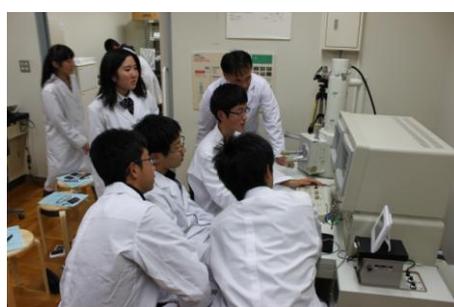


平成26年度 長野県屋代高等学校  
SSH(スーパーサイエンス)課題研究

# 研究報告書集

平成27年3月



長野県屋代高等学校理数科委員会

## 目次

### 平成26年度2年理数科 課題研究

#### 【数学分野】

1. 流山市における若者の投票率を上げたい 田中悠 東方涼介 長山慧 … 1

#### 【物理分野】

2. 白黒だけど白黒じゃない秘密 倉石舞花 海野沙弥香 竹松真歩 宮崎映里 … 6  
3. 吸光度計の研究 柳原啓吾 中山舜介 石井宏 … 11  
4. 自然及び人のエネルギーを利用した複合的大規模発電  
坂田春樹 春日涼太郎 小林千裕 半田大輔 依田実朗 … 17

#### 【化学分野】

5. メントスコーラ ～飛び出す泡の不思議～ 榊原一真 西村隼杜 山崎誠 … 21  
6. ヨウ素デンプン呈色反応の不思議～退色温度への考察～  
内村一輝 小林良輔 土屋建人 矢島拓実 … 26  
7. 触媒の探求 ～触媒の違いにおけるルミノール反応の変化～ 大友一輝 石坂悠介 山田貴大 … 32

#### 【生物分野】

8. カブトエビ ～生きた化石～ 井坪暁 小林春慶 湯本瑛亮 依田剛明 … 38  
9. タマネギ根端分裂組織の細胞周期と生物時計の関係 池上友理 中島冬萌 山崎友実 … 44  
10. 光刺激によるスプラウトの光合成色素生成 関森智紀 瀬戸山優希 高澤隆仁 宮下朋也 … 50

#### 【地学分野】

11. 雨粒を究めよう！ ～雨滴粒径分布の調査～ 山崎結花 竹重遙 塚田紗衣 松本知美 … 54

### 平成26年度3年理数科 課題研究

#### 【資料】

1. 課題研究に対する外部評価  
平成21年度～平成26年度の実績（平成20年度生～平成25年度生の課題研究）  
2. 過去の研究テーマ

平成 26 年度 長野県屋代高等学校  
SSH 課題研究報告書集

編集：長野県屋代高等学校理数科委員会

〒387-8501 長野県千曲市大字屋代 1000  
長野県屋代高等学校

Tel 026-272-0069

学校 HP <http://www.nagano-c.ed.jp/yashiro/>

発行：平成 27 年 3 月 16 日

発行部数：300 部

# 流山市における若者の投票率を上げたい

研究者 田中悠 東方涼介  
長山慧  
指導教諭 堀内政幸

## ○Introduction

We studied a method of improving the voting rate of young people in Nagareyama city in terms of the science of statistics.

We used BuzzFinder which can search the number of tweets meeting requirements on Twitter and some statistics for this research.

Then, we proposed the new way of improving it to Nagareyama city in the Digital Innovators Grand Prix (DIG).

## ○研究概要と目的

「データビジネス創造コンテスト」という、私達の課題研究の分野とする数学と密着した関係性がある情報分野のコンテストがあったため、本コンテストに参加しました。

「データビジネス創造コンテスト」は、慶應義塾大学とアクセントが連携して主催し、高校生・大学生・大学院生を対象に統計データを用いた新しい才能、ビジネスを発掘する目的のものです。今回の本コンテストのテーマは、5つの市町村がそれぞれ抱える課題のうち1つに対して統計データやシミュレーションなどを用いて解決策を与える、というものでした。私達は若年層の投票率向上がテーマであった流山市を選択しました。その大きな理由として、昨年の7月に屋代高校および附属中学校で信州大学と連携して模擬選挙が行われたことが挙げられます。これが若年層の選挙への関心という点で流山市の課題に関係していて、何か解決策を見出せるのではないかと考えたのです。

予選として研究の方針の構想案を用紙にまとめて送ったのですが、これは見事に合格し、慶應義塾大学の本戦出場が決定しました。本戦出場チームには、BuzzFinderの利用権が配布されました。BuzzFinderとは、本来有料のコンテンツであり、Twitter上で特定のキーワードを含む一定期間内のツイート数を計測するアプリケーションです。昨年度の先輩方のアドバイスも受けながら研究を進めていきました。

## ○結果・考察

### (1) 若者の定義

人口が増えてきている流山市において、図1で投票数は増加しているが投票率が減少していることから、新たに増えた有権者の投票率が低いと考えられる。ここで図2を見ると、35~39歳の人口が最も大きく増加しているのに加え、0~4歳の人口も増加している。その反面、20~24歳の人口は減少している。以上のことから、投票率をあげなければならない若者は、30代の子育て世代と考えられる。

ゆえに、若者を30代の子育て世代とする。

流山市議会議員一般選挙投票数・投票率推移  
(オープンデータより作成)

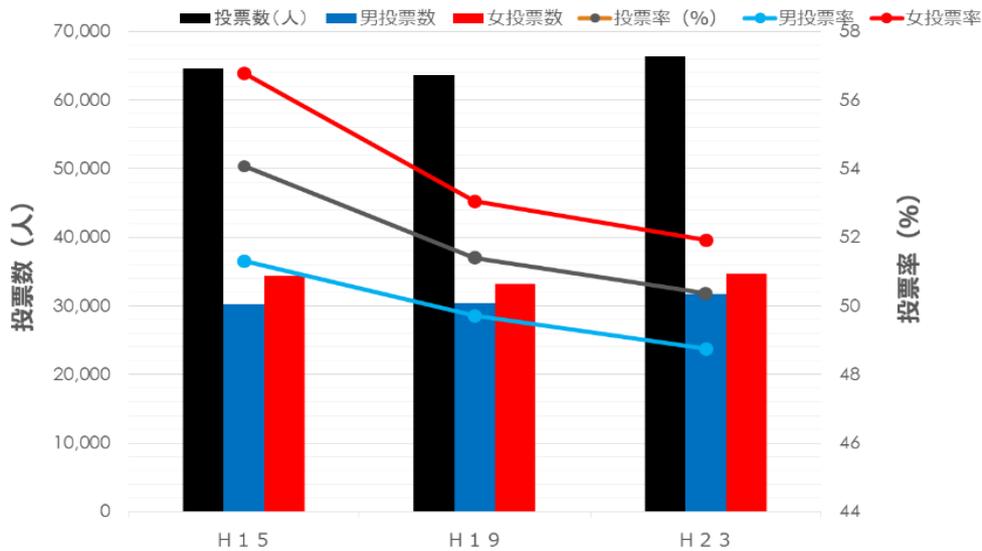


図1

流山市 年齢階層別構成と増減比較(平22-平17)



図2

(2) 若者の関心を惹く公約→提案①

本校の附属中で模擬選挙が行われ、そこでは医療への興味が最も多かった。また BuzzFinder というアプリケーションにより Twitter 上のツイート进行分析すると、同じく医療への関心が最も高かった。(図3)

さらに、私達が投票率を上げたいのは、30代の子育て世代の投票率。よって医療の中でも特に、子供医療への関心が高いと考えられる。よって、一つ目の提案をする。

提案①：候補者は選挙の争点の一つに、子供医療を入れてはどうか



図3 (11/1において、上から医療・財政・教育の順)

(3) 選挙の手段→提案②

図4から若者は選挙の情報源にスマホを使っており、また図5から、若者(30代)が共働きで忙しく、選挙では手軽に参加できる手段を用意する必要があると考えられる。

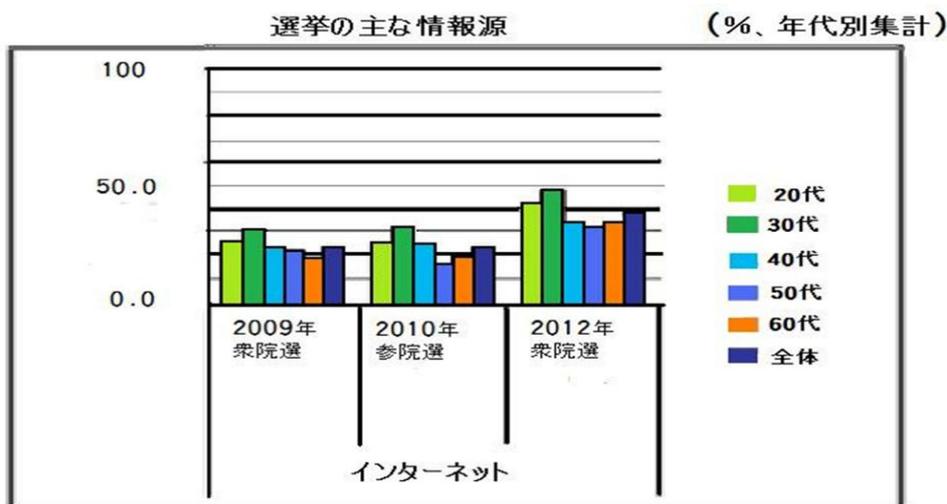


図4

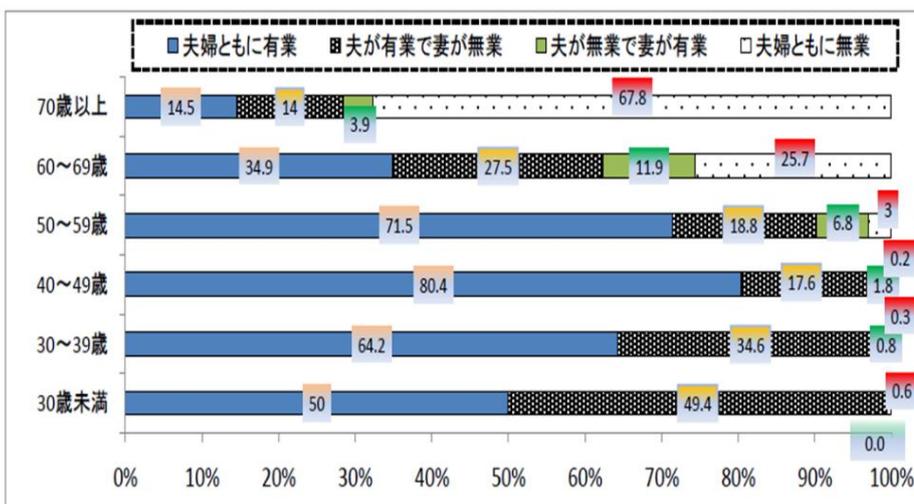


図5

以上より、二つ目の提案をする。

提案②：選挙管理委員会は、有権者が受信も投票も全部スマホでできるようにしてはどうか

結論をまとめる

①候補者は、選挙の争点の1つに子供医療を入れてはどうか

②選挙管理委員会は、有権者が受信も投票も全部スマホでできるようにしてはどうか

## ○まとめ・反省

私たちは流山市の若者の投票率を上げるためにまず「若者」を30歳の子育て世代と定義した。流山市の35～39歳と0～4歳の人口増加が著しく大きかったためである。そして一つ目に「選挙の争点の一つに子供医療をいれてはどうか」という結論をだした。屋代高校・附属中学校の模擬選挙とBuzzfinderの結果から若者は医療にもっとも関心が高かったためである。二つ目に「選挙管理委員会は、有権者が受信も投票も全部スマホでできるようにしてはどうか」という結論を出した。若者は選挙の情報源にネットを利用している。また、若者は共働き世帯がとても多く選挙に行く時間が限られているからである。

11月8日に慶應義塾大学で開催されたデータビジネス創造コンテスト本選に参加した。そこでの審査委員の方々の講評で、本校の模擬選挙の結果から流山市の若者の投票率を上げようとしたことに関して「屋代高校・附属中学校の結果と流山市の結果は一致するのか」というご指摘を受けた。今後の研究では、データの示す内容を正確に理解し適切に使用することが必要だと感じた。また、プレゼンテーションの仕方の改善の必要性も感じた。発表者が発表内容を理解し聴衆の様子を見ながら発表することでプレゼンテーションの改善ができそうだ。

他の本選出場チームの提案には、パークマネジメントや人口流動を利用した選挙活動の提案があり、参考になった。

## ○参考文献

流山市オープンデータ

<http://www.pref.chiba.lg.jp/shichou/gyousei/gyouseikaikaku/nagareyama2.html>

屋代高校模擬選挙

BuzzFinder

[www3.pref.nagano.lg.jp/tokei/1\\_syuchou/H24/gaiyou12.pdf](http://www3.pref.nagano.lg.jp/tokei/1_syuchou/H24/gaiyou12.pdf)

<http://www.dot-jp.or.jp/nl/2012/1215-2.pdf>

慶応義塾大学での本選の様子



流山市長と記念撮影



\*私たち数学チームは、他に「新しい $\pi$ の表し方」を大阪で行われたマスフェスタで発表し、また、武蔵野大学数理工学コンテストに挑戦し、社会現象や自然現象を数式化する問題に取り組みました。

マスフェスタ（全国数学生徒研究発表会）



マスフェスタでのポスターセッション



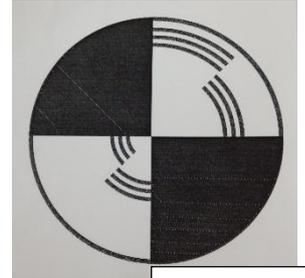
# 白黒だけど白黒じゃない秘密

研究者 倉石舞花 海野沙弥香  
竹松真歩 宮崎映里  
指導教諭 福島哲夫

## 1. 研究概要及び目的

私たちは「ベンハムのコマ」(図1)という、白と黒のみで構成された柄にも関わらず回すと色が見えるコマがあると聞き興味を持った。

見える理由は目の錯覚と言われているので本来写真には撮れないはずである。しかし、実際にコマを回してみたところ、白黒以外の色がはっきり撮ることができた。このことから、なぜ錯覚であるはずの色が写真に撮れたのか、またどのような条件のもとで写真に撮れるのか詳しく知りたいと思い、光源の種類、コマを回す速度などに着目し以下の研究を行なった。



(図1)

## 2. 研究内容・研究方法

以下の2つの実験を行なった。

- I. LED (RED) (BLUE) (YELLOW) (WHITE) 下、白熱灯下、太陽光下、蛍光灯下でコマを回したとき、それぞれの光源下でコマはどのような色が見えるか、また見えた色が写真に撮ることができるかを調べる
- II. ハイスピードカメラによるコマの回転数と蛍光灯の点滅の解析

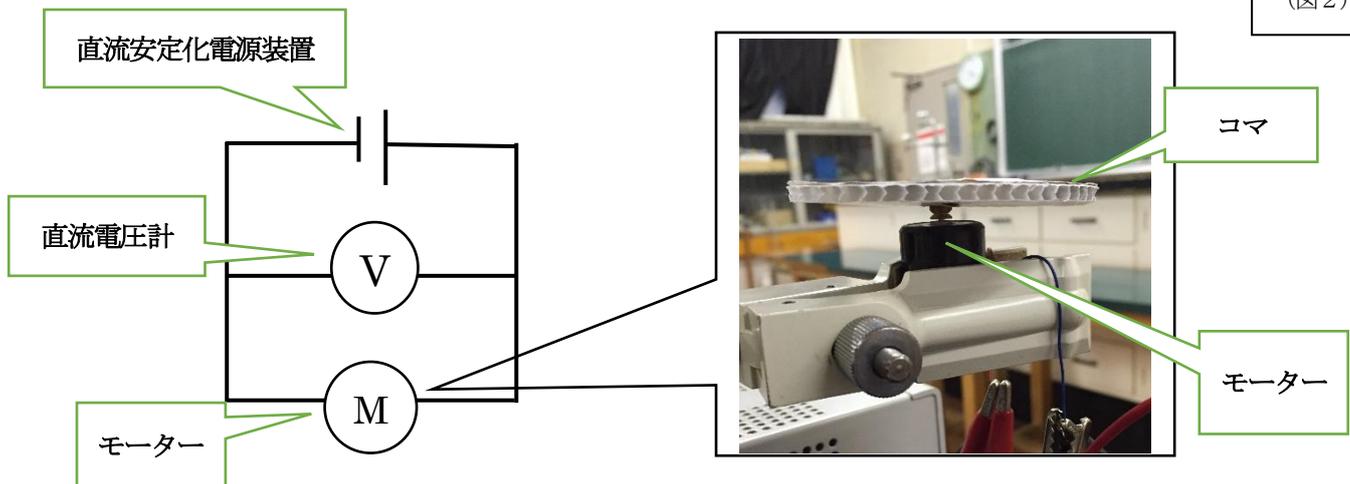
### (1) 実験装置

条件を一定にするために、LED、白熱灯、蛍光灯下では部屋の暗幕を閉め切ってほかの光を遮断し、実験光のみの状態にする。太陽光下では、窓際の直射日光の当たるところで実験した。実験に使用するコマは全て、白と黒で八等分にしたコマ(図2)である。

コマはモーターに取り付けて回し、電圧の変化で回転速度を調節することとした。



(図2)



(2) 実験方法

I. LED (RED) (BLUE) (YELLOW) (WHITE) 下、白熱灯下、太陽光下、蛍光灯下における実験

各光源下でコマ回したときの、色の見え方の違い、写真に撮れるか撮れないかを実験する。

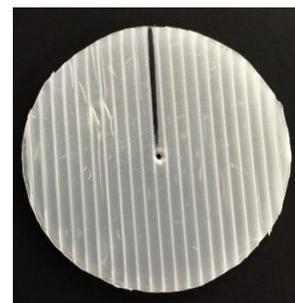
太陽光下：室内の最も直射日光が当たる窓際で他の光を遮断し、電圧を変化させながらコマを回す。

LED・白熱灯・蛍光灯下：太陽光を遮断するため室内の暗幕を全て閉め、使用する光源のみをつけて電圧を変化させながらコマを回す。

コマの色に変化があるか観察、変化があればその時の電圧の数値を記録し、写真を撮影する。

II. ハイスピードカメラによるコマの回転数と蛍光灯の点滅の解析

コマが一周したことがわかるように、目印を入れたコマ(図3)を用いる。実験 I の結果より、コマの回転が止まって見えるときがあったため、止まって見えたときの電圧でコマを回し実験をする。回したコマをハイスピードカメラ (1200fps) で撮影し、回転数を求める。また、蛍光灯をハイスピードカメラ (1200fps) で撮影する。結果から一秒間の点滅数を求める。



(図3)

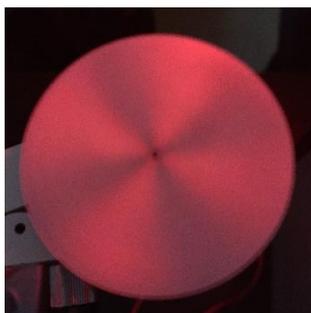
3. 実験結果・考察

I. LED (RED) (BLUE) (YELLOW) (WHITE) 下、白熱灯下、太陽光下、蛍光灯下における実験

結果：

	白黒と光源以外の色が見えるか	白黒と光源以外の色で見えた色が写真に撮れるか
LED (RED)	見えない	撮れない
LED (BLUE)	見えない	撮れない
LED (YELLOW)	見えない	撮れない
LED (WHITE)	見えない	撮れない
白熱灯下	見えない	撮れない
太陽光下	見えない	撮れない
蛍光灯下	青とオレンジ	撮れる

LED 下ではそれぞれ、コマに光源の色が映っているように見えた。(図4-1~4) 白熱灯下(図5)と太陽光下(図6)では色は確認されなかった。蛍光灯下では、オレンジ色と青色が見えた。また、オレンジ色ははっきり写真に撮ることができたが青色ははっきりと撮れなかった。(図7)



(図4-1) LED (RED)



(図4-2) LED (BLUE)



(図4-3) LED (YELLOW)



(図4-4) LED (WHITE)



(図5) 白熱灯

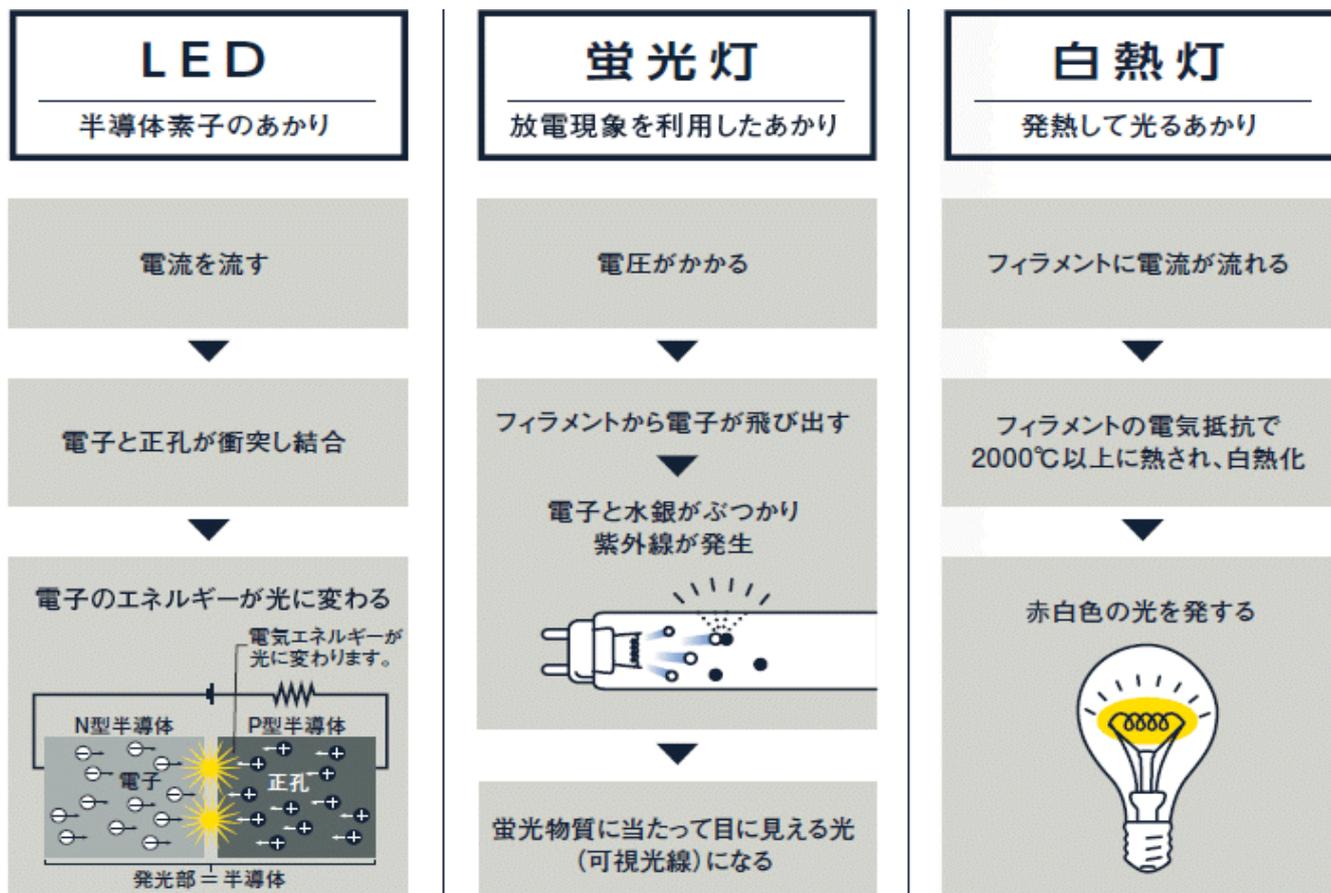


(図6) 太陽光



(図7) 蛍光灯

LED 下と白熱灯下と太陽光下で色を確認することができないのに対し、蛍光灯下では色を確認することができた。また、LED・蛍光灯・白熱灯の発光原理を比較した。



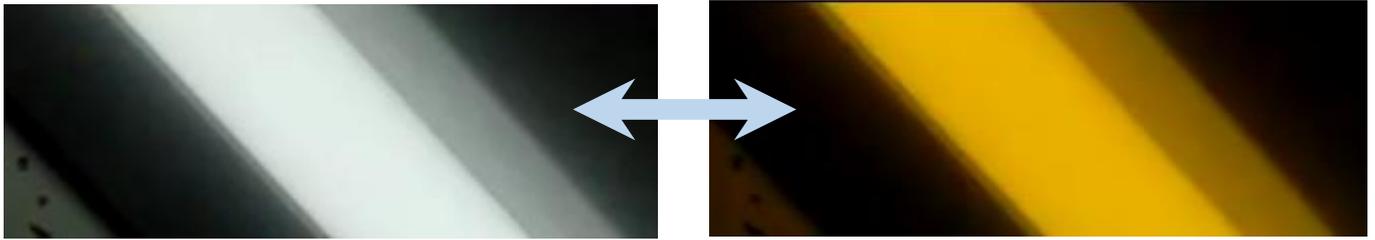
蛍光灯のみ紫外線が発生し、それが蛍光物質にあたって光を発する。コマに見える青色とオレンジの色は蛍光灯の蛍光物質から発した光だと考えられる。

## II. ハイスピードカメラによるコマの回転数と蛍光灯の点滅の解析

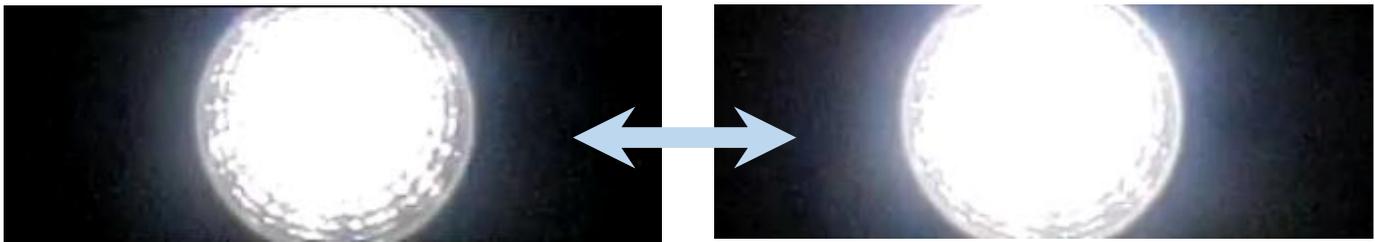
柄が止まって見えたときをハイスピードカメラに撮り、回転数を求めた。

柄が止まって見える 電圧数 (V)	コマが一周するのにかかる時間 (s)	一秒間のコマの回転数(回)
0.430	0.090	11
1.26	0.030	33
2.80	0.014	71

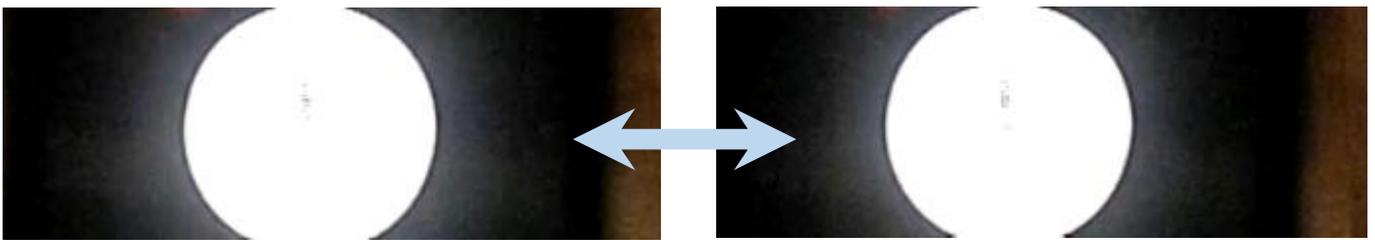
ハイスピードカメラで白熱灯・LED を撮ってみたところ、照度の強弱が見えた。それに対し蛍光灯は、蛍光灯が常時発している白色と、点滅しているオレンジ色が、交互に点灯しているのが見えた。しかし、なぜオレンジ色が点滅して見えたかは分かっていない。



蛍光灯



LED (WHITE)



白熱灯

そこで一秒間で何回点滅しているかを調べた。

その結果、蛍光灯：132[回/s] LED：120[回/s] 白熱灯：138[回/s] であった。

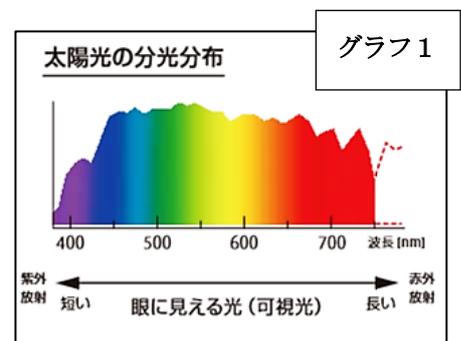
蛍光灯では色が確認され、その色を写真に撮ることができた。しかし、白熱灯とLEDでは色を確認することができなかった。その理由は、蛍光灯ではオレンジ色と白色の光が点滅しているのに対し、LEDと白熱灯は照度の強弱はしているものの点滅はしていないためだと考えられる。そこで、光の点滅によってコマに白黒と光源以外の色が見えているかを調べるために、ストロボスコープを点滅させて実験を行なった。ストロボスコープの点滅は蛍光灯と同じ132[回/s]とした。

その結果、コマに白黒と光源以外の色は見られなかった。よって、光源の点滅だけでは、白黒と光源以外の色を見ることはできないということがわかった。

そこで、蛍光灯とその他の光源のスペクトルに着目した。

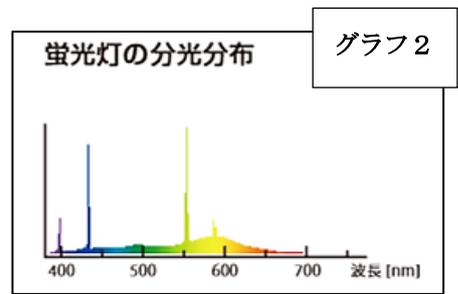
### 光のスペクトル

光は波長によって分類できる。スペクトルとは、光の分散により光をその波長に分けたもので、連続スペクトルと線スペクトルの二種類がある。白熱灯や太陽光は、さまざまな波長の光を含んでいて、その波長が広い範囲で連続的に分布している。(グラフ1) それに対して、蛍光灯の光も連続スペクトルだが、ある波長が突出しているところがある。(グラフ2) 太

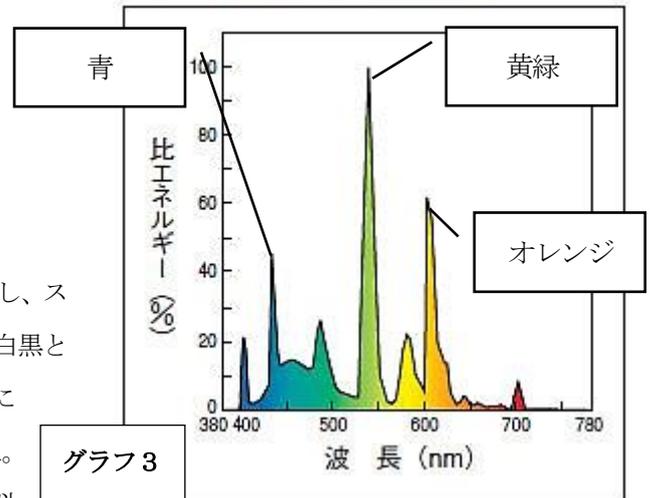


陽光も蛍光灯も広範囲の波長の光を含んでいるため、人はどちらの光も白色光として見えている。しかし、蛍光灯には突出した波長があるため、コマに、突出しているその色が目立って見えたのではないかと考える。

右のグラフ(グラフ3)は、実験に使用した蛍光灯の光のスペクトルをグラフにしたものである。青色、黄緑、オレンジの比エネルギー(反射率)が突出していることが分かる。コマを蛍光灯下で回した際に、オレンジ色と青色が見えるのはその二色がコマに反射し見えているのではないかと考えられる。黄緑も突出しているが、コマにはその色は見えない。これについてはまだ分かっていない。



分光分布図 (EX-N:3波長形昼白色)



#### 4. まとめ

蛍光灯下で色が見えるのは、点滅によるものだと考えた。しかし、ストロボスコープの点滅では色が見えないことから、点滅だけでは白黒と光源以外の色は確認できないことがわかる。そこで、スペクトルに注目したところ、蛍光灯のスペクトルには突出した波長があった。ストロボスコープの光源はキセノン管で、スペクトルが白熱灯と似ている。つまり、スペクトルに蛍光灯のような突出がないので、色が見えなかったといえる。

コマに白黒と光源以外の色が見えて、その色が写真に撮ることができる条件は、『光源が点滅していること』かつ『光源のある波長のスペクトルに突出があること』である。

コマを蛍光灯下で回したときのみオレンジ色が見える理由はまだ明らかになっていない。蛍光灯に、オレンジ色のみの点滅が見られる理由を今後調べていきたい。また、蛍光灯の塗料によってスペクトルが異なるので、蛍光塗料の違う蛍光灯を使って色に変化が現れるかを確認できるような実験を行う。

#### 5. 参考文献

ベンハムのコマ実験と考察 (<http://www2.tokai.or.jp/seed/seed/minna7.htm>)

あかりの基礎知識 (<http://sumai.panasonic.jp/lighting/akarisusume/adviser/kisochishiki.html>)

連続スペクトルと輝線スペクトルの違い (<http://galaxy.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/mano/top/spectrum/image.htm>)

光源色と演色性 ([www.tlt.co.jp/tlt/lighting\\_design/design/basic/.../10\\_22.pdf](http://www.tlt.co.jp/tlt/lighting_design/design/basic/.../10_22.pdf))

# 吸光度計の研究

研究者 柳原啓吾 中山舜介 石井宏  
指導教諭 清水寛

## 1. 研究動機・目的

吸光度計（光を利用した分析装置）とは、特定の波長の光（単色光）を溶液試料に当てた際、通過した光の量を測定し、試料が吸収した光（吸光度）を分析する装置である。光の吸収は分子中の電子のエネルギー状態が変わることによって起こり、試料中に対象物質が多いほど、多量の光が吸収される。つまり、吸光度は溶液の濃度に比例するため、あらかじめ標準試料における検量線を作成しておけば、溶液の濃度の算出が可能となる。そのため、吸光度計は定量分析に多く用いられる機械であるが、大規模で数十万円もするため、高校生の実験等で使用することができない。そのような中で我々は、簡単な方法で吸光度計と同等の定量方法がないかと模索していたところ、先行研究に「色素増感型太陽電池の開発と研究」というものがあった。これは、プロジェクターから投影するさまざまな色の光を色素増感型太陽電池に照射し、その色によって太陽電池の吸収する光の波長に近似させるというものであり、その方法は、太陽電池の吸収しやすい波長を電流、電圧、抵抗を用いて定量していた。しかし、プロジェクターからの光の色をその色固有の波長に近似させる方法をとっており、実際に波長を測定するまでには至っていなかった。

そこで我々はプロジェクターの光から照射される光の波長を測定し、その光をスペクトル化して、異なる波長帯の光を溶液試料に照射し吸収量を測定することにより、吸光度計が作成できるのではないかと考えた。我々はプロジェクター、パソコン、回析格子、カメラという既存の物を利用して吸光度計を作製する方法について研究することにした。

## 2. 吸光度計の原理

私たちが白色光の下において光源でない物質の色を見る時、その物質の色は、その物質が吸収した光の波長の色の補色である。例えば、赤い物体を見ると、実際はその物体は赤色の補色である青緑色を吸収しているだけであって、その物体を青緑色の光の下で見れば、光は全て吸収される。そのため、その物体は黒く見える（図1）。このように色というのは、その色の補色を多く吸収することによって色を表現していることになる。

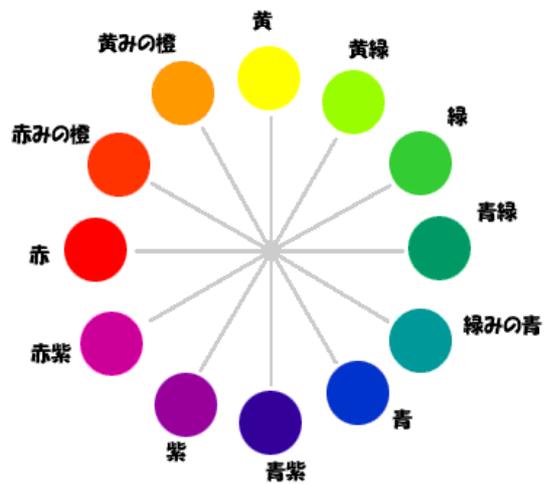


図1

吸光度計は、基本的に光源部、分光器、測光部の3つから構成されている（図2）。主な仕組みとしては、まず、光源部から照射した光を分光器（プリズムとスリット）で単色光に分光し、その光を試料部に照射して、透過した光の量を測光部で測定し、試料のその波長における吸光度を調べるといものである。

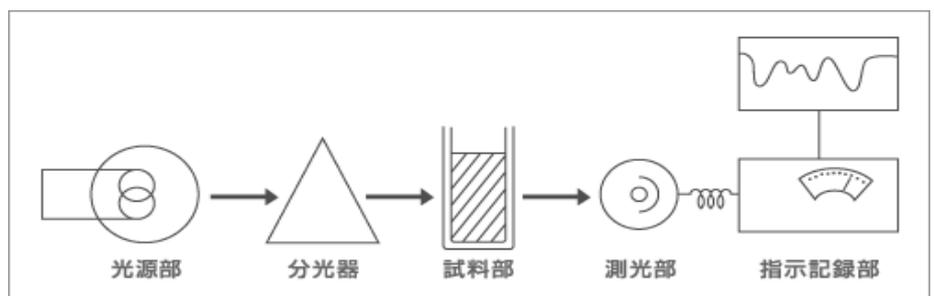


図2

本研究では、図2のように吸光度計の光源部をプロジェクター、分光器(プリズムやスリット)を PowerPoint による色のスライドに置き換え、また、測定部に照射する光の量によって抵抗値が変化する CdS(硫化カドミウム)に置き換えることにした。

### 3. 研究概要

#### 実験1 プロジェクターから照射される光の波長の測定

プロジェクターから照射される光の波長を明らかにするため、光の回折(光が障害物を回り込み、波長によって回り込む度合いが変わる現象)を利用して、プロジェクターで照射する光の波長を測定した。

#### 実験2 簡易吸光度計を利用した吸光度の測定

着色した溶液は、補色の波長の光を多く吸収すると考え、自作した簡易吸光度計で、無色、着色した水に実験1で測定したスペクトルの光を照射し、CdSの抵抗値を測定した。その結果から吸収する光の波長帯を計測した。

#### 実験3 実際の吸光度計との差異の検証

実験2での結果を検証するために、本校にある吸光度計を使用し、実験2で用いた試料の吸光度を測定し、結果の差異を考察した。

### 4. 研究内容・結果

#### <実験1>

RGBの各色の最大値を2、最小値を0、中間値を1(例:2.0.0は赤、2.1.0は橙色、0.0.2は青を示す)とし、PowerPointで黒、白、灰色を除いた、可視光の領域にある赤から紫までの24色のスライドを作成する。そのスライドをプロジェクターで照射し、プロジェクターの光源の前にスリットを置く。その光をレンズの前に回折格子を付けたカメラで撮影した(写真1)。その結果、回折格子を通過した光が、カメラのスクリーン(CCD素子)にいくつかの明線となって撮影される(写真2)。また、比較するために波長が532nmのレーザー光でも同様に実験した(写真3)。

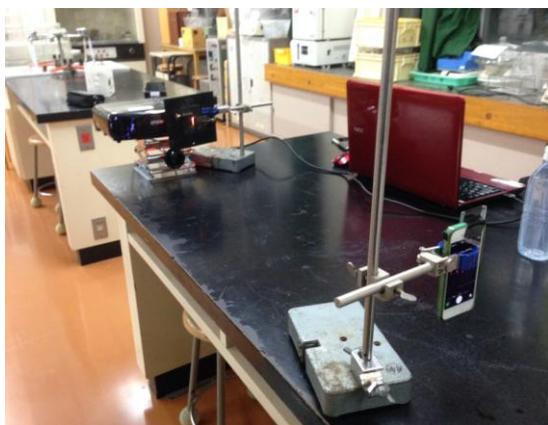


写真1

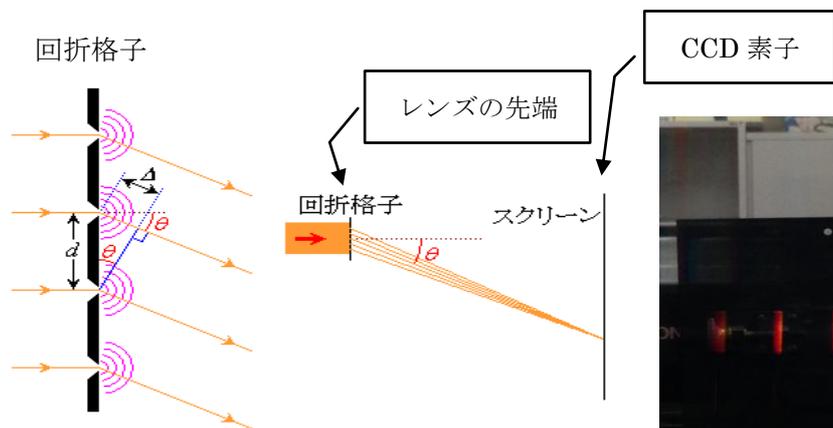


図3



写真2



写真3

カメラで撮った画像上での明線の間隔(2点間の光の距離)は次の式で表せる。

$$\Delta x \text{ (明線間隔)} = \frac{1(\text{光源からの距離}) \times \lambda \text{ (波長)}}{d \text{ (格子定数)}}$$

この実験では、1及びdは一定であるため、 $\Delta x$ は $\lambda$ に比例する。したがって、波長は  
 (プロジェクターの光の波長) : (レーザー光の波長) = (プロジェクターの光の $\Delta x$ ) : (レーザー光の $\Delta x$ )  
 で求めることができる。

その結果を波長順で表1に表すと次のようになった。

表1

RGB	波長	RGB	波長	RGB	波長	RGB	波長
2.0.0	643nm	1.1.0	580nm	1.2.2	489nm	0.0.2	445nm
2.1.1	635nm	1.2.0	559nm	0.2.2	488nm	1.0.1	429nm
1.0.0	624nm	0.2.0	556nm	0.1.1	486nm	2.0.1	426nm
2.1.0	590nm	1.2.1	554nm	0.0.1	460nm	1.0.2	423nm
2.2.0	585nm	0.1.0	520nm	0.1.2	448nm	2.0.2	421nm
2.2.1	583nm	0.2.1	517nm	1.1.2	446nm	2.1.2	419nm

今回波長の測定を行ったなかで、スリットを通して照射した光の明線がはっきりと現れず、明線間隔の測定が難しいことがあった。表1の網かけした部分は、測定が難しかった部分であり、これらの値を今後参考値として表すことにする。

<実験2>

無色、赤、青、黄緑の水をペットボトルに入れ、自作のブラックボックスの中でプロジェクターから光を照射し、透過した光をCdSに当て、それぞれの光での抵抗値をテスターを用いて測定した(写真4)。このとき、光源とCdSの距離を25cmとし、ペットボトルを透過していない光がCdSに照射しないようにプロジェクターの光源、ペットボトル、CdSの一直線上を黒い画用紙で覆った。

無色の水の値を基準としたときの赤、青、黄緑の水の値を表2、グラフ1で表すと次のようになった。

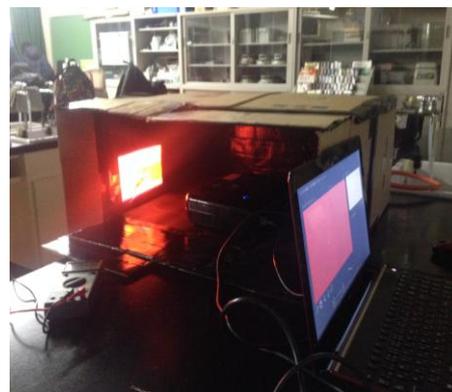
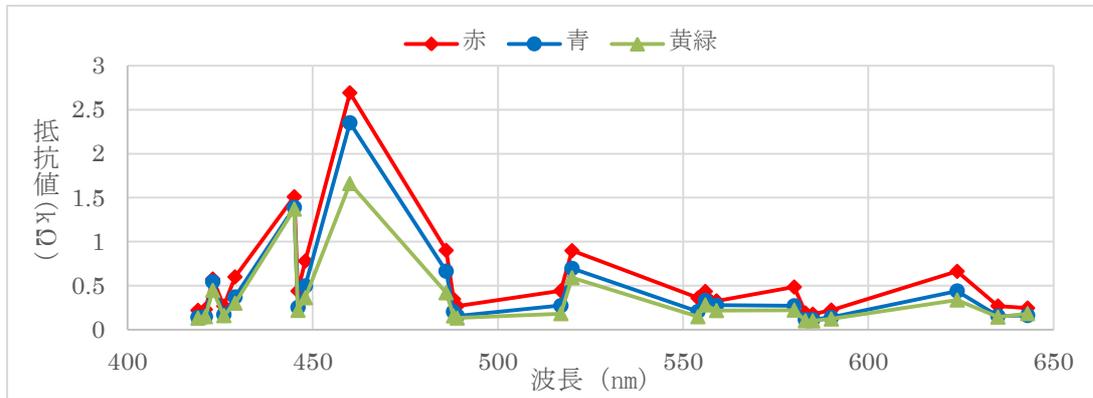


写真4

表2

波長	抵抗値			波長	抵抗値		
	赤	青	黄緑		赤	青	黄緑
643nm	0.247	0.163	0.184	489nm	0.271	0.158	0.134
635nm	0.271	0.157	0.145	488nm	0.349	0.206	0.158
624nm	0.664	0.441	0.339	486nm	0.902	0.666	0.421
590nm	0.224	0.141	0.123	460nm	2.691	2.351	1.661
585nm	0.178	0.117	0.102	448nm	0.782	0.499	0.365
583nm	0.192	0.116	0.103	446nm	0.441	0.255	0.221
580nm	0.486	0.273	0.224	445nm	1.511	1.391	1.371
559nm	0.329	0.279	0.219	429nm	0.601	0.373	0.303
556nm	0.436	0.334	0.283	426nm	0.269	0.173	0.161
554nm	0.362	0.209	0.149	423nm	0.577	0.547	0.449
520nm	0.899	0.698	0.592	421nm	0.231	0.150	0.149
517nm	0.444	0.275	0.184	419nm	0.221	0.142	0.133

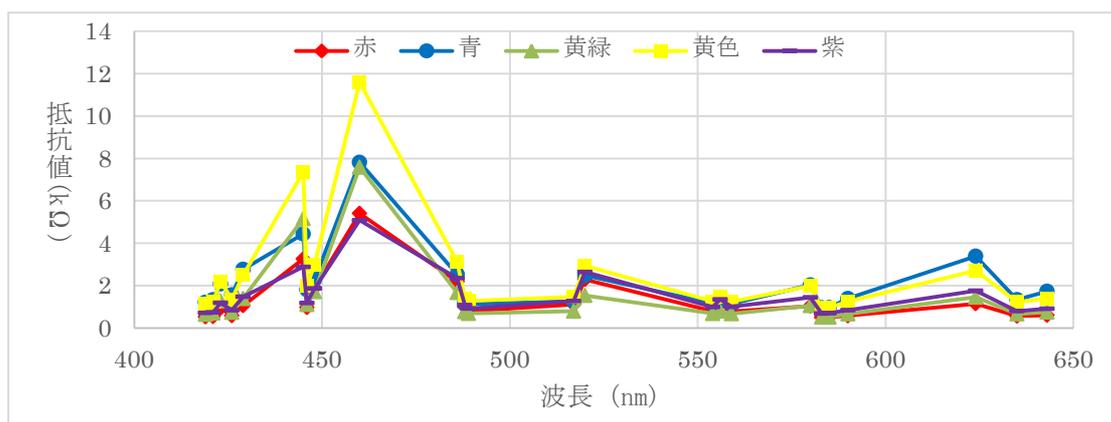


グラフ 1

この結果、各波長の値はあまり差がなく、それぞれの補色を吸収するような変化もみられず比例関係になってしまった。これは赤、青、黄緑の濃度が関係していると思われる。そこで、実験 2 で使った赤、青、黄緑の水より濃度を濃くした色水三種類に、黄色、紫の水を加えた 5 種類の水の抵抗値を同様の方法で測定した。その結果を、表 3、グラフ 2 にすると次のようになった。

表 3

波長	赤	青	黄緑	黄色	紫	波長	赤	青	黄緑	黄色	紫
	抵抗値						抵抗値				
643nm	0.600	1.734	0.746	1.390	0.908	489nm	0.798	1.118	0.683	1.277	0.917
635nm	0.560	1.339	0.663	1.218	0.799	488nm	0.998	1.173	0.769	1.400	1.079
624nm	1.145	3.390	1.456	2.710	1.757	486nm	2.200	2.530	1.672	3.110	2.350
590nm	0.575	1.393	0.662	1.240	0.839	460nm	5.410	7.820	7.590	11.59	5.080
585nm	0.509	0.963	0.511	0.955	0.699	448nm	1.894	2.280	1.712	3.000	1.865
583nm	0.504	0.960	0.513	0.950	0.683	446nm	0.967	1.806	1.108	1.975	1.178
580nm	1.036	2.030	1.056	1.981	1.443	445nm	3.260	4.440	5.160	7.360	2.880
559nm	0.772	1.133	0.671	1.243	1.000	429nm	1.056	2.770	1.388	2.500	1.475
556nm	1.143	1.280	0.796	1.490	1.346	426nm	0.580	1.564	0.736	1.345	0.837
554nm	0.786	1.156	0.680	1.256	0.992	423nm	0.934	2.080	1.274	2.200	1.187
520nm	2.290	2.480	1.534	2.930	2.640	421nm	0.539	1.335	0.703	1.250	0.735
517nm	1.111	1.260	0.790	1.470	1.270	419nm	0.527	1.214	0.640	1.163	0.712



グラフ 2

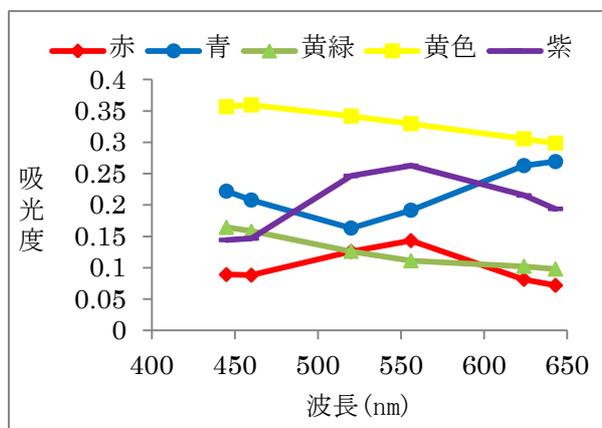
<実験 3>

実験 2 で用いた赤、青、黄緑、黄色、紫の色水を実際に吸光度計で波長ごとの吸光度を測定した。この時、無色の水の吸光度を基準として測定した結果をグラフ 3 に表す。

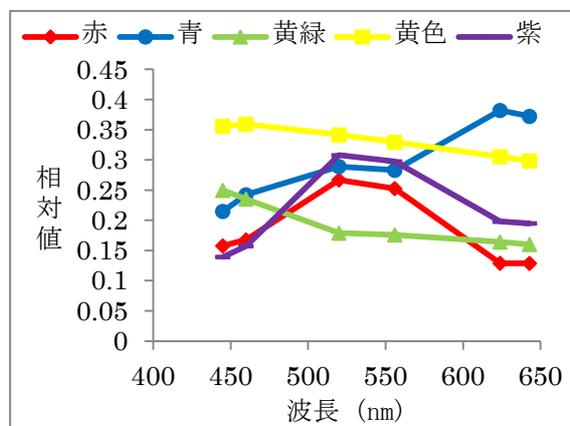
また、グラフ 2 においてプロジェクターの吸光度として有効な 6 色の値(表 1 における網かけのない値)と、実際の吸光度計で測定した黄色の色水の値から実際の吸光度計と簡易吸光度計での値の比を出し、これを補正值として利用した(表 4)。この補正值を表 3 に掛け合わせるとグラフ 4 となった。

表 4

波長	445nm	460nm	520nm	556nm	624nm	643nm
補正值	0.0484	0.0310	0.1166	0.2211	0.1127	0.2147



グラフ 3



グラフ 4

## 5. 考察

実験 1 においては、波長の短い方から順に並べていくと、紫 (2.1.2=419nm~1.0.1=429nm 付近)、青 (0.0.2=445nm~1.2.2=489nm 付近)、緑 (0.2.1=517nm~1.1.0=580nm 付近)、黄 (2.2.1=583nm~2.2.0=585nm 付近)、橙 (2.1.0=590nm 付近)、赤 (1.0.0=624nm~2.0.0=634nm 付近) の順で波長が長くなり、可視領域 (380nm~780nm) およびスペクトル帯に収まった。このことから、実験 1 で行なった波長の測定方法は有効である。しかし、スペクトル帯にはなっているものの、吸光度として利用できる波長帯の光は、単色光のみで照射されているもの (今回は 6 色) である。

実験 2 においては、グラフ 2 の 445nm (青=0.0.2) 付近では、青を補色としている黄色の色水、および波長の長さが比較的黄色に近い黄緑、青の色水の抵抗値が高くなっていることから、これらの色水は青 (0.0.2=445nm) を多く吸収している。赤と紫の色水に関しては抵抗値が他の色水に比べて低いことから青をあまり吸収していないことがわかる。しかし、光の照度に関係するのか、どの試料も 460nm (暗青=0.0.1) 付近での抵抗値が全体的に高くなっており、他の波長との関係を明確にすることができない結果となった。

実験 3 においては、実際の吸光度計と簡易吸光度計の差異を、ある一つの試料を決め、それぞれの波長帯での抵抗値に対する相対値 (補正值) を算出し、それを他の試料のデータに掛け合わせた。その結果は、グラフ 3、グラフ 4 からわかるように、実際の吸光度計の値と同等の値を示した。これは、プロジェクターが吸光度計として代用できるという結果である。

## 6. まとめと今後の課題

実験 1 において光の回折を利用し波長の計測を行ったが、誤差が少なく明確に測定できた波長は、単色光で照射されている、波長の短い順に 0.0.2 (青=445nm) 0.0.1 (暗青=460nm) 0.1.0 (暗緑=520nm) 0.2.0 (緑=556nm) 1.0.0 (暗赤=624nm) 2.0.0 (赤=643nm) の 6 色である。他の色 (18 色) は、プロジェクターから色として表現されているが、その光を回折すると 2 色あるいはスペクトルの帯としての明線が表れてしまい、波長測定に必要な細かい明線にならないからである。これは、プロジェクターでの色表現が、RGB の光の強度により生じさせている現象であり、色としての表現はできるものの、一部の色を除いて吸収する波長帯

を定量（吸光度計として利用）することができないという結果である。しかし、RGBの単光色で色を変化させる（光の強度を変える）と、それに伴う光の波長も変化し、その波長帯における吸光度は測定することが可能であった。このスペクトルを利用し実験2を行ったが、光の強度が関係して明確な各色による補色の関係を見ることができなかった。そこで、実験2と実験3から相対値（補正值）を算出し（今回は黄色による補正值）、これをすべての抵抗値に掛け合わせることにより、各色において吸光度の値と同等の値が得られた。以上のことから、『プロジェクターを吸光度計に代用することは可能である』ということがいえる。

そこで、プロジェクターを吸光度計として利用する利点と問題点について考えてみる。まず大きな利点としては、安価で誰でも製作ができるということである。プロジェクターやカメラはどの学校にも最低1台はあり、実験器具も既存の回折格子などである。CdS素子も電気通商などで1個30円程度で販売されている。そのため、今回の研究に購入した物はCdS素子のみである。もう1つの利点として、大型の試料でも使用が可能という点である。実際の吸光度計では、試料を少量とり、セルという容器に入れて測定を行なう。しかし、プロジェクターを用いた吸光度計では、プロジェクターの照射範囲は広いので、大きなもの（ペットボトルに入れた溶液など）でも測定可能となる。

次に問題点について考えてみる。プロジェクターを吸光度計として利用する問題点は、プロジェクターやパソコンの機種による性能に違いがあり、各色での波長を測定しなければならないという点である。パソコン、プロジェクターは機種によって、照射されるスライドの濃淡が多少違ってしまい、色はその光の強度によって照射されるため、パソコン上で同じ色（例えば2.0.0の赤）を作成し、プロジェクターで照射しても波長は異なる。そのため、プロジェクターとパソコンを決めた段階で波長を測定しなければならず、その際に、危険なレーザー光（既知の波長）を使用して測定することも安全面から問題である。また、プロジェクターでの吸光度の定量化では、光の照度も関係するため、補正值を作成しなければならない。しかし、この補正值を算出するためには、実際の吸光度計での測定が必要であるため、本来の目標と異なる大きな問題がある。

以上のことから、今後の課題として次の2点があげられる。

- ① 危険防止から波長測定のレーザー光の代わりに単色光のLED（既知の波長）を利用して波長を測定する。または、これらのLEDを光源とする簡易吸光度計を製作してみる。
- ② 今回は相対値（補正值）を利用したが、吸光度には光の強度に影響を受けそうなため、今後はルクス計等を用いて光の照度を測定し、相対値（補正值）に代用できるか検討をする。

## 7. 参考・引用文献

研究.net 研究用語辞典 紫外・可視分光光度計 <http://www.kenq.net/dic/41.html>

平成25年度長野県屋代高等学校SSH課題研究 研究報告集 色素増感型太陽電池の開発と研究

CHALLENGE from the VOID ー物理基礎事項ー <http://www.riruraru.com/cfv21/phys/diffrating.htm>

学校間総合ネット 赤外線波長測定 ～光の性質とその利用における赤外線の観察～

[http://www.gifu-net.ed.jp/ssd/sien/gakuryokusougou\\_suisin/koutokugakkou/koutokuH22/04rikaH22/22040.pdf](http://www.gifu-net.ed.jp/ssd/sien/gakuryokusougou_suisin/koutokugakkou/koutokuH22/04rikaH22/22040.pdf)

## 8. 謝辞

この1年間、私たちに指導して下さった清水寛先生、実験道具を貸して下さった化学、物理の先生方、ご協力いただき感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

# 自然及び人のエネルギーを利用した複合的大規模発電

研究者：坂田春樹，春日涼太郎，小林千裕，半田大輔，依田実朗

指導教諭：清水久樹

## 1. 研究概要および目的

エネルギー枯渇が叫ばれる今日，人類にとって，今まで見捨てられてきた身の回りの利用可能エネルギーを活用していくことは最優先事項となっている。

私たちの研究グループは，身近なエネルギーを利用してエネルギー枯渇を回避することを目的に活動を始めた．特に，いくつか挙がった利用候補の中でも物理らしく考察が出来た「雨樋を流れる雨水」と「人が床を踏む力」に着眼点を置いて，屋代高等学校を舞台に発電を行うことを仮定して研究を進めた．

## 2. 研究の方針

私たちが研究対象とした「雨樋を流れる雨水」と「人が床を踏む力」であるが，これらを闇雲に観察しても満足いく結果を得るのは難しい．そこで，まずは適当な未知数を使いながら理論を展開して得られる発電量算出式を導いておいてから，実験でその未知数を求め，発電量を算出し，考察を行うという研究方針を定めた．

## 3. 理論結果と実験結果

始めに，先に述べた発電量算出式を紹介しておく，「雨樋を流れる雨水を利用した発電」のそれは

$$W_1 = S e_{net} \left( n - e_{res} \frac{1 - e_{res}^n}{1 - e_{res}} \right) \epsilon_{rai} \eta g$$

と記述できることが理論展開から導かれた．これを「発電量第1算出式」と呼称する．いま，その非常に長い導出過程や，勝手に定義した未知数をすべて紹介することは出来ない，大まかな考え方と未知数を求める実験を紹介する．

考えるモデルは極めて単純で，雨樋内に適当な数の水車発電機を等間隔で設置して，雨水が水車を回転させることで発電を行うというものだ．水車発電機と言っても小型のもので，右写真のものを雨樋に入るくらいに小さくしたものと考えればよい．

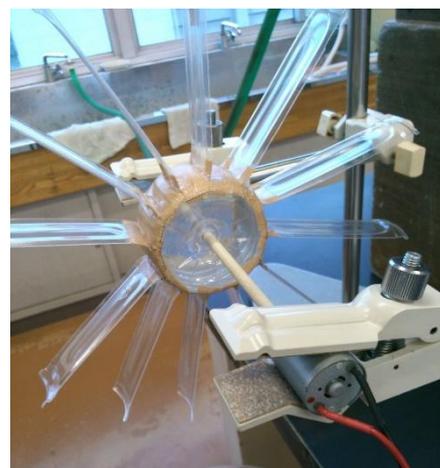
モデルを単純に設定してさえおけば，いかなる理論展開であっても些かの苦労も必要とはせず，時間を掛けずに発電量算出式を導くことが出来る．

今回のモデルは水車発電機が等間隔に設置されることを利用して，数列の考え方を軸に理論を展開した．

ところで，未知数を求めることに関しては実験をするほかに手段が無いが，私たちの制作した水車発電機を更に小さい規格に設計し直して大量生産し，実際に校舎内すべての雨樋に設置することは不可能であるし，正確な値を得るには長年の計測が要求されるため極めて困難である．

そこで，未知数の内で勝手に値を定めてしまってもあまり問題の無いものに関しては，出来るだけ結果に影響を与えないような値に設定して，必要最小限のものだけ実験で求めることにした．

具体的な実験方法は，水車発電機の上に距離をとってホースを地面水平に固定し，流速一定で放出させた水を自由落下させて水車発電機のブレードに当てて水車を回すことで発電し，発電量を計測するというものである．



実験に使用した手作り水車発電機

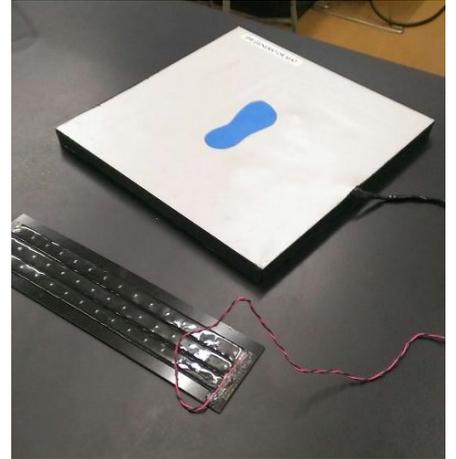
実験データの処理には、これまたさまざまな理論を導入することによって、発電量算出式に代入すべきすべての未知数を求めることに成功した。

続いて、「人が床を踏む力を利用した発電」の発電量算出式は

$$W_2 = \frac{UC}{\sqrt{2\pi}} \int_{\mu-\varepsilon}^{\mu+\delta} \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) du \quad \Bigg|_{(\varepsilon, \delta) = (\text{within budget})}$$

と導かれた。これを「発電量第2算出式」と呼称する。こちらの式は人が床を踏む回数は極めて多数で、ある程度の予測が可能なので、大局的な考え方が十分に通用することから確率密度関数をベースに理論を展開した。

ところで、雨樋を流れる雨水を利用するために水車発電機を用いたように、人が床を踏む力を利用するためにも発電機が必要である。一応紹介しておけば右写真のようであるのだが、その発電の原理は研究目的から外れるので省略する。ただし、この発電機は非常に簡単なものであるもので、もし設置をするとなれば、もう少しばかり本格的にしたものを床一面に張り巡らせると考えればよい。言うまでもなくこの設置も不可能なので、未知数を実験によって求めることにする。確率密度関数を利用するだけのことはあり、実験内容は自ずと、無作為な抽出からなる被験者の床を踏む歩数を万歩計でカウントするという方針に固まっていく。



踏む力で発電する「発電床」

以上が理論結果の紹介であり、これに従った実験を行う。まずは発電量第1算出式の中で実験によって求める未知数を明示しておく

$$e_{res} = P_{out} / P_{hit}$$

$$e_{net} = P_{gen} / P_{hit}$$

となる。ただし、水車発電機に当たる水の仕事率を  $P_{hit}$ 、水車発電機の生み出す電力を  $P_{gen}$ 、水車発電機から出ていく水の仕事率を  $P_{out}$  と定める。つまり上記の  $e$  とは実験における発電に関する効率のことである。

#### ・水車発電機に当たる水の仕事率 $P_{hit}$ の測定方法

まず、 $P_{hit}$  を求めるには空気抵抗の計算をまともに実行する必要があるが、理論、実験精度の面で困難である。そこで発電の前後のエネルギーを統括的に観察し、エネルギーの保存則を適用することで間接的に値を求めることにした。

#### ・水車発電機の電力 $P_{gen}$ の測定方法

次に、 $P_{gen}$  を求める実験を行う。水車発電機の水車を回転させて発電を行う際、電力を計測する方法として一番容易なのは、測定器を用いることである。その電極の一方を発電機、もう一方をコンピュータに接続して専用ソフトを起動すれば勝手に電力を計測できるというものである。私たちもこの計測器を用いる方針でいたのだが、実際に専用ソフトを起動してみたところ、技量及ばずどうにも上手く扱えなかった。そこで、測定器を用いずに発電量を測定する手段を考えることにした。その手段を以下に示す。

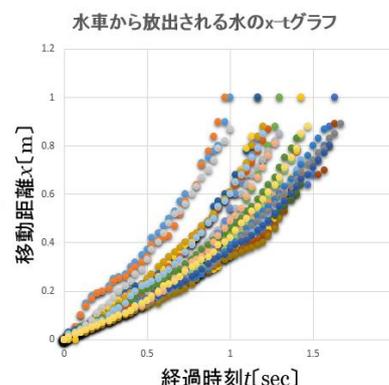
行った実験は3つ。まずは先に述べたような、水車発電機の上にホースを地面水平に固定しての実験1を行う。この際に発電機には物理的でも電気的でも手段は問わないが、何らかのあまり大きくない抵抗をかけておく。ここでホースから水を流せば水車が回転を始めるので、この回転の様子をハイスピードカメラにて撮影しておく。実験1終了後、回転の様子を確認することで単位時間当たりの回転数を算出する。次に、水車発電機にかける抵抗はそのままにしておいて、発電機を電源装置に接続しての実験2を行う。ここで電源装置から電流を流すと、発電機は一転してモーターとしての役割を果たし、水車はモーターに回転させられる。やはりこの回転の様子もハイスピードカメラにて撮影。実験1にて分かった回転数に可能な限り近い回転数を再現し、電源装置の示す電流と電圧の値を記録す

る。最後に実験2からあまり大きくない抵抗を除いての実験3を行う。実験2同様に電流を流して実験1の回転数に可能な限り近い回転数を再現し、電源装置の示す電流と電圧の値を記録する。

さて、3つの実験から必要な情報が揃ったので、電磁気学に基づいた回路図を書いて計算をするという流れを経て、あまり大きくない抵抗の電力を算出することが出来るという訳だ。あとは適宜、値を調節して電力へと漕ぎつけられる。

・水車発電機から出ていく水の仕事率  $P_{out}$  の測定方法

最後に、 $P_{out}$  を求めるがやはり空気抵抗の計算が必要なので、工夫してその値を求めることにした。 $P_{out}$  を求めるといっても、具体的に値を決定するのは雨水が水車発電機を出ていくときの速さである。ならば、実験1を行う際に水車発電機下の水の様子をハイスピードカメラにて撮影しておき、その映像に基づいて右のような  $x-t$  グラフを作成し、Excelにて各データへの近似曲線を引かせ、それらの2次方程式を表示させ、時刻  $t=0$  におけるグラフの微分係数を求めるといった手順を踏むことによって目的の速さを求め、結果として  $P_{out}$  を求める。データが3、4極化しており、水車発電機のブレードの形状からその理由も考察が可能だが、研究目的からは外れるので省略する。



以上より、私たちの研究対象とした「雨樋を流れる雨水」と「人が床を踏む力」の発電量を算出するすべての材料が揃った。あとは単に未知数を発電量算出式に代入して

$$W_1 = 1.3 \cdot 10^8 \text{ [J / year]}$$

$$W_2 = 7.6 \cdot 10^7 \text{ [J / year]}$$

を算出。エネルギー量ではどうしても実感がわからないので、これらを電気料金に換算すると

$$W_1 = 8.0 \cdot 10^2 \text{ [yen / year]}$$

$$W_2 = 4.6 \cdot 10^2 \text{ [yen / year]}$$

となる。

#### 4. 考察

結果の考察をしていく。いま、両者の値を見るとその値は決して大きくないことは自明である。そこで、「雨樋を流れる雨水」と「人が床を踏む力の利用した発電」は、それぞれ「自然のエネルギー」と「人の作るエネルギー」の要素であるので、互いの値を相対的に評価することで有用性を見出そうと考えたが、値の小さいもの同士を比べたところでそれら自体の価値へと結びつけるのは少々強引である。

そこで、この値が小さい原因を考えると、発電を行う舞台があまりにも小規模であるということが挙げられる。これを解決するためには視野を大きくズームアウトする必要がある。この考えに従って、発電規模を日本国の領土全域に拡大する。

ところで、大規模な発電量を算出するにあたって、発電量第1、2算出式を使用することは出来ない。それは、未だにその正確性の証明されていないそれらを使用することは適当ではないからである。従って、既に正確性が証明されている式を用いる必要があるので、私たちの理論はまったく使用せず、ただ世間一般に知られる公式の文字を私たちの使用していた文字と置き換えて順に

$$W_{1-max} = S \varepsilon_{rai} Hg$$

$$W_{2-max} = UC$$

と最大発電量算出式を立てる。ここで最大発電量である理由は、着眼するエネルギーの潜在的な量を求めることによ

って式に正確性と単純性を持たせるためである。念のため、最大発電量で評価が可能かを吟味すると、着眼したエネルギーを利用した発電は互いに90%を超えるエネルギー回収率を実現しており、私たちの実験と同等またはそれ以上の発電を行うことで評価は十分可能であると言える。

さて、私たちの考える日本国の領土全域を舞台とした、自然及び人のエネルギーを利用した複合的大規模発電の概要を紹介していくが、まずは「理想発電機」を定義しておく。この発電機は

- ・値の大小にかかわらず力を加えられるとその力の大きさに応じた量の発電を行う
- ・太陽光発電が可能
- ・送電時のロスが極めて小さい
- ・莫大な数の生産が可能

といった条件を満たすものである。言うまでもなく、この理想発電機を今すぐ実現させることは不可能であり、そういった意味で「理想」であるのだが、エネルギーを増やすわけでなければ、質量を増やすわけでもないといった点を考慮すれば、人類が長い時間を掛けることによって将来的に実現させることは決して不可能ではない。

では、右に複合的大規模発電の構図を表し、図にて振った番号の順に紹介を行う。

①これは落下する雨水を示しており、勿論終端速度に到達しているので速さは一定とみなせて運動エネルギーは簡単に求まる。

②日本国の領土内には先に述べた理想発電機が設置可能な地面に敷き詰めてある。雨水は地面に落下して発電を行い、運動エネルギーを損失し、下水道へと向かう。

③雨水は地上から下水道へと流れていく。この時に、雨樋内における発電の原理を適用する。

④下水道へ到達した雨水は中を流れ、最終的には海へと向かう。その際のエネルギーも無駄にすることなく水車発電機によって回収する。傾斜角を考えればこの場合においても雨樋内における発電の原理が適用できる。

⑤人が歩く地面の多くの場所には発電機が設置してあるので人は生活するだけで発電し続ける。

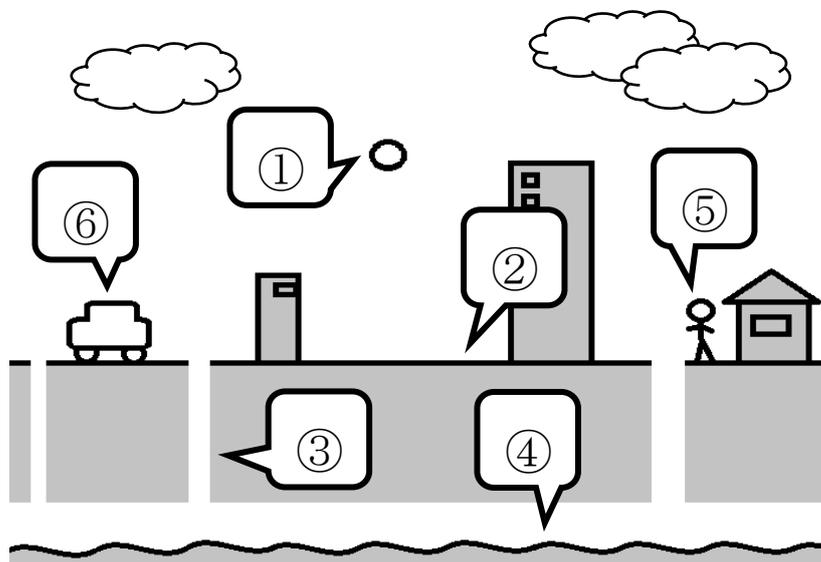
⑥地面に力を加えることで発電を行うならば自動車の走行も発電対象となる。

以上の一連の流れによる発電量は、今までの研究から得たノウハウと地理的情報を十分に活用することによって求める方針であるが、現在の研究段階ではその値を算出するまでには至っていない。物理の教員の指導は勿論の事、地理、地学の教員にも指導を仰ぐことによって総合的な結論を導く。

ところで、この複合的大規模発電の一番の課題は理想発電機の実現にあるわけだが、これを現在の発電の主な燃料の可採年数が切れるまでに実現できれば、人類がエネルギー枯渇を回避することに成功する見込みは十分にある。

## 5. まとめ

私たちの研究の発端は雨樋を通過する雨水のエネルギーを利用して発電を行うことであったが、発電量が思いのほか小さく、他のエネルギーを考えるも上手くいかなかった。そこで思い切って規模を拡大してみると夢のある結果を導くことが出来た。更なる研究を進め、最終的な結論を明確に提示したい。



複合的大規模発電の概要図

# メントスコーラ～飛び出す泡の不思議～

研究者 榊原一真 西村隼杜 山崎誠  
指導教諭 手塚理実

## 0. What is “Mentos-Coke?”

Do you know the phenomenon called “Mentos-Coke” ? It is the reaction with Mentos and Coke. It causes the forceful release of  $\text{CO}_2$  with bubbles. This phenomenon has been talked about on the Internet since several years ago.

## 1. The purpose of this study

We wondered why this phenomenon happens and Mentos reacts with cokes the best and Coca-Coke-Zero reacts more heavily than Coke. So we want to find to answer to this question. Therefore we researched the surface of Mentos and the components of Coke. Furthermore we observed the change of reactions.

## 2. The outline of this research

After we researched about “Mentos-Coke” with books and on the Internet, we carried out the following experiments.

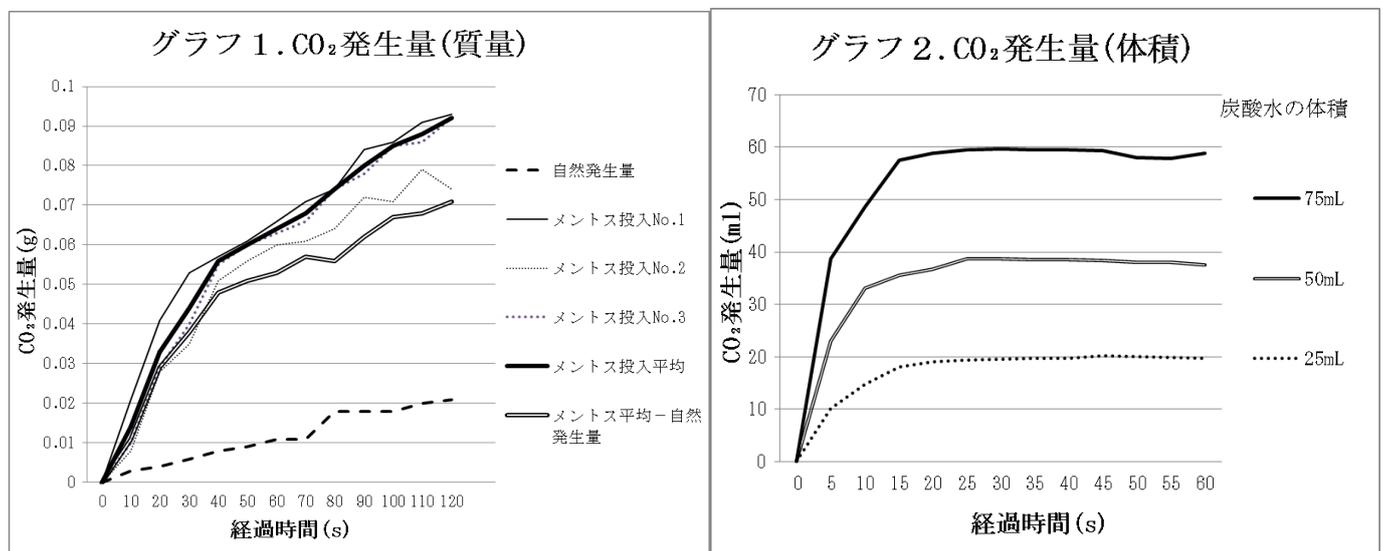
- (1) To observe the surface structure of Mentos.
- (2) To measure the change of reactions caused by certain substances.
- (3) To measure the viscosity of aspartame ; the component of Coke
- (4) To measure reactions by changing the conditions. etc.

## 3. 研究結果

### 初めに

- ・メントスコーラはメントスとコーラにおける反応を指すが、私たちが事前に行なった実験によって炭酸水やサイダーでも同様の反応が確認されたので、実験 1 では二酸化炭素を水に溶かしただけの炭酸水を用いることにした。
- ・文献調査によりメントスコーラの反応原因として、メントス表面の構造が挙げられた。
- ・コカ・コーラ ZERO がコカ・コーラに比べて反応が激しくなる原因として、アスパルテームが挙げられた。

### 実験 1 二酸化炭素の質量と体積を計測



### <実験概要>

(グラフ1) 炭酸水 50ml にメントス 1 個を投入し電子天秤を用いて質量を計測

(グラフ2) 炭酸水の体積を変えて水上置換法で二酸化炭素発生量の計測

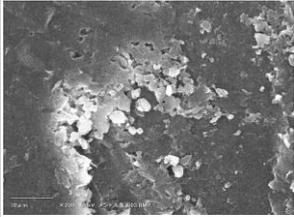
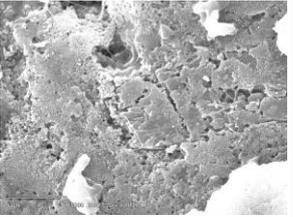
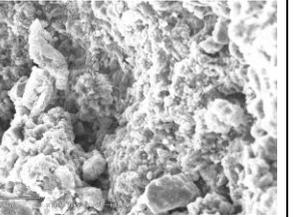
### <結果>

- ・グラフ1より40秒辺りまでの質量変化が激しかったが、その後小さくなった。
- ・グラフ2より炭酸水の体積を変えて行った時も気体の発生は大体15秒辺りまでであることがわかった。
- ・二酸化炭素発生量は体積に比例していることが分かった。
- ・同じ円筒容器を用いたので、体積を変化させると液面の高さも変化する。そのことから二酸化炭素の発生量は液面の高さに比例することがわかった。

### 実験2 メントス及び類似したお菓子、多孔質素材の表面を電子顕微鏡で観察

#### <結果>(表1から)

- ・メントス表面は事前調査で分かった多孔質状のものではなかった。
- ・凹凸は間々見られたが、同じお菓子として観察したミンティアの方が凹凸は激しかった。

表1	メントス	ミンティア	キシリトールガム	コンクリート
表面	凹凸少しあり (×2000) 	凹凸あり (×5000) 	最も滑らか (×3500) 	凹凸は激しい (×5000) 
泡	あり (基準)	あり 細かい	少しあり 大きい	少しあり一番大きい

### 実験3 実験2で用いたサンプルで泡の発生の状況を観察

#### <結果>(表1から)

- ・ミンティアや、コンクリートから泡が発生した。
- ・メントスの表面を溶かして表面の下部分を露出させたメントスは投入後すぐに泡が発生した。

#### <考察>

- ・ミンティアやコンクリートから泡が発生したことから、多孔質が泡の発生の原因になることが分かった。
- ・表面が溶け表面の下部分を露出したメントスを投入した直後に泡が発生したことから、表面が多孔質状でないメントスから泡が発生した原因は、メントスの内部構造にあるのではないかと考えた。

### 実験4 電子顕微鏡でメントスの内部構造を観察

メントスを次のように加工して観察した。

1. 表面の砂糖コーティングを水に通して溶かす→金槌で割り、形の良い破片を選び、表面と断面を観察
2. 表面の砂糖コーティングをヤスリで削る→金槌で割り、形の良い破片を選び、表面と断面を観察

#### <結果>

- ・表面を削ったものの断面と未加工のものとの断面は金槌でたたき割った際にいくらか剥がれてしまったので、削った断面と未加工の断面を観察することはできなかった。
- ・写真1より多孔質的な表面というよりは凹凸が多く存在していることがわかる。削った表面の方が凹凸は全面に広がっている。
- ・写真2より溶かしたものはさらに凹凸が激しい。

・写真3より表面下からガム部までの間に細かな粒子らしきものが見られる。

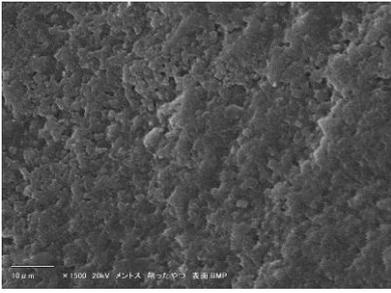


写真 1. 削った表面(×1500)

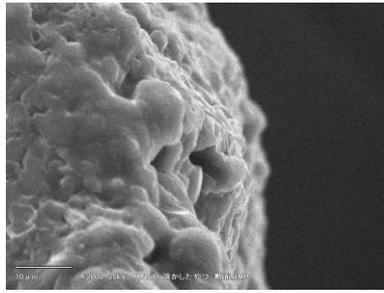


写真 2. 溶かした表面(×2000)

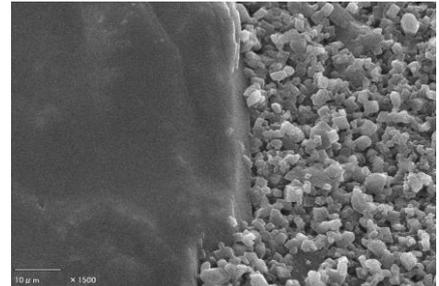
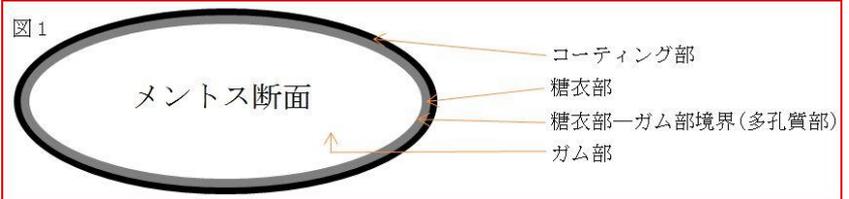


写真 3. 糖衣部—ガム部境界(×1500)

<考察>

・今回の実験結果によりメントス断面の構造は図1の様になっていると考えた。

・糖衣部—ガム部境界にある細かな粒子らしきものが、二酸化炭素発生の原因になっていると思われる。



### 実験5 コカ・コーラとコカ・コーラ ZERO の CO<sub>2</sub>発生量の測定

<実験概要>

- ① 二酸化炭素を完全に抜いたコカ・コーラとコカ・コーラ ZERO を用意する。
- ② コカ・コーラとコカ・コーラ ZERO とともにホットプレートを用いて約 20℃まで温度を上げる。
- ③ 炭酸水製造機を用いて②のコカ・コーラ ZERO とコカ・コーラ に再び二酸化炭素を溶かす。
- ④ 右の装置を用いて③のコーラにメントス 1 個を投入し、5 秒おきに発生する二酸化炭素の量を水上置換で測定する。



写真 4. 水上置換用器具

<結果>

#### [コカ・コーラ ZERO]

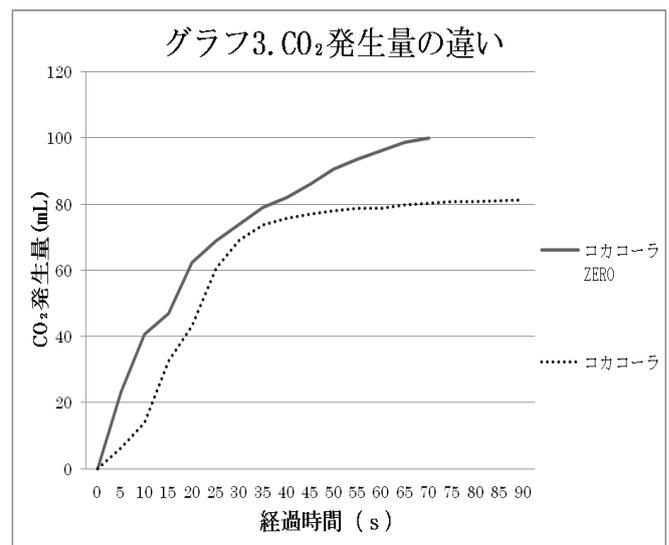
- ・0～10 秒における単位時間あたりの二酸化炭素の発生量が最も大きくなった。
- ・15 秒付近で少し気体の発生量が減る。
- ・20 秒～65 秒まで増え続ける。

#### [コカ・コーラ]

- ・10～25 秒における単位時間あたりの気体の発生量が最も大きくなった。
- ・30 秒からグラフが横ばいになり、気体の発生量が少なくなった。

<考察>

- ・コカ・コーラ ZERO の方がコカ・コーラに比べて 1 秒間あたりの気体の発生量が大きくなった。
- ・コカ・コーラ ZERO はコカ・コーラに比べて気体の発生が持続する。
- ・コカ・コーラ ZERO における気体の発生時に、途中で反応が弱まり、再び反応が進むのはなぜであろうかという疑問が残った。
- ・コカ・コーラ ZERO の方が二酸化炭素の発生量が多くなり、反応が激しくなった。その原因をコカ・コー



ラ ZERO に含まれるアスパルテームと考えた。

- ・ コカ・コーラ ZERO の方がコカ・コーラより泡持ちがよかった。

### 実験6 アスパルテームの濃度の変化と発生する二酸化炭素の測定

<実験概要>

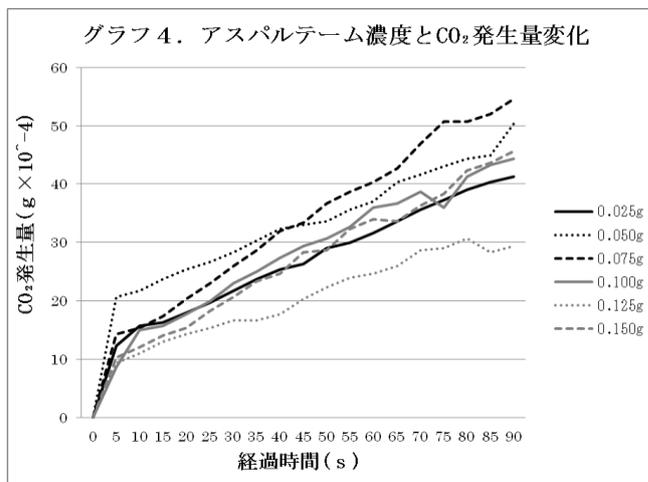
20mLの蒸留水に0.025gから0.150gのアスパルテームを溶かし、20mLの炭酸水を加えて40mLの炭酸とアスパルテームの混合液を作り、メントスを投入しその後の質量変化を調べた。

<結果>

結果はグラフ3の通り。

どの濃度においても変化量、変化の様子共にほとんど変わらないことから、アスパルテームの濃度は二酸化炭素の発生量に直接的な関係はなく、発生量の変化の様子にも直接的な関係はないことが分かった。

※この実験は炭酸水とアスパルテーム水溶液の混合液で行った実験であるので、混合液ではなくアスパルテーム水溶液に直接二酸化炭素を溶かした溶液で行った方がよいと考えた。



### 実験7 アスパルテームによる粘性の変化を計測

<実験概要>

写真4の通りにオストワルド粘性測定計を用いて10mlの蒸留水で測定した粘度を基準値として実験した。比較対象として10mlの蒸留水に砂糖を10g溶かした溶液、アスパルテームを0.5g溶かした溶液、それに、コカ・コーラとコカ・コーラ ZERO それぞれ10mlずつの粘度を測定した。

※オストワルド粘度計とは毛細管粘度計という粘度計に分類されるものであり、一定量の液体が一定温度において、図2における線2の下にある毛細管内を重力方向に自然落下するのに要する時間を計測し、溶液の粘度を水の落下時間を基準値として相対的に計測する機器。

なお、図2の線1の上まで溶液を満たし、液面が線1を通過してから線2に着くまでの時間を経過時間とした。

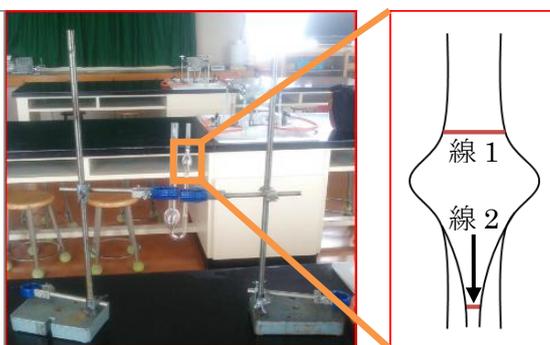
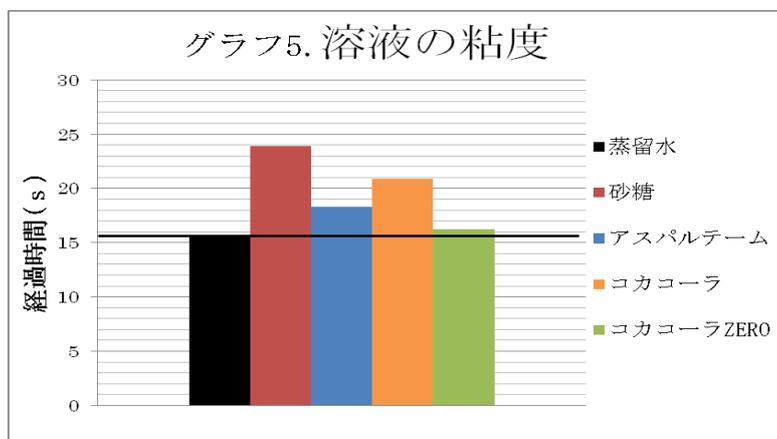


写真5.オストワルド粘性測定計(左)と図2.測時球部模式図(右)

<結果>

- ・ アスパルテームの粘度が、砂糖コカ・コーラより小さくなった。
- ・ コカ・コーラの粘度は砂糖に比べて小さくなった。

### <考察>

- ・ コカ・コーラ ZERO のアスパルテームの粘度が、よりメントスとの反応が弱いコカ・コーラよりも小さくなったことから、
- \*アスパルテームの粘性はコカ・コーラ ZERO におけるメントス反応が激しくなる原因ではない。
- \*アスパルテームの粘性はコカ・コーラ ZERO の泡持ちをよくする原因ではない。以上のことが考えられる。

## 4. 全実験からの考察

### 実験1から

- ・ 二酸化炭素発生量は炭酸水の質量と液面の高さに比例する。

### 実験2、実験3から

- ・ 凹凸の激しいミンティアから泡が出たことから、表面の形状は発生に関係がある。
- ・ コーティングを剥いだメントスは発生までにかかる時間が非常に短かったことから、メントスのコーティングの下に発生の原因がある。

### 実験4から

- ・ メントスコーラの原因は、メントス表面の凹凸すなわち多孔質であると考えた。

### 実験5から

- ・ コカ・コーラ ZERO はコカ・コーラに比べ単位時間あたりの気体の発生量が大きく、気体が発生し続ける。
- ・ アスパルテーム入りの炭酸飲料の方が泡は多く発生していることから、アスパルテームは溶液の粘性を高め、泡持ちを良くする働きがあるのではないかと考えた。

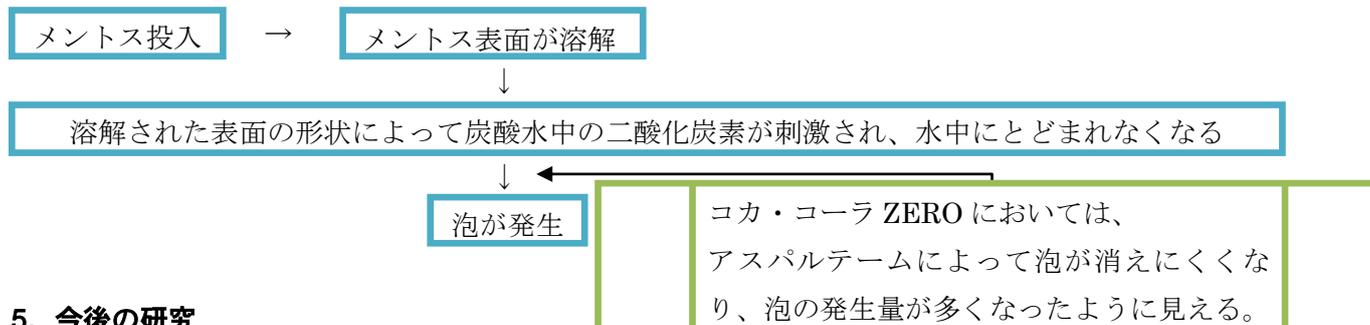
### 実験6から

- ・ アスパルテームは発生原因に直接的な関わりが見られなかった。

### 実験7から

- ・ 粘性はメントスとコカ・コーラ ZERO が激しく反応する直接的な原因ではないと考えた。

### <メントスコーラ反応の仕組み>



## 5. 今後の研究

1. ボンベを使って条件を変えて炭酸水を作りそれを用いて実験し、泡の発生原理を詳しく調べる。
2. アスパルテームだけ溶けた溶液を用いて実験5と同様な実験を行う。
3. アスパルテームの定性をする。

## 6. 参考文献

メントス・カイザー発生の原因を探る part1 [www.shizecon.net/sakuhin/50jhs\\_kasaku\\_5.html](http://www.shizecon.net/sakuhin/50jhs_kasaku_5.html)

メントス・カイザー発生の原因を探る part2 [http://www.shizecon.net/sakuhin/51jhs\\_2.html](http://www.shizecon.net/sakuhin/51jhs_2.html)

「コーラの不思議」 [yatagai.jp/student/h23/.../22603%2022618%2022633.pdf](http://yatagai.jp/student/h23/.../22603%2022618%2022633.pdf)

柴田科学株式会社 FAQ「粘度計」 [http://sibata.co.jp/faq/faq\\_nendokei.html](http://sibata.co.jp/faq/faq_nendokei.html)

## 7. 謝辞

今回の研究に関わってくださった先生方、特に担当教諭として指導してくださった手塚先生と、ご多忙の中私達のために電子顕微鏡を貸し出して下さった信州大学工学部樽田先生にこの場を借りて感謝申し上げます。

# ヨウ素デンプン呈色反応の不思議～退色温度への考察～

研究者 内村一輝 小林良輔  
土屋建人 矢島拓実  
指導教諭 小田切亨

## I. 研究目的

現代社会では、生分解性プラスチックが多用されている。素材の一つにデンプンが上げられるが、卒業生は澱粉生分解プラスチック研究の一環で、ヨウ素澱粉呈色の退色温度が温度に依存し、且つ、アミロース鎖の自由度が無くなると退色温度が低下することを提案した<sup>1)</sup>。この原理を利用すれば澱粉を使つてのデンプン系生分解性プラスチックの安定化剤の素材検索への道も開けるかもしれない。私達は、この提案に着目して理論が正しいか否かを検討することを目的とした。そして、今後ますますの発展が期待される生分解性製品を開発する為の基礎を少しでも学ぶことができたかと願っている。

## II. 研究内容・研究方法

### (1) 3種のデンプンの違いを押さえる ～基本データの集積～

以下の実験においては、可溶性デンプン、トウモロコシデンプン、バレイショデンプンをその必要量蒸留水に懸濁し、ゆるやかに過熱して溶解させ、室温に冷却してデンプン溶液を調製した。なお、各デンプンは純正化学一級品を用いた。

#### ① デンプン種によるヨウ素呈色光吸収曲線の計測

各デンプン水溶液（可溶性 0.025%, トウモロコシ バレイショ 0.050%）10mL にヨウ素液（ $I_2$  1g + KI 2g/100mL）0.40mL を加え呈色させ、SHIMADZU UV mini 1240 を用いて波長 190～1100nm における光吸収を測定し、各デンプンのヨウ素呈色について比較検討した。

#### ② デンプン種による粘度の違い

各デンプン溶液について、濃度と粘度の関係をオストワルド粘度計により調べた。粘度測定条件は、30℃の恒温水層に、オストワルド粘度計を垂直に設置し 10mL デンプン水溶液を粘度計に供して、一定量の落下時間をストップウォッチで計測し比較した（図1）。



図1 粘度の測定装置

#### ③ ヨウ素デンプン反応における退色温度の測定

各デンプン溶液を用いて、デンプン濃度と退色温度との関係を調べた。即ち、可溶性デンプン溶液（0.01～20%）10mL に蒸留水 10mL とヨウ素水溶液（ $I_2$  1g + KI 2g/100mL）を 0.40mL 滴下し、マグネティックスターラーを用いて溶液温度を均一に上昇させた。目視によりヨウ素デンプン呈色の青色が消える温度を退色温度とした。

### (2) アミロースの自由度を奪う

～デンプン分子間に架橋構造を導入できないか～

#### ① デンプンスライムに挑戦

よく知られるスライムはポリビニルアルコール(PVA)に四ホウ酸ナトリウム ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) による架橋構造がゆるやかに築かれている（図2）。デンプンにも同様のヒドロキシ基が存在するため、同様の原理で $\alpha$ -1,4 グルコース鎖間に架橋構造ができればスライム状態となる。そこでデンプンスラ

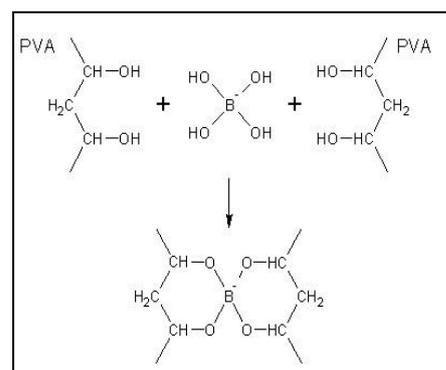


図2 PVA スライムの構造

イムが作れないか検討した。スライムができればデンプンの立体構造に架橋をもたらす自由度を奪う手立てに繋がる。トウモロコシデンプン 15g に蒸留水 100mL を加えてデンプン溶液とし、17℃にて飽和四ホウ酸ナトリウム 100mL (4g/100mL 水) を加えてガラス棒でひたすら攪拌を続けた。バレイショデンプン 14g に蒸留水 100mL、飽和四ホウ酸ナトリウム 50mL でも実施した。

## ② デンプン溶液と四ホウ酸ナトリウムの相互作用の検討

各デンプン溶液 10mL に四ホウ酸ナトリウム飽和溶液 ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  4.0g/100mL water) 10mL を加え溶液の粘度とヨウ素デンプン呈色の退色温度への影響を(1)②③実験同様に実施した。また、1%可溶性デンプン溶液について四ホウ酸ナトリウム量を変えて退色温度変化を測定した。

## (3) ポリ酢酸ビニルとカルボキシメチルセルロースのヨウ素デンプン呈色反応への影響の検討

各デンプン水溶液にポリ酢酸ビニル(木工用ボンド)とカルボキシメチルセルロースを加えたときのヨウ素デンプン呈色反応の退色温度を測定した。条件は(1)③同様とした。

## III. 実験結果・考察

### (1) ①デンプン種によるヨウ素呈色光吸収曲線

吸光度計でヨウ素デンプン呈色反応の光吸収の様子を測定できる濃さにするため、デンプン溶液の濃度を調整し可溶性デンプン溶液は 0.025%、トウモロコシとバレイショデンプンでは 0.05%が最適となった。測定の結果可視光領域(360~830nm)に注目すると3種のデンプンともほぼ同様のパターンが見られたが、いずれもデンプンの最大吸収波長は、600nm 付近にあるとわかった。各デンプンの最大吸収波長は、可溶性デンプンは 561nm-1.739abs、トウモロコシは 680nm-2.855abs、バレイショは 677nm-1.863abs であった(図3)。可溶性デンプンは、加工された比較的鎖長のそろったアミロースが中心となり、トウモロコシやバレイショデンプンには自然でより複雑なアミロース鎖やアミロペクチン鎖が多く含まれているため呈色の最大吸収波長が長波長側に存在するものと考えられる。<sup>2)</sup>

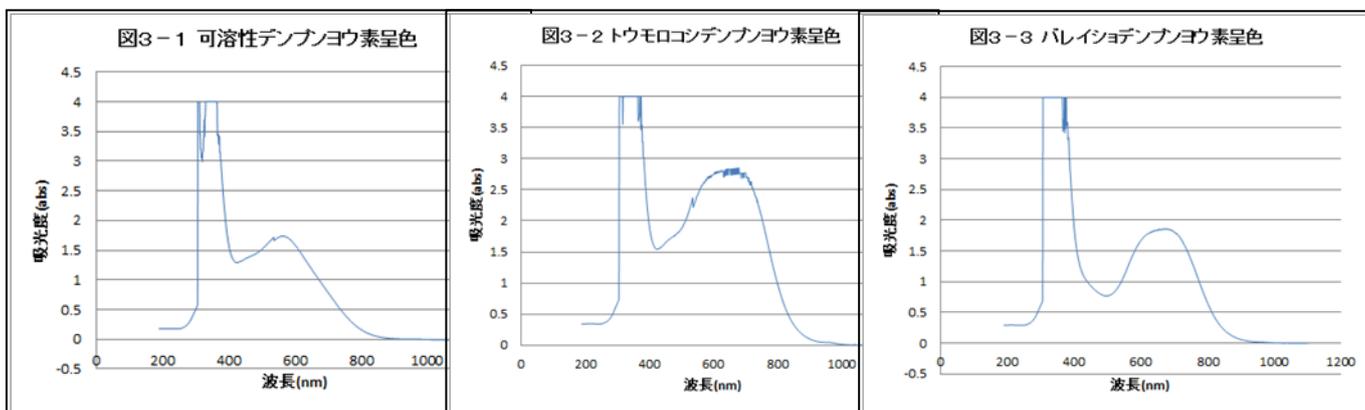
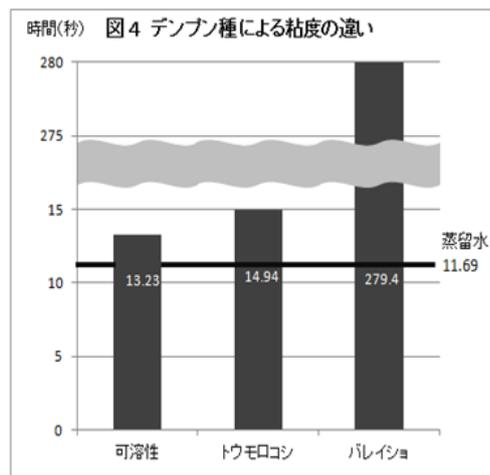


図3 デンプン種によるヨウ素デンプン反応光吸収曲線

### ②デンプンの種類による粘度の測定

0.5%に調整した3種のデンプンの粘度測定をしたところ図4の結果を得た。いずれも蒸留水より粘度が高いが、バレイショデンプンは、トウモロコシに比較してきわめて粘性が高いということが分かった。更に、デンプン濃度と粘度の関係を調べてみたものが図5である。濃度が高くなるにつれて粘度が高くなることが明らかだが、可溶性デンプン・トウモロコシデンプンに比べてバレイショデンプン溶液の粘度が突出して高い値を示している。これは明らかに構造の違いが反映されているものと



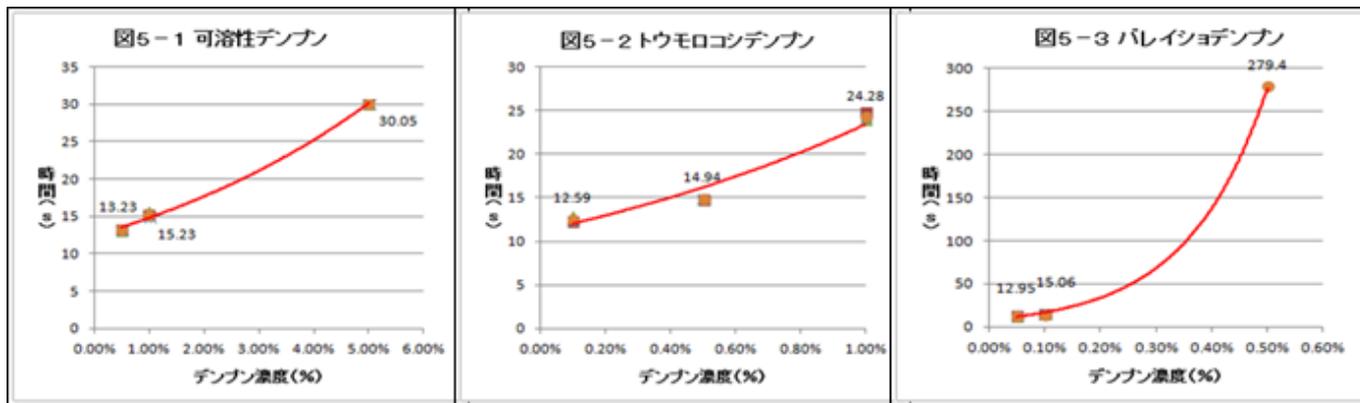


図5 各デンプン溶液の粘度と濃度の相関

考えられる。パレイショに含まれているアミロペクチンやアミロースの粒子の立体的な位置関係等がどうなっているのか興味を駆り立てられる。

### ③ ヨウ素デンプン反応における退色温度の測定

各デンプン溶液で退色温度を測定した結果が図6である。可溶性デンプンでは、濃度の増加に伴って退色温度が高くなる傾向がある。退色は、溶液の温度上昇に伴いデンプンおよびヨウ素分子の熱運動が増加し、デンプンのグルコース螺旋中よりヨウ素が飛び出すことで複合体ができなくなるためと考えられる。低濃度ではデンプンの絶対数が少ないことから退色反応が早く完結するものと考えられた。また、トウモロコシ、パレイショデンプンでは可溶性デンプンほどきれいな相関は認められなかったものの、濃度増加に伴う若干の退色温度上昇の傾向が認められた。

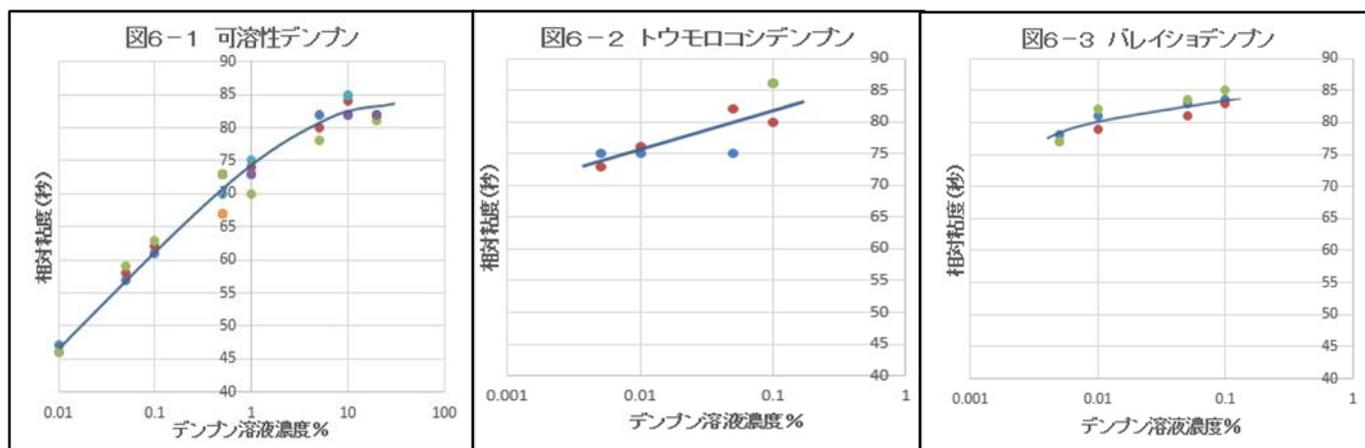


図6 各デンプン溶液の濃度と粘度の関係

### (2)①四ホウ酸ナトリウムによるデンプンスライム

PVA(ポリビニルアルコール)と同様にヒドロキシ基を沢山もつデンプンの構造に注目し、デンプンがホウ酸と結びつき架橋構造ができるのではないかと確かめた。かなり高濃度のトウモロコシデンプン溶液となるが、飽和させた四ホウ酸ナトリウム溶液を加えて30分ほどガラス棒で攪拌したところ、デンプンがスライム状態になった(図7)。対照に四ホウ酸ナトリウムの代わりに蒸留水を加えて同様の時間攪拌したが変化が見られず、デンプンにホウ酸を加えると架橋構造が確かに形成されることが分かった。このことはデンプン分子の自由度を四ホウ酸ナトリウムの添加で下げることができる可能性を



図7 デンプンスライム

左:パレイショ 右:トウモロコシ

示す結果であり今後の実験の方向性を確かなものとする大きな成果と考えた。

## ②デンプン溶液と四ホウ酸ナトリウムの相互作用の検討

四ホウ酸ナトリウムの有無による各デンプン溶液の粘度変化を表1に記した。デンプン分子間に添加したホウ酸によって架橋構造が構築されることがスライム形成によって分かっているので、粘度増加として検出されるべきところであるが現段階ではきれいな相関が得られていない。今後の実験で濃度を変えて検討を深めてゆく課題となる。

表1 各デンプン溶液の四ホウ酸ナトリウム添加時の相対粘度変化

デンプン溶液種	四ホウ酸ナトリウムを混ぜた時の相対粘度(秒)の変化						
	ホウ酸の有無	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
可溶性1%	なし	14.7	14.75	14.67	14.64	14.62	14.68
	0.1g	13.8	13.7	13.66	13.63	13.59	13.68
コーンスターチ0.5%	なし	14.85	14.62	14.64	14.78	14.94	14.77
	0.1g	16.1	15.46	15.85	15.82	16.03	15.85
バレイシヨ0.5%	なし	15.59	15.21	15.26	15.19	15.2	15.29
	0.1g	13.17	13.14	13.17	13.1	13.12	13.14

また、退色温度の違いや濃度の退色温度への影響を実験した結果を表2に記した。この結果よりホウ酸を加えることによって、いずれのデンプンでも退色温度の大幅な低下が確認された。しかし、通常は退色後温度が下がると可逆的にヨウ素呈色するのだが再呈色しなかった。ヨウ素と四ホウ酸ナトリウムとの直接反応が心配されたので、ヨウ素と四ホウ酸ナトリウムとの反応を試みたところ50~60°Cでヨウ素の消失がおこることが判明した。そこで以下のような若干の検討を加えた。

四ホウ酸ナトリウムは次のように加水分解する。<sup>3)</sup>  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + 4\text{H}_3\text{BO}_3$  更に複雑な反応が存在するとの報告もある<sup>4)</sup>。ヨウ素はアルカリ水溶液中で  $\text{I}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaI} + \text{NaIO} + \text{H}_2\text{O}$  の反応をして溶解するので、同様の変化が四ホウ酸ナトリウム水溶液の共存下塩基性の環境で変化したと考えてみた。ヨウ素は水酸化ナトリウム水溶液中で消失するが塩酸添加によって酸性溶液環境で出現する。そこで上記の四ホウ酸ナトリウム飽和水溶液10mLに対し少なくとも0.2 mLの濃塩酸を添加したところ過熱によるヨウ素の消失を防げる事が判明した。(図8)

表2 四ホウ酸ナトリウムによる各デンプン溶液のヨウ素呈色退色温度変化 (負のデータ)

デンプン溶液種	ホウ酸なし	ホウ酸あり
可溶性 1%	73°C	58°C
トウモロコシ 0.1%	84	64
バレイシヨ 0.1%	84	64

測定溶液内容	退色温度
可溶性デンプン	75°C
+ホウ酸 0.10g	57
+ホウ酸 0.05g	57
+ホウ酸 0.01g	58

※ ヨウ素デンプン呈色が退色した後温度が下がると再呈色するのだがこの実験では再呈色することがなかった。

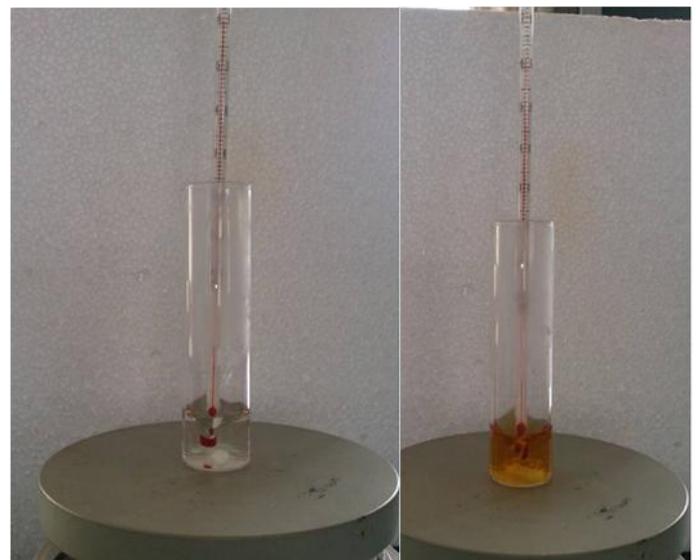


図8 四ホウ酸ナトリウムとヨウ素の反応への塩酸の効果

左: 62°Cでヨウ素消失 右: 左に塩酸添加するとヨウ素出現

従って、四ホウ酸ナトリウムの有無による各デンプン溶液の粘度変化については、今後酸性条件下での検討を加えることで実施できるものと考えている。(後日報告)

### (3) ポリ酢酸ビニル (木工用ボンド) とカルボキシメチルセルロースのヨウ素デンプン呈色反応への影響の検討

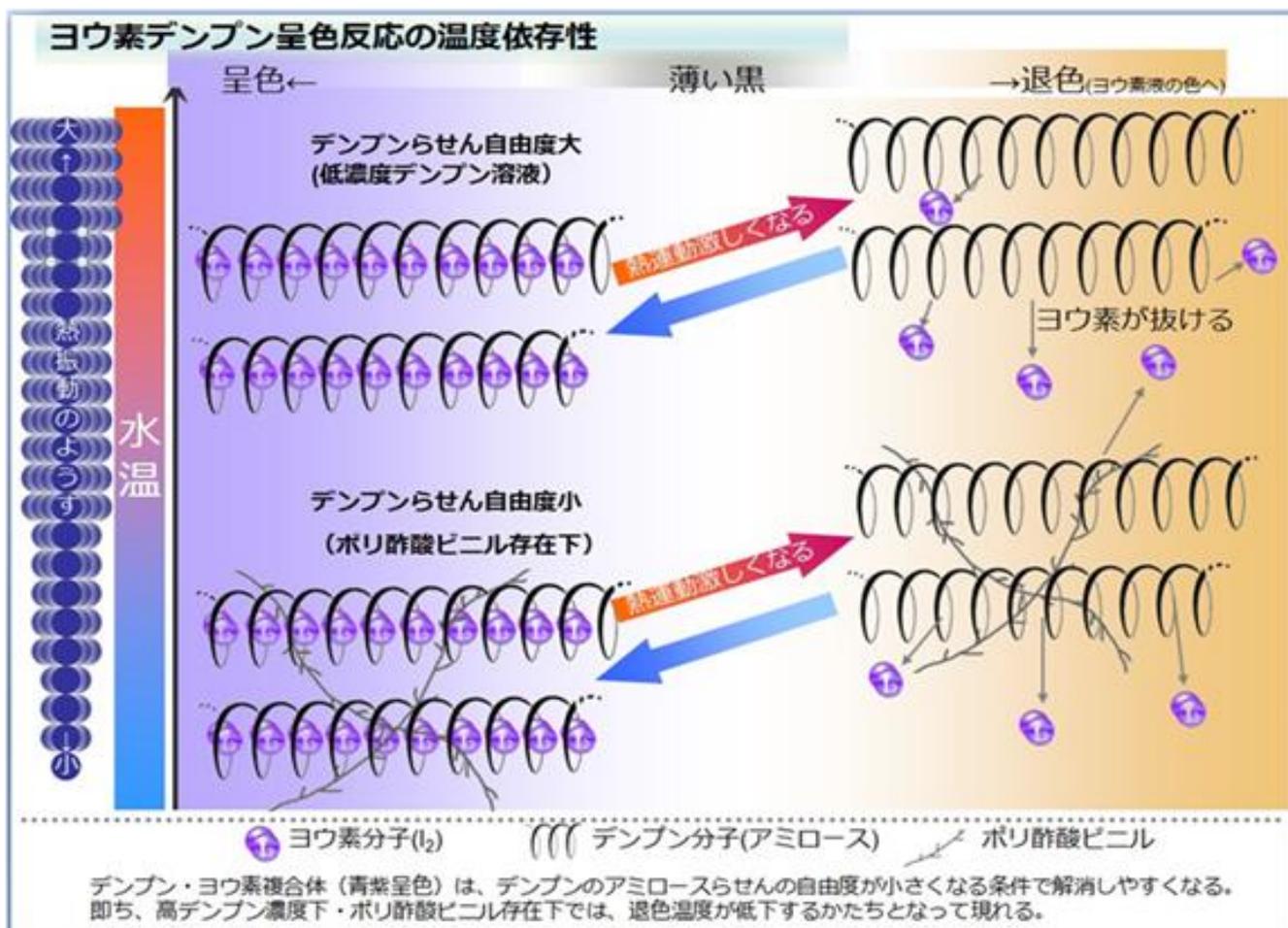
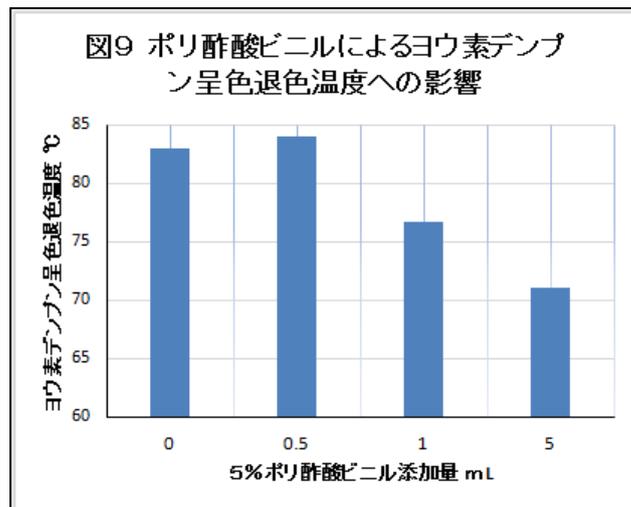
卒業生の研究ではデンプンのヨウ素呈色反応の退色温度がポリ酢酸ビニルの添加によって下がることが指摘された。追試を行ったところ、ポリ酢酸ビニルでは図9のように確かに退色温度の低下が認められ、提案は支持されると考える。

また今回新たに添加を試みた水溶性のカルボキシメチルセルロースについては明確なデータが得られておらず継続実験中である。

## IV. まとめ

デンプンは、食品として最も身近なグルコースの高分子化合物であるが、その詳細な構造については未解明な部分が多く難解であるとも聞いている。

私達は卒業生の研究から、ヨウ素デンプン呈色反応が高温で消えるのはデンプンとヨウ素両分子の熱運動が活発となって呈色を示すヨウ素デンプン複合体が形成されなくなるためであり、退色温度についてはデンプンの自由度が低いほどヨウ素分子が飛び出しやすくなり、その分だけ呈色温度が下がるという分子構造と熱運動に伴う分子の動きの様子が



卒業生の提案 デンプンの自由度が下がる環境ではヨウ素デンプン呈色反応の退色温度は低下する

イメージできる提案を支持して研究を行った。そして、以下のようなことが判明し、また課題とすることができた。

- ① デンプンの基礎データとしてヨウ素の光吸収スペクトル・粘度・ヨウ素呈色の温度とデンプン濃度との相関を調べ、デンプン種によってアミロースやアミロペクチンの含有量が異なりヨウ素デンプン反応の光吸収の様子も異なること。また、デンプン水溶液粘度やデンプンヨウ素呈色の退色温度もそれぞれ異なることがわかった。今回注目しているデンプンとヨウ素の呈色反応の退色は可溶性デンプンではきれいな相関が得られデンプン濃度の増加に伴い退色温度の上昇がはっきりとした。そして、ヨウ素デンプン呈色反応の退色温度測定の標準的な測定環境を決定できた。
- ② 四ホウ酸ナトリウムをデンプンに作用させるとスライムができることが判明した。私たちにとって大きな成果となった。しかしながら、四ホウ酸ナトリウムとヨウ素とが反応してヨウ素デンプン呈色反応の退色温度測定ができないという問題が生じたが、検討の結果ヨウ素デンプン呈色反応系への塩酸添加によって原因の回避ができる方向性を見出すことができた。今後この事実をもとに、四ホウ酸ナトリウム添加デンプン溶液の粘度を測定しホウ酸による架橋構造の形成について検討し、ヨウ素デンプン呈色反応の退色温度変化を測定して、卒業生の提案「アミロース鎖の自由度が無くなると退色温度が低下する」ことの解明を追及してゆく。更に、今回創り上げたデンプンスライムの物性を調べヨウ素吸着の素材をはじめとして何か利用できないか検討したいと考えている。
- ③ 卒業生の研究の追試を実施し、ヨウ素デンプン呈色反応の退色温度は確かにポリ酢酸ビニルの添加によって下がることが確認できた。

## V. 参考文献

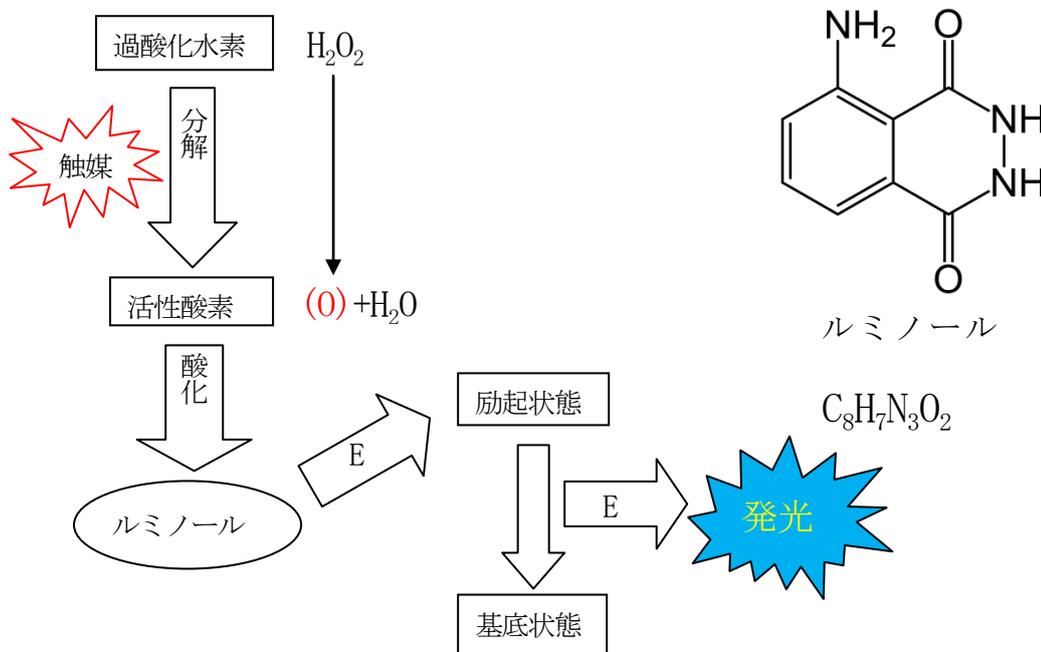
- 1)平成17年度屋代高校課題研究「生分解性プラスチックについて」
- 2)デンプンハンドブック 二国二郎編集(朝倉書店)
- 3)無機化学要論 5訂版 石川清一 五十嵐真澄 培風館
- 4) A. Apelblat, E. Manzurola, J. Chem. Thermodynamics 35, 221-228, 2003

# 触媒の探究～触媒の違いにおけるルミノール反応の変化～

研究者 大友一輝 石坂悠介 山田貴大  
指導教諭 近藤信昭

## (1)研究概要および目的

蛍に代表される生物発光とは、体中の物質と酵素からジオキセタン構造を作りそれを分解することで発光する現象だ。それに対して化学発光とは、酸化反応によって励起された分子が基底状態に戻る際エネルギーを光として放出する現象だ。私たちが研究しているルミノール反応はその代表例である。私たちは発光という現象に興味を持ち、犯罪鑑識を含む法医学実務、食品衛生管理部門、医療機関など多岐にわたる分野で利用されているルミノール反応について私たちは研究することにした。ルミノール反応の発光までの課程を下図に示す。過酸化水素が触媒によって分解され活性酸素(O)が生じこれがルミノールを酸化することでルミノールは励起状態となり、基底状態へ戻る際エネルギーが放出される、このエネルギーが発光となる。



とりわけ 20 世紀は触媒の研究が盛んに行われてきた。そのこともあって触媒に注目した私たちは、触媒の違いによってルミノール反応がどのように変化するのか解明することを目的とした。

## (2)実験方法

- ① 各試薬【硫酸銅(Ⅱ)、硝酸コバルト(Ⅱ)、塩化鉄(Ⅲ)、硫酸鉄(Ⅱ)、塩化ニッケル、硫酸亜鉛、硝酸銀、塩化アルミニウム(Ⅲ)]を蒸留水に溶かし、0.1mol/Lの水溶液を作成
- ② ルミノール溶液4mLと①の各水溶液1mLを暗闇で試験管に入れて混ぜ、発光時間をタイマーを用いて目視で測定。また、発光の強さも確認する。ただしそれぞれの水溶液に対して実験は5回ずつ行い平均的なデータをとる。
- ③ 硫酸銅(Ⅱ)、硝酸コバルト(Ⅱ)、塩化ニッケル、硝酸銀の水溶液にアンモニア水溶液を、塩化アルミニウム、硫酸亜鉛の水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を、硫酸銅(Ⅱ)水溶液には濃塩酸を加え、錯イオンを作る。また、フェリシアン化カリウム、フェロシアン化カリウムを蒸留水に溶かし、0.1mol/Lの錯イオン水溶液を作成する。

- ④ ③で作成した錯イオンを用いて②と同様に実験を行う
- ⑤ 自作発光測定装置を作成
- ⑥ 発光測定装置を用いて②④で十分に強い発光が確認できた金属触媒を用いた時の発光を測定
- ⑦ ⑥で用いた触媒の状態を変えて装置を用いて測定・

※実験で用いるルミノール溶液は購入した「ルミノール試薬キット」を使用

※実験⑥⑦での測定時間はすべて1分間、電圧は2Vとする



左の袋に含まれる粉末を500mlの蒸留水に溶かしてルミノール溶液を作成。右の缶には粉末の袋が入っている。

(和光純薬工業(株)製)

### (3) 実験結果および考察

#### 実験②④

実験②	発光時間	発光の強さ	アクア
硫酸銅 (II)	一瞬	△	○
硝酸コバルト	一瞬	△	
硫酸鉄 (II)	一瞬	△	○
塩化鉄 (III)	一瞬	△	○
塩化ニッケル	×	×	
塩化アルミニウム	×	×	
硝酸銀	×	×	
硫酸亜鉛	×	×	

発光の強さ

×:目視不可

△:微弱

○:はっきり確認可能

◎:かなり強い

実験④	発光時間	発光の強さ	錯イオンの形状
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	約5秒	△	正方形
$[\text{CuCl}_4]^{2-}$	一瞬	△	正方形
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	約30分	○	正八面体形
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	約10秒	△	正八面体形
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	約1分	◎	正八面体形
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	一瞬	△	正八面体形
$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$	×	×	八面体形
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	×	×	直線型

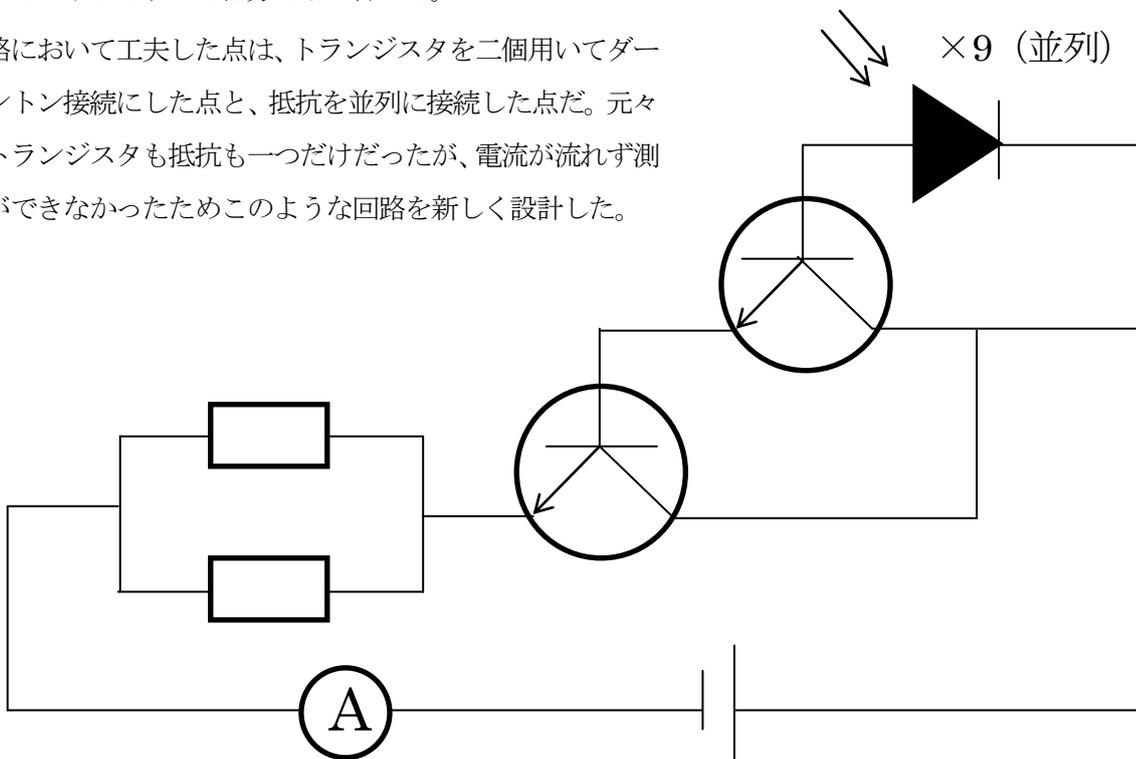
$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$	×	×	正四面体形
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	×	×	正四面体形

実験②と④を比較する。実験②において目視ができなかった触媒のうち、ニッケルだけは錯イオンになると発光が見られた。その他の触媒は錯イオンになると発光時間、発光の強さが少なくともどちらか一つは変化している（銅は片方の錯イオンのみ）ことから、錯イオンのほうが錯イオンでない金属イオンよりも触媒としてよく働いていると言える。錯イオンになる前と後で、コバルト(II)イオンは発光時間に、鉄(III)イオンは発光の強さに大きな変化が見られた。実験結果と錯イオンの形状を合わせて考えると、錯イオンの形状が正八面体のものが他の形状の錯イオンに比べて発光時間、発光の強さが大きい傾向にあるといえる。アクアの錯イオンは他の錯イオンより反応が弱い。この実験結果を踏まえて、⑥⑦で使用する触媒は発光が強い $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ とする。

### 実験⑤

下の図は発光測定装置の回路図である。部品集めから回路の設計、はんだづけまですべて自分たちで行った。

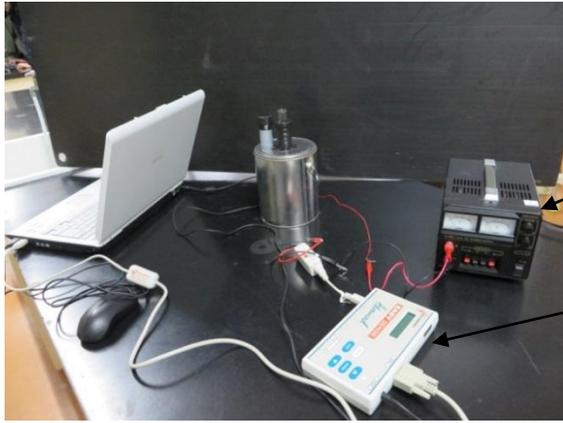
回路において工夫した点は、トランジスタを二個用いてダーリントン接続にした点と、抵抗を並列に接続した点だ。元々はトランジスタも抵抗も一つだけだったが、電流が流れず測定ができなかったためこのような回路を新しく設計した。



組み立てに関して工夫した点は、フォトダイオードを写真のように試験管の発光部分を囲むように配置することで、発光を最低限のロスで測定できるようにしたことだ。また、消しゴムを基盤の下にいくつか積み重ねてフォトダイオードと試験管の距離の調整を行った。試薬投入口において試験管はボールタップ用シートパッキンで固定しており、自分たちで外さない限り装置内には落下しない。写真にある塩ビパイプのふたを試薬投入口から試薬を投入した後試験管に覆い被せることで装置内は暗闇となる。この装置の測定までの流れは次のとおりだ。

あらかじめ直流電源装置で電圧をかけておく→ルミノール発光→フォトダイオードが発光を感知して電流を流す→トランジスタが電流を増幅→電流を測定（イージーセンスでパソコンにデータとして取り込む）

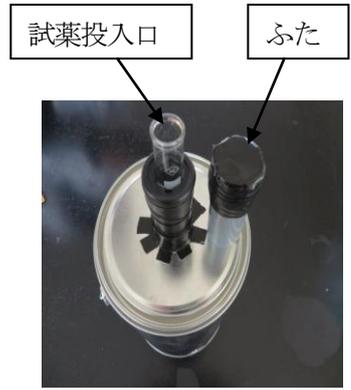
- ・フォトダイオード：Si PIN フォトダイオード S6775 浜松ホトニクス株式会社製
- ・トランジスタ：2SC1815GR 東芝トランジスタ製
- ・イージーセンス：中村理科工業株式会社製



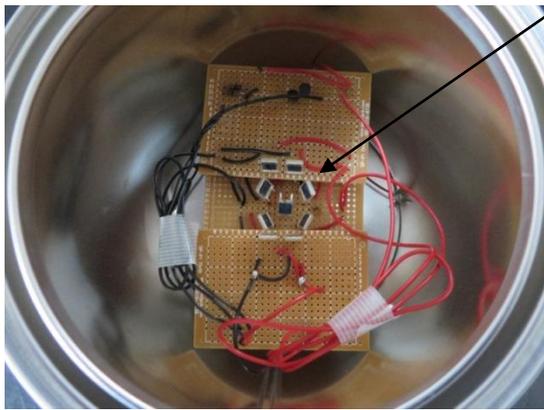
実験風景

直流電源装置

イージーセンス



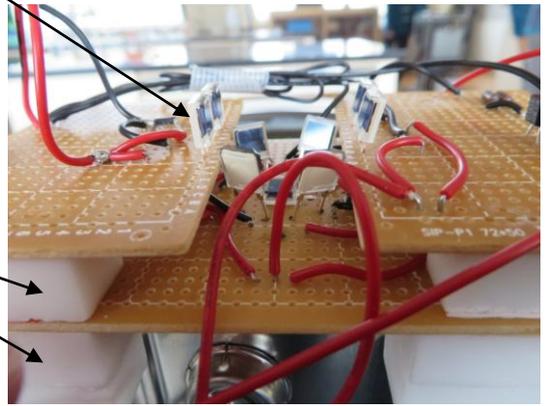
発光測定装置の上からの外観



発光測定装置の内部の様子

フォトダイオード

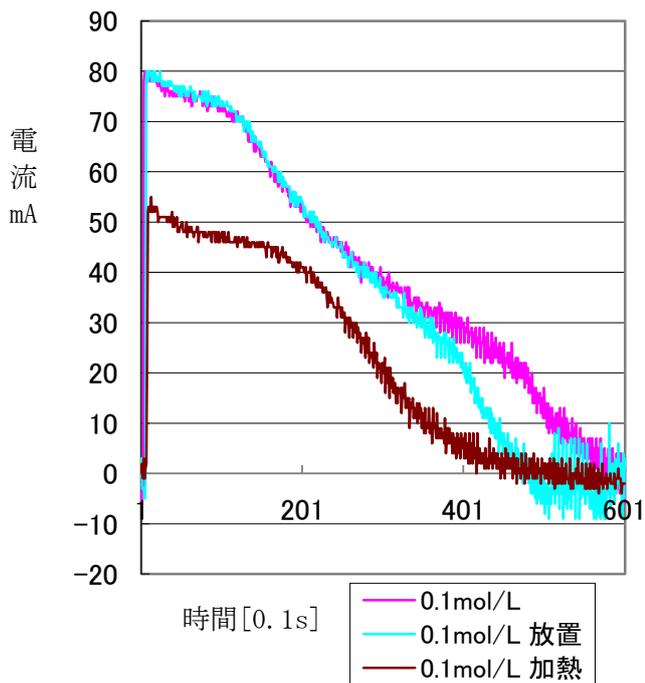
消しゴム



発光測定装置の回路を横から見た様子

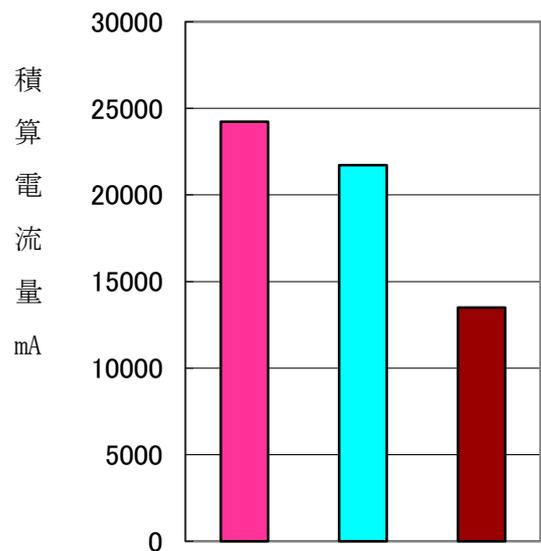
実験⑥⑦

グラフ 1

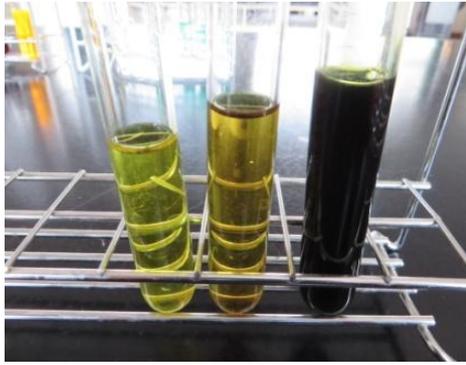


[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>を放置、加熱した場合と条件を変えない場合のルミノール発光の比較

グラフ 2



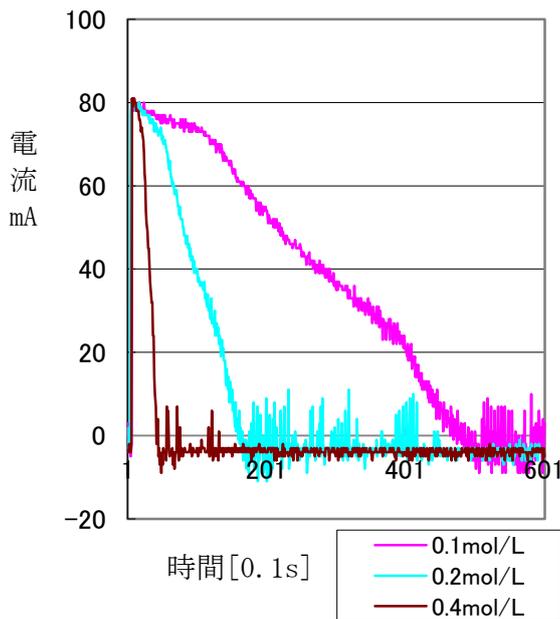
左から順に 0.1mol/L、0.1mol/L 放置、0.1mol/L 加熱における積算電流量



左の写真は $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} 0.1\text{mol/L}$  を作成し密閉することなく放置しておいた時の色の変化を示した写真だ。左の試験管から順に、作成直後、2日放置、1週間放置となっており色は左から順に、淡黄色、褐色、黒緑色となっている。容器に密閉し冷蔵庫内に保存しているものには変化が見られないことと、鉄のイオン化傾向は湿った空气中で徐々に酸化される程度の大きさであるということから色が変わった原因は酸化されたからではないかと考える。実験では放置した溶液として1週間放置したものを使用。

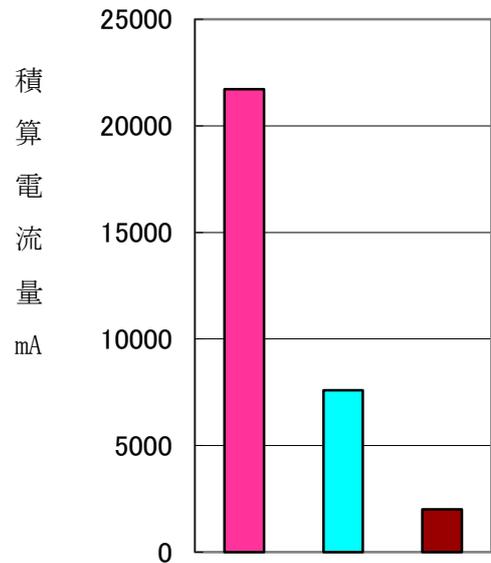
0.1mol/L のデータをⅠ、0.1mol/L の1週間放置のデータをⅡ、Ⅰを沸騰するまで加熱したもののデータをⅢとおく。グラフ1において、ⅠとⅡを比較すると、どちらも最大電流量は同じで途中までは同じ変化をするが、段々電流量に差が表れⅡのほうが発光時間が短くなることが読み取れる。また、グラフ2を見ても、積算電流量はⅡのほうが少なくなることも読み取れる。これは $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ が酸化されることで、錯イオンである $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ が本来持っているはずの触媒としての力が妨げられているためではないかと考える。次にⅠとⅢを比較する。グラフ1より、ⅢはⅠに対して最大電流量が小さく発光時間も短い。グラフ2をみるとⅢの積算電流量はⅠの半分に近い値である。加熱しても色が変わらなかったことから錯イオンの構造は変わっていないはずである。つまり、ⅠとⅢは温度条件しか違いがないということなので触媒は温度が高いときよりも低い時のほうがよく働くと考えられる。

グラフ3



$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ の濃度変化におけるルミノール発光の変化

グラフ4

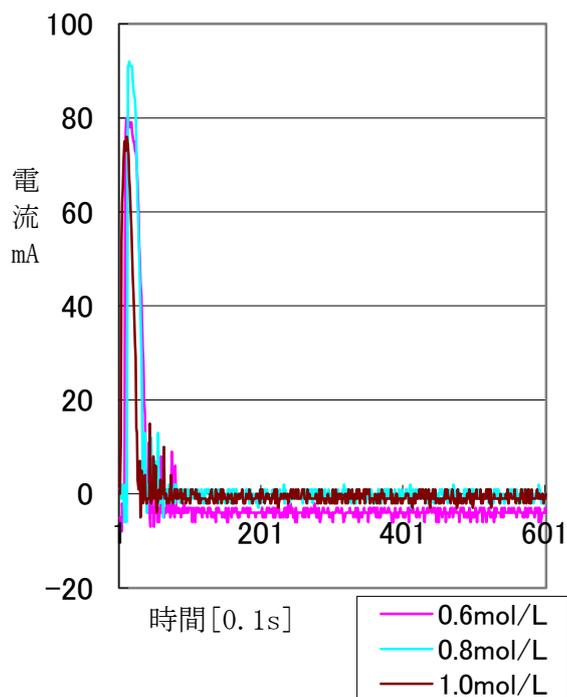


左から順に0.1mol/L、0.2mol/L、0.4mol/Lにおける積算電流量

0.1mol/L のデータをⅣ、0.2mol/L のデータをⅤ、0.4mol/L のデータをⅥとする（いずれも放置して黒緑色になったものを使用）。グラフ3においてⅣとⅤとⅥを比較すると、最大電流はどれも同じであるが発光時間を見ると、濃度が濃くなっていくにつれて発光時間が減少していることが分かり、ⅣとⅤの発光時間の差はⅤとⅥの発光時間の差よりも非常に大きい。グラフ4を見ると、積算電流量では、ⅣとⅤの差はⅤとⅥの差よりもきわめて特に大きく、Ⅳ→Ⅴ→Ⅵと積算電流量が減少していることが読み取れる。

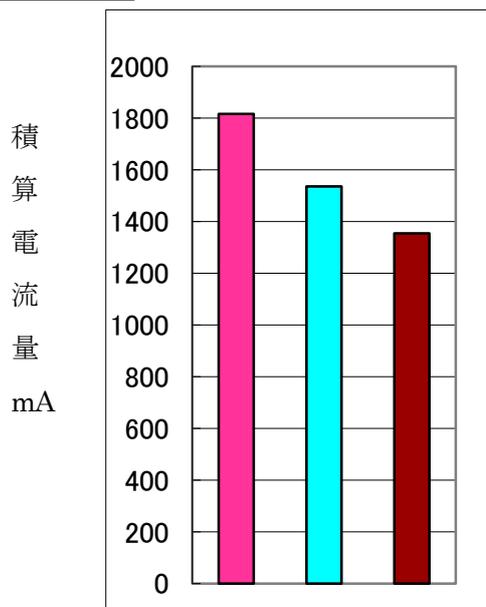
次に $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} 0.6\text{mol/L}$ 、 $0.8\text{mol/L}$ 、 $1.0\text{mol/L}$ （いずれも放置して黒緑色になったものを使用）を使って同様に実験する。

グラフ 5



[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>の濃度変化におけるルミノール発光の変化

グラフ 6



左から順に 0.6mol/L、0.8mol/L、1.0mol/L における積算電流量

0.6mol/L のデータをVII、0.8mol/L のデータをVIII、1.0mol/L のデータをIXとする。グラフ 5 においてVIIとVIIIとIXを比較すると、最大電流は0.6mol/L と 1.0mol/L はほとんど同じだが0.8mol/L はふたつよりも大きくなった。しかし発光時間を見ると、濃度が濃くなっていくにつれて発光時間が短くなっていることがわかる。しかしグラフ 6 を見ると、VII→VIII→IX と積算電流量は減少しており、VIIとVIIIの積算電流量の差はVIIIとIXの差よりも若干大きいことが読み取れる。ここで、“[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>の濃度変化におけるルミノール発光の変化” つまりグラフ 3~6 の結果からの考察を行う。

触媒にはそれ自身は変化せずに化学反応を促進する働きがある。[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>の濃度を増加させると、ルミノール反応を促進する力が強まりルミノールがより早く消費されることで発光時間が短くなると考えられる。化学反応が促進されて発光時間が短くなっているなのでその分最大電流量は増えると思われたが、ほとんど変化が見られないこと、濃度を増やしていくと積算電流量が減少していくことの理由の解明は今後の課題だ。濃度を大きくしていくと発光時間、積算電流量の変化が小さくなっていくのは、一定の反応物(ルミノール 4mL) に対して触媒が促進できる限界があり、段々と一定の割合促進するのに必要な触媒の濃度が増加していくからだと考えられる。

#### (4) 参考文献

スクエア最新図説化学：松本洋介：第一学習社：2014/1/10

ルミノール発光を用いた生体内物質定量および物質検出について：屋代高校理科班：2012 研究報告集  
科学捜査に光の目 ルミノール反応の仕組み：光と色と

<http://optica.cocolog-nifty.com/blog/2012/02/post-52b1.html> (URL は 2015/2/20 現在)

フォトダイオードの原理

<http://www.nteku.com/photo/photo-diode-genri.aspx> (URL は 2015/2/20 現在)

電子工作入門：トランジスタの使い方

[http://www.binzume.net/library/robo/e\\_tr.html](http://www.binzume.net/library/robo/e_tr.html) (URL は 2015/2/20 現在)

# カブトエビ～生きた化石～

研究者 井坪暁 小林春慶 湯本瑛亮 依田剛明  
指導教諭 西澤秀夫

## 1. 序論

私たちは、屋代高校のあるこの屋代にはどのような生物が生息しているのかを知るために、最初に棚田で有名な姨捨の棚田に行き、生息している生物の種類を屋代高校周辺の田んぼと比較した。その結果、高校周辺の田んぼと姨捨の棚田では全く違った特徴がみられた。特にカブトエビは姨捨の棚田では確認できず、屋代地域ではかなり多くの個体が生息している田んぼがあることがわかった。そこで私たちはカブトエビに注目して分布を調査し、その生息する田んぼと生息していない田んぼの特徴の違いを研究することでカブトエビについての知識を深めることとなった。



姨捨の四十八枚田を調査する私たち

## 2. カブトエビの基本生態

カブトエビ(属名: *Triops*)は「生きた化石」と呼ばれる田んぼの生き物である。田植え直後から一ヶ月ほどの間に田んぼで大量に孵化する。食性は雑食で動物の死骸や水草、藻等を主に食べる。日本に生息する主な種類は、アメリカカブトエビとアジアカブトエビであり、本研究で我々が用いたサンプルはアメリカカブトエビである。土をかき混ぜるように泳ぐため、「田んぼの草取り虫」とも呼ばれている。また、一枚の田んぼに大量の卵が存在するため、卵が入手しやすく実験に適している。



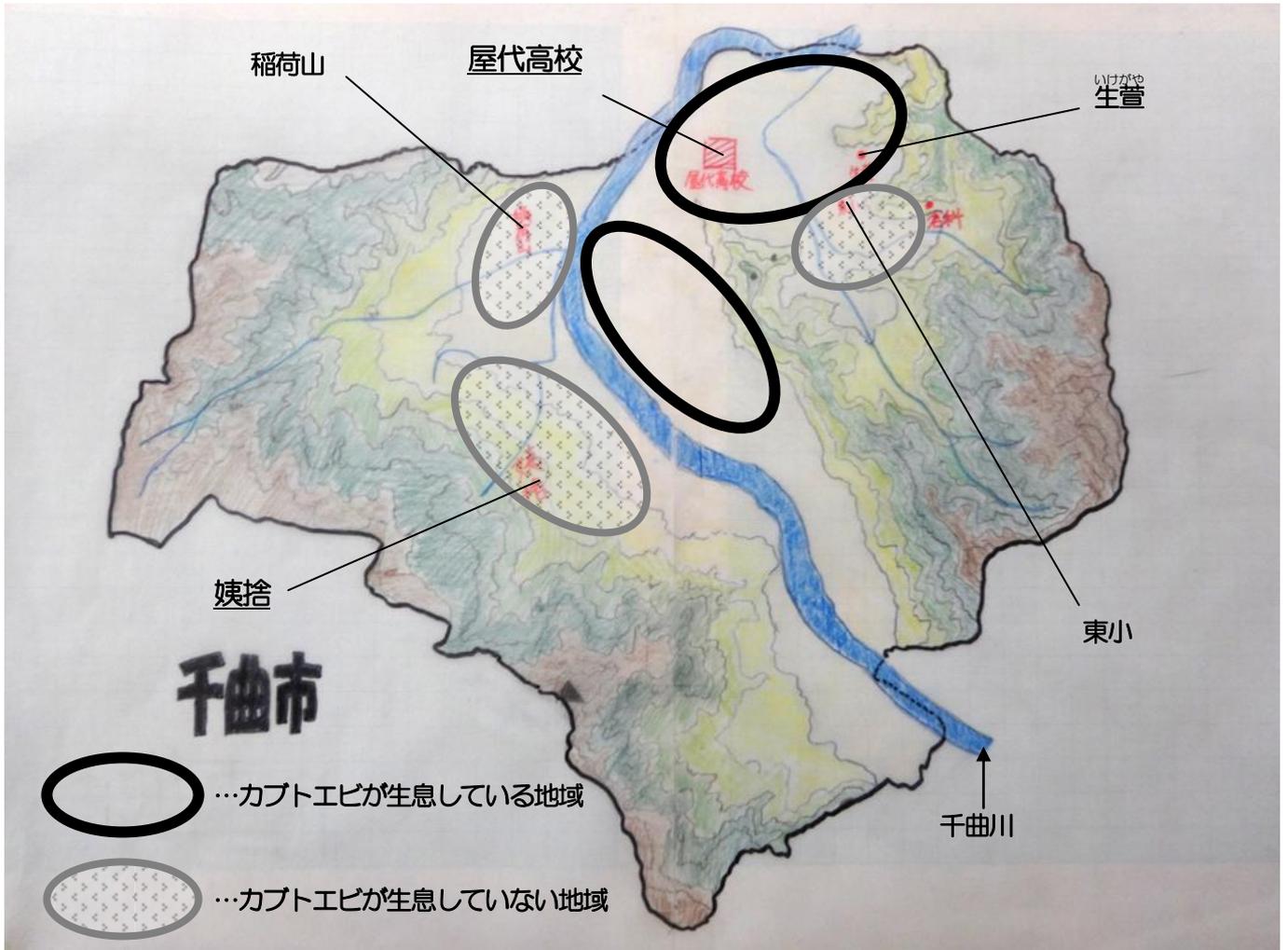
カブトエビ

## 3. 調査

千曲市におけるカブトエビの分布のマップを作成するために、千曲市北部(屋代高校周辺、稲荷山地域、姨捨地域など)のカブトエビの生息状況を調査した。また、カブトエビが生息していた屋代周辺の田んぼとそうでなかった姨捨棚田の特徴の違いをまとめた。

	姨捨棚田	屋代高校周辺
個体数が多い生物	オタマジャクシ、 タニシ、カエル、ヤゴ	<u>カブトエビ</u> 、カエル
生息が局所的	ハウネンエビ、ガムシ タイコウチ、コオイムシ ミズカマキリ、ヒル ベニボタル、カナヘビ	ガムシ、タニシ、 ハウネンエビ ザリガニ(用水路)
田んぼの水の透明度	高い	低い(濁る)
土の色	赤褐色(乾燥後)	灰色(乾燥後)

カブトエビの分布のマップ



田んぼの比較



姨捨の生き物たち 左上:オタマジャクシ、右上:タニシ  
左下:ベニボタル、右下:カナヘビ



屋代の生き物たち  
上:カブトエビ 下:ザリガニ



## 調査の考察

カブトエビは棚田では確認されず、屋代高校周辺では生息している田んぼが多数あることがわかった。だが、姨捨の農家の方は「かつて姨捨にはカブトエビが生息していた。」と証言していた。これらのことを踏まえ、実験①～③を行った。

## 4. 実験

### 実験①

調査によって作成されたカブトエビの分布のマップをもとに屋代周辺でカブトエビが生息していた田んぼと生息していなかった田んぼ、姨捨の田んぼの土をそれぞれ持ち帰り、実際に田んぼを再現してカブトエビの孵化を観察した。

実験方法：直径10センチ深さ8センチ程の透明な丸カップに各地域の田んぼの土を底から2cm入れ、そこへ水道水を汲み置いた水をそそぎ、田んぼを再現した。代掻きも再現するためによく攪拌してから、明所に各2セットずつ作って観察した。水温は昼で20～25℃。



再現したセット

### 実験①の結果と考察

	土の色	孵化実験の結果	実験中の水の様子
姨捨棚田	赤褐色	孵らず	澄んでいる
屋代（生萱）	灰色	孵った（土から）	汚い
屋代（東小周辺）	灰色	孵らず	汚い

表より、カブトエビの生息は調査の結果どおり姨捨には確認されず、屋代周辺地域でもカブトエビが生息している田んぼとしていない田んぼがあることを確認できた。実際に田んぼを再現してみると姨捨の田んぼの土ではその色や水がほかと異なる特徴を持っていることがわかった。

また、カブトエビが汚い水で孵化したことに驚いた。この汚い水がカブトエビの孵化を阻害しているとは考えにくいので、カブトエビは多少汚い水中環境でも孵化することができると言える。

### 実験②

姨捨にはかつてカブトエビがいたということから、何らかの原因でカブトエビがいなくなってしまうと考えられる。このことから姨捨の土にはカブトエビの孵化を阻害する何らかの物質が入っているという可能性が浮上した。そこで、姨捨の田んぼにカブトエビの卵が入っている土を混入させて孵化するのかという実験を試みた。

実験方法：水温がカブトエビの孵化温度に達しない時期に実験したので、ヒーターで20～25℃に温度調節した水槽を用意し、実験①で使った容器に土を姨捨の土：カブトエビが確認できた田んぼの土＝1：1で混ぜてくみ置き水を入れて浮かべた。①同様に2セット用意した。

## 実験②の結果と考察

約 10 日間実験を継続したがカブトエビらしきものは孵化しなかった。同じ実験環境において屋代周辺でカブトエビの存在を確認できた田んぼの土のみのセットを作って実験したが、孵化したので実験装置は孵化条件を満たしている。

## 実験③

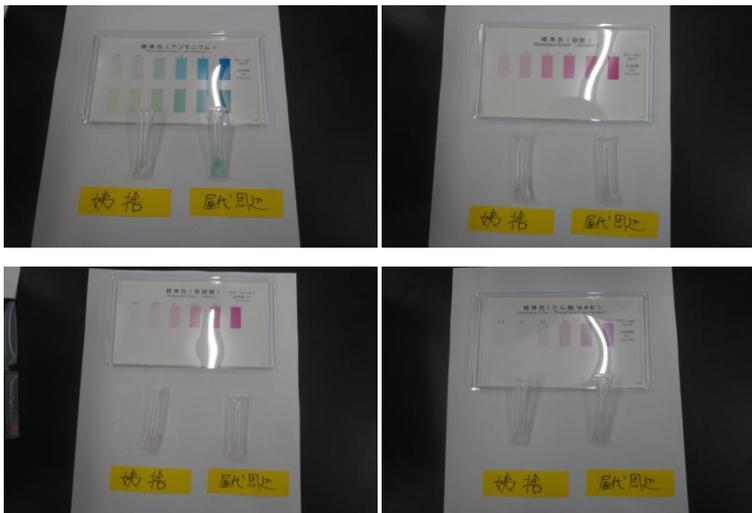
実験②の結果を踏まえて、孵化に影響を及ぼす原因となる物質を調べるために簡易的な実験を行った。

実験方法：姨捨の土と屋代周辺でカブトエビの生息が確認された田んぼの土をそれぞれビーカーに 10g ずついれ蒸留水を 40mL 注ぎ、よく攪拌してその溶液の上澄みを 10 分間遠心分離機にかけてさらにその上澄みを市販のパックテストを用いて溶けている成分を調べた。調べた項目はアンモニウム、硝酸、亜硝酸、リン酸、COD の 5 つ。また、同時に pH も調べた（詳細は後述）。



使用した遠心分離機

## 実験③の結果と考察



### パックテストの結果

左上：アンモニウム  
右上：硝酸  
左下：亜硝酸  
右下：リン酸

調べた項目…（姨捨の数値：カブトエビ有の数値）

アンモニウム ( $\text{NH}_4^+$ ) …生活排水や肥料に多く含まれ、魚毒性を示す。(0.20 : 0.20) [mg/L]

硝酸 ( $\text{NO}_3^-$ ) …肥料に含まれ、富栄養化の原因になる。(1.0 : 1.0) [mg/L]

亜硝酸 ( $\text{NO}_2^-$ ) …細菌の働きにより  $\text{NH}_4^+$  から生じる。(0.050 : 0.050) [mg/L]

リン酸 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) …生物の分解作用により供給され、植物の生育に必要で生活排水、肥料に多く含まれる。リン酸イオン値が高いほど富栄養化をまねく。(0.05 : 0.20) [mg/L]

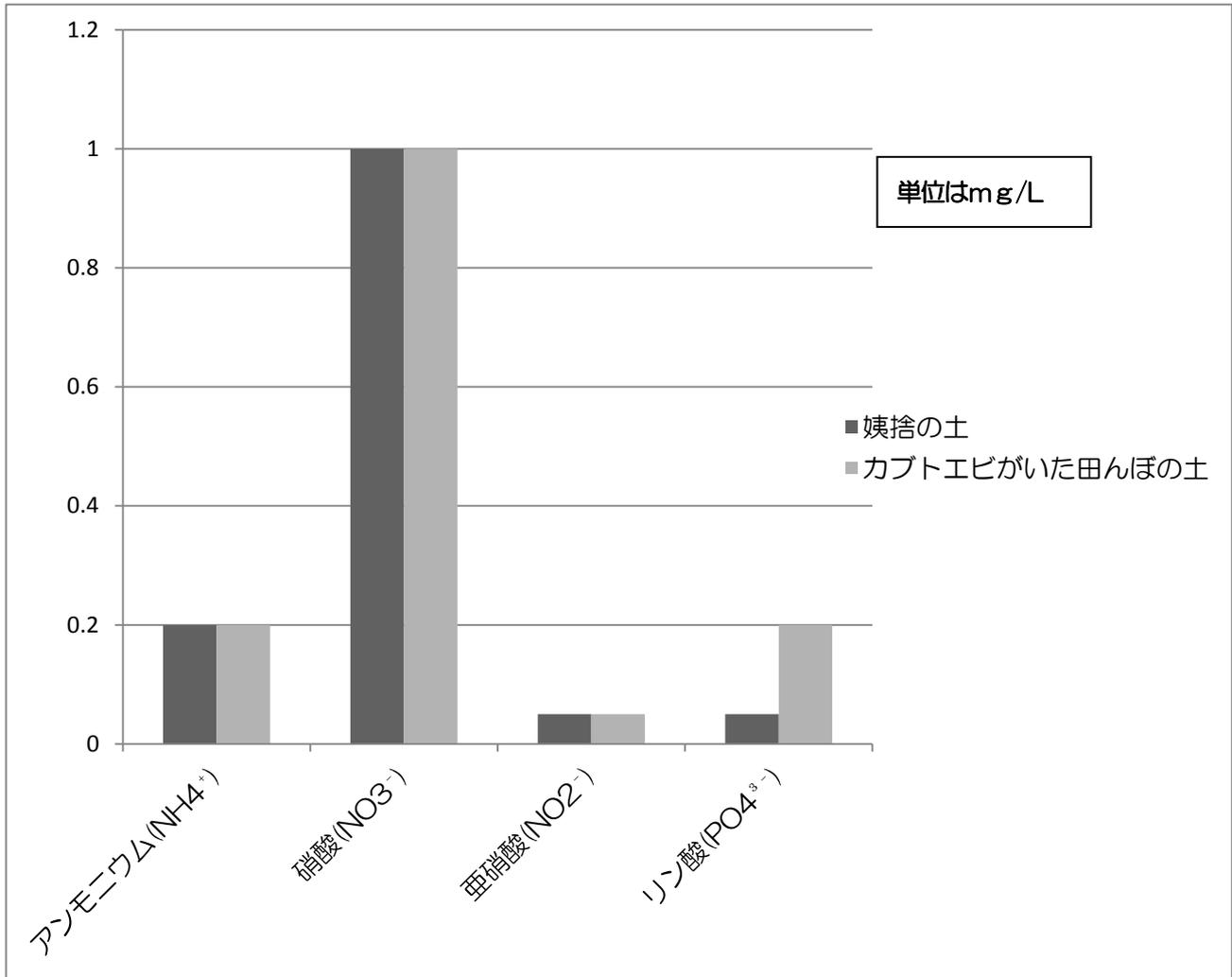
COD（化学的酸素要求量）…汚濁状況を測る代表的な指標。有機物濃度が高いほど値は高くなる。

今回は測定方法が異なるためグラフデータなし。

二種類の土からは同程度の値（汚水レベル）が検出された。

pH（水素イオン濃度）…今回測定した結果、どちらも正常範囲内（弱酸性）であった。(6.5 : 6.4)

## パックテストによる水質調査



屋代周辺でカブトエビの生息が確認された田んぼでは、リン酸濃度が姨捨の4倍であることがわかる。リン酸はカブトエビのエサにもなる植物プランクトンの増殖に関わる。リン酸がカブトエビの生存に関わる可能性があるということがわかった。パックテストは反応した後の色で判断しなければならないので、そのほかの詳しい数値の差は確認することができなかった。

### 5. 研究のまとめ

今回の実験ではカブトエビが生息している田んぼと生息していない田んぼの違いがリン酸濃度しか確認できず、カブトエビはリン酸濃度が比較的高い環境に生息するという結果になった。姨捨の棚田は上流の水源から近い位置にあるため、リン酸濃度が低く植物プランクトンが少ないのでカブトエビにはきれいすぎて不都合なのかもしれない。実験③の考察より、アンモニウム、硝酸、亜硝酸の濃度に大きな違いはなくカブトエビの生息の有無に関わっているとは考えにくい。姨捨と稲荷山の土はかなり赤みをおびていた。それらの原因となる成分がまだ判明していないので溶け込んでいる物質を調べるために今後自ら調査を行っていく予定である。また、カブトエビの分布の調査に関しては、千曲市南部の地域(戸倉上山田地区や更級地区など)の調査がまだ済んでおらず、カブトエビの分布のマップが完成していない。今後、マップの完成も一つの目標として活動していく方針である。

## 6. 終わりに

私たちはこの研究を通してカブトエビの孵化の困難さ故にカブトエビと出会ったときの愛おしさを身にしみて実感することができた。私たちは自然と共存していることを感じずに暮らしていける現代に生きているが、ふと田んぼに目を向けてみてほしい。そこには「生きた化石」と呼ばれるカブトエビをはじめ、種々様々な生き物たちがせめぎ合って生きている。彼らは自然の一部であるが私たちがまた自然の一部なのである。そのことを忘れないでほしい。

最後に屋代という恵まれた自然において研究ができたことを幸せに思う。

## 7. 引用参考文献

鰓脚類の幼生の観察と教材化

園山 博、板東 忠司

水田の生きものアジアカブトエビの教材適性

奥埜 良信

地図引用 <http://www.city.chikuma.lg.jp>

水質基準引用 <http://www.rika.com>

<http://www.gijyutu.com>

カブトエビのすべて 秋田正人

## 8. 謝辞

調査に協力して下さった農家の方々をはじめ、研究に協力して下さった諸先生方に感謝申し上げます。本当にありがとうございました。

### ある株式会社のカブトエビ飼育セットの説明書

#### かぶとえびの飼育で注意すること

かぶとえびの卵は、水質が適当でないときはふ化しないことがあります。ふ化させる時には次のことに注意しましょう。

- ① 水道水を使用するときは、一昼夜以上日なたに置いておき水中に溶け込んでいる殺菌剤などをぬいてから使いましょう。
  - ② 水温は20℃～30℃が適当です。これより熱くても冷たくてもいけません。
  - ③ 容器に水と卵を入れてかきまぜた後は、卵がふ化するまでそっとして、動かさないようにして下さい。
  - ④ 水の交換は、かぶとえびの体長が5mm位になるまでは、よほど水がよれていない限り水はかえないでおきましょう。また、水を交換する時は、水温が水そうの水と同じくらいになったものを用い、一度に半分くらい入れかえます。このとき、かぶとえびをいっしょにすててしまわないように注意しましょう。
  - ⑤ えさは、与えすぎないように注意して下さい。食べ残しがたくさん水そうの底に沈んでいると腐ってきて水質が悪くなります。
  - ⑥ 付属のえさがなくなった後は、野菜くず・かつおのけずり・ごはんつぶなどを与えて下さい。えさがきれると共食いをすることがあります。
- ★万一、一週間たっても卵がふ化しない時は水そうに浮いているごみやわらくずなどが流れ出ないように注意して水をすて、水そう内の土をビニール等の上に広げて十分乾燥させてから、もう一度初めからくり返して下さい。その場合、初めに入れる水の深さを5cmにして下さい。

# タマネギ根端分裂組織の細胞周期と生物時計の関係

研究者 池上友理 中島冬萌 山崎友実  
指導教諭 堀内栄子

## 1 研究概要

私たちヒトは毎朝おおよそ決まった時刻に目が覚め、昼間活動して、夜になると眠くなる。これは、生物時計（体内時計）とよばれるしくみが備わっているためであるとされている。たとえば夜行性のマウスを日光や気温など昼夜の手がかりが無い実験室内で飼育すると、もともと備わっている生物時計が23.5時間周期であるために、起床時刻が毎日30分ずつ早まっていくという現象が見られる。また、植物でも、昼間は水平に近い葉の角度が夜には下方に垂れるという就眠運動をくり返すことが知られている。このように多くの生物で、太陽の光が当たらなくても、およそ24時間で変化する生態的・生理的な周期（概日リズム、サーカディアンリズム）が見られる。とはいえ、光が当たれば光合成をするという植物の生活において、生物時計にどんな意義があるのだろうか。この疑問を解明することで、農業など植物栽培に活用できる新たな知見が得られるのではないだろうか。

ところで、高校の『生物』の授業の中で実習した「体細胞分裂の観察」を記憶している人は多いと思う。タマネギの根端分裂組織の細胞を材料に、分裂各期の様子を観察したうえで、各期の細胞を数えて「各期の所要時間を算出する」という実験である。この所要時間の算出は、「観察している細胞は同じ細胞周期でそれぞれに分裂を繰り返している」ことを前提条件としている。つまり、同じ速さだが時刻はばらばらという時計をもつ細胞集団だからこそ、観察される各期の細胞数は各期の所要時間に比例するはずなのである。ところが、理科実習教諭の先生から「午前10時頃に根を採取すると、最も分裂期が多く観察しやすいと言われている」と聞いた。それが本当なら、所要時間の算出の前提条件が崩れてしまう。教科書に書かれている実験が誤った前提条件に基づいているとすれば驚きだが、実際、インターネットなどでも、観察のコツとして「午前中に採取する」「10:00頃がよい」などの記述が少なからず見つかる。同じ時刻に決まった現象が見られるのは生物時計の存在の証拠である。

以上のことから、タマネギの生物時計の存在を明らかにするため、タマネギ根端分裂組織を実験材料に、分裂期が多く見られる時間帯があるのか、それはいつなのかを調べることを目的として研究した。

## 2 研究方法

タマネギ（学名 *Allium cepa* ヒガンバナ科ネギ属）の根端分裂組織を観察し、分裂期（前期、中期、後期、終期）の細胞を数える。

はじめに千曲市内の農家で生産されたタマネギを購入し、乾燥した根をカッターで切り落として、切断面が水に浸るようにビーカーにセットした。25°Cで光が入らないように設定したインキュベータ（恒温培養器）に3日間置いた。発根したら一定時間ごとにタマネギ5個からそれぞれ1本ずつの根を採取することとした。

採取した根をファーナー液（氷酢酸：エタノール=1：3）に20分間以上浸して細胞を固定する。約60°Cに温めた1mol/L塩酸に根を2分間入れて解離（組織をゆるませる）をした後、軽く水洗いをする。

根をスライドガラスの上ののせ、先端約2~3mmを残して切り落とす。もう1枚のスライドガラスを十字形に重ねて、上から親指で押しつぶす。スライドガラスをはがし、酢酸オルセイン溶液を細胞に滴下して10分放置し、十分に染色する。カバーガラスをかけた上にろ紙を重ね、その上から消しゴム付き鉛筆の消しゴムで小刻みに叩いてさらにつぶす。

上記の手順で作成したプレパラートを光学顕微鏡で観察し、視野に分裂期の細胞が多く見える部分を顕微鏡カメラ（図2 島津理化Moticam2000）で撮影し、画像データを保存する（図3）。コンピュータの画像上で、分裂期の前期、中期、後期、終期および全細胞（概数）を数える（図4）。多くの細胞は間期にあたるため、全細胞数から分裂期の細胞数を差し引いた数を間期の細胞数とした。



図1 発根したタマネギ



図2 顕微鏡カメラ

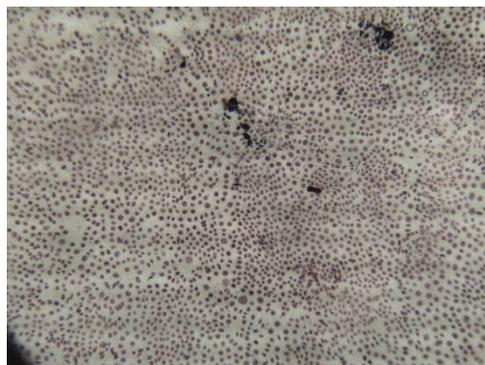
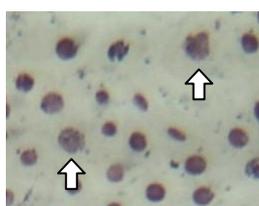
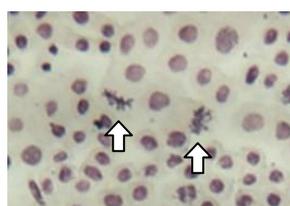


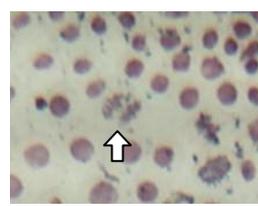
図3 顕微鏡で撮影した根端分裂組織



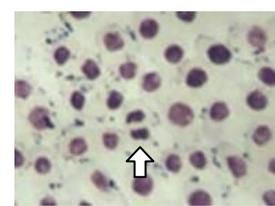
前期



中期



後期



終期

図4 分裂各期の細胞（矢印）

### 3 結果

私たちはこれまで同様の実験を4回おこなった。1回目に作成したプレパラートは保存状態が悪く、観察に適さなかった。2回目は顕微鏡の接眼レンズにスマートフォン（iPhone）のカメラを直接当てて撮影したが、フォーカスが合わないことが多く、分裂期の判別が困難だった。さらに、実験者3名が考える細胞の判別基準がそろっていなかった。以上の問題点を改善するため、判別については特定の時期を特定の実験者が専門におこなうこととし、3回目の実験からは顕微鏡専用の撮影装置を導入した。2回目の実験で、朝9:00から12:00まで1時間ごとに採取したところ、11:00に採取したものに分裂期の細胞が多いという傾向が見られた（やや信頼性に欠けるデータのため、掲載は控え

る)。その際、タマネギの設置場所を窓越しに自然光が入射するもの（明条件）と光が入らないもの（暗条件）に分けたのだが、11:00に分裂期の増加が認められたのは暗条件のほうだった。これをふまえ、以降の実験はタマネギを暗条件に置くこととした。

3回目、8:30から16:00まで1時間半ごとに採取した結果を円グラフにした（図5）。いずれの時刻も間期の細胞がほとんど（90～95%）を占めるが、これは細胞周期において間期の時間が大半を占めるからに他ならない。また、染色体の状態によって分裂期を前期、中期、後期、終期に区分すると、終期>前期>後期>中期の順に多いという傾向があった。間期に比べて中期と後期があまりにも少ないので、分裂期のみを時系列でグラフに示した（図6）。すると、11:30に分裂期が増加するように見えた。

4回目の実験では2日連続で採取をおこなった。それまでの実験で午前中に分裂のピークが現れることは間違いのないように思われたが、それが毎日同じ時刻なのか、それとも異なるのか、確かめる必要があると考えたからである。その結果を円グラフにした（図7）。やはり間期が大半（85～90%）で、分裂期の中では終期>前期>後期>中期の順に多いという傾向が確かめられたが、1日目の10:50には分裂期が30%になるという顕著な増加が見られた。これも同様に分裂期を時系列に示すと、1日目と2日目では大きく異なる結果となった（図8）。まず1日目の8:20から9:45、ほぼ変化が認められなかった後に、10:50には分裂期の細胞が急激に増加し、11:55にはおおよそ元の数に戻った。ところが2日目、8:20の時点で前日の同時刻より分裂期が多く、その後は増加のピーク時刻が明瞭でないという結果となった。しかも、分裂各期それぞれが最大数となる時刻が、前期は8:20、中期は9:45、後期は10:50、終期は11:55と、1時間余りずつずれて現れた。最終的に昼過ぎ13:00には分裂期が減少した。

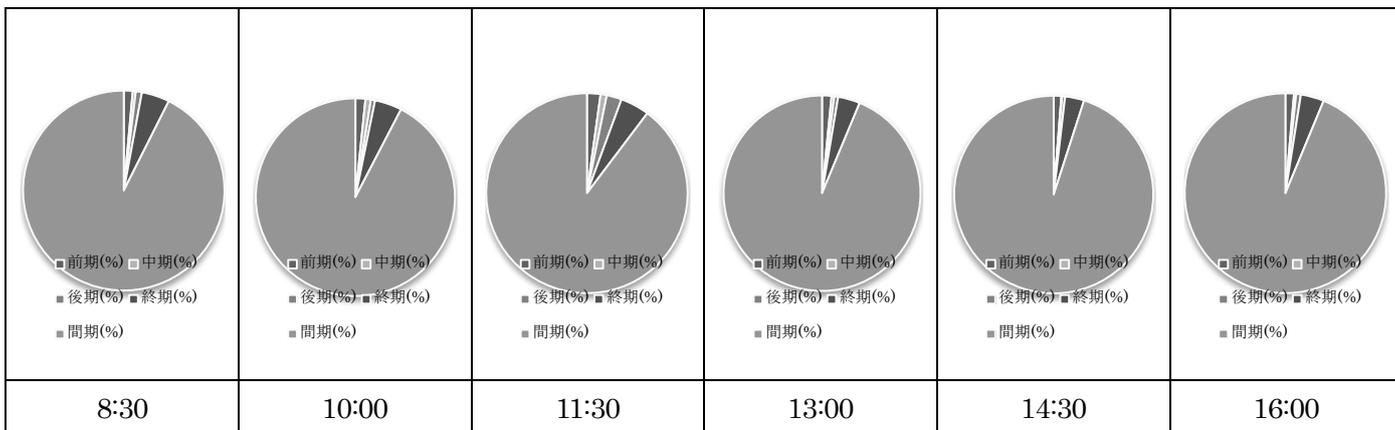


図5 3回目の実験における各期の細胞数

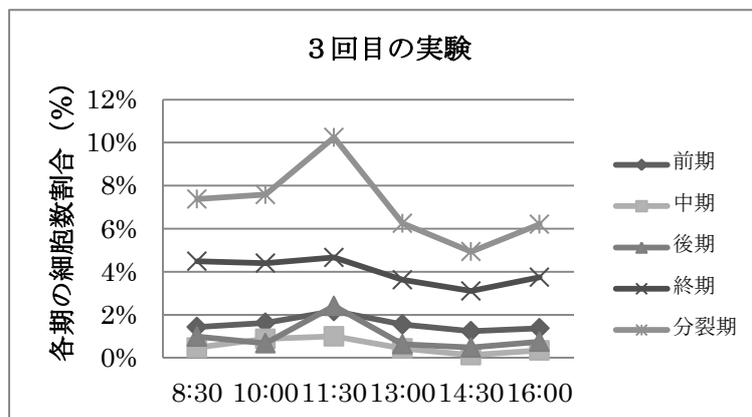


図6 3回目の実験における各期の細胞数の割合の変化

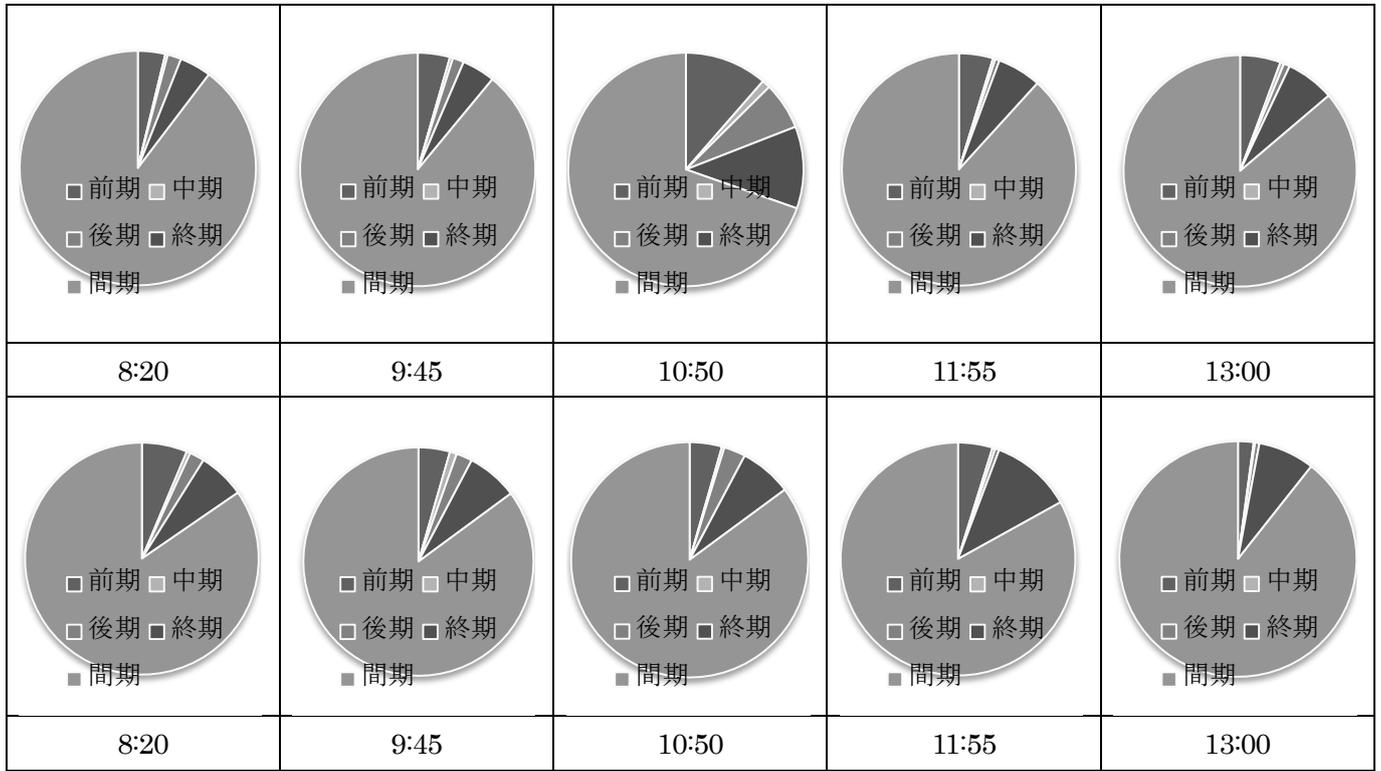


図7 4回目の実験における各期の細胞数 (上段: 1日目, 下段: 2日目)

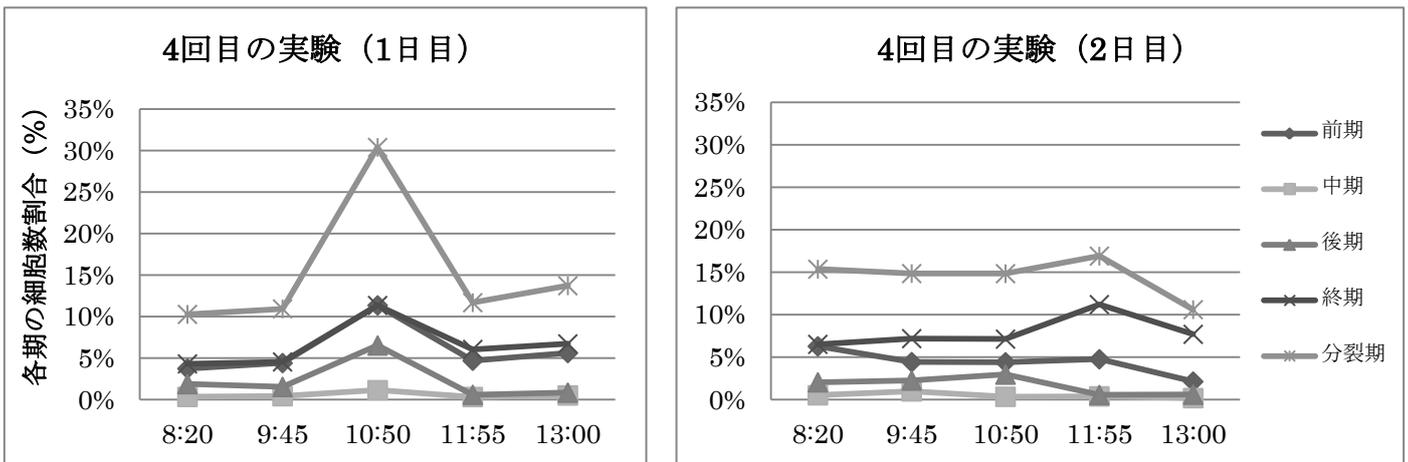


図8 4回目の実験における各期の細胞数の割合の変化 (左: 1日目, 右: 2日目)

## 4 考察

以下, 4回目の実験結果に基づいて考察する。

『生物基礎』の教科書にあるように細胞数から各期の時間を算出してみた。図8のとおり1日目9:45と11:55をばさんで分裂期が増加することから, 分裂期に2時間かかると仮定した(表1)。すると, 分裂期中の前・中・後・終期の割合はほぼ一定であるため, いずれの時刻のデータからも同じような時間が算出された(表1の①②)。しかし, 同時に分裂期に2時間かかると仮定したときの細胞周期全体の時間を求めると, 10:50のデータからは6.6時間という短すぎる値が算出されてしまう(同②)。タマネギ根端分裂組織の細胞周期としてこれまで知られている値は20~25時間とされているため, これはあまりにも短い。9:45のデータを, 分裂期を2時間と仮定して細胞周期全体の時間を求めると19.4時間となり, これは20~25時間という数字に近いのでこの値を用いることとする。次に細胞周期を19.4時間と仮定して10:50のデータから分裂期を算出すると, 5.9時間にもなることになり, 上述の2時間と

いう仮定と大きく食い違う（同③）。理科実験に詳しい人の間で言われている「採取は 10:00 頃」という言説に従うと正しい結果が出ないという、皮肉なことになってしまうのである。つまり、分裂期の像の観察のみが目的であれば、分裂期が多くて見つけやすい時間帯を狙って採取する意味はあるだろうが、時間の算出を目的とするのであれば、適切でないとと言える。

いずれにせよ、根端分裂組織の細胞はそれぞれがばらばらに分裂しているわけではなく、一定数の細胞は細胞周期をそろえて分裂していることが示された。本研究で繰り返した実験では 10 時から 11 時にかけて分裂期の集中が見られ、このように時刻に従う現象が見られるのは生物時計の働きではないかと考える。ほ乳類など動物の場合、生物時計の役割を担うのは間脳の視交叉上核といった特定の器官である。その場合も、体内の各器官、各細胞に備わる生物時計の時刻を視交叉上核がそろえさせるのだとされている。植物でも動物と同様に細胞内で働く“時計遺伝子”が解明されつつあり、さまざまな生命活動を調整しているらしい。ただ、複雑な器官をもたない植物に動物のような特定の“時計器官”があるとは考えにくく、生物時計の時刻合わせがどのようにおこなわれているかは不明である。

さらに、2 日目の結果である。分裂期の増加は 1 日目と違って明瞭でなく、前期、中期、後期、終期と順次ピークが現れ、あたかも 8:20 から 13:00 までの 5 時間ほどにわたって分裂期を経過していくように見える。ここで仮に分裂期を 5 時間と仮定し、5 回分の採取の平均値から細胞周期の時間を算出した（表 2 の④）。すると、終期がやや多いことを除けば前・中・後・終期の割合は 1 日目と同様なため、当然ながら表 1 の結果（分裂期 2 時間）をそのまま 2~3 倍長くしたような時間となった。ここから考えると、8:00 頃に前期を開始した細胞は 9:45 頃に中期を迎え、10:00 前後に後期に到り、10:50 や 11:55 は終期に相当することになり、これは観察結果と矛盾しないように思われる。ただ、その場合、細胞周期の長さが 34.5 時間（19.4 時間の約 1.8 倍）となり、分裂期が 2.5 倍長くなったという仮定とは少しずれるようにも見える。

表 1 4 回目の実験における各期の時間の算出（1 日目の結果より）

		前期	中期	後期	終期	分裂期	細胞周期
1 日目 9:45	細胞数	3.7%	0.3%	1.9%	4.5%	10.5%	100%
①分裂期 2 時間と仮定した場合		43.0 分	3.5 分	22.1 分	50.0 分	2 時間	19.4 時間
1 日目 10:50	細胞数	11.4%	1.1%	6.5%	11.4%	30.4%	100%
②分裂期 2 時間と仮定した場合		45.0 分	4.3 分	25.7 分	45.0 分	2 時間	6.6 時間
③細胞周期 19.4 時間と仮定した場合		132.7 分	12.8 分	75.7 分	132.7 分	5.9 時間	19.4 時間

表 2 4 回目の実験における各期の時間の算出（2 日目の結果より）

		前期	中期	後期	終期	分裂期	細胞周期
2 日目全体	細胞数	4.4%	0.5%	1.7%	7.9%	14.5%	100%
④分裂期 5 時間と仮定した場合		90.9 分	10.2 分	35.1 分	163.5 分	5 時間	34.5 時間

以上から推測すると、それまで暗条件に置かれていた 1 日目の結果（その前の実験も）は、日光の明暗周期を感知しないはずの根端組織にも約 24 時間周期の生物時計（概日リズム）が備わっていることの証拠と思われる。細胞周期をそろえる適応的意義は、DNA を日光の紫外線から守るためといわれている。DNA が最も損傷を受けやすいのは複製をおこなうときなので、複製（S 期）を夜間に済ませるほうが良い。単細胞の藻類では夜明け前に分裂期まで済

ませ、昼間は光合成に専念する生活サイクルを送るというが、光合成をしないタマネギの根では日が昇ってから分裂期が始まるというわけである。本来なら地中にある根は光を受けないはずだが、植物体全体の性質として細胞周期をそろえるしくみがあるのだろう。

しかし2日目の結果からは、そろっていた時計が少しばらついてしまったことがうかがえる。生物時計にどのような異変が起きたのか、または細胞周期のしくみに何らかの異変が起こって分裂期に長時間かかるようになってしまったのか、詳細を推定するには証拠が足りない。とはいえ、原因は1日目の採取作業にあると考えて間違いはないだろう。複数のタマネギから根を採取する数分間、タマネギは光にさらされる。短時間の明条件と暗条件のくり返しが生物時計に影響したとしてもおかしくない。ただ、切除自体が傷害ストレスとして影響を及ぼした可能性も否定はできない。

昨今、屋内で衛生的かつ計画的に野菜を生産する植物工場が本格的に産業化しつつあるが、人工照明の有効な使用法の開発はまだ発展途上と聞く。農業分野に応用しうる新たな知見を得るためにも、今後、光が細胞周期に与える影響を探る必要がある。

## 5 総括

本研究により、タマネギ根端分裂組織では午前10時から11時台にかけての時間帯に分裂期をおこなう細胞が多いことが解明された。これは生物時計の働きによると思われるが、どのようなしくみで細胞周期をコントロールしているのか、生物時計に影響すると考えられる光や、細胞周期に影響するという温度などの条件を変えて与えることによって、解明する必要がある。

## 謝辞

本研究にあたり、指導教諭堀内栄子先生をはじめ、理科実習教諭大久保喜久枝先生、同じく清水加奈先生に実験方法のご指導を頂いたほか、生物教室から多くの実験器具をご提供いただきました。

## 参考文献

- ・吉里勝利『高等学校 生物基礎』第一学習社
- ・国立遺伝学研究所プレスリリース(2014)『昼に光合成、夜に細胞分裂をおこなうのはなぜか？その謎を解明！』  
(Miyagishima, Fujiwara, Sumiya, Hirooka, Nakano, Kabeya, Nakamura: Translation-independent circadian control of the cell cycle in a unicellular photosynthetic eukaryote. より)
- ・ジョン・D・パーマー 『生物時計の謎をさぐる』 大月書店

# 光刺激によるスプラウトの光合成色素生成

研究者 関森智紀 瀬戸山優希 高澤隆仁 宮下朋也

指導教諭 堀内栄子

## 1 研究動機

私たちの食卓に上る一般的な野菜は屋外の土壌に植えて栽培されるが、平安時代の薬草の文献にも書かれているというおなじみの「もやし」や、最近は店頭で品数を増やしている「スプラウト」と呼ばれる新芽の野菜は、屋内のいわゆる「植物工場」で栽培される。もやしは十分な水分を与えて温度管理された暗室で発芽成長させる。暗所では光合成ができないため、種子に貯蔵された栄養を消費して成長する。一方、かいわれ大根は、暗所で発芽させた後、子葉が芽生えたら光を当てて栽培する。もやしの子葉は淡い黄色だが、かいわれ大根の子葉は濃い緑色である。とはいえ、成長したヤエナリやダイズの葉は緑色をしているので、緑豆もやしや豆もやしも、光を当てて栽培すれば緑色に変わる（緑化する）はずである。安価で栄養豊富な食材として定番のもやしと、機能性食材として脚光を浴びているかいわれ型スプラウトの違いに着目し、特に、光による緑化に焦点を当てて研究することとした。

表1 スプラウトの種類

もやし型 (暗所で成長)	かいわれ型 (明所で成長)
緑豆もやし (ヤエナリ)	かいわれ大根 (ダイコン)
豆もやし (ダイズ)	ブロッコリー (ミドリハナヤサイ)
アルファルファ (ムラサキウマゴヤシ)	マスタード (カラシナ)
	豆苗 (エンドウ)
	ソバ

## 2 実験および結果

### スプラウトの選定

かいわれ型スプラウトの緑化を調べるにあたり、まずは4種のスプラウトの種子を購入して一般的な方法で栽培した。

- ① 容器に脱脂綿を敷き、その上に種子をまく。
- ② 脱脂綿に水を十分にしみ込ませる。
- ③ 暗所に置き、脱脂綿が乾燥しないように水を随時与える。
- ④ 芽が伸びたら（4～5日後）光（人工照明）を当てる。

種子をまいた翌日には発芽した（図1）。種類により、種子の大きさや形状、芽（胚軸）の太さが異なる。これらのうち、胚軸が太くて子葉が大きく、扱いやすいという点から、本研究ではかいわれ大根（ダイコン：*Raphanus sativus* var. *longipinnatus* アブラナ科ダイコン属）を用いることにした。



図1 上段右：豆苗、上段左：かいわれ大根  
下段左：ブロッコリー、下段右：ソバ

### 実験 I（予備実験） 照射する光の波長

内部室温を 25°C に保ったインキュベーター（恒温培養器）に入れて栽培した。発芽後に照射する光源（一般的には昼白色蛍光灯）として、2 種類の LED 光源（青：波長 400～500nm，赤：波長 600～700nm）を用いた。

結果、赤色光、青色光のいずれでも同様に緑化した（図3）。写真 a, b とも上の列（胚軸が長く子葉が大きい）

がかいわれ大根で、下の列は比較のために育てたブロッコリーである。ブロッコリーでも同様に緑化した。

インキュベーターでの栽培は、空気を攪拌するファンの風によって種子が乾燥しやすく、うまく発芽しないときがあったが、風除けの覆いなどを工夫し、安定した栽培を目指した。



図 3-a 赤色 LED を用いて栽培

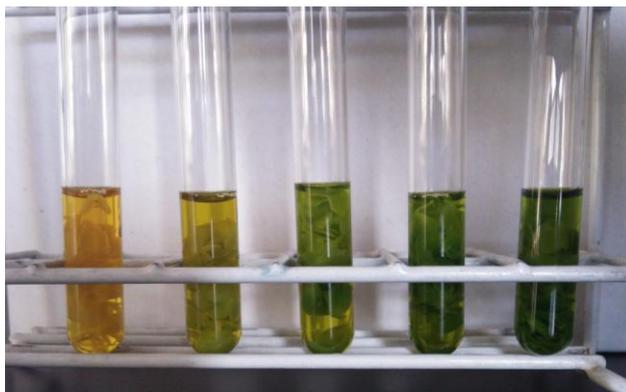


図 3-b 青色 LED を用いて栽培

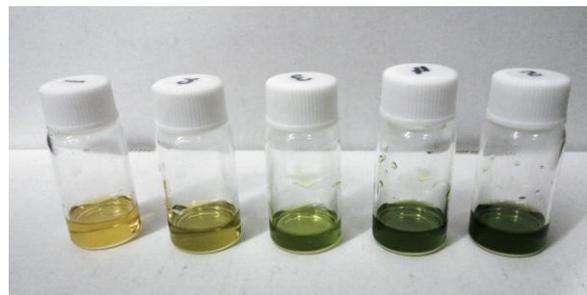
## 実験 II 色素生成にかかる時間

実験 I と同様にインキュベーターで栽培し、発芽後に赤色 LED の光を照射した。光照射開始後、2 時間ごとに子葉を採取し、抽出液 (2mL の N,N-ジメチルホルムアミド : DMF) に 0.50g の葉を入れた。シリカゲルシートと展開溶媒 (石油エーテル : アセトン = 7 : 4) を用意し、抽出した色素を薄層クロマトグラフィー (TLC) によって分離した (図 5)。クロマトグラフィーとは、ろ紙やシートを有機溶媒が浸透していくとき、有機溶媒への溶解度や分子量により、浸透して上昇していく速度が物質ごとに異なることを利用した分離方法である。なお、抽出液に用いた DMF は非常に抽出能力の高い溶媒で、一般的な抽出液のように葉をすりつぶす必要もなく、浸したまま 2~3 日冷蔵庫に静置するだけでよく色素が抽出される。

抽出液を見ると、色素の色が鮮やかに確認できた (図 4)。光照射開始時の抽出液は黄色だが、2 時間後にはわずかながら緑色をおび、以後、4 時間、6 時間、8 時間後と徐々に緑色が濃くなっていくことが分かった。



a 切り取った子葉を抽出液に漬けたようす



b 抽出液

図 4 a, b とも左から、光照射開始時、2 時間後、4 時間後、6 時間後、8 時間後

薄層クロマトグラフィーで色素を分離すると、照射開始時には 1 種類の黄色の色素が認められた (図 6)。2 時間後には 2 種類の黄色の色素と微量の 1 種類の緑色色素が確認できた。4 時間後にも同じ種類の色素が見られたが、緑色がより濃く見えた。6 時間後には 4 種類の黄色と 1 種類の緑色が見られた。8 時間後には黄色 (薄いため種類の判別は困難) と 1 種類の緑色が認められた。なお、4 時間後および 6 時間目に見られるやや下方の斑は赤色をおびており、光合成色素ではない不純物と思われる。

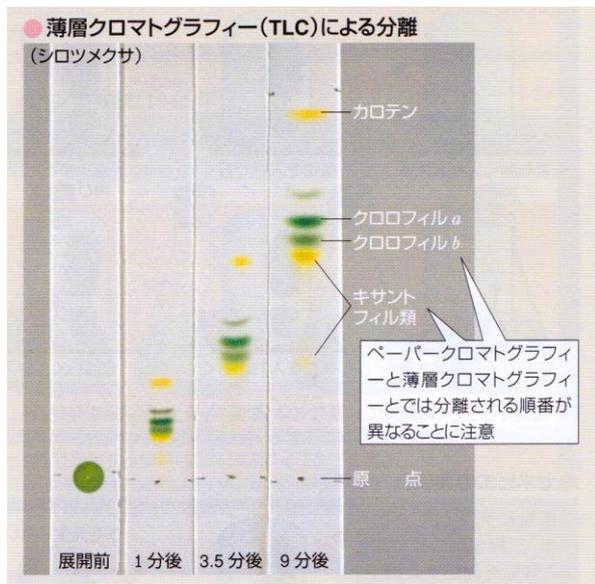


図5 薄層クロマトグラフィーの例  
(時間ごとに色素が展開していくようす)  
(数研出版 フォトサイエンス生物図録 より引用)

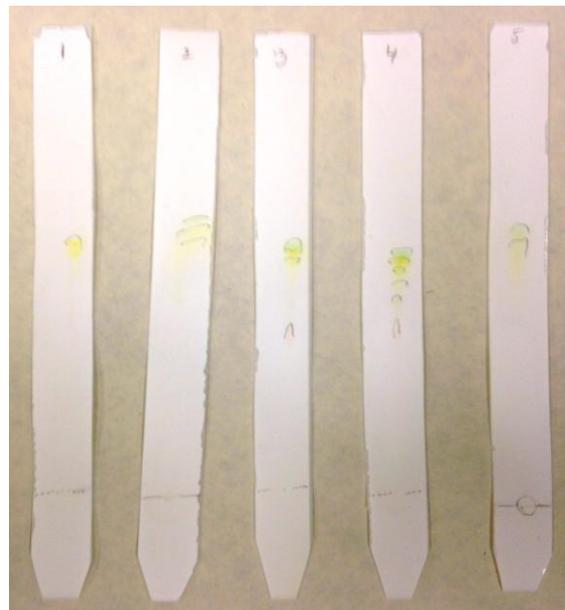


図6 かいわれ大根の薄層クロマトグラフィーの結果  
左から、開始時, 2, 4, 6, 8時間後

### 3 考察

まず、植物に含まれる色素の種類を整理しておく(図7)。植物のもつ色素のうち、葉緑体に含まれ光合成に用いられるものを光合成色素と呼び、花や果実を赤や紫に彩る色素(アントシアンなど)と区別される(ちなみにアントシアンなどの水溶性色素は、有機溶媒によるクロマトグラフィーでは上昇しないので容易に識別できる)。光合成をおこなう生物は、光合成細菌類を除けば、共通してクロロフィルa(青緑色)をもち、他に補助色素を複数種類もつ。クロロフィルaは光合成における光エネルギーの吸収反応の中心となって働くが、吸収できる波長が赤(波長660nm付近)と青(波長430nm付近)の光に限られるため、クロロフィルaが吸収しない波長を補助色素が吸収して幅広くエネルギーを集めるほうが、光の有効活用ができるのである。陸上植物の補助色素のうち最も多量に含まれるのがクロロフィルb(黄緑色)、次いでβカロテン(橙黄色)、さらにキサントフィル類をいくつか含むのが一般的である。

色素	化学的性質	同化色素		色	紅藻類	シテバクテリ	紅藻類	ケイ藻類	褐藻類	緑藻類	植	
		クロロフィルa	クロロフィルb									
クロロフィル	Mgを中心金属とするポルフィリン環に、鎖状のフィトールが結合した脂溶性物質	クロロフィルa	クロロフィルb	青緑	●	●	●	●	●	●	●	
		クロロフィルc		黄緑					●	●		
		バクテリオクロロフィル				●						
		カロテン	βカロテン	橙黄	○	○	○	○	○	●	●	
カロテノイド	鎖状の長い不飽和炭化水素で、脂溶性	キサントフィル	ルテイン	黄			○			●	●	
			フコキサンチン	褐			●	●				
フィコビル	ポルフィリン環が開いた形で、中心金属をもたない。水溶性	フィコシアニン		青	●	○						
		フィコエリトリン		紅		○	●					

図7 光合成生物のもつ光合成色素  
(数研出版 【新課程】チャート式シリーズ 新生物 より引用)

結果より、暗所で発芽した子葉にはもともと黄色の色素が含まれていた。抽出量が少なく判別が難しいが、これはキサントフィル類(ルテインなど)の可能性が高い。光照射によって黄色の色素の種類が増える傾向が見ら

れたが、どれもキサントフィル類だろうと推定される。同時に増量していった緑色の色素はクロロフィル a と考えられる。クロロフィル b については、抽出液が薄すぎたのか、まだ生成されていないのか、確認できなかった。

光合成色素は色素体に含まれる。色素体とは葉緑体の仲間であり、クロロフィルなどを含めば葉緑体、クロロフィルを含まずカロテノイド類を含めば有色体、色素を全く含まなければ白色体と呼ばれる。発芽したばかりの子葉は有色体をもち、黄色を呈している。光が当たらなければ、クロロフィルは作られず、有色体が葉緑体に分化するのではなく、もやしとなる。光が当たると、速やかにクロロフィル合成が開始され、徐々に増量して、数時間のうちには活発な光合成をおこなうようになると考えられる。このように光合成色素が生成されて葉緑体分化する過程は複雑で、まだ解明されていない部分が多い。

本研究で、赤色光や青色光を受けて色素合成が開始されたということは、赤色光と青色光を受容するしくみが植物に備わっていることを示唆する。そのようなセンサーとなる物質として、赤に感受性のあるフィトクロムや青に感受性のあるクリプトクロムが既に知られており、植物の生活のさまざまな場面で働いている。今後、さらに詳しく色素合成の過程を調べることで、植物工場での作物生産といった産業にも活かされるような、光合成の調節のしくみについて新たな知見を得られる可能性に期待したい。

## 4 課題と展望

本研究により、波長の限られた赤と青の LED 光源でも光合成色素を合成させる作用をもつことが分かった。赤と青では光を受容する物質が異なると考えられるため、作用のしかたも異なる可能性がある。今後、青色光をはじめ他の波長の光を用いて詳細に検証する必要がある。また、薄層クロマトグラフィーでは色素量が少ないと判別が難しく、うまく分離しないこともある。抽出溶媒や展開溶媒の配合比率の工夫、あるいは分光光度計での濃度測定を模索する必要がある。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、本校の生物教室および化学教室のインキュベーターほか多くの実験機材をお借りした。ここに感謝を申し上げます。

## 参考文献

- ・ 改訂版 フォトサイエンス 生物図録 (数研出版)
- ・ 【新課程】チャート式シリーズ 新生物 (数研出版)
- ・ スクエア最新図説生物 NEO (第一学習社)
- ・ <http://www.npo-jhs.jp/repo16.html> (特定非営利活動法人 ジャパンハーブソサエティー)
- ・ <http://www.nichinou.co.jp/> (日本農産種苗株式会社)
- ・ <http://pen.agbi.tsukuba.ac.jp/~RStiger/hiki2/>  
(とらりもん 「クロロフィル・カロテノイド定量方法 (DMF 抽出法)」)

# 雨粒を究めよう！～雨滴粒径分布の調査～

研究者 山崎結花 竹重遥  
塚田紗衣 松本知美  
指導教諭 風間敏

## 1, 研究動機・目的

天気予報は広範囲で予測をしているため、局所における短時間での気象の変化までは分からない。私たちは、雨によって降り方や雨滴の大きさに特徴があるのではないかと考えた。そこで、降り始めの雨という観点から、降り始めの微少な雨滴を調査することでその後の雨の降り方がどうなるか予測できるのではないかと考え、この研究を開始した。

## 2, 研究概要

これまでも雨の種類を調査する方法として、雨滴粒径分布という研究がされてきた。本来、雨滴粒径分布とは、三次元的に雨滴の大きさと分布を調査することとされ、現在は光学技術（レーザー）を用いた自動測定が行われている。今回私たちはそうした大掛かりな装置を用いず二次元的に計測する方法はないかと考えた。雨滴の粒径を調査する方法には、「小麦粉法」「ろ紙法」「ガラス法」などがある。実際の雨を採取する方法を確立するために、「小麦粉法」と「ろ紙法」をもとに予備実験を繰り返した。その中で独自に「チョーク紙法」を開発し、微少な雨滴の採取と雨滴痕の固定に成功した。

## 3, 実験結果

### ☆予備実験1 採取方法の開発・改良

微少な雨滴を採取する方法の開発のため、先行研究で行われていた「小麦粉法」と「ろ紙法」の2つの方法の実験を行った。

#### 1 小麦粉法

小麦粉に水を滴下すると小麦粉が固まることを利用して、雨滴を固定する方法である。

<手順>

- ① 粒子を均一にし、水滴をなじませやすくするために小麦粉を125 $\mu$ mの標準ふるいにかける。
- ② 容器に入れた小麦粉にこまごめピペットで決められた量の水滴を滴下する。

- ③ 水滴に小麦粉がなじむように②の容器を振る。
- ④ ③でできた小麦粉の粒を取り出し、粒の直径を計測する。

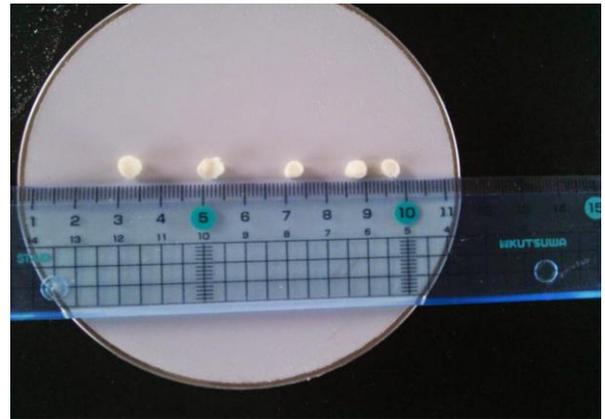


写真1 小麦粉の粒

<○長所△短所>

- 実際の雨滴と同じ形で固定できる。
- △球状に丸めるのが難しい。
- △水滴が落下したときの勢いで水が飛び散り、粒がたくさんできてしまう。
- △容器の振り加減によって粒の状態が変わってしまう。
- △一つ一つの作業に手間がかかり効率が悪い。

#### 2 ろ紙法

紙に水を滴下すると紙に水のシミができることを利用して雨滴を固定する方法である。紙を使用した方法を総称して「ろ紙法」という。

白い紙に水を滴下するとその水滴痕の判別が難しいと分かった。そこで、紙に着色することで水滴痕の判別が容易になるのではないかと考えた。着色した紙を用いた独自の3種類の方法について実験を行った。

使用した紙の種類は以下の通りである。

(色はすべて白色)

- ・塩化コバルト紙法  
コピー用紙、わら半紙、ルーズリーフ、ろ紙、ティッシュペーパー

・絵の具法

コピー用紙、わら半紙、画用紙、厚紙

・チョーク紙法

コピー用紙、わら半紙

(1) 塩化コバルト紙を用いた方法（「塩化コバルト紙法」）

塩化コバルト紙には「水に触れると青色から桃色に変化する」という性質がある。水滴が落ちた部分は色が変わるため、色の変化によって水滴痕を固定できると考えた。市販されているサイズの塩化コバルト紙では小さい上に高価なため、今回は自ら塩化コバルト水溶液から塩化コバルト紙を作製した。

<手順>

- ① 塩化コバルト( $\text{CoCl}_2$ )水溶液を作製する。より水滴痕がはっきりと残ったため、濃度は濃くした。
- ② 白色の紙を①の水溶液に浸し、乾燥機に入れる。紙はわら半紙が最も扱いやすく、ムラの少ない塩化コバルト紙ができた。
- ③ できた塩化コバルト紙にビュレットで決められた量の水滴を滴下する。
- ④ できた水滴痕の直径を計測する。

<○長所△短所>

○色の変化によって一目で水滴が落ちたところ分かる。

△塩化コバルト紙の作製に費用と時間が多くかかる。  
△水滴がすぐに吸収されない。また、どこまで広がったか曖昧なため、正確に水滴痕の直径を計測できない。

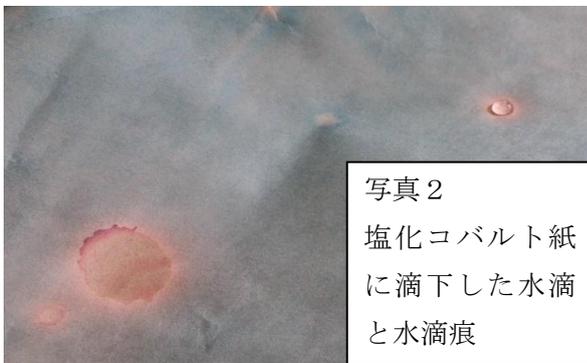


写真2  
塩化コバルト紙に滴下した水滴と水滴痕

△乾燥機から出すとすぐに変色してしまう。



写真3  
作製直後の塩化コバルト紙



写真4  
写真3の数分後、桃色に変色した塩化コバルト紙

(2) 絵の具を用いた方法（「絵の具法」）

水彩絵の具は水に溶けることから、水彩絵の具を塗布した紙に水滴を滴下すると、その部分の色彩が変化して水滴痕を固定できると考えた。

<手順>

- ① 白色の紙に水で溶いた水彩絵の具を絵筆で塗布し、以下の2種類の色の濃さの紙を作製する。水滴痕の判別の際の見やすさを考慮して、絵の具は赤色を使用した。
  - ・絵の具を一度だけ塗布してできた薄い赤色の紙
  - ・絵の具を何度も重ねて塗布してできた濃い赤色の紙
- ② それぞれの紙に水滴を滴下する。

<○長所△短所>

△水が紙に染み込まない。

(3) チョークを用いた方法（「チョーク紙法」）

チョークを塗布した紙に水滴を滴下すると、その部分のチョークの粉が固まって水滴痕を固定できると考えた。

<手順>

- ① 白色の紙にダストレスチョーク（日本理化学工業株式会社）をまんべんなく塗布する。水滴痕の判別の際の見やすさを考慮して、チョークはピンク色を使用した。
- ② こまごめピペットで決められた量の水滴を滴下する。
- ③ 滴下された水滴が乾いたら、余分なチョークの粉を雑巾で拭き取る。（できた水滴痕を見やすくするため。）
- ④ できた水滴痕の直径を計測する。

<○長所△短所>

- 身近にある安価なもので、簡単に作製できる。
- 水滴痕を固定できるため計測が容易。
- 乾いても色が残るので採取から時間が経過しても計測が可能。

予備実験1の考察

「小麦粉法」と3種類の「ろ紙法」の実験から、「ろ紙法」の方がより簡単で鮮明に水滴痕を固定、判別できると判断した。紙は水の染み込みが良いという理由から、わら半紙(リソグラフ・孔版印刷機用中性紙)を使用することに決定した。わら半紙以外の紙では、水が紙に染み込まず紙の表面に水滴が残ってしまった。着色方法としてはチョークが最も水滴痕を鮮明に固定できた。以上より、「チョーク紙法」で雨滴を採取することに決定した。

☆予備実験2 滴下する高さによる水滴痕の直径の変化

水滴を滴下する実験の中で、同じ体積でも高さによって水滴痕の直径が変わっていることに気づいた。そこで、滴下する高さによって水滴痕の直径に変化があるか確認するための実験を行った。この時点では採取方法は研究中であったため、塩化コバルト紙とビュレットを用いた。

<実験>0.04mLの水を高さを変えて滴下し、できた水滴痕の直径を計測する。それぞれの高さで3回ずつ行う。

<結果> 表1

cm\回	1	2	3	平均
50	2.3(cm)	2.6	2.6	2.5
100	2.7	2.6	2.6	2.6
150	2.8	2.6	2.7	2.7
200	2.9	2.9	2.8	2.8
400	3.0	3.0	2.8	2.9
784	2.8	3.0	3.0	2.9

<考察>表1より、ある高さ以上になると水滴痕の直径は一定になると考えられる。

☆予備実験3 水滴痕の直径から水滴の体積を求める



写真5 水滴滴下実験の様子

チョーク紙法を使用した雨滴粒径分布の調査として、できた雨滴痕の単位面積当たりの個数とその直径から短時間の微少な雨量を算出できると考えた。そこで、水滴痕の直径から水滴の体積を求める実験を行った。

<実験>こまごめピペットで一定量の水を滴下し、チョーク紙にできた水滴痕の直径を計測する。滴下する高さは、予備実験2より滴下実験が可能な最高の高さである250cmで統一した。この操作を5回繰り返して、平均をとった。

<結果>0.05mL→2.1cm

0.1mL→2.5cm

この値を元に、できた水滴痕を底面とする円柱の体積と滴下した水滴の体積が等しくなることを利用して、円柱の高さを求めた。また、できた水滴痕の半径から滴下した水滴の体積を求める公式を作った。

$V[\text{mL}]$  (滴下した水滴の体積)  $r[\text{cm}]$  (水滴痕の半径)

h[cm] (できた水滴痕を底面とする円柱の高さ) とするとき  $V = \pi r^2 h$  となる。  
 ただし、前記の実験に基づく h の値については、  
 $V=0.05\text{mL}$  のとき  $h=0.014\text{cm}$   $V=0.1\text{mL}$  のとき  $h=0.020\text{cm}$  と計算される。他の水滴の体積については実験を行っていないため、今回の雨滴の実測では、 $h=0.017[\text{cm}]$  を用い、 $V=0.053r^2$  として実験を進めることとした。

### ☆実測

チョーク紙法を用いて実際に雨滴を採取し、できた雨滴痕の直径と採取時の気象条件を調査した。採取は、屋代高等学校(千曲市屋代)の校舎間のアスファルト舗装された建物の影にならないような空地で行った。



写真6 雨量計とチョーク紙

<手順>

- ① 事前に作ったチョーク紙 (36.3[cm] × 25.7[cm]=933[cm<sup>2</sup>]) を一定時間雨にさらし、雨滴を採取する。(今回は60秒間の時と10秒間の時がある)
- ② 一定の間隔(5分間)を空けて①と同様のことを行う。
- ③ ①、②と同時に容器を一定時間雨にさらし、雨を採取する。
- ④ チョーク紙にできた雨滴痕の直径と個数を計測する。
- ⑤ 容器に採取した雨滴の質量を計測する。



写真7 採取した雨滴

雨量の測定には初めは写真6の転倒ます型雨量計(大田計器製作所、分解能0.5mm/0.5h)を使用した。この雨量計は分解能が低いため、今回の目的には不向きであった。短時間の微少な雨量を測定するために写真7のような容器(底面の直径10cm)で雨を10分間採取し、質量から雨量を求める方法をとった。

この数値から、単位時間(1時間あたり)、単位面積(1[cm<sup>2</sup>])あたりに採取できた雨量に換算した。採取できた雨滴の質量と換算した雨量を表2に示す。

表2

開始時刻	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40
質量(g)	3.63	1.50	1.76	1.47	1.50
雨量(mm/h)	2.78	1.15	1.34	3.12	3.18

<1回目>

2014年11月29日10:24~11:27まで雨滴を採取した。寒冷前線の影響で未明から降り続いた雨は11:30頃止んだ。降り始めは大粒の雨が降っていた。この日採取した雨滴痕の直径と個数を計測した。60秒間の採取を9回行い、グラフ1を得た。

<2回目>

12月11日13:41~13:43に雨滴を採取したが、雨はすぐに止んでしまった。この日は寒冷前線の中心からは離れていたが、昼頃に小雨が降った。10秒間の採取を2回行い、グラフ2を得た。

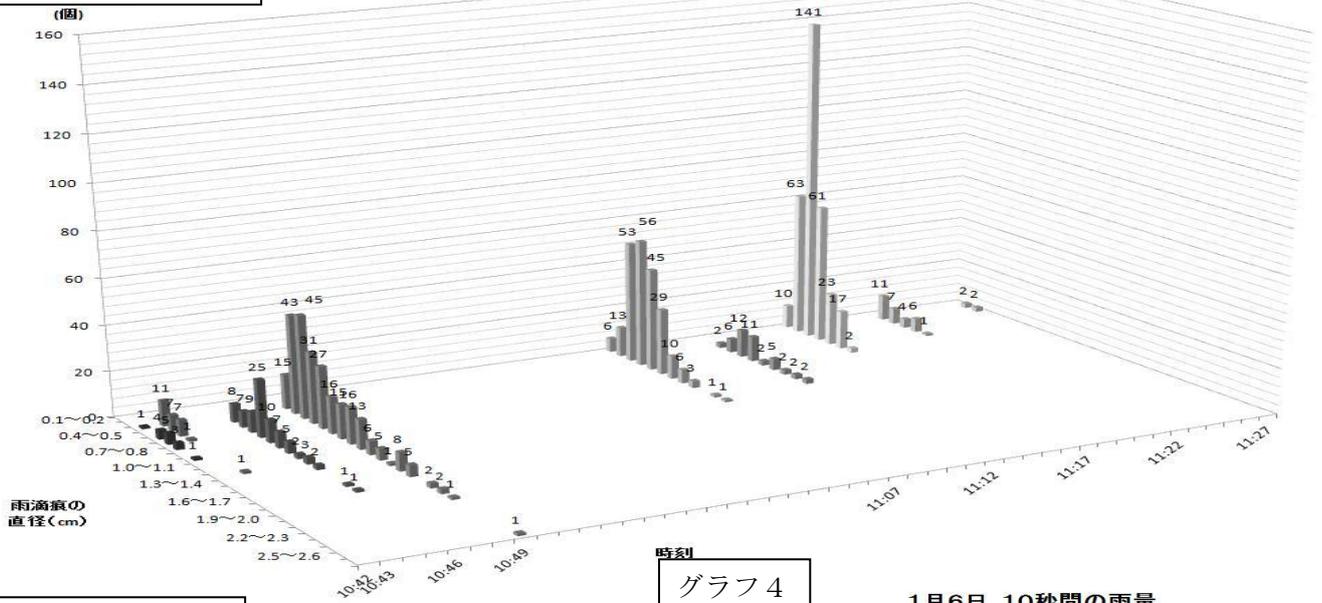
<3回目>

2015年1月6日11:03~11:43まで10秒間の採取を5分間隔で9回行い、グラフ3を得た。10:30頃から降り始め、小雨のまま13:30頃に止んだ。

予備実験3での計算式をもとに1月6日の10秒間ごとの雨量を算出したものがグラフ4である。このグラフの横軸はグラフ3の横軸と同じである。10秒間の雨量を時間雨量に換算し合計すると、グラフ5になる。

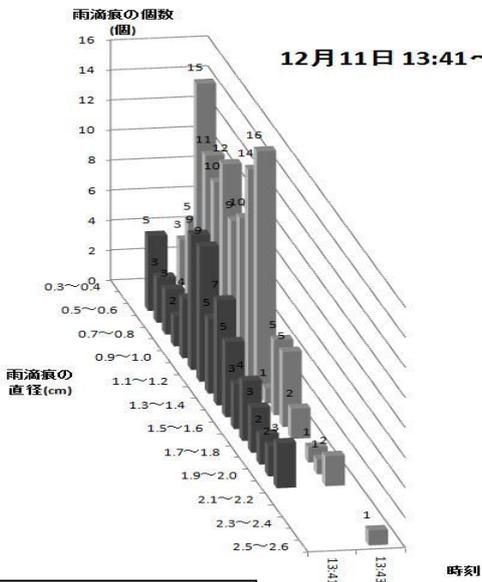
グラフ1 60s×9回

11月29日 10:42~



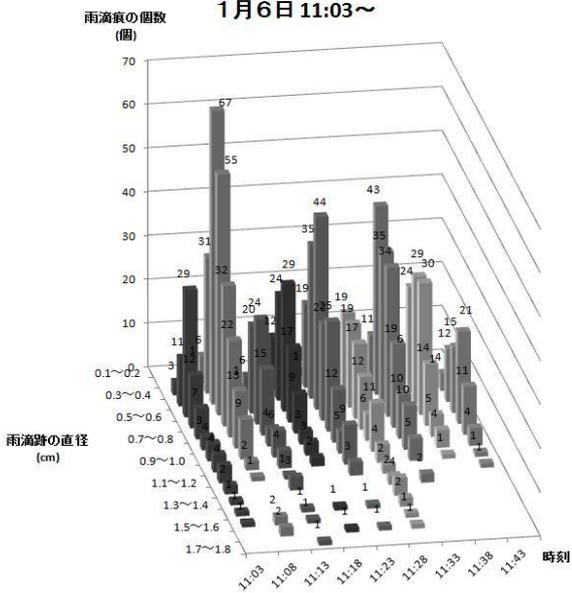
グラフ2 10s×2回

12月11日 13:41~



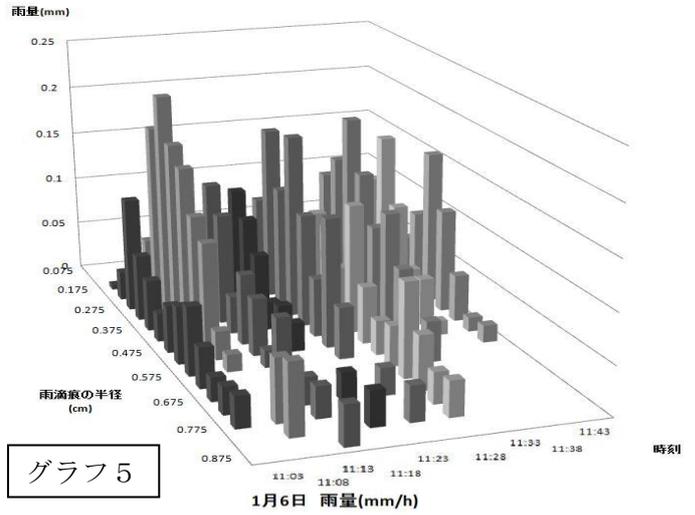
グラフ3 10s×9回

1月6日 11:03~



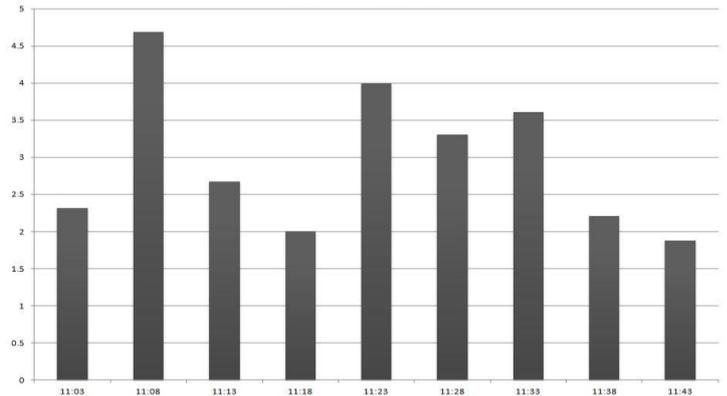
グラフ4

1月6日 10秒間の雨量



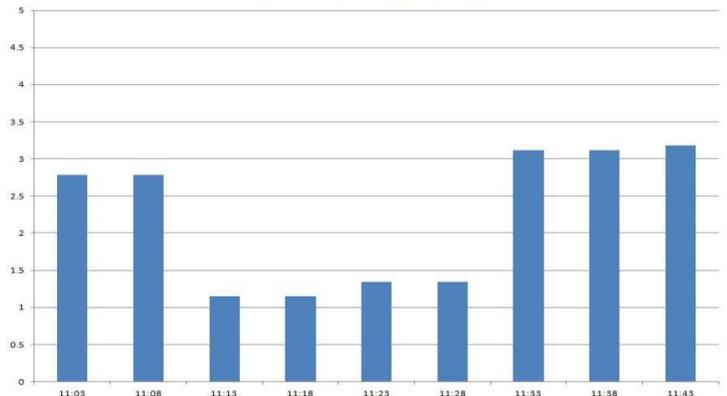
グラフ5

1月6日 雨量(mm/h)



グラフ6

1月6日 雨量実測値(mm/h)



#### 4, 考察

雨滴の採取方法については「チョーク紙法」によって比較的入手しやすい材料で雨滴の採取・計測をすることができた。微少な雨量の算出方法については、今後更に改良を進めていきたい。

実際の雨を「チョーク紙法」により観測しグラフ化する計測はまだ回数が少なく、雨の降り始めから降り終わりまでの完全なデータは得られていない。現在までの観測によると降り始めと止む頃ではそれぞれ雨滴の粒径にばらつきが少ないと予想される部分もあるが、検証するための十分なデータは得られていない。

#### 5, まとめ

予備実験を繰り返す中で、独自に微少な雨滴を採取する方法を開発できた。しかし、予備実験が主となったため実測による雨のデータが不足している。私たちの研究の目的は「雨の降り方からその後の天気を予測する」ということだが、雨の降り方とその後の天気との関係が明確に見えなかった。今後、実際に雨滴を採取してデータを増やし、雨滴粒径分布の調査により最終的には雨の降り方を予測することにつなげていきたい。

#### 6, 参考文献

- 1) 日本気象協会 tenki.jp  
<http://www.tenki.jp/radar/>
- 2) 酸性雨・樹幹流・土壌を対象とした高等学校化学における環境教育の実践 宮崎貴史 安藤秀俊
- 3) 雨滴の大きさをはかる 南光一樹, 2008
- 4) 雨縞の研究(1)-最大粒径に着目して-  
青木篤史 藤吉康志

## 平成 26 年度 課題研究等に関する外部評価結果一覧

### 1. 第 58 回長野県学生科学賞作品展覧会(長野県教育委員会・読売新聞社主催)

- ・ 県知事賞 「和弓の科学～力学的視点からの解析～」  
研究者：荒川直哉、小林永知、宮川岳大 (理数科 3 年)  
指導者：清水寛
- ・ 優良賞 「水酸化ナトリウムを用いた PET の加水分解  
～PET 分子の配合の様子とアルカリ加水分解の仕組みについて～」  
研究者：小出健士朗、柄澤大地、田中雄大、横田直哉 (理数科 3 年)  
指導者：小田切亨

### 2. 第1回データビジネス創造コンテスト(慶応義塾大学 SFC 研究所データビジネス創造・ラボ 他)

- ・ 最優秀賞 「花粉症患者のつぶやきを社会の意志決定に活かしたい」  
研究者：市ノ瀬弘祐、坂口美乃里、堀口恵莉菜、若林和哉(理数科 3 年)  
指導者：横澤克彦

### 3. 第 11 回高校化学グランドコンテスト(大阪府立大学・大阪市立大学・読売新聞大阪本社主催)

- ・ ポスター賞 「水酸化ナトリウムを用いた PET の加水分解」  
研究者：小出健士朗、柄澤大地、田中雄大、横田直哉 (理数科 3 年)  
指導者：小田切亨
- ・ ポスター発表 「アルギン酸ビーズを用いたアルコール発酵」  
研究者：小澤悠介、蟹澤圭祐、小山信也 (理数科 3 年)  
指導者：近藤信昭
- ・ ポスター発表 「デンプンとアミラーゼ」  
研究者：春日涼太郎、小林良輔、矢島拓実、湯本瑛亮 (理化班)  
指導者：西澤秀夫

### 4. 課題研究合同研修会 (信州サイエンスキャンプ事業推進委員会 主催)

- ・ 口頭発表 「光の刺激がもたらすスプラウトへの影響～光合成色素に関わって～」  
研究者：関森智紀、瀬戸山優希、高澤隆仁、宮下朋也(理数科 2 年)  
指導者：堀内栄子
- ・ 口頭発表「SSH米国海外研修報告」  
発表者：山崎友実、池上友理、中島冬萌、竹重遥(理数科 2 年)

### 5. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会

- ・ 努力賞 「姨捨棚田の歴史調査と「田毎の月」の実現～十枚の大鏡による月光の一点収集～」  
研究者：中村実和子、土屋恒平、坂口美乃里(以上 3-7)、中澤諒太(2-6)、竹重遥(2-7)
- ・ 努力賞 「Yosemite Valley の Merced River 河川中の金属イオン濃度の分析と比較」  
研究者：若林和哉、中曾根千尋、湯原萌(理数科 3 年)

# 過去の課題研究テーマ（数学分野）

## 平成 25 年度研究

離散グラフを使った立方体展開図 虚軸を加えた3次元空間からの大学入試問題の解法  
花粉症患者のつぶやきを社会の意志決定に活かしたい

## 平成 24 年度研究

四色定理

## 平成 22 年度研究

素数について

## 平成 21 年度研究

アルゴリズム

## 平成 20 年度研究

センター試験数学の問題分析

## 平成 19 年度研究

公開鍵暗号

## 平成 18 年度研究

「リスク愛好的」と「リスク回避的」 確率、期待値

## 平成 16 年度(SSH初年度)研究

ゼータ関数に挑む 円周率 $\pi$  十進BASIC 経済学と数学～経済と無差別曲線

## 平成 14 年度研究(2年生での数学課題研究初年度)

時計の針のなす角によって時刻は特定できるか 自然数列  $n$  変形  
自然数の各位の2乗の和について  $X + Y + Z = n$  を満たす自然数の組  $(X, Y, Z)$  の個数について  
三角関数の加法定理の応用の応用 全てが平方数の数列の4項間漸化式

## 平成 12 年度研究

日本の数学 ジャンケン ゲーム理論 なぜ球の体積は  $4\pi r^3/3$  なのか? 暗号  
ポーカーの確率 身近な方法を用いての  $\pi$  の計算 メネラウス・チェバの定理 席替えの法則  
不思議不思議フィボナッチ数列 楕円、双曲線、放物線 数学クイズ 円錐を切る  
オイラーの定理の証明 2の100乗の簡単な求め方 ハノイの塔の数理  
1ヶ月でどの席が数学で一番当たるか? eukleidesの原理 渡る世間は銭ばかり  
リードの法則を考察して 微分ラク活用 整数論 少し難しい高次方程式  
行列と行列式 ぜろ 半端な角の  $\sin$ 、 $\cos$  の求め方 Eurekaアルキメデス  
円周率について パスカルの確率論 確率論ピタゴラスの定理 パズル界の七不思議  
裏技、徹底分析?～トランプの裏技～ パラドクスをやっつける スツルムの解法へロンの公式  
 $1 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 5$   $\pi$  の歴史 三平方の定理証明いろいろ

## 平成 11 年度研究

フェルマーの大定理を解く 関孝和と愉快的仲間たち 円周率 数と無限  
ミレニアム黄金比 ピタゴラスの伝説 素数は奥が深い 数学史うれしたのしおもしろし  
関孝和の和算 かくりつろん フェルマーVSワイルズ データに負けるな偏差  
不楽足る(フラクタル) アキレスは亀に追いつけない魅力的な円周率  
古代ギリシャの風に吹かれて～ギリシャ人と数学～ パラドクスのパラダイス バーコードの秘密  
陽関数・陰関数 パスカルの三角形の秘密 二枚の紙～不動点定理～  
頼もしい計算アイテム「そろばん」の長い歴史 コーヒーカップの軌跡 古代中国における数学  
江戸庶民の数学 一筆書きの証明 飛び石ゲームについてあいについて 9の不思議  
 $0.99999 \dots = 1?$  ～アキレスと亀～ じゃんけんの確率

## 平成10年度研究

この年は、全体の統一テーマとして『数学史』を研究した。

ピタゴラス 平方根 ユークリッド幾何学 アルキメデスです プトレマイオス フィボナッチ  
 みんなで渡ろう 2次曲線 ヘロンの公式とヘロン みんなあつまれ集合だ！ 集合論の創始者カントル  
 黄金比とフィボナッチ FIGHT TO 3次方程式 指数関数・対数関数 けぷら 確率論  
 パスカルとおれたち！ ニュートン let's ライプニッツ おいらはオイラー  
 おいらの功績ガウスと正十七角形 高次方程式

## 平成9年度研究

数学I	ヘロンの公式 三角形の辺と角の大小 ナンバーズとベルヌーイの大数の法則 あっち向いてホイの確率と期待値 二等分線定理 信号にひっかからずに進むには $\sin 15^\circ \cos 15^\circ \tan 15^\circ \sin 75^\circ \cos 75^\circ \tan 75^\circ$ のいろいろな求め方 $\sin 18^\circ \cos 18^\circ \sin 36^\circ \cos 36^\circ$ のいろいろな求め方 古代の測量技術
数学II	三角関数を使って 三角関数について 雨の落下速度について 三次不等式 加法定理の証明 「対数」を使う
数学III	$0^\circ$ についての考察 浮き輪の容積の求め方 分数不等式
数学A	中線 (パップス) の定理 一般のコーシー・シュワルツの不等式 数学的帰納法 チェビシエフの不等式について 全称命題の証明 メネラウスの定理・チェバの定理
数学B	複素数 オイラーの公式について ベクトルと図形について
その他	三平方の定理 タレスの定理を使って シムソンの定理 トレミーの定理について ガウスについて 正多面体 方べきの定理 ヴァリニョンの定理 $\pi$ を求める 二進法について 数のはなし 虫食い算と覆面算について

## 平成8年度研究

代 数	4次方程式の解法 不定方程式を解く ディオファントス方程式 相加・相乗の不等式の証明 代数遊び
関 数	分数関数 円錐曲線 三角関数の微分法
確 率	トランプのカードの配り方 ポーカーにおけるジョーカーの価値 プレゼント交換会 ひっかかりやすい確率 連勝の確率 パチンコの確率 大相撲は公平か？ 武蔵丸の優勝確率 血液型の確率 「ヨクアルコト」と「メッタニナイコト」
数 列	ネズミ講—等比数列との関係— ピラミッドの石を数える いろいろな等比数列 ピタゴラスの小石並べ なぜ球の体積の公式は $3\pi r^3 / 4$ なのか？
整数論	ウィルソンの定理 合同式 完全数とは何か？ 親愛数とは何か？
幾 何	$\pi$ を使った公式 角の3等分線 ピタゴラスの定理 三角形の世界 ニュートンの定理・シムソンの定理 ボイヤの定理の証明法 パラボラ切片の面積 タイルの敷き詰め
その他	「割り算」 円周率 $\pi$ を求める 円周率の求め方 金貨の量り分け 魔法陣 魔法陣の不思議 扇風機の羽はなぜ逆に回って見えるか

平成7年度研究

関数と 方程式	2次関数の最大・最小 3次関数のグラフ	2次方程式の解 3次方程式の解の公式	2次関数のグラフ ディオファントスの方程式	関数について
幾何学	ハートの作り方とその式 ステレオグラム ビリヤード玉の差分三角形	円の仲間 正五角形の作図	グラフの理論について	三角形と円の関係 ピタゴラスの定理の証明法
数 列	フィボナッチ数	累乗と数列の求め方	黄金比	0.999...は1に等しいか？
順列・ 組合せ	ハノイの塔	同じものを含む順列		
確 率	騎士と悪漢 くじ引きの原理	天気確率 種々の確率	Polyaの壺 待ち合わせの確率	ポーカーにおけるチェンジの有効性 サイコロ投げの問題
三角関数	三角関数のグラフ	三角関数の歴史		
その他	虫食い算 開平計算 オイラーの定理 (合同式)	$\pi$ のはなし ルート2は本当にあるか	信州大学体験学習のまとめ パラドックスの世界	倍数の判定法とその応用 倍数の判定

平成6年度研究

代 数	組み立て除法 2次方程式の応用問題 円の方程式	対称式・交代式の因数分解 高次不等式の解法 楕円	2次方程式の解の公式について コーシー・シュワルツの不等式 ピタゴラス数	
関 数	3次関数のグラフ	三角関数の逆関数	対数の発見と展開	
数 列	約数の数と和の求め方	いろいろな自然数の和	等差数列	ローン返済額を知る
確率・統計	重複組合せ 重復試行の確率の最大値 ギャンブル必勝法 じゃんけんの確率	余事象の確率とその応用 乱数の発生 偏差値について モンモールの問題	条件付き確率とその応用 トムとメリーの賭けの問題 宝くじの確率 ポーカーの場合の数と確率	遺伝の確率 席替えの確率 ニセコインの問題
幾 何	円に内接する六角形 正多面体	トレミーの定理・チェバの定理 三角錐の体積...1/3の謎に迫る！	ギリシャの三大作図問題 球の体積と表面積	
その他	ディリクレの原理	頭休めの数学		

## 過去の課題研究テーマ（理科分野）

### 平成25年度研究

物 理	嫌な音の防止　つむじ風の発生原因
化 学	溶けにくいチョコレートの作成　水酸化ナトリウムを用いたPETの加水分解
生 物	廃棄りんごでの生分解性プラスチックの作成　植物の生育を良くする条件 アルギン酸ビーズを用いたアルコール発酵の効率化　ミドリムシを大量培養する条件
地 学	より高い中率を目指して　液状化現象と地盤構成粒子の粒度

### 平成24年度研究

物 理	水滴の落下　騒音の伝わり方
化 学	色素増感型太陽電池の開発と研究　酸化還元電位と電位差による電池　鏡の作成 洗剤の洗浄力測定方法の開発～煤の利用～　炭酸カルシウムの化学　～玄能石と松代温泉～
生 物	光による葉緑体の誘導　塩麴に含まれる酵素
地 学	北信地域より産出する石油・天然ガス

### 平成23年度研究

物 理	水溶液の拡散　ダイラタンシー現象と非ニュートン流体についての研究 矢の特性について～ハイスピードカメラを利用した解析～
化 学	ヨウ素をデンプンでつかまえる　植物からガラスを作る～Grass into Glass?～ 皮膚の保湿効果を探る～美肌水にアプローチ～
生 物	エノキタケのアルコール発酵実験　光を用いた葉緑体の誘導　乳酸菌の性質
地 学	千曲市における観天望気の研究～冠着山の定点観測～　千曲市における液状化

### 平成22年度研究

物 理	3Dの仕組み　ペルチェモジュールハイスピードカメラを使ったガウス加速器の分析
化 学	色素増感型太陽電池　鉛ガラス　石けんと合成洗剤の洗浄力について
生 物	植物の光スイッチ　ENZYME OF MUSHROOM　菌類からの抗生物質の検出と抗菌効果
地 学	地震に伴う電気と電波

### 平成21年度研究

物 理	モスキート音　構造色～色の不思議～
化 学	水の浄化　結晶魂　石けんの洗浄能力
生 物	珪藻から環境へ　CAM植物の光合成　発光バクテリアの謎
地 学	松代温泉の化学　ISS（国際宇宙ステーション）の観測

### 平成20年度研究

物 理	鐘のうなりについて　揚力の測定
化 学	光触媒ってなんだ～身近なものに挑戦～温泉
生 物	ルミノール発光反応の実験について　発光バクテリアについて
地 学	茶臼山の亜炭

### 平成19年度研究

物 理	音力発電に挑戦！！ 変化球
化 学	アルミニウム電池 人工ルビー 松ヤニ
生 物	キノコの重金属吸収・蓄積能力 トリプシンの酵素特性 バイオエタノールの可能性
地 学	玄能石の研究～上田市の不思議な石～ ヒートアイランドと霧

### 平成18年度研究

物 理	飛行のメカニズム オーロラの神秘にせまる 音の屈折（光の屈折）
化 学	Make Object 燃料電池 銀鏡反応
生 物	プロトプラスト アフリカツメガエルに見られる呼吸の特性 キノコ～自然の分解者～
地 学	屋代地域の局地気象

### 平成17年度研究

物 理	電球 目指せ！ラジオ通信 偏光板
化 学	メタン発酵 生分解性プラスチック
生 物	光合成と電位 植物アルコール 抗菌剤 光合成 バクテリア
地 学	屋高周辺のヒートアイランド現象 村雨石 迫る大地震を測れ

### 平成16年度研究（SSH初年度）

物 理	オーロラ 貴方の知ってるようで知らない電池
化 学	水も滴る好い花火 リモネンの溶解マジック おいしい水を科学する
生 物	ザリガニみーつけた!!～川の水質と水生生物～ L-L24～リアルタイムで発光中
地 学	霧達 地学室始終抽出中

### 平成15年度研究

物 理	飛翔 The Dream Train With Superconductors
化 学	しゃぼんだまとんだ。。。 ダイヤモンド
生 物	うみぼたる～その時うみぼたるは光った～ ウミボタルの発光～におうで
地 学	ウイリーウイリー 蜃気楼の秘密にせまる

### 平成14年度研究

物 理	プロジェクト SOUND
化 学	ダイヤモンド Au 電池 花火
生 物	にんじんくろーん 再生 囁き序曲
地 学	The Global warming The 地震

### 平成13年度研究

物 理	放射線について Pocket Project
化 学	タンバンティ 雪 P o i s o n KANMI ドライアイス
生 物	色～自然の生み出す芸術 カビと共に生きる
地 学	蜃気楼の発生

### 平成12年度研究

物 理	ペットボトルロケット 虹 野球と物理 カラー写真を撮ろう
化 学	硝酸についての新発見 金の魂の湯 そして界面は活性させられた ほっかほっかホッカイロ
生 物	メダカの行動 プラナリアの再生
地 学	ワレワレハ地球人だ

### 平成11年度研究

物 理	音は電気になって伝わる 磁気の解読と録音 落下運動
化 学	ゴムの性質 花火 さまざまなシャボン玉 炎色ロウソク 豆腐三昧
生 物	神秘なる発酵細菌の世界
地 学	川 蜃気楼をつくろう 善光寺大地震

### 平成10年度研究

物 理	Shining Project リニアモーターをつくる
化 学	塩化アンモニウムの再結晶 塩化ナトリウムの劈開性
生 物	酸性水の研究 金魚の鱗移植を用いた免疫実験

### 平成9年度研究

物 理	音の屈折 電磁波の電磁波為る所以を探る グレートな温度計をつくろう
化 学	プラスチックの合成と再利用 線香花火を作ろう 酸性雨 金属樹 ダイヤモンド 洗剤
生 物	水生昆虫の種類と特徴 マツによる大気汚染調査
地 学	雲の変化

### 平成8年度研究

物 理	使って長持ち(電池) ブラウン管の構造 ペットボトルロケットの作成と実験 超音波距離測定 翼
化 学	水質調査 ダイヤモンド しゃぼん玉と表面張力 たたらの研究
生 物	カラムクロマトグラフィーによる光合成色素の単離 いろいろな生物実験

### 平成7年度研究

物 理	定常波 ADコンバータを使った実験 熱気球 弓道を科学する レンズ
化 学	金属樹 花火・マッチの製作 水質調査 C 染色実験ファイル
生 物	ショウジョウバエの遺伝について 組織培養

### 平成6年度研究

物 理	モーターのしくみとその構成要素 超伝導 「蛍光灯回路」その構造と働き 共振
化 学	酸性雨 鏡の作成 大気中のNO <sub>2</sub> 濃度 温泉水中のイオン分析 マクロな結晶・ミクロな結晶
生 物	ゾウリムシの培養と走性における考察 呼吸商 パラフィン切片による動物組織の観察
地 学	金星の公転について 月までの距離の測定

### 平成5年度研究

物 理	ファラデー効果を用いた光通信 たかが電池・されど電池 微分積分と自然現象 水晶時計
化 学	粘りに魅せられて 水質調査 酸性雨 洗濯の科学
生 物	細胞融合 植物の組織培養
地 学	木星の衛星とその運動 反射天体望遠鏡の作成

