

# 「課題研究Ⅰ・Ⅱ」の取り組み

平成26年度の理数科では、総合的な学習の時間（2単位）を「課題研究Ⅰ・Ⅱ」として、以下のような要領で計画・実施した。

## (1) 目標

理科および数学に関する事象について課題を設定し、実験・観察などを通して研究を行い、科学的に探究する問題解決の能力を身に付ける。

## (2) 研究内容

- ・理科および数学分野の特定の事象に関する研究
- ・理科および数学分野を発展させた探究活動
- ・理科および数学分野の歴史的実験例の研究
- ・自然環境に関する調査・研究

## (3) 指導方法

- ・設備・機器などに応じて各グループに課題を設定させ、理科および数学の教員が指導に当たる。
- ・「課題研究Ⅰ・Ⅱ」の授業は2年次の水曜日に2単位時間を設定し、担当教員全員が指導に当たる。ティーチングアシスタントとして岡山大学の大学院生、留学生、非常勤講師で指導に当たる。また、時間が不足する場合は、放課後や夏季・冬季休業中を利用して指導する。
- ・評価については、主担当教員が原案を作成し、指導教員全員で審議して決定する。

## (4) 対象学年 理数科2年生(40名)

## (5) 1年次からの流れ

- |       |             |
|-------|-------------|
| 1年次前期 | 課題研究基礎(1単位) |
| 1年次後期 | 課題研究Ⅰ(1単位)  |
| 2年次前期 | 課題研究Ⅰ(1単位)  |
| 2年次後期 | 課題研究Ⅱ(2単位)  |

## (6) 「課題研究Ⅰ・Ⅱ」校内発表会の日程と形態

### 第1回(研究評価、口頭発表12テーマ)

- |       |                  |                       |
|-------|------------------|-----------------------|
| ・日 時  | 平成26年10月8日(水)    | 13:50~15:30           |
| ・会 場  | 岡山県立倉敷天城高等学校     | 〒710-0132 倉敷市藤戸町天城269 |
| ・参加者  | 理数科2年生(40名)・本校教員 |                       |
| ・発表時間 | 1グループ質疑応答を含めて7分  |                       |

### 第2回(研究評価、口頭発表12テーマ)(第12回高大連携理数科教育研究会・第15回岡山県理数科理数系コース課題研究合同発表会)ステージ発表選考会)

- |       |                     |                       |
|-------|---------------------|-----------------------|
| ・日 時  | 平成26年12月17日(水)      | 13:50~15:30           |
| ・会 場  | 岡山県立倉敷天城高等学校        | 〒710-0132 倉敷市藤戸町天城269 |
| ・参加者  | 理数科2年生(40名)、本校教員    |                       |
| ・発表時間 | 口頭発表は1グループ質疑応答含めて7分 |                       |

### 第3回(研究評価、口頭発表4テーマ、ポスター発表12テーマ)

- |       |                                   |                       |
|-------|-----------------------------------|-----------------------|
| ・日 時  | 平成27年 1月28日(水)                    | 13:50~15:30           |
| ・会 場  | 岡山県立倉敷天城高等学校                      | 〒710-0132 倉敷市藤戸町天城269 |
| ・参加者  | 理数科2年生(40名)、2年生保護者、本校教員、SSH運営指導委員 |                       |
| ・発表時間 | 口頭発表は1グループ質疑応答含めて10分              |                       |

## (7) 平成26年度 第12回高大連携理数教育研究会 第15回岡山県理数科理数系コース課題研究合同発表会の日程

- |      |              |      |              |
|------|--------------|------|--------------|
| ・日 時 | 平成27年2月7日(土) | 岡山大学 | 当番校：岡山一宮高等学校 |
|------|--------------|------|--------------|

# 平成26年度「課題研究Ⅰ・Ⅱ」報告

## 【物理分野】

### 1. スペースコロニーでの自由落下

川邊康介, 北條豊, 栗原悠輔 pp.3-5

### 2. 空気中で軽い2物体がふるまう奇妙な落下運動

三宅大和, 内田健太, 青葉隆仁, 奥山涼香 pp.6-10

### 3. 消波ブロックによる消波効果

定兼康晃, 草野真輔, 深尾海太, 星島貴志, 渡谷麻奈 pp.11-14

### 4. 水柱共鳴で水中の音速を測る

佐伯琳々, 中桐万智, 西川知奈美 pp.15-19

## 【化学分野】

### 5. 濃硫酸と希硫酸の境界～脱水作用からの検証～

守屋樹, 木村優樹, 竹馬渚, 黒木飛斗 pp.20-21

### 6. 身近な物質を用いたタンニン酸の代用

秋山景介, 室山友風, 影本敦也 pp.22-24

### 7. 油脂で培養したコウジカビによるデンプンの分解性維持

柳井祐美, 大嶋萌永, 小野蒼生 pp.25-28

## 【生物分野】

### 8. スクミリンゴガイの捕集トラップに応用できる音(周波数)データの収集

横田智弘, 足立旭, 橋本龍太郎 pp.29-32

### 9. ゾウリムシの重力走性

平田結風, 黒石悠太, 石本練, 植野竜生, 早川輝 pp.33-35

### 10. ナメクジの粘液によるカビや細菌に対する殺菌・抑制作用

藤原莉奈, 難波逸月, 松尾桃子 pp.36-40

## 【数学・情報分野】

### 11. リバウンドは俺が取る

安田弘毅, 中尾俊介, 高橋一成 pp.41-43

### 12. 余弦定理の拡張

河合裕介 pp.44-46

## 指導教員

仲達修一(物理) 荒江房利(物理) 佐々木和憲(物理)  
藤原一郎(化学) 光嶋央貴(化学) 大橋崇(化学) 岩本昌子(化学)  
山崎淑加(生物) 野津俊朗(生物) 洲脇清(生物)  
川尻晃(数学) 橋村泰司(情報)

## ティーチングアシスタント

鈴木啓介(化学)





# スペースコロニーでの自由落下

北條豊 川邊康介 栗原悠輔

指導者：佐々木和憲 反り目章(平成 25 年度)

## 要 旨

宇宙で人工的に重力を生み出すことにより，地球上と同じような生活を行うことができることが知られている。私たちは遠心力による「擬似重力」に興味を持ち，研究を行った。この研究では，地球上での実際の重力下と，擬似重力下での物体の運動の違いを，表計算ソフトウェアによるシミュレーションと回転台を用いた実験のビデオ撮影により比較・検討した。物体の自由落下の軌道と落下地点のシミュレーションを行い，回転台での実験の映像と比較したところ，よい一致を見た。擬似重力下では自由落下する物体はまっすぐ地面に落下せず，回転方向とは逆の向きに曲線を描きながら落下していくことが確認できた。

It is known that we can live in the space colony like on earth by producing artificial gravity. We took an interest in researching about “pseudo-gravity” generated by centrifugal force and did our investigation. In this research, we compared and verified differences in the way an object freely fell under the influence of the earth’s gravity and pseudo-gravity. For pseudo-gravity, we performed the experiment using a turntable and computer simulation. As a result, our experiment agreed with the simulation. We confirmed that under the influence of pseudo-gravity, the trajectory of a falling object was not straight-line. It was a curved-line trajectory, and the object always fell in the opposite direction of the turntable’s rotation.

キーワード：スペースコロニー，自由落下，重力，擬似重力，遠心力，コリオリの力

## 1. 序論

科学技術の進歩により，将来宇宙で生活する日も夢ではなくなりつつある。宇宙(スペースコロニー)と地球上での生活では重力の有無という違いがあり，重力を人工的に発生させることができたなら，宇宙でも地球と同じような動きで生活できると考えられる。そのために私たちは，宇宙で重力を生み出す方法を考えた。しかし地球上の重力は万有引力を主としており，万有引力で重力を作ると惑星を1つ作ることに等しくなる。

そこで，私たちは重力の代わりとなる「擬似重力」を生み出すと，擬似重力下で日常生活を送ることが出来るのではないかと考えた。擬似重力には，生体に影響がなく，変数の調整が簡単な遠心力を選んだ。だが，地球上の重力と擬似重力では様々な相違点が出てくるだろう。

私たちは，研究の単純化のために地球上で最も基本的な「自由落下」を主体とし，地球の重力下と擬似

重力下における物体の自由落下運動の違いを検証した。本研究では遠心力による自由落下の運動のシミュレートを行い，実験装置を用いてその軌道を視覚化した。実際に無重力状態で遠心力による擬似重力を生じさせる装置を作ることは出来ないので，表計算ソフトウェアでのシミュレーションにより検証を行うことにする。

## 仮説

図1のような円柱型のスペースコロニーを回転させると慣性力として遠心力 $F = mr\omega^2$ が発生する。 $m$ は物体の質量〔g〕， $r$ はスペースコロニーの中

心から物体までの距離 [m] ,  $\omega$  は回転速度(角速度) [rad/s] である。本来, 遠心力は見かけの力であるが, 生活する場所はこの円柱内であるため, 観測者も一緒に運動するので, 遠心力を擬似重力として扱うことが出来る。この時, コリオリの力も一緒にはたらくため, 内部の物体は地球上の実際の重力での運動よりも複雑に運動すると考えられる。

私たちの考えた仮説は, 上記よりスペースコロニー内での自由落下は地球上の実際の重力での自由落下と異なると考え, 軌道はどのような形を描くかわからないが, 物体の着地点は物体の始点の真下とは異なると考えた。

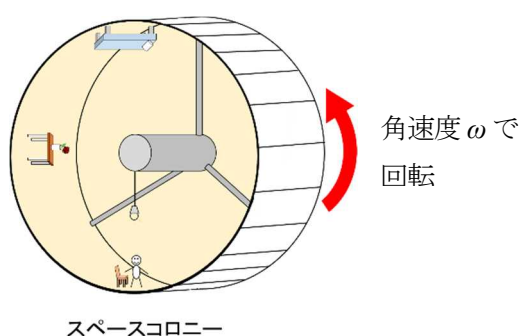


図1 スペースコロニーの一例 (イメージ)

## 2. 研究内容

### 実験.

<目的>①擬似重力下での自由落下の運動を間接的に表現する。

②擬似重力下での自由落下の運動は角速度を変えると変化するのかを調べる。

<仮説>擬似重力下であっても地球上の滑走運動体の軌跡は曲がる(目的②は実験途中から出てきたため仮説なし)。

<器具>作成した装置(図1)

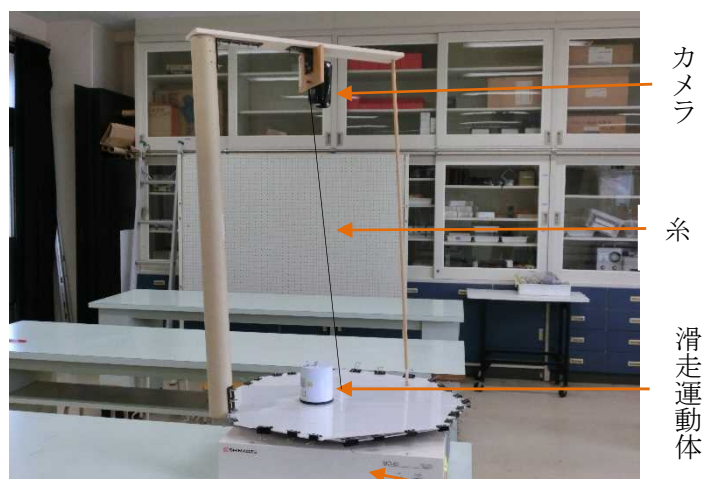


図2 実験装置

<実験方法>①図2の装置の上に印をとり, 印をとったところに滑走運動体を置いて糸で固定する。

②回転台をある角速度で動かして糸が張ったときに糸を切る。

③このときの滑走運動体の動きを回転台上に設置したカメラで撮影した。

この実験を, 角速度を変えて行った。

<結果>滑走運動体は回転軸方向とは逆に曲がった。

また, 曲がり方は角速度によって変化する(表1~3参照)。

<考察>地球上での自由落下では物体は鉛直下向きに落ちるため, 擬似重力下での自由落下は地球上での自由落下と軌道が異なることがわかった。

ここで, 目的②の検証を次の計算式から求める。スペースコロニーの半径を  $R$ , 円周から落下前の物体がある点までの高さを  $h$  とする。

円の方方程式  $x^2+y^2=R^2$  と外から見た物体の軌道  $y=-(R-h)$  との交点(着地点 Q)の座標を求めると

$Q(\sqrt{h(2R-h)}, -(R-h))$  となる。物体が Q 点に達

するまでの時間は, 速さが  $(R-h)\omega$  なので, コロニー内の人(点 P)がこの  $t$  秒間に回転する角度  $\theta$  は,

$$\theta = \omega t = \omega \times \frac{\sqrt{h(2R-h)}}{(R-h)\omega} = \frac{\sqrt{h(2R-h)}}{(R-h)} = \text{一定}$$

となる。

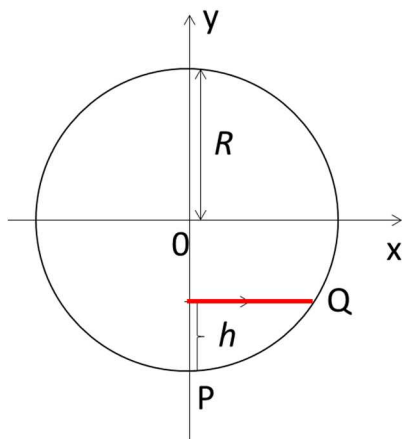


図3 目的②の検証式に用いた図

表1  $\omega = 0.5331$  における物体の軌道

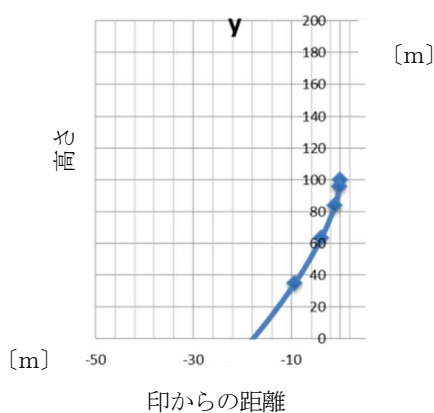


表2  $\omega = 1.0221$  における物体の軌道

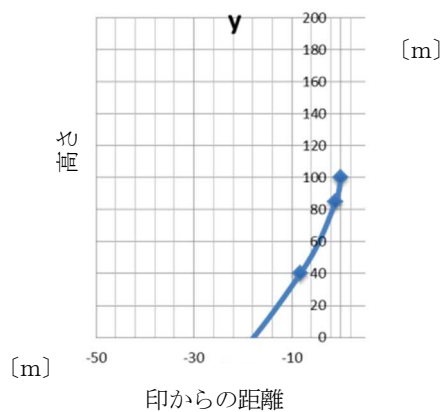
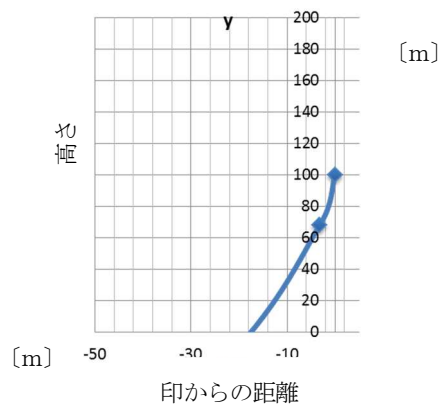


表3  $\omega = 1.4835$  における物体の軌道



### 3. 結論

序論で示した地球上での実際の重力下と擬似重力下における自由落下の違いを上記のシミュレーション・実験で検証し、まっすぐ地面に落下せず回転方向とは逆の向きに曲線を描きながら落ちていくという、地球上での実際の重力下での運動とは異なる結果が出た。

しかしながら、シミュレートでの環境はスペースコロニー内の空気抵抗を考慮せず、実際に生活する空間には空気を入れなければならないため、本実験の結果とは少し異なっている可能性が高い。また、この実験は手動で行う操作が多いので精度が低い。

そのため、実際の擬似重力下における物体の自由落下運動とは少しずれている可能性がある。

そこで新たな研究の方向性として、シミュレーションでは、空気がある環境でのシミュレーション方法の模索、実験では手動で行う操作を少なくするなどして精度の向上をさせることである。また、擬似重力下での自由落下以外の運動の検証もしていきたいと思う。

# 空気中で軽い2物体がふるまう奇妙な落下運動

三宅大和 内田健太 青葉隆仁 奥山涼香

指導者：仲達修一

## 要 旨

私たちは、空気中で、軽い2物体を水平に近づけて並べ落下させると、それらはどのような運動をするのか実際に落下させ観測した。その結果、2物体は互いに最初は接近しながら落下し、そして衝突することなく互いに離れながら落下する様子が確認された。この現象は、空気に粘性の概念を導入することで説明できることが分かった。

We observed how two light objects with the same shape and the same weight moved in air while falling. They were dropped at the same time from the same starting point. As a result, we found that the two objects moved close to each other and always got separated without touching each other as they fell.

We could explain this phenomenon by introducing a concept of viscosity of the air.

## 1. 序論

図1のような流管を考える。

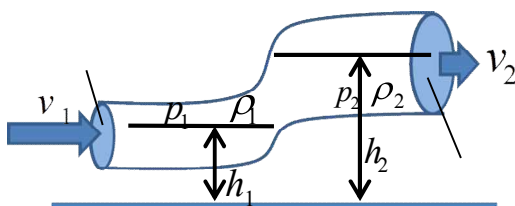


図1. ベルヌーイの定理 流管の例

面1を通過して流入する流体の流速，圧力，密度，ある基準面からの高さをそれぞれ $v_1$ ， $p_1$ ， $\rho_1$ ， $h_1$ とし，面2を通過して流出する流体の流速，圧力，密度，同じ基準面からの高さを $v_2$ ， $p_2$ ， $\rho_2$ ， $h_2$ としたとき，「ベルヌーイの定理」が成り立つことが知られている（ただし， $g$ は重力加速度を示す）。

$$\frac{1}{2}\rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 + p_1 = \frac{1}{2}\rho_2 v_2^2 + \rho_2 g h_2 + p_2 \quad (1)$$

また，図2のような流管において流体が通過する面積，速さ，密度を $A_1$ ， $v_1$ ， $\rho_1$ とし，流出する流体が通過する面積，速さ，密度を $A_2$ ， $v_2$ ， $\rho_2$ としたとき，次の「質量保存則」が成り立つことが知られている。

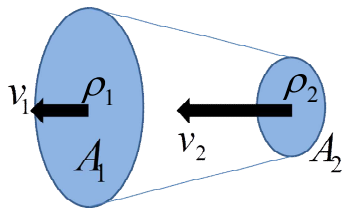


図2. 質量保存則 流管の例

る。

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (2)$$

さて，私たちはある実験を行っていたとき，特殊な現象を確認することができた。それは，図3に示すような円錐形の模型（以下「コーン」と呼ぶ）を2つ，同じ高さに水平に近づけて並べ，静かに同時に落下させたところ，2つのコーンは次第に近づきながら落下するという現象である。なお，コーンはコピー用紙で制作し，底面はない。

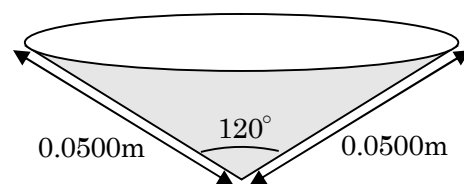


図3. コーンの模式図

私たちは，この現象について「ベルヌーイの定理」や「質量保存則」を用いて説明することができないか調べた。

## 2. 研究内容

実験1. 2つのコーンの運動を測定する。

<実験方法>

実験の準備

静かに落下させる落体には図3と同じコーンを用いた。

また、コーンを落下させる装置の模式図とその写真を図4に示す。

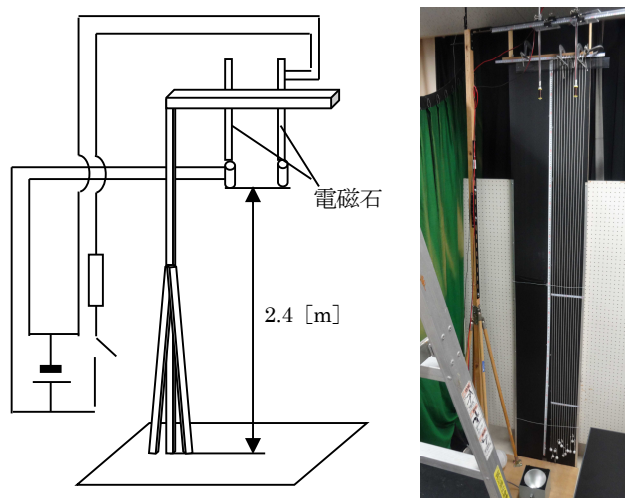


図4. 落下装置の模式図(左)と写真(右)

#### 実験方法

- ① 落下装置の電磁石のスイッチを入れ、上記のコーンを2つ取り付ける。
- ② 電磁石のスイッチを切り、2つのコーンを同時に静かに落下させる。
- ③ 落下の様子をストロボ写真(発光間隔 30Hz)にとる。
- ④ ①から③の操作を15回行う。

<仮説> 2つのコーンは互いによりながら落下する。

<結果>



図5. 落下の様子  
(コーン)

得られたストロボ写真の1つを図5に示す。

落下装置後方に設置したメモリで、図5における右側のコーンの位置を読み取りプロットすると図6のようになる。

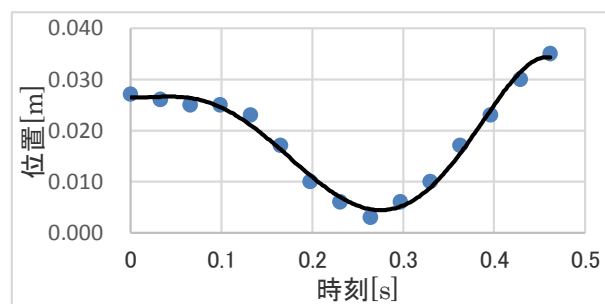


図6. コーンの時刻と位置の関係

コーンの位置は、0に近いほどコーンが左に運動していることを意味する。

図5, 6より、2つのコーンは互いに接近しながら落下し、離れていくことが分かる。また、今回確認されたすべての測定のうち10回でこの運動を確認することができた。図5, 6から、2つのコーンは一度互いに近づきながら落下し、最接近すると今度は次第に互いに離れながら落下していく様子が分かる。なぜコーンがこのような運動をするのか考察する。

#### <考察>

2つのコーンに(1), (2)式を適応する。2つのコーンに次のような検査面1, 2をとる(図7)。

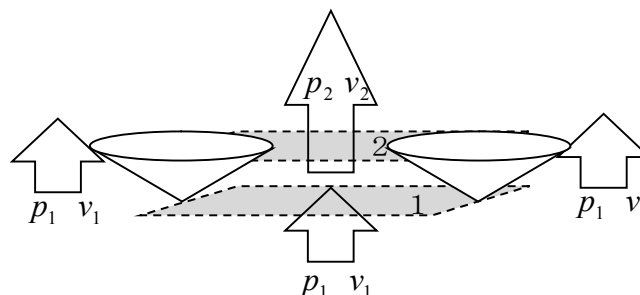


図7. 2つのコーンの運動の考察

検査面1を通過する空気はすべて検査面2を通過するとし、流速は遅いため空気の密度は一定と考えてよい。検査面1より検査面2の方が面積は小さいので、質量保存則より検査面2での流速は大きくなる。流速が大きくなると、ベルヌーイの定理よりその領域の圧力が小さくなる。したがって2つのコーンは互いに接近しながら落下する。

検査面1から流入する流体の流速を $v_1$ 、圧力を $p_1$ 、検査面2から流出する流体の流速を $v_2$ 、圧力

を  $p_2$  とする。密度はどの領域でも等しい  $\rho$  とするとき、検査面 1, 2 に(1), (2)式を用いると、

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh + p_2 \quad (3)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (4)$$

が成り立つ。ただし、検査面 1 の面積を  $A_1$ 、検査面 2 の面積を  $A_2$  とし、コーンの外側を通過する流体の流速、圧力は検査面から流入する流体の速度、圧力に等しいとし、両検査面はコーンの大きさから考えると非常に近い位置にあるので、検査面の高さは同じ  $h$  として近似した。

(3), (4)より  $v_2$  を消去して整理すると、

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 \left[ \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] \quad (5)$$

となる。領域 1 とコーンの外側の領域の状態は等しいので、(5)式の左辺はコーンの外側と内側の圧力差を意味するので、(5)式にコーンを鉛直面内で切ったときの断面積  $S$  を掛けるとコーンに働く力  $F$  を求めることができる。よって、

$$F(t) = \frac{1}{2} S \rho v_1^2 \left[ \left( \frac{A_1(t)}{A_2(t)} \right)^2 - 1 \right] \quad (6)$$

ここで  $A_1$ ,  $A_2$  は時間の関数であるから  $F$  も時間の関数であると考えられる。逆に  $S$ ,  $\rho$  は時間に依存しない定数、 $v_1$  については、物体は非常に軽いためすぐに終端速度に達すると仮定することで時間に依存しない定数と扱うことができる。

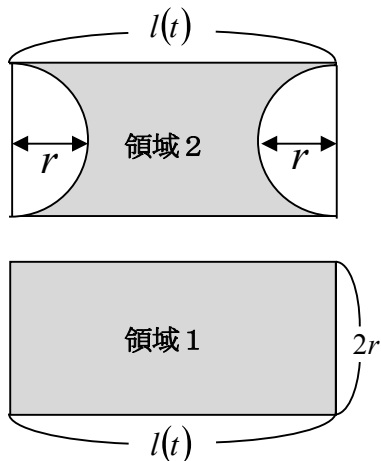


図8. 流体が通過する面

次に  $A_1(t)$ ,  $A_2(t)$  が  $t$  のどのような関数で表されるのか考察する。領域 1 と領域 2 を取り出したものを図 8 に示す。コーンの底面の半径を  $r$ 、2つのコーンの中心間の距離を  $l(t)$  とする。領域 1 を  $l(t) \times 2r$  の長方形に、領域 2 を  $l(t) \times 2r$  の長方形から面積  $\pi r^2$  の円を切り取った図形にとる。コーンに変形しないので、 $r$  は時間に依存しない定数である。したがって領域が時間によって変化することは  $l(t)$  が時間によって変化することに等しい。このとき、

$$A_1(t) = 2rl(t) \quad (7)$$

$$A_2(t) = 2rl(t) - \pi r^2 \quad (8)$$

が成り立つ。したがって、

$$\left( \frac{A_1(t)}{A_2(t)} \right)^2 = \left( \frac{2}{2 - \frac{\pi r}{l(t)}} \right)^2 \quad (9)$$

(9)式を(6)式に代入して、

$$F(t) = \frac{1}{2} S \rho v_1^2 \left[ \left( \frac{2}{2 - \frac{\pi r}{l(t)}} \right)^2 - 1 \right] \quad (10)$$

が成り立つ。

測定の結果を(10)式に代入する。

$S = 0.00108 \text{m}^2$ ,  $\rho = 1.205 \text{kg/m}^3$ , 終端速度については測定の結果  $v_1 = 2.3 \text{m/s}$  であったので、

$$F(t) = 0.00345 \left[ \left( \frac{2}{2 - \frac{0.136}{l(t)}} \right)^2 - 1 \right] \quad (11)$$

となる。しかし、 $l(t)$  は 2つのコーンの中心間の距離で  $F(t)$  に依存するので、 $l(t)$  が  $t$  のどのような関数であるのかは明らかでない。そこで、私たちは  $F(t)$  と  $l(t)$  の変化を調べるために次のような手法を考えた。

$t$  を微小時間間隔（ここでは  $0.01 \text{s}$  とした）に区切り、その間の  $F(t)$  は一定であるとする。 $F(t)$  が一定なら、加速度  $a \left( = \frac{F(t)}{m} \right)$  ( $m$  はコーンの質量) も一定であるからある時刻  $t$  から  $0.01 \text{s}$  後の 2つのコーンの距離  $l(t + 0.01)$  を次式で求めることができる。

$$l(t + 0.01) = l(t) + \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 = l(t) + \frac{1}{2} \frac{F(t)}{m} \times 0.01^2 \quad (12)$$



これを、0.02s 後、0.03s 後、……と繰り返していき、 $t$  と  $l(t)$  の関係を求める。この関係を表すグラフは、コーンの軌道を示すことになる。得られた結果を図 9 に示す。なお、初期条件( $t=0$ )は、 $l(0)=0.15\text{m}$  とした。

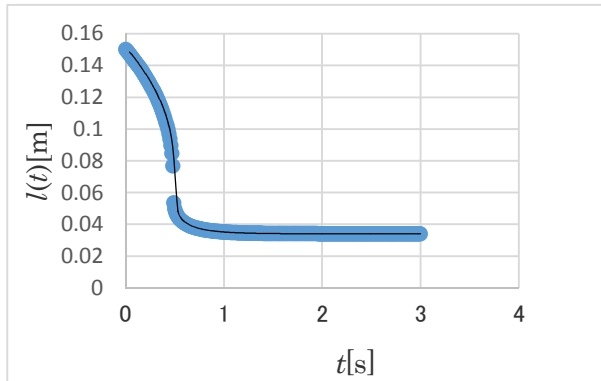


図 9. 時刻  $t$  と 2 つのコーンの中心間の距離  $l$  の関係

図 9 は向かって右側のコーンの軌道について表したものである、右側のコーンは左側へと寄っていくことがわかる。

しかし、図 9 は落下し始めてから 3 秒後を表したものでコーンはすでに地面に着地しているはずであるが、互いに寄り続けて着地をしていることがわかる。これは、図 5 のストロボの画像と異なっている。図 5 のストロボの画像は「2 つのコーンは、最初は互いに接近しながら落下し、その後衝突することなく互いに離れながら落下する」様子を表していた。私たちは、この離れる現象について説明するための 1 つの仮説を立てた。

空気には粘性がある。したがって、コーンの面上では流れる空気の粘性がはたらき、空気の流速が小

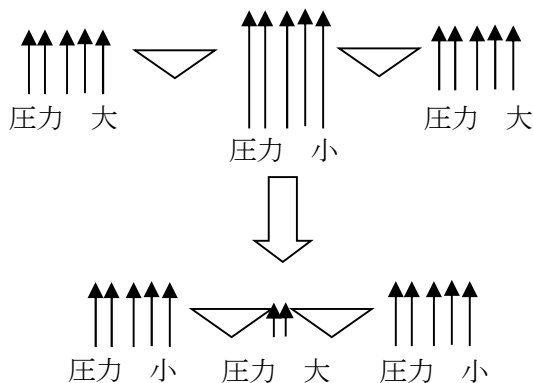


図 10. コーンの接近と流速、圧力の関係

さくなる。コーンが互いに接近すると、コーンの間の流体のほとんどが粘性の影響を受ける。したがってコーンの間を通過する空気の流速は小さくなり、コーンの外側を通過する空気の流速の方が大きくなる。すると今度は外側の圧力よりも内側の圧力の方が大きくなり 2 つのコーンは互いに離れていく (図 10)。

ここで、新たな仮説が生じる。もし、2 つのコーンが互いに離れていくなれば、ある程度離れると圧力差によって 2 つのコーンが接近していく最初の現象が起こる。その繰り返りで 2 つのコーンは左右に蛇行しながら落下すると考えられる。

次に、2 回目の接近が起こるか検証する。2 つのコーンの距離を変えるなどして落下させたが、2 度目の接近は確認されなかった。そこで、コーン以外の形状ならば 2 度目の接近が確認できるのではないかと考え、次のような実験を行った。

## 実験 2. 球形の模型で 2 度目の接近を確認する。

### <実験方法>

#### 実験の準備

静かに落下させる落体には図 11 のような球形の模型を用いた。この落体を以下では「ボール」と呼ぶ。落下装置は実験 1 と同様のものを用いた。

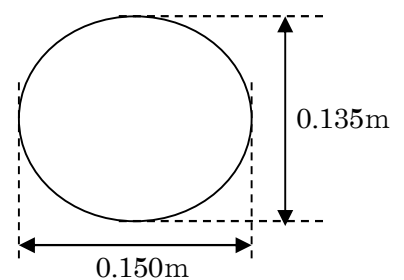


図 11. 球形の模型

#### 実験方法

- ① 落下装置の電磁石のスイッチを入れ、上記のボールを 2 つ取り付ける。
- ② 電磁石のスイッチを切り、2 つのボールを同時に静かに落下させる。
- ③ 落下の様子をストロボ写真 (発光間隔 30Hz) にとる。



図 12. 落下の様子



④ 初期位置での2ボールの中心間の距離を0.16m, 0.17m, …と変え、①から③の手順を繰り返す。

#### <結果>

撮影したストロボ写真の1つを図12に示す。この軌跡を、初期位置が0.16m, 0.17mのものについてプロットする。それらのうち1つずつを図13, 14に示す。

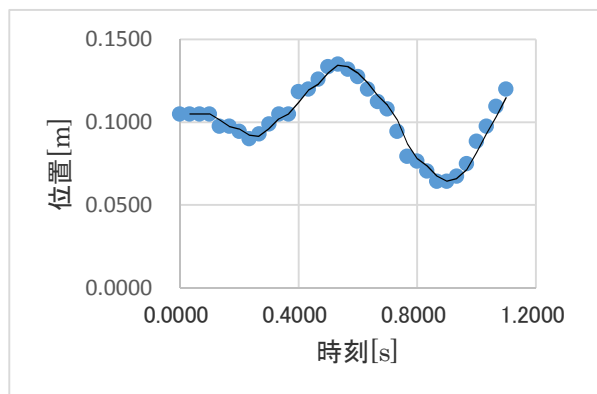


図13. ボールの時刻と位置の関係 (0.16m)

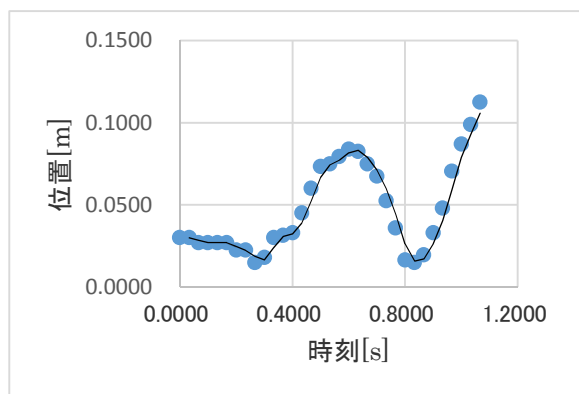


図14. ボールの時刻と位置の関係 (0.17m)

なお、0.18m以上離れた場合、2度目の接近は確認されなかった。

#### <考察>

図13, 14より、2つのボールは2度接近しながら落下することが分かる。

実験2で用いたボールは、実験1で用いたコーンよりも表面積が大きく、粘性の影響が強く表れ、その結果運動の変化が速くなり、同じ2.4mの落下幅で2度目の接近が起こったと考えられる。なお、初期の距離が0.18m以上離れると2度目の接近が確認されないのは、高さが足りないためだと考えられ

る。

### 3. 結論

空気中で2つの軽い同じコーンを同じ高さから同時に近い距離で静かに落下させると、2つのコーンは初め、互いに接近しながら落下し、最接近した後衝突することなく離れていく。これは空気の粘性によってコーンの内側と外側で流速の大きさの逆転が起こるため、コーンが蛇行すると説明できる。また、この説明で考えられる2度目の接近も、ボールで確認することができた。

また、今後の課題としては、この蛇行する運動の定量的考察、さまざまな形の模型で行うことなどが挙げられる。

### 4. 参考文献

・飯田明由 (他) , 基礎から学ぶ流体力学, 株式会社オーム社, p.246(2010).

# 消波ブロックによる消波効果

定兼康晃 草野真輔 星島貴志 深尾海太 渡谷麻奈

指導者：仲達修一

## 要 旨

本研究では、消波ブロックが設置された水槽内で波を起こし、その波の高さを測定する。消波ブロックが設置されていない時の波の高さと比較し、どれくらい波を小さくできるのか変化を検証することで、消波ブロックによりどれくらいの効果が現れるかを調べた。また、水深を 3 cm, 4 cm, 5 cm と三段階に変化させたところ、それぞれの消波率は異なっていた。その結果波が一定の高さ以上になると消波効果が小さくなることがわかった。

We tried to find out how effective our tetrapods were in making waves smaller and what size waves they were effective against. In our study we made waves in an aquarium setting up tetrapods inside and measured the heights of waves. In addition, after changing the depth of the water into 3cm, 4cm, 5cm, wave height decreased proportionally. As the result, we found that the tetrapods were effective in weakening the waves, but when the wave over a certain height, the effect became less.

キーワード：津波，消波ブロック，水平二層積形式

## 1. 序論

3 年前、2011 年 3 月に東北大震災が起こった。津波が発生し、沿岸地域に深刻なダメージをもたらした。沿岸にはたくさんの消波ブロックが設置されていたが、津波による被害を減らすことはできなかった。消波ブロックは小さな威力の連続する波に対して作られているため、大きな威力の単発の波である津波を消波することは困難である。そこで消波ブロックを使ってどのくらいの規模の津波まで効果が現れるのかを研究することにした。

## 2. 仮説

テトラポッドの高さよりも低い波であれば効果はあるが、それ以上の高さに達すると効果は現れなくなるのではないかと考えた。また、水深を変えても同様の結果が得られると考えた。

## 3. 研究内容

高さ 3 cm, 4 cm, 5 cm まで水を入れた水槽でそれぞれ波をおこし 8.6 cm の高さに水平二層積形式に積み上げた消波ブロックを通

過した後の波の高さを測定し、表とグラフを作り比較する。

## 4. 実験

### 実験 1.

＜目的＞ 木板で水を押し上げることによって作られた波が消波ブロックを通過した後の波の高さを測定し、消波ブロックなしで同様の実験を行い結果を比較する。

＜仮説＞波の高さ 8.6 cm（テトラポッドの高さ）まではペットボトルの動く距離は小さい。

＜器具＞ ビデオカメラ 2 台

消波ブロック 20 個

水槽（118.6×43.6）

ペットボトル 250g

ロープ

木板 43.2×30

定規 50 cm

画用紙 20 cm 以上

大きいビニール袋

＜実験方法＞ 水槽に高さ 5 cm まで水を入れ、測定

用の物体，消波ブロックを水平二層積形式に設置する。津波は海底が押し上げられることで発生する。本実験では木板をロープで引っ張ることで波を作る。その際，板の下に水が流れ込み波の形が崩れるのを防ぐため，水槽の内側にビニール袋を貼り付け，その下に板を設置する。波の高さをテトラポッドの5 cm手前で定規で測定する。ペットボトル (PET) の動いた距離は水槽の内側に固定した画用紙の目盛で測定する。実験を 30 回行った後，消波ブロックだけを取り除いて同様の実験を行う。



図 1：水平二層積形式

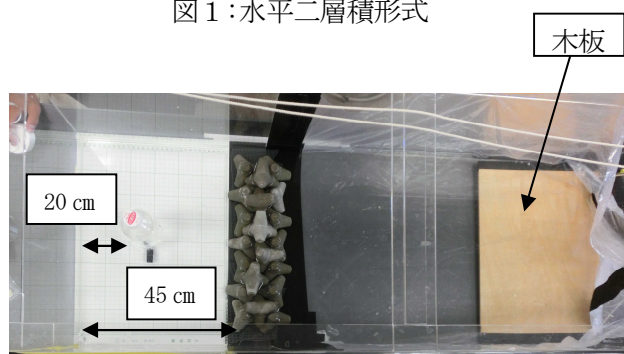


図 2：上から見た実験の様子



図 3：横から見た実験の様子

ペット  
ボトル

## <結果>

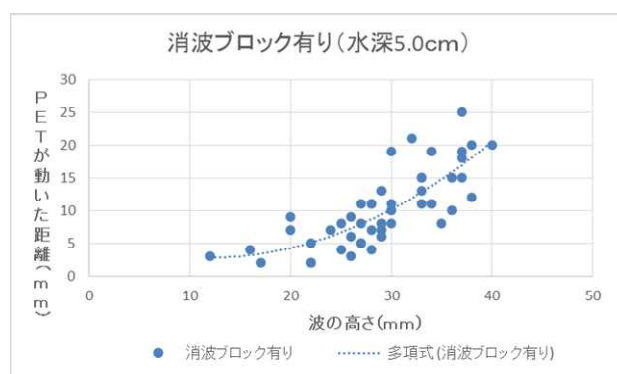


図 4：波の高さとペットボトルが動いた距離の関係  
水深 5 cm (消波ブロックあり)

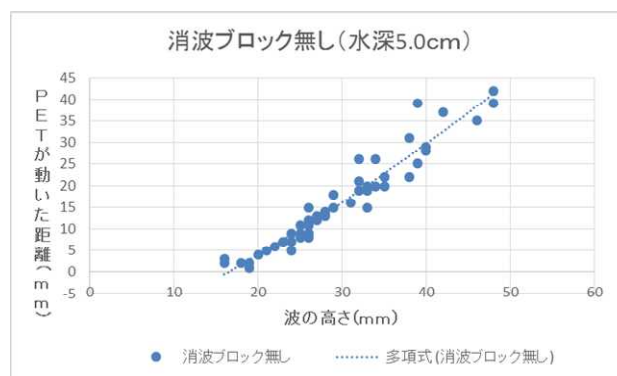


図 5：波の高さとペットボトルが動いた距離の関係  
水深 5 cm (消波ブロックなし)

## <考察>

消波率を出すために，消波ブロックがないときにペットボトルが動いた距離を $L_2$ ，消波ブロックがあるときに動いた距離を $L_1$ とし，

$$[(L_2 - L_1) / L_2] \times 100 (\%)$$

に当てはめ，この式を消波ブロックによる消波効果率と定義した。そして，グラフより算出した近似曲線の関数に波の高さ 20mm～50mm まで，5 mm ずつ区切った 7 個の値をそれぞれ代入し， $L_1$ ， $L_2$ を求めた。消波効果率をグラフに表わすと，図 6 のようになった。

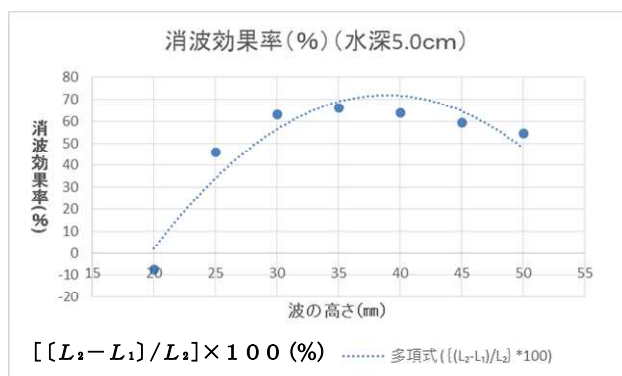


図6：波の高さに対する消波効果 水深 5 cm

消波効果率は波の高さが 35mm までは急激に大きくなったが、35mm を超えると徐々に小さくなった。それは波の高さが消波ブロックの最高点を超えたため消波効果率が小さくなったと考えられる。

#### 実験 2.

<目的> 水の高さを変えた時の影響を調べる

<器具> 実験 1 と同様

<実験方法> 水の高さを 4 cm にする以外は実験 1 と同様

<結果>

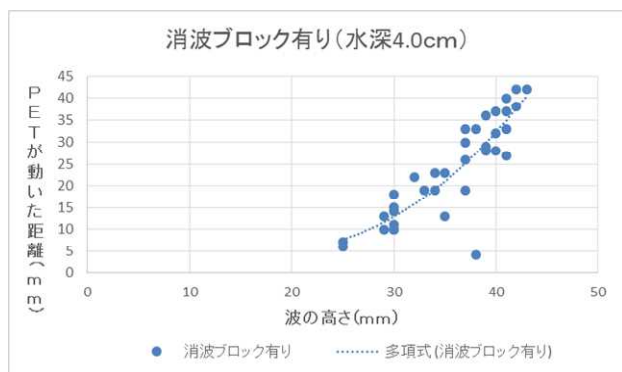


図7：波の高さとペットボトルが動いた距離の関係  
水深 4 cm (消波ブロックあり)

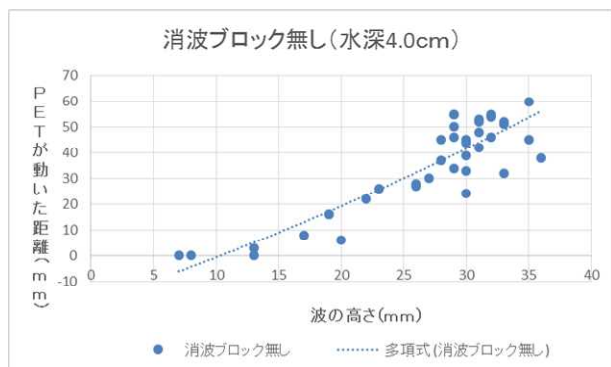


図8：波の高さとペットボトルが動いた距離の関係  
水深 4 cm (消波ブロックなし)

#### <考察>

実験 1 と同様にして消波効果率を求める式に代入すると、次のようなグラフが得られた。

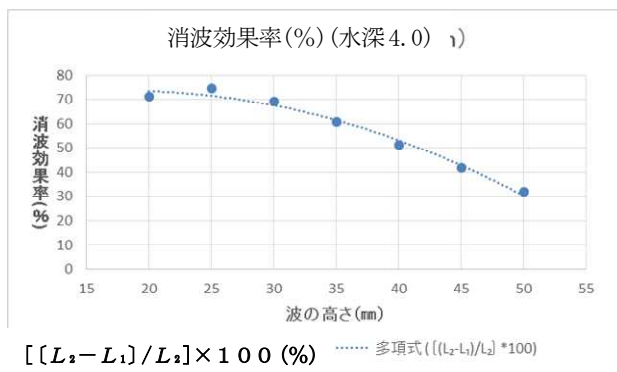


図9：波の高さに対する消波効果率 水深 4 cm  
実験 3.

<目的> 実験 2 と同様

<器具> 実験 1, 2 と同様

<実験方法> 水の高さを 3.0 cm にする以外は実験 1 と同様

<結果>

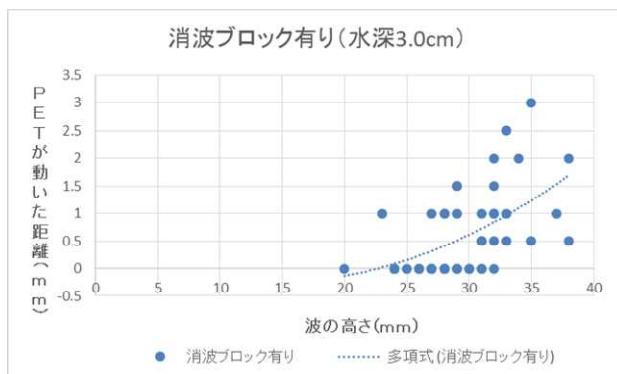


図10：波の高さとペットボトルが動いた距離の関係  
水深 3 cm (消波ブロックあり)

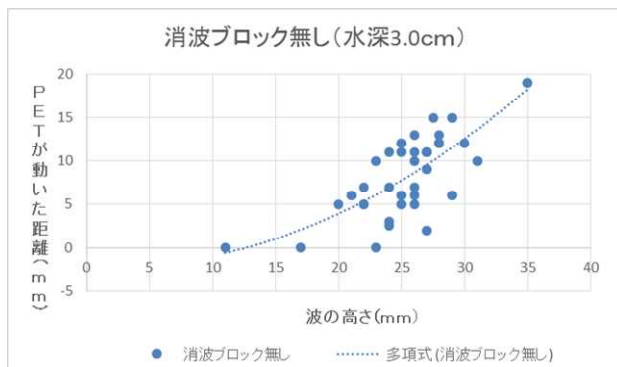


図11：波の高さとペットボトルが動いた距離の関係  
水深 3 cm (消波ブロックなし)

## <考察>

実験 1, 2 と同様にして消波効果率を求める式に代入すると、次のようなグラフが得られた。

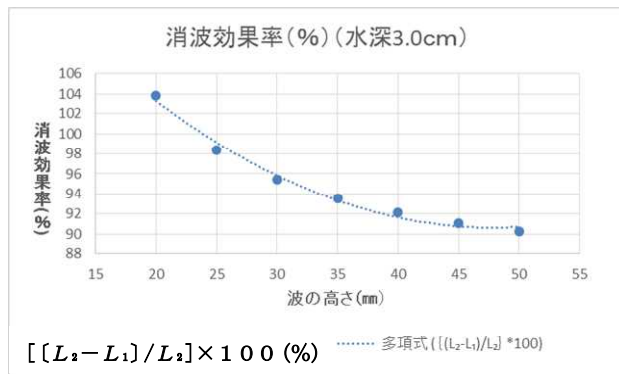


図 12：波の高さに対する消波効果率 水深 3 cm

## 5. 考察

実験 1, 2, 3 の消波効果率を示すグラフを一つにまとめ比較すると次のグラフが得られた。水深 3.0cm, 4.0cm の曲線はほぼ波の高さに高さが高くなるにつれて直線的に消波効果率が低下している。しかし 5.0cm の曲線では比較的水深が深いため消波ブロックの高さを波が超えるまで消波効果率が上昇して、曲線の中央部から減少していると考えられる。

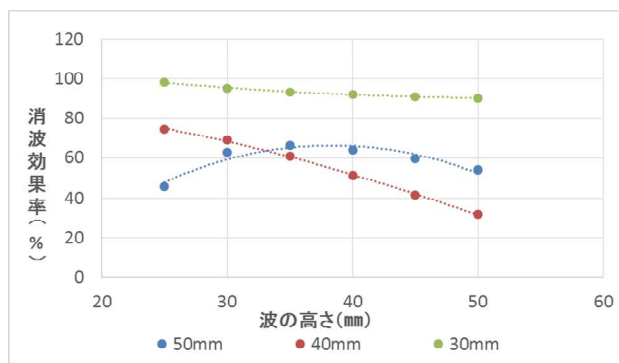


図 13：

## 6. 今後の課題

最高点までは急激に上昇したのに最高点を超えると緩やかに下がる理由を解明し、波の高さが 50mm を超えるデータを取り検証したい。

## 7. 参考文献

- 1) 株式会社不動テトラ：テトラポッド 標準断面寸法，水平二層積形式 p.13, p.15

- 2) 不規則波による消波ブロックの実験例

([www.pari.go.jp](http://www.pari.go.jp))

- 3) 図録東日本大震災での津波の高さ

([www2.ttcn.ne.jp/honkawa/4363b.html](http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/4363b.html))

# 水柱共鳴を用いた音速測定

佐伯琳々 中桐万智 西川知奈美

指導者：仲達修一

## 要 旨

高校物理の授業で音速について学び、水中の音速を実際に測定しようとしたが、水中音速測定装置は高価であると分かった。そこで気柱共鳴を応用して水中の音速測定方法を考案した。この装置は、振動数 500Hz～2000Hz で水中における音速の理論値とのずれ-45m/s(3%程度)で測定可能である。

We learned about the speed of sound in physics class in high school and tried to measure it in water. But we found that commercial devices for measuring the speed of sound are expensive. Then, we used the air column resonance and made our own device for measuring the speed of sound in water. When frequency was from 500Hz to 1500Hz, the device could measure the speed of sound in water, differing from the theoretical value by 3% (error value of -45 m/s).

キーワード：気柱共鳴， 水中の音速

## 1. 序論

私たちは高校の物理の授業で音速について学んだ。水中の音速は約 1400～1500m/s と空気中の音速約 340m/s に比べて速いことが分かった。そこで実際に水中の音速を測定したいと考えた。実験をしようとしたところ、水中で音速を測る機械は高価であることが分かった。そこで一般的な音速測定方法である気柱共鳴に着目した。気柱共鳴は共鳴点の距離から音速を求めることができるため、この気柱共鳴を水中に応用出来ないかと考えた。

そこで私たちは、高校生が簡単に測定できる測定方法の確立と装置の製作を目的とし、水中の音速測定の研究を行った。

またこの研究では気柱共鳴を水中で応用したものを、水柱共鳴と呼ぶ。

なお今回、水中の音速の文献値は文献 2) を用いた。

## 2. 研究内容

《予備実験》 管の長さを変数とする水中音速測定

《本実験》 振動数を変数とする水中音速測定

以上の実験結果をもとに水中音速測定装置を製作し、音速を測定することで、装置を評価した。

本研究の予備実験では以下の先行研究を参考にした。  
…文献 3) 引用

### 先行研究

自作の気柱共鳴管(図 1) 及び測定用の実験箱を開発し、音速と湿度の関係を調べた。統計的に測定値を解析した結果、音速と湿度には正の相関があることが示唆された。

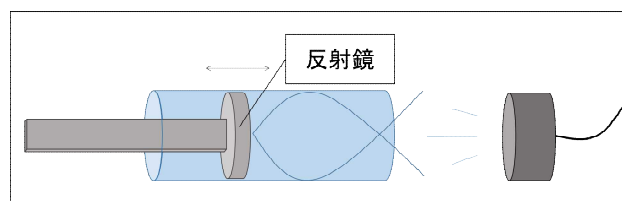


図 1 先行研究の気柱共鳴管

〈音速の求め方〉

筒内の反射鏡をスライドさせ 2 つの共鳴点を見つける。その共鳴点の差の距離は半波長の長さと同しいため公式①より音速が求められる。

波の要素の公式  $V=f\lambda$ —①

( $V$ : 音速 [m/s],  $f$ : 振動数[Hz],  $\lambda$ : 波長[m])

これを参考にして次の実験を行った。



## 予備実験

### 管の長さを変数とする水中音速測定

#### <目的>

水中で共鳴が起こるか検証する。

#### <仮説>

水中で共鳴は起こる。

## 実験 1

#### <器具>

- ・ スピーカー(音源)
- ・ 100mL メスシリンダー
- ・ 目盛が書かれた細い棒をつけた反射板
- ・ 表面がギザギザのスポンジ(反射対策)

#### <実験方法>

- ① 図2のように装置を組み立てる。
- ② 音源から 5000Hz の音を流す。
- ③ 反射板を手で上下に動かし共鳴点を耳で聞いて見つける。
- ④ 水面から反射板の距離を測定する。
- ⑤ 式①より音速を求める。

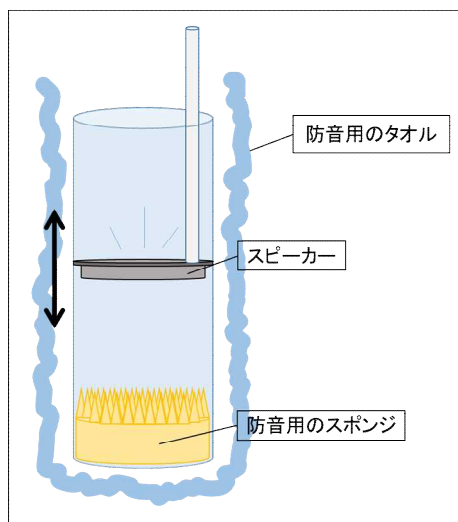


図2 実験1の装置

#### <結果>

8.8 cmと 17.8 cmで共鳴していた。しかし、音が小さく共鳴による音の大小の変化が聞き取りにくかった。

#### <考察>

二点の共鳴点の距離の差から音速を求めたところ、理論値より音速が遅かった。反射板についての細い棒が音の振動に影響を与えたと考えた。またメスシリンダーのガラスや実験台の共鳴などによる干渉があると考察した。

水中まで音が伝わりにくかったのは、空気中の音が水面で反射したためであると考えた。そこで音を水中で出して水中で、音を計測することにした。

また、より正確に測定するために、音の大きさの変化のみを測定するマイクを用いることにした。

## 実験 2

実験1-a より筒の素材をプラスチックにし、反射板は、音が反射しない側に棒を取り付け、スライドさせた。

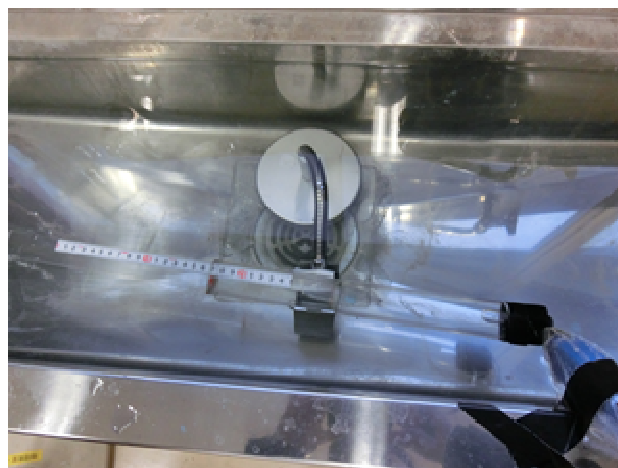


図3 実験2の装置

#### <器具>

- ・ スピーカー(音源)
- ・ マイク(イーザーセンス, 音センサ)
- ・ 水槽
- ・ アクリルパイプ(長さ 30 cm)
- ・ 風船(防水用)
- ・ ビニール袋(防水用)
- ・ 固定装置

#### <実験方法>

- ① 装置を図3のように組み立てる。
- ② 棒を動かして筒の長さを変える。

③ 第一共鳴点と第二共鳴点を測定する。

④ 式①より音速を求める。

#### <結果>

共鳴点がたくさんあり、特に 8 cm と 14 cm と 18 cm 付近で音が大きくなった。

#### <考察>

この 3 点を共鳴点だと仮定して、それぞれの組み合わせで式①より音速を求めたところ、下の表のようになった。

	第一共鳴点 [cm]	第二共鳴点 [cm]	音速 [m/s]
(ア)	8	14	451.0
(イ)	8	18	1232.4
(ウ)	14	18	781.2

(ア)と(ウ)の音速の値は理論値の半分以下で、(イ)が理論値に最も近い。このことから、共鳴点ではないのに音が大きくなっている点があると分かる。これは、筒内で共鳴以外の音の干渉が起きているためだと考えた。

そこで原因として水道台での反射、筒の長さとおさに着目した。

筒の長さについて考えると、式①より振動数 3000 Hz のときの第一共鳴点の理想値は 11.7 cm で、第二共鳴点の理想値は 34.5 cm である。よって第二共鳴点が現れる位置は筒の外側にあり、同様に 4000, 5000 Hz でも第二共鳴点を測定するには筒の長さが 40 cm 以上必要である。したがって、40 cm 以上の長さの筒を用いて実験を行うことにした。

また手を水中に入れて管の長さを変えると、水中の状態を一定に保てない。よって、水中に手を入れずに行える測定方法を考えた。

#### 本実験.

#### 振動数を変数とする水中音速測定

予備実験より水中の状態を一定にして実験を行うた

めに、入力変数を振動数に変えた。さらに筒の長さを 40 cm, 直径を 6.5 cm にした。

#### <目的>

振動数を変数とする水柱共鳴の確立。

#### <仮説>

振動数を変数とする水柱共鳴は可能である。

#### 実験 3

誤差を小さくするために、管を開管・閉管に変えて測定した。

#### <器具>

- ・ スピーカー(音源)(バイク用の防水スピーカー)
- ・ マイク(イーザーセンス, 音センサ)
- ・ 水槽
- ・ プラスチックメスシリンダー(長さ 40 cm)
- ・ 風船(防水用)
- ・ ビニール袋(防水用)
- ・ 固定装置
- ・ シリカゲル

#### <実験方法>

- ① 図 4 のように、装置を組み立てる。
- ② スピーカーから振動数を変えた音を流す。
- ③ マイクで dBA の値を読み取り音の極大値を見つける。
- ④ 式②より音速を求める。



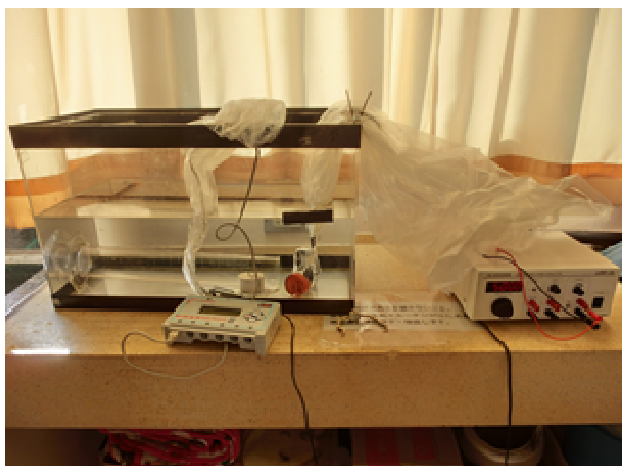


図4 実験3の装置

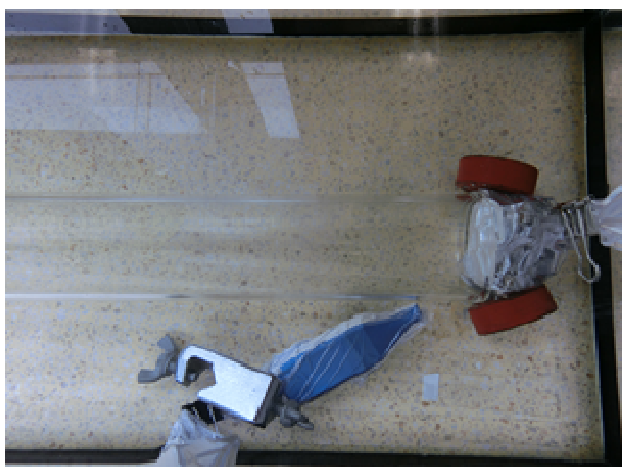


図5 水槽内の様子

きくなった。これは筒内と筒外の圧力差が小さく、音が筒を通り抜けてしまい、筒の中への反射波が少なくなるため、共鳴が起こりにくかったと考える。

開口端補正は、無視した方がうまくいった。

#### 実験4

実験3より、器具・実験方法は実験3と同様にして、閉管で開口端補正を無視して水柱共鳴を行った。

#### <結果>

0～4000Hz までの結果をまとめると以下のグラフが得られた。

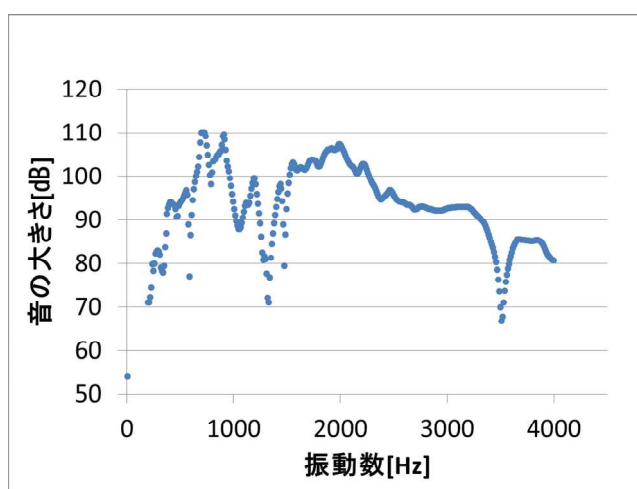


図6 実験4の結果 (0～4000Hz)

#### 式②

音の大きさ[dBA]の一つ目の極大値を第一共鳴点と仮定して、

$$\lambda = 0.40[\text{m}] \times 4$$

よって  $\lambda = 1.6[\text{m}]$

ここで公式①に  $\lambda = 1.6$  と極大値のときの  $f$  (振動数) の値を代入して、音速を求める。

#### <結果>

どちらも共鳴は見られた。

開管	閉管
1296m/s	1453m/s

#### <考察>

開管では閉管と比べ理論値 1497m/s と、誤差が大

#### <考察>

音の大きさが 2000Hz 以降急激に下がっている。また 0～500Hz は音の大きさが安定していなかったため 500～2000Hz の範囲に絞って測定をした。その結果の一つを図8に示した。

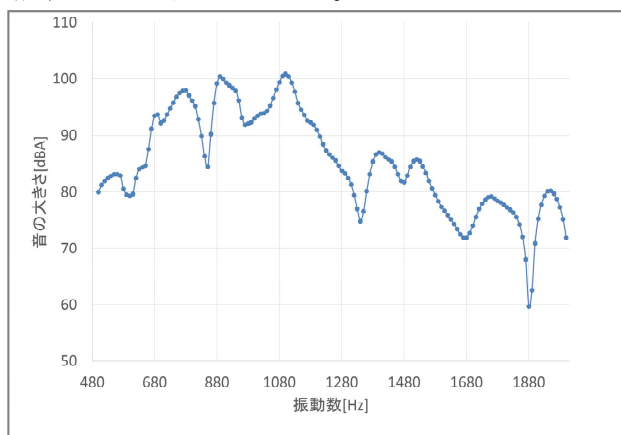


図7 実験4の結果 (500～2000Hz)

図7の極大値のみを多項式の近似曲線で表した。

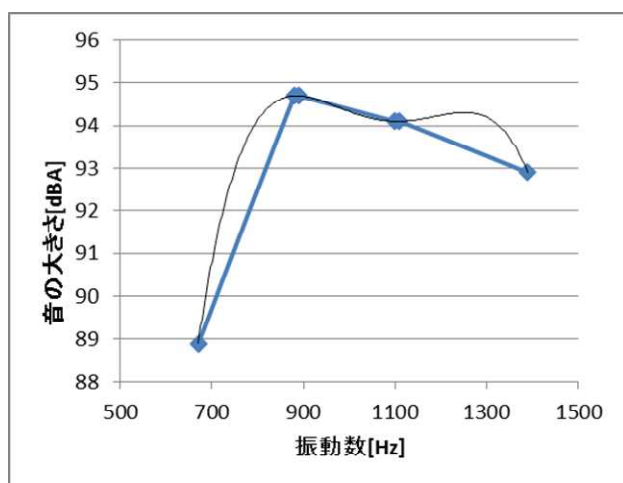


図8 極大値のみの曲線（多項式で近似）

この実験と操作を7回行った結果、7回とも800～1000Hzで第一共鳴点が見られた。

#### <評価>

7回の測定結果の平均値は908Hzとなった。よって音速は1453m/sとなり、理論値1497m/s(水温25℃)とのずれ-45m/sで測定可能である。これは理論値に対しての誤差3%程度にあたることから、この自作の測定装置での水中音速測定方法は妥当であると考えられる。

### 3. 結論

実験1～実験4において装置を段階的に改善した結果、振動数500Hz～2000Hzで水中における音速の理論値とのずれ-45m/s(3%程度)で測定可能な水中音速測定方法を考案できた。

水中は空気中よりも外的影響を受けやすいため水柱共鳴を行う際は音の反射や器具の共鳴による干渉に配慮し測定条件を揃えることが必要である。

### 4. 今後の課題

実験の回数を重ねて装置の改善をし、より再現性の高い測定方法を考案したい。そのために水以外の実験器具での音の共鳴による干渉をなくす工夫をする必要がある。

また音の反射の対策の必要性も明らかになった。

現時点で私達が考えている案は球体の中で測ることである。反射の条件を揃えられると考えた。

さらにこの研究で音速計測の機械の防水対策として、ポリエチレンの袋をかぶせた。しかし水と空気の境界で音がかかり減衰するので、ポリエチレン袋での防水はよくないと考えられる。そこで今後は水中用のマイク、スピーカーを用いてより正確な測定をしたい。

また水道水以外の他の液体でも測定したい。

### 5. 参考文献

- 1) 國友正和：物理基礎. 数研出版株式会社, pp.134-178 (2011).
- 2) The UNESCO equation: Chen and Millero (<http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/soundseawater/content.html>)
- 3) 岡山県立倉敷天城高等学校：理数科集録第12号 (2012).

# 濃硫酸と希硫酸の境界 ～脱水作用からの検証～

黒木飛斗 守屋樹 木村優樹 竹馬渚

指導者：藤原一郎

## 要 旨

濃硫酸と希硫酸の境界の濃度を検証するため、濃硫酸の性質である脱水作用に着目し実験を行った。本実験では濃度の違う硫酸を角砂糖に滴下して黒くなった部分の RGU (色の三原色である Red, Green, Blue を数値化した値で 0 に近づくほど黒くなる) を windows のペイントツールを使用して色の変化を調べたところ、定量的に 80～85% のあたりで RGU の値の変化が大きくなることが分かった。よって、脱水反応の観点から濃硫酸と希硫酸の境界は 80～85% の間にあると考えられる。

In order to check the concentration boundary between concentrated sulfuric acid and diluted sulfuric acid, we performed the experiment paying attention to the dehydrating action property of concentrated sulfuric acid. In this experiment, we put drops of sulfuric acid different in concentration to cubes of sugar. Then we checked the RGU values of the black parts of the cubes of sugar by using the Windows paint bucket tool. We confirmed a large change of RGU values up to 80~85%. So from the point of view of dehydration reaction, we concluded the boundary of concentrated sulfuric acid and diluted sulfuric acid to be between 80% and 85%.

キーワード：濃硫酸，脱水作用，RGU，角砂糖，炭化

## 1. 序論

濃硫酸の性質について学習した際、教科書<sup>1)</sup>や資料集<sup>2)</sup>には濃硫酸の性質が下記の 4 項目が記載されている。

①脱水作用があつて、有機化合物から H<sub>2</sub>O の組成で水素と酸素を奪う。

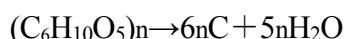
②吸湿性がある。

③熱濃硫酸には強い酸化作用がある。

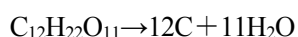
④粘性が大きい。

先行研究<sup>3)</sup>では①の脱水作用を硫酸試料溶液を付着させた「ろ紙の腐食」および砂糖 1 g に硫酸を加えたときの「砂糖の炭化」で判断し、結果は○, △, × と定性的に記載されているだけである。

ろ紙 (セルロース) と濃硫酸の反応は



ショ糖と濃硫酸の脱水反応は



で表されるが炭化したろ紙やショ糖の色を定量的に示す記述は現在のところない。

そこで濃硫酸の性質の 1 つである脱水作用について

定量的に計測し、濃硫酸と希硫酸の境界をより明確にすることを目的に本研究を行った。

## 2. 研究内容

### 実験 1. 脱水作用の色の变化

<目的>

脱水作用による角砂糖の変化を目視し、濃硫酸と希硫酸の境界を検証する。

<仮説>

濃度が小さくなるにつれて脱水作用が小さくなり炭化しにくくなる。

<薬品・器具>

濃硫酸 (和光純薬, 特級, 98%), 角砂糖 (三井製糖株式会社, 1 粒約 3.7 g), シャーレ, こまごめピペット, 精製水, ビーカー

<実験方法>

① 質量%濃度 60%・70%・80%・90%・98% の硫酸試料溶液を作る。

② 各濃度の硫酸を角砂糖に 2 mL 滴下し反応を目視する。

## <結果>

濃度が小さくなるにつれて角砂糖の色の違いがある。

## <考察>

各濃度で炭化された角砂糖の表面に違いがあったことから、色の三原色の RGU 値をとり、定量的に計測する方法を試みる。

## 実験 2. 脱水作用での RGU 値

### <目的>

各濃度における色の違いを RGU 値で示し、濃硫酸と希硫酸の境界を調べる。

### <仮説>

濃硫酸と希硫酸の境界で RGU 値が大きく変化する。

### <薬品・器具>

濃硫酸、角砂糖、シャーレ、こまごめピペット、精製水、ビーカー、電子レンジ、ホットプレート、デジタルカメラ

### <実験方法>

- ①75%, 80%, 85%, 90%, 98%の濃度で濃硫酸を作る。
- ②ホットプレートで温度 40℃に加温した状態の角砂糖を用意する。
- ③加温した角砂糖に各濃度の硫酸溶液を 2 mL 滴下し 1 分後にデジタルカメラで撮影する。
- ④色の変化を Windows のペイントツールを使用し RGU の値を測定する。

## <結果>

以下のグラフ(図 1, 図 2)は縦軸が RGU の値で横軸が硫酸の濃度である。

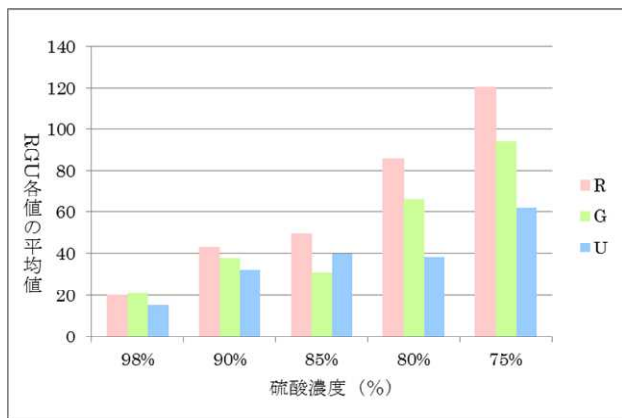


図 1 RGU 各値の平均値と硫酸濃度の関係

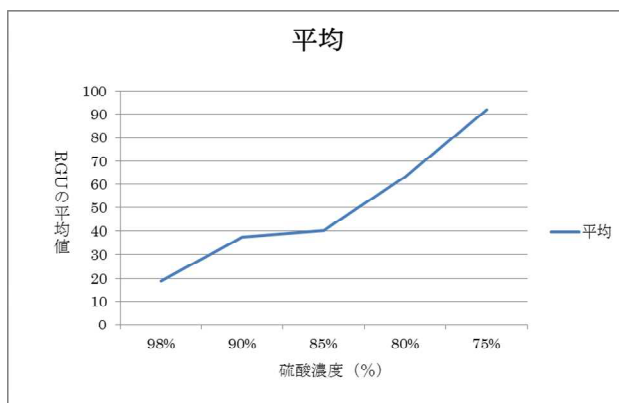


図 2 RGU の平均値と硫酸濃度の関係

上記のグラフより、85%で RGU の値が大きく変化しているから、80~85%の間に希硫酸と濃硫酸の境界があると考えられる。

## <考察>

硫酸による角砂糖の色の変化を RGU 値で示すことにより、濃硫酸と希硫酸の境界を示すことができ、80~85%の間に濃硫酸と希硫酸の境界があると考えられる。

## 3. 結論

炭化した角砂糖の色を定量化することができたので、本実験で行った手法は脱水作用において濃硫酸と希硫酸の境界を検証するのに有効であると考えられる。

## 4. 今後の課題

今回は濃硫酸の脱水作用のみでの試みであったので、他の濃硫酸の性質での検証が必要である。

## 5. 参考文献

- 1) 竹内 敬人, 小川 佳一郎: 化学・東京書籍 (2013)
- 2) 増田達男ほか: フォトサイエンス化学図録・数研出版 (2013)
- 3) 東 俊一郎, 中尾 安男: 濃硫酸と希硫酸の化学反応における境界についての実験的研究, 化学と研究 53 巻 4 号 239 (2005)

# 身近な物質を用いたタンニン酸の代用

秋山景介 室山友風 影本敦也

指導者：光嶋央貴

## 要 旨

タンニン酸は鉄が錆びるのを防ぐことができることが知られている<sup>1)~3)</sup>。タンニン酸は簡単に手に入らないので身近な物質(紅茶, 緑茶)で, タンニン酸の代用できるのではないかと考えた。実験から, 緑茶, 紅茶ともに耐食性が確認され, そのうち緑茶がよりタンニン酸に近い耐食性があると示唆された。

It is known that the rusting of iron can possibly be prevented by tannic acid. Since tannic acid cannot be easily obtained, substitute familiar materials were used (black tea and green tea). In this experiment, the corrosion resistance of black tea and green tea was confirmed. It was also suggested that green tea is the closest material to tannic acid as far as corrosion resistance property is concerned.

キーワード：タンニン酸, 耐食性

## 1. 序論

タンニン酸は, 歴史的に皮をなめすことや漆の下塗りに用いられてきた。加えて, タンニン酸には錆を防ぐ効果<sup>1)~3)</sup>があることも知られている。これは, 金属表面にタンニン酸の被膜を形成し, それが水や空気を遮断しているためである。

タンニン酸は, 我々の身近なものでは, 柿渋や栗の渋などの渋い(苦い)成分として知られている。また, 多くの植物の葉などに含まれている。

タンニン酸には多くの種類があるが, 大きく分けて2つに分けられている。

1つは, 加水分解性タンニン(hydrolyzable tannins)と呼ばれ, 酸などに加水分解されるものであり, もう一つは, 縮合型タンニン(condensed tannins)であり, 加水分解されないものである。

我々は, 一般にタンニンが多く含まれるとされる紅茶, 緑茶において, タンニン酸と同様の効果を得ること, つまりタンニン酸を身近なタンニンを含む物質で代用できるかを調べる。

## 2. 研究内容

### 実験1

#### <目的>

紅茶, 緑茶に鉄板を浸けた時に生成されるタンニン皮膜について 1%タンニン酸溶液に鉄板を浸けた時に生成される皮膜に最も近い耐食性を示す物を調べる。

#### <仮説>

緑茶が最もタンニン酸溶液に近い耐食性を示すと考える。

#### <薬品・器具>

ビーカー, デジタル温度計, ホットプレートスターラー, ガラス棒, タンニン酸(和光純薬工業株式会社), 鉄板(20×70×1 mm, 株式会社ナリカ), 茶葉(緑茶, 紅茶), お茶パック, 精製水, アセトン(米山製薬工業株式会社), 塩化ナトリウム(富田製薬株式会社)

### <実験方法>

- [1]実験に使用する鉄板の質量を計測する。
- [2]前処理として鉄板を 10 秒程度アセトンに浸けて脱脂し、自然乾燥する。
- [3]1%のタンニン酸水溶液、質量%濃度が 10%である紅茶、緑茶（紅茶、緑茶は 70℃で 10 分間抽出）をつくり、それらを 70℃に加熱し、それぞれに前処理をした鉄板を 1 分間浸ける。
- [4]腐食を促進させるため、それぞれの溶液に浸けた鉄板を、3%の食塩水に浸ける。

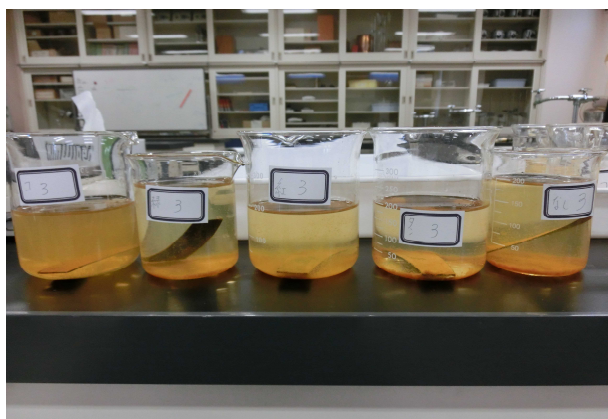


図 1 3%食塩水につけている鉄板

- [5]1日経過後、各鉄板の質量を計測し、[1]の質量との差を比較する。



図 2 処理後の鉄板

### <結果>

表 1 処理前後における鉄板の質量変化 [g]

	処理前[g]	処理後[g]	前-後[g]
タンニン酸	10.30	10.29	0.01
緑茶	10.30	10.29	0.01
紅茶	10.31	10.30	0.01

すべての場合について、処理前と処理後で質量の差は見られなかった。

### <考察>

緑茶と紅茶とタンニン酸がそれぞれ質量の変化が同じ値が出た。参考文献 4)により、食塩水中における腐食速度は塩分濃度が 3%で最大になるが、1日では変化量が少なかったと考えられる。

### 実験 2

#### <目的>

実験 1 の結果から、より明確な耐食性の差を観察することはできなかった。そこで、腐食を促進させることに使用している食塩水の濃度そのままに、1, 2, 3, 5, 7 日後の変化を観察し、経時的な変化を観察する。

#### <仮説>

長時間食塩水に浸すことにより、各サンプル間に明確な差が見られ、実験 1 での仮説を示すと考える。

#### <薬品・器具>

実験 1 と同様のものを使用する。

#### <実験方法>

実験 1 と同様の方法を用いるが、[5]について、1 日後だけでなく 2, 3, 5, 7 日後の変化も観察を行う。

#### <結果>

表 2 質量の変化量 [g]

	1日目	2日目	3日目	5日目	7日目
タンニン酸	0	-0.02	-0.02	0	-0.01
緑茶	-0.01	-0.01	-0.01	0	-0.01
紅茶	-0.01	-0.01	-0.02	0	-0.01
処理なし	-0.01	-0.03	-0.02	-0.04	-0.02

#### <考察>

質量が増えたものは鉄板の表面に被膜が形成されたことによるものであると考えられる。しかし、明確な差を見ることができなかった。



### 実験 3

#### <目的>

実験 1.2 の結果で質量変化が小さいので、より明確な差を見るために電流を流し抵抗を測る。

#### <仮説>

鉄が錆びれば抵抗は大きくなると知られている<sup>5)</sup>。よって、抵抗が小さい物ほど高い腐食性を示すものとなる。

#### <薬品, 器具>

実験 1.2 と同様の物, デジタルマルチメーター, 電源装置, 霧吹き

#### <実験方法>

アセトンで鉄を脱脂して, 霧吹きで 3% の塩水をふきかけ空気中で放置し, 1, 2, 3, 6, 7 日後の鉄に 0.50 A の電流を流し, 抵抗を測る。

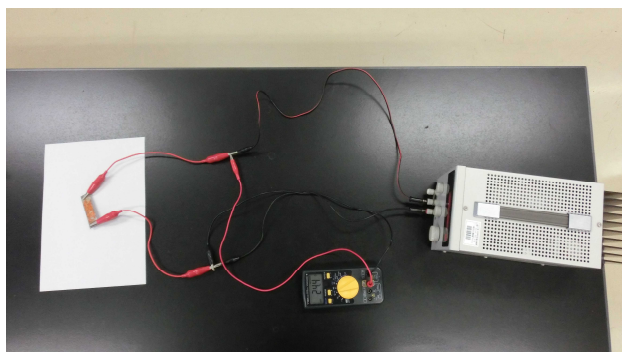


図 3 電流を流し鉄板の抵抗値を測る装置

#### <結果>

表 3 0.5A 流した時の抵抗値 [ $\Omega$ ]

	1日目	7日目	7日目-1日目
タンニン酸	17.20	27.30	10.10
紅茶	16.85	27.08	11.10
緑茶	17.38	28.48	10.23
処理なし	15.76	31.48	15.72

表 3 より, 処理なしの鉄板に比べ, 緑茶, 紅茶で処理をした鉄板は抵抗が小さかった。抵抗が小さいということはその分処理なしの鉄板に比べ腐食を防いだ。

#### <考察>

結果より, 緑茶, 紅茶で処理をした鉄板は少なくとも, 処理をしないよりは効果があったと考えられる。

### 3. 結論

実験の結果から, 質量の変化からは耐食性の効果があまり見られなかったが, 電流を流して得られる抵抗値で耐食性の差を得ることができた。身近な物質で処理した鉄が処理をしていない鉄よりもタンニン酸に近い耐食性を示した。

### 4. 今後の課題

今後の課題は, サンプルの数が少ないので同じ実験を繰り返して, 正確な値を算出することである。

鉄とデジタルマルチメーターの接触抵抗を考慮してなく, 正確な値が得られなかったので, 接触抵抗を無視して測定できる<sup>6)</sup> 4 端子法を用いて正確な値を算出する。

### 5. 参考文献

#### 1) タンニンの効用

(<http://dx.doi.org/10.6013/JbrewsocJapan1915.78.728>)

#### 2) 三原 一幸: 色材協会誌 = Journal of the Japan Society of Colour Material. 色材学会

#### 3) 渡辺 孝 川崎 博信 垂水 英一 門 智: タンニン酸処理による亜鉛の腐食抑制について. 金属表面技術 = The journal of the Metal Finishing Society

#### 4) 海水・塩水・さび ー塩分があると金属はどうしてさびやすいのか?ー

(<http://www.saltscience.or.jp/symposium/1-inoue.pdf>)

#### 5) 含水酸化鉄の導電性

([http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/40982/1/56\\_87-94.pdf](http://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/40982/1/56_87-94.pdf))

#### 6) 低抵抗の測定方法

(<http://www.iri-tokyo.jp/joho/kohoshi/tiri/>)

gijutsu/documents/tn20080303.pdf)



# 油脂で培養したコウジカビによるデンプンの分解性維持

柳井祐美 大嶋萌永 小野蒼生

指導者：大橋崇

## 要 旨

米コウジのコウジカビはデンプンやタンパク質を分解し、糖やアミノ酸に分解することはよく知られている。文献調査により、油脂(脂質)も分解することを知ったので、ゴマ油およびベニバナ油を含む寒天培地を用いて、米コウジのコウジカビを培養したところ、良好な生育を示した。そして、そのコウジカビがデンプン分解性を維持していることを確認した。一部の条件においては、より効率良くデンプンを分解することが分かった。

It is known well that *Aspergillus oryzae* can break down starch and protein. And, according to our reference materials, it is said that *Aspergillus oryzae* can break down oils, so we tried to culture it by using a growth medium of agar including sesame oil and safflower oil. Then, *Aspergillus oryzae* multiplied well in this medium. We verified that *Aspergillus oryzae* maintained the degradation. In some conditions, we found that the *Aspergillus oryzae* can break down starch efficiently.

キーワード：コウジカビ，油脂，デンプン，ヨウ素デンプン反応

## 1. 序論

コウジカビに油脂を主栄養源として与え培養することができるのか実験し、そしてそのコウジカビがデンプンの分解性を維持するのか調べた。

### <器具>

ビーカー，クリーンベンチ，マイクロピペット，恒温器，精製水

## 2. 研究内容

### 実験Ⅰ.

#### <目的>

コウジカビに油脂を主栄養源として与え培養することが出来るか調べる。

#### <仮説>

コウジカビは油脂を分解するという文献もあることから、コウジカビは油脂を主栄養源として与え培養することが可能である。

#### <薬品等>

種コウジ，シャーレ，LB寒天培地，ベニバナ油，ゴマ油



図1 実験に要した材料および器具①

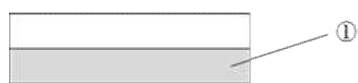
### <方法>

① 精製水 100mL を熱しながら，LB 寒天培地(粉末) 1.5g を溶かす。

② ①の水溶液を3つのシャーレA，B，Cに10mL ずつ分注する。

③ ②の3つのシャーレを以下のようにして培地を作った。

A...①のみ



B...①+ゴマ油



C...①+ベニバナ油

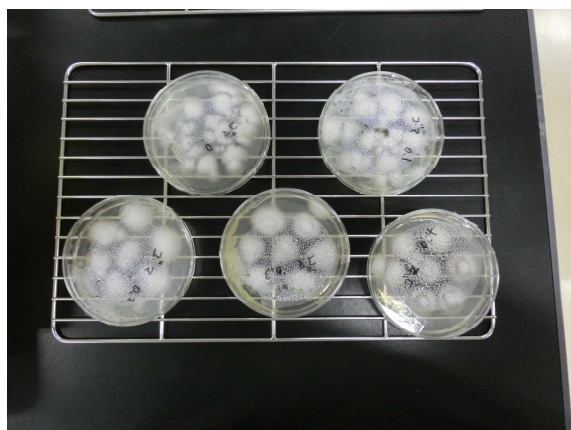
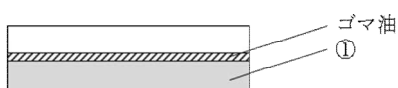


図2 コウジカビの繁殖の様子

<結果>

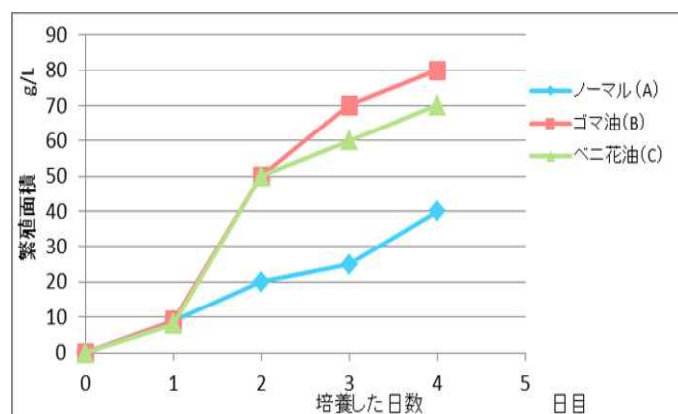


図3 コウジカビの繁殖量の差

油脂を培地に加えた状態でもコウジカビが繁殖した。さらにこの実験の結果、油脂を加えた培地で培養したコウジカビの方が油脂を加えなかった培地で培養したものよりもよく繁殖することが分かった。

<考察>

コウジカビは油脂を培地に加えて培養した方がよく繁殖すると言える。

そこで、私たちはコウジカビがデンプンを分解することに注目し、油脂を加えた培地で培養したものであっても、デンプンの分解性を維持することが出来るのか調べてみることにした。これを実験Ⅱとする。

実験Ⅱ.

<目的>

実験Ⅰで繁殖したA, Bのコウジカビによるデンプンの分解量をヨウ素デンプン反応を用いて発色させ、440nmにおける波長で吸光度を測定する。またその吸光度より、ヨウ素反応によるデンプン濃度検量線を用いてデンプン濃度を測定する。

<仮説>

実験Ⅰの結果よりコウジカビに油脂を主栄養源として与えても培養できることが分かったので、デンプンを分解すると思われる。

<薬品等>

溶性デンプン（粉末）、ヨウ素液

<器具>

マントルヒーター、試験管、綿栓、吸光度計、ビーカー

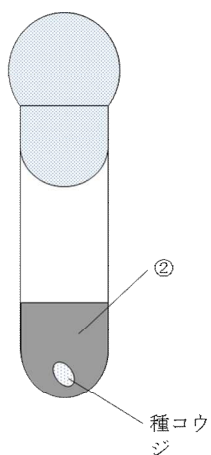


図4 実験に要した材料および器具②

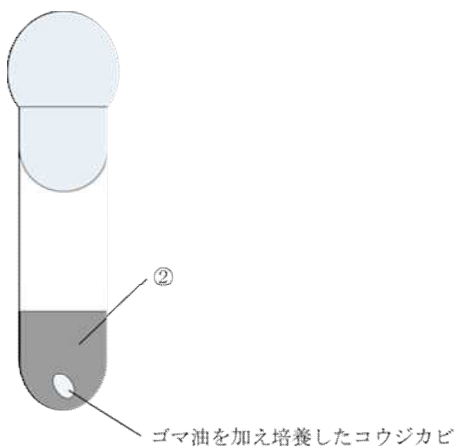
<方法>

- ① 溶性デンプン 0.1g を 100mL の精製水に溶かし、デンプン水溶液を作った。
- ② ①を約 95℃（沸騰直前）まで熱した。
- ③ ②を 2 本の試験管 D, E にそれぞれ 10mL 量り取った。
- ④ 2 本の試験管を以下のような状態にした。

D...②+種コウジ(市販のもの)



E...②+ゴマ油を加えた培地で育ったコウジカビ



※この 2 種類の試験管をそれぞれ 5 本ずつ作った。



図5 液体培養の様子

- ⑤ 1 日ごとに D, E の水溶液をヨウ素デンプン反応を利用して発色させ、440nm における吸光度を測定した。

《吸光度の量り方》

- ① D, E の試験管内の溶液をそれぞれろ過した。
- ② ろ過後の水溶液にそれぞれ 1.0mol/L ヨウ素液を 2μL 加え、440 nm で吸光度を測定した。



図6 吸光度計によるヨウ素反応の確認

- ⑥ 濃度検量線を作成する為に 0.1, 0.2, 0.3, 0.4g/L のデンプン溶液を 440 nm で吸光度を測定した(このデータを図 7 とする)。この測定値と⑤の測定値を比較し、D, E のデンプン濃度を求めた。

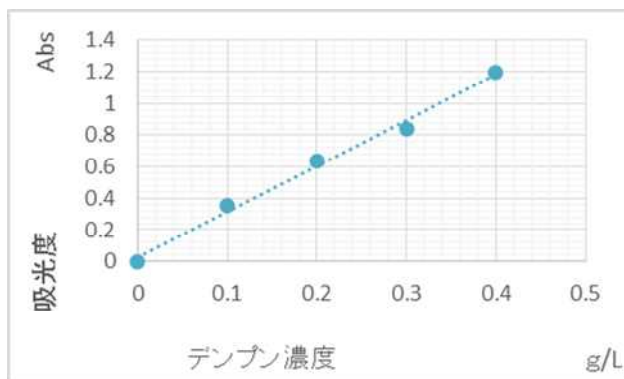


図7 ヨウ素反応によるデンプン濃度検量線

### <結果>

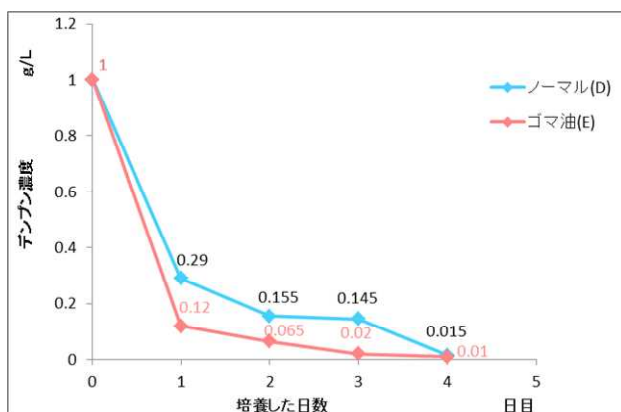


図8 デンプンの分解濃度

図8より、ゴマ油を主栄養源として与え培養したコウジカビの方がよくデンプンを分解していることがわかった。

### 3. 結論

実験Ⅰより、コウジカビは油脂を主栄養源として与えて培養した方がよく繁殖することが分かった。また、実験Ⅱより油脂を主栄養源として与えて培養したコウジカビもデンプンの分解性は失わないことも分かった。さらに、油脂を主栄養源として培養したほうがより多くのデンプンを分解することも明らかとなった。

### 4. 今後の展望

今後は、バニ花油を主栄養源として培養したコウジカビでもデンプンの分解性を維持するのか調べたい。

### 5. 参考文献

- 1) 戸井田ら：日本醸造協会誌，麹菌リパーゼ高生産株の育種とみその試験醸造，106（7），pp.457-461（2011）.
- 2) 鈴木ら：油化学，ゴマ油の呈色反応と検出，pp.166-168（1983）
- 3) Jinichi TOIDA ら：Biosci. Biotechnol. Biochem., Purification and Characterization of Triacylglycerol Lipase, 62(4), pp.759-763, (1998)
- 4) 和田ら：第 62 回目日本生物工学会大会，麹菌 *Aspergillus oryzae* を用いた BDF 生産用各種リパーゼの高生産
- 5) 喜田ら：日立化成テクニカルレポート，油分解能を有する微生物を用いた厨房廃水処理システム, 46, (2006)



# スクミリンゴガイの捕集トラップに応用できる音(周波数)データの収集

横田智弘 足立旭

指導者：野津俊朗 洲脇清

## 要 旨

淡水巻貝スクミリンゴガイは南米原産の外来生物であり、1980年代前半に食用のためアジア各国に持ち込まれたが、野生化した貝が生育初期の稲を食害し、本校周辺の水田でも大きな問題になっている。本研究では、スクミリンゴガイの効果的な駆除方法について検討することを目的とした。今回は、光・色・音の3つに焦点を絞り、スクミリンゴガイをひとつの場所に集めることに重点をおいた。1. 明暗を分けた装置の中では多くのスクミリンゴガイが暗いほうを好むことが分かった。2. 色の三原色を用いた実験では、スクミリンゴガイが好む色について特定することはできなかった。3. 音を用いた実験においては、800Hzの音は好まないことが分かった。

Freshwater snails *Pomaceacaniculata* originally came from South America, but was brought to Asian countries for food in the first half of the 1980s. This feral shellfish is causing damage to the early stage of growth of rice, becoming a major problem in paddy fields around our school. The purpose of this study, is to find out an effective method of combating *Pomaceacaniculata*. This time the focus on light, color, and sound, with an emphasis on collecting the *Pomaceacaniculata* in our place. 1. Inside the device which divided areas bright and dark we found that a lot of *Pomaceacaniculata* dark. 2. In experiments using three primary colors, it was not possible to identify the color they prefer. 3. In the experiments with sound, we also found out that they did not like sound waves with 800Hz frequency.

キーワード：スクミリンゴガイ (*Pomaceacaniculata*)、外来生物、光、音、色

## 1. 序論

まず、スクミリンゴガイについてだが、この生物は通称ジャンボタニシの名で知られている。分類学上では、軟体動物腹足類タニシモドキ科に位置した甲殻類であり、またこの貝の食性は広く、主に水田雑草のウキグサ、セリ、アゼナ等を好んで食べ、各種植物とも発芽期の幼植物や軟らかい植物を好んで摂食する。よってこの種の雑草植物がないとイネ稚苗、レンコンの浮葉を食害する(図1)など様々な農作物に被害が出ている。また、ピンク色の卵(図2)が用水路などの美観を汚している。スクミリンゴガイの防除方法としては、耕種的な被害回避法として浅水管理・成苗植え・水路からの貝の侵入防止、化学的防除法、生物的防除法など、多くの研究や実践が行われているがどの方法も絶大な効果は得られ

ていないのが現実である。そこで我々は水田内、用水路などの卵塊やスクミリンゴガイの駆除をすべく、できるだけ多くスクミリンゴガイをひとつの場所に集める捕集トラップに応用できるデータの検証に焦点を置くことにした。



図1 食害の様子

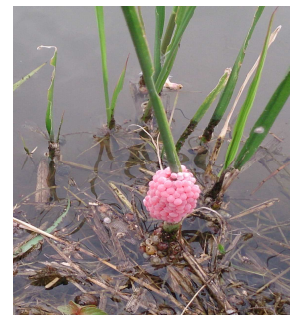


図2 ピンクの卵

## 2. 研究内容

- (1) 明暗による行動変化(予備実験)
- (2) 色の三原色による行動変化(予備実験)
- (3) 音による行動変化(本実験)

### 予備実験 1.

＜目的＞実験3の環境整備の為、参考文献より「スクミリンゴガイは夜行動する」<sup>1)</sup>と述べられており、本研究(3)の実験を進めるため、スクミリンゴガイがどのような明るさを好むか調べることにした。

＜仮説＞「スクミリンゴガイは夜行動する」という説から暗い場所を好み、昼間の明るさではなく、月夜の明るさを好む傾向があるのではないかと考えられる。

＜薬品・器具＞円形水槽(直径30cm、深さ14cm)、黒画用紙、LEDライト、インキュベーター

＜実験方法＞恒温機の設定温度を28.3℃とし、10分間約0.9lxの光を当てた後、2000lx(装置の限界)の光を当てスクミリンゴガイが20分後、半分を黒い画用紙で覆った水槽(図3)の中でどのような行動の変化がみられるか調べる。



図3 明暗実験の様子

### ＜結果＞



図4 明暗実験の結果

＜考察＞図4より、ほとんどのスクミリンゴガイが黒い画用紙の下の暗いほうを好むことから、実験時においては約0.9lxの光の中で観察することとした。

### 予備実験 2.

＜目的＞実験3の環境整備のため、実験1の結果より、スクミリンゴガイは明暗を感じて行動することは分かったので、本実験では色を感じて行動することができるのか、調べることにした。

＜仮説＞スクミリンゴガイが好む植物は緑色のものが多いことから、緑色に集まる傾向があるのではないかと考えられる。

＜薬品・器具＞円形水槽(実験1と同一規格のもの)、赤色画用紙、緑色画用紙、青色画用紙、LEDライト、インキュベーター

＜実験方法＞恒温機の設定温度を28.3℃とし、光源を0.9lxとしてある。「色の三原色」である赤(Red) 緑(Green) 青(Blue)の3色の色画用紙を2色ずつ組合せ(図5)スクミリンゴガイのいる透明の水槽の底面、側面に貼り、30分後どのような行動の変化がみられるか調べる。

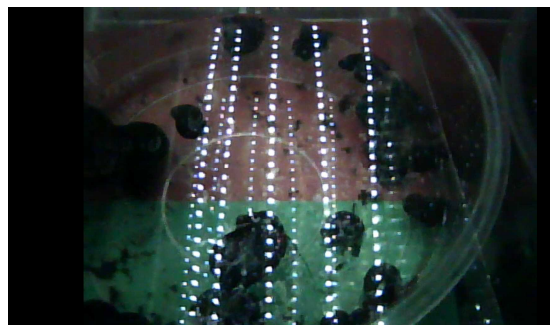


図5 色彩実験の様子

### ＜結果＞

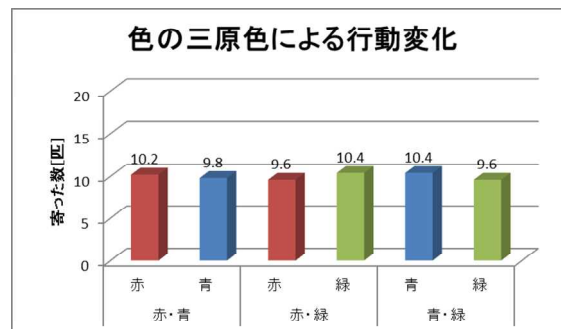


図6 色彩実験の結果

＜考察＞図6より、全体的に色による偏りがないため、3原色に対する反応はないと考えられる。このことより色付きトラップへの応用はできないと考えられる。

#### 本実験.

＜目的＞参考文献より音については「スクミリンゴガイの摂食時の咀嚼音（144Hz）に反応する。」<sup>2)</sup>ということが実証されている。そこで我々は他の音(周波数)についての詳細を調べることにした。

＜仮説＞周囲の環境を音によって把握しているのであれば、144Hz以外の音に対してもなんらかの反応がみられると考えられる。また、好む音だけでなく、嫌いな音もあるのではないかと考えられる。

＜薬品・器具＞白色アクリル板、シリコンボンド、スピーカー、左右音声チャンネル（ソフト）、インキュベーター、LEDライト



図7 白色アクリル水槽

＜実験方法＞気温は28.3℃とし、光源を0.9lxと設定してある。色による行動変化を避けるため、白色アクリル板を用いた水槽（縦30cm×横50cm）（図7）を用意し、水槽の右端または左端のどちらか一方から100Hz～1000Hz音を流し、30分後どのような行動の変化がみられるか調べる。（図8, 9, 10）



図8 実験に使用したインキュベーター



図9 実験器具



図10 実験開始時の様子

#### ＜結果＞

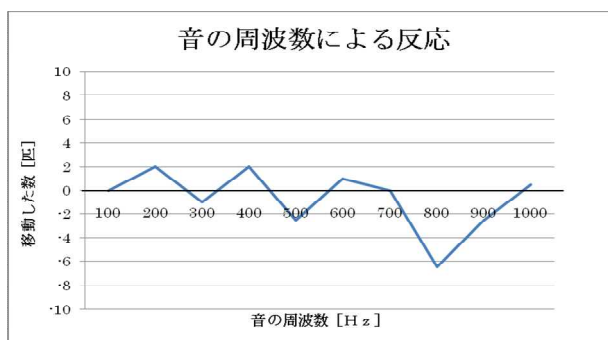


図11(音実験の結果)

＜考察＞（図11）より、800Hz以上の音は好まないことが分かった。

#### 追加実験.

##### ＜目的＞

本実験で得られた結果より800Hz付近に著しい反応がある事が分かった。そこで、800Hzに焦点を絞り回数を重ねても正しい結果が得られるかどうかを検証する。

＜仮説＞本実験と同じ結果が得られる。

<結果>

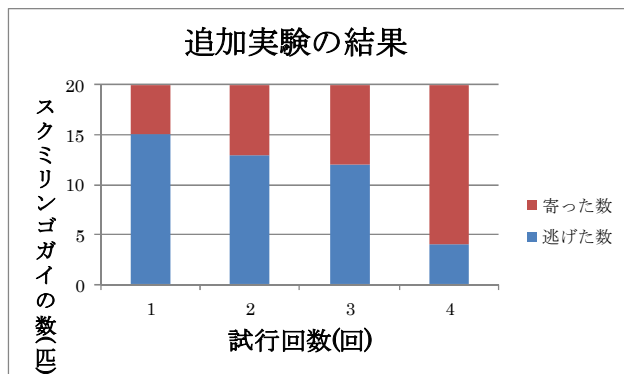


図 12 追加実験の結果

<考察> (図 12) より 4 回実験したうち 3 回は本実験と同じ結果が得られた為この結果は妥当であると考えられる。

### 3. 結論

実験により、音については参考文献で述べられている周波数だけでなく、新たにスクミリンゴガイの行動に何らかの影響を及ぼすと考えられる周波数を確認することができた。これらの事より、捕集トラップの応用においては、トラップ内を暗く設定すると捕集効果が上がるが、トラップに色を付けても捕集効果は期待できないことが考えられる。また、音に関しては、最も反応が大きかった 800Hz 付近では、音源より逃げる結果が出たため、捕集トラップへの応用は出来ないことがわかった。しかし、この結果より、800Hz 付近の音から逃げる様な反応を示すことから、水田の取水口に装置を設置して水田への侵入を防ぐなどの応用が可能であると考えられる。

#### \*謝辞

本校周辺の住民の方には、本研究に当たり、スクミリンゴガイの採取及び被害状況の調査に多くのご協力とご理解を頂き、ありがとうございました。

### 4. 参考文献

1) 遠藤由美子, スクミリンゴガイ

(*Pomacea canaliculata*)における摂食誘引物質の特定と日周行動, 岡山理科大学理学部 卒業研究発表会 研究資料

2) [http://ci.nii.ac.jp/els/110001090029.pdf?id=ART0001246578&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order\\_no=&ppv\\_type=0&lang\\_sw=&no=1411577192&cp=](http://ci.nii.ac.jp/els/110001090029.pdf?id=ART0001246578&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1411577192&cp=)



# ゾウリムシの重力走性と電気走性の優先度の比較

平田結風 黒石悠太 石本練 植野竜生 早川輝

指導者：野津俊朗 洲脇清

## 要 旨

ゾウリムシは原生生物であり、走性を持っている。走性とは、生物がある刺激に対して方向性を持つ反応をする行動である。電気に反応するならば電気走性、重力に反応するならば重力走性と表記される。走性には電気走性、重力走性、化学走性、光走性、温度走性等が知られている。本研究では、重力走性と電気走性に着目、比較して研究した。その結果、ゾウリムシがどちらの走性を優先するかの条件が明らかとなった。

We tried to perform an experiment about Taxes of *Paramecium caudatum*. Taxis is the movement of an entire cell or organism in response to an external stimulus. *Paramecium* has different kinds of taxes. Some of these are chemotaxis, phototaxis, gravitaxis, thermotaxis, and electrotaxis. Our purpose is to find the hierarchy (highest to lowest) of three taxes in *Paramecium caudatum*. As a result, we found out that electrotaxis is stronger than the other two taxes.

## 1. 序論

ゾウリムシにはいくつかの走性があることが確認されている。また、走性には方向性があり、刺激の方向に向かってくる反応を正の走性、刺激の方向から離れる反応を負の走性という。私たちは重力による刺激に対する走性(以下、重力走性と表記)に関心を持った。一般的に、ゾウリムシは水面付近に集まることから、負の重力走性を持つと考えられているが、水中の酸素濃度、光や餌の量など、他の要因がかかわっている可能性を考慮し、実験を行った。さらに、ゾウリムシは同時に与えられた複数の刺激に対して、走性の優先度があるのかを明らかにするための実験を行った。

## 2. 研究内容

ワラの煮出し汁を用いてゾウリムシを培養し、5～10匹/10 $\mu$ Lの溶液(以下、ゾウリムシ液と表記)を作成し、これを用いて実験を行った。

まず、平常時にゾウリムシが水面付近に集まることを確認した。そして様々な条件制御を行い、ゾウリムシがどのような刺激に反応して行動しているのかを明らかにした。図1はゾウリムシの平常時の動きを示したものである。

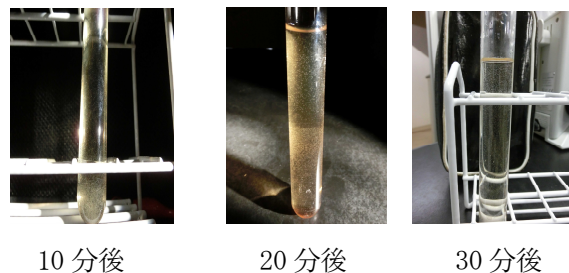


図1 平常時のゾウリムシの動きの様子

ゾウリムシは肉眼で見ることが可能だが、肉眼で密度を測定することは不可能なため、精密に密度を測定できる方法を考えた。

### 予備実験.

#### <目的>

ゾウリムシの密度を測定する。

#### <方法>

- ① 実験箇所(走性の刺激の近く)のゾウリムシ液10 $\mu$ Lをマイクロピペットでとり、液中のゾウリムシの個体数を数える。(図2)
- ②①の操作を10回ずつ行い、平均値を出す。

#### <結果>

この方法を用いると、実験箇所を含む各場所でゾウリムシの密度をより正確に測ることができたことから、この方法を用いて実験を行った。



図2 予備実験の様子

### 実験1

#### <目的>

重力走性が圧力による刺激に対する反応であることを明らかにする。

#### <実験方法>

- ① 1L ビーカーに 200mL のゾウリムシ液を用意する。
- ② ①を回転台上の中心から 15 cm の地点に置いて 10 分間回転させる。(図3)



図3 行程②の様子

- ③ ビーカー内を図4のように(A), (B), (C) の領域に分け、それぞれの地点から  $10\mu\text{L}$  の検体を 10 個取りその密度を計測する。(図4)
- ④ ②, ③の操作を繰り返し、最終的に出た値を(A), (B), (C) の領域それぞれにおける平均値を出す。

#### <結果>

- (A) 4.6 匹/ $10\mu\text{L}$
- (B) 2.0 匹/ $10\mu\text{L}$
- (C) 7.1 匹/ $10\mu\text{L}$

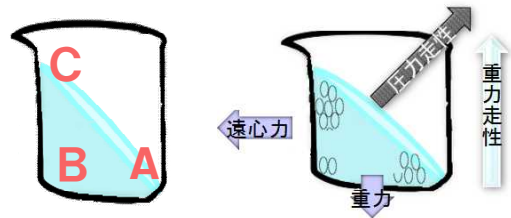


図4 ④の領域分け 図5 実験後の検体の分布  
<考察>

- ① (C) の値が最多であったことからゾウリムシは圧力に反応して負の走性を示す。(図5)
- ② (A) の値が(B) の値より大きかったのは、(A) の方が高い位置にあるからであると思われる。  
よって、水圧にも負の走性を示すと考えられる。  
ゾウリムシは重力走性の影響も受けているが、重力走性は圧力走性も含んでいる。

### 実験2

#### <目的>

ゾウリムシが走性の優先度を持つことを明らかにする。

#### <実験方法>

- ① 上層部に電源装置の正極、下層部に負極を配置する。
- ② 電気をゾウリムシ液に通し、10 分後に上層、下層それぞれのゾウリムシの数を測定する。



図6 実験2の様子

### <結果>

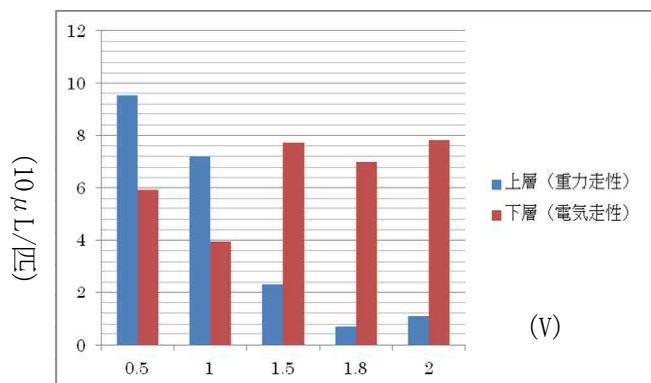


図7 ゾウリムシの位置別割合

ゾウリムシは1Vまでは重力走性を優先し1.5V以上では、電気走性を優先した。

### <考察>

ゾウリムシは走性の優先度を持つ。

重力1Gに対して、集まる個体数が等しくなる電圧の値は1.0V～1.5Vの間にあることが分かった。

## 3. 結論

遠心力を重力に入れない場合、圧力走性は重力走性の一部とわかった。

また、ゾウリムシは重力と電気の刺激を10分間、同時に受けた場合、1.5V以上の際、電気走性を優先することがわかった。これは、ゾウリムシの繊毛運動が電場により鋭敏に反応するからだと考えられる。

## 4. 今後の課題

さらに数値を正確に絞るために新たな実験方法を考案し実行する。また、温度走性の有無、正負を確認し、電気走性、重力走性と比較すること、化学走性の数値化をすること、実験1においてゾウリムシが集団で同時に移動した理由を明らかにすること、試験管に入れた場合とビーカーに入れた場合との移動の速さの違いについて明らかにすることなどが挙げられる。

## 5. 参考文献

1) ゾウリムシの電気走性と行動

岡山県立玉野高等学校 宮崎武史

([www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/h17\\_06.pdf](http://www.toray.co.jp/tsf/rika/pdf/h17_06.pdf))

2) ゾウリムシの電気走性 鹿児島県総合教育センター

([www.edu.pref.kagoshima.jp/curriculum/rika/kou/jikken/.../page06.htm](http://www.edu.pref.kagoshima.jp/curriculum/rika/kou/jikken/.../page06.htm))

# ナメクジの粘液によるカビや細菌に対する繁殖抑制作用

藤原莉奈 難波逸月 松尾桃子

指導者：野津俊朗 洲脇清 湯本啓太

## 要 旨

ナメクジは、さまざまな環境下に生息している。その環境の中には、栄養分に富んでいる場所も存在するが、反対に細菌が多い場所も存在する。そのためナメクジは、菌の繁殖を抑制するための働きがみられるはずである。そこで、ナメクジの粘液を混合した寒天培地での空気中のカビや細菌に対する繁殖抑制作用を観察した。その結果、粘液に繁殖抑制作用があることが分かった。

Slugs can live in various environments. In an environment there is also an area rich in nutrients, but the location where a lot of bacteria can be found is also present. For this reason we thought that a slug should have the ability to sterilize or control the spores of bacteria or mold. Agar medium mixed with the slug's mucus was prepared and it was observed how it had control on bacteria and mold in the air. As a result, it turned out that the viscous liquid (mucus) has a controlling action.

キーワード：粘液，殺菌・抑制作用，ナメクジ，カビ・細菌の孢子，寒天培地

## 1. 序論

ナメクジの粘液には、カビ・細菌を殺菌したり抑制したりする作用があると想定し、粘液を混合した寒天培地と何も混合していない寒天培地でのカビや細菌の繁殖の仕方の違いを比較し検証する。

## 2. 研究内容

### 検証実験

### ナメクジの粘液の取り方

ナメクジは粘液を出しながら這っている。しかし、這った後の粘液を大量に採取するには、多くの時間を要する。そのため効率よく粘液を採取するため電気刺激をあたえてみたところ短時間で一度の実験で必要な量の粘液を取りだすことができた。

1. ナメクジを捕獲する。
2. 1匹1匹丁寧に、少量の蒸留水をかけて体に付着した土を落とす。
3. 電源装置を使ってナメクジが死なない程度(本研究では、約10V)の電気刺激をナメクジに与える。

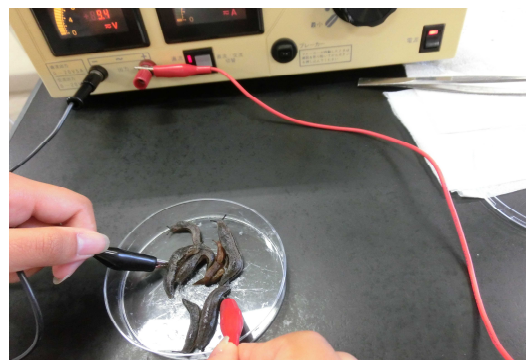


図1 ナメクジに電気刺激を与えている様子

### 実験1.

＜目的＞ナメクジの粘液にカビや細菌を殺菌したり抑制する作用があるかないかを明確にさせるため。

＜仮説＞ナメクジの粘液は、生体防御の方法の一つである。よって粘液を混ぜた寒天培地は何も混ぜていない寒天培地に比べ、カビや細菌があまり繁殖していない。

＜薬品・器具＞薬品：Agar，乳糖ブイヨン培地「ダイゴ」，ナメクジ

器具：1L ビーカー，300mL ビーカー，プラスチックシャーレ，スターラー，ガラス棒，薬包紙，電子天秤，薬さじ，パラフィルム，温度計



<実験内容>ナメクジの粘液入りの寒天培地と何も混ぜていない寒天培地とでカビや細菌の繁殖状態を比較する。

- ① 寒天培地をつくる過程で培地が約45℃の時点で、ナメクジの粘液入りの培地と何も混ぜていない培地を作る。
- ② 約45℃を保ち、約10分間十分溶かす。
- ③ その後均等に粘液入りの寒天培地と何も混ぜていない寒天培地を分け入れ、空気中のカビや細菌を取り入れる。

<結果>粘液有りの寒天培地は粘液無しの寒天培地と比べ、カビがあまり広がっていなかった。

<考察>粘液なしの寒天培地ではシャーレに全体的にカビが繁殖しているのに対して、粘液ありの寒天培地には、カビがポツポツと繁殖していた。

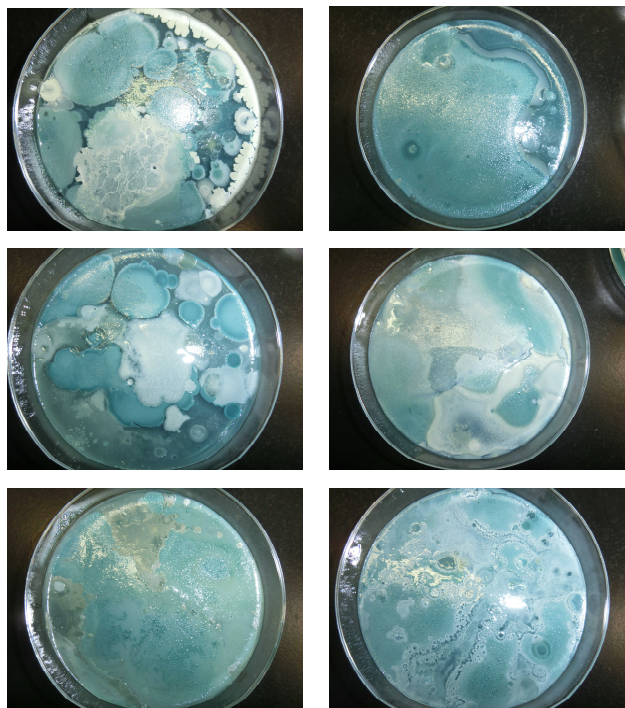


図2 粘液無しの寒天培地

—粘液が入っていないため、  
カビが多く繁殖したと思われる—

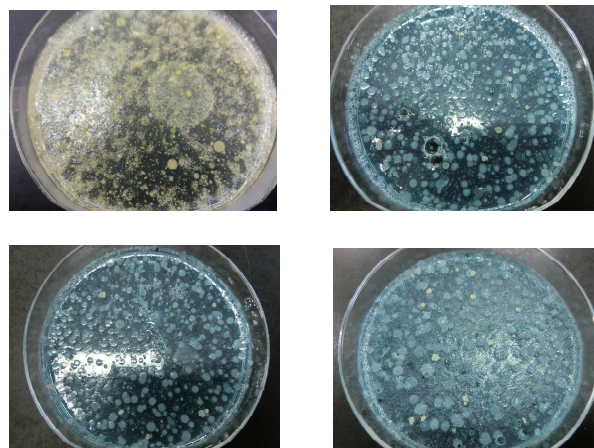
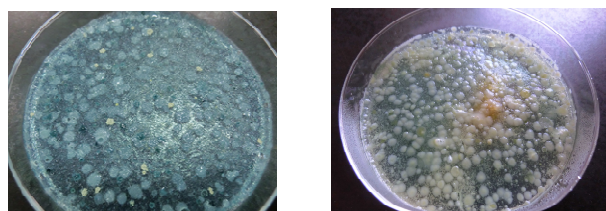


図3 粘液ありの寒天培地  
—抗体作用がみられた—

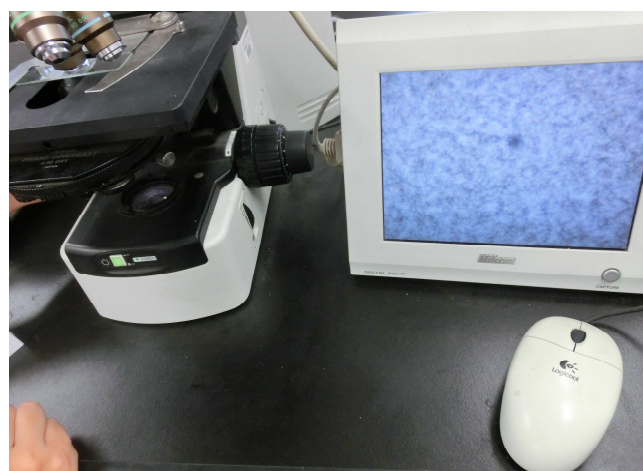


図4 顕微鏡の1画面の大きさの様子

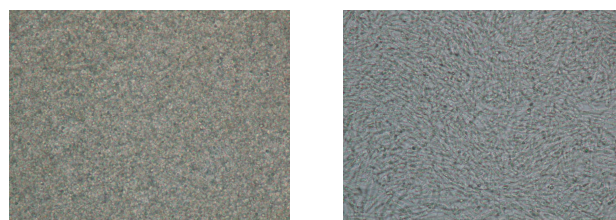


図5 何も加えていない場合の1画面あたりの  
カビ・細菌の数

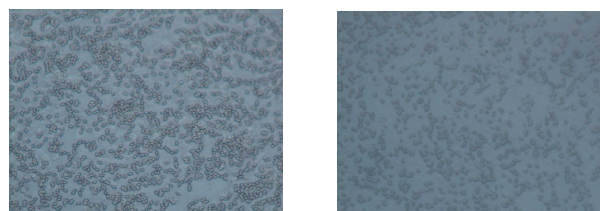


図6 45℃の場合の1画面あたりの  
カビ・細菌の数



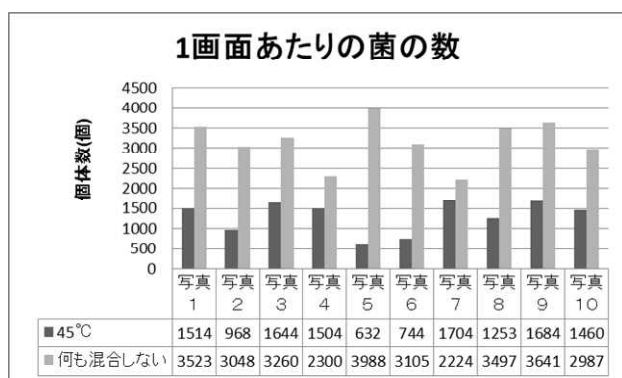


図7 1画面あたりに存在するカビ・細菌の数

※図の写真1～10は、高倍率の顕微鏡で観察したサンプルの数

## 実験2.

＜目的＞ナメクジの粘液の中にある抑制作用をもつ物質が熱に弱いかを検証した。

＜仮説＞ナメクジの粘液の中の抑制作用をもつ物質は、熱に弱い。粘液を混ぜた寒天培地と、何も混ぜていない寒天培地では、カビや細菌の繁殖の仕方に違いが生じる。粘液を混ぜた寒天培地は、何も混ぜていないものに比べ繁殖が少ない。

＜薬品・器具＞薬品：Agar，乳糖ブイヨン培地「ダイゴ」，ナメクジ

器具：1L ビーカー，300mL ビーカー，プラスチックシャーレ，スターラー，ガラス棒，薬包紙，電子天秤，薬さじ，パラフィルム，温度計

＜実験方法＞加熱したナメクジの粘液入り寒天培地のカビや細菌の繁殖状態を，加熱しなかった寒天培地のもの（図3）と比較する。

- ① 寒天培地をつくる過程で培地が約80℃の時点でナメクジの粘液を混ぜる。
- ② 約80℃を保ち，約10分間十分に溶かす。
- ③ その後シャーレに均等に粘液入り寒天培地を分け入れ，空気中のカビや細菌を取り入れる。
- ④ インキュベータに入れ24時間放置し，カビや細菌の繁殖の仕方を観察する。

＜結果＞カビが全体に広がって繁殖していた。

＜考察＞先行研究によるとナメクジの粘液は60℃の状態を10分間保つと失活を始める。本実験では約80℃で約10分間加熱したため粘液が失活した

と考えられる。粘液が失活したため，シャーレの中にカビや細菌のコロニーが繁殖した。

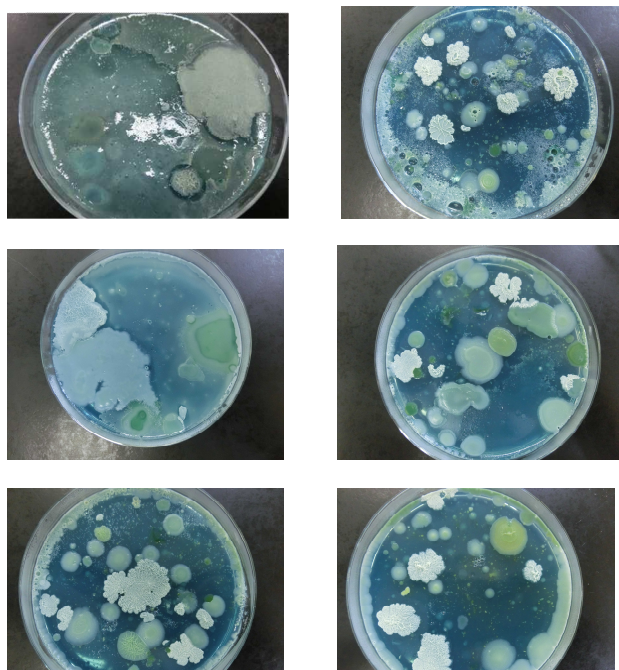


図8 粘液有りの寒天培地

— 粘液が失活したと思われるため  
細菌やカビが繁殖していた —

失活温度より高い温度の状態の寒天培地の中に粘液を混合したため，殺菌・繁殖の抑制作用が失われた。

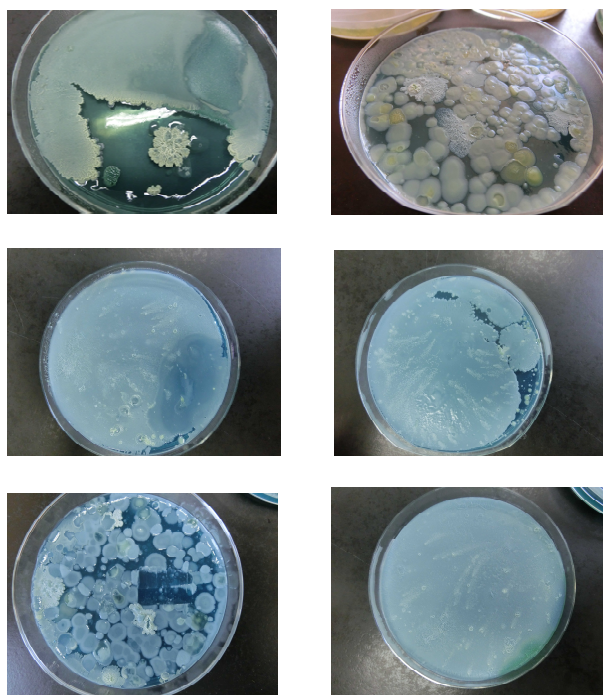


図9 粘液無しの寒天培地  
— 細菌やカビが繁殖していた —

粘液を入れていないので1日放置ただけで、カビや細菌がシャーレ全体に繁殖した。

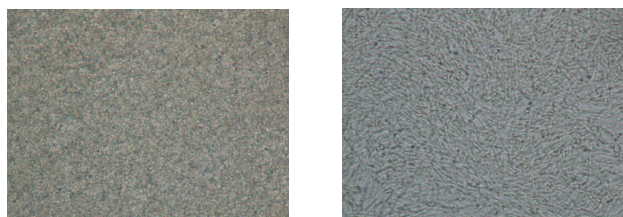


図10 何も加えていない場合の1画面あたりのカビ・細菌の数

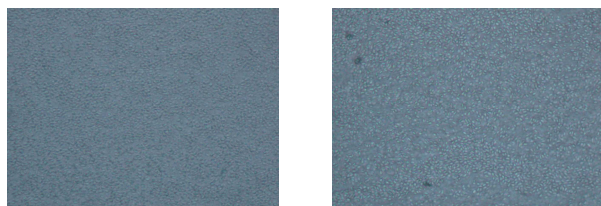


図11 80°Cの場合の1画面あたりのカビ・細菌の数

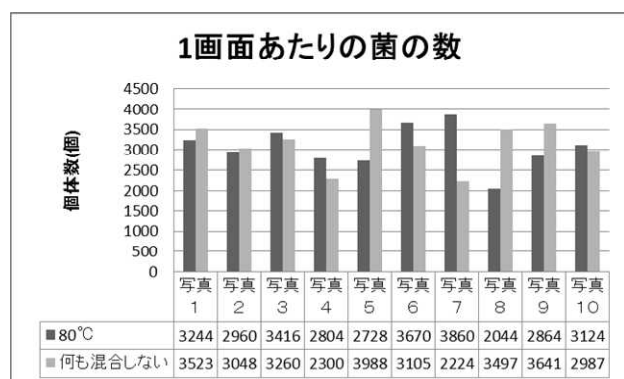


図12 1画面あたりに存在するカビ・細菌の数  
※図の写真1～10は、高倍率の顕微鏡で観察したサンプルの数

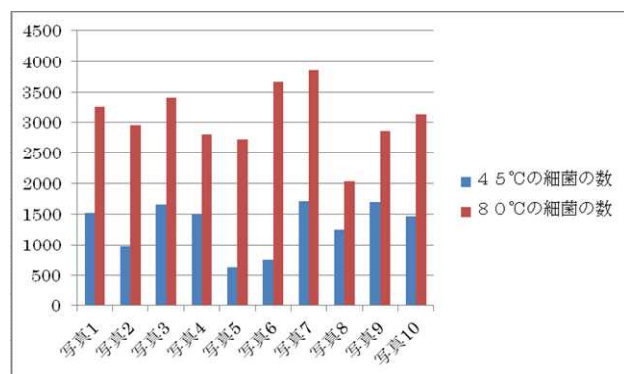


図13 カビや細菌の数  
※図の写真1～10は、高倍率の顕微鏡で観察したサンプルの数

### 実験3.

＜目的＞粘液の抑制作用によってカビや細菌の繁殖が抑制されていることを検証する。

＜薬品・器具＞

無菌状態の寒天培地、実験1で作った寒天培地に繁殖したコロニー、ディスポールプ、クリーンベンチ

＜実験方法＞

- ① 寒天培地をつくり、クリーンベンチに入れて滅菌する。
- ② クリーンベンチ内でディスポールプを使い実験1で作った寒天培地に繁殖したコロニーを広げる。
- ③ 1日インキュベータに入れる。
- ④ 1日後にカビ・細菌の繁殖の仕方を観察する。

＜結果＞

寒天培地内にコロニーが広がっていたことより、実験1で観察された斑状のコロニーは1日で充分繁殖する力を持ったカビ・細菌であった。

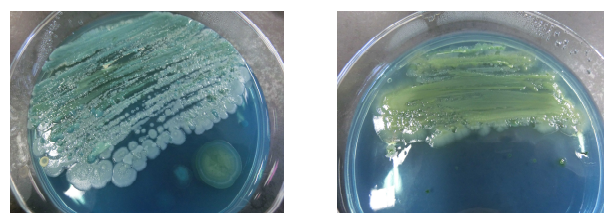


図14 実験2のコロニーを広げたもの

### 実験4.

＜目的＞ナメクジの粘液には抗菌作用があることから、その作用を行っている成分は何か調べるため。

＜薬品・器具＞薬品:0.1M リン酸緩衝液(pH7.0), 0.1M —Phosphate buffer(pH7.0), ナメクジの粘液, ミクロコッカス

器具:分光光度計, リゾチーム, スターラー, pHメーター, 電子天秤

＜実験方法＞

- ① 分光光度計の調整をする。
- ② 基質(ミクロコッカス)溶液3mLをセルに入れセルホルダーにセットし、スイッチを入れ動作が安定するまで約1分間待つ。
- ③ 基質溶液の入ったセルにリゾチーム, ナメクジ



の粘液をそれぞれ入れ、パラフィルムをかぶせて静かに混合した後、直ちに 540nm での吸光度を約 3 分間測定する。

- ④ 記録した数値から 5 分間の吸光度の減少をもとめ、その値から、1 分間当たりの吸光度の減少値をもとめる。

〈結果〉リゾチームを加えた場合では菌の数は減っていったが、ナメクジの粘液を加えた場合では大きな変化は見られなかった。

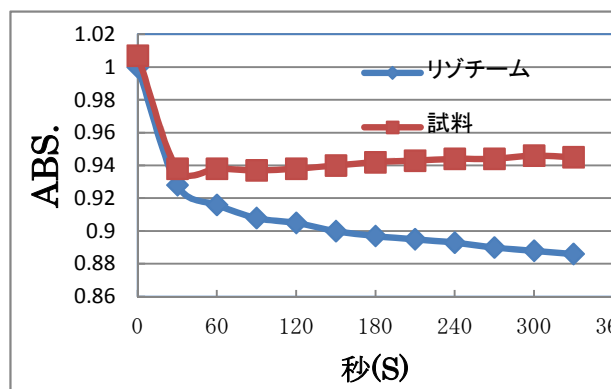


図 1 5 リゾチームとナメクジの粘液の減少値の比較

### 3. 結論

粘液を混ぜた寒天培地と粘液を混ぜていない寒天培地のカビや細菌の繁殖の仕方に違いが生じた。粘液を混ぜていない寒天培地には、1 日放置しただけでコロニーがシャーレの半分以上を占めた。ところが、粘液が失活しない温度の寒天培地に入れて放置した場合、コロニーの数自体は多かった。しかし、単体でのコロニーの大きさは小さかった。このことから、粘液中にカビや細菌の繁殖を抑制する作用を持つ物質があることが分かった。また、粘液を 8 0℃の時点で混合した寒天培地と粘液を 4 5℃の時点で混合した寒天培地に繁殖したカビや細菌の数を高倍率の顕微鏡で観察した。1 画面あたりのカビや細菌の数は図 1 3 のとおりであった。カビや細菌の数にも違いがあり、粘液を 8 0℃の時点で混合した寒天培地に繁殖していたカビや細菌の方が圧倒的に密度は高かった。この事より、粘液には抑制作用がある。また、粘液の中の抑制作用を持つ物質には熱に弱いという特徴もあることが分かった。ナメクジの粘液中に菌の繁殖を抑制する物質であるリゾチームが含

まれているのか調べたところ、あると確証できる結果は得られなかった。今後の課題として、リゾチームが含まれているのかを液体クロマトグラフィー等の他の方法を用いて明確にする。また、含まれていなかった場合ナメクジの粘液中で抑制作用として働いている物質の特定をする。

### \*謝辞

福山大学教授、秦野琢之先生にはナメクジの粘液の中にリゾチームがあるのかという研究において、ご協力をいただきありがとうございました。大学での実験はレベルが高く大変参考になりました。秦野先生に教えていただいたことを元に、さらにこの研究を発展させていこうと思います。

### 4. 参考文献

- 1) 安田恵美子 山口恵一郎 反町健司:ナメクジの生体防御因子: pp. 403-404 (2001).

- 2) リゾチーム活性測定

([http://www2.ktokai-u.ac.jp/~](http://www2.ktokai-u.ac.jp/~nougaku/Bio/araki/lytic.htm)

nougaku/Bio/araki/lytic.htm)

# リバウンドは俺が取る

安田弘毅 高橋一成 中尾俊亮

指導者：橋村泰司 川尻晃

## 要 旨

リバウンドを取ることは、バスケットボールにおいて勝敗を分ける重要な行動である。よって本研究ではリバウンドをより取りやすくするために、リバウンドの落下位置の予測を行い、その確率を割り出した。また、落下位置予測の値を知らない場合と知っている場合で、リバウンド取得率に有意差がでるかどうかを統計処理ソフト SPSS で調べた。その結果、落下位置を知っている場合の方のリバウンド取得率が高いことが分かった。

To take the rebounding ball is an important action which can decide victory or defeat in basketball. We predicted the positions of the balls rebound and where it will fall to make it easy to select rebound locations in this study. We also calculated the possibility of the rebounding ball falling in different locations. In addition, we checked whether significant difference appeared in the rebound acquisition rate using the statistics processing software SPSS when one student knew the possible position where the ball would fall and when one other student did not know the possible position where the ball would fall, we found out that the rebound acquisition rate for the one who knew was high.

キーワード：バスケットボール, リバウンド, 統計, 確率, excel

## 1. 序論

バスケットボールの試合において、リバウンド(ここではシュートを打ってリングに当たって跳ね返ったボールとする)の取得率が多いほうのチームが試合に勝ちやすいということがよく知られている。

よって本研究ではリバウンド取得の過程について着目した。リバウンドがどこに落ちるかを知っていればリバウンド取得率が向上すると考えられる。

そこでリバウンドの落下位置を調査した。その確率を計算して求め、確率の正誤を検証した。

## 2. 研究内容

### 実験 1.

＜目的＞一定のデータを取るために、モデルシュート(ボールを打ち出す角度と速さの平均値を出したもの)を設定する。

＜器具＞ビデオカメラ, パソコン, 分度器

＜実験方法＞

① 1 人の人間が打つ位置を固定してシュートを打ち、リバウンドしたものだけを 50 本カメラで撮

影する。



② パソコンでリバウンドしたシュートのうちから角度と速さのデータをとる。角度は分度器を使用して測る。速さは比を使用する。

速度の平均・・・1.6メートル毎秒 ±0.5

図1～図3はリバウンドが落ちた場所を数値化したものである。

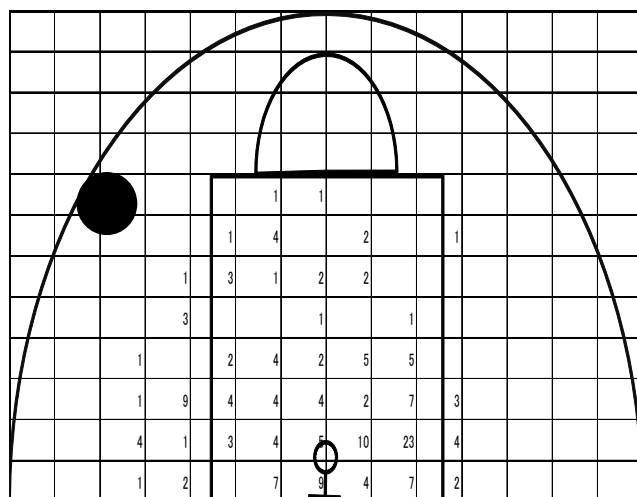


図1 左から打ったもの (●はシュート位置)

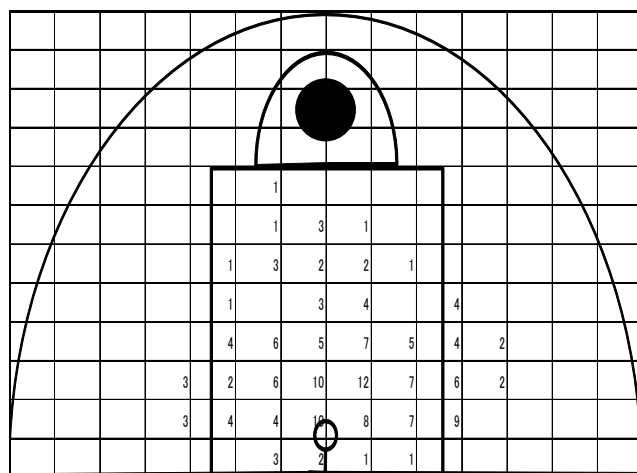


図2 正面から打ったもの（●はシュート位置）

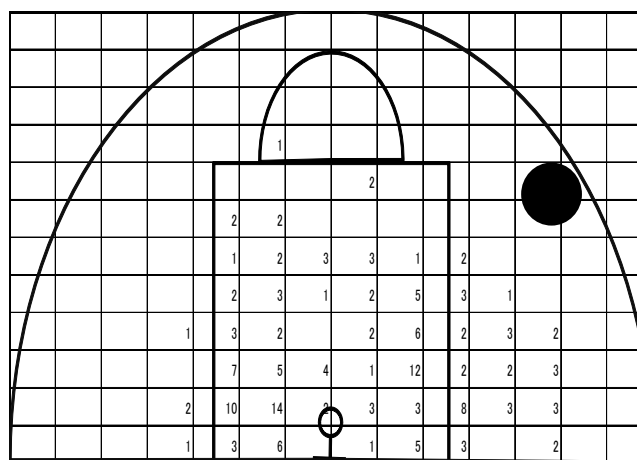


図3 右から打ったもの (●はシュート位置)

### 実験3.

#### <目的>

実験2で出した予測が、リバウンドを取る人にどのような影響を及ぼすかを調べる。

#### <仮説>

実験2で出した予測を知っていた場合の方がリバウンドを多く取れる。

#### <実験方法>

- ① モデルデータを知らない状態(取得率A)と、知っている状態(取得率B)に分けて三方向それぞれのリバウンド取得率を調べる。  
20本中とれた本数を一方向、八回ずつ調べる。
- ② 取得率Aと取得率Bとの間に有意差があるかどうかを計算する。
- ③ T検定を使用して、有意差が正しいことを検証する。片側検定においてt境界値より、t値(以下T<sub>0</sub>値)の方が小さければ、有意差が正しいことが証明できる。表1～3はその検証結果である。  
なお、データ数8よりt境界値は1.7613とする。

#### <結果>

表1 左から打ったもの

取得率A	取得率B
12	14
11	11
13	14
10	16
8	13
10	15
11	12
13	15

T<sub>0</sub>値=-3.2744

T境界値>T<sub>0</sub>値より有意差は正しい

表2 正面から打ったもの

取得率A	取得率B
13	16
10	14
9	13
7	15
12	16
10	13
8	12
11	14

T<sub>0</sub>値=-4.7143

T境界値>T<sub>0</sub>値より有意差は正しい。

表3 右から打ったもの

取得率A	取得率B
11	15
9	11
12	16
10	12
8	13
9	11
13	14
11	15

T<sub>0</sub>値=-3.3191

T境界値>T<sub>0</sub>値より有意差は正しい。

表1～3より三方向とも取得率Aより取得率Bの方が、確率が上がった。

### 3. 結論

本研究ではリバウンドをより取りやすくするためにリバウンドの落下位置の予測を統計的分析と確率で割り出した。その結果、落下位置予測を知っている方が、リバウンド取得率が上がることが分かった。この結果をもとに今後は、モデルシュートの係数を増やし、シュートを打つ時の状態をより試合に近づけていきたい。

### 4. 参考文献

- 1)市川 藤乃 1K03B019-2 バスケットボールの競技におけるリバウンドとフリースローの勝利に対する影響

# 余弦定理の拡張

河合裕介 坂東侑

指導者：川尻晃

## 要 旨

平面図形において成り立つ余弦定理を立体に拡張を試みたところ、四面体の内部に垂心がある場合とない場合とに分けることで、四面体の表面積と面角の関係式が成り立つことが証明された。また、2次元における余弦定理の式と3次元における余弦定理の式から、 $n$ 次元における余弦定理の推測を試みた。

We tried to prove the cosines theorem in tetrahedrons. It expresses a relation of tetrahedrons' face angle and surface area. When we make a proof about expanded cosines theorem, we had to make two case of proof. Then we tried to expand the cosines theorem to  $n$ -dimension.

キーワード：余弦定理，二面角

## 1. 序論

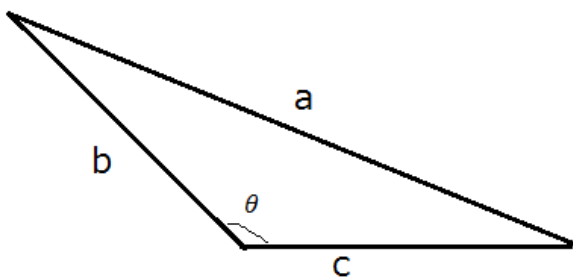
平面図形の性質を表す定理として三平方の定理など様々な定理がある。そして、これらの定理は立体図形においても同様の性質を表す定理に拡張可能である。そこで今回、余弦定理をもとに拡張された定理について証明を試みた。

(証明)

四面体  $ABCD$  において、  
 $\triangle ABC$  と  $\triangle ACD$  のなす角を  $\theta_1$ ，  
 $\triangle ABD$  と  $\triangle ACD$  のなす角を  $\theta_2$ ，  
 $\triangle ABD$  と  $\triangle ABC$  のなす角を  $\theta_3$ ，  
 $\triangle ABC$  と  $\triangle BCD$  のなす角を  $\theta_4$ ，  
 $\triangle ACD$  と  $\triangle BCD$  のなす角を  $\theta_5$ ，  
 $\triangle ABD$  と  $\triangle BCD$  のなす角を  $\theta_6$  とする。

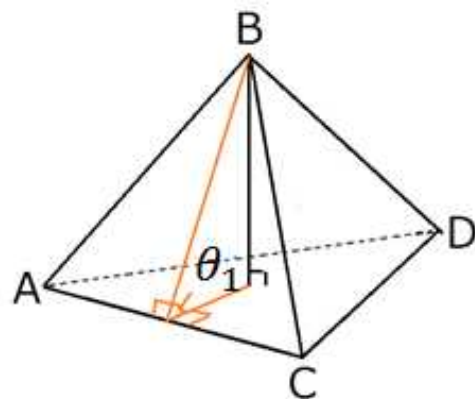
## 2. 余弦定理

余弦定理とは、



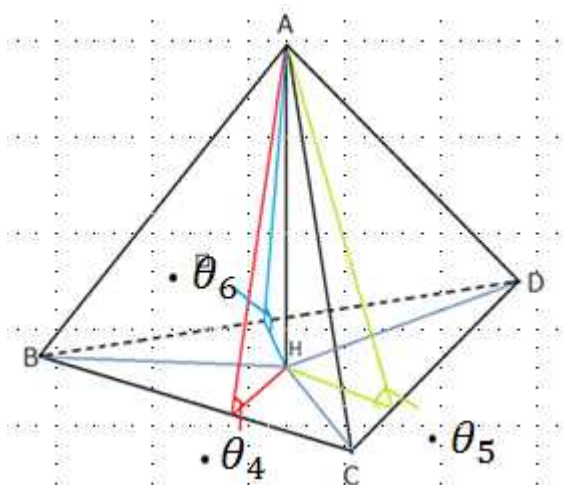
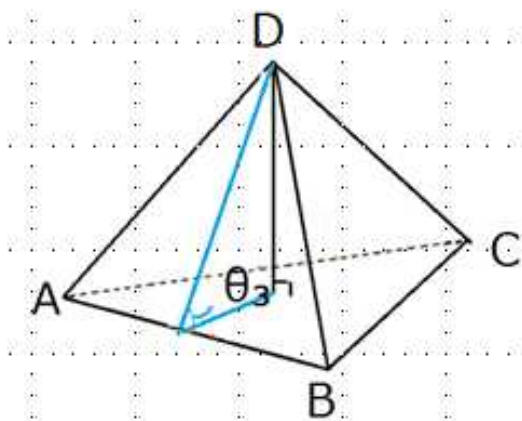
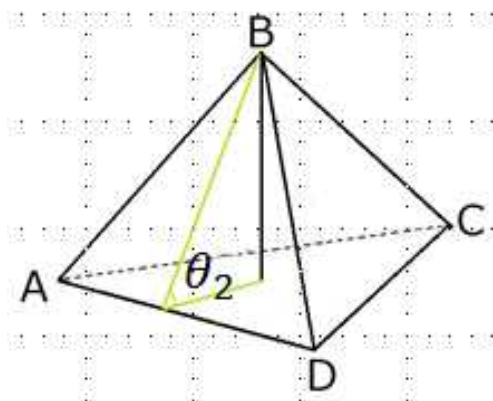
三角形の頂点を  $A, B, C$ ，これに対する辺を  $a, b, c$ ，とする時、

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2ab \cos \theta$$



## 3. 余弦定理の拡張

二面角とは、平行でない2つの面が交わる直線に、それぞれの面から下ろした垂線のなす角のことを指す。



Aから $\triangle BCD$ に垂線AHを下ろすと、

(i) Hが $\triangle BCD$ の内部にあるとき

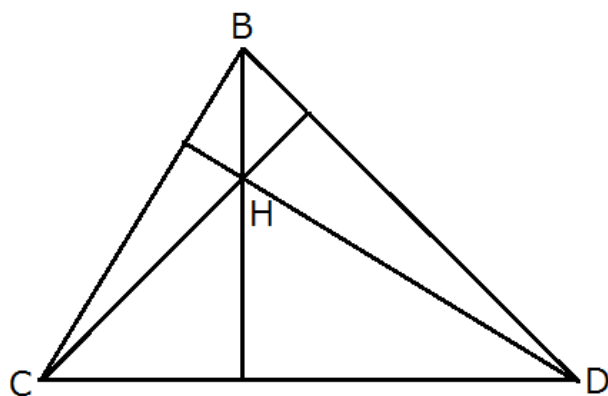
$$\triangle BCD = \triangle HBC + \triangle HCD + \triangle HBD$$

底辺の等しい三角形の面積の比は高さの比に等しいので、

$$\triangle HBC = \triangle ABC \cos \theta_4,$$

$$\triangle HCD = \triangle ACD \cos \theta_5$$

$$\triangle HBD = \triangle ABD \cos \theta_6$$



よって、

$$\triangle BCD = \triangle ABC \cos \theta_4 + \triangle ACD \cos \theta_5 + \triangle ABD \cos \theta_6$$

となる。

同様にして、

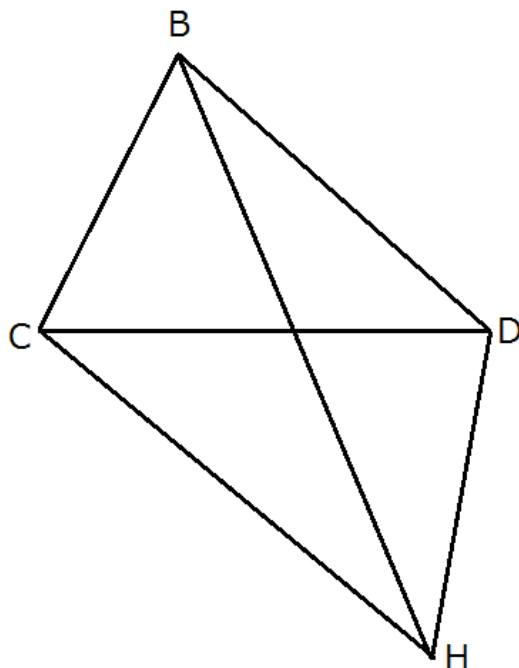
$$\triangle ABC = \triangle ABD \cos \theta_3 + \triangle ACD \cos \theta_1 + \triangle BCD \cos \theta_4$$

$$\triangle ACD = \triangle ABC \cos \theta_1 + \triangle ABD \cos \theta_2 + \triangle BCD \cos \theta_5$$

$$\triangle ABD = \triangle ABC \cos \theta_3 + \triangle ABD \cos \theta_2 + \triangle BCD \cos \theta_6$$

(ii) Hが $\triangle BCD$ の外部にあるとき

例)  $\theta_5$ が鈍角の場合



$$\triangle BCD = \triangle HBC + \triangle HCD - \triangle HBD$$

$$\triangle BCD = \triangle ABC \cos \theta_4 - \triangle ACD \cos (180^\circ - \theta_5)$$

$$+ \triangle ABD \cos \theta_6$$

$$\Leftrightarrow \triangle BCD = \triangle ABC \cos \theta_4 + \triangle ACD \cos \theta_5 + \triangle ABD \cos \theta_6$$

それ以外も同様に

$$\Delta ABC = \Delta ABD \cos \theta_3 + \Delta ACD \cos \theta_1 + \Delta BCD \cos \theta_4$$

$$\Delta ACD = \Delta ABC \cos \theta_1 + \Delta ABD \cos \theta_2 + \Delta BCD \cos \theta_5$$

$$\Delta ABD = \Delta ABC \cos \theta_3 + \Delta ABD \cos \theta_2 + \Delta BCD \cos \theta_6$$

また、ここで $\Delta ABC$ ,  $\Delta ACD$ ,  $\Delta ABD$ ,  $\Delta BCD$ の面積をそれぞれ $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$ , とおくと,

$$S_4 = S_1 \cos \theta_4 + S_2 \cos \theta_5 + S_3 \cos \theta_6 \quad \cdots \textcircled{1}$$

また,

$$S_1 = S_2 \cos \theta_3 + S_3 \cos \theta_1 + S_4 \cos \theta_4$$

$$\Leftrightarrow \cos \theta_4 = \frac{1}{S_4} (S_1 - S_2 \cos \theta_3 - S_3 \cos \theta_1)$$

$$S_2 = S_1 \cos \theta_1 + S_3 \cos \theta_2 + S_4 \cos \theta_5$$

$$\Leftrightarrow \cos \theta_5 = \frac{1}{S_4} (S_2 - S_1 \cos \theta_1 - S_3 \cos \theta_2)$$

$$S_3 = S_1 \cos \theta_3 + S_3 \cos \theta_2 + S_4 \cos \theta_6$$

$$\Leftrightarrow \cos \theta_6 = \frac{1}{S_4} (S_3 - S_1 \cos \theta_3 - S_3 \cos \theta_2)$$

ここで、これら3つの余弦に関する式を①に代入すると,

$$S_4^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$$

$$-2S_1 S_2 \cos \theta_1 - 2S_2 S_3 \cos \theta_2 - 2S_3 S_1 \cos \theta_3$$

の式が得られる。

#### 4. 結論

余弦定理の拡張として,

$$S_4^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$$

$$-2S_1 S_2 \cos \theta_1 - 2S_2 S_3 \cos \theta_2 - 2S_3 S_1 \cos \theta_3$$

の式が得られた。

#### 5. 推測

3.より得られた定理の, $n$ 次元への拡張を考えると,  
 $n$ 次元上の物体を $O_n$ , そのなす角を適宜定義したとき,

$$\begin{aligned} O_{n+1}^2 &= O_1^2 + O_2^2 + O_3^2 + \cdots + O_{n-1}^2 + O_n^2 \\ &\quad - 2O_1 O_2 \cos \theta_1 - 2O_2 O_3 \cos \theta_2 \cdots \\ &\quad - 2O_n O_1 \cos \theta_{nc} \end{aligned}$$

のような定理が成り立つと推測される。

#### 4. 参考文献

星野泰也「基礎からの数学 I +A」. 数研出版, p. 174