

令和元年度指定  
スーパーサイエンスハイスクール

令和元年度

# 課題研究集録

令和2年3月

岩手県立一関第一高等学校・附属中学校

# 目 次

(1) 紙からエタノールを作ろう！	
明石亜子 及川友菜 小野寺南美 後藤晴花 佐藤きり	..... 1
(2) サイリウムの性能の比較と分析	
和田凌河 菅原泰雅 小野寺隆也 熊谷匠真 金野隼斗 辻雄太 三浦栄誠	..... 6
(3) 自然にやさしいカゼインプラスチック	
照山さやこ 阿部聖夏 池田真音 菅原泉有希 眞尾夏海	..... 11
(4) 漸化式で表された数列の極限	
千葉理人 三浦康稔 佐藤伶 佐藤瑠一 高橋宥武 佐藤奨真	..... 14
(5) 塩害土壌の再生～被災した農地を救え！～	
門屋茜 村上亜子 亀卦川瑠南 佐藤由衣 高橋陽苗子	..... 18
(6) ホバークラフトの製作	
菅原清也 菊池太陽 佐藤歩夢 高木伶 長尾遼 畠山翔太郎	..... 21
(7) 音で火を消す	
村川一葉 千葉愛夏 阿部日向子 岩渕千佳 小幡捺 加藤千尋	..... 26

# 紙からエタノールを作ろう！

岩手県立一関第一高等学校 3年  
明石亜子 及川友菜 小野寺南美 後藤晴花 佐藤きり

## 要約

私たちは、セルロースをグルコースに分解し生物発酵させるとバイオエタノールができるということを知り、セルロースを主成分とする紙からバイオエタノールを作りたいと考えた。そこで予備的研究として、まず脱脂綿を用いて実験を行った結果、エタノールの生成に成功した。

<キーワード> バイオエタノール 生物発酵 セルロース

## ABSTRACT

We learned that we can produce bioethanol by hydrolyzing cellulose and fermenting glucose. We constructed a hypothesis about whether we can make bioethanol from paper which contains cellulose. For the first step we used cotton instead of paper. So that the hydrolysis process was easy. As a result we succeeded in producing bioethanol.

## 1 はじめに

紙の主成分はセルロースである。私たちは、セルロースをグルコースに分解し生物発酵させるとバイオエタノールができるということを知り、紙をグルコースに分解することができれば、紙からエタノールを作れるのではないかと考えた。

また近年、大気中の二酸化炭素の濃度が増加し、地球温暖化が深刻な問題となっている。最近では、環境にやさしいバイオエタノールの製造が盛んに行われているが、バイオエタノールはとうもろこしなどの食料を原料としているため、新たに食料問題を引き起こしている。

私たちは、学校にあふれている紙資源を利用してバイオエタノールを作ることができたら、食料問題も地球温暖化も解決できるのではないかと考え、これを課題研究のテーマとした。

研究の流れは図1の通りである。私たちはまず、紙と同様にセルロースできている上に分解しやすい脱脂綿を用いて、より効率良くエタノールを製造する方法を見つけた後、紙からのエタノールの製造を試みた。

## 2 実験

### (1) 予備実験

#### ① 実験説明

純粋な 0.5 mol/L グルコース溶液 30 mL とイースト菌 1.5 g を用いてキューネ管で発酵させ、エタノールを生成する実験を行った。



(i)式より、発生した二酸化炭素の物質質量から生成したエタノールの物質質量が分かるため、キューネ管内に発生した二酸化炭素の量を調べ、イースト菌が最も良く働く温度を見つけた。10℃、20℃、30℃、40℃、

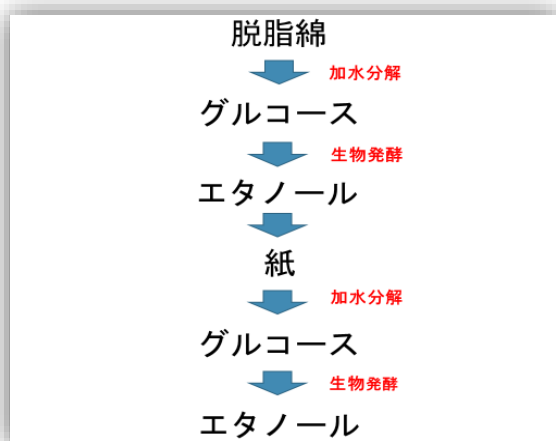


図1 本研究のロードマップ

50℃の温度でそれぞれ実験を行った。

### ②結果

図2から分かるように、温度を上げる程、二酸化炭素の発生量は増加した。しかし、50℃になると発生量に40℃以前のような大きな変化が見られなくなった。また、50℃は高温であるため温度を維持するのが難しく、火傷の危険もあるためこれからは40℃で実験を行うことにした。

### ③考察

生物発酵に用いるイースト菌は生物であるため、人間の体温に近い40℃付近で活発に活動したと考えられる。

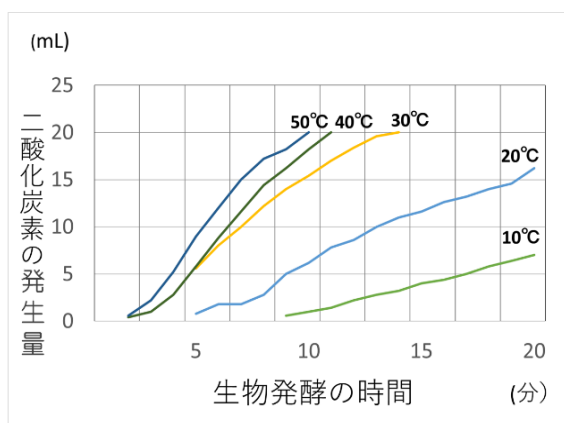
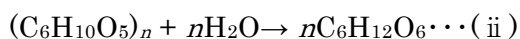


図2 温度別二酸化炭素の発生量

## (2) 脱脂綿の加水分解

### ①実験操作

脱脂綿を強酸である塩酸と硫酸を用いて加水分解をし、セルロースをグルコースに分解した。セルロースの加水分解は以下の(ii)式で表される。



1.0mol/L、6.0mol/Lの塩酸、硫酸をそれぞれ40mLずつビーカーに入れ、0.96gの脱脂綿を浸して湯煎で15分間加熱した。その後、溶液を濾過し、ベネジクト液の反応からグルコースの有無を確認した。

### ②結果

表1から分かるように、1.0mol/Lでは塩酸、硫酸両方とも反応しなかったが、

6.0mol/Lでは両方とも反応した。

特に、硫酸6.0mol/Lを用いた時にベネジクト液が最も良く反応した。このことから、硫酸6.0mol/Lで加水分解を行ったときに最も多くのグルコースが生成したと言える。

表1 加水分解とベネジクト液の反応結果

	溶けたか	ベネジクト液
硫酸 1.0 mol/L	×	×
硫酸 6.0 mol/L	○	◎
塩酸 1.0 mol/L	×	×
塩酸 6.0 mol/L	○	○

◎：反応が特に良い ○：反応が良い ×：反応がない

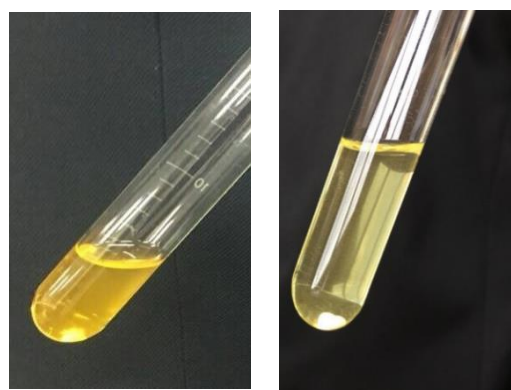


図3 ベネジクト液の反応の様子  
(左が硫酸6.0mol/L、右が塩酸6.0mol/L)

### ③考察

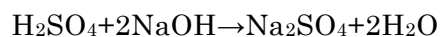
同じ6.0mol/Lの塩酸、硫酸を用いた時に塩酸よりも硫酸のほうがベネジクト液との反応が良かったのは、硫酸が二価の酸であるため同じ濃度の塩酸よりも溶液内の水素イオン濃度が2倍高いからであると考えられる。

## (3) 分解したグルコースを用いた生物発酵

### ①実験操作

実験(2)で得たグルコースを用いて生物発酵を行った。

まず、強い酸性の条件下ではイースト菌が活動できないと考え、水酸化ナトリウム水溶液を用いて中和を行った。



加水分解した溶液40mLの一部(15mL)に6.0mol/L水酸化ナトリウム溶液を滴下

したところ、滴下量は 35.5mL になった。

次に、中和してできた溶液 50.5mL の一部 (30mL) とイースト菌を用いて温度を 40°C に保って 20 分間生物発酵を行った。

## ②結果

二酸化炭素は発生せず、エタノールを生成することはできなかった。

## ③考察

生物発酵がうまくいかなかった原因として、脱脂綿の量が少なかったため、生成されたグルコースの量も少なかったことが考えられる。

また、確かに実験 (2) でベネジクト液は良く反応したが、ベネジクト液はグルコース以外の糖にも反応するため、グルコースだけではなく、グルコースが 2 つ繋がった状態である二糖類のセルビオースにも反応していたのではないかと考えられる。このことから、加水分解の時間が不十分なため、セルロースがグルコースに完全に分解されていないということが予想できる。

そこで、脱脂綿の量と加水分解の時間を増やして実験を行うことにした。

## (4) 加水分解の時間と脱脂綿の量を増やし最適条件を見つける part 1

### ①実験操作

1.0g、2.0g の脱脂綿を硫酸 6.0mol/L を用いて 20 分～60 分加水分解を行い、中和した後、20 分間生物発酵を行って二酸化炭素の発生量を比較した。

### ②結果

表 2 加水分解時間と脱脂綿の量

	1.0g	2.0g
20 分	×	0.4 mL
30 分	0.8 mL	1.4 mL
40 分	1.2 mL	2.2 mL
50 分	1.2 mL	3.6 mL
60 分	1.2 mL	2.6 mL

表 2 より、脱脂綿の量を増やすほど二酸化炭素の発生量が増えることが分かる。また、40 分までは加水分解の時間を長くするほど二酸化炭素の発生量が増えることが分かる。

## ③考察

表 2 から分かるように、脱脂綿 1.0g では加水分解時間 50 分と 60 分で二酸化炭素の発生量に変化はなかったのに対し、脱脂綿 2.0g では加水分解時間 50 分の方が 60 分よりも二酸化炭素の発生量は多かった。

加水分解 50 分、60 分の時の二酸化炭素の発生量に大きなばらつきが出たため、生物発酵の時間を 60 分、加水分解の時間を 50 分、60 分とし脱脂綿の量をさらに増やして二酸化炭素が最も多く発生する条件を見つける実験を行うことにした。

## (5) 加水分解の時間と脱脂綿の量を増やし最適条件を見つける part 2

### ①実験操作

脱脂綿の量を 3.0g～6.0g に増やし、50 分～60 分加水分解を行い、中和した後、60 分間生物発酵を行って二酸化炭素の発生量を比較した。

### ②結果

図 4 から加水分解の時間は 50 分よりも 60 分の方が二酸化炭素の発生量が多いと分かる。私たちが行うことができる実験の範囲での最適条件は加水分解 60 分、脱脂綿 6.0g である。

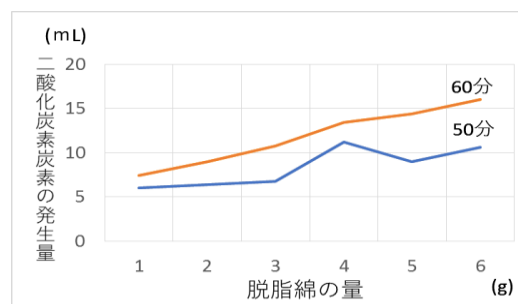


図 4 脱脂綿の量別二酸化炭素の発生量

### ③考察

脱脂綿の量を増やせば増やすほど、また加水分解の時間を長くすればするほど二酸化炭素の発生量は多くなる。

最適条件の下で生成した二酸化炭素の物質量は気体の状態方程式  $PV=nRT$  より

$$1.0 \times 10^5 \times 1.6 \times 10^{-2} = n \times 8.3 \times 10^3 \times (273 + 40)$$

$$n = 6.2 \times 10^{-4} \text{ [mol]}$$

(i)式より、二酸化炭素とエタノールは反応の係数比で 1 : 1 の関係であるから、脱脂綿 6.0 g から生成されたエタノールの総量は、

$$6.2 \times 10^{-4} \times (50.5 / 30) \times (40 / 15)$$

$$= 2.8 \times 10^{-2} \text{ [mol]}$$

なお、50.5 / 30 の 50.5 は中和によってできた溶液の量 50.5mL、30 は生物発酵に用いた溶液の量 30mL、40/15 の 40 は加水分解に用いた溶液の量 40mL、15 は中和に用いた溶液の量 15mL のことである。

また(i)式のアルコール発酵において、全てのグルコースがエタノールに変化したと仮定すると、グルコースとエタノールの反応の係数比が 1 : 2 の関係であるから、グルコースの質量は、

$$2.8 \times 10^{-2} \times 180 \div 2 = 0.25 \text{ [g]}$$

一方、(ii)式の加水分解において、全てのセルロースがグルコースに分解されたと仮定すると、グルコースの物質量は、

$$6.0 / 162 n \times n = 3.7 \times 10^{-2} \text{ [g]}$$

よって、セルロースの加水分解からアルコール発酵までの一連の操作におけるエタノールの収率は、以下のように求められる。

$$0.25 / 3.7 \times 10^{-2} \times 100 = 0.925 \text{ [%]}$$

これは、工業的な方法を用いた場合のバイオエタノールの収率と比較して大きく劣っているため、より収率を増やすための改善が求められる。

## (6) 量産してエタノールの存在を確認する

### ①実験操作

脱脂綿、6.0mol/L 硫酸の量を最適条件の 3 倍(脱脂綿 18 g、6.0mol/L 硫酸 120mL)にしたところ、中和によってできた溶液の量が最適条件の 8 倍になったので、イースト菌の量を 8 倍 (12 g) にして生物発酵を

行い蒸留して、ヨードホルム反応によりエタノールが生成されていることの証明を行った。エタノールは水に溶けやすいため、無水硫酸ナトリウムを用いて溶液を乾燥させ、エタノールの純度を上げた。量産実験の際の蒸留装置図の様子を図 5 に示す。



図 5 量産実験の蒸留の様子

### ②結果

図 6 から分かるように、蒸留開始後すぐにエタノールの沸点 (78°C) を超えてしまった。開始後 1.5 分から 9 分の間に採取した溶液を用いてヨードホルム反応を確かめたところ、図 7 のように溶液が白く濁った。

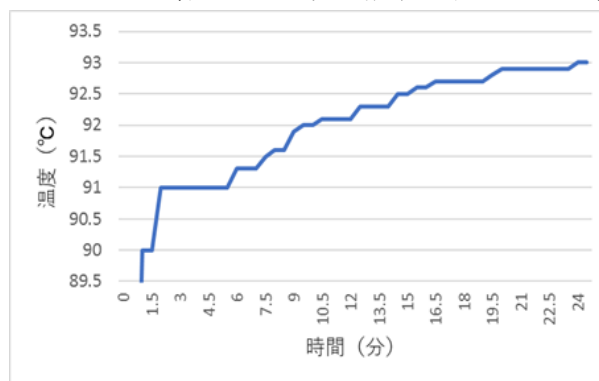


図 6 蒸留したときの温度変化



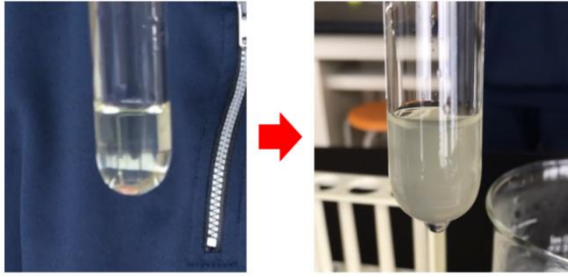


図7 ヨードホルム反応の様子  
(左が反応前、右が反応後)

### ③考察

蒸留開始後すぐにエタノールの沸点を超えてしまった原因として、生成したエタノールの量が少なかったことが考えられる。

しかし、溶液が白く濁ったことから生物発酵によってエタノールが生成されたことが証明された。

## (7) 量産を紙で行う

### ①実験操作

脱脂綿を紙に変えて(5)と同様の方法で行った。

### ②結果

図8のように加水分解の段階で紙が炭化してしまいエタノールを生成することができなかった。



図8 炭化してしまった紙

### ③考察

紙が炭化してしまった原因として、高濃度の硫酸を加水分解に使ったため、濃硫酸による脱水作用の影響があると考えられる。

脱脂綿で量産を行った時にはこの影響を受けなかった理由として、紙よりも脱脂綿の方がH-Oの結合部分が少ないなどの構造の違いが考えられる。

## 3 まとめ

実験(1)(5)より脱脂綿を用いてエタノールを生成する最適条件を見つけることに成功し、6.0mol/Lの硫酸を用いて60分間加水分解を行い、60分生物発酵を行った時が最も多くのエタノールを得られることが分かった。また、実験(6)より私たちが発見した最適条件を用いてエタノールの量産を行ったところ、ヨードホルム反応によってエタノールの存在の証明に成功した。しかし、実験(7)で脱脂綿を紙に変えて加水分解を行ったが紙が炭化してしまい量産を行うことができなかった。これは、紙と脱脂綿で構造が異なることが関係しているのではないかと考えられる。

## 4 今後の展望

硫酸の脱水作用が起きてしまったのは硫酸の濃度が高いからであるため紙が炭化しない硫酸の濃度を調べる必要がある。また、材質によって適切な硫酸の濃度が異なると考えられるので、紙以外の材質などに応用するときにはそれぞれ適切な濃度を調べる必要がある。

## 5 参考文献

- ・ <http://morita.la.coocan.jp/a/seito6.htm>
- ・ スクエア最新図説生物 neo
- ・ スクエア最新図説科学

# サイリウムの性能の比較と分析

岩手県立一関第一高等学校 理数科 3年  
和田凌河 菅原泰雅 小野寺隆也 熊谷匠真 金野隼斗 辻雄太 三浦栄誠

## 要約

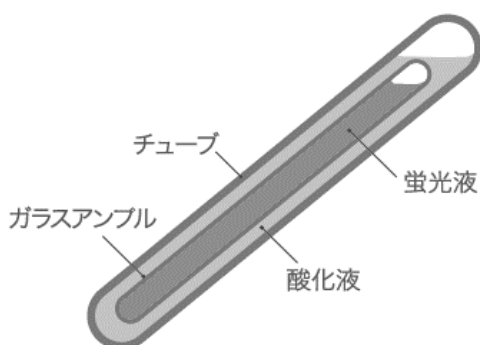
私たちは、サイリウムの化学発光に興味を持った。自分たちで光量が大きく、長い時間反応するサイリウムを作りたいと思い、その条件を調べた。しかし、今回行った実験からはその条件を探することはできなかった。より具体性のある目標を設定し、信頼できる、精度の高い実験が必要である。

## ABSTRACT

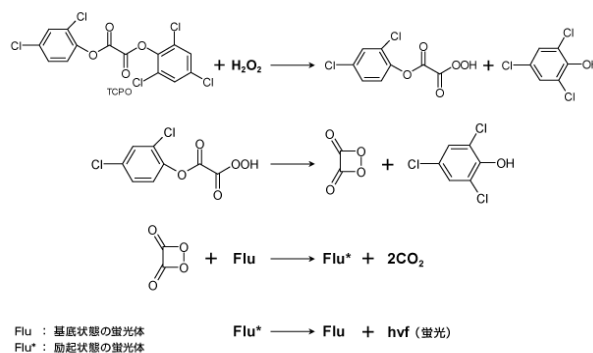
We are interested in the chemical emission of light of Cyalume. We wanted to make Cyalume that emits bright light and lasts for a long time ourselves, so we examined the conditions needed to do this. However, we could not figure it out from the experiments which we did. We should set more specific goals and do experiments that are credible and highly accurate.

## 1. はじめに

自分たちの班では、近年コンサートで使用されることの多い「サイリウム」に注目した研究をすることにしました。サイリウムは、光量を大きくしようとすると発光の継続する時間が短くなり、反対に発光の継続する時間を長くしようとすると光量が小さくなってしまいます。自分たちは、サイリウムのこのような特徴に着目し、「光量を高い水準で保ち、発光の継続する時間が長いサイリウムを作る」という目標を掲げ、いくつかの実験を行った。



サイリウムは、上図のような構造になっていて、中のガラスアンプルを割ることで酸化液と蛍光液が混ざり合い、発光する。この反応は、次の化学反応式で表される。



## 2. 方法・結果・考察 (①②③)

### 実験 ①サイリウムの光量の測定

サイリウムの光量を数値に表すとどうなるのかを調べる。

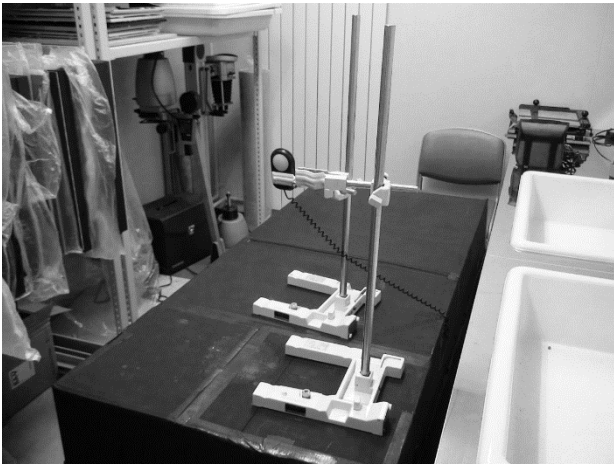
#### ・実験用具

激しく光る棒 MAX (製造会社: DAISO)

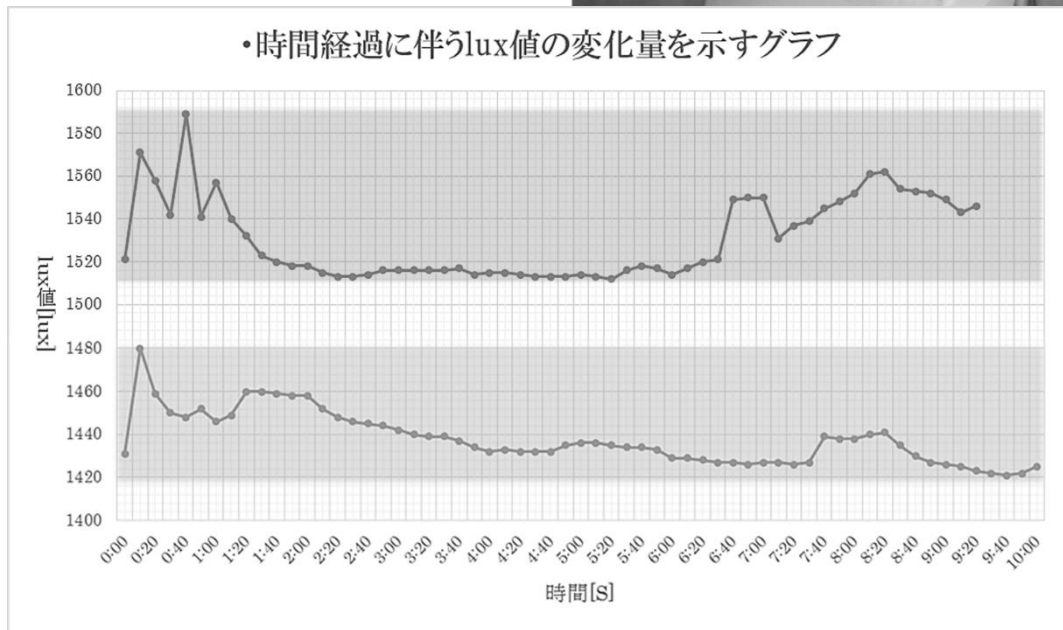
照度計 (FLX-1330(fine) 東京硝子器械株式会社)

自作装置(次図参照) 試験管





・時間経過に伴うlux値の変化量を示すグラフ



二台の机を暗幕で覆い、机の下で測定を行えるようにした。その上に黒で着色した段ボールを被せ、段ボールの上に、照度計を固定する台と、試験管を設置する台を用意した。

・実験場所 暗室

・方法

サイリウム内に入っている酸化液と蛍光液をそれぞれ別のビーカーに移し替え、蛍光液を6ml試験管に移し替える。暗室内の電気を消し、十分時間が経ってから、酸化液6mlと試験管の中の蛍光液を混ぜ合わせ、台に固定する。その後、10分間、机の下で照度計の値を記録し続ける。なお、測定

時は机の下で光を使用したが、外に漏れることはなかった。

・結果と考察

2本分の測定を行い、グラフにまとめたものが上のものである。2本分行っただけでも、光量に大きな差が生じた。市販のサイリウムを用いたことで、酸化液と蛍光液の成分に差があったのではないかと考える。また、今回の実験では、混ぜ合わせる際に振る回数を考慮していなかった。振る回数が多いほど、反応は進むため、そこでも誤差が生じたと考える。振る回数を固定したとしても、振る強さなどは自分たちで調整が利かないと判断し、これ以上の実験は難しいと判断した。

## 実験② 中和滴定から反応速度式を導く

サイリウムの反応は化学反応式で表すことが可能であることまた、サイリウムの反応で二酸化炭素が発生することが分かっている。自分たちは、この二酸化炭素に注目し、二酸化炭素を溶かした水酸化ナトリウム水溶液を使って中和滴定を行い、二酸化炭素の量から反応速度式を導くため、以下の方法で実験を行う。

### ・実験用具

激しく光る棒 MAX (オレンジ : DAISO 製)

0.05mol/L シュウ酸水溶液

0.1mol/L 水酸化ナトリウム水溶液

フェノールフタレイン 純水

メスフラスコ こまごめピペット

メスシリンダー ビーカー ビュレット

試験管 温度計 ホールピペット

### ・方法

ア) 酸化液と蛍光液をそれぞれビーカーに移し替え、6ml ずつ反応させる。二酸化炭素が発生するため、それを水酸化ナトリウム水溶液に溶かす。  
イ) 二酸化炭素を溶かした水酸化ナトリウム水溶液 10ml とシュウ酸 10ml を用いて、中和滴定を行う。

二酸化炭素を溶かす時間を 10 分、15 分、20 分と変えながら、アとイを繰り返す。

### ・結果・考察

10 分、15 分、20 分間二酸化炭素を溶かした水酸化ナトリウム水溶液に、滴下したシュウ酸の量を 3 回ずつ測定し、平均をとった結果を次の表に示した。

	1回目	2回目	3回目	総平均
20分	9.53	9.59	9.12	9.42
15分	9.58	9.53	—	
10分	9.66	9.49	9.17	9.43

なお、15 分の 3 回目のデータは明らかな外れ値であったため、データをとっていなかった。そのため、15 分の総平均はとっていない。

自分たちの予想では、10 分の時より 20 分の時のほうがシュウ酸の滴下量が多くなると予想したが、比例関係などの相関がみられなかった。二酸化炭素は水酸化ナトリウム水溶液に溶けやすいという特性を生かした実験をしたつもりだったが、実験中に空気中に含まれる二酸化炭素も溶けてしまい、シュウ酸の滴下量に変動がみられたと考えられる。

## 実験③ 3 種類のサイリウムの比較

今までの実験では、1 種類のサイリウムでしか実験を行ってこなかった。しかし、市販されているサイリウムは他にもあり、それぞれ光量や発光の継続時間が異なる。そこで、他のサイリウムも使用して、それぞれの特徴を探ることにする。

### 実験用具

激しく光る棒 MAX (製造会社 : DAISO)

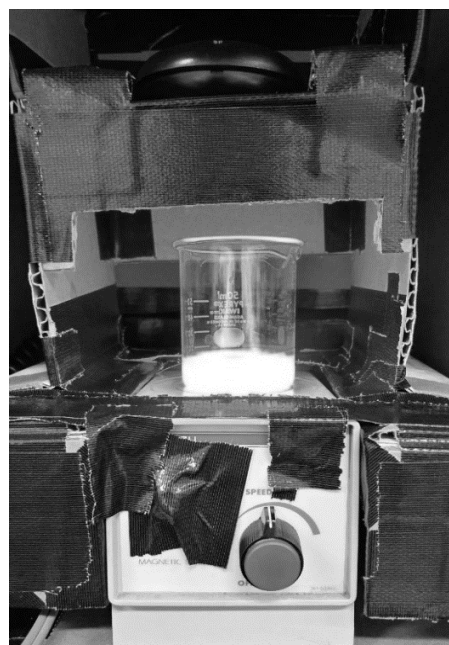
大閃光 (製造会社 : ルミカ)

大閃光 極 (製造会社 : ルミカ)

(色 : 赤・オレンジ・緑・青・紫)

ビーカー

自作装置(次図参照)

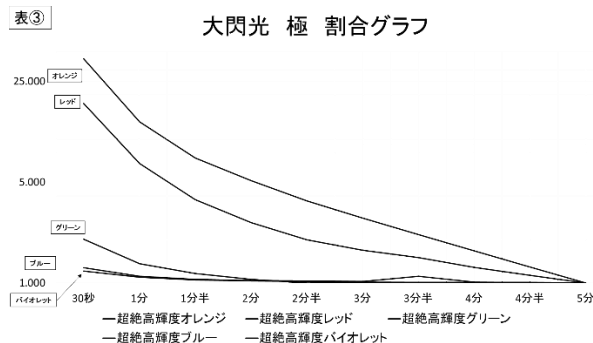
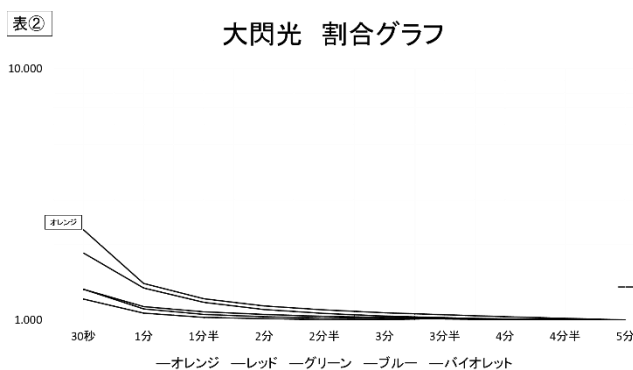
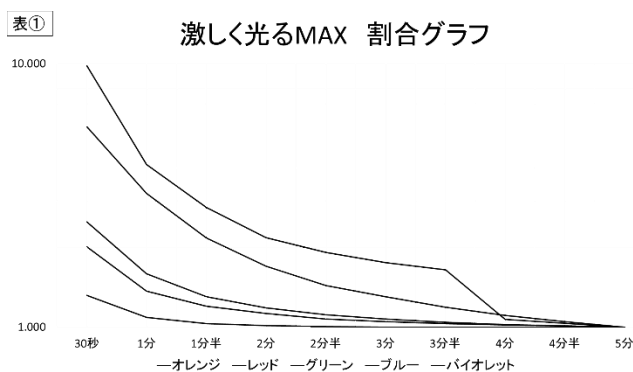


- ・装置に使用したもの
- 照度計（実験①と同じもの）  
 マグネチックスターラー  
 段ボール ガムテープ（黒）

マグネチックスターラーを使用することで、測定中に攪拌し続けることができる。開閉式になっていて、計測する際は閉じた状態でできるようになっている。照度計とビーカーの距離は 15cm で固定している。

- ・方法
- 酸化液と蛍光液をそれぞれ別のビーカーに移し替え、すべて混ぜてから装置の中に設置する。その後、マグネチックスターラーで攪拌させ、10 分間装置を閉じたまま、反応開始から 30 秒ごとに照度計の値を記録する。

- ・結果・考察



三種類のサイリウムを種類別でまとめ、実験開始から 5 分の時点までの光量の変化の様子をグラフに表した。なお、変化の割合を表すため、約 5 分ですべてのサイリウムがほぼ光らなくなったことから、五分時点での値を 1 とし、縦軸（単位：ルクス）は対数表示をした。

三種類のグラフを比較してみても、それぞれに特徴があり、三種類に共通する特徴は見られなかった。また、光量はオレンジや赤が大きく、緑・青・紫が小さいとの予想を立てていたが、大閃光に関しては予想と反する結果が得られ、信頼度の高い特徴づけはできなかった。

### 3. 今後の課題

- ・データの信頼性を高める。
- 今回のすべての実験において、ところどころ不備がみられた。データが信頼しきれないのは、事前の打ち合わせが十分でなかったことで、そのような不備を見つけられなかったことが大いに影響していると考えられる。改めて、今回の反省点を生かし、精度を上げた実験を行う必要がある。また、実験内容だけでなく、結果の表し方についても入念に話し合う必要がある。

- ・薬品を購入する。

市販のサイリウムは、すべてが同じ成分とは限らず、若干の差異があると考えられる。そのため、実際に薬品を購入する必要があった。しかし、薬品の価格が予算を大幅に超えるため、今回は断念した。しかし、より正確なデータを揃えるためには、薬品を購入して精度を高めることが必要である。

- ・目標設定をもう少し具体的にする。

「光量を高い水準で保ち、発光の継続する時間が長いサイリウムを作る」という目標で実験をしていたが、これだけでは具体性のない目標だったと私たちは振り返る。サイリウムはコンサートだけではなく、災害時の電気の代わりなどにも用いることができる。そのため、「暗闇で手元の文字が認識できて、持続時間が長いもの」や、「5分間だけ光量を最大限維持し、それ以降はすぐに光が弱くなるもの」など、さまざまな用途を考えたいうえでサイリウムを作ろうとするべきだった。もちろんこれは机上の空論であるが、具体性を持たせることで最終目標をさらに定めることができたと考えられる。

以上のことを踏まえて、今後は今回の経験を生かしてもう一度初めから実験をし直す必要がある。

#### 4. 参考文献

研究.net <http://www.kenq.net/dic/128.html>

ルミカの技術 | 株式会社ルミカ

<https://www.lumica.co.jp/product/technology/>

#### 5. 謝辞

最後に、これまで研究に協力してくださった、君成田隆房先生、長野桂子先生をはじめ、自分たちの研究に関わってくださったすべての方々に厚く感謝申し上げます。

# 自然にやさしいカゼインプラスチック

岩手県立一関第一高等学校理数科 3 年  
照山さやこ 阿部聖夏 池田真音 菅原泉有希 眞尾夏海

## 要約

私たちは、生分解性を持つカゼインプラスチックについて興味をもった。カゼインを含む牛乳の特徴、牛乳と酸性の溶液を用いた生成時のそれらの最適比を知る実験を行った。実験により牛乳と酸性の溶液の最適比は 75g:2g であること、乳脂肪分が関係していることが分かった。

## ABSTRACT

We became interested in casein plastic that is biodegradable. We did an experiment to investigate the qualities of milk that contains casein and the optimal ratio of milk and acid aqueous solution to make casein plastic. According to our experiment, we found the best ratio of milk to acid aqueous solution was 75grams to 2grams and it depend on milk fat.

### 1 初めに

私たちは、牛乳やレモン、酢のような身近に存在する物質を作ることができる、環境に優しいプラスチック(以下カゼインプラスチック)の作成に興味を持ち、実験を行った。研究の目的はカゼインプラスチックの性質の調査及び、応用性の発見である。

### 2 方法

5種類の実験を行い、それぞれの内容の詳細は以下の通りである。

#### ① カゼインプラスチックの生成実験

〈実験材料〉

無調整牛乳・乳飲料・豆乳(どれも 150mL ずつ)、レモン汁(ポッカレモン)



・牛乳・豆乳の質量を 150mL に固定して、レモン汁の量を変え、どれくらいの酸を加えると最も多くプラスチックが生成できるのかの比を調べる。

・牛乳・豆乳の 3 種類でプラスチックの質量の違いを調べる。

#### ・カゼインプラスチックの生成方法

牛乳、豆乳を沸騰させ、ポッカレモンを加え、チーズとホエイが分離するまで 3 分程待ち、濾過して出てきたチーズを電子レンジ等で固くなるまで熱する。

#### ② 生分解性の有無の調査

〈実験材料〉

カゼインプラスチック(無調整・乳飲料・乳) ミミズ、土

・分解者であるミミズを用いて、土の中に無調整牛乳・乳飲料・豆乳で作られたカゼインプラスチックを入れる。約 10 日置いた後最初の質量との変化を調べる。

#### ③ カゼインプラスチック生成時における最も効率の良い牛乳の調査

〈実験材料〉

無脂肪牛乳、成分調整牛乳、加工乳(ヨーグルト)、特濃牛乳(乳飲料)(どれも 150mL ずつ)、ポッカレモン



・実験①で生成した無調整牛乳・乳飲料・豆

乳の作り方と同様にカゼインプラスチックを生成し、質量がより多くとれる牛乳を割り出し、その特徴を調べる。

#### ④ホルマリンの防腐実験

〈実験材料〉

カゼインプラスチック（無調整牛乳・乳飲料・豆乳）ホルマリン・土



- ・カゼインプラスチックをホルマリンに浸し、防腐処理を1週間施す。
- ・対照実験として、土の中にホルマリンを浸したプラスチックと、浸していないプラスチックを埋めて1週間放置し、質量の変化を調べる。

#### ⑤純カゼインによるプラスチックの作成

〈実験材料〉

純カゼイン粉末、塩酸(0.1mol/L)

- ・粉末状のカゼインを加熱しながら純水に加え水溶液にした後、強酸の塩酸を加えカゼインプラスチックを作成する。

### 3 実験結果

- ① 最も多くプラスチックが生成できた時の質量とレモンの量は次のようになった。

	レモンの量	カゼインプラスチックの質量
無調整	4mL	11.83g
調整	4mL	6.31g
豆乳	4mL	11.92g

(牛乳・豆乳の量は全て 150mL)

このことから牛乳、豆乳とレモン汁の最も効率的な反応比が 75:2 であるといえる。

- ② 3種類全て質量が減少していた。



	実験前	実験後	減少率
無調整	2.93g	2.47g	16%
調整	2.02g	1.39g	31%
豆乳	3.06g	2.62g	14%

- ③ 加工乳（ヨーグルト）は、カゼインプラスチックの抽出が不可能だった。

	10mL	20mL	乳脂肪分
無調整	11.81g	11.13g	3.6%
乳飲料 (Vit.D)	10.72g	11.24g	4.3%
豆乳	10.68g	10.94g	2.0%
成分調整	7.93g	8.69g	2.0%
低脂肪	6.94g	7.83g	1.4%
乳飲料 (Ca,Fe)	5.80g	5.78g	0.7%
無脂肪	5.80g	4.88g	0.1%

- ④ 土の中に埋める期間が短かったことから、確かな結果が得ることが出来なかった。

	×前	×後	○前	○後
無調整	11.00g	10.64g	9.54g	9.39g
乳飲料 (Ca,Fe)	5.79g	5.47g	8.69g	6.32g
豆乳	10.13g	9.50g	5.17g	3.45g

- ⑤ 純カゼイン水溶液が塩酸を入れる前の加熱の時点で溶質であるカゼイン自体が固まってしまった。

### 4 考察

- ① 実験結果より今後は 75 : 2 の比を参考にカゼインプラスチックの生成を行うと効率が良いと考える。また 150mL 中のカゼインが酸と全て結びつくのが、生成されたプラスチック

の質量最大時からあまり変化しないのは、酸と結びつくためのカゼインが無くなったからだと考えられる。

- ② 質量の減少からカゼインプラスチックが生分解性を持つと証明された。
- ③ 乳脂肪分が多いほどより多くのカゼインプラスチックを生成できる。豆乳と成分調整牛乳の乳脂肪分が同じにも関わらず質量に差があるのは、豆乳に含まれるタンパク質がカゼインに似た性質を持つ動物性タンパク質であり、カゼインと比べてより多く豆乳内に含まれているからだと推測できる。
- ④ ホルマリンで処理したものとしていないものでは質量変化の点で生分解性に大きな差はなかった。処理していないものにはカビが見られ処理したものに見られなかったのは、土の中の微生物が分解したからだと考えられる。

[http://www.cad-red.com/jpn/mt/mdm\\_casein.html](http://www.cad-red.com/jpn/mt/mdm_casein.html)

## 5 今後の課題

- ・カゼインプラスチックの耐久性や硬度、湿気への耐性の有無などを調べ、日常でも使えるのか調べる。
- ・今までプラスチック生成時に廃棄していたホエイの活用法を考える。
- ・純カゼインを上手くカゼインプラスチックにする方法を見つける。
- ・プラスチックの効率的な生成と実用方法を実際に製作しつつ考える。
- ・煮沸を用いずに土やカビを落とす方法を考える。
- ・牛乳を用いて生成したカゼインプラスチックの強度を、純カゼインで生成されたカゼインプラスチックに近づける方法を考える。

## 6 謝辞

1年間指導して下さった、長野桂子先生、君成田隆房先生、岩手大学の先生方に感謝いたします。

## 7 参考文献

『カゼインの使い方』



# 漸化式で表された数列の極限

岩手県立一関第一高等学校理数科 3 年  
千葉理人 三浦康稔 佐藤伶 佐藤瑠一 高橋宥武 佐藤奨真

## 要約

私たちは、漸化式が  $a_1 = 1, a_2 = 1, a_{n+2} = a_n + a_{n+1}$  で表されるフィボナッチ数列を学び興味を持った。そしてこの数列が黄金比、対数螺旋や花びらの枚数など自然界にも見られることを知った。これらは、どれも規則性があるように見えた。そこでフィボナッチ数列の漸化式に基づいて新たな漸化式を設定したときにも、なにか規則性があるのではないかと考え調べた。すると、 $a_1 = 1, a_2 = 1, a_{n+2} = \sqrt{a_n} + \sqrt{a_{n+1}}$  と表したときにこの数列の収束値にある規則性を持つことが分かった。 <フィボナッチ数列 漸化式 収束 累乗根>

## ABSTRACT

We learned and got interested in the recurrence formula. It is expressed in  $a_1 = 1, a_2 = 1, a_{n+2} = a_n + a_{n+1}$ . This is called "Fibonacci numbers". We found out that these progressions can be seen in the natural world such as golden ratio, logarithmic spiral and the number of petal. All of these were regular. We wondered if there was anything regular about a new recurrence formula. Therefore we set it based on the "Fibonacci numbers". When  $a_1 = 1, a_2 = 1, a_{n+2} = \sqrt{a_n} + \sqrt{a_{n+1}}$  is expressed, it is found that the regularity at the convergent value of the this recurrence formula appears.

### 1. はじめに

フィボナッチ数列について  
フィボナッチ数列 (Fibonacci numbers)  
はイタリアの数学者  
レオナルド・フィボナッチ  
にちなんで名付けられた数列である。  
1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, ...  
というような数列で、最初の二項は  
 $F_1=1, F_2=1$  となり、以降どの項もその直前の  
二項の和となる。

漸化式は

$$F_1=1, F_2=1, F_{n+2}=F_n+F_{n+1}$$

で定義され、一般項は、

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

で表される。

この漸化式中に現れる

$\frac{1+\sqrt{5}}{2}$  は  $\phi \doteq 1.61803398874 \dots$  という値で

黄金比という値で自然界にも多く利用されている。花びらの数や葉序などで成長を効率的に行うために用いられている。  
性質としては、隣り合うフィボナッチ数の比は  $\phi$  に収束する

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_{n+1}}{F_n} = \phi \quad \text{となる}$$

$\lim_{n \rightarrow \infty} F_n = \infty$  で、正の無限大に発散する。

ここで私たちは、フィボナッチ数列の漸化式について調べ、自分たちで漸化式を設定し極限值について調べた。

### 2. 方法

Excel でフィボナッチ数列の漸化式を作り、初項と第 2 項を入力すると第 25 項くらいまで表示されるように設定する。

$n \rightarrow \infty$  のとき  $F_n \rightarrow \infty$  となるので、自分たちで収束するように Excel で設定する。

### 3. 結果

漸化式を設定したところ、

$$a_{n+2} = \sqrt{a_n} + \sqrt{a_{n+1}}$$

と設定したときに収束値が規則的に変化することが分かった。

このとき  $n \rightarrow \infty$  のとき  $a_n \rightarrow \infty$  とはならずにある値に収束した。

さらに調べていくと

フィボナッチ数列を与える漸化式を変更して、初項や漸化式の項数を変えた類似した数列もあることが分かった。

例えば

直前の三項の和で各項が定まるような数列をトリボナッチ数列などと言い、

4 項間漸化式、5 項間漸化式、6 項間漸化式…などと増やしていくと

それぞれテトラナッチ数列、ペンタナッチ数列、ヘキサナッチ数列、…などと名前が付いている。

さらにフィボナッチ数列の初項と第 2 項を  $F_1=2, F_2=1$  に置き換えた数列をリュカ数列といい、

2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, 47, 76, 123, 199, 322, …  
というような数列になり

一般項は

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

と表される。

次に

自分たちで設定した数列  $\{a_n\}$  について証明などをしていく。

数列  $\{a_n\}$  について

$$a_1=1, a_2=1, a_{n+2}=\sqrt{a_n}+\sqrt{a_{n+1}} \quad \text{で定める。}$$

これらについて収束値を求める

### 証明

$a_n > 0$  となることを示す

$a_n > 0 \cdots \textcircled{1}$  とする

数学的帰納法より自然数  $n$  に対して  
 $n=1$  のとき  $a_1=1$  より  $\textcircled{1}$  を満たす  
 $n=k$  ( $k \geq 1$ ) のとき  $a_k > 0$  と仮定すると  
 $n=k+1$  のとき、仮定より  $a_{k+1} > 0$  となり、すべての自然数  $n$  に対して  $a_n > 0$  となる。 ■

### 証明

$\{a_n\}$  が広義単調増加となることを示す。

$a_{n+1} - a_n \geq 0$  となることを示す

$a_{n+1} - a_n \geq 0 \cdots \textcircled{1}$  とする

数学的帰納法より自然数  $n$  に対して  
 $n=1$  のとき

$$a_2 - a_1 = 0 \quad \text{より } \textcircled{1} \text{ を満たす}$$

$n=2$  のとき

$$a_3 - a_2 = \sqrt{1} + \sqrt{1} - 1 = 1 > 0 \quad \text{より } \textcircled{1} \text{ を満たす}$$

$n=k$  ( $k \geq 2$ ) のとき

$$a_{k+1} - a_k > 0 \quad \text{と仮定すると}$$

$n=k+1$  のとき、

$$\begin{aligned} a_{k+2} - a_{k+1} &= \sqrt{a_k} + \sqrt{a_{k+1}} - (\sqrt{a_{k-1}} + \sqrt{a_k}) \\ &= \sqrt{a_{k+1}} - \sqrt{a_{k-1}} \end{aligned}$$

$$\text{仮定より } \sqrt{a_{k+1}} - \sqrt{a_{k-1}} > 0 \quad \text{となる。}$$

よって、すべての自然数  $n$  に対して

$$a_{n+1} - a_n \geq 0 \quad \text{が成り立つ} \quad \blacksquare$$

$a_n$ の取りうる値の範囲を示す

$$\begin{aligned} a_{n+2} &\geq a_{n+1} \geq a_n && \because \textcircled{1} \text{より} \\ a_{n+2} &= \sqrt{a_n} + \sqrt{a_{n+1}} \geq a_n \\ \Leftrightarrow \sqrt{a_{n+1}} + \sqrt{a_{n+1}} &\geq a_n && \text{となり、} \\ \Leftrightarrow 2\sqrt{a_{n+1}} &\geq a_n && \text{両辺 2 乗して} \\ \Leftrightarrow 4a_{n+1} &\geq a_n^2 \\ \Leftrightarrow 4 &\geq a_n \end{aligned}$$

これより、 $a_n$ の取りうる値の範囲は  
 $4 \geq a_n \geq 1 \quad \dots (*)$  となる。

これらより  $\{a_n\}$  は上に有界で、広義単調増加の数列となる。

ここで、単調収束定理より  $\{a_n\}$  は収束値  $\alpha$  を持つことになり

$$\begin{aligned} a_{n+2} &= \sqrt{a_n} + \sqrt{a_{n+1}} \text{より} \\ \Leftrightarrow \alpha &= \sqrt{\alpha} + \sqrt{\alpha} \\ \Leftrightarrow \alpha &= 2\sqrt{\alpha} && \text{両辺 2 乗して} \\ \Leftrightarrow \alpha^2 &= 4\alpha \\ \alpha &= 0, 4 && \alpha = 0 \text{ は不適} \\ \text{よって } \alpha &= 4 \text{ となる} \end{aligned}$$

これらより数列  $\{a_n\}$  は

$$n \rightarrow \infty \text{ のとき } a_n \rightarrow 4 \text{ となる}$$

続いて、

$$a_1=1, a_2=1, a_{n+2}=\sqrt{a_n}+\sqrt{a_{n+1}}$$

を  $k$  項間に拡張したときを考える。

このときの数列を  $\{a_n\}$  と再び定義すると、

$$a_1=1, a_2=1, a_3=1, \dots, a_{k-1}=1,$$

$$a_{n+k-1}=\sqrt{a_{n+k-2}}+\sqrt{a_{n+k-3}}+\dots+\sqrt{a_{n+1}}+\sqrt{a_n}$$

と表される。

数列  $\{a_n\}$  は帰納的に  $a_{n+k-1} > 0$  となる  $\{a_n\}$  が広義単調増加となることを示す…②

$k=3$  のとき

$$\sqrt{1}+\sqrt{1}-1=1>0 \text{ より } \textcircled{2} \text{ を満たす}$$

$k=1$  ( $1 \geq 3$ ) のとき

$$a_{n+l-1}-a_{n+l-2} \geq 0$$

と仮定する

$k=1+1$  のとき

$$\begin{aligned} a_{n+l} &= \sqrt{a_{n+k-1}} + \sqrt{a_{n+k-2}} + \dots + \sqrt{a_{n+1}} \\ a_{n+k-1} &= \sqrt{a_{n+k-2}} + \sqrt{a_{n+k-3}} + \dots + \sqrt{a_{n+1}} + \sqrt{a_n} \\ a_{n+l}-a_{n+k-1} &= \sqrt{a_{n+k-1}} - \sqrt{a_n} \geq 0 \\ \therefore a_{n+l-1}-a_{n+l-2} &\geq 0 \Leftrightarrow a_{n+l-1} \geq a_{n+l-2} \\ &\Leftrightarrow a_{n+l-1} \geq a_n \end{aligned}$$

これらより  $k$  項間に拡張した時の  $\{a_n\}$  は広義単調増加の数列となる。 ■

(\*) を  $k$  項間に拡張し、同様に考えたとき、

$$(k-1)^2 \geq a_n \geq 1 \text{ が成立する。}$$

拡張する前と同様に、単調収束定理より

$$n \rightarrow \infty \text{ のとき } a_n \rightarrow \beta \text{ となる。}$$

よって

$$\beta = \sqrt{\beta} + \sqrt{\beta} + \dots + \sqrt{\beta} + \sqrt{\beta}$$

ここで  $\sqrt{\beta}$  は  $k-1$  個

$$\Leftrightarrow \beta = (k-1)\sqrt{\beta} \quad \text{両辺 2 乗して}$$

$$\begin{aligned} \beta^2 &= \{(k-1)\sqrt{\beta}\}^2 \\ &= (k^2-2k+1)\beta \end{aligned}$$

整理して

$$\beta = 0, (k-1)^2 \quad \beta = 0 \text{ は不適}$$

これらより  $\{a_n\}$  は  $k$  項間に拡張した時、

$$\beta = (k-1)^2 \text{ に収束する}$$

次に  $m$  乗根に拡張した時を考える

$k$  項間  $m$  乗根に拡張して  $m \rightarrow \infty$  のとき

$\sqrt[m]{a_n} \rightarrow 1$  となり収束値が容易に判断できるため今回は  $k$  項間までの拡張にする。

4. 考察

最後に初項と第 2 項を任意の自然数にしたと

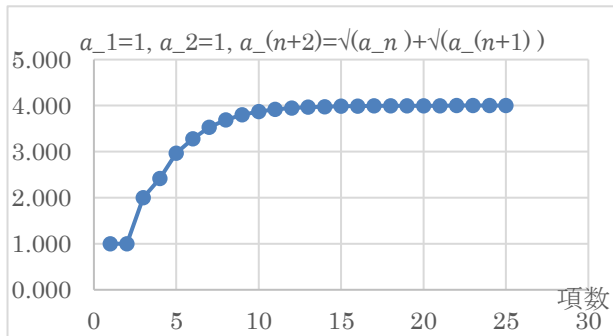
きの考察をする。

今回の課題研究ではここまでの証明はできなかったがある程度考察ができた。

まず,

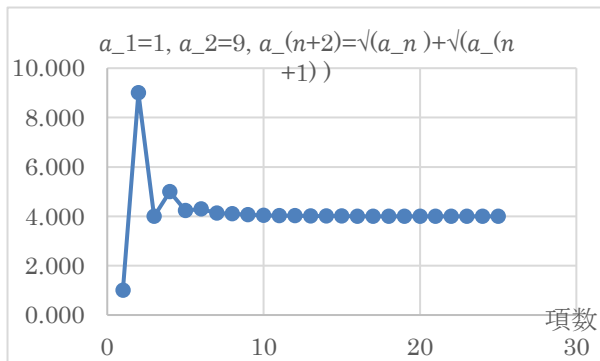
$a_1=1, a_2=1$  のとき

数列  $\{a_n\}$  は広義単調増加しながら  $(k-1)^2$  に収束する



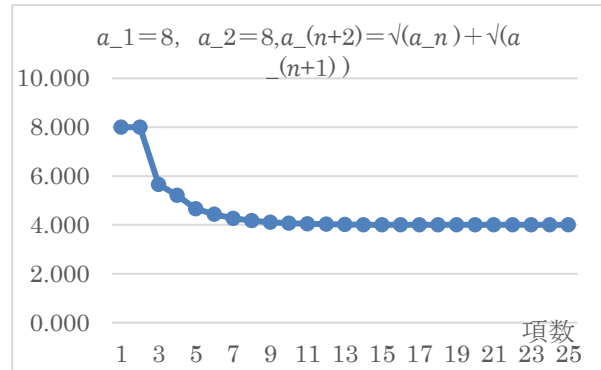
$a_1=1, a_2 > (k-1)^2, a_2=9$  のとき

数列  $\{a_n\}$  は増加と減少をある程度繰り返しながら  $(k-1)^2$  に収束する。



$a_1 \geq a_2 \geq (k-1)^2, a_1=8, a_2=8$  のとき

数列  $\{a_n\}$  は広義単調減少しながら  $(k-1)^2$  に収束する。



発散するはずのフィボナッチ数列がルートをつけることによって、きれいに収束させることができた。

## 5. 今後の課題

ここで数列  $\{a_n\}$  の一般項を求めようとしたが  $\{a_n\}$  は非線形な数列であるため一般項をうまく求めることが出来なかった。

上記の広義単調増加しながら、増加と減少をある程度繰り返しながら、または広義単調減少しながらの境目となるような初項と第2項を求めることが出来たら一般項を求められそうだ。

## 6. 参考文献

ウィキペディア 「フィボナッチ数」

# 塩害土壌の再生～被災した農地を救え！～

岩手県立一関第一高等学校理数科3年  
門屋茜 村上亜子 亀卦川瑠南 佐藤由衣 高橋陽苗子

## 要約

私たちは、被災した農地の除塩に興味を持った。一関第一高等学校2015年度地学班による先行研究、「塩害土壌の再生」の継続研究として、アイスプラントとEM菌による除塩効果を調べた。結果、EM菌による除塩の効果は認められず、アイスプラントは除塩には有効だが栽培が難しいということが分かった。

キーワード 除塩 アイスプラント EM菌

## ABSTRACT

We were interested in clearing farmland hit by a tsunami of salt. Continuing a previous study which was conducted by Ichinosekidaiichi high school students in 2015, we examined how use "effective microorganisms" and "Mesembryanthemum crystallinum" to clear the soil. There was no effect when we used "effective microorganisms".

"Mesembryanthemum crystallinum" can clear soil of salt, but it is difficult to grow.

### 1 はじめに

東日本大震災の津波の影響で、東北地方沿岸の耕作地が甚大な被害を受けた。震災復興のために自分たちにも何かできることはないかと考えたところ、2015年度の地学班が塩害土壌の再生について研究を行っていた。そこで、継続研究としてアイスプラントとEM菌の除塩効果について調べた。特にアイスプラントは、除塩と同時に営農を行えることが他の方法にはない利点として挙げられるため、農地の除塩のために良いのではないかと考えた。

### 2 実験・結果①

#### <Ⅰ>実験で使用する土壌

塩害とは、100gの土壌中に含まれる塩が0.23gを超えた状態をさす。今回の実験では、東日本大震災のデータと先行研究での実験内容を踏まえ、土100gあたり0.88gの食塩を混ぜたものを使用する。

#### <Ⅱ>実験方法

土400gに3.52gの塩と10mlの純水を含ませた土を5つ用意する。それらを以下の条件で4週にわたって栽培し、1週ごとに塩分濃度を測定する。

- ① アイスプラント + 純水
- ② アイスプラント + EM菌溶液

#### ③ EM菌溶液のみ

#### ④ EM菌溶液 + 純水

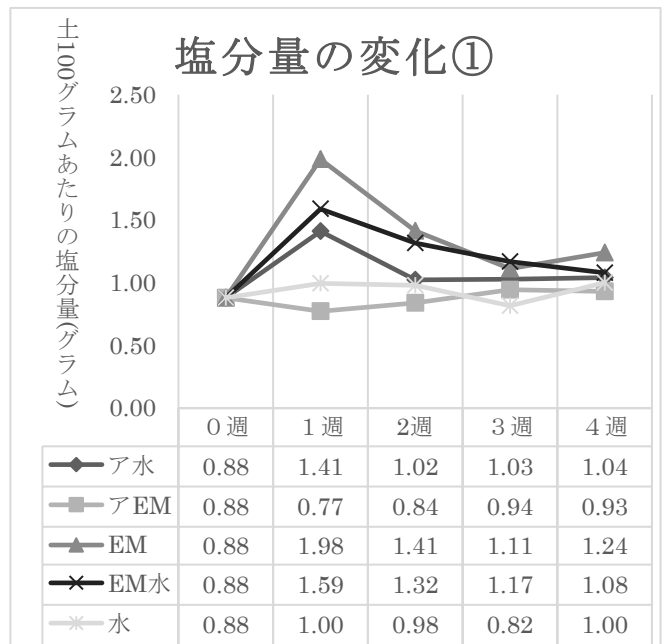
#### ⑤ 純水のみ

※使用するEM菌溶液の濃度は0.1%

※一度に与える純水とEM菌溶液は40mlずつ

※塩分濃度の測定にはモル法を用いる

### <Ⅲ> 結果



先行研究では全ての条件で土壌中の塩分濃度が低下した。しかし、今回の実験では、その効果は得られなかった。

### 3 考察①

・6月から気温が非常に高く、アイスプラントの代謝機能が低下し、生体機能が弱まったことが原因と考察される。よって気温が冷涼な10月より実験をやり直し、滞りなく育つようにする。

・アイスプラントが弱ってしまったために1セットだけで実験を行ったことも数値がうまく出なかった原因の一つだと考えられる。複数セット用意し、平均値をとって数値を出せるようにする。

・先行研究では、好塩菌を除塩の効果がある菌だととらえていたが、好塩菌は塩を含む土壌を好む菌であるため、除塩に直接の効果はないと考えられる。

・EM研究機構によると、EM菌溶液を使用することで土壌の緩衝作用が高まり、塩類の被害を抑制することができるとされている。アイスプラントとEM菌溶液を組み合わせることで、土壌がEM菌により改善され、アイスプラントの吸塩を助ける可能性はある。

・EM菌溶液はすでにEM菌を純水で薄めてあるため、EM菌溶液+純水のポットを用意する必要はないと考えられる。

### 4 実験・結果②

実験①の結果を踏まえ、9月からアイスプラントを栽培し始め、2度目の実験を行った。

〈I〉実験で使用する土壌は、方法①と同じ

〈II〉実験方法

① アイスプラント+純水

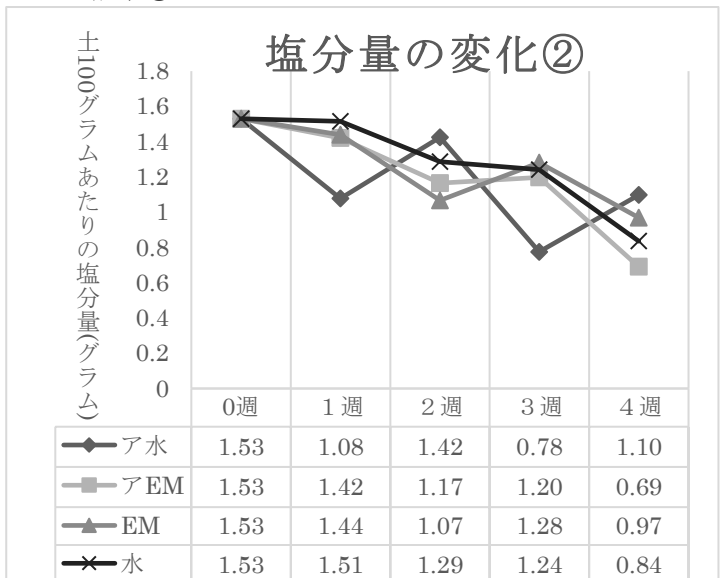
② アイスプラント+EM菌溶液

③ EM菌溶液のみ

④ 純水のみ

①~④のポットをそれぞれ5つずつ用意し、方法①と同じように実験を行う。

### 〈III〉結果②



- ・全体的に、塩分量が低下している。
- ・アイスプラント+純水の値が安定しない。
- ・アイスプラント+EMの塩分量が一番減少した。

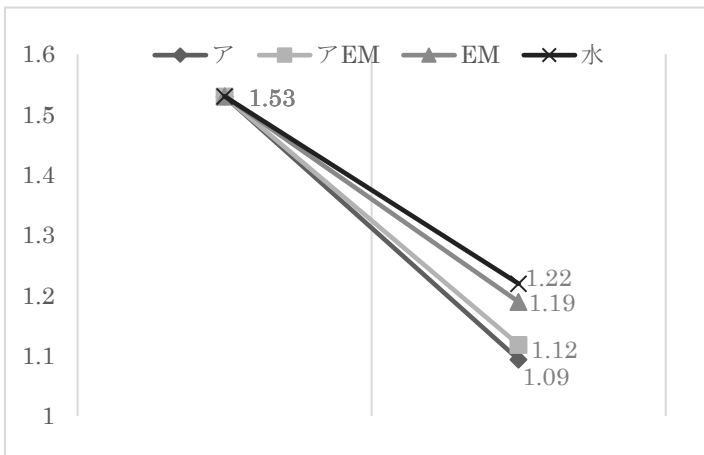
### 5 考察②

・一度目の実験に比べ、塩分量が下がっている傾向がみられるため、一度目の実験からの改善には効果があったと考えられる。

・EMのみのポットの塩分量は、純水のみのポットの塩分量はあまり数値に差がないため、EM菌による除塩の効果はないと考えられる。

・アイスプラント+純水のポットの数値は安定しないが、アイスプラント+EMの塩分量は安定して減少し、4週目には一番数値が下がっているため、EM菌には、アイスプラントの吸塩を促進させる働きがあるのではないかと考えられる。

・各週で数値にばらつきがあるため、各週の数値の平均をとると、次のようなグラフになった。



差は小さいが、アイスプラント+純水とアイスプラント+EM、純水のみと EM 菌溶液のみで分かれ、アイスプラントがあるほうが数値が下がっている。この結果では、アイスプラント+純水のほうがアイスプラント+EM 菌よりも数値が少し低く、差が小さいため、EM 菌による効果はないと考えられる。よって、アイスプラントには除塩の効果があるが、EM 菌溶液の効果の有無は断定できない。

#### 6 今後の課題

- ・アイスプラントによる除塩の効果があることはわかったが、実験していく中で、アイスプラントが育てにくい植物であることも分かった。代わりに使える植物や方法はないか、調べたい。

- ・アイスプラント+純粋のポットの塩分量の測定値が安定しなかったため、原因を調べたい。

#### 7 謝辞

これまでご指導くださった、千葉勝幸先生、尻引美和子先生をはじめとする先生方、本当にありがとうございました。先生方のおかげで、最後まで研究を進めることができました。

#### 8 参考文献

「塩害土壌の再生」2016 年地学班

「東日本大震災における津波被災農地の塩害対策」後藤 逸男・稲垣 開生 東京農業大学



# ホバークラフトの製作

岩手県一関第一高校理数科3年  
菅原清也 菊池太陽 佐藤歩夢  
高木侖 長尾遼 畠山翔太郎

## 要約

ホバークラフトは安定して浮上させることが難しい。安定して浮上するホバークラフトを製作したいと思いこのテーマを設定した。小型のホバークラフトを製作、圧力の式からホバークラフトの浮上の仕組みを考えた。その後、安定して浮上させるために重心を考慮して新たなホバークラフトを製作し、安定して浮上させることに成功した。

## ABSTRACT

It is difficult to hover hovercraft stably. I set this theme in order to create a hovercraft that will surface stably. We made a small hovercraft and considered mechanism of hovering by using the system of the pressure. After that, we succeeded in producing a new hovercraft in consideration of the center of gravity in order to make it hover stably, and make it hover stably.

### 1. はじめに

ホバークラフトは操縦性に関し一般船舶と異なった次のような特徴を持ち、空気圧により浮上し水面上を航走するため、一般船舶に比べ抵抗、特に水から加わる抵抗が小さい。このことが高速走航を可能にする要因であるが、この水による抵抗が小さいことは前進方向だけでなく全ての方向に関しても同様であり、そのため横方向に関しても滑り易いという特性を持つ。(吉野, 森谷, 八木, 山下 1993)

私たちはホバーボードに興味をもち、現在の科学では超電導を使いそれに近いものはできているが、身近なものでは決してないことを知り、大分などで運用されていた

ホバークラフトから近いものを作ろうと考えた。

私たちは小型のホバークラフトを製作し、安定して浮上させ、その浮上の仕組みを求めることで、その仕組みをもとに大型化したホバークラフトを製作することができるという仮説を立てた。

### 2. 実験方法

2.1 小型のホバークラフトを製作する。

2.2 浮上の仕組みを数式的に表す。

2.3 安定性の向上を目指す。

### 3. 実験. 考察

3.1 小型のホバークラフトを製作する。

下敷きが通過した状態を浮上したと定義する。(約 0.5mm)

〈ホバークラフトの製作〉

ホバークラフトの風を送り出す部分は強力なものである必要があるため掃除機のモーター（日立 cv-w 55）を採用した。スカート部分は送り込まれた空気の逃げ道を限定することで隙間から常に強い空気を噴出させ、機体を空中に浮上させるという役割を担っており、浮き輪が身近にあり、なおかつその役割を担うことができる浮輪をスカート部分として採用した。その他の材料は安価で手に入りやすいものとして以下のものを採用した。

- ・プラスチック容器 (PP)
- ・発泡スチロール板

また、各部分を接着するうえで空気がスカート部以外から漏れないようにする必要があるので空気を通さないものとしてシリコン接着剤を使用した。以上の材料を使用して製作した質量 1.96kg の小型のホバークラフトは浮上した。

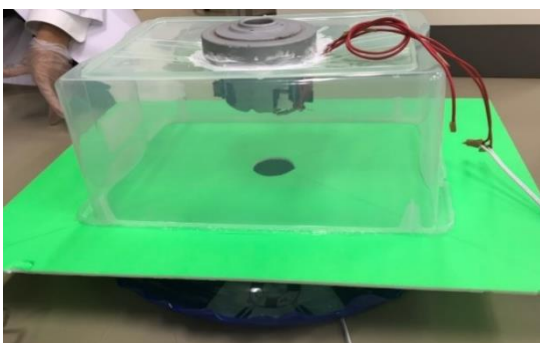


Fig.1 A small hovercraft which we made.

3.2 浮上の仕組みを数式的に表す。

〔実験方法〕

ロケットは内部の圧力を上げることで水浴を生み出し浮上する。私たちはこの原理をホバークラフトにも応用できると考え、圧力の式での数式化を試みた。圧力の測定には携帯の圧力測定アプリ「Barometer」を使用し、スカート内部の圧力を測定した。

「Barometer」では、hPa 表記で小数第一位までしか測ることができないため、それ以降の値はすべて 0 として考えた。

式は、 $P = F / S$ 。この式を変形して  $F = P S$ 。この時の  $F$  が機体の質量  $m g$  にうちかてば良いので、 $m g = P S$  と変形することができ、この式を使って浮上に必要な力を求めた。 $P$  は圧力、 $F$  は推力、 $S$  は断面積、 $m$  は質量、 $g$  は重力加速度である。

〔実験〕

実験結果は下図のようになる。

Fig.2 Measurement result Difference with theoretical value at a mass of 2.15 kg.

2.15 kg時	1回目	2回目	3回目
稼働前	1007.8hPa	1009.0hPa	1001.9hPa
稼働中	1010.1hPa	1011.4hPa	1003.3hPa
測定値	1.4hPa	1.4hPa	1.4hPa
理論値 (145.16Pa) との差	0.0516hPa	0.0516hPa	0.0516hPa

この結果は重りのない状態（機体質量 2.15 kg）で行ったものである。1回の測定で3回測り、その3回の平均値を1回の記録として表記している。

この結果から理論値と測定値がほぼ同じ値を示しているので、式が正しいと分かる。次にこの式の確実性を高めるために重り 1 kg（機体質量 3.15 kg）、重り 2 kg（機体質量 4.15 kg）で実験した。

Fig.3 Measurement result Difference with theoretical value at a mass of 3.15 kg.

3.15 kg時	1回目	2回目	3回目
稼働前	1008.7hPa	1009.1hPa	1001.9hPa
稼働中	1010.7hPa	1011.0hPa	1003.9hPa
測定値	2.0hPa	1.9hPa	2.0hPa
理論値 (202.83Pa) との差	0.0283hPa	0.0383hPa	0.0283hPa

Fig.4 Measurement result Difference with theoretical value at a mass of 4.15 kg.

4.15 kg時	1回目	2回目	3回目
稼働前	1009.1hPa	1008.6hPa	1002.0hPa
稼働中	1011.7hPa	1011.1hPa	1004.6hPa
測定値	2.6hPa	2.5hPa	2.6hPa
理論値 (267.57Pa) との差	0.0757hPa	0.1757hPa	0.0757hPa

重り 1 kg（機体質量 3.15 kg）、重り 2 kg（機体質量 4.15 kg）の時でも理論値と実測値の値が近似している。

#### 〔結果と考察〕

質量が 2.15kg、3.15kg、4.15kg のいずれの場合でもスカート内部の圧力の上昇した値は理論値との誤差はほとんどなかった。この結果からホバークラフトが浮上する仕組みはスカート内部の圧力上昇により生まれた推力によるものだと考えられる。

#### 4.3 クラフトの安定性の向上

実験 i、ii において浮上しているクラフトに細かな振動が見られた。私たちはクラフトの重心がスカート部の中心に来てないことによってスカート部分から出る風の量が一定ではなくなり、それによって細かな振動が見られたのではないかという仮説を立てた。

#### 〔実験方法〕

その仮説を立証するためにクラフトからスカートを取り外しクラフトの重心を求め、その重心にスカートの中心を合わせ、振動の有無を観察する。

#### 〔実験〕

重心を求めるために、スカート部分を外し、下図のように、二方向から糸でつるし、二線の延長線上の交点を求めた。また、私たちの力ではクラフトの重心を3次元でとらえることが難しかったので、スカートを取り付ける位置を平面と見た2次元で重心を調べた。

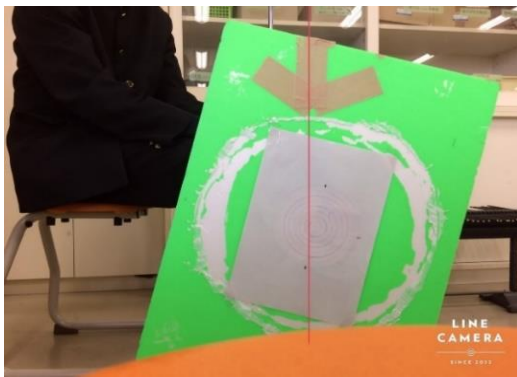


Fig.5,6 Expecting with yarn from two directions and find the center of gravity.

その重心に合わせて再度スカート部分を設置しクラフト2号を製作し、振動の有無を観察したところ、クラフト2号からは私たちの仮設の通り細かな振動は見られなかった。

その後、実験の信憑性を高めるため下図のように、1つ250gの重りを発泡スチロール版の四つ角のうち3つに置き、あえて機体の重心をスカート部分の中心からずらしてクラフト2号を稼働させ、振動の有無を観察した。

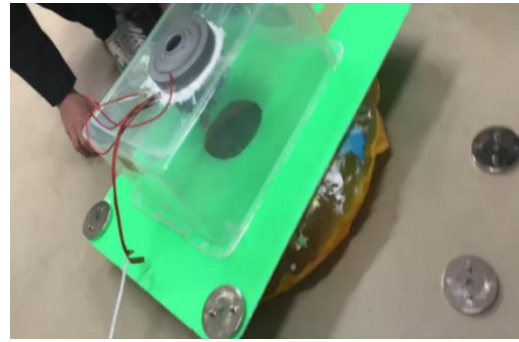


Fig.7 Put a weight on 3 out of 4 corners and Shift the position of the center of gravity

その結果クラフトは実験 i、ii 中に見られた細かな振動が見られた。

重心をスカート部の中心に合わせた時と中心からずらした時の振動の差を加速度センサー用いて比較した。結果は以下の図のようになる。

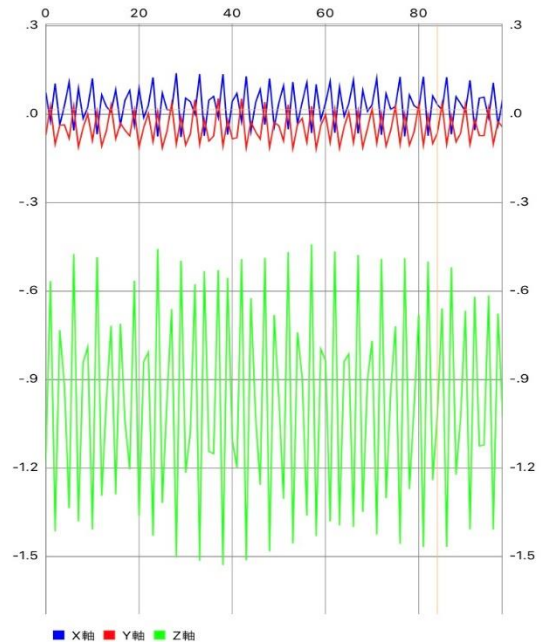


Fig.7 The magnitude of the vibration measured by the accelerometer with the center of gravity shifted

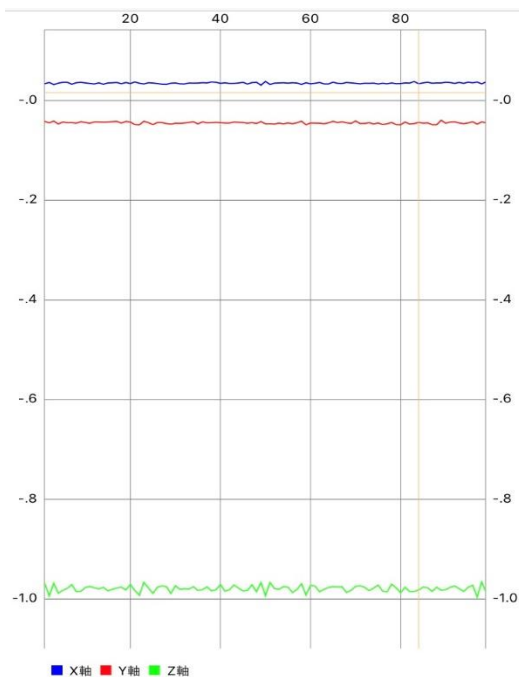


Fig.8 The magnitude of the vibration measured by the accelerometer with the center of gravity at the center of the skirt

図から重心をスカート部の中心に合わせた時振動はごくわずかであったのに対し、重心位置をずらすと振動は大きくなる。

#### [考察]

クラフト2号は我々の定義に沿って浮上し、細かな振動は観測されなかった。また、あえて重心をスカート部分の中心からずらして稼働させた際には細かな振動が確認された。以上二つの結果より、細かな振動の原因は重心のずれによるものだという我々の結論は正しく、ホバークラフトを安定して浮上させるためには重心を考慮する必要があるという結果が得られた。

## 5. 今後の展望

スカート部分で風が360度均等に流れるためにスカートの中心がクラフトの重心線上にあることで安定することが分かった。そのことより、実用化する場合にものを乗せることによりクラフトの重心がずれ不安定な状態に陥ることが考えられる。そこで重心のずれが機体に及ぼす影響の大きさについて調べたい。また、私たちの小型のホバークラフトは水上に浮かせる機会がなかったため水上でも安全に浮上するとは言い切ることができてない。今後は水上での使用も視野に入れていきたい。

## 謝辞

これまで指導してくださった柿木先生、川村先生、朝倉先生に深く御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 吉野亥三郎、森谷周行、八木光、山下進 (1993) ホバークラフトの操縦性シミュレーションについて  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjasnaoe1968/1993/174/1993\\_174\\_365/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjasnaoe1968/1993/174/1993_174_365/_pdf/-char/en)
- 竹内淳 (2014) . 高校数学でわかる流体力学 講談社出版
- 久保田浪之介 (2007) . トコトンやさしい流体力学の本 日刊工業新聞社出版
- 岩村田高校(2015) 工業科課題研究 ホバークラフトの製作  
<https://www.youtube.com/watch?v=Rtv7mVg9kek>

# 音で火を消す

岩手県立一関第一高等学校理数科 3 年  
村川一葉 千葉愛夏 阿部日向子 岩渕千佳 小幡捺 加藤千尋

## 要約

私たちは、音で火を消すことができることに興味を持ち、どのような音が火を消しやすいのか共鳴する環境や周波数との関係に着目して調べた。結果、音で火が消えるためには共鳴する環境が必要であるとともに、60 Hz 付近で最も空気の振動が激しくなり、最小の音圧で火を消すことができることが分かった。

<キーワード> 音 共鳴 消火

## ABSTRACT

What kind of sound is appropriate to extinguish a fire is investigated from the aspect of resonance and frequency. As a result, it was clarified that resonance is necessary and around 70Hz-sound can extinguish a fire with the lowest volume because it makes the air vibrate the hardest.

## 1 はじめに

私たちは、音で火を消すことができることを知り、水や消火剤のように多くの資源を必要としない音は火を消す道具として有効だと考え、火が消えやすい音の条件について調べることにした。音は、大きさ、高さ、音色の三つの要素で構成されている。音が出るとき、周りの空気は圧縮と膨張を繰り返し、圧力が高い密部と圧力が低い疎部ができる。これらが繰り返されることで空気が振動し、縦波となる。管の中で定常波ができるとき、「共鳴」という現象が起こる。つまり共鳴する条件下では開管の端は腹となるため、空気は激しく振動する。これらを踏まえて私たちは、①空気が激しく振動する部分は腹であることから、共鳴する環境を作れば火は消えやすい。②高周波のほうが振動数が多いため消えやすい。③音が大きいほうが消えやすい。という3つの仮説を立てた。

## 2 共鳴する環境・周波数・音圧と消火の関係

火が消える条件に「共鳴」が関係しているか調べるため、Fig. 1 のようにスピーカ

ー、塩化ビニル管、ろうそくを一直線上に設置し、スピーカの音を徐々に大きくしてろうそくの火が消えるかを調べた。またその時の音圧を誤差±1.5 dB、測量範囲 30～130 dB の音圧計で計測した。

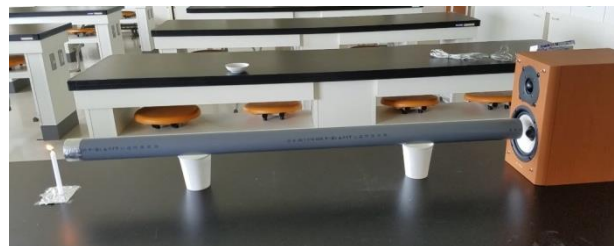


Fig. 1 Equipment of the experiment

塩化ビニル管は 0.5 m、1.0 m、1.5 m の長さのものを用意し、まず、共鳴する環境を作り実験を行った。周波数の大きさ  $f$  [Hz] は、このとき基本振動となるように音速  $v$  [m/s] を 340 m/s として以下の 2 式より

$$v = f\lambda \quad \dots(1)$$

$$\lambda = 2\ell \quad \dots(2)$$

それぞれ 340 Hz, 170 Hz, 113 Hz とした。しかし、実際には音速  $v$  は気温によって変化し、次の式によって表される。

$$V = 331.5 + 0.6t \quad \dots(3)$$



この気温による誤差を修正するために、実験時の気温を測定し音速を求め、これを(1)式に代入して実際の気温に即した基本振動を行う管の長さを求めた。この理論上の管の長さを実際に用意した管の長さの差だけ管口から離れた位置にろうそくを配置した。

さらに、周波数は変えず、管の長さのみを変えて共鳴しない環境を作り火が消えるかを調べた。結果は次の通りである。

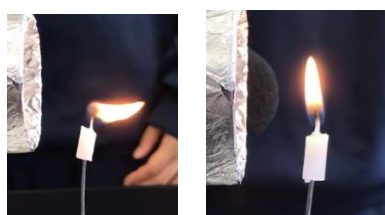


Fig.2 the state of candle in the case of resonance(left) and not (right)

Table 1 result of the experiment

《共鳴する点の場合》

管の長さ $l$ [m]	周波数 $f$ [Hz]	消えるか	音圧 P [dB]
0.5	340	×	-
1.0	170	◎	110 dB
1.5	113	◎	89.5 dB

《共鳴しない点の場合》

管の長さ $l$ [m]	周波数 $f$ [Hz]	消えるか	音圧 P [dB]
1.0	113	×	-
1.5	170	×	-

管の長さが 1.0 m (170 Hz) と 1.5 m (113 Hz) の場合には、共鳴する条件下では火が消え、共鳴しない条件下では火は消えなかった。これより、音で火を消すためには共鳴する環境が必要であると分かり、仮説①は実証された。一方、0.5 m (340 Hz) の場合には共鳴が生じているにも関わらず火は消えなかった。また、管の長さが 1.0 m (170Hz) の時より 1.5 m (113Hz) の時の方が小さい音圧で火が消えた。これらより、周波数が低い方が火を消しやすいと考えら

れ、仮説②は棄却される。また、スピーカーの音量を上げていくと火が消えたことから、音圧が大きいほうが火を消しやすいことが分かり、仮説③は実証された。

### 3 管口部における空気の流れの可視化

ここで、音によって火が消えたことを確認するために、共鳴点での空気の流れの様子について調べた。測量範囲 0.4~30.0m/s の風速計を用いて測定を試みたが、生じる気流が微弱なため計測することはできなかった。そこでドライアイスの煙を使って空気の流れを可視化した。管の長さ 1.0 m、周波数 170 Hz の共鳴する環境で、管の先にドライアイスを入れたバットを置いたところ、ドライアイスの煙が音の出力により管口で出入りしている様子が見られた (Fig. 3)。共鳴しない条件下で行ったときは管口でのドライアイスの煙の動きは見られなかった。以上のことから、共鳴点で発生した風によってろうそく (パラフィン) のガスが失われ、燃料供給が途絶えたため火が消えたと考えられる。



Figure 3 motion of smoke made by dry ice

### 4 音圧の鉛直断面分布と消火との関係

初めにたてた 3 つの仮説について検証できたことから、新たに④音を大きくすれば離れた場所でも火は消える、⑤火を消すことができる周波数帯が存在する、という二つの仮説を立て、さらにそれらの検証実験を行った。

音圧を大きくすれば離れた場所でも消火する可能性があると考え、音圧と火が消え



ることとの関係性について調べた。管の長さが、0.5 m、1.0 m、1.5 m の三種類の塩化ビニル管を用意し、火の消える最小音圧を参考にして、それぞれ共鳴する音をスピーカーから出して、火が消えた点での音圧を測定した。その際管口部の中心を原点とする計測地点を定めた(Fig.4 の黒点)。そして3 cm刻みの高さで、高さが0 cmのときのみ水平方向に1 cm、他の高さでは水平方向に5 cm刻みの地点で音圧を測定するとともに、ろうそくが消火する範囲を調べた(Fig.4)。結果をマップ化した。図中の黒い点が計測を行った点だ。縦軸は管口からの高さ、横軸は管口からの距離を示してい

る。赤が最も音圧が大きいこと、青が最も音圧が小さいことを表している。Fig.4 より、どの管においても管口部で音圧が大きく、管口から同円心状に減少していることが分かった。ろうそくの火は管の長さが1.0 m のときは106 dBで高さ0 cmで3 cmまで消え、1.5 m のときは100 dBで高さ0 cmで2 cmまで消えた。また、管口上部や管口から離れた部分では、火が消えた最小音圧より大きい音圧が観測されていたにも関わらず火は消えなかったことから、2 節でも述べた通り、共鳴点で発生する風が火を消していると考えられる。以上より④の仮説は正しくないと考えられる。

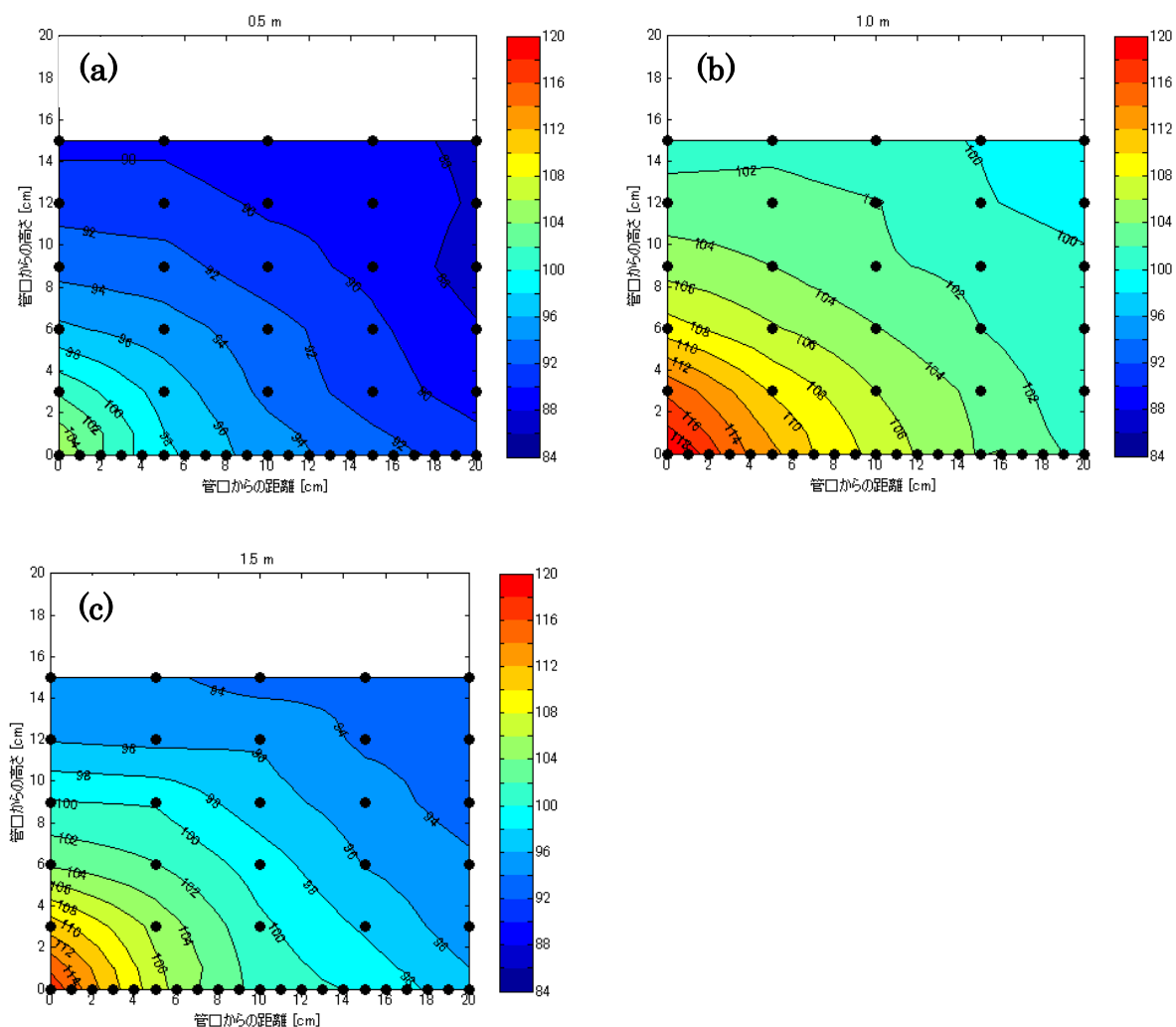


Fig.4 Vertical section of acoustic pressure. The length of open pipe is (a) 0.5 m, (b) 1.0 m, and (c) 1.5 m.

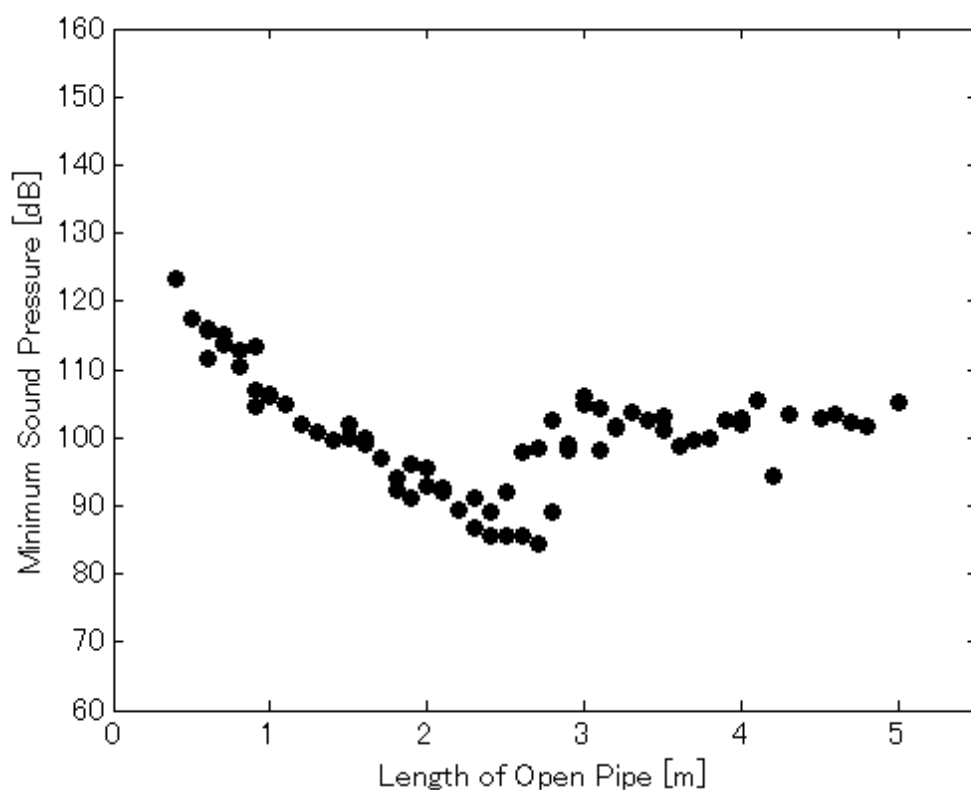


Fig.5 Variation of the minimum acoustic pressure with the length of open pipe.

## 5 火が消える音の周波数帯

2 節においての実験では塩化ビニル管の長さ 0.5 m、周波数 340 Hz で共鳴しているにもかかわらず、火は消えなかった。そこで火を消すことができる音の周波数の範囲を調べるために、塩化ビニル管の長さを 0.3 m から 5.0 m まで 10 cm ずつ伸ばし、それぞれ共鳴する周波数の音を流して火が消える最小音圧について調べた。実験は複数日に渡って行った。Fig. 5 は実験結果を示す。横軸は管の長さ、縦軸は火が消えた最小音圧である。管の長さを短くすると、周波数を細かく刻んで実験することが難しいため、正確に火を消すことができる最大周波数を求めることはできなかった。今回は管の長さ 5.0m、周波数 34Hz まで実験し、火は消えたが、用具の都合上、それ以上の長さを実験することが難しく、最低周波数を求めることはできなかった。グラフを見てみると、管の長さ 2.5m 付近において谷のようになっていることがわかる。つまり、60 Hz から 70 Hz にかけて最も小さい

音圧で火が消えることが考えられる。

よってこの実験では、高周波のときは安定して火が消えなかったこと、また 5.0 m (34 Hz) まで火が消えた為、消火可能範囲を求めることはできなかったが、60 Hz から 70 Hz にかけて最も小さい音圧で火が消えると考えられる。

## 6 議論

今回の実験では、各管の長さにおいて一回または二回ごとしか行っていないため、試行回数が少なかった。また、数日にわたって実験を行ったため実験時の気温が一定でなかった。そのため、管の長さ 2.5 m 付近において最も小さい音圧で火が消えたという結果が有意とは言えない。

そこで、火が消える最小音圧の値が 60 Hz から 70 Hz の範囲で最小になるか統計的に解析するため、管の長さ 0.5m から 0.5m ずつ伸ばしていき、5.0m まで 5 節と同様の実験を 10 回行った。結果を Fig. 6 に示す。

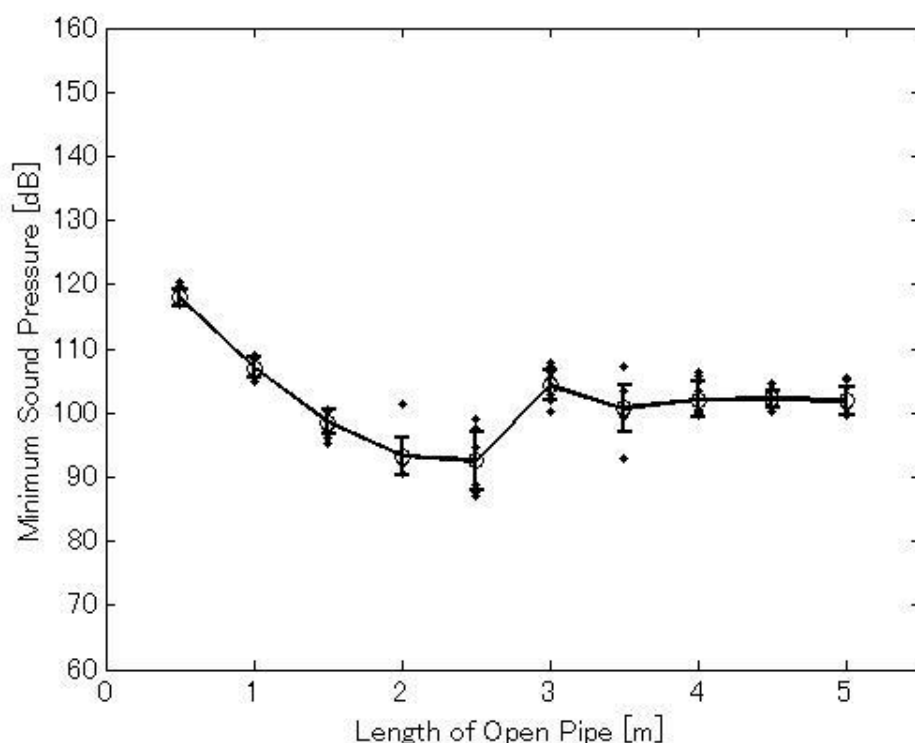


Fig.6 Variation of the minimum acoustic pressure with the length of open pipe. Error bar shows standard deviation.

Fig. 5 で示した通り高周波数帯においては周波数が小さくなるほど火が消える最小音圧は小さくなった。これより管の長さが 2.5 m(68Hz) のときを除くと、2.0 m(85Hz) のときの最小音圧が他より有意に小さいことが分かった。また 3.0 m(57Hz) より管を長くしても有意な差は見られなかった。

つまり、2.0 m から 2.5 m 付近、つまり、60 Hz から 80 Hz において最も小さい音圧で火が消えるといえる。

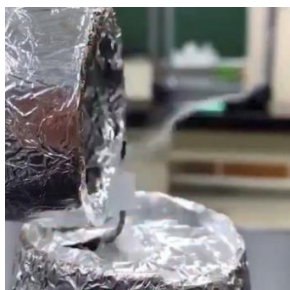
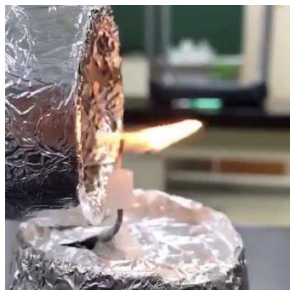
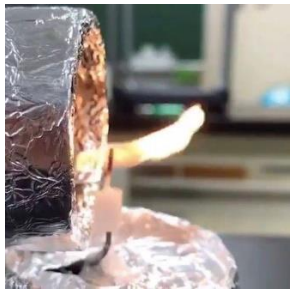
## 7 火の消え方の考察

6 の実験をしていく上で低い周波数帯と高い周波数帯では火の消え方に違いがあることが分かった。低い周波数帯にある 42.5 Hz の時の火の消え方を見てみると、音が徐々に大きくなるにつれ火が前後方向に揺れ始め、十分に揺れが大きくなったところで火が消えた

(Fig. 7)。一方、高い周波数帯にある 340 Hz の時の火の消え方を見てみると、音が大きくなっても火はあまり揺れず、徐々に倒れていき小さくなって火が消えた(Fig. 8)。

違いが現れた理由として次のことが考えられる。低い周波数帯では振動数が小さいため、空気の移動範囲は広い。さらに音圧が大きくなるにつれて共鳴点で発生する風が強くなり、周囲にあるロウの気体が吹き飛ばされた。また、風によりろうそくの芯の温度が下がったためロウの気化が止まり、火が消えたと考えられる。

一方、高い周波数帯は振動数が大きいため、空気の移動範囲は狭い。そのため音圧を大きくしてもロウの気体を吹き飛ばすほどにはならないが、空気は狭い範囲で前後に素早く移動する。その結果、燃焼によってろうそく周辺の空気に含まれる酸素が減り、火が消えたと考えられる。



**Fig. 7** the state of candle low frequency  
(4.0 m, 42.5 Hz)



**Fig.8** the state of candle high frequency  
(0.5 m, 340 Hz)

## 8 まとめ

音によって火が消える条件を、共鳴する環境や音圧との関係に着目して調べた。音で火が消えるためには共鳴する環境が必要であるとともに、60 Hz から 80Hz で最も空気の振動が激しくなり、最小の音圧で火を消すことができることが分かった。また高周波と低周波では火の消え方が違うことが分かった。

## 9 謝辞

本研究を進めるに当たり、ご指導いただいた柿木康児先生には厚く御礼を申し上げます。本当にありがとうございました。