

サイエンスアゴラ 2014（面白い研究あり圏ー中高生の研究発表会ー）

## 平成26年度全国受講生研究発表会

### 発表要旨集

#### 次世代科学者育成プログラム

#### グローバルサイエンスキャンパス

※次世代ならびに未来の科学者養成講座実施経験機関からの発表を含みます。

平成26年11月9日（日）

場所：東京国際交流館

主催：科学技術振興機構

(事業名の略称)

未来 : 未来の科学者養成講座

次世代 : 次世代科学者育成プログラム

G S C : グローバルサイエンスキャンパス

## ．．．発表要旨目次．．．

- ポスター発表 A-8 : 澤口 夏未 (静岡大学)  
ヒトの自意識とパーソナリティ . . . . . 1
  - ポスター発表 A-9 : 佐々木 あかり (東北大学)  
紫外線によるDNAの傷と光を利用した修復機構  
UVB-induced DNA damage and its repair mechanisms using light . . . . . 3
  - ポスター発表 B-5 : 北口 智也、野村 公平 (京都大学)  
コオロギの配偶行動解析 —もてる雄コオロギをもとめて— . . . . . 7
  - ポスター発表 B-6 : 林 靖人 (特別発表) (筑波大学)  
LEG PROPOSES, ANTENNA DISPOSES  
Antennae ultimately determine the turn direction of the pill bug . . . . . 9
- ※2014年度ISEF(インテル国際学生科学技術フェア)でのグランドアワード(優秀賞)受賞
- ポスター発表 B-7 : 青木 至人 (筑波大学)  
過去と未来をつなぐ骨Ⅱ . . . ニホンジカ頭骨の成長の仕方 . . . . . 13
  - ポスター発表 B-8 : 渡邊 舞咲 (静岡大学)  
ヒヨコのお母さんになるには—「すりこみ」を確かめる— . . . . . 15
  - ポスター発表 C-7 : 中原 正登、石田 百合乃、長谷川 彩音、藤田 滋 (北海道大学)  
スペクトルを用いたイチョウの成長段階の観測  
Estimation of growth stage of ginkgo trees based on spectrum . . . . . 17
  - ポスター発表 C-8 : 星野 泰我、本間 一稀、田村 有沙 (北海道大学)  
植物の反射スペクトルと昆虫行動の関係  
Relationship between reflection spectrum of vegetation and insect behavior . 19
  - ポスター発表 D-6 : 工藤 達実、平井 智崇 (京都大学)  
より優れた自立型ロボットを目指して . . . . . 21
  - ポスター発表 D-7 : 沼崎 里咲、舛村 康成、小林 沙衣、山本 遙斗 (慶應義塾大学)  
多摩川および東京湾の放射性同位元素堆積調査 . . . . . 23
  - ポスター発表 D-8 : 木田 祐希 (京都大学)  
放射線を利用して巨椋池干拓地を探る . . . . . 25
  - ポスター発表 E-1 : 生駒 洋樹 (京都大学)  
LEDによるプランク定数の高精度な測定を目指して . . . . . 27

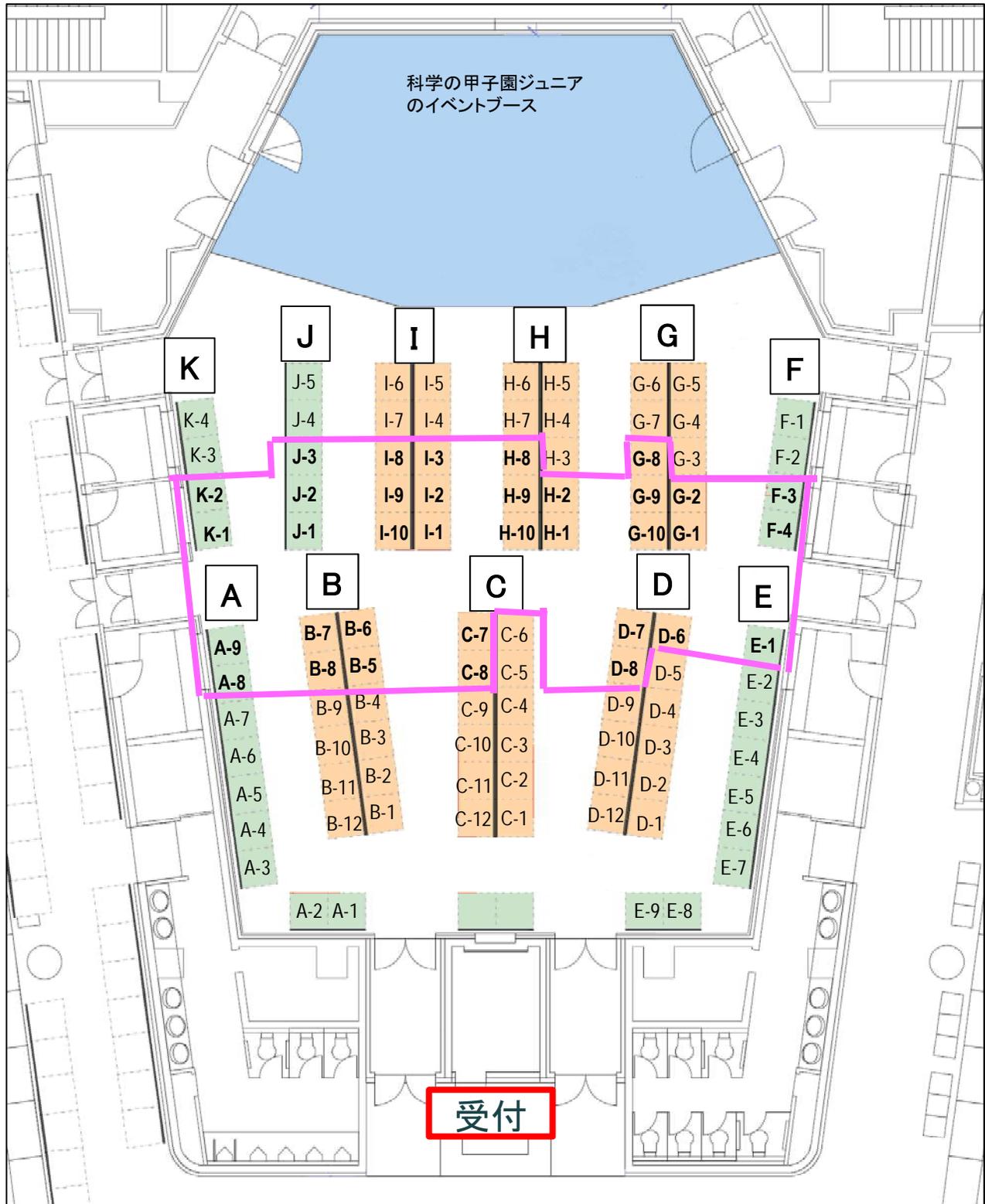
- ポスター発表 F-3 : 田淵 宏太郎 (筑波大学)  
ゴルフボールのディンプルにヒントを得てプロペラを考える . . . . . 29
- ポスター発表 F-4 : 小川 竜馬、田中 智 (京都大学)  
水切りの最適条件 . . . . . 31
- ポスター発表 G-1 : 磯田 奈歩、岡本 博史、武田 健介、川村 和大、阪尾 正己、  
光永 翔、石丸 桃佳、坪田 光生、藤村 憲 (大阪府立大学)  
火星探査機 . . . . . 33
- ポスター発表 G-2 : 田中 祥平、津留 百花 (有明工業高等専門学校)  
海苔生産時の排水からの海苔の除去に関する取組 . . . . . 35
- ポスター発表 G-8 : 小松 陽花 (東北大学)  
走査型電子顕微鏡を用いた物質の構造観察  
Seeing Nanostructures Using FE-SEM . . . . . 37
- ポスター発表 G-9 : 眞辺 千尋 (静岡大学)  
海水を使った発電はできるか～未来の浸透圧発電～ . . . . . 41
- ポスター発表 G-10 : 細川 恭太 (京都大学)  
中性 KI 法の改良と大阪の山域オゾンの研究 . . . . . 43
- ポスター発表 H-1 : 泉 裕大、岩永 千里、幸野 立奈、半井 陽大、石丸 海輝、  
中西 希天、與田 悠人 (大阪府立大学)  
氷の中の化学反応 . . . . . 45
- ポスター発表 H-2 : 宮本 大輝 (九州大学)  
氷の溶け方の違いについての研究 . . . . . 47
- ポスター発表 H-8 : 吉岡 ゆきの (慶應義塾大学)  
木質バイオマスからエタノールを生産できる花酵母を求めて . . . . . 49
- ポスター発表 H-9 : 橋本 樹里 (日立理科クラブ)  
各種台所廃棄物のリサイクル資源化 . . . . . 51
- ポスター発表 H-10 : 白方 颯人、石川 裕太、清水 龍星、深見 正徳、武市 昂己、  
黒星 きらら、河本 優奈、土居 香澄、川端 翼 (愛媛大学)  
世界結晶年を記念した結晶についての研究 . . . . . 53

- ポスター発表 I-1 : 相馬 言成 (埼玉大学)  
ムジナモ捕虫葉の高速閉合運動の仕組みを探る . . . . . 5 5
- ポスター発表 I-2 : 中田 玄樹 (京都大学)  
アブラナ科植物の生存戦略 . . . . . 5 7
- ポスター発表 I-3 : 露木 愛 (静岡大学)  
ドジョウ飼育と養液栽培VI ドジョウも野菜も美味しい! . . . . . 5 9
- ポスター発表 I-8 : 石橋 龍、稲島 七海、大塚 玄人、野並 義章 (北海道大学)  
鹿の食害による植物スペクトルの変化  
Spectral changes of vegetation damaged by deer . . . . . 6 1
- ポスター発表 I-9 : 竹内 希海 (静岡大学)  
静岡市におけるセミ行動生態学研究 2010~2014 : 環境および他個体との関わり . . 6 3
- ポスター発表 I-10 : 小崎 佑太、斉藤 涼介、旗手 那由他、佐藤 咲良 (北海道大学)  
水質汚染地域の藻のスペクトル観測  
Spectral measurement of algae in polluted water area . . . . . 6 5
- ポスター発表 J-1 : 佐藤 真由、丹野 ちぐさ、一ノ関 留奈 (東北大学)  
プラズマ照射法で自家不和合性は打破できるか . . . . . 6 7
- ポスター発表 J-2 : 野口 輝、健山 ありさ (京都大学)  
纏向遺跡と名柄遺跡のモモ核から日本のモモのルーツにせまる . . . . . 6 9
- ポスター発表 J-3 : 久保 裕亮 (筑波大学)  
エチレンはどのようにカイワレダイコンの子葉を曲げるのか  
~細胞レベルのメカニズム・生理的意味を探る~ . . . . . 7 1
- ポスター発表 K-1 : 高橋 史恵、市川 新之助、内藤 雄太、大本 理恵子、小田 瑞葉、  
早野 桜、長野 真紀子、吉村 樹季 (愛媛大学)  
私たちの暮らしと微生物 . . . . . 7 3
- ポスター発表 K-2 : 安田 佐梨、山中 美慧 (東北大学)  
家族性頸動脈小体腫瘍における原因遺伝子の解析 . . . . . 7 5



# ポスター配置図

 で囲んだ範囲が、GSCと次世代・未来のポスターとなります。  
※枠の上側がSSH、枠の下側では科学部の発表が行われます。



## ヒトの自意識とパーソナリティ

澤口 夏未（静岡雙葉高等学校 3年）

担当教員（竹内 浩昭）

### ◇研究の目的・意義

集団の中で生活する多くの動物は、他個体の振る舞いからその個体の性格や行動特性を推測し、自身との関わりを考慮しつつ、その個体へ適切に対応することで集団の安定化を図っていると考えられる。私たちヒトでも、周囲の他人に意識を向けることは他者理解だけでなく、自己理解の深化にも繋がり、良好な心理的・社会的安定性を確立するための必須の営みである。

2012年度は「ヒトの利他的行動とパーソナリティ」という研究テーマで利他的行動と性格特性の相関を調査したが、当時使用した赤黒ゲームは他者への意識を調べるものだったため、2013年度は自己に対する認識について調べることを主目的として、自意識尺度の公的自意識を用いて解析を進めた。また、2013年度の調査では、データ数を大幅に増やし、より定量的・客観的な分析を試みた。

### ◇研究の方法・プロセス

ヒトの自意識とパーソナリティの関係を調べるために、高校生を対象としたアンケート調査を実施した。ヒトの自己に向けられる意識（自意識）は私的自意識と公的自意識があるとする説（Fenigstein et al. 1975）に基づき、自意識尺度を用いて私的自意識と公的自意識を数値化した。また、ヒトの性格は外向性・情緒不安定性・開放性・誠実性・調和性の5因子に集約されるという仮説に基づき、BigFive アンケートにより性格特性を数値化した。これらのデータから自意識と性格特性5因子の相関を調べ、自意識に関連する性格特性を推定した。

#### <調査対象>

静岡聖光学院高等学校2年生（男子校）…70人（文系35人，理系35人）

静岡雙葉高等学校2年生（女子校）…104人（文系45人，理系59人）

集計に用いたアンケート…計174部（文系80人，理系94人）

調査対象の平均年齢…16.9歳

### ◇結果と考察

#### 自意識と性格特性5因子との相関

公的自意識と私的自意識との間には非常に強い正の相関 ( $r=0.4691$ ,  $p<0.0001$ ) が認められた。公的自意識は、外向性に正の弱い相関、情緒不安定性と開放性に正の強い相関、誠実性に負の弱い相関が認められたが、調和性には統計学有意な相関が認められなかった（表1）。

表1. 公的自意識と性格特性5因子との相関

|        | 外向性            | 情緒不安定性          | 開放性            | 誠実性             | 調和性              |
|--------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| 相関係数 r | 0.15 (p=0.054) | 0.48 (p<0.0001) | 0.23 (p=0.002) | -0.15 (p=0.043) | -0.088 (p=0.247) |

### 性格特性と公的自意識の男女比較

性格特性 5 因子のうち外向性 ( $p<0.05$ )、誠実性 ( $p<0.001$ )、調和性 ( $p<0.05$ ) については、男子高生が女子高生より有意に高いという性差が認められた。公的自意識 ( $p>0.05$ ) については、男子高生より女子高生がやや高い傾向がみられたが、統計学的有意差は認められなかった (図 1)。

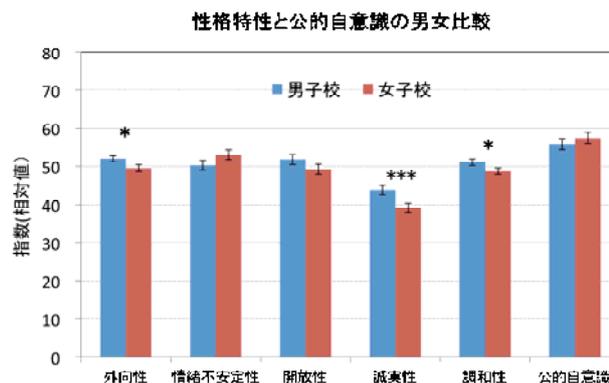


図 1. 性格特性と公的自意識の男女比較

### 性格特性と公的自意識の文系理系比較

性格特性 5 因子のうち調和性のみ文系生徒が理系生徒より有意に高かった ( $p<0.05$ ) が、その他の性格特性と公的自意識では文系生徒と理系生徒の間に統計学的有意差は認められなかった (図 2)。

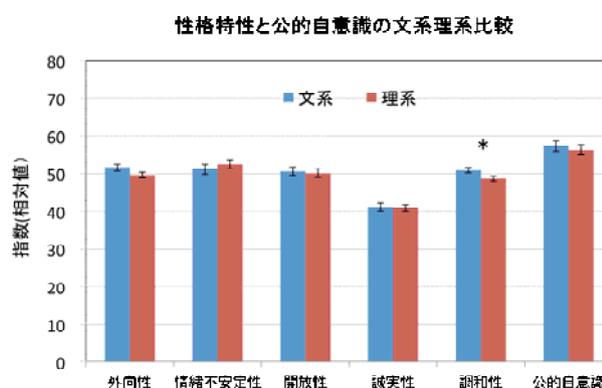


図 2. 性格特性と公的自意識の文系理系比較

以上のことから、(1)公的自意識の高い高校生はやや誠実性が低い、外向性・情緒不安定性・開放性が高い、(2)男子高生は女子高生よりも外向性・誠実性・調和性が高い、(3)文系生徒は理系生徒よりも調和性がやや高い、というパーソナリティを持つ可能性が考えられる。

### ◇今後の展望

今後は、(1)男子校・女子校の対象校を増やす、(2)対象の世代を変更する、(3)共学との比較をする、(4)性格特性 5 因子だけでなく他の要因との関連や自意識尺度以外の手法を探索する、などを試みたい。また、血液型と性格の関係や、年齢と性格についても調査・研究してみたい。

### ◇主要参考文献

- 堀洋道・山本真理子 (2001), 「心理測定尺度集 I ~人間の内面を探る (自己・個人内過程) ~」, サイエンス社.
- 吉田富二雄・宮本聡介・堀洋道 (2011), 「心理測定尺度集 V ~個人から社会へ (自己・対人関係・価値観) ~」, サイエンス社.

### <講座担当教員のコメント>

澤口夏未さんは、静岡サイエンススクールの STEP1, STEP2 で自然科学の幅広い知識・技術の習得に努め、STEP3 では認知科学分野での調査研究に挑戦しました。その果敢なチャレンジ精神と地道な作業を継続できる粘り強さは高く評価でき、今後の活躍が期待されます。

## UVB-induced DNA damage and its repair mechanisms using light

Akari Sasaki (Hachinohe-kita High School)

Dr. Jun Hidema, Prof. Atsushi Higashitani (Tohoku University)

### ◇Purpose of our experiment

DNA is damaged by UV exposure, but organisms have a mechanism that repairs damaged DNA. This repair mechanism uses CPD-photolyase and visible light. In this study, we carried out three experiments for examining relationship between wave-length of visible light and DNA repair.

1. UVB-induced DNA damage and its repair mechanisms using visible light.
2. Relationship between an organism without eyes and light.
3. An organism which uses UV light.

This research was carried out in UK-Japan young scientist workshop in which Global Science Campus took part (August 2014 , in Tohoku university.) . We continued to make modification to consideration of results partly.

### ◇Materials and methods

#### [Materials]

Two strains of *E.coli* (CPD photolyase overexpression/no CPD photolyase)  
Incubator / UV light / Germicidal lamp / Gilson pipette / Clean bench

#### [Methods]

UVB-induced DNA damage and its repair mechanisms using light.

- (1) Overnight culture of the two different strains of *E. coli* was dropped on each plate as a spot. We made 14 plates in total.
- (2) We irradiated UV light to each of these plates for following time.  
Control: No light  
UV treatment: 10, 20, 40, 50 or 60 seconds
- (3) After UV treatment, the *E. coli* on the plate was irradiated to white, red or blue light for 12 h. White light consists of various wave-length light.
- (4) The number of colonies on each plate was counted.
- (5) *C. elegans* was exposed to various light and its movement was observed.

### ◇Results and discussion

#### [UVB-induced DNA damage and its repair mechanisms using light.]

- Without UV exposure, no difference of the number of the colonies was observed in any of the plates.
- The number of colonies was reduced in proportion to the UV-radiation time. However, at a

any time, the CPD-photolyase-overexpressor produced more colonies than the strain without CPD-photolyase.

- When UV was irradiated for 30 seconds, the number of colonies was increased in the following order.
1. CPD photolyase + blue
  2. CPD photolyase + white
  3. CPD photolyase + red
  4. CPD photolyase + no light
  5. no CPD photolyase + white
  6. no CPD photolyase + blu
  7. no CPD photolyase + no light

From these results, we concluded that CPD photolyase repairs DNA damage using blue light.

#### **[Relationship of an organism without eyes, and light.]**

*C. elegans* responded strongly to blue and UV light that is harmful for it. It fled to escape from radiation of blue and UV light, but it did not avoid other light. This indicated that *C. elegans* distinguished harmful light such as blue or UV light from other light.

#### **◇Prospects for the future**

This research was carried out as part of revealing UV light effect on DNA and repairing processes. Although the experiments were performed with UV, red, blue and white lights, I would like to research more using various wavelength lights.

I would like to express my great gratitude to Mr. H.Sugisaki, Mr. R.Kida, Mr. N.Fukuchi, Mr. F.Taha, Mr. D.Toor and Mr. T.Ahad for their fruitful discussion in UK-Japan workshop in Tohoku University.

.....  
< Comment by the teacher who taught this research >

She was required to understand the principle of this research, conduct the experiments, and hold discussions in English, collaborating with other Japanese and UK high school students. She performed well in all aspects of their research. I highly appreciate the effort she has put into their study.

## 紫外線によるDNAの傷と光を利用した修復機構

佐々木あかり(青森県立八戸北高等学校 2年)

担当教員: 日出間 純、東谷 篤志(東北大学 生命科学研究所)

### ◇研究の目的・意義

生物は個々の生物種により”色”として認識できる光の波長が異なっている。したがって、私たち人間には見ることのできない紫外線や赤外線を使う生物も多く存在する。また、単に生物は光を色として認識(“見る”)するだけでなく、生きるために光エネルギーを有効に利用している。今回は様々な生物と光の関係性を調べるために3つの実験を行った

- ①紫外線によるDNAの損傷と光を利用した修復機構について
- ②目がない生物と光の関係性について
- ③人間には見えない紫外線を利用する生物

本研究は、グローバルサイエンスキャンパス事業も参加した日英 science workshop (平成26年8月に東北大学にて実施)において研究/発表したものであり、結果の考察の部分的な修正を継続して行った。

### ◇研究の方法・プロセス

#### ○「実験材料等」

- ・大腸菌 (CPD 光回復酵素有/CPD 光回復酵素無) ・定温器 ・殺菌灯 (UV 光源)
- ・青色光・赤色光 LED 光源 ・シャーレ・ピペットマン

#### ○「方法・プロセス」

##### ・「紫外線によるDNAの損傷と光を利用した修復」

1. 二種類の大腸菌 (CPD 光回復酵素有/CPD 光回復酵素無) をそれぞれ7段階の濃度に希釈したものを用意し、それぞれ1枚のシャーレ上の決まった場所に滴加とした。これを14枚用意した。
2. 紫外線を決まった秒数当て、その後光無し・青・赤・白の光を当てながら定温器で24時間ほど観察した。

|      | 光無し | 赤 | 青 | 白 |      | 光無し | 赤 | 青 | 白 |
|------|-----|---|---|---|------|-----|---|---|---|
| 0 s  | ○   | ○ | ○ | ○ | 40 s | ×   | × | × | ○ |
| 10 s | ×   | × | × | ○ | 50 s | ×   | × | × | ○ |
| 20 s | ×   | × | × | ○ | 60 s | ×   | × | × | ○ |
| 30 s | ○   | ○ | ○ | ○ |      |     |   |   |   |

- ・光を当てないもの、30秒当てたもの・・・各4枚
- ・10秒、20秒、40秒、50秒、60秒・・・各1枚
- ・白(様々な色の光が混ざったもの)・・・  
紫外線無し、10秒、20秒、30秒、40秒、50秒、60秒
- ・赤、青、光無し・・・紫外線当てない、30秒

##### ・「目がない生物と光の関係性」

- ・線虫に様々な色の光を当て、線虫の動きを観察した。

##### ・「紫外線を利用する生物」

- ・複数のモンシロチョウの中から、オスとメスだと勘で判断したものに紫外線を当て、観察した。

## ◇結果と考察

## ・「紫外線によるDNAの損傷と光を利用した修復」

コロニーの数

- ・紫外線を照射しない場合は、光の色によって生育する速度（コロニー数の変化）には差は無かった。
- ・紫外線を当てた時間に比例してコロニーの数が減った。ただし、どの時間においても、コロニー数は  
**CPD光回復酵素有 > CPD光回復酵素無**となった。
- ・紫外線を30秒当てたもので比較すると、次の順番でコロニー数が増えていた。  
CPD光回復酵素有の株 青 > 白 > 赤 > 黒

これらの結果から、CPD光回復酵素は青色の光を利用して、DNAの損傷を修復することが分かった。次に、ではどのようにCPD光回復酵素はDNAの損傷を修復するのかについて考察を行った。

まず、CPDはDNA損傷のうちの一つである。紫外線は高いエネルギーをもつため、分子の電子状態を変えることが出来る。よって、紫外線がDNAにあたるとDNAを構成する分子の結合様式を変えてしまう。すると、正確にタンパク質を作りだすことが出来なくなってしまう。この損傷をシクロブタン型ピリジン二量体（CPD）という。

この損傷を治す仕組みは2通りあり、**CPD光回復酵素**と除去修復経路（NER）である。CPD光回復酵素は哺乳類以外のすべての生物が持っており、早くこの損傷を治すことが可能である。CPDは青色の光を感知、吸収するアンテナを持っており、青色のもつエネルギーを使ってCPDを治す。

## ・「目がない生物と光の関係性」

線虫は青色と紫外線を照射したとき強く反応し、中心にいた線虫は光から逃げるかのように端に逃げた。他の色、たとえば赤を当てた時は、線虫はあまり動かなかった。

## ・「紫外線を利用する生物」

雌の羽が光り、メスだと判断できた。

## ◇今後の展望

今回は、人間が利用できない光の利用法について3つの点から調べた。CPD光回復酵素など今まで全く存在を知らなかったものについて実験、考察をすることが出来とても貴重な経験が出来たと思う。今回、主に使用したのは、紫外線・赤・青・白だったので、今後はもっと様々な波長の光で実験してみたいと感じた。

## ◇謝辞

本研究を行うにあたり、杉崎弘明（福島県立安積高等学校2年）、木田礼音（福島県立磐城高等学校2年）、福地成彦（宮城県立仙台第二高等学校2年）、Fatima Taha (UCL Academy)、Davandeep Toor (Seven Kings High School)、Tamanna Ahad (Seven Kings High School)の各氏と日英WSで実験考察を行いました。ここに感謝します。

.....  
 <講座担当教員からのコメント>本研究は、代表者ほか日英高校生6名が協力し、生物に及ぼす紫外線の影響などを観測し、議論を行った。結果の整理も含めすべて英語で準備実験、考察を行った点や、得られた結果の考察や、広く生体と光との相互作用に対して強く関心を持つなど高く評価できる点が多かった。

## コオロギの配偶行動解析 —もてる雄コオロギをもとめて—

野村 公平 北口 智也 (兵庫県立三田祥雲館高等学校 2年次)  
井關 敦史

### ◇研究目的

我々は2013年9月より、コオロギの配偶行動の解析を行っている。本研究は昆虫が進化の過程でどのように生き残り戦略をとってきたかを考える上で重要であると考えている。

コオロギの雄は誘引歌を奏で雌を呼び寄せ、雌と出会うと求愛歌を奏でながら雌に求愛し交尾に至る。雌がそれに応じてくれないときには誘引歌と求愛歌を繰り返し求愛を行うこともある。我々がこの行動を観察している際、雄が雌に求愛すると雌がすぐにそれに応じて交尾に至る「もてる雄」と、なかなかそれに応じてくれない「もてない雄」がいることに気づいた。そこで「もてる雄」と「もてない雄」の違いを検討した。

### ◇方法・結果および考察

動物は一般的に強い個体が子孫を残す傾向がみられる。コオロギでは雄どうしが出会うと闘争行動が見られ、勝った雄は闘争歌を奏で、負けた個体は勝った相手から遠ざかる回避行動をとる。そこでどのような雄が闘争行動に強いのかを検討するため、雄12個体を総当たりで闘わせ勝った個体にはポイント1を与え、負け、または判定不能の場合には0ポイントと得点化し、勝敗ポイントと体重、勝敗ポイントと体長の相関を検討した。その結果、雄の闘争行動では体長・体重の大きい個体が勝つ傾向が見られた。

次に雌雄32対で、雄が求愛し始めてから交尾に至るまでの時間を測定し、雄の体重および体長との相関を検討した。その結果、体長・体重と求愛時間には相関が見られなかったことからコオロギの場合、闘争行動における強弱、体長・体重の大小は「もてる」「もてない」に関係がないことが示唆された。

では何が「もてる」「もてない」を決めるのか。そこで片翅を切り落とし鳴けなくした雄が交尾に至るか、聴覚器を機械的に破壊した雌を用いた場合では交尾に至るのかを検討したところ、ほとんど交尾に至らなかった。このことから交尾には聴覚刺激、つまり雄の発する誘引歌もしくは求愛歌が必要であることが明らかになった。

そこでまず、求愛を始めて60秒以内に交尾に至った「もてる雄」10個体と300秒以上求愛に要した「もてない雄」10個体の誘引歌を音声解析ソフトを用いて解析した。誘引歌の音の周波数帯を調べた結果、強く出ている音の周波数帯は個体によって多少の違いが見られたが、誘引歌では、およそ4000Hz～6000Hzにピークをもつ音とその倍音の8000Hz～12000Hzの音が中心となっていた(図1)。これは「もてる雄」も「もてない雄」も共通で、同様の結果であった。また、各個体の誘引歌における連続したチャープ3つを無

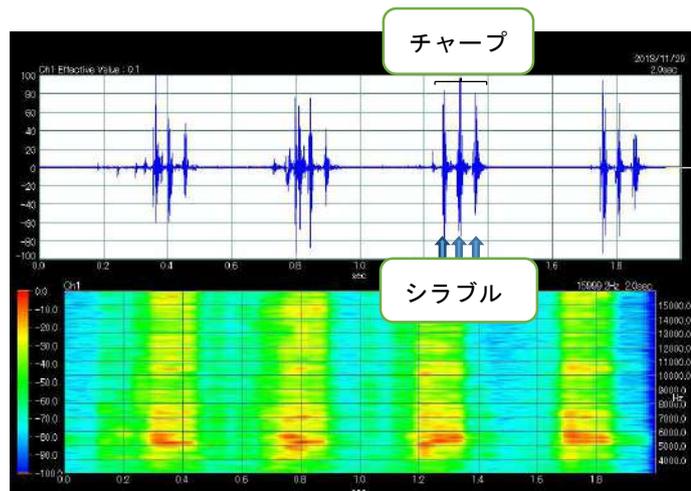


図1 誘引歌の周波数帯 音圧をスペクトルで示し、赤色になっている周波数の音が強く出ている。

作為に抽出し、そのチャープ内のシラブルの数、シラブルとシラブルの間隔、チャープの長さ、チャープとチャープの間隔についても検討した。その結果「もてる雄」も「もてない雄」もそれにも大きな違いがないことが明らかになった。同様に求愛歌の解析を行った。「もてる雄」と「もてない雄」各個体の求愛歌におけるシラブルを無作為に3つ抽出し、シラブルとシラブル

の間隔を比較したところ、かなりばらつきがみられるものの大きな違いは見られなかった。次に求愛歌における出ている音の周波数帯について解析を行った。求愛歌では「もてる雄」と「もてない雄」で違いが見られ、「もてる雄」では誘引歌で強く出ていた4000Hz~6000Hzの音圧が小さくなり、13000Hz~16000Hzの高い音が強く出ている(図2)。しかし、それに対して「もてない雄」では13000Hz~16000Hzの高い音が強く出ておらず、誘引歌で出ている4000Hz~6000Hzの低い音が求愛歌に切り替えてもかなり残っているという特徴が認められた(図3)。このことから求愛歌で高い音を出せる雄が「もてる雄」、高い音が出せず低い音で求愛するのが「もてない雄」であることが明らかになった。

さらにそれを検証するために以下の実験を行った。「もてない雄」の片方の前翅を切り取り鳴けなくし、正常な雌とともに容器に入れ、容器の上にスピーカーを置きスピーカーから「もてる雄」の求愛歌を流した結果、雌は「もてない雄」の求愛にすぐに応じ交尾に至った。このことから、求愛歌は求愛している雄自身が鳴かなくても、高い周波数の求愛歌であればスピーカーから流したもので雌は反応し、すぐに求愛に応じてくれることが明らかになった。

そこで人工的につくった求愛歌でも交尾するのではないかと考え、低周波発信器から出した5000Hzと14000Hz音を録音し、これを求愛歌に似せて編集し、人工求愛歌を作成した。この人工求愛歌を用いて片方の前翅を切り取った雄と正常な雌を容器に入れ、雄が雌に求愛を始めたからスピーカーからこの求愛歌を流すことを行い、交尾に至るまでの時間を測定した。その結果、明らかに14000Hzの人工求愛歌を流したもので速く交尾に至った。このことから雌は高い音で求愛歌を奏でる雄に対して交尾に応じるといえる。

#### ◇今後の展望

最終脱皮後の日齢により求愛歌の周波数帯が変化をするのかを調べ、変化しないのであれば個体によりどうして音の違いが生じるのか、そのメカニズムの解明を試みたい。また日齢により周波数帯が変化するのであれば、最も雌に好まれる求愛歌を人工求愛歌で作成し、それと同様の求愛歌が最終脱皮後何日目に現れるかを今後の課題とする。

#### ◇参考文献

青沼仁志他共著 鈴木範男編 (2009) 身近な動物を使った実験4, 三共出版, 43-73

#### <講座担当教員のコメント>

発想がユニークで結果もクリアである。今後、適応進化の観点から探究していくことを期待する。

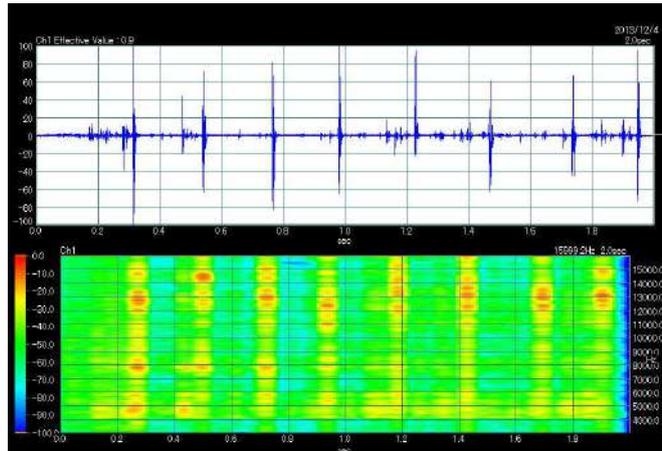


図2 「もてる雄」の求愛歌

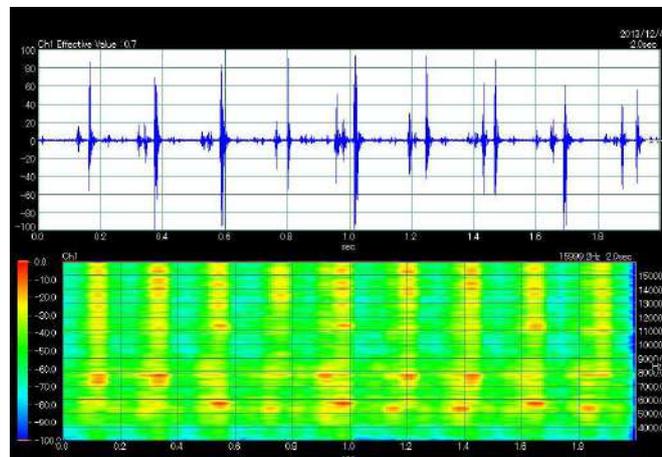


図3 「もてない雄」の求愛歌

## LEG PROPOSES, ANTENNA DISPOSES

Antennae ultimately determine the turn direction of the pill bug

Yasuhito Hayashi (Takaoka High School, Toyama, Japan)

Dr. Youichi Kainou (University of Tsukuba)

## ◇ Question or Problem being addressed.

*Isopoda* have a tendency to alternate turns (Kupfermann 1966; Hughes 1967), or to turn in the opposite direction from their preceding turn. This behavior was well studied in Woodlice *Porcellio Scaber* (Hughes 1967), and was believed to be caused by a bilaterally asymmetrical leg movements (BALM) mechanism (Hughes 1985; Hughes 1989). Their antennae are very short and were not considered to be important for their movement. In fact, the contribution of antenna was clearly rejected by Hughes (1985).

However, in my observations, I have noticed that one antenna always touches an obstruction just before the bug turns. Consecutive T-junctions were previously used in the study of such alternate turn behavior (Hughes 1967; Hughes 1985; Moriyama 1999). They were also used in my previous study, in which I showed that pill bugs do not enter T-junctions from the front. Instead, they enter at an angle of approximately 30 degrees. Since, such an angle causes contact unequal for antennae on either side of the bug, a new setup was required for studying alternate turn behavior.

## ◇ Hypotheses

To reveal the role of antenna in alternate turn behavior by equalizing the frequency of right and left antennal contact, I excised the antennae. Through this study, I believed the role of antennae in alternation turns became apparent.

## ◇ Methods

## Setup for behavioral assay

Pill bug behavior was observed and recorded by video camera in the following three setups. Bugs were collected from the backyard of my house (Tonami City, Toyama Prefecture, Japan).

Setup 1. Conventional T-junction course.

Setup 2. Novel T-junction course (Fig.1).

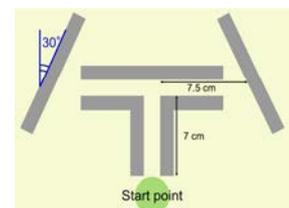
Setup 3. Circular arena (Fig.2).

## ◇ Procedures

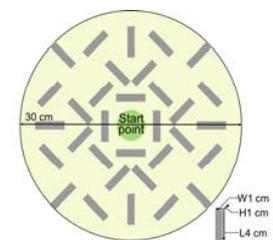
*Experiment 1:* Setups 1 and 2 were used. Bugs were released at the start point, after which the turn directions at the second branch point was counted. By analyzing the resulting video sequences, the turn angle was measured.

*Experiment 2:* Bugs, from which the left or right antenna has been excised, will be released in the same process used for Setups 1 and 2, then examined in the same manner as Experiment 1.

*Experiment 3:* Bugs in three conditions (with both antennae, with one antenna removed, and with both antennae removed) were prepared. These bugs are to be released at the center of Setup 3 and recorded for three minutes. By analyzing the obtained video sequences, total travel, walking velocity, and movement range were measured. Then, the significance of antenna in alternate turn behavior was discussed.



**Fig.1** Novel T-Junction course. In this course the angle of the Second branch is offset at an angle of 30 degrees to correct the approach angle.



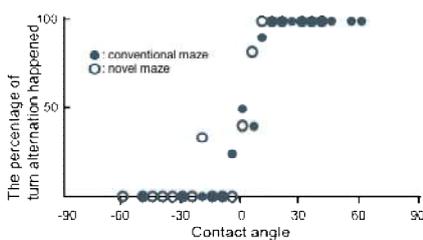
**Fig.2** Circular Arena. In this arena, pill bug will be Released at the center of Setup 3 and record their Movement for three minutes.

## ◇Results

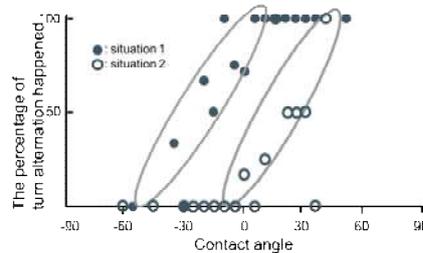
*Experiment 1:* We first examined a relationship between the occurrence of alternate turning and the contact angle with a wall. 71.9% of bugs showed alternating turn (N=57) in the conventional T-junction course. However, In setup2, the number of pill bugs showing alternating turn decreased to 44.6% (N=71). A scatter plot from these two data showed that the alternating turn undergoes big influence in the contact angle (**Fig.3**).

*Experiment 2:* Bugs excised either of antennae were released at the T-junctions used in Experiment 1 (Fig.1). Pill bugs always turned to opposite side of removed antenna irrespective of preceding turn direction. (Number of sample 153) (**Fig.4**). These results strongly suggest that antenna determined the turn direction of pill bug.

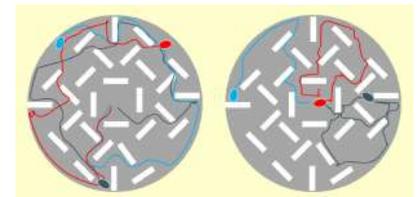
*Experiment 3:* As a result, average moving speed differed in each maze. About this result, I could not ignore the effect of antenna cut. However, the difference of trajectory are clearly appears. I observed the behavior of slanting to opposite sides from the preceding turn in all types of pill bug (with both antennae; without both antennae). But in the pill bug without antennae, many individuals loops and crossing their path. It seems that antennae has a role to expand the field they can cover. It can be said in the location of a lot of obstruction, it is optimized to be moved with less momentum (**Fig.5**).



**Fig.3** The percentage of alternating turns in Experiment 2 was determined and converted to the scatter plot. Both setups show the alternating turn rates at contact angles of around 0°.



**Fig.4** The percentage of the alternating turns in Experiment 2 was determined and converted to a scatter plot. The contact angle at Situation 1 is larger than that for Situation 2 when the focus on the alternating turn occurred.



**Fig.5-A** Pill bug with antennae

**Fig.5B** Pill bug without antennae

## ◇Discussion

BALM makes body axis tilt. Antennae determine turn direction. Therefore BALM lead to antennal contact and the contact is critical for turn alternation.

## ◇Outlook

The behavior likely to be controlled by the antennal contact through a central nerve. Therefore, as the next step, we need neurophysiological approach.

## D. Bibliography

- (1) Hughes, R. N. (1967). Turn alternation in woodlice *Animal Behavior*, 15, 282-286.
- (2) Hughes, R. N. (1985). Mechanisms for turn alternation in woodlice : The role of bilaterally asymmetrical leg movements. *Animal Learning & Behavior*, 13, 253-260.
- (3) Hughes, R. N. (1989) Phylogenetic comparisons. In W. N. Dember & C. L. Richman (Eds), *Spontaneous alternation behavior*. New York: Springer. pp. 39-57.
- (4) Hughes, R. N. (2008) An intra-species demonstration of the independence of distance and time in turn alternation of the terrestrial isopod, *Porcellio scaber*. *Behavioural Processes*, 78, 38-43.
- (5) Kupfermann, I. (1966). Turn alternation in the pill bug . *Animal Behavior*, 14, 68-72.
- (6) Moriyama, T. (1999). Decision-making and turn alternation in pill bugs . *International Journal of Comparative Psychology*, 12 (3), 153-170.

## LEG PROPOSES, ANTENNA DISPOSES

Antennae ultimately determine the turn direction of the pill bug

林 靖人 (富山県立高岡高等学校 3年)

戒能 洋一 先生

## ◇研究の目的・意義

オカダンゴムシをはじめとするワラジムシ目は、迷路を歩かせると分岐の度に左右交互に曲がる、交替性轉向反応という行動を示す (Kupfermann 1966; Hughes 1967)。この行動は轉向の際に、片側の脚に負荷がかかることによっておこるとされ (Hughes 1985; Hughes 1989年)、触角は関与しないとされていた (Hughes 1989)。しかし、私の観察の中で、連続的なT字型迷路において、ダンゴムシが曲がる直前に、曲がる反対側の触角が障害に触れるということに気づいた。また、ダンゴムシがT字迷路で2回目に曲がる際、角度 (およそ  $30^\circ$ ) をもって入ることに気付いた。そこで、この角度による触角の触れ方の違いがオカダンゴムシの交替性轉向反応を起こす原因ではないかと考え、「交替性轉向反応は最終的に触角の触れ方によってひきおこされる。」という仮説を立てた。

## ◇研究の方法・プロセス

私は、左右の触角の接触の頻度を平均化することによって交替性轉向反応における触角の役割を明らかにできると考えた。そこで、T字型迷路の2回目の分岐で壁面を  $30^\circ$  傾け (Fig.1)、オカダンゴムシができる限り壁と垂直にぶつかるようにした。また、その迷路を用いて、触角が両方ある場合と、片側みの場合でどのように動きが異なるかを調べた。オカダンゴムシは私の家 (砺波市、富山県、日本) の裏庭で収集したものを用いた。行動の分析はビデオカメラによって記録し、録画映像から接触した瞬間の写真を切り取り、接触する角度を求めた。

実験1: 2度目の分岐の壁面が垂直なものと、Fig.1の迷路を用い、触角が両方ある個体で調べる。

実験2: Fig.1の迷路で、触角が右のみの個体、左のみの個体で調べる。

実験3: T字迷路を使わず、Fig.2のフィールドを用いて、触角が両方ある個体の動きと、触角が片側だけの個体の動きを比較する。

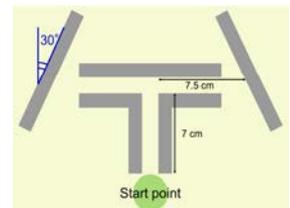


Fig.1 Novel T-Junction course. In this course the angle of the second branch is offset at an

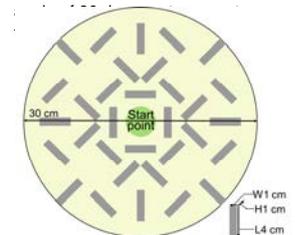


Fig.2 Circular Arena. In this arena, pill bug will be released at the center of Setup 3 and record their Movement for three minutes.

## ◇結果と考察

## 実験1

オカダンゴムシをT字迷路に放し、接触する角度と轉向反応とを観察したところ、71.9%が交替性を示した (サンプル数 57)。壁面の角度をかえた迷路 (Fig.1) では交替性は44.6%に下がった (サンプル数 71)。二つのデータを接触の角度と轉向反応とで散布図にしたところ、交替性は接触角度によって大きな影響を受けていることが分かる (Fig.3)。

実験1より、2回目の分岐点が  $90^\circ$  の場合も  $30^\circ$  角度を持たせた場合も、接触する角が  $0^\circ$  (壁に垂直にぶつかった) を境に曲がる方向が変わることがわかった。このことから、左右どちらの触角が接

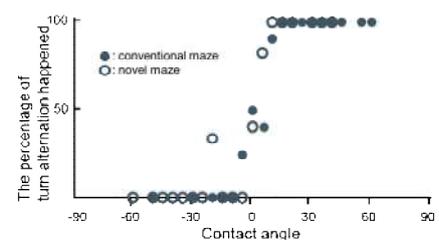


Fig.3 The percentage of alternating turns in Experiment 2 was determined and converted to the scatter plot. Both setups show the alternating turn rates at contact angles of around  $0^\circ$ .

触するかが交替性転向反応に重要であると考えられる。

### 実験 2

片方の触角を切除したオカダンゴムシを Fig.1 の迷路に放し、交替性転向反応を示す側の触角がない場合と逆の触角がない場合の接触する角度と転向反応とを観察し比較した。その結果、残っている触角とは反対側への有意な転向が見られた(サンプル数 153) (Fig.4)。

実験 2 よりオカダンゴムシの転向には触角が関わっているとする仮説が強く支持された。

### 実験 3

Fig.3 のフィールドの中央に、両方の触角がある個体、両方の触角を切除した個体をそれぞれ放し、一定時間での移動の様子を観察した。Fig.5 はそれぞれにおける典型的な例 3 つを取り出したものである。

両方の触角がある個体は、放された場所から遠ざかり、フィールドの外側に沿って回っていく傾向がみられた (Fig.5-A)。また、両方の触角を切除した個体は、一定時間での移動距離が小さく、放された場所に戻るような動きとなるものが多かった (Fig.5-B)。

これらのことから、オカダンゴムシが最終的に曲がる方向を決めるのは、触角であることが分かった。また行動範囲が大きく変わることから、触角は交替性転向反応に大きく関与すると考えることができる。

### ◇今後の展望

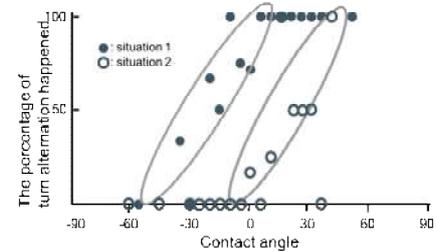
今回の結果から、オカダンゴムシの曲がり方については、触角の接触情報により中枢神経がコントロールしていると考えられるため、今後はオカダンゴムシの動きを神経生理学的なアプローチで解析したい。

### ◇主要参考文献

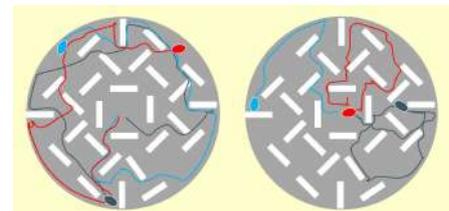
1. Hughes, R. N. (1967). Turn alternation in woodlice (*Porcellio scaber*) *Animal Behavior*, 15, 282-286.
2. Hughes, R. N. (1985). Mechanisms for turn alternation in woodlice (*Porcellio scaber*): The role of bilaterally asymmetrical leg movements. *Animal Learning & Behavior*, 13, 253-260.
3. Hughes, R. N. (1989) Phylogenetic comparisons. In W. N. Dember & C. L. Richman (Eds), *Spontaneous alternation behavior*. New York: Springer. pp. 39-57.
4. Hughes, R. N. (2008) An intra-species demonstration of the independence of distance and time in turn alternation of the terrestrial isopod, *Porcellio scaber*. *Behavioural Processes*, 78, 38-43.
5. Kupfermann, I. (1966). Turn alternation in the pill bug (*Armadillidium vulgare*). *Animal Behavior*, 14, 68-72.
6. Moriyama, T. (1999). Decision-making and turn alternation in pill bugs. *International Journal of Comparative Psychology*, 12 (3), 153-170.

### <講座担当教員のコメント>

ダンゴムシの交替性転向反応が外因性であることが示された結果と言えるだろうが、内因性が完全に否定されたわけではない。雄ガの性フェロモンへの定位飛翔にもジグザグ飛翔がプログラムされているように中枢神経からの制御があってもおかしくない。今後、神経生理学的アプローチが進めば解明されるであろう。



**Fig.4** The percentage of the alternating turns in Experiment 2 was determined and converted to a scatter plot. The contact angle at Situation 1 is larger than that at Situation 2 when the focus on the alternating turn occurred.



**Fig.5-A** Pill bug with antennae

**Fig.5-B** Pill bug without antennae

## 過去と未来をつなぐ骨Ⅱ・・・ニホンジカ頭骨の成長の仕方

青木 至人 (長野県上田高等学校 1 学年)

国立科学博物館 川田 伸一郎

### ◇研究の目的・意義

2006年(小学2年)4月、一頭のキツネの骨と出会い、骨から、動物の生きていた時の様子までわかることに感動し、骨の研究をはじめた。9年間で、20種類の身近な野生動物の骨格標本作製し、骨の特徴を比較し、骨から見た動物の暮らしや姿の研究を続けてきた。

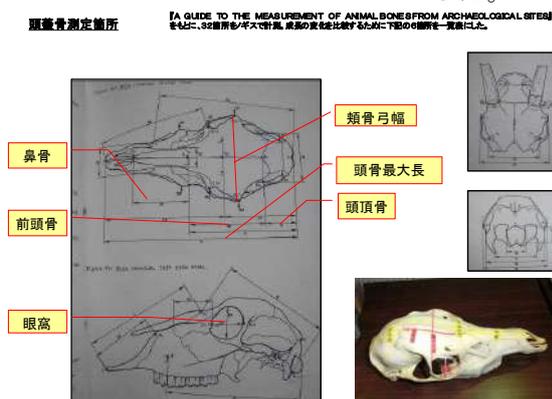
太古の脊椎動物の姿は化石となった骨から知ることができ、現在のさまざまな動物の骨の形も過去から未来への進化の途中と考えることができる。骨の研究は、生物の環境適応と進化の関係を知り、刻々と変化する地球環境と、生物の未来を考える上で鍵となり、宇宙での生存へのヒントにもなりうる。2010年「過去と未来をつなぐ骨Ⅰ…野生動物の頭骨比較」として、主に哺乳類の頭骨に見られる特徴と生態の関係について、縫合線単位で、頭骨の計測をし、生活の仕方によって、頭のどの部分が、より発達してきたかを研究し、発表した。その後の研究過程で、急増するニホンジカ等野生動物による被害、駆除の現状を知り、ニホンジカが、人間のせいで増え過ぎ、人間の都合で殺されていることを深く考えさせられ、彼らの生きていた記録を残そうと、2009年より、害獣駆除、及び狩猟で捕殺されるニホンジカ等の頭骨の骨格標本作製し、捕獲年、雌雄、計測データを記録、どのような特徴や個体差があるかを調査してきた。また浅間山個体群及び八ヶ岳個体群の食害、踏み荒らしなどの被害、対策のフィールド調査を行った。本研究は基本的に個人の自由研究として行っている。

現在は、ニホンジカの調査を継続しつつ、イノシシ、ツキノワグマの標本化と計測を終え、データを分析中である。哺乳類の頭骨においてそれぞれの役割を持った骨が、どのように成長していくのか、発生と成長という観点からも研究して進化の謎にも迫りたいと考えている。

今回の研究目的は、200個体のニホンジカ頭骨の骨格標本作製とデータを記録し、成長に伴い頭蓋のどの部分がどのように変化するかを調査である。

### ◇研究の方法・プロセス

- (1) **材料の収集**・・・ニホンジカの狩猟、駆除にあたっては地元猟友会から処分されるシカ頭部を入手。
- (2) **骨格標本作成**・・・主に、2つの方法で、骨格標本作製。
  - ① 皮むき → ネットに入れる → 炭酸水素ナトリウム入り鍋で煮る → 骨洗い → (過酸化水素水につけ漂白) → 乾燥
  - ② 砂、土に埋める(半年～1年) → 掘り出し → 骨洗い → 乾燥・保存
- (3) **標本整理・計測**・・・乾燥した標本は、データ番号をつけ、計測しグラフ化する。
- (4) **フィールド調査**・・・標本にしているニホンジカの生息地、長野県東信地域の八ヶ岳個体群、浅間山個体群の食害、踏み荒らし等の現状を調査した。



標本化した 200 個体のニホンジカ頭骨

## ◇結果と考察

200 個体中、比較箇所欠損等のない 177 個体について、計測したデータを下に、頭骨最大長の成長に伴う、他の該当部位の骨の成長を、散布図及びグラフ (図 1～3) にした。図 1～3 から明らかなとおり、頭骨最大長に対する他の骨の成長の割合は、部位ごとにそれぞれ異なることがわかり、近似曲線 (図 2、図 3) で見ると、成長率が明らかになった。最も変化の大きい頭骨最大長の成長の内訳を見ると、鼻骨、前頭骨、頭頂骨の順に成長の比率が高く、鼻が縦に伸びる形で成長していた。眼窩は、幼体時からほとんど大きさが変わらず、子供のシカの眼が、大きく感じるのは骨格上根拠があるといえる。最小個体の計測値を 100% としたときのその他の骨の計測値の比率からも、それらは裏付けられた。

ニホンジカ頭骨を集め始めて 5 年になり、標本化には 4 年かかったが、200 個体分の計測値から様々な特徴を読み取ることができ、頭骨の成長の仕方を解明できた。幼体時から、成長と共に変わる必要がないほど眼が大きいのは、草食動物として、天敵をいち早く発見し、身を守るためではないかと考える。頭骨最大長は成長するにつれて、鼻骨、前頭骨、頭頂骨の順に成長率が高くなっていくが、急に鼻骨、前頭骨が長くなりだす時期がある。年齢査定できていないので、月齢は明らかではないが、歯のすり減りなどから、その時期は、哺乳期から、草食期への移行時期ではないかと想像できる。ニホンジカ頭骨の 6 箇所計測値からだけでも、ニホンジカも他の哺乳類の頭骨と同じく、餌をよりとりやすく、より食べやすく、より身を守りやすく生き抜いた結果、進化した姿であると読み取ることができた。フィールド調査では、標本にしたニホンジカの生息地、長野県東信地域の八ヶ岳個体群、浅間山個体群での食害等の現状が明らかになった。

## ◇今後の展望

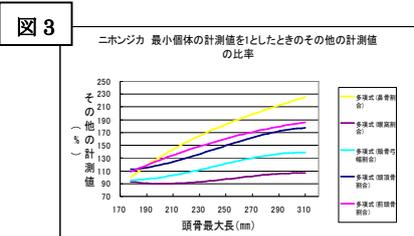
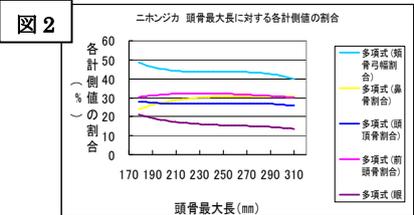
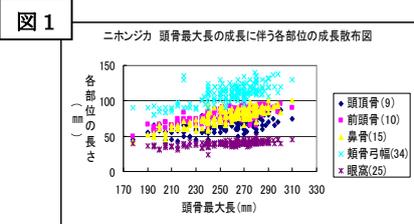
現在の駆除状況であれば、本州のニホンジカは、2025 年度には、500 万頭になるというのが環境省の試算である。ニホンジカの急増に伴う農林業被害や生態系への影響が懸念されるが、ニホンジカそのものの実態調査の必要も大いにあると考える。長野県でも増加が激しい地域では、すでに個体の小型化も始まっており、継続研究することで、過密条件における小型化の推移や生態系への影響を知ることができる。また、調査から他の野生動物でも、頭骨最大長の成長の比率の中で、頭頂骨の成長率は他の部位よりも低いことがわかってきた。今後、よりサンプル数を増やし、データ解析を進めると同時に縫合線の癒合状況、年齢、雌雄の違いなどから、野生動物の頭骨と脳の関係、発生と成長、骨の進化や環境適応について、より詳しく調査を重ね、研究を深めたい。これらは、地球環境の変化に伴う進化の過程の手がかりとなり、われわれを含む地球上のすべての生き物の未来を考える鍵になると考える。

## ◇主要参考文献

『A GUIDE TO THE MEASUREMENT OF ANIMAL BONES FROM ARCHAEOLOGICAL SITES』ANGELA VON DEN DRIESCH 著・『日本産哺乳類頭骨図説』阿部 永 (北海道大学出版会)・『家畜比較解剖図説』上巻 加藤嘉太郎 (養賢堂)

## &lt;講座担当教員のコメント&gt;

標本収集が困難な大型哺乳類であるニホンジカの標本数に驚かされた。こうした成長等個体変異に関する研究は、それなりの標本数がなくては成立しない。収集した標本を計測し、全長との比較から眼窩を含む顔面頭蓋の成長が早いことに関する考察も納得ができ、評価点としてあげられる。



## ヒヨコのお母さんになるには —「すりこみ」を確かめる—

発表者：渡邊 舞咲（静岡県浜松市立広沢小学校 6年）

担当教員：仲村 篤志（浜松市立蜷塚中学校）

### ◇研究の目的・意義

小学校1年生の時、河原でカモの卵を拾ったことをきっかけに鳥のふ化に興味をもった。野鳥の卵は手に入らないので、ニワトリの有精卵を使い観察した。温め始めて21日目にヒヨコが誕生した。ふ化したヒヨコが私について歩く様子を見た兄から学校で習ったコンラートローレンツの「すりこみ」の話聞いた。私もヒヨコのお母さんになれるかもしれないと考え、実際に自分の目でもっと詳しく確かめてみたくなった。卵を上手にふ化させる方法を工夫して、たくさんのヒヨコに協力してもらい「すりこみ」ができる条件を実際に確かめた。

### ◇研究の方法・プロセス

(1)ふ化したヒヨコに協力してもらい「すりこみ」を確かめる。



図1 卵からふ化したヒヨコ 図2 お母さん(左)について歩くヒヨコ(右) 図3 親実験に使う黒トリぬいぐるみ

- ① うまれて最初に見た動くものに本当に「すりこみ」をするのかを実験で確かめる。
  - ② 色や細かな違いがわかり「すりこみ」をしているのかを実験で確かめる。
  - ③ 自分と同じぐらいの大きさのものにも「すりこみ」をするのかを実験で確かめる。
- (2)「すりこみ」成立と聴覚の関係を調べる。
- ① 声、音の種類は関係あるのか (ex・天敵・ニワトリ・ヒヨコ・人)
  - ② あるお母さんに「すりこみ」をしたヒヨコは、そのお母さんが姿は同じで別の声をもつお母さんになった場合にはどのような行動をとるか観察する。
  - ③ 暗くて視覚がきかない時、鳥目といわれるヒヨコは「すりこみ」をしたお母さんを判別してついていけるのか実験する。また、その時聴覚の役割はどうかを検証する。
- (3)「すりこみ」は取り消せるのか
- ① 完成した「すりこみ」を取り消し、もう一度「すりこみ」し直すことができるのかを実験で確かめる。
  - ② 再「すりこみ」が可能ならその条件を探る。

### ◇結果と考察

(1)「すりこみ」を確かめる

- ① ヒヨコはふ化して初めに見た動くものに確かに「すりこみ」をすることが確認できた。
- ② ヒヨコは細かい特徴や色までを一瞬で記憶して「すりこみ」するわけではなかった。
- ③ 自分と同じ大きさのぬいぐるみ、仲間のヒヨコ、人間の手にも「すりこみ」をした。

## (2) 「すりこみ」成立と聴覚の関係

## ①声、音の種類は関係あるのか (ex・天敵・ニワトリ・ヒヨコ・人・ラジコンカー)

ニワトリとヒヨコの声には常にコミュニケーションをとるような反応が見られる。ヒヨコは本能的にお母さんや仲間の声を知っているようだ。一方、天敵の声は本能で知っているわけではなく、学習によって獲得するようだ。他の声には反応がないが、ヒヨコの声に応えるように人(私)の声で応じるとその声にまた応えるように鳴く。

②あるお母さんに「すりこみ」をしたヒヨコは、そのお母さんが姿は同じで別の声をもつお母さんになった場合には「すりこみ」をしていた親ではなくニワトリ、ヒヨコの声をもつお母さんについていった。

③暗い時、鳥目といわれるヒヨコは「すりこみ」した親を判別してついていくことはできなかった。呼ぶように鳴き、聴覚でお母さん確かめようとした。

## (3)すりこみは取り消せるのか

## ①完成したすりこみを取り消して再度「すりこみ」ができた。

表1 元母or 継母のどちらについていくか ついて行った方に

| 子 \ 母 | 初めにすりこんだ(元母) | 再度すりこませる親(継母) |
|-------|--------------|---------------|
| ヒヨコA  | ぬいぐるみ+ラジコンカー | ヒヨコF          |
| ヒヨコB  | ぬいぐるみ+ラジコンカー | 人の手           |
| ヒヨコC  | ヒヨコG         | ぬいぐるみ+ラジコンカー  |
| ヒヨコD  | 人の手          | ヒヨコH          |
| ヒヨコE  | 人の手          | ぬいぐるみ+ラジコンカー  |

②ヒヨコが本能で知っているお母さんや仲間の声、温かさ、保護をしてくれるようなコミュニケーションが成立する相手をより最適なお母さんと判断し再「すりこみ」が可能となった。

## (4)まとめ

見たものをすぐに完璧に「すりこみ」するわけではなく、一瞬ではヒヨコのお母さんにはなれない。まず大まかな認識、そして声、温かさ、においなどを繰り返し経験することで完成する。ローレンツ博士のクマガラスの結果とは異なり、ヒヨコでは一度完成した「すりこみ」が変更できた。ヒヨコの「すりこみ」の第一条件は最初に繰り返し見た動くものではあるが、自分の声に反応するように反応したり、温かかったり、保護をしてくれるようなコミュニケーションが成立する相手を最適なお母さんとして判断しているのだと思う。ヒヨコが本能的に知っている親に近いものを認識した時、再「すりこみ」が可能となるのだろう。

## ◇今後の展望

「すりこみ」が強いといわれるカモとアヒルを交配したアイガモやふ化までの時間が短いウズラについても「すりこみ」を確かめ、お母さんになるための条件を比べてみたい。

## ◇主要参考文献

- 1) ソロモンの指輪 動物行動学入門 K・ローレンツ 早川書房 1987
- 2) ハイロガンの動物行動学 K・ローレンツ 大川けい子訳 平凡社 1996
- 3) ニワトリの動物学 岡本新 東京大学出版会

## &lt;講座担当教員のコメント&gt;

動物行動学の「刷り込み」は学問として学習する内容ではあるが、高校・大学でも実験で確かめる機会はほとんどない。小学生がニワトリ卵のふ化に挑戦し、しかも「刷り込み」の条件を解明したことは驚きである。「刷り込み」の必要性、いつまで再「刷り込み」できるのか、アイガモやウズラの「刷り込み」など、今後の研究に期待したい。

## スペクトルを用いたイチョウの成長段階の観測 Estimation of growth stage of ginkgo trees based on spectrum

Ayane Hasegawa (Sapporo Keisei junior), Masato Nakahara\*<sup>1</sup> (Asahikawa Nisi, junior),  
Shigeru Fujita\*<sup>2</sup>(Sapporo Minami, junior), Yurino Ishida (Asahikawa Higashi, junior),  
Devon Dublin (TA), Halley Menezes (TA), Naufal Rospriandana (TA) Yuka Oginio (TA),  
担当教員 Yukihiro Takahashi(PhD. , Professor)

### ◇研究の目的・意義

今日、世界の人口は70億人を越し、これからも人口増加は続いていくことが予想される。そこで問題になってくるのは、食料生産、つまり農業である。本研究では、スペクトル（光の波長ごとの強度分布）を用いて植物の成長段階を調べる方法の確立を目指す。今回は、日本全土に分布しているイチョウを利用し、銀杏の成長とスペクトルの関係を調べる。もしスペクトルとイチョウの成長段階の関係性が確認できれば、衛星でのリモートセンシング（遠隔撮影）による成長段階の測定に道が拓ける。さらにこうした研究が進展すれば、最終的に農業技術の発展に貢献できると考えている。

### ◇研究の方法・プロセス

イチョウの波長ごとの反射率（反射スペクトル）を観測するため、分光器による反射スペクトルの測定と ImageJ\*<sup>3</sup>を用いたデータの解析を行った。

#### ・イチョウのスペクトルの計測方法について

スペクトルを測定する際に、携帯端末のインカメラを使用する分光器を使った。（図1、2）尚、この分光器はおよそ380-750nmの可視光線の波長を測定できる。



図1 実物

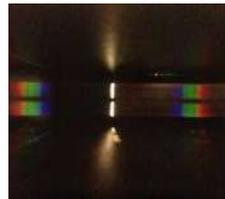


図2 使用イメージ

- ① 測定の前後に蛍光灯のスペクトルを、分光器を使用して測った。（波長方向にずれがないかを確認するため）

分光器を取り付けた携帯端末のカメラを蛍光灯に向けて撮影した。

- ② 白い画用紙で太陽のスペクトルを測った。

画用紙に太陽の光が当たるようにし、画用紙に分光器を取り付けた携帯端末のカメラを向けて撮影した。この時、撮影対象となる画用紙は毎回同じものを使用した。

分光器と画用紙との角度を携帯端末のアプリ(水準器プラス

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wasserwaage&hl=ja>)を使用して測定した。

#### ※撮影時の注意

太陽光線の反射角の延長上や水平すぎる角度に照準を合わせてはいけない。太陽光がそのまま反射しているから。（図3）

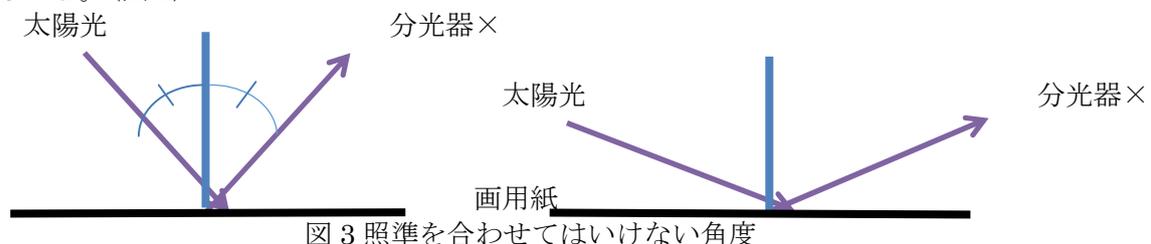


図3 照準を合わせてはいけない角度

- ③ 対象物のスペクトルを測った。

画用紙に対象物をのせ、手順②と同様に測定した。

※分光器の穴が小さいため視野が広いので分光器の先に白い筒をつけ視野の広さを制限し、レー

レーザーポインタを用いて分光器の照準がどこを向いているかを調べた。

④ 計測を行った日の天候や気温、湿度また、太陽高度を記録した。

※ 太陽高度は、kelsan(<http://keisan.casio.jp/>) のデータを使用した。

今回対象物としたのは、イチヨウの葉と樹木全体である。

・測定場所と測定時刻は

藤田 札幌市営地下鉄自衛隊前駅前（札幌市南区）のイチヨウ（7：30 頃、14 時頃）

中原 旭川西高校校門前（北海道旭川市川端町）のイチヨウ（8：00、12：00 頃）

長谷川 啓成高校登校時に通るイチヨウ（札幌市厚別区）（16：00 頃）

調査期間は 10 月 11 日から雨などの日を除いてほぼ毎日

・ソフトによる画像解析

ImageJ というソフトウェアを利用して、イチヨウ反射率のグラフを作成した。

イチヨウの反射率=イチヨウの葉または樹木の反射スペクトルの値/画用紙の反射スペクトルの値

この計算によってイチヨウの反射率を求めることができる。この値をエクセルに入力しグラフ化した。

このグラフとイチヨウの成長段階（銀杏の成長や、イチヨウが葉を落とす時期など）と比較した。

※ スペクトルの写真やグラフは Dropbox\*4 を用いてメンバーで共有した。また、会議は Google+ ハングアウト\*5 を用いた。

#### ◇結果と考察

イチヨウの葉のスペクトルの測定については方法通りに行い、現在のところ 13 日分のデータを得ることができた。しかし樹木の測定の際に筒を用いたが、入ってくる光の妨げとなり 380nm - 750nm の範囲の可視光が見えないため、測定不能であった。また、レーザーポインタは測定が昼間のためレーザーの光を捕らえることが難しかった。そのため筒とレーザーは分光器から外して測定を行った。また、当初の予定では成長段階の指標として銀杏を利用しようとしていたが、街路樹として生えているイチヨウはオスのみであることが判明した。これは銀杏が落ちることで近隣住民に迷惑をかけないようにするためだ。よって指標をイチヨウの葉の落ち方に変更し、現在イチヨウのスペクトルの反射率との比較を行っている。Google+ ハングアウトを利用した会議はインターネット上で行ったため、はじめは意思の疎通が困難だったが、会議の回数を重ねるにつれ、お互いの意見を伝え合うことができた。Dropbox を用いたデータのやり取りはファイル名や撮影情報を入れることを徹底したので問題なく行えた。

また実験に至る以前に北海道大学でスクーリングを行い、研究に対する姿勢やスペクトルについての講義を受けたことで、今回の研究の土台とすることができた。

#### ◇今後の展望

考察から、レーザーポイントについては、レーザーポイントを分光器に取り付けて、夜にイチヨウの木に向けて照射し、分光器を三脚などで固定する。イチヨウの木の撮影の際は、固定した分光器にスマートフォンを取り付けて撮影する。

今後の予定は、イチヨウの葉が散ってしまうまで、観測を継続して行い、そこからスペクトルとイチヨウの成長段階の関係を突き止める予定だ。現在までは 380nm ~ 750nm の可視光線の部分の観測のみをしているが、今後は 380nm ~ 1500nm の範囲の波長を計測できる分光器を使い、より詳しい観測を行う予定だ。イチヨウのスペクトルと成長段階の関係が判明した場合には、その結果を人口衛星からの情報を使って植物の成長段階の測定に繋げたい。現在の予定では、使用する衛星は ASTER で、この衛星は解像度 15m、幅 60km で観測周期は 16 日である。この衛星データは過去に遡って入手できるため、2014 年の北海道大学のイチヨウ並木の衛星データを使って、実験で得たイチヨウのスペクトルと成長段階の関係が衛星からのデータでも成り立つことを証明するつもりだ。これを証明できると、このデータを参考にして、多くの農作物のスペクトルと成長段階の関係を導き出すことができる。これにより、農業の効率化や、森林管理にも応用が効くであろう。

\*1 今回の発表者 \*2 グループリーダー \*3 <http://imagej.nih.gov/ij/>

\*4 <https://www.dropbox.com>\*5 <http://www.google.com/intl/ja/+learnmore/hangouts>

## 植物の反射スペクトルと昆虫行動の関係

## Relationship between reflection spectrum of vegetation and insect behavior

本間一稀、星野泰我\*、田村有沙 (\*今回の発表者)

TA: Deepak, Katia Urata Nagamine, 荻野由香, Thao Nguyen

担当教員 高橋幸弘

## 研究の目的・意義

昆虫が好むあるいは嫌う植物の反射スペクトルの有無、またあるとすればその特徴をしレベルことを目的とする。本研究では、柑橘系の植物の新芽を食べてしまい葉が枯れるなどの農業的被害があるアゲハを対象とすることにする。もし、アゲハが好むあるいは嫌うスペクトルを特定できれば、柑橘系の植物の昆虫による食害を減少させることができると期待される。研究は課題研究、結果や考察も含め、すべてグローバルサイエンスキャンパスで行った。

## 研究の方法とプロセス

虫が嫌がる光の波長を特定するために、まずなぜアゲハの幼虫が柑橘系の新芽につきやすいかを考える。成虫のアゲハは空を飛び、柑橘系の植物のみを判断して、卵をうえつけるためアゲハは視覚を利用して柑橘系の植物の新芽を見分けている可能性を考えた。そこで柑橘系の新芽と普通の葉、柑橘系以外の植物の新芽と普通の葉の反射スペクトル(光の波長毎の反射率)を紙の小型分光器を用いて測定する。分光器は黒い厚紙で隙間ができないような箱に1mmの細長い穴(スリット)が開けられ、そこの対角の面に透過シート型の回折格子を取り付け、そこから出る光をスマートフォンで撮影できる構造になっている。(この分光器キットは、グローバルサイエンスキャンパスで新規開発されたものである。)測定では、蛍光灯の下で分光器を用いて白い画用紙の反射スペクトルを記録し、蛍光灯の光の中の複数の輝線を利用して、毎回の測定毎に波長方向に機械的な狂いがいないかを確認する。次に、輝線を持たない白熱灯の下で白い画用紙を測定する。その後、計測対象の葉を白い画用紙の上にのせ白熱灯の照明の下で測定する。白熱灯で測定するときは、毎回、対象物(葉)と白熱灯、及び分光器の関係が一定の角度となるように注意する。そこで取得した写真を、画像解析および表計算ソフトウェアを用いて、反射スペクトルを得る。今の時期は柑橘系の植物に新芽はないので、新芽を出させるか新芽を手に入れる方法を、インターネットなどを用いて探る。柑橘系の植物の新芽を手に入れられたら上記の測定の方法で柑橘系の植物の新芽、葉、ほかの植物の新芽、葉をそれぞれの反射スペクトルを測定する。柑橘系の植物の新芽と普通の葉の反射スペクトルの違い、また、柑橘系の植物の新芽と柑橘系以外の植物の新芽の反射スペクトルの違いを調べる。アゲハが嗅覚を用いて柑橘系の植物を見分けていることも考えられるため、アゲハの成虫を用いて視覚だけなの

か、嗅覚だけなのか、視覚と嗅覚両方なのか、視覚と嗅覚以外の感覚器官や方法を用いて柑橘系の植物を判断しているのか調べる必要がある。視覚だけで判断しているかは、かんきつの新芽を透明の匂いを通さない箱に柑橘系の新芽を入れ、アゲハを箱の外におき、箱に近づいていくか行かないかを観察する。これを判断するために以下のような観察実験を行う。ここで表記している観察実験は一例でこれから議論を重ねるにつれて大きく変更する可能性がある。嗅覚だけで判断しているかどうかは、柑橘系の新芽から匂いを取り出して脱脂綿や柑橘系以外の植物の葉などに匂いをつけ、それに近づいていくか行かないかを観察する。両方で判断しているかどうかは取り出した匂いを柑橘系の新芽と同等のスペクトルを表すもの（ない場合は作成して）につけ、アゲハの行動を観察する。ほかの感覚器官を用いている場合の実験はどのような感覚器官を用いているかめどを立ててから観察実験を考える。

#### 今後の展望

- 柑橘系の植物の新芽を出させるもしくは手に入れる方法をインターネット、書物等を用いて探る。
- 柑橘系の植物の新芽、葉、柑橘系以外の植物の新芽、葉のスペクトルを測る。
- アゲハが「視覚だけ」「嗅覚だけ」「視覚嗅覚両方」「視覚嗅覚どちらでもない」どの方法でかんきつの新芽を見分けているか予想して観察実験の方法について議論、決定する。

## より優れた自立型ロボットを目指して

工藤 達実・平井 智崇(和歌山県立向陽高等学校 1年)

塩崎 智哉(和歌山県立向陽高等学校教諭)

### ◇研究の目的・意義

この研究は物理部の活動として行い、将来のエンジニアを育成することを目的としたロボットの大会である WRO に毎年出場している。エンジニアにはロボットを組み立てるハード面の高い技術とその動きを制御するプログラミングの技術が求められる。試行錯誤を繰り返して成功率を高めている。WRO (World Robot Olympiad) は世界的大会でレベルも高くロボット製作の技術を磨くには最適な大会である。そこで我々は世界大会を目標とし、ロボットをよりすぐれたものにする工夫をした。

### ◇研究の方法とプロセス

#### ● WRO とは

WRO は LEGO 社のマインドストームシリーズを利用した自律型ロボットによる国際的なロボットコンテストである。世界中の小中高校生がロボットをその年のルールに基づいて

製作し、プログラムにより自動制御する技術を競うコンテストで、参加しやすく、科学技術を身近に体験できる場でもあり、国際交流も行われる。

#### ● 今回のルール

黄色の矢印がスタートからのロボットの動きを示している。今回の課題は②のフィールド上にある三つの黒いブロック(壊れた人工衛星と仮定)を①(倉庫)にある正常なブロックに置き換える。この際正常なブロックをずらすと減点となる。また制限時間は 2 分、サイズはロボットが壁に触れることなくスタート・ゴールゾーンに入っていないといけない。

#### ● 作成したロボットの仕組みと工夫

##### ① ブロックを保持する機構

素早く正常なブロックを黒の壊れたブロックと取り換えることができるようにキャタピラに板を取り付け、ブロックを動かせるようにした(図2)。しかし四つのブロックを取ろうとすると幅が足りないという問題が発生した。サイズ制限を守りながら四つのブロックを保持するため、壁にゴムを用いた。

##### ② ライントレースにおける工夫

今回の大会においてはブロックをずらさないようにコート上のラインを辿る(ライントレース)必要がある。そのためにプログラミングにおいて「比例制御」を取り入れた。

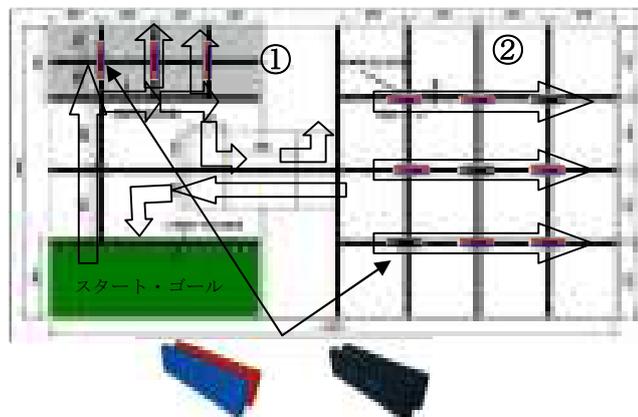


図1.コートとロボットの動き

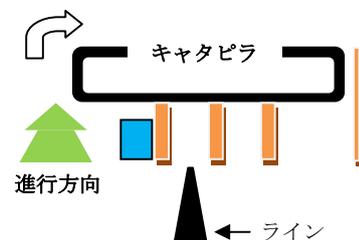


図2. ロボットの機構

普通のライントレースは黒を見ればモーターの回転方向を変えるだけの On-Off 制御だからラインをたどるとロボットの方向が定まらない。するとブロックをずらしてしまい大きな減点が発生する。それを防ぐために返ってきた光センサーの値に比例して、モーターへの出力を制御する方法「比例制御」を取り入れた。これは調整が難しい方法だが様々なサイトを参考にしながら調整を重ねることで実現できた。さらに光センサーを回転の中心からできるだけ遠ざける工夫もした。その際にサイズの制限があるためスタート前は格納しておきスタートするとセンサーが飛び出す構造にする必要があった。そこで図2のキャタピラが動くときストッパーが外れゴムの力で飛び出すというアイデアを考え、それを作り比例制御と組み合わせることで確実性が100%に向上した。

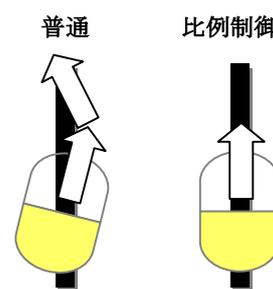


図3.比例制御

### ③ タイヤが滑ることに対する対策

重さがタイヤに大きくかかるようにして摩擦力を大きくしタイヤのスリップを防いだ。それによって毎年の課題であった正確な回転ができるようになった。

#### ◇結果と考察

結果は関西大会優勝。工夫したことで250点(満点)をとることができた。タイムは一分六秒と制限時間の半分ほどでクリアすることができた。さらに他チームに似た構造のロボットもあったが正確さという点で勝つことができた。それは数々の工夫と試行錯誤を重ねた結果である。

#### ◇今後の展望

毎年ルールが変わるWROでも、比例制御やタイヤのスリップ対策などは来年も使えるような技術である。また、使えるモーターの数が限られているため、物体を動かす時は無駄な作業を減らし、必要最小限の動きでするほうがよいとも分かった。例年はルール上、スコアがとれるのは当たり前で、スピード重視のルールだったが今大会は例年に比べ難しいものとなっていたため、スピードよりも正確さが問われるものとなった。今後は、どんなルールにでも対応でき、スピードも出せるような準備を積んでいきたい。

#### ◇主要参考文献

WRO ホームページ “<http://www.wroj.org/2014/index.html>”

#### <講座担当教員のコメント>

向陽高等学校では、2012年度に世界大会に出場している。先輩から後輩へとハード面の技術やプログラミングの取り扱いを教え合う姿が多々見られることから、コミュニケーション能力の向上も含めて生徒達にとってとても良い活動となっている。今後はさらにユニークな発想と発生した課題を的確に克服する技術の向上を期待している。

## 多摩川および東京湾の放射性同位元素堆積調査

小林沙衣 (湘南白百合学園高校 3 年生)、舛村康成 (横浜サイエンスフロンティア高校 1 年生)、  
山本遥斗 (山梨県立吉田高校 1 年生)、沼崎里咲 (湘南白百合学園高校 1 年生)

指導：井上浩義 (慶應義塾大学医学部化学教室)

## 1. 目的

環境放射能とは、かつては人間の生活圏に存在する放射能を指したが、現在では、地球上あるいは地球に近い大気圏外の放射能を含んで考えることが多い。この環境放射能には、地球誕生の時から地球上に存在する放射性同位元素 (放射性物質) から放出される放射線および宇宙から降り注ぐ放射線 (宇宙線) で構成される自然放射線と 2011 年 3 月に発生した福島第一原発事故によって注目された、人間の活動によって作り出した放射線、あるいは作り出した放射性同位元素から放出される放射線である人工放射線が含まれる。本研究では、我々高校生が住んでいる近くを流れる川である多摩川とそれが流れ込む東京湾の堆積土壌に含まれる放射性同位元素の測定を行った。土壌サンプリングは多摩川で 6 箇所、東京湾で 2 箇所を終えたが、放射線測定に大変に時間が掛かることから、本発表では、多摩川の下流の 1 地点について測定結果を示し、その考察をする。

## 2. 研究の方法・プロセス

<サンプリング場所>

日時：2013 年 10 月 8 日

場所：東急東横線多摩川駅付近河川敷

天候：快晴

気温：最高 29.6°C/最低 22.7°C

サンプル地点：位置および地上 1m における放射能および空間線量率を示す。

| 地点 | 位置             |                 | 放射能<br>(cpm) | 空間線量率<br>( $\mu$ Sv/h) |
|----|----------------|-----------------|--------------|------------------------|
|    | 緯度(北緯)         | 経度(東経)          |              |                        |
| A  | 35 度 35 分 10 秒 | 139 度 40 分 9 秒  | 60           | 0.04                   |
| B  | 35 度 35 分 4 秒  | 139 度 40 分 13 秒 | 55           | 0.05                   |
| C  | 35 度 35 分 0 秒  | 139 度 40 分 14 秒 | 55           | 0.04                   |
| D  | 35 度 35 分 15 秒 | 139 度 39 分 59 秒 | 90           | 0.05                   |
| E  | 35 度 35 分 16 秒 | 139 度 39 分 58 秒 | 60           | 0.05                   |
| F  | 35 度 35 分 18 秒 | 139 度 39 分 56 秒 | 45           | 0.05                   |

放射能は、GM サーベイメータ (日立アロカ製)、および空間線量率は、空間線量率計 (日立アロカ製) を用いて、土壌サンプル地点の真上 1m のところで測定した。

採取した土壌は、120°C で 24 時間乾燥させ、恒質量となったところで、網目 3mm の篩にかけた。その後、約 100g を容器に入れ (この時に詳細な質量を測定した)、NaI シンチレーションカウンタ (Ospray; キャンベラ社) を用いて、7 時間ガンマ線を累積測定し、マルチチャンネルアナライザー (Model 802; キャンベラ社) でチャート化して、その面積で放射能を測定した。

## 3. 結果と考察

放射能と空間線量率については、上記表に示した。土壌の NaI シンチレーションカウンタによ

る測定は右の様なチャートが得られた。これらを3回測定し、その結果はすべて平成26年4月1日に測定したように、半減期の式を用いて補正し、その補正値を平均した。

今回の東急東横線多摩川駅周辺の多摩川土壌では、天然放射性核種のK-40は当然見つかったものの、その他にも、人口放射性核種のCs-134、Cs-137、そしてI-131が見出された。これらの詳細な数値は当日のポスターで発表するが、概要は以下の表のようになった。



多摩川駅付近多摩川土壌中の放射能

| 核種名    | エネルギー(keV) | 放射能濃度(Bq/g) |          |          |          |          |          |
|--------|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|        |            | A 地点        | B 地点     | C 地点     | D 地点     | E 地点     | F 地点     |
| I-131  | 364.48     | 0.016683    | 0.032967 | 0.012333 | 0.01092  | ---      | 0.013304 |
| CS-137 | 661.65     | 0.040364    | 0.077165 | 0.098961 | 0.118161 | 0.092884 | 0.020173 |
| CS-134 | 795.85     | 0.01391     | 0.026256 | 0.035895 | 0.041469 | 0.029048 | 0.007658 |
| K-40   | 1460.81    | 0.656292    | 1.022977 | 1.032569 | 0.570535 | 0.827037 | 0.597362 |

これらの結果から、示唆される内容は、

- (1) 自然放射性核種であるK-40の濃度が場所により異なることが明らかとなった。これは、カリウム自体の堆積の違いによることが考えられる。今後、全カリウム濃度を測定したい。
- (2) 福島第一原発事故の影響であるCs-134とCs-137が多摩川の土壌から見出された。この両者は事故直後には同量が存在していたので、現在のこの数値はCs-134とCs-137の半減期の差によるものと思われる。
- (3) 福島第一原発事故直後には観測されていたI-131が存在しているのには驚いた。半減期が8日間と非常に短いために、もう存在しないと思っていた。他の地点でも測定されるのかが興味深い。

#### 4. 今後の展開

現在サンプリングしたすべての土壌を早く測定しなければいけない。また、その値が多摩川の上流と下流で異なるのか、また、東京湾まで行ってしまうとどうなのかを明らかにしたい。特に、I-131が本当に福島第一原発事故由来なのかを明らかにしたい。

#### <講座担当教員のコメント>

長く、高校生と私たちで続けてきた研究テーマです。本研究には、福島県出身の大学生(講座OB)が献身的に貢献してくれています。このため、高校生たちは研究の意義やその先にある放射線の人体への影響まで関心を示してくれています。本研究は来年、世界的な環境の雑誌に投稿する予定です。

## 放射線を利用して巨椋池干拓地を探る

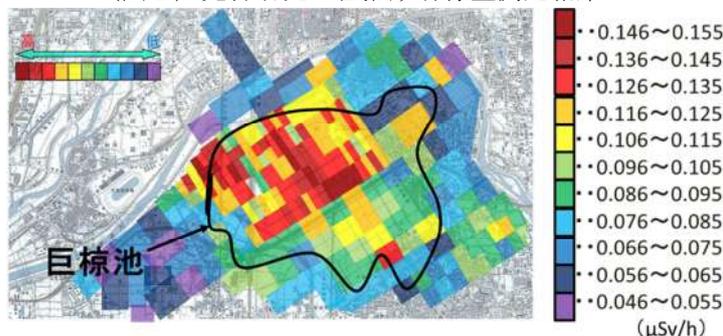
木田祐希 京都府立桃山高等学校 2年

担当教員 高橋信幸

## 研究の目的

この研究は主に本校グローバルサイエンス部 (以下GS部) にて長年行なわれてきた研究を受け継ぐ形で行った。今までの研究では、京都市南部に存在する巨椋池干拓地において、ガンマ線量測定器 (Radi) を用い空間放射線量の数値が周囲より高く、中でも干拓地

(図1) 先行研究の自然放射線量測定結果



(図2) 土壌の成分分析結果

北部と南部で自然放射線量が大きく異なっていることと (図1)、巨椋池干拓地の土壌中に放射性物質が周囲よりも多く存在することを明らかにしたが (図2)、どのようにして巨椋池干拓地での空間放射線量が引き上げられるのかは詳しくわかっていなかった。

なぜなら、ガンマ線は地中を 30cm ほどしか進まないため、地上での測定には土壌の表層部 30cm に存在する放射性物質が影響を与え

ているということとなる。しかし (図1) に示したように、放射線量の南北の高低差ははっきりしている。これは表層部 30cm の土壌中の放射性物質だけでは説明できない。そこで我々は、この原理を解き明かすことを目的とした。また、(図2) より巨椋池内部のウランとトリウムが全国平均より高い値を示している。我々はウラン、トリウム両崩壊系列中にラドンがあることから、土壌中のウラン、トリウムがラドンまで崩壊し、希ガスであるラドンが地上に放出され、さらにラドンが崩壊してできた娘核が崩壊するときにガンマ線を出し、放射線量を引き上げているという仮説を立てた。

|                           | ウラン (mg/kg) | トリウム (mg/kg) |
|---------------------------|-------------|--------------|
| 旧巨椋池の北東部 (粘土層中)           | 5.0         | 29           |
| 水田の表層土 (放射線量が高い地点)        | 4.33        |              |
| 水田の表層土 (放射線量が高い地点)        | 2.40        |              |
| 先行論文 (田上山花崗岩中)            | 3.1~6.0     | 18~30        |
| 水田土壌 (全国平均) (独)放射線医学総合研究所 | 2.75        | 5.56         |

## 研究方法・プロセス

今回の研究のプロセスは次のとおりである。

- ① 巨椋池干拓地を 5つのグループに分け、各 8ヶ所計 40 地点にてガンマ線量の測定を再び行った。これは前回の測定から時間が経っており、以前と変化がないことを示すためである。なお、この測定はGS部の 20名あまりの有志に手伝っていただいた。
- ② 巨椋池干拓地北部の放射線量が高い地点、南部の低い地点を一箇所ずつサンプリングし、その地点にてラドン量とガンマ線量を測定し、両者の相関を調べた。

ガンマ線量の測定は、Radi という自然放射線量測定装置を用いた。これはガンマ線量を測定し、10秒ごとに直前1分間の自然放射線量を  $\mu\text{Sv/h}$  (マイクロシーベルト毎時) の単位で表示する。

ラドン量の測定は、Doseman というラドン量測定装置を用いた。これはラドン量を測定し、30分ごとにラドン量を  $\text{Bq/m}^3$  (ベクレル毎立法メートル) の単位で表示する。

## 結果と考察

① これはRadiによるガンマ線量の測定結果です。図のように、北部の方が南部よりも放射線量が多いことがわかる。これは、先行研究での測定データと、北部が南部よりも高いことで一致している。(図3)

② (図3)のa, b2地点にてラドン量を測定した。晴天時にはa地点でb地点よりも高い値が検出された。我々は何度か測定に行こうとしていたが、偶然大雨1時間後に測定を行ったところ、測定されたラドン量が0であった。これはラドンが水に溶けやすいため、雨水にラドンが吸収されたからだと考えられる。RadiとDosemanの測定値を比較する。晴れた日の測定値ではラドン量と空間放射線量に正の相関がみられる。グラフより、ラドン量は空間放射線量にa地点で約22%、b地点で約6%

の影響を与えていることが分かる。つまり、空間放射線量の高い地点のほうが、低い地点よりも大きくラドンの影響を受けているということになる。ラドン量だけでは説明できない分の増加量は、表層30センチの土中の放射線量の差であると考えられる。

## 今後の展望

巨椋池干拓地の自然放射線量を引き上げている他の要素を特定するため、スペクトル分析による詳細な調査や、空気中からの放射線の影響を排除することによる“地中の放射性物質の崩壊から直接届く放射線の線量”の測定などを行いたい。

Dosemanによるラドン量の測定値は誤差が大きく、データ量も少ないため信頼性に欠ける結果となった。ラドンの特性を更なる調査を行ってよく理解し、そのうえで新たな測定方法を考えたい。

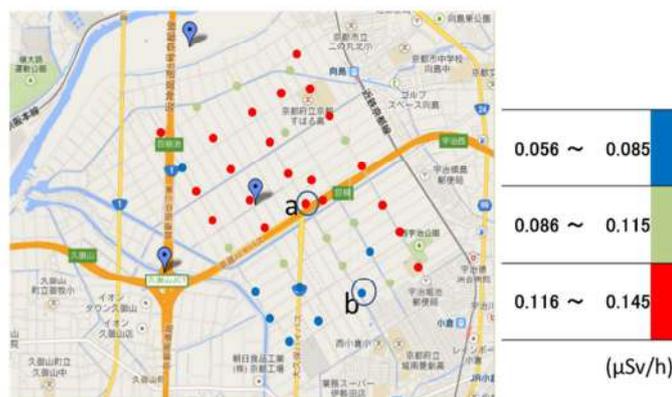
## 主要参考文献

- ・大日本帝國陸地測量部、吉田敬市 巨椋池干拓史 (1962年)、
- ・巨椋池土地改良区編「巨椋池干拓誌」(1962)、
- ・天白俊馬「 $\gamma$ 線の測定」(2007) 地学教育と科学運動 56、48-52
- ・石原舜三他 近畿地方田上花崗岩の化学的特性 (2005)
- ・地質調査研究報告 56、93-98 (独)放射線医学総合研究所
- ・国土地理院発行地形図 (宇治市史・京都西南部・京都東南部・淀・宇治)
- ・文部科学省「中学生・高校生のための放射線副読本～放射線について考えよう」

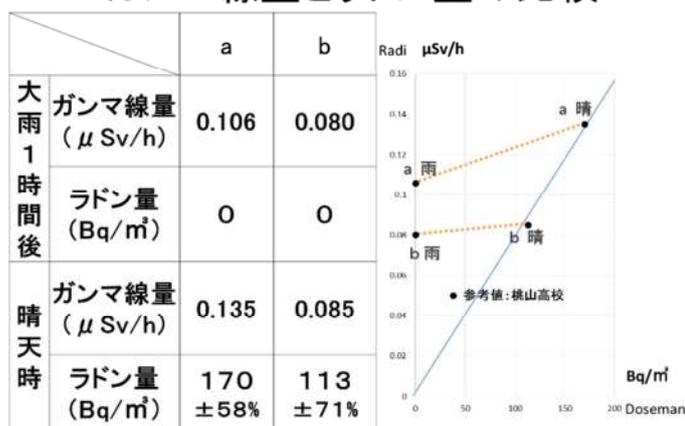
## 講座担当教員のコメント

放射線測定器の特性を理解した上で、実際に測定したデータを統計学的に処理してそのデータの信頼性を検証した上で高校生らしい考察を行っている点は評価できる。

## ガンマ線量の測定結果 (H26.6.1)



## ガンマ線量とラドン量の比較



## LEDによるプランク定数の高精度な測定を目指して

生駒 洋樹 (帝塚山高等学校 2年)

担当教員：赤坂 陽介

## ◇研究の目的・意識

プランク定数は、現代物理学、とくに量子力学において欠かせない定数の一つである。歴史的にはこれはプランクによる黒体放射におけるエネルギー放射の考察から得られたが、着想は今年の9月の京都大学での最先端科学の学習講座(ELCAS)で得たので、今回はLEDの特性からこれを高精度に測定する工夫を施して検証した。この定数を新たに検証することによって、現代物理学の基礎を確認することができ、さらには普段実感することが難しいプランク定数を学校の授業において手軽に求める手段となるのではないかと思い、これを行った。またこの方法によりどれだけ精度よく測定することができるかということにも注目してみた。

## ◇研究の方法・プロセス

## A. 実験の原理

LEDはある一定以上の電圧を与えないと光を出さない。その発光し始める際の電圧を $V$ とすると、

$$eV = h\nu - B$$

が成り立つことが知られている。ただし、 $e$ は電気素量で $e=1.602 \times 10^{-19}(\text{C})$ 、 $h$ はプランク定数( $\text{J/s}$ )、 $\nu$ は光の振動数( $\text{Hz}$ )、 $B$ はLEDによって決まる定数( $\text{J}$ )である。

よってこの実験ではLEDが光り始める最小の電圧 $V$ を求めることにより、プランク定数の計測を行おうとしている。

## B. 実験の方法

1. 出す光の波長が分かっているダイオードをもちいてまず図iのような回路を作る。
2. 直流電源の出力電圧つまみを回して、ダイオードに加える電圧を徐々に上げていき、発光が開始したと思われる電圧を記録する。ただし、この作業においてはいつダイオードが点灯したか判別するのが難しかったので、ダイオードの周りを箱で覆い、そこに小さな穴をあけ、それを虫眼鏡で観察するという方法と、検流計をダイオードと直列に配線し、その針が振れるタイミングを確かめるという二つの方法を組み合わせ、厳密に測定ができるようにした。図iiは実際に実験を行っている様子である(検流計と箱は取り除いてある)。

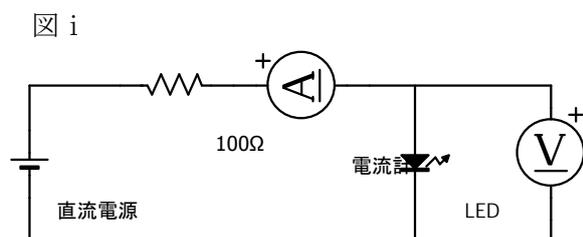
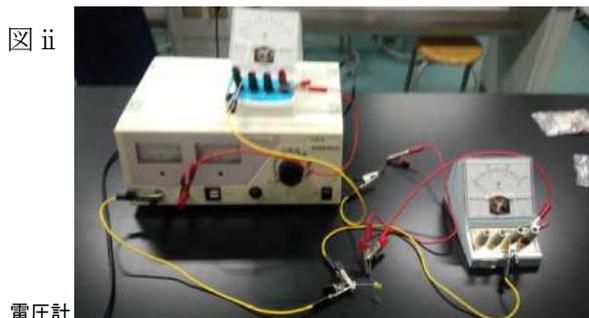


図 ii



3. LED の種類を変え、同様に発光時の電圧を測った。

#### ◇結果と考察

最初、LED を箱で覆わない状態で実験を何回か繰り返して行い、実際に計算してみると、およそ  $6.81 \times 10^{-34}$  (Js) となり、本来の値 ( $6.26 \times 10^{-34}$  Js) からおよそ 10 パーセントの誤差が出た。これでは精度が低すぎるので、前述したような方法を用いて LED 点灯時の電圧を出来るだけ正確にとらえられるようにしてみたところ、およそ 5 から 6 パーセント程度の誤差に縮めることができた。また、再び LED のデータシートを見てみると流れる電流により LED が放出する光の波長が電流によって左右されることがわかったので、製造元に問い合わせしてみると、ここでおよそ 0.7 パーセントの誤差が生じてくることが分かった。

他にもクリップ間の抵抗や、LED は光だけでなく熱も出すことを考慮すると、この方法ではプランク定数への誤差を 3-5 パーセント程度に収めることが限界になるようだ。しかし、学校での授業などにおいてプランク定数を求める方法としては、非常に安価で、誤差も目立つほどないので、とてもよいものなのではないかと考えられる。

#### ◇今後の展望

今回は LED をもちいてプランク定数の測定を行ったが、現在学校の授業などでプランク定数を求める際に主流となっている光電管を用いた方法とこれを比較し、それぞれのメリット、デメリットを明らかにするとともに、今回行った実験の精度を高めていきたいと思う。

#### ◇参考文献

- ・啓林館 物理
- ・OSDR5113A データシート

<http://akizukidenshi.com/download/ds/optosupply/OSDR5113A.pdf>

---

#### 〈担当教員のコメント〉

この生徒は日ごろから電子工作をしていたりと、この分野への関心が高い。発光開始時の電圧を正確に計測するために箱で覆い、虫眼鏡で観察するというアイデアは素朴ながら有効で、盲点を突かれた。

## ゴルフボールのディンプルにヒントを得てプロペラを考える

田渕 宏太朗 (南山中学校男子部 3年)

担当教員 吉田 恭 (筑波大学 数理物質系)

### ◇研究の目的・意義

将来宇宙飛行士を目指す僕にとって、ロケットや航空機の空気抵抗は大きな関心事の一つ。その空気抵抗について考えた時、ゴルフボールに付いているディンプルがずっと気になっていた。そこでディンプルの効果を調べてみたところ、自動車の塗装面にディンプルを付けることで燃費が良くなることや、羽根にディンプルを付けて静音化に成功した扇風機などが存在することがわかった。

このディンプルの効果を学び、プロペラの加工に応用することで、ディンプル羽根の扇風機を超えるプロペラが見つけれられるのではないかと考えたのが、この研究を始めるきっかけとなった。プロペラは陸海空を問わず、社会で幅広く活用されている。この研究を進めることによって流れを理解し、省エネ、静音、冷却効果の増大などに優れたプロペラの考案につなげていきたい。

研究の構想は1年前からあったが、着手したのは今年の4月である。個人の研究として行い、ディンプルの効果の数値化や制作したプロペラの評価をグローバルサイエンスキャンパスで行った。

### ◇研究の方法・プロセス

(1) 実用化された製品や文献からディンプルの効果を知り、マグナス効果との違いを調べる。

(2) 簡易風洞を自作してボールの空気の流れを撮影し、レイノルズ数を計算する。

(3) 以下の仮説に従って模型用プロペラを加工し、流れを観察し、風速を計測する。

仮説①プロペラにディンプルのような凸凹を付けることで、性能を向上させられるのではないかと。

仮説②航空機や自然界をヒントにしてプロペラに特殊な加工を施せば、性能を向上させられるのではないかと。

仮説③プロペラから放出される風は、プロペラの表面積が減ると小さくなるのではないかと。

仮説④プロペラの加工を曲線にすれば、その線に沿って空気が流れ、強力かつ広範囲に風を送れるのではないかと。

仮説⑤仮説①で加工したプロペラよりも凸凹(溝)を浅くすることで、空気抵抗が減り、風の直進性、拡散性ともに向上するのではないかと。

(4) 計測した風速をもとに、プロペラが送り出す風の風量を求め、プロペラの性能を数値化する。

### ◇結果と考察

(1) ゴルフボールはディンプルによって表面の空気の流れが乱され、はく離しにくくなることから、圧力抗力が低減されて遠くに飛ぶことがわかった。市販しているディンプル羽根の扇風機は、抵抗を軽減することで静音化に成功している。

(2) 自作の簡易風洞の実験におけるレイノルズ数は、ゴルフボールが  $8.0 \times 10^3$ 、ピンポン球が  $7.6 \times 10^3$  となり、大きな差はなかった。しかし、流れを撮影した実験では、ゴルフボールのはく離が遅れていることを目視することができ、プロペラを加工することの有効性が見えてきた。

(3) 合計 35 種類のプロペラを制作し、すべての流れを撮影し、風速の計測を行った。風速は、 $(x,z)=(30,0)$ 、 $(x,z)=(50,0)$ 、 $(x,z)=(70,0)$ 、 $(x,z)=(30,10)$ 、 $(x,z)=(50,10)$  の 5 地点で各 5 回計測し、それぞれの平均と標準偏差を求めた。



図 1. ピンポン球



図 2. ゴルフボール

x 軸の平均風速では、表面、裏面、両面に浅い縦溝を掘ったプロペラ<O>と浅い横溝を掘ったプロペラ<P>が、30 cm、50 cm、70 cm ともにディンプル加工をしたプロペラ<C>を超えた。<O>、<P>の煙の流れを見ると、直進性が強く、ムラなく拡散している様子がわかる。  
 ※プロペラの直径は 11 cm。O-c の場合、間隔 5 mm、深さ 0.3 mm の溝を両面に掘った。

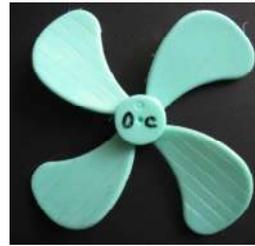


図 3.プロペラ O-c

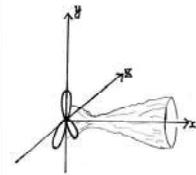
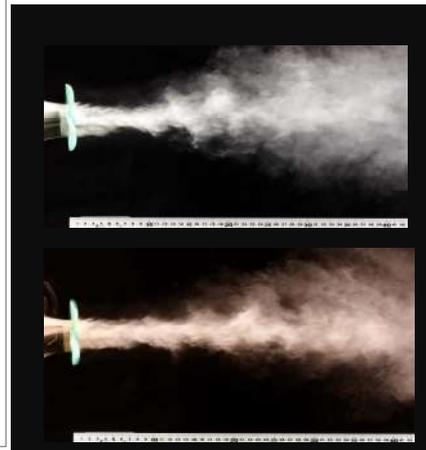
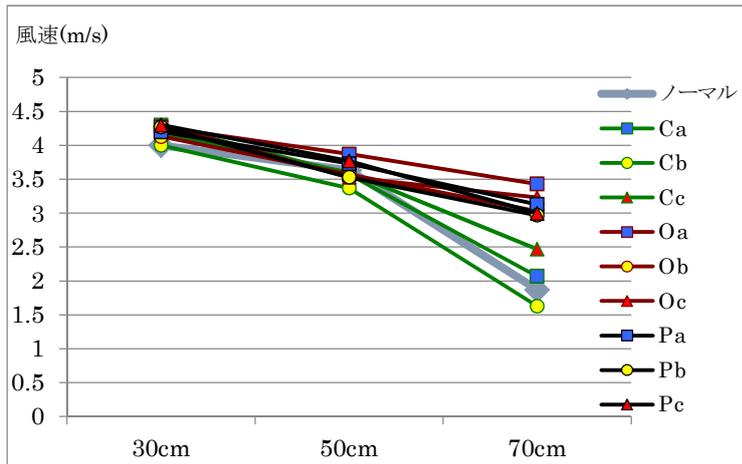


図 4.xyz 軸の考え方



上左：図 5. COP の平均風速グラフ a=表面、b=裏面、c=両面加工

右上：図 6. 浅い縦溝表面加工の流れ写真 写真右下：図 6. 浅い横溝裏面加工の流れ写真

(4) 計測した風速をもとに、以下の式を導き出し、風量  $Q(\text{cm}^3)$  の計算を行った。

パターン①  $Q=10^2 \pi V_1 + 10^2 \pi V_2 / 3$       パターン②  $Q=10^2 \pi V_1 - 10^2 \pi V_2 / 3$

- ・  $V_1(\text{m/s})$  は、プロペラ中心から x 方向に 30cm or 50cm, Z 方向に 10cm 離れた地点の風速
- ・  $V_2(\text{m/s})$  は、プロペラ中心から x 方向に 30cm or 50cm 地点の風速  $V(\text{cm/s})$  より  $V_1$  を引いたもの
- ・ パターン①は  $V > V_1$  の時の式、パターン②は  $V_1 > V$  の時の式

この結果、x 軸 30cm 地点での風量は、P-c が  $1.273 \times 10^5 \text{cm}^3$  でもっとも多く、x 軸 50cm 地点での風量は、両面に空気の流れを模した溝を掘った M-c が  $1.256 \times 10^5 \text{cm}^3$  でもっとも多かった。以上より、仮説④と仮説⑤が実証できた。また、グラフからもわかるように、プロペラからの距離が遠いほど加工の効果が表れやすいことも見えてきた。

◇今後の展望

もっと精度の高い風速計を用いてデータの信頼度を上げるとともに、結果の出たプロペラをさらに細かいパターンに分けて加工し、実用化に結びつくプロペラの発見に取り組みたい。また、今回は手彫りでプロペラを加工したため、重量にバラツキが出て静音性能を調べられなかったが、今後は静音やプロペラが空気を吸い込む能力についても調べを進めていきたい。

◇主要参考文献

- 流体力学 シンプルにすれば「流れ」がわかる 実教出版 監修：金原 繁
- 図解によるわかりやすい流体力学 森北出版株式会社 著者：中林 功一・山口 健二

<講座担当教員のコメント>

研究を計画する主体性および多種のプロペラを作成しそれぞれの風速データを測定した機動性は特に評価できる。表面の形状の違いによる空気抵抗の変化は、実験してみないと分からない部分も多く、色々試した結果次第では専門領域のある水準には達し得るだろう。

### 水切りの最適条件

発表者 滋賀県立膳所高校2年 田中智 小川竜馬  
 担当教員 辰巳富一

#### ◆研究の目的・仮説

水切りは石を水面で跳ねさせる遊びであり、石が良く跳ねる条件の解明に向けて様々な研究が行われてきた。しかし、仏リヨン大学での先行実験では入射角20度が、東京工業大学の実験では10度付近が最適だということに、いまだ明確なデータは出ていない。私たちは、多くの謎を抱えた水切りに興味を持ち、今年の4月から自分たちなりに実験方法を模索しながら研究を続けている。この研究の目的はどのような条件下で石が良く跳ねるのかを調べることであり、私たちは次の2つの条件を設定して研究に取り組んだ。その2つの条件は、発射速度と入射角（石が着水したときの水平面からの角度）である。そして、私たちは仮説として、発射速度は大きい方が、入射角は15度付近が最適ではないかと予想を立てて、実験を行った。

#### ◆研究の方法

水切りでは本来跳ねる回数を計測するが、何度も石を跳ねさせるための巨大な水槽をつくることは困難であったので、私たちは「跳ねる距離」に着目した。また、ピッチングマシンのような発射装置の入手もできなかったため、剛体を滑走させるという方法で実験を行った。なお、今回用いた剛体は基石である。レールを45度の角度で設置し、様々な高さから滑走させた（図1）。発射速度  $v$  を計測機で、跳ねた距離は水槽の上からの動画撮影によって計測した。また、入射角を  $\theta$  とし、放物線の接線の式からの計算によって  $1/\tan\theta$  を算出した。これまでは基石に回転を

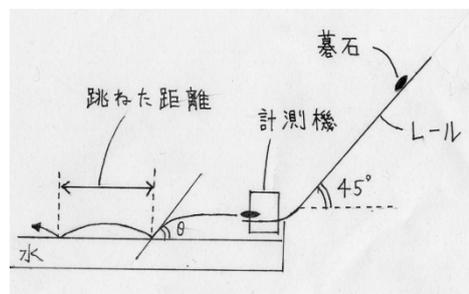


図1 実験方法の模式図

かけずにただ滑走させるだけという方法で実験をしていたが、この状態では跳ねないときがあったり、跳ねる距離に大きく差があったりしたため、レールを傾けて基石に回転をかけて実験することにした。（重力加速度は  $9.8 \text{ m/s}^2$  とする）

#### ◆結果

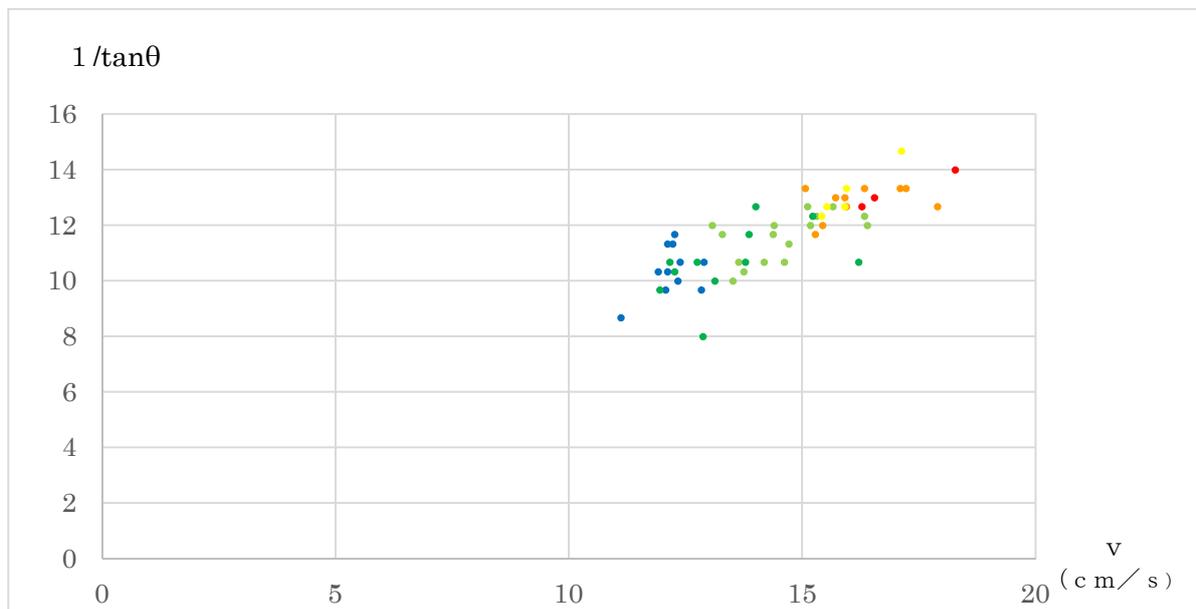


図2 発射速度、入射角、跳ねた距離の関係性

実験のデータをグラフにすると、図2のようになった。今回作成したグラフでは、横軸に発射速度  $v$  (cm/s)、縦軸に  $1/\tan\theta$  をとり、点の色によって跳ねた距離を表現した。なお、跳ねた距離の色分けについては、次の通りとする。

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| 赤… 80 cm以上         | 橙… 70 cm以上 80 cm未満  |
| 黄… 60 cm以上 70 cm未満 | 黄緑… 50 cm以上 60 cm未満 |
| 緑… 40 cm以上 50 cm未満 | 青… 30 cm以上 40 cm未満  |

## ◆考察

実験データから、発射速度が大きいとき跳ねる距離は大きい(赤、橙が示す点)ということがわかった。また入射角が小さくなるにつれて、 $\tan\theta$  も小さくなり逆に  $1/\tan\theta$  の値は大きくなることから、入射角が小さいときに跳ねる距離が大きくなっていることがわかる。発射速度が小さいときや入射角が大きいときについては、これと逆のことが言える。

また、基石に回転をかけずに行った実験では基石が跳ねなかったり、跳ねる距離に差が出たが、回転をかけた実験では跳ねなかった回数が明らかに少なかったことから、安定した跳ねにはある程度の回転が必要だと考えられる。

さらに、発射速度が大きいとき、基石が2回または3回跳ねることが数回あった。このことから、発射速度は物体の跳ねる回数と関係性がある可能性がある。

## ◆今後の展望

今回の実験では、入射角が何度のときに最も良く跳ねる、といったような細かな条件の特定にはいまだ至っていないため、今後の研究ではその点に着目しながら研究を進めていきたい。その上で、より正確なデータを得るために、実験方法を改良していくことや実験回数を増やすことは不可欠である。

さらに、この実験方法では発射速度が遅いときのデータがないため、基石が跳ねるときの最低の発射速度について何らかの調査ができそうなので、その調査にも取り組んでいきたい。

また、これまでは発射速度と入射角の2つの条件でのみ実験を行ってきたが、ほかに考えられる条件を挙げ、その条件との関連性を模索しながら実験を継続させていきたい。その上で、データの表し方についても工夫が必要となるので、グラフの作成方法などについても議論を進めながら決めていきたい。

## ◆主要参考文献

- ・「水切り、石切り、石投げについて - ODN」  
<http://www2.odn.ne.jp/~cdu32250/2taitoru/mizukiri4.html>
- ・「水切り石 - ODN」 <http://www2.odn.ne.jp/~cdu32250/2taitoru/mizukiri2.html>
- ・『水切り石の物理』(小特集)みぢかなモノの『ウゴキ』・『カタチ』)  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007387182>

## &lt;講座担当教員のコメント&gt;

動画の撮影に iPhone を利用するなど身近な道具を用いて、研究課題に取り組んでいく姿勢は評価に値するが、研究としては未完である。今後、実験方法や装置を改良しながら、粘り強く、研究に取り組んでいくことを期待したい。

### 火星探査機

磯田 奈歩（堺市立赤坂台中中学校 3 年）、岡本 博史（堺市立金岡南中学校 3 年）、川村和大（堺市立金岡北中学校 3 年）、武田 健介（堺市立金岡南中学校 3 年）、阪尾 正己（堺市立登美丘中学校 2 年）、光永 翔（堺市立長尾中学校 2 年）、石丸 桃佳（堺市立長尾中学校 1 年）、坪田 光生（堺市立御殿場中学校 1 年）、藤村 憲（堺市立三国丘中学校 1 年）、南部 陽介（公立大学法人大阪府立大学工学研究科助教）

#### ◇研究の目的・意義

ロケットや「はやぶさ」のような宇宙探査機の開発や打上げには、とても多くの人が働いていることを知った。多くの研究者が知恵を集めて一つの目的を達成するための探査機を開発するには、どのような方法でアイデアを出したり、考えをまとめたりして、それをもとに実際のロケットなどを作るのか、自分達でやってみたいと思った。マーズワン<sup>[1]</sup>のように人類が火星に移住する計画があるので、それに備えて火星の状況を調べておくことを想定して、皆で、探査目的(ミッション)の提案、探査機(システム)の設計、模型(ハードウェア)の開発、試験、報告という一連の作業を体験しながら、仮想の火星探査機の開発を行った。また、その結果を伝えるために、探査機の模型を作製することにした。

#### ◇ミッション提案

実行する基本ミッションをグループ討議した。そのときの様子を図1に示す。出された議論をまとめたものを図2に示す。基本ミッションとしては、①火星に人類が移住したときに必要なデータを蓄積、②火星の構造を調べる、という2つが出された。各ミッションで必要と思われる事項を出しあって目的とした。さらに、目的を実行するための方法を議論した。本研究では図2の点線Aで囲った①のミッションを実行することにした。



図1 基本ミッションの討議

#### システム設計

図2の方法③、④を具体的に実行するためのシステムを議論した。「③火星表面までの距離を測る」には衛星が必要である。衛星から距離を測る手段として超音波、電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、を利用することが考えられる。衛星

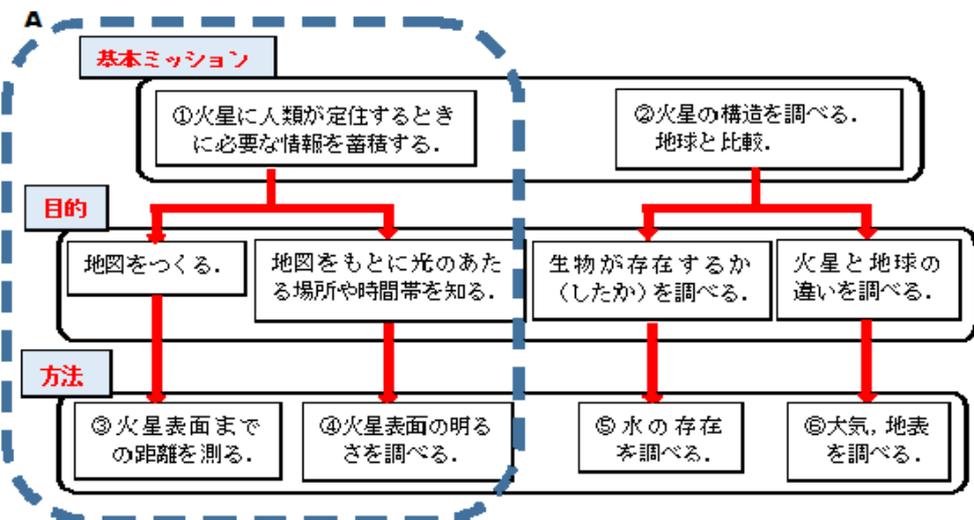


図2 ミッションの作成フロー

から火星の地表まで余分な吸収がなく、かつ、表面で反射することを条件に考えると電波が適切であることがわかった。④の火星表面の明るさは、実際に火星表面を走行する車（ローバー）で計測することが適切となった。これより図3のような探査機システムを採用することにした。

#### ◇ハードウェア開発

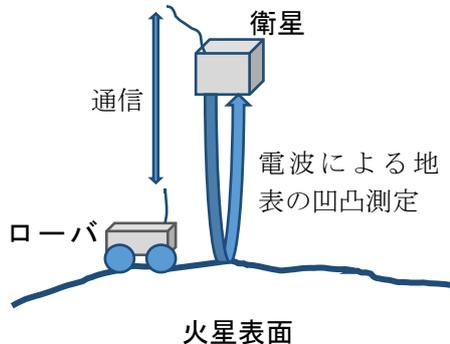


図3 火星探査機の基本構



図4 「littleBits」の外観

本研究で図3のシステムを実現するのは不可能である。ここでは電子回路開発模型キット「littleBits」(図4)<sup>[2]</sup>を使うことにした。これは、発振器、サウンドシンセサイザー、カウンター等種々の機能を持つ電子ブロックを自由に組み合わせて、目的とする機能をもつユニットを構成できるものである。残念ながら、図3のシステムに必要な電波を出して、受信するブロックはないので、ここではスピーカーから音を出して、マイクで受信することで代用することにした。衛星やローバーの模型も設計した。衛星にはローバーとの通信、地球との通信、エネルギー源として太陽電池が必要である。ローバーには明るさを測る光センサーをつけてモーターで走行できるようにする。自己エネルギーをもつことが望ましいので原子力電池を搭載する。ローバーを地上に運ぶための搬送装置には温度上昇を抑えるアブレーター付の格納ケースとパラシュートが必要である。このようにして探査機に必要なハードウェアを決めていった。

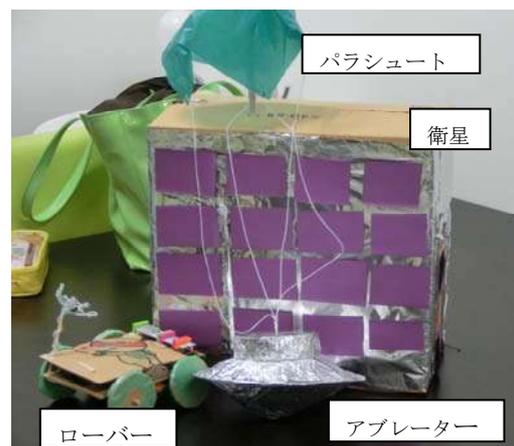


図5 試作した探査機模型の外観図

#### ◇試作

本来の機能を「littleBits」で代用したユニットを搭載した衛星、ローバー、搬送装置の模型を設計、試作した。図5に完成したものを示す。衛星内には電波発生装置に見立てた発振器、サウンドシンセサイザー、スピーカーが装備されている。ここでは、重量制限などの重要なファクターを考慮していない。今後、実際に近い模型に近づけていく必要がある。さらに、このような方法で、皆で力を合わせて新しい研究プロジェクトに挑戦したい。

[1] <http://www.mars-one.com/> [2] <http://jp.littlebits.com/>

#### 【担当教員のコメント】

火星探査機を作製することを仮想して、必要なミッションの策定からシステムの構成、ハードウェアの構成までを生徒たちが議論、協力、分担しながら遂行した。このような手法は多数の関係者でプロジェクトを遂行する際には日常的に行われており、生徒たちはその手法を体験したと考えている。

## 海苔生産時の排水からの海苔の除去に関する取組

田中 祥平（荒尾第四中学校3年）、津留 百花（大和中学校3年）

担当教員：坪根 弘明、石丸 智士、藤本 大輔、田中 彰則、竹内 伯夫（有明高専）

### ◇研究の目的・意義

平成25年6月15日から平成26年3月22日の期間、福岡・佐賀・熊本県から14名の中学生が有明次世代科学クラブに参加し、有明海周辺の地域性を活かした環境問題に関するテーマ『海苔生産時の排水からの海苔の除去』（全13回）に取り組んだ。このテーマの目的は、有明海周辺の海苔加工工場から排出され（図1）、悪臭や景観悪化の原因となっている微細な海苔を除去することである。この問題はこれまで多くの研究者等によって取り組まれており、すでに排水処理装置を販売している業者もあるが、そもそも海苔加工排水の排出基準はない。さらにこれらの提案されている処理方法は導入コストやランニングコストが高く、個人事業者である海苔養殖業者の多くは導入していないのが現状である。これらのことを踏まえ、より安価で、さらに個人事業者がメンテナンスしやすい排水処理装置の研究が求められており、このような排水処理装置を提案することが本研究の目的である。



図1 海苔加工時の排水の様子

### ◇研究の方法・プロセス

有明次世代科学クラブでは、毎年異なる環境問題に関するテーマを設定し、①生徒選抜、②学習会・現地調査、③問題解決のための検討、④設計・製作、⑤実験・データの解析、⑥実験結果に対する意見交換、⑦プレゼンテーション作成と練習、⑧成果発表、⑨評価の①～⑨を基本的なルーティンワークとして、少人数の班別形式（平成25年度は1班7名×2班）で活動を行っている。

平成25年度の取り組みでは、6月19日より有明海の現状や海苔加工排水について学習および調査を行った。特に、学習会では西海区水産研究所有明海・八代海漁場環境研究センターの松山 幸彦先生による講演会、現地調査では柳川市沖端漁業協同組合での海苔加工工場や有明海の海苔養殖場の見学等で知見を深めた。次に、実際の排水中の微細海苔の大きさについて光学顕微鏡（島津理化、GLB-B1500MBITb）を用いて測定し、排水中に含まれる海苔の大きさを調査した。また、平成25年8月19

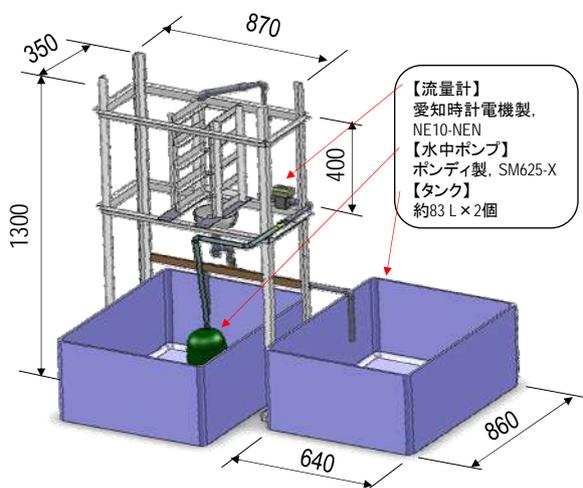


図2 分離実験装置全体図（A班）

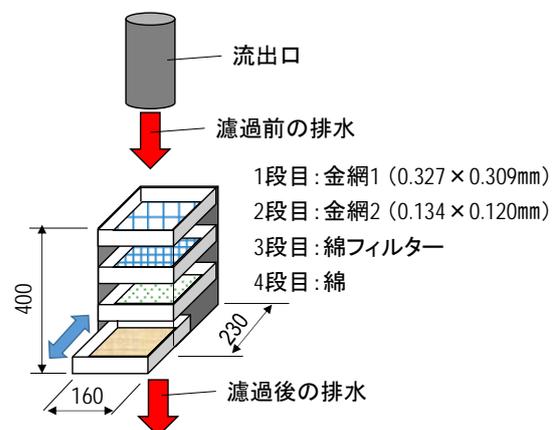


図3 分離装置本体（A班）

日（第4回）から微細海苔分離のための実験装置を検討・設計・製作し、実験を行った。図2と図3にA班で製作した分離実験装置の全体図および分離装置本体を示す。ここで、本実験装置はメンテナンスのし易さや目詰まりを考慮し、引き出し式の多段濾過式の分離装置になっている。A班では実際の海苔排水を用いた除去実験を行い、海苔の除去量について、電子天秤（AND社、EJ410）により除去できた微細海苔の質量割合で評価した。また、B班では不織布、濾過用マット、スポンジ、紙フィルターを順に設置したペットボトルを利用した濾過装置を製作し、実際の海苔排水を用いて除去実験を行うとともに、濁度計（ジャムテック社、SS/濁度センサ SSTR-5Z）により濾過装置前後の排水の濁度で微細海苔の除去量を評価できるかどうかについても検討を行った。さらに、実験のし易さも考慮し、青海苔やあおさを用いた除去実験も行った。得られたデータをまとめ、子ども環境会議2014にて発表を行った。

### ◇結果と考察

海苔排水中に含まれる海苔を観察した一例を図4に示す。海苔の大きさについて、長軸方向および長軸に垂直方向の長さを計測し、平均値を算出した。測定結果を図5に示す。4～5 mm程度の大きさの海苔が最も多く分布していた。また、今回使用した青海苔やあおさの大きさは実際の海苔排水中の海苔よりも小さかった。

A班の結果について、1.00 gの海苔を水に分散させた海苔排水において、実験装置により0.97 gを除去でき、実験装置の除去能力は97%であった。

B班の結果について、ほぼ全ての海苔を取り除くことができたが、不織布の部分ですぐに目詰まりを起こし、排水処理を続けられなくなることが分かった。次に、濾過装置前後の排水の濁度について、散乱光測定方式の濁度計では除去量の傾向をある程度把握できるものの、定量的に正確に評価するには難しいことが分かった。さらに、青海苔やあおさを用いた濾過実験でも、ほぼ全ての海苔を取り除くことができた。

### ◇今後の展望

我々は身近にあるもので濾過装置を考案してきたが、より実用的な排水処理装置に工夫していく必要がある。また、今年度は「クリークの水質改善」というテーマで海苔排水の化学的処理や生物学的処理を行っており、この地域が抱える環境問題解決に向けて継続して取り組んでいきたい。

### <講座担当教員のコメント>

1年間を通じて環境問題の解決にチャレンジし、様々な学習や現地見学、実験装置の検討・製作および実験を行い、最後は一般市民も聴講する『子ども環境会議2014』において全員がしっかりと口頭発表を行った。時間があれば、もっと成果を上げることができたと予想される。

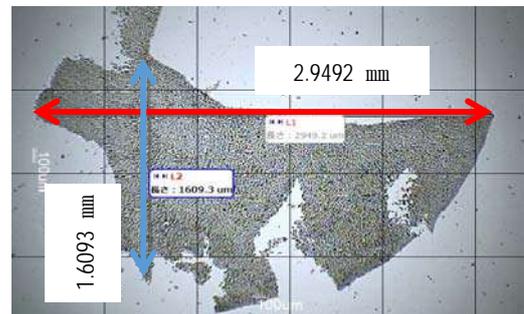


図4 排水中の微細海苔

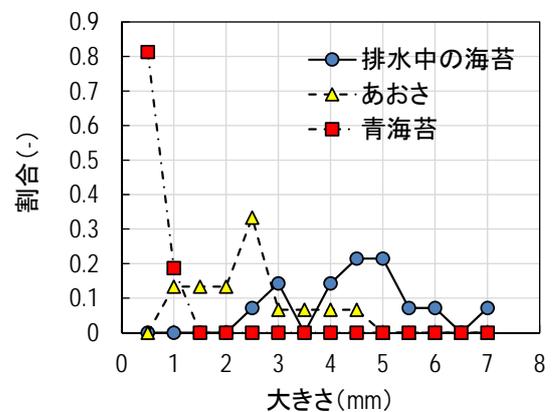


図5 海苔の大きさ分布

## Seeing Nanostructures Using FE-SEM

Haruka Komatsu (Miyagi First Senior High School)

Dr. Ryotaro Kumashiro, Dr. Yasufumi Nakamichi (Tohoku University AIMR)

### ◇The aim and importance of this study

For energy efficiencies and miniaturization of various devices, it becomes important to develop materials in nanoscale. In such a small scale world, the structure of material surface effects seriously the property of materials. The aims of this study are to observe the micro structure of the material surface with Scanning Electron Microcopy (SEM) and consider the relationship between properties and structure of materials. This research was carried out in UK-Japan young scientist workshop in which Global Science Campus took part (August 2014, in Tohoku University). We continued to discuss the results after the workshop.

### ◇Materials and Methods

#### 【experiment 1】 Estimate the number of slits on the grating

(Materials)

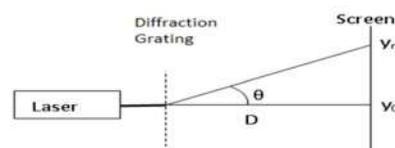
- red laser pointer (650nm) • green laser pointer (532nm)
- diffraction gratings A • diffraction gratings B • CD • DVD

(Methods)

- ① We stuck section paper to the wall as the screen. The diffraction gratings were mounted parallel to the wall. By shining red or green laser light through a slit of each gratings, the diffraction pattern was formed on the wall (Fig. 1). We measured the distance from the grating to the wall (D), and the distance from the 0<sup>th</sup> order peak  $y_0$  and 1<sup>st</sup> order peak  $y_1$  (Y). This procedure was repeated three times and calculated the average values of Y. The slit separation “d” was estimated by the equation,  $d = m\lambda / \sin \theta \cong m\lambda / \tan \theta = (Dm\lambda) / Y$ , where “m” was the order of interference and “ $\lambda$ ” was the wavelength of the laser. The approximation  $\sin \theta = \tan \theta$  is reasonable for small angles. The number of the slits per 1mm was calculated as the reciprocal of the value of “d”.
- ② Measure the slit separation of each diffraction gratings by using SEM and calculate the number of slits.
- ③ Compare the results of ① and ② to the actual number



(Fig. 1) The picture of diffraction pattern. Brightest spot is the 0<sup>th</sup> order peak.



(Fig. 2) The diffraction of light by diffraction grating

#### 【Experiment 2】 Structural color and Shell of Abalone

The abalone shell shows iridescent colors at the inner side. Such a color is called structural color, because structural color is caused by the nanoscale periodic structure that diffracts light. Diffracted lights interfere with one another and cause the structural color. The thick inner layer of the shell is composed of nacre or mother-of-pearl, which is highly iridescent, giving rise to a range of strong and changeable colors. We studied how abalone shell (mother-of-pearl) causes structural color.

(Methods)

- ① Observe the structure of the inner surface of abalone shell using SEM.
- ② Measure the thickness of an inner layer of the abalone shell using SEM. Measure ten times, adjust values in consideration of gradient of layers, and average the adjusted values.



(Fig. 3) Abalone shell

- ③ Analyze the chemical composition of an inner layer using the Energy Dispersive X-ray Spectrometer.

### ◇Results and Discussion

#### 【Experiment 1】

The estimated number of slits is shown in Table 1. There were differences between estimated, observed, and actual values (Table 2). Especially for DVD, there were large differences among values. It is assumed that a small measurement errors at the narrow slit spacing materials can lead to larger differences of the results than in diffraction gratings or CD. We should measure the distance more accurately.

#### 【Experiment 2】

- ① We found that the structure of abalone shell was formed by multilayer of hexagonal tiles, which was slanted. The layers make nanoscale periodic stripes on the inner surface of the abalone shell.
- ② The average of layer thickness was  $0.649 \mu\text{m}$  (Table 3). This value was within the range of the wavelength of visible light ( $0.380\sim 0.750 \mu\text{m}$ ). This suggests that the iridescent color is caused by the interference of reflected lights from each layer.
- ③ As a result of analyzing the chemical composition, the inner layer consisted of carbon (37.04%), oxygen (53.92%), and calcium (9.04%). This result indicates that main component is calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), and explains well hexagonal patterns of inner layer because a crystal structure of aragonite (one of crystal forms of calcium carbonate) was also hexagonal form.

In conclusion, our results show that the splitting of visible light on the surface of the abalone results in the iridescent colors.

### ◇Prospects for the future

This research was carried out as part of the study on the relationship between the nanoscale structure and optical properties of materials. This relationship can be seen in the nature. I could learn that to observe actual structure directly is the way to understand more detailed. I want to research more phenomenon from now on. I could learn that it was important to overcome wall of language and fuse each opinions and create something new. There were a lot of things to learn, and I felt I could develop myself to be scientist in the future.

.....

<Comment by the teacher who taught this research>

They were required to understand the principle of this research in English, conduct the experiments, and hold discussions in English. They performed well in all aspects of their research. We highly appreciate the effort they have put into their study.

(Table 1)

|                       | $\lambda / \text{m}$ | D/m   | $\gamma / \text{m}$     | m | Mean average $\gamma / \text{m}$ | Mean average d/m      | Slits/ per mm |
|-----------------------|----------------------|-------|-------------------------|---|----------------------------------|-----------------------|---------------|
| diffraction grating A | $650 \times 10^{-9}$ | 0.440 | 0.159<br>0.156<br>0.158 | 1 | 0.158                            | $1.81 \times 10^{-6}$ | 552           |
| diffraction grating B | $650 \times 10^{-9}$ | 0.140 | 0.121<br>0.112<br>0.119 | 1 | 0.117                            | $9.94 \times 10^{-7}$ | 1000          |
| CD (Victor)           | $650 \times 10^{-9}$ | 0.140 | 0.074<br>0.068<br>0.060 | 1 | 0.0673                           | $1.35 \times 10^{-6}$ | 740           |
| DVD (Sony)            | $532 \times 10^{-9}$ | 0.140 | 0.144<br>0.148<br>0.145 | 1 | 0.146                            | $5.10 \times 10^{-7}$ | 2000          |

(Table 2)

|                       | Our calculated slit separation/ per mm | Slit separation measured under FESEM/ per mm | Actual slit separation /per mm |
|-----------------------|--|--|--------------------------------|
| diffraction grating A | 552                                    | 520  | 500                            |
| diffraction grating B | 1000                                   | 981  | 1000                           |
| CD                    | 740                                    | 670  | 625                            |
| DVD                   | 2000                                   | 1531   | 1351                           |

(Table 3)

| Hexagon tile NO. | Thickness ( $\mu\text{m}$ ) | Actual thickness ( $\mu\text{m}$ ) |
|------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 1                | 0.342                       | 0.684                              |
| 2                | 0.375                       | 0.750                              |
| 3                | 0.249                       | 0.592                              |
| 4                | 0.403                       | 0.806                              |
| 5                | 0.315                       | 0.630                              |
| 6                | 0.253                       | 0.506                              |
| 7                | 0.319                       | 0.638                              |
| 8                | 0.326                       | 0.652                              |
| 9                | 0.351                       | 0.702                              |
| 10               | 0.267                       | 0.534                              |
| average          | 0.325                       | 0.649                              |

### 走査型電子顕微鏡を用いた物質の構造観察

小松 陽花 (宮城県宮城第一高等学校 2年)

担当教員: 熊代 良太郎、中道 康文 (東北大学 原子分子材料科学高等研究機構)

#### ◇研究の目的・意義

様々なデバイスの省エネ化、小型化の為に、ナノメートルスケールの世界での材料開発が重要になっている。そのような小さなスケールの世界では、物質の表面の構造が、物質の性質に大きな影響を与える。ナノメートルスケールでの物質の構造を観察できる走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて材料を観察し、その性質との関係について考察した。本研究は、グローバルサイエンスキャンパス事業も参画した日英 science workshop (平成26年8月に東北大学にて実施) において研究/発表したものであり、結果の考察の部分的な修正を継続して行った。

#### ◇研究の方法・プロセス

【実験1】回折格子のスリットの1mmあたりの本数を求める。

板ガラスなどの片面に1cmあたり数百~数千本の細い平行な溝を付けたものを回折格子という。回折格子の溝と溝の間は、スリットの役割を果たすので、波長の決まったレーザー光 (単色光) を通過させると、強め合う位相がそろった方向で強く発光が見られる (図1)。

(準備物)

・赤色レーザーポインタ ・回折格子 A ・回折格子 B ・CD (victor) ・DVD (Sony)

(実験手順)

- ① 壁に模造紙を貼り付け、分散素子と壁の距離を50cmで一定にする (これをDと呼ぶ)。レーザーポインタの光を通し、光が回折してできた0次光の光点 ( $y_0$ ) と1次光の光点 ( $y_1$ ) の光点の距離 (Y) を測った。これを計3回ずつ行い、平均を出す。

dを回折格子のスリット間隔、mを干渉の次数とし、 $\lambda$ を波長とする。光点間の距離式

$$d = (Dm\lambda)/Y \quad \dots (1)$$

に値を代入してdの値を計算によって求める。(ただし、 $\theta$ の値が小さいとき、 $\sin \theta = \tan \theta$ と近似した。)

dを求めることにより、1mmあたりのスリットの本数を求める。

- ② SEMを用いて、実際の回折格子のスリット間隔を測定し、スリットの本数を数える。
- ③ ①と②の実験によって得られたdの値、また、実際のスリットの本数を比較する。

#### 【実験2】構造色とアワビの貝殻について

アワビの貝殻の表面は、虹色にきらきらと光って見え、角度によって、見える色が変わる。また、回折格子やDVD、CDも同様に、このような色が見られる。この色は構造色と呼ばれており、実際に物質に色が付いている訳ではない。回折格子やCD、DVDは細かいスリットの間を光が通過することによって、回折した光同士が干渉することで虹色に見える。アワビの貝の表面は、真珠層できているが、アワビはどのようにして構造色をうみだしているのか、ということ調べた。

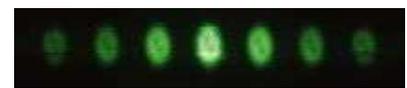


図1 回折光のスポット写真。明るい点が0次光、1次光、等に対応している。

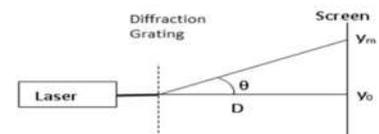


図2 回折格子による光の回折。

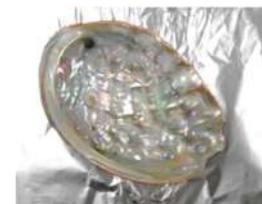


図3 アワビの貝殻

(実験手順)

- ① SEM を用いて、アワビの貝殻の表面の構造を観察する。
- ② SEM を用いて、アワビの貝殻の内部層の厚さを測定する。10 回測定し、その平均を出した。
- ③ SEM を用いて、アワビの貝殻の内部層の組成を調べる

◇実験結果と考察

【実験 1】

測定結果を表 1 に示す。これらの値を用いて(1)式に代入し、本実験によるスリット間隔の測定による d の値と SEM を用いて測定した値と実際の d の値とを比較した結果を表 2 に示す。結果には、多少の誤差があった。特に DVD については、誤差が大きく出てしまい、1mm あたりのスリット数が多い時の計測が難しい結果となった。また、SEM による実測も、測定時誤差が生じてしまった。ナノスケールでの誤差は、スケールを大きくしたときに、誤差の現れ方が顕著であるので、このような結果に至った。

【実験 2】

アワビの貝殻の構造は六角形のような形の多層膜が形成されたものであることが確認された(図 3)。平たい結晶のようなものが、レンガのように斜めに積み重なっており、貝の表面には規則正しい縞模様ができる。

可視光の波長は 0.380~0.750 μm であり、この層の厚さの平均は(測定値) 0.649 μm であった。多層膜は、その一つ一つの膜の厚さと同程度の波長の光を反射する。そのため虹のような光が反射光として見える。今回観測されたような結晶構造はアラゴナイトと呼ばれており、炭酸カルシウムが形づくっているものである。

表 1 回折格子、CD、DVD を用いた実験結果

|             | λ/m                  | D/m   | γ/m                     | m | 平均 γ/m | 平均 d/m                | スリット数/mm |
|-------------|----------------------|-------|-------------------------|---|--------|-----------------------|----------|
| 回折格子 A      | 650x10 <sup>-9</sup> | 0.440 | 0.159<br>0.156<br>0.158 | 1 | 0.158  | 1.81x10 <sup>-6</sup> | 552      |
| 回折格子 B      | 650x10 <sup>-9</sup> | 0.140 | 0.121<br>0.112<br>0.119 | 1 | 0.117  | 9.94x10 <sup>-7</sup> | 1000     |
| CD (Victor) | 650x10 <sup>-9</sup> | 0.140 | 0.074<br>0.068<br>0.060 | 1 | 0.0673 | 1.35x10 <sup>-6</sup> | 740      |
| DVD (Sony)  | 532x10 <sup>-9</sup> | 0.140 | 0.144<br>0.148          | 1 | 0.146  | 5.10x10 <sup>-7</sup> | 2000     |

表 2 計算結果と SEM 測定結果の比較

|       | 計算で求めたスリット数/mm | FESEMで実測し求めたスリット数/mm | 実際のスリット数/mm |
|-------|----------------|----------------------|-------------|
| 回折格子A | 552            | 520                  | 500         |
| 回折格子B | 1000           | 981                  | 1000        |
| CD    | 740            | 670                  | 625         |
| DVD   | 2000           | 1531                 | 1351        |

表 3 アワビの層の厚さ

| 六角形の形のタイル | 厚さ(μm) | 実際の厚さ(μm) |
|-----------|--------|-----------|
| 1         | 0.342  | 0.684     |
| 2         | 0.375  | 0.750     |
| 3         | 0.296  | 0.592     |
| 4         | 0.403  | 0.806     |
| 5         | 0.315  | 0.630     |
| 6         | 0.253  | 0.506     |
| 7         | 0.319  | 0.638     |
| 8         | 0.326  | 0.652     |
| 9         | 0.351  | 0.752     |
| 10        | 0.267  | 0.534     |
| 平均        | 0.325  | 0.649     |

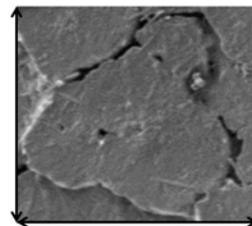


図 3 アワビの貝殻の表面構造

◇今後の展望

ナノメートルの世界の構造が、色に影響を及ぼしていることを明らかにする研究の一環として実施された。実際の自然界の中にも数多く見られる現象でもあり、実際の構造を直接観測することでより詳しい理解につながることを学んだ。今後さらにいろいろな現象について調べていきたい。また、この研究は、イギリスと日本の高校生との共同で実施され、説明も仲間との意見交換も全て英語で行われた。イギリスの仲間と、いかに言語の壁を乗り越えて、意見を融合させ、新しいものを生み出していくか、それがとても重要なことだと、学ぶことができた。

.....  
 <講座担当教員からのコメント>本研究は、代表者と日英高校生 5 名が協力し、原理的な理解や観測結果の整理、計算結果との相違などを英語で議論し、得られた結果から、なぜそのようなことが起こっているのか? という研究の基本、原点を自ら考え実行したことを高く評価する。

## 海水を使った発電はできるか～未来の浸透圧発電～

真辺千尋（沼津市立大岡中学校 1学年）

担当教員（増田俊彦）

### ◇研究の目的・意義

小学校6年生の時から、「浸透圧発電」というものをテーマに研究をしている。もともと自分が釣りをやっており、海について興味があったからだ。浸透圧発電は、海水と真水を半透膜という膜で仕切って、そこに発生する浸透圧を使って発電をするものである（図1）。実用化のされていない未来の発電技術である。この実用化されていない発電を自分でも行ってみたいと考えた。

去年は、「浸透圧を大きくする条件」というものを実験を通して見つけた。そして、浸透圧発電の研究も行っている東京工業大学特任教授の谷岡先生にお話を伺うことができた。

今年、「浸透圧と2つの条件（海水の濃度、半透膜の面積）の関係」について、実験をする。そして、長崎にある実際の発電施設を見学して自分の理解を深め、実用化の課題を知り、自分で発電するためのヒントとしたい。

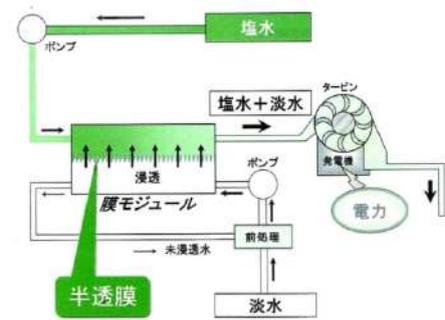


図1.浸透圧発電の概要

### ◇研究の方法・プロセス

I. 昨年、浸透圧発電に使う海水について調べた。海水はどのくらいしょっぱいのかと思い、全国各地の海水の塩分濃度、河口付近の塩分濃度の変化、海の深さによる塩分濃度の変化などを調べてみた。自分の決めた深さの海水を採る仕組みも考えた。塩分濃度は購入した塩分濃度計を使用して計測した。

II. 浸透圧の実験は、（図2）のようにチューブ型の半透膜に海水を入れ、それを真水につける。すると浸透圧が発生し、真水が半透膜内へ移動する。その先につながっているホースの水位上昇を1分ごとに10分間測定した。

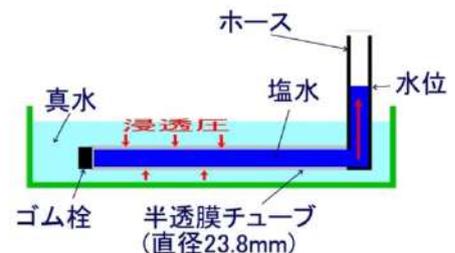


図2.浸透圧実験の図

去年は「浸透圧をどうしたら大きくすることができるか」ということを調べた。海水と真水、半透膜で成り立っている発電なので自

分で3つの条件（海水の濃度、真水の温度、半透膜の面積）を立てて調べてみることにした。今年、それぞれの条件と圧力の関係について、もう少し細かく多くのデータを集めた。

III. 去年は、浸透圧発電を実際に行っている、東京工業大学の谷岡先生に直接お話を伺うことができた。今年、その時に話題となった長崎の浸透圧発電施設に、どうしても行ってみたいと思った。谷岡先生をお願いをして、見学の許可をとっていただき、谷岡先生と共同で発電実験を行っている協和機電工業（長崎県）で発電施設の見学をさせていただくことにした。

### ◇結果と考察

I. 全国各地の海水の塩分濃度を測ってみた。主に自分の住んでいる静岡県で測定したが、ほかにも愛知、鹿児島、沖縄で計16か所、測定を行った。全体的に見て、海水の塩分濃度はだいたい同じで約3.5%だった。河口付近では、予想通り海に近いほうの塩分濃度が高かった。また、水深の違いによる塩分濃度の違いはなかった。これにより海水についての理解を深められた。

II. 昨年行った実験で、真水の温度を変えても何も変化はなかった。このことから、浸透圧と真水の温度は関係ないことが分かった。また、海水の濃度と半透膜の面積を増やしたらより大きな浸透圧が発生した。今年はさらにいろいろな条件で実験して、「海水の濃度と浸透圧が比例している」こと、「半透膜の面積と浸透圧が比例している」ことが分かった（表1、表2）。どちらの条件も浸透圧と比例していることが分かったので、さらに2つの条件（海水の濃度と半透膜の面積）を同時に変化させる実験をした。関係性までは分からなかったが、海水の濃度と浸透圧の両方を大きくすると浸透圧がたくさん発生することが分かった。（表3）。各表は浸透圧を発生させてから10分後のホース内の水位である。また、浸透圧により、半透膜内の海水の濃度が薄くなっていくので時間とともに水位上昇はぶくなくていくことが分かった。しかし、半透膜が破れやすく、何度も失敗しながらの実験だった。

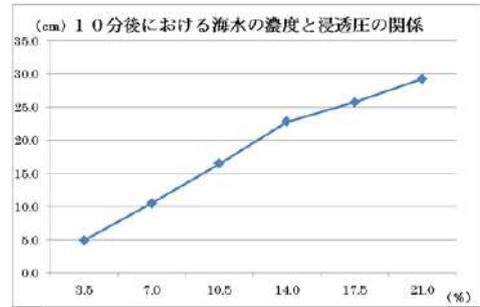


表 1. 海水の濃度と浸透圧の関係

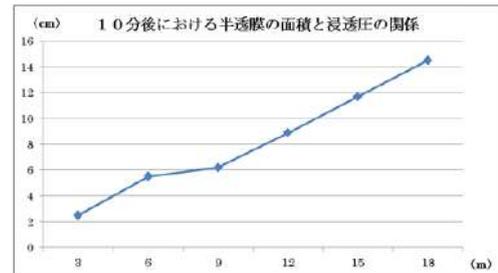


表 2. 半透膜の面積と浸透圧の関係

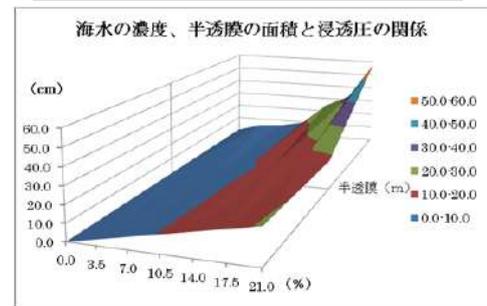


表 3. 海水の濃度、半透膜の面積と浸透圧の関係

III. 長崎で浸透圧発電の研究をしている協和機電工業へ行き昨年の研究結果を発表した。協和機電工業の方からも発表していただいた。浸透圧発電を専門としている方々に発表して、たくさんの意見をいただくことができたのでとてもうれしかった。たとえば、逆浸透圧という方法を使って、海水を淡水にするという技術もあることを教

えていただき、発電だけでない浸透圧の使い道があることを知った。また、半透膜の種類を、いくつか教えてもらい、自分の実験では海水の濃度が薄まるという欠点を指摘していただいた。

◇今後の展望

長崎に行ったとき教えていただいた「半透膜にもいくつかの種類がある」ということを生かし、海水の濃度と半透膜の面積以外に、「半透膜の種類」という条件を加えて実験を続けていきたいと思う。また、薄まらないために常に海水を送りこむ方法を考えたい。

そして2年後を目標に自分の浸透圧実験でLEDの点灯でもいいから発電をしてみたい。

浸透圧発電が実用化されれば、「海水と真水しか使わない」素晴らしい自然エネルギーになると思った。現在の火力発電や原子力発電に代わる発電になればいいなと思い、実用化が楽しみだ。

◇主要参考文献

図 1. 浸透圧発電の概要（電気協会報 2012年9月号 谷岡先生より提供）

<講座担当教員のコメント>

再生可能なエネルギーの価値が高まっている中で、海水と真水を使用して電気エネルギーを作る「浸透圧発電」、社会的な意義も大きい。実際に研究開発に携わる研究者から助言を得て、研究を進めており、今後の発展も期待できる。ぜひ実用化に向け継続的に研究して欲しい。

## 中性 KI 法の改良と大阪の山域オゾンの研究

細川 恭太 大阪府立高津高等学校 2年

### ◇研究の目的・意義

対流圏オゾンは光化学スモッグの主要成分であり、温室ガスでもある。近年対流圏での濃度が上昇しており、都市部や高い山岳などでその濃度が高いことが知られている。我々はオゾン濃度測定法である中性 KI 法の野外測定における問題を発見したため、その解決策を考えるとともに原因の解明に取り組んだ。また、明らかになっていない大阪府の山岳におけるオゾンの様子を調べるため、中性 KI 法を用いて濃度測定を行い、オゾン濃度の推移の特徴を考察した。

### ◇研究の方法・プロセス

#### ①中性 KI 法の原理

中性 KI 溶液 (吸収液) にオゾンを含む一定体積の空気をバブリングすると、上の反応によりヨウ素が発生する。黄色く変色した溶液の吸光度(355nm)を測ることで、オゾン濃度を算出する。



#### ②溶液の調製

中性 KI 溶液 …ヨウ化カリウム KI10g、リン酸一水素ナトリウム Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 14.2g、リン酸二水素カリウム KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>13.6g を純水に溶かし、塩酸または水酸化ナトリウムで pH=7.0±0.2 に調整した後、全容を 1000mL に希釈する。

標準液(オゾン濃度 100ppb 相当) …ヨウ素 I<sub>2</sub>0.317g ヨウ化カリウム KI 1.6g に純水を加え 100mL にした後、中性 KI 溶液で 1250 倍に希釈する。

#### ③バブリング方法

中性 KI 溶液 10mL を入れた 2 本の比色管を直列につなぎ、ポンプで空気を毎分 1.0L で 30 分間吸引する。

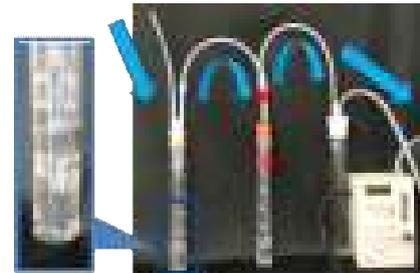


図1 バブリングの様子

#### ④吸光度の測定とオゾン濃度の算出

紫外線 LED (波長 355nm) を用い、試料セル通過した光の強さ (フォトダイオードに接続した電圧計の値) を読み取る。バブリング前の中性 KI 溶液をセルに入れた時の電圧値を A<sub>0</sub>、1 本目・

2 本目の比色管でバブリングした後の溶液をそれぞれ A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> (A=A<sub>1</sub>+A<sub>2</sub>)、標準液を B として、下の計算式に当てはめる。

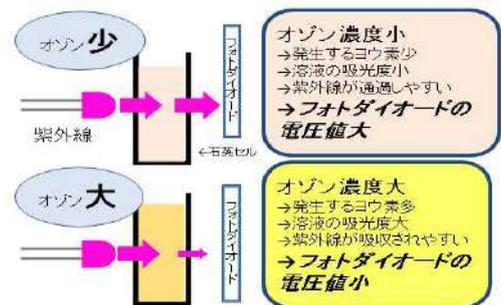
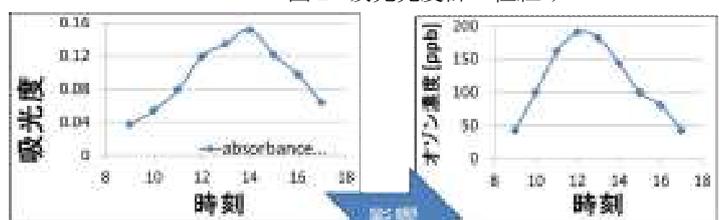


図2 吸光度計の仕組み

$$O_3[\text{ppb}] = A/B \times 2404 / \text{バブリングした空気の体積 [L]}$$

#### ⑤中性 KI 法の問題点

生駒山頂で異常に高いオゾン濃度測定値が出た。調査の結果バブリング前の中性 KI 溶液の吸光度[A<sub>0</sub>]の変動による誤差であることが分かった。

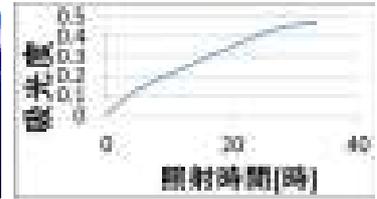


グラフ1 A<sub>0</sub>の変動と生駒山頂のオゾン濃度(.13 10/14)

そこで、1時間ごとに A<sub>0</sub> を測り直し、測定値算出の際に吸光度増加分を差し引くことによって誤差を最小化した。

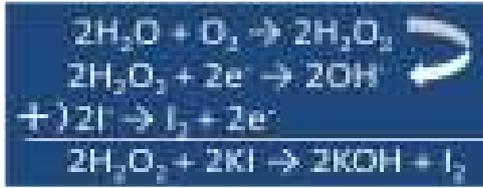
⑥吸収液の吸光度変化の原因

中性 KI 溶液に紫外線を当て続けたところ、吸光度が上昇し続けたことから、紫外線が溶液内の反応の引き金であると言える。

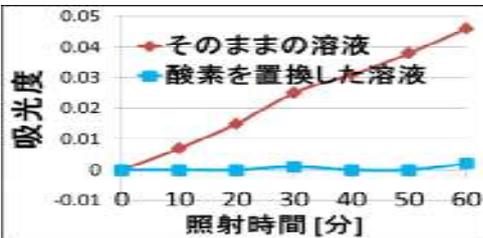


グラフ 2 紫外線を当てた時の中性 KI 溶液の吸光度の変化

⑦溶液内での反応についての仮説と実験



左のような反応の結果、オゾンとの反応以外でヨウ素が発生することが吸光度上昇の原因だと考え、i) そのままの溶液、ii) 窒素ガスで酸素 O<sub>2</sub> を窒素 N<sub>2</sub> に置換した溶液の2種類を用意し、対照実験を行った。

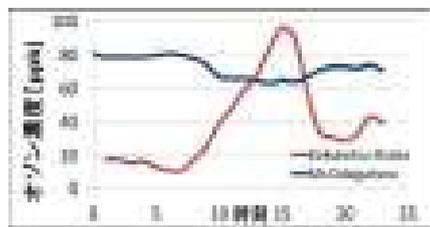


すると、i) のそのままの溶液の吸光度だけが上昇した。また、日光に当てる実験でも同様の結果が得られたことから、吸光度変化 (誤差) の理由は紫外線が当たる時、溶液中の酸素が原因で過酸化水素が発生しヨウ素が発生することであると推定した。

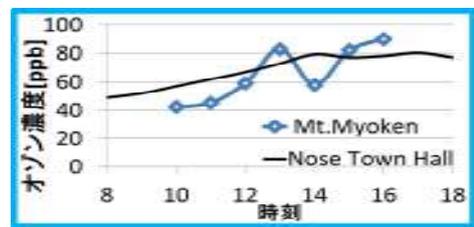
グラフ 3 2種類の中性 KI 溶液の吸光度の変化

⑧山岳オゾン研究の方法

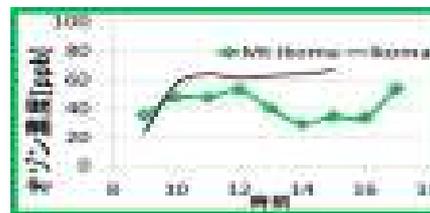
大阪府を囲む3つの山岳の頂上でオゾン濃度を測定した後、各山岳の最寄りの測定局 (地上局) のオゾン濃度と比較し、その推移の特徴を考察する。



グラフ 4 典型的な高山と都市部のオゾン



グラフ 5 妙見山頂のオゾン(14 5/11)



グラフ 6 生駒山頂のオゾン(14 3/23)



グラフ 7 金剛山頂のオゾン(14 5/18)

◇結果と考察

- ・ 中性 KI 法の測定値に誤差が出る現象については、補正法を考え原因を究明することができた。
- ・ 大阪府の山城オゾンについては、いずれも低山であるためか、風に影響されやすく、都市部からのオゾンの流入が考えられ、高山より都市部のオゾンに近い推移であった。

◇主要参考文献

1) 環境庁企画調整局研究調査課環境測定分析参考資 1978 第3分冊 第2章 2節 大気汚染分析の測定技術 2) 大気汚染物質広域監視システム(そらまめ君)

### 氷の中の化学反応

泉 裕大（堺市立美木多中学校 3 年）、幸野 立奈（堺市立月州中学校 3 年）、  
半井 陽大（堺市立庭代台中学校 3 年）、岩永 千里（堺市立赤坂台中学校 3 年）、  
石丸 海輝（堺市立八田荘中学校 1 年）、中西 希天（大阪教育大学附属天王寺中学校 1 年）、  
奥田 悠人（堺市立長尾中学校 1 年）、  
竹中 規訓（公立大学法人大阪府立大学工学研究科教授）

#### ◇研究の目的・意義

ふつうの化学反応は温度を下げると反応速度が遅くなる。しかし、次の反応は酸性溶液中で温度を下げて氷にすると反応が促進される。



この氷の中ではなぜ反応が早く進むのか、反応速度は何で決まっているのかを調べ、そのメカニズムを考えてみた。

#### ◇実験方法

実験手順を図 1 に示す。

- ① 予め決めた量の 1.5% のヨウ化カリウム水溶液と pH=1 の希硫酸を 100mL のメスフラスコに入れ、純水で薄めてちょうど 100mL とする。全体の水溶液の量が 100mL であるので、最初に 1.5% ヨウ化カリウムの水溶液を 1mL 入れておけば、できた水溶液のヨウ化カリウムの濃度は 0.015% となる。
- ② できた水溶液を試験管にとりわける。また、余った水溶液で水溶液の pH を測定する。
- ③ 水溶液を入れた試験管を液体窒素に 30 秒間つけて急冷させる。徐冷すると過冷却となり氷ができない場合があったので、ここでは急冷させて確実に氷ができるようにした。
- ④ -20℃ の冷凍庫で所定の時間冷却する。（冷凍時間）
- ⑤ 温浴して氷を溶かす。
- ⑥ 吸光度計でヨウ素の光吸収を測定し、その吸収の大きさより水溶液中のヨウ素の濃度を求める。

#### ◇実験結果

まず、水溶液の pH を 2.3、ヨウ化カリウムの濃度を 0.015% として実験を行った。冷凍せずに室温で放置した場合ヨウ素はほとんど生成されなかった。まず、図 1、③の液体窒素冷却をせずに徐

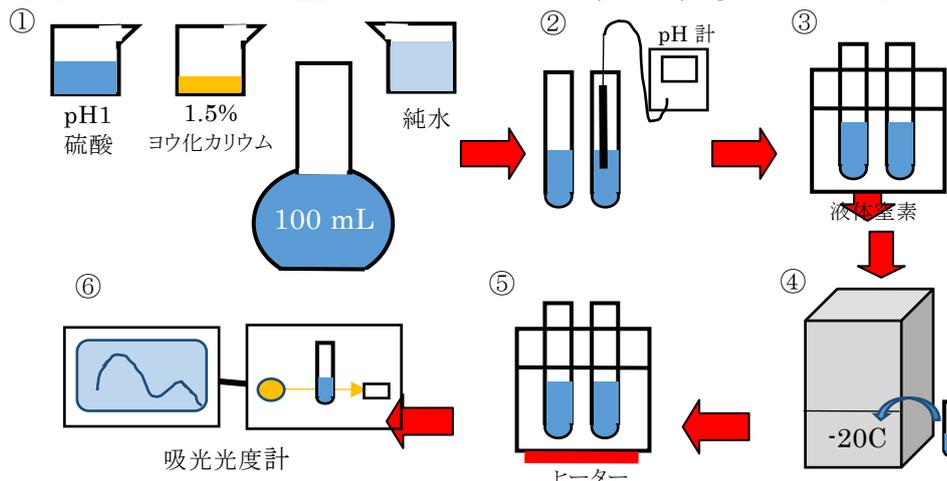


図 1 実験方法の説明

冷して 60 分低温放置した。このときは過冷却となり氷はできなかった。この場合もほとんどヨウ素は生成されなかった。③の液体窒素による急冷を行なった後、冷凍保存を行うと常に氷が生成された。この場合は明らかにヨウ素による光吸収が見られた。冷凍時間と生成されるヨウ素濃度の関係を図 2 に示す。冷凍時間を長くすると生成されるヨウ素濃度が増大することがわかる。

ヨウ化カリウムの濃度を 0.015%、冷却時間を 90 分としたとき水溶液の pH と生成されるヨウ素濃度の関係を図 3 に示す。実験のばらつきは大きいですが pH2~3 で生成されるヨウ素濃度が最大となるこ

とがわかる。

◇考察

室温、および、 $-20^{\circ}\text{C}$ でも氷がないときはヨウ素が生成されないことより、氷ができることにより反応が促進されることがわかる。化学反応は温度が高いほど、反応するものの濃度が高いほど速く進む。この実験では温度は低いので、反応するものの濃度が高くなったと考えられる。氷ができるとき水は凍っていくため、反応するものが溶け込んでいる水の量は減少して（図4）、そこでの反応物の濃縮により化学反応が促進されると考えられる。

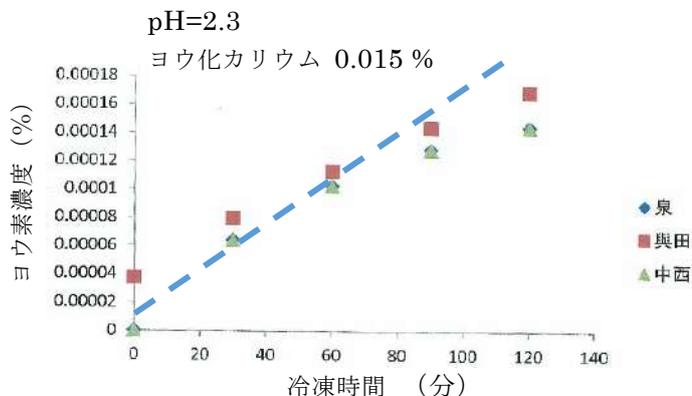


図2 冷凍時間と生成されるヨウ素濃度の関係

生成されるヨウ素濃度が冷凍時間、すなわち反応時間に正比例するならば図2のグラフは直線となるはずである。しかし、図2より時間とともに最初の直線より下回ってきており、ヨウ素の生成速度が徐々に遅くなることがわかる。これは反応の進行とともにヨウ化カリウムが消費されて、その量が減少していくためと考えられる。図3より pHが高いときは酸性が弱く反応も起こりにくいことかわかる。一方 pH2 以下では酸性を強くするとヨウ素の生成量が減少する。通常、pHが低いほど反応が起こりやすいと考えられるため、これは氷中での反応の特徴と考えられる。pHの低下とともに氷中に取り残された水溶液部分でのヨウ化カリウムの濃縮が起こりにくくなっていくためと考えられるが、その詳細は今後解明していく必要がある。

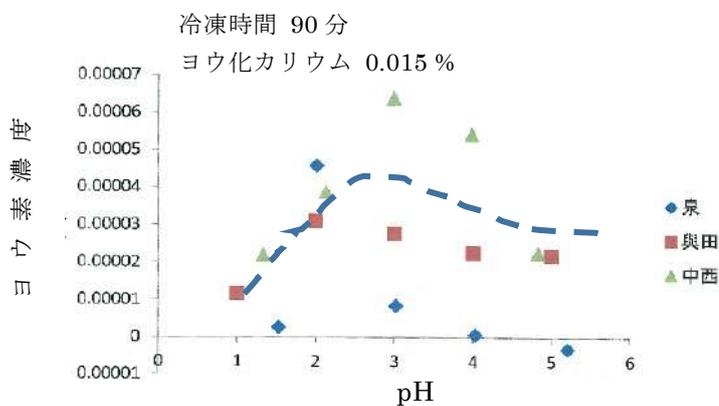


図3 水溶液の pH と生成されるヨウ素濃度の関係

◇結論

氷中で促進される化学反応が確かめられた。ヨウ化カリウムの濃縮が起こっているためと考えられる。ある pHのところで生成されるヨウ素の量は最大となることがわかった、これは氷中での反応に特徴的なものである。今後、氷の結晶のでき方との関係なども調べてみたい。

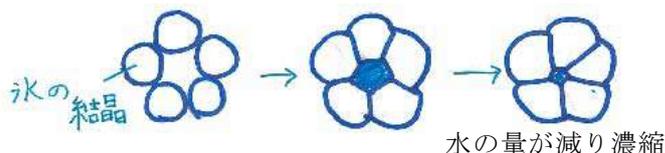


図4 氷の成長とともに反応物が濃縮される様子を示す説明図

【担当教員のコメント】

氷ができる低温の方で化学反応が促進されるという珍しい系の研究に取り組みさせた。内容は多少難しかったかもしれないが、氷ができたことによる濃縮がポイントということを生徒たちが図4のようなイメージ図を使って発表してくれたので、本質的なところは理解してくれたと考えている。

### 氷の溶け方の違いについての研究

宮本 大輝 (山口県立下関西高等学校 1年)

担当教員 田中将己 (九州大学工学研究院准教授)

#### ◇研究の目的・意義

中学生の頃、麦茶とスポーツドリンクにほぼ同時に入れたはずの氷が何故かスポーツドリンクの方が早く溶けたことに気が付いた。そこで中学2年生の時に氷の溶け方の違いを簡単に研究した。今回は当時の研究を進展させ、より深い検証を行った。

氷の溶け方の違いを知ることで、日常生活にも役立つと思われる。

#### ◇研究の方法・プロセス

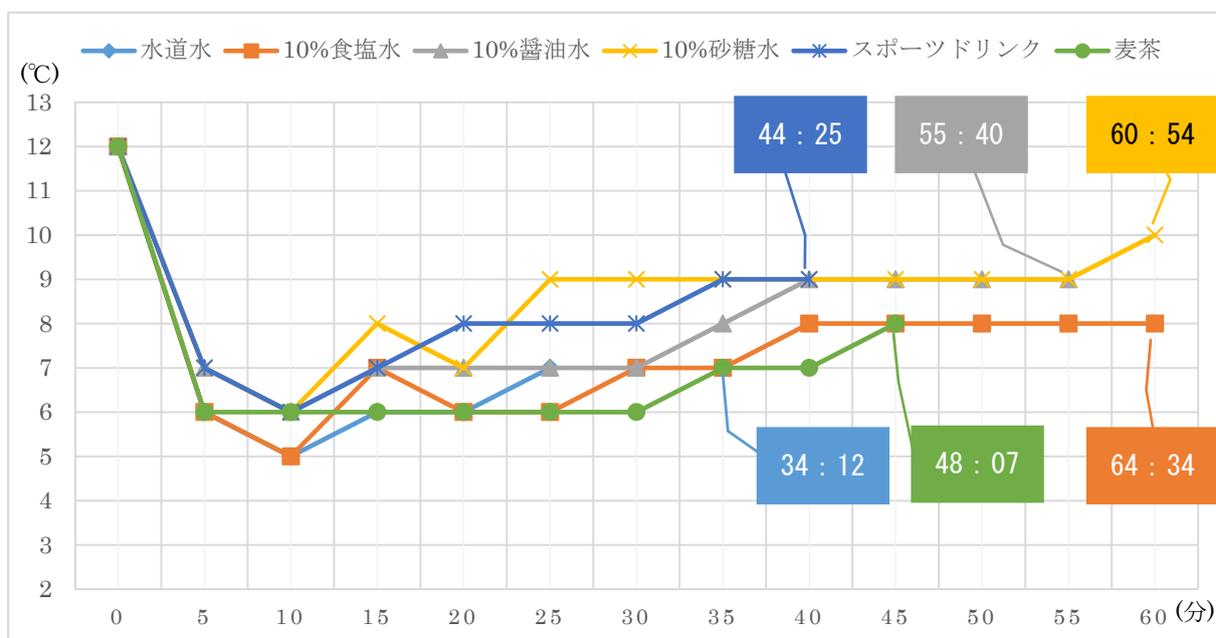
##### I. 液体による違いを調べる

- ① 6種類の液体 (水道水、10%食塩水、10%醤油水、10%砂糖水、スポーツドリンク、麦茶) をすべて同じ温度にする。
- ② 同じくらいの大さきの氷を同時に投入し、溶け終わるまでの時間を計測する。
- ③ 5分毎に液体の温度を計測し推移を見る。



図 1 研究の方法

#### ◇結果と考察



※四角内は氷が溶けるのに要した時間

図 2 実験結果

まず初めに、10%醤油水は食塩相当量から考えて約1.5%食塩水に近似する。図2より液体によって氷が溶け終わるまでの時間と液温の推移が異なった。液温が異なった原因としては熱対流に

よるものだと考えられる。対流の中でも「マランゴニ対流」というものがある。マランゴニ対流は液体の表面張力の差によって生じるものである。液体の表面張力は液体の濃度や温度によって変化する。そのことを検証するために液温が異なる水道水（78℃、46℃、5℃）で1円玉を浮かべて表面張力の強さを調べた。その結果78℃と46℃の水道水では1円玉が浮かばなかったのに対し、5℃の水道水では1円玉が2枚浮かんだ。このことから、液温が低くなるほど表面張力が高くなることがわかる。

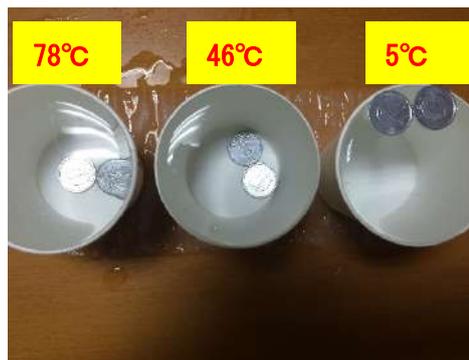


図 3 温度による違い

以上を踏まえると、液体の温度差が大きいほど表面張力の強弱が大きくなりマランゴニ対流が盛んに起こり、より早く氷が溶けると考えられる。しかし、それだけでは麦茶よりも液体の温度差が大きい10%食塩水についての説明がつかない。そこで、溶質による表面張力の強度の違いも調べた。液温を17℃にして比較すると水道水には1円玉が浮かばなかったが、食塩水には1枚、砂糖水には2枚1円玉が浮かんだ。即ち、水道水<食塩水<砂糖水の順に表面張力が強いことになる。そうすると、理論上は食塩水に入れた氷のほうが砂糖水に入れた氷よりも早く溶けるはずだが、今回はその結果が得られなかった。

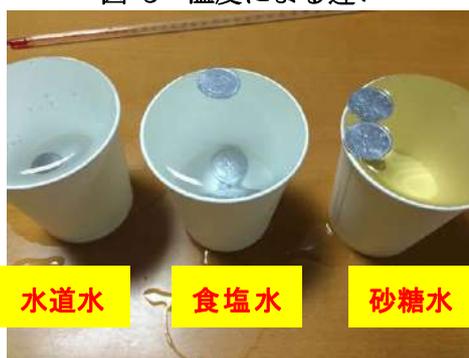


図 4 溶質による違い

多少の矛盾点はあるがマランゴニ対流は液体の温度と溶質によって大きく変化し、氷の溶け方に影響を与えるといえるだろう。

多少の矛盾点はあるがマランゴニ対流は液体の温度と溶質によって大きく変化し、氷の溶け方に影響を与えるといえるだろう。

#### ◇今後の展望

今回は自宅にあるもので研究を行ったので、水銀温度計や溶質を計量した秤は有効数字が2桁までしか計測できず計測値があまり正確なものではなかった。有効数字を3桁にして研究を行えばマランゴニ対流と液体の温度や溶質との関係性がもっと明らかになるかもしれない。

また、今回使用した液体以外のものでもマランゴニ対流との関係性を今後調べていきたい。

#### ◇主要参考文献

- 1) JAXA 宇宙航空研究開発機構 『物質科学実験 Marangoni：マランゴニ対流の基礎知識』  
<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/theme/first/marangoni/kiso.html>
- 2) HyperPhysics Concepts 『surface tension』  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

#### <講座担当教員のコメント>

生活の中でみられるささいな違いに目を付けて、その理由を明らかにしようとしている宮本君の姿勢は、研究テーマを自ら創造しなければならない研究者として、最も重要な素養の一つであり、将来が期待される。今後は、仮説の真偽をより精緻な実験で検証して欲しい。

## 木質バイオマスからエタノールを生産できる花酵母を求めて

発表者 吉岡ゆきの (清心女子高等学校生命科学コース2年)

担当教員 秋山繁治

### ◇研究の目的・意義

バイオエタノールは、石油などの化石燃料に代わる燃料として注目されており、その利用が具象化されている。一方、その原料となるサトウキビ、トウモロコシなどは食料や家畜飼料であるため、競合が生じている状況がある。そこでこれまで利用価値がないとされてきた木質バイオマス（樹木の伐採で生じた枝や葉、住宅の解体材や街路樹の剪定枝など）を原料としてバイオエタノールを生産する方法の開発が期待されている。本研究では、木質バイオマスからエタノールを生産するのに利用できる酵母を発見するという夢の実現を目指した。

野生酵母の単離とバイオエタノールの生産に必要な能力の確認まではSSHの課題研究の授業と放課後の生物部の活動として行い、配列の解析は大学で行った。

### ◇研究の方法・プロセス

木質バイオマスの主成分は、セルロース(分解するとグルコース)、ヘミセルロース(主成分であるキシランを加水分解するとキシロース)である。したがって、バイオエタノール生産に利用できる酵母はその3種類の物質を分解する能力があることが必要である。

本研究では、野生酵母(花酵母)を単離し、バイオエタノールの生産に必要な能力として、アルコール発酵能、セルロース分解能、キシロース資化能の有無及びその能力の高さを測定し、その3つの能力を同時に持つ野生酵母を見つけ出すことを目指した。

## 1. 材料

ツツジの花から採取した野生酵母

## 2. 方法

### (1)バイオエタノールの生産に必要な能力の確認

#### 【アルコール発酵能の有無の確認】

細胞密度が $1 \times 10^6$ 個/ml (グルコース 10%を含む YPG 液体培地) に調整した液と、蓋を取ったエッペンドルフチューブを試験管に入れ、気泡が入って浮き上がれば発酵能があると判断した。  
※アルコール発酵すれば $\text{CO}_2$ が発生するので、チューブに $\text{CO}_2$ が溜まるので浮き上がってくる。

#### 【アルコール発酵能の高さを測定】

反応しないで残ったグルコースの量を手持屈折計(REF501)で糖度として測定し、アルコール発酵力の高さを測定した。

#### 【セルロース分解能の有無の確認】

水に溶けるようにしたセルロース誘導体であるカルボキシメチルセルロース(Carboxymethyl cellulose; CMC)を含む寒天に酵素液を反応させて活性を簡易的に調べる方法で調べた。

コンゴレッドで染色して、コロニーの周辺にクリアゾーンができれば分解能があると判断した。

#### 【セルロース分解能力の高さを測定】

セルロース(CMCを使用)は粘性があるので、酵素によって分解されれば粘度が低下する。粘度が低下する程度を、物体の落下時間を指標として測り、分解能力の高さを測定した。

#### 【キシロース資化能の有無】

キシロース 5%寒天培地に酵母の培養液を植菌した。30℃で7日間培養してコロニーが出現したら、キシロース資化能があると判断した。

【キシロース資化能の高さの測定】

細胞密度が  $1 \times 10^6$  個/ml (キシロース 5%溶液) に調整した液を 5 日間静置し、その後上澄み液を手持屈折計で糖度として測定した。

(2)塩基配列(18SrDNA)の解析

各菌株の核 DNA を抽出した後、18SrDNA を PCR で増幅し、その塩基配列を調べ、ホモロジー検索で既知の種と比較して同定した。

プライマー 18-F 5'- ATCTGGTTGATCCTGCCAGT -3'  
18-R 5'- GATCCTTCCGCAGGTTCCACC -3'

PCR-Kit : TaKaRa EX HS  
PCR条件: 94℃30秒 63℃30秒 68℃1分 30サイクル, 総量20μl

◇結果と考察

単離した 196 菌株のアルコール発酵能、セルロース分解能、キシロース資化能を調べた結果、3つの能力を同時に持つ菌株が存在することが確認できた。

さらに、3つの能力をもつ 5 菌株のうち十分培養できた 4 菌株について、18SrDNA の領域の塩基配列を使って同定を試みた。結果、2 種 (3 菌株+1 菌株) に同定され、そのうち一種は、ホモロジー検索の結果、*Metschnikowia pulcherrima* と 100%一致し、もう 1 種は *Saccharomyces cerevisiae* と近い種であることが判った。



| 3 菌株と相同性を持つ種  |           |             |             |         |       |            | 1 菌株と相同性を持つ種   |           |             |             |         |       |            |
|---|-----------|-------------|-------------|---------|-------|------------|--|-----------|-------------|-------------|---------|-------|------------|
| Description   | Max score | Total score | Query cover | E value | Ident | Accession  | Description  | Max score | Total score | Query cover | E value | Ident | Accession  |
| <i>Metschnikowia pulcherrima</i> gene for 18S rRNA  | 1448      | 1448        | 100%        | 0.0     | 100%  | AB023473.1 | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> strain YJM759 35S ribosomal RNA gene, partial sequence       | 1441      | 1441        | 99%         | 0.0     | 99%   | J06777.1   |
| <i>Metschnikowia chrysoeriales</i> strain Gibson-3 18S ribosomal RNA gene, partial sequence     | 1443      | 1443        | 100%        | 0.0     | 99%   | AY452054.1 | K. waltii DNA for 18S ribosomal RNA  | 1401      | 1401        | 99%         | 0.0     | 99%   | K08522.1   |
| <i>Candida pisciferensis</i> strain Gibson-1 18S ribosomal RNA gene, partial sequence           | 1435      | 1435        | 100%        | 0.0     | 99%   | AY452053.1 | <i>Lachnospiza thermoiderans</i> CBS 6349 chromosome II complete sequence                    | 1455      | 4457        | 99%         | 0.0     | 89%   | C129281.1  |
| <i>Candida pirrenensis</i> strain Gibson-1.1 18S ribosomal RNA gene, partial sequence           | 1432      | 1432        | 100%        | 0.0     | 99%   | AY452055.1 | <i>Lachnospiza thermoiderans</i> strain NRRL Y-4284 16S ribosomal RNA gene, partial sequence | 1455      | 1455        | 99%         | 0.0     | 99%   | F1153136.1 |
| <i>Metschnikowia pulcherrima</i> 18S rRNA gene, strain JCM 9846, partial sequence               | 1413      | 1413        | 98%         | 0.0     | 99%   | AB013278.1 | <i>Lachnospiza</i> sp. CFL-2008 strain ES12506 16S ribosomal RNA gene, partial sequence      | 1405      | 1405        | 99%         | 0.0     | 99%   | F1153136.1 |
| <i>Metschnikowia bicuspoidata</i> strain NRRL Y19-4993 18S ribosomal RNA gene, partial sequence | 1380      | 1380        | 99%         | 0.0     | 99%   | JQ498902.1 | <i>Lachnospiza</i> sp. CFL-2008 strain SC68.01 16S ribosomal RNA gene, partial sequence      | 1485      | 1485        | 99%         | 0.0     | 99%   | F1153155.1 |
| <i>Metschnikowia bicuspoidata</i> 18S ribosomal RNA gene, partial sequence                      | 1380      | 1380        | 99%         | 0.0     | 99%   | DQ526881.1 | <i>Lachnospiza</i> sp. CFL-2008 strain SC68.02 16S ribosomal RNA gene, partial sequence      | 1485      | 1485        | 99%         | 0.0     | 99%   | F1153154.1 |
| <i>Metschnikowia zobellii</i> gene for 18S rRNA   | 1380      | 1380        | 99%         | 0.0     | 99%   | AB023488.1 | <i>Zygosaccharomyces</i> sp. IPG 11087 gene for 18S rRNA, partial sequence                   | 1485      | 1485        | 99%         | 0.0     | 99%   | AB067384.1 |

今回、同定できた *Metschnikowia pulcherrima* については、この仲間がグルコースやガラクトースを使って発酵能力を持つことや、セルビオースやキシロースを資化する能力を持つことが確認されているので、バイオエタノール生産に具体的に利用できる可能性があると考えられる。

<講座担当教員のコメント>

生物系の研究を長年続けて来られた高校である。当該生物系の研究基盤を現在の環境や化学系の課題に広げようとする研究をここ数年試みておられる。このため、どのような課題でも各生徒が考察力を持って取り組んでいる。また、早くから国際化を視野にした指導体制を取っておられ、本研究の発表者である吉岡さんも英語でのプレゼンも可能である。本研究では、バイオエタノール生産に効率的な株選択に関して遺伝的な解析を含めて解析を行っており、完成度も高い。

### 各種台所廃棄物のリサイクル資源化

発表者：橋本樹里（茨城県日立第一高等学校附属中学校 3年）

担当教員：斎藤保夫（NPO 法人日立理科クラブ）

#### ◇研究の目的・意義

私は、小学二年生の頃から自宅付近に生息するホタルについて研究をしている。そこで分かったことは、環境問題は人間だけでなく、生物にも多大な影響を及ぼしている点だ。例えば、河川の汚れ等により水辺の生き物が減少する。水質汚染の大きな原因の一つは各家庭から出る排水である。多くは下水処理後に放流されるが、そのまま川に流れ込んでいる地域もある。美しいホタルの光を守るだけでなく、地球温暖化防止や環境保全のためにも私たちは廃油や生ごみの3Rをすべきだ。今回は、身近な台所からの廃棄物を取り上げ、誰でもできるリサイクルによるごみの資源化に取り組むことにした。また、当然ながら用いる道具や資材、試薬等は、環境に配慮し安価で安全第一であることに留意した。

#### ◇研究の方法・プロセス

[1]水からの油回収・・・試料：ごま油、オリーブ油、サラダ油、機械油、牛乳、洗剤、重曹等。

- (1)各種排水のCOD（化学的酸素消費量）検出
- (2)油回収モデル実験・・・どのような素材が油をよく吸収するか水面上に500円玉くらいの油膜をつくり観測。実験に用いた素材は新聞紙、キッチンペーパー、ガーゼ、布巾（綿）など。

[2]紙のリサイクル（展示）・・・準備：すき枠、洗濯糊、もみ殻、塩、砂糖、牛乳パックなど

- (1)作り方・・・牛乳パックを水に浸しポリエチレン膜をはがし細かく手でちぎり、ミキサーにかけてドロドロにする → 手製のすき枠を水に浮かべパルプを金網に載せる → 適当な厚さに伸ばし乾燥。
- (2)評価試験・・・手製の引っ張り強度試験器を準備 → 適当なおもり（手製）をつけ、洗濯糊などを混ぜた試験紙が切れるときのおもりの重量を記録する。

[3]生ゴミの堆肥化（展示）・・・準備：生ごみ、庭土、園芸用土、ペットボトル、温度計等。

- (1)作り方・・・台所で溜まった野菜くず等の生ごみをピートモス・燻炭（3:1～段ボール）にすき込む → 時々空気をかきまぜて堆肥化を促進し温度を測る。
- (2)施肥効果試験・・・生ごみ堆肥の有無によるカイワレ大根の成長過程の違いを記録する。

[4]廃油からのキャンドル作成（展示）・・・準備：廃油、油凝固剤、タコ糸、鍋、アルミホイル等

- (1)作り方・・・ガラス瓶や卵の殻に、市販の凝固剤を溶かし込んだ約70℃の廃油を注ぐ。また、比較の意味で凝固剤を用いず直接ランプ油としても試験した。いずれも安定した灯心（ティッシュペーパー）の作成に工夫した。卵の殻は上部1/3程度開ける。
- (2)評価試験・・・キャンドルまたはランプ油に点火して、炎のたち方、点灯時間等を観察。

[5]廃油からのリサイクル石けん作成（展示）・・・準備：廃油、石けん化剤、布片、ペンなど

- (1)作り方・・・市販の簡便な石けん化剤「まぜたら石鹸」（主成分はオルト珪酸ナトリウム・脂肪酸カリウム等）を用いて、廃油（500g）から固形石けんを作る。
- (2)洗浄効果試験・・・水や市販の石けんと比べて、廃油から作った石けんが実用的かどうかを各種ペンによる汚れの落ち具合を比較して調べる。

#### ◇結果と考察

実験[1] (1)～COD測定結果（単位：ppm）

| 試料           | 上水（日立市） | 生活排水 | 風呂水 | 池の水  |
|--------------|---------|------|-----|------|
| 原液を精製水で薄めたもの | ～0      | 5～10 | 5   | 5～10 |
| 原液           | ～0      | 20   | 13  | 20   |

やはり、生活排水は上水に比べかなり汚れていた。生活排水がそのまま河川に流れ込んでいる地域への早急な対応が必要である。

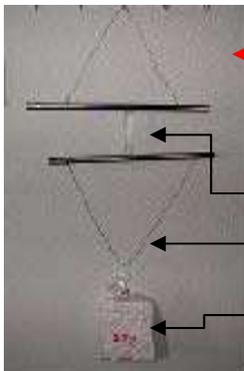
実験[1] (2)の結果（ごま油の吸い取り実験）を示す。

| 素材            | ティッシュペーパー  | トイレットペーパー  | 新聞紙        | キッチンペーパー   | クッキングペーパー  | 吸収パット       | ガーゼ        | 布巾（綿）      |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| 油膜面積の減少割合     | 1/4        | 1/3        | ほとんど変わらず   | 3/4        | 1/4        | 1/3         | 1/4        | 1/3        |
| 油を吸収した素材の質量変化 | 0.2→1.4(g) | 0.2→1.8(g) | 0.3→1.0(g) | 0.2→1.4(g) | 0.2→3.0(g) | 8.5→14.8(g) | 0.6→5.3(g) | 0.3→1.7(g) |

素材の重さの変化が最も大きかったガーゼおよび少なかった新聞紙について再度実験した。

|      |            |            |   |
|------|------------|------------|---|
| 素材   | ガーゼ        | 新聞紙        | (結果・考察) 意外にもガーゼの吸収効果が最も大きかった。ガーゼの網目構造が油を保持するのに効果的なものかもしれない。 |
| 油の減量 | 40→30 (mL) | 40→39 (mL) |   |

実験[2]～[5]の結果(写真)を示す。



**実験[2]**リサイクル紙の引っ張り強度試験器 (繊維質添加が強度を促進)

(試料) フックに吊り下げ  
(針金) ⇒  
(手製のおもり) 下げ

**実験[3](1)** 生ごみの堆肥化 (悪臭ほぼなし。虫対策が課題)



**実験[5]**リサイクル石けんの実用性  
ペン汚れ その洗浄後  
(リサイクル廃油石けんが、汚れ落としの効果が最も大きかった)



**実験[3](2)** カイワレ大根の生ごみ施肥試験結果 (条件によっては生ごみの堆肥化に効果あり)



① (園芸用土のみ) ② (土と生ごみ堆肥) ③ (生ごみ堆肥のみ) (結果:土壌が必要)

**実験[4]** 廃油からの卵キャンドル (これで5～6時間灯った)



(考察) 廃油はBDF (バイオディーゼル燃料) の原料にもなっているが、回収や化学的処理等に課題が残っている。一方、廃油は石けんやキャンドルにも安全で手軽にリサイクルできることが分かったので、一般家庭でも普及するのではないかと期待される。油の工業的回収は技術的にも困難であるが、有効な吸い取り素材の開発を期待したい。紙のリサイクル技術は容易であるがコストは割高になる (現在の再生紙)。生ごみも捨てるのではなく、堆肥にすることで活用して行くべきであろう。現在、私たちは生ごみの段ボールコンポストに挑戦している。

◇今後の展望

以上の実験研究から、普段の生活の中での3Rの大切さを実感し、いくつかの改善点はあるものの手軽なゴミの資源化 (リサイクル) 法を学んだ。家庭・地域でのエコライフの実践を継続普及させ、広く環境問題に関わっていければよいと考えている。そして、近い将来今以上に河川などの水質が向上し、ホテルも乱舞するような自然環境に戻ることを期待したい。

◇主要参考文献

- 「中学生 理科の自由研究 eco 実験室」(成美堂出版)
- 「だれでもできる 地球をも守る3R大作戦」山本耕平 (合同出版)
- 「ゴミ分別の異常な世界」杉本裕明 服部美佐子 (幻冬舎出版)

<講座担当教員のコメント>

本人は、長年 (小学生から) のホテルの生態研究を通して、様々な分野に関心をもっています。今回も、その経験を活かして実験操作も手際よく、複数のテーマを短期間にこなし、達成水準は抜群でした。これからも継続して科学や技術に関わることを学んで行けることを期待します。

## 世界結晶年を記念した結晶についての研究

○石川裕太(松山市立城西中学校 3 年), ○清水龍星(松山市立城西中学校 3 年), ○白方颯人(松山市立三津浜中学校 2 年), 深見正徳(松山市立勝山中学校 2 年), 武市昂己(松山市立東中学校 3 年), 黒星きらら(松山市立三津浜中学校 3 年), 河本優奈(松山市立久米中学校 2 年), 土居香澄(松山市立城西中学校 2 年), 川端翼(松山市立北中学校 1 年), 和田敬行(愛媛大学大学院教育学研究科 1 年), 森重樹助教(総合科学研究支援センター), 大橋淳史准教授(愛媛大学教育学部)

## 研究目的

2014 年は、ラウエ博士が X 線による結晶構造研究に関してノーベル賞を受賞してから 100 年目の節目の年である。そこで、国連総会が、本年を世界結晶年と制定し、結晶学の 100 年間の成果を広めるイベントを世界各地で行っている。なぜ結晶構造研究が世界的に業績を讃えられるかと言えば、そもそも現代の科学において X 線による分子構造の決定はなくてはならないものだからである。DNA の 2 重螺旋は言うに及ばず、ペニシリン、ビタミン B12、ヘモグロビンなど、私たちの生命・生活に重要な化合物の性質を考えると、分子の立体的な構造の理解なしには答えを得ることができない。この分子の立体的な構造を解明する手段が単結晶 X 線構造解析なのである。そのため、結晶構造研究に関するノーベル賞受賞者は現在までに 27 名にもものぼる。結晶構造を研究する結晶学は、日本においても 100 年前の寺田寅彦を始祖として、常に世界と競い、リードしてきた分野である。そこで、私たちは記念すべき 2014 年という年に、日本が最先端を走る結晶構造の科学についての研究をすることを計画した。具体的には、単結晶 X 線構造解析とはどのようなものなのかについて、わかりやすいモデルを製作して理解すること、実際に結晶解析を行うことを研究目標とした。

## モデルの製作

単結晶 X 線構造解析の原理は以下のようなものである。

① X 線を結晶にあてて、その回折像を得る(図 1)。

② 得られた回折像を、逆格子計算で、立体的な点にする(図 2)。

また、単結晶 X 線構造解析では、以下の点が重要になる。

(1) 単結晶とよばれる立体的にきれいに整列した結晶を使う必要がある。

(2) 広角側の点を取るために、結晶と検出器の距離が重要である。

(3) 分子間距離の大きく異なるタンパク質と有機分子では用いる X 線の線源が異なる。

そこで、この(1)~(3)を理解できるようなモデルの製作を計画した。モデルには以下の特徴がある。

(a) 目に見えない X 線の代わりに目に見えるレーザーポインターを用いる。

(b) 結晶の代わりに回折格子を用いる。

これらを用いて、単結晶 X 線構造解析の理論を再現するモデルを製作した。

## 実験・結果

市販されている 3 種類のレーザーポインター(赤 650 nm, 緑 532 nm, 紫 405 nm), 3 種類の回折格子(格子間隔 7.14  $\mu\text{m}$ , 2.00  $\mu\text{m}$ , 1.00  $\mu\text{m}$ )を用いて、検討を行った。レーザーポイ

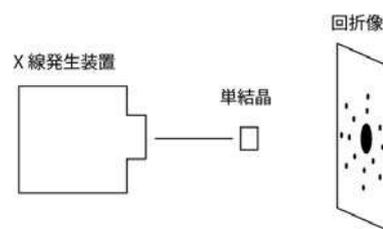


図 1 X 線の概念図



図 2 逆格子計算の概念図

ンターと回折格子，回折像を映すスクリーンで図 3 左の装置を組み立てた。そして，回折格子とスクリーンの距離を  $D(\text{cm})$ ，スクリーンに映った回折像の中心と左右の距離を  $d_1$ ， $d_2$  とした（図 3 右）。レーザーポインターの光を回折格子で回折させて得られた数値を以下の式に代入すると，レーザーの波長  $\lambda(\text{nm})$  を実験的に決定することができる。

$$\text{波長}\lambda(\text{nm}) = \frac{(d_1 + d_2)}{2} (\text{cm}) \times \text{格子間隔}(\mu\text{m})}{D(\text{cm})} \times 1000$$

実験によって求めたレーザーの波長を表 1 に示す。値は 3 回の測定の平均値を示し，括弧内は相対誤差を示している。この実験により，以下の点が明らかになった。

- (1) 回折格子の格子間隔が  $1.00 \mu\text{m}$  と  $7.14 \mu\text{m}$  で， $d_1$ ， $d_2$  の平均距離は 10 倍になる。
- (2) 同じ波長では，格子間隔が狭くなると相対誤差が大きくなる。
- (3) 同じ格子間隔では，波長が短くなると相対誤差が小さくなる。
- (4) 波長同士を比較すると，格子間隔が  $7 \mu\text{m}$  のときは，どの波長でも相対誤差は小さいが， $1 \mu\text{m}$  になると，赤と緑は相対誤差が急に大きくなった。

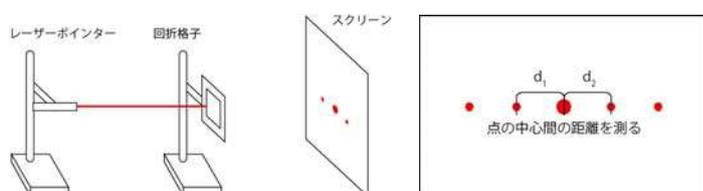


図 3 実験装置(左)と回折像(右)

表 1 実験で求めたレーザーの波長

| レーザーの色 | 波長\格子間隔 | $7.14 \mu\text{m}$ | $2.00 \mu\text{m}$ | $1.00 \mu\text{m}$ |
|--------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 赤      | 650 nm  | 658 (1.2%)         | 713 (9.7%)         | 883 (35.8%)        |
| 緑      | 532 nm  | 532 (0%)           | 559 (5.1%)         | 626 (17.7%)        |
| 紫      | 405 nm  | 402 (0.7%)         | 416 (2.7%)         | 441 (8.9%)         |

### 考察

この研究で，結果(1)から測定で広角側の点を測定するためには結晶と検出器の距離と線源の波長が重要であることが理解できる。また， $10^{-10} \text{m}$  の波長をもつ X 線を回折させるためには，格子間隔は  $10^{-9} \text{m}$  程度である必要があり，それは分子間距離に相当することを，このモデルを使って理解できることが明らかとなった。実際の測定ではタンパク質は  $2000 \text{nm}$ ，有機分子は  $200 \text{nm}$  くらいである。格子間隔が 10 倍ちがうので，測定する試料によって X 線の線源の波長を  $\text{Cu}(1.5 \times 10^{-10} \text{m})$  と  $\text{Mo}(0.7 \times 10^{-10} \text{m})$  で使い分ける必要があることが再現できた。今後は，十字回折格子を組み合わせることで，結晶の回折像のような複雑な回折パターンの再現に挑戦し，実際に単結晶 X 線構造解析で結晶の構造を決めていきたい。

### 謝辞

単結晶 X 線構造解析装置の利用は，愛媛大学総合科学研究支援センターと共同で行われた。

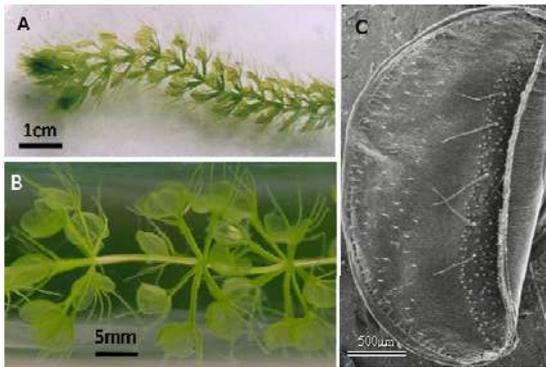
## ムジナモ捕虫葉の高速閉合運動の仕組みを探る

相馬言成（埼玉県立杉戸高校 1年）

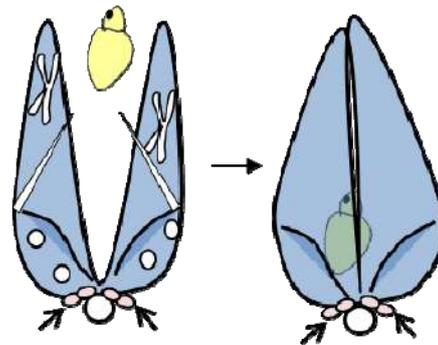
金子康子

### ◇研究の目的・意義

ムジナモは浮遊性の水草で食虫植物である。二枚貝のような捕虫葉が、茎を中心に輪のように並び（これを輪生葉という）、それが連なった構造をしている【図1】。その捕食は捕虫葉の内側にある感覚毛に刺激を感じると50分の1秒から100分の1秒という速さで葉が閉合し【図2】、その後狭窄運動を行い、消化酵素を出し、養分を吸収するというシステムで行われる。今のところ閉合が膨圧によるものであると示唆されているが、閉合運動の仕組みそのものの解明には至っていない。また、ムジナモは稀少な水生の食虫植物で現在は絶滅危惧種に指定されているため、簡単に観察、実験できるものではない。そこでムジナモを培養し、研究している埼玉大学で閉合運動の仕組みを解明し、細胞と組織の連動性を確かめたいと考え2014年5月に研究を開始した。



【図1】ムジナモ全体像



【図2】捕虫葉の閉合運動

### ◇研究の方法・プロセス

◎ムジナモ捕虫葉の閉合システムに迫るために様々な観点から観察、実験を行う。

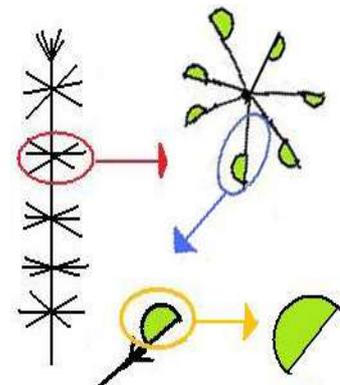
**観察1 ムジナモ捕虫葉の観察：**サフラン（維管束が染まる）やニュートラルレッド（液胞など強い酸性に反応）を使って、捕虫葉の様子を観察する。

**観察2 閉合運動に影響する外液の濃度検討：**ムジナモを入れた容器に0.6 mol/lのマンニトール溶液を加えていき、捕虫葉の開閉の様子を観察し、刺激しても捕虫葉が閉じなくなる濃度を調べる。

**観察3 閉合運動最小単位の検討：**輪生葉→捕虫葉+葉柄→捕虫葉のみと、切り出していき閉合運動が起こる最小単位を調べる【図3】。

**観察4 浸透圧を変化させて捕虫葉を観察：**低張液である蒸留水中で閉じた捕虫葉、少し高張にして閉じなくなったもの、原形質分離が起きるほど高張にした時の捕虫葉を観察。その後低張液から高張液に、高張液から低張液に移し捕虫葉と細胞の状態を観察する。

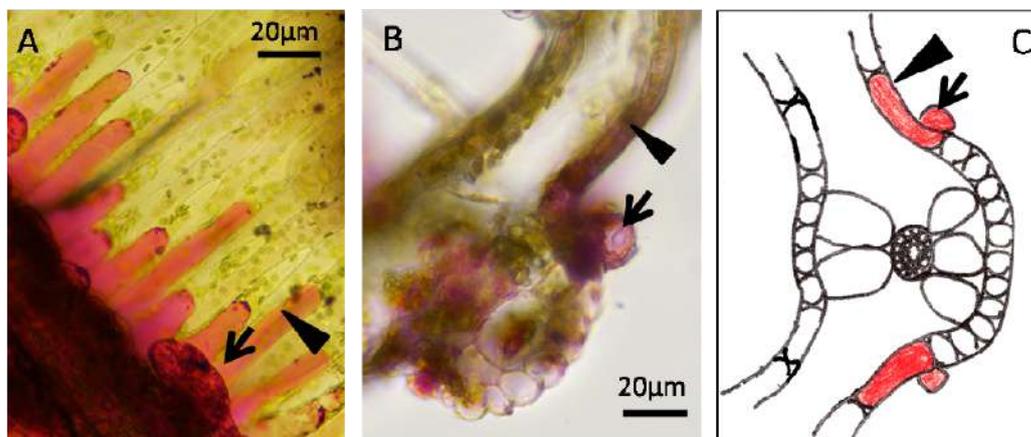
**観察5 ニュートラルレッドによる葉軸付近の観察：**ニュートラルレッド液中で閉合させ、運動の要と考えられる葉軸付近を重点的に観察する。観察視点を変えて葉を輪切りにして断面をみる。



【図3】閉合単位の検討

## ◇結果と考察

観察 1 ムジナモ捕虫葉の観察：葉軸外側に並ぶ謎の腺毛を見つけた【図 2 矢印、図 4 A 矢印】。



【図 4】捕虫葉閉合時の葉軸付近の液胞と腺毛の様子

観察 2 閉合運動に影響する外液の濃度検討：下の表のような結果となった。

| 溶液のモル濃度 | 0.12 (mol/l) | 0.13 (mol/l) | 0.15 (mol/l) |
|---------|--------------|--------------|--------------|
| 捕虫葉閉合運動 | 速く閉じる        | 遅いが閉じる       | 閉じない         |

観察 3 閉合運動の最小単位の検討：輪生葉、補虫葉+葉柄、補虫葉のみのどれも閉合運動は起きた。そこで、切り出した捕虫葉のみを使って観察、実験をすすめることにした。

観察 4 浸透圧を変化させて捕虫葉を観察：低張液から高張液に移した場合、予想では閉じた葉が再び開くと思っていたのだが、少し膨らんだだけで葉は開かなかった。

観察 5 ニュートラルレッドによる葉軸付近の観察：観察 1 で見つけた謎の腺毛【図 4 A-C 矢印】から飛び出るように赤く染まった液胞【図 4 A-C ▲】が並んでいた。輪切りにすると捕虫葉の軸近くが二層になっており、二層構造の間には広い間隔があいていることが分かった【図 4 BC】。

全体の考察：観察結果から、捕虫葉外側にある細胞の液胞が水を吸収、それにより細胞が膨らみ外側が全体的に広がり、葉が内側に反ることで閉合運動が起こっているのではないかと考えることができる。謎の腺毛は給水に関わるのかもしれない。低張液から高張液に移した捕虫葉が再び開かなかったのは、内側に給水器官がないこと、細胞壁は収縮しないことが考えられ、獲物を捕まえた後逃がさない仕組みであると思える。二層構造の間隔の広さも、反りの大きさを増幅させるためと考えれば納得がいく。細胞の構造と動きにより閉合運動は行われているのではないか。

## ◇今後の展望

閉合運動の仕組みはある程度推測できたが、高速で閉合が起こるための機能は特定できなかった。また閉合時に、謎の腺毛付近で具体的にどの部分の細胞が膨張しているのか明らかにできていない。閉合運動の原理を限界まで追究していきたいと思った。

## ＜講座担当教員のコメント＞

思考力、洞察力、表現力に優れている。未知の課題に挑み、ムジナモ捕虫葉の高速閉合運動の仕組みを解明する鍵となりうる、大変興味深い新たな知見を得ることができた。今後の研究が期待される。

## アブラナ科植物の生存戦略

中田 玄樹(大阪府立住吉高校 3年)

担当教員：小畑 洋一

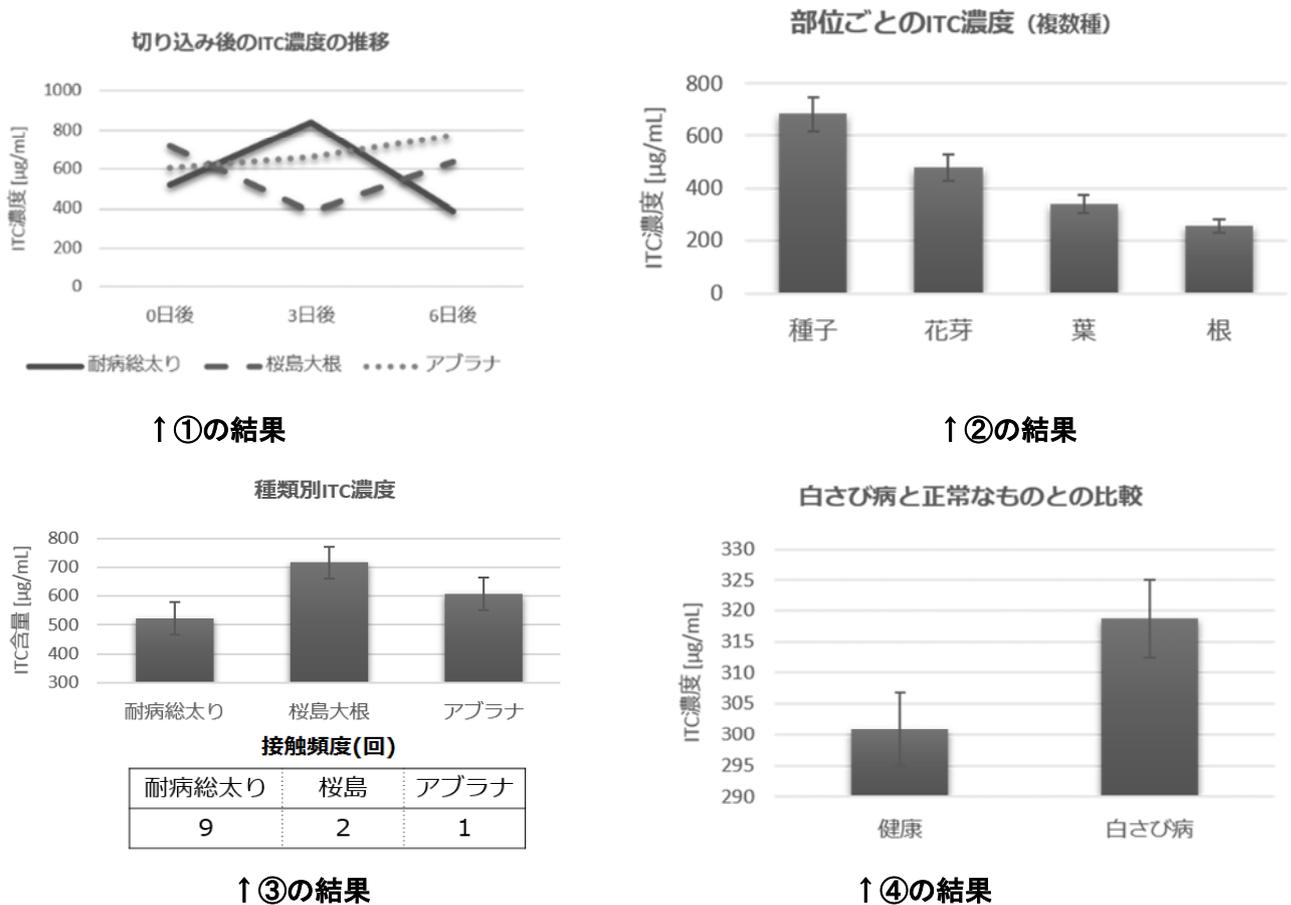
### 目的

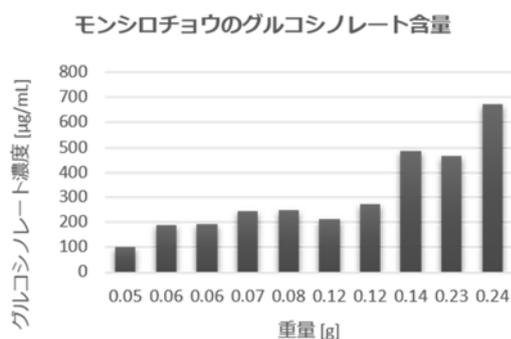
アブラナ科植物特有の辛味成分である ITC(イソチオシアネート)は、アブラナ科植物にとって防御物質であるという仮説を立て、その仮説を検証し、さらにそれを食害する昆虫との関係を調べた。なお、本実験での ITC 濃度の測定には改良グロート法を用いた。

### 方法

- ① 葉に切り込みを入れてモデル食害を起こした個体の ITC 濃度と経過日数の関係を調べた。
- ② ダイコンの各部位(花・種子・葉・根)の ITC 濃度を測定した。
- ③ アブラナ科植物の葉(桜島大根・耐病総太り・アブラナ)とモンシロチョウの四齢幼虫を用いて食草選択実験を行った。そしてその頻度と用いた個体の ITC 濃度を比較し、関係を調べた。
- ④ 白さび病に罹患した個体と、健康な個体の ITC 濃度を測定し、比較した。
- ⑤ モンシロチョウの幼虫は摂取した ITC をどのように対処しているかを調べるために、体液を抽出し、ITC が検出されるかどうかを調べた。
- ⑥ オートクレーブにかけられたモンシロチョウの幼虫の体液に改良グロート法を用いた。

### 結果





### ↑⑥の結果

- ① どの個体にも、モデル食害に二次応答していると思われる ITC 濃度の上昇が見られた。また、品種によって異なるピークが見られた。
- ② 主に生殖器官に集中していることがわかった。このことから、ITC を集中させることによって生殖器官を外敵から守ろうとしているのではないかという結論を得た。
- ③ 最も ITC 濃度が低い耐病総太りが最も接触頻度が多いことが確認できたが、最も ITC 濃度が高い桜島大根が二番目に接触頻度が多いことも確認することができた。また、本実験で使用した桜島大根は他の品種より比較的老化が進んでいた。このことから、食害の受けやすさには ITC 濃度が関与している可能性が高いが、老化や栄養状態なども関与している可能性があるという結果を得た。
- ④ わずかではあるが、健康な個体よりも ITC 濃度が高いことから、病原菌にも応答することがわかった。
- ⑤ 改良グロート法によって検出することができたことから、モンシロチョウの幼虫の体内では ITC もしくは前駆物質であるグルコシノレートの状態で存在し、さらに濃縮が起きていることがわかった。
- ⑥ ITC の生産に必要な不可欠な酵素であるミロシナーゼを失活させた状態でもなお改良グロート法によって検出することができたので、モンシロチョウの幼虫の体内ではグルコシノレートとして存在していることが分かった。

### 参考文献

独立行政法人理化学研究所 資料

### <講座担当教員のコメント>

中田君は、1年次よりサイエンス部アブラナ班に属して、毎週土曜日の実験日に集中して実験を行い、表記のテーマに関する実験結果からの知見を積み上げてきた。実験に対するその粘り強さ、根気力には人並み以上の意欲があると確信している。

## ドジョウ飼育と養液栽培VI ドジョウも野菜も美味しい！

露木 愛（浜松市立東部中学校 3年）

細田 昭博（浜松学院大学）

## ◇研究の目的・意義

小学4年生から始め今年6年目となるこの研究は、まずアンモニア態窒素から植物の肥料となる硝酸態窒素までの硝化がスムーズに進むように微生物環境を整えた養液を作り、その養液でドジョウ飼育とチンゲンサイの養液栽培を同時に行うものである。

慣行栽培は無機の化学肥料によって行われているが、改良を重ねてきたこの飼育栽培装置ではドジョウに餌（固形の有機物）を与えるだけで野菜もドジョウも育ち、どちらも食用となる。

この養液は農研機構野菜茶業研究所のマニュアルに沿って作ると2～3週間かかることがデメリットであった。この期間短縮を今年の一つ目の目的とした。

昨年までの研究で、この栽培法のチンゲンサイは慣行のものとは比べて、硝酸態窒素含有量が低く、糖度が高く、ビタミンC含有量が多く、食味も良いという結果を得た。今年はドジョウの味が飼育環境で異なるか食味試験を行って調べ、美味しいドジョウの飼育を二つ目の目的とした。

## ◇研究の方法・プロセス

- ① 農研機構のマニュアル通り、水10Lに土50g、有機質肥料として鱈ソリュブル5mLを加えエアポンプを入れる（a）、aの水に完成硝化菌液を加えたもの（b）、硝化菌付きナイロンタオルを投入したもの（c）の3種類の方法で養液を作り比較する。

以後、このように作った養液を硝化菌液と記す。

- ② ドジョウは飼育環境の違いによって味に違いが出るかを確認、比較のためチンゲンサイも栽培する。

図1のように3つの容器で飼育栽培を行い、ドジョウとチンゲンサイの食味試験を行う。

A 硝化菌液

B 容器の底に田の土を深さ3cm入れてくみ置き水道水を入れたもの

C 慣行の養液の1/10を硝化菌液と入れ替えて飼育したもの

（予備実験で化学肥料規定濃度の養液でドジョウを飼育したところ死んでしまったため、アンモニアが原因と考え硝化菌液を加えた。）

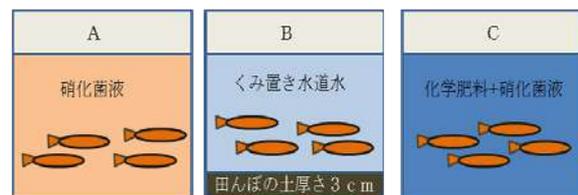


図1 比較飼育栽培

## ◇結果と考察

- ① マニュアル通りのaでは23日間、硝化菌を加えたもの（b）は14日間、硝化菌付きのナイロンタオルを入れたもの（c）は5日間で硝化が完成した。（アンモニア、亜硝酸が検出されなくなった時点で硝化完了とした。）

何かの表面に付着して増殖・活動という硝化菌の特性上、硝化菌液に浮遊している硝化菌より、ナイロンタオルに付着している硝化菌の方が多いのだと考えた。この結果を得てから、いつでも養液ができるように細長く切ったナイロンタオルを飼育栽培容器に入れておくことにした。ドジョウもナイロンタオルに隠れることができ、触れていることで安心するようだ。

② チンゲンサイの苗の定植後 20 日を過ぎた頃から B の葉の色が黄変し、しおれてしまった。

A の硝化菌液は土が微生物源で、1 種類の菌を培養したものではなく多くの細菌から選択された細菌群である。土に水を入れただけの容器 B では硝化菌もいるが、病原菌なども含むため最終的には育たなかったのだと考えた。(図 2)

表 1 ドジョウとチンゲンサイの食味試験結果

| 飼育栽培容器                  | A                     | B                     | C                   |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| ドジョウ<br>美味しいと答えた人(人)    | 47                    | 5                     | 3                   |
| ドジョウの味の点数平均<br>(5点満点)   | 4.3                   | 3.0                   | 2.3                 |
| チンゲンサイ<br>美味しいと答えた人(人)  | 35                    | —                     | 20                  |
| チンゲンサイの味の<br>点数平均(5点満点) | 3.7                   | —                     | 2.9                 |
| 養液                      | 硝化菌液                  | 田の土+水                 | 化学肥料養液              |
| 肥料                      | 餌大さじ1 +<br>ソリッフル5cc/日 | 餌大さじ1 +<br>ソリッフル5cc/日 | 餌大さじ1 +<br>化学肥料規定濃度 |



図 2 定植後 20 日目のチンゲンサイ

表 2 ドジョウの硝酸態窒素含有量

|       | 硝化菌液飼育       | 化学肥料養液飼育    |
|-------|--------------|-------------|
| 硝酸態窒素 | 0.28 mg/100g | 3.4 mg/100g |

ドジョウでは、硝化菌液で飼育したものが圧倒的に多くの方が一番美味しいと評価した。養液の環境でドジョウの味が大きく変わることが分かった。B が泥臭いかもかもしれないのは予想していたが、A と C でこんなに差が出たのに驚いた。

A と C の差は養液中の化学肥料であり、その主成分である硝酸態窒素が昨年の実験でチンゲンサイの食味にも大きな差を出したと考えたので、ドジョウの身にも硝酸態窒素が蓄積して食味を落としたのではないかと考え分析機関に依頼した結果が表 2 である。12 倍もの差がでて驚いた。

私の飼育栽培装置ではドジョウもチンゲンサイも美味しいものができることが分かった。

#### ◇今後の展望

この飼育栽培装置ではエアポンプが必須であることから電源が必要だった。ソーラ電池によるエアポンプの試作品を改良し、さらに大きなプラントで飼育栽培を試みたい。

#### ◇主要参考文献

篠原信・大森弘美(2007)有機質肥料を用いた養液栽培、日本施設園芸協会(2002)養液栽培の新マニュアル、山根一郎(2009)農学基礎セミナー土と微生物と肥料のはたらき 農文協

#### <講座担当教員のコメント>

葉物野菜で問題となる硝酸態窒素が、養殖魚の食味を落とす一因ともなることをつきとめたことは大変興味深い。硝化をスムーズにすすめ、しかもドジョウの隠れ家にもなるナイロンタオルの導入により養殖魚の味を向上させたことは、今後の農水産業に貢献できる研究である。

鹿の食害による植物スペクトルの変化  
Spectral changes of vegetation damaged by deer

石橋 龍\* 北海道旭川西高等学校 2年  
 稲島 七海 北海道札幌南高等学校 2年  
 大塚 玄人 私立立命館大学慶祥高校 2年  
 野並 義章\* 北海道札幌東高等学校 2年

TA: Lucy Lahrita, Rijeesh K

\*発表者

担当教員  
高橋 幸弘

[研究の目的・意義]

近年、北海道では鹿による食害が増加している。その被害について、広域での状況を詳しく把握するために、人工衛星のスペクトル画像データを用いて鹿が好む植物を集中的に調査する手法を確立する。今回収集しようとしているデータによって、鹿の食害を定量的に推定することができるようになれば、鹿だけでなく他の動物による食害にも応用できると期待される。

[研究の方法・プロセス]

人工衛星は LANDSAT-8 と ASTER を使用する。LANDSAT-8 は解像度が 30 度、幅が 185 km、周期は 16 日、可視近赤外線・短波長・熱赤外線を計ることができる。ASTER は観測幅が 60 km、緑赤近赤外線・中間赤外線・熱赤外線を計ることができる。分解能はそれぞれ 15m・30m・90m である。

小型の分光器を用いて、鹿が頻繁に食べる植物の葉のスペクトル情報を収集し、それに基づき、解析する人工衛星の観測波長を選択する。地上計測した植物のスペクトルから、どの波長が植生の状態をよく反映しているかを調査する。取得したスペクトルデータを、image-J と Excel といった解析ソフトウェアを使用して、波長毎の強度を示す折れ線グラフで表現する。その折れ線グラフをから、植物の状態を反映している特定の波長を判定する。

鹿が頻繁に食べる植物について、過去 5 年程の人工衛星のスペクトル画像データと、鹿の食害について地上で調べたデータを比較し、被害のあった地域でどのようなスペクトルの変化があったのかを調べる。さらに、これらのデータの時間変動の情報に基づき、今後どの地域に被害が及ぶかを推測することを目指す。

[結果と考察]および[今後の展望]

1. 鹿が好む植物は複数あり、その中に食害によるスペクトルの変化が大きくでるものと出ないものがあると分かった。現段階では鹿がどの植物を好むのか具体的な名称を調査しており、今後その中でスペクトルの変化が大きい植物を特定する。

2. 人工衛星の画像データを活用するために、条件に該当する植物以外にも調べ、画像データから目的のスペクトルをより高精度で得られるようにする。人工衛星の画像データから得られたスペクトルから、imageJ を用いて、食害を反映しない複数の植物のスペクトルのデータの影響を差し引く操作をする。それにより、食害の影響が顕著な特定の植物のスペクトルのデータを高精度で得ることができる。

3. 小型の分光器分光器を使用して、家や学校の周りがある、できるだけ多くの種類の植物に

ついてスペクトルを実際に観測する作業を進めている。

4. スペクトル測定においては、光源と測定対象物、及び分光器の位置関係が測定するスペクトルの精度に大きく影響する。これらの位置関係を簡単かつ正確に測る手法の確立を目指して作業を進めている。これにより、時間によって変化してしまう位置関係の影響を除去し、測定されたスペクトルをより正確なものにできる。

## 静岡市におけるセミ行動生態学研究 2010～2014：環境および他個体との関わり

竹内 希海（静岡大学教育学部附属静岡中学校 1年）

担当教員 増田 俊彦

## ◇研究の目的・意義

小学校1年生の時に捕ったセミを数えることから始まり、自宅周辺のセミの幼虫・成虫に関する調査・研究としてまとめるのは5年目になった。出現するセミの種類・性別・数は、7月から8月にかけて大きく変動することが、毎年の調査でわかってきた。この研究の特徴は、抜け殻ではなく生きている幼虫を調べることで、正確な出現の日時や場所を記録し、夕方地上に出てから羽化して翌朝飛び立つまでの行動や生態について観察・実験できる点にある。また、2011～2014年の森下公園の大規模な改修工事は、セミをとりまく環境に大きな影響を与えることが予測され、この区域での種類や繁殖状況の推移を調査することもこの研究の目的である。

## ◇研究の方法・プロセス

調査期間は、2008～2009年の経験から、クマゼミのオスを捕り損ねないようにクマゼミが鳴き始める前の7/1から幼虫がほとんど捕れなくなる8月末までとした。採集場所は、幼虫は静岡市内4ヶ所、成虫は5ヶ所である。

- ① 幼虫や成虫の採集場所ごとの種類・性別・数の移り変わりをグラフに表し、考察する。
- ② 幼虫を捕まえた時刻・場所や高さなどを記録し、羽化するまでの移動経路や地上に出てくる時間帯とされる日没時刻との関わりを調べる。
- ③ 個体差が大きい幼虫の体重を記録し、出現時期や採集場所・性別などとの関わりを調べる。
- ④ 持ち帰った幼虫を様々な羽化台に放して、羽化する場所の好みや他個体と鉢合わせした幼虫の取る行動を実験・観察する。
- ⑤ 森下公園の改修工事前後で、幼虫の数や種類・捕れる場所などがどのように変わったのか調べ、改修工事が与えた影響について考察する。

表1 5年間で捕ったセミの種類・性別・数

| 幼虫    | クマゼミ |     | アブラゼミ |     | ツクツクボウシ |    | ニイニイゼミ |    | ミンミンゼミ |    | 計    |
|-------|------|-----|-------|-----|---------|----|--------|----|--------|----|------|
|       | オス   | メス  | オス    | メス  | オス      | メス | オス     | メス | オス     | メス |      |
| 2010年 | 55   | 78  | 69    | 86  | 2       | 0  | 0      | 1  | 0      | 0  | 291  |
| 2011年 | 114  | 131 | 111   | 65  | 1       | 3  | 1      | 2  | 1      | 1  | 429  |
| 2012年 | 113  | 117 | 78    | 91  | 0       | 0  | 0      | 1  | 0      | 0  | 400  |
| 2013年 | 156  | 191 | 116   | 118 | 5       | 1  | 3      | 2  | 0      | 0  | 592  |
| 2014年 | 155  | 119 | 144   | 117 | 5       | 3  | 2      | 6  | 0      | 0  | 551  |
| 計     | 593  | 636 | 518   | 477 | 13      | 7  | 6      | 12 | 1      | 0  | 2263 |

| 成虫    | クマゼミ |     | アブラゼミ |     | ツクツクボウシ |    | ニイニイゼミ |    | ミンミンゼミ |    | ヒグラシ |    | 計    |
|-------|------|-----|-------|-----|---------|----|--------|----|--------|----|------|----|------|
|       | オス   | メス  | オス    | メス  | オス      | メス | オス     | メス | オス     | メス | オス   | メス |      |
| 2010年 | 81   | 77  | 57    | 44  | 22      | 7  | 14     | 3  | 8      | 2  | 0    | 0  | 315  |
| 2011年 | 69   | 86  | 54    | 23  | 25      | 17 | 7      | 1  | 3      | 5  | 1    | 1  | 292  |
| 2012年 | 118  | 113 | 116   | 91  | 40      | 42 | 12     | 9  | 14     | 15 | 1    | 0  | 571  |
| 2013年 | 134  | 142 | 209   | 107 | 21      | 27 | 13     | 10 | 17     | 10 | 1    | 0  | 691  |
| 2014年 | 59   | 25  | 67    | 20  | 15      | 2  | 45     | 18 | 24     | 14 | 0    | 0  | 289  |
| 計     | 461  | 443 | 503   | 285 | 123     | 95 | 91     | 41 | 66     | 46 | 3    | 1  | 2158 |

## ◇結果と考察

5年間で捕ったセミの種類と数を、表1にまとめた。

- ① 自宅周辺で捕れるのはほとんどがアブラゼミとクマゼミで、どの年も、クマゼミに遅れてアブラゼミが、オスが先に出現して後からメスが、という順だった。オスがメスより先に出てくるのは、なわばりを確保しメスへのアピールを有利に進めるためだろう。森下・さつき公園、静岡大学、清水山公園・谷津山の順で出現時期がずれるのは、整備されて日当たりの良い森下・さつき公園、木がうっそうと茂ってやや涼しく感じる場所の多い清水山公園・谷津山、両方の特徴を合わせ持つ静岡大学という環境の違いによるものと考えた。
- ② アブラゼミは、日没前後30分以内に捕れる幼虫がほとんどだったが、クマゼミは、日没後～2時間の間でばらついた。成虫が夜の外灯に集まることから、アブラゼミは光に敏感で走光性を持ち、日没をすぐに感じ取って出てくると考えられる。
- ③ 幼虫の体重は、オスよりメス、アブラゼミよりクマゼミが重かった。オスが軽い理由は鳴き声を響かせるために腹部が空洞になっているから、メスが重い理由は産卵のための器官や栄養が腹部

につまっているからだと考えた。今年の場合ごとの平均体重は、清水山公園・谷津山が重く、森下・さつき公園が軽いという傾向が見られた。これは、各場所の土壌の栄養分の豊かさの違いと推測したが、裏付けられるか来年以降も調べていきたい（図1-1～3）。

- ④ クマゼミもアブラゼミも、高い場所を好んで羽化することがわかった。明るい場所と暗い場所のどちらを選んで羽化するのかについては、あまり差がなかった。地上に出てくる際は明るさを目安にするが、羽化する準備の状態に入ると明暗はあまり関係ないのかもしれない。羽化した成虫が部屋の灯りや夜明けの明るい窓際に集まるのは、早く体を乾かすために日光を求めるからかもしれない。羽化台で鉢合わせした際に取りの幼虫の行動は、メスよりオスが、アブラゼミよりクマゼミが相手につきみかかり、体の小さい方が相手を避けるという傾向があった。オスのなわばり意識の強さ、アブラゼミとクマゼミの習性の差などによるものと考えている。
- ⑤ 森下公園では、改修工事によりアブラゼミが多く出てきたしげみや植込みが無くなり、捕れる数がかなり減った。また、これまでの調査でしげみや植込みでアブラゼミとクマゼミ両方が産卵するのを確認していたが、産卵場所の減少により今後の両種の生息数は減ると予想される（図2-1～2）。

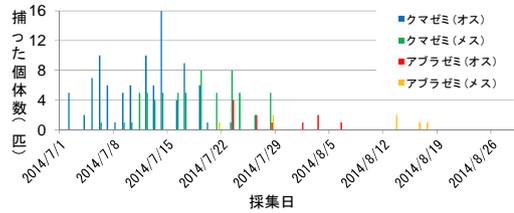


図1-1 森下・さつき公園の幼虫の数の移り変わり

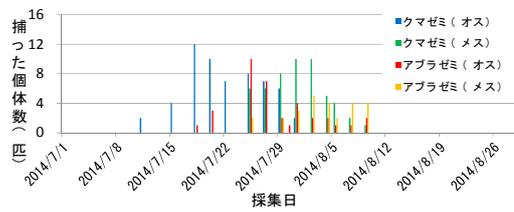


図1-2 静岡大学の幼虫の数の移り変わり

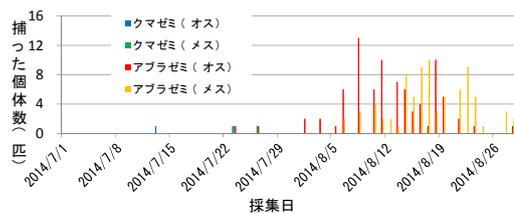


図1-3 清水山公園・谷津山の幼虫の数の移り変わり

◇今後の展望

現在の森下公園は大規模な改修工事でセミをとりまく環境がリセットされた状態と考えて、改修工事とクマゼミ・アブラゼミの個体数の変化との関係を調べることで、環境要因について明らかにしていきたい。また、成虫の調査・研究も幼虫と並行して進めているが、オスの腹部の形態が種によって異なることと鳴き声の違いについて詳しく調べていきたい。

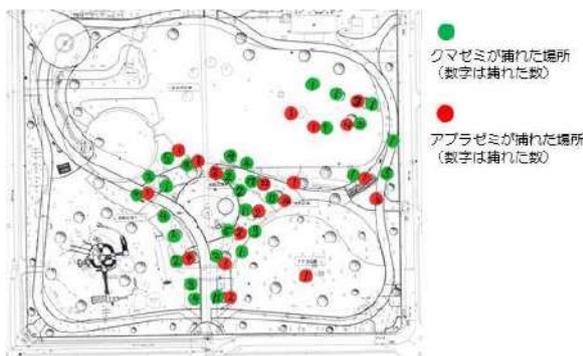


図2-1 2013年に森下公園で採集した幼虫の数と分布

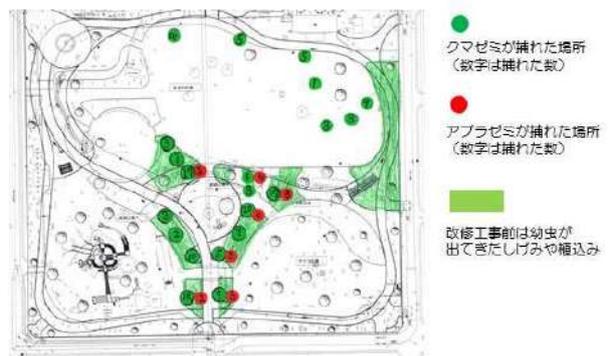


図2-2 2014年に森下公園で採集した幼虫の数と分布

◇主要参考文献

沼田英治・初宿成彦, 「都会にすむセミたち - 温暖化の影響?」, 海游舎, 2007.  
林正美・税所康正, 「日本産セミ科図鑑」, 誠文堂新光社, 2011.

担当教員のコメント

セミの幼虫を毎晩採集し、羽化し飛び立つまでの行動を観察するという手法は、実に根気がいる研究である。種類ごとの生態の特徴を調べ、環境が与える影響を明らかにすることで、都市化、また地球温暖化の影響も明らかになってくるであろう。

## 水質汚染地域の藻のスペクトル観測

## Spectral measurement of algae in polluted water area

旗手那由他 (札幌啓成高校 2年) 小関佑太\* (札幌西高校 2年)

斎藤涼介\* (滝川高校 2年) 佐藤咲良# (札幌南高校 2年)

TA: Desi Utami、今井正堯、Maya

\* : 発表者、# : グループリーダー、TA : Teaching Assistant

担当教員 ; 高橋幸弘

## 1. 研究の目的・意義

シアノバクテリアは水質汚染によって構造が変化する。本研究では、反射スペクトルを測定することでバクテリアの構造変化をとらえ、水質汚染との関係を明らかにする。この場合の反射スペクトルとは、植物 (シアノバクテリア) が入射した光を反射した際の波長毎の強度のことで、葉緑体の有無や栄養状態、植物の種類によって変わると考えられている。今回は、シアノバクテリアの反射スペクトルを分光器という光の強度を波長毎に計測する装置を使い、シアノバクテリアの構造変化の前後や、さまざまな汚染状態における、スペクトルの変化を捉える。

## 2. 研究の方法・プロセス

実験室で可視光領域を分解能 10nm の分光器でシアノバクテリアの反射スペクトルを測定し、Image J というソフトウェアを用い、波長毎の光の強度をグラフにプロットにする。次に、人工衛星からのリモートセンシング (遠隔測定) で得られたスペクトル画像データを用い、それらを地上で調べたスペクトルデータと比較することで、広い地域に分布するシアノバクテリアのスペクトルを推定する。使用するデータは、TERRA 衛星に搭載された観測器 ASTER によって取得された空間分解能 15m・30m、波長範囲・0.52-2.43  $\mu$ m、観測周期 16 日のスペクトル画像、および LANDSAT-8 号衛星に搭載された観測器 OLI (Operational Land Imager) によって取得された空間分解能 30m (バンド 8 は 15m)、波長範囲・0.43-2.29  $\mu$ m、周期 16 日のスペクトル画像である。シアノバクテリアが大量発生している水域 (アオコ) のスペクトル解析をして、実験室で行った汚染された状態でのスペクトルデータと比較することで、アオコを大量発生させた原因物質が特定される。具体的な手順は以下のようになる。

- ・シアノバクテリア (*Microcystis wesenbergii*) を培養する。

- ・水槽の温度、pH、光の当たり具合を記録した上で、何も汚染物質を加えていないシアノバクテリアのスペクトルを解析する。この際、入射角と反射角を 10 通り変化させ、シアノバクテリアのスペクトル反射の結果が反映される入射角と反射角を見つける。シアノバクテリアの発生していない水面のスペクトルと比較して、固有の反射結果が出た入射角・反射角を見つける。

- ・太陽光の入射角・反射角についてはスマートフォンの「角度計」アプリを使用。それぞれの実験において、角度の誤差は  $\pm 5$  度までとした。

- ・入射角・反射角と太陽の状態 (朝日・夕日) を統一するため、測定する時間帯をグループで合わせた。平日でも測定できるように、授業のない時間に行うこととする。

- ・リモートセンシングではアオコ以外の水域のスペクトルも混じることを考えて、シアノバク

テリアのスペクトルをとる範囲も変え、水面のスペクトルデータが混じっている範囲からシアノバクテリアのスペクトルデータのみの範囲と 5 通り用意する。この範囲は分光器によってシアノバクテリアのスペクトルが捕らえられる範囲内で、最小範囲と最大範囲を五等分したものである。最大範囲については、シアノバクテリアのスペクトルを測定した後、30cm ずつ離れて測定し、シアノバクテリアを置いていない場合のスペクトルとピクセル輝度が最大で 20 違う範囲までとした。

- ・汚染物質は、リン、銅、鉄、洗剤、油を使用。実際に水質汚濁の原因となっている物質（リン、洗剤、油）と、先行研究でシアノバクテリアの構造変化が確認されている物質（銅、鉄）を用意。

- ・リモートセンシングのデータは頻繁に広範囲でアオコが発生し、付近に工場が多い特定の水域に絞って調査する。

- ・スペクトル解析は Image J を用いて分光データを出し、白い画用紙と水面のスペクトルでデータを割り、できるだけ純粋なシアノバクテリアのスペクトルに近いものを使用する。

### 3. これまでの経過

- ・紙製の分光器を組み立て、北大敷地内で植物や樹木からスペクトルデータを取得する練習を行った。取得したスペクトルデータを Image J を用いてプロットした。太陽光の入射角、反射角、位相角をそれぞれの対象物ごとに記録した。白色の散乱体を測定することで太陽のスペクトルデータを取得し、植物自体のスペクトルを割ることで反射スペクトルデータを記録した。

- ・Google Hangouts を用いた定期的な遠隔ミーティングを行い、そこでの議論に基づき、藻と水質の関係を研究課題にすることに決定。

- ・北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・厚岸臨海実験所の伊佐田智規先生がアドバイザーをしてくださることが決定した。定期遠隔ミーティングに参加していただき、アドバイスをいただいている。

- ・インターネットでアオコ発生キットを注文することにした。藻が届き次第各自で実験を行う。藻が届き次第、培養し、健康なシアノバクテリア、枯れているシアノバクテリアのデータを観測。正確なスペクトルデータを取る練習を行う。

- ・汚染物質は練習が終わった後入れ始め、各自の実験データは全てドロップボックスにて共有する。

### 4. 今後の展望

従来の研究ではアオコの発生地域と水質の汚染物質がそれぞれ別に調査されてきた。もし、アオコのスペクトルから大量発生の原因となる汚染物質が特定できれば、その水域の汚染が生活排水によるものなのか、あるいは工場排水によるもののかなどが、短期間で推定できることが期待される。また、リモートセンシングにより広範囲のアオコを調査できるため、特に汚染の進んでいる水域や、汚染がまだ進んでいない水域といったダメージマップをつくるのが可能になる。今回の実験はシアノバクテリアを用いたが、対象地域の植物の反射スペクトルから汚染状況を把握できるようになれば、今後放射能汚染地域を安全に調査したり、広域を短時間で監視することが可能となる。

## プラズマ照射法で自家不和合性は打破できるか

一ノ関留奈 (秋田南高校 3 年), 佐藤真由 (山形西高校 2 年), 丹野ちぐさ (仙台二華高校 2 年)  
担当教員 渡辺正夫, 安藤晃 TA 辺本萌(M2), 曾根美佳子(M2) (東北大学)

### ◇研究の目的・意義

多くの野菜品種は F<sub>1</sub> ハイブリッドという両親の優良形質を兼ね備えており、これらの F<sub>1</sub> 種子生産には非自己花粉での受精が必須である。アブラナ科植物には、自己花粉による受精を妨げる自家不和合性があるため、効率的な F<sub>1</sub> 種子生産が可能であるが、対して両親の純系生産には不向きである。これまで、純系生産のために 5%CO<sub>2</sub> 処理で自家不和合性を打破する方法が開発され<sup>1)</sup>、その他に電気刺激処理による方法も提起されていたが実用されず<sup>2)</sup>、それ以降の研究はない。最近、プラズマ照射により植物の発芽や生育が早まるという報告がある。本研究では、新たな自家不和合性打破法の開発を目指すため、柱頭へのプラズマ処理が受粉反応に及ぼす影響を明らかにし、自家不和合性打破の可能性を探ることを目的とした。ここで確立した手法は、新たな自家不和合性打破技術として種子生産に貢献でき、植物の生命現象解明に資する技術として期待できる。なお、本研究は、次世代科学者育成プログラム・発展コース、グローバルサイエンスキャンパス・研究重点コースで全て実施した。

### ◇研究の方法・プロセス

*Brassica rapa* S<sup>25</sup> 系統、Homei を植物材料とした。プラズマ処理は、ヘリウムガスと加温した水を加えることができるプラズマ装置(図 1)を用いた。装置は共同指導教員の安藤教授が自作したものを利用した。

プラズマ処理で自家不和合性が打破されたかどうかの判断は、花粉動態観察、花粉管侵入観察で評価した。

【プラズマ処理】: 柱頭を露出させた蕾を試料台に置き、水分を添加したヘリウムガスを 30 秒流して装置内に充満させた後、プラズマ処理装置内の電極に電流を流すことでプラズマを発生させ、一定時間処理した。対照実験として、電流を流さずに水分を添加したヘリウムガスのみを一定時間流した。

【花粉動態観察】: 花粉の動態は、プラズマ処理後の柱頭上に花粉をのせ、1 分おきに 90 分間撮影することで記録した。これまでの実験から、受粉時における花粉動態は、発芽、膨張、収縮、脈動、破裂、無変化の 6 パターンに分類できることが明らかとなっている(図 2)<sup>3)</sup>。

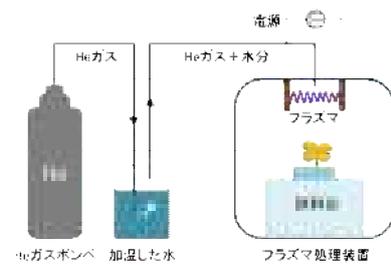


図1 プラズマ装置の模式図

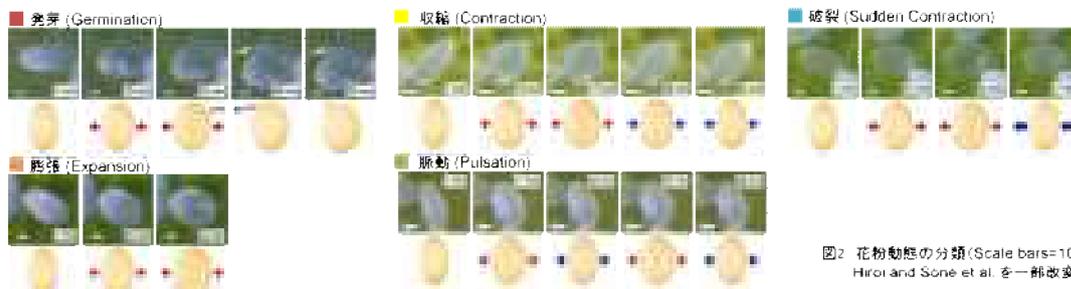


図2 花粉動態の分類 (Scale bars=10µm)  
Hiro and Sone et al. を一部改変

【花粉管侵入観察】: 花粉管の進入本数をもとに 0 本: 0 点、1~5 本: 1 点、6~10 本: 2 点、11~15 本: 3 点、16~20 本: 4 点、21 本以上: 5 点として、6 段階で評価した。

### ◇結果と考察

【プラズマ処理が植物組織に与える影響】: プラズマ処理が植物の各組織にどのような影響を及

ぼすかを解明するための対照実験として、花卉と葉を用いた。プラズマ処理時間は1分、5分とした。葉に5分間処理した時、顕微鏡観察における表面構造への影響は見られなかった。花卉では、5分間処理で萎凋に類した形態変化が観察された。柱頭の乳頭細胞は、1分間処理で僅かに破壊される傾向にあり、5分間処理では全体が破壊された。水分を添加したヘリウムガスのみで処理した対象区では、これらの変化は見られなかったことから、組織の形態変化はプラズマによるものだと判断した。

【プラズマ処理による花粉管侵入程度の変化】: プラズマ処理時間を1分、5分とし、柱頭へのプラズマ処理が自家受粉や他家受粉における花粉管侵入程度にどのような影響を及ぼすかを調査した。また花粉管侵入程度の調査により、1分間処理においてより多くの花粉管侵入が観察され、プラズマ処理効果が示唆された。

【プラズマ処理の影響度合いによる花粉動態・花粉管侵入程度の変化】: 繰り返し実験から、プラズマ1分間処理でも、供試する蕾の系統や大きさ、さらには試料台に置く位置の僅かな違いによってもプラズマの影響程度が異なることが分かった。そこで、プラズマ1分間処理後、柱頭を乳頭細胞の破壊程度によって3種類（破壊されていないように見える(-)、僅かに破壊がみられる(+)、全体が破壊(++)) に分類し(図3)、各柱頭上で花粉動態を観察した。その結果、交配の組合せに関わらず、プラズマ処理により僅かに破壊が見られる柱頭(+))において、発芽の割合が高くなる傾向にあった。また、全体が破壊されている柱頭(++))においては、大半が無変化を示す、または無変化の割合が増加する傾向にあった。それに併せて花粉管侵入程度の観察も行ったところ、プラズマ処理で破壊されていないように見える柱頭(-)、僅かに破壊がみられる柱頭(+))において、花粉管が多く侵入している傾向にあった。

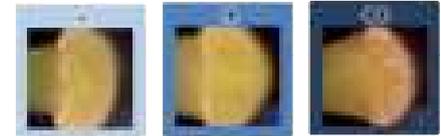


図3 プラズマ処理の影響度合いによる柱頭の種類

これらのことから、乳頭細胞全体の破壊までいかない最適なプラズマの処理条件によって、柱頭上における花粉動態が変化し、花粉管が多く侵入する可能性があると考えた。

#### ◇今後の展望

プラズマ処理によって、柱頭の表面構造がどのような影響を受けているのか。植物材料の系統や、使用する蕾によって結果が大きく変化するため、最適な処理条件の設定には反復回数を増やし、異なる系統でも調査する必要がある。実際にどのようなラジカルが、どのくらいの濃度で発生しているのかを測定することなどを残りの時間で実験し結果、結論を深めたい。

#### ◇主要参考文献

- 1) Nakanishi et al. (1969) Control of self-incompatibility by CO<sub>2</sub> gas in *Brassica*. *Plant Cell Physiol.* 10: 925-927.
- 2) Roggen et al. (1972) 'Electric aided' pollination: a method of breaking incompatibility in *Brassica oleracea*. *Euphytica* 21: 181-184.
- 3) Hiroi et al. (2013) Time-lapse imaging of self- and cross-pollination in *Brassica rapa*. *Annals Bot.* 112: 115-122.

#### <講座担当教員のコメント>

発展コース、研究重点コースで積極的に実験を行い、また、3名が今回の結果に対して、議論して得られたものであり、工学、農学両面から見ても、研究水準としても高いものがある。何より、3名が得意とする自己を理解し、研究の推進、まとめ役、議論などをそれぞれの面をリードすることができ、将来、科学者だけでなく、様々な場面で活躍できる人材である。

## 纏向遺跡と名柄遺跡のモモ核から日本のモモのルーツにせまる

発表者1 野口 輝 (奈良県立青翔高等学校 2年)

発表者2 健山 ありさ (奈良県立青翔高等学校 1年)

担当教員 生田 依子 (奈良県立青翔高等学校)

### ◇目的・意義

遺跡からはモモ核(内果皮)がよく出土するが分類はほとんどされておらず、核や仁の遺伝子抽出は成功していない(那須 2014)。金原らは遺跡のモモ核は形態からA類からF類に分類できる(金原 1996)としている。現代では多くの生物が遺伝子から分類できるようになったが、遺跡のモモ核は遺伝子からの分類は不可能であり、形態から分類する方法が唯一の方法であると考えられる。我々の試料は奈良県纏向遺跡(宮殿近くの土坑、3世紀半ごろ)と名柄遺跡(5世紀後葉、後葉は100年を5つに分けた年代のうち最後から2つめ)の核であり、今までに分類されたことはない。纏向遺跡は近年の発掘で卑弥呼の居館と考えられる遺跡である。名柄遺跡は天皇家と同等の勢力を誇った葛城氏の最後の盟主田大臣の館跡といわれている。遺跡のモモ核と現生種のモモ核の比較はされたことがなく、古代モモや卑弥呼のモモとされる現生種の稲田桃の核と遺跡の核とを比較することで、現生種のモモ核と遺跡のモモ核の系統を調べることができる。我々はモモ核の分類と年代別の分布、そして現生種のモモとの比較から日本のモモのルーツにせまり、地域社会そして全国へ発信するために次の2点を目的とした。1 纏向遺跡と名柄遺跡のモモ核を形態から分類し、種類を明らかにすること。2 稲田桃(現生種のモモ)と遺跡のモモ核を比較すること。本研究は2012年から開始し、主にSSHの課題研究の授業と科学部の活動として行い、纏向遺跡のモモ核測定は桜井市纏向学研究センターで行った。

### ◇方法・プロセス

- ① 奈良県桜井市の纏向遺跡の土坑(SK-3001)、御所市の名柄遺跡のモモ核の長さ・幅・厚さをノギスで3回測定し平均を算出し、長さ/幅、長さ/厚さ、幅/厚さの比を算出した。(金原らは1回しか測定していないが、測定者による誤差をなくするため)
- ② 文献(金原 1996)を参考にしてモモ核を分類した。
- ③ 長さ/幅、長さ/厚さ、幅/厚さの散布図から、近似直線の傾き、相関係数算出した。
- ④ 各比を分散分析により母集団が同じかどうか検定した。さらに、2標本の平均の有差の有無を調べるt検定で2グループごとに検定をした。(金原らは傾き、相関係数、分散分析、t検定は行っていないが、より数学的にデータを解析するため)
- ⑤ モモ核の表面にみられる小孔を比較した。
- ⑥ 稲田桃のモモ核についても測定をおこない、各比を算出した。
- ⑦ 上記の方法をもとにマニュアルを作成し、常に正確な方法で研究を進めた。

### ◇結果と考察

測定値や各比を表1に示す。各比の結果から、纏向遺跡はA類のみ、名柄遺跡はA、B類であった。纏向遺跡、名柄遺跡(A類とB類)、稲田桃の核は母集団が異なり(分散分析  $P < 0.05$ )、纏向遺跡と名柄遺跡A類は同じ(t検定  $P > 0.05$ )であり、それ以外の2標本の組はいずれも異なる(t検定  $P < 0.05$ )ことがわかった。t検定の結果、表の傾きそして小孔の有無の違いからA、B類の分類は正確であると考えられる。稲田桃は本研究からは卑弥呼がいたとされる纏向遺跡や、名柄遺跡のモモとは系統が繋がっていないとわかった。

纏向遺跡から名柄遺跡までおよそ200年以上継続してA類が利用されていたことがわかった。しかし、A類は平安時代の布留遺跡や中世の太田遺跡からはほとんど出土しない(金原 1996)ことから、A類は現代につながらず姿を消したと考えられる。奈良県内の他遺跡では、5世紀半以降、須恵器が存在する層からはB、C類が急に出土する(金原 1996 2003)。須恵器は渡来人が日本へ持ち込んだ土器であり、B、C類は朝鮮半島から持ち込まれた外来のモモである

と考えられる。しかし、C類は出土しない遺跡もあり支配豪族の違いや、物流の経路（特に利用した河川）の違いも考えられる。日本のモモのルーツは中世までは朝鮮半島のモモであると考えられる。しかし、近世遺跡のモモ核のデータはまだ無く、江戸時代まで起源がわかっている稲田桃と纏向遺跡および名柄遺跡のモモ核は異なることから、近世に朝鮮半島由来のモモは姿を消したか、改良を加えて花桃につながるのかは不明である。

◇今後の展望

近世の遺跡のモモ核の分類をすることで、中世と現生の古代モモといわれるモモとの系統を解明したい。また、奈良県以外のモモ核はほとんど分類されていないので、他地域、多年代の分類をすることで、そして、原産地の中国や朝鮮半島、および日本国内の渡来人の通り道である九州、中国地方、近畿地方のモモ核の分類をすることで日本のモモのルーツによりせまりたい。特に、近畿地方の淀川水系、大和川水系、紀ノ川水系の港と倉庫群の遺跡は支配豪族が異なるため、調査をしたい。

◇主要参考文献

金原正明. 「古代モモの形態と品種」 考古学ジャーナル 1996;409:15-19.  
 金原正明. 「南郷遺跡群Ⅲ 第四節南郷大東遺跡における遺体分析による検討」 2003;274-302  
 那須浩郎. 「桃」の考古～学遺跡から出土した桃の種～ 生き物文化誌学会岡山例会 2014  
 表 各遺跡と稲田桃のモモ核の測定結果

|                    | 纏向遺跡       |      | 名柄遺跡A類     |      | 名柄遺跡B類     |      | 稲田桃             |
|--------------------|------------|------|------------|------|------------|------|-----------------|
| 個体数(個)             | 65         |      | 20         |      | 12         |      | 43              |
| 長さ(mm)             | 22.13±1.66 |      | 23.51±2.41 |      | 24.58±5.79 |      | 22.13±1.66      |
| 幅(mm)              | 18.56±1.34 |      | 19.41±2.48 |      | 18.93±4.04 |      | 18.56±1.34      |
| 厚さ(mm)             | 14.86±0.99 |      | 15.58±2.10 |      | 13.82±2.99 |      | 14.86±0.99      |
| 長さ/幅の平均            | 1.19±0.09  |      | 1.22±0.05  |      | 1.29±0.08  |      | 1.76±0.14       |
| 長さ/厚さの平均           | 1.49±0.08  |      | 1.52±0.11  |      | 1.77±0.14  |      | 2.51±0.20       |
| 幅/厚さの平均            | 1.25±0.06  |      | 1.25±0.09  |      | 1.37±0.07  |      | 1.43±0.05       |
| 「長さ」と「幅」<br>の近似直線  | 傾き         | 相関係数 | 傾き         | 相関係数 | 傾き         | 相関係数 | 種類がわかっているため算出せず |
|                    | 0.80       | 0.61 | 0.95       | 0.95 | 1.39       | 0.95 |                 |
| 「長さ」と「厚さ」<br>の近似直線 | 傾き         | 相関係数 | 傾き         | 相関係数 | 傾き         | 相関係数 | 種類がわかっているため算出せず |
|                    | 1.26       | 0.68 | 0.99       | 0.95 | 1.74       | 0.91 |                 |
| 「幅」と「厚さ」<br>の近似直線  | 傾き         | 相関係数 | 傾き         | 相関係数 | 傾き         | 相関係数 | 種類がわかっているため算出せず |
|                    | 0.97       | 0.76 | 0.98       | 0.83 | 1.28       | 0.95 |                 |
| 小孔                 | なし         |      | なし         |      | あり         |      | あり              |



図1 纏向遺跡の核



図2-1 名柄遺跡A類の核



図2-2 名柄遺跡B類の核

〈講座担当教員のコメント〉

先行研究を理解し方法に改良を加え文化財を科学的に研究する方法を改良した点と現生種のモモを取り入れた点が評価できる。また、纏向遺跡（土坑 SK-3001）と名柄遺跡のモモ核の分類は全国初であり、文化財科学会では一般の部で発表し好評であった。

## エチレンはどのようにカイワレダイコンの子葉を曲げるのか ～細胞レベルのメカニズム・生理的意味を探る～

久保裕亮 (茨城県立並木中等教育学校 5年 (高校 2年))

担当教員：佐藤忍 (筑波大学生命環境系)

### ◇研究の目的・意義

植物ホルモンのエチレン ( $C_2H_4$ ) は、植物の様々な生理作用を誘導することが知られている。2013 年の研究ではエチレンがカイワレダイコンの子葉形態形成に与える影響を研究し、エチレンはカイワレダイコンの子葉に対して、下向きに巻くように曲がる「カーリング」という現象を誘導することを明らかにした (図 1)。今年度の研究では、エチレンが子葉の細胞に与える影響を明らかにし、カーリングの細胞レベルのメカニズムを明らかにすることを目的とした。また、トマトでは本葉のカーリングが報告されていることから、カイワレダイコンにおいて、カーリングは子葉だけでなく本葉でも誘導されるのかを明らかにすることを目的とした。また、カーリングの生理的意味を考えたところ、カーリングした子葉は光を受ける面積が小さくなることに気が付いた。よってカーリングは強光を避けるための反応ではないかと考えた。そこで光とカーリングの関係を明らかにすることを目的とした。研究は基本的に学校の部活動として行い、子葉の切片の作成・結果の考察をグローバルサイエンスキャンパスで行った。



図 1 (左) まっすぐな子葉  
(右) カーリングした子葉

### ◇研究の方法・プロセス

#### 【実験 1: まっすぐな子葉とカーリングした子葉の細胞レベルの比較】

エチレンを与えずに育てたカイワレダイコンのまっすぐな子葉 3 個と、エチレンを与えて育てたカイワレダイコンのカーリングした子葉 5 個において、子葉 1 枚に対して切片を 1 枚ずつ作成した。光学顕微鏡を用いて切片の画像 (図 2: まっすぐな子葉の画像 3 枚, カーリングした子葉の画像 5 枚) を作成した。これをもとに、細胞の横方向の成長と縦方向の成長について、細胞の数と長さを調べた。

#### 【実験 2: エチレンがカイワレダイコンの本葉に与える影響】

実験装置の概要を図 3 に示す。この実験装置にエチレンを加えて濃度を 20ppm にしたもの ( $C_2H_4$ ) と、エチレンを加えないもの (Control) を作成した。Control と  $C_2H_4$  において、それぞれ 200 個体のカイワレダイコンを育てた。13 日後に本葉を取り、形状別に「まっすぐ」「カーリング」に分類し、それぞれの個数を測定した。



図 2 (左) まっすぐな子葉の切片  
(右) カーリングした子葉の切片

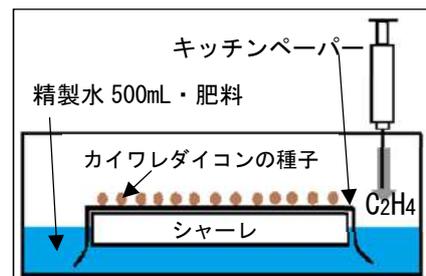


図 3 実験 2 の実験装置の概要

### 【実験3:子葉のカーリングと光量の関係】

図の実験装置を4箱作成し、エチレンを加えた場合の「光あり」「光なし」、エチレンを加えない場合の「光あり」「光なし」の条件を作った。「光なし」は容器をアルミホイルで覆うことで作成した。10日後に子葉を取り、「まっすぐ」「中間」「カーリング」の3項目に分類し、それぞれの個数を測定した。また、「光あり」「光なし」それぞれにおいて気孔を観察し、気孔の開閉を調べることで、エチレンの取り込まれやすさを調べた。

#### ◇結果と考察

子葉の切片における細胞の数の測定から、まっすぐな子葉とカーリングが見られた子葉において、細胞数に有意差は見られなかった。また、細胞の長さの測定から、カーリングが見られた子葉において、裏側の細胞の横方向の成長が抑制されていることが分かった。一方、縦方向の成長(厚さ)は、表裏共に促進されていた。カーリングが起きた原因は、エチレンの影響によって、細胞の数は変わらずに裏側の細胞の横方向の成長が抑制されたことであると考えられる。エチレンの影響で植物の葉柄やトマトの本葉もカーリングすることが知られている。この原因は表側の細胞の横方向の成長が促進される、上偏生長という現象であると報告されている(Jackson & Campbell, 1976)。

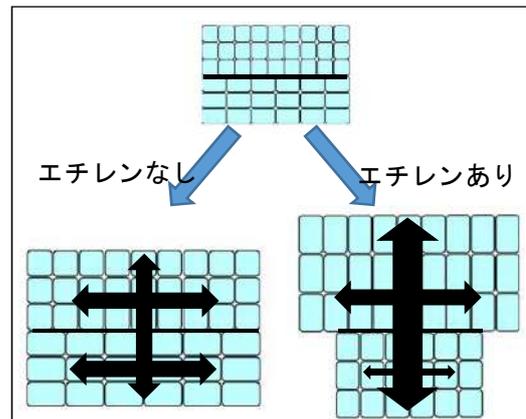


図4 エチレンがカイワレダイコンの子葉の細胞に与える影響

カイワレダイコンの子葉におけるカーリングの細胞レベルのメカニズムは、これまで知られていた器官が曲がるメカニズムとは異なることが明らかとなった。C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>はControlと比較して、カーリングした本葉が多く、まっすぐな本葉が少なかった。よって、エチレンは子葉だけでなく本葉もカーリングさせる効果があると考えられる。光が無いとき、カーリングした子葉の個数は減少した。また、子葉の気孔は光ありの時開き、光なしの時閉じることが分かった。よって、光が無いときはエチレンが取り込まれにくくなり、カーリングが起きにくいと考えられる。

#### ◇今後の展望

密閉して育てた場合など、エチレンを与えなくてもカーリングが見られることがあった。今後は、この原因が植物自身によって作られるエチレンであるかどうかを、エチレン合成阻害剤、エチレン作用阻害剤を用いて調べたい。これらの研究によって、葉の形の良い商品価値の高い作物の栽培等に応用が期待できると考えられる。また、カイワレダイコンの子葉のカーリングの細胞レベルのメカニズムが、これまで知られていた器官が曲がるメカニズムとは異なっていたことに疑問を持った。この原因は植物の器官の違いによるものではないかと考えた。カイワレダイコンの本葉における、カーリングの細胞レベルのメカニズムを明らかにし、子葉との比較・トマトとの比較を行いたい。

#### ◇主要参考文献

- ・Michael B. Jackson, D. Joan Campbell (1976) 「Waterlogging and petiole epinasty in tomato: The role of ethylene and low oxygen」 New Phytol. 76, 21-29.
- ・小柴 共一・神谷 勇治 /編 「新しい植物ホルモンの科学第2版」講談社 2010年

#### <講座担当教員のコメント>

エチレンの作用に興味を持って始めた本研究において、子葉の切片を作成して細胞の数や大きさを粘り強く計測し、そのデータを統計的に解析した実行力と科学的思考力は高く評価できる。その結果、今まで知られていた葉の上面の成長が促進されるのとは異なり、下面の細胞の成長が抑制されることを見出したのは新しい発見であり、科学的な新規性も高い。

私たちの暮らしと微生物

- 市川新之助(愛媛大学附属中学校 2 年), ○高橋史恵(愛媛大学附属中学校 2 年), ○内藤雄太(愛媛大学附属中学校 1 年), 大本理恵子(松山市立鴨川中学校 3 年), 小田瑞葉(愛媛大学附属中学校 1 年), 早野桜(愛媛大学附属中学校 1 年), 長野真紀子(愛媛大学附属中学校 2 年), 吉村樹季(愛媛大学附属中学校 2 年), 大橋淳史准教授(愛媛大学教育学部), 林秀則教授(愛媛大学プロテオサイエンスセンター)

研究目的

微生物は目に見えないが、私たちのまわりに存在している。そして、その微生物の活動が、私たちに有益な場合を発酵、不利益な場合を腐敗とよんでいる。つまり、発酵と腐敗は微生物の活動という点では同じなのである。そこで、私たちは、発酵と腐敗の研究を通して、その共通点や私たちの暮らしへの影響を研究することを計画した。

発酵の研究

発酵は有史以来人間の生活を向上させてきた。日本でも発酵は、味噌、納豆などに用いられている。そこで、日本の伝統的な発酵法である、麴菌を使って発酵の研究をすることを計画した。具体的には、麴を使った甘酒造りを通して、発酵の原理について研究した。甘酒には、2種類あり、市販されている缶入り甘酒は酒粕を利用した甘酒でありアルコール分を含む。一方で、麴菌によるデンプンの糖化を利用した麴甘酒は、アミラーゼによるデンプンの分解によって、糖を生成するためアルコールが生成しない。造った甘酒を飲んで味を調べたいため、麴甘酒造りによる研究を計画した。麴菌によるデンプンの分解は、人間の唾液による消化と同じである。そこで、分解する食品の種類による反応速度の違いを比較し、また科学的なデータと味という嗜好との関係性について研究した。

実験・結果

生麴(有限会社おたまや)を利用して、まず米で甘酒について以下の検討を行った。

- (1)糖度の変化を糖度計で測定する。
- (2)ヨウ素デンプン反応でデンプンの定性分析を行う。
- (3)味を調べる。

次に、以下の米以外の食品で、同様にして生麴を利用して甘酒造りを行った。

表 1 検討した食品

|       |      |        |        |
|-------|------|--------|--------|
| 片栗粉   | 豆乳   | オートミール | かぼちゃ   |
| じゃがいも | さといも | さつまいも  | トウモロコシ |

いずれも反応温度 55~60°Cで 360 分反応を追跡した。このうち、米、かぼちゃ、じゃがいも、さといも、さつまいも、トウモロコシ、小麦粉の糖度の変化を図 1 に示す。もっとも糖度が高くなったのは、小麦粉であり 360 分後の糖度は 31Brix%であった。もっとも糖度が低かったのはトウモロコシであり、360 分後の糖度は 19Brix%

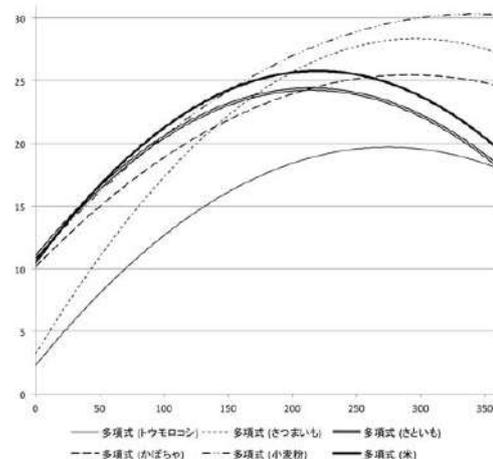


図 1 甘酒造りの糖度変化

であった。

### ヨウ素デンプン反応

発酵中に試料を少量採取し、20倍に薄めたヨウ素溶液でヨウ素デンプン反応を行った結果を表2に示す。

表2 ヨウ素デンプン反応の結果

| 食品  | ヨウ素デンプン反応              | 食品     | ヨウ素デンプン反応             |
|-----|------------------------|--------|-----------------------|
| 米   | 180分 薄紫<br>360分 ほぼ呈色なし | トウモロコシ | 60分 薄紫<br>360分 ほぼ呈色なし |
| 小麦粉 | 60分 薄紫<br>360分 ほぼ呈色なし  | かぼちゃ   | 210分 薄紫               |

### 味覚試験

つくった甘酒を飲んだ結果、美味しかったのはさといも、オートミール、トウモロコシであった。

### 考察

糖度の測定において、米、さといもでは途中から糖度が減少しているが、これは甘酒が濁っているなど屈折率を測定しにくい条件になってしまったからだと推測した。また、糖度測定の結果、360分後に、もっとも糖度が低かったトウモロコシのヨウ素デンプン反応は、もっとも速く色が薄くなっている。この結果からトウモロコシの糖度が低かったのは、デンプンの含有量が他の食品に比べて少なかったからであると推測した。小麦粉は、糖度がもっとも高く、ヨウ素デンプン反応が薄くなる時間もトウモロコシと並んでもっとも速い。この結果から、小麦粉は、粉になっていて麹菌とデンプンとの接触面積が大きくなっていることが、反応速度に現れていると推測した。反応の遅いかぼちゃやさといも、さつまいももすり潰すか粉状にすることで反応速度が上昇するかもしれない。味覚試験の結果、糖度が高い方が美味しいとは限らないことが明らかとなった。また、美味しいと感じる食品も人によって違うことがわかった。甘酒のような嗜好品の場合、美味しさについて科学的なデータでわかることとわからないことがある。

### 腐敗の研究

人類の発展の歴史は、腐敗との戦いである。現在でも、黄色ブドウ球菌やカンピロバクター、O-157など腐敗による食中毒は健康の大きなリスクである。そのため、人類は腐敗を防ぐ方法を模索してきた。その方法のひとつが冷蔵であり、もうひとつが食品保存料である。しかしながら、日本では食品保存料の使用が忌避されることが多い。そこで、私たちは食品保存料が腐敗をどのくらい防ぐのかを、上野製薬株式会社との共同で研究を進めている。具体的には、上野製薬株式会社から提供していただいた食品保存料8種(安息香酸ナトリウム、ソルビン酸ウエノ、デヒドロ酢酸ナトリウム、アジャスター®-2, CC-50, ホセンエース®NK, モノプロン®A, グリシン)を水溶液にして、これをスプレーボトルに入れて、ご飯に吹きかけ、カビが生えるまでの時間を比較研究している。

### 謝辞

腐敗に関する研究は、上野製薬株式会社と共同で行われた。

### 家族性頸動脈小体腫瘍における原因遺伝子の解析

安田 佐梨 (宮城県仙台第二高等学校 2年)、山中 美慧 (宮城県仙台第二高等学校 3年)

指導教員： 堀井 明 (東北大学 医学系研究科)

#### ◇研究の目的・意義

頸動脈小体腫瘍の約 10% に家族歴があることが分かっている。家族性頸動脈小体腫瘍の殆どの症例で生殖細胞系列の変異がみられ、遺伝形式は常染色体優性である。疾患の頻度はあまり高くないが、多発性の悪性腫瘍を生じることがある。原因遺伝子を特定できれば、発症前診断や早期診断への道につながるため、意義のあることである。本研究では、頸動脈小体腫瘍の 5 症例の原因となった変異を検索し、診療に生かすことを目的とした。研究は、平成 25 年の東北大学科学者の卵講座エクステンドコースの活動として 6 月 26 日に始めたものである。

#### ◇研究の方法・プロセス

頸動脈小体腫瘍の 5 症例 (患者 16、117、118、315、426) の腫瘍検体、血液検体を用いて、腫瘍の DNA、mRNA、血液の DNA を抽出する。これまでに複数の遺伝子の関与が報告されているが、これらの遺伝子を順番に調べる。患者血球由来の DNA と腫瘍由来の mRNA (cDNA) の配列を PCR 法とシーケンサーにより調べる。変異が発見できたら、可能な限り別の方法でも変異を確認するとともに、変異遺伝子と正常遺伝子との比率の検討も加える。

#### ◇結果と考察

[患者 426 の遺伝子変異]

腫瘍由来 DNA では、遺伝子 1 において本来 G であるはずの箇所が A に変異していることを発見した (図 1)。部分はアミノ酸をコードする領域で、この変異により、中性のグリシン (GGC) から酸性のアスパラギン酸 (GAC) に変わってしまうことが分かった。この変異により、産生されるタンパクの性質が全く異なるものになってしまうことが予想され、機能的に重篤な問題が生じ、発がん

につながった可能性が非常に高いと考えられる。本患者は家族発症の家系内にみられ、血液由来の DNA にも異常が見られることから、親から子へ伝わった変異と考えられた。また、別の家族性頸動脈小体腫瘍の家系でも原因変異として論文報告されていた。これらを考え合わせ、本家系における腫瘍発生の原因となる変異であると考えられた。

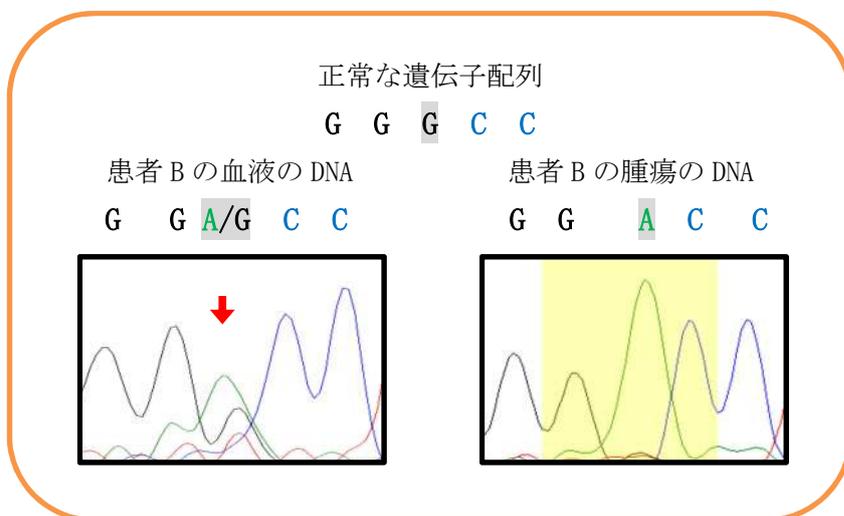


図 1 患者 426 の遺伝子変異

[患者 315 の遺伝子変異]

腫瘍由来 DNA では、遺伝子 2 において本来 A であるはずの塩基が C に変異していることを発見した (図 2)。変異は正常なスプライシングに必須の配列で見られ、スプライスに重篤な異常をきたすと考えられる。血液由来の DNA では正常と変異の塩基配列がヘテロの状態で見られ、腫瘍では正常の配列が欠失したホモの状態であった (図 3)。この変異により腫瘍の mRNA では Exon3 のスキップが起きていることも確認した (図 4)。本患者でも血液由来の DNA にも異常が見られ、患者 426 同様家族性腫瘍の原因である可能性が考えられた。患者 16、117 でも全く同じ変異が特定されたが、いずれも東北地方在住で、親戚関係は明らかではないが、共通の Founder に由来する遠い親戚である可能性も考えられる。

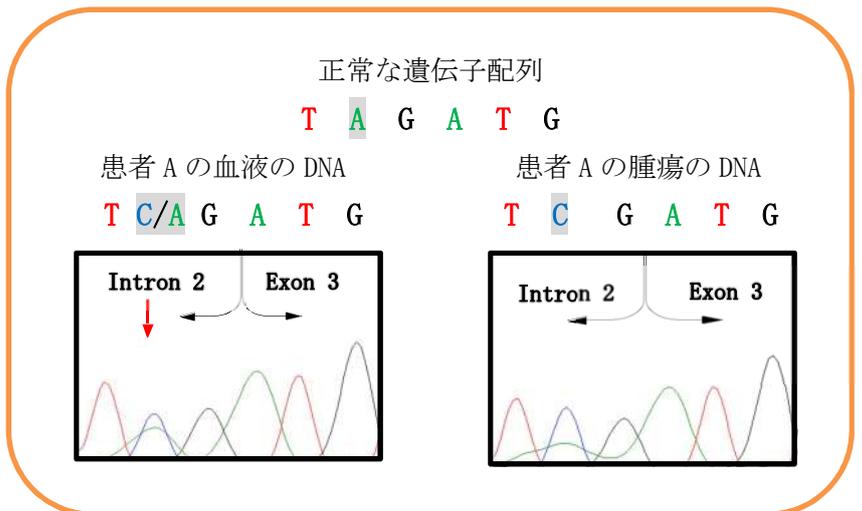


図 2 患者 315 の遺伝子変異

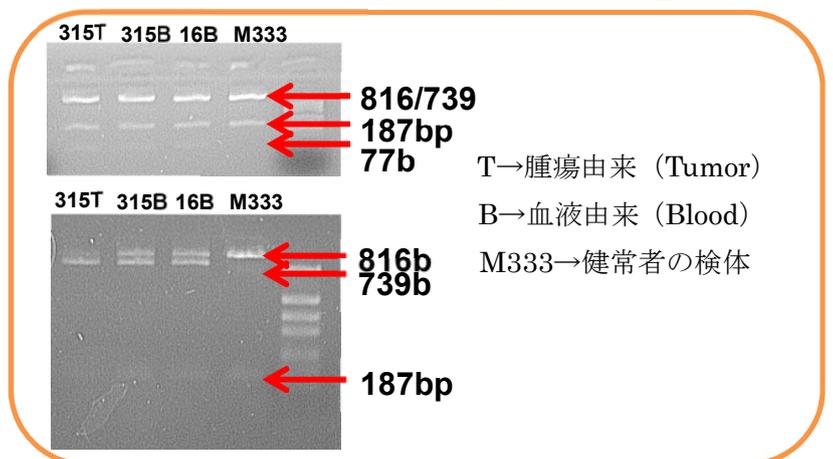


図 3 cDNA (mRNA を逆転写したもの) を制限酵素 Taq I で切断した結果

◇今後の展望

今回の研究により、家族性頸動脈小体腫瘍の具体的な原因を一部解明することができた。今後は引き続き患者 118 の検体を用いてさらなる分子病理学的な解明を進めていきたい。

◇主要参考文献

Taïeb D. et al. Current approaches and recent developments in the management of head and neck paragangliomas. *Endocr Rev* 35, 795-819, 2014

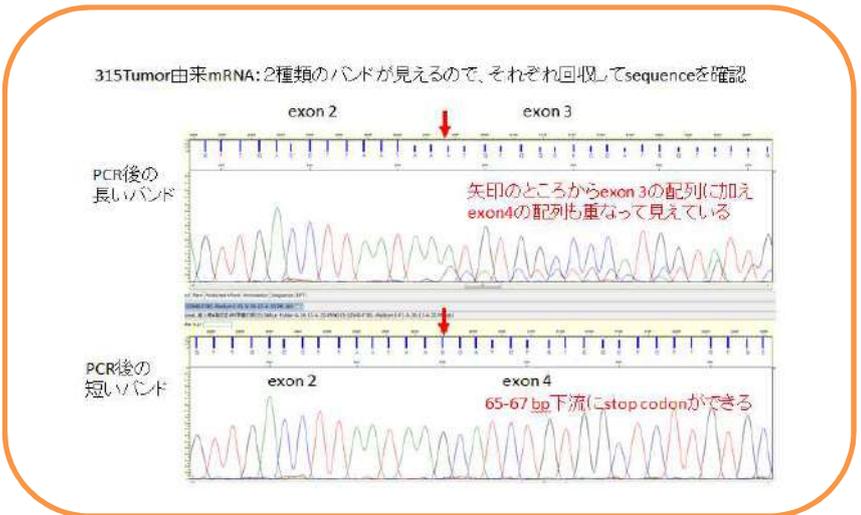


図 4 cDNA のシーケンスの結果

<担当教員のコメント>

本研究は発表者 (高校 2 年生) ともう 1 名 (高校 3 年生) とで協力して医学的、並びに臨床的に意義のある解析結果を出した。進める過程で分子腫瘍学的な理解も深まり、途中からはどんどん自分たちで考えて研究を進めた結果、本発表の内容に到達できたことを高く評価する。