 図3	温度									
	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C	800°C			
時間	10分	20分	30分	10分	20分	30分	10分	20分	30分	
10分										
20分										
30分										

### ～マッフル炉を使った Cu 板の発色実験～

#### A: 実験の条件

Cu 板 約 45mm×15mm,厚さは 0.5mm

るつぼを炉が温まる前から炉内に入れておく

Cu 板はるつぼの底を向いていた面を観察する

#### B: 実験方法

- ① マッフル炉の炉内温度を右図の温度まで上げる
- ② Cu 板をるつぼの中に入れ,定温運転で加熱する
- ③ 定時間後,炉から取り出し常温まで冷ました後ケースに入れる
- ④ 酸化発色による色の比較

温度,時間を変えて対照実験を行う.

C: 結果 図4	温度									
	170°C	180°C	190°C	200°C	210°C	220°C	230°C			
時間	10分	20分	30分	10分	20分	30分	10分	20分	30分	
10分										
20分										
30分										

## 5: 金属板の酸化発色実験の考察 (目的①について)

### 陽極酸化法

- 金属板はリン酸と電圧によって変色する
- 濃度が濃く,電圧が高いほど色が濃くなる
- 30分以上の反応において色の変化が見られなかったのは酸化被膜が生成される速さと,酸化被膜が壊れる速さが等しくなっていると考えられる
- 電解液を硫酸水溶液にしたところ,金属板が溶けてしまった
- 他の金属 (Al など) で陽極酸化したところ,鮮やかな色の変化が見られた

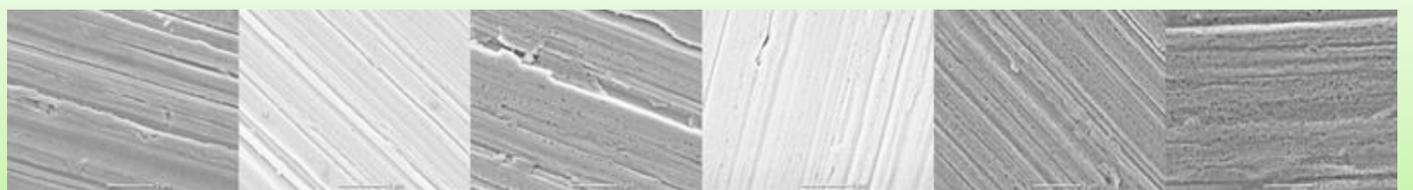
### 加熱による酸化

- Ni 板の色の変化は  
淡黄色→黄色→橙色→紫色→青色→灰色 となる
- Cu 板の色の変化は  
橙色→赤色→紫色→銀色→金色→銅色→黒色 となる
- 温度軸と時間軸の色の変化の傾向は類似している
- 灰色・黒色以上には変化がない
- Ni の加熱実験に比べ Cu の加熱実験では,より小さな温度変化でより大きな色の変化が見られた

## 6: 電子顕微鏡を用いた表面状態の観察 (Cu)

着色済の Cu 板の表面を電子顕微鏡で観察した.左から,無処理,橙色,赤色,紫色,銀色,金色のもの.

どれも凹凸や筋が目立っている.



無処理

橙色

赤色

紫色

銀色

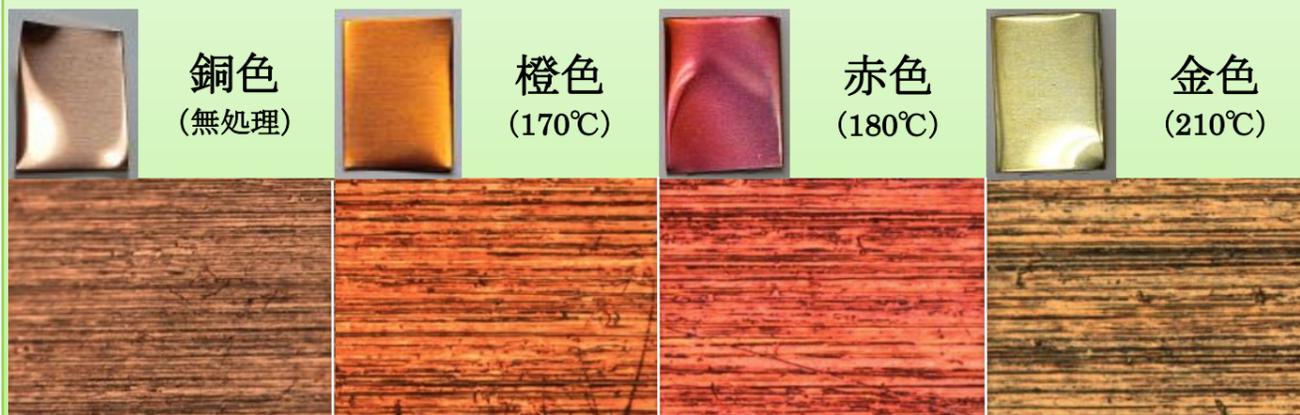
金色

## まとめ

- 加熱時間と温度を調節することで、一意的に多様な色の金属板を作成できた
- 変色の原因は薄膜干渉と予想していたが、薄膜干渉による影響は小さかった。観察結果から、変色は酸化物の色による影響が大きいといえる
- 酸や硫酸鉄（Ⅱ）水溶液を使って既に変色している Cu 板の色を変えることができる
- 変色は表面物質の変化によって生じると考えられる。今後は表面物質の性質の違いを利用して、表面がどのような状態になっているのかを調べたい

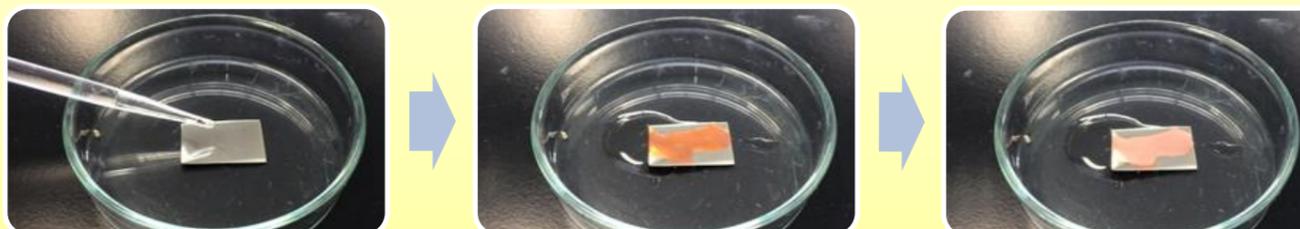
## 7: 光学顕微鏡を用いた表面状態の観察 (Cu)

以下の写真は光学顕微鏡で観察した Cu 板の表面である。「電子顕微鏡を用いた表面状態の観察」同様、Cu 板表面に多くの凹凸が見られた。確認したところ、数～数十 $\mu\text{m}$ の溝が一定方向に無数に入っていた。無処理の Cu 板にもこの溝が見られたため、これは板の製造過程で発生するものと思われる。また、観察する角度を変えても見える色は変化しなかった。



## 8: 検証実験 酸との反応, 還元剤との反応

着色済の Cu 板に酸を滴下すると、「Cu 板の色が変わりながら元の銅色戻っていく現象」が見られた。色は赤色⇒橙色⇒銅色に変化し、赤色、銀色の Cu 板どちらも変色の順番は変わらなかった。塩酸、シュウ酸、酢酸の水溶液を用いた実験の中で一連の変色が終わるまでの時間は「塩酸<シュウ酸<酢酸」の順となり酸の強さと同様の順番となった。



還元剤の硫酸鉄（Ⅱ）水溶液を用いて同様の実験を行ったところ、色は赤色⇒橙色⇒銅色となり結果も同様になった。



## 9: 発色原理の検証実験の考察 (目的②について)

- Cu 板に水をかけても色は変化しなかったことから、屈折率の変化は色に影響を与えないといえる
- 酸による Cu 板の色の変化は赤色⇒橙色⇒銅色となり、加熱による変色の逆をたどるので、酸は加熱によって起きた変化を消す、もしくは戻すものと予想できる
- 還元性のある硫酸鉄（Ⅱ）水溶液でも「加熱による変色の逆をたどる現象」は起こるため、酸化還元反応でも酸による反応でも共通する事象が一連の変色現象を起こすと考えられる
- 酸は「酸化した銅を溶かすこと」で色を変え、酸化還元反応では「酸化した銅を還元して、酸化する前の銅にすること」で色を変えると予想できる

## 参考文献

- 1) ステンレスの発色（電解発色・化学発色）とは  
<http://www.abel-s.co.jp/mame/hasshoku.html>
- 2) 酸化発色「サステインカラー」  
<http://www.nakano-acl.co.jp/hassyoku/>
- 3) 表面処理加工：チタン表面処理  
<http://www.toyorikagaku.com/technology/page1.html>
- 4) 銅の腐食と耐食性（北海道大学 能登谷 武紀）

## 銅箔の色調変化の研究

～銅箔の色を数式を用いて捉えることに確信を～

宮城県仙台第三高等学校

門口 尚広

### 1. 概要

銅板を加熱酸化させることで表面に酸化銅(Ⅰ) $\text{Cu}_2\text{O}$  被膜が成膜され、膜厚に応じて薄膜干渉が生じ、さまざまな色が現れる。この現象が銅箔でも起こるか実験した。詳しい色調の変化を知るために加熱温度を $160^\circ\text{C}$ から10分、 $10^\circ\text{C}$ 刻みの設定で $250^\circ\text{C}$ 、30分まで調べた。その結果、銅箔は、銅板同様さまざまな色を出し、箔の材料として作品を作ることができた。また銅箔の色調変化には規則性が見られ、加熱温度、時間と銅箔の色には数式的な関係があると考えた。そして酸素分子の拡散距離が、銅箔の色を把握する指標になることを見出した。希望する銅箔の色を酸素分子の拡散距離からシミュレーションすることで加熱温度と時間を割り出し、思い通りに銅箔に色をつけることができるようになった。

### 2. 研究の動機、目的

金箔や銀箔は、日本の伝統的工芸品に頻繁に用いられている。特に銀箔は、硫化水素と化学反応させることで変色することが判明しており、その反応によって作られる中金箔、赤貝箔は美術品等に使用されている。

一方、銅板を加熱すると表面が酸化されて酸化銅(Ⅰ) $\text{Cu}_2\text{O}$  被膜が成膜され、膜厚に応じて薄膜干渉が生じ、干渉色により銅板表面の色調変化が見られる現象について報告されている<sup>1),2)</sup>。

この2つの背景から、銅箔を加熱酸化することで様々な色をつけることができれば、金箔、銀箔のように銅箔にも装飾品として可能性が生まれてくると考え、実験を試みた。また、一定温度における加熱時間と銅表面の色調変化の関係は知られているが、異なる加熱温度と加熱時間の組み合わせによる色調変化についての研究は報告されていない。そこで様々な温度と時間の組み合わせと銅表面における色調の変化についても、銅箔と銅板を用いて実験し、調べてみた。今回銅板も用いたのは、銅板自体の色調変化についてもデータがないので一緒に調べてみようと考えたからである。

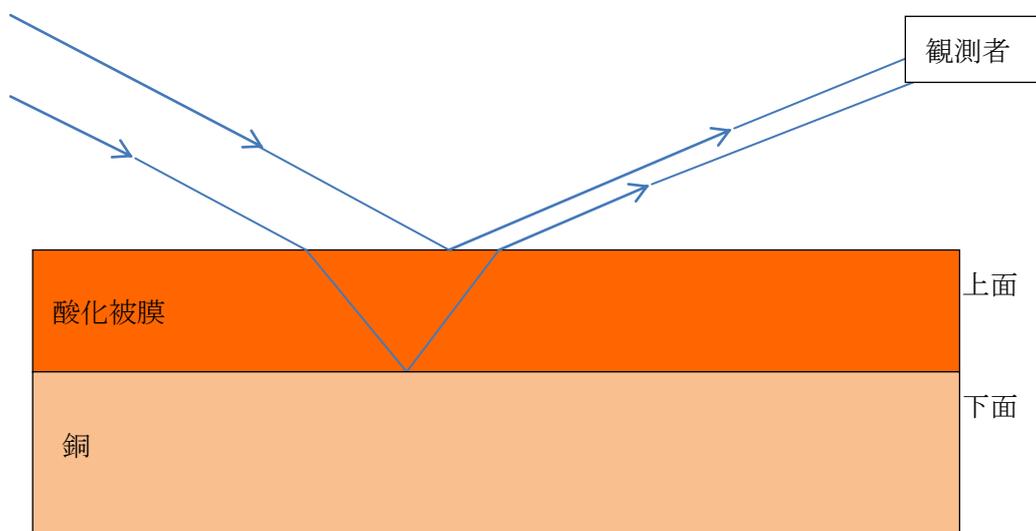
### 3. 薄膜干渉・酸化銅(I)Cu<sub>2</sub>O 被膜の成膜について

光の波長程度の薄い膜に光が入射した時、膜の上面で反射する光と膜に屈折しながら入射して膜の下面で反射する光の 2 種類が発生する。この 2 種類の光が干渉しあって観測者の目に届くことで膜表面が色づいているように見える(図 1)。この色調変化は、膜厚に応じて変化していく。この現象は薄膜干渉と呼ばれており、コンパクトディスクやシャボン玉等で見ることができる。薄膜干渉は、色素や顔料とは異なり、紫外線で脱色することがないため、繊維や自動車の塗装等に工業的な応用研究が様々な研究機関でされている。

本研究では銅箔、銅板の薄膜干渉による色調変化について調べており、銅箔、銅板における薄膜干渉は表面に成膜された酸化銅(I)Cu<sub>2</sub>O 被膜によっておこる。

様々な研究機関による銅表面の酸化被膜に関する研究<sup>3)</sup>によって、銅を空气中に放置した場合、銅表面に酸化銅(I)Cu<sub>2</sub>O 被膜が成膜され、時間とともに膜厚が増加していくということが知られている。また大気圧下において、銅の加熱温度を 400℃付近まで上昇させるまで酸化銅(II)CuO 膜は成膜されず、酸化銅(I)Cu<sub>2</sub>O 膜のみが成膜されるということも知られている。

図 1 薄膜干渉



### 3. 実験方法

#### 【実験 1 銅箔，銅板の加熱酸化による色調変化の実験】

〈実験条件〉

銅箔(20×20mm，厚さ 18 $\mu$ m)

銅板(20×20mm，厚さ 0.5mm)

銅箔の加熱にはマッフル炉を使用する。

マッフル炉の設定温度を 160 $^{\circ}$ C~250 $^{\circ}$ C(10 $^{\circ}$ C間隔)とする。

加熱時間を 10 分，20 分，30 分とする。

〈実験 1〉

- ① マッフル炉内の温度を設定温度まで上昇させる。
- ② 小皿に置いた銅箔，銅板をマッフル炉内に素早く入れ，定温運転で加熱する。
- ③ 一定時間後炉内から銅箔，銅板を取り出し常温まで自然に冷ます。
- ④ 銅箔，銅板の表面の変色を観察する。
- ⑤ 異なる加熱温度，加熱時間の銅箔，銅板を比較する。

#### 【実験 2 電子顕微鏡による銅箔の表面状態の観察】

〈実験条件〉

加熱前の銅箔，銅板，実験 1 で製作した変色している銅箔，銅板を観察する。

倍率を 600 倍とする。

加速電圧を 15kV とする。

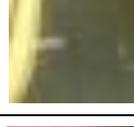
〈実験 2〉

- ① 倍率を設定し加熱前の銅箔，銅板実験 1 で製作した色調変化している銅箔，銅板の表面状態を観察する。
- ② 銅箔，銅板の表面状態を比較する。
- ③ 銅箔，銅板それぞれ未加熱，加熱後色調変化が見られる場合と比較する。

#### 4. 実験結果

実験 1 の 銅箔, 銅板の加熱温度, 時間における表面の色の結果を以下の**表 1**に示す

**表 1** 各加熱温度, 時間における銅箔, 銅板の色

時間 温度	銅箔			時間 温度	銅板		
	10 分	20 分	30 分		10 分	20 分	30 分
160°C				160°C			
170°C				170°C			
180°C				180°C			
190°C				190°C			
200°C				200°C			
210°C				210°C			
220°C				220°C			
230°C				230°C			
240°C				240°C			
250°C				250°C			

- (1) 銅箔，銅板ともに加熱に取り表面に色調の変化が見られた。
- (2) 銅箔のほうが，銅板よりも色調変化が鮮明に確認できた。
- (3) 銅箔表面の色調変化は，銅色⇒橙色⇒赤橙色⇒紫色⇒銀色⇒金色⇒桃色⇒緑色となった。この紫色，桃色，緑色は金箔，銀箔にはない色である。
- (4) 銅板表面の色調変化は銅色⇒橙色⇒赤橙色⇒紫色⇒銀色⇒金色⇒銅色になった。
- (5) 銅板は，金色以降の色調変化が確認しづらく，見る角度を変えたときの光の当たる角度によって表面に薄い青色，緑色の膜が覆うように見えるが，正面から見ると銅色に見えて色調が複雑になり，はっきりと確認できない。

【実験 2 電子顕微鏡による銅箔の表面状態の観察結果】

図 2 銅箔の表面状態(電子顕微鏡のため白黒)

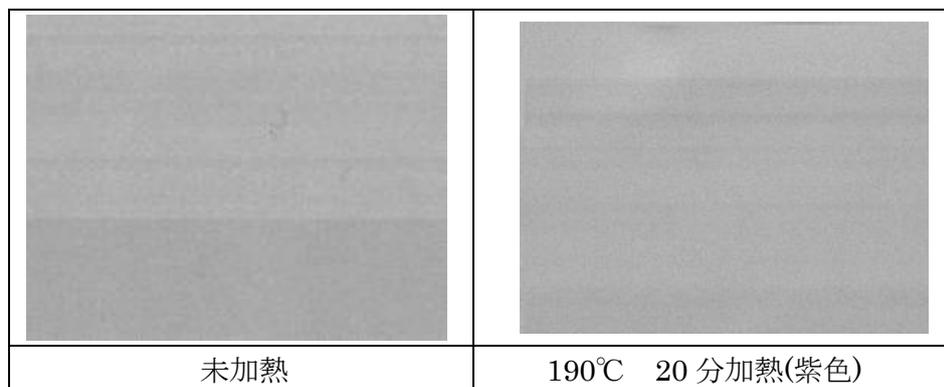
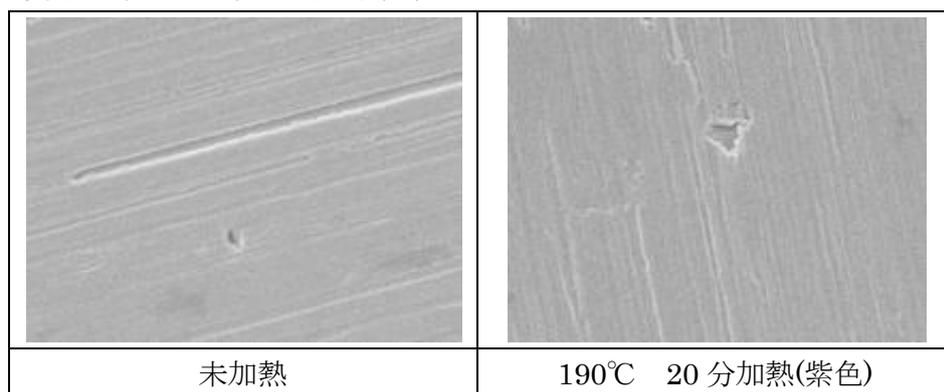


図 3 銅板の表面状態(電子顕微鏡のため白黒)



- (1) 銅箔では，未加熱の銅箔，加熱後の銅箔ともに表面に目立った傷は見られなかった。未加熱の銅箔と加熱後の銅箔の表面に違いは見られなかった。
- (2) 銅板では未加熱の銅板，加熱後の銅板ともに凹凸や筋が見られた。未加熱の銅板と加熱後の銅板の表面に違いは見られなかった。

## 5. 考察

考察 1 銅箔は、銅板より色が鮮明に確認することができた。また銅板では金色以降の色調変化が確認しづらくなった。

銅箔は、銅板よりも色調変化をはっきりと捉えることができることが判明した。銅板では捉えることができない色調の変化を銅箔で捉えられることにより銅表面における色調変化をよりの確に把握することができた。銅板の表面には一見肉眼では傷がない表面に見えるものの、**図 3**のように凸凹や筋がある。そのため銅板表面で光の干渉が銅箔よりも複雑に起こっており、それが  $\text{Cu}_2\text{O}$  被膜による薄膜干渉の色調変化を確認しにくくしていると考えられる。銅板の表面に凹凸筋が多いのは、銅板を生産する際にできた傷だと考えられる。また銅板は、銅箔よりも下地である銅箔の厚さが大きいため、下地の銅の色が銅板表面の色の見え方に大きな影響を与えて、色調変化が確認しづらくなると考えられる。

考察 2 銅箔では、干渉色が見られ、シャボン玉と類似した色調変化が起こっている。

銅箔の色調変化は、シャボン玉の干渉色の変化に似ている。その変化を以下の**表 2**にまとめてみる。シャボン玉は膜厚が厚くなるにしたがって**表 2**のように色調が変化する。シャボン玉の薄膜干渉による色調変化と類似している部分と、類似していない部分を確認することができる。これは、銅箔表面の色調変化は、シャボン玉と同じく薄膜干渉によって生じているが、シャボン玉における薄膜干渉は下地であるシャボン液が無色透明であるのに対し、銅箔の薄膜干渉は下地である銅の色の影響を受けているためと考えられる。

**表 2** シャボン玉と銅箔の色調変化

	膜厚	薄						厚
シャボン玉	無色	褐色	赤紫	青色	金色	赤紫色	金色	緑色
銅箔	銅色	橙色	赤橙色	紫色	銀色	金色	桃色	緑色

考察 3 銅箔では、金箔、銀箔と同様の銀色、金色の他に紫色、桃色、緑色といった色が見られた。

金箔や銀箔は日本の伝統的工芸品に頻繁に用いられ、日本の工芸品に無くてはならない存在となっている。特に銀箔は硫化水素と化学反応させることで変色することが判明しており、その反応によって作られる青色の青貝箔、赤貝箔、中金箔が美術品等に使用されている。また他にも緑色をはじめ多彩な色の虹彩箔、新光箔といった銀箔があるが、これは銀箔の上に合成樹脂と染料にてコーティングした着色箔であり、化学変化を利用して箔自体を着色したものは赤色、青色、金色、黒色である。

銅箔は 4 寸 2 分 (100 枚入) で市場価格が 3,900 円となっている。これは同じ条件の純銀箔 4 寸 2 分 (100 枚入) 2,600 円と比べると高い。しかし銀箔を化学反応で色調変化させた青貝箔や赤貝箔はともに 4 寸 2 分 (100 枚入) で 6,000 円と価値が上がる。

今回銅箔で銀箔にはない紫色、桃色、緑色を加熱酸化させることだけで容易に色着けることができた。ここで青色の「青貝箔」になぞらえて、それぞれ「紫貝箔」、「桃貝箔」、「緑貝箔」と名付けた。また意図的にグラデーションにしたものを「虹貝箔」とした。

金箔、銀箔にはない色の銅箔を作れたことで美術品に使用する際に、色彩の幅が広がり、より豊かな表現をできるようになる。

銀箔により作られた青貝箔、赤貝箔(販売品)と今回着色した銅箔を切り取り、両面テープで貼り付けた蝶のマグネット(図4)を作成した。黒板など磁石がつくところに張ることができる。触っても変色せず、水にも変化しない。ただシュウ酸、酢酸、塩酸をかけると酸によって溶かされ、銅表面の色に戻る。また同様に硫酸鉄(II)  $\text{FeSO}_4$  水溶液をかけると銅表面の色に戻る。これは酸化還元反応によるものと考えられる。今後さらに反応性、空気中の酸化の影響などを調べ、耐性などを調べていきたい。

図4 銀箔、銅箔を用いたマグネット



青貝箔(銀箔)



銅箔



赤貝箔(銀箔)



緑貝箔(銅箔)

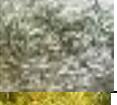


虹貝箔(銅箔)

考察 4 銅表面の色調変化には、加熱温度と加熱時間による規則性が見られる。

実験結果を確認すると加熱温度と時間に対しての銅箔の色調変化が類似している部分が見られる。**表 3** に銅箔を例に、加熱した温度(160℃～220℃)と時間(10分～30分)と銅箔の色を提示する。この表より、加熱時間と加熱温度の組み合わせと銅表面の色調変化に何らかの規則性、数式が存在するのではないかと考えた。以下考察 4 の疑問を明らかにしていく。

**表 3** 加熱時間、温度と銅箔の色の関係性

時間 温度	10分	20分	30分
160℃			
170℃			
180℃			
190℃			
200℃			
210℃			
220℃			

時間 温度	10分	20分	30分
160℃	銅	銅	橙
170℃	銅	橙	赤橙
180℃	銅	赤橙	紫
190℃	銅	紫	銀
200℃	橙	銀	金
210℃	赤橙	金	金
220℃	紫	金	金

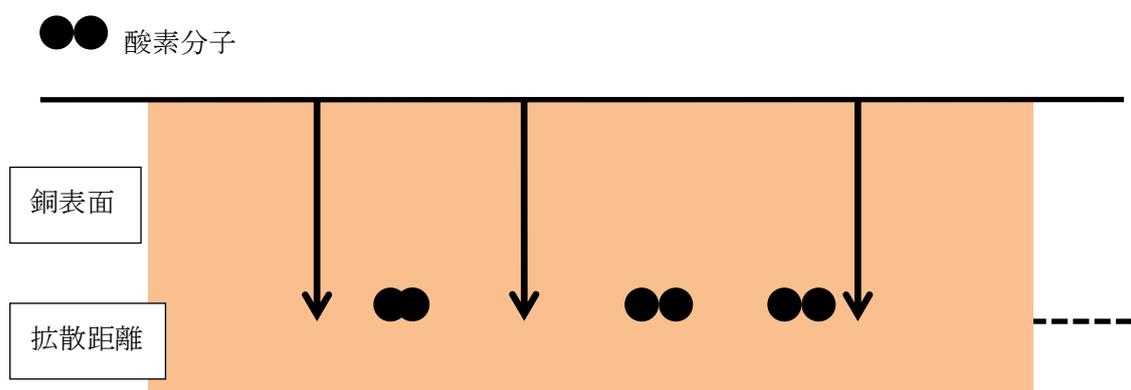
(1) 銅箔の色と計算式

はじめ加熱温度 10℃の違いは加熱時間 10 分間の違いに相当するという規則性を考えた  
が、必ずしも他の温度では一致していない。しかし銅表面の色調変化の規則性は、温度と時  
間を用いてきつと数式で表すことができると考え、「温度×時間」のかけ算の値から始まり、  
様々な数式を立てて考えてみたり、文献を調べてみたりした。しかしこの銅箔、銅板の色調  
変化を数式化、数値化することは非常に難航した。そんな中、拡散距離という公式が存在  
すること、拡散距離は時間と温度の 2 つの数値を用いて表すことができることを知った。

## (2) 拡散距離 $L(t)$ , 拡散係数 $D$ とは

銅の酸化は、銅表面に酸素分子が到達して表面から銅内部に酸素分子が侵入し、酸素分子が拡散し、銅と化学反応することによっておこる。図 5 にその様子と拡散距離を示す。拡散距離 $L(t)$ は、銅表面からどれぐらいの距離酸素分子が拡散しているのかを表す。拡散係数  $D$  は、単位秒あたりにどれぐらいの面積に酸素分子が拡散したのかを表す。下に拡散距離の公式を表す。

図 5 銅表面における酸素分子の拡散距離



### 公式 拡散係数 $D$ と拡散距離 $L(t)$

拡散係数  $D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$

$D$ : 拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$D_0$ : 拡散定数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$Q$ : 活性化エネルギー ( $\text{kJ}/\text{mol}$ )

$R$ : 気体定数= $8.31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

$T$ : 絶対温度 ( $\text{K}$ )

拡散距離  $L(t) = 2\sqrt{Dt}$

$L$ : 拡散距離 $\text{m}$

$D$  拡散係数( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$t$ :加熱時間( $\text{s}$ )

### (3) 酸素分子の拡散距離と銅箔の色の関係

拡散距離を求めることで銅がどのくらい酸素分子と化学反応をおこしたのかを数値化できるのではないかと考えた。そこで独立行政法人 物質・材料研究機構のデータベースに銅の内部における酸素分子の拡散係数がでていたので拡散定数  $D_0=5.80 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$  (ただし 873 ~ 1273K のときのデータ), 活性化エネルギー  $Q=57.4 \text{kJ/mol}$  を使って, EXCEL の表計算を用いて拡散距離  $L(t)$  を計算してみた。結果を表 4 に表す。

表 4 酸素分子の拡散距離  $L(t)$  と銅箔の色

時間 温度	10分 (600s)	20分 (1200s)	30分 (1800s)	拡散 距離 $L(t)$	時間 温度	10分 (600s)	20分 (1200s)	30分 (1800s)
160°C (433K)	$1.29 \times 10^{-5}$	$1.82 \times 10^{-5}$	$2.23 \times 10^{-5}$		160°C (433K)	銅	銅	橙
170°C (443K)	$1.54 \times 10^{-5}$	$2.18 \times 10^{-5}$	$2.67 \times 10^{-5}$		170°C (443K)	銅	橙	赤橙
180°C (453K)	$1.83 \times 10^{-5}$	$2.59 \times 10^{-5}$	$3.17 \times 10^{-5}$		180°C (453K)	銅	赤橙	紫
190°C (463K)	$2.16 \times 10^{-5}$	$3.05 \times 10^{-5}$	$3.74 \times 10^{-5}$		190°C (463K)	銅	紫	銀
200°C (473K)	$2.53 \times 10^{-5}$	$3.57 \times 10^{-5}$	$4.38 \times 10^{-5}$		200°C (473K)	橙	銀	金
210°C (483K)	$2.94 \times 10^{-5}$	$4.16 \times 10^{-5}$	$5.09 \times 10^{-5}$		210°C (483K)	赤橙	金	金
220°C (493K)	$3.40 \times 10^{-5}$	$4.80 \times 10^{-5}$	$5.88 \times 10^{-5}$		220°C (493K)	紫	金	金
230°C (503K)	$3.90 \times 10^{-5}$	$5.52 \times 10^{-5}$	$6.76 \times 10^{-5}$		230°C (503K)	銀	金	ピンク
240°C (513K)	$4.46 \times 10^{-5}$	$6.31 \times 10^{-5}$	$7.73 \times 10^{-5}$		240°C (513K)	金	ピンク	ピンク
250°C (523K)	$5.08 \times 10^{-5}$	$7.18 \times 10^{-5}$	$8.79 \times 10^{-5}$	250°C (523K)	金	金ピンク	緑	

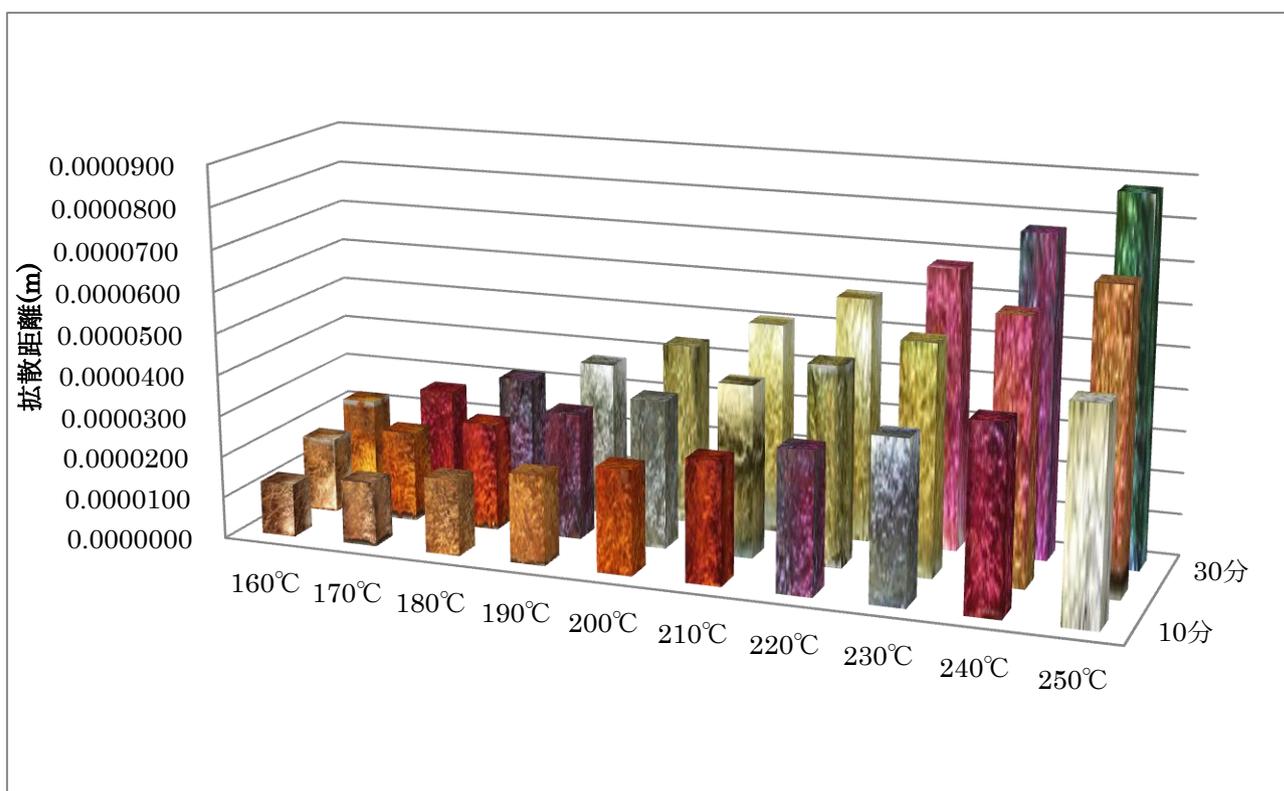
表 4 を見ると酸素分子の拡散距離に近い値のとき, 銅箔の色も驚くほど類似していた。類似した色の銅箔と酸素分子の拡散距離  $L(t)$  の範囲を表 5 に示した。また加熱温度と時間, 拡散距離  $L(t)$  と銅箔の色調の関係を, グラフ 1 を用いて表す。

表 5 酸素分子の拡散距離 $L(t)$ と銅箔の色調変化の範囲

拡散距離の範囲	$1.29 \times 10^{-5}$	$2.18 \times 10^{-5}$	$2.59 \times 10^{-5}$	$3.05 \times 10^{-5}$
	～ $2.16 \times 10^{-5}$	～ $2.53 \times 10^{-5}$	～ $2.94 \times 10^{-5}$	～ $3.40 \times 10^{-5}$
銅箔の色	銅	橙	赤橙	紫
拡散距離の範囲	$3.57 \times 10^{-5}$	$4.16 \times 10^{-5}$	$6.31 \times 10^{-5}$	$8.79 \times 10^{-5}$
	～ $4.46 \times 10^{-5}$	～ $5.52 \times 10^{-5}$	～ $7.73 \times 10^{-5}$	
銅箔の色	銀	金	ピンク	緑

※緑色は、実験でまだ1つしかできていないので拡散距離は1つしか判明していない

グラフ 1 加熱時間、温度と酸素分子の拡散距離 $L(t)$ 、銅箔の色の関係



グラフにしてみると酸素分子の拡散距離 $L(t)$ と銅箔の色が関係しているのが見られる。240°C、10分の結果では銀色が現れるはずだが、実際の色は紫色が出た。同様に250°C、10分の結果では金色が現れるはずだが、実際の色は銀色が出た。原因は、高温で短時間にしたときには銅箔自体が温まるまでのムラが生じるためと考えられる。もう一度実験して確かめてみたい。

しかしそれ以外は拡散距離の値の範囲と銅箔の色は、おおよそ一致していることから酸素の拡散距離の値は、銅箔の色を把握する指標になると考えられる。

#### (4) 銅箔の色のシミュレーション

今回、実験した範囲の中で酸素分子の拡散距離から銅箔の色を把握することができた。そこでまだ実験していない温度と時間を組み合わせたときの銅箔の色を酸素分子の拡散距離から把握することができるのではないかと考えた。

今まで加熱時間と温度を設定し、銅箔の色のデータをとるという実験を繰り返してきた。例えば銅箔が緑色になるには 250℃, 30 分の加熱時間と温度が必要だとわかったが、それは 160℃, 10 分から実験を始めて 10 分, 10℃刻みで実際に実験を繰り返してきた経験的によりわかった色である。そのため現在銅箔に緑色を出すには 250℃, 30 分としかわからない。

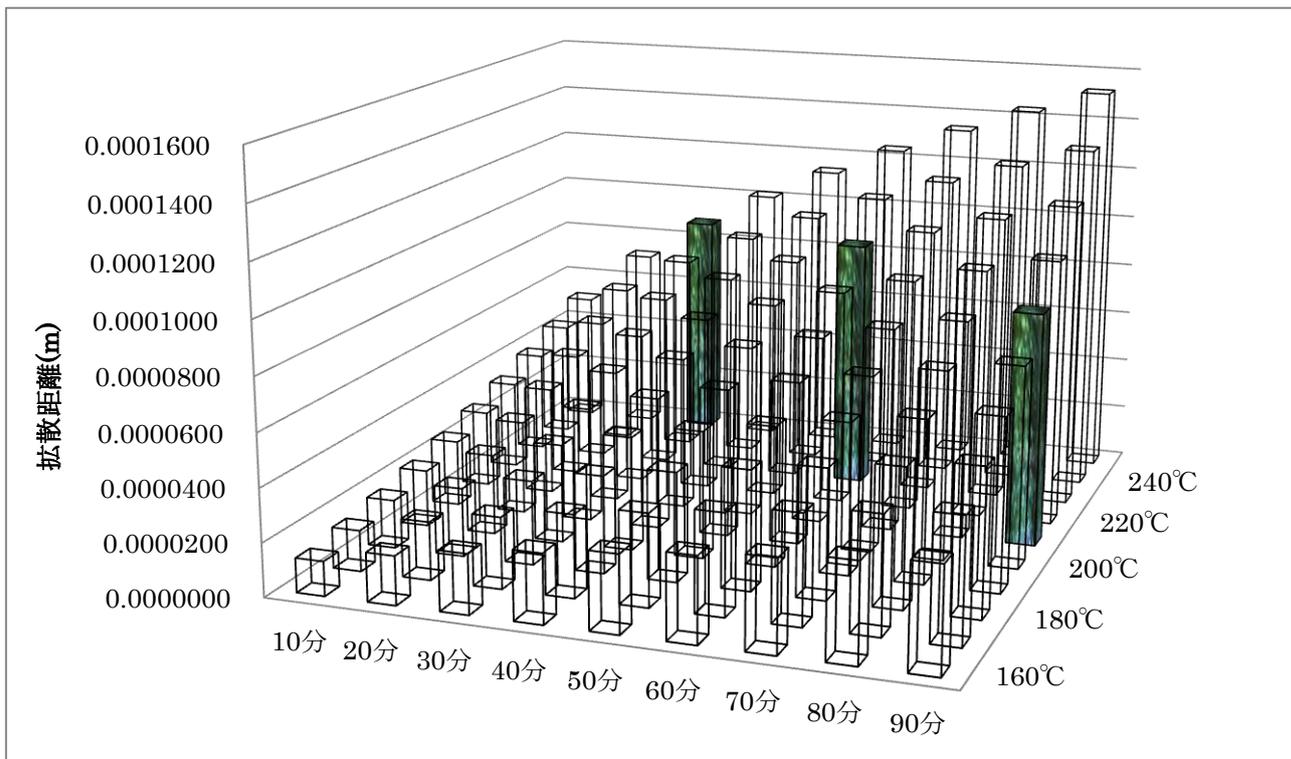
そこで緑色の銅箔を酸素分子の拡散距離から計算し、予想される加熱時間と温度を設定し、作ってみようと考えた。緑色を選んだ理由は、10℃, 10 分刻みで実験し、銅箔の色ひとつひとつ把握していくという従来の方法では、違う温度と時間の設定でたどりつくには非常に時間がかかる色であり、シミュレーションの効果が確かめられるからである。

銅箔が緑色を出すためには酸素の拡散距離は  $8.79 \times 10^{-5} \text{m}$  必要である。そこで加熱温度が 160℃~250℃, 加熱時間が 10 分~70 分の範囲で酸素の拡散距離を計算し、緑色の銅箔が現れる温度と時間をシミュレーションをした。その結果を表 6, グラフ 2 で表す。

表 6 緑色の銅箔に必要な酸素の拡散距離( $10^{-5}$ は省略する)

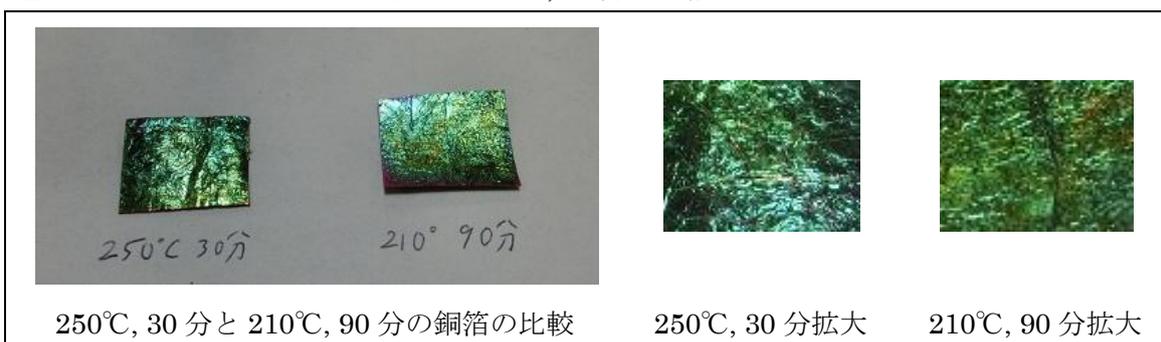
	10 分	20 分	30 分	40 分	50 分	60 分	70 分	80 分	90 分
160℃	1.29	1.82	2.23	2.57	2.88	3.15	3.41	3.64	3.86
170℃	1.54	2.18	2.67	3.08	3.45	3.77	4.08	4.36	4.62
180℃	1.83	2.59	3.17	3.66	4.09	4.48	4.84	5.18	5.49
190℃	2.16	3.05	3.74	4.32	4.82	5.29	5.71	6.10	6.47
200℃	2.53	3.57	4.38	5.05	5.65	6.19	6.68	7.15	7.58
210℃	2.94	4.16	5.09	5.88	6.57	7.20	7.77	8.31	8.81
220℃	3.40	4.80	5.88	6.79	7.59	8.32	8.99	9.61	10.19
230℃	3.90	5.52	6.76	7.81	8.73	9.56	10.33	11.04	11.71
240℃	4.46	6.31	7.73	8.93	9.98	10.93	11.81	12.62	13.39
250℃	5.08	7.18	8.79	10.15	11.35	12.43	13.43	14.36	15.23
260℃	5.74	8.12	9.95	11.49	12.84	14.07	15.20	16.25	17.23

**グラフ 2** 緑色の銅箔に必要な酸素の拡散距離



**表 6, グラフ 2** から銅箔が緑色になる拡散距離に近い値は意外に少なく, 250°C, 30 分の他には確実に近い値として 230°C で 50 分, もしくは 210°C で 90 分という加熱時間, 加熱温度の条件となった。そこで 210°C, 90 分という条件を選び, 実験してみた。その結果を **図 6** に表す。

**図 6** シミュレーションから選んだ 210°C, 90 分の銅箔の色



結果は, 緑色の銅箔になるとシミュレーションしたとおり緑色になった。これで酸素の拡散距離から銅箔の色を把握することができるという確信に至った。このことで従来の実験したデータのみの加熱温度と時間の組み合わせから, 加熱温度と時間を自分で設定し, 狙った色の銅箔を作り出すことができるようになった。これは, 報告されている銅の膜厚による色調変化が, 酸素分子の拡散距離に関係していることを証明した研究成果といえる。

## 6. 結論

〈銅箔，銅板の色調変化について〉

銅箔のほうが，銅板よりも鮮明に色調変化を確認することができた。これは銅板が銅箔に比べて表面に凹凸や筋が非常に多く存在すること，銅板は下地の銅の厚さが銅箔に比べて大きいことが関係している。また銅板表面の凹凸や筋が銅板表面での光の干渉を複雑にしていること，下地である銅の非常に大きな厚さの違いが原因として考えられる。

〈材料としての銅箔〉

本研究で銅箔を橙色，赤橙色，紫色，銀色，金色，桃色，緑色の箔にすることができた。銅箔を金箔，銀箔にはない色として装飾品に利用することが期待できる。

〈銅箔の色調変化と酸素の拡散距離の関係性について〉

加熱時間と加熱温度から酸素の拡散距離を求め，銅箔の色をシミュレーションすることができるようになった。銅箔の色調変化をシミュレーションできるということは未知の加熱時間と加熱温度の設定でも銅箔の色を予想することができる。希望の銅箔の色があるときに何度，何分といった限定的な条件ではなく，条件の選択に幅を待つことができる。

## 7. 今後の展望

今回の研究で酸素分子の拡散距離の値によって銅箔の色を把握，予測することができた。しかし銅箔表面に成膜された酸化被膜の膜厚を数値化はしていない。そこで今後は着色した銅箔の酸化被膜を塩酸で溶かし，その溶液の吸光度を測定することで，溶液中の銅イオン(I)の濃度を分析する方法(クプロイン法)<sup>1)</sup>を実施したい。これによって銅箔表面に成膜された酸化被膜の膜厚を数値化することができ，色と膜厚についての関係を知ることができる。さらに酸素分子の拡散距離と酸化銅(I)の膜厚より銅と酸素の反応性を算出することが可能になると考えられる。この方法で今後さらに研究を継続していきたい。

銅箔の利用についても美術部の部員に活用法を試してもらい，その実用性についても考察していきたい。

## 8 謝辞

この研究を進めるにあたって，顧問の菅原佑介先生，清原和先生，東北大学原子分子材料科学高等研究機構池田進准教授には実験，技術などの助言をしていただくなど大変お世話になりました。この場を借りて深く感謝申し上げます。

## 9. 参考文献

- 1 第13回日本学生科学賞作品集(1969年)「銅版の着色」青森県立青森西高等学校 化学班
- 2 全国SSH生徒研究発表会(2014年)「どうやって金属に色をつける?～塗料を使わない金属着色への挑戦～」宮城県仙台第三高等学校 SSH化学班 佐藤 裕介 山崎 誠仁 湯澤 翔太郎 門口 尚広
- 3 大脇 武史「FT-IRによる銅表面酸化第一銅( $\text{Cu}_2\text{O}$ )の定量解析」 R&D 神戸製鋼技報 52(2) 71-73 (2002)
- 4 独立行政法人 物質・材料研究機構 NIMS 物質・材料データベース  
<http://diffusion.nims.go.jp/>
- 5 須藤 一 田村 今男 西澤 泰二 共著「金属組織学」丸善株式会社 64-69 (1972)
- 6 村田誠四郎 「化学便覧基礎編 改訂5版」丸善株式会社 62-63 (2004)

## 宮城県内で採集した ミカヅキモの単離と分類



### 序論

## ミカヅキモとは

- ・シヤジクモ綱に属し陸上植物に近縁
- ・無性生殖の分裂と有性生殖の接合を行う
- ・身近な水田や池などで採取できる
- ・生殖隔離が報告されている
- ・種分化について研究されている

### 序論

## 目的

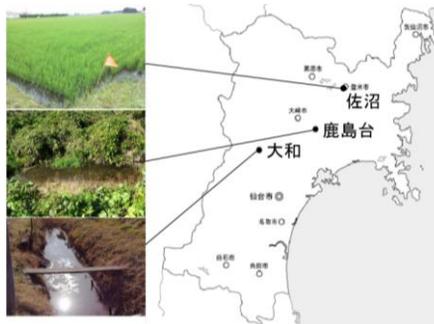
自然界のミカヅキモについて詳しく調べられていない  
宮城県内で採取されたミカヅキモについての情報が無い



宮城県内の野外環境から水を集め、単離したミカヅキモ属 *Closterium* の培養株を確立し、形態とDNAの塩基配列を比較して、種の分類を行う

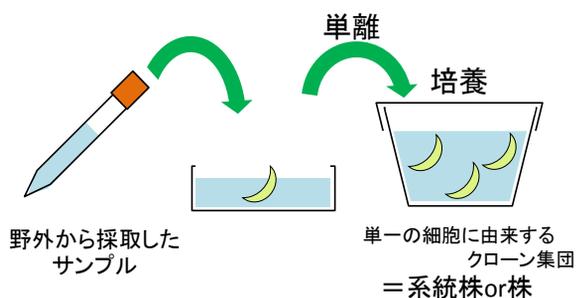
### 実験 I

## 採取地



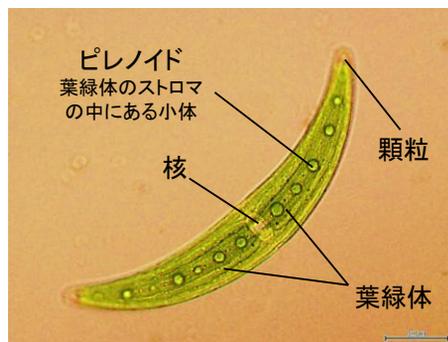
### 実験 I

## 系統株



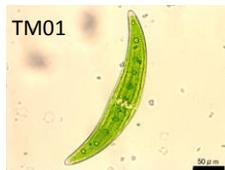
### 実験 I

## ミカヅキモの形態



結果

*Closterium moniliferum* ジュズミカツキモ？



- ・大和で採取
- ・細胞が湾曲している
- ・ピレノイドが一行に並んでいる
- ・先端が丸みを帯びている
- ・平均長278.8±2.6μm (n=77)

結果

*Closterium ehrenbergii* オオミカツキモ？



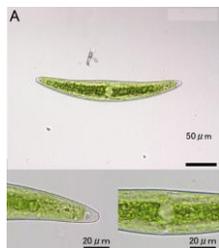
- ・佐沼で採取
- ・細胞は湾曲している
- ・ピレノイドが散在している
- ・平均長514.7±5.7μm (n=56)



- ・大和で採取
- ・細胞は湾曲している
- ・ピレノイドが散在している
- ・約284.0μm

結果

*Closterium* sp.



- ・細胞は湾曲している
- ・先端が丸みを帯びている
- ・平均長266.2±6.9μm



- ・細胞は湾曲している
- ・先端が細くなっている
- ・約320~330μm

考察

図鑑や図との比較

問題点

- ・種が判別できなかったものがあった



- ・その種である確証がない
- オオミカツキモ？ ジュズミカツキモ？



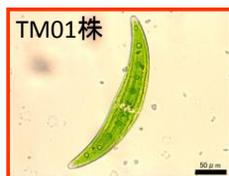
→ 分子系統解析による種の判別

実験Ⅱ

分子系統解析

解析した株

特に増えやすかった株を使用



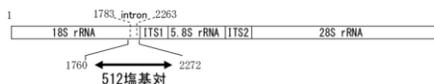
実験Ⅱ

分子系統解析

着目した領域

rRNA遺伝子グループ1イントロン

- ・moni.ehren.で変異が知られている
- ・傳法らにより分子系統解析に用いられた株rRNA遺伝子 (*C. ehrenbergii* KK-33-1株)



プライマー

- \*Cl-Gii (F)AGGAAGGAGAAGTCGTAAC
- \*Cl-SR14 (R)CAACGTGTGCAATGATCC

結果  
塩基配列

TM01

```

1  AAGGTTGCTT GTGTGTGAG ACGCTTGGG GGAATCAAGC ACAAGGAAGC CTGACGGGCG CTGACAGATA TGTGGTGG 8C
81  GGGTGGGTTT CACAGAAAGC GAGCGGAAGC GCTAGTCTT GCGATGGAGT TGGCGTCAA TCGATTCCAG GGGAGACCG 16C
161  TCGAATTGGG GGGAGTCTC GAGAGGCTT GCTACAGAGC GAGGGGAGT TTTGTGAGC AGTCTCGCA CTGAGCGCTT 24C
241  GGTGGGGAAC CTGTGTGAGT GAGTCAAGC CAGGTTATGG TAACTATGCA AAGGCTGAGC GAGMATGTC GCGAGCGAAG 32C
321  TCGAATCTAG TCGATTGAGC GAGTCAAGC ACGTCAAGC GGTGGGTTGC TAGCGCTTGC AGCGCTGGT GGTAAATATA 40C
401  CAGTGGGCGG GAAGGGAACA GCTTCTCTG GCAACTACAT CCGAGAGATT CACGTTTGGG TAGGTGAAGC TGGGGA
    
```



↑日本DNAデータベースに登録(アクセッションNO.AB871889)

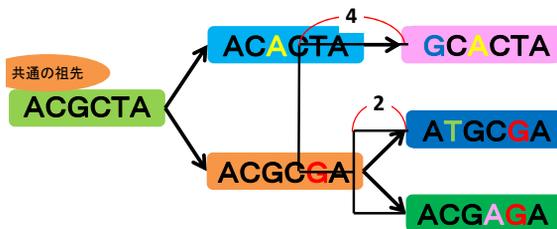
SE01

```

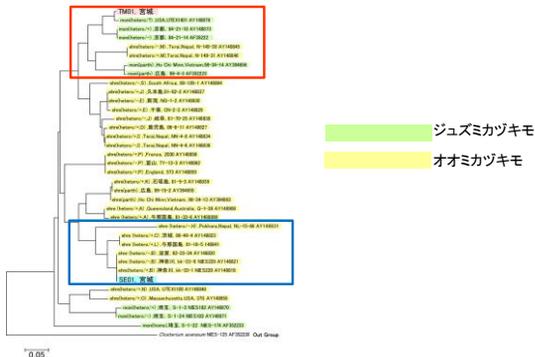
1  AAGGTTGCTT GTGTGTGAG GCGCTTGGG GGAATCAAGC CAGGGAAGCC TTAGCGGGCG TCGAATGCTT GAGCGAGGG 80
81  TGAATCAGC CTGAGGAGAT TGAATCTGA GTTTTGTGTC GAGGAGAGCC ATTCCTCTGC GAAGGACAGC GGTCAATTG 160
161  GGGGAGTTC TGGGAGGCTT TGTCTCAACA GGGATGGGGA AGAAGGTTG AGATGTTGTC TCGACCGCTT CAGCGCTTCT 240
241  GGGGAGTTC GTGTGATTA CAGCGTCAAG AGGATATGCT ACANTGCGAA AGGAGTATGC GAGATGATCC GAGCGACCT 320
321  GGGGAGTTC ACAGCGGAG GAGCTTCAAG CAGTCAAGC GCGTGGGTTG TGTGTGCTTG TCGACGCGGG CCTAATAGAT 400
401  AGTGGGAGC GAGGGAAGC CCGGCTTCAG AATGATAGC CAGATTTTGA CGTTCGATA GGTGAAGCTG GGGAA 480
    
```



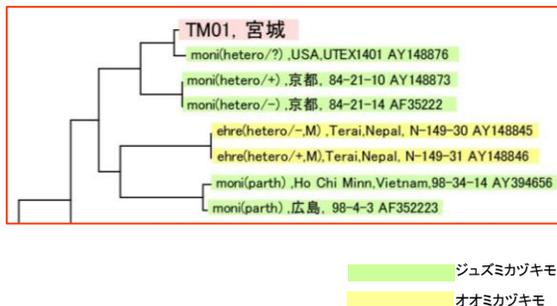
実験II  
分子系統樹



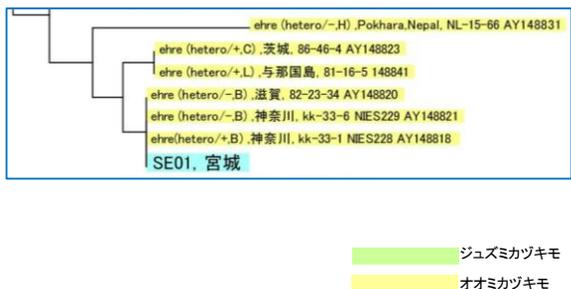
結果  
分子系統解析



アメリカインディアナ州のUTEX1401  
*Closterium moniliferum* ジュズミカヅキモ  
と遺伝的に98%一致



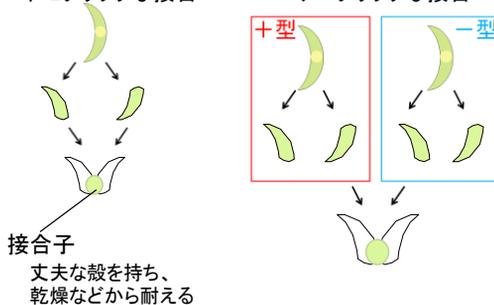
神奈川県の子株NIES-228株,NIES-229株および  
滋賀県の82-23-34株の*Closterium ehrenbergii*  
オオミカヅキモと100%一致。



実験III  
接合様式

ホモタリクな接合

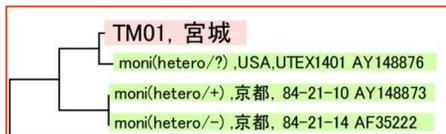
ヘテロタリクな接合



実験Ⅲ

TM01の接合相手

TM01の分子系統解析の結果から・・・



仮説

TM01はヘテロタリックな接合を行い  
採取地に接合相手がいる



TM02～TM12の11株を採取

実験Ⅲ

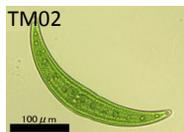
*Closterium* sp.



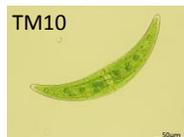
- ・大和で採取
- ・細胞が湾曲している
- ・約226.7µm

実験Ⅲ

*Closterium moniliferum* ジュズミカヅキモ?



- ・大和で採取
- ・細胞が湾曲している
- ・ピレノイドがー列に並んでいる
- ・先端が丸みを帯びている



- ・大和で採取
- ・細胞が湾曲している
- ・先端が丸みを帯びている
- ・約279.6µm

➡ 分子系統解析

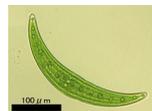
実験Ⅲ

TM01の接合相手

TM02

```

1  TACAGAGTT  GCCTGTGTS  CAGACCCCT  CCGCGGATC  CAGACAGGS  AAGCTGATC  GCGCTCACA  CATTGTGGS  80
81  TGGGGTGGG  TTTGGAGAA  AGAAGCCCT  AGCCTATCT  CTGGATGGS  AAAGACAT  CCATTCAGG  GGACAGCGT  160
161  CCAATTGGG  GGAGTTCTG  AGAGCCCTG  CTACAGAGG  ACGGGTGG  TGGCGAGAG  TGCTGCAC  GGACCCCTG  240
241  TGGCGAAGT  GGTGGCTTT  GTGAGACTA  GGTATGATA  ATAGAGAG  GCTGAGAG  AGATATGGS  CAGCGACTC  320
321  GAATCAGT  GTTGAAGCA  GTTACAGAC  TGCAGGGGG  TGGGTGCT  TAGCTCTT  AGGTTGTT  GCTTAGATA  400
401  CAGTGGGG  GAAGGAAA  CTTTCTCT  GTATTGAG  GCGAGACT  CAGCTTGG  TAGTGAAC  TGGGAGGA  480
481  TCAATGAG  AGTTG
    
```



TM10

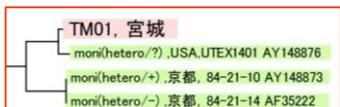
```

1  AAGGTTGCT  GTGTGAGG  ACGTTGGG  GGGATCAG  AGAGGAGG  CTGAGGGG  CTACACATA  TGTGTGGG  80
81  GGGTGGTTC  CACAGAGAG  GAAGGGAG  GGTAGTCTT  GGTATGGAT  TTGGATGCA  TCCATTGAG  GGGACAGGS  160
161  TCCATTGGG  GGGATGCT  GAGAGCCCT  GCTACAGAG  GAGGGGAT  TTTGTGAG  AGTGTGCA  CCGACCCCT  240
241  GGTGGCGAA  CTTGTGAGT  CAGTAGAG  CAGGGTATG  TAGCAATGA  AAGGCTGAG  GAGATCATC  GCGAGCAAC  320
321  TGATCTGAG  TCATTGAG  CATTGAGG  ACTGAGAG  GGTGGTGG  TAGCCCTG  AAGCTGTT  GCTTAGATA  400
401  CAGTGGGG  GAAGGAAA  CTTTCTCT  GCACTACT  GCGAGACT  CAGCTTGG  TAGTGAAC  TGGGGA  480
    
```



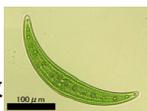
実験Ⅲ

TM01の接合相手



TM02

京都の84-21-10株,84-21-14株の  
*Closterium moniliferum* と遺伝的に98%一致



TM10

TM01と遺伝的に100%一致



実験Ⅳ

接合実験方法

ミカヅキモの接合

連続光下、窒素のない培地で接合する

培養条件

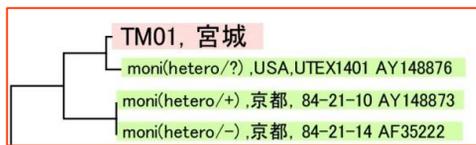
MI培地,20°C,連続光(白色光1000lux)

用いたミカヅキモ



実験Ⅳ

TM01の接合様式



仮説 TM01はヘテロタリックな接合を行う



ホモタリックな接合を行うかどうか検証

実験Ⅳ

ホモタリックな接合実験の結果

TM01  
多くの細胞が分裂した後  
細胞が元の形に戻らないまま  
ホモタリックな接合はしなかった



TM10  
何も起こらなかった  
ホモタリックな接合はしなかった

TM12  
多くの細胞が分裂した  
娘細胞同士がくっついたが  
ホモタリックな接合はしなかった



考察

TM01株とTM10株

TM01 TM10

アメリカインディアナ州のUTEX1401の  
*Closterium moniliferum* と遺伝的に98%一致



⇒ *Closterium moniliferum* ジュズミカツキモである



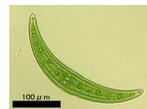
遠く離れたアメリカと宮城のミカツキモが遺伝的に  
可能性1) 自然界で近縁なものが世界各地に分布する  
可能性2) 人為的にアメリカのミカツキモが日本に移動  
(日本のミカツキモがアメリカに移動)

考察

TM02株

TM02

京都の84-21-10株, 84-21-14株の  
*Closterium moniliferum* と遺伝的に98%一致  
⇒ *Closterium moniliferum* ジュズミカツキモである



考察

SE01株

SE01

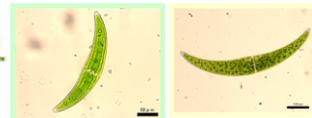
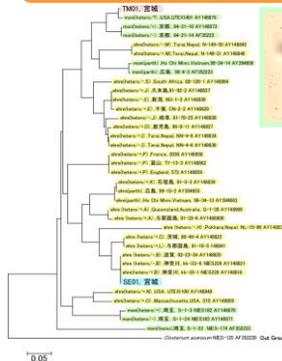
神奈川県のNIES-228株、NIES-229株  
および滋賀県の82-23-34株の  
*Closterium ehrenbergii* と遺伝的に100%一致  
⇒ *Closterium ehrenbergii* オオミカツキモである



可能性1) 自然界で移動し、国内に広く分布する  
可能性2) 人為的に国内で広く移動した

考察

オオミカツキモとジュズミカツキモ



形態は異なるが、遺伝的に  
近縁であり、系統樹において  
混在している

ジュズミカツキモ  
オオミカツキモ

考察

## 染色体の倍化

陸上植物において染色体の倍化で...

- ・形態が変化
- ・大型化する例がある

例

- ・キク属の同質性の倍化による形態変化
- ・4倍体のニンニクは通常より大型化

考察

## 染色体の倍化

仮説 ジュズミカツキモの染色体が倍化することで形態が変化・大型化し、オオミカツキモになる

*Closterium moniliferum*  
ジュズミカツキモ



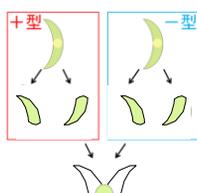
*Closterium ehrenbergii*  
オオミカツキモ



考察

## 接合型

TM01



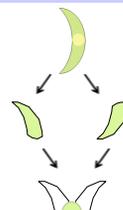
細胞の分裂後、元の形まで戻らなかった  
ホモタリックな接合は起こらなかった

仮説 ヘテロタリックな接合を行う

考察

## 接合型

TM12



分裂した娘細胞同士ペアを形成？

仮説 ホモタリックな接合を行う

## まとめ

- ・宮城県内のミカツキモについて  
*C.moniliferum*の系統株TM01  
*C.ehrenbergii*の系統株SE01 を確立した
- ・TM01株の18SrRNA遺伝子グループ1イントロン配列を  
国立遺伝学研究所の日本DNAデータバンクに登録した  
(アクセッションNO.AB871889)
- ・DNAデータベースから得た多数の塩基配列を元に  
TM01株、SE01株を含む分子系統樹を作成した

## 今後の展望

## 新たな系統株

報告されていない新規の系統株を県内から採取できる可能性がある  
→系統株を確立し、情報を蓄積していきたい

## 分子系統解析

ITS2など他の領域についての分子系統解析を行いたい

## 今後の展望(2)

### 接合実験

- TM01: TM10など遺伝的に相同性の近い株と  
接合実験を行い、接合型を検証
- TM02: 遺伝的に相同性の近い株と接合実験
- TM12: 細胞の密度など培養条件の検討・改良

### 染色体の倍化

- 染色体数やDNA量を調べたい
- コルヒチン存在下で培養し、観察を行いたい

## 参考文献

- 1 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.
- 2 原生生物サーベイ. [http://protist.l.hosei.ac.jp/protist\\_menu.html](http://protist.l.hosei.ac.jp/protist_menu.html) (2013/10/18アクセス).
- 3 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.
- 4 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/> (2013/10/18アクセス).
- 5 土金 勇樹のウェブページ. <https://sites.google.com/site/tsuchikaneyuki/> (2013/10/18アクセス).
- 6 Tsuchikane, Y., Sato, M., Ootaki, T., Kokubun, Y., Nozaki, H., Ito, M., Sekimoto, H. (2010) Sexual processes and phylogenetic relationships of a homothallic strain in the *Closterium peracerosum-strigosum-littorale* complex (Zygnematales, Charophyceae). *J. Phycol.* 46: 278-284.
- 7 傳法隆, Dain Hendrayanti, 市村輝宜. (2002) 核リボソームRNAの二次構造と分子系統学への利用. 堀野三・大野正夫・堀口健雄編「21世紀初頭の藻学の現況」. 日本藻類学会. 山形. p. 33-36.
- 8 Denboh, T., Ichimura, T., Hendrayanti, D., Coleman, A. W. (2003) *Closterium moniliferum-ehrenbergii* (Charophyceae, Chlorophyta) species complex viewed from the 1506 Group I intron and ITS2 of nuclear rDNA. *J. Phycol.*, 39, 960-977.
- 9 Hendrayanti, D., Denboh, T., Ichimura, T. & Motomura, T. (2004) Molecular evidence of parallel origins of two different parthenosporic lineages directly from heterothallic lineages in the *Closterium moniliferum-ehrenbergii* (Charophyceae, Chlorophyta) species complex. *Phycologia* 43:727-736.
- 10 D・L・ハートル, E・W・ジョーンズ, エッセンシャル遺伝学. 倍風館, 2005.
- 11 J.D.R.Frankham, D.A. Ballou, Briscoe. 保全遺伝学入門. 文一総合出版. 2007.

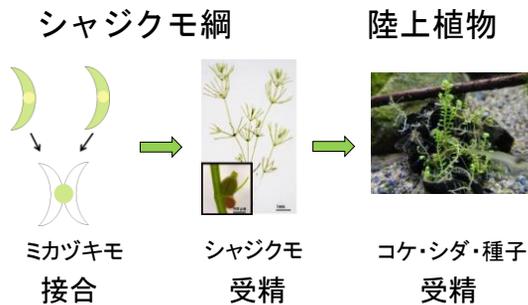
## 謝辞

日本女子大学関本弘之教授, 土金勇樹  
助教にはプライマーと文献の情報をいただきました。心より感謝申し上げます。

ご静聴ありがとうございました



## 陸上植物への進化

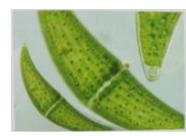


## 図鑑による形態の説明



*Closterium moniliferum*

- ・細胞はほどよく湾曲
- ・中央部はやや膨らむ
- ・細胞壁は平滑
- ・ピレノイドは半細胞に4〜7個あり1列に並ぶ
- ・細胞長 204〜384μm



*Closterium ehrenbergii*

- ・細胞は湾曲
- ・中央部はやや膨れる
- ・細胞壁は平滑で帯はない
- ・葉緑体には多数のピレノイドが散在
- ・細胞長 230〜880μm

(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.)

## 実験Ⅱ

## 分子系統解析

## プライマー

\*Cl-Gii (F)AGGAAGGAGAAGTCGTAAC  
 \*Cl-SR14 (R)CAACGTGTGCAATGATCC

## DNA塩基配列解析

ファスマックス社のPremix8連シーケンス解析

## 分類

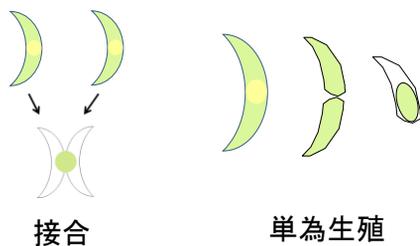
形態的分類・・・形態で種を分類

遺伝的分類・・・DNAの塩基配列の相同性で種を分類

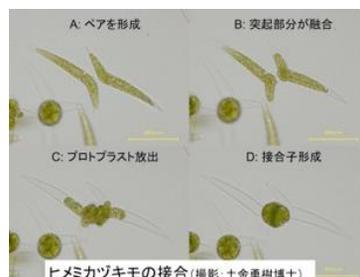
生物学的種概念・・・有性生殖で繁殖可能な子孫が  
 できれば生物学的に同じ種



## ミカヅキモの生殖



## ヒメミカヅキモの接合



日本女子大学・理学部・物質生物科学科 植物生理学研究室 関本研究室  
[http://mcm-www.jwu.ac.jp/~sekimoto/Site/yan\\_jiu\\_cai\\_liao.html](http://mcm-www.jwu.ac.jp/~sekimoto/Site/yan_jiu_cai_liao.html)

## NIES-201株のホモタリックな接合



NIES-201株: *Closterium wallichii* Turner

# ファージに対する細菌の感受性 ～ $\Phi$ NIT1 と *Bacillus* 属細菌～

## 宮城県仙台第三高等学校 自然科学部生物班 鎌田睦大

### 1 要旨

私はウイルスの感染のしくみに興味があるが、高校の実験室ではヒトに感染するウイルスは危険で扱うことができない。そこで、納豆菌のバクテリオファージであれば、高校の実験室でも安全に感染実験を行うことができ、「ウイルスの感染のしくみ」に関わる現象を観察できると考えた。バクテリオファージがどのように納豆菌に感染し溶菌させるのかを理解するためには、バクテリオファージに対する納豆菌株の感受性を調べ、感染・溶菌が見られる株と見られない株を比較することが重要である。強い溶菌性をもつ  $\Phi$ NIT1 を用いて野外から単離した *Bacillus* 属細菌への感染を調べた。野外から耐熱胞子を形成する 6 株を単離した。  $\Phi$ NIT1 の感受性を調べたところ、4 株で感染が確認された。そのうちの 1 つである SW6 は納豆形成をするが納豆菌ではなく、16SrRNA 遺伝子の解析からイネの根の内生細菌として報告されている *Bacillus barbaricus* と高い相同性を持つことが明らかになった。 *Bacillus barbaricus* の可能性が高い SW6 は、ある時点でポリグルタミン酸合成能力を獲得したことが示唆され、バクテリオファージ感染によって納豆菌からポリグルタミン酸合成能力が SW6 に水平伝播した可能性が考えられる。植物の根に共生する細菌は、植物の成長や耐病性に大きな影響を持つため、バクテリオファージ感染によって引き起こされる遺伝子の水平伝播が、細菌と植物の共生関係にも影響していることが考えられ、細菌とバクテリオファージの相互作用を利用して病気に強い植物をつくることができるかもしれない。

### 2 研究目的

バクテリオファージとは細菌に感染するウイルスである。バクテリオファージが細菌に感染する方法は「溶菌サイクル」と「溶原サイクル」がある。「溶菌サイクル」とはバクテリオファージが細菌に感染した際に細菌の DNA を破壊して増殖し、細菌の細胞壁を破壊（溶菌）して外界へと放出され、これが繰り返されていく。「溶原サイクル」とは、バクテリオファージが細菌に感染した際にバクテリオファージの DNA が細菌の DNA に取り込まれ、細菌自身が増殖することによってバクテリオファージも増殖する。溶原サイクルのバクテリオファージは、紫外線を当てるなどして細菌が死滅しかけると、溶菌サイクルに変わりファージが外界へと放出されることが知られている。

私はインフルエンザウイルスなどの病原体であるウイルスの感染のしくみに興味があるが、高校の実験室ではヒトに感染するウイルスは危険で扱うことができない。そこで、ヒトに感染することはないバクテリオファージに着目した。しかし、大腸菌

に感染するバクテリオファージの場合はベロ毒素などの病原性遺伝子を運んでしまう恐れがあるので、バクテリオファージの宿主として大腸菌は不適と判断した。本研究では、発酵食品に利用されている安全な細菌として納豆菌に着目し、納豆菌に感染するバクテリオファージを用いることにした。納豆菌のバクテリオファージであれば、高校の実験室でも安全に感染実験を行うことができ、「ウイルスの感染のしくみ」に関わる現象を観察できると考えた。

納豆菌に感染するバクテリオファージとして  $\Phi NITI$  が知られている。 $\Phi NITI$  は、木村ら (Kimura and Itoh, 2003) によって発見され、ほとんどの製品納豆の納豆菌に感染し、溶菌を引き起こす。また、 $\Phi NITI$  は納豆の糸の成分であるポリグルタミン酸を分解する酵素活性を持っており、納豆製造過程で  $\Phi NITI$  が混入すると、糸の引かない納豆になってしまうため、発酵産業にとって厄介者とされている。系統分類上、納豆菌は枯草菌 *Bacillus subtilis* とされ、納豆菌は基本的に  $\Phi NITI$  に感受性であるが、納豆発酵適性のない枯草菌にも感受性株が見つかる (木村 2002)。

バクテリオファージがどのように納豆菌に感染し溶菌させるのかを理解するためには、バクテリオファージに対する納豆菌株の感受性を調べ、感染・溶菌が見られる株と見られない株を比較することが重要である。製品納豆に由来する納豆菌だけではなく、野外から納豆菌を単離してバクテリオファージに対する感受性を調べ、納豆菌とバクテリオファージの感染・溶菌に差のある組み合わせを明らかにすることが必要である。

また納豆菌以外の *Bacillus* 属細菌では、*Bacillus amyloliquefaciens* が  $\Phi NITI$  の感染を受けることが報告されている (木村 2002)。納豆菌のみに限定せず *Bacillus* 属細菌にも着目し、納豆をつくらない枯草菌や *Bacillus subtilis* ではない細菌についても  $\Phi NITI$  に対する感受性を検討する必要がある。

本研究では、バクテリオファージ感染のしくみを理解することを目指し、バクテリオファージ  $\Phi NITI$  に対する *Bacillus* 属細菌の感受性を明らかにすることを目的とした。

### 3 研究方法

#### (1) 納豆菌の培養

納豆菌は市販納豆から分離した。納豆菌として、A社の製品納豆から MY, B社の製品納豆から TK1, TK2, C社の製品納豆から MZ1, MZ2, MZ3, KM の7株を得た。基層プレートとなる培地には 1.0% ポリペプトン, 0.5% 酵母エキス, 1.5% 寒天, 0.5% NaCl<sub>2</sub> を使用し、液体培地には寒天を除き、軟寒天培地には 0.7% 寒天を使用した。市販納豆の糸をプレートに塗り、植え継いだ。また試験管の液体培地に懸濁し、室温 (20~30℃) で震盪培養した。

## (2) 耐熱胞子をつくる細菌の単離

納豆菌を含む *Bacillus* 属は耐熱胞子を形成するので、野外から納豆菌を得るために、宮城県栗原市の2箇所の水田から稲わらを採取し、121°C、10分の滅菌を施した煮汁を寒天培地の上にまいて培養し、コロニーを得た。単一のコロニーとして培養できた細菌を6株単離し、SW1~SW6とした。

## (3) 実験1 $\Phi$ NITI 感染試験

希釈した  $\Phi$ NITI 溶液を寒天培地にほぼ直線を引くように塗り、液体培地で震盪培養した市販納豆から得た納豆菌 MY, TK1, TK2, MZ1, MZ2, MZ3, KM および、野外から単離した細菌 SW1~SW6 をほぼ直行するように塗り 30°C で培養した。

## (4) 実験2 納豆形成

大豆を水洗いし、圧力釜で30分間加熱し、クリーンベンチで腰高シャーレに分け、野外から単離した細菌 SW1~SW6 と市販納豆から培養した納豆菌 MY を植え付け、37°Cで一晩培養した。

## (5) 実験3 枯草菌 *Bacillus subtilis* 特異的なエンドグルカナーゼ遺伝子のPCRによる増幅

細菌をリゾチーム処理した後、キアゲン社の DNeasy Blood & Tissue Kit を使用して DNA を抽出した。S. Ashe ら (2013) の方法に従い、エンドグルカナーゼ遺伝子について、*Bacillus subtilis* 特異的なプライマーを使用して PCR を行った。フォワードプライマーとして EN1F (5'-CCAGTAGCCAAGAATGGCCAGC-3')、リバースプライマーとして EN1R (5'-GGAATAATCGCCGCTTTGTGC-3') を使用した。ファスマック社のオリゴ DNA 合成サービスを利用してプライマーを合成し、純水で 25pmol/ $\mu$ L に調整して使用した。DNA ポリメラーゼとしてタカラバイオ社の EXTaq を使用した。サーマルサイクラーはアステック社のジーンアトラス 322 を使用した。PCR 増幅産物は 1.0%アガロースゲル電気泳動によって確認した。

## (6) 実験4 16SrRNA 遺伝子のPCRによる増幅

細菌をリゾチーム処理した後、キアゲン社の DNeasy Blood & Tissue Kit を使用して DNA を抽出した。16SrRNA 遺伝子について、プライマー 27f (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') および 1492r (5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3') を使用した (Lane, 1991)。ファスマック社のオリゴ DNA 合成サービスを利用してプライマーを合成し、純水で 25pmol/ $\mu$ L に調整して使用した。DNA ポリメラーゼとしてタカラバイオ社の EXTaq を使用した。サーマルサイクラーはアステック社のジーンアト

ラス 322 を使用した。PCR 増幅産物は 1.0%アガロースゲル電気泳動によって確認した。

#### (7) シーケンス解析

増幅した DNA 断片は、1.0%アガロースゲル電気泳動で確認後、増幅 DNA 断片を含む溶液にフォワードプライマーを混合した溶液と、増幅 DNA 断片を含む溶液にリバースプライマーを混合した溶液について、ファスマック社の DNA 解析サービスを利用して塩基配列の決定を行った。

得られた増幅 DNA 断片の塩基配列データは、Applied Biosystems 社のソフトウェア Sequence Scanner を用いて確認した。得られた PCR 増幅 DNA 断片の塩基配列情報について、NCBI の検索システムを利用して相同性の高い塩基配列を検索した。また GenBank の DNA データベースから既知の *Bacillus subtilis* の塩基配列情報入手した。Tamura らのソフトウェア MEGA6 を使用し、得られた塩基配列のアラインメントを行った。

## 4 結果

### (1) $\Phi NIT1$ 感染試験

実験 1 で市販納豆から得た納豆菌 MY, TK1, TK2, MZ1, MZ2, MZ3, KM および、野外から単離した細菌 SW1~SW6 について、 $\Phi NIT1$  に対する感受性を調べたところ、市販納豆から培養した納豆菌は全て溶菌し、野外から採取した細菌は、SW1, SW2, SW4, SW6 が溶菌した (図 1)。

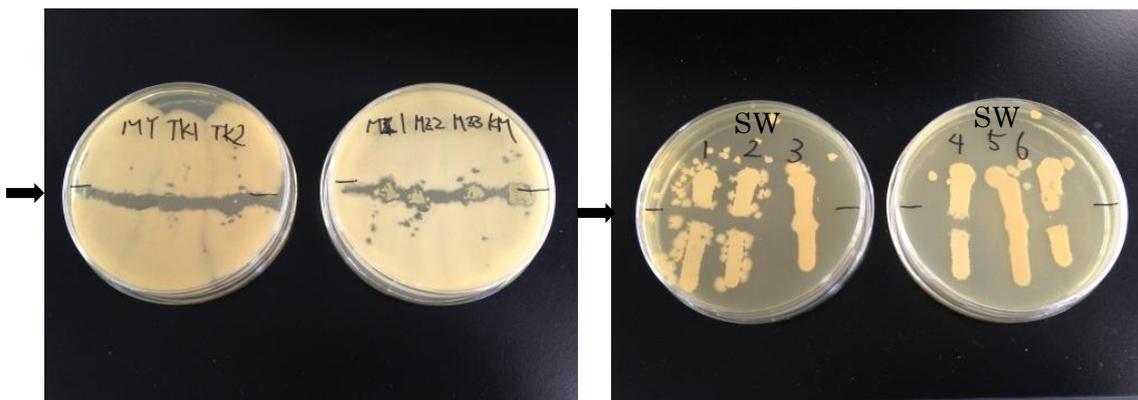


図 1 市販納豆および野外から採取した納豆菌と  $\Phi NIT1$  の感受性

MY, TK1, TK2, MZ1, MZ2, MZ3, KM は市販納豆由来の納豆菌, SW1 から SW6 は野外から単離した細菌を示す。図中の矢印の位置に  $\Phi NIT1$  を塗り、直行するように細菌を塗った。

## (2) 納豆形成

実験 2 で SW1, SW2, SW4, SW6, および市販納豆から得た納豆菌 MY を接種した大豆では糸引が生じたが, SW3, SW5 を接種した大豆では, SW1, SW2, SW4, SW6, MY を接種した場合に見られた膜が表面になく, 糸も引かなかった (図 2).

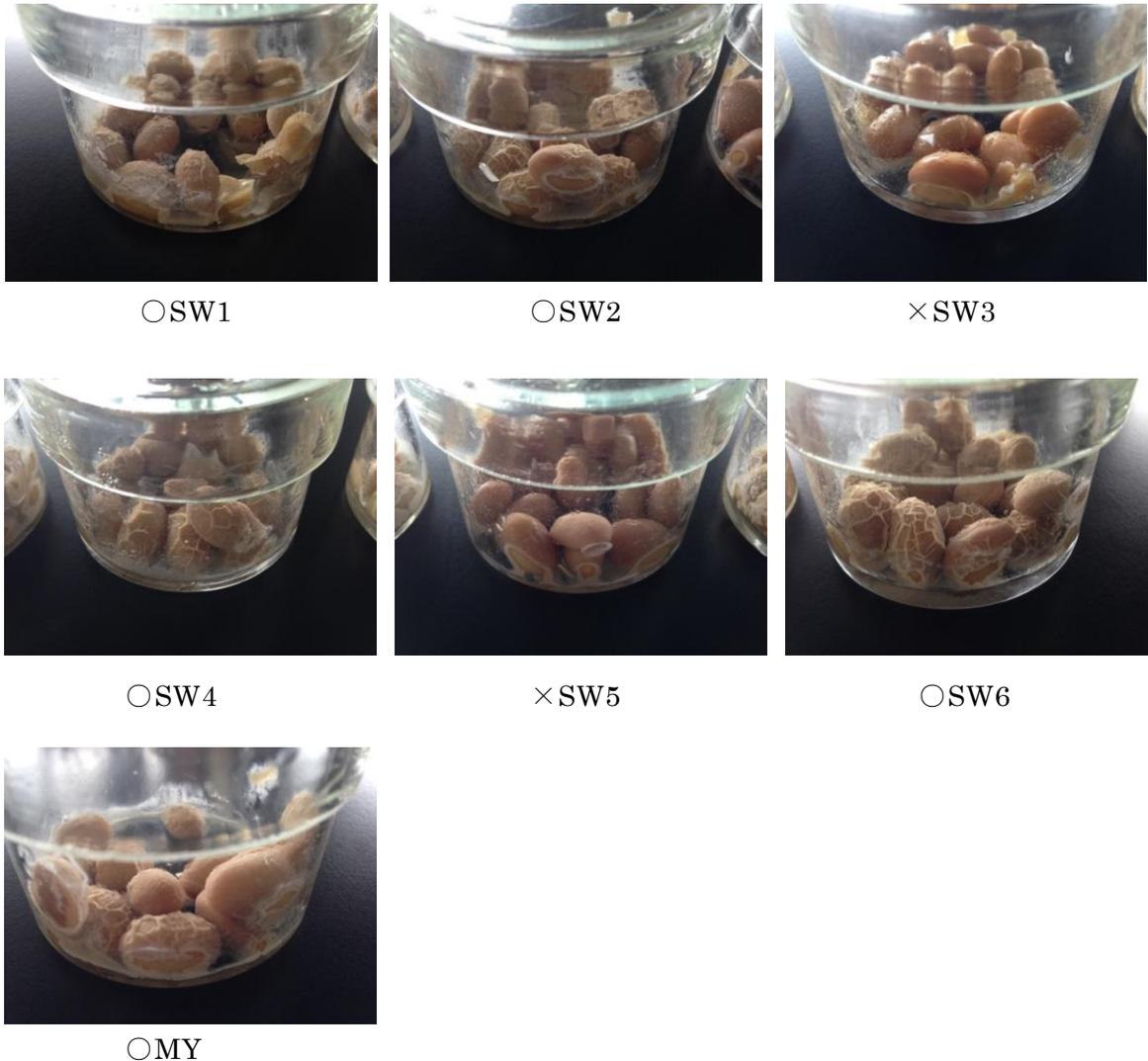


図 2 納豆の形成

野外から単離した細菌および市販納豆由来の納豆菌を煮沸した大豆に接種した。SW1 から SW6 は野外から単離した細菌, MY は市販納豆由来の納豆菌を示す。○は納豆形成を, ×は納豆ができなかったことを示す。

(3) 枯草菌 *Bacillus subtilis* 特異的なエンドグルカナーゼ遺伝子のPCRによる増幅

実験 3 で野外から単離した細菌 SW1~SW6 および市販納豆から得た納豆菌 MY について、リゾチーム処理により細胞を破壊し、SW1, SW2, SW4, および対照とした市販納豆由来の MY で PCR 産物の増幅が確認できた (図 3). これより、野外から採取した細菌 6 株中 3 株が *Bacillus subtilis* である可能性が高いと示唆される.

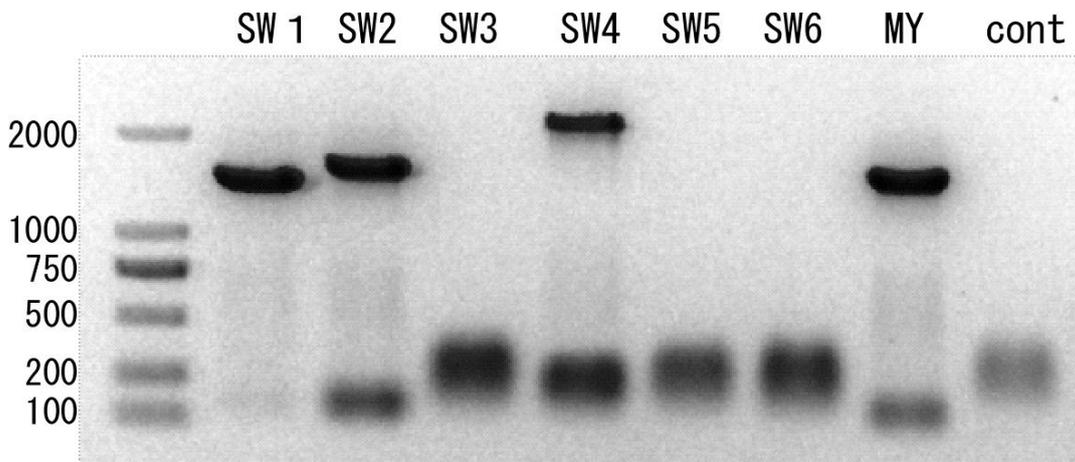


図 3 *Bacillus subtilis* 特異的なエンドグルカナーゼ遺伝子の PCR 産物

左のレーンは分子量マーカで、上から 2000, 1000, 750, 500, 200, 100bp である.

SW1 から SW6 は野外から単離した細菌, MY は市販納豆由来の納豆菌を示す.

表 1  $\Phi NIT1$  に対する感受性

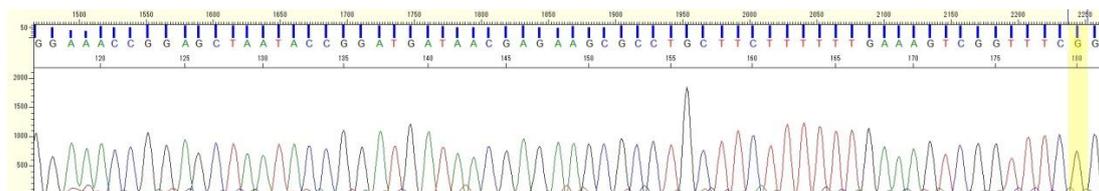
野外から採取した細菌 SW1~SW6 について実験 1 から実験 3 を行った結果をまとめて示したものである.  $\Phi NIT1$  の溶菌があった場合を○, なかった場合を×で示した. 納豆が形成された場合を+, 形成されなかった場合を-で示した. PCR産物が見られた場合を+, 見られなかった場合を-で示した.

	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6
感染試験	○	○	×	○	×	○
納豆形成	+	+	-	+	-	+
PCR産物	+	+	-	+	-	-

(4) シークエンス解析

野外から単離した細菌 SW6 について 16SrRNA 遺伝子を PCR により増幅し、シークエンス解析を行った結果、1215 塩基の配列情報が得られ、*Bacillus barbaricus* と 99%の相同性が見られ、*Bacillus subtilis* と 91%の相同性がみられた(図 4).

A



B

SW6	ATGACGAGGA	GCTTGCTCCT	CTGATTTAGC	GGCGGACGGG	TGAGTAACAC	GTGGGTAACC	TGCCTGTAAG	ACGGGGATAA
B barbari	CAGATG		C TGATG					T
B subtili								
	CTCCGGGAAA	CCGGAGCTAA	TACCGGATGA	TAACGAGAAG	CGCCTGCTTC	TTTTTTGAAA	GTCGGTTTCG	GCTGACGCTT
		G		G	TGTTT	C	A	G
					AAACA	A	GT	C
								AC
	ACAGATGGG	CCGCGGCGCA	TTAGCTAGTT	GGTGAAGTAA	CGGCTCACCA	AGGCGACGAT	CGGTAGCCGA	CCTGAGAGGG
	A					A		
	TGATCGGCCA	CACTGGGACT	GAGACACGGC	CCAGACTCCT	ACGGGAGGCA	GCAGTAGGGA	ATCTTCGGCA	ATGGACGAAA
								C
	GTCTGACCGA	GCAACGCCGC	GTGAGCGATG	AAGGCCTTC-	GGGTCGTAAA	GCTCTGTTGT	CAGAGAAGAA	CAAGTACCG-
	G		T	TT	G	A	T	G
								T
	--GAGTAACT	GCCGGTACCT	TGACGGTACC	TGACCAGAAA	GCCACGGGTA	ACTACGTGCC	AGCAGCCGCG	GTAATACGTA
	TC	A	G	G		A		
	GGTGGCAAGC	GTTATCC-GG	AATTATTGGG	CGTAAAGCGC	GCGCAGGCGG	TCTTTAAGT	CTGATGTGAA	AGCCACGCGC
		G	G		G	T	T	C
								C
	TCAACCGTGG	AGGGTCATTG	GAAACTGGGG	GACTTGAGTG	CAGGAGAGAA	AAGTGAATT	CCACGTGTAG	CGGTGAAATG
	G			A		A	G	G
	CGTAGAGATG	TGGAGGAACA	CCAGTGCGCA	AGGCGGCTTT	TTGGCCTGTA	ACTGACGCTG	AGGCGCGAAA	GCGTGGGGAG
								A
					A	C	C	T
	CAAAACAGGAT	TAGATACCCT	GGTAGTCCAC	GCCGTAAACG	ATGAGTGCTA	GGTGTG-GGG	GGGTTCCA-C	CCTCAGTGCT
	G					A	G	T
								GC
	GACGTTAACA	CATTAAGCAC	TCCGCCTGGG	GAGTACGGCC	GCAAGGCTGA	AACTCAAAGG	AATTGACGGG	GGCCCGCACA
	CA	C	G			T	A	
	AGCAGTGGAG	CATGTGGTTT	AATTGGAAGC	AACGCGAAGA	ACCTTACCAG	GTCTTGACAT	CCTCTGATCA	CTTGAGAGAT
	G						CA	TCCT
	CAAGCTTTCC	CCTTCGGGGG	ACAGAGTGAC	AGGTGGTGCA	TGGTTGTCGT	CAGCTCGTGT	CGTGAGATGT	TGGGTTAAGT
	AGGA	-G						
	CCCGCAACGA	GCGCAACCCT	TGACCTTAGT	TGCCAGCATT	CAGTTGGGCA	CTCTAAGGTG	ACTGCCGGTG	ACAAACCGGA
			T					
	GGAAGGTGGG	GATGACGTCA	AATCATCATG	CCCCTTATGA	CCTGGGCTAC	ACACGTGCTA	CAATGGGTGG	TACAAAGGGT
							ACA	A
								C
	TGCGAAGCCG	CGAGG						
	A	A						

図4 SW6の16SrRNA遺伝子断片のシーケンス解析

A: シーケンス解析の波形

B: SW6と相同性の高い塩基配列

B barbari は *Bacillus barbaricus*, B subtili は *Bacillus subtilis* を示す.

## 5 考察

### (1) $\Phi NIT1$ で溶菌する SW1, SW2, SW4

$\Phi NIT1$  の感染試験では, SW1, SW2, SW4 および製品納豆から培養した納豆菌で  $\Phi NIT1$  の感染が確認できた. これは糸引納豆を形成した細菌および PCR 産物がみられた細菌と一致する.

$\Phi NIT1$  の感染試験の結果より感染に差のある細菌を確認することができた. その後実験 2 の納豆形成, 実験 3 の *Bacillus subtilis* 特異的エンドグルカナーゼ遺伝子の増幅から SW1, SW2, SW4 が納豆菌である可能性が高いと示唆される.

### (2) $\Phi NIT1$ で溶菌し *Bacillus subtilis* 特異的 PCR 産物が増幅しなかった SW6 について

実験 1, 実験 2 の結果から, SW6 は  $\Phi NIT1$  感受性があり, 納豆形成能をもつことから納豆菌である可能性が高いと示唆された. しかし, 実験 3 の結果では *Bacillus subtilis* 特異的 PCR 産物がみられなかった. そこで実験 4 で 16SrRNA 遺伝子について塩基配列を決定し, NCBI の相同配列検索を行ったところ, SW6 は *Bacillus barbaricus* YNG48 株 (アクセッション No. JN700207) と 99% 相同であることがわかった.

YNG48 株はどのような性質であるかが不明であるが, 他の *Bacillus barbaricus* ではイネの根の内生細菌として報告されている例 (Sun ら, 2008) もあるが, 納豆の糸の成分であるポリグルタミン酸合成能力をもっているという記載は見当たらない. また, *Bacillus barbaricus* の  $\Phi NIT1$  に対する感受性も不明であり, 納豆菌ファージとして見出された  $\Phi NIT1$  が *Bacillus barbaricus* に感染するかどうかは情報が無い.

これらのことから, *Bacillus barbaricus* の可能性が高い SW6 は, ある時点でポリグルタミン酸合成能力を獲得したことが示唆され, その過程には 2 つの可能性が考えられる.

1 つ目はバクテリオファージによる水平伝播である. これはポリグルタミン酸合成能力を持つ細菌に対してバクテリオファージが感染し, ポリグルタミン酸合成に関与する遺伝子がバクテリオファージ DNA に取り込まれ, 感染によって SW6 に移った可能性が考えられる. このとき感染したバクテリオファージが「溶原サイクル」に入った後不活性化することで, SW6 は溶菌せずポリグルタミン酸合成能力を獲得したのではないだろうか.

2 つ目は SW6 がバクテリオファージ感染とは異なる過程でポリグルタミン酸合成能力を獲得した可能性が考えられる. プラスミドなどの DNA 分子の取り込みによりポリグルタミン酸合成能力を獲得したのではないか.

今後は上記のいずれかが起こっているのか確かめたい.

(3)  $\Phi NIT1$  で溶菌しない SW3, SW5

$\Phi NIT1$  の感染試験では SW3 と SW5 での感染が見られず、また納豆形成でも納豆形成できなかつたのは SW3 と SW5 となり一致した。この 2 つの細菌は枯草菌でないか、枯草菌ではあるが納豆菌ではない、もしくは納豆菌であるが糸をひかない菌であると考えられる。

(4) 野外から単離した細菌の遺伝的解析

今回の実験で納豆菌である可能性が高いと示唆された SW1, SW2, SW4 と感染が見られなかつた SW3, SW5 についてもどのような細菌であるか同定するため、16SrRNA 遺伝子に着目してシーケンス解析を行いたい。

(5) より多くの *Bacillus* 属細菌株の単離

さらにより多くの *Bacillus* 属細菌株の単離し、遺伝的系統と  $\Phi NIT1$  に対する感受性の関係を調べたい。

(6) 野外からのファージの単離

野外からのファージの採取および細菌株とファージ株を増やして採取したファージを製品納豆から培養した納豆菌および SW1~SW6 などの細菌に感染させ、感染に差のある組み合わせを見つけたい。

## 6 結論

バクテリオファージ  $\Phi NIT1$  に対する *Bacillus* 属細菌の感受性を調べる中で、16SrRNA 遺伝子解析により SW6 が *Bacillus barbaricus* と 99% の高い相同性を持つことが明らかになった。 $\Phi NIT1$  感受性や納豆形成における糸引きもみられたことから、SW6 は  $\Phi NIT1$  感染による水平伝播によってポリグルタミン合成能力を獲得したことが考えられる。

*Bacillus barbaricus* がイネの根の内生細菌として報告されている例もあり、植物の根に共生する細菌は植物の成長や耐病性に大きな影響を持つため、バクテリオファージ感染によって引き起こされる遺伝子の水平伝播が、細菌と植物の共生関係にも影響していることが考えられ、細菌とバクテリオファージの相互作用を利用して病気に強い植物をつくることができるかもしれない。

## 7 参考文献

- 1) Characterization of Poly- $\gamma$ -Glutamate Hydrolase Encoded by a Bacteriophage Genome: Possible Role in Phage Infection of *Bacillus subtilis* Encapsulated with Poly- $\gamma$ -Glutamate, Keitarou Kimura and Yoshifumi Itoh, APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, May 2003, p. 2491–2497
- 2) Specific oligonucleotide primers for detection of endoglucanase positive *Bacillus subtilis* by PCR, S. Ashe · U. J. Maji · R. Sen · S. Mohanty · N. K. Maiti, Biotech, 28 September 2013
- 3) 16S 23S rRNA sequencing in nucleic acid techniques. Lane, D. J., Bacterial Systematics (Stackebrandt E & Goodfellow M, eds), 1991, pp. 115-148, John Wiley and Sons, New York.
- 4) Endophytic bacterial diversity in rice (*Oryza sativa* L.) roots estimated by 16S rDNA sequence analysis. Sun L, Qui F, Zhang X, Dai X, Dong X, Song W. Microbial Ecology, April 2008, 55(3), 415-24.
- 5) 納豆研究の新展開～納豆菌とファージの共進化から探る～, 木村啓太郎, 生物工程, 2012年, 第90巻第6号 315-319
- 6) 納豆菌の粘質物生産機構, 木村 啓太郎, 食糧 : その科学と技術 / 食品総合研究所 編, 2007年, 第45号 61～76

## 8 謝辞

本研究にあたり, 東北大学大学院農学研究科金子淳先生より  $\Phi NIT1$  を分与いただくとともに, バクテリオファージの取扱いを指導していただきました. 心より感謝いたします.

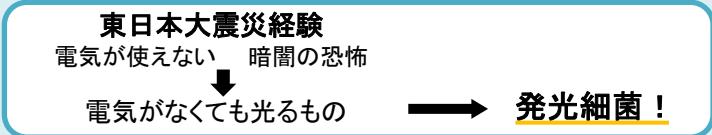


# 細光ランプで闇夜を照らす

宮城県仙台第三高等学校 細光ランプ 佐々木隼 伊藤青空 青木雄一

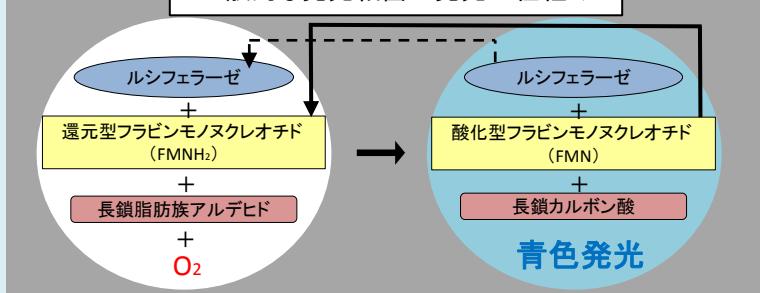


## 1.はじめに



## 細光ランプ

一般的な発光細菌の発光の仕組み



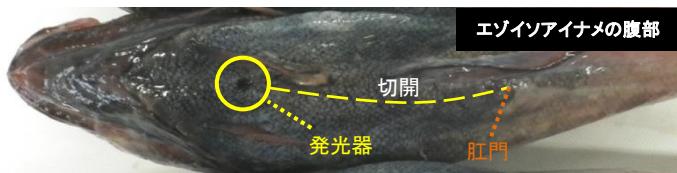
## 2.目的

明るい細光ランプを作るために、  
発光細菌が強く発光する環境条件を探す

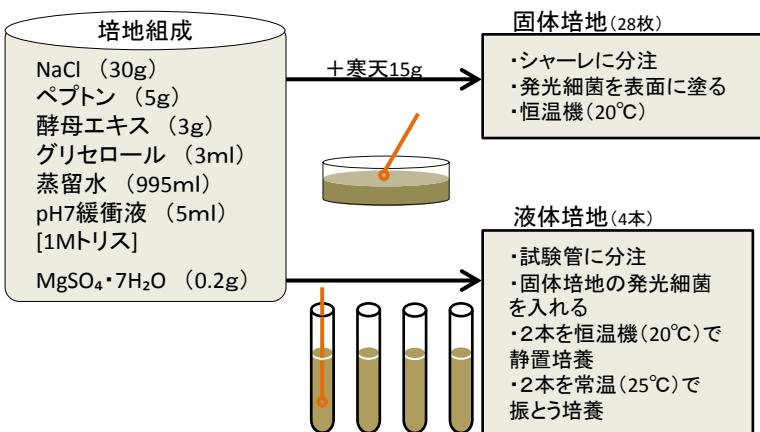
## 3.実験方法

### ①発光細菌の採集

エゾイソイナメ (*Lotella maximowiczii* Herzenstein) の  
発光器から採集



### ②固体・液体培地での培養



### ③培地の温度変化による発光の変化(固体培地)

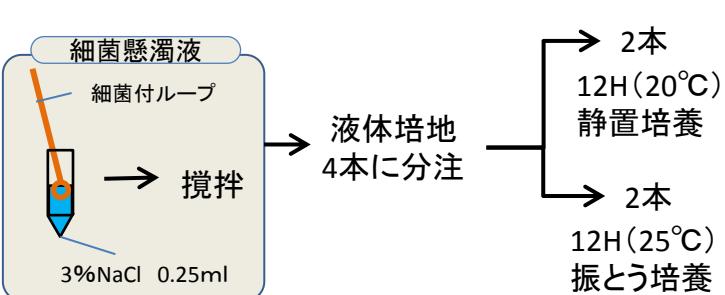
#### 加熱

鍋で湯煎 → 培地温度が5°C上昇ごとに発光確認

#### 冷却

冷蔵庫(1°C)で培養 → 24H後取り出し発光確認

### ④振とうによる発光の変化(液体培地)



## 5.まとめ

- ・培養は固体・液体培地で100%成功
- ・固体、液体培地で発光時間に差
- ・14~35°Cで発光を確認
- ・液体培地で上澄みだけ発光 & 攪拌で発光量UP
- ・冷却し培養した細菌は1か月後まで発光を確認

- 培養は容易
- 一般的な発光細菌と同様に **酸素**を必要とする**酵素**反応で 最適温度は**14~35°C**内
- 細菌を保存可能?

発光細菌が強く発光するためには**酸素**、**14~35°C**の温度環境が必要

## 6.今後の展望

- ・**酸素**と発光の関係について → 培養条件(容器など)を統一して培養
- ・発光している細菌は同一種のみ? 多種混在? → 細菌同定用のプライマーを利用して細菌を遺伝子レベルでの同定
- ・最適温度について → 温度変化による発光の変化をより詳しく
- ・細菌の保存方法について → 保存に適した保存液、温度を検討

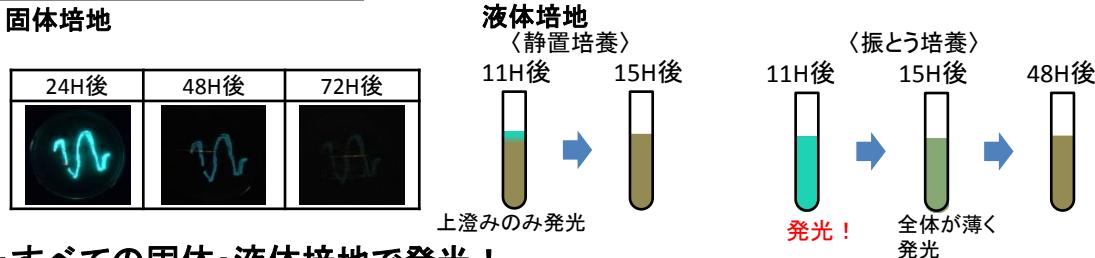
## 4.結果

### ①発光細菌の採集



約5mmの球形の発光器  
発光器(やや弾力がある、ピンセットでつぶれそうな柔らかさ)  
半分に切断  
切断面は白く、中に白色の粘性のある液体 → 発光細菌?

### ②固体・液体培地での培養



- ・すべての固体・液体培地で発光!
- ・発光持続時間 固体 > 液体 → 培地が**空気**に触れる面積の違い?

### ③培地の温度変化による発光の変化(固体培地)

加熱	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C
直後	○	○	○	○	×	×
24H後(20°C)					○	△
48H後(20°C)					○	○

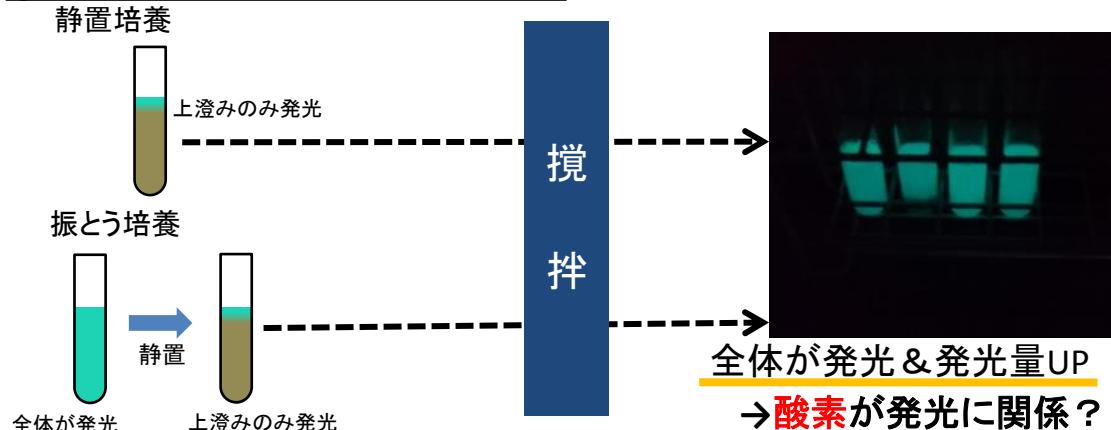
○:発光が見られた ×:発光が見られなかった △:一部発光が見られた

冷却	発光の有無(培地温度)
24H冷却後	×(1°C)
取り出し20分後	○(14°C)

14°Cから35°Cまでの  
環境で発光を確認

・冷却していた培地では1か月後も発光を確認

### ④振とうによる発光の変化(液体培地)



## 参考文献

詳しい解説の生物課題実験マニュアル改訂版(2011) 教材生物研究グループ  
原色動物大図鑑 第II巻(1958) 富山一郎 安部宗明 時岡隆  
ビブリオ フィシエリ由来のフラビン還元酵素遺伝子(1995) 善野修平 西郷薫

自然科学部

SSH特別課題研究（SSHクラブ）

# 超吸水性ポリマーを用いた燃料電池について

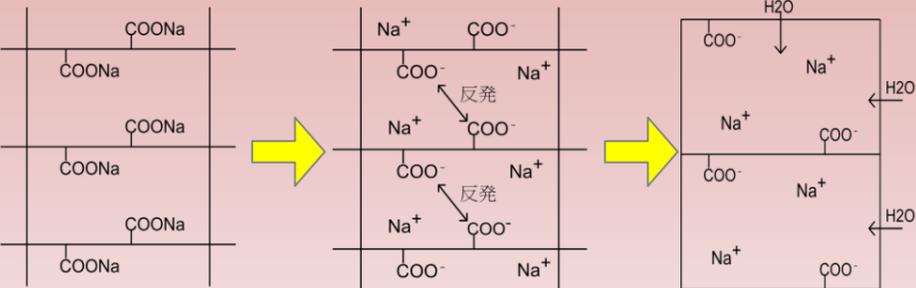
宮城県仙台第三高等学校自然科学部物理班 水上昂紀 平松明秀 米内山陸 野中七海斗 大橋一朗 石川冬真

## 研究動機及び目的

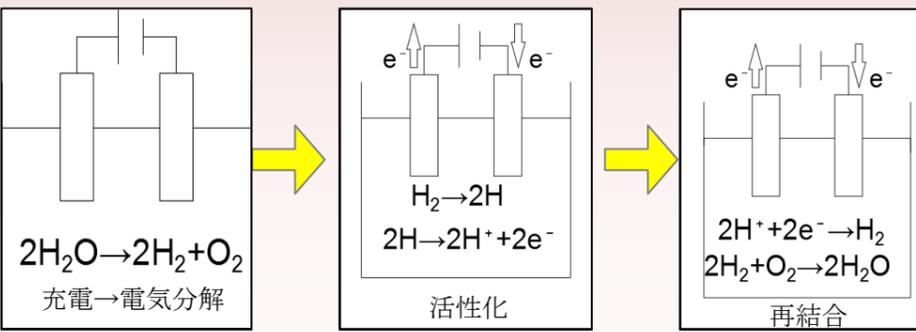
紙おむつなどに利用されている超吸水性ポリマーを用いて燃料電池を作成できると知り、使用済みの紙おむつから燃料電池を作り、使用することで環境問題の改善に貢献できるのではないかと考え研究を始めた。  
本研究では超吸水性ポリマーを用いて燃料電池を作成し、その最大電圧などの性能の向上を目指す。実際に使用済みの紙おむつを用いて、燃料電池を作成し使用する。

## 吸水原理,それを用いた燃料電池の仕組みについて

内部のカルボキシル基が  $\text{COO}^-$  と  $\text{Na}^+$  に電離し、それら同士が反発しあうことによって分子間が広がり、内部との浸透圧によって水を大量に吸収する。架橋構造になっているため、水に溶解されずゲル状の構造になる。



超吸水性ポリマーを用いた燃料電池の仕組みについて  
通常の燃料電池と同様の工程で電気の発生につながっていると考えられる。また、電極が触媒の役割も果たしていると考えられる。



## 実験材料・実験方法

### [実験材料]

- 超吸水性ポリマー (自重の約 300 倍吸収)
- 極板 (銅板、アルミニウム板、ニッケル板、亜鉛板、炭素棒、備長炭)
- テスター・電源装置・タイマー・プラスチックコップ
- 溶液 (水道水、NaCl 水溶液 0.00800 mol/l、C6H8O7 水溶液 0.00800 mol/l、NH3 水溶液 0.00800 mol/l)

### [実験方法]

以下の実験では、右図のように超吸水性ポリマーと水溶液をプラスチックコップに入れ、ポリマーに完全に吸収させたものを作成して、右下写真のような電源装置を用いて 5.00V の電圧で 1 分間充電を行い電圧の測定を行った。

### <実験 1>

使用する極板の種類を変えて最大電圧の測定を行った。

### <実験 2>

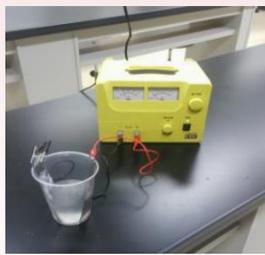
極板を C-C、Ni-C、備長炭に固定してポリマーと水道水の比率を (1:100, 1:150, 1:200, 1:250, 1:300, 1:350) に変えて最大電圧の測定を行った。

### <実験 3>

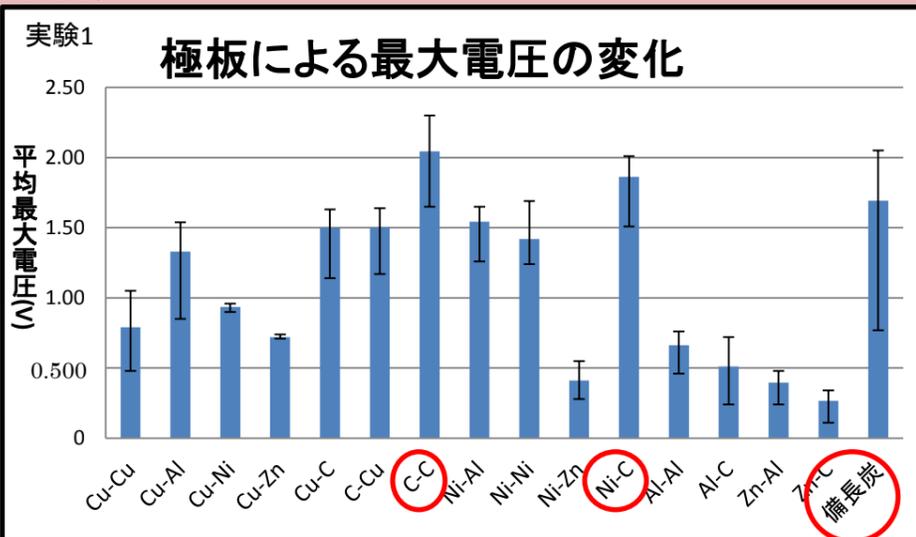
水道水を他の水溶液 (NaCl 水溶液, C6H8O7 水溶液, NH3 水溶液) に変え、ポリマーとそれらの比率を 1.00:200 に固定し最大電圧の測定を行った。

### <実験 4>

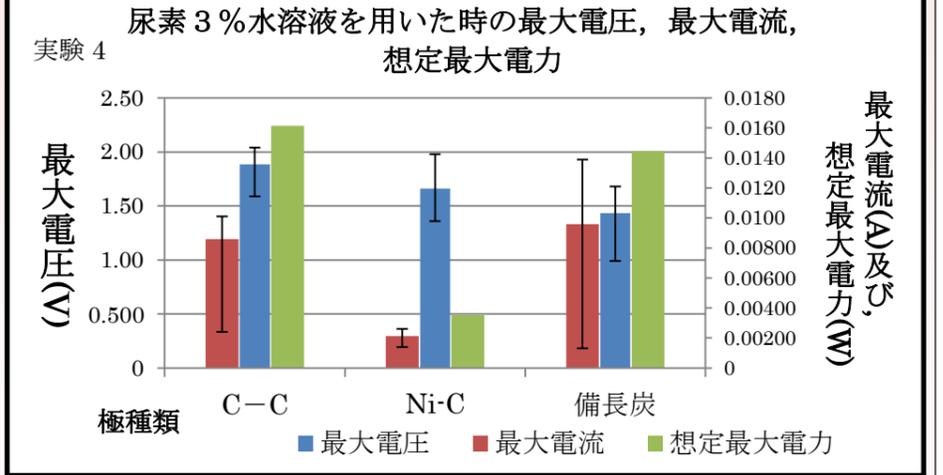
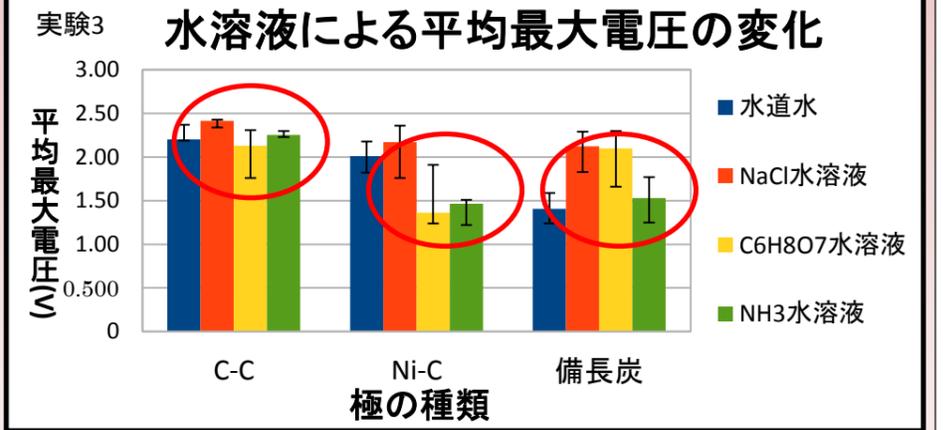
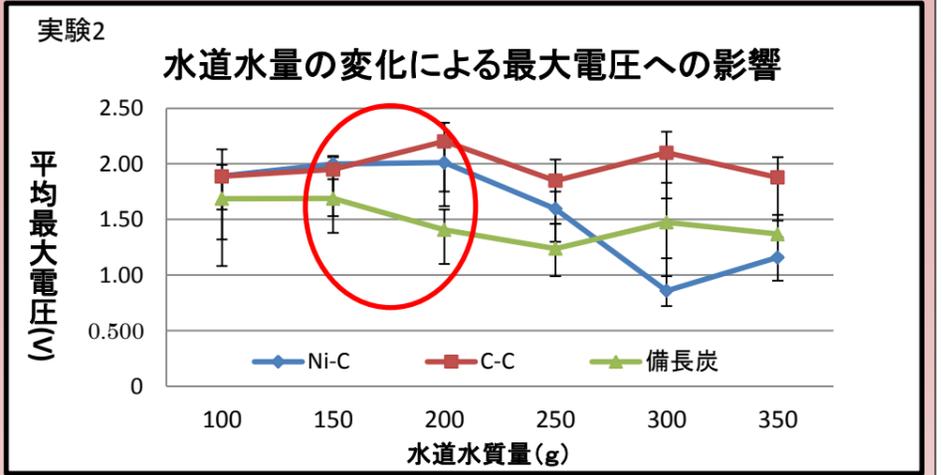
これまでの結果をもとに、尿素 3.00% 水溶液を用いた時にどの位の電圧、電流、電力は発生するか調べた。



## 実験結果 I



## 実験結果 II



## 考察

### [実験 1]

電極に炭素や備長炭を用いた場合において、電圧が高くなるのが分かる。そこから、金属のイオン化傾向は電圧の大きさには関係なく、電極に使用する金属類の特性によって決まるのではないかと考えた。

分子活性化、電気分解の時に直接電極に関わると考えるとこの両方の行程において電極に求められるのは、活性させる力の大きさだと考えた。

結果より、多孔性の高い物質は、触媒活性が大きく電圧の向上につながったのではないかと考えた。

### [実験 2]

吸収させる水の量を変化させることは、ポリマー内のイオン濃度の変化につながり、これがポリマー自体の電気伝導率の大きさに関係してくるのではないかと考えた。電気伝導率が大きくなればポリマーに流れる電圧も大きくなり、水の電気分解の効率が良くなり、電圧も上昇したのではないかと考えた。

### [実験 3]

実験 2 の考察にも述べたように、ポリマー内のイオン濃度が大きくなることで電気伝導率が大きくなり、電圧が大きくなったのではないかと考える。しかし、逆に電圧が小さくなった組み合わせもあり、ポリマー内のイオンとの組み合わせに問題があったのではないかと考えた。

### [実験 4]

結論として、人尿の値に近い尿素的の値でも燃料電池として働くことは可能だといえる。しかし、Ni-C においての電流が他の電極より大きく低いことから、電極の種類によって内部抵抗が変わり、高い電圧が生まれても電流が大きくならなかったのではないかと考えた。

## 参考文献

- 平成 16 年度標準技術集 有機高分子多孔質体 [https://www.jpo.go.jp/shiryous/sonota/hyoujun\\_gijutsu/organicpolymer/3-7-1.pdf](https://www.jpo.go.jp/shiryous/sonota/hyoujun_gijutsu/organicpolymer/3-7-1.pdf)
- 高吸水性樹脂 - 三洋化成工業 <http://www.sanyo-chemical.co.jp/pr/pdf/pk105.pdf>
- 燃料電池 [http://www.kansai.meti.go.jp/3jisedai/project-next/daigakuseeds/fc\\_m.pdf](http://www.kansai.meti.go.jp/3jisedai/project-next/daigakuseeds/fc_m.pdf)
- 燃料電池について - 日本電気技術者協会 <http://www.jcea.or.jp/course/contents/09402/>
- 電解質 - Hi-HO <http://www.max.hi-ho.ne.jp/lylle/ion2.html>
- 燃料電池とは - FCCJ 燃料電池実用化推進協議会 <http://www.fccj.jp/jp/aboutfuelcell.html>
- 触媒入門 [www.d7.dion.ne.jp/~shinri/nyumon\\_C.html](http://www.d7.dion.ne.jp/~shinri/nyumon_C.html)
- 「エネルギー環境学習工作教材集」 岩手大学(いわてエネルギー環境教育ネットワーク)
- 燃料電池のおはなし 広瀬 研吉 著
- 1日の尿量・1回の尿量の平均・正常値のまとめ-検査ぶっく [www.kensa-book.com/expression/urine-total-volume.html](http://www.kensa-book.com/expression/urine-total-volume.html)

# 空気砲による渦輪の応用

宮城県仙台第三高等学校

伊澤 葉奈 水上 昂紀

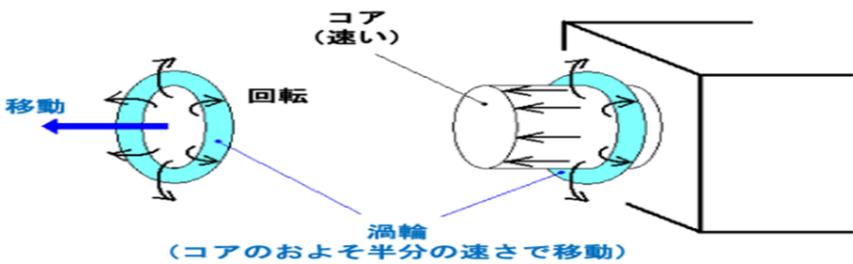
## 1 研究動機

私たちは小中学生を対象に行ってきた「わくわくサイエンス親子科学実験教室」の中で空気砲を扱ってきた。その中で、空気砲の渦輪について興味をもった。そこで、この渦輪性質について理解することで身の回りのものに応用できるのではないかと思い、研究を始めた。

## 2 渦輪の原理

空気砲から射出されるドーナツ状の空気の塊を渦輪といい、障害物に当たるまで真っ直ぐに進むという性質を持つ。

- ① 中央部分の煙が最初に押し出され、煙の粒子をわきに押しよける。
- ② 押し出された煙は前方からの空気抵抗により後退する。
- ③ 煙はその後前進する中央後方の空気に巻き込まれ、再び前へ進みだす。
- ④ このとき回転する煙にかかる空気抵抗が小さくなり、長く前進できるようになる。



## 3 材料と方法

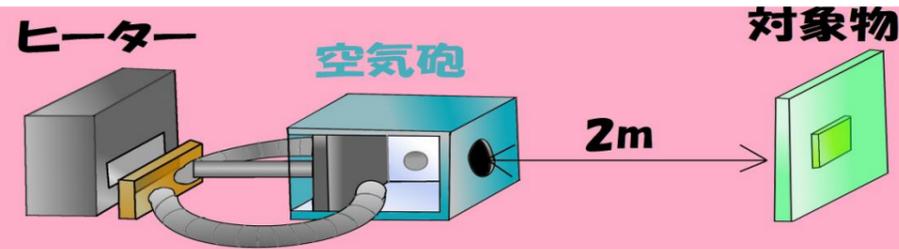
実験材料・空気砲 ・デジタル温度計 ・ファンヒーター  
・スモークマシン ・メトロノーム  
・対象物 (50×50cm 木版)

### 実験 1,2

- 1,スモークマシンの煙で空気を可視化する。
- 2,空気砲を発射し渦輪をスローカメラで撮影する。  
この時、実験1では穴の位置・数を変えて、実験2では穴の形を変えて撮影を行う。

### 実験 3,4

- 1,アルミニウムの筒で空気砲につないだヒーターで空気砲内の空気を30℃まで上昇させる。
- 2,スモークマシンの煙で空気を可視化する。
- 3,2メートル先の対象物へ空気を射出する。
- 4,対象物に貼り付けたデジタル温度計で15秒ごとに気温を測る。
- 5,対照実験として、ヒーターを稼働させたまま空気を押し出さないで15秒ごとに気温を測定する。  
この時、射出間隔を毎分15回、30回、45回と変えて渦輪を射出する。実験3では対象物周辺の温度の測定を、実験4では空気砲内の温度の測定を行う。



## 4 結果

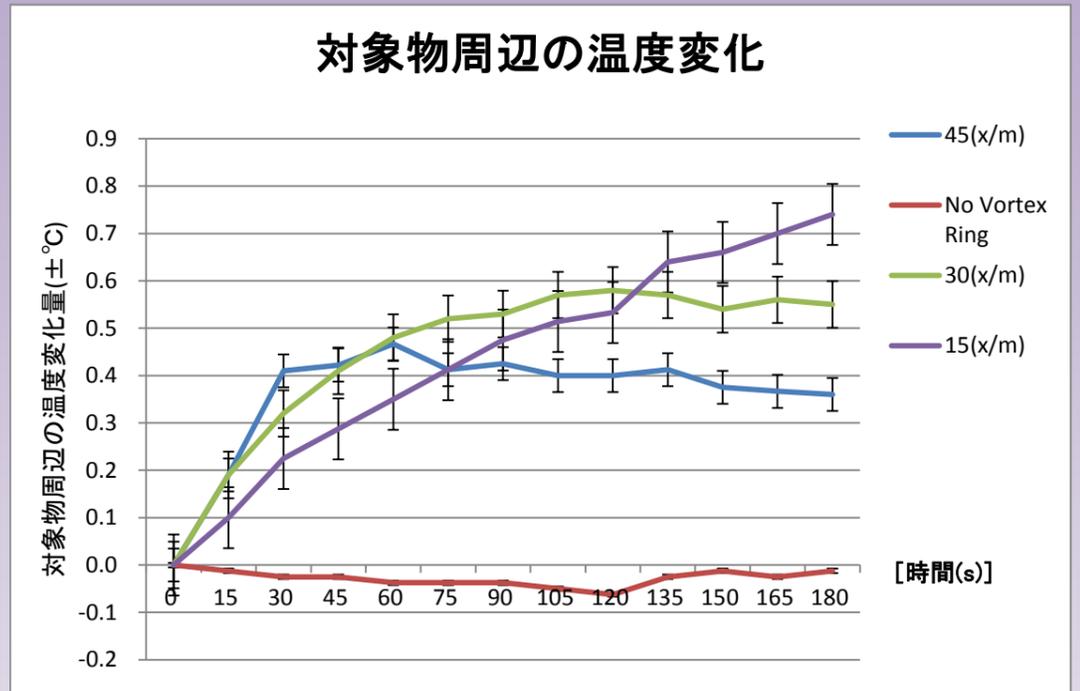
### 実験 1

穴の位置を中央、中央よりも斜め上方、穴の数を二つ、このように変えていったがすべての場合で渦輪が見られた。

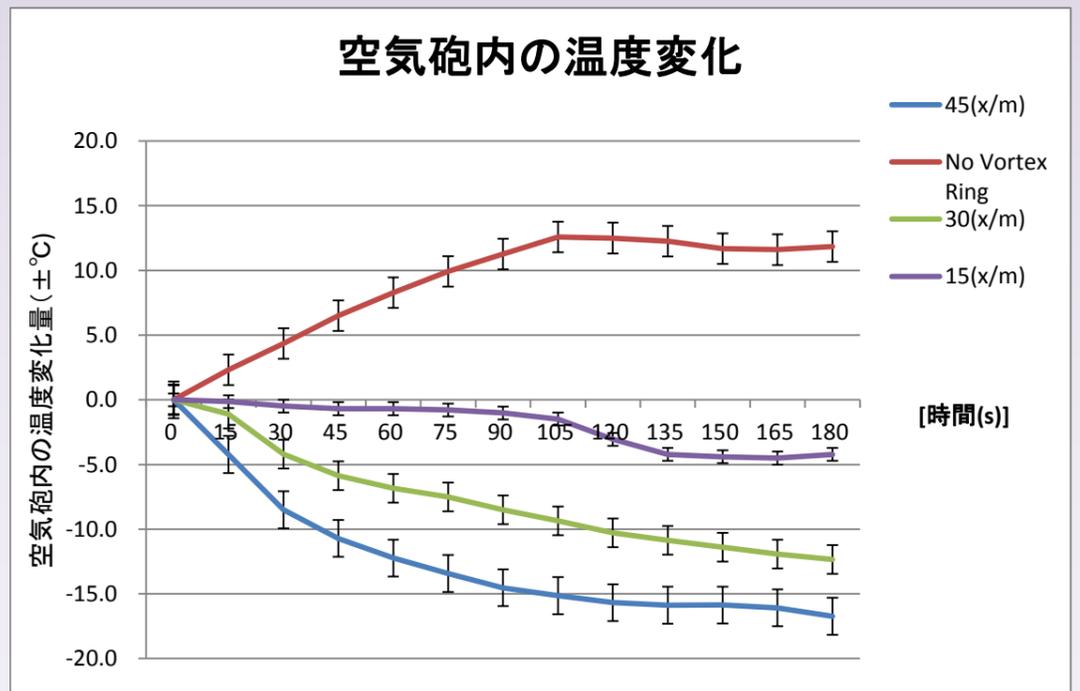
### 実験 2

穴の形を丸、四角、三角、星と変えた結果、丸以外の形のときは(穴の形)≠丸と常に形が変わり続ける傾向が見られた。

### 実験 3



### 実験 4



## 5 考察

### 実験 1

穴の中央が空気砲の中央部分になくても渦輪ができたことから、空気砲内の空気は中央に集中しているのではなく空気砲内全体に力が加わっており、コアンダ効果により噴射口に沿って空気が曲がるために渦輪ができていないかと考えられる。

### 実験 2

四角形や三角形、星形といった角を持つ形よりも、角がない円形は安定性があり、その形になろうとする力と、押し出された形に戻ろうとする力が残っているせいではないかと考えられる。

### 実験 3

45回のときに温度が低下したのは空気の発射時間に対して、空気砲内を温める早さが追い付かず、空気砲が十分暖まらなかったせいだと考えられる。しかし0~30秒のグラフを見ると毎分45回発射したものが、一番温度上昇が大きいのがわかる。それは45回の時に効率良く温度上昇を行っているからだと考えられる。

### 実験 4

実験3の仮説通り毎分45回のもので、一番温度低下が激しいことが見受けられる。このことより、発射間隔が短いほど発射間隔が短いと温まっていない空気を押し出していることになり、上昇効率が下がってしまう。

このことから、もし中の気温を一定に保てる空気砲を作成できれば、発射間隔が短いほど温度を上昇させることができる空調ができるのではないかと予想する。

## 参考文献

- 1) 「ガリレオ工房の身近な道具で大実験」(Yoji Takigawa・Yoshiharu Ishizaki/大月書店)
- 2) 「僕にできるすべて。」 <http://ouou.sakura.ne.jp/hobbies/vr/4.shtml>
- 3) 「一つの空気内で個々に異なる空気状態を持つ空間を作る」 <http://nikkei-techno.jp/pdf/1st/H2nobuyasu.pdf>
- 4) 「噴流の渦」 <http://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?d=24-2-t03.pdf&dir=40>

# 晴雨予報グラスを用いた大気圧の変化による天気予測

宮城県仙台第三高等学校・自然科学部物理班 2年平松 明秀

## 1. 研究動機

トリチェリの水銀気圧計の原理に興味を持ち、調べていく上で、その原理を応用したゲーテのパロメーターを元にして作られた晴雨予報グラスについて知った。

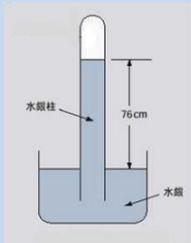


晴雨予報グラスが天気を予測できるということを知り、自分も天気の予測を行ってみたいと考え、この研究を始めた。

## 2. 器具の説明

＜水銀気圧計とは＞

水銀槽の液面にかかる大気圧とガラス管の内部の水銀柱の重さとの釣り合いから気圧を測定する装置。



＜パロメーターとは＞

細長く伸びたガラス管の水面が気圧の変化で上下し、その動きで天気を予測する装置。



＜晴雨予報グラスとは＞

大気圧によって管部分の水位が上昇、または下降することで数時間後、天気がどのように変化するかを予測する装置。

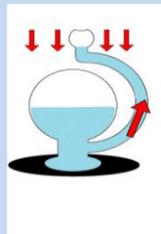


## 3. 本研究の目的

晴雨予報グラスの底面を基準とした管部分までの水位の変化と大気圧、天気の変化の関係性を調べる。

## 4. 晴雨予報グラス 原理

1. 水を入れた時の球内の気圧より球外の気圧が高くなると、管部分の水が押されて水位が下がる。
2. 水を入れた時の球内の気圧より球外の気圧が低くなると、逆に管部分の水位が上がる。



## 5. 実験 使用した器具

- ・晴雨予報グラス (大) (ガラス製)  
＜サイズ＞幅約 10.0cm×高さ約 16.0cm  
(球体部分の直径 8.00cm)
- ・晴雨予報グラス (小) (ガラス製)  
＜サイズ＞幅約 11.0cm×高さ約 11.0cm  
(球体部分の直径 7.00cm)



## 6. 実験 1 管部分の水位の変化と大気圧・天気の変化の関係性を調べる

### A 晴雨予報グラス (大)

食紅で着色した水を 150ml 注ぎ、晴雨予報グラスの管部分の水が球体内の水面から 3.00cm 上になるように調整する。その水位を標準位置 10.0cm とする。

### B 晴雨予報グラス (小)

食紅で着色した水を 80.0ml 注ぎ、晴雨予報グラスの管部分の水が球体内の水面から 2.00cm 上になるように調整する。その水位を標準位置 5.00cm とする。



管部分の水位を測定し、上昇しているのか、下降しているのかを調べる。また、大気圧を測定、天気を観察し、管部分の水位、大気圧・天気の変化から関係性を調べる。

## 7. 天気の判別方法

気象庁では、「空全体に占める雲の割合＝雲量」で天気を判別している。(雲量は0～10の11段階に分けられる。)

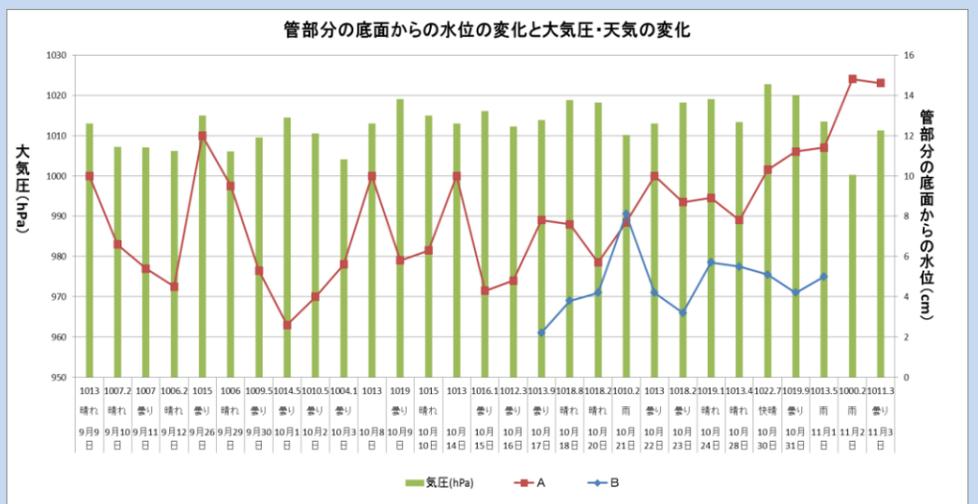
本研究は気象庁の定義を参照した。

雲量	天気
0～1	快晴
2～8	晴れ
9～10	曇り

## 8. 実験 1 仮説

- ① 数時間前から見て、管部分の水位が標準位置より低くなっていく。→次第に高気圧が近づいていて、天気は良くなる。
- ② 数時間前から見て、管部分の水位が標準位置より高くなっていく。→次第に低気圧が近づいていて、天気は悪くなる。

## 9. 実験 1 結果



## 10. 実験 1 考察

A, B 共に仮説通り管部分の水位が標準位置より低くなっていくと、天気は晴れ、管部分の水位が標準位置より高くなっていくと天気は悪くなるが多かった。また、仮説通りにならなかった時もあり、その原因として、温度の変化によって大気圧の変化に関係なく管部分の水位が変化したためだと考えられる。

※10/8, 10/14, 10/22 に水を変えてしまったのでその日を基準に測定を仕切り直し、再び継続的に測定をしている。

## 11. 実験 1 における天気予測確度

「仮説通りになった回数 ÷ 測定回数」

という計算をして、天気予測確度を求めた結果、Aは68%で信憑性があるといえる形となった。また、Bはデータが少なかったため40%と少し信憑性に欠ける結果となってしまった。

## 12. 今後の展望

- ・温度や湿度の変化と天気の変化の関係性があるのかを調べる。
- ・水が蒸発することによって、管部分の水位の変化に影響があるのかを調べる。
- ・正確な天気予測をする。

## 13. 参考文献

- ・晴雨予報グラス - 野田屋電機  
<http://www.nodaya-net.com/stormglass.htm>
- ・晴雨予報グラス  
[www2.smsi.co.jp/museumshop/products/detail.php?product\\_id=129](http://www2.smsi.co.jp/museumshop/products/detail.php?product_id=129)
- ・気圧計 - Wikipedia  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%97%E5%9C%A7%E8%A8%88>
- ・文豪ゲーテのパロメーター/ウエザーグラス  
<http://www.e-khp.com/Goethe%20Barometer&Weather%20Glass.htm>
- ・雲量 - Wikipedia  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%B2%E9%87%8F>

# なぜ光る？発光細菌

## はじめに

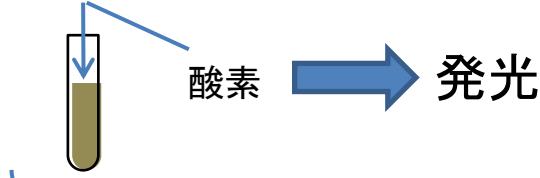
自ら光る細菌、発光細菌に興味を持つ

↓  
細菌の実用化に生かす

↓  
細菌がどのような条件で光るのか？  
なぜ光るのか？を調べる

## まとめ

・14~33℃で発光を確認



酸素を必要とする酵素反応によって発光していて、  
酵素の最適温度は14℃~33℃

## 発光の仕組み

酵素ルシフェラーゼ

+

ルシフェリン

+

酸素

→ 発光

## 今後の展望

・酸素と発光の関係について → 培養条件(容器等)を統一して培養する

・最適温度の明確化 → 発光の強度を詳細に数値化する

・発光の基準 → さらに詳しい発光のしくみや、光ることの利点等を調べて導き出す

## 実験方法

### 1 培地の温度変化による発光の変化(固体培地)

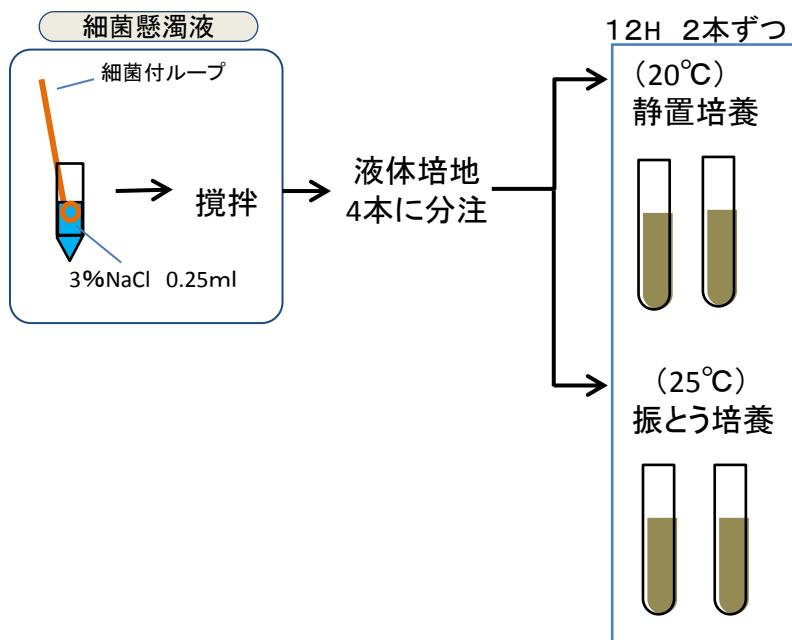
#### 加熱

恒温機で培養(35~50℃)  
→ 0.5H後取り出し発光の有無を確認

#### 冷却

冷蔵庫(1℃)で培養  
→ 24H後取り出し発光の有無を確認

### 2 振とうによる発光の変化(液体培地)



## 結果

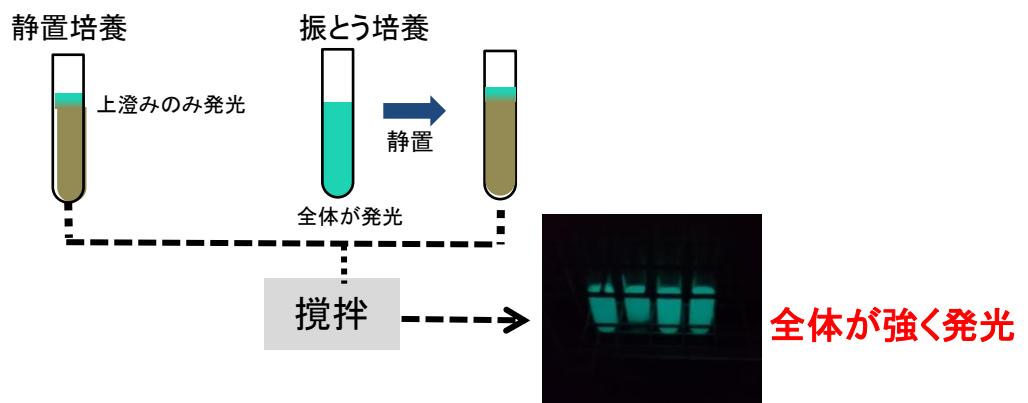
### 1 培地の温度変化による発光の変化(固体培地)

加熱	恒温機内の温度[単位:℃]					冷却	発光の有無(培地温度)
	35	40	42	45	50		
	加熱直後の培地温度[単位:℃]						
	29	33	36	37	39	24H冷却直後	×(6℃)
直後	○	○	×	×	×	取り出し20分後	○(14℃)
24H後(20℃)			○	○	×		
1週間後(20℃)					○		

○:発光が見られた ×:発光が見られなかった

14℃~35℃で発光を確認

### 2 振とうによる発光の変化(液体培地)



# 「どんこ」と菌の出会い～せめてお名前だけでも～

宮城県仙台第三高等学校 自然科学部生物班  
青木 雄一

## はじめに...

発光細菌と共生している生物は多い



エゾイソアイナメ(どんこ)と発光細菌の関係は謎だらけ



知りたい!

## そのために...

エゾイソアイナメにどのような発光細菌がいるかを調べる。

## 方法

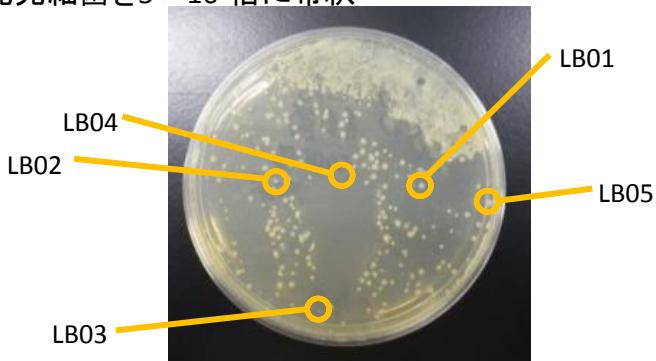
### (1)発光細菌の培養株

#### ①発光細菌の採取

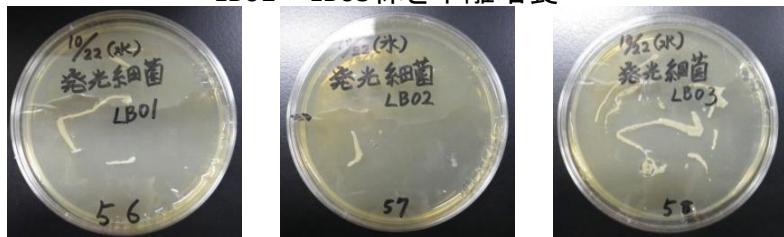
塩竈産のエゾイソアイナメ発光器の周囲を  
エタノール滅菌後切断・培地で培養

#### ②コロニーの単離

発光細菌を $5 \times 10^3$ 倍に希釈



LB01～LB05株を単離培養



LB01

LB02

LB03



LB04

LB05

### (2)遺伝子解析

#### ①DNA抽出

#### ②LB01株のLuxA遺伝子 & 16SrRNA遺伝子をPCR増幅

#### ③PCR増幅断片の塩基配列の決定

#### ④相同配列の検索

・16SrRNA遺伝子のプライマー  
27f(5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')  
1492r(5'-TACGGTTACCTGTTACGACTT-3')  
・LuxA遺伝子のプライマー  
LuxA\_f05(CATGATTTGGGCGAAAACCT)  
LuxA\_r01(TCAGAACCGTTTGCTTCAAACC)  
(Wada, et al., 2006)を使用

## まとめ

エゾイソアイナメには、チゴダラにもいる

発光細菌が共生?

## 今後は...

・発光している細菌は  
一種のみ? 多種混在?

→ 細菌同定用のプライマーを利用して  
細菌を遺伝子レベルで同定

→ 一種なら...

→ なぜエゾイソアイナメはその菌を  
選んだのか? 生き残っただけ?

→ 多種なら...

→ なぜエゾイソアイナメは自分の生活に  
合った菌を見つけ、それだけを  
増やそうとしなかったのか?

・この培地に適した菌だけ  
生き残った?

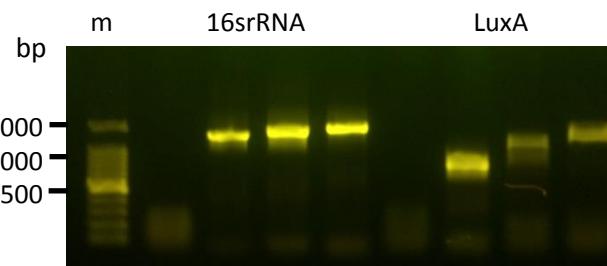
→ 別の培地で培養

## 結果

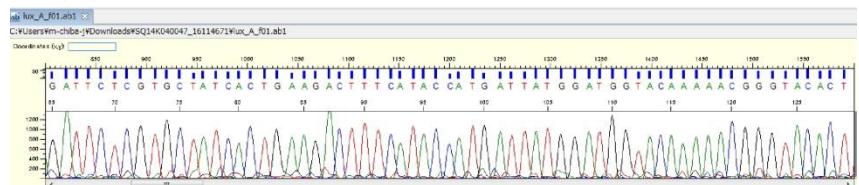
### ①DNA抽出

LB01のみ成功(リゾチーム処理の際にミス?)

### ②PCR増幅



### ③配列決定



### ④相同配列

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
1280 bits(693)	0.0	693/693(100%)	0/693(0%)	Plus/Plus

16S

Query	Subject	Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
1	42	1280	0.0	693/693(100%)	0/693(0%)	Plus/Plus

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
1177 bits(637)	0.0	637/637(100%)	0/637(0%)	Plus/Plus

LuxA

Query	Subject	Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
1	21	1177	0.0	637/637(100%)	0/637(0%)	Plus/Plus

## 考察

LB01はチゴダラの発光細菌と  
luxA遺伝子、16SrRNA遺伝子の  
塩基配列が100%一致



同種の発光細菌の  
可能性大

# エゾイソアイナメの発光器の構造

伊藤 青空

## はじめに

エゾイソアイナメ(*Lotilla maximowiczi* Herzenstein) ……側棘鱗上目タラ目チゴダラ科チゴダラ属  
発光細菌の共生する発光器を持っている

共生発光細菌

### 菌株特異性

- ・同一種動物からは常に同一種発光細菌が培養される
- ・同一種の魚でも異なった個体から培養した細菌株の間には凝集反応はない
- ・凝集反応は同一個体から培養した菌株の間だけにあり

## タラ目 Gadiformesの発光器

肛門の前方正中線上に直腸と連結する盲管様発光腺が、腹部正中線上に腹筋中に埋没していて、腺中に発光細菌が共生している

- ・発光細菌を光源とする発光腺
- ・発光腺の背後の反射層
- ・透明なレンズ組織
- ・光をコントロールする色素斑
- ・導管

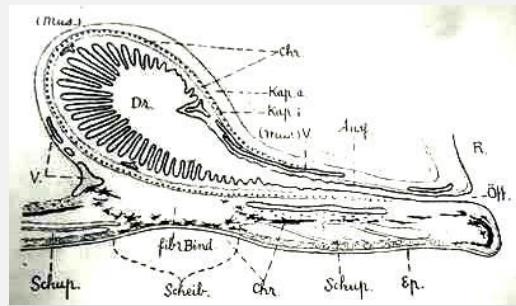


Fig.1 チゴダラ*Physiculus japonicus*の発光器

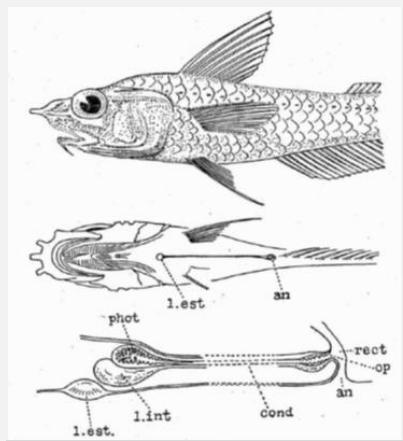


Fig.2 ソコダラ科  
*Hymenogadus kronumai*の発光器

しかし…エゾイソアイナメについては知られていない

## 今まで行ったこと

### エゾイソアイナメの発光器周辺の解剖



Fig.3 エゾイソアイナメ腹部



Fig.4 エゾイソアイナメ発光器と肛門



Fig.5 発光器と肛門の接続？

エゾイソアイナメの腹部発光器の周りを切開し  
発光器と肛門の繋がりを探した



**発光器から肛門付近への接続(発光腺?)を確認**



Fig.6 エゾイソアイナメ発光器

### 発光器

- ・直径約5mmの球形
- ・やや弾力があり、ピンセットでつぶれそうな柔らかさ
- ・黒色の膜、レンズ状の器官

## 今後の実験

### 発光器内で細菌の選別が行われている？

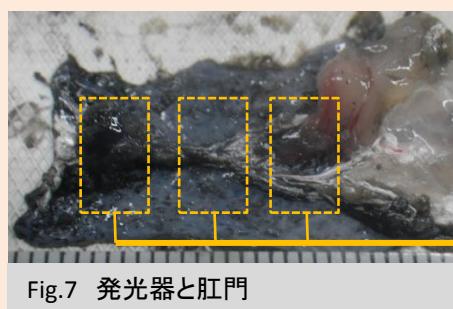


Fig.7 発光器と肛門

パラフィン包埋組織切片ヘマトキシリン・エオシン(H/E)染色標本の作製  
麻酔死させたエゾイソアイナメ  
固定処理→脱水処理→中間財処理→パラフィン浸透処理→包埋  
→脱パラフィン→親水処理→染色→脱水処理→封入

**それぞれの部位に含まれる発光細菌の種を調査**

## 参考文献

Fig.1) TEIJIROU KISHITANI (1930) Studien über die Lechtsymbiose in *Physiculus japonicus* HILGENDORF, mit der Beilage der zwei neuen Arten der Leuchtbakterien.

Fig.2) YATA HANEDAI (1935) The Luminescence of Some Deep-sea Fishes of the Families Gadidae and Macrouridae

・羽根田弥太 (1986) 発光生物 Luminous Organisms

・東京海洋大学 海洋科学部 羽曾部正豪ホームページ <http://www2.kaiyodai.ac.jp/~hasobe/index.html>

# 背負い投げのキレを増すには ~回転の速さと足の幅の関係~

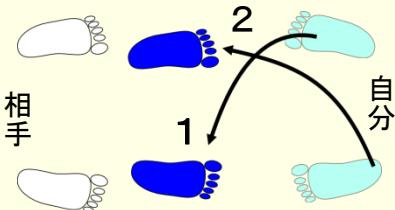
宮城県仙台第三高等学校 SSHクラブ 千葉汀(柔道部)

**背景** (1)背負い投げ 手で相手の上半身を制御し、**体を反転させて**相手を前方に投げる

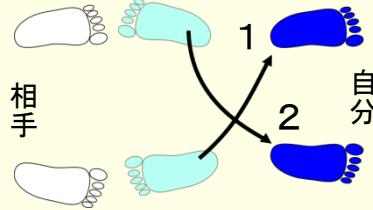


## (2)体さばき

前回りさばき



後回りさばき



## (3)「キレ」とは？

一本の定義: 勢いよく相手の背中を畳につける  
立ち姿勢の相手 - 回転 → 仰向け

**キレ=速い回転**

**目的** キレを増すために  
背負い投げの回転を速くする

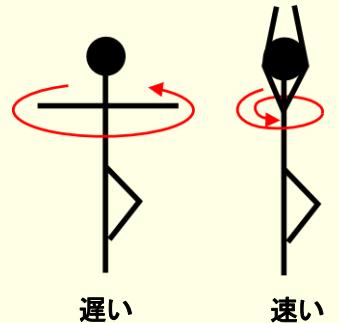
**仮説** 広げて構えた足幅を投げる時に狭めることで回転が速くなる

## (4)角運動量

回転運動の運動量を**角運動量**という。

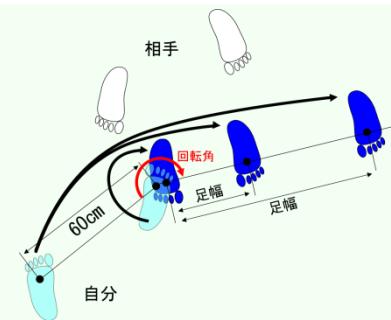
$$\text{角運動量} L = \text{回転半径} r \times \text{運動量} mv$$

回転させるために、はじめに角運動量を与えると、その角運動量は保存する。例えばフィギュアスケートのスピンの中に手を縮めて回転が速くなる現象は、**回転半径が小さくても角運動量は同じだから運動量が大きくなり、質量は変わらないので速度が大きくなる**と説明できる。



**方法** (1) ハイスピード撮影ができるCASIOのEXLIMで240fpsの動画を記録し、TMPGEnc Video Mastering Works および CANVAS を用いて解析した。

- (2) 体の回転を分かりやすくするため、右組からの左一本背負いで計測した。
- (3) 技に入る前の足幅を60cmとし、左足が畳に着いたときの両足の幅を「足幅」とした。足幅は足の甲の中心間の距離とした。
- (4) 左足が畳を離れてから両膝が沈みきる(腰が入る)までを回転の時間とし、両足を結ぶ線の回転角を計測した。回転の速さは1秒あたりの回転角で表した。



## 結果 投げる時の足幅が狭いほど回転が速くなった

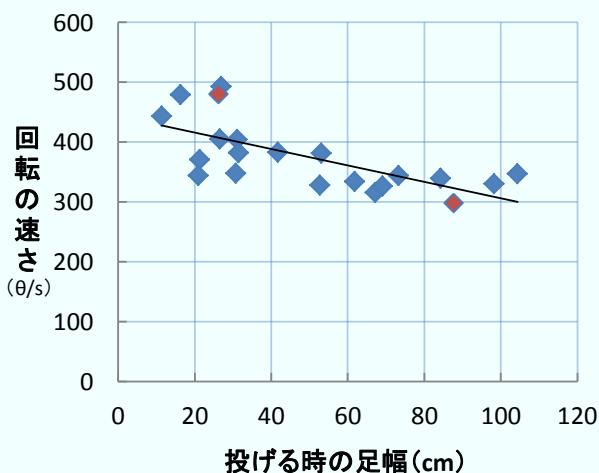


図1 投げる時の足幅と回転の速さの関係

**考察** (1) 仮説の検証 足幅を60cmで構えたところから背負い投げに入ったところ、投げる時の足幅が狭いほど回転が速くなった(図1)。よって**仮説「広げて構えた足幅を投げる時に狭めることで回転が速くなる」は正しい。**

(2) 背負い投げと角運動量 技に入り左足が畳から離れて0.5秒後の体の回転を比較すると、足幅が26cmでは投げる態勢に入っているのに対して、足幅が88cmでは回転の途中であった(図2)。図3の黄色い部分の面積はA,Bで同じであり、これは角運動量と対応する。足幅が広いほど回転半径rが徐々に大きくなり、足が畳につくころには回転が遅くなっている。**背負い投げの回転運動は、角運動量が保存されている**と言える。

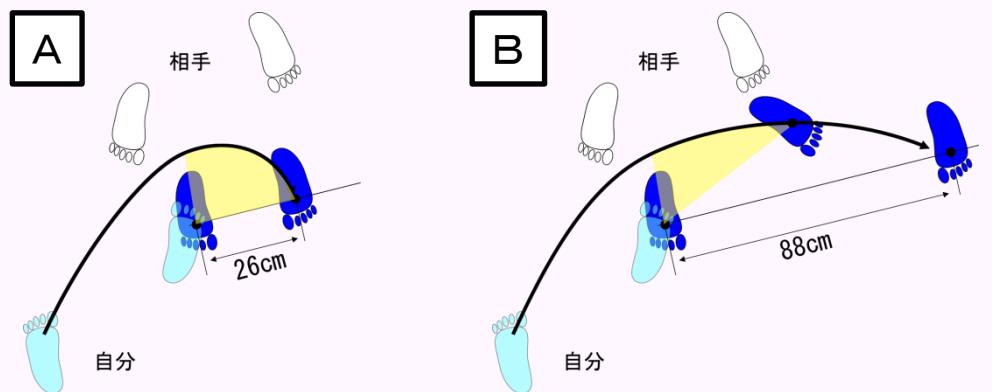


図3 投げる時の足幅と角運動量 図中の黄色で示した面積は同じ

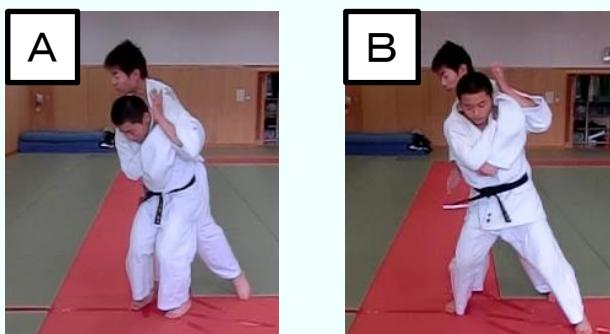


図2 左足が離れてから0.5秒後の状態

A 足幅26cm, B足幅88cm

**結論** 投げる時の足幅を25~30cmにすることで背負い投げのキレが増す！

謝辞 本研究にあたり、受けを務めていただいた加藤T氏に感謝いたします。

参考文献 『上達する！柔道』 池内貴憲著 ナツメ社

台湾研修  
つくば研修  
白神フィールドワーク  
東北大学工学部研修

# Analysis of Data Encryption Standard (DES)

Miyagi Sendai Daisan Koukou

Hiroaki Maruo

## 1, Background

Information security is becoming very important in an information society. There are various technologies to protect information, such as authentication and encryption. An old encryption known as Data Encryption Standard(DES) was used for several years and considered powerful.

## 2, Purpose

DES is no longer considered a safe encryption, but in my study, I hope to learn from it and create improvements.

## 3, Encryption and Key

Encryption · · Changing original message into another one.

Key · · A variable which determines its transformation in cryptographic algorithms.

Ex) 『I am a high school student.』

↓  
『JBNBIJHITDIPPMTUVEFOU』

Key 『One position up the alphabet.』  
a→B b→C · · · z→A

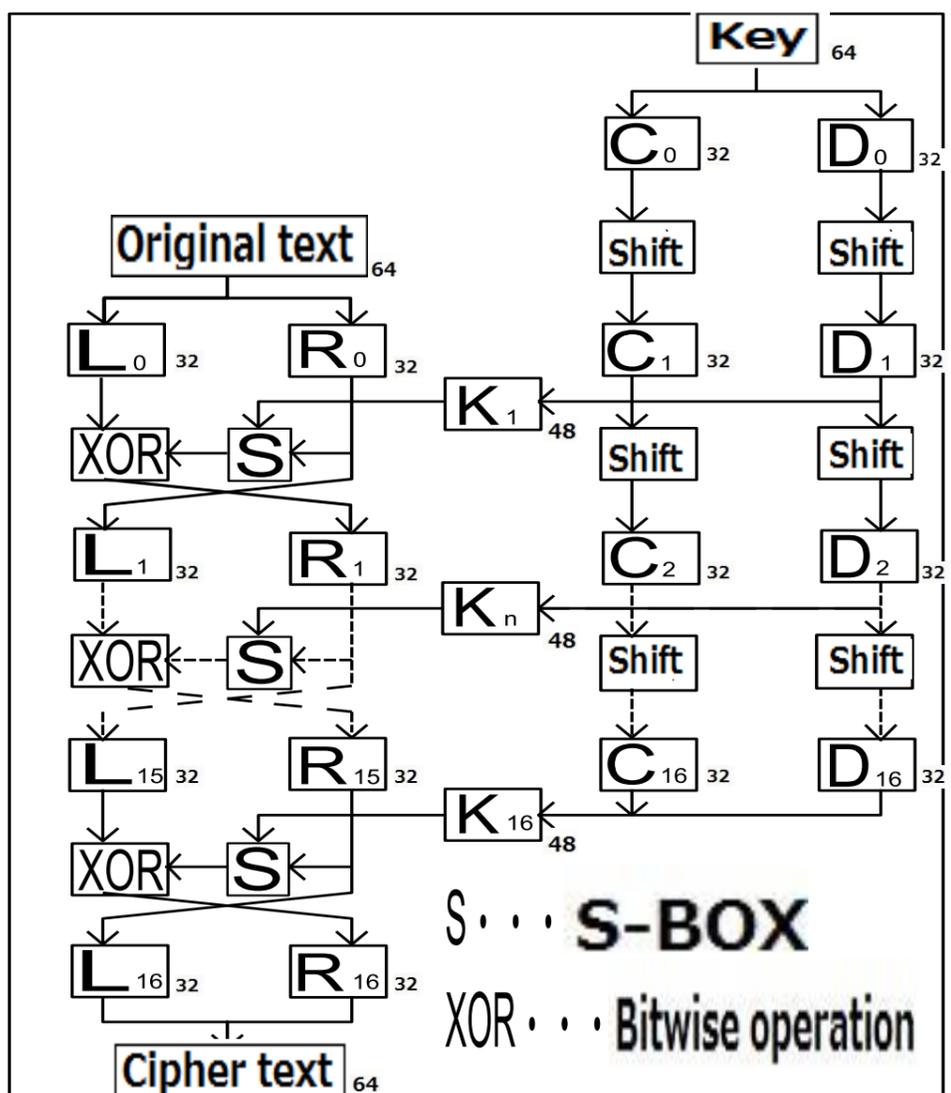
## 4, Structure of DES

Flow of sentence

- ① Divide the 64-bit sentence into two equal portion, L · R.
- ② Encode R using K, and input the 48-bit code into S-BOX and get 32-bit output.
- ③ Encode it again using L.
- ④ Repeat ①~③ procedure 16 times.

Flow of key

- ① Divide 64-bit key into two equal portions, C · D.
- ② Shift C and D respectively.
- ③ Get output 48-bit subkey(K) using C and D.
- ④ Repeat ①~③ procedure 16 times.



## 8, Conclusion

S-BOX is the only non-linear component in DES. It is very important and makes DES strong.

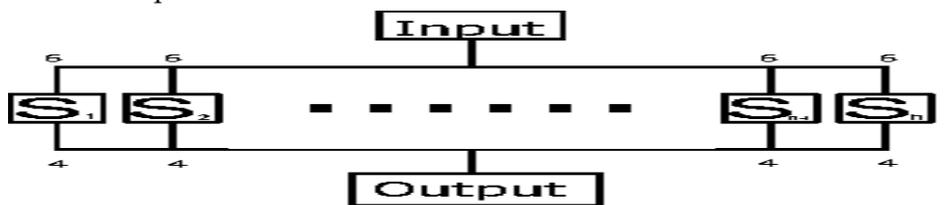
There is a problem with the strength in DES because the number of possible keys is only to the 64th power of 2. Therefore DES is not popular nowadays.

According to this study, however, if a 2048-bit key is made, while maintaining non-linear encryption, the number of possible keys will be to the 2048th power of 2, and this new encryption can be put into practical use.

I would like to continue the study and develop new method of encryption.

## 5, S-BOX

Divide input into 6-bit sentences.



In each S-BOX, given a 6-bit input, the 4-bit output is found by selecting the row using the outer two bits (the first and last bits), and the column using the inner four bits.

Ex) S1

14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7
0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8
4	1	14	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0
15	12	8	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13

Input 『100001』 ⇒ Output 『15』 → 『1111』

As the sequences in the S-BOX does not have linearity,

**S-BOX is non-linear**

## 6, Disadvantage of DES and improvement

Disadvantage

Key is too short. (64-bit)

Improvement

Lengthen the key. (2048-bit)

Need 256 S-BOX.

Problems

Need 1024 non-linear number of sequences.

## 7, Study

The total number of the sequences using 0-15 · · · 16 !  
Necessary non-linear sequences · · · 1024

Required ratio of non-linearity is

$$\frac{1024}{16!} = \frac{1}{20 \text{ billion}}$$

## References

- 1) E. Okamoto, 『Ango Riron Nyumon』 (in Japanese), Kyo-ritsu shuppan co. (2012).
- 2) H.Yuki, 『Ango gizyutu Nyumon』 (in Japanese), SB creative co.(2014).

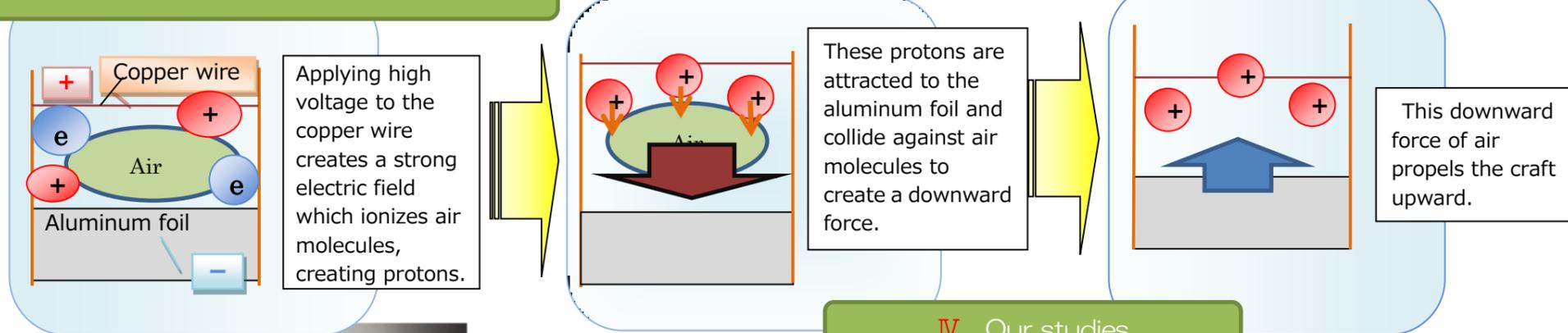
# Improving the Propulsive Force of an Ion Craft

Sendai Daisan High School Komura Tsubasa Ishikawa Chihiro

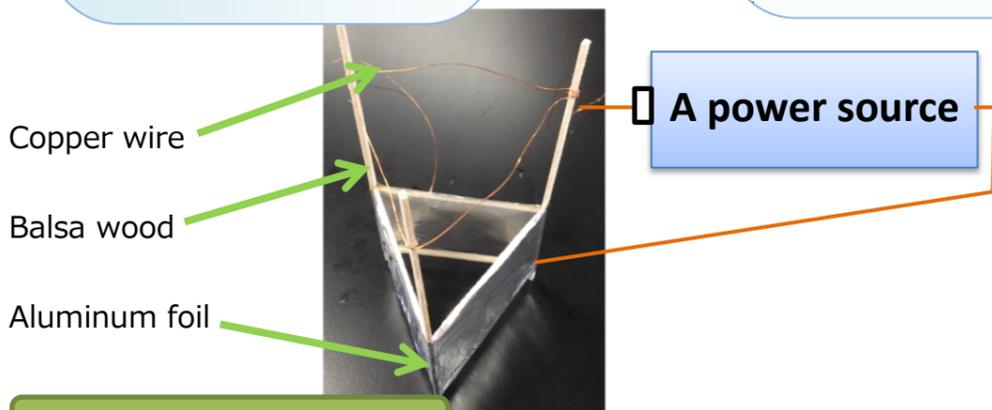
## I Motivation

In studying the asteroid probe Hayabusa, we became interested in its ion engines and how we might improve their efficiency. We studied a basic model ion craft to learn its principles.

## II Propulsion of ion crafts



## IV Our studies



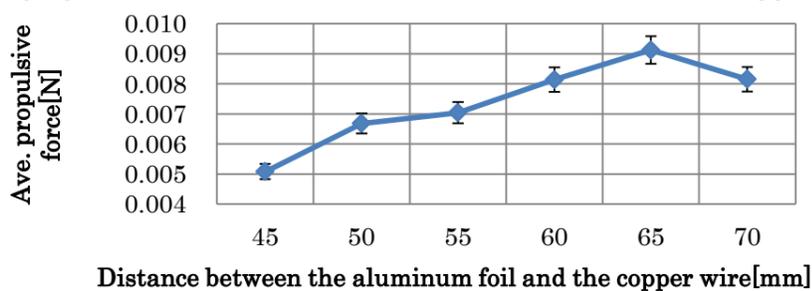
## III Previous studies

**Experiment 1** If the distance between the aluminum foil and the copper wire were changed, we wondered whether or not the propulsive force would also change.

- The distance between the aluminum foil and the copper wire was set at 45.0mm, 50.0mm, 55.0mm, 60.0mm, 65.0mm, and 70.0mm.
- 27.0kV was applied to the copper wire.
- The process ② was repeated 15 times in each classification to get the average.

### The Result

Changing the distance between the aluminum foil and the copper wire



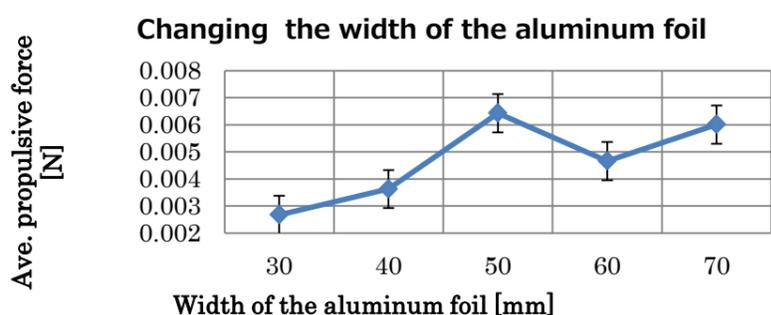
### Best Result

When the distance was 65.0mm, the average propulsive force was the highest.

**Experiment 2** If the width of the aluminum foil were changed, we wondered whether or not the propulsive force would also change.

- The distance between the aluminum foil and the copper wire was fixed to 60.0 mm, and the width is set at 30.0 mm, 40.0mm, 50.0mm, 60.0mm, 70.0 mm, 27.0kV was applied to the copper wire.
- The process ① is repeated 10 times to get the average.

### The Result



### Best Result

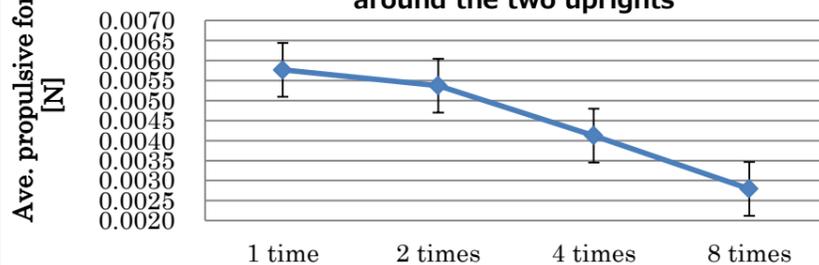
When the width of the aluminum foil was 50.0mm, the average propulsive force was the highest.

**Experiment 3** Copper wire was wound around the two balsa wood uprights. If the number of windings were increased, we wondered whether or not the propulsive force would also change.

- We measured the propulsive force when the copper wire was wound around the uprights one time, two times, four times, and eight times.
- The process ① was repeated ten times to get the average.

### The Result

Copper wire was wound a different number of times around the two uprights



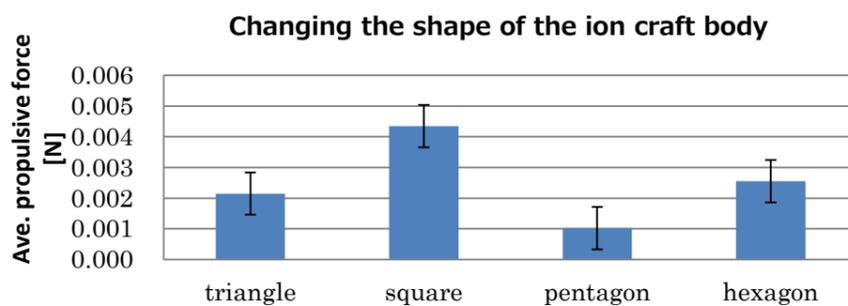
### Best Result

The propulsive force was highest when the copper wire was wound one time around the two balsa wood uprights.

**Experiment 4** We changed the shape of ion craft body. We tried a triangle shape, a square shape, a pentagon shape, and a hexagon shape. We wondered whether or not the different shapes would produce different propulsive force.

- We measure the propulsive force created when using the triangle, the square, the pentagon and the hexagon shapes.
- The process ① was repeated ten times to get the average.

### The Result



### Best Result

The propulsive force was the highest using a square shaped ion craft body.

## V References

- SI 単位変換表  
[http://www.showa-sokki.co.jp/Technical\\_Note/Si\\_unit\\_convert.html](http://www.showa-sokki.co.jp/Technical_Note/Si_unit_convert.html)  
 「はやぶさ」のイオンエンジン ~先端分野での利用  
[http://pub.nikkan.co.jp/uploads/book/pdf\\_file4d37cfc441c24.pdf](http://pub.nikkan.co.jp/uploads/book/pdf_file4d37cfc441c24.pdf)  
 未知エネルギー研究所「リフター」  
<http://www.ando.jp/free1997/lifter>  
 TTL  
<http://rogiken.org/ttl/indexj.html>  
 埼玉県立川越高等学校 物理部  
<http://www.geocities.jp/kawakoubutsuribu/>

# Science of miso soup ~What kinds of liquid are hard to get cold~

Sendai Daisan High School Aoi Nikaido Hotta Misato

## 1. Introduction

Japanese always eat miso soup for breakfast. We usually put variety of ingredients such as vegetables, tofu, mushroom, and so on. We usually like our miso soup hot, so we focused on the way liquid get cold at first.

**View point No.1**: The way liquid get cold is different by ingredients in it.

**View point No.2**: What kinds of liquid are hard to get cold.

We would like to apply this study to a cooking miso soup finally.



## 2. Study about specific heat

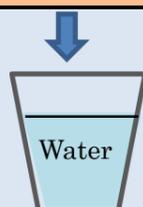
### Items for study

beakers, water, ingredients(seaweed, fried bean curd, tofu, nameko mushroom)5.0g, thermometer, thermo-cup, Easy Sense, the automatic mixing machine, iced water

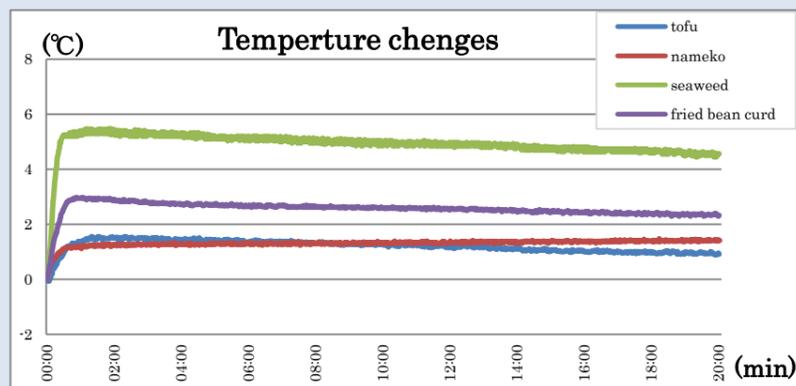
### First experiment procedure

1. Heat ingredients until they become 80°C.
2. Put them into beakers of water, and compare the temperature changes of the water.

Ingredient



### Result



Seaweed made the biggest difference

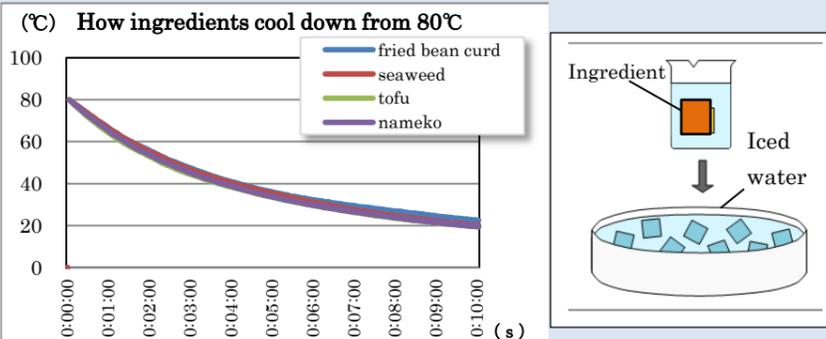
Only nameko continued raising the temperature of water.

⇒**Consideration**: Seaweed's large surface area may cause the big

### Second experiment procedure

1. Heat ingredients in the beakers until they become 80°C.
2. Put the beakers into iced water, and compare the temperature changes of the water in the beaker.

### Result



We couldn't see any clear variation.

⇒**Consideration**

- ① Iced water was too cold.
- ② Ingredients were too small.

So, any water got cold equally.

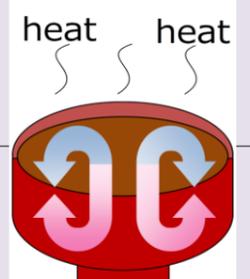
## 3. Study about convection

### Items for study

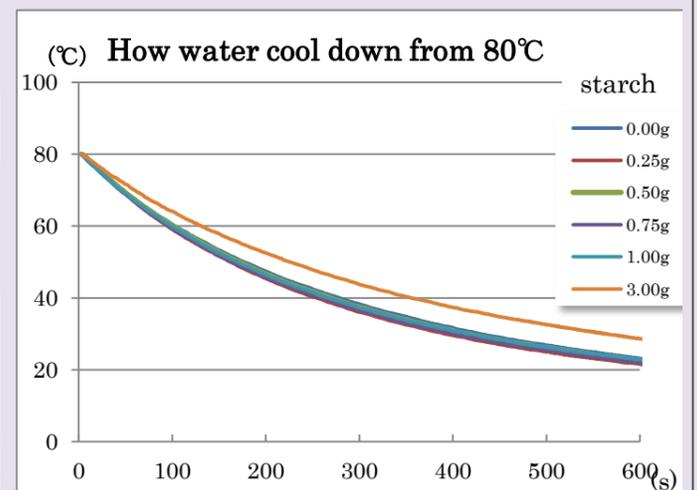
beakers, water(300ml), seaweed(0.01g), starch(0.25g,0.50g,0.75g,1.00g,3.00g), Easy Sense, a thermometer, an automatic mixing machine, iced water

### Experiment procedure

1. Put water, seaweed and starch in a beaker.
2. Heat it until it becomes 80°C.
3. Put the beaker into iced water.
4. Record temperature changes of water for ten minutes.



### Result



The more starch water contains, the harder it gets cold.

⇒**Consideration**: The thicker water is, the longer it is able to maintain heat.

## 4. Summary & Outlook

### Summary

- ① We don't know if the way water gets cold is related to specific heat.
- ② We think that the thicker water is, the longer it is able to maintain heat.

Our final purpose is to make miso soup that is hard to cool down.

We want to do more experiments and find out how to keep liquid hot.

### Next experiment procedure

1. Put water and seaweed and starch in a beaker.
2. Heat it until it becomes 80°C.
3. Measure the speed of the seaweed's move by convection.

## 5. References

マランゴニ対流実験の基礎知識 (Basic Knowledge about the Experiment on Marangoni convection)

JAXA 主任研究員 松本 聡 <http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/first/marangoni/kiso.html>

なめこのみそ汁はなぜ冷めにくいのか? (Why doesn't Nameko Miso-soup get cold easily?)

茨城県稲敷市立沼里小学校 3年 森永真有 [http://www.shizecon.net/sakuhin/49es\\_kasaku\\_2.html](http://www.shizecon.net/sakuhin/49es_kasaku_2.html)

# Verification of the genetic divergence of *Zostera Marina* using a Microsatellite marker in Matsushima bay

Sendai Third High School 2232 Hirofumi Watanabe 2236 Honoka Takada

## 1. Background

### (1) What's *Zostera Marina*?

seed plant

Gramineae(=plants like rice)



### (2) What's *Zostera Marina*'s bed?

→ It's the place where there are a lot of *Zostera Marina*.

Softening the current

Becoming hiding place from oceanic life

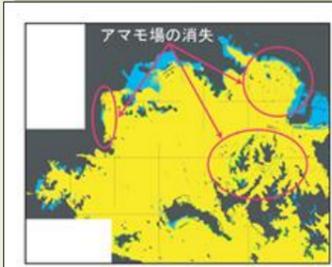
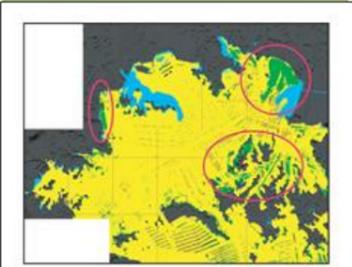
Importance

### (3) Washing away *Zostera Marina*

*Zostera Marina*'s bed was washed away by Tsumami of the Great East Japan Earthquake.

Before(2009. 11.12)

After(2011.5.25)



■ Seaweed bed ■ Sand&mud ■ Muddy water ■ Land&Farming raft ■ Shadow

(第2回松島湾の海域環境復興を考える検討会より 資料-4 松島湾の海域環境の現況把握)

### (4) Damage from transplanting

We have to be careful when we transplant *Zostera Marina*.

#### Previous Studies

If *Zostera Marina* growing in one place is moved to other places is having different kinds of DNA, they will have a bad influence on each other.

### (5) Genetic analysis using a Microsatellite marker

Mr.Shimabukuro found genetic speciation of individuals about annual *Zostera Marina* in Kagoshima-Bay using a Microsatellite marker.

What's a Microsatellite marker?

ATGCAGCTGTCTCTCTCG

A) GATCCGATGTCTCTCATG

B) GCTGTAATATCGTACGAG

→It near in genetic distance.

→It's far in genetic distance.

C) GCTGDATGGTCTCTCTCA

→It's the same plant.

## 2. Purpose

We will check how short the genetic distances among *Zostera Marina* from three spots.

We want to contribute to reconstruction.

## 6. Reference

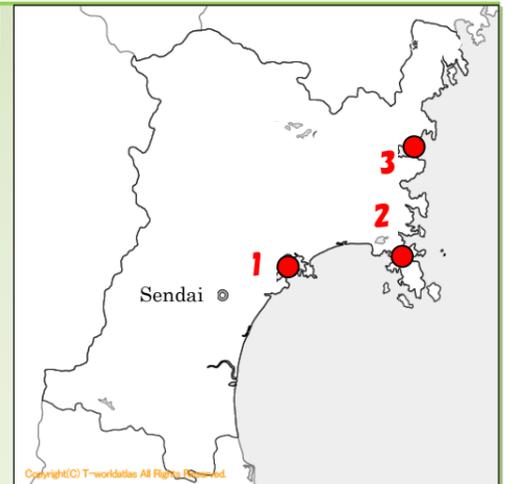
- ・鹿児島湾に生息する一年生アマモ局所個体群間の遺伝的分化、島袋 寛盛ら、日本水産学会誌、78巻・2号、p204~211(2012-03)
- ・第2回松島湾の海域環境復興を考える検討会より 資料-4 松島湾の海域環境の現況把握

## 3. Materials and Methods

### (1) Collecting

Collect *Zostera Marina* from these 3places.

1. Matsushima Bay
2. Mangoku Sea Shore
3. Shizugawa



### (2) Extraction of DNA

Dry *Zostera Marina* by silica gel and extract DNA with Qiagen's DNeasy Plant Mini Kit.

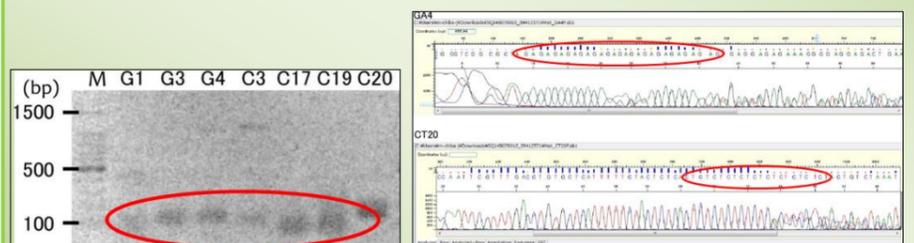
### (3) DNA amplification by PCR (Polymerase chain reaction) method

Use following seven primers used in the previous study, and amplify DNA extracted in (2). And we electrophorese the amplified DNA and check how much DNA amplified.

Used Primers	Primer's name	Base Sequence' information
GA 1	Zosmar GA-1f	TAGTGGTGGTTGTTGGAGTGC
	Zosmar GA-1r	GCCTCTTCCTTCAGACTTCCC
GA 3	Zosmar GA-3f	CGACGATAATCCATTGTTGC
	Zosmar GA-3r	GCTTTTCATTTATCCAATAGTTTGC
GA 4	Zosmar GA-4f	GCGTGGATTCGTTTTCG
	Zosmar GA-4r	GCATATCCTCTTCTTTTGCC
CT 3	Zosmar CT-3f	TGAAGAAATCCAGAAATCCC
	Zosmar CT-3r	AGACCCGTAAGATACCACCG
CT 19	Zosmar CT-19f	CCCAAGAAATGTAATAATCGGG
	Zosmar CT-19r	CTTCTCTTCGCGGCTAC
CT 17H	Zosmar CT-17Hf	TCTTTACCAACCGATCTCG
	Zosmar CT-17Hr	AAACACAAGCAAAACAGTTAGTCAG
CT 20	Zosmar CT-20f	TGGAAGGAGTTTCGATGTATCC
	Zosmar CT-20r	GGGAGATTCGACGTGAGAATTAG

## 4. Results and Discussion

We found amplified DNA products near 100 base pairs and some GA repeated sequences in G4 and CT repeated sequences in CT20, but we couldn't decide the clear number of GA repeated sequences because the base sequences information are not reliable.



(Result of electrophoresis of the amplified DNA)

(Analysis of the base sequence by PC software)

## 5. Prospect

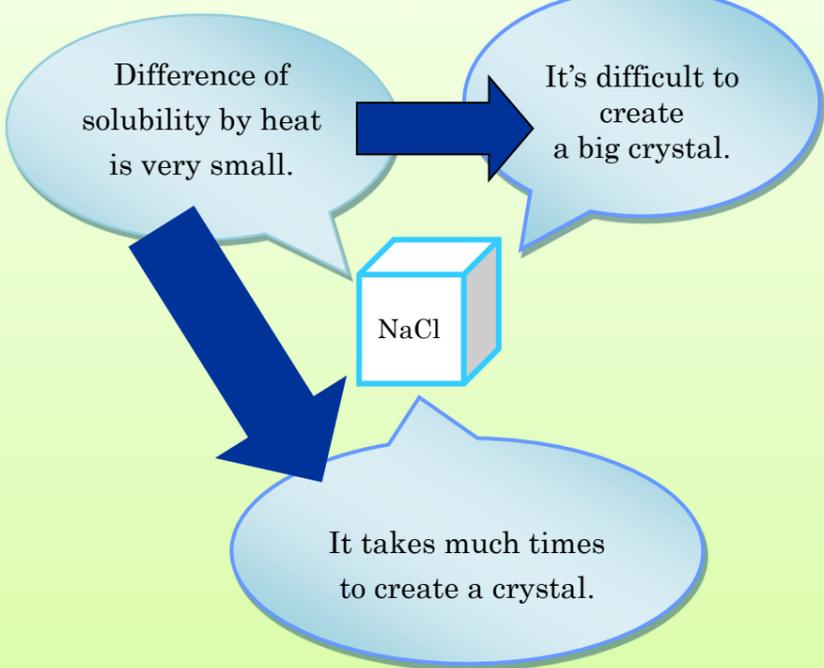
We want to increase the experimental population to improve the accuracy and make the experimental results exact. Also, we want to consider about hetero individual.

# Production of Sodium Chloride's Crystal

~To Form a Bigger, More transparent, Perfect cubic crystal quickly~

Sendai Disan High School Kaho Igarashi Chiemi Suda

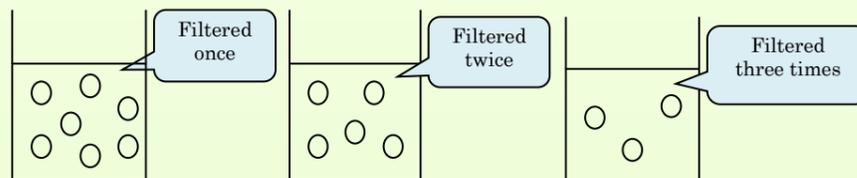
## 〈Background and Purpose〉



## 〈Experiments and Results 3・4〉

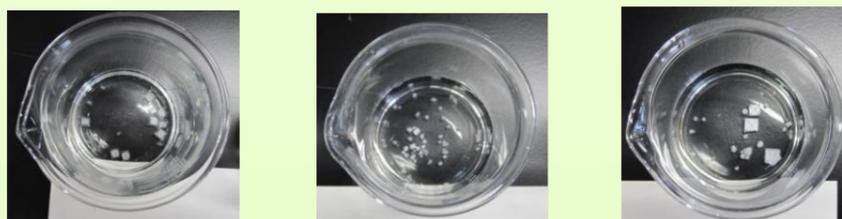
### Experiment3

Observe how the crystals change by the quantity of impurities



### Result3

the highest degree of transparency and the most beautiful shape



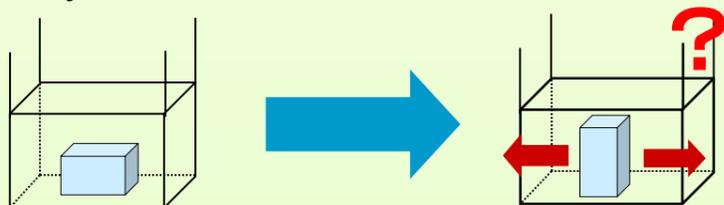
the biggest crystals

## 〈Experiments and Results 1・2〉

Equipment and Materials : baker, cylinder, glass rods, pipette, filter paper, for wrapping powdered medicine, dispensing spoon, electric scales, distilled water, sodium chloride, cobalt chloride, hydrochloride acid , sodium hydroxide

### Experiment1

Grow transparent sodium chloride's crystals having cubic crystal structure



### Result1

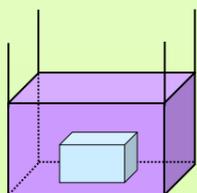
The shape of crystal approached a block in the shape of a cube !



It didn't become a figure which is surrounded with six congruent squares.

### Experiment2

Examine the processes during crystal growth of sodium chloride



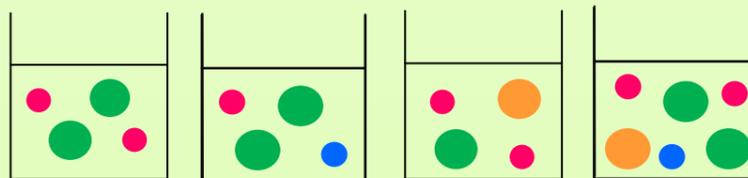
### Result2



The cross point in the crystal could be seen clearly

### Experiment4

Try to add ions to produce bigger crystals.

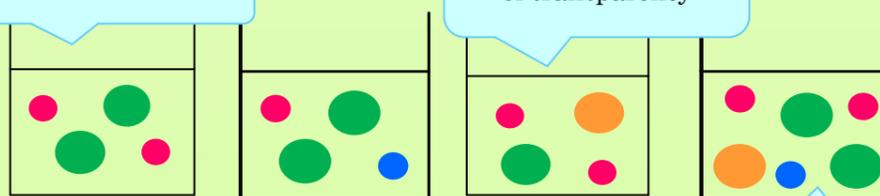


Na ions Cl ions  
H ions OH ions

### Result4

the fastest

the highest degree of transparency



no distinctive

the biggest

## 〈Prospect〉

We will do test more experiments and gather the detailed data from now on. We will change the physical viewpoint the chemical viewpoint and advance this test from a new perspective.

## 〈References〉

- <http://www.technex.co.jp/tinycafe/discovery49.html> 「塩の結晶成長」
- [http://www.2e.biglobe.ne.jp/~shinzo/jikken/NaCl\\_cubic/NaCl\\_cubic.html](http://www.2e.biglobe.ne.jp/~shinzo/jikken/NaCl_cubic/NaCl_cubic.html) 「食塩の結晶を透明な立方体に近づける」
- 理科年表
- 食塩の促成法

# SSH つくば研修

つくば研修とは・・・

1, 2年希望者対象（40名）に実施される行事で、今年度は7月30日～8月1日の2泊3日で行いました。この研修では、先進的な研究機関を見学することによって、興味関心の深化・発表技術の向上を目指します。

## 1日目 JAXA（筑波宇宙センター）



← 今年も H2 ロケットとともに記念撮影しました。

まずは JAXA の概要の説明を受けます。→



アニメ「宇宙兄弟」で出てきた有名なシーンを真似る生徒が続出。また、なかなか見ることの出来ない装置や道具も見ることが出来ました。最後に行われた講演では、質問する生徒が絶えませんでした。

## 2日目 KEK（高エネルギー加速器研究機構）



世界最高峰の技術が集結した KEK。高校の授業を超えた内容にも積極果敢に講師の先生に質問します。

## 3日目 国土地理院



↑ 地図と測量の科学館の展示品に見入る生徒たち。外には測量用のプロペラ機も展示してありました。

**事前学習と現地での調べ学習、事後学習によってポスターを作製しました。どうぞご覧ください。**

# 宇宙の始まりを求めて

宮城県仙台第三高等学校 二年 水上昂紀 谷野陽太郎 千田健太郎 柿崎康広 米内山陸 齊藤佑樹

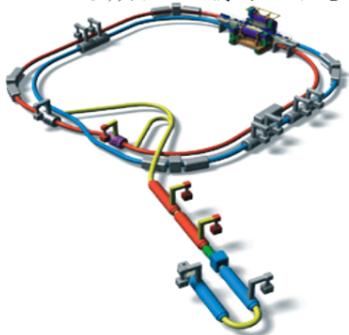
## KEK（高エネルギー加速器研究機構）

日本の加速器科学の総合発展の拠点であり、また大学共同利用機関として国内外の研究者に対して研究の場を提供することを目的に設立された。KEKには、素粒子原子核研究所、物質構造科学研究所、加速器研究施設、共通基盤研究施設、J-PARC（大強度陽子加速器施設）という5つの施設があり、それぞれ“つくばキャンパス”と“東海キャンパス”に分かれている。KEKでは、加速器という電子や陽子などの粒子をほぼ光の速さまで加速させ高いエネルギーを与える装置を用いて、素粒子・原子核物理学や物質・生命科学など、広い領域にわたる加速器科学の総合的な研究を行っている。また様々な理論の実証研究や、宇宙創成の謎を探る研究なども行っている。KEKは、さらなる加速器科学の研究の発展を目指し、国際共同研究や国際共同開発（国際リニアコライダー）などの国際協力を行っている。

## 1. 加速器研究について

### I. KEKB(ケックビー)

KEKBは電子と陽電子のビームをぶつけて素粒子の実験をするための衝突型加速器である。二つのビームはそれぞれ別々の蓄積型加速器の中に収められ、地下約10m、長さ約3kmのリング内一箇所で二つのリングが交差し、ビームが衝突するように作られている。その衝突によりB中間子という一つのクォークと反クォークから成り立つ原子よりも小さい粒子を大量に作り出すことから、Bファクトリーとも呼ばれている。また、電子と陽電子は、全長600mの電子・陽電子線形加速器から供給される。



### II. 国際リニアコライダー (ILC)

国際リニアコライダーとは、全長30kmを超える長大な直線状の地下トンネルの中に設置される、直線衝突型加速器である。この中では、電子と陽電子を衝突させ、宇宙初期に迫る高いエネルギーの反応を作り出すことによって、宇宙創成の謎、時間と空間の謎、質量の謎に迫っている。この国際リニアコライダーを作るために、国際共同設計チームが作られ、日本の研究者も世界中の人々と密接に協力しながら研究を進めている。



(左:国際リニアコライダー、右:超伝導加速器)

この国際リニアコライダーにおいて、最も重要とされるのが、超伝導加速システムの確立・工業化や超高品質ビームの生成・制御技術の確立のために、研究開発が進められている。

今後、5年以内に最終設計が完成し、2年後に政府が建設場所決定。そして、建設には9年かかり、2020年後半から研究を開始する予定となっている。

### III. Belle II 実験とは?

Belle II 実験では宇宙初期に起こったはずの極めて稀な現象を再現し、未知の粒子や力の性質を明らかにする。それにより、現在知られている物理法則を精密に検証するとともに、新しい物理法則の解明を図り宇宙の謎の解明に挑戦している。

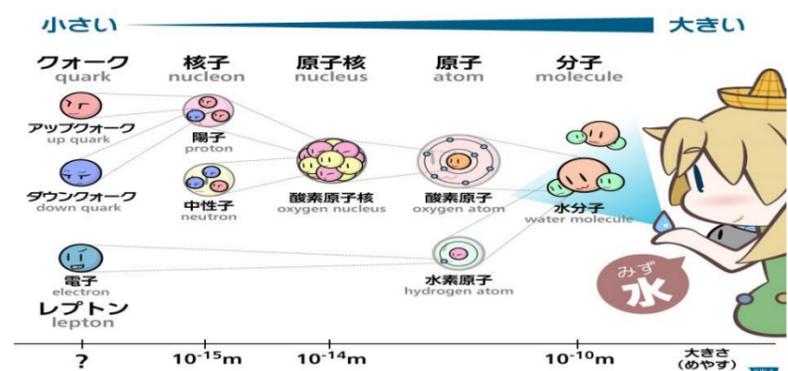


(左 Belle II)

## 2. 素粒子研究について

### I. 素粒子

素粒子とは、これ以上分けられない、基本となる一番小さい粒のことを言う。陽子と中性子は、さらにクォークと呼ばれる素粒子に分けられる。クォークは全部で6種類あり、陽子と中性子をつくっているのはアップクォークとダウンクォークである。他の4種類は、今の宇宙にはなかなかない、もっと重いクォークである。物質はすべて、このクォーク6種類とレプトン6種類で、合わせて12種類の粒子からできている。地球上で私たちの身の回りにある物質は、原子を作るアップクォークとダウンクォーク、そして電子で成り立っている。



### II. ニュートリノ

ニュートリノは、レプトンと呼ばれる素粒子の中でも電荷をもっていないものの総称である。ニュートリノには、電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノの3種類がある。これらは他のものと反応しにくく、なんでも通り抜けてしまうため、なかなかつかまえることが出来ない。とても沢山あり、実は私達の身体を1秒間に100兆個もすり抜けている。岐阜県の地下実験装置「カミオカンデ」がやっとニュートリノをつかまえたことで、有名となった。未だ実験の途中で分かっていない事も多いが、これらを調べることで宇宙の誕生や進化について深く知ることが出来ると考えられている。



電子ニュートリノ

ミューニュートリノ

タウニュートリノ

### 参考文献

HiggsTan

<http://higgstan.com/>

Bファクトリー加速器

<http://openhouse.kek.jp/contents/kekbtunnel.html>

リニアコライダー計画推進室

<http://lcdev.kek.jp/LCoffice/OfficeAdmin/>

世界にただひとつ 国際リニアコライダーを東北へ

<http://www.city.morioka.iwate.jp/machizukuri/18753/>

# KEK - 宇宙線と放射光

宮城県仙台第三高校 1年 佐々木 航太 長谷川 雅己 佐々木 大輔 高山 宏輝  
細川 愛佳 櫻井 麻凜 高橋 扶美奈

## ①高エネルギー研究所 (KEK) 施設紹介

KEK は最先端の「大型粒子加速器」を用いて、研究者の自由な発想による「真理の追究」を目標とし、宇宙の起源、物質や生命の根源を探求している。

KEK は2つの研究所と2つの施設を持っている。

### ① 素粒子原子核研究所

ビーム衝突型加速器、大強度陽子加速器の作る多様なビームを用いた物理学研究と実験装置や手法の開発、関連物理学の総合的研究を進め、素粒子、原子核が互いに及ぼし合う力を調査する。

### ② 物質構造科学研究所

放射光、中性子、ミュオンなどの各種粒子ビームを使い、物質の構造とその機能を分子や原子のスケールで解明するために研究をしている。

### ③ 加速器研究施設

加速器の開発研究、運転、維持を行なう。また、リニアコライダー加速器の研究も行い、研究所内の加速器はいずれも世界最高クラスの性能。

### ④ 共通基盤研究施設

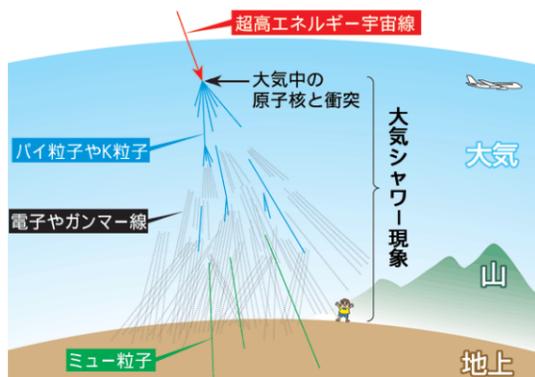
放射線防護、環境保全、コンピューター、超伝導・低温技術、精密加工技術等に関する基盤的研究、大型加速器を用いた多様な研究計画の円滑な遂行のための高度な技術支援を行っている。

## ②宇宙線について

宇宙線とは宇宙から飛来する放射線のことである。

宇宙からやってくるのが1次宇宙線で、それが大気中の原子と衝突し変化したものが2次宇宙線である。2次宇宙線のシャワーを「大気シャワー」と呼ぶ。ミュオンや中間子、陽電子は、空気シャワーの観測により発見された粒子であり、宇宙線研究は素粒子物理学の発展に大きな貢献をしてきた。

地球大気に衝突する一次宇宙線は、空気中の酸素分子や窒素分子と反応を起こすと、高エネルギーにより原子核を破壊し、中間子と呼ばれる新たな粒子を多数生成する。生成された中間子もまた高速で周りの原子核に衝突しさらに多数の中間子を生成し、粒子の数を増幅しながらエネルギーを落としていく。このうち寿命が短いものはすぐに「崩壊」し、最終的には、1,000 億個もの比較的エネルギーが低いミュオン、ニュートリノ、中性子、ガンマ線や電子・陽電子となって地上に降り注ぐ。



高エネルギーの一次宇宙線は、太陽系外に起源を持つことがわかっていく。最新の観測により、重い星が寿命を終える時に起こす「超新星爆発」の際に、高エネルギーの宇宙線がたくさん生まれていることが明らかになってくるなど、宇宙の高エネルギー天体現象が解明されつつある。

宇宙線研究では、宇宙の彼方で起こっている天体現象のメカニズムを理解することで、究極的には宇宙進化の謎を明らかにすることを目指している。

## ③放射光について

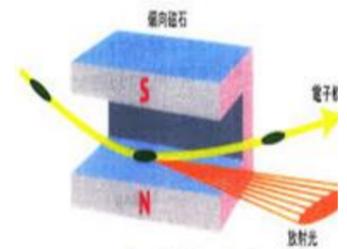
放射光とは光エネルギーの電子の磁場の中を運動するとき発生する電磁波のことである。

KEK のリング型の放射源では偏向電磁石と呼ばれる電磁石を円形に並べて電子の軌道を作り、その接線方向に放射光を発生させている。

### <放射光の性質>

放射光には以下の性質がある

1. 電子加速器から発生する幅広いエネルギー[波長](X線から赤外線まで)を持つ
2. 高輝度の光で、すべての色の光が混ざっているため白色光として見える
3. 放射光の中でも波長が短い紫外線やX線を使うと原子レベルの小さい物質も見える。←フォトンファクトリーではこれを使う
4. 指向性が高い。(細く絞られ広がりにくい) ←レーザー光線と似ている
5. 偏光性を持つ  
(光の偏光特性を自由に変えられる)
6. パルス性を持つ  
(短いパルス光の繰り返し)
7. 内部が見えないものを壊さずに  
見ることができる



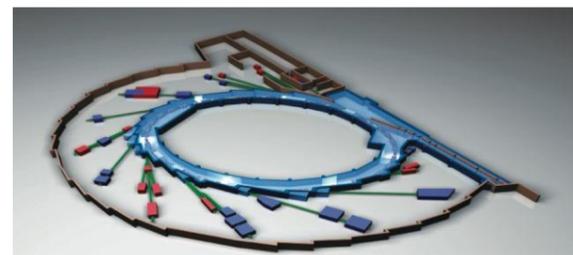
【出典】上野実彦、太田健明『ものを見るために60センチの放射光』放送局 2009年

### <放射光の利用>

1. 物質の種類や構造、性質を詳しく知る
2. それらの様々な環境下での様子や時間変化の様子を詳しく知る
3. 化学反応や物質変化の起動力として用いる

放射光は様々な分野で基礎研究から応用研究、さらに、産業利用に役立っている。このような科学分野を基盤としたバイオテクノロジー、ナノテクノロジー、IT (情報技術) などの新技術は、21 世紀初頭の新しい産業革命への先導となることが期待されている。

例えば、よりおいしいチョコレートを作るためにタンパク質の結晶構造の解析やチョコレートの結晶構造の変化を分子レベルでとらえるのに放射光が用いられる。また、放射光で X 線撮影をすると通常の X 線より格段に解像度の高い映像が得られるので、微小な隕石の構成物質の分析や初期ガンの発見に利用されている。



## 参考文献・引用元

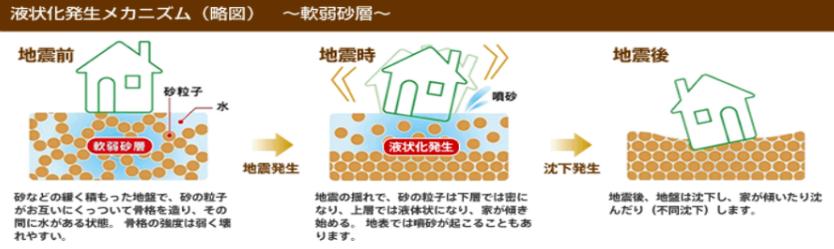
KEK <http://www.kek.jp/ja/>  
 宇宙線とは <http://d.hatena.ne.jp/keyword/%b1%a7%c3%e8%c0%fe>  
 KEK Photon Factory <http://pfwww.kek.jp/indexj.html>  
 放射光って? <http://commune.spring8.or.jp/introduction/>  
 放射光の発生 <http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/08/08010315/01.gif>  
 キッズサイエンティスト <http://kids.kek.jp/multi/material/img/tron-03.gif>  
 放射光の利用 [http://www.spring8.or.jp/ja/about\\_us/whats\\_sr/utilization\\_sr/](http://www.spring8.or.jp/ja/about_us/whats_sr/utilization_sr/)

# 地震と火山

宮城県仙台第三高等学校 2年 澤田尚毅 船越健志郎 小山慶太 伊藤竜也 古村翼 伊藤智樹

## 地震の動き

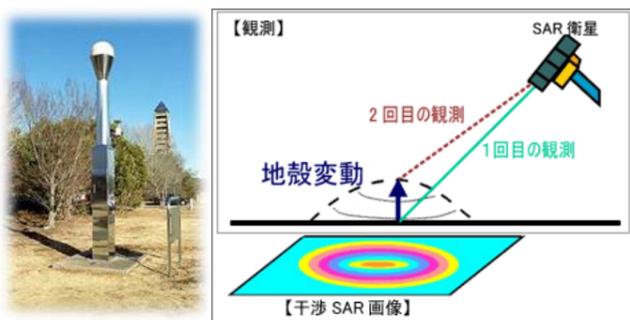
### 液状化(地震に伴う現象)



地盤は土、砂、水、空気が均衡に混ざって構成されている。この地盤が地震の大きな揺れで土、砂と水が分離され地盤が水に浮いたような状態(泥水)になるのが液状化現象という。海岸の波打ち際や、雨が降ったあとのグラウンドで、足踏みをすると地面がどんどん柔らかくなるのも一種の液状化といえる。つまり、土と水が分離している。

液状化対策としては、セメント柱状杭や鋼管杭の対策が行われているが、碎石パイルなど新しい対策も開発されている。

国土地理院では地殻変動の細かな動きを観測するために GPS 連続観測システム(GEONET:GPS Earth Observation Network System)を用いている。このシステムは全国およそ 1200ヶ所の電子基準点を用いている。電子基準点と交信して観測を行っているこれはいつでもどこでも 1cm 程度の精度で測定することができる。また人工衛星を用いた干渉 SAR という画期的な方法もある。人工衛星から電波を発射し、観測する対象物に当たって反射された電波を観測します。反射された電波の強さから、対象物の大きさや表面の性質がわかる。それを二回行い比べることで地殻の変動を観測するものだ。これは人工衛星「ふよう1号」「だいち」「だいち2号」で行われている。干渉SARは立体的な変動の観測や断層の発見に応用されている。



### 地震と災害の関連性について

地震によっておこる災害は大きく以下の四つに分けられる

・揺れによる災害	・地形変形による災害
・ライフラインの破壊による災害	・人為的災害

ここでは揺れ、地形変形を原因とする地震について述べる

揺れでは主に土砂災害や建造物の損傷が起こりこれらの災害は流出した土砂や倒壊した建造物の火災などの二次災害による被害が大部分を占めている

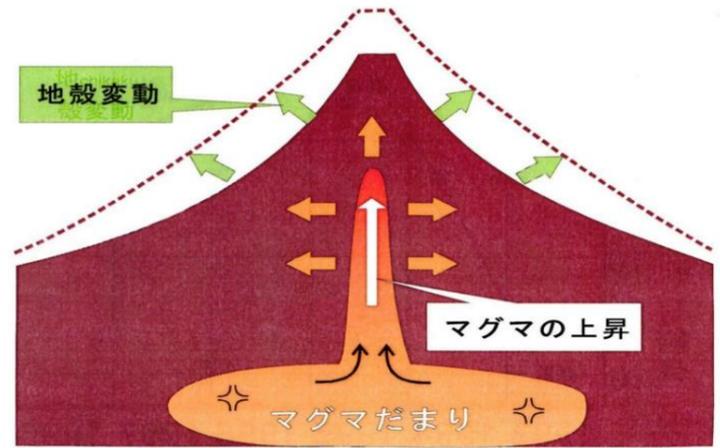
これらの災害に対してはダムや建築物の耐震構造強化などといった事前対策が重要になる

地形変形では東日本大震災などで大きな被害をだした津波などが例として挙げられる

津波は地震によって変化した海底地盤が原因となって引き起こされるが、ほかに先ほど述べた土砂災害が海に流出して津波が起こったこともある

地形変形に対しては自然的な部分が多く人の手による対策は難しいがあらかじめハザードマップ、沿岸部の堤防などといった地震そのものに手を加えないという対策を行うことが重要である

## 火山の動き



マグマが地表の近くへ移動してたまったものをマグマだまりという。マグマの上昇に伴う圧力変化で地殻変動が生じたとすると、地殻変動からマグマの深さを推測することができる。地殻変動とは地殻(地球を卵に例えると殻にあたる部分で、地球の外側から60km程度の厚さで、地球の半径6371kmの1000分の1以下にすぎない)に力が加わることで、時間とともに地殻の位置が移動する現象である。しかし、振動的変形、堆積、浸食、隕石孔の形成、集中豪雨による地すべりや工業活動に原因する地盤沈下などは地殻変動に含まれない。

種別	名称	対象範囲	レベルとキーワード	説明		
				火山活動の状況	住民等の行動	登山者・入山者への対応
特別 警報	噴火警報 (居住地域)	居住地域 及び それより 火口側	レベル5 避難	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは噴火している状態にある。	危険な居住地域からの避難等が必要(状況に応じて対象地域や方法等を判断)。	
	又は 噴火警報		レベル4 避難準備	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される(可能性が高まっている)。	警戒が必要な居住地域での避難の準備、災害時要援護者の避難等が必要(状況に応じて対象地域を判断)。	
警報	噴火警報 (火口周辺)	火口から 居住地域 近くまで	レベル3 入山規制	居住地域の近くまで重大な被害を及ぼす(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	通常の生活(今後の火山活動の推移に注意、入山規制)、状況に応じて災害時要援護者の避難準備等。	登山禁止・入山規制等、危険な地域への立入規制等(状況に応じて規制範囲を判断)。
	又は 火口周辺警報	火口周辺	レベル2 火口周辺 規制	火口周辺に影響を及ぼす(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)噴火が発生、あるいは発生すると予想される。		火口周辺への立入規制等(状況に応じて火口周辺の規制範囲を判断)。
予報	噴火予報	火口内等	レベル1 平常	火山活動は静穏。火山活動の状況によって、火口内では火山灰の噴出等が見られる(この範囲に入った場合には生命に危険が及ぶ)。	通常の生活。	特になし(状況に応じて火口内への立入規制等)。

噴火警報レベルは火山活動の状況に応じて「警戒が必要な範囲」と防災機関や住民の「とるべき防災対応」を5段階に区分した指標である。

### 火山の地図

国土地理院では火山噴火予知や防災対策の基本資料となる「火山基本図」と「火山土地条件図」の作成を行っている。整備する火山は今までで火山基本図は34火山、火山土地条件図は20火山を整備している。

火山予想図は現在活動中または将来活動が予想される火山を対象に作成されている。これは精密に地形が表示され、噴火時の防災計画、緊急対策用のほか、火山の研究、火山噴火予知などの資料として活用されている。

火山土地条件図は過去の火山活動によって形成された地形や噴出物の分布、防災関連施設、保護保安施設、河川、観光施設等をわかりやすく表示している。そしてこれは噴火時の防災対策立案の他、地震災害対策、土地保全・利用計画立案や調査研究教育の基礎資料、あるいは地域や郷土の理解を深めるための資料として活用されている。

### 参考文献

国土交通省・気象庁

[http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/level\\_toha/level\\_toha.htm](http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/level_toha/level_toha.htm)

# 地図と測量の歴史

宮城県仙台第三高校 1年 菊池奎斗 浅野舞 阿部十夜 加藤大地 小野瑞歩 笹川奈帆 向井優果

## 『国土地理院研究所紹介』

### 1、地理空間情報の整備、更新、提供

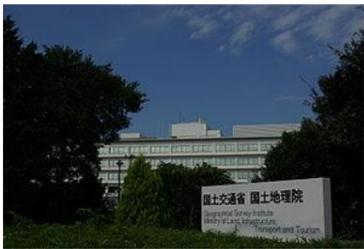
地理空間情報とは、空間上の特定の地点または区域の位置を含む情報のこと、もしくはその情報からなる情報のことを指している。

### 2、地理空間情報が誰にでも入手できる環境を整える

国土地理院では、電子地図を充実させて地理空間情報ライブラリーというインターネットシステムを作り、誰でも地理空間情報を閲覧、入手できるようにしている。また、地図と測量の科学館では地図や測量、その歴史などを学ぶことができる。

### 3、国内外における連携により地理空間情報の活用の推進

国内では、円滑な地理空間情報の流通や活用の推進を図るために、民間、国、地方公共団体のそれぞれとつながりを持ち地理空間情報の活用推進体制を構築している。



## 『日本における地図と測量の歴史』

日本は、昔から測量や地図作りなどを行ってきた。また伊能忠敬などの登場でその後の地図や測量の技術はより発展していったと言える。

年号	出来事	内容
609	測量技術伝来	測量技術伝来。
645	班田収授法が制定	区分された田地の位置を定めるため条里制施行→田図、田籍作成。
745	行基図(日本最古の地図)が作られる	行基が諸国を巡りまわって仏教を広めると共に作成。
1589	「文禄絵図」日本全図作成	豊臣秀吉によって行われた検(1582～1595)の結果が編集され、作成。
1648	樋口権右衛門が測量技術を伝授	オランダ人から測量技術を学び、後に「清水流測量術」として確立。
1779	「改正日本輿地路程全図」発行	長久保赤水によって作られ、庶民の間で広く使用される。
1800	伊能忠敬が全国測量開始	1800～16年にかけて行われた。
1821	「大日本沿海輿地全図」作成	伊能忠敬らによる全国測量結果が収録。
1877	あざきりず 字切図を作成	地租改正に伴い、明治政府の地理局が全国地籍調査を行う。
1888	1/1,600,000 日本全図作成	「大日本沿海輿地全図」以来の実測日本全図
1924	全国 1/50000 地形図完成	1983年には 1/25000 地形図が完成



大日本沿海輿地全図



現在の衛星写真

## 『世界における地図と測量の歴史』

測量の歴史は、ピラミッドが建築される紀元前 3000 年頃に始まる。古代ローマ時代には、ヨーロッパからアフリカ大陸に至るまでの、広大な領土を持つ帝国の各地に街道・街・上下水道等が建築されたが、これも測量技術があつてのことである。これらの世界的な遺産は、数千年の時が過ぎた現在でも、世界各地で見ることが出来る。とても詳細なデータを作成した結果、これだけの年月にも動じることのない建築物を造ることが出来たのである。また、これら古代時代の測量器具や測量データは現在でも残っている。

国土地理院内にある地図と測量の科学館に複製であるが**ベハイムの地球儀**というものがある。これは現存する世界最古の地球儀で 1492 年にドイツでマルティン・ベハイムが作ったものである。ベハイムの地球儀はプロレマイオスの世界図に基づき、それを拡大したもので、南北アメリカ大陸はまだ存在せず、アジアが東側に拡大されており、太平洋は、ごく狭い海として描かれている。



## 『測量技術の社会への応用』

### 【防災】

1240 個の電子基準点が存在

→地震調査研究、火山噴火研究のための広域地殻変動監視目的

**地震** 例) 東北地方太平洋沖地震において、地殻変動の経過を監視  
地震を引き起こした断層の概要(長さ、幅、深さ、傾き等)を監視→地震後も継続する断層面上の滑りを推定

**火山活動** 断続的に斜め写真を撮影、監視→地殻変動を測定

例) 溶岩ドーム成長から爆発的噴火後の火口の状況をくにかぜⅢから撮影くにかぜⅢ…測量用航空機。上空写真撮影や航空磁気測量に使用。  
今後研究センターでは離島や危険な場所における撮影の研究を進める。

**台風・豪雨** 国土地理院が斜め写真を撮影

→判読して災害概況図を作成、土砂流出範囲を判別

### 【その他】

日本全国の地形を 3D モデルとして表示し、国土地理院 HP からデータのダウンロードが可能。「地理院地図 3D」

例) 正射画像及び標高データを用いて、3D プリンターでの出力に使える STL データを公開。また、空中写真、地形判読図、立体図を公開。

→3D プリンターによる模型製作が可能

## 『まとめ』

スマートフォンやカーナビなど、今や必要不可欠になっている地図。これは何千年も前から作られてきた人間の知識であり、宝である。例えば伊能忠敬。この人物は地図を語る上ではかかせない人物だろう。彼の測量は大変正確で、飛行機で測量するようになるまで人々に広く使われた。

現在では GPS など安易に測量ができてしまう。GPS ができる前は、測量はとても大変な作業だったのであろう。それだけ地図は大事なものであったのだ。これを機に地図の重要性をもう一度考え直してほしい。

ぜひ筑波に行ったら国土地理院に足を運んでもらいたい。

## 『参考文献』

国土地理院 HP <http://www.gsi.go.jp/>

Think the earth ベハイムの地球儀

<http://www.thinktheearth.net/jp/earthrium/03voyagers/text00.html>

測量の歴史 [http://www.f2.dion.ne.jp/~ats\\_alfa/Rekishih.htm](http://www.f2.dion.ne.jp/~ats_alfa/Rekishih.htm)

測量の歴史 晶土地企画設計

<http://www.tomei-survey.com/history.htm>

# 宇宙科学・小惑星探査「はやぶさ」

宮城県仙台第三高校 2年 石井昂世 赤星栄治 清水耕史 千葉俊哉 松崎巧 羽根田佑真 伊澤栞奈

## 1、「はやぶさ」の役割

そもそも「はやぶさ」とは、イトカワ(近地球型と呼ばれる地球と似た軌道を持つ小惑星)の探査を目的として作られた小惑星探査機である。

小惑星とは、宇宙に広がる無数の天体のうち、火星と木星のあいだの軌道を公転する小天体であり、これらは出来上がってからほとんど形を変えずに太陽の周りを公転している。そのため小惑星ができた時のままの状態が残っていると考えられており、太陽系の誕生の過程を知る手掛かりとなると考えられた。はやぶさには、小惑星探査を遂行するにあたり、

1. イオンエンジン(燃料の効率が非常に良い)
2. 自立航法(探査機が自ら判断して接近する)
3. 微小重力下での試料採取法(小惑星の表面に小さな玉を打ち込んで、はね返る欠片を採集する)
4. 帰還カプセル(地球に試料を届ける、耐熱設計されたカプセル)

といった技術を搭載した。はやぶさは、イトカワの表面の物質を地球に持ち帰る事が任務であり、そのサンプルを今後、太陽系の誕生について調べる資料にする。また、この惑星探査が成功することで、小惑星からサンプルを採集し地球に持ち帰る技術(サンプルリターン)を確立させ、今後の宇宙開発の第一歩となる。

### 「はやぶさ」年表

2003.5.9	鹿児島・内之浦から打ち上げ
2004.5.19	地球スイングバイ成功
2005.9.12	イトカワに到着
2005.11.20	イトカワに着陸
2005.11.26	イトカワに二度目の着陸
2005.12.8	地球との通信が途絶え行方不明
2006.1.23	通信が復活
2007.4.25	地球に向けて出発
2007.10.18	燃料節約のためイオンエンジン停止
2009.2.4	イオンエンジン再点火
2009.11.4	イオンエンジン異常停止
2009.11.19	イオンエンジンを修理して再出発
2010.5.12	月と地球を撮影
2010.6.13	地球に帰還

## 2、ターゲットマーカー

「はやぶさ」が安全に小惑星イトカワに着陸するためには非常にゆっくりと近づいていく必要があった。しかしここで1つ問題が生じる。上下の高さ方向のみならず、はやぶさの高度計によってイトカワの表面までの距離を測ることができるため難しくはない。だが、水平方向の横向きを速度をどう測定するかが問題となった。

そこで開発されたのが「ターゲットマーカー」である。大きさは直径10センチほど。仕組みは、ターゲットマーカーをイトカワに落とし、はやぶさから放たれる光を反射させることによってはやぶさは自身の位置を把握することができる、というものであった。

しかし、ターゲットマーカーを開発するうえでもいくつかの問題点があった。まず、イトカワの重力が非常に小さいということだ。重力が小さいと、ものを落としても跳ね返ってしまう。ターゲットマーカーを固定させるためにも、表面に衝突したらピタッと止まる工夫が必要であった。

そこでヒントに得たのが「お手玉」であった。どうしてお手玉だったのだろうか。それはお手玉が、中に入っている小豆が衝撃を吸収する役割をするため地面に落ちて跳ね返らない、という特徴を持っていたためだ。この特徴を生かし、ターゲットマーカーの中にポリイミド(極めて優れた耐熱性と低温特性を持ち、 $-270^{\circ}\text{C}$ から $+300^{\circ}\text{C}$ と広範囲で高い強度を発揮する)という樹脂のビーズを入れた。

また、ターゲットマーカーは初めお手玉と同じように布で作られていたが、無重力中だと形が崩れてしまって中のビーズが動かなくなってしまう、衝撃を吸収できない。また中のビーズの量は多すぎても少なすぎても効果がでない。何度も無重力空間の中で実験を繰り返し、ついに最適なビーズの量、そして形が変わらないようアルミで表面を包むということを決めたのである。

## 3、はやぶさ2とは?

はやぶさの経験を生かし、より確実に太陽系天体往復探査が行えるようにつくられたものがはやぶさ2である。打ち上げは2014年の予定で、小惑星に到着するのは、2018年半ばで、一年半ほど小惑星に滞在し、2019年末に小惑星から出発、2020年末に地球に帰還の予定だ。

はやぶさが採取したサンプルした試料の微小な鉱物、組成、元素組成、酸素同位体比などの解析から、普通コンドライト(球粒状構造を持つ隕石)と同じ特徴をもつことがわかった。また、はやぶさ2では、小惑星の地下の物質を採取することも目指している。表面の物質は太陽光などにより変質している可能性があるためだ。はやぶさ2によって新たなことがわかる日も遠くない。

## 4、「はやぶさ」と「はやぶさ2」の比較

### ● 探査する惑星

はやぶさ → イトカワ(1998 SF36)

はやぶさ2 → 「1999JU3」という名前の炭素質で構成されるC型(水や有機物の存在が期待されている小惑星)の天体

### ● 滞在期間

はやぶさ → 3か月

はやぶさ2 → 12ヶ月

はやぶさ2の目的は確実に小惑星の一部を地球に持って帰るということだ。そのため、はやぶさ2は正確にミッションを遂行できるよう、長い滞在期間を与えられている。また、はやぶさ2はミッションを終えた後、他の天体へ向かう可能性も考えられている。

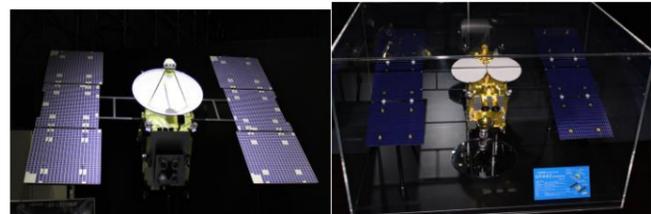
### ● サンプルの採取方法

はやぶさ/はやぶさ2・・・微小重力下での試料採取法

はやぶさ → 表面のサンプルを採取

はやぶさ2 → 地下物質を採取

はやぶさにはなかったが、はやぶさ2には、衝突装置が追加されている。これをぶつけ地下物質を表面に露出させて採取する。地下物質を採取するのは、表面の物質は太陽光により変質してしまっている可能性があるため、少しでも精度の高いサンプルをもってくるためである。ほかにも、ホーン先端部にははやぶさにはない返しのようなものがついており、機体の上昇時にサンプルを回収できるようになっている。



はやぶさ

はやぶさ2

### 参考文献

<http://www.ensinger.jp/item/pi.html>

[http://www.jaxa.jp/article/special/hayabusa/sawai\\_j.html](http://www.jaxa.jp/article/special/hayabusa/sawai_j.html)

参照 IT media 「次なる挑戦、「はやぶさ2」プロジェクトを追う」

[http://www.jaxa.jp/projects/sat/hayabusa2/index\\_j.html](http://www.jaxa.jp/projects/sat/hayabusa2/index_j.html)

小惑星探査機「はやぶさ」(共有史年表)

[http://histry.jp/?m=pc&a=page\\_o\\_share\\_home&target\\_c\\_share\\_history\\_id=44](http://histry.jp/?m=pc&a=page_o_share_home&target_c_share_history_id=44)

# 日本のロケットと宇宙開発・実験

宮城県仙台第三高校 1年 鮎原 常羽  
西條 深優

藤本 悠大 友永 達基 鈴木 智寛  
橋本 賢人 菊池 青空

## 目的・概要

- ・JAXA の施設、ロケット及びロケットの部品について調べるため。
- ・宇宙飛行士になるために行う訓練を知るため。
- ・JAXA が国際宇宙ステーションで行っている実験、及びそこで活動している宇宙飛行士の様子など、国際宇宙ステーションについて知るため。

## 結果・まとめ

- ・JAXA は、国際宇宙ステーションで宇宙環境が生物にどのような影響を与えるか調べていた。
- ・ロケットは、目的に応じて使い分けられ、部品ごとに別の場所で造られていることが分かった。

## 1. ロケットの真実

日本では現在主に 3 種類のロケットが活動している。



H-IIA ロケット H-IIB ロケット イプシロンロケット

- ・H-IIA ロケットは、元である H-II ロケットからコストを半減し、より実用的になったものである。
  - ・H-IIB ロケットは、H-IIA ロケットよりもエンジンを増やし、大きいもの、重たいものが運べるようになった。
  - ・イプシロンロケットは、H-IIB ロケットよりも高性能かつ低コストになった日本最新のロケットである。
- このように、ロケットは日々研究され、より高性能なものが作られ続けている。

JAXA は、他にも、金魚、アンコウ、イモリなど、様々な生物を宇宙空間に送り込み、宇宙環境内でどのような動態を示すか実験している。

## 5. 宇宙飛行士について



宇宙服には高度な技術が投入されており、真空や大きな温度差などの宇宙環境から人の体を守ることができる。

宇宙飛行士は宇宙空間での作業などを行い、日本人で初めてスペースシャトルで宇宙へと飛び立った毛利衛飛行士に続いて、向井千秋飛行士、若田光一飛行士などその他にもたくさんの日本人飛行士が誕生し、数々の実績を残した。

そんな宇宙飛行士になるための宇宙飛行士候補選抜試験は毎度毎度倍率が非常に高く、必ずと言っていいほど 100 倍を超え、過去では 572 倍の時もあるほど難しい試験である。それに「3 人以内」などと人数が少ないうへ確定されていないのも難しさをさらに上げている。

そのような試験を合格しても宇宙飛行士と認定されるまでに、数々の訓練をこなさなければならない。宇宙飛行士の必要な基本的知識や宇宙科学・医学、語学訓練、飛行機操縦訓練や体カトレーニングなど数は計り知れない。このようにして宇宙飛行士として認められていくのである。

## 2. ロケットのエンジン

固体燃料…火力が強く進む距離が大きいのが、一度点いたら燃料が尽きるまで、燃え続ける。

液体燃料…再着火等といった制御が可能だが、作るのに複雑でコストが高く力も弱い。

(日本では、最大 3 回まで可能)



打ち上げのとき、液体燃料では力が弱いため、固体燃料で補っている

ロケットの重量の 95% が燃料

固体燃料ブースターは群馬県富岡市工場で作られている。

## 6. 宇宙食について

宇宙は無重力のため、食事も特別に作られている。宇宙で生活している人は、感覚が鈍ってきてしまうため、麺は固く、食べ物の味は濃くするなどの工夫がされている。また、様々な国の宇宙飛行士のために、多くの種類の宇宙食が開発されている。日本食では、赤飯・鮭おにぎり・ラーメン・羊羹などがある。ただし、宇宙食として認められるには、長期保存・軽量・臭気・栄養・娯楽などの条件を満たさなければならない。

## 3. 国際宇宙ステーション「ISS」とは？

- ・地球の地上から約 400km 上空を飛行しており、一周約 90 分で地球のまわりをまわる有人実験施設である。
- ・大きさは横約 108.5m×縦約 71.8m、重さは約 420t にも及ぶ。
- ・あらかじめ小さくしておいた各部品を 40 回以上にわたり宇宙空間に送り、その場で組み立てることによって現在の ISS は完成した。
- ・ISS には宇宙飛行士が利用する実験モジュールと居住モジュールが主な場で、その他に電力を作る太陽電池パドルや、船外作業で使用するロボットアームなどがある。

## 7. 種子島宇宙センター

種子島宇宙センターは、鹿児島県にある、人工衛星やロケットを打ち上げるための施設である。総面積 970 平方メートルの、日本最大の発射場である。

- ・大型ロケット発射場は、ロケットの組み立て、整備、点検、燃料充填、打ち上げを行っている。
- ・中型ロケット発射場は、高さ 60 メートル、重さ 2700 トンの移動整備塔がある。
- ・小型ロケット発射場は、宇宙開発のための基礎実験や、小型ロケットの組み立て、点検、発射管制などを行っていた。
- ・総合司令塔は、ロケット打ち上げの「頭脳」となる施設。ロケット打ち上げの際には、この施設に、打ち上げにかかわる各作業の責任者が入る。さらに、全ての情報はここに集められ、発射および追尾、安全管理など、打ち上げに関するあらゆる設定が行われる。

## 4. 国際宇宙ステーション内の実験について

日本は、「きぼう」というモジュールで実験を行っている。

### ・宇宙メダカ

目的：宇宙空間でもメダカが産卵行動を行えるかどうか、卵が正常にふ化するかを調べるため。

(メダカは、通常のメダカより、目を使ってバランスをとることに長けた個体を使用した。)

結果：43 個の卵が発生し、そのうち 8 個の卵が孵化した。

## 参考文献

- ・ [ja.wikipedia.org/wiki/H-IIA](https://ja.wikipedia.org/wiki/H-IIA) ロケット
- ・ [ja.wikipedia.org/wiki/H-IIB](https://ja.wikipedia.org/wiki/H-IIB) ロケット
- ・ [ja.wikipedia.org/wiki/イプシロンロケット](https://ja.wikipedia.org/wiki/イプシロンロケット)

# SSH 白神フィールドワークとは…？

## 白神山地とは

白神山地は、青森県南西部から秋田県北西部にまたがる130,000haに及ぶ広大な山地帯の総称です。このうち原始的なブナ林で占められている区域16,971haが1993年12月に世界遺産として登録されました。青森県側の面積は、その約4分の3を占め、12,627haとなっています。

仙台三高では、SSHに認定されたH22年から青森県の深浦町に行き、白神山地の成り立ちや自然環境の調査を行っています。



## 調査項目

1. ブナ林の毎木調査
2. 発光生物の観察
3. 地すべりと追良瀬川の土石流
4. 磯の生物観察
5. 十二湖地域の地形

## 今年度の活動の様子

平成26年8月1～3日

ブナ林に分け入っての毎木調査をしたり、



十二湖の中で最も有名な池である「青池」を見ました！



夜には岸壁でトラップを仕掛けウミホタルを探りました！



## 今年度のしおり

<p>平成26年度スーパー・サイエンス・ハイスクール事業</p> <p>SSH白神フィールドワーク</p>  <p>平成26年8月1日(金)～8月3日(日)</p> <p>於 青森県西津軽郡深浦町十二湖 宮城県仙台第三高等学校</p> <p>年 組 委 氏 名 1</p>	<p>実施・講師内容</p> <p>ブナ林の毎木調査 発光生物の観察 地すべりと追良瀬川の土石流 磯の生物観察 十二湖地域の地形</p> <p>報告施設</p> <p>アオノキ白神十二湖（しもかみ十二湖株式会社） 〒028-2200 青森県西津軽郡深浦町大字白神字下流14 TEL: 0187-27-0211 FAX: 0187-27-0205 E-mail: info@shirayama-jichu.co.jp</p> <p>1</p>
---	--

海に続いて山のホタルも見えてきました。幻想的です!!



川を渡って調査地に向かいました。  
水が冷たく気持ちよかったです!!



川の水量を求める測量を行っています。



磯には宮城と違う生物が多くいました!!



十二湖の名前の通りいくつもの湖がありました。



日本最大の淡水魚「イトウ」と「プラナリア」です。  
水が豊かな証拠です!!



雄大な日本キャニオンに圧倒されました!!



自然の偉大さに圧倒されながらも、滅多にない貴重な体験を  
することができました!!



# 磯の生き物について

宮城県仙台三高 白神フィールドワーク1班 佐藤雅士 千葉彼野人 門口尚広 青木雄一 高橋佳次

## 1. 白神山地周辺の海流

対馬海流(暖流)が日本海を流れている

## 2. 磯とは?

磯とは海の波打ち際で比較的大きな岩が多く散らばっている海岸のことを指し、磯はたいてい湾の比較的高いところに存在している。

## 3. 観測場所について

今回観測した場所は青森県深浦町の日本海に接する磯で、この周辺の地形は大昔より海岸が隆起して作られた地形。



## 2. 目的

・私たちは、磯周辺をクラグキャッチャーや水中メガネを使って5門10目の種類の生物を探すことを目標として活動した。門、目は、生物分類のリンネ式階層分類における基本的分類階級のひとつであり、分類は門>目となっている。

## 3. 観察

### (1) 観察できた生物(系統・個体数)

- ・脊索動物門-スズキ目-アゴハゼ(7)
- ・節足動物門-十脚目-イソガニ(4)、ヒライソガニ(1)、スジエビ(4)
- ・軟体動物門-後鰓目-アメフラシ(8)、クロヘリアメフラシ(1)

- ・節足動物門-ワラジムシ目-フナムシ(1)
- ・扁形動物門-ヒラムシ目-ヒラムシ(2)
- ・軟体動物門-マルスダレガイ目-アサリ(1)  
古腹足目-イシダタミガイ(2)
- ・棘皮動物門-アカヒトデ目-イトマキヒトデ(4)  
マミズクラゲ目-カギノテクラゲ(1)
- ・刺胞動物門-箱虫目-アンドンクラゲ(2)
- ・海綿動物門-中軸海綿目-ツノマタカイメン(1)

### (2) 国内外来種

国内外来種とはなにか?

国内の他の地域から持ち込まれた生き物は

“国内外来種”と呼ばれる。

今回観察された国内外来種はツノマタカイメン(海綿動物) メリベウミウシ(軟体動物)ヒラムシ(扁形動物)の3種類である。

ツノマタカイメンは熱帯の海を中心に生息する生物である。

メリベウミウシ、ヒラムシは比較的温暖な海で見られる生物である。



## 5. まとめ

- ・各班の調査結果を集計して9門、12目、計16種の生物を観察することができた。
- ・国内外来種としてツノマタカイメン、メリベウミウシ、ヒラムシが見られた。
- ・国内外来種が観察されたのは、地球温暖化や対馬海流の流れによる生息域の拡大及び北上が考えられる。



## 4. 考察

- ・今回観測した磯には、捕まえたものだけで9門12目16種もの生物がいた。  
→青森県深浦町の日本海に接する磯には多種多様な生物が生息している。
- ・アメフラシやイシダタミガイなどの軟体動物をよく見られた。
- ・本来、熱帯の海に生息しているツノマタカイメン(海綿動物)メリベウミウシ(軟体動物)ヒラムシ(扁形動物)等を観察することができた。  
→このことから、地球温暖化による海水温度の上昇や、暖流である対馬海流の流れによるこれらの生物の移動が考えられる。



## 参考文献

- ・市場魚介類図鑑 <http://www.zukanbouz.com>
- ・身近な魚類図鑑 <http://sorairo.net.com>
- ・インターネット生物図鑑 <http://www.zukan.net>

# 追良瀬川の地滑りと土石流

村上周明 木村百花 菅原有葉 阿部圭佑 加藤大輝

## 1. はじめに

白神山地は地滑りが頻繁に起こった地帯である。また、地滑りが発生したことによって土石流が発生し、白神山地の地形が変わっていった。では、どのようにして地滑りや土石流が発生して白神山地の地形を変えていったのだろうか。

## 2. 目的

寛政5年(1793年)に発生した土石流のデータをもとに、天然ダムができてから決壊するまでにたまったおおよその水量を求め、どのようにして土石流が発生したかを調べる。候補地で、現在の河川の流量と、地形図(図1)による湛水量の計算の比較から、この候補地が妥当か検討する。

## 3. 実験方法

今回は2つの方法で水量を出して比較した。  
※湛水とは・・・地滑りや洪水などにより水がうまく排出されず溜まってしまうこと。

### 方法1

- (I) 候補地点での流速、川底の断面の形、川幅を測定する。
- (II) I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。
- (III) 地形図を用いて水がたまったと思われる範囲を推定し、閉塞箇所の背後にたまった水量を求める。
- (IV) IIとIIIから計算上の決壊する日数を決める。

### 方法2

- (I) 水が堆積したと思われる範囲を区切る。
- (II) その範囲に12か所横断線を入れ、範囲を図1の地形図上で2cmごとに区切る。
- (III) IIで入れた線の中央を通る折れ線を引き、
- (IV) それぞれの範囲の体積を図の等高線を利用して計算で出し、合計する。



青い線が2cmごとの線、  
緑の線が中央を通る折れ線

図1 (1/25000)

## 5. 考察とまとめ

方法1と方法2で大きな差がみられたのは、計測日頃の天候によるものが大きいと思われる。地形図あるいは川の流量の計測により、土石流が地滑り後にどれくらいの日数で発生するかを予測することができるので、地形を見るだけでなく、災害の対応を迅速に行うことができるだろう。

## 6. 今後の展望

前回の調査と比較し、急に流れが速くなっているところ、川幅、川底が広がっているところの調査を重点化し、今後の活動につなげたい。

## 地滑りと土石流

### ・地滑りのメカニズム



### ・土石流

地滑りなどによってできた天然ダムが、せき止めていた川の水量に耐えられなくなり、決壊した時に土砂と混ざり合うことで土石流となる。

## 4. 結果

3の実験方法に基づき、計算をした。

### 方法1

	1日の流量	2週間の流量
	467078.4m <sup>3</sup>	6539097.6m <sup>3</sup>

### 方法2

	1日の流量	2週間の流量
	433839m <sup>3</sup>	6037500m <sup>3</sup>

方法1、2を比較すると地形図を利用した測量方法のほうがやや少ない結果になった。

## 参考文献

土砂災害防止広報センター  
[www.sabopc.or.jp/library/web0104.html](http://www.sabopc.or.jp/library/web0104.html)  
防災対策ガイド  
[bousai.apk7.com/090/info127.html](http://bousai.apk7.com/090/info127.html)

# 発光生物のしくみ

伊藤舞衣 佐藤杏香 金澤綾青 伊藤岳晟 堀川貴広

## はじめに

私たちは白神フィールドワークにおいて、ホタルとウミホタルという発光生物を観察してきた。どちらもホタルという名前ではあるが、姿や光り方はまったく違ったものであった。私たちはこの違いに興味を持ち、詳しく知りたいと思い発光生物を調べるに至った。

## ホタルの現状

ホタルは水質のよい水辺にしか生息できない。しかし生活排水を主とする水質汚染により、ホタルの生息できる水辺が減少してきているのが現状である。

そこで最近ではホタル保護への機運が高まっており、保護を目的とする団体などが増えてきている。里山や川の保全活動やホタル祭りなどでの発信などを行っている。

## ホタルの特徴

ホタルとウミホタルの違いを見て行こう。

～形態～  
ホタル



左がゲンジボタル、右がヘイケボタルである。前者は赤斑に黒い十字が、後者は太い縦の黒紋がある。

ウミホタル



体は半透明で、危険を感じると光る。右図は砂浜に大量発生しているようす。

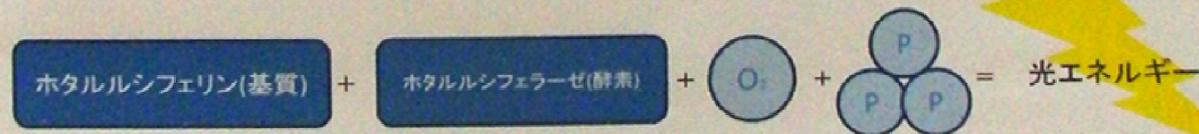
～プロフィール～

	種目	体長	生息場所	発生時期
ゲンジボタル	コウチュウ目ホタル科	雄15mm 雌18mm	里山の小川、溪流	5月上旬～
ヘイケボタル	コウチュウ目ホタル科	雄8mm 雌10mm	里山の小川、水田、湿地	6月上旬～
ウミホタル	ミオドコーバ目ウミホタル科	3mm	日本列島沿岸(暖流域)	1年中見られる

～発光～

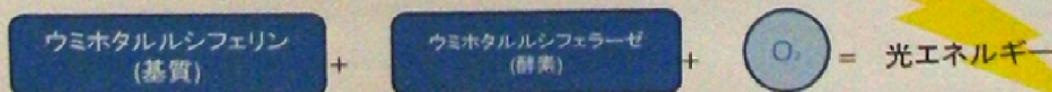
・ホタル

- ①発光理由・・・求愛、敵回避、刺激されたとき
- ②利用・・・菌検出



・ウミホタル

- ①発光理由・・・求愛、捕食者回避
- ②利用・・・軍事利用(証明)、医学利用(がん細胞の発見)



参考文献

・発光生物のふしぎ・ホタル百科・ホタル学

# 白神山地の地形

平松明秀 阿部友哉 渡邊浩文 石曾根直希 高橋純

## 1. 初めに

白神山地とは？

- ・青森県と秋田県にまたがる 130,000ha に及ぶ広大な山地帯
- ・このうちブナの原生林で占められている区域 16,971ha が 1993年 12月に世界遺産として登録された。

特徴

- ・人為的影響をほとんど受けていない原生的なブナ天然林
- ・しかも、東アジア最大級の規模で分布している
- ・特に世界遺産地域は最も良く原生状態が保たれており、その価値は、極めて重要である。



## 2. 目的

- ①十二湖のうちの1つの青池が何故青く見えるのか？
- ②白神山地の地形について理解する

## 3. 観察

### (1) 十二湖

十二湖について

- ・十二湖とは、青池をはじめとする全 33 の湖沼から構成される湖の総称である。

<青池>

Q 青池が青く見える理由とは？

A 科学的には未だ解明されていない。ただし、以下のことは明らかになっている。

- ①青池の水は、地下水よりも深い層から湧き出る。「深層水」であること。
- ②普通の水と比較すると、含まれる酸素の量が極端に多いこと。
- ③太陽の光が当たる角度によって、色が変化すること。

なお、青池は透明度がとても高く、水深は 9m もあるにも関わらず、底にある倒れたブナの木や、泳いでいる小魚を観察することができた。また、青池以外にも十二湖には美しい湖があり、それぞれの魅力を持ち、とても素晴らしい景色だった。



これが十二湖のうちの1つの青池である！！！！！！

## 5. まとめ

地形について

- ・斜面崩壊や地滑りが多発。
- ・自然は手つかずのままで、険しい地形となっている。

十二湖について

- ・山崩れによってできた、33の湖沼の総称。
- ・これからも増えるかもしれない。

## 4. 考察

- ・白神十二湖周辺の山地火山の噴火などによって脆い地質でできており非常に崩れやすくなっている。そのため地震などで地形が変わりやすく、観察で見られたような地形になりやすいと考えられる。
- ・白神山地はブナの原生林やそこに住んでいる貴重な生物達の生態系だけでなく、地質や地形的な面から見ても珍しく貴重なところである。

### (2) 地質

地形について

- ・1000メートル級の山が多く、深い谷が入り組んでいて谷壁が急傾斜をなすため、落差の大きな滝も数多い。
- ・崩落地が多いのも白神山地の特徴で十二湖の山腹の大崩は1704年の大地震で形成され、その時に十二湖もできたと言われている。
- ・近隣にはブナ林が密集しそれらの水分の含有量が多いため、自然の造った水桶あるいはグムのようであり、しかも自然の浄化装置を持っていると表現できるほどの水質の良い水が各所で湧き出している。



白神山地の森林です(画像加工しました、すみません)

## 参考文献

- ・特定非営利活動法人 白神自然学校ー森学校
- ・世界遺産白神山地-青森県庁ホームページ

# 安全と安心を科学する

東北大学工学部 小川研究室

2223 羽生 東威 2225 丸尾 弘明 2226 水上 昂紀

材料科学における破壊物理学、安心・安全を求めるには

機器・構造物の安全を科学する

## 研究内容

- ・**コーティング** 本来の物質よりも丈夫にする技術
- ・**溶接技術** 材料同士の接合面を磨いて押し付けることで接合する技術
- ・**太陽光発電** 材料の特性を生かしエネルギーを生み出す技術

エネルギー変換機器・構造物への安全科学研究の確立

- ・**経年劣化評価**
- ・**安全性・信頼性の確保**
- ・**劣化メカニズム解析**
- ・**余寿命診断技術の確立**

### 1. 研究室紹介

小川研究室は東北大学大学院工学部のエネルギー安全国際科学センター(エネ安研)に所属している。研究室では、接合による材料の劣化や、使用していくうえでの破壊を通して、破壊物理学を明らかにし、火力発電などにおけるガスタービンなどのエネルギー変換装置の効率向上を目指している。

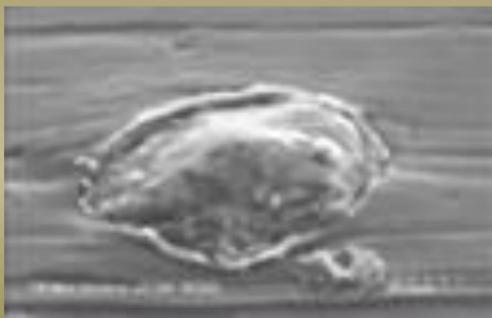
### 2. 破壊力学について

破壊力学とは、モノを使っていくうえで何がその劣化や亀裂、破壊といった損傷などを促しているのかといった原因の調査や、それらの損傷箇所がモノを使用していくうえでどのように影響して、それが安全なのか危険なのかといったことを研究していくことです。

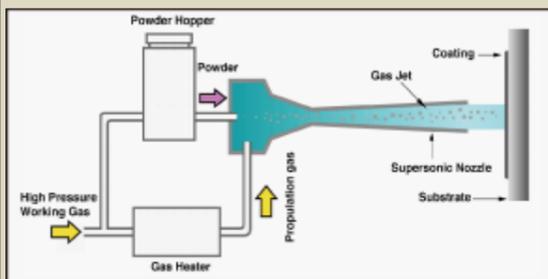
### 3. 研究内容

#### I. コーティング

火力発電で用いるガスタービンの羽根などは、高温にさらされても無事なようにする必要があります。その時などにコーティングは必要になってくる。小川研究室では、新たなコーティング技術としてコールドスプレーを研究している。コールドスプレーとは、圧縮して超音速にした気体の中にコーティングに用いる金属を含ませて、コーティングする材料にあてることによってコーティングする技術である。超音速に加速された金属が材料にあたることで平べったく変形して、付着していると考えられている。従来のコーティングと異なり熱による付着ではないので、金属の酸化による強度の低下が起らないので、金属をそのままの強度で付着できる。

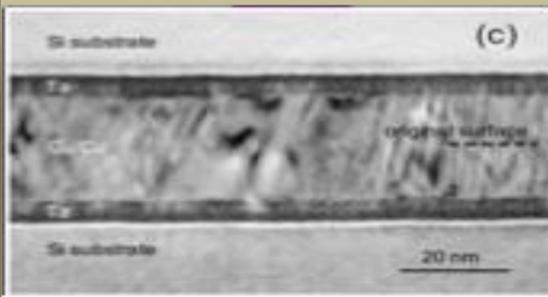


小川研究室では、コールドスプレーの付着メカニズムの解明、付着させる物体、付着する物体についての研究をしている。



#### III. 溶接

溶接とは、2つの材料をつなげるために、材料と材料の接着面をかなり細かいところまで磨き、それらを押し付けることでつなげる技術で、従来までは2つの材料をつなげるために、接着剤のようなものを用いることが多かったが、その方法をとるとその接着剤が劣化することによって結合が弱くなり、接着しなおすか、廃棄するかのどちらかだったが、この技術を用いることによって2つの材料が以前の技術のときより、より接着力がつよまり、接着剤のようなものをつかっていないため、劣化するようなことがなくなり、材料と材料の接着を以前よりも長持ちさせることができ、さらにそれによって、橋のどの公共のものも劣化しにくくすることができ、結果的に安全にするための技術になるというものだ。



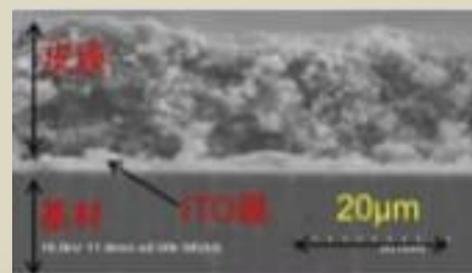
#### III. 発電

また、溶接技術を用いての発電技術として、色素増感太陽電池というものの研究も行っている。

色素増感太陽電池とは、透明な電気を通す電極に二酸化チタン(チタニア)という、半導体ナノ多孔膜を付着させたものと、対極とな

るものをつなぐ。その後、チタニアに増感色素を付着し、その上にヨウ素をかけ、太陽光を当てることで電子が回路内を移動する。その結果電気エネルギーが生まれる仕組みになっている。

この装置を実用化すれば、住宅の屋根がそのまま電池になるなど、さまざまな面で役立つだろう。



### 4. まとめ

この研究室では機械などの製品や、橋などの公共のものが壊れるのを遅らせたりする安全についての研究をしているとわかった。

安全の研究が具体的には、コーティングや溶接などの研究をしているとわかった。コーティングではとても薄い膜を作るだけで、コーティングしたものが劣化するのを大幅に遅らせることができるというものだ。この技術を用いることによって、例えば、火力発電に使われているタービンをコーティングすることによって、高額なタービンを長持ちさせ、お金を飛躍的に節約できたり、車をコーティングすることによって、車体がさびたりするのを遅らせたりすることができます。また、溶接は結合する技術で、材料と材料の接合面をかなり細かいところまで磨くことによって、それらを押し付けるだけで接合させるというものだ。これによって、従来までは接着剤のようなものを材料と材料とのあいだに使っていたために、その接着剤のようなものが劣化し、接合しなおしたり、廃棄していたものを減らしたりすることができるようになるというものだ。

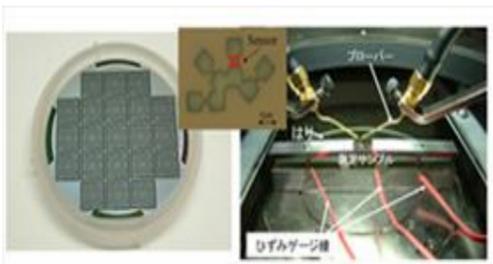
# ひずみ計測器の開発

東北大学工学部 三浦研究室

この研究室では主に破壊事故について研究している。破壊事故は社会機能の停止、人命の損失につながる。破壊の原因は自発ではなく外部からの力学的、科学的作用にある。主に力学的粉碎、融解、科学的浸食（腐食など）だ。三浦研究室では力学的粉碎に焦点をあてている。固定材料はひずむことによって外力に抵抗する。ひずみとは作用反作用のようなもの。原資と原子の間にばねがあるような感じで表現できる。右図→ ● ω ● ω ● ω ● 内に向かう力を加えられるとばねは縮むので外に向かう力が生じる。逆に外に向かう力を加えられるとばねは伸びるので内に向かう力が生じる。応力（単位面積あたり）とひずみは比例する。しかし無限に伸びるわけではない。いつかは破壊する。例えば金属なら0.01%から0.1%、タイヤなら数十%から数百%以上のひずみで破壊する。つまり予知ができる。だがその破壊までのひずみは物質によって値の位が大きく違うので多様な計測のできる測定器が必要となる。ここでひずみは電気抵抗の変化率に比例する。そしてカーボンナノチューブは電気抵抗率がひずみによって変化するので、カーボンナノチューブを伸ばしたり縮めたりし、傾きを大きくして変化を見やすくすることができる。これから破壊の早期発見につながる。

## ひずみの測り方の開発

従来のひずみの測り方は計測したい対象に金属でできた薄い計測器を貼り付け、そこに電流を流し抵抗を測りひずみを測るものだった。その時に応力（単位面積あたりの力）とひずみは比例していることがわかってきた。しかし、以前の測定器では感度を高めることができず、小さいひずみを測ることは難しかった。



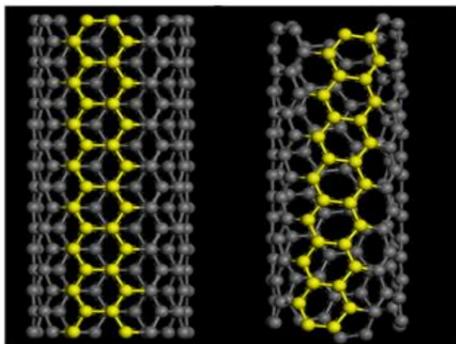
↑ひずみ計測器

そこで、カーボンナノチューブを使うことによって $\rho$ （電気抵抗率）を変えることができるとわかり、前述の比例の式の傾きを変えることができより小さなひずみも計測できるようになった。なぜカーボンナノチューブを使うと $\rho$ を変化できるかというカーボンナノチューブは伸び縮むので伸ばしたときには管が細く長くなるので抵抗率が上がり、縮んだときは管が短く太くなるので抵抗率は下がるからだ。

現在、カーボンナノチューブでの測定器は確立されていないため、三浦研究室において研究が進められている。

## 実験体験1 カーボンナノチューブの変形を見る

カーボンナノチューブとは炭素の同素体でフラーレンの一種である。



カーボンナノチューブは上の図のような構造をしており、よく変形しやすく、よく電気を通しやすいという性質を持つ。ひずみによる変形がおおきくなるカーボンナノチューブをセンサーに使うことで、よりセンサーの感度を上げることができると考えている。この実験ではこのカーボンナノチューブを鉄板の上に垂直に多数生やしたものを釘で微力で押し付け、変形させたものを電子顕微鏡で観察した。肉眼ではほとんど変化がないように見えたが、拡大して見ると柱状のカーボンナノチューブが規則正しく並んでいた。実験をした部分は本当に少しの力で押し付けたはずなのに、拡大して見るとえぐられるように変形しているのが見えた。この実験では実際にカーボンナノチューブの感度のよさをみる事ができた。

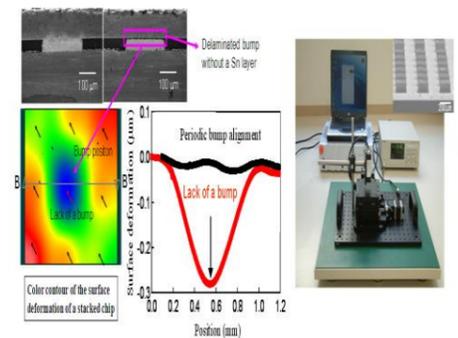
## 実験体験2 金属ひずみゲージ

物体に力が加わった時のひずみ具合を測定する方法の一つとして、金属ひずみゲージを使う方法がある。この方法は、被験物の被測定箇所銅線を張り付けて銅線に電圧をかけることで、ひずみ具合がわかる仕組みである。

実験として、被測定箇所が伸びるように力を加えてその時の電気抵抗を測定した。結果は、力を加えずに電圧をかけたときよりも電気抵抗が大きくなった。

この結果から、銅線が伸びると電気抵抗が大きくなることが分かった。

被験物の、銅線を張り付けた面が伸びるように力を加えた場合、銅線が伸びて伸びた分細くなる。銅線を道、電線を人に例えると、道が細長くなり、人は通りにくく、通るのに時間がかかる。電流も同じように、電圧が低くなり、電気抵抗が大きくなる。逆方向から力を加えた場合も同様に考えると、電圧が高くなり、電気抵抗は小さくなる。これを利用して、力が加わったときに、電圧を測定することで、被験物がどのくらいひずんだかがわかる。



## ・まとめと考察

私たちが衝撃を受けたことは物体を押ししたときに物体に変化が無くとも原子レベルで見ると変形（ひずみ）が起こっていてこれが作用反作用を生み出しているということだ。これは、授業で習ったことの細部をみれて、とてもおもしろかった。また、同じ研究室でも分野がさらに細くなっており、隣の部屋の研究は何をやっているのかはちゃんとは答えられないというほど奥が深い研究が行われているのだとわかった。また、上では書けなかったがカーボンナノチューブを使った測定器はカーボンナノチューブを縦にしてその上に測りたいものを置き上から圧力をかけカーボンナノチューブの変形させ $\rho$ の値を変化させることでひずみを測る機械だそうだ。

迷ったら工学部へ入りなさいと最後にアドバイスをいただいた。それほど工学部は広く、研究の分野も多岐にわたり深くまで研究することができると思った。最初はどのような研究か見当もつかなかったが、破壊防止など社会へ貢献するような偉大な研究だとわかった。

# 生物を物理で考える

東北大学工学部 石川研究室

## バイオメカニクスで切り拓く人と地球の豊かな未来

バイオメカニクスとは、生物の体の中における各種の生体の機能を、個体、器官、組織、細胞のレベルで物理・化学的に研究する、あるいは生体を悩ます病気の現象を物理法則に基づいて調べ、生物学・医学と異なる視点から生命現象を解明する学問分野である。石川研究室は微生物と人体を主な研究対象とし、環境問題や健康問題に関わる様々な生命現象を研究している。

メンバー

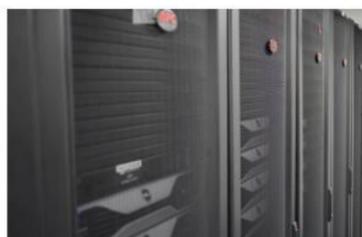
2217 白石 正大      2224 堀川 貴広      2230 渡辺 俊也      2231 渡辺 竜哉

### コンピュータでのシミュレーション

コンピュータを使った、シミュレーションがよくいろいろな場所で行われているが、生物などには個体差がある。その個体差を計算に入れるために、GPU（グラフィックスカード）計算というものをを用いる。

この、GPU 計算のおかげで他の研究が成り立っていると言っても過言ではないと思う。ここから、個人個人の体の臓器、微生物、細胞のレベルまで個体差を入れ、シミュレーションすることができ、他の研究に役立つのだから。

このように、GPU 計算は研究の軸になっていたと言え、これからも役立つだろう。



GPU Cluster

### がんを早期発見するデバイス

平成22年の主な死因の割合としてがんは約30%で日本人のおよそ三人に一人ががんにより死亡している。

このがんを早期的に発見できる方法として近年 CTC 検査というもの注目されている。CTC 検査とは、血管中を流れるがん細胞を同定し、その細胞数を数えることで患者の状態を調べるというものである。

しかし、現在使われているものは複雑な生化学的な方法によって行われているため、コストが非常に高く、手順も複雑であるという問題を抱えている。

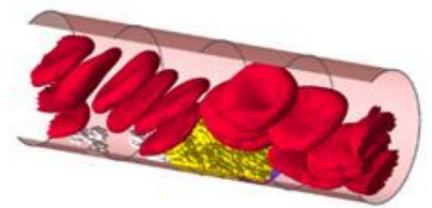
この石川研究所では、この問題点を解決するために血液サンプルを用いて物理学を利用し、力学的にがん細胞を分離するチップを開発している。

これにより、血液内の血球細胞やがん細胞の動きを可視化してがん細胞が血液中を輸送され、転移するメカニズムを調べることができる。

### 血管の流れ

最初に見せていただいたスライドでは、まず微小循環について説明された。

スライドに流れる動画では血管を流れる赤血球や血小板が血管が損傷した時どのように動くのかまた、血管の中央と端では赤血球の流れ方はどのような違いがあるのかということについて見せていただいた。赤血球は薄い細胞膜と細胞質からなる非常に柔らかい細胞であり、流体力学的相互作用によって複雑に変形・運動し、結果として流動場を変化させるものではこの実験結果に基づく赤血球の細胞モデルを構築し、組織・臓器スケールの現象に応用することで、赤血球挙動、粘弾性特性、物質輸送特性を明らかにしている



Primary thrombus formation

### 微生物懸濁液

実は微生物は工学的にバイオリクターとして利用され私たちの身の周りで役立っている。たとえば、様々な食品や薬品、化学物質の生成などである。そのなかでも石川研究室では、我々の周りにとても身近に存在していて、我々の生活にも多大な影響を与えている微生物懸濁液に関する研究を行っている。

流体力学的な視点から見ると、微生物懸濁液に関するモデル化などの詳しい研究はあまり進んでいない。その中でも今までの研究では微生物によるミクロな流動構造などはきちんと解明できていなかった。そこで、石川研究室では、メゾスケール流動構造が微生物同士の干渉によって構成されるという点に着目し、ボトムアップの戦略を用い、遊泳微生物の二体干渉をまずはじめに解明し、それを全体まで拡張することでマクロな懸濁液特性の研究を進めている。

### まとめ

- ・ コンピュータを使った、シミュレーションを多く使い、生物について物理的なことを考えながら研究していた。シミュレーションでは、個体差を計算しながら、細胞レベルの動きを表していた。
- ・ がんの早期発見ができるデバイスなどの研究で長生きできる人が増えるのではないかと期待が高まっている。
- ・ 大腸菌などの体内菌は群体をつかってまとまって移動することが分かっている。
- ・ この研究は医療などで患者個人個人の臓器をシミュレートして、手術などの役に立つことが分かった。



# 強くて軽い複合材料！

東北大学工学部 岡部研究室

## 概要

もし、飛行機の燃費を改善しようとしたとき、方法として「機体の形状の変更」「エンジンの改良」などが先行して思い浮かぶ人が多いだろう。しかし、軽く、硬い繊維強化複合材料を使うことでそれを改良するという考えもある。その中でも特に注目されているのが繊維強化プラスチックだ。

繊維強化プラスチックとは、主に炭素繊維と樹脂からできているのだが、これがとても「扱いにくい奴」なのだ。というのも、精製過程の違いや炭素繊維などの向きなどによって大きく性質が変わってしまうのだ。そのため、岡部研究室では数値シミュレーションによって分子レベルまでさかのぼって、繊維強化プラスチックの特性や耐久性を解析している。

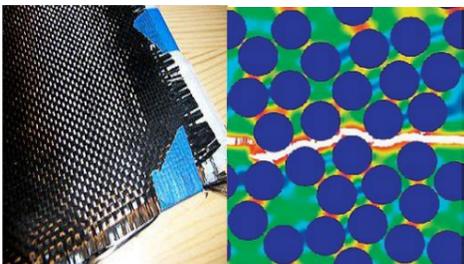
繊維強化プラスチックは、これからの多岐にわたる応用が期待されている。以下でそれらの説明をしていきたい。

## 複合材料とは

複合材料とは、ベニヤ板や鉄筋コンクリートなどの、素材を複数以上組み合わせて、性能を高めた材料のことである。この研究室では、FRP（繊維強化プラスチック）を研究の題材としている。FRPは、直径7 $\mu$ mの円柱状の炭素繊維と、その繊維の周りを囲む樹脂から出来ている。FRPは、融点が100 $^{\circ}$ Cと高いのも特徴の一つだ。また、鋼が400MPaの圧力で壊れるのに対し、炭素繊維は600~800MPaで壊れるという、非常に強い素材であるため、FRPが壊れる要因は樹脂が壊れることにある。岡部研究室では、「複合材料がいかんして壊れるのか」ということをFRPをもとに研究を行っていた。

左下の写真は、FRPの画像で、右下の図は、FRPを割った時の断裂の様子である。青い丸が炭素繊維で、きれいに繊維の間を割れていることがわかる。

左図 Wikipedia より引用



FRPは軽く強い素材なので、燃費の向上のために軽量化を重視する航空機などに多く用いられる。また、まだ研究途中だが、乗用車のボディにFRPを利用できないか岡部研究室では模索をしている。

## 飛行機

飛行機には様々な部品が使われているが、その部品は複合材料である、炭素繊維というものから作られている。この炭素繊維に分子レベルの欠陥があるだけで、飛行機が壊れていく。分子レベルの欠陥というのは、繊維の隙間に小さな穴に、空気があることである。下の写真はボーイング787のような大きな機体も、目で見えないような分子レベルの欠陥から壊れ始める。



上図、朝日新聞より引用

この研究所では複合材料を、いかに強度を保ったまま軽くしていくかということ进行研究しているが、飛行機においては、軽すぎると、風の影響を受けやすくなってしまいうため、どのようにして欠陥を減らしていくかということに重点を置いている。そのために、部品を作るときの過程に無駄なく、ミスが少なくするような「成形プロセスの最適化」と、どのように壊れるかをパソコンで様々なスケールでシミュレーションをして、それを実験のデータと照らし合わせ分析する「損傷予測」の2つが行われている。この2つの検証により、より良い素材を作り出そうとしている。

## スペースシャトル

スペースシャトルの黒い部分は「カーボンカーボン」という素材からできている。カーボンカーボンとは強化繊維も母材も炭素であるものをいう。炭素は規則正しく配列すると、高温下で大きな力を受ける部材を作るための材料に適しているのである。

炭素は酸化しやすいので大気圏突入の際、酸化による損耗を防ぐために表面にコーティング処理が必要となる。そのときに使われるのが炭化ケイ素である。こうしてできたカーボン/カーボン複合材は、1600 $^{\circ}$ Cを超える温度に耐えることができる。



NASA より引用

## 車

軽く丈夫な素材を使うことにより、燃費が良くなり環境にもやさしい車を作ることを目指しているが、軽くしすぎると細かな機体の加工が難しくなるので、ちょうどいい素材を創作しているところだ。



ソニー損保より引用

## まとめ

以上で説明したとおり、繊維強化プラスチックには大きな可能性がある一方、克服しなければいけない課題もある。複合材料の研究は、どのような分野でも必要とされる内容なので、これからの私たちの生活に大きく関わっていく研究になるだろう。私たちが生きているうちに、飛行機や自動車などは繊維強化プラスチックでできているかもしれない。そのときは飛行機が「鉄の塊」と呼ばれることも無くなるだろう。また、研究者たちは、実験結果が予想と全く合わずに挫折しそうなこともあるが、完成品を見られるかもしれない、自分が作った飛行機に乗れるかもしれないという希望を抱いてあきらめずに研究をつづけているそうだ。そのような研究への強い意志や積極的な考えは、私たちも見習うべきだと感じた。

# 地熱発電の未来 坂口研究室

メンバー：2125 福田 圭 2127 本郷 謙 2129 三浦 弘慈 2130 三田村 滯

## ～概要～

地球温暖化が進み、クリーンエネルギー生成方法が求められる今。坂口研究室が目にしたのが地熱を利用した発電方法である。地熱発電とは地面の深くの熱を利用して発電する発電方法である。日本ではあまり行われていない発電方法であったが、地震による原子力発電の問題から見直されてきている。

従来の地熱発電（自然対流型）は小規模であるため、もっと大きなエネルギー効率が得られ、安全性もある地熱発電方法が高温岩体発電（熱伝導型）と呼ばれるものである。この方法は地面にボーリングしその穴に水圧をかけ、その穴を中心とする地面に亀裂を作り、そこに水を流す。そしてその水が地熱により蒸発させられ、水蒸気がタービンを回し発電する、というものである。

また、地熱というものは地面から深くなるほどに温度が上がっていくものであり、地面から深ければ深いほど温度が上がるため発電効率がよくなるだけでなく、誘発地震などの事故をふせぐことができる。

これらの理由から現在の1~2kmの発電地点での高温岩体発電を安全にもっと深い地点で行おう、という研究である。

## ～地熱発電の研究課題について～

従来の地熱発電は、すでに地熱発電を行える土地（地熱の温度、川などからの水、地盤の圧力が十分ある領域）での、自然対流型の地熱発電で行われていた。地熱貯留層からの熱で水を蒸発させ、そこでできた水蒸気などでタービンを回し、その回転から電気を発生させるものである。しかしこの発電方法だと効率がわるい上に、地熱発電を行える場所が限られてしまう。

そこで「高温岩体発電 (Hot Dry Rock)」が研究されている。これは地下深いところにある高温岩体を利用した発電方法である。

高温岩体まで地面に坑井をあけその坑井に水圧をかけて高温岩体に亀裂をつくり、高温岩体を熱交換面として、できた亀裂の隙間に水を流し、もう一つの坑井から高温岩体を通った水が蒸発した水蒸気が出てくるようにする。

従来の地熱発電では深度1000~2000m、200~300℃の地熱貯留層で水を熱していて、350℃以上の温度の地熱貯留層を利用していたことはなかった。しかしこの高温岩体発電では計画として、深度2500~3000m、400~500℃の地熱フロンティアと呼ばれる地熱貯留層を利用しようとしている。この地熱フロンティアの利点として、従来よりも高温で水を熱することで水が早く蒸発し効率の向上を見込めることと、深く掘削するだけで高い熱の地熱フロンティアにたどりつけるので従来よりも立地条件を気にしなくていいことがあげられる。

ここで問題なのが、地熱フロンティアの開拓である。

延性である岩体に亀裂をつくる際、一時的に脆性に変える必要がある。すると、岩体に亀裂をつくった衝撃で誘発地震を起こす可能性がある。そこから連鎖反応のように誘発地震が起り、大きい地震につながってしまう危険性があるのだ。

また逆に岩体は延性であるがゆえに、水圧をかけても高温岩体にうまく亀裂が入らずに水の通り道が形成されなかったりする可能性があるため、現在はその亀裂の形成について研究がすすめられている。また亀裂の形状も、細かい亀裂をいくつもつくるのがベストなので、その形成にも課題が残されている。

またほかにも、地熱フロンティアまで掘削できるのか、流体流動や岩石・流体反応を制御・予測できるのかなど、問題は多く残されている。

しかし、高温岩体発電の地熱フロンティアに期待される成果は多々ある。

前述にも述べたとおり、高温岩体から得られる抽熱エネルギーの増大化や、立地条件を細かく問わなくていいことでサイトに依存しない設備の設計が可能になる。ほかにも延性の特徴から、シリカスケール（沈殿物）による貯留層や地上設備の閉塞の減少、誘発地震の低減などが期待される。

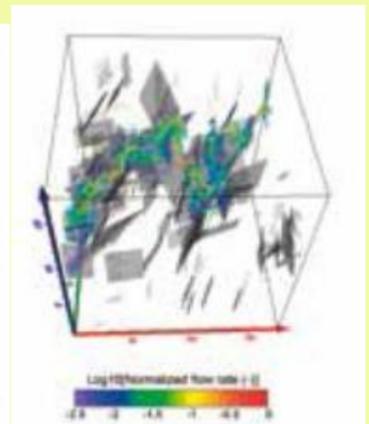
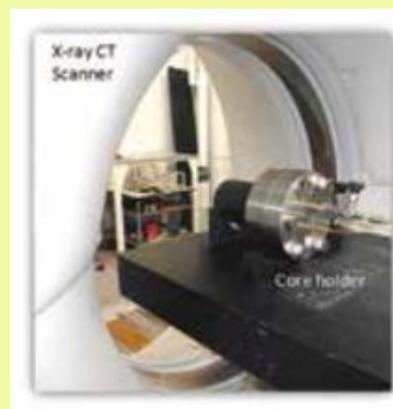
## ～X線で見える亀裂～

高温岩体発電 (Hot Dry Rock) では、水圧をかけて岩体に亀裂をいれる。しかし亀裂が途中で途切れてしまえば、水が通ることができなくなってしまう、発電をすることができない。また、掘削するには多額の費用を必要とするためなかなか失敗はできない。

そのため、坂口研究室では小さな岩石を使い亀裂の形、条件などをシミュレートしている。そこで使われるのが X線CT だ。これでスキャンをすることで、亀裂が3DでPCに表示され、立体的に、また正確に亀裂の通り道を観測することが可能になっている。ここから、さらに拡大して実際に水圧をかけた際にどのようなようになるのかをシミュレートしている。

X線CTは特殊なものを使用しているが、医療用のものを使用する場合もある。医療用のものは、素早くスキャンをすることが可能だが細かいところまで見ることはできない。よって坂口研究室ではこの2種類をうまく使い分けている。

また、実際に水圧をかけた際にどのようなようになるのかをモニタリングする必要もあるため、その点も試行錯誤している。



## 地熱発電のお話を聞いて…

現在日本は、原発問題の影響で安全な発電方法が求められている。日本は、世界の国々のように土地を広くつかった大規模な発電をするのが難しい。そのため原子力発電に依存せざるをえないのである。世界の国々の発電方法を見てみると、その国の特徴を活かした発電方法で発電している国がいくつかある。たとえばブラジル。ブラジルはアマゾン川をはじめ、たくさんの河川が存在する。ブラジルはその特徴を活かし、発電量の約8割を水力発電でまかなっている。このように、日本も日本の特徴を最大限に利用した発電方法をすべきである。では、日本の発電に利用できる特徴とは何があるだろうか。

日本は世界的に見ても、火山が多い国である。これを利用しない手はない。前述したとおり、地熱発電は水を地熱で蒸発させ、その蒸気で発電する。そのため環境にやさしい発電である。原発事故以来再び注目され始めた日本の武器になりうる地熱発電。まだまだ問題はあがるが、いつか日本が地熱発電で世界をリードするのを夢見て、今後の発展に期待される。

# 核融合炉への挑戦

東北大学工学部 長谷川・野上研究室

この研究室では、材料について実験・計算をして核融合炉ダイバータという部品を作ることを目的として研究を行っている。核融合炉は継続的に原子核反応を持続させる装置（原子炉）の一種で、新たな発電方法として注目されており、この研究が完成すれば私たちの生活が変わるかもしれない。材料にはタングステンという合金を使っている。タングステンは鉄・鉛よりもはるかに重く、約一億度もの核融合プラズマに耐えることができる材料として期待されている。核融合炉が長く丈夫に使えるよう機械特性・熱特性など、どのような特性を有しているかを様々な最先端の装置を利用して評価をする。金属の破壊の原因の大半は疲労によるものであるため、疲労の研究・対策は必要不可欠だ。そのため、金属に小さなダメージを与え続け、どれくらいの期間で壊れるかを見る疲労実験も行っている。このように長谷川・野上研究室では最先端の発電技術を、今だけでなく数年後、数十年後の未来を見据えて研究している。



## ・核融合炉について

核融合炉では、重い原子であるウランなどの原子核分裂反応を利用する核分裂炉に対し、軽い原子である水素やヘリウムの核融合反応でエネルギーを発生させるものである。太陽などの恒星が輝くのは、核融合反応の熱エネルギーによるものである。地球上で核融合反応を発生させるには極めて高い温度か、極めて高圧の環境を人工的に作り出す必要がある。核融合炉では超高温のプラズマを用いて核融合反応を起こしている。そのため核融合炉の材料は高温に耐えなければならない。

核融合炉はまだ開発途中であり、日本をはじめとする各国が協力し、国際熱核融合実験炉 ITER のフランスでの建設に向けて開発が進められている。約5年後に実験炉が完成される予定であり、完全に実用化されるまでは50年ほどかかる予定である。

将来的には、核融合炉を利用した発電などがあり、原子力発電の2~3倍の電力を作ることが可能である。

原子力発電と同じく発電の際に二酸化炭素が発生しない、水素などの普遍的に存在する資源を利用できる、原子力発電で問題視される高レベル放射性廃棄物が継続的にはあまり発生しない（100年ほどで放射線のレベルが下がる）などの利点がある。

長谷川・野上研究室では核融合炉の熱に耐える材料の研究や核融合炉のダイバータの開発などを行っている。

## ・疲労寿命

機械が壊れるときは大きな爆発などではなく、ほとんどが金属の疲労によるもので起こる。小さなダメージでも蓄積されれば、やがて大きなダメージとなるのだ。エコと呼ばれている今の世の中ではコストの問題などもあり長い間使われなければならない。そのためには機械の開発だけでなく機械の耐久性なども調べなければならない。長谷川・野上研究室では設計、点検・修理、交換に至るまでの状況を想定し、余寿命を想定する疲労寿命評価のために、材料の疲労寿命データと応力解析技術を開発している。下にある写真の機械が疲労寿命を測るものだ。実験として小さな振動を加える機械に材料として使う金属などを入れてデータを取る。

長谷川・野上研究室ではこのような機器の寿命を予測することに長けており、長谷川・野上研究室が開発した核融合炉材料を対象とした粒子線照射による微小き裂成長挙動に基づく寿命評価技術は世界初のものである。



左) 疲労寿命を測るための機械

右) 左の機械の微小な力を加え続け試験片の伸び歪みを測定する部分

## ・タングステンってなあに？

タングステンは金属で、鉄やアルミや銅などとはちがいで、普段の生活では聞くことがほとんどないが、実は、身の回りの色々な場所で使われているのである。

タングステンとはスウェーデン語で、「重い石」という意味だ。実際にタングステンはとても重く、鉄の2.5倍、鉛の1.7倍となっている。そしてこれは重いだけではなく、硬いのだ。炭素とくっついた炭化タングステンは、ダイヤモンドを最高の10とするモース硬度で9とされている。さらにコバルトを混ぜると、「超硬合金」となる。これは、自動車部品など金属を削る工具によく使われる。そのほかにも融点がとても高い。鉄は約1500度で溶けるのに対しタングステンは、3380度と二倍以上だ。そしてタングステンは破壊困難だ。また、熱膨張率が低く、超高温での形状安定性がきわめて高いのも特徴だ。こういった条件から、高温炉材、照明部品、医療・薄膜技術の分野で使用され、今回の核融合炉ダイバータにも機械特性、熱特性対照射特性にすぐれているであろうタングステンが選ばれた。



↑ タングステン

## まとめ

研究室見学前には材料工学とは、材料を作るだけだと班員全員が思っていた。しかし、材料の開発の他にもその材料の熱への強さ、この材料はあとのどのくらい使うと壊れるのか等、その材料についてとても深く研究していることを聞いたとき、材料工学の印象が大きく変わった。この研究室では材料を研究しているが、その目標は小さな材料からとても大きくしかも長い間使える物を作ることである。つまり、この研究はたくさんの人々が生活するなかで、その人たちが必要とする大量の電気を供給する機械を作る基盤になる研究だ。その機械ができるのはまだまだ先の話であり、この研究室の研究も長い時間をかけてやるものである。だが先ほど述べたとおり、この研究が日本中で役に立つ研究であるのは明白である。この研究室のモットーとして、「重厚長大」という言葉がある。この言葉は漢字のとおり、頑丈で長持ちという意味である。つまり、材料工学とは小さなものを対象として研究しているが、そのすべてはその材料を使って作ったものをより長くより安心して生活に活かしていくというものである。

2101 赤星栄治 2106 柿崎泰広 2106 船越健志郎 2131 村田健太 2132 吉川洗樹

# 超伝導がもたらす未来への可能性

東北大学工学部 津田宮城研究室

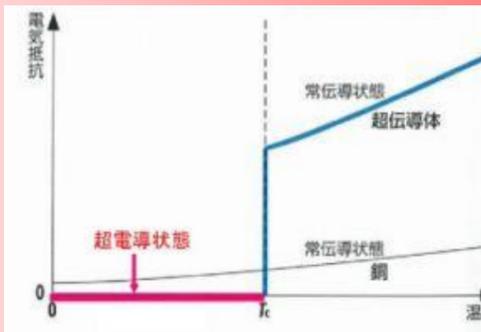
## 「超伝導」とは

セラミックという磁石を液体窒素などを用いて-196°まで冷やすと起こる現象である。

### 主な特性

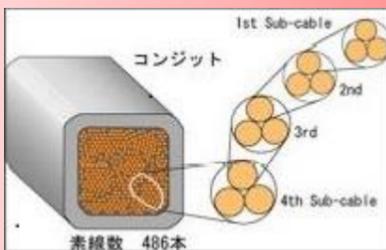
#### 1. 無損失

電気抵抗が0になる現象



#### 2. 大電流密度

大きな電磁力に耐える構造



#### 3. 強磁場の発生

#### 4. 強磁場の捕捉

### 電力応用

- ・未来型超伝導ケーブルの特性に関する研究
- ・超伝導磁気エネルギー貯蔵装置(SMES)に関する研究
- ・超伝導と水素を組み合わせた自然エネルギーシステムに関する研究
- ・核融合用超伝導導体の高性能化に関する研究
- ・超伝導非接触給電に関する研究

### 医療応用

- ・MRIに関する研究
- ・がん治療加速器に関する研究

### 産業応用

- ・超伝導体を用いた浮上式免震装置に関する研究

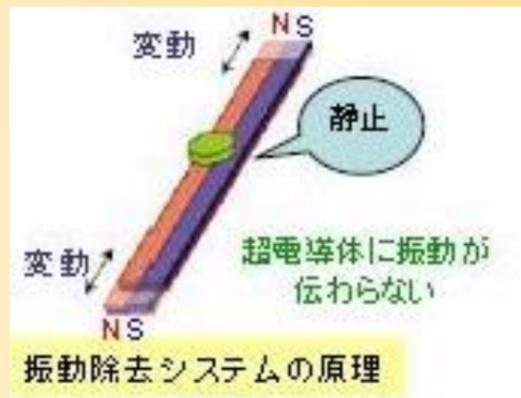
このように非常に優れた特性を持ち、地球温暖化問題やエネルギー資源の枯渇など、地球環境を取り巻く問題の解決を期待される超伝導だが、交流機器に応用した場合、直流では考えられなかった損失が発生したり、ケーブル断面の電流分布に偏りが生じることで特性が劣化するなど、技術的に克服すべき課題は少なくない。産業や医療の分野でも超伝導は欠かせない存在となっている。

## 免震構造について

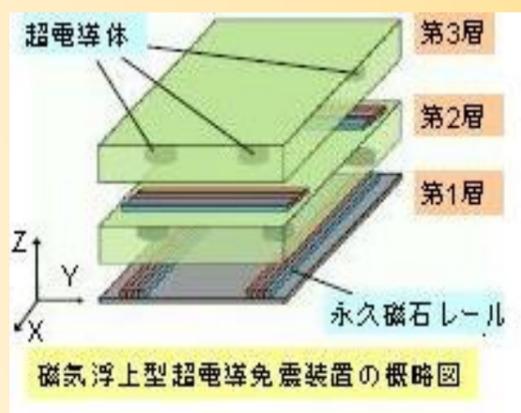
従来の建築は耐震構造がもちいられてきた。耐震構造のメリットは建物が壊れないことであるが、デメリットとして建物内のものが壊れたり倒れてしまうということである。



そのようなことの対策として免震構造が考えられた。免震構造は以下ようになる。



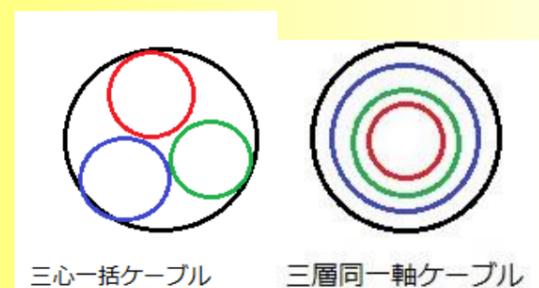
まず上の図で超伝導は縦方向に動くことはできるが、横方向が動けなくなる。ここでもうひとつ横方向に磁石を置く。そうすると超伝導は縦方向、横方向ともに固定されるので超伝導は静止する。



上の図は先ほどの説明を免震構造に応用したときの図である。X方向の振動は大1層の磁石の磁場を第2層が記憶しているため振動は伝達されない。Y方向の振動は第2層に伝達されて第2層が振動してしまうが、第3層が磁場を記憶しているため第3層に振動が伝達されることはない。よって振動が建物に影響しないことになる。しかしこの構造には課題があり、それは磁石をずっと超伝導にしなければならないということである。そのためには大量の液体窒素などの冷やす物質が必要になる。だから今後どのようにして課題を処理するか注目したい。

## 三層同一軸超伝導ケーブル

長距離間での電気の移動には抵抗が0になる性質を利用して超伝導ケーブル3本をまとめて使う。このケーブルを小さくすれば効率が良くなる。津田宮城研究室ではこの効率の良いケーブルとして三層同一軸ケーブルを研究している。三層同一軸ケーブルとは、一般的なケーブル(三心一括ケーブル)は3本のケーブルを普通にまとめているのに対して三層同一軸ケーブルは半径が異なる三本のケーブルを重ねて一つにまとめることで三心一括ケーブルよりも小型化することに成功している。

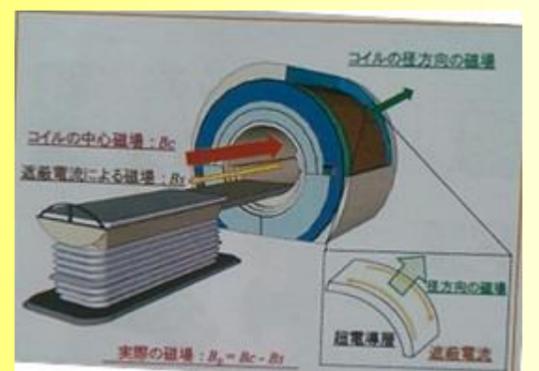


三層同一軸ケーブルは三心一括ケーブルより小さいのでケーブルの冷却に使う液体窒素の量を減らしてコストを抑えることができ、また、三心一括ケーブルよりも効率が良くなっている。

### 医療分野への応用

#### ・MRI

超伝導コイルはMRIなど医療の現場にも利用されている。MRIは今まで液体ヘリウムを冷却に利用したコイルを使っていたが、津田宮城研究室では液体窒素を冷却に利用したコイルを使ったMRIの研究をしている。



#### ・重粒子線がん治療用超伝導加速器

がん治療に加速させた重粒子線を幹部に当てて治療するという治療法がある。津田宮城研究室ではこの治療に使う加速器を省エネルギー化させる研究をしている。



(担当 2109 郡山、2105 大澤、2119 谷野)

# 「育てる」情報工学

東北大学工学部 伊藤・能勢研究室

## 〈研究目的〉

この研究室では音声認識、音声合成、音声対話、音声対話、音声処理、音楽情報処理、音声言語処理などを研究している。研究の対象としては音、声、言葉が主である。この分野での研究は日常的に私たちの身の回りで使われているものに多く使われている。例えば、介護ロボットやカーナビゲーションシステム、スマートフォンの音声認識システムなどである。私たち人間同士は音声やジェスチャ、表情などから相手の意図を理解している。人間と機械との意思疎通も、人間同士と同じようにできることが望ましい。また、音声や顔から相手が誰かを特定したり、どこにいるのかという情報を得ることによって、より円滑な対話を行うことができる。さらに、インターネット上に蓄積された膨大なデータをロボットが知識として利用することで、より知的な対話が可能になる。これらの夢を実現するための研究を行っている。人間と機械が自然な方法で対話し、知識を共有するシステムの構築を目指している。コンピューターやロボットとの会話が日常のごく当たり前のようにされる日がくるのかもしれない。

## 〈音声認識の仕組み〉

音声認識には大きく分けて2つの種類がある。音声を聞き取り、表示する場合と聞かれた質問に答える場合である。

音声を聞き取る場合では、まず話された音と、事前に準備された話者の声のサンプルを照合しどの音にいちばん近いかを判断する。次にそれを内蔵されている辞書で調べ、ちゃんとした意味があるのか調べる。最後に文全体の流れを見て日本語の文章として適切なものであるか調べる。そうして話された文章を提示する。

質問に答える場合では、事前に質問とそれに対する答えを作り、それらをつなぎ合わせておかなくてはならない。例えば、「あなたの仕事はなんですか?」という質問と「私の仕事は、仙台の観光名所を紹介することです。」という答えを関連付けしておく必要がある。

そうした準備を終えて初めて質問が可能になる。実際に質問すると、機械は1音1音の語の特徴や単語のつながりなどからその質問と、事前に登録されている質問を比較し、どれにいちばん近いかを判断する。そしてそれに対する答えを発する。



## 〈楽曲における

### パート別の音量調節〉

今ではCD内のデータをMP3プレイヤー等の端末に取り入れて音楽を聴くことは勿論、インターネット上で配信されている音楽を聴くことでさえ一般的になってきている。もし、聴いている楽曲に対してパートごとの音声調節をすることができれば、その楽曲を楽器で演奏したい時にその楽器の音だけを大きくしたり、歌いたい時に簡単にカラオケver.の楽曲を作成することができる。

しかしこれまでのパート別音量調節の研究手法では、音源を持っているものに対しては有効なもの、インターネット上で配信されているものにリアルタイムで操作をするには不向きであった。そこで、伊藤・能勢研究室では出る音の波形の特徴をパートごとにとり、その情報を楽曲に付け加える方法を検討し、少ない情報量で精度良くリアルタイムでの操作を可能にするための方法について研究を行っている。



## 〈社会で生きる情報工学〉

仙台市(非公認)観光案内キャラクターと

音声対話システム

私たちは、伊藤・能勢研究室で作製された対話ロボット「ピース君」(写真1)と対話させてもらうことができた。

ピース君は、音声対話システムの応用例である。音声対話システムとは、人間の話し言葉を認識し、適当な応答をするコンピューターシステムである。伊藤・能勢研究室では、単純なコンピューターの音声認識のみならず、より人間らしく的確な応答ができるシステムの研究が進められている。

ピース君は、仙台市の観光案内を目的としたロボットであり、かまぼこをモチーフとした伊達正宗風の姿が愛らしい。

「こんにちは、名前は何かですか?」

「僕の名前はピース君。」

「宮城の観光名所は?」

「仙台城跡だよ。」

など、班員の問いかけに瞬時に応答が返ってきた。

このような対話技術の向上にかかわってくるのが、データベースの構築である。より豊富なデータが用意されていれば、それだけ正確な認識と柔軟な応答が可能になる。

この仕組みは、幼児が言語を覚えて対話技能を取得する様子とも関係しているように思える。子供を育てるように技術を育てる本研究は人間的な側面も持っており、非常に興味深いものである。

## 〈応用例〉

・家電製品

お掃除ロボットのように頼みたいことを話すと動いてくれる。

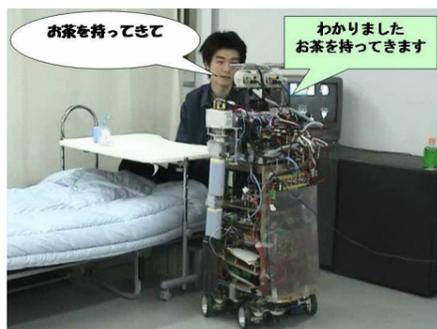
・介護ロボット

自分にできないことを代わりに行ってくれる。

安全に行動できるように障害物を検出し、経路や動作を決定することが必要となる。

・外国語学習システム

自分の母国語でない言語の発音などを機械が見てくれる。



↑介護ロボットの例



↑外国語学習システム

# 薄くて曲げられるディスプレイ！

東北大学工学部 藤掛・石鍋研究室

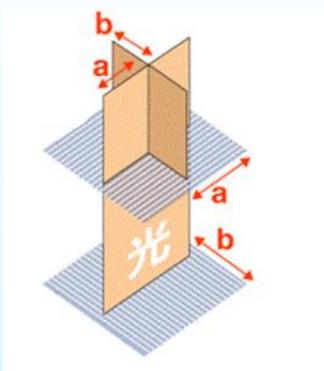
## 概要

藤掛・石鍋研究室ではテレビやスマホなどで使われているディスプレイについて研究している。従来のディスプレイは基盤をガラスで作っているため、厚くて重い、衝撃に弱いといった問題点があった。そこでこの研究室では、そういった従来のディスプレイの問題点を改善すべく、薄くて軽く、衝撃に強いディスプレイについて研究を行っている。そのディスプレイこそが「フレキシブルディスプレイ」である。なぜこのディスプレイが薄くて軽く、衝撃に強いのかというと、それはこのディスプレイの基盤がプラスチックでできているからである。それでは、ディスプレイが薄くて軽いことでどんな良い点があるだろうか。それは薄いことで曲げることができ、巻物のようにしてディスプレイをカバンの中に入れ持ち運ぶことができる点と、曲面にもディスプレイをつけることができるという点である。この特長を生かして将来的には自衛隊が腕に巻くためや、車に取り付けられる湾曲ディスプレイといった使用方法が期待されている。また、フレキシブルディスプレイはこういった機能的な面のほかに生産コストを下げたり生産効率を上げたりと、製造面でも良い点ばかりである。しかし、このディスプレイには課題もありそれを解決しフレキシブルディスプレイを実現させることが藤掛・石鍋研究室で行っている研究である。

## 液晶ディスプレイの基本構造

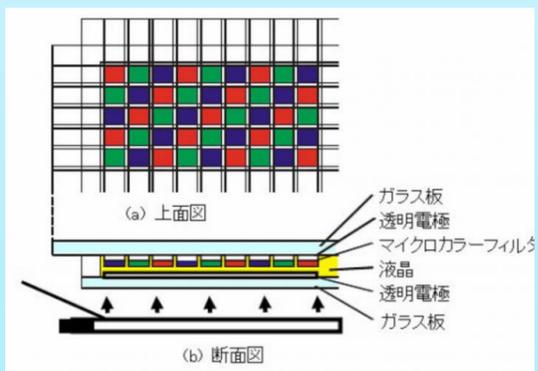
一般的な液晶ディスプレイはガラス基板や偏光フィルタなどからできた2枚の基板とバックライトからできており、2枚の間は液晶が入っている。液晶とは固体と液体の中間の物質の状態のことで分子が細長く基板の間に入れると分子が一定方向に並ぶ特徴がある。

2枚の基板の偏光フィルタはそれぞれ垂直方向のみと水平方向のみの光を通すようになっていて光を完全に遮断するようになっている。



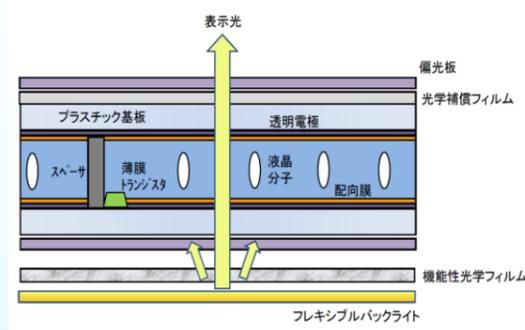
このままでは映像が映らないため液晶に電圧をかけ分子の並びを変えることで光の出入りを調節している。

また液晶ディスプレイのカラー表示には R (赤) G (緑) B (青) の3色からできたカラーフィルタが使われている。この3色を組み合わせることで我々には様々な色に見える。

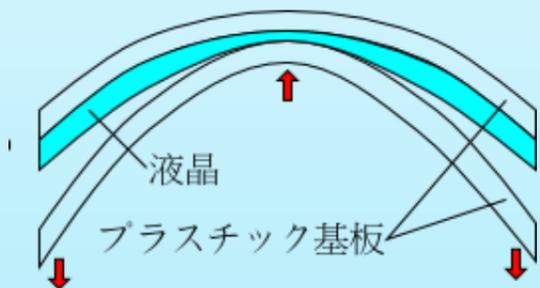


## フレキシブルディスプレイの問題点とその解決方法

フレキシブルディスプレイは、曲げることが可能で利便性に優れている。しかし、このフレキシブルディスプレイを作るうえで不都合な点がある。



このようにふつう、ディスプレイを作るとき二枚のガラスで液晶をはさんでいる。それをプラスチックフィルム基板に代用し、曲げられるようにしている。しかし曲げた時に、図のように中央の間隔が狭まり端の間隔が開いてしまうという事などがあり、ゆがんだ画像などが表示されてしまう。



これは、二枚のプラスチック基板を、『モノマー』という、紫外線に当たると固まる物質を柱にし、固定させることにより解決するという。

## フレキシブルディスプレイの実用例

この研究室で研究しているフレキシブルディスプレイは、車に取り付けられる湾曲ディスプレイや超大画面のスクリーンテレビ、持ち運びできる小型のディスプレイ、さらには腕などにつける小型のディスプレイに応用できると期待されている。

車にこのディスプレイを搭載すれば、ドライバーの死角の量が減少し、事故が起きる確率を下げるができる。超大画面のスクリーンテレビとして利用する際には、従来のスクリーンテレビと異なり画面を曲げられるので、大画面のスクリーンでも画面を見やすいように自由に角度を変えることができる。丸めることも可能なので、家の中に運ぶ時も苦勞せず好きな場所に設置することができる。また、小型であればバッグに入れてどこにでも持って行くことができる。そして曲げられる特性を利用すれば、腕時計のように人の体に装着することもできるので、両手が不自由にならずに画面を操作することもできるようになると考えられている。

このように、ディスプレイを曲げることによって私たちの生活がより便利になり、過ぎやすくなるだろう。



藤掛・石鍋研究室では従来のガラスを基盤としたディスプレイよりも薄くて軽く、衝撃に強いディスプレイであるフレキシブルディスプレイについて研究を行っていた。その基盤がプラスチックからできているということから、このディスプレイは曲げることが可能である。そのことによって、車に取り付けられる湾曲ディスプレイや超大画面のスクリーンテレビ、持ち運びできる小型のディスプレイ、腕などにつける小型のディスプレイといった新たなディスプレイを実現させ、それは私たちの生活をより良いものにしてくれるだろう。

フレキシブルディスプレイ、この夢のような新たなディスプレイが早く完成させられることに期待したい。

2113 佐藤 文哉 2117 高橋 丈 2121 對馬 優斗 2140 和田 ゆい

# スピントロニクスと我々の未来

東北大学情報システム総合学科安藤康夫研究室

## 概要

安藤研究室では、電子の有するスピンの性質を利用した革新的な電子デバイスの創成を目指して研究を行っている。

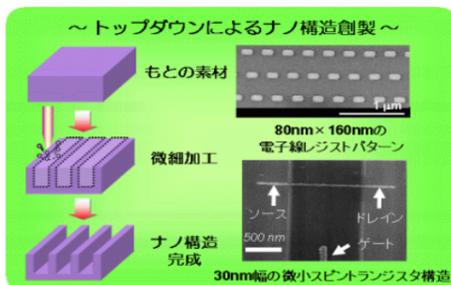
これらのデバイスは、電子デバイスの飛躍的な省エネルギー化、高性能化を可能にし、また、生体・医療などの分野において、安心・安全社会の実現に貢献可能なものである。

## <ナノ構造の作り方>

ナノ構造の作り方は、大きく二種類に分けられており、それぞれ『トップダウン方式』、『ボトムアップ方式』と呼ばれている。

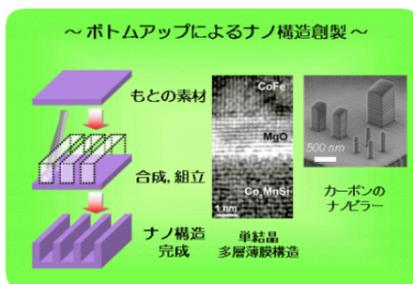
### 『トップダウン方式』

トップダウンは、元々大きな素材を細かく加工していく方式である。トップダウン方式に必要な技術として、感光性の物質を部分的に露光することで、所望のパターンを生成する技術、液体による化学反応や、イオン照射によって試料を形状加工する(削る)技術などがある。



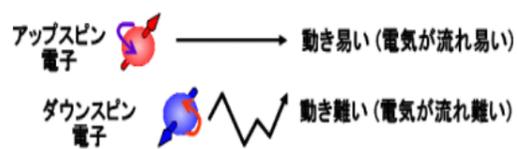
### 『ボトムアップ方式』

ボトムアップは、原子や分子を積み上げることで、所望の構造を作製する方式である。ボトムアップ方式には、原子間力顕微鏡などのチップを利用して構造を組み上げていく方法と、他からの制御なしに原子や分子自身で組織や構造をつくり出す方法がある。



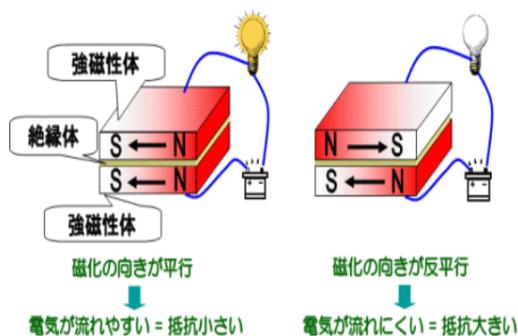
## <磁気抵抗効果>

磁気抵抗効果とは、試料に磁石を近づけた時に、試料の電気抵抗が変化する現象である。



## <トンネル磁気抵抗効果>

非常に薄い絶縁体の薄膜を2枚の強磁性体で挟んだ素子は強磁性トンネル接合と呼ばれる。トンネル接合では、量子トンネル効果によって電子が薄い絶縁体を透過し、電流が流れる。強磁性トンネル接合では、アップスピンとダウンスピンで電子が絶縁体を透過する確率が異なることにより、2枚の強磁性体の「磁化の向きが平行のときに電流が流れやすく」、「反平行のときに流れにくく」なる性質が現れる。この現象が TMR 効果である。電流の流れやすさの変化率はトンネル磁気抵抗比と呼ばれ、強磁性トンネル接合素子の最も重要な性能指数である。

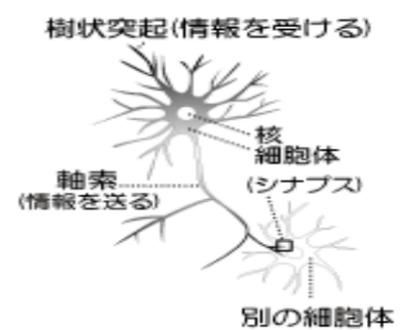


## <今後の展望>

前述したスピントロニクスがより発達すると・・・

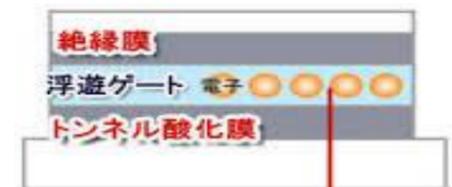
### ① 磁気センサーへの応用

#### 神経細胞 ニューロン



図の樹状細胞から出る電流が発生させる磁界の計測により、脳の構造の解明やてんかん等の脳に起因する病の治療がより精密になる。また、現在使用されている装置のように大規模な冷却装置を必要とせず、省エネにもなり、また低価格化も望める。

### ② メモリへの応用



閉じ込められた電子量が保存データとなる

現在、コンピュータのメモリには図のような構造が多く用いられているが、先ほどのトンネル磁気効果を用いて、磁石の向きが平行か反平行かでデータを保存すればより省エネルギーなデータ保存が可能になる。

## まとめ

以上のように、安藤研究室ではナノテクノロジーを用いて作った試料と、スピントロニクスの磁気抵抗効果・トンネル磁気抵抗効果を利用し研究を行っている。それらの研究は将来的に磁気センサーによる脳医学の発達やコンピュータの省エネ化などが可能であり、この研究は社会的に重要度が高いものであると感じた。

# 言葉から人の知に迫る！！

東北大学工学部 乾・岡崎研究室

## 研究室紹介

言葉をコンピュータが認識するといことはまず、コンピュータに単語を覚えさせる必要があります。この作業だけで終わってしまうと単語の切り方、どの意味なのか、肯定文と否定文の判別など様々な問題が生じる。これらの問題点をすべて解消するために大量の例題から規則性を学ぶこと、単語の出題傾向を学ぶ大きく2つ。コンピュータに言語を認識させるためには、まず単語を記憶させる必要がある。次にたくさんの例文を記憶させ、文章の規則性、単語の頻出頻度（出やすさ）を学ばせる。文章の規則性というのは文頭の名詞がきやすい「は」「が」「に」は助詞になりやすいなどであり、単語の頻出度数というのは多用される単語。多用されない単語の用いられる割合を調べて割合が高ければそれに伴って変換されやすくなるよう学習させことである。これらを学習させなければ単語がわからない。意味を区別することができないという問題が発生するのである。

乾・岡崎研究室ではコンピュータに言語を認識させるメカニズムをtwitter や Google などに応用して限られた範囲の中でも専門的な高度な研究を行っていた。



## 研究背景・目的

インターネットやウェブの爆発的な普及によって、誰でも大量の情報を入手し、蓄積し、発信できる時代になった。しかし、その一方で、あまりにも多くの情報がネット上に無秩序に分散しているために、欲しい情報をうまく探せなかったり、重要な情報の存在に気づくことができなかったり、信用できる情報なのか否か判断することが難しくなっているという問題もある。こうした問題を可決するために重要になるのが”自然言語処理”である。莫大な情報をコンピュータが自動収集し、理解・検索・抽出・翻訳・整理・分析することができれば私たちの情報を取り巻く環境は変化すると考えられる。

これらの目的を達成するためにはコンピュータが言葉を理解する必要がある。そのための自然言語処理技術の向上を目指し、常識的知識をコンピュータに覚えさせ、より高度な言語意味解析推論に使用していくという可能性を見出して行く。



## 研究内容

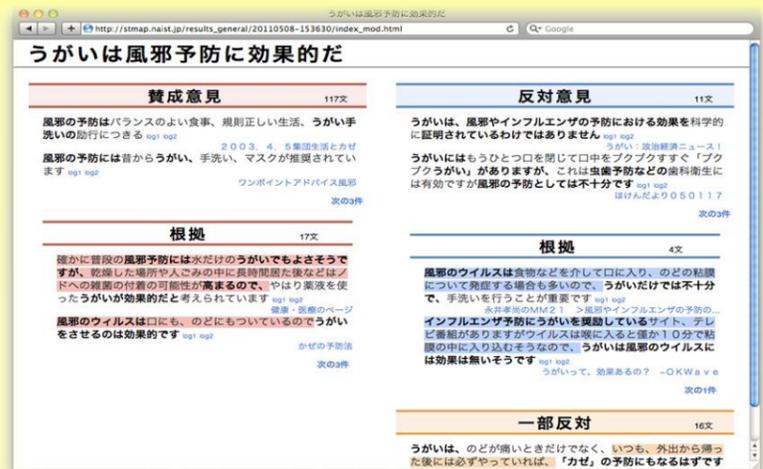
我々が今回聞いて来た主な研究テーマはこれらである。

- 1.自然言語処理によるウェブ・ソーシャルメディアの分析と編集
- 2.災害関連情報・リスク情報のコミュニケーション支援
- 3.機械翻訳・翻訳支援・言語学習支援などの多言語処理

### 1)自然言語処理によるウェブ・ソーシャルメディアの分析と編集

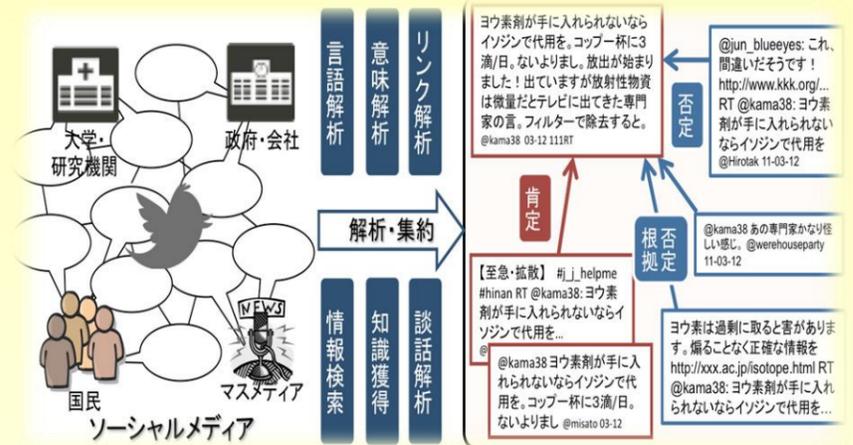
言葉は社会のいろいろなところに満ちている。例えば、誰もが気軽に情報発信できるネットでは既存のメディアに勝るほどの価値を持った情報が流れるとともに根拠の乏しい情報や悪意のあるデマも氾濫している。

そのような情報に自然言語処理をかけることで言論マップ技術の開発を行っている。



### 2)災害関連情報・リスク情報のコミュニケーション支援

災害時の被災地・支援者・行政を繋ぐコミュニケーションや様々なリスクに関するコミュニケーションを支援する自然言語処理技術の研究開発に取り組んでいる。



## まとめ

この研究室で行っている研究は、成功すれば将来的に世界中の様々な情報処理に大きく貢献することが考えられる。そのためにはコンピュータに言語知識、意味解析、推論を駆使させ、完璧な自然言語処理をさせられるようにしなければならない。それを実現させ人工知能を搭載したコンピュータをつくることができれば、インターネット上の莫大な量の情報を人間が手を加えずコンピュータに分析させることができるのである。それは、ネット上で今までより多くの人々の情報の統計だけでなく、国境を越えて世界中の人々からの情報を統計することも容易にするのだ。さらには、ある問題に対する人々の意見の統計や移り変わりの分析さえも容易なものとするのできるのだ。

# 次世代のリハビリテーション!!

東北大学工学部 渡邊研究室

## 概要

人間の体は、脳や脊髄からの信号を運動神経や感覚神経が受けて、運動をしたり、物を触覚などで感じたりすることができる。だが、交通事故などによる脊髄損傷や、脳卒中などの脳血管障害などによって信号が伝わらなくなり、運動機能や感覚機能に麻痺が生じることがある。しかし、このような場合でも運動神経や筋は正常である場合が多い。その場合、外部から直接電気を流すことによって筋が収縮し、腕や指を曲げたりすることができる。これを機能的電気刺激(Functional Electrical Stimulation, FES)という。FESを用いて麻痺した手足の動作を補助・再建する方法は、これまで多くの臨床的研究が国内外で行われている。その中でも、日本で開発された「筋電図に基づく刺激データ作成法」は、体の細かな動きを制御する方法として、特に優れている。

渡邊研究室ではこのFESを利用して低下した運動神経の補助や、リハビリ、運動を支援する研究を行っている。また、人間の運動をデータ化して、正常な人の運動に近づくようにFESを応用した運動の補助の研究も行っている。

## 加速度センサとジャイロスコープを用いた運動計測システムの開発!

現代のリハビリテーションでは、一般的に10メートル歩行の時間や歩数、自身の知識や経験に基づいて行われている。これは、限られた時間と場所で評価を行うには実用的であるが、定量的・客観的評価のためには、動作解析システムが有効である。しかし、研究分野などで使用されている3次元動作解析装置や床反力計などはとても高価で、計測空間が限られ、データ処理が複雑である。そのため、渡邊研究室では、軽量で安価な加速度センサとジャイロスコープを用いて運動計測システムの開発を行っている。

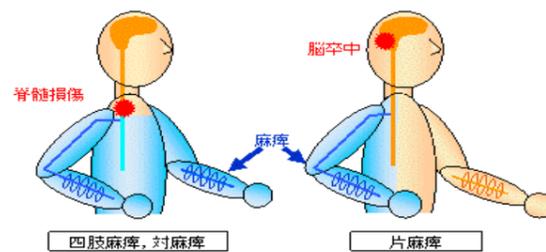
加速度センサは加速度を、ジャイロスコープは角速度を計算するセンサである。それらを搭載した小型センサユニットを身体の各部位に装着し計測して、加速度データと角速度データを組み合わせ、歩行中の下肢関節角度、ストライド長、歩行事象などの歩行データを計測する方法を開発している。

以上のような歩行データを簡単に計測することが可能になれば歩行運動の定量的、客観的評価が可能になり、リハビリテーションやヘルスケアなどの場面の応用に大きく期待される。



## FESを用いたリハビリテーションシステムの開発

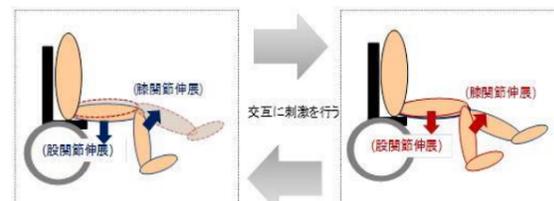
リハビリテーションシステムの開発には、脊髄損傷や脳卒中などによって運動機能や感覚機能が麻痺してしまった方が安定して歩けるように機能的電気刺激(FES)で補助し、訓練を行うシステムについて研究している。



る。

FESを用いて麻痺した手足の動作を補助・再建する方法は、これまで多くの臨床的研究が国内外で行われている。この機能的電気刺激(FES)の考えは、末梢の神経や筋が正常な場合に電気刺激を与えることによって筋肉を収縮させ、関節運動を起こし、動作を再建することだ。この電気刺激は普通の電気とは違い、身体の細部まで細やかに動かすことに優れている。これは周波の違いが原因で周波が低い場合よりも高い場合のほうが大きな反応を示し、電極を貼る場所によって動かすことができる部位が異なる。この研究について研究室で見せていただいた。腕に電気刺激を与えたとき、低周波であると手は下を向いたままで微振動するだけであったが、高周波であると手が上を向く。また、電極を貼る場所を変えると指の動きが変わった。

足こぎ車イスでは、自立歩行が困難な高齢者や片麻痺患者でも自分の足で漕いで走行することができ、筋肉の低下や関節の硬化を防止することに効果がある。また、対麻痺患者でも、機能的電気刺激(FES)を下肢の動作に用いることにより、足こぎ車イスの走行ができることが考えられている。FES足こぎ車イス走行を実現し、リハビリテーションや移動手段として実用化することを目標としている。



## 考察

この渡邊研究室では医工学の研究室でテーマは脳卒中や脊髄損傷による身体麻痺の人のための動作の測定と制御であった。リハビリ支援を目的として病院と提携し、誰にでも手軽に使えるセンサやFES(機能的電気刺激)などの普及に力を入れている。

小型無線センサは体の動く部分に装着し、角度や加速度などを求められるようになっていた。これが実用化されれば低コストで簡単に患者の動きを図ることができ、より迅速な患者への対応ができるようになるだろう。

FES(機能的電気刺激)も素晴らしいものであった。麻痺した部分に電流を流すことで動かせるというものであった。筋肉の疲労などのデメリットはあるものの電流を流し続けたことで以前より動くようになった人もいるという。そこまではいかなくとも新たなリハビリの形に成りうることは間違いない。

今回の見学では研究室チームの情熱をとて感じることができた。この研究が実を結び社会に大いに貢献することを期待したい。

2108 菅野太平 2111 古村翼 2114 佐藤航 2115 清水悠真

# すごいぞ！分析化学

東北大学工学部 星野・壺岐研究室

## 研究室概要

星野・壺岐研究室では、主に環境分析化学という分野を専門に研究を行っている。分析化学とは、ただ目で見ただけでは量ることのできない物質の情報（質や量）を取り出す化学である。たとえば、調べたい物質 X が溶けているかもしれない無色透明の液体 A がある。しかし、無色透明であるため目視では物質 X が溶けているか判断できない。そこで、物質 X と特異的に反応する物質 Y を用意し、それを液体 A に混ぜる。もし物質 X が溶けているなら発光したり何かしらの反応が起きる。反応が起きた場合は物質 X が溶けていることがわかり、反応が起きなかった場合は溶けていないということがわかる。これが分析化学である。分析化学のすごい点は、調べたい物質以外にたくさんの余計な物質が混ざっていても簡単な前処理だけで調べたい物質を取り出すことができる点である。

この研究室では、調べたい物質に特異的に反応する物質を自分たちで設計し、合成している。そうすることで、ある物質にだけより強く特異的に反応する物質を作ることができ、どんなに複雑な状況でも調べたい物質を識別することができるようになる。

## 演示実験と分析

今回の訪問で行った演示実験は金属イオンを見える形に変換するというものだった。金属イオンはもともとは発光しないが、配位子と結合させることによって金属錯体というものとなって発光する。紫外線ランプを当てると人の目に見えるようになる。

具体的にはランタノイドイオンをケリダム酸と混ぜる。ランタノイドイオンは金属イオンケリダム酸は配位子である。

ランタノイドイオンはほとんど光を吸収しなくこのままでは発光しない。ケリダム酸は光を吸収するが発光はしない。

2つの試薬を混ぜると光を吸収していたケリダム酸からランタノイドイオンにも光が分散されて発光する。

そしてランタノイド系列の中にあるユウロピウム (Eu) とテルビウム (Tb) を使って実験をした。

原理としては上のようなことが起き、ユウロピウムが赤色に、テルビウムが緑色に変化した。

そしてこの二つを混ぜ合わせてみると黄緑色ようになった。

ただ、これは単純に色が混ざっただけであり特に変わったことは起きていないということだった。

さらに定量分析ということも学んだ。定量分析はたとえば、土壌中の重金属イオンである。

まず自分たちで実験をして基準となるグラフを作りそれによってそのイオンの強度を測定するということがあった。



↑今回の実験の写真 右テルビウム、左ユウロピウム

## 代表的な研究

チアカリックスアレーンの多機能性創発 - 超分子金属錯体の創製と分析化学的应用

チアカリックスアレーン(TCA)とは？

それはエンジンオイル添加剤（フェノールを硫黄で架橋した鎖状オリゴマー）合成の途上、偶然発見された。すなわち環状4量体が見いだされた。合成法の改良をし、大量に入手できるようになった TCA。この研究の出発点は、TCA の機能である。実験を行った結果、金属イオンへの配位能などその架橋硫黄に由来し、通常のカリックスアレーンにはない特徴を見いだした。当研究室ではその4組の架橋硫黄とフェノール酸素(O4S4)、さらに環状構造など TCA の特徴を活用し多様な機能・多機能性をいかに引き出し、センシングや発光材料に応用展開するか、研究している。

## <応用例>

分析化学を用いて実際に次のようなことに使われている。

### ○放射線

土壌中に含まれるセシウム濃度を測ることができる。

### ○がん治療

がん細胞にある特定の物質を発光させることでがん細胞を取り出す手術を行う際のがん細胞のみが発行するので、取り残しを防ぐことができ、ミスも減らすことができる。

さまざまな物質を用いることで基礎的な内容から実用的なところまで広い範囲で社会に役立っている。

# 医療の安全と飛躍へ

東北大学工学部 末永研究室

## <概要>

高齢化が問題となっている現代社会では、医療技術についての研究は重要な役割を果たしている。では実際には、具体的にどのような研究が行われているのだろうか？

私たちが今回の研修で見学した末永研究室では、主に電気化学・分析化学・細胞工学についての研究をし、新規バイオ分析や細胞操作技術の開発を行い、様々な細胞情報を取得している。さらに、再生医療や体外診断薬、遺伝子治療に応用し、社会での需要が高まってきているヘルスケアに貢献していこうという方針で日々研究をしている。

研究概要は大きく分けて「バイオセンシングデバイス・システム」「インテリジェント電気化学システム」「電池材料の局所機能評価」「単一細胞および細胞組織体の解析と応用」の4つである。

このポスターでは沢山ある研究テーマの中から、特に印象に残った3つの研究テーマについて紹介する。

## 《バイオセンシングデバイス》

近年不妊治療などで体外受精が活発に行われているまたES細胞やiPS細胞などの万能細胞を用いた再生医療にも大きな注目が集まっている。そのときに使用される受精卵、ES細胞iPS細胞はできるだけ活発に活動しているものの方が治療の効果が期待できる。しかし薬品などを使用して細胞を傷つけては本末転倒だ。そのために末永研究室では『バイオLSI』(LSI=集積回路)というものを開発した。

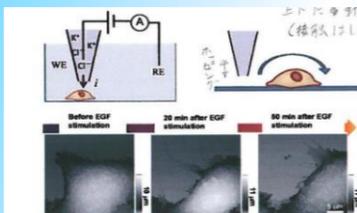
細胞は呼吸を行っている。そのとき水の電気分解を利用して消費する酸素量を求めることで細胞の状態を継続的に観察することができる。酸素消費量が多いほどその細胞の生きがよいということになる。

これは『細胞を生かしたまま』観察できるため製薬などの分野での活躍が期待できる。



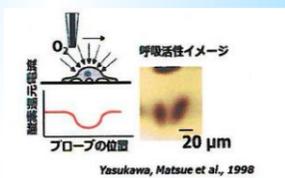
## 《走査型プローブ顕微鏡(SPM)》

走査型プローブ顕微鏡(SPM)とは、水溶液の中で測定を行うため、細胞を生きたまま測定することが可能な顕微鏡である。走査型とは、名前の通り試料の上を微小な針(プローブ)を用いて表面をなぞるように走らせることである。SPMの一種で、末永研究室で用いているのはSECM(走査型電気化学顕微鏡)とSICM(走査型イオンコンダクタンス顕微鏡)の二種類である。



SECMは、試料である生きた細胞の上を先端にPt電極のついた針を通過させて、酸化還元反応によって流れる電流をデータ化して細胞の活性を調べる顕微鏡である。

SICMは、電解質を充填したガラスピペットを細胞の上を細胞に触れないように上下に動かしながら移動させ、ピペットの先を通過するイオン電流を測定して細胞の形や高さを調べる事ができる顕微鏡である。二つの顕微鏡の利点は細胞を傷つけずに立体的に生きた細胞の形や活性が測定できることである。



## 《細胞の培養》

左に挙げたような実験をするためには、まず調べる対象の細胞が必要である。この末永研究室では、細胞の培養も行っている。方法は2種類で、平面培養と立体培養がある。平面培養(図上)はシャーレなどの容器にジェル状の培養液と細胞を入れ培養させるもので、末永研究室ではES細胞の培養とその分化について研究している。ES細胞はどんな組織にでもなりうる細胞で、どのような状況に置くかで分化する方向性が変わる。ES細胞に血管内皮成長因子を加え育てると、ES細胞は血管を形成する細胞となり、因子などを加えなくとも、固い床の上で育てると骨を形成する細胞となる。

立体培養はハンギングドロップ法(図下)と呼ばれ、重力などを利用して細胞を培養していく、ここではヒトの乳がん細胞を培養し、どのような薬が効果的に効くのかなどについて研究している。また、平面培養と立体培養で薬の効き目が異なるため、乳がん細胞の培養は立体培養を行っている。

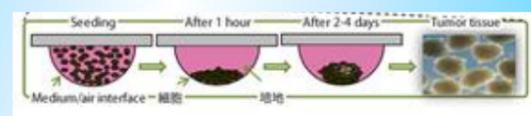


図 3次元細胞培養

[http://www.spring8.or.jp/ja/news\\_publications/press\\_release/2008/080527/](http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/press_release/2008/080527/)

より

## <まとめ>

私たちが見学した末永研究室では、これからの社会に役立つ再生医療や遺伝子治療などといったヘルスケアに貢献する技術を開発している。末永研究室では、上記の3つの研究以外にも様々な研究をしている。例えば、がん細胞やES細胞の遺伝子・タンパク質解析についての研究が行われている。この研究によって開発された技術は、再生医療への応用や病気のメカニズムの解明などに貢献するだろう。

これらの研究の成果はバイオ化学という分野において大変良い影響を与え、次世代のバイオビジネスに期待できるだろう。

## メンバー

2211 笹木 俊希 2234 海上 恵未 2239 新田 真弓 2240 堀田 弥里

# 最小限のエネルギーで最大限の生産を

東北大学工学部 米本研究室

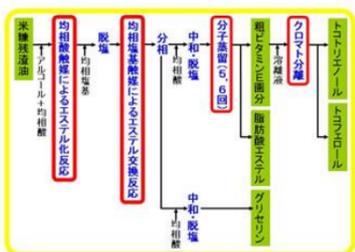
## —概要—

この米本研究室では、主に新規な化学プロセスの構築とその実用化を目指している。言い換えると、ビーカーで行っているような実験を工場のような大規模な施設で生産すること目標としている。タイトルにもあるように、いかに最小限のエネルギーで最大限のものをロスなく生み出すか、がカギなのだ。そのために、身近な化学反応の途中がどうなっているか、どの時点でどう反応するのか、ものすごく速いスピードなのか、それともゆっくりなのかということを経緯も含めて研究している。取り上げられる対象は様々で、燃料、サプリメント、セルロース、タンパク質などである。

これらは研究の一部であるが、ビタミンEなど限られた植物から少ししか回収できないものを、回収方法を新規に考えることで、高濃度で濃縮しての回収を実現化する研究や、バイオエタノールと呼ばれる稲わらや廃木材など、自然界に豊富に存在するものからつくり出せる燃料を、遺伝子工学的な技術をつかって、天然にはいない特殊な酵素を使つての循環も研究している。同じようにバイオマス由来であるバイオディーゼルと呼ばれる動物や植物の油とアルコールから作れる、二酸化炭素をあまり出さない燃料も研究されている。

## —ビタミンEの回収—

トコトリエンールやトコフェロールなどのビタミンE類には生活習慣病を予防する高い抗酸化作用がある。これらはごく一部の植物油に低濃度で含まれており、100~200度の多段階の分子蒸留とクロマト分離を用いて回収する方法が試みられていた。しかし、ビタミンE類は熱安定性が低く熱によって性質が変化しやすいため、この方法では回収率が低いという問題があった。この問題を解決するため、この研究室ではイオン交換樹脂を用いたビタミンEの回収方法を提案している。



現在試行中のビタミンE類の回収法

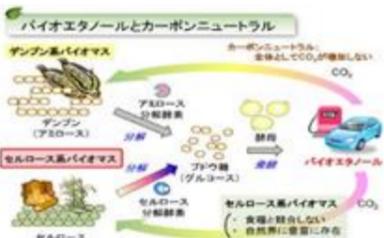
イオン交換樹脂を用いた回収方法ならば、大気圧下、常温という温和な条件でビタミンEを選択的に回収することができ、その後脱離液を供給することで高濃度での濃縮回収が可能になる。

この方法によってビタミンE類の回収率は従来の2倍以上になる80%まで上がった。



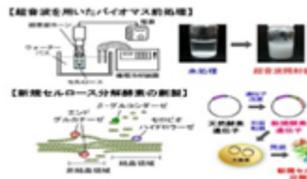
## —ふわふわのセルロース!?!—

今、新たな燃料としてバイオエタノールが注目されている。特に稲わらや廃木材などの食料と競合しないものからバイオエタノールを製造するプロセスが期待されている。セルロースを酵素で分解することでグルコースを得られ、それを酵母などの微生物により発酵することでエタノールを作れる。



しかし、セルロースは高結晶性で難分解性の高分子であるため、酵素分解速度は非常に遅い。よって実用化がとても難しい。

そこで、米本研究室では、新たな前処理方法とセルロースの分解酵素の創製について研究している。セルロースに超音波を当てると結晶構造が破壊され、酵素分解速度が増大することが分かっている。(ちなみに、超音波をセルロースに2時間ほど当てると、ふわふわのゲル状になる!!!)



また、遺伝子工学的手法を用いて天然の酵素にはない機能(例えば、天然の酵素がもつ長所同士を掛け合わせるなど)をもつ新たなセルロース分解酵素の創製に取り組んでいる。

## —クリーンな燃料!?!—

バイオディーゼル燃料とは、主に植物油などから作られる軽油代替燃料であり、軽油特有の黒煙や硫黄が排出されず、排気ガスがとてもクリーンである。植物油は地球上の二酸化炭素を吸って育った植物を原料としているため、理論上植物を燃料して排出される二酸化炭素排出量はゼロであり地球上の二酸化炭素を増加させない。また、いずれ枯渇してしまう化石燃料に対して、バイオディーゼル燃料は地球の自然環境の中で繰り返し得ることができる、再生可能エネルギーなのである。

現在では、動植物油とアルコールのエステル交換反応によって合成され、触媒としてアルカリが用いられているが、油とアルカリとの反応の併発により石鹸を生じてしまい、燃料品質の低下が問題となっている。

この研究室では、イオン交換樹脂を触媒および吸着剤とした新しいバイオディーゼル燃料の合成方法を開発した。この手法は、品質低下の原因となる石鹸が生成せず環境への負荷を軽減できる画期的な技術である。



新規法によるバイオディーゼル連続製造装置 (イオン交換樹脂利用)

## —まとめ—

バイオエタノールやバイオディーゼルがバイオマスとしてつながっているように、この研究室で行われている研究の特徴は、すべてつながって、すべて効率化と循環型社会と環境への配慮が考えられている。燃料というと、環境への悪影響が真っ先に考え付くが、バイオマスならばその問題も解決するだろう。しかし、効率よく生産が可能でもコストが高ければ社会では流通せず、環境に悪影響を及ぼすがコストが安くすむ石油に頼らざるを得ない状況にあるため、まだまだ改善する必要があるのだという。また、工場での生産を視野に入れているので、効率的に生産できるように手順が簡潔であることが求められる。したがって、生産工程のすべてを一つの機械で行えるように、金属が錆びてしまうようなものは避けられている。

工学部というと、機械にずっと触れているようなイメージがあるが、この研究室では、より広い実用化が考えられていた。なんとなくわかっている気になっていたバイオマスやサプリメントも、生産される前に、このような研究が行われていることを改めて考える必要があると考える。

2135 石川千浩 2136 岩淵彩 2138 鈴木若奈 2139 千葉麻未

# 新しい材料をもとめて

東北大学工学部 材料科学総合学科 杉本研究室

## 研究室紹介

今回見学した杉本研究室では、杉本論教授、手束展規准教授、松浦昌志助教授の下研究を行っている。ここで研究している主なテーマは、

- ・永久磁石の磁気性向上、これまでにない新たな性能を持つ永久磁石の発見。
- ・電磁干渉を防ぐ電磁波吸収体の開発、機器内部やコンピューターのノイズを抑制する材料の研究などの高周波磁性材料について。
- ・スピントロニクスは、主に新しい情報記録媒体としての利用が期待される電子レベルの研究。

などである。

この研究室では、学生一人ひとり主役となっている。

今後様々な利用が期待されるこれらの研究についてここに記したいと思う。

## 研究の現在の目的

磁石は、高温になればなるほどその磁性を失う。そのため、数十年前までの磁石では応用が利かなかったとされている。

しかし、近年開発された現在世界で最も強力とされているネオジウム磁石や、高温下でもその磁性がほとんど失われないサマコバ磁石など、非常に興味深い開発が行われている。

それを、この杉本研究室は研究している。

具体的には、大きく三つの部門に分けられる。

一つは、強力な永久磁石の開発である。

現在、多くの機械類のモーターなどには磁石が用いられている。

もし、強力な永久磁石が開発されたならば、モーターの小型化、さらに、自動車の燃費の大幅な削減につながるとされている。

**これまでの材料を改良**  
**これまでにない材料を探索**



二つ目は、電磁波吸収帯の開発である。

電磁波吸収帯とは、一般に電波を用いる通信機器が、互いに似通った周波数の電波を妨げるときに非常に重要とされるもので、家庭内における無線 LAN などのセキュリティに

関係する。

法律で使用できる電磁波の周波数は規制されている。そのため、周波数が近いために非常に電磁波を用いる機器において重要な課題である。

三つ目が、スピントロニクスという、新たな情報記録媒体である。

これについて、端的に説明する。

電子には、電荷という働きと、スピンという磁性にかかわる働きとに分けられる。

そこで、従来のエレクトロニクスでは電荷を用いた情報記録媒体のみに研究の焦点が当てられてきたが、これからはスピンを用いた情報記録媒体の開発が行われるようになった。

この発明によって、PC の電源が急に切られたとしてもデータが破損することがなく、しかもかなり多くのデータが管理できるという革新的な情報記録媒体が開発されるため、今後が期待される。

以上の三つの研究が今回見学することのできた主なものである。

また、この学部の研究では、どのようなことを中心に行っているか、という質問に対しては「基本的に実験が中心である。実験の進度によって忙しさは異なる。」ということであった。

実験の進度次第では平日が空く人もいれば、土日も研究に追われる人もいるという。

## 工学部生の生活

大学院生の方のお話から、工学部の四年間の主な流れについてもうかがった。材料科学総合学科では、4つのコースに分かれているが、一年次から三年次までは授業が中心だ。最初は、数学や英語といった基本的な内容だが、途中から工学系の専門的な内容や、第二外国語なども学べる。そして四年次には授業が終わり、自分の選んだ研究のみに取り組みるのである。



大学を終えると、大学院に進める。大学院は、修士課程と博士課程の二段階になっていて、修士課程に進むと、企業や研究室などの研究メンバーに加われる程度の実力が付き、博士課程に進むと、それらの研究のリーダーになれるほどの実力をつけることができる。そのため、博士課程に進む生徒はあまりいない。



## まとめ

今回見学した研究室では電子レベルでの研究がなされているとのことだったが、非常に狭い研究だという初めの印象とは裏腹に、広く実際の社会において見えないところで大いに役立っているということを知った。たとえば、自動車には大きなもので十数個のこの分野に深く関係する機械があり、それらはいまだに日進月歩発展を遂げている。より強力な永久磁石が開発されればこれらの機械はより小型になり、自動車の性能が大いに向上し、結果的には環境にやさしい自動車が開発されることになるだろう。また、通信機器の防犯対策や、より高性能な情報記録媒体の開発など、重要かつ身近なところでこの分野の研究が生かされていることを知ることができた。

今回の研究室見学で我々の拙い質問に丁寧に答えてくださった研究室の方々に感謝いたします。

班員

2201 : 阿部 友哉 2209 : 木村 恭輔 2212 : 佐藤 光 2220 : 高橋 義博

# 未来の二次電池～より良い効率を目指して～

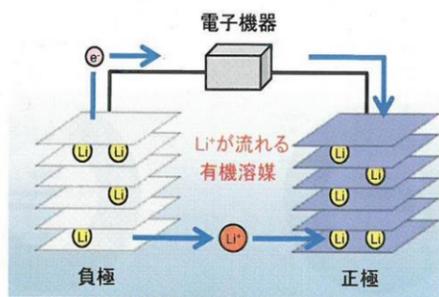
東北大学工学部 高村研究室

## I 研究室紹介

高村研究室は青葉山キャンパス内で高村仁教授、亀川厚則准教授の下研究を行っている。この研究室は主にエネルギー情報材料科学の研究をしている。エネルギー情報材料科学とは近年問題になっているエネルギー問題の解決にむけ、燃料のエネルギー変換効率の向上を実現するためにさまざまな機能を持った材料を開発する研究だ。その中でも高村研究室では特にリチウムイオン電池を軽量化し、長時間使えるようにするための研究をしている。

## II 二次電池の仕組み

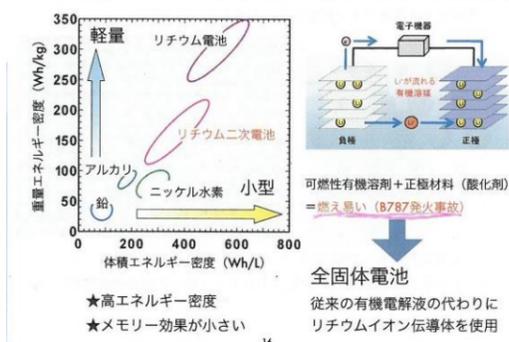
二次電池とは何か？それは充電したり再生可能エネルギーを利用することで繰り返し使うことのできる電池である。今回は、携帯やスマホなどに使われるリチウムイオン電池について説明する。



電池にはイオンだけが流れる材料が必要！  
でも、液体でいいのでは・・・

リチウムイオン電池は、リチウム原子が負極（マイナス極）で電子とイオンに分かれる。そして、電子は負極から電子機器を通して正極（プラス極）へ、リチウムイオンはリチウムイオンが流れる有機媒体（個体）を通じて正極へ移動する。それによって電気が発生するという仕組みである。

### ●●● 新しいリチウムイオン伝導体の開発



## III 研究目的

個体の中でイオンを動かし、従来の液体を使った電池よりも安全で効率的な電池を追及する。

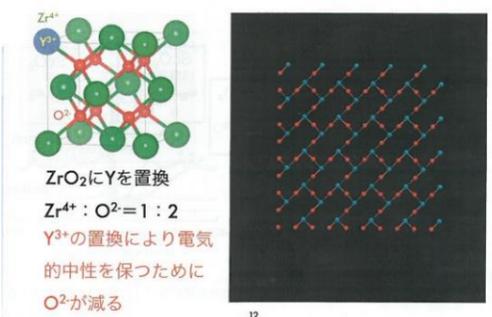
## IV 研究内容

高村研究室では大きく分けて二つの研究をしている。

一つは「燃料電池」の研究だ。具体的にはエネルギー効率を上げるために、新しい機能性材料とデバイスの開発をしている。燃料電池には水素が必要で、そのエネルギー効率を上げるためには高純度でかつ大量に効率的に水素を製造しなければならない。現在は天然ガスに高温の水蒸気を反応させてつくる「水蒸気改質法」が行われているが、これには色々な課題がある。そこで高村研究室では部分酸化改質法に着目した。この方法には新たに独自開発された「酸素透過性セラミック」が使われている。これによって従来の機動性が悪いなどの問題点が解決された。

もう一つは電池の中にある「電解質の物質」の研究だ。電池の中にはイオンが通ることのできる材料が必要だ。これがなくては電池は使えない。今の電池の多くにはその材料に液体の有機溶媒が使われている。この研究室ではそれを固体の物質に変えようとしている。普通物質はそのままではイオンを通さない。そのため、イオンが動ける材料をデザインしなければならない。方法としては、その材料に原子レベルの小さな隙間をたくさんあけて、その隙間をイオンが通れるようにする。

### ●●● イオンが動ける材料をデザインする



では、固体に変えるとどんな利点があるのか。液体より固体のほうがイオンが通りにくいような気がする。実際、固体のほうがイオンが通りにくい物体が多い。

では、固体に変えるとどんな利点があるのか。液体より固体のほうがイオンが通りにくいような気がする。実際、固体のほうがイオンが通りにくい物体が多い。ではなぜ固体にしようとするのか。それは安全性が高いからだ。液体の有機溶媒だと発火する危険性があり危険だ。スマホのバッテリーが爆発したというのを聞いたことがないだろうか。

実際の事故としては2013年01月16日に中型旅客機 B787 が出発後まもなくバッテリーが発煙するという事故が起こり緊急着陸をした。これは非常に危険だ。固体ならこんな心配はなくなる。また、最近では液体の電解質より電気の流れやすい固体の電解質も作られた。ほかに液体より個体のほうがすぐれている点は取り扱いが簡単で使用温度範囲が広いということだ。

## V まとめ

私たちが今回見てきた研究室はとても身近な存在である電池の研究をしていた。電池はスマートフォンや車や飛行機にバッテリーとして備え付けられていて、私たちの生活には欠かせないものとなっている。今は、燃料電池という電池が使われる場面が多くなってきた。バッテリーは持ち運ぶ場合が多いので、より大容量かつ小型化で安全性が高いものが求められる。この研究室では電池の安全性を高めるため、燃料電池をより使いやすくするため、新たな機能性材料として個体電解質材料を開発している。この研究によって私たちの暮らしがよりよくなり、エネルギー問題が解決にむかうかもしれない。

メンバー

2202 伊藤 竜也

2213 佐藤 慧

2222 秦 大貴

# 摩擦熱を用いた金属の接合について

東北大学工学部 粉川研究室

## ～研究室紹介～

近年、素晴らしい性質をもつ材料が多く開発されている。このような材料を実際に構造物にする際には、これらをくっつけなければならない。材料をくっつけるプロセスの1つが、接合技術だ。材料を接合するためには、材料同士を溶かして固めたり、溶かさずに混ぜ合わせたり、原子間力を利用したりする必要がある。溶かしたり、混ぜ合わせたりする場合には、接合する部分の材料の良い性質をなくしてしまったり、局部的に性質が低下してしまい、耐久性も低下してしまう場合がほとんどである。ところが、粉川研究室では、さまざまな接合プロセスで得られた接合部や接合界面でのマイクロ構造と性質を詳しく調べて特徴や性質を決めるマイクロ構造を理解し、接合界面のマイクロ構造を制御することによって、接合部や接合界面が素晴らしい性質を得る方法を確立することを目的に研究している。

## 従来の金属接合の欠点

従来の金属結合の1番の問題点は、金属の質すなわち特徴を変えてしまうことだ。現代の金属作成は多くのいろいろな工程を踏んだうえで作っている。その工程のおかげで硬い金属や強い金属、曲がる金属など様々な特徴を作り出している。しかし、従来の金属結合の方法では金属の特徴が変化してしまう。わざわざ電気や熱を使って作った金属に再び熱を加え溶かしてしまうことが、特徴が変化してしまう原因である。この金属結合の方法では、結合部分だけが特徴を失い、結合部分が壊れやすくなってしまう。

他の問題点では、金属結合した後すぐに金属を触れないという問題点がある。一度金属を溶かしてしまうので金属の温度は金属によって異なりはするが、1000度を超えるのが普通である。そのため、金属が触れる温度まで下がるのには長い時間がかかる。

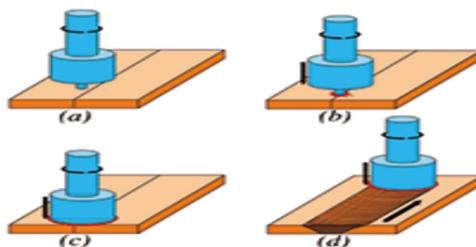
この2つの問題を粉川研究室の金属結合の方法では解決してくれるのである。



## FSW（摩擦攪拌接合）とは

金属と金属同士をくっつけたいとすると、従来は金属に火を当てて接合部分を溶かして接合するという方法がとられてきたが、今回私たちが知った FSW という摩擦攪拌接合は従来の接合方法の欠点を解消している部分が非常に多い。FSW の作業は、

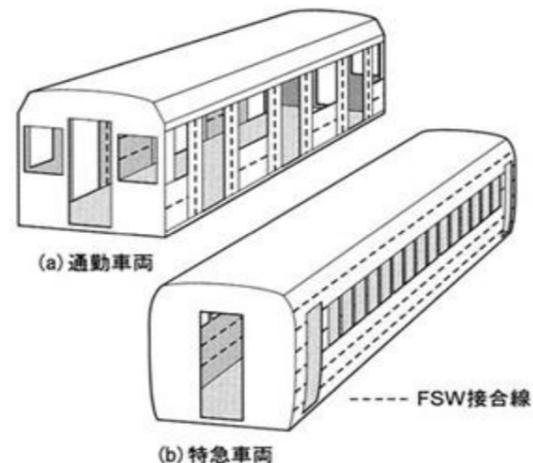
- a: 接合したい金属同士を突き合わせる。
- b: 突き合わせた接合面に回転した接合ツール（先端部分のピンのようなもの）を押し入れる。この時、金属を常温で押し入れる形になるので、常温で金属が変形するものでなければならない。
- c: 接合ツールが回転する過程で摩擦熱が維持される。
- d: 材料が軟化すると同時に接合面に沿ってツールを動かし、接合する金属同士が攪拌されることで接合される。



という過程で行われる。従来の接合方法と比較して大きく違うことは、「接合後の金属が温度変化によって変形したりしない」「金属を溶接のように溶かして接合するのではないので接合部分が弱くならず、強い接合ができる」「短時間で素早く接合できる」などだ。これらから、従来の接合方法の欠点をかなり改善しているとみることができる。

## 研究課題と現在の利用と応用

現在は、自動車や頑丈さが必要とされる JAXA のエンジンの接合などに使われている。また、FSW の最大の長所は接合時間が早いことだ。そのため数十メートル単位で接合が必要な列車の接合には欠かせないそうだ。従来の接合方法と比べ比較的接合面の強度が低下しづらいのでこれからもっと多くのものに利用されていくであろう。



(産報出版 web ページより引用)

FSW の原理を考えたとき、利用するのは摩擦熱であるため融点が高すぎる金属を接合するときには、その融点に耐えられる回転部の金属が必要になる。たとえば、タングステンのように融点が約 3000° を超える金属は、耐えられる金属がないため接合することができない。このようなことや接合部の健全性や接合界面での反応相及び偏析などの課題がたくさん残っている。

東北大学工学部の粉川研究室では、新しい特性などを持った金属をその特性を失わせないように加工するには、FSW が不可欠といっても過言ではない。粉川研究室のような条件で接合を行えば最小限の熱で金属を接合できるかなどを現在研究している。また FSW の特徴である接合時間の速さについては、ほかの接合方法よりもとびぬけている。

粉川研究室の FSW の研究は世界でも最先端を行っている。彼らの研究はより良い金属の性質を研究し、製造を行っている人たちの努力を無駄にせず、また新しい製品が作られ私たちの生活はより良いものとなるだろう。

彼らの研究で私たちの生活は大きく変わるだろう。これからもがんばってほしい。

## メンバー

2204 宇都木 優生 2205 漆山 諒 2207 金森 智己 2219 高木 駿

# メタン発酵によるエネルギー回収について

東北大学工学部 久保田健吾研究室

## ～研究室紹介～

この研究所では私たちの生活や経済活動といったことを行うには避けては通れない廃棄物処理の問題をより環境に良くそして効率よく行うよう、循環型社会を目指し日々研究を行っている。

特に、都市環境衛生と、水に関わる排水・廃棄物管理システムについて研究している。現在、取り組まれている主な研究は、以下の3つの研究である。

1. 嫌気性バイオテクノロジー：メタン発酵と水素発酵
2. 微生物を用いた排水浄化システムの研究
3. 環境微生物の解析

これらの研究は大きな可能性を持っている。まだ研究が進んでいない「微生物」を利用することで、いままで以上に社会に貢献することが出来るだろう。

## ～研究目的～

近年、コーヒー豆の輸入が増加している。コーヒーを飲んだ時に出るコーヒーかすは年間10万トンも排出されている。それらには、有機物や水分が多く含まれている。今回、この研究所では、メタン発酵技術に着目し、コーヒーかすからのエネルギー回収の可能性の検討とメタン発酵プロセスの確立を目的に行っている。

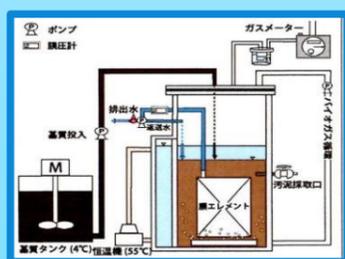
また、今回ポイントとなるメタンガスは嫌気的な条件下において、多く発生し、エネルギー生成の原料にもなる。近年メタンハイドレードといったようなもので注目されているものでもある。

## ～実験方法～

研究室に嫌気性膜分離装置(図1)を設置する。

そして、以下の項目で実験を行う。

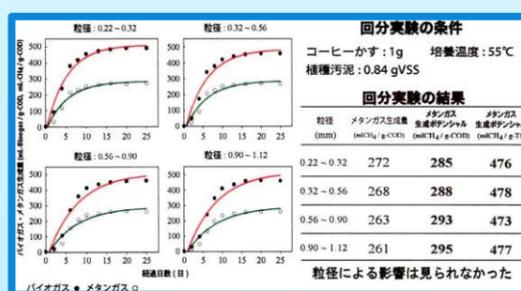
- I. コーヒーかすの粒径を少しずつ変え、それによってメタンガスの生成量の変化を記録
- II. コーヒーかすに pH の異なるアルカリ剤や、栄養塩を添加し、メタンガスの生成量の変化を記録
- III. 栄養塩の代わりに余剰活性汚泥を添加し、IIと同様の結果が得られるか。



(図1)

## ～実験結果～

### I コーヒーかすのメタン生成ポテンシャル

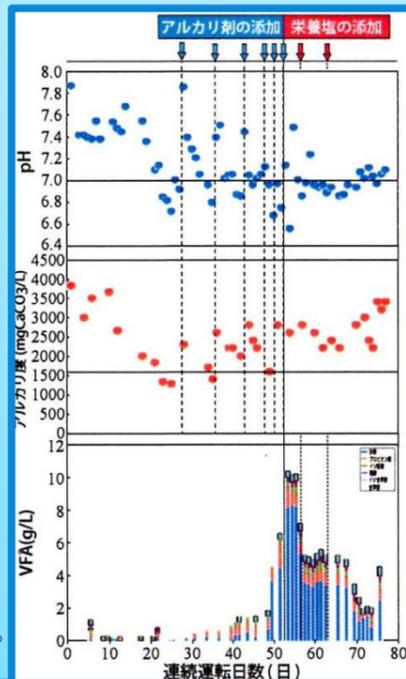


このことより、高いメタン生成ポテンシャルを得られたことがわかる。

### II コーヒーかす単独メタン発酵の検討と対策

コーヒーかす単独メタン発酵を継続すると、pH・アルカリ度の減少と、有機酸の蓄積がみられた。そのため、pH維持のためにアルカリ剤を、有機酸の処理のために栄養塩を添加した。(下図)

添加した後も pH は下がり続け、有機酸の発生が見られた。したがって、アルカリ剤と栄養塩が必要で、それらの不足が考えられる。

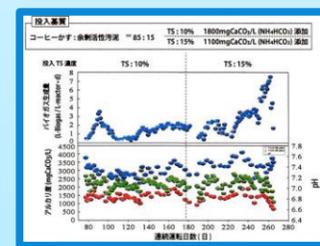


### III 余剰活性汚泥との共発酵

\* 余剰発生汚泥とは

有機性排水の処理などに使われる活性汚泥法を使用した際に発生する活性汚泥のこと。活性汚泥には活性化した分解者が多く含まれている。

IIの栄養塩の添加は高コストであるため、余剰活性汚泥との共発酵により処理を試みた。



上図からわかるように、共発酵基質(余剰活性汚泥)にアルカリ剤を添加して処理をすることができた。

## ～考察まとめ～

コーヒーかすのメタンガス回収によるメタンガスの生産量は、 $0.55 \pm 0.06$  (L-Biogas/g-TS)、メタンガス濃度は、 $60.5 \pm 1.0\%$ であった。この結果からコーヒーかすからのエネルギー回収率を出すと、

エネルギー回収率 = 回収されたメタンガスエネルギー / コーヒーかすが持っているエネルギー = 62.6%

よってこの実験からコーヒーかすが持つエネルギーの62.6%を回収でき、250世帯分の電力になるという。

この実験は使ったらゴミになるコーヒーかすから250世帯分が使う電力になるので、効率がいいのでとても社会に貢献できるだろう。

## ～総括～

私達は久保田研究室を訪れて衝撃を受けたことが1つある。それは農学部で扱うはずの微生物による分解の研究を工学部で扱っていたことだ。なぜなら、私達は工学部について機械しか扱っていないという印象しか持っていなかったからだ。しかし今回の研修でその考えは改まった。研究室には今まで見たことがない実験道具が数々置いてあり、実際にそれらを拝見することができ興奮した。使用したあとは廃棄物になってしまうコーヒー豆のかすから微生物の分解によってメタン(CH<sub>4</sub>)を取り出し、それをエネルギーとして活用することは将来のエネルギー事情から考えて非常に期待できることだと思った。あまり工学部に興味がなかったが、今回の研修で皆さんと同じような研究をしたいと思い、良い刺激になった。最後に今回の研修でお世話になった久保田健吾准教授、東森敦嗣さん、島田祐輔さん、外内和輝さん、お忙しい中時間を作って頂きありがとうございました。

## ～メンバー～

2206 小原大樹 2210 佐伯憲一 2228 村上周明 2232 渡邊浩文 2236 高田帆夏

# 鉄筋コンクリートの耐震性について

東北大学工学部 前田匡樹研究室



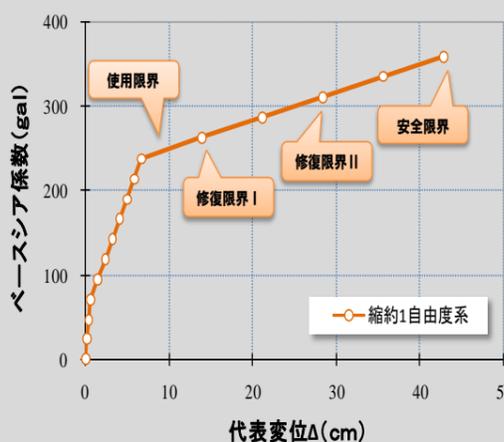
東日本大震災をこれを読む多くの方々が経験したと思う。現代にあるほとんどの建物に鉄筋コンクリートが使われている。前田研究所では、地震による建物の被害を日本建築学会の学校建築委員会・耐震性能等小委員会が定めた被災度の基準をもとに、青葉山キャンパスの応急危険度判定を実施した。また、独自の建物の安全性に関する「ものさし」を考えていくことも研究している。

他にも、建物の構造を小さく分けて一つ一つに揺れをあたえ、それらがどのように揺れを吸収(または破損)するかをシュミレートし、揺れに強い構造を研究したりもしている。

またこの研究室は、大きな地震があると現地へ行き、建物の被害調査と傾向分析を調査している。そして年代ごとにどう被害を受けているかをデータとしてまとめ、どの年代にはどんな傾向が強いのか、どう耐震補強をすべきかを研究している。

前田研究室の活動の一つに、応急危険度判定というものがある。これは地震などによる二次被害を防止するために、建築物の危険度を応急的に判断する活動である。判断の大まかな基準としては、「余震に対する危険性」「落下物による危険性」だ。これらを踏まえ、専門的な知識をもとに調査し、建物に安全に立ち入ることが可能かを判定し、危険度を示したステッカーを貼っていく。

建物の安全性を適切に評価するには、その評価基準や性能規定が不可欠である。まず建物の機能性能として、使用性、修復性、安全性があげられる。これらの各種限界状態の設定として、下図がある。



安全限界に至ると建物として使えない状態となる。

損傷は外見だけによらないこともある。内面の損傷も踏まえて判断し、適切な評価をしていくことが重要だ。使用性、修復性、安全性などの適切な評価基準を定めていくことが研究の大きな課題となっている。

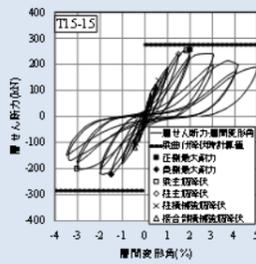
この研究室のテーマの一つに実験による部材力学特性の解明がある。

そもそもこの研究室では鉄筋コンクリートの研究をメインとして研究を行っている。部材力学特性とは、柱や壁といった建物を構成する個々の要素の力学的な特性のことで、この研究は、実験に基づいて考察・シュミレーションしていくものである。

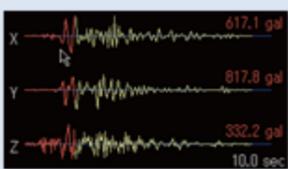
実験時には、建物のすべてをつくって破壊実験を行うのではなく、建物の柱などの一部分のみを使用して実験を行っている。このことにより、建物の基盤や支えとなる部分の力学特性を割り出すことができる。

実験から、力と変形の関係が常に比例関係とは限らない、ということ結果が出ている。

実験から得られたデータからわかる、部材ごとの力学特性を利用して、コンピュータ上で建物のモデルを生成し自信を作用させたときの被害を解析するといったシュミレーションも行っている。



力と変形の関係を表すグラフ↑



地震波と建物モデルによる解析

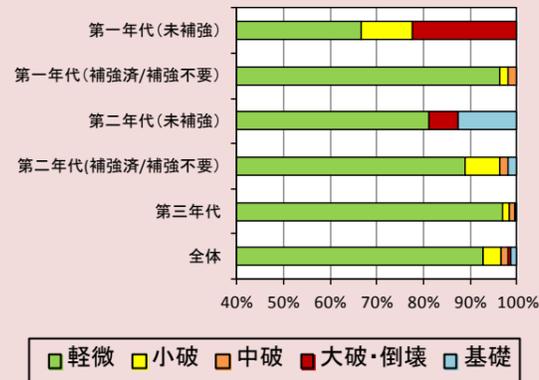
前田研究室では、大きな地震があると、現地へ出向き、そこにある建物がどのように破損しているかを調べている。



(↑イタリアのラクイラ地震による被害)

また、東日本大震災では日本建築学会の学校建築委員会・耐震性能等小委員会のもと、文部科学省の委託を受け、耐震診断と耐震改修の効果の検討のため、宮城県内の文教施設の被害調査と被災度判定を実施した。

その結果、初期の基準のものほど被害率が高く、建物が新しいものほど、耐震性が高いことが分かった。しかし、初期の基準であっても耐震補強不要と判定、耐震補強が行われた建物は被害が小さかった。



(↑3.11.地震の被害区分統計)

グラフからわかるように、第三世代でも中破や小破の判定を受けた建物もある。

2102 安達稜詠 2128 松崎巧 2134 五十嵐佳穂 2137 三瓶遥

東北大学工学部建築・社会環境学科の前田研究室では東日本大震災の地震被害調査を実際に被災現場に行き、自分の目で調査してデータ集めて鉄筋コンクリートの構造などの研究をしていた。また、一部分ではあるが実際に建築物を地震と同じように揺らし、データを採っている。そして、コンピュータでシュミレーションをして実際に採ることができないデータを得ることもできる。集めたデータから建築物の被災状況のレベルをつけることでまだ利用可能か否か(安全かどうか)を判断するための判断基準作りをしている。建築技術は私たちの身近な技術であり、震災にもなれば人の命にも関わってくる。彼らの研究はこれからの日本の、いや、世界のあらゆる建物を変えてくれるだろう。



協力していただいた研究室の方々、ありがとうございました。

平成27年3月31日発行

宮城県仙台第三高等学校

S S H委員会

理数科部

〒983-0824

宮城県仙台市宮城野区鶴ヶ谷一丁目19番地

TEL 022-251-1246

FAX 022-251-1247

E-Mail [chief@sensan.myswan.ne.jp](mailto:chief@sensan.myswan.ne.jp)

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

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