

第39回 兵庫県高等学校総合文化祭

39th Hyogo Senior High School Cultural Festival

# 自然科学部門発表会

## 発表論文集



イラスト 県立豊岡高等学校 1年 倉田 瑞希

2015年11月21日(土)・11月22日(日)

会場 : バンドー神戸青少年科学館

## 第 39 回兵庫県高等学校総合文化祭 自然科学部門発表会 2015

掲載されている論文の文章、図表、写真、イラストなど文字・画像等の著作権は、各高等学校の部等の団体にあります。これらの情報は、「私的使用」または「引用」など著作権法上認められている場合を除き、無断で転載、複製、放送、公衆送信、翻訳などの利用をすることはできません。当冊子や Web サイトの情報を利用したい場合は、直接著作団体の顧問教員へ連絡を取ってください。

### ◆口頭発表論文集目次◆ 発行 兵庫県高等学校文化連盟 自然科学部

#### 【物理分野】 学校番号 高等学校名 団体名 発表分野 発表タイトル

1	214	芦屋国際中等学校	科学部	物理	水ロケット（ペットボトルロケット）の研究
2	221	宝塚北	園芸部	物理	扇風機の後方はなぜ涼しくないのか。
3	308	三田祥雲館	理化部	物理	如何に白線を超えないようにするためには？
4	423	西脇	生物部	物理	氷に内包される気泡内の環境の推定（第 1 報）

#### 【化学分野】

1	103	神戸	自然科学研究会化学班	化学	食べて大丈夫？～保存料ソルビン酸の定量～
2	221	宝塚北	化学部	化学	熱気球はどこまで軽くできるか
3	224	川西北陵	自然科学部	化学	菊炭の科学的な性質 ～伝統を科学する～
4	249	仁川学院	科学部	化学	簡易比比色計を用いた退色反応の測定
5	301	柏原	理科部	化学	チンダル現象による溶解度積の測定研究Ⅱ

#### 【生物分野】

1	101	御影	環境科学部生物班	生物	毒キノコはお暑いのが好き！？
2	111	須磨東	サイエンス部	生物	回し飲みはなぜダメなの？
3	133	六甲アイランド	自然科学研究部	生物	タテジマイソギンチャクの個体認識システム
4	202	尼崎小田	科学研究部	生物	カワウの観察
5	223	川西明峰	理科部	生物	昆陽池・武庫川のユリカモメの行動について
6	245	関西学院高等部	理科部	生物	武庫川の定点における淡水魚の出現パターン
7	310	篠山産業	丹南校 生物部	生物	武庫川の河川改修工事による魚類への影響
8	407	加古川東	生物部	生物	環境DNAを用いた外来種のカメの分布調査
9	416	小野	生物部	生物	コケにおけるクマムシの出現要因を探る
10	425	農業	生物部	生物	環境DNA手法によるカワバタモロコ調査Ⅱ
11	510	香寺	自然科学部	生物	ヒラタカゲロウ類の住み分けに関する研究
12	522	県立大学付属	自然科学部生物班	生物	「アサザ発見」てホンマか？
13	701	洲本	自然科学部	生物	イソミミズの発光について

#### 【地学分野】

1	102	東灘	自然科学同好会	地学	地域連携による神戸層群の化石調査
2	119	神戸商業	理科学研究部	地学	海外製ペットボトルはどこから来たのか
3	308	三田祥雲館	天文部	地学	小惑星の自転周期の決定
4	407	加古川東	地学部	地学	花崗岩の風化による土砂災害への影響
5	423	西脇	地学部	地学	白亜紀後期の兵庫県中南部の形成過程（第 2 報）
6	512	龍野	自然科学部	地学	龍野高校周辺の光害

## 水ロケット（ペットボトルロケット）の研究

県立芦屋国際中等教育学校 科学部

4年 イナナル 仁貴  
虫島 佑起  
Junichi Cheang

### 1. 動機および目的

#### (1) 動機

去年、水ロケットの大会に参加することになり、勝利を目指してたくさんの水ロケットを作って飛ばした。単純なつくりの水ロケットだが、正確に飛ばすのはとても難しかった。そこで水ロケットの原理を解明しようと思い、この研究を行った。

又、小さい子が一番身近に取り組める物理の教材であり、言語の壁を気にすることなく楽しめる一方、水ロケットの発射には多かれ少なかれ危険を伴う。そこで、安全に飛ばす方法を考えた。

#### (2) 目的

- ① まっすぐ飛ばすために必要なことを調べる。  
(周囲への危険防止。)
- ② 距離を出すにはどうすればよいかを調べる。
- ③ 飛距離を計算する方法を求める。  
(敷地の面積に合った飛ばし方ができる)

### 2. 水ロケットの作り方（大会で使えるもの）

#### (1) 準備物

1.5Lのペットボトル2本  
(気圧に耐える炭酸飲料のもの)  
クリアファイル(先端をつくりやすく丈夫)  
油粘土 ビニールテープ  
長い棒(プラスチックの棒)  
塩化ビニールシート 空気入れ  
ロケットの発射装置(市販のもの)

#### (2) 作成方法

- ① ペットボトルの片方を切って、もう一方のペットボトルとテープでつなげる
- ② ロケットの後方に塩化ビニールを台形に切ったもの(尾翼)をつける。
- ③ クリアファイルを尖らし、中に粘土を入れてテープで固定する。
- ④ ③をロケットの先端にテープでつけて完成。

### 3. 水ロケットの飛び方の調べ方

#### (1) 傘袋での実験

傘袋を用意し中に空気を入れてふくらまし、以下のことをやり投げのように軽く投げて調べた。

#### ① 重心の位置

重心がどのあたりのときに、一番距離が出るのかを調べる。

#### ② 尾翼の数と飛び方の調べ方

傘袋を用意し、尾翼を0枚~6枚のものを用意し、それぞれ投げる。

#### (2) 水ロケットでの実験

尾翼を4枚(傘袋が一番安定した)にして、風が弱い晴れた日に以下の実験を行った。

#### ① 質量を変えて飛ばす

気圧5気圧、水量500cc、角度45°に揃えて、先端に入れる粘土の量を60g~100gに変えて、それぞれの重心の位置を調べて飛ばす。

#### ② 水の量を変える

気圧4気圧、角度45°に揃えて、粘土の質量が110g(全体が240g)のロケットを使って、水の量を400cc~600ccに変えて飛ばす。

#### ③ 角度を変える

気圧5気圧、水量500cc、粘土の質量を90gに揃えて、角度を35°~55°と変えて飛ばす。

#### ④ 入れる気圧を変える

水量500cc、粘土の質量を90g、角度45°に揃えて、入れる気圧を4~6気圧に変えて飛ばす。

### 4. 結果と考察

#### (1) 傘袋での実験

#### ① 重心

重心が先端から1/2より前のときに、安定して飛ばせた。

これはロケットの飛行中、風がなくてもロケットにとっては、とても強い向かい風を受けることになる。ロケットは横風などを受けると重心を中心にして回転する。

ロケットを風に向かって安定した飛行をさせるには重心が前の方が安定する。

#### ② 尾翼

尾翼を縦と横に4枚つけると安定して飛ぶ。

ロケットの縦の尾翼は進行方向からの風を、横の尾翼は上下方向からの風を受けるため、風の流れに沿って飛ばすことができる。

尾翼があると、尾翼が風を受けて風による力の中心がうしろになるので飛行姿勢が安定する。

(2) 水ロケットでの実験

① 質量:粘土が60gのときに一番よく飛んだ。

質量	60g	70g	80g	90g	100g
距離	95.6m	90.9m	85.1m	78.6m	75.0m

運動量保存則より、軽いほどよく飛ぶはずだが、軽すぎるときれいに飛ばない。先端に粘土を入れると重心が先端から1/2の位置よりも前になる。

また質量が大きいほど、横風の影響を受けにくくなるので、安定してまっすぐ飛ばせるようになると考えられる。

② 水の量:500ccのときに一番よく飛んだ。

水量	400cc	450cc	500cc	550cc	600cc
距離	41.0m	50.5m	56.0m	29.5m	28.4m

運動量保存則より、基本的に水の量が多い方が、飛距離は伸びるはずであるが、500ccを境に飛距離が伸びなくなった。これは500ccを超えると水を放出するのにかかる時間が大幅に伸びてしまい、水の速度が遅くなってしまうため、距離が伸びなくなってしまうと考えられる。

③ 角度:45°のときに一番よく飛んだ。

角度	35°	40°	45°	50°	55°
距離	74.7m	77.8m	78.6m	77.6m	75.0m

距離の差はほとんどなかったが、5.の④式からも分かる通り、45°のときに一番距離は伸びた。

④ 気圧:6気圧のときに一番よく飛んだ。

気圧	4atm	4.5atm	5atm	5.5atm	6atm
距離	64.0m	72.1m	79.9m	88.1m	95.6m

気圧が多ければ多いほど、放出される水の速度が上がリ距離は伸びる。

5. 飛距離の計算方法

水ロケットの速度は以下の式から求められると考えた。

$$\frac{1}{2} p \Delta V = \frac{1}{2} M V^2 + \frac{1}{2} m v^2 \dots \textcircled{1}$$

$$M V - m v = 0 \dots \textcircled{2}$$

①はエネルギー保存則、②は運動量保存則より

- p: 気圧 (Pa)
- M: ロケットの質量 (kg)
- m: 水の質量 (kg)
- E: 失うエネルギー (J)
- $\Delta V$ : 水の体積 (m<sup>3</sup>)
- V: ロケットの速度 (m/s)
- v: 水の速度 (m/s)

実際のロケット内の気体をした仕事は  $1/2 p \Delta V$  よりも大きいはずである。しかし4.(2)④の結果からVをあてはめて解いていくと、①式のようなになる。これらから水が500ccの場合、実際の気体の仕事の約60%が、ロケットや水のエネルギーに変換されていることが分かる。

この①、②から、vを消去しVについて解くと、

$$V = \sqrt{\frac{m}{M(M+m)} p \Delta V} \dots \textcircled{3}$$

この③から角度θのときの速度Vを水平成分と鉛直成分に分解して、重力加速度をgとして水平方向の飛距離xを求めると

$$x = \frac{m p \Delta V \sin 2\theta}{M(M+m)g} \dots \textcircled{4}$$

④より200g以上のロケットで水量が500ccまでの場合の飛距離を簡単に求められるEXCELシートを作ったが、結果に対する誤差は最大2mとかなり正確なものできた。

6. 反省と課題

(1) 発射台

発射台が途中で動かなくなることがあり、発射に手間取ることがあった。また方向をきちんと定めて飛ばすことがなかなかできなかった。

(2) 尾翼の形や先端の材質

同じようなものでしか試すことができなかった。

(3) ロケットの初速度と終速度の計算

飛んでいるときに受ける空気抵抗をきちんと計算できず、①の式で概算からでしか飛距離を計算できなかった。

(4) その他

今後は500ccの小さなペットボトルを使ったロケットや、スピンしながら飛ぶロケットなどでも研究を重ねたい。

7. 感想

今年の7月に水ロケットの大会があり、前期課程(中学)の生徒が参加したが、本校生徒はかなり正確に飛ばし見事に優勝した。私たちが考えた計算が、ある程度正しいという証明ができてとても嬉しかった。今後、より精度を上げていきたい。

8. 参考文献

- 物理基礎, 物理の教科書 (数研出版)
- NEWTON (NEWTON PRESS)

扇風機の後方はなぜ涼しくないのか。

兵庫県立宝塚北高等学校 園芸部  
2年 田淵蓮 竹村一樹  
行田結希 石垣綾乃  
1年 飯田陽

### 動機と目的

暑い夏のある日、扇風機前方では強い風を受け涼しいが、後方では涼しくなかった。なぜ後方では涼しくなれないのだろうと疑問に感じた。

### 仮説 1

扇風機の後方(図 1)では風がないから涼しくないのではないのか。

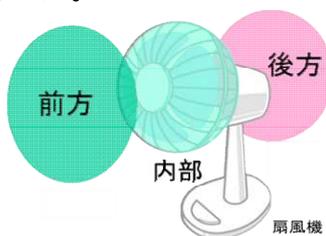


図 1 測定位置

### 実験 1

扇風機の約 10cm 後方で薄い紙をかざした。風の有無と方向を調べた。風速計を使って扇風機の前後の風速の違いを調べた。

### 結果 1

紙は扇風機の方になびいた。風速計による風速測定はできなかった。これは、扇風機のモーターの磁場が影響を与えたためである。

### 考察 1

扇風機後方にも風があることがわかった。回転翼が空気を押し出した時に同時に吸い込んでいるからだと思われる。

### 仮説 2

回転翼の吸気側を塞ぐと、風の起き方に変化が起きるのではないのか。

### 実験 2

後方の全面をゴミ袋で完全にふさいだ扇風機を用意して、扇風機内部、扇風機前方と扇風機から離れた場所(今後基準と呼ぶ)の気圧をそれぞれ約 30 秒間の 1 秒あたり 100 回(100Hz)測定した。測定には spark(PS-2008A 島津理化)に気圧測定のアタッチメントを接続して使用した。

### 結果 2

後方を塞いだ場合、前方に風は発生しなかった。測定した気圧の平均値は、扇風機の内側が 99.91kPa、前方が 99.97kPa、基準が 99.94kPa であった。測定器の分解能が 0.1kPa であるため、平均値では

有意義な違いを観測することができなかった。そこで、図 2 のように測定した場所ごとに 0.05kPa の幅でヒストグラム化して割合をグラフにした。

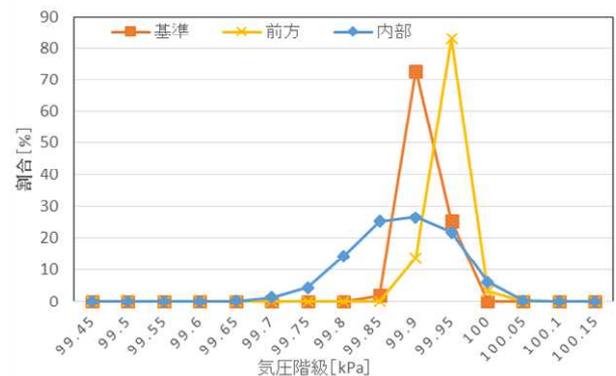


図 2 後方を完全に塞いだ時の気圧の割合

### 考察 2

平均値は有意義な違いがなくても、図 2 には大きな違いが出た。扇風機内部の気圧は、基準や前方と比べ、気圧が高い割合が減り、気圧が低い割合が増えることがわかった。同様の実験を 10 回繰り返しても同じ結果を得た。

回転翼が回っていても後方を塞ぐと前方向きの風が起きないことから、扇風機の風は回転翼が空気を押し出すことで直接作り出しているのではないことが分かった。

さらに、回転翼は扇風機内側に低気圧をつくらせていることから、扇風機の風はこの低気圧に扇風機後方から風が流れ込むことで生じているのではないかと考えた。

### 仮説 3

扇風機内側の低気圧によって、風が生じるのであれば、扇風機後方を塞がなくても扇風機内側には低気圧は発生しているのではないのか。

### 実験 3

後方を塞いでいない通常の状態の扇風機を用意して、基準の場所と回転翼の吸気側(後方側)、排気側(前方側)の 3 点の気圧をそれぞれ測定した。測定方法は実験 2 と同様にした。

### 結果 3

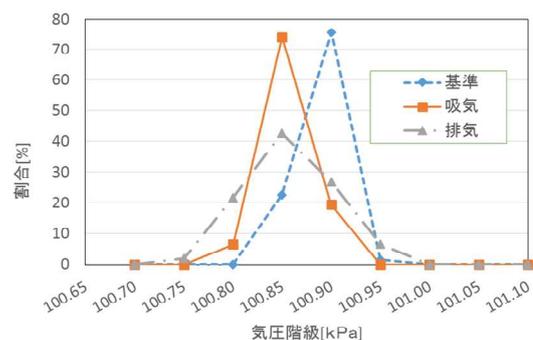


図 2 通常時の気圧の割合

図 3 に測定気圧を割合にして示す。

### 考察3

基準の場所に比べ、扇風機の吸気側の気圧の低い割合が多くなっている。仮説3は正しく、扇風機後方を塞がなくても扇風機内側には低気圧は発生していた。また、同時に排気側も気圧の低い割合が多くなっていることがわかった。

扇風機が風をつくり出す仕組みは、次のようである。回転翼は前方向きの風をつくらないが、空気を押し出すことで、低気圧をつくっている。そして、その低気圧に扇風機後方から空気が流れ込むことで前方向きの風となっている。

### 仮説4

考察3が正しければ、扇風機後方を半分だけ塞ぐと、塞いだ側の前方は風が生じず、残りの半分の前方でのみ風が生じるのではないか。

### 実験4

扇風機後方を半分だけ塞ぎ、扇風機の約10cm前方で薄い紙をかざし、場所ごとに紙がなびくかどうか調べた。

### 結果4

扇風機の約半分の面で前方では紙がなびき、残りの半分の面の前方では紙が前方向きになびかなかった。しかし、塞いだ場所と紙がなびかない場所は少しだけずれていた。

### 考察4

考察3で考えた通り、扇風機で生じている風は回転翼が回るだけでは生じず、後方から風が流れ込むことで生じている。ただし、回転翼は風の向きを少し変えているようである。

### 仮説5

フォグマシンを使えば、扇風機後方の空気の流れを可視化できるのではないか。

### 実験5

扇風機後方でフォグマシンを扇風機と反対方向に向けて煙を発生させ、その動きを調べた。

### 結果5

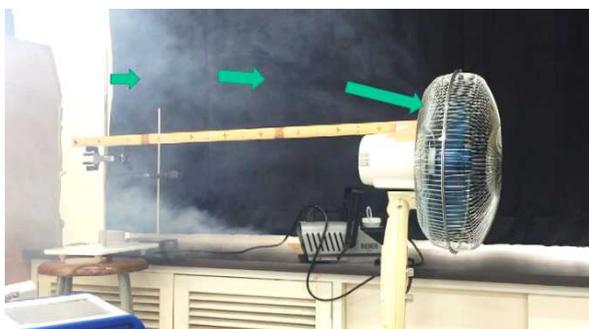


図4 扇風機後方の煙の動き

図4に実験の様子を示す。矢印の向きと長さで、煙の動く向きと速さを定性的に表している。

### 考察5

空気は扇風機の後方約1m離れた場所から徐々

に加速されているが、特に扇風機のすぐ後ろで急加速していることがわかった。

空気は高気圧から低気圧に向かって流れることを考えると、扇風機後方約1m離れたところから扇風機のすぐ後ろにかけて気圧が低くなる気圧の勾配ができていると思われる。

### 仮説6

扇風機後方の気圧は扇風機に近づくにつれ、低くなっているのではないか。

### 実験6

通常の扇風機の内部と、扇風機後方から約1m先まで10cm間隔でとった10地点の気圧を測定し、比較した。

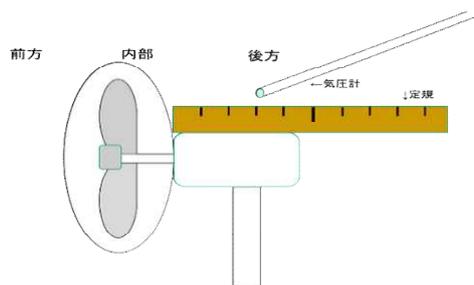


図5 実験6の方法

### 結果6

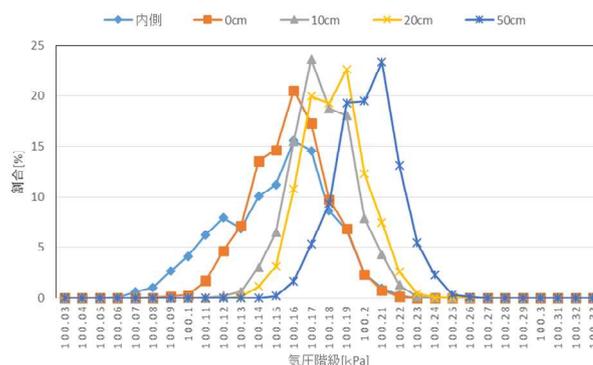


図6 扇風機後方からの距離と気圧の分布

図6に測定した点のうち5点の気圧の割合を示す。

### 考察6

扇風機に近づくにつれて、気圧の高い割合が減少し、低い割合が増えた。実験5で観察した煙の様子と一致した。

### 結論

扇風機後方の気圧を測定し、気圧の場所による違いを調べた。この気圧の違いにより、扇風機には後方から前方に風が生じている。しかし、扇風機のすぐ後ろで空気が急加速しているため、普段、涼むために居る場所では涼しく感じられない。

### 参考文献

- 1) 安達勝之・菅野一仁著, 絵ときでわかる 流体力学(第2版), オーム社(2014)
- 2) 吉中司著, ジェット・エンジンの仕組み—工学から見た原理と仕組み, 講談社(2010)

## 如何に白線を越えないようにするためには？

ロボカップジュニアサッカーチャレンジにおける「アウト・オブ・バウンズ」対策

兵庫県立三田祥雲館高等学校 理化部  
2年高橋真斗 1年中島香名子 田中暁

### 1. 動機及び目的

本校理化部は、平成 24 年度よりロボカップジュニアサッカーチャレンジに取り組んでいる。

競技ルールの一つに「ロボットが白線を越えフィールド外に出るとその機体は 1 分間の退場を命じられる（アウト・オブ・バウンズ）」があり、1 チーム 2 台で行うこの競技では退場させられると必ず相手に得点を与える結果となるため、対策が望まれる課題ではあるが、決定的な解決策が見出せずに 3 年が経過した。今年 3 月に開催された全国大会においても決勝トーナメントには進出をしたが、上位入賞を果たすことができなかった。

本研究では以下の方法をもってこの課題を解決することを目的とする。

### 2. 検討項目

- A) ラインセンサーに関する検討  
(センサーによる白線の見落とし)
- B) プログラムループ時間に関する考察  
(センサー読み取りタイミング)
- C) センサー出力信号を延長するための工夫  
(ワンショット回路の設置)

### 3. 検証実験と結果考察

#### A) ラインセンサーに関する検討

昨年度まで利用していた「DAISEN 社製ラインセンサー DSR-543」はライトレース競技でもよく利用されている赤外線を照射しフォトトランジスタで読み取る反射型赤外線フォトリフレクタと呼ばれるものである。

本競技では緑色フィールドと白線の色の違いをセンサーにより読み取るが素材の指定はなく、緑と白という色の指定のみである。このため、競技場によってセンサー値は大きく異なり、数値の較正に多くの時間が費やされていた。また、全国

大会における上位入賞チームの多くは、高輝度 LED を利用していたことから「DAISEN 社製ホワイトラインセンサー DSR1502」を



入手し、比較検討を行った。

このセンサーは高輝度赤色 LED で照射した可視光領域の光を、分光感度特性が人間の視感度特性に近いフォトトランジスタで読み取るため、白色及び緑色素材の色のみで反射率を考えると赤色 LED による発光のほうが優位だと考えられる。

素 材	赤外線	赤色 LED
白(テーピング)	40%	81%
白(スチレンボード)	80%	81%
白(低発泡塩ビ板)	62%	81%
白(塗料)	25%	72%
緑(タイルカーペット)	2%	13%
緑(カーペット)	1%	1%
較正基準		

表 1 センサー読み取り比較

実験 A) 白線を越えたらストップするプログラムを制作し、モーター速度の上限値を調べる。

結果) 赤外線型 速度 80%

赤色 LED 型 速度 80%

考察)「赤外線型センサーが白線を見落としているわけではない」ということ証明されたが、各大会において、競技開始までの短い調整時間を考慮すると赤色 LED 型が有効であると考えられる。

#### B) プログラムループ時間に関する考察

「プログラムループが長すぎ、センサー信号読取命令時にはすでに白線を越えているのではないか。」

プログラム言語「G-STYLE」では、割り込み処理等はなく命令を順番に行っているため、実験 A のようなプログラムループが短いものであれば常にセンサー信号を確認することができるが、長いループでは他の命令を行っている間に白線を越えているのではないかと考えた。



図 1 「G-STYLE」によるプログラム

実験 B) 図 1 に示すプログラムを作成、Wait によりループ時間を設定、1m の区間を走行させ、

何[ms]まで反応できるのかを調べる。

(モーター出力 55%平均速度 161.3[cm/s])

結果) Wait 時間 限界値 23[ms]

考察) 実験結果より 23[ms]の間の機体の移動距離を計算すると、 $161.3[\text{cm/s}] \times 23[\text{ms}] = \text{約} 3.7[\text{cm}]$ 。幅 2.0[cm]の白線ではこの値が限界だと考えられる。(3.7[cm]の読取間隔で 2.0[cm]の白線が検知できるのはセンサーの読取範囲が影響していると考えられる。)

プログラムループを短くすることが最善とはいえ、「C-STYLE」では、モーター制御の時間設定は 0.1[s]単位であり、一つでも入れればそれだけで機体は最大 16[cm]進んだことになってしまい「プログラムループを短くする工夫だけでは対策とはなりえない。」

### C) センサー出力信号を延長するための工夫

第①案 図2のように各方位に1個設置していたセンサーの個数を各方位に複数設置する。

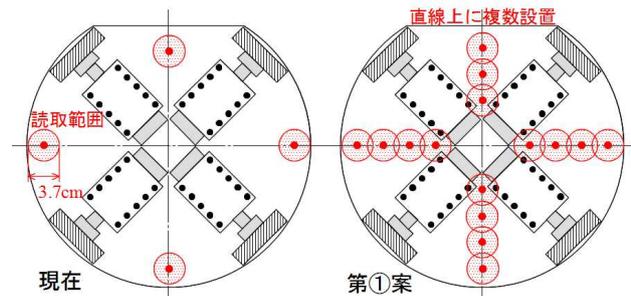


図2 センサー複数配置図

ラインセンサー1個で走行時の読取間隔は前回の実験より約 3.7[cm]ということから、一方向あたり4個設置することにより 10[cm]前後をカバーすることが出来る。

第②案 センサーは、白線通過時のみ検知信号を出すので CPU との間に、白線通過後も一定時間、検知信号を出し続けるような IC 回路を設置する。

以上2案を検討した結果、センサーの個数の増加（コスト高）、増設したセンサーの並列処理をするための IC 回路設計を考慮し、第②案採用する。

ワンショット回路（単安定マルチバイブレータ）を制作するにあたり、74HC123A を利用する。

この IC はリトリガブル（リトリガー可能）である。ただし、このリトリガー機能は、新たにエッジを検知した時に出力時間をリセット（延長）するため、入力信号がある間、常にエッジが検知

できるようにする必要があり、前段に NE555P を非安定マルチバイブレータ（発信器）として利用することにより入力信号がなくなった後、一定時間出力信号を延長する回路を制作することができる。(図3)

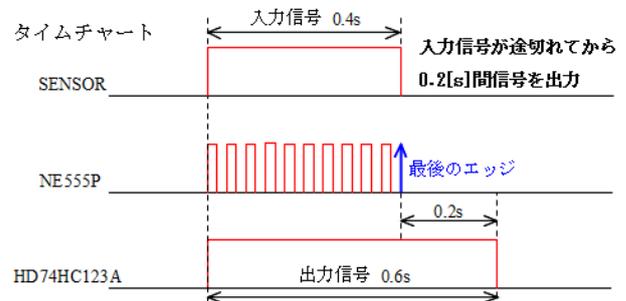


図3 リトリガー機能タイムチャート

実験 C) B) と同様のプログラムを作成、Wait 時間の限界値を調べる。

(モーター出力 55%平均速度 161.3[cm/s])

結果) Wait 時間 限界値 200[ms]

考察) 実験結果より 200[ms]の間の機体の移動距離を計算すると、 $161.3[\text{cm/s}] \times 200[\text{ms}] = \text{約} 32.3[\text{cm}]$ となり、「約 30[cm]の白線幅と同義となるため見逃すはずはないと考えられる。」

### 4. 今後の課題

赤色 LED 型、出力信号延長 IC 回路を導入した機体は、単独動作ではほぼ白線外に出ることはなくなったが、複数台における試合形式では自らが動かなくとも他の機体により移動させられたり、白線からフィールド内に戻ってきたはずが邪魔され戻れないことなどにより、予定していた白線検知時の復帰処理が行われずに「アウト・オブ・バウンズ」となること、また「アウト・オブ・リーチ（ボールが白線外に出る）」時における審判のボール処理の仕方によっては機体が白線外に出してしまうこと等が現段階では確認されている。

今後は、白線検知時の復帰のための処理方法についてより正確なプログラミングが要求される。

### 5. 参考文献(web サイト)

RoboCuoJuniorJapan, RoboCupJuniorSoccerRule2015, [http://rcj.robocup.org/rcj2015/soccer\\_2015.pdf](http://rcj.robocup.org/rcj2015/soccer_2015.pdf) (Oct. 9, 2015)

株式会社ダイセン電子工業, ホワイトラインセンサー-DSR1502, <http://www.daisendenshi.com/> (Oct. 9, 2015)

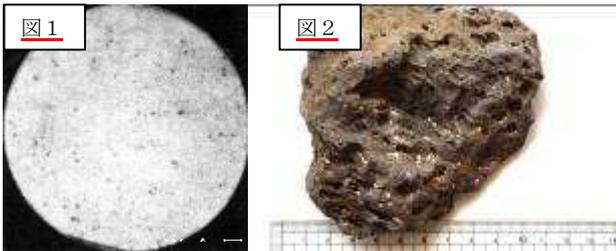
## 氷に内包される気泡内の環境の推定（第1報）

兵庫県立西脇高等学校 生物部

2年：北條健太，臼井滉平，1年：足立敬一郎，越前太智，岡本恒輝，篠田睦生，畑中拓，藤原未奈，森山李玖

### 1. はじめに

気泡の入らない氷は粒が細かいため舌触りがよい。実験を始めた5月はすでになんかなり暑さが厳しく、気泡が入らない舌触りのよい氷を作ろうとした。しかし、試行錯誤を重ねても、実際に気泡が入らない氷を作ることはできなかった。ある日、氷の気泡が、金属の凝固過程で残存して欠陥材料の原因になる気泡（[図1](#)）や、兵庫県北部の巡検調査で採取した岩石のマグマの冷却過程でガスが抜けた穴（[図2](#)）によく似ていると思われた。氷の気泡の研究は、これらが形成される環境を考察する手がかりになる。そこで、当初とは逆に気泡が多く入った氷を作り、気泡の温度や圧力を明らかにすることを目的に本研究を始めた。



### 2. 実験方法と結果

冷却速度や冷凍庫内の温度を様々に変えて純水を冷却し、気泡が多い氷や少ない氷を作った。純水に空気を注入したり沸騰させたりせず、すべての実験の製氷は同時におこなった。

（1）氷に閉じこめられた気泡の温度変化の測定  
 仮説：水が完全に結晶化すると、冷凍庫内と氷は同じ温度で平衡に達する。

方法：純水を静かに製氷皿に入れ、製氷皿の上方付近の水、製氷皿の水の中央部付近、製氷皿

の水面から数mmの高さに、デジタル温度計をセットし、冷凍庫内で冷却して5分ごとの温度変化を温度が平衡に達して十分時間がたつまで測定する（[図3](#)）。

結果：仮説に反

して、氷内部

にできた気泡の

温度は、急冷か徐冷か、や気泡の多少に関わらず、いずれも冷凍庫内の温度よりも1℃～3℃程度高く平衡に達した（[表1](#)）



### （2）温度計間の測定精度の確認（[図4](#)）

3本のデジタル温度計間の測定精度を確認するため、2本ずつ同じ純水に浸して温度を5分ごとに測定したが、測定値はよく一致した。

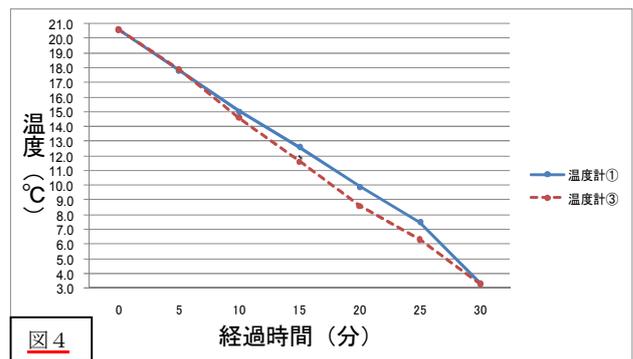
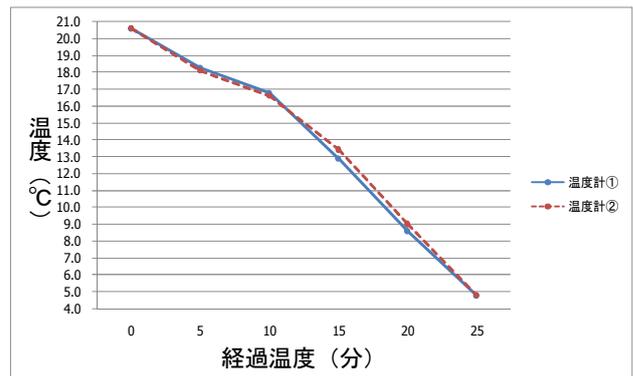
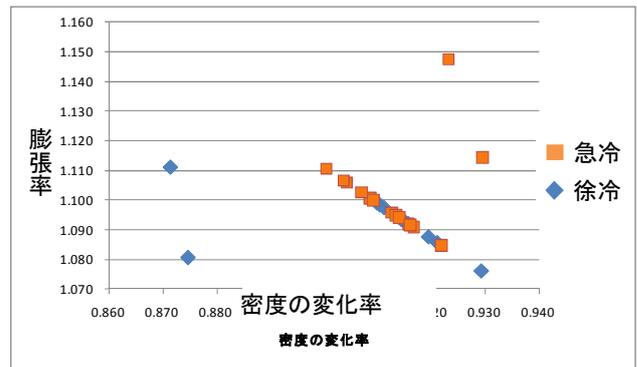


表1	急 冷				徐 冷			
	実験番号	1	2	3	4	5	6	7
平衡に達した時間(分)	110~270	110~220	120~180	110~230	125~245	105~170	105~355	
冷凍庫内の平均温度(°C)	-23.07	-23.28	-22.53	-22.13	-20.72	-21.13	-22.04	
氷の平均温度(°C)	-19.66	-20.24	-20.10	-19.58	-19.96	-18.64	-19.41	
気泡の平均温度(°C)	-21.51	-22.21	-21.78	-21.37	-17.92	-20.29	-21.20	
気泡の温度-冷凍庫内の温度(°C)	1.56	1.07	0.75	0.76	2.80	0.84	0.84	

### (3) 氷の密度と膨張率の測定

仮説：水が急冷されて結晶化し、内部に多くの気泡が閉じこめられるほど、膨張率（氷の体積  $\text{cm}^3$  / 水の体積  $\text{cm}^3$ ）は大きく、密度変化の割合（氷の密度  $\text{g}/\text{cm}^3$  / 水の密度  $\text{g}/\text{cm}^3$ ）は小さくなる。  
 方法：テニスボールの空気を吸引し、空気入れて純水を注入して満たして純水の質量と体積を測定する。冷凍庫内で急冷して気泡が多く入った氷を作り、氷の質量と体積を測定する。

結果：急冷実験では、気泡が多く入っているにもかかわらず、気泡が少ない氷と密度の変化に有意差がみられず、膨張率はわずかに小さいこともある（図5）。

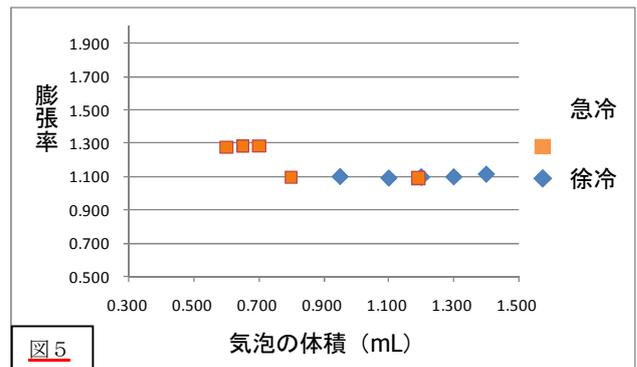


### (4) 氷の気泡に閉じこめられている空気の体積の測定

仮説：急冷すると氷の中に多くの空気が閉じこめられる。  
 方法：気泡が多い氷と少ない氷を、水をはった水槽の中で溶かし、気泡をすべてメスシリンダー内に集めて、氷に含まれていた空気の体積を測定する（図6）。



結果：急冷して結晶化した氷は、実験（2）で膨張率や密度の変化率に有意差を示さないが、多くの空気を気泡として含む。多くの空気が閉じこめられているにもかかわらず、急冷した氷の方が膨張率はむしろ小さい傾向にある（表2）。



試料	水から氷への膨張率	気泡の体積 (mL)	膨張率 / 気泡の体積	
急冷	4	1.111	1.40	0.794
	7	1.097	0.95	1.155
	12	1.095	1.30	0.842
	13	1.088	1.10	0.989
	14	1.093	1.20	0.911
	15	1.094	1.20	0.912
	平均	1.096	1.19	0.934
徐冷	18	1.091	1.19	0.916
	20	1.095	0.80	1.369
	27	1.282	0.65	1.973
	28	1.284	0.70	1.835
	29	1.282	0.65	1.973
	30	1.274	0.60	2.123
	平均	1.218	0.77	1.698

## 3. 全体のまとめと考察

同じ純水を冷却して氷を作ったため、気泡の多少は、純水に含まれていた空気の量によって異なるものではない。気泡の量は、冷却速度の違いによる。内包される空気の量が多いにもかかわらず氷全体の膨張率が変わらないことや、気泡が多い氷でも密度の変化に有意な違いがみられないことから、急冷して結晶化した氷には、内部の空気に向かって高い圧力がかかっている可能性がある。

金属が凝固する過程で気泡が入ると、商品として使用できなくなる。地下深部のマグマの固化が進行し、メルト中の  $\text{H}_2\text{O}$  量が過飽和となって気泡を生じるとき、マグマの結晶固化が進行中であっても、大規模な珪長質マグマだまりでは体積の膨張を安易に許さない（風早・篠原, 1994）。これらのように、体積が膨張できない状態で多くの気泡を生じる環境は、温度や圧力などが桁違いではあるが、本実験の環境と類似点も多い。

## 4. 今後の課題

相平衡関係を動的にとらえる必要があるため、現在の段階では、金属や岩石の気泡の環境を本実験とただちに結びつけることはできない。不純物の入った水を凍らせた場合、成分が結晶化してより近い環境になるため、濃度を変えた実験を行う。

## 参考文献

風早康平・篠原宏志（1994）大規模マグマ溜りからの火山ガス・熱水の放出モデル～火道内マグマ対流およびマグマ溜りの固化に伴う脱ガス～（地質ニュース 474号, 12-17）

## 食べて大丈夫？～保存料ソルビン酸の定量～

兵庫県立神戸高等学校 自然科学研究会化学班  
1年 延本美優, 不老美月, 上田菜央  
高木真実, 丸山麻由花

### 1. はじめに

日本では、多くの加工食品に保存料ソルビン酸やソルビン酸カリウムが添加されている。ソルビン酸は、カビや酵母、細菌の増殖を抑えて腐敗を防ぐ。生物の生育を阻害する物質を食べると私たちの体にも影響があるのではないかと。また、ソルビン酸は亜硝酸塩と結合すると発がん性物質に変化するとも言われている。これらのことから1日にどれだけ摂取しているのかを調べるため、ソルビン酸の定量を行うことにした。

### 2. 食品からの抽出法<sup>1)</sup>

- ① 数ミリ角に刻んだ食品 10 g に 25 mL の水を加え、60 °C で 20 分間湯煎した。
- ② ①の上澄みを取り、検液とした。

### 3. 紫外線の吸光度で定量できるか

**仮説 1** 文献 2) にソルビン酸は、紫外線を吸収するとあったので、吸光度法で濃度を調べ、食品に含まれているソルビン酸の質量を調べられるのではないかと。

#### 3-1. 試料 かまぼこ (S社)

#### 3-2. 実験方法

吸収ピーク波長を調べるため、分光光度計で紫外領域のスペクトラムを調べた。

#### 3-3. 結果

図 1 は 1.0 mg/mL ソルビン酸カリウムのスペクトラム、図 2 は、かまぼこを煮だした液のスペクトラムである。

ソルビン酸カリウムは波長 254 nm に吸収極大がある。それに対してかまぼこ抽出液は、波長 252 nm と 190 nm 以下の波長を吸収していた。

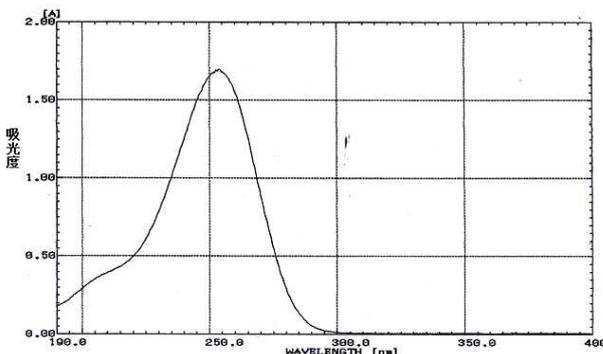


図 1 ソルビン酸カリウムのスペクトラム

### 3-4. 考察

190 nm 以下に吸収があることから、食品を煮出

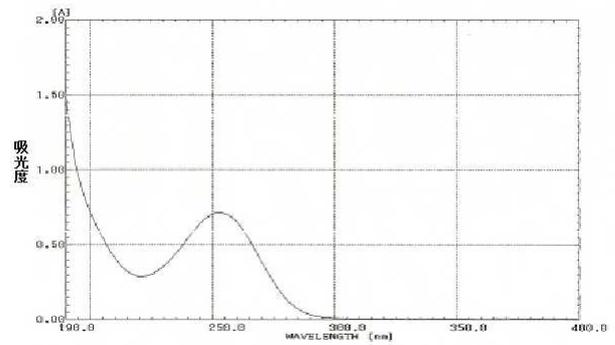


図 2 かまぼこ抽出液のスペクトラム

した液の中にはソルビン酸以外の物質も溶け込んでいると考えられる。そのため、現段階では 252 nm の波長を吸収している物質がソルビン酸かどうかは分からない。

また、他の物質の吸収が影響して波長 252 nm の吸光度を増大させている可能性がある。これらのことから、紫外線で測定するのは困難であると考えられる。

### 4. 呈色反応を利用し比色定量する

**仮説 2** 紫外線での定量が難しかったが、文献 1), 2) 記載の方法により、2-チオバルビツール酸で発色させ、比色定量をすることができるのではないかと。

#### 4-1. 試薬

- ・試薬 A...0.0017 mol/L の二クロム酸カリウム水溶液と、0.15 mol/L の硫酸の 1 : 1 混合水溶液
- ・試薬 B...2-チオバルビツール酸 0.50 g と水 20 mL の混合溶液に、1.0 mol/L の水酸化ナトリウム 10 mL を加え、2-チオバルビツール酸が溶解したのち、1.0 mol/L の塩酸を 11 mL 加え、最後に水を加えて 100 mL にした溶液

#### 4-2. 実験方法

- ① 検液 2.0 mL を試験管にとり、試薬 A を 2.0 mL 加え 60 °C で 5 分間湯煎した。
- ② 試薬 B を加えてさらに 10 分間湯煎した。
- ③ 40 分以内に分光光度計で波長 530 nm の吸光度を調べた。

※濁っていたチーズフレとサラミの溶液は遠心分離機で 6900 G を 1 分間かけ濁りを除いた。

#### 4-3. 検量線の制作

ソルビン酸の使用基準が魚肉ねり製品の場合、最大 2.0 g/kg であることから 10 g の食品には最大 20 mg 含まれる。もし、この食品中に含まれるソルビン酸すべてが水 25 mL に溶け出したとすると、検液 2.0 mL に含まれるのは、

$$20 \text{ mg} \times \frac{2.0 \text{ mL}}{25 \text{ mL}} = 1.6 \text{ mg} \approx 2.0 \text{ mg} \text{ となるため、}$$

2.0 mg/2.0 mL の濃度を標準液として吸光度を調べた。これでは濃すぎたので濃度を 1/100 にして再び吸光度を測った。(図 3)

#### 4-4. 結果①

吸光度 (ABS) と濃度が比例関係を示す検量線が描けた。(図3)

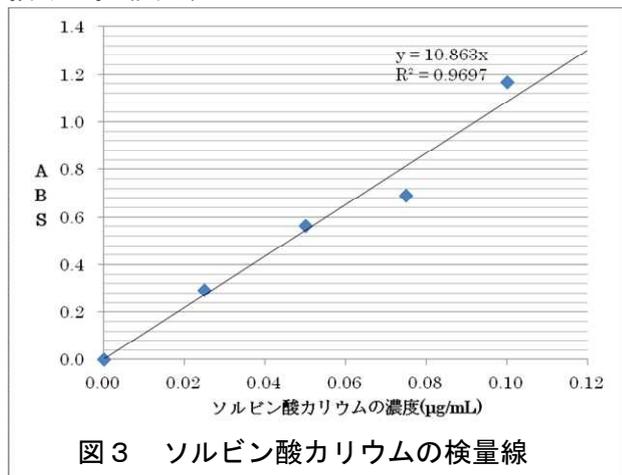


図3 ソルビン酸カリウムの検量線

**仮説3** 検量線を利用すれば食品中のソルビン酸量を測定できるのではないか。

#### 4-5. 結果②

抽出液を調べた。結果は表1のようになった。

表1 波長 530 nm の吸光度 (ABS)

食品名	ABS	食品 10 g 中のソルビン酸量 (µg)
純水	0.00	0.00
ロースハム (I社)	0.08	0.19
サラミ (M社)	0.09	0.21
ちくわ (K社)	0.18	0.41
チーズスフレ (S社)	0.64	1.46
チーズおやつ (O社)	1.01	2.31
ウインナー (P社)	2.83	6.50
かまぼこ (B社)	2.95	6.79

#### 5. 定量をより正確にする

**仮説4** 呈色反応の時間を一定に決めておくと定量が正確になるのではないか。

文献2)によると、“40分以内に吸光度測定”とあり、なぜ40分以内でなければならないのか疑問に思ったため1時間30分後の530 nmの吸光度を調べた。

#### 5-1. 実験方法

4-2①~③のあと1時間30分後の530 nmの吸光度を調べた

#### 5-2. 結果

以下の表2のようになった。

表2 1時間30分後の吸光度 (ABS)

食品名	ABS
純水	0.00
ロースハム (I社)	0.08
サラミ (M社)	0.11
ちくわ (K社)	0.19
チーズスフレ (S社)	0.78

チーズおやつ (O社)	0.95
ウインナー (P社)	2.83
かまぼこ (B社)	3.13

#### 5-3. 考察

吸光度が反応の直後のものと比べて増加していた。今後、経過時間を計って調べてみたい。

#### 6. 食品の pH を調べる

**仮説5** “ソルビン酸の抗菌力を規定するものは、溶液中におけるその全濃度ではなくて、非解離型分子の濃度である”と文献4)に記載があるため、煮出した抽出液の pH を調べた。

#### 6-1. 実験方法

- ① 2-2①と同様。
- ② pH計で pH を調べる。

#### 6-2. 結果

表3 食品抽出液の pH

食品名	pH
純水	5.89
ロースハム (I社)	6.11
サラミ (M社)	6.21
ちくわ (K社)	7.08
チーズスフレ (S社)	7.91
チーズおやつ (O社)	5.68
ウインナー (P社)	5.68
かまぼこ (B社)	6.21

食品だからか、それほど pH の低いものはなかったが、ウインナーやかまぼこのようなソルビン酸が多く含まれていたものは酸性寄りであった。

#### 7. 今後の課題

- ・3-4での「ソルビン酸以外の物質」が何かを調べる。
- ・呈色時間を変えて吸光度の変化を調べて呈色に適切な時間を調べる。
- ・ソルビン酸の抽出がどれくらい出来ているのか調べる。
- ・一日にヒトが摂取するソルビン酸量を見積もってみる。
- ・ソルビン酸の生物への影響を調べる。

#### 6. 参考文献

- 1) 増尾清著, 消費者にできる食品簡易テスト, 誠文堂新光社(1980) (P.30, 31)
- 2) 伊達洋司・塚敬一著, 食品衛生学実験訂正版, アイ・ケイコーポレーション(2003) (P.14~17)
- 3) 増田邦義 他, 食品衛生学食べ物と健康第3版, 講談社(2011) (P.114)
- 4) 野本正雄 他, “ソルビン酸の抗菌力に及ぼす培地 pH の影響に就て”, 日本農芸化学会誌, Vol.29 No.10, P.805~809(1955)
- 5) 白石淳・小林秀光著, 食品衛生学第2版, 化学同人(2007) (P.126)

## 熱気球はどこまで軽くできるか

兵庫県立宝塚北高等学校 化学部  
2年 平野 獏, 2年 多治見 大地, 1年 水田 千尋

### 1. はじめに

熱気球は、空気が暖まると膨張し密度が小さくなることを利用して浮揚する気球である。

熱気球の装置の質量を  $m$ 、常温で熱気球と同体積の気体の質量を  $w$ 、熱気球内の加熱された気体の質量を  $w'$  とすると、熱気球の飛ぶ条件は、

$$w' + m < w$$

と表される。気体の状態方程式  $pV = wRT/M$  より、気球内の加熱された気体の絶対温度を  $T'$  として熱気球が飛ぶ条件をまとめると次の式で表される。

$$m < \frac{MPV(T' - T)}{RTT'} \dots \textcircled{1}$$

アルキメデスの原理によれば浮力は体積が大きいほど大きくなり気球は飛びやすくなる。以上より熱気球をどれだけ小さく軽くできるかに興味をもった。また、過去の文献では燃料を除いた質量が 1.8 g のものが最軽量であることが分かった。

### 2. 目的

熱気球をどこまで軽くできるかを調べ、できるだけ軽い熱気球を製作して飛ばす。

### 3. 実験と結果および考察

熱気球は、袋、接続部、熱源から構成される。はじめは身近な袋、針金、エタノールを用いて様々な熱気球を製作し、飛ぶかどうか調べた。

#### 袋(1)材質について

- ・ポリエチレン製のゴミ袋：飛んだが重い(27g)
- ・コンビニのポリエチレン袋：熱で溶けた
- ・アルミニウム箔で作った袋：重く飛ばなかった  
可能な限り軽い素材として、食品用ラップフィルムを用いることにした。ラップフィルムを二重に重ねてアルミニウム箔で挟み、はんだごての熱で溶かして接着し、袋状にして実験した。
- ・ポリエチレン製ラップ(耐熱温度 110℃)：溶けた
- ・ナイロンの両面をポリエチレンでコーティングしたラップ(耐熱温度 160℃)：溶けた
- ・ポリメチルペンテン製ラップ(耐熱温度 -30℃ ~ 180℃)：溶けずに飛んだ

以上より、ポリメチルペンテン製ラップを用いることとした。このラップの質量は、 $1.8 \times 10^3 \text{cm}^2$  あたり 1.519g であった。また、袋内の温度は 160℃ に到達していると仮定して実験を進めた。

#### (2)体積について

袋の体積は、表面積が同じであれば球形で最大である。平面状のラップから球形を製作するのは困難なため、ラップを折りたたんで正方形が 2 枚

重なった形にし、その 2 辺を接着して袋を作った。様々な大きさの袋について、水槽に沈めながら内部に色水を入れて体積を測定し、元の正方形の一辺の長さ、内部の体積の関係を調べた(図 1)。

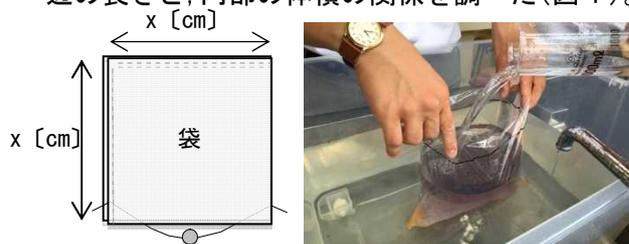


図 1. 熱気球の袋の一辺の長さ、と体積の測定

得られたデータから近似曲線を求めると、ほぼ一辺の 3 乗に比例することが分かった(図 2)。

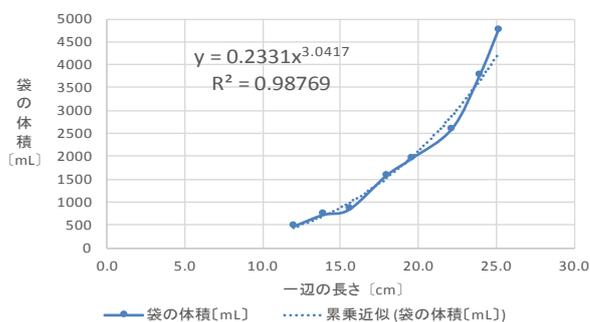


図 2. 袋の一辺の長さ、と体積の関係

#### (3)袋の内部の温度について

袋の内部が 160℃ に到達していることから熱源からの距離と温度の関係について調べた。0.50g の脱脂綿に 1.0mL のエタノールを含ませて燃焼させ、上方の温度変化を測定した(図 3)。

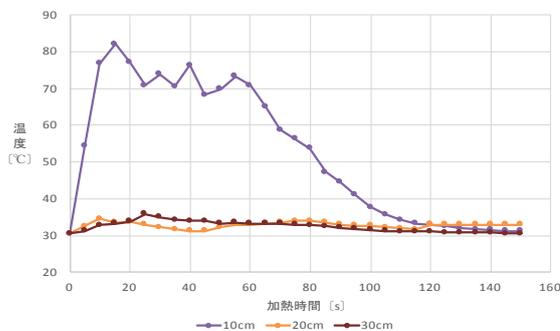


図 3. 加熱時間と熱源の上方の温度の変化

熱源から 10cm の高さで 82℃ まで、20cm, 30cm の高さでは、ほとんど温度が変化しなかった。

熱源の上方の温度が高くなる要因には、輻射熱および高温の気体自身の上昇の 2 つが考えられるが、20cm, 30cm の高さで温度変化がなかったことから、気球内部の温度上昇の原因は、高温の気体自身の上昇によるものと考えられる。

次に、燃焼によって生じた高温の二酸化炭素と水蒸気が上昇することを確かめるため、4本のろうそくを縦に並べ、火をつけてから筒の中に入れて蓋をし、消える順番を調べたところ、ろうそくは上から順に消えた。二酸化炭素の分子量は 44

で空気の平均分子量より大きい、高温のため、水蒸気とともに上昇することが確かめられた。  
**接続部** 熱に耐え軽いことが必要なので、ステンレス製で直径 0.19mm の針金を用いた。袋の下端が円形になったときの直径の長さで両端の袋に掛ける部分の 1.0cm ずつとを合わせて  $2x/\pi + 2.0$  [cm] とし、袋の下端から 1.5cm の所に穴を開けて引っ掛けた。質量は 25cm あたり 0.056g であった。

**熱源**(1) 素材について

熱源には、燃料、吸収材、受け皿の 3 つが必要と考え、はじめはエタノールと脱脂綿と受け皿のアルミニウム箔を用いたが、受け皿は重いため使用せず液体燃料と脱脂綿だけを用いることにした。  
 (2) 燃料について

5 種類の物質について、0.050g の脱脂綿に燃料を含ませて、その質量、物質質量、燃焼して気体が生成するとき発生する熱量を調べた (表 1)。

表 1. 0.050g の脱脂綿が含む物質とその燃焼熱

物質	化学式	質量 [g]	物質質量 [mol]	発生する熱量 [kJ]
メタノール	CH <sub>3</sub> OH	0.393	0.0123	7.85
エタノール	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0.550	0.0120	14.8
アセトン	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	0.436	0.00751	12.7
1-ペンタノール	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> OH	0.415	0.00482	14.7
ヘキサン	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.315	0.00366	14.1

脱脂綿はセルロースからなり多くのヒドロキシ基 (-OH) をもつため、分子中に -OH をもち、その割合が大きい物質ほど多くの物質質量が含まれることが確かめられた。同質量の脱脂綿が含む燃料から最も燃焼熱が多く出るものはエタノールであった。

(3) エタノールの燃焼で生じる気体と熱について  
 エタノールの燃焼は次の化学反応式で表される。  
 $C_2H_5OH(液) + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O(気) + 1236 kJ$   
 空気の比熱を 1.0J/(g・K)、空気の平均分子量を 28.8 とすると、V [L] の気体を、t [°C] から 160°C まで上昇するには、

$$1.0 \times \frac{V}{22.4 \times \frac{273+t}{273}} \times 28.8 \times (160-t) \times 10^{-3} \text{ [kJ]}$$

の熱が必要である。ただし、暖めた気体はシャルルの法則によって膨張して袋から出るため、熱の損失がある。熱を加えて袋内に残る気体の割合は、 $\frac{273+t}{273+160} \times 100$  [%] である。これを熱効率とする。

**まとめ** 以上より、製作する熱気球の質量  $m_{\text{実際}}$  は、

$$\text{袋} : m_1 = \frac{1.519}{1.8 \times 10^3} \times 2x^2, \text{接続部} : m_2 = \frac{0.056}{25} \times \left(\frac{2x}{\pi} + 2.0\right)$$

$$\text{燃料} : m_3 = \frac{1.0 \times \frac{2.331 \times 10^{-4} x^3 \cdot 0.0417}{22.4 \times \frac{273+t}{273}} \times 28.8 \times (160-t)}{\frac{273+t}{273+160} \times 1236 \times 10^3} \times 46$$

$$\text{吸収材} : m_4 = \frac{0.050}{0.550} \times m_3$$

の和で、 $m_{\text{実際}} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$  である。この  $m_{\text{実際}}$  が、前ページ①式の理論上の限界質量  $m_{\text{理論}} = \frac{MPV(T'-T)}{RTT'}$  を下回るとき、熱気球は飛ぶと考えられる。

いま、袋の体積は一片の長さ  $x$  のほぼ 3 乗に比例するのに対し、 $m_{\text{実際}}$  の大部分を占める袋は  $x$  を

小さくしてもラップの厚さが変わらないため 2 乗に比例する。したがって、 $x$  を小さくしていくと、あるところで  $m_{\text{実際}}$  が  $m_{\text{理論}}$  を上回り、限界となる。25°C で、様々な一片の長さ  $x$  と、 $m_{\text{実際}}$  と  $m_{\text{理論}}$  を計算し、グラフを描いた (図 4)。

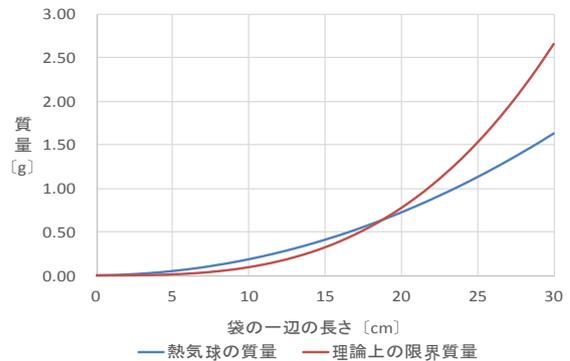


図 4. 袋の一辺の長さ と 質量の関係 (25°C)

このグラフの交点が、気温 25°C における限界質量 (0.650g) を示し、このとき  $x=18.9$ cm である。

さらに、気温と限界温度の関係を計算しグラフを描いた (図 5)。これより、限界質量の近似値を求めることができる。

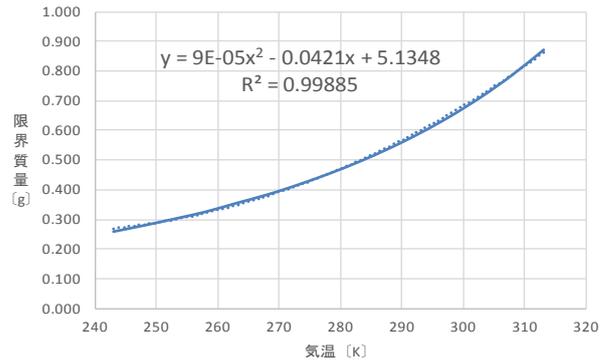


図 5. 気温と熱気球の限界質量の関係

以上をふまえて軽量化に挑戦した。これまでに飛んだ最軽量のもの、1.0 × 10<sup>5</sup> Pa, 24.1°C で、0.875 g (袋 0.796g, 針金 0.035g, 燃料 0.040g, 脱脂綿 0.004g, x=22cm) である (2015. 10. 8 現在)。

4. 結論

熱気球の限界質量は、袋、接続部、燃料の吸収材、燃料の種類と周囲の気温で決まる。

この研究の熱気球の製作方法では、理論上 25°C で 0.650g まで軽くすることができる。

5. 今後の課題

袋の形状の改良、熱効率および袋内の温度の正確な測定と、理論値に近い熱気球の製作を行う。

6. 参考文献

- 化学基礎, 化学 (実教出版)
- ニューステージ化学図説 (浜島書店)
- いきいき物理わくわく実験 (愛知物理サークル)

## 菊炭の科学的な性質 ～伝統を科学する～

兵庫県立川西北陵高等学校 自然科学部  
2年 林 寿光 藤原美砂都 山本輝輝  
1年 臼杵瑞希 桑原大地

### 1. 動機

本校の近隣には日本一の里山として名高い黒川地区がある。そこで伝統的に生産されている菊炭は、千利休も愛用した茶道用最高級炭で北摂の里山文化が生んだ最高傑作だと言われている。しかし現在、原木のクヌギ林の荒廃と炭焼き職人の後継者不足から衰退の道を辿っている。そこで、菊炭の良さを科学的に探り、菊炭を更に多くの人に知ってもらうきっかけとすることで、地域の活性化につながるのではという思いから今回の研究テーマとした。



### 2. 目的

菊炭と他の炭を比較することにより、菊炭の新たな利点を探ることを目的とした。

### 3. 実験材料の選定

炭には黒炭と白炭があり製法が異なるため、その性質は大きく異なることが知られている。菊炭は黒炭であるため、同じ黒炭のなら炭・マングローブ炭と比較を行った。また一般的に高級炭として普及している白炭の紀州備長炭を比較のために用いた。

### 4. 実験

菊炭の既知の利点として、見た目の美しさと火力の強さが知られている。まず、火力の強さを確かめるため、燃焼実験を行った。

#### 【実験方法1】炭の燃焼時の温度変化

4種類の炭の塊をガスバーナーで炭の温度が600℃になるまで加熱した。その後、放射温度計で1分間隔で炭表面の温度を測定した。測定は30分間連続して行った。

#### 【結果・考察1】

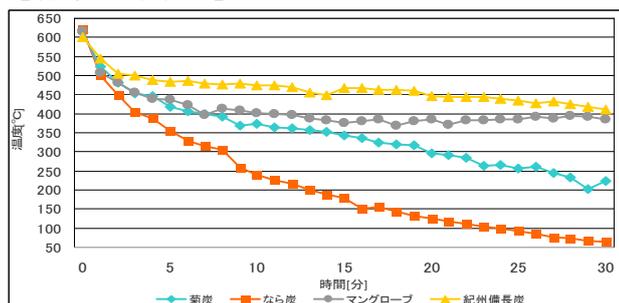


図1. 炭の温度変化

火力が強いと言われる菊炭だが、結果はそれに反していた。温度の低下が著しく火力が持続する時間は短いことが分かった。この理由としては、本来炭を燃焼させる際には炭を重ね合わせるが、実験では炭の塊単体を燃焼させるという条件の違いが考えられる。そこで逆に温度低下の原因を考えた。菊炭、なら炭は炭の孔に入り込んだ空気によって炭が冷されたのに対して、マングローブ炭や紀州備長炭では、炭が密に詰まっており、熱を逃がしにくい構造をしているのではないかと考え、炭の密度に着目した。炭は体積の計測が困難なため、水に対する比重から考察することにした。

#### 【実験方法2】炭の比重測定

ゲーリュサック型比重瓶に水と4種類の炭小片を6個ずつ入れ60℃の湯煎にかけた。炭小片を沈ませ、放冷後、瓶に蓋をし、水を溢れ出させ、前後の質量から水に対する比重を算出した。

#### 【結果・考察2】

	菊炭	なら炭	マングローブ炭	紀州備長炭
木材	クヌギ	ナラ	マングローブ	カシ
比重	0.958	0.974	1.097	1.014

表1. 炭の水に対する比重

#### 【結果・考察2】

炭の比重は菊炭となら炭が水よりも小さく、マングローブ炭が最大であった。比重の大小は炭の孔の大きさや孔部分が占める割合と関係しているのではないかと考え、それを確認するため次の実験を行った。

#### 【実験方法3】炭の孔径、孔面積率の測定

各炭を7mmの厚さに切り、双眼実体顕微鏡で倍率40倍で観察し、それをデジタルカメラで3倍に拡大して撮影した。画像処理ソフトを用いて孔を全てマーキングし、その平均孔面積と、撮影面積から孔の占める面積率を求めた。

#### 【結果・考察3】

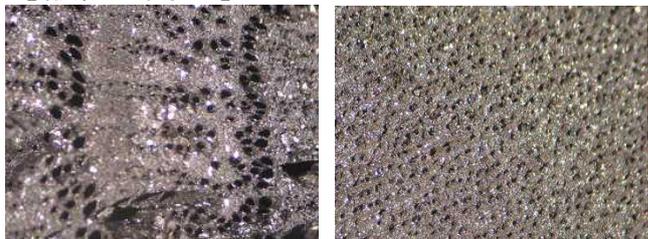


図2. 菊炭の断面

図3. マングローブの断面

菊炭	なら炭	マングローブ炭	紀州備長炭
3120	1960	2002	1298

表2. 炭の平均孔面積[単位: mm<sup>2</sup>]

菊炭断面の平均孔面積は他の炭と比較し、突出して大きいことが分かった。

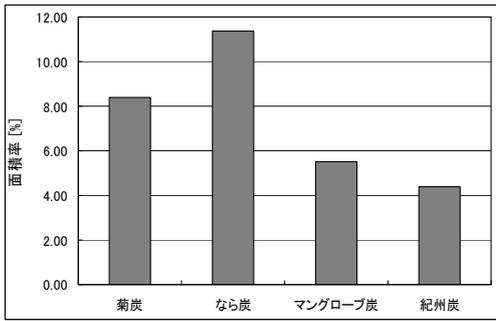


図4. 炭の孔面積率

分かった。実験2で得られた水に対する比重の小さな炭は、孔面積率が高い傾向があるということが分かった。炭は物質吸着性から脱臭剤や吸湿剤としても使用される。この孔面積や面積率は物質吸着性にも影響しているのではないかと考え、それを評価する実験を行った。

#### 【実験方法4】炭のヨウ素吸着実験

固形炭では溶液自体が孔に入り込み、吸着量を測定できなかった。そこで粉末状にした4種類の炭を10mL 測り取り、お茶パックに入れ、0.050mol/Lのヨウ素溶液50mLに24時間浸した。ヨウ素溶液10mLとり、デンプン溶液を指示薬として0.10mol/Lのチオ硫酸ナトリウム水溶液で酸化還元滴定を行い、液中のヨウ素の減少量を求め、炭のヨウ素吸着量とした。

#### 【結果・考察4】

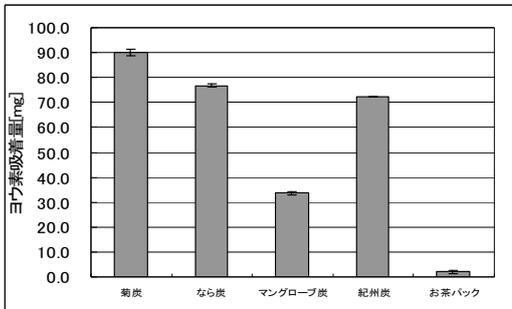


図5. 炭のヨウ素吸着量

を示した。中でも菊炭は最も高いヨウ素吸着量を示した。ヨウ素は無極性分子であることからこの吸着は炭の物理的吸着によるものだと考えられる。粉末状の炭を使用したことから、この差は炭表面の微細孔の大きさや数に関係していると考えられる。また菊炭は他の炭と比較して溶液中の物質吸着性が高いことが明らかになった。これより粉末状の菊炭は飲料水や河川の浄化において他の炭よりも有用性が高いと考えられる。

#### 【実験方法5】炭の微細孔のSEM観察

ヨウ素吸着性の高さが炭表面の微細孔の大きさや数であることを実証するため、日立化成テクノサービス株式会社に4種類の炭の小片と粉末

孔面積率を比較分析すると、菊炭となら炭が共に大きいことが

を倍率3000倍で表面の状態の画像撮影を依頼し、その画像を観察した。

#### 【結果・考察5】

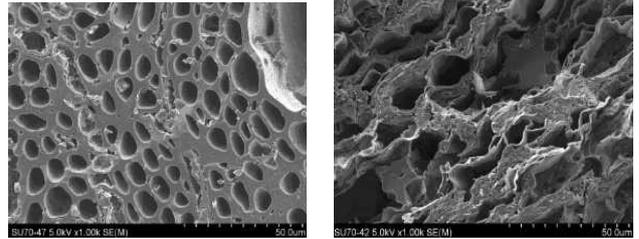


図6. 固形菊炭の微細孔 図7. 固形なら炭の微細孔  
走査型電子顕微鏡 (SEM) の画像で炭表面の微細孔の形状は炭によって大きく異なっている事が明らかになった。

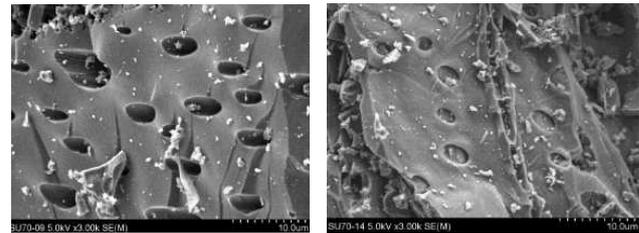


図8. 粉末状菊炭の微細孔 図9. 粉末状なら炭の微細孔  
粉末状にしたとき他の炭は表面の微細孔が崩れてしまっているのに対して、菊炭は微細孔がしっかり形状を保っていることが分かる。これが菊炭のヨウ素吸着量が大きい原因になっていることが明らかになった。

## 5. 結論

菊炭は、他の炭に比べて水に対する比重が小さく、平均孔面積・孔の面積率共に大きいという性質を持つ。そのため、単体で燃焼させた場合は温度の持続性が低い。一方、粉末でも微細孔の形状が保たれるため、溶液中での物質吸着性が高く、脱臭剤・除湿剤としての実用性が高いという新たな利点が明らかになった。

## 6. 今後の課題

菊炭の孔面積・面積率が大きいという特徴から更なる利点を探る事を課題とする。具体的には・炭の着火しやすさの観点から菊炭を評価する。  
・空気中での物質吸着性から菊炭を評価する。

## 7. 参考文献

- (1) 木炭の種類 千葉大学グランドフェロー 立花英機著
- (2) 活性炭の吸着能測定法 奥墨勇著

## 8. 謝辞

日立化成テクノサービス株式会社  
椎名かおり様

## 簡易比色計を用いた退色反応の測定

仁川学院高校 科学部  
1年 寺本優雅

### 1. 目的

本校科学部では、フォト IC ダイオード S7183 を用いた比色計を用いて、これまでに銀鏡反応、振動反応、お茶の総フェノール量測定、時計反応、合成フルオレセインの蛍光強度、金属の腐食・酸化を測定してきた。今回はフェノールフタレイン類の酸塩基指示薬の強塩基による退色反応を測定することにした。

フェノールフタレインは酸性で無色、塩基性で赤色を呈色するが、強塩基ではまた無色になる反応が起きる。この反応は数分間かけてゆっくりとおきるので、退色の反応速度を測定できると考えた。

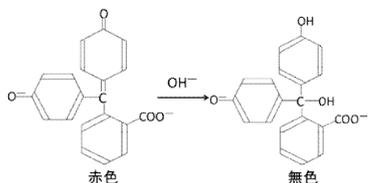


図1 フェノールフタレイン

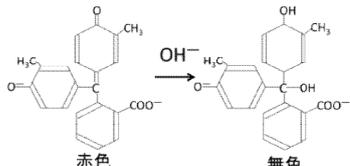


図2 オークレゾールフタレイン

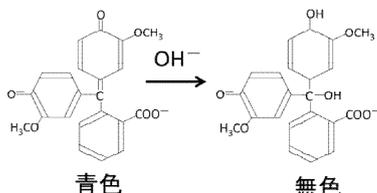


図3 オージメトキシフェノールフタレイン

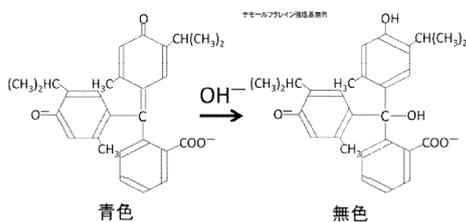


図4 チモールフタレイン

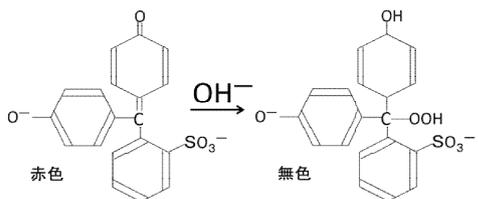


図5 フェノールレッド

### 2. 測定装置

図6のような装置を組み立てた。

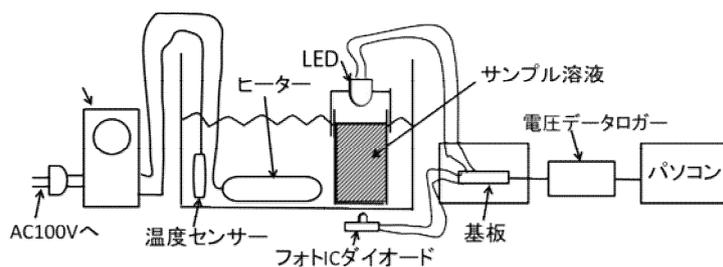


図6 装置の構成

昆虫飼育用透明プラスチック水槽に熱帯魚用の温度センサーとヒーター、かくはん子を入れ、水槽の下に入れた電動かきまぜ装置で水槽内の水を滞留させ、恒温槽を構成する。サンプル溶液はガラス円筒容器（マルエム社製スクリー瓶No.6 直径30mm、高さ60mm）に入れ、ふたに開けた穴にLEDを差し込む。LED光はサンプル容器を通過する際に吸収を受け、水槽の底につけたフォト IC ダイオードの受光面に当たる。フォト IC ダイオードは光が強いほど回路内に強い電流を流し、回路内の抵抗両端に生じる電圧も高くなる。電圧は電圧データロガー（大阪マイクロコンピュータ社製 Logstick LS-200V）で1秒ごとに記録し、測定後、パソコンにデータを送る。

ランベルト ベールの法則により、出力電圧の対数値は濃度に比例する。時間ごとの出力電圧の対数値を取り、右上がりの見やすいグラフにするため、図7 フォト IC 回路に1-対数値をグラフにする。

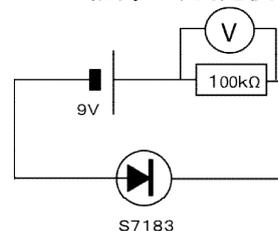


図7 フォト IC 回路に1-対数値をグラフにする。

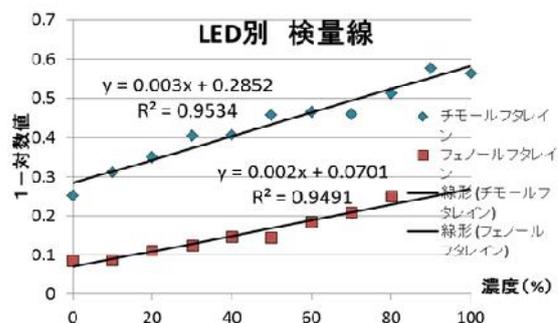


図8 2色のLED光それぞれで引いた、指示薬の検量線  
装置のテストとして、塩基性で発色させた2種類の酸塩基指示薬を水で希釈し、濃度と1-対数値の関係をグラフにしたものが図8である。

### 3. 測定

5種類の酸塩基指示薬の塩基濃度別、温度別の反応速度を測定した。

表 1 指示薬の種類と NaOH 水溶液の濃度範囲

	指示薬	NaOH濃度範囲 mol/L	測定LED 色
①	フェノールフタレイン	0.05~0.4	緑
②	O-クレゾールフタレイン	0.2~1.0	緑
③	O-ジメトキシフェノールフタレイン	0.2~1.0	赤
④	チモールフタレイン	1.2~2.0	赤
⑤	フェノールレッド	6	緑

表 2 温度別での測定条件

	指示薬	NaOH濃度 mol/L
①	フェノールフタレイン	0.2
②	O-クレゾールフタレイン	0.2
③	O-ジメトキシフェノールフタレイン	0.2
④	チモールフタレイン	1.0
⑤	フェノールレッド	6

データの処理は、グラフ上の直線部分を取り出し、近似式を求め、グラフの傾きを反応速度定数とした。

#### 4. 結果

NaOH 濃度と反応速度は図 9, 10 のようになった。

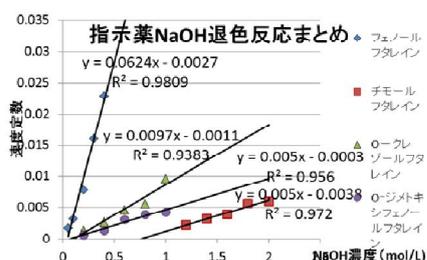


図 9 4 種類の指示薬 濃度と反応速度の関係

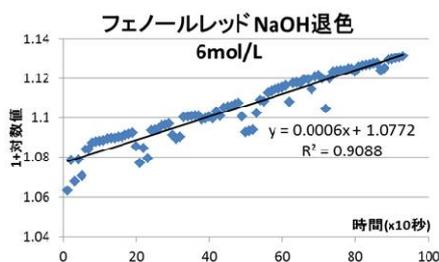


図 10 フェノールレッドの反応

①~⑤の順で反応速度が大きい。フェノールレッドは反応速度が特に遅い。

温度と反応速度は図 11, 12 のようになった。

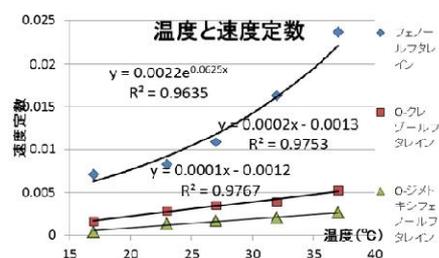


図 11 3 種類の指示薬の反応速度

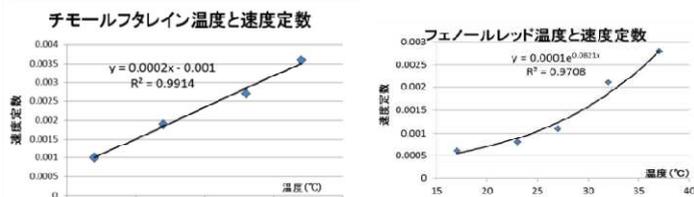


図 12 チモールフタレイン、フェノールレッドの反応

①~⑤の順で反応速度が遅くなった。

アレニウスプロットもとってみた。図 13、14

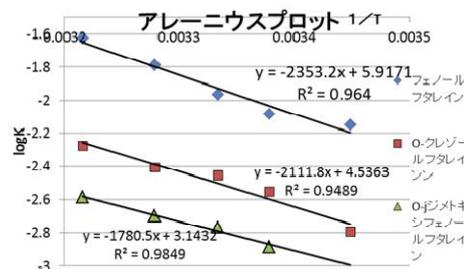


図 13 3 種類の指示薬のアレニウスプロット

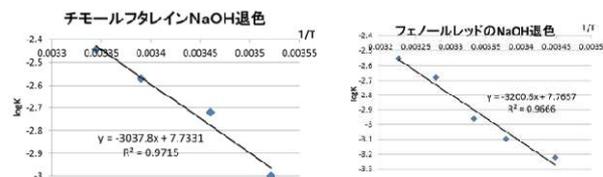


図 14 チモールフタレイン、フェノールレッドのアレニウスプロット

どれも直線性のよいグラフになった。

#### 5. まとめ

官能基の違いによる反応速度の違いが測定できて興味深かった。今後は酸化剤に対する反応速度も調べたい。

#### 文献

- 1) 中川航太 西津理沙 藤村美里「フォト IC ダイオードで化学の旅」2013 年
- 2) 藤村美里 西津理沙 中川航太「フォト IC ダイオードで化学の旅 2」2014 年
- 3) 藤岡和夫 化学と教育 49、574(2001)  
フェノールフタレインの過酸化水素による退色反応について述べています。pH がこの程度ならば塩基による退色は起きないとのことです。
- 4) 日本化学会編 新版 化学を楽しくする 5 分間 化学同人 P. 92 (1984)
- 5) 藤岡和夫 化学と教育 48、824(2000)
- 6) 鳥本昇 山沖兼好 増井幸夫 化学と教育 27、261(1979)

## チンダル現象による溶解度積の測定研究Ⅱ

兵庫県立柏原高等学校 理科部  
2年 安達玲央 上杉温志 岩澤一馬

### 1. 目的

昨年我々は、チンダル現象を指示薬代わりにして溶解度積を測定する方法を報告した<sup>1)</sup>。これは溶解度積を直接測るという点で画期的であったが、測定精度の向上が課題であった。今回、精度の向上および応用を目的として研究を行った。

### 2. 理論と方法

難溶性の塩 MA は溶解平衡  $MA \rightleftharpoons M^+ + A^-$  において、それぞれのイオン濃度の積が常に一定になる。この値を溶解度積  $K_{sp}$  といい  $K_{sp} = [M^+][A^-]$  で表される。溶解度積(以下  $K_{sp}$  と表記)を測定するには、塩が飽和した(沈殿が生じはじめた)ときのイオン濃度が分かればよい。

しかし、沈殿を肉眼で確認するのはきわめて難しいため、我々は、「沈殿はコロイド粒子を経由して生じる。」という仮説を立てた。そして図1の装置で、チンダル現象が現れたところを飽和とする方法を考案し、上記の仮説が正しいことを昨年に発表した。



図1

今回、飽和溶液の他の検出法、精度向上の工夫、本測定法の応用について検討、考察した。

### 3. 検出感度の向上に向けて(機材の検討)

溶液が飽和していることを感度よく検出すれば精度の向上が期待できる。そこで、レーザーの色、浮遊粉塵観察器、溶液の透過率の3つを検討した。塩は  $AgCl$ (水溶液は  $10^{-4}M AgNO_3$  と  $NaCl$ )を用いた。

#### (1)レーザー光の色

市販のレーザーには赤色と緑色の2種類がある。目では緑が見やすいように思うが、どうなのか。比較したところ、チンダル現象の見え方にほとんど差はなく、光の色では検出感度の向上はなかった。

#### (2)浮遊粒子検出器(クリーンチェッカー)

浮遊粒子検出器は、大気中の浮遊粒子に光を当てて、その散乱光をレンズで拡大して観察するもの

で、限外顕微鏡の一種と考えられる。つまりチンダル現象を観察するものである。「クリーンチェッカー」という名前でも市販されているこの機器は、図2のようにびんに溶液を入れることで濁りの検出に用いることができる。

我々は、クリーンチェッカーを用いて、レーザーによる場合と比較、検討した。その結果、レーザーでチンダル現象が見えるときにはクリーンチェッカーでもよく濁りが見え、逆にレーザーで見えないときにはクリーンチェッカーでも見えなかった。すなわち、両者の検出能力にはほとんど違いがなかった。これは、両者ともにチンダル現象を見ているので、性能の差は原理的にないためと考えられる。

#### (3)透過率(分光光度計)

分光光度計は、溶液に指定した波長の光をあてて、溶液がどのくらい光を通すか(透過率)を測る器械である。濁りがあれば、透過率が低下する。よって沈殿が生じたときには透過率が落ちるはずだと考え、レーザーと分光光度計の透過率を比較した(下表)。

滴下量(mL)	透過率(%)	チンダル現象
0.0 (滴下前)	100.0	見えない
3.0	97.1	見える
5.0	97.7	明るく明瞭に見える
10.0	95.5	見える(溶液少し濁る)

表より、肉眼では明らかにチンダル現象が見えていても透過率は97%、うすく濁るくらいになっていても95%と、透過率はさほど下がらない。これより透過率では、沈殿生成の検出感度は低く、実用的でないことがわかった。逆にチンダル現象を確認する人の目は、とても信頼がおけることがわかった。

#### <結論>

チンダル現象を「目で確認して」沈殿のし始めとする検出法は、現在最も信頼できる方法である。

### 4. 過飽和の回避(精度向上に向けて)

我々の方法は手軽に  $K_{sp}$  を直接測定することができるが、その値は文献値より大きいことが多かった。この大きな原因に、溶液の過飽和が考えられる。そこで、過飽和を回避するために、溶けきるところを見つめることにした。すなわち飽和した溶液を薄めていき「真の」飽和状態をチンダル現象でチェックできるはずで、これを仮説とした。薄め方には、水を加えるか、水に加えるかの2通りがあるので、これについて  $K_{sp}$  を測定することで検討した。用いた塩は2.と同じ  $AgCl$ (水溶液は  $10^{-4}M AgNO_3$  と  $NaCl$ )である。



図2

### (1) 溶液を水で薄める方法

チンダル現象の見られた溶液に、水を加えて薄めていったが、長時間放置してもチンダル現象が消えなかった。結局チンダル現象が見えなくなるところを見つけられなかった。この原因として、一度析出した沈殿が溶け切るにはかなりの時間を要するからであると考えた。

### (2) 水に溶液を加える方法

(1)ではうまくいかなかったので、次は逆に水にチンダル現象の見られた溶液を加える方法を行った。この場合チンダル現象が見えたときが飽和である。

攪拌した水にチンダル現象の見えた溶液を加えると、加えた直後はチンダル現象が見えるが、やがて薄くなっていく。この操作を繰り返して、チンダル現象がはっきり見えるところを終点にした。こうして得られた測定値を「改良値」として下表に示す(24~24.5°C、M; mol/L)。なお表中の「初期値」は混合してチンダル現象が「見え始めた」ときの濃度から求めた  $K_{sp}$  でこれまで測定していた値である。

初期値 $K_{sp}$	改良値 $K_{sp}$	文献値(25°C) <sup>1)2)</sup>
$3.0 \times 10^{-10}$ [M <sup>2</sup> ]	$4.0 \times 10^{-11}$ [M <sup>2</sup> ]	$1.8 \times 10^{-10}$ [M <sup>2</sup> ]

表より  $K_{sp}$  の改良値は初期値の 1/8 倍ほどに小さくなっている。初期値は文献値に近いものの、いつも大きい値になっている。その点、改良値は我々の方法で初めて文献値よりも小さくなった。改良値は文献値とやや差があるが、先の仮説を確認することができたといえる。以上より、改良値は少なくとも過飽和の影響を小さくしたといえる。今後は改良値をより正しい値として測定することにした。

## 5. 他の塩の測定結果と考察

4. で方法が確立できたので、他の塩でも  $K_{sp}$  を測定した。測定した塩は、AgBr、AgI、CaCO<sub>3</sub> である。 $K_{sp}$  は、初期値と改良値の両方を測定した。

### (1) ハロゲン化銀

AgBr、AgI は AgCl より  $K_{sp}$  が小さく、測定はより困難になる。複数回の測定の結果(平均)を下に示す。

塩	初期値 $K_{sp}$ [M <sup>2</sup> ]	改良値 $K_{sp}$ [M <sup>2</sup> ]	水温 [°C]	$K_{sp}$ 文献値[M <sup>2</sup> ]
AgBr	$3.1 \times 10^{-12}$	$1.9 \times 10^{-13}$	27	$5.2 \times 10^{-13}$
AgI	$5.2 \times 10^{-11}$	$3.3 \times 10^{-13}$	26	$2.1 \times 10^{-14}$

(文献値<sup>2)</sup> AgBr は 25°C、AgI は 20°C) 初期値では差が大きかったものが、改良法によりかなり文献値に近い値が得られた。AgI は水温を考慮すると文献値との差はさらに小さくなると思われる。

### (2) 炭酸カルシウム CaCO<sub>3</sub>

教科書により  $K_{sp}$  が異なる物質で、本研究のきっかけになった塩である。溶液は昨年と同じ CaCl<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の系である。pH によって沈殿のしやすさに差

があることが昨年の研究で示唆されていたので、今回は沈殿生成の滴下順の変更に加え、薄め方を水だけと、薄い NaOH 水溶液に加えるのと2つの場合を測定した。結果を以下に示す。

滴下順	初期値 $K_{sp}$ [M <sup>2</sup> ] 、このときの pH	改良値 $K_{sp}$ [M <sup>2</sup> ] 、このときの pH
Ca <sup>2+</sup> を CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> に	$5.2 \times 10^{-7}$ 、10.7	水に ① $1.1 \times 10^{-8}$ 、10.3
		塩基に ② $9.2 \times 10^{-9}$ 、12.0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> を Ca <sup>2+</sup> に	$2.1 \times 10^{-6}$ 、 8.8~9.3	水に ③ $1.4 \times 10^{-7}$ 、8.2
		塩基に $6.1 \times 10^{-8}$ 、12.1
水温 25~28°C、文献値 <sup>2)3)</sup> A社 $6.7 \times 10^{-5}$ 、B社 $8.7 \times 10^{-9}$		

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (塩基性)に CaCl<sub>2</sub> (中性)を加えたときの改良値は、水に加えても NaOH に加えても  $10^{-8}$ M<sup>2</sup> 程度になり(①②)、B社の値に近くなる。ここでも  $K_{sp}$  は、pH によって異なっている。改良値は、pH が 10 をこえる(値①②)は、滴下順を逆にした pH9 以下の場合(値③)に比べ 10 倍小さくなっている。これは pH が 9 より小さくなると炭酸水素イオン HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の割合が増加して一部が Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> として溶解するためと考えられる。

## 6. Cl<sup>-</sup>濃度の測定(応用として)

AgCl は多くの測定をしており、その  $K_{sp}$  初期値は、再現性のよい値が得られる。これを利用すると溶液中の Cl<sup>-</sup>濃度が測定できると考えた。そこで本校の水道水を用いて実験を行った。

濃度既知の AgNO<sub>3</sub> と NaCl 溶液から、注意深く滴下すると正確に初期値  $K_{sp}$  が求まった。次に濃度既知の AgNO<sub>3</sub> に正確に希釈した水道水を滴下し、チンダル現象を確認した。このときの滴下量と初期値  $K_{sp}$  から Cl<sup>-</sup>濃度を求めた。3 回の平均値は 60mg/L で、別に沈殿滴定で求めた値(60mg/L)とよく一致した。この方法は一般的な水質検査にも応用でき、Cl<sup>-</sup>測定の手段の 1 つになることが期待できる。

## 7. まとめ

今回、我々は精度向上のためのさまざまな工夫を行った。その結果、チンダル現象は沈殿の検出法としてすぐれていることが分かった。また過飽和を回避するために、水で薄める方法を工夫することで、精度向上にも成功した。また、応用として AgCl の  $K_{sp}$  を用いた Cl<sup>-</sup>濃度の定量にも成功した。今後は一層の精度向上を目指し、水酸化物など pH 依存性の沈殿の  $K_{sp}$  の測定にもチャレンジしたい。

## 参考文献

- 1)第 38 回兵庫県総合文化祭自然科学部門論文集
- 2)日本化学会編、化学便覧基礎編Ⅱ改訂 4 版、丸善(1993 年) A社(東京書籍など)の値はこれ。
- 3)B社(第一学習社)の値。理科年表もこれに近い。

毒キノコはお暑いのが好き？！  
 ～六甲山のキノコの多様性を気象要因から探る～

兵庫県立御影高等学校 環境科学部生物班  
 2年中村雄太郎、阿波田みのり、新保悠里乃  
 高岡まりあ、林真理菜  
 1年廣岡季陽里、飯田龍暉、成将希、中原雨音  
 西端実弥美、砂川真智子

### 1. 動機および目的

本校では平成20年度から兵庫きのこ研究会や県立人と自然の博物館と連携しながら六甲山再度公園（ろっこうさんふたたびこうえん）のキノコの調査を行っている。標本作成、生態分析からキノコの多様性を明らかにすることが目的である。経験上、夏のフィールドワークでは毒キノコが多く観察される。そこで今回は長期モニタリングの結果から選好指数をもとめ、毒キノコは本当に暑さを好んでいるのか検証した。

### 2. 方法

毎年3月～11月の第3日曜日に、六甲山再度公園において、キノコの観察、採取を行った。過去の観察記録をエクセルのピボットテーブルを利用して、出現頻度の高いキノコをよく見られる種として抽出、さらに各キノコの気温、降水量における選好度（JACOBS 1974）を以下の式で求めた。

$$D = \frac{r - p}{r + p - 2rp}$$

D 選好指数  
 r 利用率 その環境を利用した割合  
 p 全体率 全体に占めるその環境割合

次に選好指数が0以上の環境を、そのキノコが好む環境として、毒キノコ、可食キノコ、菌根菌、腐生菌などに分けて好みの環境を分析した。

### 3. 結果と考察

#### (1) 出現傾向の解析

過去14年間の観察記録を出現頻度別に整理するため、出現回数と出現年数、および種数の散布図を作成した（図1）。その結果、出現頻度の高いキノコは種数が少なく、出現頻度の低いキノコは種数が多い事が示された。従って再度公園の多様性は希少種が支えることがわかった。このグラフをもとに、確認した年数が12～14年をほぼ毎年見られる種として、111種類を抽出した。

#### (2) 抽出キノコの分類

111種のうち、同定不確定種や名称不確定種を除外した105種類のキノコを、兵庫きのこ研究会の協力のもと食毒、菌根菌と腐生菌とに分類し分析に用いた（表1）。

#### (3) 毒キノコが好む出現環境

105種類のキノコそれぞれの気温、降水量につ

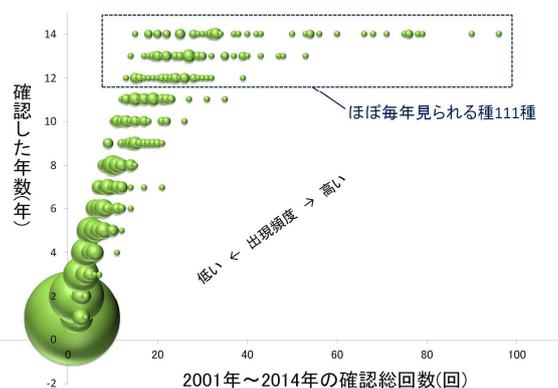


図1. キノコの出現傾向（確認した年数と確認総数の関係）  
 ＊バブルの大きさは種数の多さを表す

表1. 対象キノコ一覧

	毒キノコ	可食キノコ <small>(※注意キノコを含む)</small>	不食キノコ	不明キノコ	
菌根菌	イボテングタケ カキシメジ ガンタケ キチチタケ クロコヤマコテングタケ コテングタケモドキ シロオニタケ タマコテングタケモドキ ドクワルタケ ドクベニタケ ヒメカシヨウロ フクロワルタケ ヒメコナカフリツルタケ クロハツ コタマコテングタケ	アイバシロハツ アイタケ アカハツ アカヤマドリ アミタケ ウラムラサキ オオキツネタケ カレバキツネタケ クワバナイグチ キツネタケ ケンショウハツ スメリグチ ハツタケ ムラサキアブラシメジモドキ ムラサキフウセンタケ スメリコウジタケ チチアワタケ カハイワルタケ オウキタケ ツチグリ ヤマドリタケモドキ ヒナアンズタケ ハマシメジ	アカカバイロタケ アシナガイグチ ウコンハツ カラムラサキハツ クリカワヤシヤグチ チヨウジチタケ ニオイコベニタケ ニガイチモドキ ミドリニガイグチ ミヤマベニグチ キアミアシグチ ヒロハウスミチチタケ	オオオニテングタケ ナガエノチャワンタケ ニセヒメチタケ	
	腐生菌	アカイボカサタケ サクラタケ ニガウリタケ チャウムタケ フクロヒトネタケ イタチタケ ミイノモミウラモドキ ワサビタケ ワサビカレハタケ ニワタケ	アマタケ ヒメクラゲ ウラベニガサ カンゾウタケ シイタケ タマキクラゲ トガリアミガサタケ ノウタケ ヒトヨタケ ホコリタケ マツオウジ マツカサキノコモドキ ハダケシメジ ニセマツカサシメジ ムラサキシメジ ナラタケモドキ	アミスギタケ ウチワタケ ヒメカンリタケ カイガラタケ カワラタケ スエヒロタケ ヒトウチタケ チャウロコタケ チャイガラタケ ツガサノコシカケ ニセキンカクアカビヨウタケ ヒメカバイロタケ ネンシタケモドキ サケバタケ ハチノスタケ ヒイロタケ ニッケイタケ チシオタケ マイロアミタケ ヤグワタケ ハカワラタケ オシロイタケ ウヒダタケ	キチャホウライタケ フサヒメホウホタケ モエギタケ

いて、各レンジにおける選好指数を求めた。次に指数が0以上の環境を「好みの環境」として、気温、降水量の各レンジに占める割合をグラフ化した。その結果、毒キノコは25℃以上の高温で好む割合が増加した（図2a）。また130mm以上の多雨を好む傾向が確認できた（図2b）。

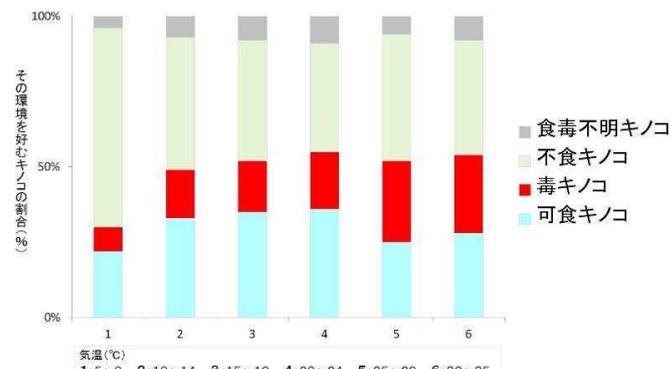


図2a. 各キノコの好みの温度帯に占める割合

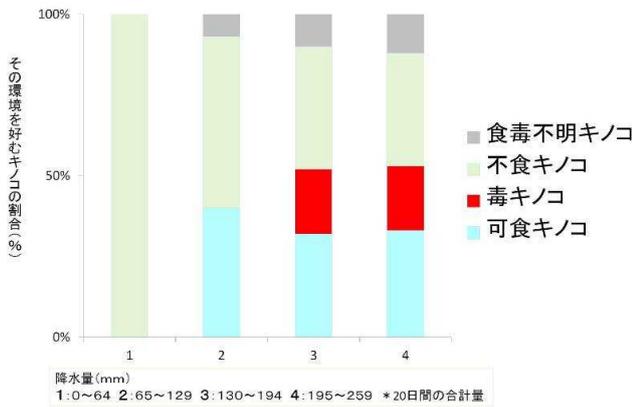


図2 b. 各キノコの好みの降水量に占める割合

(4) 毒キノコの菌根菌が好む環境

毒キノコが高温多雨を好む理由を探るため、菌根菌と腐生菌に分けて降水量、気温、種数の関係を調べた (図3)

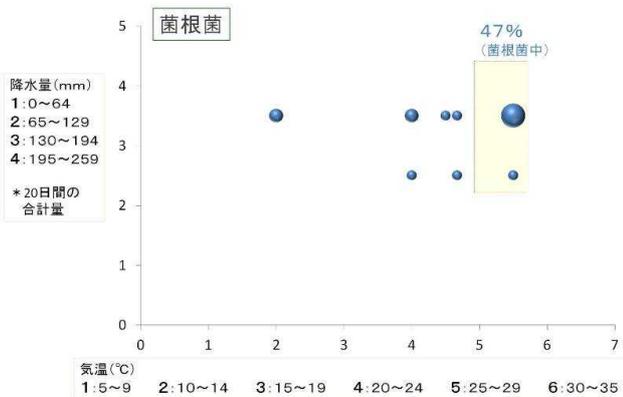


図3. 菌根菌の毒キノコにおける好みの気象条件

その結果、菌根菌の毒キノコの47%、腐生菌の毒キノコの30%が高温環境を好み、少ない雨は好まなかった。また可食キノコでも同様の傾向が見られた。このことから高温環境を好むのは、毒キノコに限らず、菌根菌そのものであると考え、抽出キノコ全体の傾向についても調べた。

(5) 菌根菌と腐生菌が好む環境

抽出キノコ全体の菌根菌と腐生菌を同様に調べた。その結果、菌根菌は多くのキノコが高温多雨環境を好み、少ない雨や低い気温を好むキノコはほとんど見られなかった (図4)。

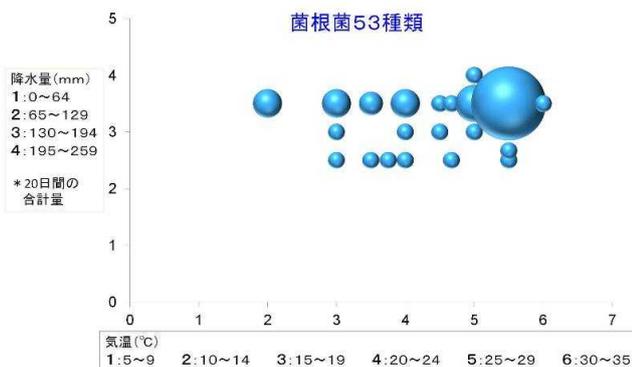


図4. 菌根菌における好みの気象条件

一方、腐生菌では、様々な温度、気温を好むキノコが含まれ、気象要因の感受性に多様性が見られた (図5)。

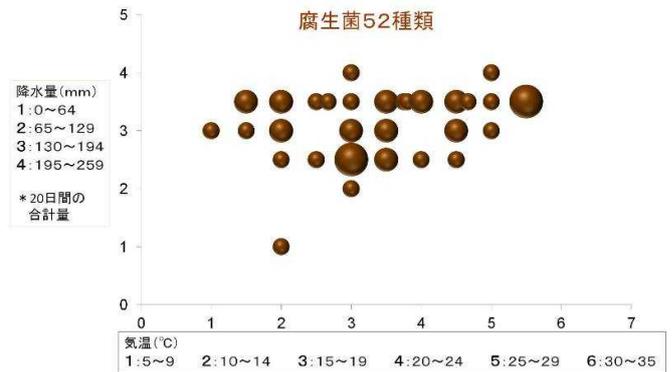


図5. 腐生菌における好みの気象条件

子実体 (キノコ本体) が出現する際、菌糸そのものも活発に活動しているという前提で考えると、菌根菌が高温多雨環境を好む理由として、宿主となる木本類にとって、高温多雨環境は光合成に有利であるという点である。すなわち、光合成が活発に行える環境では、光合成産物などの物質の授受も盛んになると考えられる。また菌類自身も高温で代謝が活発になるので、このような環境を好むキノコが多いのではないかと考えられる。

(6) 腐生菌の木材腐朽菌が好む環境

さらに腐生菌を木材腐朽菌とそれ以外の腐朽菌に分けて好みの環境を比較すると、木材腐朽菌以外の腐朽菌では、多雨条件下で様々な温度を好んだ。一方、木材腐朽菌では雨量、気温条件ともに好みに多様性が見られた。木から発生する木材腐朽菌は、外部の気象条件が変わっても保水性、保温性に有利なためと考えられる。また木の分解には時間がかかるので、多くのキノコが季節を問わず分解に関わっていると考えられる。

以上の結果から、毒キノコが夏を好む理由は、その多くが菌根菌であり、宿主の光合成に有利な条件を好んでいるためと考えた。また潤沢な光合成産物の供給は、生命活動以外の毒成分のような副産物を作りやすいのかもしれない。一方、腐生菌では木材腐朽菌が、気象条件の感受性に多様性を示した。これは分解者として様々な種が木材と密接に関係している事を示している。

4. 反省と課題

菌根菌の毒成分と宿主の光合成産物との関連を今後調査したい。また低温環境を好む菌根菌の宿主との関係についても調査する必要がある。

参考文献

- 兵庫きのこ研究会 定点観察会観察記録~2014 <http://www.hyogo-kinoko.jp/> 2015/4/24
- 今席六也ほか 1999 山溪カラー名鑑日本のきのこ 山と溪谷社 1-622
- 環境省自然環境局生物多様性センター 生物多様性調査 2005 36 - 38 ほか

# 回し飲みはなぜダメなの？

兵庫県立須磨東高等学校 サイエンス部  
2年 福浦菜々子

## 1. 研究動機

身近なことについて研究したいと思い、なぜ回し飲みはよくないのかという問題に着目した。食品衛生という観点でダメだと言われているので、飲みかけのペットボトルや缶には菌が繁殖しているのではないかと考え、どれだけ菌が繁殖しているのかを調べることにした。

## 2. 実験方法

今回は一般的な飲料を検体として用いるため、ミネラルウォーター、麦茶、緑茶、カフェオレ、オレンジジュースを使用した。なお、今回の実験はすべて以下の方法で行った。

- ①量を一定にするために飲み始めを 470 mL に合わせて、残りが 100 mL になるまで飲む。このとき、容器と検体 470 mL、容器と検体 100 mL の重さをそれぞれ調べることによって飲む量が 370 mL で一定になるように調整した。また、飲む人はすべて同じ人にする。
- ②検体原液 100 mL に\*1 希釈液 9 mL を加えて 1/10 の希釈検体を作る。
- ③希釈検体 1 mL を\*2 培地に接触する。
- ④35°C±1°C（装置は図1. 2）で培養する。
- ⑤24 時間おきに 48 時間までコロニーを測定する。

- \* 1 今回、希釈液は水を沸騰させて滅菌処理をし、密閉容器内で常温に戻したものを使用した。
- \* 2 今回は 48 時間まで測定できる培地を用いた。



図1. 装置の外観

入れ物は外から観察できるように、水槽を用いた。蓋にはゴミ袋を用いて覆ったが、温度を一定に保つために、少し穴を開けた。



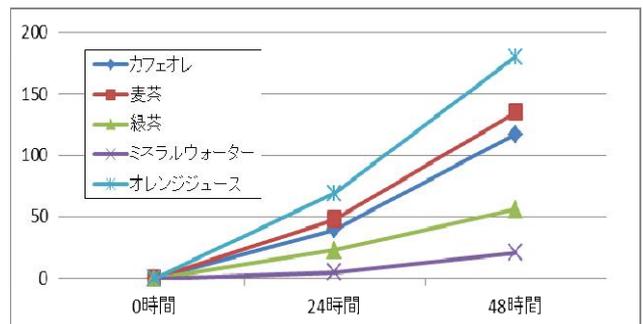
図2. 装置の内観

温度計は培地の上部にくるように設置した。

## 3. 結果

	カフェオレ	麦茶	緑茶	ミネラルウォーター	オレンジジュース
24時間	40	48	23	5	69
48時間	117	135	56	21	180

グラフ1 24時間ごとのコロニー数の変化



\*1 それぞれ5回実験したものの平均を示している。

\*2 培地の都合により 48 時間までのデータを使用している。

\*3 開封直後の検体原液をそのまま培養した場合のコロニー数は、ほぼ 0 であった。

今回のブランクとして考えた、ミネラルウォーターの変化の様子を図 3～6 に示す。

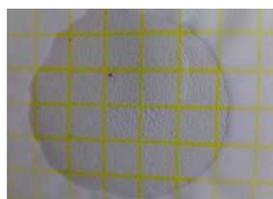


図 3. 12 時間経過

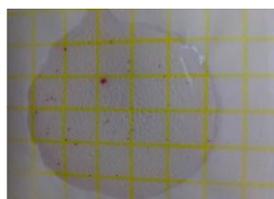


図 4. 24 時間経過

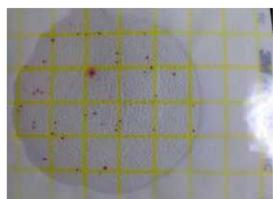


図 5. 36 時間経過

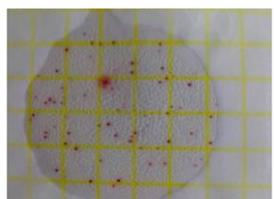


図 6. 48 時間経過

また、今回は図 7 のように菌が一定の増え方から明らかに外れた場合は失敗とした。これは、実験の過程で余分な菌が混入してしまったためだと考えられる。

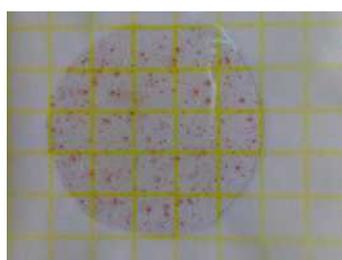


図 7. 失敗例

これは、ミネラルウォーターの 12 時間経過後のものを掲載した。他の検体に比べてはるかに多いコロニー数であった。

#### 4. 考察

・ミネラルウォーターは有機成分がほとんど含まれていないため、あまり増えないと思い、ブラ

ンクとした。この予想通り、他の検体よりもはるかに少ないコロニー数であり、ブランクとして、適切であると考えられる。

- ・オレンジジュース、カフェオレが増えやすかったのは、菌の養分である糖分が多く含まれていたからだと考えられる。
- ・麦茶が増えやすかったのは、麦に含まれるデンプンやたんぱく質が菌の栄養源となるからだと考えられる。逆に緑茶は、カテキンの作用により菌の発生が抑えられたと考えられる。

#### 5. 今後の課題

- ・今回は菌が全く入らない環境での実験が行えなかったため、今後はできるだけ菌が入らないような環境について考えたい。
- ・検体に入る細菌の量を一定にするために、唾液の量を一定にしたい。そのために、溶液にピペット等を用いて定量的に入れることを考えたが、泡をいかに減らすか、ということに考慮する必要がある。
- ・今回 48 時間で検体ごとに差が出るのが分かったので、今回ばらつきが大き過ぎた 12 時間と 36 時間について再度コロニー数を測定し、コロニーの増え方について考察する。
- ・今回発生した菌の詳しい種類などがわかってないので、菌の分類の方法についてより深く調べる。
- ・炭酸飲料や調理で用いる液体ではどのような増え方を示すのかを調べる。

#### 6. 参考文献

- ・数研出版「生物」 嶋田正和 他 21 名
- ・食品工場と微生物その 2～微生物が増える条件～ 斎藤智

## タテジマイソギンチャクの個体認識システム

神戸市立六甲アイランド高等学校  
自然科学研究部  
2年 武石悠 潘舞綾 吉野竜輝

### 1. 動機及び目的

神戸市立六甲アイランド高等学校周辺の海域には、タテジマイソギンチャクが生息している。タテジマイソギンチャクの学名は *Diadumene lineata* で、刺胞動物門花虫綱に属している。体高は約 1~3 cm で、模様は濃いオリーブ色に約 12 本の縦縞がある。生殖は、裂片法という無性生殖で体の一部が分裂してクローンを作って殖えることが基本で、有性生殖も行うことがある。

自然科学研究部では、2012 年よりこのタテジマイソギンチャクの闘争行動に興味をもち、大阪湾沿岸、そして播磨灘沿岸でタテジマイソギンチャクの採集を行い、その飼育と観察に取り組んできた。そして闘争行動を利用して、兵庫県南部にタテジマイソギンチャクのクローン集団がどのように分布しているのかを調べることを目的として研究を行った。

今回私たちは地域集団間の個体認識をどのようにして行っているかを調べるために、次の実験 I~V の実験を行った。

実験 I : 漬け置き海水を用いた実験

実験 II : 煮沸した漬け置き海水を用いた実験

実験 III : 混合した海水を用いた実験

実験 IV : 希釈した漬け置き海水を用いた実験

実験 V : シリンジフィルターを用いた実験

これらの実験により、漬け置き海水の中に含まれるシグナル物質が個体認識にどのように関わっているかを調べることを目的とした。

### 2. 先行研究から判明した地域集団



地名の色は同じ地域集団を示している。

### 3. 実験 I : 漬け置き海水を用いた実験

切断触手の漬け置き海水に対する刺糸発射反応を調べるため姫路・住吉・芦屋の集団の個体を使い、漬け置き海水を採取した。3回独立

に実験を行い、顕微鏡観察をしたところ住吉・芦屋漬け置き海水に対して姫路の刺糸発射が確認された。姫路漬け置き海水に対しては住吉・芦屋の刺糸発射が確認されたことにより切断触手は漬け置き海水に対しても個体識別できることが分かった。この結果は漬け置き海水に分泌された何らかのシグナル物質が個体認識に関わっていることを示唆している。

	姫路漬け置き海水	住吉漬け置き海水	芦屋漬け置き海水
姫路触手	—	+	+
住吉触手	+	—	—
芦屋触手	+	—	—



姫路漬け置き海水に芦屋触手を入れた様子

4. 実験 II : 煮沸した漬け置き海水を用いた実験  
実験 I より切断触手は、漬け置き海水に対しても個体認識ができた。シグナル物質が失活するかどうかを確かめるため、煮沸した漬け置き海水に対しては反応するのか、実験をして確かめた。

その結果、同じ地域同士の組み合わせであっても、違う地域同士の組み合わせであっても煮沸した漬け置き海水に対しては刺糸を発射することが分かった。この結果は漬け置き海水に分泌されたシグナル物質が自分は仲間であることを伝えるものであり、それが煮沸により失活したことを示唆している。

	姫路海水	住吉海水	芦屋海水
姫路触手	+	+	
住吉触手	+	+	
芦屋触手			+

5. 実験 III : 混合した漬け置き海水を用いた実験  
実験 II より、煮沸した漬け置き海水の実験においてシグナル物質が失活したと考えられるが、そのシグナル物質が本当に仲間であることを伝えるものであるかを確かめた。姫路・住吉・芦屋の漬け置き海水を混合すれば、それぞれの切断触手は刺糸を発射しないと仮説を立て、実験を行った結果、混合海水に対してはどの地域の触手も刺糸を発射しなかった。この結

果は混合海水に含まれるシグナル物質が刺糸発射を抑制していることを示唆している。

	混合海水
姫路触手	—
住吉触手	—
芦屋触手	—

6. 実験Ⅳ：希釈した漬け置き海水を用いた実験

I～Ⅲの実験で、触手がシグナル物質を受容して個体認識を行うことを確認できたので、どの程度希釈した漬け置き海水に対して触手が個体認識を正しく行えるかを確かめた。100倍希釈した混合漬け置き海水(A)に対して姫路の切断触手は刺糸が発射されなかったのに対し、芦屋の切断触手は刺糸を発射した。さらに1000倍希釈した混合漬け置き海水(B)に対して姫路の切断触手が刺糸を発射した。このことより混合海水を希釈することによってシグナル物質が薄くなり刺糸発射の抑制効果が弱くなったと推測される。

姫路漬け置き海水を1000分の1に薄め、それに芦屋漬け置き海水を混合した漬け置き海水(C)に対しては姫路の切断触手は刺糸を発射したが、芦屋の切断触手は刺糸が発射されなかった。同様に芦屋漬け置き海水を100分の1に薄め、それに姫路漬け置き海水を混合した漬け置き海水(D)に対しては芦屋の切断触手は刺糸を発射したが、姫路の切断触手は刺糸が発射されなかった。

	海水A	海水B	海水C	海水D
姫路触手	—	+	+	—
芦屋触手	+		—	+

7. 実験Ⅴ：シリンジフィルターを用いた実験

0.22 μmよりも小さい物質しか通さないシリンジフィルターを用いて、シグナル物質の分子の大きさを確かめた。シリンジフィルターを通した同じ地域の海水には刺糸は発射しなかったが、異なる地域の海水に対して刺糸を発射した。このことよりシグナル物質の大きさは0.22 μm以下であることがわかった。

	姫路フィルター海水	住吉フィルター海水
姫路触手	—	+
住吉触手	+	—

8. 考察・結論

先行研究の結果から、イソギンチャクの個体同士だけでなく、切断触手同士でも敵味方の認識をして刺糸を発射することがわかった。よっ

て触手が海水中にシグナル物質を分泌して受容して、個体認識を行っていると考えられる。したがって今回は漬け置き海水を用いた実験を行い、シグナル物質の特徴を調べることを目的とした。先行研究で飼育水槽の中の人工海水を用いて実験を行った結果、違う地域集団同士でも刺糸の発射が確認されなかったことから、イソギンチャクが分泌したシグナル物質の濃度が高い海水、すなわち漬け置き海水を用いることで、刺糸の発射が確認されるのではないかと仮説を立てた。

漬け置き海水を用いて実験を行ったところ、先行研究よりも触手が発射した刺糸の量が多かった。これは漬け置き海水中のイソギンチャクが放った強い匂い物質を触手が感じ取り、刺糸を多く出したためと考えられる。

実験Ⅰから実験Ⅴまでの結果から、タテジマイソギンチャクは触手間でシグナル分子を分泌・受容することで、同じ地域集団の仲間が近くにいれば攻撃しないが、異なる地域集団の個体がいれば攻撃していると考えられる。この非常に戦略的なシステムにより、地域集団を維持していると推察できる。

今回の実験で、タテジマイソギンチャクは強い何かしらのおい物質と、自分が同じ地域集団の個体であることを示すシグナル物質を持っている。シグナル物質は個体が闘争行動を行う際に影響し、熱に弱く、同じ地域集団に対して刺糸発射を抑制する作用があると考えられる。また、シグナル物質の濃度が異なると刺糸発射の有無の境界が変わることがわかった。

タテジマイソギンチャクは切られた触手だけでも、同種間でも同じ地域集団か異なる地域集団を区別して、異なる地域集団に対しては刺糸を発射させる。異種間ではどのようなかを検証していきたい。

9. 謝辞

最後に、兵庫県立人と自然の博物館・鈴木武先生、神戸大学大学院理学研究科・尾崎まみこ先生には、貴重なアドバイスを多数頂きました。厚く御礼申し上げます。

10. 参考文献

内田紘臣・楚山勇『イソギンチャクガイドブック』(2001年・阪急コミュニケーションズ)

## カワウの観察

兵庫県立尼崎小田高等学校 科学研究部

2年 小阪田 悠生 北浦 大樹

1年大塚 輝人 今村 拓未 入江祐樹 田中 健太

### I 写真撮影によるカワウの性別の試み

#### 1. はじめに

カワウは雄と雌で外見上の違いがあまり無く、正確な性別判定をするにはカワウを捕まえて解剖しなければならない。しかしカワウ等の野鳥を許可無く捕獲することは鳥獣保護法によって禁止されている。福田道雄(2011)はウミウ10個体(雄6個体、雌4個体)の6部位を計測して、形態計測値の性差を検討した。その結果、嘴口角長と自然翼長で雄は雌より有意に大きかった、と報告している。そこで今回は写真をもとに性差が確認できるかどうか検討した。

#### 2. 方法

兵庫県尼崎市武庫川で観察したカワウの群れをデジタルカメラで撮影し、上嘴(図1-a)と黄色の部分(図1-b)を計測し、a/bを求め、2つのグループに分かれるかどうか検討した。

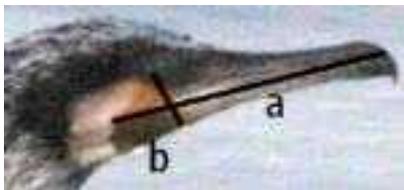


図1. 計測した a と b

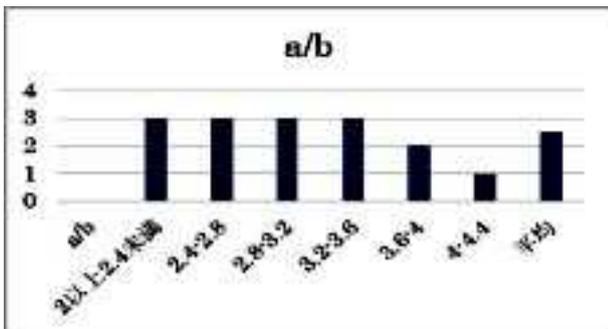


図2. a/bの度数分布

#### 3. 結果

グラフ上で2つの山ができることを期待したが、はっきりとした山を得ることは出来なかった(図2)。

#### 4. 考察

結果より今回求めた a/b からカワウの雄と雌を判断することはできなさそうである。より近くで、より大きな群れを観察し、測定する個体も増やし、計測箇所も増やして再度挑戦したい。

### II 羽毛サンプルを用いた DNA 鑑定による性別の試み

#### 1. はじめに

形態から鳥類の性別を行うことは難しい場合が多く、以前から遺伝子診断による性別法が試みられてきた。PCR法による性別には、W染色体の *Xho I* 領域の標的とする場合と、性染色体(WとZ)上に存在する CHD1Z (Z' chromo-helicase/ATPase-DNA binding protein 1) 領域と CHD1W 領域を標的とする手法がある(表1)。

*Xho I* 領域の場合はW染色体(Wバンド)のみが検出される。この場合、Wバンドが増幅されれば雌(ZW)で、Wバンドが増幅されなければ雄(ZZ)と判別される。

これに対し CHD1 領域の場合はZ染色体(Zバンド)とW染色体(Wバンド)の両方を検出するので、両染色体の標的とする CHD1 領域のイントロンの塩基長の違いが十分あればZバンドとWバンドの二本のバンドを検出することができる。この場合、WバンドとZバンドの二本が増幅されれば雌(ZW)で、Zバンドのみが増幅されれば雄(ZZ)と判別される。ただし両染色体の標的とする CHD1 領域のイントロンの塩基長に差がない場合や差がわずかな場合はバンドが重なり、性別は難しい。

表1 鳥類の性別用の既報プライマー

名称	塩基配列	出典(領域)
Xho1	AACTACCACITTTTCTCAGGG	KODAMA et al., 1987
Xho2	TTCAGAGTGATAAGGCATGG	(Xho)
P2	TCTGCATCGCTAAATCCTTT	GRIFFITHS et al., 1998
P8	CTCCCAAGGATGAGRAAYTG	(CHD1Z,CHD1W)
2550F	GTTACTGATTCTGTACGAGA	FRIDOLFSSON & ELLEGREN 1999
2718R	ATTGAAATGATCCAGTGCTTG	(CHD1Z,CHD1W)
1237L	GAGAAACTGTGCAAAACAG	KAHN et al., 1998
1272H	TCCAGAATATCTTCTGCTCC	(CHD1Z,CHD1W)

#### 2. 方法

2015年5月23日兵庫県伊丹市昆陽池のカワウの集団営巣地において行われた鳥類標識調査に参加した際に、羽毛等のDNAサンプル採取の学術許可を兵庫県から取得済であったため、カワウの幼鳥13個体から羽毛を採集した(表2)。採集した羽毛は茶封筒に厳封し、後日エタノール中に保存した。

DNA抽出を行い、先行研究で報告されていた4セットのプライマーでPCR法によるDNA増幅を行った。

データベース上のカワウのCHD1ZおよびCHD1W領域のデータを用いて、Primer3により特異的なプライマーを設計・作成した(表3)。このプライマーを用いてPCR法によるDNA増幅を行った。

PCR 産物の塩基配列は業者に委託・解読をおこなった。

表2 標本採集個体データ

2015/5/23 昆陽池					
	GUID-RING	カラーリング	Nwing (mm)	Weight (g)	ふしよ長 (mm)
1	13D-08003	青-232	112	1100	58.3
2	13D-08012	青-241	235	2000	64
3	13D-08013	青-242	215	1900	66
4	13D-08015	青-244	220	2000	65.1
5	13D-08016	青-245	206	1500	62
6	13D-08017	青-246	177	1400	61.4
7	13D-08018	青-247	230	1850	63.8
8	13D-08019	青-248	255	2100	66.6
9	13D-08020	青-249	249	2250	67.2
10	13D-08021	青-270	165	1250	59.4
11	13D-08022	青-271	179	1550	62.3
12	13D-08023	青-272	240	1800	65
13	13D-08024	青-273	240	2150	63.8

標識地点 280124:兵庫伊丹市昆陽池公園

表3 今回設計した性判別用プライマー

名称	塩基配列	領域
Z001F	TGTTACTGATTGCTTACGAGAACGTG	CHD1Z
Z840R	AGTGCTTGTTCCTCAATTCCTTTTATT	
W035L	AGTACTGATTTTCTCTCAGATGGTGAGGAT	CHD1W
W428R	CCCCTTTTATTGATGCATCAAGTCTCTAA	

### 3. 結果

4セットの既報プライマーでPCR法によるDNA増幅を行った。Xho1およびXho2による増幅は特異的な産物がはつきりとは得られなかった。残り3プライマーについては雌雄の判別に必要なZバンドおよびWバンドは得られなかった(図3)。

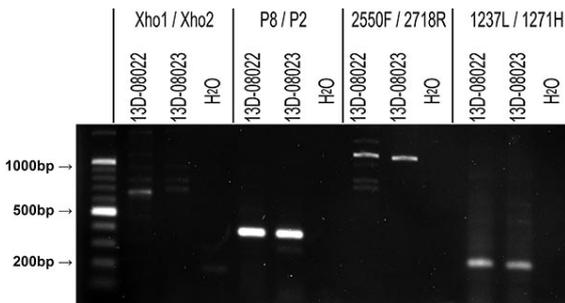


図3 既報プライマーによるDNA増幅結果

これに対し、今回設計したCHD1領域に対するプライマーを用いたDNA増幅では、約640bp(Zバンド)および約410bp(Wバンド)のPCR産物を得た(図4)。

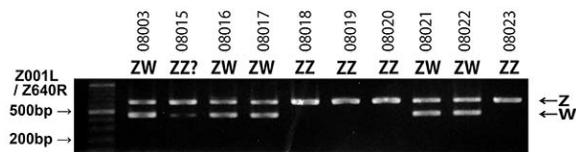


図4 今回設計したプライマーによるDNA増幅結果

個体08021, 08022のWバンドと個体08022, 08023のZバンドの塩基配列を解読し、NCBIのBLASTを用いて検索をす

るとJX901066カワウのCHD1Zと99%一致(図5)、CHD1Wと100%一致した(図6)。

Sequence ID: [gb|JX901068.1](#) Length: 653 Number of Matches: 1

Range 1: 53 to 567 GenBank Graphics					
Score	Expect	Identities	Gaps		
931 bits(504)	0.0	514/518(99%)	3/518(0%)		
Query 1	GATGGTGGAGTGCCTGGACATCCTAGCAGAATATCTCAAGTACCGTCAGTTTCCCTTTCA	60			
Sbjct 53	GATGGTGGAGTGCCTGGACATCCTAGCAGAATATCTCAAGTACCGTCAGTTTCCCTTTCA	112			
Query 61	GGTAAAGTCTTGGAGGTAGTACCAACAGTCTTGAATCTGAATGAAGAAAAATCTTT	120			
Sbjct 113	GGTAAAGTCTTGGAGGTAGTACCAACAGTCTTGAATCTGAATGAAGAAAAATCTTT	172			
Query 121	TCCTTACCGTCAGAGTGACAGAGCACTGCAAAAAGCTGTCAGAGGTTATGAAATCTCCA	180			
Sbjct 173	TCCTTACCGTCAGAGTGACAGAGCACTGCAAAAAGCTGTCAGAGGTTATGAAATCTCCA	232			
Query 181	TCCTTACCGTCAGAGTGACAGAGCACTGCAAAAAGCTGTCAGAGGTTATGAAATCTCCA	240			
Sbjct 233	TCCTTACCGTCAGAGTGACAGAGCACTGCAAAAAGCTGTCAGAGGTTATGAAATCTCCA	292			
Query 241	CTGCCTGAGTAGGGGAGTTAGCAAGGTGATCTCCAGAGTCCCTTCCAACCTCAACTGT	300			
Sbjct 293	CTGCCTGAGTAGGGGAGTTAGCAAGGTGATCTCCAGAGTCCCTTCCAACCTCAACTGT	352			
Query 301	GTTGTCATCATGTGATCTTACCCTTTCCTTAAAGAAAGTCTTAAAGAGTGTGTTTTT	360			
Sbjct 353	GTTGTCATCATGTGATCTTACCCTTTCCTTAAAGAAAGTCTTAAAGAGTGTGTTTTT	409			
Query 361	CTAGAAAGGCTGGCAATTCCTATATGCTAAATAGTATTTTGAATTTAACAATGAATTA	420			
Sbjct 410	CTAGAAAGGCTGGCAATTCCTATATGCTAAATAGTATTTTGAATTTAACAATGAATTA	469			
Query 421	AAAAATGAAGTGTGCATTACCTTTTCCCTTACATAACAGTTTGGCAGTGTGAAAT	480			
Sbjct 470	AAAAATGAAGTGTGCATTACCTTTTCCCTTACATAACAGTTTGGCAGTGTGAAAT	529			
Query 481	TCAAGTAGCTCTGACTTTGAATATAGTATAAGAATTAC	518			
Sbjct 530	TCAAGTAGCTCTGACTTTGAATATAGTATAAGAATTAC	567			

図5 Zバンドの塩基配列の検索結果

Sequence ID: [gb|JX901066.1](#) Length: 460 Number of Matches: 1

Range 1: 91 to 379 GenBank Graphics					
Score	Expect	Identities	Gaps		
534 bits(289)	3e-148	289/289(100%)	0/289(0%)		
Query 1	AATATCGTCAGTTTCCCTTTTCAGGTAAGAATTTTCTGGTAGTAGCCAAAGAGCCCTTGAT	60			
Sbjct 91	AATATCGTCAGTTTCCCTTTTCAGGTAAGAATTTTCTGGTAGTAGCCAAAGAGCCCTTGAT	150			
Query 61	CTTTACCCTTTATCTTAAAGAAAGTGTGCTCTTTTGTAGAAAGATTATGAAAGTTTAAAT	120			
Sbjct 151	CTTTACCCTTTATCTTAAAGAAAGTGTGCTCTTTTGTAGAAAGATTATGAAAGTTTAAAT	210			
Query 121	TTACCGTATAGGAAGAGACTGGCAATTAAGTAAATGCTAAATAGTATTTGAAATCAAACCT	180			
Sbjct 211	TTACCGTATAGGAAGAGACTGGCAATTAAGTAAATGCTAAATAGTATTTGAAATCAAACCT	270			
Query 181	GATGAATTGAAAGATGAAGTGTACATTCCTCTTATCCACCCCCCAATTGTTTTGGCA	240			
Sbjct 271	GATGAATTGAAAGATGAAGTGTACATTCCTCTTATCCACCCCCCAATTGTTTTGGCA	330			
Query 241	ATTGAGAATCAAGTTGCTCTGATTAGAATATAGTAGAGGTTCCCTTTT	289			
Sbjct 331	ATTGAGAATCAAGTTGCTCTGATTAGAATATAGTAGAGGTTCCCTTTT	379			

図6 Wバンドの塩基配列の検索結果

### 4. 考察

図4に示したZバンドおよびWバンドはデータベース検索結果から、標的としたCHD1領域を正しく検出していると思われる。よって個体08003・08016・08017・08021・08022はZおよびW染色体を持つ個体(ZW)であり、雌であると推測できる。また個体08015・08018・08019・08020・08023はZ染色体のみを持つ個体(ZZ)であり、雄であると推測できる。解剖による確認は行われていないが、この鑑定結果は有効であると思われる。

### 5. 謝辞

カワウの調査に参加させていただき丁寧に指導いただいた片岡宣彦氏、須川恒氏(龍谷大学)、高津一男氏(伊丹市みどり自然課)をはじめとする調査スタッフの方々に、感謝します。遺伝子解析のご指導をいただいた笠原恵先生(兵庫教育大学)に感謝いたします。

昆陽池・武庫川のユリカモメの行動について

兵庫県立川西明峰高等学校

研究生徒 (3年)・白井佑樹・渡海浩一

(1年)・黒田英資

1. はじめに

私たち理科部では、2010年6月から昆陽池で野鳥の観察を行ってきた。2011年の鳥インフルエンザによる閉鎖期間中の計測でユリカモメが他の鳥たちと行動が異なっていたため調査を行った。

2. 方法

武庫川と昆陽池で2013年と2014年の冬に個体の観測を朝7:00頃から夕方17:00頃に計8回行った。目視によりユリカモメの個体数を2013年は1時間おきに行い、2014年はさらに詳しく行動を探るために30分おきに行った。2015年には、私達の立てた仮説が正しいかどうか冬に3回行った。

3. 結果と考察

・武庫川と昆陽池のユリカモメの推移について (2014年度の考察)

2014年1月12日と1月26日の朝7:00~夕方17:00に武庫川と昆陽池とで同時に計測を行った。その観察中に武庫川のユリカモメの一部が北側に飛んで行くのが観察された。そこで、個体数の変動を探るために10時を基準としてその時間までの行動と北側に飛んで行ったユリカモメについて2014年2月9日に調査を行うことにしました。

その調査の際、北側に飛んで行ったユリカモメを実際に観測するため阪急神戸線の橋のあたりからも観察した。2014年2月

9日8時53分に阪急電鉄北で9羽のユリカモメが、武庫川を北上しているのが確認された。その後、その9羽が昆陽池公園に行ったならば昆陽池公園の8時30分に確認された6羽に足すと15羽となる可能性がある。これは昆陽池公園での観察データと一致する。

2014年				2014年 阪急電鉄北	
日付	2月9日	ユリカモメ・セグロカモメ	合計	日付	2月9日
時刻	武庫川12号線	昆陽池公園	合計	時刻	ユリカモメ・セグロカモメ
8時00分	66	0	66	8時46分	1
8時30分	64	6	70	8時53分	9
9時00分	112	5	117	8時59分	15
9時30分	109	15	124		
10時00分	62	18	80		



(2014年2月9日阪急電鉄北8時53分)

・武庫川と昆陽池のユリカモメの行動推移 (2015年度の考察)

私たちは過去に行ってきた調査を基に昆陽池のユリカモメは朝、海から武庫川下流に来て、その後昆陽池に来ていると仮説をたてた。この仮説が正しいかどうか確かめるため、2014年12月26日に武庫川と昆陽池に個体数を朝から夕方まで個体数を調査して確かめることにした。

2014年12月26日の調査から、武庫川の11時から14時までの個体数(68羽)が減少しており、同様に昆陽池の11時から14時までの個体数(64羽)増加していた。このことから、私たちが立てた仮説が正しいのではないかと考え調査の範囲を拡大し、2015年1月25日調査を行うことにした。ユリカモメの足取りを追うため再び阪急神戸線の橋のあたりも含めて調査を行った。

調査の結果、阪急電鉄北のユリカモメの個体数23羽(11時から12時)が北上するところを確認した。その23羽がもし昆陽池公園に飛んで行くと

2014年 武庫川2号線南での調査				2014年 昆陽池公園での調査			
日付	1月12日	ユリカモメ	セグロカモメ	日付	1月12日	ユリカモメ	セグロカモメ
時刻	時刻	個体数	平均	時刻	時刻	個体数	平均
測定	230	230	230	8時00分	8時00分	1	
8時00分	215	215	215	8時15分	8時15分	5	
9時00分	605	441	523	8時35分	8時35分	51	
10時00分	735	777	756	9時00分	9時00分	59	
10時30分	430	573	436	9時30分	9時30分	96	
11時00分	528	570	549	10時00分	10時00分	104	
11時30分	544	573	559	10時30分	10時30分	77	
12時00分	564	558	561	11時00分	11時00分	測定不可	
12時30分	499	410	455	11時30分	11時30分	92	
13時00分	453	519	486	12時00分	12時00分	86	
13時30分	235	256	246	12時30分	12時30分	85	
14時00分	336	401	369	13時00分	13時00分	122	
14時30分	355	359	357	13時30分	13時30分	122	
15時00分	514	487	501	14時00分	14時00分	134	
15時30分	572	525	549	14時30分	14時30分	136	
16時00分	測定せず	測定せず	0	15時00分	15時00分	135	
16時26分	0	0	0	15時30分	15時30分	167	
				15時50分	15時50分	103	
				16時00分	16時00分	149	
				16時17分	16時17分	0	

2014年 武庫川2号線南での調査				2014年 昆陽池公園での調査				
日付	1月26日	上	下	合計	日付	1月26日	ユリカモメ	セグロカモメ
時刻	時刻	個体数	個体数	合計	時刻	時刻	個体数	平均
7時00分	7時00分	49	79	128	7時00分	7時00分		
7時30分	7時30分	120	214	334	7時30分	7時30分		
8時00分	8時00分	194	252	446	8時00分	8時00分		
8時30分	8時30分	60	336	396	8時30分	8時30分		
9時00分	9時00分	111	407	518	9時00分	9時00分		
9時30分	9時30分	0	602	602	9時30分	9時30分		
10時00分	10時00分	16	613	629	10時00分	10時00分		
10時30分	10時30分	76	357	433	10時30分	10時30分		
11時00分	11時00分	35	413	448	11時00分	11時00分		
11時30分	11時30分	97	402	499	11時30分	11時30分		
12時00分	12時00分	162	511	673	12時00分	12時00分		
12時30分	12時30分	43	670	713	12時30分	12時30分		
13時00分	13時00分	149	632	781	13時00分	13時00分		
13時30分	13時30分	10	610	620	13時30分	13時30分		
14時00分	14時00分	31	324	355	14時00分	14時00分		
14時30分	14時30分	19	371	390	14時30分	14時30分		
15時00分	15時00分	66	302	368	15時00分	15時00分		
15時30分	15時30分	34	230	264	15時30分	15時30分		
16時00分	16時00分	20	527	547	16時00分	16時00分		
16時30分	16時30分	0	138	138	16時30分	16時30分		
16時50分	16時50分	0	0	0	16時40分	16時40分		

2014年 武庫川			2014年 昆陽池	
日時	12月26日		日時	12月26日
種別	ユリカモメ	セグロカモメ	合計	種別
7時00分				7時00分
7時30分	13		13	7時30分
8時00分	94		94	8時00分
8時30分	109		109	8時30分
9時00分	109		109	9時00分
9時30分	118		118	9時30分
10時00分	147		147	10時00分
11時00分	209	21	230	11時00分
12時00分	161	34	194	12時00分
13時00分	153	12	165	13時00分
14時00分	141	11	152	14時00分
15時00分	40		40	15時00分
16時00分	185		185	16時00分
16時22分	0	0	0	16時06分



# 武庫川の定点における淡水魚の出現パターン

関西学院高等部 理科部

3年 仙田晴紀

2年 岡拓哉 田中康就 大西義之 小山雄太郎  
藤井亮哉 山下泰生 古野壮一郎 中岡尚哉

## 1. 動機及び目的

淡水魚の多くは季節や成長段階によって川の中を移動し生活場所を変えるといわれているが、その詳細はほとんど分かっていない。移動分散パターンは、淡水魚の生活史を解明し保全に役立てるための有益な情報となる。そこで我々は、淡水魚の河川内での移動分散パターンを明らかにするために、西宮市の武庫川で1地点の定点を設けて、淡水魚の出現パターンの季節変化を調べた。

## 2. 方法

調査地は支流仁川河口部の約60mの区間(図1)で、調査は2012年9月から2015年8月まで3年間、毎月1回行った。環境データとして、ポータブルpH計を用いて水温、pHを計測した。1回の調査につき、調査区間で投網を5投した後、3人がタモ網を用いて15分間、淡水魚を採集した。採集されたすべての魚の種類、標準体長、個体数を記録し、その場で放流した。データは、2012年9月から2013年8月までを2012年度、以下、同様に2013年度、2014年度とした。環境データ、各種の月ごとの出現個体数の変化を年度ごとにグラフ化した。特に出現個体数の多い種については月ごとに体長分布をグラフ化し、その月の平均体長と標準偏差を算出した(ただし、スペースの関係上、この論文では示さなかった)。



図1 調査地

## 3. 結果と考察

### 3.1. 水質データ

水温は、3年間の最高水温は29.8℃(2012年8月)、最低水温は6.3℃(2012年2月)だった(図2)。pHの最高値は10.63(2014年9月)、最低値は6.39(2012年11月)で、両年度ともに冬場に低く、夏場に高くなる傾向がみられた(図3)。

### 3.2. 淡水魚全体の出現パターン

淡水魚は、2012年度には計17種3374個体、2013年度には計20種3876個体、2014年度には計21種3682個体が採集された(表1)。調査期間を通

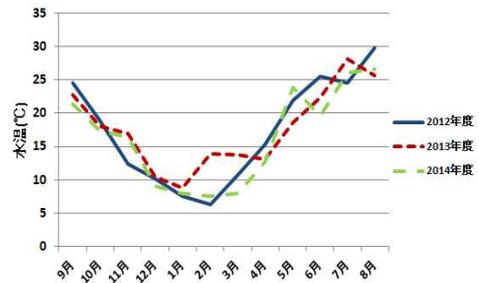


図2 3年間の月ごとの水温の変化

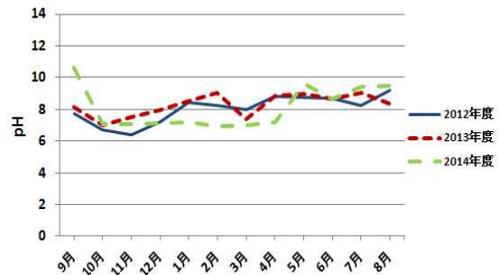


図3 3年間の月ごとのpHの変化

表1 調査期間中に採集された魚種と個体数

種名	年度	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	合計	3年間合計
オイカブ	2012	176	388	735	402	57	1	0	18	46	283	25	70	2201	7457
	2013	102	416	204	1063	74	3	449	209	52	13	81	95	2761	
	2014	19	99	303	1974	17	3	5	1	4	1	27	42	2495	
	2015	20	187	46	221	1	1	0	5	27	9	2	0	519	
コウライモロコ	2012	20	70	68	30	49	20	113	157	0	3	14	13	557	1428
	2013	11	21	124	96	45	33	9	2	1	10	0	0	352	
	2014	56	39	11	14	8	9	11	4	10	0	10	9	181	
	2015	34	22	9	4	3	7	11	29	1	2	59	37	218	
カマツカ	2012	28	28	27	5	17	12	4	12	0	2	48	90	273	672
	2013	4	46	0	1	0	0	0	0	0	0	35	53	76	
	2014	76	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	84	
	2015	4	15	34	1	5	1	3	0	0	0	57	6	126	
ギンブナ	2012	3	2	1	0	0	0	0	0	0	29	4	37	76	266
	2013	7	13	2	1	2	1	1	0	1	3	33	5	69	
	2014	2	1	1	2	1	0	4	25	39	7	13	9	97	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	107	18	13	138	
タモロコ	2012	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	19	1	194
	2013	0	2	3	0	0	0	0	0	4	9	6	1	25	
	2014	20	1	9	0	4	0	0	0	0	4	1	5	44	
	2015	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	5	
コイ	2012	0	0	7	0	5	7	6	1	10	10	0	0	46	95
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	4	4	3	2	0	0	0	0	0	2	1	6	22	
	2015	5	16	0	0	0	0	0	0	0	5	5	20	51	
ミンナメダカ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	7	4	17	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
コウライニゴイ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	13	9	25	
	2014	6	1	5	1	0	0	0	2	8	13	9	45		
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
カフヨシノボリ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	5	11	59
	2013	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	
	2014	0	6	0	0	0	0	0	0	0	28	11	45		
	2015	5	5	2	0	0	0	1	2	0	5	5	2	27	
ドンコ	2012	2	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	6	58
	2013	0	0	3	0	0	1	1	1	2	11	6	0	25	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ゲンゴロウブナ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
	2013	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
	2014	0	6	19	0	0	0	0	0	0	0	8	6	39	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
オオクチバス	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
	2013	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	
	2014	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	17	
	2015	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	
ガフムツ	2012	0	0	2	0	1	0	6	1	0	0	0	0	10	22
	2013	0	2	3	0	0	0	1	0	0	0	0	3	9	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
アユ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	8	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9	12	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	
モツゴ	2012	1	0	9	0	0	0	0	1	0	0	0	1	12	19
	2013	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	
	2014	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	
ブルーギル	2012	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	18
	2013	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	6	
	2014	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7	0	9	
	2015	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	7	
ドジョウ	2012	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	18
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	0	5	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	
ナマズ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ムギツク	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ギギ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	
	2014	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
フナ sp	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

※背景の色は、緑が1~9個体、青が10~99個体、赤が100個体以上を示している。  
※体長が小さく同定困難なフナ類はフナ spとした。

して出現個体数が最も多かったのはオイカワで、3年度ともに全体の65%以上を占めていた。次いで、コウライモロコ、カマツカが多く、3年度ともにこの3種類で出現個体数の90%程度を占めた。また、出現した種数、総個体数は季節により大きく変動しており、夏から秋にかけてともに増加し、冬には大きく減少した(図4、5)。ただし、総個体数はオイカワとコウライモロコの個体数の増減に大きく影響を受けていた。

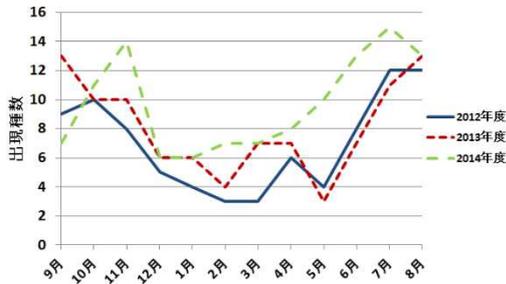


図4 3年間の月ごとの出現種数の変化

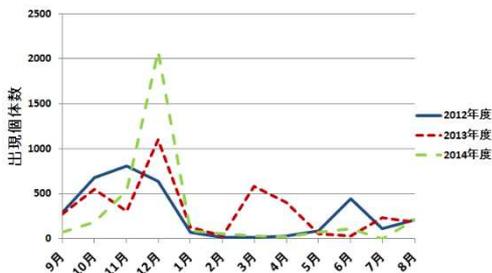


図5 3年間の月ごとの出現個体数の変化

### 3.3. 淡水魚各種の出現パターン

調査地点での淡水魚の出現パターンは、大きく3つに分けられた。1つ目は、調査地点付近で産卵していると考えられる種である。オイカワ、タモロコ、フナ類、コイがこのパターンにあてはまった。これらの種は産卵期の5~8月に当歳魚と思われる体長の小さな個体<sup>1,2)</sup>が出現した。したがって、調査地点付近で産卵していると考えられる。しかし、各種の年間を通しての出現パターンは少しずつ異なっていた。

オイカワは1年中出現したが、秋から初冬にかけて特に多く出現し、水温が10°Cを切る晩冬から初春にかけて激減した。このことから、調査地点と本流の間を季節移動していると考えられた。成魚と当歳魚の出現時期から、水温が20°Cを上回るころに産卵していると考えられた。

タモロコは夏に多く出現する傾向があるが、オイカワとは異なり1年を通じて個体数に大きな変動はなく、季節移動はあまりしないと推測された。

コイは5~6月に当歳魚が出現し、体長が100mm以上の個体はほとんど出現しなかった。したがって当歳魚は急速に成長し、体長100mmを超えてからは本流に移動していると考えられた。

ギンブナとゲンゴロウブナは夏~秋にかけて多く出現し、冬はあまり出現しなかった。したがって、冬は本流に移動していると推測された。

2つ目は、武庫川本流で産卵していると考えられる種である。コウライモロコ、カマツカ、アユがこのパターンにあてはまった。

コウライモロコとカマツカは、5~8月に成魚と思われる体長の大きな個体が大きく減少し<sup>3)</sup>、その1~2ヶ月後に再び出現していた。この時期はこの2種の産卵期であり<sup>2)</sup>、本流に移動し産卵していると推測された。しかしながら、コウライモロコは秋から冬にかけて出現個体数が多く、年間を通して大きく変動していたが、カマツカは産卵期以外に出現個体数の大きな変動は見られなかった。したがって、コウライモロコは調査地点と本流の間を季節移動し、カマツカは、産卵期以外はあまり移動しないと推測された。

アユは5~8月にのみ出現した。アユは初夏に河川を遡上し、秋に産卵のために下流へと移動することが知られている<sup>2)</sup>。したがって、調査地点に出現してきた個体は、本流を遡上してきたあと、産卵のために本流下流に移動していると推測された。

3つ目は、本流にはほとんど生息せず、支流から流下してきたと考えられる種である。シマヒレヨシノボリ、オオクチバス、カワムツ、ブルーギル、ムギツク、ドンコ、モツゴがこのパターンにあてはまった。本調査地点は、仁川と川西川が武庫川に流入する地点である。これらの種は出現個体数が少なく、付近の1日の降水量が50mm近い降雨<sup>4)</sup>による増水の直後に出現することが多かった。また、これらの種は武庫川本流の下流部にはほとんど生息していない<sup>5)</sup>。したがって、増水によって調査地点に流されることによって出現していると推測された。

そのほかに、カワヨシノボリ、ギギ、コウライニゴイ、ドジョウ、ナマズ、ミナミメダカが出現したが、出現個体数が少なかったため、考察できなかった。

### 4. 参考文献

- 1) 中村守純(1969)日本のコイ科魚類、資源科学研究所
- 2) 川那部浩哉・水野信彦(1989)山溪カラー名鑑日本の淡水魚、山と溪谷社
- 3) 上野智(2002)カマツカの成熟年齢と成熟サイズ、陸水学報、17:33-41
- 4) 国土交通省水文水質データベース、<http://www1.river.go.jp/>(2015.10.9閲覧)
- 5) 富永浩史(2014)武庫川下流域の淡水魚の生息状況、武庫川市民学会誌、2:62-66

## 武庫川の河川改修工事による魚類への影響

兵庫県立篠山産業高等学校丹南校 生物部  
3年 豊島 直也, 森 大紀, 谷津 光太  
井月 尚, 大前明日香, 酒井ゆうい  
阪中 達也

### 1. 動機及び目的

学校近くの武庫川上流部は、河川改修の工事があまり行われていないために、自然環境が保全され、メダカやタナゴなどの魚類が多く生息している。しかし、流れが弱いため大雨が降ると洪水になることがあった。そこで、約10年前から自然環境に配慮した工事が行われている。

去年に引き続き、私たちは、工事から1年経った河川と工事直後と工事前の河川の魚類の調査を行い、工事が与える影響を調査した。

### 2. 方法

#### (1) 調査日

平成26年7月23日(水)・28日(月)  
8月6日(水)・28日(木)  
平成27年7月24日(金)・27日(月)・29日(水)  
8月4日(火)・19日(水)

#### (2) 調査場所

武庫川上流(篠山市当野)

A地点: 舟瀬橋上流約100m(図1)

B地点: 舟瀬橋の周辺(図2)

C地点: 舟瀬橋下流約100m(図3)

A地点は、まだ工事はされていない。水深は10~130cm。川底は砂と泥で浅い所には、オオカナダモが繁茂している。

B地点は、平成27年1~3月に工事された(図4)。水深は10~100cm。川底は石と砂と粘土。

C地点は、平成26年1~3月に工事され、1年が経過している。水深は10~30cm。川底は砂と泥。



図1 A地点(舟瀬橋上流)



図2 B地点(舟瀬橋の周辺)



図3 C地点(舟瀬橋下流)



図4 河川工事(B地点)

### (3) 調査方法

5名で投網(図5)およびタモ網で30分間、魚類を採集し、採集した魚類の種類と個体数を記録した。この調査を各地点で3回ずつ行い、その合計を結果とした。



図5 投網

### 3. 結果と考察

調査した結果を表1に示す。

A地点は15種、B地点は11種、C地点は19種が採集できた。

A地点では、今年新たにカワヒガイ(図6)、カネヒラ、ギギ(幼魚)が採集でき、去年と合わせた種数は19種だった。一方、工事直後のB地点ではオイカワ(幼魚)、カワムツ、メダカが特に多数採集することができた。



図6 カワヒガイ

工事後1年が経過したC地点では水深が浅く、オイカワやカマツカ、ヤリタナゴ、メダカなど19種が採集できた。去年の同じ場所では12種だったが、1年で種数が多くなった。

このことより工事の行われていないA地点と、工事の行われたB地点とC地点の種数を比較すると工事直後は減るものの1年で戻ることがわかった。これは近くに工事していない場所があるから魚類が移動することができるためと考えた。

しかし、個体数で比較すると、工事直後には、オイカワ、カワムツ、メダカなどが増え、1年が経過すると、オイカワが減り、カマツカ、ムギツク、ヤリタナゴ、ドジョウなどが増え、全体の個体数も増えた。これは大型の魚種が生息していないため、大型の魚種を天敵とする小型の魚種にとっては工事直後の場所はとても良い環境だと考えられる。

調査地点の景観は、未工事の場所と工事後の場所は全く違っているが、工事後1年が経過すると魚類相は戻ることがわかった。これは、魚種が移動する範囲に未工事部分があるため、復元できたものだと考えられる。

### 4. 反省と課題

調査場所の堤防や川底は、工事後でもコンクリートになっていないため、多くの生き物が生息している。また、今回外来種も見られたので、減っていくことを望む。今後もこの調査を行い、工事の影響を比較していきたいと思っている。

表1 調査結果(採集できた種と個体数)

	種名	地点 科名	A		B		C	
			平成26年	平成27年	平成26年	平成27年	平成26年	平成27年
1	オイカワ	コイ科	11	6		26	49	24
	オイカワ(幼魚)	コイ科	3	3		136	41	36
2	カワムツ	コイ科	4	6		66	1	7
	カワムツ(幼魚)	コイ科	0	0		0	1	4
3	ヌマムツ	コイ科	3	1		2	2	1
4	カマツカ	コイ科	12	7		11	4	70
	カマツカ(幼魚)	コイ科	7	0		0	17	1
5	モツゴ(幼魚)	コイ科	1	0		0	0	2
6	ムギツク	コイ科	2	1		4	1	10
	ムギツク(幼魚)	コイ科	1	3		0	1	1
7	カワヒガイ	コイ科	0	5		3	0	6
8	タモロコ	コイ科	2	0		0	0	1
	タモロコ(幼魚)	コイ科	0	1		0	0	0
9	イトモロコ	コイ科	1	1		3	0	2
	イトモロコ(幼魚)	コイ科	3	0		0	5	0
10	ヤリタナゴ	コイ科	6	0		6	6	47
	ヤリタナゴ(幼魚)	コイ科	0	1		4	0	2
11	アブラボテ	コイ科	3	3		0	1	1
	アブラボテ(幼魚)	コイ科	3	4		0	0	0
12	タイリクバラタナゴ	コイ科	0	0		0	2	0
	タイリクバラタナゴ(幼魚)	コイ科	0	0		1	0	0
13	カネヒラ	コイ科	0	1		0	0	1
14	ギンブナ	コイ科	0	0		0	0	2
15	ドジョウ	ドジョウ科	4	7		0	0	12
	ドジョウ(幼魚)	ドジョウ科	2	0		0	0	0
16	シマドジョウ	ドジョウ科	1	0		0	0	0
17	ナマズ	ナマズ科	3	0		0	0	0
18	ギギ(幼魚)	ギギ科	0	3		0	0	1
19	メダカ	メダカ科	3	26		33	5	53
20	オオクチバス	バス科	0	0		0	0	2
21	ヨシノボリ	ハゼ科	0	0		1	1	2
	ヨシノボリ(幼魚)	ハゼ科	4	0		0	1	0
22	ドンコ	ドンコ科	5	0		0	0	2
	ドンコ(幼魚)	ドンコ科	1	2		0	0	1
個体数(合計)			85	81		296	138	291
個体数(成魚)			60	64		155	72	243
個体数(幼魚)			25	17		141	66	48
種数			16	15		11	12	19
備考			未工事	未工事	未調査	工事直後	工事直後	工事1年目

## 環境 DNA を用いた外来種のカメ分布調査

兵庫県立加古川東高等学校 生物部 DNA 班

2年 千古晴菜、瓶内ひなた、松谷朱莉

3年 安藤一喜、高橋真、藤井大地、藤江祐哉、脇舛真穂

### 1. はじめに

本校が立地する東播磨地域には多くのため池がある。それらの池では、外来種のカメの生息数が増加し、食糧や生息域などが重複するために在来種のカメの生息数が減少している。この現状を知った私たちは、池に生息するカメの生息調査を行って地図上に示し、将来的には在来種の保全につなげたいと考え、本研究を始めた。

環境 DNA を用いた調査では、研究開始時の 2014 年 4 月時点ではカメでの前例がなく、第一に調査手法・条件の確立が必要であった。そのため、本研究では東播磨地域の池に広く生息し、生息数が最も多く駆除対象になっているミシシippアカミミガメ（以下ミシシippアカミミガメ）を研究対象種として選んだ。

### 2. 昨年の実験と結果

#### ・プライマーの設計

塩基対数 150bp~200bp の塩基配列を増幅するプライマーを設計する（図 1）。なお、プライマーは、北海道システムサイエンス株式会社に依頼し、合成する。

プライマー名	塩基配列	増幅産物サイズ (b p)
1 Left	CCT CCA ACA TCT CTG CTT GA	150
Right	ATT GTA CGT CTC GGG TGA TG	

図 1 設計したプライマー

このプライマーでアカミミガメの組織の DNA が増幅することを確認し、今後の実験に使用する。

#### ・環境 DNA の抽出・増幅

##### (1) 方法

本校生物室で飼育しているアカミミガメの水槽の水サンプルを採取する。採取した水サンプルは、ろ過装置を用いてフィルターろ過をする。フィルターから DNA を抽出する。



図 2 DNA 抽出 Kit と小型遠心分離機

### (2) 結果

電気泳動の結果、図 2 の結果が得られた。水槽の水サンプルで、150bp のところでアカミミガメの環境 DNA の増幅が確認できた。

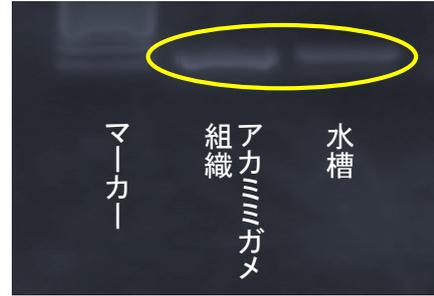


図 3 環境 DNA の増幅結果

### 3. 環境 DNA の抽出・増幅と

#### アカミミガメの生息分布

##### (1) 方法

野外的水サンプルを採取・目視確認する。採取場所は、本校横の水路と三ツ池、峠池、寺田池、狐池、半鐘池、竜ヶ池、新池、前の池、中ノ池、今池の 11 か所とし、それぞれを F01~F11 とする。そのうち目視でアカミミガメの生息を確認できなかった場所は、F09 の 1ヶ所だった（図 4）。その後、ろ過装置を用いてフィルターろ過をする。フィルターから DNA を抽出する。

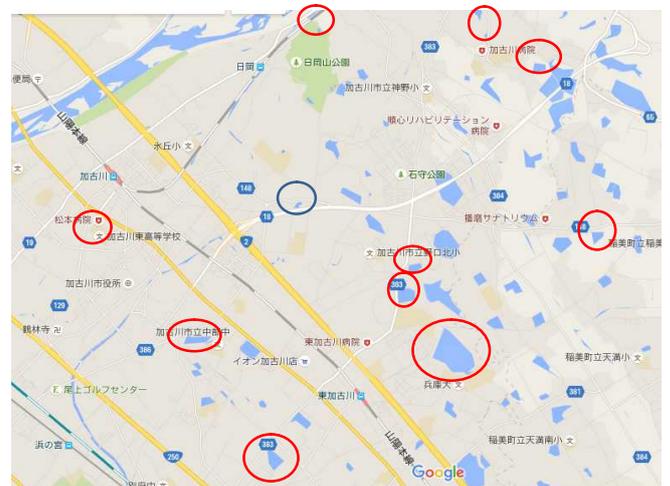


図 4 ため池の水サンプル採取場所

（目視で生息確認した池は赤色）

PCR 試薬は、Taqman Environmental Master Mix 2.0 を使い、新しく採取した池の水サンプルを含む F01~F11 において環境 DNA の PCR 反応を行い、電気泳動により対象種であるアカミミガメの環境 DNA 増幅の有無を確かめる。

また、神戸大学から提供を受け、カメの生息していない神戸大学ビオトープ、ため池 2 か所についても同様に PCR 反応を行った。

## (2) 結果

電気泳動の結果，図5の結果が得られた。

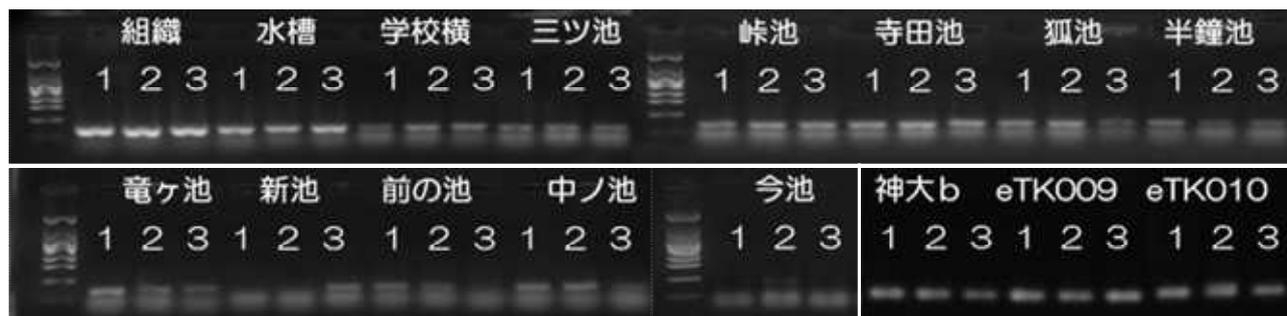


図5 環境 DNA の増幅結果

表1 アカミミガメの目視確認と泳動結果 (目視確認: ◎10匹以上 ○1匹以上10匹未満 ×確認できず)

	F01 学校横	F02 三ツ池	F03 峠池	F04 寺田池	F05 狐池	F06 半鐘池	F07 竜ヶ池	F08 新池	F09 前の池	F10 中ノ池	F11 今池	神大 ビオトープ	eTK 009	eTK 010
目視確認	○	○	○	○	○	◎	◎	○	×	○	○	×	×	×
泳動結果	3	3	3	3	3	3	3	1	2	3	1	0	0	0

目視確認できた池では，環境 DNA の増幅も見られた。神戸大学提供のサンプルは，予定通り DNA の増幅が見られなかった。F09 前の池では，目視確認できていないが DNA の増幅が見られた。

## 4. 考察

野外的な水サンプルで環境 DNA の増幅が確認できたことから，ため池の環境 DNA が検出できたといえる(図5)。環境 DNA が検出できた池では，アカミミガメの生息も確認されている。しかし，前の池は生息が確認できなかったが，環境 DNA が検出された。この池は，蓮が水面を覆っており見通しが悪かった。実際にはカメが生息している可能性が考えられる。その理由は，神戸大学提供のサンプルでは，環境 DNA が検出されなかったからである。以上により，アカミミガメの環境 DNA を検出する調査手法・条件を確立できたと言える。

## 5. 今後の課題・展望

今回の研究では調査手法・条件が確立した。これにより，水を1~2L程度，採取するだけでアカミミガメの生息の有無を調べることができるようになった。今後の課題として，ため池調査の範囲をさらに広げ，アカミミガメの生息の有無を地図上に示し，生息分布を調査する。さらに地域と連携し，外来種であるアカミミガメの駆除や在来種の保全につなげたいと考えている。

本研究開始時には，カメの環境 DNA を用いた調査は前例がなかったが，2015年7月にカナダの研究チームがカメの環境 DNA を用いた調査の論文を発表した<sup>5)</sup>。私たちは，この調査手法が世界各地における在来種のカメの保全に役立つと考えている。

## 【謝辞】

神戸大学大学院特命助教の源利文先生には，本研究のアドバイザーとして環境 DNA の調査手法に関して貴重なアドバイスをいただいた。ここに謝意を表す。

## 【参考文献】

- 1) 環境省 自然環境局要注意外来種リスト  
[http://www.env.go.jp/nature/intro/outline/caution/detail\\_ha.html](http://www.env.go.jp/nature/intro/outline/caution/detail_ha.html)
- 2) Takahara T., Minamoto T., Yamahara H., Doi H., Kawabata Z. (2012) Estimation of fish biomass using environmental DNA. PLOS ONE, 7(4), e35868
- 3) バケツ一杯の水で海洋生物の量や種類を知る JSTnews August 2014 p12-13
- 4) Application of Environmental DNA for Inventory and Monitoring of Aquatic Species (USGS, January 2013; Fact Sheet 2012-3146)
- 5) Christina M. Davy, Anne G. Kidd, Chris C. Wilison (2015) Development and Validation of Environmental DNA (eDNA) Markers for Detection of Freshwater Turtles, PLOS ONE

コケにおけるクマムシの出現要因を探る

県立小野高等学校 生物部  
2年 菊澤美里

### 1. 動機および目的

クマムシは体長が1mmに満たない小動物で、身近にはコケに住んでいる。クマムシの出現要因としてこれまでコケの葉の形状や高さが調査されてきた。しかし実際にクマムシの観察を行う中で、クマムシの出現には上記以外にも要因があると感じた。その要因が分かれば、苦勞が多いクマムシの飼育が容易になり、また、クマムシが蘚類にのみ出現することの理由も解明できるのではと考えている。観察結果や文献調査から、主としてクマムシの食性に注目して仮説を立て、検証を行った。

### 2. クマムシ（緩歩動物門）について

採集したコケから次の3種類のクマムシが観察された。

#### ●オニクマムシ

真クマムシ綱 ハナレツメ目 オニクマムシ科

体長500~1000 $\mu$ mで大型種。日本全国に分布。ワムシや他のクマムシなどを食する、数少ない肉食種である。飼育の際はツボワムシやヒルガタワムシを与えている。

#### ●チョウメイムシ

真クマムシ綱 ヨリヅメ目 チョウメイムシ科

体長200 $\mu$ mの小型種から約700 $\mu$ mに達する大型種まである。日本全国に分布。草食。

#### ●トゲクマムシ

異クマムシ綱 トゲクマムシ目 ヨロイトゲクマムシ科

体長150~450 $\mu$ m。背面にクチクラの肥厚した背甲板がよく発達している。日本の市街地や山地に多く分布している。食性は不明。

### 3. 仮説

4月からの観察と過去の文献から、以下の4つの仮説を立てた。

<仮説1>オニクマムシ（肉食性）はワムシの多いコケに多く出現する。

<仮説2>オニクマムシ（肉食性）はセンチュウの少ないコケに出現する。

<仮説3>出現するクマムシの種類の違いはコケのpHによって生じる。

<仮説4>クマムシが多く出現するコケには特定の成分が多く含まれている。今回はビタミンB12を検証した。

### 4. 仮説の検証

#### ◆材料

小野高校周辺のコケ（蘚類、苔類）

#### ◆方法

##### <仮説1・仮説2>

- ①採取してきたコケを型抜きで抜く。
- ②コケを水切りネットで包んで水に浸す。
- ③試験管の底の水5mLをシャーレに移す。
- ④双眼実体顕微鏡で観察し、各クマムシとセンチュウ、ワムシの個体数を数える。
- ⑤クマムシをスライドガラスに移して光学顕微鏡で観察し、種ごとの個体数を数える。

##### <仮説3><pHの測定>

- ①コケの葉と天然水をマイクロチューブに入れ、マッシャーでコケをすりつぶす。
- ②遠心分離した後、上澄みを取り、pHメーターでpHを測定する。

##### <仮説4><ビタミンB12投与実験>

- ①同じコケから取り出されたオニクマムシ12匹を1匹ずつ寒天培地に移す。
- ②6匹のクマムシにワムシ10匹とビタミンB12水溶液（濃度50 $\mu$ g/417mL）500 $\mu$ lを与える。
- ③対照として、他の6匹にはツボワムシ10匹と天然水500 $\mu$ lを与える。
- ④クマムシの産卵数を記録する。

### 5. 結果

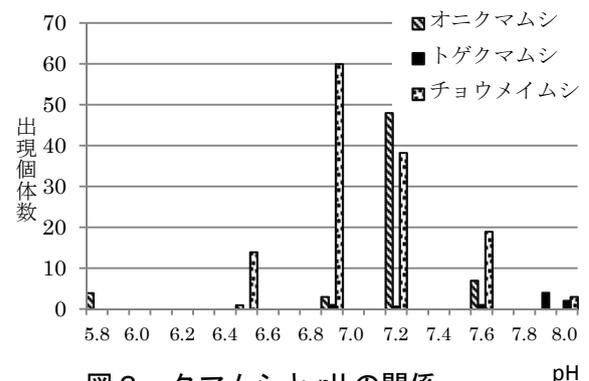
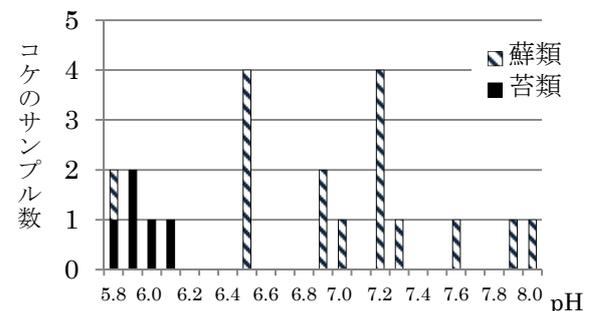


表1 クマムシとワムシ、センチュウの相関

	相関係数
オニクマムシとワムシ類	0.22
オニクマムシとセンチュウ	-0.25
クマムシ合計とワムシ類	-0.07
クマムシ合計とセンチュウ	0.08

表2 コケから見つかった生物の個体数

(No. 29 は 6 回行った観察の平均値)

(No. 42, 44, 45, 46, 47 は苔類)

コケ No	チョウメイムシ	オニクマムシ	トゲクマムシ	クマムシ合計	センチユウ類	ワムシ類
1	24	12		36		
2				0		
3				0		
4		18		18	8	
5		26	3	29		49
6				0		
7		1		1		8
8	3	3	1	6	多	
9				0	2	1
10				0		
11				0	2	5
12		4		4	24	98
13				0	1	180
14	4	1		5		
15	28			28		93
16		12		12		
17				0		14
18	14			14	2	20
19	18	5		23	11	
20	15	2		17	13	4
21				0		
22				0	1	
23				0	2	50
24				0		684
25	1			0	19	60
26				0	1	
27		2		2	5	4
28	2			2	19	23
29	36.3	7	0.3	43.6	13.1	7.6
30	2		1	3	3	8
31	2			2	59	9
32	3		2	5	1	0
33			4	4	10	3
34	19	7	1	27	134	32
35				0		
36				0		
37		41		41	2	35
38				0	7	5
39				0		
40	60	3	1	64	17	27
41				0	12	2
42				0	51	12
43				0	8	2
44				0	25	4
45				0	5	
46				0	3	1
47				0	5	1

●全体の傾向

- ・クマムシが出現したのは藓類のみであった。
- ・チョウメイムシの出現個体数が最も多かった。

●コケから見つかった生物の個体数

結果を表2に示す。オニクマムシの出現とワムシ類、センチユウの個体数には相関がなかった。この傾向は他の種類のクマムシにも当てはまる(表1)。

●pHの測定

- ・藓類はアルカリ性のものが多く、苔類はすべて酸性であった(図1)。
- ・オニクマムシは酸性・アルカリ性どちらのコケにも見られた。一方、チョウメイムシは pH6.9~7.6 のコケに多く、トゲクマムシは pH7.9 で最も多く出現した(図2)。この2種はアルカリ性のコケに多く出現する傾向があり、特にトゲクマムシではこの傾向が顕著である。

6. 仮説の検証・考察

<仮説1>

オニクマムシ(肉食性)とワムシ類の個体数には相関がない。ワムシ以外の餌が豊富にある、今回観察したワムシ類を餌としていないなどが考えられる。また、報告はないが雑食性である可能性もあるかもしれない。

<仮説2>

コケを中心とする生態系において、オニクマムシとセンチユウは食う食われるなど直接の関係がないことが考えられる。

<仮説3>

- ・チョウメイムシ・トゲクマムシの出現には pH が関わっていると考えられる。この2種は草食性で単細胞性の緑藻の他、コケの汁を吸うようであるから、pHの影響を受けるのであろうか。
- ・オニクマムシは肉食性であり、コケを餌にはしていないので、pHに関係なく様々な種類のコケに出現すると考えられる。

<仮説4>

ビタミンを添加したクマムシの方が産卵数が多い傾向があるように見える。現在、実験が継続中であり、今後の検証が必要である。

7. 今後の展望

苔類にクマムシが出現しなかった理由の一つに苔類が酸性であることがありそうだが、その他の要因も含めて、クマムシが苔類に見られない理由を探ってみたい。

8. 参考文献

- ・青木淳一 日本産土壤動物 分類のための図解 検索第二版 東海大学出版部 (2015)
- ・鈴木 忠 クマムシ?! 小さな怪物 岩波書店 (2006)

## 環境 DNA 手法によるカワバタモロコ調査 II

兵庫県立農業高等学校 生物部

2年 久次米響、生月秀幸、本城将真  
岸田周士、喜多山友輔、柳瀬太

### 1. はじめに

昨年の成果は、カワバタモロコの環境 DNA の検出に成功し、新たな生息地も発見することができた。課題は、個体数による DNA 量の変化を検証する実験から得られた回帰式を用いて推定生息数を求めたが、標識再捕法の結果と大きな違いとなった。生息数を把握する手法として確立するために、複数の新たな実験を行って標識再捕法との比較をした。

### 2. 個体数による DNA 量の変化

#### (1) ビオトープでの実験

丸型容器の実験を踏まえて、より多くの水量で実験を行えば正確な結果を得られると考え、校内のビオトープ(2,000L)で実験を行った。

方法は、個体重量を測定して1匹放流し、それぞれ1週間後に2か所で採水、ろ過を行った。その後、9匹を追加して10匹、40匹を追加して50匹とし、1週間後に採水、ろ過を行った。フィルターは冷凍保

存し、大学に送付して DNA 分析を行った。この実験の結果、生体重と DNA 量の相関より回帰式

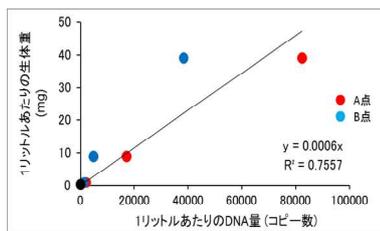


図1 ビオトープ実験の相関図

$y=0.0006x (R^2=0.7557)$  を得た。(図1)

#### (2) 噴水池での実験

さらに大きな場所で実験を行えば正確なデータを得られると考え、校内の噴水池(31,400L)で実験を行った。

移動制限を行うために噴水池の中央にかごを設置し



図2 噴水池での実験

た。(図2)次に、重量を測定したカワバタモロコをかごの中に入れ、1週間後に噴水池の中央から1m、3m、5mの3点、3方向の計9か所から採水を行い、前回の実験と同様にカワバタモロコを投入してDNA分析を行った。この結果、生体重とDNA量の相関より

回帰式

$$y=0.0003x (R^2=0.7409)$$

と検出限界水量

963,352L/匹

を得ることが

できた。(図3)

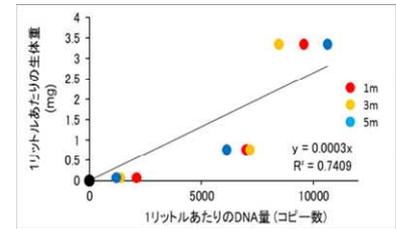


図3 噴水池実験の相関図

### 3. 推定生息数の算出(2014)

この結果、私たちは実験水量を多くすれば自然の池の状態に近くなるため、正確な結果が得られると考えていたが、今回の結果では回帰式の数値が逆に小さくなってしまった。水量の増加に伴って検出されるDNA量が予想よりも多く検出されたために回帰式の数値が小さくなったと考えられる。回帰式から推定生息数を求めても少なくなるばかりで、標識再捕法による生息数とはかけ離れてしまった。

検出されるDNA量はカワバタモロコが放出したDNA量から分解量を引いた数値となることから、水質の違いによってDNA量に変化が生じるのではないかと推測した。各実験での水質が違うので影響はあると考えられる。

### 4. 水質の違いによるDNA検出量の変化

水質の違いでDNAの分解速度が違うと仮説を立て、ため池の水と水道水を用いてDNA検出量の変化を調べる実験を行った。

カワバタモロコが生息していないため池の水を用意し、丸型容器にため池の水を2つ、水道水を2つそれぞれ用意した。次に重量を合わせた5匹をそれぞれの容器に入れて1週間飼育した。1週間後に取り出し、その後は6日間にわたって毎日採水とろ過を繰り返した。

この結果、仮りにDNAの分解速度に違いがあり水道水より池

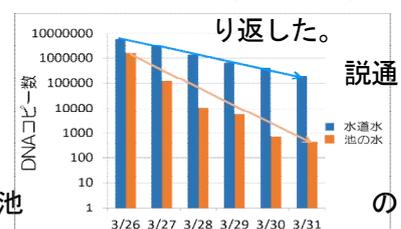


図4 DNA分解速度の違い

水の方が早く分解されることが証明された。(図

4) このことから、噴水池での実験では真冬であったため DNA の分解量が少なかったので多くの DNA が検出されたことが証明された。DNA の分解は微生物や生体外酵素などが要因の一つと考えられる。また、検出できる DNA 量はため池の水の方が水道水より 3.86 倍少ないことが分かった。(図 5)ため池では DNA 量が少なく検出され回帰式の数値が小さくなるため、推定生息数が標識再捕法と比べて少なくなったと考えられる。

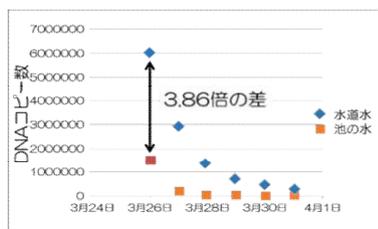


図 5 DNA 検出量の違い

## 5. 推定生息数の比較 (2015)

今年度は、毎年調査を行っている大きなため池 A と新たに調査する小さなため池 B の 2 か所で行った。DNA 分解は生物的作用によって変化することが判明したので、ため池の環境に近いビオトープの結果が最も信用できるデータであると考えた。

### (1) A 池(水量 1, 750, 000L)での推定生息数

A 池 4 箇所で行った採水から検出した DNA 量を、ビオトープで得た回帰式  $y = 0.0006x$  にあてはめた。結果は 4 箇所の推定生息数の平均は 855 匹となった。標識再捕法による推定生息数が 2, 852 匹だったので、1, 997 匹の誤差となった。(表 1) 採水ポイント③での DNA 量が多いのは、その付近に多くのカワバタモロコがいたためだと考えられる。

噴水池での実験で求められた検出限界水量は 963, 352L となり、A 池の水量は検出限界水量を超えているので、大きなため池では数箇所の平均よりも合計を求める方が正確な結果を得られるかもしれないと考えた。4 箇所の合計をすると 3, 420

匹となり、誤差は 568 匹とかなり小さくなった。今後は採水ポイントの数を検討する必要がある。

### (2) B 池(水量 22, 500L)での推定生息数

B 池で採水した水から検出した DNA 量を、A 池で行った方法と同じく、ビオトープの回帰式にあてはめた。結果は 3 箇所の推定生息数の平均が 824 匹となり、標識再捕法との誤差は 434 匹となった。(表 1) 推定生息数の合計は 2, 471 匹となり誤差は 1, 213 匹と大きくなった。

これらのことから、検出限界水量より多い池については池の水量との比率から複数地点から採水し、それらを合計することで実際の生息数に近い値となり、検出限界水量より少ないため池では、各採水ポイントの推定生息数を平均することで、実際の生息数に近くなることが考えられる。また、大きい池より小さい池のほうが、正確に生息数を求められることがわかった。

## 6. まとめ

今回の実験では、水質の違いで DNA 分解量が変化することが判明した。検出限界水量を求めたことにより、環境 DNA 手法の推定生息数が標識再捕法の推定生息数に近くなる可能性がある。今後は池の大きさによって計算する方法を変え、採水場所、採水数を検討することで、カワバタモロコの調査に実用的な技術に仕上げていきたい。

## 7. 参考文献

源利文・福岡有紗・高原輝彦・兵庫県立農業高校生物部(2014) 環境 DNA 手法の希少生物種調査への応用: 兵庫県下のため池におけるカワバタモロコの分布調査. 日本陸水学会第 79 回大会

表 1 推定生息数の比較 (2015)

	採水場所	池の水 1L あたりの DNA 量	池の水 1L あたりの推定生体重 (mg)	池全体の推定生体重 (mg)	池全体の推定生体重 (g)	池全体の推定生息数(匹)	推定生息数の平均	推定生息数の合計
ため池 A	①	297	0.178	312027	312	294	855	3,420
	②	266	0.160	279679	280	264		
	③	2499	1.500	2629190	2629	2480		
	④	385	0.231	405441	405	382		
標識再捕法による推定生息数							2,852	2,852
標識再捕法との誤差(2852-ため池A)							1,997	568
ため池 B	①	36,830	22	497,199	497	469	824	2,471
	②	66,920	40	903,426	903	852		
	③	90,330	54	1,219,458	1,219	1,150		
	標識再捕法による推定生息数							
標識再捕法との誤差(1258-ため池B)							434	1,213

## ヒラタカゲロウ類の住み分けに関する研究 -礫を単位とした住み分け現象の発見-

兵庫県立香寺高等学校 自然科学部  
2年黒田有梨 1年藤原紅葉 松本篤哉

### 1. はじめに

今西錦司著「溪流のヒラタカゲロウ」と可児藤吉著「溪流棲昆虫の生態」を読んで、ヒラタカゲロウ類の住み分けの学習をした。両著ともに記されていない幼虫の成長に伴う生息域の拡大に関して検証する目的で研究を行った結果、礫の上面と下面での住み分けに気づいた。

### 2. 調査地点

調査を行った市川は、兵庫県南西部に位置する流程 75.8km の河川で生野町から南流し、播磨灘に注いでいる(図1)。私達は、市川町沢の中流部右岸側を調査地点に選んだ(図1、図2)。



図1 市川の位置



図2 調査地点

### 3. 研究対象としたヒラタカゲロウ類

3種共に日本に広く分布し、シロタニガワカゲロウ (*Ecdyonurus yoshidae*) [以下、シロタニと記す] は河川の中・下流域の穏やかな流れに生息し、エルモンヒラタカゲロウ (*Epeorus latifolium*) [以下、エルモンと記す] は溪流に広く分布、ウエノヒラタカゲロウ (*Epeorus uenoi*) [以下、ウエノと記す] は、溪流の激流部に生息するとされる(図3、図4、図5)。



図3 シロタニ



図4 エルモン



図5 ウエノ

### 4. 予備調査

2015年5月30日に調査地点の、緩流部、平瀬、早瀬でそれぞれ25cm四方枠内の礫を取り上げて、水生昆虫を採取した。シロタニとエルモンは緩流部、平瀬、早瀬の全地点から出現し、ウエノは緩流部と早瀬から出現した。学習した3種の住み分けは見られなかった。この結果から次の二つの仮説を立てて調査を始めた。

### 5. 仮説

(1) ヒラタカゲロウ類は流れの緩い地点に産卵し、幼虫は成長するにつれて次第に流れの速いところへ移動して行く。

(2) ヒラタカゲロウ類は、流れの速い礫の上面と、緩い礫の下面で住み分けを行っている。

### 6. 調査方法

**河川形態図の作成** 2015年7月28日に調査範囲の河川形態図を作成した。作成した河川形態図を図6に示す。図中の流速データに基づいて、礫を採取する地点を決定した(図中①~⑤)。

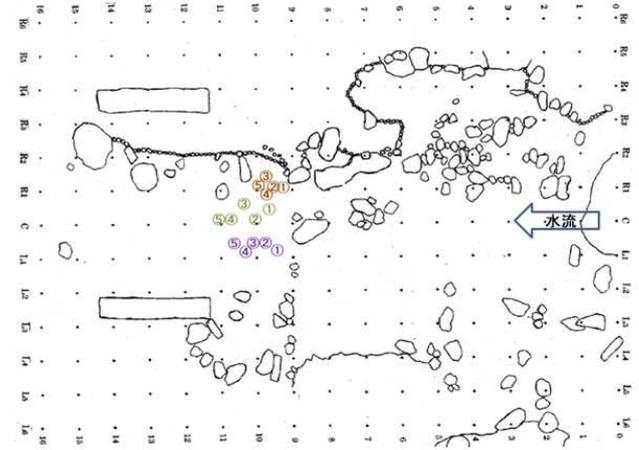


図6 河川形態図

① ⑤は採取した礫(茶色:緩流部、緑:平瀬、紫:早瀬)

**礫上面と下流側河床の流速、水深の測定** 礫を取り上げる前に5つの礫の上面と下流側河床の流速、さらに礫上の流れの表層流速を測定して記録した。

### 礫を単位とした水生昆虫の採集

図6に示した場所から礫を取り上げた。水を入れたバケツを2つ用意し、礫を取り上げると同時に礫の下面をバケツの水に浸けて下面に付着している水生昆虫を水中に放した。礫の下面から水生昆虫が採取されたことを確認した後、礫を他方のバケツに入れて礫上面の水生昆虫を採取した。

**礫に付着する藻類量の測定** 取り上げた礫の上面と下面に5cm四方のゴム板を張り付け、周囲の藻類をブラシで掻き落とした後、残った5cm四方の部分に生育する藻類を濾紙を用いて全てふき取った(図7、図8)

ふき取った濾紙を乾燥させ



図7 礫面の藻類



図8 ふき取った藻類

後質量を測定し、ふき取る前に測定しておいた濾紙の質量を差し引くことによって5cm四方の面積に生育していた藻類の乾燥質量を求めた。

**礫表面積の測定** 取り上げた礫の表面積を測定するために、上面と下面にわけてアルミ箔を張り付けた(図9)。その後、剥がしたアル



図9 アルミ箔と礫

図10 アルミ箔切片

ミ箔を三角形に切り分け、方眼紙に張り付けた(図10)。切片の形を方眼紙に写した後切片を剥がし、方眼数を数えて礫の表面積を求めた。

## 7. 結果と考察

図6に記した緩流部、平瀬、早瀬の礫から採取した藻類の質量を、礫5つ分合計してグラフ化した(図11、図12)。

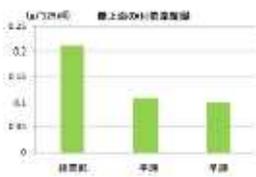


図11 礫上面の付着藻類量

(g/125 cm<sup>2</sup>)

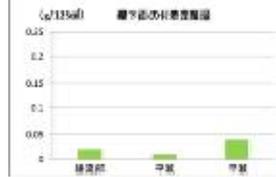


図12 礫下面の付着藻類量

(g/125 cm<sup>2</sup>)

礫上面と下面から採取した水生昆虫の湿重量を、礫の表面積の値を用いて表面積100 cm<sup>2</sup>あたりに生息する水生昆虫の重量に換算し、礫5つ分合計してグラフ化した(図18、図19)。

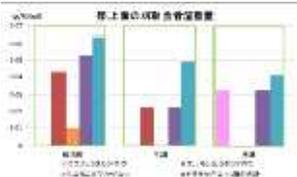


図13 礫上面の刈取食者湿重量

(g/500 cm<sup>2</sup>)

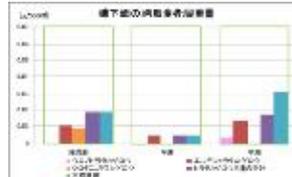


図14 礫下面の刈取食者湿重量

(g/500 cm<sup>2</sup>)

(赤棒: エルモン, 橙棒: シロタニ, 紫棒: ウエノ, 青棒: 刈取食者)

図11~図14を見て、緩流部、平瀬、早瀬の付着藻類量と刈取食者湿重量を比較すると、両者の重量の多少が一致している。付着藻類を摂食する刈取食者は餌資源の量に応じてその場所で生育可能な量だけが生存しているようだ。

### ヒラタカゲロウ類の住み分け

#### ① 浮かび上がった疑問点

取り上げたそれぞれの礫上面の流速、礫下流側河床の流速および礫上の水流表層流速について検討した。それぞれの測定結果をグラフ化して図15~図17に示す(数値が近い結果は、2つの礫の結果が1つの点で示されている)。



図15 流れの表層流速



図16 礫上面の流速

表層流速は、私達が選んだ3地点で重なっていない(図15)。しかし水生昆虫の住み場所である礫上面では緩流部と平瀬で大きく重なってお



図17 河床(礫下流側)の流速

り早瀬においても流速の遅い礫が1つ見出された(図16)。さらに、下流側河床では3地点の流速が大きく重なっており、特に早瀬において流速の遅い礫が多かった(図17)。

これらの結果は、図27に示す小型のプロペラを回転させる流速計によって得られたものである。これらの結果から、私達は、この研究を行う動機となつた今西錦司

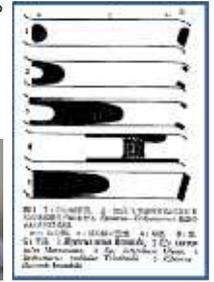


図18 流速計のプロペラ 図19 可児藤吉の住み分けんと可児藤吉さんの研究結果に疑問を持った。図19は、可児藤吉著「溪流棲昆虫の生態学」に示されたヒラタカゲロウ類の住み分け模式図である。この図によれば、ウエノの生息域(図中1)とエルモンの生息域(図中3)、シロタニの生息域(図中4)は重ならず、あたかも川に大きな模様を描くように住み分けしている。図19に示された生息域は図15が示すような流れ表層の流速に基づいて区分されたのではないだろうか。

#### ② 礫を単位としてみた調査結果

礫上面の流速を 8.3cm/sec. ~21.4cm/sec. (該当する礫6個)、33.9cm/sec. ~46.1cm/sec. (該当する礫5個)、62.8cm/sec. 106.0cm/sec. (該当する礫4個)の3つのレンジに区分して、それぞれの礫から出現したヒラタカゲロウ類の個体数を算出し、グラフ化した(図20、図21)。

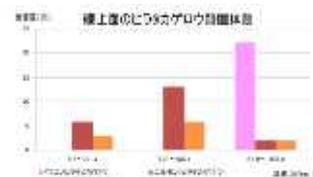


図20 上面のヒラタカゲロウ個体数

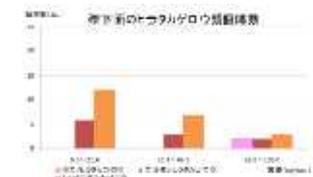


図21 下面のヒラタカゲロウ個体数

図29、図30を見ると、ウエノ(ピンク棒)は流速の速い礫に生息するといえる。一方、エルモン(赤棒)とシロタニ(橙棒)は、流速が緩いところから早いところにかけて広く生息するのである。そして、ウエノが出現しなかった低速域から中速域についてグラフを見ると、礫上面ではエルモンがシロタニの約2倍の個体数生息しているのに対し、下面では逆にシロタニがエルモンの約2倍の個体数生息している。すなわち、礫上面ではエルモンが優占し、下面ではシロタニが優占するのだ。これら2種は、流速ではなく礫の上面と下面で住み分けしていると言えそうである。さらに、高速域では礫の上面に圧倒的にウエノが多いことから、礫の上面がウエノ、下面がエルモンまたはシロタニという住み分けがあると言えそうである。

「アサザ発見！」てホンマか？  
国内移入種問題と有性生殖の新事実

兵庫県立大学附属高等学校 自然科学部 生物班

2年 平嶋祐大 1年 木谷亮太・坂本和駿  
1年 奥藤珠希・久野透子・山田愛子

1. 絶滅危惧種アサザとは

アサザはため池に生育する多年生の水草である。種子をつくるためには2種類の花型、短花柱花と長花柱花の2型が必要である。国内の自生地のほとんどは花型が1型しかないため、国内の自生地で正常に種子繁殖ができるのは霞ヶ浦など限られた場所のみである。

多くの自生地は植被面積が広くても、栄養生殖(ほふく茎)によって増えたクローン個体群であり、国内のアサザの遺伝子多様性は61系統しかないことが報告されている。(上杉・西廣・鷲谷2009)

2. 研究目的

- ① 2014年に生物班の平嶋が相生で発見したアサザ生育地は自然分布か、国内移入か確定する。
- ② アサザが短花柱花のみでも結実し、有性生殖で増殖していることを証明する。

3. 実験の方法と結果

- ① ため池でアサザの結実しているか調べる。結実していれば花型が2型以上あり、クローンとはいえないので自然分布の可能性が高い。
- ② 結実が確認できた場合、短花柱花と長花柱花が存在しているのか調査する。
- ③ 短花柱花だけでも、結実するのか人工交配によって確認する。
- ④ ため池に実生苗は存在するのか調べる。
- ⑤ ため池周辺の農家の人に聞き取り調査を行う。

調査①

目的 ため池でアサザが結実しているかどうかを確認する。

アサザが移入であれば、栄養生殖で増殖したクローンのため、すべての株は同じ花型である。そのため結実することはない。

もし、アサザが結実していれば、複数の花型が存在している。つまり遺伝子型は単一ではなく、自然分布と考えられる。

方法 ため池を10mごとに南北5区画、東西9区画、の45区画(1区画は陸地)にわけ、ボートを使用し、各区画に生育するアサザの第2節めの花序(第2花序)について、結実率を調べた。

第1節めの花序(第1花序)では、正常に受精していても子房の肥大が十分でない場合がある。また第3節めの花序(第3花序)では、正常に受精しなかった花茎がすでに溶けて無くなっているため、

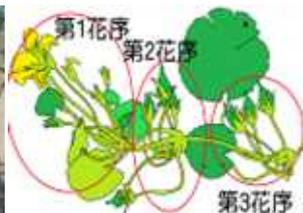


図1 ため池の区画 図2 花序の位置

結実率の調査には利用できない。これらの理由で第2花序を調べた。

結果 ため池の44区画中、22区画で資料を得ることができた。確認した開花後の子房440個のうち、結実が確認されたのは、94個であった。ため池全体の結実率は21.4%であった。

表1 区画別開花・結実数 開花数(下)と結実数(上)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	計	
1	なし	なし	株のみ	株のみ	18 33	3 5	8 19	6 16	なし	35 73	
2	6 21	なし	4 20	1 20	1 21	株のみ	株のみ	なし	株のみ	12 82	
3	4 21	2 19	2 38	3 14	3 29	株のみ	株のみ	なし	株のみ	14 121	
4	2 24	1 20	3 20	4 20	0 7	株のみ	株のみ	株のみ	株のみ	10 91	
5	8 21	6 14	4 18	株のみ	株のみ	株のみ	5 20	株のみ	なし	23 73	
					開花数 440	果実数 94	結実率 21.4%				

考察 開花が確認された区画全域で結実していたこと、また結実率が20%以上と、高い確率で結実していることから、ため池には短花柱花だけでなく、長花柱花が存在していると判断した。

調査②

目的 長花柱花を探す

ため池には、短花柱花だけでなく長花柱花が存在することを確認する。

方法 ボートを使用し、ため池の44区画について調査を行った。開花している花について、長花柱花、短花柱花、等花柱花のいずれであるか確認した。午前中は開花している花を採取し、手にとって確認した。半日花であるアサザは午後から花がしおれるので、午後からの調査では、花卉を取り除き花柱の長さを確認した。

結果

表2 区画別花型数 (短:短花柱花 長:長花柱花 等:等花柱花)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	合計
1	なし	なし	株のみ	株のみ	短長等 9 0 0	短長等 4 0 0	短長等 6 0 0	短長等 6 0 0	なし	25 0 0
2	短長等 3 0 0	株のみ	短長等 1 0 0	短長等 5 0 0	短長等 5 0 0	短長等 5 0 0	株のみ	なし	株のみ	15 0 0
3	短長等 5 0 0	短長等 5 0 0	短長等 5 0 0	短長等 5 0 0	短長等 10 0 0	株のみ	株のみ	なし	株のみ	30 0 0
4	短長等 5 0 0	短長等 5 0 0	短長等 10 0 0	短長等 15 0 0	短長等 5 0 0	株のみ	株のみ	株のみ	株のみ	40 0 0
5	短長等 5 0 0	短長等 4 0 0	短長等 4 0 0	株のみ	株のみ	株のみ	短長等 6 0 0	株のみ	なし	19 0 0
短花柱花 129個 長花柱花 0個 等花柱花 0個										

ため池の44区画で開花の確認できたのは23区画であった。その区画で確認された花型はすべて短花柱花のみであった。

手に取り調べた花の数は129個であるが、目視によって調べた花についても、長花柱花は見つからなかった。

**考察** ため池全体を調査したが、花型はすべて短花柱花であった。従来の研究ではアサザは単一の花型では種子はできないはずであるが、短花柱花のみでも結実が可能であることがわかった。

この事実から、短花柱花しか見られないから、ため池のアサザすべてがクローンであるとはいえない。花柱の長さという形質は同じだが、遺伝子的多様性があり、種子をつくると考えられる。

### 実験③

#### 目的 人工交配で短花柱花のみで結実させる

フィールドの調査では、丹念に長花柱花を捜したが、短花柱花しか見つからなかった。しかし長花柱花を見落としていた可能性もあるので、短花柱花どうしで人工交配を行い、結実するかどうか確認することにした。

**方法** ため池9区画から採集したアサザ(すべて短花柱花)で人工交配し、結実するか確認した。

採集したアサザは採集場所ごとに、富栄養土(ビオトープの底に堆積した有機物の豊富な土)をバケツに入れて挿し木し、発根させた。

開花した花について、他家受粉や自家受粉を行って結実するか確認した。

アサザは半日花のために、交配は昼休みの時間(12:30~13:00)に行った。交配した花は花茎にアクリル毛糸を結び、印をつけた。毛糸の色で花粉親の個体を識別し、結目の数で交配日がわかるように工夫した。

**結果** 27回の交配実験をおこなったが、結実したのは1回(花粉親F1×雌親E3)のみだった。結実率は3.7%であった。

**考察** アサザは短花柱花のみでも結実することが確認できた。しかし、ため池での結実率21.4%に比較して、人工交配の結実率3.7%は予想していた以上に低い結実率であった。人工交配で結実率が低かった原因として以下のような理由が考えられた。

- ① 人工交配した株が遺伝的にクローンまたは近縁だった。
- ② 十分に発根していない時に実験を行った。
- ③ 半日花であるアサザの交配を、開花末期の昼に人工交配を行った。受粉するには時間帯が遅く、柱頭の状態などが悪かった。
- ④ 容器のポリバケツが小さく水の量が少ないため、水の温度が高くなりすぎた。
- ⑤ 移植後、発根や新しい葉の形成など、成長に養分が優先的に使われ、受粉後の胚の成長のための養分が十分でなかった。

⑥ 土の量や栄養分が不十分であった。

### 調査④

#### 目的 ため池でアサザの実生苗を探す

ため池のアサザが種子を形成していることは、これまでの調査から間違いはない。しかし、その種子が発芽成長しているかどうかは不明であった。そこで、ため池で実生苗の存在の有無を調べた。

**方法** アサザの種子は、水中では発芽できない。陸上に漂着した種子が発芽・成長し、増水と共に水中に移動することが知られている。そこで、ため池でアサザの種子が漂着し発芽しやすい場所を探し、そこに実生苗が存在しないか調べた。

**結果** 区画B2とC2には砂州ある。この砂州のC2側の陸と水域の移行帯で多くの実生苗を確認することができた。陸生アサザは葉柄が短く丈夫で葉が斜めに立ち上がっていた。

**考察** 結実した種子は十分に発芽成長することから、このため池のアサザ個体群はクローンのみではなく、有性生殖した個体も含まれる遺伝子多様性をもった個体群であることがわかった。



図7 アサザの実生苗

### 調査⑥

#### 目的 いつ頃からアサザがあったのか

ため池を利用する農家の方に、アサザがいつ頃から生育しているのか聞き取り調査を行った。

**結果** 聞き取り調査の中で、60代男性から相生市の別の場所のため池からの2006年頃に移入したことがわかった。

聞き取り調査のなかで、ため池の管理についても聞いたところ10年前までは冬に水を落としていたそうである。このため、アサザは今よりも未詳で増えやすかったと考えられる。

### 4. まとめ

残念ながら、発見したアサザは自然分布ではなく移入であった。

しかし、調査の過程で、これまでアサザは短花柱花と長花柱花がないと正常に種子が形成されないとされてきたが、短花柱花のみで種子ができることを自然条件下でも、栽培条件下でも可能であることが判明した。

### 5. 参考文献

上杉龍士・西広淳・鷺谷いづみ(2009)日本における絶滅危惧水生植物アサザの個体群の現状と遺伝的多様性, 保全生態学研究14, 13-24

西廣淳・川口浩範・飯島博・藤原宣夫・鷺谷いづみ(2001)霞ヶ浦におけるアサザ個体群の衰退と種子による繁殖の現状, 応用生態工学4(1)39-48

## イソミミズの発光について

兵庫県立洲本高等学校自然科学部  
2年 原 直誉 菊川勇人  
1年 柴田博諄 片平夏生 岩井健人  
田中大智 白水 瞭 多田雄哉

### 1. 動機及び目的

私たち洲本高校自然科学部は、毎年淡路島の生態調査を実施している。その活動の一環として、大阪湾に生息する魚類の調査を行っていた。その時に、釣り餌として使用していたイソミミズが発光するという話を知り、調べることにした。

### 2. イソミミズ(*Pontodrilus litoralis*)とは



【写真1】イソミミズ

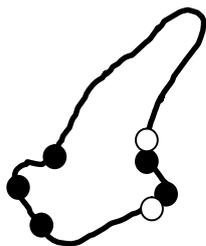
イソミミズは世界に広く分布している。国内においては、一部地域を除き宮城県以南の本州、四国、九州、小笠原諸島などに分布する。

餌としては、堆積した海藻類に由来する砂中の有機物を食べていると考えられている。

また、強い刺激を与えると、発光が確認されると言われている。

### 3. 採集方法と同定

淡路島南部の砂浜や干潟において、2015年の8月10日から10月13日にかけ、イソミミズの採集を行った。採集地点を以下の図中○印で示す。



●採集できた地点  
○採集できなかった地点

【図1】採集地点

ミミズが採集できた地点は、ゴミなどの漂着物や海藻が多く見られる砂浜や干潟であった。これ

らの場所において、波打ち際から少し離れた所を掘って採集した。特に、砂が湿っており、冷たい所で多く見つけることができた。しかし、砂に石が多く混じっている場所や砂の粒子が非常に粗い場所ではあまり見つけることができなかった。



【写真2】砂浜（洲本市海岸通）



【写真3】干潟（洲本市由良町由良）

採集した個体は体色が赤く、実体顕微鏡を用いて体節数を数えたところ、90から120程度であった。また、環帯が第13～17体節で確認できたことや、塩分濃度の高い環境で見つかったことから、採集した個体がイソミミズであると同定した。

イソミミズ30個体をランダムに選び出し、電子天秤で質量を測定したところ、0.07～0.23gであった。また、エタノールで麻酔した後にデジタルポイントノギスを使って測定した体長は、18～55mmであった。

実験に使用するイソミミズは、本校生物準備室において、採集地点の砂に海藻と少量の海水を加えた水槽中で飼育した。飼育中には、イソミミズ同士が団子状に集まる性質が観察できた。

### 4. 発光の確認

イソミミズに強い刺激を与えると、発光が見られると言われている（神田，1938）。暗室において爪楊枝でイソミミズをつついたり、ピンセットでつまんだりして、物理的な刺激を与えてみたが、

発光は確認されなかった。このことにより、かなり強い刺激を与える必要があるとわかった。

その後、暗室でイソミミズをろ紙にはさみ、押しつぶしを行ったところ、ろ紙上に黄緑色の微弱な光がぼうっと現れる様子を観察することができた(写真4)。この光は1分程度継続した。

この現象についての実験中に、イソミミズが黄色の液体を吐き出していたことがあった(写真5)。そのままでは発光を観察できなかったが、この液体をろ紙にとり、暗室でこすり合わせてみたところ、発光が確認できた。



【写真4】発光の様子(中央○内)



【写真5】吐き出された液体

## 5. 実験方法

### 【実験Ⅰ】発光継続時間の測定

暗室において、イソミミズ1匹をろ紙にはさみ、押しつぶしを行い、目視で発光が確認できてから、見られなくなるまでの発光継続時間を計測した。

### 【実験Ⅱ】発光物質の存在する部位

押しつぶしでの発光の観察を行った際、イソミミズの末端部位に強い発光がみられた。そこでイソミミズの体をメスで3等分に切り分け、それぞれ押しつぶして、発光の度合いを確認した。

### 【実験Ⅲ】発光を誘起する刺激の確認

練りカラシや飽和食塩水を使って発光が誘起できる(大場、2013, 2014, 2015)ことを確かめるために、イソミミズに水で溶いたカラシや飽和食塩

水の塗布や漬け置きを行った。

### 【実験Ⅳ】光に対するイソミミズの反応

暗室において、イソミミズの頭部側に向かって一方向から光を当て、どのような反応を示すかを調べた。光源には、白色のライトと黄緑色のケミカルライトを用いた。

## 6. 実験結果のまとめ

【結果Ⅰ】発光継続時間は1分17秒から3分1秒であった。発光が終わった後、さらにろ紙をこすると、再度発光がみられることもあった。個体の大きさと発光継続時間には、あまり関連性は見受けられなかった。

【結果Ⅱ】3つの部位すべてにおいて、発光が観察された。口を含む部位と肛門を含む部位については、それ以外の部位と比べて強い発光が確認できた。この結果とミミズが黄色い液体を吐き出していたことから、発光に関する物質は全身を流れる体腔液中に存在し、強い発光が確認できたのは口や肛門から液が飛び出したためと考えられる。

【結果Ⅲ】今回の検証において、カラシや飽和食塩水では、発光や体腔液の吐き出しを誘起できなかった。偶然ではあるが、叩きつけるなどの強い衝撃を与えることや、エタノールに浸すことにより、体腔液を吐き出すものがみられた。

【結果Ⅳ】どちらの場合においても、イソミミズは強い光に対して負の走光性を示した。しかし、消耗されたケミカルライトなどの微弱な光に対して、向かっていくものもみられた。

## 7. 今後の展望

発光を誘発させる刺激について、特定をすすめていきたい。日本に生息する発光ミミズであるホタルミミズとの比較を行いたい。また、他種の発光ミミズでは、発光にはルシフェリンとルシフェラーゼの反応が関わると言われている。イソミミズの体腔液中に存在すると考えられる、発光に関する物質の抽出を行いたい。

飼育中や実験中においては、イソミミズが自然に発光する様子は観察されなかった。発光することに何らかの意味があるのか、今後も生態の観察を通して調べていきたい。

## 8. 参考文献

(1) “工房”もちやむら

[http://www.cityfujisawa.ne.jp/~at\\_mocha/](http://www.cityfujisawa.ne.jp/~at_mocha/)

(2) 大場 裕一(2013)ホタルの光は、なぞだらけ、くもん出版

(3) 日本産ミミズ大図鑑

<http://japanese-mimizu.jimdo.com/>

「地域連携による神戸層群の化石調査」

兵庫県立東灘高等学校 自然科学同好会  
 3年 福井 孝尚, 2年 川上 恭輝  
 長谷川 弓寿暉, 播磨 可織, 1年 舟引 柁稀

1. 動機及び目的

神戸層群は三田市から神戸市西部、淡路島北部に広がり、植物化石や貝化石が見つかる（神戸市教育委員会 著、神戸層群の化石を掘るより）神戸市を代表する地層ともいえる。市内に土地開発にともない神戸層群が露出している箇所が複数存在し、その活用法について、関係者の方々と連携して考えている。まず、第一段階として化石調査を行い、採取した化石の同定を行った。

2. 方法

平成 27 年 8 月～9 月にかけて神戸層群の露頭調査を行った。地質調査および化石の採取を行い、探索した 6 地点のうち、化石が出土した 2 地点を A 地点と B 地点とした。出土した化石は持ち帰ってクリーニングをし、参考資料と比較して同定した。

3. 結果と考察

露頭は火山灰質の凝灰岩と泥岩で構成されていると考えられ、化石の有無は境界面（写真 2）が存在するかどうかで判断した。2 地点とも境界面の約 10cm 上から化石の存在する層がある。

持ち帰った約 140 個の化石を同定した結果、A 地点で 4 種類（写真 1）、B 地点で 7 種類（写真 2）、合計 11 種類のそれぞれ異なる種類であり、かつ、亜熱帯と温帯、両方の植物化石が出土したことが分かった。このことから、当時の植生、または堆積した時期などが異なっていた可能性がある。「神戸層群は大きな湖に泥や火山灰が堆積することで形成」「亜熱帯から四季の区別する温帯に変わりつつある時期」（神戸市教育委員会 著、神戸の自然シリーズより）とあり、今回の調査もそれに関係する結果となりえる。

A 地点では木炭が多数出土したことから火砕流や火災が起こった可能性がある。B 地点では丸まった葉の化石も多数出土したことから、葉が水中に沈んだ後、間もなく灰に埋もれた可能性がある。

また、6 地点のうち 4 地点からは化石は確認できなかったことから、神戸層群であればどこでも化石が出土するのではないこともわかった。

B 地点 標高約 194m 幹線道路から約 129m



AB 間距離 約 1.7km



写真 1 A 地点 用水路近く 腰の高さより出土 葉の化石の色は薄い茶色～茶色



木炭（多数）



木炭（多数）



トクサ



トクサ, 茎



マツ科



バラ属



A 地点 標高約 222m, 道路からの距離約 25m



写真2 B地点 川沿い 化石は濃い茶色～黒色  
幅約10mにわたって境界線が確認できる



クヌギ (多数出土)



ヤベフウ (多数出土)



ヤベフウの実



丸まったヤベフウの葉



マンサク科



カエデ属の翼果



ツツジ属



亜炭



アベマキ



化石が露頭に露出



びっしりと詰まった化石



#### 4. 反省と課題

「出土する化石から植物がどのような進化のコースを経て、現在の植物群つくようになったかという植物進化の研究に役立つ」（神戸市教育委員会 著、神戸の自然シリーズより）にあるように、今回の結果からも当時の植物相を推測したい。

厚さ数mにわたる凝灰岩の火山灰の由来についても今後の研究課題としたい。

懸念として、化石調査ができる場所が年々減少していることにある。一般市民がより身近に神戸層群や化石などに親しめる場所や機会が増えたらと感じている。継続的に調査ができる環境を作れたらと願っている。

化石や地層についての経験が少ない中、大学や企業、地域の方々による助言や同行により、調査を進めることができたことで多くの学びがあった。今後も良い関係を築いていくとともに神戸層群の資源活用について関係者と協議しアイデアを出し合い、さらなる調査と活用法を模索していきたい。

#### 参考文献

- 1) 神戸市教育委員会 著、○神戸の自然シリーズ
- 2) 高岡得太郎 著、○身近な樹木たち、○神戸新聞総合出版センター
- 3) 掘 治三朗著、○神戸の植物化石、○神戸新聞出版センター
- 4) Google MAP

## 海外製ペットボトルはどこから来たのか

兵庫県立神戸商業高等学校 理科研究部  
2年 船引大世, 二宮夏来, 鍋島準弥, 松原郁弥,  
前田承香, 足立奈央, 佐藤みづき

### 1. 動機及び目的

神戸商業高校理科研究部では、2013年から学校から2kmの距離にある西舞子海岸で海岸漂着物調査を行っている。そして、調査をする中で海外からの漂着物があることがわかった。現在、海外製のペットボトルに焦点を絞り、「どこから」、「どのようにして」流れ着いたのかを調べている。

### 2. 方法

学校から直線距離で2km、神戸市垂水区西舞子1丁目地先にある西舞子海岸の200mの範囲で調査を行った。西舞子海岸は、明石海峡大橋のすぐ西にある、沖には遮る構造物がない砂浜である。2013年6月から毎月1回、30分ほどかけて海岸を散策し、どのようなものが流れつくか継続的に調査した。2013年9月からはペットボトルはすべて拾い集め学校に持ち帰り、ボトルに記載された日付と生産地を記録した。

また、西舞子海岸に流れ着くまでの漂流ルートを推定するデータを得るため、兵庫県豊岡市竹野、たつの市室津、姫路市家島、淡路市大磯、南あわじ市阿万、岡山県玉野市洪川、和歌山市磯の浦、白浜、愛媛県伊予市森、修学旅行で訪れた沖縄県八重山諸島小浜島でもペットボトルを収集した。

### 3. 結果と考察

#### ①海外製の漂着物について

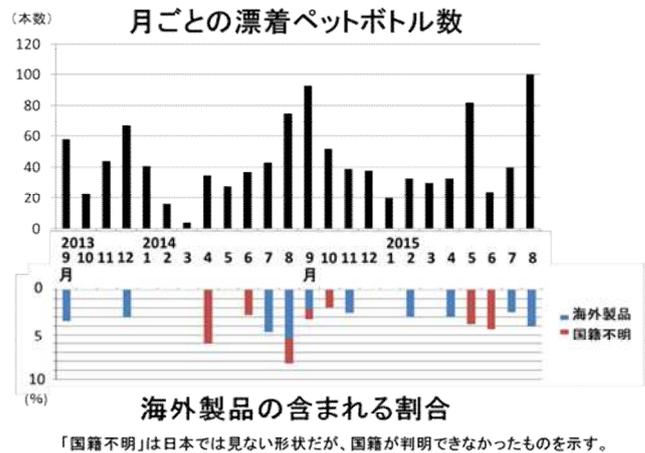
2013年6月から2015年8月に西舞子海岸に漂着した海外製ペットボトルは次の20種類、34本であった。中国製が最も多い12種類26本、他に



韓国製2種類、台湾製5種類、マレーシア製も1種類あった。

#### ②漂着物ペットボトルの季節的变化

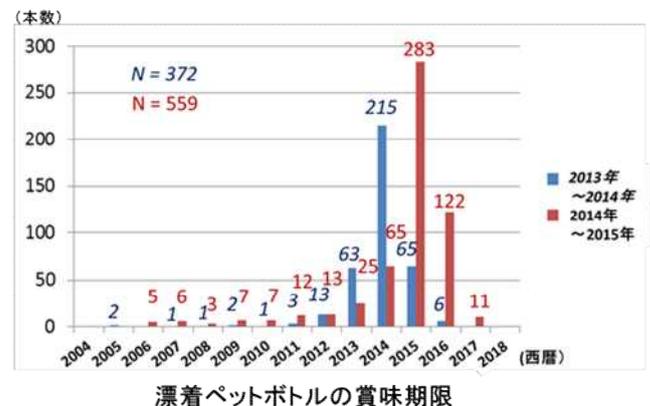
これまでの調査における月ごとの収集本数とそれに含まれる海外製品の割合を表に示した。8月、9月にピークを示し、冬場は少ないことがわかった。また、海外製品についても夏から秋に多く流れ着いていた。



これは夏場に飲み物の消費量が多いこと、海外製品については秋に黒潮が高知県沖に接岸し冬に離岸することと関係すると考えられる。

#### ③ペットボトルの漂流期間

2013年9月～2014年8月、2014年9月～2015年8月に西舞子に漂着した日本製ペットボトルに記載された賞味期限の西暦年だけを用いてグラフを作成した。その結果、それぞれ2014年、2015年にピークを示した。ペットボトル飲料の賞味期限が製造日から1年程度とすると、近年捨てられたものがほとんどであることがわかった。



日付を読み取ることができた海外製ペットボトル27本の賞味期限は、すべて2013年～2015年であり、これらも近年捨てられたものであった。海外製品といえども、日本製のものと同様にそれほど変わらない期間で漂着するといえる。

④海外製ペットボトルの漂流ルート

瀬戸内海を中心とした9地点で収集したペットボトルの生産国を次の図に示す。瀬戸内海の大坂湾側（赤の囲み）では、どの地点からも海外製ペットボトルが見つかったが、播磨灘側（青の囲み）ではほとんど見つからなかった。



瀬戸内海の漂着ペットボトルの生産国

国名は生産国、数値は本数、日付は調査日を示す。

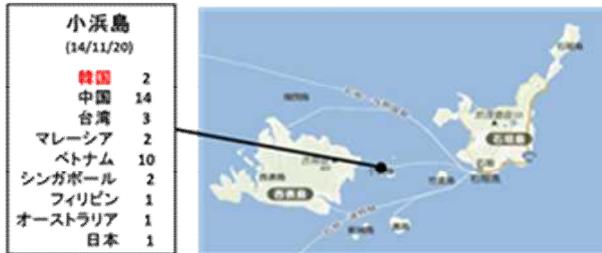
この結果から、西舞子で見つかった海外製ペットボトルは紀伊水道を通り大坂湾側から流れ着いたと推定した。

では、韓国製品はどうやって西舞子に流れ着いたのだろうか。日本海側では多くの韓国製ペットボトルが対馬暖流によって流れ着いた。この海外製品が関門海峡を通り、西舞子にたどり着くとしたら、伊予灘、播磨灘では多くの韓国製品が見つかるはずである。しかし、播磨灘、伊予灘では海外製品は中国製のみしか見つからない。



日本海側の漂着ペットボトルの生産国  
国名は生産国、数値は本数、日付は調査日を示す。

八重山諸島小浜島の漂着ペットボトルはほとんどが海外製であったが、その中に韓国製品がみつ



小浜島の漂着ペットボトルの生産国

国名は生産国、数値は本数、日付は調査日を示す。

かった。このことから、韓国製品は中国の沿岸を一旦南下し、黒潮に乗っても日本に運ばれると推測した。紀淡海峡の内側の大磯海岸と外側の白浜でも韓国製品が見つかることがそれを裏付けている。

以上の結果をまとめると次のような漂流ルートが推定される。



海外製品の漂流ルートの推定

赤丸と地名はペットボトルの製造地を示す。

つまり、マレーシア、台湾、中国南部からは直接黒潮に、中国北東部と韓国からは東シナ海を一旦南下してから黒潮に乗って紀伊水道を通り西舞子に流れ着くのである。

4. 反省と課題

北太平洋の中央付近には、北太平洋還流の内側に閉じ込められた「太平洋ゴミベルト」と呼ばれる莫大な量の高ゴミが集中した場所がある。海ゴミは世界に広く影響を及ぼす問題で、日本でも海岸漂着物に対する法整備を含めた対策が進められており、海外から日本に流れ着くペットボトルについても環境省により調査報告されている。

しかし、瀬戸内海でのペットボトルの調査は行われていない。藤枝ら(2010)は、瀬戸内海の高ゴミのうち53%が外海へと流出していると報告している。西舞子で収集したペットボトルに古いものがないのは外海へと流出しているからなのかもしれない。中国大陸で捨てられたペットボトルが瀬戸内海にまで入り込んでいることを考えると、日本で発生したペットボトルを含む高ゴミが太平洋の予期せぬ場所にたどり着いていてもおかしくない。私たちが捨てたものがどこに流れていくのかを含め、今後も継続して調査していきたい。

参考文献

- ・漂着物学会 HP, <http://drift-japan.net>
- ・環境省 HP, [www.env.go.jp/press/files/jp/27307.pdf](http://www.env.go.jp/press/files/jp/27307.pdf)
- ・環日本海環境協力センターHP, [www.npec.or.jp](http://www.npec.or.jp)
- ・第六管区海上保安本部 警備救難部環境防災課 漂着ごみ分類調査 2004年
- ・藤枝繁・星加章・橋本英資・佐々倉諭・清水孝則・奥村誠崇(2010), 瀬戸内海における海洋ゴミの収支, 沿岸域学会誌, Vol. 22 No. 4, 17-29.

## 小惑星の自転周期の決定

兵庫県立三田祥雲館高等学校 天文部

2年 大前侑哉, 戎大地, 川野実佳, 神田知哉,  
鷹野友輝

### 1. 動機及び目的

私たちは昨年度、学校名がつけられた小惑星 Sandashoukan を測光観測し、自転周期を求めることに成功した。その後も、習得した観測・解析技術を活かし小惑星の測光観測に取り組み、自転周期を求めてきた。観測対象として、今年度は“兵庫にまつわる名前”のついた小惑星を中心に観測天体を選んだ。

### 2. 観測

#### 2-1 観測対象の選択

兵庫にまつわる名前が付けられた小惑星については、地名、人名、名物にちなむものなど多数ある。この中から光度が15等より明るくなるもの、赤緯が大きくできるだけ日本から長時間観測が可能なものに絞り選択した。私たちが観測したのは(4375)Kiyomori, (3686)Antoku, (107)Camilla, (3998)Tezuka, (1556)Icarus, (10399)Nishiharimaである。Nishiharima 以外の小惑星の自転周期は既知のものであるが、他の天体との衝突やYORP効果によって、自転周期が変化する小惑星もあるので、継続して観測することには意義がある。

#### 2-2 観測日時

小惑星	観測期間	観測日数	画像数
Kiyomori	4/22-4/27	4日	418
Camilla	5/29-6/6	3日	296
Antoku	5/31-6/7	2日	275
Icarus	6/19-6/22	3日	405
Tezuka	8/17-9/4	3日	236
Nishiharima	8/22-9/22	7日	450

夏季は黄道の南緯が低いため、北半球からは長時間の観測ができなかった。そのためオーストラリアの望遠鏡を使用した。Nishiharima は自転周期が未知のため、特に長期間の観測時間をとった。

#### 2-3 観測場所及び機器

①30 cm F5 反射望遠鏡 冷却 CCD ST9XE

場所 学校 兵庫県三田市学園1-1

②60 cm F12 カセグレイン望遠鏡

冷却 CCD STL-1001E

場所 西はりま天文台公園 (佐用町)

③インターネット望遠鏡 (iTelescope.com)

40~50 cm カセグレイン望遠鏡

冷却 CCD FLI ProLine PL4710等

場所 オーストラリア、スペイン、アメリカ

### 2-4 観測方法

1枚につき3分露出で、できるだけ長い時間、撮像を続ける。

### 3. 解析

#### 3-1 測光

全ての画像はダーク補正及びフラット補正の画像一次処理を行う。測光処理ソフト Makali' によって小惑星からの光量を求める。冷却 CCD カメラでは光量を光子のカウント数によって示している。得られたカウントを基にポグソンの式によって小惑星の等級  $m$  を求める。

ポグソンの式

$$m = n - 2.5 \log_{10} \left( \frac{I_m}{I_n} \right)$$

ただし、 $n$ : 基準星の等級、 $I_m$ : 小惑星のカウント数、及び  $I_n$ : 基準星のカウント数である。

測光の際の留意点

- (1) 基準星は小惑星よりも明るい星を選ぶ。  
→ 明るい星は高い S/N 比があるため。
- (2) 基準星には、極力他の日時の観測の視野にも写っている星を選ぶ  
→ できるだけ共通した基準星で測光するため。
- (3) 流れた画像や、小惑星と恒星が重なった画像は測光しない。→ 正しい測光結果が出ないため。

測光結果をつなぎ合わせ光度変化のグラフ (ライトカーブ) を作る。

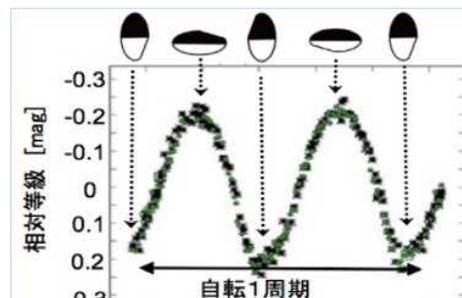
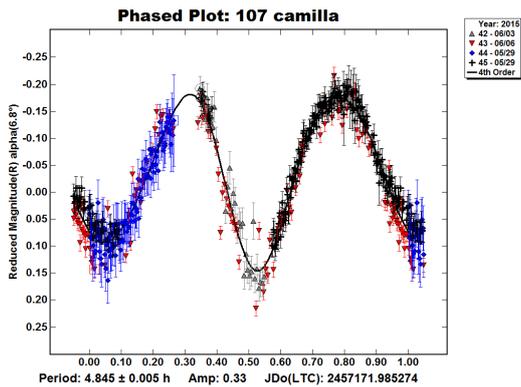


図1 小惑星の1自転周期を示すライトカーブ  
楕円体の小惑星が1自転すると山2回、谷2回の光度変化曲線 (ライトカーブ) を描く

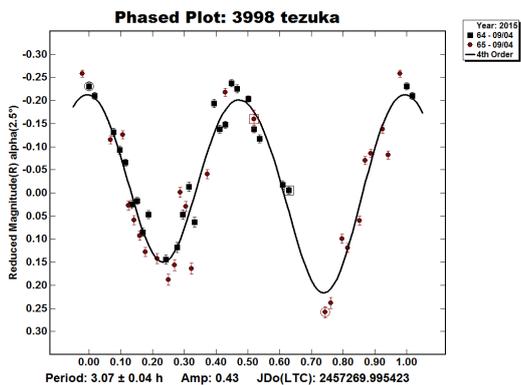
#### 3-2 自転周期の決定

一般に小惑星は楕円体の形をしているため、一回転すると最大値2回、最小値2回の図1のような曲線になる。実験により、ライトカーブは位相角の影響をうけることが分かったので、できるだけ近い位相角の観測データを用いることにした。ライトカーブの形より、大まかな自転周期を推測し、最終的にはフーリエ解析を行い、自転周期を決定する。フーリエ解析は測光・自転周期解析ソフト MPO Canopus を用いた。

(a) (107) Camilla



(b) (3998) Tezuka



(c) (10399) Nishiharima

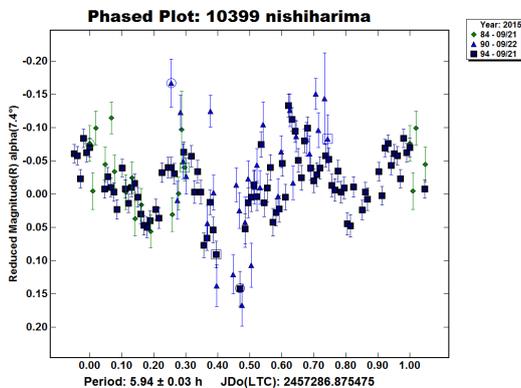


図2 各小惑星の自転周期

各図とも、横軸は自転位相、縦軸は光度変化を示し上に行くほど明るい。Camilla、Tezukaは既に求められている自転周期と同じであり変化は見られない。Nishiharimaについては現在解析中であり、今後、結果は変動する可能性がある。

#### 4. 結果

私たちの観測より、自転周期の決定に至ったのはCamilla、Tezuka、Nishiharimaである。図2にライトカーブと共に求めた自転周期を示している。各小惑星の自転周期はCamilla 4.845時間、Tezuka 3.07時間そしてNishiharima 5.94時間であった。

#### 5. 考察

図2(a) (107) Camilla

過去、多くの測光観測が行われており、自転周期はおおむね4.844時間と算出されている結果が多く、今回の私たちの結果も、これと同程度と結論でき、この小惑星の自転周期は一定していると言える。なお、私たちの結果はMinor Planet Bulletin Vol42-4 (2015年9月発行)に投稿し、査読を経て掲載された。

図2(b) (3998) Tezuka

この小惑星についても過去に1件の観測報告があり、自転周期は3.078時間と算出されている。大きな変動はないが自転周期の誤差を考慮しても今回の結果はやや自転が速まっている可能性がある。他の観測者との比較をする必要がある。

図2(c) (10399) Nishiharima

Nishiharimaは自転周期が現在解析中であり、5~7時間の周期を持つことは間違いないが、最終的な結果を出すには、もう少し詳しい解析が必要である。最終的な結論が出次第、Tezukaと共にこの結果についてもMinor Planet Bulletinに報告し、レフリーの判断を仰ぐ予定である。

#### 6. まとめと課題

兵庫にまつわる小惑星を中心に測光観測を行いCamilla、Tezuka、Nishiharimaの3つの小惑星について自転周期を求めることができた。今後も継続しより多くの小惑星の自転周期を求めていきたい。特に2016年1月には再び、sandashoukanが衝を迎え観測好機となる。世界中の観測者に呼びかけ、長時間可能な観測体制を整え、より正確な自転周期を求めたい。

#### 謝辞

Minor Planet Bulletin編集長W.D.Brianさんには大変有益なご助言を頂きました。御礼申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 塩田観測所  
<http://stelo.sakura.ne.jp/mp/index.htm>
- [2] Minor Planet Bulletin  
<http://www.minorplanet.info/mpdownloads.htm>
- [3] JPL Small Body Database Browser  
<http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>
- [4] フーリエの冒険  
 トランスナショナル カレッジ オブ レックス 編  
 ヒッポファミリークラブ 刊 2013年

# 花崗岩の風化が及ぼす土砂災害への影響

兵庫県立加古川東高等学校地学部真砂土班

2年 福森悠真 辻典幸 中林真梨萌 長谷川夏海  
 福田幸音 山本瑛介

1年 岩本南美 田村笙 田島晴香 東森碧月

## 1. 動機と目的

平成26年8月、局地的豪雨により広島市で大規模な土砂災害が起こった。この要因のひとつとして花崗岩が風化して出来た「真砂土」が挙げられる。また、平成23年に台風の影響で土砂災害が発生した加古川市にある大藤山も花崗岩体であったことから、私たちはこの土砂災害においても真砂土が関係しているのではないかと考えた。そこで文献調査を行い、過去三年間に全国各地で起こった土砂災害を調べ、傾斜別(図1)、降水量別(図2)、地質別(図3)で比較した。傾斜別に調べた結果、花崗岩体による土砂災害はどの傾斜でも起こると分かった。また降水量別に調べた結果、降水量が100mmから300mmの間で起こった土砂災害は花崗岩体のものが多いということが分かった。地質別に調べた結果、花崗岩の岩石分布面積は全国の約10%ほどだが、図3から分かるように土砂災害発生件数は一番多いということが分かった。

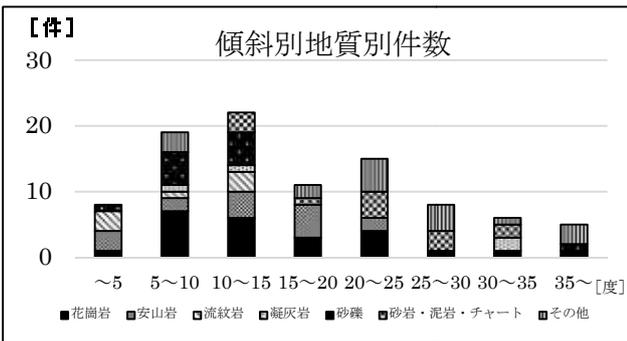


図1 傾斜別地質別件数

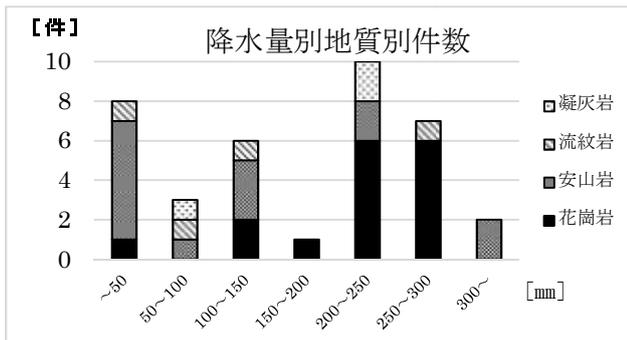


図2 降水量別地質別件数

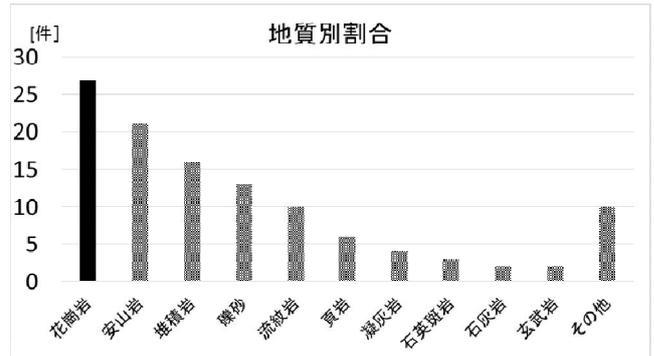


図3 地質別発生件数

このことから、花崗岩体は土砂災害が起こりやすいといえる。また、大藤山の隣山である凝灰岩体の高御位山(図5)では過去に大規模な土砂災害が発生していないことが分かった。そこで、花崗岩が風化することによって地質に与える影響を調べることを目的に花崗岩の大藤山と凝灰岩の高御位山の露頭調査(図4, 5)等



図4 露頭調査



図5 調査場所

## 2. 実験方法

### ① 花崗岩の加熱実験

火砕流の熱による物理的風化の影響を調べるため、比較的新鮮な花崗岩を電気炉を使って1回あたり4時間600度で加熱し、加熱無し・1回加熱・2回加熱したものを肉眼観察と薄片を偏光顕微鏡で観察した。

### ② 花崗岩、凝灰岩、流紋岩の吸水性の実験

岩体の上に水がたまることで表層に堆積している土砂が流れやすくなると考え、岩体の種類の違いによる吸水性を比較するため実験をした。

まず、花崗岩、凝灰岩、流紋岩の3つの岩石で、それぞれ風化が進行しているものとあまり風化が進行していないものを選び、水を入れたバケツに30時間浸け吸水させた。そして、吸水前と吸水後の質量を測り、そこから吸水率を以下の式を用いて算出し比較した。

$$\text{＜吸水後の質量[g] ÷ 吸水前の質量[g] × 100＞}$$

### ③大藤山と高御位山の砂の透水性の実験

また、土砂の透水性が高いほうが岩体と土砂の間に水がたまりやすくなると考え、大藤山の土砂と高御位山の土砂の透水率を比較した。

まず、作成した透水装置に土砂を一定体積入れ、水を満たし1時間放置した。その後、土砂の部分を通じた水の質量を測り、比較した。

### ④大藤山と高御位山の粒度比較

土砂の粒度の違いが透水性の差異に与える影響を調べるため、大藤山と高御位山の土砂を粒度別に5段階に分け、質量と体積を比較した。

均粒度はほぼ同じであり、大藤山の土砂をポイント別にしてもあまり大きな差は見られなかった。このことから、粒度のみによって透水性が決まるわけではないと考えられる。

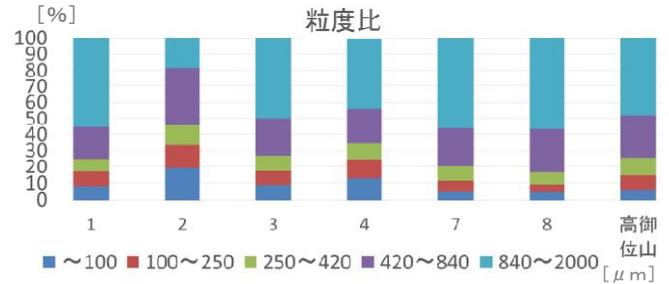


図8 粒度比較

## 3. 結果と考察

①肉眼観察の結果、立方体に切った岩石の中央部が膨張し、全体的に赤く変化した。また、複数回加熱をした岩石は、よりもろくなっていた。

薄片観察の結果、2回加熱したものの薄片には石英と石英の間に隙間が見られた(図6)。また、長石類が変質した形跡が見られ、黒雲母が緑泥化していた。

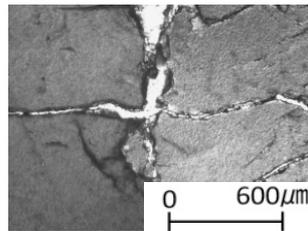


図6 2回加熱の花崗岩薄片

②花崗岩が最も吸水率が低く、風化後の岩石においても最も吸水率が低くなっている(図7)。このことにより、花崗岩体は岩体表面に水が溜まりやすいといえる。

	花崗岩	凝灰岩	流紋岩
吸水率[%]	fresh 0.1	2.5	1.3
	old 0.4	2.3	2.1

図7 吸水性の比較

③二つの土砂の透水性を比較したところ、平均値はやや大藤山の土砂が上回っていたが、ほとんど差はなく、また、実験日より大きく結果が異なった。さらに、大藤山で採取した土砂の、採取ポイント別の透水性を測定したところ、ポイントによっても大きな差がみられた。このことから、透水性には様々な要因が影響しており、数値のばらつきを抑えるにはその要因を明らかにすべきであると考えた。

④図8の5段階に分けてみると、二つの土砂の平

## 4. 今後の課題

大藤山、高御位山の土砂がどのような鉱物で構成されており、またその鉱物によって、透水性にどのような影響が現れるのかを調べる。

透水性の装置の問題点を改良し、透水係数を測定する。また、実際の露頭地点の砂の構造を維持したままの透水性実験を行う。

砂の薄片を作成し、風化鉱物の観察を行い、風化進行度合いを調べる。

岩石が化学風化する際、岩石から  $Ca^{2+}$  溶け出すことから、大藤山の湧水のカルシウム硬度を測定し、風化進行度合いの測定を行う。

加古川市危機管理室や六甲砂防事務所と連携を取り、加古川市のハザードマップへの加筆を目指す。

## 参考文献

- 1) 尾崎正紀・原山智著、高砂地域の地質、独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター(2003)
- 2) 浦部和順・小坂文予・山田久夫、“黒雲母より風化変質によって生成したパーミキュライトの加熱による相変化”(1970)
- 3) 高橋祐平、2014年8月20日広島における土砂災害、特に地質要因
- 4) 黒田吉益・諏訪兼位、偏光顕微鏡と岩石鉱物(2010)
- 5) 国土交通省 国土保全局砂防部、“土砂災害発生時刻”
- 6) 気象庁 気象データ AppleMaps、“地質図Navi”

白亜紀後期の兵庫県中南部の形成過程（第2報）

兵庫県立西脇高等学校 地学部

3年：吉良洋美 2年：臼井滉平・竹本周・田中愛子・福島茄奈・北條健太 1年：石井紗智・大城戸琢生・岡本恒輝・奥田真奈・久保宏斗・戸田亮河・斎藤龍生・坂本光太・篠田睦生・田中朱音・中橋徹・西村和真・藤本未来・村上智

1. はじめに

筆者らの中には、本校周辺地域に毎年起こる加古川の水害で浸水被害を受けた部員が複数いる。昨年度、水害の原因を明らかにするために、東西20km、南北18kmにわたる西脇地域の地質調査を行い、85試料を採取して分析し、詳細な地質図を作成して兵庫県南部の形成過程を考察した（兵庫県立西脇高等学校地学部, 2014）。西脇市の洪水の原因となっている岩石分布を明らかにし、地域行政と共同で地域の防災に役立っている。

その後も継続して研究を続けていた筆者らは、凝灰岩の包有岩片を観察していて、昨年度発表した考察の誤りに気づいた。そこで、兵庫県を南北方向に日本海から瀬戸内海まで縦断して地質調査を行い、試料を採取して観察するほか、すべての鉱物組成、帯磁率、化学組成の分析を行った。

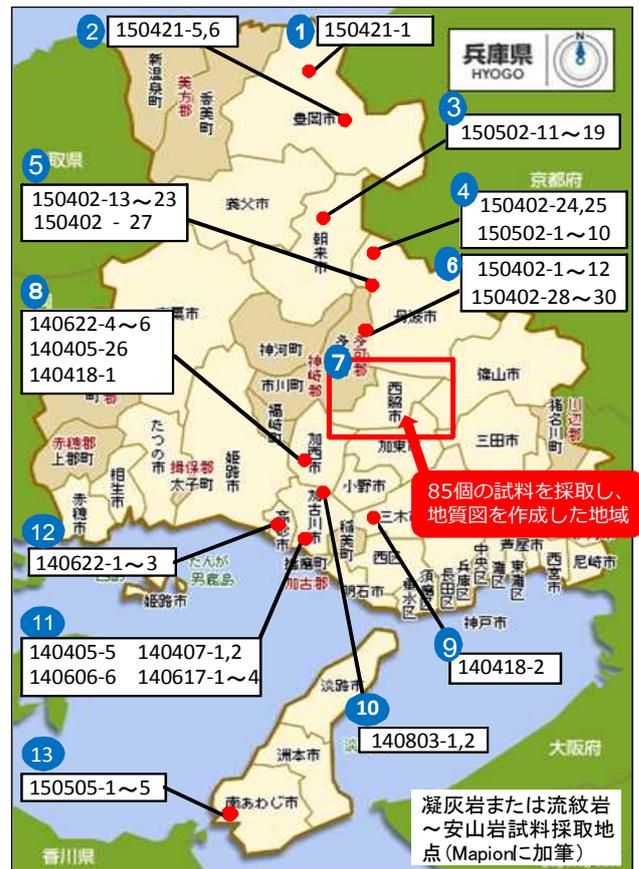
2. 昨年の成果に疑問をもった「きっかけ」

あらためて露頭に足を運びよく観察すると、加西市を境にして、南から北へ流紋岩から石英安山岩へ基質や包有岩片が次第に変化することに気づいた。これまで流紋岩質凝灰岩に流紋岩片が包有されるのみだと考えて噴火1回のモデルを作成していたが、この事実は、基質と岩片は別の起源で、複数回のマグマ活動があったことを示唆していた。

そこで、改めて研究を始めた。①兵庫県を160kmにわたって南北に縦断して露頭調査を行い、兵庫県中南部の形成過程を考察し直す。②146個すべての試料の薄片を作成して偏光顕微鏡で観察し、モード組成、帯磁率、化学組成分析を行う。兵庫県に広く分布する凝灰岩は、地域ごとに個性的な特徴があり、指標として調査をすることで白亜紀後期の兵庫県中南部の形成過程を推定できる。

3. 露頭調査と岩石記載

図中⑦は昨年度の研究で報告した地域である。今回の研究地域では、④～⑤丹波市と⑥西脇市黒田庄町が凝灰岩の性質が大きく変化する重要な地域である。凝灰岩のモード組成、帯磁率、化学組成は地域ごとにばらつきがみられるほか、同じ地域内でもばらつきがみられる。とくに、これまで単一のマグマ活動で形成されたと考えていた兵庫



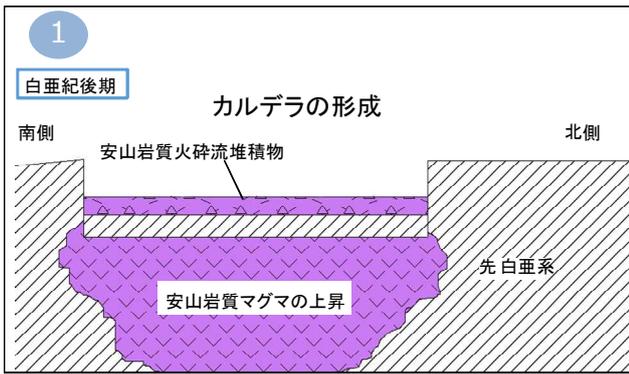
試料採取地点	泥岩片	包有岩片	岩相	溶結
1 豊岡市赤石	×	石英安山岩片	安山岩～玄武岩	×
2 豊岡市出石町	○	石英安山岩片	安山岩	×
3 朝来市和田山町	○	石英安山岩片	安山岩	強
4 丹波市青垣町	×	石英安山岩片	安山岩	強
5 丹波市山南町一氷上町	○	石英安山岩片	流紋岩～安山岩	強
6 西脇市黒田庄町	○	石英安山岩片	流紋岩	強
7 西脇市野村町	○	流紋岩～石英安山岩片	流紋岩	強
8 加西市北条町	○	流紋岩～石英安山岩片	流紋岩	弱
9 三木市鳥町	○	流紋岩片	流紋岩	弱
10 加古川市東神吉町	○	流紋岩片	流紋岩	×
11 加古川市加古川町	○	流紋岩片	流紋岩	×
12 高砂市米田町	○	流紋岩片	流紋岩	×
13 南あわじ市南淡町	○	流紋岩片	流紋岩	×

県中南部に広く分布する凝灰岩でばらついていることは注目すべきである。

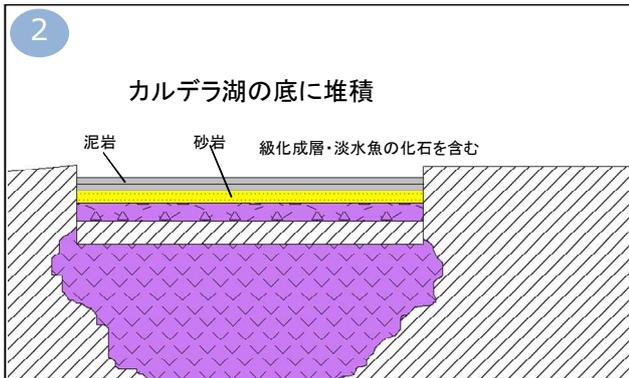
4. 兵庫県中南部の白亜紀後期の形成過程

(本校を通り兵庫県を南北に縦断する断面図)

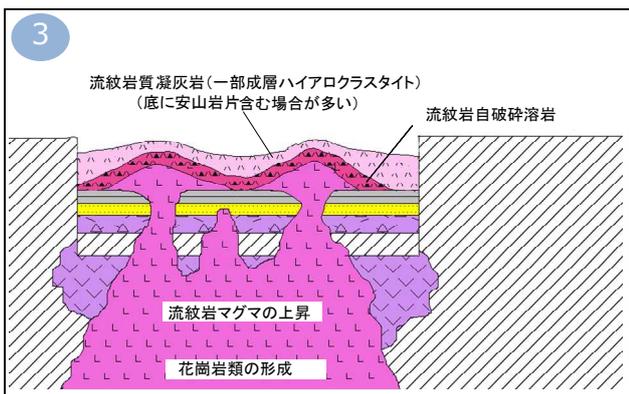
①白亜紀後期に石英安山岩マグマが兵庫県南部に上昇、火砕流が大量に流れ出しカルデラ湖を形成。カルデラ湖の北端は現在の西脇市野村町にある。境界部には断層が多くみられる。その後、湖底に石英安山岩質の火砕流堆積物が堆積した。



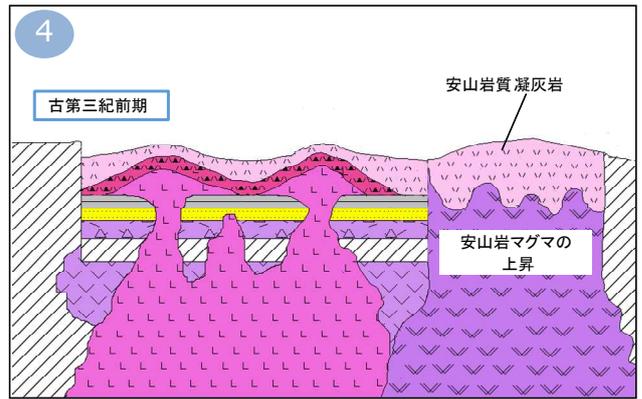
②水底に砂岩泥岩互層が堆積する。砂岩—泥岩は淡水魚の化石を含んでおり、また級化成層を呈するため、水底で堆積したことがわかる。



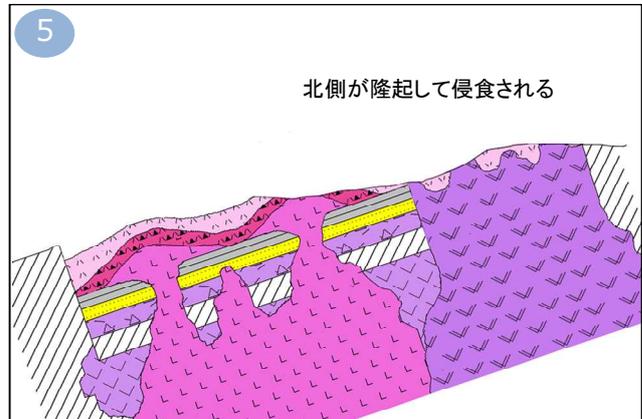
③安山岩片や砂岩泥岩の角礫を巻きこみながら流紋岩質マグマが複数回上昇した。同一地域内の凝灰岩でも、モード組成、帯磁率、化学組成がばらつくことが示唆する。流紋岩溶岩が自破碎構造を呈することや、流紋岩質凝灰岩が成層ハイアロクラスタイトをなすことから、カルデラ湖底で噴出堆積したと考えられる。下部の凝灰岩は粗粒の角礫凝灰岩であり、熱でさまざまな程度に溶結した。



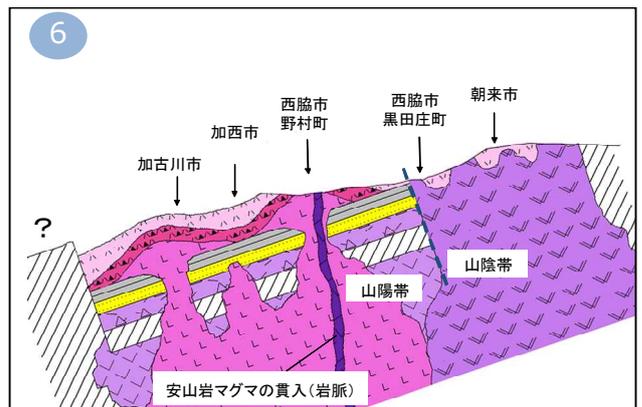
④古第三紀前期には、マグマ活動の場が兵庫県北部に移動した(先山, 2005)。カルデラ湖の外縁が山陽帯と山陰帯の境界部付近にあり、西脇市以北の凝灰岩が全て安山岩片を包有することから、カルデラの外縁に沿って安山岩マグマが上昇した。



⑤西脇市以北の安山岩の流離構造が凝灰岩とともに南西方向に傾斜しており、貫入後兵庫県北側が相対的に隆起して表層が削剥された。西脇市付近では下位の強溶結凝灰岩が露出し、南部では上位の細粒凝灰岩が残されている。



⑥石英安山岩マグマが貫入した。石英安山岩は③で示した流紋岩質凝灰岩に包有されている石英安山岩と帯磁率が異なる。西脇市周辺に見られる石英安山岩には水平方向の流理構造が見られるため、北側の隆起削剥の後貫入したことがわかる。



### 9. 今後の課題～現在おこなっている研究

山陽帯と山陰帯のマグマの成因と兵庫県全体の形成過程との関係の解明に向けて、現在も精力的に基礎研究を続けている。

引用文献：兵庫県立西脇高等学校地学部（2014）本校が立地する兵庫県中部～南部地域の基盤岩の形成過程（未来の科学者との対話 13）

先山徹（2005）近畿地方西部～中国地方東部における白亜紀～古第三紀の帯磁率（人と自然, No. 15）

## 龍野高校周辺の光害

兵庫県立龍野高校自然科学部天文班

2年 麦踏松秀 本部勇真

1年 中村篤志 谷口沙彩

### 1、はじめに

光害とは、街灯や建物から漏れる光によって夜になっても屋外環境が明るいことによる悪影響を指し、具体的には、生態系や農作物、天体観測への影響が考えられる。対策としては、過剰な光を減らすことがられるが考えられている、我々が生活する上で夜間の灯りは必要不可欠である。生態系や天体観測への影響を考慮し経済活動の妨げにならず、すべての生物が満足して暮らせる工夫が必要となる。

### 2、動機と目的

天文台にて合宿を行ったときに、天文台と市街地で見える星の数が違うのに驚いた、その違いの原因の一つである光害を調べると様々な悪影響があることがわかり、研究することにした。今回研究の目的としては、光害が天体観測及び観望に与える影響をみるために、龍野高校周辺の夜空の明るさを計測し、またその対策を数値化することである。さらに、高校生の光害の認知度及び、星への興味関心を調査した。

### 3、アンケート

まず、高校生が光害についてどのくらい知っているのか、どのくらいの人数がさらに星を見ることを望んでいるのかをアンケートを用いて調査した。

#### A、調査手法

調査にかかる用紙代及び時間の削減のため、今回は、Google フォームを使用してアンケートを作成、SNS (LINE、Twitter) を用いて拡散し、回答への協力を呼びかけた。その結果 129 名の回答を得ることができた。

#### B、結果

光害を知っているか？

言葉も内容も知っている	22%
言葉は知っているが内容は知らない	23%
初めて聞いた言葉である	55%

言葉を知っている人は全体の 45% となったが、内容を知っている人は 22% と低い結果となった。光害の啓発活動が必要であると考えられる。

自宅周辺で今よりも多くの星を見たいか？

とても見たい	54%
やや見たい	23%
現状のままでよい	22%

(百分率は四捨五入した値なので、合計は 100% になっていない。)

とても見たい、やや見たいの合計が 77% と、もっと多くの星を見ることのできる夜空の需要が高いことがわかる。

### C、アンケートの結果

高校生は自宅周辺でも多くの星が見える夜空を望んでいることが分かったが、現在それを阻害している原因である光害の内容まで知っている人は少なく、光害の認知度の低さが浮き彫りになった。

#### 4、一眼レフカメラの信頼性検査

実際に夜空の明るさを計測するために、デジタル一眼レフカメラ (以下、カメラと表記) を用いる。カメラが正確に明るさを捉えられるかを確認するために実験を行った。

部室のカーテン (防火カーテンなので、遮光性は十分にありと考える) をすべて閉め、白熱電球を机の上に置き、白熱電球の真下を 0m とし、そこから直線状に 1m 刻みの点を置く。カメラの中心が点の真上になるようにカメラを設置し、白熱電球を点灯した状態で一つの点上で 3 枚の写真を撮影した。カメラ、白熱電球の詳しい設定は以下の通りである。

カメラ Canon EOS 60D

焦点距離  $f=35\text{mm}$  F5.6 ISO 800

白熱電球 Panasonic EFA15EL/12

取得した RAW 形式の画像を星空公団が公開しているソフト raw2fits を用いて FITS 形式に変換し、ソフト「マカリ」を用いて、ダーク処理をし、白熱電球の各地点でのカウント値を求めた。このカウント値が明るさの性質である、「明るさは距離の 2 乗に反比例して減少する」を満たせばよいのだが、白熱電球は光源としては強すぎて、カメラの受光限界を超えてしまっていた。そこで、光源を豆電球に変更して、もう一度実験を行った。

しかし、豆電球についても、白熱電球と同様にカメラの受光限界を超えてしまっていた。予稿作成時には間に合わなかったが、今後口頭発表までに、豆電球にかかる電圧を下げたり、実験場所を廊下に移し、カメラを光源からさらに離したり、ISO を落としたりすることによって、自分たちでカメラの信頼性を検査したいと思う。

現段階の自分たちでは、カメラの信頼性を検査出来ていないが、星空公団の取り組みであるデジカメ星空診断の HP によると、今回のカメラの機種が使用可能となっていることから、我々はこのカメラを使って夜空の明るさを計測できると考えた。

#### 5、夜空の明るさ観測

夜空の明るさ観測を五回行った。場所は画像の龍野高校周辺にピンが置かれている地点である。

