

# 目 次

溶媒の濃度の違いによる水溶液中の屈折率の変化 . . . . .	2
Change in refractive index in aqueous solution due to difference in solvent concentration	
小沼 心 田村 勇翔 飛田 嵩史 増田 旺夏	
対流を利用した発電方法の研究 . . . . .	6
The research of thermal convection	
石井 滉人 岩田 歩 山野 真郷 渡邊 棕平	
ルミノールの合成と化学発光 . . . . .	10
Synthesis and chemiluminescence of luminol	
角田 幸喜 樫村 颯太 狩谷 紳太郎 櫻井 俊樹	
ネギの葉身を用いた抗菌剤の作成に関する研究 . . . . .	13
Research on creation of antibiotics utilizing laminas of leeks	
大津 真穂 小林 和真 平野 翔真 茂木 翔鳳馬	
デンプンの加水分解における最適な固体酸触媒の研究 . . . . .	16
Research on optimal solid acid catalysts for starch hydrolysis	
大久保 美瑛姫 久米 雄大 杉浦 啓太 野口 晃奨	
麹菌による乳酸発酵促進の検証 . . . . .	20
The enhancement of lactic acid fermentation by Koji	
石井 沙也加 磯 ふみか 庄司 空羅 竹中 咲綺	
発光バクテリアの可能性 . . . . .	25
The potential of luminous bacteria	
石原 玲佳 佐藤 恵里 鈴木 花歩 田崎 千賀	
プラナリアの交替性転向反応について . . . . .	29
Planarian Flatworm's Turn alternation	
小山 悠人 海東 知也 菅谷 侑果 田邊 乃那	
可視化による無限級数の考察 . . . . .	33
The effectiveness of visualization in infinite series	
石川 遼 佐藤 桜正 高橋 太一 檜山 倅斗	
画像認識を用いて栄養状態を判定するアプリの開発 . . . . .	37
Development of an Application for Assessing Nutritional Status Using Image Recognition	
小野瀬 新志 澤畑 俊佑 田所 知隼 玉井 雄大	
校内アプリ「Campus Link Pro」の開発 . . . . .	40
Campus Link Pro	
坂本 裕紀	

# 溶媒の濃度の違いによる水溶液中の屈折率の変化

小沼 心 田村 勇翔 飛田 嵩史 増田 旺夏

## Change in refractive index in aqueous solution due to difference in solvent concentration

Kokoro ONUMA , Yuto TAMURA , Takafumi TOBITA , Oka MASHIDA

### Abstract

We learned that the refractive index can be used to measure sugar concentration in fruits. So, we became interested in the change of refractive index due to the differences in concentration, and, we decided to conduct our research to see if there was the change in refractive index. At the beginning of our research, we hypothesized that the refractive index would change depending on the concentration of the solute, and be affected by the electrical charge of the molecules. As a result, as the concentration of both sugar and salt increased, the refractive index increased too. So, we found that the refractive index does not change depending on whether the material is an electrolyte or a non-electrolyte. And, I thought the refractive index might be affected even when the solute is liquid, so I conducted an experiment. As a result, the same was found for liquids.

### 1 はじめに

屈折率は果物の糖度を測るのにも使用されている。また、教科書には濃度の変化による屈折率の変化は明記されていない。このことから、水溶液に溶けた物質の濃度の違いや電解質か非電解質かの違いによって屈折率に変化が起こるのではないかと仮説をたて実験を行った。

### 2 実験方法

#### 2.1 準備物

実験で使用した器具等については次の通りである

- ・レーザーポインター（波長 350nm、最大出力 1mW）



Figure 1. レーザーポインターの写真

- ・水 1L
- ・塩
- ・砂糖
- ・エタノール
- ・アクリル素材の縦 175mm、横 300mm、高さ 230mm の直方体の水槽

#### 2.2 実験手順

まず、水 1L を水槽に入れる。次に、水槽内の水溶液の質量パーセント濃度を 0% から 25% まで 5% 間隔で増加させる。そして水槽の外側からレーザーポインターを水溶液に向け照らし屈折率を測定する。

#### 2.3 計算方法

スネルの法則である (2.3.1) 式を用いる。また、スネルの法則が概念的に理解できるように Figure 2 を示す。Figure 2 は、スネルの法則の模式図である。

$$n_{12} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (2.3.1)$$

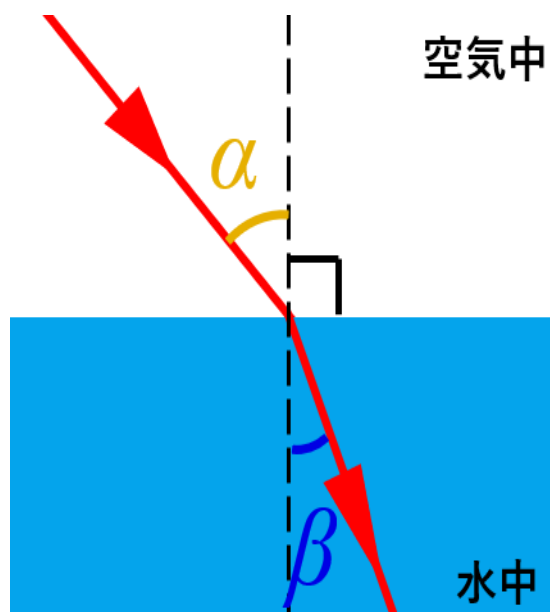


Figure 2. スネルの法則の模式図

まず、水槽に光を入射する点と光が水槽からでる点を結びその線分を斜辺として考え

る。次に、入射する点から垂直に水槽の反対側に直線を引く。そして、その交点と水槽から光が出る点との線分を対辺と考える。

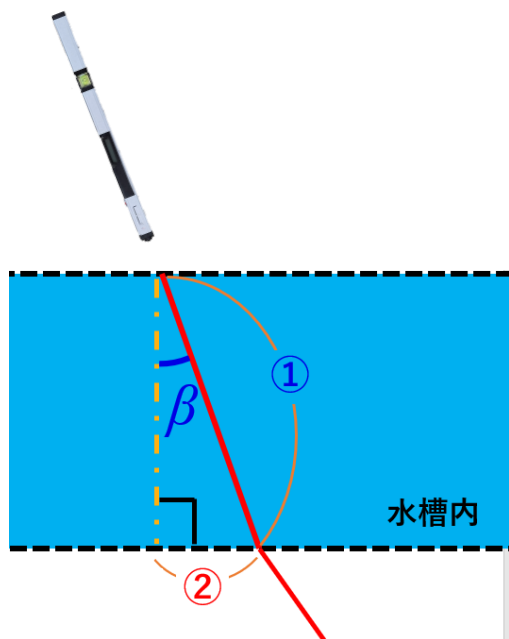


Figure 3. 水槽内の光線の模式図

そして、Figure 3 で示している斜辺と対辺を用いて  $\sin\beta$  を求めて(2.3.1)式に代入し屈折率を求める。ただし、 $\sin\alpha$  は 0.5 とする。

Figure 4 のように、入射角  $30^\circ$  でレーザー光を水溶液に入っている水槽に入射させる。入射光が水槽から出入りするところに印をつけ、入射光が水槽に入る点と出る点を結びその線分を直角三角形の斜辺として考え、屈折角を求める。以上より、その値を(2.3.1)式に代入し屈折率を求める。



Figure 4. 実験装置の写真

### 3 実験

#### 3.1 実験 1

電解質である塩と非電解質である砂糖とでは、溶液中に溶けた際に電子が加わるなどの影響により、電解質である塩のほうが屈折率の変化が小さくなるのではないだろうか、と考え実験を行った。

#### 3.2 実験 2

溶質が固体でなく、液体でも実験 1 と同様に水溶液中の濃度を増すにつれて、屈折率が増加するのではないだろうか、と考え溶解度が高いエタノールを用いることにより実験を行った。

### 4 結果

実験 1、実験 2 の各々の結果については、次の 4.1 及び 4.2 に示す。

#### 4.1 実験 1 における結果

実験 1 に対する結果を Table. 1 及び Figure 5 に示す。

Table.1 塩および砂糖の屈折率の変化の表

濃度 (%)	塩の屈折率	砂糖の屈折率
0	1.332	1.332
5	1.352	1.355
10	1.367	1.373
15	1.371	1.380
20	1.387	1.388
25		1.403

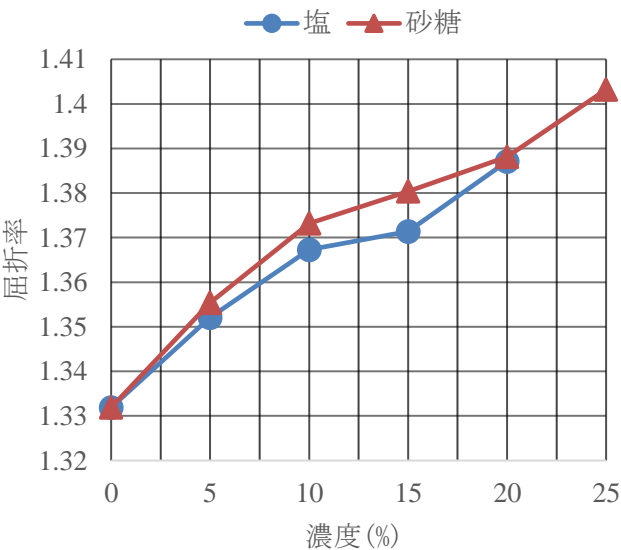


Figure 5. 砂糖および塩の屈折率の変化のグラフ

Figure 5 及び Table. 1 の結果から、砂糖と塩のどちらも水溶液中の溶媒の濃度を増してい

くにつれて、屈折率が増加していくことがわかった。

## 4.2 実験2における結果

実験2に対する結果を Table. 2 及び Figure 6 に示す。

Table. 2 エタノールの屈折率の変化の表

濃度 (%)	エタノールの屈折率
0	1.337
5	1.347
10	1.357
15	1.357
20	1.357
25	1.357

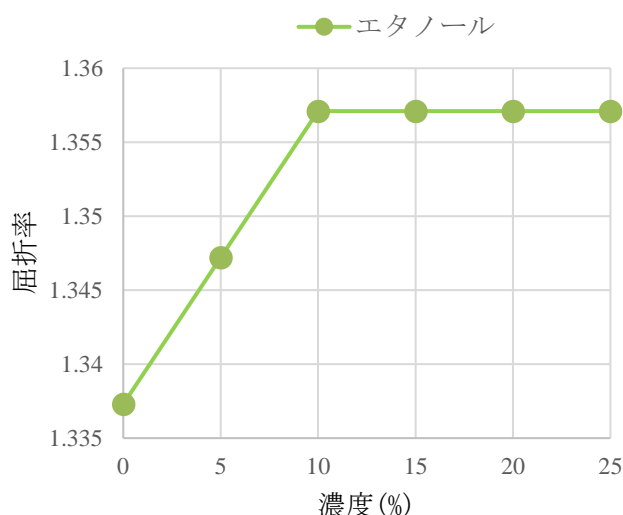


Figure 6. エタノールの屈折率の変化のグラフ

Figure 6 及び Table. 2 の結果から、エタノールは、濃度が 10% までは屈折率が増加したが、それ以上の濃度では一定の値をとることがわかった。

## 5 考察

実験結果の 4.1、4.2 について、各々の考察については、次の 5.1 及び 5.2 に示す。

### 5.1 4.1 における考察

電解質か非電解質かの違いによって屈折率に違いが出るのではないかと仮説を立て、実験をしてきたが、この結果から電解質か非電解質かによって屈折率に影響を与えているわけではないと考えた。逆に、屈折率の変化は、レーザーポインターの通過道に粒子と水分子が交互に存在していると、粒子から水分子へ水分子から粒子へ通るときに屈折す

ると考えた。よって、濃度を増すことにより、溶質の粒子数が増加するため、レーザーポインターの通過道の粒子、水分子との交差する点が増えるため屈折率が徐々に増加したと考察した。

### 5.2 4.2 における考察

溶質で用いたエタノールは透明であったため、水と完全に混ざっていたかは目視できなかった。そのため溶媒と完全に混ざっているかの違いによって屈折率に変化があるのではないかと考えた。また、5.1 でも考察したように、粒子と水分子に関係があると考察した。アルコール濃度を 10% よりも大きくすると、粒子の数が増加する。しかし、アルコール粒子は水分子に比べ、粒子の大きさが非常に大きいので、溶液内の複数のアルコール粒子の間に入り込む水分子が少なくなる。レーザーポインターの粒子と分子の交差点が少なくなるので、屈折率が増加しなくなったと考察した。

## 6 まとめ

実験1の結果から電解質、非電解質かの違いが、屈折率に影響を及ぼすわけではない。また、実験2の結果からエタノールでは濃度が 10% あたりからは屈折率にほとんど変化が見られなくなった。この実験1、実験2の結果を通して、溶媒が液体の場合でも屈折率の変化はみられることが分かった。そして、物質によって屈折率の変化の仕方には違いがあると考えられる。最後に、考察では示していないが、本研究で得られた実験結果の要因の1つとして誘電率が関係していると考えられる。

## 7 今後の展望

今回の実験を通して、水溶液中の濃度を増加させるにつれて、屈折率が増加することが分かったので、今後は溶媒がどのような物質であっても同様に増加するのかどうかを調べる。

また、水溶液の温度、溶質、溶媒の種類、温度、経過時間を変えるなどして、実験の条件を変えても同様に増加するのかどうかを調べる。さらに、まとめでも示したように本実験結果の要因として誘電率が関係しているため、結果の因果関係を改めて再考察する必要がある。

最後に、濃度による屈折率の変化を応用し、車に使用されるクーラント液の再利用ができないかの検証を重ねる。



## 8 参考文献

- 1) 砂糖水の濃度による屈折率の変化 川田知代、  
斉藤くるみ、細井百合子、松本紗智、  
[https://jonan-hs.tokushimaec.ed.jp/wysiwyg/  
file/download/16/5646](https://jonan-hs.tokushimaec.ed.jp/wysiwyg/file/download/16/5646)
- 2) 兵庫県立神戸高等学校 自然科学研究会 化学班  
食塩水のモル濃度による光の屈折率の相関関係 江  
畑ひなた、田中智也、松川健人、  
[http://saitenhyogo.kir.jp/chemgroup/researchfe  
s2018kussetsu.pdf](http://saitenhyogo.kir.jp/chemgroup/researchfes2018kussetsu.pdf)

# 対流を利用した発電方法の研究

石井 滉人 岩田 歩 山野 真郷 渡邊 椋平

## The research of thermal convection

Hiroto ISHII , Ayumu IWATA , Masato YAMANO , Ryohei WATANABE

### Abstract

Our goal is to generate electricity using the convection of fresh water. We divided a water tank into two, then removed the partition to rotate the propeller. We used a propeller called 'Savonius rotor'. First, we changed conditions: the position of the propeller, the number of blades and the orientation of the rotor to find the best conditions to generate electricity. As a result of the experiments, we found that the closer the propeller is installed to the side of the partition, the larger the propeller rotates. We also tested propellers having three wings and two-stage two wings, because when the rotors were installed horizontally, the number of rotations was large. We succeeded in power generation and measured a maximum current of 0.23mA. We want to change other conditions to generate electricity in the future and improve the way the propeller connects a motor.

### 1 はじめに

近年、電力の需要は高まっている。それに伴い、様々な発電方法が注目されており、その1つに海洋温度差発電がある。海洋温度差発電では、海の深層部と表層部の海水の温度差を利用して、作動流体の状態を変化させ、タービンを回し、発電している。この発電方法の、水の温度差を利用するという点から着想を得て、水の対流を利用して発電できないかと考えた。本研究では小さなスケールでの発電の成功を目指した。

### 2 実験方法

#### ＜サボニウス型プロペラ＞

私たちの研究では実験を行う際、対流によって二方向からの水流が生じる。その二つの力を受けられるようにするため、水平方向であればどの角度からでも力を受けることができるサボニウス型プロペラを用いることにした。すべてのプロペラは、3Dプリンターで自作した。また、プロペラと軸の間の摩擦を減らすため、ミニ四駆に使われているベアリングを取り付けた。プロペラを固定するための軸とシャフトも、ミニ四駆に使われているものを使用した。



Img.1



Img.2



Img.3

#### ＜手順＞

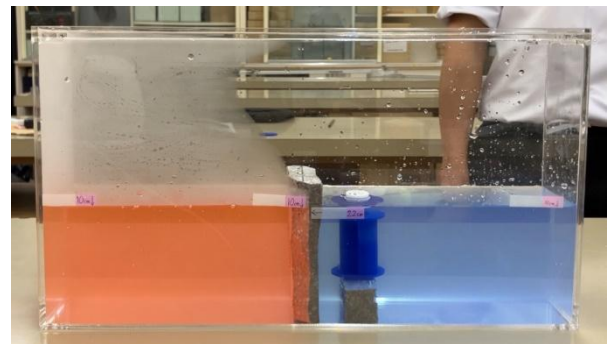
- ・水槽の大きさ 11cm（縦）、45cm（横）、24.5cm（高さ）

- ・水の量 4.4L

①水槽の中心に仕切り、その隣にプロペラを設置する。

②仕切りで区切られた水槽の片側に温水、もう片側に冷水をいれる（水の温度差は約 50℃）。水面の高さは水槽の底面から 10cm。

③仕切りを外して対流を発生させ、プロペラの回転数を調べる。



Img.4

### 3 予備実験

プロペラを設置する場所を決めるため、実験①～④を行った。

#### ＜実験①＞

- ・プロペラを水槽の中心に設置する（水槽の中心から 3 cm）。
- ・プロペラを冷水側に設置する。

#### ＜実験②＞

- ・実験①と変える条件…プロペラを温水側に設置する。

#### ＜実験③・④＞

- ・実験 1 と変える条件…プロペラの位置（実験 3 …中心から 11cm、実験 4 …中心から 19cm）

#### 4 結果

##### <実験①>

- ・回転数…0.25 回転

##### <実験②>

- ・回転数…0.25 回転

##### <実験③>

- ・回転数…0.13 回転

##### <実験④>

- ・回転数…0.13 回転

・実験①、②より水槽内の温水と冷水の位置を変えても、プロペラの回転数は変わらない。

・実験①、③、④より、プロペラを仕切りに近い位置に設置したほうが回転数は大きくなる。

#### 5 考察

実験②では、プロペラを水槽に入れた時点でプロペラが歪んでしまった。これは PLA 樹脂の耐熱性が低いため、温水の熱に耐えられなかったためだと考えられる。よって、プロペラの素材を PLA 樹脂から耐熱性に優れた ABS 樹脂に変更する。実験を観察した際に、水流がプロペラと水槽の側面の間を通り抜けてしまい、プロペラが回転しなくなるという現象が見られた。そのため、プロペラの直径を水槽に入るサイズでできるだけ大きくすることにした。

今回の結果と観察したことを踏まえて、今後の実験は以下の条件下で行う。

- ・プロペラを冷水側に設置する
- ・プロペラをできるだけ仕切りに近い位置に設置する

#### 6 実験 I

プロペラの枚数・形による回転数の違いを調べるため、以下の実験⑤～⑧を行った。また、実験 I では実験の再現性を高めるために各実験を3回行う。

##### <実験⑤>

- ・2枚プロペラ (Img.5)

##### <実験⑥>

- ・3枚プロペラ (Img.6)

##### <実験⑦>

- ・4枚プロペラ (Img.7)

##### <実験⑧>

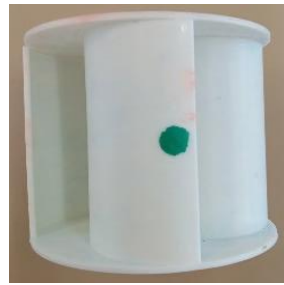
- ・2枚2段プロペラ (Img.8)



Img.5



Img.6



Img.7



Img.8

#### 7 結果 I

##### <実験⑤>

- ・回転数…0.42 回転
- ・0.25 回転すると回転が止まってしまうことが多かった。

##### <実験⑥>

- ・回転数…0.58 回転

##### <実験⑦>

- ・回転数…0.47 回転

##### <実験⑧>

- ・回転数…0.75 回転

・羽の枚数が多いほど、回転数が増加するわけではない。

#### 8 考察 I

##### <結果 I について>

羽が2枚のプロペラは、0.25 回転すると、羽が水流を受ける面積が変化する。プロペラが Img.9 の場合は、水流を受けて回転するが、0.25 回転して Img.10 の場合になると、プロペラと水槽の側面の間を水が流れるため、プロペラが回転しなくなり、回転数が最も小さくなったと考える。

羽が3枚のプロペラは回転しても次の羽があるため、プロペラが水流を受ける面積の変化は羽が2枚のプロペラに比べて小さい。そのため、2枚のプロペラより回転数が大きくなったと考える。

羽が4枚のプロペラも羽が3枚のプロペラと同様に、常に羽が水流を受けることができる。しかし、4枚のプロペラは羽の枚数が多いため、他のプロペラと比べて質量が大きくなっている (Table.1)。質量が大きいと、回転するために必要な水流の勢いも大きくなるため、羽が4枚のプロペラは他のプロペラに比べて回転数が小さくなったと考えられる。

羽が2枚2段のプロペラは回転するごとに水流を受ける面積は他のプロペラよりも小さいが、常に同程度の量の水流を受けることができるため、回転数が大きくなったと考える。また、2枚2段のプロペラは質量が小さいため、

回転するために大きな力を必要としない点も回転数の増加につながったと考える。

以上のことから、質量、羽の枚数を踏まえると、最も発電に適しているのは2枚2段のプロペラだと考えた。



Img.9



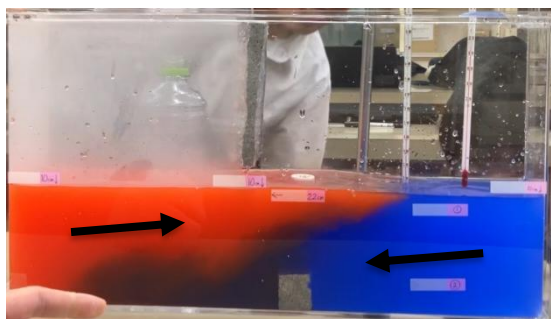
Img.10

Table.1

プロペラの種類	質量 (g)
2枚プロペラ	22.3
3枚プロペラ	28.4
4枚プロペラ	34.0
2枚2段プロペラ	22.3

＜プロペラの設置方法について＞

サボニウスの形はもともと風力発電に使われていたため、地面に対して軸が垂直になるように設計されていた。しかし、実験装置で発生する対流は Img.11 のようであるため、水流の向きを考えると、プロペラの軸を横向きにして設置したほうが回転数は増加するのではないかと考えた。



Img.11

## 9 実験Ⅱ

プロペラの軸の向きによって回転数に違いが出るかを調べるため、軸を水槽に水平になるよ

うにプロペラを設置して以下の実験⑨～⑫を行った。

＜実験⑨＞

- ・ 2枚プロペラ (Img.5)

＜実験⑩＞

- ・ 3枚プロペラ (Img.6)

＜実験⑪＞

- ・ 4枚プロペラ (Img.7)

＜実験⑫＞

- ・ 2枚2段プロペラ (Img.8)

## 10 結果Ⅱ

＜実験⑨＞

- ・ 回転数…1.2回転

＜実験⑩＞

- ・ 回転数…1.9回転

＜実験⑪＞

- ・ 回転数…1.3回転

＜実験⑫＞

- ・ 回転数…2.9回転

- ・ どのプロペラでも回転数が約3倍になった。
- ・ 羽の枚数が多いほど、回転数が増加するわけではない。

## 11 考察Ⅱ

軸を横向きに設置した場合、羽が2枚のプロペラは0.250回転しても温水が下から上に上がる水流と冷水が上から下に下がる水流によってプロペラの回転を維持することができるため、回転数が縦向きの時よりも増加したと考えられる。

羽が3枚のプロペラは、羽が2枚の時と比べて羽の枚数が多いため、冷水と温水が混ざるまでに起こる水流を、羽が2枚のプロペラよりもより多く受け止められていると考えられる。そのため、羽が2枚の時よりも回転数が増加したと考えられる。

羽が4枚のプロペラは実験⑧の考察と同様にプロペラの質量が大きいため、水流に乗って回り始めて回転する速さが大きくならないため、回転量が大きくならないと考えられる。

羽が2枚2段のプロペラは、プロペラの質量が小さく、水流に乗って回り始めると回転する速さが速くなるため、回転数が最も大きくなったと考える。

実験⑤～⑫を通して、プロペラの軸を横向きに設置したほうが回転数は増加すると言える。

## 12 実験Ⅲ

実験⑤～⑫を踏まえて、今回は回転数の大きい、3枚のプロペラと2枚2段のプロペラを用いて、発電を試みる。モーターとプロペラを接

続し、デジタルテスターで電流を計測した。モーターを取り付ける関係で、プロペラの高さを低くして、新たに作成した。

#### <実験⑬>

- ・ 3 枚プロペラ（横向き）(Img.6)

#### <実験⑭>

- ・ 2 枚 2 段プロペラ（横向き）(Img.8)

### 13 結果Ⅳ

#### <実験⑬>

- ・ 最大電流 0.22mA

#### <実験⑭>

- ・ 最大電流 0.23mA

・ 3 枚のプロペラと 2 枚 2 段のプロペラの最大電流の差は 0.01mA で、大きな差は見られなかった。

・ 複数回実験を行ったが、電流の値は安定しなかった。

### 14 考察Ⅳ

電流の値が安定しなかった原因は、プロペラとモーターのギアのかみ合いがうまくいかなかったためだと考える。プロペラもモーターも固定方法がしっかりしておらず、水を入れるときや仕切りを外すときに水槽などが少し動くだけでも、ギアのかみ合いがずれてしまったと考えた。発電の時には、仕切りをとってすぐの水流の勢いが重要なため、回転数の違いがあっても、最大電流は変化しなかったと考えた。

### 15 まとめ

・ 羽の枚数が多くなればなるほど回転数が増加するわけではなかった。

・ 回転数はプロペラの質量や羽の付き方と関係があった。

・ プロペラの質量はより小さく、羽は常に同程度の量の水流を受けられる付け方が良いとわかった。

・ 本研究の目的である、小さなスケールでの発電に成功した。

発電には成功したが、プロペラとギアの噛み合い、プロペラの固定の仕方など発電が成功する条件を確立することは難しいとわかった。本研究ではプロペラの形や羽の枚数の条件を変えて実験を行ったが、他にも水の温度差、水の濃度、装置の大きさなどが変える条件として挙げられる。それらの条件を変えることで、更に回転数を増加させたり、水流の勢いを大きくしたりすることができ、結果として発電量の増加も見込めるのではないかと考えられる。

### 16 今後の展望

今後は、今回の研究で調べきれなかった条件である、水の温度差、水の濃度、プロペラの質量、装置の大きさなどの条件を変えて実験を行い、水流の勢いを大きくするための条件を見つきたい。また、発電の実現に向けて、プロペラとモーターの接続方法の改良を目指したい。

### 17 参考文献

- ・ 沖縄県海洋温度差発電実証設備

・ 牛山泉、長井浩、篠田仁吉. 1856. サボニウス風車の最適設計形状に関する研究. 日本機械学会論文集 B 編. 52. 2973-2982.

・ 小川佑一、高久有幹. 1994. サボニウス風車の最適設計に関する研究. ターボ機械. 22. 140-146.

# ルミノールの合成と化学発光

角田 幸喜 櫻村 颯太 狩谷 紳太朗 櫻井 俊樹

## Synthesis and chemiluminescence of luminol

Koki KAKUTA, Sota KASHIMURA, Shintaro KARIYA, Toshiki SAKURAI

### Abstract

One day, we chose the luminol reaction as the theme of our research. The luminol reaction is a type of chemical luminescence commonly used as a light source in festivals and concerts. We were interested in the reaction mechanism and why it glows, and at the same time we wanted to synthesize it on our own. We compared the synthesized luminol with commercially available luminol from various perspectives including the influence of catalysts and spectroscopic analysis.

## 1 はじめに

私たちは化学発光の一つであるルミノール反応に興味を持った。なぜなら、お祭りの際に、ケミカルライトがたくさん光っていたのを見て、どのような原理があるのか興味を持ったからだ。そこで我々は自ら合成したルミノールと市販のルミノールとの反応でどのような差が出るのかを確かめた。また我々はルミノール反応が血液鑑識に使用されていることにも興味を持ち、血液中の成分であり鉄分が含まれているヘモグロビンを触媒として使用し、実験を行った。ルミノール発光の原理はルミノールが塩基性条件下で、鉄イオンを触媒とし、過酸化水素などにより酸化されると反応中間体である3-アミノフタル酸の励起状態が生成される。この励起状態は電子が通常よりも高いエネルギー準位にある不安定な状態であり、この分子が基底状態に戻る際のエネルギー差として青白い光を発する。

## 2 使用した実験器具及び試薬

### ＜実験器具＞

- ・ビーカー ・三角フラスコ ・試験管
- ・メスシリンダー ・駒込ピペット
- ・ホールピペット ・マイクロピペット
- ・ガラス棒 ・薬包紙 ・温度計 ・ろ紙
- ・ガスバーナー ・アスピレーター
- ・シャーレ ・薬さじ ・電子はかり
- ・タイマー ・カメラ

### ＜試薬＞

- ・3-ニトロフタル酸
- ・8%ヒドラジン aq
- ・トリエチレングリコール
- ・5% NaOHaq
- ・3% ヘキサシアノ鉄(III)酸カリウム溶液
- ・3% 過酸化水素水
- ・亜ジチオン酸ナトリウム
- ・酢酸 ・ヘモグロビン
- ・ルミノール

## 3 試薬の調製方法

- 8%ヒドラジン aq 2.0mL  
8%ヒドラジン溶液の調整  
市販のヒドラジン溶液(98%)を用いて調整する。  
 $d=1.0\text{g/cm}^3$   
98%ヒドラジン溶液 1.0mL を取って、11.25g の水で薄める。
- 5% NaOHaq 15mL  
10% NaOHaq 200g を調整した後、2 倍に薄める。  
20.0g の NaOH を測り取り、水で薄めて 200g の溶液とする。その溶液を 2 倍に薄める。
- 3% ヘキサシアノ鉄(III)酸カリウム溶液  
3% ヘキサシアノ鉄(III)酸カリウム結晶 3.0g を測り取り、水で薄めて 100g の溶液とする。
- 3% 過酸化水素水  
市販の試薬(34.5%)を用いて調整する。  
 $d=1.0\text{g/cm}^3$   
34.5%の過酸化水素水 10.0mL を取って、105g の水で薄める。
- 酢酸 2.0mL  
酢酸 市販の試薬  $d=1.05\text{g/cm}^3$  99.5 %をそのまま用いる。

## 4 実験

### I 市販のルミノールの反応

ルミノール 0.1g をフラスコ内で 10%水酸化ナトリウム 5.0mL に溶かし、さらに 100mL の水を加える。別のフラスコに 3%ヘキサシアノ鉄(III)カリウム溶液 10mL、3%過酸化水素溶液 10mL と水 80mL を加えてよく混ぜる。二つの試験管を混ぜ合わせる。



## II ルミノールの合成方法

試験管に 3 - ニトロフタル酸 1.0 g とヒドラジン水溶液 2.0mL を加え、さらに溶媒としてトリエチレングリコール 3.0 mL を加え、120～130℃になるまでゆっくり加熱する。加熱とともに淡黄色だった溶液は赤褐色になる。試験管を約 100℃まで放冷して、水 20mL を加える。析出結晶をアスピレーターで吸引ろ過し、試験管に戻す。試験管に 5%水酸化ナトリウム 15mL、亜ジチオン酸ナトリウム 6.0g を加えた後、3 分ほど試験管を振りながら加熱する。酢酸 2.0mL を加え、放冷する。結晶が析出したら、水浴で冷却して沈殿をろ過する。結晶を水で洗浄し乾燥させると、0.35g ほどのルミノールが得られた。

## III 合成したルミノールの反応

実験 II で合成したルミノール 0.1g をフラスコ内で 10%水酸化ナトリウム 5.0mL に溶かし、さらに 100mL の水を加える。別のフラスコに 3%ヘキサシアノ鉄 (III)カリウム溶液 10mL、3%過酸化水素溶液 10mL と水 80mL を加えてよく混ぜる。暗室へ行き二つのフラスコを混ぜ合わせる。

## IV 触媒にヘモグロビンを用いてのルミノール反応

市販のルミノール 0.1g をフラスコ内で 10%水酸化ナトリウム 5.0mL に溶かし、さらに 100mL の水を加える。別のフラスコにヘモグロビン少量を水に混ぜその上澄み液を採取し、試験管に入れる。同様の試験管に 3%過酸化水素溶液 10mL と水 80mL を加えてよく混ぜる。暗室へ行き二つのフラスコを混ぜ合わせる。

## V 触媒の濃度と発光時間の関係

ルミノール 0.1g をフラスコ内で 10%水酸化ナトリウム 5.0mL に溶かし、さらに 100mL の水を加える。触媒として水にヘモグロビンを溶かし、その上澄み液の濃度を 1.5%、3.0%、4.5%、6.0%、7.5%、9.0%に設定し暗室へ行き二つを混ぜ合わせそれぞれの発光時間を測定した。また、触媒のヘモグロビンをヘキサシアノ鉄 (III)カリウムに変えて同様に濃度を 1.5%、3.0%、4.5%、6.0%、7.5%、9.0%と変えて実験を行った。

## 5 結果

### I 市販のルミノールの発光

暗所で発光を確認すると、約 15 分の発光が見られた。

### II、III 合成ルミノールの反応

実験 I と同様に発光を確認したところ市販のルミノールと同様の発光を確認することができた。しかし、市販のルミノールよりも発光時間が短く、約 2 分間ほど発光した。市販のルミノールより光が強かった。

### IV 触媒にヘモグロビンを用いてのルミノール発光

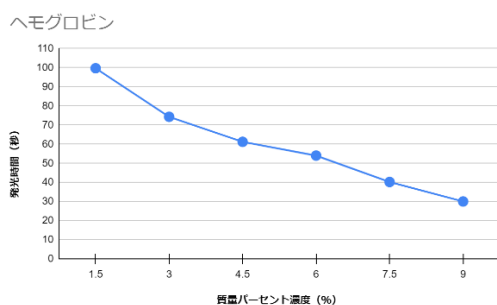
実験 I、III と同様の発光を確認することができた。しかし、発光時間は約 2 分ぐらいと、我々が合成したルミノールとほとんど同じ時間であった。



左がヘモグロビン触媒 右がヘキサシアノ鉄 (III)カリウム触媒

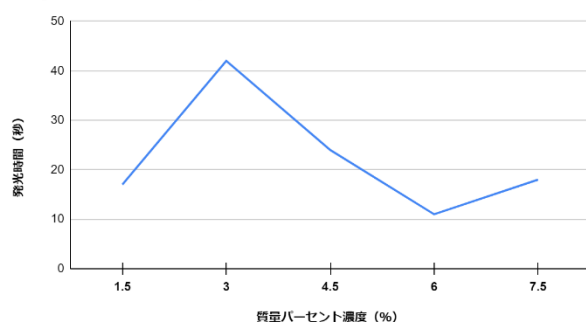
## V 触媒の濃度と発光時間の関係

ヘモグロビンの質量パーセント濃度が高くなるにつれ、発光時間が短くなった。また、グラフからは負の相関関係を読み取ることができた。



ヘキサシアノ鉄(III)カリウムの実験では、発光時間にばらつきがあり、濃度との関連性は見いだせなかった。

### ヘキサシアニド鉄Ⅲカリウム



## 4 考察

実験Ⅰと実験Ⅳで実験Ⅰの方が長く発光したのは実験Ⅰの方が触媒に含まれている鉄分の量が多かったと考えられる。

実験Ⅴにおいて、触媒の濃度と発光強度の間に負の相関関係があるのは触媒の濃度が高いほどルミノールの酸化が急速に進行し短時間で多くの励起状態の化合物(3-アミノフタル酸)が生成され強く光るが、すぐに反応物が尽きて、発光がすぐに終わったと考えられる。

## 5 まとめ

参考文献の手順で正しく実験を行えばルミノールを合成することができる。我々が合成したルミノールでも市販のルミノールと同様の発光を確認することができた。触媒にヘモグロビンを用いての実験でも発光を確認することができたが、ヘキサシアノ鉄(III)カリウムよりも発光時間、発光強度ともに劣っていた。ルミノール発光では触媒の濃度と発光時間に負の相関関係があることが分かった。

## 6 今後の展望

実験Ⅰ、実験Ⅲ、実験Ⅴで照度計を使用して発光強度を測定したが機械の不備で正しく測定

することができなかったため、発光強度と発光時間の関係にどのような関係があるのか研究を進めていきたい。

ヘモグロビンだけではなく、ヘキサシアノ鉄(III)カリウムの濃度を変え濃度と時間の関係性を表すグラフを作成する。

## 7 謝辞

本研究にご指導ご協力いただいた緑岡高校教諭 柘植琢也先生に心から感謝申し上げます。

## 8 参考文献

<https://sekatsu-kagaku.sub.jp/luminol-synthesis-and-chemical-light.htm>. 2025. ルミノールの合成と化学発光

<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H28ssh/sc3/31608.pdf> 2025. ルミノール発光(恵那高校)

# ネギの葉身を用いた抗菌剤の作成に関する研究

大津 真穂 小林 和真 平野 翔真 茂木 翔鳳馬

## Research on creation of antibiotics utilizing laminas of leeks

Maho OTSU, Kazuma KOBAYASHI, Shoma HIRANO, Shoma MOGI

### Abstract

Our goal is to create natural antibiotics from laminas of leeks. To accomplish the goal, we conducted some experiments. For preliminary experiments, we examined the amount of antibiotics of sheaths and laminas, and saw the difference of the solubility of laminas' component between in hexane and in water. After that, we examined whether there is difference of the effect by changing temperature on isolation. We also studied whether there is difference by changing temperature on isolation. For observations about four experiments, we could get results we wanted, so we decided to keep extracts in 65 degrees Celsius. Results also showed that immediately after extraction had the largest effect. Therefore, we want to consider the way that allows extraction left for a while to be effective.

### 1 はじめに

日本では、風邪をひいたときにネギを首に巻くと風邪が治るといふ言い伝えがある。それは、ネギに含まれている抗菌成分が外的刺激を加えることで揮発し、口や鼻の粘膜に付着するためである。また、ネギは、青い葉身の部分は出荷される際に、規定の大きさに合わせるために切り落とされてしまっている。そこで、ネギの葉鞘には、アリシンという抗菌成分があると知った私たちは、切り落とされる葉身の部分から抗菌成分を抽出し、天然物由来の抗菌剤を作り、ネギの葉身を有効活用したいと考えた。

### 2 予備実験

I まず、白い葉鞘部分に抗菌作用があると知られているため、抗菌作用が葉身にも含まれているかを調べることにした。

- 1 ネギの葉身部 78.35g、葉鞘部 78.22g を切り取り、ミキサーで細かくした後、それぞれに水 100mL を加えさらに混ぜた。
- 2 納豆菌をまいた寒天培地にネギの抽出液、水、エタノール(コントロール)を浸したペーパーディスクを置いた。
- 3 0h 後、12h 後、17h 後、21h 後、36h 後に観察した。(昼休み、放課後を利用したため。)

〈結果〉

全ての寒天培地で差がなかった。  
ペーパーディスクを使うと、寒天培地に作用させられる抽出液の量が少ないため、本実験では寒天培地に直接抽出液を滴下することにした。

II 次に、葉身にも葉鞘と同程度の抗菌作用があると考えられたため、葉身に含まれる抗菌成分が脂溶性か水溶性かを調べた。

- 1 葉身部 50g を量りとり、ミキサーで細かくした後、ヘキサン 100mL を加えて混ぜた。
- 2 ガーゼで 2 回濾した。
- 3 エバポレーターで濃縮した。  
その結果、ヘキサン層と水層に分かれた。  
そのため二つの層を分けて以下の実験を行った。
- 4 100 万倍希釈した納豆菌で納豆水を作った。
- 5 納豆水を撒いて、寒天培地に穴をあけ、穴に抽出液の上層、抽出液の下層、水、エタノールをそれぞれ 1.00mL ずつ滴下した。
- 6 35.0℃の恒温器にて保管した。
- 7 0h 後、12h 後、17h 後、21h 後、36h 後に観察した。(昼休み、放課後を利用したため。)

〈結果〉

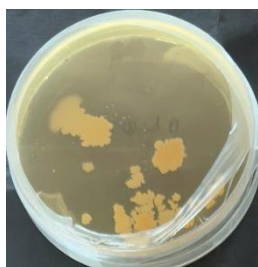
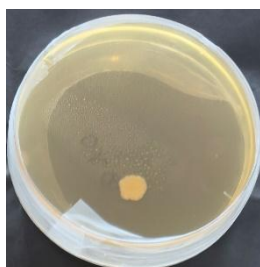
抽出液の下層にのみ効果がみられた。  
ヘキサンは水よりも密度が小さく、上層に浮くため、抽出液の上層はヘキサン層、下層は水層であると考えられる。  
つまり、抗菌成分は水溶性であることが分かった。そのため、抽出液の水層部分を用いて実験するのが適切だと考えられるので、本実験では水層部分を用いて、実験することにした。

### 3 本実験

I 抗菌剤としての性質を確かめるため、抽出液

の効果時間と最適温度についての実験を行った。次に、抽出液と納豆菌を混合し、培地に滴下するまでの時間の最適時間を確かめるために、以下の実験を行った。

- 1 ミキサーに葉身 100.74g と蒸留水 80mL を入れてかけた。
- 2 ペーパータオルを 3 枚重ねたもので 2 回濾した。
- 3 10mL ずつ 7 本に分けた。
- 4 遠心分離機に 5 分（1 分間に 2500 回転）かけ、さらに 5 分（1 分間に 3500 回転）かけた。
- 5 遠心分離機にかけたものの上澄み約 8mL ずつとった。
- 6 上澄み液をクリーンベンチ内で滅菌フィルターに通し、滅菌した。
- 7 滅菌した抽出液をマイクロピペットで 0.4mL ずつとり、20 本の試験管に分けた。
- 8 100 万倍希釈した納豆菌で納豆水を作った。
- 9 納豆水をそれぞれ 0.1mL ずつ 20 本の試験管に入れた。
- 10 9 の工程を全て終わらした時点をも 0 時間として 0、1、2、3、4、5、6、7 時間後に 2 本ずつ培地にまいた。
- 11 35.0℃ の恒温器で保管した。
- 12 0h 後、12h 後、17h 後、21h 後、36h 後に観察した。（昼休み、放課後を利用したため。）



0 時間（効果が見られた）



6 時間（効果が見られなかった）

Fig. 1 本実験 I

0 時間後で効果が見られた。

## II 抽出時の温度変化による抗菌作用の差

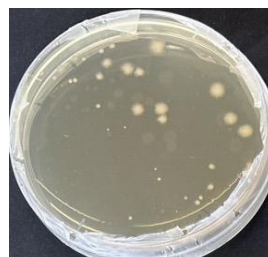
- 1 ネギの葉身 70g をミキサーにかけた。
- 2 蒸留水 30mL を加え、さらにミキサーにかけた。
- 3 水切りネット（1 枚）、不織布（2 枚）の順に重ねたものでミキサーにかけたものを濾した。
- 4 水切りネット（1 枚）、不織布（2 枚）、ガーゼ（1 枚）の順に重ねたものを用いて、3 でこしたものをさらに濾した。
- 5 抽出できた 48mL の抽出液を、24mL ずつ、2 つのナスフラスコに分けた。

アリシンの失活温度が約 70℃ であるため、葉身に含まれる抗菌成分は 90℃ では失活すると考え、90℃ で濃縮し、抗菌作用をなくしたものと、65℃ で濃縮し、抗菌作用があると考えられるもので比較する実験を行った。

- 6 片方を 90℃、もう一方を 65℃ でエバポレーターに 12 分ずつかけた。
- 7 それぞれの抽出液を滅菌フィルターに通した。
- 8 100 万倍希釈した納豆菌で納豆水を作った。
- 9 納豆水 0.10mL に抽出液（フィルターに通したものの）0.40mL をそれぞれに加えた。
- 10 9 をよく混ぜ、寒天培地に撒いた。
- 11 35.0℃ の恒温器で保管した。
- 12 0h 後、12h 後、17h 後、21h 後、36h 後に観察した。（昼休み、放課後を利用したため。）



水



65℃



90℃

Fig. 2 本実験 II

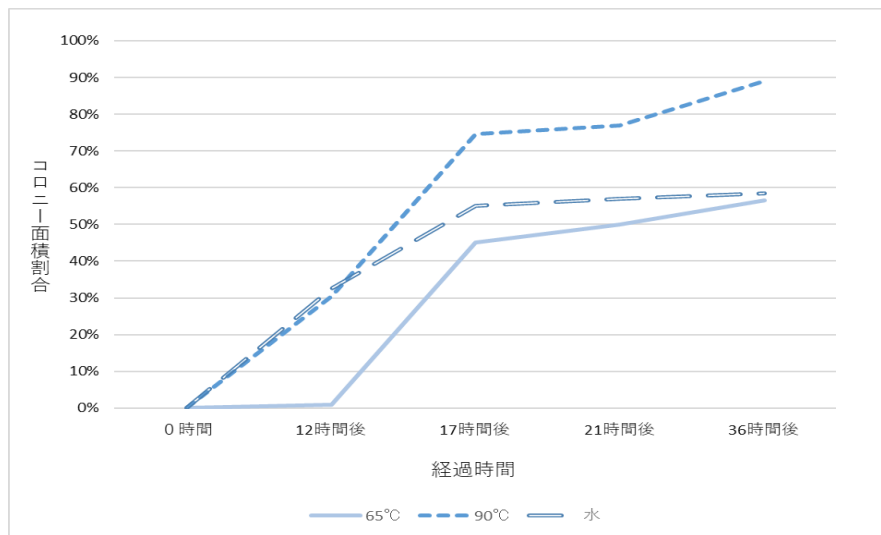


Fig. 3 コロニー面積割合の変化（グラフ）

#### 4 結果、考察（本実験）

- I 0 時間時と 5 時間時の抽出液に強い効果が見られた。時間が経過すると、抽出液内の物質に変化が出てしまうと考えられるので、その後の実験では 0 時間時の抽出液を用いることにした。
- II 65°C で濃縮した抽出液は、36 時間後まで水より効果があったが、12 時間までが抗菌作用が最も出ると考えられる。しかし、90°C で濃縮した抽出液は、水よりコロニーの繁殖量が大いなので、納豆菌が繁殖するための養分として使われたと考えられる。

列 2	65°C	90°C	水
0 時間	0%	0%	0%
12 時間後	1%	31%	33%
17 時間後	45%	75%	55%
21 時間後	50%	77%	57%
36 時間後	57%	89%	59%

Fig. 4 コロニーの面積割合の変化（表）

#### 5 まとめ

以上の実験より、ネギの葉身は抗菌成分を含み、その成分はアリシンである可能性があると言える。そのため、将来的にネギの葉身部からの抗菌剤の作成は実現できると考える。

#### 6 今後の展望

今回の実験では抽出したネギの成分の抗菌作用が抽出直後に一番効果があったので、抽出してから時間を置いても効果の出るような抽出の仕方を考えたい。さらに、黄色ブドウ球菌などの食中毒を引き起こす菌に対する抗菌作用も確かめたい。

#### 7 謝辞

本研究の遂行にあたり、大学教授をはじめとする多くの方に多大なご助言、ご協力いただきました。本当にありがとうございました。

#### 8 参考文献

- 平成 27 年 7 月 1 日、ネギ属由来の成分を含む免疫賦活剤及び免疫賦活剤の製造方法、特許第 5742060 号
- 山本敬男、望月恵美子、堀江正一、猪飼誉友、1995、山梨衛公研年報 第 39 号、にんにく製品中のアリイン、アリシン含量について、11～14 頁
- 佐藤昭子、寺尾通徳、本間ゆかり、平成元年 11 月 28 日、ニンニク抽出液の食中毒及び腐敗細菌に及ぼす抗菌作用、食衛誌、Vol. 31 No4、328～332 頁

# デンプンの加水分解における最適な固体酸触媒の研究

大久保 美瑛姫 久米 雄大 杉浦 啓太 野口 晃奨

## Research on optimal solid acid catalysts for starch hydrolysis

Misaki OKUBO, Yudai KUME, Keita SUGIURA, Kosuke NOGUCHI

### Abstract

We have produced our own solid acid catalysts and used them for hydrolysis of starch, changing the type of sample and the type of base added. We also examined the structural changes of the solid acid catalysts during the experiment from the perspective of functional group substitution. As a result of the experiment, we found that the combination of starch and sodium carbonate showed the highest catalytic performance among the combinations of the samples starch, carbonized starch, silicon, and silicon dioxide with the bases sodium carbonate and potassium carbonate, and that the hydrogen group of the sulfonic group was replaced by a hydrocarbon.

### 1 はじめに

近年、再生可能なエネルギー源としてバイオエタノールが注目されている。私たちは、バイオエタノールの製造工程に含まれるデンプンの加水分解に着目した。なぜなら、この加水分解でより多くのグルコースを得ることができれば、最終的なバイオエタノール生成量が増えると考えたからだ。本実験では、固体酸触媒を作成し、その触媒性能の比較を行った。

### 2-1 実験 カarbon系固体酸触媒について

Carbon系固体酸触媒を自作し、その pH と分解性能を調べる。pH 計測では、再利用できるかどうかを調べるために、ろ過後加熱乾燥をした場合も計測する。

#### I Carbon系固体酸触媒の自作

1. デンプンを 500 °C で 1 時間加熱する。  
(以下炭化デンプンと呼ぶ。)
2. 試料を作成後、それぞれを 500°C で 1 時間加熱する (table 1)。
3. 放冷後、A、B、C、D それぞれに対して吸引ろ過を行う。
4. すべての試料に濃硫酸を加え、それぞれ 90 °C で加熱 (スルホン化) する。
5. 水酸化ナトリウム水溶液を加え中和する。

#### II Carbon系固体酸触媒の pH 測定

1. ビーカーに固体酸触媒 0.10g、精製水 0.25g 混合し、攪拌する。
2. 静置後、pH 試験紙で pH を測定する。
3. 吸引ろ過を行い、110°C で加熱乾燥する。
4. 再度、pH を測定する。

#### III デンプンの加水分解

1. 水 : デンプン : 固体酸触媒を 19 : 1 : 4 の比率で サンプル管に詰める。
2. 90 °C で加熱し、1 時間ごとに採取し、1.0ml の純水を加える。
3. DNS 法を用いて定量する。

### 4. 以上の作業を 10 時間行う。

table 1 試料の名称と混合した物質

試料	混合した物質
R	炭化デンプンのみ
A	デンプンと炭酸ナトリウム
B	デンプンと炭酸カリウム
C	炭化デンプンと炭酸ナトリウム
D	炭化デンプンと炭酸カリウム

### 2-1 結果・考察

R は時間が経過するとグルコース濃度が増加しているため、触媒として適していると考えられる (Fig. 1)。しかし、A、B、C、D はグルコース濃度の変化が小さいことから、塩基を加えた触媒は、基質との反応が小さいと考えられる

(Fig. 1)。pH が酸性を示す触媒は高い分解性能を持ち、pH が塩基性を示す触媒は低い触媒性能を示す (table 2)。酸性を示さなかった固体酸触媒もあったことから、固体酸触媒を作り直すことが必要だと考えられる (table 2)。ろ過、加熱乾燥後、pH がすべて中性になったため、これらの固体酸触媒は再利用に適さないと判断できる (table 3)。以上のことから、再利用可能な固体酸触媒の製作を実験 2-2 で行った。また、作り直したCarbon系固体酸触媒と触媒性能を比較した。Carbon系固体酸触媒の作り直しは吸引ろ過をしっかりと行った。また、スルホン化後行っていた中和の工程を省いた。なぜなら、この中和によって、固体酸触媒のスルホ基も中和されていると考えたからである。



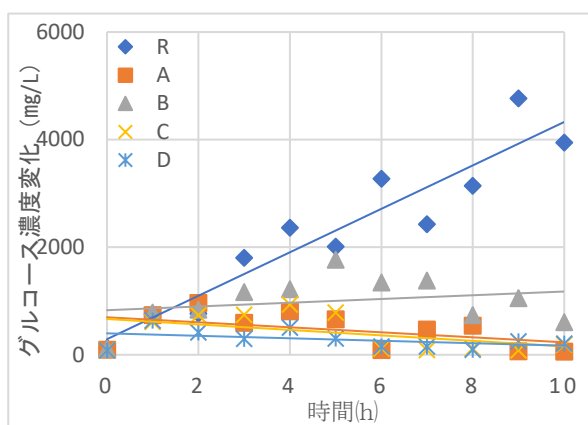


Fig.1 グルコース濃度変化

table 2 試料の名称と性質

名称	R	A	B	C	D
性質	酸	塩基	酸	中	塩基

table 3 試料の名称と性質

名称	R	A	B	C	D
性質	中	中	中	中	中

## 2-2 実験 ケイ素系固体酸触媒について

結合の強さが再利用に必要な要素だと考え、炭素間の結合よりも強い結合を持つケイ素、二酸化ケイ素を使用して、ケイ素系固体酸触媒を制作した。以上の作業を実験 2-1 と同じ方法で試料を変えて行った (table 4)。さらにケイ素系固体酸触媒の再利用を試みた。

### IV 再利用方法

1. グルコース溶液と固体酸触媒を分離する。
2. 固体酸触媒を 110 °C で 1 時間加熱乾燥する。
3. 再度デンプンの加水分解をⅢと同じ方法で行う。

table4 試料の名称と混合した物質

試料	混合した物質
Si	炭化デンプンのみ
SiO <sub>2</sub>	デンプンと炭酸ナトリウム

## 2-2 結果・考察

ケイ素は時間経過に対してグルコース生成量が二酸化ケイ素よりも少なかった。二酸化ケイ素はグルコース濃度の増減は激しいものの、時間経過につれて、グルコース生成量が多くなっていた (Fig. 2)。ろ過して再度、加水分解を行ったものはケイ素、二酸化ケイ素、共にグルコース生成量が減少している (Fig. 3)。ケイ素系固体酸触媒とカーボン系固体酸触媒性を比較するとカーボン系の分解性能が高い (Fig. 2、Fig. 4)。結合の強さが再利用に必要なと考え、ケイ素系固体酸触媒を作成した。しかし、

結合の強さは、再利用可能かどうかを決める要素ではないと考えられる。したがって再利用方法に原因がある。特に加熱によって触媒の構造が変化し、再利用ができなくなっていると考えられる。

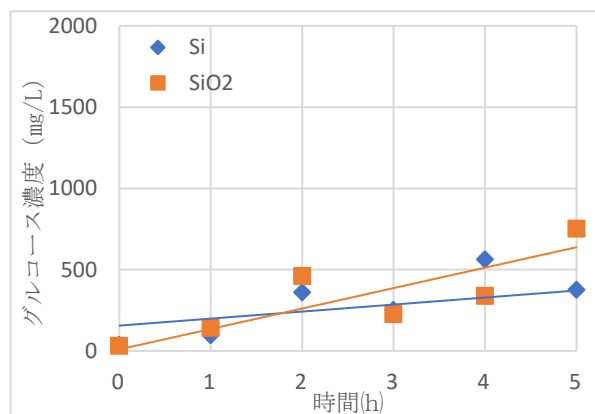


Fig.2 グルコース濃度変化 (ケイ素系)

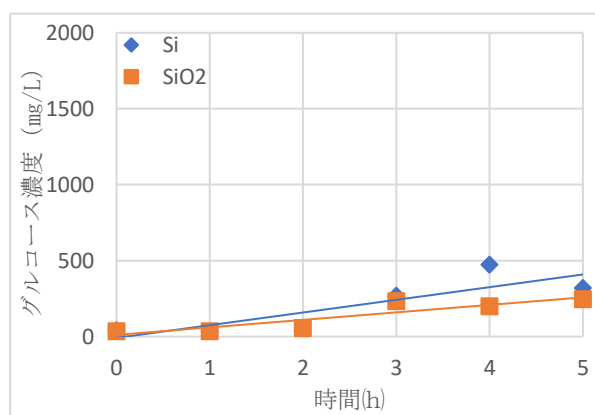


Fig.3 グルコース濃度変化 (ケイ素系再使用)

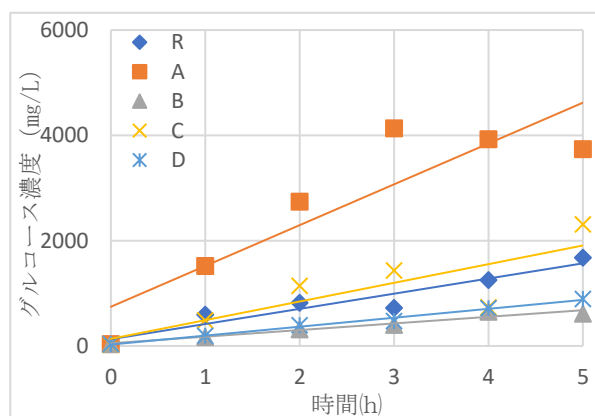


Fig. 4 グルコース濃度変化 (カーボン系)

## 2-3 実験 再利用方法について

再利用方法の開発のために、Ⅶを行った。

### Ⅶ 再利用方法の確立

1. 異なる状態の触媒を用意する (table 5)。
2. これらの触媒の pH を pH メーターを用いて計測する。

table 5 試料の名称と行った操作

試料	行った操作
A <sub>a</sub>	固体酸触媒 A
A <sub>b</sub>	A <sub>a</sub> を精製水中 5 時間 90℃で加熱
A <sub>c</sub>	A <sub>b</sub> を硫酸に 1 時間浸す
A <sub>d</sub>	炭 A
A <sub>e</sub>	A <sub>d</sub> を硫酸に浸す

## 2-3 結果・考察

A<sub>a</sub> と比べて A<sub>b</sub> は pH が大きい値を示したが、A<sub>c</sub> では A<sub>b</sub> だけでなく、A<sub>a</sub> よりも小さい値を示した (table 6)。したがって、スルホ基内の水素が別の原子に置換されたということが考察できる。または、加熱により水分子がとれ、スルホ基の一部と置き換わって、別の R がついたということが考察できる。また、A<sub>d</sub> に比べて A<sub>e</sub> の pH が小さくなったことから、常温でもデンプンの水酸基の一部にスルホ基が置き換わるスルホン化が起きていることが示唆された。さらに、使用した触媒 (A<sub>b</sub>) を硫酸に浸すことで、スルホ基は修復できることが明らかになった。したがって、使用した触媒を硫酸に浸すことで、再利用できると考えられる。触媒の構造変化について構造式を用いて表すと、デンプンの加水分解 (加熱) の過程で固体酸触媒の構造が下の様に変化していると考えられる。

加熱前 : R-SO<sub>3</sub>H

加熱中～後 : R-SO<sub>2</sub>-R

または、R-SO<sub>3</sub>X

硫酸に浸した後 : R-SO<sub>3</sub>H

table 6 試料の名称と pH の値

試料	pH
A <sub>a</sub>	3.6
A <sub>b</sub>	6.2
A <sub>c</sub>	2.8
A <sub>d</sub>	9.6
A <sub>e</sub>	4.8

## 2-4 実験 表面積について

A について制作時の加熱の温度を変えた触媒の表面積を測定した (table 7)。

table 7 試料の名称と加熱温度

試料	加熱温度
A <sub>1</sub>	700 °C
A <sub>2</sub>	600 °C
A <sub>3</sub>	500 °C

## 2-4 結果・考察

A<sub>1</sub> は、BET 比表面積、細孔容積共に他の触媒よりも最も大きく、次いで A<sub>3</sub>、A<sub>2</sub> の順で大きくなっている (Fig. 5、table 8)。このことから、BET 比表面積、細孔容積と加熱温度との間には大きな相関関係は見られないと言える。しかし、窒素吸着等温線において、A<sub>1</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>2</sub> の順番で大きくなっているため、BET 比表面積、細孔容積と吸着量には正の相関関係が見られる (Fig. 6、table 8)。一般的な活性炭の BET 比表面積と細孔容積は、～1000 m<sup>2</sup>/g、0.5 cm<sup>3</sup>/g であるが、今回測定したカーボン系固体酸触媒 (A<sub>1</sub>～A<sub>3</sub>) ではそれらの値が小さい。これは、他の触媒と比べて微小な細孔の存在量が極めて小さいからだと考えられる。

table 8 試料の名称と BET 比表面積、細孔容積

試料	BET 比表面積	細孔容積
A <sub>1</sub>	428m <sup>2</sup> /g	0.262cm <sup>3</sup> /g
A <sub>2</sub>	18m <sup>2</sup> /g	0.013cm <sup>3</sup> /g
A <sub>3</sub>	48m <sup>2</sup> /g	0.030cm <sup>3</sup> /g

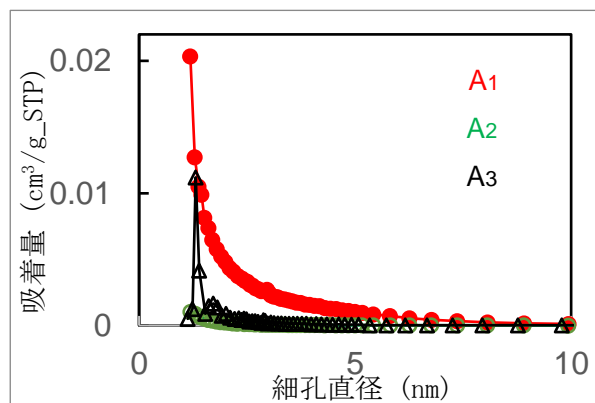


Fig.5 細孔径分布

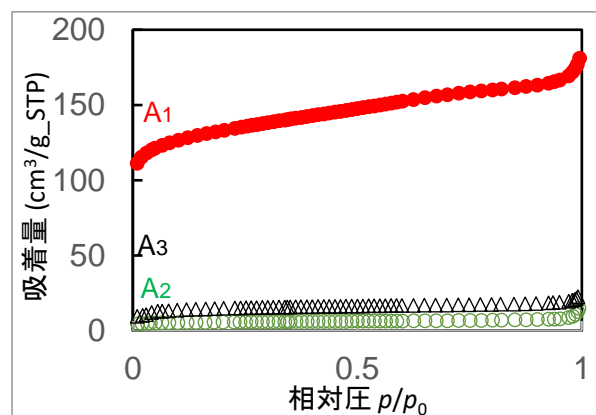


Fig.6 窒素吸着等温線

### 3 結論

本研究では、固体酸触媒を使用したデンプンの加水分解を行う中で、触媒性能の比較、再利用の検討、触媒の構造に着目して、実験を行った。触媒性能の比較では、試料のデンプン、炭化デンプンと、塩基の炭酸ナトリウム、炭酸カリウムの組み合わせの中で最も高い触媒性能を示したのは、デンプンと炭酸ナトリウムの組み合わせであることが、実験によって明らかになった。この触媒の製法は以下のとおりである。

#### VIII 最適な固体酸触媒の製法

1. 試料として、デンプン塩基として炭酸ナトリウムを準備する。
2. 試料と塩基を混合する。
3. 700 °Cで1時間加熱する。
4. 吸引ろ過で反応しきれなかった塩基を取り除く。
5. 硫酸に浸し、90 °Cで1時間加熱（スルホン化）する。
6. 反応熱が収まるまで冷やす。

再利用の検討ではケイ素、二酸化ケイ素を用いて新たな固体酸触媒を作成したが、再利用はできず、分解能もカーボン系よりも劣っていた。また、pHの変化から硫酸に浸すことで再利用できることが示唆された。触媒の構造考察では、以下のような構造変化が起きている可能性が高い。

加熱前 :  $R-SO_3H$   
加熱中～後 :  $R-SO_2-R$   
または、 $R-SO_3X$

硫酸に浸した後 :  $R-SO_3H$

そして、BET 比表面積、細孔容積、窒素吸着の測定から、これらと作成時の加熱温度に相関関係は見られなかった。さらに、BET 比表面積、細孔容積の値から、A の製作時に 700 °Cで加熱した触媒は一番表面積が大きく、表面に細かい穴が多くあることが分かった。しかし、一般的な活性炭の BET 比表面積と細孔容積は、 $\sim 1000 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $0.5 \text{ cm}^3/\text{g}$  であるため、我々が作成した触媒は、セルロースなどを材料に作成した活性炭よりもこれらの値は小さくなってしまっている。

### 4 今後の展望

本研究で、固体酸触媒を用いたデンプンの加水分解において、試料と塩基の組み合わせで最も分解性能が大きかったものは、デンプンと炭酸ナトリウムであった。しかし、混合する塩基との最良の比率を見つけるまでには至らなかった。今回は試料：塩基の比率が 1：4 で実験を行ったが、今後は、試料：塩基の比率を変えて実験を行いたい。例えば、4：1、3：2、2：3 に変化する事を考えている。また、触媒の使用

の後、pH は大きくなるが、その後硫酸に浸すことで、pH は使用前よりも小さくなったことから、スルホ基は修復することができると明らかになった。このことから、今後は、デンプンの加水分解の後、使用した触媒を硫酸に浸して、再度デンプンの加水分解に用いて、再利用を実現したい。

### 5 謝辞

今回の研究にあたって、表面積、細孔容積、窒素吸着量の測定を行っていただいた茨城大学理学部の皆様、助言をくださった皆様に感謝申し上げます。

### 6 参考文献

- 1) 福井作蔵. 還元糖の定量法
- 2) 国立大学法人信州大学. DNS 法 (JBA 改良法)
- 3) 安部郁夫. 活性炭の製造方法
- 4) 原 亨和. “でんぷん利用に有用な新しい固体酸触媒”
- 5) 独立行政法人農畜産業振興機構. 2011-9-9.  
[https://www.alic.go.jp/johod/joho08\\_000101.html](https://www.alic.go.jp/johod/joho08_000101.html), (2024-7-12)
- 6) 安部郁夫. 活性炭の製造方法. 炭素. 2006 (225), 373-381, 2006.

# 麹菌による乳酸発酵促進の検証

石井 沙也加 磯 ふみか 庄司 空羅 竹中 咲綺

## The enhancement of lactic acid fermentation by Koji

Sayaka ISHII , Fumika ISO , Sora SHOJI , Saki TAKENAKA

### Abstract

In recent years, we aware of the importance in improving our eating habits. Our Previous research showed that we could expect positive effects such as enhancement of immunity by eating foods with lactic acid bacteria. Thus, we focused on lactic acid bacteria which is a typical intestinal bacterium and we aimed to accelerate its activity by using the enzymes in koji break down polysaccharides into monosaccharides. We tried to assess the increase in lactic acid by measuring the turbidity of the culture medium after adding calcium carbonate. As the result, the transparency of lactic acid bacteria drinks diluted to one hundred-millionth and those with koji increased.

### 1 はじめに

近年、食生活の改善に意識を向けることが多くなってきている中で、私たちはヨーグルトやチーズといった乳製品に含まれている乳酸菌に着目した。乳酸菌を摂取することで腸内環境の改善や免疫力向上が期待されるということから、私たちはこれらの効果を増進させたいと考えた。そこで、食事を通して容易に摂取できるという点において、麹の酵素がもつ多糖類から単糖類へ分解するはたらきを利用し、乳酸発酵を促進できるのではないかと考えた。そして、このことが腸内環境の改善につながることを目的とし、私たちは本実験を行った。

### 2 実験方法 (1)

#### I-① 乳酸菌培養

先行研究を基に MRS 培地を用いて乳酸菌の培養をおこなった。本実験では膨大な種類の中から、商品として容易に入手できる乳酸菌飲料としてヤクルトを使用した。

乳酸菌飲料を食塩水 (0.85%) で、1000 万分の 1、1 億分の 1 に希釈した。

#### 試薬

MRS 培地 (シャーレ 8 枚分)

蒸留水	160g
MRS 培地粉末	8.80g
寒天粉末	2.56g
炭酸カルシウム	1.60g

#### I-② カタラーゼ試験

乳酸菌のコロニーを判別するためにカタラーゼ試験をおこなった。ここでいうカタラーゼとは、過酸化水素水を水と酸素に分解する酵素である。酸素環境下に耐えることができる生物は基本的にもっているが、乳酸菌はカタラーゼではなく、NADH ペルオキシダーゼという酵素をもっているため、

この試験における気泡の発生の有無によって、乳酸菌のコロニーであることを判別できる。

#### 試薬

過酸化水素水 (3%)	10m l
乳酸菌を培養した培地	各 5 m l

### II 麹培養

麹の有無による効果の変化を見るために必要な麹のもととなる塩麹を作成した。

#### 試薬

蒸留水	60.0 g
市販の米麹	40.0 g
塩化ナトリウム	12.0 g

### III 乳酸菌と麹菌の滴下

乳酸発酵を促進する要因が、麹の酵素の糖を分解する働きであることを検証するために、なるべく糖以外を省いた培地で実験する必要があると考えた。そのため、培地は乳酸菌の生育専用開発された MRS 培地を対照実験に、多糖類であるでんぷん培地と単糖類であるグルコース培地を作成した。作成した培地にそれぞれ、乳酸菌のみ (A)、麹のみ (B)、乳酸菌と麹両方 (C) を滴下して観察した。

また、乳酸菌や麹はグルコース (単糖類) のみで生育できるのか、乳酸菌は培地の糖の濃度によって生育状況に変化があるのかを検証するために、グルコースの濃度を 1%、6%、11%、16%、21% に設定したグルコース培地を作成し、それぞれ、乳酸菌のみ (A)、麹のみ (B)、乳酸菌と麹両方 (C) を各濃度の培地に滴下して生育状況を比較した。

培地（各 3 枚）  
 A…乳酸菌のみ  
 B…麴のみ  
 C…乳酸菌＋麴

グルコース培地試薬

蒸留水

1 %	59.4m l
6 %	56.4m l
11%	54.1m l
16%	51.7m l
21%	49.6m l

グルコース

1 %	0.60 g
6 %	3.60 g
11%	5.90 g
16%	8.30 g
21%	12.60 g

寒天 0.90 g

炭酸カルシウム（シャーレ 1 枚分）

0.48 g

### 3 実験（1）の結果

#### I - ① 乳酸菌培養

滴下約 48 時間後コロニーを確認することができた（Fig.1）。

#### I - ② カタラーゼ試験

発砲せずカタラーゼ陰性を示したことから乳酸菌だと判断した。

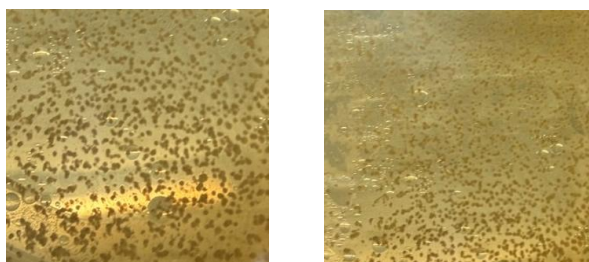


Fig.1 Result of the experiment I

#### II 麴菌培養

いずれの麴にも顕微鏡で麴菌を確認することができた。塩化ナトリウムを加えなかったものは腐敗していた（Fig.3）。

本研究では、実際に食用で使用されているものを対象としているため、塩麴が適していると考え、実験を行った。

1 日目



Fig.2 Result of the experiment II

6 日目



Fig.3 Result of the experiment II

#### III 乳酸菌と麴菌の滴下

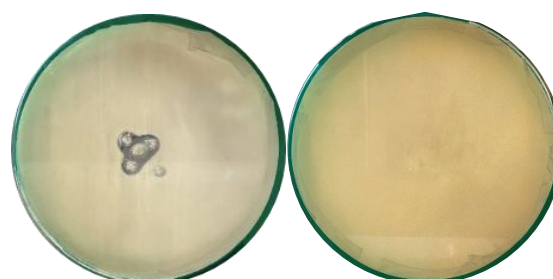
MRS 培地とグルコース濃度 21%を除くグルコース培地ではA、B、C全てにおいて、それぞれが増殖することを確認できた。

一方、でんぷん培地とグルコース濃度 21%のグルコース培地では、乳酸菌を加えたA、Cでの乳酸菌のコロニー増殖を見ることができなかった（Table.1）。

また、グルコース 6 %培地に 1000 万倍の乳酸菌を滴下したものが最も乳酸の発生が見られた（Fig.4）。

	A	B	C
MRS培地	○	○	○
でんぷん培地	—	○	—
グルコース培地	○	○	○

Table.1 Result of the experiment III



グルコース 6 %

グルコース 21%

Fig.4 Result of the experiment III



#### 4 実験（１）の考察

Ⅲの結果において、すべての培地で乳酸菌が生育するという予想に反して、でんぷん培地とグルコース濃度 21%のグルコース培地では乳酸菌の生育が見られなかった。このことから、でんぷん培地では、培地の糖が複雑で乳酸菌がでんぷんから分解した糖の量が少なかった、そしてグルコース濃度 21%培地では培地の糖分濃度が高すぎたのではないかと、といった疑問が生まれた。そのため、でんぷんより単純である二糖類のマルトースを用いることで乳酸菌は生育できるのか、また、麴の糖を分解する働きを検証しようと考えた。マルトース培地に乳酸菌を滴下し、マルトースの濃度の異なる培地の乳酸菌の生育状況を比較した。

#### 5 実験方法（２）

##### Ⅳ 乳酸菌の糖分解

濃度を 1 %、6 %、11 %、16 %、21 %に設定したマルトース培地を作成する。そこに、乳酸菌を加え、培地の透過度の変化を観察する。

※乳酸菌の識別は炭酸カルシウム粉末が溶けたかどうかで確認できる。

試薬	
蒸留水	
1 %	59.4m l
6 %	56.4m l
11 %	54.1m l
16 %	51.7m l
21 %	49.6m l
マルトース	
1 %	0.60 g
6 %	3.60 g
11 %	5.90 g
16 %	8.30 g
21 %	12.60 g
寒天	0.90 g
炭酸カルシウム（シャーレ 1 枚分）	0.48 g

##### Ⅴ マルトース液体培地の透過率測定

実験Ⅳの結果、マルトース 21 %培地に 1000 万倍の乳酸菌を滴下した培地が最も透明に見られたが、周囲に沈殿が見られたため、乳酸菌を滴下した中心の濃度が正確ではない可能性があると考えられる。そこで、次に最も変化が見られた 6 %と 11 %の培地と同濃度の液体培地を用いて乳酸菌と麴菌の滴下を行った。

乳酸菌と麴の条件を変えた以下の 5 つを作成した。

- 1 : 乳酸菌（1000 万希釈）
- 2 : 乳酸菌（1000 万希釈）＋麴
- 3 : 乳酸菌（1 億希釈）
- 4 : 乳酸菌（1 億希釈）＋麴

##### 試薬

##### 蒸留水

6 % 56.4m l

11 % 54.1m l

##### マルトース

6 % 3.60 g

11 % 5.90 g

##### 炭酸カルシウム（シャーレ 1 枚分）

0.48 g

#### 6 実験（２）の結果

##### Ⅳ 乳酸菌の糖分解

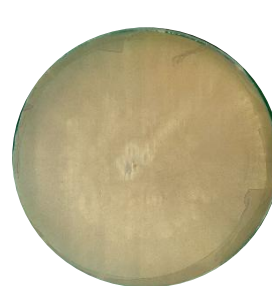
マルトース 21 %培地に 1000 万倍の乳酸菌を滴下したものが最も透明になった。次いでマルトース 6 %と 11 %に 1000 万倍の乳酸菌を滴下したものが透明になった。

マルトース培地はグルコース培地より透明でなかったが、濃度による透明度の差はあまり見られなかったため、培地の糖の濃度が 6 %から 21 %の間で、糖の濃度と乳酸菌の生育の相関関係はないと考えられる。

また、マルトース 21 %培地に 1000 万倍の乳酸菌を滴下した培地の周囲に炭酸カルシウムと思われる沈殿が見られた。



マルトース 21 %



マルトース 6 %



マルトース 11 %

Fig.5 Result of the experiment IV



## V マルトース液体培地の透過率測定

6%、11%の両方とも、コントロールにおいて、透過率の上昇が見られた。また、一部の培地を除いて乳酸菌と麴を加えた培地で透過率が下がった。

以下の表で分光光度計で計測した透過率(%/T)を示す(Table.2)。

マルトース液体培地 6%

乳酸菌、麴滴下前 (Table.2 左側)

乳酸菌、麴滴下 7 日後 (Table.2 右側)

6%	滴下前	滴下7日後
1 乳酸菌1000万	0.004	0.002(↓)
2 乳酸菌1000万+麴	0.015	0.014(↓)
3 乳酸菌1億	0.007	測定値なし
4 乳酸菌1億+麴	0.006	0.000(↓)
5 コントロール	0.001	0.004(↑)

Table.2 Result of the experiment V

マルトース液体培地 11%

乳酸菌、麴滴下前 (Table.3 左側)

乳酸菌、麴滴下 7 日後 (Table.3 右側)

11%	滴下前	滴下7日後
1 乳酸菌1000万	0.003	測定値なし
2 乳酸菌1000万+麴	0.003	測定値なし
3 乳酸菌1億	0.003	0.018(↑)
4 乳酸菌1億+麴	0.013	0.030(↑)
5 コントロール	0.001	0.013(↑)

Table.3 Result of the experiment V

※表中の「測定値なし」はマイナスの値を示す。

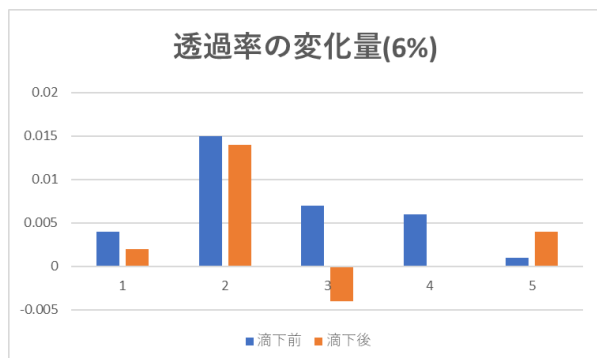


Table.4 Result of the experiment V

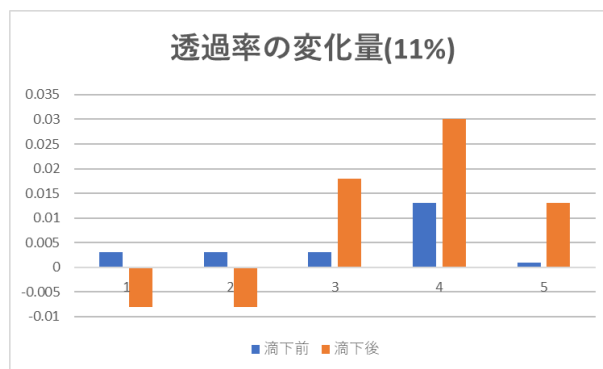


Table.5 Result of the experiment V

## 7 実験(2)の考察

実験Ⅲの結果より、糖分培地に乳酸菌と麴の両方を滴下したCの培地は、片方ずつを滴下したA、Bの培地に比べて繁殖が見られなかったことや、実験Ⅴにおいて、麴を加えたマルトース6%の乳酸菌1000万・1億倍希釈と、11%の乳酸菌1億倍希釈の培地では透過度が減少していること、そして塩分濃度が高いと菌の酵素活性や増殖が阻害されることから、試料より、塩麴の塩分が乳酸発酵を阻害しており、麴菌との発酵のバランスを崩す要因になったと考察した。

実験Ⅴの結果より、コントロールの透過度の数値が実験の前後で上がった理由は、マルトースは分子が大きく、炭酸カルシウムは吸着性に富むことから、炭酸カルシウムがマルトースと結合し沈殿したため、液体部分の透過度が上がったと考えられる。

また、乳酸菌や麴を加えた培地の透過度が、実験の前後で上昇したものと降下したものが現れた理由としては、

### ① 透過度が上がった理由

- i) 炭酸カルシウムが乳酸により変化して沈殿した
- ii) 炭酸カルシウムが培地内のマルトースと結合して沈殿した

### ② 透過度が下がった理由

- i) 乳酸菌が生育せず、乳酸が生成されないため炭酸カルシウムが変化しない
- ii) 麴がマルトースを分解したため炭酸カルシウムの沈殿も起こらない
- iii) 麴が増殖したため濁った
- iv) 発酵前の透過度が適切に計測できていなかった

以上の要因が考えられる。

乳酸菌・麴が増えたと仮定して、透過度が減少した結果より①<②であると考ええる。

よって、培地の中では麴が繁殖したため濁ったと考えられる。

また、発酵前の透過度が適切に計測できていなかったことも考えられる。

しかし実験Ⅴにおいて、負の値が出たことから、発酵前の透過度が適切に計測できていなかったという理由が有力であるため、実験Ⅴの試行回数を重ねて実験数値を安定させる必要があると考えられる。

また、炭酸カルシウムは水に溶けにくいいため液体培地での分光光度計を利用した計測は正確なデータを取るうえではあまり適切ではないと考える。

## 8 まとめ

先行研究と以上の実験から、乳酸発酵を促進するために麹の酵素が有用である可能性を確認できた。

さらに、酵素による発酵を促進する効果において、単糖類のグルコースよりも二糖類のマルトースのほうが培地の透過度が高かったことから、単純な構造の糖よりも複雑な構造の糖類を含む培地の方がより高くなると考えられる。

また、炭酸カルシウムは水に溶けにくいいため液体培地での分光光度計を利用した計測は正確なデータを取るうえではあまり適切ではないと考える。

## 9 今後の展望

I 乳酸発酵を阻害しない塩分濃度の検証  
複数の塩分濃度条件下で発酵の進行・増殖速度を比較し、最適な濃度範囲を特定する。

II 乳酸発酵の度合いの視覚化および数値化  
発酵の進行状況を客観的かつ定量的に評価する指標を確立する。

III 促進された乳酸発酵がもたらす健康効果の具体化  
乳酸発酵を促進することによって得られる健康効果を、具体的かつ科学的に裏付けられるように究明し、理解を深める。

IV 実験Ⅴの改善と試行回数の増加  
実験Ⅴの結果は小数点第三位以下の値での比較になったため、今後は分光光度計で計測する前の液体培地を希釈して透過度を相対的に高め、小数点一位以上の値を比較することでデータの正確性を高める。  
加えて、数値をとる回数を重ねることでデータの精度を高める。

V 透過率の信ぴょう性を高めるため発酵前後の培地の pH 測定を行う  
実験Ⅴの結果より、予想を大きく外れる値

が出たため、実験回数を重ねて実験数値を安定させるとともに pH の測定などで透過率のデータの補強をする必要があると考えられる。

## 10 謝辞

本研究を行うにあたって、本校主催の発表会や日本細菌学会総会の中高校生セッションにて多くの方々にご助言、ご指導をいただきました。

また、高野明美先生をはじめとする多くの先生方やチューターの方々、貴重なご意見をいただきました皆様に、この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

## 11 参考文献

田中尚人. 2019. 乳酸菌を分離するための基本

川田裕加、福山陽菜、堀田愛、本山美羽. 2021. MRS 培地を用いた乳酸菌の単離

北信ヤクルト販売株式会社. 2025. 乳酸菌シロタ株って？

# 発光バクテリアの可能性

石原 玲佳 佐藤 恵里 鈴木 花歩 田崎 千賀

## The potential of luminous bacteria

Reika ISHIHARA , Eri SATO , Kaho SUZUKI , Chika TASAKI

### Abstract

We have been conducting research on the applicational use of luminous bacteria for more than five years. Luminous bacteria are microorganisms that live on the surface of squids and emit blue light. Previous researches showed that they emit weaker light with the addition of heavy metals such as copper and zinc.

Our team aimed to find out the ideal combination of medium for water testing kits. Though there have been commercial water testing kits using luminous bacteria, we want to make simpler and cheaper ones. There are many places around the world which need to improve water quality, and we hope to help people living in such places.

## 1 目的ならびに用語説明

### 1.1 目的

現在世界には、インドネシアやカンボジアのような水質が劣悪な地域が多数存在しており、年間約 2.5 億もの人々が病魔に侵されている。また水質検査キットは存在しているものの、高価であるとともに容易ではないため、先述した国では普及していない。このような状況において、本校の先行研究で使用していた海洋性発光バクテリアが重金属の含まれる水の中では発光が弱まるという情報を得た私たちは、このバクテリアを用いれば安価で簡易的な水質検査キットを製作できるのではないかと考え本研究を開始した。

### 1.2 用語説明

海洋性発光バクテリア：ルシフェリン-ルシフェラーゼ反応によって発光する海洋性のバクテリア。我々が使用しているものはイカの体表に生息している。

マリネブローズ：海洋性細菌を培養する際に使用する、様々な成分が含まれる粉末。

ポリペプトン：タンパク質をタンパク質分解酵素や酸で分解した製品で、微生物培養用の培地などで使用する。

ソイペプトン：大豆タンパク質を酵素で消化して得られるペプトンの一種で、微生物の増殖を促進するのに役立つ。

攪拌機：ミキサー

## 2 材料および実験機器

### 2.1 供試菌株について

#### 海洋性発光バクテリア（未同定）

本菌株は、市販のイカ（スルメイカ）の体表から採取・単離し、イカ抽出液寒天培地を用いて本校で継代培養されているものである。

### 2.2 試薬

イカ抽出液  
海水（大洗海岸で採集）  
粉末鯉節 グルコース  
酵母エキス 石灰水  
ソイペプトン（微生物培地用特級試薬、ナカライテスク）  
蜂蜜 pH調節液  
ポリペプトン（日本製薬）  
マリネブローズ 2216（Difco 社）  
みりん  
硫酸亜鉛・七水和物  
硫酸銅・五水和物  
※マリネブローズは以下 MB とする。

### 2.3 実験機器等

低温インキュベータ（BITEC-300L、SHIMADZU）  
オートクレーブ（LSX-300、TOMY）  
クリーンベンチ（MCV-711ATS、Panasonic）  
撮影用カメラ本体（D7500、Nikon）  
撮影用カメラレンズ（18-55mm）  
円形定性濾紙（ADVANTEC101、アドバンテック東洋株式会社）  
光パワーメータ  
だしパック

### 3 実験方法

#### 3.1 実験を行うにあたっての前提条件

発光バクテリアはイカ抽出液で作製した寒天培地で単離・培養していたものを使用した。本研究では液体培地を用いて実験を行い、植菌の際には上記の寒天培地から滅菌済みの竹串を使って液体培地に植菌した。また、以下記載する作製した培地において、海水はすべてろ過済みのものを 50ml 使用し、作製後はすべて 121℃で 20 分オートクレーブにかけた。分量が書かれているもの以外の物質はすべて 0.025g 使用した。また、カッコ内の数値はフラスコ 1 本あたりの分量を表す。実験 9 以前および実験 18 以降は竹串で寒天培地からバクテリアを植菌していたが、実験 10 から実験 17 はマイクロピペットを用いて植菌を行った。濁度統一は濁度計を使用し、植菌時の濁度基準は 0.05 度である。発光強度は光パワーメータの値を基準として定めたものであり 0～3 の 4 段階で表す。かつお粉を用いた際そのまま培地に加えたものと海水と煮出して作成したものがあるため、かつお粉を海水と煮出したものは以下抽出と記載する。そして、かつお粉を加えると pH が下がるため石灰水と調整剤を用いて海水の pH まで調節した培地がある。

〈発光強度〉

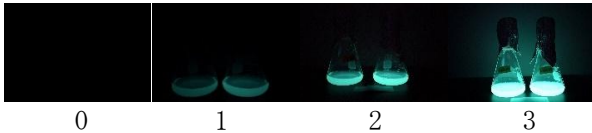


Fig.1 Level of light

#### 3.2 実験器具の使用方法 濁度計

本校のタブレットにインストールされたアプリを介して本体と端末を接続し、PCR チューブに濁度を測定したい液体を 20～30  $\mu$  ml 測り入れ、測定部分にセットする。決められた手順に従って濁度を計測する。

#### 光パワーメータ

波長を 475nm に変更し、発光強度が 0 の際は 0.742 度となるように設定。内部への偏光が 0 となるように制作した段ボールの箱に、光パワーメータをテープで固定し発光強度を計測する。

#### 3.3 実験の培地について

1 年間様々な培地を作成し、発光バクテリアの発光を観察してきた。主な区分は

ア) バクテリアの発光を確認するための培地 (Table 1)

イ) かつお粉の有効性を確かめるための培地 (Table 2)

ウ) 重金属の影響を確認するための培地 (Table 3) となっている。

また、実験ウでは重金属投入後に発光バクテリアが生きているか確認するために、培地 19 に硫酸銅を投入後、液体培地をマリネブローズ寒天培地、イカ抽出液寒天培地に 2ml ずつ播種した。

培地番号	海水	グルコース	酵母エキス	その他	pH	塩分濃度
MB				蒸留水 50ml	7.1	3.48
				マリネブローズ 3.74g		
1	50ml				7	3
2	50ml	0.025g			7	2.94
3	50ml		0.025g		6.9	3.02
3	50ml		0.025g		6.9	2.41
4	50ml	0.025g		ポリペプトン 0.05g	6.9	2.81
5	50ml	0.025g		ソイペプトン 0.05g	6.9	2.87
6	50ml		0.025g	蜂蜜 0.025g	6.6	3.1
7	50ml	0.025g	0.025g	蜂蜜 0.025g	7	2.87
8	50ml		0.025g	みりん 0.025g	7	2.87
10	50ml		0.025g	石灰水 32ml	7	2.78
12	50ml	0.025g		肉エキス 0.015g	7.4	2.89
基本 1	50ml	0.025g	0.025g		6.9	2.9
基本 2	50ml	0.05g			6.9	2.71
基本 3	50ml	0.025g	0.05g		6.9	2.84

Table 1 The result of experiment

培地番号	海水	かつお粉	かつお粉抽出	その他	pH	塩分濃度
13	50ml	2.5g			5.5	2.73
14	50ml		2.5g		5.6	3.73
15	50ml		2.5g	石灰水 32ml	5.8	3.73
16	50ml		2.5g	蜂蜜 0.025g	6.8	3.64
				蜂蜜 0.025g		
17	50ml		2.5g	水質調整剤	7.4	3.75

Table 2 The result of experiment

培地 番号	海水	グルコ ース	酵母エキ ス	その他	pH	塩分 濃度	重金属
基本 本 a	50ml	0.025g	0.025g		6.9	2.68	硫酸銅 0.5ml
基本 本 b	50ml	0.025g	0.025g		6.9	2.68	硫酸亜鉛 0.5ml
18	50ml		0.025g	蜂蜜 0.025g	6.5	2.97	硫酸銅 0.5ml
19	50ml		0.025g	蜂蜜 0.025g	6.5	2.97	硫酸銅 0.05ml

Table 3 The result of experiment

#### 4 実験結果

ア) 発光確認用培地に関しては以下のようにな  
った。

	平均強度
培地 1	0
培地 2	0
培地 3	0.4
培地 4	1.1
培地 5	0.9
培地 6	0.8
培地 7	0.3
培地 8	0.7
培地 9	1.1
培地 10	0
培地 11	0
培地 12	0
培地 13	0
培地 14	0.5
培地 15	1
培地 16	2
培地 17	0
培地 18	2
基本培地 1	1
基本培地 2	0
基本培地 3	1.4
MB	1.9

Table 4 The result of experiment

イ) かつお粉培地に関しては以下のようにな  
った。

培地番号	平均強度	平均日数
13	0	0
14	0.5	4
15	1	4
16	2	8
17	0	0

Table 5 The result of experiment

かつお粉をそのまま入れた培地では発光は見  
られなかったが、抽出した培地ではわずかに発  
光が見られた。石灰水を投入した培地、蜂蜜を  
投入した培地ともにかつお粉のみの培地よりも  
強い発光が確認された。

ウ) 重金属投入培地に関しては以下のように  
なった。

培地番号	重金属	発光時間
基本 a	硫酸銅 0.5ml	4:30
基本 b	硫酸亜鉛 0.5ml	80:00
18	硫酸銅 0.5ml	5:04
19	硫酸銅 0.05ml	21:25

Table 6 The result of experiment

下は培地 19 の結果である

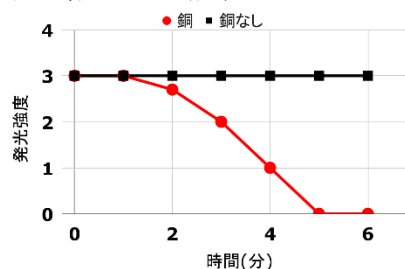


Table 7 The result of experiment

下は基本 b の結果である

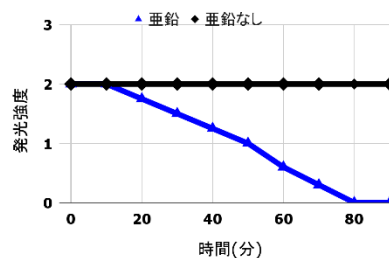


Table 8 The result of experiment

## 5 考察

実験アでは蜂蜜の他、多くの材料で発光を確認することができた。しかし、身近な物質という観点から、蜂蜜以外の材料は除外することとした。蜂蜜が含まれる培地が基本培地に比べ発光までの日数が短いことから、簡易的な検査には「早さ」という観点ではちみつが含まれる培地のほうが基本培地より有用だと考えられる。

実験イでは培地 18 の抽出方法では発光が見られた一方で、かつお粉を直接投入する手法では発光が確認できなかった。原因として、発光バクテリアはそのままの状態のかつお節の栄養を利用することができないということが考えられる。また粉末は液体培地中で漂い、発光の観察が難しかったため、検査キットの培地としての使用は困難である。

実験イ培地 16 では発光が確認できたにもかかわらず水質調整剤を使用した培地での発光が見られなかった。原因として今回使用した水質調整剤は pH だけでなく KH (炭酸塩硬度) の数値も上げてしまうため、使用目安量を超えた分量を使用したことで培地中のミネラル分が大幅に増えてしまったことだと考えられる。

実験ウより重金属である銅と亜鉛は発光を阻害する性質を持つことが確認された。しかし、亜鉛に関しては発光が消えるときと消えないときがあったので、低濃度でも検出ができるのは銅である。また、銅では発光が消えるまでの時間に差がみられた。そのため発光バクテリアの反応の違いによって、人体への影響の度合いが判別できると推測される。また、重金属の濃度によって、発光が消えるまでの時間に差が見られた。そのため、さらなる研究を重ねることで重金属の濃度の測定も可能になるかもしれない。

実験ウ培地 19 では結果から、銅投入後にも発光バクテリアが生きることが確認された。これより、銅は発光の化学反応に影響を与えた、あるいは銅の超抗菌作用によりバクテリアをある程度の量まで死滅させたが低濃度だったため生き残ったと考えられる。重金属の濃度が上がるとバクテリアが完全に死滅すると仮定すると、検査したい液体を入れた後、液体培地を寒天培地に播種しバクテリアの生存を確認することで重金属の濃度を測定することができるとも考えられる。

## 6 まとめ

身近な物質を用いた培地でも発光バクテリアが発光すること、重金属によって発光が阻害されることが分かった。これより、身近な物質を用いた培地でも重金属の検出が可能であると考えられる。しかし、現状作成したかつお粉培地では安定した発光が見られていないため、さら

なる改良が必要である。また、発光が阻害されるまでの時間と重金属の濃度の違いの関係についても検証が必要である。

## 7 今後の展望

かつお粉の抽出時間及び抽出時の温度を正確に統一し、再度実験を行う。また、かつお粉を用いた培地で重金属の検出が可能であるかを究明する。それに加え、国によって蜂蜜の価値が変化するため、その土地の安価なもので代用が可能であるかどうか調査したいと考えている。

## 8 謝辞

本研究は、国立研究開発法人産業技術総合研究所ネイチャーポジティブ技術実装研究センター主任研究員の佐藤由也様、土木学会関東支部茨城会の石渡恭之様、茨城県立水戸工業高校の矢之目澄様をはじめ、多くの方からご指導とご助言を頂きました。

この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 9 参考文献

- 奥谷香月、清原慧悟、新倉百合愛、平沼悠輝. 2024. 海洋性バクテリアと植物との共生に向けての基礎研究
- 独立行政法人製品評価技術基盤機構. 2023. 細菌の培地 No. 804
- 水質検査分析センター. 2024. 水質基準値と項目
- アピステ. 2025. 水質汚染の影響と改善への取り組み
- Weblio 辞書. 2024. ポリペプトンとは？わかりやすく解説
- 富士フィルム 和光純薬株式会社. 2025. ペプトン/タンパク質加水分解物、寒天
- ウラベル. 2025. かつお節の栄養成分表



# プラナリアの交替性転向反応について

小山 悠人 海東 知也 菅谷 侑果 田邊 乃那

## Planarian Flatworm's Turn alternation

Haruto OYAMA , Tomoya KAITO , Yuka SUGAYA , Nona TANABE

### Abstract

Previous research observed that Tricladidas made turn alternations, and the turn alternations of Tricladida was influenced by both distance and time after first turn. However, previous studies have not conducted suitable experiments on distance and time to the point at which turn alternations were no longer observed. Though the mechanism of turn alternation has not been clarified, the two leading theories for invertebrates are thigmotaxis and the BALM hypothesis. There two theories put forward the idea that turn alternation is performed by orientation. Since previous studies have shown that distance and time were influential, we believe that the memory of Tricladida could be involved in turn alternation. In other words, we believe that Tricladida recognizes where to turn. Therefore, the purpose of our research is to clarify whether turn alternation is caused by the memory using *Dugesia japonica* and *Dugesia ryukyuensis*.

### 1 はじめに

プラナリア (*Dugesia*) 属は、体長数 mm～数 cm の非寄生性の扁形動物である。また、プラナリアは記憶・学習といった現象が知られている。

先行研究でプラナリアに交替性転向反応が認められ、移動する距離の長さや時間に影響されていることが同様に観察された。しかし、先行研究では交替性転向反応を示さなくなる距離と時間についての実験は不十分であった。

交替性転向反応の仕組みは解明されていない。現在では無脊椎動物に関しては接触走性と BALM 仮説の 2 つが有力視されている。この 2 つの説は交替性転向反応が定位によって行われているとするものである。

先行研究から距離及び時間が影響していることから、交替性転向反応にはプラナリアの記憶が関わっていると考えた。

本研究の目的はプラナリアの交替性転向反応がプラナリアの記憶によって引き起こされていることを検証することである。

### 2 実験方法・材料

定義として、一度目の角では強制的に右に曲がらせているため、C 点で左に曲がったときを成功とする。(Fig.2)

本実験では、和名：ジャポニカ (*Dugesia japonica*) と和名：リュウキュウズムシ (*Dugesia ryukyuensis*) を使用する。

#### I 実験①

プラナリアは何 mm で交替性転向反応を示さなくなるのかを調べるために、右上図のようなコースを 3D プリンターで作製し、使用した。(道幅 2mm、深さ 1mm)



Fig.1 experimental course 1

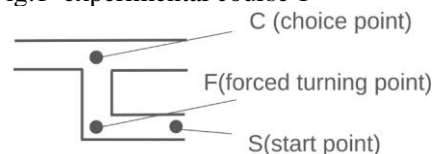


Fig.2 experimental details 1

プラナリアを放す点を Start point の点 S と置き、強制的に曲がらせる点を Forced turning point の点 F と置いた。さらに、どちらに曲がったかを記録する点を Choice point の点 C と置いた。

①点 F から点 C の距離を次の 8 パターンで変え、実験を行う。

5・10・15・20・25・30・35・40 (mm)

②プラナリアを点 S に放す。

③点 C で交替性転向反応を示すかを調べる。

#### II 実験②



Fig.3 experimental course 2

曲がらせる回数を増やすと反応を示す確率が増加するのかを調べるために、図のようなプラナリアを 2 回同じ方向に曲がらせるコースを作成した。

実験 1 と同様に行い、実験 1 においての同距離（10mm）での成功確率と比較する。  
（この時からジャポニカの個体数が減少したため、リュウキュウのみで実験を行った。）

### III 実験③



Fig.4 experimental course 3

プラナリアが何度までを角と認識するのかを調べるために、実験 1 と異なり点 F での角度が鈍角になっているコースを作成した。（FC 間は 10mm）  
角度は内側が 110 度、130 度、150 度、170 度の 4 パターンで行う。

### IV 実験④



Fig.5 experimental course 4

今までの実験では、道幅が 2mm と狭く、道の壁に頭をぶつけながら進む個体が多かったため、実験の結果に影響が出ている可能性があると考えた。それを確かめるために図のような道幅を 4mm に広げた FC 間が 10mm のコースを作成した。実験①においての同距離（10mm）での成功確率と比較する。

### V 実験⑤



Fig.6 experimental course 5

プラナリアは通常、角を曲がる時は左右差がないことを証明するために図のような点 F がないコースを作成した。（SC 間は 10mm）

## 3 結果、考察

### I 実験①

ジャポニカ

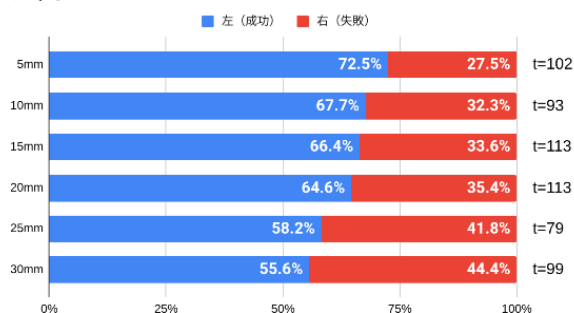


Fig.7 experimental result 1

リュウキュウズムシ

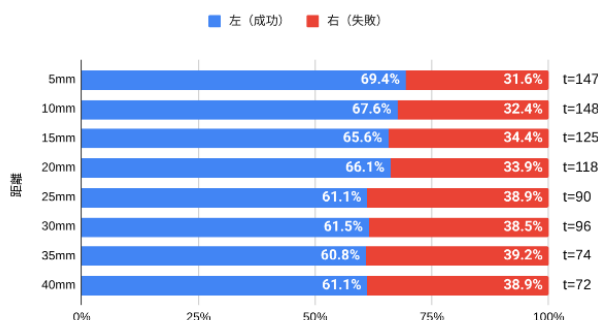


Fig.8 experimental result 2

- ・ジャポニカとリュウキュウズムシの両方において交替性転向反応が確認できた。
- ・また、コースの距離が長くなるほど反応が見られる確率が下がり、ジャポニカの方が距離による反応の成功率の変化が著しかった。
- ・リュウキュウズムシでは距離が長くなるにつれて成功確率の差が殆ど見られなくなっていった。

### ・相関係数

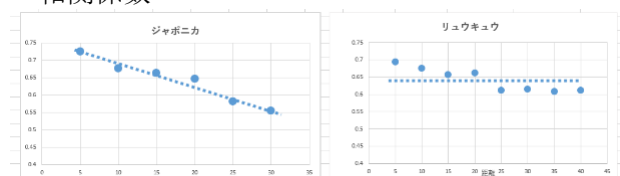


Fig.9 experimental result 3

ジャポニカでは強い負の相関が見られ、リュウキュウでは最初の時点では負の関係が見られたが、後半になると相関が見られなくなっていった。特に 20mm から 25mm にかけては大きな断絶があった。このことから、プラナリアの種族によって交替性転向反応を示す程度が異なることが分かった。

## II 実験②

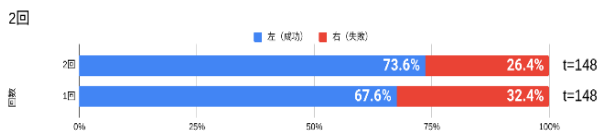


Fig.10 experimental result 4

曲がらせる回数を増やすと 6%成功確率が上がった。2 回連続で同じ方向に曲がることを防ぐためか、分岐点に辿り着く前にコースの途中で引き返す個体が実験 1 より多く見られた。

## III 実験③

角度

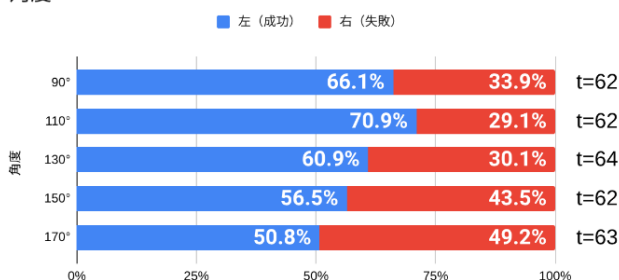


Fig.11 experimental result 5

角度が大きくなるほど反応の成功確率は低くなった。また、170° でほぼ直線のときは成功確率がほとんど 50%に収束している。110° の成功確率は実験 1 と近く、130° と大きく差が見られた。

## IV 実験④ (横幅 4mm、縦 10mm)

道幅4mm 90°

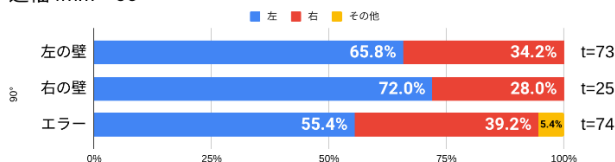


Fig.12 experimental result 6

\*エラーとは道の途中で引き返したりしながら進んだ個体の結果。

\*その他とは点 S に留まっていたときのこと。

道の幅を広くしても、実験①の結果と差はあまり見られなかった。

## V 実験⑤

道幅4mm

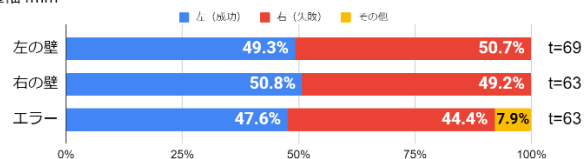


Fig.13 experimental result 7

左右の曲がる確率は左右のどちらかの壁に接していても同じであった。

実験①の結果から、ジャポニカでは距離を長くするほど交替性転向反応を示さなくなり、成功率はおよそ 50%に収束し、その距離が記憶の保持を可能とする限界距離となる。

今回の実験で種類ごとの交替性転向反応を示す確率が分かったため、他の種類でも実験を行えば今回とは違うデータを得られる可能性がある。

実験②以降はリュウキュウのみのデータとなるが、二回目で 6%上がったことから、曲がらせる回数をさらに増やせば、より反応を示す確率が上がっていくと考えられる。

実験③の結果から、プラナリアは 110° までは 90° とほとんど同じように曲がり角として認知している。また、反応を示す確率が下がっていることから、角度が大きくなると認知しにくくなっていると考えられる。

実験④の結果から、道の幅が狭く、頭をぶつけながら進んでも結果にほぼ影響を及ぼさないということが確認できた。

実験⑤の結果から、プラナリアは通常、角を曲がるときの左右差は 1%以内であり、ほとんどないということを証明することができた。加えて、実験④で体が触れた位置が曲がる方向に影響していないことより、接触走性によって交替性転向反応が行われている可能性は低いと思われる。

## 4 まとめ

これらの実験を行うことでプラナリアに交替性転向反応があることが確認できた。

さらに、一度目の角から分岐点までの長さを長くするほどプラナリアは一度目に曲がった方向を忘れてしまうため、曲がる方向に左右差が無くなっていく、すなわち交替性転向反応を示さなくなり、確率が 50%に収束していくということが分かった。

曲がらせる回数を増やすことによって、左に曲がりやすくなる、すなわち交替性転向反応を示す確率が上がるということがわかった。

道幅を広くしたコースと分岐点のみで作成したコースを用いて実験することにより、頭を道の壁にぶつけながら走る個体の実験結果を使用しても問題はなかったことが確認できた。さらに強制的に曲がらせる角がない場合は曲がる方向に左右差がないことが確認できた。

これらの実験結果はプラナリアの交替性転向反応が記憶による可能性を示唆すると思われるが、かご型神経系をもつプラナリアにとって記憶が具体的にどう機能するのかは大変興味深

い。

## 5 今後の展望

私たちは「プラナリアの交替性転向反応は記憶によるもの」と仮定して実験を進めてきたが、実験過程で以下の二つの可能性があることにも思い至った。

- ① 一度角を曲がると体内である物質が濃度勾配によって偏るため次の角は逆の方向に曲がる。
- ② プラナリアの交替性転向反応は神経反射によって引き起こされる。

仮説①の実験としては、点 F から点 C の間にプラナリアが到着したら、コースごと数回振って、体内の濃度勾配の差をフラットにする。確率は 50% に収束すると推測できる。

仮説②については記憶と判断するのは難しいが、今後方法について検討していきたいと考える。

## 6 謝辞

本研究は、国立大学法人 鳥取大学 井上武教授に多くのご指導、ご助言をいただきました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 7 参考文献

宮崎 武史. 2012. プラナリアって何だろう？一切  
っても死なない無敵の生きもの. 和書

阿形清和. 2009. 切っても切ってもプラナリア、岩  
波書店

渡辺宗孝、岩田清二. 1956. 動物心理学年報、6、  
75. “ヒトとプラナリア、脳の起源は同じか？  
実験＜逆＞進化学の確立へ”

2024 09 26. アカデミスト  
(<https://academistcf.com/projects/189?lang=ja>)

茨城県立緑岡高校. プラナリアの交替性転向反応に  
関する研究

# 可視化による無限級数の考察

石川 遼 佐藤 桜正 高橋 太一 檜山 倖斗

## The effectiveness of visualization in infinite series

Ryo ISHIKAWA , Ousei SATO , Taichi TAKAHASHI , Yukito HIYAMA

### Abstract

When we decided the theme of our research project, we learned interesting formulas such phenomena as the sum of the squares of the inverses of the natural number is equal to  $\pi^2/6$  and focused on the importance of diagrams and tables used to understand formulas related to infinity. In our research, we tried to find effective ways to understand the formulas related to infinity with diagrams and tables. In the first experiment, we created graphs to help us better understand the phenomena. In the second experiment, we considered how to find  $\pi^2/6$  with diagrams and tables. As a result, utilizing diagrams helped me to visualize how the formula works and led me to a better understanding of the concept.

### 1 はじめに

無限という考え方は、メルカルト図法や天文学での計算など学問の壁を越え様々な場面で用いられる重要な概念であり、加えてバーゼル問題（自然数の逆数の2乗総和が $\pi^2/6$ になる）など様々なおもしろいものがある。一方で、イメージが捉えにくいものだと私たちは考えた。今までの研究では、無限の考え方を表や図に示すためにバーゼル問題をグラフに表し、図形を使った求め方で $\pi^2/6$ にならないかを考えた。自然数の逆数の2乗の和が $\pi^2/6$ になる理由を近似やテイラー展開などを使って理解し、図示することを目的とした。

\*式を図示して理解しやすくした例

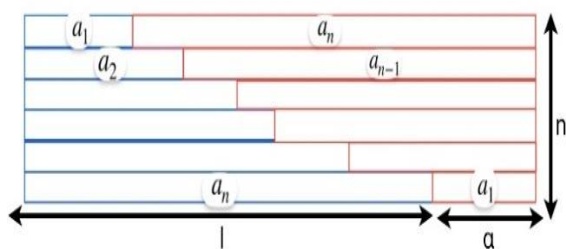


Fig.1 等差数列の和の公式

$$S = 1/2n\{2a_1 + (n-1)d\}$$

Fig.1 は、等差数列の和の公式の図である。私たちは、この公式を最初に習った時、きちんとした理解ができず忘れてしまうことがあったが、この図を見ることにより理解が深まった。この経験から私たちはイメージをとらえるのに図示が効果的だと考えた。

### 2 実験1の目的

実験1は、まず自然数の逆数の二乗の和 $\pi^2/6$ になるのかというイメージを深めるためにグラフを用いた面積の比較を行う。

### 3 実験1の方法

- ①  $y = 1/x^2$  と
- ②  $\sum_{k=1}^{\infty} 1/k^2$  のグラフを作成する。

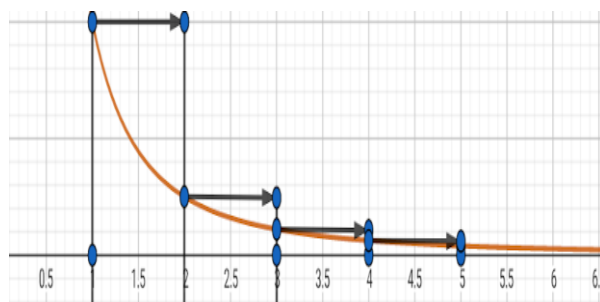


Fig.2 ①と②の面積比較のグラフ

Fig.2 から読み取れる通り二つの式にはかさならない部分がある。この部分を以下では、面積の差という。

\*Fig2 の面積の差部分に着目し楕円形として面積を求め足すことで $\pi^2/6$ になるかを確認する。

この際、x軸に平行な辺を $a = 1$ としy軸に平行な辺を $b$ として計算を行う。

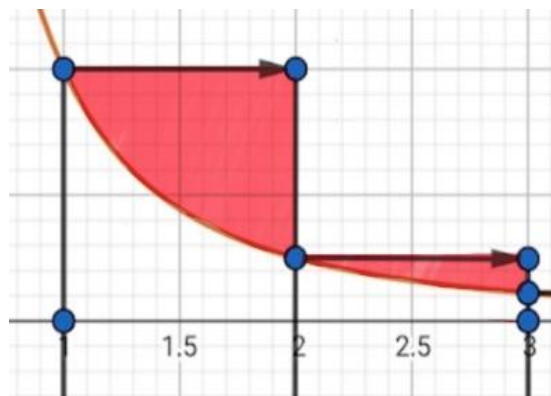


Fig.3 面積の差の図  
(赤色が差部)



面積の差を計算する際、差部を楕円形の  $1/4$  として考える。

楕円形の面積は、 $\frac{1}{4}(\pi a^2 \times b)$  で求められる。このとき  $b$  は一つ目の赤色部では、

$$b = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

二つ目の赤色部では、

$$b = \frac{1}{4} - \frac{1}{9} = \frac{5}{36}$$

三つ目の赤色部では、

$$b = \frac{1}{9} - \frac{1}{16} = \frac{7}{144}$$

これらのことから引かれる数と引く数において規則性が見られるため、 $b$  は下記のように表すことができる。

$$b = \left(1 - \frac{1}{2^2}\right) + \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) + \cdots + \left(\frac{1}{(n-1)^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$\frac{1}{4}(\pi a^2 \times b)$  に上記の  $a$  と  $b$  を代入すると  
 $\frac{1}{4}\pi \left\{ \left(1 - \frac{1}{2^2}\right) + \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) + \cdots + \left(\frac{1}{(n-1)^2} - \frac{1}{n^2}\right) \right\}$   
 に変形でき、この式は部分分数分解（因数同士を打ち消し合わせるにより）を用い、項同士を打ち消すことによって

$$\frac{1}{4}\pi \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

と変形できる。

この時  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{4\pi} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$  で  $n$  は無限大に発散するため値は  $\frac{1}{4\pi}$  となる。

#### 4 実験1の結果

上記の式の値は、0.78539 となる

この値に数式1の値である1を足した値である1.78539と $\pi^2/6$ を比較すると誤差は0.14045である。近い値は出たが、 $\pi^2/6$ とは一致しなかった。

#### 5 実験1の考察

実験1で求めた値と $\pi^2/6$ が一致しなかった可能性として楕円形でなかったということが考えられる。次に楕円形でなかったということが本当に原因なのか、また楕円形でなかったとしてどれほどずれているのかわかりやすくするためにグラフを作り可視化した。

緑線  $y = \frac{1}{x^2}$

黄色線(楕円)  $1 = \frac{(x-2)^2}{1^2} + \frac{(y-1)^2}{0.75^2}$

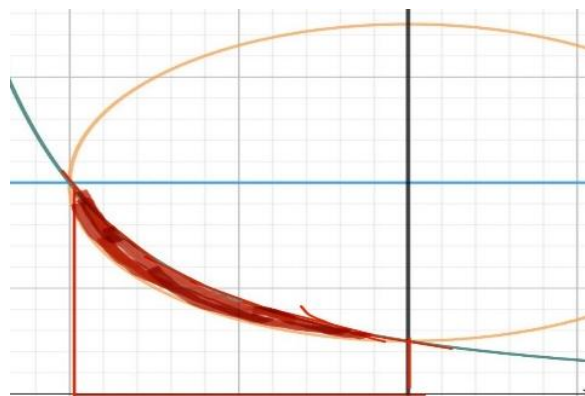


Fig.4 楕円とグラフの誤差

上記の視覚化によりどれほどずれているか(茶色部がずれている)を確かめられ図形の形を正確に把握する大切さを知れた。また、差部分が楕円であるかどうかは、楕円は頂点でのそれぞれの接線が  $x$  軸と  $y$  軸で平行となるため  $(1, 1)$ 、 $(2, \frac{1}{4})$  でそれぞれ  $x$  軸  $y$  軸に平行であるか確かめることで楕円か確認することができる。

$$(2, \frac{1}{4}) \text{ での接線 } y = -x + \frac{9}{4}$$

$$(1, 1) \text{ での接線 } y = -2x + 3$$

上記より  $(2, \frac{1}{4})$ 、 $(1, 1)$  でそれぞれ接線が  $x$  軸  $y$  軸に平行でないため、接線を用いて考えることでも楕円でないことがわかる。グラフを用いた場合と接線を用いた場合どちらでも楕円でないということがわかるがグラフを用いた方法のほうが視覚的にどれほど違うか確かめることができるためグラフを用いたほうが有効だと考えた。

#### 6 実験2の目的

$\pi^2/6$  を求める方法を調べたところ  $\sin x$  を2つの式で表し係数を比較していた。グラフ上でどのようなになっているのかを調べ、なぜ係数比較を行ってよいのかを考察する。

#### 7 実験2の方法

$\sin x$  のマクローリン展開、無限乗積展開をおこなう。

$f(x) = \sin x$  のマクローリン展開

\*  $\sin x$  のマクローリン展開は、 $\sin x$  を0の近傍で無限回微分行い、多項式で近似すること。

\* マクローリン展開を用いることにより一般の関数  $f(x)$  を多項式で近似することができる。

$f(0)$ 、 $f'(0)$ 、 $f''(0)$ ... の状態を知ることにより広い範囲でのグラフの形がわかる。

$$f(x) = \sin x$$



$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1!}f'(0) + \frac{x^2}{2!}f''(0) + \frac{x^3}{3!}f'''(0) \dots$$

$$\sin x = 0 + \frac{x}{1!} \times 1 + \frac{x^2}{2!} \times 0 + \frac{x^3}{3!} \times (-1) \dots$$

( $\sin x$ は微分することにより $x = 0$ の地点で  
 $\sin 0 = 0$ 、 $\cos 0 = 1$ 、 $-\sin 0 = 0$ 、 $-\cos 0 = -1$   
 という値で周期的に変化する)

$$\sin x = \frac{x}{1} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots \quad (3)$$

$f(x)$ の無限乗積展開

\* $\sin x$ の無限乗積展開は、 $\sin x$ を因数分解したもの

$$x = n\pi (n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots)$$

$$\sin x = x \left(1 - \frac{x}{\pi}\right) \left(1 - \frac{x}{2\pi}\right) \left(1 - \frac{x}{3\pi}\right) \dots$$

$$\dots \left(1 + \frac{x}{\pi}\right) \left(1 + \frac{x}{2\pi}\right) \left(1 + \frac{x}{3\pi}\right) \dots$$

$$= x \left(1 - \frac{x^2}{\pi^2}\right) \left(1 - \frac{x^2}{2^2\pi^2}\right) \left(1 - \frac{x^2}{3^2\pi^2}\right) \dots$$

$$= x \left\{1 - \frac{x^2}{\pi^2} \left(1 + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \dots\right) \dots\right\}$$

$$= x - \frac{x^3}{\pi^2} \left(1 + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \dots\right) \dots \quad (4)$$

$\sin x$ のマクローリン展開と無限乗積展開それぞれグラフを作成し二つの式を係数比較する。

## 8 結果

・ $\sin x$ のマクローリン展開、無限乗積展開のグラフを描いた。

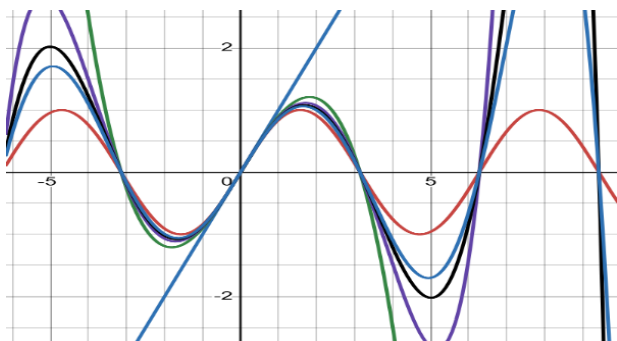


Fig.5 無限乗積展開のグラフ

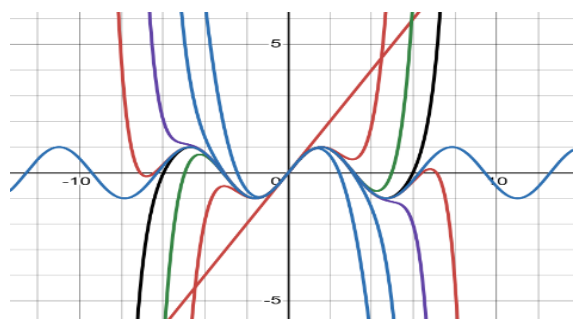


Fig. 6 マクローリン展開のグラフ

マクローリン展開と無限乗積展開のグラフそれぞれで $x = 0$ に近い地点でグラフが一致しているため係数比較を行うことができるということが分かった。

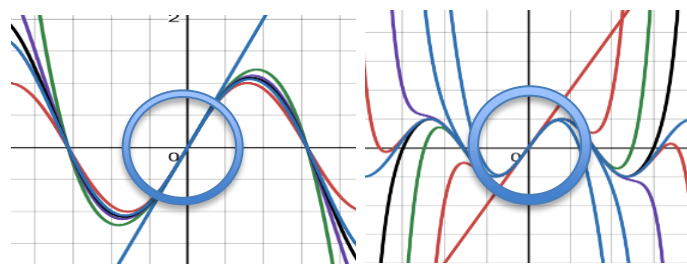


Fig.7 グラフでの $x = 0$ 付近の様子

$\sin x$ の無限積展開④の中で

$\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{5^2} \dots$ の形をくくり $x^3$ の項で係数比較を行い $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2}$ の総和 $\pi^2/6$ が得られた。

## 9 考察

\*数式1  $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^a}$

・無限積展開の式を数式1の形にくくすることで、無限級数 $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2}$ を $\sin x$ のマクローリン展開と無限積展開の $x^3$ の係数比較により求められたことから、\*数式1の $a$ の次数が増えた場合も $(a+b)(a-b) = (a^2 - b^2)$ を用い係数を偶数には増やせるので数式1の $a$ の値が偶数乗の時であれば $a$ の部分を変えても数式1の形を作れば答えを求められるはずだ。 $\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{5^2} \dots$ の計算は普通にはできないが、 $\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{5^2} \dots$ の形を別の式からくくすることで

$-\frac{x^3}{3!} = -\frac{x^3}{\pi^2} \left(1 + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{5^2}\right)$ のように恒等式をつくって式全体の値を求めることができるので、求めたい無限級数の式をくくれる式を立てられるかがこれを解くカギとなっていることが分かった。

しかし、数式1の $a$ が奇数乗の時、無限積展開が成り立つように作れないが偶然乗の時に $\sin x$ が関係していたことから $\cos x$ と奇数乗が関係している可能性が考えられる。

## 10 まとめ

実験1では接線を用いた方法では楕円でないことしかわからなかったが、グラフ上で、頂点と同じ楕円と面積を比較することにより視覚的にどれだけ違っているかを一目で確認することができた。実験2では、グラフを書くことによりなぜ係数比較することができるのかを式で見るよりも簡単に理解することができ、ほかの次数や $\cos x$ ではどうなるのかという新しい疑問も得ることができた。この二つの実験から数学の学習におけるグラフでの可視化は効果的だと確認でき、重要性を知ることができた。

## 11 今後の展望

自然数の逆数の3乗の和に関して、求める方法を無限積展開の他の次数に注目して探す。

$\cos x$ でも検討してみる。みんなが視覚的に無限についてわかりやすいようにする。そしてみんなが無限について理解することができ、無限の考えを生かして、普段の生活やさまざまな分野への考え方に応用できるようにする。

## 12 参考文献

松本宗久. (2024). 近似等号とマクローリン展開の類似性および授業における活用法について. 神戸親和大学児童教育学研究, 43, 139-142.

# 画像認識を用いて栄養状態を判定するアプリの開発

小野瀬 新志 澤畑 俊佑 田所 知隼 玉井 雄大

## Development of an Application for Assessing Nutritional Status Using Image Recognition

Arashi ONOSE, Shunsuke SAWAHATA, Chihaya TADOKORO, Yuta TAMAI

### Abstract

According to our previous research on changes in lifestyle, we found that the number of people with nutritional disorders is growing in Japan despite it now being said that we are in the era of satiation. In this study, we planned to develop an application to improve the nutritional status of Japanese people. The application can automatically display the nutritional balance of what the owner eats at home daily by measuring the nutrients contained in the Kitchen garbage. It is true that there are currently applications to evaluate nutritional balance by recording food contents and ingredients from the released nutritional data, but people with nutritional disorders tend to choose meals according to their own tastes, not by nutritional facts. With this application, we expect to make it possible to assess nutritional balance at the end of the day without the owners needing to make much of an effort.

### 1 はじめに

現在は飽食の時代にあるにも関わらず乱れた食習慣などの要因により栄養状態が良くないという研究結果がある<sup>\*1</sup>。そこで食事の栄養バランスを自動で表示するアプリケーションを開発し、多くの人の栄養状態の改善を図る。最終的には、ゴミ箱に設置したカメラにより、野菜などの生ごみから摂取した栄養素を判断し、健康状態について通知を受け取れるシステムの開発を目指している。

開発を目標とするアプリの概要は以下のとおりである (Fig.1)。①ゴミ箱に定点カメラを設置し、捨てられた生ごみを撮影。②画像認識プログラムを介してそこで撮影された生ごみがどの食材なのかを認識。③同時にスマホのアプリ上で認識された食材とその食材に含まれる栄養素を表示。④最終的に一日分の食事に対して栄養バランスが取れているかを表示。

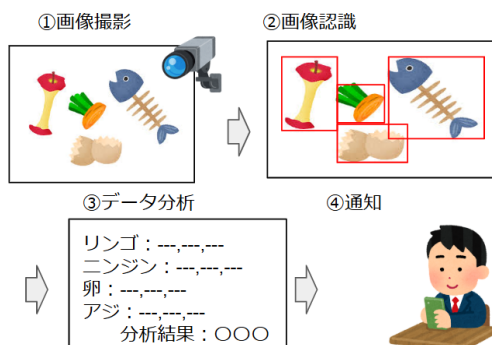


Fig.1 App Overview

### 2 実験方法

#### I 画像認識プログラムの作成

##### (1) 画像中の食材 (材料) の認識

##### ①学習済みモデルによる画像認識プログラム P1 の作成

開発環境: Anaconda3

開発言語: python

使用モデル: yolo11n

##### ②独自データセットによる学習データの作成

- ・食材の精選については、II (1) の項を参照。

- ・20 種類の食材について、画像の収集を自動化するため、プログラム P2 を作成し、Web 上の画像を収集した。収集した画像は種類ごとに 1~20 のクラスに分類した。

- ・収集した画像について、イラストや調理後のものなど学習に用いるには不適切なものを選別して削除した。

- ・図のように、学習させるために認識させたい対象のみが写っている部分を枠で囲んで指定 (アノテーションの実施) (Fig.2)。

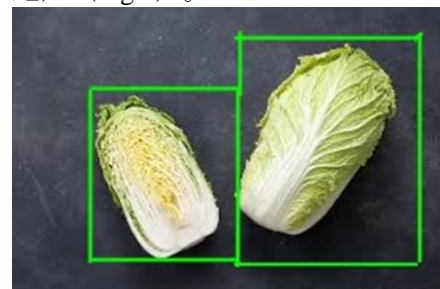


Fig.2 Annotation implementation

・作成した画像データをもとに次の条件により機械学習を行った。

使用モデル：yolo11n

学習用データ：20 クラス×9～75 枚  
エポック数：50

### ③データセットの再構築とモデルの作成

・②で作成したモデルの認識結果をもとに、再度画像の収集、選別、アノテーションを実施した。

・作成した画像データをもとに次の条件により機械学習を行った。

使用モデル：yolo11n

学習用データ：20 クラス×30 枚  
エポック数：50

## (2) 栄養素の表示

### Ⅱ 栄養素データベースの構築

#### (1) データベース化する食材の精選

食材には膨大な種類が存在し、すべての食材をデータベースに入れるには膨大なデータが必要なため、私たちは特定の野菜に絞って研究を進めることにした。

#### (2) 扱う栄養素の精選

扱う栄養素については、日本食品標準成分表(八訂)増補版<sup>\*3</sup>をもとに、データベース化を進めた。多くの種類が存在するため、データベースに記載するものを選択することとした。

#### (3) 栄養バランスが取れているかの判断基準の作成

日本人摂取基準(2025 年)を元に、ここでは 15～17 歳の一日目安摂取量を基準とした。

## 3 結果、考察

### I 画像認識プログラムの作成

#### (1) 画像中の食材(材料)の認識

##### ①学習済みモデルによる画像認識プログラムの作成

Ultralytics 社が公開している yolo11n という学習済みモデルを用いて作成したプログラム P1 で、食材を認識することが出来た (fig.3)。

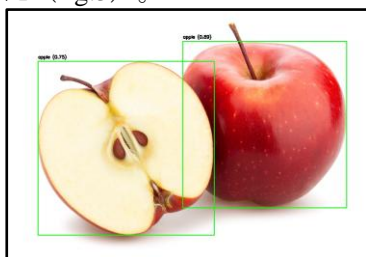


Fig.2 Image Recognition Result

### ②独自データセットによる学習データの作成

Ⅱ (1) で精選した 20 種の画像について、2 I (1) ②の通りモデルの作成を行ったところ、図のような結果を得た (fig.4)。

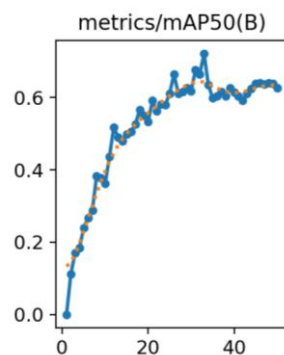


Fig.4

これは、比較的簡易的な物体検出のみを考慮したモデルの精度の尺度である。最も良いモデルで 0.7、すなわち 70%程度の認識率となっており、まだ改善の余地がみられる。この結果について、

各クラスの認識精度について、大きな差がみられることが分かった。(fig.5)。

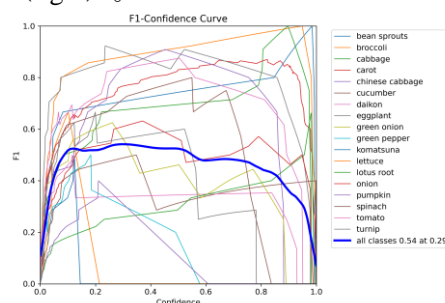


Fig.5 F1-Confidence Curve

F1 の値は Precision (適合率) と Recall (再現率) のバランスを示す指標で、次の式で求められる。

$$F1 = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

ここで、Precision (適合率) とは予測したうち、正しく検出された割合を指し、Recall (再現率) とは実際に存在する物体をどれだけ検出できたかの割合を指す。F1 スコアは 1 に近いほどモデルの評価が良いことを意味し、0 に近いほど悪いことを意味するものである。Fig.5 を見ると、もやしやブロッコリーなどは比較的認識精度が高いものの、ナスやピーマンなどは認識精度が低いことが分かった。この段階では、集められるだけの画像を用いて機械学習を

行ったが、各クラスにおいてそれぞれ枚数が異なること、画像についても精度が低いものが含まれていることなどがその要因と考えられたため、画像の精選や枚数の統一など、データセットの見直しを進めることとした。

### ③データセットの再構築とモデルの作成

#### (2) 栄養素の表示



Fig.6 Display of image recognition results and nutrients

## Ⅱ 栄養素データベースの構築

### (1) データベース化する食材の精選

アプリの汎用性を高めるため、多くの人が口にする食材を多くデータ化する必要があると考え、厚生労働省が示している日本人における野菜の摂取量ランキング<sup>\*2</sup>を参考とすることとした。このランキングの上位 20 品目（だいこん・玉ねぎ・キャベツ・白菜・にんじん・トマト・きゅうり・かぼちゃ・レタス・もやし・ねぎ・ブロッコリー・ピーマン・ごぼう・なす・こまつな・かぶ・れんこん・チンゲンサイ）をデータベース化の対象とした。

### (2) 扱う栄養素の精選

栄養素のデータベースについては、日本食品標準成分表(八訂)増補版<sup>\*3</sup>をもとに作成を進めた。しかしながら、この表に記載されている栄養素は非常に多く、すべてを用いて、栄養バランスが取れているかを判断することは難しいと考えた。そこで、「栄養プロファイルモデル」の日本版を作成するという研究<sup>\*4</sup>を参考にすることとした。諸外国では消費者が食品の栄養価を総合的に判断できるよう、特定の栄養素等の含有量で食品をランク付けする「栄養プロファイルモデル」が活用されており、この研究はその日本版を作成するというものである。この研究

においては、ミネラル、葉酸、ビタミンの 3 つ栄養素を対象に研究がなされており、私たちもその 3 種類に絞って、データベース化し、栄養バランスの評価を行うことにした。

### (3) 栄養バランスが取れているかの判断基準の作成

## 4 今後の展望

- ・学習モデルの認識の向上とカメラを用いた認識精度の検証
- ・データベースと構築したプログラムを活用したアプリケーションの開発

## 5 謝辞

本研究に協力いただいた学校の先生方、助言をくださった大学生の皆様、メンバー一同切に感謝を申し上げます。

## 6 参考文献

- 1) 渡辺 毅. 食と病—生活習慣病を例として. 日本栄養・食糧学会誌. 2004. 第 57 巻 第 1 号
- 2) 厚生労働省健康局がん対策・健康増進課栄養指導室. 日本人における野菜の摂取量ランキング. <https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakukenkouzoushinka/0000096137.pdf>. 平成 27 年 8 月 31 日公表
- 3) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告. 日本食品標準成分表(八訂)増補. 2023
- 4) 石見 佳子ほか. 日本版栄養プロファイルモデル試案の作成プロセスと妥当性評価に関する基礎的研究. 栄養学雑誌. 2022 Vol. 80 No. 2, 79~95



# 校内アプリ「Campus Link Pro」の開発

坂本 裕紀

## Campus Link Pro

Yuki SAKAMOTO

### Abstract

At Midorioka High School, teachers often swap classes each other when they will be absent from school. Thus, students have to check notice boards and prepare study materials every day. Sometimes the process of planning class changes and informing students is not done soon enough and leaves students unprepared in the class. In addition, more seriously, the sudden change of classes might lead students to miscount their number of absences.

To solve these problems, I developed an application software called Campus Link Pro that reduces the workload of both teachers and students by sharing information with no delay and calculating students' attendance automatically.

### 1 はじめに

本校では、教員がある時間に時間割通りに授業ができない場合に他の教員と授業の時間を交換する授業交換が行われている。しかし、授業交換の決定から生徒への伝達までに多くの時間と労力がかかる上に伝達ミスが起りやすく、生徒側も掲示物や授業準備物の把握ができないということが多く見られる。また、学校内の情報が口頭や紙で伝達される場面も多く、情報共有の効率化が求められていた。これらの課題を踏まえ、教員と生徒の手間の削減、効率的な情報共有、出席記録のデジタル化を主軸とした校内アプリ「Campus Link Pro」を開発した。

### 2 アプリ開発

それぞれの OS で最適化されたネイティブアプリを開発するためには、複数 OS (iOS と Android) 向けのアプリの同時開発は困難と考えた。そこで、開発 OS 決定のため、本校 2 学年生徒（当時）に利用機種別の調査を行った。Table. 1 のように対象者の 8 割以上の生徒が iPhone を利用していることから iOS 版を優先して開発とテストを開始した。iOS 版の開発がある程度進み、複数クラスでの実証実験（iPhone 利用者対象）が開始したところで Android 版の開発、テストを開始した。アプリの開発言語は iOS 版は Swift、Android 版は Kotlin を用いた。安全な通信と複数 OS からのアクセス性を考慮し、データベースやプッシュ通知の送信機能等として Google Firebase を採用した。開発のスピードを重視し、生成 AI を活用して開発を行った。

アプリは、教員用と生徒用で機能が大きく異なるため、アップデートや管理の効率性を考慮してそれぞれ別のアプリとして開発をした。

Table 1 Number of iPhone/Android users

組	1	2	3	4	5	6	7	学年
iOS	24	28	34	28	32	32	27	208
Android	5	6	3	6	10	9	14	55

### 3 結果、考察

#### I 実装した機能

##### ① 教員による授業変更入力・検索機能

授業変更の内容が 3 タップで反映され自動で生徒側へ伝達される。さらに、授業変更候補について、当日から 3 週間分の授業データを参照し交換可能な時間をリスト化し選択できる。

##### ② 教員による授業/行事連絡入力・伝達機能

時間割の表示画面に行事予定やその授業ごとの連絡事項を表示できるようになっていて、教員側が入力することにより自動で生徒側へも反映される。

##### ③ ExpressAttend（デジタル出席記録機能）

通過型記録システムについては、iBeacon (BLE ビーコンシステム) を利用し、端末が教室のドアに近づくだけで出席の処理が行われるようになっている。接触型記録システムについては、生徒が登校した際、教室入口に端末をタッチすることで出席が記録され教員側へも自動で反映される。(NFC を利用)。

##### ④ ShareMate (クラス内画像共有機能)

画像をクラス内で共有できる機能。画像は誰でも追加、削除が可能で、カメラ起動もしくは写真選択によって画像を追加できる。

##### ⑤ MidoLink (校内 SNS 機能)

校内での情報発信のツールとして、生徒会や部活動などの情報について投稿ができるようになっている。生徒側でも「いいね」やコメントをすることができるようになっている。匿名でのコメントも可能になっている。





Fig.1 Home screen (iOS)

ログインには物理的な学生証と暗証番号を必要とし、従来の ID・パスワード方式よりも安全性が高いと考えている。

## II 実証実験

実証実験では、ログ記録機能により対象者の7割以上が毎日アプリを利用していることがわかった。時間割確認だけでなく ShareMate など活発に利用されており、特に時間割表示と画像共有は「便利」との声が多く寄せられた。ExpressAttend による通過型出席記録システムもスムーズであるという評価を得ており、本アプリが実際の校内活動において有効に機能していることが確認された。

## 4 まとめ

「Campus Link Pro」は、校内における授業連絡・出席記録・画像共有・SNS といった多様な機能を一つのアプリに統合されており、教員と生徒の情報共有を円滑にし、学校生活の質の向上に寄与するアプリとして実用性が高いといえる。

## 5 今後の展望

このアプリ開発で教員と生徒の手間の削減、効率的な情報共有、出席記録のデジタル化を目指してきた。今後も、さらなる利用者のニーズに応じた機能の拡充と、操作性の向上を目指した継続的な改善が求められる。

具体的には、次のフェーズとして「Campus Link Pro X」にアップデートを行い、将来このアプリを利用する団体もしくは個人が必要な機能を選択、組み合わせて利用できるモジュール型アプリとして再設計する。これにより、利用する団体の利用スタイルや目的に応じて最適なユーザー体験

の提供が可能になると考えている。

「Campus Link Pro」は、教育現場における ICT 活用が急速に進展する現代で柔軟に対応しながら、学校現場の実情に寄り添えるアプリとして、今後も進化させていきたい。