

文部科学省指定

スーパーサイエンスハイスクール

東海地区フェスタ 2012 研究収録



主催 名城大学附属高等学校

参加校 名古屋市立向陽高等学校
玉川学園高等部 中学部
静岡県立磐田南高等学校
愛知県立明和高等学校
静岡県立清水東高等学校
三重県立伊勢高等学校

三重県立津高等学校
愛知県立一宮高等学校
名古屋大学教育学部附属高等学校
岐阜県立恵那高等学校
静岡北高等学校

三重県立津西高等学校
愛知県立時習館高等学校
愛知県立刈谷高等学校
岐阜県立岐阜農林高等学校
愛知県立岡崎高等学校

巻 頭 言

名城大学附属高等学校長 鈴木恒男

本校は平成 23 年度より二期目のスーパーサイエンスハイスクール指定校となり「高大協同による国際的科学研究リーダーの育成～サロンの学習の重視とメンタルリテラシーの向上」を研究開発課題に、理数系教育の充実に取り組んでいます。愛知・岐阜・三重・静岡の東海 4 県におけるSSH指定校の相互交流の機会として平成 18 年度より「スーパーサイエンスハイスクール東海地区フェスタ」を開催し、SSH指定校生徒による口頭発表、パネルセッション、参加高等学校の生徒・教員による交流会等を通じて連携を深めてきました。また、東海 4 県の高等学校の理数系教育に関心のある先生方・生徒さんにも多数ご参加いただき、「SSH指定校」の枠を越えて、広く理数系教育を考え・実践する催し物となりました。

本年度も「スーパーサイエンスハイスクール東海地区フェスタ 2012」を、愛知県教育委員会・名古屋市教育委員会・永井科学技術財団の後援をいただき開催することができましたことお礼申し上げます。平成 20 年度より東海 4 県のSSH指定校の代表によるスーパーサイエンスハイスクール東海地区フェスタ実行委員会を立ち上げました。今年度も引き続き本校だけでなくSSH指定校が協力して企画・運営を行いました。本年度で「スーパーサイエンスハイスクール東海地区フェスタ」は 7 回目となり、新規採択校 2 校に加え、東京都のIB認定校である玉川学園高等部・中学部が参加してくださり、参加校数は 17 校となりました。年に 1 度、東海 4 県の指定校の生徒がそれぞれの取り組みを発表する場として定着し、他の都道府県からも参加があり、年々盛り上がりを見せています。

また、今年度はコアSSH事業に採択され、「産学協同による海外研修を通じたグローバル人材の育成～中部から世界へ 挑戦する心を育む～」の研究テーマのもと、本フェスタで優秀な研究発表を行った生徒および指導者とともに、UAEの海外研修をはじめ、環境レポートや国際バカロレアの研究調査等、様々な取り組みを実施いたしました。これらの取り組みを通じ、発表会としてのフェスタだけでなくグローバル人材を育成し、国際的に活躍できる科学研究リーダーの育成を行う場として更に発展させることができました。

最後に実行委員長として、本フェスタを無事に終えられたことに大きな喜びを感じます。実行委員の先生方と参加していただいた各学校の先生と生徒のみなさん、および関係各位にお礼を申し上げるとともに、参加者のみなさんが、本フェスタの経験をSSHの活動に活かしてくださることを切に願います。

目 次

| | | |
|------|-----------------|---|
| 1814 | 名古屋市立向陽高等学校 | 糸電話における音の伝わり方 |
| 1917 | 三重県立津高等学校 | 月までの距離を求める（皆既月食観測） |
| 1918 | 三重県立津西高等学校 | 食品廃棄物からバイオエタノールを作ろう |
| 2003 | 玉川学園高等部中学部 | ロボットセンサーの研究～移動距離を正確に求める方法～ |
| 2008 | 愛知県立一宮高等学校 | ニワトリ胚の発生における卵の置き方と転卵の有無の影響 |
| 2009 | 愛知県立時習館高等学校 | 進化するニトロセルロース |
| 2318 | 静岡県立磐田南高等学校 | 結び目に対する解析的アプローチ |
| 2319 | 名古屋大学教育学部附属高等学校 | すごい分数 真正粘菌「モジホコリ」の行動に関する考察 ヒドラの生態について 抽出条件・保存条件によるアントシアニン色素の安定 クントの実験における粉体の振るまいについて |
| 2320 | 愛知県立刈谷高等学校 | 音速の測定に関する研究 共振振り子の運動についての考察 |
| 2321 | 愛知県立明和高等学校 | アスピリンからアセチルサリチル酸の単離とその性質 |
| 2322 | 名城大学附属高等学校 | 電磁誘導による人力発電と充電の研究 |
| 2437 | 岐阜県立恵那高等学校 | 寒天を用いた色素増感型太陽電池 |
| 2438 | 岐阜県立岐阜農林高等学校 | 飼料米を給与した鶏卵の卵黄色改善のための柿皮活用 自然豊かな地球を目指して ～突然変異により砂漠を緑化する植物の作出～ プロトプラストの単離と新品種の作出 ヘドロの浄化方法と有効利用について 廃油の有効利用による循環型社会について 飲料水の硬度の違いによる食品への影響 生物調査による環境の分析～野鳥の観察を通して～ |
| 2439 | 静岡県立清水東高等学校 | アゾ色素の臭素化と色素の変化について |
| 2440 | 静岡北高等学校 | 酵母菌の人為的突然変異と耐性実験 |
| 2441 | 愛知県立岡崎高等学校 | 粉粒体の層化及び分離に関する研究 |

糸電話における音の伝わり方

How to travel through a string telephone

上村 美織、鈴木 利奈、福田 和彰、楊 将貴

Abstract

We tested whether the sound waves through a string telephone are longitudinal waves or transverse waves. We made a devices to measure the speed of sound traveling through a string and analyzed the quality of the waves. In addition, we made a telephone with an elastic string and compared its waves with the waves going through a nylon string.

要約

糸電話の音が縦波と横波のどちらで伝わっているかを調べた。私たちは、糸を伝わる音の速さを測定する装置をつくとともに、音の振動数を解析した。さらに、媒質がゴムの糸電話をつくり、ナイロン製の糸の場合と比較した。

1. 序論

私たちは、糸電話の音の伝わり方に興味を持った。糸電話を通して人の声を聞くと、普段の声と違って聞こえた。それを疑問に思ったことをきっかけとして、糸電話がどのように音を伝えているのかという研究を始めた。

2. 実験に使用する糸電話の媒質について

・ 水糸

一般的な糸電話は凧糸で作製されることが多いが、伝搬速度の理論値を求めるために必要な数値が不明だったため、凧糸と同様に、伸び縮みしないナイロン製の水糸を採用した。

・ ゴムひも

糸電話の媒質をさまざまな物質にかえて実験していたとき、ゴムひもだけ糸電話から声が聞こえず、疑問に思った。

・ 針金・・・糸電話の媒質に針金を用いたとき、波形がどのようなになるのか興味をもった。

・ ばね・・・ばね電話はエコーがかかることで知られている。どのように波が伝えられ

ているのか興味をもった。

3. 研究の目的

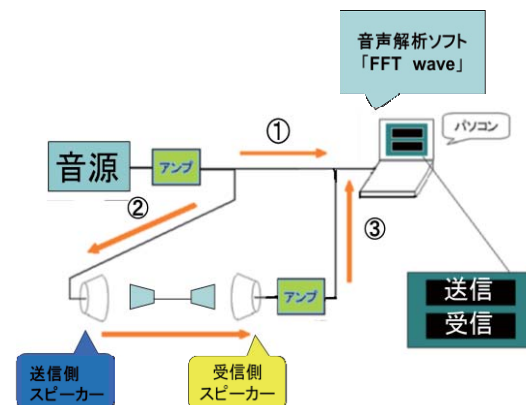
- ①糸電話の音の伝搬が縦波か横波か調べる。
- ②媒質の違いによって伝搬速度や波形の様子がどのように変わるか調べる。

4. 実験装置の作製

(1)動機・目的

糸電話が受信する音の解析を安定的に進めるために、実験装置を作る。

(2)作製した実験装置



音源から発信された音の信号はまずアンプを通る。

- ① 増幅した音の信号をパソコンのステレオ入力
の右チャンネルに入力し、画面の上側に
表示する。
- ② ①と同じ音の信号を送信側スピーカーで、
糸電話に送信する。
- ③受信側スピーカーで拾った音の信号を増幅し、



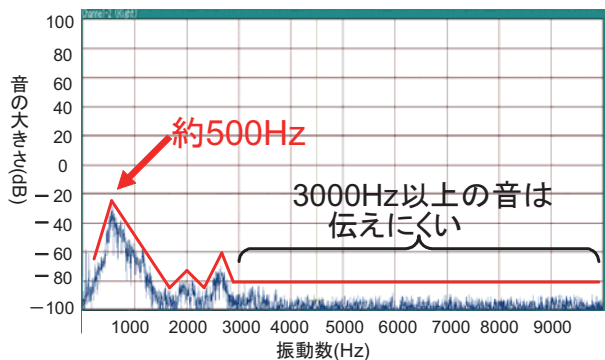
パソコンのステレオ入力の左チャンネルに入
力して、画面の下側に表示する。入力した音は、
音声解析用シェアウェアソフト「FFT wave」で
解析する。

今回の研究ではこの装置を用いた。

5. 予備実験: 実験に用いる音の振動数を決定する

(1) 動機

- ・ 糸電話を通して人の声を聞くと、普段の声と
違って低く聞こえたので、糸電話には伝わりや
すい振動数があると考えた。
- ・ 振動数によって、音の性質は異なる可能性が
あるため、一定の振動数で実験を行い、データ



の安定化を図ろうと考えた。

(2) 目的

糸電話を通った音の振動数を分析する。

(3) 方法

水糸電話に、フリーソフト「audacity」を利用
して発生させたホワイトノイズ(すべての振動
数においてはほぼ一定の大きさ(dB)を保っている
音)を通して伝わりやすい振動数を調べた。

(4) 結果

- ・ 約 500 Hz の音が最も良く伝わった。
- ・ 約 3000 Hz 以上の音はほとんど伝わらなかつ
た。以上のことから、使用する音源の振動数
を 500 Hz に決定した。

6. 糸電話を伝える音が縦波か横波か判断 するための理論式

(1) 伝搬速度[m/s]の理論式

- ・ 縦波 $\sqrt{\text{ヤング率} / \text{密度} [\text{g}/\text{m}^3]}$
- ・ 横波 $\sqrt{\text{張力} [\text{N}] / \text{線密度} [\text{g}/\text{m}]}$

理論式より、縦波は張力の影響を受けず、横波
は張力の影響を受けることがわかる。

(2) ナイロンの伝搬速度(理論値)

理科年表のデータを基にして、計算した。

- ・ 縦波

ヤング率: $(0.12 \sim 0.29) \times 10^{10} [\text{kg}/\text{m}]$

密度: $1.1 \times 10^3 [\text{kg}/\text{m}]$

伝搬速度: $\sqrt{(0.12 \sim 0.29) \times 10^{10} / 1.1 \times 10^3}$
 $\approx 1000 \sim 1600 [\text{m}/\text{s}]$

- ・ 横波

張力: $0.5 \sim 2 [\text{N}]$

線密度: $0.32 \times 10^{-3} [\text{kg}/\text{m}]$

伝搬速度: $\sqrt{(0.5 \sim 2) / (1.1 \times 10^{-3})}$
 $\approx 40 \sim 79 [\text{m}/\text{s}]$

理論値より、縦波は横波より速いということが
分かる。

7. 実験 I : 水系の実験

目的

水系における音の伝搬が縦波か横波かを調べる。

○実験 I-1: 伝搬速度と張力による変化

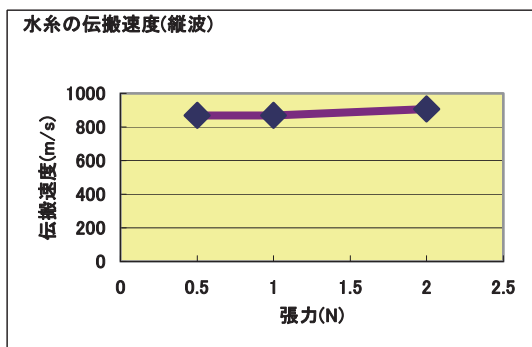
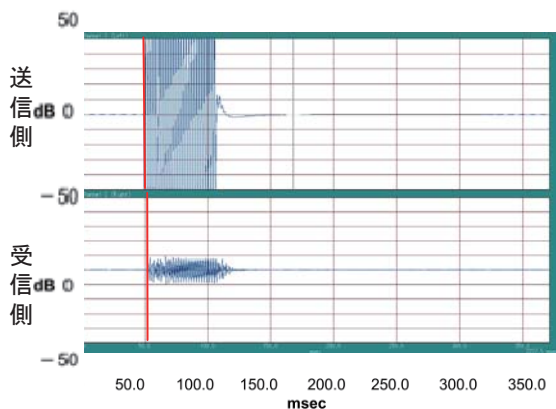
(1)方法

水系電話の張力を様々に変えて、伝搬速度の変化を調べる。音源には低周波発信器を使用し、以下の方法で音を発生させた。

- ①アンプに接続したコードの先をアースと本線に分ける。
- ②低周波発信器に赤と黒の鱈口クリップを取り付け、赤の鱈口クリップは本線につないでおく。
- ③アースに黒の鱈口クリップを瞬間的に接触させ、パルス状の信号を発生させる。



(2)結果



伝搬速度は張力によって変化せず、約 900 m/s 前後だった。理論値と比較して、縦波だと考えられる。以後、送信側の波形はスペースの関係で省略する。

実験 I-2 顕微鏡による観察

(1)方法

糸電話の糸を顕微鏡のステージに接触しないように張り、糸の振動の様子を観察し、動画を撮影した。水系では振動の様子が観察しづらかったため、この実験では凧糸を媒質に用いた。

(2)結果

糸が音の進行方向と平行に振動する様子が観察された。このことから、縦波と考えられる。

実験 I のまとめ

水系は縦波によって音の振動を伝えていると考えられる。

8. 実験 II ゴムひもの実験

動機・目的

参考文献に「ゴムひも電話では横波が伝わる」との記述があったため、検証する。

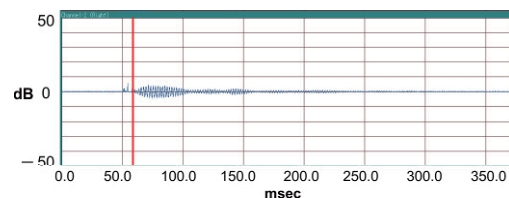
実験 II-1

ゴムひもに平行に振動を加える

(1)方法

媒質をゴムひもに変え、実験 I-1 と同じ方法で伝搬の様子を調べた。

(2)結果



糸をつけずにコップのみで測定した場合と、ほぼ同じ結果になった。

このことから、振動はゴムひもではなく、空気を伝わったものと考えられる。

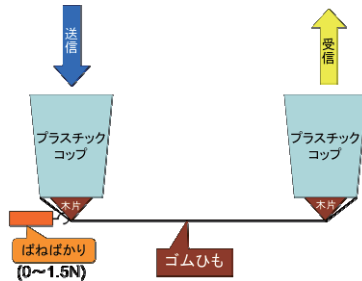
実験Ⅱ-2 ゴムひもに垂直に振動を加える

(1)目的

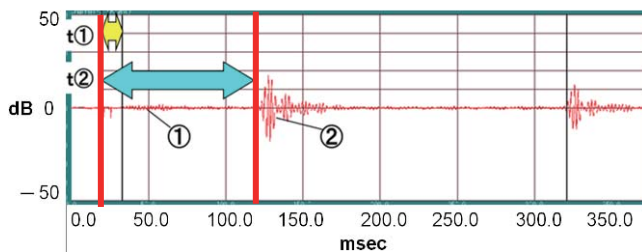
実験Ⅱ-1の結果より、ゴムひもに平行に振動を加えても伝わらないことが分かった。そこで、ゴムひもに垂直に振動を加えてみた。

(2)実験方法

右図のようにコップの底に木片を取り付けゴムひもに垂直に振動を加え、伝搬の様子を調べた。

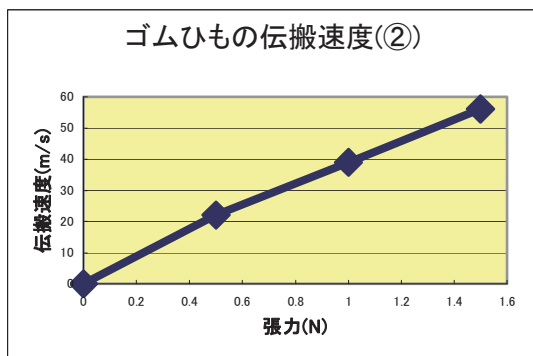


(3)結果



音の送信後すぐに伝わった振幅の小さな振動(①)と、①より遅れて伝わり振幅の大きな振動(②)の、2種類の波形が観測された。

しかし、①は糸をつけずにコップのみで測定した場合に見られた波形とほぼ同じであったため、空気中を伝わった音だと考えられる。また、②では、間隔を置いて波形が観測された。



ばねばかりを用いて伝搬速度の張力による変化を調べたところ、②の波形の場合は伝搬速度は張力によって変化し、約0~60 m/sとなった。よって、②は横波だと考えられる。

実験Ⅱ-3 顕微鏡による観察

(1)方法

ゴムひもに垂直に振動を加え、実験Ⅱ-2と同じ方法で顕微鏡で観察した。

(2)結果

音の進行方向と垂直に振動する様子が観察された。

(3)考察

横波が伝わっていると考えられる。

実験Ⅱのまとめ

- ・ゴムひもに平行に振動を加えた場合、音は伝わらない。
- ・垂直に振動を加えると横波で音を伝える。縦波は伝わらない。

9. 実験Ⅲ：水系でも横波は伝わるのか

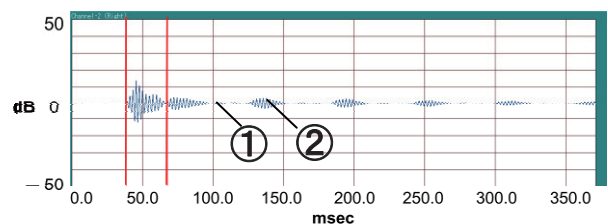
(1) 動機・目的

水系に垂直に振動を加えれば横波が伝わるのか疑問に思い、検証する。

(2)方法

媒質に水系を用い、実験Ⅱ-2と同じ方法で垂直に振動を加えた。

(3)結果



・音の送信後すぐに伝わった振幅の大きな振動(①)と、①より遅れて伝わった振幅の小さな振動(②)の、2種類の波形が観測された。また②では、反射が見られた。

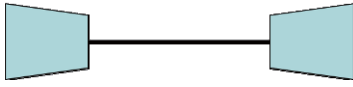
・①の伝搬速度は約465m/s

②の伝搬速度は約59m/s だったことから、

①は縦波、②は横波と考えられる。

10. まとめ

- 媒質とコップの向きが平行のとき水系では、縦波が伝わりゴムひもでは、音が伝わらない。



- 媒質とコップの向きが垂直のとき水系では、縦波と横波が伝わり、ゴムひもでは、横波が伝わる。



- 水系では、縦波も横波も伝わる。
 - ゴムひもでは、横波は伝わるが縦波は減衰する。
- ⇒ゴムひもでは縦波が伝わらないのはなぜか

11. 仮説

水系とゴムひもではヤング率(単位ひずみあたりの必要な応力 $[N/m^2]$)が3桁以上違うためではないか。(水系: $0.12-0.29 \times 10^{10}$ ゴムひも: $1.5-5.0 \times 10^6$)

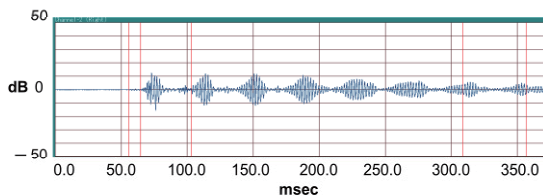
→検証するために、ゴムひも同様に伸び縮みしやすいばねを調べる。

12. 実験Ⅵ:ばねの実験

(1)方法

媒質をばねに変え、実験Ⅰ-1と同じ方法で伝搬の様子を調べた。

(2)結果



反射が起こっているが、波形は徐々に変化している。目視により縦波と考えられる。

(3)考察

ヤング率が関係しているという仮説は間違っていたと考えられる。

13. 仮説2

ゴムひもは伸び縮みするときに暖かくなったり冷たくなったりするので、その際にエネルギーの出入りがあるのではないかと考えた。

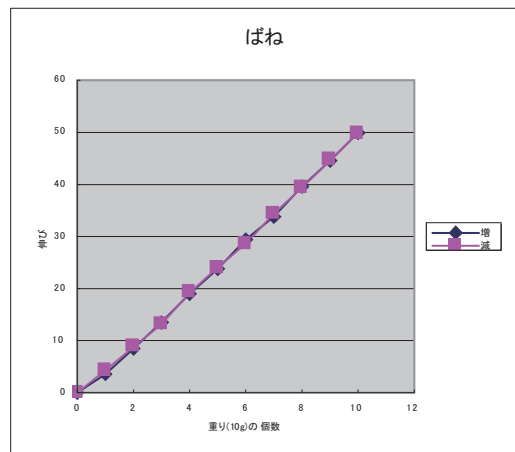
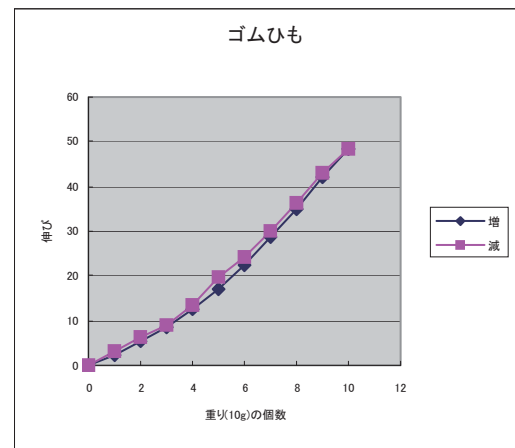
14. 実験Ⅴ:仮説2の検証

(1)方法

ゴムひもとばねそれぞれに重りを吊るして伸びを測定し、重りの数を増やすときと減らすときを比較する。

(2)結果

ゴムひもでは増やすときと減らすときで差が生じた。



・ゴムひも

縦波の振動を受けた場合は、ゴムひもの伸び縮みが大きく、ヒステリシス損(物体が伸び縮みするときにそのエネルギーが熱に変わって失われる量)が大きいので、減衰しや

すいと考えられる。

横波の振動を受けた場合は、縦波に比べてゴムひもの伸び縮みが小さいので、ヒステリシス損が小さく、減衰しにくいと考えられる。

・水糸

縦・横ともに伸び縮みが小さく、ヒステリシス損が小さいため、縦波も横波も減衰しにくいと考えられる。

・ばね

縦波の振動を受けた場合の伸び縮みはばねとしては大きいですが、針金自体の伸び縮みは小さいため、ヒステリシス損が極めて小さいと考えられる。

16. 参考文献

土肥健二 “ゴム電話で聞く横波の音”『いきいき物理わくわく実験 3 』

愛知・三重物理サークル 2011 P.160~161

吉澤純夫 『糸電話の伝搬速度など』 APEJ
2006, 124号 P.40

月までの距離を求める (皆既月食観測)

The Distance to the Moon

勝瑞智浩 太田千裕 向井望

We could see the total eclipse of the moon in Japan from the beginning to the end on December 10th and 11th, 2011. This time we measured the difference between the position of the moon seen from Tsu and the one seen from Otaru to measure the distance from the earth to the moon.

要約

2011年12月10～11日にかけて観測した皆既月食の画像を用いて、地球から月までの距離を測定する研究を行った。

本校で撮影した画像と、小樽で撮影された画像から、月の周りの星の座標と、月の周縁の座標より月の中心座標を測定し、月の視位置の違いから月までの距離を求めた。

今回の測定により津から月までの距離は399,600kmと求まった。ステラナビゲータによると実際の距離は391,000kmであった。差が生じた原因としては、座標を測定する際の誤差、大気の揺らぎの影響などが考えられる。

皆既月食の際は、月周辺の恒星が撮影しやすく月の位置測定の精度が高くなるので、2地点での月食の画像より、地球-月間の距離を求められることが分かった。より正確な値を求めるためには、さらに工夫をする必要がある。



1.はじめに

2011年12月10～11日にかけて皆既月食が起こり、日本では各地で始めから終わりまで見ることができた。

部分食の始まりは21時45.4分、皆既食の始めは23時5.7分、部分食の終わりは11日1時18.3分であった。

今回我々は地球から月までの距離を求めるために、地球上の2点(津と小樽で撮影)から見た月の位置の差(視差)を測定した。月食時は月が地球の影に入り暗くなるため、周りの星が見やすくなり月の位置を測定しやすい。また月食時は満月なので月の中心座標を求めやすく、正確な測定が出来ると思った。

2.測定方法

本校で撮影した画像と、小樽で撮影された画像を用いた。

画像測定ソフト、マカリの位置測定で、月の中心座標と月の周りの星の座標を求める。月の周りの星は今回、HIP24063、HIP23784を使った。

月の周縁の測定点は「マカリ」のグラフの傾きが急になる部分の中間点を月の縁と考えた。月の周縁の各点を通る円を求め、月の中心座標

をきめた。

3.時刻の一致

津と小樽での月の位置を比較するためには、同時刻である必要がある。そのため我々は津で撮像する際にはほぼ1分間隔で撮像を行った。

津での23時24分28秒と25分35秒画像から測定された月の座標の変化量から小樽で撮影された時刻24分58秒における津から見た月の座標を計算した

4.視角度への変換

画像のスケールを視角度で表すために2つの恒星(HIP24063,HIP23784)の位置を用いた。

2つの恒星の画像上で座標から2星の距離(角距離)が何ピクセルであるかを求め、2星の離角と比較して、1ピクセル当りの視角度を求めた。

5.月-津間の距離を求める

津-小樽間の直線距離、津から見た小樽の方向と月の方向がなす角、月の視差が求まると、正弦定理を用いて月と津の距離が求まる。

6.結論 (月までの距離)

津・小樽での月の視差は $484.66''$ 、津-小樽間の直線距離は 968.43km 、津から見た小樽の方向と月の方向がなす角は 104.05° である。

以上より月までの距離は 399600km と求めた

7..考察

今回、我々が求めた津から月までの距離は 399600km であった。それに対してステラナビゲータによると津と月までの距離は $391,000\text{km}$ であったため、我々の測定結果は少し異なった値であることが分かった。この差が生じた原因としては、星の座標を測定する際の誤差、大気の揺らぎの影響、写真の鮮明さの不足などが考えられる。

冬場の撮像であったため、大気の揺らぎの影響が最も大きいと考えられる。

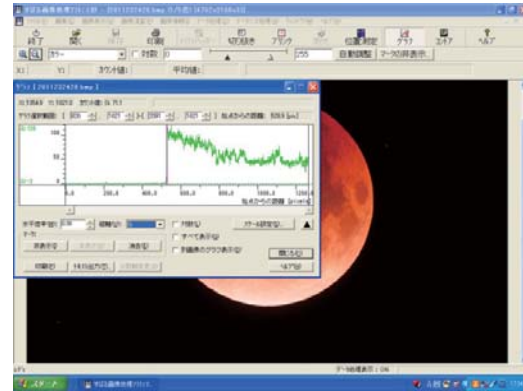
今回の観測で、月までの距離(399600km)と月の視直径($1819.5''$)が求めたので月の直径も求めることができた。今回求めた月の直径は 3525km となった。理科年表によると月の直径は 3474km である。

8..まとめ

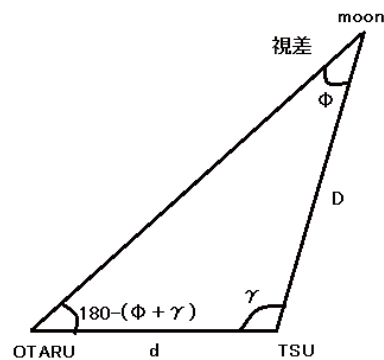
地球-月間の距離および月の直径を求めるのに、皆既月食の画像を利用することは有効であることが分かった。より正確な値を求めるためには、より鮮明な画像を撮影するための工夫をする必要がある。又、観測点間の距離をより良くする、多くの観測を行うなど、今後はより正確な測定を行えるように誤差の生じた原因を追究し、改善していきたいと思う。

9.参考文献

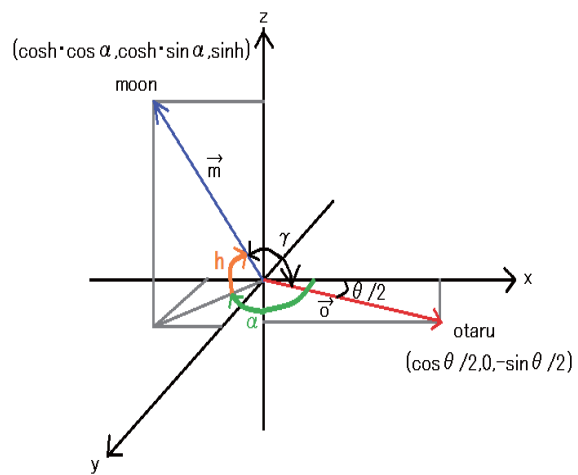
国土地理院 HP(www.gsi.go.jp/index.html)
天文年鑑(誠文堂新光社)



マカリでの月縁測定



月と津-小樽の関係



津から見た月・小樽の方向

食品廃棄物からバイオエタノールを作ろう

Producing bioethanol from food wastes

澤木 彩乃 鈴木 康介 鳴川 寛大 鈴木 優里 山脇 大也

Abstract

Today about 10% of the bread and rice we use is wasted. So, we decided to produce bioethanol from food wastes. First, the starch within bread and rice was decomposed into glucose by enzymes. Then, the glucose was fermented into ethanol by yeast.

要約

今日、パンと米飯の約 10%が廃棄されている。そこで私たちは、食品廃棄物からバイオエタノールを生産することにした。まず、パンと米飯に含まれるデンプンを、酵素を用いてグルコースに分解した。その後、酵母による発酵を行い、グルコースからエタノールを生産した。

1. 目的

食品廃棄物（パン、米飯）からエタノールを生産する。

2. 方法

① 酵素を用いて、パンと米飯に含まれるデンプンをグルコースに分解する。

1. ビーカーにパンまたは米飯を入れ、酢酸緩衝液、塩化カルシウム溶液を加え（表）、蒸留水で 200mL に調整する。

| パン または 米飯 | 酢酸緩衝液 (pH5.5) | 1mol/L 塩化カルシウム |
|--------------|------------------|-------------------|
| 50g | 10mL | 2000 μ L |

2. 耐熱性 α -アミラーゼ 250 μ L を加え、95°C、1 時間加熱する。
3. 室温まで冷却し、グルコアミラーゼ 1g を加え、一晚攪拌する。
4. カラム Sugar-D を用いた HPLC により酵素分解試料の分析を行う。

② 酵母による発酵を行い、グルコースからエタノールを生産する。

1. エタノール生産用培地の作製
酵素分解試料を滅菌（121°C、15 分間）し、遠心分離（5,000rpm、5 分間、4°C）を行う。遠心上清を採取し、再度遠心分離（5,000rpm、5 分間、4°C）を行う。遠心上清 40mL に窒素源液 10mL を加える。

2. 酵母の培養

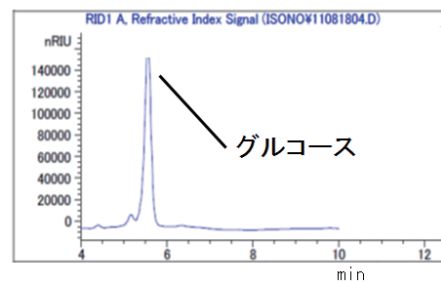
酵母（*Issatchenkia orientalis* MF-121）を 1. のエタノール生産用培地に加え、30°C で振とう培養（160 回転/分）する。
0, 12, 24, 36 時間後に試料を採取する。

③ グルコースおよびエタノールの定量を行う。

3. 結果

① 酵素分解試料のクロマトグラフィー分析の結果、デンプンがグルコースに分解されていることが確認できた。（図 1）

パン



米飯

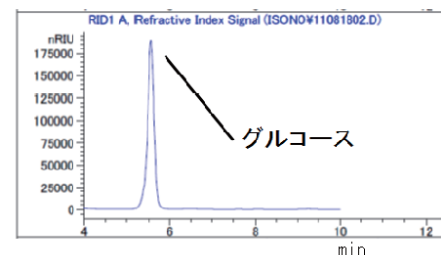


図 1 酵素分解試料のクロマトグラフィー分析

- ② 培養液試料に含まれるグルコースおよびエタノール量の変化は図2のようになった。グルコースの消費とともにエタノールが生産され、24時間後にはグルコースがすべて消費されていた。

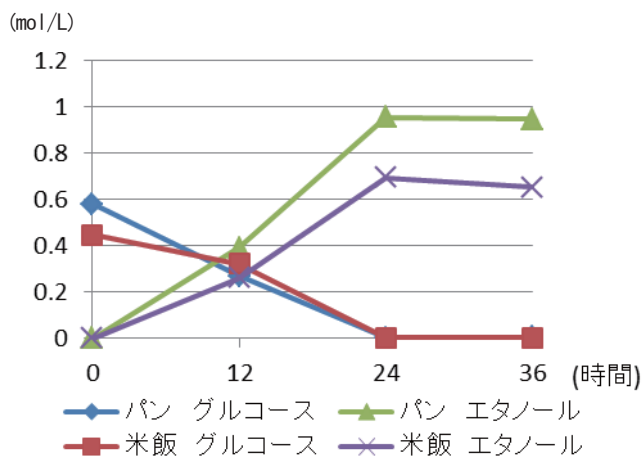


図2 培養液中のグルコースおよびエタノール量の変化

4. 考察

本実験の条件では、発酵時間は24時間が適していると考えられる。

24時間後におけるエタノールの収率を求めると、パンでは83%、米飯では84%であった。

5. 結論

食品廃棄物のパン、米飯からエタノールを生産することができた。

6. 今後の課題

生産したエタノール濃度は低いため、燃料として使用するには濃縮が必要である。また、実際、廃棄されている食品はさまざまである。パンあるいは米飯のみではなく、混合された状態で廃棄される場合もある。この混合した廃棄物をいかに効率よくエタノールにできるかが課題となる。

ロボットセンサーの研究～移動距離を正確に求める方法～

Research of some robot sensors

～ Method to accurately determine the moving distance ～

矢澤 めぐみ

Abstract

We research robots to be helpful to rescue activities in the affected areas. We will need a variety of different sensors when we try to move the robot. We have studied, such as motion sensors to detect the object or to examine the PSD sensor for sensing the presence or absence of the wall around the robot with a fever.

要約

被災地でレスキュー活動に役立つようなロボットの研究をしています。ロボットを動かそうとするときさまざまなセンサーが必要になります。ロボットに周りの壁の有無を感知させるための PSD センサーについて調べたり、発熱している物体を感知させる人感センサーなどについて研究しました。今回は特にロボットのセンサーと対象物体の位置関係を正確に把握するために、ロボットの移動距離を正確に求める方法について、わかったことを報告します。

動機・目的

私は、中学1年からC言語を使ったロボット制御についての研究を行っている。目標は、マイコンの仕組みを理解したり、センサーの原理を理解したりして、プログラミングができるようになることだ。この研究を始めてから、ロボカップジュニア大会のレスキュー部門で好成績を残すことを課題として、様々なセンサーについて研究を行ってきた。レスキュー競技では、単にロボットが走行するだけでなく、様々なセンサーを使いロボット周辺の状況を認識させる必要がある。様々なセンサーの基本的な使用方法については、玉川大学の水野教授に教えていただいた。

今年の目的は、ロボットの正確な移動距離の測定ができる方法を調査することにした。私の行っているレスキュー部門にはAとBがあり、私はレスキューBにチャレンジしている。レスキュー部門には被災者というものがあり、レスキューBでは発熱物体が被災者に見立てられている。

そして、レスキューBのルールに、「広さ 1200mm×1200mm のコートを高さ 300mm の板を使い、幅 300mm 間隔に仕切られた空間（立体構造の迷路）の中で、被災者を発見しながら、迷路を解き進める。」という課題がある。ロボットの現在地の把握が競技の勝敗のカギとなってくる。被災者をより多く発見した方が高得点を狙えるため、迷路をくまなく探すとより高得点が期待できる。ロボットの位置の把握には、ロボットの移動（走行）距離を測定することが必要不可欠である。

従って、目的を「ロボットの移動距離を正確に求める方法の調査」とした。

(図1・図2・図3参照)



図1 被災地に見立てたコース

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 |
| 2-1 | 2-2 | 2-3 | 2-4 |
| 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 |
| 4-1 | 4-2 | 4-3 | 4-4 |

図2 被災地をブロックに分けたマップ

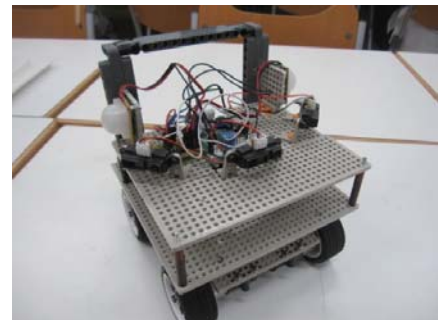


図3 制作したロボット

仮説

研究の目的である、ロボットの移動距離を正確に求める方法を検討するために、3種類のセンサーを用いて実験を行った。

1. 赤外線センサーを用いた自作のロータリーエンコーダー（反射型フォトリフレクタ）
タイヤの円周が分かっているとき、タイヤの回転数を測れば、移動距離が分かるのではないか？
2. LEGO のモーターに内蔵されているロータリーエンコーダー（透過型フォトリフレクタ）
透過型フォトリフレクタを使用しているロータリーエンコーダーの方が、より正確に回転数を測定できるのではないか。また、1回転をより細かく分割しているため、より精度よく移動距離が分かるのではないか？
3. 光学マウス
タイヤが滑って空回りしているときは、ロボット本体はその場から移動していないため、タイヤの回転数を調べているロータリーエンコーダーでは、移動している距離を測っているわけではない。そこで、光学マウスを用いて床との移動距離を測定すると、移動距離がより正確に測定できるのではないか？

※1 と 2 は、ロータリーエンコーダーという同じ仕組みを利用して、どちらがより正確に距離の測定ができるのか対照実験を行い、精度の比較を行った（図4）。



図4 白と黒に塗り分けたタイヤ

第一章 自作のロータリーエンコーダーを用いた移動距離の測定

〔はじめに〕

- ・ 自作したロータリーエンコーダーの構造

自作したロータリーエンコーダーは赤外線センサーとして反射型フォトリフレクタを使用した。タイヤを白色と黒色に塗り分け、色の違いを赤外線センサーで認識して、タイヤの回転数を求める方法をとった。

（図4・図5を参照）

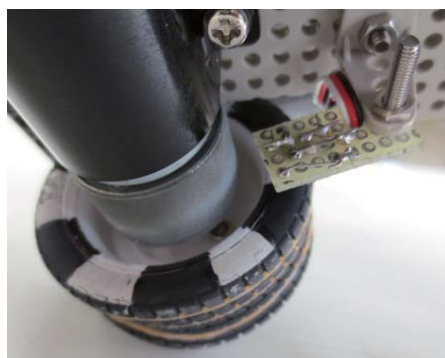


図5 センサーを取り付けた様子

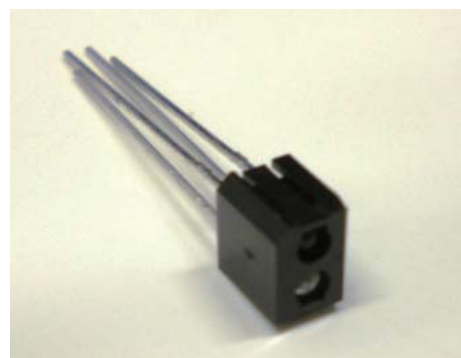


図6 反射型フォトリフレクタ(RPR-220)

〔原理〕

- ・ 赤外線センサーの工夫

赤外線センサーは昨年までの研究で、既製品よりも[RPR-220(ローム)]を使用して自作した「反射型フォトリフレクタ」を用いた方が、制御しやすいセンサー値が得られることが分かっているため、自作した赤外線センサーを用いることにした。（図6・7・8を参照）

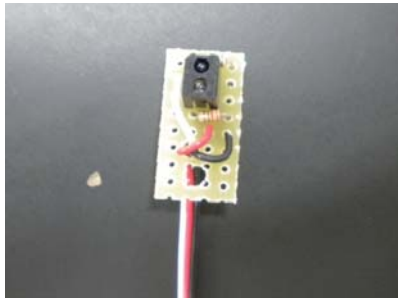


図 7 組み立てたセンサー

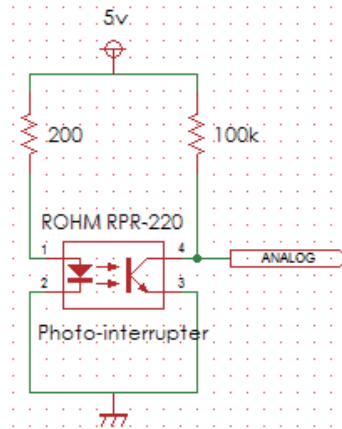


図 8 回路図

・ タイヤの工夫

タイヤを 12 等分に区切り、白色と黒色を交互に塗り分けた。細かく区切れば区切るほど精度が上がると考えたが、赤外線センサーの受光部の大きさの関係で、これより細かく区切ることができなかった。

(図 3 を参照)

・ プログラムの工夫

タイヤの回転数を調べるためには、白色から黒色または、黒色から白色に変わった回数を数えればよい。そこで、mode0 という変数に白色のときは 1 を、黒色のときは 0 を代入しておく。次にもう一度センサーでタイヤの色を測定し、mode1 に同様に 1 か 0 の値を代入する。mode0 と mode1 の値が同じ場合にはカウントしないが、mode0 と mode1 の値が異なる場合はカウントするようにした。この動作を同様に繰り返して行い、タイヤの回転数をカウントした。

プログラムの関数は、タイヤの回転数をカウントしながら指定した回転数(cnt)まで、指定したスピード(m1,m2)で左右のモーターを回転させられるように作った。

このようにして、タイヤの色が変わる数をカウントしてタイヤの回転数を調べた。

(図 9 を参照)

```
Spin_R(int m1,int m2,int cnt)
{
    int mode0=0;
    int mode1=0;
    int mode2;
    int count=0;

    if(AdRead(2) > 110){
        mode0=1;
        LED(1);
    }
    else{
        mode0=0;
        LED(2);
    }
    while(count < cnt){
        if(AdRead(2) > 110){
            mode1=1;
            LED(1);
        }
        else{
            mode1=0;
            LED(2);
        }
        if(mode1 == mode0){
        }
        else{
            count++;
            mode0 = mode1;
            Mtr_Run(m1,m2,0,0);
            Wait(20);
        }
    }
}
```

図 9 タイヤの白黒をカウントするプログラム
(指定したスピードで、指定したカウントまで走る)

[実験 I] 自作したロータリーエンコーダーを用いた精度の検証実験

〈目的〉

タイヤを白色と黒色に塗り分け、その色を反射型フォトリフレクタで読み取って、タイヤの回転数を調べる方法では、精度はどのくらい良いか？

(1m 進んで止まる精度を検証した)

〈方法〉

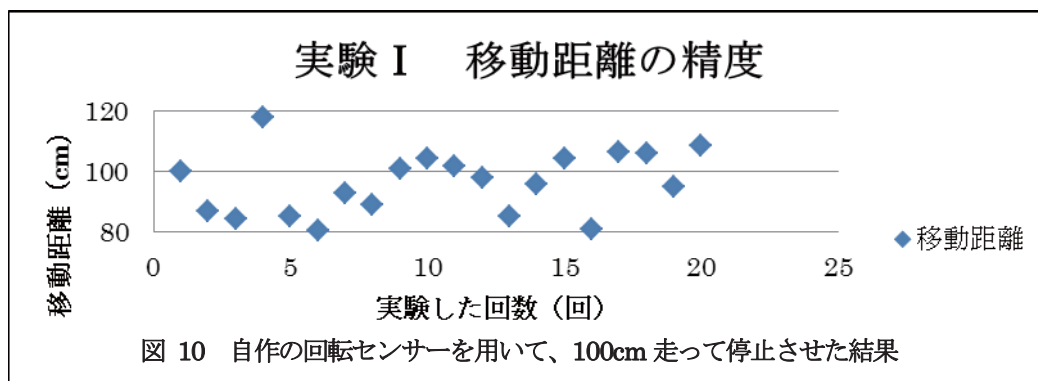
1. 1-2 のプログラムを応用し、1200 カウント分進み止まるプログラムを作った
2. H8 マイコンに書き込み、プログラムを実行させた
3. 何 cm 進んで止まったか、測定し記録した
4. 3. を 20 回繰り返した

5. 測定結果を散布図にまとめた

〈結果〉

(図 10 を参照)

1m で止まるようにプログラムを組んだが、誤差が大きく、最大で±20cm の誤差があった。



〈考察〉

1m 進む間に最大で±20cm 程度の誤差が出て、5cm 程度の誤差が出るが多かったため、正確に測定できないと考えた。誤差が大きくなってしまった理由は、2つ考えられる。

1つは、タイヤの色の区切り方が荒かったため、1カウントで進む距離が長く、同じカウント数でもスタートするブロックの位置によって、移動距離が変わってしまうと考えた。

もう1つは、反射型フォトリフレクタでタイヤの白色と黒色を判断していたが、白色と黒色の中間ぐらいの値が出ることもあり、正しく白色と黒色を判断ができていないことがあったからだ。これは、カウント数を目でも確認するために、タイヤが白色と黒色の場合にそれぞれ異なる色の LED を点灯させてみたところ、一定のスピードで走行させているので、一定の間隔で LED が点滅するはずだが、たまに、点滅が早くなるがあった。これは、タイヤに塗った白色が均一になっていなかったためで、たまに、白色のブロックの間でもセンサーの値が黒色の値に近い時があり、カウントしてしまっただと考えられる。

〈結論〉

反射型では、誤差が大きく、精度は低いことが分かった。色を何度も塗りなおしてみたが、白色と黒色の境目付近など、どうしても誤差が出てしまった。反射型のセンサーで値を読むのでは、この誤差はなくせないため、透過型のセンサーを使用してみようと思った。

第二章 LEGO モーターを用いた移動距離の測定

〔はじめに〕

反射型フォトリフレクタよりも、透過型フォトリフレクタの方が精度は上がるのか？

・ LEGO NXT のモーターの構造

透過型のロータリーエンコーダーを今までのモーターに取り付けようと試みたが、回転軸が短すぎたために、取り付けることができなかった。レスキュー競技に応用できるロボットの研究をしているため、クローラー (キャタピラ) も取り付けやすく、ロータリーエンコーダーも内蔵されている『LEGO NXT』のモーターを使用することにした。

(図 11 を参照)



図 11 LEGO NXT 用モーター

〔原理〕

・ プログラムの工夫 ～割り込みについて～

割り込みとは、マイコンが動作を行う時に、優先順位をつけて、ある動作 A がマイコンの処理を必要としないときは、別の動作 B の処理を行い、ある動作 A が処理を必要としたときに、動作 B の処理をやめて、動作 A の処理を優先して行うというものである。マイコンは、同時に多数の動作処理ができないため、優先順位をつける。

例えば、リビングでテレビを見ながら友達を待っていたとする。友達はいつ来るかわからないとすると、何回も玄関まで出て友達が来ているか確認しなければならない。すると、リビングで落ち着いてテレビを見るができない。

しかし、友達が来たときにチャイムを鳴らす約束をしていれば、チャイムが鳴るまで玄関に出なくてよい。すると、リビングで落ち着いてテレビを見るができる。これが、割り込みの仕組みと利点である。

今回、割り込みを用いた理由は、センサーの値が変化するまでの時間がとても短いため、マイコンが値を読みに来た時には何回かセンサーの値が変わっていても1カウントとして信号が受け取られてしまう。これを防ぐために、割り込みを使ってセンサーの値が変化したときにマイコンを呼び出せばカウントミスはなくせるため、正確な距離を測定できると考えた。(図 12)

```

52
53
54
55 while(1){
56     if( wkcnt[0] < cnt/5){
57         Mtr_Run(30,40,0,0);
58         Wait(20);
59     }
60     else if(wkcnt[0] < 2*cnt/5){
61         Mtr_Run(60,70,0,0);
62         Wait(20);
63     }
64     else if(wkcnt[0] < 3*cnt/5){
65         Mtr_Run(90,100,0,0);
66         Wait(20);
67     }
68     else if(wkcnt[0] < 4*cnt/5){
69         Mtr_Run(60,70,0,0);
70         Wait(20);
71     }
72     else if(wkcnt[0] < 5*cnt/5){
73         Mtr_Run(30,40,0,0);
74         Wait(20);
75     }
76     else{
77         Mtr_Run(0,0,0,0);
78         Wait(10000);
79     }
80     wkcnt[0]=0;
81 }
82
83
84
85

```

図 12 減速してから停止するようにしたプログラム

〔実験Ⅱ〕 LEGO NXT のモーターを用いた精度の検証実験 (1)

〈目的〉 透過型フォトリフレクタを利用しているロータリーエンコーダーでは、〔実験Ⅰ〕と比べてどのくらい精度が上がるのか？

〔実験Ⅰ〕と同様に、1m 進んで止まる精度を検証した)

〈方法〉

- 1-3 と同じくプログラムを応用し、1560 カウント分進み止まるプログラムを作った
2. H8 マイコンに書き込み、プログラムを実行させた
3. 何 cm 進んで止まったか、測定し記録した
4. 3.を 20 回繰り返した
5. 測定結果を散布図にまとめた

〈結果〉

(図 13 を参照)

ほぼ正確に 1m で止まった。

〈考察〉

1m 進む間に、最大で ± 2 cm の誤差が出て、ほとんどの場合 1m ちょうどで止まったため、正確に測定することができると考えた。自作したロ

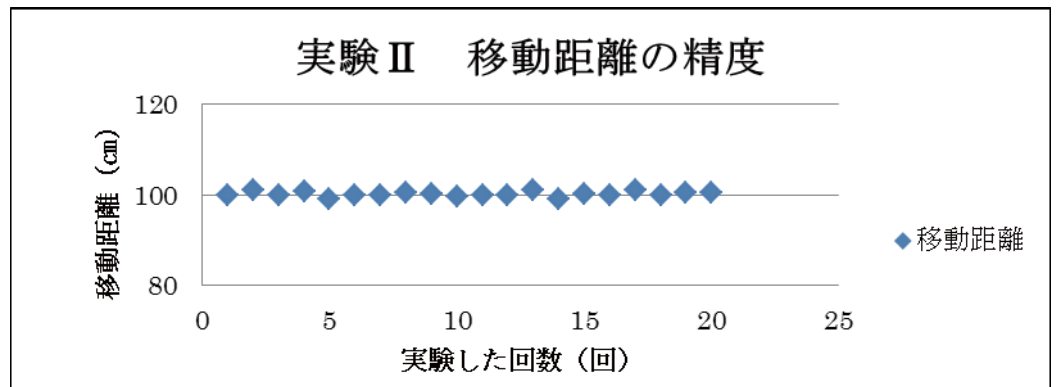


図 13 ロータリーエンコーダーで回転数を調べ、100cm 走って停止させた結果

ータリーエンコーダーと比較して、誤差が極めて少なかった理由は、2つ考えられる。

1つは、タイヤが1回転するときにカウントする回数が以前は10回強だったものが、今回は100回弱だったために、1カウントの移動する距離が少なく、精度が格段に上がったと考えられる。

もう1つは、このロータリーエンコーダーは透過型であるからだと考えた。反射型の場合は照射した赤外線が反射する際に周りの黒色に吸収されてしまい、ブロックの色が白色でも黒色と同じくらいの値しか返ってこなかったが、透過型の場合は、照射した赤外線が溝の空いている丸い羽根にあたり、溝の部分がセンサーの前を横切ると、光は羽の反対側にある受光部で感知される。次の瞬間、羽の溝は無くなるため、光が遮られる。この繰り返しでカウントされ、この構造自体も NXT モーターの中に搭載されているため、周りの環境に左右されることなく正確に測定することができると思ったからだ。

〈結論〉

透過型では誤差も少なく、精度が高いことが分かったが、停止するときとすぐとまるときと惰性で動くときがあり、多少の誤差があった。

〔実験Ⅲ〕 LEGO NXT のモーターを用いた精度の検証実験 (2)

〔はじめに〕

前回の実験では、ロボットが停止するとき、惰性でたくさん動くときと、あまり動かないときの差があった。停止する前にゆっくり減速してから停止すれば更に精度があがるのではないかと考えた。

〈目的〉

急に停止せずに、減速しながら停止するようにプログラムを改善すると、どのくらい精度が上がるか？

(〔実験Ⅱ〕と同様に、1m 進んで止まる精度を検証した)

〈方法〉

〔実験Ⅱ〕と同様に測定をおこなうが、プログラムを応用して、1700 カウントに近づくほど減速しながら走り、ゆっくりと停止するプログラムにした。減速方法は3段階とし、指定カウント3/5が経過したところで、最高速度の2/3に減速。次は指定カウントの4/5が経過したところで、最高速度の1/3に減速。指定カウントで停止とした。

〈結果〉

(図14を参照)

〔実験Ⅱ〕よりも正確に1mで止まった。

〈考察〉

モーターの速度を徐々に変化させたことで誤差が減少したのは、モーターを止める信号が出てから、モーターが実際に停止するまでの時間が維持かなくなったからだと考えた。今までは、速い速度のときに

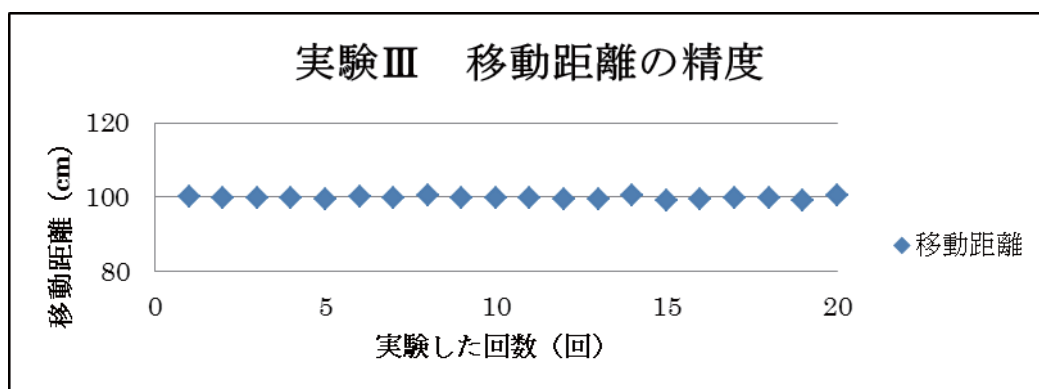


図14 急に停止せず、減速してから停止するようにプログラムを改良した結果

までは、速い速度のときにモーターを止める信号が

出ていたため、信号が実行されてから実際にモーターが止まるまでには、残った回転する力があるために時間がかかった。しかし、徐々に速度を変化させることで、モーターを止める信号が出た時には今までの1/3の速度しか出ていないために、素早く止まることができたと考えた。

〈結論〉 徐々にモーターの速度を変化させることによって、移動距離を測定する精度は上がる。

[実験Ⅳ] LEGO NXT のモーターを用いた精度の検証実験 (3)

[はじめに]

これまででは床に何も無い状態で実験したが、被災地ではいろいろなものが床に落ちている。このような状態ではタイヤがスリップしてしまい、

「タイヤの回転数」 = 「ロボットの移動距離」

とはならないと思われる。床に爪楊枝がばらまかれている場合、どの程度の誤差が出るのかを調べることにした。

〈目的〉 床に爪楊枝があり、タイヤがスリップしてしまう場合、どのくらい精度に誤差が出るのか？

([実験Ⅲ] と同様に、1m 進んで止まる精度を検証した)

〈方法〉

図 15 のように床に爪楊枝をばらまいて、[実験Ⅲ] と同様の実験を行い、1m で停止するか調べた。

〈結果〉

(図 16 を参照)

[実験Ⅲ] よりも誤差が大きくなった。



図 15 床に爪楊枝がばらまかれている時の実験の様子

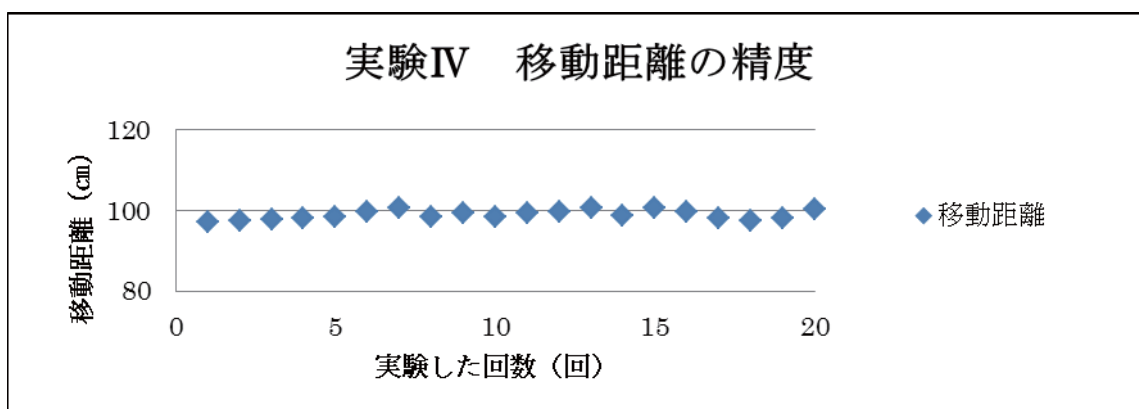


図 16 床に爪楊枝が撒かれている時に、100cm 走って停止した結果

〈考察〉

床に爪楊枝をばらまく前は、ほぼ正確に移動距離を測定できていたが、爪楊枝をばらまいて実験を行うと、1m よりも手前で止まってしまった。誤差は、 -3cm ~ -1cm 程度だった。このことから、爪楊枝の上を走行するとタイヤがスリップしてしまい、正確に移動距離を測定できないと考えた。この誤差はタイヤの回転数で移動距離を測定していると、減らすことはできない。したがって、光学マウスを用いて床との移動距離を測定すれば、この誤差は減らせるのではないかと。

〈結論〉

床に爪楊枝などの障害物があると、移動距離の精度が下がることが分かった。

→床との移動を測定できれば、爪楊枝があっても正確に移動距離を測定できるのではないかな？

第三章 光学マウスを用いた移動距離の測定

〔はじめに〕

- 光学マウスの構造

光学マウスは、床の映像が前回の映像よりずれた場合に、どちら向きにずれたのかという信号を送る。マウスを分解し（図 17 を参照）、オシロスコープで信号を調べたところ（図 18 を参照）、前後方向に動いたときの信号が出るのが IC の 2 番ピン、3 番ピン。左右方向に動かしたときに信号が出るのが、IC の 4 番ピン 5 番ピンと分かった。

また、マウスはパソコンに USB でつないだ状態で 5V の電圧がきていたので、マウス用の電源として 5V を正確に取れるように、3 端子レギュレーターを使用した。

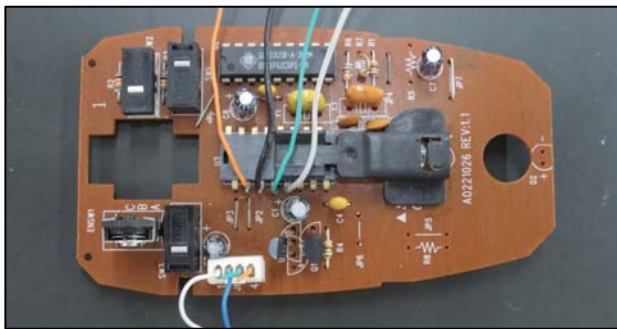


図 17 光学マウスを分解して、信号を取り出す配線をした様子

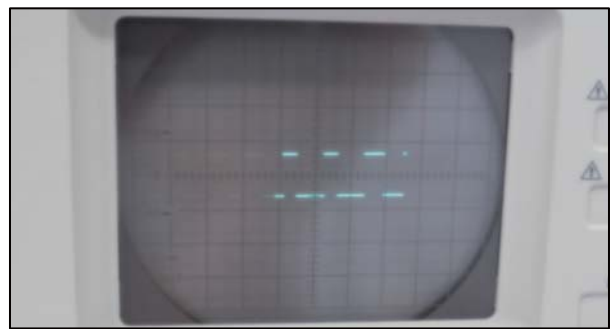


図 18 マウスを x 方向に動かした時に出ていた信号

〔原理〕

- プログラムの工夫

マウスからの信号は、前後方向の場合 IC の 2 番ピンと 3 番ピンのタイミングの違いから前に動いているか後ろに動いているかが分かるようだが、前に動いているか後ろに動いているかは、タイヤの回転方向で分かるはずなので、プログラムを簡単にするためにも、2 番ピンだけで前後方向の移動をカウントすることにした。同様に左右方向も 4 番ピンで移動した回数のみをカウントすることにした。

このことにより、前回のロータリーエンコーダーを割り込み処理でカウントしたものと同一プログラムで、マウスの移動をカウントできるようになった。（図 12、図 21、図 22 を参照）

〔実験Ⅴ〕 光学マウスを用いた精度の検証実験

〈目的〉

光学マウスを使い床との移動を調べる方法なら、タイヤのスリップの影響を受けないのではないか？（図 19 を参照）
（1m 進んで止まる精度を検証した）

〈方法〉

1. 〔実験Ⅱ〕と同様にプログラムを応用して、H8 マイコンに書き込み、実行させた
2. 何 cm 進んで止まったか、測定し記録した
3. 2.を 20 回繰り返した
4. 測定結果を散布図にまとめた

図 19 マウスを取り付けて、100cm 走ったら
停止させる実験の様子



〈結果〉 (図 20 を参照)

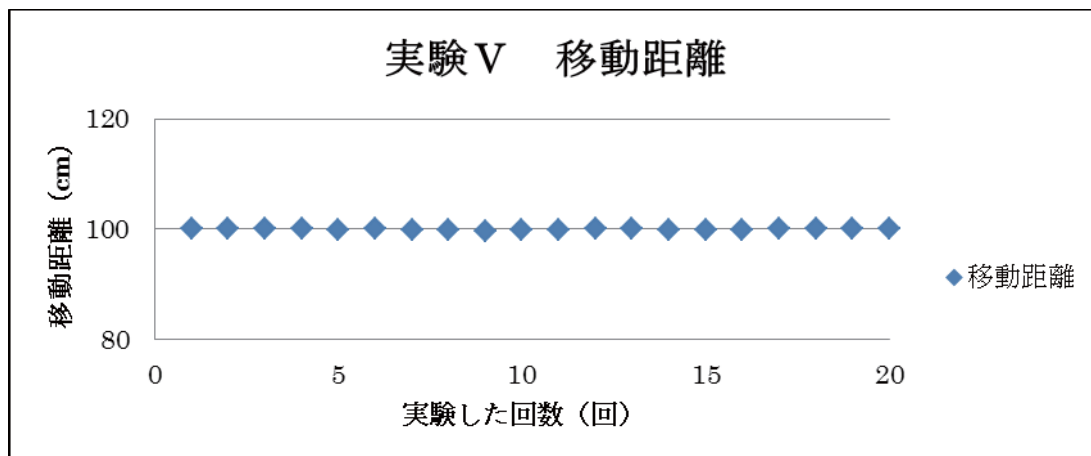


図 20 マウスを使って、100cm 走って停止させたときの結果

〈考察〉

ほぼ一定の距離で止まり、誤差は、±0.5cm 程度だった。このことから、光学マウスは透過型ロータリーエンコーダーよりも正確に移動距離を測定できると考えられる。

ところが、爪楊枝の影響を受けないかどうかの実験を行おうと思い、光学マウスを取り付ける高さを上げたところ、反応しなくなった。どの程度まで高さを上げられるか試したところ、光学マウスは取り付ける高さが、床から 1~2mm くらいの高さでないと反応しなかった。つまり、爪楊枝が床と光学マウスの間に入るスペースも確保できなかった。したがって、タイヤのスリップの影響を確かめることができなかった。

しかし、このことを逆手にとって、走行中に床しか見ていないのであればより正確に移動距離を測定できると考えたが、コース上には高さ 1cm の固定された鉛筆のような障害物が置かれているため、光学マウスが引っかかって動けなくなってしまうことが分かった。またコースには傾斜路があり、傾斜路の登り始めて動けなくなってしまうことも分かった。

このことから、実用的には透過型のロータリーエンコーダーが最も正確に移動距離を測定できると考えた。

```

46 interrupt(vect=14) void INT_IRQ0(void) { /* sleep(); */
47 // vector 15 IRQ1
48 interrupt(vect=15) void INT_IRQ1(void) { /* sleep(); */
49 // vector 16 IRQ2
50 interrupt(vect=16) void INT_IRQ2(void) { /* sleep(); */
51 // vector 17 IRQ3
52 interrupt(vect=17) void INT_IRQ3(void) { /* sleep(); */
53 // vector 18 WKP
54 interrupt(vect=18) void INT_WKP(void) {
55     extern void intWKP();
56     intWKP();
57     /* sleep(); */
58 // vector 19 Reserved
59
60 // vector 20 Reserved
61
62 // vector 21 Reserved
63
64 // vector 22 Timer V
65 interrupt(vect=22) void INT_TimerV(void) { /* sleep(); */
66 // vector 23 SCI3
67 interrupt(vect=23) void INT_SCI3(void) {

```

図 21 割り込みのプログラム 1

```

1118
1119 /*      2011/10/08 水野追加 */
1120 BYTE intKind;
1121 int wkcnt[3];
1122 void intWKP()
1123 {
1124     intKind = IWPR.BYTE & 0x3f; // 上の2bitはゴミ
1125     IWPR.BYTE = 0x00;
1126
1127     // if(intKind & 1)
1128     // {
1129     //     if(I0.PDR8.BIT.B7) ++wkcnt[0];
1130     //     else --wkcnt[0];
1131     // }
1132
1133     if(intKind & 1) //50番ポートの割り込み回数をカウント
1134     { ++wkcnt[0];
1135     }
1136     if(intKind & 2) //51番ポートの割り込み回数をカウント
1137     { ++wkcnt[1];
1138     }
1139 }

```

図 22 割り込みのプログラム 2

〈結論〉

とても正確に移動距離を測定することができた。しかし、ロボットに取り付ける高さが低すぎるため、実用的ではない。

第四章 まとめ

〈結論〉

最も正確に移動距離を測定できるのは、光学マウスである。しかしながら、光学マウスは床との距離が近くないと反応がないため、でこぼこした被災地では使用できないため、レスキュー活動には不向きであると分かった。ロータリーエンコーダーでタイヤの回転数を調べて、移動距離を判断する方法は、タイヤがスリップした場合などずれが生じるが、大きな誤差ではないので十分にレスキュー活動に利用していけることが分かった。

〈今後の課題〉

昨年までの迷路コースを走行しながら、発熱物体を探すプログラムに、今後は、今年研究した移動距離のプログラムを組み合わせ、30cm進むごとに1ブロック進んだことをロボットに認識させて、ロボットが、現在迷路のどの場所にいるのかを理解しながら走行させたい。これにより、コースをすべてくまなく走ることが可能になり、被災地全体を被災者がいないかどうかを確認しながら走れるようになる。

〈感想〉

今までは制御をC言語のみで行ってきたが、今年はC++言語を用いて研究を進めることがあった。類似している部分と全く異なる部分があり制御が難しかったが、C++言語を少し学習した事によって、C言語についても学習が深められたと思う。今後も制御について学び、被災地でも活躍できるようなレスキューロボットの技術を研究していきたい。

謝辞・参考文献

〈謝辞〉

この研究は、玉川大学工学部の水野教授の助言によって、困難だった部分を克服して進めることができた。特に、光学マウスを用いた研究は、配線の仕方など複雑で内部構造が分からないような部分を分かりやすく解説していただき、研究が飛躍的に進んだ。

また、この研究はロボカップジュニア大会のレスキュー競技に参加するなかでいろいろな研究のヒントを得ることができた。この大会の関係者の方々にも感謝したい。

〈参考文献〉

- ・ ヴィストン株式会社. (2009). H8 マイコンによる組み込みプログラム入門. オーム社.
- ・ トランジスタ技術 SPECIAL 編集部. (2006). センサ活用ハンドブック. CQ 出版.
- ・ 玉川大学工学部 水野教授. (2010). <http://robot.tamagawa.ac.jp:8080/rescue/index.html>.
- ・ 松原 拓也. (2005). PIC-BASIC 活用ブック. 電波新聞社.
- ・ 城井田 勝仁. (2011). C 言語によるマイコン制御の考え方. オーム社.

ニワトリ胚の発生における卵の置き方と 転卵の有無の影響

The Correlation Between Chicken Egg-turning And Position And Development Of Chicken Eggs

野田 理江子 吉兼 彩乃 天野 翠 鹿島 実奈海 宮木 貴子

Abstract

Egg turning is a natural habit for birds to rotate their eggs. We began to research whether chicken eggs need to be turned during development or not, and what will happen to them if they are not turned.

We prepared many chicken eggs and divided them into four groups. We continued to warm the eggs. We rotated the eggs in the lying with egg-turning group. We cracked the eggs of each group every day during certain periods, and measured the embryos within each egg. We plotted the data on a graph, and by using the t-test we assessed a significant difference.

We can conclude that egg-turning decreases the death-rate and promotes normal development, but it is not always necessary when the chicken is developing.

要約

一般的に、ニワトリを含む多くの鳥類は、転卵をする習性がある。転卵とは、親鳥がくちばしや脚を使って卵を転がすことである。私たちはその習性に興味を持ったので、ニワトリ胚の発生に転卵は本当に必要か、もし転卵をしなければ胚にどのような影響が出るのかを調べることにした。ニワトリの卵を用意し、4実験区に分ける。卵を人工気象器で温め、転卵をする実験区の卵は、1日3回、転卵を行う。そして各実験区の卵を割り、胚を測定項目ごとに測定し、その結果をグラフ化する。また、t検定も行い、有意差があるかを確認する。結果、転卵は死亡率が下げ、かつ正常な発生を促進するが、トリの発生に必ずしも必要な要素ではないと考えた。

A : 研究目的

(1) はじめに

私たち一宮高校生物部は、卵の置き方や転卵の有無が、ニワトリの胚にどのような影響を及ぼすのかを調べる実験を行った。

転卵とは、親鳥がくちばしや脚を使って卵を転がすことである。これはニワトリを含む多くの鳥類にみられる習性のひとつである。一般的に、転卵を行わないと、卵黄表面にある胚が卵殻膜にくっついてしまい、卵の中の胚が死ぬと考えられている。そのため、人工的に孵化させる時は、人の手や機械によって転卵が行われている。

(2) 動機・目的

人工的に卵を孵すときには、上記のように転卵が必要とされており、これが大きな手間となっている。

私たち一宮高校の例をいうと、毎年、授業で2日胚、5日胚、8日胚のニワトリ胚の観察を行う。そのときに、1回の観察実験で約300個もの卵を毎日転卵しなければならないことが、負担となっている。

また、ある孵化場では、大型の孵卵器にたまごをセットし、コンピュータによる自動制御によって70分に一回

転卵を行っている。

このように、トリの孵化には転卵が必要であると考えられているが、このことが本当なのかどうか私たちは疑問に思い、転卵が胚の発生にどのような影響を及ぼすかを調べることにした。

そして、もし転卵をしなければ胚の発生が正常に進まず、成長に差が出るのではないかと仮説を立てた。

B : 研究方法

(1) 実験手順

① 卵を用意する。

卵をそれぞれ横向きに置き転卵をする卵、鈍端を上にしておく卵、鋭端を上にしておく卵、横向きのまま置いておく卵の4実験区に分けた。

② 実験区ごとに卵を管理する。

卵の管理は人工気象器で行った。人工気象器内を常時38.5℃に保ち、

卵の入っているケースを常時湿らせるために、ケースに濡れた新しい布を敷き、砂利を敷き詰めて、その上に卵を置いた。転卵は一日3回、朝・昼・夕方に行い、一回の転卵で卵を一回転半、転がした。

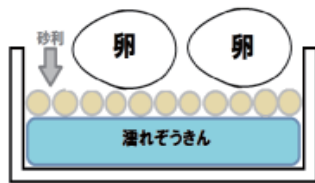


図1 卵の入っているケースの模式図



写真1 実験に使用した人工気象器

③ 胚の測定 (1)

1日にそれぞれの実験区の卵を3~5個ずつ割って、中の胚を6項目にわたり測定した。なお、無精卵、もしくは成長の過程で既に死亡していた胚については正常な平均値の算出の妨げとなるため使用しない。

④ 胚の測定 (2)

成長の過程で既に死亡していた胚については、おおよそ何日目で死亡しているかを議論して記録した。

⑤ 胚の測定 (3)

転卵をしないと中の胚が、卵殻膜にくっつき死亡すると言われていたので、死亡していた胚が卵殻膜にくっついてたかどうかについても記録した。

⑥ グラフ化する。

測定した項目の標準偏差を日ごとに算出し、グラフにした。また、有意差があるかどうかを調べるために、その日の違う条件の卵同士でt検定を行った。

※④・⑤については今年のみ実施

(2) 実験に使用した卵の数

| 一昨年 | 昨年 | 今年 |
|-------|-------|-------|
| 200 個 | 150 個 | 300 個 |

(3) 実験対象

| 一昨年 | 昨年 | 今年 |
|------------|------------|-------------|
| 2 日胚~10 日胚 | 9 日胚~15 日胚 | 12 日胚~19 日胚 |

※実験対象が年度ごとに重複している箇所があるのは、前の年の結果を再確認するため。

(4) 測定項目

| 一昨年 | 昨年 | 今年 |
|---------------|-------------|-------------|
| ○全長 ○体重 | ○全長 ○体重 | ○全長 ○体重 |
| ○手の長さ ○足の長さ | ○手の長さ ○足の長さ | ○手の長さ ○足の長さ |
| ○発生が進む際の胚膜の直径 | ○胴の長さ ○頭の長さ | ○胴の長さ ○頭の長さ |

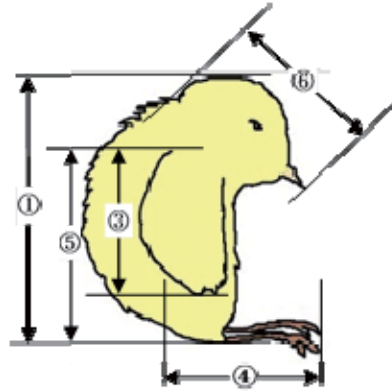


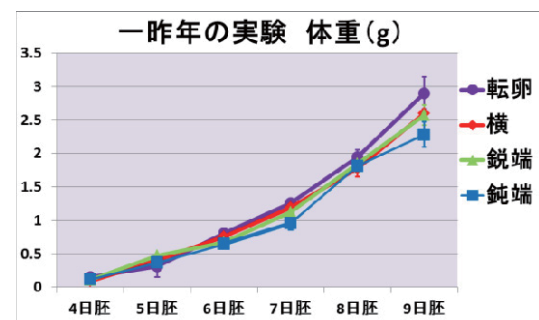
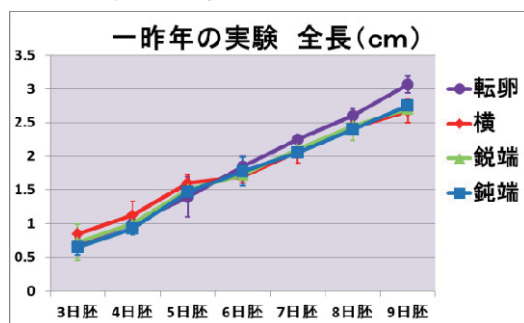
図2. 測定位置の模式図

- ※①全長…自然な状態での胚の長さ。無理に伸ばさない。
- ②体重…表面の水分をろ紙で取り除いた胚の重さ。
- ③手の長さ…付け根から先端まで。伸ばして測定。
- ④足の長さ…付け根から先端まで。伸ばして測定。
- ⑤胴の長さ…前肢の付け根から後肢の付け根まで。
- ⑥頭の長さ…頭の一番高いところから口ばしの先端まで。

なお、より正確に測定するために、できるだけ同じ人が同じ項目を担当し、測定の際の個人差が小さくなるようにした。

C : 得られた結果

(1) 一昨年の結果



※10日胚はサンプル不十分によりグラフ化せず。

転卵をした卵の方が、転卵をしていない卵より、血管が多く、血管の色が濃く、胚が大きかった。グラフからも転卵を行った実験区が最も順調に成長していることがわかる。また死亡率は、転卵を行った実験区が最も低かった。しかし、転卵の有無、卵の置き方による、測定した項目間の顕著な差は見られない。差が出ると考えていた私たちはこれを実験の失敗と考え、もう一度同じように4日目から8日目の胚について調べたが、結果は前回と同じで差はなかった。

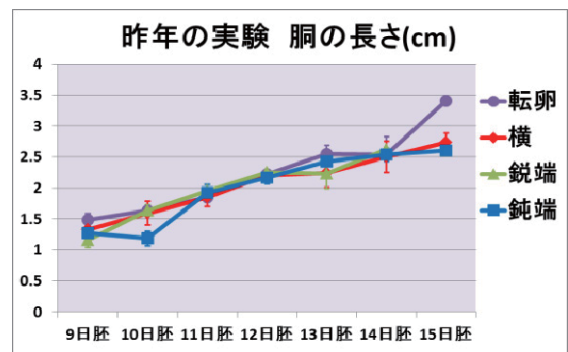
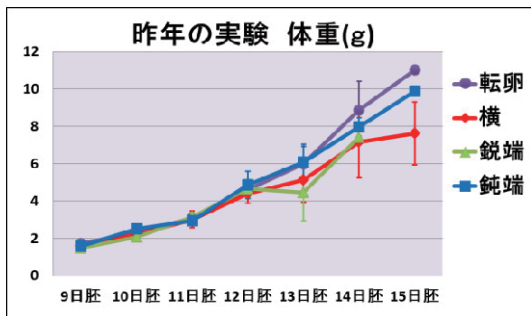
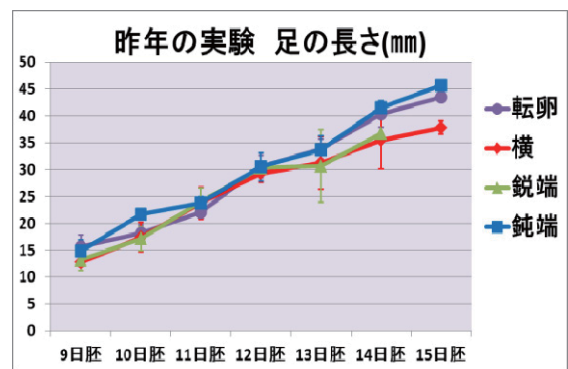
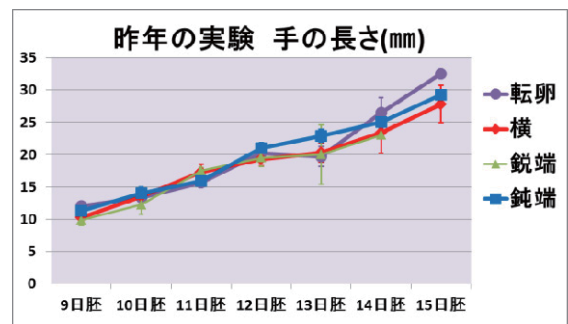
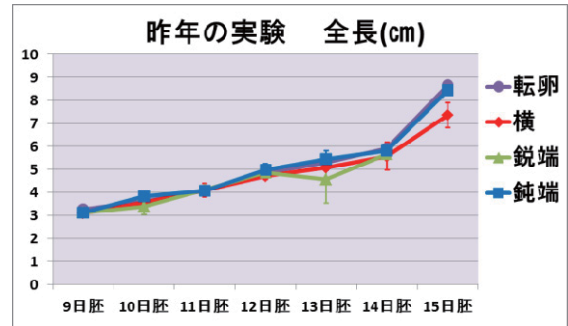
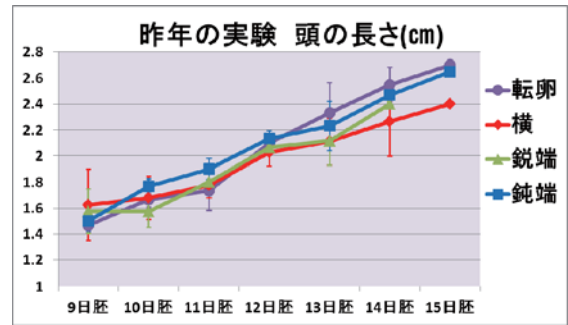


《5日胚》

↑ 転卵をした実験区
 転卵を行った実験区の方が血管が太く、量も多い。
 ↓ 横向きに置いた実験区



(2) 昨年の結果



※昨年の実験では無精卵の数が多く、また死亡率が全体的に高かったため、サンプルが十分に取れなくなりました。そのため、鋭端を上向きに置く実験区では14日胚はサンプル2個の平均、15日胚はデータなし、鈍端を上向きに置く実験区では15日胚はサンプル2個の平均、転卵をする実験区では15日胚はサンプル1個の数値となっている。信頼できる数値ではないが、参考として記載した。

グラフを見て分かるように、一昨年に引き続き10日胚までは転卵や卵の置き方による影響はないと判断した。さらに、11日胚、12日胚も影響がないと考えられる。

しかし、13日胚からは今まで見られなかった影響が出てきた。特に体重と足の長さのグラフに注目してみると、有意な差こそないが、それまでほぼ同じであったそれぞれの卵の測定項目の平均の値が大きくなっており、成長に差が現れた。

| | 死亡率 | 奇形 (個体) | 成長の遅れた 胚 (個体) |
|----|-----|------------|------------------|
| 転卵 | 39% | 0 | 0 |
| 横 | 9% | 1 | 2 |
| 鋭端 | 42% | 1 | 1 |
| 鈍端 | 22% | 3 | 1 |

その理由として、このころから、順調に成長している胚に混じて、何らかの原因により奇形や成長の著しく遅れている胚が出てきたことが挙げられる。成長の著しく遅れた胚は横向きが2個体、鈍端上と鋭端上がそれぞれ1個体の計4個体となった。

それらの胚は、13日胚、14日胚にもかかわらず、大きさは下の胚のような小さなものだった。

奇形は鈍端上が3個体、鋭端上と横向きが1個体ずつ計5個体となり、目がないもの、内臓がむき出しになっているもの、頭部の骨がなく脳がむき出しとなっているものが確認された。



奇形① 鈍端が上の14日胚 (固定後)



写真5. 奇形②
鈍端が上の15日胚 (固定後)

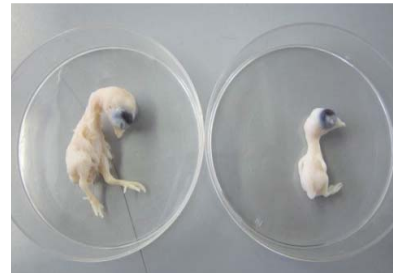
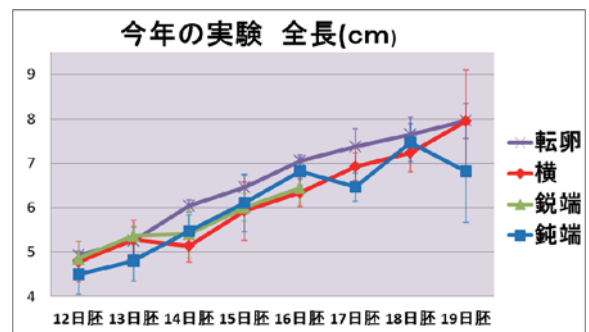
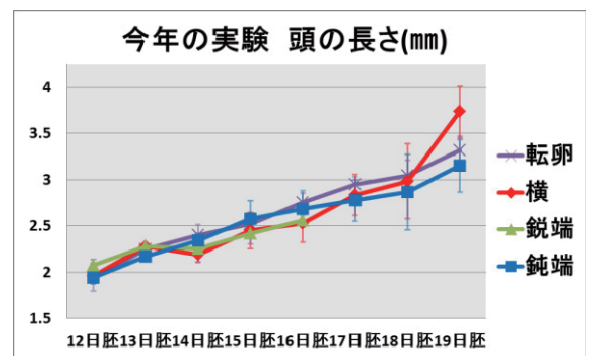
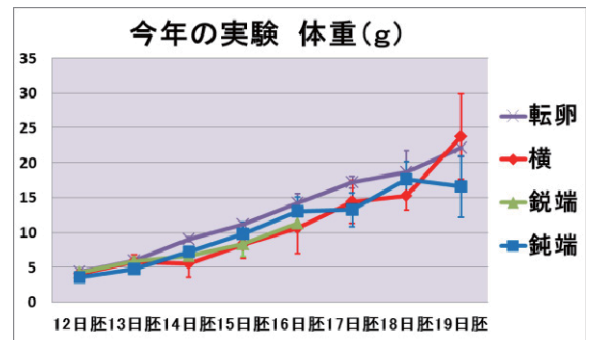
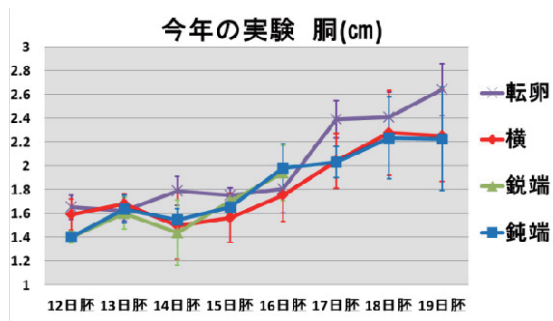
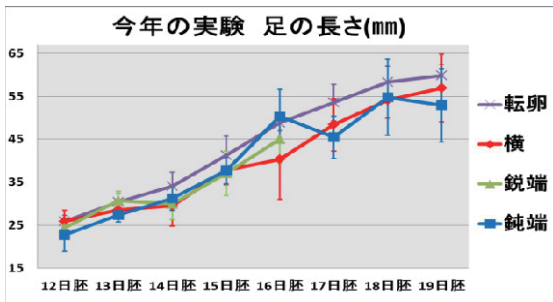
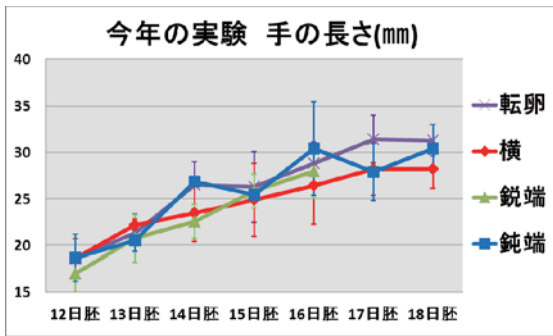


写真6. 転卵をした13日胚(左)
鋭端が上の13日胚 (右)
(固定後)

(3) 今年の結果





※19日胚の手の長さ (mm) は、測定できなかつたため、グラフ化せず。

グラフを見て分かるように、転卵を行った胚と行つた胚に差は見られるものの、有意差はない。また、転卵を行わなかつた実験区の死亡率が他の実験区と比べて明らかに低かつた。そして、一昨年、昨年に引き続き、転卵を行った実験区が最も順調に成長しているが、体重 (g)、頭 (mm) のグラフでは横に置いた実験区が最終日に逆転している。これは、横置きの実験区の一つだけ他の胚と比べてかなり大きく成長した胚が見られたことによるものと思われる。その胚 (以下識別番号より No.11 とする) は表を見て分かるように、明らかに他の胚よりも大きい。割卵時に声を上げて鳴いていたことから、成長のスピードが速かつたのだと推測される。

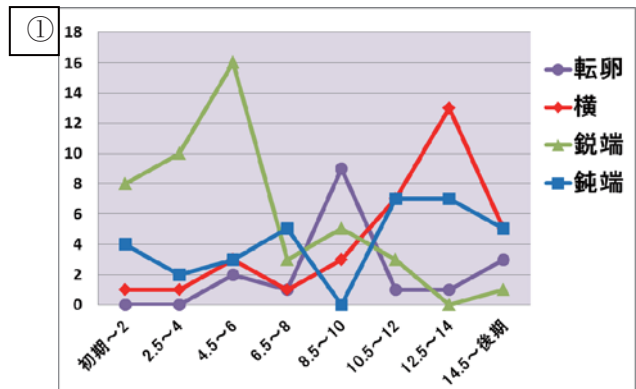
| | 体重 (g) | 頭の長さ (mm) | 全長 (cm) | 胴 (cm) | 足 (mm) |
|--------|--------|-----------|---------|--------|--------|
| No. 11 | 31.62 | 4.04 | 9.13 | 2.75 | 67.5 |
| 平均 | 22.12 | 3.31 | 7.95 | 2.64 | 59.8 |

また、今年転卵をしないと胚が卵殻膜に付着して死亡するという定説を確認するため、成長の過程で既に死亡していた胚のうち膜に付着していたものを記録した。

| | 死亡率 (%) | 胚が膜に付着 (%) |
|----|---------|------------|
| 転卵 | 28% | 0 |
| 横 | 50% | 30 |
| 鋭端 | 52% | 63 |
| 鈍端 | 73% | 43 |

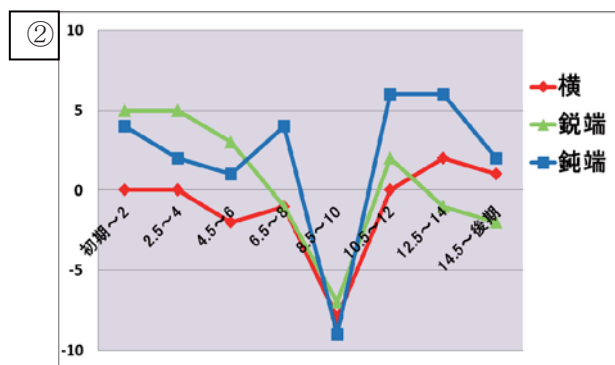
結果、転卵を行わなかつた実験区は 30%~60%の胚が膜に付着していたが、転卵を行った実験区には胚の付着は見られなかつた。

さらに死亡していた胚がおおよそ何日胚で死亡していたのかについても記録した。奇形については判断が難しいため数値には加えなかつた。結果、①のグラフのようになった。



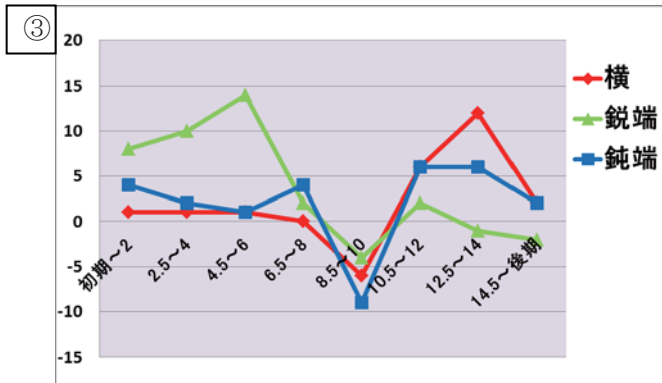
下のグラフは、単純に成長の過程で既に死亡していた胚の個数の移り変わりをグラフ化したものである。

しかし、このグラフには転卵以外の外的要因で死亡したものが含まれるため、それらの胚を除く必要がある。転卵を行った胚は正常に成長するので、その転卵を行った実験区を基準にしてグラフを再構成したものが②のグラフである。



グラフ②を見て分かるように、発生前期に死亡率が高い状態が続き、発生中期に一旦死亡率が下がるが、後期に再び死亡率が増加している。

また、今回の実験では鋭端上の実験区と横置きの実験区の各1ケースすべての卵が死亡していたということがあった。そのケースの卵にはカビが発生しており、どの胚もほぼ同時期に死亡していた。そのため、そのケースの卵が死亡した原因は卵の置き方や転卵の有無の違いによるものではなく、カビが原因ではないかと私たちは考えた。そこで、グラフ②からカビが発生していた卵を除いて再構成したものがグラフ③である。



しかし、発生前期に死亡率が高い状態が続き、発生中期に一旦死亡率が下がるが、後期に再び死亡率が増加するという結果は変わらなかった。

D : 考察

転卵をしない実験区の死亡率は、転卵をする実験区に比べ高く、生存していた胚においても全体的に小さくなる傾向があった。

転卵をしない実験区の胚は、奇形や成長の遅れた個体、卵殻膜に付着した状態で死亡している個体も多かったが、転卵をした実験区の胚にはこのような個体は見られなかった。

このことから、転卵をしないことで必ずしも死亡するわけではないが、大きく正常な胚を発生させるには転卵をすることが効果的であると考えられる。

また、転卵が必要となる期間は、発生前期と後期であることが分かった。その理由として前期は胚の大きさや細胞の数も少ないので発生が不安定であるため、後期は胚の成長によって重力の影響がより大きくなるので、卵殻膜に胚がよりくっつきやすくなるためだと考えた。

E : 結論

転卵は必ずしも必要というわけではないが、転卵をすることによって大きく正常な胚の発生を促進し、奇形となる確率を下げることができる。自然界において転卵は、胚の死亡率・奇形率を下げることで確実に子孫を残すことにつながっているのだと考えられる。また、転卵をした実験区としなかった実験区に顕著な差がなかったにも関わらず、野生の鳥類が転卵をするということは、転卵には卵殻膜に胚がくっつかないようにするという働きだけでなく、卵を均一に温めたり、湿度を一定に保つという役割もあるからだと考えられる。また、転卵が必要となるのは、胚が成長し、重力の影響が大きくなる後期であると結論付ける。

F : 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科 生命理学専攻 形態発生学 助教 鈴木 孝幸先生

G : 参考文献

たまご関連の施設見学

<http://homepage3.nifty.com/takakis2/kengaku.htm>

イセファーム那須孵化場

<http://homepage3.nifty.com/takakis2/isefarm01.htm>

増補四訂版 サイエンスビュー 生物総合資料 (実教出版株式会社)

進化するニトロセルロース Developing nitrocellulose

及部 奈緒子 大江 美緒 野村 将矢

Abstract

Nitrocellulose is a kind of nitric ester. In our past research, we found it expresses flame reaction. However, it takes time to dry it because we have nitrocellulose soaked in water solution to attach metallic ion to it. We try to find a way to shorten that time. As a result of our experiments, we conclude that the best way is using organic solvent as metallic ion's solvent.

要約

ニトロセルロースとは、セルロース内のヒドロキシ基 (-OH) をニトロエステル化 (-ONO₂ に変化) したものである (図 1 参照)。着火すると激しく一瞬で燃焼することが特徴で (図 2 参照)、本校化学部では、ニトロセルロースを用いて炎色反応を示すことができた²⁾ (図 3 参照)。この興味深い炎色反応付きニトロセルロースを、本校が毎年おこなっている中学生科学実験講座で、実際に作ってもらおうとした。しかし、金属イオンを付着させるためにニトロセルロースを金属イオン水溶液に浸すので、乾燥時間が長くなった。そのため、金属イオンを付着させた後の乾燥時間の短縮を目指して、溶媒の検討や付着させる方法の改良をおこなう、その結果、短時間で炎色反応付きニトロセルロースが作成できた。

1. 研究目的

この実験は、平成 10 年度の新城東高等学校化学部の研究¹⁾と過去の本校化学部の研究²⁾を発展させたものである。新城東高校化学部は濃硝酸と濃硫酸の比率と、混酸に浸しておく時間について研究し、さらに、ニトロエステル化の度を質量増加で判断していた。その結果、濃硝酸と濃硫酸の比率が 1:2 であるときに、最もニトロエステル化され、混酸に浸しておく時間は 15 分で充分であることがわかった¹⁾。本校化学部がニトロセルロースを作る際には、この論文を参考にしている。

本校化学部の研究は、脱脂綿以外のセルロースを含む物質で、ニトロセルロースができないかについて実験し、実際にティッシュペーパーやろ紙でもニトロセルロースができた^{2) 3)}。さらに、ニトロセルロースを用いて炎色反応を示すことが可能であるかの研究をした。その結果、銅、ストロンチウム、バリウムの塩化物を付着させたニトロセルロースでは炎色反応が観察された^{2) 3)}。しかし、炎色反応のために金属イオン水溶液につけると乾燥時間が長くなってしまふ。

そこで、今年度の研究では炎色反応をつけるための濃度の検証と、金属イオンを付着させたニトロセルロースをいかに速く乾燥させることができるか、この 2 点に絞って研究した。そして本校主催の中学生科学実験講座で、炎色反応付きニトロセルロースを簡単にそして綺麗に作りあげることを目指した。

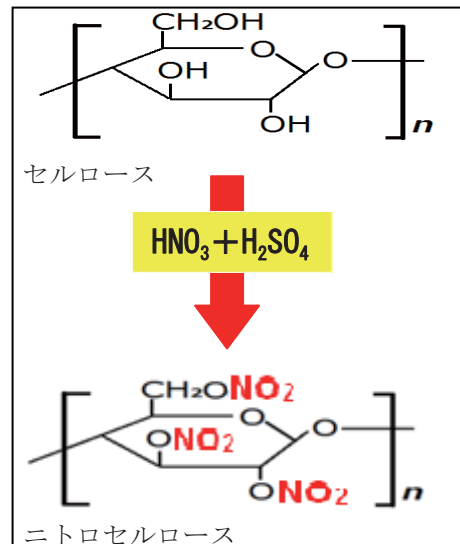


図 1 ニトロエステル化について

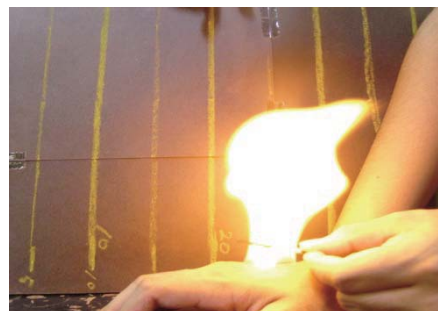


図 2 ニトロセルロースの燃え方

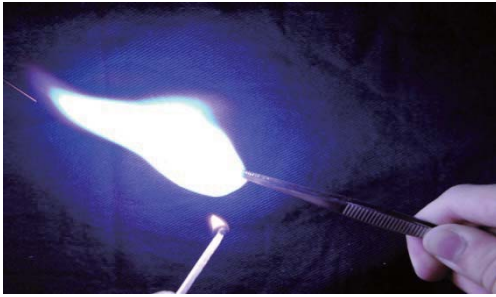


図3 炎色反応付きニトロセルロースの燃焼の様子
(上が銅、下がストロンチウム)

2. 実験方法

一般的なニトロセルロースの作り方

- ① 濃硝酸と濃硫酸をよく混ぜ、混酸をつくる
- ② ①の混酸にセルロースを入れ、しばらくおもしろ
- ③ できたニトロセルロースを取り出して、水で混酸を十分に洗い流し、水分をろ紙で吸い取ってから1日乾燥させる

今回おこなった実験は断りのない限りすべて、セルロースの試料を0.30gとした。セルロースには脱脂綿を用いた。新城東高校の論文¹⁾から、混酸に浸す時間を15分とし、混酸の比率は濃硝酸：濃硫酸＝5mL：10mLでおこなった。

炎色反応を示すニトロセルロースの製作はニトロセルロース0.30g、金属イオン水溶液3mLを使用した。

実験のデータは何度かおこなったものの平均値をとったもので、それぞれの実験ではほとんどばらつきはなかった。

燃え方や炎色反応の色はすべて目視で判断し、表1の基準で◎、○、△、×で表した。

表1 判定表

| |
|-----------------|
| 燃え方 |
| ◎：一瞬で燃焼（硝化綿程度） |
| ○：燃焼速度の上昇が確認できる |
| △：燃焼する（脱脂綿程度） |
| ×：燃えにくい（燃え残る） |
| 炎色反応 |
| ◎：炎色反応が綺麗に見える |
| ○：炎色反応が目で見えてわかる |
| △：わずかに炎色反応がわかる |
| ×：炎色反応が観察されない |

3. 実験結果

実験1 金属イオン溶液に浸す時間を変える

昨年度までの実験では、ニトロセルロースを金属イオン溶液に15分間浸して絞り、乾燥させていた。今年度の実験では10分間浸して絞ったものと、浸してからすぐに取り出して絞ったものを、それぞれ乾燥させて炎色反応の確認が出来るかを調べた。溶液は昨年度の結果でもっとも良く炎色反応が見られた塩化銅(II)水溶液0.30mol/Lを用いた。

表2 実験1の結果

| 浸す時間 | 燃え方 | 炎の色 |
|------|-----|-----|
| すぐ | ○ | ○ |
| 10分 | ○ | ○ |

結果：10分浸したものと浸してからすぐに取り出して絞ったものでも、同様に炎色反応が見られた。

考察：金属イオンはニトロセルロースの表面だけについていると考えられるため、浸す時間はほとんど必要ない。

実験2 溶液に浸した後で絞らない

今までの実験では、ニトロセルロースを金属イオン溶液に浸した後に絞っていた。しかし、絞らない方がニトロセルロースに金属イオンがより付着して、さらに綺麗に炎色反応が見られるのではないかと考えた。そこで、ニトロセルロースを金属イオン溶液に浸して、すぐに取り出してから手で絞り乾燥させたものと、絞らずそのまま乾燥させたもので、燃焼速度と炎色反応の色を比較した。この実験では、塩化銅(II)、塩化ストロンチウム、塩化バリウムの3種類の試薬を用い、濃度は0.30mol/Lに統一した。

表3 実験2の結果

| 溶液 | 燃え方 | | 炎の色 | |
|-------------------|-----|------|-----|------|
| | 絞る | 絞らない | 絞る | 絞らない |
| CuCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SrCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| BaCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ |

結果：絞ったニトロセルロースの方も、そのままにしておいたものと同じように炎色反応が見られた。

考察：実験1と同様に金属イオンがニトロセルロースの表面についていると考えられる。乾燥時間を考えると絞った方が良い。

実験3 金属イオン溶液の濃度を変える

過去の実験で、ニトロセルロースに金属イオンを付着させると、金属イオンが邪魔をして燃焼速度が遅くなった。そこで実験3では、これまで使用していた0.30mol/Lよりも濃度の薄いものを用いて、燃焼速度が速くならないかを調べた。

表 4-1 実験 3 の燃え方の結果

| 結果 | 燃え方 | | | | |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|
| 濃度 mol/L | 0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| CuCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| BaCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SrCl ₂ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |

表 4-2 実験 3 の炎の色の結果

| 結果 | 炎の色 | | | | |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|
| 濃度 mol/L | 0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| CuCl ₂ | ○ | ○ | × | × | × |
| BaCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SrCl ₂ | ○ | ○ | ○ | △ | ○ |

結果：濃度を薄くすることで燃焼速度は速くなったが、炎色反応は綺麗に見えなかった。

考察：現在のところニトロセルロースに付着させる金属イオン溶液の濃度は、0.10mol/L が妥当であると考えられる。

実験 4 有機溶媒を使用する

実験 2 の結果から、一度乾燥させたニトロセルロースを金属イオンに浸すので、二重に乾燥時間がかかった。そのため、実験 4 では水の代わりに有機溶媒を用いることで乾燥時間を短縮できるかを調べた。金属イオン溶液にニトロセルロースを浸して、すぐに取り出し乾燥させて、質量の減少速度を調べた。この実験では、溶媒として水とメタノール、エタノールを用いた。溶質は塩化銅(II)を用いた。

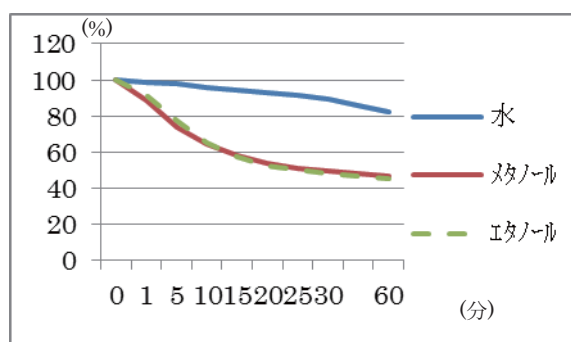


図 4 実験 4 の結果

結果：有機溶媒の方が水よりも乾燥時間が短くなった。

考察：有機溶媒を用いると乾燥時間が短くなるため、炎色反応付きニトロセルロースを短時間に作るには、有機溶媒を用いたほうがいい。

実験 5 金属イオンを有機溶媒に溶かす

実験 4 で、有機溶媒を用いると乾燥時間が短くなることがわかった。そこで、有機溶媒に金属イオンを溶かし、その溶液の中にニトロセルロースを入れ、すぐに取り出して絞り、乾燥させた後に炎色反応が

見られるかどうかを確認した。今回は塩化銅(II)、塩化ストロンチウム、塩化バリウムに加え、潮解性があるため水では実験ができなかった塩化リチウムでもおこなった。有機溶媒はメタノールとエタノールを使用した。

表 5-1 実験 5 のメタノールの燃え方の結果

| 結果 | 燃え方 | | | | |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|
| 濃度 mol/L | 0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| CuCl ₂ | △ | △ | ○ | ○ | ○ |
| BaCl ₂ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SrCl ₂ | ○ | △ | △ | △ | ○ |
| LiCl | △ | △ | △ | △ | △ |

表 5-2 実験 5 のメタノールの炎の色の結果

| 結果 | 炎の色 | | | | |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|
| 濃度 mol/L | 0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| CuCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| BaCl ₂ | △ | ○ | ○ | ○ | △ |
| SrCl ₂ | ○ | × | △ | × | ○ |
| LiCl | △ | △ | △ | × | × |

表 5-3 実験 5 のエタノールの燃え方の結果

| 結果 | 燃え方 | | | | |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|
| 濃度 mol/L | 0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| CuCl ₂ | △ | △ | ○ | ○ | ○ |
| BaCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| SrCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| LiCl | △ | △ | ○ | ○ | ○ |

表 5-4 実験 5 のエタノールの炎の色の結果

| 結果 | 炎の色 | | | | |
|-------------------|-----|-----|------|------|------|
| 濃度 mol/L | 0.3 | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.01 |
| CuCl ₂ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| BaCl ₂ | × | × | × | × | × |
| SrCl ₂ | ○ | ○ | △ | × | × |
| LiCl | △ | × | × | × | × |

結果：塩化銅(II)で実験をおこなったものは、すべて炎色反応を確認することができた。他の金属では使用する溶媒によって燃え方や色の差はあったが、炎色反応を示すことができた。

考察：金属イオンは有機溶媒に溶けて、炎色反応がみられた。そして乾燥時間は短くなり、短時間でニトロセルロースに炎色反応をつけることができた。また、今まで潮解性があった実験できなかった試薬についても、有機溶媒を使用することによって炎色反応が確認できた。

しかし、塩化リチウムの炎色反応は赤色だが、硝化綿の黄色の炎の色と混ざりオレンジ色に見えた。この実験中に、ニトロセルロースを誤って長時間有機溶媒に浸してしまったときに、ニトロセルロースが有機溶媒に溶けてしまった。この溶けてしまったニトロセルロースは火に近づけても燃えず、炎色反応も確認できなかった。

実験6 霧吹きを使って金属イオンを付ける

実験5の途中でニトロセルロースが有機溶媒に溶けてしまったので、ニトロセルロースが溶けず、しかも炎色反応が確認できる方法を探した。ここで私たちは霧吹きを用いると少ない金属イオン溶液で、うまくニトロセルロースに金属イオンを付着させることができ、乾燥時間の短縮もできるのではないかと考えた。ここでは溶質として塩化銅(II)、溶媒としてメタノールとエタノールを使用した。実験方法はニトロセルロースを広げて霧吹きで表面、裏面に振りかけた。吹きかける回数は表裏各1回、2回、3回とした。1回で出る溶液の量は約0.28mLである。また0分(吹きかけた後すぐ)、5分、10分、15分間乾燥させた後に、燃え方と炎色反応の色を確認した。濃度は0.10mol/Lにした。



図5 実験6の実験装置

表6-1 実験6メタノールの燃え方の結果

| 結果 乾燥時間 回数 | 燃え方 | | | | |
|------------------|-----|----|-----|-----|-----|
| | 0分 | 5分 | 10分 | 15分 | 30分 |
| 各1回 | △ | ◎ | ○ | ○ | ○ |
| 各2回 | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 各3回 | △ | △ | ○ | ○ | △ |

表6-2 実験6メタノールの炎の色の結果

| 結果 乾燥時間 回数 | 炎の色 | | | | |
|------------------|-----|----|-----|-----|-----|
| | 0分 | 5分 | 10分 | 15分 | 30分 |
| 各1回 | × | × | × | △ | × |
| 各2回 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 各3回 | ○ | ○ | △ | ○ | ○ |

表6-3 実験6エタノールの燃え方

| 結果 乾燥時間 回数 | 燃え方 | | | | |
|------------------|-----|----|-----|-----|-----|
| | 0分 | 5分 | 10分 | 15分 | 30分 |
| 各1回 | ○ | ◎ | ○ | ◎ | ○ |
| 各2回 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 各3回 | △ | ○ | ○ | ○ | ○ |

表6-4 実験6エタノールの炎の色

| 結果 乾燥時間 回数 | 炎の色 | | | | |
|------------------|-----|----|-----|-----|-----|
| | 0分 | 5分 | 10分 | 15分 | 30分 |
| 各1回 | △ | △ | △ | △ | △ |
| 各2回 | △ | △ | △ | ○ | △ |
| 各3回 | ○ | ○ | △ | ○ | ○ |

結果：霧吹きを用いたほうが燃え方はとても速くなり、ニトロセルロースが有機溶媒に溶けなかった。金属イオン溶液をかける回数が表裏各1回の時には、燃え方はとても良かったが炎色反応がはっきりとは確認できなかった。

考察：今までより効率良く炎色反応を示すニトロセルロースを作ることが可能になった。乾燥時間は15分程度でよい。また、炎色反応を確認するためには、この濃度では霧吹きで最低表裏各2回吹きかける必要がある。濃度を0.30mol/Lにして同じように実験した時には、表裏各1回でも炎色反応が確認できた。

5. 結論

有機溶媒と霧吹きを用いることにより、短時間で炎色反応付きニトロセルロースを作ることができた。このことから、来年度の中学生科学実験講座で、中学生に炎色反応付きニトロセルロースを作ってもらおうと思っている。霧吹きの実験では塩化銅(II)以外の試薬でも、炎色反応を示すニトロセルロースをつくることができるか調べていきたい。

6. 参考文献

- 1)平成10年度 高文連自然科学専門部研究発表会 新城東高等学校化学部論文「ニトロセルロースの合成と応用」
- 2)平成19年度 高文連自然科学専門部研究発表会 時習館高等学校化学部論文「いろいろな硝化綿」
- 3)平成23年度 高文連自然科学専門部研究発表会 時習館高等学校化学部論文「進化するニトロセルロース」

結び目に対する解析的アプローチ

An analytical approach to knots

大木圭佑 濱中克巳
 松浦昌海 吉田識人 村田一真
 Keisuke Oki · Katsumi Hamanaka
 Masami Matsuura · Norito Yoshida · Kazuma Murata

We have decided to examine everyday phenomena on mathematic grounds. Then we assumed that it would be easy to express a knot of strings by function, and undertook the research. First, we represent a knot of strings by function. Next, we simplify it and find out the law. Finally, we discover the conditions of making a knot.

Keywords: Knot, figure-eight knot, half-knot, taylor expansion, Maclaurin's expansion

§ 1. 動機・目的

1. 動機

わたしたちは、日常的な事象に関して、何か数学的見地からアプローチしたいと考えた。そこでひもの結び目を関数で表すことができないかと思い、研究に至った。

2. 目的

- ①ひもの結び目を関数で表す
- ②関数を簡略化する
- ③各パラメータにおける規則性を見出す
- ④関数が結び目となる条件を探し出す

リサージュ曲線 (図 1) の一般式

$$x = \cos(at)$$

$$y = \sin(bt + \delta)$$

を変形し、

$$x = \sin 3t$$

$$y = \sin 5t$$

$$z = \sin 7t \quad (\text{図 2})$$

という式を作成した。この結び目は、8の字結びと呼ばれる。

§ 2. 方法

関数ソフト Mathematica を使い、既成の関数 (リサージュ曲線、リマソン曲線、etc...) を x, y, z で媒介変数表示にし、結び目を関数で表す。既成の関数が三角関数であったため、それぞれのパラメータをマクローリン展開をして近似し、整関数に直す。それを数学的に解析し、よりきれいで簡略化した結び目に直す。その過程で各パラメータにおける規則性を見出し、結び目全体における規則性を探す。

§ 3. 結果

1. リサージュ曲線からの変形

In[0]= ParametricPlot[{Sin[2 x], Sin[3 x]}, {x, 0, 2 Pi}]

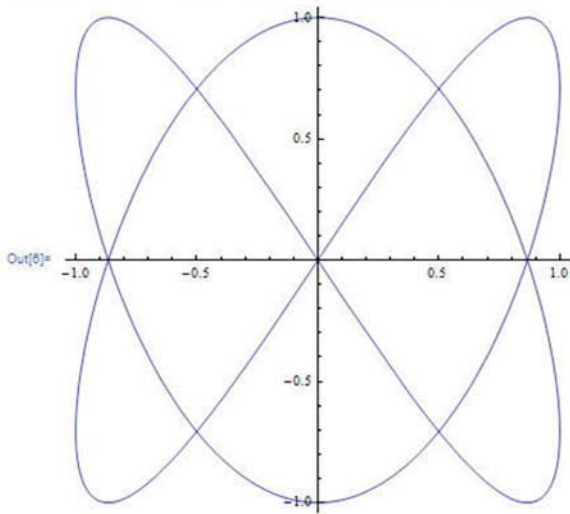


図1 リサージュ曲線 (a=2, b=3, 0 ≤ x ≤ 2π)

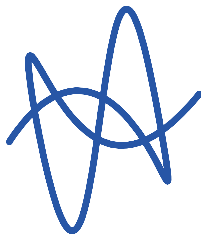


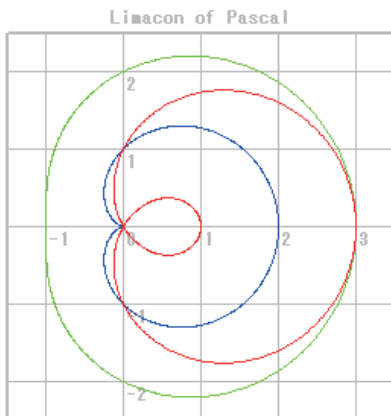
図2 8の字結び (x=sin3t, y=sin5t, z=sin7t)

2. リマソン曲線からの変形

リマソン曲線 (図3) の一般式

$$x = a \cos^2 t + b \cos t$$

$$y = a \cos t \sin t + b \sin t$$



(図3) リマソン曲線

をマクローリン展開によって近似する。マクローリン展開の一般式は、

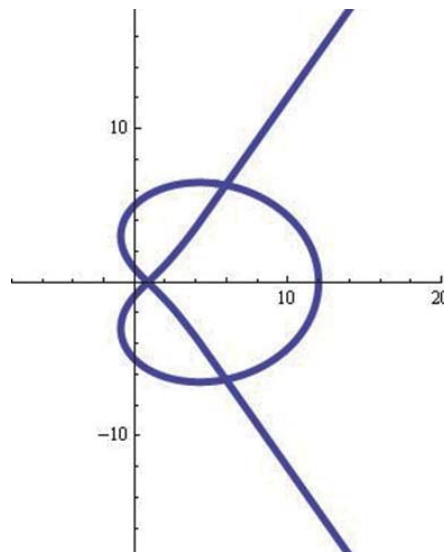
$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n$$

である。これを使ってリマソン曲線を近似し、

$$x = 12 - \frac{19t^2}{2} + \frac{61t^4}{24} - \frac{229t^6}{720} + \frac{901t^8}{40320} - \frac{3589t^{10}}{3628800} + \frac{14341t^{12}}{479001600}$$

$$y = 10t - \frac{25t^3}{6} + \frac{17t^5}{24} - \frac{65t^7}{1008} + \frac{257t^9}{72576} - \frac{205t^{11}}{159667}$$

という式 (図4) を作った。



(図4)

これに z 軸を定義する。

$$z = \sin 6t$$

を近似し、

$$z = 6t - 36t^3 - \frac{324t^5}{5} - \frac{1944t^7}{35} + \frac{972t^9}{35} - \frac{17496t^{11}}{1925} - \frac{52488t^{13}}{25025} - \frac{314928t^{15}}{875875} + \frac{708588t^{17}}{14889875} - \frac{1417176t^{19}}{232907625} + \frac{4251528t^{21}}{9901766875} - \frac{76527504t^{23}}{2505147019375} + \frac{114791256t^{25}}{62628675484375} - \frac{76527504t^{27}}{814172781296875} + \frac{688747536t^{29}}{165277074603265625} - \frac{4132485216t^{31}}{25617946563506171875} + \frac{1549681956t^{33}}{281797412193567890625} - \frac{2789427520t^{35}}{167669460258147894921875} + \frac{2789427520t^{37}}{6203770029551472112109375} - \frac{1673656512t^{39}}{1532331197299213611691015625}$$

とする。

立体での一重結びを作成。(図5)



(図5)

図5の関数では、まだ無駄な動きがあったため、近似した式から元の式をひくことで、z軸方向の余分な動きを消す。

$$z = 6t - 36t^3 + \frac{324t^5}{5} - \frac{1944t^7}{35} + \frac{972t^9}{35} - \frac{17496t^{11}}{1925} + \frac{52488t^{13}}{25025} - \frac{314928t^{15}}{875875} + \frac{708588t^{17}}{14889875} - \frac{1417176t^{19}}{282907625} + \frac{4251528t^{21}}{9901766875} - \frac{76527504t^{23}}{2505147019375} + \frac{114791256t^{25}}{62628675484375} - \frac{76527504t^{27}}{14889875} + \frac{688747536t^{29}}{9901766875} - \frac{4132485216t^{31}}{62628675484375} + \frac{814172781296875}{165277074603265625} - \frac{25617946563506171875}{165277074603265625} + \frac{1549681956t^{33}}{27894275208t^{37}} - \frac{27894275208t^{35}}{167365651248t^{39}} + \frac{281797412198567890625}{27894275208t^{37}} - \frac{167669460258147894921875}{167365651248t^{39}} + \frac{6203770029551472112109375}{1532331197299213611691015625} - \frac{1532331197299213611691015625}{6203770029551472112109375} + \frac{t^3}{5} - t - \sin 6t$$

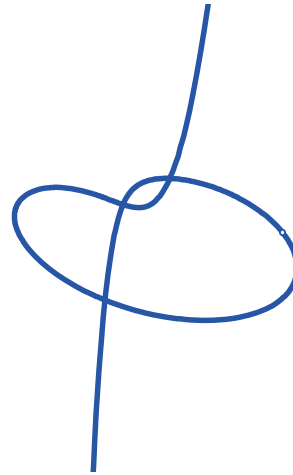
よって、できた関数の式は、

$$x = 12 - \frac{19t^2}{2} + \frac{6t^4}{24} - \frac{229t^6}{720} + \frac{90t^8}{40320} - \frac{3589t^{10}}{362880} + \frac{14341t^{12}}{479001600}$$

$$y = 10t - \frac{25t^3}{6} + \frac{17t^5}{24} - \frac{65t^7}{1008} + \frac{257t^9}{72576} - \frac{205t^{11}}{1596672}$$

$$z = 6t - 36t^3 + \frac{324t^5}{5} - \frac{1944t^7}{35} + \frac{972t^9}{35} - \frac{17496t^{11}}{1925} + \frac{52488t^{13}}{25025} - \frac{314928t^{15}}{875875} + \frac{708588t^{17}}{14889875} - \frac{1417176t^{19}}{282907625} + \frac{4251528t^{21}}{9901766875} - \frac{76527504t^{23}}{2505147019375} + \frac{114791256t^{25}}{62628675484375} - \frac{76527504t^{27}}{14889875} + \frac{688747536t^{29}}{9901766875} - \frac{4132485216t^{31}}{62628675484375} + \frac{814172781296875}{165277074603265625} - \frac{25617946563506171875}{165277074603265625} + \frac{1549681956t^{33}}{27894275208t^{37}} - \frac{27894275208t^{35}}{167365651248t^{39}} + \frac{281797412198567890625}{27894275208t^{37}} - \frac{167669460258147894921875}{167365651248t^{39}} + \frac{6203770029551472112109375}{1532331197299213611691015625} - \frac{1532331197299213611691015625}{6203770029551472112109375} + \frac{t^3}{5} - t - \sin 6t$$

となる。(図6)



(図6)

きれいな一重結びが完成した。

3. グラフの分析

完成した結び目のグラフを、x,y,zそれぞれの式について分析、簡略化していく。各パラメータの式をtの方程式とみて、その解から概形を決定する。そして係数を設定し、より元のグラフと似た式を作成する。

$$x = 12 - \frac{19t^2}{2} + \frac{6t^4}{24} - \frac{229t^6}{720} + \frac{90t^8}{40320} - \frac{3589t^{10}}{362880} + \frac{14341t^{12}}{479001600}$$

$$\rightarrow x = \frac{1}{5}(t+3)(t+1)(t-1)(t-3)$$

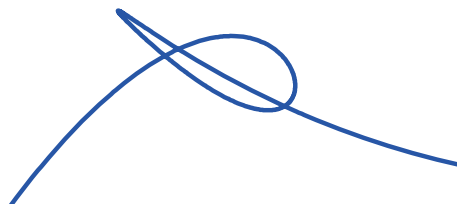
$$y = 10t - \frac{25t^3}{6} + \frac{17t^5}{24} - \frac{65t^7}{1008} + \frac{257t^9}{72576} - \frac{205t^{11}}{1596672}$$

$$\rightarrow y = -t(t+2)(t-2)$$

$$z = 6t - 36t^3 + \frac{324t^5}{5} - \frac{1944t^7}{35} + \frac{972t^9}{35} - \frac{17496t^{11}}{1925} + \frac{52488t^{13}}{25025} - \frac{314928t^{15}}{875875} + \frac{708588t^{17}}{14889875} - \frac{1417176t^{19}}{282907625} + \frac{4251528t^{21}}{9901766875} - \frac{76527504t^{23}}{2505147019375} + \frac{114791256t^{25}}{62628675484375} - \frac{76527504t^{27}}{14889875} + \frac{688747536t^{29}}{9901766875} - \frac{4132485216t^{31}}{62628675484375} + \frac{814172781296875}{165277074603265625} - \frac{25617946563506171875}{165277074603265625} + \frac{1549681956t^{33}}{27894275208t^{37}} - \frac{27894275208t^{35}}{167365651248t^{39}} + \frac{281797412198567890625}{27894275208t^{37}} - \frac{167669460258147894921875}{167365651248t^{39}} + \frac{6203770029551472112109375}{1532331197299213611691015625} - \frac{1532331197299213611691015625}{6203770029551472112109375} + \frac{t^3}{5} - t - \sin 6t$$

$$\rightarrow z = -\frac{1}{20}t(t+2)(t-2)(t+3)(t-3)$$

整関数による一重結びの式が完成した。(図7)



(図7)

§ 4. 考察

一重結びは、 x, y, z それぞれの式に対して3次, 4次, 5次関数を用いることで表すことができる。また、8の字結びも表すことができた。このことから、結び目は全て多項式で表すことができると思われる。

§ 5. 今後の課題

一重結び、8の字結び以外の他の結び目を多項式で表す。そしてそれぞれの結び目に一般性を見つける。

§ 6. 謝辞

ご指導・資料提供など協力して下さった
佐野正裕先生 に感謝を申し上げます。

§ 7. 参考文献

高等学校 数学C 改訂版 (啓林館)

http://en.wikipedia.org/wiki/Lissajous_knot

https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmj1949/44/1/44_1_11/_article

すごい分数

Amazing Fractions

沖 泰裕佐治 風帆大前 湧也神田 行宏弟子丸 貴也宮田 莉良
Abstract

We all know that $\frac{1}{4} \times \frac{8}{5} = \frac{8}{20} = \frac{2}{5}$ doing our usual rule for fractions. But if a new rule following like $\frac{1}{4} \times \frac{8}{5} = \frac{18}{45} = \frac{2}{5}$ we still get $\frac{2}{5}$. In this paper we showed that there 95 pairs of numbers satisfying the above equation $\frac{b}{a} \times \frac{d}{c} = \frac{10b+d}{10a+c}$.

Among these, 10 pairs are in lowest terms.

要約

分数の組、 $\frac{1}{4}, \frac{8}{5}$ を利用して積 $\frac{1}{4} \times \frac{8}{5}$ の計算を、強引に $\frac{18}{45}$ として計算したら、結果が $\frac{2}{5}$ となり積の値と一致した。他にも、

2つの分数を用いておもしろい分数の組があるか調べた。そして1ケタの自然数 a, b, c, d において $\frac{b}{a} \times \frac{d}{c} = \frac{10b+d}{10a+c}$ を満たす分数の組は全部で 95 通り（そのうち既約は 10 通り）であることが分かった。

I. はじめに

特殊な条件を満たす分数について考察した。考察対象の原題は、平成 23 年度日本数学コンクールの問題 3 [すごい約分?] に準拠しており、以下にその内容及び考察対象へ至る迄を記す。

1. 原題

○沢君は計算が得意です。Y本先生の今日の課題は「 $\frac{484}{847}$ を約分しなさい」です。○沢君は、84 で

約分して、あつという間に $\frac{484}{847} = \frac{4}{7}$ と答えまし

た(実際に 121 が最大公約数です)。Y本先生は「それはおもしろいですね。ほかにもそのような数を探してみましょう」といって、次の問題を出しました。

(1) 2ケタの整数(すなわち、A が 1ケタの数のとき)で (**) $\frac{aA}{Ab} = \frac{a}{b}$ を満たすものをすべて求めなさい。

2. 考察対象への発展

1. について、(1) の解答(後述する。)後、(**) の等式を変形して、2つの分数において、積及び(**) の左辺と同じ形にしたものが等しいものの有無の議題に発展し、1つの例を導き出した。以下に、その例を示す。 $\frac{1}{4} \times \frac{8}{5} = \frac{18}{45} (= \frac{2}{5})$ この例を一般化する事で、今回の調査対象たる問が得られる。

問: 1ケタの自然数 a, b, c, d において

(α) $\frac{b}{a} \times \frac{d}{c} = \frac{10b+d}{10a+c}$ を満たす分数(又は

(a, b, c, d) の組はいくつ存在するか。

II. 研究成果

1. 性質の証明

はじめに、題意を満たすものとしてあり得る組は、全 6561 通り存在する。

(α) を変形して、以下の2式を得る。

$$(1) \quad bd(10a+c) = ac(10b+d)$$

$$(2) \quad ad(10b-c) = bc(10a-d)$$

これを用いて、①~⑥の証明を示す。

①) 2つの分数について、

i) 一方は真分数、他方は仮分数 ii) 共に 1

解説: 2つの分数の、1 との大小関係を示す事で、題意を満たすものを絞る。

証明 (1) を変形すると $cd(a-b) = 10ab(d-c)$ 上の式の括弧内部を比較すると

$$a > b \leftrightarrow c < d \quad a = b \leftrightarrow c = d \quad a < b \leftrightarrow c > d$$

のいずれかに該当する。これは、証明すべき題を示しているに他ならない。(証明終)

①より、6561 通り → 2673 通りに絞ることができる。

②) $a \neq b, c \neq d \rightarrow a \neq c, b \neq d$

解説: これを満たすものとして、以下の例を挙げ

る。 $\frac{3}{7}, \frac{87}{52}, \frac{2}{7}$ ①の、前者を満たすときの数の等号

成立を限定し、題意を満たすものを絞る。

証明 (α) を用いて、 $b = d$ と仮定すると、

$$\frac{b}{a} \times \frac{b}{c} = \frac{11b}{10a+c} \leftrightarrow b(10a+c) = 11ac$$

上の式において、b は 11 で割り切れないので、 $10a+c$ は 11 で割り切れる。よって $a = c$ 、以上よ

り条件式に代入すると $\frac{b^2}{a^2} = \frac{b}{a} \leftrightarrow a = b$ ($a, b \geq 1$)

となり、仮定に反する。同様に、 $a = c$ から同様の結果が得られる。(証明終)

②により、 $a=b, c=d$ なるものは、いかなる組でも成立(81通り)し、2673通り→2592通りに、更に、 $a>b, c<d$ と仮定するにより、2592通り→1296通りに絞る事ができる。

③) $b<c$ 解説：これを満たす例は、 $\frac{5}{8}, \frac{91}{67}, \frac{7}{4}$

a, b, c, d の大小関係としてあり得るものを限定する事で、題意を満たすものを絞る。

証明 条件を満たす任意の a, c, d において

$$\left(a + \frac{c}{9}\right)\left(d - \frac{10}{9}c\right) > 0 > -\frac{10}{81}c^2 \quad (c < d \leq 9)$$

$$\leftrightarrow 9ad > c(10a - d) \leftrightarrow ad(9b) > bc(10a - d)$$

$$\leftrightarrow ad(9b) > ad(10b - c) \quad ((2)) \leftrightarrow b < c$$

が得られる。(証明終)

②③により、1296通り→492通りに絞れた。

④) $a = d \leftrightarrow$ [すごい約分]

解説： $a=d$ が成立するときの特殊性を論ずる事で、題意を満たすものを絞る。

証明 条件より、以下の式が導かれる。 $\frac{10b+a}{10a+c} = \frac{b}{c}$

これは、「すごい約分」の、分子、分母が共に2桁のときに他ならない。上の式を変形して

$$b(10a + c) = c(10b + a) \leftrightarrow 9bc = a(10b - c)$$

上の式において、両辺が9の倍数、③より、 $a=3, 6, 9$ のいずれかで、題意を満たす (a, b, c) の組は $(9, 1, 5), (9, 4, 8), (6, 1, 4), (6, 2, 5)$ の4通りのみである。

(証明終)

④により、これ及び題意を満たすものを除外する事で、492通り→378通りに絞る事ができる。

⑤)

$b < c < a < d$ で、条件を満たすものは存在せず

解説：これを満たすものとして、 $\frac{1}{3}, \frac{73}{58}, \frac{5}{4}$

a, b, c, d の大小関係を更に限定する事で、題意を満たすものを絞る。

証明 不等式(I)

$$\left(b + \frac{a}{9}\right)\left(c - \frac{10}{9}a\right) < -\frac{10}{81}a^2 \leftrightarrow \left(m + \frac{1}{9}\right)\left(n - \frac{10}{9}\right) <$$

$$-\frac{10}{81} \quad (b = ma, c = na) \text{を満たさない、}$$

$(a, b, c) \leftrightarrow (m, n)$ において、 a がある値のときの

$$(m, n) \text{の組は}(a = 9)\left(\frac{1}{9}, \frac{7}{9}\right), \left(\frac{1}{9}, \frac{2}{3}\right), \left(\frac{1}{9}, \frac{5}{9}\right), \left(\frac{2}{9}, \frac{7}{9}\right) (a =$$

$$8)\left(\frac{1}{8}, \frac{7}{8}\right), \left(\frac{1}{8}, \frac{3}{4}\right), \left(\frac{1}{8}, \frac{5}{8}\right), \left(\frac{1}{4}, \frac{7}{8}\right) (a =$$

$$7)\left(\frac{1}{7}, \frac{6}{7}\right), \left(\frac{1}{7}, \frac{5}{7}\right), \left(\frac{2}{7}, \frac{6}{7}\right)$$

$$(a = 6)\left(\frac{1}{6}, \frac{5}{6}\right), \left(\frac{1}{6}, \frac{2}{3}\right), \left(\frac{1}{3}, \frac{5}{6}\right) (a = 5)\left(\frac{1}{5}, \frac{4}{5}\right)$$

であるが、これらは全て題意を満たさないあるい

は④で除外したものである。

よって、題意を満たすものは(I)を満たす。また、(I)を変形して

$$9bc < a(10b - c) \leftrightarrow bc(9d) < ad(10b - c)$$

$$\leftrightarrow bc(9d) < bc(10a - d) \quad ((2)) \leftrightarrow a > d$$

が得られる。(証明終)

⑤により、378通り→252通りに絞る事ができる。

⑥) $\frac{d}{c} < \frac{9}{5}$ 解説：これを満たすものとして、 $\left(\frac{d}{c}\right)^{\frac{9}{7}}, \frac{6}{4}$

仮分数の値の上限を定める事で、題意を満たすものを絞る。

証明 (1)(2)を変形すると

$$\frac{b}{a} = \frac{c}{d} \times \frac{10b + d}{10a + c} \quad ((1)) \quad \frac{b}{a} = \frac{d}{c} \times \frac{10b - c}{10a - d} \quad ((2))$$

$$\leftrightarrow \frac{d^2}{c^2} = \frac{10a - d}{10a + c} \times \frac{10b + d}{10b - c} \leq \frac{90 - d}{90 + c} \times \frac{10 + d}{10 - c} \quad ((a, b) = (9, 1))$$

$$\leftrightarrow d^2(90 + c)(10 - c) \leq c^2(90 - d)$$

$$\leftrightarrow 45d^2 - 4cd^2 \leq 45c^2 + 4dc^2 \leftrightarrow 4cd \geq 45(d - c)$$

ここで、 $d = kc$ とおくと

$$c \geq \frac{45(k-1)}{4k}, d \geq \frac{45}{4}(k-1)d \text{のとり得る値の下限を}$$

$$\text{考察すると} \frac{45}{4}(k-1) \leq 9 \leftrightarrow \frac{d}{c} = k \leq \frac{9}{5}$$

よって、第1段階が示された。更に、 k による、 c のとり得る最小値を考察すると

$$p < \frac{45(k-1)}{4k} \leq p + 1 \quad (p = 1, 2, 3, 4) \leftrightarrow \frac{45}{45 - 4p}$$

$$< k \leq \frac{45}{41 - 4p}$$

これより、 c のとり得る値の範囲外である、

$\frac{d}{c} = \frac{3}{2}, \frac{5}{3}, \frac{7}{4}$ の形を除外しなければならない。一方、

c, d の等号成立条件は、 $(c, d) = (5, 9)$ であるが、題意を満たすものは、④で除外したものであり、

不適。したがって、 $\frac{d}{c} \leq \frac{8}{5}$ となり、第2段階が示された。(証明終)

⑥により、252通り→182通りに絞る事ができる。

2. 調査結果

1. で得られた性質を基に、以下の[すごい分数]が得られる。(※を除き、分子、分母の反転可

$$\text{(既約)} \quad \frac{1}{2} \times \frac{5}{4} = \frac{15}{24}, \quad \frac{1}{4} \times \frac{8}{5} = \frac{18}{45}, \quad \frac{1}{6} \times \frac{4}{3} = \frac{14}{63}$$

$$\frac{1}{9} \times \frac{9}{5} = \frac{19}{95}, \quad \frac{4}{9} \times \frac{9}{8} = \frac{49}{98} \text{ (既約でない)} \quad \frac{1}{6} \times \frac{6}{4} = \frac{16}{64}, \quad \frac{2}{6} \times$$

$$\frac{6}{5} = \frac{26}{65}, \quad \text{※} \frac{a}{a} \times \frac{c}{c} = \frac{10a+c}{10a+c},$$

従って、[すごい分数]は、全95通り(うち既約は10通り)存在する。

真正粘菌「モジホコリ」の行動に関する考察

Research about behavior of Physarum Polycephalum

九里 綾菜 林 香 横地 穰 塚原 一颯

Abstract

We are researching of behavior of physarum Polycephalum. Focusing on that they can make the most efficient routes among meals, we are looking for the rules of their behavior. For the purpose, we researched of research their reaction for some kinds of stimulations like light or some molecules.

要約

私たちは、モジホコリ（真正粘菌の一種）に関して研究している。特に、モジホコリが複数の餌の間を効率的に結ぶことができるという点に着目して、行動の中の規則を見つけることを目標にしている。そこで研究のためにまず、光や化学物質などの刺激に対する走性の有無、正負を調査した。

1,序論

モジホコリの基本的な生態やそれらを応用した都市の交通網構築について焦点を絞って調査した。

まず、粘菌の特徴として迷路の入り口と出口に餌を置くと粘菌は入口と出口を最短ルートで結ぶことができる。これを新都市の交通網設置の際のルートのシミュレーションに使用しようと考えたのが、交通網構築の理念である。今回はその際に活用できる走性を明らかにしようと思った。

2,実験



図 1
Na₂CO₃に関する実験



図 2
重力に関する実験

I,化学物質に関する走性

①酸による行動

CH₃COOH 水溶液を粘菌及び餌にそれぞれ別のシャーレ上で滴下した。

→それぞれ菌核になって活動を停止した。

活動が再開することは無かった。

②塩基による行動 (図 1)

Na₂CO₃ の結晶を粘菌に直接のせた。

→その後も活動を続けた。

Na₂CO₃ の結晶を培地にのせた。

→Na₂CO₃ の結晶を阻止円を構築することで避けその後も活動を続けた。

③浸透圧の影響

NaCl の結晶を変形体付近に直接置き、顕微鏡で変形体や流動の変化の有無を観察して、その後の菌全体の変化、活動を観察した。

→H₂O が変形体の外に急激に流れ出す際に、その圧力に耐えきれず、変形体が破裂した。
活動が再開することは無かった。

II,重力に関する走性

複数のシャーレに作った培地を、インキュベーター内で垂直に立てて、行動に変化があるのかを観察。
→上に広がっているもの、下に広がっているもの両方があり明確な走性は無かった。また、活動を止めてしまったものもいた。

3,考察

以上より Na₂CO₃ の結晶は粘菌にとって有害な物質であるが粘菌はそれを阻止円を形成することで避け活動を継続することができる。効率的なルートを探す際これを用いて避けたい場所を再現することでより正確なデータを集められる。
また、培地を垂直に立てても行動に変化は無かった。

4,今後の課題

重力に関する行動の違いを更に細かいパターンにわけて、着目する点ごとに改めて調査しなければならない。水平に置いた培地に高い場所を作ったら行動に影響するのか、勾配によって管内部の原形質流動の速度や方向に変化があるのか調べたい。

また、今回の実験で生じた、活動を止めてしまったものに関しては、培地を急に垂直にしたことにあるのか、他の要因によりそうなったのかを判断しなければならない。前者ならば、重力の負荷が直接の原因なのかを調べ、後者ならば、その要因は何なのかを調査して、これまで行ってきた実験の結果についても改めて見直して正確な実験結果づくりをしていかなければならない。

また培地に、山を見立てた高い場所を作り、管を伸ばして作る距離と坂を上ることで受ける負荷の関係、行動も調査していく必要がある。

Na₂CO₃ の結晶を用いて、様々な環境を再現した培地での彼らの行動に関する正確で精密なデータの収集に努めたいと思う。

ヒドラの生態について

Ecology of Hydra

山下 新菜 小原 里奈 井上 実優 大藪 啓誉 後藤 建仁 長畑 翔也 原田 真歩 吉井 達樹

Abstract

Hydra is a very unique living thing. Although it is the same Cnidaria as jellyfish, the lake of fresh water with few streams is inhabited. Moreover, even if it cuts, reproduction is performed. From the feature of performing this reproduction, it is used as a model organism of cell differentiation. Although it adds and Hydra usually increases the number of individuals by asexual reproduction called a budding, it turns out that determination of a sex will be performed if circumference water temperature will be 8 °C or less, and sexual reproduction is carried out. We conducted the experiment fundamental about the ecology of Hydra this time.

要約

ヒドラは非常にユニークな生き物である。クラゲと同じ刺胞動物であるのに、水流の少ない淡水の湖沼に生息している。また、切断しても切断した面から再生をおこなう。この再生をおこなうという特徴から、細胞分化のモデル生物として使用されている。くわえて、ヒドラは通常は出芽という無性生殖によってその個体数を増やしていくが、周辺水温が8°C以下になると雌雄の決定がおこなわれ、有性生殖をすることがわかっている。今回我々はヒドラの生態について基礎的な実験を行った。

1 捕食

顕微鏡下でヒドラがエサを捕食後何時間で消化をするか観察を試みた。エサを与える時間をずらす事で、消化の様子を観察する。個体差が激しいため、消化にかかる時間の定量化にはいたらなかったが、観察する事でわかったことをまとめる。

(1) 捕食する際、自身より過度に大きなエサは、一度は保持をするが放してしまう。

はじめ、アルテミアではなく乾燥赤虫を与えようと試みた。元来ヒドラは生き餌のみを捕食するとあるが、ピンセットにつまみ、ルアーの容量でエサを与えた。このとき、エサを口元まで運ぶ動作をしたがすぐに放してしまった。

(2) エサを食べると、腸のぜん動運動に似た動きを全体でおこなう。

ヒドラの構造では、胴部の壁面に内層とよばれる層があり、そこに所属する食胞、腺細胞や栄養細胞で消化が行われていると考えられる。観察した結果を<写真1>で示す。



写真1

結果、エサの有無により写真1に見られる影になる部分にエサがあると類推される。

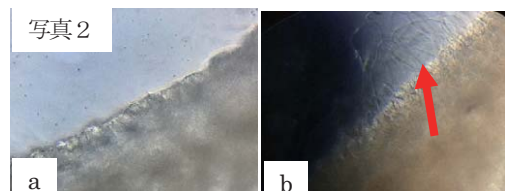
今後、他の学校で行われているグルタミン酸を用いたエサとエサではないものの識別に関する再現実験をおこない、その中から捕食・消化に関する新たな事実を発見したい。

2 刺胞

刺胞とはヒドラの触手にある刺細胞という細胞から変化した大きさ 1/100mm 程度の非常に小さなカプセル状の毒針の入ったものである。刺胞の使用方法は、

- ①獲物が触手にふれるとその物理的的刺激で刺胞が少し発射される。
- ②刺胞が刺さった所からにじみ出るグルタミン酸などのタンパク質に過敏に反応し、多数の刺胞からいっせいに刺糸が飛び出す。
- ③突き刺さった刺糸の管を通して出てきた毒液で獲物の体を麻痺させてしまう。
- ④動きの止まった獲物は口に運ばれる。

1M塩酸を滴下するとヒドラは刺胞を発射することがわかっている。



<写真2>の a は 1M 塩酸滴下前、b の写真は 1M 塩酸滴下後である。b の写真に矢印で指した部分に細いものがある。それが刺胞から発射された刺糸と考えられる。今後、刺胞について追求する予定である。

<参考文献>

デジタル理科室：富山県総合教育センター

<http://rika.el.tym.ed.jp/cms/751f7269/9ad86821751f7269/30d230e9/30d230e9306e884c52d530687d3080de306e89b35bdf/>

抽出条件・保存条件によるアントシアニン色素の安定 The stability of anthocyanin

石橋 怜子 加藤 圭織 高橋 瑠乃 立野 繭香 中西 諒香 藤野 渚彩 松下 祐子 森 奏海

Abstract

Our project has been researching the stability of anthocyanin. This year, we decided to look over the basic points of our experiments.

First, we changed the conditions of extracting the anthocyanin from red cabbage. The color which the pigment showed were different depending on the temperature. Then, we changed the temperature of where to store the extract. The colder the anthocyanin extract was kept, the longer the color stayed without fading.

Through this experiment, we found the importance of the specific conditions in which we do our research. Even the slightest difference will effect the results greatly.

1 目的と動機

中性条件で安定したアントシアニンを得る方法を確立するための基本実験として、抽出方法・保存条件の違いと安定に関する研究を行った。

2 実験方法

- ①紫キャベツ 80 g を水 200 ml で 10 分加熱し、その後 10 分冷やす。
- ②紫キャベツ 80 g を水 200 ml に 10 分つける。その後①と条件をそろえるため 10 分冷やす。
- ③紫キャベツ 80 g に水 200 ml 加え、10 分もむ。その後①と条件をそろえるため 10 分
- ④それぞれを常温 (20℃)、冷蔵 (5℃)、冷凍 (-17℃) という条件で保存。

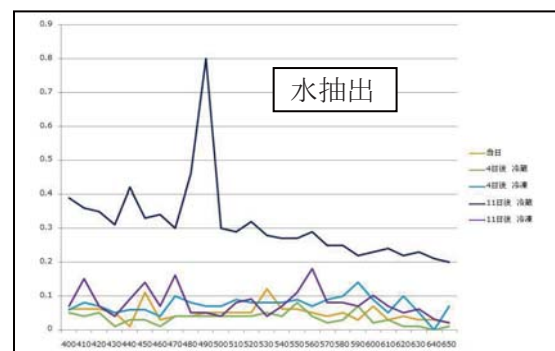
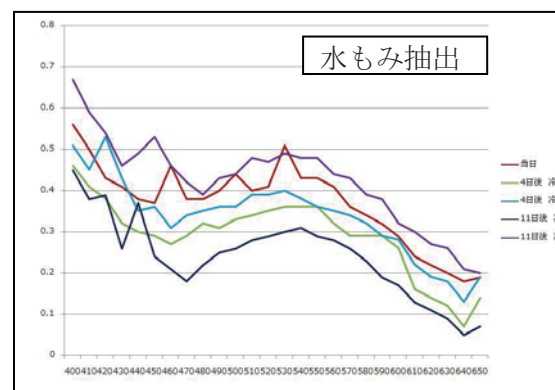
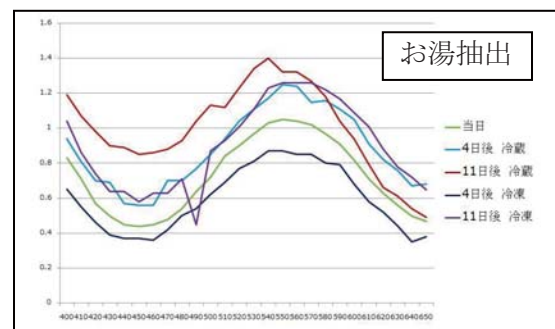
当日、4 日後、11 日後の吸光度グラフを比較し、発色の違いを観察する。

3 結果

- 左から 3 本ずつ冷凍、冷蔵、常温 (4 日後)。
- ・水もみ抽出は、どの条件で保存しても最大吸光波長が 400 nm である。
- ・お湯抽出は青紫色、水もみ・水抽出は赤紫色であった。
- ・常温保存は 4 日後には腐敗してしまった。

4 考察と今後の課題

- ・抽出効率が一番良いのはお湯抽出
→高温であるほうが、色素だけでなくコピグメントや糖も抽出される可能性がある。このために、お湯抽出の方が青系が強い色になるのではないかと考えられる。
- ・全ての条件で見られる濃度変化は、水分のわずかな蒸発によるものと思われる。
- ・お湯抽出の冷凍保存の場合、最大吸光波長の変動が見られなかった。今後は、安定した色素を得るための抽出・保存方法としてこの方法を用いて、pH 変化による色素構造の変化について研究をしていく予定である。



クントの実験における粉体の振るまいについて

The behavior of powder in Kundt's tube

浅井 千明 鵜飼 峻太郎 松本 三冬

Abstract

It is known that behavior of powder in Kundt's tube changes with the kinds. We used expanded polystyrene beads with three different diameter and Lycopodium, which is a spore of a kind of fern plant. It says in the reference that polystyrene beads gather to anti-node of standing wave, regardless of frequency or diameter. It also says that Lycopodium gather to node. We studied whether the description is right. We find that Lycopodium in low frequency gather to anti-node like polysterene beads.

要約

気柱共鳴のようすを管内に入れた粉によって観察する実験は、「クントの実験」としてよく知られており、大きさの異なる 3 種の発泡スチロール球と Lycopodium（ある種のシダ植物の孢子）の計 4 種類の粉を用いてその振るまいを比較してみた。

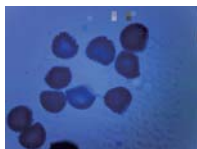
1. 研究の動機、目的

この装置を名古屋市科学館で見学した際に、粉の振るまいがとても興味深かったので研究してみようと思った。粉体の集まる場所（腹または節）はその種類によって異なるという論文もあり（参考文献[1]）、その原因を明らかにしたいと考えた。今回は参考文献[1]の記述を確認し、そこから研究課題を定め、実験を行った。

2. 実験器具と方法

<実験器具>

- プラスチック製の筒（内径 45mm、長さ 1002mm）の両側を 2 枚の板（150mm×150mm、うち 1 枚は筒をはめ込むための穴を開けた）ではさむようにして、気柱共鳴管を製作。
- 低周波発信器
- スピーカー（直径 101mm）
- 発泡スチロール球
 - 大：直径 約 5.2mm 質量 約 1.3×10^{-3} g
 - 中：直径 約 2.0mm 質量 約 1.2×10^{-4} g
 - 小：直径 約 0.9mm 質量 約 4.5×10^{-5} g
- Lycopodium（シダ植物の一種の孢子）
直径 約 0.032mm



<実験方法>

■実験 1（参考文献[1]の確認）

比較の際は音の周波数を 365Hz、114Hz、214Hz にそろえて実験を行った。

■実験 2（実験 1 の考察からの研究課題）

365Hz~110Hz の間で気柱共鳴する周波数を探し、発泡スチロール球大と Lycopodium を用いて、比較と周波数による Lycopodium の振るまいの変化を記録した。

3. 結果

～実験 1～

<目的>

参考文献[1]の検証とこれからの課題を定めることを目的とした。

<実験方法>

大きさの異なる発泡スチロール球（大/中/小）と Lycopodium を用意する。粉体の大きさを比較するために、スチロール球を用いて①の実験を行い、スチロール球と Lycopodium の比較をするためにこの 2 つの粉体を同じ管の中に入れ②の実験を行った。また、①②共に周波数による違いを見るため定常波の可視化がしやすかった 3 つの周波数（365Hz/214Hz/114Hz）に定めて実験を行った。

参考文献では、スチロール球は定常波の腹に当たる部分に集まり、Lycopodium は節に当たる部分に集まるとされ、粉体の大きさとは関係しないとされている。

音速の測定に関する研究

Study of sound speed

樋口雄介 山田雄風 都築本成 濱中悠佑 早川明宏

Abstract

We devised two methods to measure of sound speed. First, we used two sound sensors. We rang the sound source 1 placed in the middle of two sensors, and then we rang the sound source 2 placed near one of the sensors. We measured time lag between when each sensor reacted to the sound. Second, we used a solar battery and a sound sensor. We placed a laser behind a balloon so that its beam would be emitted when the balloon bursts. We measured time lag between when the solar battery reacted to the beam and when the sound sensor reacted to the sound.

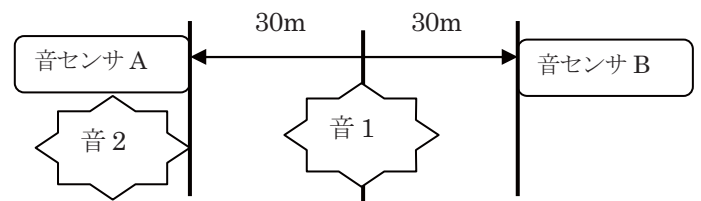
要約

音速の測定を独自の二つの方法で行った。一つ目は、音センサを二つ用いて行った。音センサ2つを離して置き、その中央に音源1を置く。まず、音源1を鳴らし、その後、片方の音センサの隣で音源2を鳴らした。音源2からの音がそれぞれの音センサに到達するまでの時間差から音速を求めた。二つ目は、音センサ一つと太陽光電池を用いて行った。まず、レーザー光を風船で遮断した。その後、風船を破裂させると、レーザー光は遮断されなくなり、離して設置した太陽光電池に到達する。風船は破裂時に音を発するので、離して設置した音センサで観測し、レーザー光と破裂音が観測されるまでの時間差から音速を求めた。

序論

本年度の物理チャレンジの実験課題として「音速を測ってみよう」というテーマが与えられた。物理の教科書を参考にしながら、気柱の共鳴実験を行ったが、その他の方法を考えることにした。そして、さらに音速の測定を独自の2つの方法で行った。

- ⑤ (距離) ÷ (時間) で速さが出ることを利用し、音速を求める。



実験1 二つの音センサを用いた方法

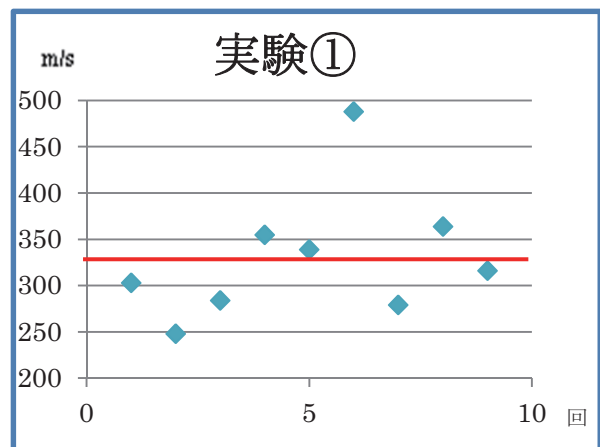
音速を測る上では、時間の取り扱いがとても重要になる。この実験では、二つの音センサの中央に置いた音源1を用いて、時間軸の0点を設定した。音センサは、音量の時間変化を記録できるものである。

〈方法〉

- ① 2つの音センサA、Bを60m離して設置する。
- ② 2つの音センサのちょうど中間地点で、音1を鳴らす。この音1は、2つの音センサで同時に観測される。これを時間軸の0点とする。
- ③ 音センサAの隣で音2を鳴らす。音センサAで音2が聞こえるまでの時間を α 、音センサBで音2が聞こえるまでを β とする。
- ④ この差を $t = \beta - \alpha$ とする。これが、音2が2つの音センサ間を伝わるのにかかる時間である。

〈結果〉

10回行い、そのうち特異値1つを除いた平均は、330 m/s (有効数字3ケタ) であった。



〈考察〉

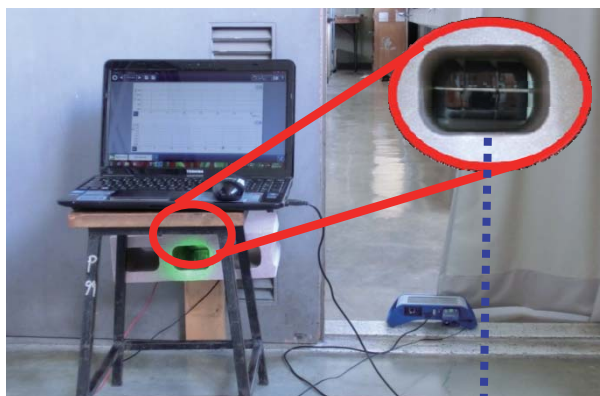
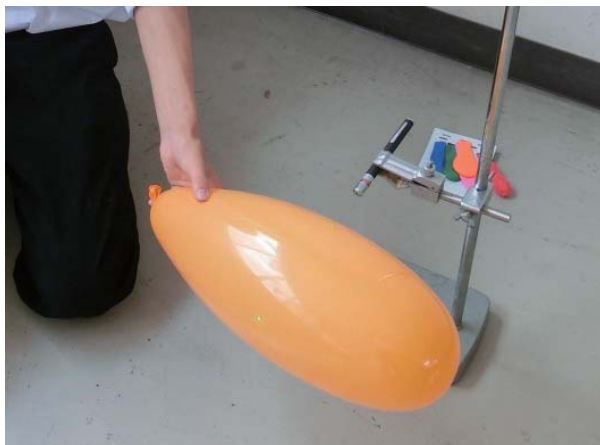
特異値1つ以外にも、数値にはばらつきが大きく、正確な結果が得られなかった。気温23℃で実験を行ったので、理論値は345.3m/s(※)になるが、理論値からも平均値は大きくずれてしまった。グラフに表示された時間の測定を人間の目測で行ったことや、2台の音センサの反応速度が異なっていることなどが誤差の原因として考えられる。

実験2 音と光を用いた方法

実験1の反省をもとに、測定箇所を一か所に集中させ、実験精度を高める工夫を行った。観測装置(電流センサと音センサ)は電圧と音量の時間変化を詳細に記録できるようにした。

〈方法〉

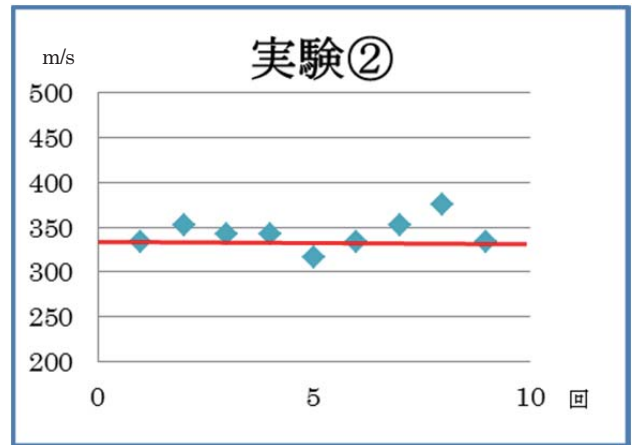
- ① レーザー光源を風船で遮断する。
- ② 廊下の反対側(距離60m)に太陽光電池と音センサを設置する。太陽電池には、外部からの光の影響を少なくするために、覆いを取り付けた。レーザーの光が太陽光電池に届くと、電池に電圧が生じその変化を電圧センサで記録する。
- ③ 風船を割るとまずレーザーの光が届き、遅れて音が届く。風船と観測装置間の距離を光と音の到達時刻の差で割ったものが音速となる。



太陽光電池

〈結果〉

10回行い、特異値1つを除いた平均は、341.433m/sであった。



〈考察〉

気温25℃で実験を行ったので、理論値は、346.5m/s(※)となる。実験2では特異値も存在せず、誤差2%以下となり、正確に測定することができた。

まとめ

高校の教科書に載っている気柱の共鳴実験以外にも工夫次第で、正確な音速を測ることができた。

参考文献

中村 英二：物理基礎. 第一学習社
 ※印の理論値は、上記の教科書に記載されていた
 (音速) = 331.5 + 0.6 × (気温) を用いた。

共振振り子の運動についての考察

Study on resonance of pendulum

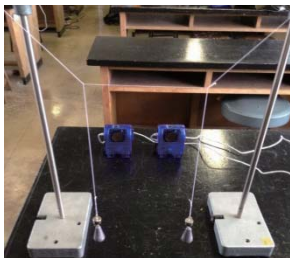
高塚大暉 伊藤友哉

Abstract

We conducted an experiment on resonance of a pendulum. We could observe curious change of swing amplitude of pendulum linked with strings. We observed the swings, changing the weight of bobs and the length of the strings. We found that swing amplitude became bigger and bigger when one bob pulls the other bob.

要約

共振振り子は、たるんだ紐に、2つの振り子をつけることで作ることができ、振り子を振動させると2つの振り子は非常に不思議な動きをする。この振り子の運動を、紐とおもりの条件を変えて観察し、「うなり」がなぜ起きるのかを探った。「うなり」は、2つの振り子の周期的な運動のずれが原因で発生し、片方の振り子がもう一方の振り子を引っ張ることで起こっていることが分かった。



1 序論

ある日、子供向けの工作の本の中で、ミノムシくんというものを見つけた。説明には、「片方のミノムシの揺れがおさまってくると、もう一つのミノムシがひとりで揺れ始めます。」と書いてあったが、まったくイメージがつかなかった。ためしに作ってみたところ、想像していた以上に、不思議で、面白い動きをした。

興味を持ち調べてみると、ミノムシくんの動きは共振振り子の動きと同じであることが分かった。共振振り子とは、たるんだひもに、2つの振り子をつけた装置である。2つの振り子は、互いにエネルギーを伝え合い、運動が絶えず変化する。共振振り子の運動について解明をしたいと考え、本研究に取り組んだ。

2 基本条件

共振振り子の基本条件は以下のとおりである。

- 横糸の長さ…50cm
- ポールの間隔……………40cm
- 揺らす際の振れ幅……………15cm
- 2つのおもりの重さは統一する

3 実験

行った実験の条件は以下のとおり。

なお、番号は **4 結果** に対応している。

- ① 紐の長さ 両方 30cm おもりの重さ 130g
- ② 紐の長さ 両方 30cm おもりの重さ 25g
- ③ 紐の長さ 両方 20cm おもりの重さ 130g
- ④ 紐の長さ 30cm と 25cm おもりの重さ 130g
- ⑤ 紐の長さ 30cm と 20cm おもりの重さ 130g

それぞれの条件で、振り子を揺らし始める時に両方のおもりを引いて同時に放す(両側を揺らす)と、片方のおもりを引いて放す(片側を揺らす)の2つの方法で、実験を行った。

計測には超音波の反射を利用して物体の位置が測定できるセンサーを使用した。

4 結果

① 片方だけ揺らした時は、下のグラフのように、振れが小さくなったり大きくなったりを繰り返した。

今回の研究では、振り子の振れが、小さくなって大きくなってまた小さくなるという一連の動きのことを、「うなり」と呼ぶことにした。

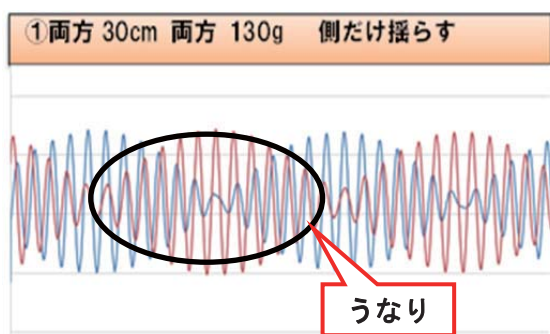
② 両方揺らした時も、片方だけ揺らした時も①と変化は見られなかった。

③ 両方揺らした時も、片方だけ揺らした時も、①よりも振り子の周期が短くなった。

④ 両側揺らした時でも、うなりが見られた。また、2つの振り子の振れる回数が同じだった。

片側だけ揺らした時は、うなりは起こったが、30cmの振り子のエネルギーが、完全には、25cmの振り子に伝わっていなかった。

⑤ ④と似たような揺れ方をした。ただ、④は、2つの振り子の振れる回数が同じだったが、⑤は、うなり1つごとに、20cmの振り子が30cmの振り子よりも1往復多く振れた。



5 考察

うなりがなぜできるのかを、次のように考察した

① 片方の振り子だけを揺らしたり、2つの振り子の周期が異なったりすることにより、一方の振り子が、もう一方の振り子が、もう一方の振り子よりも、先行する状態になる。

② 先行した振り子が、たるんだ紐を通して、遅れている振り子を、引っ張ることになる。

③ 先行した振り子は、引っ張るのにエネルギーを使い、遅れている振り子は、引っ張られるので、エネルギーをもらう。

④ 先行した振り子は、やがてエネルギーを使い果たし止まる。

⑤ 先行していた振り子が止まっている間に、遅れていた振り子が追い抜く。そうして、遅れていた振り子が先行し、先行していた振り子が、遅れる。

⑥ ②に戻る→以下、繰り返し

6 今後の展望

この研究によって、共振振り子で「うなり」が発生するメカニズムがわかった。しかし、実験中に出た疑問で、まだ解明していないものも多い。今後、さらに共振振り子の観察を進めていき、これらの疑問を解明していきたい。また、この研究で「うなり」という言葉を使ったのは、共振振り子の運動のグラフが音の「うなり」のグラフに似ていたからである。音のうなりのグラフは、関数で表すことができる。それならば、共振振り子のうなりも、関数で表すことができるはずである。共振振り子のこの運動を、関数で表してこそ研究目的が達成されたといえる。その関数を見つけ出すことを1つの目標とし、今後も研究を続けて生きたい。

アスピリンからアセチルサリチル酸の単離とその性質 Isolation of acetylsalicylic acid from aspirin and its hydrolysis

栗本 湧希

Abstract

Acetylsalicylic acid, known as one of the painkillers, is contained in commercial aspirin. During the isolation of acetylsalicylic acid from aspirin, its hydrolysis becomes apparent. I investigated into hydrolysis with several pH solutions under various temperatures. I measured how much salicylic acid was produced by the decomposition of acetylsalicylic acid.

要約

アセチルサリチル酸とは、アスピリンの主成分であり、鎮痛剤として知られている。アセチルサリチル酸をアスピリンから単離する中で、加水分解が起こっていることがわかった。今回の報告では、様々な pH、温度条件下でどのくらいサリチル酸が加水分解によって生成しているか調べた。

初めに

世界で初めて人工合成され、市販薬として歴史的にも有名なアスピリンを取り上げ、その薬効成分であるアセチルサリチル酸に注目した。アセチルサリチル酸は紀元前 400 年頃から鎮痛剤として利用されてきたサリチル酸をアセチル化したもので、課題点であった副作用が軽減されている。このように歴史的に注目された薬剤であるアセチルサリチル酸に興味を持ち、アスピリンから単離することを試みた。さらに、アセチルサリチル酸の加水分解についての検討を加え、単離過程でサリチル酸が混入しないように実験操作に改良を加えることを目的とした。(アスピリンの成分はアセチルサリチル酸、セルロース、デンプンなどである。)

研究内容

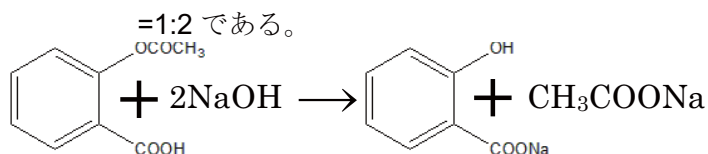
エタノール溶媒を用いてアセチルサリチル酸を抽出し、加熱濃縮してエタノールを蒸発させ、水を加えて加熱し、結晶を洗浄

することでアセチルサリチル酸を単離した。しかし、加熱濃縮と水を加えることによりアセチルサリチル酸は加水分解されサリチル酸が混入していることが定性試験より分かり、抽出、結晶化の際の方法に改良を加える必要が生じた。そこで、アセチルサリチル酸の加水分解を酸性とアルカリ性条件下に分け、次のように調べた。

まず、酸性条件下では、過去の文献より、「温度が高く、pH が低い溶液中ほど加水分解が進みやすいのではないか。」という仮説を立て、検証実験を行なった。サリチル酸が混入することは、塩化鉄(III)がフェノール性水酸基と配位結合し、錯体をつくって紫色を呈色する変化より確認することができる。このときの紫色の呈色を利用し、吸光度法によってアセチルサリチル酸の分解量を定量し、仮説を検証した。

次に、アルカリ性条件下での加水分解についてであるが、あらかじめ水酸化ナトリウムを過剰に加えておき、硫酸で酸性に戻すという方法で酸性条件下同様、塩化鉄(III)

の呈色反応により定量を行なった。さらに、加水分解において加えた水酸化ナトリウムの消費量から、水酸化ナトリウムとアセチルサリチル酸がどのようなモル比で反応しているかについても考察を加えた。なお、一般にアセチルサリチル酸の加水分解は次のような反応とされており、そのモル比はアセチルサリチル酸:水酸化ナトリウム



=1:2である。

最後に、はじめの単離実験でエタノールを加えて加熱した際にも加水分解が起こっているのではないかと考え、エタノール溶媒中でのアセチルサリチル酸の加水分解についても実験を行った。

実験方法と結果

①単離実験と定性試験

①-1 単離実験(改良前)

アスピリン 10錠を砕き、粉末状にしたものにエタノールを 50ml 加える。次に加熱、攪拌してアセチルサリチル酸をエタノールに溶かす。この溶液をろ過し、エタノールに溶けない不溶物を取り除き、アセチルサリチル酸のエタノール溶液とする。エタノールが全て蒸留されたら水を加えて加熱、攪拌して均一な溶液とし、アセチルサリチル酸の結晶を得る。その後、吸引ろ過を行い、アセチルサリチル酸の結晶を取り出す。最後にアスピリン 1錠あたりのアセチルサリチル酸の含有量(0.5g/1錠)から、アセチルサリチル酸の回収率を計算する。

①-2 アセチルサリチル酸、サリチル酸、デンプンの同定

(1)混融試験：アスピリンから抽出したアセチルサリチル酸(試料とする)と試薬のアセチルサリチル酸を混合して加熱、

融点を測定し、アセチルサリチル酸の融点である 135℃前後と比較する。

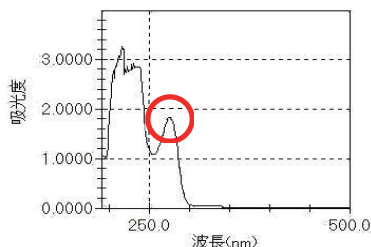
(2)吸収スペクトルによる同定：試料の吸収極大波長を測定し、アセチルサリチル酸(275nm)、サリチル酸(304nm)と比較する。

(3)塩化鉄(III)の呈色反応：試料をエタノール中に溶かし、塩化鉄(III)水溶液を加えて、その呈色でサリチル酸を確認する。

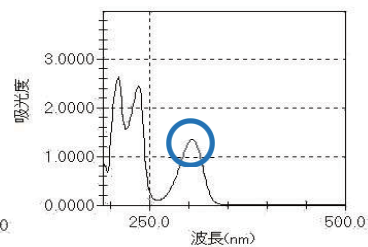
(4)ヨウ素デンプン反応：砕いたアスピリン、ろ過後の物質、試料にヨウ素を加え、呈色を確認することでデンプンを同定する。

①-3 改良前の結果

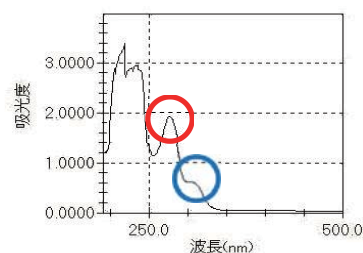
回収率は 37.3%と、かなり低い値となった。混融試験での融点は安定せず、108~120℃前後とアセチルサリチル酸の融点 135℃と比べると低い値になり、不純物が混じっていることがわかった。吸収スペクトルについては、グラフ 3 の通り、アセチルサリチル酸とサリチル酸の両方のピークが見られた。さらに、塩化鉄(III)の呈色反応では、写真 1 のように紫色の呈色がみられ、アセチルサリチル酸がサリチル酸に加水分解していることが判った。最後に、ヨウ素デンプン反応は砕いたアスピリン、ろ過後の物質には見られ、試料には見られず、デンプンなどは完全に除去したといえる。



グラフ 1. アセチルサリチル酸の吸収スペクトル



グラフ 2. サリチル酸の吸収スペクトル



グラフ 3. 試料(改良前)の吸収スペクトル



写真 1. 塩化鉄(III)の呈色反応(改良前)

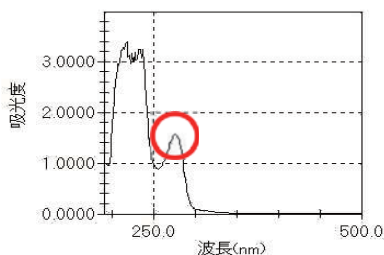
①-4 単離実験の改良

回収率が少ない点についてはアスピリンをさらに細かく砕く、最初の加熱時によく攪拌する、ろ過時に結晶をエタノールで十分に洗浄するという操作を加え、サリチル酸が生成していることについては、加熱時間の短縮、加熱温度を低くするという改良を加えて実験を繰り返した。

①-5 改良後の結果

回収率は 78.7%と大きく向上した。混融試験についても 127~132℃と試薬のアセチルサリチル酸の融点 135℃に大きく近づいた。吸収スペクトルについては、グラフ 4 の通り、アセチルサリチル酸のピークが見られ、サリチル酸のピークはほとんど見られなかった。さらに、塩化鉄(III)の呈色反応でも写真 2 のようにごく薄い紫色の呈色がみられるだけで、ヨウ素デンプン反応の結果も改良前と変わらず、かなり純粋なアセチルサリチル酸を単離することができた。

さらに改良を加え、エタノールを加熱濃縮する際にエタノールを完全には蒸発させず、アセチルサリチル酸の飽和溶液に近くなったところで加熱をやめる。そこに水を加えると、誘電率の違いによってアセチルサリチル酸の結晶が析出する。これを吸引ろ過することによって結晶を得る、という方法を行った結果、回収率は 57.1%と減少したが、塩化鉄(III)の呈色反応が全く無く、ほぼ純粋なアセチルサリチル酸が単離できた。これは、水を加えて加熱しなかったためだと考えられる。



グラフ 4. 試料(改良後)の吸収スペクトル

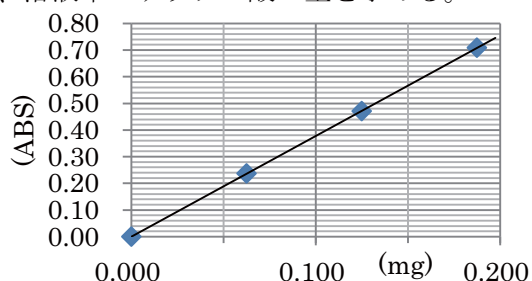


写真 2. 塩化鉄(III)の呈色反応(改良後)

②加水分解について

②-1 酸性条件下での加水分解

試薬のアセチルサリチル酸 300mg をエタノール 20mL と pH2、pH4 に調製した塩酸、または水道水 20mL の混合溶液に溶かし、20℃、40℃、80℃の温度条件で一定時間放置する。その後、放置した溶液 0.5mL に塩化鉄(III)水溶液(0.05mol/L) 1mL、水 1.5ml を加える。この溶液の 545nm での吸光度(塩化鉄(III)とサリチル酸の錯体の吸収極大)を測定する。そして、試薬のサリチル酸を用いて作成した検量線(グラフ 5)により、溶液中のサリチル酸の量を求める。



グラフ 5. 塩化鉄(III)の呈色による検量線



写真 3. 吸光度計

結果は表 1 のようになった。なお 80℃で一日のところは、2 時間加熱して、その後、常温で 22 時間放置したときの値である。

表 1. 酸性条件下でのアセチルサリチル酸の加水分解の度合(%)

| 約25℃ | 1h | 2h | 1day |
|------|----|------|------|
| pH2 | - | 0.21 | 3.50 |
| pH4 | - | 0.18 | 2.61 |
| 水道水 | - | 0.15 | 2.87 |

| 約40℃ | 1h | 2h | 1day |
|------|-------|------|------|
| pH2 | 0.053 | 1.08 | 8.19 |
| pH4 | 0.035 | 1.05 | 7.46 |
| 水道水 | 0.085 | 1.00 | 6.78 |

| 約80℃ | 1h | 2h | 1day |
|------|------|-------|-------|
| pH2 | 3.80 | 10.78 | 15.33 |
| pH4 | 2.78 | 9.87 | 15.02 |
| 水道水 | 2.49 | 8.20 | 14.25 |

②—2 アルカリ性条件下での加水分解
水酸化ナトリウム水溶液(約 0.1mol/L)
50mL にアセチルサリチル酸 300mg を加え、
25℃、40℃、80℃の条件で1時間放置する。
その後、硫酸(約 0.05mol/L)で滴定を行い、
イーザーセンス(pH センサー、滴定センサ
ーを接続したインターフェイス)を用いて
滴定曲線を描き、中和点を求め、水酸化ナ
トリウムの消費量を計算する。また、滴定
後の溶液を用いて酸性条件下同様にサリチ
ル酸を定量し、加水分解の割合を調べる。
なお、水酸化ナトリウム水溶液の正確な濃
度はシュウ酸水溶液を用いて決定し、硫酸
の濃度はこの水酸化ナトリウム水溶液を用
いて決定した。結果は表 2 のようになった。

表 2. アルカリ性条件下でのアセチルサリチル酸の加水分解

| 1回目 | | | 2回目 | | |
|------------|--|------------|------------|--|------------|
| 温度 (°C) | 反応比 NaOH/C ₉ H ₈ O ₄ | 分解度 (%) | 温度 (°C) | 反応比 NaOH/C ₉ H ₈ O ₄ | 分解度 (%) |
| 25 | 2.20 | 94.4 | 25 | 2.03 | 97.8 |
| 40 | 2.24 | 100 | 40 | 2.09 | 99.2 |
| 80 | 2.27 | 99.2 | 80 | 2.11 | 100 |

②—3 エタノール中での加水分解

エタノール 20mL にアセチルサリチル酸
150mg を加えて攪拌、25℃、40℃、80℃の
条件で1時間放置する。その後、吸光光度
法によってサリチル酸を定量する。結果は
表 3 のようになった。

表 3. アセチルサリチル酸(試薬)のエタノール溶媒下での加水分解

| 温度 | 1回目 | 2回目 |
|-----|------|------|
| 25℃ | - | 0.21 |
| 40℃ | - | 1.37 |
| 80℃ | 1.74 | 2.41 |

考察

①より、アスピリンからアセチルサリチ
ル酸を得る際、加水分解を抑え、高回収率
に単離することは可能であると分かった。

また、②より、酸性条件下では温度が
高く、pH が低いほど加水分解が進み易い
という仮説は検証され、エステル酸加水分

解が起こっていると考えられる。

そして、アルカリ性条件下で、温度を上
げると中和点に達するまでの硫酸の滴
下量が減ったのは、加水分解が進んで水酸
化ナトリウムの消費量が増えたためだと考
えられる。さらに、水酸化ナトリウムとア
セチルサリチル酸の反応モル比が 2:1 以
上になったのは、加水分解で生じたサリチ
ル酸ナトリウムの水酸基が中和されたため
だと考えられる。

アルカリ性条件下では温度とは関係なく
ほぼ 100%の分解率だったのに対し、酸性
溶液中、エタノール溶媒中で、温度が高温
であると加水分解が大きく進むものと考え
られ、単離実験において加熱操作により注
意を払わなければいけないことが分かった。

展望

アスピリンからアセチルサリチル酸をほ
ぼ完全に単離できたことと、酸性条件下、
アルカリ性条件下、エタノール溶媒下での
加水分解の反応量がある程度解明されたこ
とより、今度は柳の木からサリシンを抽出
してサリチル酸を得て、さらにアセチル化
することで、アセチルサリチル酸を合成す
る簡単な方法を確立したい。

参考文献

- ・モリツ・ポット 著, 中西香爾ほか訳, “有機化学,
第 6 版”, 東京化学同人, (1994), p981.
- ・大阪市立大学理学研究科基礎教育化学実
験グループ 編, “改訂版基礎化学実験”, ふく
ろう出版, (2010), p60~62.
- ・阿南功一ほか編, “基礎生化学実験法 2 抽
出・分離・精製”, 丸善, (1974), p67~68.
- ・松村隆, 花屋馨, “化学と教育”, 40,
(1992), p702.
- ・右田俊彦, 永井洋一郎著, “有機反応機構”
裳華房(2000), p202~204.

電磁誘導による人力発電と充電の研究
Human Power Generator and Charger
 河合 愛実 塚本 貴斗 野田 慎一郎

Abstract

We think that we can use a human power to generate. We have developed the generator which should not use both hands. The generator has been improving, more lighter and enhance efficiency.

要約

東日本大震災では乾電池が手に入らなくなる事態が起こった。そこで自らの手で電気を作りだそうと考えた。すでに携帯発電機や発電機能付き懐中電灯は市販されている。それらの多くは手回し式だ。私たちはそれ以外の方法、日常動作で発電しようと考えた。電磁誘導を利用し、日々の生活の動作で磁石を振動させることで、意識せずに発電できるように小型で、かつ手足につけても邪魔にならない装置の製作に取り組む。

1. 動機及び目的

私たちは日々、自然災害の恐怖にさらされている。2011年の東日本大震災では、各地で停電が起き、乾電池が買い占められ、電気が必要な人に行き届かない事があった。そこで今後このような事態を絶対に起こさず人々が安心して日々を過ごせるようになる装置を作ることを目的に、2011年度から本研究を始めた。

この研究を始める前年度から私たちはジュールシフという昇圧回路の研究を行っており、電気エネルギーについては一日の長があった。この回路は使い古し電圧の低下した乾電池から電流を取り出し昇圧し再び使用できる電圧まで引き上げられる。実験では0.60Vの乾電池から電流を取り出し2.0Vに昇圧することができた。そして災害時にでも手に入る材料でこの回路をつくり、懐中電灯を開発した。これは使い古した乾電池で点灯する事ができ、限られた資源を効率的に、かつ多くの人々で共有できるものだった。東日本大震災では乾電池が手に入らなくなる事態が起こった。そこで自らの手で電気を作りだそうと考えた。

すでに携帯発電機や発電機能付き懐中電灯は市販されている。それらの多くは手回し式だ。

私たちはそれ以外の方法、日常動作で発電しようと考えた。日々の生活の中で意識せずに発電できるように小型で、手足につけても邪魔にならない装置の製作に取り組む。万歩計は歩いたときの振動を感知している。それにヒントを受け、歩いたときの振動で磁石を動かし、電磁誘導によって発電しようと思いついた。

電池というものは実に便利だ。小さく、いつでもどこでも使え、安定した電気が手に入る。その便宜性は乾電池の買占めに顕著に現れている。そこで自家発電で充電池を充電できれば、懐中電灯や携帯電話の充電機を使えるように

るのではと思います、それを目的に組み込み、研究を進めている。

2011年度までの研究で0.90V程度発電がすることができた。これを応用し日常動作の一例として、ご年配の方が使っている杖を参考にし、「つく」という動作で発電することができる杖型の装置を製作した。しかし重く、電圧も1.4Vとあまり高くなかった。

今、私たちが目標としているのは「ユニットシステム」の製作だ。発電機や充電機能を内蔵したひとつのデバイスで、様々な用途に応用できる。

例えばアームバンドに内蔵し、ランニング時に発電させる。そして休憩時にその電気で送風機を動かすという「電気の自給自足」である。ちょっとした事ならこの装置で間に合うので節電に役立つ。

このユニットシステムを実現するため2012年度の初めはより小さく軽く、高い電圧を発電できるように、装置を改良した。コイルや磁石に工夫を重ね実験を重ね、3.85V発電できる装置を製作する事ができた。

2. 使用器具・材料

- ・銅線 (0.30mm)
- ・充電池 (900mAh, 1.2V)
- ・アクリル製パイプ ・コンデンサー
- ・電圧計 ・電流計
- ・フェライト磁石 ・ネオジウム磁石

3. 仮説

私たちは、これまでより高い電圧を得る方法として、以下の4点を考えた。

- 仮説 1 磁石間に鉄製のワッシャーを挟む。
- 仮説 2 磁石を磁力の強い物に置き換える

仮説3 コイルの巻き方に工夫を施す。
 仮説4 磁石の配列方法を一新する。
 いずれも工夫により電圧が上げることができると考えた。
 仮説1～4の検証のために、次の実験1～4を計画した。



図1 コイルを巻く前のパイプ

4.実験方法・結果

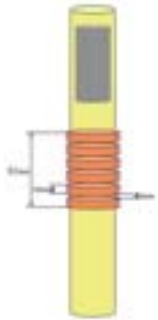


図2 杖型装置の概要

<実験1> ワッシャーの有無による電圧の変化方法

フェライト磁石に鉄製のワッシャーを挟み、磁石の個数を変え発電し、ワッシャーを挟んでいない磁石と比較する。

使用装置

杖型装置 (図1, 図2 参照)
 コイル 1200 巻き (200 巻き*6 段)

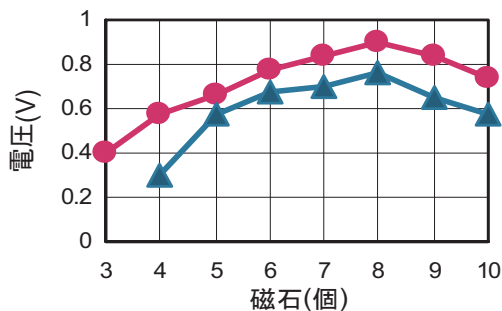


図3 ワッシャーの有無による電圧の変化

結果

図3より、ワッシャーの有無に関わらず8個の磁石を使用した時の電圧が最も高かった。全体的に「ワッシャーなし」の方が「ワッシャーあり」のものよりも電圧が高くなっている。

「ワッシャーあり」の場合の最高電圧は0.90V、ワッシャー無しの場合の最高電圧は0.75Vである。

<実験2> フェライト磁石とネオジム磁石の比較

方法

フェライト磁石を、4300Gの磁力の強いネオジム磁石に入れ換え、比較した。

使用装置

杖型装置
 コイル 900 巻き (150 巻き*6 段)

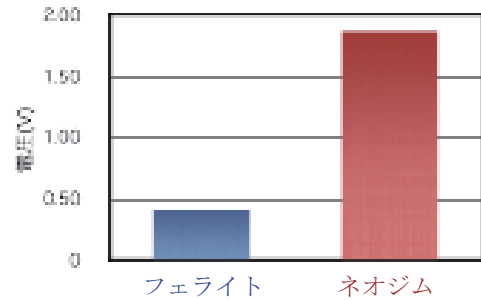


図4 フェライト磁石とネオジム磁石の比較

結果

図4より、フェライト磁石を用いた場合は0.40V、ネオジム磁石を用いた場合は1.87V発電できた。

ネオジム磁石で発電した場合、フェライト磁石と比べ4.68倍の電圧となった。

<実験3> コイルの巻く方向と電圧の関係方法

アクリル製のパイプに6つの溝を掘り、1段あたり50回銅線を巻く。
 6段全てを同じ方向に巻いたコイル(以下、単一方向巻き)と、1段毎に銅線の向きを変えたコイル(以下、交互巻き)の発電量を比較する。(図5参照)

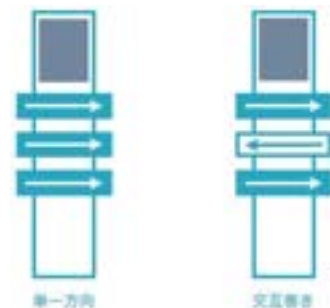


図5 コイルを巻く方向の模式図

使用装置

コイル 300 巻き (50 巻き*6 段)

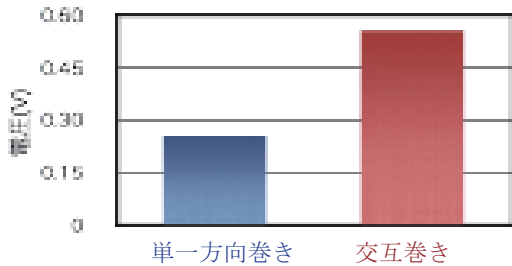


図6 コイルの巻く方向と電圧の関係

結果

図6より、単一方向巻きのコイルで0.27V、交互巻きの

コイルで0.58Vと交互巻きでの電圧が、単一方向のものより2.15倍高くなった。

<実験4> 磁石の向きと電圧の関係 方法

反発させずにつなげたネオジム磁石(以下、ストレート)と、SN・NS・SN……という風につなげ、ねじで固定したネオジム磁石(以下、SN対向)を用意する(図7参照)。それを単一方向巻きのコイルを巻いたアクリル製パイプの中に入れ、発電量を比較する。

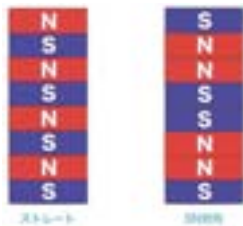


図7 磁石の向き

使用装置

コイル 300 巻き (50 巻き*6 段)

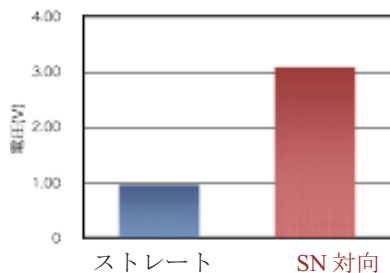


図8 磁石の向きと電圧の関係 果

図8より、SN対向で3.10V、ストレートで1.00V発電できた。ストレートで発電した場合より、SN対向で発電した場合の方が3倍、電圧が高くなった。

5. 考察

実験1では、鉄芯の代わりとしてワッシャー

を磁石間に挟んだが、電圧が低下してしまった。これはワッシャーを挟んだことで磁石間の距離が広まり、磁力線の絡み合いが弱まって、磁力が弱くなったためだと考えられる。ワッシャーの有無に関係なく、共に8個で電圧が高かったのは磁石の全長がちょうどコイルを完全に通過できる長さだったためだと考えられる。

実験2では磁力が強いほど発電の電圧が高くなることがわかった。これはファラデーの法則から予想できる結論であった。

実験3のコイルの正逆巻きはコイルの向きが細切れに変わるため、細かく電気が起き、電圧が上昇したと考えられる。

実験4のSN対向では通常の並び方と比べ、磁力線の絡みによる磁力の上昇が大きかった為、結果として電圧が上がった。

以上の結果はファラデーの電磁誘導の法則とレンツの法則に深く関わる。ファラデーの電磁誘導の法則は磁石がコイルを通過する速さ、コイルの巻き数、磁力の強さによって起電力が変化する。したがって、ワッシャーとSN対向の実験の結果は、この法則に起因していると考えられる。実験1~4の結果より仮説1~4を検証することができた。結論として、実験結果を総合するとより効率的な発電の条件を知ることができた。これらを踏まえて新型装置を製作した。

6. 製作

<製作1> 杖型装置と新型装置の比較



図10 杖型装置と新型装置の比較

方法

実験3で結果が良かった交互巻きのコイルと

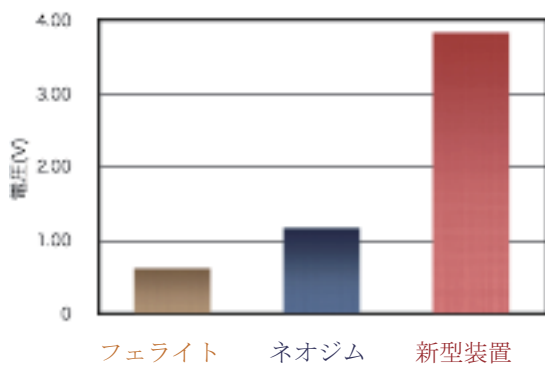
実験4で結果が良かったSN対向、そしてネオジム

磁石を組み合わせた新型装置と、昨年度製作した杖型の装置にフェライト磁石を入れたもの、ネオジム磁石を入れたもの、それぞれの電圧を比較する。

使用装置

杖型装置 コイル 1200 巻き

(200 巻き * 6 段)
 新型装置 コイル 800 巻き
 (200 巻き * 4 段)



結果

図 10 より、杖型装置にフェライト磁石を入れた物は 0.670V、ネオジウム磁石を入れた物は 1.30V、交互巻きのコイルと SN 対向のネオジウム磁石を入れた物は 3.85V 発電できた。杖型装置（フェライト），杖型装置（ネオジウム），新型装置の順に電圧が高くなった。新型装置とフェライト磁石で発電したものの電圧を比較すると 4 倍の電圧が得られた。

<製作 2> 新型装置による充電電池の充電方法

製作 1 で製作した新型装置を 2 本の単 3 型充電電池 (1.2V) につなぎ、30 分間充電する。充電前と 1 分後、3 分後、5 分後、10 分後、20 分後、30 分後の電圧を測定する。

使用装置

新型装置 コイル 800 巻き (200 巻き * 4)

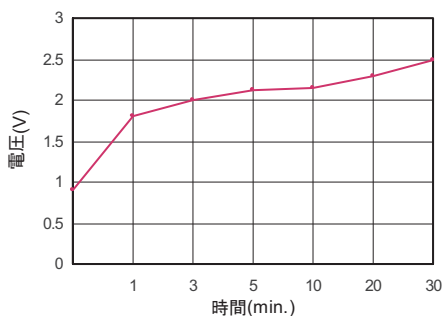


図 11 充電電池の電圧変化

結果

図 11 より、30 分で、2 本の充電式電池が満タンの 2.5V まで充電できた。

<製作 3> コンデンサーについて
 使用装置

いままでに製作した 4 種類の発電装置 (表 1) に種類の異なるコンデンサーをつないで 30 回振って発電した後、コンデンサーに蓄えられた電圧を測定する。

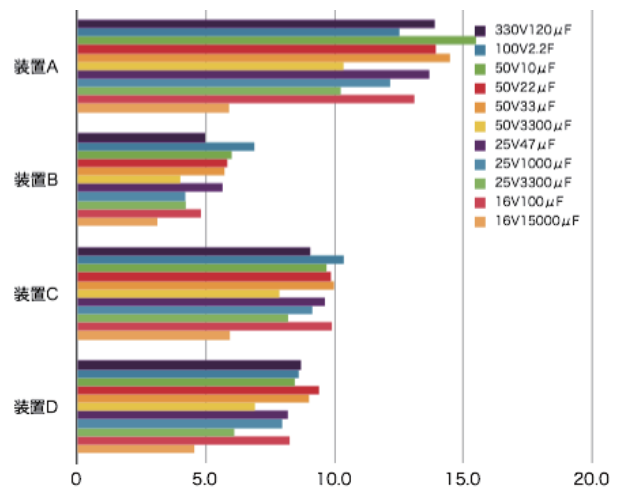


図 12 コンデンサー接続時の電圧

結果

図 12 より同じ電圧のコンデンサーを用いた場合、電気容量が大きいものほど低い電圧となった。

コンデンサーとつないだ場合、もとより 2~3 倍高い電圧となった。

7. 製作後の考察

ネオジウム磁石を用い、SN 極を対向させることで磁石の磁力を上げ、コイルの巻き方を工夫することで電圧を上げることができた。これにより、昨年度の杖型装置よりも小型、軽量かつ高性能な発電装置を製作することができた。その発電装置を用いることで充電電池の充電を行うことも可能となり、その充電電池を使用して LED を点灯させることもできた。

制作 3 ではコンデンサーと装置を接続して蓄電を行ない、より高い電圧で発電できた。静電容量が大きいと電気を溜め込んでしまうため放電に時間がかかるため電圧が低くなり、逆に静電容量が少ないものは短時間で放電するため、前者より電圧が高かったと考えられる。しかし発電する電圧は発電装置の性能に由来するため、コンデンサーの有無や静電容

量等のスペックに関わらず、10V を超えるような高い電圧を発電するには、元の電圧が高い装置を製作する必要がある。

8.展望

今後はさらなる小型化・高性能化と共に「ユニットシステム」の開発を目指す。これは当初の目的である、「日常動作で発電する」を実現するためのデバイスだ。手のひらに収まる程度のサイズで、カバンに入れたり、ランニング時に手足や腰につけることで発電できる。

図 13 は「ユニットシステム」の試作機である。発電機と USB ポートを内蔵する。ユニットを切り替えると汎用性の高い単 3 や単 4 型の充電池等を充電できるので、取り出して懐中電灯や携帯ラジオなどに使用できる。さらに、USB 端子を通じてスマートフォンなどの充電も可能である。これらのことが振るだけで可能である。

しかしサイズが手のひらにおさまらないことと、装置に使用しているネオジム磁石が人体やペースメーカー、IC カード等に影響を及ぼす恐れがあり、それを如何にして解決するかが、今後の課題だ。



9.謝辞

本研究を行うにあたり、研究や製作にご協力くださった伊藤憲人先生、高木國彦先生に深謝の意を申し上げたく、簡素ではありますが謝辞にかえさせていただきます。

10.参考文献

林崎伸一、富川義朗、高野剛浩(2006) 「同極・電磁石を対向配置した携帯電磁発電」
『電磁力関連のダイナミックシンポジウム講演論文集』18th(CD-ROM) B1A01

寒天を用いた色素増感型太陽電池

The efficiency of a dye-sensitized solar cell using iodine and agar solution

田崎滉大 熊谷光起 西尾拓真 齋藤翔太

Abstract

We researched Dye-sensitized solar cells focused on potassium iodide electrolytic solution. We mixed it with agar and waited for it to dry. Then we made electricity with it.

要約

酸化チタン(IV)をベースとする色素増感型太陽電池で、次世代の太陽電池である。

私たちは、酸化チタンペーストや色素に注目し、どのような物質が出力を高められるか、調べた。

また、ヨウ素電解質溶液に注目し、寒天を使用して電解液を固形化し電解液を乾燥させ、寒天未使用の太陽電池と比較し寒天使用の影響を調べた。

1 序論

新エネルギーで注目されるものの中に色素増感型太陽電池がある。従来のシリコン型の太陽電池と比べて容易に作成できることが特徴のひとつである。しかし、色素太陽電池の制作方法はさまざまであるため、よりよい色素太陽電池の制作について調べた。また、この色素太陽電池は「長持ちしない」という欠点をもつ。

そこで、私たちの地元の特産品である寒天を用いることにより、色素太陽電池をより長持ちさせようとした。

2 使用した材料・器具

【材料】

酸化チタン(IV)(粉末状)、酸化スズ(IV)をコートした導電性ガラス板(2.54×2.54) cm, pH3 の硝酸、純水、4B の鉛筆、ヨウ化物電解質溶液、2-プロパノール、アセチルアセトン、メチレンブルー、ローダミン B、水酸化ナトリウム、塩酸、ハイビスカス、β-カロテン、マローブルー (アントシアニン色素)、寒天、ヨウ素、ヨウ化カリウム

【器具】

クリップ、セロハンテープ、光源 (OHP)、ガラス棒、乳鉢、乳棒、電気炉、超音波洗浄器、マルチメータ、電流計、電圧計、検流計、ピーカー、

シャーレ、可変抵抗、スターラー

3 研究・実験の手順

(1) 酸化チタンペーストを作る。

①粉末状の酸化チタン 3g と pH3 と硝酸 7g とアセチルアセトン 1 滴を乳鉢に入れ 30 分混ぜる。

(2) 導電性ガラスの洗浄

①台所用洗剤で導電面を洗浄する。

②2 - プロパノールを入れた超音波洗浄器で 3 分間洗浄する。

③2 - プロパノールを揮発させガラスを乾燥させる。

(3) ガラスにペーストを塗布する。

①導電面を上にしてセロハンテープでマスキングする。(3 辺が 3mm ずつ、1 辺が 6mm 幅にしてマスキングする。)

②塗布した酸化チタンペーストがむらにならないように注意し、ガラス棒で手前から奥へ押し出して塗布する。

(4) 乾燥・焼成

①塗布してすぐにテープをはがし、あらかじめ 100℃に設定しておいた電気炉に入れ、乾燥させる。

②乾燥後、450°Cに設定しておいた別の電気炉に入れ、30分焼く。

(5)色素の吸着

①色素を酸化チタンに吸着させる。

これより下は寒天を添加した実験操作である。

(6)寒天をヨウ素電解質溶液に加え、電解質溶液を固める。

(7)組み立て

①色素を吸着させた酸化チタンガラスと、4B鉛筆で導電面を塗りつぶした陽極を合わせる。

②隙間に寒天を加えたヨウ素電解質溶液を入れ、クリップで挟む。

(8)電流・電圧の計測

OHP(オーバーヘッドプロジェクター)を光源とし、マルチメーターを使用して電流・電圧を計測する。

<補足>

*すべての実験で使った光源の OHP は太陽とほぼ同じ明るさの 54000 ルクスに設定した。

*酸化チタンペーストは、以前ペーストを変える実験をしてよい結果を出した、酸化チタン 3 g, 硝酸 7 g, アセチルアセトン 1 滴を材料として作成したものを使用した。

*酸化チタンペーストに関する実験は、前回提出の論文を参照。

*実験 9 までの電流、電圧の値は、それぞれ**短絡電流**、**開放電圧**である。

4 実験 (i)

(1) クロロフィル、ハイビスカス、マローブルーのアントシアン色素を用いて実験を行った。

[実験 1] クロロフィル (桜の葉をアセトンで抽出したもの) を吸着させた。

<結果> 電圧 0.20V 電流 0.0mA

[実験 2] マローブルーを使いアントシアンを純水

で抽出し、その水溶液に 1 日ガラスを浸した。

<結果> 電圧 0.22V 電流 1.0mA

<考察>

クロロフィルを吸着させたものと電圧はほぼ同じだったが、電流は[実験 1]ではほとんど流れなかった。[実験 1]では抵抗が高すぎてしまったと考えられる。

[実験 3] ハイビスカスの色素を溶かした溶液に浸した。

<結果> 電圧 0.06V 電流 0.025mA

<考察>

アントシアンは、資料、文献によると、色素太陽電池において他の色素と比べ、良い発電データを得られているが、この実験ではあまり良いデータを得られなかった。なんらかの条件の違いによって結果が変わってしまうと思われる。

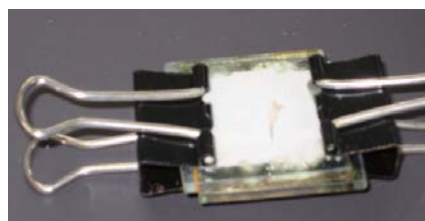


[実験 3]のガラス

(2) アントシアンは水素イオン濃度によって色が変化することに注目した。そこで、色の違いによって発電の結果がどのように変わるか調べた。なお、色素の青色が塩酸によって赤色、水酸化ナトリウムによって黄色に変化する。

[実験 4] 0.1mol/L の塩酸にアントシアンを溶かした溶液に浸した。

<結果> 電圧 0.21V 電流 0.014mA



[実験 5] のガラス

[実験 5] 0.1mol/L の水酸化ナトリウム水溶液にアントシアンを溶かした溶液に浸した。

<結果> 電圧 0.19V 電流 0.015mA

<考察[実験 4][実験 5]>

純水, 塩酸, 水酸化ナトリウムではそれほど結果に差がなかった。よって, アントシアンは吸着時の水素イオン濃度は発電量に関係がないと思われる。

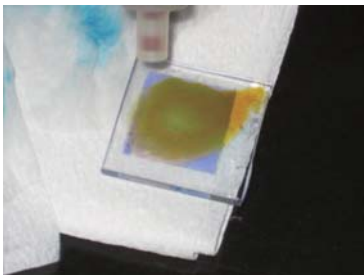
[実験 6] メチレンブルー水溶液に一晩浸し, 吸着させた。

<結果> 電圧 0.02V 電流 0.0mA

<考察>

ヨウ化物電解質溶液をガラスの間に入れたところ, メチレンブルーが溶け出してしまい, 発電がほとんどできなかった。メチレンブルーのような

水溶性の色素には, 色素太陽電池に使えないものがあると分かった。



溶け出たメチレンブルー

(3) [実験 6]の結果, 酸化チタンペーストに吸着させた色素が, ヨウ化物電解質溶液に溶け出し色落ちしてしまった。

そこで今回はどのような色素が酸化チタンペーストに吸着し, ヨウ化物電解質溶液に溶け出さないかを調べた。

[実験 7] 導電性ではないガラス板に酸化チタンペーストを焼成し, 色素の吸着実験を行った。ガラス板に酸化チタンペーストを塗布し焼成したものを, ローダミン B 水溶液に浸し吸着させた。

<結果>

酸化チタンペーストに吸着したが, ガラスの裏面にはローダミン B の色がみられなかったため, 水を垂

らすとローダミン B が水に溶けてだしてしまった。ヨウ化物電解質溶液にも同じように溶けてしまった。

<考察>

ローダミン B も酸化チタンに吸着せず水に流れてしまったことから, [実験 6]の結果とともに水溶性の色素は, 色素太陽電池に向かないと思われる。



水に溶け色落ちしたローダミン B

[実験 8 (I)] β -カロテン (水溶性でない) をヘキサンに溶かし, 吸着させた。

<結果> 電圧 0.30V 電流 微弱

β -カロテンはヨウ素電解質溶液に溶けず, 色落ちしなかった。また発電をすることができた。そして今までの実験の中で最も大きい開放電圧が発生した。

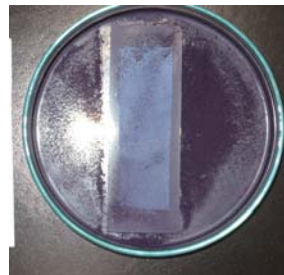
[実験 8 (II)] インジゴ (水溶性でない) を吸着させた。

<結果>

うまく吸着されておらず水で流れてしまった。

<考察[実験 7][実験 8]>

酸化チタンペーストの状態や, 他の色素の場合を考えれば一概に水溶性の色素が適していないとも言い切れない。また, 水溶性でない色素が適しているともいえない。だが, 色素によって適正があるようである。



インジゴの吸着実験

<まとめ>

[実験 6][実験 7][実験 8]より水溶性の色素の中には、酸化チタンに吸着させても色落ちしてしまうことがあり、色素太陽電池には向かないものがある。ただし、アントシアン色素は水溶性の色素であるにも関わらず、色素が落ちなかったことから、水溶性の色素のすべてが色素太陽電池に向いていないわけではない。また、アントシアンは水素イオン濃度で色が変わるが、色の違いによって、発生した電圧に大きな差はなかった。

また、水溶性の色素、そうでない色素の吸着に注目した。すると、水溶性でないβ-カロテンによる色素を使用したものが、良い発電結果を得られた。だが水溶性でない色素（インジゴなど）や、酸化チタンの条件によって吸着結果は左右されると思われるため、水溶性かそうでない色素の適正はわからなかった。

5 実験 (ii)

電解質溶液を長時間保持することで電池を長持ちさせるため、寒天を加えることを考えた。寒天の加える量を 0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g とし、太陽電池作成直後、1 週間後の電流、電圧の値を計測した。なお、通常寒天は水と 100 : 1 の割合で固まるが、この割合 (0.1g) では固まらなかったため、寒天を 2 倍の 0.2 g から加えることにした。測定は 1 日ごとに行った。

[仮説]

電解液へ加える寒天の量を増やすに従って、寒天未使用の太陽電池よりも出力を、長い日数にわたって維持することができると思った。したがって、寒天添加した太陽電池の出力は、寒天未使用のものよりも大きくなると予想した。

以下は測定日別、寒天の添加量別の発電結果のグラフである。

なお、作成直後から 1 週間値をとり続けた。(4, 5 日目は未測定)また、太陽電池の呼び方は、例えば、0.2 g 寒天を加えたものならば、0.2 g 添加と呼ぶことにする。

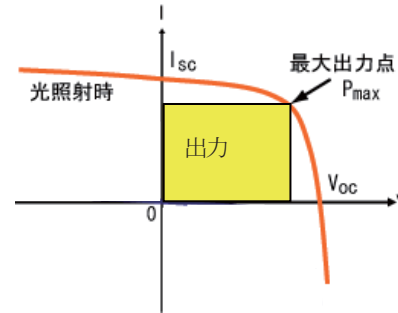
<用語について>

開放電圧 (I_{sc}) ; この実験では、太陽電池に直接電圧計をつなぎ計測した値である。

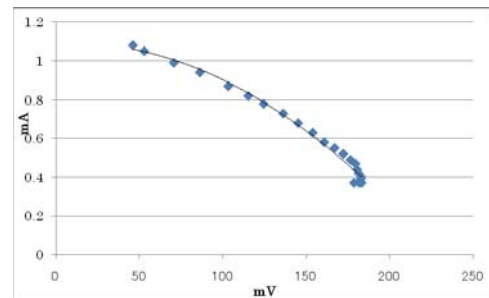
短絡電流 (V_{oc}) ; 電圧が 0V のときの値。

※開放電圧、短絡電流、ともに電流、電圧な最大値のことである。

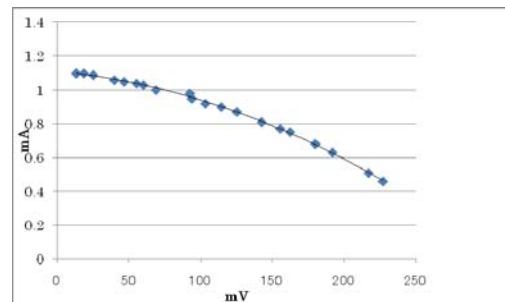
出力 ; 下図黄色部分が出力



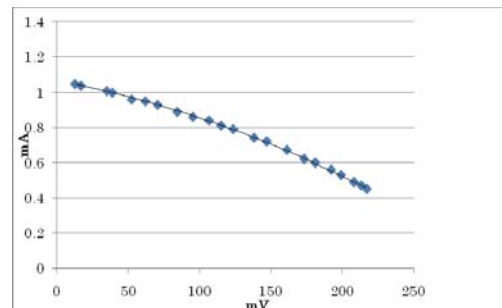
(I)作成直後



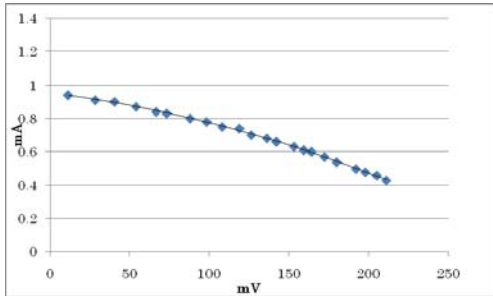
寒天未使用



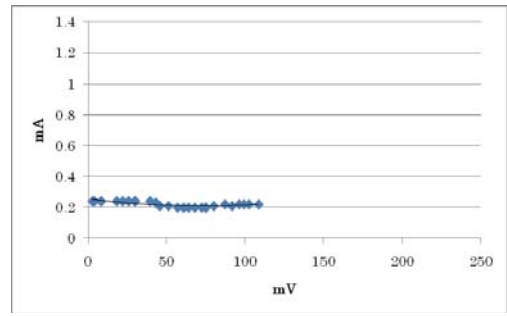
0.2g 添加



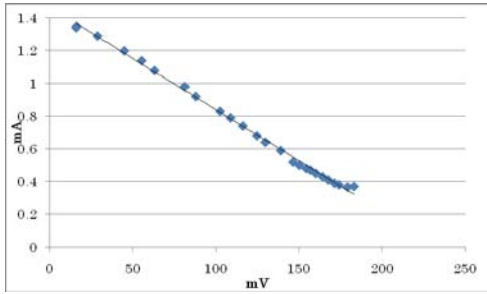
0.4g 添加



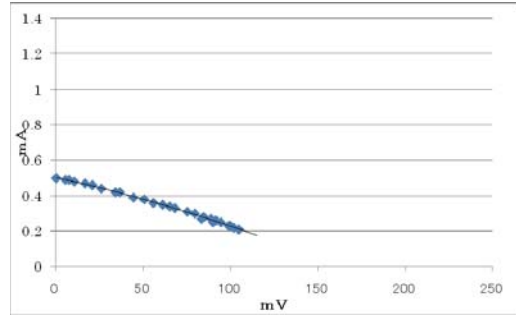
0.6g 添加



0.4g 添加

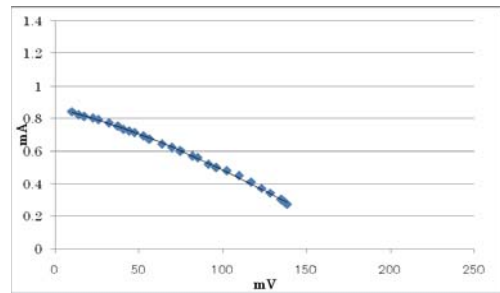


0.8g 添加



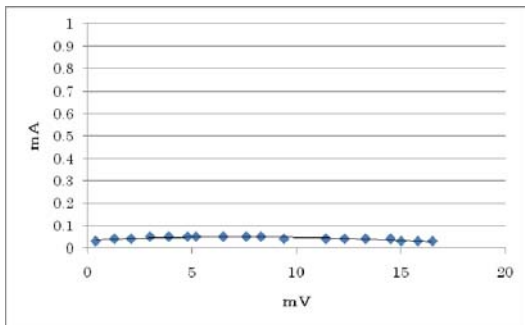
0.6g 添加

※電流—電圧曲線は可変抵抗を用いて計測すると、上のグラフのように右下がりの曲線を描く。このグラフより、予想と異なり、寒天未使用の太陽電池が0.8g添加を除き、0.2g添加、0.4g添加、0.6g添加の出力を上回っている。



0.8g 添加

(II)2 日目

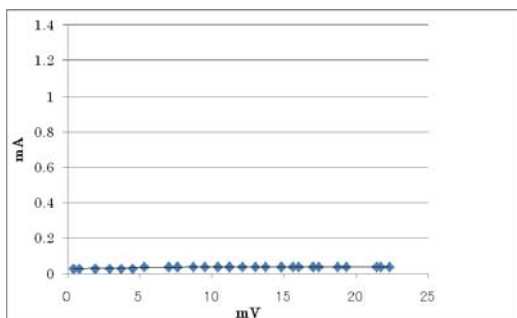


寒天未使用

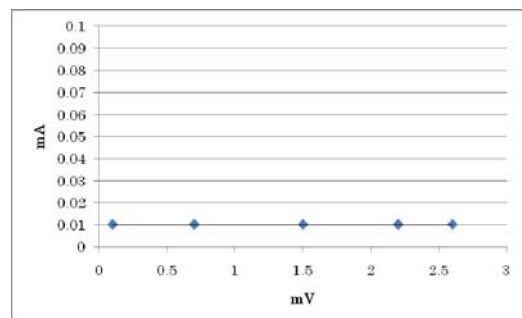
※全体的に出力が低下した。特に、寒天未使用と0.4g添加の太陽電池の出力の低下が大きい。しかし、0.4g添加を添加した太陽電池の出力はいずれも寒天未使用のものを上回った。

(III)3 日目

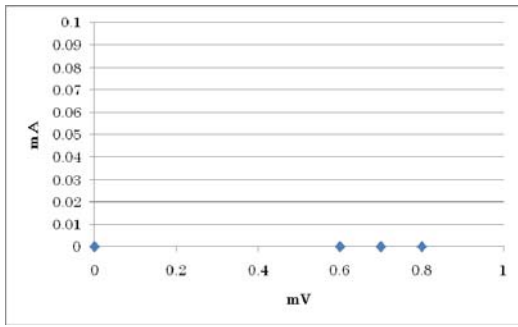
寒天未使用は、値が小さすぎて、以下の値のみを示した。



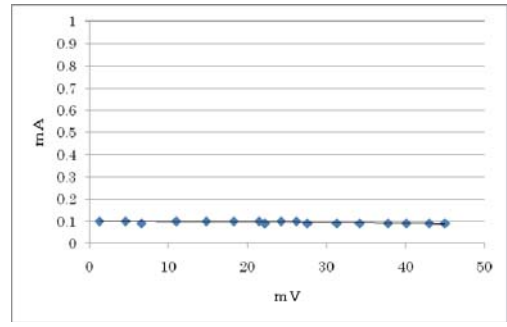
0.2g 添加



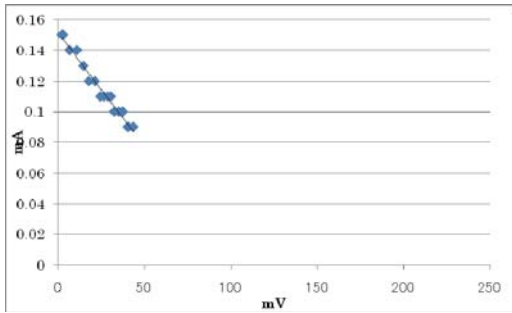
0.2g 添加



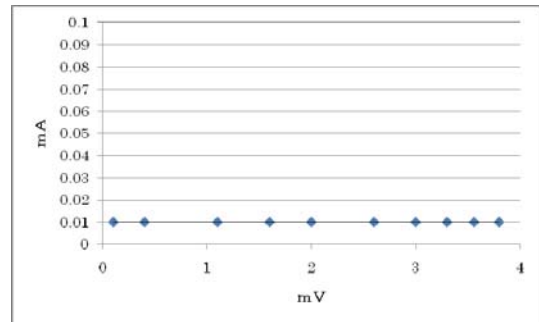
0.4 g 添加



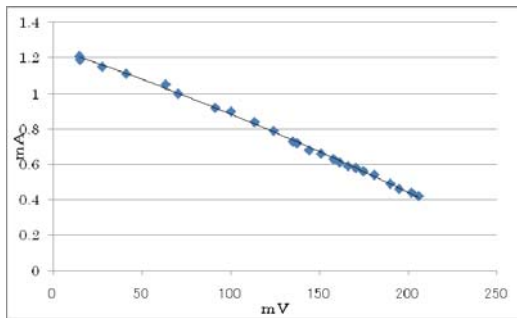
0.2 g 添加



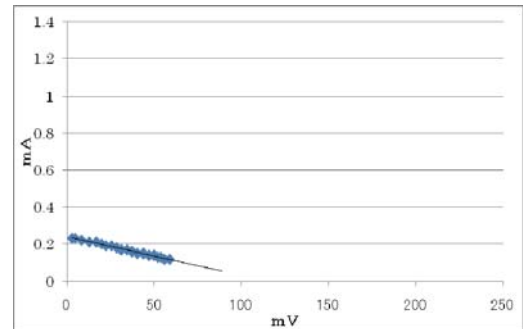
0.6 g 添加



0.4 g 添加



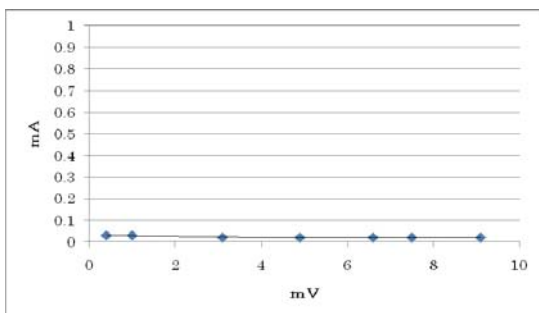
0.8 g 添加



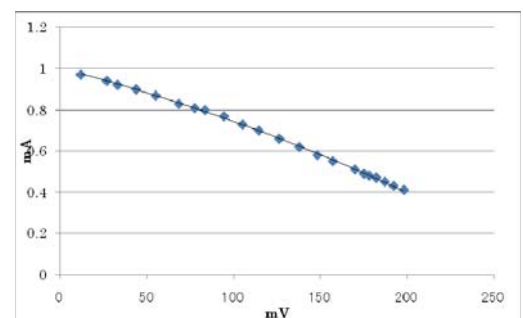
0.6 g 添加

※寒天未使用, 0.4 添加について, 電圧を示したが, 電流は計測できなかった。色素の実験においても同じ現象がみられたが, この実験でも同じ現象が起こったと考えられる。

(IV)6 日目



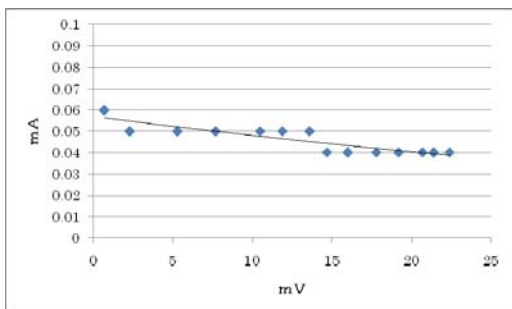
寒天未使用



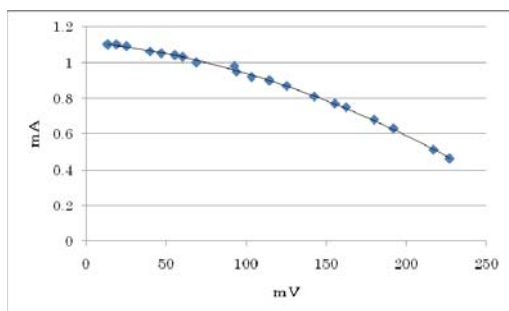
0.8 g 添加

※寒天未使用 0.8 g, 0.6 g 添加を除き水平な直線になった。

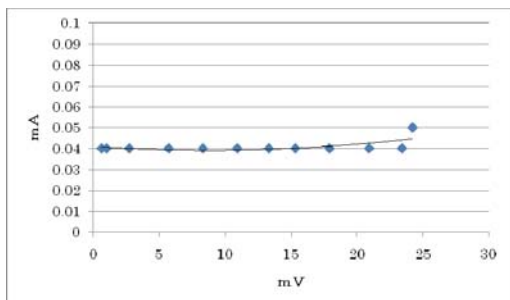
(V)7日目



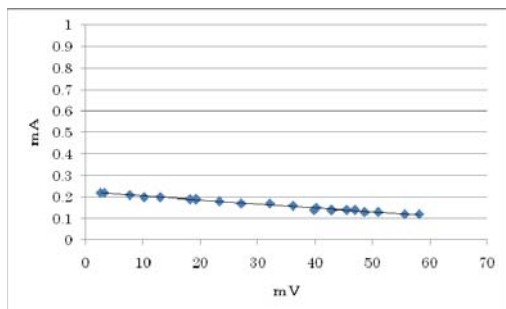
寒天未使用



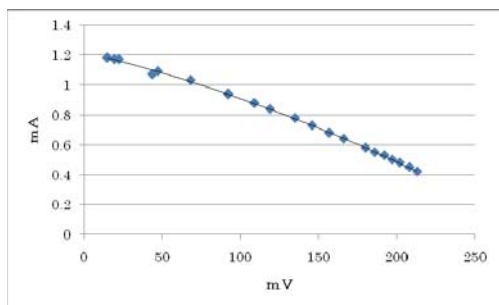
0.2 g 添加



0.4 g 添加



0.6 g 添加



0.8 g 添加

※水平直線のグラフだったものが右下がり直線、曲線に変化した。

6 結果と考察

[結果]

1週間を通して、すべての太陽電池の出力は減少した。開放電圧に注目すると、0.2 g 添加、0.8 g 添加の値が1週間後に、作成直後に増加した。

全体を通して、0.8 g 添加のグラフは、同じような形を示し続けていた。それに対しその他の寒天添加、寒天未使用のグラフは直線型になったり、曲線に戻ったりし安定していないように見える。

[考察]

全体として、出力は減少しているものの、寒天添加の太陽電池は寒天未使用の太陽電池よりも1週間後に高い出力を示した。これは、寒天の構造はジャングルのようにからみあった構造をしており、ここに水分が含まれているため、乾燥しにくくなり、寒天未使用の太陽電池よりも長持ちしたと考えられる。

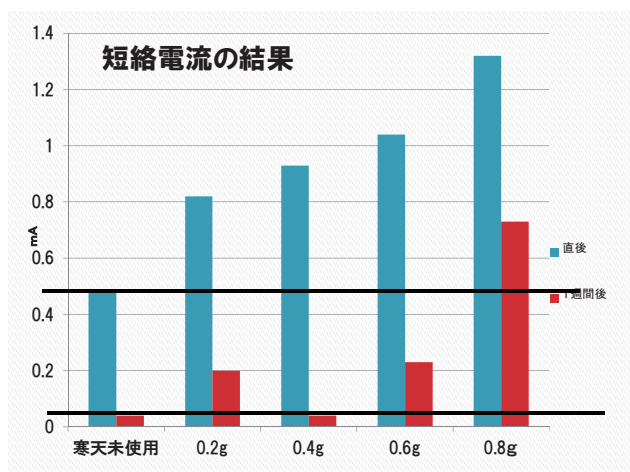
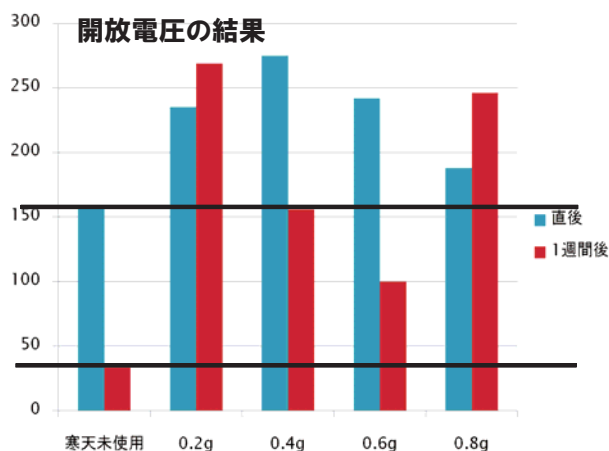
また、寒天のジャングルのような構造にヨウ素が多く取り込まれ、寒天未使用よりもヨウ化物イオンが増加したとも考えられる。

7日目の測定において、大きく出力が増加した0.2 g 添加、2日目で短絡電流の値が増加した0.6 g 添加については原因がわからない。しかし、これらの結果を考慮しないでグラフの形を考えると、0.2 g 添加は初めこそ出力が大きかったものの、その後、グラフは水平直線を描き、0.4 g 添加は0.2 g 添加と同じ傾向がみられる。0.6 g 添加は全体を通し、右下がりの直線を描き、0.8 g 添加は右下がりの曲線を描く。

以上のことから、寒天の添加量により寒天の構造に何らかの変化が生じたため、構造の変化が電流・電圧の測定値に関係する可能性がある。そこで次のように考えた。0.2 g 添加、0.4 g 添加は全体を通し同じ水平直線を描くことから、同じ構造であると考えられる。そして、0.6 g 添加、0.8 g 添加はそれぞれ別の構造をもつのではないかと考えられる。しかし、0.2 g 添加、と0.4 g 添加は出力の差があり、0.2 g 添加のほうが、出力が

大きいことから、0.2 g 添加と 0.4 g 添加は構造の違いがあるのかもしれない。

以下に電池作成直後と一週間経過後の寒天添加量と開放電圧および短絡電流を比較したグラフを示す。



[まとめ]

寒天の添加によって太陽電池を長持ちさせることは可能である。また、寒天の添加量の違いにより、発電出力が変わることから、寒天に何らかの変化が起きていると考えられる。

7 今後の課題

寒天の添加量とその構造の違いを調べるとともに、発電量の違いとの関係を研究することが今後の課題である。

8 参考文献など

<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5990-4428>
[JAJP.pdf](#) (アジレント・テクノロジー)

- ・ケニス株式会社ナノクリスタル太陽電池キット
- ・手作り太陽電池のすべて 色素増感太陽電池を作ろう 若狭信次 著
- ・進化する電池の仕組み 乾電池から未来型太陽電池まで 箕浦秀樹 著

飼料米を給与した鶏卵の卵黄色改善のための柿皮活用

Use of persimmon peel for improvement of egg yolk color were fed the rice diet

動物科学科 早瀬瞭田口知美 瀧日桃花 西原友紀奈 井上菜歩

Abstract

By giving chicken rice feed that is the current focus, it is possible to suppress the consumption of feed corn imports, reduce CO2 production of eggs safe and secure, improvement of food self-sufficiency rate, and safety checks by local production for local consumption, paddy efforts were made to achieve this can be of functional maintenance and preservation of the natural environment.

概要

現在注目されている飼料米を鶏に与えることにより、輸入トウモロコシ飼料の消費を抑えて、安心安全な鶏卵の生産、食料自給率の向上が達成できるこの取り組みを行った。

実験の結果では嗜好性や産卵能力などの鶏への影響は少なく代替飼料として給与可能であることが判明した。しかし産卵した鶏卵の卵黄色が薄いという結果になり、商品としての嗜好性から敬遠される結果となった。従来鶏卵における卵黄色はトウモロコシに含まれる色素キサントフィルに起因するため、飼料米にはこれに類する色素成分が含まれていないためである。この問題を解決するために地域の資源を活用した改善策がないかと思案した結果、特産品である柿には色素βクリプトキサンチン、ゼアキサンチンが含まれ、キサントフィルと同様の作用が鶏に対してであると推察された。そこで干し柿生産の際に廃棄される柿皮を飼料米飼料に5%添加する実験を行った。結果としてカラーファンで約2段階の向上、卵黄成分ではβクリプトキサンチン16.9%、ゼアキサンチン19%の上昇があり、柿皮の給与は卵黄色改善に有効であることが分かった。このことを受けて添加量を10%にして再度試験した結果カラーファンで4.5段階上昇した。今後は効果と添加量の適正な数値の算出を課題にしたい。

柿皮5%添加

試験期間 45週齢～52週齢

供試鶏 ボリスブラウン 128羽

給与量 1羽 120g/日

| 飼料成分 | 試験区1 飼料米 | 試験区2 飼料米+柿皮5% | 対照区 トウモロコシ |
|-------------|-------------|------------------|---------------|
| ME(Kcal/Kg) | 2,942 | 2,942 | 2,850 |
| CP % | 17 | 17 | 17 |

○結果

| | 卵黄色 | 産卵率 (%) | 1個卵重量(g) | 卵殻強度 | HU値 |
|------|------|---------|----------|------|-----|
| 試験区1 | 5.6 | 86.95 | 62.30 | 3.37 | 94 |
| 試験区2 | 7.8 | 87.60 | 63.07 | 3.94 | 94 |
| 対照 | 12.7 | 94.75 | 62.58 | 3.38 | 93 |

飼料米+柿皮給与の卵黄中

| | β-クリプトキサンチン 含量 μg/100g | ゼアキサンチン 含量 mg/100g |
|------|---------------------------|-----------------------|
| 試験区2 | 185.7 | 0.69 |
| 対照区 | 158.9 | 0.58 |
| 増加率 | 116.9 | 119.0 |



柿皮10%添加

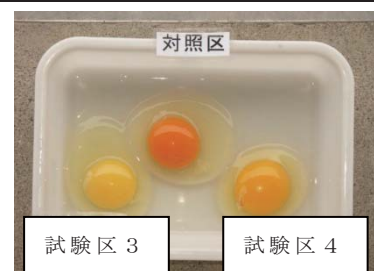
試験期間 40週齢～48週齢

供試鶏 ボリスブラウン 64羽

給与量 1羽 120g/日

○結果

| | 卵黄色 | 産卵率 (%) | 1個卵重量(g) |
|---------------------|------|---------|----------|
| 試験区3 (飼料米) | 5.1 | 84.80 | 68.40 |
| 試験区4 (飼料米+10%柿皮) | 9.6 | 82.20 | 67.10 |
| 対照区 (トウモロコシ) | 13.2 | 91.20 | 63.10 |



自然豊かな地球を目指して～突然変異により砂漠を緑化する植物の作出～

For the natural rich earth ~Mutation will make green plants in the desert. ~

生物工学科 川口 航平 小森 裕弥

Abstract

We tried to make mutation in morning glory. As a result, the mutation appeared by irradiation of UV light, and the colchicine treatment. However, under the other conditions, morning glory could not easily be mutated. We will continue the study of mutations.

はじめに

人為的な突然変異を起こして植物の品種改良や高温・乾燥に耐性のある植物の作出をしようと考えた。今回の研究は、アサガオを使って、温度・重力等の変異原により突然変異誘発実験をし、発芽率、形質の変異を調べた。

実験1 紫外線による突然変異誘発

紫外線を用いて発芽種子に30～180分まで30分間隔で10cmの距離から紫外線を照射。

| 結果 | 30分 | 60分 | 90分 | 120分 | 150分 | 180分 |
|----|-----|-----|-----|------|------|------|
| 長波 | △ | △ | △ | △ | △ | △ |
| 短波 | △ | △ | ○ | △ | ○ | ○ |

(△ 変異なし ○ 変異あり)



【考察】

波長 356nm では変異は誘発されない。

波長 254nm では、90、150、180 分間照射区に葉形の変異が現れた。また、花色が濃くなったり花形に変異がある個体が出現したことから、254nm の紫外線は突然変異を誘発すると考えられる。

実験2 重力による突然変異誘発

チューブに発芽種子と純水を入れ 15 分間遠心分離。

【考察】どの試験区も発芽しなかったことから、重力は変異原とならないと考えられる。

実験3 温度による突然変異誘発

チューブに発芽種子と純水を入れ、40～70℃で10～30分間水槽で加温。

| 【結果】 | 40℃ | 50℃ | 60℃ | 70℃ |
|------|------|-----|-----|-----|
| 10分 | △33% | ×0% | ×0% | ×0% |
| 20分 | ○33% | ×0% | ×0% | ×0% |
| 30分 | ×0% | ×0% | ×0% | ×0% |

【考察】

40℃20分間加温で3枚子葉が出現したが、論文より環境変異とわかった。50℃以上では変性により発芽しなかった。高温は突然変異を誘発しないと考えられる。



実験4 臭化エチジウムによる突然変異誘発

乾燥種子を25～100%臭化エチジウム水溶液で吸水させた後、播種。

| 【結果】 | 0% | 25% | 50% | 75% | 100% |
|------|------|-----|-----|-----|------|
| 発芽率 | 100% | 0% | 0% | 50% | 25% |

【考察】

全て枯死したことから、突然変異が誘発の判定ができなかった。

実験5 コルヒチンによる突然変異誘発

コルヒチンでアサガオの成長点を覆い一晚放置し水でよく洗浄し栽培。

【結果】



【考察】

0.1%、0.2%処理区とも形態や花形に変異が出現したことから、コルヒチン処理は突然変異を誘発すると考えられる。

今後の課題

- ・試験個体数を増やし実験する必要がある。
- ・重イオンビームやガンマ線に挑戦したい。

プロトプラストの単離と新品種の作出

The isolation of the Protoplast and fabrication of a current cultivar

生物工学科 長野 正太 島野 広也 大野 諒介 田中 寿樹

Abstract

We have taken much notice of the improvement of species of the rose with cell fusion method. We have succeeded in the isolation and the fusion by repeating these experiments. We have performed the protoplast culture aiming at the improvement of species. We will reexamine the experiment method from the result of the failures of the regeneration of plants.

はじめに

体細胞雑種を作出し、形質の組み合わせや発現において、想定外の個体が現れることが期待できると考えられる。新品種の作出を目指し細胞融合に着目した。

実験1 バラ植物片からプロトプラスト単離

【目的】

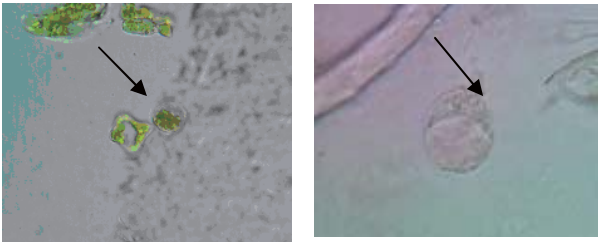
バラの細胞融合のために葉と花弁を用いてプロトプラストを単離し形状を観察した。

【実験方法】

- ①メスで細かく刻みシャーレに入れ洗浄後酵素処理。24時間後ナイロンメッシュを用いて残さをこす。
- ②遠心分離を繰り返して、プロトプラストを洗浄後、顕微鏡でプロトプラストを確認。

【結果】

写真のように、葉、花弁からプロトプラストを単離できた。花弁から単離できた数が多いことがわかる。



葉のプロトプラスト 花弁プロトプラスト

【考察】

葉のプロトプラスト数が花弁と比べ少なかったのは、葉の組織が強固で、セルロース等が多く含まれているためと考えられる。葉は単離に適さないと判断した。

実験2 バラの細胞融合

【目的】

バラを電気融合法により体細胞雑種の作出を目指す。

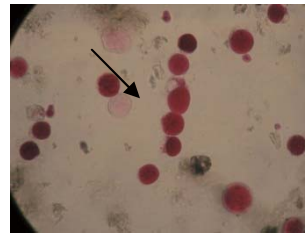
【実験方法】

- ①プロトプラストを単離し、血球計数器により濃度を計測し、最適濃度に調節。

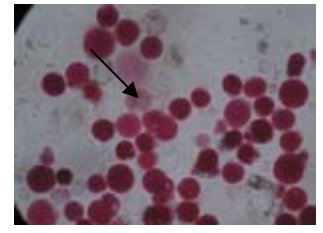
- ②電気融合装置によりパールチェーンを誘導し、パルスをかけて融合。

【結果】

プロトプラスト濃度を 1.5×10^6 個、18~25V の条件下でパールチェーンができることがわかった。電圧 124V、5 回パルスの場合、プロトプラストを融合することに成功した。



パールチェーン



融合

【考察】

今回のプロトプラスト濃度は最適であると考えられる。また、パールチェーンの誘導や融合を行う際の電圧は適切であったと考えられる。

実験3 プロトプラスト培養

【目的】

体細胞由来の植物体と比較するためにプロトプラスト由来の植物体を作成を試みる。

【実験方法】

- ①プロトプラストを単離し残さを遠沈管に入れ、遠心分離により洗浄。
- ③上清を取り除いたあと CPW を加え、液体培地に流し込んだ。

【結果】

6 回の培養のうち 4 回はコンタミが発生した。2 回の培養ではプロトプラストの活性が失われた。

【考察】

コンタミは、無菌操作が不十分であったと考えられる。活性が失われたのは液体培地のため酸素不足が原因だと考えられる。

今後の課題

- ・固体培地での培養を試みる。
- ・他の品種のバラを用いた細胞融合する。

ヘドロの浄化方法と有効利用について

The research of purification method and effective use of sludge.

生物工学科 小瀬木悠輔 各務幹久 相撲洗貴 横山博紀

Abstract

We have been interested in sludge in the river at school, Gifu Senior High School of Agriculture and forestry. The result of our research has taught us that it is impossible to purify the sludge, but we have succeeded in making much use of it. We hope that we will continue research it from now on.

はじめに 〈ヘドロ〉 sludge, muddy soil

ヘドロとは、有機物が川底に蓄積したものの塊をさす。有機物を水中嫌気性細菌が腐敗させ、アンモニア NH₃ やメタン CH₄ が発生するため悪臭がする。ヘドロが川底に堆積すると砂利や石が埋もれ、生物の生態系に悪影響を及ぼす。

実験1 ヘドロの調査

【目的】校内のヘドロの成分分析を行う

【実験方法】

- ①川からヘドロを採取し有機物量を調べる。
- ②ヘドロから発生する気体を採取し、点火する。(点火実験)

【結果】

川底を刺激すると気泡が発生した。ライターの花を近づけると火柱が立ったのでメタンが燃焼したと考えた。 ■ 写真ガス採取 (6/27)



■ 写真ガス採取 (6/27)

実験2 ヘドロの浄化

【目的】川に生息する生物を利用し有機物を分解する。

【実験方法】

- ①採取したヘドロを水と1:1で混ぜ合わせ、合計3Lを容器に入れる。
- ②週2回パケットテストを行い、硝酸、亜硝酸態窒素、リン酸、リン酸態リンの値を計る。
- ③2ヶ月間放置し有機物量の変化を観察する。

| | 川底 | えひめAI | 水生生物 | ヘドロ | 植物 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 有機物量 | 6.57% | 9.55% | 8.89% | 8.89% | 8.99% |

◆表1) 有機物量の変化 (2012.5.3~7.2)

| | | | | | |
|--------|------|---|-----|-----|-----|
| リン酸 | 0.5 | 5 | 1 | 1 | 0.5 |
| リン酸態リン | 0.1 | 2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 |
| 亜硝酸 | 0.05 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 亜硝酸態窒素 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 |

◆表2) パケットテスト結果 (5.14)

実験3 ヘドロの有効利用

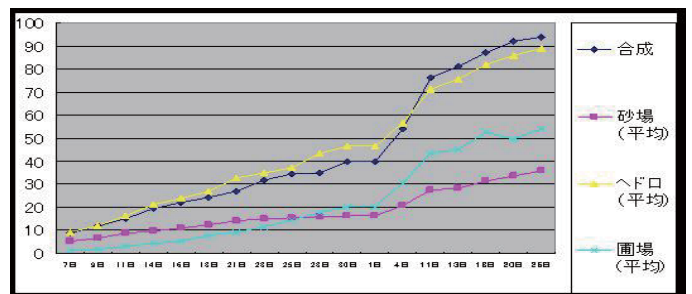
【目的】採取したヘドロを有効利用し環境によい影響を与える効果を探る。

【実験方法】

- ①ヘドロ、②砂、③圃場の土、④ヘドロと砂
- 上記の条件でトウモロコシを育てる。

【結果】

条件①ヘドロ、条件④ヘドロと砂の混合で育てたトウモロコシが、他の2種で育てたものよりも大きく



成長した。 ■ 写真植物の様子 (6/25)

● グラフ植物の成長曲線 (2012.5.7~6.25)

まとめ

実験1「ヘドロの調査」では、川底のヘドロからメタンガス CH₄ が発生していたと考えられる。発生した気体をバイオガスとして利用できる可能性も調べたい。

実験2「ヘドロの浄化」では、パケットテストの場合、リン酸の上昇以外に大きな変化は見られなかった。有機物量の場合、試験区のヘドロよりも有機物が増加しているもの(えひめAI、水生生物)があり、微生物の死骸によって、有機物が増加されていると考えられる。

実験3「ヘドロの利用」では、ヘドロで栽培した植物が大きく成長したのは、ヘドロに存在する有機物、養分などが成長を促す要因になったと考えられる。

廃油の有効利用による循環型社会について

The Construction of Recycling Society by Utilizing the Waste Oil

生物工学科 梶原悠乃 岩永麻里 渡邊真央

Abstract

There are many wastes of waste oil in the restaurants and the home. So we manufactured BDF from the waste oil to achieve the recycling society by utilizing the waste oil that is biomass.

はじめに

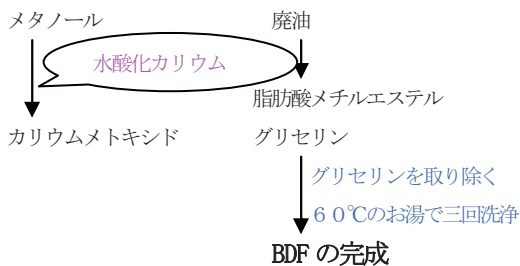
多くの飲食店や家庭では大量の廃油が廃棄物となっている。そこで私たちはバイオマスである廃油の有効利用から、資源の無駄遣いの軽減、循環型社会の実現を目標とし、廃油から製造するBDFに注目し調査を行った。

実験1 化学触媒法と酵素法の比較

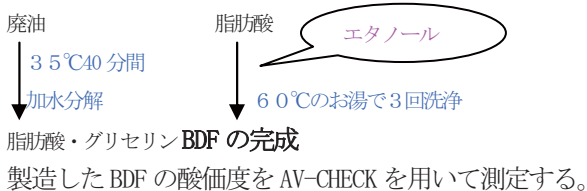
【目的】

化学触媒法と酵素法でBDFを製造し効率のよい製造方法を見つける。

[化学触媒法]



[酵素法]



AV-CHECKでは油脂などの酸価を測定することにより、BDFの安全性を確かめることがで

| | 1回目 | 2回目 |
|-------|-------|-------|
| 化学触媒法 | 2.5AV | 0.5AV |
| 酵素法 | 4.0AV | 4.0AV |

【考察】

酵素法の酸価度では、安全は保障されないため使用することはできない。酸価度が0.5以下になった化学触媒法が、BDFの製造に適しているといえるが、実際に実験してみて、酵素法は化学触媒法よりも作成の時間や操作手順を少なくできることが分かった。そのため酵素法のほうが化学触媒法よりも効率が良く、より循環型社会に配慮していると考えられる。

実験2 酵素法のBDFの酸価度を下げる条件

①加水分解時の温度を35°Cから、40°C、50°C、60°C、70°Cと変えて、BDFを作成する。

| 加熱温度 (°C) | 40 | 50 | 60 | 70 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| 酸価度 (AV) | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |

どの温度も0.5以下ではないため、安全は保証されない。

②リパーゼの量を0.3gから2gに変えて作成。

酸価度は1.5AVだが、5日でカビが生えてしまった。

【考察】

酸価度を下げるためにはリパーゼの量を変えれば良いことが分かった。しかし、5日でカビが生えてしまったため長期保存できるように改良が必要。

実験3 リパーゼ生産菌のスクリーニング

【目的】

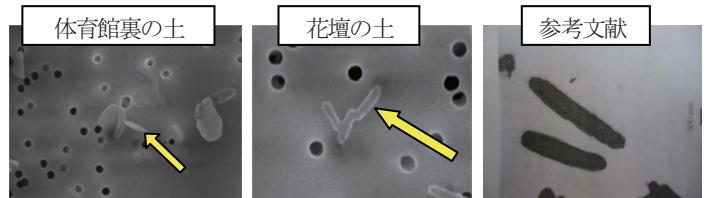
私たちの周りで、BDFの酵素法で使用するリパーゼ生産菌を見つけ、スクリーニングを行う。

【方法】

校内10箇所から採取した試料をリパーゼ生産菌分離用培地で培養し、クリアゾーンの確認を行う。

スライドカルチャーと電子顕微鏡による観察を行う。

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | 1g | 純水 | 194mL |
| K ₂ HPO ₄ | 1g | オリーブ油 | 4g |
| MgSO ₄ ・7H ₂ O | 0.05g | 寒天 | 7g |
| CaCO ₃ | 1g | | |



電子顕微鏡観察からリパーゼ生産菌と思われる菌を発見することができた。今後、大学と連携し検証したい。

今後の調査

- リパーゼの量を変えると、酸価度が下がることから引き続き研究をする。
- リパーゼ生産菌のスクリーニングは、クリアゾーンの確認、電子顕微鏡観察を進めたい。

飲料水の硬度の違いによる食品への影響

Influence on the food by the difference in the hardness of drinking water.

食品科学科 大久 綺音 上田 裕紀

Abstract

Water is indispensable to our life. As to drinking water, quality is an important matter. In recent years, consumption of bottled water such as mineral water has increased very much, and a tendency to quest delicious water has grown strong. In this circumstance, we are going to examine, focusing on the point of hardness of water, what kinds of influence are caused on food by difference in hardness and also how the hardness of the tap water changes with time and processing.

研究1キレート滴定法による水の硬度測定

【実験原理】

水の硬度とは、水に溶けている Ca^{2+} および Mg^{2+} の量を CaCO_3 (ppm) に換算したものである。硬度には全硬度 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)、Ca硬度、およびMg硬度がある。この滴定法ではpHが重要な条件になる。例えば、 Ca^{2+} はpH8以上でほぼ完全にキレート化合物をつくり定量出来るが、それ以下のpHでは生成割合が低く、正確に定量出来ない。全硬度の測定は、試料水のpHを10にして、BT指示薬を加えてEDTA溶液で滴定する。pH10においては、 Mg^{2+} も Ca^{2+} と同様に反応する。Ca硬度の測定は、pH12~13において、 Mg^{2+} は安定な水酸化物となってEDTAと反応しなくなるのでNN指示薬を用いて Ca^{2+} のみを定量することが出来る。EDTAは、2~4価の金属イオンと、そのイオンの価数に関係なく1:1で結合してキレート化合物を生成する。キレート滴定法は、この反応を応用した金属イオンの定量法である。

実験1 浄化後の水道水の硬度測定

【試料採取】

試料A：標準試料（校内水道水）

試料B：水道水を凍結後、中心を残し解凍したもの

試料C：水道水を凍結後、完全に解凍したもの

試料D：水道水を煮沸したもの

試料E：水道水を1日汲み置きしたもの

試料F：水道水を抜気したもの

【キレート滴定法による測定結果】

| 試料 | 全硬度 | Ca硬度 | Mg硬度 |
|----|-------|------|------|
| A | 74.5 | 20.3 | 6.0 |
| B | 33.8 | 6.4 | 4.3 |
| C | 75.4 | 22.4 | 7.3 |
| D | 107.1 | 29.0 | 8.4 |
| E | 79.6 | 21.3 | 6.4 |
| F | 76.4 | 20.6 | 6.0 |

実験2 水道水の時間帯における硬度の変化

【試料採取】

校内の水道水を平日、休日明けの1時間おきに採取し硬度を測定

【キレート滴定法による測定結果】

| 採取時間 | 平日 | 休日明け |
|------|------|------|
| 0時間 | 83.9 | 88.1 |
| 1時間後 | 84.3 | 84.7 |
| 2時間後 | 81.5 | 86.6 |
| 3時間後 | 79.4 | 84.4 |
| 4時間後 | 79.1 | 86.0 |
| 5時間後 | 81.9 | 89.3 |
| 6時間後 | 78.8 | 83.4 |
| 7時間後 | 80.0 | 82.7 |

研究2 硬度の違いによる食品への影響

【食味検査】

| 食材 | 軟水 (硬度29) | 硬水 (硬度1468) |
|------------|------------------|------------------|
| コーヒー | ・まろやか ・適度な酸味 | ・苦みを強調 |
| ご飯 | ・つやつや ・ふっくら | ・パサパサ |
| 野菜 (じゃがいも) | ・煮ぐずれ ・ペースト状 | ・ほくほく |
| 牛肉 | ・柔らかい ・アクが出ない | ・硬い ・アクが出る |
| パスタ | ・コシがない ・歯ごたえ× | ・コシが出る ・歯ごたえ◎ |
| だし (和風) | ・まろやか ・うま味 有 | ・クセ 有 ・うま味 無 |
| だし (洋風) | ・肉の臭み 有 | ・肉の臭み 無 |

考察

研究1より、校内の上水道の硬度は70~80前後で時間差及び利用頻度により多少の変動はあるが、食品製造における食品への影響はないものと考えられる。

研究2より、硬度の違いが食品へ及ぼす影響について、日本古来の食文化に根差した食品は軟水が適しており、また洋食であるパスタ・洋風だしは硬水が適していることがわかる。これは世界各地の飲用水に適した、食品並びに調理法が確立し、それが食文化として定着してきたためであり、飲用水の硬度が食品に及ぼす影響は大きいと言える。

生物調査による環境の分析～野鳥の観察を通して～

Analysis of the Environment with Biological Research ~Through the bird watching~

環境科学科 角孟 関谷一輝 高木龍之介

Abstract

The Tenno river is one of the artificial rivers built by the construction method for nature-oriented river reconstruction. We have conducted the research to show the relationships clearly among the ecosystem in river, some artificial structures and living creatures there through the observation of wild birds living around the Tenno river.

1 テーマ選定理由

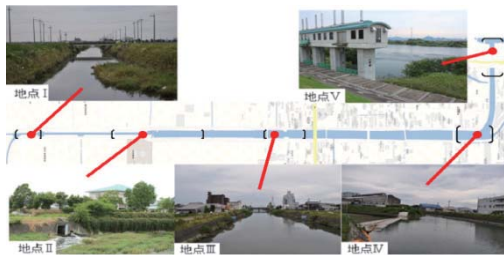
私達は環境の違いによって観察できる野鳥に違いが見られ、また鳥類を調べることで地域の環境や生態系を判定できる事を学んだ。そこで天王川に注目し、生物調査を行うことにした。

2 目的

- ①河川生態系を明らかにし、生物と構造物の関係を明らかにする。
- ②研究結果から、自然と共生できる町造りの在り方を提案する。

3 活動の内容

天王川 2.7 km の区間に 5 つの調査区を設定した。



研究 1 野鳥は、定点センサス法で各区 30 分観察を行い、写真とメモで記録をとる。

研究 2 護岸：護岸の写真から工法を調べる。

研究 3 環境を考える上で必要なその他の調査。

4 調査結果

研究 1 年間 28 種類の野鳥を確認できた。

研究 2 護岸工法の特定

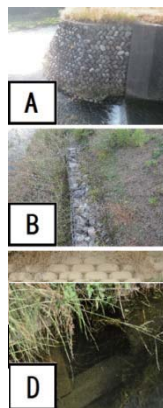
A：ラップストーン工法：強度や景観との調和に優れている

B：箆マット工法：多自然型工法の一つで植物が定着しやすい。

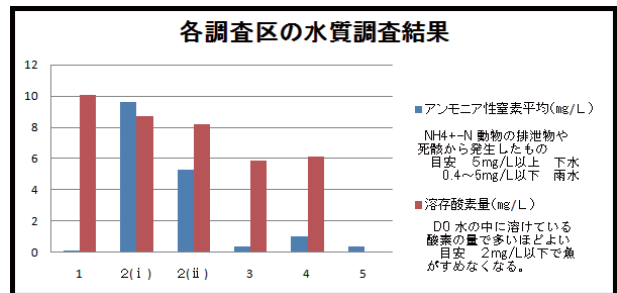
C：石積み工法の 1 種：土が溜まりやすく、そこに植物が定着しやすい。

D：魚巣ブロック：魚、亀などの水生生物の隠れ家となる。

研究 3 各区の水質特定(アンモニア性窒素・溶存酸素量)



5 考察



地点 I …植物が茂り川の形状富んでいるため餌の生物が豊富で多様な鳥類が生息しやすい。

地点 II …水草を食べる野鳥がよく見られたのは、水草が多いためである。

地点 III …護岸から木が生えており、カワセミなどの留り木になっている。

地点 IV …鵜が見られたので水深があると考え、また、魚が生息している。

地点 V …長良川との合流点であるため、天王川と長良川両方の鳥類が見られた。

6 まとめ

①餌の種類が豊富な河川であり、多様な鳥類が生息できる環境であると考えられる。

②調査区は水田、住宅地、工業地帯と長良川に近づくにつれ変化し、観察される鳥類も変わることから人間生活と鳥類には関係があるとが分かった。

③護岸の様子や水深の違いによってそこでみられる鳥に変化がみられることがわかった。

④水質調査により地点 II の水草は排水から出ているアンモニア性窒素による富栄養化が懸念される。

7 今後の課題

- ・護岸の工法と生物の生息状況との関連性を調べる。
- ・野鳥調査、護岸工法、水質調査を総合し河川環境の評価を行い工法の改善点を考える。

アゾ色素の臭素化と色素の変化について

Research of Bromination of Azo Dyes and their Color Changes

大野哲 久保田崇聖 齋藤啓介 坂口美紗 寺田卓矢 福井千紗

Abstract

We filtered violet dye from synthesised azo dye with p-methyl aniline and 1-naphthol, and tried to determine the exact structures of the 2 red dyes developed from bromizing violet dye. We found suitable conditions to collect the 2 red dyes based on the time bromized and the quantity of bromine water. One of the red dye's structures was determined, the other's structure could be estimated. We also found another dye -called light dye- whose color changed from transparent to blue. It was found that light dye is involved in the so-called "blue print" phenomenon, but its structure was not confirmed.

要約

私たちはパラメチルアニリンと1-ナフトールを用いて合成したアゾ色素から紫色のものだけを単離し、それを臭素化することで生ずる2つの赤色色素について構造決定を試みた。臭素化時間と臭素水の量を検討することで、最も赤色色素2つを集めやすい条件をみつけた。2つの赤色色素のうち1つは構造決定し、もう1つは予想構造をたてた。またその際にTLC上で無色から青色に変化する物質(光無色)を発見した。光無色については青焼きという現象が関わっていることもわかったが、構造決定には至らなかった。

1 目的

アゾ色素とは分子中にアゾ基N二重結合を持つ物質で工業用染料の60%を占めている。図1は私たちが使用した紫色色素で、パラメチルアニリンをジアゾ化し、1-ナフトールとカップリングさせてできたアゾ色素から紫色のものだけを単離したものである。

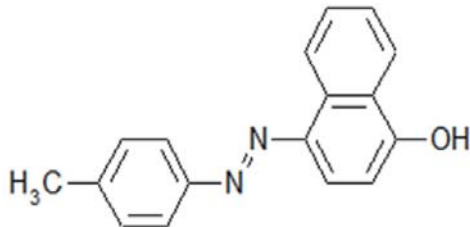


図1 紫色色素の構造

アゾ色素の臭素化による色の変化は代々先輩方から引き継いできた研究で、前年度の研究では紫色色素を臭素化すると臭素化させる時間によって変わる赤色物質が2つと、無色物質ができることがわかった。

前年度は無色物質の構造決定をすることができたが、2つの赤色色素に関しては構造が不明である。2つの構造を決定し紫色色素と臭素がどのような反応を起こしどのように構造が変化するか明らかにすることを目的とした。また実験の途中TLC上で無色から青色に変わる物質を発見したので、それについても調べた。

2 方法

(1) 紫色色素の生成と単離

パラメチルアニリンをジアゾ化し、1-ナフトールとカップリングさせてアゾ色素を合成する。合成したアゾ色素をシリカゲル60(100~210 μ m)と溶媒(ヘキサン:ベンゼン=5:1→3:1)を用いてカラムクロマトグラフィーを行い、紫色色素を単離する。単離後、ロータリーエバポレーターにかけ乾固する際、酸化するのを防ぐためヘリウムガスをあてる。以下の物質も同様。



写真1
カラムクロマト
グラフィー

(2) 赤色色素Aの生成と単離

溶媒をとばした紫色色素に四塩化炭素70mL、臭素水40mL、水40mLを加えて分液ロートで振とう後30分静置する。生成した物質をTLC(薄層カラムクロマトグラフィー)で確認(次頁写真2)。生成した赤色物質を赤色色素Aとし、これを溶媒(ヘキサン:ベンゼン=1:3)を用いてカラムクロマトグラフィー(写真1)で単離する。

(3) 赤色色素Bの生成と単離

溶媒をとばした赤色色素Aに四塩化炭素70mL、臭素水40mLを加えて分液ロート中で振とうした

後二日間静置する。生成した物質を TLC で確認(次頁写真 3)。TLC で A の上部に確認できる赤色物質を赤色色素 B とし、溶媒(ヘキサン:ベンゼン=10:1→7:1→5:1)を用いてカラムクロマトグラフィーで単離する。

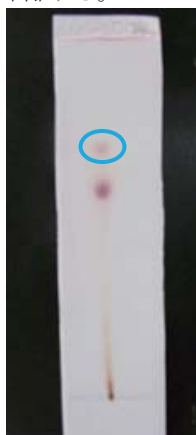


写真 2
赤色色素 A



写真 3
赤色色素 B

(4) 無色物質の単離

(3)の TLC 上で無色物質が3つ確認されたのでこれらも単離する。なお、TLC 上でこの物質は昇華性を示し写真を撮ろうとしたところすでに TLC 上では確認できなかった。

(5) 光無色の生成と単離

TLC 上で無色から青色に変わる物質を光無色とした。光無色とした理由は、TLC 上での反応速度が照明下よりも紫外線ライト下のほうが速かったため、光が関係した反応であると判断したためである。溶媒をとばした紫色色素に四塩化炭素 70mL、臭素水 80mL を加えて分液ロートで振とうした後三日間静置する。

生成した物質を TLC で確認(写真 4)。生成した光無色を溶媒(ヘキサン:ベンゼン=5:1)を用いてカラムクロマトグラフィーで単離する。また単離した物質が試験管内で反応したため、カラム管をアルミホイルで包み光が当たらないようにし、万全を期すために暗室内で単離する。

調べた結果、光無色の TLC 上での反応は青焼きという現象が関係していると推測できた。以下の実験でそれを確かめる。



写真 4
光無色

(6) 塩基性下での光無色とフェノールの反応について

青焼きとは芳香族ジアゾニウム塩とフェノール化合物が紫外線下で結合し、青いアゾ色素を生成する反応である。TLC 上で反応が起こり青色に変化する光無色は自身が芳香族ジアゾニウム塩とフェノール化合物の両者の性質を持ち TLC 上で反応を起こしたと考えられるが、この仮説が正しいならばフェノール化合物を加えた場合でも青いアゾ色素を生成するはずである。アンモニアで塩基性にしたフェノールを光無色に加えて色の変化を確認する。

(7) 物質の解析

集めた物質を静岡大学に持って行き、NMR、MASS、X線回折で分析する。NMR では水素の位置が決定できる。MASS では分子量がわかる。X線回折では分子の立体構造がわかる。

3 結果

綺麗な単結晶が出来なかったためこの物質でも X線回折をすることはできなかった。

(1) 赤色色素 A

MASS と NMR で分析を行えた。MASS にかけたサンプルが単体の場合、ノイズを除いて質量電荷比が最も大きいところをその分子の質量と考えることができる。右図は質量電荷比が最も大きい部分である。右図から、赤色色素 A の分子量は $417.97:419.96:421.96=1:2:1$ の割合であるのがわかる。

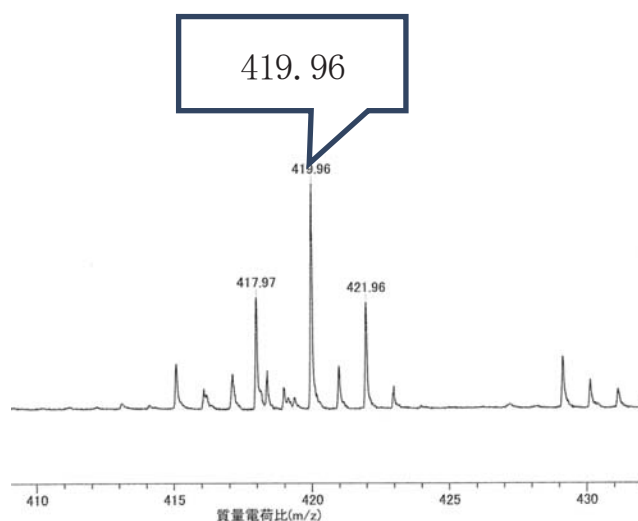


図 2 赤色色素 A MASS

また NMR の結果は下の図の通りである。

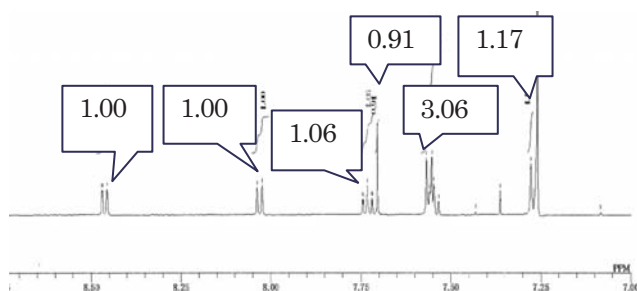


図3 赤色色素A NMR

※数値は積分面積を表す

(2) 赤色色素B

577.45 を山の頂点としている形になっていることがわかる。

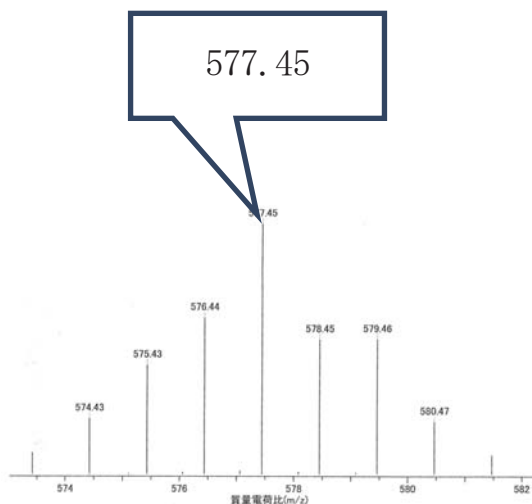


図4 赤色色素B MASS

(3) 無色物質

集めた量が少なかつたため、どの分析方法でも分析できなかった。そのため、考察できるほどのデータを得ることができなかったため、考察では省略する。

(4) 光無色

おそらくすでに反応が起こってしまったために MASS では結果が出なかった。アンモニアで塩基性にしたフェノールを加えた結果は、青色に変化した。



写真5 光無色にフェノール加えた結果
(左:反応前) (右:反応後)

4 考察

(1) 赤色色素Aについて

赤色物質Aの分子量

417.97:419.96:421.96=1:2:1 は平成22年度先輩方の赤色物質の推定構造の臭素の同位体も含めて考えた分子量と等しい。このことから、赤色物質Aの組成式は $C_{17}H_{12}N_2OBr_2$ であると言える。構造に関しては紫色色素に臭素が2つ置換したものだと考えられる。

また、NMRの結果から、水素の位置が決まった。NMRチャートのシングレット、ダブルット、トリプレットの数を満たす構造は図5の構造ただ1つである。よって赤色色素Aの構造は図5であることが決定した。

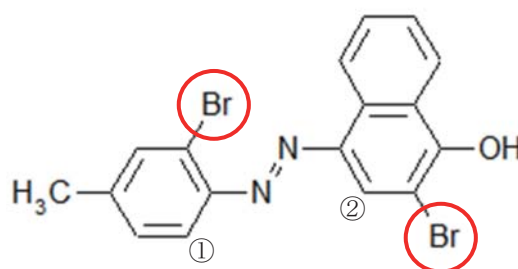


図5 赤色色素Aの構造

(2) 赤色色素Bについて

赤色色素BはNMRが出来なかったため、構造決定はできないが、MASSのデータから推定構造をつくることができる。577.45という数値は赤色色素Aの分子量よりも約158大きい。このことから赤色色素Aから原子量1の水素が2つ原子量80の臭素に置換したことがわかる。芳香族置換反応の配向性(化学I・IIの新研究(三省堂)参照)から考えると、赤色色素Aの構造では最も置換反応が起こりやすい位置は図5での①、②の部分である。したがって赤色色素Bの構造は、赤色色素Aの①、②の位置に臭素が置換した図6の構造と推定できる。

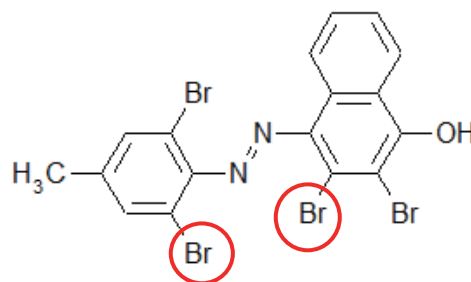


図6 赤色色素B 推定構造

(3) 赤色色素 A, B まとめ

以上の結果をまとめると、紫色色素を臭素化すると最初に臭素が2つ置換して赤色色素Aになり、そしてさらに時間をかけて臭素化するとさらに臭素が2つ置換して赤色物質Bになる。更に時間をかけて臭素化するとTLCで無色物質が確認されたことから、分子の結合が切れて無色物質が複数できると考えられる。このように臭素置換は2つずつ行われるという非常に興味深いことがわかった。赤色色素Aの構造は決定できたが、赤色色素Bの臭素の位置は推定に止まった。

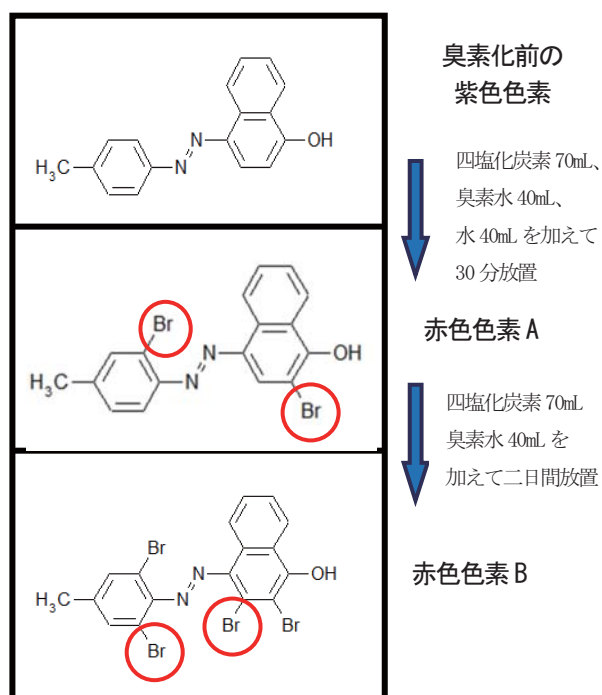


図7 赤色色素 A, B まとめ

(4) 光無色の推定構造について

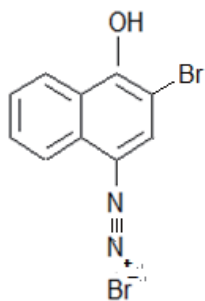


図8 光無色
推定構造

塩基性にしたフェノールを加えた後の色の变化から、光無色の TLC 上での色の变化は、青焼きという現象が関係しているという仮説は支持さ

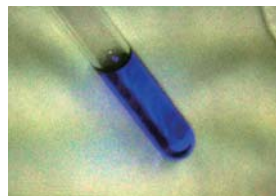


写真6
フェノールで
青くなった
光無色

れる。

光無色の TLC 上では物質は単離され青くなった部分には光無色だけしかない。一種の物質から青焼きが起こるためには、光無色はフェノールとジアゾニウム塩の2つの性質を示す部分構造を持っている必要がある。

また赤色色素Aと赤色色素BのTLCでは光無色の存在が認められず、光無色の臭素化時の臭素水の量が赤色色素の臭素化時の臭素水の量の2倍である。

以上より光無色の生成は紫色色素から赤色色素に変化する反応とは、全く異なる反応であると考えられる。

今までの先輩方は高濃度臭素含有四塩化炭素を用いて紫色色素を臭素化していたが、臭素の量を少なくして臭素化した我々の時と比べて、圧倒的に無色物質が生成する速度が速かった。紫色色素が無色物質に変化するという事は、結合が切れて共役系の長さが短くなるということである。以上のことから、紫色色素を臭素水の量を増やして臭素化すると、結合が切れやすくなるということが言える。したがって、臭素水の量を赤色色素の時と比べて倍の量で臭素化して生成された光無色は紫色色素のある結合が切れたものだと考えられる。

ゆえに光無色が、フェノールとジアゾニウム塩の性質を持っていること、紫色色素からある結合が切れて生成されたことから、光無色の構造は図8のように推測できる。

また、本来は塩基性条件下で起こる青焼きが TLC 上で起こった理由は、シリカゲルが多く持っている-OH基(次頁図9)が何らかの働きを示したためだと考える。そのためシリカゲルを用いる TLC とカラムクロマトグラフィーでは紫外線下で反応してしまうと考えられる。

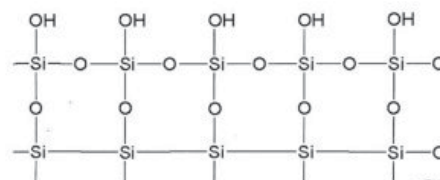


図9 シリカゲル 構造

5 今後の課題

(1) 赤色色素 A, B について

赤色色素Aに関しては構造決定できたが、赤色色素Bの臭素の位置は決定することができなかった。これはNMRを行えば決定することができるので、NMRができる分だけの赤色色素Bを集め、赤色色素Bの構造を決定する。

なぜ臭素置換は2つずつ起こるのか明らかにする。また、その他のアゾ色素でも臭素置換が2つずつ起きるのか調べる

(2) 無色物質について

集めた量が少なかったため、分析がうまくいかなかった。多くの量を集め分析し、構造を決定する。

(3) 光無色について

単離中に反応が起こってしまうため、現在使用している方法では光無色の完璧な単離は難しい。単離方法を工夫し構造決定する。

6 謝辞

最後に物質の解析に休日にも関わらず多大なご協力をしていただいた静岡大学近藤満准教授また近藤研究室の皆様に御礼申し上げます。

7 参考文献

平成 23 年度課題研究論文(清水東高校理数科)
平成 22 年度課題研究論文(清水東高校理数科)
化学 I・II の新研究(三省堂)

酵母菌の人為的突然変異と耐性実験

Artificial mutation and strengthening tolerance of the yeast

青木 渉 稲見 祐希奈 梅田 悠生 小澤 里沙 齊藤 清高 宮原 奈々

Abstract

We are researching on artificial mutation and strengthening tolerance of the yeast to MMS. MMS is carcinogen that can break the nucleic acid base by methylation. An official name is Methyl Methane Sulfonate. If the yeast is added MMS, part of the nucleic acid base will be damaged. After that, the methylation nucleic acid base is weeded out by DNA glycosylase, then, DNA polymerase carries normal nucleic acid base to the damaged part, and it will be bonded by DNA ligase. This is called base excision repair. Basically the damaged nucleic acid base is repaired, but if those enzymes were congenitally damaged, it is not repaired, so that phenotype cannot be copied exactly the genetic information. Therefore, the yeast mutates with changing bases sequence. We began three derived experiments from the MMS experiment to more know about the mutation in detail.

要約

私たちは酵母菌の人為的突然変異と MMS 耐性酵母の誘導を研究している。MMS は核酸塩基をメチル化によって破壊する発がん性物質である。正式名称はメチルメタンスルホン酸である。もし酵母菌が MMS を投与された場合、核酸塩基の一部が損傷する。投与後、メチル化核酸塩基は DNA グリコシラーゼによって除去され、それから、DNA ポリメラーゼが正常な核酸塩基を損傷部位に運び、正常な塩基は DNA リガーゼによって結合される。この一連の作業は塩基除去修復と呼ばれている。基本的に損傷した核酸塩基は修復されるが、それらの酵素が先天的に損傷していた場合、核酸塩基の修復は行われず、そのため遺伝情報通りの表現型を遺伝することができなくなる。したがって、酵母菌は塩基配列の変化に伴って突然変異を起こす。私たちは突然変異についてさらに詳しく知るために3つの派生実験を MMS 実験から開始した。

1 序論

私たち人間は両親からそれぞれ異なる塩基配列情報（ゲノム）を受け継いで生まれてきた。ゲノムとは重要な遺伝情報であるため、一団体としての生存や種としての繁殖を次世代以降にまで続けるために外的環境要因（放射線、紫外線、化学物質など）から保護されるべきである。しかし一方で、多種多様な環境の変化に対応するために、情報の変異を個体群に遺伝という方法で伝達する必要がある。長い時代を生きてきた私たち人間のゲノムもまだ進化による発展途上なのだろう。そこで進化について知るためには、遺伝子を変異

させる実験が必要不可欠であると考えた。MMS（図1）を用いた DNA 損傷による変異酵母を繁殖させる実験を行った。



図 1

2 酵母菌について

私たちが研究を行っている酵母菌（図 2）とは生物の種名ではなく、一生を単細胞で過ごす菌類の総称を示す。また、菌という名称や一生を単細胞で過ごすことから、核が無くミトコンドリアやゴルジ体などの細胞小器官を持たない原核生物と間違われるが、酵母菌は菌類に属する真核生物である。

繁殖の際は出芽による無性生殖を行い、酵母菌の集合体であるコロニー（図 3）を形成する。

そのため、一個体に起きた塩基配列や染色体の変異が個体群に伝わりやすいと考えられる。

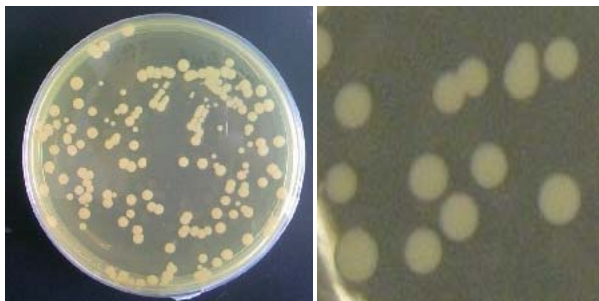


図 2

図 3

3 人為的突然変異確認実験

1. 目的

MMS 実験で酵母菌の遺伝子が突然変異したことを明確にしたい。

2. 仮説

酵母菌にフッ化ピリミジン系抗真菌剤である 5FC（図 4）を加えた場合、細胞内に存在する酵素に活性し、死滅してしまう。しかし、MMS 処理（MMS 投与に関する作業）によって遺伝子を損傷させた場合、一遺伝子一酵素説に従って酵素は失活するはずである。そのため、5FC（5-フルオロシトシン）が酵母菌の酵素に活性しないため、抗真菌剤入りの 5FC 培地（図 5）でも死滅させることなく培養することができるのではないかと考えた。

もし培養に成功すれば、DNA 損傷による遺伝子の変異を酵母菌の繁殖から確認することができるはずである。



図 4



図 5

3. 実験内容

MMS 処理（実験での MMS 投与に関する作業）をした酵母菌を 5FC 培地に撒き、繁殖を確認する。変異が起きていない酵母菌では FCY1 遺伝子に属するシトシン脱アミノ化酵素（5FC を活性させる酵素）が健在なので致死に至る。

シトシン脱アミノ化酵素とは脱アミノ化（ $-NH_2$ を取り除く反応）によって 5FC を核酸の合成を代謝拮抗によって阻害する 5FU（5-フルオロウラシル）に変換してしまう。下図の 5FC（図 6）と 5FU（図 7）の組成式を比較すると脱アミノ化が明確になる。

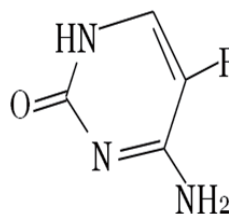


図 6

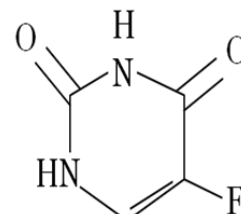


図 7

5FU が細胞内に生じた場合、DNA ポリメラーゼがウラシル（図 8）の代わりにその類似化合物である 5FU を誤って核酸合成時に塩基対へ取り込んでしまう。

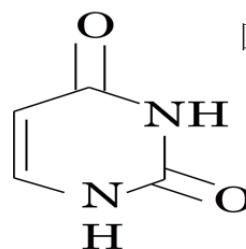


図 8

図 7、8 を比較すると、5FU はウラシルの 5 位に存在する水素がフッ素に置き換わっていること以

外に構造の差異がなく、非常に似ている物質であることが確認できる。

細胞内で取り込まれた 5FU はリン酸化された 5-FdUMP (5-フルオロデオキシウリジン酸) に代謝する。5-FdUMP はチミンを合成するチミジル酸合成酵素に基質として活性し、触媒として作用した酵素を失活させる (代謝拮抗)。

よって、DNA 合成に必要な核酸塩基であるチミンが合成されないため DNA 合成は行われず、酵母菌は致死に至る。

しかし仮説が正しい場合、MMS 処理によって FCY1 遺伝子を損傷した酵母菌はシトシン脱アミノ化酵素の働きが損なわれる。したがって、DNA 合成を阻害する物質が生じないため、5FC 培地でも酵母菌の繁殖が可能である。

4. 実験方法

- (1) ガスバーナーに火をつけ、炎の高さを自分の目線の位置ぐらいにする。
- (2) 机の上と手や腕をエタノールで消毒する。
- (3) エッペンチューブ (図 9) を必要な数取り出し、滅菌水を 1000 μ l 入れる。



図 9

- (4) あらかじめ培養しておいた酵母菌 (US356) を培地からかきとり、エッペンチューブ内の滅菌水が白く濁るくらいの量を混ぜる。

※ 酵母入りのエッペンチューブを以下ではサンプルとする。

- (5) サンプルをボルテックス (図 10) でかき混ぜ遠心分離機 (図 11) にかける。



図 10



図 11

- (6) 酵母を吸わないようにサンプルから滅菌水のみを抜き取る。
- (7) バッファーを 300 μ l サンプルにいれて、手順 (5), (6) のようにボルテックスと遠心分離器を使用後、バッファーのみを抜き取る。
- (8) 手順 (7) を合計 3 回行う。
- (9) サンプルにバッファーを 1500 μ l 入れてボルテックスを使用する。
- (10) サンプルに濃度 30% の MMS を 10 μ l 加える。
- (11) 器具の密閉を確認したら火を消し、サンプルを 15 分間振盪する。
- (12) 手順 (1), (2) をやり、実験の準備をする。
- (13) サンプルを遠心分離器にかけて、バッファーを抜き取る。
- (14) 滅菌水を使って手順 (7), (8) をやる。
- (15) 滅菌水を 1000 μ l 入れボルテックスする。
- (16) セル (図 12) に滅菌水 1000 μ l 入りと、滅菌水 900 μ l と酵母菌入り滅菌水 100 μ l 入れたものを用意する。
- (17) 分光光度計 (図 13) で酵母菌の濁度を測る。



図 12



図 13

- (18) 濁度から計算式を用いて希釈をする。
 - (19) 5FC 培地に酵母菌をまく (約 2 千万個)。
 - (20) 数日間の培養後、繁殖を確認する。
- ※ MMS 処理において手順 (18) までは同様

5. 結果から考察



図 14

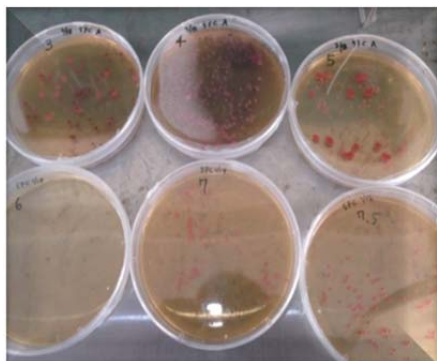


図 15

MMS 処理をしたサンプルを 2 個、無処理のサンプルを 2 個用意して実験を行った。

変異前の US356 (図 14) と比べると 5FC 培地からは薄い赤色から濃い赤色まで何色かの赤色コロニーの繁殖が確認できた (図 15)。そのコロニーを掻きとって変異前の US356 と比較して顕微鏡で観察したところ、赤色コロニーは酵母菌であることが分かった。

過去の実験結果を参考にしたところ、US356 を繰り返し培養すると赤色になる場合が少なからず存在した (図 15, 16)。US356 はアデニル酸 (AMP) を合成するための ADE2 遺伝子 (図 17) を損傷しているアデニン要求株 *ade2* である。そのため、多くのエネルギーを必要とする繁殖を繰り返し行うとエネルギー供給量が繁殖に必要な基準値を満たせなくなり赤色になったと考えた。



図 15



図 16

さらに、同じ培地内でのコロニーの大きさはほぼ均一だが、他の培地と比べると大きさに違いがあることが目分量で確認できた。

コロニーの大きさは 1 つのコロニーに集合している酵母菌の数が多いほど大きくなる。

図 15 から、コロニーが小さく数が多い培地とコロニーが大きく数少ない培地があるのを確認できる。

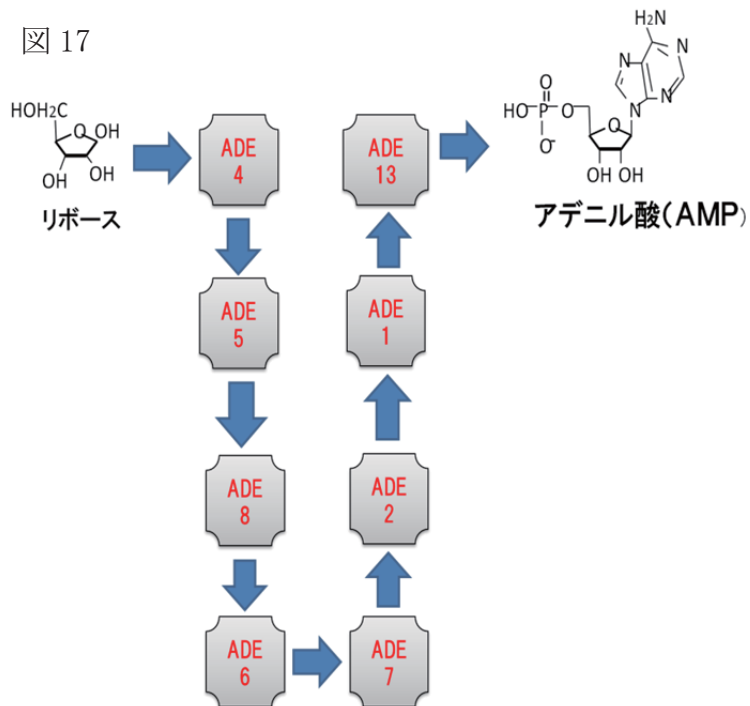
おそらく、コロニーが小さく数が多い培地では MMS による損傷が比較的小さかったため、少ない酵母菌数でコロニーを長期間形成していられるのだろうと考えた。

一方で、コロニーが大きく数少ない培地では MMS による損傷は他培地よりも大きく少ない酵母菌数ではコロニーを形成できないため 1 つのコロニーにより多くの酵母菌が集合しているのだろう。

また、繁殖には 2 週間近く要することも判明した。理由は定かではないが、繁殖時に最もエネルギーを使用すると考えれば、栄養要求株であるため通常の US356 よりも培地での繁殖が遅いのではないかと思われる。

6. アデニル酸合成経路とアデニン要求株

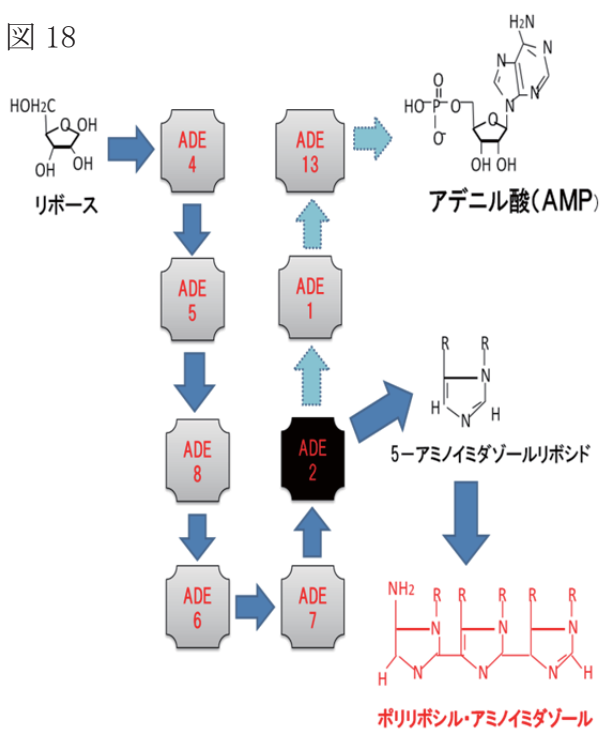
図 17



酵母菌の場合は図 17 の手順でリボースから 5-アミノイミダゾールリボシドを運んでいき、8 個の遺伝子 ADE1~ADE13 を経由してアデニル酸(AMP)を自ら生成する。

しかし、ADE1~ADE13 の遺伝子のどれかが欠損した場合は図 18 のような状態になる。図 18 は US356 の様に ADE2 を欠損した酵母菌のアデニル酸合成である。ADE4~ADE7 までは正常な遺伝子であるため酵素が働き、5-アミノイミダゾールリボシドが順当に運ばれる。だが、ADE2 が欠損しているため ADE2 遺伝子の酵素が失活しているため、それ以降のアデニル酸合成までの反応が起こらなくなる。そのため、運ばれてきた 5-アミノイミダゾールリボシドが蓄積、重合してしまう。5-アミノイミダゾールリボシドが重合すると赤色素を持ったポリリボシル・アミノイミダゾールになる。

図 18



赤色素を持つこの物質が細胞内に蓄積すると酵母菌は外から見ると赤色に見える。

したがって、5FC 培地に繁殖した酵母菌が赤色だったのは図 18 と同じ反応が起きたためでもあるのだろう。しかし長期間の繁殖に成功していることから、栄養失調で赤色になっているだけであって酵母菌の保存状態には影響が無いものと思われる。

7. 結論から改善点

仮説で述べたように DNA 損傷による遺伝子の変異が確認されたため当初の実験目的は達成した。

そのため、新たな実験目的を設け、「アデニン要求株ではない変異酵母を繁殖すること」に決定した。実験の結果から考察し、第 2 目的を達成するための 2 つの改善点を設けた。

1. 実験で 5FC 培地に繁殖した酵母菌はアデニン要求株 (赤色酵母菌) であったため、これからの実験では 5FC 培地に加えるアデニンの量を増加するつもりである (現在増加量は検討中)。培地中のアデニンが十分な量に達すれば酵母菌は自らアデニンを生成する働き自体が必要なくなるためアデニンを自分で生成するのをやめてしまう。そのため、ADE2 が欠損していたとしても図 18 の様に細胞内に赤色物質が蓄積することがないため、赤色酵母菌が繁殖することはなくなるはずである。したがって、5FC 培地に繁殖する酵母菌は栄養の足りた変異酵母になるはずである。

2. 実験で酵母菌が繁殖しなかった理由は 5FC 培地に撒いた酵母菌の数が少なすぎたためだと思われる。これからの実験では今まで以上の酵母菌を 5FC 培地に撒くつもりである。数を増加することにより、今までよりも DNA 損傷による変異酵母が入っている確率が高くなるため、実験で 5FC 培地に酵母菌が繁殖する確率も伴って高くなる。アデニン要求株ではない変異酵母が繁殖しだい、変異前の US356 と比較して変異前後で形質がどのように変異しているのか調べたいと考えている。

だが塩基配列は変異していたとしても、形質が必ずしも変異するわけではないので顕微鏡で観察したとしても変異前後で形質に変化は起きない可能性もある。

4. ホルミシス効果実験

1. 目的

人間が低濃度の放射線を浴びて免疫力が上がる

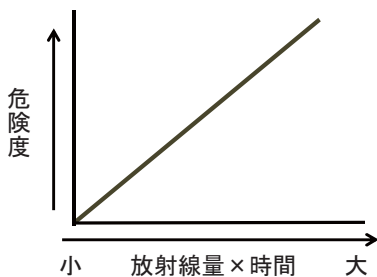
のなら酵母にも同じようにすれば生存率が上がるのではないか

2. 仮説

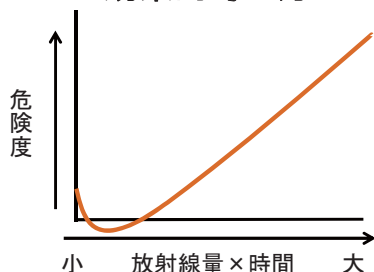
東日本大震災の原発の影響でよく放射能について耳にするようになった。しかし、放射線は自然界にも存在し、我々も日常的に放射線を浴びながら生活しており、全く放射線のない生活活動はありえない。最近の研究で、この放射線を浴びる事で健康になる「放射線ホルミシス効果」が注目を集めている。とはいえ、いまだ全てが解明された訳ではなく、未知数の部分もたくさんある。自然放射線量は地域によって違い、放射線を浴びればガンになるという直線仮説的な考え方では、説明できない具体的な例だと考えられる。現在では、ある一定量の範囲ならば、放射線は浴びた方がよいという考え方が「微量放射線ホルミシス効果」の考え方である。

図 19

直接的考え方

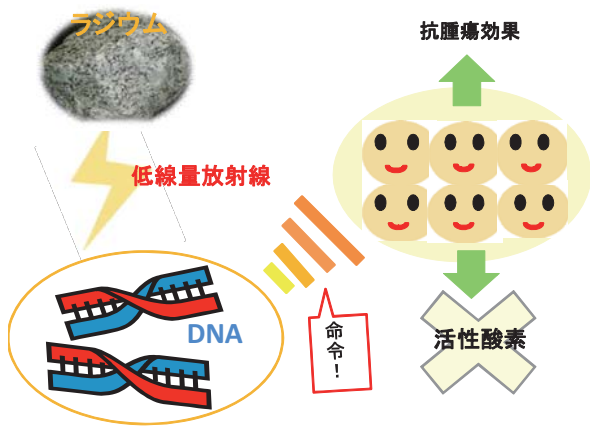


ホルミシス効果的考え方



秋田県に玉川温泉というところがある。そこは今やガンの湯治客で予約をとるのもひと苦勞の人気温泉である。(湯治客の 8 割はガン患者) 源

泉温度は 98℃に達し、強酸性 (pH1.2) で、微量のラジウムを含有している。ラジウムは温泉水だけでなく、岩石、湯の花にも含有されている。玉川温泉がなぜガンの湯治になるのか、その効果に関する根拠ははっきりわかっていない。ラジウムがアルファ崩壊した気体をラドンといい、若干の水溶性がある。ラドンガスを吸入する事で、肺から体内に取り込むことで「ホルミシス効果」を生むと考えられている。しかし、これは科学的に証明されたわけではない。そこで、現在の放射線研究の結果を参考にしながら、酵母にもホルミシス効果は可能なのかと思い実験を始めてみた。どのようにして低線量放射線によって身体が活性化するのか。私たちの細胞の原子の周りには電子が回っている。ここに放射線というエネルギー量の高い電磁波が通過すると、放射線の電離作用により電子が軌道を外れて自由電子となって走り回りまわす。元素や原子に入り込んでマイナスイオンを作り、飛び出せばプラスイオンとなるなど、イオン化により化学反応を活性化させる。身体に栄養素としてたくさんの材料があったとしても、化学反応が起こらなければ、身体を活性化させるものを作り出すことはできない。放射線が通過すると、電子がイオン化して化学反応が活発になり、身体にある栄養素を材料にして質の良いタンパク質、酵素を作り出すことができる。放射線は細胞の核にある遺伝子に対しても刺激として影響を与えることになる。たとえば、酵素を作って若さを維持する遺伝子が活性化する。細胞膜の透過性を良くして老化を抑える。ガンのように変容した細胞をアポトーシス(自らの死)に導くガン抑制遺伝子も増加する。放射線という強烈な刺激効果により自らの身の防衛のための遺伝子が増えて、結果的に生体の活性化につながるのではないかと。生体防御に関わるあらゆる遺伝子が活性化し、抗酸化酵素や各種ホルモンが作られると考えられる。



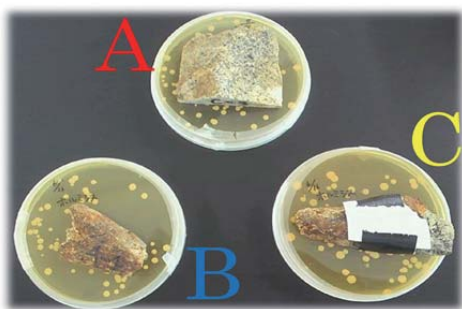
人間がラジウム温泉に入って低濃度の放射線を浴びてがんへの免疫力があがるのなら、酵母にラジウムを一定時間あびせてがんの代わりにMMSでダメージをあたえてみれば酵母の免疫力があがるのではないか。

3. 実験内容

酵母をまいた培地に一週間ラジウムをあて、生存率を調べる

- (1) 酵母約 2000 個まいた培地 3 つにひとつずつラジウムをのせる
- (2) 対照実験としてラジウムをのせない酵母の培地を用意する
- (3) 室温で一週間静置しておく

図 20



ラジウム A は 1600cpm, ラジウム B は 8500cpm, ラジウム C は 19500cpm

※cpm:1 分あたりの放射線計測回数で放射線量

1 週間静置した酵母に MMS 処理をする。

以下の MMS 処理は同様

(19) YPD 培地に酵母菌をまく (約 2000 個)。

(20) 3 日間インキュベータに入れる。

その後、生存率を求める

$$\text{生存率(\%)} = \frac{\text{ダメージを与えた酵母のコロニー数}}{\text{ダメージを与えていない酵母のコロニー数}} \times 100$$

4. 結果

実験は失敗した。2 回実験を行ったが、どちらも培地がまだ十分に乾いていないのに実験に使用してしまい、水分が多くてコロニーの数を数えることができなかった。また、このとき問題点が発生した。私たちは、実験室にあったラジウムを使用した。C P M という 1 分間に放射線が放出する数も調べた。だが、肝心の玉川温泉のラジウムの C P M を調べておらず、これでは人間に与えるラジウムの放射能濃度より、酵母に与える放射能濃度のほうが強いかもしれない。現在は、玉川温泉のラジウムの C P M を計測し、そして実際に玉川温泉のラジウムを用いて酵母にダメージを与えてもう一度対照実験をする。

5. MMS 耐性酵母誘導実験

私たちはホルミシス効果を使った実験を考案したあと、ほかの方法でも酵母に MMS 耐性をつけることはできないかと考えた。そして、今まで使っていた MMS を薄めて投与すれば DNA に弱いダメージを与えることができ、DNA 修復機能が高まり、濃い MMS でダメージを与えた時の生存率が高まるのではないかと考えた。また、複数回薄い MMS でダメージを与えたら生存率がどのように変化していくかという疑問も浮かんだため、複数回薄い MMS でダメージを与えてみた。

1. 実験目的

MMS は発がん性物質なので、これに対する耐性をつける実験が進めばがんの予防ができるのでは

ないかと考えた。

また、酵母は DNA の構造が人間に似ているため、人間に応用しやすいのではないかと考えた。

2. 仮説

酵母にあらかじめ薄い MMS でダメージを与えると、酵母に MMS 耐性がつき、いきなり濃い MMS でダメージを与えた酵母に比べて生存率が高まる。

また複数回薄い MMS でダメージを与えた場合は、回数が多いほど生存率が高まる。

この実験での生存率の出し方

$$\frac{3\%、0.3\%のMMSでダメージを与えてから30\%のMMSでダメージを与えた酵母のコロニー数}{30\%のMMSでダメージを与えた酵母のコロニー数}$$

×100

実験の手順

用意するもの

チップ、エッペンチューブ、滅菌水、リン酸カリウムバッファー、エタノール、ピペットマン、キムワイプ、パラフィルム、MMS (濃度 0.3%、3%、30%)、マッチ、白金耳、ピンセット、コンラージ棒、YPD 培地、ガスバーナー、ボルテックス、遠心分離機、ビーカー、マイネームペンチップ、滅菌水、リン酸カリウムバッファー、エッペンチューブは前もってオートクレーブで滅菌して、クリーンベンチの中に入れておく

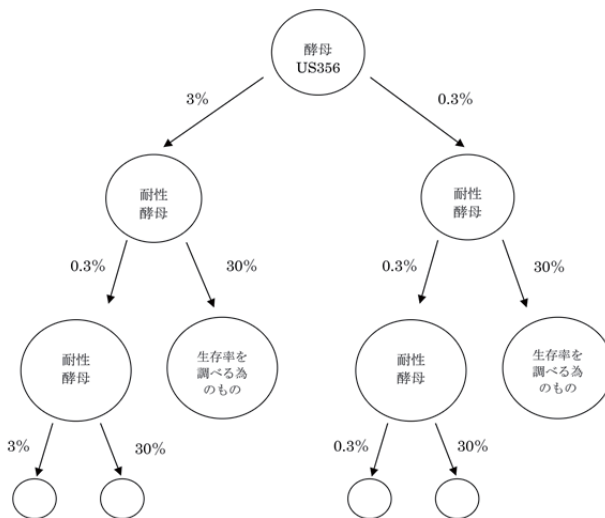
- (1) 以下の MMS 処理は同様
- (2) 片方のサンプルには濃度 3%、もう片方のサンプルには 0.3% の MMS をそれぞれ $10\mu\text{l}$ ずつ加える
- (3) 器具の密閉を確認したら火を消し、サンプルを 15 分間シャッフルする
- (4) 手順①, ②をやり、実験の準備をする
- (5) サンプルを遠心分離器にかけて、バッファーを抜き取る
- (6) バッファーの代わりに滅菌水を使って
(7), (8)の手順をやる
- (7) 滅菌水を $1000\mu\text{l}$ 入れてボルテックスする
- (8) セルに滅菌水 $1000\mu\text{l}$ 入れたものと、滅菌水

$900\mu\text{l}$ と酵母入り滅菌水 $100\mu\text{l}$ 入れたものを作る

- (9) 分光光度計で酵母の濁度を測る。
- (10) 計算してどれくらい希釈すればいいかを割り出す
- (11) エッペンチューブを新たに取り出し、希釈をする
培地に酵母をまく (約 2000 個)
- (12) 3~4 日インキューベータの中に入れて培養する
- (13) (12) で培養した濃度 3% 0.3% の MMS でダメージを与えた酵母に、上記の手順で濃度 30% の MMS を投与してダメージを与えてから培養し、コロニーの数を数え、生存率を出す

MMS 投与の仕方

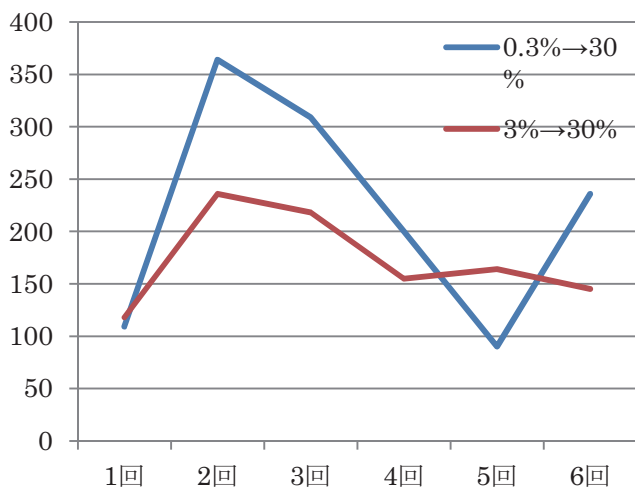
※数字は何%の MMS を投与するか



このような手順で 10 回までダメージを与えて生存率を調べていく。

実験結果

30% の MMS を投与 : コロニー数 11 個 (生存率の基準)
(%)



薄いMMSでダメージを与えた回数

考察

最初は生存率が上がっているが、そのあとから生存率が下がり始めたのは酵母にダメージが蓄積しすぎたためだと思われる

また、0.3%のダメージを6回与えた酵母の生存率がいきなり高くなっているため、酵母がMMSに対して耐性を持っている可能性がある

謝辞

静岡大学理学部生物科学科 丑丸敬史教授

参考文献

特許紹介：赤色清酒酵母、放射線医学総合研究所、DNA修復、ケミカルバイオロジー基礎、

粉粒体の層化及び分離に関する研究

Research on stratification and separation of granular materials

丸山 泰 萩原 一斗

Abstract

Granular materials have different character from general fluid. So they sometimes carry out interesting behavior. For example if a sand hill is formed with mixture of two kinds of granular materials, stratification and separation take place. In this research, I bring out the cause.

要約

粉粒体には一般的な流体とは異なる性質がある。そのために時として面白い振る舞いをすることがある。今回の研究では2種混合の粉粒体で砂山を形成すると、層化や分離が起こるその原因を明らかにすることを目的とする。

1 初めに

1995年 Hernan Makse らによって2種混合粉粒体による層化現象が発見された。この現象は2枚の板の狭い空間に大きさや形状の異なる2種の粉粒体を混ぜたものを流し込むと、いくつもの一定の厚さで層が形成されるというものだ(図1)。しかし、単純に層化が起こるだけではなく、図2のように分離が起こる場合がある。先行研究においてはこれらを分け隔てるものは、以下のような条件のもとである。安息角とは砂山を形成したとき自発的に崩れることなく安定を保つ斜面の角度である(図3)。



図3

2 試料及び実験装置

先に述べたようにこの現象は粒径及び安息角に依存する。よって、異なる粒径、安息角、それに加えて様々な密度、形の粉粒体を用意する。

幅5mm、8mm、10mmに固定した2枚の帯電防止アクリル板、そして装置の両側に異なる大きさの落下口をつくった(図4)。以下の実験では断りのない限り、幅5mm、落下口5mm×5mmを利用する。



図4

層化の条件…

安息角(大) 粒径(大)の粉粒体

安息角(小) 粒径(小)の粉粒体

の組み合わせ

分離の条件…

安息角(大) 粒径(小)の粉粒体

安息角(小) 粒径(大)の粉粒体

の組み合わせ



図2

図1



3 先行研究の確認

先に記した層化、分離の条件を確認するために様々な組み合わせの混合粉粒体を装置に流し込み、模様を観察する。これより、先の先行研究が正しいことが確認された。

表1

ところで、層化途中、砂山の斜面に、粉粒体の波が発生した。通常砂山を作るときに見られない斜面を駆け上る現象が見られる。この現象を Hernan Makse らは **Kink** と呼んでいる。そこでさらに粉粒体が斜面を下っている状態を **Down-Kink**、駆け上っている状態を **Up-Kink** と呼ぶことにする(図5)。この Kink の原因解明が直接層化の原因解明につながると考えられる。

表2

| 試料A | 試料B | 粒径 | 安息角 | Kink | 結果 |
|-----|-----|-----|-----|------|----|
| ⑦ | ③ | A>B | A>B | ○ | 層化 |
| ⑦ | ⑤ | A≥B | A≥B | ○ | |
| ④ | ⑤ | A>B | A>B | | |
| ① | ⑥ | A>B | A<B | | 分離 |

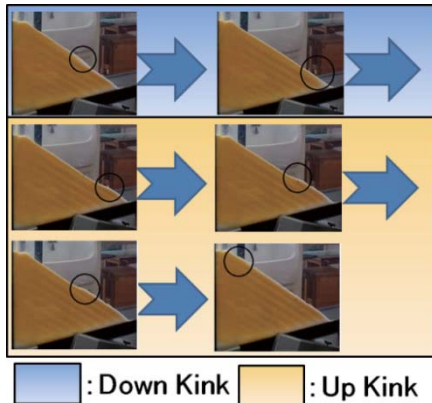


図5

4 落下口と落下量

主となる実験を始める前に、基礎実験として以下のことを行った。

現在 3 つの異なる幅の装置があり、それぞれに異なる面積の落下口がある。それぞれの穴からある一定量の粉粒体を流し込み、落下口の面積と単位時間当たりの落下量の関係性を探る。

(1) 測定方法

- ① 粉粒体 50 cm³を測り取る。(今回は試料②を利用した。密度より 50 cm³の重さを測ることで得た。)
- ② 落下口から流し込む。またその際、落下口をビデオで撮影しておく。
- ③ 撮影した動画を解析し、落下にかかる時間を求め単位時間当たりの落下量を求める。
- ④ ①から③を 10 回繰り返し、平均値を出す。

落下口の種類は5種類(5×5, 5×10, 8×5, 8×8, 10×10 共に単位はmm) がある。結果は以下のとおりである。(平均値は各測定値の最大値と最小値を除いた計8つのデータで求めている) また、グラフは落下口の面積と単位時間当たりの落下量の関係を表したものである。

表3

| | 5×5 | 5×8 | 5×10 | 8×8 | 10×10 |
|------------|-------|------|------|------|-------|
| 1回目(秒) | 60.1 | 18.6 | 17.6 | 10.5 | 5.6 |
| 2回目(秒) | 60.3 | 18.2 | 17.6 | 10.7 | 4.7 |
| 3回目(秒) | 61.1 | 18.5 | 16.9 | 10.4 | 5.0 |
| 4回目(秒) | 60.5 | 17.7 | 17.5 | 10.9 | 5.2 |
| 5回目(秒) | 60.2 | 18.4 | 17.0 | 11.2 | 5.3 |
| 6回目(秒) | 62.3 | 19.2 | 17.4 | 10.4 | 5.3 |
| 7回目(秒) | 61.3 | 18.7 | 17.4 | 10.7 | 5.6 |
| 8回目(秒) | 60.6 | 18.2 | 17.4 | 11.8 | 5.7 |
| 9回目(秒) | 60.6 | 18.3 | 17.9 | 11.2 | 5.5 |
| 10回目(秒) | 60.5 | 17.9 | 17.3 | 10.8 | 5.1 |
| 平均 | 60.6 | 18.4 | 17.4 | 10.8 | 5.3 |
| 単位時間当たり落下量 | 0.825 | 2.72 | 2.87 | 4.65 | 9.39 |

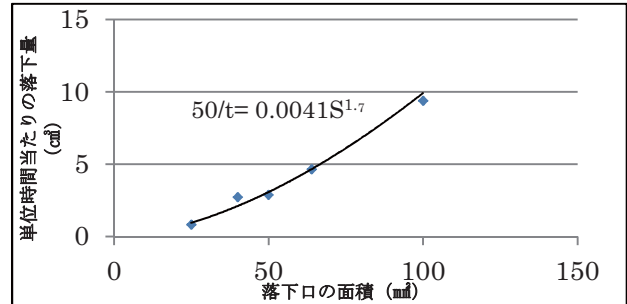


図6

このグラフから、単位時間当たりの落下量は面積に比例せず、約 1.7 乗に比例していることが分かる。ここで、「砂時計の七不思議」の中の記述を思い出した。ホッパーから落下する粉粒体の速度はホッパーの口の面積によって変化する、というものである。よってこの結果から、面積変化に伴って速度も変化したことによって単位時間当たりの落下量は比例関係ではなく、1.7 乗に比例したと考えられる。ここでさらに、面積と落下速度の関係を考える。ホッパーから落下する粉粒体は、粉粒体同士ぶつかり合うことなどによって、短時間であれば、自由落下の法則に当てはまらないことが知られている。なので、ここでは落下口から着地までは一定の速度で落下するとする。これを考えるために、単位時間当たりのさらに単位面積当たりの落下量を求めなくてはならない。a を比例定数として、(V:落下量 t:落下時間 S:落下口面積)

$$\frac{V}{t} = aS^{1.7}$$

これを面積 S で両辺を割る。

$$\frac{V}{St} = aS^{0.7}$$

となる。この V/St は速度 v に比例するため、その比例

| 試料 | 形 | 密度 (g/cm ³) | 粒径 (mm) | 安息角 (°) |
|----|---------|-------------------------|---------|---------|
| ① | ガラスビーズA | 2.55 | 1.0 | 27 |
| ② | ガラスビーズB | 2.55 | 0.5 | 30 |
| ③ | ガラスビーズC | 2.55 | 0.2 | 30 |
| ④ | 砂A | 2.57 | 2.5 | 44 |
| ⑤ | 砂B | 2.57 | 0.7 | 39 |
| ⑥ | 食塩 | 2.18 | 0.6 | 40 |
| ⑦ | グラニュー糖 | 1.59 | 0.8 | 40 |

定数を b とすると以下ようになる。

$$\frac{V}{St} = bv$$

$$\therefore v = kS^{0.7} \quad (k = \frac{a}{b}) \dots \textcircled{1}$$

よって落下速度は落下口の面積の 0.7 乗に比例することが分かる。

5 層化の原因の仮説

- ① 混合した状態で粉粒体が堆積する (図 7 の紫部分)。これは、斜面を滑る時に**ブラジルナッツ効果** (混合粉粒体に動きを与えると細かい粒子が下に、粗い粒子が上へ行き上下に分離する現象) が働くはずなのだが、それらが起こるための斜面の長さが足りず、分離しきれないからである。この混合状態の砂山の安息角 (図 7.θ 部分) は、2 種類の粉粒体の安息角の間の大きさである。
- ② ある程度斜面が形成されると、斜面を下る際ブラジルナッツ効果が働き粉粒体が分離する (図 7.I)。これが **Down-Kink** である。また、下に行く細かい粉粒体の安息角のほうが、混合状態の安息角と比べて小さいので滑り降りるのである。粗い粉粒体は斜面より安息角が大きいにもかかわらず、細かい粉粒体がベルトコンベアの役目をするため滑り降りる。
- ③ この流れが砂山の麓にたどり着く。(図 7.II) しかし、上からの流れが止まらず、下から上に向かって粉粒体が堆積を始める (図 7.III)。これが **Up-Kink** である。(※この堆積の仕方については次の題で述べる)
- ④ これが砂山の頂にたどり着く (図 7.IV) と I に戻り I ~IV を繰り返す。

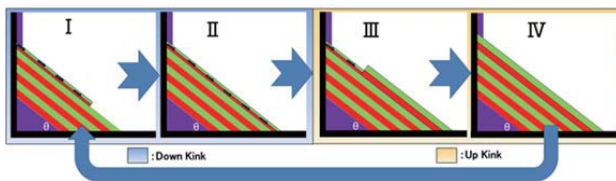


図 7

次に、IIIはどのように起きるのか、また一定の厚さで層を描く原因を考えた。これを考える上で**堆積力**というものを定義つけた。堆積力とは堆積しようとして、周りの物体を外側へ追いやる力のことである。IIIでは図 8 のように斜面方向下側と斜面と垂直方向下側には十分に粉粒体が詰まっているので堆積力は斜面と垂直上向きに働く。(以後、堆積力とはこの向きの力を指すことにする) 粉粒体の速度、量が斜面を流れている間一定であるため、この堆積力は一定である。

堆積力がかかる部分の上方 (図 9 黒枠部分) に粉粒体は堆積する。図 9 のように初めはこの部分にはあまり粉粒体が堆積していないので重力は小さく、この重力の斜

面と垂直方向成分の大きさより堆積力の方が大きいいため、この部分にはまだ堆積が可能である。しかし時間経過とともに堆積量が増え、重力が大きくなり、やがてこの斜面と垂直方向の力は堆積力と等しくなり、上から流れてくる粉粒体はその場所に堆積することができなくなる。堆積力は一定なので、その場所に堆積する最大量も一定となり、一定の厚さの層を描く。

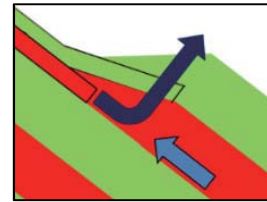


図 8

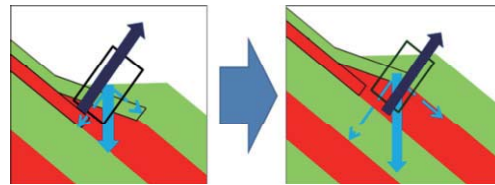


図 9

では、この堆積力は何がパラメーターとなっているのであろうか。それが不明なので、最大堆積量の重力と堆積力が比例関係にあることを利用し、堆積力のパラメーターを探っていく。以下が、最大堆積量の重力を表す式である。

粗い粉粒体(緑部分)の充填率、密度、厚さをそれぞれ δ_1 、 ρ_1 [g/cm³]、 T_1 [mm] と、細かい粉粒体(赤部分)の充填率、密度、厚さをそれぞれ δ_2 、 ρ_2 [g/cm³]、 T_2 [mm]、また g [m/s²] を重力加速度とする。単位面積(1 mm²)あたりに堆積した粉粒体の重力 W [N] は

$$W = \{(\delta_1 \rho_1 T_1 + \delta_2 \rho_2 T_2) 10^{-6}\} g$$

式には充填率を組み込んだが、測定結果どの充填率も 0.43 になった。そこで

$$10^{-6} \cdot \delta \cdot g = p$$

と定数 p を用いて W は以下のように表すことにする。

$$W = p(\rho_1 T_1 + \rho_2 T_2) \dots \textcircled{2}$$

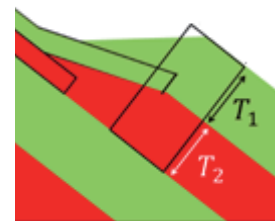


図 10

6 堆積力検証実験

直接的に先の仮説を検証するのは困難である。そこで、それらが正しいと仮定し堆積力についての検証実験を行っていき、仮説の信憑性を確かめる。この実験では、堆積力のパラメータを探ることを目標とする。パラメータとしてまず、運動量や運動エネルギー等の関係より、堆積力を与える物自体の質量、またぶつかる時の速度があげられる。まずこの2点について考えていく。また以下は試料③と⑦で検証実験を行っていく。

(1) 質量について

| | T_1 | T_2 | W | M |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 : 1 | 6 | 4 | 19.7p | 2.07q |
| 4 : 3 | 5.5 | 4.5 | 20.2p | 2.12q |
| 2 : 1 | 5 | 5 | 20.7p | 2.23q |
| 4 : 1 | 3.5 | 6.5 | 22.1p | 2.36q |

ぶつかる物の質量を考えるために、今まで体積比1:1の混合比率をさまざまなパターンで行っていく。今回は資料③と⑦を体積比1:1、4:3、2:1、4:1で行う。(計算上ではすべての比を $a:1-a$ の形に置き換えて行う) またぶつかる粉粒体の質量 M を以下のように計算する。

$$M = q\{(1-a) \cdot \rho_1 + a \cdot \rho_2\} \quad (q \text{ は定数})$$

結果は表4、図11のようになり、堆積力は質量にほぼ比例していることがわかる。

表4

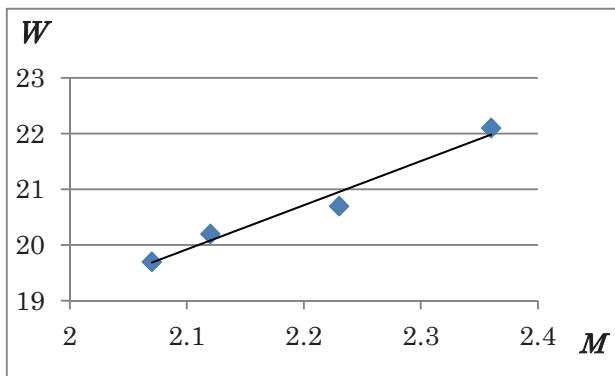


図11

| | T_1 | T_2 | W | v |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| 5mm × 5mm | 4.5 | 4.8 | 19.4p | 9.5k |
| 8mm × 5mm | 5.8 | 6.5 | 25.8p | 13.2k |
| 5mm × 10mm | 5.0 | 8.8 | 30.4p | 15.5k |
| 8mm × 8mm | 6.0 | 9.0 | 32.5p | 18.7k |
| 10mm × 10mm | 5.0 | 14.0 | 43.7p | 25.1k |

(2) 速度について

速度を変化させるために、落下口の面積を変える。こ

の実験では以下の落下口で行う。

- 5mm幅の装置の①5mm×5mm (25mm²)、②5mm×10mm (50mm²) の口
 - 8mm幅の装置の③8mm×5mm (40mm²)、④8mm×8mm (64mm²) の口
 - 10mm幅の装置の⑤10mm×10mm (100mm²) の口
- また粉粒体がぶつかる瞬間の速度を求めるのは難しいので、先の落下口と落下速度の関係式①を利用する。

表5

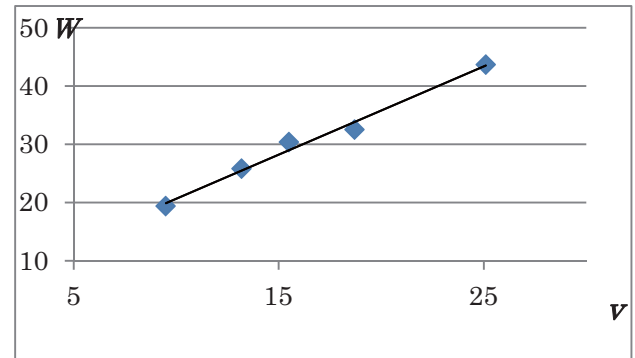


図12

表5、図12の結果のように、堆積力は落下速度に比例する結果が現れた。

(1)(2)より、堆積力は粉粒体の質量と速度に比例することが、以上の結果より明らかになった。このことから、これらは運動量と力積の関係に似ていることに気が付く。そこで以下のような等式を立てることができる。

$$Mv - M \cdot 0 = F \Delta t$$

Δt はある特定の部分でのUp-Kinkによる堆積にかかる時間だと考えることができる。よって堆積力 F は

$$F = \frac{Mv}{\Delta t}$$

であるということができる。

まとめ

今回の実験により、この現象の数値化に大きく近づいた。カオスの中に堆積力は運動量と力積の関係であったことに驚きを隠せない。しかし、層化についての仮説検証が不十分である。先に述べたように現段階ではその仮説が正しいと仮定して層化に関する実験を行いその信憑性を高める、という方法をとっている。また今回の反省点はデータの荒さである。例えば層化における粉粒体の境界が曖昧なことが多いので、0.1mm単位が不明瞭であった。そのため T_1 、 T_2 が曖昧な値になってしまうのである。また、どうしてそのような関係の式になるのかがよくわかっていない。(例として落下口の面積と粉粒体の落下速度が約0.7乗に比例するのかなど)そのような点をもう少し明らかにしていかなければならない。

参考文献

- [1] 「砂山における Segregation と stratification の形成過程」 野口真帆 (1999)
- [2] 「粉粒体の物理学 ～砂と粒と粒子の世界への誘い～」
ジャック・デュラン
- [3] 「砂時計の七不思議 ～粉粒体の動力学～」 田口善弘
- [4] 「Flow ~Nature's Patterns～」 Philip Ball

あとがき

名城大学附属高等学校

教育開発部学術交流係 横井 亜紀

スーパーサイエンスハイスクール東海地区フェスタは、今年度で7回目となり、東海4県のSSH指定校の生徒が年に1度それぞれの研究を発表する場として定着してきました。今年度は、新規採択校2校に加え、東京都のIB認定校である玉川学園高等部・中学部が参加し、参加校数は17校でした。5月中旬に各校の担当者によるスーパーサイエンスハイスクール東海地区フェスタ2012実行委員会を設置し、計画の段階からSSH指定校が協力しながら進めました。今年度も永井科学技術財団のご後援により、口頭発表で「アゾ色素の臭素化と色素の変化について(第2報)」を発表した静岡県立清水東高等学校、「飼料米活用で自給率UPを目指す」を発表した岐阜県立岐阜農林高等学校、「クントの実験における粉体のふるまいについて」を発表した名古屋大学教育学部附属中・高等学校と「ロボット・センサーの研究」を発表した玉川学園高等部・中学部の4校に優秀賞が、他の11校にも奨励賞が贈られました。また、パネルセッション特別賞が愛知県立刈谷高等学校、名古屋市立向陽高等学校、静岡県立磐田南高等学校の3校に贈られました。パネルセッションや口頭発表会では審査、表彰を取り入れることができ、生徒にも励みになったと思います。SSHの取り組みを行っている生徒が自分たちの成果を発表し、いろいろな意見を交わしながらさらに成長しようとしている姿をみていると、このような機会を作ることは本当に大切なことだと実感します。

今年度は、口頭発表優秀賞を受賞した学校を含む6校（静岡県立清水東高等学校、岐阜県立岐阜農林高等学校、名古屋大学教育学部附属中・高等学校、玉川学園高等部・中学部、静岡県立磐田南高等学校、静岡北高等学校、名城大学附属高等学校）の生徒および指導者とともに、12月24日から29日の6日間、UAE海外研修を行いました。また、環境レポートや国際バカロレアの研究調査等、様々な取り組みを実施し、発表会としてのフェスタだけでなくグローバル人材を育成し、国際的に活躍できる科学リーダーの育成を行う場として更に発展させることができました。今後もさらに充実した企画となるよう、各校で協力しながら盛り上げていきたいです。

会場を提供していただきました名城大学、準備および実行にあたっては、名城大学大学教育開発センターに多大なご協力をいただきました。ご後援をいただきました永井科学技術財団、愛知県教育委員会、名古屋市教育委員会には、心より感謝の意を表します。

最後になりましたが、今回のフェスタをこのような形で研究収録としてまとめることができるのも、東海4県のSSH指定校の先生や生徒の皆さんのご協力があったることとあらためて深く感謝をいたします。これからの活動においてもいろいろな場で交流を深めながら発展していけたらと思います。ありがとうございました。

■ 編集兼発行者 ■

名城大学附属高等学校 代表者 鈴木恒男

■ 編集委員 ■

鈴木勇治・岩崎政次・伊藤憲人・吉川靖浩・横井亜紀

■ 企画・実行 ■

スーパーサイエンスハイスクール東海地区フェスタ実行委員会

名城大学附属高等学校 SSH実行委員会

名城大学 大学教育開発センター

東海設備株式会社

印刷とIT技術を融合した クリエイティブ・ワーク

常川印刷株式会社

〒460-0012 名古屋市中区千代田二丁目18番17号

TEL (052) 262-3028(代)

FAX (052) 262-1085

E-mail: info@tsunekawa-p.co.jp

http://www.tsunekawa-p.co.jp/



個人情報保護への確かな取り組みが
認められ、「プライバシーマーク」使用の
認定を受けています。

電子書籍

小ロット印刷

パンフレット
チラシ

DM印刷
から
発送業務

企画・デザイン
印刷・製本

URL <http://www.meijo-h.ed.jp>

名城大学附属高等学校

〒453-0031

名古屋市中村区新富町1-3-16

TEL 052-481-7436 (代)