

平成26年度

理数科課題研究報告書

岡山県立津山高等学校理数科

目 次

[物理分野]

- 開放型下掛水車の最適な設置方法3
太田 達, 西村 聡一郎, 屋内 大輝
- より効果的に音を大きくするメガホンの研究7
高舘 一輝, 山下 大輔

[化学分野]

- 炭素電池の研究11
今田 翔太, 平野 孝昌, 森谷 俊亮, 安東 映香
- 色素増感型太陽電池の性質と吸着物質との関係15
久永 眞純, 松尾 優希奈
- 酸化銅 (I) を用いた電池の作成と改良19
赤木 優太, 金田 颯斗, 渋谷 立
- 金属イオンの吸着23
安藤 理人, 小坂田 翼, 貝原 溪斗, 長谷川 琢哉

[生物分野]

- ミドリムシの光走性と光合成の関係 (英語論文)
Relation between Phototaxis and Photosynthesis of *Euglena*27
奥田 希実, 下山 千遥, 寺坂 安奈
- モジホコリカビのセルロース分解 (英語論文)
Study of cellulose decomposition ability of *physarum*31
松下 鎌, 鷺田 伸吾, 河野 歩
- わけぎの球根の抗真菌作用36
塚田 瑠生, 中尾 領, 春木 信二

[地学分野]

- 津山周辺における新第三紀海成層の研究40
松下 尚, 山下 隼, 太田 明緒, 水嶋 沙耶加
- 気象データによる広戸風の発生条件の考察46
寒竹 亮太, 延原 大, 横田 瑛也

[情報分野]

十六夜池の浄化シミュレーション50
 笠木 健希, 廣野 碧唯, 福田 匠, 松永 尚之

[巻末図]54

今年度の課題研究を進めるにあたり, ご指導いただいた先生方に感謝申し上げます。

研究指導	津山工業高等専門学校	佐藤 紳二 教授
	津山工業高等専門学校	藪木 登 教授
	美作大学短期大学部	桑守 正範 教授
	美作大学短期大学部	栗脇 淳一 准教授
	中部大学	福田 良輔 客員教授
	科学部非常勤講師	村上 安弘 様
外国語指導	本校 GSO	江原 Martina 様
	本校 GSO	有本茂 様, 有本 Ursula 様
	本校 GSO	Stephen Hemsley 様
	本校 GSO	Olivier Charles 様
指導助言	福山大学	秦野 琢之 教授
	鳥取大学大学院	安東 孝止 特任教授

開放型下掛水車の最適な設置方法

研究者 太田 達 西村 聡一郎 屋内 大輝
指導者 井上 出

Abstract

We researched the efficiency of water wheels to use them in a mountainous region. We used three kinds of water shot wheels and changed the angles of water streams to determine their efficiency. For each water wheel type we checked the relationship between the water wheel angle θ and the angular speed ω of the wheel.

1. 概要

津山などの山間部地域は水力発電に適した地域である。この利点を生かして、山間部地域での水力発電の効率化を図ることを目的とした。

今回、用水路への設置とメンテナンスの簡易さ、低コストで実現可能な開放型下掛水車に注目し、羽根の形状の異なる開放型下掛水車を 3 種類用い、水路の傾斜角を変更して調査することで、それぞれの水路の傾きと回転速度の関係を調べた。

2. 序論

火力、水力、風力、太陽光などによる発電様式はその土地にあった発電を行うべきである。日本の河川は急傾斜であり流速が早く、特に津山などの山間部地域ではこの傾向が強い。また、常に整備された用水路もあり、日本の山間部地域では水力発電が向いていると考えられる。

地域のエネルギー資源としてこれらを利用し、その効率化を図ることを目的として、今回私たちは、開放型下掛水車について、水車の形状および発電に最適な状態を研究した。

3. 目的

開放型下掛水車において変更できる条件として、水車の形状と傾斜角が挙げられる。今回の研究では、水力発電における水車の形状、傾斜角の最適条件を求めることが目的である。

きくなり、出力も大きくなる。また、水を受ける面積も大きくなるので、効率も高くなる。

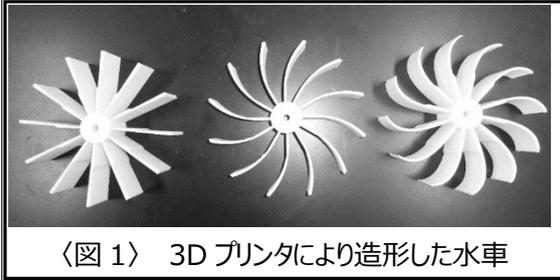
水車は、羽根の曲がり大きいほど水からエネルギーを受け取りやすくなるので、水車の羽根の曲がり大きいものほど効率が低い。

4. 仮説

傾斜角が大きいほど位置エネルギーは大

5. 水車の製作

羽根の角度との関係性を観測するため、半径 98.5mm の 3 種類の水車を 3D プリントで造形した。

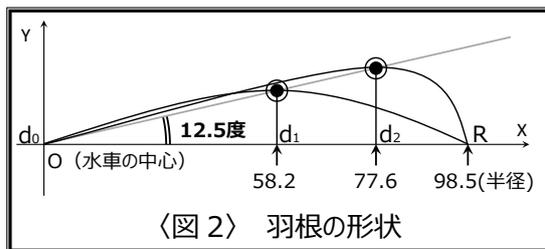


〈図 1〉 3D プリントにより造形した水車

この羽根の形状は、図 2 のように 3 点を通る 2 次関数となっている。

このうち 2 つの点は、水車の中心と外周の半径で固定してある。

もう 1 つの点は可変点で、水車の中心 O を原点として 12.5° の方向に補助線を引き、中心から X 軸方向に d だけ距離を置いた点に X 軸の垂線を引く。この垂線と補助線の交点を、もう一つの点とする。今回の実験では、d を 0.00mm, 58.2mm, 77.6mm とした。0.00mm のときは直線となる。



〈図 2〉 羽根の形状

3 種類の水車について、羽根の曲がり小さい順に「水車_1」, 「水車_2」, 「水車_3」と表記する。以下、表記と d の関係をまとめたものである。

水車_1 : d= 0.00mm (直線)

水車_2 : d= 58.2mm

水車_3 : d= 77.6mm

6. 方法

水車を自作の水路に設置してモーターをつなぎ、水を流し、回転数計で水車の回転数を、テスターを用いて発電電力を測定する。この操作を、水路の傾斜角を

0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 40° , 50°

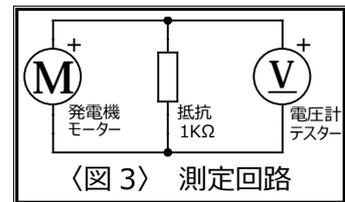
と変更して、それぞれカメラで 5 秒ごとのデータを 1 分間測定する。

なお、テスターでは電圧計を用いた。回路に 1kΩ の抵抗器をはさみ、オームの法則を用いて電流を算出し、電力を求めた。

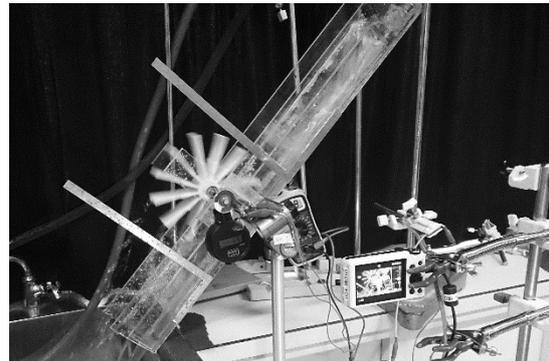
電力の計算式

$$W = \frac{E^2}{R}$$

W: 電力
E: 電圧
R: 抵抗

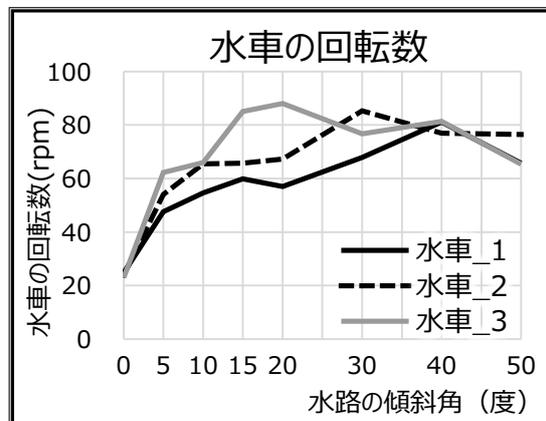


〈図 3〉 測定回路

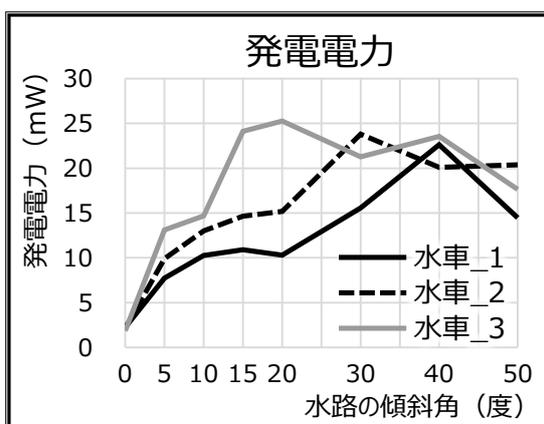


実験風景

7. 結果



回転数のグラフについて、0度の傾斜ではどの水車もほぼ同じ回転数を記録し、傾斜が5度では水車の羽根の曲がり大きいものほど回転数が多い。これは、回転数が流速に関係しているためだと思われる。また水車の羽根が曲がるほど、ピークになる水路の傾きは大きい。ピークを過ぎたあとは、下がっている。これは、流速が速くなり過ぎて空回りしているためと考えられる。



発電電力のグラフについて、回転数に比例していることが示された。よって発電電力を高めるために回転数を上げる必要があることがわかる。

8. 考察

得られた結果について、以下のような計算式を用い、水車のエネルギー変換効率を算出した。

出力の計算

水車自体の出力

$$L = \frac{100EI}{\alpha} [W]$$

無次元量

実験結果を一般化するため、無次元量を使用した。無次元化することで式の定数は無次元数のみになり、無次元数で計算された結果にその無次元数の変数をどのように

とっても変わらないという性質をもたせることができた。例えば、流水速度や水車・水路の大きさ、素材の密度などが異なっても、無次元数が等しければ同じ現象が表せられる。

各種無次元量の計算式

無次元量の計算は、 $\frac{(\text{実測値})}{(\text{理論値})}$ となっている

周速係数

$$(\text{周速係数}) = \frac{\text{水車外周速 } \pi DN/60(\text{m/s})}{\text{理論流速 } v(\text{m/s})}$$

$$Cu = \frac{\pi DN}{60v}$$

流量係数

$$(\text{流量係数}) = \frac{\text{実際の供給流量 } Q(\text{m}^3/\text{s})}{\text{落差 } H \text{ で流れるべき流量 } BH'v(\text{m}^3/\text{s})}$$

$$\phi = \frac{Q}{\rho BH'v}$$

出力係数

$$(\text{出力係数}) = \frac{\text{出力 } L(\text{W})}{\text{力学的エネルギー } mv^2/2 (\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2)}$$

$$\mu = \frac{2L}{\rho BH'v^3}$$

効率

$$(\text{効率}) = \frac{\text{出力係数 } \mu}{\text{流量係数 } \phi}$$

$$\eta = \frac{\mu}{\phi}$$

N : 1分間の回転数(rpm)

E : 発電電圧(V)

I : 発電電流(A)

α : モーターの発電効率(%)

D : 水車の直径(m)

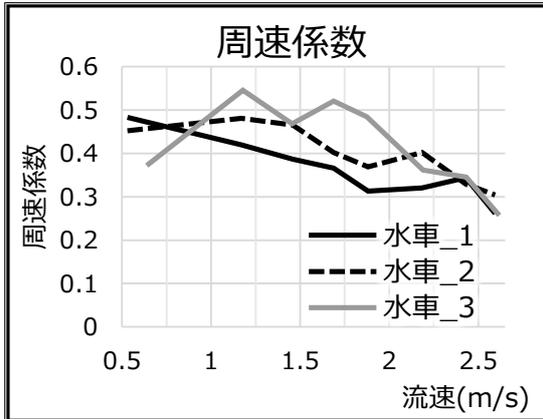
Q : 水路の流量(m³)

B : 水車の幅(m)

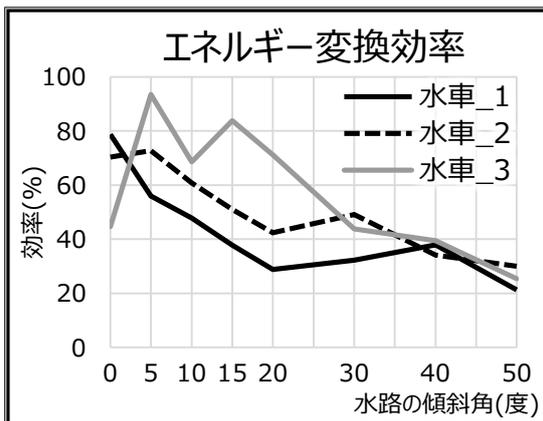
H' : 水車の浸水深さ(m)

v : 力学的エネルギーから求めた流速

(m/s)



周速係数のグラフより、流速が速くなればなるほど周速係数が小さくなっていることから、水車_3はよく空回りしていることがわかる。



また、エネルギー変換効率のグラフより、0度と5度以上のときの結果に乖離がある。このことからそれぞれの結果を別々に考えると、5度以上のときエネルギー変換効率は水車_3が最も良いことに対し、0度ときは一概にどの水車がよいとは言えないことが判明した。

9. 結論

効率の高い水車の設置条件は、水路の傾斜角が5度以上のときは水車_3>2>1の順であり、0度るとき水車_3の効率が下がったことにより相対的に水車_2がいいことが分かった。

出力の大きい水車の設置条件は、20度では水車_3、30度では水車_2、40度では水車_1を用いればよいことが分かった。

よって、傾斜によって効率が高い水車を選ぶべきである。

10. 謝辞

今回ご指導いただきました津山高等専門学校の方々に深く感謝いたします。

11. 参考文献

「開放型下掛け水車の羽根角と幅／直径比が出力特性に及ぼす影響」

(津山高等専門学校 機械工学科

北村 元 山根 いくみ 佐藤 紳二)

より効果的に音を大きくするメガホンの研究

研究者 山下 大輔 高館 一輝

指導者 津田 拓郎

Abstract

We researched the points that are crucial in order to make a more effective megaphone. Therefore, considering the sound of a megaphone, we prepared some variables and tested them. E.g. we tested various distances between speaker and megaphone or several size and angles of the megaphone mouth opening. Based on our results, the standing wave didn't rise with the megaphone, and an angle understood that time of 50 degrees came to have a biggest sound.

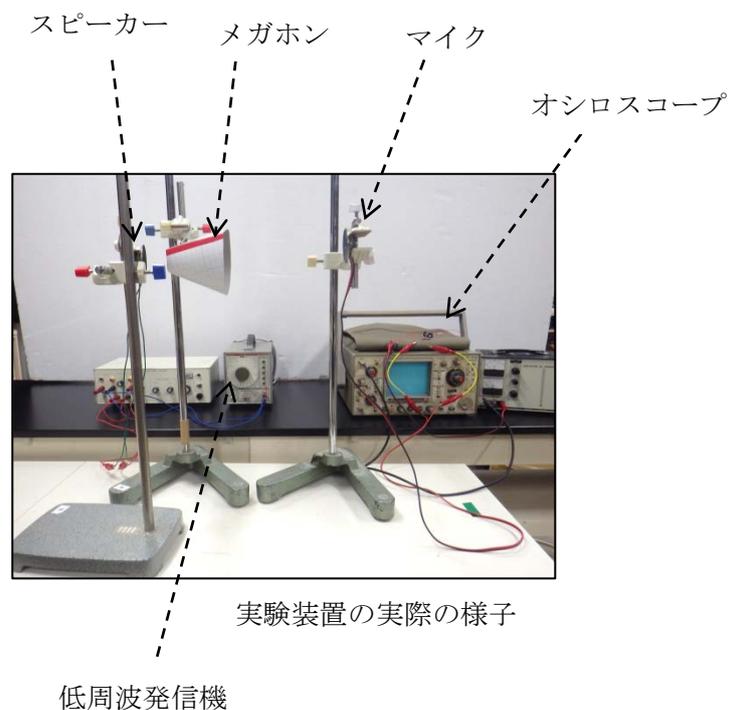
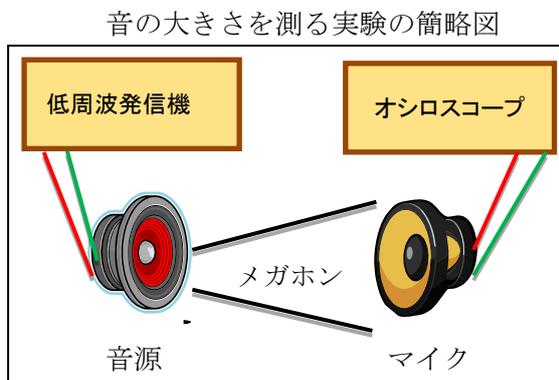
1 研究の目的

本研究は吹奏楽部の演奏で大きな音を出す楽器に疑問を持ち、多くの金管楽器に共通するメガホンのような形とメガホンから出る音の大きさとの関係について明らかにすることを目的とした。

先行研究より金管楽器の先端のメガホンの形は金管楽器において音を大きく伝えるために重要な要素であることがわかり、音が最大となるメガホンの形状を定量的な測定で求め、考察を行った。

2 実験

低周波発信機を繋いだ音源と、オシロスコープを繋いだマイクとの間にメガホンを設置した。音源から音をだし、オシロスコープで音の大きさを測定した。実験 2-1 以外は全てこの形式で行った。



<実験の概要>

- 2-1 定常波の有無の確認
- 2-2 音源からメガホンへの距離の変化による音の大きさの変化の測定
- 2-3 メガホンの長さの変化による音の大きさの変化の測定
- 2-4 メガホンの開き角と振動数の変化による音の大きさの変化の測定

2-1 定常波の観察

<目的>

まず音が大きくなる原因として、メガホン内で定常波が起こっているのではないかと考え、クントの実験を用いて定常波の観察を行った。

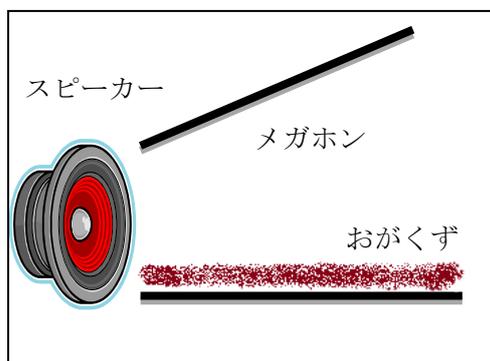
<仮説>

メガホンの音が大きくなるのは、気柱の内部に定常波ができているためである。

<方法>

メガホンの中におがくずを均一にまき、メガホンの端からスピーカーで音を入射させた。音の振動数を変えることにより、定常波の確認を試みた。

定常波の実験の簡略図



<結果>

クントの実験を用いて定常波は確認できなかった。

2-2 音源からメガホンへの距離

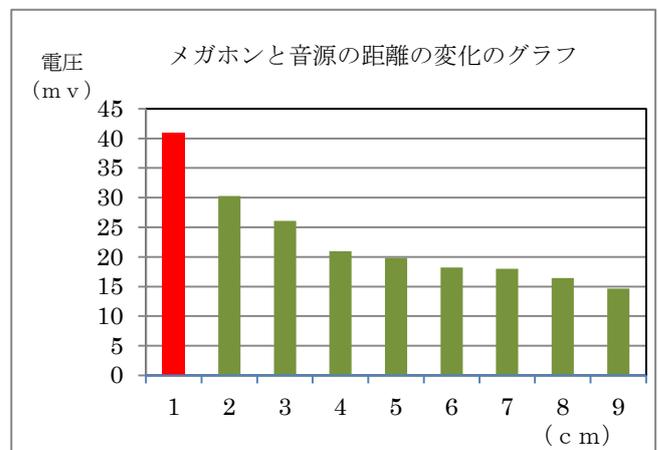
<目的>

次に音源からメガホンへの距離に音の大きさとの関係があると考え、距離をかえながら音の大きさを測定した。

<方法>

音源とメガホンの距離を変化させながら音の大きさを測定した。

<結果>



グラフ 1

グラフ 1 より、音源とメガホンの距離が近ければ近いほど音は大きくなることがわかった。

2-3 メガホンの長さ

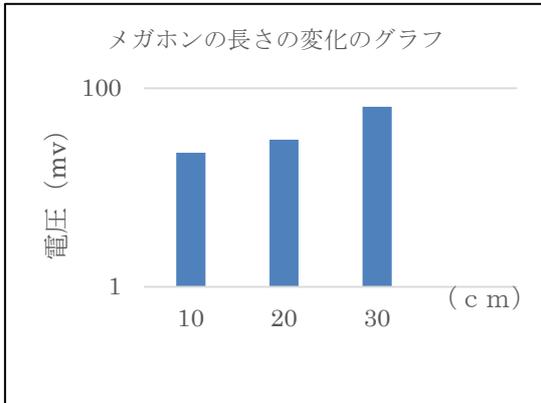
<目的>

メガホンの長さと音の大きさに関係があると考え、メガホンの長さをかえながら音の大きさを測定した。

<方法>

実験②で用いた実験器具を使い、メガホンの長さを変化させ、オシロスコープで測定した。

<結果>



グラフ 2

グラフ 2 より、メガホンが音源とマイクの間
の距離より短い時、メガホンは大きければ
大きいほど音は大きくなった。

2-4 メガホンの開き角と振動数

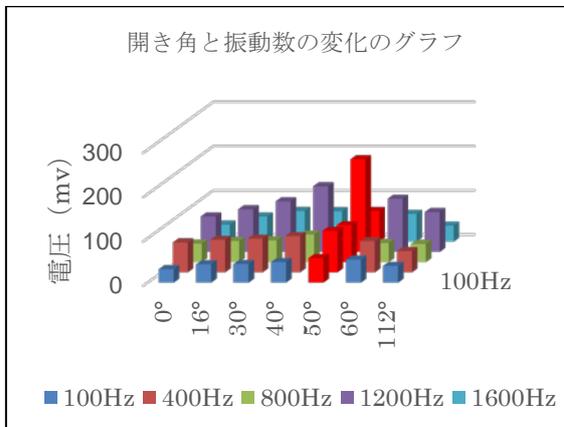
<目的>

メガホンの開き角の変化と音の大きさに関
係があると考え、開き角を変えながら音の
大きさを測定した。

<方法>

実験②で用いた実験器具を使いメガホンの
開き角を変え、オシロスコープで測定した。
また、各開き角に対し振動数も変化させ、
三次元的なグラフを作成した。

<結果>



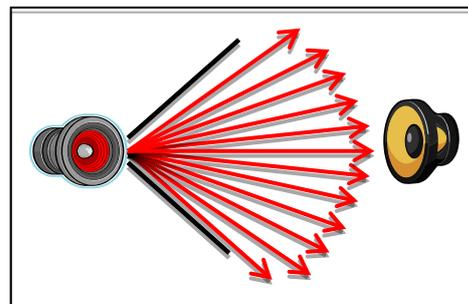
グラフ 3

グラフ 3 より開き角約 50° がいずれの大
きさの振動数においても最も音を大きくす
ることができることを確認した。

3 考察

2-1 より、クントの実験を使って定常波
が確認できなかったことから、メガホンに
おいて定常波は音を大きくするための要因
として大きくないことがわかる。2-2 よ
り、メガホンと音源の距離は近ければ近い
ほど音が大きくなることがわかる。これは
メガホンと音源の距離が近いとき、メガホ
ンにより多くのエネルギーが入るためと考
えられる。2-3 より、メガホンが音源と
マイクのあいだの距離より短い場合、メガ
ホンは長いほど音を大きくすることがわか
る。これはメガホンが長いほどメガホン外
に逃げる音のエネルギーを少なくできるた
めと考えられる。2-4 より、メガホンの
長さが 10cm、音源とマイクのあいだの距離
が 20cm の時、どの振動数においても 50°
が最も音を大きくするメガホンの角度だと
わかる。これはメガホンの開き角が極度に
大きい場合、メガホン内で反射があまり起
こらず音のエネルギーが分散するため、音
が小さくなると考えられる。

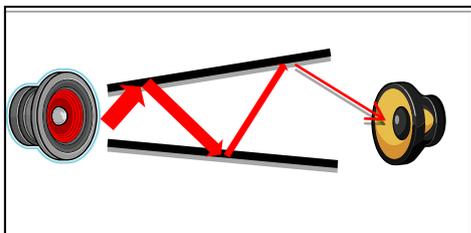
開き角が極度に大きい場合の図



またメガホンの開き角が極度に小さい場

合、メガホン内で音が何度も反射することにより、メガホンに音のエネルギーが吸収され音が小さくなるものと考えられる。

開き角が極度に小さい場合の図



4 まとめ

以上の結果・考察より、今回行った条件下では、メガホンと音源の間の距離を小さくし、メガホンを長くすれば音は大きくなり、その時のメガホンの開き角は約 50° が最適であることがわかった。

5 今後の展望

今回の実験では直線的なメガホンを使い実験を行ったが、先行研究では指数関数的に広がる形状のメガホンがもっとも効率のいいメガホンとなるとあったので、指数関数的な広がりを持つメガホンを作成し、今回明らかにした結果を用いて検証を行いたい。

6 参考文献

- ・メガホンについての研究
(西村拓ほか 北広島西高校 1999年)
- ・音と楽器
(アーサー・H・ベナード
河出書房新社 1977年)
- ・図解雑学 音のしくみ
(中村 健太郎 ナツメ社 1999年)
- ・基礎 音響・オーディオ学
(小泉 宣夫 コロナ社 2005年)

- ・音楽と楽器の音響測定
(吉川 茂・鈴木 英男
コロナ社 2007年)
- ・音の不思議をさぐる 音楽と楽器の科学
(チャールズ・テイラー
大月書店 1998年)
- ・風メガホンによる風力発電の効率化
(亀井威雄ほか 天城高校 2012年)

炭素電池の研究

研究者 今田 翔太, 平野 孝昌, 森谷 俊亮, 安東 映香

指導者 福田 良輔(中部大学客員教授)

Abstract

A carbon battery is a secondary cell that uses hard charcoals as electrodes and ammonium chloride as electrolytes. Because it doesn't need any metals, it is environment friendly. However, the character of the carbon battery has not become clear yet. Therefore, to make clear the nature and mechanism of the carbon battery, we researched the voltage across terminals, the property of charge and discharge, and the internal resistance, of the carbon battery.

1. 研究の概要

炭素電池は、白炭を両極として、電解質に塩化アンモニウムを用いた二次電池である。電極や活物質に金属を使用しないため、資源や廃棄物に関する問題解決が期待される。今回、私たちは炭素電池の性質と充放電のメカニズムを探究し、その性能向上の道を模索した。

その結果、炭素電池は化学電池と電気二重層キャパシタの両方の性質を持っていると考えられた。また、端子間電圧が 1.3 V~1.8 V 程度のとき、内部抵抗が 2~5 Ω 程度、電気容量 200~300 F であり、電圧は徐々に低下し、内部抵抗は徐々に上昇することがわかった。

2. 序論

炭素電池は、両極を白炭として、電解質に塩化アンモニウムを用いた二次電池である。白炭はおがくずを固形にし、1000 °C、60 時間で炭化させたもので、薄いグラファイトが積層した構造をしており、イオンや小分子を多く吸蔵することができる。現在主流の実用電池や電気二重層キャパシタの多くは、活物質や触媒として重金属やレアメタルを必要とするが、炭素電池は、そのような金属元素や、有機溶媒および有機性の有害な電解質も必要としないため、自然環境への負荷が少なく、エネルギーや資源、廃棄物に関する問題の解決にもつながる可能性を秘めた二次電池として期待されている。しかし、研究途上の系であり、電気特性の詳細など解明されていない部分も多い。そこで、炭素電池の性質と、そこから導かれる電池としてのメカニズムを解明し、性能がどのようなものであるかを、端子間電圧（以下電圧と短縮して称する）、充電・放電特性、内部抵抗などで調査し、炭素電池の性能向上の道を模索した。

3. 研究内容

炭素電池の構造と作成方法

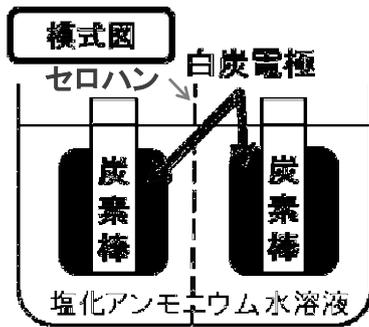
電極には鳥取大学 工学系 研究科の安東孝止教授から提供された白炭を用いた。

<材料>

- ・白炭×2
- ・炭素棒×2
- ・半透膜（セロハン）
- ・塩化アンモニウム（NH₄Cl）水溶液

<作成方法>

1. 白炭に電動ドリルで直径 5 mm 程度の穴を空け、炭素棒を差し込んだ電極（25W×15D×45L mm, 10 g）を2つ作った。
2. 電極の間をセロハンで仕切り、距離約 5mm で対向させて、塩化アンモニウム水溶液中に置いた（図 1）。



(図 1) 炭素電池の模式図

電流・電圧の測定には、UCHIDA 製のアナログ式電圧計 (0~3 V・15 V・300 V)・電流計 (0~50 mA・500 mA・5 A) を用いた。2 時間以上の測定の際は、計器の前にデジタルカメラを設置し、一定間隔で撮影した映像より測定値を読み取った。

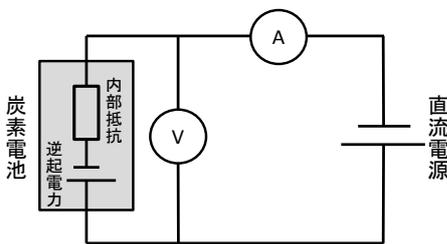
実験 1 炭素電池の性能

<目的>

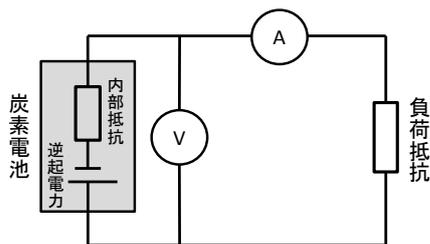
内部抵抗, 充電・放電特性を調べ, 炭素電池がどのような性質を示すのかを調べる。

<方法>

1. 直流電源, 電流計, 電圧計, 炭素電池を (図 2) の通りつなぎ, 約 1.5~3.0 V で炭素電池を充電した。
2. 5 分ごとに電流, 電圧の値を測定した。
3. 充電した炭素電池, 電流計, 電圧計, 負荷抵抗 (50 Ω) をつなぎ (図 3) の通り, 炭素電池を放電させた。
4. 5 分ごとに電流, 電圧の値を測定した。

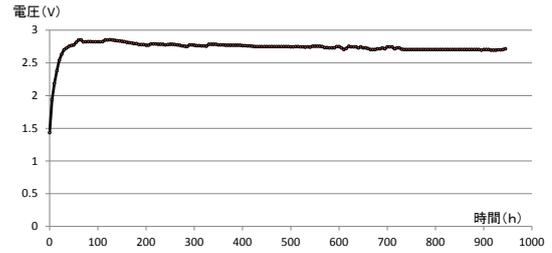


(図 2) 充電時の回路

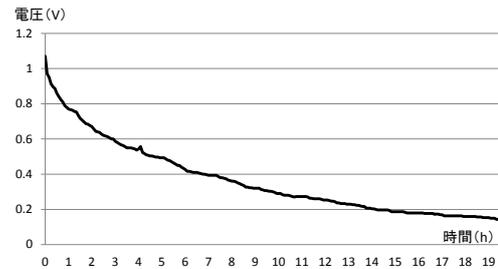


(図 3) 放電時の回路

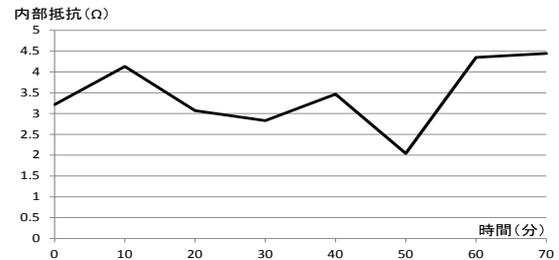
<結果>



(図 4) 炭素電池の充電電圧



(図 5) 炭素電池の放電電圧



(図 6) 炭素電池の放電時内部抵抗

(図 5) より, 電圧は時間経過とともに減少した。また (図 6) より, 電圧が 1.3 V~1.8 V 程度 のとき, 内部抵抗は 2~5 Ω 程度で, 放電開始時 から時間経過とともに緩やかに増加した。

<考察>

我々の先輩による先行研究では, 炭素電池の仕組みとして, 充電は電解液の電気分解によって生じた気体を炭の空孔に取り込むことであり, 放電は酸化還元反応を利用して電気を取り出すことによるので, 炭素電池は化学電池であると考えられていた。しかし, 一般的な化学電池と比べて, 放電時に電圧が (図 5) の様に急激に低下することから, 放電電荷量, すなわち放電電流の時間緩和をキャパシター容量で徐々に値分電圧が降下する電気二重層キャパシターである可能性も考えられた。

実験2 炭素電池の原理の探究

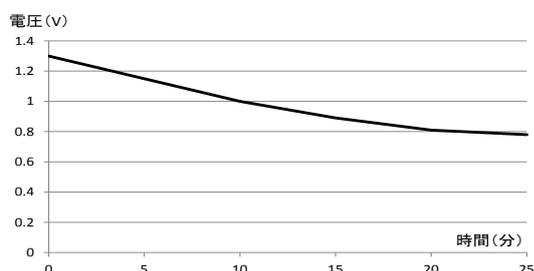
<目的>

炭素電池が化学電池的な動作であるか、電気二重層キャパシター的な動作であるかを調べる。

<方法>

1. 塩化アンモニウム (NH_4Cl) の代わりに硝酸アンモニウム (NH_4NO_3) を電解質に用いて、炭素電池を製作し、約1.5~3.0 Vで充電した。
2. 負荷抵抗 50 Ω を用いて、炭素電池を放電させた。
3. 5分ごとに電流、電圧の値を測定した。

<結果>

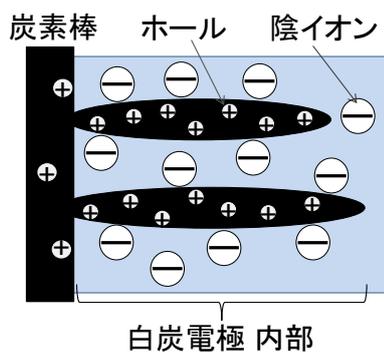


(図7) 電解質に硝酸アンモニウムを用いたときの炭素電池の放電電圧の変化

(図7)の通り、硝酸アンモニウムを用いた場合も、塩化アンモニウムを用いた場合と似た挙動を示した。

<考察>

炭素電池が純粋な化学電池であるならば、硝酸アンモニウム水溶液を用いた場合、炭素電極に吸蔵されるのは水素と酸素であり、これが化学電池、すなわち燃料電池としてはたらくには、電極に触媒として白金が必要である。しかし、炭素電池は、電解質に硝酸アンモニウムを用いた場合も、塩化アンモニウムを用いた場合と似た挙動を示した。このことから、炭素電池は(図8)の模式で示される電気二重層キャパシターの性質を持っている可能性が高いと考えられた(図8)。



(図8) 炭素電池の内部の模式図 (正極)

実験3 電解液の違いによる変化の有無

<目的>

電解質の種類によって充電・放電時に変化があるかどうかを調べる。

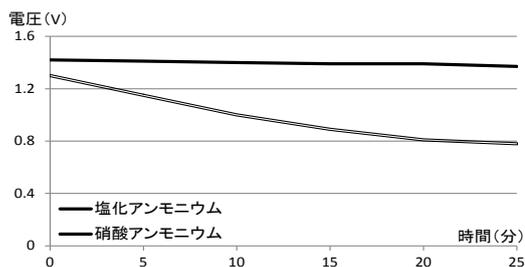
<仮説>

電解質の種類によって放電時に変化があらわれる。

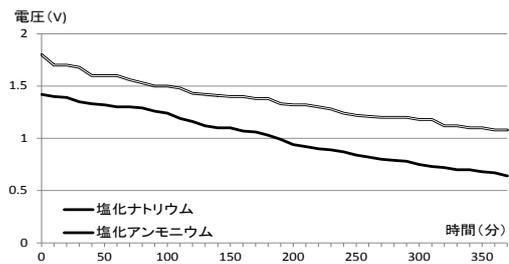
<方法>

1. 電解質に塩化アンモニウム (NH_4Cl)、硝酸アンモニウム (NH_4NO_3)、塩化ナトリウム (NaCl) を用いて炭素電池を作製し、約1.5~3.0 Vで充電した。
2. 負荷抵抗 50 Ω を用いて、炭素電池を放電させた。
3. 5分ごとに電流、電圧の値を測定した。

<結果>



(図9) NH_4Cl と NH_4NO_3 の電圧の変化



(図10) NH_4Cl と NaCl の電圧の変化

(図9)と(図10)より、放電時の電圧は塩化ナトリウムが約1.8Vと最も高く、硝酸アンモニウムが約1.3Vと最も低かった。また、電圧の低下速度の比較では、塩化アンモニウムと塩化ナトリウムは比較的遅く、硝酸アンモニウムは速かった。

<考察>

陽イオンのみを変えた場合でも、陰イオンのみを変えた場合でも変化が見られたことから、電解質のイオンの種類によって、炭素電池の性質に影響があらわれるということがわかった。また、塩化アンモニウムと塩化ナトリウムの電圧の低下速度が比較的遅く、曲線的に低下していることから、炭素電池は電気二重層キャパシターと化学電池の両方の性質を併せ持つハイブリッド・電気二重層キャパシターである可能性があると考えられた。

実験4 電解液の濃度による変化の有無

<目的>

電解液の濃度によって充電・放電時に変化が見られるかどうかを調べる。

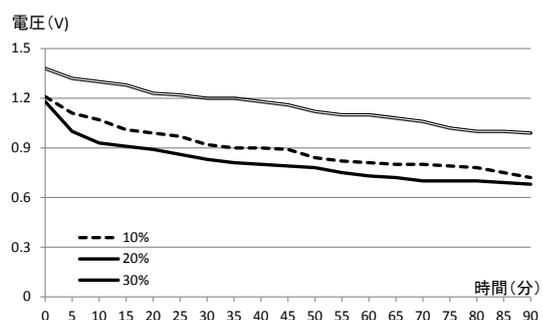
<仮説>

電解液の濃度が濃いほど電気量が大きくなる。

<方法>

1. 質量パーセント濃度が10%、20%、30%（飽和水溶液）の塩化アンモニウム水溶液を用いて、炭素電池を製作し、約1.5～3.0Vで充電した。
2. 負荷抵抗10Ωを用いて、炭素電池を放電させた。
3. 5分ごとに電流、電圧の値を測定した。

<結果>



(図11) 濃度ごとの電圧の変化 (NH₄Cl_{aq})

(図11)より、電圧が約1.2～1.4V、電圧がその60%まで減少するまでの時間はどの濃度の水溶液を用いた場合も1.5～3時間であった。また、塩化アンモニウム水溶液を用いた系では、電解質の濃度と電池の性能に関して、30%と20%の端子間電圧の差が約0.2～0.3V（約15～20%）程度であった。

<考察>

電解質に塩化アンモニウムを用いた系では、電解液の濃度が10%～30%の範囲内ではイオンの種類による変化と比べて大きな変化が見られなかったため、電解液の濃度よりもイオンの種類の方が炭素電池の性能により大きく影響すると考えられた。しかし、濃度上昇で電圧が上昇しているので、最適濃度の検討は必要であると考ええる。

4. 結論

今回実験した炭素電池は、電圧が1.3～1.8V程度のとき、内部抵抗が2～5Ω程度であり、1.5～3.0Vで充電を行ったために、電気容量200～300Fであると考えられた。また、二次電池のメカニズムは化学電池と電気二重層キャパシターの両方の性質を持ち合わせているハイブリッド型二次電池であると考えられた。

炭素電池の性能は電解液の濃度と比べて、電解質の種類により大きく依存することがわかった。

今後は炭素電池の性質をより詳細に調査し、また、さまざまな価数や大きさのイオンを含む電解質溶液を用いて、各種電気二重層キャパシターの用途に合った電解質を追究する予定である。

5. 謝辞

今回ご指導を頂きました中部大学客員教授の福田良輔先生、鳥取大学工学系研究科の安東孝止教授、貴志貫先生に深く感謝いたします。

6. 参考文献

- ・しくみ図解シリーズ 電池が一番わかる (京極 一樹 2010)
- ・平成25年度 津山高校理数科課題研究報告書 『炭素電池の研究』

色素増感型太陽電池の性質と吸着物質との関係

研究者 松尾優希奈 久永眞純

指導者 貴志貫

Abstract

The dye sensitized solar cell which uses titanium oxide is one of the solar cells which attract public attention because it can be produced at a low cost and doesn't discharge any harmful waste. We researched the effects of the materials absorbed into titanium oxide to the properties of these solar cells. Interestingly, although ascorbic acid and gallic acid - both organic acids which have strong reducibility - are colorless, the color of titanium oxide which absorbed them turned yellowish-brown. The cells which contain this titanium oxide also showed the ability of the dye sensitized solar cell.

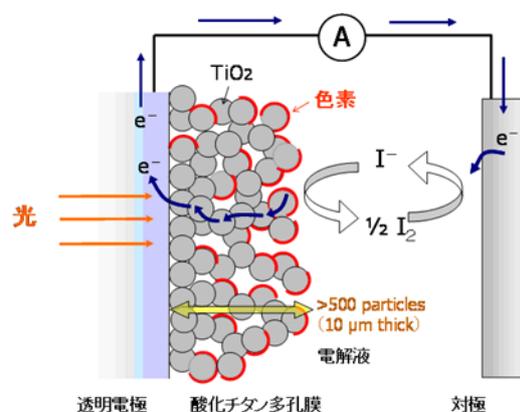
1. 概要

酸化チタンを用いた色素増感型太陽電池は、低コストで製作でき、有害な廃棄物を生じない、近年注目されている太陽電池の一つである。私たちは、この色素増感型太陽電池において、酸化チタンに吸着させる物質が電池の性質に与える影響について調査した。興味深いことに、強い還元性を有する有機酸であるアスコルビン酸及び没食子酸では、それ自体には色がない物質であるにも関わらず、それらを吸着させた酸化チタンは黄褐色に変化し、そして、その酸化チタンを使用した電池は、色素増感型太陽電池としての性能も示した。

2. 色素増感型太陽電池について

経済発展に伴って深刻な環境問題が地球規模で起こっており、その一つに地球温暖化がある。そのため、温室効果ガスである二酸化炭素の排出量を削減することが世界的にも大きな課題となっているが、最も有力な方法の一つとして、再生可能なエネルギーである太陽光を利用した太陽電池があり、その中の一つに色素増感太陽電池がある。構造がシンプルで材料や製造プロセスが安価という特長があり、今なお盛んに研究されている。

色素増感型電池の仕組みは次の通りである。(図1)



(図1 色素増感型太陽電池の仕組み)

<http://www.pccell.com/shikiso.html>

- ① 酸化チタン多孔膜に吸着している色素が，光を吸収する。
- ② 色素から電子が酸化チタンナノ多孔膜に注入される。
- ③ 酸化チタンナノ多孔膜に注入された電子は，透明電極，外部回路を通過して，対極に達する。
- ④ 対極の表面で，電子は，電解液中のヨウ素に渡され，ヨウ化物イオンができる。
- ⑤ ヨウ化物イオンは，光を吸収して酸化された色素に電子をわたり，色素が再生する。同時に，ヨウ化物イオンは，再びヨウ素となる。

卒業生の先行研究に，色素を含んだ身の回りの様々な食品を用いて酸化チタン電池の発電量を調べたものがあったが，そこでは実際にどの成分が酸化チタン電池に影響を与えているのかまでは分からなかった。そのため今回我々は，酸化チタンに吸着させる物質について，色素を含む天然の混合物にこだわらず，食品などに含まれる単一の成分に着目し，吸着物質の性質と，それが酸化チタン電池の性能に与える影響との関係を調査した。

3. 研究内容

電池は市販のキット（ケニス環境学習キット ナノクリスタル太陽電池）を購入して自作した。酸化チタンペーストをコーティングした導電性ガラス（2.5×2.5 cm）を色素などの水溶液に浸し，また対極として炭素をコーティングしたものを製作した。この二つを合わせ，ヨウ素液を間に染み込ませることによって色素増感型太陽電池と

しての性能を示した。色素の水溶液には着色の早さに関わらず，すべて一日浸した。

作製した電池に4.5 cm離れたところから白色蛍光灯（100 V/12 W）の光を当て，マルチテスター（OHM M-830C）を用いてそれぞれの短絡電流および開回路電圧を調べた。短絡電流（以下電流）と開回路電圧（以下電圧）は連続して調べ，実験は8分以上10分以内に終わるようにした。

【実験1】

先行研究との比較のために，先行研究に使用されたものと同様の色素であるマローブルー，ハイビスカスローズヒップティー，ローズヒップティーを使用して実験を行った。その結果を次に示す（表1）。

	水溶液の色	吸着後のTiO ₂ の色	電流 (μA)	電圧 (V)
なし		白	0	0
マローブルー	紫	淡緑	848	0.38
ローズヒップ	橙黄	黄褐	687	0.41
ハイビスカスローズヒップティー	赤紫	青紫	1313	0.45

（表1 先行研究と同様の色素を使用した結果）

<結果>

- ・ 水溶液の色と吸着後の酸化チタンの色が同じでない場合があることがわかった。
- ・ 浸した瞬間に酸化チタンを着色するのではなく，1日かかった。

【実験 2】

食品の成分に着目してタンニン酸（渋みの成分）、没食子酸（タンニン酸を加水分解したもの）を吸着物質として使用した。その結果を次に示す（表 2）。

	水溶液の色	吸着後の TiO ₂ の色	電流 (μA)	電圧 (V)
なし		白	0	0
没食子酸	無	黄褐	405	0.35
タンニン酸	橙	橙	363	0.43

（表 2 身の周りの食品に含まれる成分を使用した結果）

<考察>

実験 1 とは異なり、溶液に浸すと速やかに着色した。このことから、実験 1 で用いた種々の色素よりも、没食子酸やタンニン酸の Ti⁴⁺への吸着（配位結合）は遥かに速いことが分かった。

また、没食子酸の水溶液は無色であるにも関わらず、酸化チタンを着色した。この理由として次の三つのことが考えられた。

- ① 没食子酸が酸化チタンに配位結合したことで、没食子酸自体の構造が変化し、色が変化した。
- ② チタン原子は酸化数が+4 から+3 になると、チタン原子自体の色が無色ではなくなる。没食子酸は強い還元力を持つため、チタン原子が還元されて、酸化チタンの色が変化した。
- ③ Ti⁴⁺に配位結合した没食子酸には、特定の可視光を吸収して Ti⁴⁺に電子を送り込む電荷移動の性質があるため、酸化チタンの色を示した。

【実験 3】

酸化チタンに吸着した没食子酸の構造を調べることは困難なため、前に述べた仮説②と③に絞って色素の還元力の大小について発電量の比較を行い、発電量と何らかの関係があるかを調べることによって酸化チタンの着色の原因を探った。吸着させる物質の還元力の大小と、色素増感型太陽電池の性質について、アスコルビン酸および乳酸を用いて実験 1, 2 と同様の実験を行った。その結果を次に示す（表 3）

	水溶液の色	吸着後の TiO ₂ の色	電流 (μA)	電圧 (V)
没食子酸	無	黄褐	405	0.35
タンニン酸	橙	橙	363	0.43
アスコルビン酸	無	黄褐	380	0.33
乳酸	無	白	159	0.36
クエン酸	無	白	131	0.28

（表 3 還元力の大小で比較した結果）

<考察>

還元力が弱いクエン酸などは、酸化チタンを変色させることができず、また発電量も小さかった。それに対し、還元力の強い没食子酸などは、酸化チタンを変色させ、また発電量も大きかった。還元力と発電量の間に関係がみられたことから、それ自体に色がない有機酸が酸化チタンを変色させることができたのは、酸化チタンが還元されたためであるとい可能性がある。しかし、今回の結果からは実験 2 の考察で述べた仮説②と③は判断できないため、何らかの方法で区別する方法を現在模索中である。

4. まとめ

先行研究では、どの成分が発電に影響しているかまではわからなかった。しかし今回の研究で色の違いだけでなく、吸着物質の違いで発電量が変わるということがはっきりとわかった。影響しているのは還元力のある有機酸だという可能性があり、還元力が大きいほど発電量が大きかった。今後は、本当に酸化チタンが還元されたのかについての確認を何らかの方法で行っていきたい。

5. 謝辞

本研究の進行にあたり、貴志貫先生を始めとする化学・物理の先生方には大変お世話になりました。この場を借りて御礼申し上げます。誠にありがとうございました。

6. 参考文献

ナノクリスタル太陽電池 (作成キット付属)
平成21年度理数科課題研究
「色素増感型太陽電池の高性能化」

酸化銅（I）を用いた電池の作成と改良

研究者：赤木 優太 金田 颯斗 渋谷 立

指導者：貴志 貴

1. 研究の概要

We researched the copper (I) oxide photocell. To begin with, we created copper oxide and examined its electromotive force by flashing it. In the next place, we experimented by changing the concentration and temperature of the electrolytic solution and the surface area of the copper (I) oxide. We found that the photocell is a typical physical cell, however unfortunately its electromotive force is limited, and that means it is difficult to apply it to a circuit that requires a large electric power.

私たちは酸化銅（I）^{*1} [以下、「亜酸化銅」] を使った光電池の研究をした。まず亜酸化銅を作成し、光を当ててその起電力を調べた。次に、電解液の濃度や温度、亜酸化銅の表面積等の条件を変えて起電力を測定した。亜酸化銅電池は興味深い性質のある物理電池であることが確認できたが、起電力は小さいため、大きな電力を要する回路への応用には不向きのようなのだ。

2. 序論

1 種類のみ物質を電極に用いて起電力を生じる亜酸化銅電池というものを書籍で見つけ、興味をもった。この書籍の中では、亜酸化銅電池は数十ミリボルトほどの電位差しか発生しないと記されており、実用化は難しいようであった。私たちはその事実を確認するとともに、実験の続きを行おうと考え、研究した。

3. 研究内容

亜酸化銅を用いた光電池の作成と改良

予備実験：基準設定

●実験装置の作成

【方法】

(1) 電極——亜酸化銅の作成

銅板を両側からバーナーで均等に加熱し、1000℃以上になり銅板が赤色となったところで、水に浸し急冷する。(図1)

必要に応じ、縦横の長さや厚さを変えたものを作成した。

(2) 電解液

食塩水を電解液として用いて、(1)で作った銅板を2枚浸し、遮光板で分断した。(図2)

(3) 回路の接続

マルチテスターを電圧計として使用し、(2)の電極と導線で接続した。

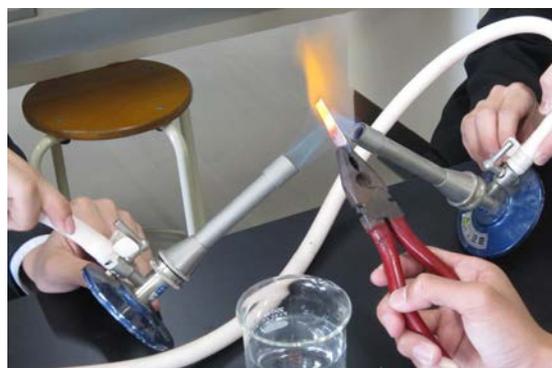


図1：亜酸化銅の作成

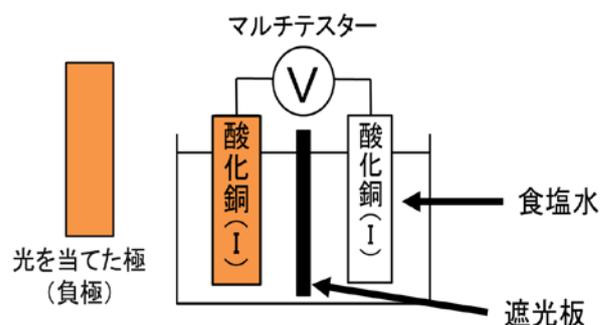


図2：回路の接続

●基準設定

以下に、実験1～4における変数の基準を記す。

(二重下線が変数である)

銅板	縦	<u>55</u> mm
	横	10 mm
	厚さ	<u>0.5</u> mm
電解液	濃度	<u>15</u> %
	温度	<u>20</u> °C
光源	白熱蛍光灯 [100 V・12 W]	
距離	90 mm 一定	

●起電力の測定

【方法】

前述通りに作成した亜酸化銅電池の一方の電極に光を当て、マルチテスターで電圧を測定した。

【結果】

約 15 mV ほどの起電力であった。

この値を基準値とし、以下の実験を行った。

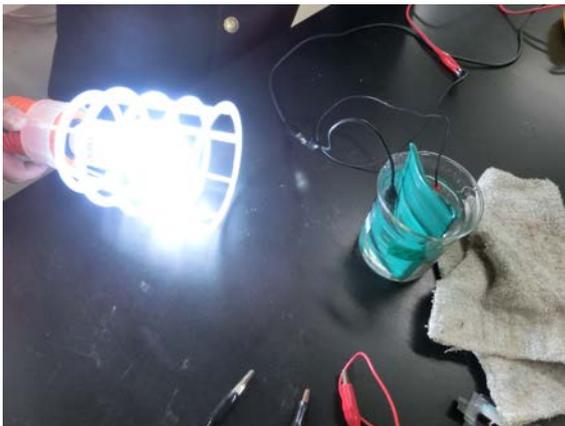


図3：起電力の測定

実験1：銅板の大きさと電位差の関係

【目的】

亜酸化銅電池の電極の大きさと電位差の関係を調査する。

【仮説】

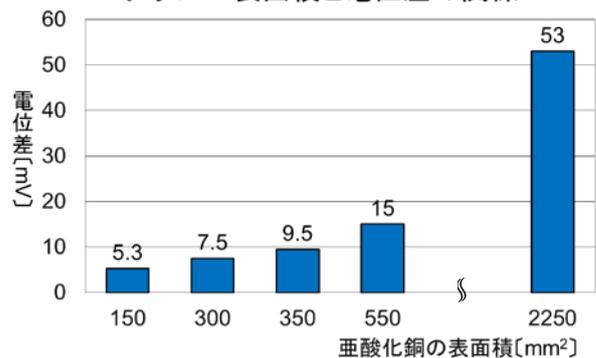
起電力は光の当たる銅板の表面積のみに関係し、厚さは関係しないのではないか。

【方法】

- (1) 銅板の横幅を 10 mm に統一し、縦の長さ・厚さを変えたものを用意する。
- (2) 前述通りに回路をくみ、起電力を測定する。

【結果】

グラフ1：表面積と電位差の関係



表面積が大きいほど起電力は大きくなり、厚さによる変化はほとんど見られなかった。

【考察】

面積に起電力が関係していたので、この電池は物理電池^{*2}であると考えられた。

実験2：溶液の濃度と電位差の関係

【目的】

亜酸化銅電池における、電解質溶液の濃度と電位差の関係を調査する。

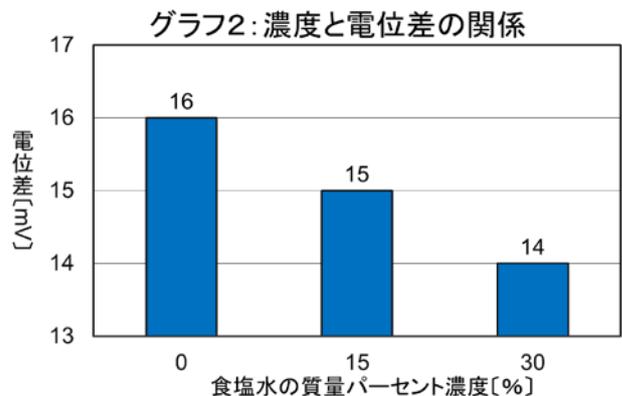
【仮説】

イオンが多い溶液を用いた方が起電力は高くなるのではないかと。

【方法】

電解液の濃度を 0 % (精製水)・15 %・30 % の条件に変え、起電力を測定した。

【結果】



濃度による電位差の変化はほぼ無かった。

【考察】

化学電池としての性質は持ち合わせていないと考えられた。

実験3：溶液の温度と電位差の関係

【目的】

実験1の結果から、亜酸化銅電池は物理電池で見られる性質を示したので、温度変化による起電力を確かめる。

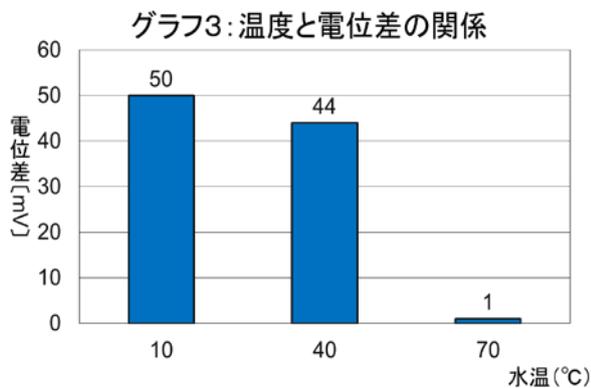
【仮説】

物理電池である場合、高温のもとでは電位差が生じないのではないか。

【方法】

電解液の温度を0℃から70℃の範囲で条件を変え、起電力を測定した。

【結果】



70℃で完全に電位差が生じない事が確認できた。10℃以下ではほとんど変化が見られなかった。

【考察】

亜酸化銅電池が物理電池であることを確認できた。

実験1・3より亜酸化銅電池が物理電池であることが明らかとなった。よって以下の実験は、物理電池であることを前提とし、実験を行った。

実験4：回路の接続方法と起電力の向上

【目的】

起電力の小さな亜酸化銅電池の、電池としての性能を向上させる。

【仮説】

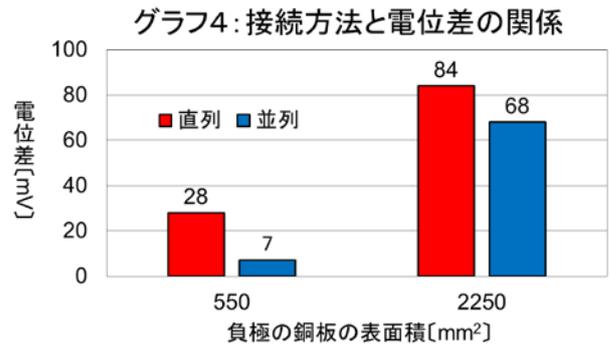
接続方法の工夫によって起電力を上げることができる。

【方法】

4つの電極で直列・並列に回路を組み、起電力

を測定する。

【結果】



いずれも電位差が大きくなったが、ミリボルトほどの電圧であった。

以上の実験により、この電池は書籍の記述通り起電力が小さく、大きな電力を要するモーターなどは動かせないことがはっきりとした。そこで私たちは、亜酸化銅電池を回路に逆向きに組み込むことで光に反応するセンサーとしての利用を考えた。

実験5：光センサーへの応用

【目的】

亜酸化銅の起電力の低さを利用し、わずかな電力でも反応する光センサーへの応用を目指す。

【仮説】

光を当てることで亜酸化銅が抵抗として作用し、センサーの役割を果たすようになる。

【方法】

電気オルゴール・ダニエル電池・電解液を接続した回路の電極の一方に光を当て、オルゴールの鳴り方の違いを検証した。

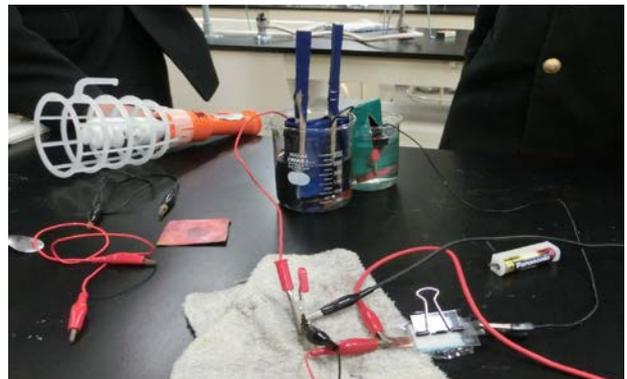


図4：センサーへの応用

【結果】

ダニエル電池によって、音がはっきりと鳴っていたオルゴールであったが、亜酸化銅電池をダニエル電池の正負と逆向きに接続して、電極に光を当てるとオルゴールの音が小さくなり、ノイズが混ざった。

【考察】

亜酸化銅がダニエル電池の電圧を下げる、抵抗としてはたらいとと考えられた。

4. 結論

亜酸化銅電池は単純な構造で電位差を生じる興味深い物理電池であるが、起電力は小さいため、大きな電力を要する回路への応用には不向きであることがわかった。そのため、センサーなどに利用するのがよいと思われる。

5. 謝辞

貴志貫先生をはじめとする本研究に協力してくれた先生方、ありがとうございました。

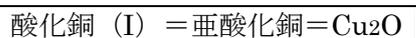
6. 参考文献

- ・『おもしろ理科実験集』
工学院大学／シーエム シー 発売 84～86 頁
- ・ <http://www15.atwiki.jp/ezshooter/pages/65.html>
- ・ http://physics.numazu-ct.ac.jp/lab/exp/2002_2g/D_taiyou/siryoun/h8-ph5.htm

《脚注》

※1——酸化銅 (I)

銅を加熱する過程で、1000℃以上になり赤くなった状態で急冷することで作成でき、色は赤色である。なお、冷却前の温度が 1000℃以下の場合、黒色の酸化銅 (II) が得られる。



※2——物理電池

化学反応を伴わず、光や熱などの物理的なエネルギーを電気エネルギーに変換する電池。

(例) 太陽電池

[物理電池の原理]

正：positive の電荷を持つ P 型半導体と、
負：negative の電荷を持つ N 型半導体との P-N 接合による。太陽電池では、この接合面に光を当てると電気を生じる。

亜酸化銅電池に関して、亜酸化銅が P 型半導体の役割を果たす一方で、内部に含まれる銅は導体ではあるが、N 型半導体の代わりとなり、起電力を生じていると考えられる。

金属イオンの吸着

研究者 長谷川 琢哉, 小坂田 翼, 安藤 理人, 貝原 溪斗
指導者 佐野 広大

Abstract

We were interested in the news that water was polluted by metal ions. We researched materials that absorb Cu^{2+} (Copper ion) and Co^{2+} (Cobalt ion) in aqueous solutions. We evaluated the ability of various material samples to absorb the ions using test papers the colors of which change depending on the ion density. We examined the samples that could absorb the ions and tried to elucidate which sample components actually absorb the ions. As a result, we found that it were the dietary fibers which have this ability.

1. 研究の概要

水溶液中にある金属イオンの含有量によって色が変わる試験紙を用いて様々な物質の Cu^{2+} , Co^{2+} に対する吸着能を測定した。その結果, セルロースを含んでいる物質が高い吸着能を有していることが分かった。また, セルロース単体の吸着率よりセルロースを含む乾燥ワカメの吸着率が大きかった。乾燥ワカメにはアルギン酸が含まれており, アルギン酸とセルロースが吸着に関与した。

2. 序論

現在, 河川や海洋に流出した金属イオンによる水質汚染が問題になっている。汚染水から金属イオンを除去する方法の一つとしてゼオライトが用いられている。しかし, ゼオライトは高い吸着能を有する反面, 採掘や処分に手間がかかる。そこで私たちはゼオライトのように高い吸着能を有し, かつ入手がしやすい物質を探索した。また, その物質に含まれる吸着に関与する成分を調査した。

3. 研究内容

《用意するもの》

- ・ 100 mL のメスフラスコ ・ 小瓶 ・ 試料
- ・ 試験紙 ・ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ・ $\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- ・ 精製水 ・ 電子天秤 ・ 葉さじ
- ・ 乳鉢&乳棒 ・ ストップウォッチ
- ・ 駒込ピペット ・ 0.10 mol/L の塩酸

《使用する計算式 A》

$$\text{吸着率(\%)} = \frac{100 - \text{試験紙の値}}{100} \times 100$$

【予備実験】

先行研究において海藻類が吸着能を有していることが示されている。そこで, 身近な植物の吸着能を測定した。今実験では, イオン半径が似ていて, 4 配位の Cu^{2+} と 6 配位の Co^{2+} を用いることで配位数が等しい他の金属イオンの代用とした。

<目的>

吸着能を有する植物に共通する成分を調べる。

<準備 I : Cu^{2+}aq , Co^{2+}aq の作成>

- ① Cu^{2+}aq (Cu^{2+}aq) 1 L に 100 mg の Cu^{2+} (Co^{2+}) が含まれるように $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) の質量を計算する。
- ② ①で求めた質量の 10 分の 1 を 100 mL のメスフラスコに入れる。

③ メスフラスコの標線まで精製水を入れる。

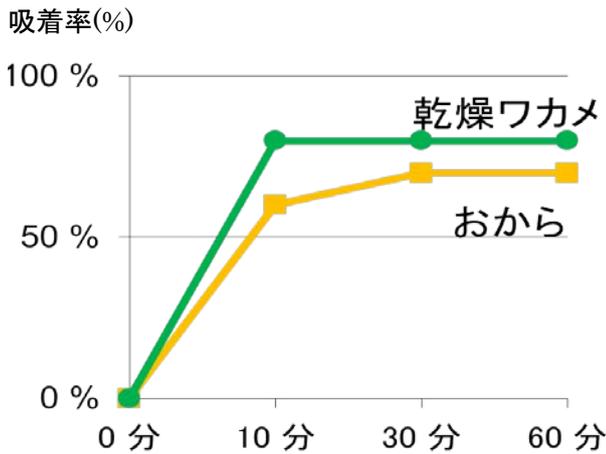
<方法 I >

- ① 試料を 0.10 g 電子天秤で量る。
- ② ①で量った試料を乳鉢・乳棒で粉末状にする。
- ③ ②の試料 2 つ用意し、それぞれ 2 つの小瓶に入れる。
- ④ 駒込ピペットを用いて、③の小瓶の 1 つに Cu^{2+}aq 、もう 1 つに Co^{2+}aq をそれぞれ 2.0 mL 入れる。
- ⑤ ④の小瓶を 10 分、30 分、60 分後に試験紙で測定する。
- ⑥ ⑤で測定した値を計算式 A を用いて吸着率を求める。

<結果 I >

実験 I で求めた吸着率のうち時間経過毎の吸着率をグラフに、60 分後の吸着率を表にまとめた。

グラフ 1: Cu^{2+} の時間経過毎の吸着率



グラフ 2: Co^{2+} の時間経過毎の吸着率

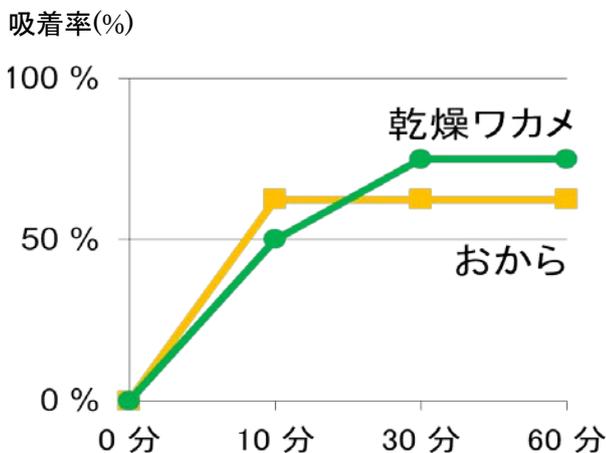


表 1: 60 分後の吸着率

	Cu^{2+} の吸着率 (%)	Co^{2+} の吸着率 (%)
乾燥ワカメ	85~95	70~80
おから	75~85	60~70

<考察 I >

今回の試料で高い吸着率を示した物質には共通してセルロースが含まれていた。そして、セルロースが吸着に関与していると考えた。

【実験①】

セルロース単体とセルロースを含む物質の吸着能を液性の異なる Cu^{2+}aq 、 Co^{2+}aq を用いて測定した。

<目的>

金属イオンの吸着にセルロースが関与していることを明らかにする。

<仮説>

金属イオンの吸着にセルロースが関与している。

<準備 II: 酸性の Cu^{2+}aq 、 Co^{2+}aq の作成>

- ① 準備 I で用いた $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) の質量をメスフラスコに入れる。
- ② 駒込ピペットを用いて、0.10 mol/L の塩酸を 1.0 mL①のメスフラスコに入れる。
- ③ メスフラスコの標線まで精製水を入れる。

<方法 II >

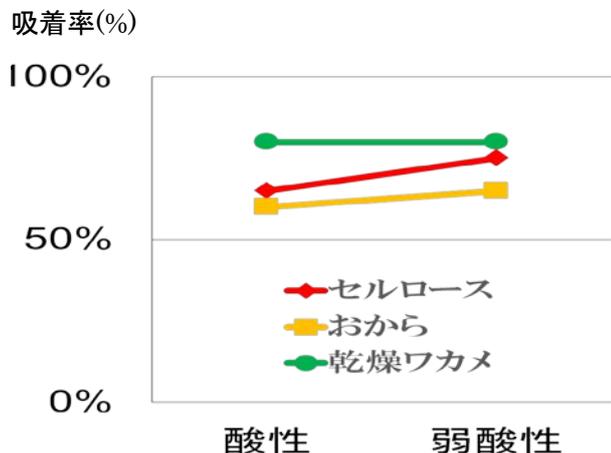
- ① 方法 I の①、②と同じ。
- ② ①の試料 4 つ用意し、それぞれ 4 つの小瓶に入れる。
- ③ 駒込ピペットを用いて、②の小瓶の 1 つに酸性の Cu^{2+}aq 、もう 1 つに酸性の Co^{2+}aq をそれぞれ 2.0 mL 入れる。
- ④ 駒込ピペットを用いて、③で使用しなかった小瓶の 1 つに Cu^{2+}aq 、もう 1 つに Co^{2+}aq をそれぞれ 2.0 mL 入れる。
- ⑤ ③、④の小瓶を 10 分、30 分、60 分後に試験紙で測定する。
- ⑥ 計算式 A を用いて、⑤で測定した値の吸着率を求める。

⑦ セルローズに実験Ⅰを行う。

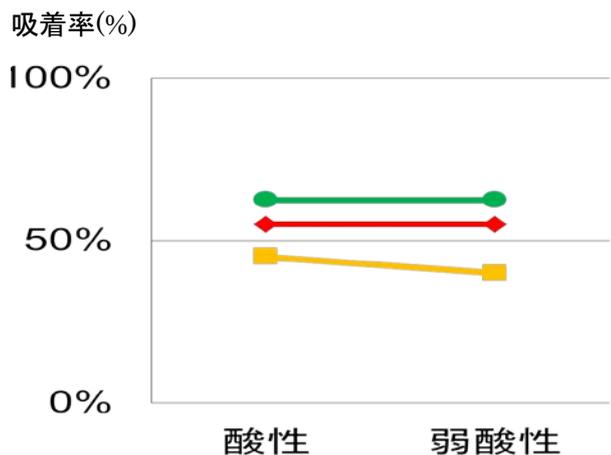
<結果Ⅱ>

液性の変化における吸着率の傾向をグラフにまとめた。尚、実験Ⅰの液性を弱酸性とした。

グラフ 3:Cu²⁺における吸着率の傾向



グラフ 4:Co²⁺における吸着率の傾向



グラフ 3 から、乾燥ワカメの酸性条件下、弱酸性条件下における吸着率の変化なし、セルローズとおからの酸性条件下における吸着率よりも弱酸性条件下における吸着率のほうが高い。また、グラフ 4 から、乾燥ワカメの酸性条件下、弱酸性条件下における吸着率の変化なし、セルローズとおからの酸性条件下における吸着率よりも弱酸性条件下における吸着率のほうが低いことが分かる。

<考察Ⅱ>

セルローズ単体とセルローズを含む乾燥ワカメとおからの傾向が似ているため、金属イオンの吸着にセルローズが関与していると考えた。吸着した要因として、セルローズの構造式にはヒドロキシ基がある。ヒドロキシ基中の O 原子は電気陰性度が大きいいため、陽イオンである Cu²⁺や Co²⁺と静電気的な結合し、吸着したと考えた。

また、結果Ⅱからセルローズ単体よりセルローズを含む乾燥ワカメのほうが高い吸着率を示したため、セルローズ以外に吸着に関与する成分があると考えられる。

乾燥ワカメにはアルギン酸というセルローズと構造が似ている多糖類が含まれている。そこで私達は、そのアルギン酸中にあるヒドロキシ基、カルボキシ基が吸着に関与していると考えた。

【実験②】

アルギン酸が吸着に関与しているか方法Ⅰと方法Ⅱを用いて測定し、セルローズとの関係性を探る。

<目的>

金属イオンの吸着にアルギン酸が関与することを明らかにする。

<仮説>

アルギン酸の構造式にあるヒドロキシ基とカルボキシ基が作用し、静電気的な結合が起り Cu²⁺、Co²⁺を吸着する。

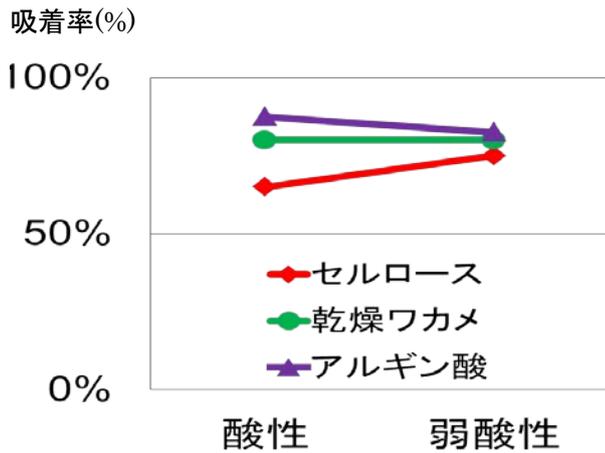
<方法>

① アルギン酸に方法Ⅰ・Ⅱを行う。

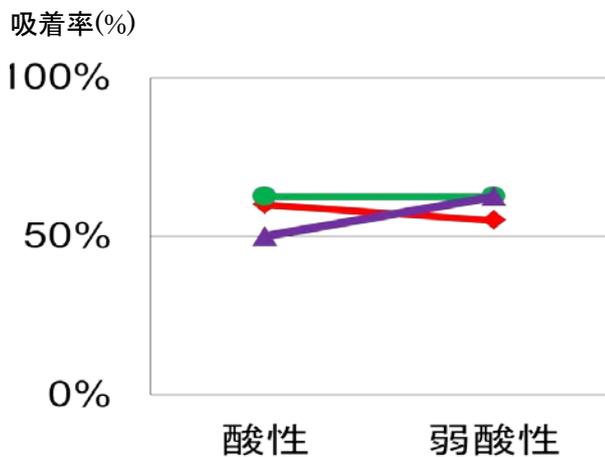
<結果Ⅲ>

液性の変化におけるアルギン酸の吸着率の傾向と実験Ⅰで得られたセルローズと乾燥ワカメのデータをグラフにまとめた。

グラフ 5: Cu²⁺における吸着率の傾向



グラフ 6: Co²⁺における吸着率の傾向



アルギン酸が吸着能を有することが分かった。

また、グラフ 5 から、弱酸性条件下と比較し、セルロースは酸性条件下で吸着率が減少したことにに対し、アルギン酸は酸性条件下で吸着率が増加した。グラフ 6 から、セルロースは酸性条件下で吸着率が増加したことにに対し、アルギン酸は酸性条件下で吸着率が減少した。

<考察Ⅲ>

結果Ⅲから、セルロースの吸着率が減少するときにアルギン酸の吸着率が増加し、セルロースの吸着率が増加するときにアルギン酸の吸着率が減少する。セルロースとアルギン酸を共に含む乾燥ワカメの吸着率が各溶液において大きな変化がなかったことから、セルロースとアルギン酸に相互作用が起り、互いに補完しあったと考えられる。

4. 結論

セルロース、アルギン酸が共に一定の吸着能を有していることが分かった。また、セルロース単体よりもセルロースとアルギン酸を含む物質の吸着率が大きいことから、セルロースとアルギン酸に相互作用が働き、互いに補完しあっていると考えられる。

5. 展望

液性の変化によって、吸着率の変化した要因と Cu²⁺、Co²⁺に対する吸着率が異なった要因を探索していきたい。

謝辞

本研究に際して、様々なご指導を頂きました。佐野広大先生を始めとする先生方ありがとうございました。

参考文献

1. 植物繊維類のセシウム及びストロンチウムイオン吸着能評価 [岡山大学 石川彰彦] 5 ページ (2012 年)
2. 廃棄物由来成分分解性ソフトマテリアルの開発 [近畿大学 菅野憲一] 5 ページ (2014 年)
3. 食物繊維 (セルロース) の有害金属に対する吸着効果について [札幌市衛生研究所 山本優 他] 5 ページ (1987 年)

Relation between Phototaxis and Photosynthesis of Euglena

Researcher : Nozomi Okuda, Anna Terasaka, Chiharu Shimoyama

Instructor : Ryota Miyawaki

Abstract

We researched the relation between phototaxis and photosynthesis of euglena. We investigated its movement when the light is shining on it. We found that euglena shows phototaxis toward the blue light. We thought that this result relates to the efficiency of photosynthesis. We measured the absorption spectrum of euglena in a visible region as well as the photosynthetic rates. Our finding is a relation of phototaxis and photosynthesis.

1. Purpose

We pay attention to phototaxis of euglena and investigate in which color of light it shows phototaxis better because we are interested in its ability to sense light.

In order to confirm whether phototaxis relates to photosynthesis, we calculate its photosynthetic rate from the amount of dissolved oxygen after each color of LED light is shone on it. Then, we compare the result of phototaxis with that of photosynthesis.

〈Result〉

Euglena shows phototaxis toward blue light.

【Figure1】 Inverted microscope



【Figure2】 Result of experiment I



2. Material and Methods

(Experiment 1: Phototaxis)

〈Hypothesis〉

Euglena shows phototaxis toward the red and blue light.

〈Method〉

- 1) Put cellophane on cover glasses
- 2) Observe the movement of euglena with an inverted microscope

(Experiment 2: TLC)

〈Hypothesis〉

Euglena contains chlorophyll *a* and chlorophyll *b* as photosynthetic pigments.

〈Method〉

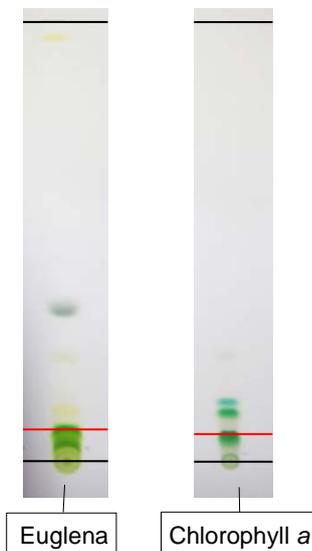
- 1) Melt its cell membrane in a mixture of ethanol and acetone in relation 3:1.
- 2) Put the mixture on silica gel plates.
- 3) Detect its pigments by soaking the plate in a mixture of petroleum benzine, petroleum ether and acetone in relation 4:1:1.
- 4) Compare the Rf value of euglena with that of objective pigments (chlorophyll *a*, *b*).

〈Result〉

Some kinds of pigments were found. However, we could find only chlorophyll *a* so far. We are going to try to detect chlorophyll *b* from now on.

Object	Euglena	Chlorophyll <i>a</i>
Rf value	0.05	0.05

【Figure3】 Thin layer chromatography



(Experiment 3: Absorption spectrum)

〈Hypothesis〉

Euglena absorbs red and blue lights more.

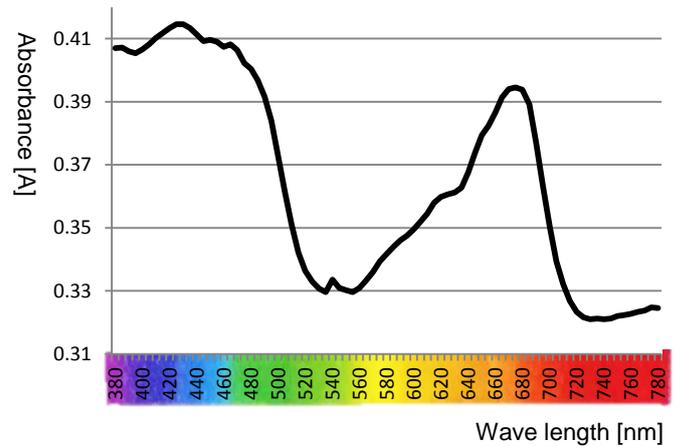
〈Method〉

- 1) Measure the absorption spectrum of euglena in visible region (380nm~780nm) with an absorbance meter.

〈Result〉

The absorption spectrum of euglena shows two absorption peaks (430nm, 675nm).

【Figure4】 Absorption spectrum of euglena



【Figure5】 Absorbance meter



UV mini 1240 UV-VIS SPECTROPHOTOMETER
SHIMADZU

(Experiment 4: Photosynthetic rate)

〈Hypothesis〉

Euglena photosynthesizes best under the blue light.

〈Method〉

- 1) Create a device (Figure7) so that the other lights aren't shone.
- 2) Measure transition of the amount of dissolved oxygen with a dissolved oxygen meter after each color of LED light which is the same illumination (each wave length – red : 625nm, blue : 470nm, green : 525nm) is shone on euglena for thirty minutes.
- 3) Calculate the average of the amount of dissolved oxygen.
- 4) Measure transition of the amount of dissolved oxygen with a dissolved oxygen meter after light isn't shone on it.
- 5) Calculate its respiration rate in that density and temperature from the amount of dissolved oxygen.
- 6) Calculate its photosynthetic rate under each color of light from 2) and 5).

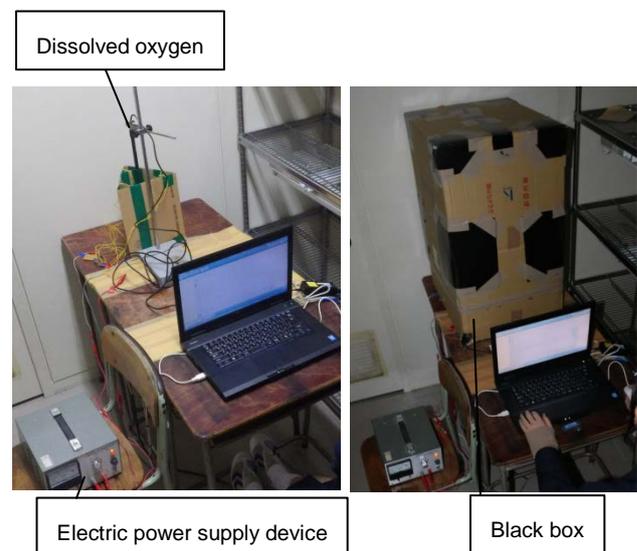
〈Result〉

Euglena shows the highest photosynthetic rate under the blue light (470nm). And we found that under the red light (625nm) is lower than that under the blue light and that it hardly photosynthesizes under the green light (525nm).

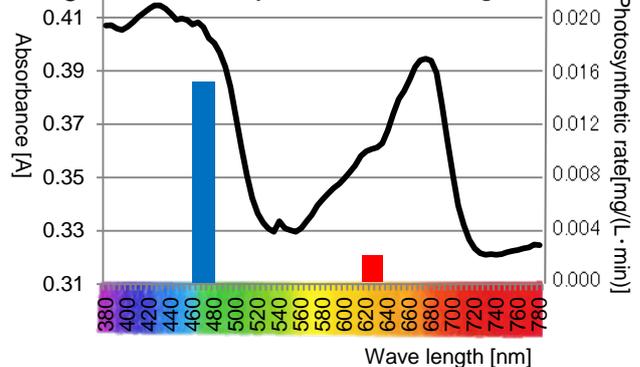
【Figure6】 Dissolved oxygen meter



【Figure7】 Device to measure the amount of dissolved oxygen



【Figure8】 Photosynthetic rate of euglena



3. Conclusion

We could confirm that euglena can photosynthesize by the result of our experiment 2 which it contains chlorophyll *a* as a photosynthetic pigment.

From its absorption spectrum and its photosynthetic rate under each color of light, we found there is a proportional relation between the absorbance of euglena and its photosynthetic rate. We consider it shows phototaxis toward the blue light because its absorbance is higher, compared with each color of transmitted light.

Therefore, it is conceivable that euglena shows phototaxis toward the light which it can photosynthesize efficiently.

From now on, we are going to confirm the reproducibility of the experiment to measure its photosynthetic rate and whether chlorophyll *b* exists or not, and investigate its photophobic response. Moreover, we are going to investigate its phototaxis toward lights of various wavelengths because we found the absorbance of euglena under ultraviolet rays is larger than that in visible region.

4. Acknowledgement

Masanori Kuwamori (Mimasaka University)

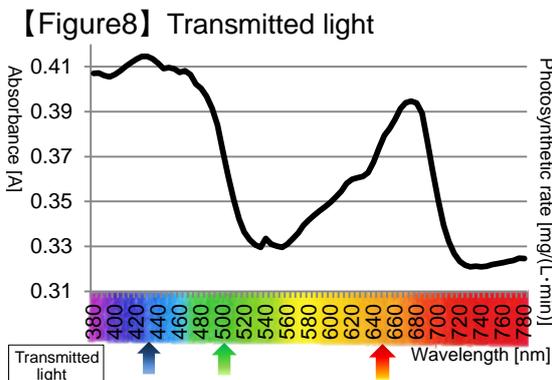
Junichi Kuriwaki (Mimasaka University)

Sigeru Arimoto (National Institute of Technology, Tsuyama College)

Martina Ehara (Tsuyama high school)

5. References

ミドリムシにおける光センシングの分子機構 (伊関 峰生, 2007)



Study of cellulose decomposition ability of physarum

Researcher Ren Matsushita , Shingo Washida , Ayumi Kouno

Teacher Takashi Yamamoto

Abstract

Physarum lives on decayed trees. We conjectured that it might secrete cellulase and decided to research on this topic. We investigated to determine if physarum decomposes cellulose that is contained in the CMC medium, where physarum had grown and moved. And then, we examined up to which stage physarum decomposes cellulose with TLC and determined the amount of reducing sugar with the Somogyi-Nelson method. As a result, we found that it decomposes cellulose into cellobiose.

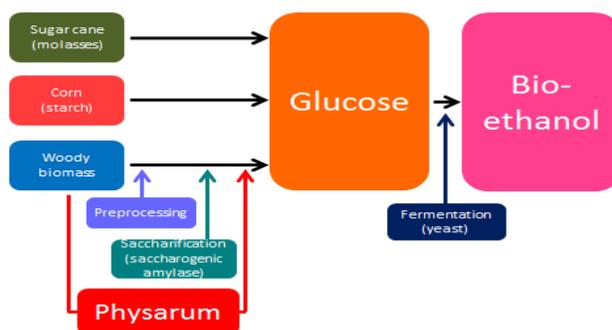
Introduction of our research

These days, producing bio-ethanol from crops such as corn and rice plant is carried out. However, there are some problems for this method. For instance, it makes these price rises. Therefore we turned our attention to the habitant of physarum.

Physarum lives on decayed trees or fallen leaves. From this fact, we conceived that physarum produces cellulase and decomposes cellulose into glucose. In addition, if this expectation is true, we conceived that we will be able to produce bio-ethanol with physarum from woody biomass without using foods. That's why we researched on this topic.

Introduction of physarum

Slime mold is classified as acellular slime mold or cellular slime mold. In our experiments, we used acellular slime mold called physarum that is the state of deformable body. Deformable body is a lump of cytoplasm which takes amoeboid movement. Physarum is well known for the slime mold which takes the shortest route and we can grow easily on nutrient agar.



[Fig.1 the method to produce ethanol]



[Pic.1 physarum]

Experiment I

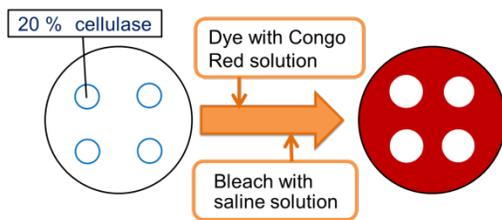
Dyeing with Congo Red solution

<Purpose>

To verify whether or not physarum produces cellulase and releases it.

<Hypothesis>

Physarum secretes cellulase. So, the color of the CMC medium where physarum used to be is lost, similar to marketed cellulase.

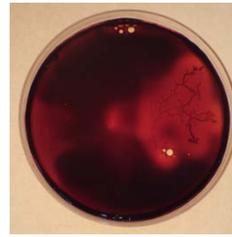


[Fig2 control experiment]

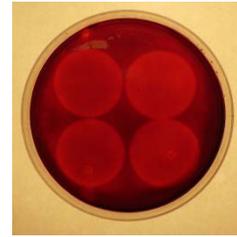
<Procedure>

- 1.) Make a 2% carboxy methyl cellulose (CMC) medium. The CMC medium contains Carboxy Methyl Cellulose Sodium, water and Citric Acid-sodium Citrate buffer (pH 5.0).
- 2.) Culture physarum on the CMC medium in an incubator at 10 degrees Celsius for a day in order to make physarum move.
- 3.) The following day, add 0.1% CMC and 1% agar on the original CMC medium, and then, raise activity of cellulase in an incubator at 40 degrees Celsius for a day.
- 4.) After dyeing the medium with Congo Red solution for an hour, bleach it with 1mol/L salt solution.

<Result>



[Pic.2 physarum]



[Pic.3 control
(20% cellulase)]

The spots where physarum used to be lost color.
(end of book : Pic.2 and Pic.3)

<Consideration>

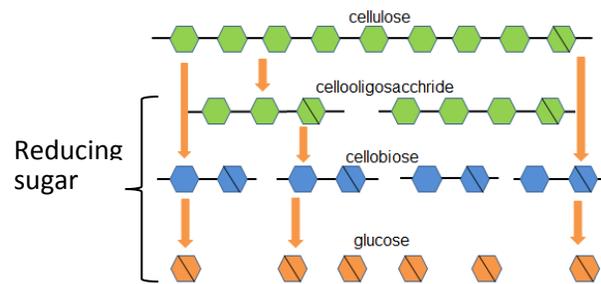
Judging from the fact that the spots where physarum used to be lost color similar to 20% cellulase, we found physarum produces cellulase and releases it.

Experiment II

Thin Layer Chromatography (TLC)

<Purpose>

To see up to which stage physarum decomposes cellulose.



[Fig.3 the stage of cellulose decomposition]

<Hypothesis>

Physarum can decompose cellulose into glucose.

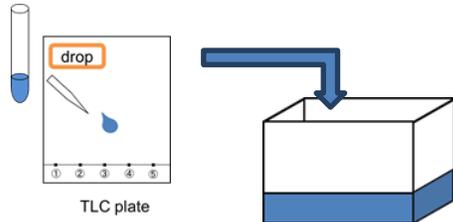
<Procedure>

1.) Prepare the following solutions of ① to ⑤.

- ① cellobiose (1% solution)
- ② glucose (1% solution)
- ③ CMC medium + cellulase
- ④ CMC medium + physarum
- ⑤ CMC medium

Leave ③ to ⑤ materials in an incubator at 40 degrees Celsius for a day. Then add 10ml water into ③ to ⑤ materials and filter them.

2.) Drop these solutions onto a TLC plate.
3.) Soak the plate in the developing liquid (acetone : water = 3 : 1) for 90 minutes .



<Fig.4 procedure of 1 to 3>

4.) Dry the plate naturally for a day.
5.) Spray orcinol sulfuric acid on the plate.
6.) Scorch the plate in an oven at 100 degrees Celsius for 6 minutes.
7.) Measure RF value.
(RF value means the stage of the cellulose decomposition in this experiment.)

<Result>

[Table.1 RF value of TLC]

	RF value	Value2/Value1
①	0.925	13.60/14.70
②	0.904	13.25/14.65
③	0.925	13.50/14.60
④	0.925	13.50/14.60
⑤	0.952	13.90/14.60

(cm)

Table.1 is the result.

RF value of ①, ③ and ④ are the same.

<Consideration>

Judging from this result, it can be said that physarum decomposes cellulose into cellobiose.

Experiment III

The Somogyi-Nelson method

<Purpose>

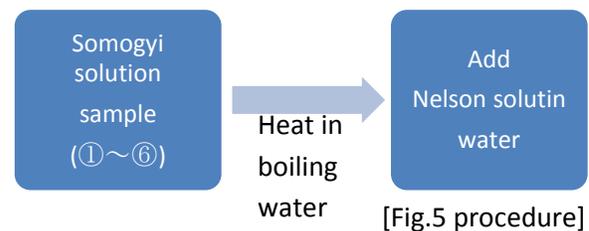
To visualize the formation of the reducing sugar and determine the amount of it.

<Hypothesis>

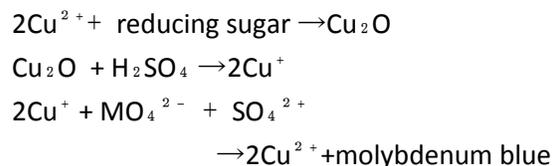
Physarum decomposes cellulose into reducing sugar.

<Procedure>

- 1.) Make a 2% CMC medium (pH 5.0).
- 2.) Culture physarum on the CMC medium in an incubator at 10 degrees Celsius for a day in order to make physarum move.
- 3.) Raise activity of cellulase in an incubator at 40 degrees Celsius for a day.
- 4.) Dip the medium of <2.> and dissolve the saccharide on it in water.
- 5.) Add 1ml Somogyi solution and <4.> or glucose used for creating a calibration curve and then heating the test tubes for 10 minutes in boiling water.
- 6.) Cool with running water.
- 7.) Add 1ml Nelson solution and 10ml pure water. And then leave them for 15 minutes.
- 8.) Measure the absorbance (660 nm).
(Concentration of glucose used for the calibration curve is 0, 25, 50, 75, 100 µg/1ml)



<Reaction >



<Result>

The absorbance of products that physarum decomposed is 0.578.

<Consideration>

We could confirm the formation of reducing sugar. Then, judging from the color of the solution and the calibration curve, we can estimate that physarum produced reducing sugar about 5 to 6µg /2g cellulose in this case.

Experiment IV

The Barford method

<Purpose>

To judge that the decomposition products are glucose or cellobiose

<Hypothesis>

We predict the decomposition products are reducing sugar with the “Somogyi-Nelson method”, so copper will go down quickly or within an hour.

<Procedure>

- 1.) Put barford solution (Copper(II) acetate 34g + 8.5%Lactic acid 25ml) and decomposition products in the test tubes.
- 2.) Heat them in boiling water.
- 3.) Measure the time until copper goes down while heating the test tubes.
 - If they contain glucose, copper goes down quickly.
 - If they contain cellobiose, it takes copper about an hour to go down.
 - If they don't contain either, copper doesn't go down at all.

<Reaction>



<Result>

Copper didn't go down.

<Consideration>

With the “Somogyi-Nelson method”, physarum produces reducing sugar. But copper didn't go down. Therefore we thought that the concentration of glucose or cellobiose is too low.

Experiment V

High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

<Purpose>

Determine the amount of glucose with High Performance Liquid Chromatography by asking the Japan Food Research Laboratories.

<Result>

[Table.2 the result of HPLC]

sample	glucose
physarum	0.00168
physarum	0.00151
physarum	0.00161
medium only	0.00074 (g/100g)

Table.2 is the result.

This is lower than the detection limit, so we conclude that glucose wasn't detected.

<Consideration>

We can't say that Physarum decomposed cellulose into glucose from this table. So, from these experiments, we conclude that the decomposition product is cellobiose.

Conclusion

Physarum produces cellulase and releases it.

Physarum decomposes cellulose into cellobiose by using the cellulase.

In the future, we hope to be able to produce bio-ethanol only through the abilities of nature.

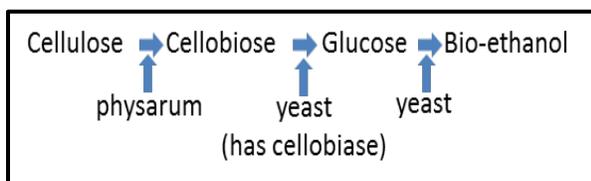
We think about the process to produce bio-ethanol as follows.

First, we use physarum to decompose cellulose into cellobiose.

Second, we use the yeast that has cellobiase to decompose cellobiose into glucose.

At last, we use yeast to produce ethanol from glucose.

This is how we think that we can produce bio-ethanol from woody biomass.



<Fig.6 the procedure to produce bio-ethanol>

Acknowledgements

Takushi Hatano
(Professor of Fukuyama university)

Masakazu Kuwamori
(Professor of Mimasaka university)

Junichi Kuriwaki
(Associate professor of Mimasaka university)

Reference

栄養学・食品学を学ぶヒトのための
食品化学実験 (地人書館)

わけぎの球根の抗真菌作用

研究者 塚田 瑠生, 春木 信二, 中尾 領
指導者 佐野 広大

Abstract

We were interested in materials in surroundings on which it is difficult for mold to grow. We thought that the prevention mechanism may lie in the nature of the materials. We decided to select, among several possible candidates, Cibol bulbs, which are easily available. Our investigation revealed that the bulbs contain a fat-soluble material that has antimycotic action.

1. 研究の概要

私たちはカビの生えやすいものとカビの生えにくいものがあることに疑問を抱き、カビの生えない原因として何らかの物質が作用しているのではないかと考えた。カビの生えにくいものの中でも入手しやすいわけぎの球根を研究対象とし、その結果わけぎの球根には抗真菌作用を示す脂溶性の物質が含まれることがわかった。

2. 序論

私たちは身の周りにある腐りにくいものに興味を持ち、土中や水中にあっても腐らない球根に注目した。球根が腐りにくい理由を化学物質による抗菌・抗真菌作用によるものと仮定し、球根に抗菌・抗真菌作用を有する物質が含まれるかを調べ、その物質を特定するために様々な条件下で調査した。なお、この研究ではカビが発生したことを腐敗したと定義した。また、球根には比較的入手しやすいわけぎの球根を用いた。

3. 研究内容

【実験 1】

<目的>

球根の腐りにくい理由が生命活動によるものであるかを調べる。

<仮説>

生命活動を行っていない状態では抗真菌作用を示さず、放置していると腐敗してしまう。

<使用物>

- ・わけぎの球根
- ・シャーレ
- ・脱脂綿
- ・精製水
- ・ビーカー
- ・ガスバーナー

<方法>

茹でることで球根の生命活動を止めた。10分間茹でた球根と茹でていない球根をそれぞれ精製水で湿らせた脱脂綿を敷いたシャーレの中に置き、一週間後に観察する。

<結果>

茹でた球根のみにカビが生え、茹でていない球根にはカビは生えなかった。

<考察>

球根は生命活動の一環で抗真菌作用を有する物質を生成しており、生命活動が行われなくなるとその物質は生成されなくなる。

【実験 2】

<目的>

抗真菌作用を有する物質の極性の大きさを調べ、物質特定の手掛かりとする。

<使用物>

- ・わけぎの球根 ・ヘキサン ・エタノール
- ・精製水 ・ポテトデキストロース寒天培地
- ・ビーカー ・シャーレ ・ペーパーディスク

<方法>

- ① ヘキサン・エタノール・水を入れたビーカーに球根を入れ数日間放置する。
- ② ①のそれぞれのビーカーの底に沈殿物が確認できたため、ヘキサンとエタノールを蒸発させたのち、少量の精製水を加えて攪拌する。
- ③ できた溶液をペーパーディスクに滴下し、ポテトデキストロース寒天培地に乗せてインキュベーター内で保存する。
- ④ 1週間後に観察する。

<結果>

ヘキサンで抽出した物質を滴下した培地ではペーパーディスクの周りに阻止円が見られカビの発生を防いでいた (図 1)。

水とエタノールを用いた場合では、阻止円は確認できずペーパーディスクの周りにもカビが発生していた。



(図 1: ヘキサンで抽出した物質を滴下した培地)

<考察>

ヘキサンで抽出した物質を滴下した培地では阻止円が確認できたことより、球根に含まれる脂溶性の物質に抗真菌作用があると考えられる。

また、球根に含まれる水溶性の物質には抗真菌作用を示すものはないと考えられる。

しかし、この実験だけでは抗真菌作用を示した物質が抽出した物質であるのか、ヘキサンであるかの判断ができなかった。

【実験 3】

<目的>

実験 2 の結果がヘキサンによるものであるのか、球根の成分によるものであるのかを調べる。

<使用物>

- ・ヘキサン ・ポテトデキストロース寒天培地
- ・ビーカー ・シャーレ ・ペーパーディスク

<方法>

ヘキサンをペーパーディスクに滴下し、ポテトデキストロース寒天培地に乗せてインキュベーター内で保存する。そして1週間後に観察する。

<結果>

ペーパーディスクの周りに阻止円は確認できず、シャーレ全体にカビが発生していた。(図 2)



(図 2: ヘキサンを滴下した培地)

<考察>

実験3よりヘキサンは抗真菌作用を有していないと考えられる。また、このことより球根は抗真菌作用を有する成分を含んでいると考えられる。

【実験4】

<目的>

抗真菌作用を有する物質の極性の大きさを調べ、さらなる物質特定の手掛かりとする。

<仮説>

実験2の結果よりエタノールで抽出した物質には抗真菌作用はなく、ヘキサンで抽出した物質には抗真菌作用があった。

ヘキサンよりエタノールの方が極性が大きいことより、抗真菌作用を有する物質の極性の大きさはヘキサン以上でエタノール未満であると考えられる。

<使用物>

- ・酢酸エチル ・クロロホルム
- ・ジエチルエーテル
- ・ポテトデキストロス寒天培地
- ・ビーカー ・シャーレ ・ペーパーディスク

<方法>

極性の大きさがヘキサン以上でエタノール未満である酢酸エチル・クロロホルム・ジエチルエーテルを用いて実験2と同様の操作を行う。

<結果>

どの溶媒で抽出した物質を滴下した培地でも阻止円は見られず、ペーパーディスクの周りにもカビが発生していた。(図3)



(図3: 酢酸エチル・クロロホルム・ジエチルエーテルで抽出した物質を滴下した培地)

<考察>

実験2とこの実験で用いた溶媒は極性の大きい物から水・エタノール・酢酸エチル・クロロホルム・ジエチルエーテルとなる。そしてこれらの中で阻止円が確認できたのはヘキサンを用いた場合のみだった。よって、抗真菌作用を有する物質の極性の大きさはヘキサン以上ジエチルエーテル未満だと考えられる。

この実験から得られた抗真菌作用を持つ物質の考えられる極性の大きさの範囲を矢印で示した。

(図4)

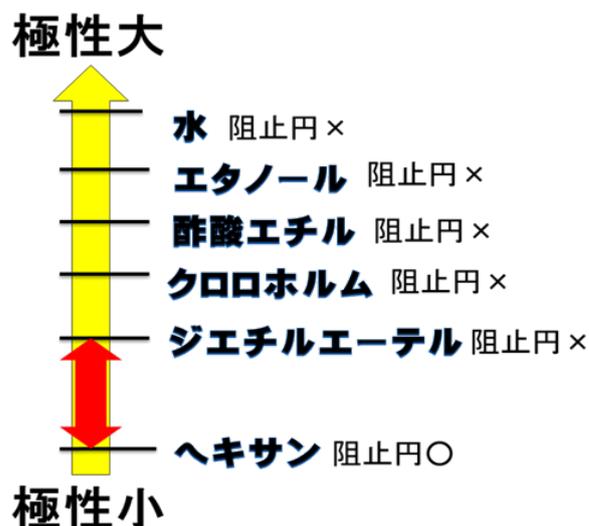


図5: 各溶媒の極性の大きさと阻止円の有無

【実験5】

<目的>

薄層クロマトグラフィーを用いてヘキサンで抽出された物質を特定する。

<使用物>

- ・展開液 (ヘキサンと酢酸エチルを1:1の割合で混ぜたもの)
- ・シリカゲル板 ・紫外線ライト
- ・ヘキサンで抽出された物質

<方法>

- ① シリカゲル板の原点にヘキサンで抽出した物質を滴下し展開液に浸す。
- ② 展開液をシリカゲル板の上方まで展開させる。
- ③ 紫外線ライトをシリカゲル板に当てスポットを観察する。

<結果>

紫外線ライトを当てても色の変化は確認できず展開後のスポットを観察することはできなかった。

また、余分な水分を蒸発させ、より高濃度にして試みたが同じくスポットは観察できなかった。

4. 結論

- ・ 球根は生命活動の一環として抗真菌作用を有する物質を生成しており、生命活動が止まるとその物質が生成されなくなる。
- ・ 抗真菌作用を有する物質は脂溶性であると考えられる。
- ・ 抗真菌作用を有する物質の極性の大きさは、ジエチルエーテル未満ヘキサン以上だと考えられる。
- ・ 薄層クロマトグラフィーで展開したスポットを確認することはできなかった。

謝辞

佐野先生、桑守先生、村松先生を始めとする協力してくださった先生方ありがとうございました。

参考文献

- 1) 菌類の世界 きのことカビ・酵母の多様な生き方
著者: 細矢 剛
出版社: 誠文堂新光社
発行年: 2011 年
- 2) 初めて学ぶ人のための微生物実験マニュアル
— 培養から遺伝子操作まで
著者: 安藤昭一

津山周辺における新第三紀海成層の研究

研究者 山下隼, 松下尚, 太田明緒, 水嶋沙耶加

指導者 山本隆史

1. Abstract

We researched the layers of the Tertiary Neogene Period (about 16 million years ago) and basalt in Tsuyama. We collected and analyzed the soil by examining the pH value and the electric conductivity, and we simulated the water level of the former Tsuyama Sea by Kashmir3D. This way we found that there must have been marine regressions in the Ayabe region.

2. 概要

私たちは津山市における新生代第三紀海成層について研究している。私たちは市内各所の 1600 万年前の地層から土壌を採取し、化学分析を行って当時の海岸線を明らかにしようとしている。また、カシミール 3D という地理ソフトを使って、現在の地形を基に、海岸線をシミュレートしている。それらから、綾部では海退があったという可能性が示唆された。

3. 序論

「津山は昔海だった」ということは、多くの海生生物の化石が採出されていることや先輩方の先行研究から明らかにされている。かつての津山海の海岸線を出す、という先輩方の研究に興味を持った私たちは、その研究を引き継ぐことにし、堆積物から当時の海(古津山海と名付ける)の環境を考察することにした。

先行研究において、古津山海は

- ①新第三紀中新世には暖かい海であった
- ②津山市内でも採取ポイントにより堆積環境が異なる

③広範囲に広がっていた

④水深 220 m の時期があった(図 1)
ということがわかっている。

しかし、先輩方の先行研究には「化石未確認場所での土壌分析法の適応未確認」「採取ポイントが少ない」などの課題が残っている。私たちは、それらを改善しつつ、当時の堆積状況の調査を始めた。



図 1 水深 220mの古津山海のシミュレーション
(巻末にカラー写真を掲載)

4. 仮説設定のための調査

【目的】

化石未確認場所での採取ポイントを増やし、土壌分析法の適応を確認する。

【方法】

① 露頭調査

地質図などから新生代第三紀の地層が分

布しているとみられる地点に赴き、露頭が確認できればサンプリングを行う。

② 土壌分析

本調査の分析に用いた方法は、ボーリング調査に用いられる分析法であり、土壌の懸濁液のpHと電気伝導度の特徴により土壌に残された過去を推定することができる(表1)。今回、下記の操作手順で土壌の化学分析を行った。

1. ふるいにかけて粒径2mm以下にした試料30gをビーカーに入れる。
2. 蒸留水150gを試料の入ったビーカーに加え、マグネットスターラーで攪拌し30分以上放置する。
3. 上澄み液をpH及び電気伝導度測定器(LAQUA)で測定し、pHと電気伝導度の値を読み取る。

【結果】

本調査では「綾部」「下横野」「下高倉東」「下高倉西」「宮川」「逆川」「蟹子川」の七か所に赴き、綾部、下横野、下高倉東、下高倉西、宮川の五か所で土壌を採取できた(図2)。

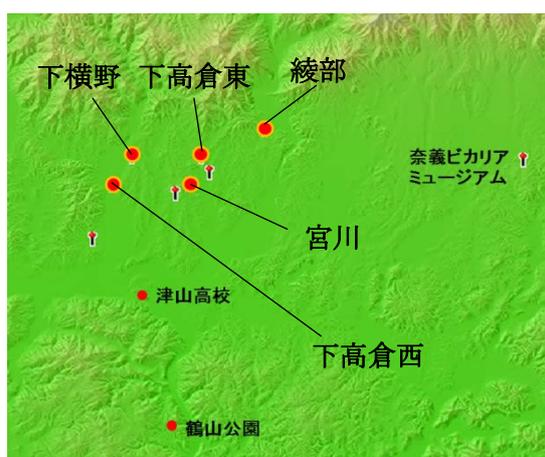


図2 砂岩採取地点

綾部では、茶色の砂岩層と黒の泥岩層が重なって堆積していた(図3)。



図3 綾部の地層

(巻末にカラー写真を掲載)

下高倉東では植物化石を採取することができた(図4)。



図4 下高倉東の植物化石

宮川の砂岩は、他の採取地点や他地域の第三紀海成層の砂岩と比較して、非常に固かった。(図5)



図5 宮川の地層

逆川、蟹子川では砂岩を採取することはできなかったが、玄武岩を発見した(図6・7)。

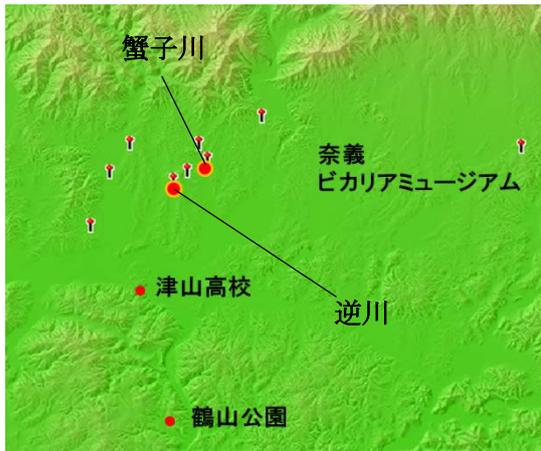


図6 玄武岩採取地点



図7 逆川で採取した玄武岩

また、土壌分析を行ったところ、図8のような結果が得られた。

表1 pHと電気伝導度の特徴

土壌の成り立ち	pHの特徴	電気伝導度の特徴
海で堆積した地層	海で堆積したのち 陸化しなかった pH=8前後 陸化した pH=4以下	相対的に高い値
河川や湖沼で堆積した地層	pH=5~7程度	相対的に低い値

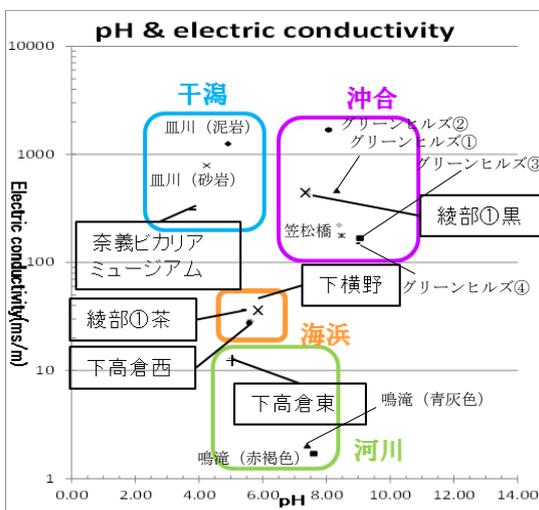


図8 土壌分析の結果

(巻末にカラー写真を掲載)

【考察】

産総研発行の地質図と土壌分析を行った結果(図8)とを比較すると、化石が確認されていない綾部、下高倉西が、他の採取場所と同様に約1600万年前に堆積した地層であることが確認できた。よって、この津山地域において、この土壌分析法は化石未確認場所でも適応すると言える。

この調査を通して、新たに二つの課題が見つかった。一つ目は、宮川において、本来やわらかいはずの砂岩が非常に固く、他の地点と異なる要因があるのではないかと仮説を立てた。

二つ目は、土壌分析法によって、先行研究に示されている「干潟」「沖合」「河川」に当てはまらない三つの地点を発見したことである。電気伝導度とpHの値から、私たちはこの三地点を「海浜」で堆積したと仮説を立てた。特に、綾部の二つの地層が、同じ場所で堆積しているにも関わらず、電気伝導度・pHの値がともに異なっているので、綾部の地層を詳しく調べることにした。

5. 研究I

【仮説】

宮川では貝化石が多く発見されているため、貝化石から溶出されたカルシウムによって、本来やわらかいはずの砂岩が硬くなり、また水の中でも浸食されずにあるのではないかと。

【目的】

宮川の砂岩からカルシウムを定量し、土壌中にカルシウムが含まれるのかを確認する。

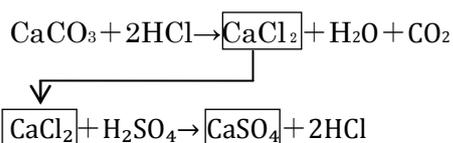
【方法】

1. 宮川の堆積岩を細かく砕き、粒径

2mm 以下にした試料 5.0 g をビーカーに入れる。

2. 4.5 ml の純水を加え、攪拌する。

3. 土壌中にカルシウムが含まれると仮定し、以下の式の通り作業を行い、硫酸カルシウムとしてカルシウムを沈殿させる。



【結果】

白い沈殿が現れた(図 9)。炎色反応実験を行ったところ、橙色になったため、カルシウムであると断定できた。しかし、定量はできなかった。



図 9 白い沈殿

【考察】

〈仮説設定のための調査〉より、逆川・蟹子川に玄武岩が発見されたことから、未発見ではあるが、宮川にも玄武岩が岩脈のような形で存在するのではないかと、宮川の土壌の硬さの原因は、貝化石から染み出たカルシウムが、玄武岩岩脈によって熱変成を受けた可能性があるのではないかと考えられる。

6. 研究Ⅱ

【仮説】

土壌分析の結果(図 8)より、綾部茶の地層

は海浜で堆積し、綾部黒の地層は沖合で堆積したと判断した。しかし、綾部地点の二層が連続して堆積していることから、二つの土壌は異なる環境下で堆積したのではないかと推測し、当時、海進もしくは海退があったのではないかと考えた。

【目的】

海進・海退の可能性をシミュレーションソフトを用いて探る。

【方法】

カシミール 3D を使って様々な水深を設定し、津山地域に仮想の海を作る。

【結果】

水深 220 m に設定したとき、綾部は沖合に位置しており、これは綾部黒の pH・電気伝導度の値と一致する。しかし、それ以外の地点の値とは一致しなかった(図 10)。

続いて水深 150 m に設定すると、図 8 の結果と一致する結果が得られた。しかし、綾部黒だけが一致しなかった(図 11)。



図 10 水深 220 m の古津山海のシミュレーション



図 11 水深 150 m の古津山海のシミュレーション

(巻末にカラー写真を掲載)

【考察】

水深 220 m の時(図 10)と水深 150 m(図 11)の時を比較してみると、水深 220 m の時、綾部は沖合に位置し、図 8 の綾部黒の値と一致する。よって、津山地域において 70 m 前後の海進・海退のいずれかがあったのではないかと推測する。

そこで、海進・海退のどちらが起こったのかを、それぞれの場合に分けて考察する。

●海進の場合

水深 150 m から水深 220 m に海進したと仮定すると、綾部において、まず水深 150 m の時に茶色の土壌が堆積する。その後海進が起こり、水深 220 m の時に黒色の土壌が堆積する。すると、下から「茶」「黒」という地層が出来上がる。しかし、これは本来の綾部の地層（下から「黒」「茶」と異なるため、不成立ということになる(図 12)。

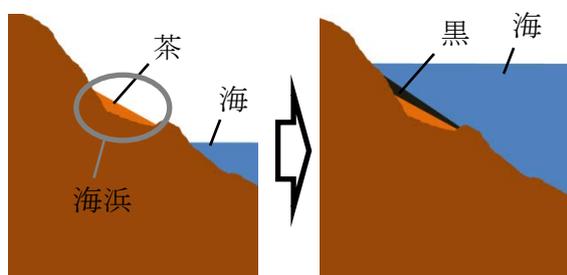


図 12 海進のシミュレーション（綾部）
(巻末にカラー写真を掲載)

●海退の場合

水深 220 m から水深 150 m に海退したと仮定すると、綾部において、まず水深 220 m の時に黒色の土壌が沖合で堆積する。その後海退が起こり、水深 150 m の時に茶色の土壌が海浜付近で堆積する。すると、下から「黒」「茶」という地層が出来上がり、本来の綾部の地層と一致するのではないかと

考える(図 13)。

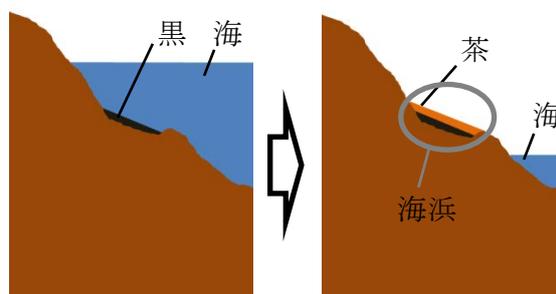


図 13 海退のシミュレーション（綾部）
(巻末にカラー写真を掲載)

また、海退後を考えてみる。下高倉東において、海退後、雨などによって淡水の川ができ、窪地に淡水の湖ができたとする。すると、塩分濃度の薄くなった土壌から植物が成長し、落ち葉が湖に堆積する(図 14)。こう考えると、下高倉東から植物化石が発見された事実と一致する。

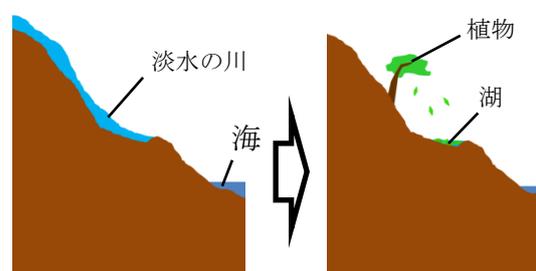


図 14 海退のシミュレーション（下高倉東）
(巻末にカラー写真を掲載)

7. 結論

本研究で採用した土壌分析法は、津山地域における中新統での化石未確認場所でも適応する。

新第三紀海成層を貫く玄武岩の岩脈が存在する可能性がある。

当時、古津山海は水深 200 m から 150 m への海退があり、図 16 のように堆積した可

能性がある。

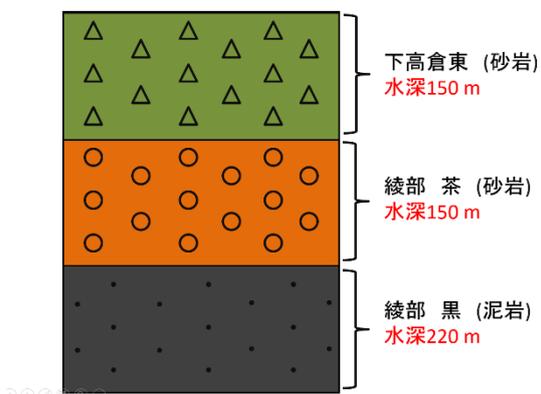


図 16 考察した津山周辺の柱状図

- ・日本地方地質誌中国地方（日本地質学会，朝倉書店）

8. 今後について

今後は土壌採取地点を増やして分析データをより多く集める。また，粒度分析や露頭の詳しい観察をして，各地点の堆積環境の違いを調べる。

9. 謝辞

本研究のために時間を割きご指導，助言をして下さった山本隆史先生，村松保則先生，外部講師の村上弘安先生にお礼申し上げます。

10. 参考文献

- ・津山盆地における勝田層群の堆積条件（野崎，1996）
- ・平成 25 年度理数科課題研究報告書（石戸，築，藤井）
- ・平成 25 年度集まれ科学好き発表会レポート（岡山県地球惑星科学共同研究チーム 2013）
- ・岡山県内地質図(西部技術コンサルタント株式会社)
- ・20 万分の 1 日本シームレス地質図（産業技術総合研究所）

気象データによる広戸風の発生条件の考察

研究者 寒竹 亮太, 延原 大, 横田 瑛也

指導者 井上 出, 坪井 民夫

Abstract

We continued the research that the second graders started three years ago. We did some experiments on Hiroto Wind with a landform figure of Chugoku Mountains in 2013.

We researched the relationship between the Hiroto wind and various meteorological data. We compared days, when the Hiroto wind as well as the typhoon blew with other days when only the typhoon passed. We research the differences in these two patterns and tried to find the cause for the blowing of the Hiroto wind. As a result, we found some specific data especially concerning the wind direction. But we could not find the cause for the Hiroto wind itself.

1. 研究の概要

私たちは、平成 23 年度から先輩方が取り組んでいた岡山県北東部の局地風である広戸風の研究を引き継いだ。平成 25 年度の研究では、中国山地の地形模型を使用し、発生条件を明らかにする実験を行った。

今年度は、広戸風と気象データの関連性についての研究に取り組んだ。具体的には、台風の接近によって広戸風が吹いた日と、台風の影響による風を受けただけで広戸風としては吹かなかった日のデータを比較した。私たちは前述の 2 パターン間にある相違点を見つけ出し、広戸風が吹くための原因と発生条件を明らかにすることを試みた。その結果、私たちはその風向きに法則があることをデータ分析の過程を通して導き出すことができた。

2. 広戸風とは

広戸風は、那岐山のふもとにある奈義町、勝央町、津山市などのごく一部地域で吹く局地的な暴風である。日本三大局地風の一つとされている。日本海から鳥取県の千代川に沿って風が吹き込み、その V 字谷で収束され、那岐山を越えた時に、上空の暖気層に押さえつけられ、吹き下ろすおろし風的一种だとされている。(図 1)

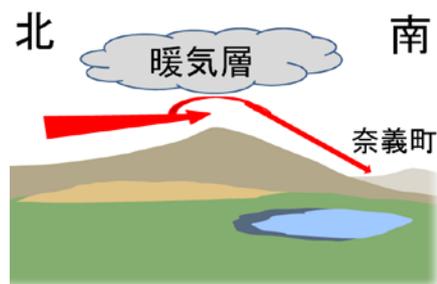


図 1 広戸風の発生メカニズム

3. 研究内容

気象庁から広戸風が吹いた日の気象データを入力し、そのデータをもとにグラフと表を作り、各データを比べ広戸風発生の原因を探る。

また、昨年先輩方が調べた範囲(図 2 ;岡山県北東部に位置する奈義町を中心に小笠原諸島までを半径として、南東へ約 100 度の弧を描いた範囲、以下「調査範囲」と表現する)を基準として、広戸風が吹かなかった日についても調べてグラフと表を作り、多面的な分析を行うことで共通性を探る。

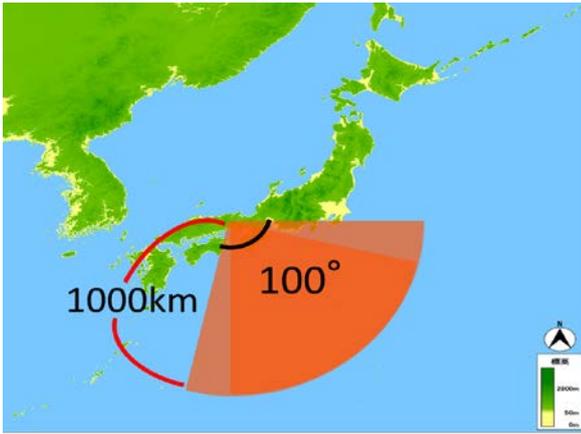


図2 調査範囲

【検証1】

津山市の気圧と奈義町の気圧の比較

<目的>

奈義町の気圧は一部しか入手できなかったため、代替データとして奈義町に隣接する津山市の気圧のデータが使用できるかを調べる。

※ 奈義町の気圧データの代わりに津山市の気圧を選んだ理由は、広戸風が吹く地域の中でアメダスに気圧データがあったのが津山市のみだったためである。

<方法>

1. 私たちが、奈義町の気圧のデータを入手できたのは5回分の広戸風のデータであり、そのデータに対応した津山市の気圧データを入手する。
2. 入手した津山市の気圧データと奈義町の気圧データを比較する。

<結果>

比較したデータのすべてにおいて、奈義町の気圧と津山市の気圧のデータが一致した。このことから、津山市の気圧のデータは、奈義町の気圧のデータの代わりとして使用することができると判断した。

※ 以下の検証では、津山市の気圧データを奈義町の気圧データの代替データとして使用している。

【検証2】

広戸風発生日の風向における共通性

<目的>

気象データの表から、広戸風が発生する際に、風向に何らかの傾向(共通性)がないかを調べる。

<方法>

1. 広戸風が発生した日の風速のデータを、縦軸を風速、横軸を時刻としてそれぞれをグラフにする。
2. グラフにした風速と、同日の風向の表を比較する。

<結果>

広戸風が吹いた日のデータ(15個)のうち、8割のデータ(12個)で、広戸風が吹く10~30分前に、広戸風が吹く向きと逆の向きから風が吹く(広戸風が吹く向きは南向きで、逆向きの風は北向きであった)というデータがでていた。(表1)

時間	降水量	気温	風速	風向
20:50	0.5	18.5	3.8	南南西
21:30	0.5	17	4.6	南南西
22:10	0.5	17.6	6.6	南南西
22:50	0.5	18.1	2.8	南東
23:30	0	17.8	2.8	東北東
0:10	0	19	9.7	北北東
0:50	0	18.8	16	北北東
1:30	0	18	20.7	北
2:10	0	17.4	22.5	北北東
2:50	0	16.8	21.6	北

(表1) 広戸風発生日および直前の風速と風向

<考察>

「広戸風が吹く直前に逆向きの風が吹く」という結果が全体の8割のデータで出ていたことから、これを広戸風の発生条件として見るができると考えた。しかし、この逆向きの風の原因を見つけることはできなかった。そこで『やまじ風』(愛媛県四国中央市を中心としてその地域一帯に吹くおろし風。広戸風と同じように風下から直前に吹く風の『誘い風』を持っている。やまじ風は北向きに吹き、誘い風は南向きに吹く。)を調べるこ

で、逆向きの風の原因を明らかにし、広戸風の発生の原因を突きとめることにもつながるのではと考える。

【検証3】

広戸風が吹く時の台風の位置の検証

<目的>

図2の調査範囲が正しいものであるかどうかを、データを用いて確かめる。

<方法>

1. 気象庁の過去の台風の経路図のうち、広戸風が吹いた日の経路図を15日分入手する。
2. 広戸風が吹いた日の台風の位置が、先輩方が調べた範囲に入っているかを比較する。

<結果>

広戸風が吹いた15日間のすべてにおいて、台風は先輩方の調査範囲に入っていた。

このことから、この先輩方が調べた範囲は適切であり、本研究においても使用できると判断した。

【検証4】

広戸風が吹きそうで吹かなかった日と広戸風が吹いた日との比較

<目的>

広戸風が吹きそうで吹かなかった日と、広戸風が吹いた日の2つのデータを比較することで広戸風の発生条件を見つける。

※ 広戸風が吹きそうで吹かなかった日の定義は、調査範囲に台風が入ったにも関わらず広戸風が吹かなかった日のことである。調査範囲を基に、範囲に入ったときから出たときまでの日数とした。

<方法>

1. 広戸風が吹きそうで吹かなかった日の気象データを、先輩方の調査範囲1と気象庁の台風の経路図を基準として入手する。

2. 広戸風が吹きそうで吹かなかった日と、広戸風が吹いた日との相違点を見つけ出す。

<結果>

広戸風が吹きそうで吹かなかった日と広戸風が吹いた日との間に関係性を見つけることはできなかった。

【検証5】

広戸風が吹いた日の気象データにおける共通性

<目的>

広戸風が吹いた日の気象データの中で、グラフにした風速、気圧、温度を比べて共通性を見つける。

<方法>

1. 広戸風が吹いた日の15日分の気象データをすべてグラフにする。
2. それぞれの気象データとグラフを比較する。

<結果>

縦軸や横軸をかえて複数のパターンから比較して分析を行ったが、共通性を見つけることはできなかった。

4. 結論

今回の研究において、広戸風の発生条件として挙げることができるものは、広戸風が発生する直前の風向についての共通性であった。その他の気象データについては、共通性がみられなかった。

データの分析には、相関を出すことができるSPSSなどの統計分析ソフトなどを使用する必要があったと考えている。

また、私たちが調べた気象データはあくまで気象レベルでは狭域である奈義町のものであり、しかも地上のデータのみである。研究の精度を上げていくには奈義町以外の地域、例えば風上側に位置する鳥取県の気象データと那岐山上空の高層大気には共通性があるかもしれない。

そして、他の局地風である「やまじ風」や、他

の日本三大局地風についても比較する調査を行うことで、広戸風発生の原因について迫ることができるのではないかと考える。

謝辞

本研究のご指導をいただきました津山工業高等専門学校佐藤先生、藪木先生、英語の指導をいただきました外部講師のオリビア先生、マルティーナ先生には大変お世話になりました。

参考文献

- ①平成 25 年度津山高校課題研究報告書
「広戸風再現実験によるハザードマップ作製」
- ②気象庁 ホームページ
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

十六夜池の浄化シミュレーション

研究者 笠木健希 福田匠 廣野碧唯 松永尚之

指導者 黒瀬貴子

Abstract

The IZAYOI pond in our school is dirty with the sludge which collected on the bottom, so we thought we cleaned the pond by aeration. There has been an air pump but obviously it's not effective. So first we looked for the best setting place of the pump so that an effective circulation of the pond water can take place. With help of computer simulations we found out the best placement of three air pumps, the most efficient filter form and opening diameter in order to spread clean water back into the pond.

概要

本校にある十六夜池は底に溜まっているヘドロで汚れている。ポンプで空気を送っているが効果はない。そこで、私たちはエアレーションによって池をきれいにしようと考えた。エアレーションフィルターをどこに設置すれば池の循環が効率よくいくか、シミュレーションソフトを用いて探った。そしてフィルターの理想的な個数と設置場所、効果的なフィルターの噴出し口の大きさを発見した。

研究内容

1. 目的

十六夜池の水を浄化し、きれいにして景観をよくしたい。池に直接実験をすることは非効率的でコストも大量にかかってしまうので、私たちはどこに、どのような条件の下でフィルターを設置すればよいのかをシミュレーションによって探った。水がきれいになったかどうかの判断は透視度による。

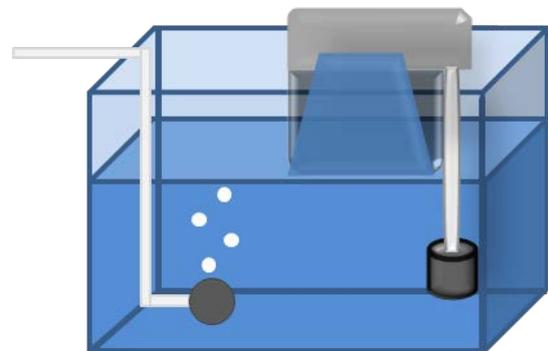
測した。私たちは、以下のような環境に分けて実験を進めた。

水槽 A エアレーション、水流あり

水槽 B 水流あり

水槽 C なんにもなし（放置）

たとえば、水槽 A は次の図のような環境になる。



結果はこのようになった。

2. 内容

実験 1 水の循環と透視度の関係

予備実験として、池の様々な場所の水質をペーパーテストで調べてみたが、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素濃度に異常はみられず、これらすべての毒性が高くない状態であることが分かった。そこで私たちは、水の透明度を示す「透視度」に注目し、透視度をできるだけ上げることが目標に研究を進めた。

池の水を循環するだけで透視度が上がるのか疑問に思ったので実験をすることにした。

実験方法は、水槽 A, B, C を用意し、水は池の特定の 1 部分から汲んできたもので、透視度の初期値は同じものとした。一週間ごとに、定期的に透視度を計

初		水槽 A		水槽 B		水槽 C
期	一週間後	29cm		40cm		21cm
	二週間後	43cm		33cm		18cm
	三週間後	44cm		50cm		23cm
26	増減	増加		増加		変化なし

水槽 A, B で透視度の増加がみられ、透明度が上がったことが分かったので、循環によって水がきれいになることが分かった。

実験 2 XFEM によるシミュレーション

次に私たちは、XFEM という流体シミュレーションソフトを使い、十六夜池のどの位置にフィルターを何個置けば水の循環効率が良くなるかを研究した。

フィルターにもさまざまな種類があり、水の循環効率も変わってくるため、効率がよく、十六夜池に設置するのに適していたゼンスイ社の大正 30L というフィルターをモデルとして用いた。(図 1)



図 1 大正 30L

仕様

- ・揚水量 (50Hz) 11~(60Hz)17t/時
- ・モーター(100V 30W)
- ・コード長 10m

XFEM を使用するにあたって、池の詳しい形を調べる必要が出てきた。池は大きく、上から見渡してスケッチをすることも不可能であったため、私たちは次のような方法で池を測量した。

1. 池のある地点にポイントを置き、北を 0° とする。
2. 角度をずらしてポイントから紐を引っ張り、向こう岸までの長さを測る。
3. 長さや角度を記録する。
4. 地点を変えながら、1~3を繰り返す。

これらの工程を続け、完成した池の座標を見ると、横約 2.5m、縦約 1.8m ある池だと分かった。

釣竿を用いて深さも測った。大まかな値で正確さには欠けるが、池の大体の深さが分かった。

測量した池の形を座標として XFEM の中に取り込み、またフィルターの位置を決める。

図中の黒い丸がフィルターである。

以下はシミュレーション結果である。

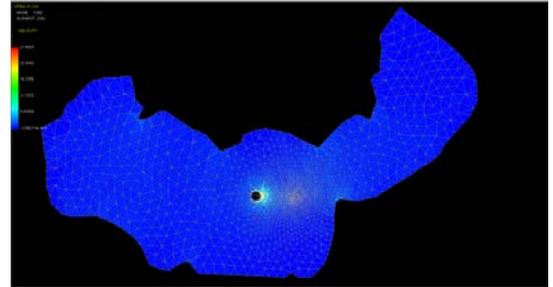


図 2 フィルターを 1 個設置したとき

このままでは、全体に水流が行き届いておらず、池が全体的に循環しているとはいえない。そこで個数を増やした。

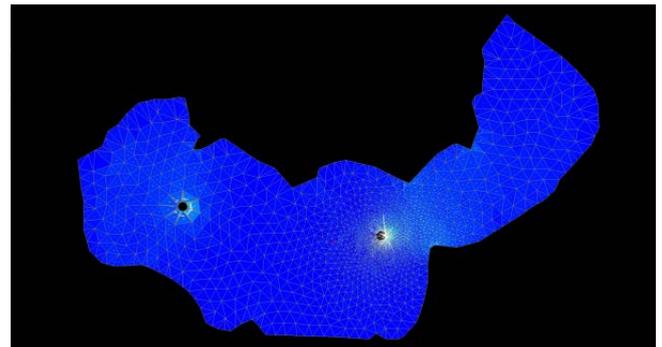


図 3 フィルターを 2 個設置したとき

これでもまだ循環ができていない。さらに個数を増やした。

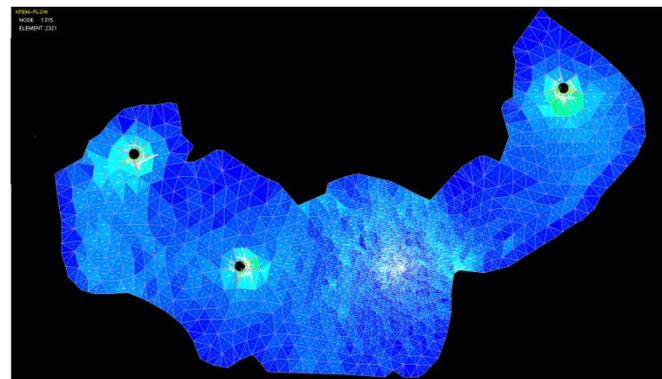


図 4 フィルターを 3 個設置したとき

青色の部分が減り、水色の部分が多くなった。

水色の部分は、フィルター周りの流速の10%の流速が流れており、1個・2個のときよりも劇的に止水域がなくなっており、全体に水流が行き届いているといえる。

フィルターの設置位置の深さについても調べた。十六夜池の大まかな深さを簡単に表し、浅いところから水を流した場合と、深いところから水を流した場合を比較した。

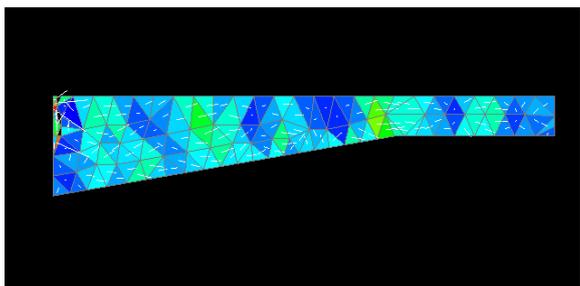


図5 浅いところから水を流したとき

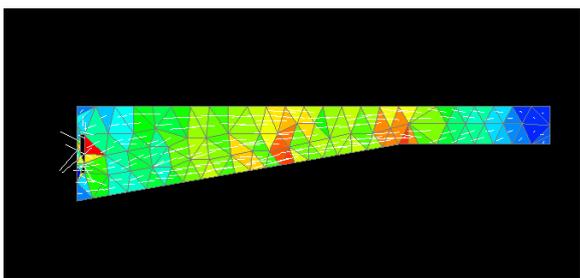


図6 深いところから水を流したとき

比較すればわかるように、深い位置から水を流した方がより効率よく水を循環できるということが分かった。

実験3 噴出し口の研究

私たちは、噴出し口の口径の大きさに最適条件があるのではないかと考え、噴出し口の口径の大きさと水の届く距離の関係性について調べた。

この実験に関しては、実験2で用いたXFEMでは水の動きが分かりにくいという点で、実験が困難だったため、自作のソフトを用いた。

ソフトは、JavaScriptという言語で作った。JavaScriptのクラスにLiquid Funというものがあり、水を可視化することが出来て、結果が判断しやすいためJavaScriptを用いた。

実行した結果は、次のとおりである。

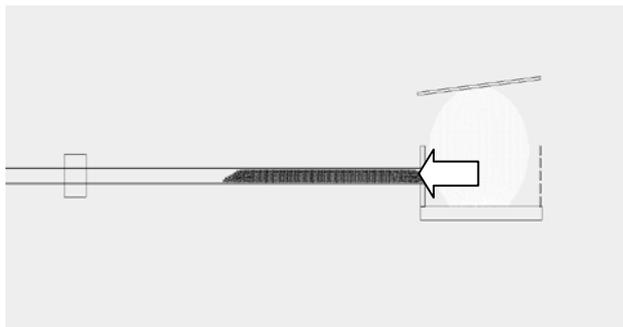


図7 シミュレーション実行直後

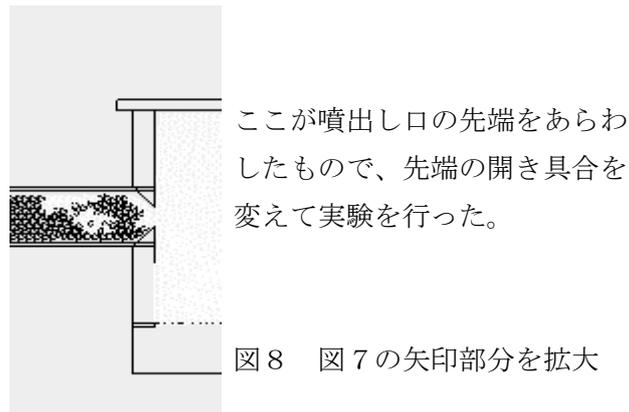


図8 図7の矢印部分を拡大

右側の箱に入っている白い水は、池の水を想定しており、時間がたつと左側の物体が動き、筒の中に入っている黒い水を押し出す。

黒い水を完全に押し出した時点で、黒い水の噴出し口から最高到達点までの距離を測り、噴出し口の直径の大きさと水の届く距離の関係性について調べた。

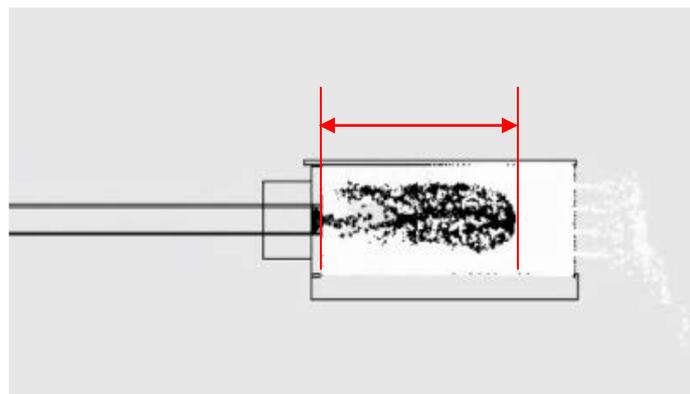


図9 距離を測る部分

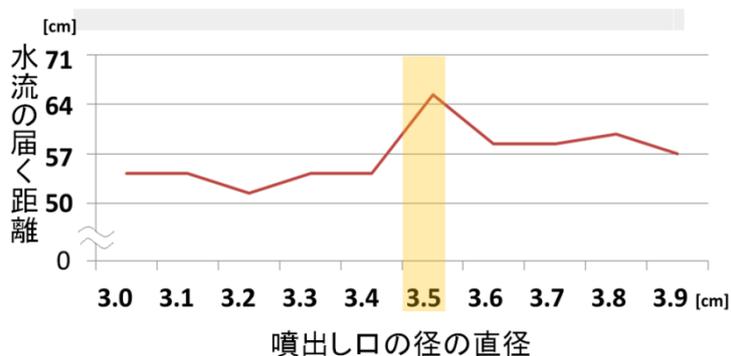
また、正確な実験のために、時間当たりの流量を一定にする必要がある。

$$Q(\text{m}^3/\text{s}) = V(\text{m}/\text{s}) * A(\text{m}^2)$$

流量 流速 噴出し口の面積

流量は上記の計算によって求められるため、噴出し口の大きさを変えても、流量が一定になるよう、流速を調整して実験した。

1 cm単位で値を変えて実験したところ、3～4 cmの間で遠くに届くことがわかったので、3～4 cmの間で、1 mmずつ値を変えて実験した結果、以下ようになった。



結果から、モデルの大正30Lの場合、噴出し口の径の大きさは3.5 cmが最適であるということがわかった。

3. 考察・結論

実験1の数値から水の循環によって池の水がきれいになることが考察できる。

また池の水の循環はフィルターをゼンスイ社の大正30Lを想定すると最低3個で止水域がほぼなくなり循環が活発に行われることがわかる。

フィルターの設置の深さは浅い位置よりも深い位置のほうが循環効率がより良くなる。

4. 今後の方針

実験3では水圧を考慮しておらず、いかなる状況でも水が押し切れるという条件のもと実験を行った。今後は水圧を考慮した実験をしていきたい。

その他、まだ見落とししているだろう条件も考慮して実験をし、正確なデータにしていきたいと考えている。

また、データを集め、最終的には実際に池にフィルターを設置し、十六夜池をきれいになりたいと考えている。

5. 参考文献

<http://jikosoft.com/software/xfem/manual/index.html>

<http://suidobox.net/suiribasic11.html>

<http://cx20.hatenablog.com/entry/2014/08/17/155418>

水調べの基礎知識～環境学習から浄化の実践まで～

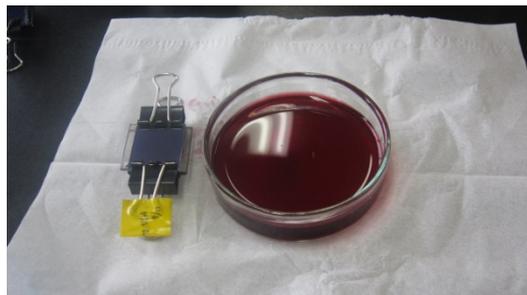
山田 一裕 (著)

6. 謝辞

私たちの研究にあたり、さまざまなご指導をしてくださった先生方、本当にありがとうございました。

— 巻 末 図 —

〔色素増感型太陽電池の性質と吸着物質との関係〕



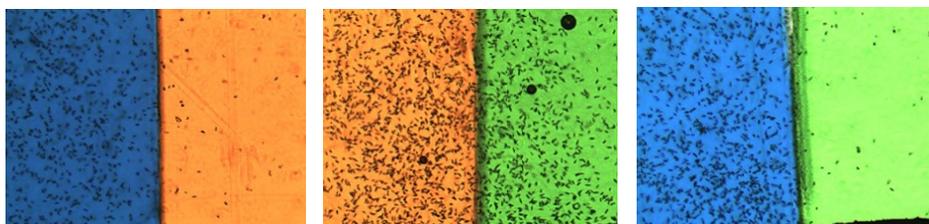
作成した色素増感型太陽電池と色素の水溶液
(ハイビスカス・ローズヒップティー)

〔酸化銅 (I) を用いた電池の作成と改良〕

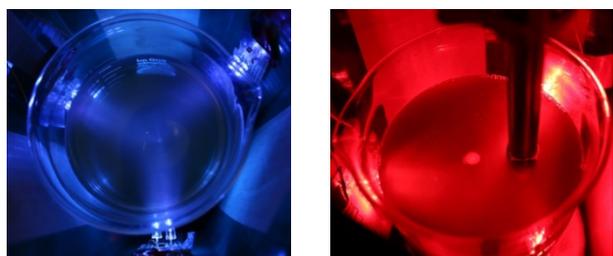


作成した亜酸化銅 Cu_2O 板 (赤い部分)

〔Relation between Phototaxis and Photosynthesis of Euglena〕



【Figure2】 Result of experiment I

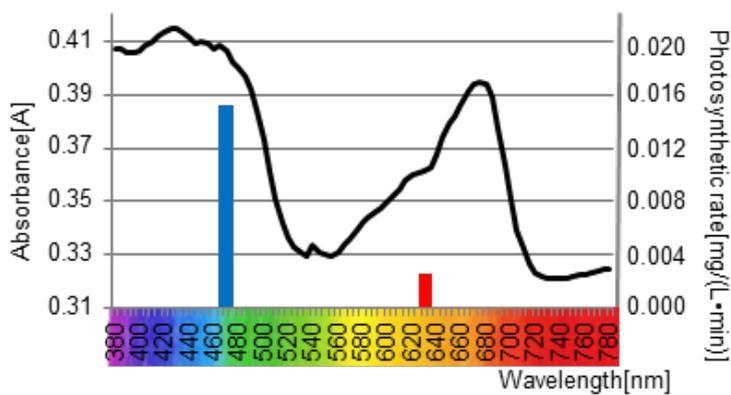


Measurement of photosynthetic rate

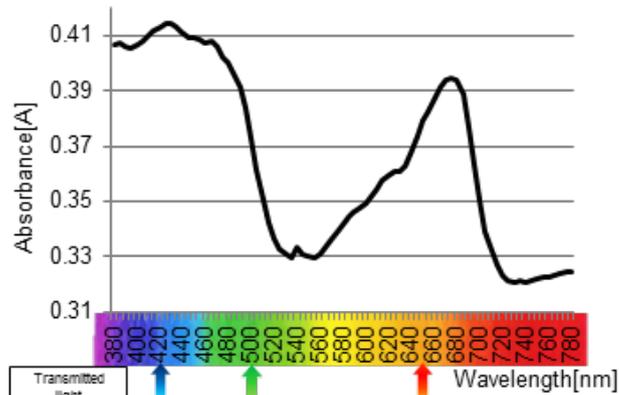


Euglena Chlorophyll a

【Figure3】 Thin layer chromatography



【Figure8】 Photosynthetic rate of euglena



【Figure8】 Transmitted light

[Study of cellulose decomposition ability of physarum]

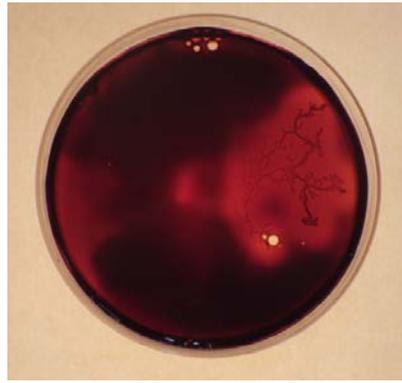
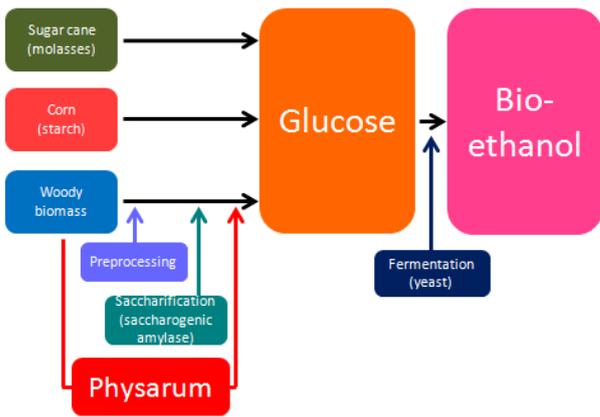


Fig.1 [the method to produce ethanol]

[Pic.2 physarum]

[Pic.3 control]

[わけぎの球根] 様々な溶媒で抽出した物質を滴下した培地



図 1 ヘキサンで抽出



図 2 エタノールで抽出



図 3 水で抽出



図 4 酢酸エチルで抽出



図 5 クロロホルムで抽出



図 6 ジエチルエーテルで抽出

[津山周辺における新第三紀海成層の研究]



図 1 水深 220mの古津山海のシミュレーション



図 3 綾部の地層



図10 水深220mの古津山海のシミュレーション

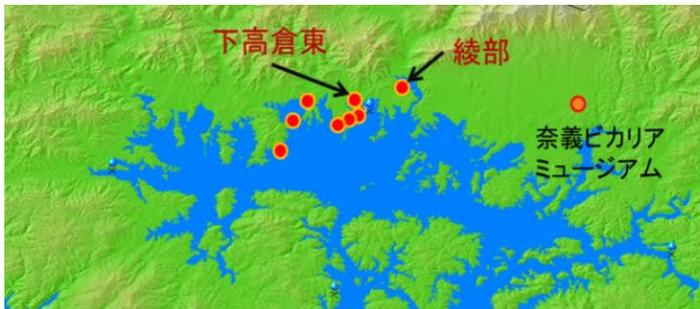


図11 水深150mの古津山海のシミュレーション

表1 pHと電気伝導度の特徴

土壌の成り立ち	pHの特徴	電気伝導度の特徴
海で堆積した地層	海で堆積したのち 陸化したかった pH=8前後 陸化した pH=4以下	相対的に高い値
河川や湖沼で堆積した地層	pH=5~7程度	相対的に低い値

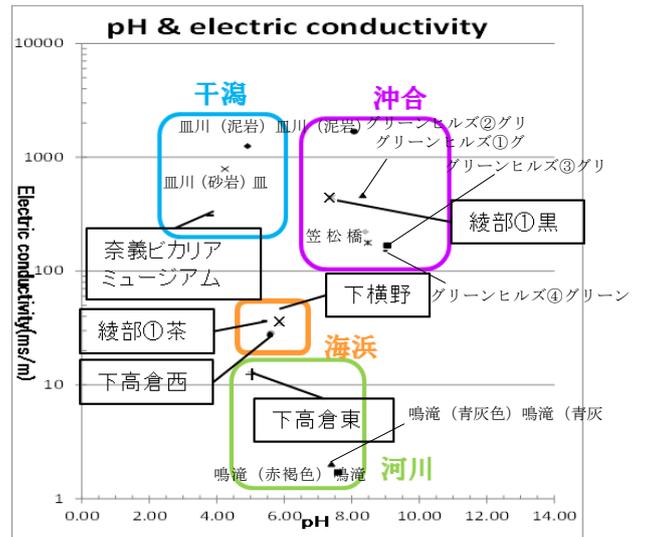


図8 土壌分析の結果

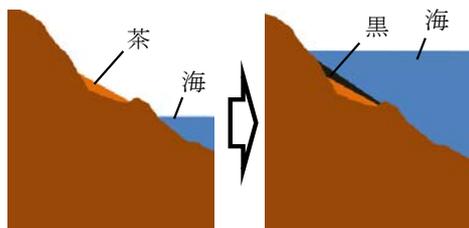


図12 海進のシミュレーション (綾部)

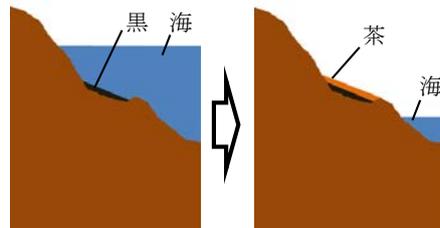


図13 海退のシミュレーション (綾部)

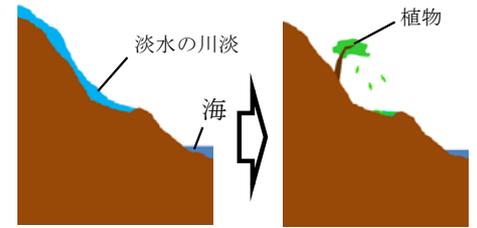


図14 海退のシミュレーション (下高倉東)

[十六夜池の浄化シミュレーション]

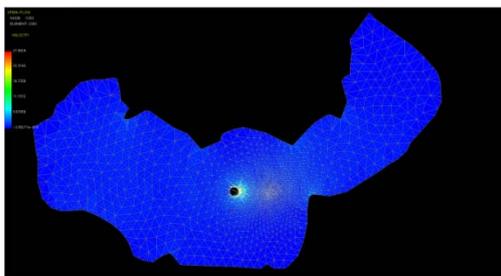


図2 フィルターを1個設置

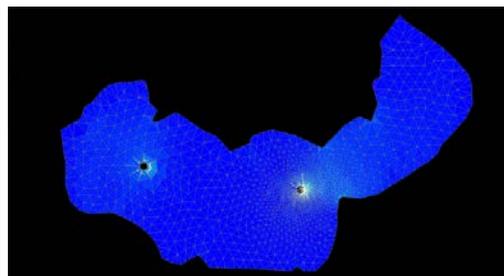


図3 フィルターを2個設置

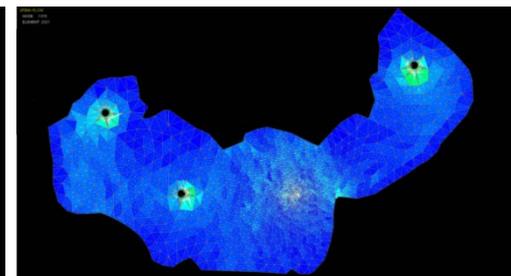


図4 フィルターを3個設置

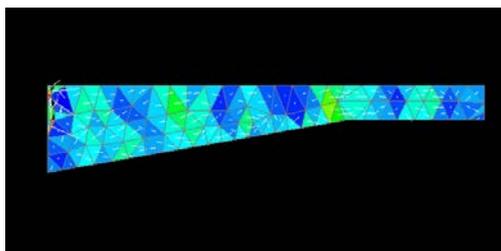


図5 浅いところから水を流したとき

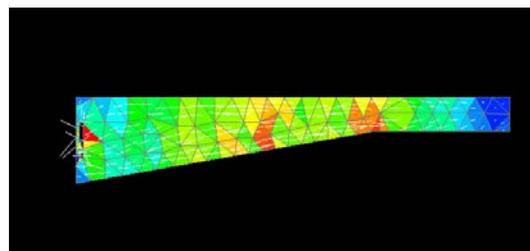


図6 深いところから水を流したとき