

# 第 64 回広島県科学賞 研究作品の紹介

広島県立教育センター



## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・みみずが水槽の穴から脱走したのでガムテープを貼った。それでも出たので、水槽をミカンネットに入れた。
- ・うんちの標本づくりで、枯葉からうんちが落ちないように木工ボンドで固めた。

### ○ 分かった点

(うんちについて)

- ・みみずはおしりを土の上に出して、小さい粒のうんちをたくさん山のように重ねてする。
- ・みみずのうんちは土になり、土づくりが上手だ。
- ・うんちの種類は、小さい粒や細長いもの、太いものがあった。
- ・みみずは枯葉を食べて枯葉の上にうんちをした。
- ・枯葉を食べに行ったり、うんちをしたりする時の出入り口は同じだった。

(生活について)

- ・みみずには水分が必要である。
- ・みみずが住むには、明るい所ではなく暗い所が好き。
- ・みみずは土の中で穴を掘って生活していた。
- ・一本の細い道を二匹のみみずが上手に仲良く通った。

(体について)

- ・みみずの体半分に小さな毛があり足はなかった。
- ・頭から体の半分を引っ張って、その後おしりまで引っ張り、シャクトリムシみたいに二回に分けて動いた。
- ・みみずの頭からしっぽまで、横じまのしわ（ふし）と赤い線（血管）があった。
- ・みみずの体の先にある舌のようなものを出したりひっこめたりしていた。
- ・みみずの頭の先に1cmぐらい白いところがあった。
- ・みみずの頭の後ろに、7個ぐらい白い点々があった。
- ・みみずは枯葉を食べて、うんちをたくさんして大きくなった。

### ○ もっと追究したい点

- ・みみずの体の1cmぐらいの白いところや、白いところのすぐ後ろの白い点々やだいたい色の点が何か知りたい。
- ・みみずは枯葉だけでなく、野菜も食べるのか知りたい。

## 《審査評》

観察を繰り返す過程で、採集したミミズが死なないように観察している点や、ミミズへの愛着が高まっていったことが感じ取れる大変子供らしい極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# こうじくんは本当に生きていた

呉市立広小学校 2年 玉田 りょう

## 1 けんきゅうのもくてき

ぼくは、1年生のとき、「こうじくんは生きている」というテーマでけんきゅうをしました。ペットボトルでだいずとこうじきをまぜて、しょうゆを作ったり、だいずはっこうしょくひんをしらべたりしました。しかし、まぜたペットボトルをふる回数を変えても、あじのちがいがあまりなかったことがわかりました。なので、今年はしょうゆづくりをしながらあじがかわるげんいんをつきとめることをもくてきにしました。また、こうじくんはほんとうに生きているのか、けんびきょうかんさつにちょうせんしてたしかめます。

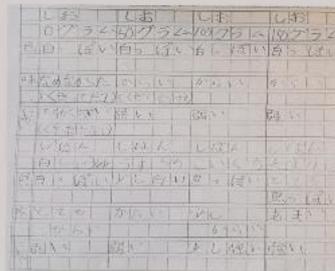
## 2 けんきゅうけいかく

- しょうゆづくりについて
  - ①ようぎづくり②こうじをようぎに入れる③えん水づくり④もろみづくり⑤しょうゆをそだてる⑥しょうゆしぼり
- つくったしょうゆのあじや色をかえるほうほうのよそう
  - (1) きよ年のけんきゅうで思ったぎもん  
「しょうゆのあじや色のちがいのげんいんはなににか」
  - (2) あじや色のちがいについてのよそう  
「しおりのりょうをかえれば、しょうゆの味や色がかわるだろう」
  - (3) あじや色をかえるほうほうのくふう  
「しおなし」(0グラム)  
「しおがすくない」(50グラム)  
「しおがちょうどいい」(100グラム)  
「しおが多い」(150グラム)

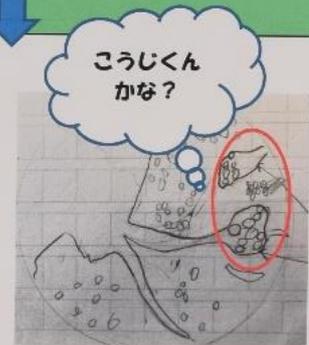
## 3 けんきゅうのけっか



4ヶ月かけて作ったしょうゆ



しぼったしょうゆのとくちょう(ひょう2)



けんびきょうかんさつでみえたもの

## 4 こうさつ

(ひょう2)から今年は「しおのりょうが多いほどしおからく、色がうすい色のしょうゆができるだろう。」とよそうをせっていしました。このよそうは今年しこんだものではしおからさはよそうどおりでした。でも色のちがいはあまりありませんでした。

色は、はっこうする時間が長いほど、黒っぽくなるようです。

## 5 けつろん

・「しおのりょうが多いほど、しおからく、色がうすい色のしょうゆができるだろう」は、しおからさはあっていたが、色の違いは見られなかった。

・1年以上かけて作ったものは色や味が4ヶ月いじょうのものとは大きくちがうことが分かった。

・こうじくんは1年以上いじょうたっても生きていることが分かった。

こうじくんはやっぱり生きています！

## 6 ほんせい・かんそう

・「おいしくな一れ」という思いをこめてしょうゆをふりつづけたので、おいしいしょうゆができました。

・来年はしょうゆのげんりょうになる、だいずについてもけんきゅうしてみたいと思いました。

・えんぶんののうどそくていは、スポイトでしょうゆをすったり、えんぶんけいではかたりするのがとても楽しかったです。



1年生の科学研究で取り組んだ大豆とこうじでしょうゆ作り等に取り組んだ。去年の研究をさらに発展させて、今年は、しょうゆ作りをしながら、味が変わる原因について、ペットボトルを振る回数の変化等を基に、研究に取り組んでいる。

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・昨年度の研究の結果を基に、「塩の量が多いほど、しおからく、うすい色のしょうゆができるだろう」という予想を設定した。
- ・塩の量を「0グラム」「50グラム」「100グラム」「150グラム」の4つに分け、塩の量と色、味、塩分の比較を丁寧に行った。
- ・塩分濃度計、顕微鏡等の器具を用いて、より客観的なデータの収集に努めた。
- ・しょうゆを育てるために、定期的・計画的にしょうゆを振ったり、それを記録したりしながら、観察の過程を正確に記していた。

### ○ 分かった点

- ・4カ月かけて作ったしょうゆは、熟成期間が短く、色は白しょうゆ、薄口しょうゆ位のものと同じだった。
- ・1年4カ月かけて作ったしょうゆは、色も黒っぽさが出ていた。
- ・こうじ菌は1年以上たっても、しょうゆの中で生きている。
- ・ぼくは、「こうじくん」が好きだということが改めて分かった。

### ○ もっと追究したい点

- ・しょうゆの原料になる大豆についても研究したい。

## 《審査評》

昨年度の研究で結果に違いが見られなかったことから、違いを作り出す条件を予想し、条件をいろいろ変えて実験をしている点が大変意欲にあふれた極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# アリのすくらべ パート①

## 「女王アリのいるす と いないす に ちがいはあるのかな。」

広島市立口田東小学校  
第3学年 岡本 和晃

### 研究のきっかけ

**疑問** 去年の科学研究で、アリはしゅるいによって、好きな食べ物がちがうことが分かった。アリは、持って帰った食べ物をすの中のどこにほかんするのが気になった。ふだんは、見ることができないアリのすの中は、どんなふうになっているのか知りたいと思った。

**問題を 見つける** アリは、大切な食べ物をすの一番おくにほかんするのかな。女王アリはどこにいらしているのかな。

**よ想をする** アリは、大切な食べ物をすの一番おくにほかんすると思った。わけは、女王アリと食べ物は、アリにとって一番大切なものだからだ。てきがしん入ってきた時、一番おくはとられにくいと考えた。

「女王アリがいないと、すを作らないのかな。  
→女王アリがいるす と いないす ではちがいはあるのかな。」

### 研究の方法

**1 予び 実けん** クロオオアリを10匹つかまえて土を入れた飼育ケースに入れ、様子をかんさつした。  
うまくすを作らなかった。  
(考えられる原いん)  
・色々なすからアリをつかまえた。  
→ なか間ではないから、けんか?  
・虫かごが大きすぎた。  
→ 土の中の様子が見えない。

**2 研究の計画** ①女王アリをつかまえて、家族を作らせ、なかよくすを作らせる。  
②同じすから集めたはたらきアリだけに、すを作らせ、女王アリのすとくらべる。  
③はばのせまい虫かごで、土の中の様子が見えるようにする。

**3 実けん の しゅんび** ①女王アリをつかまえる。 ②はたらきアリだけを ③はばのせまいすばこへ入れる。

### かんさつをする

**1 女王アリが家族を作り、すをつくる様子**

- ①す作り
- ②さんらん
- ③子育て
- ④家族ができる
- ⑤家族がふえる
- ⑥すが大きくなる

**2 すあなの様子**

女王アリのす (7月16日)

はたらきアリだけのす (7月26日)

**結果**

- 女王アリのいるす
  - ・2部屋だけできたが、それから広がらなかった。
- はたらきアリだけのす
  - ・穴をほるアリもいて道はできたが、部屋はできなかった。
  - ・あらそい起きて、たくさんしんだ。
  - ・えさ場に集まっている。

### 実けん結果をまとめる

**結果から考える**

す作りは、思ったようにはうまくいかなかった。

(考えられる原いん)  
①かっていた部屋が暑すぎた。  
→クロオオアリは暑さに弱い?  
②アリの家族が少なすぎた。  
→アリの数が少ないと、す作りの工事が進まない。

**分かったこと**

- ①す作りには、時間がかかること。
- ②女王アリが家族をつくる様子。
- ③アリがたまごから成虫になる様子。

**分らなかったこと**

- ①食べ物のほかん場所。
- ②女王アリがいるす と いないす のちがいは。
- ③アリのすの中の様子。

**結ろん** 女王アリのいるすは、部屋の数が少なすぎて使われ方が分からなかった。はたらきアリだけのコロニーは、まだすを作っていないので、くらべることができなかった。そのためよく分からなかった。

**まとめ** この実けんでは、女王アリが家族を作る様子や、アリがたまごから成虫になる様子が見えた。これから少しずつ調べて巣作りが進むと思う。かんさつを続けて、女王アリがどこにいるか、食べ物はどこに保管されるか、などのすの使い方や、女王アリがいるす と いないすでは、すの形がどのようにちがうかを調べていきたい。

### 《研究作品のポイント》

- 工夫した点
  - ・女王アリのいる巣といない巣を比べて観察したこと。
  - ・巣の様子がよく分かるように幅のせまい飼育ケースを手作りしたこと。
  
- 分かった点
  - ・巣作りには時間がかかること。
  - ・女王アリが家族をつくる様子。
  - ・アリがたまごから幼虫になる様子。
  
- もっと追究したい点
  - ・食べ物の保管場所。
  - ・女王アリのいる巣といない巣の違い。
  - ・アリの巣の中の様子。

### 《審査評》

この作品は一昨年度、昨年度と継続してアリの観察、実験を行い、新たな課題を見だし実験計画を立て、結果を丁寧にまとめ、自分なりの結論を導き出している極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# 水のいどう大実けんPart2 ～水はどこまで上がる？～

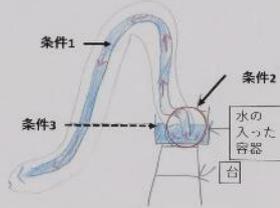
なぎさ公園小学校  
4年 岡本 權

きっかけ：

- ・昨年、「そうめん流し」の水を動力を使わず高いところに組み上げたいと思ったことがきっかけで、水がチューブの中をいどうする「サイフォンの原理」に関する研究をおこなった。
- ・昨年の研究から、チューブの中の水が移動する3つの条件が分かった。

◎3つの条件

1. チューブに水が満たされている。
2. 片方のチューブの先が水のいった容器に入っている。
3. もう片方のチューブの先が、水面より低いところにある。



- ・3つの条件を満たしていれば、昨年の実験では2mの高さまで水が出た。
- ・そこでこの条件を満たしていれば、どのくらいの高さまで水が出るのか、調べてみようと思った。

家での実験

目的：どの高さまで水が上がってチューブを移動するのか調べる。

：水をすい上げる力がチューブの高さによって変わるか。

- 方法：
- ・エアポンプで水をみたく。
  - ・チューブが折れないように工夫した
  - ・水が一定量へる（水槽の水が2cm下がる）時間ををはかる。
- 予想：水は9mまで出る。



工夫：

水の満たし方



チューブが折れない工夫



チューブが折れていないか確認する方法

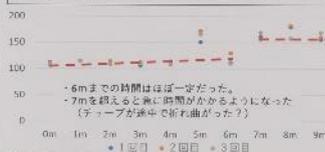


実験の様子：



＊6m以上は、パイプにチューブを通して2階で持ち上げたため、9mが限界だった。

結果：9mまでは上がったが、それ以上の高さの実験はできなかった。



考えたこと

- ・チューブを上げれば上げるほど水を流すのに力が必要なため、1～6mで時間ほぼ一定だったのには、不思議な感じがした。その理由として、チューブを持ち上げる高さに関わらず、チューブの周りの水にかかる力（水槽の水が上から押される「大気圧」や水が下に引っ張られる「重力」）は一定ではないかと考えた。

疑問に思ったこと

- ・何mの高さまで水が流れるのか？
- ・チューブが途中で折れ曲がり、7m以上で急に時間がかかったのではないかと？

これらを確かめるために、学校の階段を使わせてもらって、実験をした。

学校での実験

目的：チューブが折れ曲がらないようにして、どのくらい水がかかるか調べる。

- 方法：
- ・エアポンプで水をみたく。
  - ・一つの踊り場の高さごとに調べた。
  - ・水が一定量へる時間を計った。

予想：水は止まらない。

<踊り場の高さ>  
0m, 2.5m, 3.9m, 5.2m,  
6.6m, 8.0m, 9.4m, 10.8m

実験の様子：



結果：10mを超えると水が止まり、チューブがべちゃんこになった。



- ・10m38cmまで上げたところで急に水が止まった。チューブを見ると、完全にべちゃんこになっていた。
- ・家の実験と同じように7mを超えると急に時間がかかるようになった。チューブの折れ曲がりにはなかったが、3mくらいの高さのところから中に小さな空気の泡のような物が出てきた。何度か空気を抜いてみたが、気泡は次々に出現し、完全に抜くことはできなかった。

考えたこと

①チューブがつぶれた理由

- ・これから考えると、10m38cmというのは、「チューブの水が下に落ちようとする力（重力）」と「チューブのまわりの水が押されてチューブの中に入ろうとする力（大気圧）」がつりあった高さだと考えた。



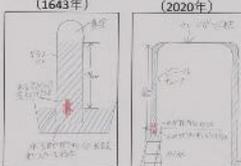
完全に平たくつぶれた。

10mの高さ



チューブの中の空気が抜けて真空になったような状態。

トリチエリの実験 (1643年)



今回の実験 (2020年)

使ったもの	比重	上がった高さ
トリチエリ 水銀	13.6	76cm
今回の実験 水	1	10m38cm

・トリチエリの実験から予想される水が上がる高さ  
13×76=1033.6 10m33cm6mm  
今回の高さとはほぼ同じだった！  
・今回ビニール製のチューブなので、つぶれてしまったが、つぶれない素材で実験したら、トリチエリのように真空が確認できたかもしれない。

②気泡の正体

- ・3m以上で気泡が集まり、3～4cmの空気の層がいくつも出来ていた。これが7m以上で急に時間がかかるようになった原因かもしれない。
- ・この気泡の正体として、2つの可能性を考えた。
  - ①チューブの中の水に、何らかの力が加わったことにより、水素と酸素に分離したもの。
  - ②水に溶けている空気のアワが何らかの拍子に出てきたもの。

まとめ1：

- ・今回は昨年に引き続きチューブの水の移動について実験をおこなった。どの高さまで水が上がるか、その吸い上げる力はチューブの高さによって変わるか、について調べた。
- ・チューブの水は10m38cmまで上がったが、それ以上ではチューブが完全に平たくつぶれた。これは水にかかる「重力」と「大気圧」がつり合う高さだと思われる。それ以上の高さでは、トリチエリの実験のように真空状態となり、チューブがつぶれてしまったのではないかと考えた。
- ・水を吸い上げる力は6mくらいまではあまり変わらない。それ以上の高さになると、チューブの中に出現した気泡が空気の層のようになり、水の流れが遅くなった可能性がある。この気泡の正体は分からなかった。

まとめ2：

今回、昨年の3つの条件に加えて、新たな条件を加えることができた。

◎昨年の3つの条件

1. チューブに水が満たされている。
2. 片方のチューブの先が水のいった容器に入っている。
3. もう片方のチューブの先が、水面より低いところにある。

◎今回追加した条件

4. 水が移動する高さには限界がある（約10.3m）。

終わりに：

- ・水が動力なしで10mの高さまで上がるのはすごいと思いました。
- ・今年分からなかった「気泡」について、来年また調べてみたいです。

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・35mもあるチューブ全体に空気が入らないようにしながら水を満たす必要があるため、エアポンプを使用した。その他、自作のストッパーも作った。
- ・チューブが折れ曲がると、正確な時間が計測できないため、LaQ, U字パイプ, 厚紙などで折れ曲がらないように工夫し、ビーズがチューブの中に通して確認した。

### ○ 分かった点

- ・10m38cm以上の高さのチューブは完全につぶれてしまい、水の流れが止まってしまった。これは大気圧と重力がつり合い、チューブの中が真空になったためと考えた。
- ・途中の高さから水の流れる速さが遅くなった理由として、3mくらいの高さからチューブの中に出てきた気泡が集まって空気の層になってしまったことが考えられる。何度か抜こうとしたが、気泡は次々に出現し、抜くことはできなかった。

### ○ もっと追究したい点

- ・気泡がどこから出てきて、その正体は何なのか。

## 《審査評》

実験方法をいろいろ工夫し、水の移動する高さを追究している点や、実験結果から論理的に結論を導き出している点において極めて優れた作品である。



## 《研究作品のポイントなど》

### ○ 工夫した点

- ・海ホタルを採る時、防波堤からエサの入ったビンを海底までしずめる方法より、もっと安全で潮の満ち引きに関係なく採れる方法はないか考えた。
- ・エサが入った仕かけを海底までしずめるには、プラスチック容器では軽すぎて浮いてしまうので、ある程度重みのあるビンを使った。

### ○ 分かった点

- ・昨年度の研究から海ホタルは、夜に暗くなると活動する事が分かっていた。今年度は更に、満月の日より新月の日の真っ暗な夜の方が海ホタルを多く見ることができていることが分かった。
- ・水温が 20℃近くあっても、気温が 25℃以上にならないと海ホタルは採れない。
- ・海ホタルは、砂浜のある海で、波はおだやかで湖のようなきれいな海にたくさん集まる。
- ・エサが入ったビンを砂浜から 2～3 m 沖へ投げてしずめる方法で海ホタルを採ることができた。この方法だと、安全で潮の満ち引きに関係なく採ることができる。
- ・海ホタルは卵で産まれてくるのではなく、親と同じ姿、形のまま産まれてくる。産まれた時は、1 mm くらいの大きさで、脱皮をしながら 3 mm ぐらいに成長していく。

### ○ もっと追究したい点

- ・海ホタルの他に発光生物はいるのか。それは、どんな生物なのかについて詳しく知りたい。
- ・昆虫のホタルを実際に飼育してみて、海ホタルとの違いを詳しく調べたい。

## 《審査評》

この作品は、長期間の観察、記録で生じた疑問について、丁寧に根気よく調べ、自分なりの結論を導き出している極めて優れた作品である。

# ちがうのか？チョウとガの飛び方

熊野町立熊野第一小学校 第6学年 安宗 栞那

## 研究しようと思ったわけ

夏の夕方、あまりにもゆったり飛んでいるチョウ(?)を見かけました。その飛び方は、明らかにアゲハやモンシロチョウとはちがっていました。調べてみると、それはユマダラエダシャクというガの一種でした。「チョウとガでは、飛び方にちがいがあんだ。」と思った私は、そのちがいについて、観察や実験を通して明らかにしたいと思いました。

## 研究したこと

## 工夫したこと

## 分かったこと

### 1 アゲハとユマダラエダシャクでは飛び方がどうちがうのか？

**観察1**

自然に飛んでいる様子をタブレットで録画再生し、1秒間の移動距離とはばたき回数を調べる。



**観察2**

捕獲したそれぞれを室内の床に放ち、タブレットで録画再生し、1秒間の移動距離とはばたき回数を調べる。

チョウやガの飛びの様子をタブレットで撮影することにより、スロー再生・コマ送り等による観察が容易にできるようにした。

●1秒間のはばたき回数はほぼ変わらない(3~4回)が、1秒間の移動距離は明らかにアゲハのほうが長い。



### 2 どのチョウ・ガも1秒間にはばたける回数は同じなのか？

**観察**

1の「観察2」と同じ方法で調べる(観察のために捕獲に成功したチョウとガは、アゲハ、アオスジアゲハ、モンシロチョウ、ツマグロヒヨウモン、ウラナミジャノメ、ミスジチョウ、ユマダラエダシャク、キモンガ、スズメガの計9種類)。

●1秒間のはばたき回数は3~5回であり、アゲハやユマダラエダシャクとあまり変わらない(ただし、スズメガは例外)。

●捕獲した9種類のチョウとガのはねを重ね合わせ、比較する作業を通して、はねの形の似たもの同士で、5種類に分類した。



### 3 チョウとガでは、はねの形がちがうのか？

**観察**

はねの形が飛び方のちがいに深く関係しているのではないかと考えから、捕獲したチョウとガのはねを重ね合わせて、形を比較する。

はねの大きさを拡大・縮小して、はねを広げた様子は同じになるようにすることで、形を比較しやすくなるようにした。  
チョウやガがとまっているときには、後ろはねがかくれた状態になっていることが多く、そのままでは、はね全体の比較ができなため、図鑑等から写し取ったものを使うようにした。

### 4 はねの形が飛び方にどう影響しているのか？

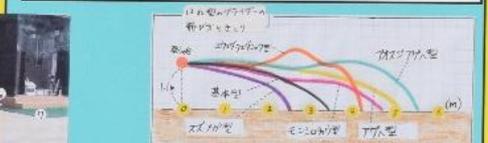
(1)滑走するとき

**実験**

3で分類した5つのグループのはねの形をした紙グライダーを作り、発射台から飛ばす。

主要なチョウやガのはねの形にしたグライダーの飛びの様子をタブレットで録画し、それぞれの軌跡を図に表した。

●チョウ型グライダーが上位を独占したことから、滑空力(はばたかないで遠くまで飛べる距離)については、ガよりチョウの方が優れている。



(2)はばたくとき

**実験**

3で分類した5つのグループのはねの形をした「バタバタ飛行機」を作って飛ばす。

はねをはばたかせて飛ぶ市販の「バタバタ飛行機」(池田工業社)の主要なチョウやガのはねの形に変えて飛ばした。また、その様子をタブレットで録画し、それぞれの軌跡を図に表した。

●チョウ型バタバタ飛行機が上位を独占したことから、はばたき力(同じにはばたき回数で遠くまで飛べる距離)については、ガよりチョウの方が優れている。

●ユマダラエダシャク型が最も高い位置までにはばたいたことから、はばたいて上昇する高さについては、ガも優れた力を発揮する。



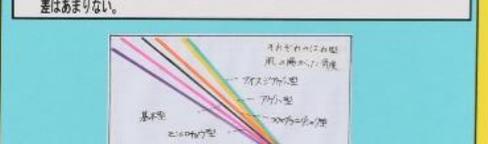
(3)上昇するとき

**実験**

3で分類した5つのグループのはねの形をした翼を作って飛ばす。

風を受けて上昇する風のしくみを利用し、翼の形をチョウやガのはねの形にして飛ばし、それぞれの上昇力のちがいを比べた。

●アオスジアゲハ型翼やアゲハ型翼の上昇角度が大きかったが、ユマダラエダシャク型もそれに次いで優れていたことから、上昇力(上昇していく角度)については、チョウとガの能力差はあまりない。



## 研究を終えて

観察や実験によって、チョウとガの飛び方のちがいを明らかにすることができました。また、このことから、どちらもそれぞれの環境を生き抜くために都合のよい飛び方をしていることにも気がきました。

## もっと追究したい点

ガもふくむチョウの種類は、約7,000種類もあるそうです。もっとたくさん種類について、観察・実験を積み重ねることで、さらに深く、飛び方のちがいを追究してみたいです。

## <特選>

### 《研究作品のポイント》

#### ○ 工夫した点

- ・チョウやガの飛ぶ様子をはっきりととらえるために、タブレット型パソコンで録画し、スロー再生したり、コマ送りを再生したりしたこと。
- ・チョウやガを、はねの形が似ているもの同士で分類し、グループごとに飛び方を比較したこと。捕獲した9種類のチョウとガを、次のとおり5グループに分類した。
  - ① アゲハ型
  - ② アオスジアゲハ型
  - ③ モンシロチョウ型 (モンシロチョウ・ツマグロヒョウモン・ウラナミジャノメ・ミスジチョウ)
  - ④ ユウマダラエダシャク型 (ユウマダラエダシャク・キモンガ)
  - ⑤ スズメガ型
- ・そのグループごとの飛び方を、①滑空するとき ②はばたくとき ③上昇するとき の3つの観点について、それぞれ、次のとおり模型をつくり、実際に飛ばして比較したこと。
  - ① 滑空するとき…紙グライダーの主翼をチョウやガのはねの形に変えた「はね型グライダー」
  - ② はばたくとき…はねをはばたかせて飛ぶ「パタパタ飛行機」(池田工業社)の主翼をチョウやガのはねの形に変えた「はね型パタパタ飛行機」
  - ③ 上昇するとき…凧の形をチョウやガのはねの形に変えたはね型凧

#### ○ 分かった点

- ・チョウとガのはばたく回数はほぼ変わらない(1秒間に3~5回 ただし、スズメガは例外)。
- ・飛ぶことの総合力を、①滑空力(はねをはばたかせず滑空できる距離の長さ)、②はばたき力(同じはばたく回数ですすめる距離の長さ)、③上昇力(上昇していく角度)の力としたとき、次のようなことが分かった。
  - ① 滑 空 力・・・アオスジアゲハ型、アゲハ型等のチョウ型グライダーが、他の型より滑空距離が長かったことから、滑空力については、ガよりチョウの方が優れている。
  - ② はばたき力・・・チョウ型パタパタ飛行機の飛んだ距離が長かったことから、はばたき力についても、ガよりチョウの方が優れている。ただし、ユウマダラエダシャク型が最も優れた力を発揮する
  - ③ 上 昇 力・・・アオスジアゲハ型凧やアゲハ型凧の上昇角度が大きかったが、ユウマダラエダシャク型も、それに次いで大きかったことから、上昇力については、チョウとガの能力差はあまりない。

#### ○ もっと追究したい点

- ・ガをふくむチョウの種類は約7,000種類もあるそうだ。もっとたくさんの種類について、観察・実験を積み重ねることで、さらに深く、飛び方の違いを追究してみたい

### 《審査評》

チョウとガの飛び方の違いについて、ICTを活用し飛行しているときの羽ばたき方、回数を観察して確認し、はねの形を分類しモデル化した。さらに、モデルを基に紙グライダー、パタパタ飛行機、凧を製作し、滑空力、羽ばたき力、上昇力について実験、分析を行った極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# とべ！もっと高く！スーパーボールロケット

呉市立両城小学校 3年 裏山 大智

## 1 研究しようと思ったわけ

理科で、ゴムの力のはたらきについて勉強し、ゴムの力は「ものを動かすことができる」、「ゴムを長く伸ばすほど、ものを動かすはたらきが大きくなる」ことがわかった。

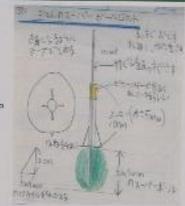
身の回りにはたくさんゴムでできているものがあり、僕がよく遊ぶスーパーボールもゴムでできている。スーパーボールを使って、もっとゴムの秘密を知りたいと思い、インターネットで調べると、「スーパーボールロケット」というゴムの力でロケットを飛ばすことができる装置があると知った。そこで、スーパーボールのゴムの力を調べて、高く飛ぶスーパーボールロケットを作りたいと考えた。

## 2 研究の計画

- ①スーパーボールの大きさを変えてロケットを飛ばす。
- ②スーパーボールの大きさを変えて跳ねさせる。
- ③跳ねさせる床の材質を調べる。
- ④スーパーボールの数を増やす。
- ⑤スーパーボールの数と大きさの組み合わせ

## 3 スーパーボールロケットの仕組み

インターネットで調べ、スーパーボールロケットを作り、仕組みを調べた。  
実験は1mの高さからロケットを落とし、飛んだ高さを調べる。



## 4 スーパーボールの大きさをかえてはねさせる

スーパーボールの大きさ(大・中・小)をかえてロケットの飛ぶ高さがどう変わるか1mの高さから落として調べた。

表3 実験③の①11回(1mの高さから落としたスーパーボールの跳ね高さ)

回数	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回	10回	平均
大	55	55	53	55	53	55	60	55	53	65	55.9
中	60	63	60	60	63	55	55	60	60	60	59.6
小	60	58	60	63	55	60	58	60	63	65	60.2

## 5 はねさせる床のざいしつ

跳ねさせる床の材質によって、スーパーボールロケットの飛ぶ高さがどのように変わるかを調べた。

表4 実験③の③11回(1mの高さから落としたスーパーボールの跳ね高さ)

材質	跳ね高さ (cm)
床	210.5
木の板	162.1
タイル	190.2
ゴムマット	142.5
マット	59.1
ダンボール	102.0

## 6 スーパーボールの数をふやす

インターネットで調べたスーパーボールロケットには、スーパーボールの数が2個や3個のものもあったので、数を増やすと飛ぶ高さがどのように変わるかを調べた。

表5 実験③の④11回(20cmの高さから落としたスーパーボールの跳ね高さ)

回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1個	65	70	65	70	95	60	65	75	77	75	69.0
2個	100	90	95	108	105	100	105	100	105	95	100.5
3個	100	110	95	105	110	100	105	105	105	110	103.8

## 7 スーパーボールの数と大きさの組み合わせ

2個や3個のスーパーボールの組み合わせによって、飛ぶ高さがどのように変わるかを調べた。

表6 実験③の⑤11回(20cmの高さから落としたスーパーボールの跳ね高さ)

回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
A 大・中2個	240	240	230	240	240	240	240	240	240	240	239.0
B 大・小2個	200	230	200	240	270	200	205	210	200	220	212.5
C 中・小2個	210	240	230	200	210	200	210	200	205	230	213.5

## 8 もっと高く！

家の実験では、ロケットが天井にぶつかってしまうので、小学校の体育館で様々な条件のロケットを作って飛ばした。高さを測ることは出来なかったが、バスケットゴールやギャラリーの手すりの高さを目安におおよその高さを記録した。

体育館で飛ばすと、なかなか真上に飛ばなかったが、260cmのバスケットゴールや、6mのギャラリーの手すりを軽く超えて天井のライトの近く(約10m)まで飛んだ。

## 9 わかったこと(まとめ)

- ・スーパーボールロケットは、スーパーボールが跳ねる力がロケットに伝わって、ロケットが高く飛ぶという仕組みが分かった。
- ・スーパーボールロケットのスーパーボールの大きさを変えると、ボールの大きさと重さが関係していて、小さい方がよく跳ねることが分かった。
- ・スーパーボールは固いものにぶつかった方が、元に戻ろうとする力が大きくなるからよく跳ねることが分かった。
- ・スーパーボールの数が多いう方が、ロケットはよく飛ぶことが分かった。
- ・スーパーボールの数と大きさの組み合わせを変えて実験を行うと、「大・中・小」の組み合わせが一番よく飛んだ。

## 10 はんせいと感想(振り返り)

ゴムの力のはたらきをもっと知ることができて面白かった。学校で習ったこと以外にも、「ゴムがへこんだら、ものを跳ね返す力がある」、「ゴムは力を伝えることができる」とも分かった。

ロケットを改良して、もっと高く飛ぶロケットを作りたいし、できた力を上手く使えば、エネルギーとして生活に役立てることも出来そうと思った。来年もゴムの秘密について調べたい。

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・スーパーボールの大きさや、跳ねさせる床の材質、スーパーボールの数と大きさの組み合わせ等の条件を変えて、スーパーボールロケットの飛ぶ高さがどのように変わるかを調べた点。
- ・実験結果が分かりやすく伝わるように、表やグラフにまとめた点。

### ○ 分かった点

- ・スーパーボールロケットは、スーパーボールが跳ねるゴムの力がロケットに伝わって、ロケットが高く飛ぶという仕組み。
- ・スーパーボールは固いものにぶつかった方が、元に戻ろうとする力が大きくなるから、よく跳ねるということ。
- ・下から「大・中・小」のスーパーボールの組み合わせのスーパーボールロケットが、一番よく飛ぶということ。

### ○ もっと追究したい点

- ・スーパーボールをまっすぐに跳ねらせる方法について
- ・スーパーボールロケットをもっと高く飛ばして正確に測る

## 《審査評》

理科の授業で興味をもったことについて、根気強く実験を行い、数多くのデータをまとめ考察した、大変意欲が感じられる極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》



# 砂山の研究

広島県立広島中学校2年  
黒木 理宇



## 研究の動機

僕は、幼い頃、砂山を作って遊ぶのが好きだった。砂をどンドン砂山の上にかけていくと、そのうち砂山が崩れるのだ。その時、砂山が高くなるにはどうすればよいのかというのを考えたことがある。最近、砂場で砂山を久しぶりに作っていたら、砂山を高くするにはどうすればよいのだろうと考えた時のことを思い出した。そこで、この研究では、砂山の高さを高くすることだけでなく、砂山の高さを決めている要素について調べてみることにした。

## 研究の目的

砂山の形はどのような条件によって決まっているのかについて研究する。形をかたどって調べるのは困難なため、形を決める値、高さ、砂山の横幅などを測定する。

## 砂山のモデル化

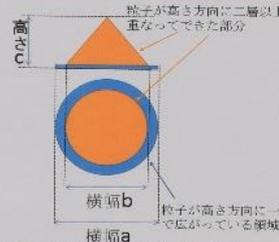


写真1. 砂山の写真

図1. 砂山の形を表すパラメータ

砂山の形を表すパラメータとして、図1に示すように砂山の横幅・高さの3つの値(a, b, c)を定義して、このパラメータが実験条件でどのように変化するか調べた。

## 実験方法



漏斗に定量の砂を入れ、砂を漏斗から落とした時に、実験装置下部に形成される砂山を観察した。落とす粒子は砂、砂鉄、米粉(うるち米)を用いた。

- (1)実験1: 粒子の量依存性。
- (2)実験2: 粒子の落下速度依存性。  
高さを変えることによって、粒子の落下速度を変化させる。
- (3)実験3: 粒子の密度依存性。粒子の種類を変えることによって密度を変える。砂鉄、米粉を用いて実験する。粒の大きさは揃えて行う。
- (4)実験4: 粒子の粒の大きさ依存性。
- (5)実験5: 漏斗の穴の大きさ依存性。
- (6)実験6: 砂山を作る様子をカメラのスローモーション機能で撮影し、どのように砂が作られるのかを観察する。
- (7)実験7: 高さ6 cmから砂を落とし続け、aとbの差が0になることを測定する。  
(このポスターでは紙面の関係で実験5~7は省略。)

## 実験結果と考察

### 実験1. 粒子の量依存性

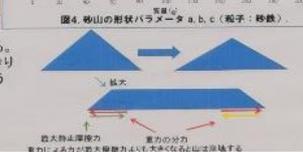
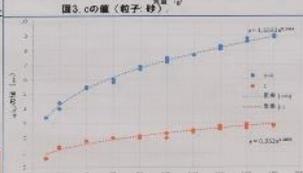
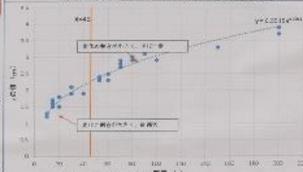
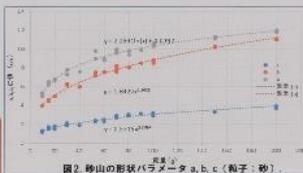
1-1. 砂を高さ6 cmから落とした。  
aは対数、b・cは累乗曲線で近似された(図2)。

**二種類の砂山の形成のされ方**

- ①山に粒子がぶつかり、その粒子が跳ね返るかどまるかし、山を形成していく。
- ②①の状態から一定時間たつ時、山に粒子がある程度積もると一部の側面が崩れるというサイクルを繰り返す。

②が起こっているとき①の現象も同時に起きるが、①の現象に比べ②の現象のスケールは大きくて一定時間たつて山の大きさが大きくなると、②が主となるのだと考えられる。

図2のグラフは、①の形成のされ方で積み上がる時では傾きが大きく曲線状の部位になり、②の積み上がり方でグラフは、傾きが小さい直線になると考える。①から②の積み上がり方に変化したのは砂を43 g落とした時だった。グラフのx=43 gを見ると確かにグラフの形が変化している。cは、bと落とした砂の量の3乗根にほぼ比例することも分かった。



1-2. 砂鉄を高さ6 cmから落とした  
近似曲線は累乗近似となった。砂鉄が重いのであまり飛び散らずa・bとなった。砂の時と同様に山の形成のされ方は二種類あった。一定時間後の山の形成のされ方は同じ②だった。しかし初期の山の形成のされ方は違った。

**③初期の山の形成のされ方**  
一定量砂鉄が山の頂上周辺に溜まると山全体が下につぶれる。これは砂鉄が重いためだと考える。

③は曲線状の部位、②は直線のグラフを作っている。cのグラフに関しては砂の時ほど2つの部分にはっきりと分かれなかった。これは②③ともに関係するという意味で促しているからだと考えられる。砂鉄を落とした時もcはbに比例した。

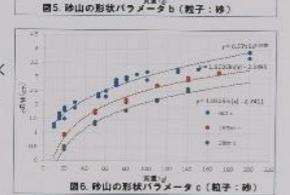
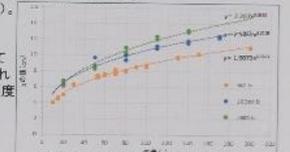
### 実験2. 粒子の落下速度依存性

粒子を落とす高さを6 cm, 16.5 cm, 28 cmと変化させ、落下速度を変化させ実験を行った。

2-1. 砂の場合

(i) a値は高さが高くなるほど大きくなった。これは高さが高いほど粒子の速度が速くなり、粒子が山にぶつかったときの跳ね返りが大きいためだと考えられる。3つの高さでのa値の差は砂の総重量が小さいほど小さくなり、逆に落とした砂の総重量が重くなるにつれ大きくなった。

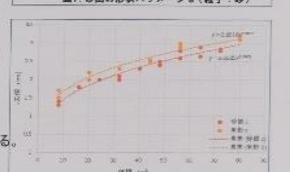
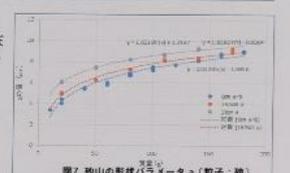
(ii) b値は3つの高さすべてで累乗曲線で表せた(図5)。落とす砂の量が少なくて高さがb値は収束し、逆に総重量が重くなるにつれb値の差が大きくなる。砂山頂点部には、自重による重力に加え高さを持って落としたため運動量の変化による力が加わり山は崩れやすくなる。このことにより、②の作られ方で崩れる頻度が多くなり1回に崩れる大きさが大きくなる。cの値は落とす高さが増えるほど小さくなった。(図6)。高さ6 cmの場合は、累乗曲線、高さ16.5 cmと28 cmでは対数曲線で近似された。山が高くなるにつれ、崩れやすくなるからだと考える。粒子を落とす高さが低ければ、崩壊の大きさが頻度も小さくなり、積もった粒子が全て流れるということはない。しかし、落とす高さが高いと、頂上付近に砂が積もることがなく流れてしまうのだと考えられる。そのため、16.5 cmと28 cmのところから砂を落とした時のcの値のグラフは対数で近似されたと考えられる。



2-2. 砂鉄の場合

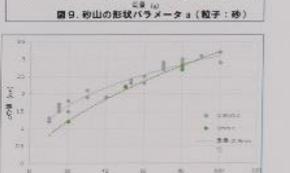
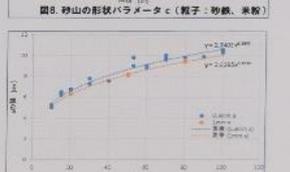
(i) a値のグラフの近似曲線は全て対数で近似された(図7)。重さが近いにつれ、それぞれの高さでのaの値の差は大きくなった。

(ii) b・c値は、砂鉄の場合、落とす高さを変えてもほぼ変わらない。これは、砂鉄が重いので最大静止摩擦力が大きく、高いところから落とした時の力をほぼ無視できるからだと考えられる。つまり、密度が大きい粒子の場合、粒子の速度を変えても崩れる頻度はあまり変わらないと考える。



### 実験3. 粒子の密度依存性

砂鉄と米粉の2種類の粒子と比較した(図8)。落とす粒子の重さを変化させたので比べるために体積に変換する。体積=質量÷密度とする。ただしここで密度は、粒子を一定量まで詰め、そのときの見かけの体積を物体の質量で割ったものとする。どちらのグラフも米粉のほうが大きかった。a値が米粉の方が大きくなったのは、米粉のほうが砂鉄より軽いので、崩れにくかったためと考える。しかし、a=bも米粉の方が大きくなっている。これは、砂鉄より米粉のほうが崩れにくい、米粉は軽いので、崩れた時に裾に広がりがよくなるからだと考える。また、近似曲線は全て累乗曲線となった。



### 実験4. 粒子の大きさ依存性

砂粒の直径を0.3 mmと1 mmと変えて実験した。

(i) a値は粒子が小さい方が大きくなった(図9)。これは、空気抵抗が働き、粒の大きい重い粒子が速く飛ばなくなるためだと考える。そのため粒が大きいほうが1粒の粒子が広がっている部分が出来にくくなり、このようなグラフになったのだと考えられる。

(ii) b値グラフの形はどの条件でもほぼ同じだった。これは、粒子が大きくなっても崩れやすさは変わらないからだと考える。粒子の大きさが変わっても、山の崩壊を止めている力の大きさは変わらず、どちらの場合でも一定量の粒子が積もれば崩壊することが分かった。

(iii) c値は、1 mmの時の方が小さくなった(図10)。これは全体でかかる力の大きさは変わらないが、1粒が山に与える力の大きさは1 mmの方が大きいためだと考える。そのため、粒子直径1 mmの方は山の頂上がつぶれると考えられる。写真を比較すると、確かに粒子直径1 mmのほうが上がつづれていた。



## 結論

砂山の形成のされ方は、3種類あることが分かった。

- ① 山に粒子がぶつかり、その粒子が跳ね返るか留まるかし、山を形成する。山が崩れることはない。(砂を落とした時の初期の状態)
- ② ①の状態から一定時間たつ時、山に粒子がある程度積もると一部の側面が崩れるというサイクルを繰り返す。
- ③ ある一定量砂鉄が山の頂上周辺に集まると、山全体が下につぶれるように崩れる(密度の高い粒子における初期の山の形成のされ方)。

a値は、落ちてきた粒子のはねかえりや跳ね返る大きさが大きくなるほど、大きくなる。時間が経つと、a=bとなり、aの近似曲線は、bの近似曲線となる。b値は、側面に積もる粒子の量が増え、山が崩れやすくなるほど大きくなる。山が崩れやすくなるのは、粒子を落とす高さが高く、漏斗の太さが太くなる場合である。崩れた時に広がりがよくなるのは、粒子が軽いうち、粒子の大きさとbの値は関係しない。c値は、山が崩れやすくなるほど小さくなる。山が崩れやすくなるのは、粒子の密度が高く、粒子を落とす高さが高くなる場合である。また、山の崩れやすさや崩壊の大きさだけでなく、粒子の持っている運動量により頂上だけつぶれる場合もcの値が小さくなる。cの値はbと落とした重さも三乗根に比例する。

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・結果の誤差を減らすために周りの環境に気を付け、測定回数を増やした。
- ・組み立てた理論が正しいか、きちんと検証をした。

### ○ 分かった点

- ・砂山の形成のされ方には三種類ある。
  - ① 山に粒子がぶつかり、その粒子が跳ね返るかどまるかし、山を形成していく。山が崩れることはない。その場にとどまった粒子は山を高くし、跳ね返った粒子は山の側面に積もる(初期の状態)。
  - ② ①の状態から一定時間たった時、山に粒子がある程度積もると一部の側面が崩れるというサイクルを繰り返す。
  - ③ ある一定量砂鉄が山の頂上周辺に集まると、山全体が下につぶれるように崩れる(砂鉄における初期の山の形成のされ方)。
- ・砂山の高さは、落とした砂の量の三乗根と底面の直径に比例する。
- ・砂山を高くするには、落とす粒子のサイズを極めて小さくし、落下速度を遅くし、密度の小さい粒子を落とせばよい。

### ○ もっと追究したい点

- ・ $\tan^{-1}$ 関数を用い安息角(砂山の斜面と水平面とがなす角のうち、砂山が崩れずに安定を保ちうる角度)とも関連させて考える。
- ・比較した対象の数が少ないので、さらに増やしより正確な理論を組み立てる。
- ・崩れる大きさや頻度の関係性について。

## 《審査評》

日常の疑問について、自作の装置で実験し、結果をグラフ等で表現しながら分析する等、科学的な手法で追究できている極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# メニスカスの形状の決定要因の分析

～メニスカスを用いた計量器具の新たな使い方の開発～

広島大学附属中学校 3年 東由佳莉

## 1. 研究の動機・目的

中学理科で、「メスシリンダーで体積を量る際には、メニスカスの下の部分を水平に読む。」と教わる。私は、このメニスカスに興味を持ち、授業での実験中や家で様々な液体の表面を観察した。すると、液体の種類や容器によってメニスカスの形状が違っていることに気づいた。そこで、このメニスカスの形状の決定要因を明らかにしたいと思った。

## 2. 仮説

$$\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{2(\gamma_S - \gamma_{SL})}{r \times \gamma_L}$$

容器の内径の半分:  $r$   
 固体の表面張力:  $\gamma_S$   
 固体・液体間の界面張力:  $\gamma_{SL}$   
 液体の表面張力:  $\gamma_L$   
 曲率半径:  $r_1, r_2$

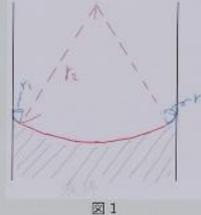


図1

メニスカスの二つの曲率半径の逆数の和は、固体の表面張力と固体・液体間(固液間)の界面張力の差に比例し、容器の内径の半分(内側の円の半径)と液体の表面張力にそれぞれ反比例する

## 3. 検証

### 【実験方法】

200mL, 100mL, 50mLメスシリンダーに、試薬(酢酸, ジエチルエーテル, ベンゼン, 酢酸エチル, ヘキサン, シクロヘキサン, 1-プロパノール, 2-プロパノール, エタノール, 水)を40mLずつ入れる。液体表面を定規とともに撮影し、写真を解析して矢高と弦長を測定して曲率半径を計算する。

### 【実験Ⅰ】 液体の表面張力とメニスカスの曲率半径の関係

横軸に液体の表面張力の逆数、縦軸に二つの曲率半径の逆数の和をとり、図2に示す。

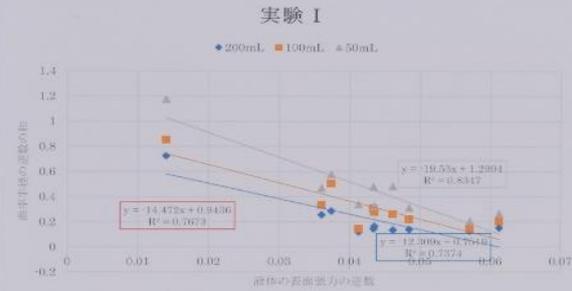


図2 曲率半径の逆数の和と液体の表面張力の逆数との関係

傾きが負の1次関数のグラフになったため、この実験から液体の表面張力と曲率半径の逆数の和が反比例の関係であるとはいえなかった。しかし仮説の式をみると、右辺に液体の種類によって変化するもう一つの変数「固液間の界面張力 $\gamma_{SL}$ 」があり、この変数の影響でグラフの形が決まった可能性も否定できない。もし影響しているならば、メニスカスの形状に与える影響力は液体の表面張力 $\gamma_L$ よりも強いことになる。この点については、固液間の界面張力のデータと照らし合わせながら検証する必要があるが、固液間の界面張力は直接測定することは今現在ではできないので、測定方法をまずは確立させる必要がある。

### 【実験Ⅱ】 容器の内径とメニスカスの曲率半径の関係

横軸に容器の内径の半分の逆数、縦軸に二つの曲率半径の逆数の和をとり、図3に示す。

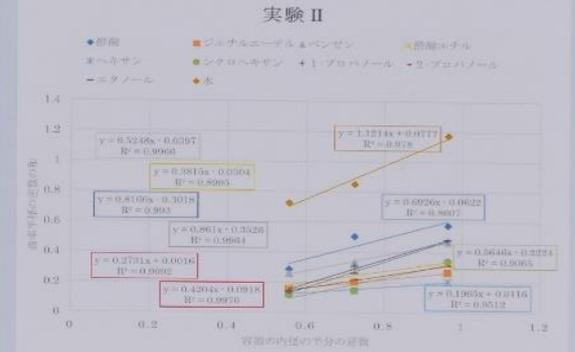


図3 曲率半径の逆数の和と容器の内径の半分の逆数との関係

図3より、容器の内径の半分と曲率半径の逆数の和はおおよそ比例関係であるといえると考えた。切片が0とはならなかったり相関係数が0.9以下のものがあるのは、写真の撮影技術や解析の精度によって少しばらつきが出てしまったことと、用意できるメスシリンダーが三種類のみであったためにデータ数が少なくなり、ばらつきが大きく反映されてしまったことが原因であると考えた。

### 【実験Ⅲ】 固体の表面張力と固体・液体間の界面張力の差とメニスカスの曲率半径の関係

固体の表面張力、固液間の界面張力は、それぞれ直接測定する方法がないので、直接的に関係を調べることは、できない。しかし、Youngの式から $\gamma_S - \gamma_{SL} = \gamma_L \cos \theta$ の関係があるので、これを用いて、 $\gamma_L \cos \theta$ を求めて曲率半径との関係を調べることで、間接的に固体の表面張力と固液間の界面張力の差と曲率半径の関係を調べる。縦軸に $\gamma_L \cos \theta$ 、横軸に二つの曲率半径の逆数の和をとり図4に示す。

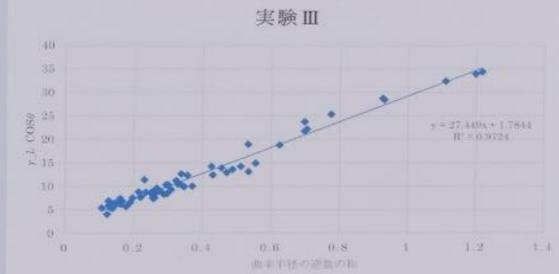


図4  $\gamma_L \cos \theta$  と曲率半径の逆数の和との関係

図4より、 $\gamma_L \cos \theta$  (固体の表面張力と固液間の界面張力の差)と曲率半径の逆数の和の関係は比例関係であるといえると考えた。今回は安全面を考慮して行わなかったが、水銀などの水と同じくらいかそれ以上の表面張力を持ち、接触角が0° 近くならない液体を用いると、曲率半径の逆数の和が1.0以上の値になるデータが得られ、値が大きくなっても成り立つのか調べることでできると考えた。

## 4. まとめ

メニスカスの曲率半径の逆数の和、固体の表面張力と固液間の界面張力の差との関係、容器の内径の半分との関係は検証することができ、式の通りであるといえた(実験Ⅱ・Ⅲ)。しかし、液体の表面張力との反比例の関係については検証することができなかった(実験Ⅰ)。以上のことから、現時点ではこの式を近似式として使えることは断言することはできないものの、決定要因として考えられるものとの関係をいくつか検証することができ、式の通りであることがいえたので、使える可能性はある。今後、固体の表面張力および固液間の界面張力について、直接的にその値を調べる方法を確立させるなどして、式の更なる検証を進めていきたい。また、今回検証を通して出てきた比例定数が持つ意味なども分析して考えてみようと思う。

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・メニスカスの画像データを単に分析していくのではなく、まず先行研究を基に仮説として式を立てた。
- ・仮説として立てた式を参考に画像から検証に必要なデータだけを厳選して取り上げた。
- ・実験に使用する液体の種類を増やして、データ数を確保した。

### ○ 分かった点

- ・メニスカスの2つの曲率半径の逆数の和は、固体の表面張力と固体・液体間の界面張力の差に比例し、容器の内径の半分に比例する。

### ○ もっと追究したい点

- ・「メニスカスの2つの曲率半径の逆数の和は、液体の表面張力に反比例する」という仮説を検証するため、個体の表面張力及び固体、液体間の界面張力の値を直接的に調べる方法やそれに代わる方法を考察し、式の更なる検証を進める。
- ・検証を通して出てきた比例定数のもつ意味を分析する。
- ・液体の表面張力よりも固体・液体間の界面張力の方がメニスカスの形状に与える影響が大きいのではないか、という新たな疑問を追究する。

## 《審査評》

授業や日常での疑問について、文献を参考に結果を分析するなど地道に研究を進めており、更なる研究の発展が期待できる極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》



# 干潟のカニの乾燥との闘い

一陸に上がったカニはどんな戦略を持っているかー

広島学院中学校3年 石川直太郎 加納怜 田上福人

**動機** 2017～2019年はエラの数、吸水毛の形状などについて詳しく調べていた。しかし、カニの陸上への進化はこれらだけでは説明できない複雑な現象だと分かった。そこで今年にはエラ式の調査、乾燥実験を行った。

**材料** カニ49種  
これらのカニはすべて広島、徳島、南西諸島などで実際に採集した。

**エラ式の確定** エラ式はカニのどの部分からエラが出ているか表したものの。

エラ数(対)	エラ式の型	第2顎脚	第3顎脚	鋏脚	第1歩脚	第2歩脚
9	オカガニ型	2	3	2	1	1
	モガニ型	2	2	1	3	1
8	ベンケイガニ型	1	2	1	3	1
	ガザミ型	2	1	1	3	1
	ヤマトオサガニ型	1	3	0	3	1
	サワガニ型	1	3	2	1	1
7	スナガニ型	1	2	1	3	0
6	シオマネキ型	1	1	1	3	0
4	ハクセンシオマネキ型	0	1	2	1	0

**結果** 三宅(1970)が提唱している4型に加え5型(赤色下線)を発見した。スナガニ上科の鰓式は多岐にわたっていた。

**考察** スナガニ上科は乾燥に適応するために体の構造などの変化を大きく変えた。イワガニ上科では構造面での変化は見られなかった。これらのカニは機能の変化をして乾燥に耐えているのではないか。

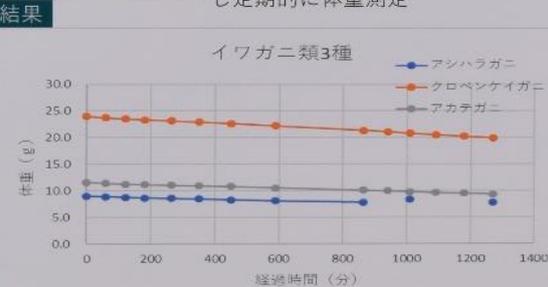
**干出・水没実験** 水槽に入れたカニの水につかる回数、陸に上がる回数を調べた。

種名	干出コマ数	水没コマ数	合計コマ数
スナガニ	159 (55.6%)	127 (44.4%)	286
海水 ハクセンシオマネキ	206 (72.0%)	80 (28.0%)	286
コメツキガニ	188 (65.7%)	98 (34.3%)	286
スナガニ 個体A	145 (50.7%)	141 (49.3%)	286
淡水 スナガニ 個体B	105 (36.7%)	181 (63.3%)	286
コメツキガニ	234 (81.8%)	52 (18.2%)	286

**結果** ・半身を水につける半水浴がスナガニに多く見られた。  
・スナガニの干出が多かった。

**考察** スナガニは日中水が溜まっている巣穴に潜んでいるので他の種より干出が多かったと考えられる。

**水分喪失実験** 水を充填したカニを乾燥下にさらし定期的に体重測定



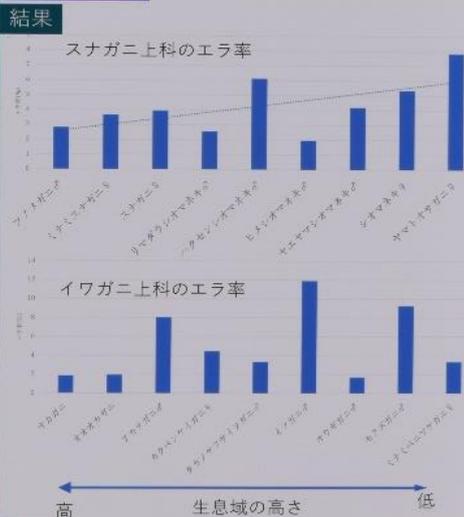
**考察** アシハラガニ類のカニはアカテガニ、クロベンケイガニに比べると長生きしなかった。アシハラガニ類は水を補給しても復活しなかった。これらのカニはギリギリまで活動できると考えられる。

**エラ数** カニのエラの数数を数えた。

**結果** ・オカガニ科2種はエラ数が基本数の8対より1対多い9対だった。  
・干潮線付近のものはほとんどが8対だった。

**考察** オカガニ科の2種は地盤高の高い場所に棲んでいるにも関わらずエラ数が基本数より多い9対であった。これらの種は水に依存しているのではない。干潮線付近に棲むカニは水に依存しているため水面付近に留まったのではないか。

**エラの重量** エラ率は体重に対するエラの割合



**考察** スナガニ上科のカニでは地盤高が高いほどエラ率が小さかった。イワガニ上科ではあまり相関がない。

**乾燥耐性実験** 乾燥下にカニをさらしどのくらいで死亡するか計測



**考察** 小型の種の生存時間が長かったのは大型の種よりも新陳代謝が少なく酸素の消費が少なかったからだと考えられる。

ハクセンシオマネキは体重の増加と生存時間は比例していた。チゴガニなどの小型の種はハクセンシオマネキの線形近似よりもy軸方向にずれていた。

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・乾燥耐性実験を行うに当たり、前回よりも種類を増やし、一種当たり複数匹用いて、より正確な結果を得ることができた。

### ○ 分かった点

- ・スナガニ類では、エラ数やカニの体重に対するエラの重量の割合に関して、陸上へ進出した種ほど減少していくということが分かった。また、過去の文献では4つしか記載されていなかったエラ式を、今回新たに5つ発見できた

### ○ もっと追究したい点

- ・カニの浸透圧調整能力について調べたい。
- ・構造面で変化があまりなかったイワガニ上科のカニが、どのようにして乾燥に適応しているのか調べたい。

## 《審査評》

手法は単純であるが、こまめに観察をすることで、これまで知られていない貴重な発見をした。継続研究だが、研究中に生じた新たな疑問を新たな手法で解明しようとしており、内容面も充実した極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# 流水が生み出す半月模様

広島大学附属高等学校 3年 小森満柚菜 池田未宇 亀田あかり 藤原美穂 指導教員 佐々木康子

## I. 概要

雨の日、坂道に雨が流れているとき、水面に半月の形をした模様がいつも流れる様子が観察できることがある(図1)。この半月模様の発生条件や発生原理を解明することを目的に本研究を行った。



図1 実際に見られた半月模様

## II. 仮説

### 半月模様の発生条件

- (1) 轍(車が何度も通ることできる路面の凹み) 轍の中央と端の水位の差→流水の表面が道路から受ける摩擦力の差→流速の差→半月模様の先端部分の弓なりの形(図2)
- (2) 光の反射 流水が波立ち、水位が高い部分で光が反射し白く光って見える(図3)
- (3) 路面の凹凸/降水 路面の凹凸あるいは上空からの降水によって、流水が波立ち、光を乱反射することで、白く光って見える。この部分が半月の形に見える。



図2 水の流れと流速



図3 光の反射

## III. 実験1

### 1. 目的

実際に雨が降っているときに半月模様が見られた場所(図4)で、降雨がない時に半月模様の再現を試みる。現れた半月模様の中央の流速が両端と比べて速いかどうかを確認すると同時に、路面の状況と半月模様の観察を行う。



図4 実験1を行った場所

### 2. 実験装置(5滴のインクを同時に垂らす装置)の作製



図5 作製した装置(左:板のみ,中央:真横から見た図,右:正面から見た図)

### 3. 方法

- (1) 路面の状態(轍の有無・地面の凹凸)を調べる。
- (2) 水を流し、水が流れる様子を観察する。
- (3) 図5の装置を用いて半月模様にインクを垂らし、その様子を観察する。
- (4) 半月模様の速度を調べる。

### 4. 結果

- (1) 日没前→常に半月模様が見られた。日没後→水の流れに車のライトなどの光が当たると半月模様が見られた。
- (2) 轍の有無:轍があった。地面の凹凸:深さ1mmの凹凸があった。
- (3) 繋がっていた半月模様が流れるにつれて分離し、模様が長くなった(図6)。
- (4) 模様の先端部分の水位が高く、盛り上がっていた。
- (5) 流水の中央部分では両端に比べてポスターカラーが速く流れた(図7)。
- (6) 半月模様の速度を表1に示す。



図6 模様が分離する様子



図7 ポスターカラーが流れる様子

表1 比治山における半月模様の速度

	上流	下流
模様の平均速度(m/s) × 10 <sup>-2</sup>	40.95	42.05

### 5. 考察

- (1) 降雨は半月模様の形成に関与していないと考えた。
- (2) 轍によって、模様の中央部分の流速が両端に比べて速くなり、半月模様の先端部分が弓なりの形になるという仮説(1)は正しいと考えた。
- (3) 路面の凹凸によって、流水の表面に凹凸が生じ、光源(車のライトなど)が液面に入射することで乱反射が起き、半月模様が白く光って見えると考えた。

## IV. 実験2

### 1. 目的

半月模様の再現ができた本校の体育館前スロープで、流量と路面の凹凸が半月模様に影響を与えるかを調べる。

### 2. 方法

- (1) 水を流し、半月模様の速度を求める。
- (2) 蛇口をひねる角度を変えて(1)を繰り返す(図8より蛇口をひねる角度を変えることで流量をコントロールできる)。
- (3) スロープにゴムシートを敷いて凹凸を無くし、水を流す。



図8 角度と流量の関係

### 3. 結果

(1) 表2に示す。

表2 角度ごとの流量と半月模様の有無、模様が見えるまでの距離、模様の幅、模様の速度の関係

蛇口をひねった角度(°)	90	180	270	285	300	315	330
流量(m³/s) × 10 <sup>4</sup>	0.87	1.15	1.71	1.86	1.98	2.12	2.83
半月模様の有無	有	有	有	最後ののみ有	最後ののみ有	無	無
半月模様が見えるまでの距離(m)	1.85	4.7E	4.80	5.20	5.38		
半月模様の幅(m)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40		
模様の平均速度(m/s)	0.41	0.38	0.40	0.41	0.43		

(2) ゴムシートを敷いた部分では半月模様は見られず、敷いていない部分では見られた。

### 4. 考察

半月模様の発生条件として路面の凹凸が必要であると考えた。

## V. 追実験1

降雨の後、ががら山の水路で半月模様と類似した波が流れる様子が観察された(図9)。この波は転波列であると予想した。転波列はフルード数が2より大きい波であることが知られている。フルード数とは、平均流速 $v$ と伝播速度 $\sqrt{gh}$ (※)の比

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad g: \text{重力加速度} \quad h: \text{水深} \quad \dots \textcircled{1}$$

※伝播速度…洪水流が下流に伝わる速度のこと。

水路で観察された波と半月模様がどちらも転波列であれば、この波に対して研究を行うことで、半月模様の発生条件や発生原理の解明にもつながると考えた。



図9 ががら山の流

### 1. 目的

フルード数を求めて、水路で観察された波が転波列であることを確認する。

### 2. 方法

- (1) 平均流速を測定する。
- (2) 水深を求める。
  - ① 流量を測定し以下の公式を用いて流水断面積を求める。  
 $v = \frac{Q}{A}$  より  $A = \frac{Q}{v}$   $v$ : 平均流速  $Q$ : 流量  $A$ : 流水断面積
  - ② 波の幅を測定し、以下の公式を用いて水深を求める。  
 $A = Bh$  より  $h = \frac{A}{B}$   $B$ : 観察された波の幅
- (3) 公式①を用いてフルード数を求める。

### 3. 結果

表3に示す。

### 4. 考察

フルード数が2より大きいことから、観察された波は転波列であると考えられる。

表3 ががら山で見られた波のフルード数

平均測定時間(s)	1.17
平均流速(m/s)	0.61
流量(m³/s) × 10 <sup>-4</sup>	2.56
流水断面積(m²) × 10 <sup>-4</sup>	4.17
水深(m) × 10 <sup>-1</sup>	9.06
フルード数	6.52

## VI. 追実験2

### 1. 目的

半月模様が転波列であることを確認する。

### 2. 方法

- (1) 追実験と同様の方法で実験2におけるフルード数を求める。  
\*このときの平均流速は模様の平均速度ではなく水が流れる速度を指す。
- (2) 半月模様が再現してきた別の場所2通りの方法でフルード数を求める。  
①ポイントゲージを用いて水深を測定(図10)。②追実験1と同様の方法

### 3. 結果

(1)

表4 蛇口をひねった角度とフルード数の関係

蛇口をひねった角度(°)	90	180	270	285	300	315	330
平均流速(m/s) × 10	4.09	4.44	4.70	4.73	4.65	4.94	5.10
フルード数	5.66	5.57	4.98	4.79	4.55	4.82	4.38

(2)

表5 方法①で求めたフルード数

水量(m³) × 10 <sup>-2</sup>	1.79
測定時間(s)	73.93
流量(m³/s) × 10 <sup>-2</sup>	2.43
流水断面積(m²) × 10	1.23
水深(m) × 10 <sup>-2</sup>	0.27
フルード数	1.21

表6 方法②で求めたフルード数

平均測定時間(s)	5.06
平均流速(m/s) × 10 <sup>-2</sup>	1.98
$h_1$ (m) × 10 <sup>-2</sup>	3.93
$h_2$ (m) × 10 <sup>-2</sup>	3.27
$h_3$ (m) × 10 <sup>-2</sup>	3.36
平均水深(m) × 10 <sup>-2</sup>	0.61
フルード数	0.81

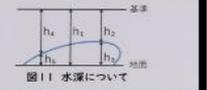


図11 水深について

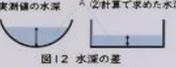


図12 水深の差

### 4. 考察

- (1) 転波列であるとは言えない。(1)では半月模様は転波列、(2)では転波列ではない。
- (2) 実測値の水深と計算で求めた水深の値は異なり、フルード数の値が異なる。
- (3) 図12より、公式を用いて求めた水深は実測値より小さくなると考えられるため、(1)のフルード数は今回求めたフルード数も小さくなり、2より小さくなる可能性がある。

## VII. 結論

本研究を通して半月模様の発生条件について以下のことが明らかになった。

- (1) 水の流れを乱すきっかけを与えるため、路面の凹凸は必要である。
- (2) 水量を増加させても半月模様の速度は変化せず、その速度には一定の基準がある。
- (3) 降雨は半月模様の発生条件に関与していない。

さらに、半月模様の発生原理については以下のことが明らかになった。

- (1) 轍により流水の中央と両端で流速に差が生じ、半月模様の弓なりの形が形成される。
- (2) 斜面を水が流れるにつれて流速が増すことで、模様が分離し、半月模様が形成される。

## VIII. 課題

- (1) 仮説で立てた光の反射について検証し、仕組みを解明する実験を行いたい。
- (2) 半月模様の速さについて、数式により表現したい。
- (3) 追実験1、追実験2では水深の値に計算値を使用したため、実測値でフルード数を求めるために、比治山や本校のスロープでポイントゲージを用いて、水深を測定したい。

発生条件(凹凸、轍、傾斜など)の変化が、半月模様の特徴(流速、流量、弓なりの形など)にどのような変化をもたらすのか分析することで、半月模様の特徴から道路の形状を分析できると考えている。フルード数は半月模様の特徴を表す一つの指標として活用したい。

## IX. 参考文献

[1] Richard R. Brock, Development of roll waves in open channels. Report No.KH-R-16, W.M.Kech Laboratory, California Institute of Technology, 22p, 1967.  
 [2] 半蔵洋行博物館, 『君も自然探偵 画の中の自然探偵 道路上の波』, 2001年.  
 http://www.hirahaku.jp/web\_yomimono/tantei/doronami.html(閲覧日:2019年6月27日).  
 [3] 長澤光晴, 『眠れなくなるほど面白い「図解」物理の話』, 株式会社 日本芸社, 2016年, 64-66.  
 [4] 井上和也編, 『改訂版図説わかる水理学』, 学芸出版社, 2017年, 111.

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・実験装置を自らの手で製作した点。
- ・課題解決に向けた様々な視点から研究を行った点。
- ・半月模様について、フルード数を用いて考察した点。
- ・再現性を確認するために、場所を変えて実験を行った点。

### ○ 分かった点

- ・半月模様の発生条件には、①路面の形状（凹凸）②流水の速度（一定）が関係しており、降雨は必要ないことが分かった。
- ・半月模様の発生原理について、①轍による流速の差 ②流水の加速によって半月模様の形状を作り出すことが分かった。

### ○ もっと追究したい点

- ・半月模様が光を反射する仕組み
- ・半月模様の速度の数式化
- ・全ての実験場所でのポイントゲージを用いた水深の測定

## 《審査評》

課題や仮説を設定し、自作装置を用いて試行錯誤しながら得られた実験結果について適切に分析して論理的に考察している極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# 微小重力環境がチャイロコメノゴミムシダマシに与える影響

※チャイロコメノゴミムシダマシの幼虫=ミールワーム

広島県立西条農業高等学校 自然科学部

2年 宮越 真実 湯木 龍之輔 高嶋 大誠 藤井 純平



## 1 目的

- (1) 宇宙ステーション内での昆虫飼育を見据え、微小重力環境がチャイロコメノゴミムシダマシに与える影響について明らかにする(研究1)。
- (2) チャイロコメノゴミムシダマシの幼虫がもぐる性質について明らかにする(研究2)。

## 2 仮説

- (1) 微小重力環境下では、重力環境下と比べて、チャイロコメノゴミムシダマシの死亡率が高くなり、負の光走性が抑制され、正の重力走性が抑制される(研究1)。
- (2) チャイロコメノゴミムシダマシのもぐる性質に個体差はほとんどなく、周りの素材の成分や粒の大きさ、湿り気の影響を与える(研究2)。

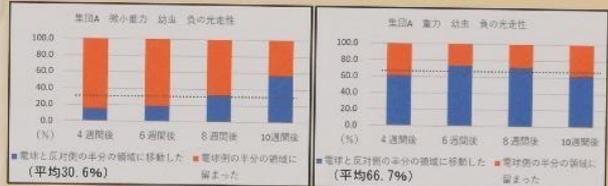
## 3 微小重力環境がチャイロコメノゴミムシダマシに与える影響(研究1)

<方法> ※④は2回の平均を算出

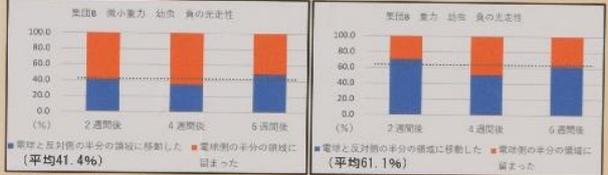
- ①マイクロチューブ(2.0mL)にパン粉(0.4g)とチャイロコメノゴミムシダマシの幼虫(1匹)を入れ、脱脂綿で栓をしたもの(図2・3)を集団につき100個ずつ準備。
- ②微小重力環境(図1)と重力環境で2週間ごとに個体数や重量等を測定。以下の実験も2週間ごとに実施。
- ③チャイロコメノゴミムシダマシを電球の真下に置き、電気を消して60W相当のLED電球の光を一方から照射(図4)。幼虫は10分後、成虫は5分後に電球側の半分領域と反対側の半分領域にいた数を測定。
- ④明条件・暗条件で、パン粉の上に幼虫を置いて1分間経過した後、パン粉の上に全身が残っている個体、体の約半分が残っている個体の数を測定(図5)。



### <結果-負の光走性-> 【微小重力】



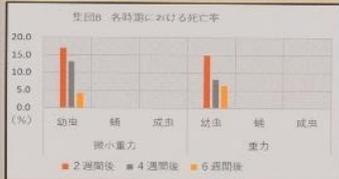
### 【重力】



微小重力環境が負の光走性に抑制的にはたらいた

### <結果-死亡率->

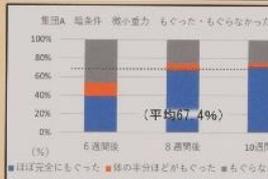
#### 【微小重力】 【重力】



死亡率には影響を与えなかった

### <結果-正の重力走性->

#### 【微小重力】 【重力】



微小重力環境が正の重力走性に促進的にはたらいた可能性がある

### <課題>

- ①実験回数を増やしてより長期的に実験を継続し、確実に再現性のある結果を導き出す。
- ②微小重力環境が負の光走性、正の重力走性に影響を与える仕組み(受容器、神経系、効果器への影響)について明らかにする。

本研究で用いた微小重力装置を作製していただいた、古館蔵夫先生をはじめとする本校農業機械科の皆様、心より感謝申し上げます。

## 4 チャイロコメノゴミムシダマシの幼虫のもぐる性質(研究2)

<方法> ※すべて明条件、②③は2回の平均を算出

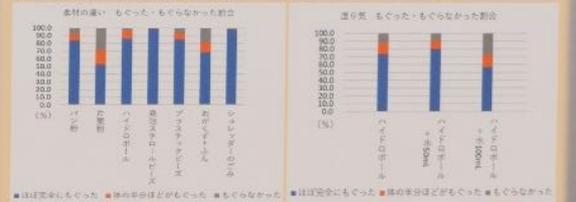
- ①パン粉の上に幼虫を置いて1分間または30秒間経過した後、パン粉の上に体の半分が残っているグループと完全にもぐったグループの2つに選別する実験を反復。
- ②パン粉、片栗粉(図1)、ハイドロボール、発泡スチロールビーズ(図2)、シュレッターのごみ(図3)、プラスチックビーズ、おがくずの上に幼虫を100匹ずつ置いて1分間経過した後、全身が残っている個体、体の約半分が残っている個体の数を測定。
- ③ハイドロボール830gに水0mL、50mL、100mLを加えたものの上に幼虫を100匹ずつ置いて1分間経過した後、全身が残っている個体、体の約半分が残っている個体の数を測定(図4)。



### <結果-個体差->

成長における時期的な要因が幼虫の運動を一時的に妨げもぐりにくくさせていると考えた

### <結果-周りの素材の成分・粒の大きさ・湿り気->



素材の粒の大きさが大きく比重が小さいものによくもぐった  
湿り気が多く比重が大きいものにはもぐりにくかった

### <課題>

チャイロコメノゴミムシダマシのもぐりやすさが何に依存しているのかと、もぐる仕組みについて明らかにする。

○中根猛彦, 大林一夫, 野村誠, 黒沢良彦, 原色昆虫大図鑑第2巻, 三版, 北隆館, 1969  
○「宇宙での研究 微小重力」. 宇宙堂研究開発機構(JAXA)宇宙センター・きぼう広報・情報センター. 2001-03-28. <https://iss.jaxa.jp/utiliz/character/microgravity.html>. (参照2020-08-15)

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・本校農業機械科製作の微小重力装置を用いて微小重力環境を簡易的に作り出し、実験を行った点。
- ・ペットショップで簡単に手に入り飼育技術が確立している、チャイロコメノゴミムシダマシ（ミールワーム）を用いた点。
- ・パン粉、片栗粉、ハイドロボール、発砲スチロールビーズ、シュレッターのごみ、プラスチックビーズ、おがくずを用いて、幼虫のもぐる性質について調べた点。

### ○ 分かった点

- ・微小重力環境が死亡率に影響を与えないこと。
- ・微小重力環境が負の層構成に抑制的にはたらくこと。
- ・微小重力環境が正の重力走性に促進的にはたらく可能性があること。
- ・成長における時期的な要因が幼虫の運動を一時的に妨げ、もぐりにくくさせていると考えられること。
- ・幼虫は、素材の粒の大きさが大きく比重が小さいものによくもぐり、湿り気が多く比重が大きいものにはもぐりにくいこと。

### ○ もっと追究したい点

- ・微小重力環境が負の光走性、正の重力走性に影響を与える仕組み（受容器、神経系、効果器への影響）について明らかにする。
- ・チャイロコメノゴミムシダマシのもぐりやすさが何に依存しているのかについて調べ、もぐる仕組みについて明らかにする。

## 《審査評》

学校全体の「宇宙農業」という壮大なテーマを、自分たちで検証可能なテーマに掘り下げ、興味深い研究を行った。これから世の中を支える技術につながる可能性をもつ有益な研究だという点でも極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# 教室の環境が及ぼす感染症リスクに関する研究

広島県立福山工業高等学校 建築科3年 小川 裕也 中坊 匠 藤岡 将宇 前原 拓和 山根 大輝 横道 蓮登

## I 研究の背景と概要

世界中で広域を伝えている新型コロナウイルス(SARS CoV-2)は無症状者や軽症者を介し感染拡大している。私たちが三密(密集・密閉・密接)を避けることや常にマスクをするなど生活様式を変えざるを得なくなった。感染防止のため世界中で様々な研究が行われており、国内では最新型スーパーコンピュータを用いたマスクの効果検証や室内環境・構造が及ぼす感染シミュレーションの結果から、多くの対策が提案されている。私たちは普段使用している教室の環境や構造が感染症リスクに及ぼす影響を調査するため、人の息や咳を再現させる簡易装置を製作し、校内保有の測定器とインフラを活用した二酸化炭素をトレーサーとした実験を行った。



## II 研究目的

新型コロナウイルスの感染源となる飛沫や感染源の移動は室内環境・構造及び気象条件により変化し、各々の環境や条件は感染症リスクに影響を及ぼすと思われる。私たちの学校生活環境における感染症リスクを把握し、対策を実施することで感染症リスクの低減を図る。

## III 研究方法

### 1 二酸化炭素生成プロセス

トレーサーとなる二酸化炭素はドライアイスを使用させ、呼吸量相当(平常時8 L/min)の二酸化炭素を安定して発生させるプロセスを検討した。プロセスは基準気候の安定している大気気象とし、アレックスプロットから温度変化に伴う湿度変化は10℃あたり約10%と推測した(図1、図2)。

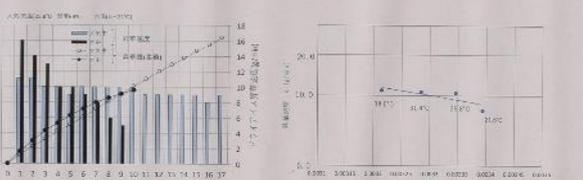


図1 大気中及び水口のドライアイス昇華速度 図2 ドライアイス昇華速度と湿度変化 (アレックスプロット)

### 2 呼吸発生器の製作

図3-1~3-4に呼吸発生器を示す。大型のゴミボックスを改造したものである。内部には入製ホルダーを設置し、ドライアイスを入れた状態で下部の吐出口から二酸化炭素を吐出させた。1.5~2 kgのドライアイスを入れたことにより8 L/minの二酸化炭素を発生させることができた。



図3-1 呼吸発生器内部 図3-2 呼吸発生器外観 図3-3 ドライアイスホルダー 図3-4 呼吸発生器(CO2発生機)

### 3 咳気流発生器の製作

咳気流は4.500cc/回、風速 27m/secで吐出され、これを再現するために呼吸発生器に手動ポンプを接続し二酸化炭素を吐出させた(図4)。気体の吐出体積は水上置換法(図5)を用い、400cc/回、出口風速は2m/sec以上になることを確認できた。実験では3回連続して咳気流を発生させた。



図4 咳気流発生器 図5 水置換法

### 4 二酸化炭素によるトレーサー実験

図6にトレーサー実験の測定条件を示す。呼吸発生器と二酸化炭素濃度測定器の距離は2mとして固定し、厚紙や構造の異なる教室で測定を行った。測定速度の推算値に呼吸量を乗じた値が感染源の呼吸量を入力した値であり、この値を相対比較し感染症リスクを評価した。



図6 二酸化炭素によるトレーサー実験



図7-1 教室(10m²) 図7-2 教室(64m²) 図7-3 教室(50m²) 図7-4 教室(110m²)

## IV 研究結果

### 1 各教室及び実習室における二酸化炭素によるトレーサー実験結果

図8に常時状態での各教室の二酸化炭素濃度経時変化を示す。二酸化炭素濃度は時間とともに増加し、増加率は室容積(体面積)に依存している。教室は常時換気があり、呼吸発生器から吐出された二酸化炭素は部屋全体に拡散・希釈されていると思われる。図9は吸入呼吸量と体面積の相関関係を示しており、新型コロナウイルスのクラスター感染が生じたカラオケボックスと同様の関係となる実証がある。図10に常時換気時の二酸化炭素濃度の経時変化を示す。各室とも大きな過度上昇は見られない。図11に開口面積比(開口面積/室容積)と呼吸発生量との関係を示す。実習室は部屋容積を大きくかつ部屋の3面に開口部があり、呼吸発生量が少なく、感染症リスクは小さくなる。

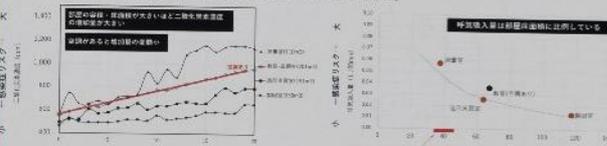


図8 閉鎖状態での各教室の二酸化炭素濃度経時変化 図9 呼吸発生量と体面積の相関関係 図10 常時換気時の二酸化炭素濃度の経時変化 図11 開口面積比と呼吸発生量の関係(実証結果)

### 2 開口面積比と呼吸発生量の関係(実証結果)

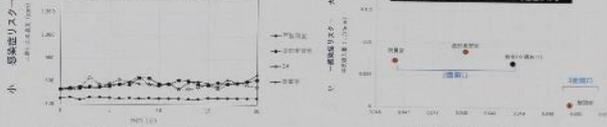


図12 常時換気時の各教室の二酸化炭素濃度経時変化 図13 開口面積比と呼吸発生量の関係(実証結果)

図12に示す教室4階の開口で換気した場合の二酸化炭素濃度の経時変化を図13に示す。開口面積が大きいほど濃度上昇は少なく(開口面積比と呼吸発生量は比例する(図14)。

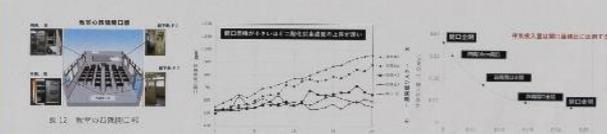


図14 開口面積比と呼吸発生量の関係

## V 考察とまとめ

### 1 教室の環境が及ぼす感染症リスク

表1に感染者の呼吸発生量の空間比較を示す。新型コロナウイルスのクラスター感染が発生したカラオケボックスと同体面積の教室をベンチマークし空間比を求めた。常時換気することにより吸入量は換気なしの教室量の1/125~1/7(空間比の逆数)となり、感染症リスクが低減する。



表1 教室の環境と呼吸発生量(呼吸発生量) 図15 教室の環境と呼吸発生量(実証結果)の比較

### 2 咳気流の二酸化炭素によるトレーサー実験について

図16に咳気流を発生させたときの二酸化炭素濃度経時変化と理化学研究所のシミュレーション結果との比較を示す。シミュレーション結果と同様に感染源の効果が見られ、本方法により咳気流の検証実験が可能であると思われる。



図16 咳気流を発生させたときの二酸化炭素濃度経時変化と理化学研究所のシミュレーション結果との比較

### 3 教室の換気方法の最適化について

教室の換気条件について室内温度と清浄度のバランスに着目し検討を行った。図17-1及び17-2は教室の各換気及び空調条件下における室内温度の変化を示す。図18は開口部全開時の二酸化炭素濃度経時変化データを用いて行った25分間換気実験時の換気シミュレーション結果である。これらのデータから各季節の最適換気条件を求めた図19に示した。春・秋は常時開口により換気し、夏冬は四階の開口を全開し、間欠換気を行うことで室温変動を抑え、感染症リスクを最小化できると考えられる。

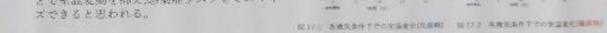


図17 換気条件下での室内温度経時変化 図18 換気実験時の二酸化炭素濃度経時変化 図19 換気条件下での最適換気条件



図18 間欠換気を行った場合の呼吸(二酸化炭素)濃度変化 図19 換気条件下での最適換気条件

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

新型コロナウイルスの感染拡大を受け、私たちは4月に本テーマを選択した。4～5月の臨時休校期間はICTやGSuiteを活用し、事前調査を行うとともに、グループのメンバーと情報共有した。6月に広島県科学賞に応募することを決め、9月までの短期間で有用なデータを得るため、以下の通り工夫した。

- ① 材料や測定器等、学校のインフラを最大限活用する。
- ② 装置・器具は文献等で調べ、できるだけ自作する。
- ③ 実験班とデータ解析班を構成し、実験と解析を並行して進行させることにより研究期間の短縮を図った。

### ○ 分かった点

今回の研究を通して分かった点は、

- ① 新型コロナウイルス感染症のクラスターが発生したカラオケボックスと同じ環境が学校内の教室にあり、感染症のリスクがあること。
- ② 感染症リスク低減のためには換気が重要で、開口率、開口面積が重要なパラメーターとなっていた。
- ③ 咳による飛沫や飛沫核を防止するためには物理的な遮蔽物が有効である。

### ○ もっと追究したい点

感染リスクについては、無感染者との距離の関係について追究したい。冷・暖房中でも快適な室温を維持できる換気方法を追究したい。

## 《審査評》

身近になった感染症の問題に正面から向き合い、テレビ等で報道されることをただ鵜呑みにするのではなく、自らが生活する学校の環境ではどうだろうかと考え、それを実行に移して検証したという点で極めて優れた作品である。

《研究作品の概要》

# アルギン酸カルシウムゲルの徐放出性を用いた薬剤カプセルの基礎研究

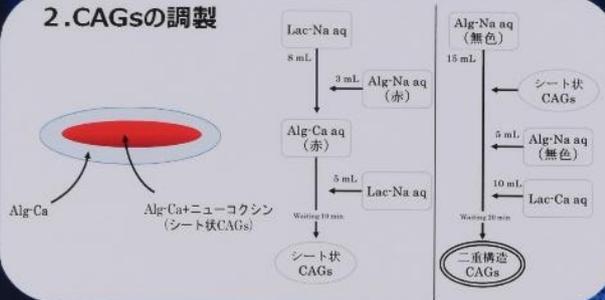
久保 由伸 佐川 泰利 高島 廉 西井 爽稀 指導教員 内海 良一



## 1. はじめに

アルギン酸カルシウムゲル(CAGs)は、「徐放出性」という注目すべき特性を持つ。これは時間的制御が可能になるという点で薬物輸送に有効である。本研究では、徐放出性を用いて、予め設定した時間で内包物を放出する二重構造カプセルを作製することを目的とする。

## 2. CAGsの調製



## 3. 実験 1

### 1. 目的

通常のシート状CAGsと二重構造CAGsの間で、ニューコキシンを外部に放出し始めるまでに要する時間が異なるのかを検証する。

### 2. 実験方法

- 1% Alg-Na水溶液と1% Lac-Ca水溶液からシート状CAGsと二重構造CAGsを調製する。
- シート状CAGsと二重構造CAGsを3個ずつ用意し、それぞれ蒸留水500mLが入ったビーカーに入れた。これらをそれぞれ10分、20分、40分間放置し、ニューコキシンを放出させた。
- 放置終了後ビーカーからCAGsを取り出し、溶液を採取した。
- それぞれの溶液の510nmにおける吸光度を分光蛍光光度計で測定し、濃度の推移を間接的に調べた。

### 3. 結果

図1より、二重構造CAGsでは0-20分の間に外部への内容物(ニューコキシンの)放出は見られなかった。20-40分ではそれ以前に比べて放出量が大きく増加した。シート状CAGsは吸光度に常に増加傾向が見られ、0-10分の間でゲル外部に内容物を放出し始めたことがわかった。

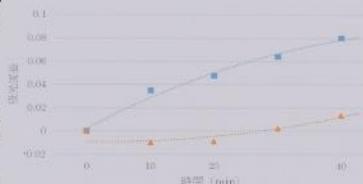


図1 各形状の時間と吸光度変化の関係

### 4. 考察

シート状CAGsが0-10分の間で外部に内容物を放出し始めた一方で、二重構造CAGsは20分の時点で外部へのニューコキシンの放出が見られないことや、また20-40分の間で放出量が急増したことから、二重構造CAGsは少なくとも20分までは放出はしていないかといえる。したがって、二重構造CAGsはゲル投与から外部への内容物の放出開始までの時間を遅らせることができると分かった。

## 4. 実験 2

### 1. 目的

CAGsの調製に使用する試料の濃度の変化と内容物の放出量の関係を検証する。なお、ここでは生体内の環境により近づける溶液には生理食塩水を使用した。

### 2. 方法

- 1% Alg-Na水溶液と3%、5% Lac-Ca水溶液からそれぞれ二重構造CAGsを調製する。
- 二重構造CAGsを生理食塩水(0.9w/v%塩化ナトリウム水溶液)100mLに入ったビーカーに入れた。10分、20分、40分、70分間放置し、ニューコキシンを放出させた。
- 放置終了後ビーカーからCAGsを取り出し、溶液を採取した。
- それぞれの溶液の510nmにおける吸光度をと検量線と比較して、濃度変化を調べた。

### 3. 結果

図2より、35分近辺までは、3%のゲルよりも5%のゲルの方が多くニューコキシンを放出していることが分かった。また、25分ほど経過すると、5%のゲルの放出量が大きく減少した。しかし、40-70分の間で再び3%のゲルよりも5%のゲルが放出したニューコキシンの総量が多くなった。さらに、検量線を用いて濃度変化を詳しく調べると、10-20分間ではどちらのCAGsも0.160mg/(L・min)程度増加し、20-40分間では3%のゲルが0.0957mg/(L・min)、5%が0.0211mg/(L・min)と差が開いたものの、濃度の変化量は両者ともに小さく、それ以降は5%のゲルが0.203mg/(L・min)と急激に増加した(表1・表2)。

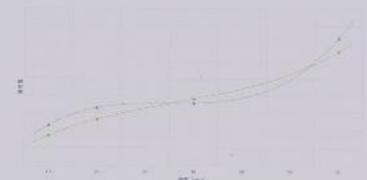


図2 各Lac-Ca濃度における時間と吸光度の関係

表1 3%ゲルにおけるニューコキシンの濃度の時間変化

Time (min)	10	20	30	40	50
濃度(mg/L)	1.11	2.25	3.41	4.57	5.73
濃度変化(mg/L)	0.00	1.14	2.30	3.46	4.62
濃度変化(mg/L/min)	0.000	0.057	0.114	0.171	0.228

表2 5%ゲルにおけるニューコキシンの濃度の時間変化

Time (min)	10	20	30	40	50	60	70
濃度(mg/L)	2.07	3.13	4.19	5.25	6.31	7.37	8.43
濃度変化(mg/L)	0.00	1.06	2.12	3.18	4.24	5.30	6.36
濃度変化(mg/L/min)	0.000	0.053	0.106	0.159	0.212	0.265	0.318

### 4. 考察

10-20分間で二者の変化量が同様であるのに対し、10分での値は5%のゲルの方が高いことから、放出開始時間は3%のものより5%のゲルの方が早かったという可能性が考えられる。また、ゲルを形成するアルギン酸のうち、ナトリウムイオンと結合している部分が多いほど、ゲル内部から放出される物質の量が減ることが示唆されている。このことより、5%のゲルが20-40分間で内容物の放出が抑えられた要因としては、生理食塩水に含まれるNa<sup>+</sup>によりゲルの中のアルギン酸ナトリウム割合が高まったことが考えられる。その後、ゲルがさらに膨潤し、再び内容物が放出されたのではないかと考えるが、この機構の解明については今後検討する必要がある。

## 5. 結論

本研究において、アルギン酸カルシウムゲルを二重構造にすることで内容物の放出開始を遅らせることができたため、時限放出型製剤としての利用が可能であるとわかった。また、Lac-Caの濃度を変えることで、内容物の放出量やその速さを変えることは可能だが、予想外に放出開始が早まったり、陽イオンが結合することによって途中で内容物の放出量が一時的に減ってしまったりすることがわかった。したがって、この先に時限放出型製剤として内容物の放出開始や速さを制御するためには、アルギン酸ナトリウムの濃度を変えること、アルギン酸と結合し、かつ他の陽イオンで置換されにくい陽イオンを探し出した上で、より高密度なゲルを作製して使用することなどが有効であろう。

Development of a non-biological hydrogel with calcium alginate for wound healing / (科学・技術研究第7巻2号 Ryota Teshima, Kazuhiro Mizuno 2018)

アルギン酸ナトリウムを用いた繊維状水酸アパタイトの合成 / (材料第37巻第412号 Hiromichi Iwasaki 1988)

乳酸カルシウムならびにアルギン酸ナトリウムをコーティングした顆粒からの不溶性ゲル形成を応用した薬物放出 / (日本薬学会第13年会上にて Kaoru Kaneko 1998)

<https://www.kimica.jp/> <https://ipasecslab.jp>

## 《研究作品のポイント》

### ○ 工夫した点

- ・アルギン酸ナトリウムや乳酸カルシウムの濃度などを様々に変えて、多くの組み合わせを試した。
- ・アルギン酸カルシウムゲルの徐放性を生かす形状もアイデアを出し合った。
- ・得られた結果から何が結論付けられるのか、みんなで議論した。

### ○ 分かった点

- ・二重構造のアルギン酸カルシウムゲルでは、ゲル内の物質が放出されるまでの時間を遅らせることができた。
- ・このゲルを用いて薬剤カプセルをつくれれば、時限放出型の製剤をつくることができることが分かった。

### ○ もっと追究したい点

- ・アルギン酸と結合し、かつ他の陽イオンで置換されにくい陽イオンを探し出した上で、より高密度なゲルを作製して徐放性に対する影響を調べたい。

## 《審査評》

アルギン酸カルシウムゲルを用いて、二重構造 CAGs を製作し、内容物の放出開始時間を遅らすとともに、Lac-Ca の濃度を変えることで内容物の放出の速さを変える成果を得ることができたという点で極めて優れた作品である。