

三重ジュニアドクターレポート  
Report of Mie Jr. Doctor School

第 5 号



2024 年 3 月

## 目次

季節による月の動き方.....	イスラム 可朱布.....	1
流星群の観測.....	川崎 英希.....	2
梅製品によるカビの抑制効果.....	松村 紗里.....	5
雨粒(降水粒子)の観察.....	丸山 仁菜美.....	7
ナトリウムの低温電解採取に関する研究.....	成島 知長.....	13
マスク使用時間とマスク内側細菌数の関係.....	松村 昂太郎.....	17
三重県発酵食品からの防腐効果を持つ細菌・化合物の探索.....	余谷 美優.....	20
ウミホタルの走光性について.....	寺地 絢星.....	23
トントンする寄生バチについての研究 II.....	小林 碧.....	26
水耕栽培におけるミジンコの影響 -新たな視点をプラス-	小西 奏.....	30
水の成分と赤虫の生存数・植物の成長・発芽との関係.....	望月 悠史.....	36
メダカはコーヒーで心臓がドキドキするのか?.....	東谷 直.....	50
より CO <sub>2</sub> を吸収するのは? -樹木編-	東谷 唯.....	52
パン酵母の発酵を促進する天然添加物の検索.....	菊池 美歩.....	56
人工虹の変容(全貌版) -避難時誘導の可能性を探る-	堀口 直宏.....	59
サワガニの個体間に関する研究 -配偶行動の観察-	石倉 成実.....	67
日本の気象におけるハロ出現時の気象パターンの解析.....	織田 悠輔.....	75
昆虫の飛ぶ仕組みを調べてみた.....	辻本 憲史.....	78
ウミホタルの摂餌行動について.....	寺地 優太.....	82

# 季節による月の動き方

## ―満月の動き方―

イスラム 可朱布

津市立北立誠小学校 6 学年

Kashiful Islam

要旨：4年生の時に学校で、月の動きを習った。だが、あまりしっかりと見たことがなかったので調べようと思った。また習ったことが本当かを確認するために研究することにした。月の動きは、「東から昇る」「北東から昇る」の二種類がある。また、月にも夏至や冬至のようなものがある。

キーワード： 月の動き

### 1. はじめに

4年生の時に学校で、月の動きを習った。東から上り西へ沈むというのは習っていた。だが、あまりしっかりと見たことがなかったので調べようと思ったから。習ったことが本当かを確認するために研究することにした。イスラム教には、ヒジュラ暦という月の動きをもとにした暦があることも月に興味を持ったきっかけである。ヒジュラ暦では満月は真中にあたる。

### 2. 材料と方法

#### (1) 使うもの

・スマートフォンとデジタルカメラを使用した。

#### (2) 方法

右図1のように基準のあたりに月が昇って来たら観測、撮影する。同じことを毎月一回ずつ満月の頃に行う。

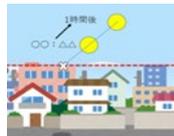


図1：撮影方法

### 3. 観測結果

表1に観測結果を示す。

### 4. 考察

月の動きは、東からも北東からもぼる。これは、太陽の夏至の時や、冬至の時と同じようなことが起きているのだと考えた。理由は、太陽の夏至や冬至の南中高度は、冬至になるにつれて南寄りになっている(図2)。ところが、徐々に北寄りになっている月の動きと似ていると感じたためである。東からのぼってきたのが徐々に、北東からのぼってきていたので、何ヶ月後かにはまた東からのぼってくるのだとも考えた。理由は、中間報告の際のまとめの写真で、月は北東からのぼってきていたがまた東からのぼってくるようになったので、同じことが起きるのではないかと考えたためである(図3)。

表1：観測の結果

月日	月の出	月の入り	天気	月の出の方角	月の位置
4月1日	13:32	03:20	晴れ	東	
5月2日	15:13	03:14	晴れ	東	
6月2日	17:07	02:58	晴れ	東	
7月2日	18:17	02:50	晴れ	東	
8月1日	19:00	03:44	晴れ	東	先月と変わらない
8月29日	17:34	02:32	曇	東	
9月29日	17:45	05:08	晴れ	東	
10月29日	17:14	06:17	晴れ	北東	
11月27日	16:24	16:47	晴れ	北東	
12月27日	16:47	07:15	晴れ	北東	
1月27日	18:38	07:59	晴れ	北東	先月から変わった

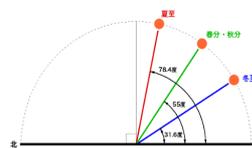


図2：太陽の1年間の動き



図3:11月9日の月の出と月の出の方角

参考文献

<https://www.arachne.jp/onlinecalendar/mangetsu/>

<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/>

上月のカレンダー 下月の出 月の入り

# 流星群の観測

川崎英希  
三重大学教育学部附属小学校

## 要旨

去年とのデータを比較することを目的として流星群の観測を行い去年の結果と比較した。その結果、今年の方が多くの流星を観測できた。その違いは月齢によるものと考えられた。

キーワード： 流星群

## 1. はじめに

流星群の観測をしてピークに観測することが目的だったが、ピークに観測することが雨でできなかった。そのためピーク以外の2日間の日程で観測することとなった。そして、去年と比較しどのようなデータになるかを観測して明らかにすることにした。

## 2. 材料と方法

### (1) 実験材料（準備物）

ランタン  
防犯カメラアトムカム2  
虫よけスプレー  
蚊取り線香  
星座早見表  
スマートフォン  
双眼鏡

### (2) 流星の観測

2023年8月1日～13日の間、志摩市で流星を観測し目視とスマートフォンのカメラ機能を使い、流星を観測した。

志摩市ではなく、久居でも観測をするためアトムカム2を設置し、流星を観測する。

そして去年と比較するしデータの変化を比べることを目的としてペルセウス座流星群を観測する。

### (3) 去年の確できた流星の数（

去年の結果）

表1に昨年の結果を示す。昨年は、カメラやデジタル

機器を用いての観測ではなかったので今年は去年よりたくさん流星が見えるのではないではないか。

去年は19時から観測をして3時に観測を終わりましたが、曇りや月明かりがまぶしくて流星が見にくかったのですが今年はたくさんの流星を観測できた。

これらのことから今年は去年よりたくさんの流星が見られると予測した。

## 3. 観測結果

表2見てほしい。この表2の結果は8月11日の1日だけの結果だ。1分間に何個も見られることが多かった。

続いて図3を見てほしい。8月11日から日をこして8月12日になったが、たくさんの流星を観測できた。そしてその日の夜、曇りでしばらくたってから観測し始めると、流星が見え始めた。

続いて図3を見てほしい図3は12日から日をこした時の結果である。

### アトムカム2がとらえた久居の空

アトムはずっと久居に置きっぱなしで、動きを感じできる胴体検知機能の頼って撮影をしていた。

8月の12日にアトムは15:15に火球をとらえることに成功した。下のQRコード1を読み取って見てほしい。

しかし夜には流星をとらえることができませんでした。その理由は考察で議論する。



表 3

日付	時刻	気温	流星の数	見えた向き
8月12日	00:43	27	1	北から西
	00:45	27	1	再び北から西
	00:58	27	1	北から下↓に落ちる
	01:07	27	1	北から北北西
	01:12	27	2	真上から①北へ・②西へ
	01:34	27	2	北から南
	20:20	30	—	曇り、星は何も見えない
	22:14	28	1	真上から南
	22:16	28	1	北から落ちる
	22:22	28	1	〃
	22:24	28	1	〃
22:26	28	1	〃	

表 1 去年に見えた流星の数

月日	月齢	時刻	月の位置	雲の量	流星の数	見えた方向
8/13	15.4	19:53	—	少	3つ	北～西北西
		2:28	南西	中	1つ	北～北西
		2:37	南西	中	1つ	北西～西北西
8/14	16.4	19:24	—	少	1つ	西北西～西南西
		19:57	—	少	1つ	北北東～西北西
		20:16	—	少	1つ	北北東～西北西
		20:37	—	少	1つ	北北東～西南西
		20:40	—	少	1つ	北北東～北
		20:44	—	少	1つ	北北西～西北西
		1:58	南	多	—	— (見えなかった)

表 4

日付	時刻	気温	流星の数	見えた向き (備考)
8月13日	00:00	28	—	曇り
	01:30	27	1	北から東
	01:31	27	2	①北から東②北から落ちる
	01:34	27	1	東から南東
	02:12	27	—	やや曇り・3:00 快晴の予想
	02:21	27	2	北東から東

表 2 2023年8月11日の見えた流星の数

日付	時刻	気温	流星の数	見えた向き
8月11日	20:35	30	2	不明
	20:40	30	3	さそり座付近 (南)
	20:43	30	1	真上
	20:47	30	1	北
	21:48	29	1	北から南
	22:03	29	1	北から北西
	22:42	29	1	真上から西
	22:47	29	1	ペガ (西) から下 (南)
	23:05	28	—	完全に曇る

一日だけでも多くの流星を観測することができた。

#### 4. 考察

##### (1) 去年との比較と月齢の関係

月明かりがまぶしくないため、去年よりたくさん流星を観測できた。

##### 3日間の月齢平均

昨年と今年の流星観察数と月齢を以下に示す

2022年：流星観測数 11個、月齢16.4

2023年：流星観測数 30個、月齢25.4

昨年と今年で観測時の月齢が違っている。月齢は新月が0、満月が14であるので、2022年はほぼ満月の時期での観測、2023年は新月に近い時期での観測である。観測時に月が出ているか否かによって、夜空の明るさは変わり、流星の観察数にも影響がでることが予想される。昨年と比べ今年の流星観測数が多かったのは、月齢の影響と考えられる。

##### (2) アトムが流星をとらえなかった理由

この理由はアトムを設置した久居は僕の家で住宅街のため街灯が多く、夜には星よりも明るいいため観測できなかったと考えた。

アトムは星を観測するために作られたのではなく、防犯カメラなので明るい流星しか写らない。それなので撮影できなかったと考えた。

これらの3つの理由で夜に流星は撮影できなかった理由と考察する。

画で、56秒に流れてくる。

#### QRコード3



#### (4) 撮影した流星の明るさ(等星)

この二つの流星はベガ(1等星)が写っていてそのほかの星(2等星以下)が写っていないことからこの二つの撮影した流星は1等星以上の明るい流星であることが分かった。

撮影した動画は下のQRコードを読み取ると出てくる。

#### まとめ

今回の観測で月齢によって流星が見える数が影響を受けることが明らかになった。

下のQRコード2は8月12日1時34分に撮影した動画です。1分34分に青白い明るい流星が流れてくる。

#### QRコード2



#### 参考文献

- 1: 講談社の動く図鑑 MOVE 星と星座 監修/渡部じゅんいち 講談社
- 2: ウェザーニュース <https://jp.weathernews.com/news/44434/>
- 3: 月の出、月入りマップ <https://hinode.pics/moon/state/code/24>

#### 謝辞

本研究は三重大学教育学部の伊藤信成先生にご協力をいただきました。伊藤先生、誠にありがとうございました。

8月13日にも撮影できた。3時52分に撮影した動

# 梅製品によるカビの抑制効果

松村 紗里  
セントヨゼフ女子学園中学校 1年

Sari Matsumura

## 要旨

食品を梅製品と一緒に保存することで、カビの抑制効果について調べた。

梅製品には梅干しと練り梅を使用し、食パン、餅、いちごをそれぞれ直接梅製品と接触しないよう保存し、カビが生えるまでの日数を観察した。

梅干しには食パン、いちごにおいてカビの抑制効果が見られたことから、梅干しの揮発性成分によってカビを抑制効果があることが分かった。今後、梅干しの揮発成分について明らかにしていく。

キーワード： 梅 カビ抑制効果 揮発性成分

## 1. はじめに

昨年行った研究から食パンと梅干しを直接接触することなく一緒に保存し、カビが発生しなかったことから、梅干しの揮発性成分にカビの抑制効果があるのではないかと考えた。今回、梅干しと練り梅を用いてカビの抑制効果を検証すると同時に、食パン以外にも餅、イチゴでもカビの抑制効果を検証する。



## 2. 材料と方法

### (1) 観察方法

透明プラスチックコップの底に紙カップを入れ、その中に梅製品を入れたものと入れないものを用意する。梅製品には、三重県御浜町「松本農園」の梅干し(しらぼし：完熟梅と天日塩使用)と練り梅を使用し、それぞれ10mgと20mgで観察を行う。紙カップの上に厚紙の台を置き、その上に食品を置く。食品は、食パン、餅、イチゴのそれぞれで観察を行う。透明プラスチックコップにラップで蓋をし、輪ゴムで止める。

インキュベーターを25℃に設定し、7日間カビが生える様子を観察し、カビが生えるまでにかかった日数を調べる。



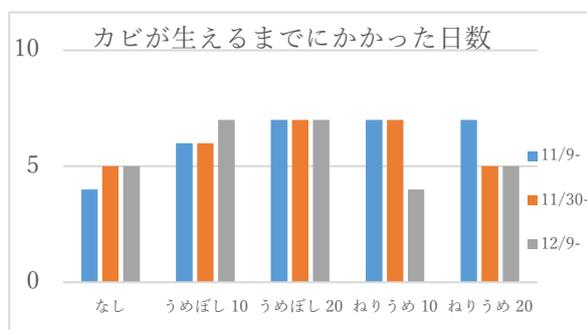
### 3. 結果

#### (1) 食パン

カビが生えるまでにかかった日数から梅製品がなしのものとは比べ、梅干しの揮発性成分には、はっきりとしたカビの抑制効果が認められた。練り梅は、梅干しに比べるとカビが生えるまでの日数は短かったが、梅製品なしのものとはあまり差がないことからカビの抑制効果は認められなかった。(表1)

表1 食パンと梅製品

カビが生えるまでにかかった日数	梅製品	量 mg	実験日		
			11/9	11/30	12/9
	なし		4	5	5
	うめぼし 10	10	6	6	7
	うめぼし 20	20	7	7	7
	ねりうめ 10	10	7	7	4
	ねりうめ 20	20	7	5	5



#### (2) 餅

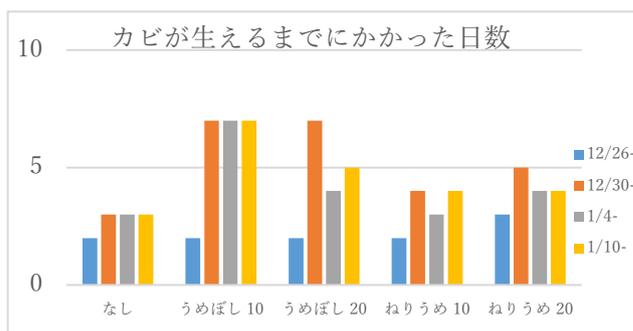
3回の実験すべてにおいて、梅製品なしのものに4日目で見られた。そして、梅製品なしと同じ日に梅干しと練り梅にもカビが生え、梅製品なしのものとはカビが生えるまでにかかった日数に差がなかったことから抑制効果は認められなかった。

#### (3) イチゴ

カビが生えるまでにかかった日数から梅製品なしのものとは比べ、梅干しの揮発性成分には、はっきりとしたカビの抑制効果が認められた。練り梅も、梅干しに比べると短い日数でカビがものの、梅製品なしのものよりカビの発生は遅く、カビの抑制効果が認められた。(表2)

表2 イチゴと梅製品

カビが生えるまでにかかった日数	梅製品	量 mg	実験日			
			12/26	12/30	1/4	1/10
	なし		2	3	3	3
	うめぼし 10	10	2	7	7	7
	うめぼし 20	20	2	7	4	5
	ねりうめ 10	10	2	4	3	4
	ねりうめ 20	20	3	5	4	4



### 4. 結果のまとめ

梅干しには食パン、イチゴに生えるカビを抑制する効果があり、それは何らかの揮発性成分によるものだと考えられる。今後、揮発性成分について明らかにするとともに、食パン、イチゴ以外にも梅干しによるカビの抑制効果が期待できる食品を探す。

# 雨粒(降水粒子)の観察

丸山 仁菜美

三重大学教育学部附属小学校 6 学年

Hinami Maruyama

## 要旨

昨年、晴天の雲の種類を研究した際、雲の種類は様々な気象条件により変化していくことがわかった。その研究の続きとして、今回は雨雲に着目し、異なる降雨条件下で雨粒を採取し、その日の雲の様子、気象条件、天気図などと照らし合わせ、雨雲から雨粒が発生する条件や雨雲の種類により、発生する降水粒子にどのような変化が起こるのかを観察した。研究の結果、異なる降雨条件下で採取した降水粒子は雨雲の種類によって大きさの変化がみられることが観察できた。

キーワード: 雨粒 雲 降水粒子

## 1. はじめに

私は昨年の夏休みに以前から興味を持っていた雲の観察を行い、雲の種類は気温、湿度などの諸条件により大きく変化することを知りました。昨年の研究では晴天の雲の様子を観察しましたが、晴天の雲を研究するうちに、雨雲ではどのようなことが起きているかということに興味を持ちました。雨雲の種類によって、発生する雨粒（以下降水粒子）に違いがあるのかもしれないと思い、種類の違う雨雲から降ってくる降水粒子の大きさがどのように変化するか観察を行ってみようと思い研究をはじめました。

## 2. 実験方法

- ・ 桶に小麦粉を約 3 cm の厚さに敷く。
- ・ 約 10 秒間、降水を桶で受け、降水粒子を小麦粉で保存する。
- ・ 桶の中にある降水粒子をふるいにかけて、その大きさをノギスで計測する。

## 3. 結果

### (1) 2023 年 8 月 14、15 日【データ 1、2】

この日の気象条件は、台風が接近し、両日とも雲が空全体を覆い隠す状態でした。雲の色も灰色をしていて雨の降り方はザーザーと急に降りだし、雷もなっている状態でした。降水粒子の大きさ分布は 8 月 14 日では、2.00 mm~2.70 mm、8 月 15 日は、2.70 mm~3.40 mm に降水粒子が多く集まり、8 月 14 日は 1.60 mm 以下、8 月 15 日は、2.60 mm 以下の降水粒子は少なく、比較的大きい降水粒子が多く採取できました。

### (2) 2023 年 9 月 18 日【データ 3】

この日の気象条件は、日本海から北海道に前線が伸びていた状態の日で、大気の状態が不安定であり、天気の急変があるという予報でした。降水粒子の採取時、空は明るく、雲は空を覆っていない状態での降雨で、雲の色は白っぽいもののみられました。雨の降り方は、小雨で、採取時間 10 秒では降水粒子は少し (105 粒) しか採取できませんでした。降水粒子の大きさ分布は 1.60 mm~1.90 mm に降水粒子が多く集まり、2.20 mm 以上の降水粒子が少なく全体的に細かい降水粒子が多く採取できました。

### (3) 2023 年 10 月 9 日【データ 4】

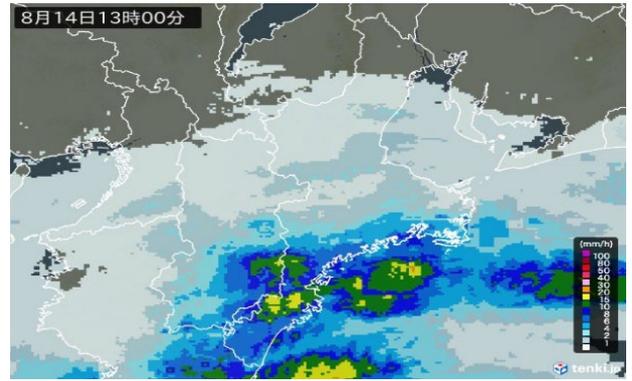
この日の気象条件は、前線が太平洋側にある状態の日で雨が降ったり止んだり断続的に雨が降るという予報でした。降水粒子の採取時には、空は明るく、雲は空を覆っていて雲の色は少し白っぽい色をしていました。雨の降り方は、やや小雨の状態でした。降水粒子の大きさ分布は、1.00 mm~1.70 mm に降水粒子が集まり、1.80 mm 以上の降水粒子が少なく全体的に細かい降水粒子が多く採取できました。

【データ1】2023年8月14日 台風接近時の雨雲

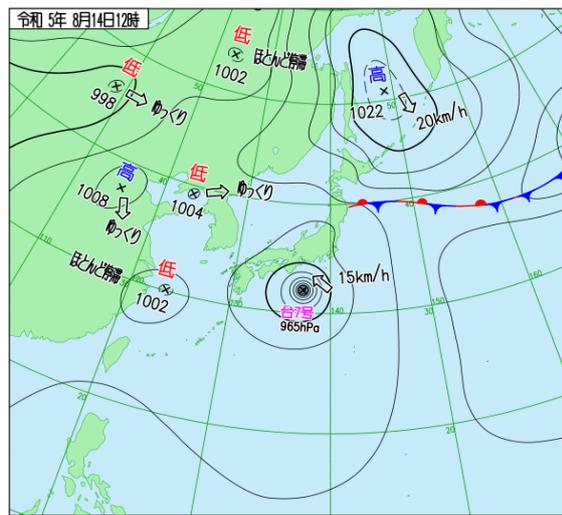
雲の様子



東海地方の雨雲の動き



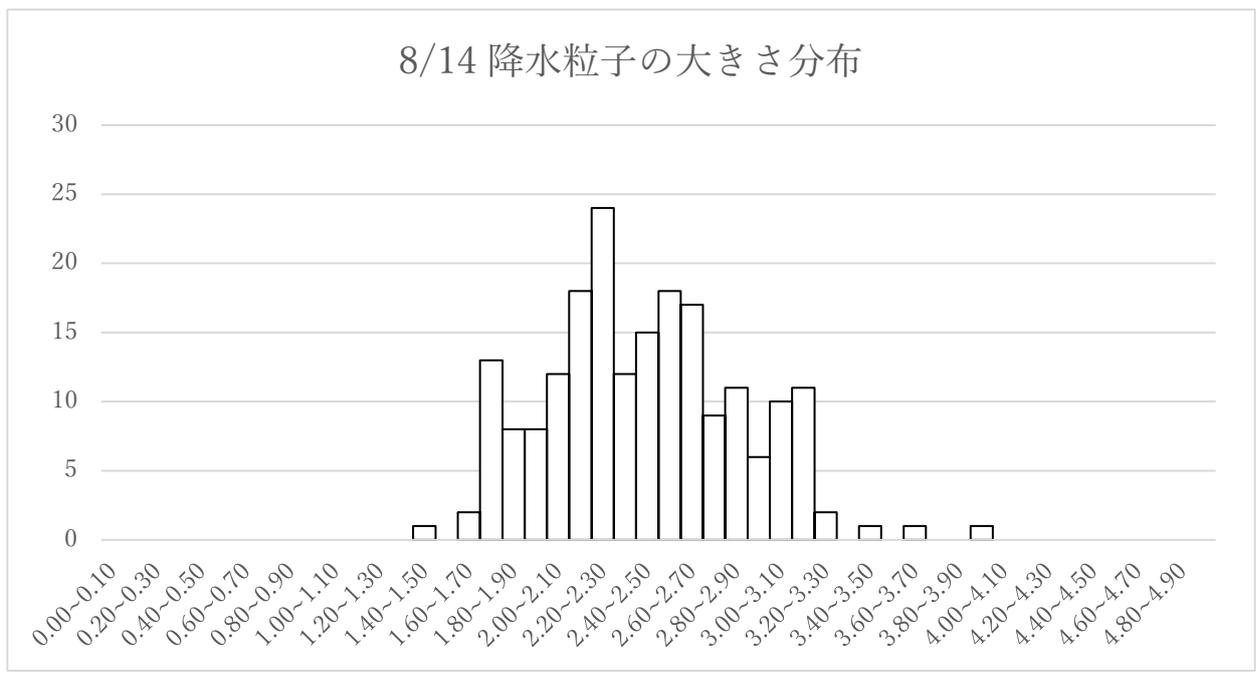
地上天気図



降水量



降水粒子の大きさ分布

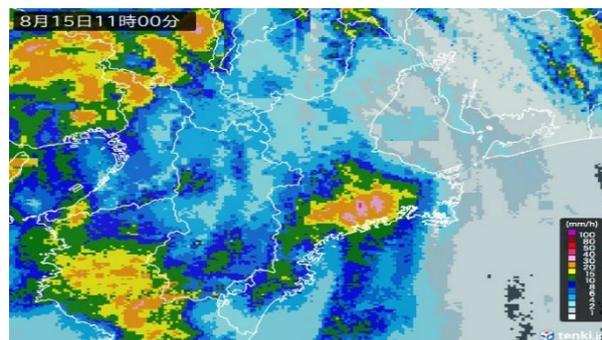


【データ 2】 2023 年 8 月 15 日 台風接近時の雨雲

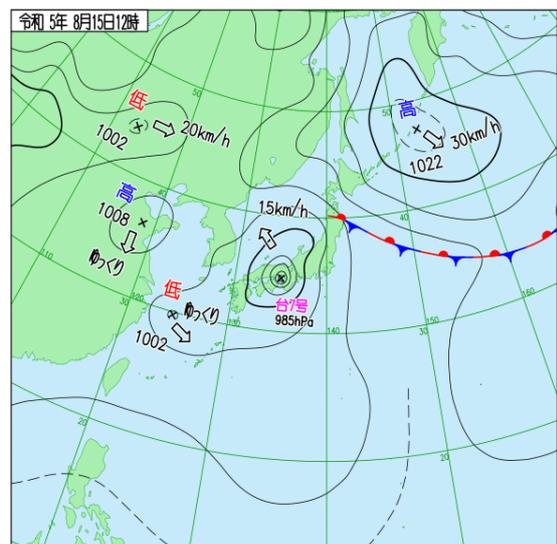
雲の様子



東海地方の雨雲の動き



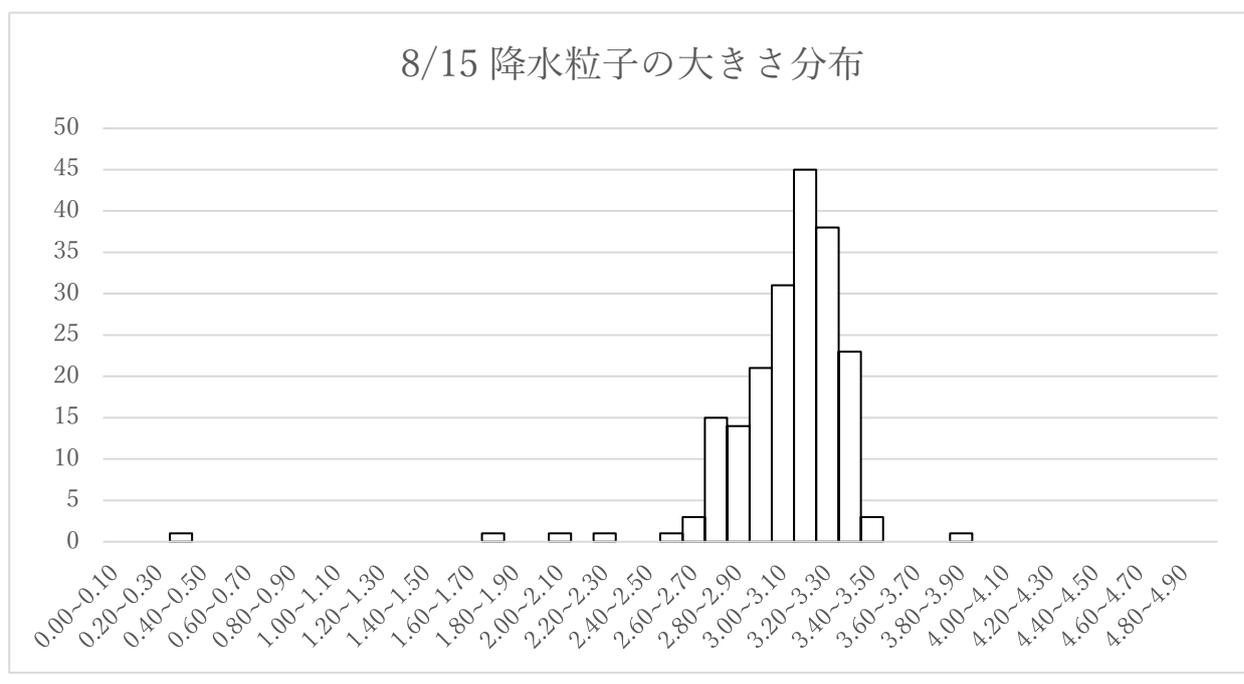
地上天気図



降水量



降水粒子の大きさ分布



【データ 3】 2023 年 9 月 18 日 日本海側に停滞前線

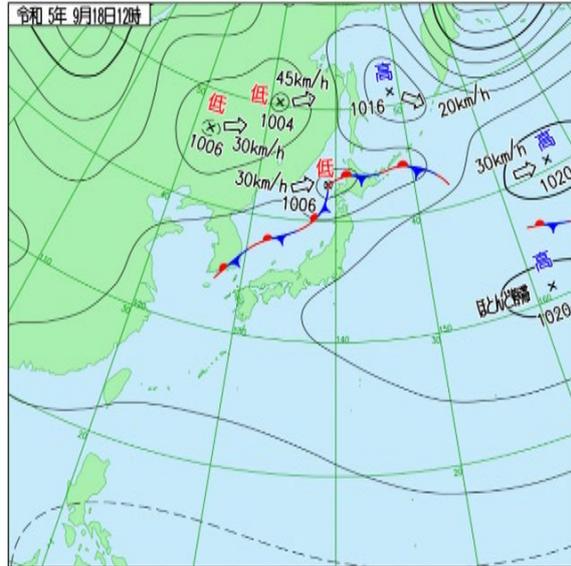
雲の様子



東海地方の雨雲の動き



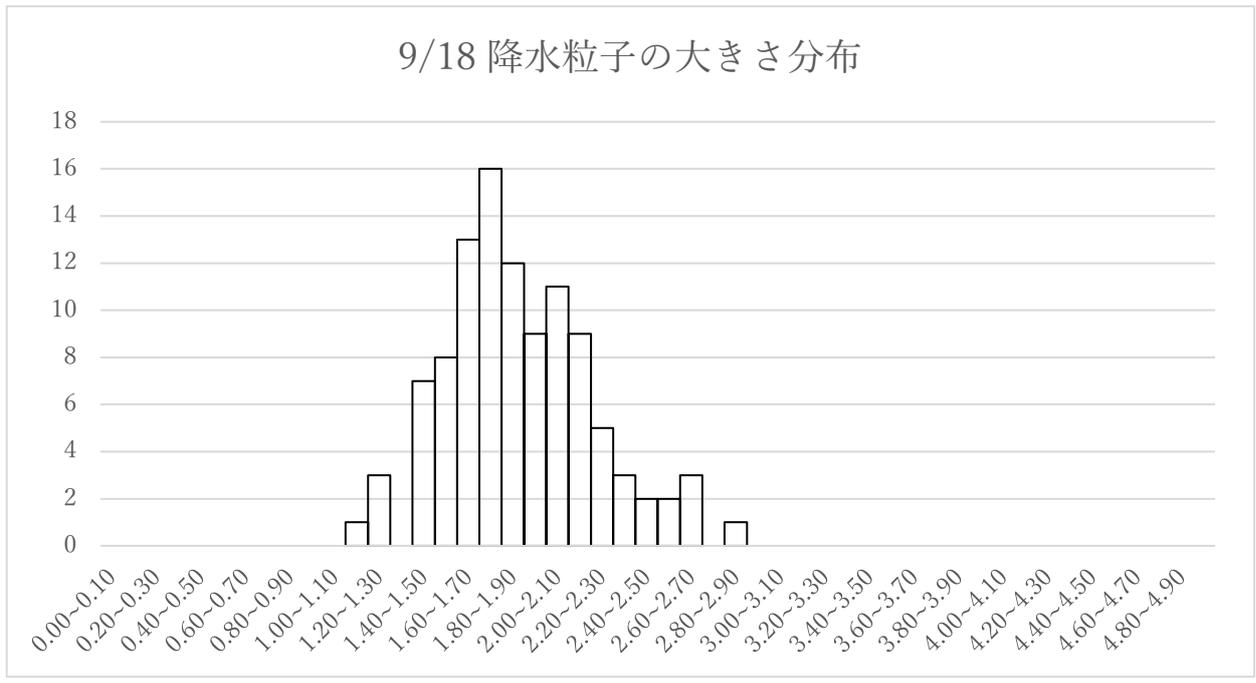
地上天気図



降水量



降水粒子の大きさ分布

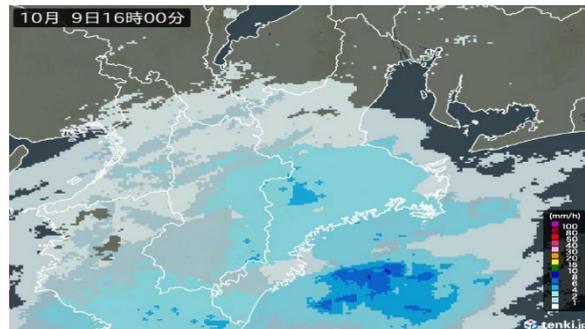


【データ 4】 2023 年 10 月 9 日 太平洋側に停滞前線

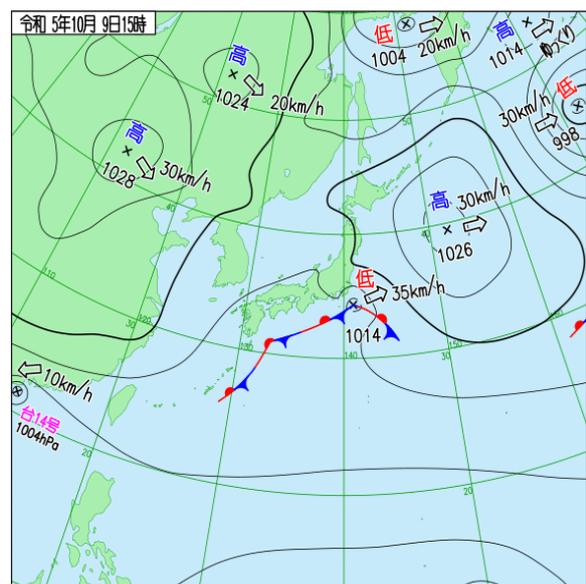
雲の様子



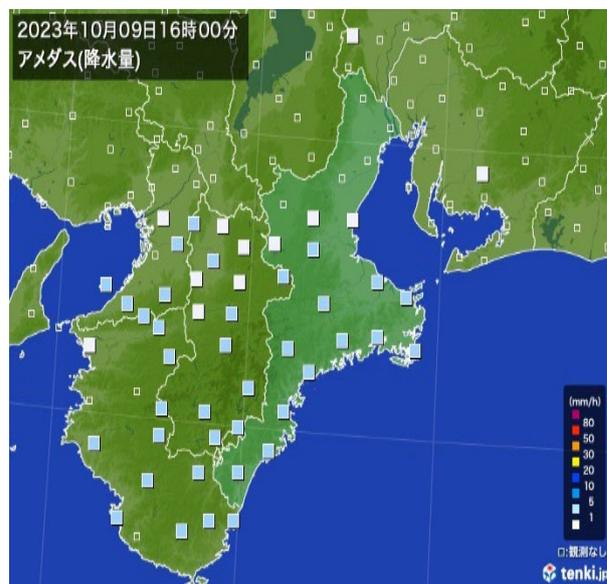
東海地方の雨雲の動き



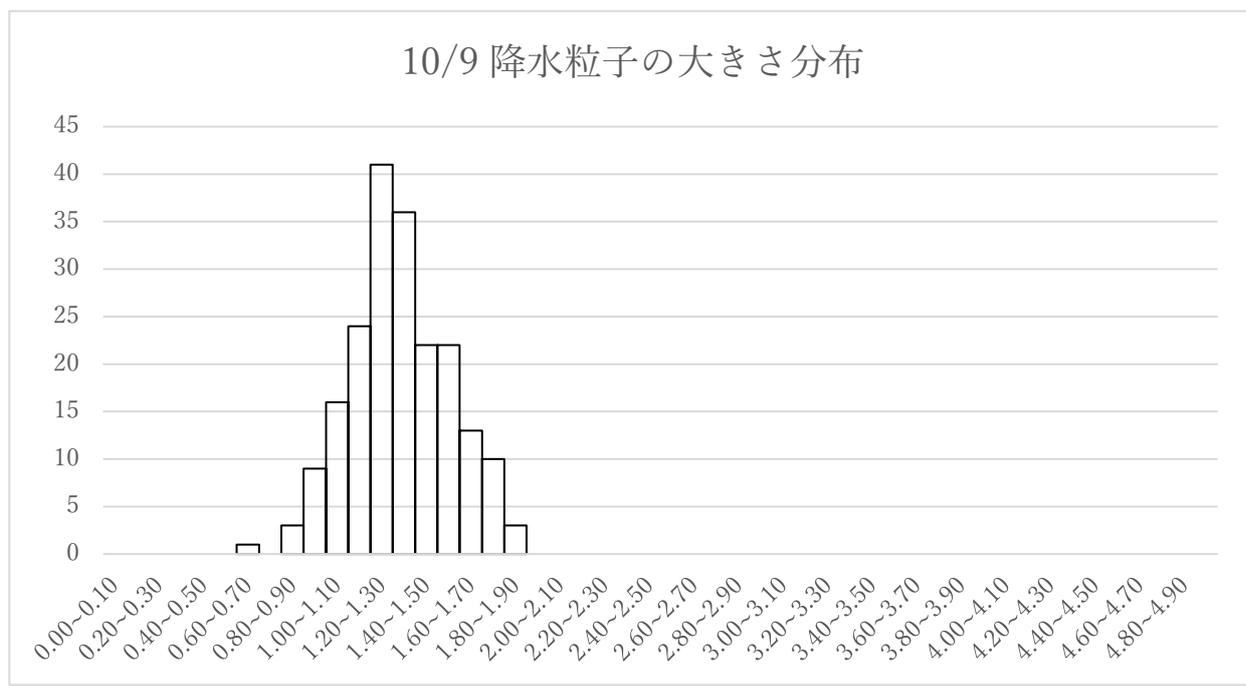
地上天気図



降水量



降水粒子の大きさ分布



#### 4. 考察

降水粒子の大きさと雲の関連性は、一般的に、雲が大きく厚いほど、また、上昇気流が強いほど、降水粒子が他の水滴や氷の粒子と衝突、結合しやすくなり、より大きな降水粒子が形成される傾向があるといわれています。今回の降水粒子と雨雲の観察で、変化を比較しやすいデータは 8/14. 15 と 9/18、10/9 の 4 日間でした。

比較しやすいと考えた理由は、8/14. 15 には台風 7 号が東海地方に接近していたため、発達した雲が三重県上空にあるのに対して 9/18. 10/9 は、前線が日本から離れた状態で、あまり発達がみられない雲からの降雨であったため、対照的なデータがみられるのではないかと思います、その 4 日間を比較することにしました。

8/14. 15 の観察では台風の影響で雨雲が発達し、雲は厚くなり、色も灰色に変化する様子が確認できました。発達した雨雲は、雲の高さも高くなり、その結果、降水粒子が他の水滴や氷の粒子と衝突、結合しやすくなり採取した降水粒子の大きさも大きくなったと考えます。

また、9/18、10/9 の雨雲については、前線が日本から離れたタイミングでの降雨であったため、台風の時のような空一面覆うような大きな雲ではなく、雲の色も白っぽく、雲の厚さが薄い状態が観察できました。台風時の発達した雲からの降雨に比べると雲の高さも低く降水粒子が他の水滴や氷の粒子と衝突、結合が少なかったためか、降水粒子が小さくなったと考えます。

このことから、雲の種類や気象条件、雲の高さや前線の動きなどのさまざまな気象要素が降水粒子の大きさに影響を与えることが観察できました。

#### 5. この研究の問題点と今後の展望

##### (1) この研究の問題点

発達していない雨雲からの採取の時には、降水粒子が小さ過ぎるため、測定時間の 10 秒では雨粒の量を十分に採取することができず、また、大雨時には、10 秒以上測定をしてしまうと、降水粒子が多くくっついてしまうため、小麦粉の上で粒を形成できず合体した状態になってしまうことがあるため、雨の強さにより計測方法の検討が必要と考えました。

##### (2) 今後の展望

気象条件によって変化する様々な雨雲の種類

によって、発生する降水粒子にも大きさの変化がみられることが今回の研究からわかりました。今後は気温、風の強さ、湿度などその他の条件でどのように降水粒子に変化がみられるか観察を続けていきたいと思っています。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり、大変お忙しい中丁寧にご指導していただいた、三重県立飯野高等学校の小林悠介先生に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- ・Jordi mazon bueso. (2013). A Low-Cost Experiment for Determining Raindrop Size Distribution. *RMets(Weather)*, 68(2).
- ・空のふしぎがすべてわかる！すごすぎる天気の本 著者 / 荒木健太郎
- ・すごすぎる天気の本 雲の超図鑑 著者/荒木健太郎
- ・ウェザーニュース
- ・日本気象協会 tenki.jp 過去の天気 <http://tenki.jp>

# ナトリウムの低温電解採取に関する研究

成島 知長  
東海中学 三年

Tomonaga Narushima

## 要旨

近年の再生可能エネルギーの潮流に伴う風力発電所の増加により、ナトリウムの需要が高まっている。本研究は、ナトリウムの低エネルギー・低コストでの採取法を開発するため、有機溶媒中における低温での電解採取法二種とコントロールとしての従来の手法を小スケールな実験で比較検討したものである。

キーワード: ナトリウム、炭酸プロピレン、低温電解採取

## 1. はじめに

近年、再生可能エネルギーを活用する機運の中で風力発電所もその数を増加させている。これにともなう発電量が不安定な風力発電を補うためのナトリウム—硫黄電池の需要が高まっている。

従来、アルカリ金属等のイオン化傾向の非常に高い金属類は、その塩を熔融させたのちに6から9Vほどの電圧を加えて電気分解することで単体を得るが、その過程でかなりの電力を消費する。例えばアルミニウムを例にとってみると、精錬に必要な電力は銅の約11倍であるという<sup>1)</sup>。これほどの電力を必要とする理由としては、その電気分解自体に大量の電力を消費することも一因だが、塩を熔融状態に保つためにも相当の電力を使っていることが挙げられる。電気分解を常温に近い温度で行うことを可能とすれば、塩を600℃以上で熔融しておく分の電力を削減できるのではないかと着想に至った。

本研究は、低温でナトリウムの電解採取を行う溶媒としてとして、林らの先行研究のある炭酸プロピレンを用いた<sup>2)</sup>。また、ナトリウムイオン濃度を高めるため過塩素酸ナトリウムとヨウ化ナトリウムを使用した。比較対照としてとして実際にナトリウム製造に用いられているカストナー法を比較検討した。

## 2. 材料と方法

材料として炭酸プロピレン (TCI, 日本) 過塩素酸ナトリウム(富士フィルム和光純薬)、ヨウ化ナトリウム(富士フィルム和光純薬)を用いた。器具として、100 mL ビーカー、炭素棒、ゴム線、ガラス管、定電流発生装置を用いた。

炭酸プロピレンにナトリウムイオンをできるだけ多く溶解するため、過塩素酸ナトリウムとヨウ化ナトリウムの二種類の塩を三角フラスコ内で TCI 社製炭酸プロピレンに溶解して電解液を調製した。電解液の組成

表1に示す。

表1 : Na 電解液の組成

溶質	添加量 (g/100 mL)	(mol/L)
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>		
NaClO <sub>4</sub>	6.16	0.5
NaI	15.01	1.5

次に、ビーカーを溶液で満たし、図1のように実験装置を組み立てた。

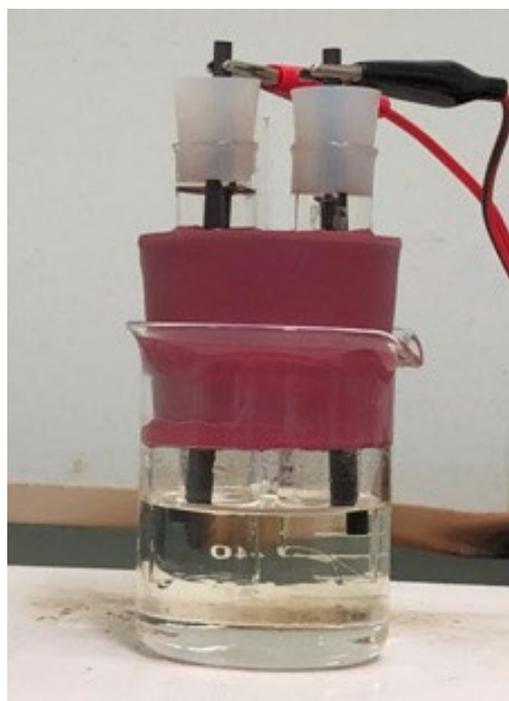
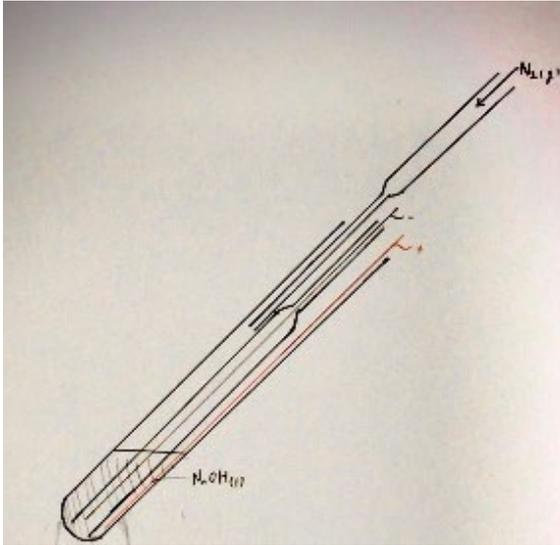


図1 炭酸プロピレン電解実験装置の外観

装置をホットプレートとドライヤーを併用して

60℃に保ちながら9Vの電圧を加えて90分間電気分解した(実験①)。なお、このときに、炭酸プロピレンとして未乾燥のものと、乾燥したもの(電池研究用炭酸プロピレンと溶液調整後に無水硫酸マグネシウム(米山薬品工業)を用いて乾燥させた)で比較実験を行った(実験②)。

対照実験であるカストナー法は、図2、3のようなガラス管と鉄線を組み合わせて装置を組み上げた。材料と



して水酸化ナトリウム(関東化学)、パスツールピペット、試験管、鉄線、ガス台、定電流電源装置、窒素ガス1.5 L/min.を用いた。

図2：電解装置(カストナー法)の外観



図3：カストナー法の実験装置図解

装置に水酸化ナトリウムを入れてガス台で熔融させ、6.9Vの電圧を加えて30分間電気分解を行った。窒素を流したまま冷却し、室温になってから試験管を破壊して内容物を取り出した(実験③)。



図4：通電後の電解装置の外観

### 3. 結果

①の結果、加温したのち通電を行うと0.04Aの電流が流れ、陰極から気体が発生するとともに陽極からヨウ素が発生し溶液が褐色になっていった。(図4)通電後、炭素棒表面に水酸化ナトリウムと思われるもの(図5)が生成し、実験装置の底部には電極由来と思われる黒色薄片が沈殿していた。量は非常に少なく、水に溶解した後に滴定を行ったところ、ナトリウム量は約10mgと推定された。

図5のように、ピーカーの底に沈殿が見られたその起源の特定を行うことはかなわなかったが、電極の剥離したものであると考えられる。



図5：通電後の炭素棒の様子



図6：通電後の電解装置の底に沈殿した黒色薄片



図7：陽極をフェノールフタレン溶液に入れた様子

炭素棒に付いた白色粉末は溶解し、微量の気泡の発生とともに塩基性であることを確認した(図7)。このことから水酸化ナトリウムであると推定され、ナトリウムが存在していたと考えられた。

表2：実験①～③で得られた結果

実験番号	電圧(V)	電流(A)	通電時間(m)	Na量
①	9	0.04	150	10mg
②	9	0.04	150	超微量
③	6.9	1.02	30	少量

②では、①よりも気体の発生量が明らかに減少し、また黒色薄片は観察されなかった。

### ③カストナー法(コントロール)の結果

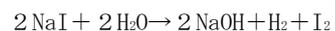
溶融すると、電極から気泡が発生した。通電を行うと最大 1.02A の電気が流れて気泡の発生が激しくなり、ガス台の火力を弱めるとやや穏やかになった。通電後、自然冷却してから試験管底部を割り、パスツールピペット内の陰極を確認すると、灰白色で金属光沢のない固体がみられた(図8赤丸内)。この固体は水に入れたところ、水に浮いて気泡を発生しながら溶解したため金属ナトリウムであったと考えられる。



図8：通電後のパスツールピペットα内(陰極部)に見られた金属ナトリウム

## 4. 考察

今回、①～③の手法を用いて実験を行ったが、①、②は③のカストナー法と比べると電解生成物は微量しか得られなかった。この理由としてあげられるものは、水分の存在と抵抗値の大きさが原因と考えられる。①は、未脱水溶液で実験を行ったため、溶液にヨウ化ナトリウムを量り取る際の潮解などに由来する水分が混入していたと考えられる。このため、電気分解中に



の反応が発生したことが気体発生の主原因だと考えられる。また、 $\text{H}_2\text{O}$  は気体状態で液体状態の約 1700 倍の体積を持つため、例えば 0.01 mL の  $\text{H}_2\text{O}$  が溶液に混入したとしても、上記反応で 8.5 mL の水素が発生する。少量の水でも多量の気体の発生につながったのだと考

えられる。また、電極由来の黒鉛と思われる黒色薄片の特定には至らなかった。

②では、脱水を行ったため、気体の発生量は大幅に減少した。しかし、気体が発生したことから無水硫酸マグネシウムでの乾燥が不十分であり、また無水炭酸プロピレンがシリンジを使って取り出す際に湿気を吸収してしまったと考えられる。

③では、比較的多量の灰色で光沢のない金属ナトリウムを得ることができた。

①、②のいずれの実験でもコントロールと比べて非常に少ない量のナトリウムしか得ることができなかった。これは、ヨウ化ナトリウムを量り取るときの潮解や、溶質を溶解するとき及び脱水剤を濾別するとき表面積が増大するため混入した水が先述した反応を起こしてナトリウム生成を阻害してしまったからだと考えられる。また、融解した塩と比べて塩を炭酸プロピレンに溶解した溶液は抵抗値が大きく電流が流れにくい。このこともナトリウムの生成量低下に拍車をかけたと考えられる。

また、溶媒をより極性の大きなものに変えれば抵抗値は下がると思われるが、溶媒が生成したナトリウムに攻撃されてしまい不可能であると考えられる（実際炭酸プロピレンもリチウムとは反応してしまう）。よって抵抗値問題の解決は困難であり、現状では残念ながら工業的に炭酸プロピレン法を用いてナトリウムを生産することは難しいと考えられる。

将来、炭酸プロピレンに非常によく溶け、なおかつその溶液が低い抵抗値を持ち、天然に産出または非常に低エネルギー生産可能な物質が発見されればこの問題は解決できるのではないかと考える。

## 謝辞

すべての実験に立ち会い、ご協力、助言をくださった三重大大学の三島隆先生、実験を行うにあたりサポートくださった三重大大学の後藤太郎先生、実験に関するデータおよび助言をくださった千葉大学の林英子先生に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) アルミニウム, Wikipedia, <https://ja.wikipedia.org/wiki/アルミニウム>, 2024/3/4 閲覧
- 2) 林英子、有機溶媒を用いた金属ナトリウムの電解析出教材の改良～電解析出条件の検討～、日本化学会第100春季年会予稿集、2020年

# マスク使用時間とマスク内側細菌数の関係

松村 昂太郎  
鈴鹿中等学校 3年  
Koutaro Matsumura

## 要旨

マスクの着用時間とマスク内側の細菌数がどのように変化するかを調べ、マスク内側の細菌の種類を同定することを目的とした。方法は着用時間の異なるマスクを用意し、拭き取り検査用キットにてマスク内面の細菌を採取し測定を行なった。さらに温度と湿度を一定条件とするためインキュベーターでの培養を行ったものを追加測定した。結果はマスクの6時間以上着用による細菌数は不安定であったが、インキュベーターを使用した場合はマスクの装着による内側の細菌数は2時間の短時間でも確実に増えることが分かった。

今後は、使用したマスクの素材や着用する時間帯など実験条件と材料について再検討する。

キーワード： マスク装着時間    マスク細菌数

## 1. はじめに

新型コロナウイルス感染症の対応が変わり、マスクの使用にも大きな変化がみられた。しかし、これからもマスクを使用する機会は数多くある。そこでマスクの装着時間により、マスク内側の細菌数がどのように変化するか知りたいと考えた。そこでマスクの装着時間とマスク内側の細菌数との関係性について調べ、さらにマスク内側の細菌の種類を同定することを目的とした。



手順 1-1

手順 1-2

## 2. 材料と方法

### (1) 測定方法

1. 着用時間の異なるマスクを用意する。
2. 拭き取り検査用キットふきふきチェック IIにてマスク内面の細菌を採取し、生理食塩水に綿棒を入れよく攪拌した(手順 1,2,3)。
3. 培養シートに、細菌を混濁した溶液 1mL をのせた
4. カバーシートを戻してから溶液が均一になるよう専用のキットで圧迫を行なった(手順 6)。
5. 培養シートを 35℃ のインキュベーター内で 3 日間培養し、評価を行なった(手順 7)。



手順 2

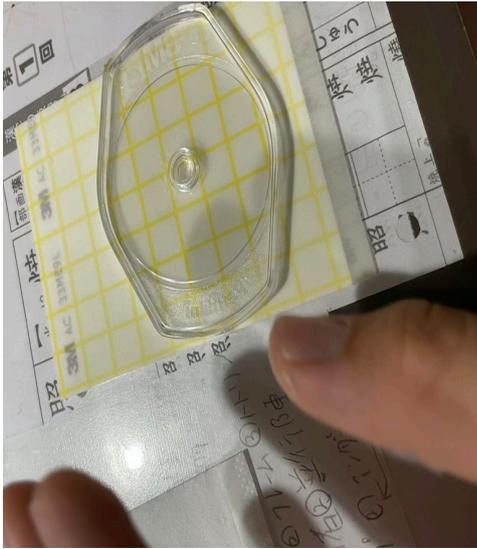
手順 3



手順 4



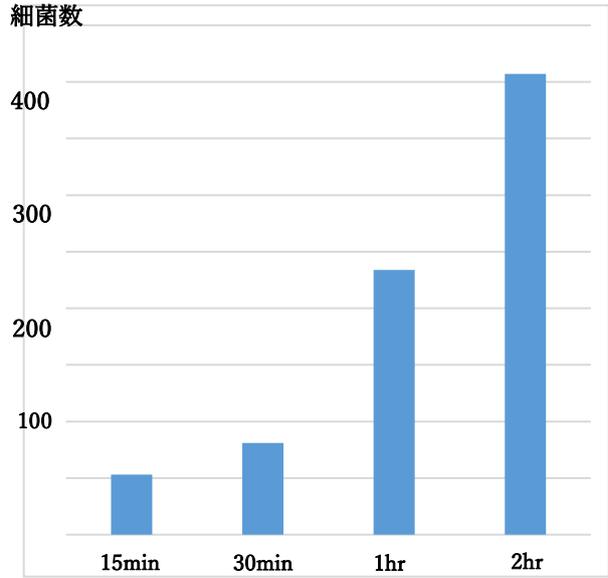
手順 5



手順 6



手順 7



- 着用時間が長くなるにつれて細菌数が増加していることが分かった(各測定時間 6 回の平均値)。

### 結果 細菌種類について

マスクの内側の細菌の種類はグラム陽性球菌

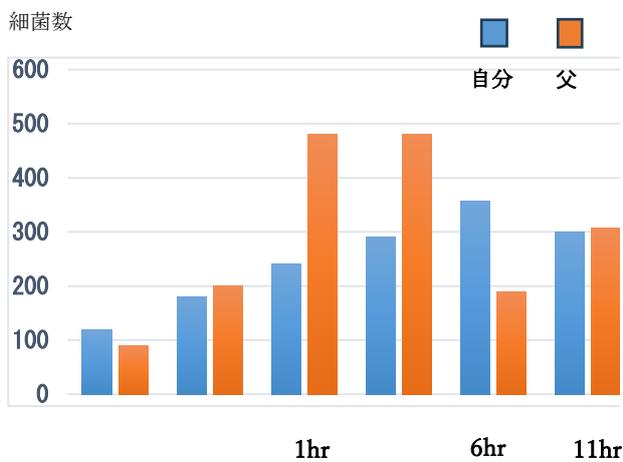
#### 私のマスクに付着していた細菌

- 1: Staphylococcus caprae
- 2: Staphylococcus argenteus
- 3: Staphylococcus simiae
- 4: Staphylococcus capitis
- 5: Staphylococcus haemolyticus

#### 父のマスクに付着していた細菌

- 1: Staphylococcus epidermidis
- 2: Staphylococcus epidermidis
- 3: Staphylococcus epidermidis
- 4: Micrococcus porci

### 3. 結果 細菌数について



- マスクの 6 時間以上の着用による細菌数が不安定であった。

### 4. 考察

1. マスクの装着による内側の細菌数は 2 時間までの短時間でも確実に増えることが分かった。
2. マスクの内側に様々な細菌種が認められた。

## 5. 今後の課題

- 様々な年齢層からの細菌の採取が必要だと考える。
- 新たな細菌種の同定を行う。
- 使用したマスクの素材や着用する時間帯など実験条件と材料について再検討する。

## 参考文献

掲載誌 : Scientific Reports (インパクトファクター : 4.996@2022) 論文名 : Bacterial and fungal isolation from face masks under COVID-19 pandemic (新型コロナウイルス感染症パンデミックにおける使用マスクからの細菌と真菌の単離) 著者 : ※朴 雅美、スندگان・カドカ、佐藤文孝、尾村誠一、藤田貢、橋脇和樹、角田郁生 (※ 責任著者) 所属 : 近畿大学医学部微生物学教室 (著者、共著者の所属は執筆当時)

# 三重県発酵食品からの防腐効果を持つ細菌・化合物の探索

余谷美優  
三重中学校 第3学年

Miyu Yotani

## 要旨

前回の研究で、納豆菌などを培養させたとき、塩水や砂糖水に比べて、酢を加えた時が最も長持ちしたことに疑問を持ち調べてみると、pHが低い程、腐敗菌が増殖しにくい事が分かった。このことから、酸味を感じるものが多い発酵食品はpHが低く、腐りにくいことと関連があるのではないかと推測し、発酵食品が長持ちする仕組みについて研究しようと考えた。発酵食品であり東紀州地域で古くから作られているなれずしを用いて、発酵食品に含まれる防腐効果を持つ細菌を見つける。

## 1. はじめに

なれずしとは東紀州地域で古くから作られている発酵食品で、サバなどの魚を米と一緒に乳酸発酵させて作られている。なれずしには、早なれずし、中なれずし、本なれずしがあり、早なれずしは、発酵期間が4～5日のもの、中なれずしは6～8日のもの、本なれずしは9から～2週間のものをいう。なれずしには腐敗しやすい魚や米が含まれているにもかかわらず少なくとも100年間は腐敗することなく保存できる。



写真1 なれずし

## 2. 材料と方法

### (1) なれずしのpHの測定

初めに、早なれずし、中なれずし、本なれずしの発酵度合いを調べるためにそれぞれのpHを測定した。

#### ①実験材料

早なれずし、中なれずし、本なれずし、純水、遠心分離機、pHメーター

#### ②実験手順

- 1, 10gの早なれずし、中なれずし、本なれずしをそれぞれ90mLの純水と合わせる。
- 2, それぞれ1分間同じ強さで握ってつぶす。
- 3, なれずしの上澄み液を5000×gで5分間遠心分離

機にかける。

- 4, pHメーターでpHを測定する。

### (2) なれずし中の一般生菌数の測定

次に、なれずし中にどれだけ微生物が存在するか。また、早なれずし、中なれずし、本なれずしの中に存在する微生物の数が異なるか調べるためにそれぞれの一般生菌数を測定した。

#### ①実験材料

早なれずし、中なれずし、本なれずし、生理食塩水、ペトリフィルム

#### ②実験手順

- 1, 10gの早なれずし、中なれずし、本なれずしをそれぞれ90mLの生理食塩水と合わせる。
- 2, それぞれを1分間同じ強さで握ってつぶす。
- 3, なれずしの上澄み液をそれぞれ10の-4乗から10の-9乗に薄める。
- 4, 3で用意した液をペトリフィルムにスプレッドする。
- 5, 30℃±1℃の環境で48時間±3時間培養する。
- 6, コロニーの数を数えて細菌数を測定する。

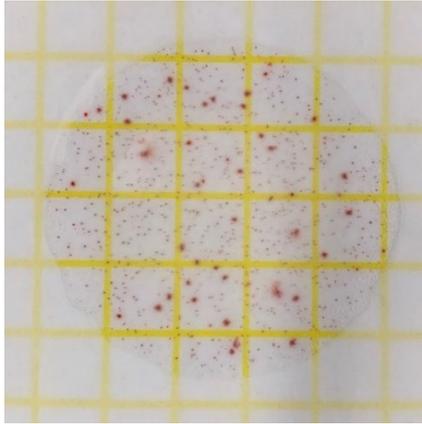


写真2 培養後のペトリフィルム

**(3) なれずしの発酵段階における大腸菌・枯草菌に対する抗菌作用を測定する**

バクテリオシン（抗菌作用のある物質）を調べるために乳酸菌をろ過して取り出した状態で大腸菌、枯草菌を培養し抗菌作用を測定する。

①実験材料

早なれずし、中なれずし、本なれずし、生理食塩水、ろ過器

②実験手順

- 1, 10gの早なれずし、中なれずし、本なれずしをそれぞれ90mLの生理食塩水と合わせる。
- 2, それぞれ1分間同じ強さで握ってつぶす。
- 3, 10000×gで5分間遠心分離機にかける。
- 4, 微生物をろ過する。
- 6, ろ液中で大腸菌と枯草菌を培養させ判断する。

(4) なれずし中にどのような細菌がいるかを調べる  
なれずし中の細菌を培養し、コロニーを採取して細菌種を同定する。

①実験材料

実験2で使用したペトリフィルム（早なれ）

②実験手順

- 1, (2)の実験で使用した早なれのペトリフィルムの10の-7乗、-8乗、-9乗のものから、コロニーを10個採取する。
- 2, 採取したコロニーをPCRとシーケンス処理を行い、細菌種を同定する。

**(5) なれずし中の抗菌作用を持つ細菌を調べる**

なれずし中に存在する様々な細菌を別々に取り出し、どれが大腸菌・枯草菌に対して抗菌作用があるか調べる。

①実験材料

早なれずし、中なれずし、本なれずし、純水、ペトリフィルム、大腸菌・枯草菌

②実験手順

- 1, 10gの早なれずし、中なれずし、本なれずしをそれぞれ90mLの純水と合わせる。
- 2, それぞれ1分間同じ強さで握ってつぶす。
- 3, なれずしの上澄み液から不純物を取り除き細菌を採取する。
- 4, 1で採取した液をペトリフィルムに添加し細菌を種類ごとに単離する。
- 5, ペトリフィルム上にある細菌をそれぞれランダムに採取し1つつ培養し、細菌の出す物質のみを取り出す。
- 6, 大腸菌と枯草菌をプレート上に培養し1から3で作成した様々な種類の細菌の出す物質を大腸菌と枯草菌に混ぜ、大腸菌と枯草菌の増殖を抑えることが出来るかを確認する。

**3. 結果**

(1) なれずしのpHの測定

表1 なれずしのpH

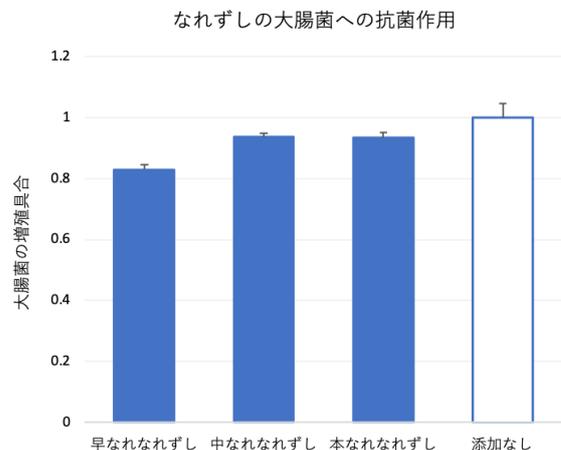
なれずしの種類	p h
早なれずし	4.03
中なれずし	3.88
本なれずし	3.80

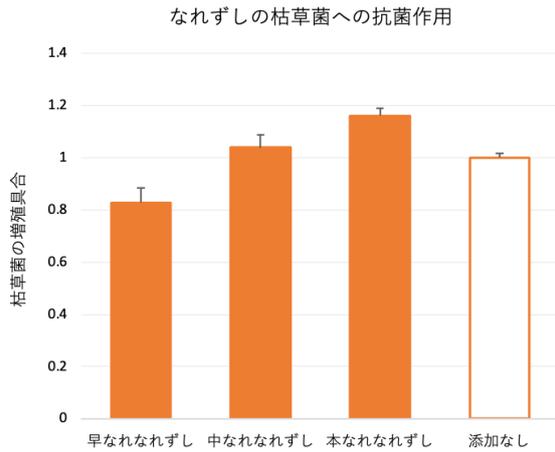
(2) なれずし中の一般生菌数の測定

表2 なれずし1gあたりの細菌数（一般生菌数）

なれずしの種類	一般生菌数
早なれずし	580,000,000
中なれずし	965,000,000
本なれずし	430,000,000

(3) なれずしの発酵段階における大腸菌・枯草菌に対する抗菌作用を測定する

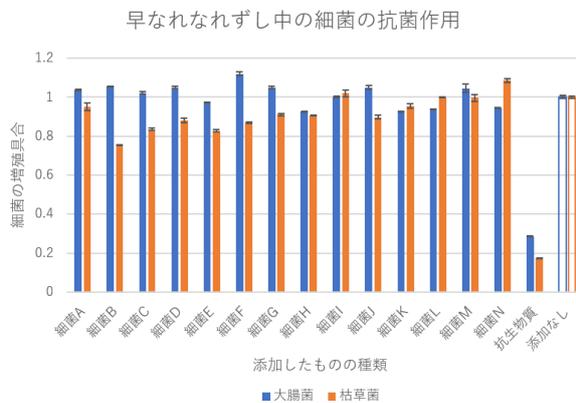




(4) なれずし中にどのような菌がいるかを調べる

調べた 10 個のうち 9 個は、*Pediococcus pentasaceus* (ペディオコッカス ペントサセウス) という乳酸菌だった。  
 調べた 10 個のうち 1 個は、*Lactobacillus curvatus* (ラクチラク トバチルス カルベイタス) という乳酸菌だった。

(5) なれずし中の抗菌作用を持つ細菌を調べる



細菌 B が枯草菌に対して抗菌作用がある事が分かった。細菌 B がどのような細菌かゲノム解析を用いて調べた結果、*Shewanella putrefaciens* という細菌である事が分かった。この細菌は、5446 個の遺伝子を持っており、その中で抗菌作用に関係のありそうな遺伝子が 14 個含まれている。

4. 考察

・(1) の実験結果より、早なれずしの pH が 4.03 であることから、発酵期間が 4~5 日と一番短い早なれず

しの時点で十分な乳酸発酵が行われていると考えた。

- ・(2) の実験結果より、早なれずし、中なれずし、本なれずし中の細菌数に、差はないと考えた。
- ・(3) の実験結果より、添加なしと早なれずしを比較すると早なれずしは抗菌作用があると考えた。
- ・(4) の実験結果より、なれずし中には乳酸菌が多く存在している。なれずし中には特にペディオコッカス属の乳酸菌が存在し、この細菌が抗菌作用に関係しているのではないかと考えた。
- ・(5) の実験結果より、なれずしには乳酸菌以外にも抗菌作用を持つ細菌が含まれており、バクテリオシン (抗菌作用のある物質) を生産しているのではないかと考えた。

参考文献

”なれずし三重県” 農林水産省  
[https://www.maff.go.jp/j/keikaku/syokubunka/k\\_ryouri/s\\_earch\\_menu/menu/nare\\_zushi\\_mie.html](https://www.maff.go.jp/j/keikaku/syokubunka/k_ryouri/s_earch_menu/menu/nare_zushi_mie.html)  
 (2023 年参照)  
 ”なれずし和歌山県” 農林水産省  
[https://www.maff.go.jp/j/keikaku/syokubunka/k\\_ryouri/s\\_earch\\_menu/menu/nare\\_zushi\\_wakayama.html](https://www.maff.go.jp/j/keikaku/syokubunka/k_ryouri/s_earch_menu/menu/nare_zushi_wakayama.html) (2023 年参照)  
 木本誠一 編集 『乳酸菌のひみつ【新版】』 株式会社学研プラス

謝辞

本研究を進めるにあたり、お忙しい中終始丁寧にご指導くださいました三重大学教育学部市川俊輔先生と三重大学市川研究室の竹内淳人さんに深く感謝申し上げます。

# ウミホタルの走光性について

寺地 絢星  
新宮市立 神倉小学校 6年

Ayase Teraji

## 要旨

ウミホタルは海底に生息し、発光物質を出して光る小型甲殻類である。2019年からウミホタルの採集を行っており、飼育しながら観察を行ってきた。2022年の飼育中にライトの光に反応している様子を観測し、三重ジュニアドクター育成塾の講座でオオミジンコの走光性について学んだことから興味を持ち、ウミホタルにも走光性があるか調べてみようと思い実験を行った。

当初の実験では白色LEDライトには集まり、紫外線LEDライトからは逃げるというオオミジンコと同様の反応を示すと思われたが、白色LEDライトの光が大きすぎて水槽の反対側に反射し、そちらが眩しくて逃げているとも考えられ、また全く反応しない時もあったことから、光の明るさや時間帯、月齢にも関係しているのではないかと考え、反応を調べた。光を弱くした実験、満月から新月までの実験で、ウミホタルは光から逃げるというオオミジンコとは違う負の走光性を持つということと、月齢には関係しないということがわかった。

キーワード：ウミホタル・走光性・月齢

## 1. はじめに

私は2019年に新宮市少年少女発明クラブの講座でウミホタルの採集を行ってから興味を持ち、飼育と観察を行ってきた。

2022年の飼育中にライトの光に反応している様子を観測し、三重ジュニアドクター育成塾の講座でオオミジンコの走光性について学び、オオミジンコには白色LEDライトの光に集まるという正の走光性があるということを知り、同じ甲殻類の仲間であるウミホタルの走光性についても調べてみようと思った。

走光性のうち、光のある方向に近づくような行動は「正の走光性」光から離れるような行動は「負の走光性」という。昆虫は紫外線により反応するため、紫外線が少ないLED照明より蛍光灯や水銀灯に集まる傾向がある。

正の走光性を持つ生物には、蛾、甲虫、カメムシ、キリギリス、ウスバカゲロウ、クサカゲロウ、ハエミドリムシ、テトラヒメナなどの微生物があり、負の走光性を持つ生物にはミミズ、ゴキブリなどがある。

2022年の実験では白色LEDライトと紫外線LEDライトを使用して反応を観察。オオミジンコと同様に白色LEDライトの光には集まり、紫外線LEDライトの光からは逃げる反応がみられる時があったが、全く反応しない時もあった。また、白色LEDライトの光に集まってきたと思われたが、光が水槽の反対側に反射して、そちらの方が眩しくて逃げていたのではないかと考えられた。(錯視説:明るい光源の周囲を実際より暗いと誤認するマッハバンドやシュブルーール錯視を起こし、む

しろ暗い所へ逃げ込もうとして光に向かってしまうという説)

そして、新月や満月の日によって反応が違っていたので、月齢による影響があるのではないかと考えられた。

そこで今回は、ウミホタルが光に反応するのは、光の明るさや時間帯、月齢による影響があるのではないかと考え、ウミホタルの走光性の行動に条件があるのかを調べ、オオミジンコとは違い負の走光性を持っているか確認することを目的とした。

## 2. 材料と方法

### (1) 実験動物

ウミホタルの採集

和歌山県那智勝浦町の宇久井港の防波堤で採集した。採集するためにトラップは小型プラスチック水槽を用い、これに魚のアラを入れ日没後に防波堤から海に沈め、20分~1時間程度置いてから引き上げた。水槽内のウミホタルをそのまま自宅に持ち帰り、飼育を行った。

ウミホタルの飼育

ウミホタルは人工海水を入れたプラカップ(直径10cm)に入れ、20℃に設定した恒温器で飼育した。

魚のアラの小片を3日に1回与え、海水は1週間に1回交換した。

(2) 走光性実験

① 白色LEDライトと紫外線LEDによる実験(2022年)  
 採集にも使用した水槽に人工海水を入れ、ここにウミホタル約50個体入れた。水槽の側面や上部から白色LEDライトと紫外線LEDライトの光をあてて反応を観察した(図1, 図2)。

また、紫外線LEDライトでの反応が悪かったので飼育に使用しているプラカップに約100個体のウミホタルを入れ紫外線LEDライトの光をあてて反応を観察した(図3)。

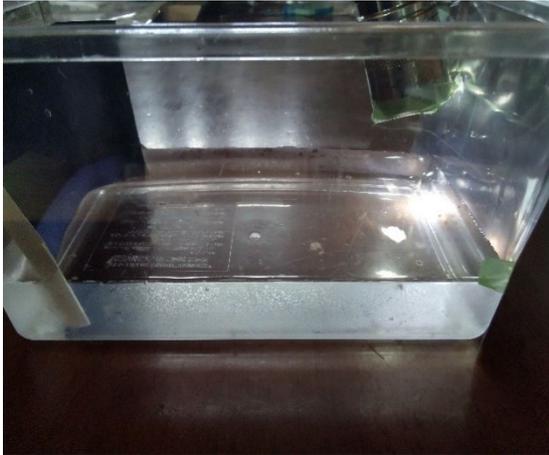


図1 白色LEDライトによる実験(約50個体)

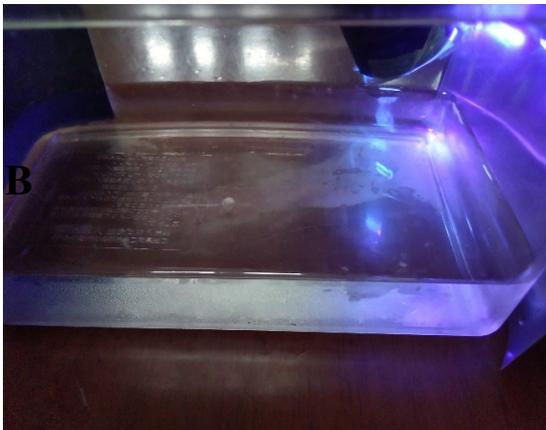


図2 紫外線LEDライトによる実験(約50個体)

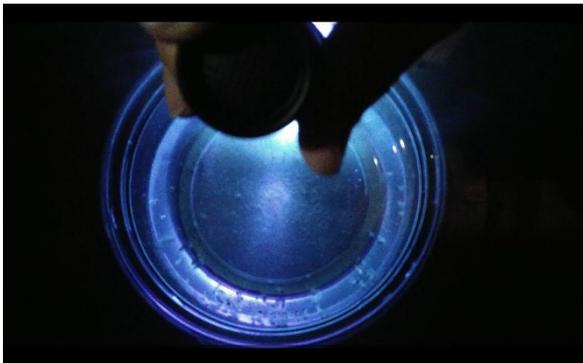


図3 紫外線LEDライトによる実験(約100個体)

② 白色LEDライトによる実験(2023年)

容器を小さいものに、白色LEDライトも小型に変え、光の反射を抑えて実験を行った。

実験にはウミホタル10個体を使用、29,400luxの明るさの光を左右からあてる(図4)。

ウミホタルが反応する時間帯を調べる。(午前9時頃、午後2時頃、午後9時頃)

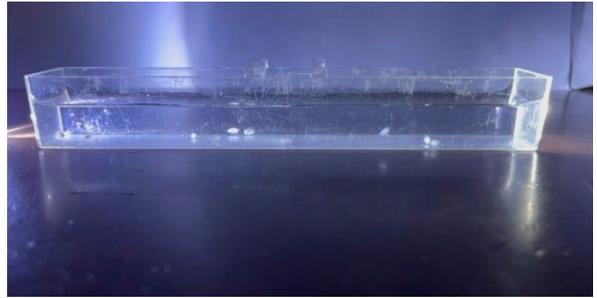


図4 白色LEDライトによる実験

③ 月齢による反応実験

2023年5月5日の満月の日に行った実験時には反応なかったが、5月20日の新月の日やその数日後の実験時には反応がみられた。

ウミホタルの採集は、満月の時より新月の時の方がよく採れると言われており、月の明るさだけでなく、月の満ち欠けがウミホタルの行動に何らかの影響を与えるのではないかと考えた。

2023年8月16日の新月から8月31日の満月まで毎日午後9時にウミホタル10個体を水槽に入れ、左右の側面から白色LEDライトをあて、動画撮影を行いながら反応を観察した。

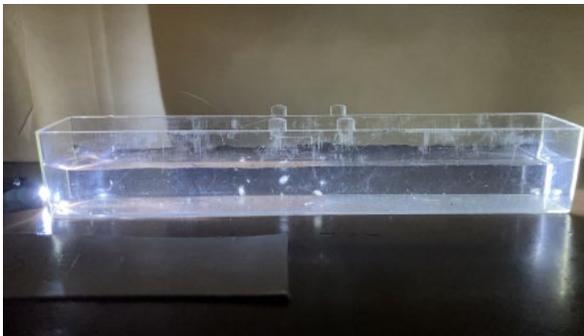
2023年8月 月齢カレンダー

<< 前月		2023年8月						次月 >>
日	月	火	水	木	金	土		
		1 友引	2 先負	3 仏滅	4 大安	5 赤口		
		14.3	15.3	16.3	17.3	18.3		
6	7	8	9	10	11	12		
先勝	友引	先負	仏滅	大安	赤口	先勝		
19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3		
13	14	15	16	17	18	19		
友引	先負	仏滅	先勝	友引	先負	仏滅		
26.3	27.3	28.3	29.3	0.7	1.7	2.7		
20	21	22	23	24	25	26		
大安	赤口	先勝	友引	先負	仏滅	大安		
3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7		
27	28	29	30	31				
赤口	先勝	友引	先負	仏滅				
10.7	11.7	12.7	13.7	14.7				

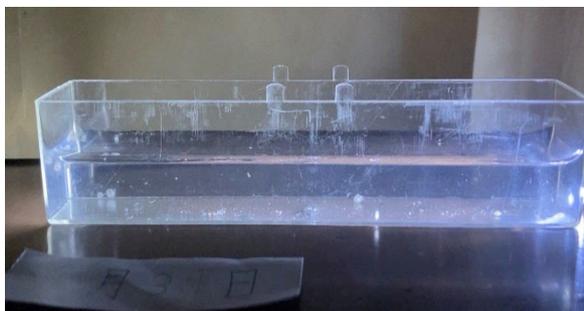
### 3. 結果

走光性に関する実験

- ① 白色LEDライトと紫外線LEDによる実験(2022年)  
オオミジンコと同様に白色LEDライトの光には集まり、紫外線LEDライトの光からは逃げる反応がみられたが、日時を変えて数回実験を行う中で、全く反応しないことがあった。  
また、白色LEDライトの光に集まってきたと思われたが、光が水槽の反対側に反射して、そちらの方が眩しくて逃げていたのではないかと、または錯視が原因ではないかとも考えられた。
- ② 白色LEDライトによる実験(2023年)  
今までの水槽より小さく細長い容器に変え、白色LEDライトも小型のものにしたところ、光から逃げる負の走光性の反応がはっきりみられた。  
時間帯の変更による反応については、午前9時頃反応した。午後2時頃少し反応した。午後9時頃反応した。結果としてどの時間帯でも反応がみられた。
- ③ 月齢による反応実験  
2023年8月16日の新月の日から8月31日の満月の日まで、どの日でも同じ負の走光性の反応がみられた。



実験日 2023年8月16日(月齢 新月)



実験日 2023年8月31日(月齢 満月)

### 4. 考察

ウミホタルには負の走光性があり、光から逃げる行動をとる。それは昼間は海の底の砂に潜って、夜になってから活動するという生活リズムに影響しているのではないかと考えられる。

室内実験では、時間帯による影響はほとんどみられなかった。

月齢による走光性の影響はなかった。採集に関しては、月の光よりも潮の満ち引きの方が関係しているのではないかとと思われる。

### 5. 今後の課題

今後もウミホタルの採集と飼育を行う中で、色々な行動を観察し、興味を持ったり、疑問に思ったことについて調べていきたい。

### 謝辞

研究活動を進めるにあたり、熱心なご指導・ご協力いただきました、三重大学教育学部特任教授 後藤太郎先生に深く感謝いたします。

### 参考文献

逸見泰久他(2002)ウミホタルの分布と行動  
日本ベントス学会誌 Vol. 57. 21-27

走光性とは <https://ja.m.wikipedia.org>

# トントンする寄生バチについての研究Ⅱ

小林 碧

伊勢市立厚生中学校 1年

Aoi Kobayashi

## 要旨

アワヨトウ幼虫 10 匹とそれを寄主とするカリヤサムライコマユバチ(以下 Ck とする)50 匹を同一の空間にいれ、一定期間放置してもその寄生率は 100%にならない。その要因として、未寄生アワヨトウ幼虫に対して何度も産卵管を刺し毒液を注入するが産卵しない行動(以下トントンとする)をとる Ck が発見された。仮に Ck が全てのアワヨトウ幼虫に寄生をすると、寄生されたアワヨトウ幼虫は全て蛹や成虫になることなく死亡するため、次世代を残すことができない。また、アワヨトウ幼虫が全滅すると、Ck も寄主がいなくなるため次世代を残すことができない。このことからトントンする Ck は、アワヨトウ幼虫の個体群を維持する働きがあると考えられるが、トントンする Ck が死ぬまでトントンする行動をとるのであれば、トントンする Ck は子孫を残すことができず、個体としての利益がなくなってしまう。そこで本研究では、トントンする Ck は死ぬまでトントンする行動をとるのではなく、時間がたつと通常通り産卵するようになるのではないかと考え、トントンする Ck がその後生殖活動を行うか否かを調べた。その結果、トントンした Ck のうち 90%が時間経過とともに通常通り産卵した。また、この要因としてトントンした Ck の卵巣の大きさの経目的変化を調べたところ、時間経過とともに卵巣が少し大きくなった。これらのことから、トントンする Ck は死ぬまでトントンするのではなく、通常通り産卵する Ck よりも産卵する時期を遅らせて、寄主であるアワヨトウ幼虫の個体群を維持しながら、自分自身も子孫を残していると推察される。

## 1. はじめに

アワヨトウは主にイネ科植物を食す昆虫であり、全国各地のトウモロコシ畑や麦畑、牧草地などに生息する(小山と松村, 2019)。また、このアワヨトウの幼虫を寄主とする寄生蜂も多く存在し、カリヤサムライコマユバチ *Cotesia kariyai* (以下 Ck とする) もその一種である(中松, 2002)。中松(2022)は鹿児島県にてアワヨトウ幼虫に寄生している寄生蜂についての野外調査を行ったところ、Ck を含むいくつかの寄生蜂に寄生されたアワヨトウ幼虫を採集することができたが、採集したアワヨトウ幼虫数における寄生蜂に寄生されたアワヨトウ幼虫数の割合は 100%に至ることがなかったと報告している。実験室内においても、複数のアワヨトウ幼虫とそれ以上の Ck を過密状態で同じ空間に入れたところ、Ck の寄生率が 100%に至らなかった(河原, 2021)。この要因として、河原(2021)は未寄生アワヨトウ幼虫に対して何度も産卵管を刺し毒液(以下 V とする)を注入するが産卵しない行動(以下トントンとする)を示す Ck がいることを発見した。

トントンする Ck は、通常の産卵行動よりも長い時間「トントン」することで、寄主を激しく動かし物理的に他の寄生蜂を寄せ付けないようにしていると同時に、その後注入した V の効果によって他の寄生蜂への産卵忌避行動を誘発していると考えられている(河原, 2021)。このようなトントンする Ck の働きは、Ck の

寄主となるアワヨトウ幼虫の個体群を維持することができるという点で種の利益につながると考えられる。しかし、トントンする Ck が死ぬまでトントンする行動をとるのであれば、トントンする Ck は子孫を残すことができず、個体として遺伝子を残すことができない。また、トントンする Ck は、通常通り産卵する Ck よりも卵巣の発達が遅いと推察されており(河原, 2021)、卵巣が発達した後に産卵する可能性がある。

そこで本研究では、トントンする Ck は通常通り産卵する Ck よりも産卵する時期を遅らせ、通常通り産卵する Ck とは異なる世代のアワヨトウ幼虫を寄主とすることでアワヨトウ幼虫の個体群を維持しているのではないかと考え、トントンする Ck がその後生殖活動をするか否かを調べた。

## 2. 材料と方法

### 材料

#### 昆虫の飼育

本実験で供試した昆虫は皇學館大学教育学部生物学研究室で継代飼育されている個体群を使用した。

供試虫：アワヨトウ幼虫 6 齢 0 日目 (図 1・A)

*Mythimna separata*

カリヤサムライコマユバチ (図1・B)  
*Cotesia kariyai*

飼育環境：温度 25±2℃、16L8D

餌：アワヨトウ幼虫…簡易人工飼料

カリヤサムライコマユバチ…10%シヨ糖溶液



図1 アワヨトウ幼虫とカリヤサムライコマユバチ  
Aはアワヨトウ幼虫をBはカリヤサムライコマユバチを示す。  
スケールバーは0.5cmを示す。

実験1 アワヨトウ幼虫に対してトントンを示したCkの割合

Ck 雌成虫におけるトントンを示した Ck の割合を調べるために、以下の方法で実験を行った。羽化後1日目のCk 雌成虫を6齢0日目のアワヨトウ幼虫に近づけた際の行動を観察し、トントンを示したCkと通常の産卵行動をとるCkに分けた。その後両方のCk数を計測し、トントンを示したCkの割合を算出した。

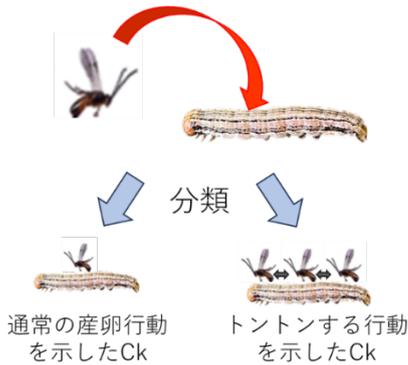


図2 実験1の実験方法

実験2 4つの実験区におけるCkの羽化後の生存日数の比較

羽化後1日目のCk 雌成虫を6齢0日目のアワヨトウ幼虫に近づけた際の行動を観察し、通常の産卵行動を示したCk、通常の産卵行動を示した際に人為的に産卵を中止させたCk、トントンを示したCk、トントンを示した際に人為的にトントンを示した行動を中止させたCkの4つに分けた。その後それぞれのCkをプラスチックシャーレ(直径3.5cm, 高さ1cm, 以下ミニシャーレとする)の中に1匹ずつ入れ、死亡するまで10%シヨ糖溶液を与えて個別飼育し、それぞれの生存日数を記録した。

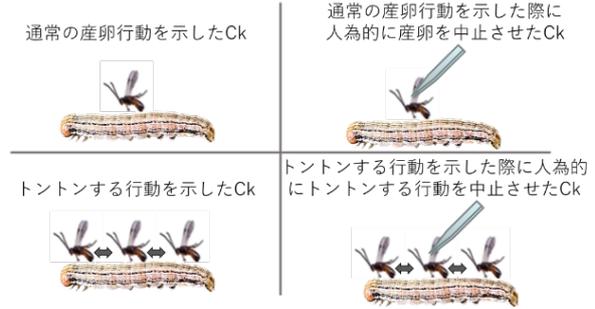


図3 実験2の4つの実験区

実験3 トントンを示したCkのその後の産卵行動の観察

アワヨトウ幼虫に対してトントンを示した際に人為的にトントンを示した行動を中止させた羽化後1日目のCkを集め、1匹ずつミニシャーレに入れて10%シヨ糖溶液を与えて16L8D25±1℃の条件下で個別飼育した。その後、毎日6齢0日目のアワヨトウ幼虫に近づけた際のCkの行動を観察し、Ckの行動が「産卵」、「トントン」、「産卵行動を示さない」の3つのうちいずれにあたるのかを記録した。

実験4 トントンを示したCkの卵巣の大きさの経日的変化

トントンを示したCkの卵巣の大きさの経日的変化を調べるために以下の方法で実験を行った。

羽化後1日目のCkを6齢0日目に近づけた際の行動を観察し、トントンを示したCkを集めた。その直後と実験3と同様の方法で1日飼育した後のトントンを示したCkの卵巣を実体顕微鏡下でピンセットを用いて摘出した。その後、実体顕微鏡下で撮影を行い、撮影した卵巣の縦と横の長さをコンピューター上の画像解析ソフトを用いて計測した。比較対象として通常通り産卵したCkと産卵未経験のCkにおいても同様の方法で卵巣の大きさを調べた。

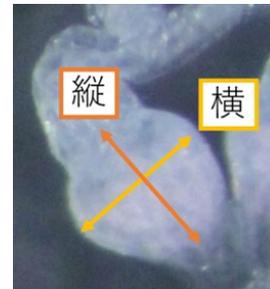


図4 卵巣の計測方法

統計処理

多重比較を行う場合は、正規性の検定を行った後、一元配置分散分析(ANOVA)および多重比較分析(Tukey-Kramer test)を用いて検定した。

3. 結果

実験1 アワヨトウ幼虫に対してトントンする行動を示したCkの割合

羽化後1日目のCk雌成虫をアワヨトウ幼虫に近づけた際のトントンする行動を示したCkの割合を調べた。その結果、10.9%のCkがトントンする行動を示した(表1)。

表1 産卵時にトントンする行動を示したCkの割合

供試虫数	産卵時に示したCkの行動の割合(%)	
	トントン	通常の産卵行動
92	10.9	89.1

実験2 4つの実験区におけるCkの羽化後の生存日数の比較

通常の産卵行動を示したCk、通常の産卵行動を示した際に人為的に産卵を中止させたCk、トントンする行動を示したCk、トントンする行動を示した際に人為的にトントンする行動を中止させたCkの羽化後の生存日数を調べた。その結果、通常の産卵行動を示したCkの寿命は4.5±1.2日、通常の産卵行動を示した際に人為的に産卵を中止させたCkの寿命は4.9±2.6日、トントンする行動を示したCkの寿命は3.4±1.9日、トントンする行動を示した際に人為的にトントンする行動を中止させたCkの寿命は5.0±1.9日であった(表2)。統計処理を行ったところ、4つの実験区において有意な差は見られなかった。

表2 4つの実験方法におけるCkの羽化後の生存日数

実験区	供試虫数	羽化後の生存日数(平均±S.D)
通常の産卵行動を示したCk	15	4.5±1.2 a
通常の産卵行動を示した際に人為的に産卵を中止させたCk	15	4.9±2.6 a
トントンする行動を示したCk	15	3.4±1.9 a
トントンする行動を示した際に人為的にトントンする行動を中止させたCk	11	5.0±1.9 a

実験3 トントンするCkのその後の産卵行動の観察

羽化後1日目のトントンするCkをその後も毎日アワヨトウ幼虫に近づけ、産卵行動を観察した。その結果、1回目トントンしたCkのうち90%のCkが2回目以降通常通り産卵した(表3、表4)。

表3 トントンしたCkの2回目以降の産卵行動

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
N.1	トントン	産卵	産卵	?	産卵	死亡
N.2	トントン	産卵	トントン	死亡		
N.3	トントン	トントン	産卵	死亡		
N.4	トントン	産卵	産卵	死亡		
N.5	トントン	トントン	産卵	産卵行動を示さない	産卵	産卵行動を示さない
N.6	トントン	トントン	産卵	産卵	産卵行動を示さない	産卵行動を示さない
N.7	トントン	産卵	トントン	トントン	トントン	死亡
N.8	トントン	産卵	産卵	産卵	産卵行動を示さない	産卵行動を示さない
N.9	トントン	産卵	死亡			
N.10	トントン	死亡				

表4 1回目にトントンしたCk数における2回目以降産卵したCk数の割合

1回目にトントンしたCk数	2回目以降産卵したCk数	1回目にトントンしたCk数における2回目以降産卵したCk数の割合(%)
10	9	90

実験4 トントンするCkの卵巣の大きさの経日的変化

羽化後1日目のCk雌成虫を、トントンしたCk、通常通り産卵したCk、産卵未経験のCkに分け、その直後と1日放置後の卵巣の大きさを計測した。その結果、トントンした1日後のCkの卵巣の縦と横の長さは、トントンした直後(0日目)と比較して若干高い値を示した(図5)。

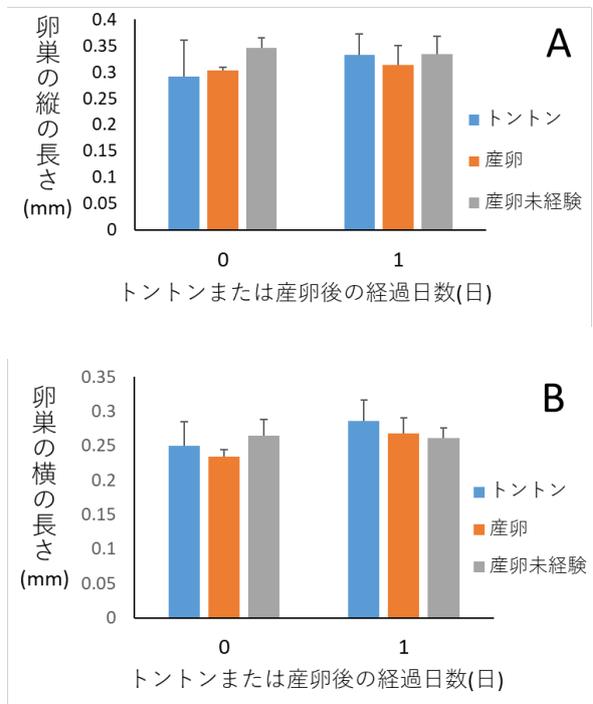


図5 トントンするCkの卵巣の大きさの経日的変化

A: 卵巣の縦の長さ

B: 卵巣の横の長さ

#### 4. 考察

複数のアワヨトウ幼虫とそれ以上の Ck を同じ空間内に入れても、その寄生率が 100%に達しない。その要因として、河原(2021)はトントンする Ck がいることを発見した。本研究においても、Ck 雌成虫をアワヨトウ幼虫に近づけた際の行動を観察したところ、10.9%の Ck がトントンする行動を示した。

トントンする Ck の存在は、寄主であるアワヨトウ幼虫の個体群を維持することができるという点で、Ck の種としての利益を生み出していると考えられるが、トントンする Ck 自身は子孫を残すことができず、個体としての利益が得られないと考えられる。そこで本研究では、トントンする Ck は死ぬまでトントンする行動をとり続けるのではなく、通常通り産卵する Ck よりも遅れて産卵するようになるのではないかという仮説を立て、実験を行った。まず、トントンする Ck は通常通り産卵する Ck よりも遅れて産卵するために、通常通り産卵する Ck と比べて寿命が長くなるのではないかと考え、通常の産卵行動を示す Ck とトントンする Ck の寿命を比較した。その結果、両者の寿命に有意な差は見られなかった。いくつかの昆虫において、雌成虫の寿命は交尾や産卵を経験することで短くなると報告されており(Bateman et al., 2006; Wang et al., 2005)、トントンする行動によって産卵と同等のエネルギーを消費したため、トントンする Ck の寿命が通常の産卵行動を示す Ck より長くならなかったのではないかと考えられる。

トントンする Ck がその後産卵するか否かを調べたところ、羽化後 1 日目にトントンした Ck のうち 90%の Ck が、その後通常通り産卵した。また、トントンする Ck の卵巣の大きさの経日的変化を調べたところ、トントンした Ck の 1 日放置後の卵巣はトントンした直後よりも大きくなった。寄生蜂の雌成虫が保有する成熟卵は、羽化後時間経過とともに卵巣の発達に応じて増加する(朴と守屋, 1992; 高木, 1976)。このことから羽化後 1 日目のトントンする Ck は卵巣が未発達であり、卵巣内に保有する成熟卵が少なかったため産卵することができずトントンする行動をとったが、その後卵巣が発達し成熟卵数が増加したため、産卵することが可能になったのではないかと考えられる。以上のことから、トントンする Ck は、通常通り産卵する Ck よりも産卵する時期を遅らせ、寄主であるアワヨトウ幼虫の個体群を維持しながら自分自身も子孫を残していると推察される。

今回の研究でトントンする Ck も子孫を残すことが明らかになった。今後は、トントンする Ck と通常通り産卵する Ck のそれぞれの子孫におけるトントンする Ck の割合に差異があるのかどうかについて探ってい

トントンする Ck の謎の解明に向けてさらなる知見を集めていきたい。

#### 参考文献

Bateman, P. W., Ferguson, J. W. H., & Yetman, C. A. (2006). Courtship and copulation, but not ejaculates, reduce the longevity of female field crickets (*Gryllus bimaculatus*). *Journal of Zoology*, 268(4), 341-346.

河原永昌. (2021). 卵を産まない寄生バチの雌が種を保存する! ? —「トントン」するハチの驚くべき行動とその意味について—.

小山重郎, 松村正哉. (2019). 日本におけるアワヨトウ (チョウ目: ヤガ科) の発生生態と防除: 特に大発生と成虫の長距離移動に関連して. *日本応用動物昆虫学会誌*, 63(2), 39-56.

中松豊. (2002). アワヨトウ *Pseudaletia separata* に寄生する内部寄生蜂と外部寄生蜂. *日本比較内分分泌学会ニュース*, 2002(105), 105\_5-105\_8.

中松豊. (2022). 鹿児島県鹿屋市と熊本県合志市におけるアワヨトウ幼虫の採集と幼虫に寄生している寄生蜂の種類と寄生率について. *皇學館大学教育学部学術研究論集*, (4), 55-60.

朴春樹, & 守屋成一. (1992). チュウゴクオナガコバチとクリマモリオナガコバチ成虫の生存期間と産卵数. *日本応用動物昆虫学会誌*, 36(2), 113-118.

高木正見. (1976). アゲハの蛹寄生蜂としてのアオムシコバチの生態. *日本応用動物昆虫学会誌*, 20(3), 157-163.

Wang, X. P., Fang, Y. L., & Zhang, Z. N. (2005). Effect of male and female multiple mating on the fecundity, fertility, and longevity of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Journal of Applied Entomology*, 129(1), 39-42.

# 水耕栽培におけるミジンコの影響

—新たな視点をプラス—

小西奏

四日市市立常磐中学校 1年

Kanade Konishi

## 要旨

昨年度に引き続き、水耕栽培において、「ミジンコがいることで植物の成長に変化が起こるか」、という研究を行った。今回は昨年度の反省を踏まえ、より正確なデータを手に入れる事を目的とし、追加で実験を行った。その結果、水耕栽培を行う容器にミジンコを入れると、植物が大きく育つことが分かった。さらに追加の実験を行い、ミジンコがいることで植物が大きく成長する要因となる物質が「キトサン」である可能性を発見した。バクテリアを用いて循環的に水耕栽培を行う事を目的とした実験を行った。

キーワード: ミジンコ 水耕栽培 キトサン

## 1. はじめに

昨年度、私はミジンコに興味を持ち、ミジンコの習性を水耕栽培に生かすことができないか疑問に思い、研究を行った。

昨年度の研究では水耕栽培を行う水槽にミジンコを入れることで、根の成長を促進させる効果があると分かった。葉や茎のはっきりとした成長の違いは確認できなかった。

今年度の研究ではより正確なデータを測るとともに、追加実験を行い、さらに研究を発展させることを目的とした。

## 2. 実験材料

### (1) 実験動物

私の家で飼っていたタマミジンコを使った。

### (2) 実験植物

成長が早い小松菜を使った。その際にある程度根を延ばす必要があり、発芽から8日間経った個体を使った。

## 3. 実験方法

### (1) 実験内容、目的

ミジンコは甲殻類に分類される動物プランクトンである。主に植物プランクトン（藻が発生する原因）を捕食している。

水耕栽培の難点は根に付着する藻が、植物が栄養と水分を吸収するのを阻害することだ。

私はミジンコが植物プランクトンを食べる働きを利用して、水耕栽培をさらに効率よく行う方法を調べた。

### (2) 共通事項

実験で使用した水はすべてカルキ（塩素）を抜いてある。実験条件はその水に条件を追加したものである。

観察項目は「水槽の状態の変化（「藻の量」「濁り」「ミジンコの量」「水の濃度）」「根の状態」「葉の状態」「茎の状態」とした。

使用した植物は小松菜で、発芽から8日目の個体を使った。実験中は一日あたり12時間LEDライトで光を送った。

水中の電気伝導率をECメーターで評価した。

ミジンコは培養用の水槽から約20匹ずつ採取した。

### (3) 実験1 ミジンコが植物に与える影響

実験条件を4つ決め、それぞれをA, B, C, Dとした。

A: 液体肥料

B: 液体肥料+ミジンコ

C: 液体肥料+ミジンコ+エアレーション

D: 液体肥料+エアレーション

小松菜は条件ごとに2つ苗を使った。

観察期間は17日間とした。

液体肥料はHYPONEX社、微粉ハイポネックスNET500gを使用した。

1000倍で希釈をして、4日ごとに追加をした。

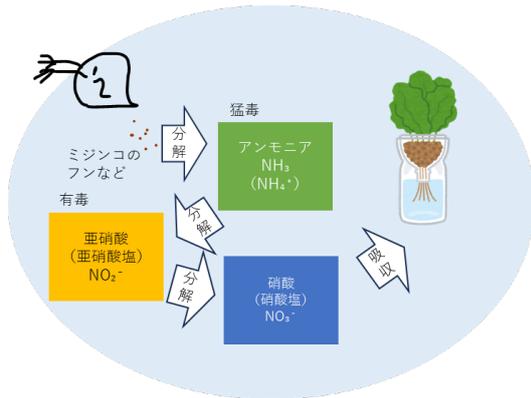
実験1終了後に使った小松菜個体の葉を一枚残してミジンコの培養用の水槽に入れると肥料を入れていな

いのにも関わらず、大きく成長した。私はこのことを不思議に思い、追加で実験を行った。

(4) 実験2 バクテリアを用いた水耕栽培

実験1で述べたように、培養用の水槽に入れた小松菜個体が大きく成長し、そのようになった理由として、バクテリア (GEX 社, サイクル 250ml) を入れていたことが関与したと考えた。

予想される栄養を作り出すプロセス



実験1と同様、実験条件を4つ決め、それぞれをA, B, C, Dとした。

- A: ミジンコ
- B: ミジンコ+バクテリア
- C: ミジンコ+エアレーション
- D: ミジンコ+バクテリア+エアレーション

観察期間は25日間とした。

バクテリアの効果を見るために餌 (キョーリン社 ひかりヌマエビを砕いたもの) を使った。

実験終了後、バックテストを用いて、「アンモニウム態窒素」、「亜硝酸態窒素」、「硝酸態窒素」、「リン酸態リン」の値を調べた。

(5) 追加実験 キトサンの効果を確認する

実験1の結果から考えられることとして、キトサンが関与した可能性が高く、その効果を確認することを追加実験として行った。

キトサンはそのままでは水に溶けにくく、水溶性のキトサンを使用した。

実験条件を2つ決め、A, Bとした。

- A: キトサンあり
- B: キトサンなし

キトサンは濃度を1000倍で、7日ごとに追肥した。

観察項目は「根の状態」「電気伝導率」の二つとした。

計測時に水質を調べた。観察項目は「総硬度 (GH)」「亜硝酸塩濃度 (NO<sub>2</sub>)」「硝酸塩濃度 (NO<sub>3</sub>)」「総塩素

量 (Cl<sub>2</sub>)」「pH」「炭酸塩濃度 (KH)」とした。

4. 結果

(1) 実験1 ミジンコが植物に与える影響 「水槽の状態の変化」

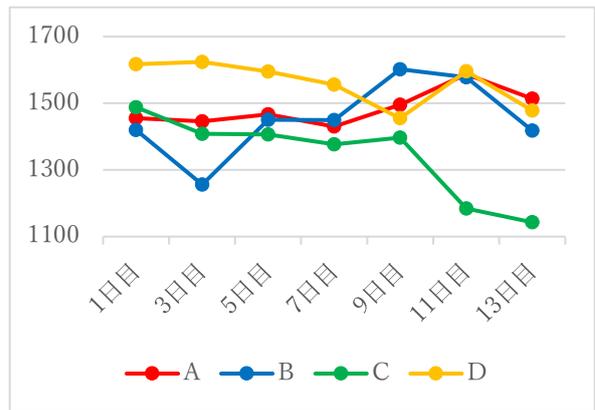
表1 水槽内の状態 (仮)

	1日目	3日目	5日目	7日目
A	藻発生	アオミドロ発生	アオミドロ増	アオミドロ増
B	沈殿物発生 (少)	藻発生	根網目状	ミジンコ増
C	ミジンコ増	沈殿物発生 (少)	ミジンコ増	ミジンコ増
D	藻発生	濁り発生	藻多	濁り多

	9日目	11日目	13日目
A	基細 半倒壊	基細 倒壊	基細 倒壊 藻多
B	ミジンコ増	ミジンコ減 半倒壊	濁り発生
C	根網目状	根増加 透明度高	ミジンコ減
D	濁り 藻多	半倒壊	濁り多 半倒壊

ミジンコを入れた個体 B, C は藻の発生、濁りの発生が遅くなった。

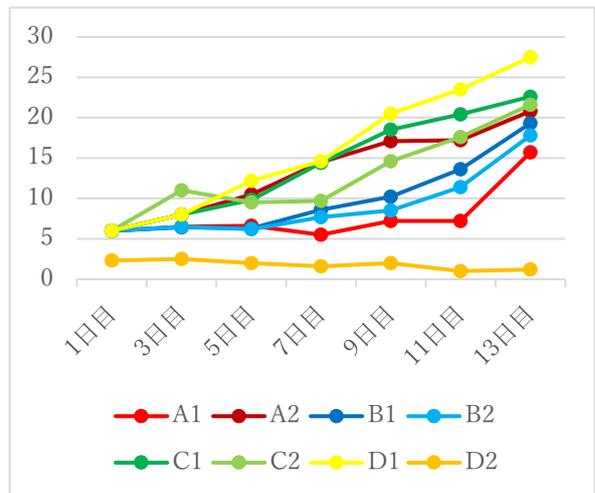
グラフ1 電気伝導率 (μs/cm)



Cの水槽は電気伝導率が他の個体に比べ、低かった。

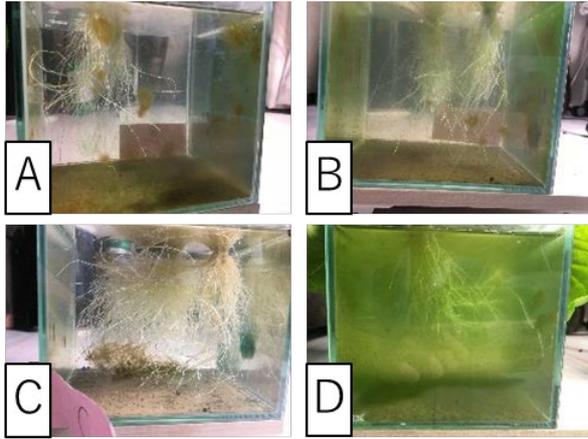
「根の状態」

グラフ2 根の長さ (cm)



エアレーションを行った C, D の個体は根が長く伸びた。

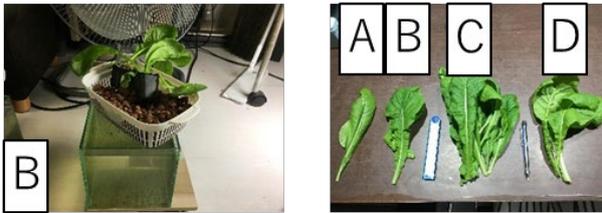
図1 実験13日目 根の状態



Cの個体は根の総量が多く、網目状に伸びていた。

「葉、茎の状態」

図2 茎の折れた個体 7日目 図3 収穫できた葉 13日目



エアレーションを行っていないA,Bは茎が折れた。  
エアレーションを行ったC,Dは大きく成長し、Cは多く葉を収穫することができた。

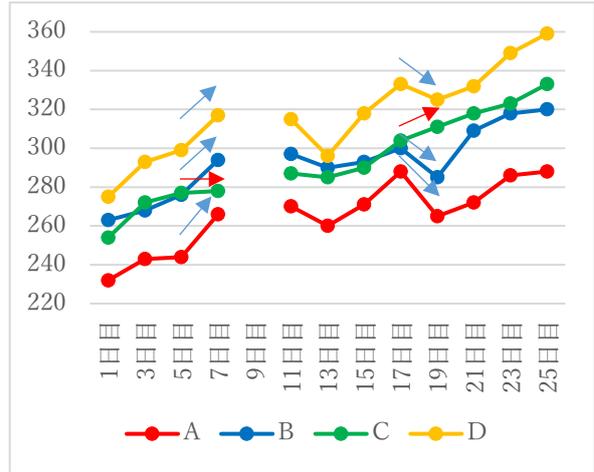
(2) 実験2 バクテリアを用いた水耕栽培  
「水槽の状態の変化」

表2 水槽内の状態

	1日目	3日目	5日目	7日目	9日目	11日目	13日目
A	変化なし	変化なし	A1 徒長	変化なし	X	変化なし	藻発生
B	変化なし	B2 徒長	B1 徒長	変化なし		根毛多	変化なし
C	変化なし	C2 徒長	C2 倒壊	C1 徒長		C1 倒壊	藻発生
D	変化なし	変化なし	D2 根が切れる	D1 徒長		根毛多	藻発生
	15日目	17日目	19日目	21日目	23日目	25日目	
A	変化なし	藻多	変化なし	苔発生	A1 葉先が巻く	変化なし	
B	藻発生	藻多	B2 葉 黄化	B2 葉の先が枯れる	変化なし	B2 枯れる	
C	ミジンコ減る	濁り発生	ミジンコ 全滅	苔発生	C2 葉先 枯れる	C2 枯れる	
D	藻多	ミジンコ増える	苔発生	ミジンコ減	D1 枯れる	ミジンコ全滅	

バクテリアを入れた個体は根毛が多く見られた。

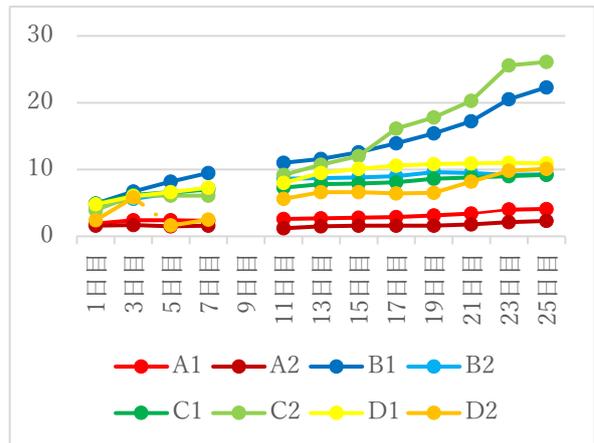
グラフ3 電気伝導率 (μs/cm)



A, B, Dは同じような動きをしているが、Cのみ7, 19日目など、違う動きをしている。

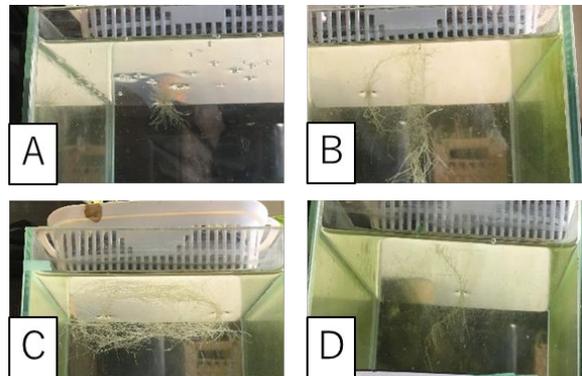
「根の状態」

グラフ4 根の長さ (cm)



Aの水槽で育てた個体は短かった。B1, C2は長く育ったが、そのほかの個体の成長には大きな差はない。

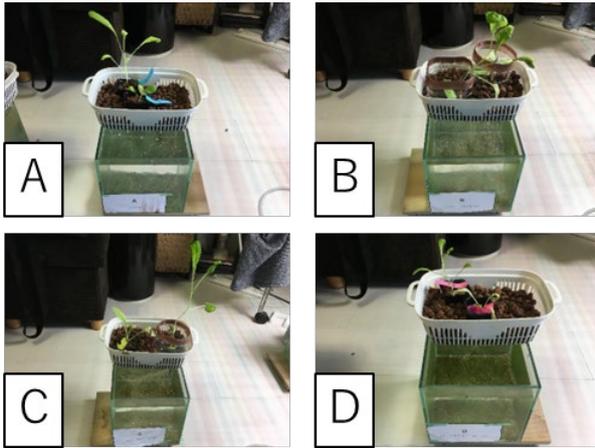
図4 実験25日目 根の状態



CとBの根に細かい根が多かった。Aは根が長く育たなかった。

「葉、茎の状態」

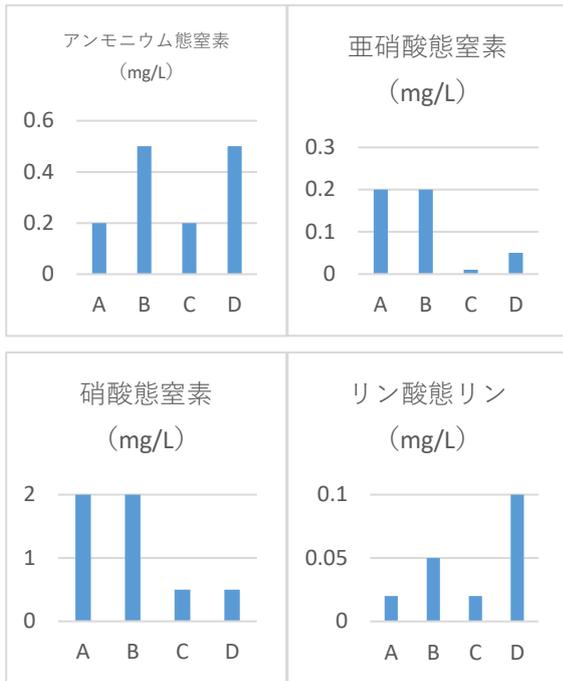
図5 実験25日目 葉の状態



A, Cは徒長が目立つ。  
徒長…日射不足や栄養不足など起こる茎だけが伸びる状態

「パックテストを用いた水質調査」

グラフ5 実験25日目 パックテストを用いた水質



- A…窒素量が多い。
- B…窒素量が多い。(アンモニウム態窒素が多い→有毒)リンの量も多い。
- C…窒素量、リンの量ともに少ない
- D…窒素量が多い。(アンモニウム態窒素が多い→有毒)リンの量が最も多い。

(3) 追加実験 キトサンの効果を確認する  
「水槽の状態の変化」

表3 水質の変化

A

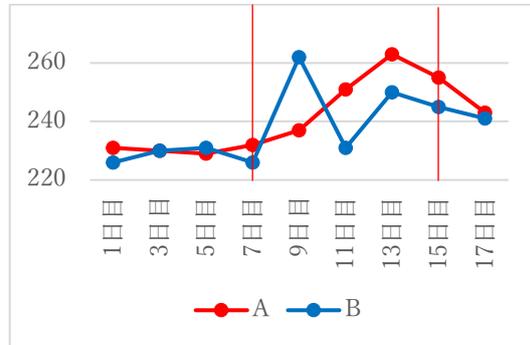
	1日目	3日目	5日目	7日目	9日目	11日目	13日目	15日目	17日目
GH	50-100	150	150	150	150	150	150	150	50-100
NO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	7.2	7.2	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
KH	80	80	40	40	40	40	40	40	0

B

	1日目	3日目	5日目	7日目	9日目	11日目	13日目	15日目	17日目
GH	150	50-100	50-100	50-100	200-300	150	150	50-100	50-100
NO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH	6.4	6.8	6.4	6.8	6.4	6.8	6.4	6.4	6.4
KH	40	40	40	40	40	0	0	0	0

キトサンを入れたBはpHが低かった。

グラフ5 電気伝導率 (μs/cm)



キトサンを入れた7日目より後に大きな変動が起きているが、その他に大きな差は無い。

「根の長さ」

グラフ6 根の長さ (cm)

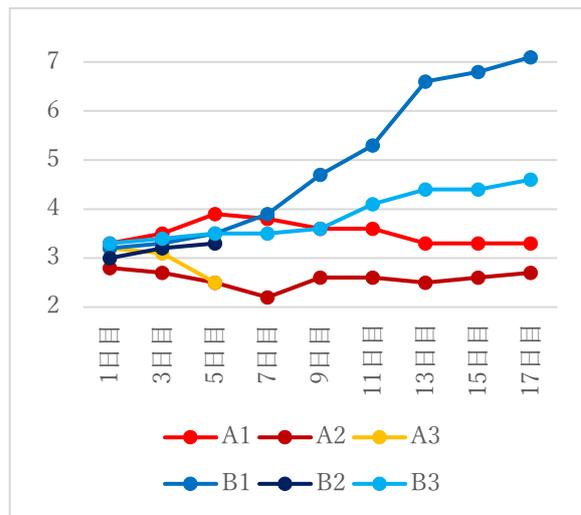
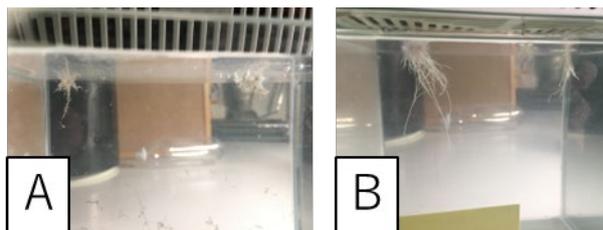


図6 17日目 根の状態



B の個体が長く成長し、根の分化（網目状に変化）が確認できた。

#### 4. 考察

##### (1) 実験 1 ミジンコが植物に与える影響

ミジンコを入れた個体 B, C は藻の発生が遅くなった。ミジンコが藻を捕食したことが影響していると考えられる。

ミジンコを入れ、エアレーションを行った C の根が側根の量が多かった。

小松菜の根と葉が大きく成長した要因として、キトサンが関与した可能性を考えた。

※キトサンとは、甲殻類や貝の仲間などから採取することができる多糖類。

効果として、

①放線菌など、有益な微生物、菌の活動を活性化させる。

②植物を病気に侵されにくくする。

③分解されて植物に吸収されると、細胞を活性化させる。→結果として、植物を大きく成長させることができる。

ミジンコは甲殻類の一種のため、キトサンが関与したと考えた。

##### (2) 実験 2 バクテリアを用いた水耕栽培

ミジンコを入れておらず、エアレーションを行っていない A はほとんど成長していなかった。

その他 B, C, D の根の長さには大きな差はなかった。

実験 1 の電気伝導率はどれも 1000 $\mu$ s/cm を超えているが、実験 2 は 400 $\mu$ s/cm を超えておらず、栄養の濃度が低かったと考えられる。

パックテストを用いた水質の計測では、C の窒素量が低く、B が最も窒素量が多かった。

D はリンが最も多かった。

B と D はアンモニウム態窒素が多く、A, C に比べ、有毒であると考えられる。

硝酸態窒素は C と D は少ないが、植物に吸収されたのか、分解された量が少ないのかは判断するのが難しく、同じ条件下で植物を育てない条件の個体を追加するなどの比較材料が必要であると考えた。

##### (3) 追加実験 キトサンの効果を確認する

植物は大きく育たなかった。

完全に栄養は与えずに、キトサンを入れていたためだと考えられる。

大きな差を観察するために栄養を両方与えて、キトサンの有無を条件に入れる必要があると考える。

B の根は A より大きく育ち、根の分化が見られた。

このことから、キトサンは根の分化を促進させる働きがあると考えられる。

このことから、ミジンコにキトサンが含まれるか調べ、キトサンが含まれていたなら、ミジンコが水槽内にいることが植物が大きく育つ要因になると考えられる。

#### 5. まとめ

実験①から、去年の研究を継続したことで、ミジンコが植物になんらかの影響を与え、

植物を大きく成長させることができるという事を確認できた。

実験②から、ミジンコとバクテリアがいると、栄養を作り出すことができた。

さらに、液体肥料を使わずに植物を大きく成長させることができる可能性を発見した。

今後の課題は、実験②で得られた事をより正確に確かめるために、餌やバクテリアの量を調節して

もう一度実験を行う事と、ミジンコにキトサンが含まれるのか調べる事二つと考えている。

今回の実験でミジンコを使った理由の一つに繁殖力がある。

ミジンコは条件をそろえることができると、一週間で最大数百倍に増える。

エビなどを使って水耕栽培を行うよりもより手軽に水耕栽培を行うことができる。

私にはもう一つ興味のある分野がある。それは宇宙である。

一般的に、大きい生物よりも小さい生物のほうが環境に慣れるのが早いと言われている。

ミジンコを宇宙に連れて行けば、効率よく植物を育てることができ、すぐに多く増えるので、

とても良い生物と考えられる。

特に、月などだと資源はあまり多くないのではないだろうか、水ならば岩石から入手できる可能性があるが、肥料となると別になる。今回の実験 2 がより多くの栄養を作りだせるようになれば、その問題を解決できると私は考えている。

#### 参考文献

坂田明 (2000) 土と内臓

デイビット・アンゴメリー (2000) あなたの体は9割が細菌  
微生物の生態系が崩れ始めた  
アランナ・コリン (2000) ろ過に関する研究 バクテリアに  
ついて Gex Lab. はじめてのアクアポニックス  
ロレーナ・ビラトマ フィリップ・ジョーンズ (2000)  
微生物・文明の終焉・淘汰  
マーク・バートネス (2000) 中学三年分の生物・地学が面白  
いほど解ける 65 のルール  
左巻健男 (2000) 面白くて眠れなくなる元素  
左巻健男 (2000) 驚異のバクテリア 出版：ニュートンムッ  
ク  
ミジンコ大全 (2000)  
坂田明 (2000) 土と内臓  
デイビット・アンゴメリー (2000)  
あなたの体は9割が細菌 微生物の生態系が崩れ始めた  
アランナ・コリン (2000) ろ過に関する研究 バクテリアに  
ついて Gex Lab. はじめてのアクアポニックス  
驚異のバクテリア 出版：ニュートンムック  
キチン・キトサンの最新科学技術 (2000)

#### 謝辞

本研究を進めるにあたりご指導いただき、このような他に  
ないとても貴重な機会を与えて下さったジュニアドクター育  
成塾の後藤太郎先生、市川俊輔先生をはじめ、ご協力いた  
だいたすべての方に心より感謝いたします。

# 水の成分と赤虫の生存数・植物の成長・発芽との関係

望月悠史

春日井市立高蔵寺中学校 第2学年

Hisafumi Mochizuki

## 要旨

本研究は生き物や植物にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べるために始めた。実験から、ミネラルウォーターによって適切・不適切があることが示唆された。そこで、ミネラルウォーターの採水地・硬度・成分の濃度が関係しているのではないかと考え、採水地・硬度・成分の濃度に着目してさらに実験を進めた。実験結果を成分の濃度の視点から考察し、ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の成長に影響するが、発芽には影響しないとわかった。また、植物の成長に必要な養分には、バランスが必要なのではないかと、あるいは養分のうち濃度が高すぎるとはいけない成分があるのではないかと考えた。

キーワード：ミネラルウォーター,成長,発芽,養分

## 1 はじめに

私はメダカを飼育している。週に1回程度は水換えを行っているが、水を変えるためには水道水をバケツに入れ、1日外において塩素を抜かなければならない。そのため、もっと早く塩素を抜く方法はないかと疑問をもった。そこで、昨年度メダカを飼育するために塩素を水道水から手早く抜く適切な方法を調査する研究「塩素を抜く条件 -メダカのために素早く適切に-」(望月2022)を行った。

この実験の結果から、「ミネラルウォーター」はほとんど塩素が入っていないが、赤虫の生存数が極めて低かった。ミネラルウォーターは人が安全に飲める水である。このことから、私が選んだ水がたまたま赤虫にとって不適切な水だったのかもしれないと考えた。

そこで、今回の実験では、いろいろな種類のミネラルウォーターで実験してみることにした。また、生き物だけでなく、植物にとってこれらのミネラルウォーターは不適切なのか疑問に思った。そこで、赤虫の実験に加え、植物に対する影響も調べた。

前回の実験で赤虫を選んだ理由は、本来ならメダカを入れて実験すべきだが、可愛そうでできなかったからである。そこで、前回はメダカと同じように塩素で死んでしまう赤虫(*Chironomidae*)を供試虫

として使った。今回は前回の実験の続きであるため、次のものを使用した。

生き物の環境に適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べるために、前回に引き続き赤虫を使用した。

植物の成長に適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べるために人参のヘタを使用した。

植物の発芽に適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べるためにサニーレタスの種を使用した。

調べていくうちにミネラルウォーターの採水地・硬度・成分の濃度が関係しているのではないかと考え、採水地・硬度・成分に着目してさらに実験を進めた。

## 2 材料と方法①

### (1) 赤虫にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験

同じ大きさの15個の透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と、赤虫75匹と5種類のミネラルウォーター(水A~E)を用意した。1種類の水につき15匹ずつ観察する。ただし、1つの容器に赤虫を15匹ずつ入れると赤虫の密度が高くなるため、1つの容器に5匹ずつ入れ、ミネラルウォーター1種類につき、3個の容器(あ・い・う)を使用することにした。

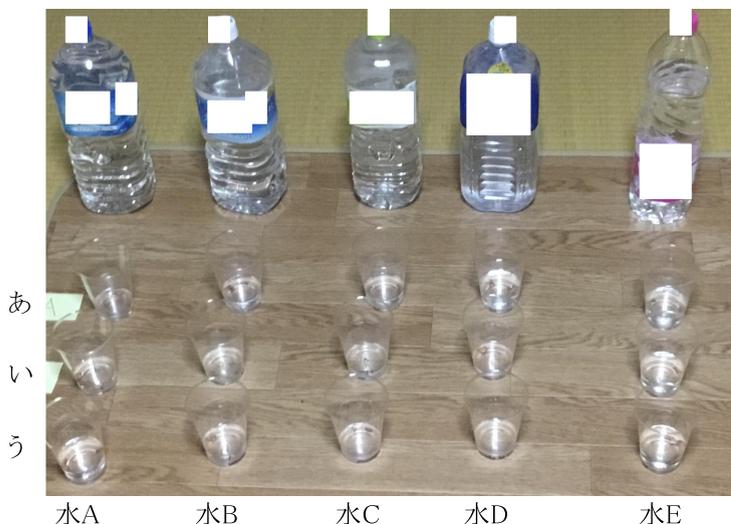


図1 赤虫にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験の様子  
\*この写真は実験途中で撮影したため、赤虫の数が足りない場合があります。

容器15個に赤虫を5匹ずつ入れた。計量カップでミネラルウォーター(水A~E)30 mLをはかり、それぞれ3個ずつの容器を用意した。水の成分は図2の通りである。毎日夕方に赤虫の生存数を数え、水を変えた。この実験を5日間観察した。(図1)

商品名	水A	水B	水C	水D	水E
ナトリウム	0.3-1.2mg	—	1.1mg	—	—
カルシウム	0.3-1.5mg	1.2 mg	0.72 mg	0.8 mg	46.8mg
マグネシウム	0.1~0.5 mg	0.44mg	0.23 mg	0.2 mg	7.45 mg
カリウム	0.02~0.21mg	0.2mg	0.09mg	0.9mg	0.28 mg
pH値	約8	7.7	—	8.3	7.4
硬度	30mg/L [軟水]	48mg/L [軟水]	27mg/L [軟水]	—	1468mg/L [硬水]
採水地	富士山	山梨県南都留郡山中湖村	山梨県白州	大分県日田市中之島町	フランス・コントレックスヴィル

図2 ミネラルウォーターの成分表(水A~E)

「—」は成分が無記載

(2) 植物の成長にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験

同じ大きさの5個の白色な容器(直径11.3 cm・高さ2 cm)と人参のヘタ10個を用意した。容器5個に人参のヘタを2個ずつ入れた。計量カップ30 mLの水をはかり,容器にそれぞれ6種類のミネラルウォーターを入れた。1つを水A,1つを水B,1つを水C,1つを水D,1つを水Eとした(成分は図2の通りである)。毎日夕方に人参のヘタから出た茎の本数を数え,水を変えた。この実験を5日間観察した。



水A 水B 水C 水D 水E

\*この写真は実験途中で撮影したものです。

図3 植物の成長にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験の様子

(図3)

(3) 植物の発芽にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験

同じ大きさの5つの透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と,サニーレタスの種25粒と綿を用意した。容器5個にサニーレタスの種を5粒ずつ入れた。計量カップで30 mLの水の量をはかり,綿に湿らせた。容器にそれぞれ5種類のミネラルウォーターを入れ,1つを水A,1つを水B,1つを水C,1つを水D,1つを水Eとした(成分は図2の通りである)。毎日夕方にサニーレタスの種から発芽した数を数え,水を変えた。この実験を5日間観察した。(図4)



水A 水B 水C 水D 水E

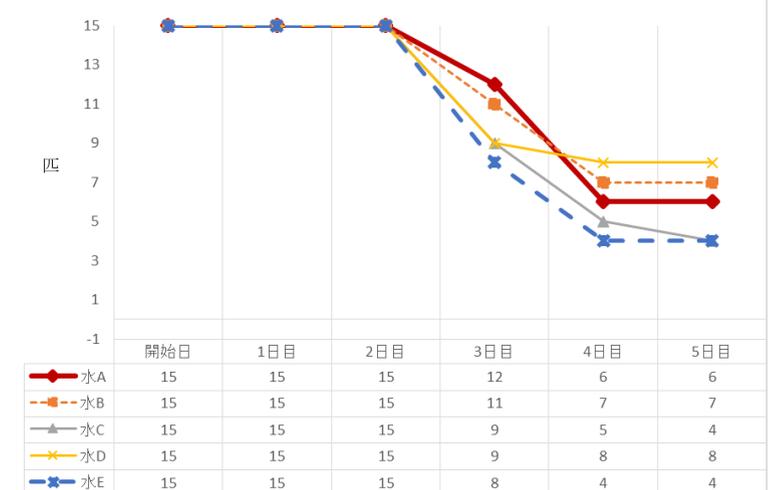
図4 植物の発芽にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験の様子

3 結果①

(1) 赤虫にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験

5日目に生存数が多かったのは,水Dが8匹が一番多く,2番目が水Bで7匹であった。一方,水Eについてみると,生存数は4匹と少ない結果となった。(図5)

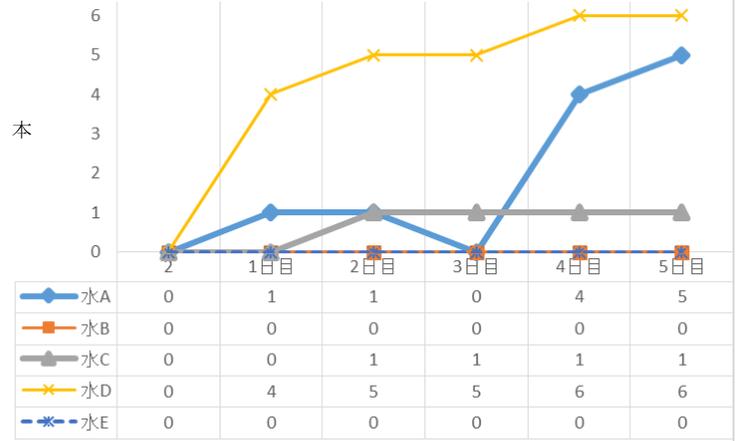
図5 ミネラルウォーターの種類による赤虫の生存数



(2) 植物の成長にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験

5日目にヘタから出た茎の本数が多かったのは、水Dが6本で一番多く、2番目が水Aで5本であった。一方、水B、水Eについてみてみると、茎はヘタから出ない結果となった。(図6)

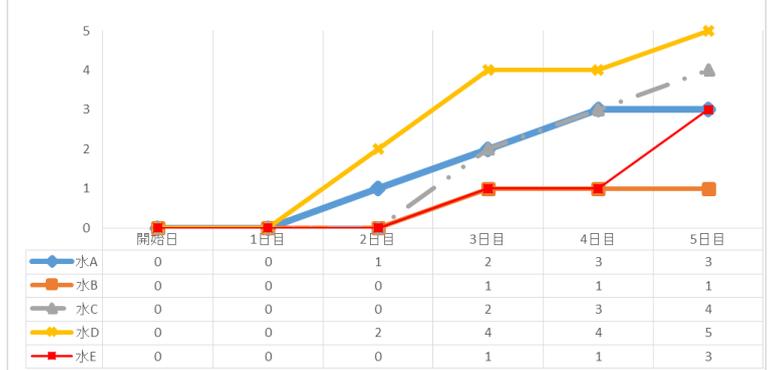
図6 ミネラルウォーターの種類による人参の成長の速さ



(3) 植物の発芽にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験

5日目に発芽した数が多かったのは、水Dが5つで一番多く、2番目が水Cが4つであった。一方、水Bについてみてみると、発芽した数は1つと少ない結果となった。(図7)

図7 ミネラルウォーターの種類によるサニーレタスの発芽の速さ



4 考察①

この実験は、どのミネラルウォーターが生物や植物にとって適切・不適切なのかを調べるために始めた。

「赤虫にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験」、 「植物の成長にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験」、 「植物の発芽にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験」の実験を行った。

「赤虫にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験」では水A・B・Dの赤虫の生存数が多いことから水A・B・Dは赤虫にとって適切な水であると考えた。水Cと水Eは生存数がない。

「植物の成長にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験」は水Dの成長がはやく、水Eは成長しなかった。

「植物の発芽にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験」は水Dの発芽がはやく、水Bの発芽が遅かった。

3つの実験結果から水Dは生物や植物にとって適切な水で、水B・Eは生物や植物にとって不適切な水だと示唆された。水質についてみると、図2からもわかるように水Dはカリウムが多かった。水Eは他の水と比べてカルシウム・マグネシウムが多く、硬度が高かった。また、水E以外は日本が採水地だが水Eはフランスが採水地であった。

これらのことから、ミネラルウォーターの採水地・硬度・成分の濃度が適切・不適切に関係しているのではないかと考えた。この考察を踏まえて、「採水地は、赤虫の生存数や植物の成長・発芽に関係があるのか」「硬度は、赤虫の生存数、植物の成長・発芽に関係があるのか」「ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は、赤虫の生存数や植物の成長・発芽に関係があるのか」を調べるために実験を試みた。

ここまでの実験では、採水地については水5種類のうち3種類が富士山周辺だった。そのため、採水地との関係を調べるために、ミネラルウォーターを採水地に着目して6種類用意した。

硬度については硬度の高い水Eを成分が入っていない「精製水」で薄めることで硬度を変え、実験することにした。

ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度との関係を調べるために、サプリメントを使用した。Ca・Mgなどの特定の物質が商品として販売されていなかったためCaとMgが混ざったものを用意した。

## 5 材料と方法②

(1) 採水地は赤虫の生存数・植物の成長・植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

(7) 採水地は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの18個の透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と、赤虫80匹と6種類のミネラルウォーター(水F~水K)を用意した。1種類の水につき15匹ずつ観察する。ただし、1つの容器に赤虫を15匹ずつ入れると赤虫の密度が高く

なるため、1つの容器に5匹ずつ入れ、ミネラルウォーター1種類につき、3個の容器(あ・い・う)を使用することにした。

容器18個に赤虫を5匹ずつ入れた。計量カップでミネラルウォーター30 mLをはかり、容器に入れた。水F・G・H・I・J・Kそれぞれ3個ずつの容器を用意した。ミネラルウォーター



図9 採水地は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験の様子

の成分は図8の通りである。毎日夕方に赤虫の生存数を数え,水を変えた。この実験を1回行い5日間観察した。(図9)

商品名	水F	水G	水H	水I	水J	水K
ナトリウム	0.8mg	—	—	—	0.7mg	1.13mg
カルシウム	0.1~2.4mg	0.65mg	0.88mg	0.33mg	8.0mg	0.64mg
マグネシウム	0.02~1.1mg	0.14mg	0.16mg	0.059mg	2.6mg	0.54mg
カリウム	0.04mg~0.7mg	0.18mg	0.04mg	0.05mg	—	0.13mg
PH値	約7	約7	7.4	6.8	7.2	—
硬度	約10mg/L[軟水]	約22mg/L[軟水]	約29mg/L[軟水]	約11mg/L[軟水]	約304mg/L[硬水]	約38mg/L[軟水]
採水地	長野県大町市常盤	群馬県利根郡片品村	岐阜県関市側島	三重県尾鷲市名柄町	フランス・エビアン	アメリカ合衆国・ウィード

図8 ミネラルウォーターの成分表(水F~水K)

(イ) 採水地は植物の成長に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの6個の乳白色の容器(縦13 cm・横9.65 cm・高さ3.7 cm)と,人参のヘタを12個用意した。容器6個に人参のヘタを2個ずつ入れた。計量カップで15 mLの水をはかり,容器にそれぞれ6種類の水を入れた。水A・C・D・F・G・H・Iそれぞれ2個ずつ入れた。1つを水F,1つを水G,1つを水H,1つを水I,1つを水J,1つを水Kとした(水の成分は図8の通りである)。毎日夕方に人参のヘタから出た茎の本数を数え,水を変えた。この実験を1回行い,5日間観察した。(図10)



水F 水G 水H 水I 水J 水K

図10 採水地は植物の成長に関係があるのかを調べる実験の様子

(ウ) 採水地は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの6個の透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と,サニーレタスの種を60粒と綿を用意した。容器6個にサニーレタスの種を5粒ずつ入れた。計量カップで30 mLの水の量をはかり綿に湿らせた。



水F 水G 水H 水I 水J 水K

図11 採水地は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験の様子

容器にそれぞれ6種類の水を入れ,1つを水F,1つを水G,1つを水H,1つを水I,1つを水J,1つを水Kとした(成分は図8の通りである)(図)。毎日夕方にサニーレタスの種から発芽した数を数え,水を変えた。この実験を1回行い,5日間観察した。(図11)

(2) 硬度は赤虫の生存数・植物の成長・植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

(7) 硬度は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの8個の透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と、赤虫を40匹用意した。容器8個に赤虫を5匹ずつ入れた。計量カップで合計30 mLになるように1つを水E,1つを水Eと精製水を1:1で混ぜたもの,1つを水Eと精製水を1:10,1つを水Eと精製水を1:100で混ぜたものを入れた(水Eの成分は図8の通りである)(図)。毎日夕方に赤虫の生存数を数え,水を変えた。この実験を1回行い,5日間観察した。(図12)



水E 水E 1:1 精製水 水E 1:10 精製水 水E 1:100 精製水  
図12 硬度は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験の様子

(4) 硬度は植物の成長に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの4個の透明な容器(縦16.1 cm・横9.9 cm・高さ3.3 cm)と、人参のヘタを8個用意した。容器4個に人参のヘタを5個ずつ入れた。計量カップで合計50 mLになるように1つを水E,1つを水Eと精製水を1:1で混ぜたもの,1つを水Eと精製水を1:10,1つを水Eと精製水を1:100で混ぜたものを入れた(水Eの成分は図の通りである)。毎日夕方に人参のヘタから出た茎の数を数え,水を変えた。この実験を1回行い,5日間観察した。(図13)



水E 水E 1:1 精製水 水E 1:10 精製水 水E 1:100 精製水  
図13 硬度は植物の成長に関係があるのかを調べる実験の様子

(7) 硬度は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの4個の透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と、サニーレタスの種20粒と綿を用意した。容器4個にサニーレタスの種を5粒ずつ入れた。計量カップで合計30 mLになるように水を綿に湿らせた。1つを水E,1つを水Eと精製水を1:1で混ぜたもの,1つを水Eと精製水を1:10,1つを水Eと精製水を1:100で混ぜたものを入れた(成分は図の通りである)。毎日夕方にサニーレタスの種から発芽した数を数え,水を変えた。この実験を1回行い,5日間観察した。(図14)



水E 水E 1:1 精製水 水E 1:10 精製水 水E 1:100 精製水  
図14 硬度は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験の様子

(3) ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は赤虫の生存数・植物の成長・植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

(ア) ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの6個の透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と、赤虫を30匹用意した。容器6個に赤虫を5匹ずつ入れた。計量カップで30 mLの水道水をはかり、容器にそれぞれ3種類の水を入れた。すべての容器にMgとCaが混じったサプリメントを入れ、1つを1錠入っている水、1つを2錠入っている水、1つを3錠入っている水を用意した(サプリメントの成分・水に含まれるカルシウム



図16 1錠 2錠 3錠  
ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験の様子

ム・マグネシウムの量は図15の通りである)。毎日夕方赤虫の生存数を数え、水を変えた。この実験を1回行い、5日間観察した。(図16)

6錠2.4 g当たり			
ナトリウム	—	亜鉛	7.0 mg
カルシウム	400mg	ビタミンD	2.2 ug
マグネシウム	200mg	脂質	0.03 mg
カリウム	—	タンパク質	0.04 mg
ph値	—	エネルギー	3.96 kcal
亜鉛	7.0 mg	食塩相当量	0.01 g

図15 サプリメントの成分(上)と水に含まれるカルシウム・マグネシウムの量(下)

	1錠	2錠	3錠
カルシウム	2228mg/L	4456mg/L	6684mg/L
マグネシウム	1112mg/L	2224mg/L	3336mg/L

(イ) ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の成長に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの3個の透明な容器(縦16.1 cm・横9.9 cm・高さ3.3 cm)と、人参のヘタを6個用意した。容器3個に人参のヘタを2個ずつ入れた。計量カップで50 mLの水をはかり、それぞれ容器に入れた。すべての容器にMgとCaが混じったサプリメントを入れ、1つを1錠入っている水、1つを2錠入っている水、1つを3錠入っている水を用意した(サプリメントの成分は図15の通りである)。毎日夕方に人参のヘタから出た茎の本数を数え、水を変えた。この実験を1回行い、5日間観察した。(図17)



図17 1錠 2錠 3錠  
ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の成長に関係があるのかを調べる実験の様子

(ウ) ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

同じ大きさの3個の透明な容器(直径7.5 cm・高さ9.5 cm)と、サニーレタスの種15粒と綿を用意した。容器3個にサニーレタスの種を5粒ずつ入れた。計量カップで30 mLの水の量をはかり綿に湿らせ、それぞれ容器に入れた。すべての容器にMgとCaが混じったサプリメントを入れ、1つを1錠入っている水、1つを2錠入っている水、1つを3錠入っている水を用意した(サプリメントの成分は図15の通りである)。毎日夕方にサニーレタスの種から発芽した数を数え、水を変えた。この実験を1回行い、5日間観察した。(図18)



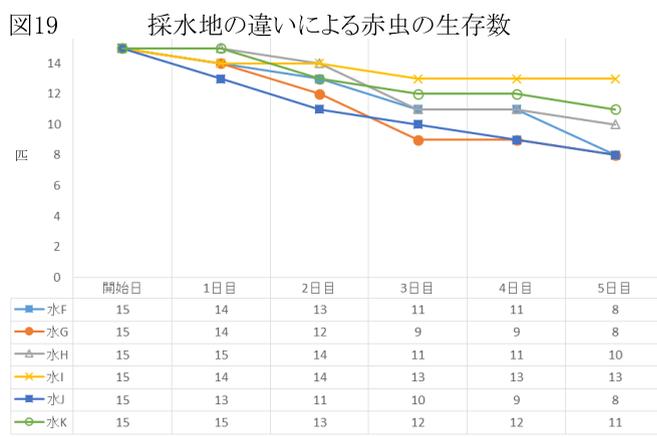
1錠 2錠 3錠  
図18 ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験の様子

## 6 結果②

(1) 採水地は赤虫の生存数・植物の成長・植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

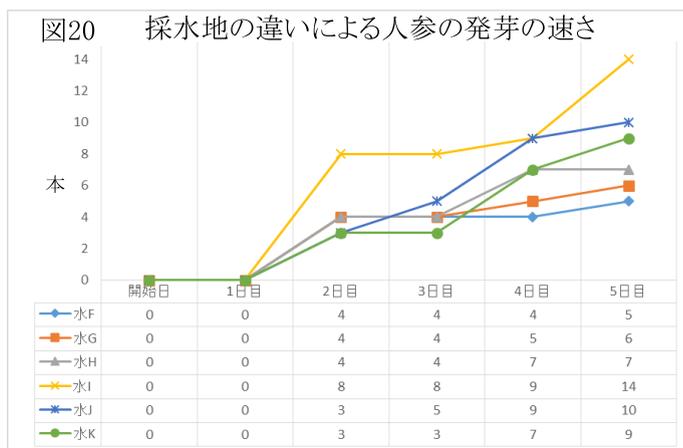
(ア) 採水地は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験

5日目に生存数が多かったのは、水Iが13匹で一番多かった。一方、水F・G・Jについてみてみると、生存数は8匹と少ない結果となった。(図19)



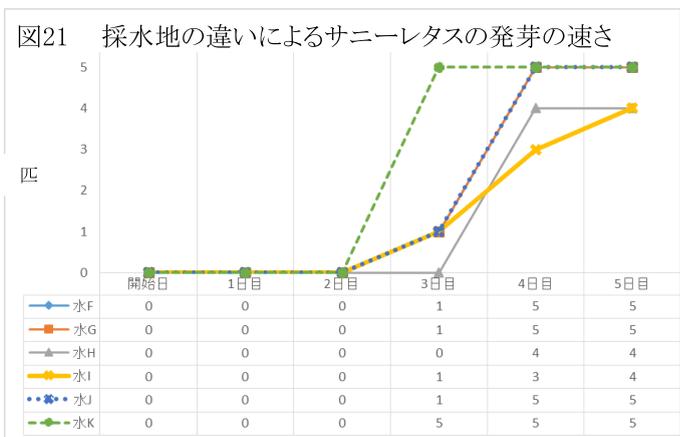
(イ) 採水地は植物の成長に関係あるのかを調べる実験

5日目にヘタから出た茎の本数が多かったのは、水Iが14本で一番多く、2番目が水Jで10本であった。一方、水Fについてみてみると、ヘタから出た茎の本数は5本と少ない結果となった。(図20)



(ウ) 採水地は植物の発芽に関係あるのかを調べる実験

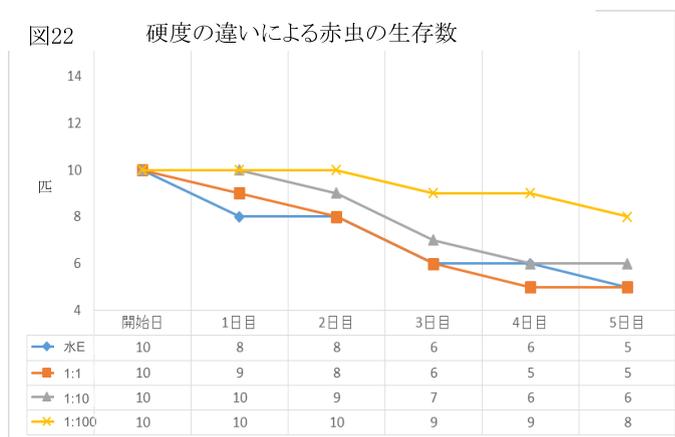
5日目に発芽した数が多かったのは、水F・水G・水J・水Kが5つであった。一方、水H・水Iについてみると、発芽した数は4つであった。どの採水地も差があまりない結果となった。(図21)



(2) 硬度は赤虫の生存数・植物の成長・植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

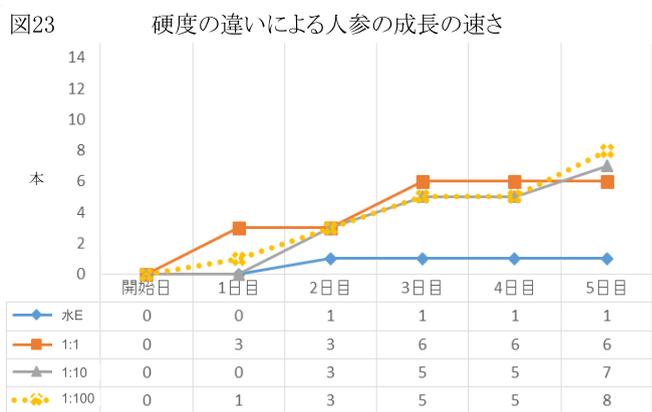
(ア) 硬度は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験

5日目に生存数が多かったのは水Eと精製水を1:100で混ぜたものが8匹で一番多く、2番目が水Eと精製水を1:10で混ぜたものが6匹であった。一方、水E・水Eと精製水を1:1で混ぜたものについてみると、生存数は5匹と少ない結果となった。(図22)



(イ) 硬度は植物の成長に関係があるのかを調べる実験

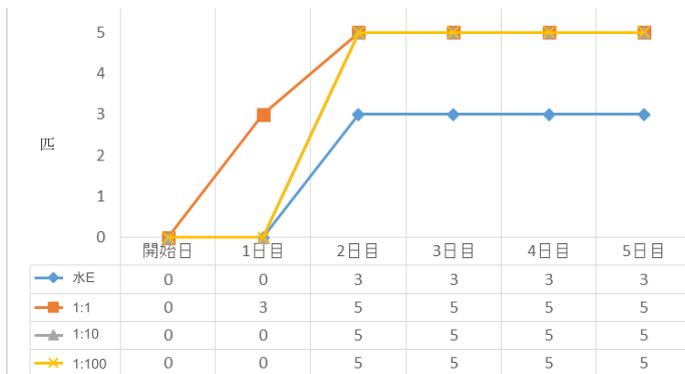
5日目にヘタから出た茎の本数が多かったのは水Eと精製水を1:100で混ぜたものが8本で一番多く、2番目が水Eと精製水を1:10で混ぜたものが6本であった。一方、水Eについてみるとヘタから出た茎の本数は1本と少ない結果となった。(図23)



(ウ) 硬度は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

5日目発芽し数が多かったのは水Eと精製水を1:1で混ぜたもの・水Eと精製水を1:10で混ぜたもの・水Eと精製水を1:100で混ぜたものが5つで一番多かった。一方,水Eについてみると発芽した数は3つと少ない結果となった。(図24)

図24 硬度の違いによるサニーレタスの成長の速さ

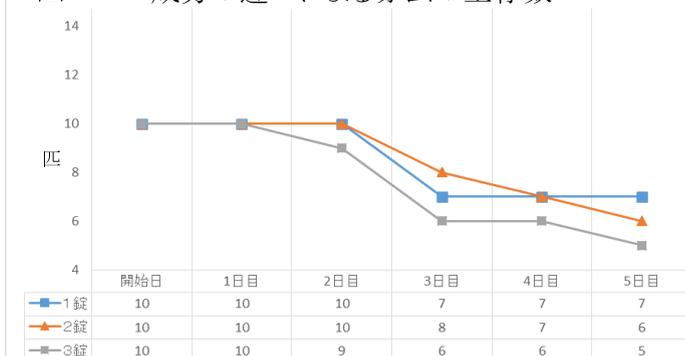


(3) ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は赤虫の生存数・植物の成長・植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

(ア) ミネラルウォーターに含まれる成分は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験

5日目に生存数が多かったのは,1錠, 2錠,3錠の順に少なくなった。(図25)

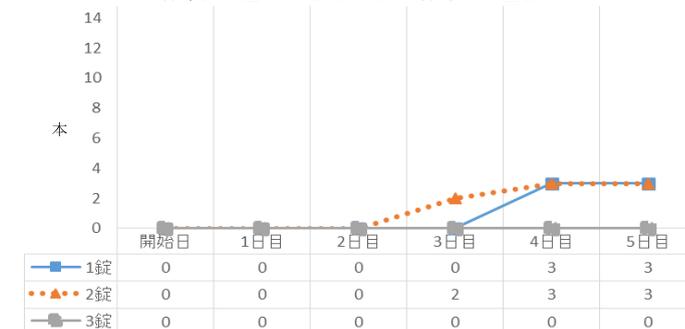
図25 成分の違いによる赤虫の生存数



(イ) ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の成長に関係があるのかを調べる実験

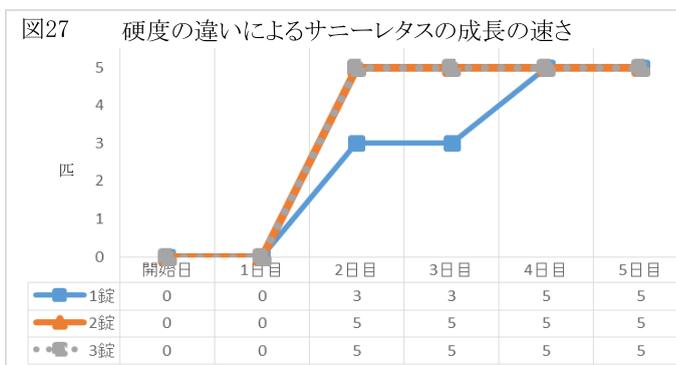
5日目にヘタから出た茎の本数が多かったのは1錠・2錠が3本で一番多かった。一方,3錠についてみると成長しない結果となった。

図26 成分の違いによる人参の成長の速さ



(ウ) ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の発芽に関係があるのかを調べる実験

5日目には1錠・2錠・3錠のすべてが発芽した結果となった。(図27)



## 7 考察

「採水地は、赤虫の生存数や植物の成長・発芽に関係があるのか」を調べる実験では、「採水地が赤虫に関係があるのかを調べる実験」, 「採水地が植物の成長に関係あるのかを調べる実験」, 「採水地が植物の成長に関係あるのかを調べる実験」を行った。

「硬度は、赤虫の生存数や植物の成長・発芽に関係があるのかを調べる実験」では「硬度は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験」, 「硬度は植物の成長に関係あるのかを調べる実験」, 「硬度は植物の成長に関係あるのかを調べる実験」を行った。

「ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は、赤虫の生存数、植物の成長・発芽に関係があるのかを調べる実験」では「硬度は赤虫の生存数に関係があるのかを調べる実験」, 「硬度は植物の成長に関係あるのかを調べる実験」, 「硬度は植物の発芽に関係あるのかを調べる実験」を行った。

赤虫については,

- ・採水地は赤虫の生存数に影響する
- ・硬度は赤虫の生存数に影響する
- ・ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は赤虫の生存数に影響する

という結果であった。

植物の成長については,

- ・採水地は植物の成長に影響する
- ・硬度は植物の成長に影響する
- ・ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の成長に影響する

という結果であった。

植物の発芽については,

- ・採水地は植物の発芽に影響しない
- ・硬度は植物の発芽に影響しない
- ・ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の発芽に影響しない

という結果であった。

今回の実験を,採水地の視点から考察してみる。結果からは採水地は生き物や植物の成長に影響するように見える。しかし,ミネラルウォーターの採水地だけでなく成分の濃度も違う。結果から,成分の濃度は生き物も植物の成長も影響するため,採水地が原因なのか,成分の濃度が原因なのかがわからない。このことから,この実験だけでは採水地が生き物・植物の成長に影響するとはいえない。

今回の実験を,硬度の視点から考察してみる。硬度について調べてみると,「東京都水道局」によれば,水の硬度について「主なミネラル分である,カルシウム及びマグネシウムの含有量を表したものです。硬度の低い水は「軟水」といい,硬度の高い水は「硬水」といいます。」と書いてある。今回の実験で,成分の濃度との関係調べる実験でCa,Mgを選んだ。つまり,硬度と同じ成分であった。このことから,硬度との関係調べる実験と成分の濃度を調べる実験はほぼ同じことだといえる。両方とも生き物・植物の成長に影響していたため,より確実な結果といえる。「トロピカ」によると「硬度は生体の健康や成長に影響するため,あまり軽視はできません」「適した硬度は生体によって異なる」と書いてあることから,高い硬度を好む生き物もいれば,低い硬度を好む生き物もいることがわかった。つまり,赤虫は高い硬度を好まないといえるが,これが生き物すべてに当てはまるわけではない。

今回の生き物に関する実験を,成分の濃度の視点から考察してみる。硬度の実験の考察と同じで,赤虫はCa,Mgの濃度の高い水を好まないが,これが生き物すべてに当てはまるわけではないだろう。

今回の植物に関する実験を,成分の濃度の視点から考察してみる。植物が発芽をするときには発芽の3要素(水分・温度・空気)が必要である。今回の実験では,発芽の3要素すべてが揃っているため,成分に関係なく発芽した。しかし,植物の成長するときには成長の5要素(水分・温度・空気・光・養分)が必要である(図28)。この養分にはCa,Mgも含まれる(BSI生物科学研究所)。成分の濃度を調べる実験でCa,Mgを入れたため,植物の成長に影響したのではないか。

発芽の3要素	成長の5要素
水分	水分
温度	温度
空気	空気
—	光
—	養分

図28 植物の発芽と成長の条件

これらのことから,ミネラルウォーターに含まれる成分の濃度は植物の成長に影響するが,発芽には影響しないとわかった。

また,植物の成長に必要な養分には,バランスが必要なのではないか,あるいは養分のうち濃度が高すぎてはいけな成分があるのではないかと考える。

## 【今後の課題】

今回の実験では赤虫・人参・サニーレタスのみの実験である。他の生き物や植物では結果が変わってくると考察したので、他の生き物や植物でも実験してみる必要がある。また、今回の実験では、成長の5要素である養分のうち一部の成分のみの濃度を変えている。他の成分の濃度も関係しているのかを調べてみたい。さらに、「植物の発芽にとって適切・不適切なミネラルウォーターがあるのかを調べる実験」では発芽の速さに差がみられたが、「採水地」「硬度」「成分の濃度」の実験では差がみられなかった。植物は発芽の3要素が揃ってさえいれば、どんな水でも発芽するのか疑問である。

これらのことを明らかにするために今後も調査を進めていきたい。

## 参考文献

- ・望月悠史(2022)『塩素を抜く条件-メダカのために素早く適切に-』
- ・水源・水質(東京都水道局)  
<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/suigen/topic/02.html>
- ・活性炭は水槽のアンモニアを吸着する？水やバクテリアに与える効果とは(トロピカ)  
<https://tropica.jp/2020/03/01/post-34823/>
- ・File No. 68 植物生育の基本要素「化学肥料に関する知識」(BSI 生物科学研究所)  
<https://bsikagaku.jp/f-knowledge/knowledge68.pdf>

## 謝辞

今回の研究にあたり終始丁寧にご指導いただいた三重大学生物資源学研究科准教授の三島隆先生に深く感謝いたします。

# メダカはコーヒーで心臓がドキドキするのか？

東谷 直

三重大学教育学部附属中学校 1年

## 要旨

人はコーヒーなどカフェインを含むものを摂取すると心拍数が上がることもある。メダカの稚魚を使って、カフェインを与えたときの心拍数を測定し、カフェインの影響を調べた。カフェインを含むドリンクとして、コーヒーおよびエナジードリンク（2種）を用い、濃度を変えて稚魚に与えた。稚魚の平常時の心拍数は200回であるが、コーヒーやエナジードリンクにより約半分まで減少した。エナジードリンクでは10000倍希釈しても心拍数が減少した。メダカ稚魚の心拍数はカフェインにより減少するとともに、エナジードリンクにはカフェイン以外のものが心拍数に影響することが考えられる。

## 1. はじめに

人はコーヒーなどカフェインを含むものを摂取すると心拍数が上がることもある。どのくらいの量のカフェインが体に働きがあるか興味をもった。

私は魚の体のつくりと働きに興味があり、自由研究では魚の解剖を行い報告したことがある。ジュニアドクターの西村先生の講座でゼブラフィッシュの心拍数について調べたことから、生きた魚を使って調べたいと思った。

指導教員の後藤先生より、メダカは簡単に入手でき、メダカの心臓の観察には稚魚が適していることを学んだ。

そこで、コーヒーやカフェインを含むドリンクをメダカ稚魚に与え、心拍数がどのように変化するか調べた。

## 2. 材料と方法

### (1) 実験動物と心臓の観察

三重大学教育学部の後藤先生のところで飼育されているメダカの生魚13匹を用いた。

### (2) カフェインを含むドリンク

カフェインを含むドリンクとして、以下のものを用意した。

- ① コーヒー（カフェイン有）：サントリーポスカフェベース甘さ控えめ（カフェイン 180 mg/100ml）
- ② コーヒー（カフェイン無）：サントリーポスカフェベースカフェインレス
- ③ エナジードリンク：アサヒ飲料 モンスターエナジーM3（カフェイン 140 mg/100ml）
- ④ 強強打破：常磐薬品工業（カフェイン 300 mg/100ml）

これらのドリンクを10倍～10000倍に希釈して使用した。

### (2) 心拍数の観察

メダカ稚魚を観察用スライドグラスに入れた。心拍数の観察・記録は、モバイル顕微鏡で行った。iPadのインカメラにミエル1ミリというモバイル顕微鏡を取り付け、スライドグラスを置いた。

メダカに稚魚をドリンクの入った液に入れてから5、10、15分後に観察をして、10秒間の動画撮影をした。これを再生して心拍数を求めた。実験には、ドリンクの各濃度について5個体の稚魚について測定した。

## 3. 結果

### (1) コーヒーの作用

水に入っている平常時の場合の心拍数は約200回だった。カフェインを含むコーヒーに入れたところ、10分後には減少し、15分後にはさらに減少して10倍希釈では約120回になった（図1）。

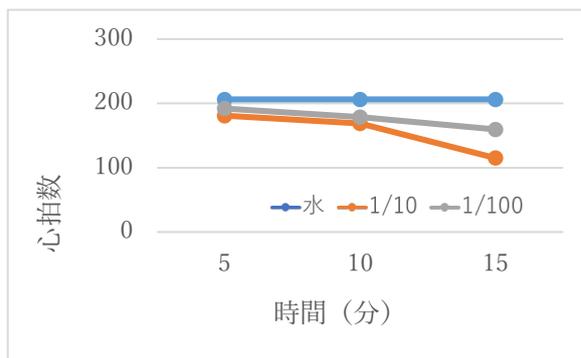


図1. コーヒーカフェイン有

しかし、カフェインを含まないコーヒーでは、水の場合と変わらなかった（図2）。

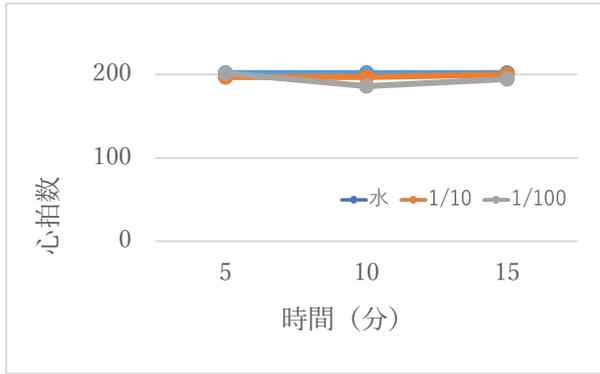


図2. コーヒーカフェイン無

(2) エナジードリンクの作用

モンスターエナジーM3では5分後に100倍希釈と10000倍希釈で約150回に減少した。100倍希釈では15分後には約120回になった。

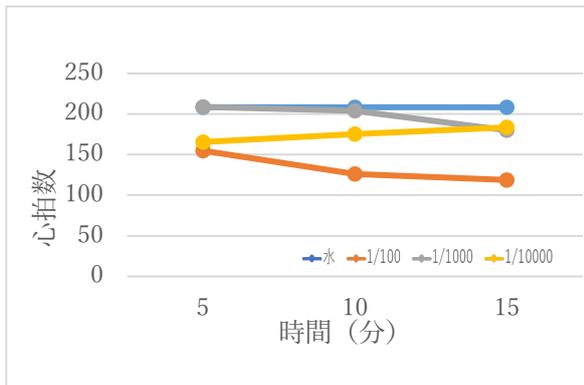


図3. モンスターエナジーM3

強強打破でも5分後に減少し、時間経過とともに減少した。1000倍希釈でも約150回になった。

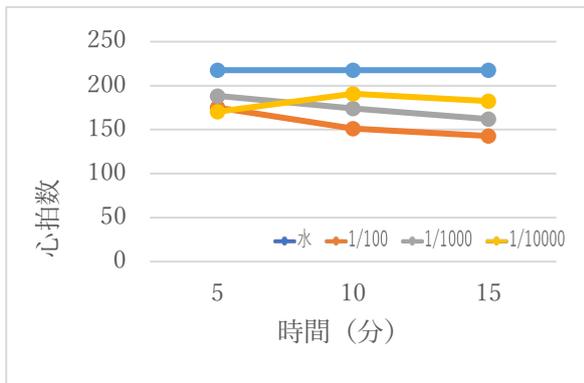


図4. 強強打破

4. 考察

メダカ稚魚の心拍数は、カフェイン入りのコーヒーによって徐々に減少し、10倍希釈では15分後には半分くらいまで減少した。カフェインを多く含むエナジードリンクのモンスターエナジーでは100倍希釈で15分後に半分くらいまで減少した。この結果から、メダカ稚魚ではカフェインにより心拍数が減少することがわかった。小型魚類であるゼブラフィッシュの仔魚でも心拍数がカフェインによって減少することが知られており、メダカでも同じことがわかった。

これらのドリンクに含まれているカフェインの量はほぼ同じだが、心拍数が約半分になったのはコーヒーで10倍希釈であるのに対して、モンスターエナジーでは100倍希釈であった。強強打破心では1000倍希釈でも拍数の減少がみられた。この結果から、エナジードリンクにはコーヒーに含まれていない成分によって心拍数の減少が起こっていることが考えられる。

今後は、メダカの成長過程でカフェインに対する影響がどのようになるか調べてみたい。

謝辞

実験のサポートをしてくださりましたメンターである大西雄大さんにお礼申し上げます。また、ご指導いただいた後藤先生にお礼申し上げます。

# より CO<sub>2</sub>を吸収するのは？

## —樹木編—

東谷唯

三重大学教育学部附属中学校 2年

Yui Azumaya

### 要旨

研究の背景としては、地球温暖化が進行する中で、温暖化を緩和するために樹木が有効ではないかと考えたからです。そこで、自宅の庭にある3種類の樹木（柚子・レモン・シマトネリコ）を対象として、どれが一番 CO<sub>2</sub>を吸収するのか実験を行いました。実験の結果に基づき、葉の SLA(比葉面積/乾燥重量)と CO<sub>2</sub>吸収量を用いてグラフを作成しました。また、柚子の実験結果に着目し、隔年結果がもたらす影響を確認することが出来ました。

キーワード: CO<sub>2</sub>・樹木

## 1. はじめに

動機は、CO<sub>2</sub>をより吸収するのは、一年草などよりも樹木だと聞いて今度は樹木で調べてみようと思ったから。

目的は、家にある樹木(柚子・レモン・シマトネリコ)を対象として、どれが CO<sub>2</sub>を一番吸収するのか調べることだ。

## (2) 実験植物

- ・柚子
- ・レモン
- ・シマトネリコ



柚子



レモン



シマトネリコ

## 2. 材料と方法

### (1) 使用した実験道具

- ・ワイヤレス CO<sub>2</sub>センサー
- ・SPARKvue (アプリ)
- ・iPad
- ・容器
- ・LED ライト(照度 4500 lx)



上図 (実験道具の写真)

右図 (実験時の道具配置)

### (3) 実験方法

- ①採取した葉を室内にて容器に入れる。
- ②2分間 LED ライトに当てた後、5分間 CO<sub>2</sub>吸収量を測定する。
- ③葉の面積を量り、押し葉にした葉が乾燥したら乾燥重量も量る。
- ④比葉面積を求め、CO<sub>2</sub>吸収量とともにグラフ化し、前回と比較する。



### 3. 結果

#### SLA と CO<sub>2</sub> 吸収量の関係

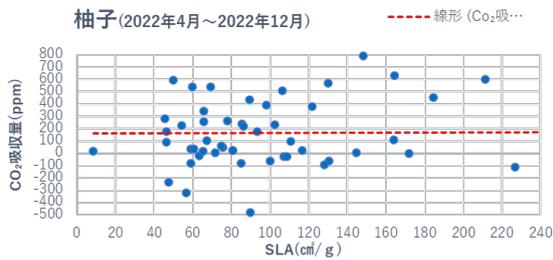
下記のグラフは、縦軸が CO<sub>2</sub> 吸収量を、横軸が SLA を表している。SLA とは葉の表面積を葉の乾燥重量で割った値だ。

左側が 2022 年のグラフ、右側が 2023 年のグラフとなっている。

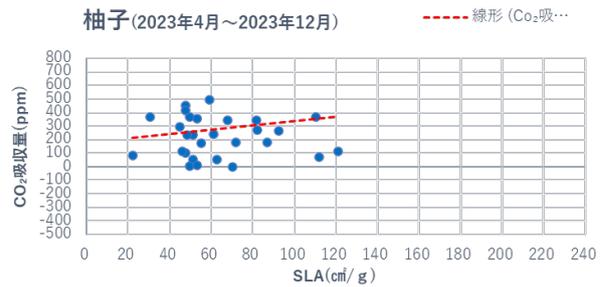
グラフから、柚子は、2023 年の方が近似曲線が右上がりになっていることが分かる。

また、レモンは逆に 2023 年の方が近似曲線が右下がりになっていることが分かる。

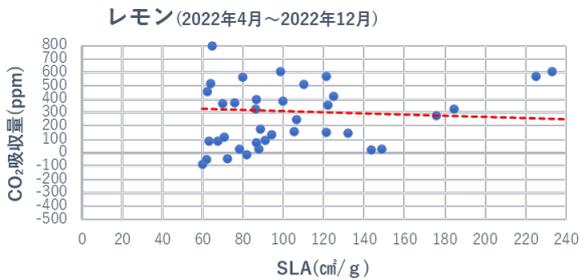
シマトネリコもレモンと同じように 2023 年の方が右下がりになっている。



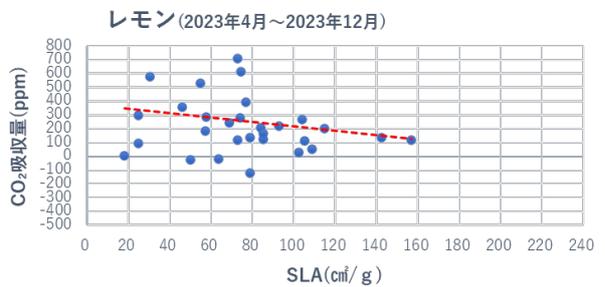
2022 年の柚子のグラフ



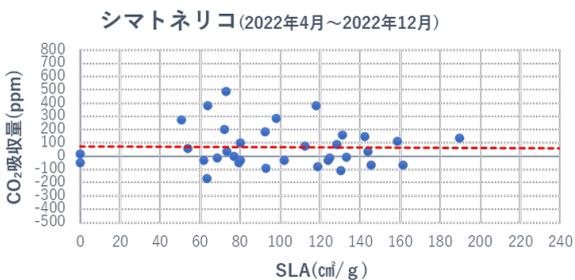
2023 年の柚子のグラフ



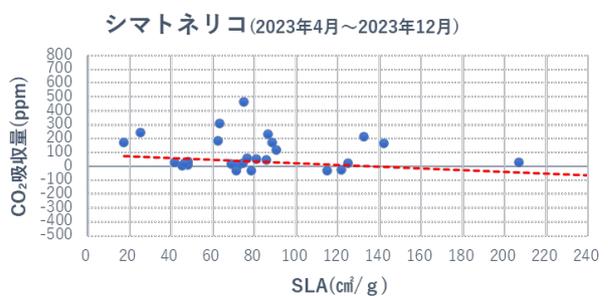
2022 年のレモンのグラフ



2023 年のレモンのグラフ



2022 年のシマトネリコのグラフ



2023 年のシマトネリコのグラフ

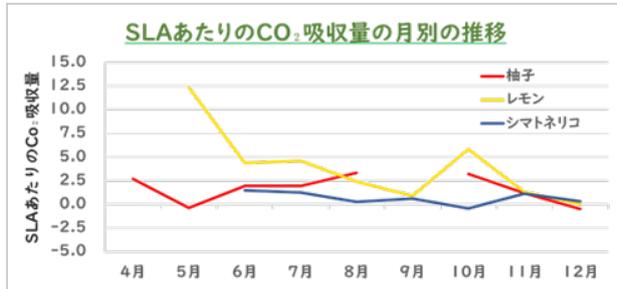
より CO<sub>2</sub>を吸収するのは？

### 樹種別の SLA あたりの CO<sub>2</sub>吸収量の月別の推移

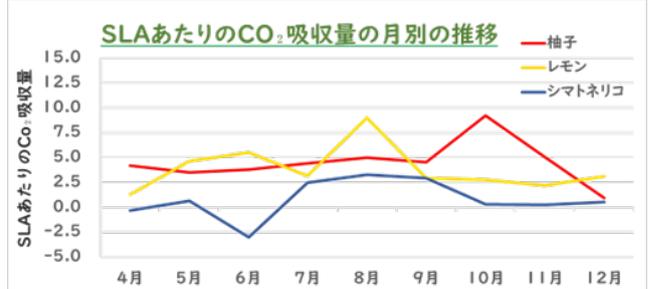
赤色の折れ線グラフが柚子、黄色の折れ線グラフがレモン、青色の折れ線グラフがシマトネリコである。

この2つのグラフはそれぞれの月のCO<sub>2</sub>吸収量の平均をSLAの平均で割って出したものである。

左のグラフは、2022年の4月～12月の値で、右のグラフは、2023年の4月～12月の値である。



2022年

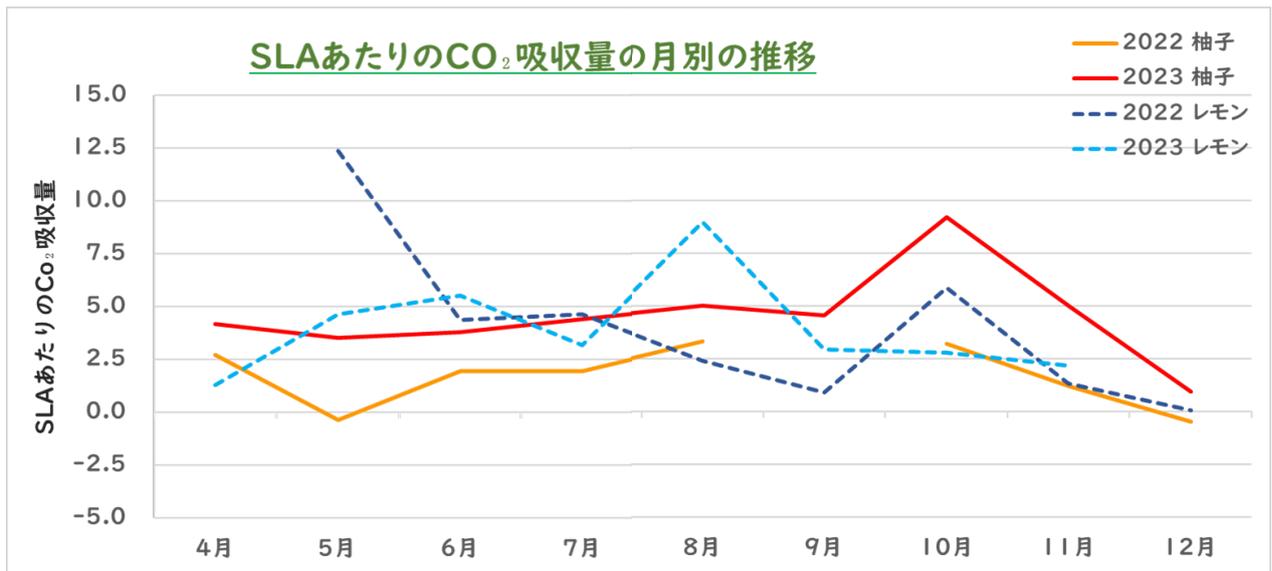


2023年

### 柚子（2022年・2023年）の比較

柑橘類である柚子とレモンには隔年結果が存在する。自宅の柚子は2022年が不成年、2023年が成り年だった。

2022年の実の収穫個数は2個、2023年は734個である。自宅のレモンは実がならない為、判断はできない。



#### 4. 考察

SLA あたりの Co<sub>2</sub>吸収量の月別の推移グラフより、

- ・柚子の実の不成り年(2022年)と成り年(2023年)の比較をした。その結果、Co<sub>2</sub>吸収量について、成り年(2023年)の方が不成り年(2022年)よりそれぞれの月の値において上回っていた。成り年の方が実を成長させる為、光合成がより活発になるという予想と概ね一致した。

- ・レモンに関しては、自宅の樹木は毎年実がならないため、成り年と不成年はなく、2022年と2023年で大きな変化はないと予想していたが、2022年と2023年のグラフを比較すると2つのグラフは概ね正反対の動きをしている。これが何を意味しているのかは分からないが、レモンにも隔年結果があるのかもしれない。実になる前の花の数には何か違いがあるのかもしれない。

- ・シマトネリコは柑橘類ではない為、今年と昨年の違いはないと予想していた。予想通り2022年と2023年のグラフに大きな差は見られなかった。

# パン酵母の発酵を促進する天然添加物の検索

菊池美歩  
陵成中学校 1年

Kikuchi Miho

## 要旨

パンの発酵を促進する天然添加物を見つけたいと思いこの研究を行った。まず、イースト液を用いて、レモン汁、アセロラジュース、ナッツ類の抽出液を添加して発生する炭酸ガスの量を調べる実験を行った。その結果、アセロラジュースとレモン汁に効果がみられた。次に、効果のあった2つの試料について、小麦粉を加えた生地に添加し、発酵後の体積を測定した。その結果、レモン汁を添加した生地に効果がみられた。最後に、レモン汁を添加したパン生地を焼成し、体積を測定させた。しかし、効果はみられなかった。このような結果になったのは、レモン汁には発酵を促進させる働きはあるが、対照との差が小さいため焼成後の体積には変化がでなかったのだと考えられる。

キーワード： 発酵

## 1. はじめに

パンの発酵を促進させるために、アセロラやミネラル類が含まれるイーストフードを使用する製品があると知った。そこで、発酵を促進させる天然添加物を見つけたいと思いこの研究を行った。

## 2. 材料と方法

### (1) イースト液を用いた発酵促進物質の検索

砂糖 8g、30℃の水 60g を混ぜて 4 等分にした。4 等分した液のうち 2 つに天然添加物を加えた。次に、ドライイースト 6g、水 60g を混ぜて、4 等分にした。それぞれの 4 等分した液を合わせて、イースト液（対照）2 つと、天然添加物が含まれるイースト液 2 つを作った。この液体をそれぞれ、アインホルン管という、炭酸ガスの発生量を測定できる試験管に入れた。30℃の水が常に張った容器に、先ほどのアインホルン管 4 本を入れた。15 分後に、アインホルン管の炭酸ガスの発生量を記録した。対照（天然添加物なし）と天然添加物ありを比較し、効果の有無を評価した。

実験で添加した天然添加物を表 1 に示した。

現在、企業がパンの製造過程でアセロラ粉末を発酵補助剤として使用していることがわかった。そこでアセロラジュースを試料として取り上げることにした。また、アセロラと同様に pH の低いレモン汁も使用した。また、市販のパンには、発酵を進めるためイーストフードというミネラル類が含まれる。そこで、ミネラルが豊富なナッツ類についても検討した。ナッツ類は粉々にして、水またはエタノール（濃度 80%）のものと混ぜて使用した。

表 1 使用した添加物と添加量

添加試料	添加量
レモン汁	0.2g、0.3g、0.4g
アセロラジュース	0.2g、0.3g、0.4g
アーモンド+水	2g
カシューナッツ+水	2g
くるみ+水	2g
アーモンド+アルコール	2g
カシューナッツ+アルコール	2g
くるみ+アルコール	2g

### (2) パン生地および焼成後における効果

パンを作るとき材料に天然添加物を加えて、生地を調製し、発酵後の体積により、発酵が促進されるかを調べる生地発酵試験を行った。まず強力粉 100g、砂糖 4g、ドライイースト 3g、水 60g を混ぜた生地を 2 つ用意した。片方の生地に天然添加物を加えて、対照の生地と天然添加物ありの生地を作った。それぞれの生地を 10g 量り 3 個分用意した。それぞれの生地を遠沈管という試験管に入れた。遠沈管を 30℃の環境で発酵させた。発酵させ 15 分、30 分、45 分、60 分が経過したときに、遠沈管の生地の体積の値を記録した。

次に、生地発酵試験の生地を焼成し（図 1）、お米を使いパンの体積を測定する実験を行った。生地発酵試験と同じ、対照と天然添加物ありの生地をそれぞれ 40g 量り 4 個分用意した。この生地を 30℃の環境で 30 分

間発酵させた。そして、180℃のオーブンで15分間焼成させた。容器に米をすり切り一杯いれて、一旦米を外に出した。その容器に焼成させたパンを入れて、上から先ほどの米をいれて、すり切った。容器に入りきらなかった米の体積を測った。(パンの体積)そして、それぞれのパンの、全体と断面を撮影した。

生地発酵試験では、レモン汁とアセロラジュースを天然添加物として使用した。それぞれ0.3g・0.6gを添加した。

図1 パンの全体と断面の写真



### 3. 結果

#### (1) イースト液を用いた促進物質の検索

天然添加物を加えたものに効果があるかは、結果の値から、対照の炭酸ガスの発生量に対する割合を求めて評価した。割合が約110%以上のものを効果があると判断した。それぞれの条件における炭酸ガスの発生量の対照に対する割合を表2に示した。

その結果、レモン汁を0.3g加えたときと、アセロラジュースを0.3g加えたときに発酵を促進させる効果が見られた。

表2 各試料添加時の炭酸ガス発生量の対照に対する割合

添加物	添加量 (g)	対照の炭酸ガスの発生量に対する割合
レモン汁	0.2	101.7%
	0.3	<b>109.9%</b>
	0.4	103.7%
アセロラジュース	0.2	98.7%
	0.3	<b>114.5%</b>
	0.4	101.3%
アーモンド+水	2	43.2%
カシューナッツ+水	2	96.5%
くるみ+水	2	98.6%
アーモンド+アルコール	2	96.4%
カシューナッツ+アルコール	2	95.5%
くるみ+アルコール	2	96.7%

効果が見られたレモン汁とアセロラジュースの pH と炭酸ガスの発生量に関係があるか調べるために、レモン汁とアセロラジュースに砂糖と水を混ぜたものに添加し、pHを測定した。表3に示すとおり、レモン汁で効果の見られた0.3gのpHは2.78、アセロラジュースで効果の見られた0.3gのpHは3.40であり、炭酸ガス発生量とpHの間に関係性は見られなかった。

表3 レモン汁とアセロラジュースの pH

添加物名	添加量 (g)	pH
レモン汁	0.2	2.89
	0.3	2.78
	0.4	2.80
アセロラジュース	0.2	3.51
	0.3	3.40
	0.4	3.28

#### (2) パン生地および焼成後における効果

生地発酵試験や、焼成後のパン生地の体積についても、対照の炭酸ガスの発生量に対する割合を求めて、発酵を促進させる効果があるか評価した。表4は生地発酵試験の結果である。その結果、レモン汁を0.6g加えたときに、発酵を促進すると分かった。

表4 それぞれの条件での実験の対照の炭酸ガスの発生量に対する割合

添加物	対照の炭酸ガスの発生量に対する割合	
	0.3g	0.6g
レモン汁	93.4%	<b>113.1%</b>
アセロラジュース	104.5%	101.8%

次に、効果があったレモン汁を0.6g添加した生地を焼成させた。そして、対照の体積に対する割合を調べたところ、結果は98.2%で効果はないと判断した。

このような結果から、レモン汁の生地発酵試験では、効果がみられたが、焼成後のパンの体積ではみられなかったと分かった。

### 4. 追加実験

#### (1) 発酵時間を変更

生地発酵試験で効果が見られたレモン汁を0.6g添加して、発酵時間を30分から40分に延ばした。しかし、焼成後の体積に違いはなかった。

#### (2) 予備発酵したイーストを使用

対照と、10分間予備発酵をしたイーストを使った生地を比較した。しかし、焼成後の体積に違いはでなか

った。

### (3) 無糖ヨーグルトを添加

ヨーグルトを添加すると、発酵が促進されるという情報があったので、対照と、ヨーグルトを 5g 添加したものの、焼成後の体積を比較した。しかし、違いはみられなかった。

## 5. まとめ

天然添加物について、イースト液を用いた発酵試験により、発酵促進の有無について調べたところ、レモン汁とアセロラジュースに効果がみられた。

生地発酵試験においては、レモン汁に効果がみられた。2つの試験で効果の見られたレモン汁について、パン焼成後の体積を比較したが、違いが見つからなかった。

さらに、発酵時間を長くしてみたが効果はみられなかった。

## 6. 考察

イーストは弱酸性で活性化する性質があるため、酸性のアセロラジュースやレモン汁を添加したとき、効果がみられたのだと考える。また、ナッツ類はアルカリ性なので、イーストの発酵を抑制したため効果がみられなかったのだと考えられる。

レモン汁が、イースト液での発酵実験および生地発酵試験で効果が見られたのは、アセロラより pH が低いからだと考える。しかし、焼成後のパンの体積で効果がみられなかったのは、レモン汁には発酵を促進する効果があるが、対照と差が小さいからだと考えられる。

## 参考文献

- ・パン作りに最適な水の pH 値とは！？  
<https://kacchin7.com/best-water-ph>
- ・ビタミンCはどんな食べ物に含まれるの？健康維持に必要な摂取量を解説 | MediPalette  
<https://medipalette.lotte.co.jp/bodycondition/2015>
- ・アルコール蒸散剤による食品の保存 of サンコー商事  
<https://www.sanko-shoji.jp/lecture/cn8/pg128380.html>

# 人工虹の変容（全貌版）

—避難時誘導の可能性を探る—

堀口直宏

松阪市立三雲中学校 3 学年

Naohiro Horiguchi

## 要旨

雨上がりに空に架かる壮大な虹は、人々の心を和ませてくれます。私は、形が歪んだ虹がないこと、どの虹も同じサイズで正面を向いていること、特定の範囲だけに見えるという3つの点に興味を持ちました。そして、人工的に虹を作ることができれば、災害時にはディスプレイとして、人流の誘導に利用できるのではないかとという仮説を立てました。虹ビーズを用いた実験では、円の他、上下左右に半円の虹を生じさせることができました。人工虹を作るには、「球形」の媒質に光が入ることがポイントです。空に人工虹を生じさせるためにはどのような条件が必要か、光と粒の関係と人工虹の利用の可能性と人工虹の形を変容できる方法について平行して考察しました。

キーワード： 人工虹 虹ビーズ ユニバーサルデザイン 空中ディスプレイ

## 1. はじめに

雨上がりに空に架かる壮大な虹は、人々の心を和ませてくれます。私は、形が歪んだ虹がないこと、どの虹も同じサイズであること、特定の範囲だけに見えるという3つの点に興味を持ちました。そして、人工的に虹を作ることができれば、災害時には空中ディスプレイとして、人流の誘導に利用できるのではないかとという仮説を立てました。そこで、人工的に虹を作る方法を明らかにし、その利用の可能性について考察してみました。

## 2. 定義

以下、太陽光と大気中に漂う雨滴によって生じた現象を虹、その一方または両方を異なる光源や異なる媒質に置き換えて生じさせた虹を人工虹と呼ぶことにします。

### (1) 虹の定義

虹は雨上がりにみられる現象ですが、それは、空気中に漂う雨滴に太陽光が入ることがポイントです。

空中に漂う水滴は、球体をしています。水滴に光が入射し、水滴内で一回反射して出ていく光を考えてみます。この時、入射する光に対して出ていく光の角度は【水滴のどこに入射するかで変わります】。

例えば、水滴内の真ん中に光が入射したら、出てい

く光との角度は  $0^\circ$  です。次に、水滴に入射する光を真ん中から平行にずらしていきます。すると、出ていく光となす角は徐々に大きくなります。

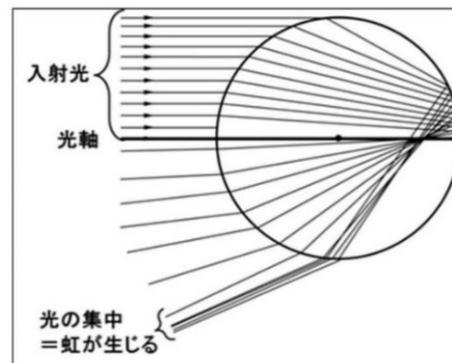
しかし、永遠に大きくなる訳ではなく、あるところまで大きくなった後、今度は角度が小さくなっていきます。この時、入射光に対しての角度が最大になる地点に光が集まります。このとき出ていく光が集中する角度を、最小偏角といいます。

水滴の場合、それは約  $42^\circ$  であり、虹が対日点から  $42^\circ$  離れたところに生じる理由です。

最小偏角は、水滴内で2回反射した光に対しても存在し、それは  $51^\circ$  です。これが、副虹に対応します。

以上より、虹は次のように定義できます。

「球形の媒質に対して入射した光が、最小偏角に集まること」です。



## (2)人工虹の定義

人工虹の定義はありませんが、本研究では虹の定義に則って、「球形の媒質に対して入射した光が、最小偏角に集まること」、「光源は1つ」と定義することにしました。したがって、単純にプリズムに(それが円形だったとしても)光を通過させて、虹色になったものについては、「分光の結果」と呼ぶことにしました。

## 3. 虹ビーズによる人工虹

人工虹を作るには、「球形」の媒質に光が入ることがポイントです。虹ビーズはガラス製で直径 0.3 mmの球体をしており、人工虹を観察するための教材として販売されています。JAXAによると、日本の平均雨滴粒径は約 1.2 mmであることから、虹ビーズは雨滴の約 1/64程度と大変小さいため、取り扱いには注意が必要ですが、人工虹が教室の机の上で観察できるサイズで生じるようによく計算された球径と言えます。(4.(3)粒の量より)

### (1)人工虹シートの作成方法と用途

虹ビーズに大気中に漂う雨滴の役割をさせるために、まずシートを作成する必要があります。雑に作ってまだらな部分があったとしても、ほぼ均一に人工虹が生じることから、虹が生じる際に大気中に漂う雨滴もまだらに存在していると予想されます。

#### ①黒シート

一般的な作成方法です。黒い画用紙などにスプレーのりで虹ビーズを固定します。接着したビーズが剥がれ落ちてくるので、透明なフィルムのケースなどに入れて封をしてから使います。背面が黒いとはっきり見えるので観察しやすいです。主虹の観察が目的であれば黒シートだけで十分です。

#### ②透明シート

高透明な硬質カードケースに、直接虹ビーズを入れ、接着剤とマスキングテープなどでしっかりと閉じてから虹ビーズが均一になるよう軽く振ります。スプレーのりを使った作成方法よりも手軽に作れることと、カードにカラー画用紙などを重ねるなどすれば背景を自由に変更することができます。

### (2)人工虹の観察

作成したシート(以下シート)とスマホの面が平行になるように持ち、ライトを垂直に当てると、虹ビーズ特有の平面ではない(のちに説明するが観測点が二つあるだけなので立体的な虹はカメラによる観測は難しく平面に映ってしまう)人工虹ができます。

スマホの面がシートと垂直になるように持ち、ライトが平行に当たる位置では、半円の人工虹(以下かま

ぼこ虹)ができます。

立体的な虹は触りたくなります。スマホのライトが上向きになるよう机の上に置き、ライトをよけながらかまぼこ虹を両手ですくうように添えると、まるでかまぼこ虹が手の上に乗ったかのように見えます。これらの立体的な人工虹は両目の収差によるもので、虹ビーズによって生じる人工虹の特徴の一つとされています。



かまぼこ虹

#### ①角度

かまぼこ虹を利用して人工虹の半径を調べました。スマホに定規を張り付けてから、ライトが上向きになるように机の上に置きます。立体的だとわかりにくいので、片目をつむり平面で行います。ライトの中心から虹の終わりまでが半径です。この方法で人工虹の半径を調べたところ、シートから 10 cm離れた位置で半径は 3 cmとなりました。

虹は対日点から  $42^\circ$  のところに生じることが分かっているなので、約  $45^\circ$  と考えて三角比を当てはめると、光源から 10 cmの位置では虹の半径は約 10 cmであり、虹ビーズの人工虹は虹よりも小さく、作図の結果から、虹の角度は  $16^\circ$  と考えられます。

虹の角度は、最小偏角によって決まります。最小偏角は平行光が球体の媒質に最初に入るときに屈折の角度によって決まります。屈折する割合を屈折率と言い、水の屈折率は 1.33、ガラスの屈折率は 1.52 であることから、球体の媒質の屈折率が高いほど、その球体から生じる虹は小さくなることが分かりました。

#### ②2つの頂点

シートに生じた円を底面として光源とを結ぶと円錐になります。光源を観察者の後ろに置いた場合と、前に置いた場合とにできる2つの円錐について考えてみます。

一つ目の頂点は、観察者の後ろにある光源です。この場合、虹と同様に、観察者の影を中心に人工虹が生じます。観察者の位置は光源を背に円錐の中心線上にいと考えると、正面の虹に近づくことはできなくて

も、例えばシートの位置を固定し、右45°前方に進めば左側の虹の端が結構近づいてくる結果になります。

二つ目の頂点は、観察者よりも前にある光源です。これは人工虹特有の頂点であると言えます。観察者は円錐の外側の自由な位置から人工虹を観察することができます。そのため虹に近づくこともゆがめたりすることもできます。

ところが、この二つの頂点が入れ変わる際、つまり観察者の目の横を光源が通過するあたりで、裏虹と呼ばれる人工虹独特の虹が生じる場所があります。

裏虹は中心部が暗くゆがんだ形にみえるため、SFの異次元空間の入り口のようなおどろおどろしい印象を受けます。もし、目の前に巨大な裏虹が突然現れたとしたら、大パニックが起きかねません。このことから光源を設置する位置も重要であることが分かりました。

#### 4. 消臭ビーズによる人工虹

人工虹のポイントは球体の媒質に光が入射することでした。虹ビーズ以外に人工虹をつくる媒質となりうる素材はあるか、消臭ビーズが透明な球体であることに着目しました。

##### (1) 球の大きさ

球の大きさの影響について調べるために、OHPに円筒形のガラスコップを置き水の量を50ccずつ増やして、できる分光の結果の幅を計測しました。



コップの中の水の量を変化させると、 $y = ax^2 + b$ の**b**の値が変化しているように見えました。

水位が高くなれば分光が明るくくっきりとし、赤から藍色までの幅は増加しました。これには上限があると思いますがその上限値はわかりませんでした。また分光の結果の幅の増加量の変化の割合は一定ではありませんでした。

これらのことから水量が多いほど、濃く明るく分光することが分かりました。水量の変化を体積の変化と

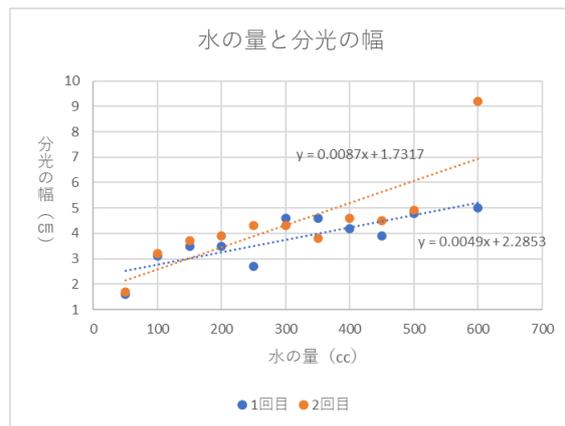
仮定すると、球の大きさは分光の光の強さと太さに関係があるのではないかと考えました。

水の量と分光の結果の幅を次の表にまとめました。

水の量 (CC)	1回目 (cm)	2回目 (cm)
50	1.6	1.7
100	3.1	3.2
150	3.5	3.7
200	3.5	3.9
250	2.7	4.3
300	4.6	4.3
350	4.6	3.8
400	4.2	4.6
450	3.9	4.5
500	4.8	4.9
600	5.0	9.2

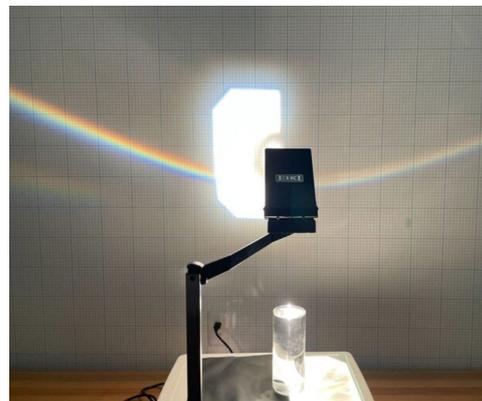
以上より粒の大きさによる大幅な形の変化は見られない（四角や三角にはなりに）ことが分かりました。

グラフに表すと以下ようになります。



分析の結果、相関係数は1回目、2回目ともに約0.82で、正の相関があることがわかりました。

水の量以外にも分光に影響するものはないか観察を続けたところ、底面からの光の片方だけを遮ると遮っていないほうの分光が元の明るさよりも明るくなりました。(写真は鏡による反転によって逆側が隠れているように見えています)



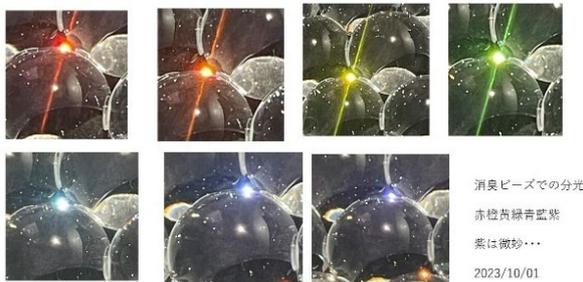
この結果は、3 (1) ①の黒シートの虹が見やすいこ

ととも一致しており、背景の色は単にコントラストだけではなく分光の明るさと関係しているかもしれないと考えました。

## (2) 球の分光

消臭ビーズの大きさは約 1.5 cm です。虹ビーズとは大きさが違いますが、(1) の実験により、大きさによる形の変化は見られなかったため、素材のみの対照実験とします。水を多く含む素材ですが、分光するかどうか観察してみました。(1) での結果のとおり、底面に黒画用紙を敷くと、光の観察がしやすくなり、赤橙黄緑青藍紫の虹色 7 色を確認できました。

円筒のプリズムによる分光とは違い、球の分光は一粒に一色ということも分かりました。球体の分光は角度によって異なることを観察することができました。



## (3) 粒の量

内寸：600×300×125mm の発泡スチロールに黒画用紙を敷き消臭ビーズを入れて、人工虹ができるか観察してみました。



人工虹をとらえることができなかつたため、媒質による虹の形の変化は分かりませんでした。粒の様子を観察してみるとランダムに様々な色が見られました。これまでの(2)の実験と虹ビーズの人工虹が虹と同じ結果になることからおそらく虹は円形になり媒質の素材と虹の形の関係はないことが予測されます。

これらのことから、球の一粒はディスプレイの 1 ピクセルに相当していると仮定し、媒質の大きさと映し出される虹の大きさを計算してみることにしました。

虹ビーズシート A4 サイズ (約 20 cm × 約 30 cm) から 20 cm 地点から観察しているものと同じものを消臭ビーズでとらえるとすれば、

横 30 cm × 10 mm / 0.3 mm = 1000 粒

縦 20 cm × 10 mm / 0.3 mm = 667 粒

全部で 667 × 1000 = 667,000 粒

消臭ビーズ (1 センチ) とすると：

横：1 cm × 1000 粒 = 1000 cm = 10 メートル

縦：1 cm × 667 粒 = 667 cm = 6.7 メートル

の消臭ビーズシートを用意し、そこから 6.7 メートル離れば虹ビーズシートと消臭ビーズシートには同じものが映し出されるという計算結果になりました。(光源は太陽)

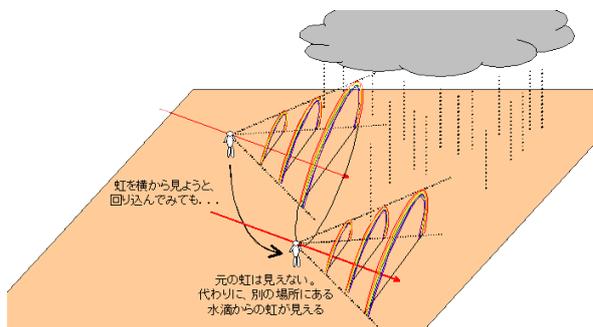
これらのことから、シートのサイズが一定ならば、球を大きくすると画角が狭くなり、粒を小さくすれば画角が広がると推測しました。

## 5. 虹の見た目の大きさと距離

虹は壮大な印象を受けます。私も研究を始める前はピンときませんでした。低い虹はあっても小さい虹というのはありません。大きさはいつも同じです。例えば打ち上げ花火を例に挙げると、真下で見れば圧倒されるほどの大きさですが、遠く離れると小さく見えます。これを小さい花火というならばですが、小さい虹はありません。

この違いは、虹が円錐の形をしていることに関係しています。

虹は観測者から見て太陽の真反対である”対日点”を中心とし、半径約 42° の円錐面上に生じます。



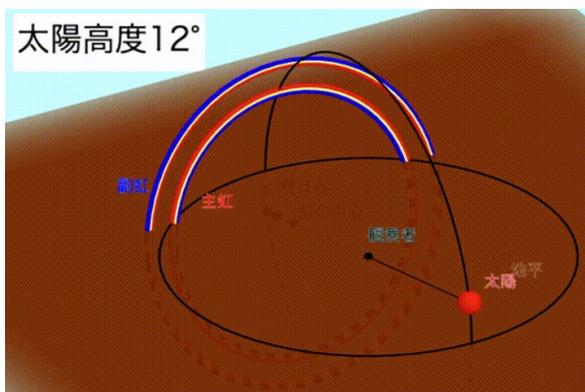
図のように観測者から離れば離れるほど、虹は大きくなっていきます。このことに対し、遠近法により見ている人の視線に対して平行な道や線は、その風景を見ている人の真正面の点に集まるように収束するため、離れば離れるほど見ているものは小さく見えます。どういうわけかこの二つの変化の割合がほぼ同じなため、虹の見た目の大きさは一定になります。このこと

が、小さい虹がなく、どの虹も大きさがいつも同じになる理由です。

また、図のように虹の横に回り込もうとしても、元の虹があったはずの場所には何もなく、別の雨粒からの虹が、同じく対日点方向の円錐面上に見えるだけです。また、虹は42°の円錐面上に無数に分布する雨粒から屈折・反射してくる光なので、虹までの距離も特定することができません。このことが、虹に触れそうで触れない理由です。そして、虹の裏側というものも存在しないので、虹を通り過ぎてふりかえったとしても、元の虹は見えません。

## 6. スクリーンの大きさと位置

光源を太陽とした人工虹ではどこにスクリーンとなる媒質をどの範囲で散らばすかがキーになります。



これは、天球図と呼ばれる図で、中心が地上にいる観測者です。太陽から観測者に向かって線を伸ばし、天球上でぶつかったところを対日点といいます。図を見ると明らかですが、太陽の高度が $\theta$ なら、対日点の高度は $-\theta$ となります。

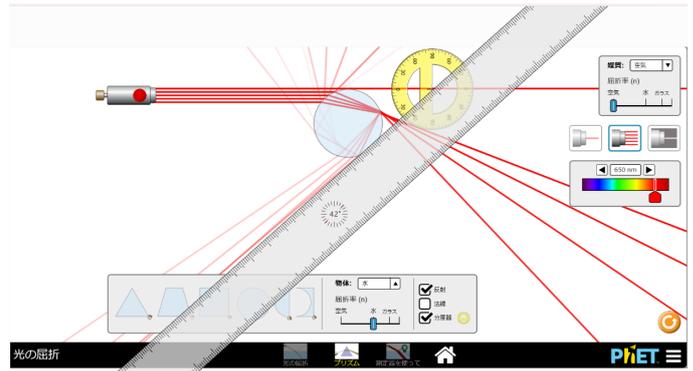
主虹は、この対日点を中心に約42°のところに生じるのでした。このことから、主虹が見られる太陽高度の条件は、 $\theta < 42^\circ$

であることが分かります。

対日点から太陽高度の範囲外にばらまいても意味がないということが分かりました。

## 7. 色付く範囲

虹を作る光は水滴の中でどのように屈折・反射しているか、PhETでシミュレーションしてみました。



水滴にはどこからでも光が入ってきます。どの光が虹になるかを考察します。

まず、中心に光を当てます。そこから光の入る位置をちょっとずつ上にずらすと、ずらした方向と反対側の下側に曲がって出ていきます。光の入る位置をもう少し上にずらすと、下から出ていく光は、さらに外側に広がるように曲がって出ていきます。

だんだんとずらしていくと、そこに壁があるかのように、それ以上外側に広がらなくなります。それが、図の定規を置いた部分です。

そして、その時の定規の角度は、真っ直ぐ進む光（分度器の0°）に対して、約42度になりますこのような角度を最小偏角と呼びます。この前後では「光の入る位置の変化」に対して「光の曲がり方の変化」が小さいので、他の方向よりも多くの光が集まります。

また、ここから離れた部分、水滴から出て行く光のうち定規から遠い部分の光は、ばらばらの方向に散ってしまったと言えます。このことから、42°という方向が明るく見え、結果として虹が見られます。

ところで、虹は日本では7色（外側から赤から内側へ向かって、橙、黄、緑、青、藍、紫）です。赤い光のとき約42°、紫の光のとき約40°で曲がるため、虹の幅は2°となります。

## 8. 人工虹による人流誘導の可能性

### (1) 避難時誘導の可能性を探る

動画サイトで虹に関する興味深い内容を見つけました。ドライブ中に虹の左の根元をくぐり抜けるとその先に別の虹が出現するというものです。（資料1）

私にとって、はじめは不思議と感じる現象でしたが、これまでの研究から虹の性質に基づく現象であることが説明できます。このことを応用すれば、災害時にネット環境が使えない状態や夜間でも、太陽光発電やドローンと人工虹を組み合わせることで、人流を誘導できるのではないかという仮説を立てました。

一般に、光による人流誘導はドローンなどで光を点滅させるなどが考えられますが、空にドローンの光が

点在していると、花火の様に遠くの情報まで目に入ることになり情報の取捨選択が難しいというデメリットがあります。

しかし、人工虹を利用し、大きさが一定で、見える範囲を限定できる虹の性質と合わせれば、グループごとに異なる避難場所に誘導できる可能性もあります。人工虹による人流誘導の可能性について考察してみたいと思います。

## (2) 虹の変容

人工虹で、正確に情報を伝達するためには、それ自体が「意味を持つ記号」である必要があります。

文化・言語・国籍や年齢・性別などの違い、障害の有無や能力差などにかかわらず、できるだけ多くの人に直感的に、瞬時に方向を伝えるために、

虹を直線や三角形に変容できるかを考えることにします。

花粉光環(図)とは、大気に多くの花粉があるときに、太陽の周りで見られる大気光学現象です。



よく見ると、アオウミガメの甲羅の模様のような、六角形の形をしていることがわかります。

空中で落ちているときの水滴は、球体や楕円形をしています。花粉の形は、円形ではありません。

このことから花粉光環が六角形に見えるのと同じように虹の形も、触媒の形に依存しているのではないかと仮説を立てました。

ハロやアークなどの大気光学現象は、頂角  $90^\circ$  や  $60^\circ$  のプリズム効果により発生することが分かっています。

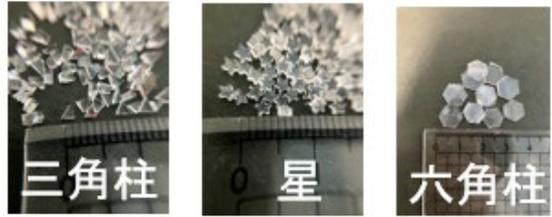


虹の形を変容させることを目的に、プラ板や、塩の結晶、水の表面張力を使い空中での水滴以外の形を作り、媒質の形が虹の形にどのような影響があるか実験しました。

媒質の形については、三角柱、星、六角柱はプラ板で

作成し直方体は、食塩の結晶を使用しました。また、球形は、虹ビーズを使用しました。

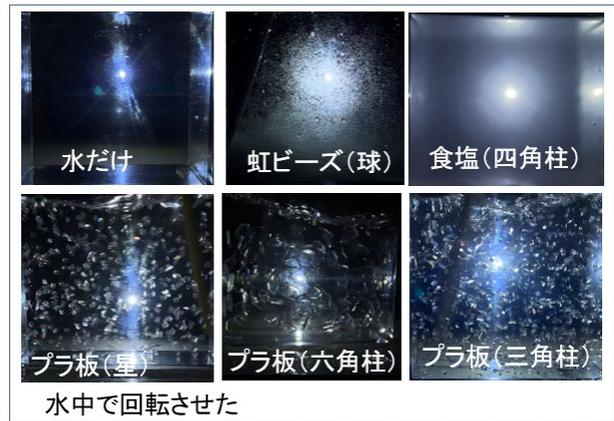
## プラ板(切り抜く)



## 塩



立方体っ(乱い)



実験の結果(図)、塩による分光した結果は、確認できたのですがプラ板ではわかりにくく、どの形にも有意な変化は見られませんでした。

はさみの切れ味によって、表面がギザギザになり光が乱反射したこと、粒の大きさや量などが、原因の一つではないかと考えます。

次に、水をはった容器に光をあて、表面の変化が分光の結果にどのように影響するか観察しました。

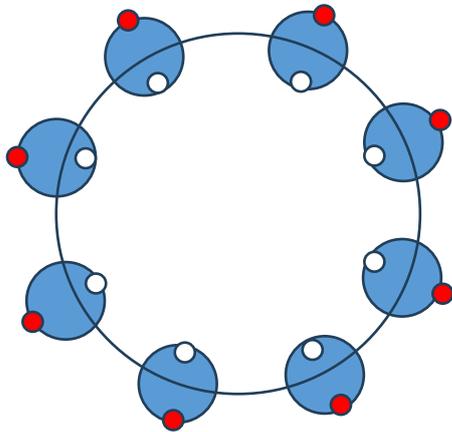
水面を箸で押したらハート型に凹んで、引っ張ったら柱状に吊り上がったことから光が出ていく部分の水面の様子が、分光の結果を変化させることが分かりました。



これらのことから、虹の形に影響するのは、媒質の表面の様子もしくは媒質の形が虹の形に依存しており、それ以外の媒質の大きさや、媒質の素材は虹の形には関係しないと考えました。

①媒質への光の入り口と出口の関係

42度曲げられた光が丸い虹を作る理由は太陽から来て水滴で曲げられた光線が、ちょうど42度になるところに、ぐるっと丸く並んでいるからです。その時、媒質への光の入り口は白丸、光の出口は赤丸です。

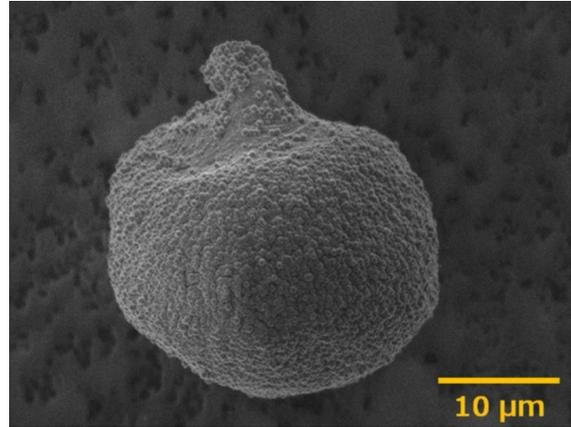


②媒質の向き

媒質がランダムな姿勢を示している時は円形に近づくと考えられるため、媒質の光の出ている部分の形状や表面の様子が虹の形に影響すると考えそれを利用して虹の形を変容させるためには、媒質の向きをそろえる必要があります。

媒質が大気中に浮遊している状態で、媒質の向きを安定させることが出来るのか、六角形の花粉光環の理由とされている、スギ花粉の形状に着目し、考察しました。

スギ花粉は下図の様に球体にパピラと呼ばれるトゲがついており、ザクロのような形に見えます。このパピラの影響で水平の風が吹いていない時に、力学的に安定した姿勢で落下するため同じ方向を向くことが推測できます。



パピラが船の揺れを安定化させるフィンスタビライザーのような役割を果たしているのではないかと考えました。



これらのことから、人工虹の変容には、媒質の光の出ている部分の形状や表面の様子に加え、パピラの役割を果たすトゲの形状を併せ持つ媒質である必要があると推測しました。

③媒質の形

虹を「球形の媒質に対して入射した光が、最小偏角に集まること」と定義し、虹の変容について考察してきました。しかし、これまでの研究から、媒質が球形の場合、虹の形は変化しないのではないかと考えています。

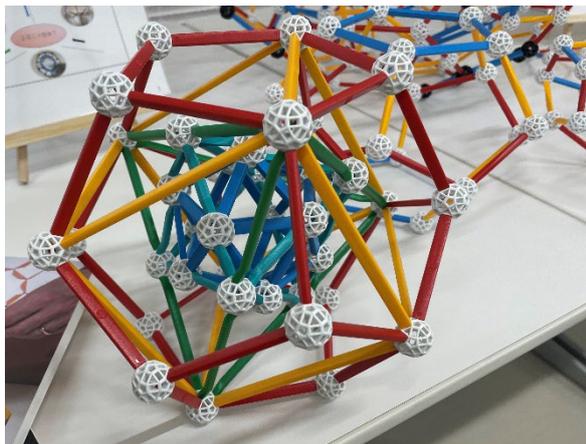
そこで、球体以外の媒質として正多面体に着目しました。正多面体は、球に内接・外接する性質を持ち、どこから見ても同じ形であることや双対性（正六面体と正八面体、正十二面体と正二十面体）が知られています。

また、全ての面が互いに1つの合同な正多角形で構成されており、かつ各頂点で含む面の数が等しい凸多面体です。正多面体には正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体、正二十面体の五種類があることが分かっています。

正多面体を構成する、三角形、正四角形、正五角形、正八角形の外角と内角の関係に着目すると、どの形も外角の和が $360^\circ$ であることから、円との親和性の高い形であると考えました。そして、ハロやアークなどの大気光学現象を生じさせる氷晶の形にも同様に、頂角 $90^\circ$ や $60^\circ$ の関連が分かっていることから、プリズム効果が期待できます。

虹は、光が媒質内部で、屈折・反射をする事により生じます。透明度の高い正多面体として、食塩（正六面体）やミョウバン（正八面体）の結晶が知られています。耐水性のある結晶としては、炭素化合物であるナフタレン（毒性があるので注意が必要）などの形も候補と考えています。

下図は、ゾムツールで正多面体を作成したものです。正多面体に内接する正多面体の相互関係について、辺や頂点の関係と光の経路との関係などについても考えてみたいと思いました。透明度の高い正多面体の媒質を使った実験が今後の課題です。



## 9. 考察

・虹の形は、球体の粒の大きさや素材によっては変化しないだろうと予測でき、正六面体の食塩や正八面体のミョウバンの結晶などでも大きさや媒質関係なく対照実験できるのではないかと仮定し実験してみたいと思いました。

・人流誘導に人工虹を利用する場合、ドローンによる光源やスクリーンの設置や、打ち上げや散布などの方法についての考察が必要です。

・人工虹による人流誘導の問題点は、ばらまいた球体でずぶぬれになることです。媒質の候補としては、自然分解する素材や、ミネラルなど生物に害のないものを利用する必要があります。

## 10. 結果

・虹の定義に則り、人工虹を、虹ビーズと消臭ビーズを用いて人工虹を、「球形の媒質に対して入射した光が、最小偏角に集まること」、「光源は1つ」と定義しました。

・虹ビーズを用いた実験では、円の他、上下左右に半円の虹を生じさせることができました。

・空に人工虹を生じさせるためにはどのような条件が必要かを考察し、「球形」の媒質と「光」の関係を明らかにする事ができました。

・これにより、媒質が球体では人工虹の形は変化しないということがわかり、フィンスタビライザーやランス構造などを用いて、向きを安定させなければならぬということがわかりました。

・人工虹の利用の可能性について考察しました。

・今後の課題は、虹の性質を数式で理解し、正確に出現位置や大きさなどを算出することです。

## おわりに

この報告書をまとめている最中に能登半島地震が発生しました。この研究では、人工虹による避難時誘導の可能性を探ってきました。空に架かる壮大な虹は、人々の心を和ませてくれます。まだまだ実用化には及びませんが、今後もその可能性について研究を続けていきたいと思っています。被災地の一日も早い復興をお祈りしています。ご指導いただきました、小林悠介先生ありがとうございました。

## 参考文献

- 資料1) Excited Family Drive Through The End Of Rainbow  
<https://www.youtube.com/watch?v=dxILKZnuTVI>  
科学する空 <http://kagakusuru-sora.jp/>  
空の飛び方 <http://www.pluto.dti.ne.jp/~suzuki-y/>  
日本海事広報協 <https://www.kaijipr.or.jp/>  
JAXA <https://www.eorc.jaxa.jp>

# サワガニの個体間の関係に関する研究

## —配偶行動の観察—

石倉 成実  
尾鷲市立尾鷲中学校 2年

Nami Ishikura

### 要旨

サワガニはきれいな川の上流域に生息するカニで、私の住んでいる地域で採集できる。サワガニを飼育していると、近づいたときに寄って来ることがあったので、一昨年、馴れについて研究した。複数一緒に飼育していると、甲殻の大きい個体の方が馴れやすく、ピンセットから餌を取るようになった。そこで、昨年は2個体を仕切り板のある水槽で隔離飼育して、個体間の関係を調べた。オスとメスの組み合わせをつくり、餌を与えたときに馴れるまでの日数測定や、2個体間での行動観察を行った。1週間程で互いに意識し合うようになり、同性には優劣が決まり、闘争も見られ、異性ではオスの個体がメスの個体に関心を持った。アメリカザリガニでは、長期間お見合いをさせてから仕切り板を外すと、交尾することが知られている為、サワガニも、長期間お見合いをさせてから仕切り板を外すと、交尾するのではないかと考えた。そこで、今年度は仕切り板のある水槽で、1週間ごとに異性ペアのパートナーを入れ替え、行動を調べることにした。仕切り板がある時の2個体の行動観察と、仕切り板を外した時の2個体の行動観察を行った。始め仕切り板を外してから動き始めるまで30分ほどかかったが、徐々にその時間は短くなった。また、相性の良いペアでは、仕切り板を介して互いに近づき、仕切り板を外した時に接近や交尾行動が見られた。同じ組み合わせで2回の行動観察をしたが、一部のペアで1回目と同じような行動が見られた事から、サワガニには相性があると思われる。また、一組のペアで交尾を確認できたが、抱卵はしなかった。オスもメスも、ペアの相手によって近づいたり近づかなかったりしたため、サワガニでも個体間で好みがある事が分かった。

### 1. 研究目的

私は甲殻類の行動に興味を持ち、アメリカザリガニを使って調べようとしたが、私の住んでいる地域にアメリカザリガニはいない。また、外来種であることから、扱うことに注意が必要であると聞いた。2021年6月に地域の川にサワガニが生息していることから採集して飼育を始めた。

2021年6月から11月まで、甲羅の幅1.4cmから2.8cmの9個体のサワガニを用いて、人に馴れるまでにどのくらい時間がかかるか調べた。人が近づくと逃げているが、毎日ピンセットで餌を与えると、次第に馴れてきて、餌をピンセットで近づけると取りに来るようになった。ピンセットから餌を取るまでに20日程かかった。馴れは大きな個体で早く見られたが、小さい個体でも強い個体で見られた。強い個体とは、威嚇行動により相手を追い払う、闘争をしかける、餌を奪うなどの行動が見られる個体。弱い個体とは、他の個体から逃げる、隠れる、餌を奪われるなどの行動が見られる個体とした。

2022年5月から11月まで、サワガニの個体間で強い個体と弱い個体がいる為、2個体の間でどのようなことが見られるか調べることにした。仕切り板のついている水槽で2個体を隔離飼育して、行動の様子を観

察した。1週間程で互いに意識し合うようになり、同性では優劣が決まり、闘争も見られ、異性ではオスの個体がメスの個体に関心を持った。アメリカザリガニでは、長期間お見合いをさせてから仕切り板を外すと、交尾することが知られている。

このことから、サワガニも、長期間お見合いをさせてから仕切り板を外すと、交尾するのではないかと考え、今年度は仕切り板のある水槽で異性ペア2個体を隔離飼育し、1週間ごとに、異性パートナーを入れ替え行動を調べることにした。仕切り板がある時の2個体の行動観察と、仕切り板を外した時の2個体の行動観察を行った。

### 2. 研究方法

#### (1) 実験動物

#### サワガニの採集

2023年5月に三重県度会郡大紀町阿曾奥出地区、鍋池下流でサワガニを採集した(図1, 図2)。

採集できた個体は12個体で、甲羅の幅が2cm(大型)が8個体(オス4個体・メス4個体)、1.8cm(小型)が4個体(オス4個体)だった(図3)。



図1. 大紀町阿曾奥出地区



図2. サワガニを採集した場所



図3. 採集したサワガニ

サワガニは主に、川石の下や、石垣の隙間、苔場で採集することが多く、また雨上がりの山道などでも採集することができる。しかしながら、全体的にメスの個体数がオスよりも少なく、毎年メスの個体の採集が難しいように思う。

### サワガニの飼育

中央に仕切り板を取り付けることができるプラスチック水槽(マルカン PW-15、幅23mm、奥行き160mm、高さ15mm)に1個体ずつ隔離して飼育した。仕切り板

にはスリットがあり、水はつながっている。大型の異性4ペア(8個体)を4個の水槽で飼育した(図4)。今回は、交尾行動についての行動観察を行う為、甲羅の幅が2cm(大型)の8個体を観察対象とした。



図4. 仕切り板のある水槽で飼育している様子

サワガニの甲羅に白マジックペンで番号を書き、個体識別ができるようにした。4つの水槽でオスの個体とメスの個体を組み合わせて隔離飼育した(図5)。

餌としては金魚の餌(キョーリン ランチュウベビー)を1日おきに与えた。水の交換は1週間に1回行った。

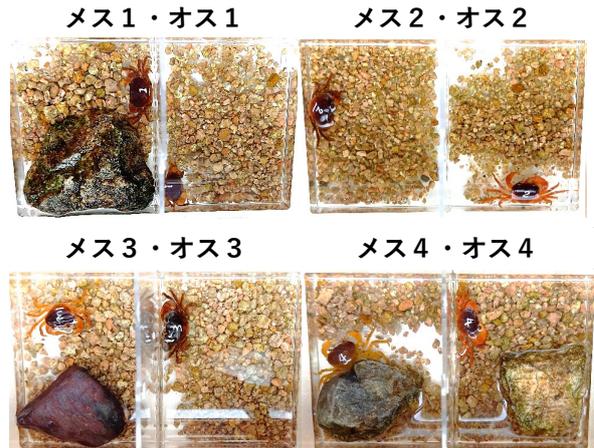


図5. 仕切り板のある水槽で飼育したサワガニ

## (2) 行動実験

### 仕切り板がある時の行動

仕切り板がある状態で、2個体の行動を観察した。仕切り板に近づくかどうかを主な指標とした。

### 仕切り板を外した時の行動

仕切り板を外した時の2個体の行動を観察し、各個体の行動を記録した。行動としては、接触、闘争、逃避、交尾、を調べた。

### 異性ペアに優劣や相性があるのか

1週間ごとに異性パートナーを入れ替え行動を観察した。相性があるとすれば、仕切り板を外した時、すぐに交尾をするのではないかと。

## 3. 結果

### (1) 行動観察の結果

1週間ごとに異性パートナーを入れ替え、仕切り板のある水槽で隔離飼育し、異性ペアの行動観察を各2回行った(表1)。

ケース	個体	個体	仕切り板を介した行動	
			組み合わせ1回目	組み合わせ2回目
1	メス1	オス1	互いに近づき合う	近づき合わない
		オス2	近づき合わない	近づき合わない
		オス3	互いに近づき合う	互いに近づき合う
		オス4	近づき合わない	
2	メス2	オス1	近づき合わない	
		オス2	近づき合わない	近づき合わない
		オス3	互いに近づき合う	
		オス4	互いに近づき合う	
3	メス3	オス1	互いに近づき合う	
		オス2	互いに近づき合う	互いに近づき合う
		オス3	互いに近づき合う	互いに近づき合う
		オス4	互いに近づき合う	近づき合わない
4	メス4	オス1	互いに近づき合う	
		オス2	近づき合わない	近づき合わない
		オス3	近づき合わない	近づき合わない
		オス4	近づき合わない	近づき合わない

ケース	個体	個体	仕切り板を外した時の行動	
			組み合わせ1回目	組み合わせ2回目
1	メス1	オス1	オスが近づくと失敗	互いに動かず
		オス2	互いに動かず	互いに動かず
		オス3	2回目に交尾	互いに動かず
		オス4	オスが近づくと失敗	
2	メス2	オス1	互いに動かず	
		オス2	互いに動かず	互いに動かず
		オス3	互いに動かず	
		オス4	オスが近づくと失敗	
3	メス3	オス1	始めはメスが近づくと失敗	
		オス2	互いに動かず	互いに動かず
		オス3	オスが近づくと失敗	互いに動かず
		オス4	互いに動かず	互いに動かず
4	メス4	オス1	互いに動かず	
		オス2	互いに動かず	互いに動かず
		オス3	オスが近づくと失敗	オスが近づくと失敗
		オス4	互いに動かず	互いに動かず

表1. 1週間ごとにペアを入れ替えた時の主な行動

仕切り板を介した時の行動は、ペアによって異なるが、仕切り板に先に寄って行くのは、比較的オスの個体の方が多かった。仕切り板を外した時も、近づいて行くのはオスの個体の方が多かった。仕切り板を外した時の共通した行動としては、初め30分くらいはお互い動かず、様子をうかがっているように見えたが、仕切り板に近づくなどの行動が見られるペアは、近づくまでの時間は次第に短くなった。近づいてくるオスの個体に対するメスの個体の威嚇行動はあるものの、同性に見られる闘争とは違い、オスのメスに対するアプローチと思われる。闘争は見られなかった(図6)。



図6. 仕切り板を外している様子

(2) 1週間ごとに異性パートナーを入れ替えた行動観察

1週間ごとに異性パートナーを入れ替え、ペアの行動観察を各2回行った結果、個体間で好みや相性があることがわかった(表2, 表3, 表4, 表5)。

1番のメスの個体と3番のオスの個体のペアでは、交尾を確認する事ができた(図8)。このペアは、仕切り板を介して1日目はオスの個体が近づき、2日目はメスの個体が近づき、3日目で互いに近づき合うようになった。しかし、仕切り板を外してすぐに交尾をする訳では無く、交尾を確認できたのは2度目に仕切り板を外した時だった。交尾をするまでには1時間かかり、交尾は4時間にも及んだが、抱卵はしなかった。



図8. メス1・オス3の交尾の様子

3番のメスの個体と1番のオスの個体のペア、3番のメスの個体と2番のオスの個体のペアでは、1日目からお互いを意識し合うようになり、仕切り板を介して互いに近づき合い、仕切り板を外した際は、接近やオスの個体からメスの個体へのアプローチが見られたが、交尾することはなかった(図9)。



図9. オス1がメス3にアプローチしている

また、4番のメスの個体と2番のオスの個体のペア、4番のメスの個体と4番のオスの個体のペアは、2回の観察とも全く近づき合わなかった。仕切り板を外しても互いに動かなかったり、メスの個体がオスの個体から逃げる行動も見られた(図10)。



図10. 全く近づき合わなかったペア

個体番号	メス 1	オス 1	【1回目 6/4~10】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	互いに近づく		
4日目	互いに近づく		オスが近づくがメスに逃げられた
5日目	互いに近づく		オスが近づくがメスに逃げられた
6日目	互いに近づく		
7日目	互いに近づく		互いに近づくもメスが逃げた

個体番号	メス 1	オス 1	【2回目 7/3~9】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		互いに動かず
4日目	離れている		
5日目	離れている		
6日目	離れている		
7日目	離れている		互いに動かず

個体番号	メス 1	オス 2	【1回目 6/26~7/2】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		
4日目	離れている		
5日目	オスが近づく		
6日目	オスが近づく		互いに動かず
7日目	オスが近づく		

個体番号	メス 1	オス 2	【2回目 7/11~17】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	メスが近づく		
2日目	メスが近づく		
3日目	離れている		
4日目	離れている		互いに動かず
5日目	離れている		
6日目	離れている		
7日目	離れている		互いに動かず

個体番号	メス 1	オス 3	【1回目 6/19~25】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	オスが近づく		
2日目	メスが近づく		オスが近づくがメスに逃げられた
3日目	互いに近づく		
4日目	互いに近づく		
5日目	メスが近づく		オスから近づき交尾をした
6日目	互いに近づく		メスから近づくが逃げられた
7日目	互いに近づく		

個体番号	メス 1	オス 3	【2回目 8/3~9】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		
4日目	離れている		
5日目	離れている		互いに動かず
6日目	離れている		
7日目	オスが近づく		互いに動かず

個体番号	メス 1	オス 4	【1回目 6/12~6/18】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	互いに近づく		
2日目	離れている		互いに動かず
3日目	離れている		
4日目	離れている		
5日目	メスが近づく		
6日目	互いに近づく		
7日目	オスが近づく		オスが近づくがメスに逃げられた

個体番号	メス 1	オス 4	
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目			
2日目			
3日目			
4日目			
5日目			
6日目			
7日目			

表2. メス1の行動記録

最初、メス1とオス1との相性は良さそうに見えたが、仕切り板を外すとメスの個体はオスの個体から逃げ、交尾をすることはなかった。

メス1のオス3に対する反応は、他のオスの個体に対する反応から明らかに違い、興味を持ったと考えられる。5日目には交尾を確認できた。

サワガニの個体間に関する研究

個体番号	メス 2	オス 1	【1回目 6/12~6/18】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		互いに動かず
3日目	離れている		
4日目	離れている		
5日目	オスが近づく		
6日目	オスが近づく		互いに動かず
7日目	メスが近づく		

個体番号	メス 2	オス 1	
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目			
2日目			
3日目			
4日目			
5日目			
6日目			
7日目			

個体番号	メス 2	オス 2	【1回目 6/4~10】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		
4日目	オスが近づく		互いに動かず
5日目	オスが近づく		メスから近づくが逃げられた
6日目	オスが近づく		
7日目	互いに近づく		互いに近づくがメスに逃げられた

個体番号	メス 2	オス 2	【2回目 7/3~9】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		互いに動かず
4日目	離れている		
5日目	離れている		
6日目	離れている		
7日目	離れている		互いに動かず

個体番号	メス 2	オス 3	【1回目 6/26~7/2】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	メスが近づく		
4日目	互いに近づく		
5日目	互いに近づく		
6日目	互いに近づく		
7日目	互いに近づく		互いに動かず

個体番号	メス 2	オス 3	
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目			
2日目			
3日目			
4日目			
5日目			
6日目			
7日目			

個体番号	メス 2	オス 4	【1回目 6/19~25】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	メスが近づく		
2日目	互いに近づく		
3日目	互いに近づく		
4日目	互いに近づく		
5日目	オスが近づく		オスが近づくがメスに逃げられた
6日目	離れている		互いに動かず
7日目	メスが近づく		

個体番号	メス 2	オス 4	
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目			
2日目			
3日目			
4日目			
5日目			
6日目			
7日目			

表3. メス2の行動記録

メス2はオス1・オス2には興味が無いようで、オスの一方的な接近が見られた。オス2に関しては、2回目の組み合わせでは完全に相性が合わなかったと思われる。

メス2はオス3・オス4には興味を持ったようだが、仕切り板を外しても互いに動かなくなったり、オスの個体からメスの個体が逃げだしたりした。

個体番号	メス 3	オス 1	【1回目 6/19~25】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	互いに近づく		
2日目	互いに近づく		
3日目	互いに近づく		
4日目	互いに近づく		
5日目	互いに近づく		メスから近づいたが交尾は失敗
6日目	離れている		オスが近づくとメスに逃げられた
7日目	メスが近づく		

個体番号	メス 3	オス 1	
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目			
2日目			
3日目			
4日目			
5日目			
6日目			
7日目			

個体番号	メス 3	オス 2	【1回目 6/12~6/18】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	互いに近づく		
2日目	互いに近づく		互いに動かず
3日目	互いに近づく		
4日目	離れている		
5日目	オスが近づく		
6日目	オスが近づく		互いに動かず
7日目	オスが近づく		

個体番号	メス 3	オス 2	【2回目 8/21~27】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	互いに近づく		
3日目	互いに近づく		
4日目	互いに近づく		
5日目	互いに近づく		互いに近づくとメスに逃げられた
6日目	互いに近づく		
7日目	オスが近づく		互いに動かず

個体番号	メス 3	オス 3	【1回目 6/4~10】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	互いに近づく		
4日目	互いに近づく		互いに近づくと交尾せず
5日目	互いに近づく		オスが近づくとメスに逃げられた
6日目	互いに近づく		
7日目	互いに近づく		互いに近づくと交尾せず

個体番号	メス 3	オス 3	【2回目 7/3~9】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	互いに近づく		
2日目	互いに近づく		
3日目	互いに近づく		互いに動かず
4日目	互いに近づく		
5日目	互いに近づく		
6日目	離れている		
7日目	離れている		互いに動かず

個体番号	メス 3	オス 4	【1回目 6/26~7/2】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	メスが近づく		
2日目	互いに近づく		
3日目	互いに近づく		
4日目	オスが近づく		
5日目	オスが近づく		
6日目	互いに近づく		
7日目	互いに近づく		互いに動かず

個体番号	メス 3	オス 4	【2回目 7/11~17】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	オスが近づく		
2日目	オスが近づく		
3日目	オスが近づく		
4日目	オスが近づく		互いに動かず
5日目	オスが近づく		
6日目	オスが近づく		
7日目	オスが近づく		互いに動かず

表 4. メス 3 の行動記録

メス 3 は比較的どのオスの個体にも興味を示していたが、特に仲が良かったのが、オス 1 とオス 3 だった。中でも、オス 3 に関しては、1 回目と 2 回目の反応がほぼ同じであることから、相性がいいと思われる。

オス 4 は、1 回目の組み合わせでも、2 回目の組み合わせでも、メス 3 に近づいていたことから、メス 3 が好みだったと思われる。

サワガニの個体間に関する研究

個体番号	メス 4	オス 1	【1回目 6/26~7/2】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	互いに近づく		
2日目	互いに近づく		
3日目	互いに近づく		
4日目	離れている		
5日目	離れている		
6日目	離れている		
7日目	離れている		互いに動かず

個体番号	メス 4	オス 1	
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目			
2日目			
3日目			
4日目			
5日目			
6日目			
7日目			

個体番号	メス 4	オス 2	【1回目 6/19~25】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		
4日目	離れている		
5日目	離れている		互いに動かず
6日目	離れている		互いに動かず
7日目	離れている		

個体番号	メス 4	オス 2	【2回目 7/11~17】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		
4日目	離れている		
5日目	離れている		互いに動かず
6日目	メスが近づく		
7日目	離れている		互いに動かず

個体番号	メス 4	オス 3	【1回目 6/12~6/18】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	オスが近づく		
2日目	オスが近づく		互いに動かず
3日目	オスが近づく		
4日目	離れている		
5日目	オスが近づく		
6日目	オスが近づく		オスが近づくがメスに逃げられた
7日目	離れている		

個体番号	メス 4	オス 3	【2回目 8/21~27】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	オスが近づく		
2日目	オスが近づく		
3日目	オスが近づく		
4日目	オスが近づく		オスが近づくがメスに逃げられた
5日目	オスが近づく		
6日目	オスが近づく		
7日目	オスが近づく		互いに動かず

個体番号	メス 4	オス 4	【1回目 6/4~10】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		
4日目	離れている		互いに動かず
5日目	離れている		互いに動かず
6日目	離れている		
7日目	離れている		互いに動かず

個体番号	メス 4	オス 4	【2回目 7/3~9】
日数	仕切り板がある時の行動		仕切り板が無い時の行動
1日目	離れている		
2日目	離れている		
3日目	離れている		互いに動かず
4日目	離れている		
5日目	離れている		
6日目	離れている		
7日目	離れている		互いに動かず

表 5. メス 4 の行動記録

メス 4 は、唯一オス 1 だけ共に興味を示したが、初めの 3 日間だけで、あとは全く興味を示さなかった。また、仕切り板を外した時に、オスからの接近も見られなかった。

オス 3 だけは 1 回目の組み合わせでも、2 回目の組み合わせでもメス 4 に近づいていたことから、メス 4 が好みだったと思われる。

#### 4. 考察

昨年、同性ペアでは隔離飼育を始めてからおよそ1週間程でお互いを意識し合うようになっていたが、異性ペアでは早いものでは1日目で互いを意識し合うようになった。最初に仕切り板に近づくのは、主にオスの個体が多かった。

昨年、個体間の関係について観察し、同性では強い個体、弱い個体など優劣がある事を調べたが、異性ペアではそれらは見られなかった。近づいてくるオスに対するメスの威嚇行動あるものの、同性に見られる闘争とは違い、オスのメスに対するアプローチと思われる。

また、優劣や相性があるのか明らかにするため、1週間ごとに異性ペアのパートナーを入れ替え、行動観察を行った結果、相手によって2個体の反応は様々だが、組み合わせによっては1日目からお互いを意識し合うものもあった。それとは逆に、互いに全く興味を示さないペアもいた。

1回目の組み合わせをしてから、2回目の組み合わせまで、およそ1か月の間があったが、4組の組み合わせ(メス3・オス3、メス4・オス2、メス4・オス3、メス4・オス4)で、1回目と同じような反応が見られたことから、サワガニには個体間で相性や好みがあると思われる。

相性の良いペアでは、仕切り板を介して互いに近づき、仕切り板を外した時に接近や交尾行動、オスの個体からメスの個体へのアプローチも見られた。また相性の悪いペアでは仕切り板を介しても互いに近づかなかったり、どちらか一方だけが近づいている状態だった。仕切り板を外した時は、お互いに動かなかったり、近づいてくるオスの個体からメスの個体が逃げるなど、完全拒否する様子が見られた。

1組の交尾を確認する事ができたが、交尾をするまでには1時間ほどかかり、交尾は4時間にも及んだ。しかし、抱卵はしなかった。一度で成功するとは限らないようだ。

アメリカザリガニでは、長期間お見合いをさせてから仕切り板を外すと、すぐに交尾をすることが知られているが、サワガニでは相性はあるものの、長時間お見合いをさせてから仕切り板を外しても、すぐに交尾をすることはなかった。

今回、サワガニに相性がある事は分かったが、アメリカザリガニのようにすぐに交尾するわけでは無かった。1組のペアで交尾を確認できたが、抱卵はしなかった。オスの個体からメスの個体へのアプローチはあるが、メスの個体に逃げられる事の方が多かった。動きが早い為、オスの個体がメスの個体を捕まえることが中々難しいようだ。

今年は、猛暑という事もあり、8月に入ってから暑さのせいか、例年よりサワガニの動きが悪く、死んでしまう個体もあった為、ペアの行動観察をすることが難しかった。交尾にも、時期や気候が関係しているのかもしれない。異性ペアの行動実験を今後も続けていきたい。

研究を進めるにあたり、ご助言くださいました、三重大学教育学部教授・後藤太郎先生に感謝いたします。

#### 参考文献

身近な動物を使った実験3 鈴木範生(編) 三共出版  
アメリカザリガニにおける配偶者選択

[http://www.zoology.or.jp/chubu/img/f\\_users/r\\_976721img20171217153837.pdf](http://www.zoology.or.jp/chubu/img/f_users/r_976721img20171217153837.pdf)

# 日本の気象におけるハロ出現時の気象パターンの解析

織田 悠輔

三重大学教育学部附属中学校 2年

Yusuke ODA

## 要旨

一昨年度『ハロが出ると天気の下り坂のサイン』という記述を見つけ、1年間ハロの観測と、その前後の天候を調べた。その結果『ハロが出現した翌日は、天気が曇りまたは雨になる傾向がある』ということを示した。一方で、ハロの出現後快晴になる日があることも確認しており、ハロの出現する条件は、天気が下り坂になること以外にも要因が存在することも明らかにした。そこで本研究では、2017年9月から2023年8月のハロが出現した453日分の天気図を低気圧、停滞前線が日本列島に接近しているかについて分類を行った。その結果、ハロが生じる際の気象パターンが季節によってどのように変化するかを明らかにした。

キーワード:ハロ、低気圧、停滞前線、秋雨前線

## 1. はじめに

2019年5月5日に祖父母の家から三重に帰る途中の高速道路でハロという現象を初めて見た。写真1は観察協力者によって提供されたハロの画像である。このハロという現象が気になり調べると、大気に浮かぶ氷晶(氷の粒)によって生じる現象だと分かった。太陽の光が反射、屈折することで生じるようである。このような現象は総じて大気光学現象と呼ばれる。写真1の現象の正式な名称は22°ハロと呼ばれるが、本研究ではハロと呼ぶこととする。この現象はよく知られている虹とは異なり、原因となる物質や見える場所などの違いが見られる。

ハロの出現数については様々な研究者が報告している。例えば鶴山[1]は、『ハロの出現頻度は年間50回近くであり、春先、顕著に増加する』と報告している。鶴山はその理由を日本の気象パターンと関連づけて説明しているが、統計的な解析はされておらずあくまで予想に留まっている。

ウェザーニュース社のホームページには『ハロが出現した時は天気が下り坂のサイン』との記述があった。前年度までに行った研究で、ハロの観測と、その前後の天候を調べた結果、ウェザーニュース社の記述のとおり『ハロが出現した翌日には、天気が下り坂になる傾向がある』ということを示した。

本研究の目的は、出現頻度の再調査と出現する際の

気象パターンを解析し、ハロが出現する要因を明らかにすることにした。

また、2023年11月5、6日に東京で開催されたジュニアドクターサイエンスカンファレンスに参加した際にいただいた意見の中で『秋雨前線に関連するハロが少ないのでは』このことについても、解析することにした。



写真1 ハロ(2021年6月17日、広島県)

## 2. 実験材料と方法

### (1) 実験材料

地上天気図(気象庁)

定点カメラ(ATOM Cam2)

気象教材 Web サイト(ブログ版 科学する空)

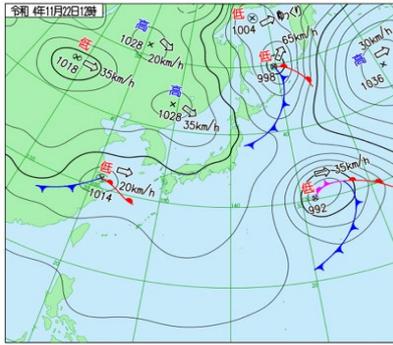


図 1 パターン①

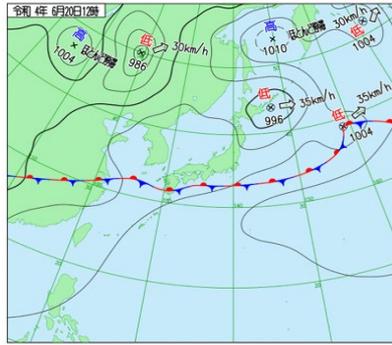


図 2 パターン②

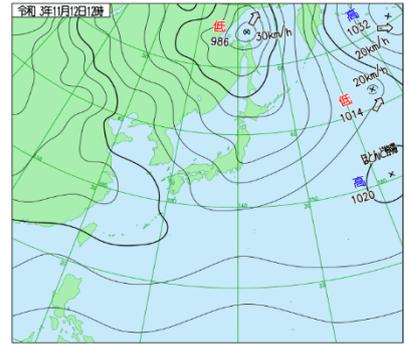


図 3 パターン③

(2) 方法

ハロを眼視観測と、ネットワークカメラによる定点観測を行った。また、Web サイト「ブログ版科学する空」の記録から、2017 年 9 月から 2023 年 8 月にハロが出現した日の 453 日分の天気図(12 時)の分類を行った。ハロの出現後は天候が崩れる傾向にあることから、天気図の分類は、

- **パターン①** 三重県周辺に低気圧が接近しているもの(図 1)
- **パターン②** 三重県周辺に停滞前線が接近しているもの(図 2)
- **パターン③** パターン①、②ではないもの(図 3)

とした。判定に困るものについては、指導教官の助言を参考にし、最終的には自分で判断した。

判定したパターンの回数は月別にまとめ、その平均値を月のパターンの回数とした。

また、秋雨前線とハロ出現する割合を調べることにした。

3. 結果

(1) ハロの出現頻度

2017 年 9 月から 2023 年 8 月の間でハロが出現した計 453 日分のデータの天気図を解析した結果は、

- ・ハロの出現数は春頃に増加し始め、夏頃まで増加は続き、冬に向かって減少していた。
- ・ハロは年間 88 日程度出現していた。

これらの結果は、先行研究[1]の傾向と一致していた。

(2) 気象パターンの変化

パターン①の結果(図 4 参照)は、

- ・春頃に増加し、その後減少していた。
- ・夏頃に再び増加し、その後減少していた。

パターン②の結果(図 5 参照)は、

- ・年間を通じて停滞前線由来のハロは少ないが、5・6 月頃に顕著に増加していた。

今回の結果からハロが出現する気象パターンは、季節ごとに特徴があることを示唆している。

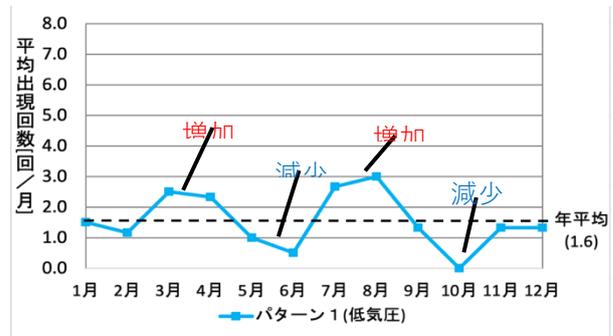


図 4 パターン①(周辺に低気圧)

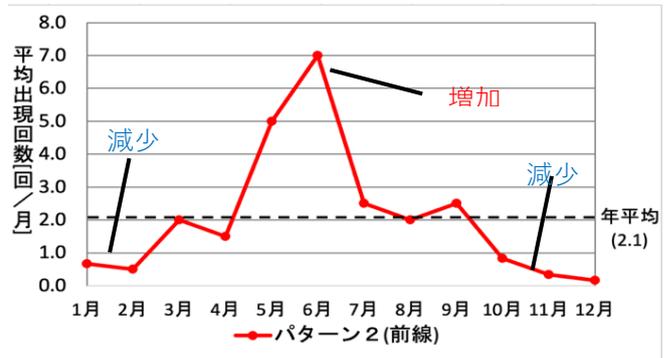


図 5 パターン②(周辺に停滞前線)

(3) 秋雨前線由来のハロの割合

秋雨前線に由来する2017年から2023年の中の毎8月16日から10月31日のハロ出現日の天気図を解析した。

- ・期間内のハロが出現した日は49日。そのうち秋雨前線が日本列島に接近していたのは34日であった。約 69.4%になる。

- ・月別に秋雨前線に由来したハロ出現日は、8月は9日、9月は24日、10月は6日で、9月が一番多かった。

## 4. 考察

### (1) 秋雨前線の割合について

秋雨前線が出現する時期の、秋雨前線由来のハロが半数以上を占めていることから、秋雨前線はハロ出現に大きく影響をもたらしている、と考えられる。

### (2) ハロの出現頻度について

先行研究[1]では、ハロは年間 50 日生じると報告されているが、本研究では年間で 88 日程度は出現しているという結果になった。しかし、春頃にハロの出現が増加するという傾向は先行研究[1]と一致しているため、精度と信頼度の高い結果を得たと考えられる。

### (3) 気象パターンの変化について

パターン①は年平均 1.6 回であった。春である 3 月は 2.5 回、4 月は 2.3 回、夏である 7 月は 2.7 回、8 月は 3.0 回となり、年平均よりも多かった。春は移動性高気圧と高気圧の間に発生する温帯低気圧に由来するものと考えられ、夏は台風に伴う熱帯低気圧に由来するものだと考えられる。

パターン②は年平均 2.1 回であった。年平均と比較すると、5 月が 5.0 回、6 月が 7.0 回と顕著に増加していた。日本はこの時期が梅雨にあたり、それに伴う停滞前線いわゆる梅雨前線由来のハロが多く出現したと考えられる。

3、4 月に発生するハロの頻度は、温帯低気圧の接近だけでは説明できない。なぜなら、先行研究では「春先のハロは温帯低気圧による影響」と予想されているが、その予想に反して、春先のパターン①の回数は、増加はしているものの、そこまで多くはなかった。これは、パターン③の分類不能のケースが多いことが関係している。

このことから、ハロが出現する要因は低気圧や停滞前線以外にも要因があると示唆される。

## 5. この研究の問題点と今後の展望

ハロが出現する要因を完全に明らかにすることができなかった。分類不能とした天気図の再解析を行う必要がある。また、解析した天気図は地上天気図のみであるため、要因を特定できなかった可能性がある。そのため、高層天気図や衛星画像など、複数の気象データで気象パターンを調べる必要があると考えられる。

今回は、22° ハロのみを分類したが、他のハロの観測記録、及び特殊な気象条件の台風などの前後で出現

したハロも含めて分類すると、また違う新たな結果が出るかもしれない。

また、パターン 2 の停滞前線関連で、気団との関係について調べてみるのもいいかもしれない。

今回の分析では、ハロを観測した当日の正午の天気図でパターンを分けたが、ハロを観測した時刻とその 12、24 時間後の地上天気図と比較できると、ハロ出現後の気象パターンが分析できるのではないかと考えられる。

## 6. まとめ

ハロは、春頃から夏頃に出現が増加しやすい傾向がある。また、季節ごとに異なる出現要因があり、温帯低気圧や熱帯低気圧、および季節に関係した梅雨前線や秋雨前線の停滞前線などが要因以外にも要因がある、と考えられる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり丁寧に指導いただいた、三重県立飯野高等学校の小林悠介先生に心より感謝申し上げます。またハロの撮影にご協力いただいた三重大学教育学部附属小学校の前田昌志先生、長井直己先生、三重大学教育学部附属幼稚園の辻彰士先生、市川智佐里さんに感謝いたします。

## 参考文献

池田圭一, 服部貴昭『水滴と氷床がつくりだす空の虹色ハンドブック』株式会社 文一総合出版, 2013年7月31日

小林悠介『科学する空 空を見上げ続けた5年間の記録』(最終閲覧日:2024年1月6日)

NextPublishing Authors Press

小林悠介『ブログ版科学する空』(最終閲覧日:2024年1月12日) <https://22dhalo.blogspot.com>

小林悠介『大気光学現象について』科学する空 (最終閲覧日:2024年1月6日)

<http://kagakusuru-sora.jp>

気象庁過去の気象データ検索 (最終閲覧日:2024年1月6日)

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>

気象庁過去の天気図 (最終閲覧日:2024年1月8日)

<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/wxchart/quickmonthly.html>

高知大学気象情報項(可視) (最終閲覧日:2024年1月8日) <http://weather.is.kochi-u.ac.jp>

# 昆虫の飛ぶ仕組みを調べてみた

辻本 憲史

三重大学教育学部附属中学校 2年

Norihumi Tsujimoto

## 要旨

昆虫の飛ぶ仕組みを調べたところ、飛行機やヘリコプターとは全く違う仕組みで飛んでいることがわかった。この昆虫の飛翔メカニズムを模倣することができれば、今までとは違う飛行物体を作ることができると考えた。特にハチやトンボなどの間接飛翔型は背板を上下させて翅を打ち上げたり打ち下ろしたりするととても興味深いものだった。昆虫の飛ぶ仕組みを模倣した装置の作成を試みた。

キーワード： 飛翔模型 昆虫

## 1. はじめに

4年生の自由研究で 23種の昆虫を採集し翅を広げた状態の標本にして、それぞれの昆虫の翅の特徴についてまとめた。その結果、ハチの翅がコンパクトで長距離を飛ぶことができ飛行能力も高く一番すごい翅だと思った。そこで、昆虫の飛翔メカニズムを調べてみたところ、飛行機やヘリコプター、ドローンとは違う仕組みで飛んでいることがわかった。昆虫の翅をまねることができれば今までにない飛行物体ができると考えた。そこで昆虫の飛翔のメカニズムについて調べ、飛翔の模型を作成してみようと思った。



4年生で作成した標本

## 2. 材料と方法

昆虫の飛ぶ原理と同じ模型を作る。

### 材料

飛翔模型の材料に次のものを準備する。  
ボール・ガムテープ・ひも・輪ゴム・レゴデュプロ・

レゴブロック・下敷・プラスチックボード・たこ糸・保冷剤・わりばし・竹串・ストロー・磁石・コイル・プラパン・ナイロン糸・ichigojam・電動歯ブラシ

### 方法

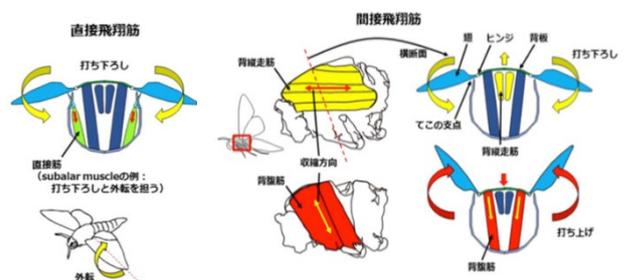
羽ばたきのメカニズムを本やインターネットで調べた結果、昆虫の羽ばたきのメカニズムは昆虫の種類によって2つあることがわかった。

#### ・直接飛翔筋によるもの

(トンボやカゲロウなどの原始的な飛翔システムの昆虫)

#### ・間接飛翔筋によるもの

(甲虫・チョウ・ハチなどの新しい飛翔システムの昆虫)



(<https://cns.neuroinf.jp/jscpb/wiki/昆虫の羽ばたき運動のメカニズム>)

この2つの種類それぞれについて模型をつくる。

## 3. 結果

### 結果1：段ボールでの飛翔模型

・直接飛翔筋による運動装置  
翅の上下運動を再現できた。



・間接飛翔筋による運動装置

背板を押し上げることで翅を持ち上げる背板の変形、しなりのない段ボールでは作成できなかった

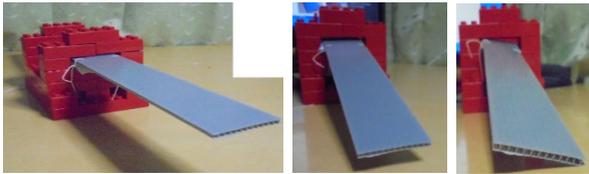


結果2：レゴデュプロでの飛翔模型

・直接飛翔筋による運動装置

直接飛翔は翅の上下運動と外転運動、内転運動ができるようになった。

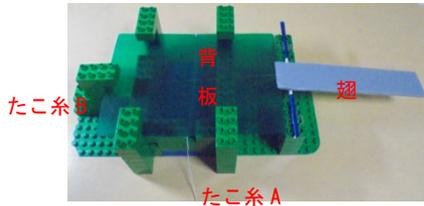
打ち下ろし 外転運動



- ・2本の飛翔筋（たこ糸）を同時に引くと翅が打ち下ろさせる。
- ・1本のみを引くと翅が外転運動する。

・間接飛翔筋による運動装置

間接飛翔は背板をしなりやすい下敷きにしたため、上下運動と外転運動、内転運動ができるようになった。



打ち下ろし 打ち上げ

- ・背縦走筋（たこ糸A）を引くと背板が盛り上がり翅が打ち下ろされる。
- ・背腹筋（たこ糸B）を引くと翅が打ち上げられる。

《模型結果からいえること》

実際に模型をつくることで飛ぶメカニズムを理解することができた。

昆虫は背板が曲がることで飛んでいる時の運動が起こることを確かめた。

そこで自動で翅を動かすことのできる間接飛翔装置を作ろうと思った。

結果3：レゴ歯車を使った飛翔模型

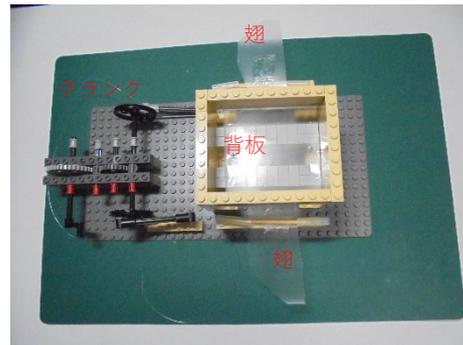
自動で動かすにはモーターを使うことになると考えた。回転する動きを上下運動に替えるためにクランク機構を使い、回転数を増やすために歯車を使った。取っ手を回すと翅が上下する。



翅は上下に動くものの背板を利用した間接飛翔の仕組みとは違うものになってしまった。

結果4：結果2と結果3を合わせる。

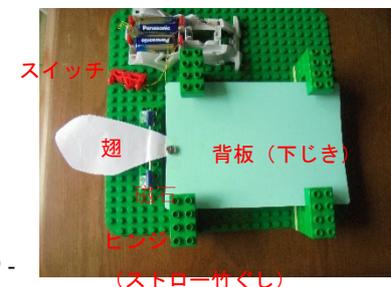
レゴで結果2に近いものを再作成。背板にクリアファイルを使う。背板に糸を通して結果3のクランクで引っ張る装置。

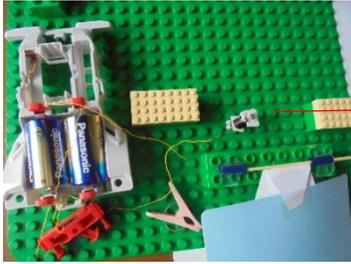


クランクを動かすと少し背板がしなり、翅が羽ばたいた。しかし、力の伝わりが弱く、糸も絡まり動かなくなる。

結果5：電磁石を使った飛翔模型

背板を上下できないか全く違う方法を考えた。学校でならった電磁石の力を使えないか考えた。電磁石であれば電流を流したり切ったりすることで磁力をもたせたりなくしたりできるのでよいと考えた。小さいといろんな装置が作成しにくいので、レゴデュプロで装置を作成。学校でもらった「電流のはたらきロードスターZ型」を使って磁石の力で背板が上下するものを作成。





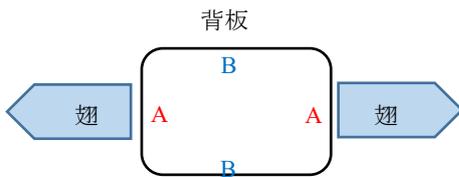
電磁石  
(コイルと鉄芯)

背板の上の磁石の磁力が強くと、電磁石の中心の鉄芯に引っついて反発させようとしても反発してくれなかった。逆に背板の上の磁石の磁力を弱いものに替えたところ、電磁石にひきつけられなかった。電磁石のコイルの巻き数を変えて何度か調節したがうまくいかなかった。思っていたより磁力を調節することは難しいことがわかった。

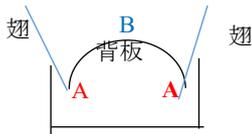
**結果6：ichigojamを使った装置**

作成したい間接飛翔について整理してみた。

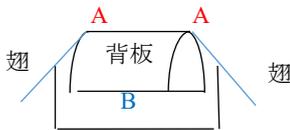
- ・昆虫の胸を上から見たところ



- ・昆虫の胸を断面で見たところ  
翅の打ち上げ



翅の打ち下ろし

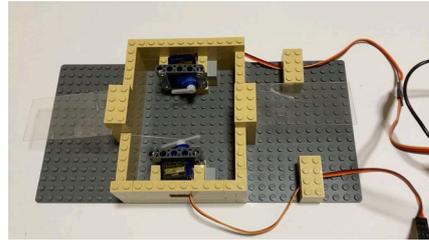


昆虫の翅は背板の A 側が下に曲げられたときに打ち上げられ、B 側が下に曲げられたときに打ち下ろされる。それを交互に行うことで、羽ばたきが起こる。

A 側と B 側を交互に引っ張る必要があるので、交互に作動させることができるようプログラムできる ichigojam を使うことにした。

背板の二か所の A 点に穴を開けナイロン糸をとおし同時に引っ張ることで背板を曲げて翅を打ち上げ、背板の二か所の B 点に穴を開けナイロン糸をとおし同

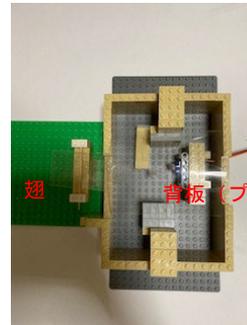
時に引っ張ることで背板を曲げて翅を打ち下ろす。それを交互に作動するようにプログラミングする。



作成してわかったこととして翅と体でこの原理がはたらいっているということ。

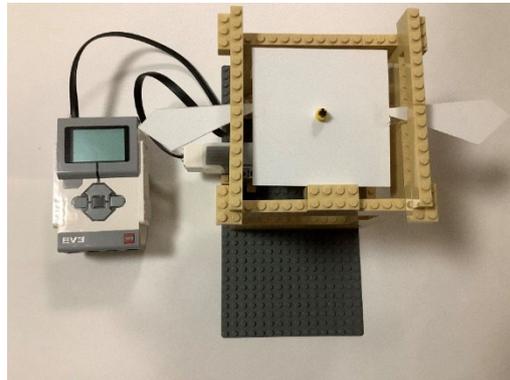
背板がイメージ通りに曲がらず翅の動きに結びつかず失敗した。糸の位置、背板の硬さによりしなりが思うようにいかない。

そこでまず打ち下ろしの動きだけを再現できる模型の作成をした。



背板がまがることによる打ち下ろしが再現できた。

**結果6：レゴマインドストームを使った装置**



実験結果 3 のようにクランクを使ったものの、今度はクランクを背板に取り付け、レゴマインドストームでプログラミングし、間接飛翔の打ち上げを再現。

**結果6：電動歯ブラシを使った装置**

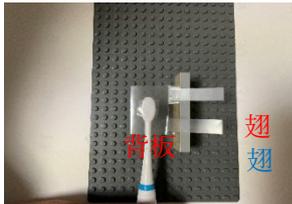
レゴマインドストームにて何個か模型を作成したが、大きく変化のあるものを作成できなかった。

そこで視点を変えて、高速振動するものの原理を調べてみようと考えた。そこで一分間で何百回と振動する電動歯ブラシの原理を調べた。

電動歯ブラシは細い柄に収まるように小型のモーターが不可欠。コイルに電流を流すと磁界が発生。このコイルを回転軸に巻き固定した永久磁石の N 極と S 極の

間にはさむと、同極同士の反発力と異極同士の吸引力により、コイルが巻かれたロータは回転する。このモータの回転運動をいかにして高速の振動運動に変換しているか。電動歯ブラシにはピストンもクランクもなく、モータの回転軸に、中心をはずした金属製の重りがつけられている。あえて偏心重りをつけて小刻みな振動を発生させている。

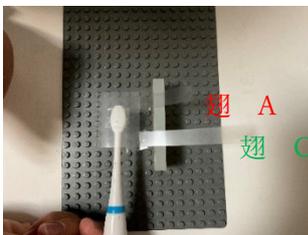
この原理を使い、作成したいと考えたが、まず、購入した電動歯ブラシで簡易な飛翔模型を作成してみた。



翅に見立てたプラスチック板が羽ばたいた。

翅 A と翅 B では羽ばたき方が違った。よく観察すると翅と背板をセロテープで繋げる際に、背板と翅が重なっているものと重なっていないものがあることがわかった。背板と重なりがない翅 A 10.8 回/秒 重なりがある翅 B 8.8 回/秒羽ばたきことが分かった。重なりのない翅 A の方がよく振動した。

そこで重なりのない翅で翅の長さを長さを変えてみた。短い翅 A 倍の長さの翅 C で振動を比べてみた。振動は 翅 C 6.6 回/秒。翅 A の方がよく振動した。



そこで翅 A と同じ長さで太くした翅 D を比べてみた。

翅 D 8.4 回/秒。 細い翅 A の方がよく振動した。



こうして比べると短くて細いものがよく振動することが分かった。

蜂の翅はこれに近いのではないかと思った。高速で羽ばたきが多い。これに対し、太くて長いものはチョウの翅に近く低速で羽ばたきが少ない。

### 実証実験

セミが道に死んでいたのも、今作成している飛翔メカニズムが実際の昆虫でどのようにその筋肉がついているのか解剖することで確かめてみた。



セミの背板を指で押すと翅は自然に打ちあがる。



セミの胸と翅の間には白い幕のようなものがある。翅のついている胸部分の足がついている下側は固くなっている。翅と胴体がこの原理が働くように固くなっているようだ。



赤線で切断する



背板を指で押すと翅は自然に打ちあがる。筋肉繊維は背と腹に縦につながっている。



背板の翅がついている近くを竹串で内側から押し上げると翅は打ち下がる

死んでいるセミでも、実際に背板を上下することで、翅を打ち上げたり打ち下げたりすることがわかった！

### 4. 考察

昆虫の飛翔システムの一つである間接飛翔の装置をつくるため、背板をいかに上下させ、その運動により翅を上下させるかが問題となった。翅の打ち下ろし自動装置はできたものの、背板を上下させる伸び縮みする筋肉の動きを装置にすることは、とても難しいことがわかった。羽ばたきの再現さえ出来ていないが、これで実際飛びたつものを作るには、機械の重さ、翅の回転とまだまだ課題が多く、昆虫はずごとと改めて感じた。

今後は電動歯ブラシの仕組みを使い少しでも昆虫に近い模型を作成したい。

### 参考文献

昆虫の羽ばたき運動のメカニズム <http://chs.neuroinf.jp/jscpb/wiki/>  
空を飛ぶ生き物たち PHP 研究所 2015 年  
工作でわかるモノのしくみ 誠文堂新光社 2018 年

# ウミホタルの摂餌行動について

寺地 優太

近畿大学附属新宮中学校 3年

Yuta Teraji

## 要旨

ウミホタルは海底に生息する小型甲殻類で、発光物質を出して光ることから発光の研究に用いられている。ウミホタルの採集には魚のアラを用いるが、どのようなものにも集まるか野外調査実験と室内行動実験で調べた。その結果、ウミホタルは脊椎動物の血液に誘引されることがわかった。血液のヘモグロビンに含まれる成分として鉄に対する反応を調べたところ、錆びた鉄釘に誘引された。錆びた鉄釘と魚のアラを同時に用いることで、アラだけの場合より多くのウミホタルが採集された。鉄の匂いの正体としてトランス-4,5-エポキシデセナールが知られており、この物質は紅茶にも含まれることから、紅茶に対する反応を調べたところ、錆びた鉄釘や血液と同様の反応がみられた。さらに、トランス-4,5-エポキシデセナールを用いた行動実験により、1.0ppb（10億分の1）の濃度に反応した。また、鉄釘だけでは採集できないことから、ウミホタルが餌を食べるには味覚が関係していると考え、いりこなど3種類の出汁の素を用いた野外調査実験を行ったところ、いりこを溶かした寒天に集まり、鉄釘を入れることで最も多くのウミホタルが集まった。このことから、ウミホタルは血液の匂いに誘引され、イノシン酸を含むものを感じて摂餌することがわかった。また、イノシン酸とアミノ酸の一つで養殖魚の飼料の添加にも使用されるプロリンを用いて反応を調べたところ、40%台ではあるが反応がみられた。さらに、イノシン酸を多く含むカツオ削り節と、カツオ削り節から抽出した出汁を凍結させたもので野外採集実験を行ったところ、凍結した出汁でも採集できた。以上の結果から、ウミホタルはイノシン酸に反応するものの、単体ではなく他の成分も合わさったものに、より強く誘引されるということと、味覚についても嗅覚と同様にごく僅かな濃度のものでも感知して摂餌行動を行っているということがわかった。

キーワード： ウミホタル・嗅覚・血液・トランス-4,5-エポキシデセナール・味覚・イノシン酸・プロリン

## 1. はじめに

私は2019年に新宮市少年少女発明クラブの講座でウミホタルについて学ぶ機会があり、発光の美しさに興味をもち、自身でも採集を行うようになった。

ウミホタルの採集には魚のアラを用いていたが、ウミホタルがどのようなものにも集まるのかを調べたくなり、2020年には私たちが食べる食材（魚、大豆ミート、うどん、牛脂、大根、チョコレート）6種類を用いて採集した。その結果、魚に最も多く集まり、ついで少量であるがうどん、大豆ミートとなり、牛脂や大根、チョコレートには集まらなかった。

2021年に飼育中のウミホタルを観察していた際、餌を入れていた何もない小皿に集まってきたことがあり、2020年に行った実験で1回だけうどんに多く集まったことを思い出した。その原因として、魚のアラを触った手でうどんを触ったり、魚のアラを置いた小皿を用いたことにより、うどんや皿に血液が残っており、血液に反応したのではないかと考えた。

そこで、ウミホタルが石やうどんに接触するかどうか室内実験をしたところ、石にはほとんど接触せず、血をつけた石には接触した。また、血をつけた石より、

血をつけたうどんに対して接触が多かった。このことから、うどんや皿に集まったのは、血が付着していたためという予想を裏付ける結果となった。

血液に反応する水生動物としてはサメが有名であるが、無脊椎動物が血液に反応するという研究報告はみられない。そこで、ウミホタルの摂餌行動を指標に、ウミホタルがどのような匂い成分を感じているか明らかにすることを研究の第一の目的とした。嗅覚に関する実験をする過程で、誘引するだけで食べないこともあることがわかったため、食べ物かどうかの識別には嗅覚とともに味覚も関係していると考え、味覚について明らかにすることを研究の第二の目的とした。

また、味覚に関してイノシン酸を含むものを感じて摂餌することがわかったため、イノシン酸とアミノ酸の一つで養殖魚の飼料の添加にも使用されるプロリンを用いて反応を調べるとともに、イノシン酸を多く含むカツオ削り節と、カツオ削り節から抽出した出汁を凍結させたものを用いて野外採集実験を行い、ウミホタルの摂餌行動について調べることとした。

## 2. 材料と方法

### (1) 実験動物

ウミホタルの採集

2020年8月から2024年1月にかけて、採集場所は和歌山県那智勝浦町の宇久井港の防波堤で採集した。採集するためにトラップは小型プラスチック水槽を用い、これに餌を入れた。1回の採集で、2個から6個のトラップを用いた。日没後に防波堤から海に沈め、20分～1時間程度置いてから引き上げた。水槽内のウミホタルをそのまま自宅に持ち帰り、個体数を数えた。

ウミホタルの飼育

ウミホタルは人工海水を入れたプラカップ（直径10cm）に入れ、20℃に設定した恒温器で飼育した。

魚のアラの小片などを3日に1回与え、海水は1週間に1回交換した。

### (2) 行動実験

プラカップに人工海水を1cmの深さまで入れ、ここにウミホタル5個体入れた。カップの中央に餌を入れた（図1-A, B）。上からタブレットのカメラで1分間動画記録した。餌に接触した個体数と最初に餌に接触した時間を計測した。各実験は個体を変えて5回繰り返した。

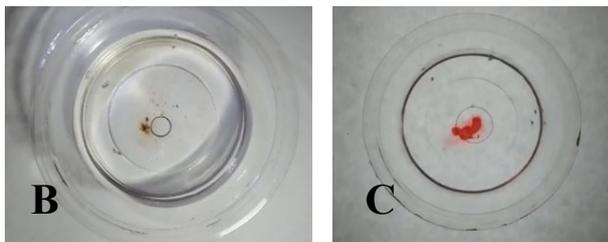
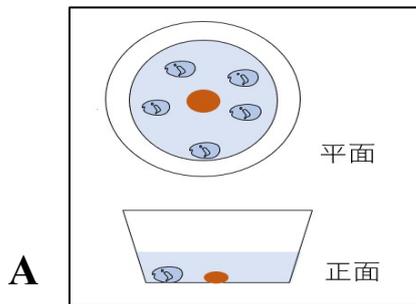


図1 行動実験に用いた容器の模式図 (A). カップに5個体のウミホタルを入れ、中央に餌物質（オレンジ色の部分）を置いた. B: 中央に餌（肝臓）を置いた状態. C: 「餌」とするテスト液が液体の場合に、着色したペクチンで粘性を高めて用いた.

### (3) 嗅覚に関する実験

ウミホタルを誘引するものを調べるために、以下のものを用いた室内行動実験を行った。

#### ① 魚のアラの種類に対する反応

魚の心臓、肝臓、腎臓、血液

#### ② その他の血液成分を含むものや脂質に対する反応

鳥の血液、骨髄、肝臓、牛脂、鯨の血液、冷凍赤虫、乾燥赤虫

#### ③ ヘモグロビンに含まれている成分に対する反応

鉄釘、ステンレス釘、真鍮釘、錆びた鉄釘、ペンキを塗った鉄釘

鉄釘については、野外採集実験も行った。

#### ④ 血の匂い成分を含むものに対する反応

紅茶（株式会社ろばや、有機紅茶）

#### ⑤ 血液の匂い成分に対する反応

トランス-4,5-エポキシデセナール 1 mgを 1ml の DMSO (ジメチルスルオキシド) で希釈して 0.1%にしたものをストック液とした。これを 10 倍から 1 億倍に希釈してテスト液とした。テスト液をゲル化して用いるためにペクチンを加えるとともに赤色食用色素を入れて、「餌」として見えることができるようにして、カップの中央に入れた（図1-C）。この試薬の購入や準備は自分でできないことから、三重大学教育学部理科教育の後藤太一郎先生にご協力いただき、先生の研究室に行き実験した。

### (4) 野外における嗅覚に関する採集実験

嗅覚に関する行動実験の結果をもとに、ウミホタルを誘引した鉄釘については、魚のアラと組み合わせをした野外採集実験を行った。

### (5) 野外における味覚に関する採集実験

味覚物質として知られている物質を寒天で固めたものを用いて、野外採集実験を行った。魚の出汁や昆布の出汁に着目し、顆粒の出汁の素3種（いりこ出汁、昆布出汁、カツオ出汁、理研ビタミン株式会社）を用い、これを寒天液（2～5%）に溶かして、プラスチックのカップ（100ml）に入れて固めた。また、嗅覚による誘因を確認するために寒天を溶解するのに紅茶を用いたものや、紅茶の代わりに鉄釘も用意した。これをウミホタル採集に用いている容器に入れて採集実験を行い、集まったウミホタルの個体数を調べた。

### (6) 味覚に関する実験

#### ① イノシン酸に対する反応

イノシン-5'-γ-リン酸二ナトリウム 0.01g を水 1ml に溶解し原液とする。原液を 100 倍まで希釈し、テスト液として使用。それにペクチンを加えるとともに赤色食用色素で着色。プラカップにウミホタル 5 個体を入れて上から 1 分間動画記録し、テスト液に寄ってきた数をカウント、個体を変えて 4 回テストを 2 度行った。

② プロリンに対する反応

アミノ酸の一つで養殖魚の飼料の添加にも使用されるプロリン（ピロリジナー２-カルボン酸）に対する反応を確認。原液を 10,000 倍まで希釈し、テスト液として使用。それにペクチンを加えるとともに赤色食用色素で着色。プラカップにウミホタル 5 個体を入れて上から 1 分間動画記録し、テスト液に寄ってきた数をカウント、個体を変えて 4 回テストを 2 度行った。

④ イノシン酸を多く含むものによる野外採集実験  
イノシン酸を多く含む、カツオ削り節（ヤマキ（株）、氷熟厚削り）20g と削り節から抽出した出汁を冷凍させたものにより野外採集実験を行う。

氷が溶けきってしまうまでに引き上げるため 10 分間だけ海に沈めて引き上げた。

3. 結果

(1) 嗅覚に関する行動実験および野外採集実験

① 鯖の内臓に対する反応

魚の各臓器に反応がみられた。餌への接触までの時間は血液や肝臓では 10 秒ほどであったが、心臓や腎臓でも同程度の時間に集まることもあり、臓器の種類による差はないといえる。(図 2)

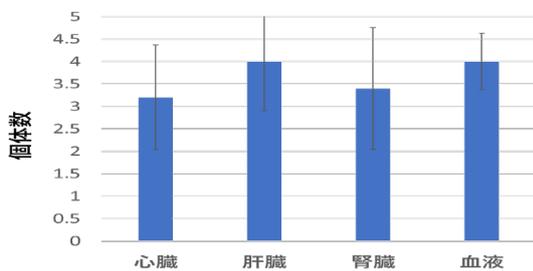


図 2 鯖の内臓に対する反応

② 他動物の血液に対する反応

鳥と鯨の血液には同じぐらいの大きな反応が見られ、次いで赤虫となり、牛脂と骨髄には反応しなかった。また、冷凍赤虫や乾燥赤虫に集まったことから、ヘモグロビンに含まれ分解されないものに誘引されると考えられる。(図 3)

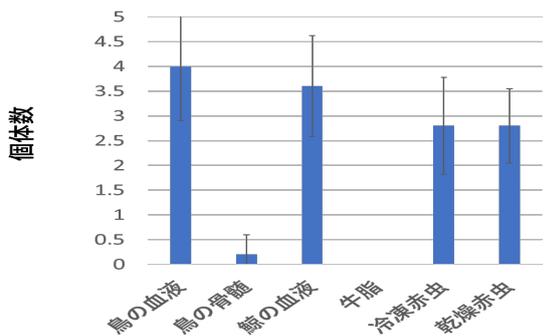


図 3 他の動物の血液に対する反応

③ 金属に対する反応

ステンレス、真鍮の釘には反応がなく、鉄釘や錆びた鉄釘には反応があった。ペンキを塗った鉄釘には反応がなかった (図 4)。

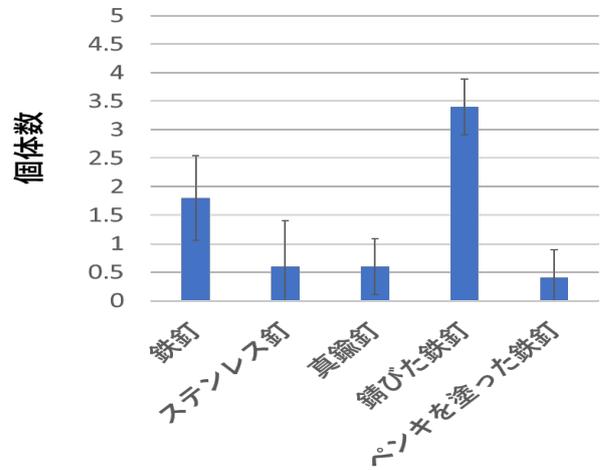


図 4 金属に対する反応

④ 紅茶に対する反応

血液に含まれる成分と同じものが紅茶に含まれているという報告があったことから紅茶に対する反応を調査。その結果、血液と同程度の誘引がみられた(図 5)。

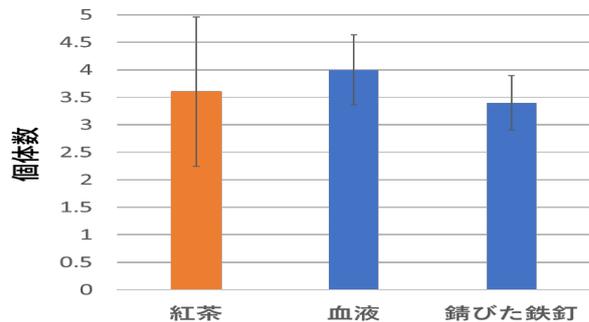


図 5 紅茶に対する反応

⑤ ウミホタルの野外採集における鉄釘の利用

行動実験の結果をもとに、ウミホタル採集の餌として鉄釘を用いた。その結果、錆びた鉄釘だけではほとんど採集できなかったが、魚のアラと錆びた鉄釘を入れた場合、魚のアラだけの場合よりも多くのウミホタルが集まった (表 1)。

餌	トラップ A	トラップ B
魚のアラ	56	33
錆びた鉄釘	4	0
魚のアラと錆びた鉄釘	706	158

表 1 鉄釘を利用した野外採集実験

⑥ トランス - 4.5 - エポキシデセナールに対する反応  
鉄の匂い物質として知られているトランス - 4.5 - エ

ポキシデセナールを三重大学教育学部の後藤太一郎先生にこの試薬を用意していただき、これに対するウミホタルの反応を2022年5月1日に三重大学の研究室をお借りして調べた。ストック液は0.1%であることから、これの10倍希釈から1億倍希釈まで調べた結果、10ppb（10億分の1）から0.01%までの濃度に対して50～60%の反応が見られた。1ppbでも25%の反応であったが、0.1ppbでは反応がなかった。このことから、ウミホタルはトランス-4.5-エポキシデセナールに誘引されることがわかった。（図6）

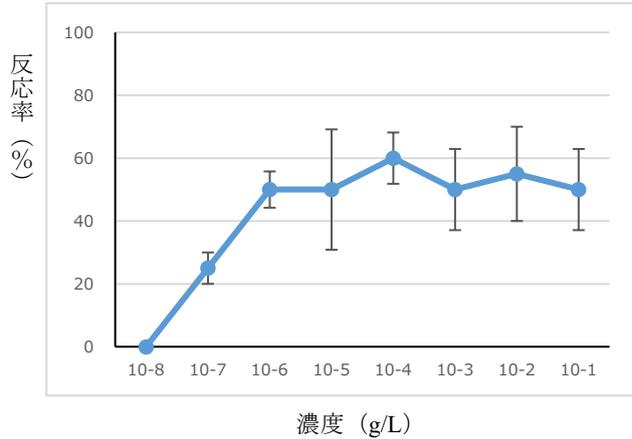


図6 トランス 4.5 エポキシデセナールに対する反応 (バーは標準誤差を示す)

(2) 味覚に関する野外調査実験

行動実験から紅茶に誘引されたので、3種の出汁の素を紅茶で作成した寒天液に溶かしたものを用意し、2022年5月20日午後8時6分から8時55分に野外採集実験を行った。その結果、紅茶寒天には集まらなかったものの、いりこ入り紅茶寒天に対して185個体いた。昆布やカツオ入り紅茶寒天にもわずかであったが集まった（表2）。

餌	個体数
紅茶	0
いりこ+紅茶	185
昆布+紅茶	3
カツオ+紅茶	1

表2 3種の出汁の素に対して採集できた個体数

次に、紅茶寒天、カツオ入り寒天、カツオ入り紅茶寒天の3つの条件で2022年6月3日午後8時45分から9時15分に調べたところ、カツオと紅茶の場合だけに個体数は少なかったが集まった（表3）。

餌	個体数
紅茶	0
カツオ	0
カツオ+紅茶	9

表3 カツオ出汁の素と紅茶の組み合わせで採集できた個体数

さらに、いりこ入り寒天とカツオ入り寒天に錆びた鉄釘を組み合わせで調べたところ、錆びた鉄釘といりこ入り寒天に対して24個体と最も多くの個体が集まった（表4）。

餌	個体数
錆びた鉄釘	0
いりこ	6
いりこ+錆びた鉄釘	24
カツオ	0
カツオ+錆びた鉄釘	0

表4 いりこ、カツオだしの素と鉄釘の組み合わせで採集できた個体数

(3) 味覚に関する室内行動実験

①イノシン酸に対する反応

原液に対して42.5%の反応率、100倍希に対しては7.5%の反応があった（図7）。

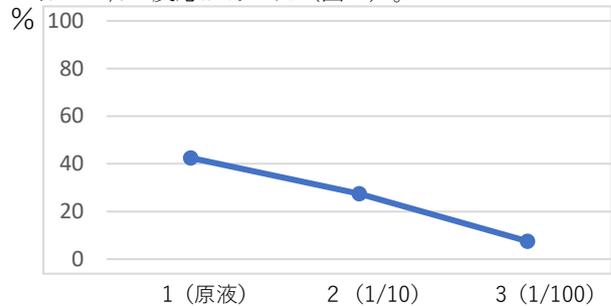


図7 イノシン酸に対する反応

②プロリンに対する反応

原液に対して47.5%の反応率、1,000倍希釈に対して17.5%、10,000倍希釈に対しては5%の反応があった（図8）。

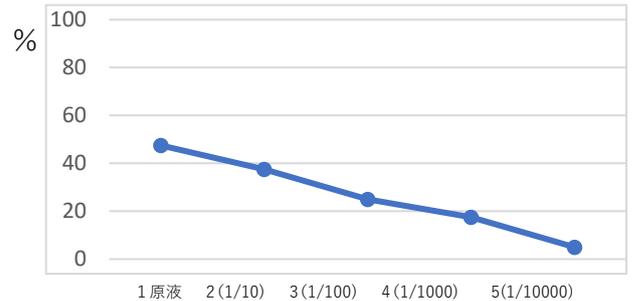


図8 プロリンに対する反応

③イノシン酸を多く含むものによる野外採集実験

10 分間という短時間であったが、カツオ削り節で 105 個体、カツオ削り節から抽出した出汁を凍結させたものでも 20 個体採集できた (表 5)。

餌	個体数
カツオ削り節	105
凍結した出汁	20

表 5 イノシン酸を多く含むものにより採集できた個体数

4. 考察

ウミホタルの採集には、一般に魚のアラや、鳥の肉などが使われる。本研究では、ウミホタルは魚の血液の他、鳥や鯨の血液に誘引されたことから、脊椎動物の血液の匂いを感じていること示された。鮫がわずかな血液の匂いを感じていることはよく知られているが、無脊椎動物で血液の匂いを感じるという報告はなく、本研究がはじめてかもしれない。

血液成分に含まれているものとして鉄分子があることから、錆びた鉄釘を用いたところ、ウミホタルは誘引された。このことは、魚のアラと錆びた鉄釘を一緒にしてウミホタルを採集した際に大量に採集されたことから、行動実験を裏付けるものである。

鉄の匂い成分は、脂肪酸が鉄と接触して、酸化することで生じるトランス-4,5-エポキシデセナールという化合物が知られている。これは紅茶にも含まれていることから紅茶を餌として用いたところ、紅茶にも誘引され、その効果はほぼ血液と同じであった。この結果はウミホタルが感じる匂い物質はトランス-4,5-エポキシデセナールであることを示唆する。この物質を投与した際の反応を調べた結果、1.0ppb という低濃度でも誘引された。ヒトのトランス-4,5-エポキシデセナールに対する感度は、0.62ppb(水中)ととても低い、ウミホタルでもほぼ同じであった。無脊椎動物の嗅覚としてトランス-4,5-エポキシデセナールがあることは知られておらず、本研究が初めてであるだろう。ウミホタルは動物の血の匂いを感じることで餌を見つけるように発達したと考えられるが、魚の死骸などを捕食する他の水生無脊椎動物の中にはトランス-4,5-エポキシデセナールを感じるものもいるかもしれない。

錆びた鉄釘を用いた採集ではウミホタルはほとんどいなかった。これは、鉄釘に誘引されたものの、餌でないことから逃げたためと考えられる。つまり、嗅覚で餌に接近した後、食べ物かどうかは味覚で識別していると考えられる (図 9)。

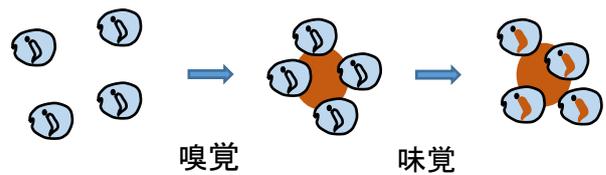


図 9 ウミホタルの摂餌行動。匂いで餌を感じて近づき、味覚によって食べ物かどうかを識別する。

そこで味覚に関する野外採集実験を行った。うま味成分として知られるグルタミン酸やイノシン酸を含むものとして、カツオ出汁、いりこ出汁、昆布出汁を用いて、これを寒天に溶かすことで餌とした。その結果、紅茶寒天にいりこ出汁とカツオ出汁を加えると集まったことから、ウミホタルはイノシン酸を感じていることが示唆された。鉄釘といりこ入り寒天によりウミホタルを最も多く採集することができたことから、鉄釘に誘引されて、いりこ入り寒天を食べたと考えられる。

このことから、ウミホタルの摂餌には、嗅覚としてトランス-4,5-エポキシデセナールを感じ、味覚としてイノシン酸を感じていることがわかった。

また、イノシン酸とプロリンに対する反応と、イノシン酸を多く含むカツオ削り節、ならびにその出汁を凍結させたものによる野外採集実験の結果から、ウミホタルはイノシン酸に反応するものの、単体ではなく、他の成分も合わさったものに、より強く誘引されるということが考えられる (イノシン酸は核酸系の物質であり、グルタミン酸などのアミノ酸と一緒にすることで味覚の相乗作用があることが知られている)。

そして、ウミホタルは味覚についても嗅覚と同様に、ごく僅かな濃度のもでも感知して摂餌行動を行っているということがわかった。本研究で明らかにしたウミホタルの味覚や嗅覚は、視覚に頼ることが困難な海底で採餌をする中で進化してきたのではないかと考えられる。

また、実験には嗅覚に関する物質は欠かせないことから、ウミホタルの味覚の実験では紅茶などの味覚物質を含まないものを混合する必要がある。本研究結果は、ウミホタルの味覚研究に関する新たな方法を提唱するものでもある。

5. 今後の課題

今後もウミホタルの飼育と観察を続けるとともに、他の甲殻類の嗅覚と味覚についても調べ、甲殻類養殖のための人工飼料開発に役立てたい。

## 謝辞

研究活動を進めるにあたり、熱心なご指導・ご協力  
いただきました、三重大学教育学部特任教授 後藤太  
一郎先生に深く感謝いたします。

## 参考文献

鉄のにおいの正体

<http://blog.livedoor.jp/route408/archives/50674724.html>

核酸系うま味物質と相乗作用の発見

<https://www.umamiinfo.jp/what/attraction/discovery/>

## 2023 年度第二段階プログラム指導教員

受講年	名前	指導教員
1 年目	イスラム 可朱布	教育学部・伊藤信成
	川崎 英希	教育学部・伊藤信成
	松村 紗里	教育学部・市川俊輔
	丸山 仁菜美	県立飯野高校・小林悠介
	成島 知長	生物資源学研究科・三島隆
	松村 昂太郎	教育学部・市川俊輔
	余谷 美優	教育学部・市川俊輔
	寺地 絢星	教育学部・後藤太一郎
	小林 碧	伊賀研究拠点・紀平征希
	小西 奏	教育学部・後藤太一郎
	望月 悠史	生物資源学研究科・三島隆
2 年目	東谷 直	教育学部・後藤太一郎
	東谷 唯	教育学部・平山大輔
	菊池 美歩	教育学部・磯部由香
	堀口 直宏	県立飯野高校・小林悠介
	石倉 成実	教育学部・後藤太一郎
	織田 悠輔	県立飯野高校・小林悠介
	辻本 憲史	工学研究科・藤原裕司
	寺地 優太	教育学部・後藤太一郎

\*論文指導なし

2024年 3月 発行

---

三重ジュニアドクターレポート 第5号

---

発行

国立大学法人三重大学

地域理数教育推進室

津市栗真町屋町 1577

TEL/FAX 059-231-9949

Eメール mie-cst@ab.mie-u.ac.jp

URL <https://jr-doc.pj.mie-u.ac.jp/>

---