

# コンピューターによる騙し絵の制作

～数学で画法を解明する～

## Creating a trick by a computer

-Elucidate painting methods with mathematics-

### Abstract

The goal is to create our original trick art using mathematics and computer, through elucidation of the painting methods for trick arts from ancient times with math and computer. First, we select the image, and then distort it using BASIC, one of the programming languages, including the conversion formula that we think.

### 1. はじめに

絵画はしばしば「数学的画法」によって製作されている。例えば、ルネッサンス期の西洋宗教絵画の遠方法は、定規とコンパスが普及した成果だ。西洋の当時の歪み絵も同じようにその2つを用いて描かれている。このような数学的画法は、現在では「数学とコンピューター」で、再現可能である。この再現活動に私たちは興味を抱いた。

大昔からの「騙し絵」を対象に、その画法（製作手順）を数学とコンピューターとで解明していく。その中で騙し絵の発展史が明らかになり、また、「それへの数学の貢献がどのようなであったか」も明らかになる。これらを通し、数学とコンピューターを用いた私たちのオリジナルの騙し絵を制作する。

### 2. 研究方法

#### (1) 「変換式」作り

画像を選び、座標をとる。そして、座標をもとに BASIC 上で表す。また、BASIC 上でそれを歪ませるための「変換式」を考え作る。作った変換式の中に、元の BASIC からプログラムを入れる。すると、元の画像が歪んでできる。そこに鏡を用意すると、正像が映る。

#### (2) 日本&ヨーロッパの画法

日本で作り出された絵画3つ、ヨーロッパで作り出された絵画2つを用いる。また、おおよそ何度に歪ませてあるかをかんがえ、そこから変換式を作っていく。作れた変換式を、BASIC 上のプログラムに入れる。映し出される絵を、元の絵画と照らし合わせる。また、昔の歪まされていない普通の絵画をこのプログラムにあててみる。そこに、鏡を置き映し出された絵を、元の絵画と比べる。変換式を元に、単純な原画から歪み絵を作った。トランプの4種類の模様にした。画像を選び、座標をとる。そして、座標をもとに BASIC 上で表す。また、BASIC 上でそれを歪ませるための変換式をいれる。すると、元の画像が歪んでできる。そこに鏡を用意すると、正像が映る。

(3) オリジナル

自分たちで絵を考える。考えた絵を、(2)で作られた「変換式」に入れる。

3. 実験結果

(1) 「変換式」作り

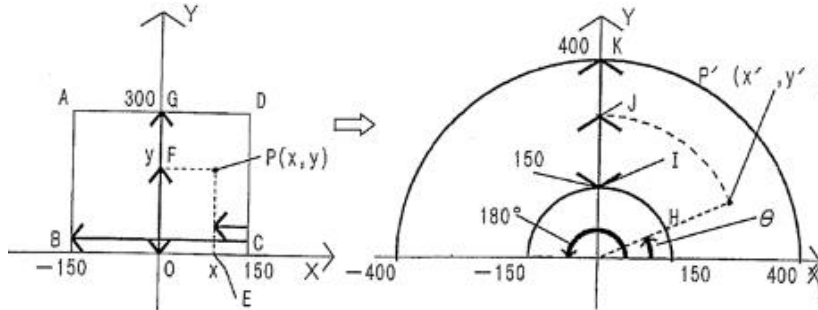


図 1

上記の図 1 を用い変換式を作成した。

$$X = (150 + \frac{250}{300}y) \cos(\{\frac{180(150-x)}{300}\})$$

$$Y = (150 + \frac{250}{300}y) \sin(\{\frac{180(150-x)}{300}\})$$

(2) 昔の歪み絵の解析

① 2つの画法

西洋の当時の歪み絵も同じように定規とコンパスを用いて描かれている。定規とコンパスを用いて歪み絵をどのように作ったのか、これは現存する図より簡単に推測できた。しかしこの数学的画法は間違っていた。鏡に写した時、少し歪んだままだったのだ。

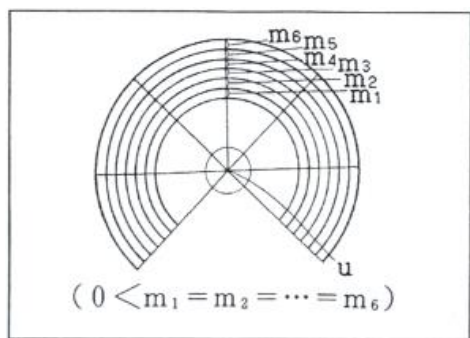


図 2

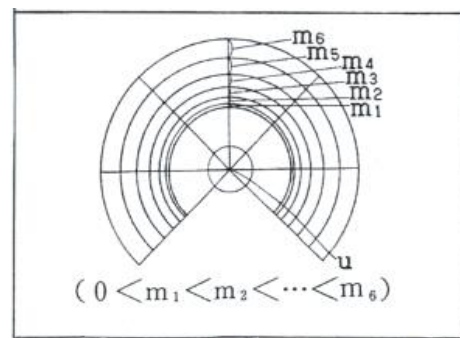


図 3

まず歪み絵の書き方は図 2 図 3 の 2通りが挙げられる。1つ目(図 2)は円柱鏡を中心として同心円上に円が書かれている。2つ目(図 3)は同じように円柱鏡を中心とするが、外側に行くにつれて徐々に幅が広がっている。この2つのうちどちらがより正しい正像を鏡に映し出すのか調べる。

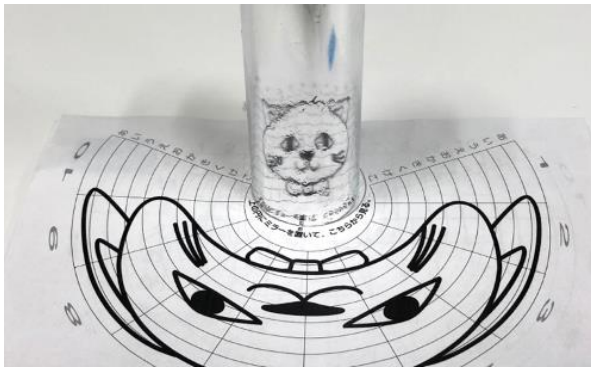


図4

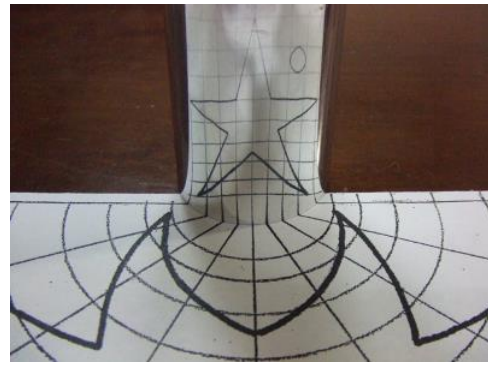


図5

すると、円柱鏡を中心として同心円上に円が書かれている方の歪み絵の書き方ですと図4のようにあらわれた。また、同じように円柱鏡を中心とするが、外側に連れて徐々に幅が広がっている方の書き方ですと図5のようにあらわれた。

### ②逆「変換式」

歪み絵から原画への変換式も作成した。正しく正像が映っているか確認するためと、現存する歪み絵を原画に戻してみるためだ。昔の歪み絵の原画は残っていない。歪み絵を BASIC のプログラムにいれ、変換式も組み込み、出力すると原画が出る。これで正像が確認できる。この変換式を用いて昔の歪み絵は原画に戻すことができた。

$$x_1 = x' / \text{SQR}(x^2 + y^2)$$

$$x = 150 - 300/\pi \times (-\text{ATN}(x_1/\text{SQR}(-x_1 * x_1 + 1)) + 1.5708)$$

$$y = \frac{300}{250\{\text{SQR}(x^2 + y^2) - 150\}}$$

### ③実際に歪めてみよう！

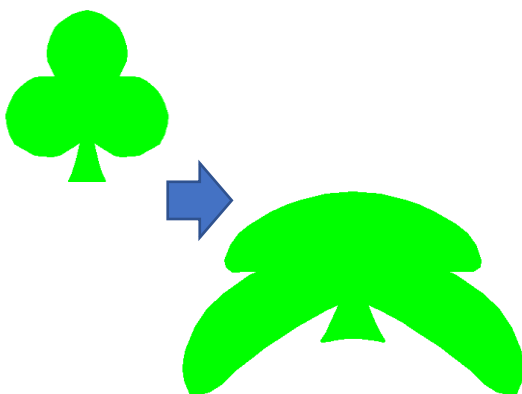


図6



図7

図6は、トランプのクローバーを歪ませてみたものである。見ればわかるように、実際に歪んでいるのが分かる。また、図7では、トランプと同時に日本の昔の絵を 90° に歪ませてみた。こちらもトランプ同様に歪み、また、外側へ行くほど絵が幅広く絵がひろがっているように思われる。このプログラミングが終わったとき、私たちは、新たに図7のような日本古来の絵を 360° に歪ませてみたいと思った。

## 〈追加研究〉



図 8



図 9

図 7 の追加研究として、図 8 の日本古来の絵巻物を歪ませることにした。そして、歪ませたものが、図 9 である。少し小さいが、よく見ると図 6 図 7 同様に歪み、また、外側に広がるほど絵も幅広くなっている。

## 4. 考察

昔の数学的画法には、間違いがあることが分かった。しかしコンパスと定規を使って視線を考えで作られた歪み絵は正確だった。コンパスと定規で等間隔に線を引いただけの図は 2 次元上で考えられていた。実際のできごとは立体的なので、平面的に式を考えると失敗するのは当然とも言える。現実のできごとについて解析する時には、全ての条件について考えることが必要だとわかった。また、そこから自分たちで導き出した「変換式」がもととなる画法を用いて、自分たちで探した絵画を騙し絵に変えてみて、オリジナリティーを増やすために、自分たちで絵を考え、考えた絵を「変換式」に当てはめ騙し絵にした。

## 5. 今後の課題

はじめはさまざまな鏡を想定していたが、今回は円柱鏡のみに絞って研究したので、ほかの形の鏡、例えば球体などについても同じように研究してみたい。

## 6. 参考文献・URL

犬のイラスト フリー素材

- [frame-illust.com/?p=9687](http://frame-illust.com/?p=9687)
- [illust-box.jp/s/sozai/96713/](http://illust-box.jp/s/sozai/96713/)
- [sozailab.jp/sozai/detail/35273](http://sozailab.jp/sozai/detail/35273)
- [illustrain.com/?p=28103](http://illustrain.com/?p=28103)

# ルービックキューブの最少手数を用いた不正アクセスを防ぐセキュリティシステムの作製

## Making a security system to prevent unauthorized access on the internet using minimum number of Rubik's cube

### Abstract

Rubik's cube has minimum moves to return to arranged color position from random positions. Thus, we thought that if prime factorization order corresponds with these moves, we can make better security system. We look for minimum moves with using the program to move development on Excel which we made last year.

### 1. はじめに

ルービックキューブにはランダムな色の配置から元の整った色の配置に戻すための最少手数が存在する。この最少手数と素因数分解を絡めることで不正アクセスを防ぐセキュリティシステムを作製できるのではないかと考えた。今年は昨年作製したExcelでルービックキューブの展開図を動かすプログラムを使い、最少手数を求めようと試みた。

### 2. 条件

今回は配置数の多さから $2 \times 2 \times 2$ のルービックキューブ(以下2段ルービックキューブ)を使用した。2段ルービックキューブには3段ルービックキューブのセンターブロックのように動かしてもそれぞれの位置関係の変わらないブロックが存在しない。そのため基準となるブロックを決め、それを動かさないように動かす。つまり、動かすことができる3面に対してそれぞれ $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ の3通り、合わせて9通りの動かし方が考えられる。また連続して同じ面を動かすことは1手で動かすことができるため、2手目以降は直前に動かした面は動かすことはできないとした。つまり、2手目以降の動かし方は3通り減り、6通りの動かし方が考えられる。次に、同時に2つの面を動かす方法があるが、今回はそのような方法は行えないとした。

### 3. 方法

2段ルービックキューブの総配置数は367万4160通りあるため、最少手数は10手以下だと仮定した(1手目は9通り、2手目以降は6通りずつなので、 $n$ 手目の動かし方の数の上限は $9 \times 6^{(n-1)}$ 。これが367万4160を超えるのが $n=8$ のとき。ただ、重複が発生する可能性があるので多めに見積もって最少手数は10手と予想した)。昨年Excelで作製した展開図を動かすプログラムを使用した。

また今回は、セキュリティシステムの作製をExcelのプログラムで行うということにも着手している。

### 4. 結果

#### 4-1 最少手数を求める

調査を行ったところ、一部の動かし方に、「動かした後の状態が一致するもの」があった。ここから、同じくExcelの、表機能を使って、総当たりで動かし方の総数を求め、そこから最少手数を求めることにした。「動かした後の状態が一致するもの」は片方が消える(重複になるため)ことから、これを利用することで正確な表を作製することが可能になる。

次の図はExcelで作製した総当たりの表の一部である。

自動保存 完全版専用 組合せ作成.xlsxm - Excel

ファイル ホーム タッチ 挿入 ページレイアウト 数式 データ 校閲 表示 開発 ヘルプ

MS Pゴシック 11 A A

B I U

折り返して全体を表示する

セルを結合して中央揃え

C6408

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
390	7	2	1	2	3	7	8	7		
426	7	2	1	2	3	8	7	8		
822	7	2	1	2	6	7	8	7		
858	7	2	1	2	6	8	7	8		
1248	7	2	1	2	9	7	8	7		
1284	7	2	1	2	9	8	7	8		
2970	7	2	1	5	3	7	8	7		
3006	7	2	1	5	3	8	7	8		
3402	7	2	1	5	6	7	8	7		
3438	7	2	1	5	6	8	7	8		
3828	7	2	1	5	9	7	8	7		
3864	7	2	1	5	9	8	7	8		
5550	7	2	1	8	3	7	8	7		
5586	7	2	1	8	3	8	7	8		
5982	7	2	1	8	6	7	8	7		
6018	7	2	1	8	6	8	7	8		
6408	7	2	1	8	9	7	8	7		
6444	7	2	1	8	9	8	7	8		
8094	7	2	3	1	3	7	8	7		
8130	7	2	3	1	3	8	7	8		
8526	7	2	3	1	6	7	8	7		
8562	7	2	3	1	6	8	7	8		
8958	7	2	3	1	9	7	8	7		
8994	7	2	3	1	9	8	7	8		
9384	7	2	3	2	3	7	8	7		
9420	7	2	3	2	3	8	7	8		
9816	7	2	3	2	6	7	8	7		
9852	7	2	3	2	6	8	7	8		
10242	7	2	3	2	9	7	8	7		
10278	7	2	3	2	9	8	7	8		
10674	7	2	3	4	3	7	8	7		
10710	7	2	3	4	3	8	7	8		
11106	7	2	3	4	6	7	8	7		
11142	7	2	3	4	6	8	7	8		
11538	7	2	3	4	9	7	8	7		
11574	7	2	3	4	9	8	7	8		
11964	7	2	3	5	3	7	8	7		
12000	7	2	3	5	3	8	7	8		
12396	7	2	3	5	6	7	8	7		
12432	7	2	3	5	6	8	7	8		
12822	7	2	3	5	9	7	8	7		

図1：作製した表の一部。図では最後の3手が「7-8-7」または「8-7-8」であるものを抽出している。この2つの動かし方は移動後の状態が一致するために片方が消える。このような表を1手目から7手目まで完成させ、8手目を作製中である(図は8手目のもの)。

#### 4-2 簡易的なセキュリティプログラムを作る

エクセルのマクロを用いて、ルービックキューブを用いたセキュリティシステムの簡単なものを作製した。

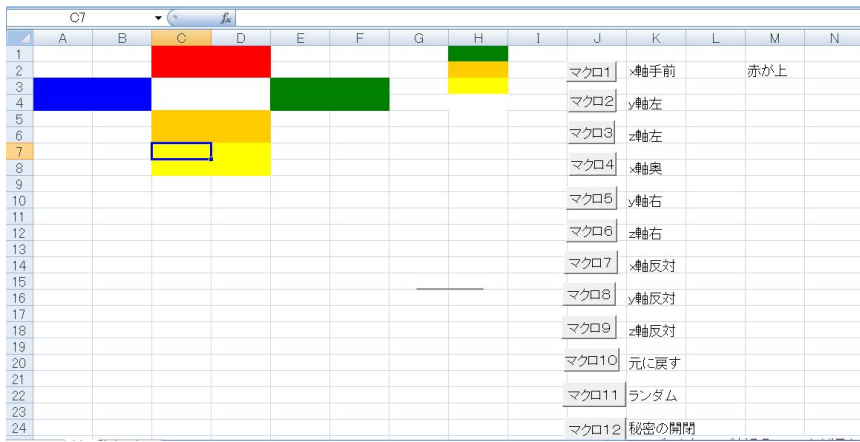


図2

図2はマクロを使う前のシートである。ルービックキューブを展開図を用いて表している。

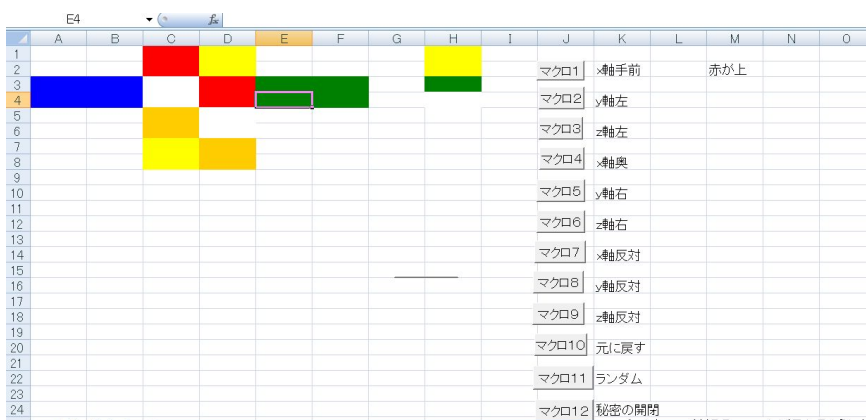


図3

マクロ1を使った後の展開図が図3である。x 軸手前と書いているが、赤の面を上として、面が一つずつずれている。

```

(General)
Macro1
Dim m
For m = 1 To Int((99 - 11 + 1) * Rnd + 11)
Randomize
i = Int(9 * Rnd + 1)
If i = 1 Then
Call Macro1
ElseIf i = 2 Then
Call Macro2
ElseIf i = 3 Then
Call Macro3
ElseIf i = 4 Then
Call Macro4
ElseIf i = 5 Then
Call Macro5
ElseIf i = 6 Then
Call Macro6
ElseIf i = 7 Then
Call Macro7
ElseIf i = 8 Then
Call Macro8
Else: i = 9
Call Macro9
End If
Next m
End Sub

Sub Macro12()
If Range("C1:D2").Interior.ColorIndex = 3 And Range("A3:B4").Interior.ColorIndex = 5 And Range("C3:D4").Interior.ColorIndex = 3 Then
Worksheets("秘密").Visible = True
Else: Worksheets("秘密").Visible = False
End If
End Sub

```

図4

マクロ11に「ランダム」、マクロ12に「秘密の開閉」と書いているが、これはルービックキューブをランダムに動かすものと、ルービックキューブが揃っていた時にシートを見れるようにするというものである。そのプログラムが上記のものである。なお、ルービックキューブが揃っていないときにマクロ12を使うとシートを見れなくなる。

## 5. 今後の課題・展望

### 5-1 最少手数を求める

8手目の途中までの展開図から重複する配置をもつ動かし方を除去していった。その過程で重複のし方に規則性があるのではないかと予想した。今後は8手目以降の展開図について表を作製し、手数をさらに絞り込んでいくとともに、重複数に規則性があるのか、あるとすればどのような規則性なのかを確かめる。

また、上の表の作製には膨大な時間と労力がかかることから、表の作製を、マクロによる自動化などで簡易化する、といったことも考えている。

### 5-2 簡易的なセキュリティプログラムを作る

今回は簡単に突破されるようなものしか作れなかったが、今後はRSA暗号などを用いたもっと強力な本格的なプログラムを協力して作製していきたい。

## 参考文献

ルービックキューブ 組み合わせ数 計算方法

<https://www.kasvainu.com/entry/2016/04/17/180952>

Excel VBA入門

<https://www.officepro.jp/excelvba/>



# ミルククラウンの形状とそれをグラフ化した時の式との関係性

～ミルククラウンの環境の入力によるグラフ作成プログラムの開発しよう～

Relationship between milk crown shape and it's graph formula

～Development of graph creation program by inputting milk crown conditions～

## Abstract

We change the conditions such as liquid viscosity or the height to cut down on and cooperate with the group making of the milk crown and share data. We describe the graph which we modelled on the shape of the milk crown from it and get an expression from the graph and find the expression by the condition and the relationship of the shape. In addition, we develop the program that a graph can make by inputting a conditions.

## 1.はじめに

ミルククラウンとは容器に入った牛乳の上面に一滴の牛乳をたらすことにより、中央部からの波の伝達による不安定な液体の増幅が原因で、王冠状のものができる現象である。写真1がその例である。私たちはミルククラウンをグラフで導き出すことで、ある条件下でできるミルククラウンを図式化できるプログラムをつくる。



(写真1)

この研究で、ミルククラウン未解明点をプログラミングの要素を取り込み、メカニズムの解明を図る。ミルククラウンの未解明点とは、一般化出来ていない。落とす高さによってできる、ミルククラウンの形や、落ちてきたものを受ける液体の性質、粘度によるミルククラウンの形などが未だわかってない。それらを、情報科学の力を用いてシミュレーションを作ることによって解明への一歩として貢献出来たらよい。

## 2、研究方法

(1) プログラミングに必要な三角比などの数学の知識を学び、それらを活用して平面上でミルククラウンの形を形成する。ここでのミルククラウンとは、以下のものと定義する。①ミルククラウンの角(写真1の丸)の数が20個であること、②跳ね上がった高さ:ミルククラウンの直径=1:2(黄金比)であることとする。

(2) Geogebra を用いて曲面の方程式からミルククラウンに類似した立体を作成する。また変数を変えることによって、さまざまな条件での形状を再現する。

## 3、実験結果

二次曲面の式  $x^2/a^2 - y^2/b^2 = 2z$  に x 軸 y 軸と、表したいミルククラウンの角との間の角度を代入することで、ミルククラウンの角に近い形をグラフで表せた。以下の式が、実際に Geogebra で代入したものである。

### 角の部分

$$x^2/2a^2 - y^2/2b^2 - 2z = 0$$

$$y^2/2a^2 - x^2/2b^2 - 2z = 0$$

また、球の公式  $(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2 = r^2$  に、x, y, z から表したい球までの距離を a, b, c に代入することで、ミルククラウンの球の部分に近い形を表すことができた。

### 球の部分

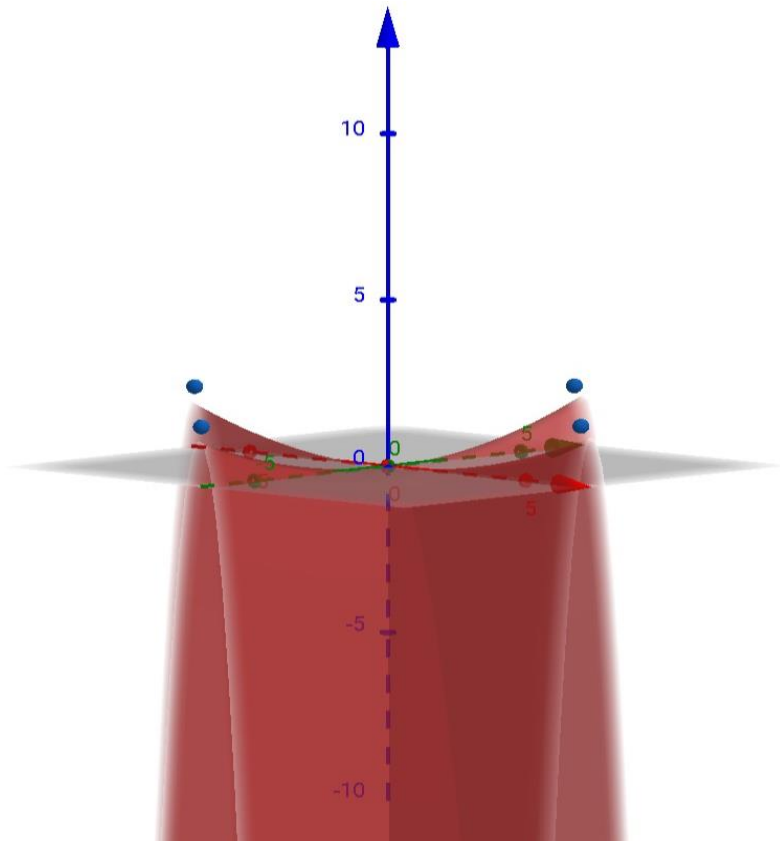
$$(x-7)^2 + y^2 + (z-1.8)^2 = 0.05$$

$$(x+7)^2 + y^2 + (z-1.8)^2 = 0.05$$

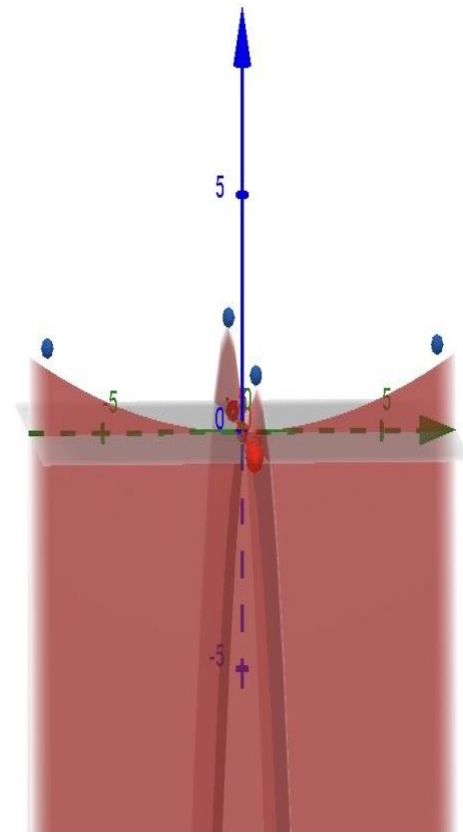
$$x^2 + (y-7)^2 + (z-1.8)^2 = 0.05$$

$$x^2 + (y+7)^2 + (z-1.8)^2 = 0.05$$

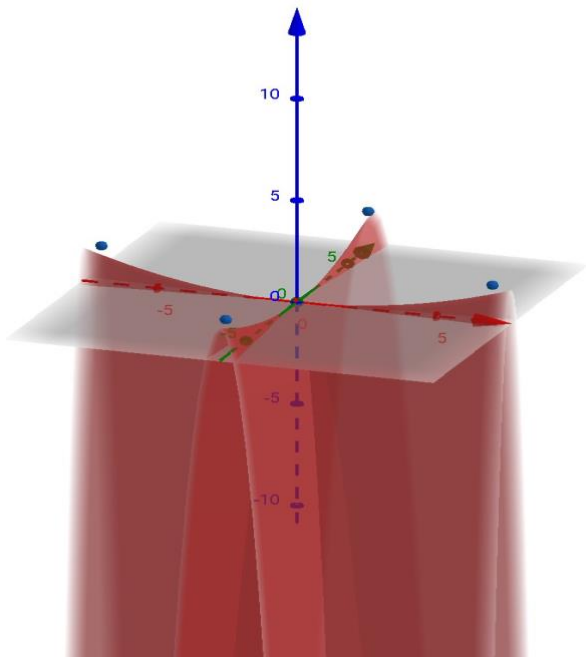
以上の式に、90度と180度での角度を代入して得たグラフが以下のものである。



(グラフ 1)



(グラフ 2)



(グラフ 3)

#### 4. 考察

- ・  $x$  と  $y$  を入れ替えて代入すると、グラフの角度が 90 度変わった。このことから、グラフの角度が  $x$  と  $y$  軸に関係していることがわかった。
- ・ ひとつのグラフを作るのに時間がかかってしまうことが問題である。
- ・ 90 度、180 度以外の角度は、式に当てはめたところ、うまく表すことができなかった。

#### 5. 今後の課題

結局、本来の目的であるミルククラウンの図式化のプログラムを作るというのは出来なかった。しかし、ミルククラウンを立体で作成することは出来たので、これらを活用してミルククラウンのメカニズムを解明する。来年の研究では、ミルククラウン自体の式を出し、引き続きソフト作成を進める。

#### 6. 参考文献

- ・ 「球面の方程式とベクトル方程式」 (高校数学 net)
- ・ 「解析幾何学入門」 関沢正躬
- ・ 「曲線と曲面」 梅原雅顕
- ・ 「Geogebra 空間図形」
- ・ 「Grapes」
- ・ 「Sprush kitt」
- ・ 「二次曲面」 (コトバンクより)

# ピアノの音律を変化させることでより和音を綺麗に響かせる

## Improving Harmony by Changing Musical Temperament

### Abstract

There are two major musical temperaments; one is just intonation and the other is equal temperament. When we play the piano, we can modulate by equal temperament, but it occurs beats, whereas just intonation doesn't do it, but we can't modulate. Therefore, our research is making new temperament which has slower beats and we can modulate by.

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| 1. 目次                 | 6.1 新しく作る音律の定義付け |
| 2. 背景                 | 6.2 音律を求めるための手順  |
| 3. 目的                 | 7. 評価            |
| 4. 研究対象について           | 7.1 評価に用いた条件     |
| 4.1 音律とは              | 7.2 評価方法の決定      |
| 4.2 倍音とは              | 7.3 評価に用いた式の証明   |
| 4.3 研究対象のうなりが発生する場合とは | 8. 結果            |
| 5. 仮説                 | 9. 考察            |
| 6. 方法                 | 10. 展望           |
|                       | 11. 参考文献         |

### 2. 背景

音楽における協和音は人間の主観に基づくために研究することは難しいが、一つの指標として物理現象のうなりに着目して、うなりのスピードをより遅くすることでより綺麗になったと仮定して、より綺麗に和音を響かせる方法を研究した。

### 3. 目的

今日までに二つの対極した性質を持つ音律が発明された。その一つの純正律はうなりを持たないが転調ができない。一方で平均律ではうなりを持つが転調ができる。この対極的な二つの性質を調和させることで、平均律よりもうなりが遅く、転調ができるより良い音律を創り出すことを目的とした。

### 4. 研究対象について

#### 4.1 音律とは

音律とは音高の相対的な関係を二音以上の周波数や音程の比から定めたものである。純正律では音程の1度:3度:5度を4:5:6となるように定め、そこから12音の音高の相対的な関係を求めている。一方で平均律では12音それぞれの隣り合う比が等しくなる $1:\sqrt[12]{2}$ と音高の相対的な関係を求めている。本研究では純正律の手順を利用して音律を求めた。

#### 4.2 倍音とは

倍音とは基音の音高から二倍以上の整数倍された周波数を持つ音の成分を指し、周波数を整数

倍する性質から定まって現れる。本研究では1倍音(基音)~8倍音(3オクターブ)までを扱った。

#### 4.3 研究対象のうなりが発生する場合は

基音の音高は音律によって定められ、倍音は基音の音高に従って現れる。このことから、音律を変化させることで倍音の周波数を変化させることができる。また二音以上の和音を鳴らしたとき、倍音が定まって現れる性質からある倍音で重なる場合がある。このとき二つの倍音の周波数は極めて近いため、うなりを発生させる。本研究ではこのうなりを評価した。

図6 純正和音(完全5度の場合)



画像: <http://stby.jp/heikinritu.html>

## 5. 仮説

平均律の隣り合う比の無理数をより簡単な純正律の整数比に近づけることで、二音以上の倍音の音高の差は小さくなり、うなりはより遅くなるのではないかと。

## 6. 方法

### 6.1 新しく作る音律の定義付け

新しく作る音律の定義を示す。

- (1) 国際基準音  $A_2=440\text{Hz}$  を音高の周波数の基準とする。
- (2) 新しく作る音律は12音からなり、転調ができ、周波数の二倍を一オクターブとし、任意の三つの音程の比と性質を利用して、 $A_2=440\text{Hz}$  とし、定められたものとする。
- (3) 三つの音程の振動数比から求められる全体の振動数比は、三つの音程の振動数比によって定められた最も高い音から、三つの音程の振動数比の関係を繰り返されることで定められたものとする。なお1オクターブを超えた音はそのオクターブ+1の値で割る(例 音程1度:3度:5度を用いて、この3つの音程の比を4:5:6と定めたとき、 $C_2$ から始めると  $C_2:E_2:G_2$  が音程1度:3度:5度に当てはまる。この中で最も高い音は  $G_2$  であるためここから同様にして、音程1度:3度:5度に当てはまる  $G_2:B_2:D_2$  と続けて4:5:6を通分し1オクターブを超えた音を2で割ると  $C_2:D_2:E_2:G_2:B_2$  が8:10:12:15:18という比で表される。これを続けることで音律を定義する)

### 6.2 音律を求めるための手順

- (1) 平均律の隣り合う比の無理数をより簡単な純正律の整数比に近づけ、新しく音律を作成する。本研究では1度:3度:5度を20:25:29としA音律、1度:4度:6度を20:25:33としB音律、1度:3度:6度を80:108:135としC音律として名付けた。これらの3つの音律を新しく作成して平均律と比較した。
- (2) 3つの音律のそれぞれの周波数を計算し、倍音の周波数を求め、うなりを求めた

## 7. 評価

### 7.1 評価に用いた条件

本研究では評価するにあたり以下の条件を定めた

- (1) 長調の全音階とする（半音を含めた音階の音程をそろえるため）
- (2) 差音の弁別閾を 20Hz とし、20Hz 以上では人間が感知できるうなりとしては存在しないとする。

### 7.2 評価方法の決定

以下の順番に従って音律を評価し、より上位の項目が優先されるとする。

- (1) 2音以上の倍音の周波数がうなりを発生させているかを確認する。
- (2) 1倍音の組み合わせによるうなりの振幅がより大きく、音量が大きく聞こえるため、小さい倍音によるうなりの評価を悪いとする。
- (3) より遅いうなりをより良いと評価する（うなりの変化を感じ取りにくくなるため）
- (4) 実際に音階のばらつきを聞いてみて評価する

### 7.3 評価に用いた式の証明

7.2 (1) と 7.2 (3) について利用した倍音の周波数がうなりのスピードを変化させることの証明は

周波数 $f_1$ と $f_2$ の波が $f_1 > f_2$ であるとき、単位円上の点 $x_1$ と $x_2$ の変位は振幅 $A$ 、時刻 $t$ を用いて、

$$x_1 = A\sin(2\pi f_1 t) \quad x_2 = A\sin(2\pi f_2 t)$$

と表せる。このとき周期 $T$ は $T_2 > T_1$ となる。ここで加法定理より足し合わせた波を考えると、

$$x_1 + x_2 = A\sin(2\pi f_1 t) + A\sin(2\pi f_2 t)$$

となり、さらに和積の公式から

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 &= 2A\sin\frac{2\pi f_1 t + 2\pi f_2 t}{2} \cos\frac{2\pi f_1 t - 2\pi f_2 t}{2} \\ &= 2A\sin 2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t \cos 2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t \end{aligned}$$

この式において横軸を示す  $\cos$  における  $f_1 - f_2$  を周期  $T_3$  に直し、 $T_3 = \frac{2}{|f_1 - f_2|}$  とすると  $|f_1 - f_2|$  が 0 に近づくほど周期  $T_3$  は大きくなることがわかる。よって周期  $T_3$  を大きくすることをよりうなりを遅くしたとする。また、この周期  $T_3$  は二つの周波数の差  $|f_1 - f_2|$  に依存することがわかる。

また、(2) 1倍音の組み合わせによるうなりの振幅がより大きくなることは経験則に基づいて予想されるが、その証明を試みたところ、複素フーリエ級数展開を用いて

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{ik_n x}$$

(ただし  $n \neq 0$  周波数  $k$  とすると)

ここで  $n$  を整数とし、周期  $T$  をとって三角関数を想定しても、

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{\frac{2\pi i n t}{T}}$$

係数  $C_n$  が  $f(t)$  に従って、求められることしかわからず、小さな倍音のほうがより大きくなることは言えない。

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-\frac{2\pi i n t}{T}} dx$$

## 8. 結果

うなりに関する結果を表にまとめた。最も左の列に倍音の組み合わせを示し、最上段に音律の種類を示した。また、うなりが 7. 評価方法に従って存在しない場合には空欄とした。うなりが存在する場合にはうなりの周波数を示し、() 内の数字が何倍音同士の組み合わせであることを示している。

・CM

	音律 A	音律 B	音律 C	平均律
C-G				0. 89 (3-2)
C-E				10. 38 (5-4)
C-G				1. 77 (6-4)
E-G			18. 59 (6-5)	17. 79 (6-5)
E-G	12. 76 (7-6)			

FM7 on C と GM7 においても同様にして評価し、全ての作成した音律においてうなりが発生する回数は少なくなった。また、音律 A, B, C のうち 7. 評価方法に従うと音律 A または C が B よりも優れているといえる。加えて、音律 A と C を実際に音階のぼらつきを聞いてみて評価を行ったところ、音律 A はぼらつきがより少なかった。このことから、音律 A が作成した音律の中で最も良いといえる。

## 9. 考察

仮説の平均律の隣り合う比の無理数をより簡単な純正律の整数比に近づけることで、二音以上の倍音の音高の差は小さくなり、うなりはより遅くなるのではないかと。という部分はおおよそ正しいといえる。しかしながら、2 音以上の倍音の音高の差が大きくなった場面でも、大きくなりすぎたために 7.1 (1) の差音の弁別閾を 20Hz とし、20Hz 以上では人間が感知できるうなりとしては存在しないとする。という条件が作用してうなりは発生しなかったことがあった。また弁別閾についていきなり 20Hz でうなりが分離するという部分についてより厳密に議論する必要がある。加えて、平均律の隣り合う比の無理数をより簡単な純正律の整数比に近づける作業においては比の候補に条件を付けて検討立てるか、別方式によって比を変化させる必要がある。なぜなら無数の比の組み合わせが存在するために推当か総当たりになるからである。

## 10. 展望

純正律と同様にして振動数比を求めることで音律を作る場合、音のぼらつきが大きくなるため転調が不可能であることがわかった。中央の A=440Hz と定め、平均律の算出方法に従い、C2 から C3 までの一オクターブの周波数を求め、隣り合った音の周波数の差を考えることで一般化を目指す方法を模索することが良いと考えられる

## 11. 参考文献

『改定 物理』 東京書籍 『音楽と数学の交差』 桜井進 坂口博樹 大月書店  
宇宙に入ったカマキリ <https://takun-physics.net/?cat=18>



# 数列の図形化による数列と隣接二項間比の極限値の関係の考察

## Study of the Relationship between the Sequences and the Limit of its Adjacent Binomial Ratio by Visualizing the Sequences

### Abstract

The limit of adjacent binomial ratio of Fibonacci's sequence is golden number, and that of Pell's sequence is silver number. These numbers belong to metallic number, which is visually beautiful. When we draw 3-D graphs of some sequences that have metallic number as the limit of adjacent binomial ratio and compare elements which can be read from the graph, it turns out that the length of spiral drawn when is related to metallic number.

### 1. はじめに

フィボナッチ数列の隣接二項間比の極限値は黄金数を取り、類似した漸化式を持つペル数列の隣接二項間比の極限値は白銀数を取る。黄金数や白銀数は貴金属数の一種であり、特に黄金数、白銀数、そして第三貴金属数である青銅数が  $1:\mu$  ( $\mu$ は黄金数、白銀数、青銅数) の形で用いられた建造物や造形物は視覚的に美しいとされる。 $n$  が自然数のとき、第  $n$  貴金属数は以下のように表される。

$$\frac{n + \sqrt{n^2 + 4}}{2}$$

隣接二項間比の極限値に貴金属比を持つ数列を図形化して比較することによって数列とその隣接二項間比の極限値である貴金属数の視覚的にわかりやすい対応が見られるのではないかという仮説を立て、本研究を設定した。

### 2. 研究方法

隣接二項間比の極限値がそれぞれ黄金数<フィボナッチ数列>、白銀数<ペル数列>、青銅数<数列  $B$  (名称不明のため、以下数列  $B$  と呼称する)> となる 3 つの数列を 3 次元グラフ<sup>1</sup> を用いて図形化し、そこから読み取れる要素を比較することによって、数列とその隣接二項間比の極限値である貴金属数の視覚的にわかりやすい対応が見られるかを調べる。3 次元グラフ描画ソフトとして grapes3D を使用した。また、次の式は実際に 3 次元グラフ作成時に使用したグラフの式である。

$$\begin{cases} x = t \\ y = \frac{1}{\sqrt{n^2 + 4}} (\mu^t - \mu^{-t} \cos \pi t) \\ z = -\frac{1}{\sqrt{n^2 + 4}} \mu^{-t} \sin \pi t \end{cases}$$

( $\mu$  は第  $n$  貴金属数 /  $n = 1, 2, 3, \dots$ )

<sup>1</sup> 各数列の一般項の自然数  $n$  を実数  $x$  に変換して連続関数と見なし、実部と虚部に分割し、媒介変数表示を用いて  $x = t$  とし、 $y$  軸に実部、 $z$  軸に虚部を対応させた(付録 1、2 参照)

### 3. 結果

描画した3次元グラフは図1のようになった。このグラフより、 $x \leq 0$ の場合に描画した全てのグラフが螺旋を描き、 $x = -2n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) で  $n$  周することが判明した。螺旋が一周するまでの長さ、グラフ上での  $x = 0$  から  $x = -2$  までの螺旋の長さを求めると、媒介変数  $t$  によって表された曲線の区間  $ab$  の弧長  $s$  を求める式

$$s = \int_a^b \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dt$$

を用いて、次のように算出された。

$$\sqrt{1 + \left(\frac{1}{5}(4(\log \mu)^2 + \pi^2)\right)} - \sqrt{1 + \left(\frac{1}{5}\mu^4 \left(\frac{(\mu^4 + 1)(\log \mu)^2}{\mu^8} + \pi^2\right)\right)}$$

( $\mu$  は貴金属数)

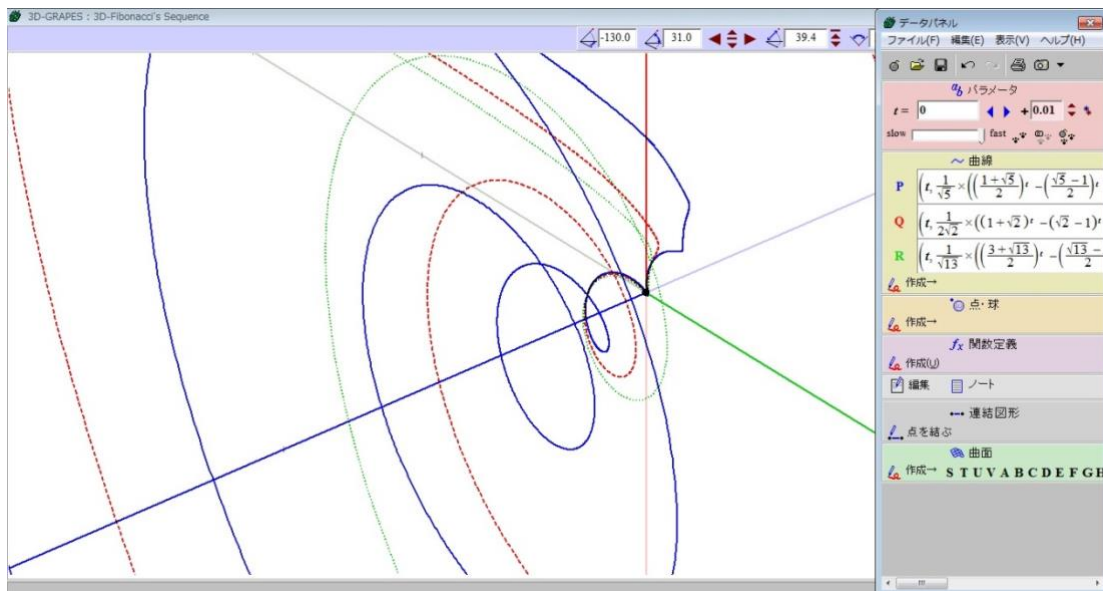


図1 3つの数列の3-D グラフ

(実線：フィボナッチ数列 / 破線：ペル数列 / 点線：数列B)

### 4. 考察

結果から、漸化式を  $a_k = na_{k-2} + a_{k-1}$  ( $k \geq 2, a_0 = 0, a_1 = 1, n = 1, 2, 3, \dots$ ) の形で与えられる数列の3次元グラフを描画した際に、 $x \geq 0$ で表れる螺旋の一周の長さには貴金属数が関係していることが判明した。また、求めた螺旋の一周の長さの式にある  $\mu$  は貴金属数である必要があるのかという質問を受けたが、数列とその数列から描画されたグラフの螺旋の対応という点で、 $\mu$  が貴金属数でなければその螺旋の式には隣接二項間比の極限值に貴金属数を持つ数列には対応せず、即ち  $\mu$  は貴金属数である必要があると結論付けた。

だが、実際に  $\mu$  が螺旋の形にどのように影響しているのかまでは調査できず、「視覚的にわかりやすい対応」については今後さらなる研究が必要となると考えられる。

## 5. 今後の課題

先述の通り、本研究の目的である隣接二項間比の極限值に貴金属数を持つ数列と貴金属数の視覚的にわかりやすい対応については研究が及ばなかったため、今後は主に描画した螺旋について、他の貴金属数が用いられた図形、対数螺旋などとの比較を通して数列のグラフと貴金属数の対応を考察したいと考える。また、グラフの極座標表示やゼータ関数との関係も考察したい。

## 6. 参考文献

- (1) 望月 理央・山本 直哉 (静岡県立高校) (2018). フィボナッチ数列とペル数列の関係
- (2) 結城 浩 (2007). 数学ガール SBクリエイティブ
- (3) “フィボナッチ数列の拡張 『離散』から『連続』へ” (2010)  
<https://mino-mathematics.blog.ss-blog.jp/2010-07-01>

## 7. 謝辞

本研究を進めるに当たり、指導教官の深澤義成先生からは多大な助言を賜りました。厚く感謝を申し上げます。

## 8. 付録

### (1) 数列の一般項からグラフの式の導出

Ex) フィボナッチ数列

$$\text{一般項 } F_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n + \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right)$$

$$\langle \text{フィボナッチ関数} \rangle F_{(x)} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^x + \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^x \right)$$

$$\left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^x = \left| \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right|^x \cdot (-1)^x$$

$$= \left( \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right)^x \cdot (\cos \pi x + i \sin \pi x)^x \text{ より}$$

$$F_{(x)} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^x + \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^x \right)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^x + \left( \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right)^x \cos \pi x \right) - i \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right)^x \sin \pi x$$

$$\text{実部 } \operatorname{Re}(F_{(x)}) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^x + \left( \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right)^x \cos \pi x \right)$$

$$\text{虚部 } \operatorname{Im}(F_{(x)}) = -\frac{1}{\sqrt{5}} \left( \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right)^x \sin \pi x$$

$$\begin{aligned} x &= t \\ y &= \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^x + \left( \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right)^x \cos \pi t \right) \\ \begin{cases} z &= -\frac{1}{\sqrt{5}} \left( \frac{\sqrt{5}-1}{2} \right)^x \sin \pi t \end{cases} \end{aligned}$$

(2) 離散関数/連続関数としての数列のグラフ

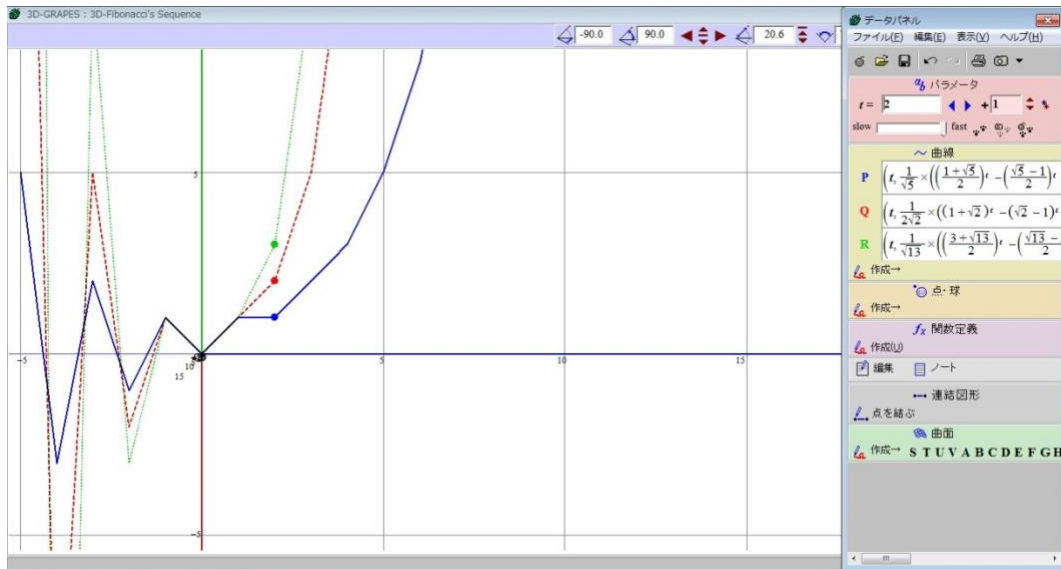


図2 離散関数としての数列のグラフ  
(増減幅 1)

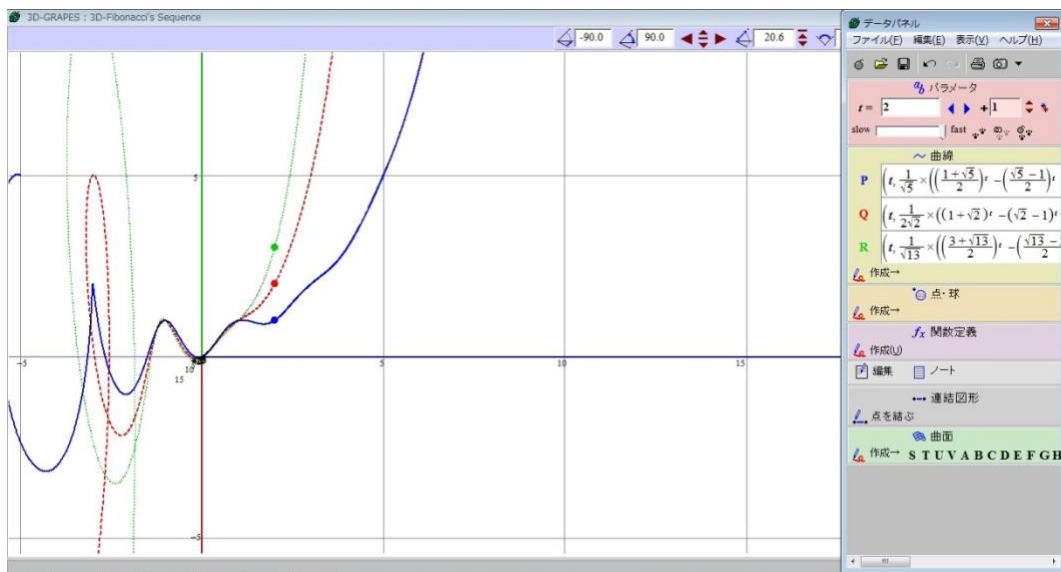


図3 連続関数としての数列のグラフ  
(増減幅 0.001)

# ジョンソンの立体の空間充填

## 数学から読み取る結晶構造

### Space filling of Johnson solids

### Crystal structure read from mathematics

#### Abstract

Our team aims to clarify the crystal structures by selecting and using the Johnson' solids. Our study was to research Johnson solids before, however the advice, by an university professor at the research presentation, changed our motivation. Now we research crystal structures by mathematical methods. The method is to compare the crystal structures with a number of solids by using a two-dimensional Voronoi diagram.

#### 1. はじめに

我々の班では結晶構造を数学的に明らかにするために、結晶構造と立体の関係について研究を行っている。本研究の目的は、特定の立体（ジョンソンの立体）と結晶との比較を2次元のボロノイ図等を用いて行い、結晶構造との関係を見出すことである。結晶構造は空間充填（空間を図形で隙間なく埋め尽くすこと）が可能であるので、空間充填の出来る立体と何らかの関連性があるのではないかと考えた。その中で特定のジョンソンの立体と結晶構造に関連性を見出すことができれば、そこから新たな結晶構造を予想することができるのではないかと考えた。また結晶構造の種類（SB記号）ごとに規則性があるのではないかと予想した。

（ジョンソンの立体とは、凹みがなく正多角形から成り立つ立体。ただし正多面体、切頂多面体、角柱を除いた立体である。）

#### 2. 研究方法

(1) 空間充填した立体（例えばジョンソンの立体）、結晶構造をそれぞれある平面に射影し、立体の元の頂点を射影した点を母点として、ボロノイ図を作成する。

（射影とは、3座標軸(x, y, z)のうち一つの要素を取り除いて表現することである。）

(2) それぞれ3つのボロノイ図を比較し、関連性を調べる。

（ボロノイ図とは、数個の点が配置されている平面を、どこの点が最も近いかによって領域分けをした図である。）

図1 CsCl型

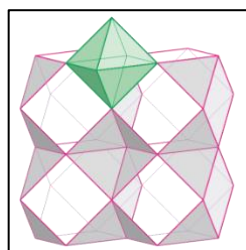


図2 正三角台塔 (J3)

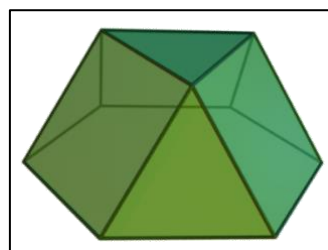


図 3

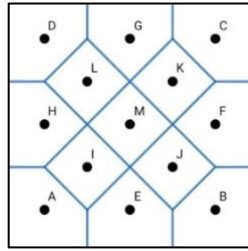
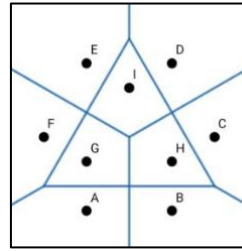


図 4



※図 3: 図 1 ボロノイ図 図 4: 図 2 ボロノイ図

図 5

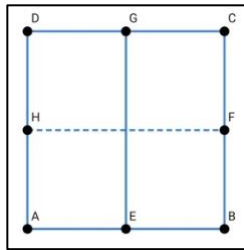


図 6

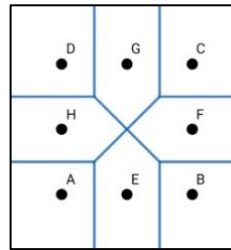


図 5 はジョンソンの立体 26 番である異相双三角柱を射影したあとの図。このとき、もとの立体の頂点を点 (A~H) としている。図 6 は図 5 の点(A~H)を母点として作成したボロノイ図である。

### 3. 研究結果

敷き詰めることのできる立体のボロノイ図の面の数と線の交点の数を表 1 にまとめた。具体的には規則性がみつけれなかった。しかし、表には同じ数値が現れる立体同士が出てきた。それがどのようなものか具体的に明らかにはできていないが、この関連の仮説を次のように立てた。空間充填できる全ての立体は例によって分類可能なのではないかという仮説である。また、下の表 1 および 2 は立体について面の数、ボロノイ図の直線の交点の数をまとめたものである。ジョンソンの立体には 1 種類の立体のみで空間充填できるもの、複数種類で空間充填できるものがある。本研究では、1 種類のみデータを表 1、2 種類のみデータを表 2 にまとめた。2 種類のものデータは、2 つの立体の面、交点の値を合計した数字である。








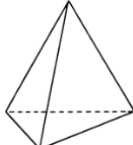
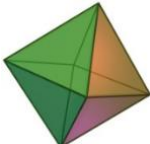
表 1 1 種類の立体のみで敷き詰め可能

	a 1	a 2	a 3	b 1	b 2	J 26
面の数	9	5	10	9	13	8
交点の数	4	4	6	4	12	5

表 2 2 種類の立体で敷き詰め可能な組み合わせ

	J 1+ J 3	J 1+ J 7	J 1+ J 9	正四面体 + J 1	正四面体 + J 4	正四面体 + J 8
面の数	14	9	14	9	16	9
交点の数	11	7	11	7	12	7
	正四面体 + J 28	正八面体 + J 3	正八面体 + J 7	正八面体 + J 12		
面の数	16	14	9	9		
交点の数	12	11	7	7		

表3 各立体の一覧

敷き詰め	立体	名称	図
可能 1種類で	J26	異相双三角柱	
	2種類で可能	J1	正四角錐
J3		正三角台塔	
J4		正四角台塔	
J7		正三角錐柱	
J8		正四角錐柱	
J12		双三角錐	
J28		同相双四角台塔	
/		正四面体	
		正八面体	

#### 4. 考察

本研究で用いた立体は、表1及び表2より数値に(9, 7) (14, 11) というように規則性があることは分かった。これは、表1及び表2においての数値にいくらかのパターンが見られることから示すことが出来る。ただし、具体的な規則は解明できておらず、分類のパターン分けについてまだまだ甘い。しかし、立体の大まかな分類が出来れば、そこからジョンソンの立体などと結晶構造の比較を行うことが容易になると考える。

#### 5. 今後の課題

本研究で、表1及び表2にまとめたような数値が比較対象となるジョンソンの立体と結晶構造との間において同様の数値が出てきたので、数値の観点から結晶構造を明らかにできる道筋も出来たと考える。ただ、現時点でこれらの数値の一致が何を意味するのかは複雑な理由からわかっておらず、それを解明できれば目標達成に向かえるはずである。本研究では、結晶構造を数学的観点から明らかにすることを目的として進めてきたが、結晶という概念をさらに超えることもできる。我々の班では、当面の研究のモチベーションとして、同じ「立体」という観点から「がん細胞の切除」にも応用できるのではないかと考えた。

#### 6. 図1、図2及び表3の画像の引用元

(1) 「ジョンソンの立体」

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B8%E3%83%A7%E3%83%B3%E3%82%BD%E3%83%B3%E3%81%AE%E7%AB%8B%E4%BD%93>

①ジョンソンの立体の説明と、立体画像の一覧を引用

(2) 「結晶構造」 <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%B5%90%E6%99%B6%E6%A7%8B%E9%80%A0>

①結晶の説明

②主に結晶構造の分類(SB記号)の表を参考にした。

#### 7. 参考文献・URL

(1) 「結晶構造データにおける記号法」 <https://www.jstage.jst.go.jp> 岩崎博

(2) 「思想の中の数学構造」 山下正男著 ちくま学芸文庫



# ランダムウォークによる2点の出会い Encounter of Two Points by Random Walk

I

## Abstract

A random walk is a movement, where the position of the point is determined at random. At first, we examine the properties of the random walks on each dimensions. In particular, we observe “the recursive probability”. We study random walks of two points, and calculate a probability of two points meeting, in some cases.

## 1. はじめに

ランダムウォークとは直線や平面上を点が動くとき、次に移動する点の位置がランダムに決定される運動である。

我々は1次元、2次元、3次元のランダムウォークの再帰確率について調べた。再帰確率とは、点が原点からランダムウォークを始め、そしてその点が原点にいつかは戻る確率のことである。実際に、1次元ランダムウォークでは100%、2次元でも100%であった。しかし、3次元では100%とはならないことが分かっている。ここで、ランダムウォークの再帰性について、原点以外からスタートする場合について、また2点が動く場合について知ること、現実での人が偶然に出会う確率について考えられるのではないかと思い、研究をしたいと考えた。

なお、今回の研究では1次元ランダムウォークを主に扱った。

## 2. 研究の方法

タイトルにある“2点の出会い”とは、2点が同時に動くランダムウォークを行い、その2点が同時に同じ座標に到達するというものである。2点の出会いを求めていくために、今回は以下の手順で研究を進めた。

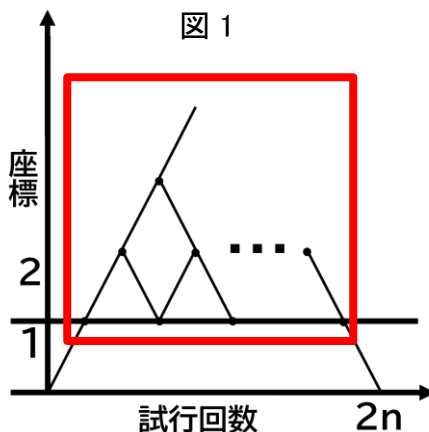
(1) 1次元ランダムウォークの再帰確率 についての確認を行い、自身らでも証明を行った。2点の出会いはスタート地点とゴール地点が異なる点である場合があるので、

(2) 原点から1離れた点からスタートし、いつかは原点を通る確率 について、

(3) 原点から2離れた点からスタートし、いつかは原点を通る確率 について考える。

(2)(3)については、2点の出会いはスタート地点とゴール地点が異なる点である場合があるため、証明を行った。

## 3. 研究の結果



### 3. 0 カタラン数

この証明では、カタラン数を使用する。図1のように、点が1回目に正の方向に動き、(2n)回目で原点に戻る場合を仮定する。このとき、図1の(1, 1)から座標1以上の部分を(2n-1, 1)まで“赤い枠の範囲”を点は自由に動く事ができる。このときの点の動き方の組合せがカタラン数である。

この式は、

$$C_k = \frac{2kC_k}{k+1} \quad (k \geq 0)$$

となる。この式は参考文献[3]のカタラン数:...の式を参考にした。

カタラン数は、

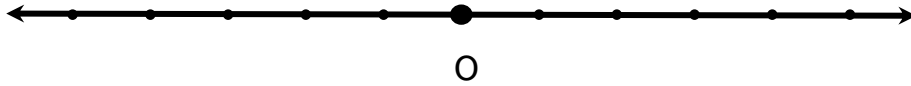
$C_0 = 1$ (これについては後述)、 $C_1 = 1$ 、 $C_2 = 2$ 、 $C_3 = 5$ ...

というように変化していく。

### 3.1. 移動する点が原点からスタートし、原点に戻る

( $n \geq 1$ )とする。

原点から点が  $n$  回正の方向に進むとすると、 $n$  回負の方向に進む必要がある。



求める確率はカタラン数より、

$$C_{n-1} = \frac{2^{(n-1)}C_{(n-1)}}{(n-1)+1} = \frac{2^{n-2}C_{n-1}}{n}$$

が成り立つ。これより、 $2n$  回目で初めて原点に戻る確率の式は、

$$\frac{C_{n-1}}{2^{2n}} \times 2 = \frac{C_{n-1}}{2^{2n-1}} = f_{2n}$$

となる。左辺で  $2$  を掛けているのは、原点からスタートするランダムウォークでは正の座標の範囲のみを運動する場合と、負の座標の範囲のみを運動する場合の  $2$  通りがあるためである。

なお、ここで  $f_{2n}$  の母関数を  $F(z)$  とする。

そして総和(いつかは原点に戻る確率)は、

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{n-1}}{2^{2n-1}} \times Z^{2n} = 1 - \sqrt{1 - Z^2}$$

となる。ただし  $f(0)=0$  とする。この式は参考文献[1]の母関数は  $F(z)=\dots$  の式を参考にした。 $z=1$  のとき  $F(1)$  は、 $f_{2n}$  の  $1$  から  $\infty$  までの和なので、

$$F(1)=1$$

となる。そして、 $\frac{C_{n-1}}{2^{2n-1}}$  に  $n=1$  から  $\infty$  まで代入すると、

$$\frac{C_0}{2^1} + \frac{C_1}{2^3} + \frac{C_2}{2^5} + \frac{C_3}{2^7} + \dots = 1(*)$$

となる。

以上より、原点からスタートするランダムウォークでは、いつかは必ず原点に戻る事が確認できた。

### 3.2. 移動する点が原点から1離れた点でスタートし、原点を通る

移動する点が  $(2n+1)$  回目に初めて原点を通る時の確率は、図 2 より、

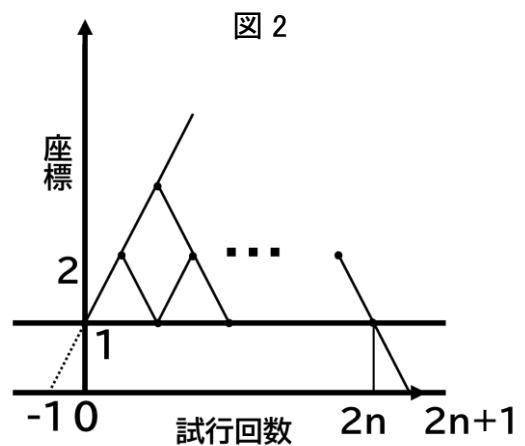
$$\frac{C_n}{2^{2n+1}} \quad (n \geq 0)$$

となる。

この総和(いつかは原点を通る確率)を  $S$  とすると、式は、

$$S = \frac{C_0}{2^1} + \frac{C_1}{2^3} + \frac{C_2}{2^5} + \frac{C_3}{2^7} + \dots$$

となり、この式の、右辺が  $1$  次元ランダムウォークの原点からスタートして原点に戻ってくる確率の総和(\*)と一致しているため、 $S=1$  となる。





#### 4. 結論

1次元のランダムウォーク(点を原点からスタートさせたときにいつかは必ず原点に戻ってくること)についての先行研究は我々で確認することができた。  
そしてスタート地点を原点から 1、2 とずらしても必ず原点を通ることが本研究によって証明された。

#### 5. 今後の課題

2点のランダムウォークの出会いについて考えるために、原点から 1,2 離れた点からスタートするランダムウォークだけでなく、任意の点からスタートするランダムウォークを考える必要がある。  
また、さらに現実的な 2点の出会いを考えるために、1次元のランダムウォークだけでなく 2次元のランダムウォークを考えていく必要がある。

#### 6. 参考文献

- 1 デジタル・デザイン・ノート ランダムウォークでいつかは原点  $x=0$  に戻ってくる確率  
[http://zakii.la.cocan.jp/enumeration/74\\_return\\_to\\_origin.htm](http://zakii.la.cocan.jp/enumeration/74_return_to_origin.htm) アクセス日 2019/06/01
- 2 ランダムウォークはじめの一步 著:J.Klafter I.M.Sokolov 出版社 共立出版
- 3 カタラン数の意味と漸化式 <https://mathtrain.jp/catalan> アクセス日 2019/06/01

# 水滴の跡が層状になる理由

## Reasons a Drop of Water is Layered

### Abstract

One day, I saw circular white marks on a beaker. When water droplets were dropped on the glass slide and dried on trial, white traces were left in layers. We started this study to find out why a drop of water is layered. We changed the conditions in various ways and hypothesized reasons based on similarities and differences.

### 1. はじめに

本研究の目的は水滴の跡が層状になる理由を明らかにすることである。この研究において層状とは、水滴を乾燥させた時に残る跡が◎のように複数個の円になることを指す。今回の研究に取り組もうと思った理由は、テーマ選びに悩んでいる時に、物理研究室に丸くて白い水の跡がたくさんついたビーカーを見つけたからである。試しにスライドガラスに水滴を落として乾燥させると、スライドガラスに白い跡が層状にできた。何が水滴の跡を形成する要因で、どのようにして水滴の跡ができるかが気になったため、調べることにした。今回の研究では、いくつか条件を変えて実験し、その結果の共通点や相違点から水滴の跡が層状になる理由を考えていきたい。

### 2. 主な研究デザイン

今回の研究で実験とは基本的に図1のように水溶液（水道水も含む）をある一定量落とし、乾燥させ、それらを観察することを指す。

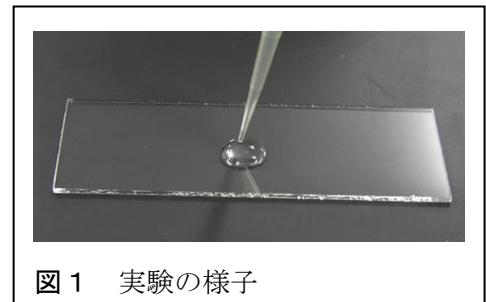


図1 実験の様子

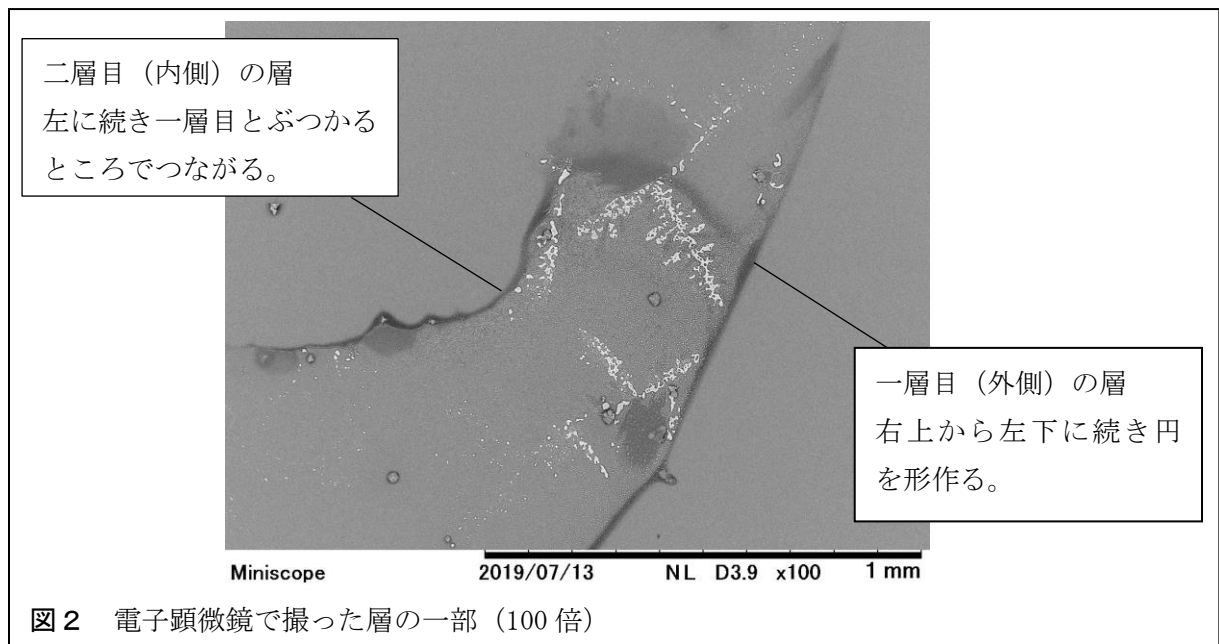
### 3. 実験の方法と結果

#### 実験1：層の確認

実験1では、まず層が本当にできているのかを確認するために次の二つの方法を用いた。

- ①スライドガラスに市販のスポイトを使って、水道水の水滴を落として乾燥させて、70個のサンプルを作って観察する。
- ②マイクロピペットを用いてカバーガラスに水道水を50 $\mu$ L落として乾燥させて、電子顕微鏡を使い、観察する。

実験1の結果、①70個のサンプルのうち61個で、目視で層が確認できた。②電子顕微鏡でも図2のように層状に粒が並んでいるのが確認できた。右側に縦断するのが一層目の跡で、それから左側にかけて続いているのが、二層目の跡である。よってこの二つの結果から水道水の水滴の跡は層状になると考えられる。



### 実験2：白い跡ができる理由

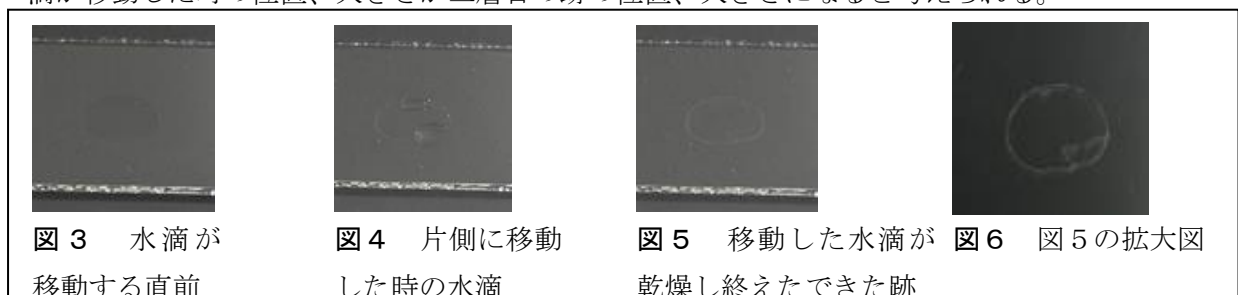
実験2では、白い跡は水溶液に含まれる乾燥しても気体にならない物質（以下不純物とする）ではないかという考えを確かめるために、蒸留水をスライドガラスに落として乾燥させて、観察した。

実験2の結果、蒸留水を乾燥させても跡は残らなかった。このことから水道水を乾燥させた時に確認できた白い跡は水道水に含まれる不純物だと考えられる。

### 実験3：蒸発の様子を観察

実験3では、水滴のどこから蒸発が始まり、どれくらいのスピードで蒸発して層になるのかを調べるために、乾燥していく様子をビデオカメラで録画して、観察した。この実験では、水道水 50  $\mu$  Lを用いた。

実験3の結果、図の3、4、5の順に乾燥していった。図6は図5を拡大したものである。乾燥し終えるまでにかかった時間は、約二時間であった。時間とともにだんだんと水滴が薄くなっていく（図3）、あるタイミングで水滴が片側に寄った（図4）。この時水滴が動く直前より厚みがある。そして、片側に寄った小さい水滴も乾燥して層状の跡ができた（図5）。これらのことから、あるタイミングで水滴が片側に寄った時の位置と大きさが、乾燥を終えてできた層と同じ位置と大きさになることが観察できた。また、この実験をしている中で、二つのことに気付いた。一つ目は、水滴は移動する際に、スライドガラスが傾いている方に移動し、傾いている方に二層目の跡を作るということである。もう一つは、乾燥させる液体の中にホコリ（跡を作る際に核となるもの）があると、ホコリのほうに水滴が寄せられて層が形成されにくくなるということだ。この実験から、水滴が移動した時の位置、大きさが二層目の跡の位置、大きさになると考えられる。



#### 実験4：蒸発スピードと層の関係

実験4では、蒸発するスピードを変えて実験を行った。水滴を落としたスライドガラスを箱の中に入れ、ラップをかぶせることで、蒸発スピードを変えた。この時、完全に密閉してしまわずに、ラップにコンパスでいくつか小さい穴をあけた。

実験4の結果、ラップをした方で確認できた水滴の跡では、層の内側が全体的により白くなっていることが観察できた。実験の途中でコンパスで開けた穴が小さかったのかラップの内側が曇ることがあった。ラップをしていたため、水滴が均等に蒸発して全体的に白くなったのではないかと考える。このことから蒸発スピードは層のでき方に関係があると考えられる。

#### 実験5：ミネラルウォーターと層の関係

実験5では、硬度が様々な6種類のミネラルウォーターを用いて、実験を行った。使用したのは、Evian、Volvic、養老山麓天然水、Contrex、Dr. Silica Water、Crystal Geyserの六種類である(図7)。

実験5の結果から、ミネラルウォーターの種類によって観察できる水滴の後は変わることが観察できた。図8はContrexの跡である。硬度の高いContrexの水滴の跡は大きい粒が跡の外側を縁取っていて、跡の中に横線が入っていた。図9はDr. Silica Waterの跡である。Dr. Silica Waterには多くのシリカ(ケイ素)が含まれている。



図7 使用したミネラルウォーター



図8 Contrexの跡

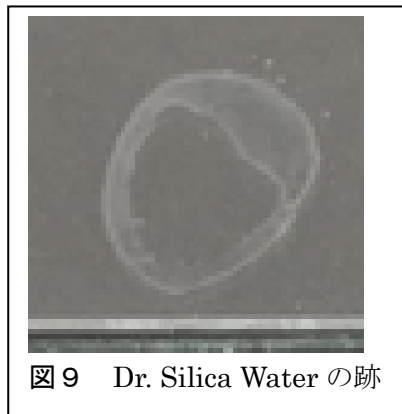


図9 Dr. Silica Waterの跡

これらの実験以外に、水道水は出す蛇口によって含まれる成分が変わってしまうため水道水と同じ成分を含む水溶液を作って、それを水道水として実験をしようとした。しかし、そもそも水道水にはいろいろな成分が含まれており、何をどれだけ含めるかを考えるのは難しい。更に、層を形成するのに影響しているであろう二酸化ケイ素( $\text{SiO}_2$ )と炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )だけに焦点を絞って、蒸留水にそれらを溶かしたものを作ろうとしても、水道水に含まれている二酸化ケイ素、炭酸カルシウムはごく少量なもので、濃度を合わせて作るのは難しかった。そのため含まれるミネラルが表記されているミネラルウォーターを用いた。

また、不純物が水に引っ張られているため層状に見えるのではないかとという仮説のもと、蒸留水に食塩、砂糖を溶かして、水溶液を作り、水滴を落として観察したが、濃度を合わせて作ることが難しく、結果としては層状にはならず結晶が析出した。

実験 1 より水道水の水滴の跡は層状になると考えられる。

実験 2 より水道水を乾燥させた時に確認できた白い跡は水道水に含まれる不純物だと考えられる。

実験 3 より水滴が移動した時の位置、大きさが二層目の跡の位置、大きさにになると考えられる。また、水滴は、移動する際にスライドガラスが傾いている方に移動し、傾いている方に二層目の跡を作る。乾燥させる液体の中に跡を作る際に核となるものがあると、核となるもののほうに水滴が寄せられて層が形成されにくくなる。

実験 4 より蒸発スピードは層のでき方に関係があると考えられる。

実験 5 よりミネラルウォーターの種類によって観察できる水滴の跡は変わるといえる。

#### 4. 結論

水滴に含まれる不純物によって水滴の跡は形成され、蒸発するスピードと水滴に含まれる不純物の量、種類は跡の形成に影響する。更に、跡が層状になる時、二層目の跡の位置、大きさは乾燥中に水滴が移動した時の位置、大きさと同じになる。また、水滴はスライドガラスが傾いている方に二層目の跡を形成し、跡を作る際に核となるものが水滴の中にあれば、層の形成を妨げると考えられる。

#### 5. 今後の課題

今後の課題はまず実験 4、実験 5 をもう一度やって結果を確かめることである。温度、湿度の変化が層を形成する時間に関わってくると考えるため、実験をする時に温度、湿度を揃えることも今後の課題である。また、水道水に含まれる物質の量も調べたいと思う。水滴の跡が層状になる本質的な理由を解明することはできなかったため、文献等も用いながらもう少し考察していきたい。

#### 6. 参考文献

水垢に水が移動する原因—兵庫県立加古川東高等学校

#### 7. 謝辞

この研究を行うにあたり、多くのご助言をいただきました本校 糠野順一先生、大阪教育大学の諸先生方にこの場を借りて深く御礼申し上げます。



# ガラスの温度と接触角の変化

～ $\theta/2$ 法を使って～

## Glass Temperature and Change in Contact Angle

～By A Half-angle Method～

### II

#### Abstract

Our hypothesis was that when a solid is warmed, the intermolecular force weakens and the interfacial tension decreases. We focus on the contact angle which is one of the phenomena caused by the interfacial tension.

We tested the hypothesis by applying heat to the glass and measuring the change in contact angle with water using a half-angle method.

#### 1. はじめに

##### (1)動機

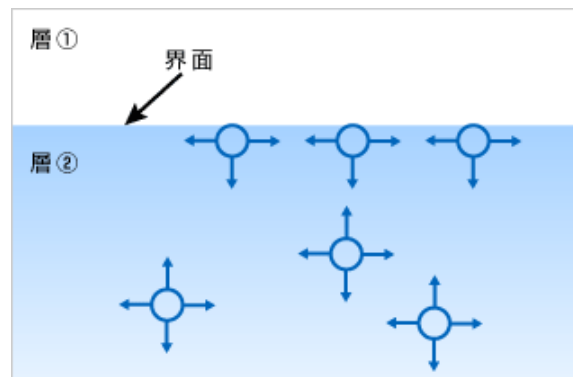
雨が降るとフロントガラスに水滴が残る。それでは視界が悪くなってしまうため、ガラスに水滴が残ることを防げるようにしたいと思いこの研究をしようと考えた。

##### (2)原理

分子は他の分子に囲まれた状態の方がエネルギー的に安定である。表面の分子は部分的にしか他の分子に囲まれていないため、エネルギー的に不安定である。そのため、分子を表面に持つために仕事を必要とする。これに必要なエネルギーを表面エネルギーと呼び、これが界面張力である。また、固体は自分で動くことができないため、表面を安定させようと分子を周りから持ってこようとする。これが固体の界面張力である。(〈図1〉参照)

##### (3)仮説

界面張力は分子間力であるので、ガラスに熱が加わると、分子間力が弱くなる。よって、界面張力が小さくなると考えた。また、それにより接触角が大きくなるという仮説を立て実験を行うことにした。



〈図1〉

#### 2. 実験方法

##### (1)準備物

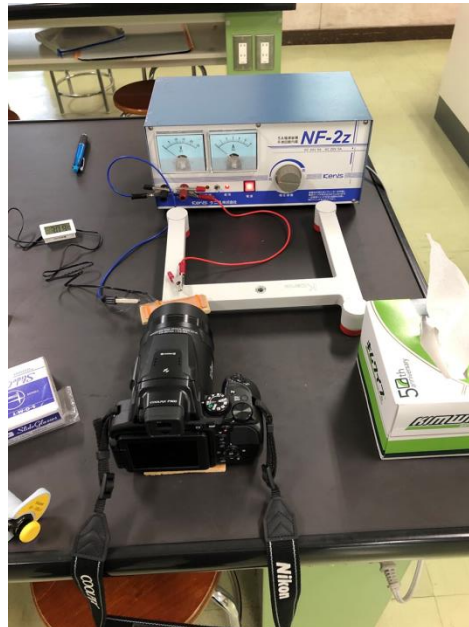
木の板(26 mm×76 mm)、銅板(26 mm×76 mm)2枚、スライドガラス(26 mm×76 mm)、電熱線、デジタル温度計、電源装置、ワニ口クリップ、デジタルカメラ、マイクロピペット、マイクロチップ、ビーカー、キムワイプ、輪ゴム、セロハンテープ、定規

## (2)実験装置

木の板に電熱線、銅板 2 枚、スライドガラスを置き、輪ゴムで固定する〈図 2〉。また、スライドガラスの端にデジタル温度計をセロハンテープで付ける。それを電源装置につなげる〈図 3〉。



〈図 2〉



〈図 3〉

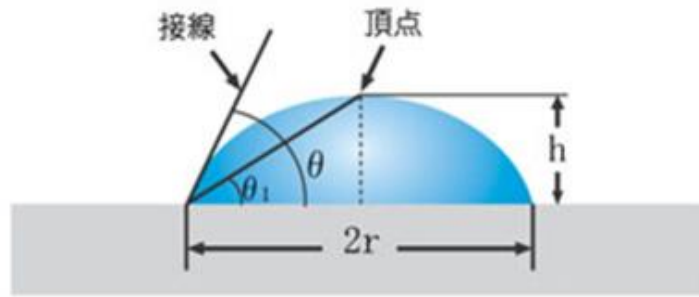
## (3)実験方法

- ① 電源装置の電源を入れ、温度計を見ながらガラスの温度を上げる。
- ② 水をマイクロピペットで  $10\ \mu\text{l}$  測り、スライドガラスの真中に落とす。
- ③ ②の様子をカメラで 10 秒間撮影する。また、それと同時にガラスの温度を撮り始めと撮り終わりの 2 回記録する。
- ④ ①～③を繰り返す。

## (4)測定方法

- ① 接触角は動画の水が落ちてから 5 秒後の水滴の  $r$  と  $h$  (〈図 4〉 参照)を測り、 $\theta/2$  法を用いて接触角を求める。

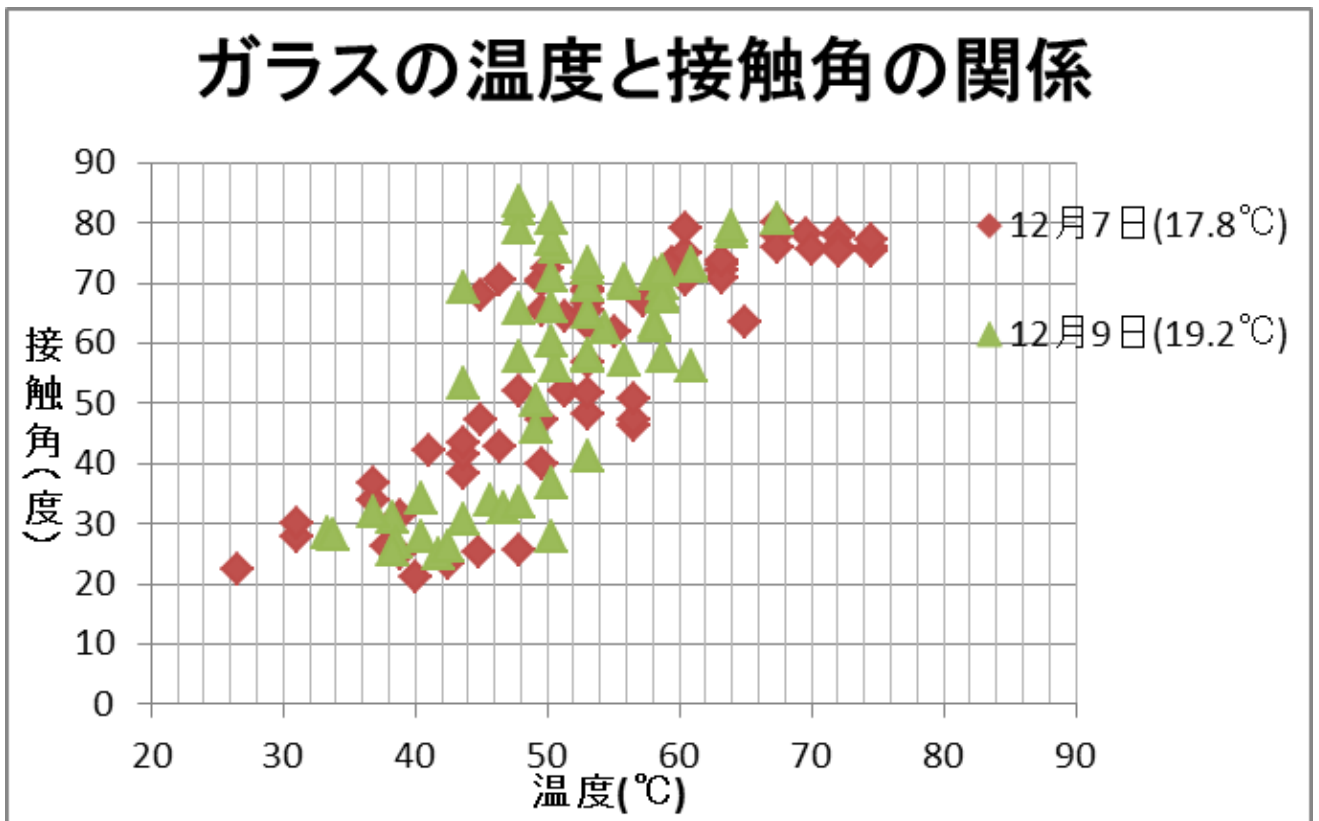
※ 接触角とは、〈図 4〉の  $\theta$  のことである。また、 $\theta/2$  法とは、液滴の輪郭が円の一部だとしたときの〈図 4〉の  $\theta_1$  が  $\theta$  の  $1/2$  であるということを使って接触角を求める方法のことである。またこの方法を用いた理由は、計測する値が  $r$  と  $h$  だけであり、身近にあるもののみで計測することができるからである。



〈図4〉

② 温度は動画の測り始めと測り終わりの値の平均とする。

### 3. 実験結果



〈グラフ1〉

- ・ グラフよりガラスの温度が高くなれば、接触角が大きくなっている。
- ・ 60°C以降は接触角が80度のまま変わらない。
- ・ 50°Cの結果は接触角にばらつきがあり、低いもので20度、高いものでは80度もある。

### 4. 考察

- ・ ガラスの温度が高くなれば接触角が大きくなっていることが多かったため、ガラスの温度が高くなれば、界面張力は小さくなるのだと考えられる。
- ・ 60°C以上の時の接触角が変わらなかった理由として、ガラス付近の空気の温度が暖められ、影響してしまったと考えられる。
- ・ 一度、50°C前後で温度変化が緩やかになったため、Vをあげて実験をつづけた。そのため、50°C前後の実験結果が多くなり、結果にばらつきがでたのだと考えられる。

## 5. 今後の課題

- ・ 実験回数が少ないため、実験回数を増やして、グラフを信憑性の高いものにしていきたい。
- ・ 今回の研究ではガラスの温度、接触角のほかに室温も計測していたが、湿度を計測していなかった。そのため、湿度による影響を考慮できず、正確なデータとは言えない。
- ・ 接触角の計測方法が人の目による計測であるため、また液滴が円の一部であるという仮定のもと計算で接触角を出すため、誤差が出てしまう。接触角計を用いて正確な値を計測したい。

## 6. 参考文献

- ・ 表面・界面張力とは？ | 三洋貿易株式会社 科学機器事業部  
<https://www.sanyo-si.com/learn/report/02/> (界面張力の図)
- ・ 接触角（ぬれ性）とは | 研究開発を支援する界面科学測器の専門メーカー：協和界面科学株式会社  
[https://www.face-kyowa.co.jp/science/theory/what\\_contact\\_angle.html](https://www.face-kyowa.co.jp/science/theory/what_contact_angle.html) ( $\theta/2$ 法の図)
- ・ 界面張力の数理物理的描像:マクロとミクロの視点から
- ・ 千葉大学大学院理学研究科/JST さきがけ 北畑 裕之  
<http://www.kurims.kyotou.ac.jp/~kyodo/kokyuroku/contents/pdf/1748-01.pdf>
- ・ ブット・グラフ・カペル 界面の物理と化学 鈴木祥二・深尾浩次共訳 丸善出版株式会社

# 粘り気によるミルククラウンの高さの変化について

## Changes in milk crown height due to viscosity

### Abstract

Milk crown is a phenomenon in which a crown is formed by dropping a drop of milk on the upper surface of milk in a container. Our group thought that the unique viscosity of milk might affect the formation of milk crown. In this study, we are experimenting with replacing milk with a mixture of water and laundry paste and changing the ratio.

### 1. はじめに

ミルククラウンとは、容器に入った牛乳の上面に一滴牛乳を垂らすことにより、中央部からの波の伝達による不安定な液体の増幅が原因で、王冠状のものできる現象である。私達の班では、牛乳独特の粘り気がミルククラウンの形成に影響を与えているのではないかと考えた。本研究では、牛乳を水と洗濯糊の混合液に置き換え、粘り気を変えることによってミルククラウンの高さがどう変化するかを追求することを目的とした。

### 2. 研究方法

#### (1) 仮説

粘り気が大きくなるほど、引き上げる力が大きくなるので、ミルククラウンは高くなる。

#### (2) 準備物

- ・洗濯糊
- ・シャーレ
- ・点滴
- ・スタンド(点滴を固定する)
- ・定規
- ・スローカメラ

#### (3) 実験方法

- ①直径 8.8 cmのシャーレに水と洗濯糊の混合液を高さ 5 mmになるように 24ml を注ぐ。
- ②地面から 82 cmの位置に色をつけた混合液を用意する。
- ③①のシャーレと同じ濃度の混合液を 43 cmの位置から点滴で落とす。
- ④iPhone のスローカメラで撮影する。
- ⑤撮影した動画から、ミルククラウンの高さを測る。
- ⑥混合液の濃度を 10%ずつ変えて、それぞれの割合で 10 回ずつ実験を繰り返す。



図1 実験装置

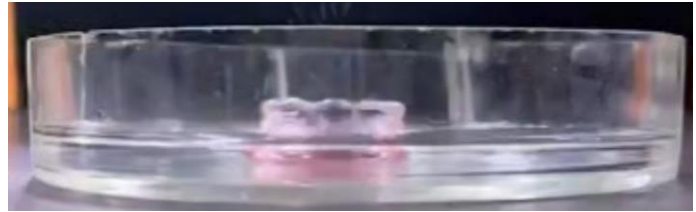


図2 ミルククラウンが形成されている様子



図3 上から落とした水が跳ね上がる様子  
※2枚とも、水：洗濯糊=9:1の時である

### 3. 実験結果

(1)この研究では、最初に「粘り気によるミルククラウンの角の数の変化」について調べた。結果として、ミルククラウンが形成されていることは観察できたが、スローカメラの性能上、角を数えることができなかった。そのため本研究では、ミルククラウンの高さに注目を置いて研究することに決めた。

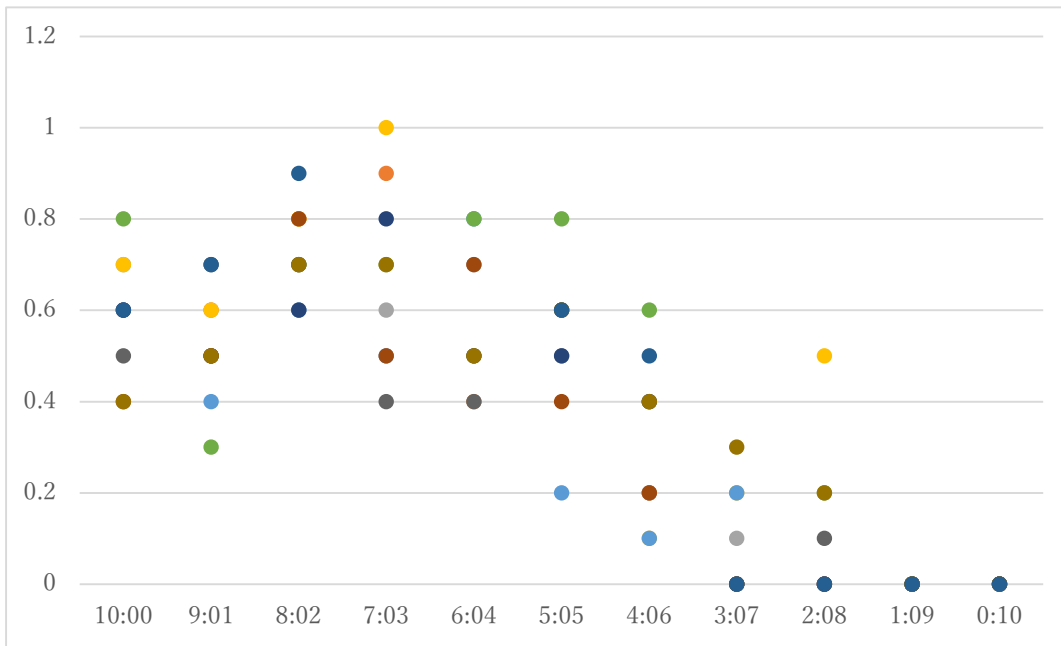
(2)①上から落とした液体が、受ける水を跳ね返し、引き上げることによってミルククラウンが形成される。(図2)

②色のついた上から落とした水が跳ね上がる。(図3)

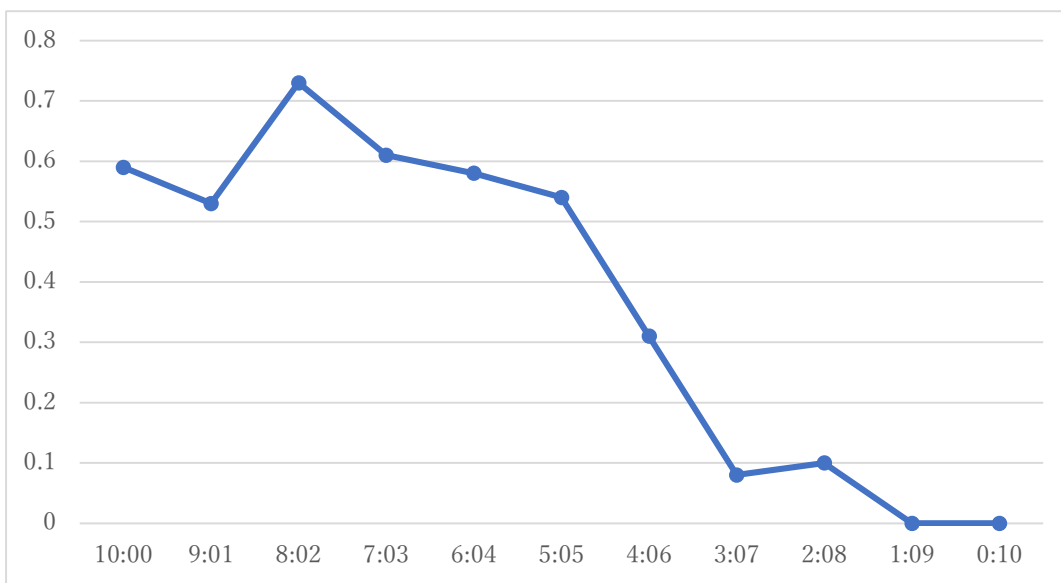
その結果をまとめたのが、以下の表である。

<水:洗濯糊>

	10:0	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5	4:6	3:7	2:8	1:9	0:10
①	0.6	0.6	0.8	0.9	0.4	0.6	0.2	0	0	0	0
②	0.7	0.5	0.7	0.6	0.7	0.5	0.2	0.1	0	0	0
③	0.7	0.6	0.8	1	0.5	0.6	0.1	0.2	0.5	0	0
④	0.6	0.4	0.6	0.5	0.8	0.2	0.1	0.2	0	0	0
⑤	0.8	0.3	0.7	0.7	0.8	0.8	0.6	0	0.2	0	0
⑥	0.6	0.5	0.6	0.8	0.5	0.5	0.4	0	0	0	0
⑦	0.4	0.5	0.8	0.5	0.7	0.4	0.2	0	0	0	0
⑧	0.5	0.7	0.7	0.4	0.4	0.6	0.4	0	0.1	0	0
⑨	0.4	0.5	0.7	0.7	0.5	0.6	0.4	0.3	0.2	0	0
⑩	0.6	0.7	0.9	0.4	0.4	0.6	0.5	0	0	0	0
平均	0.59	0.53	0.73	0.61	0.58	0.54	0.31	0.08	0.1	0	0



グラフ1 それぞれの比率によるミルククラウンの高さ(n=10)  
 [縦軸・・・ミルククラウンの高さ(cm) 横軸・・・水:洗濯糊]



グラフ2 それぞれの比率の平均値をつないだもの  
 [縦軸・・・ミルククラウンの高さ(cm) 横軸・・・水:洗濯糊]

#### 4. 考察

実験結果及び上記のグラフより、それぞれの割合において数値に散らばりはあるものの、平均値をつなげたグラフが山形であることから、液体の粘り気とミルククラウンの高さには関連性があることがわかる。また、水:洗濯糊=8:2のときにミルククラウンの高さが最も高くなることが読み取れる。(グラフ2より)

つまり、液体の粘り気が大きすぎると、上から落とした液体が持っているエネルギーが吸収されてしまい、受ける水を跳ね返し、引き上げる力が弱まるため、高さの低いミルククラウンが形成されると考えられる。逆に液体の粘り気が低いと、上から落とす液体にある程度のかたさがないので、受ける水を跳ね返す力が弱くなるため、高さの低いミルククラウンが形成されるとも考えられる。

## 5. 今後の課題

本研究では、ミルククラウンの高さに注目をおいたため、粘り気によってミルククラウンの直径がどう変化するのかという点でも調べることで、液体の粘り気とミルククラウンの形についてより正確な関係が見えてくるはずである。また、今回の実験ではそれぞれの割合において10回ずつ試行を行ったが、もっと試行を増やし、一回一回の実験についても精度を増すことで、より精密なデータを得ることが必要である。

## 6. 参考文献・URL

- (1) 「美しいミルククラウンの形成」
- (2) 「ミルククラウン現象」

<http://www.nara-gyunyuya.com/qa/crown.htm>

## 7. 謝辞

本研究を進めるにあたって、貴重なご意見をくださった大阪教育大学の先生方、そして物理研究室の糠野先生に深く感謝申し上げます。



# 落水の分離現象

## A Separate Phenomenon of Falling Water

### Abstract

When water is falling, it falls straight at first, but later it separates into drops. We decided to call it “a separate phenomenon of falling water.” This can be checked when we turn a faucet on. Changing the amount of water and adding detergent to the water, we examined this phenomenon.

### 1. はじめに

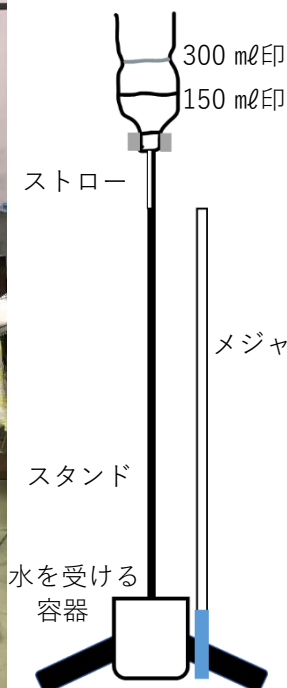
水道管の蛇口を弱い力でひねって水を出したとき、始めは一本の線のようにまっすぐに流れ落ちるが落ちていくうちにその線は途切れ、水の粒となって分離する。この現象に関する研究が見つからなかったため「落水の分離現象」と呼ぶことにし、なぜ落水が分離するのかを調べることにした。



### 2. 実験方法

落水の分離には表面張力が関わっているのではないかと考えた。

ハイスピードカメラで落水を観察したところ分離の位置は刻一刻と不規則に変化していたため、多くのデータを取り全体的な傾向を調べる必要があった。カメラが動画を読み込むのには時間がかかるため何回も動画を撮影するより一回の撮影で多くのデータをとれた方が効率が良い。そこで容器内の水量が変化しても分離には影響がないことを示してから表面張力の大きさの変化による分離への影響を調べることを目的とする実験を行った。



#### <装置>

水道管の蛇口では複数回の試行で条件を一定にするのが難しいため、水を流し落とす自作の装置を用いて実験した。500 ml ペットボトルの底を切断し口の部分にストローを粘土で固定したものをスタンドに取り付け、ストローの先端が 0 cm になるように横にメジャーを立てた。ペットボトル器具には 300 ml、150 ml のところに印をつけた。

#### <撮影>

32 倍のハイスピードカメラで撮影した。実験の目的の水量より多く水を入れ、ストローから水が出ることにより水面が下がり目的の水量の印のところに来た瞬間に撮影を開始した（撮影は 4 秒ほどで自動的に終了）。

<計測>

落水の流れは連続的であり動画内の全ての分離のデータをとることはできないため、2分程度の動画の10秒ごと(0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120秒)の静止画のデータのサンプリングを行った。長さはストローの先端から落水の線状部分の先端までを横のメジャーを見て計測した(0.1cmの単位まで)。

(1) 実験1 容器内の水量の影響

水がペットボトル容器の300mlのところまで下がった時に撮影を開始したもの10回分(データ数13×10個)と、150mlのところまで撮影を開始したもの10回分(13×10個)における落水の線状部分の長さを計測した。

(2) 実験2 洗剤の影響

洗剤を混ぜた水がペットボトル容器の150mlのところまで下がった時に撮影を開始したもの10回分(13×10個)における落水の線状部分の長さを計測した。

<洗剤を混ぜた水について>

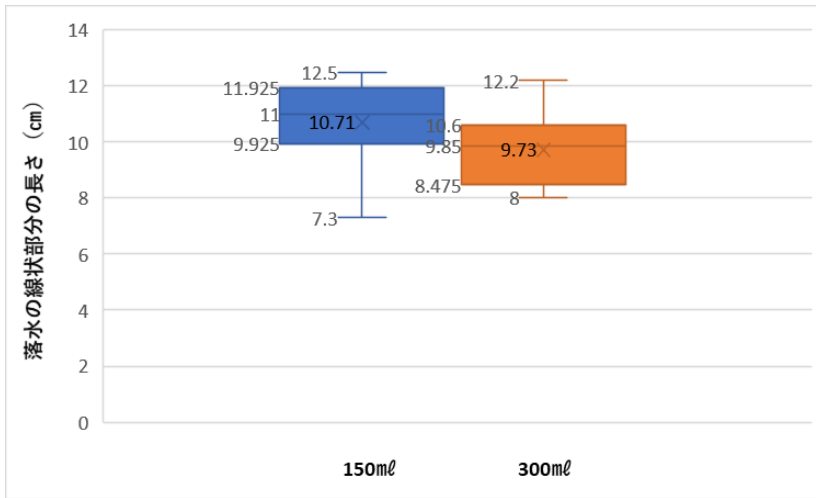
- ・使用した洗剤…キュキュット 食器用洗剤 オレンジの香り
- ・液性…中性
- ・成分…界面活性剤(37%、高級アルコール系(陰イオン)、ジアルキルスルホコハク酸ナトリウム)、安定化剤
- ・濃度…水で0.20%に薄めた

3. 実験結果

(1) 実験1 容器内の水量の影響

容器内の水量が300mlになった時に撮影を開始した落水の線状部分の長さ (cm)													
撮影開始からの時間 (秒)	0	0.3125	0.625	0.9375	1.25	1.5625	1.875	2.1875	2.5	2.8125	3.125	3.4375	3.75
1回目	8.1	10.5	10.1	10.5	13.8	11.2	10.9	13.3	15.8	13.6	9.4	13	11.5
2回目	10.2	10.8	9.9	9.6	10.7	7.2	10.9	8.7	13.6	10.1	8.7	9.1	11.5
3回目	10	8.4	10.2	11.4	9	10.1	7.5	9	8.4	8.9	9.5	10.2	11
4回目	12.2	11.9	10	11.5	10.4	10.3	8.6	8	12.5	8.8	11.3	11.8	10.4
5回目	11.5	9.1	7.9	10.4	12.4	8.8	9.7	8.5	12	11.8	9.5	10.2	12.3
6回目	8	9.7	8.3	9.4	11.8	10.8	9.3	10.5	8.6	9.6	11.2	12	9.2
7回目	8.7	7.8	10.4	8.4	8.3	10.4	8.2	9.5	7	7.9	9	11.4	7.9
8回目	10.3	6.7	11.1	10.7	9.5	8.1	14.2	8.8	9.7	7.2	8.4	8.8	7.2
9回目	9.7	10.5	12	9.5	8.5	8.1	9.4	7	10.9	8.3	8	8.4	13.1
10回目	8.6	9.8	9.8	9.2	10.5	10.8	10.3	9.2	8.2	9.1	10.2	6.5	10.9
容器内の水量が150mlになった時に撮影を開始した落水の線状部分の長さ (cm)													
撮影開始からの時間 (秒)	0	0.3125	0.625	0.9375	1.25	1.5625	1.875	2.1875	2.5	2.8125	3.125	3.4375	3.75
1回目	10.8	9.5	8.7	7.2	13.2	17.7	13.3	7.1	11.8	11.9	10.4	13.4	10.7
2回目	10.1	9.6	12.3	6.6	13.5	11.7	9.9	10.4	14.5	8.2	10	3.1	8.4
3回目	12.5	10.1	10.9	12	8.6	11.2	10.5	8.5	11	9.7	6.7	14.2	9.3
4回目	11.2	9.3	12.1	11.7	11.7	8.5	9.5	7.9	13.8	10.3	10.5	11.9	9.2
5回目	10.2	10.4	11.3	7.7	10	9.2	7.1	8.2	8.5	13.3	8.5	11.3	11.6
6回目	9.4	9.3	9.4	10	8	11.2	11	10.8	12.3	9.5	11.4	12	10
7回目	12	12.5	8.1	10.9	12	10.5	6.9	9.3	10.1	8.5	11.1	10.7	10
8回目	11.7	13.4	8.8	12.5	9.3	9.3	8.6	10	8.8	9.7	10.1	12	11.7
9回目	11.9	9.4	10	9.3	11	9.2	7.6	8	13.3	8.3	9.2	12.3	8.7
10回目	7.3	11.5	6.7	8.6	8.4	7.2	6.8	6.4	8.8	10.3	8.7	9.6	11

撮影を開始する容器内の水量が 300 ml のときも 150 ml のときも、一回ごとの試行において、落水の線状部分の長さは刻一刻と不規則に変化していた。

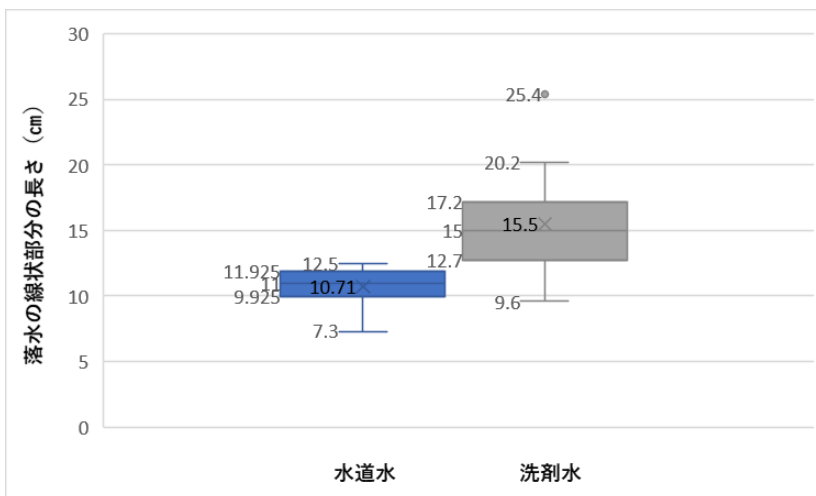


撮影開始時の容器内の水量が 300 ml のときの落水の線状部分の長さの最大値と最小値は、撮影開始時の容器内の水量が 150 ml のときの落水の線状部分の最大値と最小値の間に含まれていた。

## (2) 実験 2 洗剤の影響

容器内の水量が150mlになった時に撮影を開始した流れ落ちる洗剤水の線状部分の長さ (cm)													
撮影開始からの時間 (秒)	0	0.3125	0.625	0.9375	1.25	1.5625	1.875	2.1875	2.5	2.8125	3.125	3.4375	3.75
1回目	25.4	7.6	22.9	24.2	19.1	20.7	17.1	17.8	12.4	18.9	18.2	20.7	18.5
2回目	13.1	14.6	17.3	18.2	14.1	10.4	15.2	14.6	9.7	14.8	12.9	16.2	9.4
3回目	9.6	20.3	14.8	17.2	19.6	10.7	15.1	11.2	20.8	18.7	15.7	16.3	19.1
4回目	15.2	14.1	11.2	12	19.7	19.2	15.8	19.7	16.3	10.4	19.7	15.9	11.1
5回目	16.2	13.6	13.5	9.6	9.8	14	17.2	24.6	20.5	24.6	11.2	21.5	17.5
6回目	11.5	13.7	9.5	12.5	18.5	7.2	9.5	9.5	14.5	22	17.5	11.5	10
7回目	14.8	14.3	13.3	9.4	11.8	9	11.5	13.8	14.1	10.7	14.3	24.7	20.5
8回目	15.4	18.8	14.1	16.7	15.6	22.6	15.3	21.8	26.7	16.7	14.6	16	16.8
9回目	20.2	18	19.5	15.4	17.7	13.8	23.4	30.1	18.8	18.7	25.1	19.7	14.4
10回目	13.6	16.6	33.2	17.2	20.6	13	19.5	26.7	19.8	19	19.7	20.1	19

一回ごとの試行において、落水の線状部分の長さは刻一刻と不規則に変化していた。

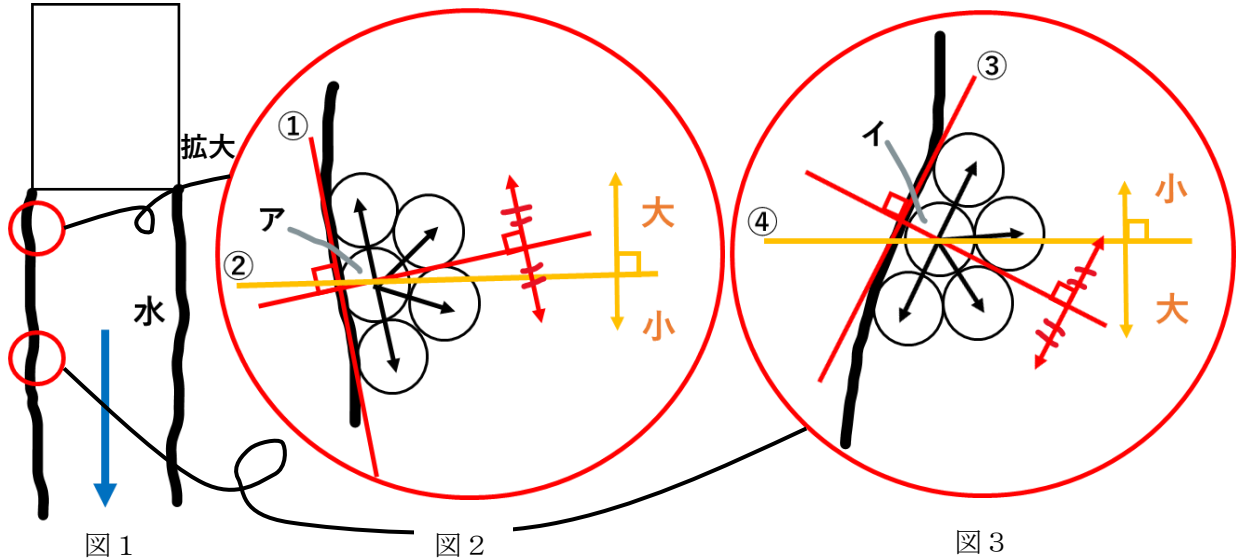


水道水での線状部分の長さは最長で 12.5 cm だったが、洗剤水では全体の 75% が 12.7 cm より長かった。t 検定を用いたところ二群に有意差がみられた。洗剤水のデータの散らばり具合は水道水のものより大きかった。

#### 4. 考察

(1) 実験1は容器内の水量の影響を調べる目的で行ったが、撮影を開始するのは手動であり撮影開始時の水量から誤差が生じるためこの実験は目的に合っていない。実験2ではt検定により水道水のデータと洗剤水のデータに有意差がみられたことから、水に洗剤を加えることで分離の位置は低くなると考えられる。

(2) 以上の実験を通じ、落水の分離について次のような仮説を考えた。



落水の液体表面は始めから少し乱れている(図1)。図2において水分子アは半球状に並ぶ周りの水分子に引っ張られ、液体表面とその水分子の接線に垂直な直線を境に水分子アが引っ張られる力は等しくなる。よって直線①(液体表面と水分子アの接線)が下に行くほど液体内部に向かうとき、地面に平行な直線②を境に考えると水分子アが上向きに引っ張られる力は下向きに引っ張られる力より大きくなる。また図3において直線③(液体表面と水分子イの接線)が下に行くほど液体外部に向かうとき、地面に平行な直線④を境に考えると水分子イが下向きに引っ張られる力は上向きに引っ張られる力より大きくなる。したがって液体表面が下に行くほど液体の内側に向かっていてところにある液体表面の水分子は上に引っ張られ、液体表面が下に行くほど液体の外側に向かっていてところにある液体表面の水分子は下に引っ張られる。

液体表面の水分子がそれぞれの液体表面の形に応じて上に引っ張られたり下に引っ張られたりすることが繰り返され、落水にくびれができる(図4)。くびれが細くなると水はちぎれ、丸くなって水の粒となる。

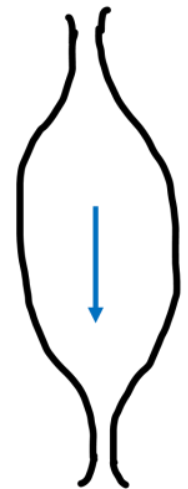


図4

#### 5. 今後の課題

今後の課題としては、実験2でなぜ洗剤水のデータの散らばりが大きかったのかを考察したり前述の仮説を検証したりすることが挙げられる。

#### 6. 参考文献

上平恒. 水とはなにか(新装版)ミクロに見たそのふるまい. 講談社.

2009年7月20日



落水がちぎれる直前

# 糸電話を伝わる音の変化

## Changes in the Sound Transmitted Through the Yarn Phone

### Abstract

A yarn phone is toy that converts sound into vibration of the yarn and transmits it to sound again. Currently, it has been found that increasing the tension of the yarn increases the volume of the transmitted sound. The purpose of this study is to investigate what kind of change is seen in the sound transmitted through the yarn phone when the yarn condition is changed of the yarn phone.

### 1. はじめに

本研究では、糸電話において糸を曲げるといった、糸の状態を変化させた場合の糸電話を伝わる音の大きさにどのような変化がみられるのか調べることを目的とした。

一般に、糸電話とは2つの紙コップの底を糸でつなぎ、片方で話したことを、離れたもう片方で聞き取ることのできる玩具を指す。その原理は、音声を糸の振動に変換して波を伝達し、再び音声に変換することによるものだ。

本研究の仮説としては、糸電話を伝わる音の波を縦波と仮定したとき、外的要因が加わらない限り波の振動数は変わらないので、音の三要素のうち音の大きさのみが変化すると考えられる。ま

た、糸を曲げた場合では波の進む道は変わらないので、音の大きさに変化はなく変わらず一定だと考えられる。

### 2. 研究方法

- (1)toon 社のアプリ「ATG Lite」(写真 I)を用いて 67 dB, 1013 Hzの音源を流す。
- (2)糸電話において受信する側の音の大きさ (dB) を糸の条件ごとに測定する。
- (3)測定は Grace Jo 社のアプリ「騒音測定器」(写真 II)を用いて 1 秒間隔に値を出す。
- (4)連続した 5 秒間の値の平均をとり、10 回繰り返し、平均をとる。
- (5)平均値を求める際は、最大値と最小値を省いて計算する。
- (6)得られた値を比較し、考察する。

写真 I



写真 II



※音源は2 m離れた地点で、耳で聞き取ることが出来なかった音を使用する。

※本研究において、糸は比較的固定しやすい0.04 mmの鉄製の針金を指すこととする。

※糸電話はスタンドを用いて固定する(写真Ⅲ参照)。

※糸は下記の3つの条件で実験を行う(図Ⅰ参照)。

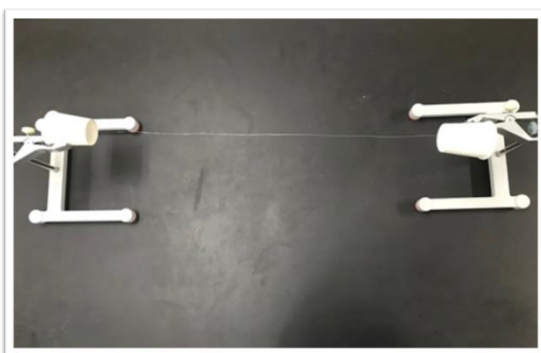
- ① 2 mの直線の糸を用いる場合
- ② 2 mの直線の糸の midpoint に 50 cmの糸を括り付けたものを用いる場合
- ③ 2 mの直線の糸を midpoint で、50 cmの糸を基点にし、直角に曲げたものを用いる場合

※実験場所の環境音の測定と誤差といえる値を設定するための予備実験を行う。

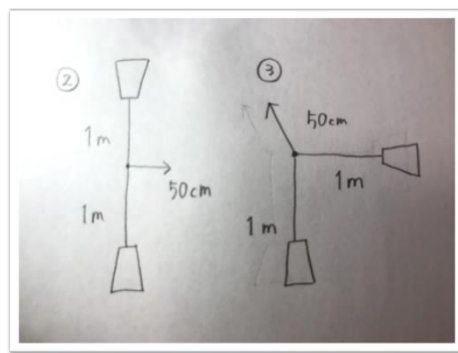
下記の3つの条件で、音源からの距離が2mの地点で測定した音の大きさ(dB)を比較する。

- ① 実験に用いる音源を流さない場合
- ② 音源を流す場合
- ③ 糸電話を介して音源を流す場合

写真Ⅲ



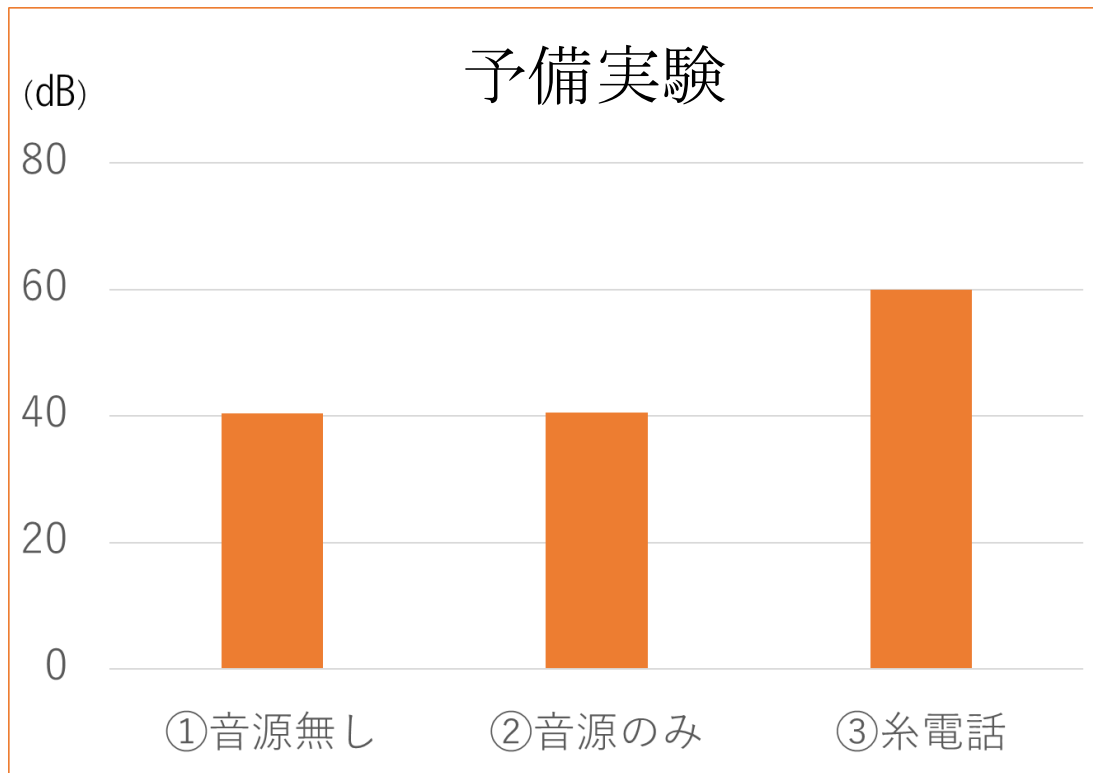
図Ⅰ



### 3. 実験結果

#### (1) 予備実験

グラフⅠ

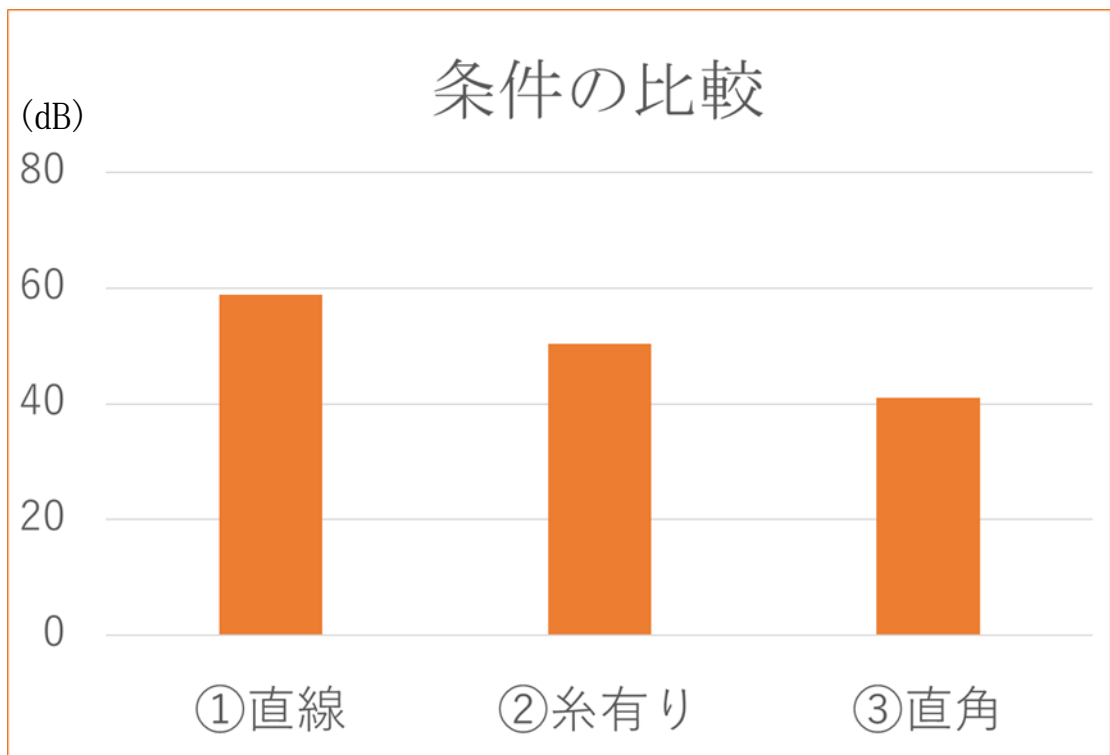


グラフ I は予備実験の結果をまとめたもの。

- ・ ①音源を流さない場合は 40.45 dB、②音源を流した場合は 40.54 dB、③糸電話を介して音源を流した場合は 59.96 dB だった。
- ・ ①音源を流さない場合と②音源を流した場合から、1～2 dBほどの差は誤差と設定しても構わないことが分かった。
- ・ ①音源を流さない場合から、実験場所の環境音は 40 dBほどあり、実験をする際には環境音について考慮する必要があるということが分かった。
- ・ ②音源を流さない場合と③糸電話を介して音源を流した場合から、糸電話を用いると音の大きさが大きくなることが確認できた。

## (2)比較実験

グラフ II



グラフ II は比較実験の結果をまとめたもの。

- ・ ①直線の糸を用いた場合は 58.84 dB、②直線の糸に糸を括り付けたものを用いた場合は 50.46 dB、③直線の糸を直角に曲げたものを用いた場合は 41.10 dB だった。
- ・ ②直線に糸を括り付けたものを用いた場合は、予備実験の③糸電話を介して音源を流した場合より音の大きさは大きくなっていて、①直線を用いた場合に比べると小さくなっていて。
- ・ ③直線を直角に曲げたものを用いた場合と、予備実験の②音源を流した場合と比べると若干音の大きさは大きくなっていて、音の大きさの変化を耳で聞き取ることは出来なかった。

## 4. 考察

糸を糸電話に括り付けたことによって、その糸が糸電話において外的要因となってしまったため、音の大きさに変化がみられたと考える。また、直線に糸を括り付けた場合に比べて、直線の糸を直角に曲げた場合の音の大きさが小さくなったのは、糸を曲げるときに括り付けた糸を強く引っ張りすぎてしまい、糸の張力に差が出てしまったからだと推測している。しかし、音の大きさの違いが、これらの理由だけでは説明できない程大きいのは、最初に設定した仮説である糸電話を伝わ

る音の波が縦波であるということが誤っているからだと考えられる。

## 5. 今後の課題

研究を本格的に始めたのが遅く、満足な回数の実験をすることができなかったので、より正確なデータを得ることが重要だと考える。また、糸電話を伝わる音の波が縦波か否か、音の三要素のうち音色にはどのような変化があるのか調べるため、研究を続ける必要があると考える。

## 6. 参考文献

- ・「糸電話を伝わる音の変化について」 鍛冶山凌、山口憲 2016年11月14日
- ・「糸電話を伝わる音の研究」 第12回 山崎賞



# ダイラタンシー現象における流体の硬化のしやすさ

## Easiness of fluid hardening in dilatancy phenomenon

### Abstract

Dilatancy phenomenon is that a liquid becomes like a solid by applying an external force. Mixing water and potato starch to make a dilatant fluid. And find the degree of cure when the weight is dropped on the dilatant fluid at various speeds and clarify the relationship. The same experiment was performed using radish instead of water. It was hypothesized that the greater the external force applied, the harder the material.

### 1. はじめに

粒子が最密充填構造であるときに外力を与えることによって固体のように固くなる現象をダイラタンシー現象という。このダイラタンシー現象が起こる液体のことをダイラタント流体と呼ぶ。先行研究によりダイラタント流体の硬化のしやすさは、与える外力の強さに影響されると考えられる。そこで、水と片栗粉を混ぜて作ったダイラタント流体にさまざまな速さでおもりを落としたときの硬化度の違いを検証した。また、水の代わりにデンプンを分解する働きを持つアミラーゼを含む食品から抽出した液体でも同様に実験を行った。

### 2. 研究方法

水 100g と片栗粉 140g を混ぜ合わせてダイラタント流体を作る。図 1 はそのダイラタント流体を顕微鏡で観察したものである。この流体にさまざまな高さからおもりを落としたときに、おもりが流体の表面でとどまる時間を数値化する。



図 1

### 3. 仮説

- ・与える外力が大きい、つまりおもりを落とす高さは高いほどより硬化する。
- ・溶媒を、アミラーゼが含まれているものに変えると硬化度は低下する。

#### <実験 1>

先ほど作ったダイラタント流体に以下 4 つの高さから直方体のおもりを落とし、おもりが流体の表面でとどまった時間（秒）を測定する。

- (1) 流体の表面から 5cm の高さ
- (2) 流体の表面から 10cm の高さ
- (3) 流体の表面から 15cm の高さ
- (4) 流体の表面から 20cm の高さ

#### <実験 2>

実験 1 で使用したダイラタント流体の溶媒である水 100g を、アミラーゼを含む以下の食品から抽出した液体に変えて、実験 1 と同じ高さからおもりを落とす。

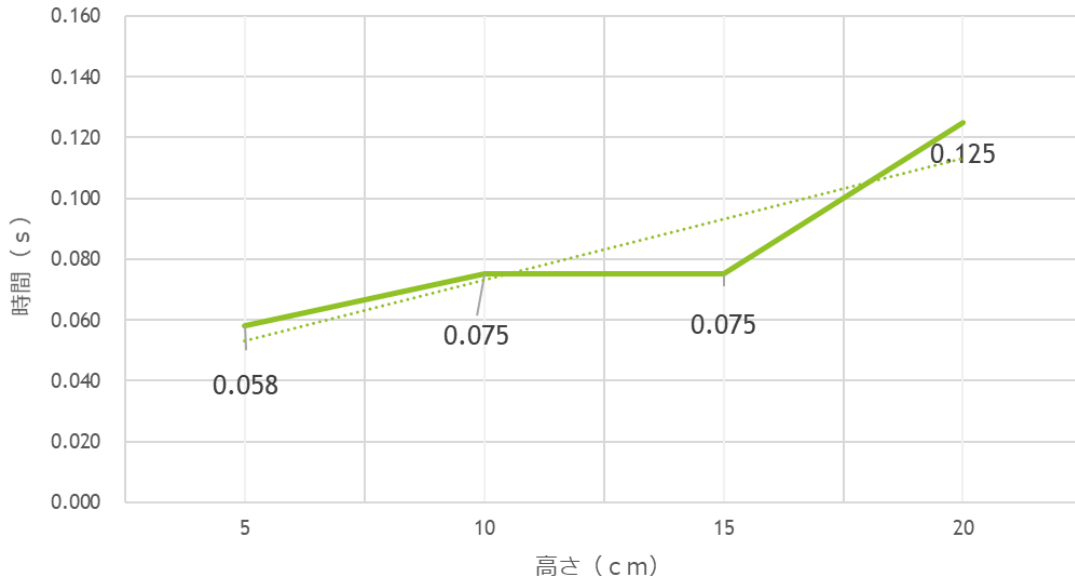
- (1) 大根を吸引ろ過で液状にしたもの。
  - (2) (1) を 40°C で熱したもの。
  - (3) 長イモを吸引ろ過で液状にしたもの。
- ※アミラーゼはデンプンを分解する働き  
 ※40°Cはアミラーゼの至適温度

4. 実験結果

以下のグラフは全て縦軸に時間 (秒)、横軸に高さ (cm) をとったものである。

<結果 1 >

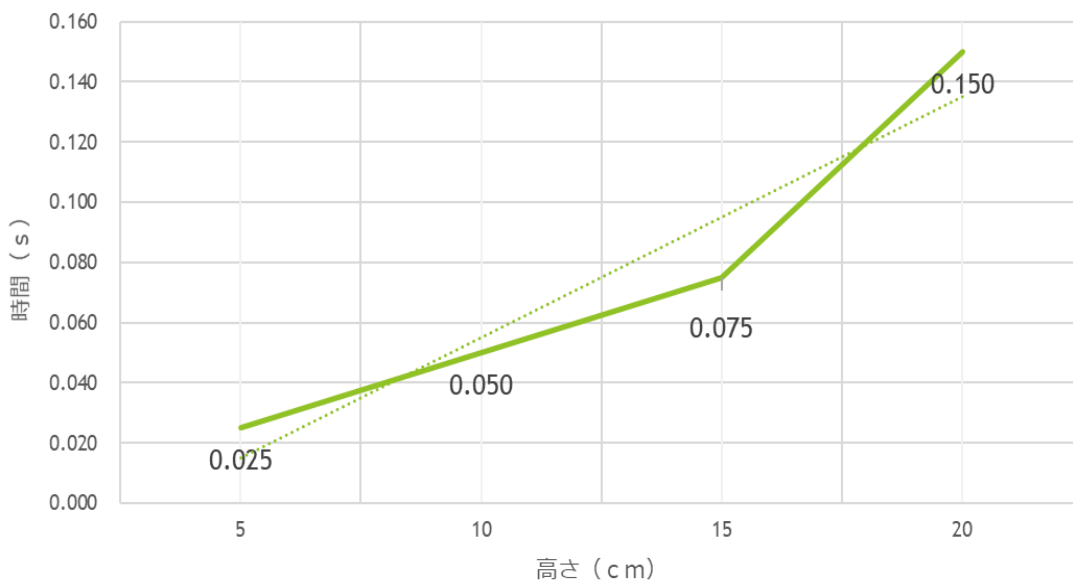
結果 1



10cm から 15cm において硬化度が変わってないが全体的には高さが高いほどより硬化していることが分かる。

<結果 2 (1) >

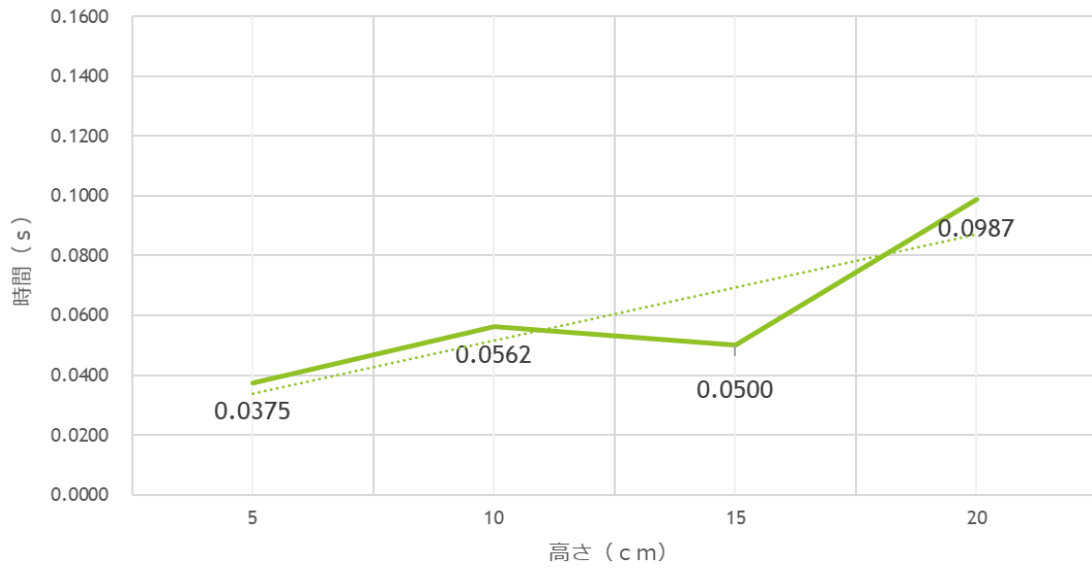
結果 2 (1)



高さが高くなるにつれ硬化している。結果 1 と比べると 20cm 以外の高さの硬化度が下がっていることが分かる。

<結果2 (2)>

結果2 (2)



10cm から 15cm において硬化度が低下している。

<結果2 (3)>

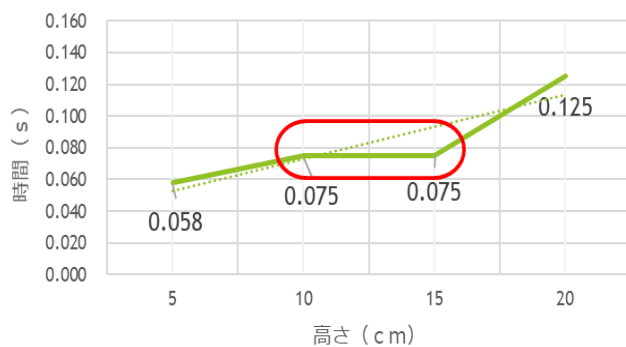
長イモは粘り気が強く液状にならなかったため、実験できなかった。

5. 考察

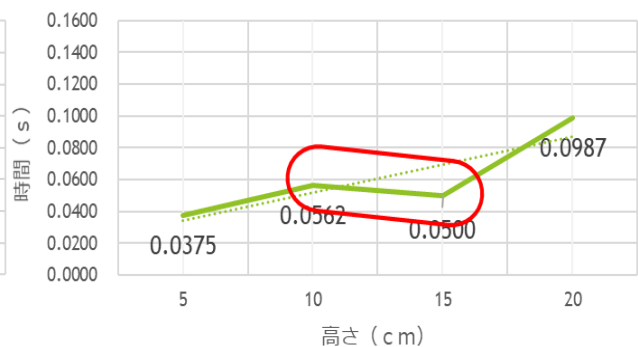
まず、実験1の10cmから15cmにかけて硬化度が変わっていない点と、実験2の(2)の10cmから15cmにかけて硬化度が低下している点においては、ダイラタント流体の水分の蒸発の可能性、もしくは容器内でのおもりを落した位置に影響されている可能性があると考えた。

しかし、実験1と実験2の(1)を比べたときになぜ20cmのときだけ、実験1の方が硬化度が高いのかは、解明できなかった

結果1



結果2 (2)



## 6. 反省・課題

まず実験回数が少ないことが挙げられる。結果の数値は平均値をとっているがもう一度実験を行うと結果が変わる可能性が大いにあり、データの信用性が薄いと言える。

次に実験している間に水が蒸発した可能性があることが挙げられる。水が蒸発してしまうことで水と片栗粉の比率が変わってしまうため水が蒸発していない状態で実験を行う必要がある。

また、今回は容器内でのおもりを落とす位置を考慮せずに実験を行ったのでおもりを落とす位置が違ふときには実験結果に差が出るのかを検証したい。

さらに、実験2の溶媒のアミラーゼを含む食品として大根のみでしか実験できなかった。アミラーゼの有無が硬化度に影響されるか調べるためには、大根だけでなく他の食品を使っても同様に実験を行う必要がある。

## 7. 参考文献

ダイラタンシー現象と液体の界面張力の関係

ダイラタンシー現象における力と速度の関係

# デンプンによる生分解性プラスチックの合成

## Synthesis of Biodegradable Plastic Made from Starch

### Abstract

We did the research of making biodegradable plastics by using starch. The purpose of this study is to clarify the condition that they made and to make the practical plastic made from starch.

### 1. 研究背景

近年、プラスチックによる土壌や海洋の汚染などの環境問題が深刻化してきている。それを改善するために、微生物などによって水や二酸化炭素などの自然物に分解される生分解性プラスチックというものが生産されるようになってきた。しかし現在作られている生分解性プラスチックは主にトウモロコシなどの穀物を原料としており、それらは余剰農作物対策として使われるようになったのだが、そのバイオ燃料を作るために森林を切り開いて栽培している所もあり環境改善されているとは言えない。そこで昨年度、まだ研究段階で実用化されていないデンプンを用いて酢酸エステル化しデンプン分子中のヒドロキシ基に酢酸分子を脱水縮合させることによりプラスチック性を付与させ、3種類のデンプンで合成することに成功した。今回はどのような条件で合成させたときに生分解性プラスチックとして実用出来るようなものが生成されるのかを見出すことを目的として研究を行った。

### 2. 研究目的

- (1)馬鈴薯デンプン、コーンスターチ、葛粉、甘藷デンプンの4種類のデンプンを用いて湯浴温度や時間、加える水の量などを変えながらデンプンのヒドロキシ基の酢酸エステル化を行い、プラスチックを生成することが可能なかを明らかにすること。
- (2)生成したプラスチックの熱可塑性、強度、膨潤性を調べ、プラスチックとして実用可能かどうかを明らかにすること。

### 3. 実験

この研究では、主に4つの実験を行った。

#### (1)酢酸を用いたエステル化による生分解性プラスチックの合成

##### ①目的

デンプンから生分解性プラスチックを合成する。

##### ②方法

デンプン分子中のヒドロキシ基に酢酸分子を脱水縮合させることにより、プラスチック性を付与する。(図1)

##### ③手順

- デンプン 2 g、蒸留水 2 mL、酢酸 2 mL×4 (A)  
デンプン 2 g、蒸留水 1 mL、酢酸 2 mL×2 (B) を用意する
- それぞれに濃硫酸を数滴入れ、(A) 2本と、(B) 2本は用いるデンプンの糊化温度範囲に合わせた温度で5分間湯浴させ、残りの(A) 2本は 80°Cで5分間湯浴させる
- 適温まで冷やしてから炭酸水素ナトリウム水溶液で中和させる
- 数日間冷蔵庫で乾燥させる

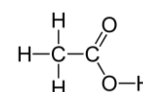
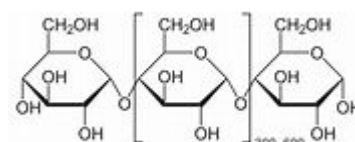


図1 (上) デンプン分子  
(下) 酢酸分子

#### ④結果

すべてのデンプンにおいて、液状のまま固まらなかった。4種類とも80°Cで湯浴させたものが糊化温度範囲に合わせた温度で湯浴させたものよりも少し透明になっていた。(図2、3、4、5)



図2 馬鈴薯デンプン  
(左) (A)糊化温度範囲で湯浴  
(中) (B)糊化温度範囲で湯浴  
(右) (A)80°Cで湯浴  
※図3、4、5 上記と同様



図3 コーンスターチ

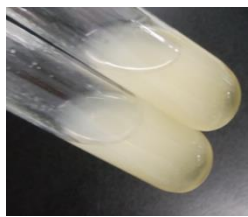


図4 葛粉

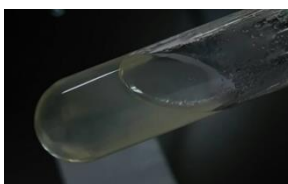
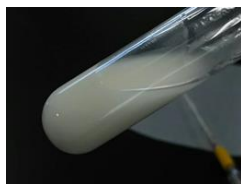


図5 甘藷デンプン

#### (2)分光光度計を用いた実験

実験1の結果から、なぜすべての条件において固化しなかったのか、また80°Cで湯浴させたものがどうして透明になったのかを調べるために分光光度計を用いて吸光度を測ってみた。

##### ①目的

デンプンがエステル化されているのかどうか、また80°Cで湯浴させたものが透明になった理由を明らかにする。

##### ②方法

分光光度計を用いて吸光度のグラフをとる

→グラフの形状に変化が見られたら変化が起こっている、つまりエステル化されている可能性があると言えるのではないかと考えた。

##### ③手順

- (i) (A)を糊化温度範囲に合わせて湯浴させたものと(A)を80°Cで湯浴させたものを用意する
- (ii) 比較としてデンプンを水に溶かしただけのものも用意する
- (iii) 吸光度を測定する

##### ④結果

上と中のグラフの形状が似ているため、糊化温度範囲に合わせて湯浴させても物質は変化しないことが分かる。また上と中のグラフと比べて下のグラフの形状は異なるため、80°Cで湯浴させることによって物質は変化することが分かった。(図6、7)

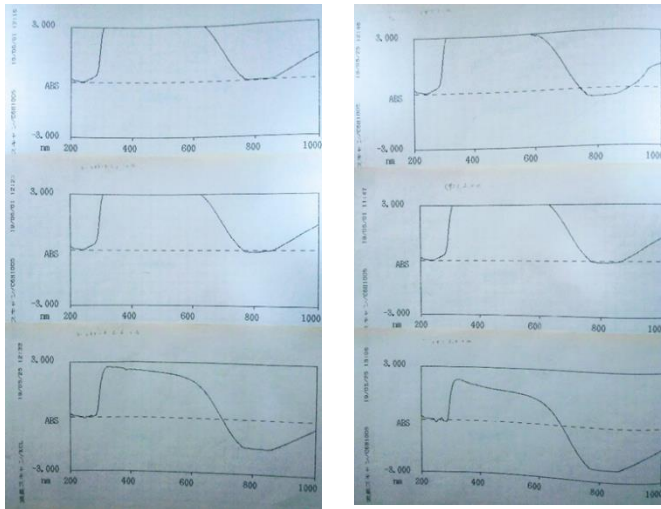


図6 コーンスターチ

図7 葛粉

図6、7

(上)デンプンを水に溶かしただけのもの

(中) (A)糊化温度範囲で湯浴

(下) (A) 80°Cで湯浴

### (3)無水酢酸を用いたエステル化による生分解性プラスチックの合成

実験2の結果から、80°Cで湯浴させることによってエステル化することが分かったのだが、実験1でも述べたように、酢酸を用いて合成させても固化しなかった。そこで酢酸から無水酢酸に変えて同様の実験を行った。

#### ①目的

無水酢酸を用いて実験1と同様の実験を行い、酢酸で合成したときとの違いを見出す。

#### ②方法

デンプン分子に無水酢酸を用いてアセチル化させることにより、プラスチック性を付与する。(図8)

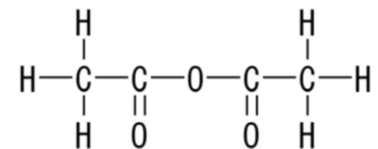


図8 無水酢酸分子

#### ③手順

- (i) (A)×2を用意する
- (ii) 80°Cで5分間湯浴させる
- (iii) 適温まで冷やしてから炭酸水素ナトリウム水溶液で中和させる
- (iv) 数日間冷蔵庫で乾燥させる
- (v) 酢酸を用いて実験を行ったときとの違いを見出す

#### ④結果

酢酸では固化しなかったのに対し、無水酢酸では全て固化した。また色は酢酸では透明になっているのに対して、無水酢酸では白っぽくなっている(図9、10、11、12)



図9  
馬鈴薯デンプン

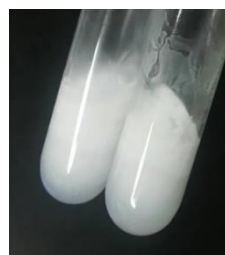


図10  
コーンスターチ



図11  
葛粉



図12  
甘藷デンプン

また、取り出してみたところ片栗粉とコーンスターチはあまり固まっておらず、少しドロドロしていて上手く取り出すことが出来なかったが、葛粉と甘藷はきれいに取り出すことが出来た  
→葛粉と甘藷を用いて合成させると良い

#### (4)熱可塑性と膨潤性の検証

##### ①目的

生成したプラスチックが実用することが出来るものであるかどうかを明らかにする。

##### ②方法

ホットプレートに乗せて熱可塑性があるかどうかを調べる。また水の中に5分間浸けたときのプラスチックの質量変化を見ることで、膨潤性がないかどうかを調べた。また実験3より、用いるデンプンは葛粉と甘藷デンプンの2種類とした。

##### ③手順

- (i) プラスチックを入れたビーカーをホットプレートに乗せ、160℃で5分間と10分間加熱し変化を見る(図13、14、15)
- (ii) 水を入れたビーカーにプラスチックを入れ、5分間浸けることで浸ける前と後での質量の変化を見る(図16)

##### ④結果



図13 加熱前

図14 5分加熱後

図15 10分加熱後

だんだんと柔らかくなりガラス棒でつくと簡単に変形させることができた。

→熱可塑性はあるのではないか。

	水に浸ける前	水に5分間浸けた後
葛粉	1.167 g	1.233 g
甘藷デンプン	1.348 g	1.453 g

少し増えているが、これは水に5分間浸けた後にプラスチックの表面についた水滴をきちんと拭き取らなかったのが原因であると考えられるため、膨潤性はそこまで見られないと考えられる。

#### 4. 考察

今回行った4つの実験からデンプンを用いてプラスチックを生成するには、葛粉と甘藷デンプンを用いて無水酢酸によって80℃で湯浴させる方法が適しており、その方法で生成されたプラスチックは十分に実用可能なものであると考えられる。

#### 5. 今後の課題

- ・膨潤性の検証をもう少し正確な結果が出せるようにすること。
- ・実用化に向けて様々な形をしたプラスチックを作れるようにすること。
- ・今回見出した方法でなぜ合成させることが出来たのかを考え、明らかにすること。

#### 6. 参考文献

工藤謙一(1962)「澱粉からプラスチックを作る」

<https://doi.org/10.1271/kagakutoseibutsu1962.33.159>

独立行政法人 農畜産業振興機構 alic [https://www.alic.go.jp/joho-d/joho07\\_000117.html](https://www.alic.go.jp/joho-d/joho07_000117.html)

東京化成工業株式会社 <https://www.tcichemicals.com>

#### 7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導くださいました指導教員の南勝仁先生、大学院生の方々、並びに中間発表などの際にご助言賜った先生方に感謝申し上げます。



# 納豆を用いた水質浄化

～水質浄化原理の証明と中和剤物質の特定～

## Water Purification by Using Natto

～Prove Principle of Water Purification and Specify Neutralizer～

### Abstract

Elucidate the system of cleaning the polluted water by using  $\gamma$ -PGA which is the material of extracted from Natto(Japanese traditional food).And we investigate the best proper neutralizer to add with  $\gamma$ -PGA to change sewage water to clean water. We study that the way of changing the sewage water to clean water by using something around our life.

### 1. はじめに

～廃棄物問題と水不足問題解決のために～

ポリグルタミン酸(以下  $\gamma$ -PGA)には水中の汚れた粒子を凝集して沈殿させる作用を持つ。 $\gamma$ -PGA は納豆のムチンの構成物質である。私たちの研究ではこの  $\gamma$ -PGA を納豆から抽出して用いている。昨年度までの先行研究では、 $\gamma$ -PGA を汚水に加えると浄化作用を持つにもかかわらず、ほとんど浄化されないことが分かった。そこで私たちは水質浄化原理という仮説を立てた。これは今まで行っていた手順に加えて、 $\gamma$ -PGA を汚水に加える前に負の電荷を持っている汚水に中和剤を加えて、先に粒子を中和させてから  $\gamma$ -PGA を加えるという仮説である。今年の研究では、この水質浄化原理を証明することと、中和剤として用いる物質の最適な物質の特定を行った。

### 2. 研究方法

～水質浄化原理を証明する&中和剤として適当な物質の特定～

#### 1. 先行研究との相違点

先行研究では汚水を運動場の土を用いて泥水を作って使っていたが、それに加えて班員の家の池の水も汚水として用いている。また汚水を 500 mL ペットボトルに入れて実験を行っていたが 300 mL ビーカーに変更して実験を行った。また汚水が浄化されたと言うときに、昨年までは透明度が上がることを条件にしていたが、それに加えて汚水が浄化実験後に沈殿物を生じさせたとき、その沈殿物の大きさが明らかに泥などの粒子よりも大きいと判断できた、といった判断基準を満たしたときに浄化されたということにする。

今年度の研究では、上記したように、2つの研究を行った。

1つ目は私たちが立てた仮説(\*図1参照)、水質浄化原理の証明である(実験①)。これは先行研究の実験手順に、 $\gamma$ -PGA を加える前に中和剤を入れる手順を加えたものである。先行研究より、 $\gamma$ -PGA が浄化作用を持つことが分かっているので、仮説を証明するには中和剤の必要性の有無を調べればよい。そこで先行研究で浄化に成功していた水酸化カルシウム(以下  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を中和剤として用いて、中和剤と  $\gamma$ -PGA を加えて実験を行った場合と  $\gamma$ -PGA のみを加えて実験を行った場合の結果を調べる。

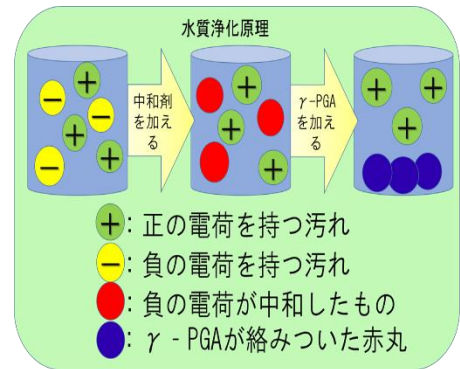


図1

\* “浄化が起きた” との判断基準は主に3つ

- 1 汚水の残水が実験後、透明になった
- 2 沈殿物が実験後、確認できる
- 3 沈殿物が塊となって存在し目に見える大きさの塊がある。(時間の経過での沈殿と区別するため)

2つ目は、実験1の結果をもとにして中和剤に何の物質を用いたときに浄化が起きるのか(実験②)。

先行研究より、中和剤の適当な物質特定の実験で水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )、塩化カルシウム( $\text{CaCl}_2$ )、水酸化ナトリウム( $\text{NaOH}$ )、塩化ナトリウム( $\text{NaCl}$ )、水酸化アルミニウム( $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ )、塩化アルミニウム( $\text{AlCl}_3$ )を用いて浄化実験を行った。その実験結果が右図(図2)の通りである。結果としては水酸化カルシウムが中和剤の場合、浄化が確実に起き、塩化カルシウムの場合、浄化が確認できたのが過半数だった。他の物質は各物質当たり10回の浄化実験で一度も浄化が確認できなかった。

物質	結果
水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	◎
塩化カルシウム( $\text{CaCl}_2$ )	○
水酸化ナトリウム( $\text{NaOH}$ )	×
塩化ナトリウム( $\text{NaCl}$ )	×
水酸化アルミニウム( $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ )	×
塩化アルミニウム( $\text{AlCl}_3$ )	×

図2

この結果を踏まえて、中和剤として  $\gamma$ -PGA の働きを助ける役割の持つ物質は  $\text{Ca}^{2+}$  か  $\text{OH}^-$  と定めて実験を行っていく。(浄化実験の再現度が高い  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の構成物質であるため)。用いる物質はカチオンを  $\text{Ca}^{2+}$  で統一した物質のグループと、アニオンを  $\text{OH}^-$  で統一したグループを用意して、そのそれぞれの物質を中和剤として水質浄化原理に基づいて浄化実験を行い、結果をまとめて考察を行う。

### 3. 実験方法

#### 実験①

～水質浄化原理を証明する実験～

汚水(池の水、泥水) 200 mL を 300 mL ビーカーに入れる。納豆から抽出した  $\gamma$ -PGA と中和剤( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を用意する。また、攪拌するために用いる攪拌機も用意。この実験では水質浄化原理が正しいかを知りたいので、先行研究の結果より明らかになっている  $\gamma$ -PGA の浄化作用は用いてよい。対照実験として変える対象は、中和剤( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )を加えるか否かである。本研究では、 $\gamma$ -PGA と中和剤を加えて浄化実験を行ったものと、中和剤を加えずに  $\gamma$ -PGA のみを加えた場合の浄化実験を行う。

実験手順

- ①  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0.2 g を汚水の入ったビーカーに入れる。
- ②  $\gamma$ -PGA 0.1 g をビーカーに加える。

- ③ 5分間、攪拌機でしっかりと攪拌する。
- ④ 攪拌機を止め、三分間放置。
- ⑤ 三分後、ビーカーの様子をメモと写真に記憶する。
- ⑥ このサイクルを一セットとして、中和剤と  $\gamma$ -PGA を加える実験と中和剤を加えない実験を何度も行っていく。

### 実験②

～中和剤に適切な物質の特定するための実験～

先行研究より、中和剤に  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  を用いた場合に確実に浄化が行われることが分かっているので、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の構成物質に  $\gamma$ -PGA の浄化作用を助ける役割を持つ物質が含まれていると予想し、カチオンを  $\text{Ca}^{2+}$  で統一した物質のグループとアニオンを  $\text{OH}^-$  で統一した物質のグループを用意した。(使用した物質は図3参照)

### 実験手順

実験①のサイクルと同じ手順で行う(\*実験①参照)。変更する点は中和剤を用意した物質で行う。それぞれの物質につき6回ずつ浄化実験を行い、結果を調べる。

使用した物質

カチオン=Ca	アニオン=OH
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
$\text{CaCl}_2$	$\text{NaOH}$
$\text{CaO}$	$\text{Al}(\text{OH})_3$
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Zn}(\text{OH})_2$

図3

### 実験結果

#### 実験①

20回以上の実験のすべての結果(参考写真、図4)において、私たちが立てた水質浄化原理に基づいて(中和剤と  $\gamma$ -PGA を加える)行った実験結果が、 $\gamma$ -PGA のみの実験結果に比べて圧倒的に汚水が浄化されていることが分かった。前者の方が沈殿物の塊が大きかった。また透明度も格段に上がっていた。

#### 実験②

各物質当たり6回の実験結果(図5, 6, 7)で浄化が見られたのは、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  だった。グループ分けで見ると、カチオンを  $\text{Ca}^{2+}$  で統一した物質のグループは全ての物質でそれぞれ6回のうち、5回以上浄化が確認された。一方でアニオンを  $\text{OH}^-$  で統一した物質のグループは  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  のみ浄化が確認できた。



図4

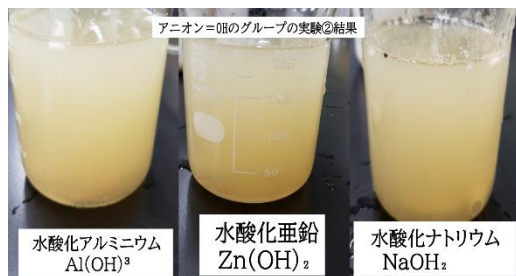


図5

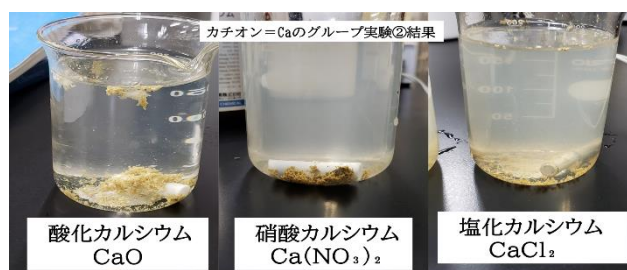


図6

## 考察

### 実験①について

実験①の実験結果(右図、図7)の働きを促進させるには中和剤が必要か(水質浄化原理が正しいか)との実験テーマに対して、中和剤を加えて浄化実験を行ったほうが、浄化が大きく見られたので、水質浄化原理は正しい。さらに $\gamma$ -PGAのみでは浄化がほとんど行われないうという実験結果を加えると、水質浄化には浄化を行う $\gamma$ -PGAと、汚れの粒子を中和し、 $\gamma$ -PGAの凝集作用を促進させる中和剤が必要であると考えられる。

浄化実験各種結果

カチオン= $\text{Ca}^{2+}$	結果	アニオン= $\text{OH}^-$	結果
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	◎	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	◎
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	○	$\text{Na}(\text{OH})_2$	△
$\text{CaO}$	◎	$\text{Al}(\text{OH})_3$	×
$\text{CaCl}_2$	○	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	×

図7

### 実験②について

実験②の実験結果より、カチオンを $\text{Ca}^{2+}$ に統一した物質のグループのすべての物質で浄化が見られたことから、水質浄化には $\text{Ca}^{2+}$ が関係していると考えられる。また、アニオンを $\text{OH}^-$ に統一したグループで唯一浄化が見られた $\text{Ca}(\text{OH})_2$ も $\text{Ca}^{2+}$ を含んでいることから、水質浄化時に $\gamma$ -PGAの凝集作用を促進させる役割を持つ物質は $\text{Ca}^{2+}$ であると考えられる。また昨年度の先行研究で行った中和剤に適切な物質を調べる実験で用いた物質(\*図2参照)も考慮して考察すると、カチオンに $\text{Ca}^{2+}$ を持ったどんな物質でも浄化が起きると考えられる。(物質によって浄化の程度は変化する)

## 今後の課題

現在のところ、汚水として用いたのが、池の水と泥水のみ。なので一般に汚水に分類される金属イオンを含んだ汚水の浄化実験を行い、浄化が行われるかを調べる。この際、金属イオンが除去されたかを調べるために濁度計などの機会での判断も取り入れる。また、今研究では中和剤を純粋な粉末から使って用いたが、研究の目的である身の回りのもので水質浄化というものに近づけるために、より身近な自然界に存在するものから抽出し浄化実験で使っていく。

## 参考文献

- ・2018年度大教大天王寺 SSH 研究成果報告書  
「納豆から抽出したポリグルタミン酸による水質浄化」
- ・日本ポリグル株式会社公式ホームページ <http://www.poly-glu.com/purlification.html>
- ・味の素株式会社 広報部 ポリグルタミン酸
- ・納豆のネバネバで水質浄化 大手前高校 SSH

## 謝辞

この研究をするにあたって、約1年間、SSH化学班を担当してくださった南勝仁先生にお礼を申し上げます。私達の研究が行き詰った際に専門的なアドバイスや、違った視点からの課題の見方など、先生の助けによって研究がより進められました。本当にありがとうございました。

# ピラミッド型の塩の結晶が析出する条件

## The condition that a crystal of the pyramid-shaped salt precipitates

Ptolemy salt is a crystal of a pyramid-shaped salt. It emerges when you add other materials to a salt solution. We did research into the relationship between Ptolemy salt and liquidity. It was revealed that the liquid characteristics had to be less than a constant pH, and then surface tension will work at the surface for generation of the Ptolemy salt.

### 1. はじめに

ウユニ塩湖では、トレミー塩と呼ばれ中空ピラミッド型の結晶が析出する。しかし、この結晶の生成原理や条件は詳しく明らかにされていない。これまでの研究で、ほとんどの物質を媒晶体として加えたところ、トレミー塩は析出したが、水酸化ナトリウムを添加した際に、トレミー塩は析出しなかった。この研究は水酸化ナトリウムの性質から、媒晶体として働く物質の条件を明らかにする。

キーワード：トレミー塩、塩化ナトリウム、媒晶体、水酸化物イオン、pH、表面張力

### 1-2. トレミー塩について

ウユニ塩湖など極端に塩分濃度の高い塩湖などにおいて、塩化ナトリウム (NaCl) の結晶は通常と異なるピラミッド型に成長することがある。トレミー塩は、水面にできた立方体の塩の結晶が、液面で水平方向、垂直方向に成長することで析出する。本研究では、頂点が立方体、表面に段差が見られる、中が空洞である結晶をトレミー塩とする。(写真1参照) 上記の結晶が一つでも析出した場合、その実験においてトレミー塩が析出したと扱う。

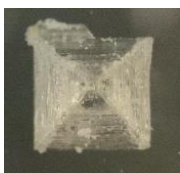


写真 1

### 1-3. これまでに判明しているトレミー塩の生成条件、媒晶体の条件

塩化ナトリウム (NaCl) は再結晶する際、液体内の条件を変化させることで、結晶がなるべく安定するように形状が変化する。トレミー塩は、液面で析出した塩化ナトリウム (NaCl) が少しずつ沈みながら、周りに結晶が付着することで析出すると考えられている。また、文献より三価の金属イオン (アルミニウムイオンなど) を加えた時、析出しやすいことがわかっている。

これまでの研究で、ほかの金属イオンを含む物質 (塩化カリウム (KCl) や硫酸銅 (CuSO<sub>4</sub>) など)、金属イオンを含まない物質 (塩酸 (HCl) や硝酸 (HNO<sub>3</sub>) など)、電離しない物質 (可溶性でんぷんなど) においてもトレミー塩は析出することが明らかになった。しかし、これらトレミー塩が析出させ

る媒晶体の共通点として、溶液内の液性が中性または酸性であり、結晶が液面にて十分に成長していたことがあげられる。唯一できなかった水酸化ナトリウム (NaOH) は電離して水酸化物イオンを放出する。また、界面活性剤として液面の表面張力を落とす働きがある。

本研究では「液内の pH」と「液面の表面張力」の二点に着目してトレミー塩の生成条件について考察した。

## 2. 実験

ビーカーに、純水 5.0 mol に対して塩化ナトリウム (NaCl) を 0.5 mol 加えた食塩水を用意する。

### 1) 水酸化物イオンがトレミー塩形成に与える影響

媒晶体として水酸化物イオンを含む物質 (電離して水酸化物イオンを放出する物質) 0.01 mol を加える (実験 1-1)。

または媒晶体として塩化カリウム (KCl) (必ずトレミー塩を析出させる媒晶体) を 0.01 mol 加えた溶液に水酸化ナトリウム (NaOH)、水酸化カリウム

(KOH) を用いて液性を塩基性にし、pH を計測する (実験 1-2)。

### 2) 表面張力がトレミー塩成長に与える影響

文献から、表面張力を落とす物質 (不溶性油、界面活性剤) を 0.01 mol 加える、またはそれらの溶液に、媒晶体として塩化カリウム (KCl) を 0.01 mol 加える (実験 2)。

1) 2) の溶液をホットスターラーで、液面部の温度を一定に保ちながら加熱する。出てきた結晶を十分に乾燥させたのち、顕微鏡を用いて観察する。

以下、実験デザイン (図 1)

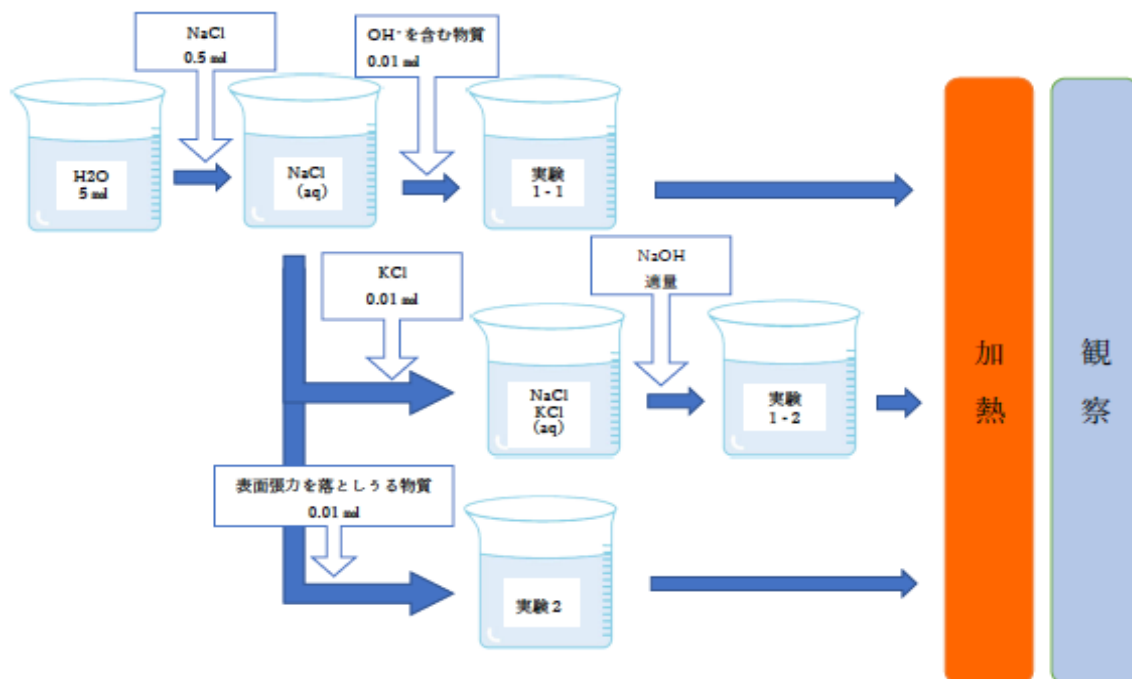


図 1

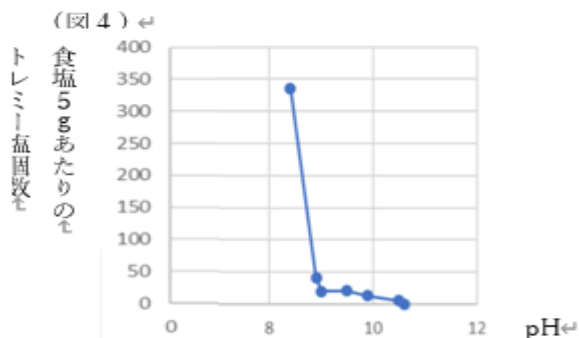
### 3. 結果

#### 3-1. 水酸化物イオンがトレミー塩形成に与える影響

水酸化物イオンを含む物質において、トレミー塩が析出する物質（水酸化カルシウム（Ca(OH)<sub>2</sub>）や水酸化アルミニウム（Al(OH)<sub>3</sub>）アンモニア（NH<sub>3</sub>）など）としない物質（水酸化ナトリウム（NaOH）や水酸化カリウム（KOH））が存在した（下図2参照）。また、トレミー塩が析出しなかった溶液において塩化ナトリウム（NaCl）が水平方向（液面方向）に成長した結晶（写真2参照）（膜）が見られた。それらの作用は溶液内が塩基性になるにつれて大きくなった。トレミー塩の析出限界 pH は物質により多少の誤差はあったが、おおむね pH 10前後であった。（下図3参照）また、溶液内の液性が塩基性になると急激にトレミー塩の析出個数が減少した。（下図4参照）図2

物質名	液性	トレミー塩
NaOH	強塩基性	×
KOH	強塩基性	×
Ca(OH) <sub>2</sub>	弱塩基性（難溶）	○
Al(OH) <sub>3</sub>	弱塩基性（難溶）	○
NH <sub>3</sub>	弱塩基性	○

（図3）pHとトレミー塩析出の関係



水酸化ナトリウムによる膜

写真2

#### （3-1. 補足）ウユニ塩湖の pH

ボリビアのウユニ塩湖は、天然のトレミー塩が析出することで知られている。ウユニ塩湖周辺では、リチウム塩などを含んだかん水がとられており、トレミー塩析出条件の一つである媒晶体は十分である。また、ウユニ塩湖の pH を調べたところ液性は 6.3～6.9（酸性～中性）であった。このことから、天然のトレミー塩析出条件においても、液性が中性または酸性の方がトレミー塩は比較的析出しやすいと考えられる。（引用：公開版三菱商事 100308final.doc）

#### 3-2. 表面張力がトレミー塩成長に与える影響

表面張力を下げる物質においても、トレミー塩ができるものできないものが存在することが分かった。アルコール類はトレミー塩が析出したのに対し、不溶性油（オレイン酸）や界面活性剤（塩化ベンゼンコニウム）は媒晶体として使用した際、塩化カリウム（KCl）を媒晶体として添加し、表面張力を落とす物質で液面の状態を変化させた時においても析出しなかった。（下図5参照）

物質名	用途	トレミー塩	塩化カリウム添加時
エタノール	アルコール類	○	○
オレイン酸	不溶性油	×	×
塩化ベンゼンコニウム	陽性界面活性剤	×	×

しかし、トレミー塩が析出しなかった両者は液面にその物質が液面に浮かんで塩の結晶の成長を妨げていた。（下写真3、4参照）そのため、トレミー塩が析出しなかった理由を、その物質が表面張力を落としたからと結論づけるには十分でない。しかし、これらの実験から液面の状態が安定していること（直接結晶の成長を妨げる物質が存在しない）、結

晶が液面に浮かび続けていることが少なくとも必要であると考えられる。

(図5)



写真3

オレイン酸添加時



写真4

塩化ベンザルコニウム  
添加時

(3-2. 補足) 塩化ベンザルコニウム添加時の液内  
が白濁した原因

エタノールを多量に(塩化ナトリウムと同等量

(1.0 mol) 加えた時液内が白濁した。(以下写真参照) この試料を他実験同様に加熱した際、トレミー塩はできなかった。塩化ベンザルコニウムやエタノールは水和する際に水分子を自身の周りに引き寄せる作用が働く。この時イオンとして水と水和していた、塩化物イオンやナトリウムイオンから水分子を奪うことで、溶けきれなくなった塩化ナトリウムが沈殿したのではないかと考えられる。(この作用は速やかに働くのでとても小さな塩が大量に沈殿するため、トレミー塩は析出しない。)

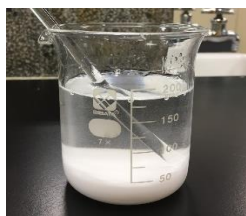


写真5

#### 4. 考察

水酸化物イオンが膜のようなものを張った理由として、水酸化イオンが塩の結晶の成長方向を変えてしまった(結晶の発達面を変化させた)からだと考えられる。また、その作用が溶液内の pH に依存していることから、比較的にトレミー塩は酸性、中性溶液において析出しやすいと考えられる。トレミー塩がピラミッド型に成長する理由として、結晶が一定の方向(水平方向と垂直方向)成長する必要が

あり、この成長方向は液面に浮かんだ塩が浮き続けることで成長が一部制限されたからだと考えられる。

#### 今後の展望

##### トレミー塩の成長数の測定

本研究では、トレミー塩の析出条件に関して水酸化ナトリウムの添加による pH 調節による実験をおこなったが、水酸化ナトリウムは弱塩基性条件における使用としては不便である。そのため緩衝溶液などを用いて、更に詳しいデータの測定が必要である。媒晶体が食塩に及ぼす成長面の阻害理由の判明媒晶体や液性がトレミー塩の成長に何らかの作用を及ぼしていることは明らかになった。しかし、この作用が、どのような働きによるものなのか、明らかにできなかった。

##### トレミー塩が最も析出しやすい条件の解明

本研究では、トレミー塩の析出条件を最も析出しにくい環境を調べることで考察した。だが、トレミー塩析出に関して、析出しやすさは考慮していなかった。そこで、トレミー塩析出に最も適している環境を析出度合いから調べることで、トレミー塩を大量に生産することに応用できると考えている。

#### 参考文献

トレミー塩生成のための条件 研究者 水上真帆 宮田知佳 巾崎里咲

食塩の結晶形態について 村上正祥  
中学時代から追いかけて続けた塩の不思議な結晶の生成のメカニズムに迫る 【化学】埼玉県立大宮高校 自然科学部 化学研究班

かん水からのリチウム回収システム開発に関する共同スタディ報告書

平成 20 年度現場ニーズ等に対する技術支援事業  
結晶成長の物理 一融液からの理想的結晶成長一  
リチウム資源探査の最前線: ウユニ塩湖

村上 浩康 1)・辻本 崇史 2)・神門 正雄

齋藤 幸夫



# 汚水の水質浄化

～入手が簡単な資源による汚水の水質浄化～

## Purification of sewage water

-Purification of sewage water quality using easily available resources-

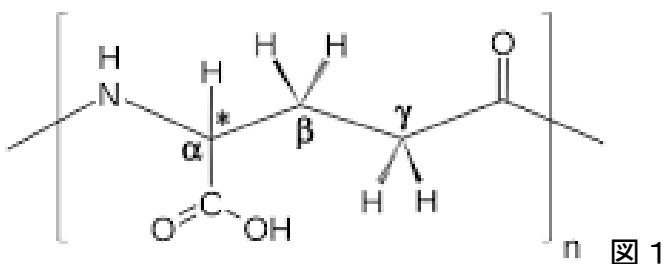
### Abstract

Polyglutamic acid contained in natto has the effect of aggregating particles. Using this substance and biological resources (waste, plants, etc.), we will To enable people who are in trouble with water to make water with their own hand elucidate purification methods for converting sewage into domestic water.]

### 1. はじめに

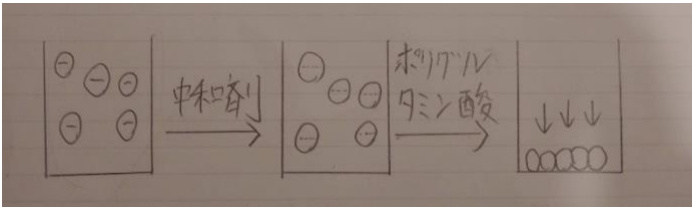
納豆からは、水と混ざり合っている粒子を集める作用を持つポリグルタミン酸(図1)と呼ばれる物質が含まれている。この研究では、そのポリグルタミン酸と中和剤、そして入手が簡単な資源を用いて水質浄化ができるのかどうかを実験していく。なぜ入手が簡単な資源を用いるのかというと、発展途上国などのところでは水不足が多発しており、そんな土地での水の浄化は海外でも重要視されている。その土地の人々でも汚れた水をなるべく人体に害のない水にするために、入手が簡単なものを使う。

この研究を行うにあたって、水質浄化原理を仮説として立てた。



### 2. 原理

まず、汚水は負の電荷をもって漂っている。そして、その汚水に中和剤となる水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を入れてかき混ぜると、負の電荷と中和する。電荷が消えた汚水にポリグルタミン酸を加えまたかき混ぜると、中和した粒子同士が集まって、その重さで沈殿していく。これを、水質浄化原理とする。



水質浄化原理

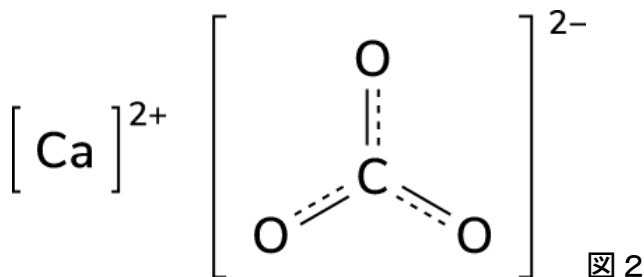
### 3. 研究方法

この版では、主に2つの実験を行った。

1つ目の実験は、仮説として立てた水質浄化原理の証明だ。

まず、ビーカーを2つ用意する。1つのビーカーには、原理の通りに実験を進め、浄化できているのかを確認する。そしてもう1つのビーカーは、中和剤を入れずに、中和させないまま次の手順を行うというものだ。水酸化カルシウムは0.2g、ポリグルタミン酸は0.1gとする。

2つ目の実験は、1つ目の実験で効果があることを証明した中和剤の水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )を、卵の殻である炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ ) (図2)に変えて行うというものだ。炭酸カルシウムは0.2gとする。



### 4. 実験結果

#### 実験(1) 浄化原理の証明

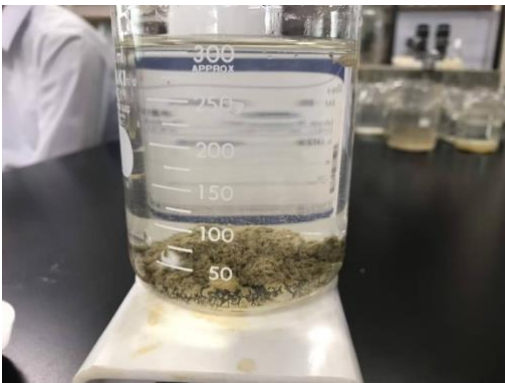
泥水(写真1)をビーカーに入れ、攪拌機を用いて混ぜた。攪拌機は、ビーカーの中に磁石を入れ磁力で均等な力でむらが少なくかき混ぜることができるものだ。さらに泥水は同じ場所からとってきたものをビーカーに分けて使用しているため、こちらもできるだけむらができないようにしている。

ポリグルタミン酸は、アルコールを入れたメスシリンダーに混ぜた納豆を入れ、浮いてきたポリグルタミン酸を回収し、乾かして同じ質量に割って用いている。なお、水酸化カルシウムの質量もそろえている。

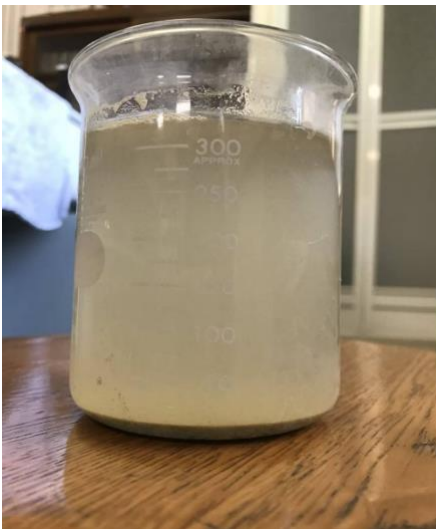


写真 1

以下が実験の結果となっている。



原理の通りに実験を行った結果、上の写真のように浄化させることができた。

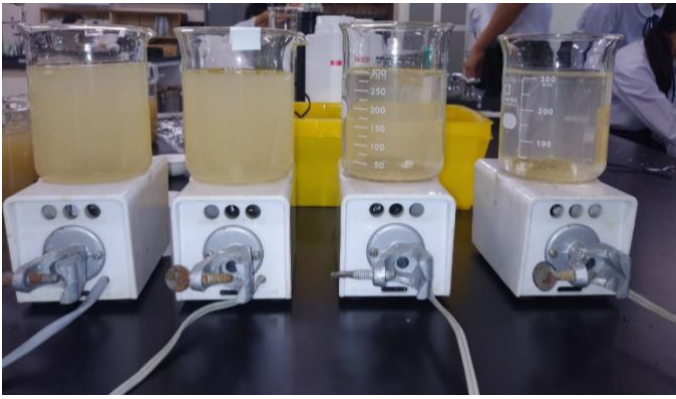


中和剤を入れずに実験をした結果、浄化させることができなかった。

この実験から、仮説の原理は正しいと証明することができた。また、中和剤として水酸化カルシウムは用いることができることもわかった。

### 実験(2) 中和剤を卵の殻に変える

浄化原理の証明ができたので、それを用いて対照実験を行った。



左 2 つが卵の殻、右 2 つが原理通りの中和剤で、他の条件は同じにする。

この実験から、卵の殻は入手が簡単だが中和剤の役割を担うことはできないということがわかった。さらに、卵の殻だけではなく炭酸カルシウムも適していないということもわかった。

## 5. 考察

今回の研究を通して、同じカルシウムでも水酸化と炭酸では大きな違いがあることがわかった。仮説の段階では、汚水の負の電荷と相性がいいのはカルシウムイオンだと考えていたが、水酸化のほうかもしれないという可能性が出てきた。

## 6. 今後の課題

今後の課題としては、2つの課題が見つかった。

1つ目は、卵の殻に代わる入手が簡単な資源で、中和剤になりそうなものを探しきることができなかったため、それを探すことだ。しかし、原理に基づいて水酸化を軸にして探すのか、それとも炭酸カルシウムのようにカルシウムにするのかの2パターンあり、幅が少し大きいのではないかと感じた。そこで、中和剤に適している条件をもっと絞るべきだと考えた。

2つ目は、実験の結果で浄化できているかどうかを見ただけで判断していたため、それを数値化する方法を確立すべきだということだ。この班でも濁度計というものを試してみたいが、機械の不調でうまくいかなかった。だが、本発表の時に様々なアイデアをいただくことができ、その中でもビーカーの奥に長さが図れるものを置き、どこまで透けて見えるかなど簡単にできそうなものもあったので、試してみる価値はあると考えた。

## 7. 参考文献

- ・2018 年度大教大天王寺 SSH 研究成果報告書
- ・「納豆から抽出したポリグルタミン酸による水質浄化」
- ・味の素株式会社 広報部 ポリグルタミン酸

# 劣化しないUVレジンの作成

## Making UV resin that does not deteriorate

A UV resin degrades by heat. When a UV resin is being oxidized by heat, that's degrading. The preceding study showed this thing. This thing is used by this research. We added an antioxidant to a UV resin and heated that by an oven. We checked the degree of the degradation by a change with that color.

### 1. はじめに

最近の身近なハンドメイドグッズに、UVレジン(別名：紫外線硬化樹脂)が挙げられる。UVレジンには光重合開始剤が含まれ、紫外線を照射すると、反応が起きて硬化し、しばらく経つと劣化して黄ばんでくる。本研究ではこれについての原因を調べ、黄ばんでいかない、劣化しないUVレジンを作成しようと考えた。

先行研究から、劣化する原因の1つに「熱による酸化」があると分かった。本研究では、「酸化防止剤」を用いて、熱による酸化の度合いを探る研究を行う。

### 2. 研究方法

- ① UVレジン(液体)と「酸化防止剤」を混ぜる
- ② ①を紫外線下で10分放置し、硬化させる
- ③ できたUVレジンの色を測定器で測定する
- ④ ②を200℃のオーブンで15分間加熱する
- ⑤ ④のUVレジンの色を測定する



使用するUVレジン

『DAISO 速乾UVレジン液 クリア 5g ハード』



使用するキレートレモン

UV レジンが劣化すると黄変する、ということを用いて、熱を加える前と加えた後の色の変化で劣化の度合いを数値化する。

本研究で用いる酸化防止剤は、「キレートレモン」と「ローズマリー抽出液」である。キレートレモンは酸化防止剤の一つであるビタミンCが含まれて、ローズマリー抽出液はフェノール系酸化防止剤として分類されている。



リービッヒ冷却器を利用して  
ローズマリーを抽出している様子

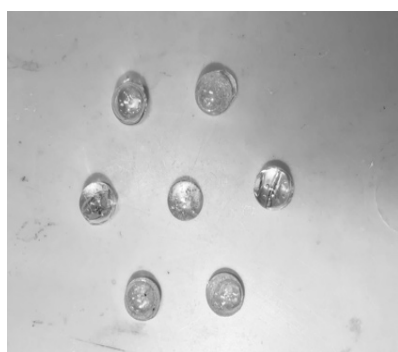
### 3. 結果

キレートレモンを混ぜた UV レジンは、オーブンで熱した際にキレートレモンに含まれていた砂糖が焦げたので色の変化がわからなかった。また、作成する段階でキレートレモンと UV レジンが混ざらなかった。

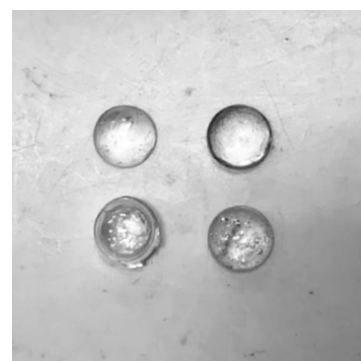
一方、ローズマリー抽出液を混ぜた UV レジンは、黄ばまなかった。その上、ローズマリー抽出液と UV レジンは混ざり合わさった。



キレートレモンを混ぜた UV レジン



ローズマリーを混ぜた UV レジン

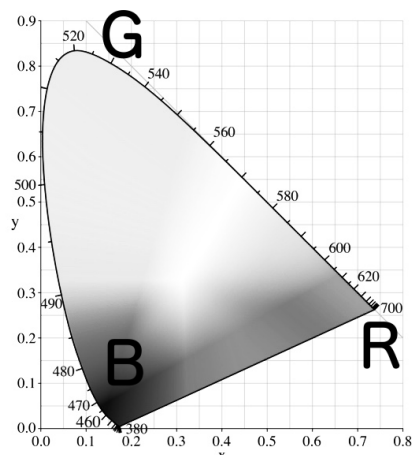


酸化防止剤なしの UV レジン (上)  
とローズマリー抽出液を混ぜた  
UV レジン (下) の比較

色の変化を測定するために、「TES-135A 色差計」を用いた。使ったのは標準 RGB 色差 (sRGB) で、赤・青・緑のそれぞれの大きさを測定した。色差 ( $\Delta R \cdot \Delta G \cdot \Delta B$ ) とは、RGB の組み合わせから構成される色空間における色同士の距離のことである。値すなわち色差が大きければ大きいほど色を区別しやすくなり、値が小さければ小さいほど色を区別しにくくなる。



「TES-135A 色差計」



CIE (国際照明委員会) が定める色空間

酸化防止剤なしの UV レジンの熱する前と熱した後の比較 (n=1)

	熱する前	熱した後	差
$\Delta R_s$	20.63	-44.26	64.89
$\Delta G_s$	4.9	14.78	-9.88
$\Delta B_s$	-31.49	-6.77	-24.72

酸化防止剤なしの UV レジンとローズマリー抽出液を混ぜた UV レジンの平均の差 (n=7)

	酸化防止剤なし	キレートレモン	差
$\Delta R_s$	-44.26	-18.93	-25.33
$\Delta G_s$	14.8	3.36	11.44
$\Delta B_s$	-6.77	-4.57	-2.2

酸化防止剤なしのUV レジンとキレートレモンを混ぜたUV レジンの平均の差 (n=7)

	酸化防止剤なし	ローズマリー 抽出液	差
$\Delta R_s$	-44.26	-89.66	45.4
$\Delta G_s$	14.8	19.66	-4.86
$\Delta B_s$	-6.77	-3.01	-3.76

#### 4. 考察

キレートレモンは極性分子から構成されていて、UV レジンは無極性分子から構成されているために、混ざりにくかったと考えられる。逆に、ローズマリー抽出液とUV レジンはどちらも非極性分子から構成されているために混ざりやすかった、と考えられる。

また、上の表から酸化防止剤なしのUV レジンよりローズマリー 抽出液を混ぜたUV レジンの方が、黄ばみを示す $\Delta R$ の値が低いことから、ローズマリー 抽出液を混ぜたUV レジンは黄変しなかったと考えられる。これより、ローズマリー抽出液は酸化防止剤としての役割を果たしたと考えられる。

#### 5. 課題

本研究では、透明のUV レジンを用いたため、色差の測定値に大きく差が出てしまったので、解決方法を考える。また、研究方法に基づいて行った実験データが7個と少ないので、実験回数を増やす。ローズマリー抽出液を混ぜたUV レジンを加熱した時に出来る、気泡を減らす方法と今回使用した酸化防止剤は全て液体であったので、液体以外の酸化防止剤の使用の検討を考える。

#### 6. 参考文献

Japan testing laboratories 株式会社

日本信頼性評価機構「FT-IR におけるポリスチレンの熱劣化分析」

『環境中のプラスチックからのメタンとエチレンの生産』

2018年8月1日

サラ・ジャンヌ・ロイヤー、サラ・フェロン、サミュエル・T・ウィルソン、デビッド・M・カール

「UV レジンを始めよう」 <http://uvレジン.com>

「色の数値化」 konica minolta

<https://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/section2/02.html>



# コーラ牛乳の原理の解明

## Elucidation of the principle of Cola milk

### Abstract

When milk is added to the cola, it will settle and become transparent. I was interested in this phenomenon and decided to investigate its principle in detail. As a result of the following experiment, it was found that the cause of the precipitation around pH 2.0 was considered to be the denaturation by acid, and the cause of the precipitation around pH 4.0 was the isoelectric point of a protein called casein contained in milk.

### 1. はじめに

コーラに牛乳を入れると、沈殿ができ透明になる。この現象に興味を持ち、その原理について詳しく調べてみることにした。わたしたちは、コーラに含まれる炭酸やリン酸などの酸が、牛乳に含まれるカゼインを変性させて凝固させ、沈殿ができると考え、実験を行った。なお、本実験で使うコーラは日本コカ・コーラ会社の『コカ・コーラ』、牛乳は株式会社明治の『おいしい牛乳』のみを使用している。

### 2. 研究方法

#### (1) 炭酸・リン酸に牛乳を添加する

まず、わたしたちは炭酸とリン酸を使って実験を行った。炭酸はセブンイレブンの『炭酸水』を用いて2回ずつ行い、対照実験として煮沸させたものも使用した。リン酸は0.01 mol, 0.02 mol, 0.05 mol, 0.10 molと濃度を変えそれぞれ2回ずつ行い、炭酸、リン酸両方とも牛乳をそれぞれ1 mLずつ添加した。牛乳を添加する前の液体の温度とpHの測定を行った。

#### (2) コーラに牛乳を添加する

コーラ 50ml に牛乳を1~9 mLずつ添加し牛乳を添加する前の液体の温度とpHの測定を行った。

※(1)(2)を中間発表にて説明させていただくと、大学の先生方から『本来牛乳を消化するのは胃液(塩酸)なので、それで実験してみてもどうか』や『他の炭酸飲料で沈殿はできるのか』などご助言やご質問をいただいたので、この二つについての実験を行った

#### (3) 塩酸に牛乳を添加する

0.001 mol, 0.002 mol, 0.005 mol, 0.010 molと濃度を変えた塩酸に牛乳をそれぞれ1 mL添加した。牛乳を添加する前の液体の温度とpHの測定を行った。

#### (4) 他の炭酸飲料に牛乳を添加する

(3)と同時並行で他の炭酸飲料での実験も行った。ビーカーに入れたそれぞれの飲料 50 mL に牛乳 1ml を添加した。コーラのほかに、アサヒ飲料株式会社の『三ツ矢サイダー』、日本コカ・コーラ株式会社の『ファンタオレンジ』と『THE TANSAN』、カルピス株式会社の『カルピスソーダ』、を使用した。

①炭酸を抜き、冷やす ②炭酸を抜き、常温

③炭酸入りで、冷やす ④炭酸入りで、常温

の4つの条件で行った。

冷やした場合の平均温度は9.2℃、常温の平均温度は17.6℃で行った。

### 3. 実験結果

#### (1) 炭酸・リン酸に牛乳を添加する

##### ○炭酸

炭酸は煮沸したのもも多少の沈殿はできたものの、それに比べて、そのままのほうが明らかに沈殿の量が多いという結果になった。右図は結果の写真である。左2つの『炭酸有』のビーカーの底に白い沈殿が目視で確認できる(図1)。

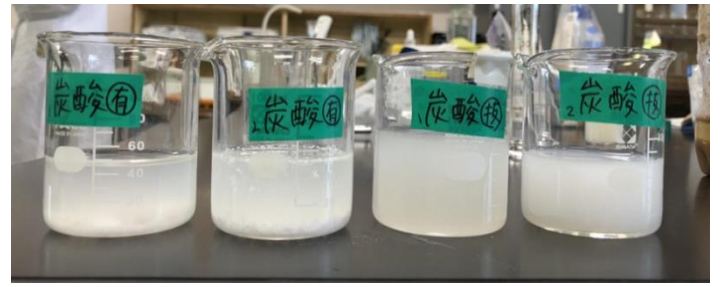


図1 炭酸の沈殿

##### ○リン酸

下図は、リン酸に牛乳を添加する前と後のpHの変化を示した表である(表1)。

濃度	添加前の pH	添加後の pH	沈殿の様子
0.01 mol/L	3.3	3.9	できた。
0.02 mol/L	3.2	3.6	できた(最多)
0.05 mol/L	3.1	3.4	できなかった
0.1 mol/L	3.1	3.3	できなかった

表1

※3回ずつ実験を行い、その平均をとったものである。

リン酸は、pH3.63付近での沈殿が最も多いという結果となった。下図は結果の写真である(図2)。

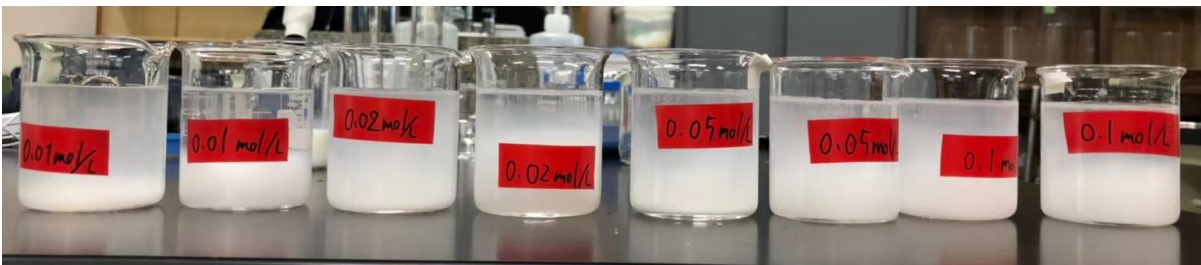


図2 リン酸の沈殿

#### (2) コーラに牛乳を添加する

すべての量で沈殿ができたが、添加後 pH4.5 付近(3, 4 mL 添加)での沈殿が最も多いという結果となった。下図はその写真である(図3)。

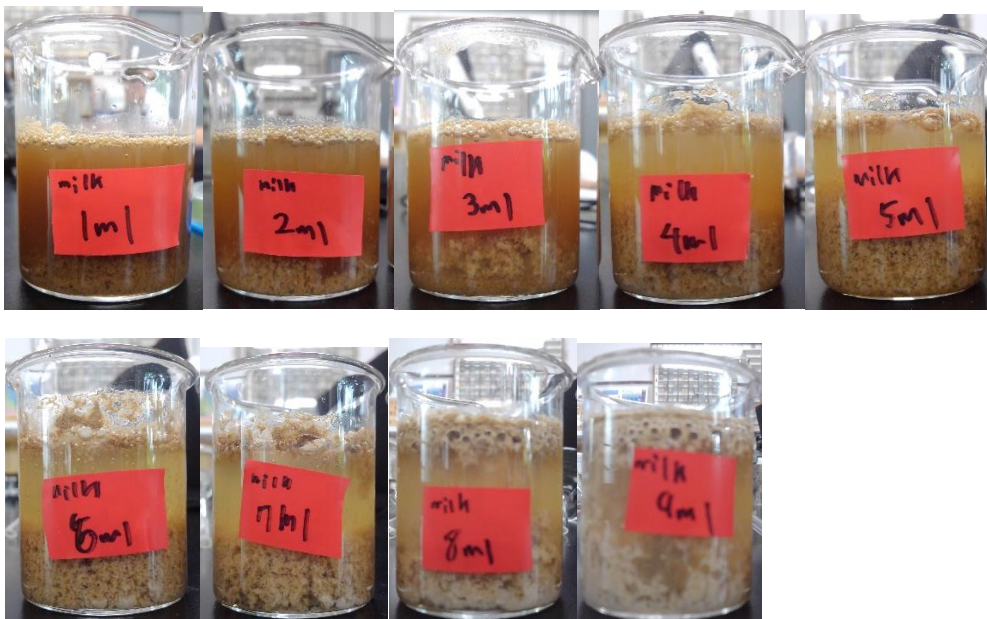


図3 コーラの沈殿

下図は、牛乳の添加前と添加後のpHの変化を添加量別に示した表である(表2)。

牛乳の添加量	添加前の pH	添加後の pH	様子
1 ml	3.5	3.6	沈殿が少しできた
2 ml	3.5	3.9	沈殿が少しできた
3 ml	3.6	4.2	沈殿ができた (最多)
4 ml	3.5	4.6	沈殿ができた (最多)
5 ml	3.5	4.9	沈殿が少しできた
6 ml	3.5	5.1	沈殿が少しできた
7 ml	3.5	5.2	沈殿が少しできた
8 ml	計っていない	5.3	沈殿が少しできた
9 ml	計っていない	5.4	沈殿が少しできた

表 2

### (3) 塩酸に牛乳を添加する

塩酸は、pH2.3 で最も沈殿が多かった。下図は、牛乳の添加前と添加後のpHの変化を濃度別に示した表と、結果の写真である(表3・図4)。(濃度につき各2回ずつ実験し、その平均を取っている)

濃度	添加前のpH	添加後のpH	沈殿の様子
0.001 mol/L	2.8	3.0	できなかった
0.002 mol/L	2.6	3.5	できた
0.005 mol/L	2.2	2.3	できた(最多)
0.01 mol/L	2.2	2.0	できた

表 3

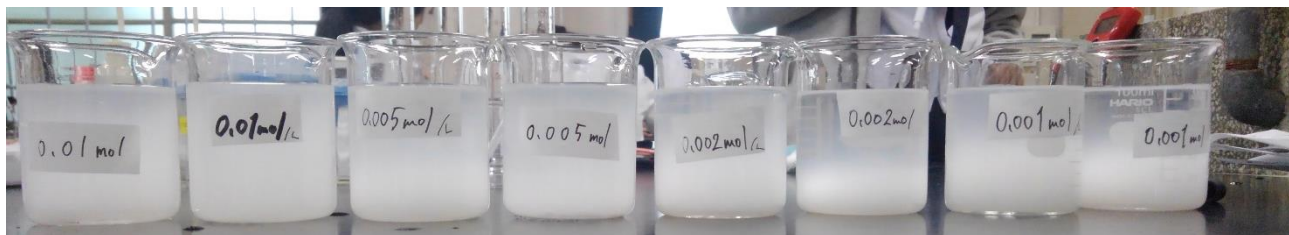


図 4 塩酸の沈殿

### (4) 他の飲料水に牛乳を添加する

三ツ矢サイダーは、①～④すべてにおいて沈殿ができ pH の大きな変化も見られなかった。下図は牛乳の添加前と添加後のpHの変化を条件別に示した表である(表4)。

条件	添加前の pH	添加後の pH	沈殿の様子
①	4.0	4.0	できた
②	3.9	3.9	できた
③	4.0	4.1	できた
④	3.8	3.8	できた

表 4

ファンタオレンジは①～④すべてにおいて沈殿ができ pH の大きな変化も見られなかった。最初は白色の沈殿だったが、2日経つと沈殿はオレンジ色になり、液体は透明化した。下図は牛乳の添加前と添加後のpHの変化を条件別に示した表である(表5)。

条件	添加前の pH	添加後の pH	沈殿の様子
①	3.4	3.4	できた
②	3.0	3.3	できた
③	3.3	3.5	できた
④	3.1	3.4	できた

表 5

カルピスソーダは①～④すべてにおいて沈殿ができ pH の大きな変化もみられなかった。白く濁ったままだった。下図は牛乳の添加前と添加後のpHの変化を条件別に示した表である(表6)。

条件	添加前の pH	添加後の pH	沈殿の様子
①	3.9	3.7	できた
②	3.5	3.7	できた
③	3.8	3.7	できた
④	3.4	3.9	できた

THE TANSAN は、①では沈殿ができたが、②～④のときに沈殿ができず、また②④のときにはpHに大きな変化があった(表7)。

条件	添加前の pH	添加後の pH	沈殿の様子
①	4.7	4.4	できた
②	4.4	6.5	できなかった
③	4.5	4.1	できなかった
④	4.2	5.1	できなかった

表 7

下図は三ツ矢サイダー・ファンタオレンジ・カルピスソーダ・THE TANSAN の結果の写真である(図5)。



図5 炭酸飲料の沈殿 左から順に条件①～④である。

#### 4. 考察・展望

(1)～(3)より、沈殿はpH 2.2そしてpH 4.0付近のときに最も多くなることが分かった。調べてみると、牛乳に含まれるカゼインというタンパク質は、等電点がpH4.6であり、そのときにもっとも凝集しやすくなる。pH4.0付近の沈殿はそれが原因であると考えられる。そして、pH 2.3付近の沈殿がわたしたちの元々の仮説であった、酸による凝固が原因だと考えられる。また、(4)より、他の炭酸水でも沈殿ができることがわかった。しかし、それはコーラと同じ原理で起こっているものなのかわからないため、その沈殿を取り出して調べる必要がある。炭酸があってもなくても、温度が変わっても、目視できる沈殿の量にはあまり変化がないため、沈殿する原因に炭酸の有無や温度はあまり関わっていないと考えられる。

これらの実験には、沈殿をうまく取り出すことができなかったため沈殿の量を目視でしか確認できていなかったり、実験の回数が少なかったり、写真を撮るタイミングを誤ってしまったりと問題が多くある。今後はその問題を解決する方法を探しながら、他の炭酸水の成分を調べコーラとの共通点も探す必要がある。THE TANSAN だけ結果が異なる原因も不明なので、それも探していきたい。

#### 5. 参考文献

『コカ・コーラ公式ホームページ』 <https://www.cocacola.jp> (2019.12.13 参照)

『タンパク質入門～どう作られ、どう働くのか～』 武村政春 ブルーバックス 2011 ほか5件

# 生地の膨張にムチンはどのように関係するのか

## How mucin effects the swell of dough

### Abstract

The goal of this research is to make well-swelled dough by adding ingredients containing mucin, and ingredients which are familiar to our daily lives will be focused on. This research also will reveal, which material helps dough become puffy the most. Also, how viscosity effects the swell of dough was clarified.

### 1. はじめに

ムチンとは、オクラ、納豆、長芋などに含まれる粘り気成分である。

生地を加熱すると、生地内部に閉じ込められた気泡が膨張して生地が膨れることから、粘り気成分であるムチンを含む食材を加えることで、気泡が割れにくくなり、生地をよく膨らませると考えられる(図1)。

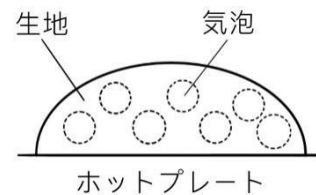


図1

【仮説1】粘り気成分であるムチンを含む食材を加えると、生地内部の気泡の強度が増し、何も加えない時より膨らむ。

【仮説2】粘土が高い食材ほど、生地内部の気泡の強度が増し、よく膨らむ。

### 2. 研究方法

#### 実験1

- ① ムチンを抽出する(今回はオクラ、納豆、長芋から抽出する)。  
※ムチン抽出方法
  1. ムチンを水で抽出するために、食材と水を重さ1:1の割合で手で混ぜる。
  2. 1で作ったものを、ざる(メッシュ:1 mm)で濾す。
  3. ざるで濾したものを、図2の装置を用いて吸引ろ過する。



図2

- ② ①で作成したムチン抽出液を(対照実験では水を用いる)小麦粉と混ぜ、生地を作る。
- ③ ②で作った生地を焼く。  
※生地の焼き方
  1. 50 mL ビーカーの10 mLの目盛りまで生地を流し込む。
  2. 160 °Cに温めたホットプレートに1のビーカーを置き、5分間放置する。
- ④ 最初の位置から生地がどれくらい厚くなったかを測る。

## 実験 2

- ① 粘度計(図 3)を用いて、実験 1 の①で抽出したムチン水溶液の粘度を測る。
- ② ①の結果を比較する。

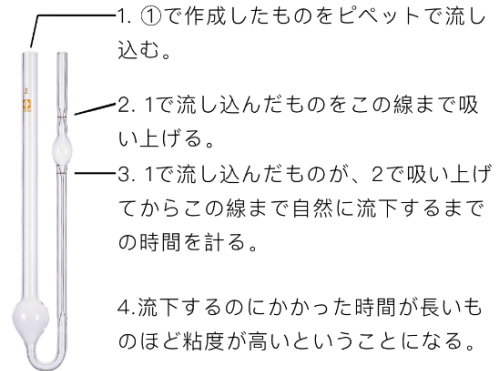


図 3 粘度計の使い方

## 2. 研究結果

### 実験 1 : 生地 の 厚 さ 比 較

#### ① オクラ

##### 生地 の 厚 さ の 増 加 値

	1	2	3	4	5	6	平均
オクラ+小麦粉(cm)	+0.4	+0.7	+0.7	+0.2	+0.4	+0.8	+0.53
水+小麦粉(cm)	+0.4	+0.2	+0.4	+0.1	+0.2	+0.5	+0.3

#### ② 納豆

##### 生地 の 厚 さ の 増 加 値

	1	2	3	4	5	6	7
納豆+小麦粉(cm)	+0.4	+0.2	+0.8	+1.1	+0.5	+0.4	+1.1
水+小麦粉(cm)	+0.2	+0.1	+0.1	+0.2	+0.2	+0.5	+0.4

	8	9	10	11	12	平均
納豆+小麦粉(cm)	+0.5	+0.6	+0.5	+0.3	+0.5	+0.58
水+小麦粉(cm)	+0.1	+0.1	+0.2	+0.7	+0.4	+0.27

#### ③ 長芋

##### 生地 の 厚 さ の 増 加 値

	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
長芋+小麦粉(cm)	+0.5	+0.2	+0.3	+0.5	+0.4	+0.2	+0.3	+0.1	+0.31
水+小麦粉(cm)	±0	±0	±0	±0	±0	+0.2	±0	±0	+0.03

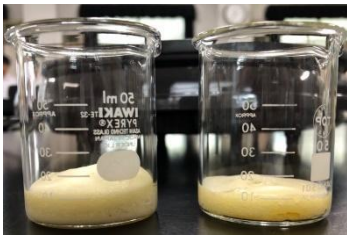
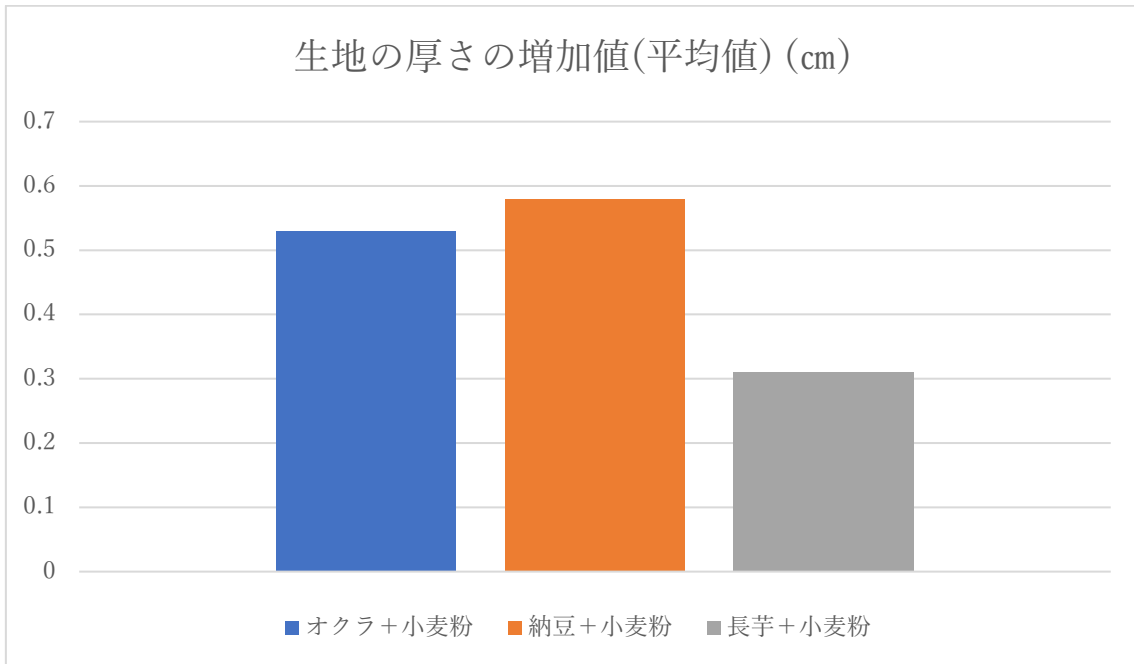


図4 オクラ+小麦粉(左)  
水+小麦粉(右)



図5 納豆+小麦粉(左)  
水+小麦粉(右)



図6 長芋+小麦粉(左)  
水+小麦粉(右)

#### 実験2: 粘度比較

	オクラ	納豆	長芋
粘度計で計測した時間	23分58秒	測定不能(30分以上)	12分17秒

#### 4. 考察

実験1の表・グラフ、図4、図5、図6より、「水+小麦粉」の生地より、「オクラ+小麦粉」、「納豆+小麦粉」、「長芋+小麦粉」のムチン抽出液と小麦粉を混ぜた生地の方が、厚くなると考えられる。また、納豆、オクラ、長芋の順に生地の厚さの増加値が大きくなったことから、納豆、オクラ、長芋の順に生地をよく膨らませる働きを持つと考えられる。

実験2の表より、納豆、オクラ、長芋の順に粘度計で測定した時間が長かったことから、納豆、オクラ、長芋の順に粘度が高いと考えられる。

ゆえに、納豆、オクラ、長芋の順に生地をよく膨らませる働きを持ち、かつ、納豆、オクラ、長芋の順に粘度が高いことから、粘度が高いものほど生地をよく膨らませる働きを持つと考えられる。

## 5. 今後の課題

- ・手作業のため、生地のに厚さに誤差が生じてしまうので、研究結果の信憑性を上げるために、実験回数をさらに多くする必要がある。
- ・長芋の粘度計による測定値が1回目と2回目での差が大きいのは、2回目の長芋のムチン抽出液が分離し切っていたためであると考えられるので、分離する前に粘度を測る必要がある。
- ・そもそもこの研究は、よく膨らんだ美味しいパンケーキを作ることを目指すための根底になるものなので、味を改善する必要がある。

## 5. 謝辞

この研究に携わってくださった田村先生、南先生、諸先生方、たくさんのご指導ありがとうございました。

## 6. 参考文献・URL

- ・ [http://www.aichi-inst.jp/shokuhin/other/up\\_docs/news1412-2.pdf](http://www.aichi-inst.jp/shokuhin/other/up_docs/news1412-2.pdf)
- ・ <http://www.holonicsystem.com/nutrition/tayori/201810.html>
- ・ <http://www.ekouhou.net/ムチン含有水溶液の製造方法/disp-A,2008-54654.html>
- ・ 森永ホットケーキミックス 作り方



# ミドリムシと麴の混合培養開発

～日本酒から学ぶ培養法～

## Development of Mix-Culture for Euglena with Koji

～A Method Learned from Sake Brewing～

### Abstract

Our aim is to develop an efficient mix-culture method for Euglena with *Koji*. *Koji* (*Aspergillus*) is an useful mold for Japanese traditional food culture, such as sake brewing. In sake brewing, *Koji* degrading enzyme breaks down rice starch into glucose, and yeast uses the glucose to perform alcoholic fermentation. Euglena heterotrophic culture contains glucose to be consumed by Euglena. We hypothesized that this process in *Koji* can be used Euglena culture, and we proved that this culture is possible by experiments focusing on the ability of *Koji*.

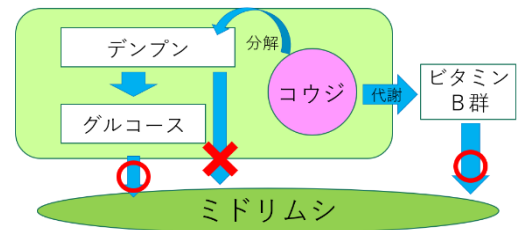
### 1. 研究の背景と目的

近年、ミドリムシは人間の健康食品として注目が高くなっており、効率的な培養方法の探索が進められている。一般的なミドリムシの培養方法は、独立栄養培養と従属栄養培養の2つがある。ミドリムシは自ら生産できない栄養素を環境から取り入れることで生育しているが、我々は他の有用な生物との混合培養によるミドリムシの増殖を図っている。先行研究より「乳酸菌との混合培養が可能である」ことが分かっている(小野 2018)。これは、乳酸菌による乳糖分解作用で生産されたグルコースや乳酸を摂取していることが要因であった。また、「酵母菌との混合培養が可能である」ことも示されている(山本 2018)。

今回、我々はミドリムシ混合培養実験の共培養菌としてコウジに着目した。コウジは、糖化作用のあるアミラーゼやタンパク質を分解するプロテアーゼなどの様々な分解酵素を持っている。特にデンプン分解の働きは、日本酒醸造の過程でも用いられる。また、分解作用の際に酵素の代謝によって、精白米には欠陥しているビタミンBが生成されるなどして栄養素が豊富であり、コウジは昔から人間の健康に良いものとして知られてきた。

一方ミドリムシはデンプンを分解することはできず、ビタミンBを合成することも不可能である。そこで、入手のしやすさを利点に持つデンプンをコウジの糖化作用によってミドリムシに栄養供給できるのではないかと考え、具体的な実験方法について日本酒醸造法の平行複発酵や甘酒製造から着想を得た両者の混合培養を試みた。

上のモデル図は、今回試行する混合培養の原理を示している。



### 2. 実験方法

以降の実験で用いるミドリムシは、大阪府立大学から頂いたユーグレナグラシリスZ株である。蒸留水100mlにハイポネックス0.1gを加え、オートクレーブで殺菌処理をした培地に10mlのミドリムシを添加して独立栄養によって培養したものである(これを標準培養液とする)。また、麴は市販で乾燥状態のものを使用した。実験使用前に麴の持つ酵素の働きを良くするために、60℃程度のお湯に浸し、常温に戻し利用した。

### (1) 実験1 コウジのタンパク質分解能力の実験

前述のとおり、コウジはタンパク質分解酵素を持っており、タンパク質で構成されているミドリムシが酵素によって分解される可能性を考え、タンパク質分解によるゼラチンの溶解度を観察した。コウジのタンパク質分解能力との比較のために、一般の洗濯洗剤に含まれるタンパク質分解酵素（以降「洗剤酵素」）も使用した。5gのゼラチンに250mlの熱湯で混ぜた後冷やして固めた。コウジと洗剤酵素は水に溶かし、ゼリーの上に乗せて20分後の様子を観察した。

### (2) 実験2 デンプン培地による混合培養実験

ミドリムシはコウジが生み出したグルコースを炭素源としているという仮説を確かめるため、ミドリムシとコウジの混合培養を行った。今回は栄養分をデンプンだけに着目するために、培地に片栗粉を使用した。蒸留水100mlあたり、

- ・ハイポネックス0.1g + 片栗粉0.5g
- ・ハイポネックス0.1g + 片栗粉1.0g
- ・ハイポネックス0.1g + 片栗粉2.0g

の3条件で混合し、図1のように100°Cの湯煎で熱し殺菌処理をする。可溶性デンプンではないので、培地にとろみをつけることで観察時の比較のしやすさも図った。

常温に戻した培地を微生物培養プレートに3mlずつ入れる。各培地において、

- ・ミドリムシのみ (30 $\mu$ l)
- ・ミドリムシとコウジ (30 $\mu$ l+30 $\mu$ l)
- ・コウジのみ (30 $\mu$ l)

の3条件を加え、計9条件で1週間培養し、顕微鏡を用いての観察及び、コウジのみの培地とミドリムシとコウジの混合培地のグルコース量の比較を尿糖試験紙での比較を行った。



図1 湯煎の様子

### (3) 実験3 精白米培地の混合培養実験

実験2での混合培養の培地を精白米に変えて同様の培養実験を行った。蒸留水100mlあたり、

- ・ハイポネックス0.1g + 精白米1.0g
- ・ハイポネックス0.1g + 精白米1.5g
- ・ハイポネックス0.1g + 精白米2.5g

の3条件で混合し、湯煎で殺菌処理を施し、常温に戻した後に微生物培養プレートに3mlずつ入れる。各培地において、

- ・ミドリムシのみ (30 $\mu$ l)
- ・ミドリムシとコウジ (30 $\mu$ l+30 $\mu$ l)
- ・コウジのみ (30 $\mu$ l)

の3条件を加え、計9条件で1週間培養し、ミドリムシのみの培地とミドリムシとコウジの混合培地のミドリムシ個体を計数した。

## 3. 実験結果

### (1) 実験1

以下に実験1の観察結果を示す。

図2-aは、左がゼリーの上にコウジ液を100 $\mu$ l乗せた様子、右が洗剤酵素液を100 $\mu$ l乗せた様子である。図2-bが添加物を除去した画像である。

コウジを添加したゼラチンゼリーは、写真が示す通り、分解されて凹みが生じ溶解していることがわかる。また、洗剤由来からのタンパク質分解酵素によっても溶解が確認できる。これらの結果から、コウジがタンパク質を分解する能力をもつことが確認できた。



図2-aゼリー上にコウジ(左)、洗剤酵素(右)を添加した様子

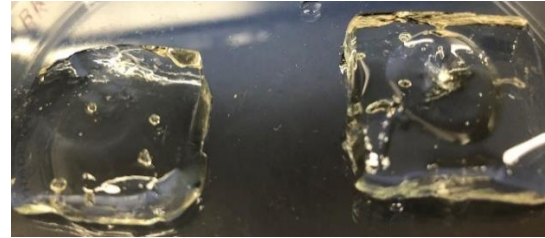


図2-bゼリー上から添加物を取り除いた様子 コウジ(左)、洗剤酵素(右)

コウジと洗剤酵素を比較すると、洗剤酵素を乗せていたゼリーに生じた凹みの方が大きいことが確認できた。

## (2) 実験2

図4にミドリムシとコウジの混合培養した培養液(5日目)の画像を示す。

コウジが含まれる培養液でもミドリムシが安定して生育していくこと確認された。

図3に混合培養液中のミドリムシとコウジの画像を示す。倍率は200倍である。画像中の大きな粒がミドリムシである。コウジを含む培養液中のミドリムシの姿は委縮しておらず、通常の遊泳運動を行っていた。

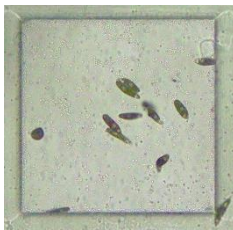


図4 混合培養の様子



図5 糖量比較

混合(左)、コウジのみ(右)

混合培地とコウジのみの培地のグルコース量を比較した。図4が示すように、コウジのみの培地は糖量が高くグルコースがミドリムシによって消費されていることが明らかになった。

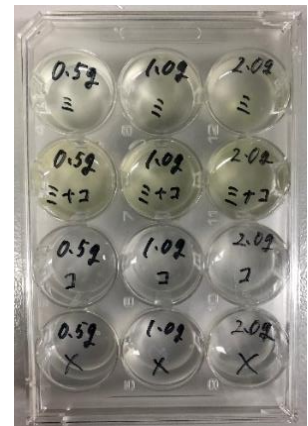


図3 培養液(5日目)

## (3) 実験3

以下にミドリムシ個体数の計数結果のグラフを示す。

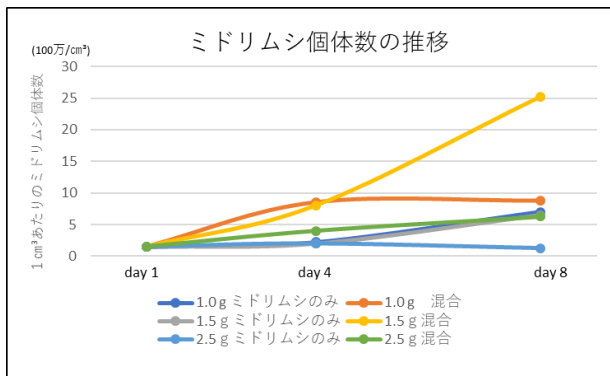


図6 ミドリムシ個体数の推移グラフ

グラフより、それぞれの培地(精白米1.0g, 1.5g, 2.5g)において、混合培地内のミドリムシ個体数がミドリムシのみの培地の個体数より上回っていることが確認できた。また、精白米1.5gの混合培地が最も増殖度が高いことが示され、今後、より好適な条件を模索する際の一つの指標になることが期待できる。

## 4. 考察

酵母、乳酸菌との混合培養と同様に、コウジとの混合培養が可能であるといえる。以上の結果から、ミドリムシはタンパク質分解能力を持っているコウジ培養液の中でも影響を受けず、生育することが確認された。コウジが生み出した

グルコースをミドリムシが従属栄養源として消費していることも明らかになった。

今回の実験の限界としては、混合培養の培地の精白米の割合、及び添加したコウジの量が、甘酒などに比べて非常に少ないことである。混合培養実験の際は浸透圧によるミドリムシへの影響を考慮して、低い濃度で行い、ミドリムシは生育できたが、報告書には記載していない初期の実験で、一般の濃度の甘酒にミドリムシを添加して培養を試したところ、ミドリムシの死滅が確認された。同様に、乳酸菌との共培養の際も、一般のヨーグルトにミドリムシを添加しても、ミドリムシは死滅しており（小野 2018）、ミドリムシが生育可能かつより濃度が高い培地の培養法開発が新たな課題として挙げられる。

## 5. 結論・今後の展望

我々はミドリムシとコウジの混合培養が可能であることを明らかにした。ミドリムシはデンプンを直接消費することは難しいが、日本酒の醸造方法において酵母がアルコールを生成する場合にコウジの力を借りて糖を得られるのと同様に、ミドリムシもコウジの力を借りてエネルギー源を取り入れられ、培養することが可能になった。この培養方法は、主に米の食品において、廃棄となったものをこの培養サイクルに組み込むなどして、食品ロスの軽減に繋がることが期待できる。今後、コウジとの混合培養法をさらに汎用的に確立させるために、デンプン、ビタミンBを中心とした栄養素の好適条件の模索、加えて培養操作の改善も視野に入れて研究を行っていく。

## 6. 参考文献

- ・ユーグレナー生理と生化学  
学会出版センター(1989/12) 北岡 正三郎著
- ・The Biology of Euglena 第二巻  
Science(1969/8) R.P.Hall 著

## 7. そのほか

本研究は、平成30年度「混合培養メソッド」山本優芽、平成30年度「ミドリムシはヨーグルトの中で増殖可能だろうか？」小野梨々花 濱中健丞 松崎美紀 を先行研究に基づいたものである。

## 8. 謝辞

本研究において、研究用のミドリムシ株を提供していただき、多くのアドバイスを示していただいた  
大阪府立大学生命環境科学研究科 中澤昌美先生  
大阪教育大学科学教育センター 仲矢史雄先生  
に深い感謝の意を表します。

# ミドリムシの混合培養メカニズムと条件～酵母菌との関係～

## Euglena mixed culture mechanism and conditions relationship with yeast

### Abstract

It was confirmed that *Euglena* can be mix-cultured with yeast, however the details of the interaction are still unknown. We examined the conditions for vigorous survival of *Euglena*. The culture conditions such as the light strength were revealed the mechanism of mix-culture.

### 1. はじめに

ミドリムシは動物、植物の両方の性質を持つ微生物である。動物的性質としては、鞭毛運動によって、自由に遊泳することができる能力をもち、植物的性質としては、葉緑体を持ち光合成ができる能力を発揮する。これらの能力は、複雑な進化過程で獲得されたと考えられ、生物学的に興味深い存在である。

近年日本では、様々な応用研究がなされている。その栄養価の高さや希少な栄養素を含むことが注目され、食糧難解決の1つとして培養方法の研究開発が進められている。また特定の培養条件で、飛行機などの燃料となりうる油脂が細胞内に蓄積されることが発見されており、エネルギー問題を解決期待が寄せられている。これらのことから、効率的な培養方法の探索が進められている。

本研究ではミドリムシと酵母菌の混合培養メカニズムを探究する(図1)。ミドリムシは自然環境下では、水中で他の微生物と共存して増殖生存している。多くの研究はミドリムシを自然環境から単離して行われているが、これはミドリムシの本来の生活環境とはかけ離れた特殊な培養といえるだろう。

先行研究では、ミドリムシが酵母菌と混合培養可能であることは示された(山本 2018)。しかし、先行研究では詳細な条件やメカニズムは分かっていない。ミドリムシと他のバクテリアが共存するメカニズムを明らかにすることは、ミドリムシが自然環境下でどのように繁殖活動を行っているか知る上で重要である。

酵母培養液中の生成物が、ミドリムシの繁殖特性にどのような影響を及ぼすのかは未知である。本研究では、酵母培養液の生成物であるアルコール、さらにそれから生成される酢酸の存在がミドリムシの増殖にどのように影響するのかという課題に我々は取り組んだ。

### 2. 研究材料と方法

本研究で用いるミドリムシは、*Euglena gracilis* Z株(大阪府立大学・中澤研究室提供)である。酵母は、ドライイースト(日清スーパーカメリア)を購入し実験に用いた。

本研究で用いるミドリムシの標準的な培養液について以下に記す。標準培養液は100mlあたり、ポルビック100ml、グルコース0.6g、ハイポネックス0.1gを加え、オートクレーブを用いて121℃で滅菌し、ミドリムシ10mlを加えたものとする。

以下の実験1～4における培養環境を記す。培養は、インキュベーター内で行った。培養温度は25℃、光を当てて培養する際は2000luxに調整した光を当て、暗室で培養する際はアルミホイルで試験管等を覆って光を遮断した。

#### (1) 実験1 酵母の暗室培養実験

暗室環境下での酵母の活動と培養液中の生成物、その濃度を知るために以下の実験を行った。酵母をグルコース量の異なる以下の4つの条件の培地で6日間暗室培養し、pH試験紙を用いて培地のpH、アルコールチェッカーを用いて気体中のアルコール濃度データ、尿糖試験紙を用いてグルコース含有量の変化を計測した。グルコース量は先行研究(山本 2018)に基づいている。

①蒸留水(50ml)+酵母(0.5g)

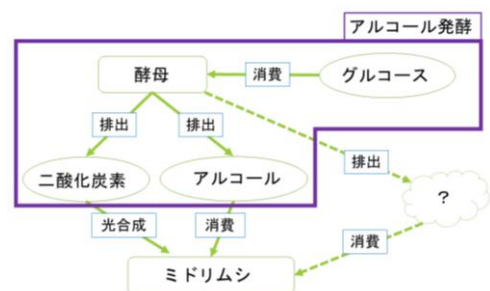


図1 混合培養メカニズム模式図

- ②蒸留水(50ml)+酵母(0.5g)+グルコース(0.75g)
- ③蒸留水(50ml)+酵母(0.5g)+グルコース(1.5g)
- ④蒸留水(50ml)+酵母(0.5g)+グルコース(3.0g)

#### (2)実験2 気体・液体中のアルコール濃度の相関

酵母培養液のアルコール濃度を定量するため、検量線(エタノール気体濃度-液体濃度)を作成した。実験1で計測したアルコール濃度の数値データは、アルコールチェッカーによる気体アルコール濃度である。培地のアルコール濃度を定量化するため、特定の濃度(重量パーセント濃度: 0.1%, 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.5%, 2.0%)に調節したエタノールを用意し、実験1で用いたアルコールチェッカーで計測した。

#### (3)実験3 酢酸の pH 計測実験

酵母培養液には、アルコール以外に酢酸が含まれている。この酢酸によって、培養液は pH4.5 に低下している。実験4では、酢酸存在下でのミドリムシの増殖について実験調査を行う。この実験4で用いる酢酸水溶液の実験濃度を設定するために、特定濃度(重量パーセント濃度: 2.0%, 0.2%, 0.02%, 0.002%, 0.0002%)に調節した酢酸を用意し、pHメーターを用いてそれぞれの濃度条件の pH の値を計測した。

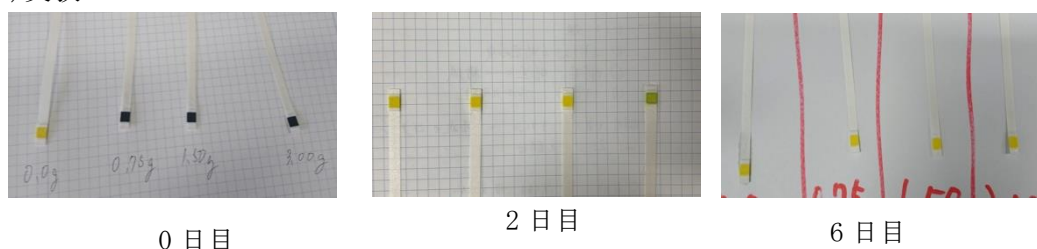
#### (4)実験4 ミドリムシの添加培養実験

酵母培養液中の生成物によるミドリムシの増殖への影響を調べた。酵母培養液には、アルコール以外に酢酸が含まれている。この酢酸によって、培養液は pH が低下している。ミドリムシ入りの標準培養液に実験1での酵母の生成物、酢酸、蒸留水をそれぞれ体積比が 2:1 になるように加え、光の条件を変えて 14 日間培養し、プランクトン計数板を用いてミドリムシの密度、pHメーターを用いて培地の pH、酸素濃度計を用いて酸素濃度を計測した。酢酸の濃度は添加する酵母の生成物の pH4.5 と等しくなるように調整した。

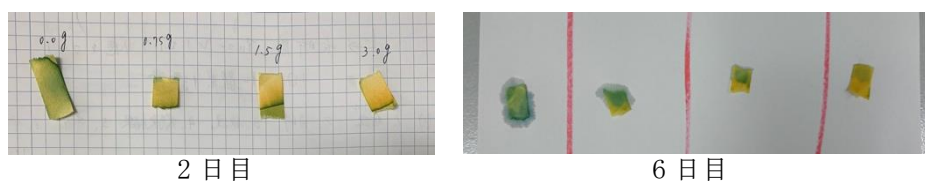
- ①ミドリムシ入り標準培養液+実験1での1.5gのグルコース含有培地で培養した酵母の生成物
- ②ミドリムシ入り標準培養液+pH4.5に調整した酢酸
- ③ミドリムシ入り標準培養液+蒸留水

### 3. 実験結果

#### (1)実験1



(左から順に 0.0g、0.75g、1.5g、3.0g のグルコースを加えたサンプル)  
図2 グルコース含有量の推移



(左から順に 0.0g、0.75g、1.5g、3.0g のグルコースを加えたサンプル)  
図3 培地の pH の推移

酵母培養液中の添加物と生成物の変化は以下であった。2日目、6日目の実験結果から、最終的にグルコースは酵母によって消費し尽くされた。尿糖試験紙(黄色: グルコース濃度0、緑色: グルコース濃度高)が緑から黄色に変化したことからグルコースが残存していないことを確認した。添加したグル

コース量が多い培地ほどグルコースを消費するまでに時間がかかることを確認した(図2)。添加したグルコース量が多い培地ほど早く pH が低下し、グルコースを添加していない培地では pH はほとんど下がらなかった(図3)。一定量のグルコースから生成できるアルコール量に限度があった。気体中のアルコール濃度の数値はいずれの培地においても2日目までに大きく増加し、2日目以降は緩やかに増加した。添加したグルコース量が多い培地ほど気体中のアルコール濃度の数値が高く、グルコースの量に関わらずいくつかの培地では一度アルコール濃度が低下した後上昇した(図4)。

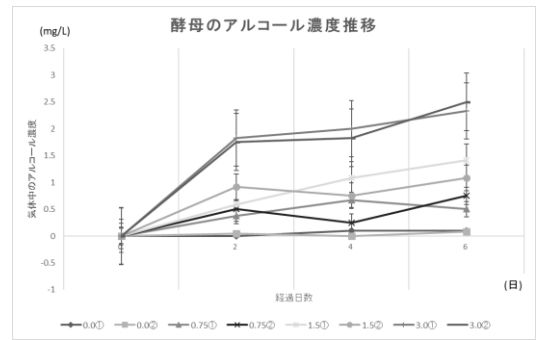


図4 酵母の生成アルコール濃度の推移

## (2) 実験 2

気体中アルコール-液体中アルコール検量線( $y=0.2701x+0.0319$ )を得た。液体中のアルコール濃度が増加すれば、気体中のアルコール濃度も増加することが確認できた(図5)。

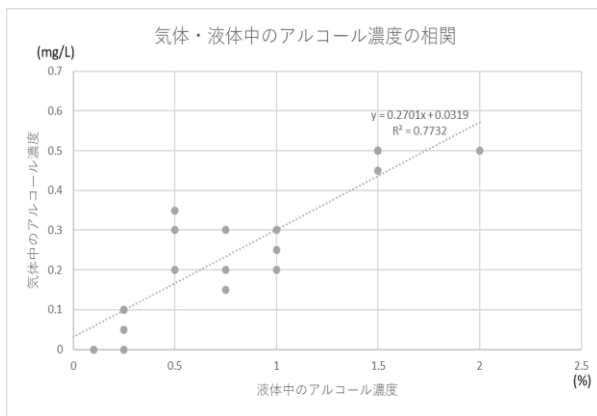


図5 気体中アルコール-液体中アルコール 相関グラフ

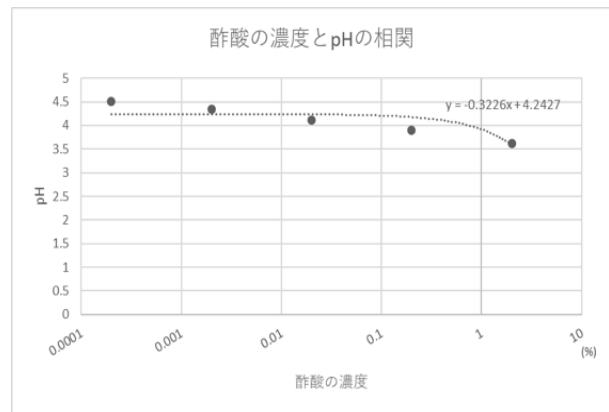


図6 酢酸の濃度と pH の相関

## (3) 実験 3

検量線( $y=-0.3226x+4.2427$ )を得ることができた。また、酢酸1%以下の濃度では pH の値は大きく変化しないことが示された(図6)

この結果から、実験4で用いる pH4.5 を示す酢酸の濃度は、0.0002%であった。

## (4) 実験 4

ミドリムシはどの条件の培地でも増加した。酵母の生成物を添加した培地はどちらも6日目までは大きく増加したが、そのうち暗室での培地はその後大きく減少し、光を当てた培地は緩やかに減少した。また、14日目には蒸留水を添加して光を当てた培地が最もミドリムシの密度が大きく、酢酸を添加して暗室での培地が最もミドリムシの密度が小さくなった(図7)。酵母の生成物を添加した培地はどちらも酸素濃度が他の条件に比べて低く、特に暗室での培地の酸素濃度が極端に低い(表1)。全ての培地において pH が上昇した。特に酵母の生成物を添加して光を当てた培地と酢酸を添加して光を当てた培地が4日目以降大きく上昇した(図8)。

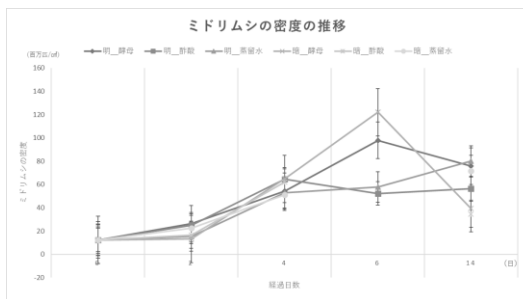


図7 ミドリムシの密度の推移

表1 14日目の培地の酸素濃度

	明	暗
① (酵母)	60.7	4.8
② (酢酸)	83.2	76.3
③ (蒸留水)	88.8	86.6

飽和溶存酸素濃度：100%

#### 4. 考察

実験1の結果からアルコール濃度が一定に増加し続かなかったこと、日が経つにつれて培地のpHが低下し酸性に近づいたことからエタノールが酢酸に変化したと考える。また、pHの値が低下した点に着目すれば、酵母の呼吸によって生成された二酸化炭素が要因とも考えられる。

実験2の結果から実験1において、グルコースを0.75g添加した培地は2%程度、1.5g添加した培地は4%程度、3.0g添加した培地は8%程度であったことが示された。

実験3の結果から酢酸をpHが4.5になるように調整するためには0.0002%に希釈する必要があることが分かった。

実験4の結果から培地の酸素濃度に大きな差があっても、ミドリムシの増加には影響がないと考えられる。しかし、長期的な培養を行った場合にはミドリムシの増殖に影響が大きいと考えられる。理由として、全ての培地のpHが上昇したことより培地に含まれている酢酸や二酸化炭素などの酸性のものが消費されたこと、ミドリムシが暗室での酵母の生成物を添加した培地で最も増加し、その後大きく減少したことが挙げられる。

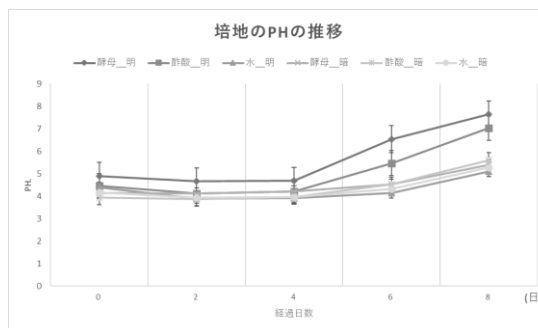


図8 培地のpHの推移

#### 5. 結論及び今後の展望

本研究では目的である詳細なメカニズムを明らかにすることはできなかった。しかし、酵母の生成物が短期的なミドリムシの増殖に良い影響及ぼすことが分かった。これより、ミドリムシを短期間で増加させたい際に有効であると言える。また、嫌気的な環境下での混合培養はミドリムシの増殖に制約を与えることが明らかになった。このことは、ミドリムシに有益であることが知られている酢酸やエタノールを培地に加えたとしても、濃度などによってはミドリムシに悪影響を及ぼしかねないと言える。今後は培地における二酸化炭素濃度の変化や、他の物質に着目した実験を行えばより詳細なメカニズムを追究できるのではないかと考えている。

#### 5. 参考文献・URL

- ・ユーグレナー生理と生化学 学会出版センター(1989/12) 北岡 正三郎 著
- ・The biology of Euglena 第二巻 Science(1969/8) R. P. Hall 著
- ・山本優芽(2018)「混合培養メソッド」大教大附属高校天王寺校舎 プルーフ III SSH 課題研究報告書

#### 6. 謝辞

本研究にご指導・ご助言頂きました

大阪教育大学 仲矢史雄先生

大阪府立大学 中澤昌美先生

その他本研究にアドバイスをくださった先生方に感謝申し上げます。



# エタノールによるシロイヌナズナの耐塩性の向上

## Improved Salt Tolerance of *Arabidopsis thaliana* with Ethanol

### Abstract

When the soil is submerged in seawater, a phenomenon occurs called salt damage that makes it difficult for plants to grow. However, in previous studies, it was proved that even under salt stress where plants no longer grow, when ethanol is added, increasing the salt tolerance of the *Arabidopsis thaliana* allows it to grow. In this study, we studied detailed conditions for improving salt tolerance. As a result, it was found that salt tolerance increases more when less ethanol is given to subject plants.

### 1. はじめに

津波などによって土壤に海水が侵入すると、高塩ストレスによって植物が育たなくなる塩害という現象が発生する。活性酸素が多く生成されることで細胞死を招くことが、一般的に植物は塩分の多い環境では生きることができない理由の一つである。しかしエタノールを加えると耐塩性が向上し、塩ストレス下でも生存することができる (Kaori Sako 2018)。

そこで本研究ではより効率の良いエタノール利用について知るために、耐塩性を向上させる詳細な条件を明らかにする。エタノールを与える量と操作のタイミングに着目し、シロイヌナズナの耐塩性がどのように影響するか調べた。

結果として、エタノール量と操作のタイミングがシロイヌナズナの耐塩性に与える影響が明らかになった。

### 2. 原理

塩ストレスによって植物が育たなくなる原因はいくつかあるが、そのうちの 하나가活性酸素の生成である。活性酸素とは酸素の中でも特に酸化力が強い酸素のことである。植物はストレスを感じると活性酸素を多く生成し、蓄積することで細胞内の DNA を損傷し、細胞死を引き起こす。

しかし、シロイヌナズナにエタノールを加えることで耐塩性が向上し、塩ストレス下でも生存することができる。エタノールを加えると、活性酸素を除去することのできるアスコルビン酸ペルオキシダーゼや遺伝子群が発現するからである。活性酸素を除去することで細胞死を防ぎ、シロイヌナズナは生存できる。

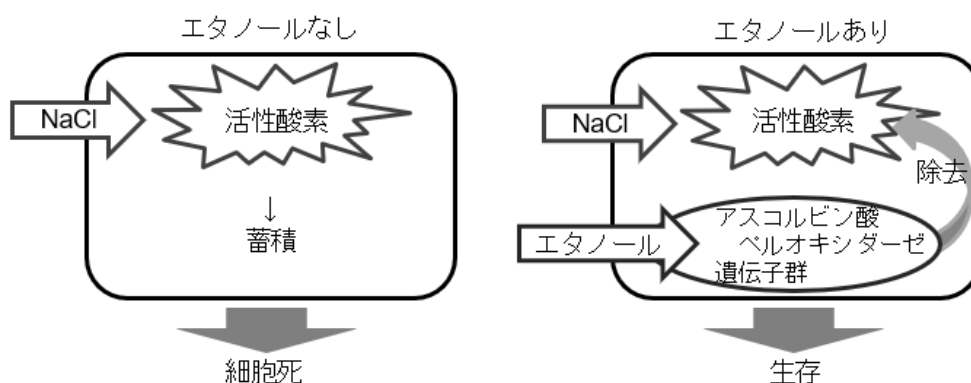


図1 耐塩性向上の原理

### 3. 研究方法

以下の二つの実験をおこなった。

#### I エタノール量と生存率の変化

1/2MS液体培地 1ml に対しシロイヌナズナの種を 5 粒ずつ撒き、4 日間生育した。そして 99.5%エタノールを培地に対して 0%、0.2%、0.3%、0.5%、0.7%、1%、2%、3%、5%、7%、10%、15%の割合で与え、その 24 時間後に 3%NaCl を 20 $\mu$  l 加え、4 日後に生存率を測定した。

なお上記の実験方法の中で、培地に対するエタノールの割合を 0.3%にしたものを基準の操作とする。

#### II 操作のタイミングを変えた時の生存率

基準の操作を次の通り入れ替えて実験をおこなった（図 2）。

- 1 (基準) 基準の操作
- 2 基準のエタノールと NaCl を入れるタイミングを入れ替える
- 3 エタノールを 2 日連続で与えた翌日、NaCl を添加する
- 4 エタノールと NaCl を同じ日に与える
- 5 種をまいてすぐにエタノールを与える
- 6 最初にシロイヌナズナを 8 日間育てる

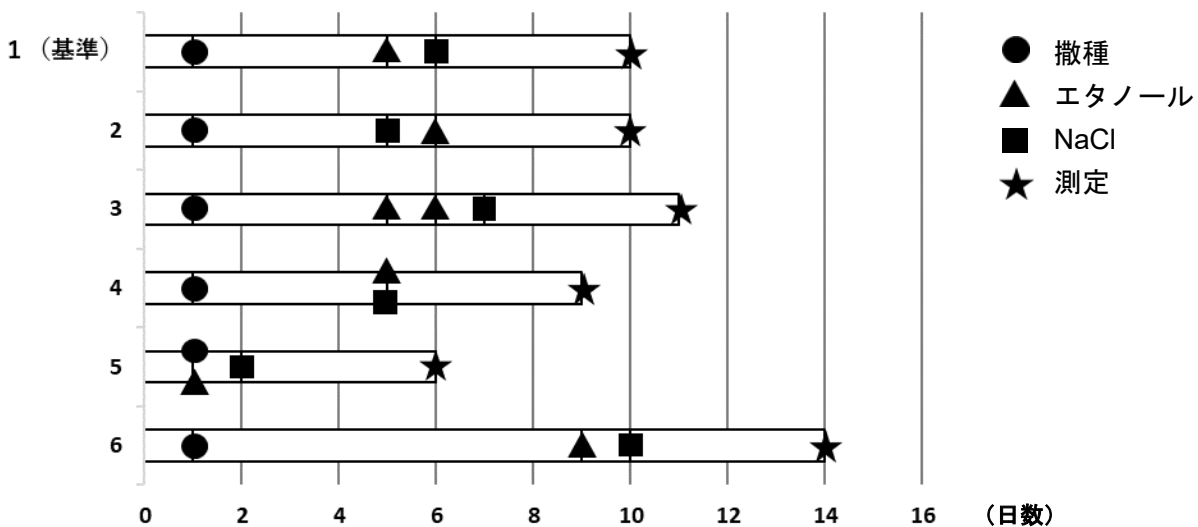


図 2 操作のタイミング

なお、I、II 共に各条件につき 30 粒ずつ（5 粒×6 セット）実験をおこなった。生育は人工気象器を使用し、12 時間ごとに昼夜の違いをつけた。昼は 25°C で光あり、夜は 23°C で光なしとした。

耐塩性向上の指標として、シロイヌナズナの生存率を用いた。生存率は、先行研究では測定時のシロイヌナズナの葉の色が緑か白かで生存を判定していたが、その間のどちらともつかないものもあったため、葉の色が緑、黄、白のどれであるかを調べ（図 3）、全体数に対する緑と黄の個体数から生存率を出した。

エタノールを加えていないものよりも生存率が高ければ、耐塩性が向上したとみなした。



図 3 判定時のシロイヌナズナの様子  
（左から緑、黄、白）

#### 4. 実験結果

##### I エタノール量と生存率の変化

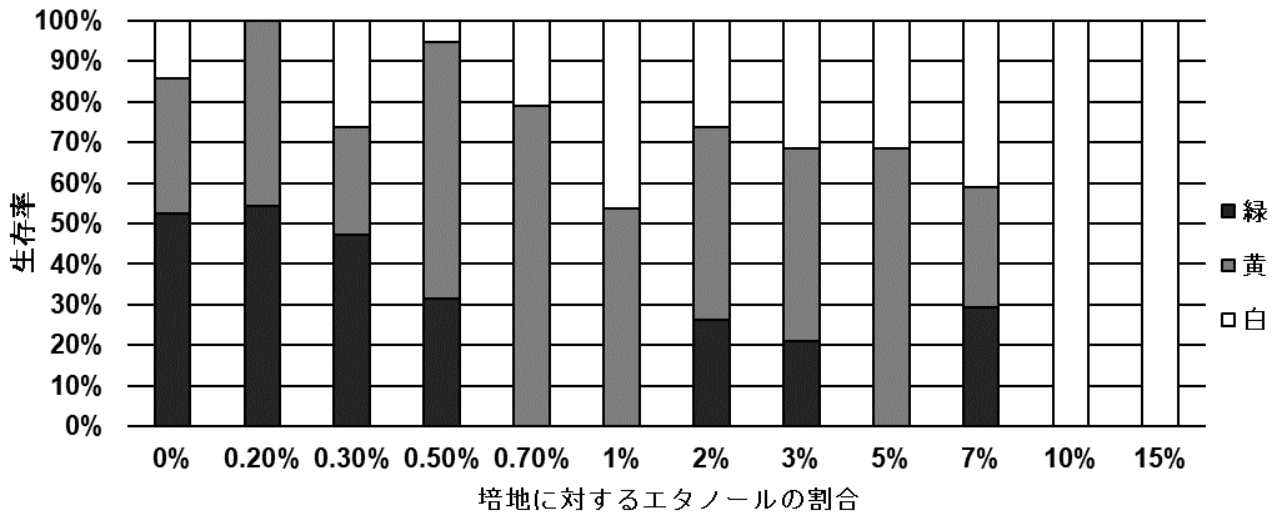


図4 エタノール量と生存率の変化

加えたエタノール量による生存率の変化を調べた。グラフより、エタノールを培地に対して0.2%ほどの低い割合で与えると生存率が高くなった。しかしエタノールを与える量を増やすにつれて生存率は下がった。またエタノールを加えていない条件下でも、生存率がある程度高かった。

##### II 操作のタイミングを変えた時の生存

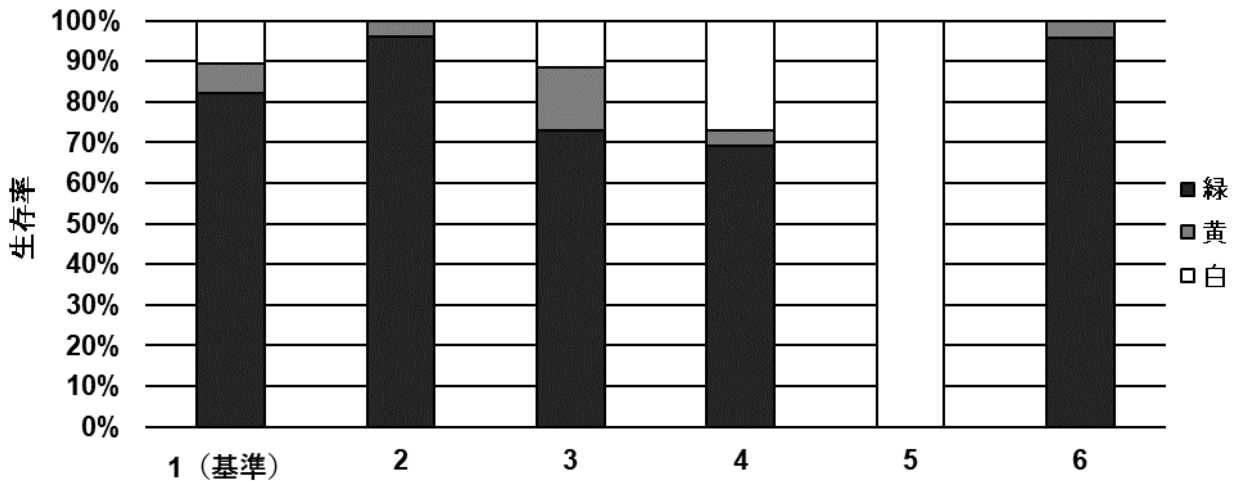


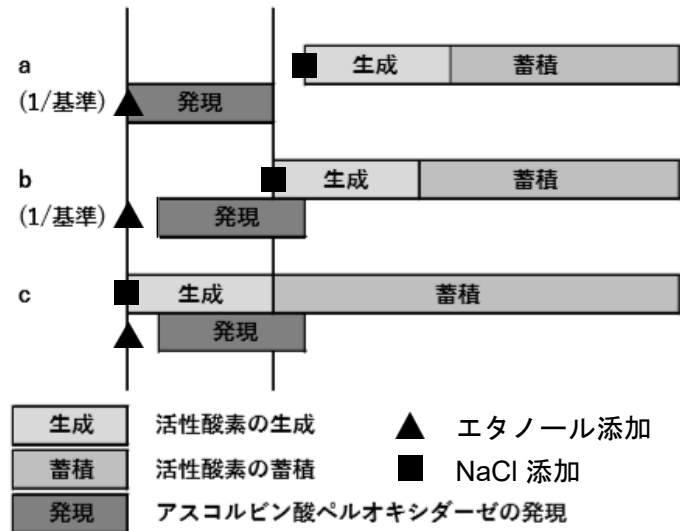
図5 操作のタイミングを変えた時の生存率

操作のタイミングが耐塩性に与える影響を調べた。エタノールとNaClを与えるタイミングを逆にしても生存率は高かった。しかしNaClとエタノールを同時に加えると生存率は下がった。また、種子から実験を開始したときは生存率が低かったが、ある程度成長させてから実験を開始すると生存率が高かった。

## 5. 考察

エタノールの添加量によりシロイヌナズナに与える影響が明らかになった。エタノールを培地に対して0.2%ほどの低い割合で与えると生存率が高かったことから、耐塩性が向上したと判断した。しかしエタノールを加える量を増やすと生存率が下がったことから、過剰なエタノール添加は細胞固定をまねき、植物を枯死させると考えられる。

また操作のタイミングを変えることで、シロイヌナズナの耐塩性向上の特性が明らかになった。活性酸素の生成スピードはアスコルビン酸ペルオキシダーゼの発現スピードよりもはやいと考えられる。もし、活性酸素の生成スピードが遅かったならば、先行研究よりアスコルビン酸ペルオキシダーゼの持続時間は24時間のため、活性酸素が生成される前にアスコルビン酸ペルオキシダーゼが消滅してしまい、生存率が下がってしまうと考えられる(図6-a)。しかし実際には耐塩性が向上しているため、活性酸素の生成スピードが遅いという仮定は否定される。逆にアスコルビン酸ペルオキシダーゼの発現が遅いと考えると、アスコルビン酸ペルオキシダーゼの



持続時間以内に活性酸素が生成され始めるため、生存することが可能になり、結果と一致する(図6-b)。また、NaClを加えてからエタノールを添加しても生存率が高かったことから、食塩水に浸かってからでも耐塩性は向上すると考えられる。しかしエタノールとNaClを同時に加えると生存率が下がってしまったことから活性酸素が生成されている間、アスコルビン酸ペルオキシダーゼは発現されにくくなっていると考えられる。これはもし活性酸素が生成されている間にアスコルビン酸ペルオキシダーゼが発現できるとすると、生存率がより高くなると考えられるからである(図6-b,c)。また、種子をまいてから実験を始めるまでの日数により生存率が変化したことから、アスコルビン酸ペルオキシダーゼや遺伝子群は成長とともに発現しやすくなり、その結果、発芽からの日数によって耐塩性は変化すると考えられる。

## 6. 今後の課題

今回の研究ではエタノールを加えなかった条件下でも生存率が80%をこえていた。先行研究では20%ほどであったのに対してかなり高い値が出ているので、実験方法または条件に何らかの違いがあったのではないかと考えられ、それを明らかにすることが課題である。

また生存率を測定するための色の判定を目で行っていたため判断基準がばらつき、正確な実験結果だと言い切ることが難しい。次はクロロフィル定量法など、視覚に頼るのではなく数値的な指標を用いて結果を表したい。

## 7. 参考文献

- ・「The duration of ethanol induced high-salinity stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*」  
(Kaori Sako 2018)
- ・「多種の種子の滅菌法」  
[https://epd.brc.riken.jp/ja/manual/nazuna/qa\\_nazuna4](https://epd.brc.riken.jp/ja/manual/nazuna/qa_nazuna4) (2020/01/19)

# 乳酸菌の生育を促進させる NaCl 濃度の研究

## Study of NaCl Density to Promote Growth of Lactic Acid Bacteria

### Abstract

*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* is contained in Caspian Sea yogurt, and studies show that growth is promoted by NaCl. We therefore cultured three kinds of bacteria in nutrient mediums with varying NaCl concentration and measured their growth.

### 1. はじめに

先行研究より、カスピ海ヨーグルトに含まれる乳酸菌のクレモリス菌 (*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*) は NaCl によって生育が促進されることがわかっている。(森地敏樹 1997) そこで、本研究では他の乳酸菌でも NaCl によって生育が促進されるのか、また、NaCl の濃度によって違いがあるのかを調査した。

### 2. 使用した菌について

本研究では3種類の乳酸菌を使用した。菌は NBRC (独立行政法人 製品評価技術基盤機構) より入手した。

- (1) ブルガリア菌 (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*)  
動物性で桿菌の乳酸菌である。プレーンヨーグルトやチーズに含まれている。
- (2) クレモリス菌 (*L. lactis* subsp. *cremoris*)  
動物性で球菌の乳酸菌である。カスピ海ヨーグルトやチーズに含まれている。
- (3) ラブレ菌 (*Lactobacillus brevis*)  
植物性で桿菌の乳酸菌である。漬物や乳酸菌飲料に含まれている。

### 3. 仮説

最も生育が促進される NaCl 濃度の仮説を立てた。

- (1) ブルガリア菌→濃度は関係しない  
一般的に動物性の乳酸菌は耐塩性が低いとされているが、この菌が使われている食品には塩分濃度が高いものもあることから生育と塩分濃度は関係しないと考えた。
- (2) クレモリス菌→0.5%  
先行研究の結果より 0.5%が最も生育が促進されると考えた。
- (3) ラブレ菌→2.5%  
この菌が主に使われている漬物の塩分濃度に近い値であること、昨年度の研究結果と最も近い値であることから 2.5%で最も生育が促進されると考えた。

## 4. 実験方法

### 実験[1]

①NaCl 濃度が 0%、0.2%、1.0%、5.0%、25%の 5 種類の NaCl 溶液 5 ml と、TYG 培地 5 ml を混ぜ合わせた、NaCl 濃度が 0%、0.1%、0.5%、2.5%、12.5%の 5 種類の培養液（各 10ml）を作成し、ブルガリア菌は 37℃、クレモリス菌、ラブレ菌は 30℃のインキュベーター内で静置培養した。

②0 時間後、24 時間後、48 時間後の 3 回、分光光度計で透過率を測定した。

### 実験[2]

①NaCl 濃度が 0%、0.2%、1.0%、5.0%、25%の 5 種類の NaCl 溶液 5 ml と、TYG 培地 5 ml を混ぜ合わせた、NaCl 濃度が 0%、0.1%、0.5%、2.5%、12.5%の 5 種類の培養液（各 10ml）を作成し、クレモリス菌、ラブレ菌を 30℃のインキュベーター内で静置培養した。

使用していたブルガリア菌が死滅してしまったため、2 種類の菌で実験を行った。

②0 時間後、14 時間後、24 時間後の 3 回、分光光度計で透過率を測定した。

## 5. 結果

### 実験[1]の結果

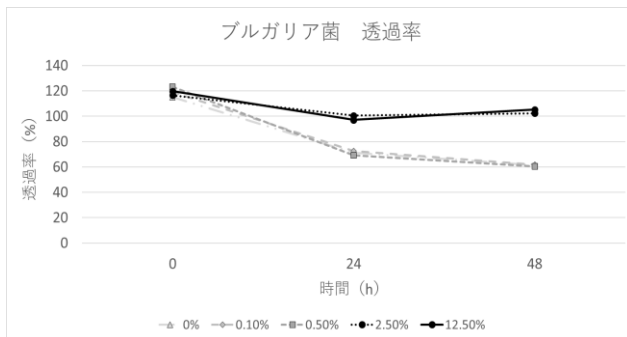


図1 ブルガリア菌透過率

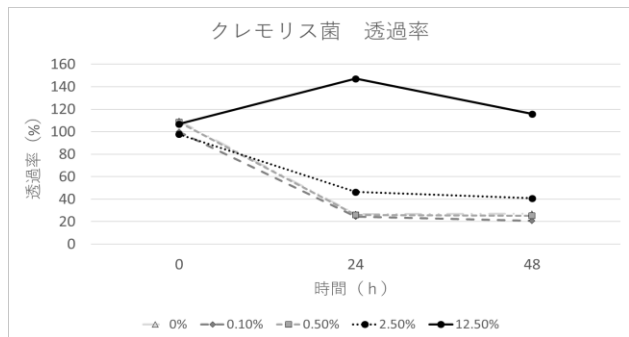


図2 クレモリス菌透過率

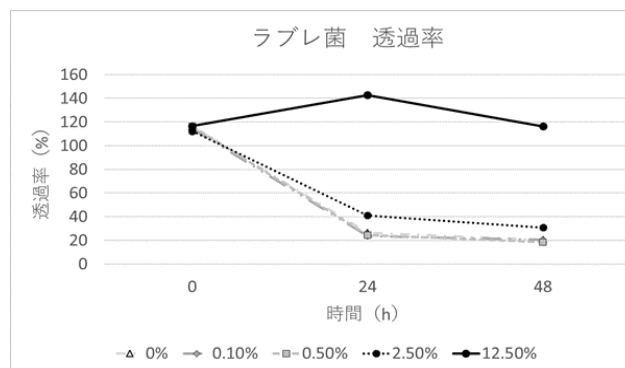


図3 ラブレ菌透過率

図1から、ブルガリア菌においては2.5%と12.5%の透過率の減少が少なかったことがわかる。

図2、図3からクレモリス菌とラブレ菌において12.5%の透過率は一度増加してから減少したこと、12.5%の透過率の減少が少なかったことがわかる。

どの菌においても0時間後から24時間後の透過率の減少が大きかった。

## 実験[2]の結果

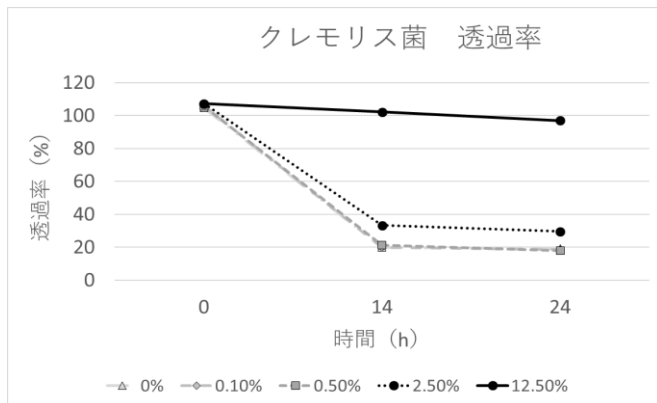


図4 クレモリス菌透過率

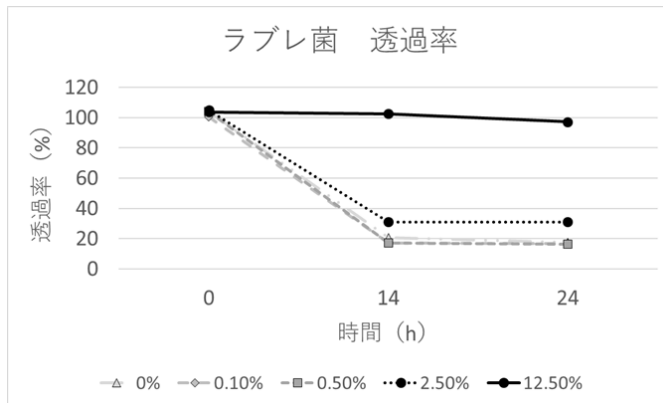


図5 ラブレ菌透過率

図4、図5よりクレモリス菌とラブレ菌において、12.5%の透過率の減少が少なかったことがわかる。

透過率の減少は実験[1]とほぼ同じだった。

どちらの菌も0時間後から14時間後までの透過率の減少が大きかった。

## 6. 菌の観察

48時間の培養を終えたものを600倍で観察した。培養液の濃度はすべて0%のものである。

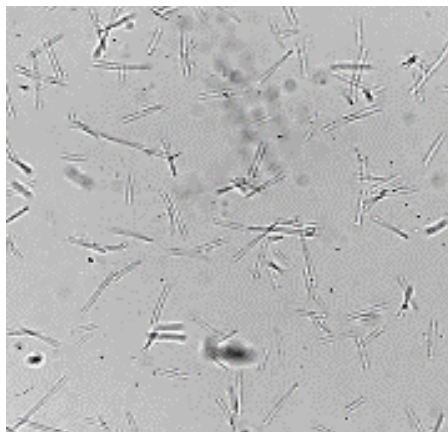


図6 ブルガリア菌

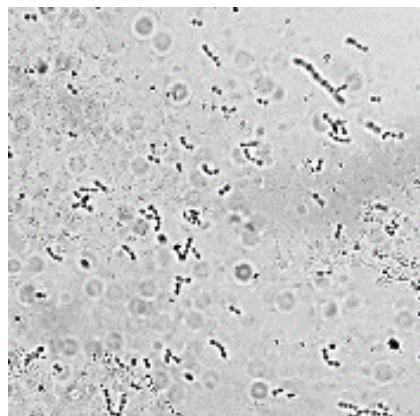


図7 クレモリス菌

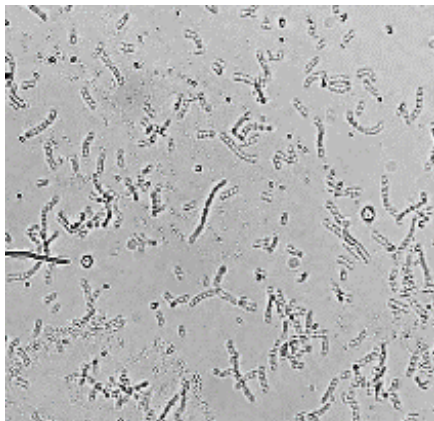


図8 ラブレ菌

図6、図8では桿菌が観察できた。

図7では球菌が観察できた。

図6、図7、図8のすべてにおいて、桿菌と球菌が混在していることは発見できなかった。

## 7. 考察

濃度が高いときに透過率の減少が少なかったのは、浸透圧の影響やもともと菌が持っている耐塩性の影響が考えられる。また、図1、図2、図3より、クレモリス菌とラブレ菌は2.5%でも透過率の減少が大きかったが、ブルガリア菌は2.5%の透過率の減少が少なかった。この違いから、同じ動物性の菌でも、クレモリス菌よりブルガリア菌の耐塩性が低いと考えられる。

ブルガリア菌では2.5%と12.5%、クレモリス菌とラブレ菌においては12.5%の塩濃度によって乳酸菌の増殖が抑制されたといえる。このことから、本研究で使用した3種類の菌は微量の塩で増殖するが、高い塩濃度の環境下では増殖が抑制される好塩菌の性質を持つと考えられる。

実験[1]のクレモリス菌とラブレ菌の12.5%の透過率が一度増加したのは気泡が発生していたことが影響していることが考えられる。

実験[2]よりクレモリス菌、ラブレ菌のどちらも培養を始めてから早い段階で生育が進行していることが分かった。このことから、ブルガリア菌も同じように早い段階で生育が進行すると考えられる。

仮説では、菌の種類によって生育が促進されるNaCl濃度に明確な違いが現れると予想していたが、本研究では3種類の菌の結果が類似していた。このことから、3種類の菌は、菌の形や生息場所での分類の違いに関わらず、生育する際にNaClを利用する方法が共通していると考えられる。

先行研究では、NaClによって菌の生育が促進されたとされているが、本研究ではNaClを添加した培地と添加していない培地で違いを見ることができなかった。これは、NaClが添加されていない培地は他の菌も生息しやすい環境であることから、乳酸菌以外の菌が増殖してしまった可能性が考えられる。顕微鏡観察では桿菌を培養した培地には桿菌のみ、球菌を培養した培地には球菌のみが観察されたため、乳酸菌以外の菌が混入していないと考えられる。しかし、菌の種類の判別を行っていないため、同一の形をした乳酸菌以外の菌が混入していた可能性がある。

## 8. 今後の展望・課題

一番の課題は先行研究で示されている「NaClによって菌の生育が促進される」ということが確認できなかったことである。今後は実験方法の見直しと改善を加え、実験を繰り返す必要がある。今回の実験は全て液体培地で行ったが、先行研究と同じように寒天培地で培養させると、目視で菌の種類や数を見ることができるので、寒天培地に変更した方が良いと思う。

また、先行研究では不明とされていたNaClがどのように乳酸菌の生育を促進させるのかというメカニズムも解明したい。

## 9. 参考文献

「乳酸菌の特性と利用：最近の研究動向」 森地敏樹 1997

「塩分濃度が乳酸発酵に与える影響」 岡田美鈴 窪田茜音 吉川真央

(本校2018年度「課題研究・応用」研究成果報告書)

「乳酸菌とビフィズス菌のサイエンス」 日本乳酸菌学会 2010



# エタノールによる植物の耐塩性の向上

## Improving Plant Salttolerance with Ethanol

### Abstract

Salt damage occurs at the coastal rural in Japan, and that will probably continue to grow more and more in the future because of tsunami by earthquakes. Salt damage hurts agricultural products, and these which is splashed sea water can't continue to grow. Our study finds the way capable of minimizing damages.

### 1. はじめに

日本の農村では、海風や潮風などの海から吹きつける塩分濃度の高い風や津波が農地に飛散・侵入することがある。時間が経てば海水は海に戻るが、塩分の一部が農地に残り、蓄積すると、塩害に発展し作物の生育や収量に被害をもたらしている。

そこで、本研究では食用植物が被害を最小限に抑え、塩害土壌で生育を続けることのできるより実現性の高い方法を見つける。先行研究により、エタノールが植物の耐塩性を高める作用が示された。海水濃度である3%のNaClではエタノールの効果の有無は分かっていない。そのため、本研究では、3%NaClで生育を続ける方法を調査した。また結果を塩害農地で用いやすくするために、先行研究とは異なり食用の植物のハツカダイコンを用い、培地ではなくバーミキュライトを用いた。

### 2. 原理

植物に高塩分ストレスがかかると、活性酸素の蓄積が誘発されるが、そこでエタノール処理することで、活性酸素の除去にはたらく遺伝子群の発現が増加するとわかっている。

(佐古香織 2017)

### 3. 研究方法

(1) 実験1 海水濃度と同じ3%のNaCl溶液で植物は成長するのか？

バーミキュライトが底から6cm入ったプラスチックカップ、12カップにハツカダイコンの種を2粒ずつ播種した(図2)。学校の廊下の窓際で、20℃~25℃で生育させた。水やりは1~2日おきに、30mlずつ与えた。その4日後に0.3%エタノールを50mlずつ加えてエタノール処理をした。エタノール処理とは水やりと同様、エタノールをかけることをいう。エタノール処理の約1日後に3%NaCl水を30ml添加し、その後約1か月間、生存している葉の枚数を記録した。数えるのは、緑色と黄色の葉であり、葉が茶色のものや、萎れている葉は数えない。表1のような条件で1条件につき3カップ用意した。与えた水がプラスチックカップ内に溜まってしまわないように、プラスチックカップは二重にし、内側のカップには三か所にきりで穴をあけた。

表1 エタノールとNaClの添加条件

	エタノール	NaCl
1	○	○
2	○	×
3	×	○
4	×	×



図1 栽培の様子

(2) 実験2 NaCl 濃度を3%から変えてみると？

バーミキュライト 18gが入ったプラスチックカップ、30カップにハツカダイコンの種を2粒ずつ播種し、人工気象器内で昼間22℃、夜は20℃で保存した。その4日後に0.3%エタノールを20mlずつ加えてエタノール処理を行った。エタノール処理の約1日後に0%、0.5%、1.0%、2.0%、3.0%NaClをそれぞれ3カップずつ20ml添加し、葉の枚数の変化を記録した(図3)。また実験1とは異なり、エタノールは蒸発しやすいため、NaCl添加後4日後、13日後にエタノールを加えた。数える葉の条件は実験1と同様にした。

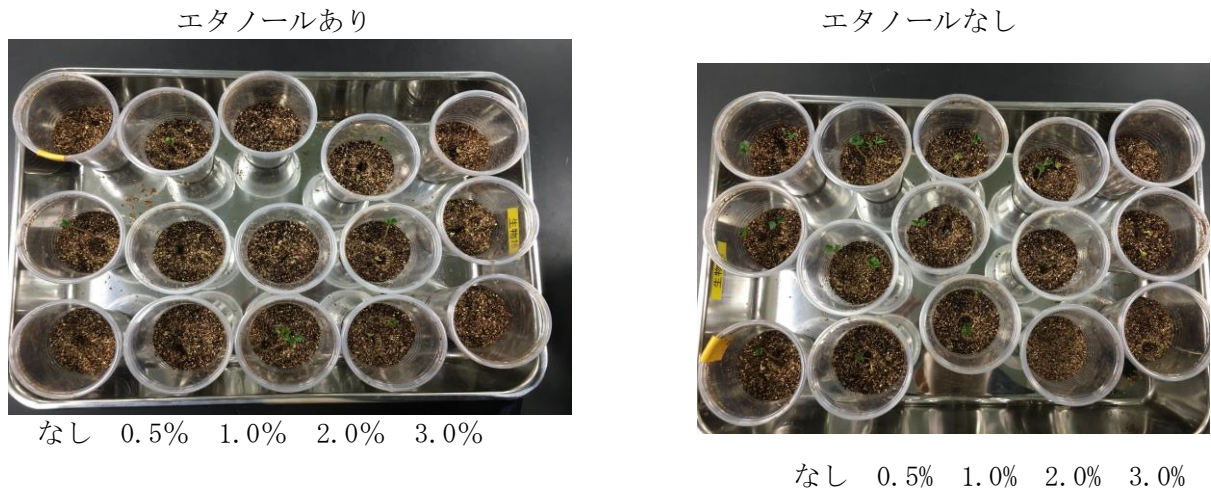


図2 実験1の結果観察

4. 実験結果

(1) 実験1

1つの条件に3カップずつあり、1カップごとに2粒のハツダイコンの葉の枚数を平均した。カップごとに葉の枚数に差があったため、標準偏差から標準誤差を計算し、誤差範囲を示した。

下の図4はエタノールを加え、約1日後にNaClを添加した条件の日数経過と葉の枚数の変化を示したグラフである。NaClを添加してから条件1(エタノール、NaClを添加)、条件3(NaClのみ添加)では葉の枚数は減り続け、10日目にはすべて枯れた。しかし条件3にエタノールを加えた条件である条件1はNaClのいみ添加した条件3よりは葉が減少する時間は長かった。条件2(エタノールのみ添加)ではハツカダイコンは成長を続けたが、条件4(どちらも添加なし)よりは全体として、成長が遅かった。

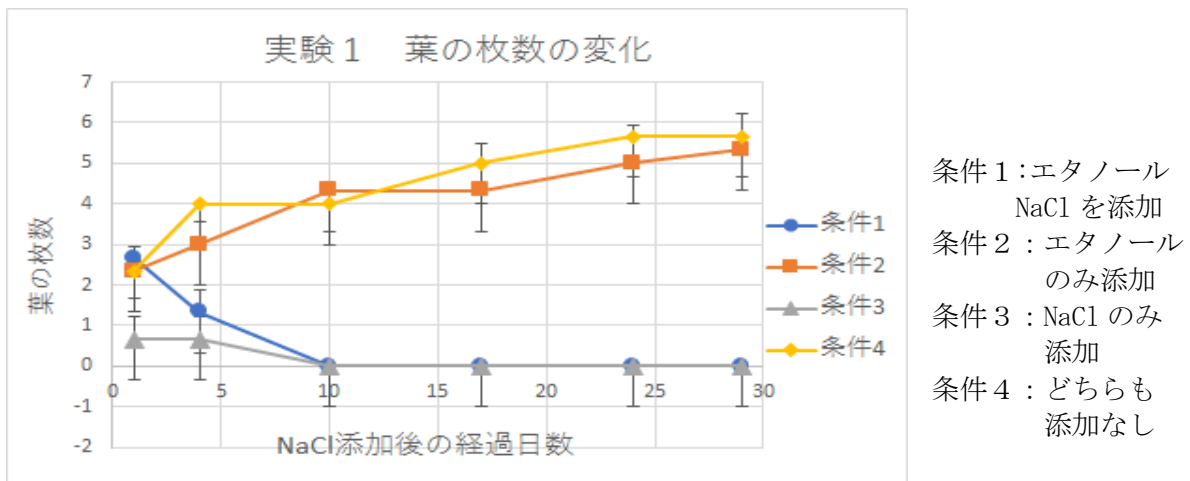
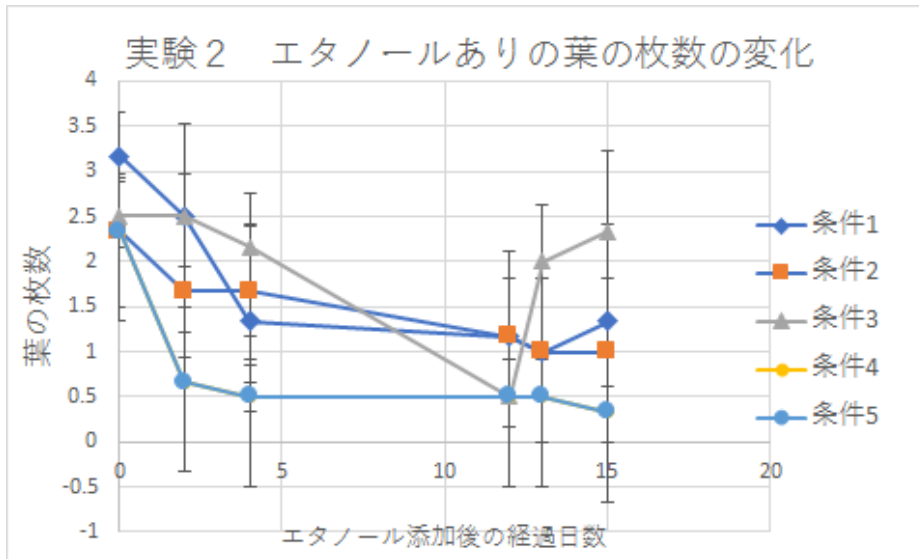


図3 ハツカダイコンの葉の枚数の変化

(2) 実験 2

実験 1 と同様に表記した。

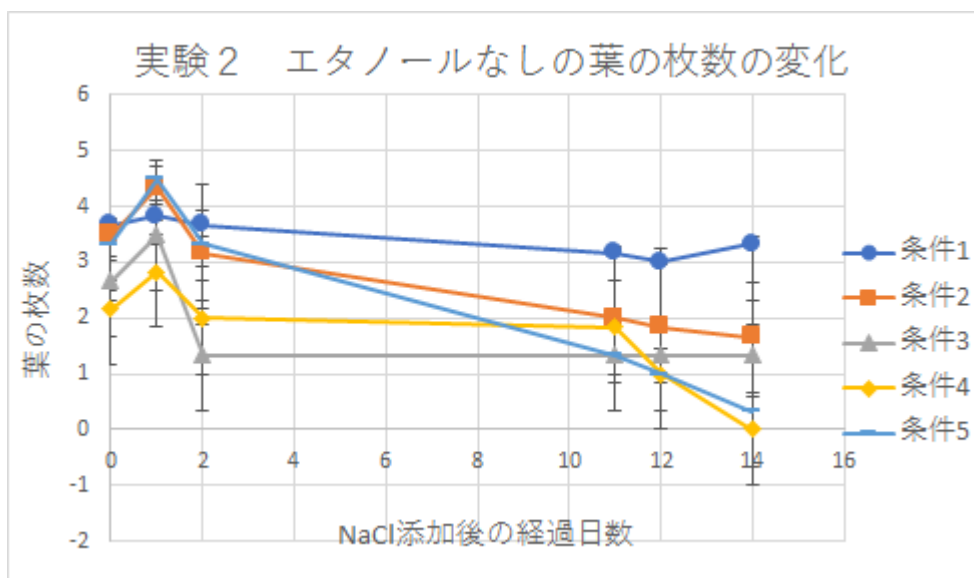
下の図 4 はエタノール添加後の葉の枚数の変化を表している。エタノールは 4 日目、13 日目に再度添加した。図 5 において条件 4 は条件 5 とデータが同じであり、隠れてしまっている。図 5 より NaCl 濃度がどの値であっても、全体としては葉の枚数は減少傾向にあることが分かる。しかし条件 3 (1.0%NaCl) を除く 4 条件では、4 日目の二度目のエタノール添加により、明らかにグラフの傾きが緩やかになっている。また、三度目の添加である 13 日目以後は葉の枚数が増加傾向にあるものも多く、条件 3 においては急激に葉の枚数が増加した。



条件 1 : 0%NaCl  
 条件 2 : 0.5%NaCl  
 条件 3 : 1.0%NaCl  
 条件 4 : 2.0%NaCl  
 条件 5 : 3.0%NaCl をそれぞれ添加した。

図 4 エタノール添加ありのハツカダイコンの葉の枚数の変化

下の図 5 はエタノールを添加しない条件のものであり、NaCl 添加からの日数経過とハツカダイコンの葉の枚数の変化を示している。すると、1 日目にどの条件においても葉の枚数が急激に増加している。これは誤って 0 日目にエタノールを加えたことが原因だと考えられる。条件 5 (3.0%NaCl) は初め葉の枚数は他に比べて多かったが、3 日目以降著しく減少した。また次に NaCl 濃度が高い条件 4 (2.0%NaCl) は 1 1 日目から減少し始めた。それ以下の NaCl 濃度の条件のものは日数が経過しても大きく減少しなかった。このように NaCl 濃度が高い条件のものほど、葉の枚数は減少した。



条件 1 : 0%NaCl  
 条件 2 : 0.5%NaCl  
 条件 3 : 1.0%NaCl  
 条件 4 : 2.0%NaCl  
 条件 5 : 3.0%NaCl をそれぞれ添加した。

図5 エタノール添加なしのハツカダイコンの葉の枚数の変化

## 5. 考察

### (1) 実験1の考察

エタノール、NaClの両方を加えたハツカダイコンが枯死したことから、0.3%エタノールでは海水の塩分濃度に近い3%NaClによる塩害を小さくすることはできないということが分かった。またエタノールのみを加えた個体と何も加えなかった個体を比較すると、前者の方が成長が遅かった。つまりエタノールは植物の耐塩性を高める性質を持つが、NaClは添加せず、エタノールを単独で加えた場合は植物の成長を妨げると考えられる。

### (2) 実験2の考察

NaCl濃度が高いほど葉の枚数は著しく減少する傾向があると考えられる。またエタノールを添加した場合と添加しなかった場合を比べると、ほとんどの条件でエタノールを再度添加することで、葉の枚数の減少率は低い。しかしながら、NaClを添加する以前から、エタノール添加ありとエタノール添加なしのハツカダイコンの成長具合には差があった。

エタノール添加する回数を増やしてみると、実験1、2でNaCl添加後二日はエタノールによる耐塩性が見られないが、三日後にエタノールを再度加えたことにより、四日後には葉の枚数の増加が見られた。このことから、エタノールは何度加えても、耐塩性を向上させる可能性が高いといえる。エタノールは揮発性が高いため、数日のうちに蒸発してしまい、バーミキュライト中での量は減少していると考えられる。つまり、一度の添加では一定時間しか効果が続かないが、エタノールは複数回加えると再度、効果が現れる。よって、こまめに加える必要がある。

実験期間が実験1は夏だったのに対し、実験2は秋冬であったため気温が低く、日照時間が短かった。ハツカダイコンの発芽適温18~30度、生育適温13~30度に対して低温であり、発芽に必要な光を供給できない(図)と判断したため、人工気象器内(昼22度、夜20度、光)で生育した。しかし、人工気象器内は狭く、茎が折れ曲がってしまったこと、十分な光を全体に供給出来なかったことが原因で、茎は細く、葉も大きくならなかった。つまり、ハツカダイコンにNaClによる高塩分ストレスのほか、緩急ストレスを与えてしまった可能性が高い。ハツカダイコンを最適な環境下で生育させることができなかったことは実験結果に影響を与えたに違いない。

## 6. 今後の課題

本研究で、エタノールを一度のみではなく、こまめに加えることはハツカダイコンの成長を促進させることが分かったため、エタノールの濃度を変えないで、エタノールを加える回数だけを変化させた実験をするのが良い。また、一つ一つのカップで光の当たる量や水やりによる土の流れ出る量が異なってしまったため、それらを均一にすることも課題である。さらに今回の実験では水やりをする間隔がバラバラだった。

## 7. 参考文献

Ethanol Enhances High-salinity Stress Tolerance by Detoxifying Reactive Oxygen Species in *Arabidopsis thaliana* and Rice 関原明 2017

# Na<sup>+</sup>は乳酸菌の生育に影響を与えるのか？

## Does Na<sup>+</sup> affect the Growth of Lactic Acid Bacteria?

### Abstract

It is said that NaCl helps lactic acid bacteria to grow and especially, there is a study saying Na<sup>+</sup> helps lactic acid bacteria to grow. Our purpose of research is to inspect the hypothesis. Used three types of lactic acid bacteria and prepared three types of liquid culture medium. The result is as follows. This time we weren't able to get the result "Na<sup>+</sup> helps lactic acid bacteria to grow".

### 1. はじめに

一般に、NaClは乳酸菌 (lactic acid bacteria) の生育を促進させると言われているが、それは特にその中に含まれるNa<sup>+</sup>の作用によるという考察がなされている (森地敏樹/1997)。その仮説を検証することが本研究の目的である。

### 2. 仮説

Na<sup>+</sup>は乳酸菌の生育を促進させる。乳酸菌にNaClを添加したもの、その他のNa<sup>+</sup>を含む物質を添加したものの、何も添加しないものの3つで乳酸菌の生育を比較し、Na<sup>+</sup>を含む2つでは生育の促進が見られる。

### 3. 研究内容

#### (1) 乳酸菌の定義

乳酸発酵に関与する細菌の総称。特に学術的定義としては、消費したブドウ糖に対して50%以上の乳酸を生産する、細胞表層構造がグラム陽性の細菌、桿菌又は球菌、過酸化水素水を分解するカタラーゼを持たない、内生孢子を形成しない、運動性を持たない、がある。

#### (2) 研究方法

使用した物品: インキュベーター, オートクレーブ, 70%エタノール, クリーンベンチ, 三角フラスコ, 蓋つき試験管(殺菌済み) 21本, 試験管立て, 電子天秤, pH試験紙(PH1~11, 4~6.4, 7.2~9.7) 分光光度計, マイクロピペット(P1000, P100), メスシリンダー, 葉さじ, 薬包紙

使用した培地: TYG培地300ml

その成分は1L当たりトリプトン10g, 酵母エキス5g, グルコース10g。今回はトリプトンの代わりにハイポリペプトンを使用した。

使用した菌: ブルガリア菌(中垣技術士事務所 プロバイオティクスGBN1), ラブレ菌(KAGOME 植物性乳酸菌ラブレカプセル), クレモリス菌(フジッコ カスピ海ヨーグルト 種菌)

#### —菌の前培養—

試験管3本にTYG培養液10mlをそれぞれマイクロピペットで測り取り、加えた。そこへブルガリア菌を0.06g, ラブレ菌を0.37g, クレモリス菌を0.01g加えた。これらをブルガリア菌は37℃, ラブレ菌は37℃, クレモリス菌は室温で一晩置いた。温度はインキュベーターで管理した。

#### —菌の本培養—

①それぞれの菌を図1のように1mlずつ6本に分けた。(③で培地に添加する水溶液が3種類あり、誤差を考慮して同じ条件のものを2本用意した。)そして、全体が5mlになるように培地を4mlずつ足した。

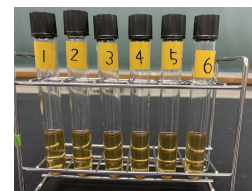


図1 培養の様子

②①に蒸留水,塩化ナトリウム水溶液,炭酸水素ナトリウム水溶液をそれぞれ以下のように加えた。

	ブルガリア菌	ラブレ菌	クレモリス菌
蒸留水	1.65ml	5ml	550 $\mu$ l
塩化ナトリウム水溶液	1.65ml	5ml	550 $\mu$ l
炭酸水素ナトリウム水溶液	1.65ml	5ml	550 $\mu$ l

表1 各菌に加えた水溶液の分量

#### —pHの測定—

測定したい菌液をガラス棒で数滴, pH試験紙にとり, pHを測定する。この方法を用いたのは, 乳酸菌が増えると培地全体が酸性になるためである。測定は1日目と8日目に行った。

#### —濁度の測定—

菌液0.1mlに蒸留水0.9ml加えて薄めたものをマイクロピペットでキュベットにとり, 分光光度計で24時間ごとに濁度を測定,記録した。これによって各試験官における菌の, 菌を加える前の培養液の濁度との増減を比較した。

### 3. 実験結果

濁度は全てにおいて不規則に変化した。特にクレモリス菌では,図3より実験開始1日目から3日目にかけて濁度が減少している。つまり,Na<sup>+</sup>の有無,菌種の違いによる生育の違いは見られなかった。

また,最終日に最も濁度が高くなるという仮説を立てていたが,それに反して実験開始6日目に濁度が最大になった。

ブルガリア菌とクレモリス菌では,図2,図3より,濁度が最大の日のものとして比較すると,培地にNa<sup>+</sup>を含むものの方が含まないものに比べて濁度が大きくなった。しかし,ラブレ菌では,図4より,同日で比較すると培地にNa<sup>+</sup>を含まないものが最も濁度が高くなった。

「乳酸菌の生育を促進させる」と言われているNaClを培地に添加したサンプルと添加しなかったサンプルと比較したが生育の違いは見られなかった。

図5より,全ての菌において,NaClを加えたものと蒸留水を加えたもののpH値は減少している。しかし,NaHCO<sub>3</sub>を加えたものに関してはブルガリア菌①,クレモリス菌以外はほとんど増減が見られなかった。

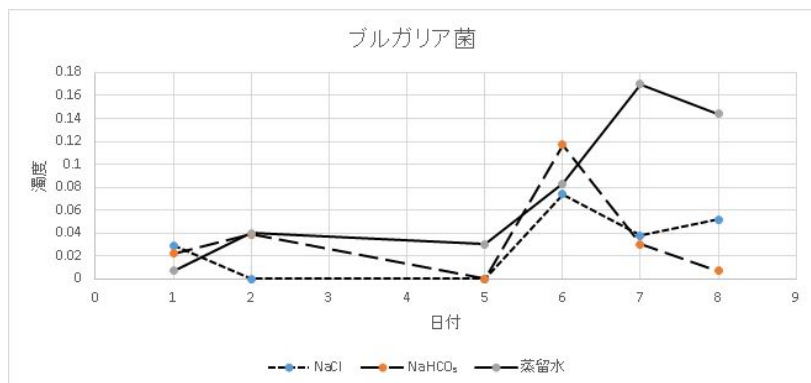


図2 ブルガリア菌の濁度の平均

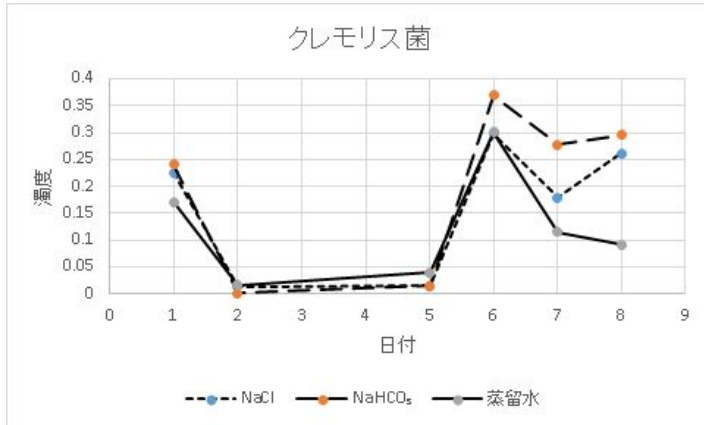


図3 クレモリス菌の濁度の平均

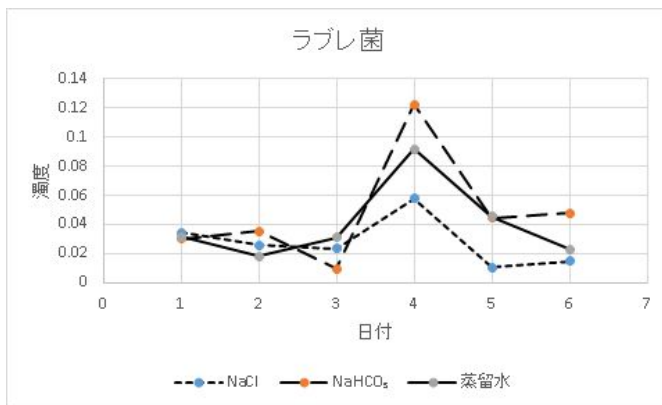


図4 ラブレ菌の濁度の平均

### pH値 1日目と8日目

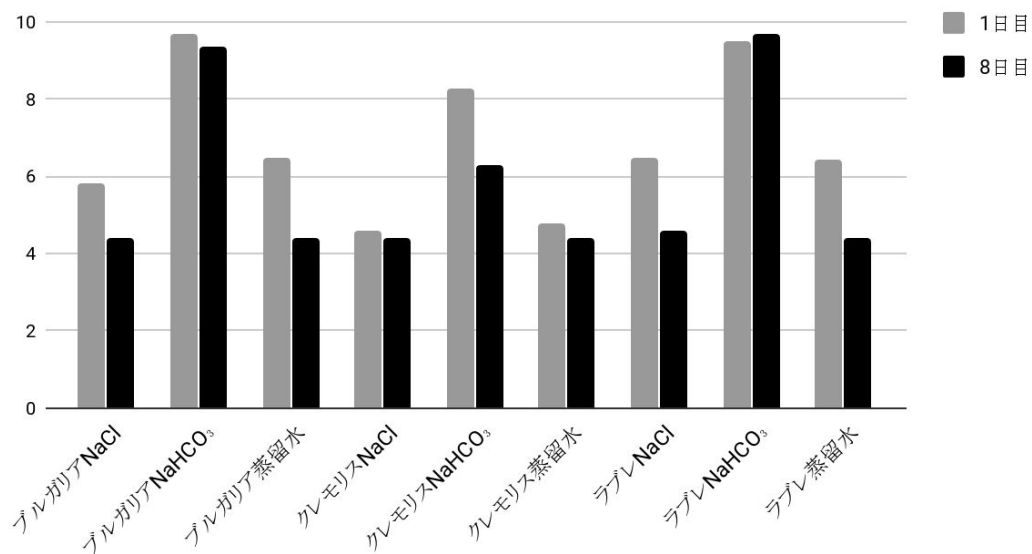


図5 1日目と8日目のpH値

#### 4. 考察

結果、図2~4より総じて乳酸菌の生育を促進させる $\text{Na}^+$ の効果は見られなかった。

表1で、全ての菌において、 $\text{NaCl}$ を加えたものと蒸留水を加えたもののpH値は減少しているのは乳酸菌が増えたからだと考えられる。また、 $\text{NaHCO}_3$ を加えたものがブルガリア菌①、クレモリス菌以外ほとんど増減が見られなかったのは、 $\text{NaCl}$ と蒸留水は完全に中性であるが、 $\text{NaHCO}_3$ は弱アルカリ性であるため、それが影響したからだと考えられる。

実験最終日ではなく、実験開始6日目に濁度が最大になったことから、乳酸菌の生育ピークは前培養後6日目であると考えられる。

クレモリス菌において添加した溶液の種類による濁度の違いが見られないこと、またブルガリア菌、クレモリス菌においても濁度が最大になった日以外の日で比較すると、同様の理由から、今回 $\text{Na}^+$ の有無による生育の促進効果は見られなかった。その原因として、昼休みの20分という限られた時間での測定に対するサンプル数の多さが挙げられる。

蒸留水を添加したものと $\text{NaCl}$ を添加したものを比較しても濁度の大きな差は見られなかったことから、菌の量、加えた $\text{Na}^+$ の量、培地の成分、いずれかが不適切であったと考えられる。

#### 5. 今後の課題

濁度を正確に測定するために、サンプル数を減らす。(菌を1種類に絞る)。また、炭酸水素ナトリウム( $\text{NaHCO}_3$ )よりも、更に中性に近い硫酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )を代わりに使用する。

#### 6. 参考文献

森地敏樹／1997／乳酸菌の特性と利用：最近の研究動向  
細野明義／Ⅱ．乳酸菌とビフィズス菌の糖代謝と発酵



# シヨウジョウバエの親世代の 環境ストレスが後代に与える影響

## Abstract

In recent years, the DNA sequence-independent inheritance has been discovered. This inheritance is called “epigenetics”. We gave heat shock stress on flies and observed it so that we examine the mechanism of epigenetics, and we were able to observed the effect of heat shock stress on flies.

## 概要

私達の研究は、親世代の環境ストレスが後代に与える影響について調べることを目的としている。実験には逆位の突然変異体のキイロシヨウジョウバエを使用し、ストレスによる影響を3世代間で観察して、主に眼の色の变化から、影響の規則性等を探った。

そして、この実験において全体で3つの結果を得た。まず、成長段階別に熱を与えた場合では、1齢幼虫にのみ影響がみられるという結果を得た。また、ストレスの強さと個体への影響に関係があるということ、そして、ストレスの強さと後代への影響に関係があるということが分かった。

## 研究の背景

近年、親の形質がDNAの配列だけでなく、後天的に与えられた環境ストレスの影響も後代へ伝わる遺伝が存在すると考えられてきている。この遺伝はDNAメチル化やヒストン修飾などによる、遺伝子の活性化や不活性化に関する変化が後代へと伝わるのが原因だと考えられているが、詳しいメカニズムや規則性は明らかになっていない。

そこで本研究では、理化学研究所のエピジェネティクスに関する研究<sup>1)</sup>を参考に、キイロシヨウジョウバエに熱ストレスを与える実験を行なった。実験では、ハエを成長段階別に分けて熱を与え、成長段階とストレスによる影響の関連を調べた。また、熱処理時間を変化させ、ストレスの強さと遺伝の関連を探った。

## 実験方法

### 1.使用したショウジョウバエ

実験には、京都工芸繊維大学ショウジョウバエ遺伝資源研究部門<sup>2)</sup> から譲っていただいた逆位の突然変異体のショウジョウバエを使用した。逆位の突然変異体は、[図1]のようにX染色体上の遺伝子の位置が変化していて、white遺伝子がヘテロクロマチン領域付近へ移動しており、遺伝子の発現が抑制されている。このハエに熱ストレスを与え、眼を観察することで、ヘテロクロマチンへの影響を調べた。

### 2.飼育環境

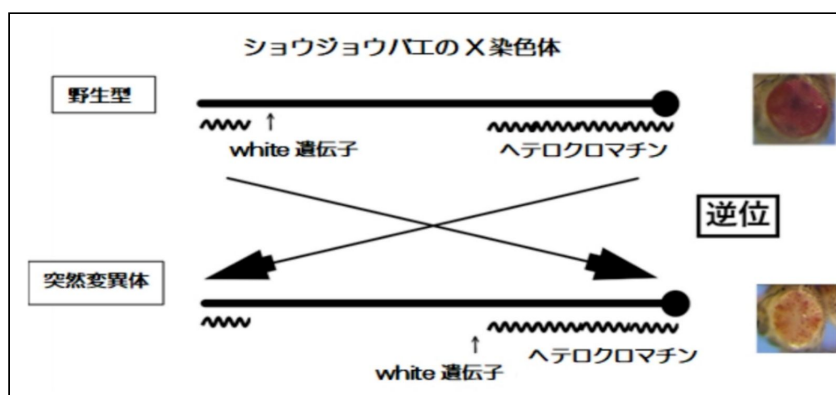
ハエの飼育には株式会社日本医化器機製作所<sup>3)</sup> のBioTRON [図2] を使用し、9時以降は25°C、照明有り、21時以降は22.5°C、照明無しで飼育した。飼育方法は、生徒理科研究のためのショウジョウバエ実験法 (2019) <sup>4)</sup> を参考にした。

### 3.熱処理

実験で使用したハエは、5つの成長段階で分け、時間を分けて37°Cで熱処理を行った。成長段階は卵 (0~1日目)、1齢幼虫 (1~2日目)、2齢幼虫 (2~3日目)、3齢幼虫 (3~5日目)、蛹 (5日目~羽化まで) の5つを、採卵日からの日付で区別した。なお、採卵は30匹ほどの成虫を20時間ほど試験管に入れて卵を確保した。また、熱処理の際はアズワン株式会社<sup>5)</sup> のクールインキュベーター (i-CUBE) [図3]で37°Cの環境を作り、飼育瓶ごとハエに熱を与えた。時間は0、0.5、1.0、1.5、2.0時間で分けた。

### 4.観察、グラフ作成

熱処理をした数日後に成虫になったハエの眼を、顕微鏡を用いて撮影した。そして、得た画像中の色の割合を、web画像解析ツール「色とりどり」<sup>6)</sup> を用いて数値化し、Excelでグラフを作成した。なお、1つの瓶につき成虫10体の眼の色を解析し、数値の平均をとった。



[図 1]



[図 2]

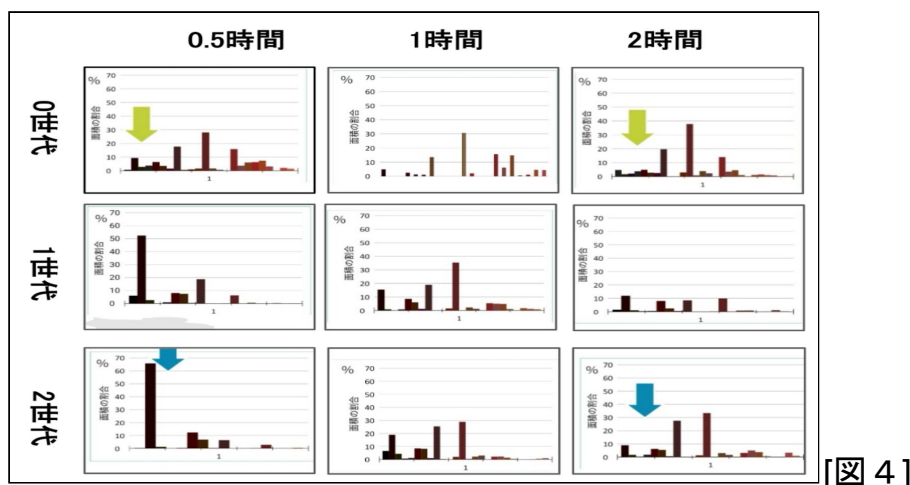


[図 3]

## 結果と考察

まず、成長段階別での結果としては、1齢幼虫に熱処理をした瓶にのみ眼の色の変化が見られ、その他の成長段階に熱処理をしたものには変化が見られなかった。この原因としては、他の成長段階と比べ、1齢幼虫が発達途上でより不安定な状態であったためにストレスの影響を受けやすかったのではないかと考えた。

次に、1齢幼虫に熱処理をしたハエを3世代にわたり観察したところ、熱処理時間と個体への影響、また世代間での影響の関連が見られた。図4は1齢幼虫に熱処理をしたハエの、成虫の眼の色面積の割合を示す棒グラフとなっている。なお、「色とりどり」によって分けられた色を、左が赤に近い色、右が白に近い色、というように並べている。グラフの0世代目より、熱処理時間の長いハエほど、眼の色が赤から白の面積が増えていることが分かった。また、世代別での変化を見ると、世代を経るごとに影響が小さくなりつつ後代へと伝わっていて、熱処理時間の長いハエほど、後代への影響の残る度合いが大きいことが分かった。



[図 4]

## 結論と今後の展望

熱処理時間と個体への影響、また後代への影響には関連があると考えられ、熱処理時間の長いものほど影響が大きくなっていった。また、1齢幼虫のような不安定な状態の期間ほど、ストレスの影響を受けやすいのではないかと考えられた。

今後は数世代にわたって似たストレスを受け続けた場合の、後代への影響の関連などを調べてみたい。

## 謝辞

今回、ご指導を頂いた京都工芸繊維大学ショウジョウバエ遺伝資源研究部門の都丸雅敏先生と生徒の理科研究所の辻村秀信先生理化学研究所の成耆鉉先生に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 「親の受けたストレスは、DNA配列の変化を伴わず子供に遺伝」理化学研究所 石井分子遺伝研究室 (2011)
- 2) 京都工芸繊維大学ショウジョウバエ遺伝資源研究部門 : [dgrc.kit.ac.jp](http://dgrc.kit.ac.jp)
- 3) 日本医化器機製作所 : [nihonika.co.jp](http://nihonika.co.jp)
- 4) 「生徒理科研究のためのショウジョウバエ実験法」辻村秀信、赤川裕美、城明日香、谷本朔弥、森中敏行、普後一 (2019)
- 5) アズワン株式会社 : [as-1.co.jp](http://as-1.co.jp)
- 6) 色とりどり : [ironodata.info](http://ironodata.info)

# メダカの「顔」認識と記憶

～雌は昔の雄を覚えているのか～

## Medaka's Face Recognition and Learning Ability

～Do females remember old flame?～

### Abstract

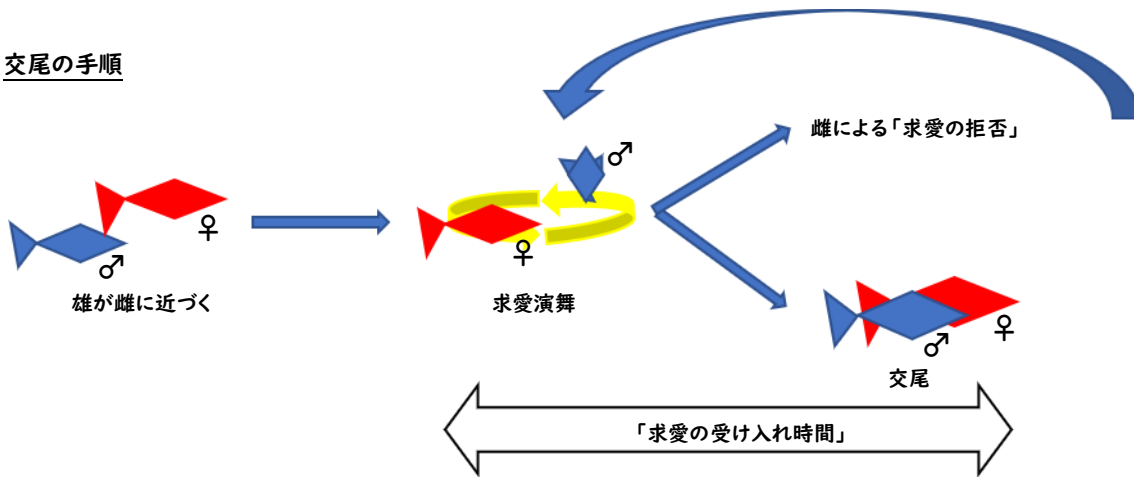
According to previous studies, medaka females basically don't accept courtship from all males, but in cases when a male's face was remembered by a female, the female accepts male's courtship quickly. Using this research, we examined memory capacity of medaka. Results showed that female medaka remember male faces for not less than 6 days.

### 1. はじめに

メダカは高度な個体認識能力を持っている。メダカの個体認識能力は生殖に利用されることが先行研究より判明されている。(Takeuchi 2017)

以下はメダカの生殖のメカニズムだ。メダカの雄は求愛の際に、雌の下を回りながら踊る求愛演舞という特徴的な動きを見せる。そして雌が雄の求愛演舞を受け入れる形で交尾は行われる。この時、雌は雄の求愛演舞を速やかに受け入れることがある一方、求愛演舞に対し雌が激しく拒否の姿勢を見せ、速やかに求愛を受け入れないこともある。

### 交尾の手順



メダカの雌の求愛の受け入れ方に法則があることが実験により発見された。初対面のメダカのペアにおいて、雌は全ての雄に対して求愛をすぐには受け入れない。(先行研究 I) しかし1日間、視覚的なコンタクトのみとることができる、透明な仕切りを挟んでメダカのペアを対面させると、その後雌は雄の求愛をすぐに受け入れることが明らかにされた。(先行研究 II)

### 先行研究 I

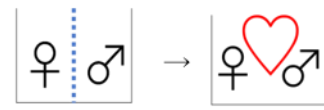
初対面のペア



交尾しづらい

### 先行研究 II

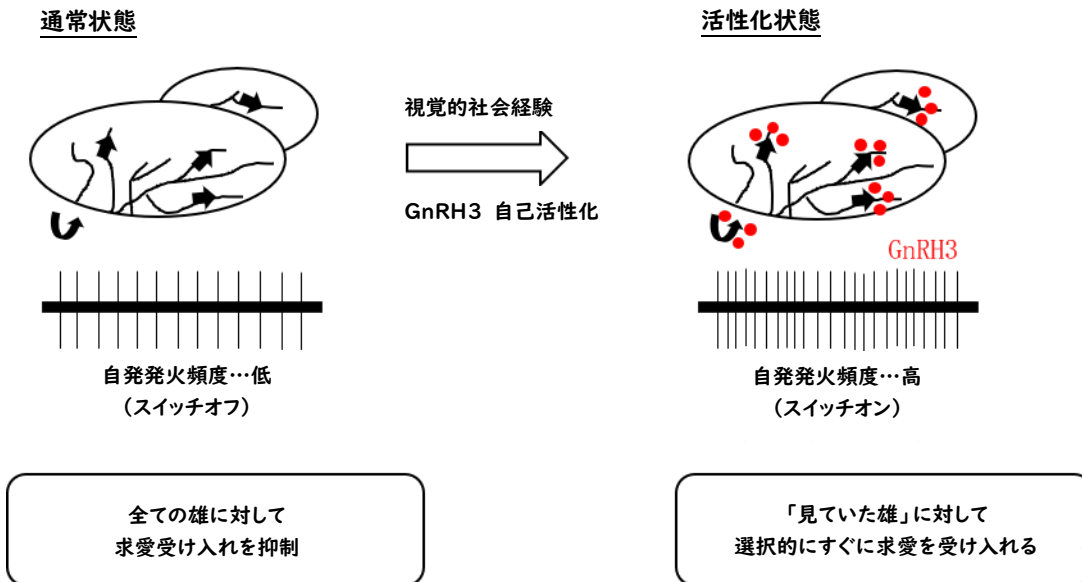
初対面のペア



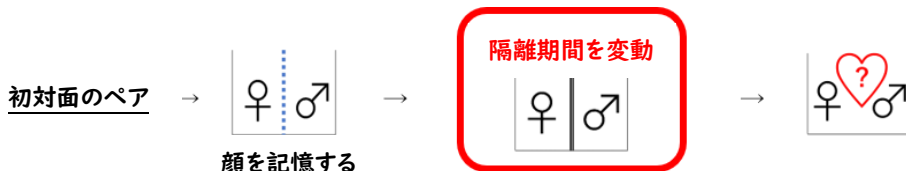
透明な仕切りで  
一日隔離

速やかに交尾

さらに脳神経学的研究から、メダカの雌の配偶者選択の情報処理過程が推定された。以下はメダカの雌の配偶者選択の神経モデルである。メダカの雌は通常状態では、終神経 GnRH3 ニューロンの発火頻度が低く、「全ての雄」に対して求愛受け入れが積極的に抑制されている。しかし「雄の顔を見ていた」という視覚的な社会経験がメダカの雌の終神経 GnRH3 ニューロンの神経活動を活性化させると、メダカの雌は「顔を見ていた雄」に対して選択的に受け入れる。よって終神経 GnRH3 ニューロンはメダカの雌にとって、メダカの雄を配偶相手として受け入れるか否かのスイッチとして機能することが示された。



私達はメダカの雌の配偶者選択の習性を利用し、メダカの雌の記憶の持続力を明らかにすることを目的に研究をした。先行研究の実験における、雌が雄の顔を記憶した後、交尾までの間に互いの視覚的交流が不可能な隔離期間を設ける。



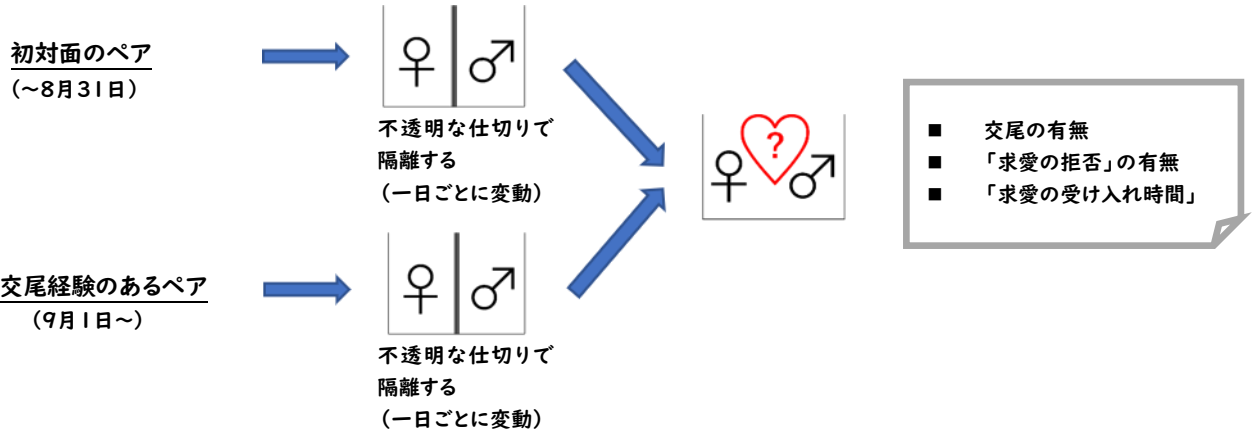
## 2. 研究方法

以下は実験方法の詳細である。

- ① 互いの顔の視覚的交流を経験したことがあるペアを、互いの顔が見えない不透明な仕切りで隔離する。（8月31日までの実験では、初対面のペアを1日間顔合わせをして顔を記憶させていたが、実験の効率化のため交尾経験のあるペアを用いた。）
- ② 仕切りを外し、ビデオ撮影で交尾の様子を観察する。記憶力を明らかにするため、隔離期間を一日ごとに変動して実験を行う。

メダカの交尾の様子でメダカの雌が雄を記憶しているのか判断する。雌が雄の顔を記憶していると、雌は雄の求愛演舞を速やかに受け入れ交尾をする。しかし、雌が雄の顔を記憶していないと、雌は雄の求愛演舞の最中に激しい逃避運動を見せる。この逃避運動を雌による「求愛の拒否」とする。また、雄の最初の求愛演舞開始から交尾までにかかった時間を「求愛の受け入れ時間」とする。本研

究ではメダカの雌による「求愛の拒否回数」と「求愛の受け入れ時間」を計測し、それぞれの隔離期間との関係性を調べる。信頼できる、仕切りを取り払ってから5分以内に交尾に成功したペアの結果のみを研究材料とする。対照実験として先行研究 I の研究を行い、指標とする。



### 3. 結果

各隔離期間のビデオ撮影の結果を〈表1〉に示す。不透明な仕切りを取り払ってから交尾までにかかった時間を記載する。仕切り除去後30分以内に交尾に成功しなかったペアは×と記載する。7月31日のように、同じ実験日と隔離期間内で2つ×が記載されている場合は、同じ実験内容を2回同時に行ったということだ。9月1日以降の実験では、交尾の障害として考えられる相性の問題を解決するために、初対面のペアではなく交尾経験のあるペアを使用した。

〈表1〉全実験における仕切りの除去から交尾までにかかった時間

実験日	5月28日	6月15日	7月19日	7月31日	8月2日	8月5日	8月8日	8月11日	8月28日	8月31日
先行研究 I	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
隔離期間	1日	×	×	×	×	×	×	×	59秒	×
	2日									
	3日									
	4日									
	5日									
	6日									
初対面のペア										

実験日	9月4日	9月5日	9月10日	10月1日	10月5日	10月9日	10月14日	10月15日	10月19日	10月24日	10月28日	11月7日	11月11日	11月14日	11月16日	11月21日
先行研究 I																5分
隔離期間	1日		9分30秒	×	20分11秒											
	2日	3分30秒				×	×		×							
	3日						×	×		×	3分40秒					4分59秒
	4日											4分57秒				
	5日												×	1分15秒		
	6日														3分45秒	
交尾経験のあるペア																
																初対面

〈表1〉のうち、各隔離期間において「求愛の受け入れ時間」が最も速やかだったものを抽出し、その際の「求愛の拒否回数」〈表2〉を記載する。

〈表2〉 隔離期間に対する「交尾の受け入れ時間」と「求愛の拒否」回数

隔離期間	初対面	1日間	2日間	3日間	4日間	5日間	6日間
受け入れ時間	4分 10秒	19秒	1分 59秒	29秒	3分 30秒	34秒	3分 1秒
拒否回数	3回	0回	0回	0回	0回	0回	0回

#### 4. 考察

以下の①～⑤は実験の結果を踏まえた考察である。

- ① 狙った日に短時間でメダカを交尾させることは難しい。
- ② 1日透明な仕切りで顔を記憶させた初対面のペアよりも、交尾経験があるペアの方が交尾する確率が高かったため、メダカの交尾の条件として相性も大きいと考えられる。
- ③ 先行研究の正当性が追研究によって証明された。初対面のペアは出会ってから短期間で交尾しても、雄の求愛開始から雌が受け入れるまでに比較的時間がかかり、拒否が見られる。よって、雌の雄に対する視覚的経験がないと、雄の求愛を受け入れにくいことが明らかになった。
- ④ 隔離期間をおいた本研究では、隔離期間6日までにおいて雌は雄の顔を記憶していることが明らかになった。対照実験の初対面のペアと比べ、隔離期間1～6日をおいた交尾経験のあるペアは、雄の求愛開始から雌が受け入れるまで比較的速やかであり、拒否も見られなかった。
- ⑤ また「隔離期間」と「求愛の受け入れ時間」、「求愛の拒否回数」に相関関係は見られなかった。以上より、メダカのカップルは6日間離れ離れになっても、確実に雌は雄の顔を記憶していることがわかった。裏を返せば、メダカの雌の記憶力の限界は6日間より更に長いことがわかった。

#### 5. 反省・改善

以下の①②は反省点と改善点である。

- ① 本研究の反省点は、実験のデータ数が少なかったことだ。メダカの交尾の条件はシビアで、狙った日に5分以内という短期間で交尾する条件を見つけ出すという実験の前準備の段階で時間が掛かってしまった。そのため、信憑性が見込める実験を行った期間は短く、実験数も少なかった。今後、実験数を増やし、結果の信憑性をより上げたい。
- ② 本研究では、隔離されて6日間はメダカの雌は雄の顔を記憶していたことが証明されたが、メダカの雌の記憶の持続力の限界は明らかにできなかった。更に長い隔離期間において実験し、メダカの雌の記憶の持続力を証明したい。

#### 6. 参考文献

Individual recognition and the ‘face inversion effect’ in medaka fish  
Wang MY, Takeuchi H eLife6 2017.7



# タバコがもたらす植物への関係

～タバコは植物にも有害か？～

## The relationship of tobacco to plants

～Is tobacco harmful to plants?～

We select as a subject in order to elucidate their effects on human beings and other plants. In this research, we use a radish to detect its interference. We examine the effect on germination conducting the sandwich method but almost no effect was detected. In addition, we found that tobacco have promoting effect on the growth of radishes. We are going to examine which component of tobacco affects other plants.

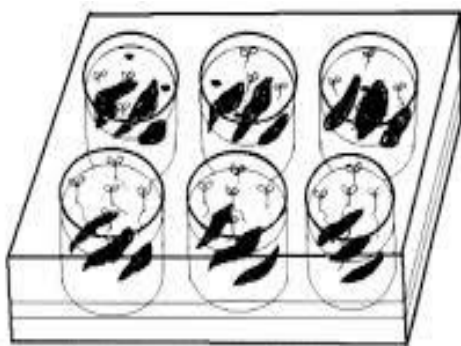
### 1. はじめに

今回の研究で私達は、人に害とされているタバコを植物に加えてみて、どのような影響を与えるかを調べた。動機としては、タバコを植物に与えたことによって、より成長をしたというデータ（参考文献①）を見つけたからである。またその結果は、曖昧なものだったのでより具体的な結果を出して、原因を考察しようと考えたからである。

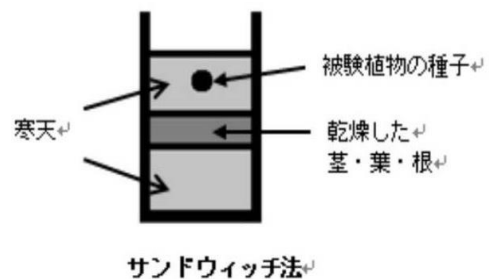
### 2. 研究方法

私達の研究では、サンドイッチ法の実験と抽出液を用いた実験の計2種類の実験を行った。

まず、サンドイッチ法とは、以下の(図1)のような6穴プレートを用いて実験を行う。また断面図は(図2)の通りである。断面図を見れば分かるように、寒天培地の間に効果を調べたい植物を上、の寒天培地には、被験植物の種子を置く。この実験では、発芽時に植物が与える影響を調べることができる。



(図1)



(図2)

抽出液を用いた実験は、先行研究（参考文献①）と同じ手法で行った(図3)。サンドイッチ法と違い、発芽させた被験植物を用いて成長後の全長を測定した。この際、先行研究で使われた銘柄（メビウス）の他に、結果を比較するために別の銘柄（ピース）も使用した。

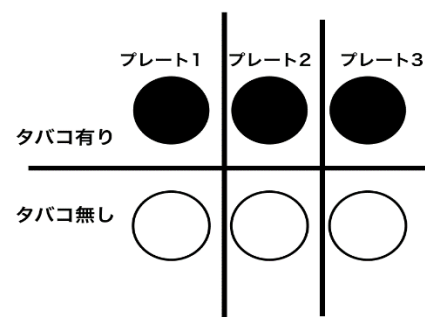
今回2回の実験で用いる被験植物は、どちらもカイワレダイコンである。理由として、発芽や成長が早く、かつ環境の変化による影響を受けやすいからである。また実験に用いたタバコは、先行研究に基づいて、市販されているタバコを分解して利用している。



(図3)

### 3. 実験手順 (1) サンドイッチ法

- ① 寒天培地を6穴プレートに半分にまで入れる。
- ② 3つの穴にのみタバコの葉を50mgずつ入れる。
- ③ 寒天培地で蓋をして、その上にカイワレダイコンの種子を一つの穴に5個程度置く。
- ④ 20°Cの場所に3日間(2019年9月21日~23日)置き、全長を測定する(図4)。



(図4)

※今回の実験で使用したタバコは、メビウスである。理由としては、数あるタバコの中でタール量・ニコチン量がちょうど平均的ということと、先行研究でも用いられていたからである。

### 4. 実験結果 (1) サンドイッチ法

結果は以下の(図5)の通りである。タバコ無しの方が、成長をしていた。また、比較実験として、成長に阻害作用があるとされている、カタバミで同様の実験をしてみたところ、タバコ有りの結果よりも全長は小さくなった。(図6)

サンドイッチ法の平均値・中央値 (mm)

	平均値	中央値
タバコ無し	16.8	13.5
タバコ有り	3.9	2.9

(図5)

サンドイッチ法(カタバミ有り)の平均値・中央値 (mm)

	平均値	中央値
カタバミ有り	2.3	1.8

(図6)

### 5. 実験手順 (2) 抽出液

- ① カイワレダイコンの種子100個を、湿った脱脂綿の上で、20°Cの状態に3日間置き発芽させる。
- ② タバコの葉4.2mgを、蒸留水120mlに3分間つけて、濾し抽出液を作成する。(この濃度の抽出液を原液とする。)
- ③ 脱脂綿を引いたシャーレの上に、発芽させた種子20個を置き、それを5皿分作る。
- ④ それぞれのシャーレに原液、1/10, 1/50, 1/100に希釈したもの、蒸留水、を30mlずつ与えて、7日間(2019年8月31日~9月9日、11月16日~11月25日)置き全長を比べる。4日目に蒸留

水を10ml ずつ加える。

※今回使ったタバコは、サンドイッチ法にも使用したメビウスとピースである。メビウスと比べて、ピースはタバコの主成分でもあるタール量とニコチン量が倍以上あるために、採用した。

## 6. 実験結果 (2) 抽出液

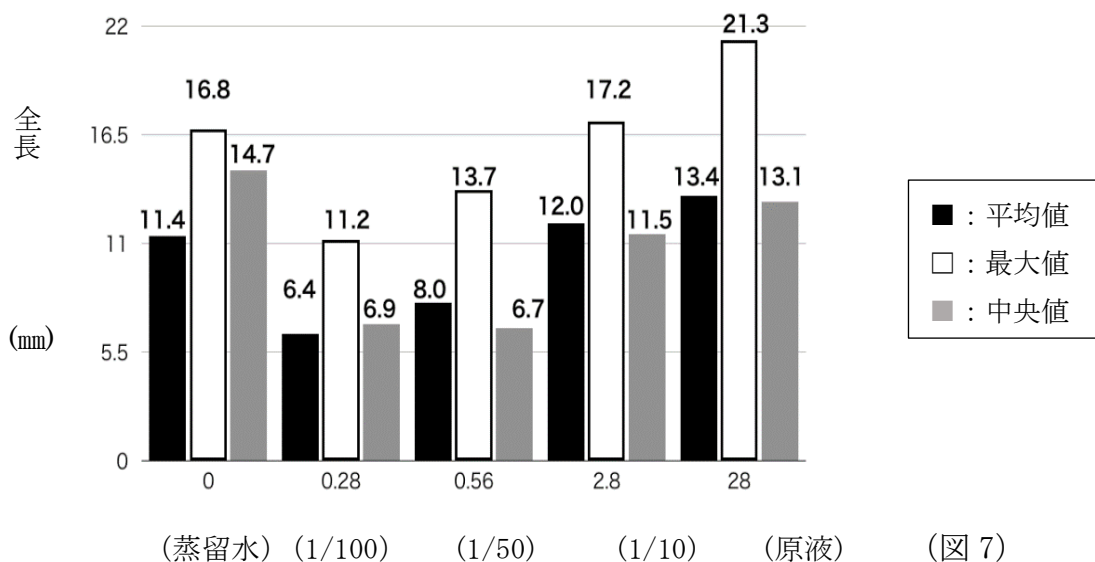
左の(グラフ2)がピースの、右の(グラフ3)がメビウスの結果である。どちらも、黒色が平均値、白色が最大値、灰色が中央値である。グラフの横軸は、タール量を、縦軸はカイワレダイコンの成長度合いを示している。タール量で表記した理由として、タールが水溶性であり、今回の実験では、水溶性の物質が植物に影響を与えると考えたからである。

まず、ピースだが、原液の物が一番成長した。しかし、中央値で見ると水の物が一番大きい値を出した。

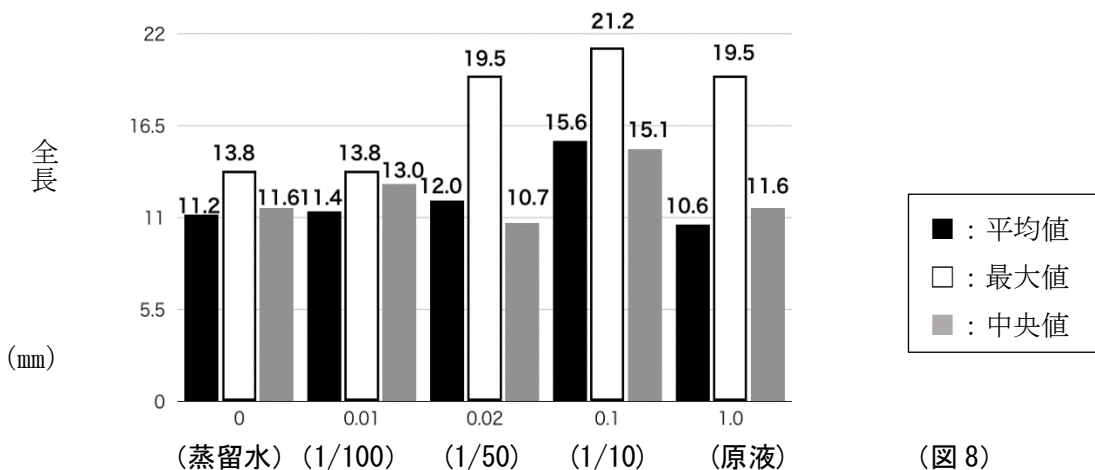
次に、メビウスは、1/10の物がどの値も一番大きくなった。これは、先行研究と同じ結果になったと言える。また、中央値はピースと比べると、大きな違いは出なかった。

全体的な傾向としては、タールが増えると一部の例外を除いて、植物の成長が促進されている事が分かった。

ピースの抽出液の結果



メビウスの抽出液の結果



## 7, 結論

サンドイッチ法では、予想と反して、タバコを与えることで植物の成長を阻害した。抽出液を用いた実験では、メビウスでは1/10が、ピースでは原液が一番成長をしたため、銘柄によって植物が成長しやすい濃度があることが分かった。

## 8, 考察

サンドイッチ法の実験により、タバコは発芽時には植物に影響を与えないことが分かった。抽出液を用いた実験では、ニコチンは水溶性ではないため、またタールも植物に影響を与えないと考えられる。理由として、メビウスで1/10が一番成長した点や、ピースで水の方が1/50や1/100よりも成長している点が挙げられる。しかし、いずれも水よりも成長度合いが大きいものがあったことから、タバコに含まれている水溶性の物質が植物の成長に影響を与えていると思われる。

## 9, 今後の課題

タバコに含まれている物質を調べて、どの物質が植物に影響を与えているか、考察する。また、加工前のタバコの葉でも同様の実験を行って結果を比較する。

## 10, 感想

テーマ決定の際に次回がかかったことで、十分な研究が出来なかった。それによって、成分の特定まで出来なかったのが残念です。また実験回数も決して多いわけでは無かったので、信憑性の低いデータしか取れなかった。次、同じ研究を行う際には、しっかりとしたデータをとれるようにしたい。

## 11, 参考文献

- ①「タバコが植物に与える成長促進作用についての研究」(平成25年度 岐阜県立恵那高等学校 ssh 課題研究論文より)
- ②「タバコが植物に及ぼす影響についての研究」(平成23年度 岐阜県立恵那高等学校 ssh 課題研究論文より)

# アレロパシーが他植物に与える影響度合いの解明 ～植物由来の除草剤の開発を目指す～ Elucidate degree of influence that allelopathy affect other plants -Make Natural Pesticide from plants-

## Abstract

Some plants have Allelochemical; it is a material which can give other plants some influence to help or to inhibit their growth. As examples, Solidago Alaska and oxalis have the chemical. Through control experiment methods, like Sandwich method in order to examine the relationship among hature strength and concentration of allelochemical, the purpose of this research is to find the possibility of the development of plant-derivep chemical herbicides.

## 1. はじめに

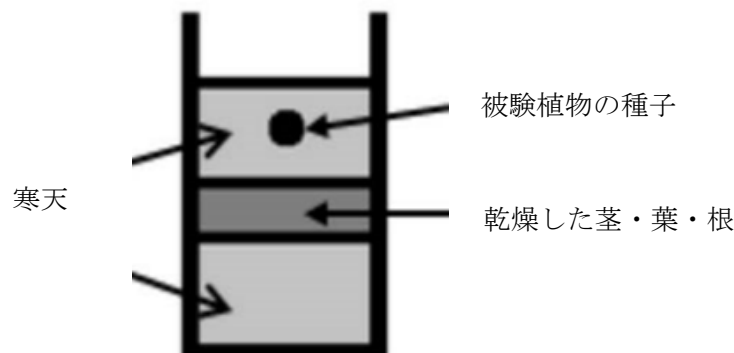
ある特定の植物は、他の植物の成長を阻害したり、促進したりするアレロパシーという作用を持っている。この作用は、植物がアレロケミカルという物質を外に出すことで生じる。本研究では、アレロケミカルを、植物由来の除草剤に応用できないかと考えた。そこで、アレロケミカルを出す代表的な植物であるセイタカアワダチソウを用いて実験を行い、アレロパシー作用について深く調べようとおもった。

## 2. サンドウィッチ法

(研究方法)

私達はアレロケミカルがどの部位から出ているのかを確かめようとした。そのためにサンドウィッチ法を用いた。サンドウィッチ法とはアレロケミカルを含むとされる植物を図1のように寒天で挟み上の層の寒天の上に種子が発芽したのかを確認する被験植物の種子をおきその種子の発芽阻害率を計算する。

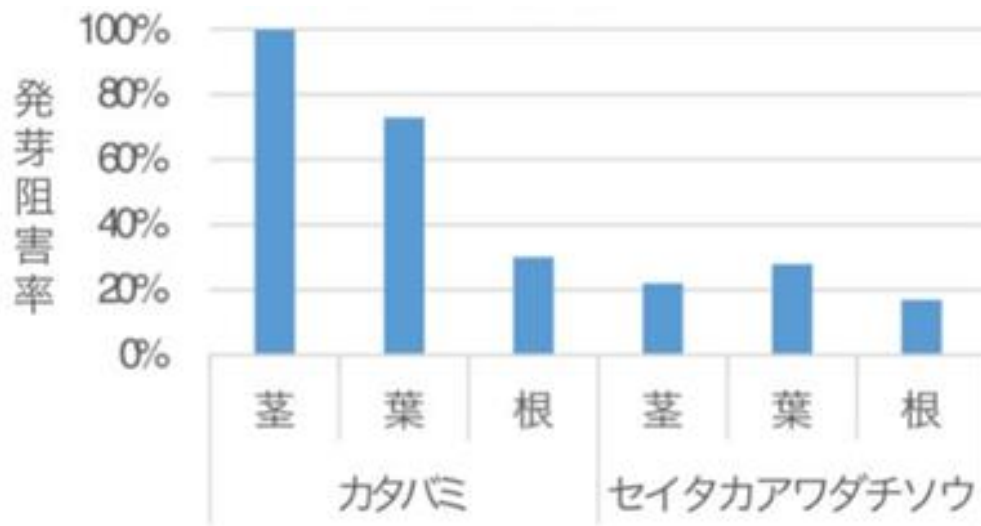
実験では、アレロケミカルを含む植物として身近にあるセイタカアワダチソウ・カタバミの根・葉・茎を 0.01 g ずつ使った。被験植物の種子には発芽までの期間が短いレタスの種子を 5 粒ずつ使った。発芽阻害率とは、寒天で何も挟まなかった時の種子の発芽率を 100 とした時の阻害された割合を 100 からひいたものである。実験中の環境は 20℃を常に保った。種子は大体 3 日から 4 日で発芽した。



図表 1 サンドウィッチ法

(研究結果)

実験は 5/25～28, 6/8～11, 7/16～19, 7/20～23 の計 4 回行った。セイタカアワダチソウとカタバミに共通してみられたのは、根を用いた時のレタスの発芽阻害率が低いことである。仮説と大きく異なる点として、カタバミにおいて茎の阻害率が極めて高いことが挙げられる。また、カタバミとセイタカアワダチソウを用いた実験結果を比べた時、より発芽が阻害されていたのはカタバミであった。



図表 2 発芽阻害率

(考察)

カタバミを用いた際の結果とセイタカアワダチソウを用いた際の結果を比較すると、セイタカアワダチソウの発芽阻害率はカタバミよりも低くなっている。しかし自然界でのアレロパシー作用の強さは両者がほぼ同じであることから、実験結果との食い違いが見られる。このことより、これら2つのアレロケミカルには何らかの性質の差があるのではないかと考える。特に今回は寒天を用いて実験を行ったことから、寒天へ溶け出す度合いに差があると考えられる。

また、カタバミを用いた実験において、茎を被験物質としたものが他よりかなり高い発芽阻害率を示したことから、カタバミのアレロケミカルは茎に蓄えられて根から放出されると考えられる。

#### 4. 揮発性検定

(研究方法)

プラントボックス法による実験をするにあたって、セイタカアワダチソウは巨大なため、植物体を使用しての実験は不可能であった。そこでセイタカアワダチソウの植物体から抽出液を作成し、抽出液を用いてプラントボックス法を行うことにした。抽出には水とエタノールを用いたが、エタノールには種子の発芽を阻害する可能性があるため、抽出液を作る際にエタノールを蒸発させる必要があった。その際、エタノールとともにアレロケミカルが揮発することはないと証明するため、プラントボックス法を行う前段階として、アレロケミカルが揮発性でないことを示す証明実験を行った。

図2のように密封した瓶の蓋の裏に乾燥植物体をお茶パックにつめて貼り付ける。また、瓶の底には湿らせたガーゼの上に被験植物の種子を置き発芽するかしないかを観察する。用いた植物はセイタカアワダチソウ・カタバミの茎・葉・根 4.0g ずつで、レタスを5粒ずつ用いた。環境についても20℃を一定に保ち4日後に観察した。



図表 3 揮発性検定の様子

(研究結果)

カタバミ・セイタカアワダチソウの葉・茎を入れた瓶、何も入れなかった瓶全て発芽率はあまり変わらなかった。

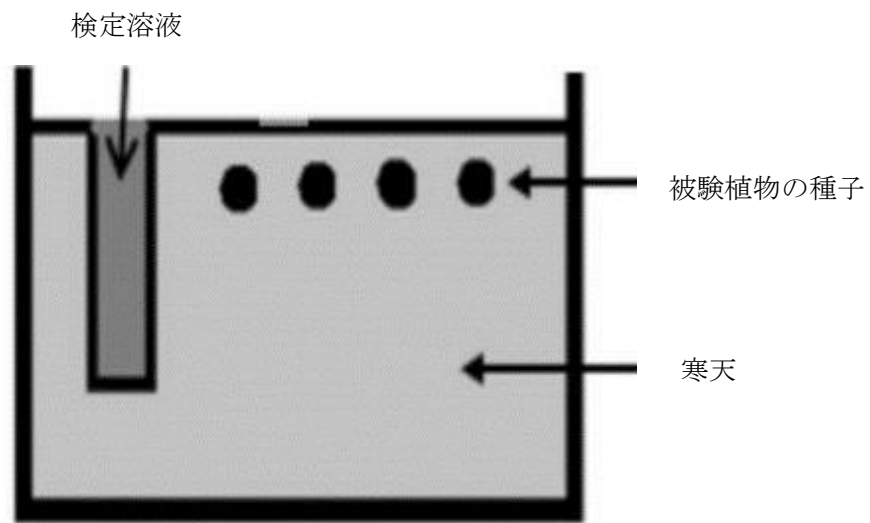
(考察)

カタバミやセイタカアワダチソウの葉・茎を入れた瓶の発芽率は、入れなかった瓶と同等であった。これより、セイタカアワダチソウ、カタバミともに、アレロケミカルは揮発性でないと考えられる。よって、エタノールを用いて抽出液を作る際にエタノール成分を抽出液から揮発させてもアレロケミカルは揮発せず抽出液中に残ると予想される。

5. プラントボックス法

(研究方法)

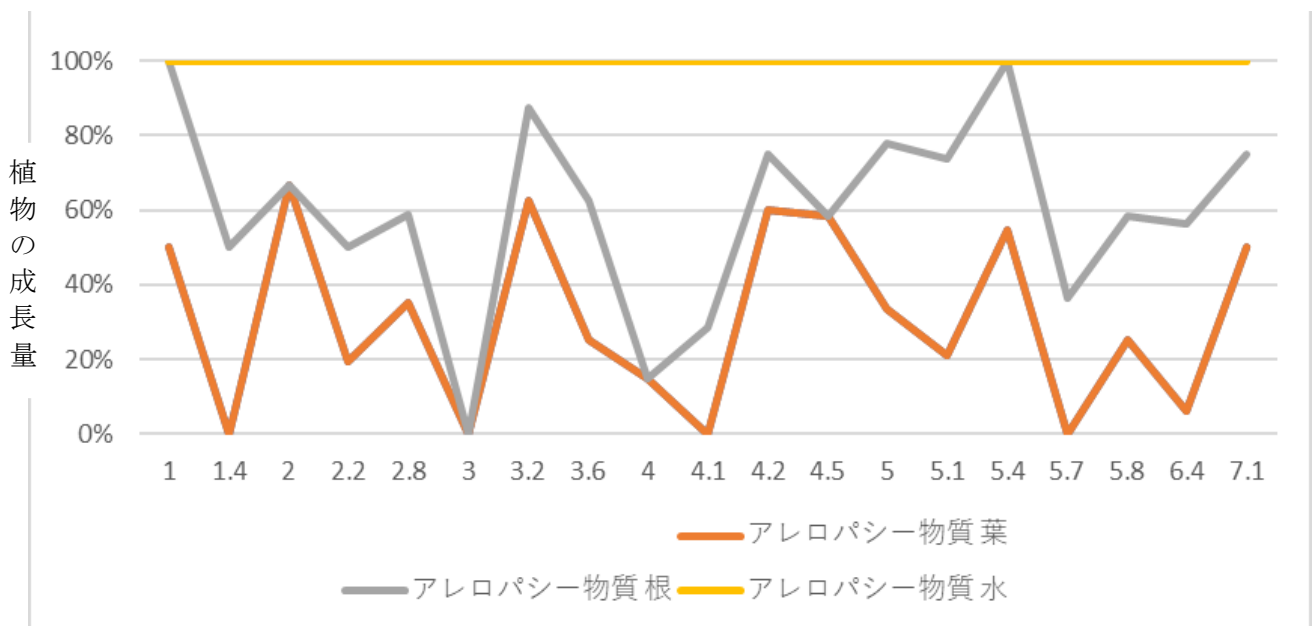
最後に、プラントボックス法を行なった。プラントボックス法とは、1cm 毎格子状に種子を配置し四角形の隅に検定溶液を入れることでだんだんと遠ざかっていく中どこまでの種子が発芽しているのかを測定し発芽阻害率を求める。種子はレタスの種子。検定溶液には、根・葉・茎の抽出液を用いた。抽出液とはカタバミ・セイタカアワダチソウの根・葉・茎 1.28g を細かく切り刻み水 10ml と混ぜ薄めて一晩おく。その溶液をろ過して作った。そのろ過した液を 5ml ずつプラントボックスに入れる。



図表 4 プラントボックス法

(研究結果)

アレロパシー物質からの距離と植物の成長率の関係について、相関性を見つけることはできなかった。



図表 5 プラントボックス法の結果

(考察)

セイタカアワダチソウの抽出液を用いて行ったが、抽出液から種子までの距離と発芽率に関係性は見られなかった。抽出液の近くであったにもかかわらず発芽しているものもあれば、抽出液から遠く離れていながら発芽していないものもいくつか見られた。これは、抽出液あるいは液中

のアレロケミカルが上手く寒天中を伝わらなかったためだと考えられる。

## 5. 今後の課題

上記の実験では乾燥植物体を利用しているが乾燥させるにあたってオープンで加熱を行っていた。これによって植物内のアレロケミカルに熱変化が生じた事により結果が変わってしまった可能性がある。また実際に農薬として使う事を視野に入れ寒天での簡易的な実験だけではなく実際に様々な土地の土壌を使って実験を進める必要が有る。セイタカアワダチソウやカタバミのアレロケミカルの性質の差は実験では油性か水性かという点しか考察していなかったが、他にもアレロケミカルが有効な植物の違いや、どちらの方がより土壌に定着し続けるのかななどの研究も進めるべきであった。

## 6. 参考文献

「植物たちの静かな戦い」 藤井義晴著 化学同人 2016