

# つむじ風の発生原因を探る

～空気の対流があると継続したつむじ風が発生する～

研究者：阿部莉奈 太田駿 清水達哉

田中倫葉 西村光 松本茉由

指導教諭：倉田 亮輔

## 1. 研究概要および目的

校庭などでたまに見られるつむじ風は、規模が大きいと人や建物に大きな被害を与えることもある。つむじ風による突然の被害を減らすため、その発生条件を明らかにすることによって、つむじ風の発生しやすい場所を探りたいと考え研究を行った。また、先輩方のつむじ風に関する先行研究があったので、それを参考にして研究を進め、内容をより深めていきたい。

	竜巻	つむじ風
天候条件	積乱雲	高温・晴天
発生場所	上空	地面
発生時間	数十分	1分程度
前兆	積乱雲・ヒョウ	なし
規模	大きい	小さい

表1 竜巻とつむじ風の違い

## 2. 研究内容・研究方法

つむじ風には地表に一時的に渦を巻くつむじ風と、一定の高さまで渦を巻いて上昇し継続するつむじ風がある。今回は継続するつむじ風について研究を行った。

### 1. 先行研究の確認、分析

先行研究1) 校庭と校舎の隅で蛇花火をたいた。

→校庭で焚いた場合、煙の渦は確認出来なかったが、校舎の隅で焚いた時には、煙の渦が発生した。

先行研究2) 水中で攪拌子を回転させて渦を作る実験をする。

→壁がある場合ではつむじ風のような渦が発生したが、壁がないと発生しなかった。

先行研究3) 箱の中にドライアイスミストを入れ、上昇気流と横風を作った。

→立ち上るようなつむじ風ができた。



## 2. 先行研究の確認実験

### 実験に用いた材料

- ・ L字鉄棒
- ・ ホース
- ・ ステンレス板
- ・ アルミ板
- ・ 送風機
- ・ 透明なテーブルクロス
- ・ ホットプレート
- ・ スモークマシン

### 実験内容

上昇気流を発生させるためホットプレートで装置下部を温める。  
スモークマシンで装置内にスモークを送り送風機で横風を送る。  
つむじ風が観察できるかどうか調べる。



図1 作成した実験装置

### 結果

つむじ風が図2のように観察できた。

### 考察

上昇気流と横風だけでは安定したつむじ風は発生しないが、周囲に壁があるときにつむじ風になるのではないかと考えた。



#### 仮説

つむじ風の発生には上昇気流と横風が必要だが、上昇気流だけでなく自然界におけるつむじ風は壁の代わりとなるような上下方向の対流（図3）も必要ではないかと考えた。

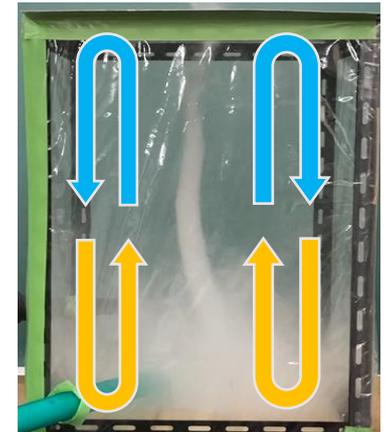


図3 考えられる対流

## 3. 仮説を検証するための実験

白熱電球を4個置くことで白熱電球に囲まれた空間に対流が作り出せるのではないかと考えた。そこで、以下のような実験を行った。

### 実験1) 白熱電球4個での実験

- 平らな面の上に白熱電球を4個おく。
- そこへスモークを流してつむじ風が発生するかどうかを観察する。
- また、電球間の距離も変えながら観察する。

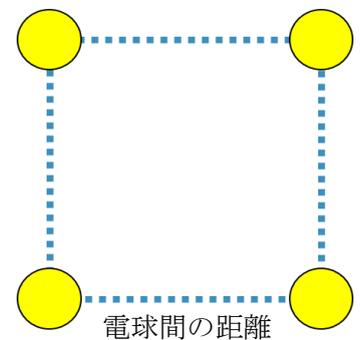


図4 電球間の距離について

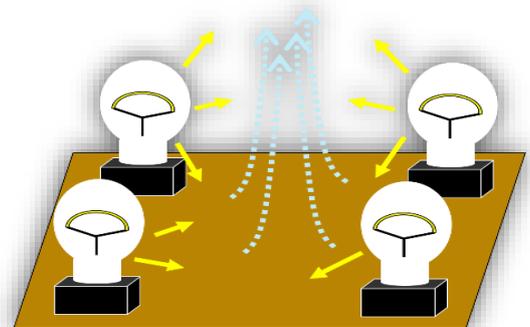


図5 電球の配置と考えられる対流

実験 2) 白熱電球 1 個での実験

白熱電球を 4 個から 1 個に変える。

実験 1 と同じようにして、つむじ風が発生するかを観察する。

実験 3) 熱源を変えての実験

熱源（白熱電球 4 個）をマグネチックスターラー 4 個に変える。

実験 1 と同じようにして、つむじ風が発生するかを観察する。

### 3. 実験結果と考察

実験 1)

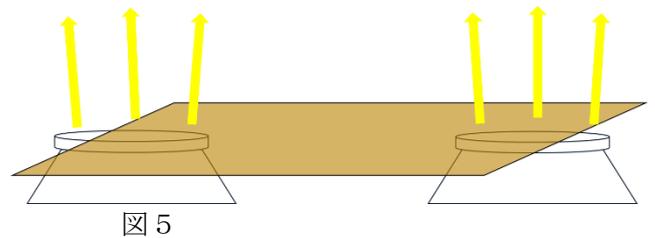
表 1 電球間の距離とつむじ風の発生の関係

電球間の距離 (cm)	1 5	2 5	3 5	4 5	5 5
つむじ風の有無	×	○	○	○	×

- ・電球間の距離が近すぎても遠すぎてもつむじ風は発生しなかった。
- ・対流が発生するには電球間の距離が関係することが分かった。

実験 2) 白熱電球 1 個ではつむじ風は発生しなかった。

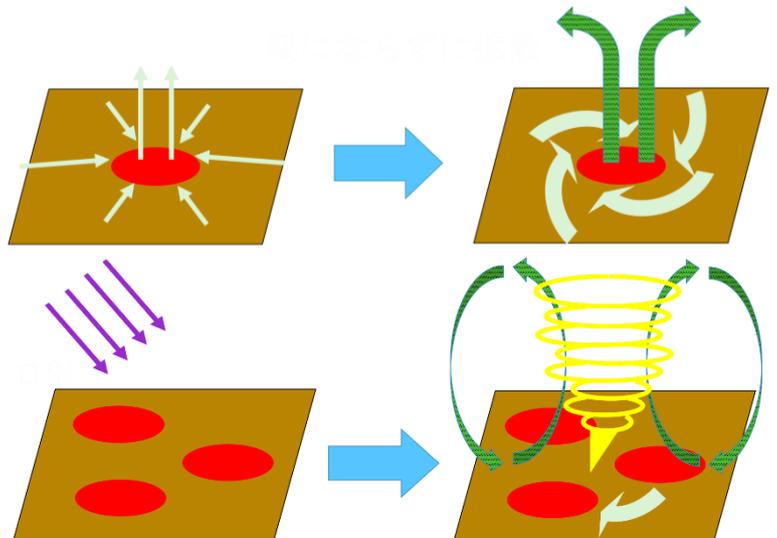
実験 3) 白熱電球 4 個と同様の配置にして実験を行ったが、つむじ風は発生しなかった。



以上の結果から考えられることとして、

- ① 床面の一部を暖めて上昇流を発生させてから横風を当てても安定した鉛直方向の対流がないのでつむじ風にならずに拡散する。

- ② 地面の 1 点が暖められるだけでなく、その周囲も暖められているため、空気塊が膨張し、地面付近では渦を巻き鉛直方向には安定した対流を作る



- ③ 実際につむじ風も動き続けるが、もし地面の 1 か所が暖められて上昇流ができるならば、つむじ風は動かずに同じ場所にいるはずである。一方、対流によってつむじ風が継続するのであれば、常に対流によって空気塊が動き続けるため、つむじ風の移動の現象も説明できる。

- ④ つむじ風は校庭などでできることが多いが、校庭の1か所が暖められて上昇流が発生しているというよりは、校庭全体が暖められることで鉛直方向に対流が生じていると考えられる。そこに横風が加わることで、つむじ風として視認できるようになるのではないか。

#### 4. まとめ。

- ・つむじ風の発生には上昇気流と横風が必要だが、上昇気流だけではなく自然界におけるつむじ風は壁の代わりとなるような上下方向の対流も必要ではないかという仮説を立てたが、壁がないところで対流を起こした際につむじ風が発生したことから仮説は正しいと考えられる。
- ・壁があるところでは上昇気流と横風があればつむじ風が発生する。
- ・壁がないところで横風が強すぎると対流が崩れてしまって、つむじ風が発生しないのではないか。

#### 5. 今後の展望

- ・つむじ風が起きるときの地面の空気の温度分布を調べる。
- ・白熱電球の数を変化させたり、配置を四角だけではなく円形などに変えたりした時に発生の仕方が変わるかどうかを調べる。
- ・ドライアイスを使って、空気中の温度を部分的に変えた際につむじ風が起こるかどうかを調べる。
- ・自然界において対流が発生しやすい条件を調べる。
- ・つむじ風を応用してなにができるか考える。

#### 6. 引用・参考文献

- ・「塵旋風発生実験」 東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 情報駆動制御研究室
- ・平成25年度長野県屋代高校課題探究 研究報告集「つむじ風の発生原因を探る～再現実験からつむじ風が起こりやすい環境を考察する」
- ・平成27年度長野県屋代高校課題探究 研究報告集「攪拌における渦流の発生要因～渦流とつむじ風の発生要因の関連性について」
- ・気象庁ホームページ
- ・気象庁気象研究所ホームページ

# アレロパシーを用いた栽培技術を探る

## ～Mentha 属 3 種のミントの防虫効果～

研究者：王思言 北村萌夏 草間あゆみ

指導教諭：堀内栄子

### 1. 研究目的

無農薬農業で最も大変なのは虫を寄せ付けないことだ。虫による食害は直接的に収穫量を減らすだけでなく、商品価値を下げ、農家の収益を減らす。対策として慣行栽培では殺虫剤を使用する。適正に使用すれば、消費者はもちろん作業者にとっても、農薬は健康に悪影響を及ぼすものではないが、生態系を構成する生物種を地域から一掃するような行為は生物多様性の観点から懸念される。

農薬を使わずに害虫から植物を守るため、植物は虫が忌避する揮発性物質つまり香りを出す場合がある。その代表例がミント類のメントールである。また、東京理科大学基礎工学部の有村源一郎らの研究によると、キャンディミントやペパーミントの香り成分にはダイズの防御遺伝子の発現を促進する能力が備わることが分かった。それらの効果はミントの種類により強弱あるが、野外圃場でも認められた。ミントの種類ごとに、どのくらいの防虫効果が期待できるか、検証することにした。

またミントの防虫効果が立証されても、植物の発芽や成長を抑制するアレロパシーを持っているとすると農業への実用化は難しくなる。そこでミントが他の植物の発芽に及ぼす影響を検証した。

### 2. 研究方法

実験① (ミントの防虫効果を検証した)

#### 方法

実用化を考慮して、今回はホームセンターなどで手に入れやすい3種類のミント(シソ科) —アップルミント (*Mentha suaveolens*)、ブラックペパーミント(スペアミント *Mentha spicata* とウォーターミント *Mentha aquatica* の交配種)、レモンミント (*Monarda citriodora*) —について実験した。また、検定対象の植物として先行研究でも用いられていたダイズ(黒大豆 *Glycine max* マメ科)、虫がつきやすいとされるブロッコリー(ミドリハナヤサイ *Brassica oleracea italica* アブラナ科) とミズナ(水菜 *Brassica rapa var. laciniifolia* アブラナ科) を使った。これらについて図1のように1種類のミントの苗回りに種を蒔いたばかりの3種類の対照物をおいて経過をみる。

また、比較対象として対照物だけの場所も用意する。対照物全てが発芽してから3週間後に葉の虫に食われた面積を比較する。



図1 ミントの置き方

実験② (ミントの他の植物に対する発芽抑制を検証した)

方法

実験①の先行研究で有効とされていたものと香りの強いものの計3種類のミント (シソ科) —ペパーミント (*Mentha x piperita*)、スペアミント (*Mentha spicata*)、イングリッシュミント (*Mentha x piperita vulgaris*) について実験した。また、対照物としてこの実験の先行研究でも使われていたレタス (*Lactuca sativa* キク科)、実験①でも用いたブロッコリー (ミドリハナヤサイ *Brassica oleracea italica* アブラナ科)、水菜 (水菜 *Brassica rapa var. laciniifolia* アブラナ科) を用意した。

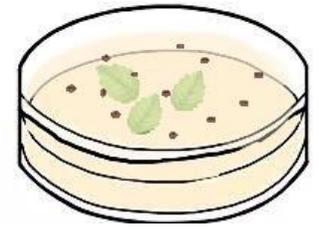


図2 寒天培地の様子

シャーレの底にミントを固定し、その上に15g/Lの濃度に調整して50mL 測りとった寒天溶液を流して培地を作る。固まった培地の上に対照物の種を撒き、発芽率を調べる。また、この時のミントと対照物の距離は1.5cmに統一する。

3. 実験結果・考察

実験①の結果



ミントなし



アップルミント



ブラックペパーミント



レモンミント



ミントなし



アップルミント

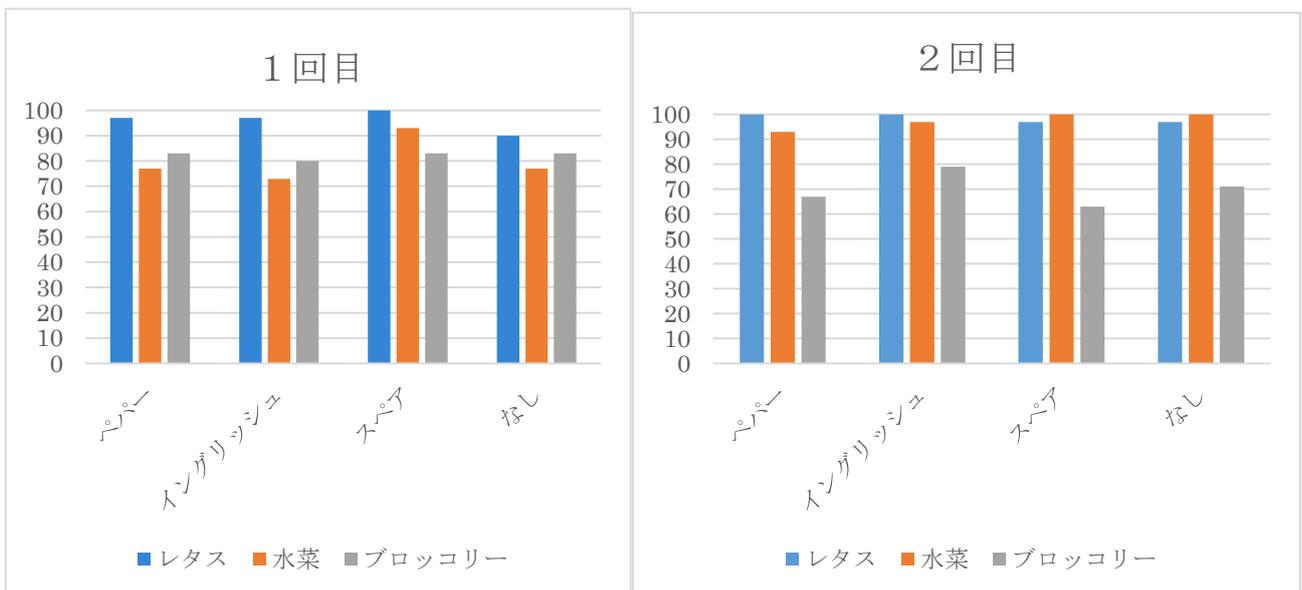


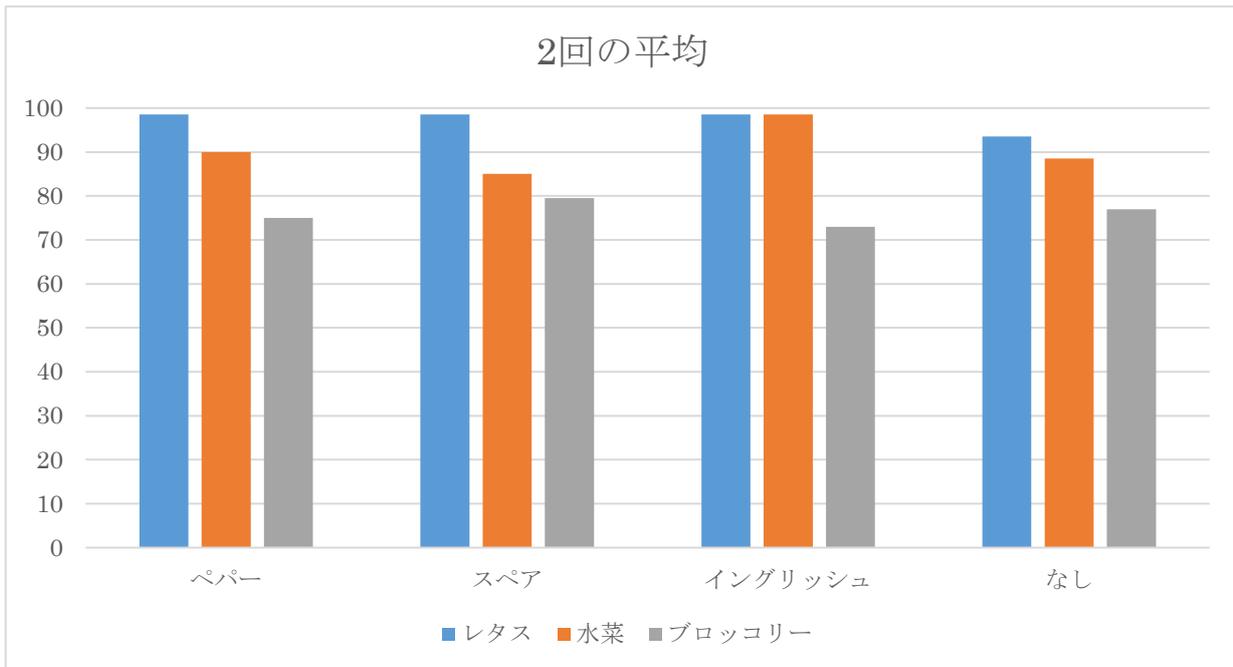
ブラックペパーミント



レモンミント

実験②の結果





#### 実験①の考察

- ・ 3種類のうちブラックペパーミントとレモンミントの周りに置いた検定植物はミントを置かなかった対照群よりも食害の範囲が狭いことから、これらには防虫効果があると考えられる。
- ・ アップルミントの周りの検定植物はミントなしの対照群と同様に多くの食害が見られたことから、アップルミントの防虫効果は弱いと考えられる。
- ・ アップルミントの周りの検定植物は他の検定植物より成長が遅かったことから、アップルミントには他の植物の成長を抑制する効果が備わっていると考えられる。
- ・ ダイズについてはレモンミントにおいて最も食害が少なかったことから、レモンミントのアレロパシーはダイズの害虫に有効と考えられる。
- ・ ブロccoliリーについてはブラックペパーミントにおいて食害が少なく見えることから、ブラックペパーミントのアレロパシーはブロccoliリーにつく虫に対して有効と考えられる。

#### 実験②の考察

- ・ 1回目と2回目の実験では共にミントありとミントなしでは大差が見受けられなかった。
- ・ 1回目と2回目の実験では共にレタスの発芽率がよかった。
- ・ ミントの中ではスペアミントの対照物の一番発芽率がよかった。
- ・ 2回目ではミントの有無や種類に関係無しにブロccoliリーの発芽率が悪かった。
- ・ ミントありはミントなしより平均して発芽率が高い。
- ・ 全体的にレタスの発芽率が一番良かった。
- ・ イングリッシュミントにおいて対照物の中で水菜が最も発芽率が良かった。

## 4. 反省

### 実験①

- ・多くのデータを得るために2つの場所に分けて実験を行っていたが、日照条件が異なってしまう、成長の速さなどに違いが生じてしまった。
- ・植物の種まきの時期をあまり考慮していなかったため、検定植物の中でも成長の具合に差が生じてしまった。

### 実験②

- ・寒天培地に黒カビが発生したことから、カビ対策はしたが十分ではなかった。
- ・インキュベーター内で培養していた寒天培地が乾燥してしまっていたことから、寒天培地に直接風が当たらないよう置き方を考えるべきだった。
- ・2回目の実験でブロッコリーの発芽率が悪かった原因として、土付きの種を買ってしまったことから土を落とす過程において種が細菌の影響を受けた可能性が考えられ、消毒等を徹底すればよかった。

## 5. まとめ

この研究からわかったこと

- ① ミントには害虫忌避効果がある。
- ② ミントは他の植物の発芽や成長には影響を及ぼすことはない。

しかし、①ではどの位の範囲までミントの害虫忌避効果が見られるのか立証していないので今後はミントと対照植物間の距離を変えて実験をしていきたい。

また、②からミントは他の植物の発芽や成長に対して影響を及ぼすことがないため

①、②からミントは無農薬農業に有効であることがわかった。しかし、ミントにおいても虫食いが完全になくなるわけではないため、その他にビニールハウス内で栽培するなどの対策や消費者の品質に関する理解も必要だと考えられる。

ミントを設置する場合にはその分の場所を確保しなくてはならない。そのような場所がない農家でもこの技術が使えるよう、さらに研究を深めていきたい。

## 6. 引用・参考文献

藤井義晴 (2016) 「植物たちの静かな戦い 化学物質があやつる生存競争」

有村源一郎 西原昌宏 (2018) 「植物のたくらみー香り と色 の植物学」

『培地の作り方 — Cute.Guides — 九州大学』

<https://guides.lib.kyushu-u.ac.jp/c.php?g=774908&p=5559408>

『ミントを用いた有機栽培システムの開発』

<https://www.tus.ac.jp/today/20180903005.pdf>

# オゾンの酸化力による効果を探る

## ～オゾンの酸化力で汚れをきれいに～

研究者 小宮山伶佳 坂口心彩 中島晴菜 中谷紗綺

指導教諭 宮原喜美男

### 1. 研究概要および目的

私たちは、授業でオゾンには脱色、脱臭、殺菌などの効果があることを知りその効果を実生活に活用したいと考え、オゾンの効果や活用法を探るべく研究を行った。

### 2. 研究内容・研究方法

～実験Ⅰ～「泥水にオゾンを加えた時の変化」

操作① 二酸化マンガン（IV）と過酸化水素で酸素を発生させる。

操作② 酸素を真空放電管に送り、高電圧をかけオゾンに変える。

操作③ ヨウ化カリウムデンプン紙を使いオゾンの発生を一定時間毎確認する。

操作④ 泥水が入ったビーカーにオゾンを加え変化を確認する。

～実験Ⅱ～「実験Ⅰと条件をかえる(対照実験)」

操作①～③は実験①と同様

操作④ 泥水が入ったビーカーにそれぞれ①何もしない②オゾンを加える③酸素を加える④空気を加えるに分け、変化を観察する。

～実験Ⅲ～「墨汁と水性インク i にオゾンを加える」

操作①から③は実験Ⅰと同様

操作④ 墨汁と水性インク i (サラサの水性ペンのインク)が入ったビーカーにオゾンを入れ、変化を観察する。

～実験Ⅳ～「水性インク ii にオゾンを加える」

操作① 水性インク ii (ペンテルの水性ペンのインク)が入ったビーカーを2つ用意する。

操作② 片方のビーカーにオゾン発生器で発生させたオゾンを加え、もう片方は何もしないで変化を観察する。

～実験Ⅴ～「オゾン水の作成」

操作① 蒸留水にオゾン発生器で発生させたオゾンを一定時間加え続ける。

操作② 蒸留水にヨウ化カリウムデンプン紙をつけ、変化を観察する。

～実験Ⅵ～「オゾン水の脱色効果の確認」

操作① 水性インク ii が入ったビーカーを用意する。

操作② それぞれのビーカーに蒸留水とオゾン水を加え変化を観察する。

～実験Ⅶ～「オゾン水の脱色、汚れの分解効果の確認」

操作① シャーレに ①ケッチャップ ②醤油 ③草 ④酢酸カーミン ⑤泥 ⑥水性インク ii で汚した布をそれぞれ2つずつ用意する。

操作② 1つの汚れに対しそれぞれオゾン水と蒸留水を入れ、約1週間後変化を観察する。

### 3. 実験結果・考察

～実験Ⅰ～

・泥…35分間オゾンを入れ続ける→ 透明



図 1



図 2

(左: なにもしない 右: オゾンを入れる)

～実験Ⅱ～

・表 1 24分間実験を行った結果

実験	状態	色
①何もしない	底に砂が沈殿	灰色
②オゾン	底に砂が沈殿	透明
③酸素	底に砂が沈殿	灰色
④空気	底に砂が沈殿	灰色



図 3 実験前  
(左: ① 右: ②)

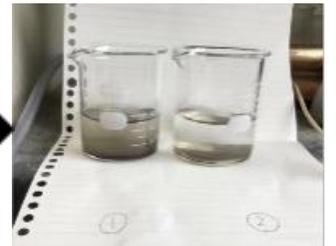


図 4 実験後



図 5 実験前  
(左: ③ 右: ④)



図 6 実験後

～実験Ⅲ～

・墨汁…1時間オゾンを入れ続ける→ 変化なし



図 7 実験前



図 8 実験後

・水性インク i …44 分間オゾンを入れ続ける → 変化なし



図 9 実験前



図 10 実験後

(左: なにもしない 右: オゾンを入れる)

～実験Ⅳ～

・水性インク ii …14 分間オゾンを入れ続ける → 透明になった



図 11 実験前



図 12 実験後

(左: なにもしない 右: オゾンを入れる)

～実験Ⅴ～

・30 分間、蒸留水にオゾンを入れ続ける → ヨウ化カリウムデンプン紙は変化なし

～実験Ⅵ～

・水性インク ii の水溶液にオゾン水を入れると少し透明になった



図 13 実験前

(左: 蒸留水 右: オゾン水)



図 14 実験後

～実験Ⅶ～

・表 2 丸一日置いた結果

着けた物質	実験前	実験後(蒸留水)	実験後(オゾン水)
①ケチャップ	ケチャップ付着	変化なし	少し薄くなった
②醤油	醤油付着	消えた	消えた
③草	草の色付着	変化なし	少し薄くなった
④酢酸カーミン	酢酸カーミン付着	変化なし	薄くなった
⑤泥	泥付着	変化なし	変化なし
⑥水性インク i	水性インク i 付着	変化なし	薄くなった



図 15 実験前(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 16 実験後(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 17 実験前(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 18 実験後(左：蒸留水 右：オゾン水)

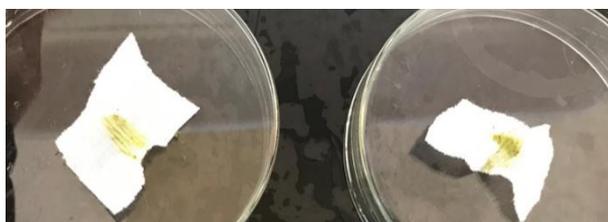


図 19 実験前(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 20 実験後(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 21 実験前(左：蒸留水 右：オゾン水)

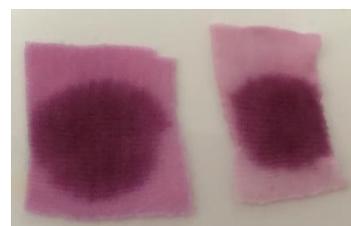


図 22 実験後(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 23 実験前(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 24 実験後(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 25 実験前(左：蒸留水 右：オゾン水)



図 26 実験後(左：蒸留水 右：オゾン水)

- ・実験Ⅰ，Ⅱより、オゾンが汚れを分解する効果があることが分かった。
- ・実験Ⅲで水性インク i ・墨汁が脱色できなかった理由は次のように考えられる。  
→炭素は墨汁内に含まれる成分であり、コロイド溶液で凝縮しやすいが、にかわが保護コロイドとしてコロイド溶液を保存する働きをするため、オゾンが持っている酸化力では、墨汁を脱色するほどの分解はできない。水性インク i は、上記の墨汁が脱色しなかった原理と同じである。水性インク i に含まれる液体分散媒のコロイド、ジェルを保存する、保護コロイド、アラビアゴムが関係している。
- ・実験Ⅳで使用した水性インク ii には、実験 3 で用いた水性インク i に含まれている保護コロイドが入っていないと考えられる。また、オゾンを入れた方だけ脱色できたのでオゾンには脱色の効果があることが確認できた。
- ・水性インクに保護コロイドが入っているかどうかの識別は、ペーパークロマトグラフィーで確認できる。ペーパークロマトグラフィーで、保護コロイドが入っていない水性インクは成分が分離するが、保護コロイド入りの水性インクはほとんど分離が見られない。
- ・実験Ⅴのオゾン水作成は、単に、水の中にオゾンを入れ続けるだけではできないことがわかる。(ネットの記事によっては、オゾン水を水に入れるだけでできると書いてあるものもあるが、それは誤りである。) →オゾン水を作るには、特別な装置が必要となる。
- ・実験Ⅵで市販のオゾン水をインクに入れると溶液が脱色されることが分かった。このオゾン水は私たちが実験を行ったものと同様の効果が見られたので、オゾンが溶けていることの実証の 1 つとなった。
- ・実験Ⅶでは、さまざまな汚れとオゾン水との関係を調べたところ、泥以外のすべてでオゾン水を入れたシャーレは蒸留水を入れたシャーレの中の布に比べ、汚れの分解や色の脱色が行われていることがわかった。しかし完全に脱色・汚れの分解はできなかったため完全に脱色・汚れの分解するには工夫が必要である。

## 4. まとめ

- ・オゾン水を生成するためには学校にある器具だけではできないので研究機関と連携してつくりたい
- ・オゾン水の確認方法を高校の知識で確立したい
- ・オゾン水の効果が認知されていないので今後知ってもらいたい
- ・オゾン水の可能性を深く知り洗濯や消臭剤だけでなく実生活で役立つものとなるように、さらに研究していきたい
- ・オゾンによる汚れの分解の実験として酸性・塩基性の溶液中でのオゾンの酸化力を調べたい

## 5. 参考文献

オゾンの不思議 伊藤泰郎

<http://aqua-has.com>

[https://www.aist.go.jp/Portals/0/kyushu/images/collabo/knowhow/H24/theme\\_5.pdf#](https://www.aist.go.jp/Portals/0/kyushu/images/collabo/knowhow/H24/theme_5.pdf#)

<https://ameblo.jp/g-horibata/entry-12253471087.html>

<https://explanatorynotesest2019j.com/blogja/2019/05/04/>

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe1978/13/12/13\\_12\\_792/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jswe1978/13/12/13_12_792/_pdf)

<http://www.reika.co.jp/environment/pdf/ozon.pdf>

<https://www.mitsubishielectric.co.jp/society/ozonizer/technology/index.html>

# 地震計記録のデジタル化プロジェクト

～DigitSeis を使ったデジタル化作業～

研究者 田口晃 千原鋭思 宮澤克彰 八代昌樹 山田有純

指導教諭 大石超

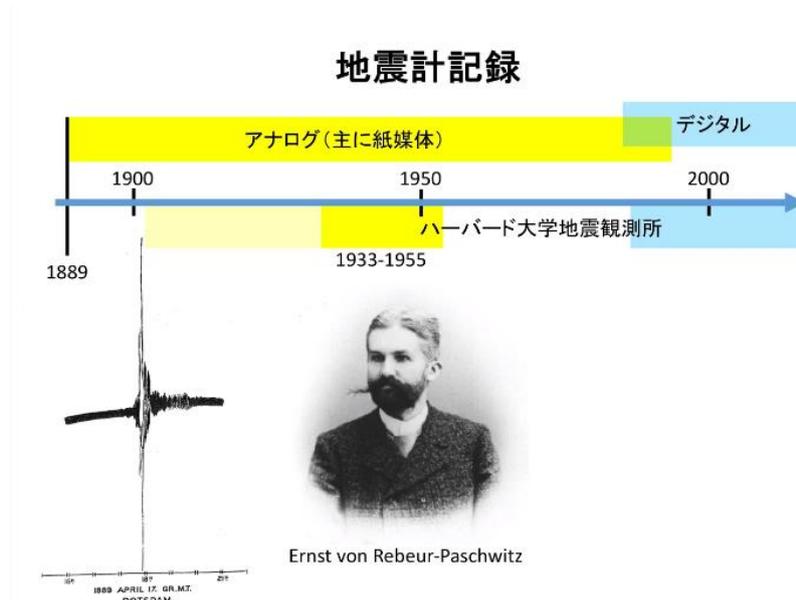
## 1. 参加目的

私たちは地震計記録デジタル化プロジェクトに参加している。このプロジェクトは、ハーバード大学で開発された DigitSeis ソフトウェアを使い、日本の高校生にアナログ地震計記録をデジタル化する作業を手伝ってもらおうというプロジェクトである。このプロジェクトによって、デジタル化された地震計記録は、地震学や自然科学へのデータ寄与による研究への貢献、まだ知られていない地震の発見、DigitSeis 一般使用に向けての改善への貢献など色々な場面で活躍する。私たちは今後の研究や社会に役立てればよいなと思いこのプロジェクトに参加した。

## 2. プロジェクトについて

1889年ドイツのポツダムにある地震観測所で働いていた Ernst von Rebeur-Paschwitz は、地震計記録にうねりがあることに気づき、その後、そのうねりの原因は日本で起きた地震による地震波であったことが確認された。これを、地震計によって観測された最初の地震とすれば、地震計記録の歴史は実に 100 年以上もあることになる。その記録のほとんどはアナログ式で、紙に書かれたものである。

そして、地震計がデジタル式になったのは 1980 年代の終わりから 1990 年代になってからのことだった。こうした理由からデジタル化しなければならない地震計記録が膨大にあるのだ。



石井先生方が地震計記録を 5 年かけてスキャンした画像ファイルはコンピューター上に保存されている。それをなぜソフトウェアを使ってデジタル化するかというと、研究に使うものはデジタルの時系列であるため、それでは使い物にならないからだ。

過去の地震計記録をデジタル化し、世界中の研究者が使えるデータベースを作ることがこのプロジェクトの目的である。

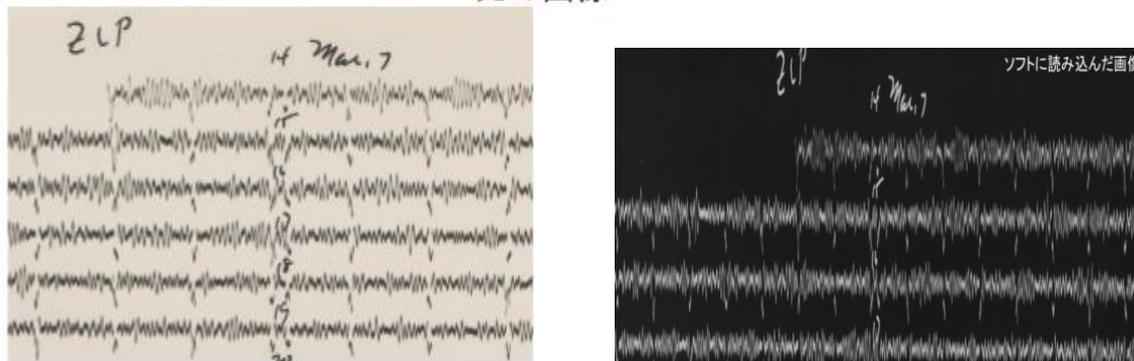
私たちがデジタル化作業をしているのは、ハーバード大学地震観測所で集められたデータである。

### 3. デジタル化

デジタル化にあたって、大まかな流れは1. 画像の読み込み 2. 分類 3. デジタル化 4. 時間の設定 という四つの段階がありますが、まず一つ目の画像の読み込みについて。

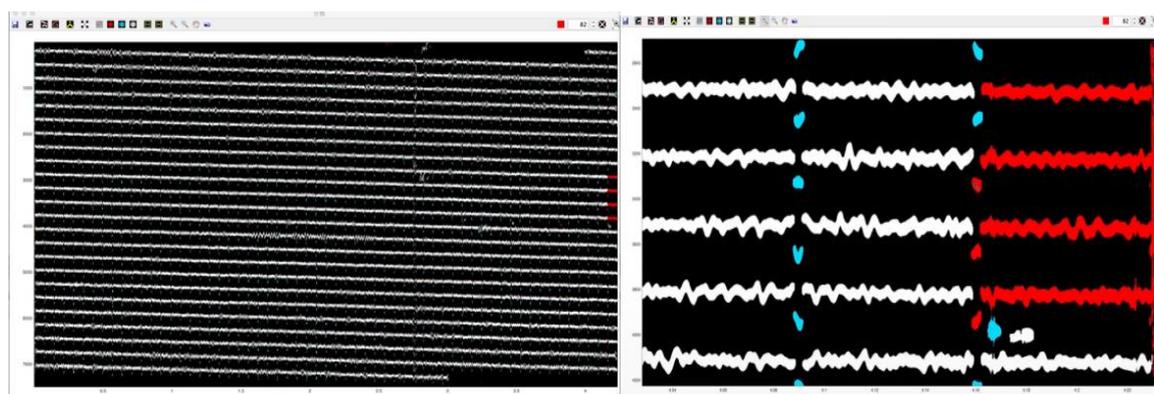
この作業はハーバード大学で保管しているアナログ地震計記録を数値に変更する作業である。この作業はコンピューターが画像を読み込むことによって自動で変換する。

元の画像



このように左がもとの紙媒体のアナログ地震計記録だが、ソフトで読み込むと、右の画像のように、元の画像を数値に変換したものになる。

次に分類について。分類とは言葉の通り、数値化した画像をもとに主線、分示線と時示線、 unnecessaryなもの、

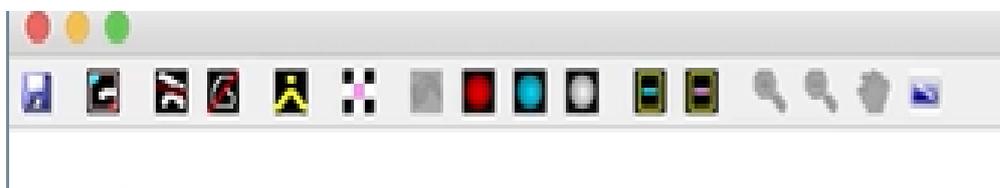


の三つに情報を分けるものである。

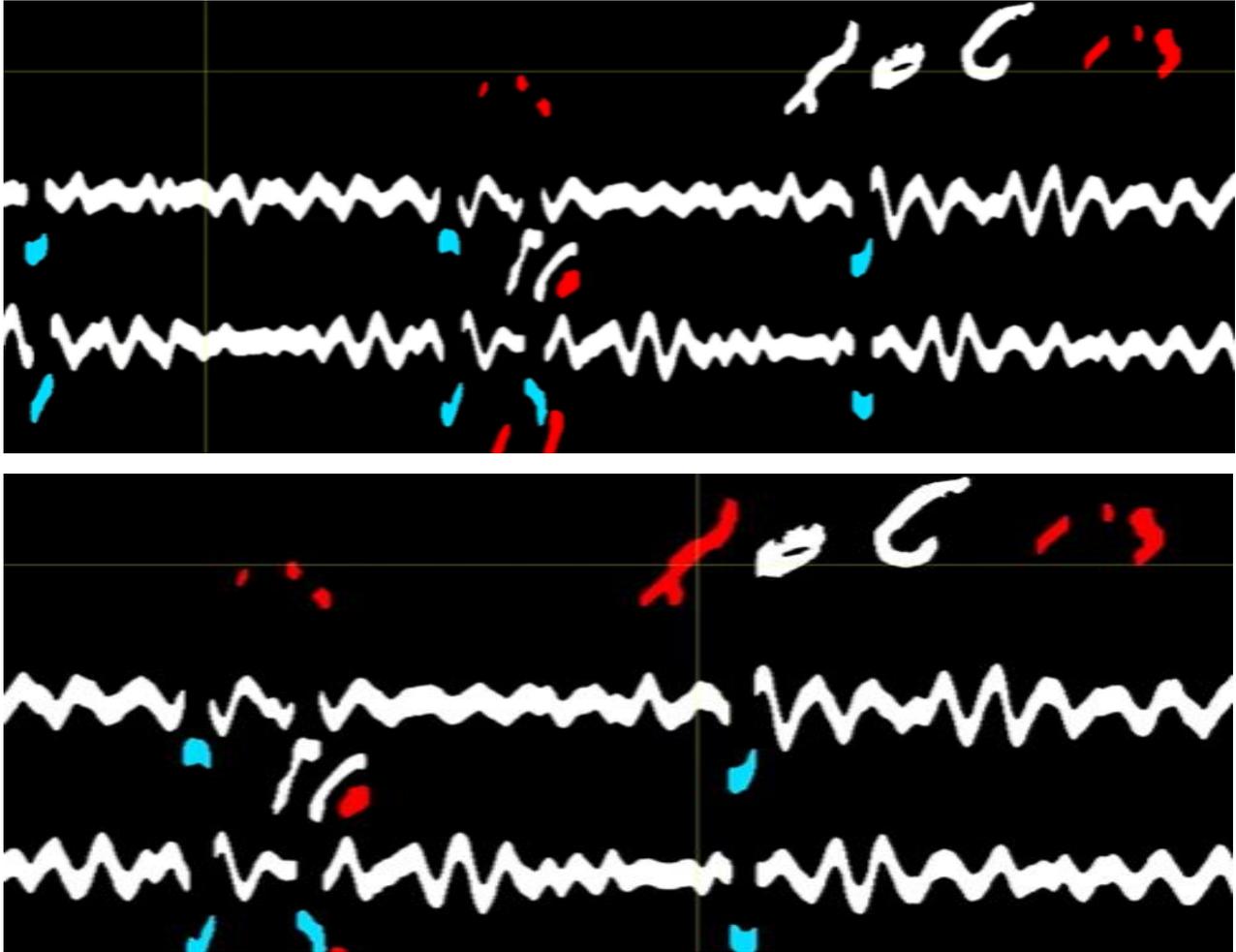
全体図

拡大図

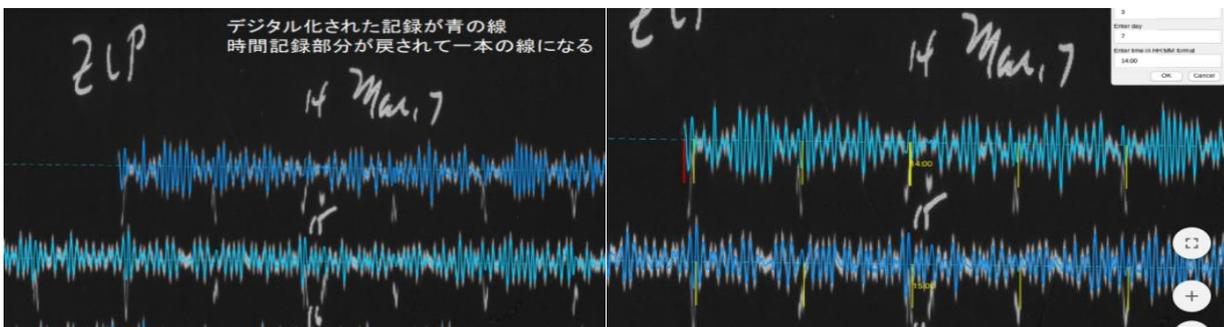
前の白黒の画像から、主線(白)、分示線と時示線(青)、 unnecessaryなもの(赤)と分類される。主線は地面の揺れを表しており、地面は常に少し動いていて線もそれに合わせ少し揺れていますが、地震が起きると、上下に大きく揺れ、そのゆれが大きいほど大きな地震ということになる。分示線と時示線は、それぞれの間が一分、一時間の短い線のことだ。この二つの線は後の時間の設定で役立つ。 unnecessaryのものは言葉の通りデジタル化にあたって必要のないデータである。日付や汚れなどが unnecessaryなものとして分類される。この作業はコンピューターが自動で行う。しかし、拡大図を見てわかるようにコンピューターの認識のミスや、うまく読み取れなかったものは人の手で適切な分類に直さないといけない。



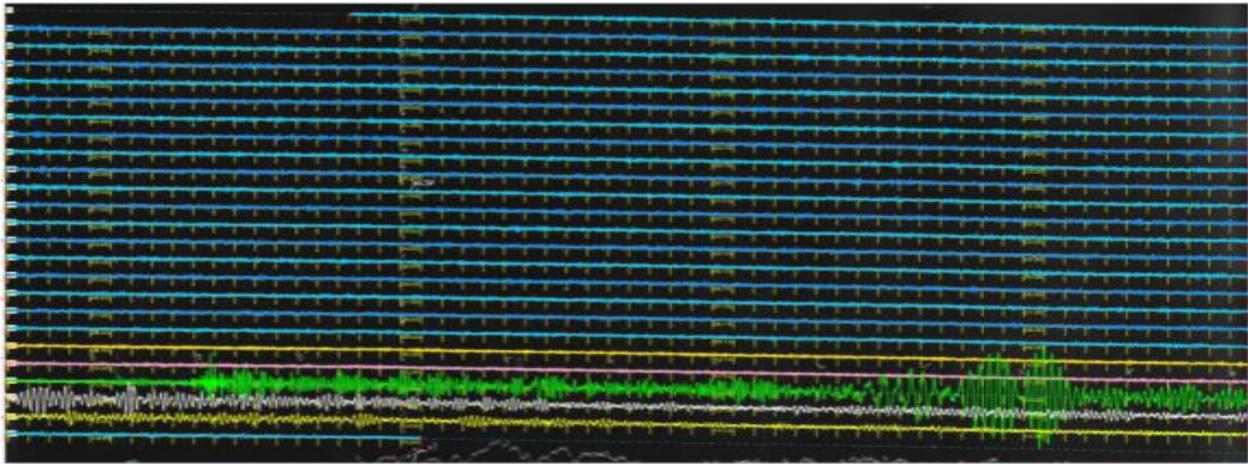
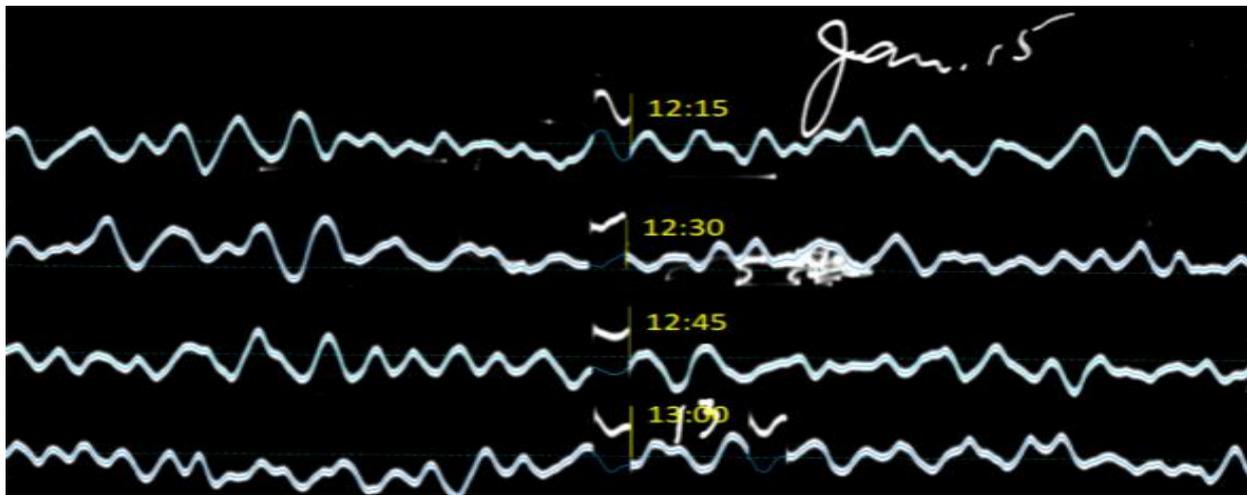
コンピューターが行った分類を手直するには、DigitSeis の機能を使う。上の図は、全体図の左上にあるボタンをかくだいたしたものだ。色分けを直したい場合は、中心にある赤、青、白、のボタンを使う。ほかのボタンは、線が重なっていたりして見えにくかったり、重なった線を別々に分類したい場合に使う。



赤、青、白どれかのボタンをおすと、黄色い十字が現れる。その十字の中心を直したい線の上において、クリックをすると、押したボタンの色と同じ色にその線が変わる。この作業を間違えている線を直すために行う。このデータをもとにデジタル化をするので、ミスがないように気を付けなければならない。デジタル化について説明。前の作業の分類をもとにして、主線の基準となる線を計算し、デジタル化をする。



このようにデジタル化すると地震がない主線が青色になる。揺れが大きく、ほかの主線と被ってしまう場合は、自動で色が変わられる。そして、時間の設定を行うと、分示線と時示線は黄色になる。



あとは最初の画像をもとに計測開始時の西暦、月、日にち、時間、のデータを入れれば、分示線と時示線をもとに自動でコンピューターが計測開始時から計測終了までの時間を判断する。完成した画像が下の図だ。今までの四工程をしっかりとやると、正しい地震計になる。このデータをハーバード大学の研究所に送り、様々な研究に役立ててもらおう。

# 微生物電池の作製

## ～シュワネラ菌の発電～

研究者：宮嶋 涼太、武田 紘佳、竹内 海輝

指導教諭：長山 耕己

### 1. 研究目的

私たちは、主に田んぼに生息し発電能力のある発電菌に注意した。発電菌は有機物を分解する際に細胞外に電子を放出する。これを直接電極に渡せば電池として働くはずだ。東京薬科大学より、シュワネラ菌(代表的な発電菌)をいただいた。しかし、発電能力を確認方法は複雑であると教えられた。そこで、簡単にこれを確認できる方法を探し出すことで、簡易な微生物電池の作製や、新しい有用発電菌の探索応用できるのではないかと考え研究を進めた。

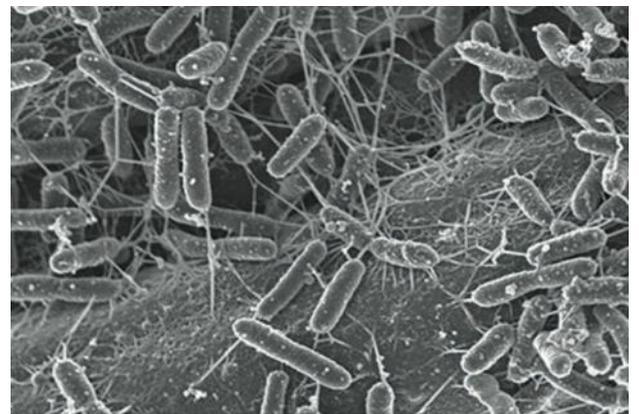
<シュワネラ菌とは>

1988年に世界で初めて発見された発電菌で、当初は金属に電子を渡す菌として紹介された。現在発電菌はおよそ20種確認されている。田んぼでは、稲が太陽光を浴びて光合成を行うと、酢酸などの有機物が根から放出される。その時、土中の微生物は生きるためのエネルギーを得るため、有機物を餌として取り込む。他の微生物はそれらを分解する際に発生する電子を体内の物質に渡すことで呼吸代謝を行っているが、シュワネラ菌の場合、それらの電子を体外に放出する。

ここ

で回路を形成し電子を回収することで、シュワネラ菌による

発電が可能になる。



[santa001.com/](http://santa001.com/)電流発電菌が電気を起こす微生物燃料電 - 2923

### 2. 研究の内容、方法

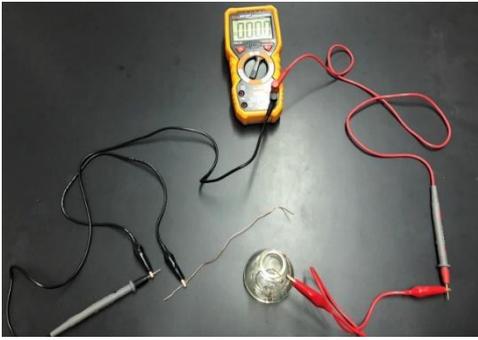
予備実験として、LB培地が電気を通すかどうか(電解質であるかどうか)調べるため、上記と同じように作った回路に1.5Vの単2アルカリ電池を2つつないで電圧を計測したところ、およそ3Vの値を示した。LB培地で培養したシュワネラ菌をビーカーに入れ、電極を刺し、回路の間にデジタルマルチメーターを挿入することで電圧を測定した。(LB培地は液体の状態のもの、電極は銅線を使用する)そのほかに、大腸菌や無菌のLB培地も同様にして

電圧を測定し、電圧の値を比較する。(電圧の値の変動が大きいので、最大の値と安定した値を記録する。)

	最大電圧[V]	安定電圧[V]
シュワネラ+LB培地	0.140	0.131
大腸菌+LB培地	0.056	0.048
LB培地のみ	0.043	0.042

図I (最大の電圧と安定したときの電圧) [V]

図II (測定時の様子)



図Ⅱ（測定時の様子）

その後、中間発表において電流と電圧の両方を計測したほうが良いという指摘をいただき、次のような計画を立案した。微生物電池のモデルを作製し LB 培地のみ、または同培地中で発電するはずのシュワネラ菌は発電しないはずの大腸菌を培養し、発電能力の違いを比較した。そして、シュワネラ菌が確かに発電していることが再現性をもって示せる方法を探索した。具体的には、培養中(30℃)の液体培地に直接電極を差し込む方法や、電極板(銅)の間に培養培地をしみ込ませた紙を挿しこむ方法などを試みた。

実験①まず、簡易電池の実験として有名な十円玉電池をモデルとし、図3のようにアルミホイルの上に十円玉を乗せ、その上にシュワネラ菌、培地、大腸菌を染み込ませたキッチンペーパーを乗せ、十円玉に電極を挟みキッチンペーパーの上から電極を押し当て、電流、電圧を測定しました。温度は室温を毎度記録し行いました。



図 3

実験②次に接地面積を大きくし、十円玉の凹凸や錆による誤差を減らすために十円玉の部分をよく磨いた銅板にして温度など、他の条件は同様に電流、電圧を測定しました。図 4

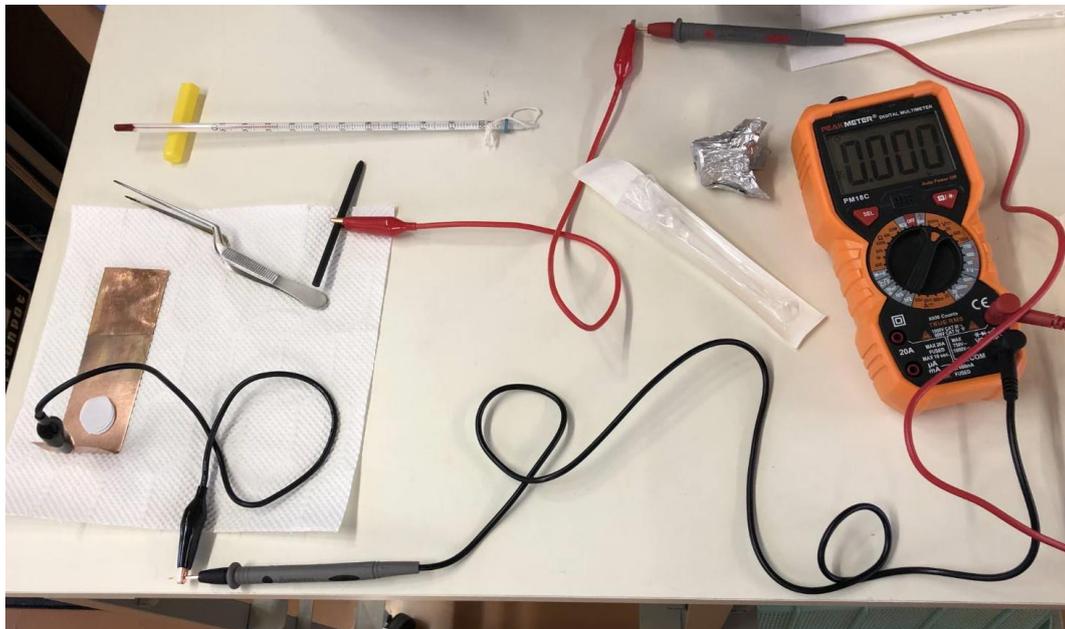


図 4 実験の様子

シュワネラ菌、培地、大腸菌はバイオシェイカーと呼ばれる培養器を使用し、培養した。

培養中とシュワネラ菌と大腸菌(図 5)と培養後のシュワネラ菌(左培養 24 時間、右培養 8 時間)(図 6)



図 5



図 6

### 3. 実験結果、考察

#### 実験①

	電圧の平均[V]	電流の平均[ $\mu$ A]	電力の平均[W]
シュワネラ菌+LB 培地	0.078	0.87	$6.79 \times 10^{-9}$
大腸菌+LB 培地	0.075	1.00	$7.50 \times 10^{-9}$
LB 培地のみ	0.070	0.76	$5.32 \times 10^{-9}$

なかなかシュワネラ菌、培地、大腸菌における電流、電圧の値に変化は見られなかった。また十円玉の表面が凸凹していることから設置面積の違いが出てしまっているのではないかと考察した。そして、十円玉は錆びているものもありそのさび具合でデータに誤差が出ていると考えた。そして、削った銅板を十円玉の代わりに使用すれば設置面積を増やせると共に錆などに違いがないのでデータが安定すると思った。

#### 実験②

##### 一回目

	電圧の平均[V]	電流の平均[m A]	電力の平均[W]
シュワネラ菌+LB 培地	0.511	0.217	$1.11 \times 10^{-3}$
大腸菌+LB 培地	0.179	0.190	$3.4 \times 10^{-4}$
LB 培地のみ	0.164	0.233	$3.8 \times 10^{-4}$

## 二回目

	電圧の平均[V]	電流の平均[mA]	電力の平均[W]
シュワネラ菌+LB 培地	0.226	0.309	$7.0 \times 10^{-4}$
大腸菌+LB 培地	0.238	0.210	$5.0 \times 10^{-4}$
LB 培地のみ	0.361	0.190	$6.9 \times 10^{-4}$

## 三回目

	電圧の平均[V]	電流の平均[mA]	電力の平均[W]
シュワネラ菌+LB 培地	0.300	0.193	$5.8 \times 10^{-4}$
大腸菌+LB 培地	0.216	0.153	$3.3 \times 10^{-4}$
LB 培地のみ	0.150	0.240	$3.6 \times 10^{-4}$

実験①よりも高い電圧、電流を得ることが出来た。そしてその値も比較的安定していた。やはりシュワネラ菌の値が高いのでこれは上手くシュワネラ菌の発電により放出された電子を電極が受け取れていると考えられる。しかし、日によって変動が多く、時には大腸菌や培地と似たような値になった日もあった。その原因に着いては温度や菌の培養時間などさまざまな原因が考えられたが究明することは出来なかった。

## 4. まとめ

電圧、電流ともに微生物電池のモデルとしては作製することが出来たが、ともに値が低く、電池としての実用化にはとても程遠い結果になってしまった。菌を含ませたキッチンペーパーの枚数を多くしたり設置面積を大きくすると電圧、電流ともに値が大きくなるという結果が得られたので今後は電極の銅板などを別の金属に置き換えたりして更に高い電力を持つ微生物電池を作製していきたいと考える。そして、やはり生物と言うこともあり日によって値にブレが大きかった。温度などの条件を変えて対照実験を行ったがあまり変化が見られなかったので室内環境によって値がどう変化するのも観察してみたい。

## 5. 参考、引用文献

1. 半永久的に持続する電源！？細菌が起こす発電 イノベーション|EMIRA  
<https://emira-t.jp/ace/4748/>
2. 発電する微生物で燃料電池をつくる 渡辺一哉氏  
[https://www.athome-academy.jp/archive/engineering\\_chemistry/0000001102\\_all.html](https://www.athome-academy.jp/archive/engineering_chemistry/0000001102_all.html)
3. 微生物から電気をおこせ！“発電菌”研究最前線：徒然なるままにその日暮らし  
<https://a2kturedur.exblog.jp/25557908/>
4. [santa001.com/](http://santa001.com/)電流発電菌が電気を起こす微生物燃料電 - 2923
5. 10円玉と1円玉で電池を作る方法  
<https://selfshot-digi.com/?p=2495>
6. 何でもDIY ボルタ電池を作ってみる  
[http://www.rakutaku.com/diy/bolta\\_battery/bolta\\_battery.html](http://www.rakutaku.com/diy/bolta_battery/bolta_battery.html)

# 微細藻の接合子について

～接合子の耐久性を探る～

研究者 片桐朋哉 石井溪 高橋健吾 堀内俊吾  
指導教諭 轟和久

## 1. 研究概要及び目的

微細藻とは藻類の中でも観察に顕微鏡が必要な微細な藻類の総称である。私たちは微細藻の一部の種類が作る接合子について興味を持ち研究を始めた。研究の概要は以下の通り。

- 1) 微細藻が接合子になる条件を探る。
- 2) 接合子がどこまでの環境に耐えられるのか実験する。
- 3) 接合子から元の状態に戻る条件を探る。

## 2. 研究内容・研究方法

研究の具体的な手順としては

- ① 微細藻を入手し、安定的な培養を目指す。
  - ② 加熱、冷凍、乾燥などの環境に対象を置き、接合子が形成されるか実験する。
  - ③ 接合子が形成された場合は、培養している環境に戻し元の状態に戻るか観察する。接合子が形成されない場合は条件を変えて再度実験。
  - ④ 実験によって得られたデータを基に考察する。
- の4手順である。

まず最初に私たちが研究対象としたミカヅキモと、ボルボックスについて解説したいと思う。

- ミカヅキモ (学名 Closterium SP)  
ミカヅキモは微細な“藻”である微細藻の1種であるが、数百 $\mu\text{m}$ とその中でも大型の部類で低倍率の顕微鏡やルーペ、などでも観察できる。流れの穏やかな川や池、田んぼなどに生息し移動速度はかなり遅い。水質汚染の指標生物としても知られている。ミカヅキモの生存に必要な水や養分が得られない厳しい環境下ではミカヅキモが何体か集まって接合子を形成し休眠状態に入る。
- ボルボックス (学名 Volvox V. carteri)  
数百 $\mu\text{m}$ の球形の微細藻で水のきれいな田んぼ、池などで見られる。春から夏は無性生殖で増え、環境が厳しくなると有性生殖を行う。さらに環境が厳しくなると接合子を形成し冬を越す。



【図1】ミカヅキモ



【図2】ボルボックス

外側の透明な殻のようなものは数千個の体細胞から形成されており内部は中空である。その中に緑色の生殖細胞が何個か入っている。“*Volvox*” という名前はラテン語で『回転する』を意味する“*Volvo*” に由来し、その名の通り丸い体を活かして回転しながら移動する。

- 接合子

微細藻の一部が作るもので、窒素源や乾燥状態など、微細藻が生き抜くのが厳しい環境に置かれたときに形成するもの。例として、田んぼの水が抜かれた際などにこの状態になる。

微細藻は水や養分が無くても接合子の状態なら生き抜くことができる。そして春になり水と養分が得られるようになると分裂し元の状態に戻る。

まず①を達成するために、近くの田んぼから水を採取し、ミカヅキモを探した。その結果何か所かの田んぼからミカヅキモが採取できた。この際、何か所かミカヅキモが採取できなかった田んぼがあり、それらの田んぼとミカヅキモを採取できた田んぼの水質を簡易検査キットで調べてみたがいけない原因は特定できなかった。

それら約 10 匹をペットボトルの天然水を培地として試験管で培養を試みた。しかし、1 週間後、試験管には苔のような緑色の物体[**図 3**]が確認されたが、ミカヅキモや接合子は確認出来なかった。その後ミカヅキモの数を 20 匹程度に増やして培地を液体肥料(花工場)0.01%に変更して再度培養を試みた。しかし 1 週間後には 1 匹に減り、2 週間後には完全にいなくなっていた。ミカヅキモが増えなかった原因として



[**図 3**] 苔のような緑色の物体が確認された

- ◆ 培地
- ◆ 培養する場所や気温
- ◆ 絶対数の不足
- ◆ 水が新鮮でなくなっていた

の 4 点が考えられる。これらの条件を調べるため、同じ微細藻で接合子を形成し学校で豊富に培養していたボルボックスを使って比較実験を行った。

まず、培地を水道水、天然水、液体肥料(花工場)0.01%の 3 種類を用意した。そこに 3ml 分のボルボックスをスポイトで入れた。場所はミカヅキモの時と変えずに行った。その 2 週間後の様子が右の[**図 4**]である。

左から花工場、天然水、水道水の順である。左に行くほど、水が緑がっているのがわかる。



[**図 4**] 2 週間後の試験管の様子

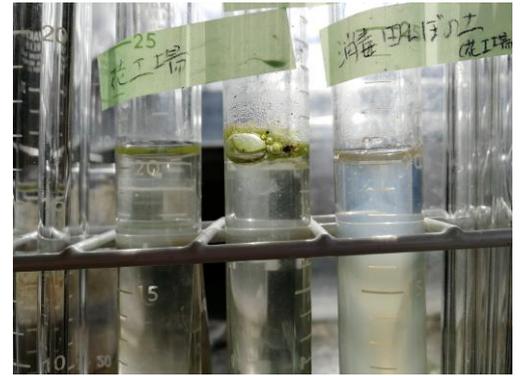
実際ボルボックスの数は花工場が一番多く、水道水ではほとんどボルボックスは確認できなくなっていた。天然水については花工場ほどではないが、ボルボックスが増えているのがわかった。

以上のことから、天然水でも十分に培養が可能であること、場所や気温、水質についても培養が可能な環境であることが分かった。よって、ミカヅキモの培養が成功しなかった原因は絶対数の不足にあると考えられる。原因が分かったところでミカヅキモの培養を再開したいところだが、この実験を行ったのがもうすでに田んぼから水が抜かれておりミカヅキモの入手が困難な状況に陥った。そこでこの実験に使用したボルボックスに対象を移し研究を続けた。また、培養には液体肥料 0.01%が適していることが分かったので今後の培養には液体肥料 0.01%を使うこととした。

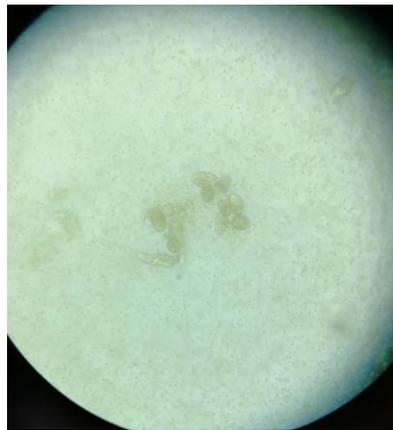
次にボルボックスの生存に土壌の影響がどれほどあるのかを調べた。田んぼから土を採取し、そのままのものと煮沸して菌や微生物を殺したのも 2 種類の培地を用意した。これはボルボックスの増殖に土が関係しているのか、それとも土壌中の微生物が関係しているのかを調べるためである。培養液はいずれも液体肥料 0.01%を使い比較のために液体肥料 0.01%のみの試験管も用意した。その結果が[図 5]である。左から液体肥料 0.01%、ただの田んぼの土、煮沸して微生物を殺した田んぼの土である。ボルボックスの数は液体肥料 0.01%が一番少なく、田んぼの土と、煮沸した田んぼの土では大きな違いは見られなかった。しかし、水面の緑色の苔はただの田んぼの土が一番多く出ていた。この結果から土壌中の微生物はボルボックスの増殖にあまり影響がないのではないかと考えることができる。

ボルボックスは学校で既に数本の試験管で安定的に培養がなされておりすぐに②の段階に入ることができた。②の前段階として接合子の状態にしなければならない。そこで、放置してボルボックスがいなくなった試験管のそ

こにたまっていた緑色の苔のようなものを調べたところ、ボルボックスの接合子と思われるものを発見した。[図 6]この緑色の物体のみを取り出し、それぞれ 50℃、60℃に加熱したもの、冷凍庫で冷凍したもの[図 7]、スライドガラスで乾燥させたもの[図 8]



[図 5] 左から花工場、田んぼの土、煮沸した田んぼの土



[図 6] ボルボックスの接合子と思われるもの



[図 7] 冷凍ボルボックス



[図 8] 乾燥ボルボックス



[図 9] [図 8]を顕微鏡で観察したもの

【図 9】。それらを培養液に浸し、接合子の状態から元の状態に戻るか観察した。水を新鮮に保つため、毎週水を半分ほど変えた。またその際ボルボックスが浮遊している可能性があるため表層の水は避けるよう注意した。また数日後、50℃に加熱したものと60℃に加熱したものでは、60℃に加熱したものの方が試験管の下にたまる苔が少なくなった。ここから、微生物は温度が高いところが苦手であることが分かる。

通常、接合子は1か月ほどで発芽し元に戻るが、1か月たっても試験管内にボルボックスは確認できなかった。また、結果を比較するため何も手を加えていない緑色の物体も培養液につけたがそれも発芽しなかった。原因として考えられるのは、

- ◆ 水温がボルボックスの発芽に適していない。
- ◆ 水質が適さない。
- ◆ 日照時間が短い。

の3点があげられるが、今現在も原因の特定には至っていない。

### 3. まとめ

そんな中でも成果として挙げられるのは、

- ① 微細藻に最適な培養液を見つけることができたこと。
- ② ボルボックスと土壌の関係性をわずかながら調べることができたこと。
- ③ ボルボックスの接合子を発見し耐久実験を行うところまでは行けたこと。

これらが挙げられる。またまだ検証が必要な点については、

- ① ボルボックスを培養していた時には試験管の下にたまっていた苔のようなものの中に接合子があったのにミカヅキモの際はなぜ完全にいなくなってしまったのか。
- ② ①と関連して接合子が形成される正確な条件。
- ③ 接合子が発芽しなかった原因。
- ④ 本筋とは関係ないが、ミカヅキモがいる田んぼといない田んぼの違い。

以上4点である。

当初は、微細藻の接合子の耐久実験を行おうとこの研究を始めたが、想定の甘さ、知識のなさが各所に出てしまいうまく研究を進めることができなかった。そこは大きな反省点である。しかし、一連の研究から自分たちで目的をもって工夫しながら探究することはできたと思う。この研究で得た数多くの失敗や、経験を将来に生かしていきたいと思う。

最後に顧問の轟先生、実験などでお世話になった生物研究室の先生方、本当にありがとうございました。この場を借りて御礼申し上げます。

### 4. 参考文献

- 土金勇樹(2015) ミカヅキモ属における接合様式の多様性 -日本藻類学会-
- 土金勇樹(2017) ミカヅキモの有性生殖・生殖隔離・生殖様式 -日本植物学会-
- ミカヅキモの培養法 <http://mikamilab.miyakyo-u.ac.jp/Microbio-World/siiku/mikazuki.htm>
- ボルボックスの世界 - 国立博物館 -  
[https://www.kahaku.go.jp/special/past/bisyoso/ipix/mo/3/3\\_1.html](https://www.kahaku.go.jp/special/past/bisyoso/ipix/mo/3/3_1.html)
- ミカヅキモ 出典：フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9F%E3%82%AB%E3%83%85%E3%82%AD%E3%83%A2>
- ボルボックス 出典：フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9C%E3%83%AB%E3%83%9C%E3%83%83%E3%82%>

# 日本人はなぜ長生き？

～統計の視点から他国との相違点を探る～

研究者 津端あかり 池田ちはる 原山夢花 丸山柚月  
指導教諭 勝山忠仁 宮沢悠太

## 1. 研究概要および目的

私たちは、日本の平均寿命が諸外国と比べ長いことに興味を持ち、どのような事柄と平均寿命が長いことが関係しているのか考えた。まず各国の平均寿命と各国の BMI との関係調べたところ、日本は世界の傾向とは異なり、肥満である人の割合が低いにも関わらず平均寿命が長いことが明らかになった。そこで、日本の平均寿命が長いことと関係している BMI 以外の事柄は何かと不思議に思い、研究目的とした。

## 2. 研究内容・研究方法

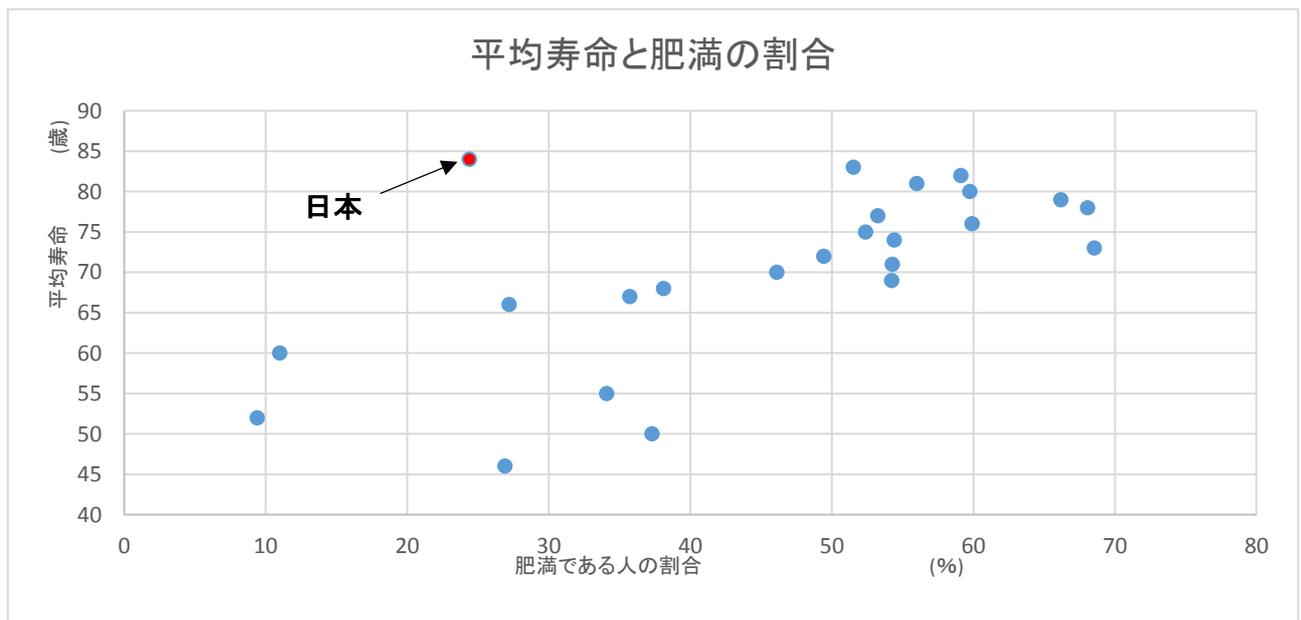
日本の平均寿命と様々な事柄との関係を調べることによって探る。

- 1) 平均寿命と肥満との関係
- 2) 平均寿命と人口 1000 人当たりの医師数との関係
- 3) 平均寿命と年平均労働時間との関係
- 4) 平均寿命と摂取栄養素との関係
- 5) 平均寿命と 1 人あたりの総医療費との関係

## 3. 調査結果・考察

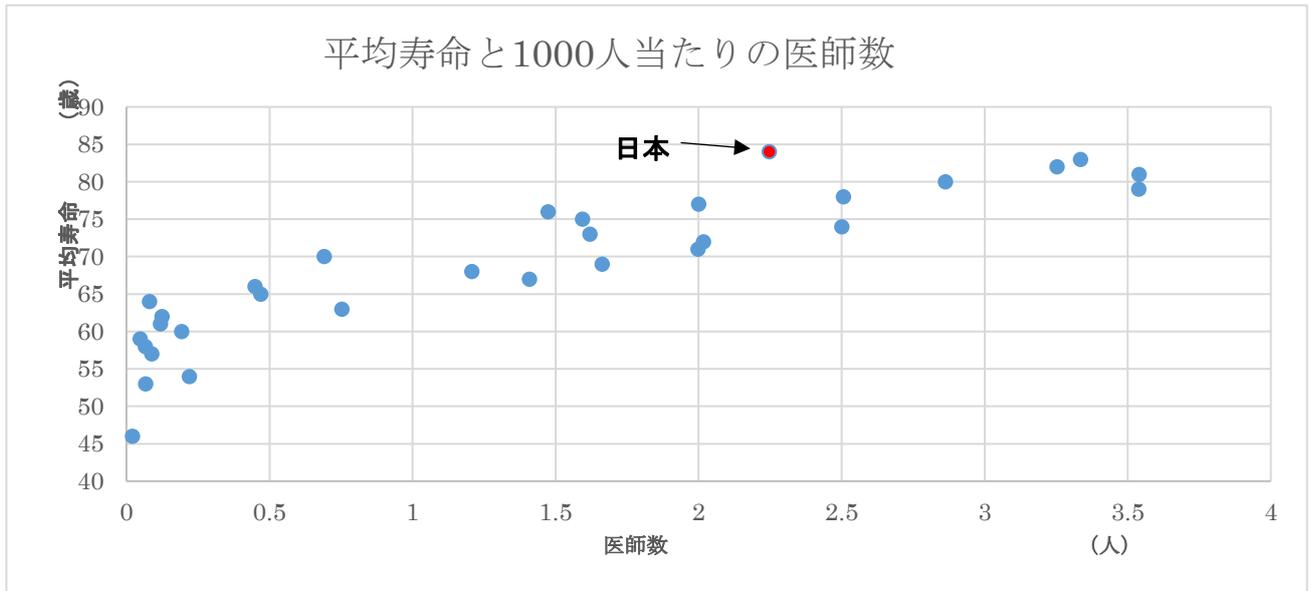
### 1) 平均寿命と肥満との関係

肥満…脂肪組織に脂肪が過剰に蓄積した状態で、体格指数(BMI = 体重 [kg] / 身長<sup>2</sup> [m]  $\geq 25$ )のもの



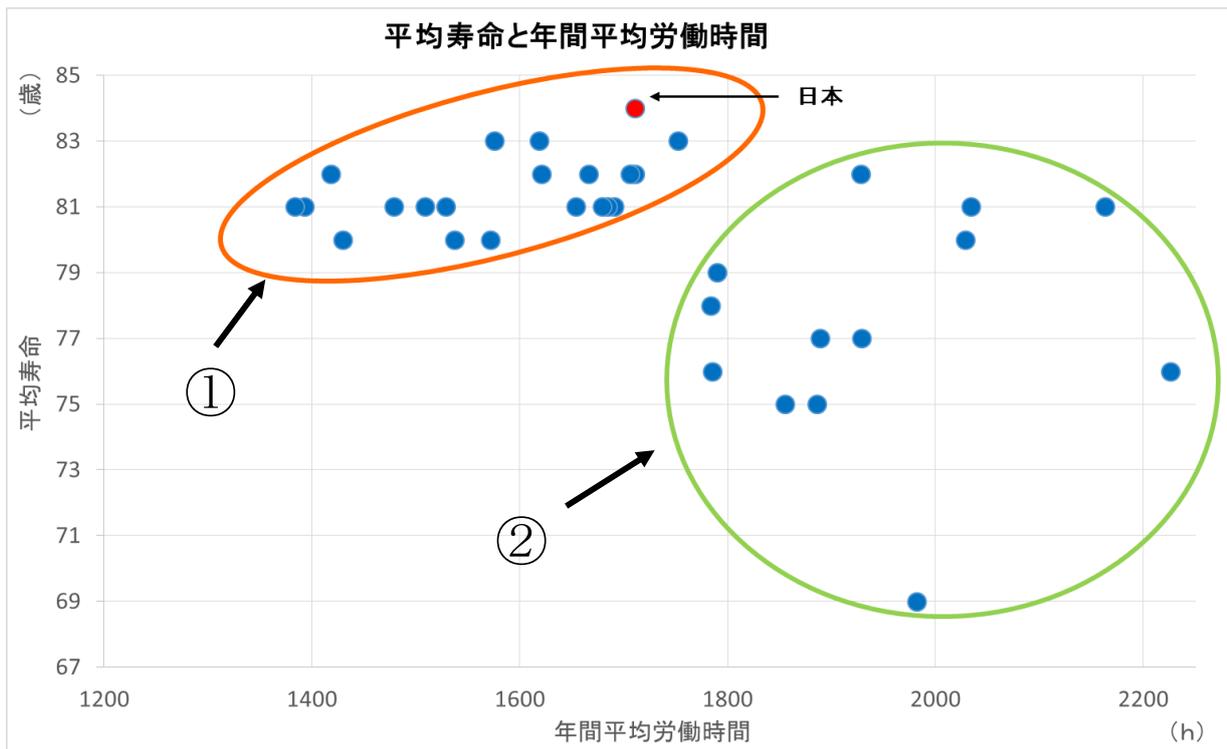
- ・グラフ全体では、肥満である人の割合が高い国々ほど平均寿命が高いことが読み取れる。  
→しかし、日本は肥満である人の割合が低いにも関わらず平均寿命が長い。

2) 平均寿命と人口 1000 人当たりの医師数との関係



- ・ 全体的な傾向として、医師数が多い国々は平均寿命も比較的長いことがわかる。
- 日本も医師数が多いので平均寿命が長い。

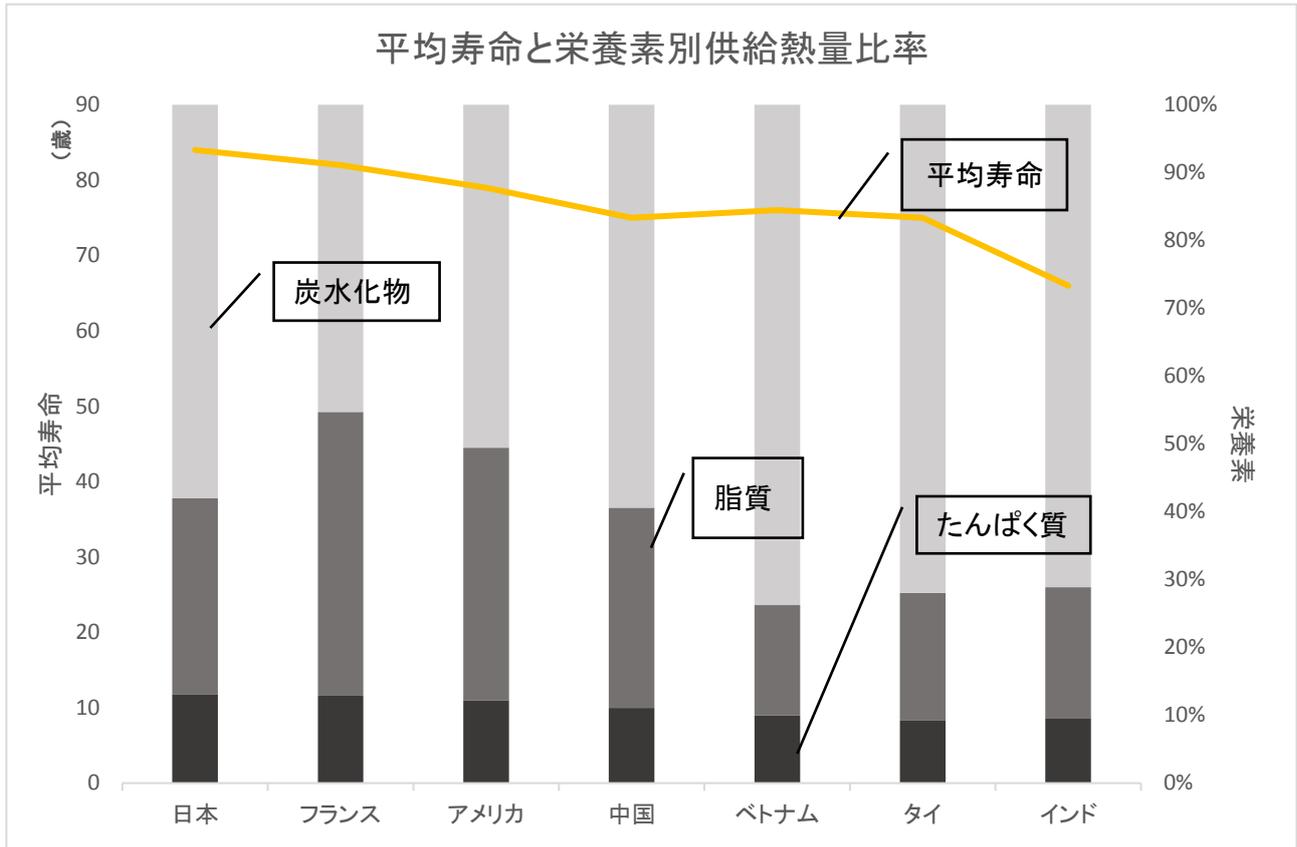
3) 平均寿命と年平均労働時間との関係



\* 年間平均労働時間には、残業時間は含まれていない。

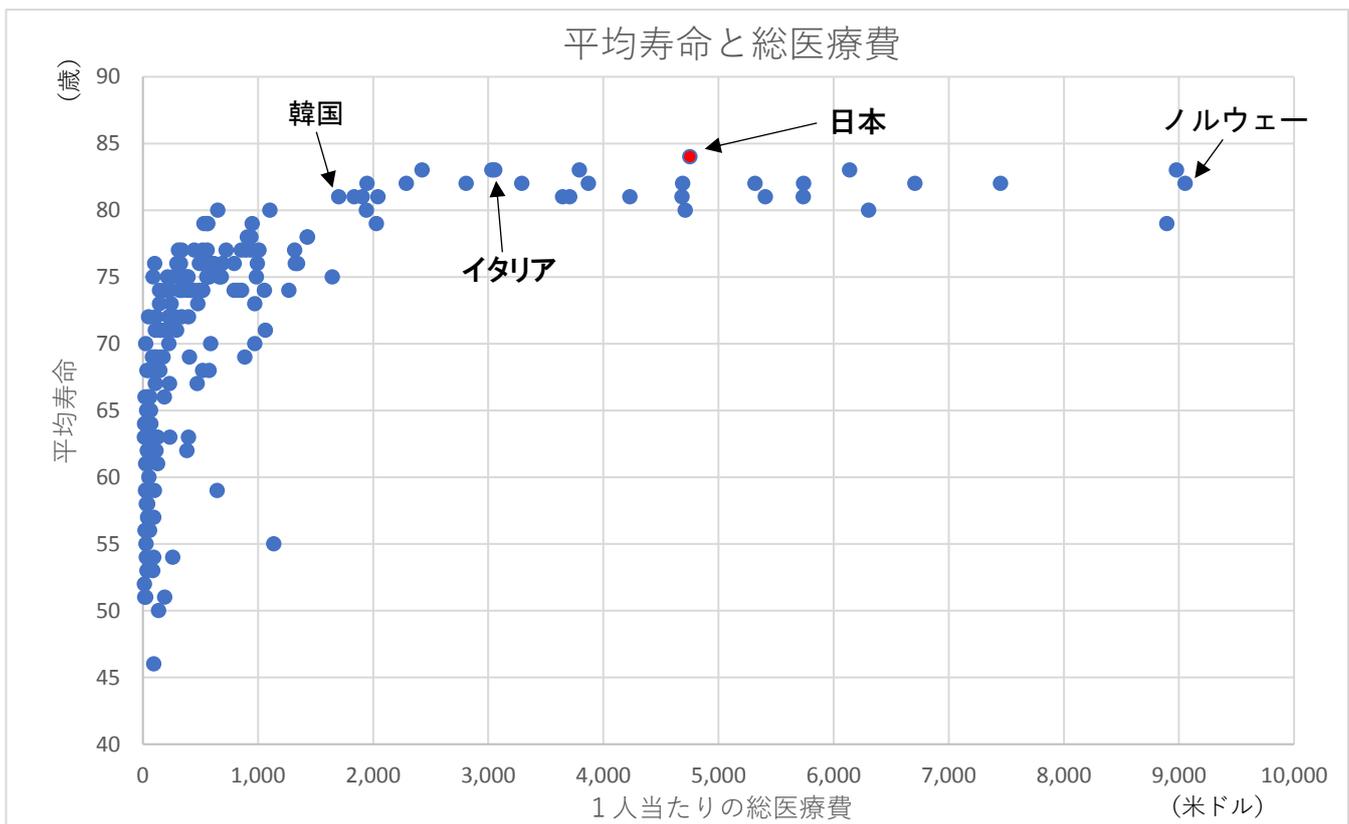
- ・ ①の集団・・・年間平均労働時間が短く平均寿命が長い
- ・ ②の集団・・・年間平均労働時間が長く平均寿命が短い
- ・ 日本は②の集団に属している→平均寿命が長いことは年間平均労働時間が短いからだといえる。

#### 4) 平均寿命と摂取栄養素との関係



- ・日本は中国と栄養バランスが似ているように見えるが、平均寿命は異なる。
- ・ベトナム、タイ、インドは、栄養バランスは似ているものの平均寿命には差がある。  
→しかし、栄養バランスは似ているものの平均寿命には差がある。
- ・上記の7ヶ国では栄養素の偏りなどによる関係性は見られなかった。  
→世界各国の傾向も栄養素と平均寿命に直接的な関係は無いのではないか。

#### 5) 平均寿命と総医療費との関係



- ・平均寿命の値が似ていても、総医療費の値にはばらつきがある。  
→医療システムの違いだと考えられる。

例) 日本	平均寿命 84 歳	総医療費 4,752 ドル
イタリア	83 歳	3,033 ドル
ノルウェー	82 歳	9,055 ドル
韓国	81 歳	1,703 ドル

#### 4. まとめ

	肥満の割合	医師数	年間平均労働時間	栄養素割合	総医療費
日本と各国 の関係	異なる傾向 →日本は肥満で ある人の割合が 低い、平均寿 命が長い。	似た傾向 →医師数が多 い国は、平均寿 命が長い。	似た傾向 →平均労働時間 が短いほど、平均寿命 が長い。	似た傾向 →栄養素の割合と 平均寿命との関係 は見られない。	平均寿命の値が 近くても、医療 費に散らばりが あるため傾向は 見られない。

#### 5. 参考資料

- ・平均寿命(2012 年)  
<http://top10.sakura.ne.jp/WHO-WHOSIS-000002R.html>  
<http://top10.sakura.ne.jp/WHO-WHOSIS-000010R.html>
- ・年間平均労働時間(2012 年)  
<http://top10.sakura.ne.jp/OECD-HOURSWKD-T1.html>
- ・栄養素別供給熱量比率(日本 2005 年 その他 2003 年)  
[http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w\\_maff/h18\\_h/trend/1/t1\\_1\\_3\\_01.html](http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h18_h/trend/1/t1_1_3_01.html)
- ・総医療費(2012 年)  
<http://top10.sakura.ne.jp/WHO-WHS7-156.html>
- ・世界・人口 1 千人あたりの医師数(2010 年)  
<http://top10.sakura.ne.jp/IBRD-SH-MED-PHYS-ZS.html>

# 羽根のない風力発電機をつくる

～身近なものを使った新しいエネルギーの開発～

研究者：池田壮太 大室勇人 川尻和果 傳田陽央

指導教諭：福島哲夫

## 1. 研究内容

現在の風力発電にはメンテナンスに高額のコストが掛かり、発電機の羽根に鳥が当たってしまう危険があることなどさまざまな問題点がある。それらの問題を解決する方法の一つとして羽根のない風力発電がある。羽根のない風力発電を身の回りにあるもので作り、実際に使える電力を作り出せるようにする。

## 2. 研究方法

身近なものを用いて発電機を製作し、扇風機の風を当て発電量を測定した。

### 1) 発電機の仕組み

実際に羽根のない風力発電機を製作している会社を参考にした。

円柱形のマストに風が当たることで風向と垂直方向、水平に振動が発生する。振動方向に磁石をつけ、電磁誘導により発電する。図1の通りである。

### 2) 材料

- ・ペットボトル（マスト）
- ・支柱
- ・段ボール（土台）
- ・輪ゴム（制御装置の代用）
- ・磁石（ネオジム磁石）
- ・コイル（千回巻き）

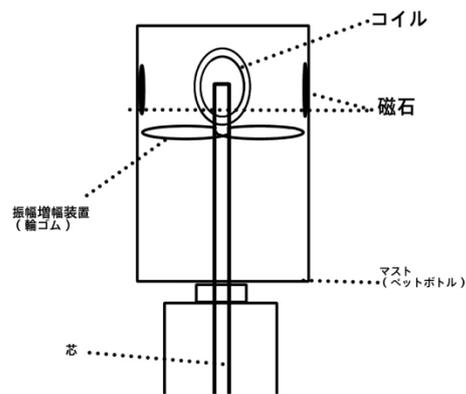


図1

### 3) 制御装置について

制御装置がないと揺れが発生してもペットボトルが元に戻ってくることができない。一度左右のどちらかへ動いたペットボトルを制御装置の力で動いた方と逆向きへ押し戻す。今回は制御装置にゴムを用いて、支柱とペットボトルをゴムで結びつけることで揺れが持続するように制御した。

4) 実験の概要 (半径はコイルと同じ高さの内径の半径とする)

- ① ペットボトルの形状 {500ml 横溝有り (半径 3 cm)、500ml 溝なし (半径 3.3 cm)、2L 溝なし (半径 5.3 cm)} それぞれ A,B,C とする。→写真 1



(写真 1) 2L 溝なし 500ml 溝有り 500ml 溝なし

- ② コイルと磁石の距離…磁石を重ねてコイルとの距離を縮めた。
- ③ ゴムの本数…ゴムを 2 本にすることで全方向の振動に対応できるようにした。→写真 2、写真 3



写真 2  
溝なし (ゴム一本)



写真 3  
溝なし (ゴム 2 本)

以上の 3 点を変え実験を行った。

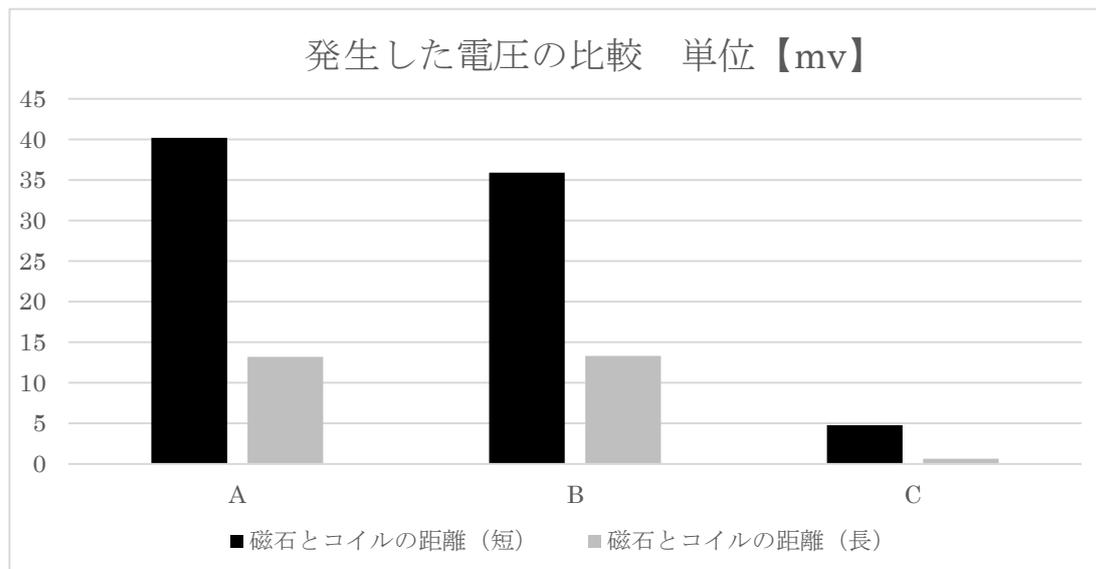
### 3. 実験結果

以下の表 1 は、磁石とコイルの距離とマストの形状による実験の結果をまとめたものである。

表 1 単位【mv】

磁石とコイルの距離	A	B	C
短	40.2	35.9	4.76
長	13.2	13.3	0.667

磁石とコイルの距離は A(短)1.8 cm、A(長)2.1 cm、B(短)2.1 cm、B(長)2.4 cm、C(短)4.1 cm、C(長)4.4 cm

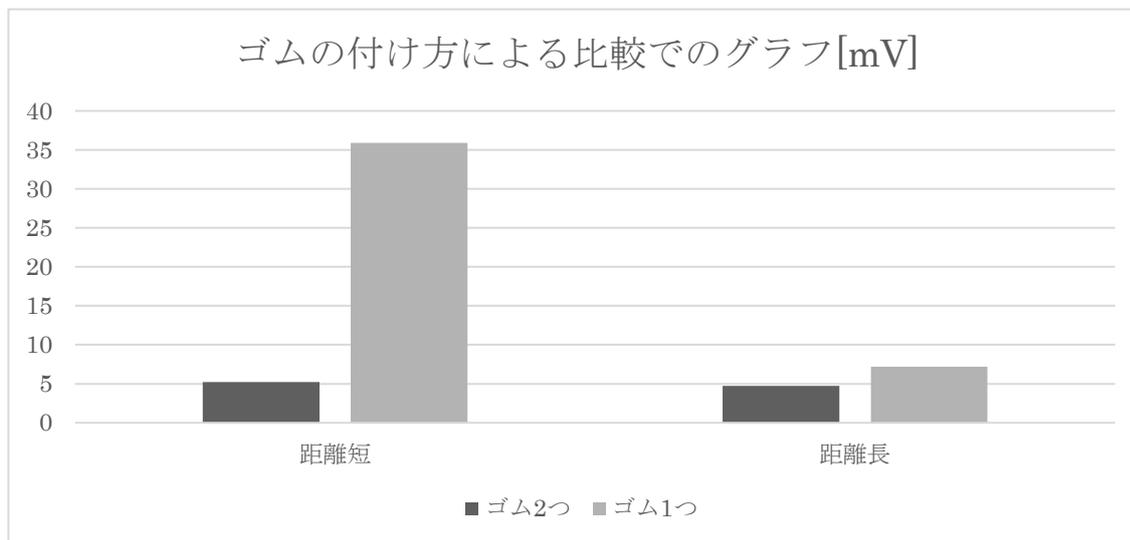


グラフ 1

- ・磁石とコイルの距離が短いほうが電圧は大きくなり磁石とコイルの距離が長いほうが小さくなった。
- ・A は、この中でもっとも大きい電圧を出すことができた。
- ・B は A ほどではなかったが、C よりは大きい電圧を発生させることができた。
- ・C はもっとも電圧が低くなった。

B を 360 度対応させたものの実験結果 [mV]

距離	ゴム2つ	ゴム1つ
短	5.24	35.9
長	4.75	7.21



グラフ 2

#### 4. 考察

Cは一番電圧が低くなってしまった。これは磁石をペットボトルの壁面に貼り付けるため、コイルから磁石までの距離が大きくなってしまったことが磁場を弱くしてしまったと考えられる。風を受ける面積が一番大きいことから揺れは大きくなっていた。今後コイルと磁石の距離を短くすれば、大きな電圧を得られると思う。

Aは今回の実験ではもっとも値が大きくなったが、これはペットボトルの溝のある構造がBよりも風を受けるのに適した構造であったと考えられる。AはBよりも電圧が大きくなった。

③の実験ではゴムを2本にしたときにゴムの張りが強すぎてうまく振動しなかった。

#### 5. 今後の展望

今回は扇風機を正面から当てることで風を発生させているので、一方向からの風の実験となった。しかし、自然界は360度いろいろな方向から風が吹くため、制御装置を全方位対応にしておく必要がある。今回ゴムをつけることで解決を試みたが、なかなかペットボトルが揺れずあまり発電できない結果となってしまった。ゴムのばね定数を小さいものにして、張り方を変える必要がある。ペットボトルより材料を使い、重さにより重さにより発電を阻害しない振動が大きく、かつ制御できる構造を作ることができれば実用化に一步近づくかもしれない。

#### 6. 参考文献

<https://vortexbladeless.com/>

# 色素増感型電池の可能性

～実用化に向けて～

研究者：宮本未龍 小林透也 宮澤龍生

指導教諭：柳澤克央

## 1. 研究目的

次世代の太陽電池として、いち早く実用化が期待されている色素増感型太陽電池について、いまだ解明に至っていない基本的な外乱の一つを研究したいと思いました。またその関係性を調べたいと思い、結果から実用化に向けて何かわかるのではないかと考えたので実験を行いました。

## 2. 研究方法

簡易型色素増感型太陽電池を作成し、先行研究を基に暗所でプロジェクターの光を照射した。(図1) その際に

- 1、 常温の場合 (約30℃)
- 2、 温度が高い場合 (約50℃)
- 3、 温度が低い場合 (約10℃)

という三つの場合に分けて実験を行った。

温度は、実験装置の周辺を放射温度計で測定したものをいい、デジタルマルチメーターで測定した起電力で各場合を比較した。

### ・実験① 温度ごとの起電力の比較

手順

- ① 簡易型色素増感型電池を作る。
- ② 電池と光源の距離を7cmに保つ。
- ③ 黄緑色の光を照射する。
- ④ 温度を変えた場合に発電量がどのように変化するか確かめる。

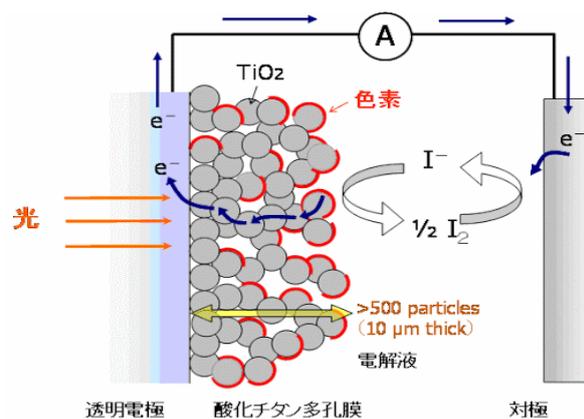


図1 電池の構造

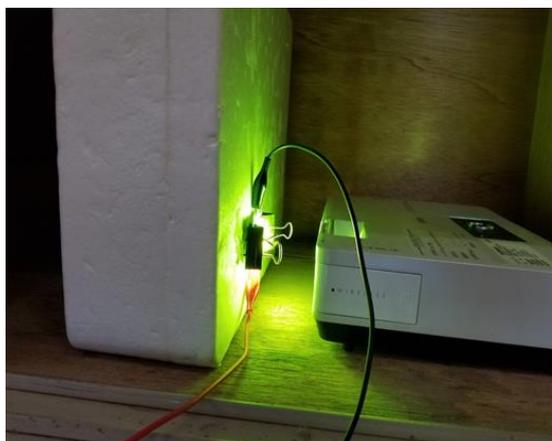


写真1 実験装置①

・実験結果

温度[°C] (電池周辺)	起電力[V]
30	0.22
50	0.41
10	0.44

表1 各温度による最大発電量

温度が高い場合（電池周辺温度 約50°C）は明らかに発電力が低下したが、常温（電池周辺 約30°C）と温度が低い場合（電池周辺 約10°C）にははっきりとした違いが見られなかった。そこで続けて、この2つの場合について一定の発電量の持続時間を比較するため、実験②を行った。

・実験② 常温の場合と温度が低い場合での発電量を2分ごとに記録する。

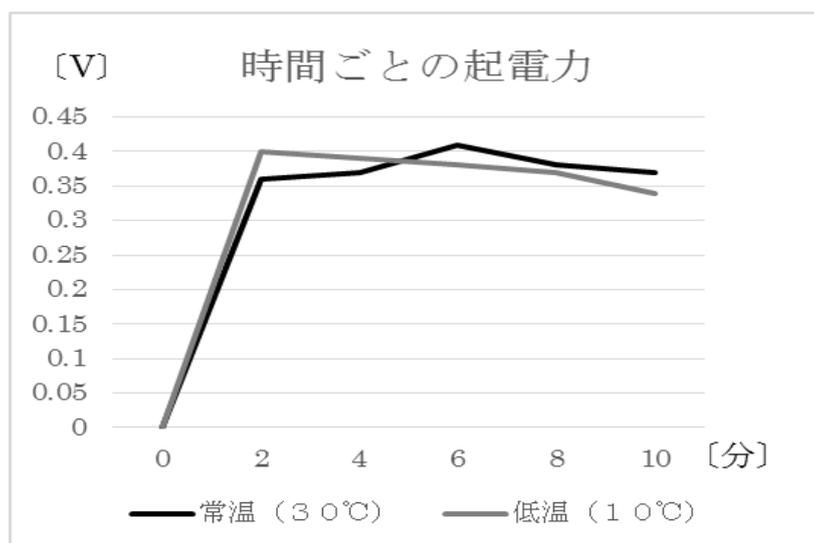


図2 時間ごとの起電力

グラフを見ると、常温でも低温でもほぼ一定の起電力の持続時間は同じであることがわかる。これはプロジェクターから発せられる熱が影響しているのではないかと考え、次の実験③を行った。

・実験③ 最大起電力時からの電池の持続時間

光源であるプロジェクターの熱が電池に影響しないように、保温に適した発泡スチロールの箱の中に置き、暗所で光を照射した。



写真2 寒剤

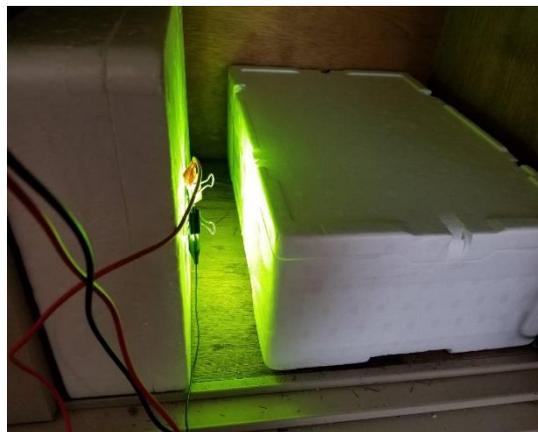


写真3 実験装置②

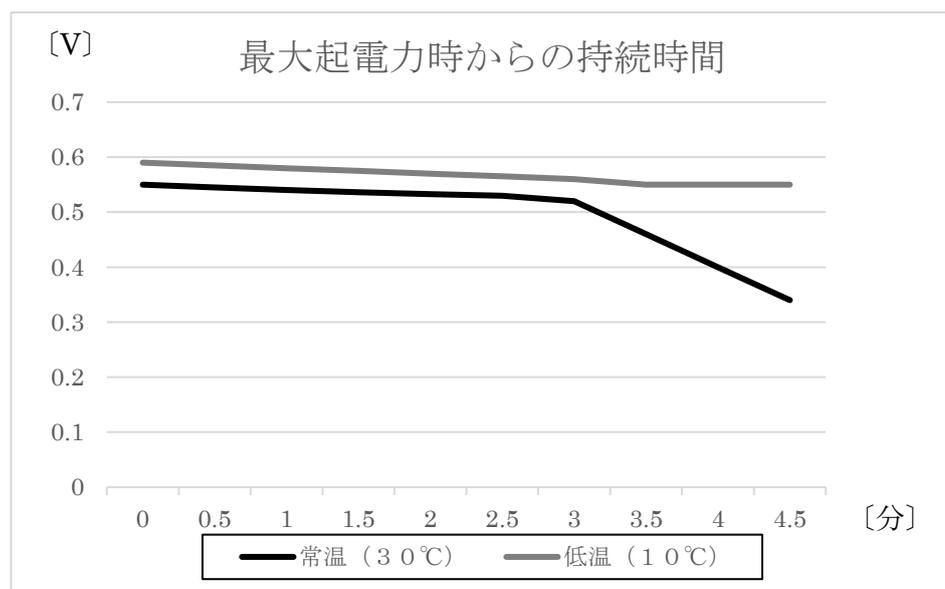


図3 最大起電力時からの持続時間

グラフを見ると常温の場合は3分を境に起電力が大幅に減少しているが、低温の場合は4.5分が経過しても起電力にあまり変化が見られなかった。

### 3. 考察・まとめ

○実験②ではプロジェクターの熱により寒剤が機能していなかったため、常温と低温の場合で違いが見られなかった。そこで、実験③のように、プロジェクターから発せられる熱を遮断するため発泡スチロールの容器にプロジェクターを入れたところ、低温時のほうが電圧の最大値が大きく、また電池の持続時間も長かった。これは、電池の表面温度が低いことで、半導体の機能の低下を常温時より遅らせることができたためだと考えられる。

○以上の結果より、温度は色素増感型太陽電池の半導体に影響し、温度が常温より低いほうが、より長持ちすることが分かった。そのため色素増感型太陽電池を用いて発電するときは照射される光によって表面温度が上がり半導体の機能が低下してしまうので、寒剤等で温度を常温時より下げた状態で使用することを提案したい。また、今後はさらに温度を下げていった場合どのような変化が起こるのかなどを研究していきたい。

### 4. 参考文献

- [corporate.jp.sharp/rd/35/pdf/100\\_08\\_A4.pdf](http://corporate.jp.sharp/rd/35/pdf/100_08_A4.pdf)
- [www.peccell.com/shikiso.html](http://www.peccell.com/shikiso.html)
- 平成25年度 屋代高校 色素増感型太陽電池  
研究チーム 先行研究
- <https://images.app.goo.gl/jv7pM934xrpbKBi5A>

# 金属を使用した人工光合成

～条件の変更による光触媒作用の活性化～

研究者 小林惇志 寶功稀 西野入洗允  
指導者 手塚理実

## 1. 研究の目的と概要

近年、地球温暖化が深刻化しており、CO<sub>2</sub>の削減が急務となっている。また、エネルギーの枯渇も問題となっている。そこで、科学的な視点でその問題を解決する方法を見つけるために、先行研究を参考にして人工光合成について研究をした。金属の種類や溶液の濃度を変えたり、組合せや装置の作り方を変えることで触媒作用を活性化することができないか、また新しい方法を生み出せないかを考えた。

## 2. 人工光合成の原理

植物の光合成・・・次の2つの反応を経由している。

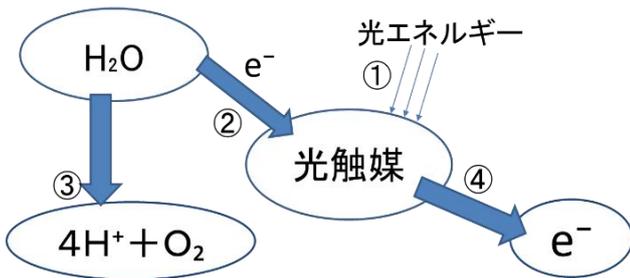
《明反応》光エネルギーによって水が酸素と水素（水素イオンと電子）に分解される。

《暗反応》生成された水素と大気中の二酸化炭素 CO<sub>2</sub>から、デンプンやブドウ糖を生成する。

これを人工的に再現したのが「人工光合成」である。

本研究の人工光合成の反応は以下の通りである。

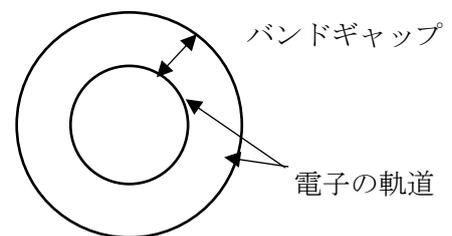
光触媒電極側の反応（明反応）（図1）



- ① 光エネルギーによって光触媒が励起状態（光触媒に電子が入るスペースが新しくできること）になる。金属のバンドギャップ（※）が狭いほうがこの状態になりやすい。
- ② 水分子の電子が奪われる。
- ③ 水分子が分解する。
- ④ 光触媒が励起状態から戻ろうとする際、余分になった電子（エネルギー）が放出される。

※バンドギャップ（図2）金属原子の中の、電子の軌道の間隔のことをバンドギャップという。金属によって広さは異なる。

これが狭い半導体は、小さいエネルギーでも電子が移動する（長い波長の光でも反応する）が、変換できるエネルギーの大きさは限られる。広い半導体は、短い波長の光にしか反応しないが、反応した時に発生するエネルギーは大きい。



（図2）バンドギャップ

暗反応…明反応で反応した水素イオンH<sup>+</sup>と電子e<sup>-</sup>、二酸化炭素CO<sub>2</sub>から、ギ酸やメタノールなどの有機物を生成する。

本研究では、光触媒の反応による電子e<sup>-</sup>の生成に着目して、光触媒作用によって生じた起電力や電流を測定して、その有効性を検証した。

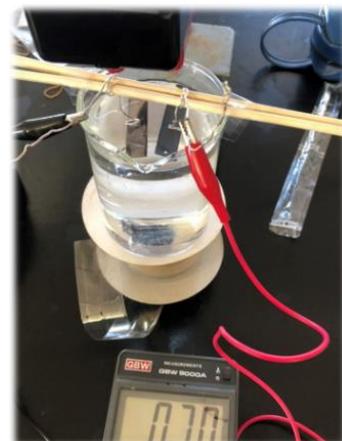
人工光合成の利点…発電を目的としてつくられている太陽電池よりは、エネルギーの変換効率（太陽エネルギーから使えるエネルギーをどれだけ取り出せるか）はよくないが、人工光合成は、空気中のCO<sub>2</sub>を吸収して有機物を生成することができるので、より地球温暖化やエネルギー資源枯渇問題の解決に貢献できる。

### 3. 実験Ⅰ 実験装置の作製と光触媒作用の確認

先行研究では、光触媒作用を確認するのに、タンタル金属の酸化物である酸化タンタル [Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] が有効であったので、これを参考に以下の実験を行った。

#### 実験方法 1) 2)

- ① 0.30×50×12.5mm のタンタル Ta 板を、電気炉を使って 600℃で加熱し、酸化タンタル [Ta/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] を作成する。
- ② 硫酸ナトリウム [Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] 水溶液中に CO<sub>2</sub> を飽和させる。
- ③ 金属と Ag 線で電極装置を作り (写真 1)、ブラックライトを用いて紫外光を照射する。
- ④ 紫外光の照射前と照射後の電圧・電流を記録する。



(写真 1) 電極装置

#### 実験結果

	電圧[mV]	電流[μA]
照射前	26.6	0.03
照射後	114.0	1.17

作製した実験装置の電極を、タンタル [Ta] と酸化タンタル [Ta/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] にして紫外光を照射したとき、電圧、電流共に増加したことから実験装置内で光触媒作用が起きたと考えられる。

したがって、実験Ⅰの手順を基に、条件を変えて実験Ⅱ～実験Ⅳを行うことにした。

### 4. 実験Ⅱ タンタルの加熱時間を変えた時の光触媒作用の変化

タンタル板の加熱によって生成する酸化タンタルの量 (酸化膜の厚さ) によって、触媒作用に変化があるかどうかを調べた。

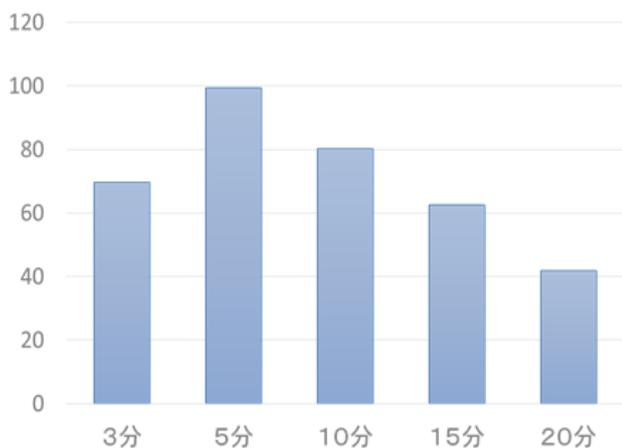
#### 実験方法 (固定条件: Ta | Ta/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 0.10mol/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>aq)

- ① タンタル板をそれぞれ 600℃で 3分、5分、10分、15分、20分加熱し、酸化タンタル板にする。  
(写真 2)
- ② 固定条件に合わせて実験装置を作製する。
- ③ 実験Ⅰと同じ手順で電圧・電流を記録する。

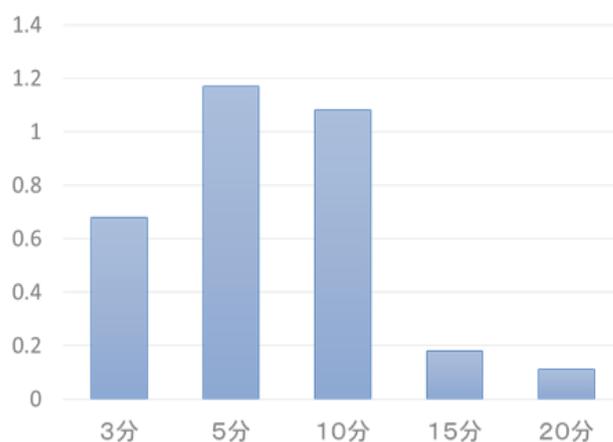


(写真 2) 左から、加熱なし、3分、5分、10分、15分、20分

電圧の変化量 [mV]



電流の変化量 [μA]



## 実験結果

- ・加熱時間を5分にしたタンタル板を使用したときの電圧と電流の変化量が最も大きかった。
- ・タンタル板の加熱時間が5分以降、増えるにつれて電圧、電流共に小さくなっている。

## 考察3)

3分に加熱したタンタル板を使用したときは、タンタル板に酸化タンタル膜がうまく形成されなかったため、値があまり大きくならなかったと考えられる。

加熱時間が15分以降のタンタル板は白色に変色していたことから、酸化タンタルの膜質が変化して、光触媒作用が弱まったことが原因として挙げられる。

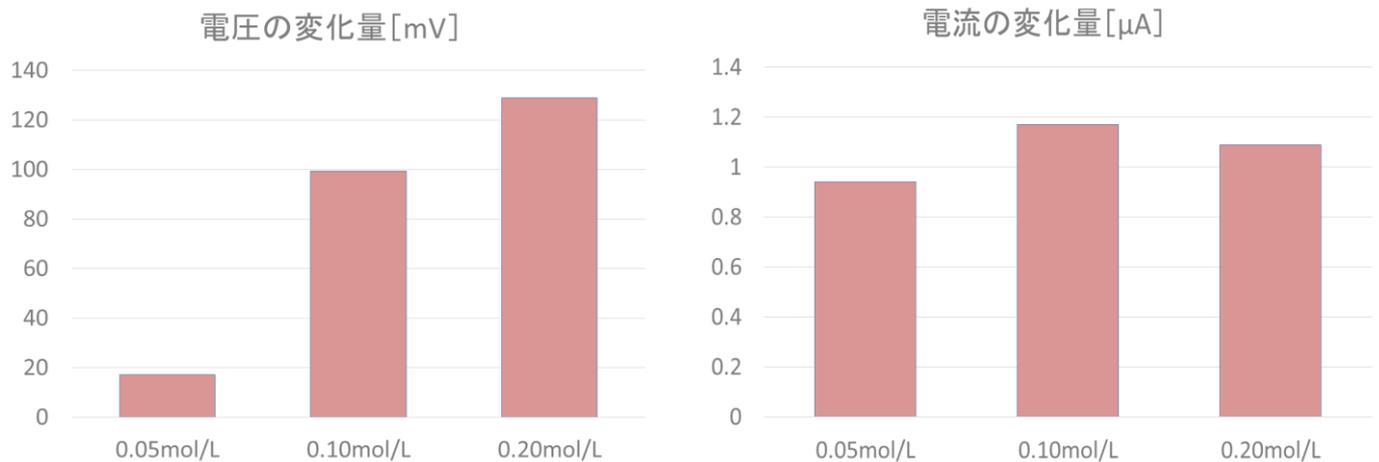
以上より、加熱時間が5分の酸化タンタル板が最も大きな値を示したと考察した。

## 5. 実験Ⅲ 硫酸ナトリウム水溶液の濃度変更による変化

溶液の濃度が、光触媒の活性化に影響するのではないかと考え検証した。

**実験方法** (固定条件: Ta | Ta/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / 加熱時間5分)

- ① 濃度が0.05mol/L、0.10mol/L、0.20mol/Lの硫酸ナトリウム水溶液を調製し、固定条件にあわせて実験装置を作製する。
- ② 実験Ⅰと同じ手順で電圧・電流を記録する。



## 実験結果

- ・水溶液の濃度が大きいほど電圧の変化は大きくなった。
- ・水溶液の濃度と電流の値の間には関係性が見られなかった。

## 6. 実験Ⅳ 電極の金属を変更したときの変化①

酸化タンタル [Ta/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>] 以外にも、光触媒としての作用をもつ金属酸化物があるのではないかと考え、他の金属酸化物についても調べた。

**実験方法** (固定条件: 加熱時間5分 / 0.10mol/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>aq)

- ① i. タンタル | 酸化タンタル [Ta]      ii. アルミニウム | 酸化アルミニウム [Al]
- iii. ステンレス | 加熱したステンレス      iv. 銅 | 酸化銅 [Cu]

以上の電極を用意し、実験Ⅰと同様に実験装置を作製する。

② 実験 I の手順で電圧・電流を記録する。

		[T a]	[A l]	ステン レス	[C u]
電圧V [mV]	照射前	26.6	23.6	24.2	10.5
	照射後	114.0	23.6	24.2	13.9
	$\Delta V$	<b>87.4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.4</b>
電流A [ $\mu$ A]	照射前	0.03	0.44	0.21	0.74
	照射後	1.17	0.44	0.21	1.10
	$\Delta A$	<b>1.14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.36</b>

### 実験結果

- ・タンタル | 酸化タンタルの組み合わせが電圧、電流共に最も大きい値を示した。
- ・アルミニウム | 酸化アルミニウム電極・ステンレス | 加熱したステンレス電極は電圧、電流ともに全く変化しなかった。
- ・銅 | 酸化銅電極は、タンタル | 酸化タンタル電極ほどの変化ではなかったが電圧、電流の値は変化を示した。

## 7. 実験V 電極の金属を変更したときの変化②

実験IVでタンタルがよく紫外光に反応することが分かったので、周期表を見て、タンタルに似た性質の金属では反応するのかを調べてみた。

**実験方法** (固定条件：加熱時間 5 分 / 0.10mol/L  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{aq}$ )

- ① i. モリブデン | 酸化モリブデン [Mo]      ii. チタン | 酸化チタン [Ti]  
 iii. タングステン | 酸化タングステン [W]

以上の電極を用意し、実験 I と同様に実験装置を作製する。

② 実験 I の手順で電圧・電流を記録する。

		[Mo]	[Ti]	[W]
電圧V [mV]	照射前	100.2	62.9	105.9
	照射後	100.2	46.6	105.9
	$\Delta V$	<b>0</b>	<b>16.3</b>	<b>0</b>
電流A [ $\mu$ A]	照射前	6.84	0.87	4.29
	照射後	6.84	0.69	4.29
	$\Delta A$	<b>0</b>	<b>0.18</b>	<b>0</b>

(参考) タンタルの変化

[T a]
26.6
114.0
<b>87.4</b>
0.03
1.17
<b>1.14</b>

## 実験結果

- ・モリブデン | 酸化モリブデン電極・タングステン | 酸化タングステン電極は電圧、電流ともに全く変化しなかった。
- ・チタン | 酸化チタン電極は、タンタル | 酸化タンタル電極ほどの変化ではなかったが電圧、電流の値は変化を示した。

### 実験Ⅳ・Ⅴ考察3)

紫外光の波長には、この中ではタンタルが一番よく反応するのだと考えられる。

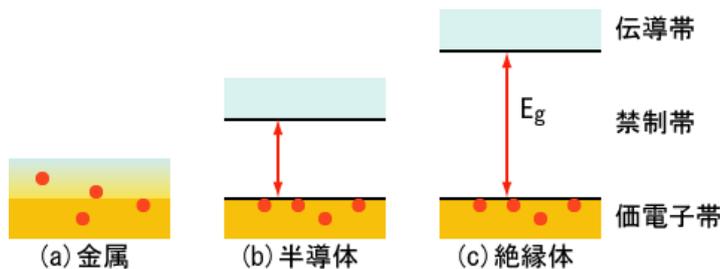
アルミニウム、ステンレス、モリブデン、タングステンが反応しなかったのは、紫外光に応答する性質を全く持っていないからだと考えられる。

銅/酸化銅電極や、チタン/酸化チタン電極がタンタルに比べて小さな値だったのは、銅・チタンはタンタルより、紫外光の波長には反応しにくい性質（バンドギャップの違いなど）を持っているからだと考えられる。

酸化タンタルは酸化銅や酸化チタンに比べてバンドギャップが広いので、短い波長である紫外線に強く応答したと考察した。

バンドギャップの違いによって（図3）…酸化タンタルは、特定の波長の光にしか反応しないが、その特定の波長の光を当てると大きな電力（エネルギー）をつくりだす。

対照的に、酸化銅や酸化チタンは様々な波長の光に反応するが、そのときのエネルギーは小さいので人工光合成には活用できない。



酸化タンタルは半導体の中でも(c)寄りの広いバンドギャップを持ち、酸化チタンや、酸化銅は(a)寄りの狭いバンドギャップを持つと考えられる。

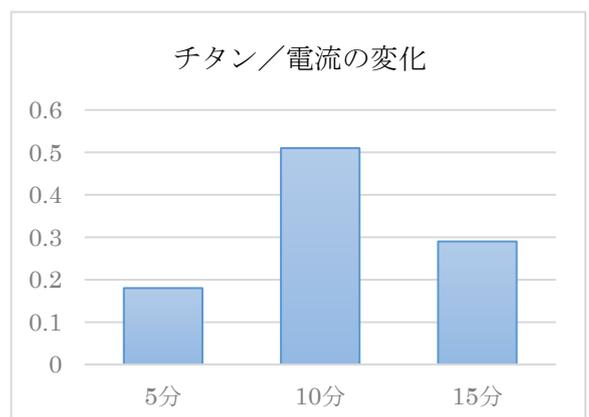
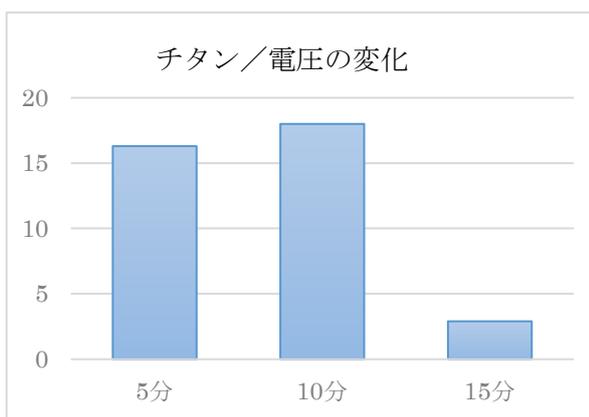
(図3) バンドギャップ

## 8. 実験Ⅵ チタンの加熱時間を変えた時の光触媒作用の変化

チタンも光触媒作用を示すことが分かったので、チタン板の加熱によって生成する酸化チタンの量（酸化膜の厚さ）によって、触媒作用に変化があるかどうかを調べた。

**実験方法**（固定条件：Ti | Ti/TiO<sub>2</sub> / 0.10mol/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>aq）

- ① チタン板をそれぞれ600℃で3分、5分、10分、15分、20分加熱し、酸化チタン板にする。  
(写真3)
- ② 固定条件に合わせて実験装置を作製する。
- ③ 実験Ⅰと同じ手順で電圧・電流を記録する。



## 実験結果・考察

- ・加熱時間を10分にしたチタン板を使用したときの電圧と電流の変化量が最も大きかった。
- ・5分加熱では十分に酸化膜が形成されず、15分以降は膜質が変化すると考えられる。

### 考察3)

5分に加熱したチタン板を使用したときは、チタン板に酸化チタン膜がうまく形成されなかったため、値があまり大きくならなかったと考えられる。

加熱時間が15分のチタン板は、膜質が変化して光触媒作用が弱まったことが原因として挙げられる。

以上より、加熱時間が10分の酸化チタン板が最も大きな値を示したと考察した。

## 9. まとめ (考察)

- ・5分加熱したタンタル/酸化タンタル電極に紫外線を照射したときが、電流・電圧ともに一番変化しやすかった。酸化させる時間が5分より短いとあまりいい結果が出ず、逆に10分より長く加熱しても値は小さくなっていった。
- ・加熱する時間が短すぎると、表面が十分酸化されず、光触媒機能が低下したと考えられる。また、長い時間加熱したものは白く変色していたことから、酸化タンタルの膜質が変化してしまった可能性がある。
- ・今回、紫外光では実験Ⅳ・Ⅴのような結果になったが、可視光など他の光を使う時もその光の波長との相性を見極め、電極に使用する金属を選ぶ必要がある。
- ・周期表において、タンタルに近い金属であれば光触媒作用があると思ったが、そうではなかった。光触媒作用はその金属特有のものだと分かった。
- ・もっとも光触媒作用が活性化する酸化膜をつくるときの加熱時間が金属の種類によって異なる。
- ・今回の実験では、5分加熱した酸化タンタルと濃度のできるだけ大きい硫酸ナトリウム水溶液を使ったときが一番光触媒の作用が活性化することが分かった。

## 10. 今後の展望

ブラックライトの紫外光に反応する金属としない金属があることが分かった。波長が違う光を使ったときに今回の実験とどのような違いがあるのか知りたい。特に実用化のためには、紫外光だけでなく可視光に反応させることも重要なので、金属に工夫を施すなどして可視光にも反応させるようにしたい。

これからはより多くの種類の金属を調べて、タンタルより値が大きくなる金属があるかどうか調べたい。

硫酸ナトリウム水溶液だけでなく、もっと光触媒反応を示しやすくなる水溶液も探したい。

教育機関に協力を要請し、液体クロマトグラフィーを使うなどしてCO<sub>2</sub>から何らかの有機物が生成しているかを分析（暗反応の確認）したい。

## 11. 参考文献

- 1) 第12回高校科学グランドコンテスト「人工光合成の研究－光触媒を使った水から水素と酸素の生成
- 2) 第13回高校科学グランドコンテスト「人工光合成の研究－タンタル板を使った二酸化炭素からのギ酸の生成と可視光応答－」
- 3) 著書 夢の新エネルギー「人工光合成」とは何か 光化学協会編 井上晴夫監修